令和３年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務

調査報告書

令和４年３月

日本ＣＣＳ調査株式会社

令和３年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務　調査報告書

目　　次

英語サマリー

第１章　事業の背景と目的 ……1-1

第２章　事業の概要 ……2-1

2.1　二酸化炭素貯留適地調査に係る弾性波探査の実施 ……2-1

2.2　二酸化炭素貯留適地調査に係る調査・解析・検討の実施 ……2-1

2.3　2021 年度までの調査実績 ……2-2

2.4　社会的受容性の醸成活動 ……2-2

2.5　各調査地点のデータアーカイブ業務 ……2-2

2.6　有識者委員会の開催、報告書の作成等 ……2-2

第３章　二酸化炭素貯留適地調査に係る弾性波探査の実施 ……3-1

3.1　概要 ……3-1

3.2　酒田沖 ……3-2

3.2.1　2D 探査の実施 ……3-2

(1)　探査位置 ……3-2

(2)　探査期間 ……3-4

(3)　探査工程 ……3-4

(4)　探査詳細 ……3-8

(5)　データ取得結果 ……3-15

3.2.2　2D 探査データの処理 ……3-44

(1)　データ処理の概要 ……3-44

(2)　データ処理の基本仕様 ……3-44

(3)　データ処理のフローチャート ……3-46

(4)　データ処理の詳細 ……3-47

(5)　考察 ……3-85

3.3　弾性波探査データの整理状況と再処理成果の移管状況 ……3-88

3.3.1　貯留適地調査事業の 2D/3D 探査データ ……3-88

3.3.2　基礎物理探査の 2D/3D 探査データ（再処理） ……3-89

第４章　二酸化炭素貯留適地調査に係る調査・解析・検討の実施 ……4-1

4.1　概要 ……4-1
4.1.1　地質解析と貯留適地評価 ……4-1
4.1.2　その他の業務 ……4-2

4.2　海底地形判読および海底地質情報コンパイル（新潟北西沖・佐渡南方沖） ……4-3
4.2.1　作業概要 ……4-3
4.2.2　海底地形および海底地質情報に係るデータの収集 ……4-4
4.2.3　海底地形モデルの作成 ……4-6
4.2.4　海底地形判読 ……4-7
(1)　海底地形の特徴 ……4-7
(2)　海底地形の特徴と浅部地下構造の関係の把握 ……4-9
4.2.5　海底地形情報と海底地質情報のコンパイル ……4-11

4.3　地質解析と貯留適地評価（秋田沖） ……4-13
4.3.1　概要 ……4-13
(1)　作業範囲 ……4-13
(2)　使用データ ……4-15
4.3.2　一般地質 ……4-17
(1)　地質概要 ……4-17
(2)　地質層序 ……4-18
(3)　地質構造および構造発達史 ……4-22
(4)　活断層および地震活動 ……4-25
4.3.3　地質構造解析 ……4-28
(1)　解析ホライズンの設定 ……4-28
(2)　解析ホライズンの特徴 ……4-30
(3)　断層の解析 ……4-32
(4)　深度変換 ……4-33
(5)　時間構造図および深度構造図 ……4-33
(6)　層厚分布および構造発達史 ……4-35
4.3.4　堆積相解析 ……4-37
(1)　堆積相解析手法 ……4-37
(2)　サイスミックファシス区分 ……4-38
(3)　堆積システムおよび供給系の解釈結果 ……4-42
4.3.5　貯留層層準と遮蔽層層準の設定 ……4-45
4.3.6　貯留可能量の算定 ……4-45
(1)　CO_2 超臨界深度 ……4-45

(2) CO_2貯留可能量の算定式 ……4-46
(3) 貯留可能域の検討および貯留可能量評価 ……4-47
(4) 秋田沖～本荘沖広域貯留可能域および貯留可能量 ……4-49
4.3.7 調査井の検討 ……4-50
4.4 地質解析と貯留適地評価（酒田沖） ……4-54
4.4.1 概要 ……4-54
(1) 本作業の調査範囲 ……4-54
(2) 使用データ ……4-55
4.4.2 一般地質 ……4-56
(1) 地質概要 ……4-56
(2) 地質層序 ……4-57
(3) 地質構造および構造発達史 ……4-59
(4) 活断層および地震活動 ……4-63
4.4.3 地質構造解析 ……4-65
(1) 解析ホライズン追跡 ……4-65
(2) 断層の解析 ……4-70
(3) 時間構造図 ……4-71
(4) 速度モデルの作成と深度変換 ……4-72
(5) 層厚分布および構造発達の考察 ……4-75
4.4.4 堆積相解析 ……4-77
(1) 堆積相解析手法 ……4-77
(2) サイスミックファシス区分 ……4-78
(3) 堆積相解析結果 ……4-81
(4) 貯留層および遮蔽層の分布 ……4-86
4.4.5 貯留層層準と遮蔽層層準の評価 ……4-86
(1) 貯留層性状の評価 ……4-86
(2) 遮蔽層性状の評価 ……4-87
4.4.6 貯留可能量の算定 ……4-89
(1) 貯留可能区間の深度 ……4-89
(2) CO_2貯留可能量の算定式 ……4-89
(3) 貯留可能域の検討および貯留可能量の評価 ……4-90
(4) 貯留可能量評価 ……4-93
4.4.7 調査井の検討 ……4-95
(1) 調査井の提案 ……4-95
(2) 3D 探査の提案 ……4-96
4.5 地質解析と貯留適地評価（新潟北西沖・佐渡南方沖） ……4-100

4.5.1　概要 ……4-100
(1)　本作業の調査範囲 ……4-100
(2)　使用データ ……4-102
4.5.2　地質 ……4-103
(1)　地質構造および構造発達史 ……4-103
(2)　層序 ……4-106
(3)　活断層および地震活動 ……4-107
(4)　貯留層と遮蔽層の抽出 ……4-108
(5)　3D 探査データの再処理 ……4-108
(6)　ホライズンの選定 ……4-109
4.5.3　地質構造解析 ……4-111
(1)　ホライズンの追跡と地質構造 ……4-111
(2)　断層評価 ……4-111
(3)　速度モデルの作成と深度変換 ……4-112
(4)　時間構造図および深度構造図 ……4-112
(5)　層厚分布 ……4-113
(6)　構造発達の考察 ……4-113
4.5.4　堆積相解析 ……4-114
(1)　3D 探査データを用いた解析 ……4-114
(2)　ファシスの認定、堆積システムおよび供給系の解析 ……4-118
(3)　堆積相解析のまとめ ……4-121
4.5.5　貯留層評価 ……4-121
(1)　貯留層および遮蔽層の確認 ……4-121
(2)　物理検層解析（Vclay、孔隙率） ……4-122
(3)　N/G 比 ……4-122
4.5.6　貯留可能量の算定 ……4-122
(1)　CO_2 超臨界深度 ……4-122
(2)　CO_2 貯留可能量の算定式 ……4-123
(3)　貯留可能域の検討および貯留可能量の評価 ……4-124
4.5.7　調査井の検討 ……4-126
4.6　地質解析と貯留適地評価（京都―福井沖） ……4-130
4.6.1　概要 ……4-130
(1)　本作業の調査範囲 ……4-130
(2)　使用データ ……4-131
4.6.2　地質 ……4-131
(1)　地質概要 ……4-131

(2)　断層分布 ……4-133
4.6.3　地質構造解析 ……4-134
(1)　坑井地質層序 ……4-134
(2)　貯留層層準および遮蔽層層準 ……4-136
(3)　解析ホライズンの設定 ……4-137
(4)　ホライズン追跡 ……4-137
(5)　断層の分布 ……4-140
(6)　深度変換 ……4-141
(7)　地質構造発達史 ……4-144
4.6.4　堆積相解析 ……4-145
(1)　堆積相解析手法 ……4-145
(2)　解釈結果 ……4-148
(3)　貯留層および遮蔽層の分布 ……4-152
4.6.5　貯留層層準と遮蔽層層準の評価 ……4-152
(1)　貯留層層準の評価 ……4-152
(2)　遮蔽層層準の評価 ……4-153
4.6.6　貯留可能量評価 ……4-154
4.6.7　調査井の提案 ……4-156
4.6.8　評価 ……4-156
4.7　貯留層シミュレーションによる貯留可能性検討（日高沖） ……4-159
4.7.1　概要 ……4-159
(1)　シミュレーション実施範囲 ……4-160
(2)　使用データ ……4-161
4.7.2　地質モデルの作成 ……4-161
(1)　構造モデルの作成 ……4-161
(2)　グリッドモデルの作成 ……4-163
(3)　ファシス設定 ……4-164
(4)　貯留層・遮蔽層にかかる物性値 ……4-166
(5)　地層破壊圧力 ……4-172
4.7.3　CO_2挙動予測シミュレーションモデルの作成 ……4-176
(1)　貯留エリアの選定 ……4-176
(2)　圧入制限条件 ……4-177
(3)　境界条件 ……4-178
4.7.4　圧入可能量の事前検討（5 坑井×40 年間圧入ケース） ……4-178
(1)　圧入条件 ……4-178
(2)　坑底圧力および圧入レート推移 ……4-179

(3) CO_2飽和率分布 ……4-181
(4) 溶存 CO_2 量分布 ……4-181
(5) 圧入可能量の事前検討（5 坑井×40 年間圧入ケース）まとめ ……4-181
4.7.5 1 億 t-CO_2 を圧入可能な坑井数および圧入期間の検討 ……4-182
(1) 圧入条件 ……4-182
(2) 制限条件 ……4-182
(3) 坑井数の検討 ……4-182
(4) 仕上げ区間の検討 ……4-183
(5) 坑底圧力および圧入レート推移 ……4-187
(6) 遮蔽層下端圧力変化 ……4-188
(7) CO_2飽和率分布 ……4-190
(8) 溶存 CO_2 量分布 ……4-190
(9) CO_2貯留形態 ……4-191
(10) 1 億 t-CO_2 を圧入可能な坑井数および圧入期間の検討まとめ ……4-192
4.7.6 最大圧入レートの検討 ……4-192
4.7.7 最大圧入量の検討 ……4-193
4.7.8 感度分析 ……4-195
(1) 地層圧を変化させたケース ……4-196
(2) 浸透率を変化させたケース ……4-202
(3) 地層破壊圧を変化させたケース ……4-209
(4) 圧入量を 5,000 万 t-CO_2 としたケース ……4-216
4.7.9 まとめと課題 ……4-221
(1) まとめ ……4-221
(2) 今後の課題 ……4-222
4.8 貯留層シミュレーションによる貯留可能性検討（秋田沖） ……4-224
4.8.1 概要 ……4-224
(1) シミュレーション実施範囲 ……4-225
(2) 使用データ ……4-226
4.8.2 試料分析 ……4-227
4.8.3 地質モデルの作成 ……4-229
(1) 構造モデルの作成 ……4-229
(2) グリッドモデルの作成 ……4-230
(3) ファシス設定 ……4-230
(4) 貯留層・遮蔽層にかかる物性値 ……4-230
(5) 地層破壊圧力 ……4-242
4.8.4 CO_2挙動予測シミュレーションモデルの作成 ……4-246

(1) 貯留エリアの選定 ……4-246
(2) 圧入制限条件 ……4-247
(3) 境界条件 ……4-247
4.8.5 圧入可能量の検討（5 坑井×40 年間圧入ケース） ……4-247
(1) 圧入条件 ……4-247
(2) 坑底圧力および圧入レート推移 ……4-247
(3) CO_2 飽和率分布 ……4-249
(4) 溶存 CO_2 量分布 ……4-250
(5) 貯留形態割合の推移 ……4-251
(6) 貯留層の圧力挙動 ……4-252
(7) 圧入可能量の検討まとめ（5 坑井×40 年間圧入ケース） ……4-254
4.8.6 坑井数の検討 ……4-254
4.8.7 最大圧入レートの検討 ……4-254
4.8.8 最大圧入量の検討（5 坑井ケース） ……4-255
(1) 圧入条件 ……4-255
(2) 坑底圧力および圧入レート推移 ……4-255
(3) CO_2 飽和率分布 ……4-256
(4) 溶存 CO_2 量分布 ……4-257
(5) 貯留形態割合の推移 ……4-258
(6) 貯留層の圧力挙動 ……4-259
(7) 最大圧入量の検討まとめ（5 坑井ケース） ……4-261
4.8.9 最大圧入量の検討（10 坑井ケース） ……4-261
(1) 圧入条件 ……4-261
(2) 坑底圧力および圧入レート推移 ……4-261
(3) CO_2 飽和率分布 ……4-262
(4) 溶存 CO_2 量分布 ……4-263
(5) 貯留形態割合の推移 ……4-264
(6) 貯留層の圧力挙動 ……4-265
(7) 最大圧入量の検討まとめ（10 坑井ケース） ……4-267
4.8.10 感度分析 ……4-267
(1) 浸透率を変化させたケース ……4-267
(2) ネットグロスを変化させたケース ……4-275
(3) 毛細管圧（スレッショルド圧）を変化させたケース ……4-284
4.8.11 まとめと課題 ……4-292
(1) まとめ ……4-292
(2) 今後の課題 ……4-293

4.9　既存廃坑井に対するリエントリーおよび是正の実現可能性調査 ……4-296
4.9.1　概要 ……4-296
4.9.2　坑口部からのリエントリーおよび是正の手法 ……4-297
(1)　重要な技術 ……4-297
(2)　作業手順 ……4-302
(3)　想定されるリスクとその回避または緩和策 ……4-302
4.9.3　インターセクション坑井を介するリエントリーおよび是正の手法 ……4-305
(1)　重要な技術 ……4-305
(2)　作業手順 ……4-308
(3)　想定されるリスクとその回避または緩和策 ……4-309
4.9.4　手法の比較 ……4-310
4.9.5　坑口部からのリエントリーおよび是正の手法に関する詳細検討 ……4-310
(1)　作業手順 ……4-310
(2)　作業日数および費用 ……4-313

第5章　2022 年度以降の調査候補地点の選定および調査計画（案）の作成 ……5-1

5.1　貯留適地調査の経緯と調査候補地点の見直し ……5-1

5.2　調査候補地点の選定（総合評価） ……5-3
5.2.1　調査地点の評価方法（技術要素） ……5-3
5.2.2　調査地点の評価方法（外的要素と総合評価） ……5-5
(1)　総合評価 SA の調査地点 ……5-6
(2)　総合評価 AD の調査地点 ……5-7
(3)　総合評価 S の調査地点 ……5-7
(4)　総合評価 A の調査地点 ……5-10
(5)　その他の調査地点 ……5-10
5.2.3　総合評価結果（2021 年度末） ……5-10

5.3　2022 年度以降の調査計画（案）の作成 ……5-16
5.3.1　基本方針 ……5-16
5.3.2　貯留適地調査の進め方 ……5-18
5.3.3　2022 年度の調査計画（案） ……5-20

5.4　貯留適地候補地点における経済性に関する調査 ……5-23

第6章　社会的受容性の醸成活動 ……6-1

6.1　概要 ……6-1

6.2　パネル展への出展 ……6-1

6.2.1　パネル展の概要 ……6-1
6.2.2　環境パネル展 2021 みやざき ……6-2
(1)　実施目的 ……6-2
(2)　実施戦略 ……6-2
(3)　開催実績 ……6-3
(4)　考察 ……6-5
6.3　講演の実施 ……6-5
6.3.1　実施目的 ……6-5
6.3.2　実施戦略 ……6-5
6.3.3　開催実績 ……6-5
6.3.4　考察 ……6-6
6.4　総括 ……6-6
第 7 章　各調査地点のデータアーカイブ業務 ……7-1
7.1　概要 ……7-1
7.2　フロントエンドの検討と構築 ……7-4
(1)　フロントエンドソフトウェア ……7-4
(2)　フロントエンド設定座標系 ……7-5
(3)　フロントエンド表示項目 ……7-6
7.3　格納データの検討と構築 ……7-8
(1)　格納データ種別 ……7-8
(2)　フォルダ構成 ……7-10
7.4　ストレージの検討と構築 ……7-11
(1)　ハードウェア ……7-11
(2)　格納方法 ……7-12
(3)　格納データリスト ……7-13
7.5　まとめ ……7-14
第 8 章　有識者委員会の運営 ……8-1
8.1　有識者委員会の目的と設置 ……8-1
8.2　委員構成および基本的な運営方針 ……8-1
8.3　開催実績 ……8-2
8.3.1　第 1 回有識者委員会 ……8-2
8.3.2　第 2 回有識者委員会 ……8-3

8.3.3　第 3 回有識者委員会 ……8-3

8.4　検討内容の概要 ……8-4
8.4.1　第 1 回有識者委員会 ……8-4
(1)　二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務進捗報告 ……8-4
(2)　令和 2 年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務（繰越）報告 ……8-4
(3)　令和 3 年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務報告 ……8-5
(4)　JCCS 案に基づく議論 ……8-6
8.4.2　第 2 回有識者委員会 ……8-8
(1)　令和 3 年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務報告 ……8-8
(2)　2022 年度以降の貯留適地調査計画（案） ……8-13
8.4.3　第 3 回有識者委員会 ……8-14
(1)　令和 3 年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務報告 ……8-14
(2)　2022 年度以降の貯留適地調査計画（案） ……8-21

第 9 章　まとめと課題 ……9-1

9.1　本業務の成果 ……9-1
9.1.1　2D/3D 探査の実施 ……9-1
9.1.2　二酸化炭素貯留適地調査に係る調査・解析・検討の実施 ……9-1
(1)　海底地形判読および海底地質情報コンパイル ……9-1
(2)　地質解析と貯留適地評価 ……9-1
(3)　調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーションによる貯留可能性検討 ……9-2
(4)　既存廃坑井に対するリエントリーおよび是正の実現可能性調査 ……9-2
(5)　各調査地点のデータアーカイブ業務 ……9-3
(6)　報告書 ……9-3
9.1.3　2021 年度以降の調査候補地点の選定および調査計画（案）の作成 ……9-4
(1)　貯留適地調査地点の総合評価 ……9-4
(2)　貯留適地調査の 2022 年度の予定 ……9-4
9.1.4　その他 ……9-5
(1)　社会的受容性の醸成活動 ……9-5
(2)　有識者委員会の運営 ……9-5

9.2　課題 ……9-5
9.2.1　事業の進捗状況 ……9-5
9.2.2　社会的受容性の醸成 ……9-6

附属書 1　用語集

英語サマリー

Summary of Fiscal 2021 Works

The project of “Investigation of Potential Sites for CO_2 Storage in Japan” has been commissioned by the Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) and the Ministry of the Environment (MOE). The fiscal 2021 works comprised a new seismic survey at the waters off Sakata, and the investigation of four potential CO_2 storage sites offshore Japan.

The purpose of the new 2D seismic survey was to obtain data for further geological analysis and evaluation of prospective storage resources in the "Sakata-oki" study area, where the existence of thick sedimentary layers was expected based on the existing old seismic data re-processed in 2020. The number of 2D seismic lines was 29 and total length of the lines was 1451km.

Geological analyses were conducted in the four potential sites: "Niigata-hokusei-oki", "Sado-nanpou-oki", "Kyoto-Fukui-oki" and "Sakata-oki" areas based on 3D and 2D seismic data previously acquired by JCCS, JOGMEC or private oil companies. The geological analysis consists of geological structure analysis, evaluation of the distributions of reservoirs and seals, and estimation of CO_2 storage capacity.

In addition, in the prospective areas of "Hidaka-oki" and "Akita-oki", simulation studies were conducted for predicting the behavior of injected CO_2 prior to drilling an exploratory well (pre-drilling simulation), as their CO_2 storage capacities were estimated to be over 100 million tonnes of CO_2 based on previous geological analysis results. Reservoir models were constructed with homogeneous reservoir properties and 5 tentative CO_2 injection wells were assumed.

Existing abandoned wells can be a CO_2 leak path. We examined methods related to reentry and correction to reduce the risk of CO_2 leakage and conducted a feasibility study.
In this survey, we investigated a reentry method from the wellhead by connecting a casing of the same diameter to the cut casing near the seafloor while maintaining the sealing property, and a reentry method via an intersection well.
It was concluded that both methods are feasible by developing a contingency plan.

We have created a data archive system that uniformly organizes and stores various

data and evaluation results obtained in this project from FY2014 to FY2021.

In the FY2019 work, the data archive work Phase-1 was carried out, and the data management method and the media plan were examined. In FY2021, various data and evaluation results were organized and aggregated as Phase-2 of the same work.

In the data archive system, 28 sites evaluated using actual data were organized and stored in 19 areas for each survey range (geological analysis work). The breakdown of the data is seismic survey data, geological analysis work data, seafloor topography compilation work data, surface geological survey / sample analysis work data, simulation work data, etc. These data are organized and stored based on the set rules, listed, and easily accessed from the front-end GIS software.

第１章

事業の背景と目的

第１章　事業の背景と目的

二酸化炭素回収・貯留（Carbon dioxide Capture and Storage、以下、「CCS」と称する。）は大量の CO_2 を大気中に排出せずに地下に隔離する技術として世界的に広く注目され、2014 年 11 月に公表された IPCC（Intergovernmental Panel on Climate Change：国連気候変動に関する政府間パネル）第 5 次評価報告書統合報告書においても、産業革命前と比較して世界の平均気温上昇を 2℃未満に抑えるための有効な手段として CCS があげられている。

地球温暖化問題は、世界各国が速やかに取り組む必要のある重要課題としての認識がますます高まり、2015 年 12 月にフランスのパリで開催された国連気候変動枠組条約第 21 回締約国会議（COP21）では 196 箇国が一堂に会して「パリ協定」が採択され、わが国も 2016 年 11 月 8 日に批准した。2020 年 10 月に、日本は「2050 年カーボンニュートラル」を目指すことを宣言し、2021 年 4 月 22 日には、地球温暖化対策推進本部の決定を踏まえ、米国主催気候サミット（オンライン開催）において、2050 年カーボンニュートラルと整合的で野心的な目標として、2030 年度に温室効果ガスを 2013 年度から 46%削減することを目指すこと、さらに 50%の高みに向け挑戦を続けることを表明した。その後、2021 年 10 月 22 日に地球温暖化対策推進本部において新たな削減目標を反映した NDC（国が設定する貢献）を決定し、国連へ提出している。

このような環境の中で、日本ＣＣＳ調査(株)（以下、「当社」または「JCCS」と称する。）は、2012 年度に経済産業省委託事業「平成２４年度二酸化炭素削減技術実証試験事業」を受託し、2016 年 3 月までの 4 年間において、苫小牧での年間 10 万 t 規模の CO_2 の大規模貯留に向けた実証試験設備を完成させた。2016 年 4 月 6 日に萌別層への CO_2 圧入を開始し、2019 年 11 月 22 日に累計圧入量 30 万 t を達成し CO_2 圧入を停止した。

一方で、火力発電所の新設やリプレースに関わる環境アセスメント手続きの過程では、環境大臣の意見書において、講じるべき措置として将来の CCS の導入に向けて所要の検討を行うことが示されている。この方針については、2021 年 10 月に閣議決定された「第 6 次エネルギー基本計画」に継承され、火力発電の脱炭素化に向けて CCS 等による脱炭素化を図ること、CCS の技術的確立およびコスト低減、適地開発や事業化に向けた環境整備を長期のロードマップを策定し関係者と共有した上で進めていくことなど、今後の CCS の活用に向けた対応が大きく盛り込まれた。

このような一連の流れの中で、CCS 導入の前提となる二酸化炭素貯留適地調査（以下、「貯留適地調査」と称する。）についても早期に取り組むこととなり、経済産業省は 2013 年度に「平成２５年度中小企業等環境問題対策調査等委託費（全国二酸化炭素貯留層基礎

調査）」（以下、「平成２５年度経済産業省委託事業」と称する。）を実施した。この事業では、既存の調査・検討結果に基づいた調査候補地点の抽出と、各地点の技術評価による優先調査地点の選定と調査計画（案）の作成が行われた。優先調査地点および調査計画（案）は、経済産業省「平成２５年度中小企業等環境問題対策調査等委託費（全国二酸化炭素貯留層基礎調査）に係る委員会」（以下、「平成２５年度経済産業省委員会」と称する。）において確認された。

環境省は、同じ 2013 年度に「平成２５年度シャトルシップによる CCS を活用した二国間クレジット制度実現可能性調査委託業務」（以下、「平成２５年度環境省委託事業」と称する。）を実施し、水深 200 m 以深の海域において、既存調査と検討結果に基づいた技術評価により優先調査地点を選定し、その結果は「平成２５年度我が国周辺水域二酸化炭素貯留適地検討会」（以下、「平成２５年度環境省検討会」と称する。）で確認された。

経済産業省と環境省は、翌 2014 年度に、共同事業「平成２６年度二酸化炭素貯留適地調査事業」（以下、「平成２６年度委託事業」と称する。）を開始した。貯留適地とは CO_2 を長期にわたって地中貯留できる場所のことであり、貯留層とそれを覆う遮蔽層が広く分布すること、貯留層が 1,000 m～3,000 m 程度の深度に位置していること、活断層に近接せず安定した地質構造形態が形成され、貯留した CO_2 が漏洩する明らかな経路がないこと等の地質的条件を備えていることが求められる。当初の共同事業の目的は、2020 年頃の CCS 技術の実用化に向け、1 億 t 以上の CO_2 を貯留可能な複数の大規模貯留適地を選定することであった。平成２６年度委託事業では、前述の平成２５年度経済産業省委員会および平成２５年度環境省検討会において確認された優先調査地点から 3 地点を調査対象候補地点として選定し、既存の探査データを活用しながら、二次元弾性波探査（以下、「2D 探査」と称する。）を新たに実施し、候補地点の貯留適地調査を実施した。

両省による共同事業は翌 2015 年度以降も継続され、「平成２７年度二酸化炭素貯留適地調査事業」（以下、「平成２７年度委託事業」と称する。）、「平成２８年度二酸化炭素貯留適地調査事業」（以下、「平成２８年度委託事業」と称する。）、「平成２９年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務」（以下、「平成２９年度委託事業」と称する。）、「平成３０年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務」（以下、「平成３０年度委託事業」と称する。）、「平成３１年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務」（以下、「平成３１年度委託事業」と称する。）、「令和２年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務」（以下、「令和２年度委託事業」と称する。）、「令和３年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務」（以下、「本業務」と称する。）が実施された。これらの業務では、下記の既存探査データおよび既存坑井データを活用するとともに、新たに弾性波探査を実施した。

1）基礎物理探査および基礎試錐

経済産業省（旧通商産業省）の委託事業である国内石油天然ガス基礎調査事業（以下、「基礎調査事業」と称する。）において、(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構（旧石油開発公団および旧石油公団、Japan Oil, Gas and Metals National Corporation、以下、「JOGMEC」と称する。）が実施した基礎物理探査の 2D 探査および三次元弾性波探査（以下、「3D 探査」と称する。）のデータならびに基礎試錐の坑井データ

2）公的機関が実施した調査

大学、(国研)海洋研究開発機構（旧海洋科学技術センター、Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology、以下「JAMSTEC」と称する。）等の公的機関が実施した 2D/3D 探査データおよび坑井データ

3）民間会社が実施した探査データ

石油会社等の民間会社が実施した 2D/3D 探査データおよび坑井データ

2019 年度までは調査井を掘削して貯留層総合評価を行う計画であったが、当初の計画年限であった 2021 年度末までに調査井掘削を期間および予算の両面で終了できないことから、2020 年度からは、全国に広がるより多くの候補地点の調査を進める方針に変更された。

本業務では、1 地点にて新規 2D 探査を実施するとともに、既存探査データを活用した全国複数地点での貯留適地調査を行い、貯留可能量を評価した。なお、本業務に引き続き、「令和４年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務」（以下、「令和４年度委託事業」と称する。）の実施が計画されており、令和４年度委託事業に関する経済産業省の概算予算要求の PR 資料には、CO_2 貯留層ポテンシャル調査・評価の継続に加え、選定された貯留適地候補地点における経済性・社会受容性等の調査を行い、総合的な観点から CO_2 貯留に適している調査井掘削の候補地を 2023 年度頃までに 3 箇所程度選定することを目指すとの成果目標が記されている。2022 年度以降の貯留適地調査事業を円滑に進めるための準備業務として、調査候補地点の選定および調査計画（案）の作成を行うとともに、貯留適地調査事業に対する自治体等の考え方や調査計画地点一帯の漁業活動状況の情報収集と、3D 探査実施時期の調整を行った。

第２章

事業の概要

第２章　事業の概要

2.1　二酸化炭素貯留適地調査に係る弾性波探査の実施

本業務では、令和２年度委託事業に係る有識者委員会において検討された調査候補地点をベースに委託者と協議して、調査対象地点として酒田沖の 1 地点を選定した。酒田沖で新規 2D 探査を計画し、2021 年 7 月～8 月に 2D 探査を実施し、2021 年 12 月にデータ処理作業を完了した。

貯留適地調査事業で取得した 2D/3D 探査データについては、将来的に公的機関に移管することを想定してすべてのデータを一元的に管理する体制を構築しており、当 2D 探査データも同様に保管した。

2.2　二酸化炭素貯留適地調査に係る調査・解析・検討の実施

本業務では、令和２年度委託事業および本業務に係る有識者委員会において確認された地点にて以下の業務を実施した。

1）海底地形判読および海底地質情報コンパイル

新潟北西沖、佐渡南方沖の 2 地点において実施した。

2 地点をまとめて新潟北西沖・佐渡南方沖とし、海底地形および海底地質に関する資料ならびに公開された基礎物理探査の 3D 探査データを用い、地質解析の前段として海底地形および海底地質に関する情報を整理した。

2）地質解析と貯留適地評価

秋田沖、酒田沖、新潟北西沖、佐渡南方沖および京都ー福井沖の 5 地点において実施した。

秋田沖では、北部区域を対象として 2D 探査データ、3D 探査データ、基礎試錐および民間の坑井データを用い、地質解析と貯留可能量評価を実施した。あわせて、秋田沖～本荘沖において過年度業務で算定されていた貯留可能量を含めて総括した。

酒田沖では、本業務にて取得された 2D 探査データ、既存 2D 探査の再処理データ、基礎試錐および民間の坑井のデータを用い、地質解析と貯留可能量評価を実施した。

新潟北西沖、佐渡南方沖では 2 地点をまとめて新潟北西沖・佐渡南方沖とし、基礎物理探査の 3D 探査データ、基礎試錐および民間の坑井データを用い、地質解析と貯留可能量評価を実施した。

京都ー福井沖では、令和２年度業務にて取得された 2D 探査データ、既存 2D 探

査の再処理データ、基礎試錐および民間の坑井データを用い、地質解析および貯留可能量評価を実施した。

3) 調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーション

日高沖および秋田沖の 2 地点において、調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーションによる CO_2 貯留可能性検討を実施した。

4) 既存廃坑井に対するリエントリーおよび是正の実現可能性調査

廃坑井は、状況によっては CO_2 漏洩経路となる可能性があり、CO_2 漏洩リスク低減のためのリエントリーおよび是正に関わる手法を検討し、その実現可能性の調査を実施した。

2.3 2021 年度までの調査実績

令和２年度委託事業および本業務に係る有識者委員会において確認された地点にて以下の業務を実施し、2021 年度末時点での調査候補地点の選定（総合評価）を更新した。

1) 調査候補地点の見直し

令和２年度委託事業までの調査候補区域地点の見直しを実施した。

2) 調査候補地点の選定（総合評価）

調査候補地点の選定（総合評価）を再検討し、評価を見直した。

2.4 社会的受容性の醸成活動

貯留適地調査事業に関連して、更なる CCS への理解促進と信頼獲得のため、毎年度の事業において複数箇所の展示会に出展し、社会的受容性の醸成活動を実施してきた。本業務では、新型コロナウイルス感染症対策の影響により 1 箇所の展示会への出展となった。

2.5 各調査地点のデータアーカイブ業務

2014 年度から 2021 年度まで実施した貯留適地調査事業（平成２６年度委託事業～本業務）で得られた各種データおよび資料について、散逸を防ぎ一元的に管理する目的でデータアーカイブ業務を実施した。平成３１年度委託事業の 2020 年度繰越業務にて実施した Phase-1 において検討した管理方法や媒体案を用いて、本業務では Phase-2 として各種データおよび評価結果の整理ならびに集約を行った。

2.6 有識者委員会の開催、報告書の作成等

本事業を的確に推進するために、第三者の有識者により構成される委員会を設置し、当社は委員会事務局として円滑な委員会の運営に努めるとともに、委員から指導および助言を受けて本事業に反映した。

第３章

二酸化炭素貯留適地調査に係る
弾性波探査の実施

第３章　二酸化炭素貯留適地調査に係る弾性波探査の実施

3.1　概要

本業務では、令和２年度委託事業に係る有識者委員会において検討された調査候補地点をベースとして、既存探査データの有無を確認したうえで、地元との調整および経済的な観点から妥当と考える地点について委託者と協議し、調査対象地点として酒田沖を選定し、2D 探査を実施した。

貯留適地調査事業で取得した 2D/3D 探査データの一元管理体制を構築するとともに、基礎物理探査データの再処理成果については借用元の JOGMEC への移管を実施している（3.3 節）。

調査対象とした地点の調査実施結果を以下に示す。

1）酒田沖

本地点の海域において、振源にエアガン、受振に曳航型受振ケーブル（以下、「ストリーマーケーブル」と称する。）を用いた 2D 探査を実施し、本地点における地質解析と貯留適地評価に資するデータを得た（3.2 節）。

酒田沖は、本荘沖と新潟北西沖・佐渡南方沖とに挟まれた海域である。本事業で秋田沖、酒田沖および新潟北西沖・佐渡南方沖の地質解析と貯留適地評価（4.3 節、4.4 節、4.5 節）を実施したことにより、秋田沖、本荘沖、酒田沖、新潟北西沖および佐渡南方沖 5 地点の秋田県男鹿半島南海域から石川県能登半島東海域まで連続した範囲での貯留適地評価が可能となった。

3.2　酒田沖

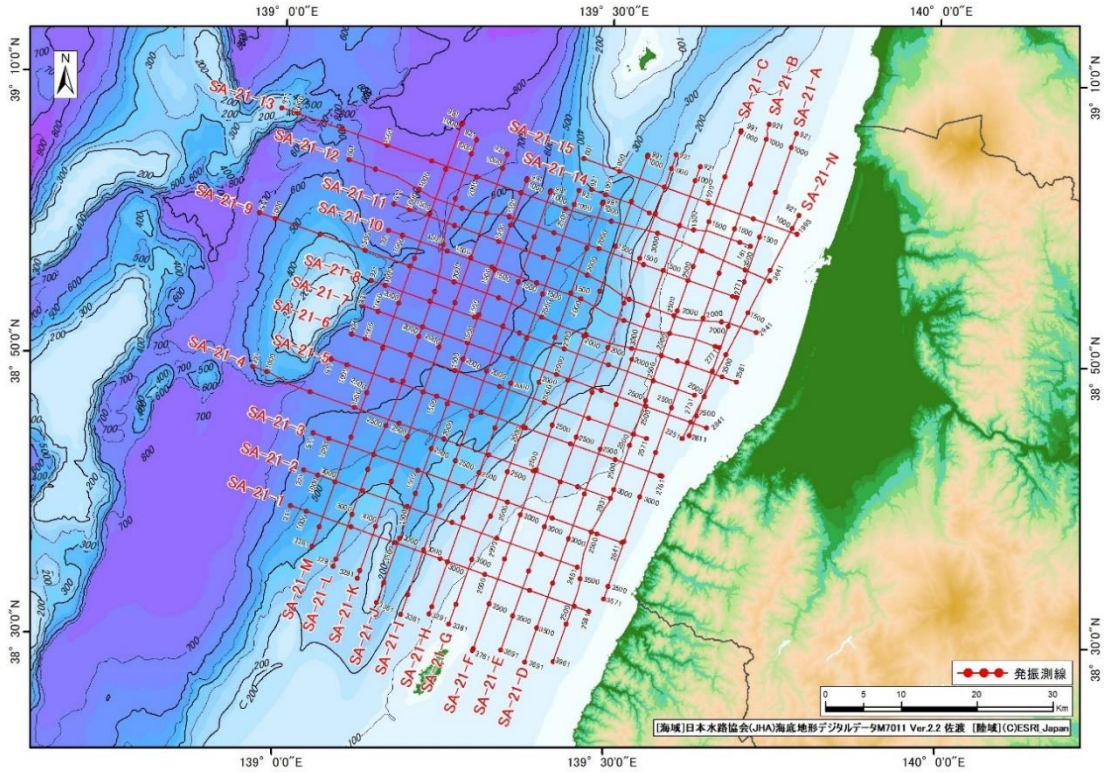
令和 2 年度委託事業において実施した本地点の基礎物理探査、民間および公的機関の既存 2D 探査データの再処理に続き、既存坑井である基礎試錐および民間坑井直上を通過する密な 2D 探査測線を設定することにより詳細な地質解析と貯留適地評価に資するデータ取得を目的として、2D 探査を実施した。2021 年 7 月中旬から同年 8 月上旬の 3 週間でデータ取得を実施し、取得したデータを用いてデータ処理を行った。

3.2.1　2D 探査の実施

本地点において、振源にエアガン、受振にストリーマーケーブルを用いた 2D 探査を実施した。

(1)　探査位置

図 3.2-1 に探査位置図（実績）を示す。探査海域は、新潟県村上市寒川から山形県酒田市までの沖合である。本探査の測線は、東西 15 測線（SA-21-1 測線～SA-21-15 測線）、南北 14 測線（SA-21-A 測線～SA-21-N 測線）の合計 29 測線とした。表 3.2-1 に測線情報一覧を示す。



注 1）海域は日本水路協会（JHA）海底地形デジタルデータに、陸域は(C)ESRI_Japan に加筆した。
注 2）各測線中に表示している数字は、発振点番号を表している。

図 3.2-1　探査位置図（実績）

表 3.2-1　測線情報一覧

測線名	始点位置の発振点番号 終点位置の発振点番号	始点位置の緯度 終点位置の緯度	始点位置の経度 終点位置の経度	測線長（km）
SA-21-1	941	38° 23′ 30.85″ N	139° 00′ 52.53″ E	39.0
	2581	38° 19′ 18.36″ N	139° 16′ 59.93″ E	
SA-21-2	921	38° 24′ 56.98″ N	139° 01′ 21.37″ E	36.0
	2441	38° 21′ 10.22″ N	139° 16′ 18.10″ E	
SA-21-3	921	38° 26′ 36.57″ N	139° 01′ 55.47″ E	41.0
	2641	38° 22′ 16.63″ N	139° 18′ 46.17″ E	
SA-21-4	921	38° 29′ 29.66″ N	138° 34′ 24.15″ E	48.0
	2921	38° 24′ 08.91″ N	139° 18′ 03.78″ E	
SA-21-5	961	38° 29′ 39.15″ N	139° 03′ 11.66″ E	43.0
	2761	38° 24′ 57.47″ N	139° 21′ 00.18″ E	
SA-21-6	921	38° 30′ 51.79″ N	139° 03′ 46.97″ E	39.0
	2561	38° 26′ 39.15″ N	139° 19′ 55.97″ E	
SA-21-7	961	38° 32′ 00.06″ N	139° 04′ 53.34″ E	45.0
	2841	38° 27′ 10.16″ N	139° 23′ 24.79″ E	
SA-21-8	921	38° 33′ 12.18″ N	139° 04′ 52.51″ E	43.0
	2721	38° 28′ 30.02″ N	139° 22′ 27.29″ E	
SA-21-9	941	39° 00′ 02.02″ N	138° 34′ 56.25″ E	64.0
	3581	38° 29′ 04.79″ N	139° 24′ 50.81″ E	
SA-21-10	921	38° 35′ 27.60″ N	139° 05′ 38.94″ E	44.0
	2761	38° 30′ 41.52″ N	139° 23′ 42.75″ E	
SA-21-11	941	39° 00′ 19.89″ N	139° 06′ 13.34″ E	48.0
	2941	38° 31′ 18.74″ N	139° 25′ 57.17″ E	
SA-21-12	921	39° 01′ 25.95″ N	139° 06′ 39.35″ E	44.0
	2761	38° 32′ 42.11″ N	139° 24′ 45.09″ E	
SA-21-13	921	39° 04′ 26.75″ N	138° 35′ 42.96″ E	66.0
	3641	38° 33′ 36.33″ N	139° 26′ 36.25″ E	
SA-21-14	921	39° 01′ 19.04″ N	139° 16′ 51.83″ E	20.0
	1801	38° 34′ 59.19″ N	139° 25′ 25.33″ E	
SA-21-15	952	39° 02′ 06.73″ N	139° 17′ 43.53″ E	24.0
	1992	38° 35′ 31.96″ N	139° 27′ 57.47″ E	
SA-21-A	921	39° 03′ 47.67″ N	139° 27′ 54.27″ E	40.0
	2601	38° 27′ 00.83″ N	139° 22′ 23.06″ E	
SA-21-B	921	39° 04′ 15.55″ N	139° 26′ 30.97″ E	64.0
	3561	38° 19′ 54.50″ N	139° 17′ 44.44″ E	
SA-21-C	1001	39° 03′ 48.21″ N	139° 24′ 51.76″ E	72.0
	3961	38° 17′ 02.31″ N	139° 15′ 08.32″ E	
SA-21-D	921	39° 02′ 25.61″ N	139° 22′ 49.78″ E	67.0
	3681	38° 17′ 03.66″ N	139° 13′ 30.89″ E	
SA-21-E	921	39° 02′ 43.54″ N	139° 21′ 18.88″ E	67.0
	3681	38° 17′ 35.85″ N	139° 12′ 14.86″ E	

測線名	始点位置の発振点番号 終点位置の発振点番号	始点位置の緯度 終点位置の緯度	始点位置の経度 終点位置の経度	測線長（km）
SA-21-F	1001	39° 02′ 39.29″ N	139° 19′ 53.03″ E	67.0
	3761	38° 17′ 31.54″ N	139° 10′ 49.34″ E	
SA-21-G	1001	39° 00′ 43.32″ N	139° 17′ 28.35″ E	57.0
	3361	38° 18′ 40.25″ N	139° 09′ 18.93″ E	
SA-21-H	921	39° 01′ 17.64″ N	139° 16′ 13.29″ E	57.0
	3281	38° 19′ 12.38″ N	139° 08′ 26.69″ E	
SA-21-I	1001	39° 01′ 13.37″ N	139° 14′ 32.90″ E	57.0
	3361	38° 18′ 53.63″ N	139° 06′ 46.66″ E	
SA-21-J	1001	39° 01′ 31.17″ N	139° 13′ 16.49″ E	57.0
	3361	38° 19′ 25.74″ N	139° 05′ 30.54″ E	
SA-21-K	921	39° 02′ 39.89″ N	139° 12′ 09.57″ E	57.0
	3281	38° 20′ 34.41″ N	139° 04′ 23.80″ E	
SA-21-L	921	39° 03′ 15.83″ N	139° 10′ 24.30″ E	57.0
	3281	38° 21′ 06.51″ N	139° 03′ 07.61″ E	
SA-21-M	1001	39° 03′ 53.14″ N	139° 09′ 40.40″ E	57.0
	3361	38° 21′ 47.49″ N	139° 01′ 55.14″ E	
SA-21-N	921	39° 00′ 15.58″ N	139° 28′ 15.85″ E	31.0
	2241	38° 26′ 41.39″ N	139° 21′ 54.73″ E	
			総測線長	1,451.0

注 1）測線長は、フル重合測線長である。
注 2）準拠楕円体は、WGS84 を使用

(2) 探査期間

本探査の作業期間は、2021 年 7 月 19 日～8 月 8 日の 21 日間であった。当初の作業期間は 2021 年 7 月 19 日～8 月 4 日の 17 日間の計画であったが、計画測線近辺での漁船遭遇あるいは漁具設置による中断・避航、探査機器の不具合あるいは自然地震ノイズ混入による再測定、1 測線の追加により、4 日間の延長となった。

本探査の作業開始前には観測船の艤装作業を 2021 年 7 月 15 日～7 月 28 日に実施し、データ取得作業終了後には観測船の解装作業を 2021 年 8 月 12 日～8 月 14 日に福岡県北九州港で実施した。

(3) 探査工程

本探査を開始するにあたり、事前に地元自治体、関係公的機関、漁業関係者等への作業説明や必要とされる各種許可申請を行った。なお、探査海域に関係する主な漁業協同組合は表 3.2-2 のとおりであった。

本探査に使用した観測船は、北九州港での艤装作業終了後、新潟県新潟西港まで回航した。

探査員は、2021 年 7 月 19 日新潟西港に動員し、着岸中の観測船内にて同日 HSE ミーティング、新型コロナウイルス感染症対策ミーティングならびに本探査の最終的な打ち合わせを実施した。同日夕方、傭船した警戒船とともに探査海域である酒田沖に向けて出港した。

探査海域到着後、ストリーマーケーブルおよびエアガン（以下、両者をまとめて「曳航物」と称する。）を投入し、機器動作テストを実施して、使用機器の正常動作を確認した。データ取得作業は、7 月 20 日に SA-21-B 測線から開始し、8 月 7 日に SA-21-15 測線で終了した。なお、本探査海域では、沖合でマグロ延縄漁および夜間のイカ釣り漁、沿岸から 10 海里まではごち網漁（図 3.2-2）およびバイ貝籠漁等が行われており、漁業関係者との事前の時間調整を基に実施測線順序の計画を立案したが、実作業中に度々の計画変更が必要となった。

観測船は、曳航物揚収後の 8 月 8 日に山形県酒田港に入港し、同日の探査員復員をもってデータ取得作業を終了した。北九州港への回航後に、観測船の解装作業を実施した。探査工程一覧を表 3.2-3 に示す。

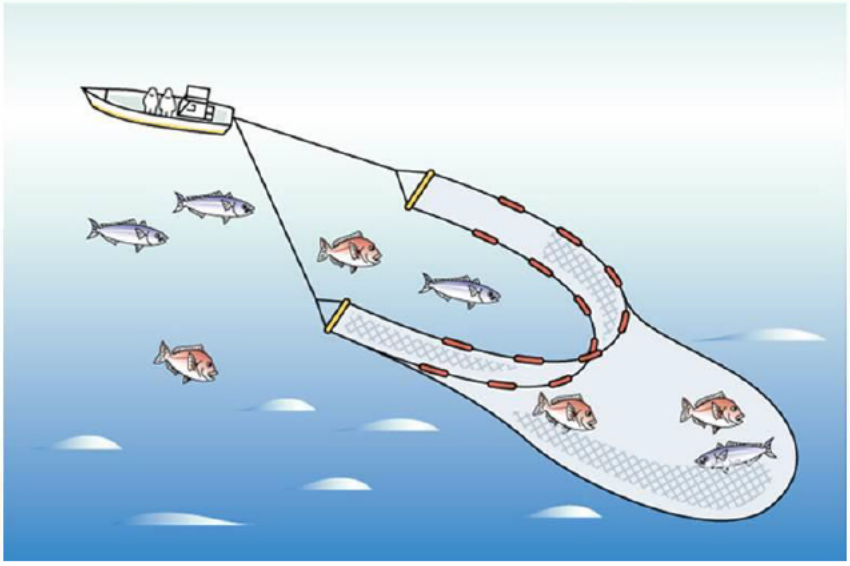
表 3.2-2　関係漁業協同組合

名称	部署名	住所 TEL
山形県漁業協同組合	本所 総務部指導課	〒998-0036 酒田市船場町二丁目 2 番 1 号 ☎ 0234-24-5612
〃	由良総括支所	〒999-7464 鶴岡市由良一丁目 4 番 53 号 ☎ 0253-73-3011
〃	念珠関総括支所	〒999-7126 鶴岡市鼠ヶ関乙 41 の 1 ☎ 0235-44-2100
新潟県漁業協同組合連合会	総務指導部	〒950-0078 新潟市中央区万代島 2 番 1 号 ☎ 025-243-3681
新潟県漁業協同組合	山北支所	〒959-3946 村上市寝屋 149 番地 ☎ 0254-77-3141

ごち網漁

（出典）ＪＦ広島漁連ホームページ

魚群を網で取り囲み、船のローラーで網を引き上げ、網に入った魚を収穫する。
漁法は潮流、魚の習性を利用し網の両端につけた長いひき網によって目的物を網の前面に移動させ、すくい上げるような形で採捕する漁法。



注）底引き網は重い網で海底を引きまわすが、ごち網は網の位置がほとんど変わらず中層の魚が対象

図 3.2-2　ごち網漁

表 3.2-3　探査工程一覧

作業日	作業内容	測線番号	備考
7 月 19 日	探査員動員、HSE ミーティング 観測船、警戒船出港 ストリーマーケーブル投入作業		新潟県新潟西港 探査海域到着
7 月 20 日	エアガン投入作業 機器動作テスト 観測作業	 SA-21-B-01 SA-21-B-02	 観測作業開始／中断（探査機器 NG） 観測作業再開
7 月 21 日	観測作業	SA-21-B-02 SA-21-F-03	観測作業終了、測線移動 観測作業開始／中断（漁具回避）、測線移動
7 月 22 日	観測作業	SA-21-E-05 SA-21-H-06	観測作業開始／中断（漁船回避）、測線移動 観測作業開始／終了、測線移動
7 月 23 日	観測作業	SA-21-C-07 SA-21-E-08	観測作業開始／終了、測線移動 観測作業開始／終了、測線移動

作業日	作業内容	測線番号	備考
7 月 24 日	観測作業	SA-21-G-09	観測作業再開／終了、測線移動
		SA-21-D-10	観測作業開始
7 月 25 日	観測作業	SA-21-D-10	観測作業終了、測線移動
		SA-21-I-11	観測作業開始／中断（探査機器 NG）
		SA-21-I-12	観測作業再開／終了、測線移動
7 月 26 日	観測作業	SA-21-F-13	観測作業開始／中断（漁船回避）、測線移動
		SA-21-K-14	観測作業開始／終了、測線移動
		SA-21-J-15	観測作業開始
7 月 27 日	観測作業	SA-21-J-15	観測作業終了、測線移動
		SA-21-F-16	観測作業開始／終了、測線移動
		SA-21-L-17	観測作業開始／終了、測線移動
7 月 28 日	観測作業	SA-21-M-18	観測作業開始／終了、測線移動
		SA-21-1-19	観測作業開始／終了、測線移動
		SA-21-2-20	観測作業開始
7 月 29 日	観測作業	SA-21-2-20	観測作業終了、測線移動
		SA-21-K-21	観測作業開始(地震ノイズ再測定)／終了、測線移動
		SA-21-3-22	観測作業開始／終了、測線移動
		SA-21-4-23	観測作業開始
7 月 30 日	観測作業	SA-21-4-23	観測作業開始／終了、測線移動
		SA-21-3-24	観測作業開始（地震ノイズ再測定）／終了、測線移動
		SA-21-5-25	観測作業開始／終了、測線移動
		SA-21-6-26	観測作業開始
7 月 31 日	観測作業	SA-21-6-26	観測作業中断（探査機器 NG）
		SA-21-6-27	観測作業開始／終了、測線移動
		SA-21-7-28	観測作業開始／中断（漁具接触）
		SA-21-7-29	観測作業再開／終了、測線移動
		SA-21-8-30	観測作業開始
8 月 1 日	観測作業	SA-21-8-30	観測作業終了、測線移動
		SA-21-9-31	観測作業開始／終了、測線移動
		SA-21-10-32	観測作業開始
8 月 2 日	観測作業	SA-21-10-32	観測作業終了、測線移動
		SA-21-11-33	観測作業開始／終了、測線移動
		SA-21-12-34	観測作業開始／中断（漁具回避）
8 月 3 日	観測作業	SA-21-12-35	観測作業再開／終了、測線移動
		SA-21-13-36	観測作業開始／中断（探査機器 NG）
		SA-21-13-37	観測作業再開／終了、測線移動
		SA-21-14-38	観測作業開始
8 月 4 日	観測作業	SA-21-14-38	観測作業終了、測線移動
		SA-21-13-39	観測作業再開／終了、測線移動
		SA-21-7-40	観測作業再開／終了、測線移動
		SA-21-A-41	観測作業開始

作業日	作業内容	測線番号	備考
8月5日	観測作業	SA-21-A-41	観測作業終了、測線移動
		SA-21-7-42	観測作業開始(地震ノイズ再測定)／終了、測線移動
		SA-21-E-43	観測作業開始(測線逸脱部再測定)／終了、測線移動
		SA-21-15-44	観測作業開始／終了、測線移動
8月6日	観測作業	SA-21-12-45	観測作業再開／終了、測線移動
		SA-21-13-46	観測作業開始(地震ノイズ再測定)／終了、測線移動
		SA-21-13-47	観測作業開始(地震ノイズ再測定)／終了、測線移動
		SA-21-N-48	観測作業開始／終了、測線移動
8月7日	観測作業	SA-21-14-49	観測作業開始（シフトノイズ再測定）／終了、測線移動
		SA-21-11-50	観測作業開始（シフトノイズ再測定）／終了、測線移動
		SA-21-A-51	観測作業再開／終了、測線移動
		SA-21-A-52	観測作業開始(地震ノイズ再測定)／終了、測線移動
		SA-21-15-53	観測作業開始／終了
	エアガン揚収作業 ストリーマーケーブル揚収作業		
8月8日	ストリーマーケーブル揚収作業 全海上作業終了 観測船入港 探査員復員		探査海域離脱 山形県酒田港

注 1）測線番号＝測線名＋作業順序番号
注 2）測線名：SA（探査地点識別の略称）-21（2021 年度）-線番号
注 3）作業順序番号：観測作業開始から終了または中断を一つの作業単位とした番号

(4) 探査詳細

① 探査内容

観測作業模式図を図 3.2-3 に示す。観測船が曳航するエアガンにより水中で音波を発生させ、同じく観測船が曳航する長さ 4,050 m のストリーマーケーブルに内蔵した多数の受振器で海底面や地下の地層境界面等から反射して戻ってくる音波を受振した。受振したアナログ信号を A/D 変換して観測船に伝送し、船内搭載の探鉱機に収録した。発振した時刻の GPS 時間を発振時刻として記録した。24 時間連続で観測作業を実施した。

本探査は、観測船 1 隻のほかに、漁具および航行船舶を警戒、監視する警戒船 2 隻の合計 3 隻で探査を実施した。警戒船は、観測船前方および曳航するストリーマーケーブルの

側方または後方に配置し、レーダーにより航行船舶および漁船の位置の確認を適宜行い、接近する航行船舶および漁船に対しては、回避を依頼する連絡等を行い船舶の航行に障害とならないよう観測作業を実施した。探査船舶一覧を表 3.2-4 に示す。

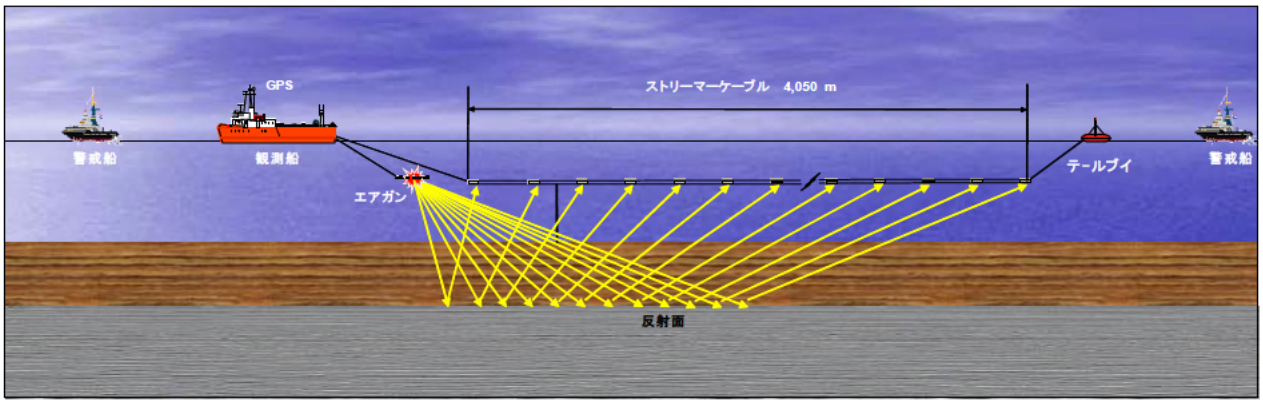


図 3.2-3　観測作業模式図

表 3.2-4　探査船舶一覧

	観測船	警戒船 1	警戒船 2
船名	かいり	第八英祥丸	平成丸
全長（m）	63.0	35.4	35.0
総トン数（t）	1,951	167	198
最大喫水（m）	5.5	3.3	3.5
航行最大速度（knots）	14	12	13
定員（人）	42（船員 14）	6	8

②　使用した主要機器およびデータ取得仕様

本探査において使用した主要機器一覧を表 3.2-5 に、データ取得仕様一覧を表 3.2-6 に、測地諸元を表 3.2-7 に示す。

本探査における振源は、エアガンを複数組み合わせたエアガンアレイを使用した。エアガン本体が発振予定位置に到達した時に発振するため、観測船搭載のジャイロコンパス方位データを用いて Differential GPS 測位（以下、「DGPS」と称する。）位置（観測船の GPS 受信アンテナ位置）から曳航しているエアガン位置を算出し、振源位置での発振制御を行った。DGPS 補正データは、静止衛星型衛星航法補強システム（SBAS：Satellite-Band Augmentation System）を利用した。

本探査における受振では、ストリーマーケーブル方式の受振器を使用し、ストリーマーケーブルと一体となったデータ収録装置を使用した。ストリーマーケーブルには、磁気コンパ

スによりストリーマーケーブルの軌跡情報を取得する Compass Bird を取り付けた。Compass Bird から定期的に方位情報と深度情報が観測船に送信される。Compass Bird を取り付けた位置は既知であるため、観測船の位置（ケーブルの始点座標）とテールブイに搭載された Relative GPS 測位（以下、「RGPS」と称する。）システムの位置（ケーブルの終点座標）、ストリーマーケーブルの要所に取り付けられた Compass Bird の位置と方位から、ストリーマーケーブルの偏倚形状を求め、発振時刻における各受振点の正確な位置が得られる。

本探査における航法装置は、GPS 受信機による位置データ、ジャイロコンパスによる方位データ、測深機から得られる水深データ等を毎秒取り込み、観測船と予定測線の位置関係をリアルタイムでモニター上にグラフィックと数値で表示できるシステムを使用した。操船者（航海士）は、航法装置のモニターに表示される位置情報を参照しながら観測船が計画測線上を航行するように操船を行った。

表 3.2-5　本探査において使用した主要機器一覧

発振に関する主要機器	
機器項目	機器名称および機器仕様等
エアガン	名称　：Bolt 社製 1500LL Long Life Airgun アレイ方式　：Tri-Gun Array　2 式 エアガン容量：1,950 cu.in. （Array1：350 cu.in.×3, Array2：300 cu.in.×3） エアガン圧力：2,000 psi（約 140 kgf/cm^2）
制御装置	名称　：Seamap 社製 GunLink 2000
コンプレッサー	名称　：Hamworthy 社製 425E 名称　：NCA 社製 NCA-14-172-DSD-C
受振に関する主要機器	
機器項目	機器名称および機器仕様等
ストリーマーケーブル	名称　：Sercel 社製 Sentinel Solid Active Section 受振器　：Sercel 社製 10 Hz Hydrophone Vinci NH 95-200 8 Hydrophones/ch (ch spacing：12.5 m) ケーブル長　：4,050 m
ストリーマーケーブル深度制御装置	名称　：ION Digicourse 社製 Compass Bird
データ収録に関する主要機器	
機器項目	機器名称および機器仕様等
データ収録装置	名称　：Sercel 社製 Seal 428 Ver.1.1 A/D 変換　：24 bit Delta-Sigma 記録形式　：SEG-D 8058 rev.1
測量・航法に関する主要機器	
機器項目	機器名称および機器仕様等
航法システム	名称　：(株)地球科学総合研究所社製 CHiPS2
DGPS システム	名称　：ニコン・トリンブル社製 SPS855
RGPS システム	名称　：Seamap 社製 Buoylink 4DX RGPS システム
GPS GYRO	名称　：Kongsberg 社製 Seapath 330

注）(株)地球科学総合研究所（以下、「JGI 社」と称する。）

表 3.2-6　データ取得仕様一覧

発振に関する仕様	
仕様項目	仕様等
エアガン深度	6 m
発振点間隔	25 m
受振に関する仕様	
仕様項目	仕様等
ストリーマーケーブル深度	8 m
受振点間隔	12.5 m
チャンネル数	324 ch
最小オフセット	108 m
データ収録に関する仕様	
仕様項目	仕様等
サンプリング間隔	2 msec
極性	Compression = Negative Number
記録長	8 sec
標準重合数	81
低域遮断周波数	3 Hz（6 dB/OCT）
高域遮断周波数	200 Hz（370 dB/OCT）
プリアンプゲイン	0 dB

表 3.2-7　本探査において使用した測地諸元

準拠楕円体	WGS84
長半径	6,378,137.00000000 m
短半径	6,356,752.31424500 m
投影法	Universal Transverse Mercator（UTM 図法）
ゾーン	54
座標原点 緯度	00° 00′ 00.000″ N
座標原点 経度	141° 00′ 00.000″ E
縮尺係数	0.999600
北方加数	0.000 m
東方加数	500,000.000 m

③　データ取得作業実績

データ取得作業の時系列測線実績一覧を表 3.2-8 に示す。既存坑井「遊佐沖」直上の観測を計画していた東西測線 SA-21-15 測線の東側測線端の東南東海域が予想以上の浅瀬であったため、船舶の航行の安全性確保の面から坑井位置付近でのフル重合記録の取得が困難

となった。地質解析・貯留可能量評価業務において必要不可欠な坑井を通るフル重合記録を確保するため、既存坑井「遊佐沖」を北東から南西方向に通る SA-21-N 測線のデータ取得を追加した。

以上の理由により、東西測線が 15 測線（SA-21-1 測線～SA-21-15 測線）、南北測線が 14 測線（SA-21-A 測線～SA-21-N 測線）の合計 29 測線で観測作業を実施した。これにより、観測フル重合発振測線長の合計は、計画時の 1,420.0 km から 1,451.0 km となった。

表 3.2-8　測線実績一覧

測線番号	FSP 日時	LSP 日時	FSP 番号	FGSP 番号	LGSP 番号	LSP 番号	発振点数	発振測線長 (km)	観測方向
SA-21-B-01	7/20 17:07	7/20 17:48	3571	3561	3373	3372	200	4.975	S→N
SA-21-B-02	7/20 23:44	7/21 08:34	3413	3372	921	921	2,493	62.300	S→N
SA-21-F-03	7/21 11:43	7/21 19:11	991	1001	3019	3068	2,078	51.925	N→S
SA-21-　-04	---	---	---	---	---	---	---	---	---
SA-21-E-05	7/22 05:15	7/22 06:14	3691	3681	3421	3421	271	6.750	S→N
SA-21-H-06	7/22 11:23	7/22 19:28	3291	3281	921	921	2,371	59.250	S→N
SA-21-C-07	7/23 00:08	7/23 10:32	991	1001	3961	3961	2,971	74.250	N→S
SA-21-E-08	7/23 14:31	7/23 22:53	3440	3420	921	921	2,520	62.975	S→N
SA-21-G-09	7/24 06:27	7/24 14:40	991	1001	3361	3361	2,371	59.250	N→S
SA-21-D-10	7/24 17:46	7/25 02:51	3691	3681	921	921	2,771	69.250	S→N
SA-21-I-11	7/25 06:57	7/25 13:25	991	1001	2488	2894	1,904	47.575	N→S
SA-21-I-12	7/25 18:58	7/25 22:01	2469	2489	3361	3361	893	22.300	N→S
SA-21-F-13	7/26 03:34	7/26 05:31	2980	3020	3540	3540	561	14.000	N→S
SA-21-K-14	7/26 09:18	7/26 17:15	3291	3281	921	921	2,371	59.250	S→N
SA-21-J-15	7/26 20:06	7/27 04:51	991	1001	3361	3361	2,371	59.250	N→S
SA-21-F-16	7/27 08:40	7/27 09:33	3501	3541	3761	3761	261	6.500	N→S
SA-21-L-17	7/27 14:08	7/27 22:08	3291	3281	921	921	2,371	59.250	S→N
SA-21-M-18	7/28 00:38	7/28 09:52	991	1001	3361	3361	2,371	59.250	N→S
SA-21-1-19	7/28 12:46	7/28 18:19	911	941	2581	2581	1,671	41.750	W→E
SA-21-2-20	7/28 19:40	7/29 01:10	2451	2441	921	921	1,531	38.250	E→W
SA-21-K-21	7/29 04:46	7/29 05:03	2759	2719	2711	2671	89	2.200	S→N
SA-21-3-22	7/29 14:29	7/29 20:21	911	921	2641	2641	1,731	43.250	W→E
SA-21-4-23	7/29 21:46	7/30 05:37	2931	2921	921	921	2,011	50.250	E→W
SA-21-3-24	7/30 09:52	7/30 10:09	1407	1447	1450	1490	84	2.075	W→E
SA-21-5-25	7/30 15:06	7/30 21:10	911	961	2761	2761	1,851	46.250	W→E
SA-21-6-26	7/30 22:21	7/31 02:13	2571	2561	1451	1451	1,121	28.000	E→W
SA-21-6-27	7/31 06:31	7/31 08:46	1490	1450	921	921	570	14.225	E→W
SA-21-7-28	7/31 14:11	7/31 15:04	911	961	1178	1178	268	6.675	W→E
SA-21-7-29	7/31 17:53	7/31 21:02	1861	1861	2841	2841	981	24.500	W→E
SA-21-8-30	7/31 22:22	8/1 04:32	2731	2721	921	921	1,811	45.250	E→W
SA-21-9-31	8/1 13:05	8/1 21:55	911	941	3581	3581	2,671	66.750	W→E
SA-21-10-32	8/1 22:59	8/2 05:18	2771	2761	921	921	1,851	46.250	E→W
SA-21-11-33	8/2 14:33	8/2 21:24	911	941	2941	2941	2,031	50.750	W→E
SA-21-12-34	8/2 22:29	8/2 23:26	2771	2761	2491	2491	281	7.000	E→W
SA-21-12-35	8/3 01:53	8/3 04:56	1800	1800	921	601	1,200	29.975	E→W
SA-21-13-36	8/3 12:54	8/3 13:43	911	921	1147	1147	237	5.900	W→E
SA-21-13-37	8/3 13:53	8/3 22:00	1195	1195	3641	3641	2,447	61.150	W→E
SA-21-14-38	8/3 23:05	8/4 02:04	1811	1801	921	921	891	22.250	E→W

測線番号	FSP 日時	LSP 日時	FSP 番号	FGSP 番号	LGSP 番号	LSP 番号	発振 点数	発振 測線長 (km)	観測 方向
SA-21-13-39	8/4 08:21	8/4 08:46	1108	1148	1194	1234	127	3.150	W→E
SA-21-7-40	8/4 12:48	8/4 16:03	911	1179	1860	1900	990	24.725	W→E
SA-21-A-41	8/4 19:48	8/5 01:17	2611	2525	921	921	1,691	42.250	S→N
SA-21-7-42	8/5 08:31	8/5 08:54	1585	1625	1661	1701	117	2.900	W→E
SA-21-E-43	8/5 11:11	8/5 14:26	1890	1850	921	921	970	24.225	S→N
SA-21-15-44	8/5 18:39	8/5 22:30	801	817	1933	1940	1,140	28.475	W→E
SA-21-12-45	8/6 00:39	8/6 03:12	2530	2490	1801	1761	770	19.225	E→W
SA-21-13-46	8/6 08:57	8/6 09:14	2850	2890	2894	2934	85	2.100	W→E
SA-21-13-47	8/6 10:58	8/6 11:14	3488	3528	3532	3572	85	2.100	W→E
SA-21-N-48	8/6 17:38	8/6 21:58	2251	2241	921	921	1,331	33.250	S→N
SA-21-14-49	8/7 00:57	8/7 01:50	1380	1312	1280	1120	261	6.500	E→W
SA-21-11-50	8/7 05:05	8/7 05:26	2751	2791	2813	2853	103	2.550	W→E
SA-21-A-51	8/7 14:15	8/7 14:38	2611	2601	2526	2486	126	3.125	S→N
SA-21-A-52	8/7 16:26	8/7 16:42	1900	1860	1857	1817	84	2.075	S→N
SA-21-15-53	8/7 20:09	8/7 20:40	1841	1934	1992	1995	155	3.850	W→E

注 1）FSP：First Shot Point（最初の発振点番号）の略称、FGSP：First Good Shot Point（最初に仕様の標準重合数 81 を満たした発振点番号）の略称である。

注 2）LSP：Last Shot Point（最後の発振点番）の略称、LGSP：Last Good Shot Point（仕様の標準重合数 81 を満たした最後の発振点番号）の略称である。

注 3）データ取得作業上、測線番号 SA-21-　-04（作業順序番号 4）は、ノイズ記録のみの欠番となる。

(5)　データ取得結果

取得した発振記録のうち、各測線における代表的な発振記録を図 3.2-4(1)～(29)に示す。海況は全般的に良好で、天候の悪化もなく、S/N 比の高い発振記録が取得できた。

①　SA-21-1 測線の発振記録例

SA-21-1 測線における SP1090 と SP2040 の発振記録を図 3.2-4(1)に示す。測線の西側では、往復走時 3.6s 付近までに反射波が確認できた（SP1090、図中赤矢印）。また、同測線の東側では、線形ノイズの混入がみられたものの（SP2040、図中青矢印）、往復走時 1.3s 付近までに明瞭な反射波を確認できた（同図中赤矢印）。

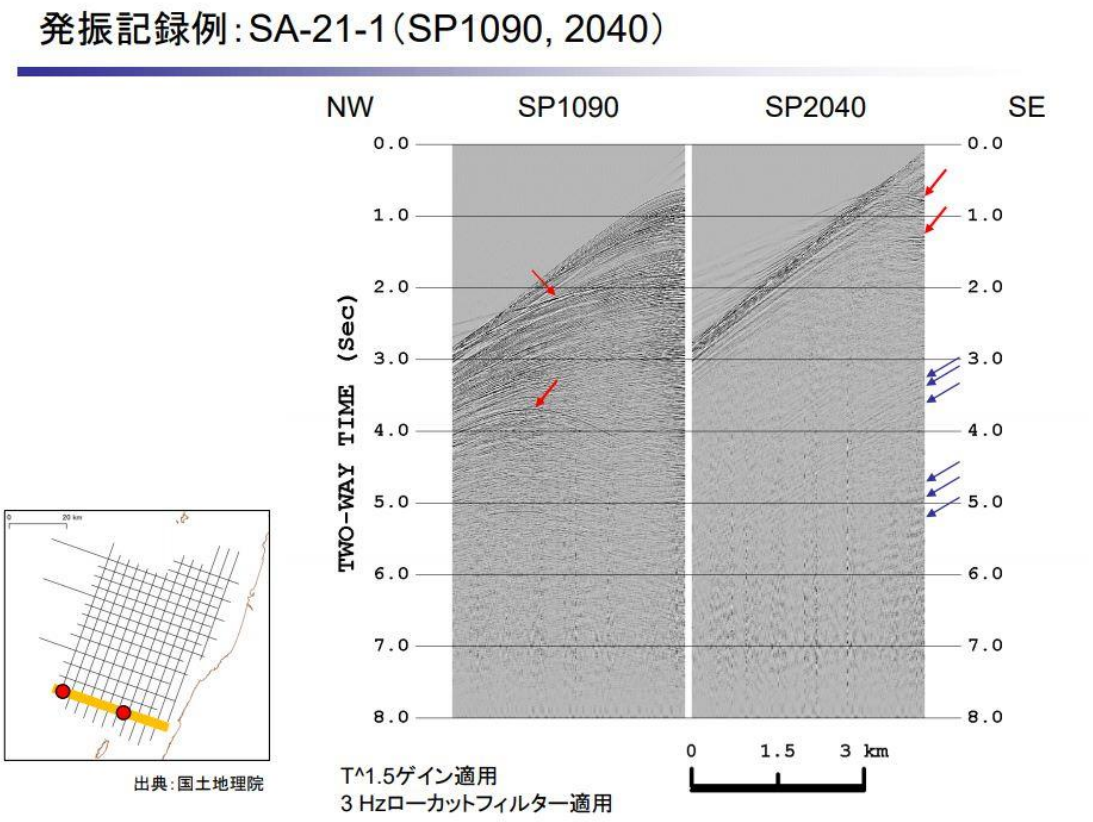


図 3.2-4(1)　SA-21-1 測線の発振記録例（SP1090、SP2040）

② SA-21-2 測線の発振記録例

SA-21-2 測線における SP1731 の発振記録を図 3.2-4(2)に示す。測線の中央付近では、往復走時 1.8s 付近に反射波を確認できた（SP1731、図中赤矢印）。

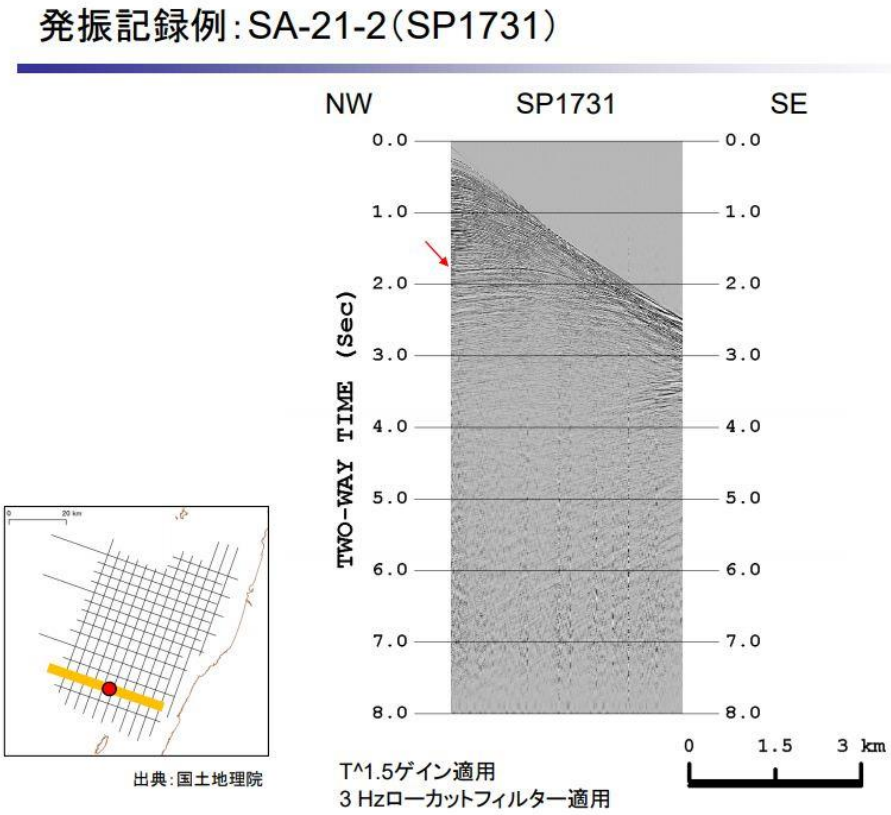


図 3.2-4(2)　SA-21-2 測線の発振記録例（SP1731）

③　SA-21-3 測線の発振記録例

SA-21-3 測線における SP1575 と SP2366 の発振記録を図 3.2-4(3)に示す。測線の西側では、往復走時 2.8s 付近に反射波を確認できた（SP1575、図中赤矢印）。また、同測線の東側では、線形ノイズの混入がみられるものの（SP2366、図中青矢印）、往復走時 1.2s 付近に反射波を確認できた（同図中赤矢印）。

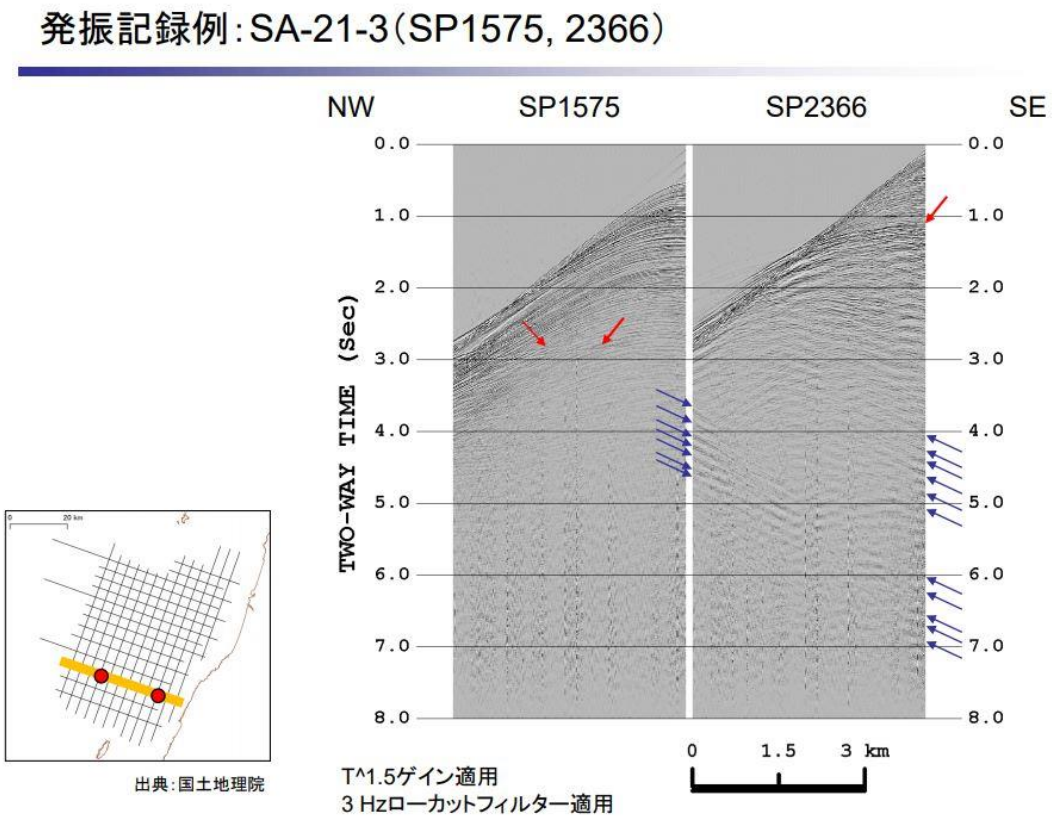


図 3.2-4(3)　SA-21-3 測線の発振記録例（SP1575、SP2366）

④　SA-21-4 測線の発振記録例

SA-21-4 測線における SP1607 の発振記録を図 3.2-4(4)に示す。測線の中央付近では、往復走時 1.3s 付近と往復走時 2.0s 付近に反射波を確認できた（SP1607、図中赤矢印）。

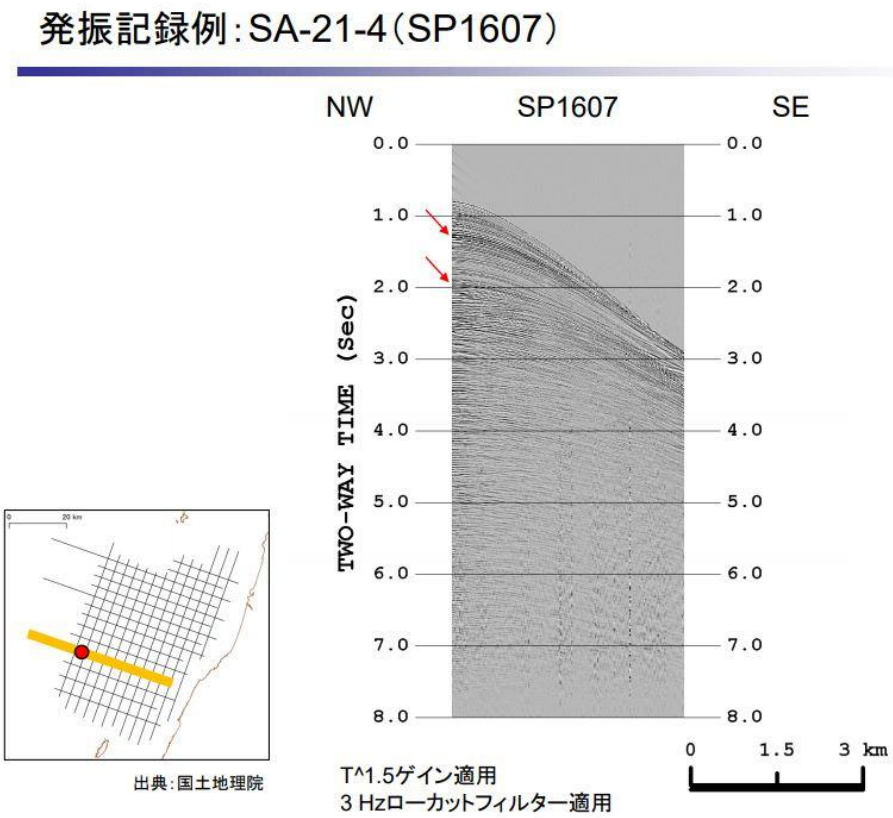


図 3.2-4(4)　SA-21-4 測線の発振記録例（SP1607）

⑤　SA-21-5 測線の発振記録例

SA-21-5 測線における SP1268 と SP2637 の発振記録を図 3.2-4(5)に示す。測線の西側では、往復走時 3.8s 付近までに反射波を確認できた（SP1268、図中赤矢印）。また、同測線の東側では、往復走時 2.5s 付近に反射波を確認できた（SP2637、図中赤矢印）。

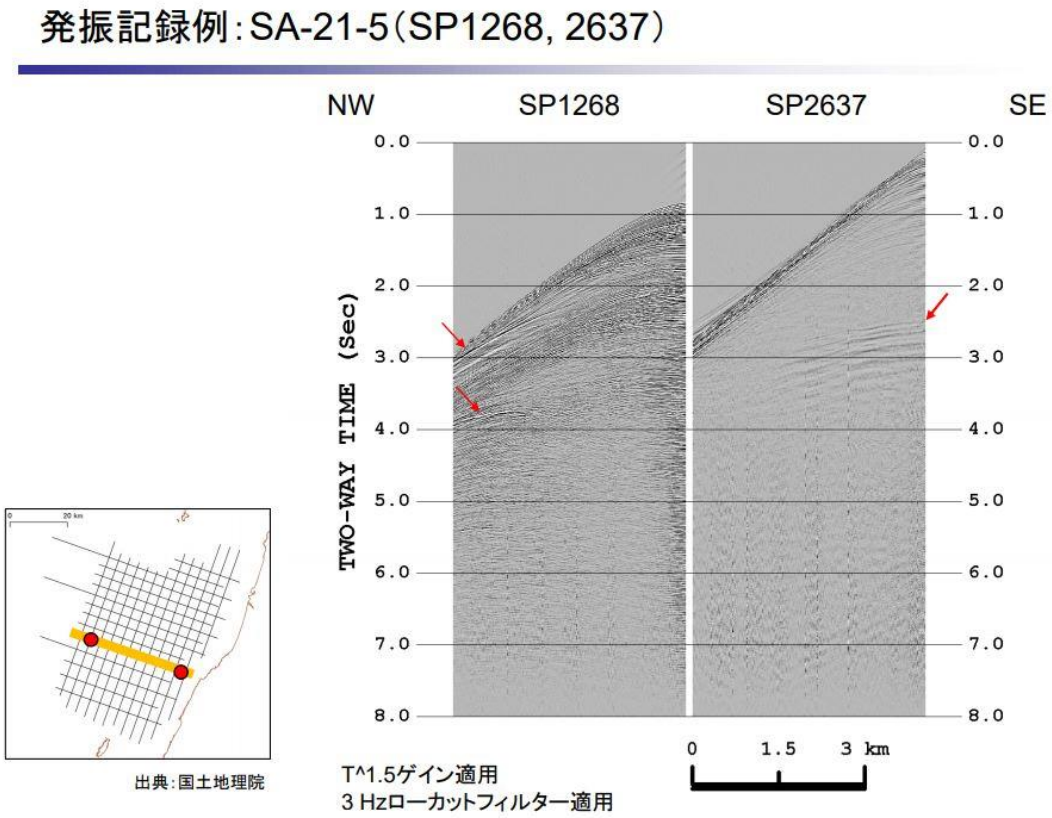


図 3.2-4(5)　SA-21-5 測線の発振記録例（SP1268、SP2637）

⑥　SA-21-6 測線の発振記録例

SA-21-6 測線における SP1232 と SP1465 の発振記録を図 3.2-4(6)に示す。測線の中央付近では、往復走時 1.2s 付近に反射波を確認できた（SP1465、図中赤矢印）。また、同測線の西側では、往復走時 3.2s 付近までに反射波を確認できた（SP1232、図中赤矢印）。

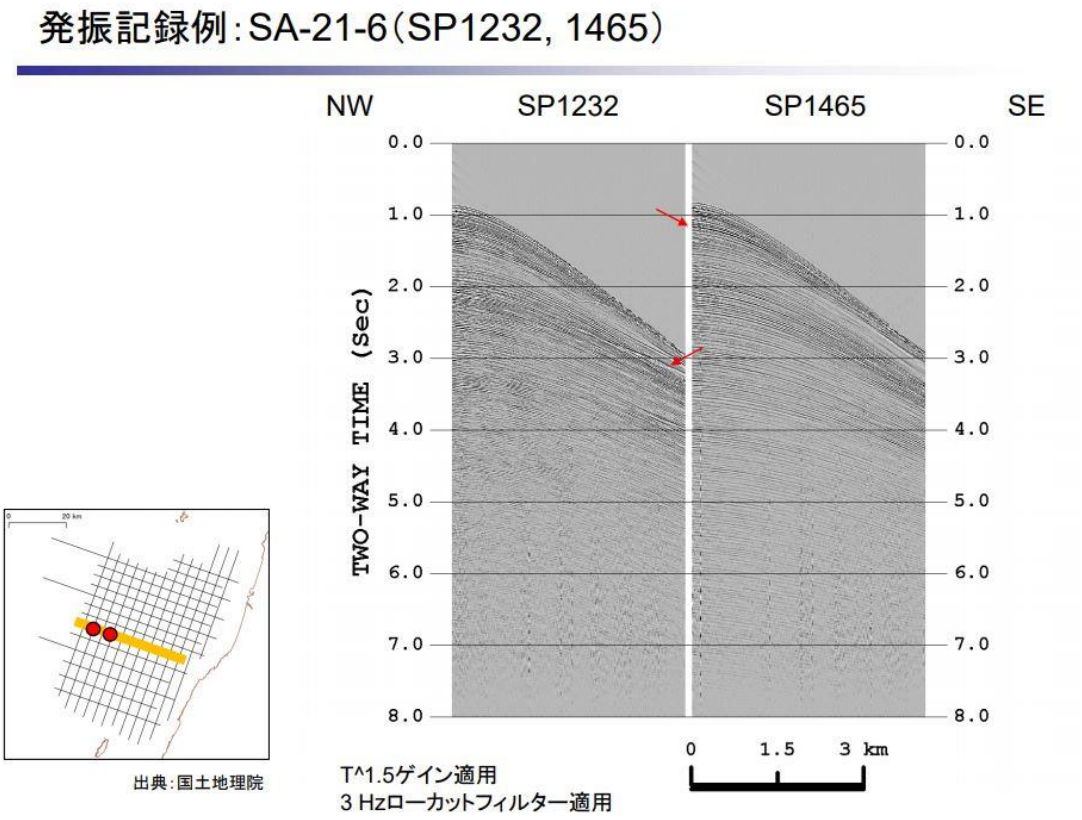


図 3.2-4(6)　SA-21-6 測線の発振記録例（SP1232、SP1465）

⑦　SA-21-7 測線の発振記録例

SA-21-7 測線における SP1104 と SP2237 の発振記録を図 3.2-4(7)に示す。測線の西側では、線形ノイズの混入がみられるものの（SP1104、図中青矢印）往復走時 3.7s 付近までに反射波が確認できた（同図中赤矢印）。また、同測線の東側では、往復走時 1.4s 付近に明瞭な反射波を確認できた（SP2237、図中赤矢印）。

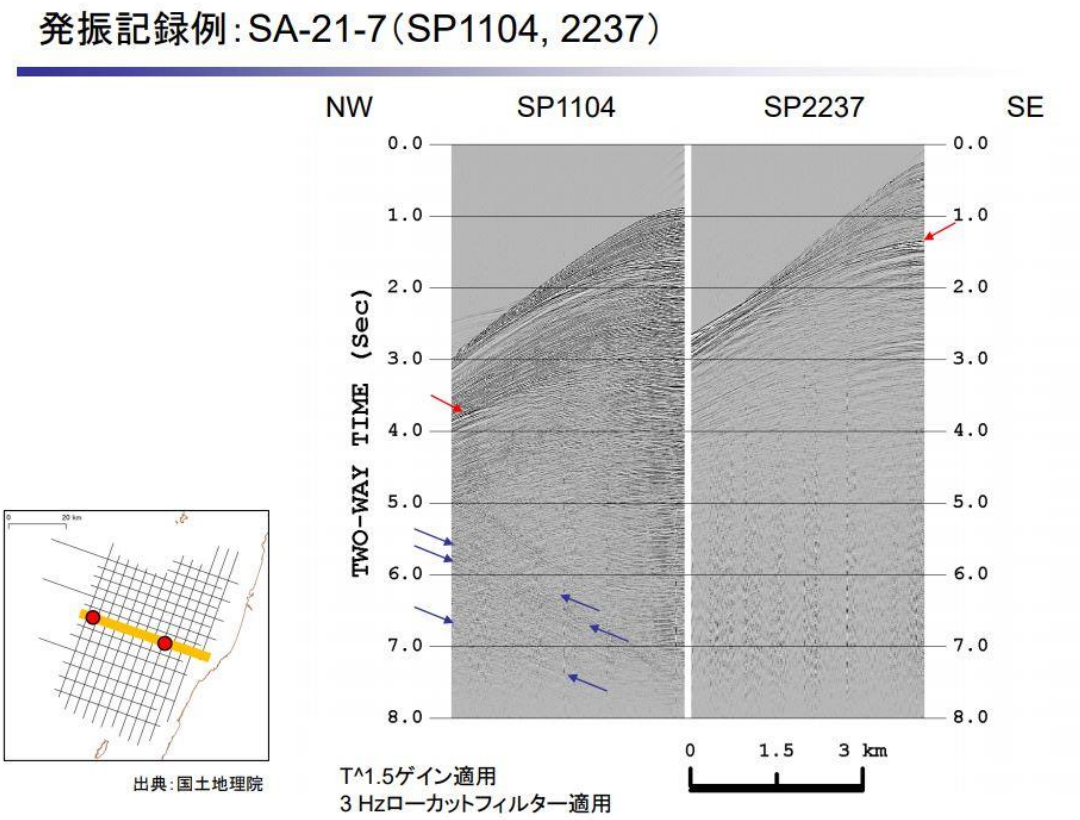


図 3.2-4(7)　SA-21-7 測線の発振記録例（SP1104、SP2237）

⑧　SA-21-8 測線の発振記録例

SA-21-8 測線における SP1433 の発振記録を図 3.2-4(8)に示す。測線の西側では、往復走時 3.3s 付近に反射波を確認できた（SP1433、図中赤矢印）。

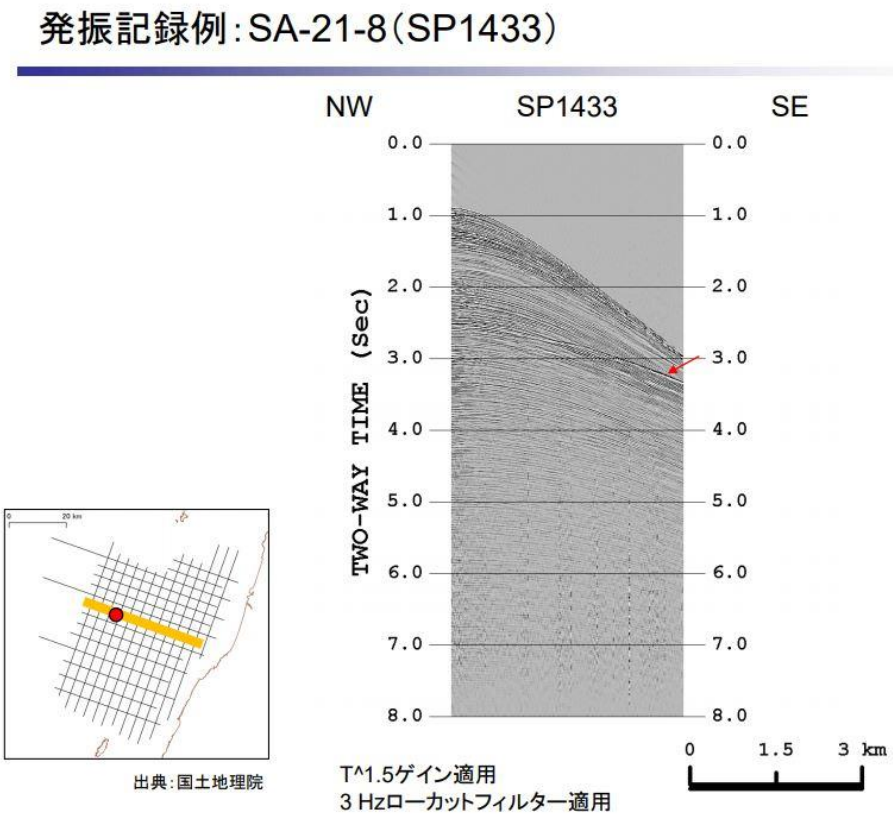


図 3.2-4(8)　SA-21-8 測線の発振記録例（SP1433）

⑨　SA-21-9 測線の発振記録例

SA-21-9 測線における SP1841 と SP3420 の発振記録を図 3.2-4(9)に示す。測線の西側では、往復走時 2.5s 付近までに反射波が確認できた（SP1841、図中赤矢印）。また、同測線の東側では、往復走時 2.3s 付近までに反射波を確認できた（SP3420、図中赤矢印）。

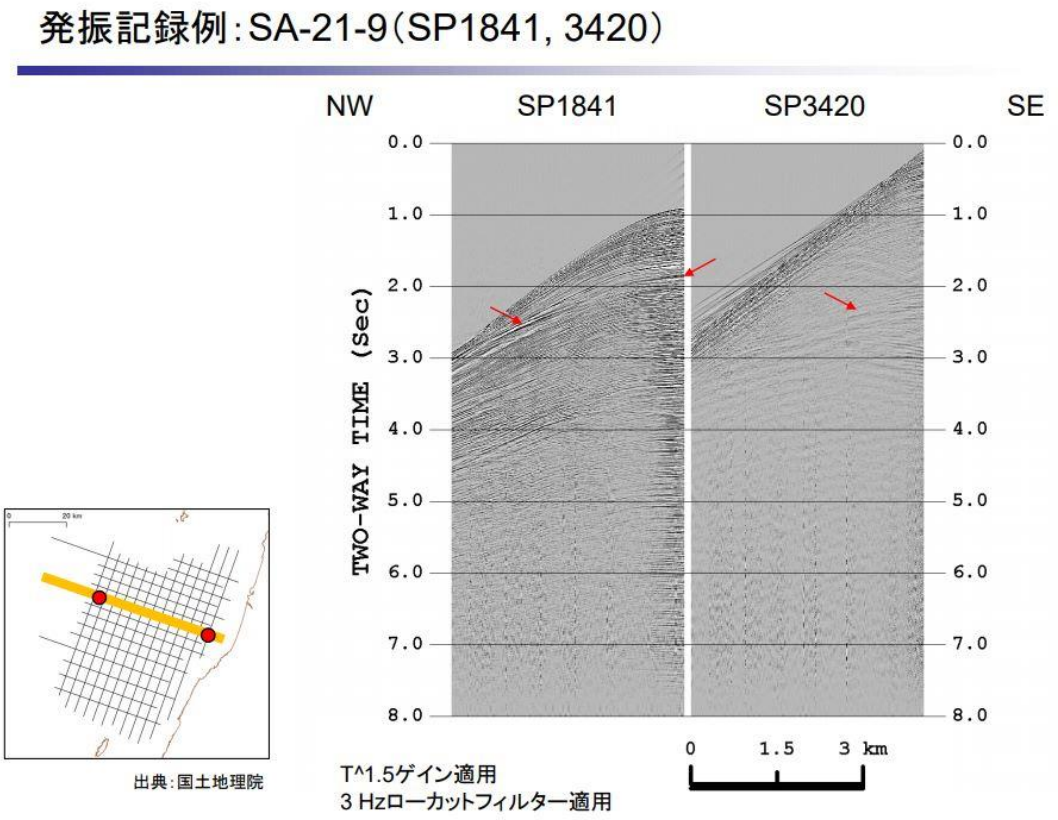


図 3.2-4(9)　SA-21-9 測線の発振記録例（SP1841、SP3420）

⑩　SA-21-10 測線の発振記録例

SA-21-10 測線における SP2647 の発振記録を図 3.2-4(10)に示す。測線の東側では、往復走時 3.2s 付近までに反射波を確認できた（SP2647、図中赤矢印）。

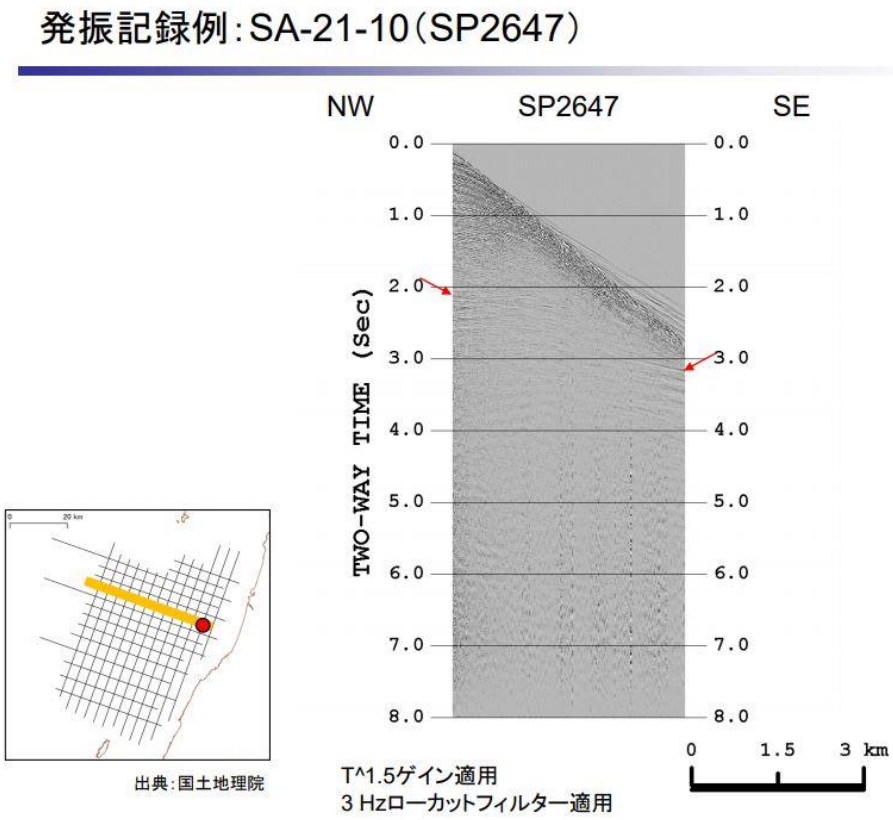


図 3.2-4(10)　SA-21-10 測線の発振記録例（SP2647）

⑪　SA-21-11 測線の発振記録例

SA-21-11 測線における SP1402 と SP2726 の発振記録を図 3.2-4(11)に示す。測線の西側では、往復走時 3.2s 付近までに反射波が確認できた（SP1402、図中赤矢印）。また、同測線の東側では、往復走時 2.9s 付近までに反射波を確認できた（SP2726、図中赤矢印）。

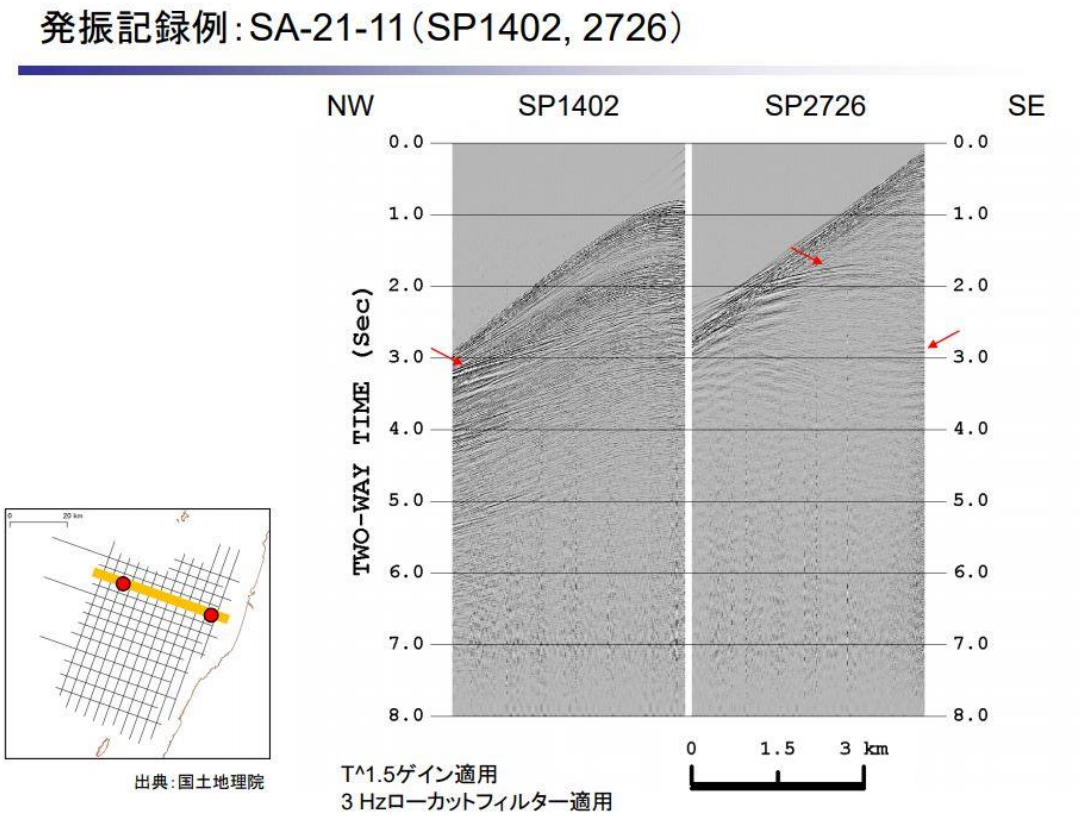


図 3.2-4(11)　SA-21-11 測線の発振記録例（SP1402、SP2726）

⑫　SA-21-12 測線の発振記録例

SA-21-12 測線における SP2683 の発振記録を図 3.2-4(12)に示す。測線の東側では、往復走時 1.0s 付近に反射波を確認できた（SP2683、図中赤矢印）。

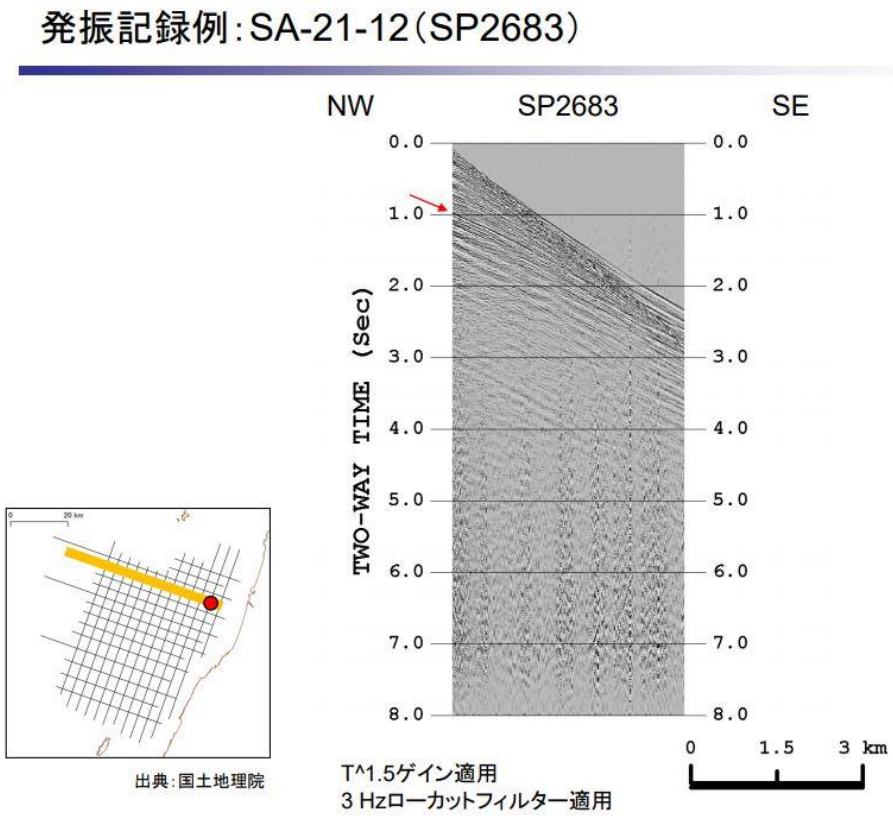


図 3.2-4(12)　SA-21-12 測線の発振記録例（SP2683）

⑬　SA-21-13 測線の発振記録例

SA-21-13 測線における SP1093 の発振記録を図 3.2-4(13)に示す。測線の西側では、往復走時 5.2s 付近までに反射波が確認できた（SP1093、図中赤矢印）。

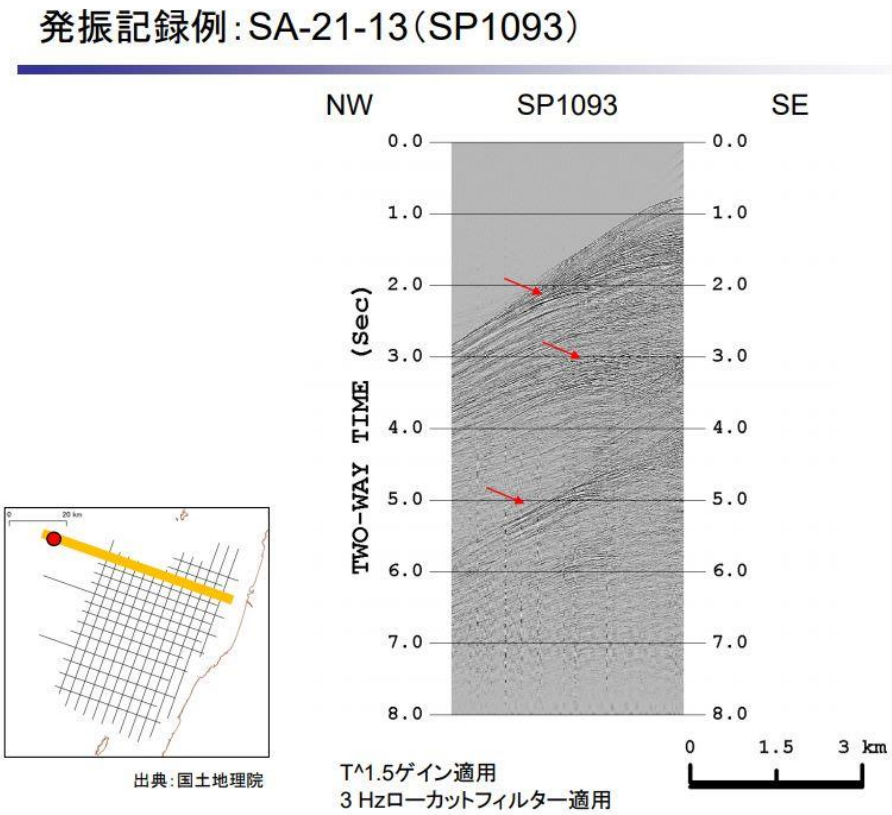


図 3.2-4(13)　SA-21-13 測線の発振記録例（SP1093）

⑭　SA-21-14 測線の発振記録例

SA-21-14 測線における SP1365 の発振記録を図 3.2-4(14)に示す。測線の中央付近では、往復走時 1.5s 付近に反射波を確認できた（SP1365、図中赤矢印）。

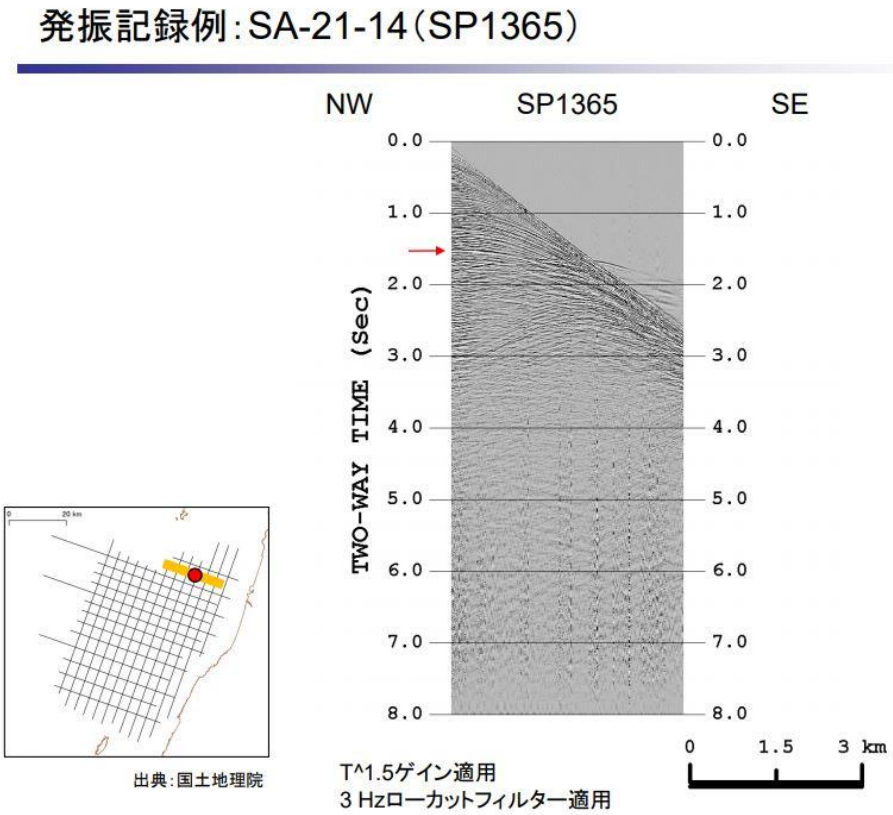


図 3.2-4(14)　SA-21-14 測線の発振記録例（SP1365）

⑮　SA-21-15 測線の発振記録例

SA-21-15 測線における SP1956 の発振記録を図 3.2-4(15)に示す。測線の東側では、往復走時 1.1s 付近に反射波が確認できた（SP1956、図中赤矢印）ほか、回折波が多くみられた（同図中緑矢印）。

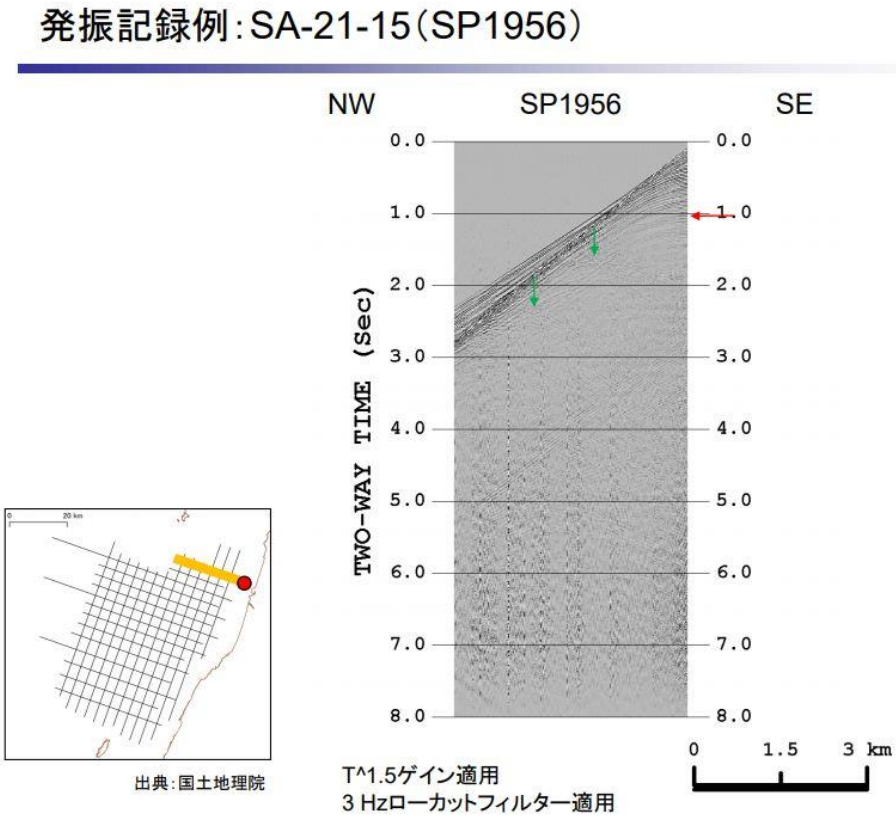


図 3.2-4(15)　SA-21-15 線の発振記録例（SP1956）

⑯　SA-21-A 測線の発振記録例

SA-21-A 測線における SP1510 の発振記録を図 3.2-4(16)に示す。測線の中央付近では、往復走時 2.5s 付近に反射波を確認できた（SP1510、図中赤矢印）。

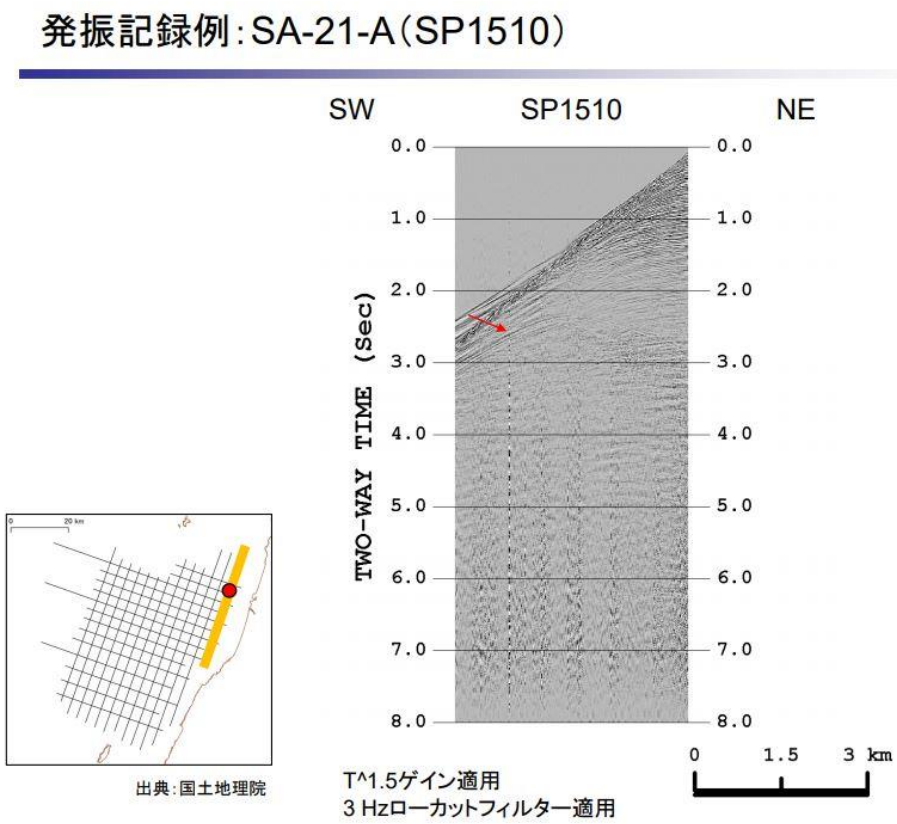


図 3.2-4(16)　SA-21-A 測線の発振記録例（SP1510）

⑰　SA-21-B 測線の発振記録例

SA-21-B 測線における SP1320 と SP3035 の発振記録を図 3.2-4(17)に示す。測線の南側では、往復走時 4.0s 付近に明瞭な反射波が確認できた（SP3035、図中赤矢印）。また、同測線の北側でも、往復走時 0.8s 付近に明瞭な反射波が確認できた（SP1320、図中赤矢印）。

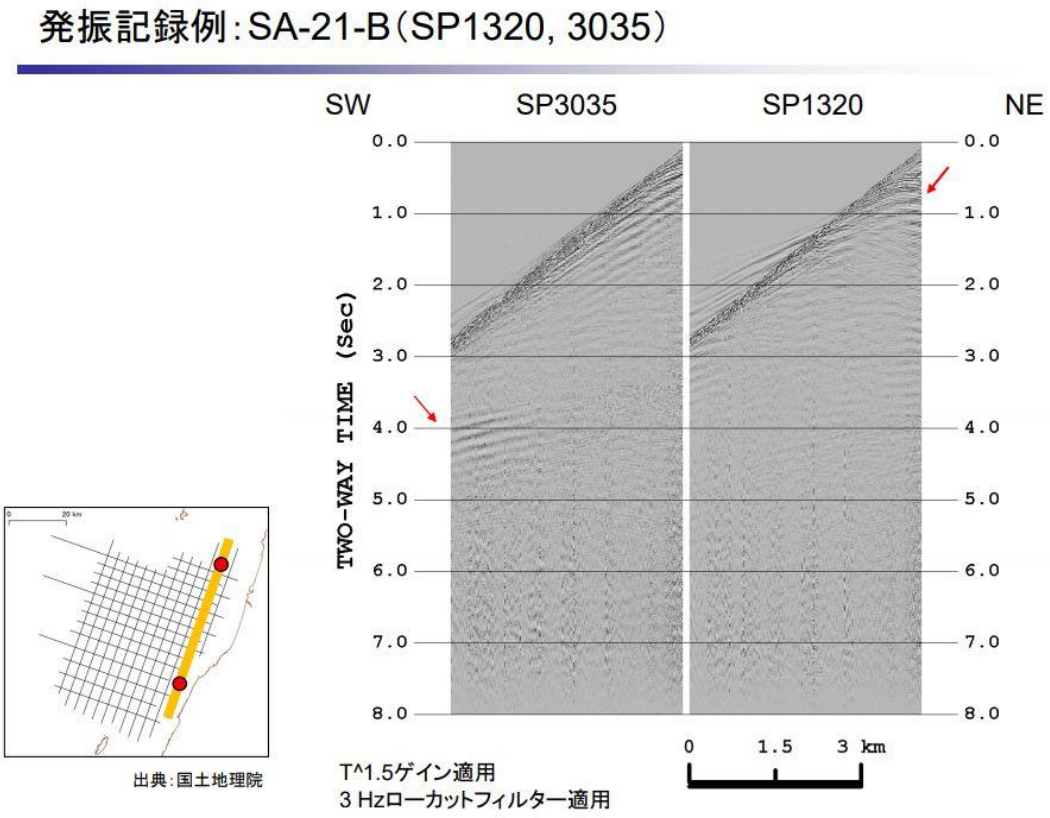


図 3.2-4(17)　SA-21-B 測線の発振記録例（SP3035、SP1320）

⑱　SA-21-C 測線の発振記録例

SA-21-C 測線における SP2185 と SP3399 の発振記録を図 3.2-4(18)に示す。測線の北側では、往復走時 1.7s 付近に反射波が確認できた（SP2185、図中赤矢印）。また、同測線の南側では、tail 側から線形ノイズが時折混入したが（SP3399、図中青矢印）、往復走時 1.6s 付近に反射波が確認できた（同図中赤矢印）。測線全体を通して漁船が多く出現し、ケーブル付近またはケーブル上を通過時にノイズが混入した（SP2185、図中青四角）。

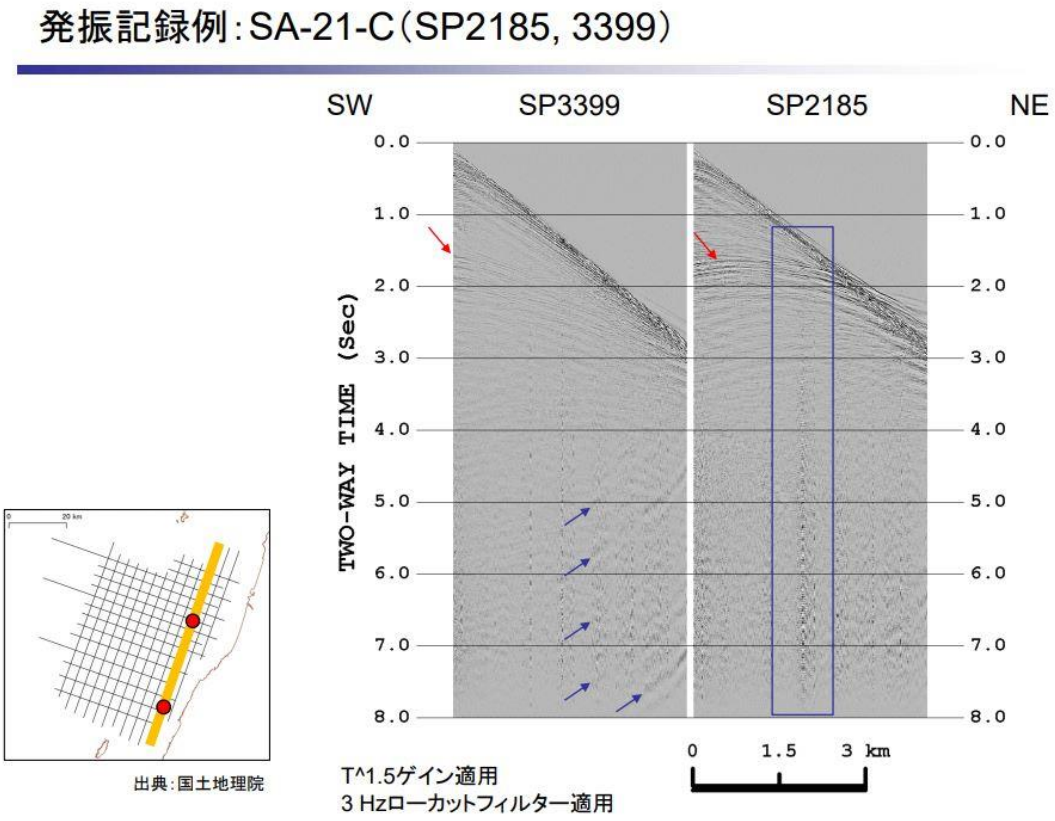


図 3.2-4(18)　SA-21-C 測線の発振記録例（SP3399、SP2185）

⑲　SA-21-D 測線の発振記録例

SA-21-D 測線における SP1235 と SP1619 の発振記録を図 3.2-4(19)に示す。測線の中央側では、往復走時 1.6s 付近と 2.9s 付近に反射波を確認できた（SP1619、図中赤矢印）。また、同測線の北側では、往復走時 1.2s 付近に反射波を確認できた（SP1235、図中赤矢印）。

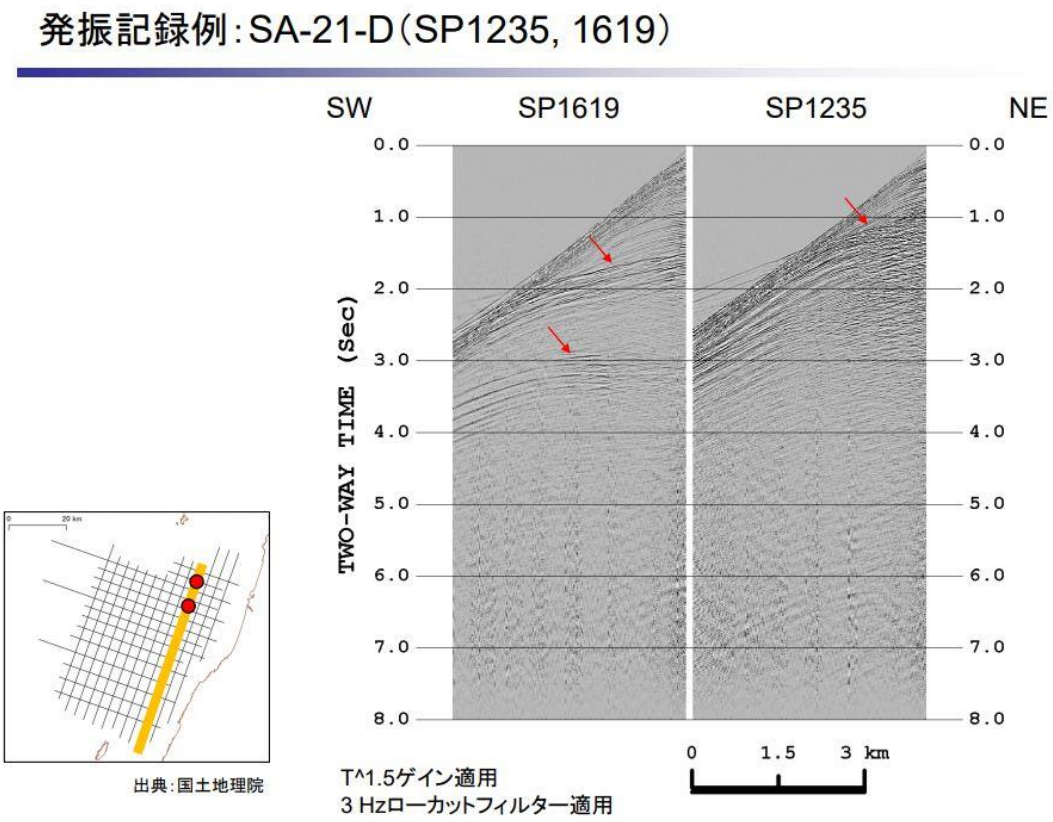


図 3.2-4(19)　SA-21-D 測線の発振記録例（SP1619、SP1235）

⑳　SA-21-E 測線の発振記録例

SA-21-E 測線における SP3681 の発振記録を図 3.2-4(20)に示す。測線の南側では、往復走時 1.2s 付近や 2.3s 付近に反射波が確認できた（SP3681、図中赤矢印）。

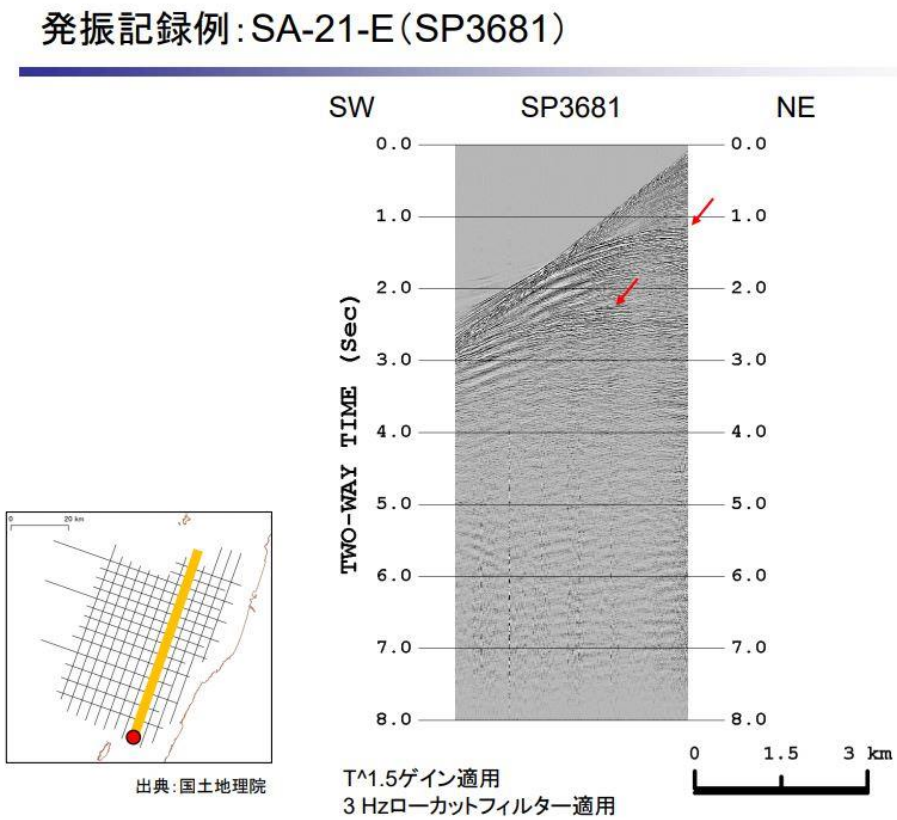


図 3.2-4(20)　SA-21-E 測線の発振記録例（SP3681）

㉑　SA-21-F 測線の発振記録例

SA-21-F 測線における SP3274 の発振記録を図 3.2-4(21)に示す。測線の南側では、往復走時 1.8s 付近までに反射波を確認できた（SP3274、図中赤矢印）。

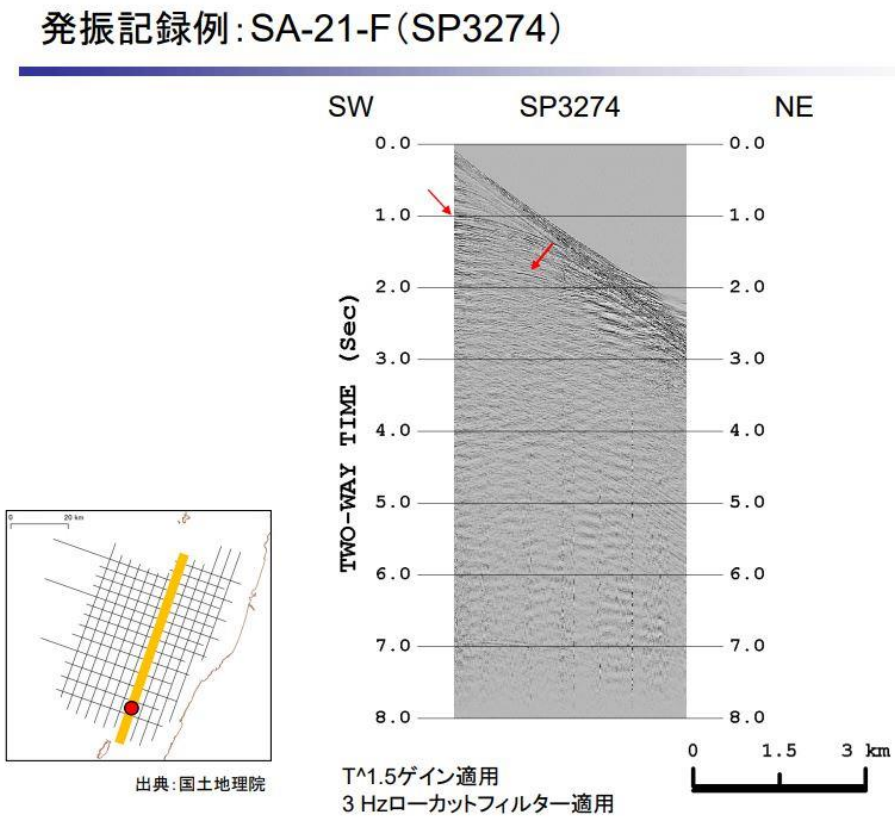


図 3.2-4(21)　SA-21-F 測線の発振記録例（SP3274）

㉒　SA-21-G 測線の発振記録例

SA-21-G 測線における SP1049 と SP2062 の発振記録を図 3.2-4(22)に示す。測線の北側では、往復走時 1.5s 付近に反射波を確認できた（SP1049、図中赤矢印）。また、同測線の中央付近では、往復走時 2.5s 付近までに反射波を確認できた(SP2062、図中赤矢印）。

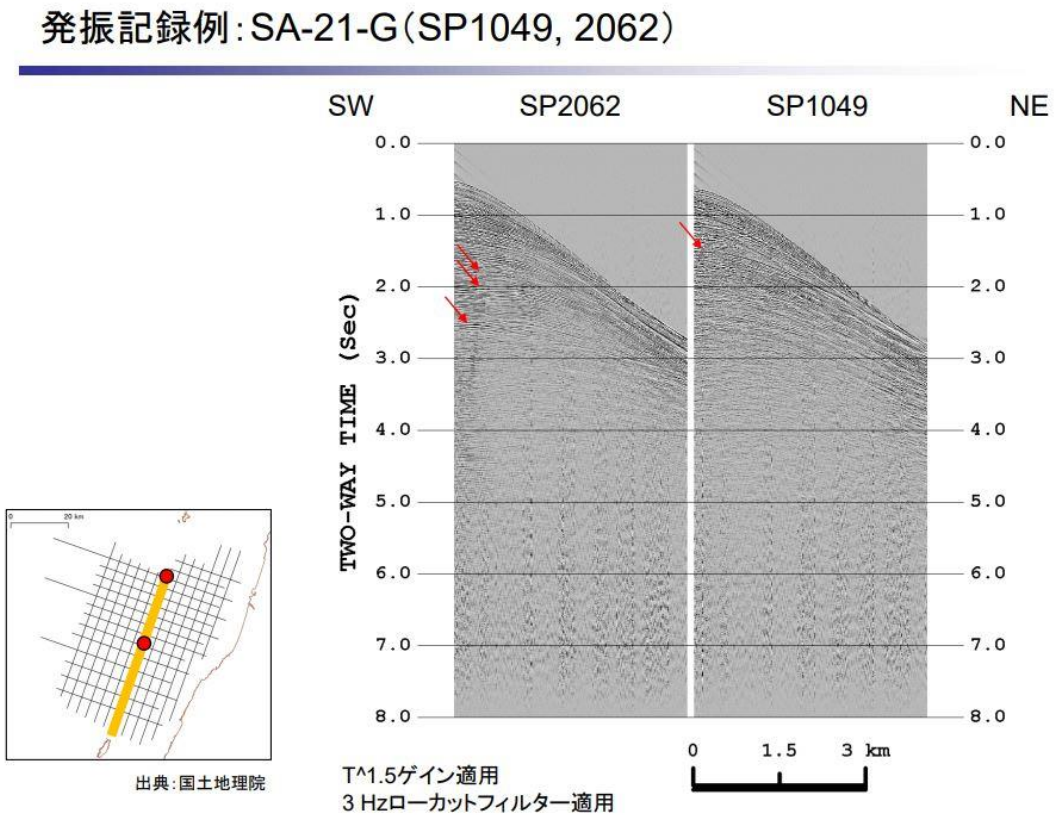


図 3.2-4(22)　SA-21-G 測線の発振記録例（SP2062、SP1049）

㉓　SA-21-H 測線の発振記録例

SA-21-H 測線における SP1061 と SP2465 の発振記録を図 3.2-4(23)に示す。測線の南側では、往復走時 2.3s 付近や 4.7s 付近に反射波が確認できた（SP2465、図中赤矢印）。また、同測線の北側でも、往復走時 2.1s 付近や 2.3s 付近に反射波が確認できた（SP1061、図中赤矢印）。

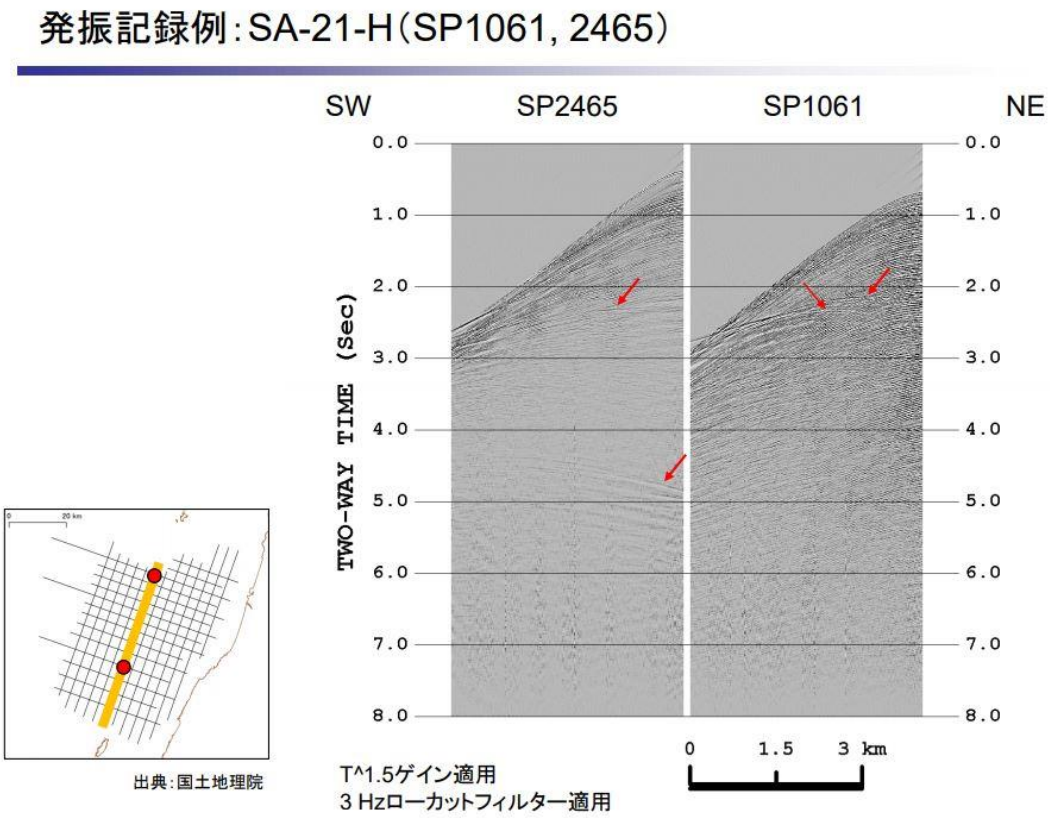


図 3.2-4(23)　SA-21-H 測線の発振記録例（SP2465、SP1061）

㉔　SA-21-I 測線の発振記録例

SA-21-I 測線における SP2244 と SP1081 の発振記録を図 3.2-4(24)に示す。測線の北側では、往復走時 2.3s 付近に反射波（SP1081、図中赤矢印）、往復走時 4.6s 付近にその多重反射波がそれぞれ確認できた（同図中黄矢印）。また、往復走時 2.7s 付近にも反射波が確認できた（同図中赤矢印）。同測線の中央付近では、往復走時 2.7s 付近に明瞭な反射波が確認できた（SP2244、図中赤矢印）。

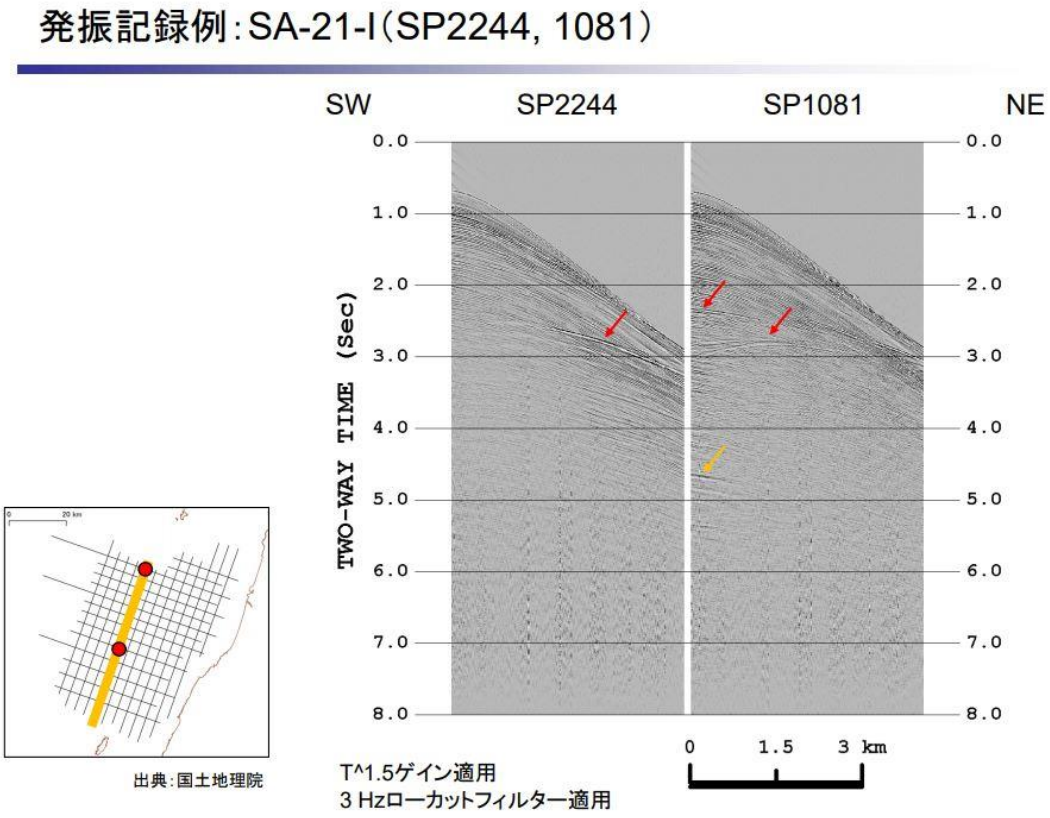


図 3.2-4(24)　SA-21-I 測線の発振記録例（SP2244、SP1081）

㉕　SA-21-J 測線の発振記録例

SA-21-J 測線における SP2402 と SP2969 の発振記録を図 3.2-4(25)に示す。測線の中央付近では、往復走時 3.0s 付近に反射波を確認できた（SP2402、図中赤矢印）。また、同測線の南側では、往復走時 3.7s 付近までに反射波を確認できた（SP2969、図中赤矢印）。

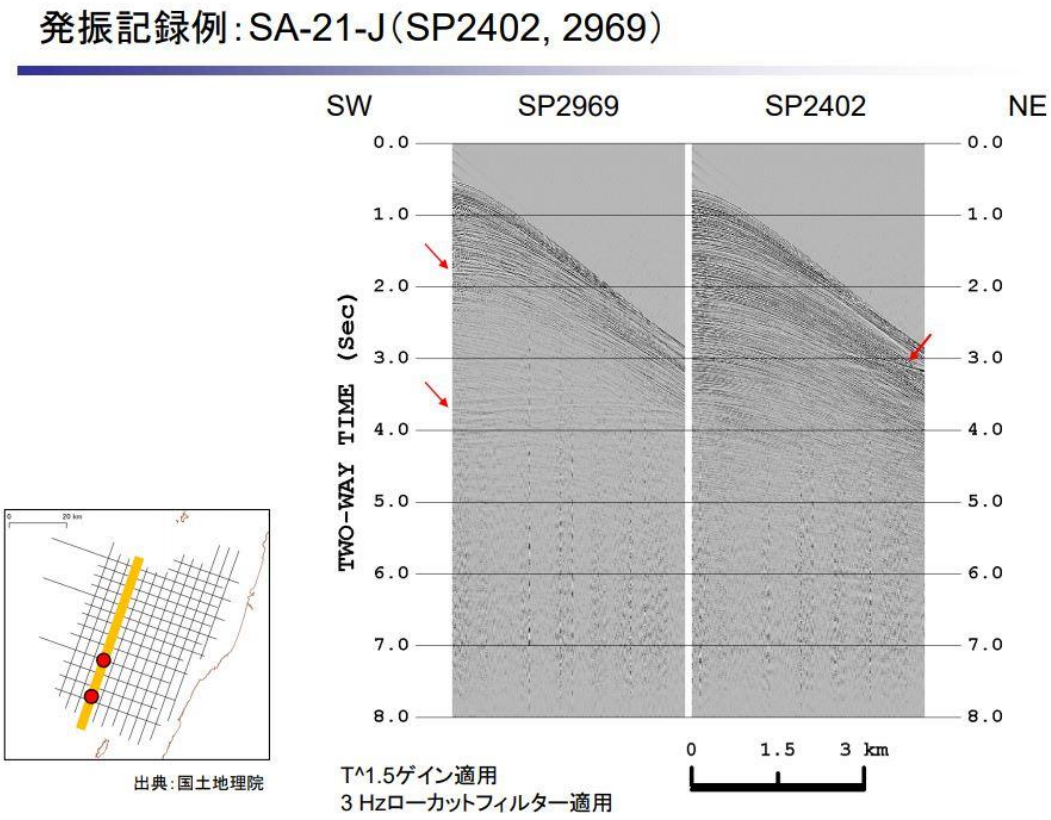


図 3.2-4(25)　SA-21-J 測線の発振記録例（SP2969、SP2402）

㉖　SA-21-K 測線の発振記録例

SA-21-K 測線における SP1346 と SP3089 の発振記録を図 3.2-4(26)に示す。測線の南側では、往復走時 3.0s 付近に反射波が確認できた（SP3089、図中赤矢印）。また、同測線の北側では、往復走時 2.3s 付近に明瞭な反射波が確認できた（SP1346、図中赤矢印）。

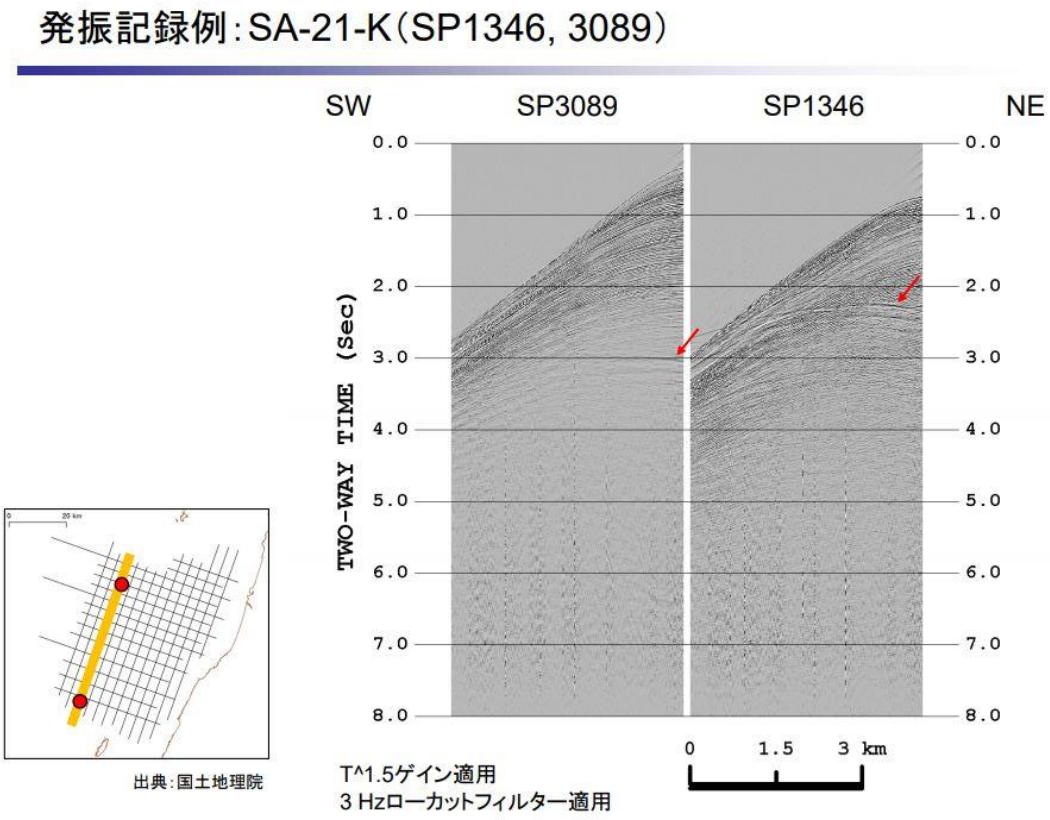


図 3.2-4(26)　SA-21-K 測線の発振記録例（SP3089、SP1346）

㉗　SA-21-L 測線の発振記録例

SA-21-L 測線における SP1226 と SP2206 の発振記録を図 3.2-4(27)に示す。測線の中央付近では、往復走時 2.8s 付近に反射波を確認できた（SP2206、図中赤矢印）。同測線の北側では、往復走時 3.0s 付近に反射波を確認できた（SP1226、図中赤矢印）。また、全体を通して、波浪の影響と思われるノイズが時折混入した（SP2206、図中青矢印）。

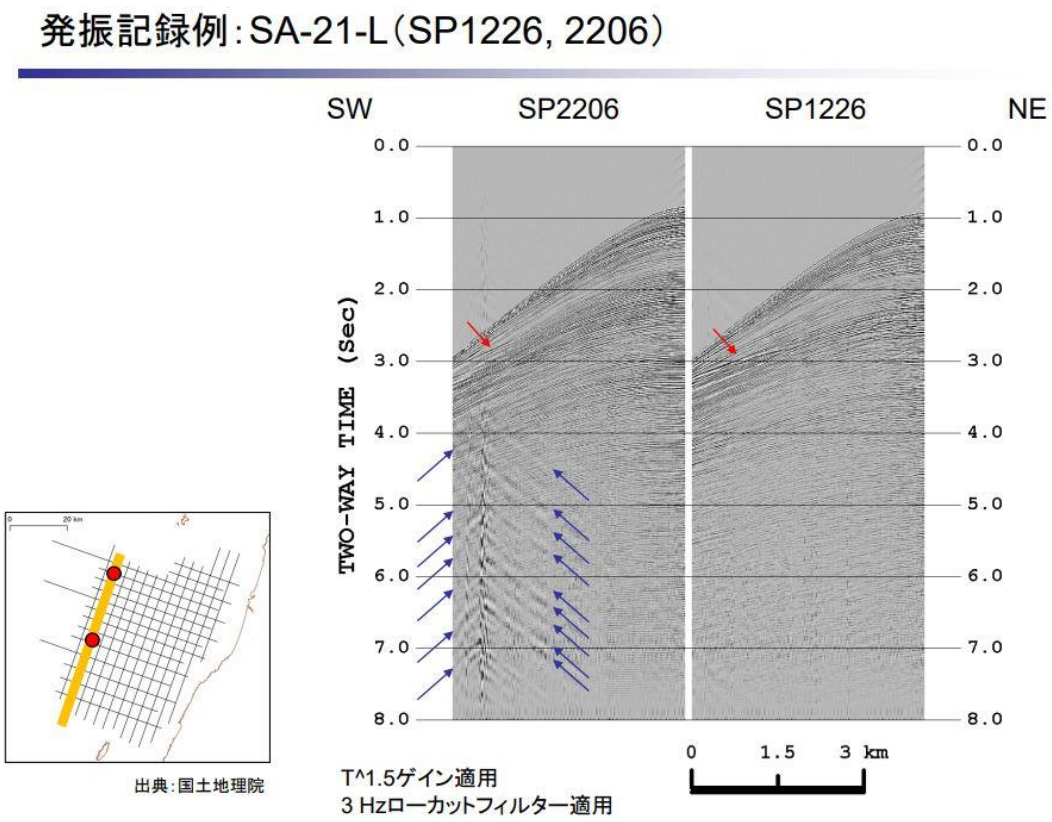


図 3.2-4(27)　SA-21-L 測線の発振記録例（SP2206、SP1226）

㉘　SA-21-M 測線の発振記録例

SA-21-M 測線における SP1492 と SP3112 の発振記録を図 3.2-4(28)に示す。測線の北側では、往復走時 3.1s 付近に反射波を確認できたが（SP1492、図中赤矢印）、地震によるノイズの混入がみられた（同図中青矢印）。また、同測線の南側では、往復走時 1.7s 付近に反射波を確認できた（SP3112、図中赤矢印）。

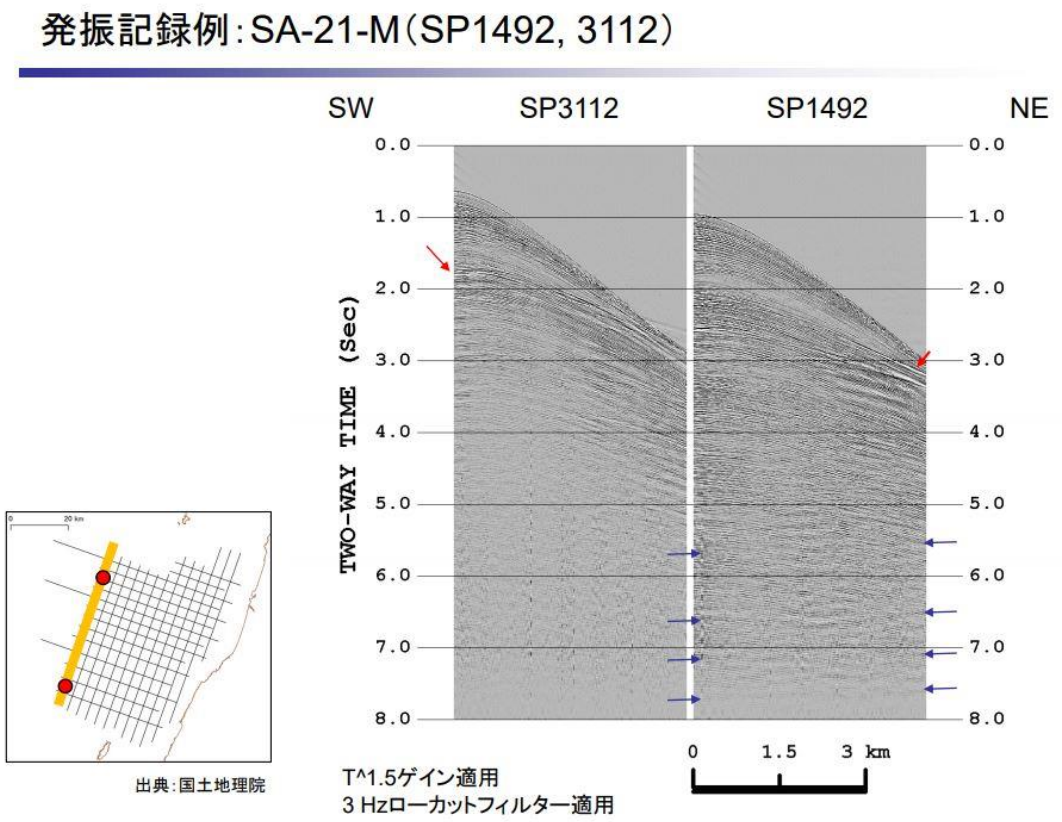


図 3.2-4(28)　SA-21-M 測線の発振記録例（SP3112、SP1492）

㉙　SA-21-N 測線の発振記録例

SA-21-N 測線における SP1351 と SP2208 の発振記録を図 3.2-4(29)に示す。測線の南側では、船舶ノイズが混入したものの（SP2208、図中青四角）、往復走時 1.6s 付近に反射波を確認できた（同図中赤矢印）。また、同測線の北側では、往復走時 2.8s 付近までに反射波を確認できた（SP1351、図中赤矢印）。全体を通して、線形ノイズの混入がみられた（SP2208, SP1351、図中青矢印）。

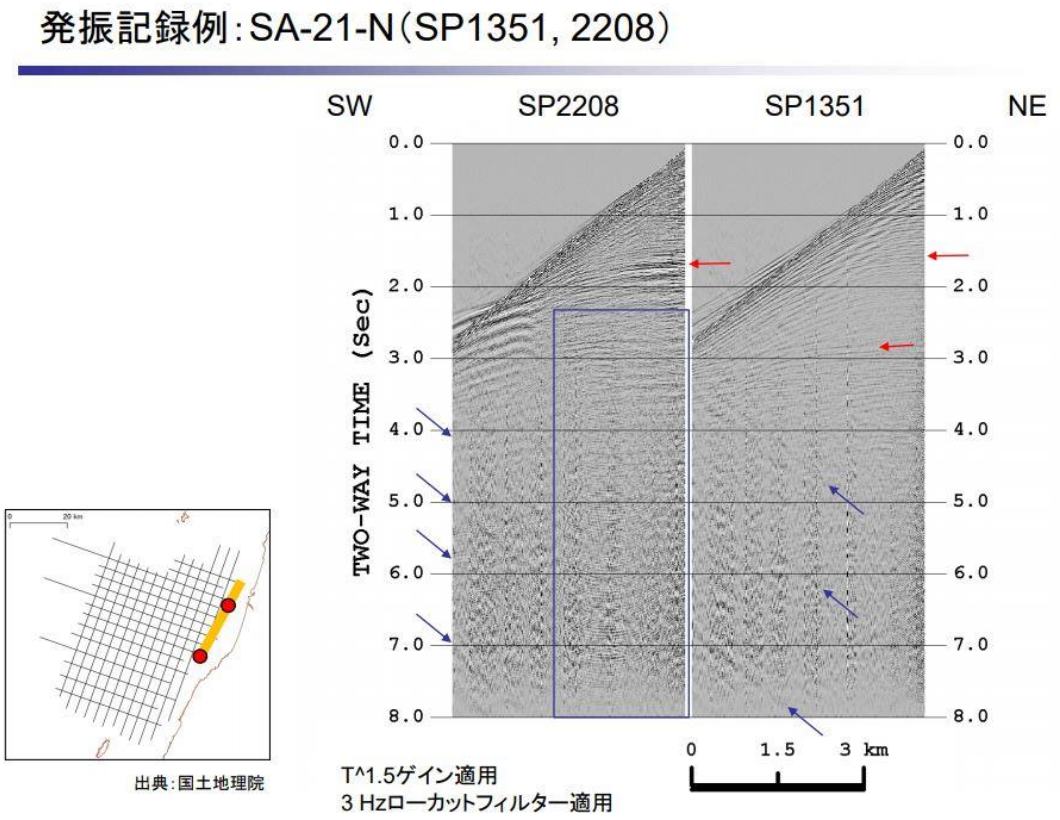


図 3.2-4(29)　SA-21-N 測線の発振記録例（SP2208、SP1351）

3.2.2　2D 探査データの処理

本地点において新規に取得した 2D 探査データに対し、取得データに含まれる反射波を対象とした反射法データ処理を行った。

(1)　データ処理の概要

貯留層、遮蔽層の解釈に資する反射波記録を得ることを目的として、各種ノイズ抑制処理、多重反射波抑制処理等による S/N 比の向上を図り、重合前時間マイグレーション（Pre-Stack Time Migration、以下、「PSTM」と称する。）を適用した処理を実施した。地層境界における反射強度の差異を保持する相対振幅保存処理を適用した反射波記録に加え、反射波の追跡に適するよう重合前に自動振幅補償（Automatic Gain Control、以下、「AGC」と称する。）を適用した反射波記録を作成した。

本データ処理に使用した主要ソフトウェアを表 3.2-9 に示す。

表 3.2-9　主要ソフトウェア一覧

処理ソフトウェア	実施した処理
『SuperX』JGI 社	データ処理全般
『Gundalf™』Oakwood Computing Associates 社	合成エアガン波形作成
『iVAS』JGI 社	予備速度解析、重合速度解析
『VELANAL』Techco Geophysical Services 社	PSTM 速度解析
『SUMMIG』Techco Geophysical Services 社	PSTM 処理

(2)　データ処理の基本仕様

データ処理の基本仕様を以下に、測地諸元を表 3.2-10 に示す。

1）サンプリング間隔　　：2 msec
2）トレース当たりのサンプル数　　：4,001
3）処理記録長　　：8.0 s
4）共通反射点 CMP 間隔　　：6.25 m

CMP は、共通反射点（Common Mid Point、以下、「CMP」と称する。）の略称である。

表 3.2-10　データ処理で使用した測地諸元

準拠楕円体	WGS84
長半径	6,378,137.00000000 m
短半径	6,356,752.31424500 m
投影法	Universal Transverse Mercator（UTM 図法）
ゾーン	54
座標原点 緯度	00° 00′ 00.000″ N
座標原点 経度	141° 00′ 00.000″ E
縮尺係数	0.999600
北方加数	0.000 m
東方加数	500,000.000 m

(3)　データ処理のフローチャート

図 3.2-5 に反射法データ処理フローチャートを示す。

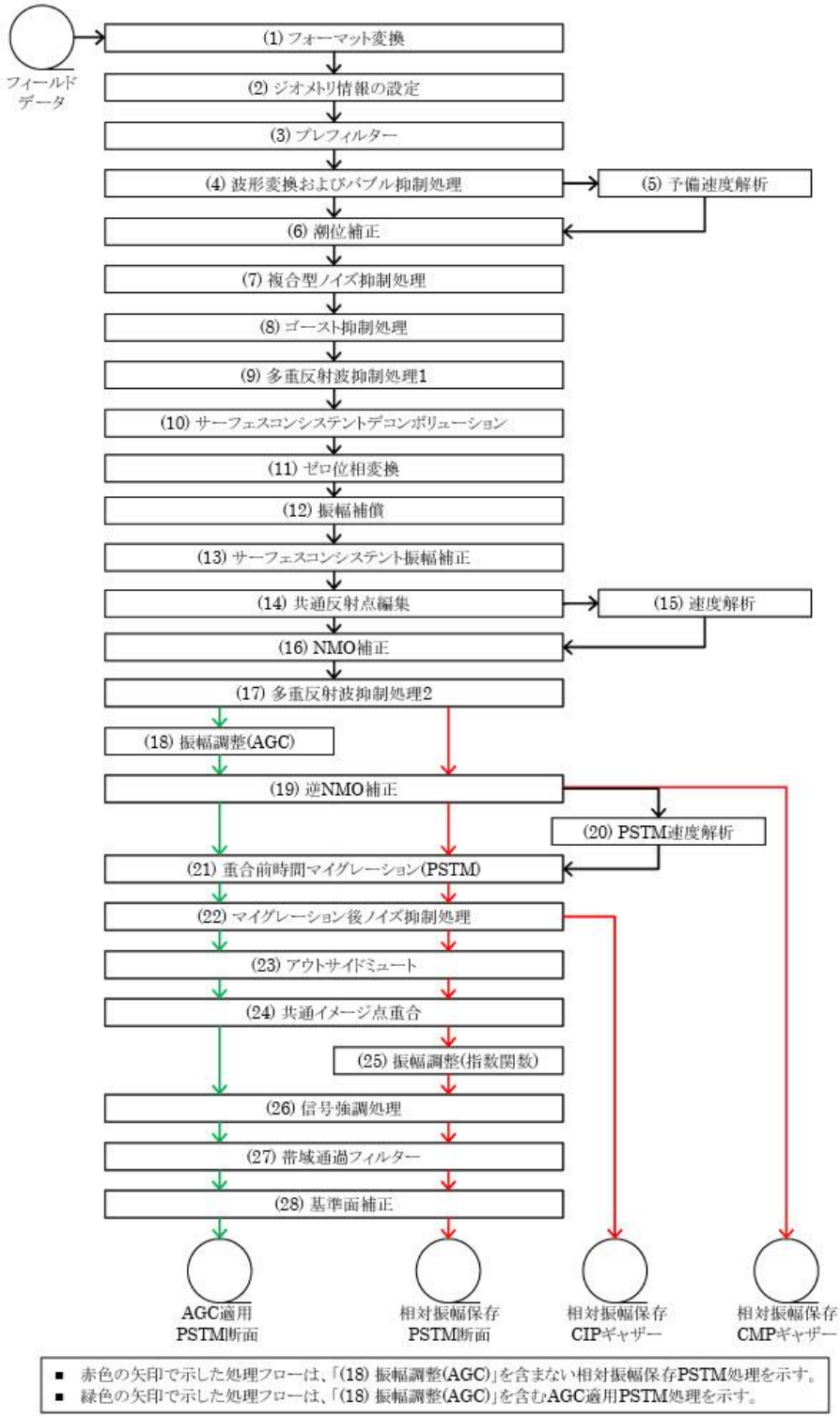


図 3.2-5　反射法データ処理フローチャート

(4) データ処理の詳細

データ処理の詳細について、処理ステップごとに内容を記述する。

1) フォーマット変換

データ取得作業において磁気ディスクに収録された SEG-D フォーマットのフィールドデータをデータ処理ソフトウェアの内部フォーマットへ変換した。

2) ジオメトリ情報の設定

以降に続く処理のために発振点・受振点・CMP に関する情報やその他の諸情報をトレースヘッダーにセットした。

3) プレフィルター

図 3.2-6 に代表的な発振記録の周波数成分解析図を示す。極低周波数の波浪ノイズが確認されたため、帯域通過フィルターを適用し、該当ノイズを抑制した。

4) 波形変換およびバブル抑制

エアガンの型式、容量、配列、および深度の情報を基に作成した合成エアガン波形を用いて、最小位相への変換およびバブル抑制を行った。合成エアガン波形の作成には、Oakwood Computing Associates 社のエアガン波形シミュレーションソフトである Gundalf™ を使用した。

5) 予備速度解析

予備速度解析は、JGI 社の速度解析システム iVAS（Interactive Velocity Analysis System）を使用し、定速度の NMO 補正と重合を用いて重合速度を走査する定速度重合法による速度解析を 1 km 間隔で実施した。ここで得られた速度は、ノイズ抑制処理における一時的な NMO 速度として用いた他、各処理の適用前後の結果を重合記録上で比較・確認するために用いた。

6) 潮位補正

発振作業時の潮汐により生じる走時の差異を補正するため、潮位補正を実施した。結果として見積もられた探査期間中の潮汐による走時差は、1 msec 未満であった。

7) 複合型ノイズ抑制処理

発振記録上に混入する波浪ノイズやその他のランダムノイズ、船舶の航行に起因するノイズの抑制を目的として、共通発振点領域および共通受振点領域において F-X 予測フィルターを、コヒーレントノイズの抑制を目的としてファンフィルターを適用した。図 3.2-7 に重合前ノイズ抑制処理の適用前後の重合記録（一時的に AGC スケーリング）の比較例を示す。

8) ゴースト抑制処理

ストリーマーケーブルを用いた海上探査では、受振器は海底面または海底面下で反射した上方進行波を記録した後、この反射波が受振器を超えて海水面で再度反射した下方進行波を記録する。この下方進行波はゴーストと呼ばれ、海水面の反射係数がほぼ-1 であるために反射波とは逆の極性を持つ。これにより、受振器深度と海水中の平均速度（海水速度）により決まるノッチ周波数周辺の振幅が顕著に減衰してしまう。同様の現象は、発振点においても発生する。これらの影響を取り除くため、発振ゴーストと受振器ゴーストの両方のゴースト抑制を実施した。

9) 多重反射波抑制処理 1

海水面に起因する短周期および長周期の多重反射波、層間多重反射波等の短周期の多重反射波の抑制を目的として、複数の手法を組合わせて多重反射波抑制処理を実施した。

ⅰ）Shallow Water Demultiple（以下、「SWD」と称する。）法

浅海域における海底面を介在する短周期の多重反射波を抑制するため SWD 法を適用した。SWD 法は波動方程式に準拠する多重反射波抑制手法であり、海底深度から海底面反射波をモデリングし、これを用いて多重反射波を予測する。SWD 法により予測された多重反射波モデルを原記録とマッチングさせた後に原記録から減ずることにより多重反射波を抑制した。本処理は比較的水深が浅く、ⅱ)SREM 法のみでは十分な抑制効果が得られない測線に限定（測線 SA-21-1～15、A～I）して適用した。

ⅱ）Surface Related Multiple Elimination（以下、「SRME」と称する。）法

海水面を介在する長周期の多重反射波の抑制を目的として、SRME 法を適用した。SRME 法は、波動方程式に準拠する多重反射波抑制手法であり、原記録の共通発振点記録と共通受振点記録のクロスコンボリューションを計算することにより、多重反射波を予測する。この予測された多重反射波モデルを原記録とマッチングさせ、原記録から減ずることにより多重反射波を抑制した。

ⅲ）ラディアル・トレース・デコンボリューション

層間多重反射波等の短周期多重反射波抑制を目的として、ラディアル・トレース領域においてデコンボリューションを適用した。

ラディアル・トレース記録は、空間－時間領域のデータを振源からの見かけ速度が一定な直線に沿ってリサンプリングし、見かけ速度－時間領域に変

換したものである。振源からある射出角で出た反射波およびそれに起因する多重反射波は、同じ見かけ速度を持つ。通常の空間－時間領域の記録上では、同一トレースに出現する反射波と多重反射波は、対応する射出角が異なり、出現間隔も一定ではない。一方、ラディアル・トレース記録上では、理論上、同一トレースにおいて時間方向に等間隔で出現する。これらの性質を利用し、ラディアル・トレース領域においてデコンボリューションを適用することで、多重反射波を抑制した。

10) サーフェス・コンシステント・デコンボリューション

地層の非弾性および観測系の諸特性の影響を取り除き、短周期の多重反射波を抑制することを目的として、サーフェス・コンシステント・デコンボリューションを適用した。

本処理では、各発振点における差分応答を用いて波形の均等化を行うとともに基本波形のパルス化を行った。周波数領域における各トレースの平均スペクトルからのずれを発振点・受振点・CMP・オフセットの 4 成分に分解し、各トレースにおいて平均スペクトル・発振点成分を用いてデコンボリューションオペレータを設計し、適用した。

11) ゼロ位相変換

デコンボリューションを扱う処理完了後、波形のゼロ位相化を行った。位相変換オペレータは、ニアトレース記録において海底面反射波から抽出した波形を用いて作成した。

12) 振幅補償

振源から放出される弾性波は、三次元的に伝播することによる幾何学的発散効果、多層構造内を透過および反射することによる伝播損失、そして非弾性減衰による振幅の減衰を被っている。本データ処理では、地中を伝播する弾性波の幾何学的発散効果による振幅の減衰を補償した。手法として、水平成層構造を仮定したゼロオフセット距離において成立する以下の式（Newman,1973[1)] による）を用いた。この式に必要な二乗平均平方根（Root Mean Square、以下、「RMS」と称する。）速度として、「5) 予備速度解析」で求めた速度関数を用いた。

$G(x,t) = T \times Vrms(T_0)^2 / V_1$

$T = SQRT(T_0^2 + (X / Vrms(T_0))^2)$

G(x,t)　　：振幅補償関数

T　　：往復走時

T_0　　：ゼロオフセット距離における垂直往復走時

X　　：オフセット距離

Vrms　　：垂直往復走時（T_0）における RMS 速度

V_1　　：最上層における RMS 速度

13) サーフェス・コンシステント振幅補正

各発振点において、振幅のばらつきを取り除くことを目的として、サーフェス・コンシステント振幅補正を適用した。反射波の振幅を発振点・受振点・CMP・オフセットの 4 成分に分解し、発振点の成分について振幅補正を適用した。

14) 共通反射点（CMP）編集

「2) ジオメトリ情報の設定」において定義した重合測線に従い共通反射点編集を実施した。

15) 重合速度解析

重合速度解析は、JGI 社の速度解析システム iVAS を使用し、定速度重合法による速度解析を 500 m 間隔で実施した。

16) NMO 補正

15)重合速度解析により求めた速度関数を時間－空間方向に内外挿し、その速度テーブルに従って NMO 補正を適用した。

17) 多重反射波抑制処理 2（高分解能放物線ラドン変換法）

長周期の多重反射波とムーブアウトの大きなノイズの抑制を目的として、共通反射点領域において高分解能放物線ラドン変換法を適用した。高分解能放物線ラドン変換法は、一次反射波と多重反射波との間の走時差を利用し、多重反射波を抑制する手法であり、特に長周期の多重反射波を効果的に抑制する手法である。図 3.2-8 に多重反射波抑制処理前後の重合記録の比較例を示す。

18) 振幅調整（AGC）

振幅バランスを整えるため、AGC を適用した。相対振幅を保存する処理では本処理を実施しなかったい。

19)逆 NMO 補正

後述の重合前時間マイグレーションのために「16) NMO 補正」と同じ速度関数を用いて逆 NMO 補正を行った。

ここまでのデータ処理が適用された結果を「相対振幅保存 CMP ギャザー」として SEG-Y ファイルに出力した。

20) PSTM 速度解析

PSTM 速度解析は、TECHCO 社の速度解析ソフトウェア VELANAL 施した。図 3.2-9(1)～(29)に後述する最終的な PSTM 記録に重ねた速度プロファイル（RMS 速度）を示す。

ここで得られた最終速度解析データを「PSTM 速度データ」としてテキストファイルおよび SEG-Y ファイルに出力した。

21) 重合前時間マイグレーション（PSTM）

重合前データの見かけの反射点位置を真の反射点位置に移動させるとともに、回折波を回折点に収斂させるため、「20) PSTM 速度解析」にて求めた速度を用いて、PSTM を適用した。本データ処理では、SUMMIG を用いた共通オフセット領域におけるキルヒホッフ積分法マイグレーションを採用した。

22) PSTM 後ノイズ抑制処理

PSTM 後の共通イメージ点（CIP）記録に対して、残存するノイズを抑制するため、ファンフィルターを適用した。

23) アウトサイドミュート

重合効果や分解能を低下させるデータの除去を目的として、アウトサイドミュートを適用した。

ここまでのデータ処理が適用された結果を「CIP 記録」として SEG-Y ファイルに出力した。ただし、出力したデータにはアウトサイドミュートは適用せず、ミュート位置をトレースヘッダーに保存した。

24) 共通イメージ点（CIP）重合

CIP ごとにトレースの重合を行った。重合トレース数にて除算を行い、振幅の正規化を行った。

25) 振幅調整（指数関数型）

重合記録における振幅バランスを整えるため、指数関数型の振幅調整を適用した。AGC を適用した処理では本処理を適用していない。

26)信号強調処理

ランダムノイズを抑制し、反射波の連続性を向上させるため、F-X 予測フィルターを適用した。

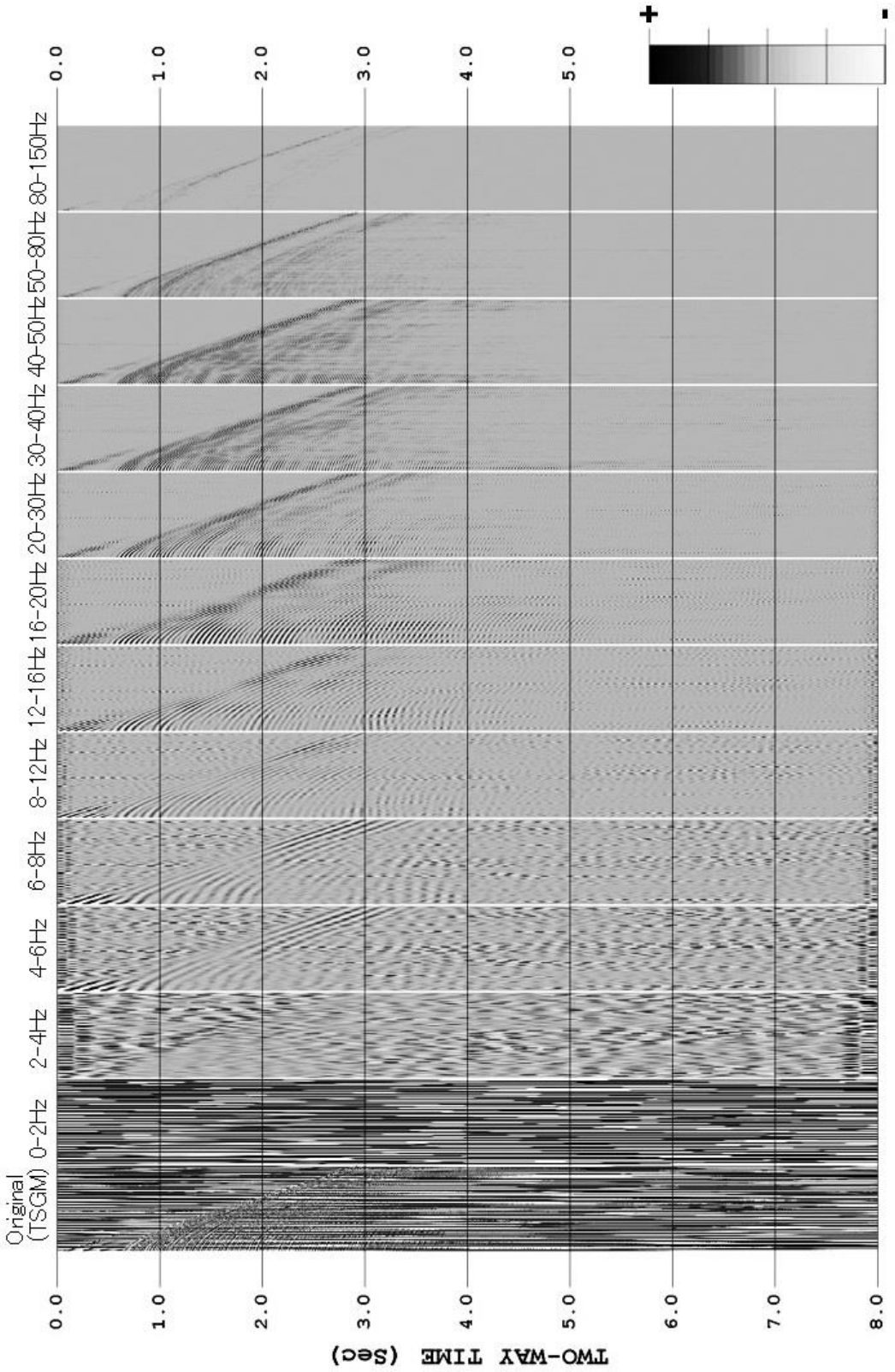
27) 帯域通過フィルター

反射波の周波数帯域外のノイズを抑制するため、帯域通過フィルターを適用した。通過帯域は時間可変に設定した。

28) 基準面補正

浮動基準面から基準面への補正を行った。基準面は平均海水面（Mean Sea Level:MSL）とした。図 3.2-10(1)～(29)に AGC を適用した最終的な PSTM 処理結果を示す。

ここまでのデータ処理が適用された結果を「PSTM 記録」として SEG-Y ファイルに出力した。



注）図面表示のために AGC を一時的に適用

図 3.2-6　周波数成分解析図（SA-21-7 測線、SP1700）

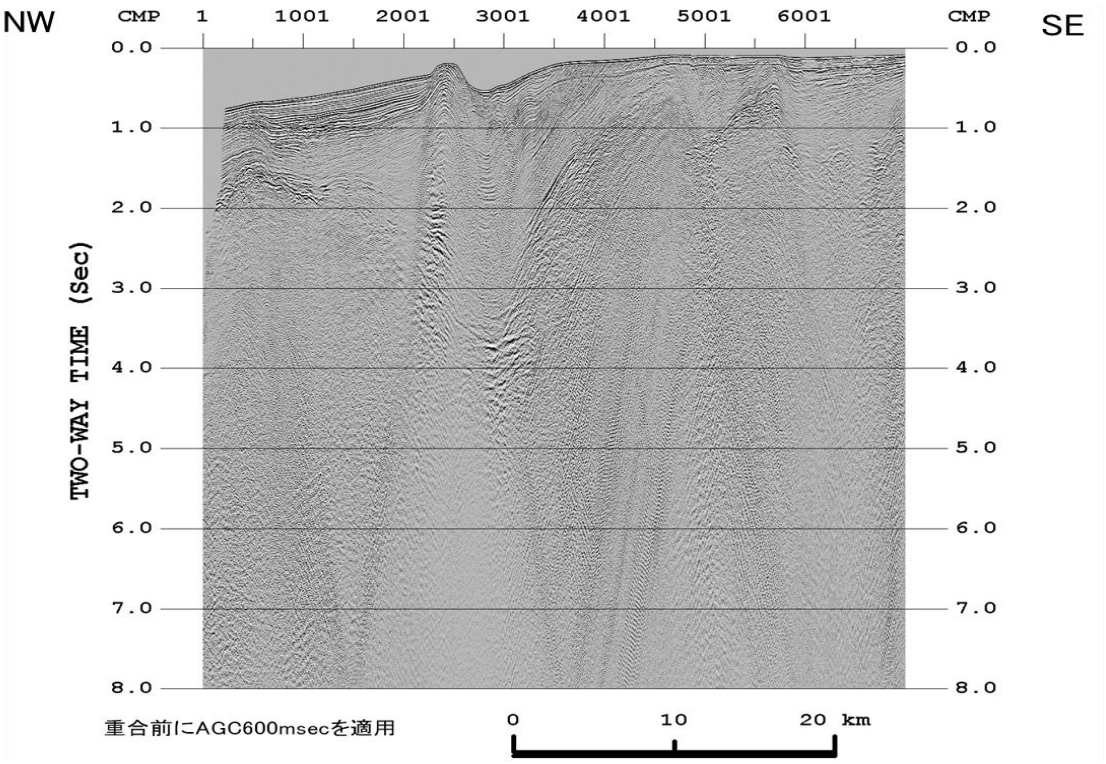


図 3.2-7(1)　重合前ノイズ抑制処理適用前の重合記録（SA-21-1 測線）

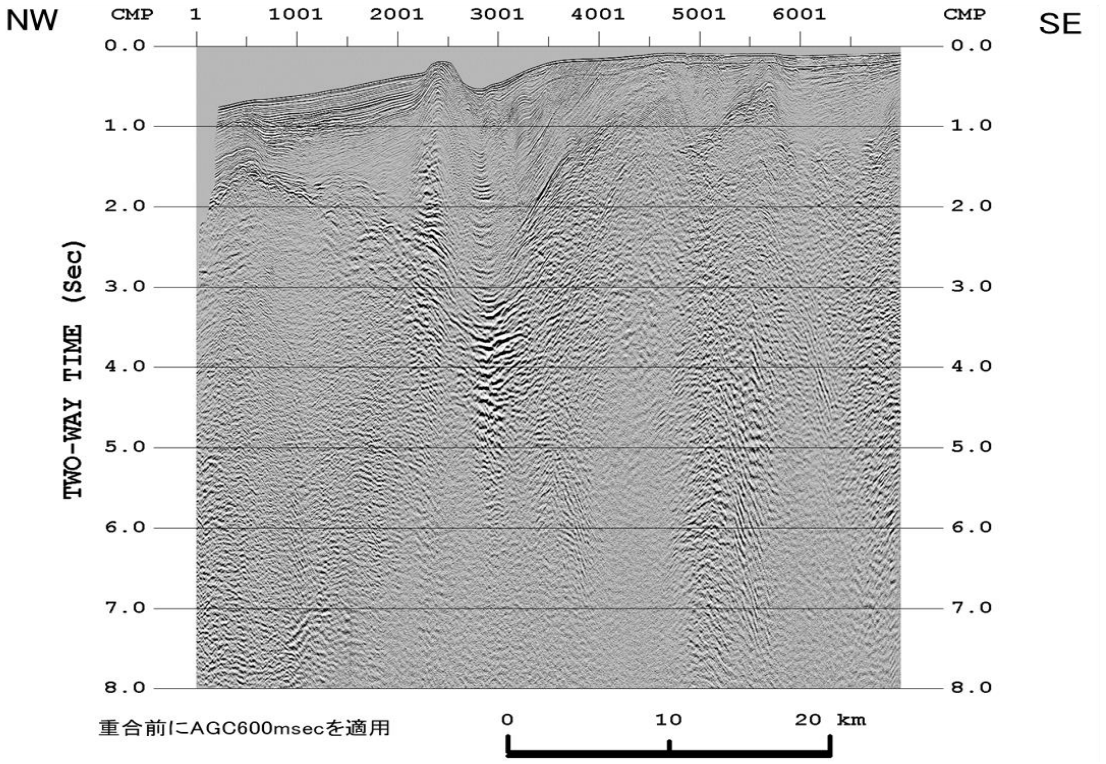


図 3.2-7(2)　重合前ノイズ抑制処理適用後の重合記録（SA-21-1 測線）

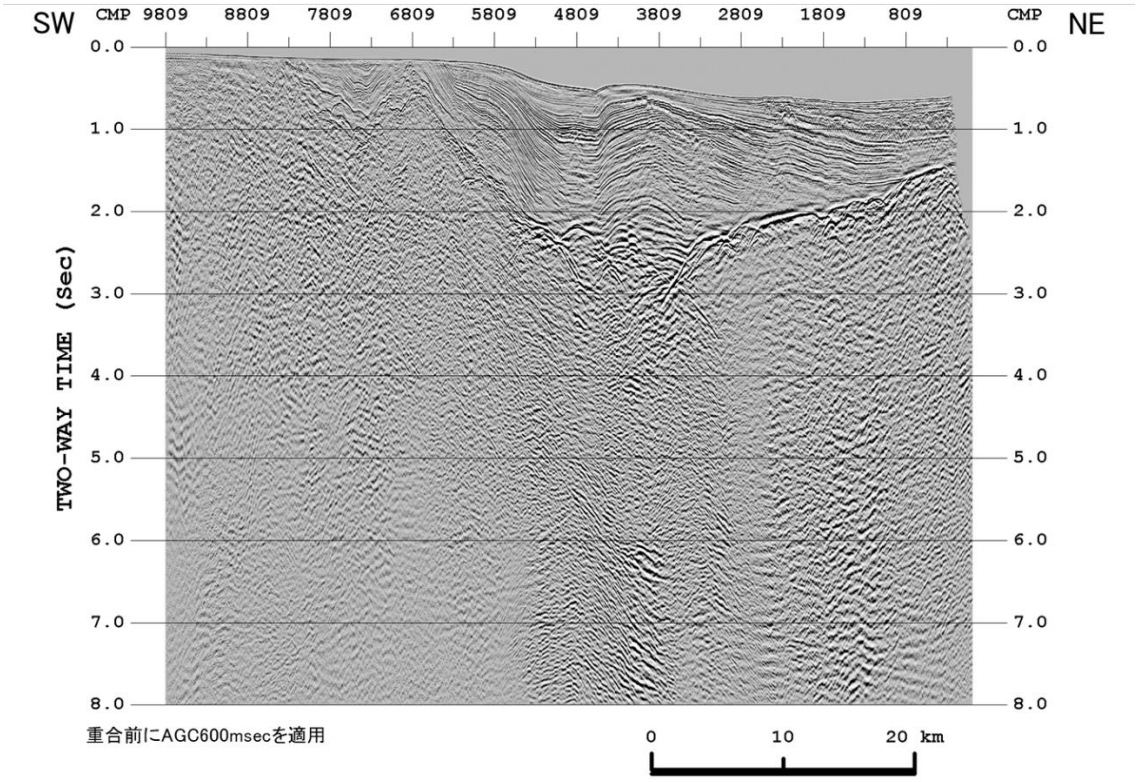


図 3.2-8(1)　多重反射波抑制処理適用前の重合記録（SA-21-G 測線）

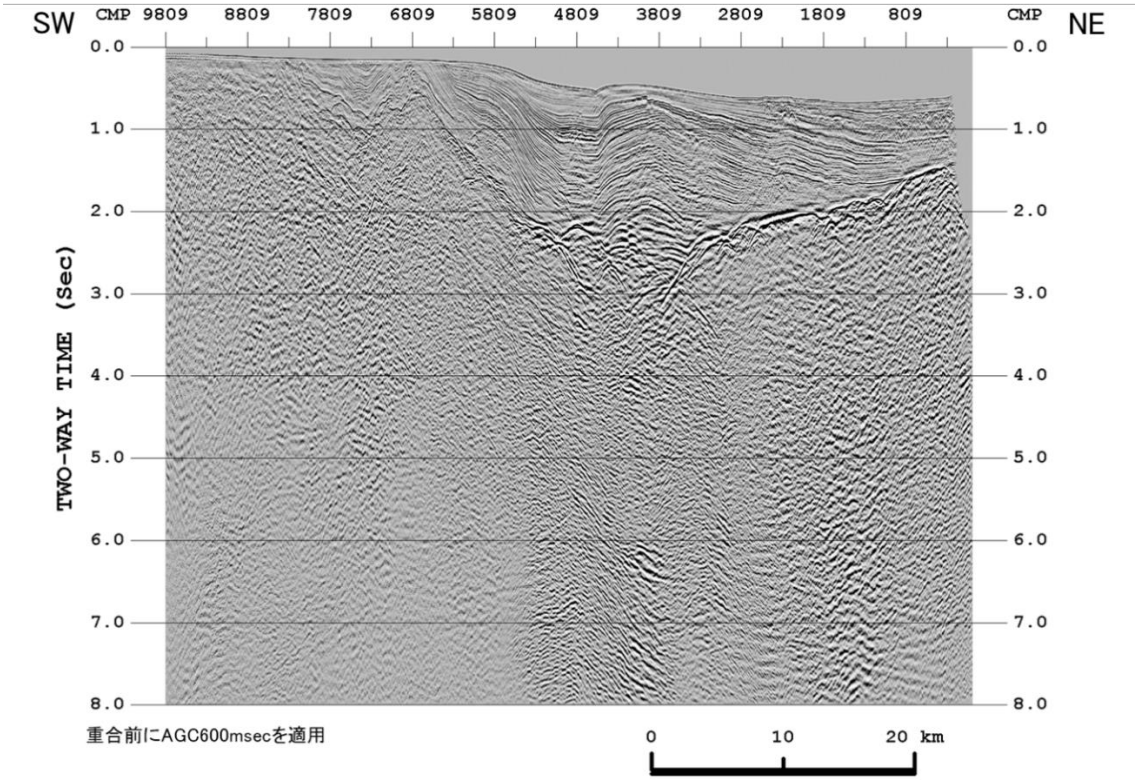


図 3.2-8(2)　多重反射波抑制処理適用後の重合記録（SA-21-G 測線）

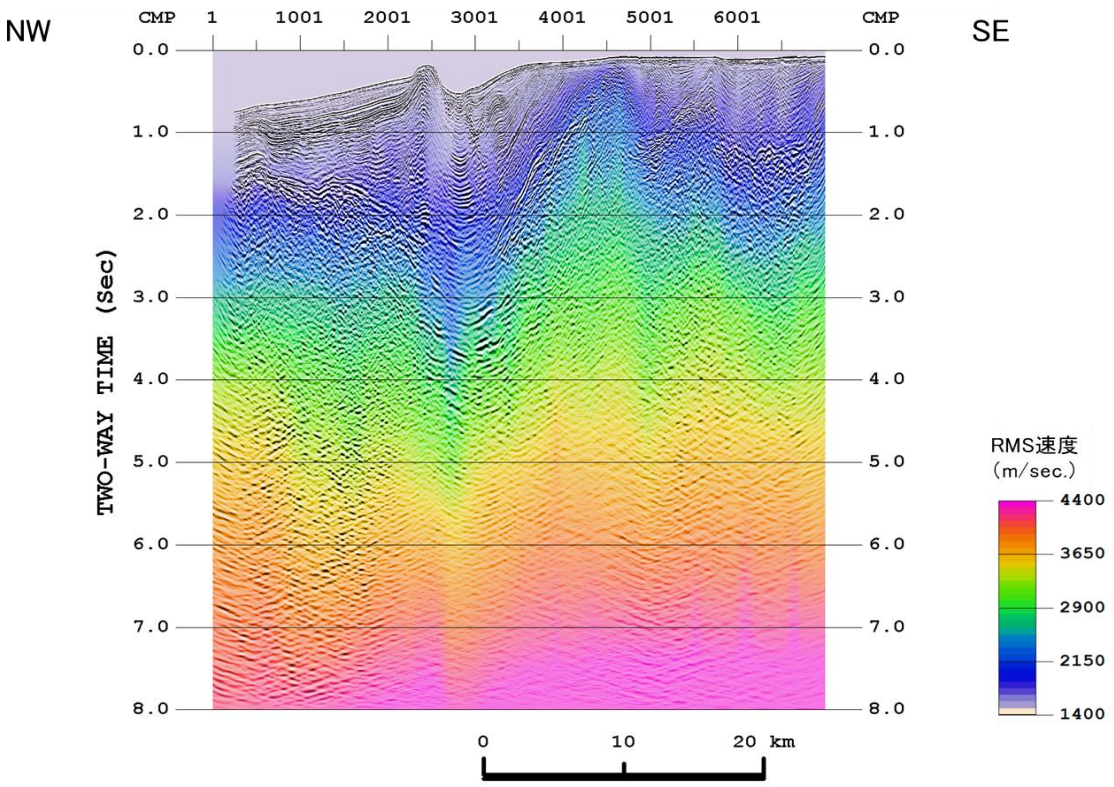


図 3.2-9(1)　RMS 速度プロファイル（SA-21-1 測線）

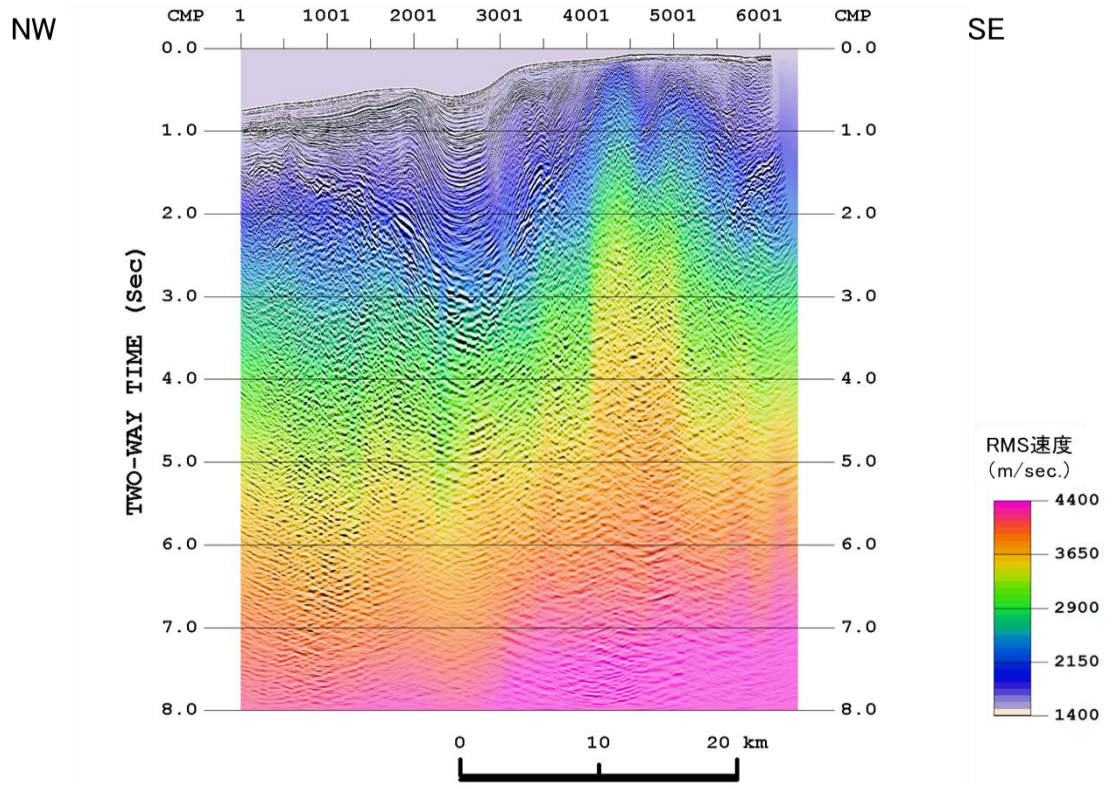


図 3.2-9(2)　RMS 速度プロファイル（SA-21-2 測線）

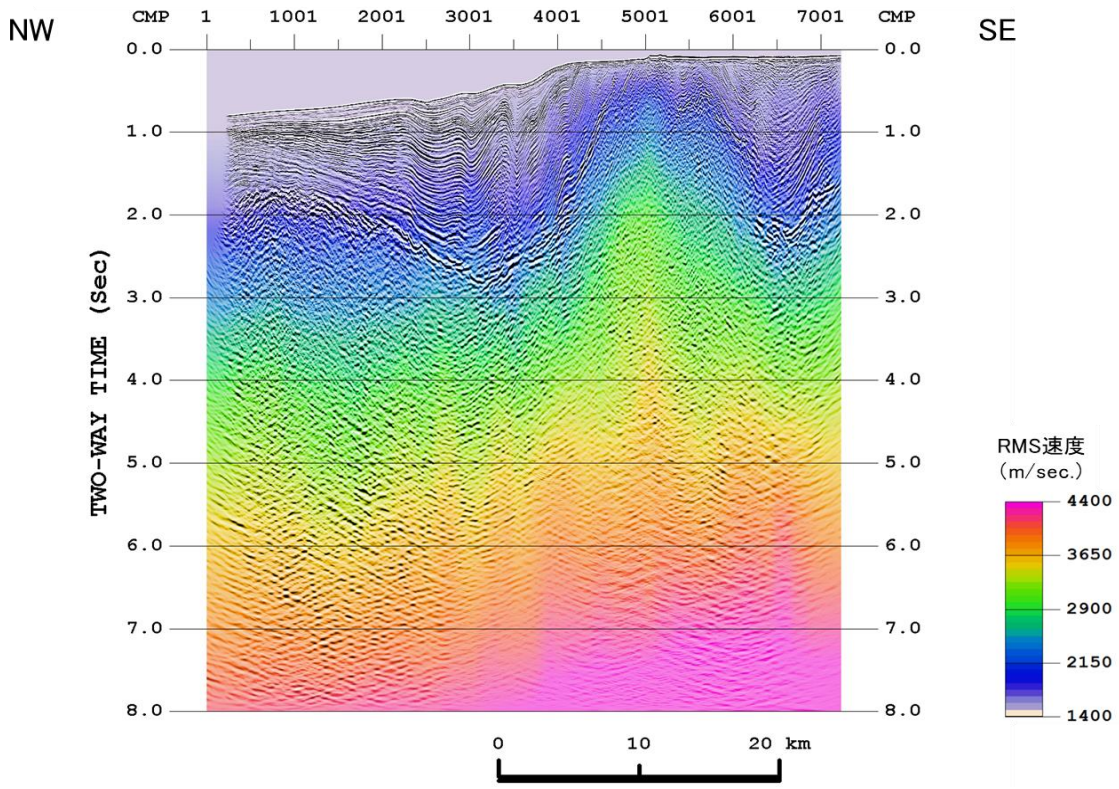


図 3.2-9(3)　RMS 速度プロファイル（SA-21-3 測線）

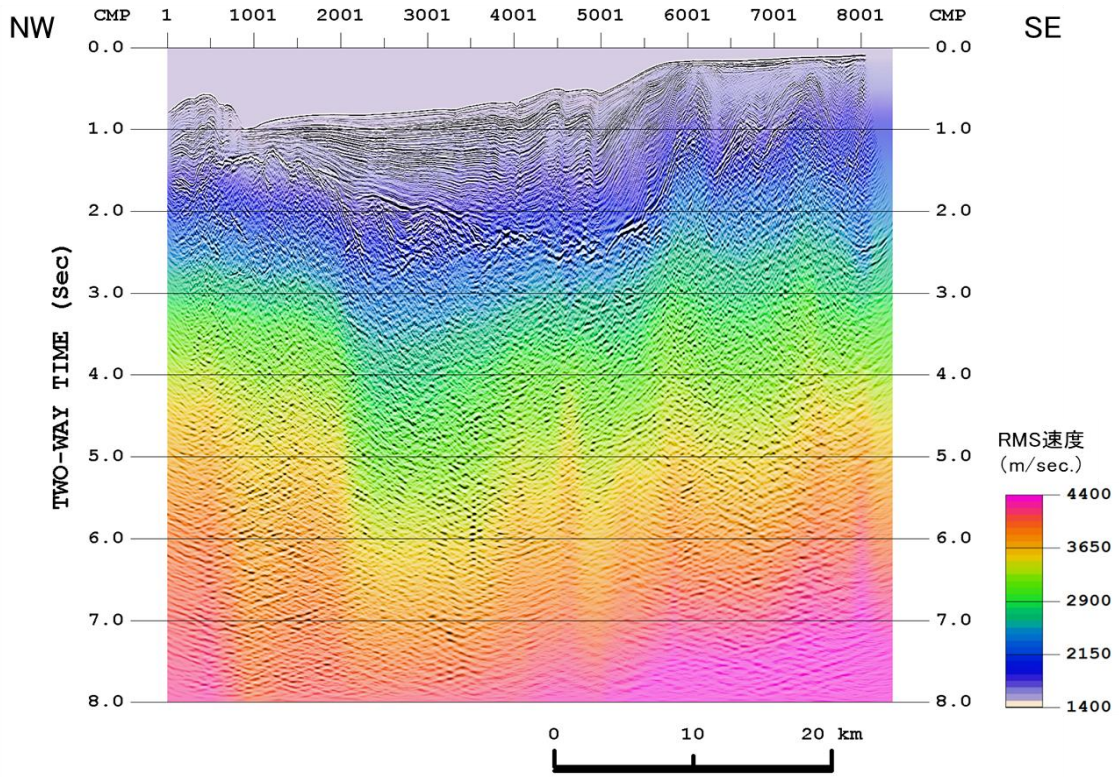


図 3.2-9(4)　RMS 速度プロファイル（SA-21-4 測線）

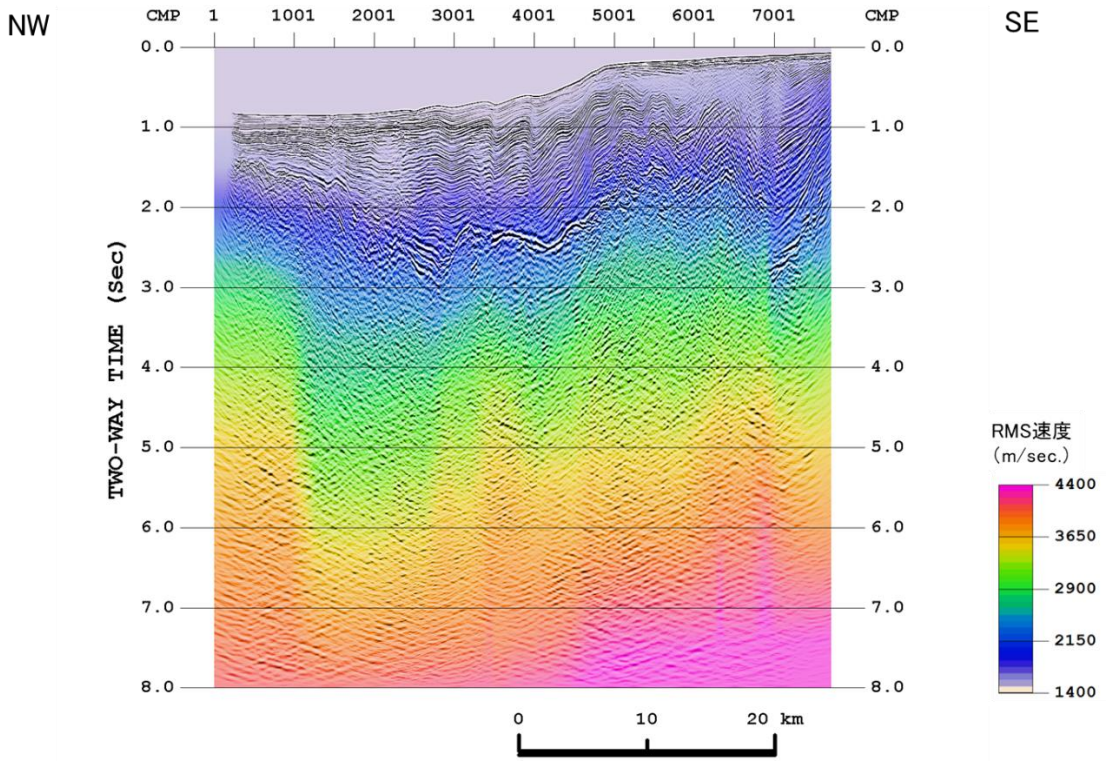


図 3.2-9(5)　RMS 速度プロファイル（SA-21-5 測線）

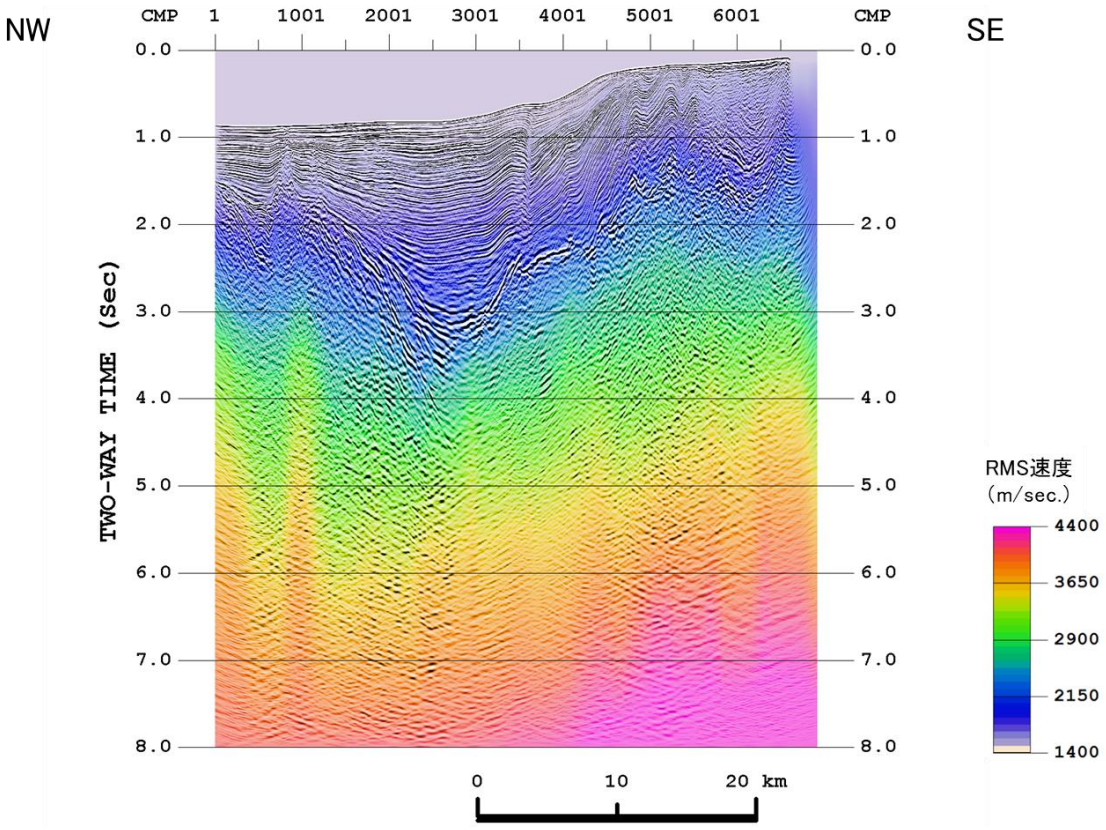


図 3.2-9(6)　RMS 速度プロファイル（SA-21-6 測線）

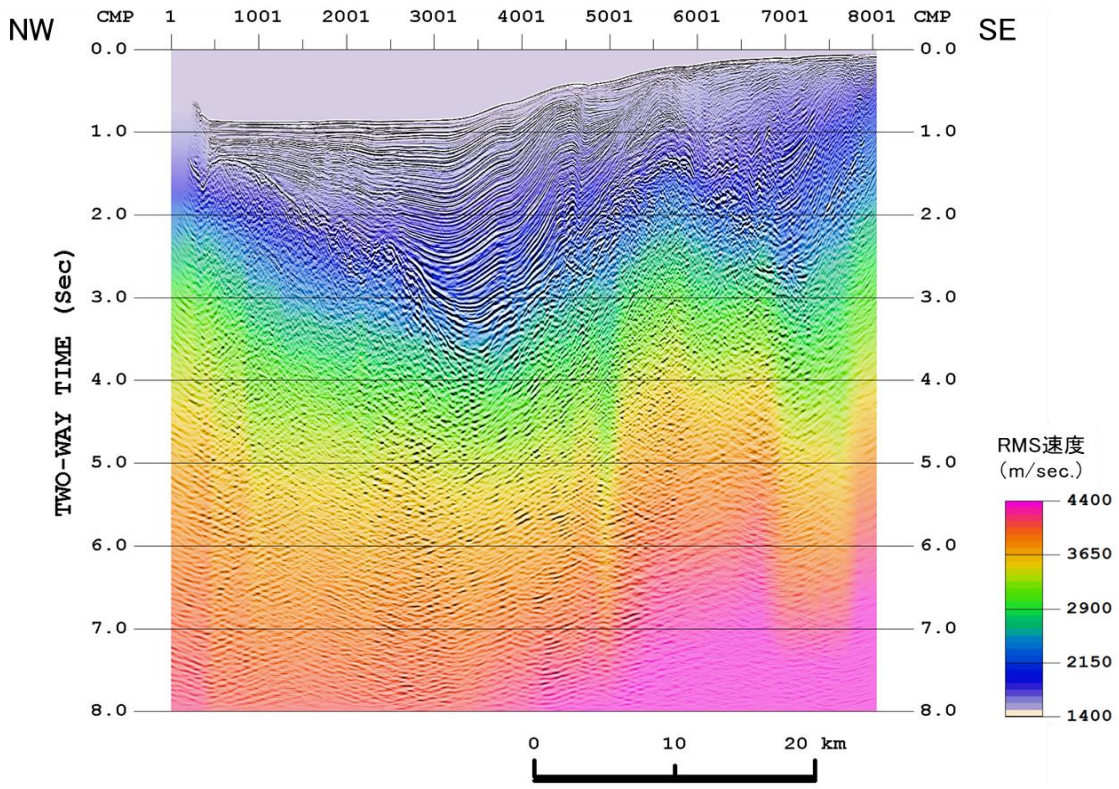


図 3.2-9(7)　RMS 速度プロファイル（SA-21-7 測線）

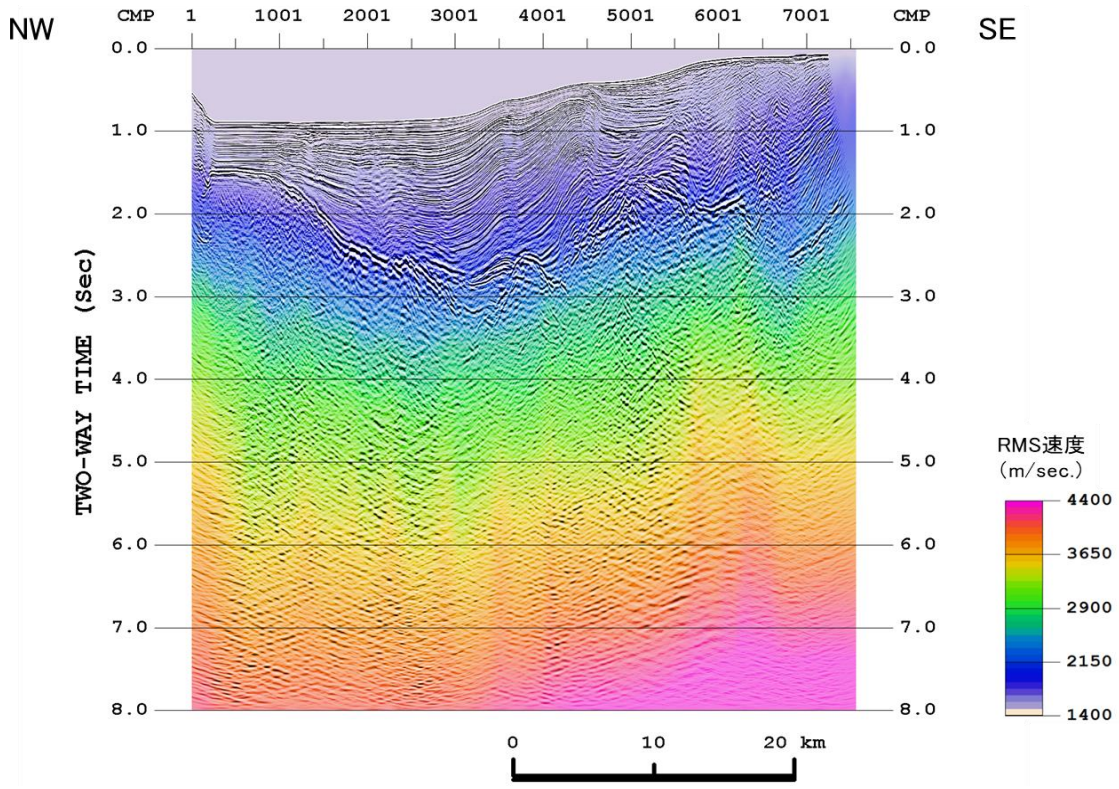


図 3.2-9(8)　RMS 速度プロファイル（SA-21-8 測線）

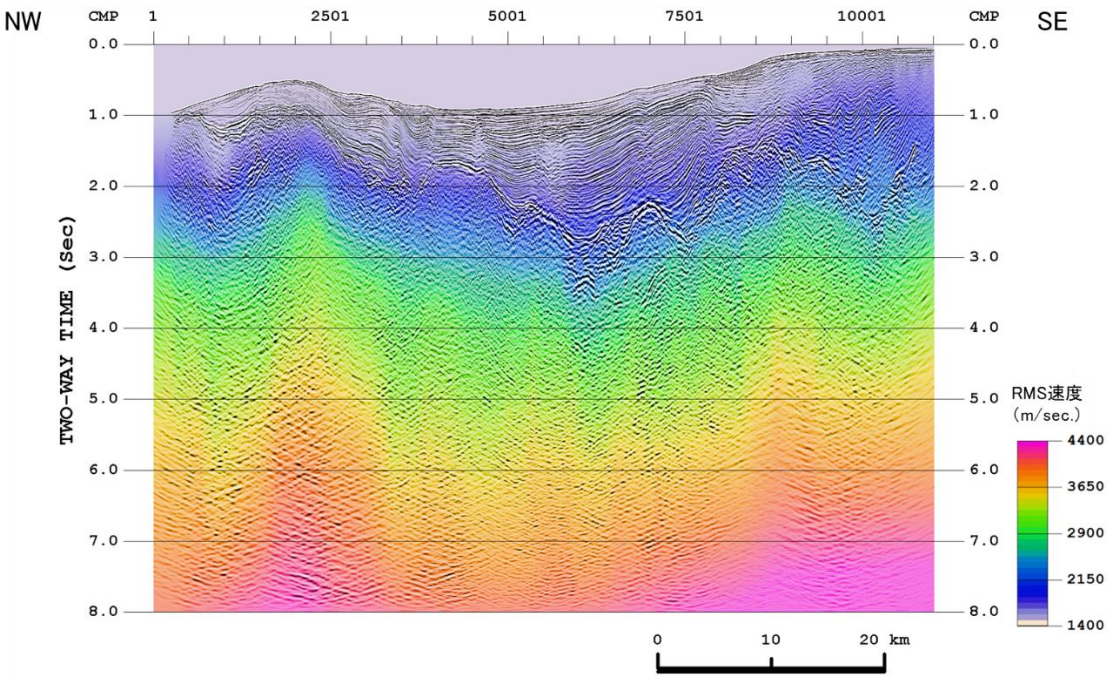


図 3.2-9(9)　RMS 速度プロファイル（SA-21-9 測線）

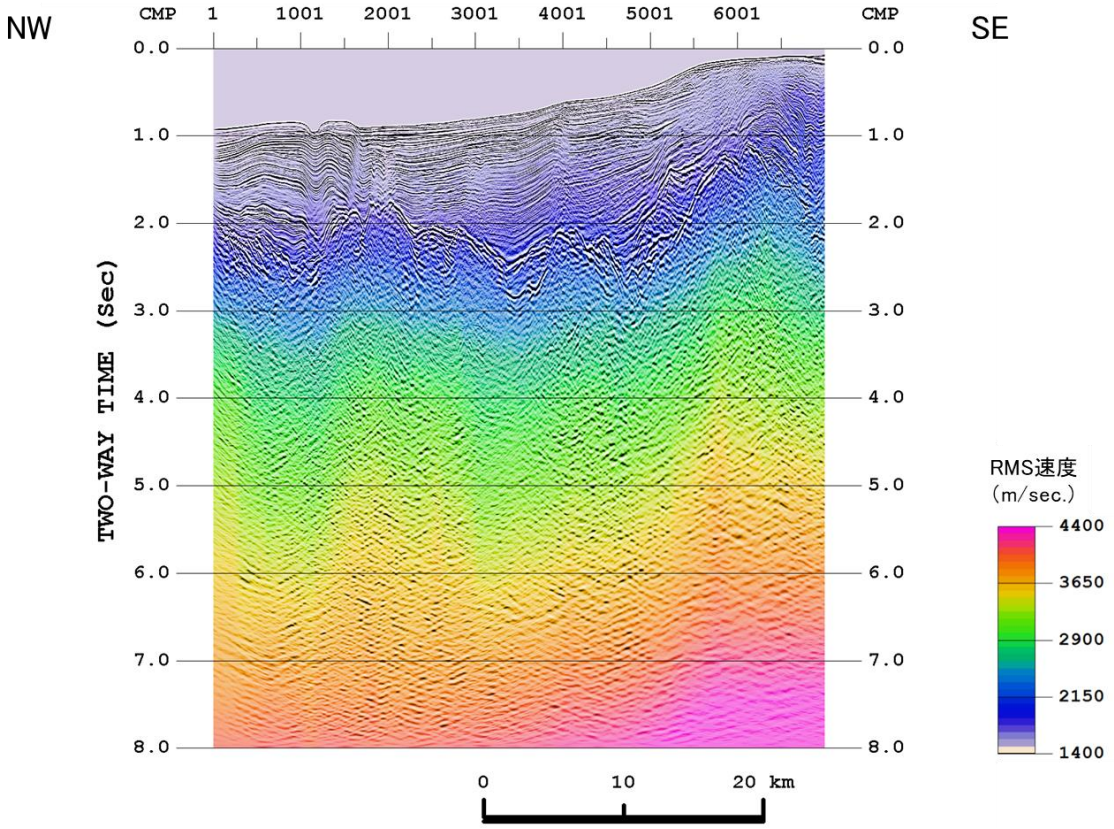


図 3.2-9(10)　RMS 速度プロファイル（SA-21-10 測線）

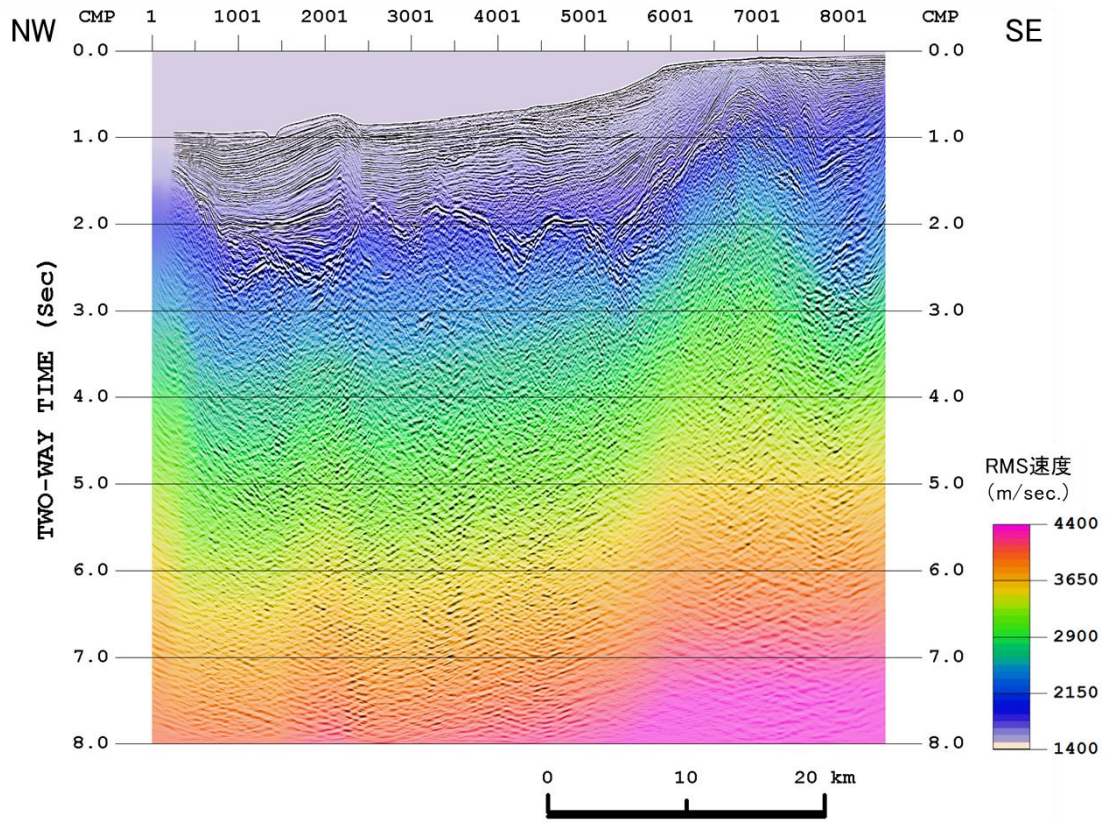


図 3.2-9(11)　RMS 速度プロファイル（SA-21-11 測線）

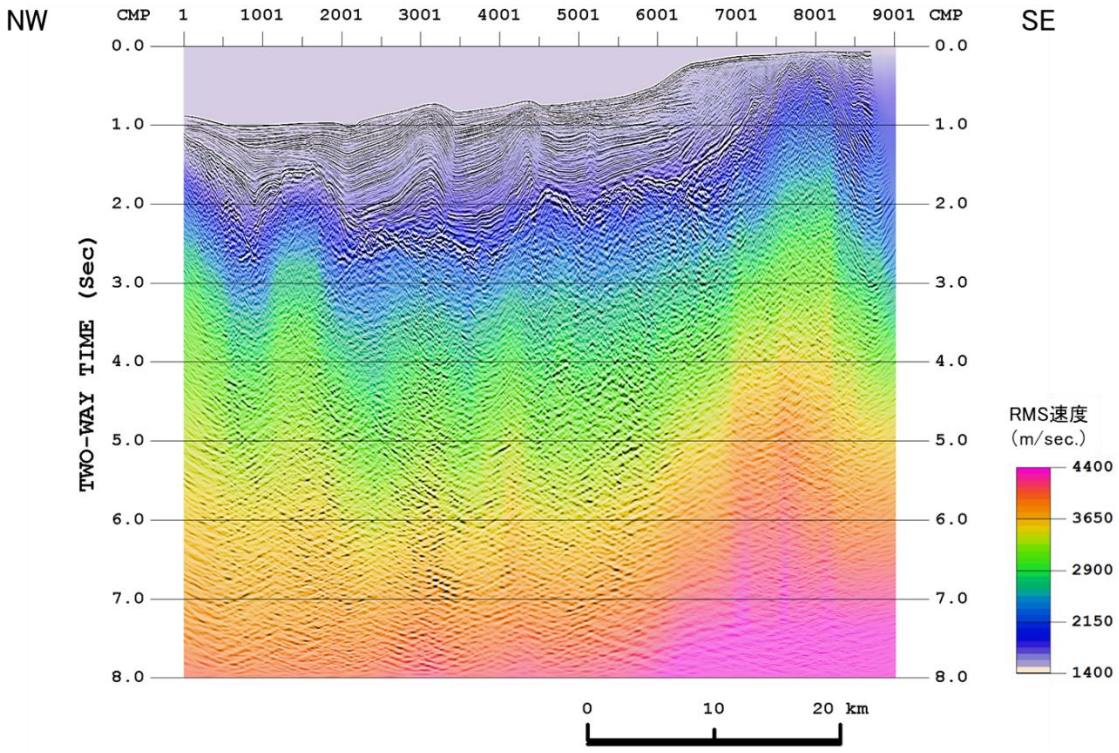


図 3.2-9(12)　RMS 速度プロファイル（SA-21-12 測線）

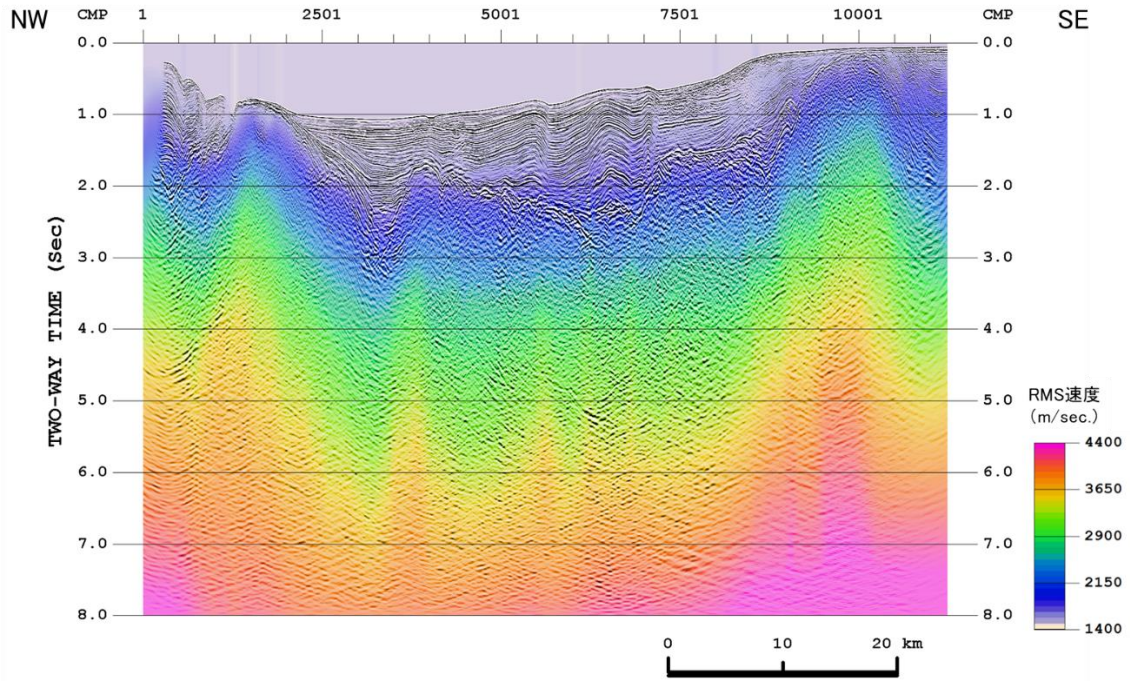


図 3.2-9(13)　RMS 速度プロファイル（SA-21-13 測線）

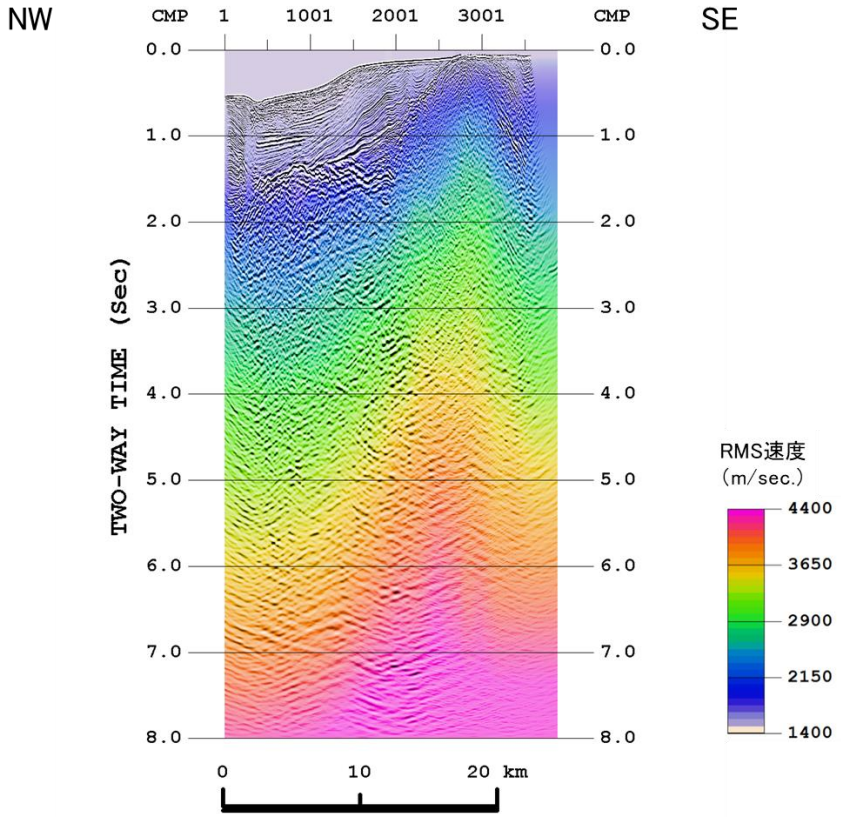


図 3.2-9(14)　RMS 速度プロファイル（SA-21-14 測線）

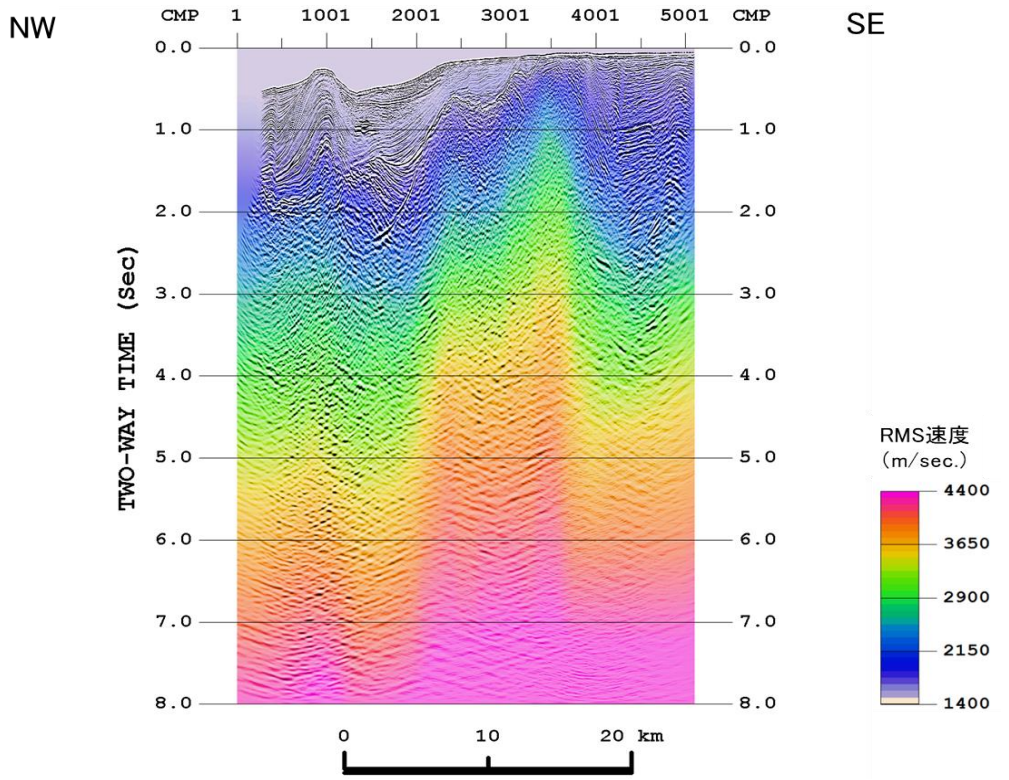


図 3.2-9(15)　RMS 速度プロファイル（SA-21-15 測線）

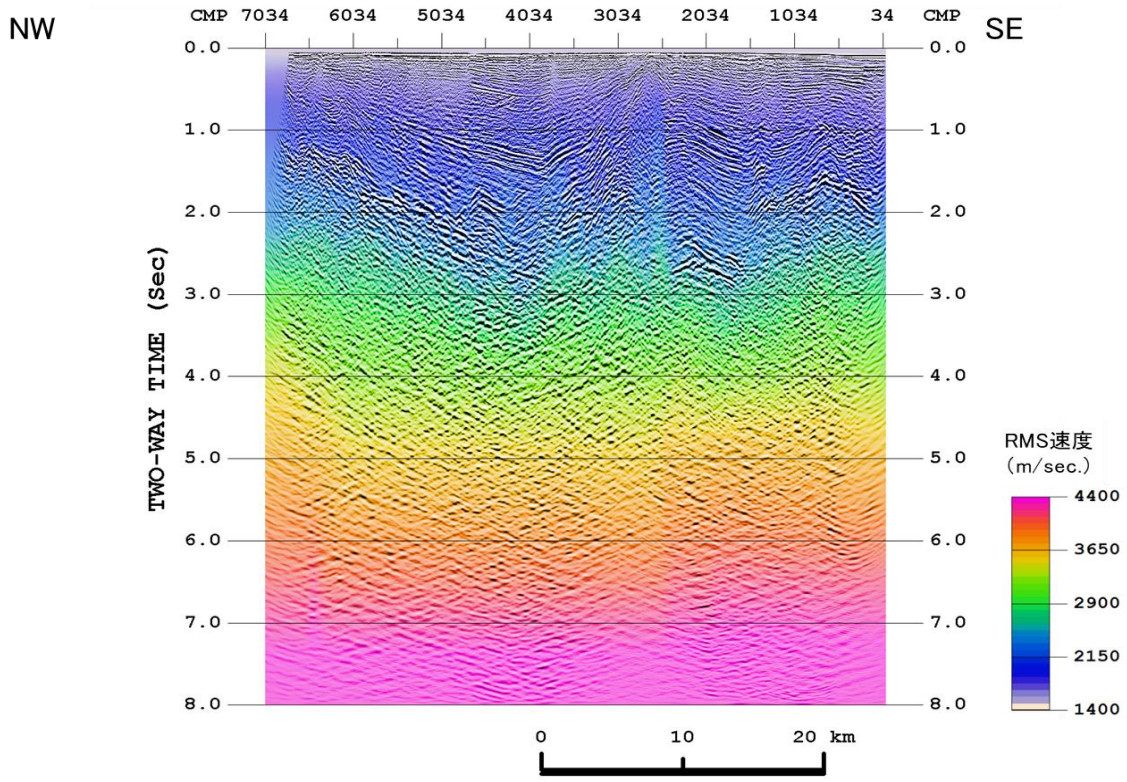


図 3.2-9(16)　RMS 速度プロファイル（SA-21-A 測線）

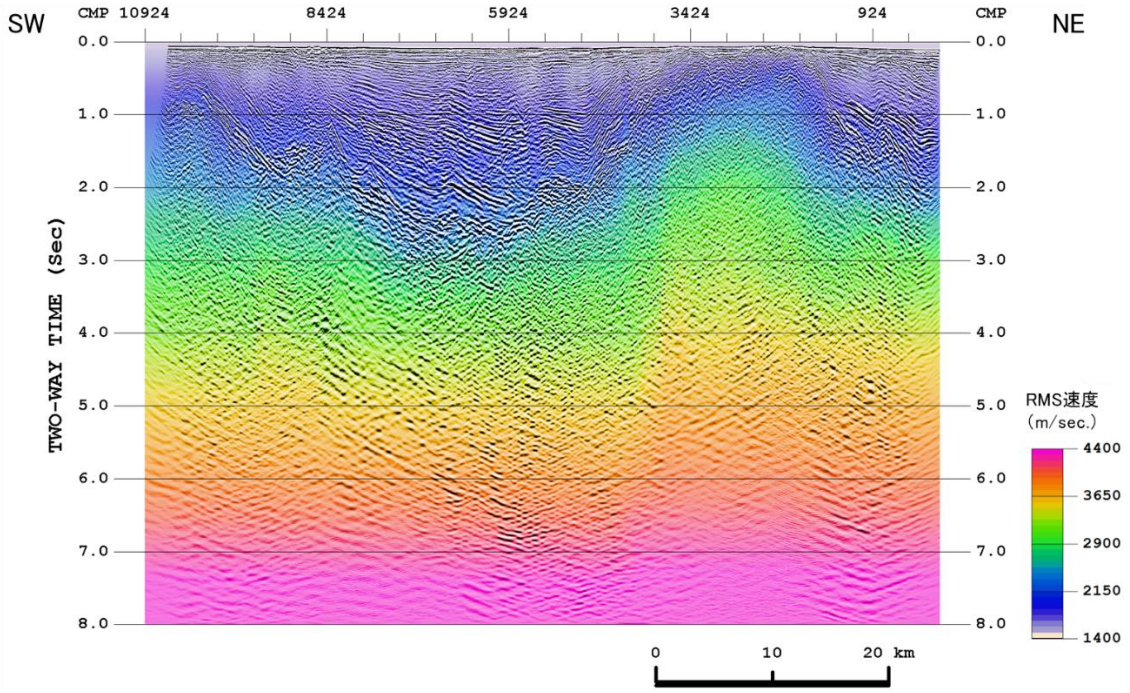


図 3.2-9(17)　RMS 速度プロファイル（SA-21-B 測線）

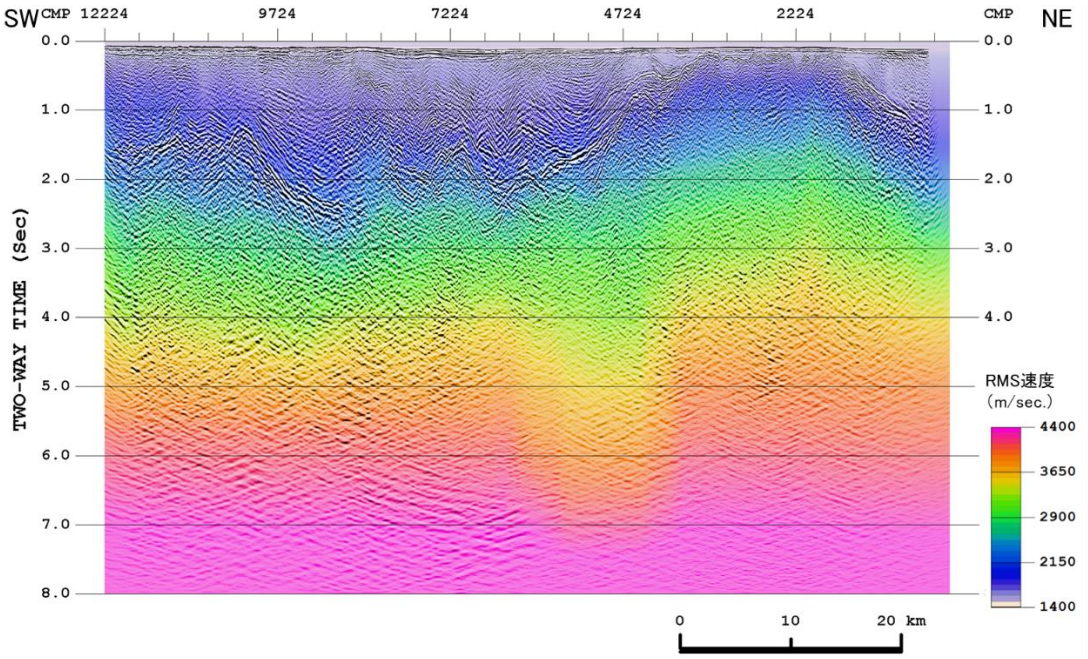


図 3.2-9(18)　RMS 速度プロファイル（SA-21-C 測線）

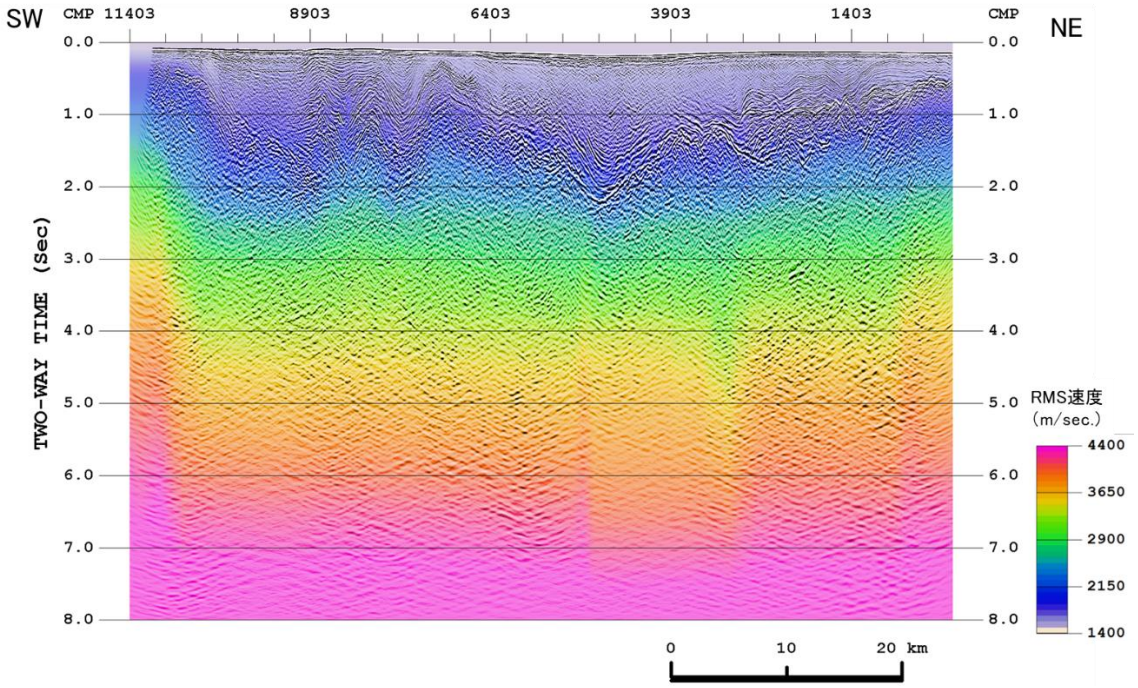


図 3.2-9(19)　RMS 速度プロファイル（SA-21-D 測線）

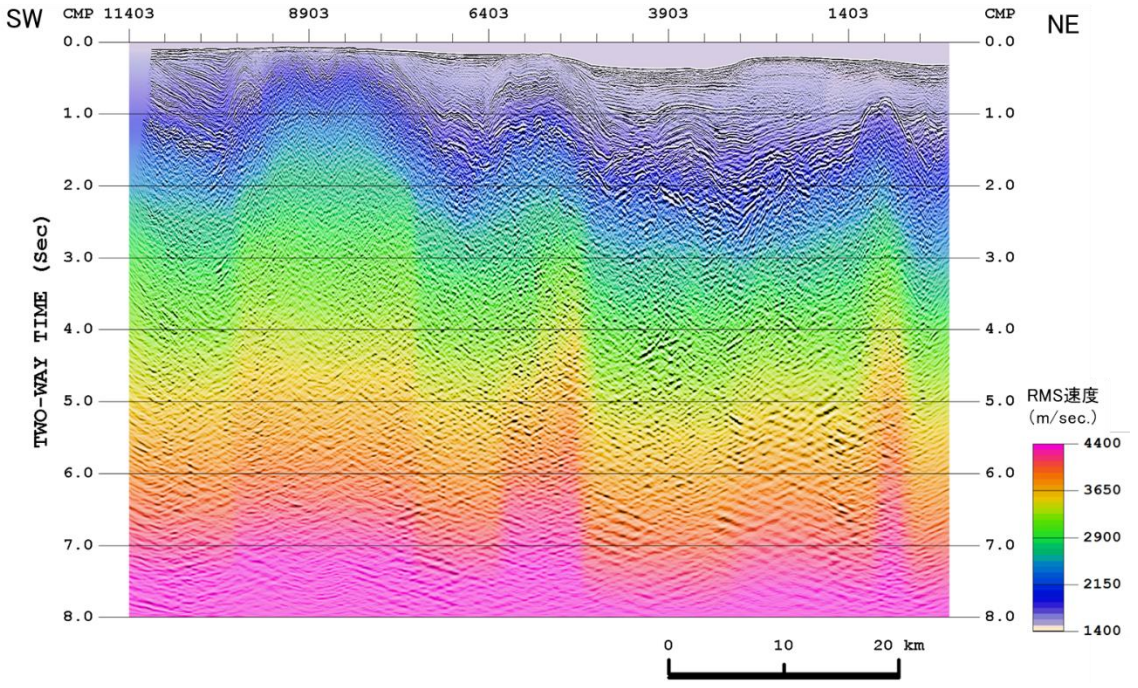


図 3.2-9(20)　RMS 速度プロファイル（SA-21-E 測線）

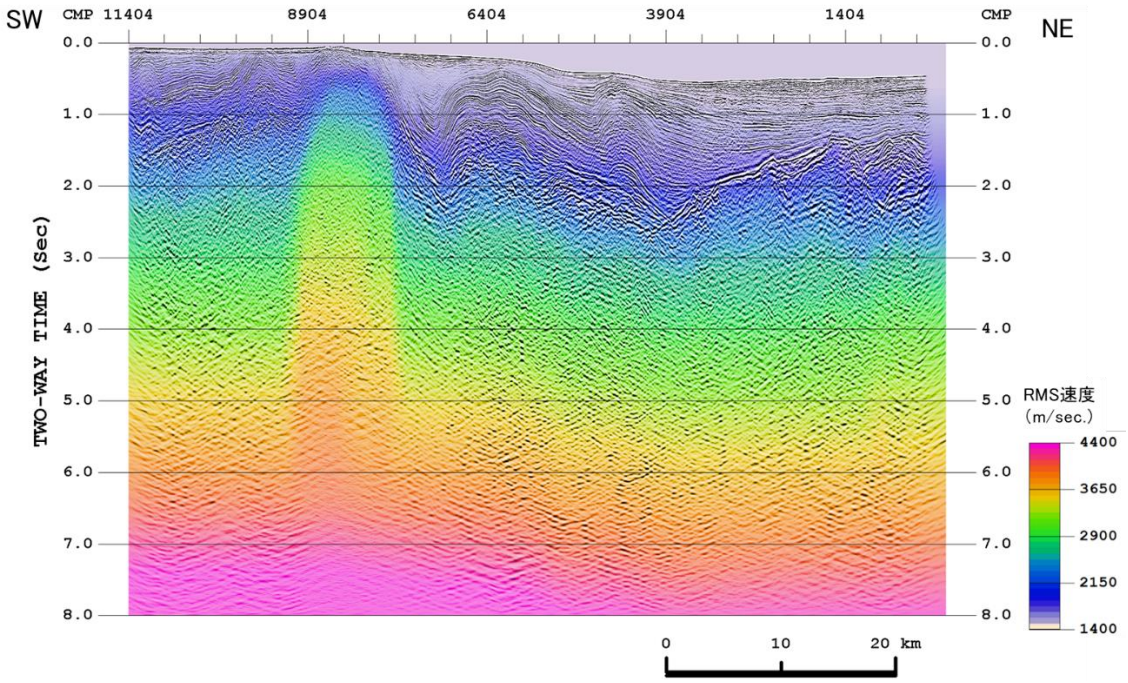


図 3.2-9(21)　RMS 速度プロファイル（SA-21-F 測線）

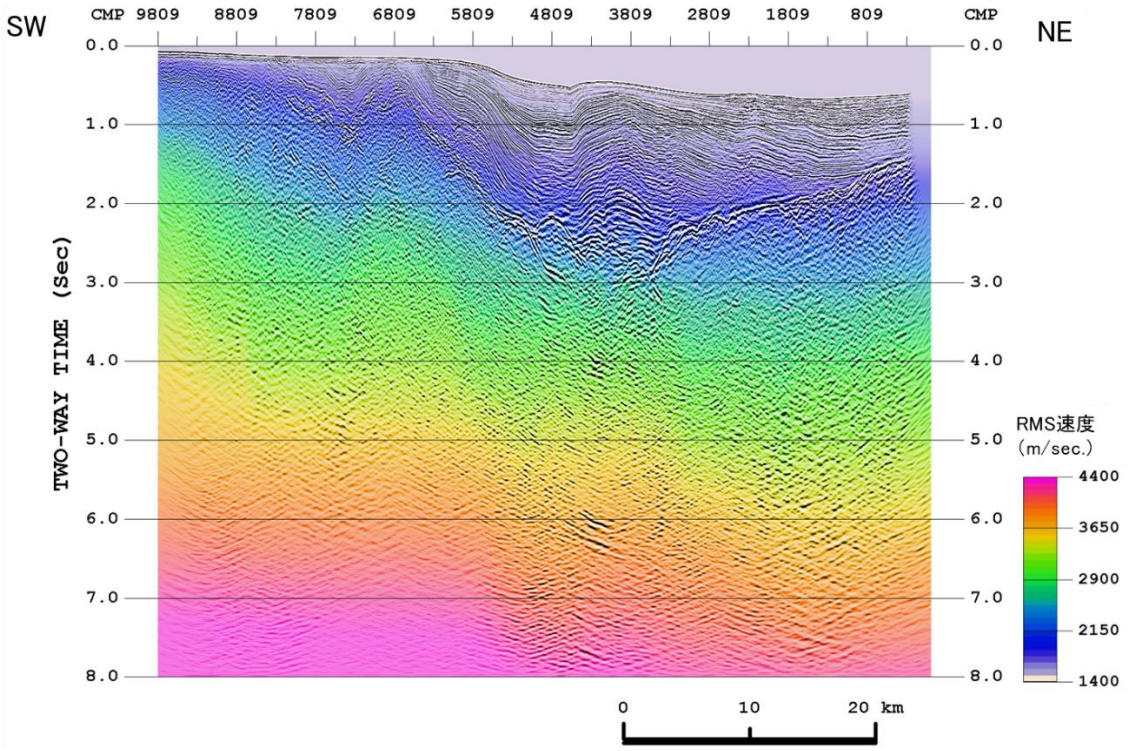


図 3.2-9(22)　RMS 速度プロファイル（SA-21-G 測線）

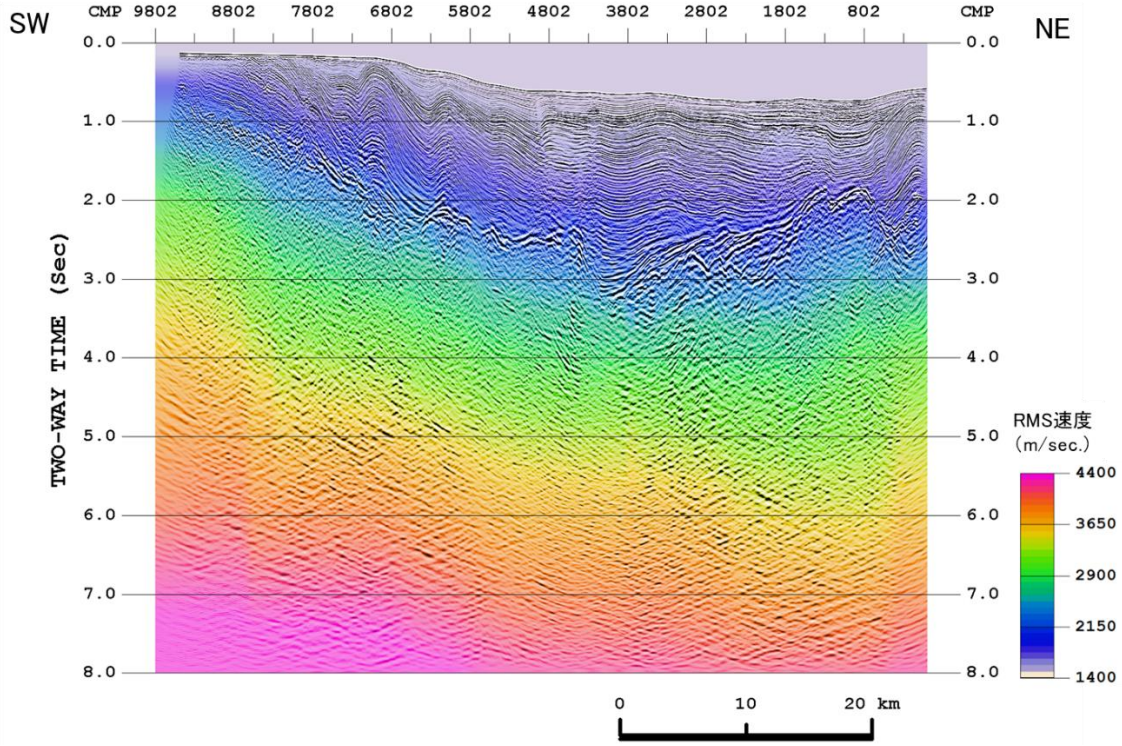


図 3.2-9(23)　RMS 速度プロファイル（SA-21-H 測線）

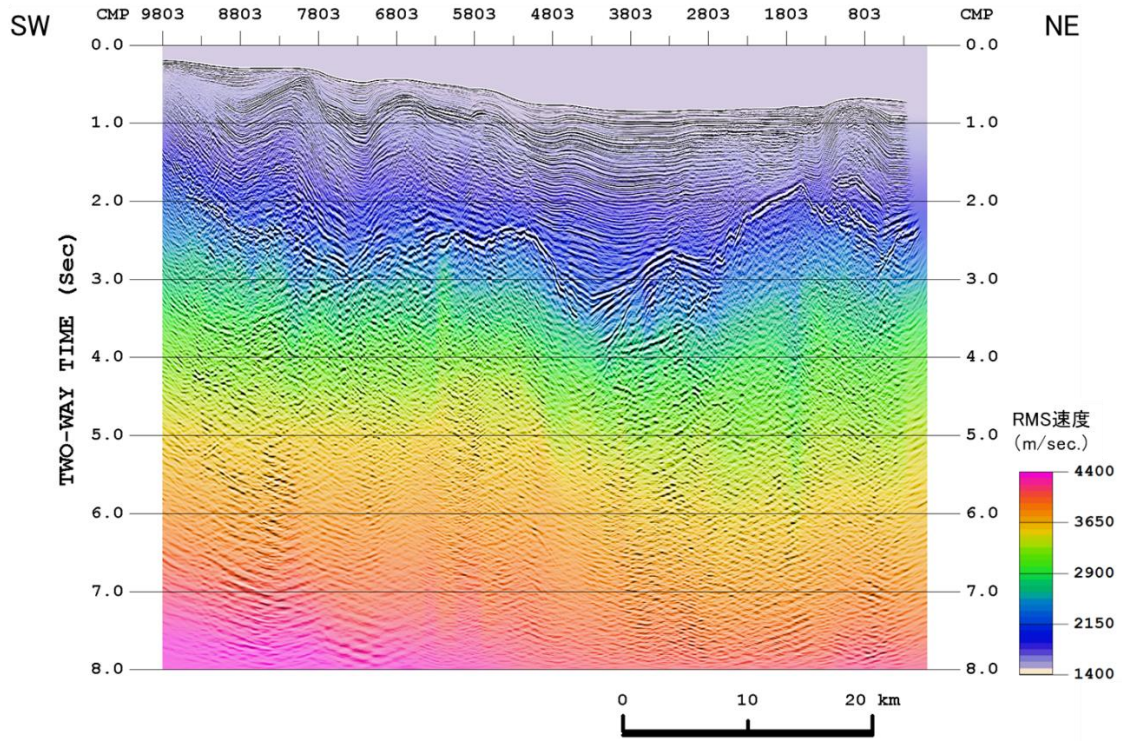


図 3.2-9(24)　RMS 速度プロファイル（SA-21-I 測線）

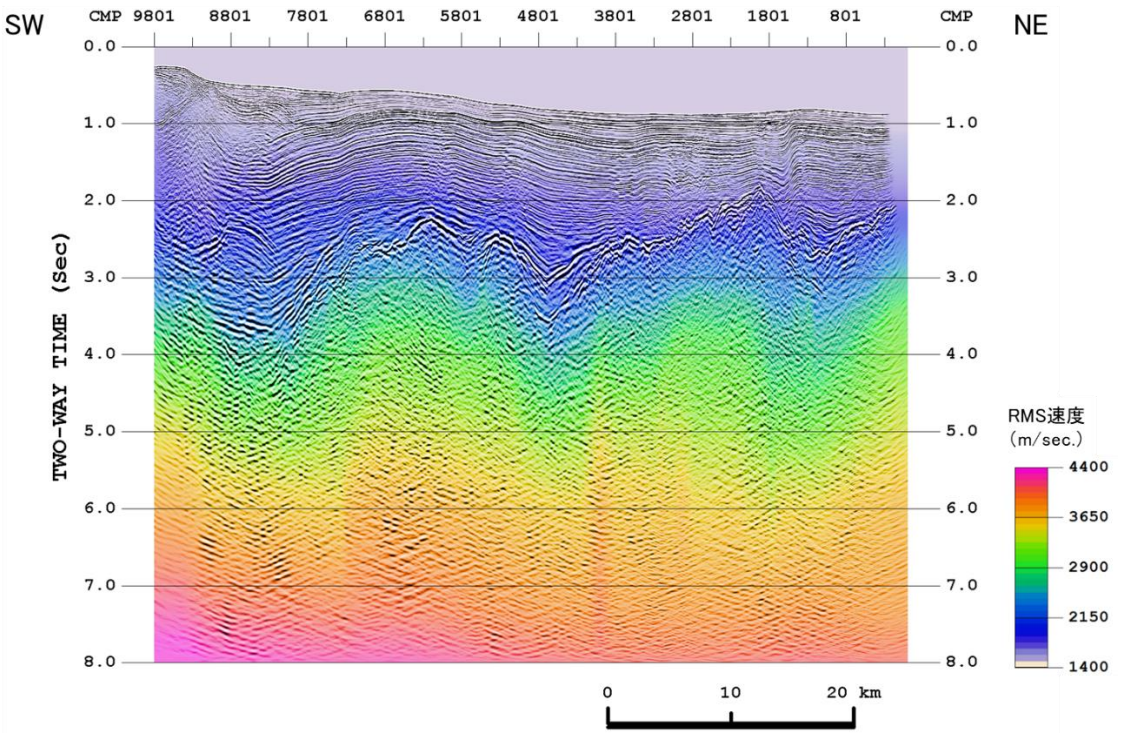


図 3.2-9(25)　RMS 速度プロファイル（SA-21-J 測線）

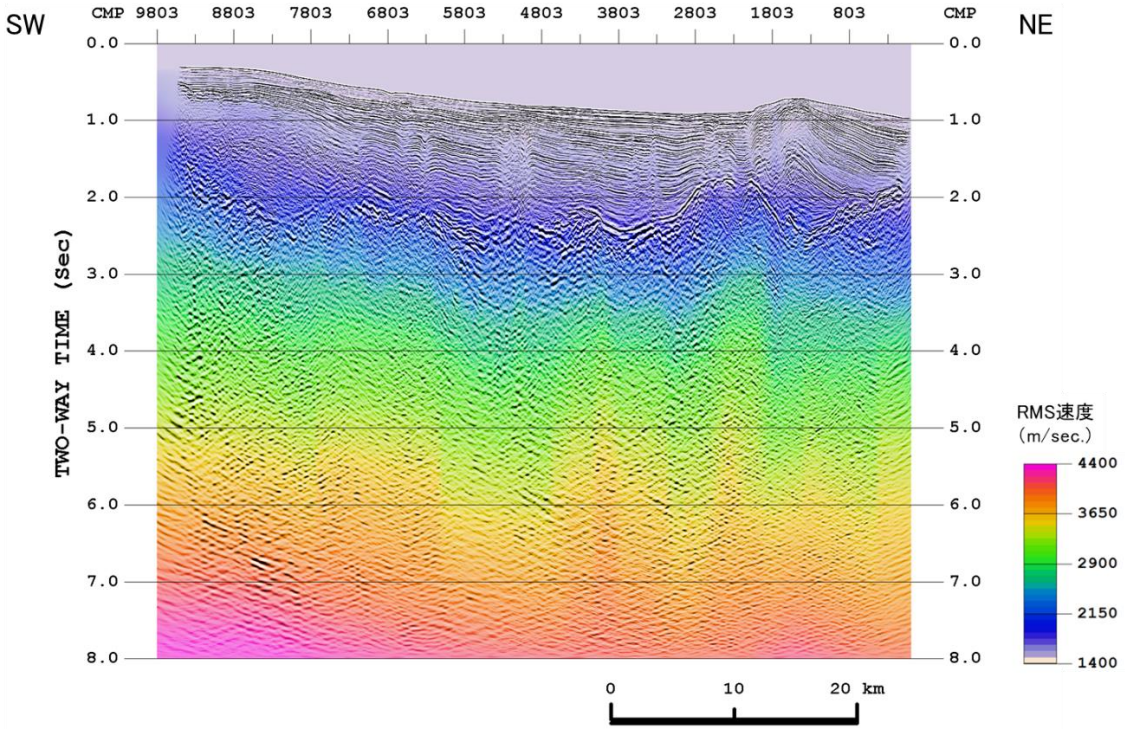


図 3.2-9(26)　RMS 速度プロファイル（SA-21-K 測線）

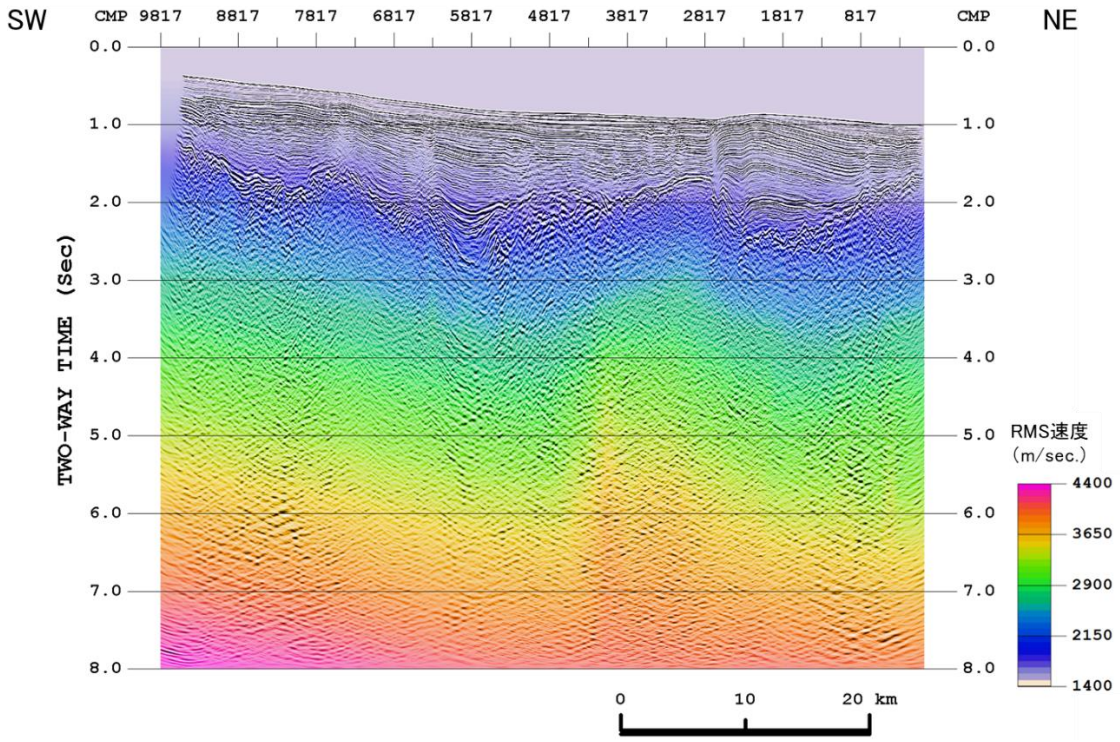


図 3.2-9(27)　RMS 速度プロファイル（SA-21-L 測線）

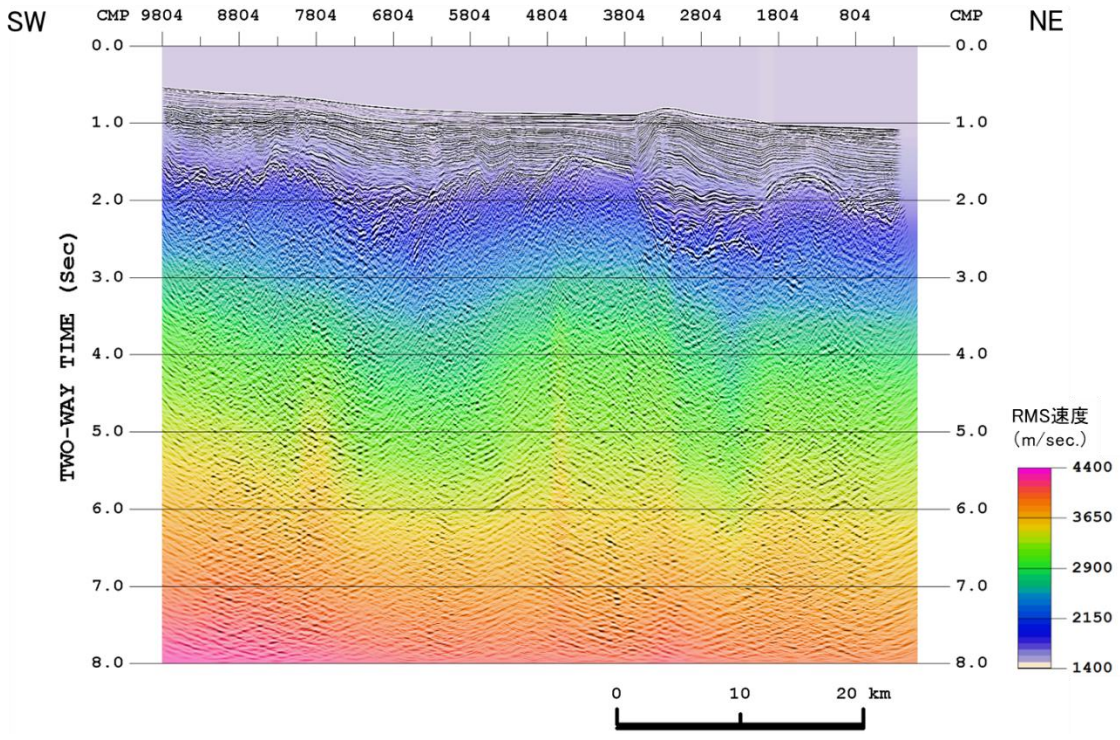


図 3.2-9(28)　RMS 速度プロファイル（SA-21-M 測線）

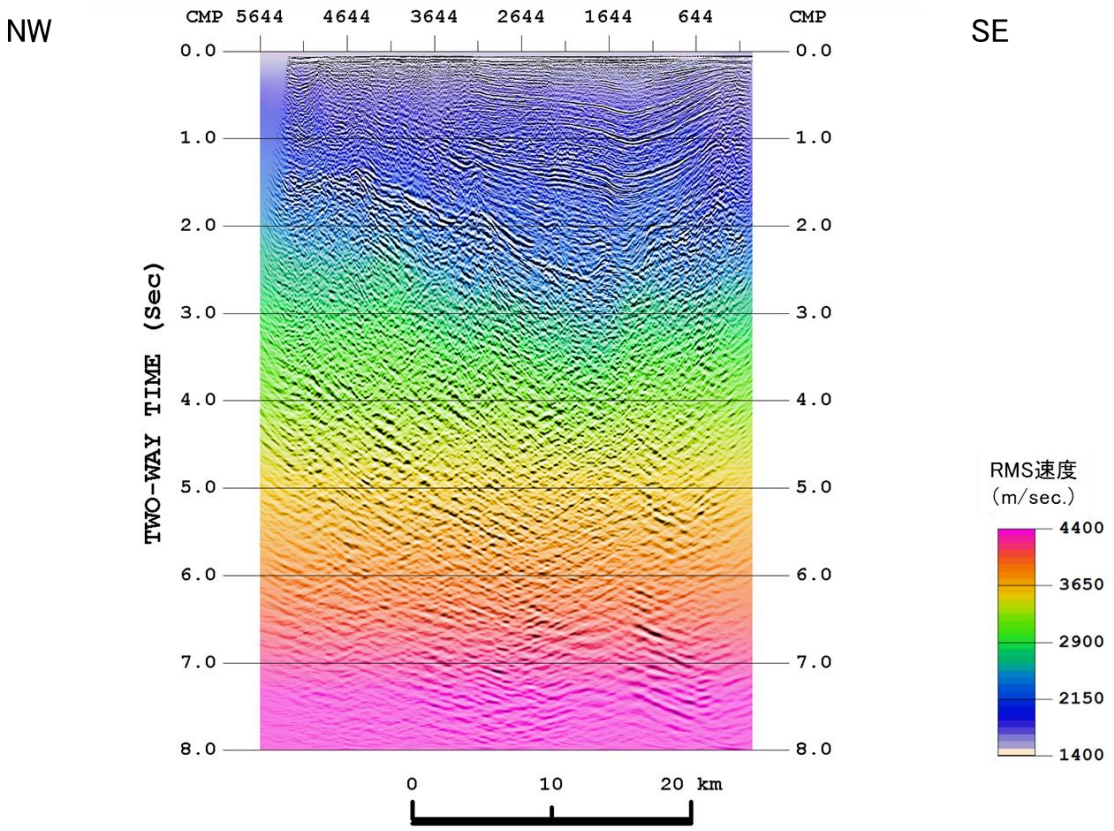


図 3.2-9(29)　RMS 速度プロファイル（SA-21-N 測線）

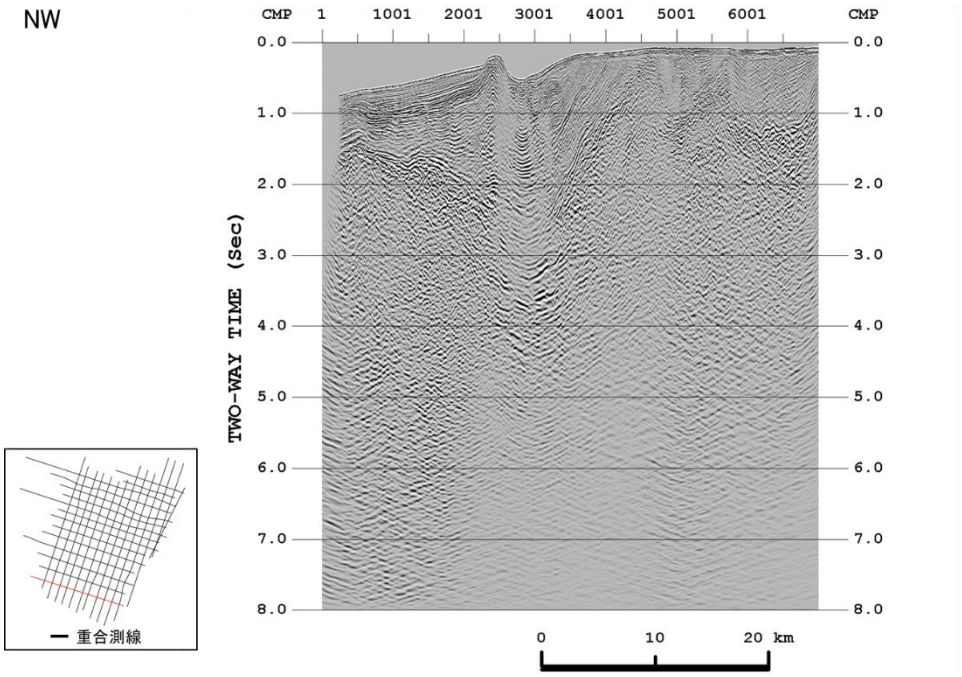


図 3.2-10(1)　PSTM 記録（SA-21-1 測線）

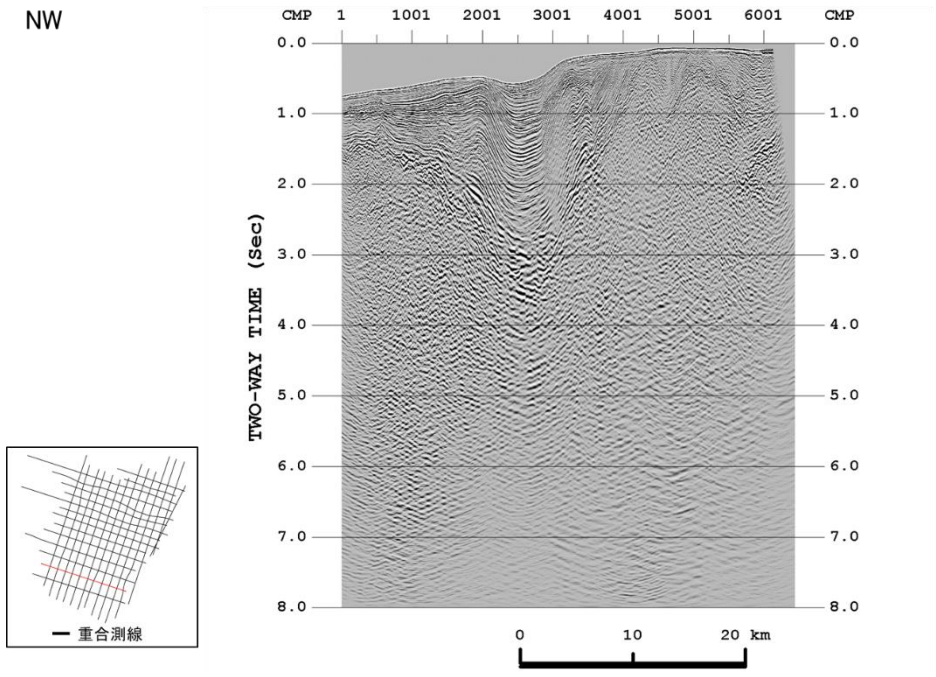


図 3.2-10(2)　PSTM 記録（SA-21-2 測線）

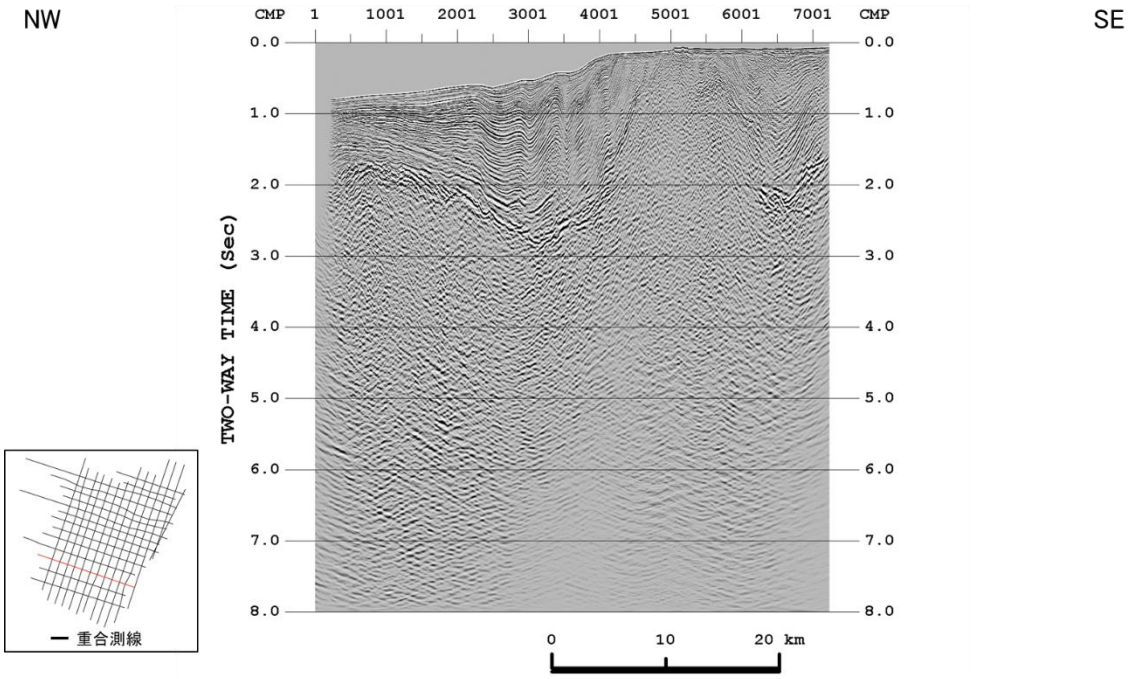


図 3.2-10(3)　PSTM 記録（SA-21-3 測線）

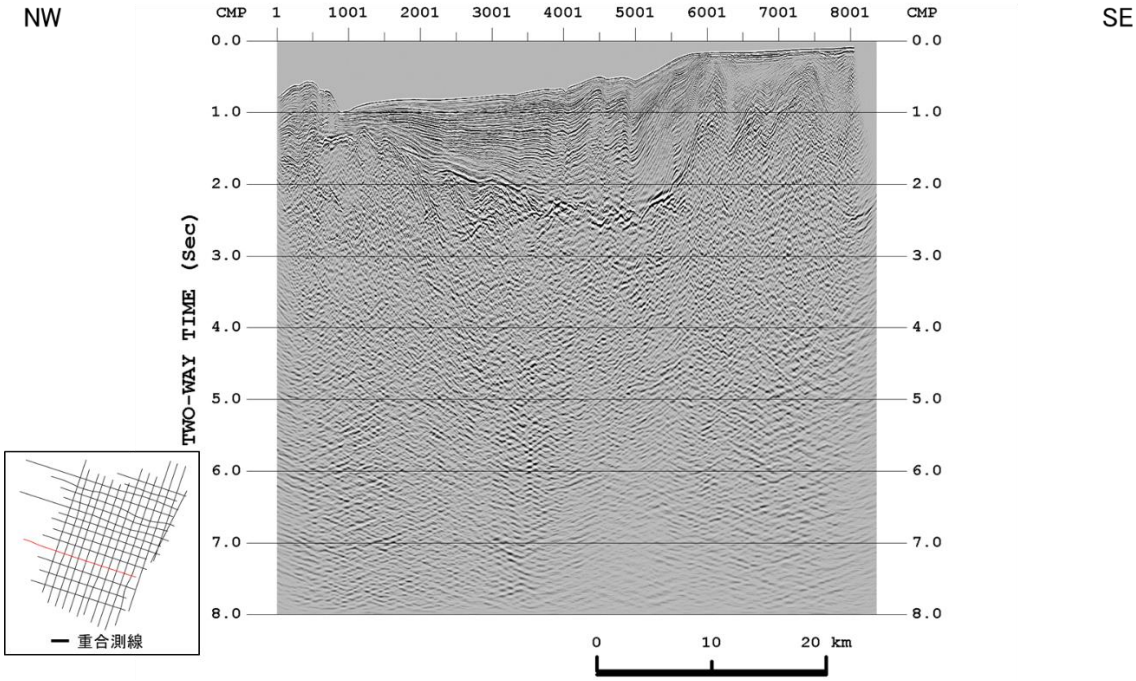


図 3.2-10(4)　PSTM 記録（SA-21-4 測線）

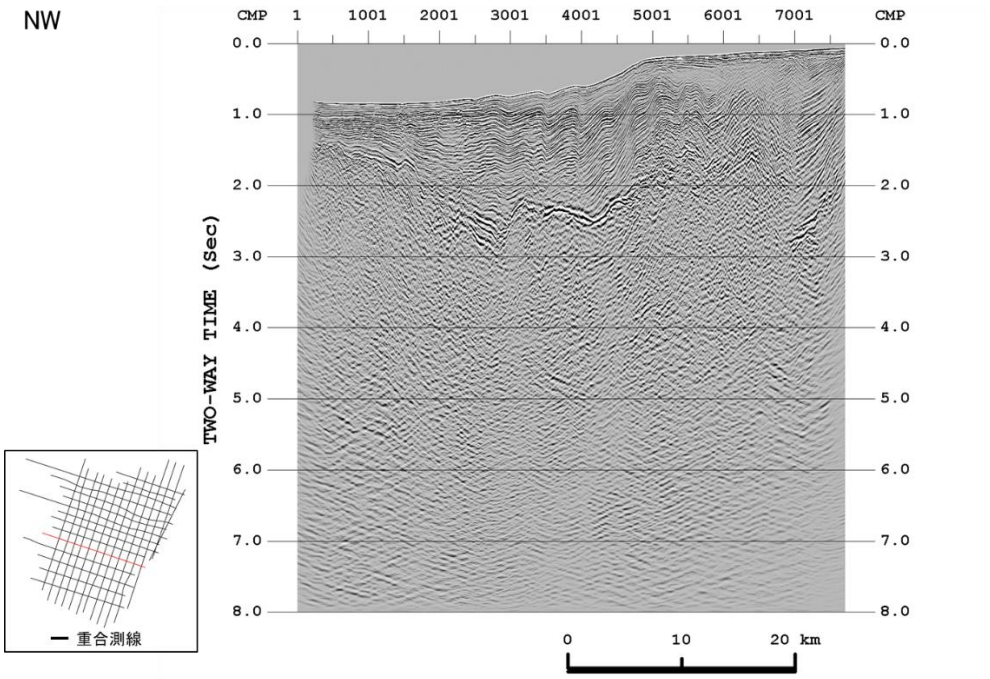


図 3.2-10(5)　PSTM 記録（SA-21-5 測線）

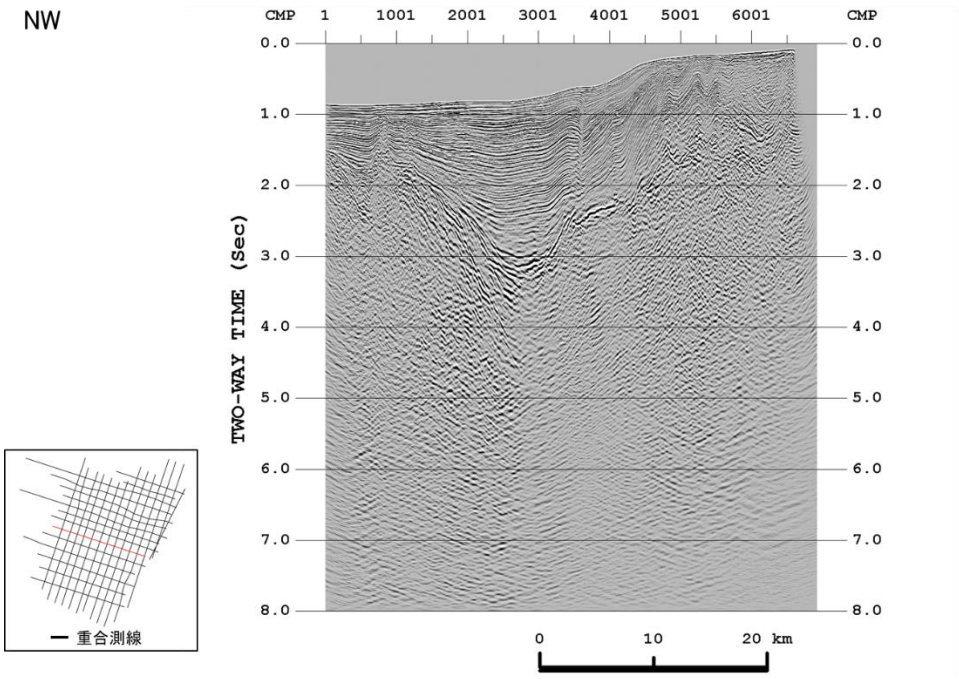


図 3.2-10(6)　PSTM 記録（SA-21-6 測線）

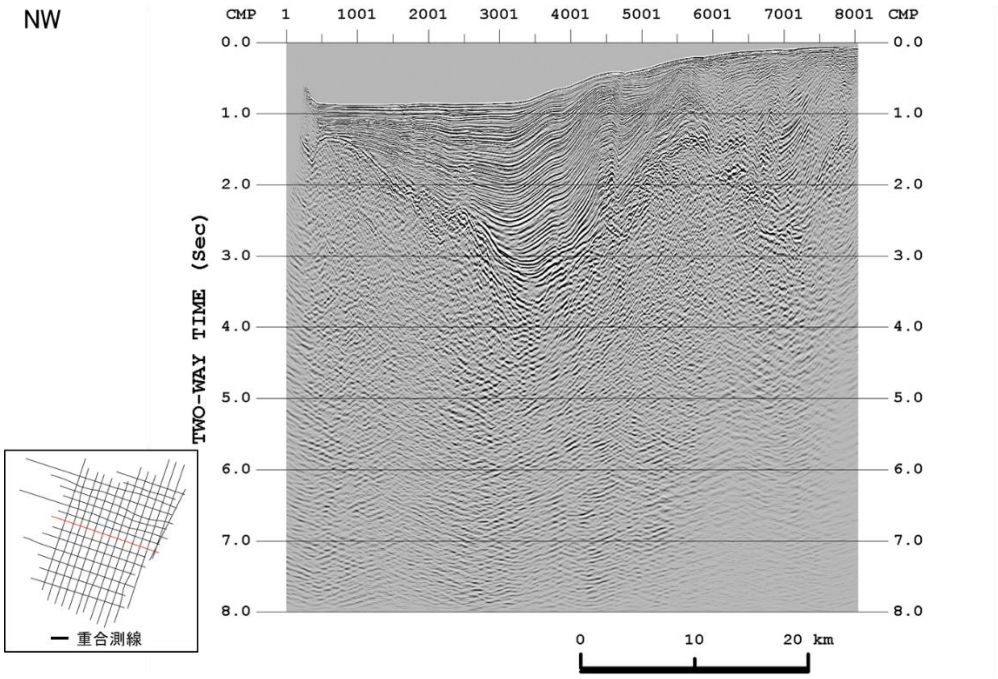


図 3.2-10(7)　PSTM 記録（SA-21-7 測線）

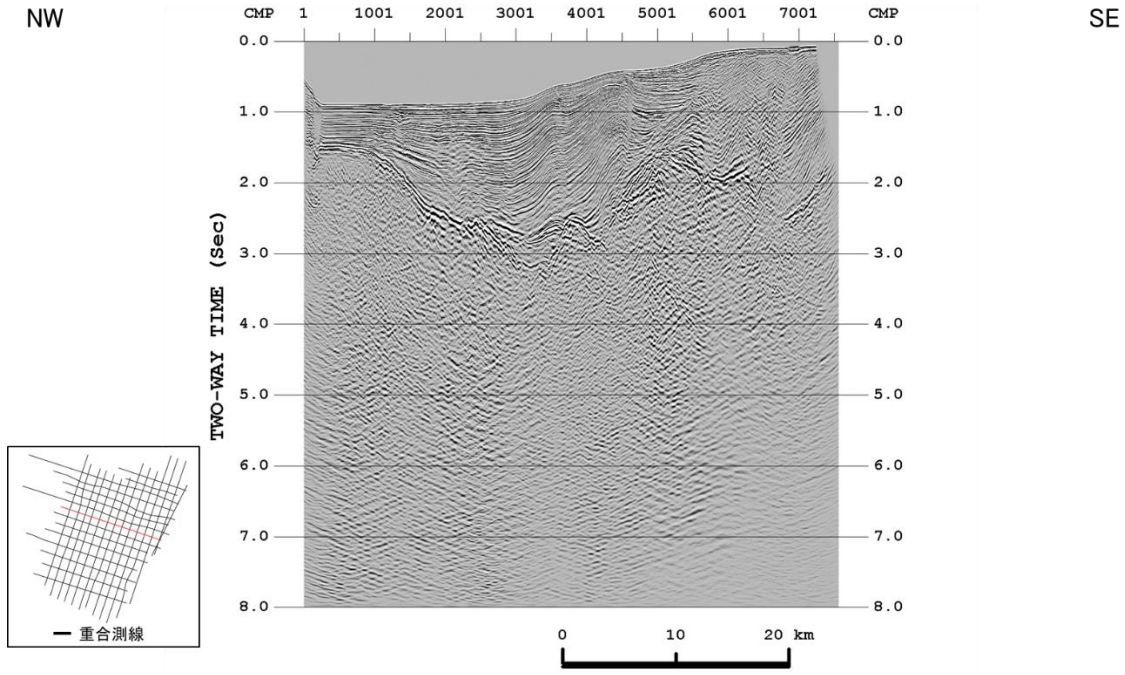


図 3.2-10(8)　PSTM 記録（SA-21-8 測線）

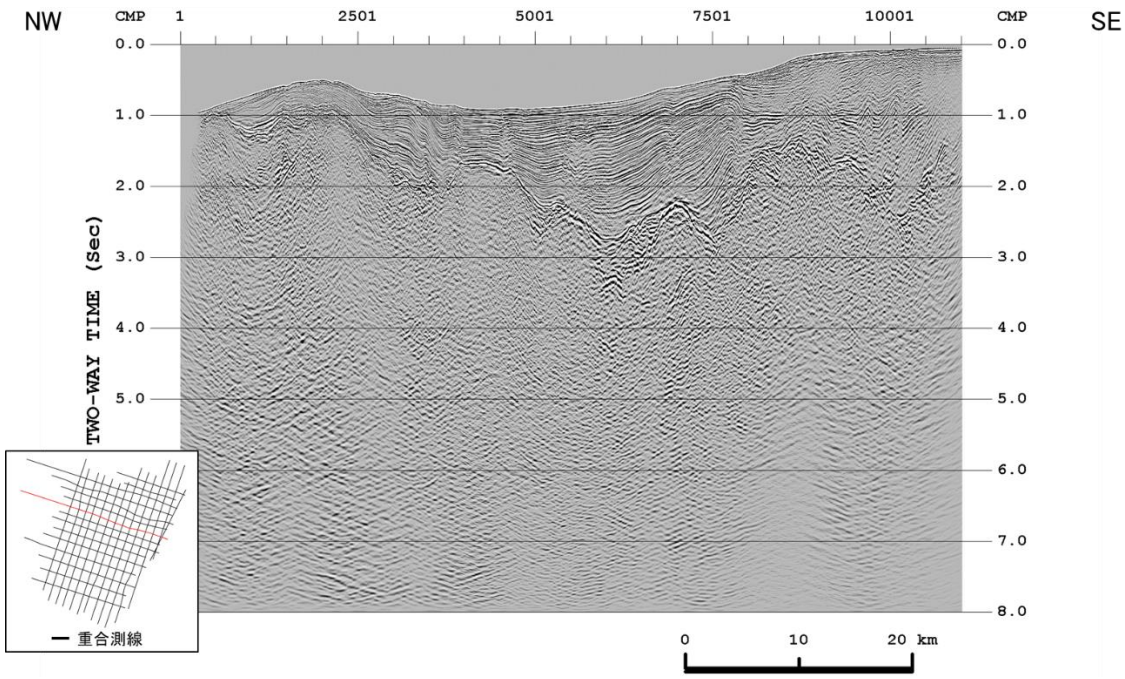


図 3.2-10(9)　PSTM 記録（SA-21-9 測線）

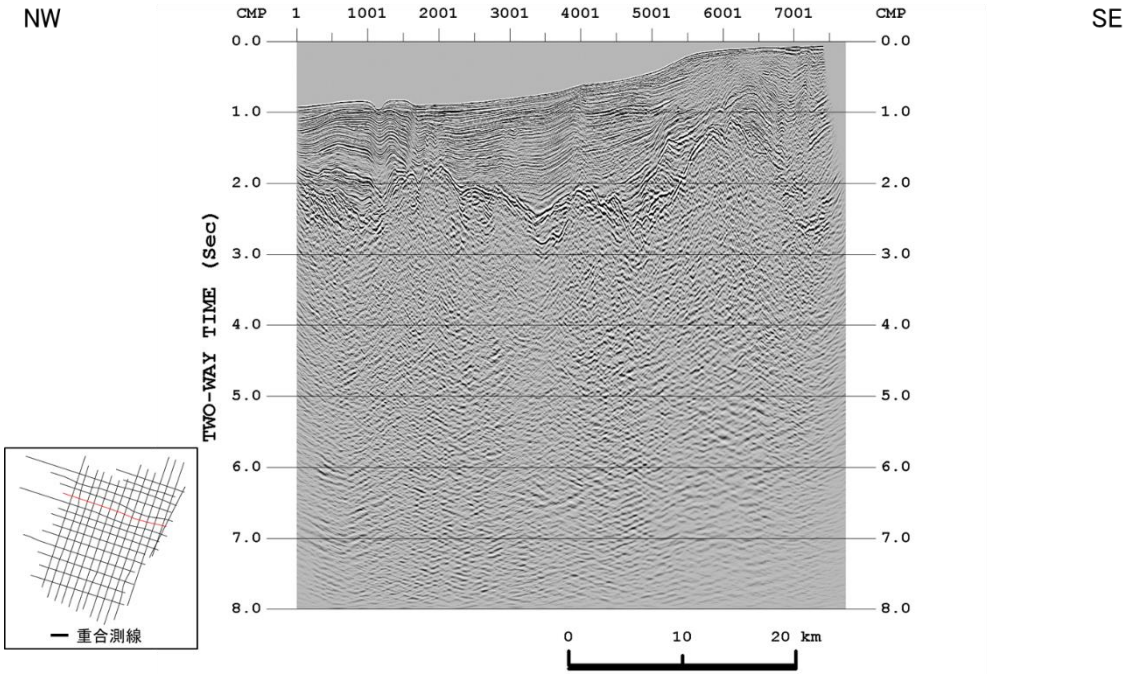


図 3.2-10(10)　PSTM 記録（SA-21-10 測線）

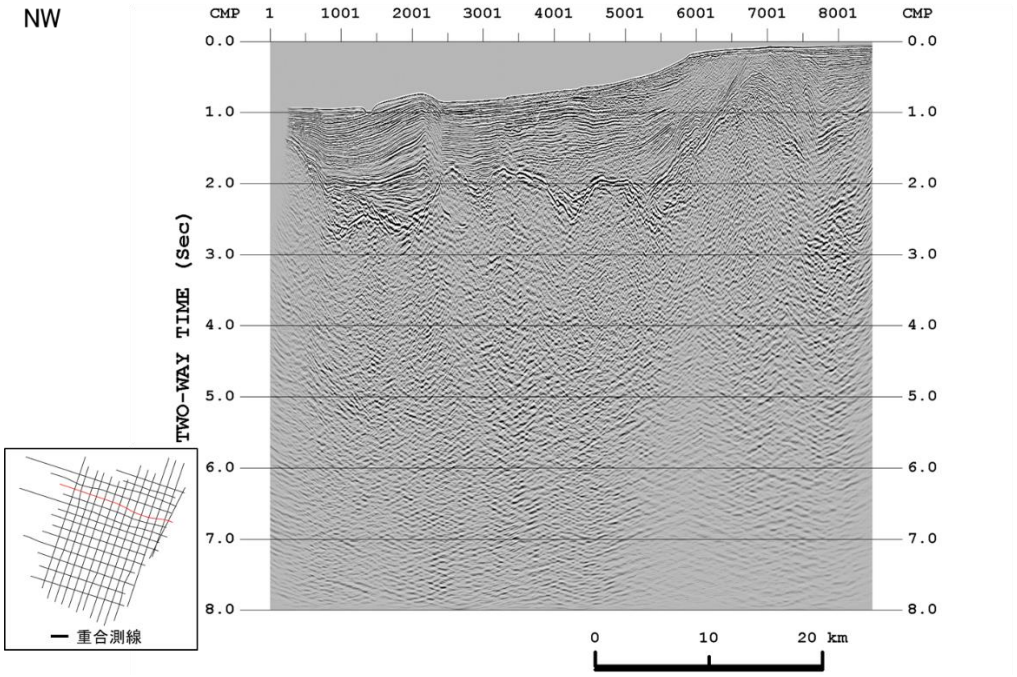


図 3.2-10(11)　PSTM 記録（SA-21-11 測線）

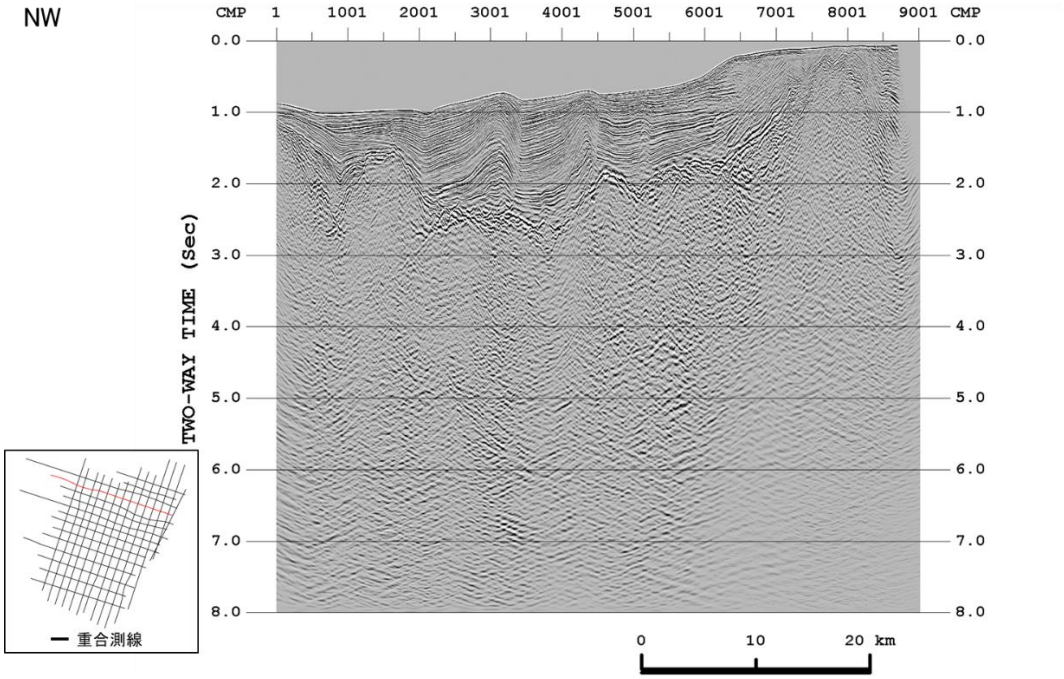


図 3.2-10(12)　PSTM 記録（SA-21-12 測線）

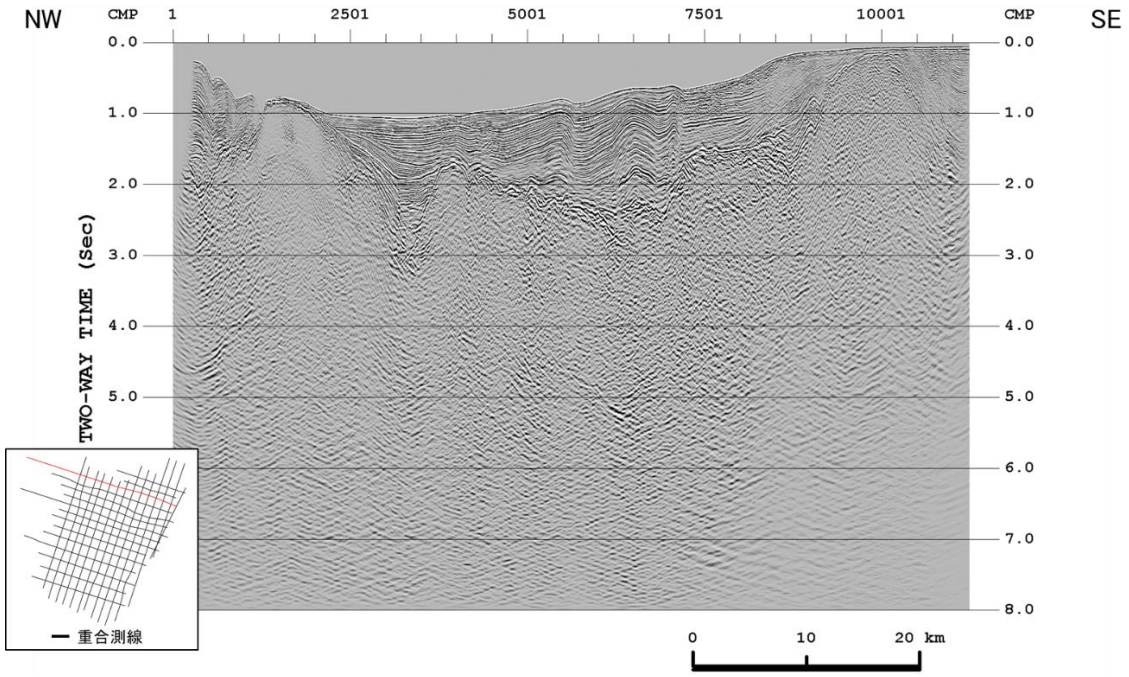


図 3.2-10(13)　PSTM 記録（SA-21-13 測線）

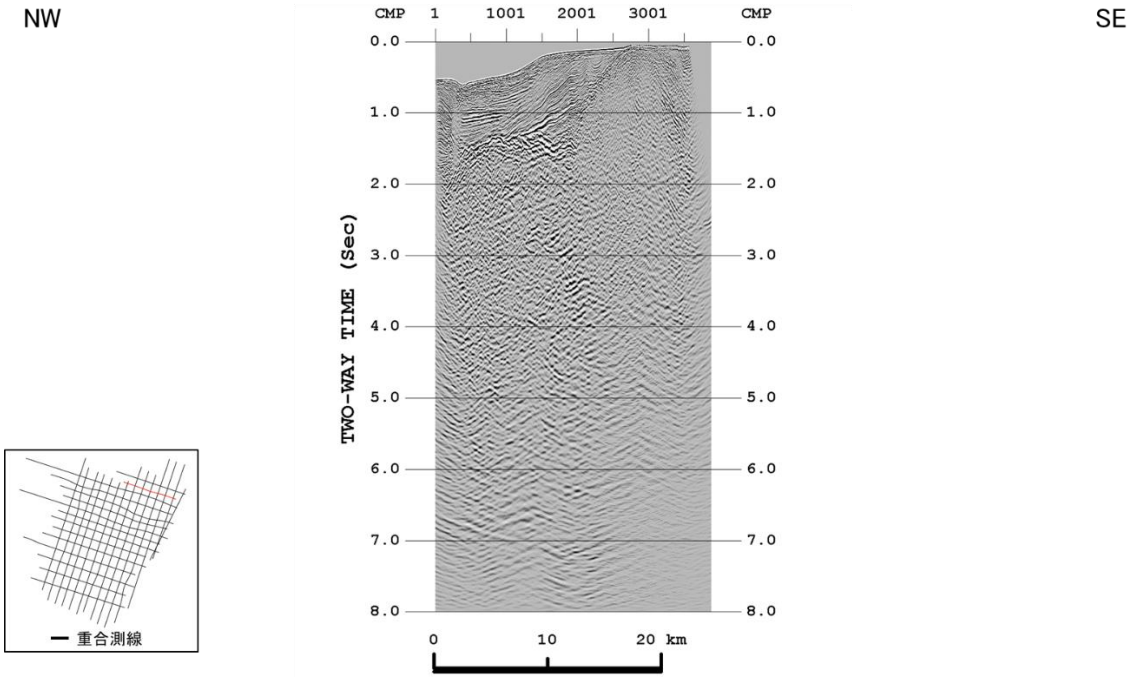


図 3.2-10(14)　PSTM 記録（SA-21-14 測線）

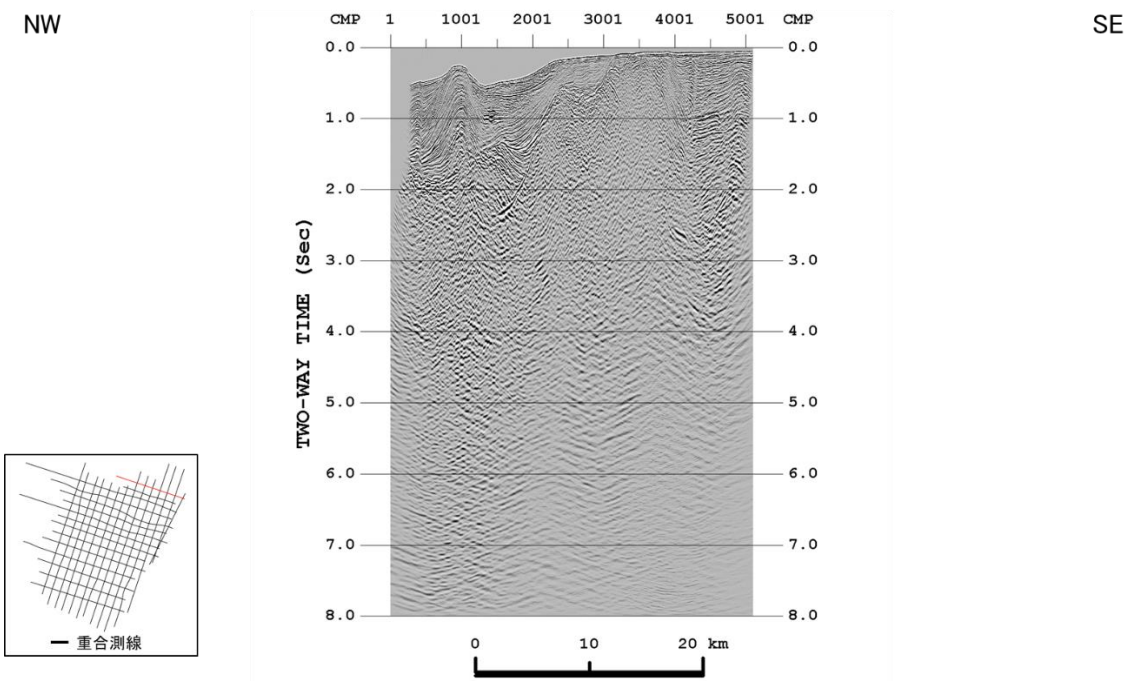


図 3.2-10(15)　PSTM 記録（SA-21-15 測線）

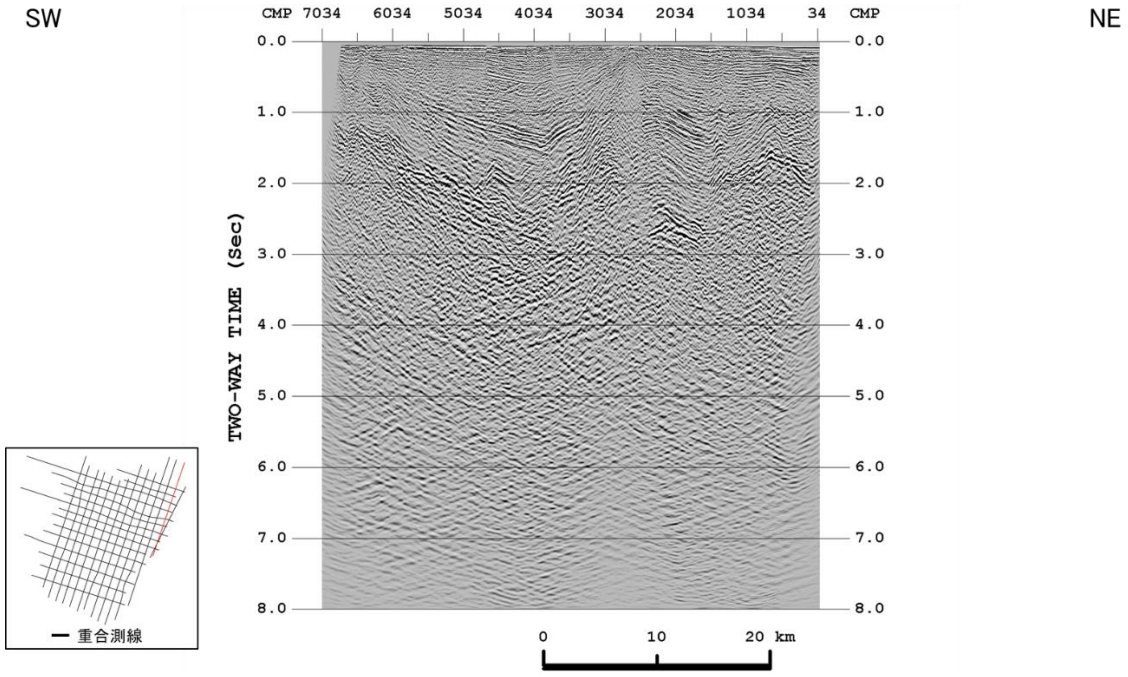


図 3.2-10(16)　PSTM 記録（SA-21-A 測線）

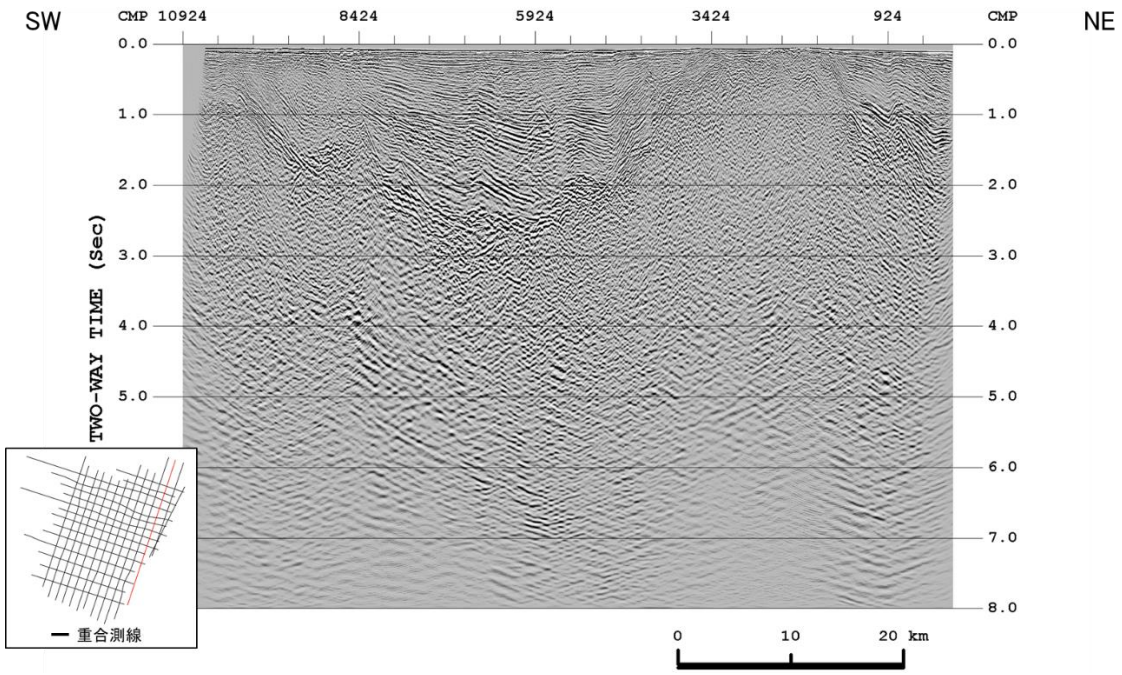


図 3.2-10(17)　PSTM 記録（SA-21-B 測線）

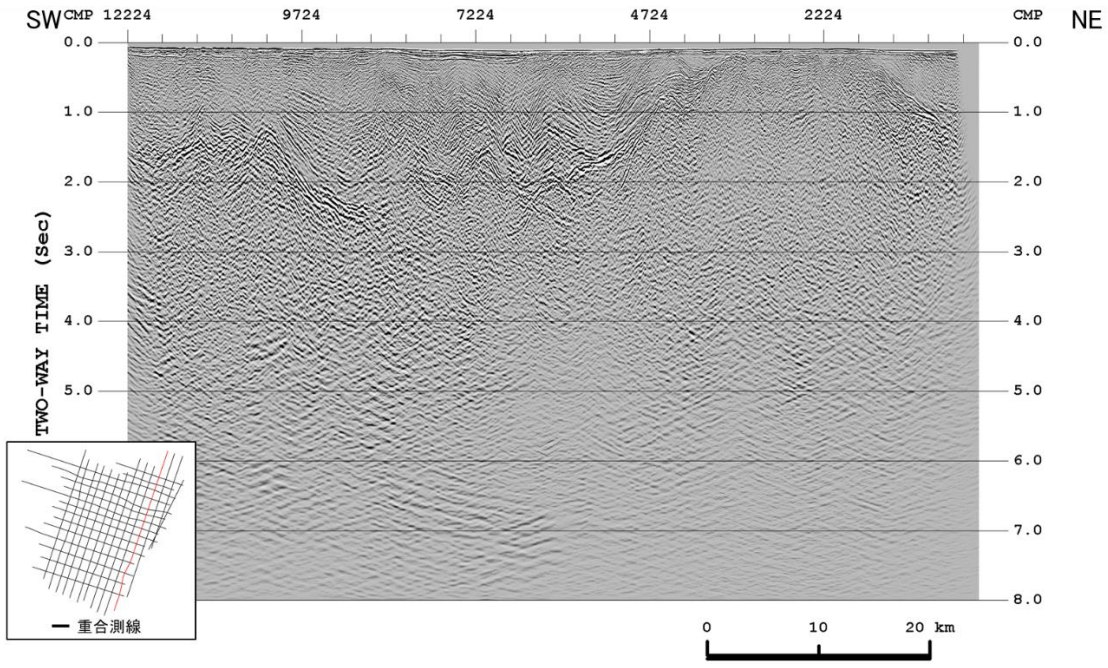


図 3.2-10(18)　PSTM 記録（SA-21-C 測線）

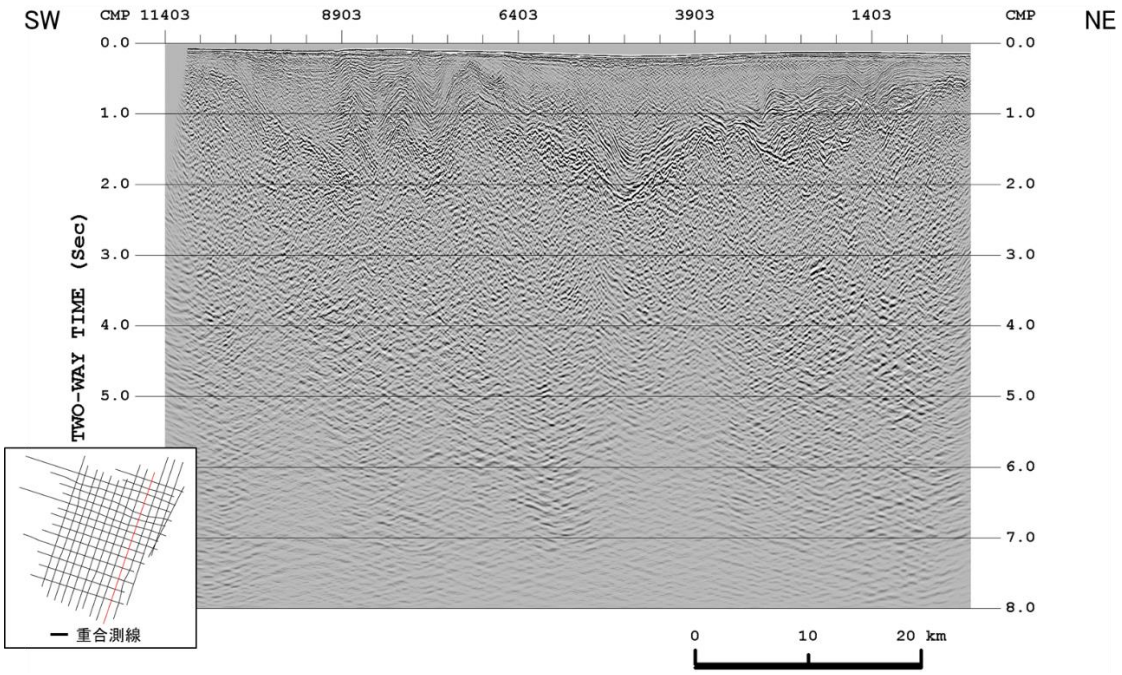


図 3.2-10(19)　PSTM 記録（SA-21-D 測線）

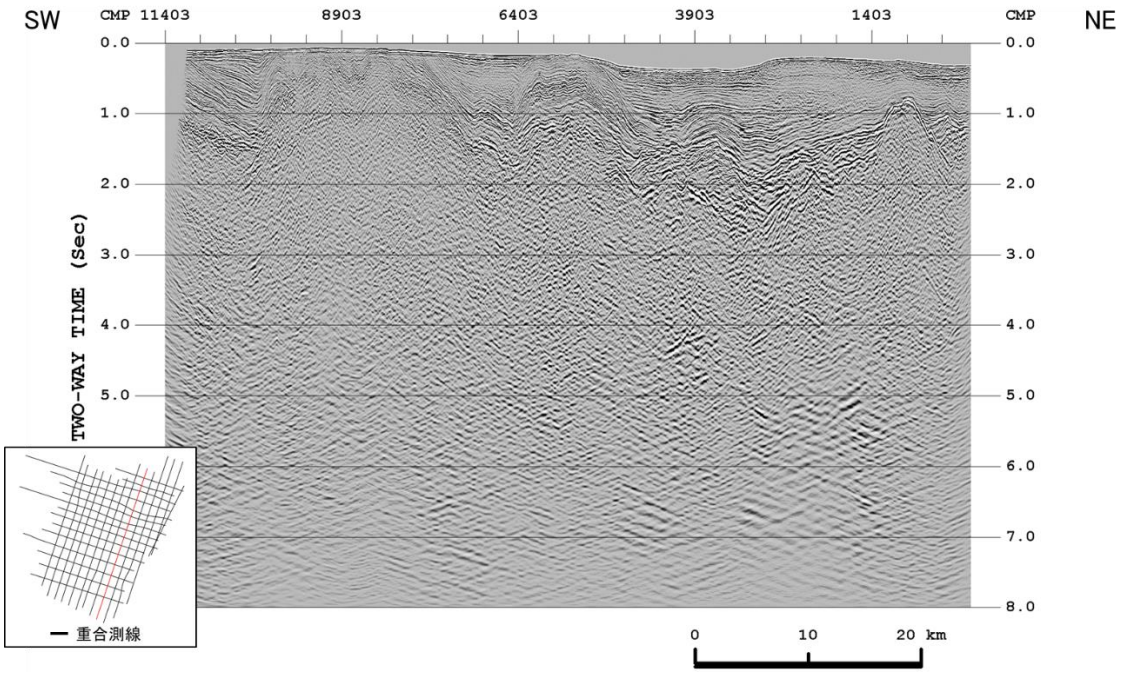


図 3.2-10(20)　PSTM 記録（SA-21-E 測線）

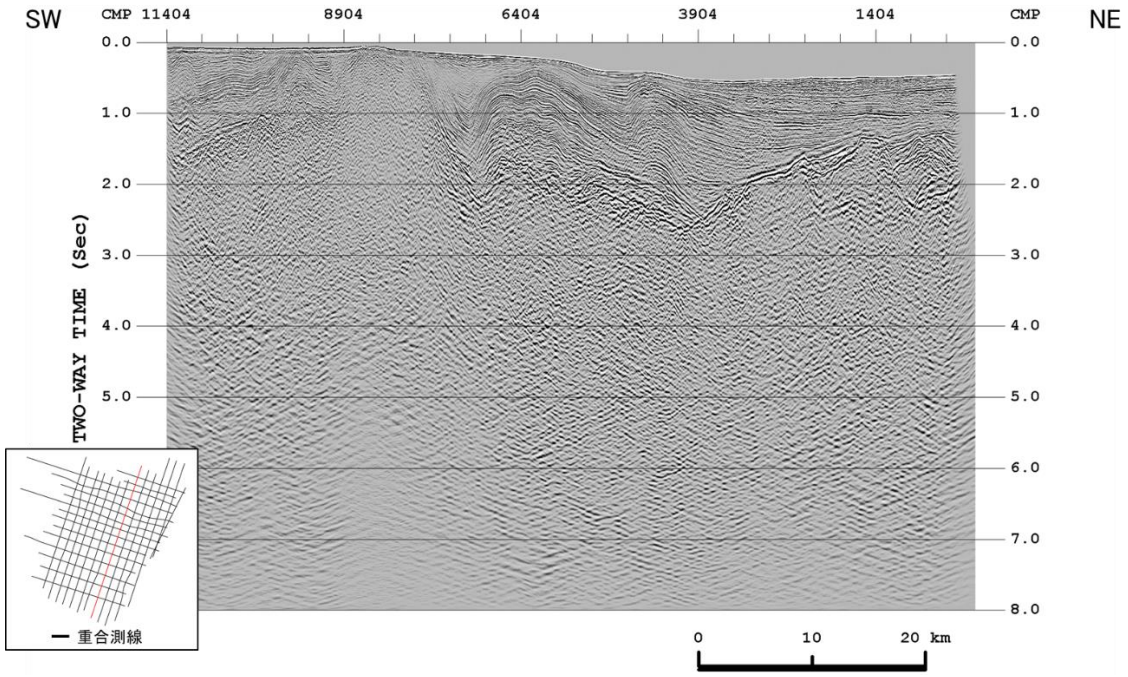


図 3.2-10(21)　PSTM 記録（SA-21-F 測線）

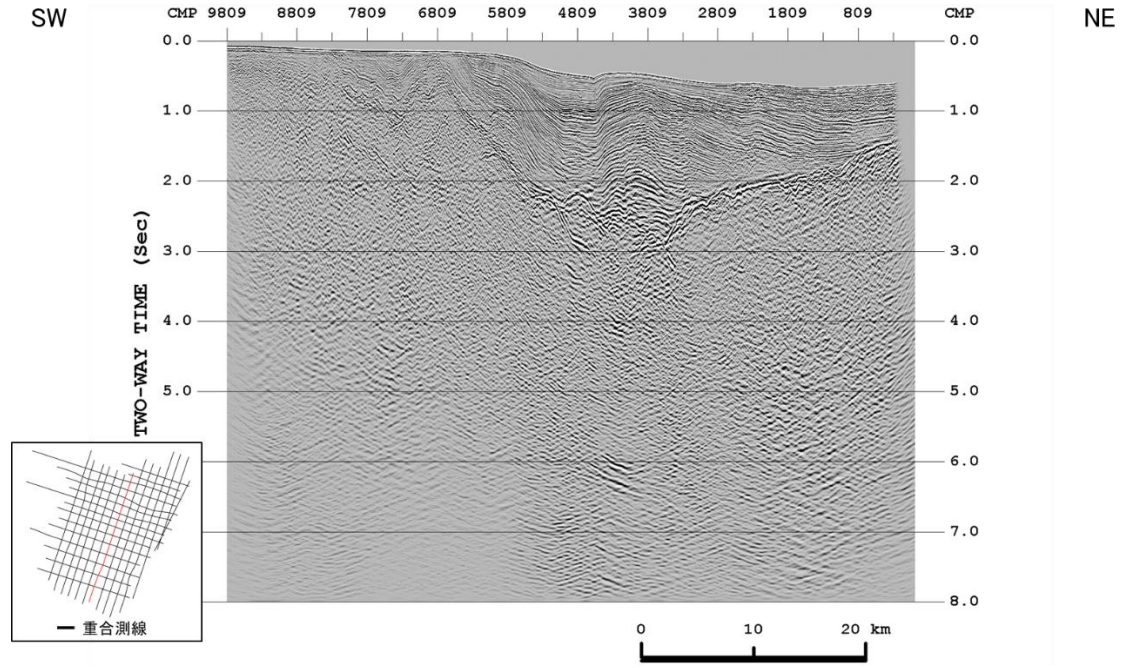


図 3.2-10(22)　PSTM 記録（SA-21-G 測線）

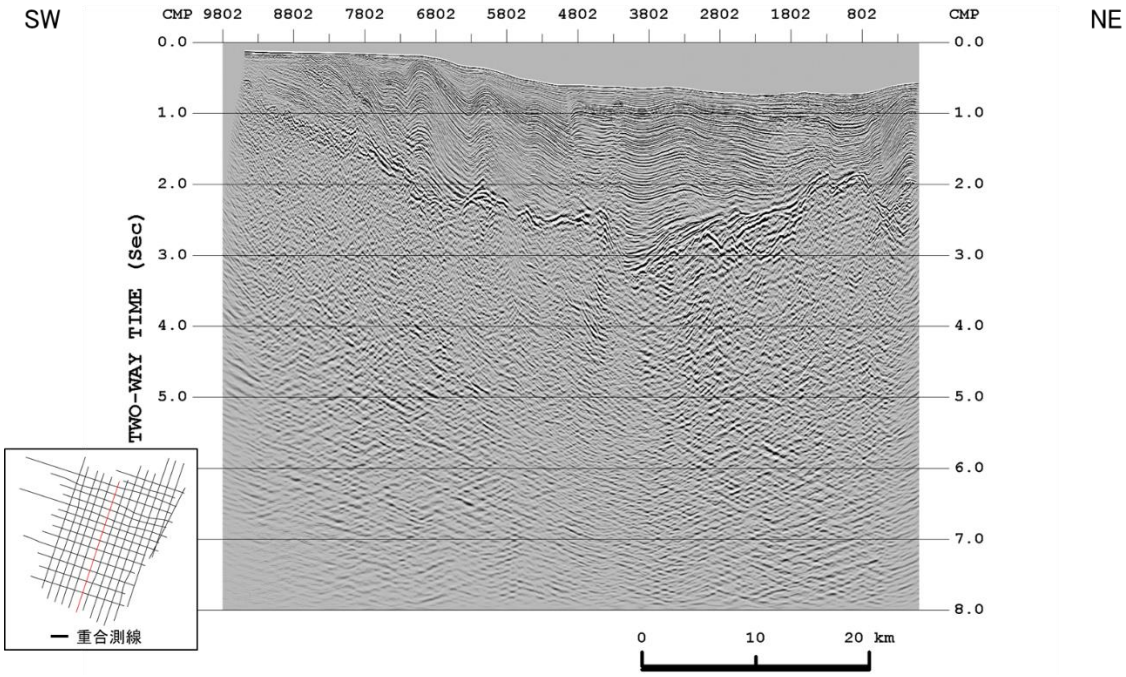


図 3.2-10(23)　PSTM 記録（SA-21-H 測線）

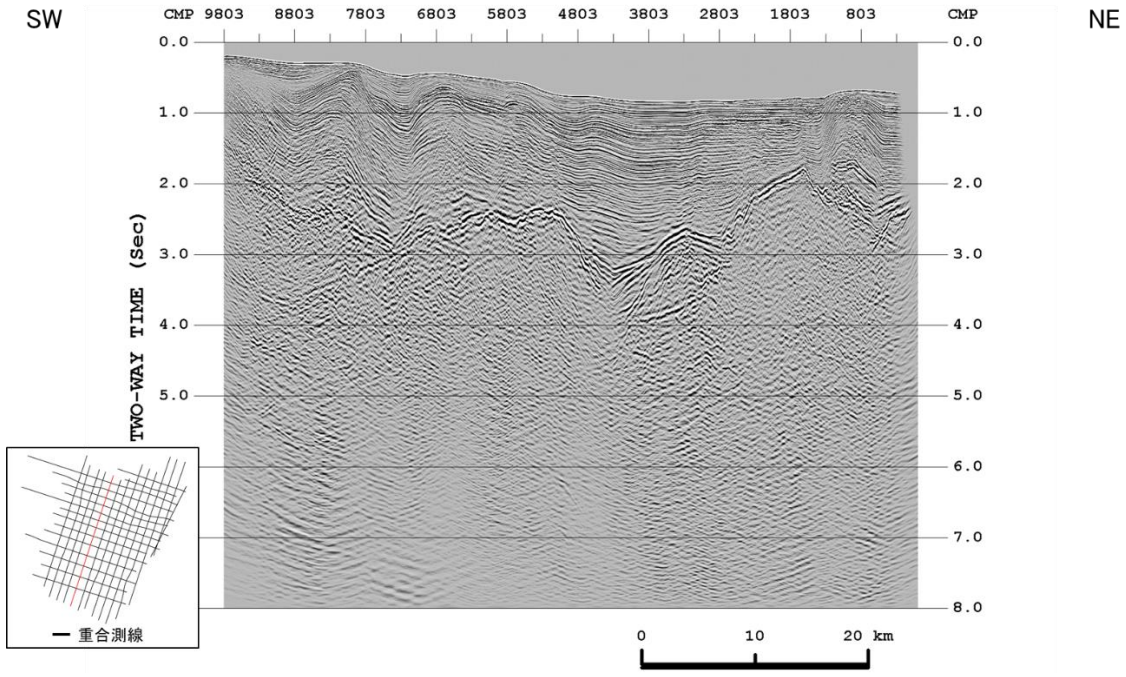


図 3.2-10(24)　PSTM 記録（SA-21-I 測線）

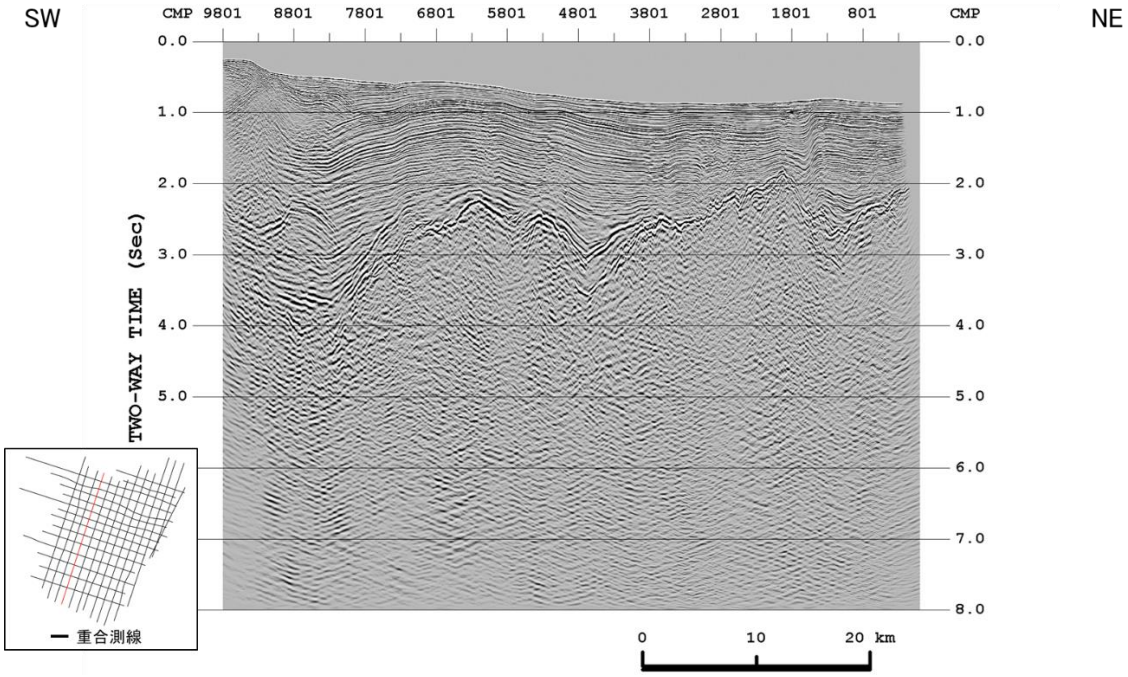


図 3.2-10(25)　PSTM 記録（SA-21-J 測線）

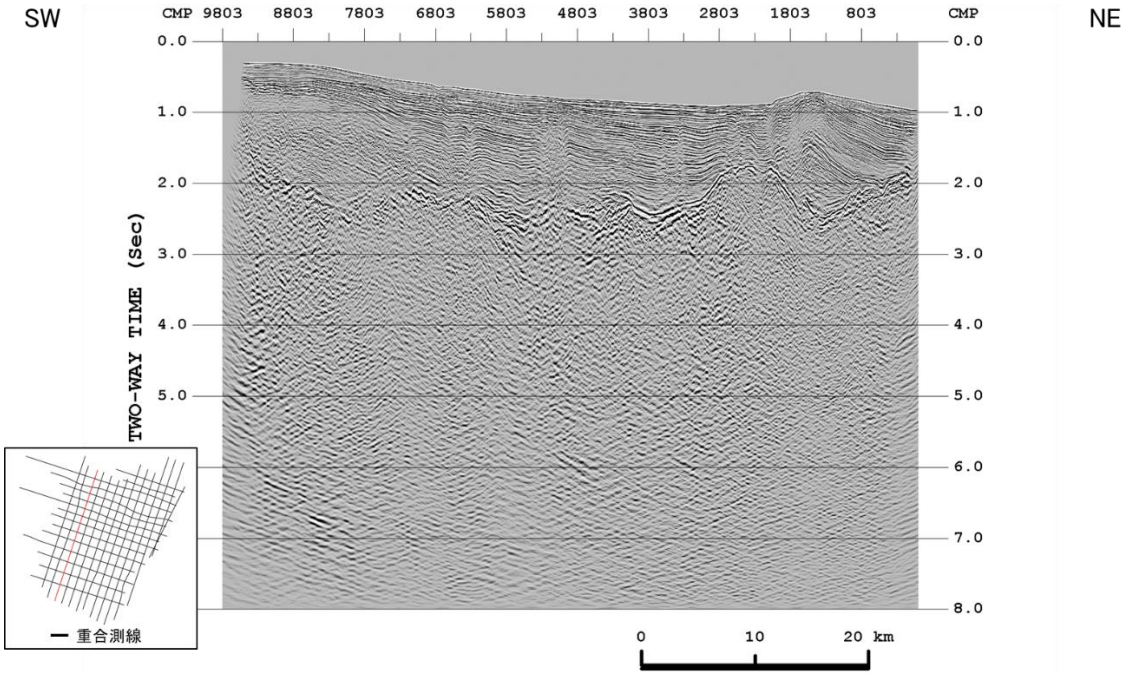


図 3.2-10(26)　PSTM 記録（SA-21-K 測線）

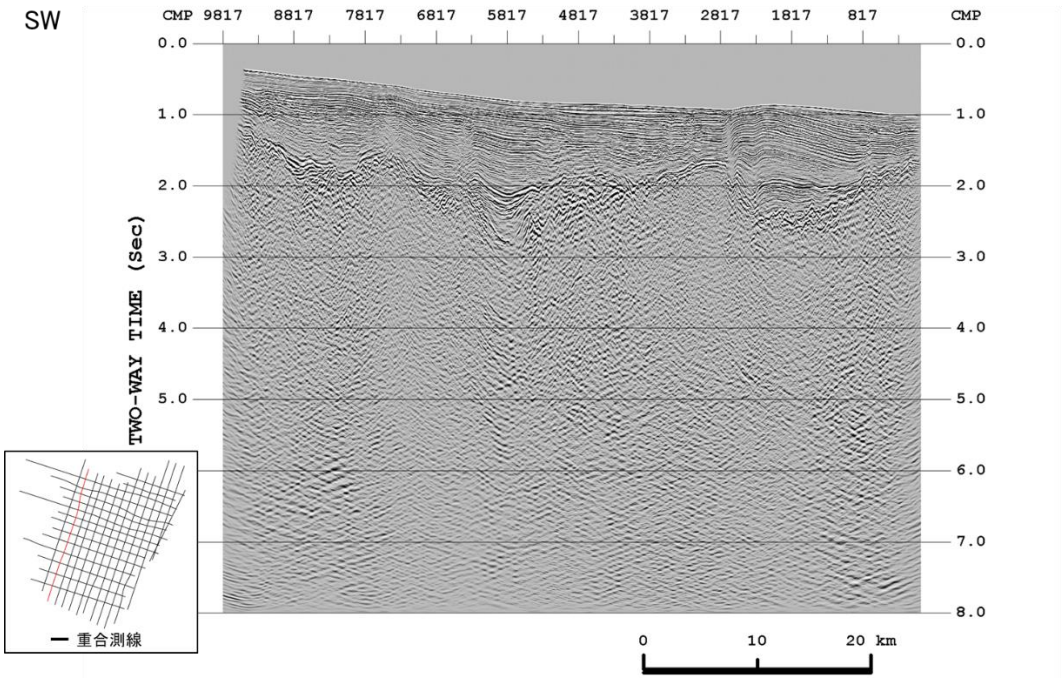


図 3.2-10(27)　PSTM 記録（SA-21-L 測線）

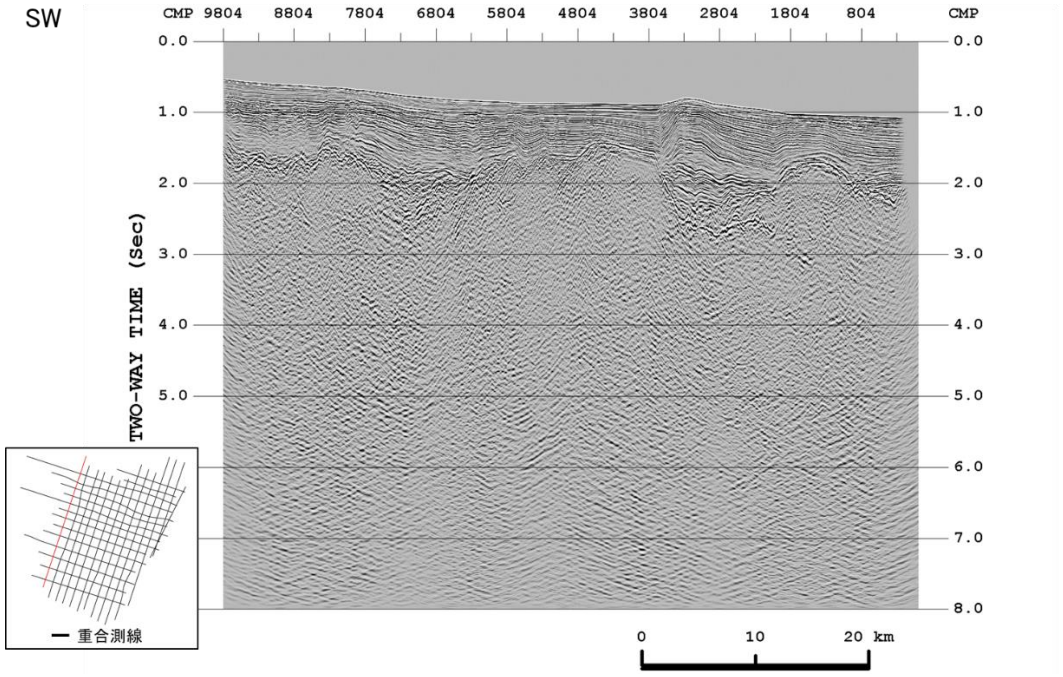


図 3.2-10(28)　PSTM 記録（SA-21-M 測線）

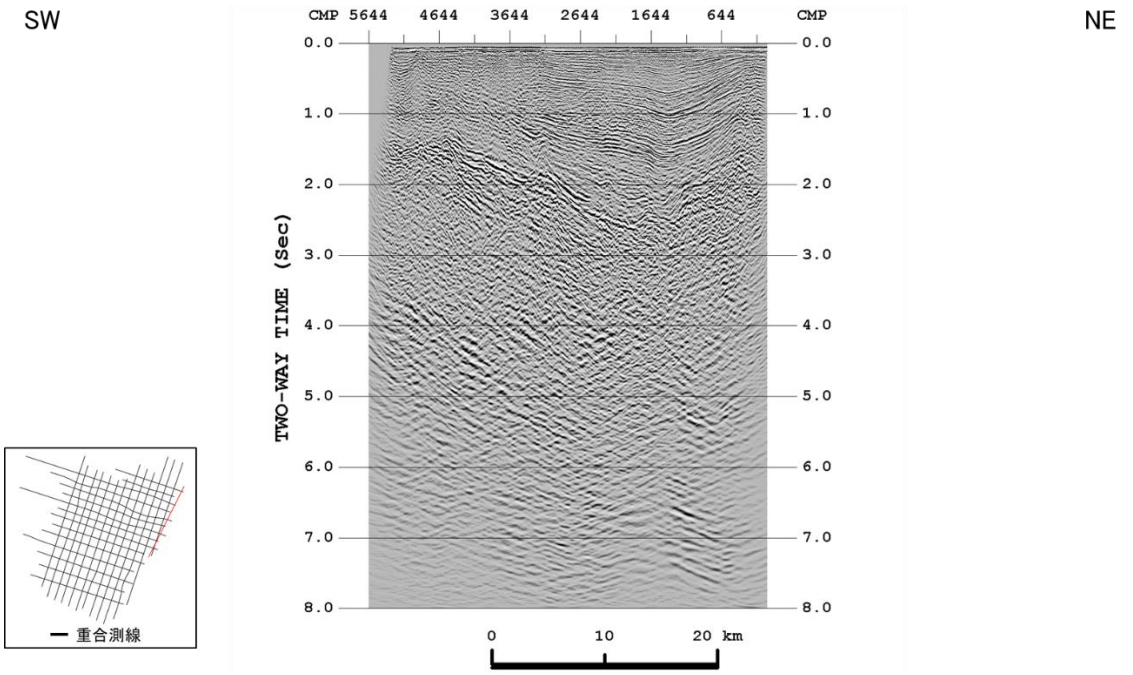


図 3.2-10(29)　PSTM 記録（SA-21-N 測線）

(5)　考察

今回のデータ処理の着目点について以下に記す。

①　振源位相の補償

本データ処理では、エアガンの型式、容量、配列、および深度の情報を基に作成した合成エアガン波形を用いて最小位相に変換した。その後、サーフェス・コンシステント・デコンボリューションを実施し、各発振点・受振点における差分応答を用いて波形の均等化を行うとともに基本波形のパルス化を行った。これにより最終的な位相はゼロ位相となり、極性は正の反射波がピークとなっている。

発振点毎の波形の差異をなくすように処理を行うことで、対象記録の品質が改善された。

②　ノイズ抑制処理

本データ処理では、相対振幅の保存に留意しつつ、ノイズ特性に応じたノイズ抑制処理を適用した。重合前ノイズ抑制処理では、主にランダムノイズを対象としてノイズ抑制処理を適用した。重合前ノイズ抑制処理を適用することで、特に船舶の航行に起因するノイズ、波浪ノイズ等のランダムノイズが効果的に抑制できた。

また、上記の重合前ノイズ抑制処理に加え、PSTM 後の CIP 記録におけるノイズ抑制も実施した。これらノイズ特性に応じた複合型のノイズ抑制処理が最終的な重合記録の品質向上に寄与した。

③　多重反射波抑制処理

本探査で取得したデータには海底面に起因する各種多重反射波が顕著に混入していたことから、多重反射波抑制処理の適用が重要であった。

SRME 法は、海底地形が複雑な場合でも海底面に起因する長周期の多重反射波を効果的に抑制することができるため、海水面－海底面間の多重反射波の抑制や海水面－強反射面の多重反射波の抑制を目的として適用した。一方で、SRME 法は海底面反射波が取得されていないような浅海域では効果が得られにくい手法であるため、浅海域においては SWD 法を適用した。それに加えて、海水面－海底面間の短周期多重反射波の抑制を目的として、ラディアル・トレース・デコンボリューションを適用した。さらに、高分解能放物線ラドン変換法による多重反射波抑制処理も適用することで、残存する海水面－海底面間の多重反射波や海水面－強反射面の多重反射波等の各種多重反射波を効果的に抑制した。

多重反射波の特性に応じた複合型の多重反射波抑制処理を適用することで、重複的に含まれていた多重反射波を適切に抑制した。複合型の多重反射波抑制処理は、重合記録の品質向上に寄与しただけでなく、速度解析の精度向上にも寄与した。

④　Pre-Stack データ、Post-Stack データに対する総論

相対振幅保存処理を基本とした Pre-Stack データ、Post-Stack データの品質向上を目的として処理を行い、以下の結果を得た。

a.　Pre-Stack データ

S/N の向上については、複合型ノイズ抑制処理、多重反射波抑制処理において、抑制対象の特徴に適した手法の選択、パラメータの調整を実施した。特に複合型ノイズ抑制処理における F-X エディット、F-X 予測フィルター、多重反射波抑制処理における高分解能ラドン変換法、CIP ギャザーに対する信号強調処理に関しては、重合処理において抑制対象のノイズや多重反射波の殆どが抑制されるため Post-Stack データに対する寄与は軽微だが、Pre-Stack データの品質向上には大きく寄与した。記録の広帯域化は、ゴースト抑制処理によって、周波数スペクトラムにて確認されるゴーストノッチの回復及び反射波イベントの視認性の向上を図ることができた。

これら一連の処理によって、処理目的に資する Pre-Stack データが得られた。

b.　Post-Stack データ

Post-Stack データについては、各種地質解析において有効なコンディションとなるようにスケーリング、振幅調整を実施した。

構造解析におけるホライゾン追跡に用いるデータについては、解析するホライゾンの時間間隔を考慮して AGC ゲートの設計、AGC スケーリングを行った。堆積相解析に用いるデータについては、AGC スケーリングで振幅の平準化は実施せずに弾性波伝播に伴う地層の透過・吸収の影響を補償することを考慮した指数関数ゲインを適用した。

以上の処理によって、各種地質解析の目的に資する Post-Stack データが得られた。

【参考文献】

1）Newman, P., "Divergence effects in a layered earth", Geophysics, 38, 481-488（1973）

3.3　弾性波探査データの整理状況と再処理成果の移管状況

平成２６年度委託事業、平成２７年度委託事業、平成２８年度委託事業、平成２９年度委託事業、平成３０年度委託事業、平成３１年度委託事業、令和２年度委託事業および本業務で取得した 2D/3D 探査データを一元的に管理するため、データ形式を揃えてリスト化した。

基礎物理探査データの再処理成果について、借用元の JOGMEC への移管状況をとりまとめた。

3.3.1　貯留適地調査事業の 2D/3D 探査データ

平成２６年度委託事業では鳥取沖と金沢沖にて、平成２７年度委託事業では西津軽沖と枕崎沖にて新規 2D 探査を実施し、平成２８年度委託事業では、能代沖および宮崎沖にて新規 3D 探査を実施し、平成２９年度委託事業では、秋田沖および金沢沖にて新規 3D 探査、能代沖の陸域の新規 2D 探査、能代沖の南部の新規 2D 探査（繰越）を実施し、平成３０年度委託事業では、宮崎沖にて陸域と海域を結ぶ新規 2D 探査を実施し、平成３１年度委託事業では、鳥取沖の北部にて新規 2D 探査を実施し、令和２年度委託事業では、京都－福井沖にて新規 2D 探査を実施し、本業務では、酒田沖にて新規 2D 探査を実施し、それぞれ探査データを取得した。これらの探査データを一元的に管理するため、ハードディスクに調査地点ごとのフォルダを作成し、弾性波探査の分野で一般的に扱われる SEG-Y 形式または SEG-D 形式のデータとして保管している。表 3.3-1 に、ハードディスク上で一元的に管理している探査データの保管リストを示す。

表 3.3-1　ハードディスク上で一元的に管理している探査データの保管リスト

地点名	事業年度	探査区分	2D 探査 測線数	2D 探査 総測線長	3D 探査 面積	備考
西津軽沖	平成 27 年度 （2015 年度）	2D 探査	5	約 250 km		海域調査 発振測線長
能代沖	平成 28 年度 （2016 年度）	3D 探査			約 111 km^2	海陸横断調査 発振範囲
	平成 29 年度 （2017 年度）	2D 探査	2	約 40 km		陸域調査 発振測線長
		2D 探査	3	約 41 km		海陸横断調査 発振測線長
秋田沖	平成 29 年度 （2017 年度）	3D 探査			約 158 km^2	海域調査 フル重合範囲
酒田沖	令和 3 年度 （2021 年度）	2D 探査	29	約 1,451 km		海域調査 フル重合測線長
金沢沖	平成 26 年度 （2014 年度）	2D 探査	29	約 1,197 km		海域調査 発振測線長
	平成 29 年度 （2017 年度）	3D 探査			約 296 km^2	海域調査 フル重合範囲
京都ー 福井沖	令和 2 年度 （2020 年度）	2D 探査	19	約 1,460 km		海域調査 発振測線長
鳥取沖	平成 26 年度 （2014 年度）	2D 探査	23	約 1,045 km		海域調査 発振測線長
	平成 31 年度 （2019 年度）	2D 探査	12	約 895 km		海域調査 発振測線長
宮崎沖	平成 28 年度 （2016 年度）	2D/3D 探査	1	約 28 km	約 404 km^2	海域調査 発振測線長 フル重合範囲
	平成 30 年度 （2018 年度）	2D 探査	3	約 68 km		海陸横断調査 発振測線長
枕崎沖	平成 27 年度 （2015 年度）	2D 探査	28	約 995 km		海域調査 発振測線長

3.3.2　基礎物理探査の 2D/3D 探査データ（再処理）

JOGMEC から借用した基礎物理探査データを基に JCCS において再処理した成果については、借用元の JOGMEC に移管する方針としている。本業務においては再処理を実施しておらず更新の必要はないが、これまでの移管実績を表 3.3-2 と表 3.3-3 に示す。

表 3.3-2　JOGMEC に移管した再処理成果一覧（その 1）

再処理実施年度	再処理成果品の移管対象データ	移管年月日
平成 26 年度	平成元年度基礎物理探査「山陰～北九州沖」	2017 年 4 月 13 日
	「対馬海盆」＊元民間データ。現在 JOGMEC が管理。	
平成 27 年度	昭和 45 年度基礎物理探査「北上～阿武隈」	
	昭和 48 年度基礎物理探査「北陸」	
	昭和 49 年度基礎物理探査「東海～九州」	
	昭和 53 年度基礎物理探査 「東海沖～熊野灘、宮崎沖、伊豆七島海域（一部）」	
	昭和 49 年度基礎物理探査「北陸～山陰」	
	昭和 60 年度基礎物理探査「大和堆」	
	昭和 61 年度基礎物理探査「南三陸～鹿島沖」	
	昭和 62 年度基礎物理探査「秋田～青森浅海域」	
	昭和 62 年度基礎物理探査「西津軽～新潟沖」	
	平成 5 年度基礎物理探査「常磐～鹿島浅海域」	
	平成 8 年度基礎物理探査「南海トラフ」	

表 3.3-3　JOGMEC に移管した再処理成果一覧（その 2）

再処理実施年度	再処理成果品の移管対象データ	移管年月日
平成 27 年度	昭和 50 年度基礎物理探査「沖縄西方海域」	2017 年 12 月 11 日
	昭和 55 年度基礎物理探査「トカラ列島海域」	
	「トカラ」＊元民間データ。現在 JOGMEC が管理。	

第４章

二酸化炭素貯留適地調査に係る
調査・解析・検討の実施

第４章　二酸化炭素貯留適地調査に係る調査・解析・検討の実施

4.1　概要

本業務では、令和２年度委託事業に係る有識者委員会において 2021 年度調査対象として確認された地点に対し、貯留層と遮蔽層の抽出、地質解析、貯留可能量の算定を実施し、貯留適地の評価を行うことを目的として以下の業務を実施した。

4.1.1　地質解析と貯留適地評価

新潟北西沖、佐渡南方沖の 2 地点において、地質解析と貯留適地評価の前段階となる海底地形および海底地質に関する情報の整理を実施した。既存 2D/3D 探査データに基づき、秋田沖、酒田沖、新潟北西沖・佐渡南方沖、京都－福井沖の 5 地点において地質解析と貯留適地評価を実施した。

1) 海底地形判読および海底地質情報コンパイル（新潟北西沖・佐渡南方沖）（4.2 節）
新潟北西沖および佐渡南方沖 2 地点をまとめて新潟北西沖・佐渡南方沖とし、基礎物理探査の 3D 探査の航跡データに含まれる音響測深データと、公開されている海底地形および海底地質に関する資料を用いて、海底地形および海底地質に関する情報を整理した。

2) 地質解析と貯留適地評価（秋田沖）（4.3 節）
秋田沖の北部区域を調査範囲として、2D 探査データ、基礎試錐データ、民間坑井データ、公開されている地質情報に関する資料を用いて地質解析と貯留適地評価を実施した。あわせて、秋田沖～本荘沖において過年度業務で算定されていた貯留可能量を含めて総括した。

3) 地質解析と貯留適地評価（酒田沖）（4.4 節）
酒田沖を調査範囲として、本業務にて取得した 2D 探査データ（3.2 節）、令和２年度委託事業にて再処理した既存 2D 探査データ、基礎試錐データ、民間坑井データを用いて地質解析と貯留適地評価を実施した。

4) 地質解析と貯留適地評価（新潟北西沖・佐渡南方沖）（4.5 節）
新潟北西沖および佐渡南方沖 2 地点をまとめて新潟北西沖・佐渡南方沖とし、公刊資料、当該区域において取得された基礎物理探査 2D/3D 探査データ、基礎試錐データ、民間坑井データ、本業務にて実施した海底地質情報のコンパイルデータ（4.2 節）を用いて地質解析と貯留適地評価を実施した。

5) 地質解析と貯留適地評価（京都－福井沖）（4.6 節）
京都－福井沖では、環境省が実施した平成２５年度環境省委託事業において、貯

留可能量が 102 億 t と評価された。この評価結果を受けて、平成３１年度委託事業において既存 2D 探査データの再処理を行い、不足するデータを補う目的で令和２年度委託事業において 2D 探査データの取得を行った。これらの 2D 探査データを用いて、地質解析および貯留可能量評価を実施した。

4.1.2 その他の業務

地質解析と貯留適地評価に加え、下記業務を実施した。

1) 貯留層シミュレーションによる貯留可能性検討（日高沖）（4.7 節）

日高沖では、令和２年度委託事業において、貯留可能量を 26.3 億 t と評価した。地質解析結果を反映した地質モデルを作成し、調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーションを実施した。

2) 貯留層シミュレーションによる貯留可能性検討（秋田沖）（4.8 節）

秋田沖の北部区域では、4.3 節に示したように、笹岡層に相当する上部貯留層で 3.9 億 t、秋田沖～本荘沖における貯留適地候補区域として過年度の解析結果を含めて 49.4 億 t を貯留可能量として評価した。平成２８年度事業の秋田沖の貯留可能量評価も含め、秋田沖および秋田沖北部区域での地質解析結果を反映した地質モデルを作成し、調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーションを実施した。

3) 既存廃坑井に対するリエントリーおよび是正の実現可能性調査（4.9 節）

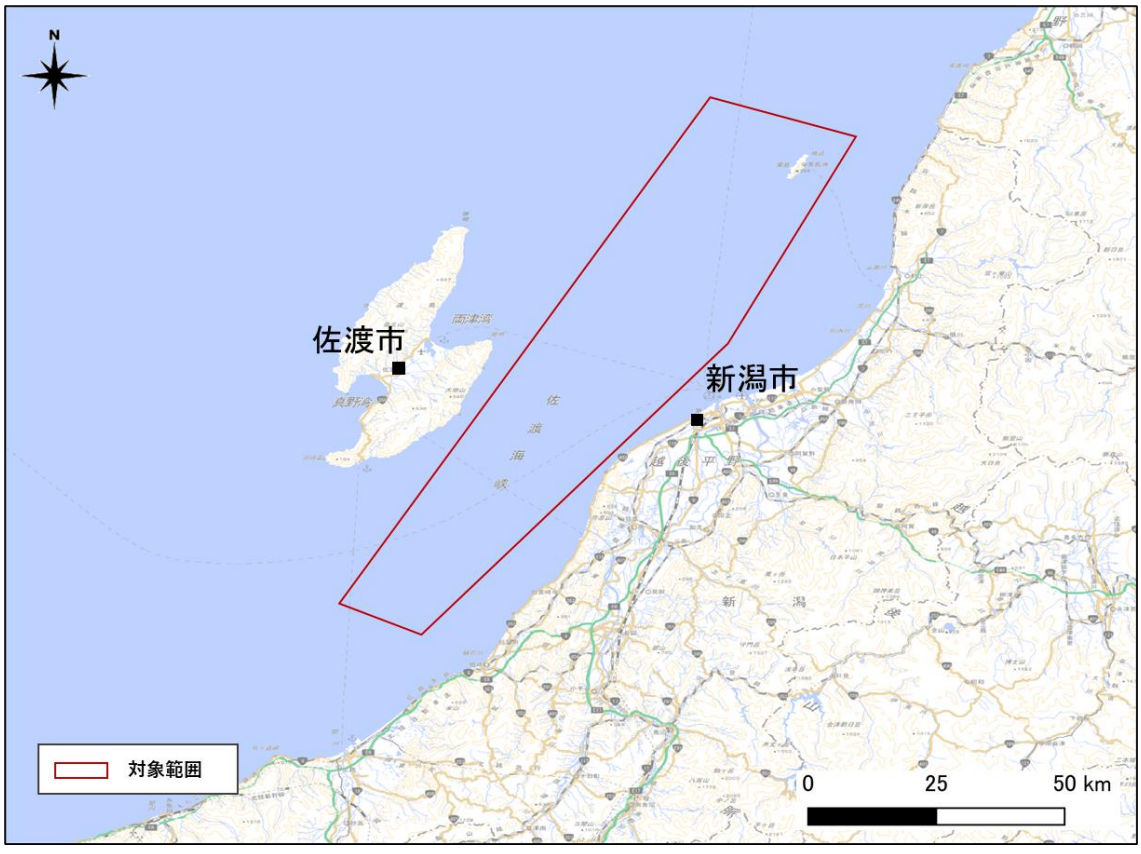
貯留適地調査で対象とする地点には、油ガス探鉱等の目的で掘削された試掘井等が存在する場合がある。これらの坑井には廃坑措置が施されて残置されており、廃坑措置の状況によっては CO_2 貯留時に CO_2 の漏洩経路となる可能性がある。既存廃坑井の CO_2 漏洩リスクが許容できないと判断した場合、廃坑井の是正が必要であるため、その是正方法等について調査を実施した。

4.2　海底地形判読および海底地質情報コンパイル（新潟北西沖・佐渡南方沖）

新潟北西沖および佐渡南方沖 2 地点をまとめて新潟北西沖・佐渡南方沖とし、対象範囲内の基礎物理探査の 3D 探査データのうち利用可能なデータ、公開されている海底地形および海底地質に関する資料を用いて、海底地形および海底地質に関する情報の整理を行った。

4.2.1　作業概要

『平成 30 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「新潟沖 3D」』[1)]（以下、「基礎物理探査「新潟沖 3D」」と称する。）、『平成 30 年度 国内石油・天然ガス基礎調査基礎物理探査「佐渡海盆 3D」』[2)]（以下、「基礎物理探査「佐渡海盆 3D」」と称する。）の 3D 探査航跡データに含まれる音響測深データ（以下、「3D 測深データ」と称する。）と、公開されている資料等を使用し、海底地形および海底地質に関する情報の収集と整理を行った。図 4.2-1 に対象範囲を示す。使用した主要ソフトウェアを表 4.2-1 に、測地諸元を表 4.2-2 に示す。



注）国土地理院「電子地形図（タイル）」に追記

図 4.2-1　対象範囲

表 4.2-1　主要ソフトウェア一覧

処理ソフトウェア	実施した処理
『QGIS』オープンソース	・地理情報の統合 ・浅層の地質解釈およびマッピング
『Simple DEM Viewer』フリーソフトウェア	・海底地形の各種 3 次元図作成

表 4.2-2　作業で使用した測地諸元

準拠楕円体	WGS84
長半径	6,378,137.00000000 m
短半径	6,356,752.31424500 m
投影法	Universal Transverse Mercator（UTM 図法）
系番号	54
座標原点 緯度	00° 00′ 00.000" N
座標原点 経度	141° 00′ 00.000" E
縮尺係数	0.999600
北方加数	0.000 m
東方加数	500,000.000 m

4.2.2　海底地形および海底地質情報に係るデータの収集

使用した海底地形、海底地質、既存音波探査に係る資料を表 4.2-3 に示す。

海底地形に係る資料として、基礎物理探査「新潟沖 3D」[1)]、基礎物理探査「佐渡海盆 3D」[2)] の 3D 測深データと、3D 測深データがカバーしていない領域を補うために(一財)日本水路協会が発行する海底地形デジタルデータ[3)]（以下、「水路協会データ」と称する。）を収集した。

海底地質に係る資料として、基礎物理探査「新潟沖 3D」[1)] および基礎物理探査「佐渡海盆 3D」[2)] のデータ解釈報告書と、(国研)産業技術総合研究所（以下、「AIST」と称する。）発行の海底地質図（粟島周辺[4)]、佐渡島南方[5)]、佐渡島北方[6)]、新潟沿岸域 20 万分の 1[7)]）を収集した。

既存音波探査資料として、AIST が公開している高分解能音波探査断面データベース[8)]および海域地質構造データベース[9)] から、高分解能音波探査（Sub-Bottom Profiler、以下、「SBP」と称する。）およびエアガンによる音波探査断面図を収集した。また、一部公開されている、高分解能マルチチャンネル音波探査断面データ[10)] も収集した。

この他、陸域から海域に連続する地質構造の推定に資するため、AIST が公開している 20 万分の 1 日本シームレス地質図[11)]、活断層データベース[12)] および活断層研究会発行の新

編日本の活断層[13)]を収集した。地震調査研究推進本部（2004、2003）[14)、15)]、活断層詳細デジタルマップ[新編][16)]も参考とした。

表 4.2-3　使用データ一覧

	呼称	作成／発行機関	内容	形態	備考
海底地形	平成 30 年度 基礎物理探査「新潟沖 3D」「佐渡海盆 3D」音響測深データ	(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構	航跡座標、水深	Text ファイル (SEG-P1/UKOOA P1/90)	経緯度座標を UTM 座標に変換
	海底地形デジタルデータ「M7011 佐渡」	(一財)日本水路協会	等深線座標	Text ファイル	経緯度座標を UTM 座標に変換
海底地質	平成 30 年度 基礎物理探査「新潟沖 3D」「佐渡海盆 3D」データ解釈報告書	(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構	層序、地質構造、断層分布、地史	PDF ファイル	
	粟島周辺海底地質図 佐渡島南方海底地質図 佐渡島北方海底地質図	(国研)産業技術総合研究所	地質分布、断層、しゅう曲軸等	印刷資料	
	新潟沿岸域 20 万分の 1 海底地質図			Shape ファイル	
既往探査データ	高分解能音波探査断面データベース	(国研)産業技術総合研究所	航跡位置	Text ファイル	経緯度座標を UTM 座標に変換
			プロファイル図	画像ファイル	
	海域地質構造データベース		航跡位置	画像ファイル	経緯度座標を UTM 座標に変換
			プロファイル図	画像ファイル	
その他	高分解能マルチチャンネル音波探査断面データベース	(国研)産業技術総合研究所	航跡位置	画像ファイル	
			プロファイル図	画像ファイル	
	日本シームレス地質図 V2	(独)産業技術総合研究所	陸域の地質分布、陸域の断層	オンライン画像	
	活断層データベース	(国研)産業技術総合研究所	活断層の分布	オンライン画像	
	新編日本の活断層	活断層研究会	プロファイル図	印刷資料	
	地震調査研究推進本部	文部科学省 地震調査研究推進本部	長岡平野西縁断層帯の地震活動の長期評価	PDF ファイル	
	地震調査研究推進本部		日本海東縁部の地震活動の長期評価	PDF ファイル	
	活断層詳細デジタルマップ[新編]	東京大学出版会	陸域の活断層	デジタルデータ	

4.2.3　海底地形モデルの作成

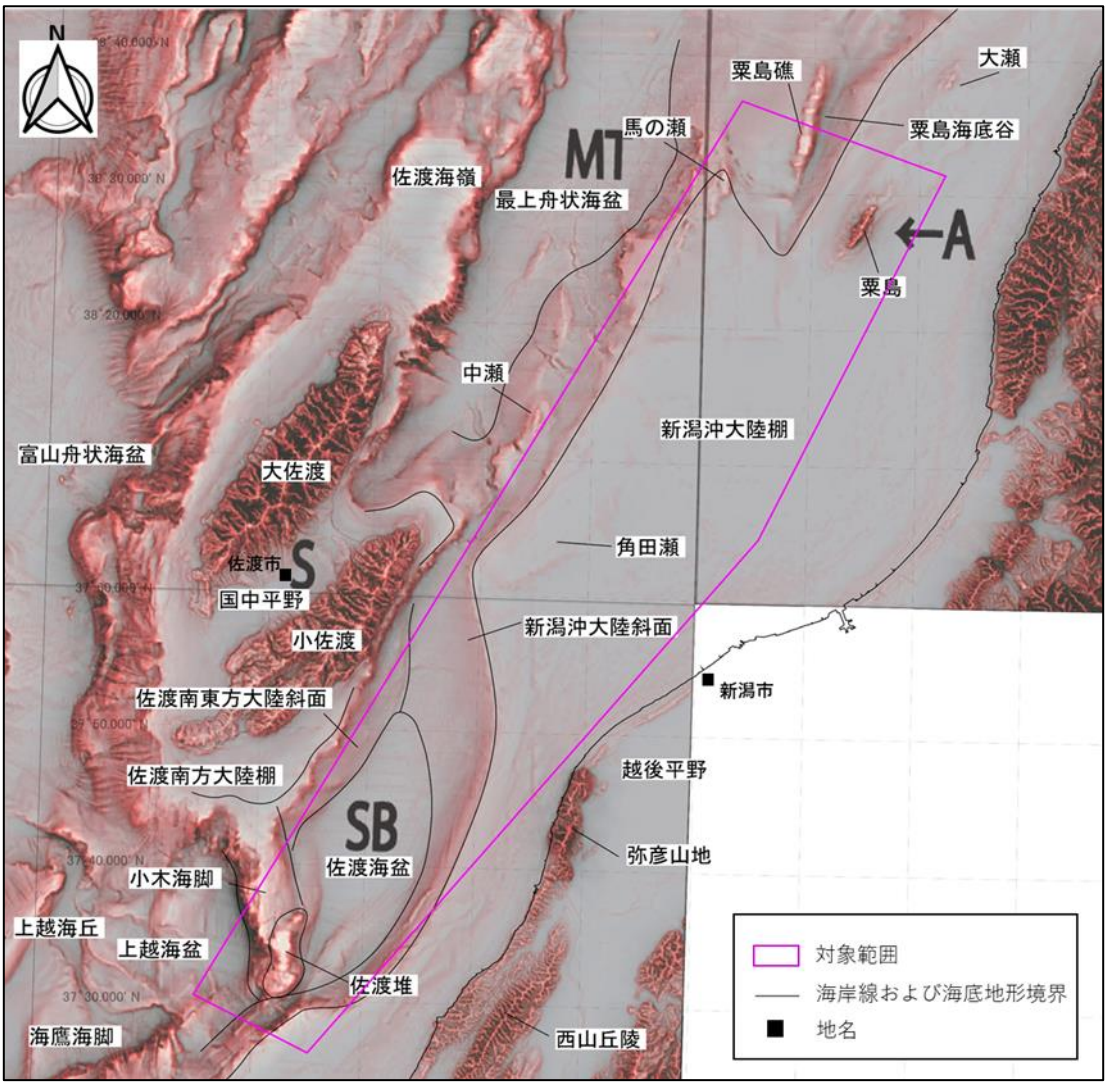
海底地形の特徴を把握し、断層等による変位地形を抽出するために、海底地形モデルを作成した。海底地形モデル作成に使用した海底地形データの比較を表 4.2-4 に示す。3D 測深データ[1)、2)]は、データ点密度が高いが解析対象範囲全域のデータが取得されていない一方で、水路協会データ[3)]は、データ点密度にばらつきがあるものの、沿岸域を含む全域をカバーしている。このため 3D 測深データ[1) 2)]が利用可能なエリアでは 3D 測深データを使用し、3D 測深データでカバーできないエリアは水路協会データ[3)]を使用し、海底地形モデルを作成した。

断層活動や地質構造を反映している可能性のある変動地形あるいは構造地形は、一般的に線状に連なる谷、尾根および崖地形ならびに尾根や谷の屈曲等で認定される。これらの変動地形は、比高や変位量が小さいものが多く、尾根や谷の急な屈曲や傾斜の急変で識別されることが多い。そのため、データの補間や平滑化等の処理を適用した海底地形モデルでは、微小な変動地形が隠されてしまうことが懸念される。海底地形モデルを作成するにあたっては、上記の微小な変動地形が潰れることのないように、データの補間や平滑化等の処理は適用せず、元データの起伏を尊重することとした。

作成した海底地形モデルを図 4.2-2 に示す。おおまかに大陸棚、大陸斜面、海盆等が確認できる。この他にも多くの特徴的な海底地形が分布し、これらにつけられた名称を既往文献から抽出した。

表 4.2-4　使用データー覧表

	3D 測深データ	水路協会データ
データ形式	測線(X,Y,Z)データ	等深線データ
測線間隔	300～500 m（平均 400 m）	―
等深線間隔	―	10 m（水深 200 m 以浅） 20 m（水深 200 m 以深）
データ範囲	全域を網羅していない。	全域を網羅している。
評価	データ点間隔が密である。	対象範囲全域を網羅している。



注）野ほか（2016）[17]に加筆

図 4.2-2　海底地形モデルと既往文献に基づく海底地形の名称

4.2.4　海底地形判読

「4.2.3 海底地形モデルの作成」にて作成した海底地形モデルと既存音波探査資料から海底地形の特徴を把握するとともに、浅部地下構造が海底地形に与える影響を確認した。

(1)　海底地形の特徴

海底地形モデルを用いて作成した傾斜区分図および傾斜方位図と、海底地形モデルから抽出したリニアメント、谷地形、凹地形、凸地形、鞍部、滑落崖、地滑り堆から、海底地形の特徴を確認した。

①　傾斜区分

海底地形の傾斜角度から海底地形の特徴を検討するために、傾斜区分図を作成した。海底

地形の傾斜角度は、海底地形モデルを 1 辺 25 m の格子に分割して算出した。海底地形は、傾斜角度 0.5 度未満の緩傾斜面、これらの周囲に発達する傾斜角度 0.5 度以上の傾斜面、点在する凸地形に起因する傾斜角度 15 度以上の急傾斜面の三つに区分できる。緩傾斜面は対象範囲の大部分を占めており、新潟沖大陸棚、佐渡海盆、上越海盆に相当する。また、傾斜面は大陸斜面に相当し、急傾斜面は小木海脚や佐渡堆の周囲で主に発達している。

② 傾斜方位区分

海底地形の傾斜方位から海底地形の特徴を検討するために、傾斜方位区分図を作成した。海底地形の傾斜方位は、海底地形モデルを 1 辺 25 m の格子に分割して算出した。3D 測深データの取得時の精度を考慮して傾斜 0.5 度未満は、評価しなかった。対象範囲の陸域からのびる新潟大陸棚はおおむね水平である。平坦な大陸棚より沖側に分布する新潟大陸斜面は、おおむね西方に傾斜する。佐渡島の南東方にある佐渡南東方大陸斜面では、全体に南東方向に傾斜している。佐渡島南東方の斜面より南側には佐渡海盆があり、この盆底はほぼ水平である。小木海脚および佐渡堆は、南北方向の凸地形で、この凸地形を取り囲む各斜面において発達し斜面毎に方向が異なる。佐渡堆より南方に位置する上越海盆は、盆底はほぼ水平である。

③ 海底地形区分

海底地形モデル、傾斜区分および傾斜方位区分から海底地形を、新潟沖大陸棚、佐渡海盆、上越海盆、新潟沖大陸斜面、佐渡南東方大陸斜面、小木海脚、佐渡堆の七つに区分した。

④ 凸地形、閉塞凹地、滑落崖～崩落崖および地すべり堆～崩落堆

凸地形のうち、小木海脚および佐渡堆は規模が大きく、この他にも、大陸棚、大陸斜面、海盆中に比較的規模の小さい尾根状の凸地形が複数認められる。これらは両縁の傾斜変換（遷緩）線～崖に断層～撓曲構造が存在する可能性が高い。角田瀬から北東方向には凸地形が左雁行配列する。大陸棚は約 1.8 万年前の海水準低下期に主に浸食作用により形成された平坦地形と考えられており、大陸棚上の小規模な凸地形の起伏は約 1.8 万年前以降に背斜構造が隆起することにより形成された可能性がある。

凹地形は、一般的に沖合側に開けているが、凹地の沖合側が隆起することにより閉塞凹地が形成される場合がある。佐渡海盆は典型的な閉塞凹地であり、上越海盆も対象範囲外を含めた範囲で閉塞凹地となっている。新潟沖大陸棚中奥部に認められる閉塞凹地は、新潟沖隆起帯と粟島隆起帯に挟まれた沈降帯である。また、非常に小規模であるが、小木海脚、佐渡堆および佐渡海盆中や、角田瀬から馬の瀬に連続する凸地形間にも閉塞凹地が複数認めら

れる。

また、急斜面部に円弧状の崖があり、その下方に舌状に膨らんだ地形が認められる場合、円弧状の崖は滑落崖～崩落崖で、その下方の舌状に膨らんだ地形は地すべり堆～崩落堆と考えられる。

⑤　海底谷

断層が存在する場合、断層部は岩石が脆弱であるため侵食され谷地形が形成され、尾根地形を横断する場所で鞍部地形となることが多い。このような谷および鞍部が直線的に連続する場合は断層が存在する可能性が高いと考えられている。

⑥　リニアメント

凸地形、閉塞凹地、谷および鞍部の位置関係とその連続性から、活断層～撓曲の可能性のある 39 本のリニアメントを抽出した。主に海脚、大陸斜面および海盆との境界、大陸棚等に認められる小規模な凸地形の縁の傾斜変換（遷緩）線、崖基部に位置する。

分布場所ごとに七つのグループに分け、線分ごとに番号を付けた。

(2)　海底地形の特徴と浅部地下構造の関係の把握

海底地形の特徴と浅部地下構造の関係を把握するために収集した、SBP による音波探査断面[8)]とエアガンによる音波探査断面[9)]を用いて、海底地形と浅部地下構造の関係を検討した。エアガンによる音波探査断面は[9)]、SBP による音波探査断面[8)]と同一測線上で実施されているが、その測線数が SBP による音波探査断面[8)]に比べ少ない。公開されている断面図の解像度や残存する多重反射波を考慮して、SBP による音波探査断面[8)]では異常地形を、傾斜変換点、ステップ状、急崖、逆向き崖、谷、凸状、マウンド状、凹凸、鋸歯状の十種類に分類した。エアガンによる音波探査断面[9)]では SBP による音波探査断面[8)]から抽出した異常地形の浅部地下構造を確認し、成因や構造を推定した。

抽出した異常地形は、推定される成因や構造から、断層～撓曲（累積性有り）、断層～撓曲（累積性不明）、背斜、不明、非活の 5 種類に分類した。

抽出した異常地形を集計した結果を表 4.2-5 に示す。「断層～撓曲（累積性有り）」・「断層～撓曲（累積性不明）」・「背斜」については活構造の可能性が高いものとし、「不明」については活構造であるかどうか不明、「非活」については活構造である可能性が低いものとして、抽出した異常地形を三つの確実度によって整理した。

海底地形毎の特徴を表 4.2-6 に示す。

表 4.2-5　解釈した異常地形の整理

変位地形の可能性のある異常地形		確実度	
名称	数	内容	数
断層～撓曲（累積性有り）	67	活構造である可能性が高い	266
断層～撓曲（累積性不明）	71		
背斜	128		
不明	224	活構造であるかどうか不明	224
非活	33	活構造である可能性が低い	33
合計	523	-	523

表 4.2-6　海底地形毎の特徴

新潟沖大陸棚
水深が約 150 m 未満と浅く、海底地形の起伏も小さい。多重反射が多く、地質構造の解釈が困難であるため、「断層～撓曲（累積性不明）」、「不明」が多くを占める。北部の馬の瀬付近は凸地形が明瞭で、「断層～撓曲（累積性有り）」が認められる。また、大部分の大陸棚は非常に平坦であるが、わずかな膨らみが認められ、これは「背斜」の可能性が高い。
新潟沖大陸斜面
大陸斜面中の沖方向に緩傾斜となる傾斜変換点は、変位に起因するものではなく、堆積作用によると推定し、「非活」と判断した。一部、大陸斜面に認められた凸地形は、「断層～撓曲」とした。
佐渡南東方大陸斜面
全体が「背斜」であり、佐渡海盆との境界付近に「断層～撓曲（累積性有り）」が認められた。
佐渡海盆
小木海脚、佐渡堆、佐渡南東方大陸斜面との境界ならびに海盆中の凸地形縁には「断層～撓曲（累積性有り）」が認められた。新潟沖大陸斜面との境界付近は、南部では「断層～撓曲」が、北部では傾斜変換部の直下に「崩落～地すべり堆」が認められた。基底は緩やかで「非活」とした。また、盆地中央部は海底面は平坦だが、地下には「断層～撓曲（累積性有り）」および「背斜」が存在する。

上越海盆
小木海脚、新潟沖大陸斜面の境界付近には「断層～撓曲（累積性有り）」が認められた。盆地中央部の傾斜変換点は、直下に傾斜部が認められず、侵食による谷地形と考えられ「非活」と判断した。
小木海脚および佐渡堆
佐渡海盆および上越海盆との境界付近には「断層～撓曲（累積性有り）」が認められた。また、小木海脚と佐渡堆との境界にも「断層～撓曲（累積性有り）」が認められる。

4.2.5　海底地形情報と海底地質情報のコンパイル

「4.2.4 海底地形判読」にて得たリニアメントおよび変位地形の可能性のある海底地形、海底地質に関する既存資料から得た海底地質および断層等の情報を整理・集約した。

「4.2.4 海底地形判読」にて判読したリニアメントは、その確実度を評価するために、AIST の海底地質図、物理探査手法を用いて評価を行った文献および地形判読を用いて評価を行った文献の 3 種類の既往資料ならびに「4.2.4 海底地形判読」にて得た変位地形の可能性のある海底地形との対応関係を検討し、対応する情報の数等に応じて分類した。

【参考文献】

1) 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構、“平成 30 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「新潟沖 3D」データ取得報告書”（2020）
2) 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構、“平成 30 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「佐渡海盆 3D」データ取得報告書”（2020）
3) (一財)日本水路協会、“海底地形デジタルデータ M7000 シリーズ「M7011 佐渡」”
4) 岡村行信・森尻理恵・土谷信之・佐藤幹夫・宮崎純一・山崎俊嗣・上嶋正人・木川栄一・石原丈実、“粟島周辺海底地質図”、地質調査所（1996）
5) 岡村行信・竹内圭史・上嶋正人・佐藤幹夫・森尻理恵・駒沢正夫・広島俊夫・宮崎純一、“佐渡島南方海底地質図”、地質調査所（1994）
6) 岡村行信・竹内圭史・上嶋正人・佐藤幹夫、“佐渡島北方海底地質図”、地質調査所（1995）
7) 井上卓彦・木村治夫・岡村行信、“新潟沿岸域 20 万分の 1 海底地質図”、 地質調査総合センター（2011）
8) (国研)産業技術総合研究所地質調査総合センター、“高分解能音波探査断面データベース”、https://gbank.gsj.jp/sbp_db/pages/cover.html

9) (国研)産業技術総合研究所地質調査総合センター、“海域地質構造データベース”、https://gbank.gsj.jp/marineseisdb/
10) (国研)産業技術総合研究所地質調査総合センター、“高分解能音波探査断面データベース”、 https://gbank.gsj.jp/sbp_db/pages/cover.html
11) (国研)産業技術総合研究所地質調査総合センター、“20 万分の 1 日本シームレス地質図”、https://gbank.gsj.jp/seamless2015/2d/
12) (国研)産業技術総合研究所地質調査総合センター、“活断層データベース”、https://gbank.gsj.jp/activefault/
13) 活断層研究会、“新編日本の活断層”（1991）
14) 地震調査研究推進本部、“長岡平野西縁断層帯の長期評価”（2004）
15) 地震調査研究推進本部、“日本海東縁部の地震活動の長期評価"（2003）
16) 今泉 俊文・宮内 崇裕・堤 浩之・中田 高(編集)、“活断層詳細デジタルマップ[新編]”（2018）
17) 野 徹雄・平松 孝晋・佐藤 壮・三浦 誠一・千葉 達朗・上山 沙恵子・壱岐 信二・小平 秀一、“日本海及びその周辺の地形データの統合と赤色立体地図”（2016）

4.3　地質解析と貯留適地評価（秋田沖）

秋田沖の北部区域を作業範囲として、2D 探査データ、基礎試錐データ、民間坑井データ、公開されている地質情報に関する資料を用いて地質解析と貯留適地評価を実施した。あわせて、秋田沖～本荘沖において過年度業務で算定されていた貯留可能量を含めて総括した。

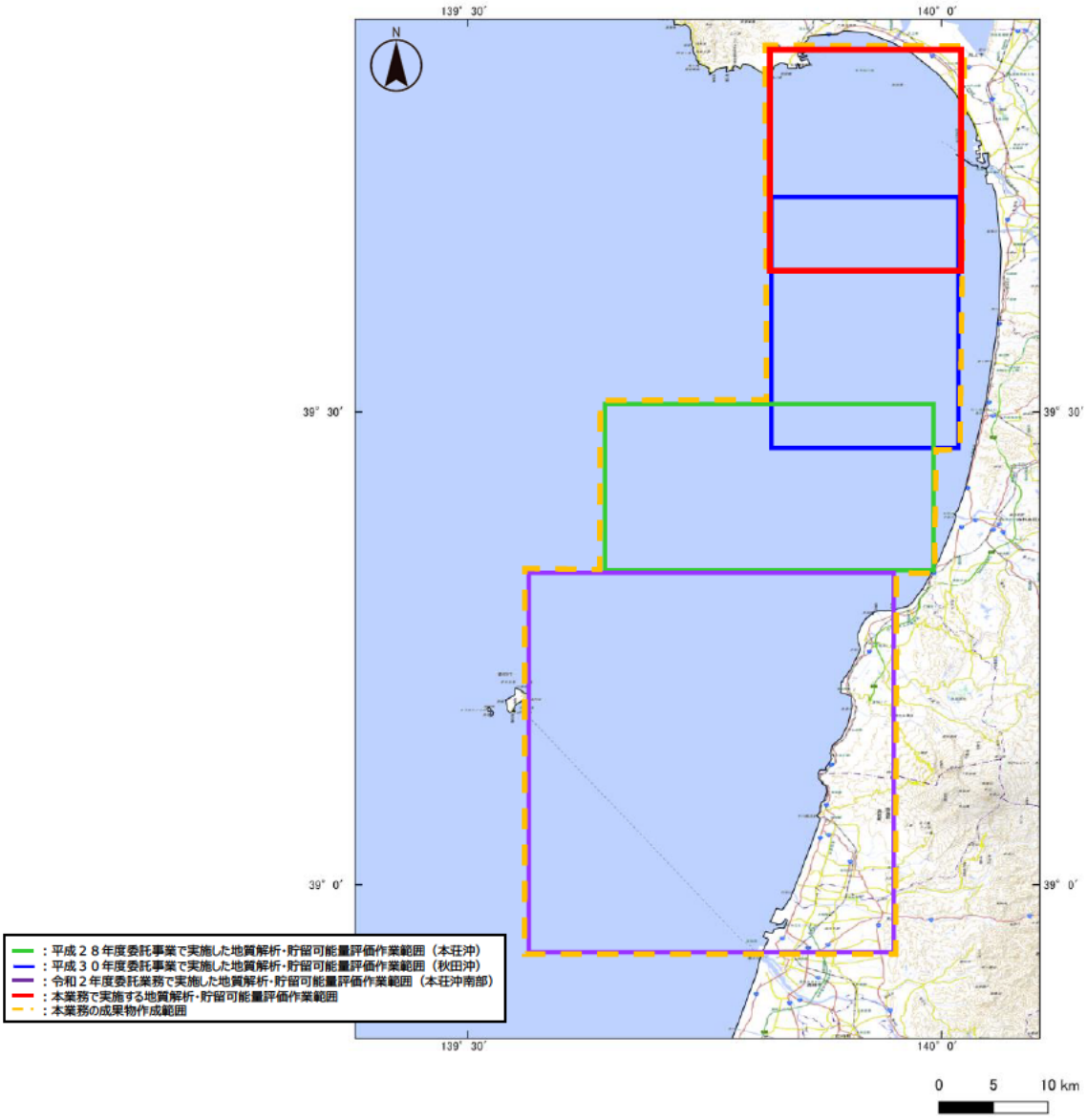
4.3.1　概要

(1)　作業範囲

本業務の作業範囲（以下、「2021 年度作業範囲」と称する。）を図 4.3-1 の赤色の実線で示す。2021 年度作業範囲は秋田市の西約 10 km の沖合に位置し、東西約 18 km、南北約 31 km、面積約 560 km^2 である。当該海域の水深は南西に向かって徐々に深くなり、水深 0～100 m 程度である。

評価結果の範囲として、2021 年度作業範囲、平成２８年度委託事業にて実施した地質解析と貯留適地評価[1)] の作業範囲（以下、「2016 年度作業範囲」と称する。）、平成３０年度委託事業にて実施した地質解析と貯留適地評価[2)] の作業範囲（以下、「2018 年度作業範囲」と称する。）、令和２年度委託事業にて実施した地質解析と貯留適地評価[3)] の作業範囲（以下、「2020 年度作業範囲」と称する。）およびこれらの作業範囲を合わせた範囲（以下、「成果図作成範囲」と称する。）を橙色の点線で図 4.3-1 に示した。

本作業で使用した測地諸元を表 4.3-1 に示す。



注）国土地理院「電子地形図（タイル）」[4]に追記

図 4.3-1　本作業の作業範囲

表 4.3-1　本作業で使用した測地諸元

準拠楕円体	WGS84
長半径	6,378,137.00000000 m
短半径	6,356,752.31424500 m
投影法	Universal Transverse Mercator（UTM 図法）
系番号	54
座標原点 緯度	00° 00′ 00.000" N
座標原点 経度	141° 00′ 00.000" E
縮尺係数	0.999600
北方加数	0.000 m
東方加数	500,000.000 m

(2)　使用データ

2021 年度作業範囲では 2D 探査、3D 探査および民間会社による坑井の掘削が実施されている。2021 年度作業範囲の南方では JCCS による 3D 探査および基礎物理探査による 3D 探査が実施され、JCCS による弾性波探査データの再処理業務、地質解析・貯留可能量評価業務が実施されている。また、基礎試錐による試掘井と民間会社による坑井の掘削が実施されている。

本作業で使用した弾性波探査データ、坑井データ、地質解析・貯留可能量評価データを以下に示す。

A) 3D 探査データ

1) 平成 25 年度 国内石油・天然ガス基礎調査　基礎物理探査「秋田沖 3D」の一部[5)]

2) 平成 25 年度 国内石油・天然ガス基礎調査　基礎物理探査「秋田沖 3D」の一部を平成２９年度委託事業で再処理した 3D 探査データ[6)]

3) 平成 26 年度 国内石油・天然ガス基礎調査　基礎物理探査「秋田～山形沖 3D」の一部[7)]

4) 平成２９年度委託事業で実施した秋田沖の 3D 探査データ（以下、JCCS「秋田沖 3D」と称する。）[6)]

B) 2D 探査データ

1) 平成２７年度委託事業で再処理した既存 2D 探査データ（本荘沖）[8)]

2) 平成３１年度委託事業で再処理した既存 2D 探査データ（秋田沖の北部）[9)]

3) 平成３１年度委託事業で再処理した既存 2D 探査データ（本荘沖の南部）[9)]

C) 坑井データ

1) 昭和 42 年度　基礎試錐「西目沖」[10)]

2) 昭和 58 年度　基礎試錐「最上川沖」[11)]

3) 平成 4 年度　基礎試錐「由利沖中部」[12)]

4) 平成 5 年度　基礎試錐「本荘沖」[13)]

5) 平成 7 年度　基礎試錐「子吉川沖」[14)]

6) 民間会社による坑井データ

D) 地質解析・貯留可能量評価データ

1) 平成２７年度委託事業で実施した地質解析・貯留可能量評価（秋田沖）[8)]

2) 平成２８年度委託事業で実施した地質解析・貯留可能量評価（秋田沖）[1)]

3) 平成２８年度委託事業で実施した地質解析・貯留可能量評価（本荘沖）[1)]

4) 平成３０年度委託事業で実施した地質解析・貯留可能量評価（秋田沖）[2)]

5) 令和２年度委託事業で実施した地質解析・貯留可能量評価（本荘沖）[3)]

2021 年度作業範囲内では平成３１年度事業委託事業で再処理した既存 2D 探査データ（秋田沖の北部）[9)]、平成２７年度委託事業で再処理した既存 2D 探査データ（本荘沖）[8)]、平成２５年度 国内石油・天然ガス基礎調査　基礎物理探査「秋田沖 3D」[5)、6)] の 3D 探査データ、民間会社による坑井データを使用した。2021 年度作業範囲外の平成２８年度委託事業[1)]、平成３０年度委託事業[2)]（範囲の一部が 2021 年度作業範囲と重複）、令和２年度委託事業[3)] で実施した地質解析・貯留可能量評価作業については、それら調査の解釈結果を利用した。

弾性波探査データおよび坑井データの他に、令和２年度委託事業で実施した海底地形判読および海底地質情報のコンパイルデータ（本荘沖）[3)] も使用して作業を実施した。

本作業で使用した主要ソフトウェアを表 4.3-2 に示す。

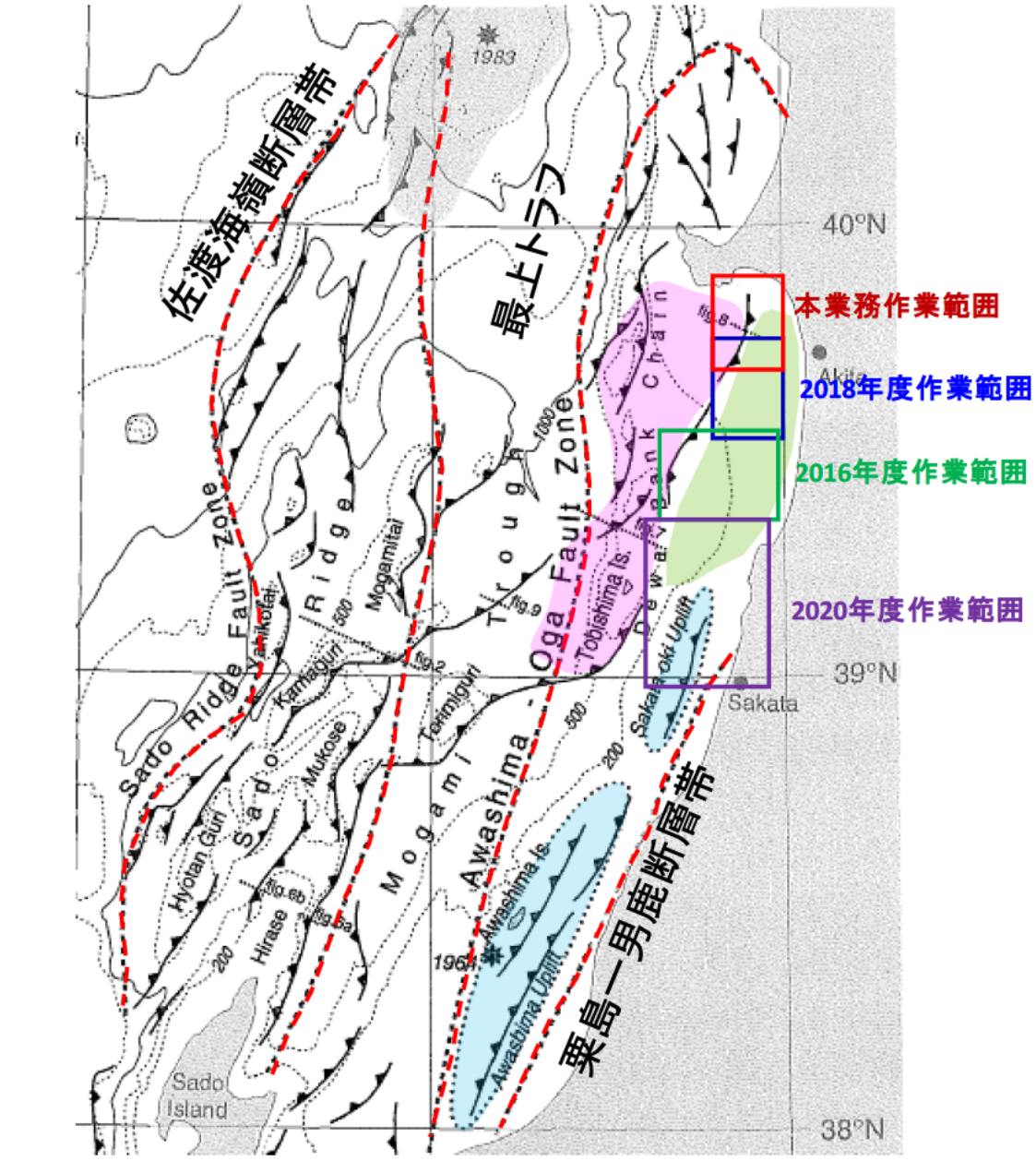
表 4.3-2　主要ソフト一覧

ソフトウェア	実施した作業
『Kingdom』 IHS 社	深度変換速度モデル作成、地質構造解析
『Petrel』 Schlumberger 社	堆積相解析、貯留可能量評価
『Interactive Petrophysics』 Lloyd's Register 社	検層解析

4.3.2　一般地質

(1)　地質概要

図 4.3-2 に秋田－庄内沖における地質構造と 2021 年度作業範囲の位置を示す。秋田～山形堆積盆地は、新第三紀に形成された堆積盆地であり、その基盤は先第三系花崗岩類から構成される[15)]。反射法弾性波探査、重力探査、坑井によって、本堆積盆地内には、層厚 5,000 m 以上の火成岩類や堆積岩類が確認されている[16)、17)]。2021 年度作業範囲は飛島海盆と大陸棚沈降帯の北端部に位置する。



注）岡村ほか（1998）[18] 第 3 図の一部引用、加筆した。

図 4.3-2　秋田ー庄内沖における地質構造および本事業調査範囲位置図

(2)　地質層序

2021 年度作業範囲は秋田沖の北部に位置し、過年度に堆積相解析および貯留量評価[1)、2)、3)]を実施した地域と庄内地域では、秋田・山形地域の標準層序に対比される地層名が用いられており、各層準にはおおむね同様の岩相が分布する[19)]。本作業ではそれら層序を踏襲した。図 4.3-3 に秋田～山形地域の標準層序を示す[19)]。また秋田・山形地域と庄内地域

の層序対比を図 4.3-4 に示す。

2021 年度作業範囲の層序は、下位より門前層（漸新統）、台島層／善宝寺層（下部中新統）、西黒沢層／青沢層（下～中部中新統）、女川層／草薙層（中～上部中新統）、船川層／北俣層（上部中新統～下部鮮新統）、下部天徳寺層／楯山層（上部鮮新統）、上部天徳寺層／丸山層（下部更新統）、笹岡層／観音寺層（上部更新統）、鮪川層－潟西層／庄内層群（上部更新統）が確認されている。以下に各層序の概要を記載する。

1) 門前層（漸新統）

基盤岩を不整合に覆う第三系最下部の地層であり、粗面岩質安山岩、変質両輝石安山岩～玄武岩、流紋岩および阿仁合型植物群化石を含む砂礫岩・火砕岩からなる。

2) 台島層／善宝寺層（下部中新統）

下～中部は溶結凝灰岩をともなうデイサイト、凝灰岩および玄武岩からなり、上部は礫岩･凝灰質砂岩･泥岩からなる。

3) 西黒沢層／青沢層（下～中部中新統）

かんらん石玄武岩の溶岩･ハイアロクラスタイトと海成層の泥岩からなり、ドレライトや酸性凝灰岩を伴う。南部の青沢層は主に火山礫岩、凝灰岩からなり、硬質泥岩を挟在する。

4) 女川層／草薙層（中～上部中新統）

硬質頁岩、泥岩および珪質泥岩からなり、酸性凝灰岩や泥灰岩、シルト岩を伴う。

5) 船川層／北俣層（上部中新統～下部鮮新統）

暗灰色～黒色泥岩からなり、酸性凝灰岩や凝灰質砂岩と泥岩の互層を伴う。船川層の上部には「桂根相」と呼ばれる粗粒相が一部の地域で認められる。

6) 下部天徳寺層／楯山層（上部鮮新統）

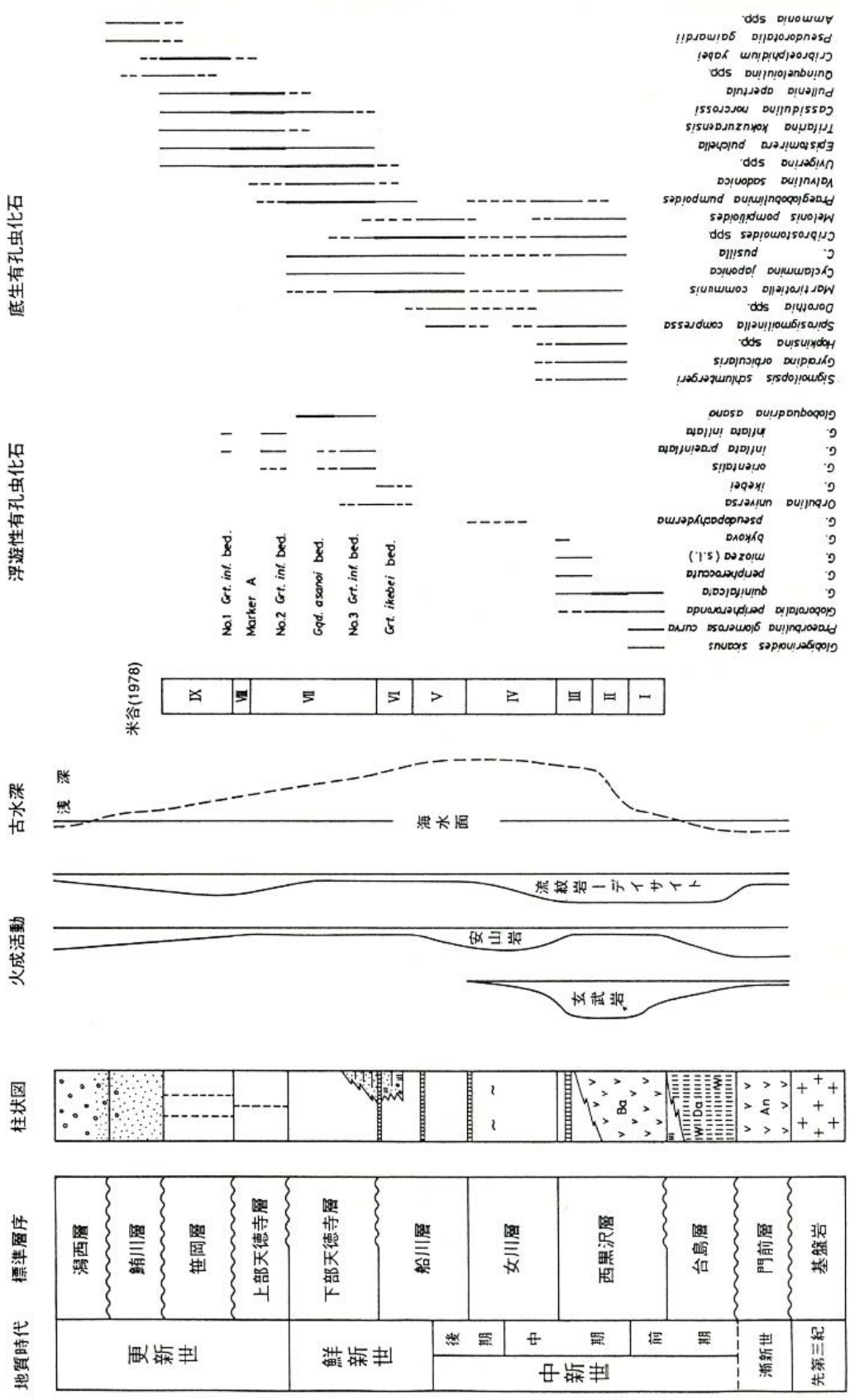
灰色泥岩、シルト質泥岩からなり、下部天徳寺層の下部、楯山層の上部では一部、砂岩泥岩互層となる。下部天徳寺層には「桂根相」と呼ばれる粗粒相が一部の地域で認められる。

7) 上部天徳寺層／丸山層（下部更新統）

緑灰色ないし灰色泥岩、シルト岩からなり、基底には浮石質凝灰岩や凝灰質砂岩を挟む。海域では本層基底に不整合が明瞭に確認される。丸山層には細～中粒砂岩、凝灰岩の薄層が挟在する。

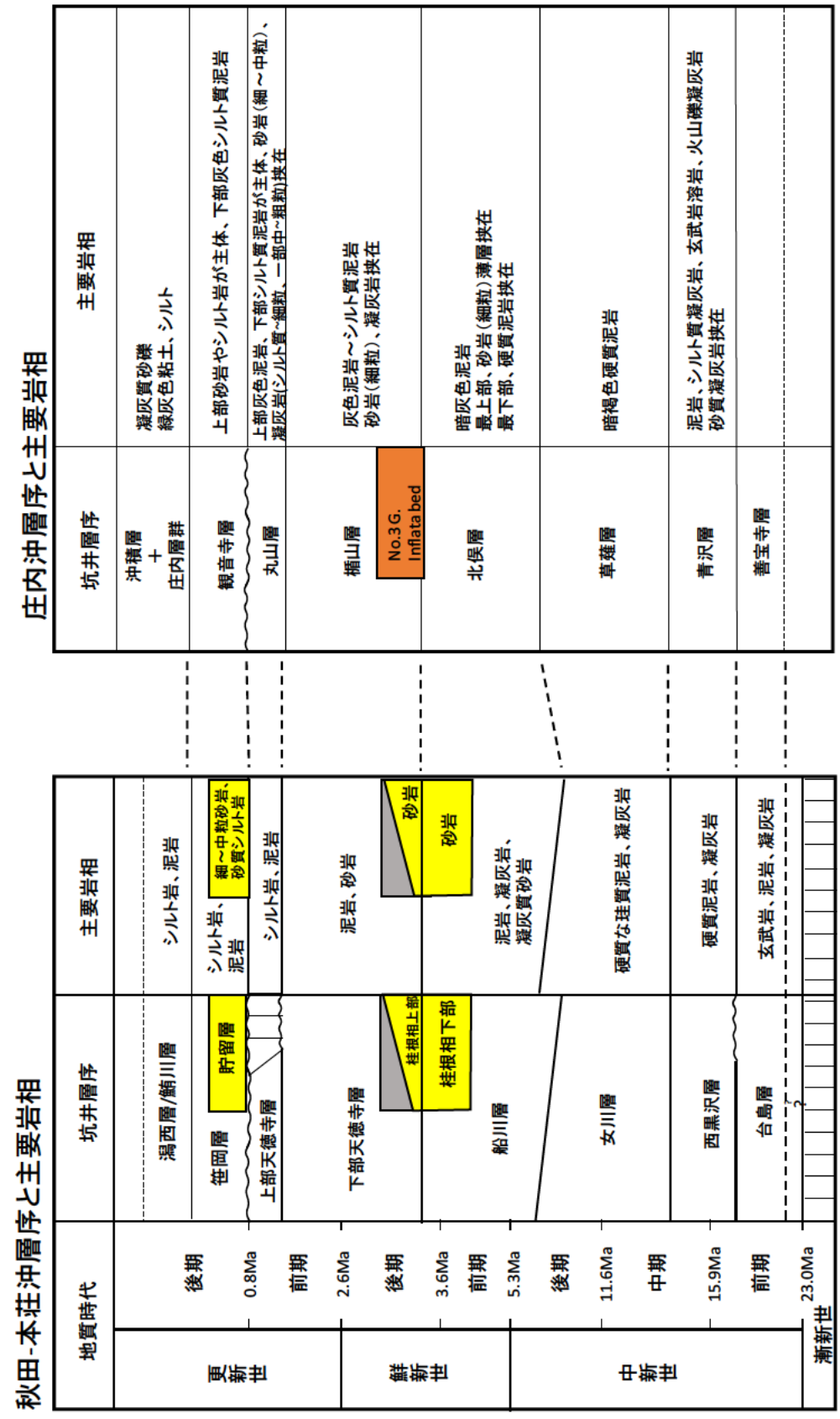
8) 鮪川層-潟西層／庄内層群（上部更新統）

砂、礫層を主とし、時に泥、シルト層が挟在する。



注）天然ガス鉱業会、大陸棚石油開発協会（1992）[19] 図 IIB-15 から引用した。

図 4.3-3　秋田－山形地域の標準層序



注）天然ガス鉱業会、大陸棚石油開発協会（1992）[19] および民間坑井資料から作成した。

図 4.3-4　秋田－山形地域標準層序と庄内地域層序の対比

(3) 地質構造および構造発達史

2021 年度作業範囲を含む秋田～山形西方の海域の構造は図 4.3-2 に示すように、陸棚から沖合にかけて南北方向に伸びる三列の構造帯に大きく区分でき、西から佐渡海嶺断層帯（隆起帯）、最上トラフ（沈降帯）、粟島-男鹿断層帯から構成される[15)]。東側の粟島－男鹿断層帯には、飛島－船川隆起帯、粟島隆起帯、酒田沖隆起帯等、顕著な隆起帯が断続的に分布する。飛島－船川隆起帯の東側では、飛島海盆と男鹿半島の北側までの大陸棚からなる沈降帯が発達している。

佐渡海嶺は北北東－南南西～北東－南西方向の数列の雁行状に配列する小海嶺の集合体である[15)]。

最上トラフは南北～北北東－南南西方向に伸びる凹地であり[15)]、その東方には出羽堆列が発達する。出羽堆列は、主として男鹿向瀬、新礁および飛島堆の三つの小海嶺と、それらの間の小規模な構造的高まりから構成される。また、各小海嶺を画するように北東－南西～北北東－南南西方向に雁行配列した断層や褶曲帯が連なる。なお、一部の断層や褶曲帯は出羽堆列から枝分かれして男鹿半島の船川沖に達し、飛島－船川隆起帯を構成する[15)]。

飛島－船川隆起帯は、北北東－南南西方向に伸び、連続的な断層や褶曲帯から構成される。本隆起帯は、東側の飛島海盆と西側の男鹿海盆を画し、全体として東傾斜の逆断層の発達が顕著で、東側が隆起したインバージョンに伴い形成されたと考えられる[15)]。

飛島－船川隆起帯の東側では、飛島海盆とその東側の秋田平野の油田地帯と一連の堆積盆が分布する。この堆積盆は男鹿半島の北側まで連続し、ブーゲー異常図の一連の低異常域としても認められ、鮮新世以降の地層が厚い部分に相当する[15)]。

酒田沖隆起帯は、粟島隆起帯の北方延長部に相当し、北北東－南南西のトレンドで約 40 km 伸びている[21)]。本隆起帯は粟島隆起帯と同様に西傾斜の逆断層の上盤に形成された背斜構造[15)]であり、東翼が西翼より急傾斜になっている。その逆断層は第四系を変位させていることから活断層と考えられる[20)]。

図 4.3-5 に東北本州弧の構造発達史を示す。秋田・山形堆積盆地は東北本州弧の背弧堆積盆地であり、同堆積盆地形成・発達においては中新世の日本海の生成・拡大に伴う伸張応力テクトニクスと鮮新世～更新世の圧縮応力テクトニクス（出羽変動）が特徴的である[16)、21)]。この伸張－圧縮テクトニクスは四つのステージに分けられ、下位より 1) 前期～中期中新世のリフト期、2) 後期中新世のポストリフト期、3) 後期中新世～鮮新世のプレインバージョン期、4) 更新世のインバージョン期である[15)、22)]。図 4.3-6 に日本海東北縁辺におけるインバージョン模式図を示す。

1) リフト期（前期～中期中新世）

日本海の拡大に伴い、秋田・山形堆積盆地では、飛島海盆から秋田平野にかけての範囲に日本海東縁域の中でも最大規模の南北に伸びるリフトが形成された。リフティングに伴い、火成岩類が活発に噴出し、グリーンタフ（台島層）および玄武岩の溶岩･ハイアロクラスタイト（西黒沢層）が堆積した[17)]。

2) ポストリフト期（後期中新世）

リフトの成長は中期中新世に終了し、その後、後期中新世までは顕著な変形構造が形成されない時期が続いた[22)]。ポストリフト期には顕著な断層や褶曲が形成されず、火成岩の噴出も沈静化した。また、広範囲に渡り熱的沈降が優勢となり、相対的に深い海盆が形成され、広い範囲で最大海進に至り、珪質泥岩（女川層）と暗色泥岩（船川層）が堆積した。しかし、リフト期に形成された地形的な起伏はこの時期にはまだ残っていたため、堆積層はかつての堆積盆中心で厚く、構造的高まりでは薄く堆積した。

3) プレインバージョン期（後期中新世～鮮新世）

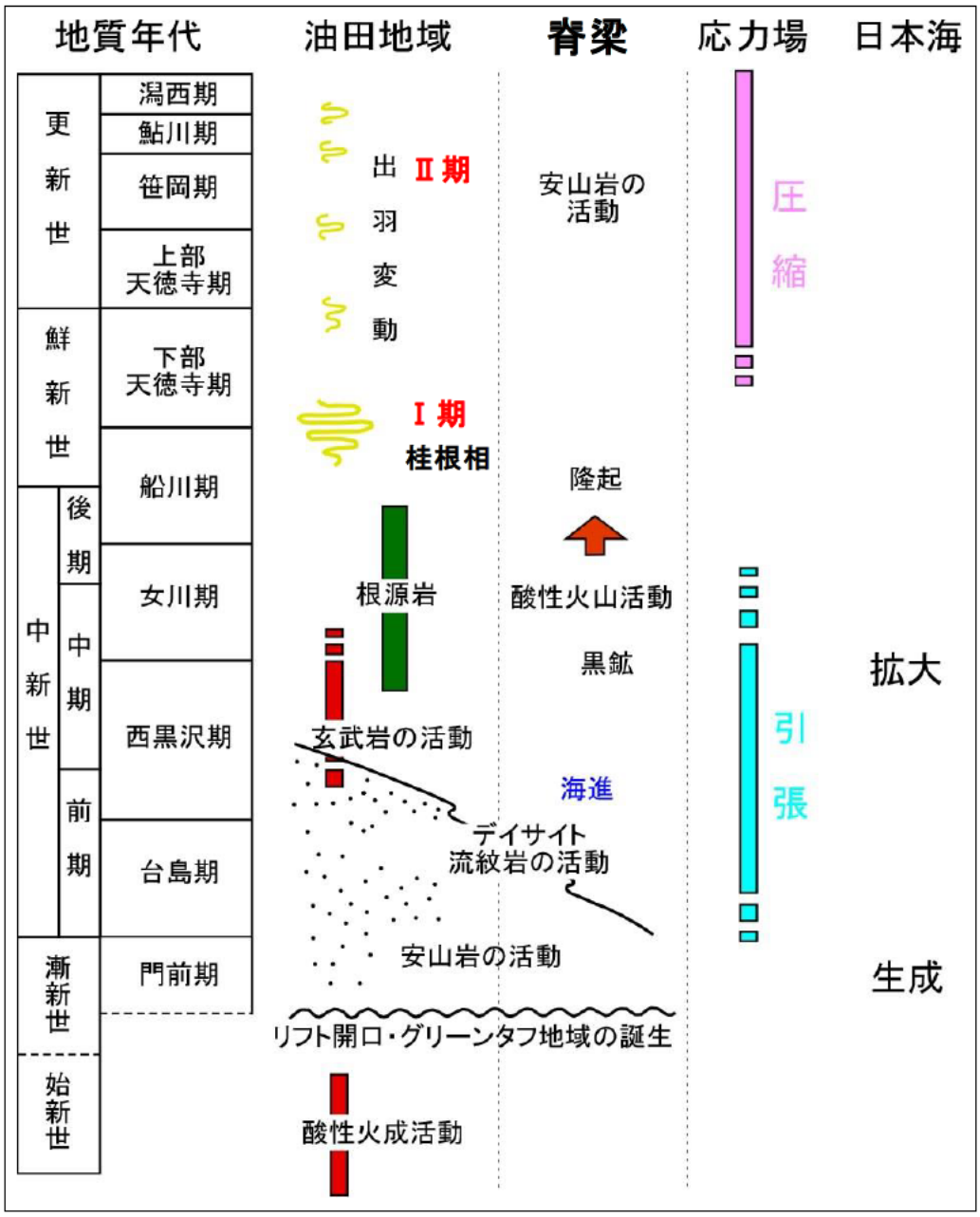
緩やかな圧縮に伴う変動が始まり、秋田沖～本荘沖の西側に位置する佐渡海嶺のハーフグラーベンでは沈降が始まった。しかし、最上トラフや出羽堆列では構造変形の証拠が不明瞭である[15)]。

4) インバージョン期（更新世）

鮮新世後期以降になると東西方向の圧縮応力が働き、リフト期に形成された正断層が逆断層として再活動した。この構造変動（出羽変動Ⅰ期）により、奥羽山脈を含む脊梁域は陸化し、タービダイト相である桂根相が沖合へと堆積した。また、油田地帯を含む堆積盆では南北方向に伸びる断層･褶曲構造が形成された[19)、21)]。

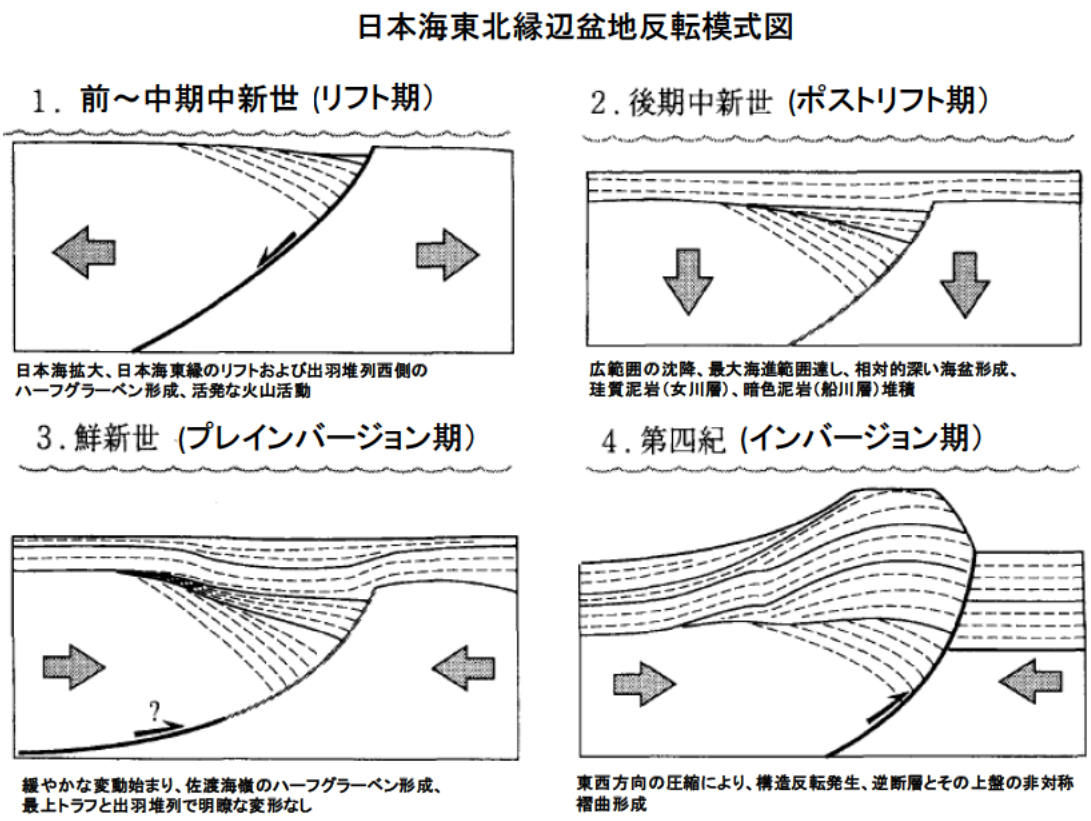
逆断層の活動開始時期は場所によって異なり、佐渡海嶺で早く、最上トラフでは遅かったと考えられる[15)、23)、24)]。また、逆断層の変位量も佐渡海嶺の東縁で最大 1,500 m に達するが、佐渡海嶺の西方および最上トラフ内では小さい。リフト期の正断層の走向は北北東－南南西と北東－南西の二つであるが、北北東方向の断層のほうが一般に逆断層としての変位量は大きい[22)]。

更新世以降は活動の場が大陸棚周辺へと移動したものの、構造活動は継続しており、出羽変動の後続活動（出羽変動Ⅱ期）であると考えられる[21)]。



注）天然ガス鉱業会　大陸断石油開発協会（1992）[19] 図ⅡB-33 を一部修正した。

図 4.3-5　東北本州弧の背弧堆積盆地における構造発達史



注）岡村、中村（1995）[22)] の第３図を引用した

図 4.3-6　日本海東北縁辺におけるインバージョン模式図

(4)　活断層および地震活動

2021 年度作業範囲を含む日本海東縁南部の地質構造の特徴として、比較的規模の小さい活断層が数多く認められ、それらは大陸棚から佐渡海嶺を含む幅 100 km 以上に達する大陸斜面上に発達する。その中で、規模の大きい断層が集中する断層帯が二列認められる[15)、18)]。一つは佐渡海嶺のほぼ全域を含む「佐渡海嶺断層帯」、もう一つは粟島から飛島、男鹿半島を経て能代沖に達する「粟島－男鹿断層帯」である（図 4.3-2）。これらの断層帯は海域の地質学的歪み集中帯に相当する[18)、25)]。

「佐渡海嶺断層帯」の断層の大部分は日本海拡大時に形成された正断層が、鮮新世後期以降に逆断層として再活動したもので、現在の断層走向や形態は前期中新世の正断層の形態に大きく規制されている[22)、26)]。それらの逆断層周辺では大きな地震の発生は認められないが、佐渡海嶺東縁の逆断層は最上トラフ底を覆う表層付近の堆積物にまで変形を与え、一部では海底段差が認められることから、現在も活動的である可能性が高いと考えられる[18)]。

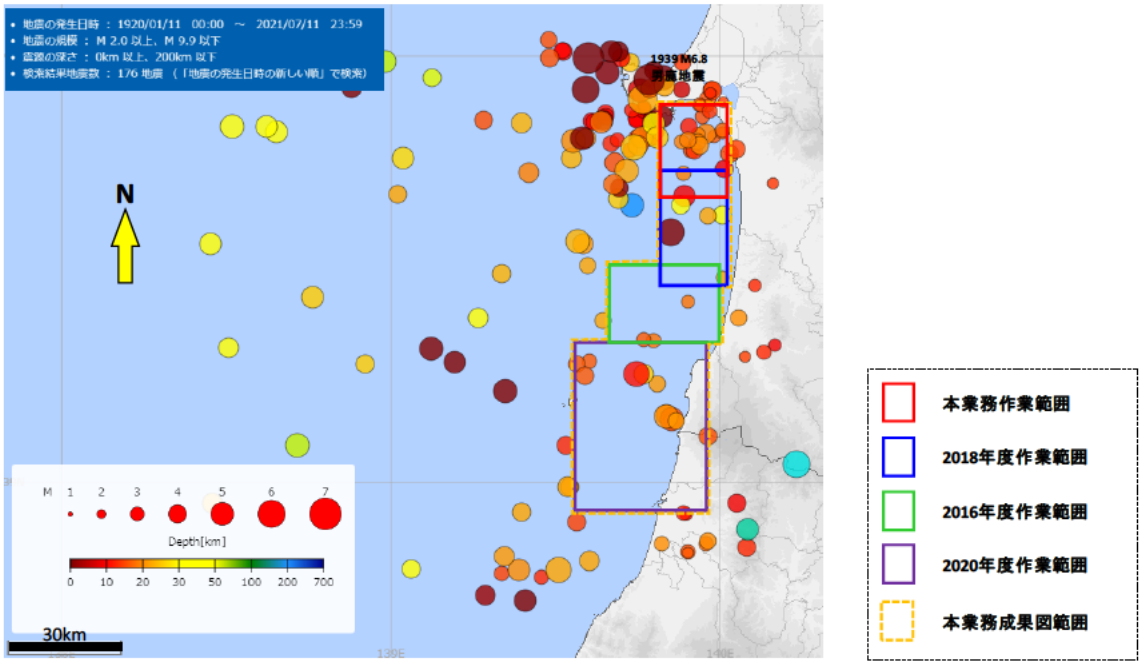
「粟島－男鹿断層帯」には、粟島隆起帯、酒田沖隆起帯、飛島－船川隆起帯等、顕著な隆

起帯が断続的に分布する。飛島－船川隆起帯は飛島から男鹿半島の西方まで断続的に分布する隆起帯であり、その一部は 2021 年度作業範囲の西部に発達する。断層のつながりから見ると、飛島－船川隆起帯は酒田沖隆起帯の北方延長ではなく、最上トラフ内の東北東－西南西方向の断層の北東延長上に相当すると考えられる[15)]（図 4.3-2）。飛島－船川隆起帯の東側の飛島海盆および秋田沖大陸棚には南北走向から北北東－南南西方向の逆断層や褶曲が複数形成されるが、これらの逆断層の大部分は完新世以降に活動した可能性は低く、また地震活動も比較的低調になったと報告されている[18)]。一方、酒田沖隆起帯東側の逆断層は第四系を変位させているため、現在も活動的である可能性があると考えられる[20)]。

海底地形面特徴の判読から検出された断層およびリニアメントの分布は[19)]、2021 年度作業範囲外の西側で、多数の断層とリニアメントが存在していることを示している。一方、秋田沖から庄内沖にかけての 2021 年度作業範囲内では、北部の飛島―船川隆起帯東側と南部の酒田沖隆起帯東側に断層とリニアメントが存在しているものの、大部分の区域では断層とリニアメントが比較的少ない。

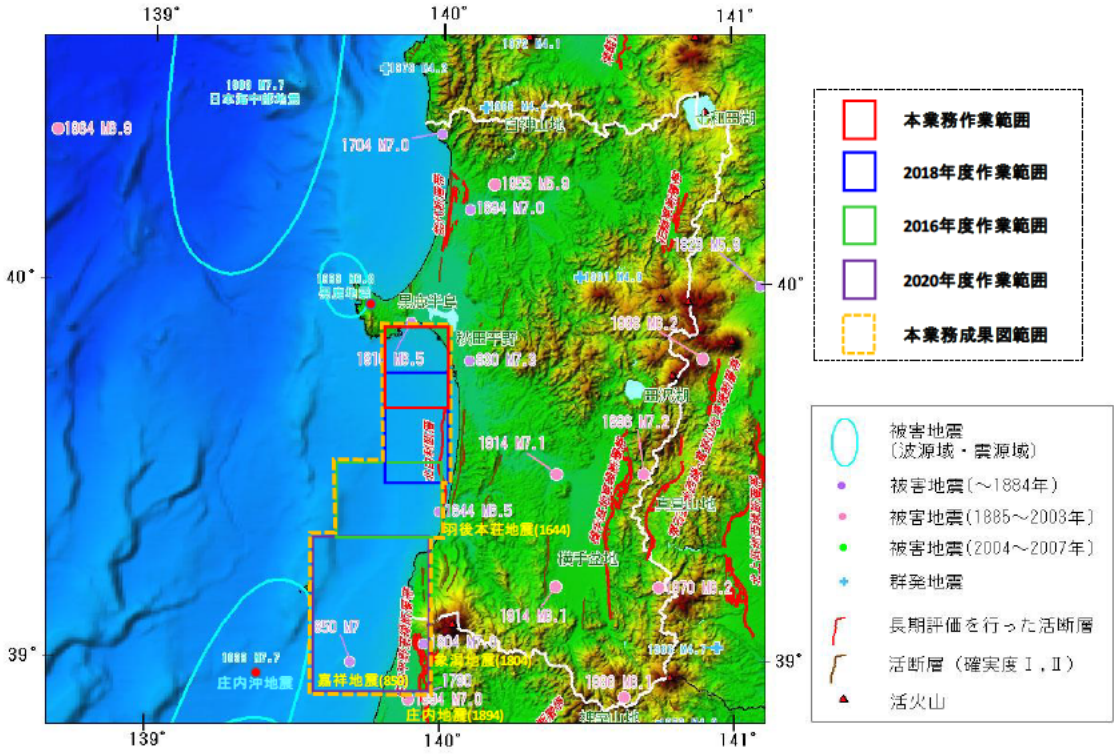
秋田－山形沖における過去 100 年間に発生した M2.0～9.9、震源深さ 0～200 km の地震分布を図 4.3-7 に示す[27)]。震源深さが 30 km 以浅の地震は、2021 年度作業範囲より北方の男鹿半島の周辺において顕著に確認される。2021 年度作業範囲内では M5.0 規模の地震が比較的少ないが、M2.0～4.0 の地震が多発している。

図 4.3-8 に秋田県とその周辺の主な被害地震の位置図を示す[28)]。日本海東縁部で発生し、被害を及ぼした地震は、1833 年に発生した庄内沖地震（M7.7）、1964 年に発生した男鹿半島沖地震（M6.9）および 1983 年に発生した日本海中部地震（M7.7）である[28)]。日本海中部地震と庄内沖地震の震源域の間に挟まれた海域では、過去に大きな地震の発生は確認されておらず、この海域を地震の空白域とする考え方もある[28)]。



注）気象庁震度データベース[27]に加筆した。

図 4.3-7　秋田－山形沖の地震分布図



注）地震本部（2009）[28]図 4-58 に加筆した。

図 4.3-8　秋田県とその周辺の主な被害地震

4.3.3　地質構造解析

(1)　解析ホライズンの設定

設定したホライズンおよび地質の総括図を図 4.3-9 に示す。

本作業の解析ホライズンの設定は、2016 年度作業範囲[1)]、2018 年度作業範囲[2)]、2020 年度作業範囲[3)]で設定されたホライズン区分に基づいており、本作業では下位よりグリーンタフ上限、桂根相下限、No. 3 *G. inflata* bed 下限、No. 3 *G. inflata* bed 上限、笹岡層／観音寺層下限、Intra 笹岡／Intra 観音寺、Horizon A、海底面の 8 ホライズンを設定した。

なお、2018 年度作業範囲[2)]では笹岡層貯留層（上部貯留層）内においてファシスが空間的に変化しており、この変化に対応するために笹岡層貯留層の中間付近に笹岡ファシス境界ホライズンを設定した。本作業でも堆積相解析用にサブホライズンとして笹岡ファシス境界ホライズンを設定した。

表 4.3-3 に本作業の貯留層と遮蔽層に対応する各ホライズンと 2016 年度作業範囲[1)]、2018 年度作業範囲[2)]、2020 年度作業範囲[3)]での各ホライズンとの対応を示す。

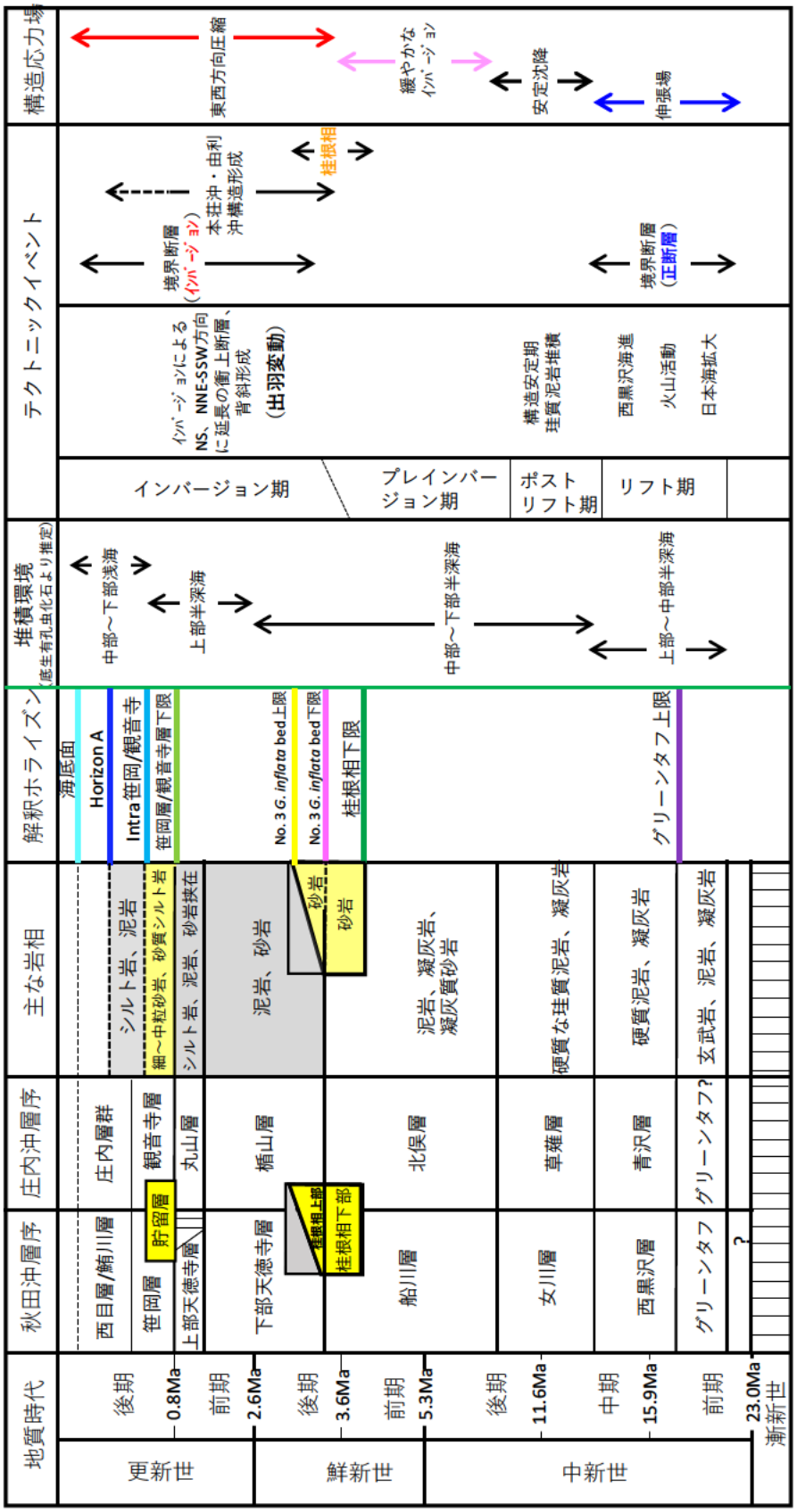


図 4.3-9　設定したホライズンおよび地質総括図

表 4.3-3　貯留層・遮蔽層との解析ホライズンの対応関係

貯留層/遮蔽層	上限/下限	2016年度	2018年度	2020年度	本業務
上部遮蔽層	上限	海底面	Horizon A	海底面	Horizon A
	下限	Intra笹岡	Intra笹岡	Intra笹岡 / Intra観音寺	Intra笹岡 / Intra観音寺
上部貯留層	上限	Intra笹岡	Intra笹岡	Intra笹岡 / Intra観音寺	Intra笹岡 / Intra観音寺
	下限	笹岡層下限	笹岡層下限	笹岡層 / 観音寺層下限	笹岡層 / 観音寺層下限
下部遮蔽層	上限	笹岡層下限	笹岡層下限	笹岡層 / 観音寺層下限	笹岡層 / 観音寺層下限
	下限	No. 3 G. inflata bed 上限	No. 3 G. inflata bed 上限	No. 3 G. inflata bed 上限	No. 3 G. inflata bed 上限
下部貯留層上部	上限	No. 3 G. inflata bed 上限	No. 3 G. inflata bed 上限	No. 3 G. inflata bed 上限	No. 3 G. inflata bed 上限
	下限	No. 3 G. inflata bed 下限	No. 3 G. inflata bed 下限	No. 3 G. inflata bed 下限	No. 3 G. inflata bed 下限
下部貯留層下部	上限	No. 3 G. inflata bed 下限	No. 3 G. inflata bed 下限	No. 3 G. inflata bed 下限	No. 3 G. inflata bed 下限
	下限	桂根相下限	桂根相下限	桂根相下限	桂根相下限

(2)　解析ホライズンの特徴

「(1) 解析ホライズンの設定」にて設定した各ホライズンの追跡を実施した。ホライズンの追跡にあたり、平成３０年度委託事業[2)]にて実施した地質解析と貯留適地評価の解析結果とのずれを防ぐため、2021 年度作業範囲と範囲が重なる区域内の民間坑井および 2021 年度作業範囲内の民間坑井を通り、両作業範囲に跨るコンポジットラインを作成し、これを基に 2021 年度作業範囲の 2D 探査測線上へ解析を広げた

1) グリーンタフ上限ホライズン

グリーンタフ上限ホライズンは、2021 年度作業範囲内の民間坑井では確認されていないが、南方の基礎試錐「由利沖中部」では確認されており、平成３０年度委託事業[2)]で追跡されている。このホライズンは、成果図作成範囲全域で断続的な反射波パターンで特徴づけられるホライズンであり、このホライズンを境に上位と下位で異なる反射パターンが認められる。本ホライズンより上位はおおむね平行状の反射波で特徴づけられ、堆積層の累重する様子が伺える。一方、本ホライズンより下位は全体的に反射波が乏しく、また連続性の悪い特徴が認められることから、本ホライズンが音響基盤を示すと考えられる。また、グリーンタフ上限ホライズンは、対象区域の中央部（飛島海盆と大陸棚沈降帯の北端部）では往復走時で約 3～4 s に至り、その上に厚く中新統～更新統が堆積しているが、西側の飛島－船川隆起帯と北、東側の陸域に向かって、基盤が高まっており 1～2 s 以浅になっている。

2) 桂根相下限ホライズン

桂根相下限ホライズンは、2021 年度作業範囲内の民間坑井では確認されていないが、2021 年度作業範囲の南部にある民間坑井では確認されている。本ホライズンは、大部分の 2D 探査データで反射波が断続的に分布しており広域に追跡可能であるが、一部の反射波が乱れ不明瞭になっており正確なホライズン追跡が困難

である。本ホライズンから No. 3 *G. inflata* bed 上限ホライズンの区間では、3D 探査断面上で粗粒相を示す相対的に強振幅な平行反射パターンが認められるが、一部の断面上では泥岩やシルト岩を示すコントラストの弱い反射波パターンも認められる。

3) No. 3 *G. inflata* bed 下限ホライズン

No. 3 *G. inflata* bed 下限ホライズンは、2021 年度作業範囲の南部にある民間坑井で確認されている。また 2021 年度作業範囲内の民間坑井では本ホライズンに相当する船川層上限が確認されている。本ホライズンは大部分の 2D 探査データでは反射波が断続的に分布しており、広域に追跡可能であるが、一部の反射波が乱れ不明瞭になっており、正確なホライズン追跡が困難な部分がある。

4) No. 3 *G. inflata* bed 上限ホライズン

No. 3 *G. inflata* bed 上限ホライズンは、2021 年度作業範囲の南部にある民間坑井で確認されている。一方、2021 年度作業範囲内の民間坑井では本ホライズンは確認されていない。本ホライズンは大部分の 2D 探査データでは反射波が断続的に分布しており、広域に追跡可能であるが、一部の反射波が乱れ不明瞭になっており、正確なホライズン追跡が困難な部分がある。

5) 笹岡層／観音寺層下限ホライズン

笹岡層／観音寺層下限ホライズンは、民間坑井で確認されている。西側縁辺の飛島-船川隆起帯を除いて、おおむね全区域で反射波の連続性がよい。しかし、一部の反射波が乱れ不明瞭になっており、正確なホライズン追跡が困難な部分がある。笹岡層／観音寺層下限ホライズンから Intra 笹岡／Intra 観音寺ホライズン間の反射波パターンは、民間坑井付近のポップアップ構造上での構造変形の影響で反射波の連続性が乱れるが、2021 年度作業範囲の大部分では粗粒相を示唆する強振幅の平行反射パターンで特徴付けられる。また、西側の飛島―船川隆起帯、北部の陸域付近と民間坑井のポップアップ構造上では Intra 笹岡／Intra 観音寺ホライズンが削剥されたため、笹岡層／観音寺層下限ホライズン～Intra 笹岡／Intra 観音寺ホライズンに相当する地層の薄化、もしくは欠如が認められる。

6) Intra 笹岡／Intra 観音寺ホライズン

Intra 笹岡／Intra 観音寺ホライズンは、基礎試錐「本荘沖」にのみ確認される砂岩層の上限を追跡している。しかし、民間坑井では笹岡層中のカッティング調査や検層データが不足しており、同様の厚い砂岩がどの深度に発達するか不明である。また、これら坑井周辺では 2D 探査データの反射波の連続性がおおむねよい

ことから、同様の砂岩層の発達が期待される。したがって平成２８年度委託事業[1)]、平成３０年度委託事業[2)]にて実施した地質解析と貯留適地評価を参考にし、全域でホライズン追跡をした。

7) Horizon A

Horizon A は、上部遮蔽層の上限として平成３０年度委託事業[2)]にて実施した地質解析と貯留適地評価で解釈されており、上部遮蔽層上限を統一するために秋田沖から本荘沖に亘って成果図作成範囲内で Horizon A を追跡した。Horizon A は基礎試錐「本荘沖」では Intra 笹岡ホライズンより上位の地層では泥岩およびシルト岩が優勢であり、深度 580 m 付近より上位で砂岩層が発達することから、同深度を境に検層音波速度に明瞭な差異が認められ、周辺では砂岩層を境に連続性のよい強振幅の反射波が確認される。弾性波探査断面上でも同深度で連続性のよい強振幅の反射波が現れており、この強反射面を Horizon A として設定し、基礎試錐「本荘沖」から北方へ追跡した[2)]。

8) 海底面

海底面は 3D 探査データおよび大部分の 2D 探査データでは連続性が良好であったが、浅海域で取得した 2D 探査データでは海底面を捉えていなかったため、海上保安庁の水深データを参考にした。

(3) 断層の解析

2D 探査データにおける反射波の明瞭な変位と反射波イベントの構造特徴を主な根拠として、断層解析を行った。2021 年度作業範囲内で認められた断層はすべて逆断層の特徴をもつ。本作業の地質構造解析結果を平成２８年度委託事業[1)]、平成３０年度委託事業[2)]、令和２年度委託事業[3)]の地質構造解析結果と統合し、断層が切る層準等を考慮したうえで、成果図作成範囲内の断層を統一的に示した。

2021 年度作業範囲では、飛島―船川隆起帯東側でいつくかの相対的に大規模な衝上断層が発達する。これらの断層はほぼ南北方向に伸び、西または東方向に傾斜する。断層の上盤側で同じ方向に伸張する背斜構造が発達している。これらの構造は、インバージョン期に形成されたものと考えられる。2021 年度作業範囲での一部の衝上断層がすでに海底面付近に達しており、変形が海底面に及んでいることから、更新世以降も活動を続ける活断層（活構造）であると考えられる。

2021 年度作業範囲の南部、由利沖構造と秋田沖構造の西側に発達する逆断層は変位量が相対的に小さく下部遮蔽層上限（笹岡層／観音寺層下限）に達していない、もしくはわずか

に切る程度に解析される。しかし Intra 笹岡ホライズンや Horizon A の変形が明瞭に認められることから、海底面の変形は明瞭ではないものの、後期更新世以降も活動が続いている可能性があると推定される。

(4)　深度変換

図 4.3-10 に示した三次元速度モデル作成手法で速度モデルを作成した。速度モデルは坑井速度から全域の速度トレンドをベースにし、坑井位置では坑井速度と整合的になるように調整を加えた。

モデルの作成には弾性波探査データ[6)、8)、9)]、基礎試錐[10)～14)]と民間坑井データ、地質解析データ[1)～3)]等を用いた。作成した三次元速度モデルの平面グリッド間隔を 100 m、時間方向のサンプリングレートを 4 msec とした。成果図作成範囲全体をカバーするように三次元速度モデルを作成して時間軸から深度軸への変換を行った。

作成した深度変換速度モデルを用いて、時間構造図および弾性波探査断面図を深度領域に変換した。

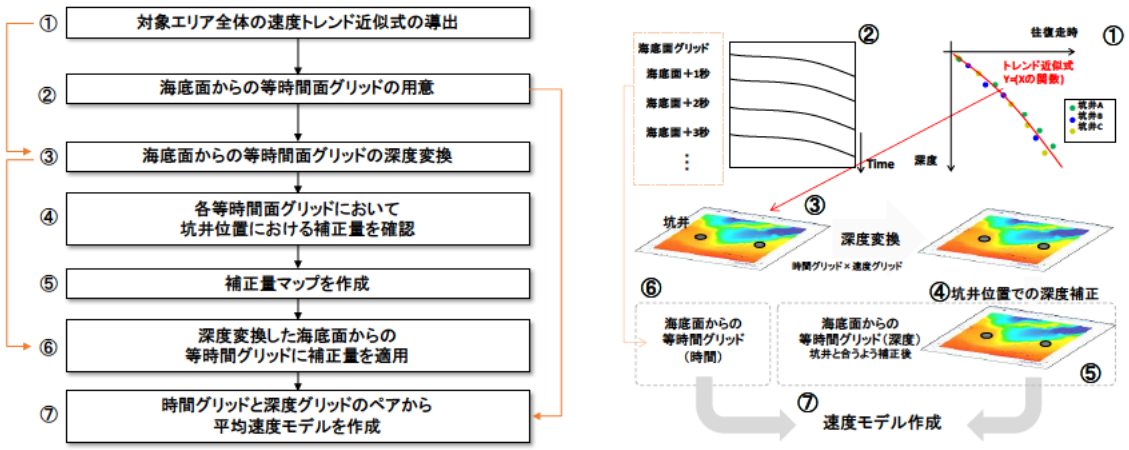


図 4.3-10　速度モデル作成フロー

(5)　時間構造図および深度構造図

2021 年度作業範囲の海域の地質構造は、中央部の飛島海盆では深く、北方の男鹿半島と南部の酒田沖隆起帯に向かって浅くなる傾向が認められる。その中で、四つのほぼ南北方向のトレンドを持つ、15～30 km の長さを有する背斜構造である秋田沖構造、由利沖構造、本荘沖構造および庄内沖構造[3)]が発達している。これらの背斜構造は、構造の西翼部に逆断層が発達しており、西急東緩の構造形態を呈している。

これら構造系列と逆断層は、インバージョン期のほぼ東西方向の圧縮により形成された

ものと解釈され、構造変形が更新統（Intra 笹岡／Intra 観音寺）あるいはより上位の地層に及んでいる。特に由利沖構造より北方の衝上断層、本荘沖構造系列の西翼の逆断層は極浅部の地層まで変形を及ぼすことから活断層であることが推定される。

1) グリーンタフ上限ホライズン

グリーンタフ上限ホライズンは、北の秋田沖から南の庄内沖にかけて、構造が全体的に中央部の飛島海盆では深く、北方の男鹿半島と南部の酒田沖隆起帯に向かって浅くなる傾向が認められる。その中、ほぼ南北方向に伸びる四列の背斜構造（秋田沖構造、由利沖構造、本荘沖構造、庄内沖構造）が発達している。これらの背斜構造は北あるいは南と北の両方向に向かってプランジしている。背斜構造は西側に逆断層が発達しており、西翼が東翼より急傾斜である非対称褶曲となっている特徴を呈している。また、北部でいくつかの南北方向に伸び、下部貯留層から上部遮蔽層上限までを切り、海底面付近に達する逆断層が発達している。これらの背斜構造と逆断層は後期鮮新世からの構造反転により形成された構造であると解釈できる。

2) 桂根相下限ホライズン、No.3 *G. inflata* bed 下限ホライズン、No.3 *G. inflata* bed 上限ホライズン

桂根相下限ホライズン、No.3 *G. inflata* bed 下限ホライズン、No.3 *G. inflata* bed 上限ホライズンはグリーンタフ上限ホライズンと同様の構造形態が確認される。全体的に中央部では深く、北方の男鹿半島と南部の酒田沖隆起帯に向かって高くなる傾向が認められる。その中で四列の背斜構造（秋田沖構造、由利沖構造、本荘沖構造、庄内沖構造）が発達し、背斜構造の西翼部で主に東に傾斜する逆断層が存在する。これらの逆断層の中、由利沖構造より北方の逆断層が下部貯留層から上部遮蔽層上限までを切ることが認められる。由利沖構造と秋田沖構造の西側に発達する逆断層がほとんど下部遮蔽層上限に達していなく、本荘沖構造と庄内沖構造の西側に発達する逆断層が下部貯留層から下部遮蔽層上限までを切るが、上部遮蔽層上限に達していないことが認められる。また、民間坑井「秋田沖北部 SI-1」の解析結果によれば[5)]、この坑井中で桂根相の上部が削剥されてより上位地層と不整合で接する。No.3 *G. inflata* bed 下限ホライズンと No.3 *G. inflata* bed 上限ホライズンは、秋田沖構造の北部（民間坑井付近）で削剥されて欠如することが認められる。これら三つのホライズンの深度構造図から、四つの構造系列を除いた部分では海底面下深度 3,000 m 以深に分布する。

3) 笹岡層／観音寺層下限ホライズン、Intra 笹岡／Intra 観音寺ホライズン

笹岡層／観音寺層下限ホライズン、Intra 笹岡／Intra 観音寺ホライズンは下位のホライズンと同様に、全体的に中央部では深く、北方の男鹿半島と南部の酒田沖隆起帯に向かって高くなる傾向が見られ、四列の背斜構造（秋田沖構造、由利沖構造、本荘沖構造、庄内沖構造）が発達するが、下位のホライズンから抽出された構造と比べて背斜構造の軸部がより開いた構造を示す。また、笹岡層／観音寺層下限ホライズンと Intra 笹岡／Intra 観音寺ホライズンに達する断層の数が明瞭に減少している。男鹿半島の南を除く 2021 年度作業範囲の北部では、Intra 笹岡／Intra 観音寺ホライズンを切る断層がほとんど認められない。これは、後期更新世になると、本地域の構造活動が相対的に弱くなった傾向を示唆する。笹岡層／観音寺層下限ホライズンは成果図作成範囲で平均海水面下深度 1,000～3,000 m 間に分布し、Intra 笹岡／Intra 観音寺ホライズンは平均海水面下深度 400～1,400 m 間に分布する。秋田沖構造と由利沖構造の一部および南部の酒田沖隆起帯の北端部では、Intra 笹岡／Intra 観音寺ホライズンが深度 750 m 以浅に分布する。

4) Horizon A

Horizon A の構造はより下位のホライズンと相似している。中央部で深く、北と南に向かって高くなる傾向がみられるが、下位地層に明瞭に認められる四列の背斜構造のうち由利沖構造と本荘沖構造が不鮮明になることから、構造活動が弱くなった傾向を示唆する。2021 年度作業範囲の北部ではいくつかの Horizon A を切る、あるいは海底面付近に達した衝上断層が認められる。

(6) 層厚分布および構造発達史

「(5) 時間構造図および深度構造図」にて作成した時間構造図および深度構造図を基に、グリーンタフ上限～桂根相下限、貯留層層準、遮蔽層層準の等時間層厚線図および等層厚線図を作成した。

民間坑井を通る東西方向の断面図を用いて、各ホライズンをフラットニングすることにより各地層堆積時の構造復元断面図を作成し構造発達史を考察した。以下に代表的なホライズンについて構造発達史の特徴を述べる。

1) グリーンタフ上限ホライズン～桂根相下限ホライズン（中新世～後期鮮新世）

成果図作成範囲に亘って、北部の秋田沖と中央部本荘沖では厚く、1,000～1,500 m 前後の層厚を有するが、南部の酒田沖隆起帯に向かって薄くなり、隆起帯の上で欠如する。また、北部の由利沖構造から中央部の本荘沖構造にかけて層

厚がほとんど変わらないことから、由利沖構造と本荘沖構造はいまだ形成されていないと推定できる。

2) 桂根相下限ホライズン～No.3 *G. inflata* bed 下限ホライズン（前期鮮新世）

成果図作成範囲に亘って、おおむね 200～1,000 m の層厚があるが、由利沖構造の頂部から秋田沖構造にかけて 300～400 m 前後、南部の酒田沖隆起帯に向かって 200 m 前後と薄くなる。一方、由利沖構造の西側から本荘沖構造系列にかけては、600～1,000 m 程度の層厚を有し、飛島海盆内に分布する同層準（層厚 400 m 程度）よりもやや厚い傾向がある。これは、下部貯留層下部（下部桂根相相当）が堆積する段階で、本荘沖構造はまだ形成していないが、酒田沖隆起帯が高まりとしてすでに存在し、鮮新世からの構造反転により陸域が隆起し始まる影響で秋田沖構造と由利沖構造が形成し始まることを示唆する。

3) No.3 *G. inflata* bed 下限ホライズン～No.3 *G. inflata* bed 上限ホライズン（前期鮮新世）

下部貯留層下部と同様の分布傾向を有し、北部の飛島海盆で厚く 500 m 前後の層厚があるが、本荘沖構造、由利沖構造、秋田沖構造では明瞭に薄く 200 m 以下となり、秋田沖構造頂部の一部（民間坑井「秋田沖北部 SI-1」付近）で欠如する。これは後期鮮新世に構造反転が始まり、これらの構造が形成し始まることが示唆している。また南部の酒田沖隆起帯に向かって薄化し、せん滅する。

4) No.3 *G. inflata* bed 上限ホライズン～笹岡層／観音寺層下限ホライズン（前期鮮新世～後期更新世）

全域に亘って広く分布しており、大部分で 500～900 m の層厚を有するが、由利沖構造、本荘沖構造および庄内沖構造等の高まり上では薄化し、約 100～500 m となる。これらの構造の存在は堆積層の層厚に影響を与えたと考えられる。また、酒田沖隆起帯の東側、庄内沖構造の北と南のプランジ部では、本下部遮蔽層の層厚が厚くなる。

6) 笹岡層／観音寺層下限ホライズン～Intra 笹岡／Intra 観音寺ホライズン（前期鮮新世～後期更新世）

全域に亘って分布し、秋田沖の北部から本荘沖構造の西側にかけて、層厚は最大で約 1,300 m 以上となる。本荘沖構造と由利沖構造においても 800 m 前後の層厚を有しているが、北の秋田沖構造と南の庄内沖構造では 300 m 以下となり薄化する。これらの構造の存在が堆積層の層厚に影響を与えたと考えられる。また、北の男鹿半島南側の構造高まりと南部の酒田沖隆起帯の上では削剥により部分

的に欠如する。

7）Intra 笹岡／Intra 観音寺ホライズン～Horizon A（後期更新世）

全域に分布し、200～800 m の層厚を有するが、秋田沖構造と庄内沖構造上で薄化し、層厚は 250 m 以下となる。また、北の男鹿半島南側の構造高まりと南部の酒田沖隆起帯の上で削剥により部分的に欠如する。

4.3.4　堆積相解析

貯留層層準、遮蔽層層準の認定およびその区間における堆積物の分布形態の把握と堆積システムを推定するために、基礎物理探査「秋田沖 3D」[5)]、基礎物理探査「秋田～山形沖 3D」[7)]、JCCS「秋田沖 3D」[6)]および再処理 2D 探査データ[8),9)]ならびに民間坑井および基礎試錐「由利沖中部」の坑井データを用いて堆積相解析を実施した。堆積相解析の対象区間は、桂根相下限から Horizon A までの 7 ホライズンの間の 6 区間について対象とした。

(1)　堆積相解析手法

「4.3.3 地質構造解析」にて解析したホライズンおよび設定したサブホライズンを用いて、各ホライズン間について 3D 探査データから時間層厚分布、振幅分布、各種アトリビュートマップを作成し、また 3D 探査データおよび 2D 探査データの断面において反射波列の形状（サイスミックファシス）の区分および反射波列端のラッピングパターンをマッピングした。これらのマップと坑井における岩相や検層ログパターンを合わせて、総合的に堆積システムおよび砕屑物の供給系を解釈した。

図 4.3-11 に堆積相解析のフローチャートを示す。

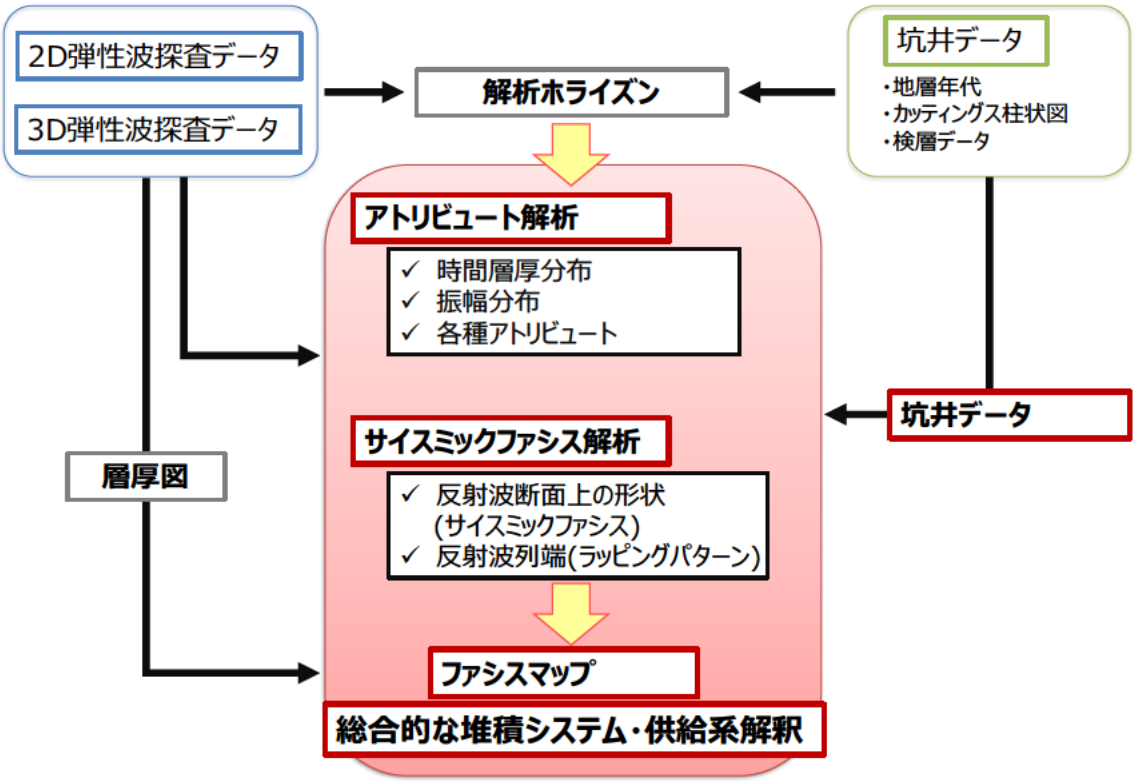


図 4.3-11　堆積相解析のフローチャート

(2)　サイスミックファシス区分

平成２８年度委託事業[1)]、平成３０年度委託事業[2)]および令和２年度委託事業[3)]では、サイスミックファシスを推定される堆積環境に関して八つに区分しており、弾性波探査断面での形状、平面的な分布形態と坑井における岩相および検層データを総合し、さらに一般的な深海・浅海の堆積セッティングのファシスモデル[2 9)]と照合し、堆積システムの推定を行った。本作業では、令和２年度委託事業[3)]のサイスミックファシス区分を踏襲し、図 4.3-12 に示したサイスミックファシス区分を用いた。

以下に、区分した八つのサイスミックファシスの特徴および推定される堆積環境について記述する。なお、構造系列や隆起帯で反射波がきわめて不明瞭なところは、「不明瞭」として別途摘出した。

1) ファシス A

弾性波探査断面において、比較的強い振幅の反射波で垂直・水平方向に不連続な部分を含み、下に凸の形状を示す。基礎試錐「本荘沖」の笹岡層はファシス A 区間を掘削しており、坑井の粗粒な岩相および上方細粒化するパターンと上方粗粒化するパターンの繰り返しから、平成２８年度委託事業[1)]において、デルタシステムの中でも沖合のプロデルタに発達するチャネルの集合体を示すと解釈され

た。ファシス A は笹岡層下限～Intra 笹岡区間において確認される。

2) ファシス B

過年度委託事業業務では、グリーンタフ上限～笹岡層下限区間に確認されるが、2021 年度作業範囲では 3D 探査データ範囲内にのみ確認される。弾性波探査断面において、反射波が垂直・水平方向に不連続な部分を含み、下に凸の形状を示す。中程度～強い振幅として認められる。本ファシスは坑井では確認されていないが、桂根相区間ではもっとも高い振幅値を示すこと、下に凸のチャネル状の形態が認められることから、平成２８年度委託事業[1)]において、海底扇状地システムにおける中部扇状地の上流部に発達する分枝状チャネルを示すと解釈された。

3) ファシス C

弾性波探査断面において、反射波が水平に連続～不連続で、一部反射波が下面にぶつかるようなレンズ状～マウンド状の形状を示す。中程度～強い振幅として認められる。本ファシスは坑井では確認されていなかったが、ファシス A の延長部分で認められ、ファシス A と同程度の振幅であること等から、平成２８年度委託事業[1)]において、デルタシステムにおけるプロデルタにおいてチャネルベルトが構造的低部に到達した後に広がって堆積したローブ中央部を示すと解釈された。ファシス C は笹岡層下限～Intra 笹岡区間に確認される。

4) ファシス D

弾性波探査断面において、反射波が平行で連続的な特徴を示す。中程度～強い振幅として認められる。基礎試錐「本荘沖」と基礎試錐「由利沖中部」の桂根相区間で本ファシス区間を掘削しており、砂岩優勢互層の岩相が認められることから、平成２８年度委託事業[1)]において、海底扇状地システムにおいてファシス B よりも沖合の中部扇状地においてシート状タービダイトが発達するローブ中央部を示すと解釈された。ファシス D は桂根相下限～笹岡層下限区間に確認される。

5) ファシス E

弾性波探査断面において、反射波が平行で連続的である特徴がファシス D と同様であるが、反射波の振幅は相対的に弱い。平成２８年度委託事業[1)]において、笹岡層区間においては、デルタシステムにおけるプロデルタのローブ縁辺～末端部、桂根相区間においては、海底扇状地システムにおける外側扇状地のローブ縁辺～末端部を示すと解釈された。ファシス D は桂根相下限～笹岡層下限の全区間に確認される。

6) ファシス F

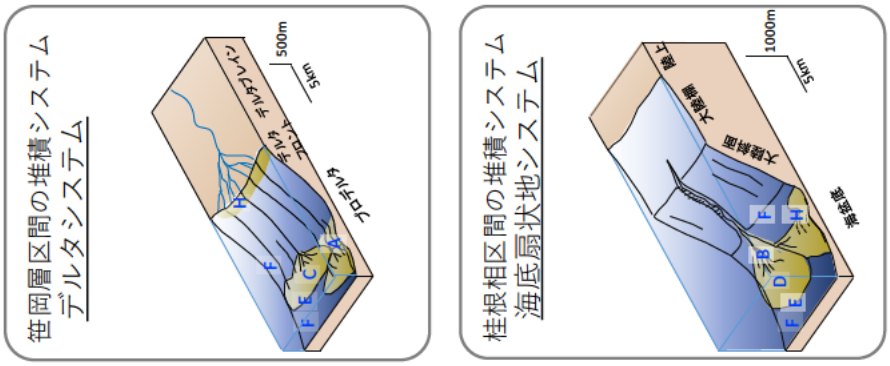
弾性波探査断面において、反射波の振幅が弱く、不連続で混沌とした反射波で特徴づけられる。平成２８年度委託事業[1)]において、泥質岩が発達するような斜面～海盆底を示すと解釈された。ファシス F は桂根相下限～笹岡層下限の全区間に確認される。

7) ファシス G

ファシス F と同様に振幅が弱く、比較的不連続であり、一部に強振幅および下に凸の形状が低い頻度で観察される。平成３０年度委託事業[2)]において、笹岡層のデルタシステムのファシスの中でも、より陸寄りのエリアに分布し、小規模な孤立したチャネル状の形態を示すことから、プロデルタの斜面および斜面に分布するチャネル相を示すと解釈された。

8) ファシス H

令和２年度委託事業[3)]で新たに追加したファシスである。弾性波探査断面において、比較的強い振幅の反射波で垂直・水平方向に不連続な部分を含み、下に凸の形状を示す。ファシス A と異なり、周波数が高い特徴がある。坑井での岩相および検層データとサイスミックファシスから、海底扇状地システムにおいてはサブベーズン間の高まりを乗り越える小規模なチャネルの集合体、デルタシステムにおいてはプロデルタに発達するチャネルの集合体、もしくはデルタフロントの分枝状チャネルを示すと解釈された。本作業ではファシス H は確認されなかった。



ファシス	スケッチ	断面の特徴	区間	堆積システム解釈	推定岩相
A		垂直・水平に不連続、高頻度で下に凸の形状、強振幅	笹岡層	プロデルタ チャネルベルト/ 分枝状チャネル	砂岩・ 砂岩優勢互層 (礫岩・含礫泥岩)
B		垂直・水平に不連続、低頻度で下に凸の形状、中程度～強振幅	その他	中部扇状地上流部 分枝状チャネル	砂岩・ 砂岩優勢互層
C		水平に連続～不連続、レンズ状～マウンド状、中程度～強振幅	笹岡層	プロデルタ ローブ中央部	砂岩・ 砂岩優勢互層
D		連続・平行、中程度～強振幅	その他	中部扇状地 ローブ中央部	砂岩優勢互層
E		連続・平行、中程度～弱振幅	笹岡層	プロデルタ ローブ縁辺～末端部	泥岩優勢互層
			その他	外側扇状地 ローブ縁辺～末端部	
F		不連続・混沌、弱振幅	笹岡層	プロデルタ、斜面	泥岩・ 泥岩優勢互層
			その他	斜面～海盆底	
G		比較的不連続、弱振幅、一部強振幅、低頻度で下に凸の形状	笹岡層	プロデルタ 斜面/スロープチャネル	泥岩・ 泥岩優勢互層 (一部砂岩挟在?)
H		不連続、混沌 強振幅、 しばしば下に凸の形状	笹岡層	デルタフロント	礫岩・砂岩・ 砂岩優勢互層 ?
			その他の区間	斜面 チャネルベルト	

図 4.3-12　サイスミックファシス区分図

(3) 堆積システムおよび供給系の解釈結果

各ホライズン間について 3D 探査データから作成した時間層厚分布、振幅分布および各種アトリビュートのマップ、3D 探査データおよび 2D 探査データの断面における反射波列の形状（サイスミックファシス）の区分をマッピングしたサイスミックファシスマップ、反射波列端のラッピングパターン、坑井における岩相や検層データ、微化石に基づく古環境推定結果を用いて、総合的に堆積システムおよび砕屑物の供給系を解析した。

① 下部貯留層下部：桂根相下限～No.3 *G. inflata* bed 下限区間

本区間において 2D 探査データの品質が悪く、大部分の測線において不明瞭な反射波であり、ファシスを連続的に区分することが困難であったため、2021 年度作業範囲と重複する 2018 年度作業範囲[2)]と 2016 年度作業範囲[1)]の堆積相解析結果を参照して解析を実施した。

これらの解析結果によれば、2018 年度作業範囲[2)]から 2020 年度作業範囲[3)]にかけて、桂根相のシート状タービダイトがトラフ状の堆積盆を充填するようにタービダイトのローブからなるファシス D やチャネル主体のファシス B が発達すると解釈された。これら砂岩優勢ファシスは由利沖構造系列や秋田沖構造系列の翼部における構造的低まりに堆積したと解釈された。

2021 年度作業範囲の北部～中央部にかけてファシス D が広く分布し、中央部～南部にかけてファシス B が分布する。これらの砂岩優勢ファシスは主に北から供給されたと解釈できる。

なお、坑井データでは本区間は砂岩泥岩互層が確認され、微化石より推定される堆積環境は中～下部半深海、半深海（一部深海）、深海である。

② 下部貯留層上部：No.3 *G. inflata* bed 下限～No.3 *G. inflata* bed 上限区間

本区間において 2D 探査データの品質が悪く、大部分の測線において不明瞭な反射波であり、ファシスを連続的に区分することが困難であったため、2021 年度作業範囲と重複する 2018 年度作業範囲[2)]と 2016 年度作業範囲[1)]の堆積相解析結果を参照して解析を実施した。

平成３０年度委託事業[2)]の解析結果によれば、本層は地形に規制されたシート状タービダイトと解釈され、由利沖構造系列や秋田沖構造系列の翼部における構造的低まりに砂質優勢ファシスのファシス B やファシス D が発達すると解釈された。

2021 年度作業範囲の北部ではローブ縁辺～末端部の泥岩優勢互層からなるファシス E が分布し、中央部と西部にファシス D が分布する。南部ではファシス D、ファシス B が広く分布する。これらの砂岩優勢ファシスは北および西から供給されたと解釈できる。

なお、坑井データでは本区間は泥岩主体であり、微化石から推定される堆積環境は、中～

下部半深海、半深海～深海とである。

③　下部遮蔽層：No.3 *G. inflata* bed 上限～笹岡層／観音寺層下限区間

本解析区間では、広域に泥岩主体のファシス E やファシス F が分布するが、2021 年度作業範囲の北部の東西両側には、ファシス D1 およびファシス D2 が発達し、これらのファシス（D1、D2）は遮蔽層下限（No.3 *G. inflata* bed 上限）ホライズンから遮蔽層上限（笹岡層／観音寺層下限）ホライズンまで連続的に確認される。ファシス D1 では反射波に、東西方向にマウンド状を示すパターンや 2021 年度作業範囲の北側（相対的に西側）へのダウンラップ等のラッピングパターンが認められる。ファシス D2 では反射波に、平行に南側へオンラップするラッピングパターンが認められる。これらのことから、D1、D2 両ファシスは 2021 年度作業範囲の北部周辺の構造的低まりを埋積するように発達したと解釈できる。

なお、2021 年度作業範囲の北部中央部や 2021 年度作業範囲の東側の秋田沖構造系列の一部では、反射波がきわめて不明瞭であったため、ファシス区分を「不明瞭」として別途摘出した。

3D 探査データの範囲では、RMS 振幅アトリビュートマップの解析から本区間の最下部付近では比較的弱い RMS 振幅を示すが、下部から中部では強い RMS 振幅を示し、上部になるにつれて RMS 振幅は弱くなる傾向が認められた。RMS 振幅が強い部分ではファシス D と区分され、RMS 振幅が弱い部分ではファシス E やファシス F と区分した。ラッピングパターンは、ファシス D に区分される部分では、西側や南側へのオンラップやチャネル状のパターンがみられる。

なお、坑井データでは本区間は泥岩主体であり、微化石から推定される堆積環境は上部～中部半深海である。

④　上部貯留層下部：笹岡層／観音寺層下限～笹岡ファシス境界区間

本解析区間では、2021 年度作業範囲北部の東側にはファシス C1、西側にはファシス C2 が発達し、ファシス C1 は本解析区間の下部から中部付近まで確認され、ファシス C2 は本解析区間下限から上限まで連続的に確認される。ファシス C1 では反射波に、東西方向にマウンド状を示すパターンや 2021 年度作業範囲の北部側（相対的に西側）へのダウンラップ等のラッピングパターンが認められる。ファシス C2 では反射波に、平行に西側へオンラップするラッピングパターンが認められる。ファシス C3 は、2018 年度作業範囲[2)] 内で解析されたファシス C の北方延長部に相当し、北側へのオンラップや東西方向にマウンド状を示すパターンや平行のラッピングパターンが顕著である。

ファシス C1 の供給系は東側（陸側）からであり、ファシス C2、ファシス A およびファ

シス C4 は飛島―船川隆起帯または男鹿半島南部からと推定できる。ファシス C3 は 2018 年度で解釈されたファシス C の北方延長部に相当し、陸域から沖合（東から西）へと由利沖構造を超えて移動した堆積物が、南北に伸びる構造的低まり（トラフ）に沿って堆積盆へと移動し堆積したものと解釈できる。

なお、坑井データでは本区間は泥岩、凝灰岩と砂岩の互層からなり、微化石より推定される堆積環境は、上部～中部半深海である。

⑤　上部貯留層上部：笹岡ファシス境界～Intra 笹岡／Intra 観音寺区間

本解析区間では、広範囲にわたり泥岩主体のファシス E、ファシス F およびファシス G が分布するが、2021 年度作業範囲の北部中央から南北方向に狭長にファシス C1 が分布する。ファシス C1 は、本解析区間の下部より中部付近まで確認される。また、ファシス C1 は東西方向にマウンド状を示すパターンやへのダウンラップ等のラッピングパターンが認められる。また、このファシス C1 の供給系は東側（陸域側）と解釈できる。

なお、坑井データでは本区間は泥岩主体であり、微化石より推定される堆積環境は浅海～半深海である。

⑥　上部遮蔽層：Intra 笹岡／Intra 観音寺～Horizon A 区間

本層の堆積層解析については、2021 年度作業範囲だけでなく成果図作成範囲を対象として行った。

本区間では、広範囲にわたり泥岩主体のファシス E、ファシス F およびファシス G が認められるが、一部にファシス C1 やファシス A/C1（A または C1）といった砂岩優勢のファシスが限定的に分布する。ファシス C1 と区分された周辺にはデルタの前進を示すサイスミックファシス（クリノフォーム）が確認され、北東側へのダウンラップ等のラッピングパターンが認められる。また、ファシス C1 は陸域を供給系とするデルタ成のファシスであり、ファシス A/C1 およびファシス A/C2 は飛島―船川隆起帯から供給されたローブまたはチャネルファシスと解釈できる。その他のファシス C は、陸域側（東側および北東側）を供給系とするファシスと解釈できる。

3D 探査データの範囲では、ファシス C に区分されるエリアが複数確認される。アンプリチュードマップの解析から、このうちファシス C5 はもっとも広域に分布するものの、本解析区間の最上部にのみ分布する。ファシス C5 の直下には、ファシス A またはファシス C に相当する強振幅反射波のサイスミックファシスが、本解析区間の下限～上限にかけて連続的に確認される。このようなサイスミックファシスが分布する区域は主に陸棚～斜面付近に相当しており、局所的に陸棚や斜面上にチャネルやローブが発達し、それらが積み重な

る堆積環境であったと解釈できる。また、2021 年度作業範囲の南西側の飛島―船川隆起帯沿いにマストランスポート堆積物（Mass Transport Deposit、以下、「MTD」と称する。）を区分した。これは、同隆起帯周辺の斜面が崩壊し、斜面から堆積盆内に堆積したものと解釈できる。なお、坑井データでは本区間は泥岩主体であるが最上部では砂岩が主体となり、微化石から推定される堆積環境は浅海である。

4.3.5　貯留層層準と遮蔽層層準の設定

2021 年度作業範囲周辺の坑井情報および「4.3.4　堆積相解析」の結果から桂根相下部相当層（下部貯留層下部）、桂根相上部相当層（下部貯留層上部）、笹岡層貯留層（上部貯留層）の三つの貯留層を抽出した。本作業における貯留層層準は、平成２８年度委託事業[1)]、平成３０年度委託事業[2)]、令和２年度委託事業[3)]で設定された貯留層と同様である。

以下に本作業における貯留層層準と遮蔽層層準の組み合わせと対応するホライズンを示す。

下部貯留層・遮蔽層

下部貯留層層準：桂根相下部相当層（桂根相下限～No.3 *G. inflata* bed 下限）
桂根相上部相当層（No.3 *G. inflata* bed 下限～No.3 *G. inflata* bed 上限）

下部遮蔽層層準：上部天徳寺層および下部天徳寺層（No.3 *G. inflata* bed 上限～笹岡層／観音寺層下限）

上部貯留層・遮蔽層

上部貯留層層準：笹岡層下部（笹岡層／観音寺層下限～Intra 笹岡／Intra 観音寺）

上部遮蔽層層準：鮪川層＋笹岡層上部（Intra 笹岡／Intra 観音寺～Horizon A）

4.3.6　貯留可能量の算定

(1)　CO_2 超臨界深度

基礎試錐「由利沖中部」、「本荘沖」、「西目沖」、「子吉川沖」、「最上川沖」および民間坑井の坑井データを用いて、RITE（2006）[30)]に示されている CO_2 超臨界状態の条件（温度 31.1℃以上、圧力 7.38 MPa 以上）を満たす深度の検討を行った。

坑井における地層温度と深度のクロスプロットから、地温勾配は 3.2℃/100 m と推定した。推定した地温勾配を用いて、CO_2 超臨界状態の温度条件である 31.1℃以上に達するのは、海底面下深度約 650 m 以深と推定した。

五つの坑井データから、浅部の圧力勾配は等価泥水比重（Equivalent Mad Weight、以下、「EMW」と称する。）で 1.03～1.05 g/cm^3 と推定した。推定した圧力勾配を用いて、

CO_2超臨界状態の圧力条件である 7.38 MPa 以上に達するのは、平均海水面下深度約 750 m 以深と推定した。

2021 年度作業範囲において、これら地層温度と深度および地層圧力と深度の検討から、CO_2超臨界状態の条件（温度 31.1℃以上、圧力 7.38 MPa 以上）を満たす深度は、海底面下深度約 750 m 以深と推定し、貯留層区間の上限深度を海底面下深度 750 m とした。

(2) CO_2貯留可能量の算定式

CO_2貯留可能量の算定には、以下に示す RITE（2006）[30] の式を用いた。貯留率は、構造タイプの区域では 50%、緩傾斜部（同斜構造）タイプでは 25%の値を使用した。超臨界CO_2飽和率は、中間値の 50%を使用した。

CO_2貯留可能量 = Sf × A × h × Φ × Sg / $BgCO_2$ × ρ

Sf：貯留率（構造タイプ：50%、緩傾斜部タイプ：25%）

A：貯留可能域の面積（km^2）

h：有効層厚（m）

Φ：孔隙率（%）

Sg：超臨界 CO_2 飽和率（20%、50%、80%）

$BgCO_2$：CO_2 の容積係数（約 0.003 m^3/m^3）

ρ：CO_2 密度（標準状態で 1.976 kg/m^3）

本作業では Petrel ソフトウェア上において、貯留層上限および貯留層下限の深度構造図を用いた全岩容積（Gross Rock Volume、以下、「GRV」と称する。）の算出が可能であることから、上記式の一部を改編した以下の計算式を用いて CO_2 貯留可能量を算定した。堆積体の出現率は、貯留層層準における堆積相解析において設定したプロポーショナルスライスのうち貯留層ファシスが認定できた区間の割合である。坑井における堆積体のネットグロス比（以下、「N/G 比」と称する。）は、2021 年度作業範囲周辺に位置する基礎試錐「由利沖中部」、「本荘沖」の値を使用した。孔隙率は、コア、CST、検層解析から求めた孔隙率の深度プロットから圧密曲線を推定し、堆積体の出現する深度（堆積体が出現する中間部分の深度）と検層解析から得た圧密曲線を用いて算出した。

CO_2貯留可能量 = Sf × GRV × N/G × Φ × Sg / $BgCO_2$ × ρ

GRV：全岩容積（km^3）

N/G：貯留層層準の N/G 比 =

堆積体の出現率 × 坑井における堆積体の N/G 比

(3)　貯留可能域の検討および貯留可能量評価

ここまでの作業結果から以下の五つの条件を満たす貯留可能域を検討し、桂根相下部相当層（下部貯留層下部）、桂根相上部相当層（下部貯留層上部）、笹岡層貯留層（上部貯留層）の三つの貯留層を抽出した。

表 4.3-4 に貯留可能量評価の検討結果を示す。

1) CO_2超臨界状態の条件を満たす海底面下深度約 750 m～CO_2貯留層下限深度である海底面下深度 3,000 m を満たす深度範囲きた。
2) 遮蔽層層準を切る断層から 2.5 km 離した範囲。
3) 地層傾斜が 30° 未満の範囲。
4) 堆積相解析結果から貯留層ファシスと推定したファシス A、ファシス B、ファシス C、ファシス D、ファシス H が分布する範囲（ファシス H は 2021 年度作業範囲内では未検出）。
5) 堆積相解析結果から遮蔽層ファシスと推定したファシス E、ファシス F が分布し、層厚が 20 m 以上の範囲。

2021 年度作業範囲での貯留可能量は、桂根相下部相当層で 0.29 億 t、桂根相上部相当層で 0.70 億 t、笹岡層貯留層で約 3.92 億 t と算定した。また 2021 年度作業範囲と過年度の作業範囲を含む秋田沖～本荘沖で再試算した貯留可能量は、桂根相下部相当層で 4.20 億 t、桂根相上部相当層で 2.55 億 t、笹岡層貯留層で 52.99 億 t と算定した。

表 4.3-4　2021 年度作業範囲における貯留可能量評価の検討結果

	貯留層			貯留可能量	遮蔽層		地質構造	
	深度 (m)	グロス層厚 (m)	孔隙率 (%)	(百万トン～CO2)	層厚 (m)	遮蔽能力 (堆積環境・岩相)	構造安定度 (断層など)	地層傾斜 (度)
笹岡層貯留層 （上部貯留層）	900～2,500	500～1,000	26～29	392	200～700	浅海～半深海性泥岩	・断層は明瞭に確認されない。 ・近傍に飛島～船川隆起帯衝上断層がある。	0～10
桂根相上部相当層 （下部貯留層上部）	1,800～3,000	200～600	18～20	70	300～1,000	半深海性泥岩	断層は明瞭に確認されない。	10～25
桂根相下部相当層 （下部貯留層下部）	1,800～3,000	300～1,000	18～22	29	300～800	半深海性泥岩	・断層は明瞭に確認されない。 ・近傍に飛島～船川隆起帯衝上断層がある。	10～25

評価点数＼技術要素			貯留層			貯留可能量	遮蔽層		地質構造	
			深　度 (m)	層　厚 (m)	性状(孔隙率) (%)	(百万トン-CO_2)	規模(層厚) (m)	遮蔽能力 (堆積環境・岩相)	構造安定度 (断層など)	地層傾斜 (deg)
評価点数	◎	1	800-2000m	>=500	>=25	>=5,000	>=100	深海性・泥岩	断層なし	<=10
	○	0.6	800-3000m	>=200	>=20	>=1,000	>=50	半深海性・泥質岩	断層あるが堆積部まで達していない	<=20
	△	0.3	>=2000m	>=50	>=15	>=200	>=20	陸棚以浅・泥質岩	断層多いが堆積部まで達していない	<=30
	△-	0.1			>=5	>100			広域地質構造の安定度が低い	
	×	0	>=3000m	<50	<5	<100	<20	砂質シルト岩	対象区域内に活断層あり	>30
	NA	0.5	(評価できず)				(評価できず)		(評価できず)	

① 桂根相下部相当層（下部貯留層下部）

2021 年度作業範囲において抽出した貯留可能域の貯留可能量を表 4.3-5 に示す。三つの貯留可能域を抽出し、三つの貯留可能域合計で 0.29 億 t の貯留可能量を算定した。

表 4.3-5　2021 年度作業範囲における桂根相下部相当層の貯留可能域と貯留可能量

貯留可能域	GRV	面積	N/G			Phi	貯留率	Sg	Bg	CO2密度	貯留可能量（億トン）	貯留可能量（億トン）
	km^3	km^2	検層解析	出現率	N/G	Phi	frac	frac	frac	kg/m3		
2021 KL1	0.62	1.50	0.69	1	0.69	0.22	0.25	0.5	0.003	1.976	0.08	0.29
2021 KL2	0.21	1.29	0.69	1	0.69	0.18	0.25	0.5	0.003	1.976	0.02	
2021 KL3	1.78	7.23	0.69	1	0.69	0.19	0.25	0.5	0.003	1.976	0.19	

② 桂根相上部相当層（下部貯留層上部）

2021 年度作業範囲において抽出した貯留可能域の貯留可能量を表 4.3-6 に示す。二つの貯留可能域を抽出し、二つの貯留可能域合計で 0.70 億 t の貯留可能量を算定した。

表 4.3-6　2021 年度作業範囲における桂根相上部相当層の貯留可能域と貯留可能量

貯留可能域	GRV	面積	N/G			Phi	貯留率	Sg	Bg	CO2密度	貯留可能量（億トン）	貯留可能量（億トン）
	km^3	km^2	検層解析	出現率	N/G	Phi	frac	frac	frac	kg/m3		
2021 KU1	5.19	15.82	0.77	1	0.77	0.20	0.25	0.5	0.003	1.976	0.65	0.70
2021 KU2	0.50	2.45	0.77	1	0.77	0.18	0.25	0.5	0.003	1.976	0.06	

③ 笹岡層貯留層（上部貯留層）

2021 年度作業範囲において抽出した貯留可能域の貯留可能量を表 4.3-7 に示す。一つの貯留可能域を抽出し、3.92 億 t の貯留可能量を算定した。

表 4.3-7　2021 年度作業範囲における笹岡層相当層の貯留可能域と貯留可能量

貯留可能域	GRV	面積	N/G			Phi	貯留率	Sg	Bg	CO2密度	貯留可能量（億トン）	貯留可能量（億トン）
	km^3	km^2	検層解析	出現率	N/G	Phi	frac	frac	frac	kg/m3		
2021 SL1	0.62	0.83	0.70	1	0.70	0.28	0.25	0.5	0.003	1.976	0.10	3.92
2021 SL2	17.71	21.17	0.70	1	0.70	0.26	0.25	0.5	0.003	1.976	2.65	
2021 SL3	7.12	11.49	0.70	1	0.70	0.29	0.25	0.5	0.003	1.976	1.17	

(4)　秋田沖～本荘沖広域貯留可能域および貯留可能量

2021 年度作業範囲と 2016 年度作業範囲、2028 年度作業範囲、2020 年度作業範囲とを統合した成果図作成範囲において抽出した貯留可能域および算定した貯留可能量を統合した。

統合した貯留可能域ごとの貯留可能量を表 4.3-8～表 4.3-10 に示す。秋田沖～本荘沖における貯留可能量は、桂根相下部相当層（下部貯留層下部）で約 4.2 億 t、桂根相上部相当層（下部貯留層上部）で約 2.6 億 t、笹岡層相当層（上部貯留層）で約 53.0 億 t と算定した。

表 4.3-8　桂根相下部相当層の貯留可能域と貯留可能量

可能域名	GRV	面積	N/G			Phi	貯留率	Sg	Bg	CO2密度	貯留可能量（億ton）	貯留可能量（億ton）
	km^2	km^2	検層解析	出現率	N/G	Phi	frac	frac	frac	kg/m3		
2021 KL1	0.62	1.50	0.69	1	0.69	0.22	0.25	0.5	0.003	1.976	0.08	0.29
2021 KL2	0.21	1.29	0.69	1	0.69	0.18	0.25	0.5	0.003	1.976	0.02	
2021 KL3	1.78	7.23	0.69	1	0.69	0.19	0.25	0.5	0.003	1.976	0.19	
2020 KL1	31.20	63.15	0.58	3/8	0.22	0.20	0.25	0.5	0.003	1.976	1.13	2.71
2020 KL2	12.48	63.51	0.58	3/8	0.22	0.18	0.25	0.5	0.003	1.976	0.40	
2020 KL3	5.18	17.07	0.58	1	0.58	0.27	0.25	0.5	0.003	1.976	0.66	
2020 KL4	1.34	3.86	0.58	1/2	0.29	0.27	0.25	0.5	0.003	1.976	0.09	
2020 KL5	0.33	1.22	0.58	1/2	0.29	0.22	0.25	0.5	0.003	1.976	0.02	
2020 KL6	3.68	18.73	0.58	1	0.58	0.24	0.25	0.5	0.003	1.976	0.42	
2016 KL2	14.01	53.20	0.58	3/8	0.22	0.18	0.25	0.5	0.003	1.976	0.46	1.20
2016 KL1	21.72	51.77	0.58	3/8	0.22	0.19	0.25	0.5	0.003	1.976	0.74	

表 4.3-9　桂根相上部相当層の貯留可能域と貯留可能量

可能域名	GRV	面積	N/G			Phi	貯留率	Sg	Bg	CO2密度	貯留可能量（億ton）	貯留可能量（億ton）
	km^2	km^2	検層解析	出現率	N/G	Phi	frac	frac	frac	kg/m3		
2021 KU1	5.19	15.82	0.77	1	0.77	0.20	0.25	0.5	0.003	1.976	0.65	0.70
2021 KU2	0.50	2.45	0.77	1	0.77	0.18	0.25	0.5	0.003	1.976	0.06	
2020 KU1	6.25	41.08	0.77	1/2	0.39	0.19	0.25	0.5	0.003	1.976	0.38	0.67
2020 KU2	1.88	14.62	0.77	1/8	0.10	0.18	0.25	0.5	0.003	1.976	0.03	
2020 KU3	7.30	27.72	0.77	1/8	0.10	0.19	0.25	0.5	0.003	1.976	0.11	
2020 KU4	0.91	4.08	0.77	1	0.77	0.27	0.25	0.5	0.003	1.976	0.15	
2016 KU1	2.29	12.32	0.77	1	0.77	0.18	0.25	0.5	0.003	1.976	0.26	1.18
2016 KU2	3.78	32.96	0.77	1/2	0.39	0.18	0.25	0.5	0.003	1.976	0.21	
2016 KU3	1.23	3.09	0.77	1/2	0.39	0.20	0.25	0.5	0.003	1.976	0.08	
2016 KU4	0.62	5.60	0.77	1	0.77	0.18	0.25	0.5	0.003	1.976	0.07	
2016 KU5	7.87	27.37	0.77	1/2	0.39	0.22	0.25	0.5	0.003	1.976	0.56	

表 4.3-10　笹岡層相当層の貯留可能域と貯留可能量

可能域名	GRV	面積	N/G			Phi	貯留率	Sg	Bg	CO2密度	貯留可能量（億ton）	貯留可能量（億ton）
	km^3	km^2	検層解析	出現率	N/G	Phi	frac	frac	frac	kg/m3		
2021 SL1	0.62	0.83	0.70	1	0.70	0.28	0.25	0.5	0.003	1.976	0.10	3.92
2021 SL2	17.71	21.17	0.70	1	0.70	0.26	0.25	0.5	0.003	1.976	2.65	
2021 SL3	7.12	11.49	0.70	1	0.70	0.29	0.25	0.5	0.003	1.976	1.17	
2018 SL1	78.10	92.64	0.70	1	0.70	0.25	0.25	0.5	0.003	1.976	11.34	11.34
2020 S1	166.30	176.37	0.70	6/11	0.38	0.29	0.25	0.5	0.003	1.976	14.90	27.96
2020 S2	72.17	99.24	0.70	5/11	0.32	0.30	0.25	0.5	0.003	1.976	5.73	
2020 S3	10.61	23.00	0.70	6/11	0.38	0.32	0.25	0.5	0.003	1.976	1.08	
2020 S4	23.71	25.73	0.70	2/11	0.13	0.30	0.25	0.5	0.003	1.976	0.75	
2020 S5	9.97	26.34	0.70	1	0.70	0.34	0.25	0.5	0.003	1.976	1.97	
2020 S6	17.80	27.01	0.70	1	0.70	0.34	0.25	0.5	0.003	1.976	3.52	
2016 S1	109.00	122.60	0.70	6/11	0.38	0.29	0.25	0.5	0.003	1.976	9.77	9.77

4.3.7　調査井の検討

ここまでの作業結果から 2021 年度作業範囲における調査井の掘削位置を検討した。調査井の掘削位置は、桂根相下部相当層（下部貯留層下部）、桂根相上部相当層（下部貯留層上部）および笹岡層相当層の下部（上部貯留層の下部）の貯留可能域が重なる位置で、遮蔽層および貯留層層準の全区間を掘り抜く掘削深度約 3,000 m の垂直井とした。調査井掘削位置の座標を表 4.3-11 に示し、予想層序を表 4.3-12 に示す。以下に、本調査井の選定理由および特記事項を記載する。

1) 本調査井位置では、堆積相解析から、桂根相下部相当層および桂根相上部相当層において砂岩優勢相のファシス D、笹岡層相当層の下部において砂岩優勢相のファシス A の分布が推定されることから、設定したすべての貯留層層準において砂岩優勢ファシスの発達が期待できる。
2) 本調査井掘削位置では、貯留層層準の全区間が海底面下深度約 1,060 m 以深に分布し、二酸化炭素の超臨界状態安定領域内である。
3) 本調査井掘削位置では、貯留層層準の全区間が海底面下深度 3,000 m 以浅に分布し、貯留層として機能しうる孔隙率を保持する深度である。
4) 本調査井掘削位置では、遮蔽層に厚さ約 600 m 以上の笹岡層上部の泥質ファシスを期待できるため、遮蔽層性状を調査できる。
5) 本調査井掘削位置は、地質構造が比較的浅く、垂直深度約 3,000 m の坑井で三つの貯留層の貯留層性状を確認することができる。

6) 本調査井掘削位置は、離岸距離が約 10 km 程度であり、比較的水深が浅いため、掘削費用の抑制が期待できる。

表 4.3-11　調査井掘削位置

掘削深度	3,000 mTVDSS
X 座標（Easting）	409,425 m
Y 座標（Northing）	4,395,020 m

準拠楕円体：WGS84、投影法：UTM 54

表 4.3-12　予想層序

出現予想ホライズン	出現予想深度（mTVDSS）
海底面ホライズン	50
Hrizon A	285
Intra 笹岡／Intra 観音寺ホライズン	520
笹岡ファシス境界ホライズン	1,110
笹岡層下限／観音寺層下限ホライズン	1,730
上部天徳寺層／丸山層下限ホライズン	1,695
No.3 *G. inflata bed* 上限ホライズン	2,020
No.3 *G. inflata bed* 下限ホライズン	2,295
桂根相下限ホライズン	2,625

【参考文献】

1) 日本ＣＣＳ調査(株)、“「平成２８年度 二酸化炭素貯留適地調査事業」成果報告書”（2018）

2) 日本ＣＣＳ調査(株)、“「平成３０年度 二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務」成果報告書”（2020）

3) 日本ＣＣＳ調査(株)、“「令和２年度 二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務」成果報告書”（2022）

4) 国土地理院ホームページ、地理院地図（電子国土 Web）、https://maps.gsi.go.jp

5) 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構、“平成 25 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「秋田沖 3D」データ処理報告書”（2013）

6) 日本ＣＣＳ調査(株)、“「平成２９年度 二酸化炭素貯留適地調査事業」成果報告書”（2019）
7) 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構、“平成 26 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「秋田～山形沖 3D」データ処理報告書”（2014）
8) 日本ＣＣＳ調査(株)、“「平成２７年度二酸化炭素貯留適地調査事業」（2017）
9) 日本ＣＣＳ調査(株)、“「平成３１年度 二酸化炭素貯留適地調査事業」成果報告書”（2021）
10) 石油公団、“昭和 42 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 基礎試錐「西目沖」調査報告書”（1968）
11) 石油公団、“昭和 58 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 基礎試錐「最上川沖」調査報告書”（1984）
12) 石油公団、“平成 4 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 基礎試錐「由利沖中部」調査報告書”（1993）
13) 石油公団、“平成 5 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 基礎試錐「本荘沖」調査報告書”（1994）
14) 石油公団、“平成 7 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 基礎試錐「子吉川沖」調査報告書”（1996）
15) 岡村行信、森尻理恵、佐藤幹夫、“秋田西方海底地質図及び同説明書”、地質調査所、p. 36（1996）
16) 佐藤比呂志、吉田武義、岩崎貴哉、佐藤時幸、池田安隆、海野徳仁、“後期新生代における東北日本中部背弧域の地殻構造発達-最近の地殻構造探査を中心として-”、石油技術協会誌、第 69 巻、第 2 号、p.145-154（2004）
17) 佐藤時幸、山崎誠、千代延俊、“秋田県の地質”、東北地質調査協会誌「大地」、Vol.50、p. 70-83（2009）
18) 岡村行信、倉本真一、佐藤幹夫、“日本海東縁海域の活構造およびその地震との関係”、地質調査所月報、第 49 巻、第 1 号、p.1-18（1998）
19) 天然ガス鉱業会・大陸棚石油開発協会、“日本の石油・天然ガス資源”（改訂版）、p.53-80（1992）
20) 堀川晴央、岡村信行、村上文敏、“酒田沖隆起帯における浅層音波探査”、活断層・古地震研究報告、No.11、p.83-96（2011）
21) 藤岡一男、“秋田油田における出羽変動”、石油技術協会誌、第 33 巻、第 5 号、p.5-19（1968）

22) 岡村行信、中村光一、“反転テクトニクス（inversion tectonics）あるいは盆地反転（basin inversion）-日本海東縁における例を交えて-”、地球科学、49 巻、p.302-305（1995）

23) 渡辺真人、岡村行信、佐藤幹夫、“東北日本沖日本海大陸斜面の珪藻化石と地質構造”、地質調査所月報、第 45 巻、第 7 号、p.405-436（1994）

24) 佐藤時幸、小川由梨子、金子光好、“石灰質ナンノ化石からみた秋田県沿岸部北由利衝上断層群の活動時期”、日本地質学会第 110 年学術大会講演要旨集、p67（2003）

25) 岡村行信、“日本海東縁の地質構造と震源断層との関係”、地質学雑誌、第 116 巻、第 11 号、p.582-591（2010）

26) 岡村行信、“日本海東縁のインバージョンテクトニクス”、石油技術協会誌、第 65 巻、第 1 号、p.40-47（2000）

27) 気象庁震度データベース、
https://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.html

28) 地震本部、“日本の地震活動-被害地震から見た地域別の特徴-＜第 2 版＞の 4. 東北地方の地震活動の特徴”、p.83-p.142（2009）

29) Posamentier, H.W., and Kolla, V., “Seismic geomorphology and stratigraphy of depositional elements in deep-water settings”, Journal of Sedimentary Research, 73. p.367-388（2003）

30) (公財)地球環境産業技術研究機構、“平成 17 年度 二酸化炭素固定化・有効利用技術等対策事業 二酸化炭素地中貯留技術研究会月成果報告書”（2006）

4.4　地質解析と貯留適地評価（酒田沖）

酒田沖において、本業務にて取得した 2D 探査データ（3.2 節）、令和 2 年度委託事業にて再処理した既存 2D 探査データ、基礎試錐データ、民間坑井データを用いて、地質構造解析、貯留層・遮蔽層評価、貯留可能量評価を行い、貯留適地の検討を実施した。

4.4.1　概要

(1)　本作業の調査範囲

本作業の調査範囲を図 4.4-1 に示す。山形県酒田市の沖合約 50 km に位置し、東西約 70 km、南北約 80 km の範囲約 5,600 km² を本作業の調査範囲とした。当該海域の水深は西に向かって徐々に深くなり、0～800 m 程度である。

本作業で使用した座標系は WGS84 UTM Zone54 であり、使用した測地諸元を表 4.4-1 に示す。

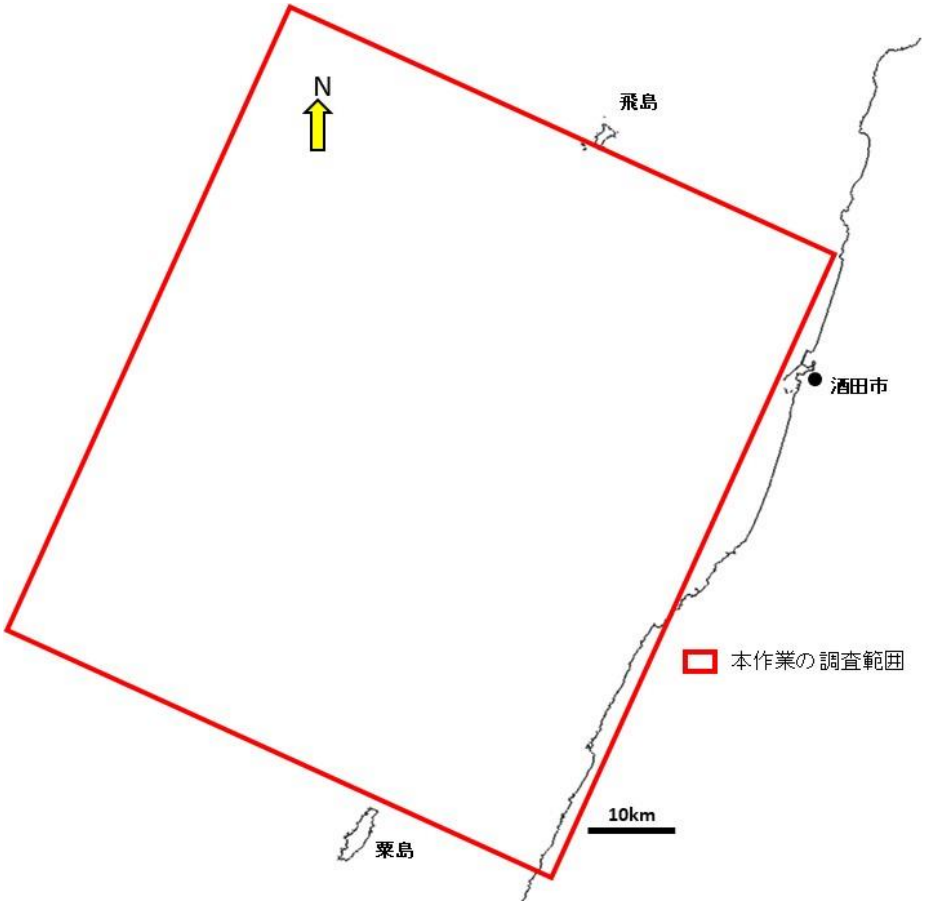


図 4.4-1　本作業の調査範囲および使用データ位置

表 4.4-1　本作業で使用した測地諸元

準拠楕円体	WGS84
長半径	6,378,137.00000000 m
短半径	6,356,752.31424500 m
投影法	Universal Transverse Mercator（UTM 図法）
系番号	54
座標原点 緯度	00° 00′ 00.000" N
座標原点 経度	141° 00′ 00.000" E
縮尺係数	0.999600
北方加数	0.000 m
東方加数	500,000.000 m

(2)　使用データ

本作業の調査範囲では、JCCS による 2D 探査および既存 2D 探査データの再処理業務が実施されている。また、基礎試錐による試掘井と民間会社による坑井の掘削が実施されている。本作業の調査範囲の北側には、令和２年度委託事業で地質解析・貯留可能量評価[1)]を実施した本荘沖が隣接しており、本作業では当該解析結果（以下、「2020 年度本荘沖」と称する。）を参考にした。以下に使用したデータの一覧を示す。

A) 2D 探査データ

1) 本事業 3.2 節で取得した 2D 探査データ（酒田沖）

2) 令和２年度委託事業で再処理した既存 2D 探査データ（酒田沖）[1)]

B) 坑井データ

1) 昭和 58 年度 基礎試錐「最上川沖」[2)]

2) 平成５年度 基礎試錐「本荘沖」[3)]

3) 民間会社による坑井データ

C) 地質解析・貯留可能量評価データ

1) 令和２年度委託事業の地質解析・貯留可能量評価業務（本荘沖）[1)]

D) その他公開されている地質情報に関するデータ

本作業で使用した主要ソフトウェアと作業内容を以下に示す。

1) 弾性波探査・地質解析

IHS 社製「Kingdom」、Schlumberger 社製「Petrel」

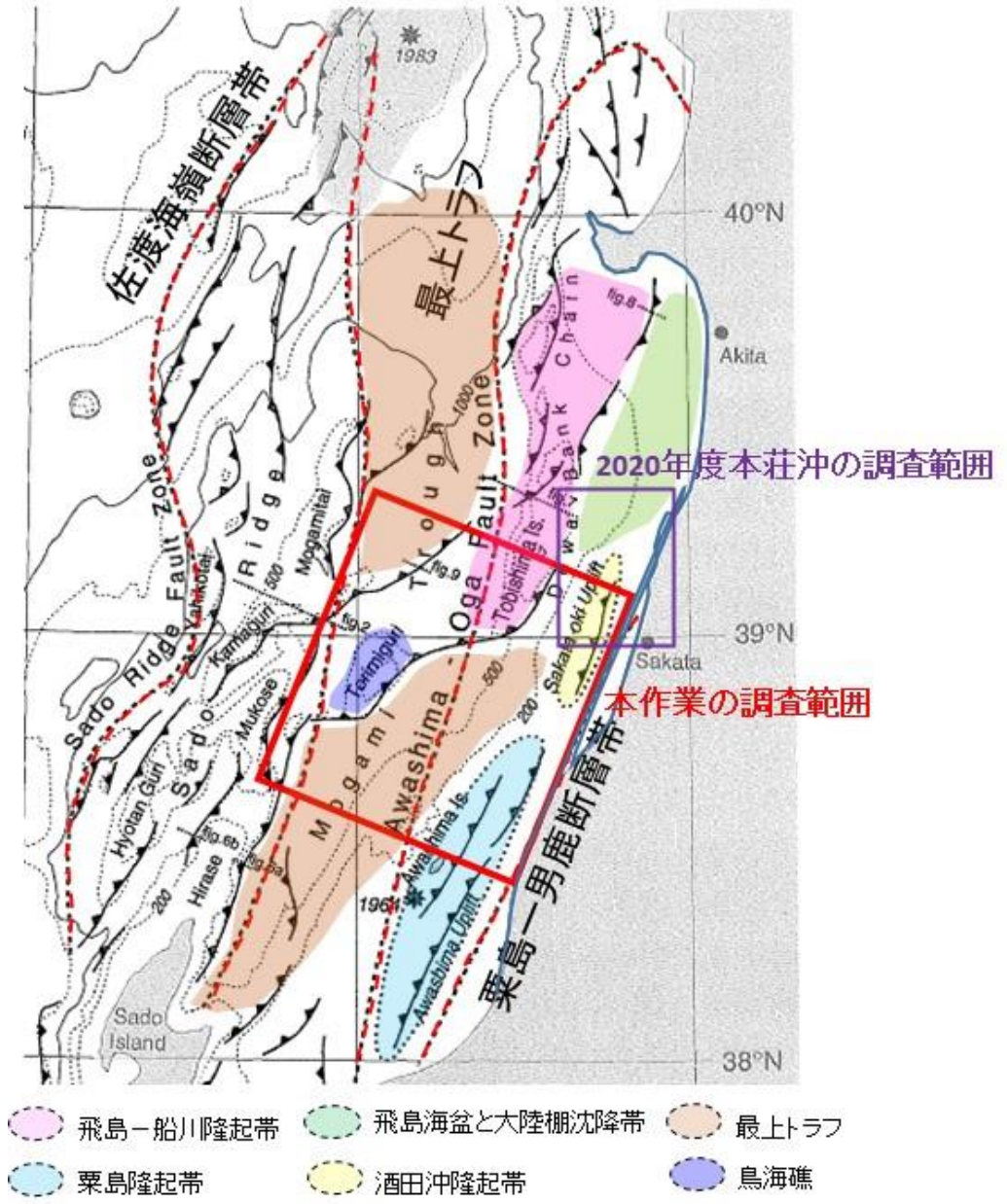
2) 物理検層データ解析

Lloyd's Register 社製「Interactive Petrophysics」

4.4.2　一般地質

(1)　地質概要

図 4.4-2 に秋田－山形堆積盆地の地質構造と本作業の調査範囲の位置を示す[4)]。秋田－山形堆積盆地は、新第三紀に形成された堆積盆地であり、その基盤は先第三系花崗岩類から構成される[5)]。反射法弾性波探査、重力探査、坑井により、当該堆積盆地内には、層厚 5,000 m 以上の火成岩類や堆積岩類が確認されている[6)、7)]。本作業の調査範囲は当該堆積盆地南部に位置する。



注）岡村ほか（1998）[4)] 第 3 図の一部を引用、加筆した。

図 4.4-2　秋田－山形堆積盆地の地質構造および本作業の調査範囲位置図

(2) 地質層序

2020 年度本荘沖[1)]では、秋田－山形地域の標準層序に対比される地層名を用いており、各層序にはおおむね同様の岩相が分布する[8)]。本作業ではそれら層序を踏襲する。図 4.4-3 に秋田－山形堆積盆地の標準層序を示す[8)]。また秋田－本荘地域と庄内地域の層序対比を図 4.4-4 に示す。

本作業の調査範囲の層序は、下位より門前層（漸新統）、台島層／善宝寺層（下部中新統）、西黒沢層／青沢層（下～中部中新統）、女川層／草薙層（中～上部中新統）、船川層／北俣層（上部中新統～下部鮮新統）、下部天徳寺層／楯山層（上部鮮新統）、上部天徳寺層／丸山層（下部更新統）、笹岡層／観音寺層（上部更新統）、鮪川層－潟西層／庄内層群（上部更新統）が確認されている。以下に各層序の概要を記載する。

1) 門前層（漸新統）

基盤岩を不整合に覆う第三系最下部の地層であり、粗面岩質安山岩、変質両輝石安山岩～玄武岩、流紋岩および阿仁合型植物群化石を含む砂礫岩・火砕岩からなる。

2) 台島層／善宝寺層（下部中新統）

下～中部は溶結凝灰岩をともなうデイサイト、凝灰岩および玄武岩からなり、上部は礫岩･凝灰質砂岩･泥岩からなる。

3) 西黒沢層／青沢層（下～中部中新統）

かんらん石玄武岩の溶岩･ハイアロクラスタイトと海成層の泥岩からなり、ドレライトや酸性凝灰岩を伴う。南部の青沢層は主に火山礫岩、凝灰岩からなり、硬質泥岩を挟在する。

4) 女川層／草薙層（中～上部中新統）

硬質頁岩、泥岩および珪質泥岩からなり、酸性凝灰岩や泥灰岩、シルト岩を伴う。

5) 船川層／北俣層（上部中新統～下部鮮新統）

暗灰色～黒色泥岩からなり、酸性凝灰岩や凝灰質砂岩と泥岩の互層を伴う。船川層の上部には「桂根相」と呼ばれる粗粒相が一部の地域で認められる。

6) 下部天徳寺層／楯山層（上部鮮新統）

灰色泥岩、シルト質泥岩からなり、下部天徳寺層の下部、楯山層の上部では一部、砂岩泥岩互層となる。下部天徳寺層には「桂根相」と呼ばれる粗粒相が一部の地域で認められる。

7) 上部天徳寺層／丸山層（下部更新統）

緑灰色ないし灰色泥岩、シルト岩からなり、基底には浮石質凝灰岩や凝灰質砂岩

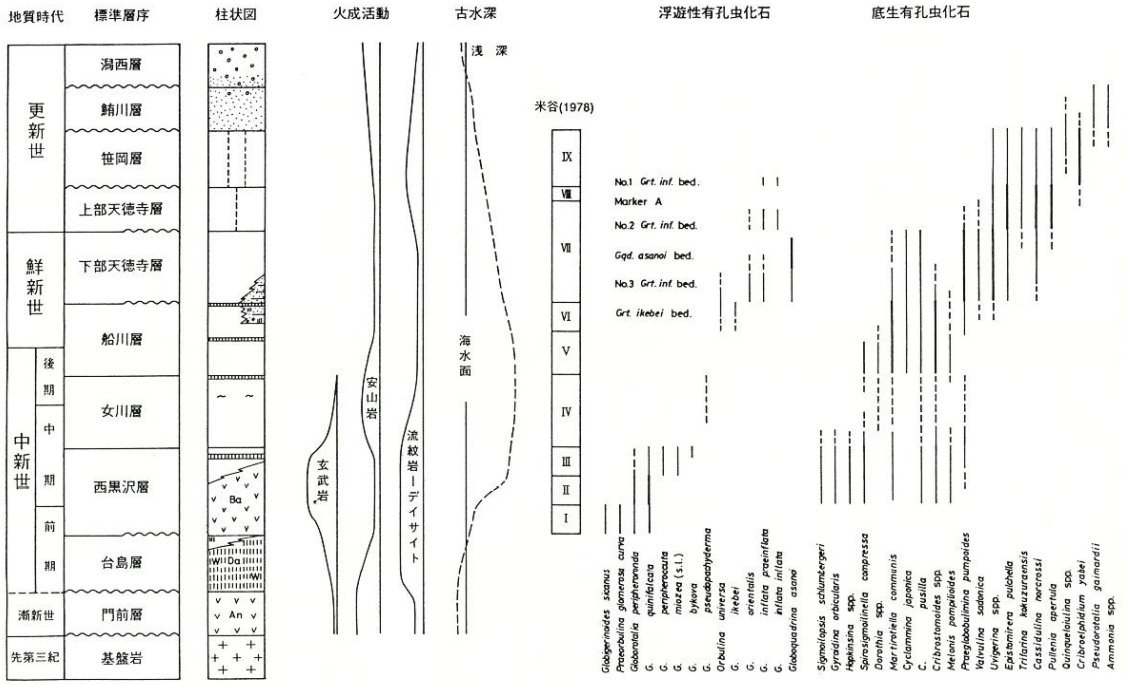
を挟む。海域では本層基底に不整合が明瞭に確認される。丸山層には細～中粒砂岩、凝灰岩の薄層が挟在する。

8) 笹岡層／観音寺層（上部更新統）

青灰色砂質シルト岩および、細～中粒砂岩からなり、下位層とは不整合で接することが多い。

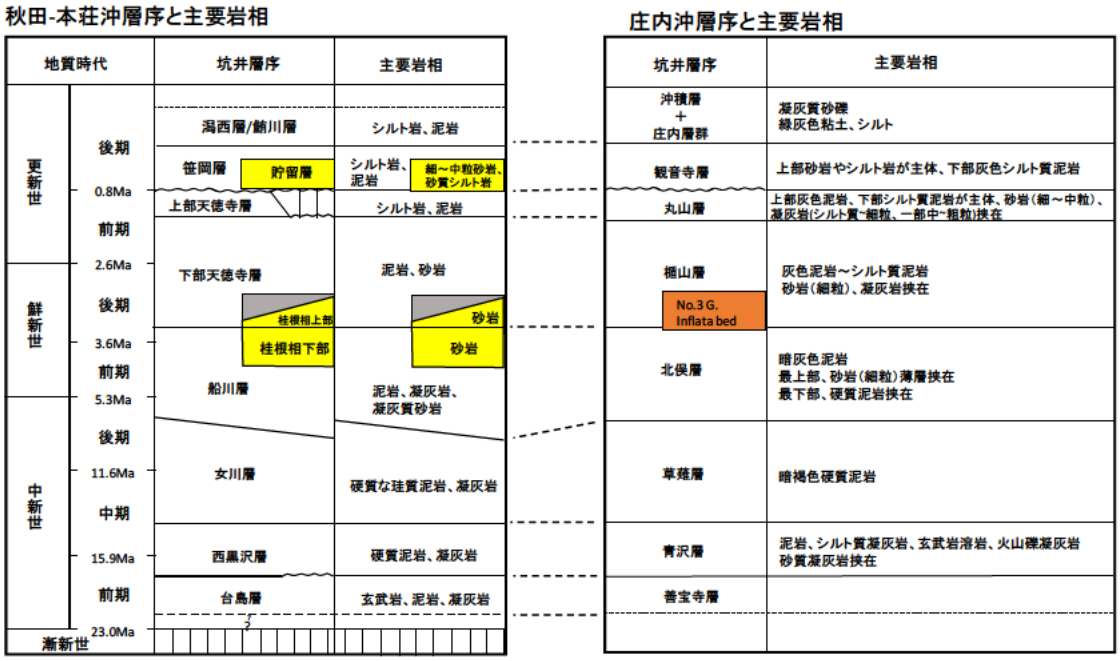
9) 鮪川層－潟西層／庄内層群（上部更新統）

砂、礫層を主とし、時に泥、シルト層が挟在する。



注）天然ガス鉱業会、大陸棚石油開発協会（1992）[8] 図 IIB-15 を引用した。

図 4.4-3　秋田－山形地域の標準層序



注）天然ガス鉱業会、大陸棚石油開発協会（1992）[8)] および民間坑井資料から作成した。

図 4.4-4　秋田－本荘地域標準層序と庄内地域層序の対比

(3)　地質構造および構造発達史

本作業の調査範囲を含む秋田～山形西方の海域の構造は図 4.4-2 に示すように、陸棚から沖合にかけて南北方向に伸びる三列の構造帯に大きく区分でき、西から佐渡海嶺断層帯（隆起帯）、最上トラフ（沈降帯）、粟島－男鹿断層帯から構成される[5)]。東側の粟島－男鹿断層帯には、飛島－船川隆起帯、粟島隆起帯、酒田沖隆起帯等、顕著な隆起帯が断続的に分布する。飛島－船川隆起帯の東側では、飛島海盆と男鹿半島の北側までの大陸棚からなる沈降帯が発達している。

佐渡海嶺は北北東－南南西～北東－南西方向の数列の雁行状に配列する小海嶺の集合体である[5)]。

最上トラフは南北～北北東－南南西方向に伸びる凹地であり[5)、9)、10)]、その東方には出羽堆列が発達する。出羽堆列は、主として男鹿向瀬、新礁および飛島堆の三つの小海嶺と、それらの間の小規模な構造的高まりから構成される。また、各小海嶺を画するように北東－南西～北北東－南南西方向に雁行配列した断層や褶曲帯が連なる。なお、一部の断層や褶曲帯は出羽堆列から枝分かれして男鹿半島の船川沖に達し、飛島－船川隆起帯を構成する[5)]。また、出羽堆列の南西には鳥海礁が存在する。鳥海礁は長さ約 25 km、幅約 15 km の北北東－南南西に伸びる小海嶺であり、最上トラフを南北に二分している[10)、11)]。南東翼は急傾斜し東落ちの断層で切られているが、北西翼は幅 20 km に達する緩傾斜した地層から

なる。その上の堆積層は、礁の頂部で特に厚く、北西側のトラフに向かって薄くなる[11)]。

飛島－船川隆起帯は、北北東－南南西方向に伸び、連続的な断層や褶曲帯から構成される。本隆起帯は、東側の飛島海盆と西側の男鹿海盆を画し、全体として東傾斜の逆断層の発達が顕著で、東側が隆起したインバージョンに伴い形成されたと考えられる[5)]。

粟島隆起帯は、粟島を中心とする北北東－南南西方向の複背斜構造で、全体の長さは約80 km に達する。それらの背斜構造は西傾斜の高角度逆断層を伴い、東翼が急傾斜、西翼が緩傾斜の非対称断面を持ち[9)、10)、12)、13)]、それぞれ 10～30 km の長さを有する。これらの断層は海底付近の第四系までを変形させていることから、活断層と考えられる。後述する 1964 年の新潟地震は、粟島隆起帯の活動に起因すると考えられ、余震域はこの隆起帯にほぼ一致する[9)、13)]。

酒田沖隆起帯は、粟島隆起帯の北方延長部に相当し、北北東－南南西のトレンドで約40 km 伸びている[12)]。本隆起帯は粟島隆起帯と同様に西傾斜の逆断層の上盤に形成された背斜構造[5)]であり、東翼が西翼より急傾斜になっている。その逆断層は第四系を変位させていることから活断層と考えられる[12)]。

図 4.4-5 に東北本州弧の構造発達史を示す。秋田・山形堆積盆地は東北本州弧の背弧堆積盆地であり、同堆積盆地形成・発達においては中新世の日本海の生成・拡大に伴う伸張応力テクトニクスと鮮新世～更新世の圧縮応力テクトニクス（出羽変動）が特徴的である[6)、14)]。この伸張－圧縮テクトニクスは四つのステージに分けられ、下位より 1) 前期～中期中新世のリフト期、2) 後期中新世のポストリフト期、3) 後期中新世～鮮新世のプレインバージョン期、4) 更新世のインバージョン期である[5)、9)、15)]。図 4.4-6 に日本海東北縁辺におけるインバージョン模式図を示す。

1) リフト期（前期～中期中新世）

日本海の拡大に伴い、秋田・山形堆積盆地では、飛島海盆から秋田平野にかけての範囲に日本海東縁域の中でも最大規模の南北に伸びるリフトが形成された。リフティングに伴い、火成岩類が活発に噴出し、グリーンタフ（台島層）および玄武岩の溶岩･ハイアロクラスタイト（西黒沢層）が堆積した[7)]。

2) ポストリフト期（後期中新世）

リフトの成長は中期中新世に終了し、その後、後期中新世までは顕著な変形構造が形成されない時期が続いた[15)]。ポストリフト期には顕著な断層や褶曲が形成されず、火成岩の噴出も沈静化した。また、広範囲に渡り熱的沈降が優勢となり、相対的に深い海盆が形成され、広い範囲で最大海進に至り、珪質泥岩（女川層）と暗色泥岩（船川層）が堆積した。しかし、リフト期に形成された地形的な起伏

はこの時期にはまだ残っていたため、堆積層はかつての堆積盆中心で厚く、構造的高まりでは薄く堆積した。

3) プレインバージョン期（後期中新世～鮮新世）

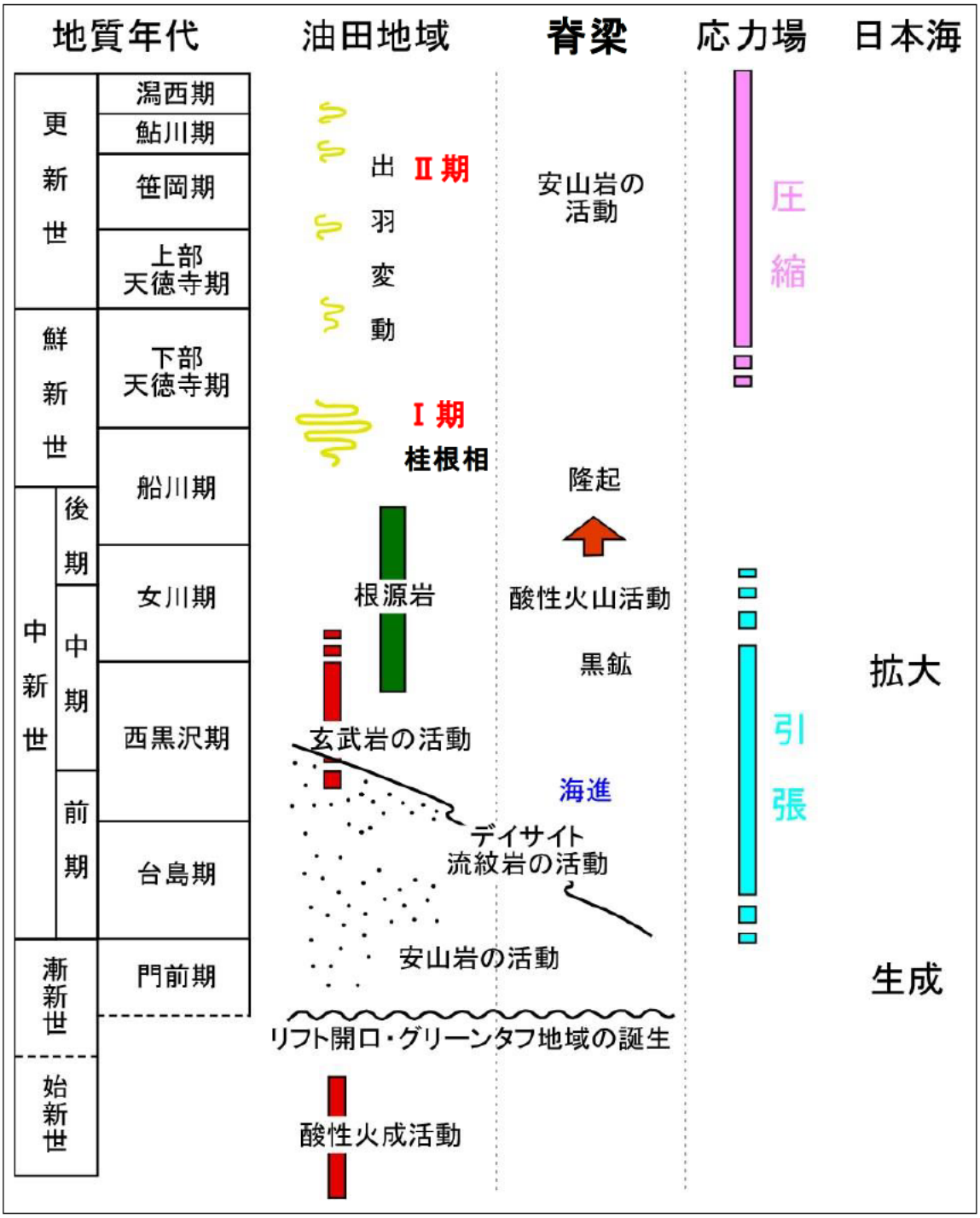
緩やかな圧縮に伴う変動が始まり、秋田沖～本荘沖の西側に位置する佐渡海嶺のハーフグラーベンでは沈降が始まった。しかし、最上トラフや出羽堆列では構造変形の証拠が不明瞭である[5)]。

4) インバージョン期（更新世）

鮮新世後期以降になると東西方向の圧縮応力が働き、リフト期に形成された正断層が逆断層として再活動した。この構造変動（出羽変動Ⅰ期）により、奥羽山脈を含む脊梁域は陸化し、タービダイト相である桂根相が沖合へと堆積した。また、油田地帯を含む堆積盆では南北方向に伸びる断層･褶曲構造が形成された[8)、16)]。

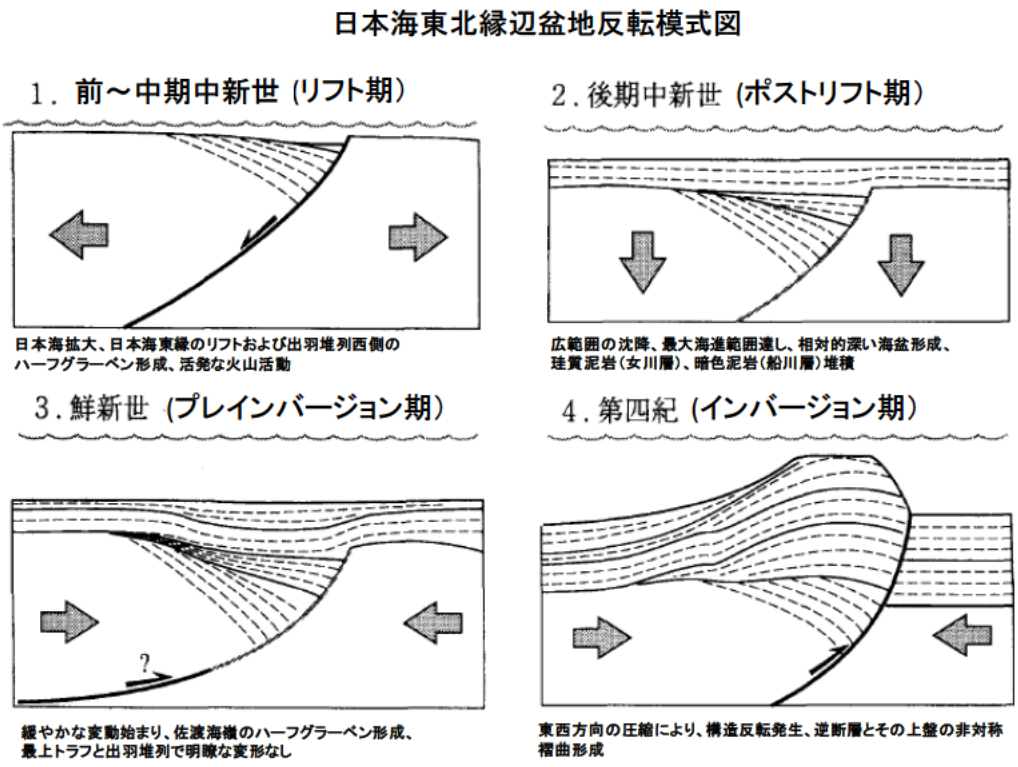
逆断層の活動開始時期は、場所により異なり、佐渡海嶺で早く、最上トラフでは遅かったと考えられる[5)、17)、18)]。また、逆断層の変位量も佐渡海嶺の東縁で最大 1,500 m に達するが、佐渡海嶺の西方および最上トラフ内では小さい。リフト期の正断層の走向は北北東－南南西と北東－南西の二つであるが、北北東方向の断層のほうが一般に逆断層としての変位量は大きい[15)]。

更新世以降は活動の場が大陸棚周辺へと移動したものの、構造活動は継続しており、出羽変動の後続活動（出羽変動Ⅱ期）であると考えられる[16)]。



注）天然ガス鉱業会　大陸断石油開発協会（1992）[8] 図ⅡB-33 を一部修正した。

図 4.4-5　東北本州弧の背弧堆積盆地における構造発達史



注）岡村、中村（1995）[15]の第３図を引用した

図 4.4-6　日本海東北縁辺におけるインバージョン模式図

(4)　活断層および地震活動

本作業の調査範囲を含む日本海東縁南部の地質構造の特徴として、比較的規模の小さい活断層が数多く認められ、それらは大陸棚から佐渡海嶺を含む幅 100 km 以上に達する大陸斜面上に発達する。その中で、規模の大きい断層が集中する断層帯が二列認められる[4)、5)]。一つは佐渡海嶺のほぼ全域を含む「佐渡海嶺断層帯」、もう一つは粟島から飛島、男鹿半島を経て能代沖に達する「粟島－男鹿断層帯」である（図 4.4-2）。これらの断層帯は海域の地質学的歪み集中帯に相当する[15)、20)]。

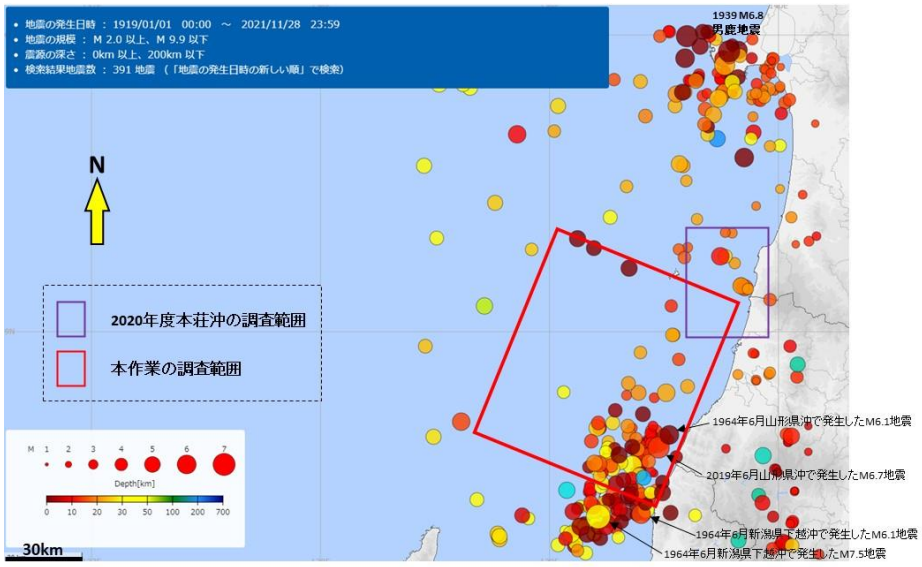
「佐渡海嶺断層帯」の断層の大部分は日本海拡大時に形成された正断層が、鮮新世後期以降に逆断層として再活動したもので、現在の断層走向や形態は前期中新世の正断層の形態に大きく規制されている[15)、19)]。それらの逆断層周辺では大きな地震の発生は認められないが、佐渡海嶺東縁の逆断層は最上トラフ底を覆う表層付近の堆積物にまで変形を与え、一部では海底段差が認められることから、現在も活動的である可能性が高い[4)]。

「粟島－男鹿断層帯」には、粟島隆起帯、酒田沖隆起帯、飛島－船川隆起帯等、顕著な隆起帯が断続的に分布する。飛島－船川隆起帯は飛島から男鹿半島の西方まで断続的に分布する隆起帯であり、その一部は本作業の調査範囲の西部に発達する。断層のつながりから見

ると、飛島－船川隆起帯は酒田沖隆起帯の北方延長ではなく、最上トラフ内の東北東－西南西方向の断層の北東延長上に相当すると考えられる[5)]（図 4.4-2）。飛島－船川隆起帯の東側の飛島海盆および秋田沖大陸棚には南北～北北東－南南西方向の逆断層や褶曲が複数形成されるが、これらの逆断層の大部分は完新世以降に活動した可能性は低く、また地震活動も比較的低調になったと報告されている[4)]。一方、粟島隆起帯と酒田沖隆起帯東側の逆断層は第四系を変位させているため、現在も活動的である可能性がある[12)]。特に、粟島隆起帯は 1964 年に発生した新潟地震の震源域にほぼ一致し、これらの高角度逆断層は過去 200～300 万年の間に 1,500 m 以上の変位を及ぼす[13)]。

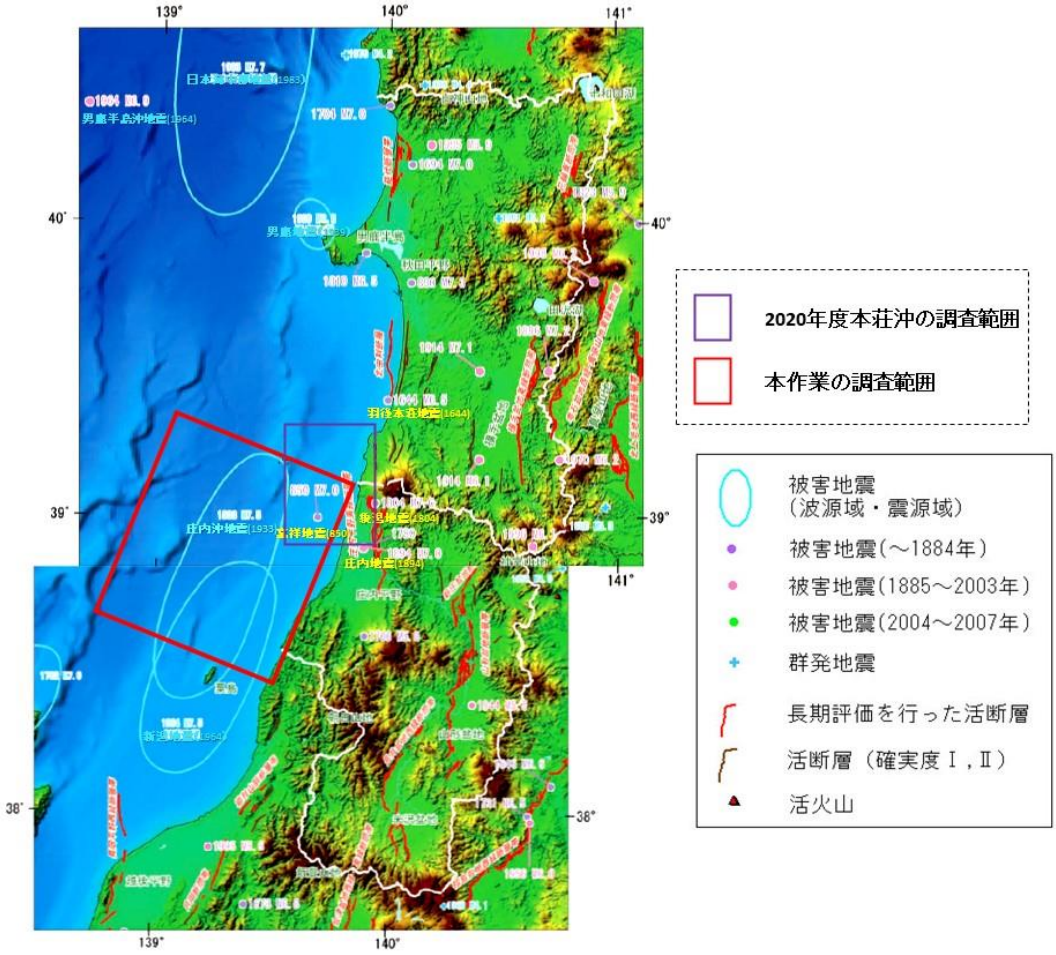
秋田－山形沖における過去 100 年間に発生した M2.0～9.9、震源深さ 0～200 km の地震分布を図 4.4-7 に示す[21)]。震源の深さが 30 km 以浅の地震は、本作業の調査範囲の南東部に位置する粟島隆起帯およびその周辺において顕著に確認されており、構造活動が活発であると考えられる。一方で、西部に位置する最上トラフでは地震が少なく、構造活動は低下していると考えられる。

図 4.4-8 に山形県とその周辺の主な被害地震の位置図を示す[22)]。日本海東縁部で発生し、被害を及ぼした地震は、1833 年に発生した庄内沖地震（M7.7）、1964 年に発生した男鹿半島沖地震（M6.9）、1964 年に発生した新潟地震（M7.5）および 1983 年に発生した日本海中部地震（M7.7）である[22)]。日本海中部地震と庄内沖地震の震源域の間に挟まれた海域では、過去に大きな地震の発生は確認されておらず、この海域を地震の空白域とする考え方もある[22)]。



注）気象庁震度データベース[21)]に加筆した。

図 4.4-7　秋田－山形沖の地震分布図



注）地震本部（2009）[2 1)] 図 4-58、図 4-62 に加筆した。

図 4.4-8　山形県とその周辺の主な被害地震

4.4.3　地質構造解析

(1)　解析ホライズン追跡

本作業の解析ホライズンは、2020 年度本荘沖[1)] で設定されたホライズン区分に基づいているが、既存文献や坑井データを参考に一部見直し、下位より、音響基盤、グリーンタフ上限、No. 3 *G. inflata* bed 下限、No. 3 *G. inflata* bed 上限、上部天徳寺層／丸山層下限、Intra 上部天徳寺層／丸山層、笹岡層／観音寺層下限、Intra 笹岡／観音寺、Horizon A、海底面の 10 ホライズンを設定した。また、基礎試錐「最上川沖」の女川層の砂岩を対象として、堆積相解析用のサブホライズンである女川層上限ホライズンを設定した。設定したホライズンおよび地質の総括図を図 4.4-9 に、代表的な 2D 探査時間断面図およびホライズン解析結果を図 4.4-10(1)～(6)に示す。

なお、後述する「4.4.4 堆積相解析」および「4.4.6 貯留可能量評価」の結果、貯留層となる砂岩優勢ファシス、遮蔽層となる泥岩優勢ファシスは、2020 年度本荘沖[1)] とは異なる

層準に解釈されたため、本作業においては以下のような貯留層層準と遮蔽層層準の組み合わせとした。

1) 下部貯留層層準（以下、「下部貯留層」と称する。）

船川層および女川層（No. 3 *G. inflata* bed 下限～グリーンタフ上限）

2) 下部遮蔽層層準（以下、「下部遮蔽層」と称する。）

下部天徳寺層の下部（No. 3 *G. inflata* bed 上限～No. 3 *G. inflata* bed 下限）

3) 上部貯留層層準（以下、「上部貯留層」と称する。）

下部天徳寺層の上中部（上部天徳寺層／丸山層下限～No. 3 *G. inflata* bed 上限）

4) 上部遮蔽層層準（以下、「上部遮蔽層」と称する。）

上部天徳寺層下部（Intra 上部天徳寺層／丸山層～上部天徳寺層／丸山層下限）

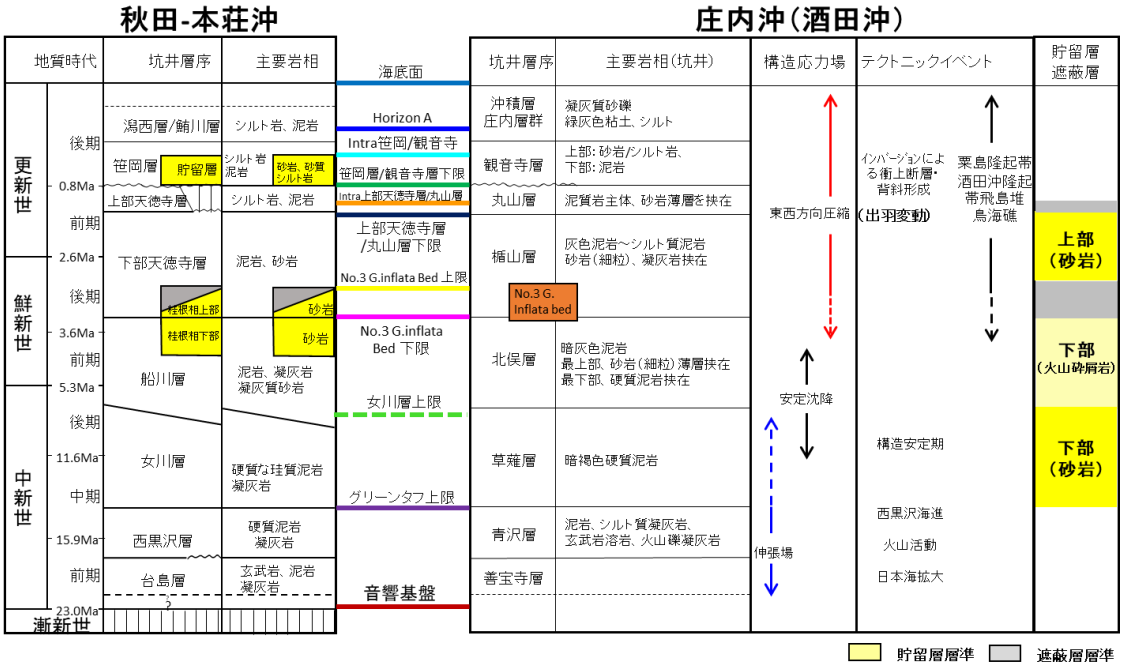
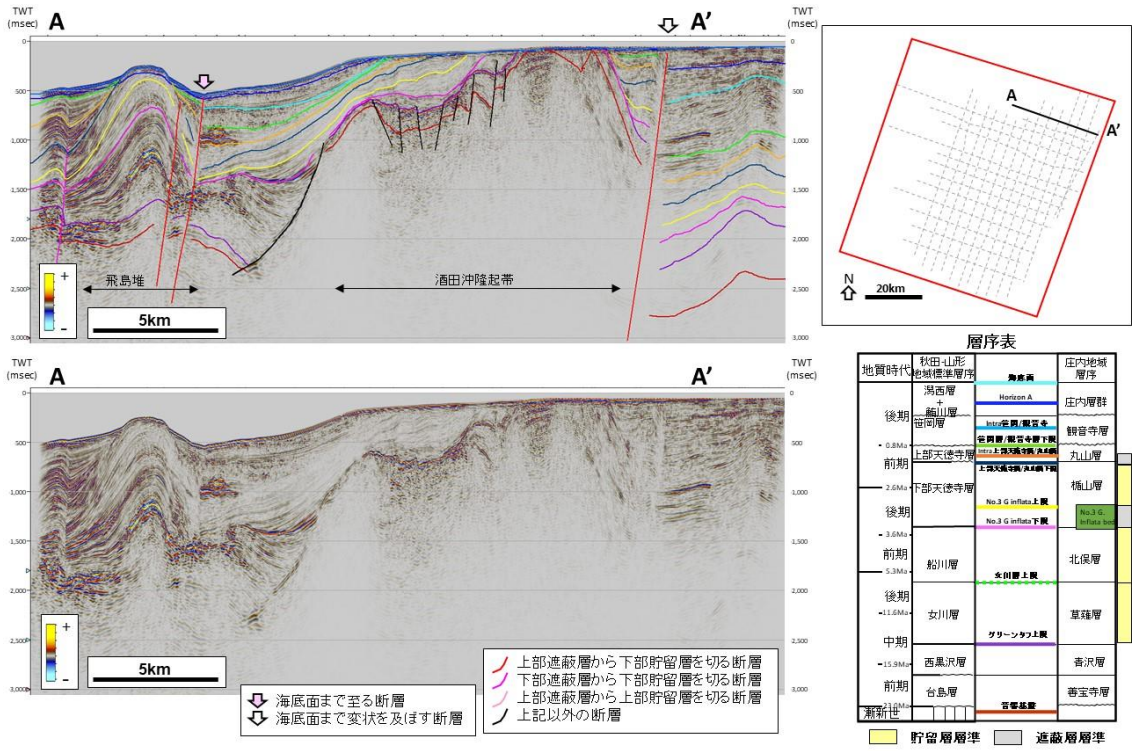
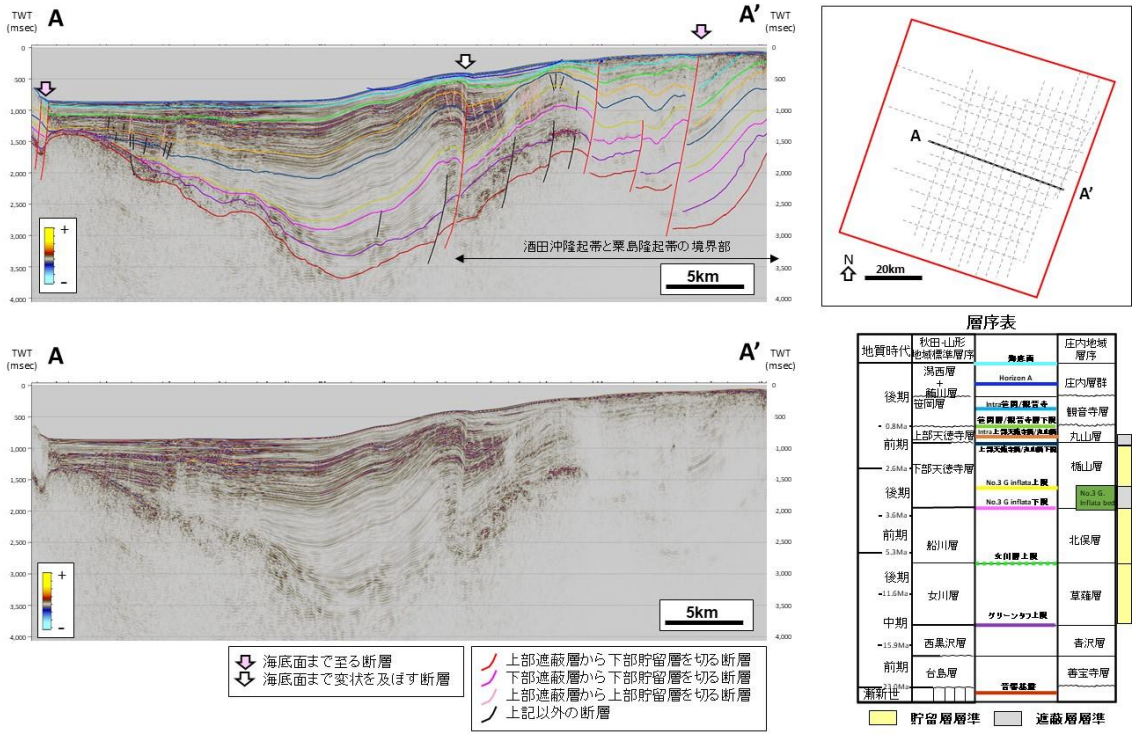


図 4.4-9　設定したホライズンおよび地質総括図



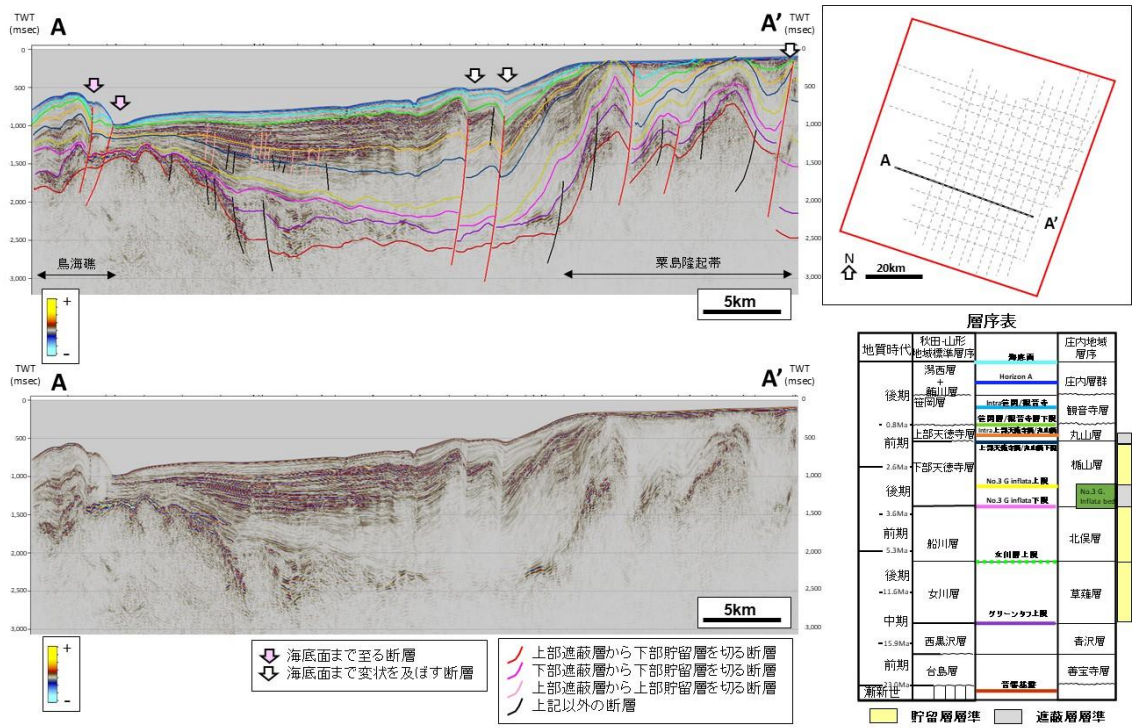
注）上図：解釈あり、下図：解釈なし。

図 4.4-10(1)　2D 探査時間断面図例（東西測線 SA-21-15）



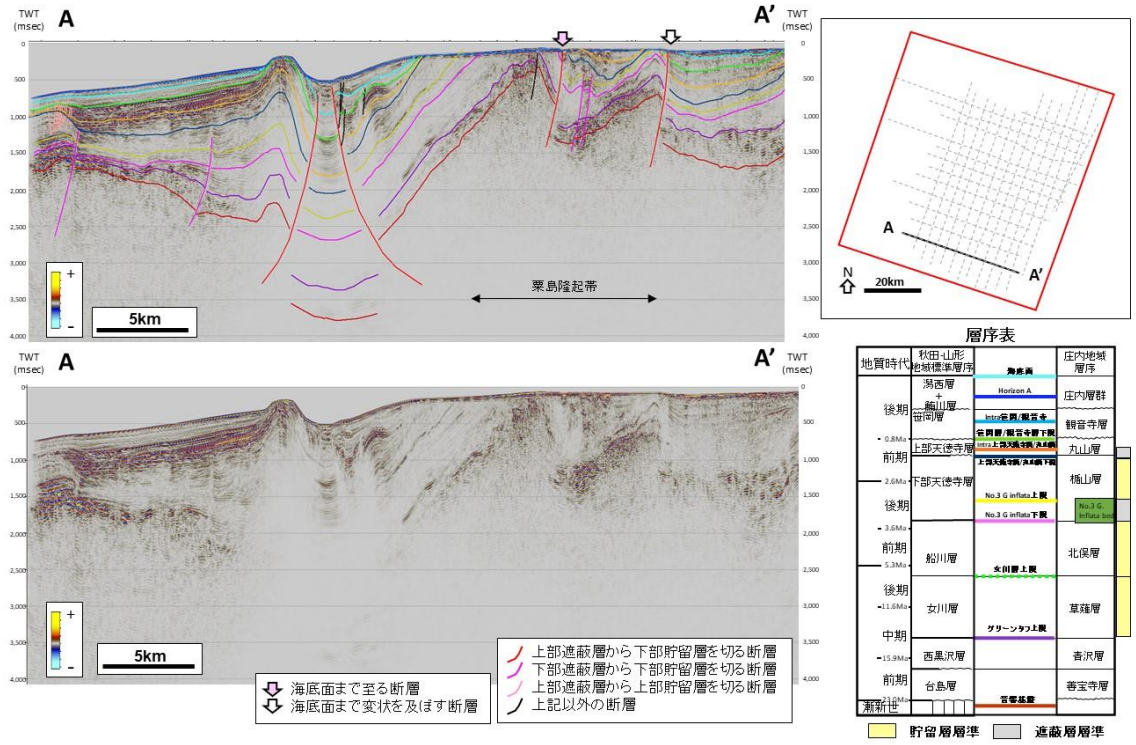
注）上図：解釈あり、下図：解釈なし。

図 4.4-10(2)　2D 探査時間断面図例（東西測線 SA-21-7）



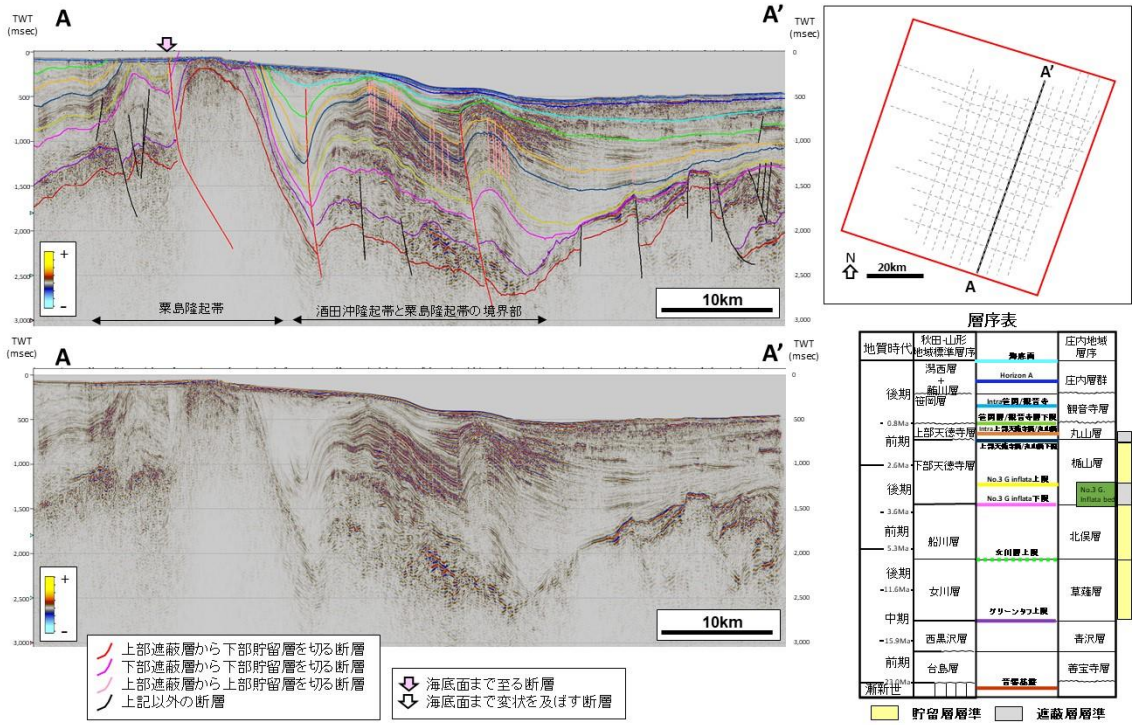
注）上図：解釈あり、下図：解釈なし。

図 4.4-10(3)　2D 探査時間断面図例（東西測線 SA-21-4）



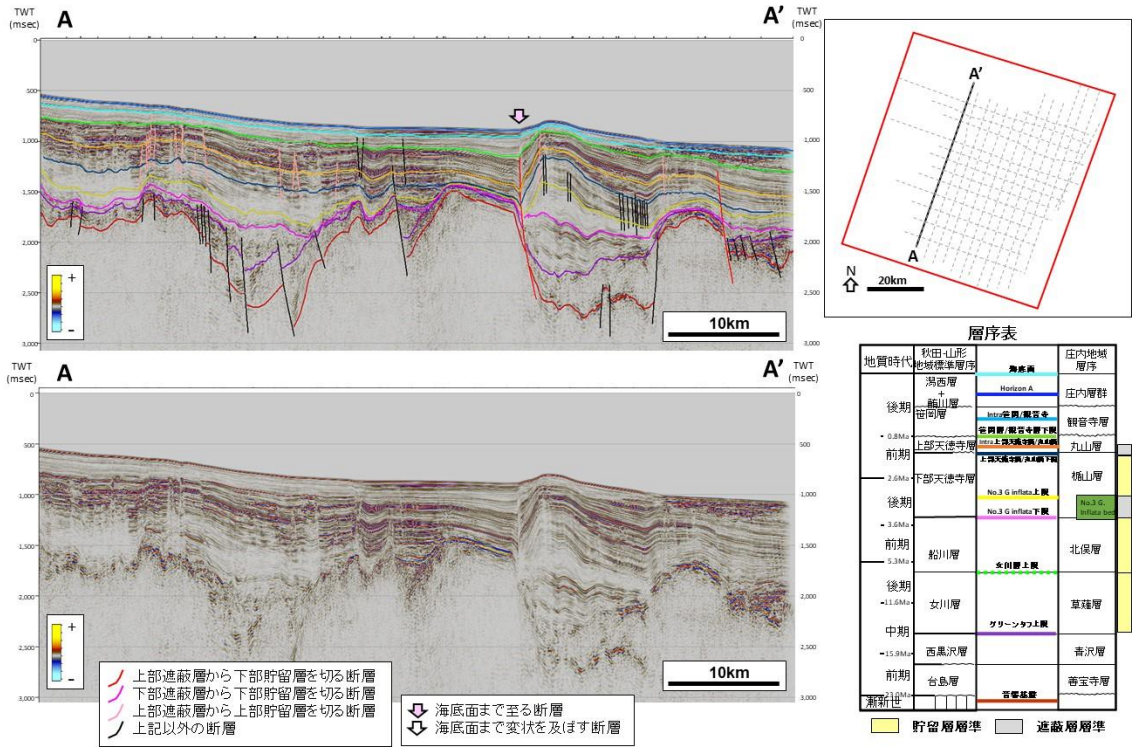
注）上図：解釈あり、下図：解釈なし。

図 4.4-10(4)　2D 探査時間断面図例（東西測線 SA-21-1）



注）上図：解釈あり、下図：解釈なし。

図 4.4-10(5)　2D 探査時間断面図例（南北測線 SA-21-F）



注）上図：解釈あり、下図：解釈なし。

図 4.4-10(6)　2D 探査時間断面図例（南北測線 SA-21-M）

(2) 断層の解析

本作業の断層解析は、主に 2D 探査断面上における反射波の明瞭な変位と反射イベントの構造特徴を根拠とした。一部、水深の浅い区間は海底面を含む極浅部のデータを取得できていないため、既存の海底地質図[5)、9)]に記載された断層の位置を参考に、断層が海底面に至るかを検討した。

本作業では、断層と貯留層および遮蔽層の関係性を把握しやすくするために、上部遮蔽層の上限から下部貯留層の下限までを切る断層は赤色で着色し、下部遮蔽層の上限から下部貯留層の下限を切る（または下部貯留層内で止まる）断層はマゼンタ色で着色し、上部遮蔽層の上限から上部貯留層の下限を切る（または上部貯留層内で止まる）断層はピンク色で着色し、上記以外の断層を黒色で着色した。

本作業の調査範囲で認められた断層は、大きく以下の三つに区分される。

1) リフト期に発達した正断層

日本海拡大に伴うリフティングにより形成されたと考えられる。断層の多くは音響基盤からグリーンタフ上限ホライズン付近までを切り、北東―南西方向に伸び、東または西の両方向に傾斜する。図 4.4-10(3)および(6)に示すように、これら正断層により音響基盤やグリーンタフ上限ホライズンはホルスト・グラーベンやハーフグラーベンを成しており、他のホライズンと比較して構造的な凹凸が顕著である。これら正断層のうち、後のインバージョンにより逆断層になったものであるが、一部は反転せずに正断層として残ったと考えられる。

2) インバージョンの影響による逆断層

鮮新世以降に圧縮場に転じたことにより形成し、多くは 1)のグラーベンやハーフグラーベンを成す正断層が、インバージョンにより逆断層となったものである。図 4.4-10(2)および(5)に示すように、これらの断層はほぼ北東―南西方向に伸び、大部分が西方向に傾斜する。断層の上盤側は、断層のトレンドに沿って伸長する背斜構造となっており、これらの構造もインバージョン期に形成されたものと考えられる。また、本作業範囲では図 4.4-10(1)～(5)に示すように、一部の逆断層がすでに海底面付近に達し変形が海底面に及んでおり、それらは更新世以降も活動を続ける活断層であるとされる[5)、9)]。

3) 構造頂部の小規模な正断層

図 4.4-10(2)および(5)に示すように、この断層は、2)により形成した背斜構造の頂部から翼部にかけて発達する正断層である。これら断層は変位量が小さく、局所的に集中して発達しており、2D 探査測線間で繋げることは困難であった。本作業

範囲の周辺では、広域には圧縮場が卓越するものの、インバージョンで生じた背斜構造の頂部周辺では、局所的に引張応力が卓越するため、正断層が多数発達したと解釈した。これらの断層はインバージョンとほぼ同時期に発達したと考えられる。

(3) 時間構造図

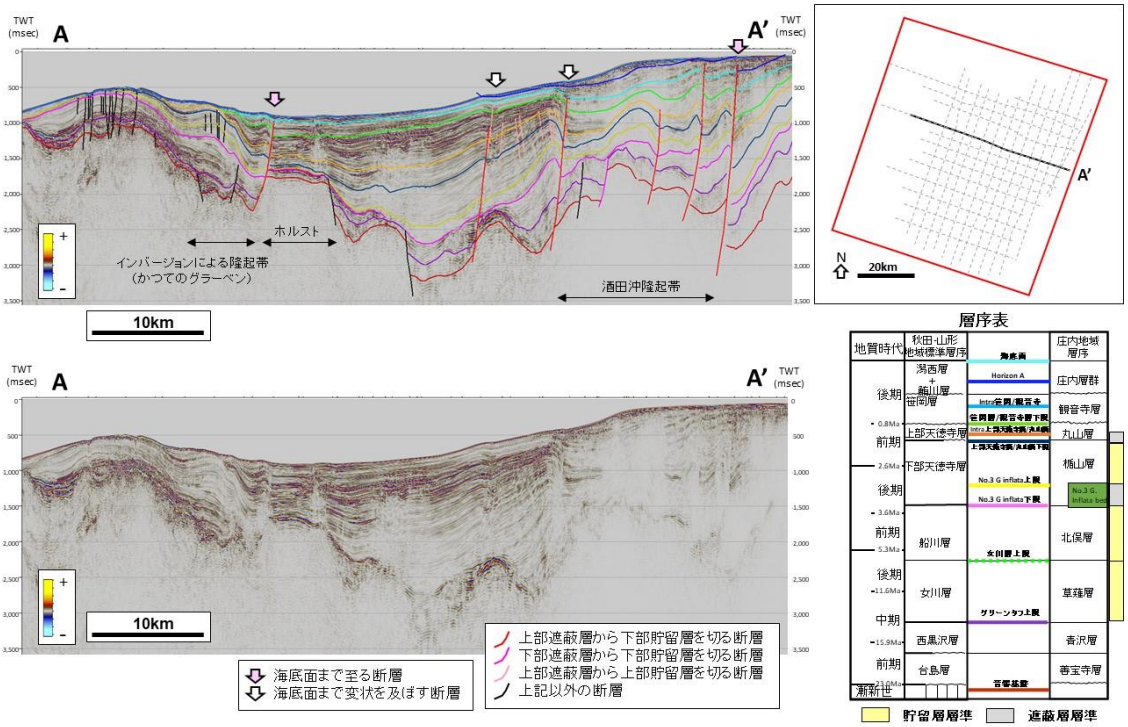
解析したホライズンを基に時間構造図を作成した。各ホライズンの構造形態に関する考察については、「(5) 層厚分布および構造発達の考察」にて整理した。また、断層の色分けは「(2) 断層の解析」と同様であるが、正断層と逆断層を区分し、かつ測線間で繋がらない断層を明記した。

音響基盤ホライズン～Intra 笹岡／観音寺ホライズンまでの各時間構造図において、中央部の最上トラフ周辺（以下、「中央部堆積盆地」と称する。）で深く、東部の酒田沖隆起帯や粟島隆起帯と西側の鳥海礁に向かって浅くなる傾向が認められる。酒田沖隆起帯は構造の東翼部に逆断層が発達しており、おおむね東急西緩の構造形態をとる。粟島隆起帯では、複数の背斜構造が集合し隆起帯を成すが、いずれの背斜構造も東翼部に逆断層を伴う東急西緩の構造形態となる。

最上トラフの北西側には、北西－南東のトレンドを有する二つの隆起帯が確認され、それらのうち、南側の隆起帯は鳥海礁とその北東側延長部である。また、各隆起帯間は相対的に構造的な低まり（以下、「北西部堆積盆地」と称する。）となる。

音響基盤上限～No. 3 *G. inflata* bed 下限ホライズンと、No. 3 *G. inflata* bed 上限以浅のホライズンでは、鳥海礁とその北東側延長部の隆起帯はやや異なる位置に発達する。音響基盤上限～No. 3 *G. inflata* bed 下限ホライズンの隆起帯の位置に対して、No. 3 *G. inflata* bed 上限ホライズン以浅のホライズンでは隆起帯の位置はやや北西側にシフトする。これは、図 4.4-11 の 2D 探査時間断面図が示すように、音響基盤上限～No. 3 *G. inflata* bed 下限ホライズンでは、リフトの影響を受けたホルストが隆起帯として残ったが（以下、「北西部ホルスト構造」と称する。）、鮮新世以降になると、北西部のグラーベン部分がインバージョンにより隆起し、鳥海礁と飛島堆間において背斜構造を形成したことに起因する。

基礎試錐「最上川沖」の周辺と粟島隆起帯の西側には南北に伸張した構造的低まりが発達しており、この構造的低まりは、隣接する隆起帯の成長に伴い影響を受けなかった区域が相対的に構造的な低まりとして残ったと考えられる。



注）上図：解釈あり、下図：解釈なし。

図 4.4-11　2D 探査時間断面図例（東西測線 SA-21-9）

(4)　速度モデルの作成と深度変換

「4.4.1 (2) 使用データ」に示した 2D 探査データおよび坑井データを用いて、平面グリッド間隔 100 m、時間方向 4 msec のサンプリングレートとし、本作業の調査範囲全体をカバーするような三次元速度モデルを作成した。三次元速度モデル作成フローを図 4.4-12 に示す。

作成した三次元速度モデルを用いて、2D 探査データを時間領域から深度領域に変換した。代表的な 2D 探査深度断面図を図 4.4-13(1)～(3)に示す。各ホライズンの深度構造図は時間構造図と調和的であり、深度変換により生じた構造は認められない。

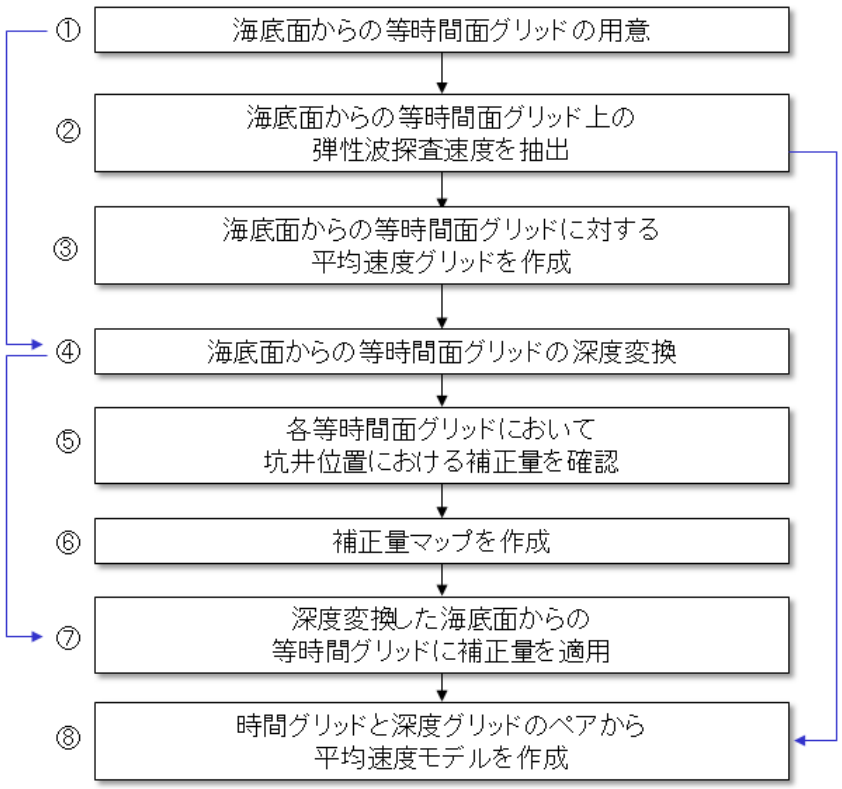
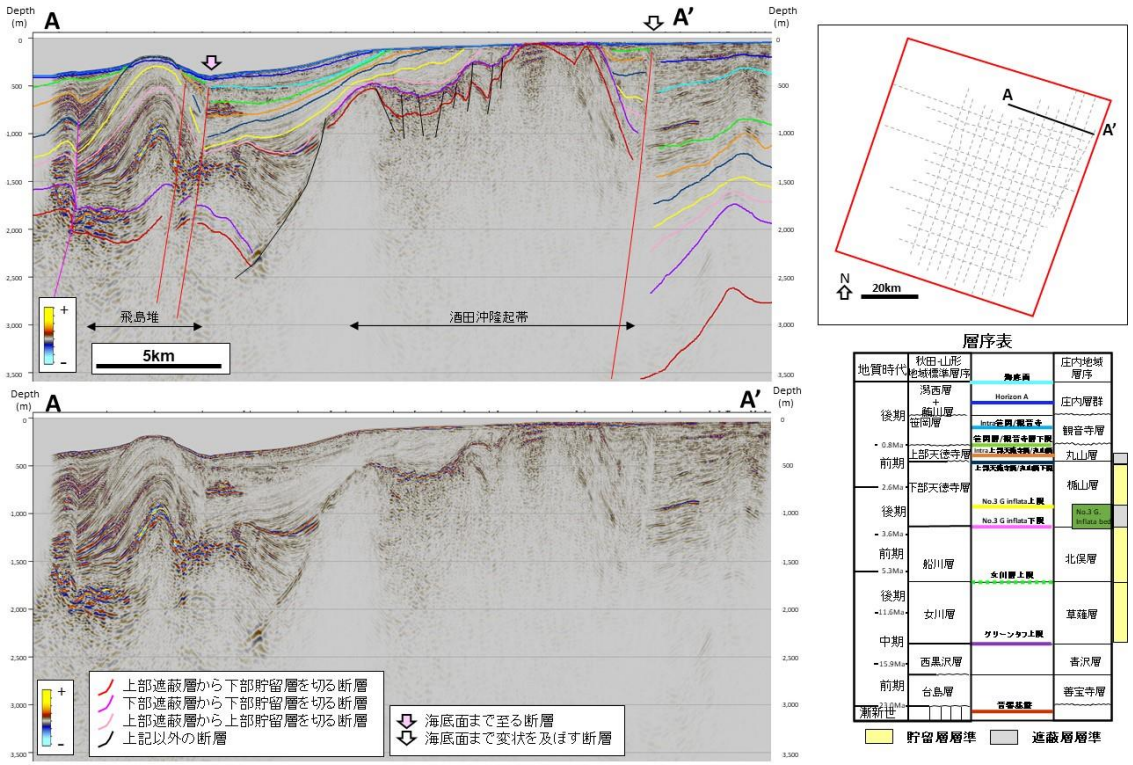
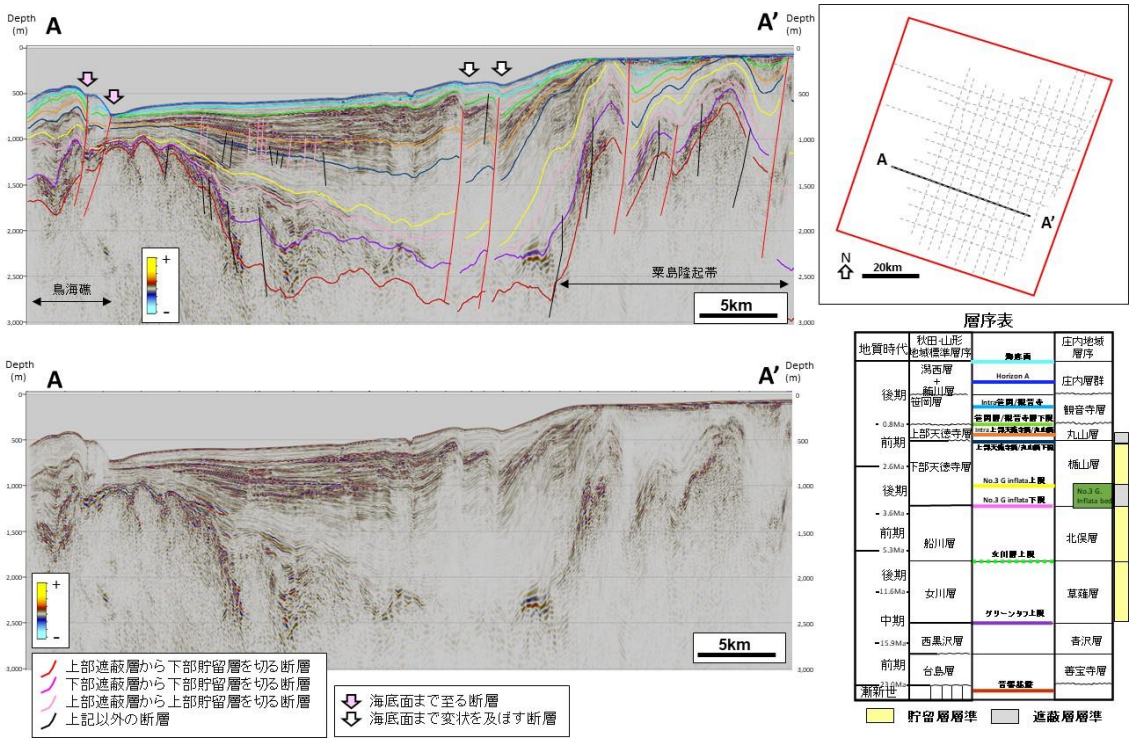


図 4.4-12　速度モデル作成フロー



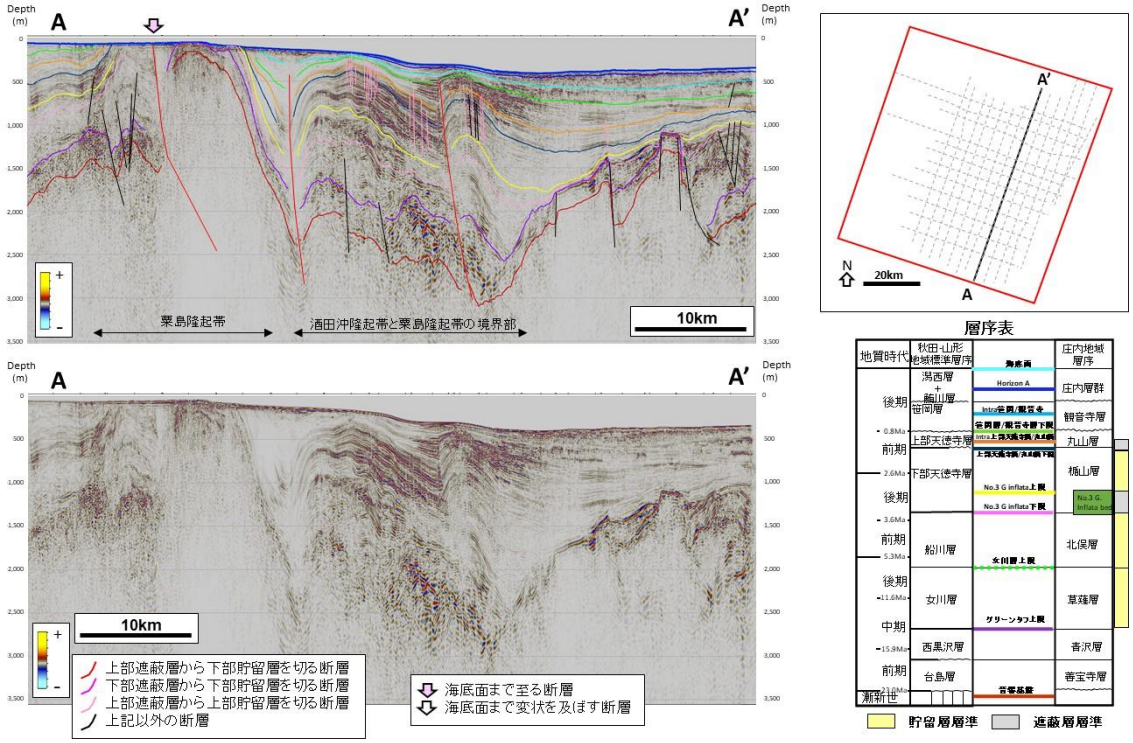
注）上図：解釈あり、下図：解釈なし。

図 4.4-13(1)　2D 探査深度断面図例（東西測線 SA-21-15）



注）上図：解釈あり、下図：解釈なし。

図 4.4-13(2)　2D 探査深度断面図例（東西測線 SA-21-4）



注）上図：解釈あり、下図：解釈なし。

図 4.4-13(3)　2D 探査深度断面図例（南北測線 SA-21-F）

(5)　層厚分布および構造発達の考察

「(3) 時間構造図」および「(4) 速度モデルの作成と深度変換」にて作成した時間構造図および深度構造図を用いて、各ホライズン間の等時間層厚線図および等層厚線図を作成した。各ホライズンの等層厚線図から、グリーンタフ上限から船川層まではグラーベンを被覆または埋積するように堆積し、また、上部・下部天徳寺層と笹岡層以浅では、層厚の傾向が異なり、上部・下部天徳寺層では中央部で堆積が厚く、笹岡層以浅では東部で堆積が厚い様子が確認できる。

酒田沖隆起帯および粟島隆起帯の境界部分（粟島隆起帯の北翼部）を通る 2D 探査断面の各ホライズンを平坦化することにより得られた各地層堆積時の復元断面図を図 4.4-14(1)および(2)に示す。これらの図や「4.4.2(3) 地質構造および構造発達史」を参考にして、本作業の調査範囲の構造発達について考察した。

1) グリーンタフ上限ホライズン

引張応力が卓越する時期であり、日本海の拡大によるリフティングに伴って正断層が多数発達した。これにより本作業の調査範囲内においては、複数のホルスト・グラーベン構造が形成され、グラーベン部分に厚く堆積物が分布した。

2) No. 3. *G. inflata* bed 下限ホライズン

引張応力場が収束しつつあり、正断層の活動も緩慢となり最終的には停止するが、ホルスト・グラーベンの構造形態は確認される。本区間では、1)で形成したグラーベン部分を被覆または埋積するように堆積物が分布する。東側のグラーベンが堆積中心となる。

3) No. 3. *G. inflata* bed 上限ホライズン

応力場が圧縮に転じたことにより、インバージョンが生じ、いくつかの正断層が逆断層として活動を開始し始めた。本区間では、2)の区間と比較して、東側の二条の逆断層直上の層厚が薄くなることから、この時点で粟島隆起帯の構造活動は開始している可能性がある。堆積物は被覆するように分布する。堆積中心は依然として東側のグラーベン周辺である。

4) 上部天徳寺層／丸山層下限

インバージョンが進行し、逆断層の活動が活発となり、粟島隆起帯の位置では構造が明瞭に確認される。本断層は、酒田沖隆起帯や粟島隆起帯の境界部に位置しており、両隆起帯の頂部周辺に比べて断層活動は弱いと推定される。対して、隆起帯の頂部周辺では、より構造活動が活発化しており、隆起に伴って下部天徳寺層以深が削剥された可能性が高い。この削剥により、通常の陸側からの砕屑物の

供給以外にも、多量の砕屑物が供給されたと考えられる。堆積中心は 2)、3)よりも西側にシフトし、砕屑物は中央部堆積盆地に運搬され厚く堆積した。

5) Intra 上部天徳寺層／丸山層

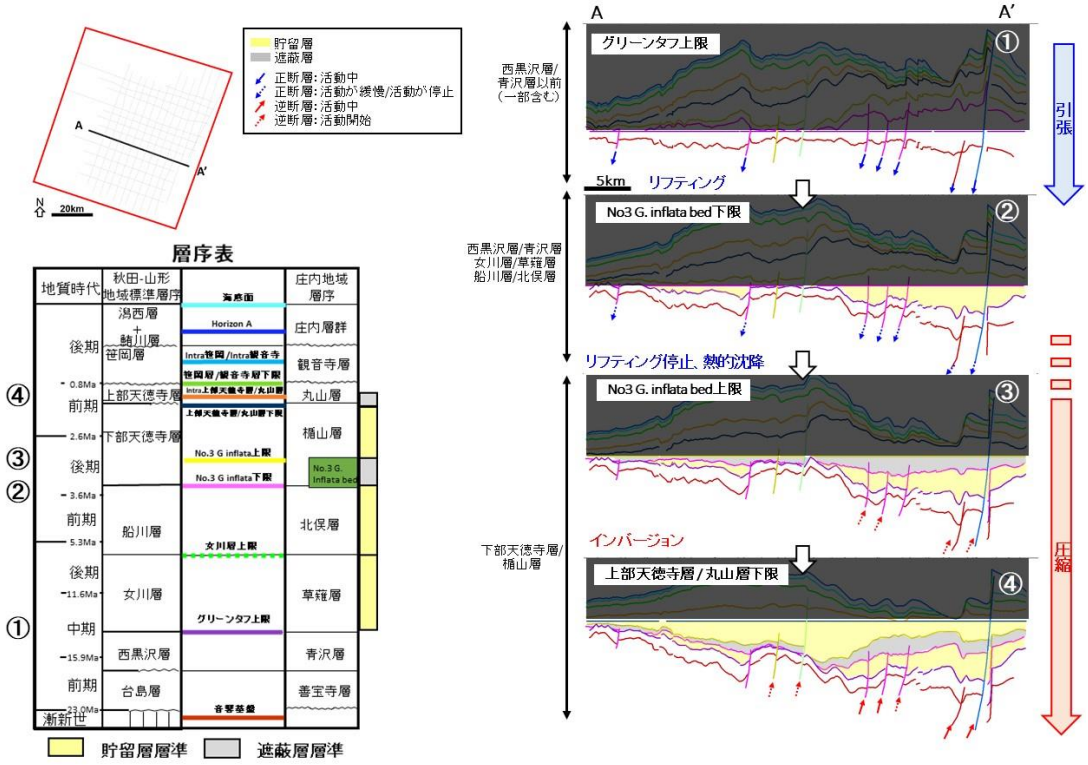
インバージョンは継続しており、断層ごとに活動に差が生じたため粟島隆起帯は単一の隆起帯から複数の隆起帯に分化し始める。また、粟島隆起帯の西側でも構造活動が活発化しており、規模は小さいながらも背斜構造が確認される。堆積中心は 4)と同じく、北西部堆積盆地周辺であるが、4)よりも西側にややシフトする。

6) 笹岡層／観音寺層下限

インバージョンは継続しており、粟島隆起帯における構造の分化が顕著になる。堆積中心は 5)と同じく、北西部堆積盆地周辺であるが、5)よりも西側にややシフトする。

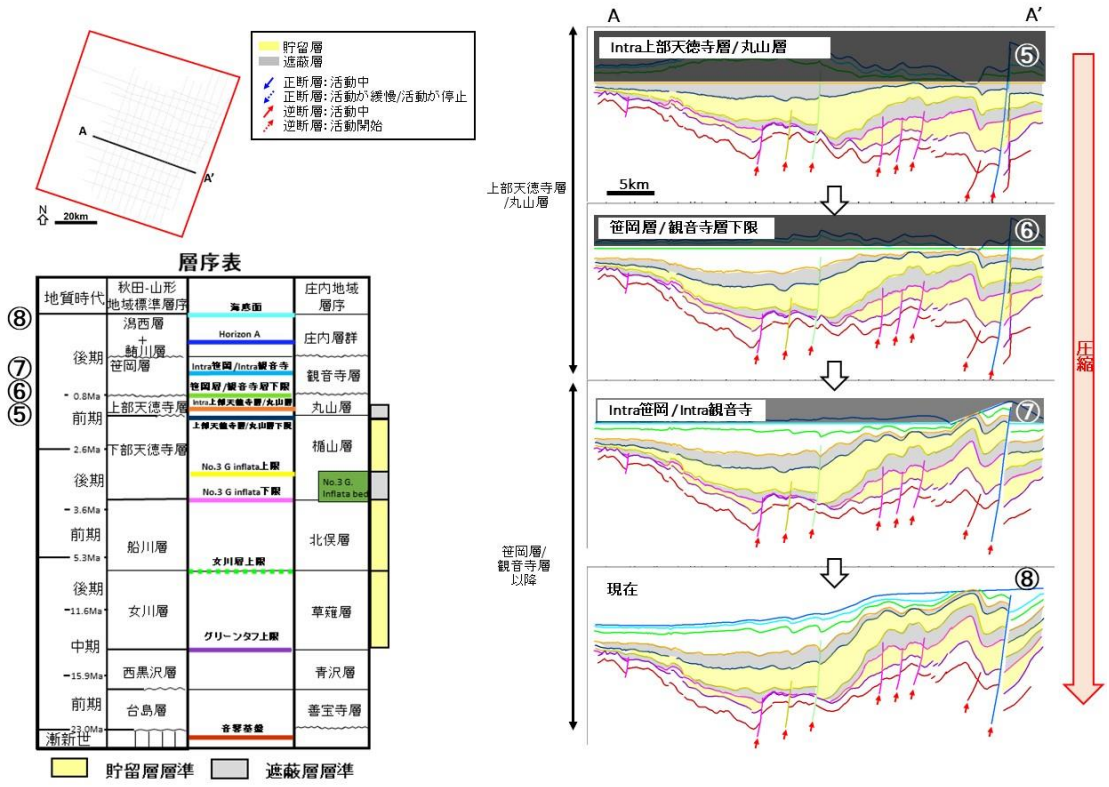
7) Intra 笹岡／観音寺以降

インバージョンは継続しており、粟島隆起帯における構造の分化が顕著になる。西側の構造も明瞭に確認される。粟島隆起帯の東翼部を成す逆断層や西側の構造を成す逆断層が現在の海底面まで変状を及ぼしている。



注）各断面の左上に記載したホライズンで平坦化をしている。

図 4.4-14(1)　復元断面図（グリーンタフ上限～上部天徳寺層／丸山層下限）



注）各断面の左上に記載したホライズンで平坦化をしている。

図 4.4-14(2)　復元断面図（Intra 上部天徳寺層／丸山層～現在）

4.4.4　堆積相解析

貯留層層準、遮蔽層層準の設定およびその区間における堆積物の分布形態の把握と堆積システムを推定するために、「4.4.1(2) 使用データ」に示した 2D 探査データおよび坑井データを用いて堆積相解析を実施した。堆積相解析の対象区間は、Intra 笹岡／観音寺ホライズンからグリーンタフ上限ホライズンまでとした。堆積相解析に使用するサイスミックファシス区分や推定される堆積環境に関しては、2020 年度本荘沖[1)]の解析結果を参考にした。

(1)　堆積相解析手法

「4.4.3 地質構造解析」にて解析したホライズンおよび設定したサブホライズンについて、2D 探査データの反射波列の形状（サイスミックファシス）の区分および反射波列端（ラッピングパターン）をマッピングした。さらに、等時間層厚線図、坑井における岩相および検層ログパターンを合わせてファシスマップを作成することで、総合的に堆積システムおよび砕屑物の供給系を解析した。図 4.4-15 に堆積相解析のフローチャートを示す。

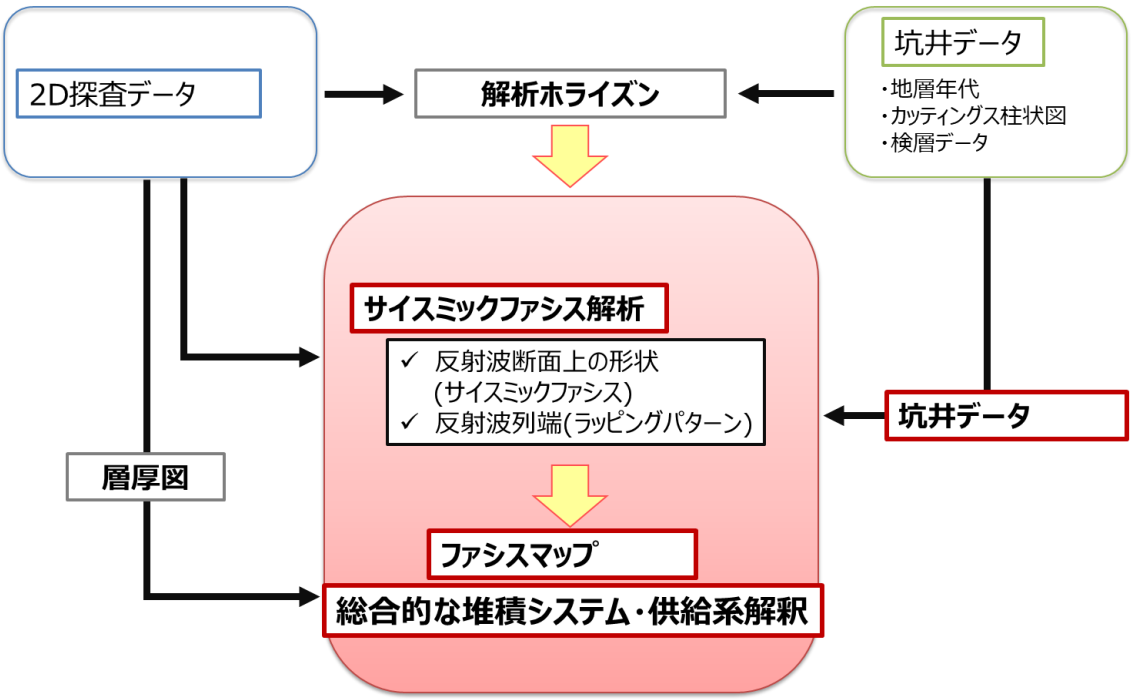


図 4.4-15　堆積相解析のワークフロー

(2)　サイスミックファシス区分

本作業範囲の 2D 探査データを用いて、層厚分布および形態的な特徴も考慮に入れたサイスミックファシスの解析を行った。サイスミックファシスは反射波が作る形状やパターンであり、堆積物の分布形態や堆積システムを示す重要な情報源となる。

本作業の調査範囲の 2D 探査データは、例えば図 4.4-10(1)～(4)の 2D 探査時間断面図において確認されるように、現在の大陸棚表層付近の強振幅域の下位で振幅が大きく減衰しているため、振幅の強弱の表示のみでは、実際の堆積物やその特徴を反映した結果なのか、データ品質の問題なのか判断がつきにくい。これを補うために、振幅の強弱だけでなく 2D 探査データの断面における形態的な特徴も考慮に入れたサイスミックファシスの解析を行い、さらにそれらのマッピングも行った。これらと坑井データを統合することにより、堆積物の供給系や堆積体の分布形態を推定することができる。

図 4.4-16 にサイスミックファシス区分とそれらの堆積環境を示す。サイスミックファシス区分や推定される堆積環境に関しては、2020 年度本荘沖[1)] において八つに区分され、弾性波探査断面での形状、平面的な分布形態と坑井における岩相および検層データを総合し、さらに一般的な深海・浅海の堆積セッティングのファシスモデル[2 3)] と照合し、堆積システムの推定を行った。本作業では、2020 年度本荘沖[1)]のサイスミックファシス区分を踏襲し、くわえて後述する火山や MTD を示唆するサイスミックファシスを追加した。以下に、区分

したサイスミックファシスの特徴および推定される堆積環境について記述する。

1) ファシス A

2020 年度本荘沖[1)]の弾性波探査断面において、笹岡層下限ホライズン～Intra 笹岡／観音寺ホライズン区間に観察された。反射波は比較的強い振幅で垂直・水平方向に不連続で、下に凸の形状を示す。基礎試錐「本荘沖」は笹岡層のファシス A 区間を掘削しており、粗粒な岩相および上方粗粒化するパターンの繰り返しから、デルタシステムの中でも沖合のプロデルタに発達するチャネルの集合体を示すと解釈できる。本作業範囲内では確認できなかった。

2) ファシス B

2020 年度本荘沖[1)]の弾性波探査断面において、グリーンタフ上限ホライズン～笹岡層下限ホライズン区間に観察された。反射波は中程度～強い振幅で垂直・水平方向に不連続、下に凸の形状を示す。本ファシスは坑井では確認されていないが、桂根相区間ではもっとも高い振幅値を示すこと、また、下に凸のチャネル状の形態が認められることから、海底扇状地システムの中部扇状地の上流部に発達する分枝状チャネル相を示すと解釈できる。本作業範囲内では確認できなかった。

3) ファシス C

本作業範囲の No.3 *G. inflata* bed 上限～Intra 笹岡／観音寺ホライズン区間に観察される。2D 探査断面において、反射波は中程度～強い振幅、水平に連続ないし不連続で、一部の反射波は下位反射波にぶつかるようなレンズ状～マウンド状の形状を示す。本ファシスはデルタシステムにおけるプロデルタ域のチャネルベルトが構造的低まりに到達した後に広がって堆積した、ローブ中央部のファシスを示すと解釈できる。

4) ファシス D

本作業範囲の No.3 *G. inflata* bed 下限～No.3 *G. inflata* bed 上限ホライズン区間にて観察される。2D 探査断面において、反射波は中程度～強い振幅を有し、平行で連続的である。本ファシスは海底扇状地システムのファシス B よりも沖合の中部扇状地でシート状タービダイトが発達する、ローブ中央部のファシスを示すと解釈できる。

5) ファシス E

本作業範囲の全解析区間に観察される。2D 探査断面において、反射波はファシス D と同様に平行で連続的であるが、振幅は相対的に弱い。本ファシスは、笹岡層や天徳寺層区間ではデルタシステムにおけるプロデルタのローブ縁辺～末端部

のファシス、それ以外の区間では、海底扇状地システムにおける外側扇状地のローブ縁辺～末端部のファシスを示すと解釈できる。

6) ファシス F

本作業範囲の全解析区間に観察される。2D 探査断面において、振幅が弱く不連続で、混沌とした反射波で特徴づけられる。2020 年度本荘沖[1)]では、泥質岩が発達するような斜面～海盆底のファシスを示すと解釈された。

7) ファシス G

本作業範囲内の一部の区間に観察される。反射波はファシス F と同様に振幅が弱く、比較的不連続であり、一部に強振幅および下に凸の形状が低い頻度で観察される。本ファシスは、笹岡層のデルタシステムのファシスの中でも、より陸寄りのエリアに分布し、小規模な孤立したチャネル状の形態を示すことから、プロデルタの斜面および斜面に分布するチャネル相を示すと解釈できる。

8) ファシス H

2020 年度本荘沖[1)]の弾性波探査断面において観察された。反射波は比較的強い振幅で垂直・水平方向に不連続で、下に凸の形状を示す。また、ファシス A と異なり、周波数が高い特徴がある。坑井での岩相および検層データとサイスミックファシスから、海底扇状地システムにおいてはサブベーズン間の高まりを乗り越える小規模なチャネルの集合体、デルタシステムにおいてはプロデルタに発達するチャネルの集合体、もしくはデルタフロントの分枝状チャネルのファシスを示すと解釈された。本作業範囲内では確認できなかった。

9) ファシス I

本作業で新たに追加したサイスミックファシスである。2D 探査断面において、強振幅の反射波が上に凸な形状を有し、その内部は白抜けまたは混沌な反射波となる。また、周辺の反射波は垂直および水平方向に不連続であるが、強反射を示す特徴がある。本ファシスは、火山、貫入岩または火山砕屑岩を示すと解釈できる。

10) ファシス J

本作業で新たに追加したサイスミックファシスである。笹岡層／観音寺層下限ホライズン以浅の区間において観察できる。2D 探査断面において、反射波は水平方向に不連続であり、強振幅と弱振幅の反射波が混在する。推定される移動方向に沿って反射波が傾動する特徴を有する。本事業 4.3 節における地質解析・貯留可能量評価業務（秋田沖北部）では、3D 探査データを用いたアトリビュート解析から Horizon A～海底面区間において MTD を解釈しており、この MTD は本作業

で抽出したものと反射波の形状が似ており、アナロジーとして参考にした。

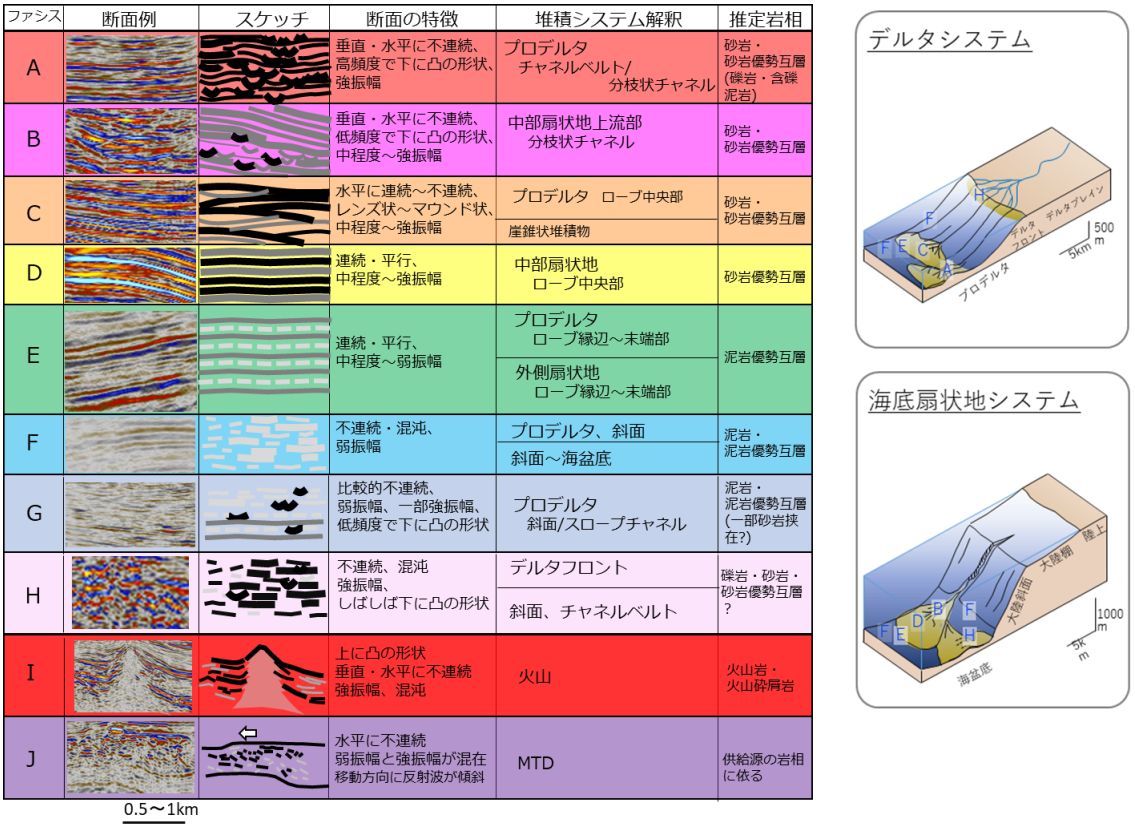


図 4.4-16　サイスミックファシス区分

(3)　堆積相解析結果

作成したサイスミックファシスマップと、2D 探査断面、坑井における岩相、検層ログパターンおよび微化石に基づく古環境推定の結果を用いて、堆積システムおよび砕屑物の供給系の解釈を行った。

笹岡／観音寺層下限～Intra 上部天徳寺層／丸山層の区間は、他の区間と比較してサイスミックファシスの側方および垂直変化が激しいことから、プロポーショナルスライスを用いて 12 分割し、上部層、中部層および下部層に分割して解析を行った。上部層は笹岡層／観音寺層下限～3 番目のプロポーショナルスライス（以下、「PS3」と称する。）までとし、中部層は PS3～6 番目プロポーショナルスライス（以下、「PS6」と称する。）までとし、下部層は PS6～Intra 上部天徳寺層／丸山層ホライズンまでとする。

以下に、下位から順に解析結果を示す。

① グリーンタフ上限～No.3 *G. inflata* bed 下限

本解析区間には、女川層の砂岩が分布しているが、2D 探査データ上では、女川層はきわめて不明瞭な反射波を有するサイスミックファシスを示しており、サイスミックファシスを用いた堆積相解析では砂岩層を識別することができなかった。

「4.4.5 貯留層層準と遮蔽層層準の評価」にて後述するが、基礎試錐「最上川沖」の女川層の上部には、塊状で、構成粒子は火山岩片を含むものの石英や長石に富む性状が良好な砂岩が確認されている。

そこで本作業では、女川層の砂岩の分布および形態を把握するために基礎試錐「最上川沖」で確認されている下記の地質的特徴をアナロジーとした堆積相解析を実施した。

1) 船川層と女川層で異なるサイスミックファシスを示す

基礎試錐「最上川沖」の船川層は火山砕屑岩（凝灰岩や凝灰角礫岩）であり、女川層の上部は砂岩主体であり、下部は泥岩主体である。2D 探査断面上ではそれぞれ異なる特徴のサイスミックファシスを有しており、船川層は成層した強反射を、女川層は不明瞭な反射波を示す。

2) ハーフグラーベンである

本区間では、リフトに伴うグラーベンやハーフグラーベンが北東―南西のトレンドを持ち分布しており、グラーベンやハーフグラーベンでは、それ以外の区域と比較して層厚が厚いのが特徴である。基礎試錐「最上川沖」もハーフグラーベン内に位置しており、周辺に比べて層厚が厚い。

両者の条件を持つ区域を、女川層の砂岩が分布する区域として抽出した。上記アナロジーを検討するために、堆積相解析用のサブホライズンとして、女川層上限ホライズンを設定し、解析を行った。

上記二つの条件を有する区域として O1～O6 の六つが抽出され、それらは飛島堆の南側や酒田沖隆起帯の西側に集中する。O1 および O2 は基礎試錐「最上川沖」のハーフグラーベンと同じ構造系列のハーフグラーベンに位置するため、女川層の砂岩が分布する可能性は他の区域よりも高いと考えられる。

それ以外のハーフグラーベンでは成層する強反射波のみ、または不明瞭な反射波のみが確認されており、上記のアナロジーは適用できなかった。

② No.3 *G. inflata* bed 下限～No.3 *G. inflata* bed 上限

本解析区間では、広域に泥岩主体のファシス E やファシス F が分布する。

ファシス D は粟島隆起帯周辺、鳥海礁の東部および北西部堆積盆地にのみ限定的に分布

する。粟島隆起帯周辺にはD1、D2、D12、D13が分布し、中でももっとも分布面積が大きいD1では、西および南側にダウンラップまたはオンラップを示すラッピングパターンが確認される。鳥海礁の東部にはD8およびD9が分布する。北西部堆積盆地ではD4～D7、D10およびD11が分布し、東側または南側へのダウンラップが顕著である。

本作業の調査範囲の南西部および酒田沖隆起帯周辺では、局所的に火山岩（火山や貫入岩）を示唆するファシスIが確認される。

③　No.3 *G. inflata* bed 上限～上部天徳寺層／丸山層下限

本解析区間では、砂岩優勢のファシスであるファシスCと泥岩優勢のファシスであるファシスE・Fが混在して分布する。

ファシスCは酒田沖隆起帯～粟島隆起帯の境界部および粟島隆起帯の西部、酒田沖隆起帯周辺、鳥海礁の東部、北西部堆積盆地にのみ限定的に分布する。

酒田沖隆起帯～粟島隆起帯の境界部および粟島隆起帯の西部には、主にファシスC1～C3が分布し、他の分布域と比較して分布面積が大きい。これらファシスCは隆起帯から西側に向かってダウンラップするラッピングパターンが特徴的である。

酒田沖隆起帯の周辺にはファシスC11～C15が分布しており、酒田沖隆起帯を取り囲むような分布形態である。鳥海礁の東部では、ファシスC4～C7が分布しており、東側へのダウンラップおよび西側へのオンラップのラッピングパターンが確認される。北西部堆積盆地ではファシスC8～C10およびC18が分布しており、東側へのダウンラップや西側および北側へのオンラップのラッピングパターンが確認される。

④　上部天徳寺層／丸山層下限～Intra 上部天徳寺層／丸山層

本解析区間では、砂岩優勢のファシスであるファシスCと泥岩優勢のファシスであるファシスE・Fが混在して分布する。ファシスCは主に酒田沖隆起帯～粟島隆起帯の西側に分布し、東側はファシスE・Fが分布する。

酒田沖隆起帯～粟島隆起帯の境界部および粟島隆起帯の西部には、主にファシスC1～C3が分布し、他の分布域と比較して分布面積が大きい。これらファシスCは各ファシスの西縁辺部において西側（沖合側）に向かってダウンラップおよび東縁辺部において東側（陸側）に向かってオンラップするラッピングパターンが特徴的である。

鳥海礁の東部および南東部では、ファシスC4～C6およびC13、C14が分布しており、ファシスの西縁辺部において西側へのオンラップするラッピングパターンが特徴的である。

北西部堆積盆地ではファシスC7およびC8が分布しており、ファシスの西縁辺部において東側へのオンラップのラッピングパターンが確認される。

⑤　Intra 上部天徳寺層／丸山層～PS6

本解析区間では､砂岩優勢のファシスであるファシスCと泥岩優勢のファシスであるファシス E・F が混在して分布するものの、ファシス C は主に酒田沖隆起帯および粟島隆起帯の西側に分布し、東側はファシス E・F が分布する。

酒田沖隆起帯～粟島隆起帯の境界部の西部には、主にファシス C1～C3 が分布し、これらは他の分布域と比較して分布面積が大きい。これらファシス C はファシスの西縁辺部において西側（沖合側）に向かってダウンラップおよび東縁辺部において東側（陸側）に向かってオンラップするラッピングパターンが特徴的である。くわえて、ファシス C 内には複数のチャネルを示唆するサイスミックファシスが発達しており、それらチャネルは東から西へ連続すると解釈した。

鳥海礁の東部および南東部にもファシス C4～C6 が分布する。これらファシス C は大局的には各ファシスの縁辺部において、北側へのダウンラップおよび西側へのオンラップが特徴的である。これらファシス C 内にも、複数のチャネルが発達しており、それらチャネルは大局的には南東から北西へ連続すると解釈した。

飛島堆（基礎試錐「最上川沖」の北部）の周辺には、南北に伸張したファシス C9 が分布する。同ファシス内にはチャネルを示唆するサイスミックファシスが確認される。

北西部堆積盆地ではファシス C7 および C8 が分布しており、これらファシス C はファシスの西縁辺部において、西側にダウンラップするラッピングパターンが特徴的である。

本区間を含む笹岡層以浅では、中央部堆積盆地に砂岩優勢のファシス C が泥岩優勢ファシス内に点在しており、そのプロキシマル方向である東側（酒田沖隆起帯～粟島隆起帯の境界部周辺）には泥岩優勢のファシス E や F が分布すると解釈した。この解釈は次の堆積システムに基づく。酒田沖隆起帯および粟島隆起帯の境界部はプロデルタ（またはスロープ）に相当し、ここでは砂岩が堆積しない「運搬の場」であったため泥岩優勢ファシスが分布した。そのディスタル方向に相当する中央部堆積盆地では、プロデルタ（またはスロープ）上のチャネルを通じて移動してきたファシス C がローブ状に広がった。

⑥　PS6～PS3

本解析区間でも⑤の区間と同様に、砂岩優勢のファシスであるファシス C と泥岩優勢のファシスであるファシス E・F が混在して分布するものの、ファシス C は主に酒田沖隆起帯および粟島隆起帯の西側に分布し、東側はファシス E・F が分布する。

本解析区間は、⑤の区間と同様の堆積形態である。酒田沖隆起帯～粟島隆起帯の境界部の西部には、東西に伸張したファシス C3 および C4 が分布しており、これらは各ファシスの

西縁辺部において西側または南側に向かってダウンラップするラッピングパターンが特徴的である。くわえて、ファシス C 内には複数のチャネルを示唆するサイスミックファシスが発達しており、それらチャネルはおおむね東から西へ連続すると解釈した。

鳥海礁の東部および南東部には、南東－北西に伸張したファシス C1、C2、C6、C10 が分布しており、なかでもファシス C10 は本区間においてもっとも分布面積が大きい。これらファシス C の各縁辺部においては、北側と西側へダウンラップやオンラップするラッピングパターンが特徴的である。これらファシス C 内にも、複数のチャネルが発達しており、それらチャネルは大局的には南東から北西へ連続すると解釈した。

北西部堆積盆地ではファシス C7、C8 が分布する。これらはファシスの縁辺部において、西側にダウンラップするラッピングパターンや内部にチャネルを伴う点が特徴的である。

⑦　PS3～笹岡層／観音寺層下限

本解析区間でも⑤や⑥と同様に、砂岩優勢のファシスであるファシス C と泥岩優勢のファシスであるファシス E・F が混在して分布するものの、ファシス C は主に酒田沖隆起帯および粟島隆起帯の西側に分布し、東側はファシス E・F が分布する。

本解析区間は、⑤および⑥の区間と同様の堆積形態である。酒田沖隆起帯～粟島隆起帯の境界部の西部には、東西に伸張したファシス C4～C6 が分布しており、これらは各ファシスの西縁辺部において西側に向かってダウンラップするラッピングパターンが特徴的である。くわえて、ファシス C 内には複数のチャネルを示唆するサイスミックファシスが発達しており、それらチャネルはおおむね東から西へ連続すると解釈した。

鳥海礁の東部および南東部には、南東－北西に伸張したファシス C1～C3 が分布しており、なかでもファシス C3 は本区間においてもっとも分布面積が大きい。これらファシス C は大局的には各ファシスの縁辺部において、北側と西側へダウンラップまたはオンラップが特徴的である。また、これらファシス C 内にも、複数のチャネルが発達しており、それらチャネルは大局的には南東から北西へ連続すると解釈した。北西部堆積盆地ではファシス C7、C8、C10、C11 が分布する。これらはファシスの縁辺部において、ダウンラップするラッピングパターンや内部にチャネルを伴う点が特徴的である。

⑧　笹岡層／観音寺層下限～Intra 笹岡／観音寺

下位の区間と同様に、本解析区間でも砂岩優勢のファシスであるファシス C と泥岩優勢のファシスであるファシス E、F が混在して分布するものの、ファシス C は主に酒田沖隆起帯および粟島隆起帯の西側に分布する。対して、東側は主にファシス E･F が分布するが、一部ファシス C が発達する。

酒田沖隆起帯～粟島隆起帯の境界部の西部には、東西に伸張したファシス C1～C2 が分布しており、ファシス C 内にはチャネルを示唆するサイスミックファシスが発達しており、それらチャネルはおおむね東から西へ連続すると解釈した。

鳥海礁の東部および南東部には、南北に伸張したファシス C8～C10 が分布しており、これらファシス C 内にも、複数のチャネルが発達しており、それらチャネルは大局的には南東から北西へ連続して発達すると解釈した。

北西部堆積盆地ではファシス C5～C7 が分布する。これらは各ファシスの縁辺部において、北や西側にダウンラップするラッピングパターンや周辺にチャネルを示唆するサイスミックファシスが確認される。

飛島堆周辺には、MTD を示唆するサイスミックファシスが発達し、それらは北東―南西に伸張する。また、その先端にはファシス C3 が確認される。ファシス C3 の西側縁辺部には西側へのダウンラップやファシス内に複数のチャネルを示唆するサイスミックファシスが発達しており、チャネルは北東―南西に連続すると解釈した。

酒田沖隆起帯～粟島隆起帯の東側の向斜部（以下、「東部堆積盆地」と称する。）では、デルタのクライノフォームを示唆するサイスミックファシスが確認でき、これらクライノフォームの先端には南側や東側に向かってダウンラップするラッピングパターンが確認され、これらをファシス C と解釈した。

(4) 貯留層および遮蔽層の分布

「(3) 堆積相解析」の結果から貯留層および遮蔽層の分布を推定した。グリーンタフ上限ホライズン～No. 3 *G. inflata* bed 下限ホライズン間を除いた各区間において、貯留層として良好な砂岩の分布が見込まれるのは、海底扇状地システムのローブ中央部のファシスを示すと考えられるファシス D およびデルタシステムのプロデルタのローブ中央部のファシスを示すと考えられるファシス C である。一方、泥質であると推定されるファシス E、ファシス F およびファシス G は遮蔽層となりうると推測される。

4.4.5 貯留層層準と遮蔽層層準の評価

(1) 貯留層性状の評価

下部貯留層と上部貯留層に対して、層厚と堆積相解析から推定される岩相分布、および圧密曲線から期待される孔隙率に関して整理を行った。

① 下部貯留層（女川層）

女川層の発達が期待される各区域における同層の層厚はおおむね 200～500 m である。

堆積相解析によれば、O1～O6 のいずれの区域においても砂岩が分布する可能性はあるが、中でも、O1 と O2 は基礎試錐「最上川沖」と同じ構造系列に位置するため確度は高い。上記の砂岩優勢ファシスが発達する区域において、前項で検討した砂岩の圧密曲線を用いて、下部貯留層（女川層）の平均分布深度において期待される孔隙率を推定したところ、30%前後である。

以上のことから、本作業の調査範囲では限定的であるが貯留層が発達していると考えられる。

②　下部貯留層（船川層）

船川層の発達が期待される各区域における同層の層厚はおおむね 200～600 m である。堆積相解析によれば、F1～F6 のいずれの区域も船川層の火山砕屑岩が分布する可能性はあるが、中でも、F1 と F2 は基礎試錐「最上川沖」と同じ構造系列に位置するため確度は高い。上記の火山砕屑岩が発達する区域において、前項で検討した砂岩の圧密曲線を用いて、下部貯留層（船川層）の平均分布深度において期待される孔隙率を推定したところ、30～35%前後である。

以上のことから、本作業の調査範囲内では限定的に貯留層が発達する可能性はあるものの、岩相が火山砕屑岩（凝灰岩や凝灰角礫岩）であるため、貯留岩性状に不確実性が残る。

③　上部貯留層

上部貯留層は酒田沖隆起帯および粟島隆起帯の頂部において削剥を受けて欠如するものの、東西両翼部では 100～300 m の層厚で分布する。同層は、中央部堆積盆地では中心部ほど厚く発達し（層厚 400～900 m）、北西部堆積盆地では、層厚 200～300 m で発達する。堆積相解析結果によれば、砂岩優勢ファシスが中央部堆積盆地の周囲を取り囲むように限定的に分布するほか、北西部堆積盆地にも砂岩優勢ファシスが分布する。上記の砂岩優勢ファシスが発達する区域において、前項で検討した砂岩の圧密曲線を用いて、上部貯留層の平均分布深度において期待される孔隙率を推定したところ、30～40%である。

以上のことから、本作業作業範囲内では性状が良好な貯留層が十分に発達していると考えられる。

(2)　遮蔽層性状の評価

①　下部遮蔽層

下部遮蔽層は酒田沖隆起帯および粟島隆起帯の頂部において削剥を受けて欠如するものの、東西両翼部では 200～500 m の層厚で、両隆起帯の境界部でも 300～400 m の層厚で

分布する。また、中央部堆積盆地では層厚は 200～500 m であり、北西部堆積盆地では層厚は 200～300 m となる。一方、両堆積盆地の境界をなす北西部ホルスト構造周辺では薄層化しており、層厚は 50 m 未満となる。上記の隆起帯の頂部を除き、不整合や削剥等による下部遮蔽層の欠如はなく、また層厚 100 m 未満になる区域も上記隆起帯やホルスト構造を除き、ほとんど認められない。

堆積相解析によれば、酒田沖隆起帯および粟島隆起帯の両翼部には、一部エリアを除き、おおむね泥岩優勢のファシスが分布するものの、両隆起帯の境界部には砂岩優勢のファシスが分布する。中央部堆積盆地には広域に泥岩優勢のファシスが分布する。北西部堆積盆地の南部では泥岩優勢のファシスが分布するものの、同盆地北部では砂岩優勢のファシスが分布する。

以上のように、中央部堆積盆地や北西部堆積盆地の南部では、十分な層厚を有する泥岩優勢ファシスが発達すること、および遮蔽層を切る断層が少ないことから、良好な性状を有する遮蔽層が発達する可能性が高い。次いで、酒田沖隆起帯や粟島隆起帯の両翼部でも十分な層厚が認められ、泥岩優勢のファシスが分布することから、良好な遮蔽層が発達する可能性は高いが、周辺に遮蔽層を切る断層が存在することが懸念事項である。

対して、酒田沖隆起帯や粟島隆起帯では、遮蔽層が薄化または欠如すること、および遮蔽層内に砂岩優勢ファシスが発達することから、良好な性状を有する遮蔽層が発達する可能性は低い。くわえて、遮蔽層を切る断層が多数発達することにも注意が必要である。

② 上部遮蔽層

上部遮蔽層は酒田沖隆起帯および粟島隆起帯の頂部において削剥を受けて欠如しており、両隆起帯の境界部でも同層は薄化し層厚 20 m 未満の区域が確認される。東西両翼部では層厚はおおむね 100～200 m あるが、頂部に近づくほど薄化する。また、中央部堆積盆地では層厚は 200～500 m であり、北西部堆積盆地では層厚は 200 m 前後となるが、それら堆積盆地の西側では薄化し、部分的に層厚が 20 m 未満の区域が確認される。東部堆積盆地では層厚は 300～400 m である。

上記の隆起帯の頂部を除き、不整合や削剥等による上部遮蔽層の欠如はないものの、両隆起帯の東西両翼部や上述の堆積盆地の西側等では、層厚 100 m 未満になる区域が存在する。

堆積相解析結果によれば、中央部堆積盆地の中央部や北側では泥岩優勢ファシスが分布し、東西および南側では砂岩優勢ファシスが同堆積盆地を取り囲むように分布する。北西部堆積盆地の北側では泥岩優勢ファシスが発達し、南側では砂岩優勢ファシスが発達する。東部堆積盆地では泥岩優勢ファシスが広く分布する。

以上のように、上部遮蔽層区間では、中央部堆積盆地の中央部や北側、北西部堆積盆地の北側および東部堆積盆地には十分な層厚を有する泥岩優勢ファシスが発達し、遮蔽層を切る断層が少ないことから、良好な性状を有する遮蔽層が発達する可能性が高い。

対して、それ以外のエリアでは、欠如または薄化、遮蔽層中に砂岩優勢ファシスが発達することから良好な遮蔽能力を有する遮蔽層が発達する可能性は低く、遮蔽層を切る断層が多数発達することにも注意が必要である。

4.4.6　貯留可能量の算定

(1)　貯留可能区間の深度

貯留層区間の上限深度は、圧力および温度の両面から CO_2 超臨界状態の条件を満たす深度とした。貯留層区間の下限深度については、JCCS の貯留層区間の下限深度の指針に基づき、海底面下深度 3,000 m とした。

(2)　CO_2 貯留可能量の算定式

CO_2 貯留可能量の算定には、以下に示す RITE（2006）[24)] の式を用いた。貯留率は構造タイプの区域では 50%、緩傾斜部タイプでは 25%の値を使用することとなっているが、本作業の調査範囲に構造タイプが認められなかったためすべて 25%を用いた。超臨界 CO_2 飽和率は中間値の 50%を使用した。

CO_2 貯留可能量 ＝ Sf × A × h × Φ × Sg / Bg CO_2 × ρ

Sf：貯留率（構造性タイプ：50%、緩傾斜部タイプ：25%）

A：貯留可能域の面積（km^2）

h：有効層厚（m）

Φ：孔隙率（%）

Sg：超臨界 CO^2 飽和率（50%）

Bg CO_2：CO_2 の容積係数（約 0.003 m^3/m^3）

ρ：CO_2 密度（標準状態で 1.976 kg/m^3）

本作業では貯留層上限および下限の深度構造図を用いた全岩容積（Gross Rock Volume）の算出が可能であることから、上記式の一部を改編した以下の計算式を用いて CO_2 貯留可能量の算出を行った。

CO_2 貯留可能量 ＝ Sf × GRV × N/G × Φ × Sg / Bg CO_2 × ρ

GRV：全岩容積（km^3）

N/G：N/G 比

(3) 貯留可能域の検討および貯留可能量の評価

本作業の調査範囲内において、上部貯留層と下部貯留層の貯留可能域の検討および貯留可能量の評価を行った。また、下部貯留層のうち船川層の火山砕屑岩については、貯留岩性状や分布範囲に不確実性を伴うため、副次的な評価結果とした。

各貯留層の評価結果について表 4.4-2 に整理し、以下に詳細を記す。

① 下部貯留層（女川層）

以下の条件をすべて満たす範囲を下部貯留層（女川層）の貯留可能域とする。

1) 「(1) 貯留可能区間の深度」による上限深度から下限深度の間の範囲。
2) 下部遮蔽層を切る断層から 2.5 km 離れた範囲。
3) 地層傾斜が 30 度を超えない範囲。
4) ファシスマップにおいて砂岩層が分布する範囲。
5) 下部遮蔽層内に 20 m 以上の泥質ファシスが分布する範囲。

上記事項から検討した結果、貯留可能域として以下に示す区域を抽出した。

1) LR1_O：飛島堆の南翼部に分布する緩傾斜部、面積：12.2 km^2
2) LR2_O：北西部堆積盆地に分布する緩傾斜部、面積：4.1 km^2
3) LR3_O：酒田沖隆起帯の西翼部に分布する緩傾斜部、面積：3.7 km^2
4) LR4_O：酒田沖隆起帯の西翼部に分布する緩傾斜部、面積：12.1 km^2
5) LR5_O：酒田沖隆起帯の西翼部に分布する緩傾斜部、面積：3.8 km^2
6) LR6_O：中央部堆積盆地に分布する緩傾斜部、面積：15.5 km^2

② 下部貯留層（船川層）

以下の条件をすべて満たす範囲を下部貯留層（船川層）の貯留可能域とする。

1) 「(1) 貯留可能区間の深度」による上限深度から下限深度の間の範囲。
2) 下部遮蔽層を切る断層から 2.5 km 離れた範囲。
3) 地層傾斜が 30 度を超えない範囲。
4) ファシスマップにおいて火山砕屑岩が分布する範囲。
5) 下部遮蔽層内に 20 m 以上の泥質ファシスが分布する範囲。

上記事項から検討した結果、貯留可能域として以下に示す区域を抽出した。

1) LR1_F：飛島堆の南翼部に分布する緩傾斜部、面積：11.9 km^2
2) LR2_F：北西部堆積盆地に分布する緩傾斜部、面積：3.9 km^2
3) LR3_F：酒田沖隆起帯の西翼部に分布する緩傾斜部、面積：3.5 km^2
4) LR4_F：酒田沖隆起帯の西翼部に分布する緩傾斜部、面積：11.8 km^2

5）LR5_F：酒田沖隆起帯の西翼部に分布する緩傾斜部、面積：3.7 km²

6）LR6_F：中央部堆積盆地に分布する緩傾斜部、面積：15.2 km²

③　上部貯留層

以下の条件をすべて満たす範囲を上部貯留層の貯留可能域とする。

1）「(1) 貯留可能区間の深度」による上限深度から下限深度の間の範囲。

2）上部遮蔽層を切る断層から 2.5 km 離れた範囲。

3）地層傾斜が 30 度を超えない範囲。

4）ファシスマップにおいて砂岩優勢相であるファシス C が分布する範囲。

5）上部遮蔽層内に 20 m 以上の泥質ファシスが分布する範囲。

上記事項から検討した結果、貯留可能域として以下に示す区域を抽出した。

1）UR1：飛島堆の南翼部に分布する緩傾斜部、面積：4.8 km²

2）UR2：北西部堆積盆地に分布する緩傾斜部、面積：2.4 km²

3）UR3：中央部堆積盆地に分布する緩傾斜部、面積：3.9 km²

4）UR4：酒田沖隆起帯の西翼部に分布する緩傾斜部、面積：2.1 km²

5）UR5：北西部堆積盆地に分布する緩傾斜部、面積：21.7 km²

6）UR6：粟島隆起帯の北西翼に分布する緩傾斜部、面積：4.2 km²

表 4.4-2　本作業範囲における貯留可能量評価の検討結果

貯留層	貯留可能域	貯留層タイプ	貯留岩						遮蔽層		削剥による貯留層/遮蔽層の欠如	平均地層傾斜（度）	構造安定度	貯留可能地域としての可否	主なリスク
			岩相	平均グロス層厚（m）	貯留層の平均分布深度 上限深度（mBSF）	貯留層の平均分布深度 下限深度（mBSF）	ΦE（%）	堆積相解析	岩相	平均層厚（m）				可：○　否：×	
上部貯留層	UR1	緩傾斜	砂岩	90	650	740	36.5%	ファシスD	半深海性泥岩	220	無	2	近傍に遮蔽層を切る断層が発達する。	×	・遮蔽層を切る断層が近傍に存在する。 ・貯留可能量が少ない（1億トン未満）
	UR2	緩傾斜	砂岩	260	700	960	35.4%	ファシスD	半深海性泥岩	270	無	5	近傍に遮蔽層を切る断層が幅数発達する。	×	・遮蔽層を切る断層が近傍に存在する。 ・貯留可能量が少ない（1億トン未満）
	UR3	緩傾斜	砂岩	220	830	1050	34.4%	ファシスD	半深海性泥岩	240	無	2	近傍に遮蔽層を切る断層が発達する。	×	・遮蔽層を切る断層が近傍に存在する。 ・貯留可能量が少ない（1億トン未満）
	UR4	緩傾斜	砂岩	140	650	790	36.5%	ファシスD	半深海性泥岩	80	無	4	近傍に活断層を伴う酒田沖隆起帯が存在する。	×	・活構造である酒田沖隆起帯の存在 ・貯留可能量が少ない（1億トン未満）
	UR5	緩傾斜	砂岩	60	650	710	36.5%	ファシスD	半深海性泥岩	150	無	2	近傍に遮蔽層を切る活断層が幅数存在する。	×	・遮蔽層を切る断層が近傍に存在する。 ・酒田沖隆起帯では遮蔽層が欠如する。 ・貯留可能量が少ない（1億トン未満）
	UR6	緩傾斜	砂岩	270	650	920	35.4%	ファシスD	半深海性泥岩	80	無	4	近傍に粟島隆起帯が存在する。	×	・活構造である粟島隆起帯の存在 ・粟島隆起帯では遮蔽層が欠如する。 ・貯留可能量が少ない（1億トン未満）
下部貯留層（女川層）	LR1	緩傾斜	砂岩	330	1,160	1,490	30.5%	女川層砂岩	半深海性泥岩	130	無	10	近傍に遮蔽層を切る断層が発達する。	○	・遮蔽層を切る断層が近傍に存在する。 ・女川層のみでは貯留可能量は1億トン未満だが、下部貯留層の合算ならば1億トン以上となる。
	LR2	緩傾斜	砂岩	410	1220	1,630	29.6%	女川層砂岩	半深海性泥岩	170	無	7	近傍に遮蔽層を切る断層が幅数発達する。	×	・遮蔽層を切る断層が近傍に存在する。 ・貯留可能量が少ない（1億トン未満）
	LR3	緩傾斜	砂岩	260	1,090	1,350	31.4%	女川層砂岩	半深海性泥岩	200	無	6	近傍に酒田沖隆起帯が存在する。	×	・活構造である酒田沖隆起帯の存在 ・貯留可能量が少ない（1億トン未満）
	LR4	緩傾斜	砂岩	340	1430	1,770	27.8%	女川層砂岩	半深海性泥岩	200	無	6	近傍に酒田沖隆起帯が存在する。	○	・遮蔽層を切る断層が近傍に存在する。 ・女川層のみでは貯留可能量は1億トン未満だが、下部貯留層の合算ならば1億トン以上となる。
	LR5	緩傾斜	砂岩	350	1520	1,870	27.0%	女川層砂岩	半深海性泥岩	190	無	7	近傍に酒田沖隆起帯が存在する。	×	・活構造である酒田沖隆起帯の存在 ・貯留可能量が少ない（1億トン未満）
	LR6	緩傾斜	砂岩	250	1960	2210	24.0%	女川層砂岩	半深海性泥岩	220	無	8	近傍に遮蔽層を切る断層が発達する。	△	・遮蔽層を切る断層が近傍に存在する。 ・下部貯留層の合算で1億トンや満たない。
下部貯留層（船川層）	LR1_F	緩傾斜	凝灰岩、凝灰角礫岩	450	710	1,160	34.4%	火山砕屑岩	半深海性泥岩	130	無	3	近傍に遮蔽層を切る断層が発達する。	○	・遮蔽層を切る断層が近傍に存在する。 ・貯留岩が凝灰岩や凝灰角礫岩のため、圧入性に問題がある。 ・船川層のみでは貯留可能量は1億トン未満だが、下部貯留層の合算ならば1億トン以上となる。
	LR2_F	緩傾斜	凝灰岩、凝灰角礫岩	390	830	1,220	33.3%	火山砕屑岩	半深海性泥岩	170	無	12	近傍に遮蔽層を切る断層が幅数発達する。	×	・遮蔽層を切る断層が近傍に存在する。 ・貯留可能量が少ない（1億トン未満） ・貯留岩が凝灰岩や凝灰角礫岩のため、圧入性に問題がある。
	LR3_F	緩傾斜	凝灰岩、凝灰角礫岩	210	880	1,090	33.3%	火山砕屑岩	半深海性泥岩	200	無	6	近傍に酒田沖隆起帯が存在する。	×	・活構造である酒田沖隆起帯の存在 ・貯留可能量が少ない（1億トン未満） ・貯留岩が凝灰岩や凝灰角礫岩のため、圧入性に問題がある。
	LR4_F	緩傾斜	凝灰岩、凝灰角礫岩	220	1210	1,430	30.5%	火山砕屑岩	半深海性泥岩	200	無	10	近傍に酒田沖隆起帯が存在する。	○	・遮蔽層を切る断層が近傍に存在する。 ・船川層のみでは貯留可能量は1億トン未満だが、下部貯留層の合算ならば1億トン以上となる。 ・貯留岩が凝灰岩や凝灰角礫岩のため、圧入性に問題がある。
	LR5_F	緩傾斜	凝灰岩、凝灰角礫岩	190	1330	1,520	29.6%	火山砕屑岩	半深海性泥岩	190	無	10	近傍に酒田沖隆起帯が存在する。	×	・活構造である酒田沖隆起帯の存在 ・貯留可能量が少ない（1億トン未満） ・貯留岩が凝灰岩や凝灰角礫岩のため、圧入性に問題がある。
	LR6_F	緩傾斜	凝灰岩、凝灰角礫岩	200	1760	1960	25.4%	火山砕屑岩	半深海性泥岩	220	無	7	近傍に遮蔽層を切る断層が発達する。	△	・遮蔽層を切る断層が近傍に存在する。 ・下部貯留層の合算で1億トンや満たない。 ・貯留岩が凝灰岩や凝灰角礫岩のため、圧入性に問題がある。

(4) 貯留可能量評価

各貯留層の貯留可能量を表 4.4-3 および以下に示す。下部貯留層のうち船川層の火山砕屑岩については、貯留岩性状や分布範囲に不確実性を伴うため、副次的な評価結果とした。

1) 下部貯留層（女川層）：合計 1.82 億 t

LR1_O：0.49 億 t、LR2_O：0.20 億 t、

LR3_O：0.12 億 t、LR4_O：0.48 億 t、

LR5_O：0.15 億 t、LR6_O：0.38 億 t

2) 下部貯留層（船川層）：合計 3.23 億 t

LR1_F：1.37 億 t、LR2_F：0.37 億 t、

LR3_F：0.18 億 t、LR4_F：0.58 億 t、

LR5_F：0.15 億 t、LR6_F：0.57 億 t

3) 上部貯留層：合計 0.84 億 t

UR1：0.09 億 t、UR2：0.11 億 t、UR3：0.19 億 t、

UR4：0.03 億 t、UR5：0.20 億 t、LR6：0.23 億 t

表 4.4-4 の貯留可能域の評価基準に基づけば、LR1_F を除き、いずれの貯留可能域も貯留可能量が 1 億 t 未満のため貯留可能域の対象外となる。しかしながら、船川層は火山砕屑岩ではあるが、「4.4.5(1) 貯留層性状の評価」のとおり貯留層が発達する可能性がある。また、下部貯留層の女川層と共通の遮蔽層を有することから、下部貯留層の女川層と船川層を連結して貯留可能量を計算した場合は以下のとおりとなり、LR1 および LR4 の貯留可能量は 1 億 t 以上となり、貯留可能域の対象となる。また、LR6 の貯留可能量は 0.95 億 t とやや 1 億 t に満たないものの、4.4.7 項にて後述する調査井（案）の提案に際して、調査井を掘削した場合、LR1 や LR4 と同様に有意なデータが得られる可能性が高いと考えられるため、本作業では例外的に貯留可能域の対象とする。この結果、本作業の調査範囲における合計貯留可能量は表 4.4-5 に示すとおり 3.87 億 t となる。

4) 下部貯留層（女川層+船川層）：合計 5.07 億 t

LR1：1.86 億 t、LR2：0.57 億 t、

LR3：0.30 億 t、LR4：1.06 億 t、

LR5：0.30 億 t、LR6：0.95 億 t

表 4.4-3　貯留可能量一覧表

年度	可能域名	区間	Facies	GRV	Area	N/G			Phi	貯留率	Sg	Bg	CO2密度	貯留可能量（億t）	貯留可能量（億t）
				km3	km2	検層解析	出現率	N/G	frac	frac	frac	frac	kg/m3		
2021	UR1	上部貯留層	Facies_C18	0.4	4.8	0.88	0.87	0.76	0.36	0.25	0.5	0.003	1.976	0.09	0.84
2021	UR2	上部貯留層	Facies_C10	0.6	2.4	0.88	0.67	0.59	0.35	0.25	0.5	0.003	1.976	0.11	
2021	UR3	上部貯留層	Facies_C8	0.9	3.9	0.88	0.87	0.76	0.34	0.25	0.5	0.003	1.976	0.19	
2021	UR4	上部貯留層	Facies_C12	0.3	2.1	0.88	0.40	0.35	0.36	0.25	0.5	0.003	1.976	0.03	
2021	UR5	上部貯留層	Facies_C9	1.3	21.7	0.88	0.60	0.53	0.36	0.25	0.5	0.003	1.976	0.20	
2021	UR6	上部貯留層	Facies_C3	1.2	4.2	0.88	0.73	0.65	0.35	0.25	0.5	0.003	1.976	0.23	
2021	LR1_O	下部貯留層（女川層）	—	4.0	12.2	0.49	1.00	0.49	0.30	0.25	0.5	0.003	1.976	0.49	1.82
2021	LR2_O	下部貯留層（女川層）	—	1.7	4.1	0.49	1.00	0.49	0.30	0.25	0.5	0.003	1.976	0.20	
2021	LR3_O	下部貯留層（女川層）	—	1.0	3.7	0.49	1.00	0.49	0.31	0.25	0.5	0.003	1.976	0.12	
2021	LR4_O	下部貯留層（女川層）	—	4.2	12.1	0.49	1.00	0.49	0.28	0.25	0.5	0.003	1.976	0.48	
2021	LR5_O	下部貯留層（女川層）	—	1.4	3.8	0.49	1.00	0.49	0.27	0.25	0.5	0.003	1.976	0.15	
2021	LR6_O	下部貯留層（女川層）	—	4.0	15.5	0.49	1.00	0.49	0.24	0.25	0.5	0.003	1.976	0.38	
2021	LR1_F	下部貯留層（船川層）	—	5.4	11.9	0.90	1.00	0.90	0.34	0.25	0.5	0.003	1.976	1.37	3.23
2021	LR2_F	下部貯留層（船川層）	—	1.6	3.9	0.90	1.00	0.90	0.33	0.25	0.5	0.003	1.976	0.37	
2021	LR3_F	下部貯留層（船川層）	—	0.7	3.5	0.90	1.00	0.90	0.33	0.25	0.5	0.003	1.976	0.18	
2021	LR4_F	下部貯留層（船川層）	—	2.6	11.8	0.90	1.00	0.90	0.30	0.25	0.5	0.003	1.976	0.58	
2021	LR5_F	下部貯留層（船川層）	—	0.7	3.7	0.90	1.00	0.90	0.30	0.25	0.5	0.003	1.976	0.15	
2021	LR6_F	下部貯留層（船川層）	—	3.0	15.2	0.90	1.00	0.90	0.25	0.25	0.5	0.003	1.976	0.57	

表 4.4-4　貯留可能域の評価基準

技術要素			貯留層			貯留可能量	遮蔽層		地質構造	
			深　度（m）	層　厚（m）	性状（孔隙率）（%）	（百万トン-CO_2）	層厚（m）	遮蔽能力（堆積環境・岩相）	構造安定度（断層など）	地層傾斜（deg）
評価点数	◎	1	800–2,000m	≧500	≧25	≧5,000	≧100	深海性・泥岩	断層なし	≦10
	○	0.6	800–3,000m	≧200	≧20	≧1,000	≧50	半深海性・泥質岩	断層があるが極浅部まで達していない	≦20
	△	0.3	≧2,000m	≧50	≧15	≧200	≧20	陸棚以浅・泥質岩	断層が多いが極浅部まで達していない	≦30
	△−	0.1			≧5				広域地質構造の安定度が低い	
	×	0	≧3,000m	<50	<5	<100	<20	砂質シルト岩	対象区域内に活断層あり	>30
	NA	0.5	（評価できず）				（評価できず）		（評価できず）	

表 4.4-5　本作業の調査範囲における貯留可能量

	貯留可能量（億 t）	
	女川層	女川層＋船川層
LR1	0.49	1.86
LR4	0.48	1.06
LR6	0.38	0.95
合計	1.35	3.87

4.4.7　調査井の検討

(1)　調査井の提案

地質解析および貯留可能量評価の結果を踏まえ、図 4.4-17 に示す位置において下部貯留層を対象とした調査井を 3 案提案する。

①　調査井案１

酒田沖隆起帯の西翼部において、掘削深度 1,800 m の坑井である。本坑井においては下部貯留層の貯留可能域のうち LR4 が分布すると推定される。以下に本調査井の選定理由や特記事項を記す。

1) 本調査井位置では、下部貯留層の貯留可能域の中で 2 番目の貯留可能量（1.06 億 t）を有する LR4 が分布する。
2) 本調査井が位置するハーフグラーベンは、基礎試錐「最上川沖」が掘削されたハーフグラーベンとは別系統であるため不確実性はあるものの、本調査井を掘削することで女川層砂岩の貯留ポテンシャルの拡充が期待される。
3) 本調査井と酒田港からの離岸距離は 20 km 程度である。
4) 提案した調査井のうち、本調査井がもっとも水深が浅く、掘削長が短いことから、他の調査井と比較して掘削費用の抑制が期待される。

②　調査井案２

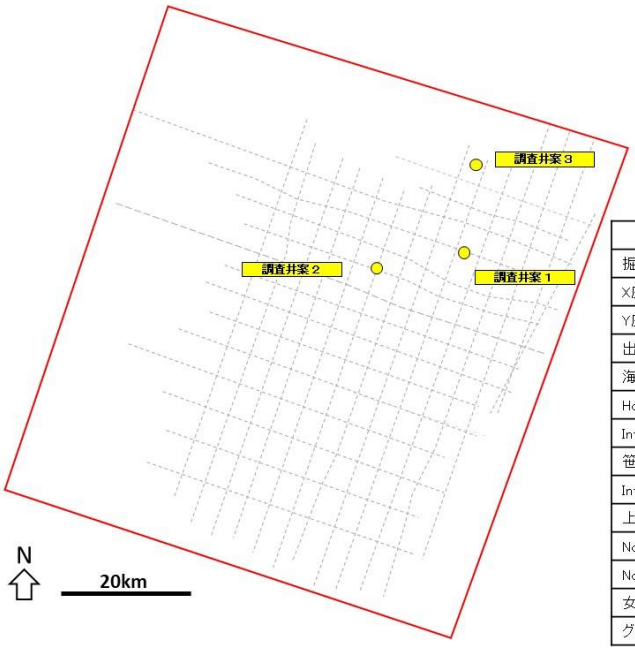
中央部堆積盆地北部において、掘削深度 2,900 m の坑井である。本坑井においては下部貯留層の貯留可能域のうち LR6 が分布すると推定される。LR6 は貯留可能量が 0.95 億 t であり、1 億 t にやや満たないが、②に示すとおり浅部砂岩層のデータを取得可能であることから、調査井として提案した。以下に本調査井の選定理由や特記事項を記す。

1) 本調査井位置では、下部貯留層の貯留可能域の中で 3 番目の貯留可能量を有する LR6 が分布する。
2) 他の調査井では、上部貯留層やそれ以浅の層準において泥質岩のみが発達するが、本調査井の位置では浅部に砂質岩が広く発達する。本調査井を掘削することで下部貯留層だけでなく、上部貯留層以浅の砂質岩のデータも取得することが可能である。
3) 本調査井と酒田港からの離岸距離は 35 km 程度である。
4) 提案した調査井のうち、本調査井がもっとも水深が深く、掘削長が長いことから、後述する他の調査井よりも掘削費用が高くなることが懸念される。

③　調査井案３

基礎試錐「最上川沖」の北東側において、掘削深度 2,000 m の坑井である。本坑井においては下部貯留層の貯留可能域のうち最大の貯留可能量（1.87 億 t）を有する LR1 が分布すると推定される。以下に本調査井の選定理由や特記事項を記す。

1) 本調査井位置では、下部貯留層の貯留可能域の中でも最大の貯留可能量を有する LR1 が分布する。
2) 本調査井の近傍（南東 3 km）の基礎試錐「最上川沖」では、下部貯留層の女川層砂岩を確認しており、本調査井位置でも同様の岩相を確認できる可能性が高い。
3) 本調査井と酒田港からの離岸距離は 25 km 程度である。
4) LR1 は、2D 弾性波探査データの１測線から抽出された貯留可能域であるため、その構造形態や存在自体に不確実性が残る。



	調査井案1	調査井案2	調査井案3
掘削深度	1800 m	2900 m	2000 m
X座標(Easting)	374,708 m	361,783 m	376,397 m
Y座標(Northing)	4,312,356 m	4,310,204 m	4,325,292 m
出現予想ホライズン	掘削深度(mMSL)		
海底面	140	540	330
Horizon A	210	–	360
Intra笹岡／観音寺	400	630	460
笹岡層／観音寺層下限	520	750	600
Intra上部天徳寺層／丸山層	640	1250	730
上部天徳寺層／丸山層下限	740	1560	760
No.3 G. Inflata bed 上限	980	2110	880
No.3 G. Inflata bed 下限	1140	2230	1030
女川砂岩上限	1380	2360	1590
グリーンタフ上限	1720	2790	1970

図 4.4-17　調査井（案）掘削位置検討結果

(2)　3D 探査の提案

本作業は 2D 探査データに基づく解析のため、やや測線間隔が粗く、構造形態の詳細や断層の発達状況および堆積相の分布等について不確実性が残る。特に、女川層は坑井データにより砂岩層として識別できるが、2D 探査断面上では反射波が弱く均質な特徴を示すため、堆積相解析では砂岩と評価することが難しい。3D 探査データを取得し、堆積相解析や物性

解析を行うことで、女川層のうち本作業では砂岩層と解釈できなかった範囲や、2D 探査測線間において砂岩層を評価できる可能性がある。本作業によって、貯留可能域は調査範囲の北側に集中して分布することが確認できたので、図 4.4-18 に示す延べ 600 km² の範囲の 3D 探査を実施することを調査井の掘削とあわせて提案する。なお、同探査範囲はフル重合エリアを示しており、実際のデータ取得範囲はさらに広くなる。

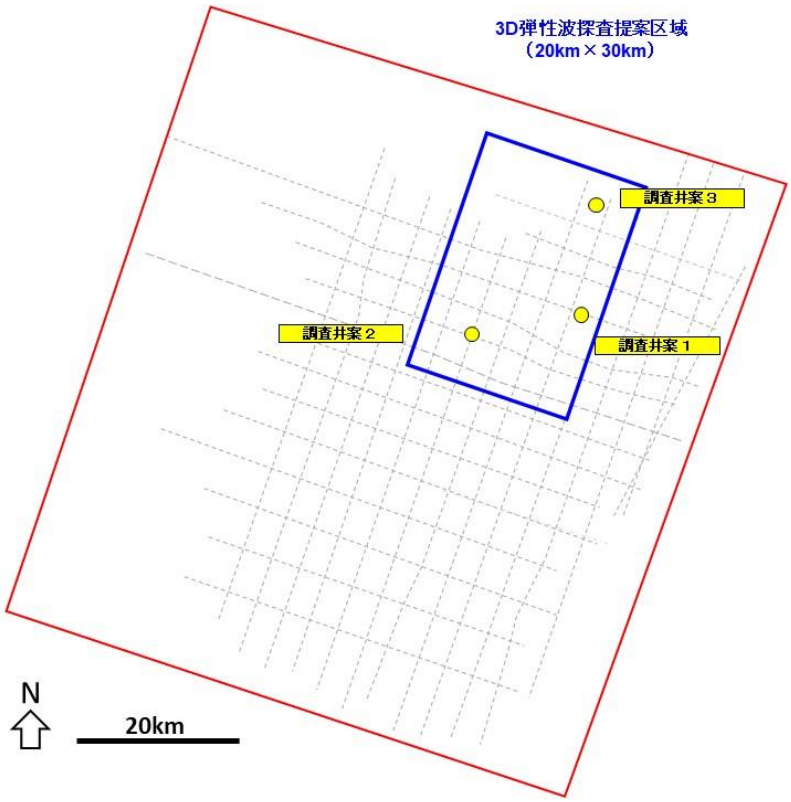


図 4.4-18　3D 探査（案）データ取得範囲

【参考文献】

1) 日本ＣＣＳ調査(株)、“「令和２年度 二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務」成果報告書”(2022)

2) 石油公団、“昭和 58 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 基礎試錐「最上川沖」調査報告書”（1984）

3) 石油公団、“平成 5 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 基礎試錐「本荘沖」調査報告書”（1993）

4) 岡村行信、倉本真一、佐藤幹夫、“日本海東縁海域の活構造およびその地震との関係”、地質調査所月報、第 49 巻、第 1 号、p.1-18（1998）

5) 岡村行信、森尻理恵、佐藤幹夫、“秋田西方海底地質図及び同説明書”、地質調査所、

p.36（1996）
6) 佐藤比呂志、吉田武義、岩崎貴哉、佐藤時幸、池田安隆、海野徳仁、“後期新生代における東北日本中部背弧域の地殻構造発達-最近の地殻構造探査を中心として-”、石油技術協会誌、第 69 巻、第 2 号、p. 145-154（2004）
7) 佐藤時幸、山崎誠、千代延俊、“秋田県の地質”、東北地質調査協会誌「大地」、Vol.50、p.70-83(2009)
8) 天然ガス鉱業会・大陸棚石油開発協会、“日本の石油・天然ガス資源”（改訂版）、p.53-80（1992）
9) 岡村行信、森尻理恵、土屋信之、佐藤幹夫、“粟島周辺海底地質図及び同説明書”、地質調査所、p.34（1996）
10) 桜井操、佐藤任弘、“最上舟状海盆の地質構造と発達史”、地質学雑誌、第 77 巻、第 8 号、p.489-496（1971）
11) 岡村行信、佐藤幹夫、渡部真人、山本博文、“日本海南東部のインバージョンテクトニクス”、構造地質、第 38 号、p.47-58（1992）
12) 堀川晴央、岡村信行、村上文敏、“酒田沖隆起帯における浅層音波探査”、活断層・古地震研究報告、No.11、p.83-96（2011）
13) 岡村行信、佐藤幹夫、宮崎純一、“新潟沖大陸棚の活断層－とくに新潟地震との関係について－”、地震、第 2 輯、第 46 巻、p.413-423（1994）
14) 佐藤比呂志、池田安隆、“東北日本の主要断層モデル”、月刊 地球、Vol.21、No.9、p.569-575（1999）
15) 岡村行信、中村光一、“反転テクトニクス（inversion tectonics）あるいは盆地反転（basin inversion）-日本海東縁における例を交えて-”、地球科学、49 巻、p.302-305（1995）
16) 藤岡一男、“秋田油田における出羽変動”、石油技術協会誌、第 33 巻、第 5 号、p.5-19（1968）
17) 渡辺真人、岡村行信、佐藤幹夫、“東北日本沖日本海大陸斜面の珪藻化石と地質構造”、地質調査所月報、第 45 巻、第 7 号、p.405-436（1994）
18) 佐藤時幸、小川由梨子、金子光好、“石灰質ナンノ化石からみた秋田県沿岸部北由利衝上断層群の活動時期”、日本地質学会第 110 年学術大会講演要旨集、p67（2003）
19) 岡村行信、“日本海東縁の地質構造と震源断層との関係”、地質学雑誌、第 116 巻、第 11 号、p.582-591（2010）
20) 岡村行信、“日本海東縁のインバージョンテクトニクス”、石油技術協会誌、第 65 巻、

第 1 号、p.40-47（2000）

21) 気象庁震度データベース、
https://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.html

22) 地震本部、“日本の地震活動-被害地震から見た地域別の特徴-＜第 2 版＞の 4. 東北地方の地震活動の特徴”、p.83-p.142（2009）

23) Posamentier, H.W. and Kolla, V., “Seismic geomorphology and stratigraphy of depositional elements in deep-water settings”, Journal of Sedimentary Research, 73. p.367-388（2003）

24) (財)地球環境産業技術研究機構、“平成 17 年度 二酸化炭素固定化・有効利用技術等対策事業 二酸化炭素地中貯留技術研究開発成果報告書（2006）

4.5　地質解析と貯留適地評価（新潟北西沖・佐渡南方沖）

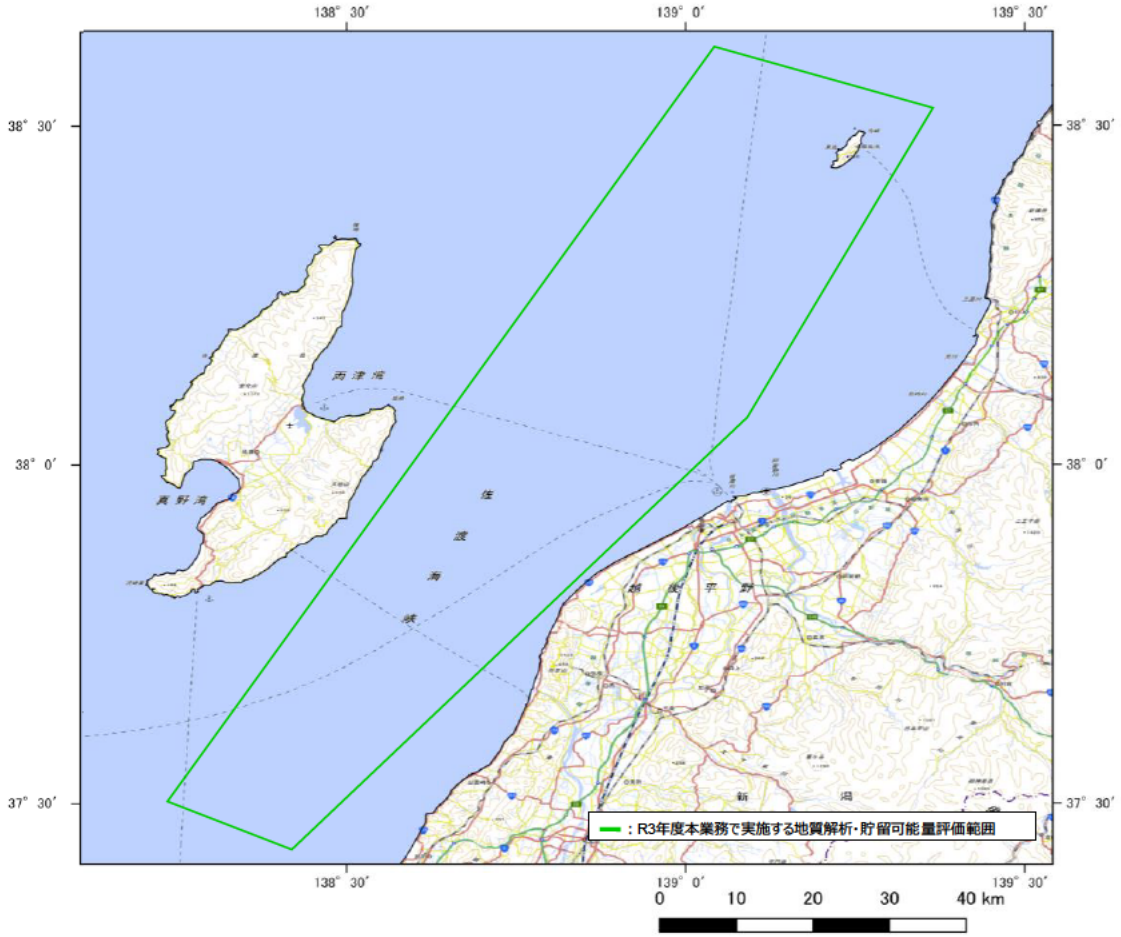
新潟北西沖および佐渡南方沖の 2 地点をまとめて新潟北西沖・佐渡南方沖とし、公刊資料、当該地点において取得された基礎物理探査 3D 探査データ、2D 探査データ、基礎試錐「柏崎沖」[1)]、「佐渡沖」[2)]と民間坑井、本業務にて実施した海底地質情報のコンパイルデータ（4.2 節）を用いて、地質構造解析、貯留層・遮蔽層評価、貯留可能量評価を行い、貯留適地の検討を実施した。

4.5.1 概要

(1)　本作業の調査範囲

本作業の調査範囲を図 4.5-1 に示す。新潟県沿岸地域と佐渡島に挟まれた日本海海域の南北約 100 km、東西約 20～30 km の範囲約 4,000 km^2 の海域（図 4.5-1 の緑枠内）を本作業の調査範囲とした。本作業の調査範囲内では、水深は約 50～520 m（本作業の調査範囲南西端の富山トラフでは約 1,000 m）で南東から北西に向かって深くなる。

本作業で使用した測地諸元を表 4.5-1 に示す。



注 1）国土地理院「電子地形図（タイル）」[3] に加筆
注 2）本作業の調査範囲（緑色の枠内）

図 4.5-1　本作業の調査範囲および使用データ位置

表 4.5-1　本作業で使用した測地諸元

準拠楕円体	WGS84
長半径	6,378,137.00000000 m
短半径	6,356,752.31424500 m
投影法	Universal Transverse Mercator（UTM 図法）
系番号	54
座標原点 緯度	00° 00′ 00.000" N
座標原点 経度	141° 00′ 00.000" E
縮尺係数	0.999600
北方加数	0.000 m
東方加数	500,000.000 m

(2) 使用データ

本作業で使用した弾性波探査データおよび坑井データを以下に示す。3D 探査データとして、基礎物理探査「新潟沖 3D」[4]、基礎物理探査「佐渡海盆 3D」[5]の一部、2D 探査データとして、民間坑井の解析結果を基礎物理探査「新潟沖 3D」に繋ぐことを目的として、昭和 51 年度基礎物理探査「北海道西部～新潟海域」[6]の一部を使用した。

坑井データとして、基礎試錐「柏崎沖」[1]、基礎試錐「佐渡沖」[2]および民間坑井を使用した。

地質解析データとして、平成２５年度経済産業省委託事業の調査対象区域の評価（新潟－富山沖 A）[7]、平成３０年度委託事業の地質解析・貯留可能量評価業務（新潟沖）[8]、本事業で実施した海底地形判読および海底地質情報のコンパイルデータ（4.2 節）を使用した。

A) 3D 探査データ

1) 平成 30 年度 基礎物理探査「新潟沖 3D」[4]

2) 平成 30 年度 基礎物理探査「佐渡海盆 3D」の一部[5]

B) 2D 探査データ

1) 石油開発公団 大陸棚石油・天然ガス基礎調査　昭和 51 年度 基礎物理探査「北海道西部～新潟海域」の一部[6]

2) 石油公団 国内石油天然ガス基礎調査　昭和 62 年度 海上基礎物理探査「西津軽～新潟沖」の一部[9]

C) 坑井データ

1) 昭和 62 年度 基礎試錐「柏崎沖」[1]

2) 昭和 63 年度 基礎試錐「佐渡沖」[2]

3) 民間会社による坑井データ

D) 地質解析・貯留可能量評価データ

1) 平成２５年度経済産業省委託事業の調査対象区域の評価（新潟－富山沖 A）[7]

2) 平成３０年度委託事業の地質解析・貯留可能量評価業務（新潟沖）[8]

3) 本事業 4.2 節の海底地形判読および海底地質情報のコンパイル業務（新潟北西沖・佐渡南方沖）

E) その他公開されている地質情報に関するデータ

本作業で使用した主要ソフトウェアと作業内容を以下に示す。

1) 弾性波探査・地質解析

IHS 社製「Kingdom」、Schlumberger 社製「Petrel」、Eliis 社製「PaleoScan」

2) 物理検層データ解析

Lloyd's Register 社製「Interactive Petrophysics」（以下、「IP」と称する。）

4.5.2　地質

(1)　地質構造および構造発達史

図 4.5-2 に本作業の調査範囲と周辺海域における主要な地質構造および堆積盆地の位置を示す[10)]。本作業の調査範囲は南部が佐渡海盆、北部が新潟堆積盆地に相当する。新潟堆積盆地および佐渡海盆は、日本海東縁に分布するその他の堆積盆地と同様に、前期～中期中新世に開始した日本海拡大に伴い形成されたリフトタイプの堆積盆である[4)]。

図 4.5-3 に新潟堆積盆地および佐渡海盆の模式地質断面図を示す[11)]。両堆積盆地においては、後期鮮新世以後に強い東西圧縮場となり、逆断層（インバージョン）と褶曲構造が発達し、その圧縮変形は現在も活発に進行していると考えられている[4)]。

図 4.5-4 に日本海東縁の地質構造発達史およびインバージョン模式図を示す[12)]。本作業の調査範囲を含む日本海東縁の新第三紀のテクトニクスは、日本海拡大に伴う伸長とその後の圧縮に関連し、下位より I)リフトの形成期（リフティング期）、II)リフトの埋積期（a : ポストリフト期、b : プレインバージョン期）、III)リフトの隆起期（インバージョン期）に分けられる。

I)　リフトの形成期（リフティング期）

前期中新世～中期中新世にかけて、日本海の拡大に伴い東北日本弧は伸張応力場となり、正断層とそれにともなうリフトが広く形成された。このリフティングに伴い、激しい玄武岩質の火山活動が起こった。

II)　リフトの埋積期（ポストリフト期・プレインバージョン期）

後期中新世から前期鮮新世までは、特に強い圧縮応力場でも伸張応力場でもなかったとされる。

a) ポストリフト期

8 Ma 頃までは地殻は熱的沈降が優勢のため緩やかに沈降し、深い海盆が形成された。一方で小規模なリフトは、第四紀までにほぼ完全に埋積されて平坦な海底面をなしていたと考えられる

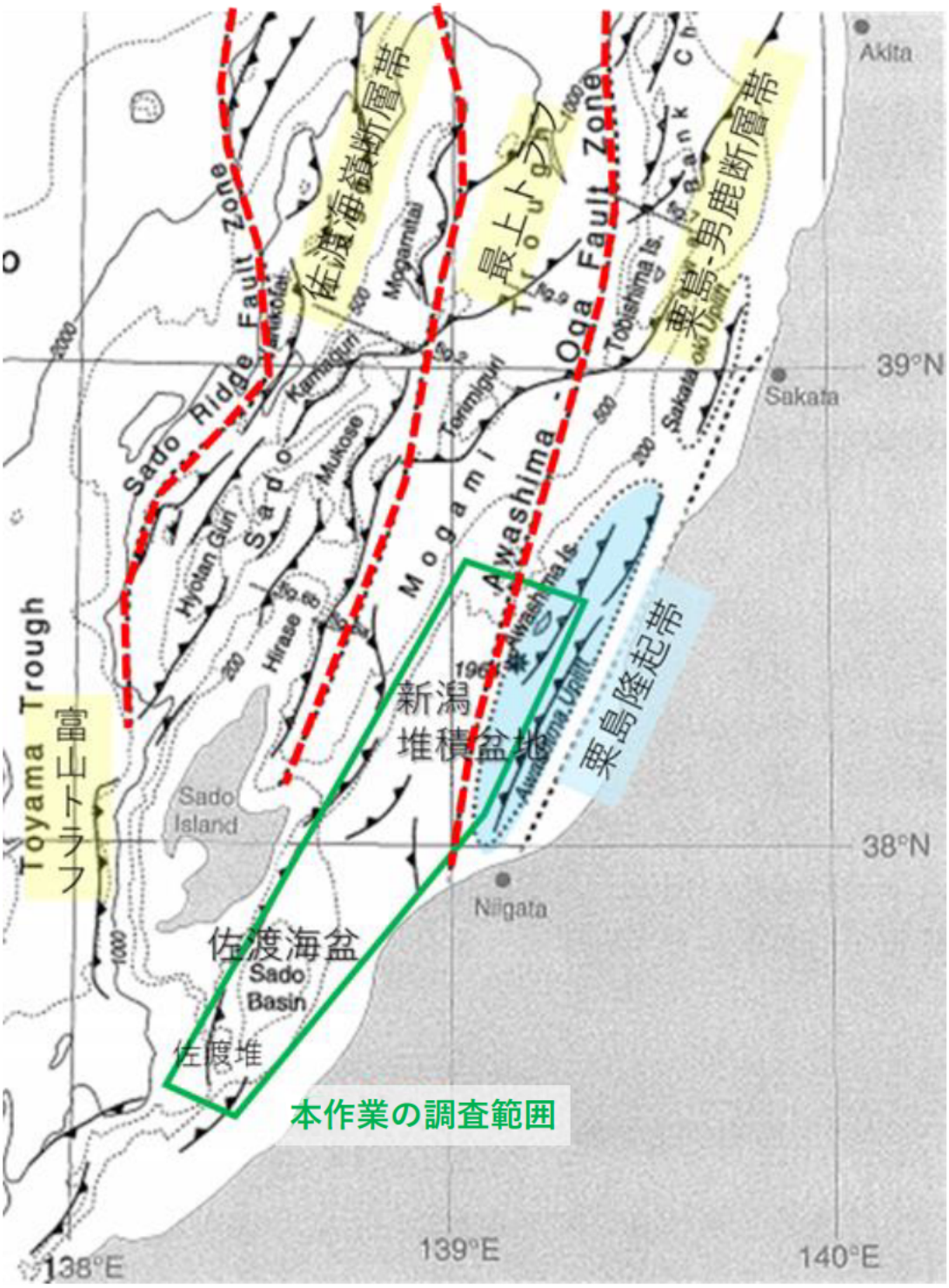
b) プレインバージョン期

8 Ma 以降になると東北日本弧周辺は圧縮場となり、脊梁山脈を中心に緩やかな上昇運動に転じたが日本海東縁ではまだ褶曲運動は起きていない。

III)　リフトの隆起期（インバージョン期）

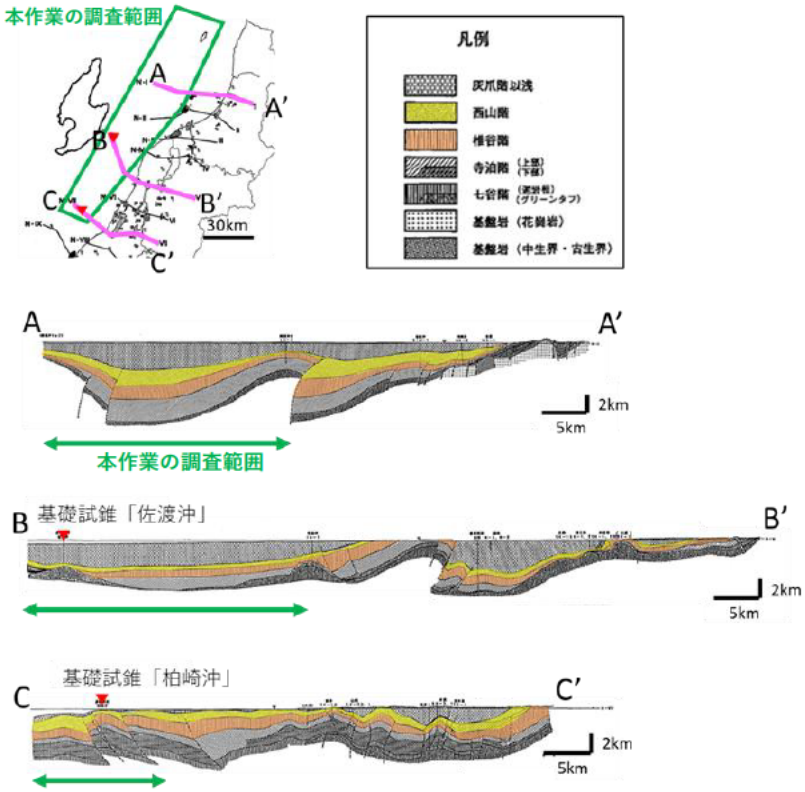
後期鮮新世以降になると東北日本弧は強い東西圧縮応力場となり、その影響で逆

断層が数多く形成された。これらの逆断層はリフトを形成した正断層が逆断層として再活動した。このインバージョンにともない、リフトを埋積していた中新世および鮮新世の地層が隆起し、褶曲・変形した。



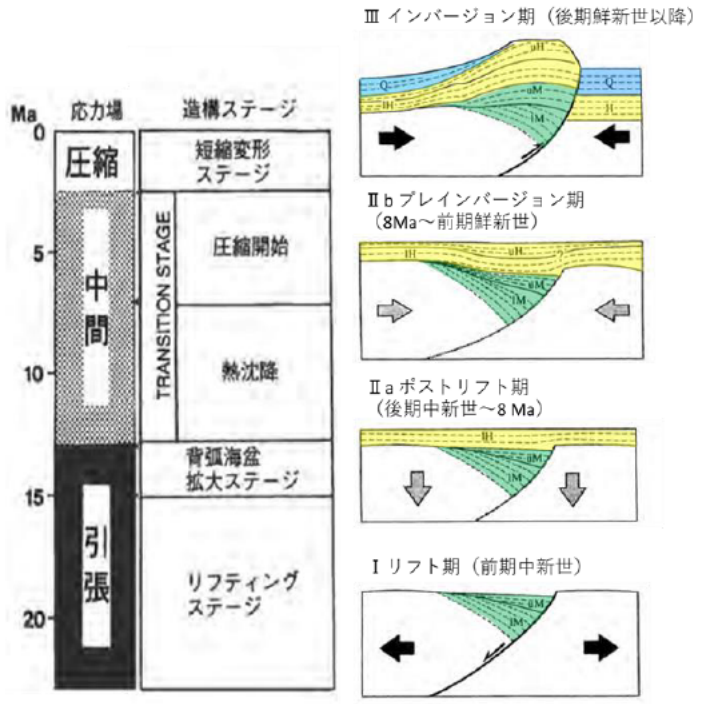
注）岡村ほか（1998）[10] の図 3 から引用、加筆

図 4.5-2　本作業の調査範囲周辺の主要な堆積盆地と地質構造



注 1）上図は天然ガス鉱業会・大陸棚石油開発協会（1992）[11] 図ⅡB-44 から引用、加筆
注 2）下図は天然ガス鉱業会・大陸棚石油開発協会（1992）[11] 図ⅡB-54a, 54e, 54g から引用、加筆

図 4.5-3　新潟堆積盆地および佐渡海盆の模式地質断面図



注）大坪（2008）[12] 第 7 図および第 8 図から引用、加筆

図 4.5-4　日本海東縁の地質構造発達史およびインバージョン模式図

(2) 層序

本作業の調査範囲内に位置する基礎試錐「柏崎沖」、「佐渡沖」の層序は陸域で定義された新潟県標準層序と対比されており、下位からグリーンタフ、七谷層、下部寺泊層、上部寺泊層、椎谷層、西山層、灰爪層～魚沼層群となっている。

1) グリーンタフ

グリーンタフは前期中新世から中期中新世の火成活動により堆積した海成の火山岩および火山砕屑岩から成り、酸性火山岩類が緑色に変色している。

2) 七谷層

七谷層は泥岩と硬質頁岩を主体とし、グリーンタフとは一部で指交関係にある。

3) 下部寺泊層

下部寺泊層は泥岩と砂岩泥岩互層を主体とする。泥岩相は暗灰色泥岩層ないし珪藻土から成り、佐渡地域、新潟油田地域北部、津川地域に分布する。両相ともポストリフト期の堆積物で、北蒲原～新潟平野地域では層厚 500～1,000 m が確認されている[4)]。新潟～西蒲原地域においては玄武岩、安山岩、流紋岩の溶岩・火砕岩が坑井で確認されている[4)]。

4) 上部寺泊層

上部寺泊層は泥岩を主体とし、砂岩泥岩互層と安山岩質火山砕屑岩を伴う。上越地域には黒色泥岩が分布し、佐渡から下越にかけては珪質泥岩が分布する。下部寺泊層と上部寺泊層は底生有孔虫化石帯に基づいて区別されており、岩相では明確に区分されない。

5) 椎谷層

椎谷層は砂岩泥岩互層と塊状泥岩を主体とし、安山岩質～デイサイト質の火山岩および火山砕屑岩が局所的に分布する。新潟沖の油ガス坑井では約 500 m の層厚を有し、灰色細粒～粗粒砂岩、暗灰色硬質泥岩、黄灰色の凝灰岩薄層を挟む[13)]。

6) 西山層

西山層は主として塊状シルト岩と砂岩シルト岩互層からなる。陸域の油ガス田地帯では同時期の火成活動により噴出した安山岩質の火山岩およびそれらが再堆積した火山性砂岩が分布する[13)]。

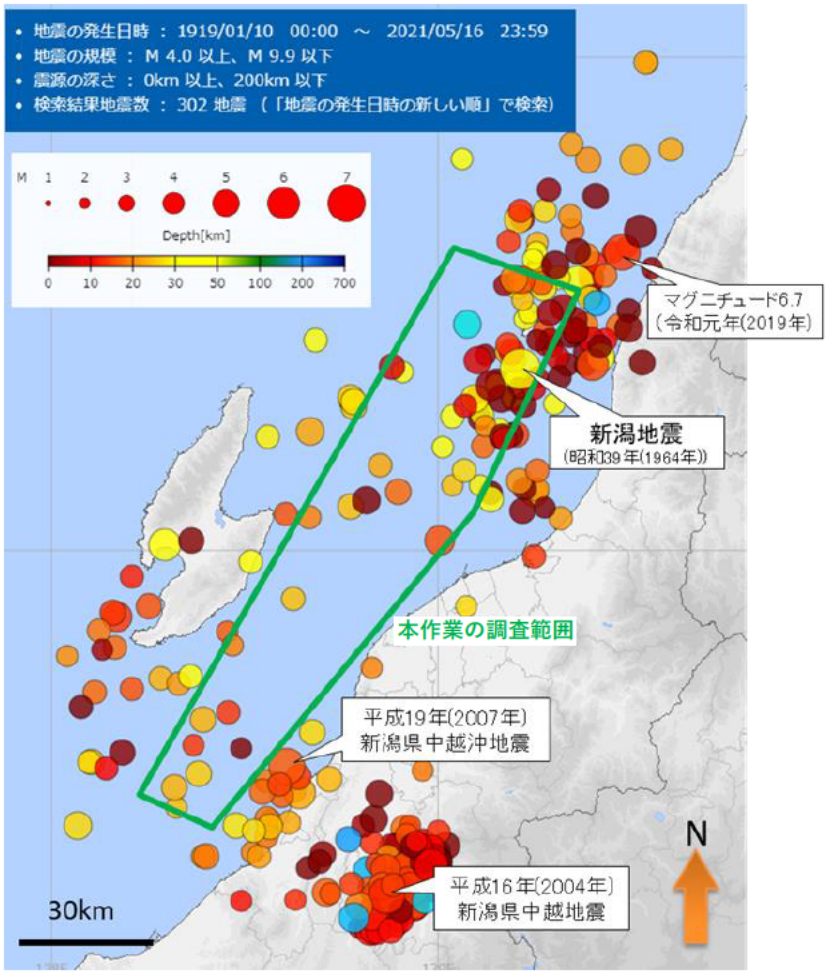
7) 灰爪層～魚沼層群

灰爪層は灰色シルト岩を主体とし、粗粒～中粒砂岩あるいは砂岩泥岩互層を挟在し、上部に向かって粗粒化する[11)]。魚沼層群は砂岩シルト岩互層、砂岩、礫岩を主体とし、灰爪層と指交する。最大層厚は約 3,000 m に達する。

(3)　活断層および地震活動

活構造は本作業の調査範囲の北部の粟島、粟島礁、馬の瀬付近、南部の小木海脚、佐渡堆周辺で多く認められている。一方、本作業の調査範囲中央部（新潟沖大陸棚南東部～佐渡海盆北東部）は、長岡平野西縁断層帯の海域延長部（角田・弥彦断層）が分布するものの、活構造の分布密度が相対的に低い海域である。これまでの活断層および活構造の研究によると、本作業の調査範囲においては、南から北へ向かって佐渡島南方断層、F-B 褶曲群、佐渡島棚東縁撓曲、角田・弥彦断層、および粟島周辺の衝上断層群が分布している[14)、15)]。

図 4.5-5 に本作業の調査範囲周辺で発生した過去 100 年間に発生した M4.0 以上の地震の震源分布を示す[16)]。本作業の調査範囲北東部において M4.0 以上の地震が多発し、昭和 39 年（1964 年）に M7.5 を記録した新潟地震が発生している。また、本作業の調査範囲周辺では平成 19 年（2007 年）新潟県中越沖地震（M6.8）、平成 16 年（2004 年）新潟県中越地震（M6.8）、令和元年（2019 年）に M6.7 の地震が発生している。



注）気象庁震度データベース[16)]に加筆

図 4.5-5　本作業の調査範囲周辺の震源分布

(4) 貯留層と遮蔽層の抽出

貯留層と遮蔽層は後述する「4.5.4 堆積相解析」の結果を基に、基礎試錐「柏崎沖」、「佐渡沖」と民間坑井の坑井データ解析結果を考慮して抽出した。佐渡海盆では貯留層層準は椎谷層と西山層下部、遮蔽層層準は西山層中部、新潟沖堆積盆地では貯留層層準は西山層、遮蔽層層準は灰爪層を抽出した。

「4.5.4 堆積相解析」の結果から、佐渡海盆では椎谷層から西山層下部にかけて深海チャネルシステムが発達しており、特にチャネルの発達が顕著な区間を貯留層として抽出した。西山層中部から灰爪層では海底扇状地システムへと変化し、西山層中部では佐渡海盆全域でチャネルやローブがほとんど認められない泥質な区間となることから遮蔽層層準として抽出した。

新潟堆積盆地では西山層に海底扇状地システムが発達しており、特にローブの発達が顕著な区間を貯留層として抽出した。灰爪層下部ではローブの発達が限定的となることから遮蔽層として抽出した。

(5) 3D 探査データの再処理

3D 探査データを用いた地質構造解析に先立ち、データ品質の改善を目的として基礎物理探査「新潟沖 3D」の PSTM（Pre-Stack Time Migration）断面図に対して再処理を実施した。基礎物理探査「新潟沖 3D」では水深が浅く海底面に起因する短周期多重反射波が顕著なため、堆積層内の構造把握が困難であることから、重合後データの再処理作業として多重反射波抑制処理を行うことで、短周期多重反射波の抑制を図った。

重合後の多重反射波抑制処理の手法として、Zero Offset Demultiple（以下、「ZOD」と称する。）を適用した。ZOD は海底面の走時分だけ時間シフトした重合後断面記録を多重反射波の予測モデルとし、予測した多重反射波成分を実際の記録と整合するようにマッチングフィルターを用いて振幅と位相を調整した後に、抑制対象の断面記録から引き算することで多重反射波成分を抑制する。ただし、ZOD では多重反射波の予測に時間シフトを用いているため、ゼロオフセットでの反射波走時が垂直である必要があることから、海底面地形の変動が大きいと予測される多重反射波成分の誤差は大きくなり抑制効果が低下する。

再処理結果を以下のようにまとめた。

1) 既存結果と比較することで反射波と多重反射波の同定が可能である。
   対象海域では海底地形の変化は十分に小さいことから、重合後多重反射波抑制処理で予測された多重反射波の誤差は小さいと考えられ、この手法で抑制された成分は多重反射波であり、残存した成分は反射波である可能性は高い。よって、再

処理適用前後の断面図を比較することで、反射波と多重反射波を同定することが可能である。

2) 浅部で多重反射波の消え残りがみられる。

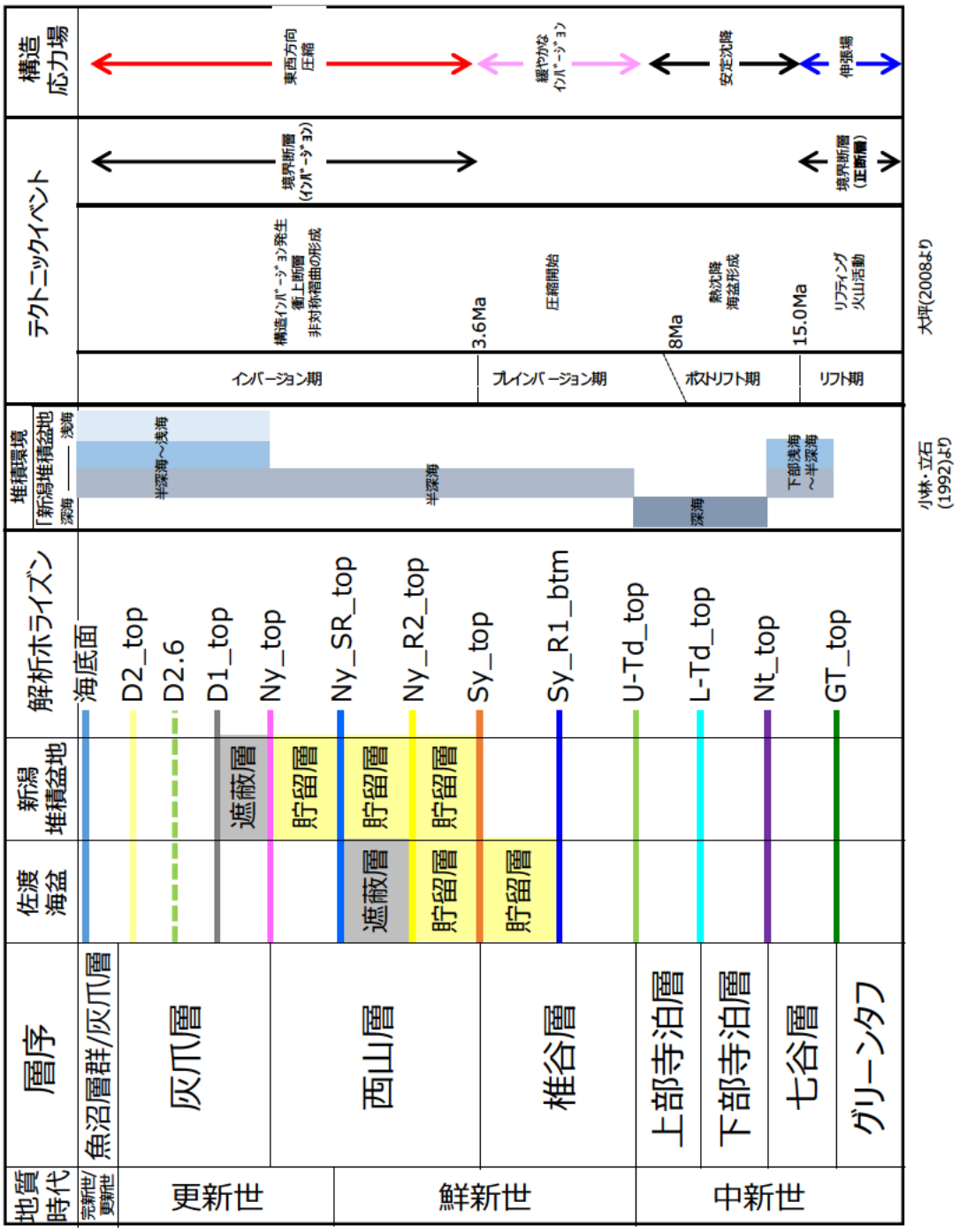
浅部において短周期多重反射波の消え残りがみられるため注意を要する。対象海域では水深が浅く、海底面反射波が広角反射波として取得されたため、多重反射波の予測に誤差が生じ、これにより消え残りが発生したと考えられる。高周波数成分ほど補正が困難となるため、高周波数成分が消え残ったものと考えられる。一方、深部では高周波数成分が減衰するため、短周期多重反射波の消え残りは目立たなかったものと考えられる。

3) 反射波の振幅に注意を要する。

一部で反射波の振幅が弱まっている箇所がみられる。ここで用いた多重反射波抑制処理は重合後の処理であるため、反射波と多重反射波がほぼ同じ時間と傾斜で存在する場合は、両者を完全に分離することは困難であり反射波を損傷することになる。再処理結果を使用する際は、反射波の振幅の取り扱いについては注意を要する。

(6) ホライズンの選定

図 4.5-6 に地質総括図および解析ホライズンを示す。本作業で設定したホライズンは、下位より、GT_top、Nt_top、L-Td_top、U-Td_top、Sy_R1_btm、Sy_top、Ny_R2_top、Ny_SR_top、Ny_top、D1_top、D2_top、海底面の 12 ホライズンである。堆積相解析のためのサブホライズンとして、D1_top ホライズンと D2_top ホライズンの解釈ホライズン間に D2.6 ホライズンを設定した。



注 1）小林・立石（1992）[17] より引用、加筆
注 2）構造運動：大坪（2008）[12] より引用、加筆

図 4.5-6　地質総括図および解析ホライズン

4.5.3　地質構造解析

(1)　ホライズンの追跡と地質構造

各ホライズンの反射波の連続性は 3D 探査データの範囲により異なり、基礎物理探査「佐渡海盆 3D」では良好であるが、基礎物理探査「新潟沖 3D」では特に浅海域で多重反射波の影響により不良である。基礎物理探査「新潟沖 3D」エリア A の北東端では、基盤が極浅部まで隆起しており貯留可能条件から外れることが明らかであることから解析範囲から除外した。基礎物理探査「佐渡海盆 3D」エリア A の南西端は大規模な逆断層が顕著に発達し、構造的に不安定で貯留可能域が抽出できないことが明らかであることから解析範囲から除外した。

民間坑井の近傍を通る 2D 探査データ（海上基礎物理探査「西津軽～新潟沖）における反射波の連続性は、Sy_top ホライズン以浅ではおおむね良好であるが、それ以深では不良である。

GT_top ホライズンは火山岩を主体とする音響基盤上限に相当すると解釈し、反射波の連続性は上位層準に比べ劣るが、強振幅の反射波で特徴付けられる。Nt_top ホライズンおよび L-Td_top ホライズンでは局所的に強振幅の反射波が認められ、基礎試錐「佐渡沖」では火山岩マウンドを形成していると解釈した。このようなグリーンタフや火山岩マウンドに、上位層準のホライズンがオンラップする様子が多くの弾性波探査断面で確認できる。Ny_SR_top ホライズンは一部のエリアで不整合面となっており、基礎物理探査「新潟沖 3D」エリア A の北部で、上位の地層がオンラップする様子が確認できる。Ny_SR_top ホライズンから Ny_top ホライズン間は、基礎物理探査「新潟沖 3D」エリア A の北部では連続性のよい強反射波で特徴付けられるが、他のエリアではこのような特徴は確認できない。

(2)　断層評価

本作業の断層解析は、弾性波探査断面上における反射波の明瞭な変位を主な根拠とし、3D 探査データ範囲では、断面上での解析だけでなく基礎物理探査「佐渡海盆 3D」および基礎物理探査「新潟沖 3D」で作成した 3D 探査データの弾性波探査アトリビュートであるバリアンスデータを用いて、断層の平面的連続性（断層トレース）についても検討した。

解析範囲における断層は北北東－南南西方向に伸びる逆断層系で特徴付けられ、新潟堆積盆地の北部からさらに北方の範囲、および佐渡海盆の南西部に多く分布している。また新潟堆積盆地の西縁に沿って変位量の大きい断層帯が連続している。この断層帯は新潟堆積盆地の南端で二手に分かれ、一方は南南西方向に伸びて佐渡海盆に至り、もう一方は南方向に伸びて長岡平野西縁断層帯（陸域の角田・弥彦断層）に接続するものと考えられる。これ

らの特徴は、海底地形判読および海底地質情報コンパイル業務の結果と整合的である。

(3) 速度モデルの作成と深度変換

「4.5.2 (2) 使用データ」に示した弾性波探査データおよび坑井データを用いて、図 4.5-7 に示した 3D 速度モデル作成手法で速度モデルを作成した。平面グリッド間隔は 100 m、時間方向が 4 msec のサンプリングレートとした。この三次元速度モデルを基に、時間構造図および弾性波探査時間断面図の深度変換を実施した。

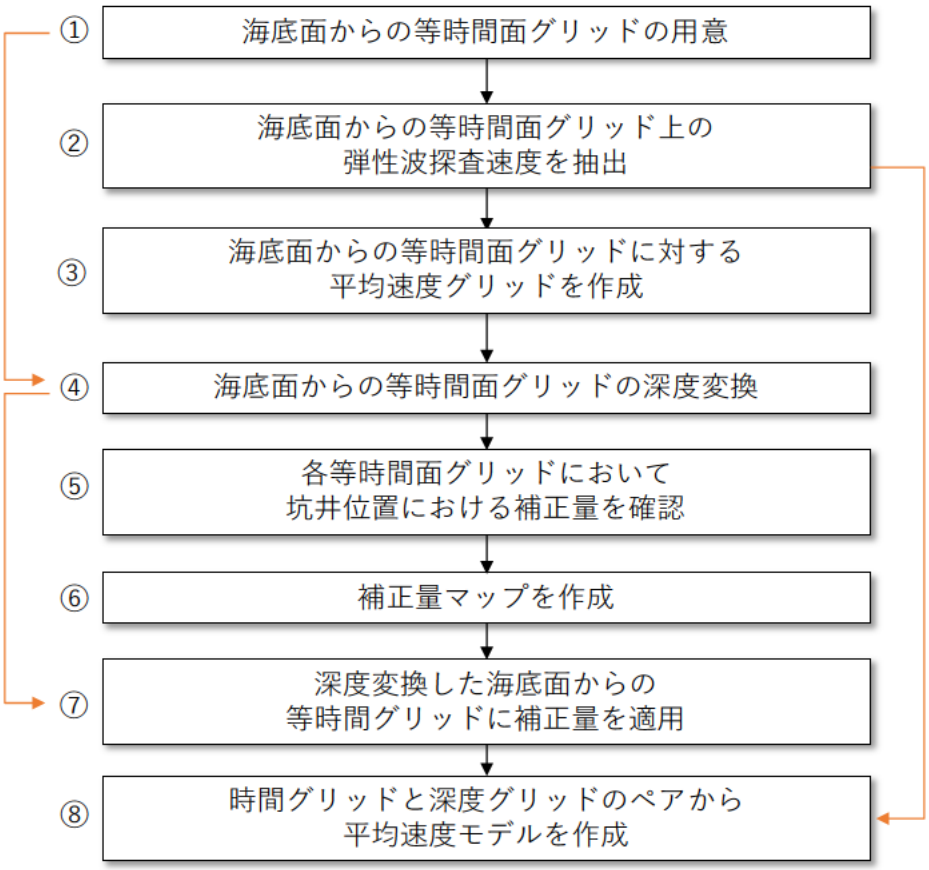


図 4.5-7 速度モデル作成フロー

(4) 時間構造図および深度構造図

GT_top ホライズンから海底面までの各ホライズンを通じて、佐渡海盆および新潟堆積盆地をなす北東－南西方向のトラフ状の低地を徐々に埋積する様子が認められる。佐渡海盆と新潟堆積盆地の間や新潟堆積盆地の西側では GT_top ホライズンが構造的高まりを形成し、Nt_top ホライズンから Ny_D2_top ホライズンにかけて所どころ無堆積となっている。また、佐渡海盆では L-Td_top ホライズンにて基礎試錐「佐渡沖」等で局所的に火山岩マウ

ンドを形成しており、同様に上位の地層が局所的に無堆積となっている。上位層準ほど構造の起伏はなだらかになっており、海底面では佐渡海盆にはトラフ状の低地が残るが、新潟堆積盆地は完全に埋積されて平坦に近い地形となっている。

(5) 層厚分布

「(4) 時間構造図および深度構造図」にて作成した時間構造図および深度構造図を基に、貯留層層準（佐渡海盆 : Sy_R1_btm～Sy_top、Sy_top～Ny_R2_top、新潟堆積盆地 : Sy_top～Ny_R2_top、Ny_R2_top～Ny_SR_top、Ny_SR_top～Ny_top）、遮蔽層層準（佐渡海盆 : Ny_R2_top～Ny_SR_top、新潟堆積盆地 : Ny_top～D1_top）の等時間層厚線図および等深度層厚線図を作成した。

Sy_R1 区間（Sy_R1_btm ホライズン～Sy_Top ホライズン）は佐渡海盆における貯留層区間の下部に相当し、全体的に薄く均一な層厚となっている。Ny_R2 区間（Sy_top ホライズン～Ny_R2_top ホライズン）は佐渡海盆および新潟堆積盆地に共通する貯留層区間であり、それぞれ南西側で厚く堆積しており、佐渡海盆では最大約 500 m、新潟堆積盆地では最大約 1,000 m の層厚を示す。Ny_SR 区間（Ny_R2_top ホライズン～Ny_SR_top ホライズン）は佐渡海盆における遮蔽層区間であり約 200 m 以上の層厚を示す。本区間は基盤の高まりや火山岩マウンドが分布する箇所では無堆積となっているが、Ny_SR_top ホライズンがオンラップしており上位に遮蔽層が分布する。

(6) 構造発達の考察

各ホライズンを平坦化した堆積時の復元深度断面図を作成し、「4.5.2(1) 地質構造および構造発達史」を参考にして、本作業の調査範囲の構造発達について考察した。

1) Nt_top ホライズン（中期中新世中期）

解析作業範囲は日本海拡大に伴い堆積盆地が発達した時期にあたり、堆積物は特に新潟堆積盆地で厚く堆積した。この頃、佐渡海盆と新潟堆積盆地を隔てる高まりはすでに形成されていた。

2) U-Td_top ホライズン（後期中新世末期）

堆積盆地の発達は継続しており、佐渡海盆でも厚い堆積物が形成された。一方、新潟堆積盆地では徐々に東西圧縮の応力場となり、インバーションによる逆断層の活動開始が認められる。

3) Sy_top ホライズン（前期鮮新世末期）

佐渡海盆の堆積中心がより南西側に移動した。一方、新潟堆積盆地では逆断層に挟まれた中央部が堆積中心となった。

4）Ny_top ホライズン（前期更新世中期）

佐渡海盆南西部でもインバーションによる逆断層の活動が顕著になり、堆積の中心は北方へと移っていった。新潟堆積盆地では引き続き、堆積物は逆断層に挟まれた中央部で厚く堆積した。

5）D2_top ホライズン（前期更新世末期）

佐渡海盆南西端ではインバージョンによる隆起・削剥が生じる一方、北側では引き続き堆積物は厚く堆積した。新潟堆積盆地では西縁の逆断層の活動が顕著になり、断層下盤側で特に堆積物が厚く分布した。

4.5.4 堆積相解析

貯留層および遮蔽層となり得る可能性のある層準は、U-Td_top ホライズン～D2_top ホライズン（以下、「対象区間」と称する。）である。本作業では堆積システムを明らかにして貯留層および遮蔽層の分布を推定するために、基礎物理探査「佐渡沖エリア A」、「新潟沖エリア A」、「新潟沖エリア B」のデータ、基礎試錐坑井データを用いて堆積相解析を実施した。図 4.5-8 に堆積相解析のワークフローを示し、図 4.5-9 に堆積相解析区間を示す。

堆積相解析の対象層準として、ホライズンの大部分の深度が貯留層として扱う下限深度である海底面下 3,000 m より浅い U-Td_top ホライズンから D2_top ホライズンまでを堆積相解析を行う区間とした。対象区間には、解釈ホライズンとして U-Td_top ホライズン、Sy_R1_btm ホライズン、Sy_top ホライズン、Ny_R2_top ホライズン、Ny_SR_top ホライズン、Ny_top ホライズン、D1_top ホライズン、D2_top ホライズンが含まれる。さらに D1_top ホライズン、D2_top ホライズンの解釈ホライズン間において、サブホライズンとして D2.6 ホライズンを設定した。ただし新潟堆積盆地においては、D1_top ホライズンより上位の 2 区間で多重反射波ノイズの影響が強く残り、堆積相解析を行える品質を有していなかったため実施できなかった。

(1) 3D 探査データを用いた解析

本解析においては、3D 探査データから作成された等層厚線図、深度構造図、アトリビュート図、さらに弾性波探査断面上で認められるラッピングパターンやサイスミックファシスの分布形態から堆積システムに関して考察を行った。アトリビュート図は区分した対象区間ごとに基礎物理探査「佐渡沖エリア A」、「新潟沖エリア A」、「新潟沖エリア B」のデータを使用して区間 RMS 振幅図、スペクトラルデコンポジション解析図を作成した。

①　区間 RMS（Root Mean Square：二乗平均平方根）振幅図

RMS 振幅は振幅値の正・負に関わらず、振幅の絶対値をある任意の区間で積算して平面的に表示するものである。振幅値の分布の形態から、堆積体の分布を推定することに有用である。本解析では振幅値が大きくなるほど暖色系になるように表示し、振幅値が小さいエリアは寒色系で表示している。

②　スペクトラルデコンポジション解析図

スペクトラルデコンポジション解析は、時間ボリュームについて、３種のスペクトラルキューブに分解し、それぞれの振幅値に赤－黒、緑－黒、青－黒のカラースケールを与えたうえで、透明度を指定し重ね合わせることでスペクトル解析を行うことができる。本手法を適用することで低周波成分から高周波成分まで振幅の特徴を包括的に把握することができ、堆積体の分布と形態を推定することに有用である。

本作業では、解析ソフトに PaleoScan を用いた。PaleoScan は、自動ホライズン追跡によりアトリビュート解析を行うソフトウェアである。まず各弾性波探査データの時間ボリュームについて、150 のホライズンについて自動ホライズン追跡を施した。次に各弾性波探査データを低周波成分、中周波成分、高周波成分の三つのスペクトラルキューブに分解した。基礎物理探査「佐渡沖エリア A」では 8 Hz、18 Hz、31 Hz とした。「新潟沖エリア A」、「新潟沖エリア B」では 9 Hz、20 Hz、30 Hz とした。作成されたスペクトラルキューブについて先に作成した 150 のホライズンを用いて RMS 振幅図を作成し、それぞれの振幅値に低周波成分に対し赤－黒、中周波成分に対し緑－黒、高周波成分に対し青－黒のカラースケールを与えて三つの周波数成分を重ね合わせて表示させた。なお、本解析は自動ホライズン追跡結果を基に作成しているので、解析範囲は地質構造解析範囲や区間 RMS 振幅図とは一致しない。

③　サイスミックファシス区分

図 4.5-10(1)、(2)にサイスミックファシス区分とそれらの堆積環境を示す。本解析では弾性波探査断面における反射波列端のラッピングパターンや振幅の強弱を参考にして、五つのサイスミックファシスに区分した。本作業では一般的な深海の堆積セッティングのファシスモデル[18)、19)]と照らし合わせ、堆積システムの推定を行った。各解析区間において RMS 区間振幅図、スペクトラルデコンポジション解析結果、弾性波探査断面の特徴を確認しながらサイスミックファシスマッピングを行った。

1）ファシス CH-D

3D 探査断面において強い振幅の反射波で、垂直・水平方向に不連続で側方に

せん滅し下に凸の形状を示す。またアトリビュートマップでは顕著に蛇行している様子を確認できる。これらの特徴から本ファシスは深海チャネル充填堆積物であると解釈できる。また大きく蛇行することから深海における堆積盆底で堆積したと解釈できる。

2) ファシス CH-S

3D 探査断面において強い振幅の反射波で、垂直・水平方向に不連続で側方にせん滅し下に凸の形状を示す。CH-D ファシスより小規模である。またアトリビュートマップでは直線的に分布していることが確認できる。本ファシスの周辺や下流側ではファシス LB を伴って分布することが多い。これらの特徴から本ファシスは深海成重力流堆積物のチャネル充填堆積物であると解釈できる。直線的に分布することから海底面の傾斜が比較的顕著な陸棚斜面から堆積盆底で堆積したと解釈できる。

3) ファシス LB

3D 探査断面において反射波が平行で連続的な特徴を示す。強振幅として認められ側方へせん滅する。また砂岩優勢砂岩泥岩互層が卓越することから深海成重力流堆積物であるシート状タービダイトが発達するローブ部に相当すると解釈できる。また CH-D ファシスに伴って出現する場合は、深海チャネルからの溢れ出しに相当する自然堤防で堆積した粗粒物であると解釈できる。

4) ファシス MTD

3D 探査断面において弱い連続性を示し、多くの小断層が認められる特徴を示す。またファシス基底に浸食面が認められることもある。これは陸棚斜面から堆積盆底に発達する海底地すべり堆積物に相当すると解釈できる。

5) ファシス SL-BF

3D 探査断面において反射波の振幅が小さく、不連続で混沌とした反射波で特徴づけられる。泥質岩が卓越し陸棚斜面から海盆底で堆積した細粒物に相当すると解釈できる。

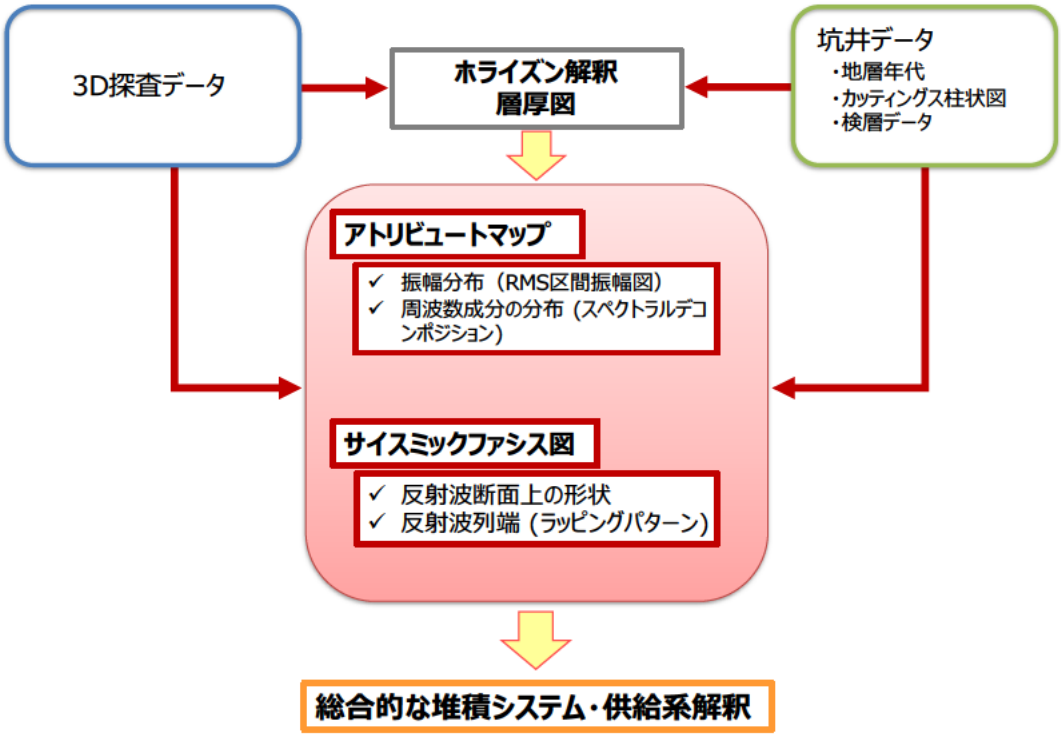


図 4.5-8　堆積相解析のワークフロー

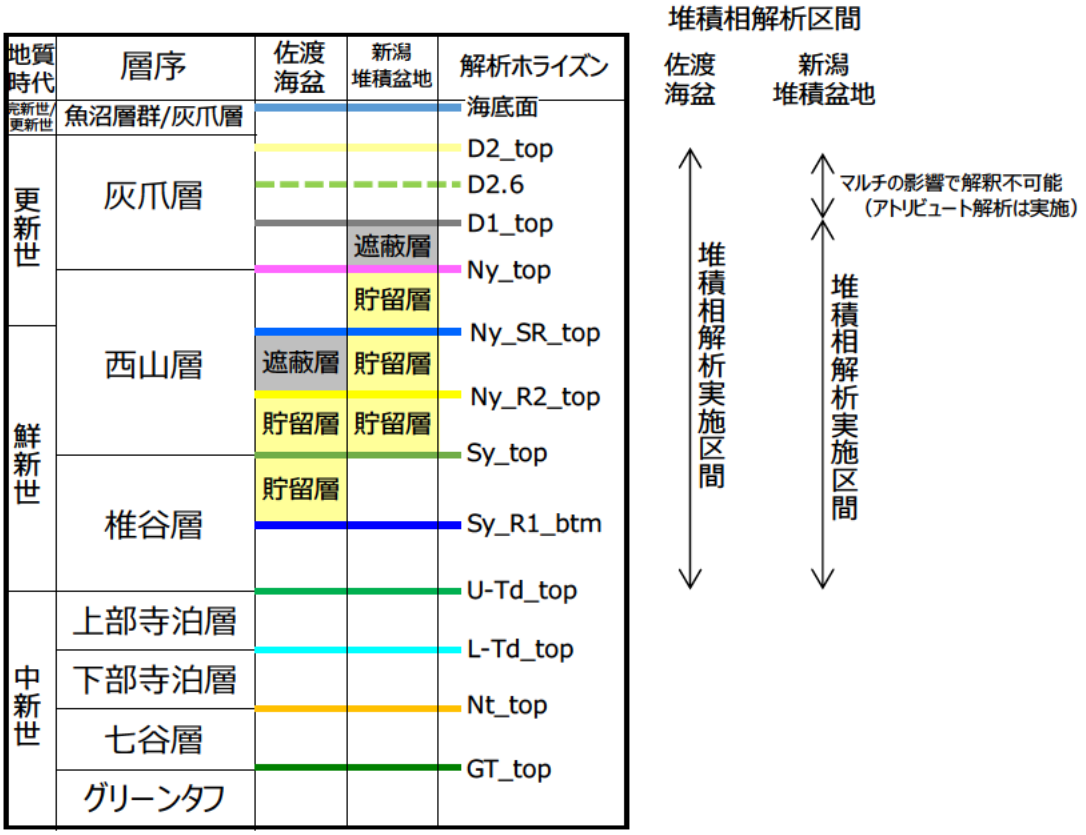
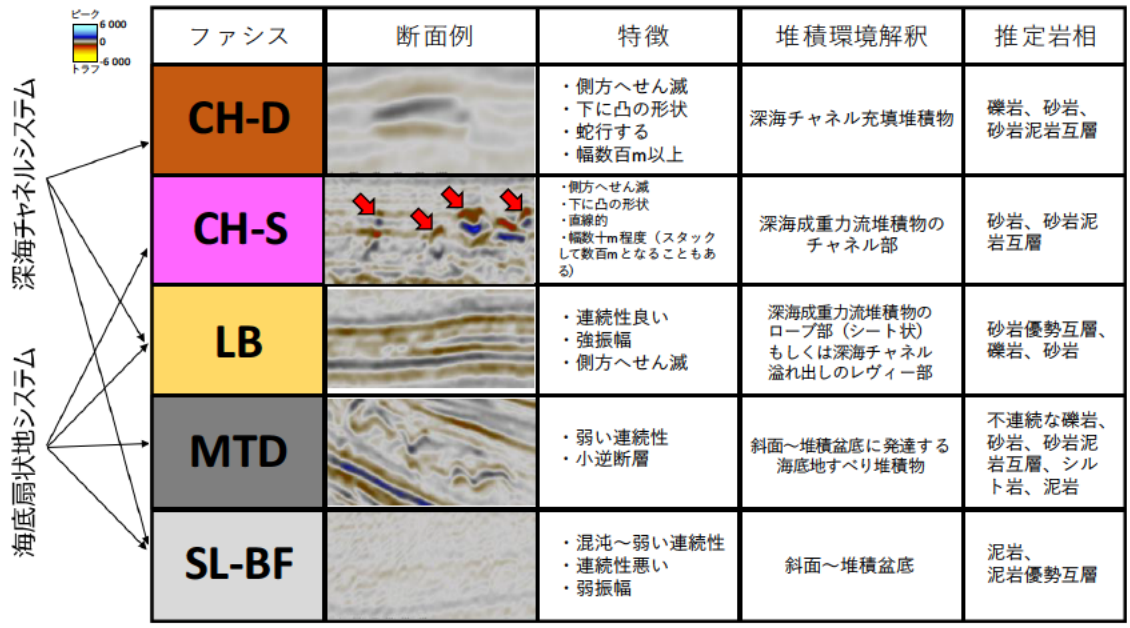
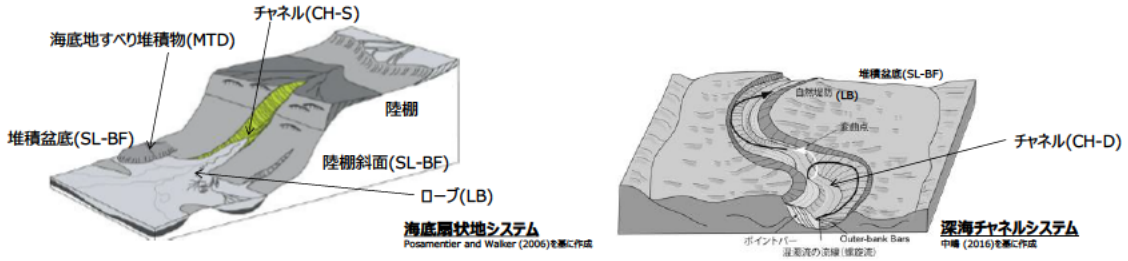


図 4.5-9　堆積相解析の実施区間



ファシス	断面例	特徴	堆積環境解釈	推定岩相
CH-D		・側方へせん滅 ・下に凸の形状 ・蛇行する ・幅数百m以上	深海チャネル充填堆積物	礫岩、砂岩、 砂岩泥岩互層
CH-S		・側方へせん滅 ・下に凸の形状 ・直線的 ・幅数十m程度（スタックして数百mとなることもある）	深海成重力流堆積物のチャネル部	砂岩、砂岩泥岩互層
LB		・連続性良い ・強振幅 ・側方へせん滅	深海成重力流堆積物のローブ部（シート状）もしくは深海チャネル溢れ出しのレヴィー部	砂岩優勢互層、 礫岩、砂岩
MTD		・弱い連続性 ・小逆断層	斜面～堆積盆底に発達する海底地すべり堆積物	不連続な礫岩、 砂岩、砂岩泥岩互層、シルト岩、泥岩
SL-BF		・混沌～弱い連続性 ・連続性悪い ・弱振幅	斜面～堆積盆底	泥岩、 泥岩優勢互層

図 4.5-10(1)　サイスミックファシス区分



注）Posamentier and Walker（2006）[18]、中嶋（2016）[19]を基に作成

図 4.5-10(2)　海底扇状地システムおよび深海チャネルシステムとファシス

(2)　ファシスの認定、堆積システムおよび供給系の解析

「4.5.4(1) 3D 探査データを用いた解析」に示した二種類のアトリビュートマップ、3D 探査データの断面、坑井データを用いて堆積システムおよび砕屑物の供給系の解析を行った。

①　佐渡海盆：U-Td_top～Sy_R1_btm 区間

本作業の調査範囲全域に広くファシス SL-BF が広がり、南西部においてファシス CH-D が認められる。ファシス CH-D は北西－南東もしくは東－西方向に発達するが、どちらの方向が供給源であるかは不明である。基礎試錐「佐渡沖」周辺では下位の火山岩体にオンラップして消滅する。

② 佐渡海盆：Sy_R1_btm～Sy_top 区間

本作業の調査範囲全域に広くファシス SL-BF が広がり、南西部において北西－南東方向にファシス CH-D が認められる。北東部においては北東－南西方向にファシス CH-D が認められる。南西部のファシス CH-D 周辺には、ファシス LB を伴う。基礎試錐「佐渡沖」周辺では下位の火山岩体にオンラップして消滅する。ファシス CH-D の流向は不明であるが、基礎試錐「柏崎沖」周辺に分布する小規模なファシス LB は佐渡堆の鞍部から北東方向へ発達する舌状の分布を示すため、佐渡堆方向に供給源が存在した可能性がある。

③ 佐渡海盆：Sy_top～Ny_R2_top 区間

本作業の調査範囲全域に広くファシス SL-BF が広がり、ファシス CH-D も全域を蛇行しながら狭長に分布する。アトリビュートマップでは蛇行の経時変化を捉えられており、ポイントバーに相当すると考えられる蛇行方向と平行な縞模様を確認できる。ファシス CH-D 周辺には、ファシス LB を伴う。ファシス CH-D の流向は不明であるが、基礎試錐「柏崎沖」周辺に分布する小規模なファシス LB は、佐渡堆の鞍部から北東方向へ発達する舌状の分布を示すため、佐渡堆方向に供給源が存在した可能性がある。

④ 佐渡海盆：Ny_R2_top～Ny_SR_top 区間

本作業の調査範囲全域に広くファシス SL-BF が広がり、ファシス CH-D は北部でわずかに認められる。南西部において明瞭なファシス MTD が認められる。その形状から北西方向へ流れたと考えられる。ファシス SL-BF について、佐渡堆から小木海脚にかけてのオンラップも顕著なことから佐渡堆や小木海脚の構造運動に伴って海底地すべり（ファシス MTD）が発達したと推定できる。また基礎試錐「柏崎沖」周辺を供給源とするファシス LB は下位に引き続き認められる。基礎試錐「佐渡沖」ではファシス SL-BF に相当する細粒相が出現し、ファシス CH-D も全域を蛇行しながら出現する。

⑤ 佐渡海盆：Ny_SR_top～Ny_top 区間

本作業の調査範囲北部ではファシス SL-BF が広がり、南部ではファシス LB とファシス MTD が卓越する。ファシス LB の中央部には、北西－南東方向のファシス CH-S が認められる。アトリビュートマップでは南東部から北西部にかけて徐々に弱振幅となることから、供給源は南東側の中越方向であると解釈できる。貯留岩となりうる粗粒物は CH-S ファシスを通じて、南東部から堆積盆中央部に運搬されたと解釈できる。基礎試錐「佐渡沖」では細粒相が卓越し、周囲は弱振幅であることからファシス LB は本井までは到達していないと解釈できる。MTD は中越側の斜面部と佐渡側の斜面部に発達し、それぞれ堆積盆地中央部

に向かって流れたと推定できる。

⑥　佐渡海盆：Ny_top～D1_top 区間

本作業の調査範囲全域に広くファシス LB が広がる。ファシス CH-S は北西－南東方向に直線的に分布し、中越側の斜面に平行に配列する。このことから中越方向を供給源とする複数のチャネルから大量の粗粒物が堆積盆地中央部に供給されたと推定できる。基礎試錐「佐渡沖」では下位区間では泥岩が卓越していたが、本区間では泥岩優勢砂岩泥岩互層となる。したがってファシス LB が坑井周辺まで到達しつつあると解釈した。MTD は佐渡側の斜面部に認められ、堆積盆地中央部に向かって流れたと推定できる。

⑦　佐渡海盆：D1_top～D2.6 区間

本作業の調査範囲全域に広くファシス LB が広がる。ファシス CH-S は、本作業の調査範囲南部において、小規模なチャネルが複数スタックし、マップ上では幅広いチャネルとして表現される。基礎試錐「佐渡沖」では、下位区間よりさらに砂岩の割合を増すためファシス LB が到達していると解釈した。

⑧　佐渡海盆：D2.6～D2_top 区間

ファシス LB の分布範囲は下位区間より拡大する。基礎試錐「佐渡沖」では砂岩優勢砂岩泥岩互層となり、ファシス LB の特徴を示している。

⑨　新潟堆積盆地：U-Td_top～Sy_R1_btm 区間

ファシス SL-BF が全域を覆う。粗粒相が到達しない静穏な環境と推定できる。北部では構造的高まりにオンラップし消滅する。

⑩　新潟堆積盆地：Sy_R1_btm～Sy_top 区間

下位区間と同じくファシス SL-BF が全域を覆う。粗粒相が到達しない静穏な環境と推定できる。オンラップは、北部、東部、南部に認められる。

⑪　新潟堆積盆地：Sy_top～Ny_R2_top 区間

本作業の調査範囲全域に広くファシス SL-BF が広がる。オンラップは、北部、西部、東部に認められる。北西部の構造的高まりを供給源とするファシス LB が認められ、特にスペクトラルデコンポジションで明瞭に確認できる。民間坑井では本区間で砂岩泥岩互層が卓越し、ファシス LB に相当すると推定できる。弾性波探査データでは本井近傍の南東部において不明瞭ながら強振幅が認められたため、ファシス LB であると解釈した。また北東部においては、小規模ながら新潟方向を供給源とするファシス LB が認められる。

⑫　新潟堆積盆地：Ny_R2_top～Ny_SR_top 区間

下位区間と同様に本作業の調査範囲全域に広くファシス SL-BF が広がる。オンラップは、北西部、北東部、西部に認められる。ファシス LB の分布は下位区間と類似するが、北西部ではやや後退し、南東部、北東部では拡大する。

⑬　新潟堆積盆地：Ny_SR_top～Ny_top 区間

ファシス LB の分布域が下位区間より拡大する。特に北西部と南東部では強振幅が顕著に認められる。民間坑井においても砂岩泥岩互層中の砂岩割合が増す。北西部、北東部、南東部からの粗粒物供給を示唆する。

⑭　新潟堆積盆地：Ny_top～D1_top 区間

ファシス LB の分布は北西部、北東部で後退する。南東部にはファシス LB が広く分布し、民間坑井の砂岩泥岩互層中の砂岩割合の増加傾向と一致する。

(3)　堆積相解析のまとめ

本作業で区分したファシスは以下のような深海の堆積環境に対比できる。ファシス LB はファン状もしくは舌状の形体を呈し、重力流堆積物のローブ相に相当する。CH-D ファシス周辺に現れる場合は深海チャネルからの溢れ出しである自然堤防相に相当する。ファシス CH-S は、チャネル状の形体を呈し、ファシス LB の供給源側に現れるため重力流堆積物のチャネル相に相当する。ファシス CH-D は深海チャネル充填堆積物に相当する。ファシス MTD は陸棚斜面から堆積盆底に発達する海底地すべり堆積物に相当する。ファシス SL-BF は陸棚斜面から堆積盆底の細粒相に相当する。したがって本作業範囲の堆積環境は深海における陸棚斜面から堆積盆底と解釈した。堆積システムは、佐渡海盆の Ny_R2_top～D2_top ホライズンと新潟堆積盆地の全解析区間においては海底扇状地システムであり、佐渡海盆の U-Td_top～Ny_R2_top ホライズンでは深海チャネルシステムであると解釈した。

4.5.5　貯留層評価

(1)　貯留層および遮蔽層の確認

「4.5.4 堆積相解析」の堆積相解析結果から、佐渡海盆において Ny_R2_top～Ny_SR_top にかけて広域にファシス SL-BF が認められ、基礎試錐「佐渡沖」では泥岩が卓越することから遮蔽層と想定した。ただしファシス MTD については、小規模な逆断層が発達することからこのエリアは遮蔽層が欠如するエリアとして除外する。Sy_R1_btm～Ny_SR_top ホライズンにおいては、ファシス CH-D とファシス LB が広域に認められることから貯留層と想定した（図 4.5-9）。

新潟沖堆積盆地において、Ny_top～D1_top ホライズンでファシス SL-BF が卓越することから遮蔽層と想定した。ただし南東部のファシス LB 分布域は、遮蔽層が欠如するエリアとして除外する。Sy_top～Ny_top ホライズンにかけては、ファシス LB が広域に認められることから貯留層であると想定した。ただし、D1_top ホライズンより上位では多重反射波ノイズの影響のため堆積相解析を実施できなかったが、弾性波探査データの記録品質が改善されれば遮蔽層や貯留層を想定できる可能性が残る（図 4.5-9）。

(2) 物理検層解析（Vclay、孔隙率）

検層解析作業には基礎試錐「佐渡沖」、「柏崎沖」と民間坑井で取得された検層データを用い、Lloyd's Register 社製ソフトウェアである IP を使用して、Vclay（Clay Volume）、孔隙率を算出し、N/G 比を求めた。

Vclay はガンマ線検層（GR）または中性子－密度検層（Neutron-Density）を用いて、坑内状況に応じそれらを使い分けて Vclay（Clay Volume）を算出した。孔隙率は中性子－密度検層を用い、坑内状況の悪い区間は音波検層を用いて孔隙率を算出した。N/G 比のネットのカットオフの閾値は、秋田沖で同様の検討がなされた平成２７年度委託事業[20]の評価に準じ、有効孔隙率が 5%以上かつ Vclay が 0.5 以下でカットオフを行い、ネットレザバーログを作成した。

また、基礎試錐「佐渡沖」のコアデータからもとめた圧密曲線の近似式は民間坑井の孔隙率検層データとも調和的である。なお基礎試錐「柏崎沖」のデータは、同坑井位置が構造運動で隆起し上位地層が削剥を受けている等、他の坑井と大きく異なるため、圧密曲線の作成データからは除外した。

(3) N/G 比

N/G 比について、物理検層解析で作成したネットレザバーログを用いて、堆積相解析で得られたファシス LB に相当する区間の平均 N/G 比を求めた。これらの結果から貯留可能量評価において、佐渡海盆では基礎試錐「佐渡沖」の平均 N/G 比を、新潟堆積盆地では民間坑井の平均 N/G 比を用いることとした。

4.5.6 貯留可能量の算定

(1) CO_2 超臨界深度

基礎試錐「佐渡沖」、「柏崎沖」の坑井データを用いて、RITE（2006）[21]に示されている CO_2 超臨界状態の条件（温度 31.1℃以上、圧力 7.38 MPa 以上）を満たす深度の検討を行った。

地層温度は、基礎試錐「佐渡沖」では地温勾配は 3.3℃/100m、基礎試錐「柏崎沖」では地温勾配は 3.1℃/100 m と推定され、CO_2 超臨界温度条件（31.1℃以上）に達する深度は海底面下約 780 m 以深と推定した。

地層圧力は基礎試錐「佐渡沖」と基礎試錐「柏崎沖」の泥水比重実績と産出テスト時に得られた貯留層圧力を等価泥水比重に換算した結果と深度のクロスプロットから、基礎試錐「佐渡沖」は平均海水面下 783 m で CO_2 超臨界条件 7.38 Mpa (=75.3 KSC) を超える (1.04 ×75.3 KSC×10 = 783.1 m、静水圧比重を 1.04 g/cm^3 と設定）。基礎試錐「柏崎沖」は平均海水面下約 700 m で 77.0 KSC となり CO_2 超臨界条件を超える。これらから CO_2 超臨界状態の圧力条件である 7.38 MPa 以上に達するのは、平均海水面下深度約 783 m 以深と推定した。

本作業の調査範囲において、CO_2 超臨界状態の条件（温度 31.1℃以上、圧力 7.38 MPa 以上）を満たす深度は、海底面下深度約 780 m 以深と推定し、貯留層区間の上限深度を海底面下深度 780 m とした。

(2)　CO_2 貯留可能量の算定式

CO_2 貯留可能量の算定には、以下に示す RITE（2006）[2 1)] の式を用いた。貯留率は構造タイプの区域では 50%、緩傾斜部タイプでは 25%の値を使用することとなっているが、本作業の調査範囲に構造タイプが認められなかったためすべて 25%を用いた。超臨界 CO_2 飽和率は中間値の 50%を使用した。

CO_2 貯留可能量 ＝ Sf × A × h × Φ × Sg / Bg CO_2 × ρ

Sf：貯留率（構造性タイプ：50%、緩傾斜部タイプ：25%）

A：貯留可能域の面積（km^2）

h：有効層厚（m）

Φ：孔隙率（%）

Sg：超臨界 CO^2 飽和率（50%）

Bg CO_2：CO_2 の容積係数（約 0.003 m^3/m^3）

ρ：CO_2 密度（標準状態で 1.976 kg/m^3）

本作業では貯留層上限および下限の深度構造図を用いた全岩容積 (Gross Rock Volume) の算出が可能であることから、上記式の一部を改編した以下の計算式を用いて CO_2 貯留可能量の算出を行った。

CO_2 貯留可能量 ＝ Sf × GRV × N/G × Φ × Sg / Bg CO_2 × ρ

GRV：全岩容積（km^3）

N/G：N/G 比

(3) 貯留可能域の検討および貯留可能量の評価

① 貯留可能域の検討

地質構造解析、堆積相解析、貯留層評価および遮蔽層評価を基に、以下の五つの条件を満たす貯留可能域を検討した。

1) CO_2超臨界状態の条件を満たす海底面下深度約 780 m～CO_2貯留層下限深度である海底面下深度 3,000 m を満たす深度範囲。
2) 遮蔽層層準を切る断層から 2.5 km 以内の範囲。
3) 遮蔽層層準となる泥岩優勢ファシスであるファシス SL-BF の厚さが 20 m 以上となる範囲かつは遮蔽層層準においてファシス CH-D、ファシス CH-S およびファシス LB が分布しない範囲。
4) 地層傾斜が 30° 未満の範囲。
5) 砂岩優勢ファシスであるファシス CH-D、ファシス CH-S およびファシス LB が分布する範囲。

佐渡海盆では椎谷層～西山層と西山層（Sy_R1_btm～Ny_R2_top）に分布する下記の 1)～4)の砂体を、新潟堆積盆地では西山層（Sy_top～Ny_top）に分布する下記の 5)～7)の砂体を貯留層可能域として抽出した。

1) 佐渡海盆：貯留可能域 1（Sy_R1_btm～Ny_R2_top）
   佐渡海盆中央部から南部に分布する砂体で深海チャネル充填堆積物と溢れ出しの自然堤防を貯留層とする。
2) 佐渡海盆：貯留可能域 2（Sy_R1_btm～Ny_R2_top）
   佐渡海盆中央部から北部に分布する砂体で深海チャネル充填堆積物を貯留層とする。
3) 佐渡海盆：貯留可能域 3（Sy_top～Ny_R2_top）
   佐渡海盆中央部に分布する砂体で深海チャネル溢れ出しの自然堤防を貯留層とする。
4) 佐渡海盆：貯留可能域 4（Sy_top～Ny_R2_top）
   佐渡海盆中央部に分布する砂体で深海チャネル溢れ出しの自然堤防を貯留層とする。
5) 新潟堆積盆地：貯留可能域 5（Ny_SR_top～Ny_top）

新潟堆積盆地中央部に分布する砂体で海底扇状地のローブ相を貯留層とする。

6）新潟堆積盆地：貯留可能域 6（Sy_top～Ny_top）

新潟堆積盆地中央部に分布する砂体で海底扇状地のローブ相を貯留層とする。

7）新潟堆積盆地：貯留可能域 7（D1_top～D2.6 区間

新潟堆積盆地北部に分布する砂体で海底扇状地のローブ相を貯留層とする。

貯留可能域評価では、堆積相解析の結果より各区間において砂岩優勢ファシスであるファシス CH-D、ファシス CH-S およびファシス LB を貯留層候補の砂体とした。各区間の上位、下位においてファシス CH-D、ファシス CH-S およびファシス LB が接する場合は、導通するものとして単一の砂体とした。

佐渡海盆で認められた貯留可能域には、海底面にリニアメントが認められるものの貯留層、遮蔽層に到達するような断層イベントは確認されなかった。佐渡海盆南西部で抽出されたリニアメントの一つは、貯留可能域 1、貯留可能域 3 および貯留可能域 4 上に表示されるが、弾性波探査断面で確認するとリニアメントは海底面の微地形を捉えており D2_top ホライズン以深の地層にはまったく影響していないと解釈できる。別のリニアメントは、貯留可能域 1 上に表示されるが、弾性波探査断面で確認すると海底面直下極浅部の地層がオンラップする位置に相当しており D2_top ホライズン以深の地層にはまったく影響していないと解釈できる。したがってこれらのリニアメントは遮蔽層、貯留層のリスクとはならないと解釈した。

なお、貯留可能域 1 上に表示されるリニアメントの南西部は活断層（F-B 断層）と解釈している資料がある（例えば、東京電力[22]、柏崎市[23]）。

②　貯留可能量の評価

本作業範囲での貯留可能量は、佐渡海盆の椎谷層～西山層貯留層および西山層貯留層合計で約 3.4 億 t、新潟堆積盆地の西山層貯留層で約 1.3 億 t と算定した。このうち、佐渡海盆の貯留可能域 1 は貯留可能量が 2.51 億 t と算出し、その他の貯留可能域は貯留可能量が 1 億 t に満たないと算出した。表 4.5-2 に貯留可能域の検討結果のまとめを示し、表 4.5-3 に本作業で抽出した各貯留層層準の貯留可能域と貯留可能量のまとめを示した。

表 4.5-2　本作業の調査範囲における貯留可能量評価の検討結果

貯留可能域		地層対比	貯留層			貯留可能量	遮蔽層		地質構造		評点
砂体番号	エリア		海底面下深度（m）	グロス層厚（m）	平均孔隙率（%）	億トン-CO2	層厚（m）	遮蔽能力（堆積環境・岩相）	構造安定度（断層など）	地層傾斜	×10^{-3}
1	佐渡海盆	椎谷層～西山層	1,892-2,306	330	26.8	2.51	300	深海性・泥岩	なし	≦10	108
2	佐渡海盆	椎谷層～西山層	2,301-2,308	180	25.5	0.66	359	深海性・泥岩	なし	≦10	0
3	佐渡海盆	西山層	2,222	163	26.0	0.10	307	深海性・泥岩	なし	≦10	0
4	佐渡海盆	西山層	1,960	278	27.6	0.08	258	深海性・泥岩	なし	≦10	0
5	新潟堆積盆地	西山層	1,788	387	28.7	0.72	639	深海性・泥岩	少ない	≦10	0
6	新潟堆積盆地	西山層	1,370-1,660	370	30.6	0.54	459	深海性・泥岩	なし	≦10	0
7	新潟堆積盆地	西山層	1,339	216	31.7	0.03	340	深海性・泥岩	少ない	≦20	0

技術要素 / 評価点数			貯留層			貯留可能量	遮蔽層		地質構造	
			深 度 (m)	層 厚 (m)	性状（孔隙率）(%)	(百万トン-CO_2)	層厚 (m)	遮蔽能力（堆積環境・岩相）	構造安定度（断層など）	地層傾斜 (deg)
評価点数	◎	1	800–2,000m	≧500	≧25	≧5,000	≧100	深海性・泥岩	断層なし	≦10
	○	0.6	800–3,000m	≧200	≧20	≧1,000	≧50	半深海性・泥質岩	断層があるが極浅部まで達していない	≦20
	△	0.3	≧2,000m	≧50	≧15	≧200	≧20	陸棚以浅・泥質岩	断層が多いが極浅部まで達していない	≦30
	△−	0.1			≧5				広域地質構造の安定度が低い	
	×	0	≧3,000m	<50	<5	<100	<20	砂質シルト岩	対象区域内に活断層あり	>30
	NA	0.5	（評価できず）				（評価できず）		（評価できず）	

注）評価点数は下表の基準[7)]に従い与えている。

表 4.5-3　本作業の調査範囲における貯留可能域と貯留可能量

堆積盆	砂体番号	Zone Top Hz	GRV km^3	面積 km^2	平均層厚 m	上面平均深度 mBSF	N/G比 Frac	孔隙率 Frac	貯留率 Frac	Sg Frac	BgCO2 Frac	CO2密度 Kg/m3	貯留可能量 億ton	貯留可能域	貯留可能量 億ton
佐渡海盆	1	R2_top	39.3	91.1	431	1,892	0.237	0.280	0.25	0.50	0.003	1.979	2.15	1	2.51
		Sy_top	7.2	31.5	229	2,306		0.255					0.36		
	2	R2_top	8.8	42.4	209	2,301		0.255					0.44	2	0.66
		Sy_top	4.5	29.7	150	2,308		0.255					0.22		
	3	R2_top	1.9	11.7	163	2,222		0.260					0.10	3	0.10
	4	R2_top	1.5	5.6	278	1,960		0.276					0.08	4	0.08
新潟堆積盆地	5	Ny_top	11.5	29.8	387	1,788	0.266	0.287					0.72	5	0.72
	6	Ny_top	2.7	10.6	255	1,484		0.307					0.18	6	0.54
		Ny_SR_top	2.8	12.3	226	1,660		0.295					0.18		
		Ny_R2_top	2.6	4.2	629	1,370		0.315					0.18		
	7	Ny_top	0.4	1.7	216	1,339		0.317					0.03	7	0.03
													合計		4.65

4.5.7　調査井の検討

ここまでの作業結果から本作業の調査範囲における調査井の掘削位置を検討した。調査井の掘削位置は佐渡海盆の基礎物理探査「佐渡沖エリア A」のデータ範囲のほぼ中央に位置し、遮蔽層および貯留層層準の全区間を掘り抜く掘削深度約 3,500 m の垂直井とした。調査井掘削位置を表 4.5-4 に示し、予想層序を表 4.5-5 に示す。

以下に、本調査井の選定理由および特記事項を記載する。

1）調査井掘削位置では、堆積相解析および貯留可能域の検討結果から大きな貯留可能量が見込める砂体番号 1 について、ファシス CH-D が解釈され良好な貯留相の分布が期待でき、その性状を調査できる。

2）調査井掘削位置では、貯留層の全区間（Sy_R1_btm～Ny_R2_top）が海底面下

深度 780 m 以深に分布し、二酸化炭素の超臨界状態安定領域内である。

3) 調査井掘削位置では、貯留層全区間が海底面下深度 3,000 m 以浅に分布し貯留層として機能しうる孔隙率を保持する深度である。

4) 調査井掘削位置では、遮蔽層が厚さ 200 m 以上と十分な厚さを期待でき、その性状を調査できる。

5) 調査井掘削位置では、周辺に断層が少ないと期待できる。

表 4.5-4　調査井掘削位置

掘削深度	3,500 m
X 座標（Easting）	282,654 m
Y 座標（Northing）	4,172,757 m

注）準拠楕円体：WGS84、投影法：UTM 54

表 4.5-5　予想層序

出現予想ホライズン	出現予想深度（mMSL）
海底面	522
D2_top	823
D2.6	988
D1_top	1,281
Ny_top	1,749
Ny_SR_top	2,151
Ny_R2_top	2,436
Sy_top	2,800
Sy_R1_btm	2,996
U-Td_top	3,255

【参考文献】

1) 石油公団、“昭和 62 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 基礎試錐「柏崎沖」調査報告書”（1987）

2) 石油公団、“昭和 63 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 基礎試錐「佐渡沖」調査報告書”（1988）

3) 国土地理院ホームページ、地理院地図（電子国土 Web）、https://maps.gsi.go.jp

4) 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構、“平成 30 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「新潟沖 3D」データ処理報告書”（2018）

5) 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構、“平成 30 年度 国内石油・天然ガス基

礎調査 基礎物理探査「佐渡海盆 3D」データ処理報告書”（2018）
6) 石油開発公団、昭和 51 年度 大陸棚石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「北海道西部～新潟海域」調査報告書（1976）
7) 日本ＣＣＳ調査(株)、“「平成２５年度 中小企業等環境問題対策調査等委託費（全国二酸化炭素貯留層基礎調査）」報告書”（2014）
8) 日本ＣＣＳ調査(株)、“「平成３０年度 二酸化炭素貯留適地調査事業」成果報告書”（2020）
9) 石油公団、昭和 62 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「西津軽～新潟沖」調査報告書（1987）
10) 岡村行信、倉本真一、佐藤幹夫、“日本海東縁海域の活構造およびその地震との関係”、地質調査所月報、第 49 巻、第 1 号、p.1-18(1998)
11) 天然ガス鉱業会、大陸棚石油開発協会、“改訂版 日本の石油・天然ガス資源”（1992）
12) 大坪誠、“新潟堆積盆地域のテクトニクス：新潟県中越沖地震および中越地震発生地域の地質学的背景”、地質ニュース、649、p.9-15（2008）
13) 宮崎浩、公手忠、秋葉文雄、深沢光、浅野清継、“岩船沖油田の地質:貯留岩分布の予察”、石油技術協会誌、52、p.173-187（1987）
14) 活断層研究会編、“新編 日本の活断層－分布図と資料”、東京大学出版会（1991）
15) 地震調査研究推進本部ホームページ、“日本海東縁部の地震活動の長期評価”、https://www.jishin.go.jp/main/chousa/kaikou_pdf/nihonkai.pdf
16) 気象庁震度データベース、https://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.html
17) 小林巌雄、立石雅昭、“新潟地域における新第三系の層序と新第三紀古地理”、地質学論集、第 37 号、p.53-70（1992）
18) Posamentier, H.W., and Walker, R.G., “Deepwater turbidites and submarine fans”, SEPM Special Publication,84, p.397-520（2006）
19) 中嶋健、“深海チャネルー自然堤防－海底扇状地システムの貯留岩形体・根源岩ポテンシャルに関する最近の知見”、石油技術協会誌、81、p.33-45（2016）
20) 日本ＣＣＳ調査(株)、“「平成２７年度 二酸化炭素貯留適地調査事業」成果報告書”（2017）
21) (公財)地球環境産業技術研究機構、“平成 17 年度 二酸化炭素固定化・有効利用技術等対策事業 二酸化炭素地中貯留技術研究会月成果報告書”（2006））
22) 東京電力ホールディングスホームページ、（原子力発電所）資料 4-2-2、

https://www.tepco.co.jp/about/power_station/disaster_prevention/pdf/nuclear_power_160930_03.pdf

23) 柏崎市ホームページ、新潟県中越沖地震の概要と対応、
https://www.city.kashiwazaki.lg.jp/soshikiichiran/kikikanribu/bosai_genshiryokuka/1/11/5270.html

4.6　地質解析と貯留適地評価（京都－福井沖）

4.6.1　概要

環境省により実施された平成２５年度環境省委託事業において、貯留可能量が 102 億 t と評価された地点である。この評価結果を受けて、平成３１年度委託事業において、既存 2D 探査データの再処理を行い、不足するデータを補う目的で令和２年度委託事業において、2D 探査データの取得を行った。これらの 2D 探査データを用いて、本業務において地質解析および貯留可能量評価を実施した。

(1)　本作業の調査範囲

本作業の調査範囲を図 4.6-1 に示す。本作業の調査範囲は、京都府および福井県沖の日本海海域で、本作業の調査範囲の南端は舞鶴市から北に約 20 km の沖合で、南北約 120 km、東西約 100 km の範囲である。本作業の調査範囲の海底地形は、陸側より水深 100～300 m 前後の若狭湾から越前堆列と呼ばれる地形的な高まりを越え、沖合に向かって水深を増す。若狭湾の沖合に位置する若狭海盆では水深 1,000 m 前後に達する。若狭海盆よりさらに沖合に位置する若狭海丘列の北側には隠岐トラフがあり、水深 1,500 m を超える。

注）国土地理院ホームページ、地理院地図[1)]を用いて作成。

図 4.6-1　本作業の調査範囲位置図

(2) 使用データ

本作業の調査範囲では、基礎物理探査および公的機関よる 2D 探査が実施されている。やや離れた位置において基礎試錐による試掘井が掘削されている。

以下に使用したデータの一覧を示す。

A) 2D 探査データ

1) 平成３１年度委託事業 基礎物理探査データ[2)、3)] 再処理データ

2) 平成３１年度委託事業 民間既存データ[4)] 再処理データ

3) 令和２年度委託事業 二酸化炭素貯留適地調査事業取得データ[5)]

B) 坑井データ

1) 基礎試錐「鳥取沖」データ[6)]

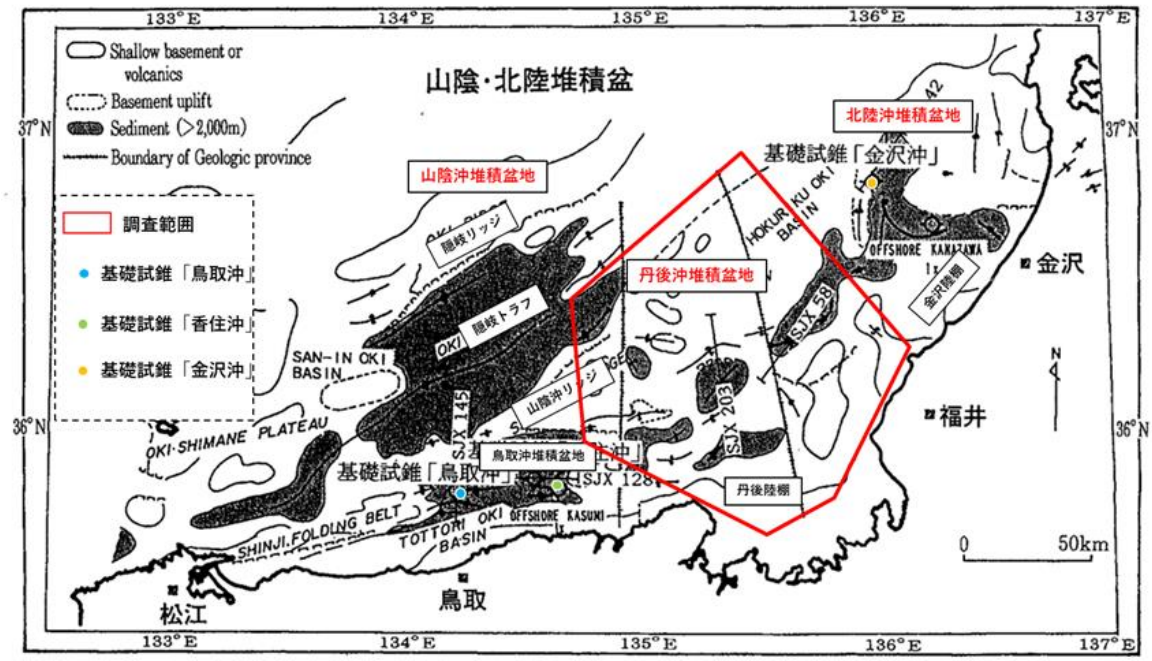
2) 基礎試錐「香住沖」データ[7)]

3) 基礎試錐「金沢沖」データ[8)]

4.6.2 地質

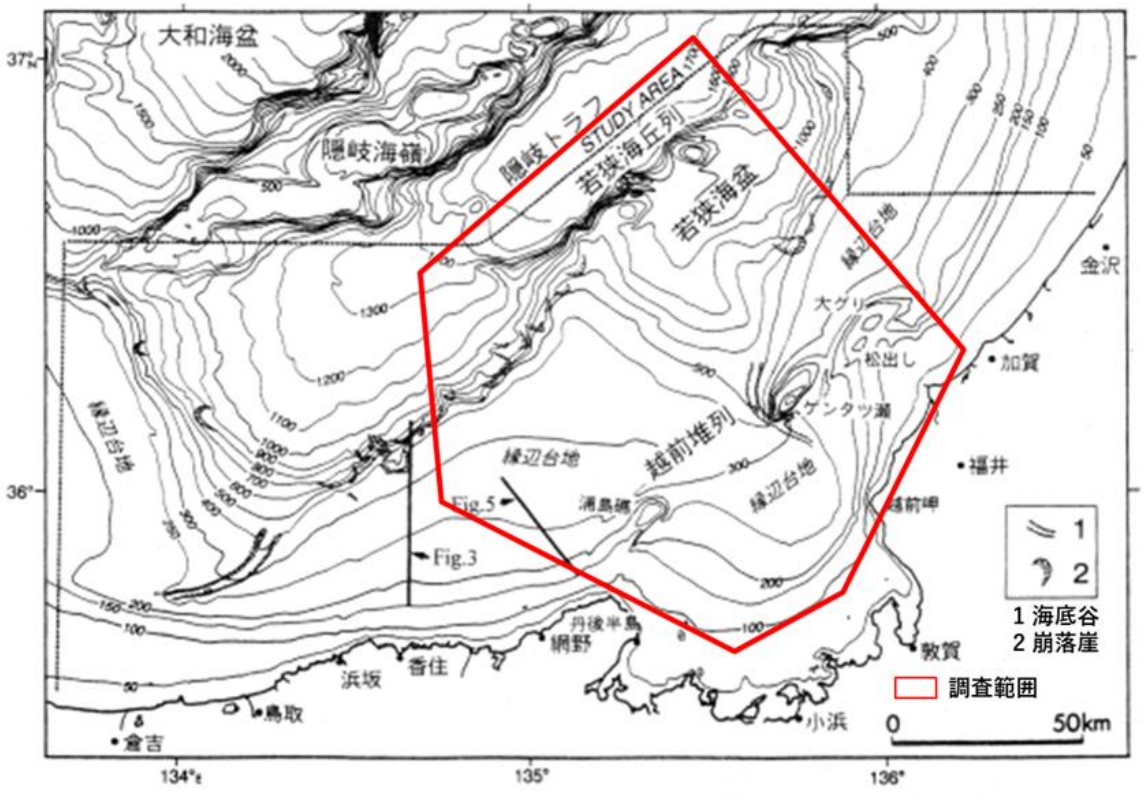
(1) 地質概要

山陰～北陸沖の堆積盆地区分は、北陸沖・丹後沖・山陰沖の三つの堆積盆地に大別される（図 4.6-2）。このうち本作業の調査範囲は、主に丹後沖堆積盆地と北陸沖堆積盆地の一部からなり、南部には丹後陸棚、東部には金沢陸棚と呼ばれる浅海域が、北部には隠岐トラフが分布する[9)、10)]。北陸沖～山陰沖の海域は、複雑な構造形態と複数の構造性堆積盆地の発達で特徴付けられ、これらを埋積する新第三系～第四系は堆積後に複雑な構造変形を被っているだけでなく、堆積様式そのものも構造運動の影響を受けており、地質構造形態の一部は、現在の海底地形にも反映されている（図 4.6-3）。2,000 m 以上の堆積物が存在するとされる区域の分布からも明らかなように（図 4.6-2）、丹後沖堆積盆地および北陸沖堆積盆地では、山陰沖堆積盆地と比べ、堆積物が厚く堆積した区域が狭く、陸棚付近は微沈降盆地であった。複雑なトレンドを持つ基盤のブロック運動による隆起帯が顕著で、褶曲構造は大局的に東－西、北東－南西の方向を示し比較的小規模である。一方、山陰沖堆積盆地等と同様に、盆地の中央部には中新世の地層が発達し、沖合にかけて鮮新世以降の地層が発達する[10)、11)]。



注）岩崎（1992）[9] の図 1 から引用し、加筆

図 4.6-2　山陰沖～北陸沖の堆積盆地区分図



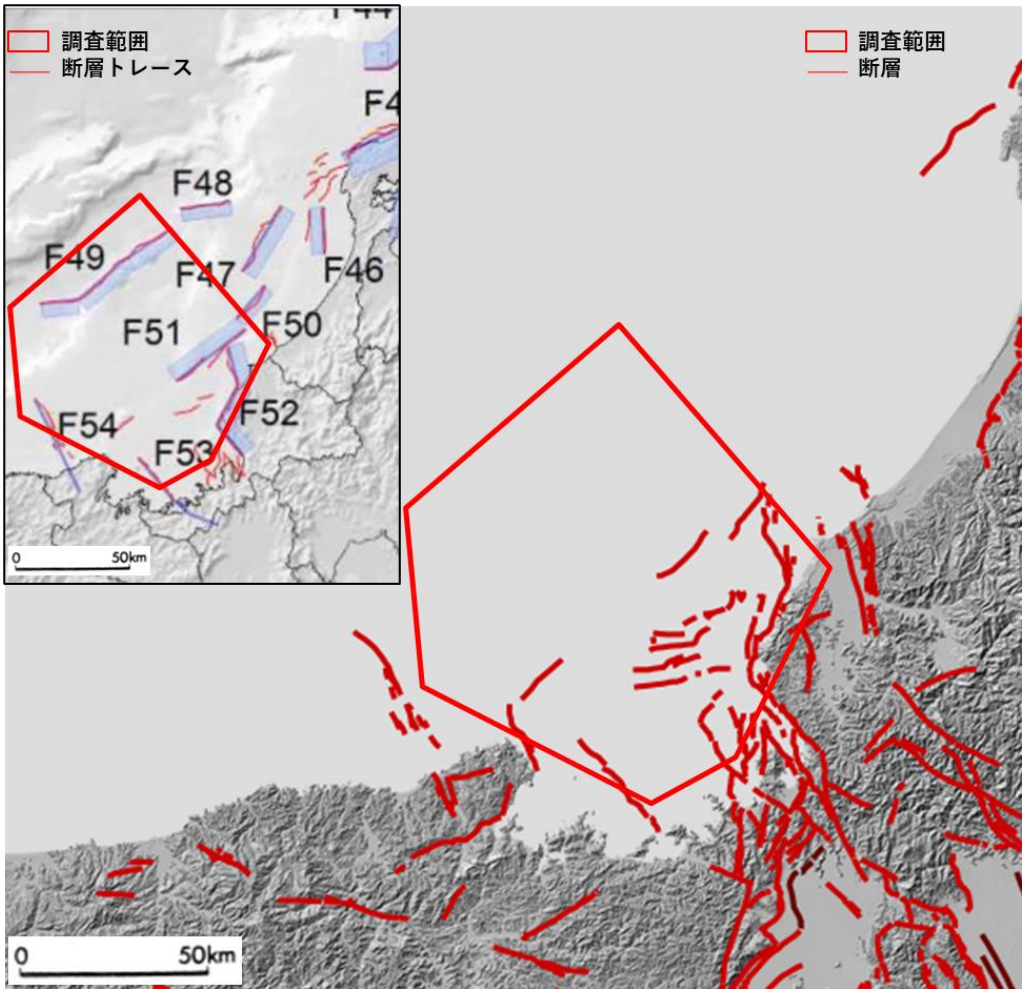
注）山本・梅田（1993）[12] の第 1 図より引用し、一部加筆

図 4.6-3　北陸沖の海底地形

やや連続性に乏しい基盤の高まりを境とする断層が雁行状に数多く発達し、それにより形成された地溝に中新世の地層が堆積した。地溝を境とする断層は、下部～中部中新統の高角不整合を成すが、一部で再活動し、上部中新統や下部鮮新統を切る場合もある[9)]。褶曲構造の形成は、鳥取沖周辺では後期中新世後半には終了したが、兵庫－京都沖周辺では、前期鮮新世まで続いたとされ[9)]、活動時期に差がある。

(2)　断層分布

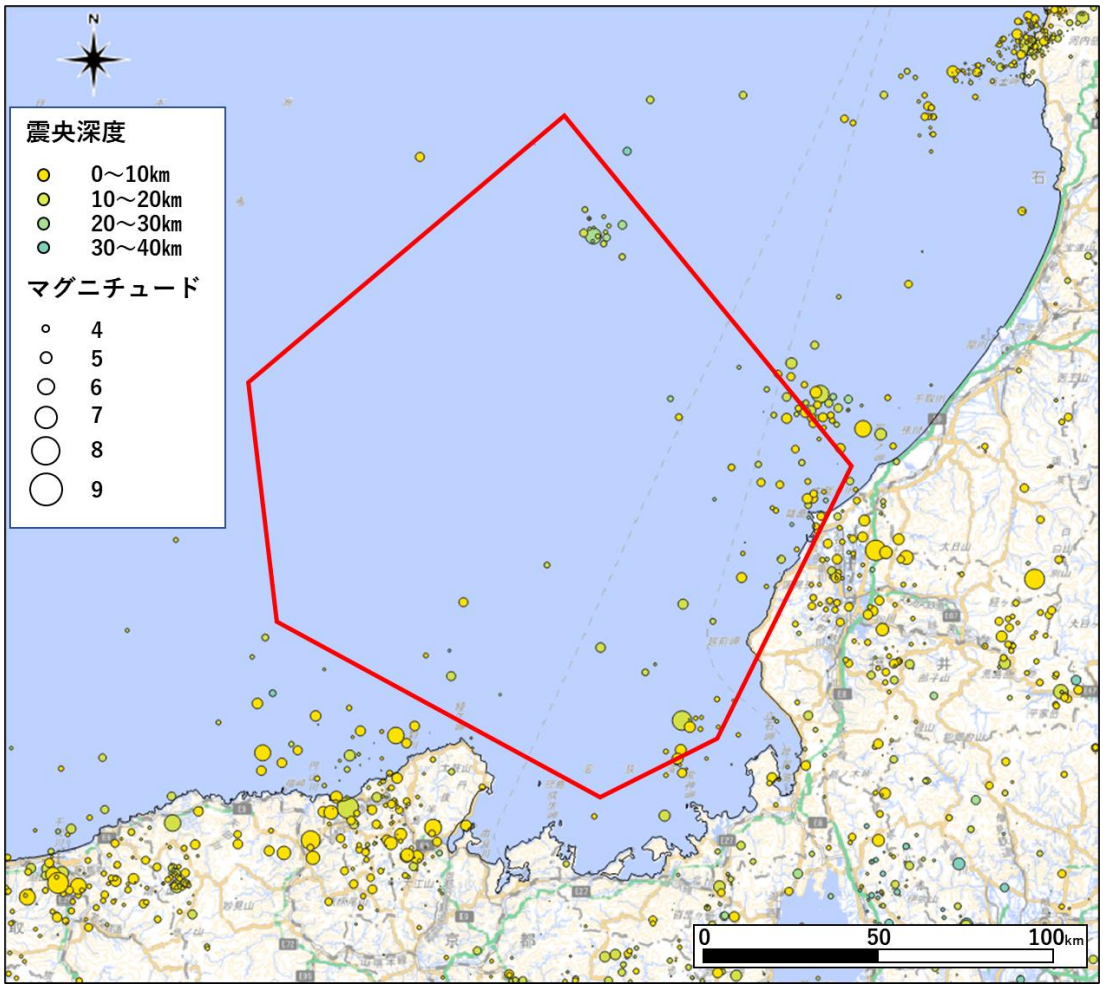
本作業の調査範囲周辺においては、特に陸域で多くの活断層の存在が示唆されている。海域においても内閣府・文部科学省「日本海における大規模地震に関する調査検討会」が海底断層トレースを行い[14)]、いくつかの活断層を認定している。これらにより、本作業の調査範囲東部では、活断層の影響が懸念される（図 4.6-4）。



産総研活断層データベース[13)]より作成し、加筆
左上：「日本海における大規模地震に関する調査検討会」資料[14)]より引用し、加筆

図 4.6-4　本作業の調査範囲周辺における活断層の分布

本作業の調査範囲周辺における 1921～2021 年の地震の発生状況は、確認された地震の大半が陸域を震源としており、その震源の深さは 20 km 以浅である（図 4.6-5）。本作業の調査範囲内の地震は、周辺地域に比べ発生した頻度は少なく、大規模な地震も少ないことから、過去およそ 100 年間にわたる地震活動は低調であるといえる。ただし、活断層の存在が示唆されており、また周辺の陸域では震源の浅い地震が頻発していることから、本作業の調査範囲で CO_2 貯留候補地を選定しようとする際には注意を要する。



注）気象庁ホームページ[15]より引用

図 4.6-5　本作業の調査範囲周辺の地震発生状況および震源分布

4.6.3　地質構造解析

(1)　坑井地質層序

本作業の調査範囲には既存坑井は存在しないが、周辺には 3 坑の基礎試錐が掘削されている。それぞれ、基礎試錐「鳥取沖」[6]、基礎試錐「香住沖」[7]、基礎試錐「金沢沖」[8]

である。表 4.6-1 に同 3 坑井における地質的特徴を示す。

表 4.6-1　周辺基礎試錐 3 坑井における地質的特徴

坑井名	特徴
鳥取沖	**中新統** 古浦層：泥岩を主体とし、細粒～極細粒の珪質砂岩の薄層を挟む。採取コアには、タービダイト相がみられる。堆積環境は漸深海帯上部。 成相寺層：オリーブ色を呈する泥岩を主体とし、下部で砂岩との互層、中部で砂岩・流紋岩質凝灰岩との互層、上部で石灰質細粒砂岩との薄互層。堆積環境は、下部で漸深海帯下部、中部～上部で漸深海帯中部～下部。 古江層下部：灰色～黒色泥岩を主体とする。堆積環境は、漸深海帯上部。 **更新統** 更新世の地層：石灰質灰色シルト岩を主体とし、砂岩の薄層を挟む。堆積環境は、外部浅海帯。
香住沖	**中新統** A 層：顕著な変質を受けた黒緑色～暗灰色の玄武岩を主体。中部で緑灰色～暗緑灰色の流紋岩溶岩を挟む。 B 層：緑灰色～暗緑灰色の流紋岩を主体。斜長石の斑晶が目立ち、顕著な珪化を受けている。 C 層：黒褐色の硬質泥岩、黒緑色～黒灰色の粗粒玄武岩、緑灰色の流紋岩および流紋岩質凝灰岩。粗粒玄武岩は硬質で、顕著な変質を受けている。 D 層：下位から D1 層と D2 層に区分され、D1 層は灰色～緑灰色の流紋岩溶岩。堅固で珪化が著しい。D2 層は主に灰色の流紋岩および淡灰色～淡オリーブ灰色の凝灰岩。流紋岩は珪化が著しい。本層の採取コアでは、一部で流理構造が発達し角礫岩状を呈する部分や、フラクチャーの発達とそれに沿ったバグ状の孔隙が認められている。 E 層：玄武岩類の火山角礫岩を主体。玄武岩は方解石化が著しい。 F 層：暗緑灰色～暗オリーブ灰色のシルト質泥岩を主体とし、一部、砂質シルト岩。堆積環境は、下部で中部半深海帯以深、上部で上～中部半深海帯。 **鮮新統** G 層：濁黄緑色の砂質シルト岩を主体とし、極細粒～細粒の砂岩層を挟む。堆積環境は上～中部半深海帯。 **更新統** H 層：下位から H1 層と H2 層に区分される。H1 層は下部が細粒～粗粒の砂岩、上部が淡灰色の硬質軽石凝灰岩。H2 層は緑灰色～帯緑灰色のシルトおよびシルト岩を主体とし、少量の極細粒～粗粒の砂および砂岩を挟む。堆積環境は上部半深海帯。
金沢沖	**中新統** A 層：黒褐色で塊状の硬質泥岩を主体とし、玄武岩質安山岩や玄武岩質のハイアロクラスタイトを多く挟む。堆積環境は、中部半深海帯。 B 層：玄武岩質安山岩溶岩や玄武岩質ハイアロクラスタイトを主体。中部に黒灰色のシルト質泥岩の薄層を挟む。 C 層：軟質なシルト質粘土岩からなり、最下部にワックス状の凝灰岩を挟む。堆積環境は、中部半深海帯。 **鮮新統** D 層：シルト質粘土岩。堆積環境は上部半深海帯。 **更新統** E 層：砂質～シルト質粘土岩を主体とし、部分的に泥灰岩を夾在。堆積環境は、上部半深海帯。

(2) 貯留層層準および遮蔽層層準

① 周辺坑井における貯留層層準および遮蔽層層準の抽出

基礎試錐「鳥取沖」[6)]、基礎試錐「香住沖」[7)]および基礎試錐「金沢沖」[8)]の地質概要、一般コア試験結果等から得られた孔隙率・浸透率のデータ等から、坑井位置における貯留層および遮蔽層層準の抽出を行った。

基礎試錐「鳥取沖」[6)]においては岩相から、成相寺層の上部と中部にみられる砂岩、および古浦層の砂岩が候補となる。これらの孔隙率は、成相寺層上部と中部の砂岩では良好な値を示すが、古浦層では低い値を示す。それぞれの砂岩の上位には、泥岩が存在しスレッショルド圧力の測定結果では、成相寺層の上位にある古江層の泥岩で約 0.5 MPa、成相寺層に含まれる泥岩で約 1.5 MPa である。これらをふまえて、基礎試錐「鳥取沖」[6)]における貯留層層準は、成相寺層上部の砂岩と、成相寺層中部の砂岩・流紋岩質凝灰岩として抽出した。

基礎試錐「香住沖」[7)]では、A～E 層は主に火山岩類、F～H 層は主にシルト岩からなる。火山岩類の孔隙率はおおむね低いものの、D2 層の流紋岩は良好な値を示すが、空気浸透率が低い値を示す。A 層・B 層の火山岩類の浸透率も、D2 層同様に、非常に低い。これらのことから、基礎試錐「香住沖」[7)]では、貯留層層準はないと判断した。

基礎試錐「金沢沖」[8)]では、東別所層＋黒瀬谷層の上部の火山岩類におけるコア分析の結果、孔隙率が 30%を超え、空気浸透率も 50 mD を超えるが、分析時にブレッチャーやマトリックス部分の剥離やクラック等が著しく生じたと考えられている。その他の火山岩部分についても非常にタイトであり、基礎試錐「金沢沖」[8)]においても貯留層層準はないと判断した。

周辺坑井においては遠方に位置する基礎試錐「鳥取沖」[6)]以外では貯留層層準となりえそうな区間が確認できなかったことから、貯留層層準および遮蔽層層準の抽出は堆積相解析結果に重きを置くことにした。

② 堆積相解析による貯留層層準および遮蔽層層準の抽出

上述のとおり、基礎試錐「鳥取沖」[6)]を除き、坑井位置においては貯留層層準の抽出ができなかった。後述する「堆積相解析」の結果から、基礎試錐「香住沖」[7)]と基礎試錐「金沢沖」[8)]に挟まれた地域に位置する本作業の調査範囲における貯留層層準として、ダークシアンホライズン～オーキッドホライズン間の下部（ダークシアン PS ホライズン～オーキッドホライズン間）、オーキッドホライズン～ブルーホライズン間の上部（オーキッドホライズン～オーキッド PS ホライズン間）、ブルーホライズン～オレンジホライズン間の 3 層準を設定した。また各貯留層層準の上位にあたるダークシアンホライズン～オーキッドホラ

イズン間（一部ではダークシアンホライズン～ダークシアン PS ホライズン間）、オーキッドホライズン～ブルーホライズン間の下部（オーキッド PS ホライズン～ブルーホライズン間）については、遮蔽層層準に設定した。また、もっとも下位に設定したブルーホライズン～オレンジホライズン間については岩相が火山岩と推定されることから参考という位置付けで解析を行った。

(3) 解析ホライズンの設定

貯留適地調査事業における通常の地質解析の場合、ホライズンの設定にあたっては、坑井において解析されたシーケンス境界や、坑井における貯留層層準および遮蔽層層準を参考にするが、本作業の調査範囲では対比可能な坑井はなく、近い範囲に掘削された坑井においても貯留層層準や遮蔽層層準が確認できていない。このため、本作業の調査範囲から既往坑井までの区間において比較的平坦である基礎試錐「金沢沖」[8)]を参照することとした。これらの資料にくわえ既往文献など[16)、17)、18)]を参考に層序総括図を作成した。

本作業の調査範囲において設定したホライズンは、下位より、オレンジ、ブルー、オーキッド、ダークシアン、ライトグリーン、グリーン、ピンク、イエロー、ブラウン、シアン（海底面）の 10 ホライズンである。後述する堆積相解析の結果、オーキッドホライズン～ブルーホライズン間にオーキッド PS ホライズンを、ダークシアンホライズン～オーキッドホライズン間にダークシアン PS ホライズンを、それぞれプロポーショナルスライスによりファシスの境界として追加した。

鳥取沖堆積盆地と本作業の調査範囲はリッジで隔てられており、特に鮮新統以下では対比が困難であるが、最上部鮮新統付近に相当する本作業の調査範囲のグリーンホライズンと鳥取沖地点の Top G ホライズンがおおむね対比できる。また本作業の調査範囲のライトグリーンホライズンと鳥取沖地点の Top F ホライズンはともに中新世と鮮新世の境界に相当するが、鳥取沖地点の Top F ホライズンは本作業の調査範囲のオーキッドホライズンに対比して解釈し、本作業の調査範囲のライトグリーンホライズン～オーキッドホライズン間については、地域間の部分的な削剥の影響で、北陸沖地域に残された上部中新統の地層であると解釈した。

(4) ホライズン追跡

図 4.6-6～図 4.6-9 に代表的な弾性波探査断面図およびその解析結果を示す。解析したホライズンから時間構造図を作成した。

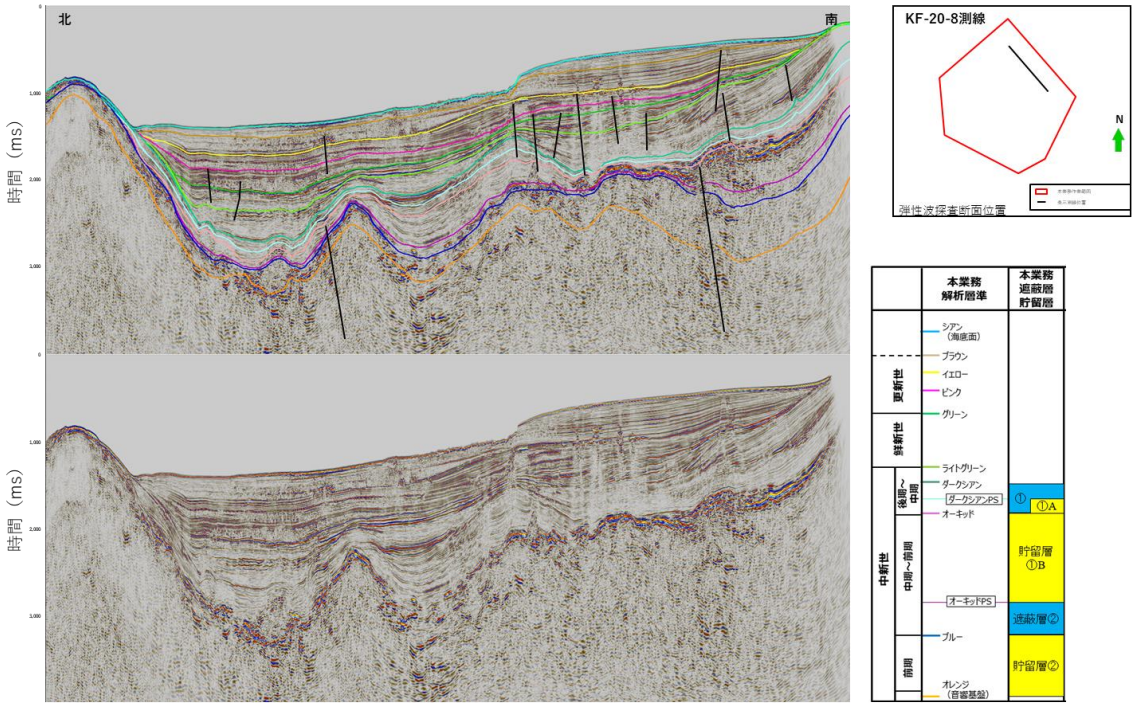


図 4.6-6　弾性波探査解析断面（南北断面の例）

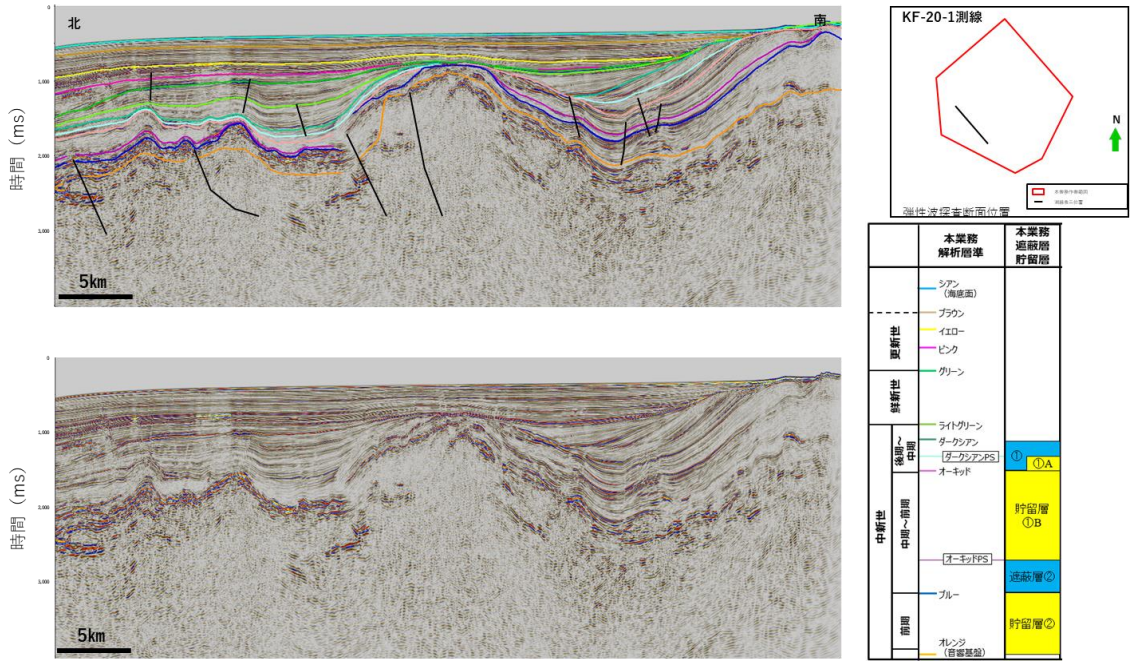


図 4.6-7　弾性波探査解析断面（南北断面の例）

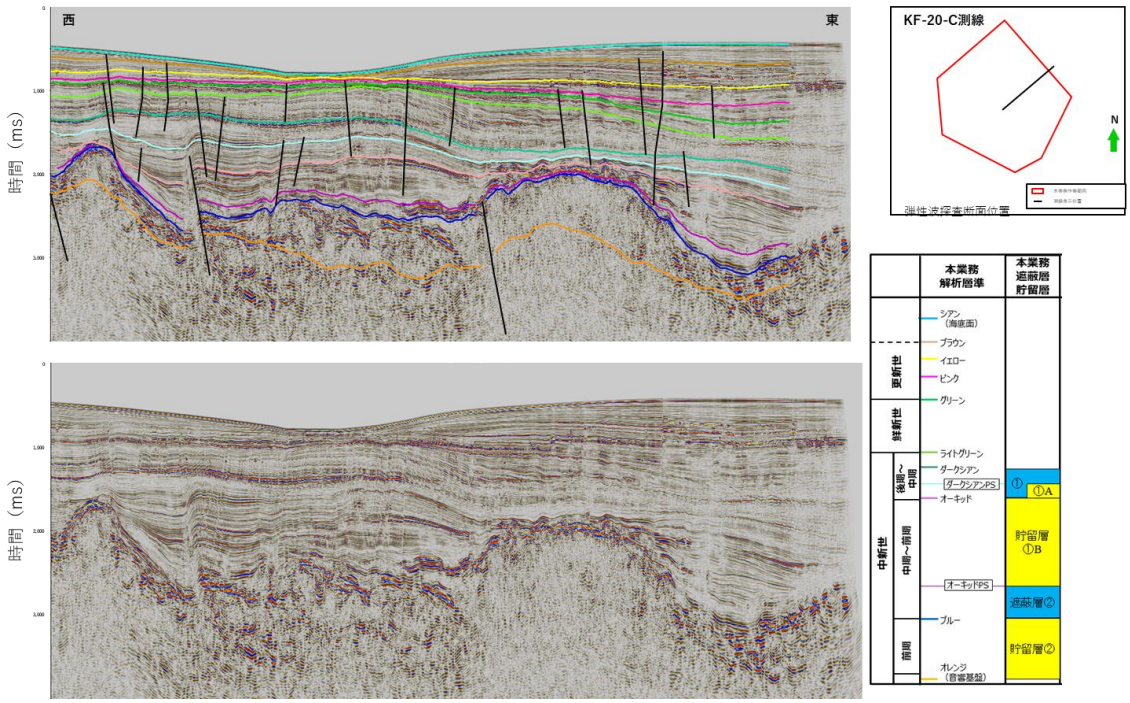


図 4.6-8　弾性波探査解析断面（東西断面の例）

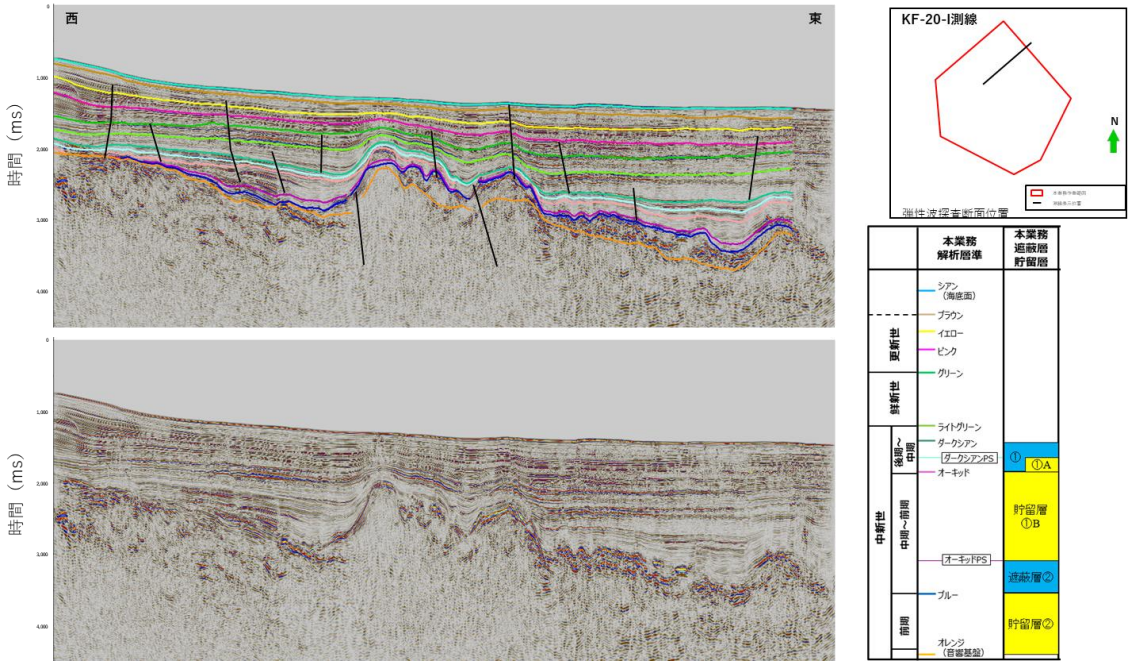


図 4.6-9　弾性波探査解析断面（東西断面の例）

反射波の連続性は、一部地域を除きおおむね良好で、特にライトグリーンホライズン以浅で明瞭である。一方、オレンジホライズンは他のホライズンと比較すると連続性が乏しく、追跡が困難であった。この原因は、上位のブルーホライズンとの間に多数確認される火山岩

や火山砕屑岩と解釈される強振幅反射波が影響している可能性が考えられる。また、浅部にガス層と解釈される強振幅反射波が散見され、この直下では反射波の連続性が乏しい。

各ホライズンは大局的に北西に向かって深くなる傾向を示し、調査対象範囲北部の隠岐トラフ周辺でもっとも深くなる。

ライトグリーンホライズン以深のホライズンでは、構造的高まりに対してオンラップする様子が多数確認できる。また、構造的高まりに向かってホライズン間の層厚が減じる様子も確認でき、中新世を通じて高まりは形成されていたと考えられる。南東部および北東部においては、オーキッドホライズン以深で削剥も確認できる。

ダークシアンホライズン以浅では、本作業の調査範囲東部を中心に、反射波が下位の地層にダウンラップしながら北西方向に前進する様子が確認できる。

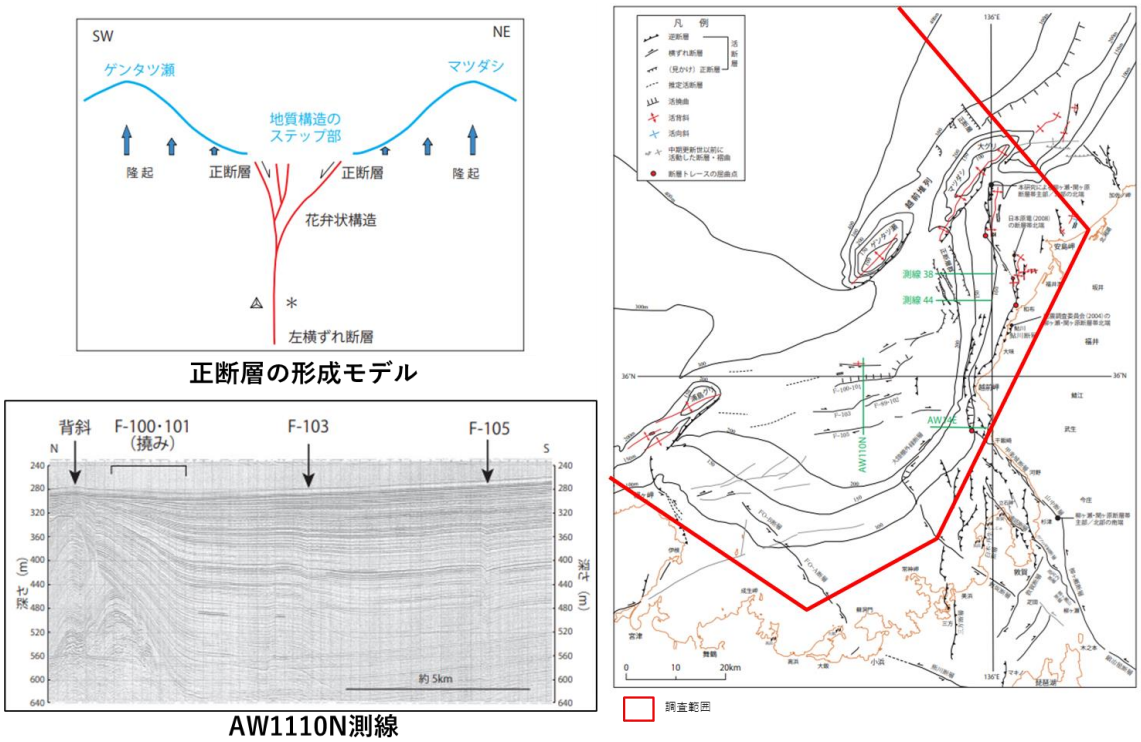
(5) 断層の分布

断層解析を実施するにあたり、弾性波探査断面上における反射波の明瞭な変位を、断層認定の主な根拠とした。逆断層については、近接する弾性波探査断面における構造変形およびその連続性を考慮した。断層の密度に対して 2D 探査測線の密度が粗いため、その連続性を追跡できなかったことから、図中において正断層を半径 2.5 km の円で表示することで測線間の断層の連続を表現するとともに、貯留可能域から断層により除外される範囲の目安とした。

断層の特徴は、大きく二つに区分される。一つ目は、ライトグリーンホライズン以深の地層の形成に大きな影響を与えた北東-南西方向および東西方向に伸びる逆断層であり、その変位量は大きく、東西方向に数～数十 km にわたり追跡できる。

二つ目は正断層で、特にライトグリーンホライズン以浅で顕著に発達する。2D 探査測線の測線間隔が粗いため、断層同士の側方への連続性についての考察は困難であった。変位量は小さいが、下位の構造的高まりの直上や、堆積盆地の中心部付近等で多く発達する。シアンホライズン（海底面）に変形をもたらすものは下位の他のホライズンに比べ、多くない。

正断層については、杉山ら（2013）[19)] によると、本作業の調査範囲内は、横ずれ断層によるものとされ、図 4.6-10 に示すように花弁状構造が確認できるとしている。杉山ほか（2013）[19)] による検討は堆積物の薄い陸棚域におけるものであるが、より沖合の堆積物が厚い区域においても同様のメカニズムにより正断層が発達するものと推定した。



注）杉山ほか（2013）[19]に加筆。

図 4.6-10　本作業の調査範囲に分布する正断層の形成モデル

(6)　深度変換

弾性波探査データ、基礎試錐「金沢沖」[8]の坑井データ、地質解析データ等を用いて、平面グリッド間隔 100 m、時間方向 4 msec のサンプリングレートとする三次元速度モデルを作成し、時間構造図および弾性波探査時間断面図の深度変換を実施した。本作業の調査範囲に対して、100 m メッシュの速度ボリュームが範囲全体をカバーするように作成し、深度変換を行った。三次元速度モデル作成の流れを図 4.6-11 に示す。

作成した速度モデルを用いて弾性波探査断面や時間構造図を深度軸に変換した。変換した結果として、図 4.6-12～図 4.6-15 に深度断面図を示す。

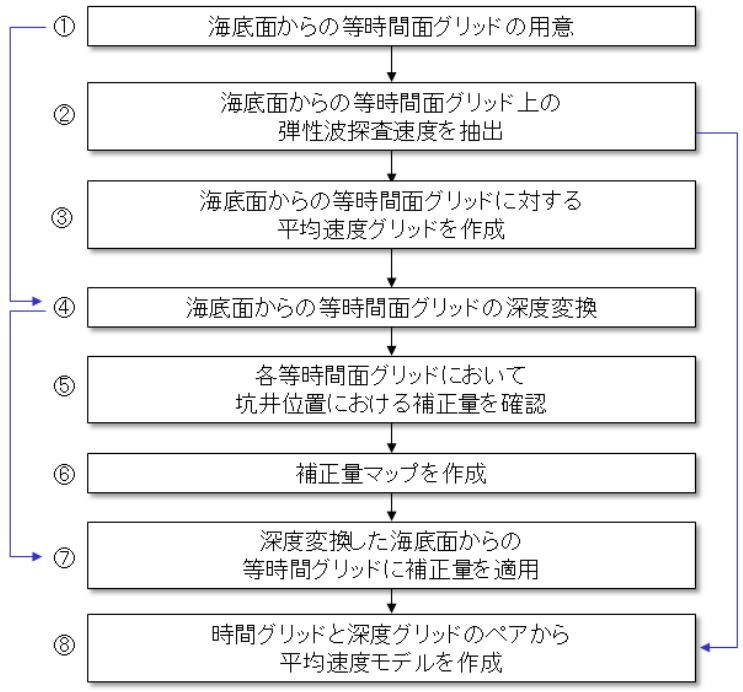


図 4.6-11　速度モデル作成の流れ

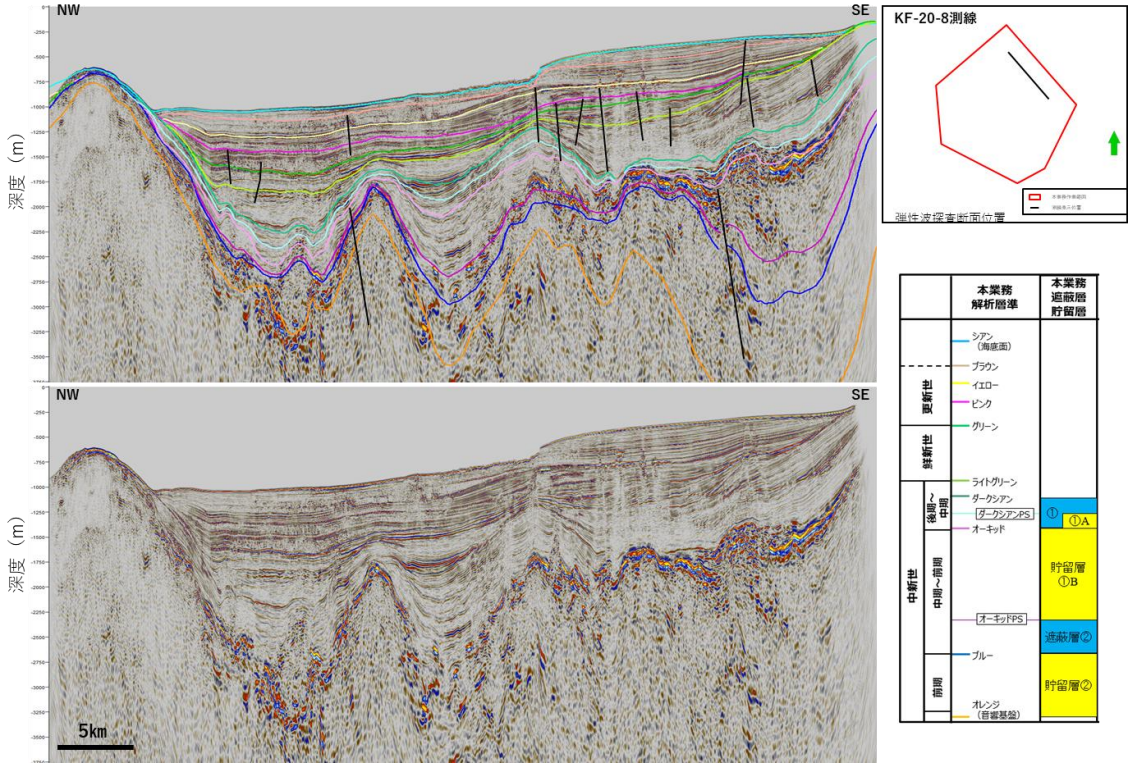


図 4.6-12　弾性波探査解釈深度断面（南北断面例）

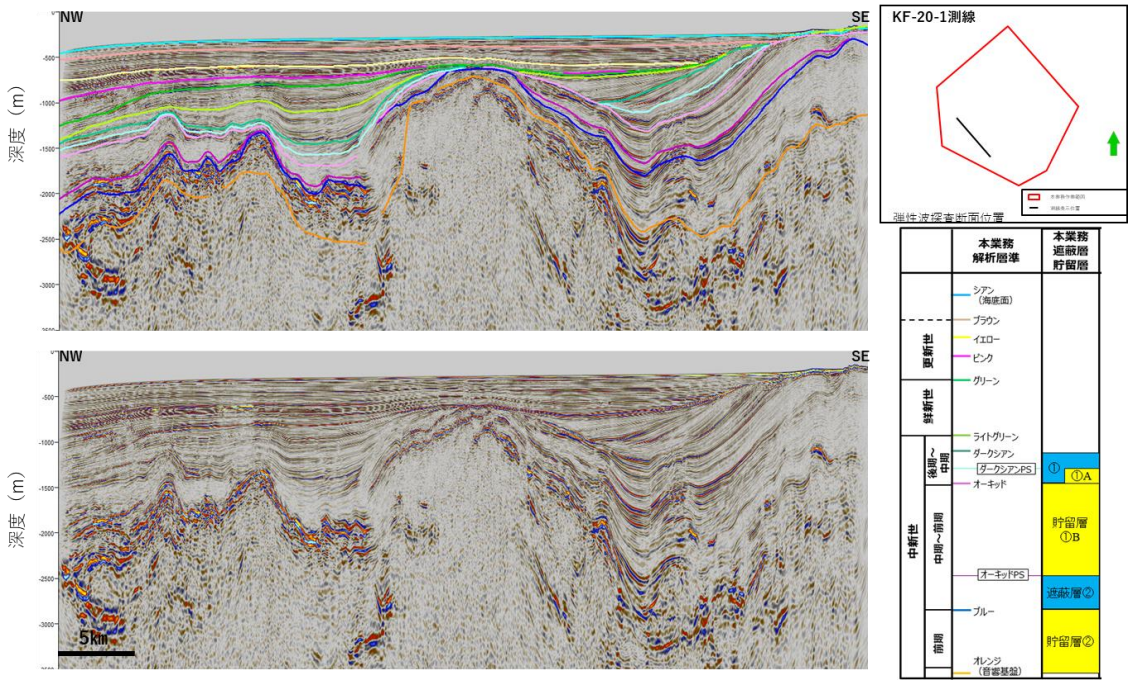


図 4.6-13　弾性波探査解釈深度断面（南北断面例）

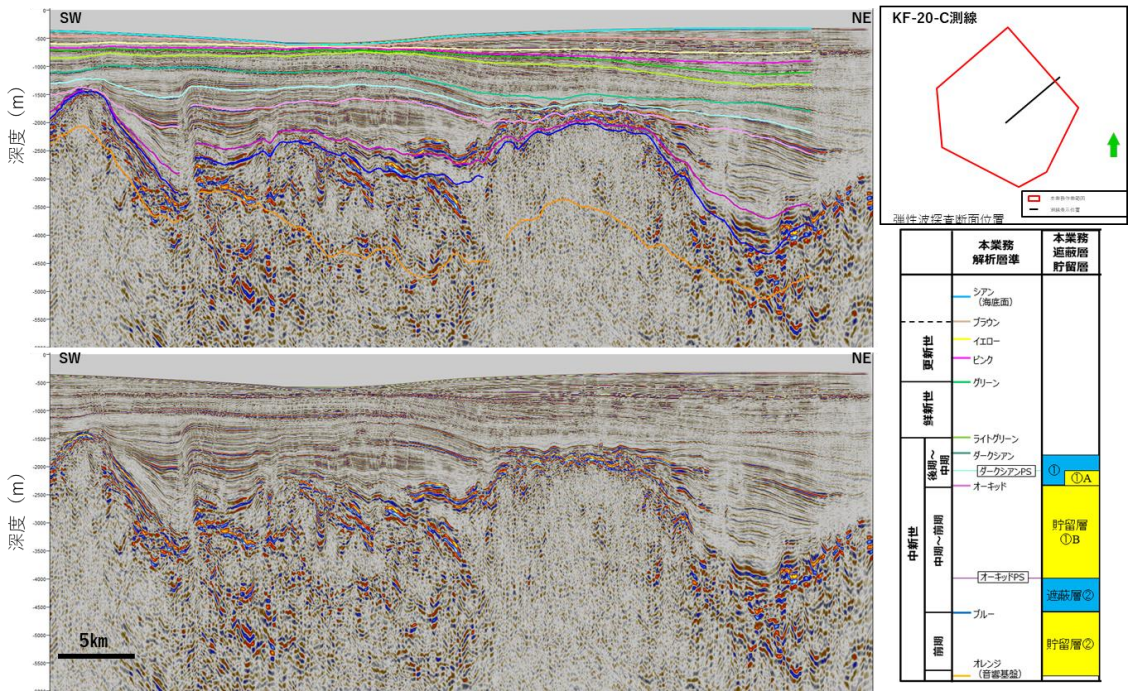


図 4.6-14　弾性波探査解釈深度断面（東西断面例）

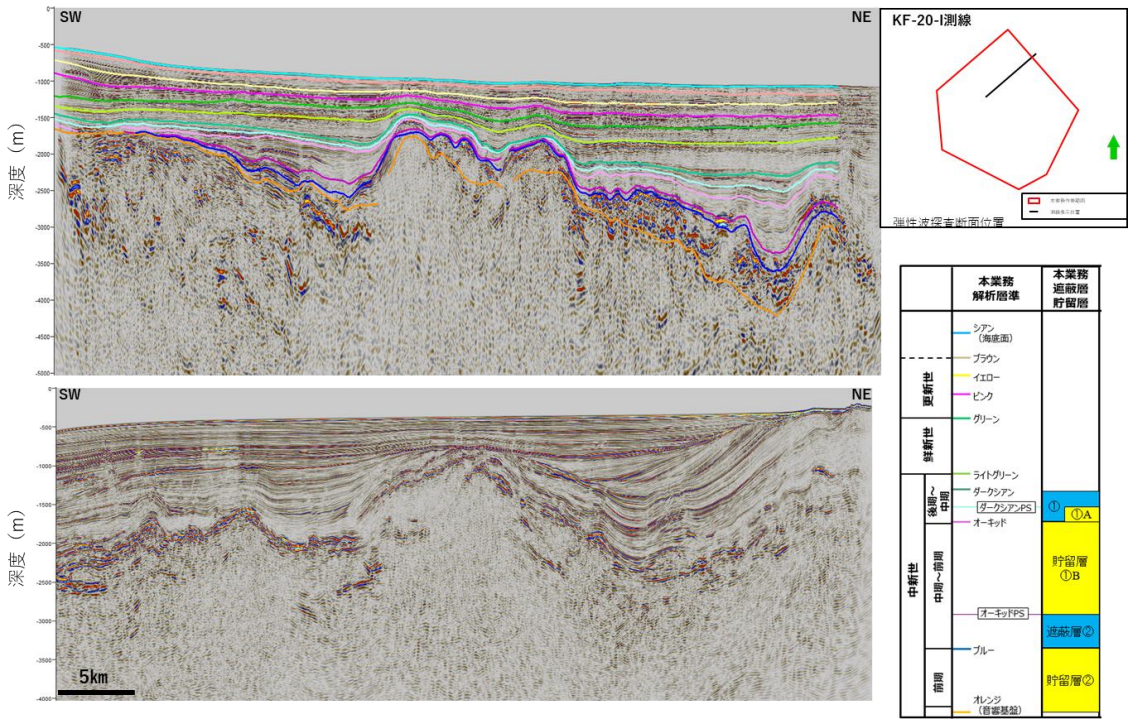


図 4.6-15　弾性波探査解釈深度断面（東西断面例）

(7)　地質構造発達史

①　等層厚線図

深度構造図を用いて、各ホライズン間の等層厚線図を作成した。ライトグリーンホライズンより深い中新世の地層については、陸域に近い区域で厚く発達する傾向がある。ライトグリーンホライズンより浅い鮮新世以降の地層については、より沖合に堆積の中心が移動していることがわかり、陸域に近い区域については、多くの区域で無堆積もしくは削剥域となっている。本作業の調査範囲において抽出した貯留層層準はライトグリーンホライズン以深であり、主に陸域に近い区域で厚く発達する傾向がある。

②　ホライズンフラットニング

各ホライズンを平坦化して作成した堆積時の復元断面図を作成した（図 4.6-16）。復元断面、等層厚線図および既往文献資料を用いて、本作業の調査範囲の構造発達について解析した。

1) ブルーホライズン：前期中新世末頃、本作業の調査範囲は日本海拡大に伴い堆積盆地が発生、発達した時期にあたり、火山活動が活発で、火山岩や火山砕屑岩等が厚く堆積した。

2) オーキッドホライズン：中期～後期中新世頃は、堆積盆地が深く沈降する傍ら、

南北圧縮の影響で、逆断層の活動が始まった。

3) グリーンホライズン：鮮新世末頃までに、南北圧縮の影響で逆断層の周辺では褶曲構造が顕著に発達し、構造的高まりの頂部では中新統の削剥が起きた。一方、褶曲構造の周辺では小盆地が多数発生し、比較的厚い堆積物により埋積され、平坦な地形が形成された。

4) グリーンホライズン以降：鮮新世末から現在に至るまで、東西圧縮に伴う横ずれ運動の影響で、浅部を中心に正断層が多数発生した。逆断層の活動による浅部への構造変形は、イエローホライズン頃までは認められ、一部では現在の海底面にまで影響を与えている。

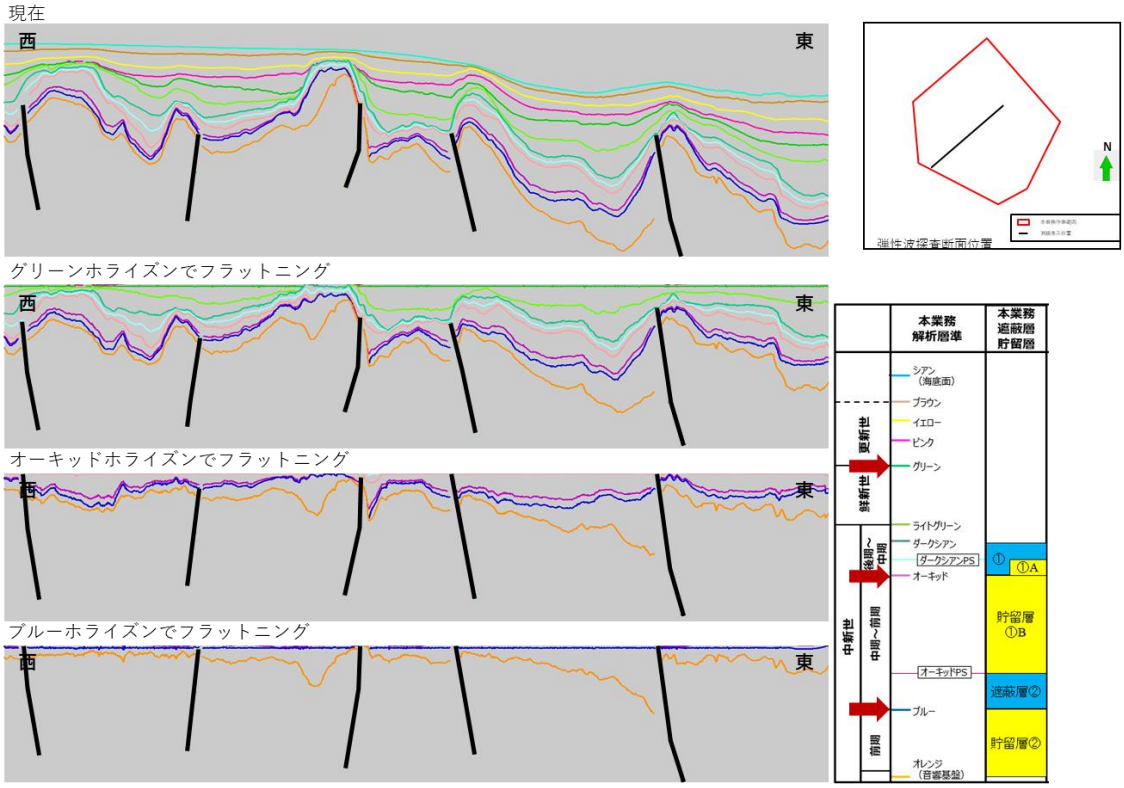


図 4.6-16　復元断面図（東西断面を使用）

4.6.4　堆積相解析

(1)　堆積相解析手法

図 4.6-17 に堆積相解析の流れを示す。まず 2D 探査断面を用いて、解析対象区間の反射波列の形状（サイスミックファシス）の区分および反射波列端のラッピングパターンをマッピングし、このマッピング結果、堆積物の層厚等を合わせてファシスマップの作成をし、堆積システムおよび砕屑物の供給系を解釈した。解釈にあたっては、ホライズンフラットニン

グを用いて堆積時の相対的な傾斜も考慮した。

①と②にサイスミックファシス解析に関する解説を記す。

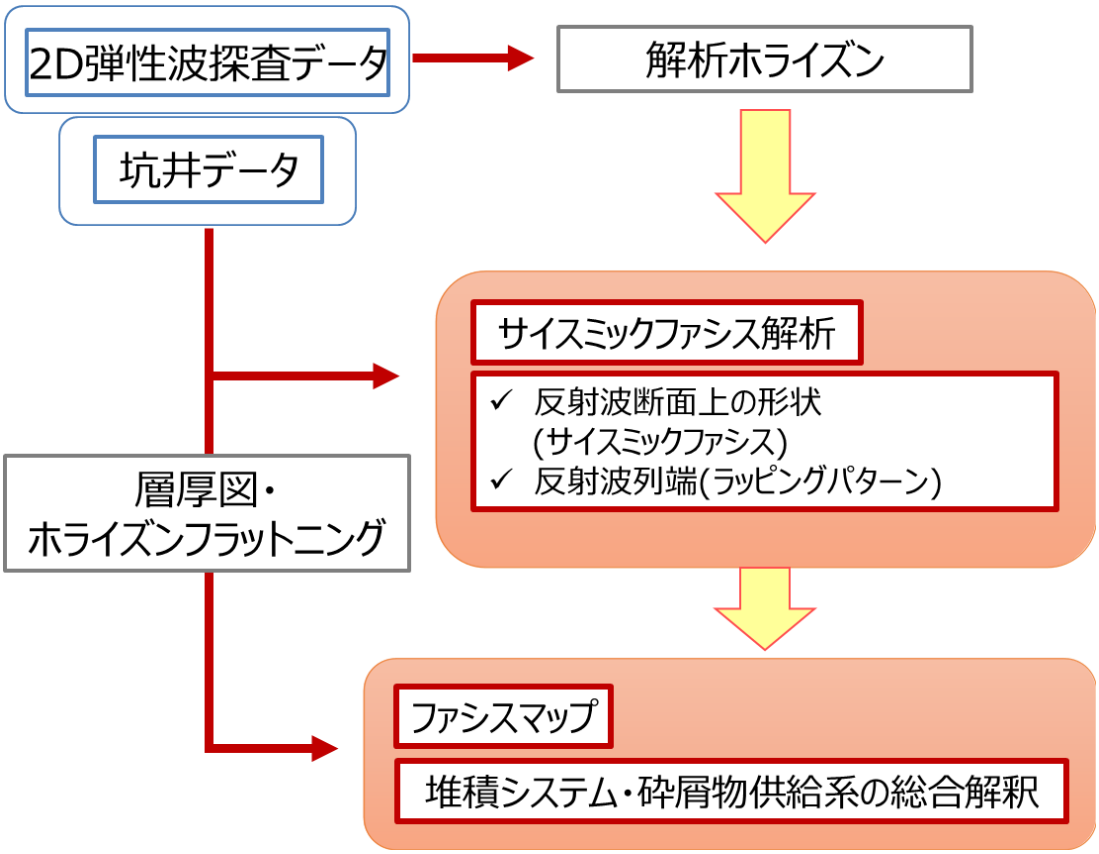


図 4.6-17　堆積相解析ワークフロー

①　反射波断面上の形状（サイスミックファシス）

サイスミックファシスは弾性波探査断面上の反射群が作る形状やパターンであり、堆積物の分布形態や堆積システムを示す重要な情報源となる。弾性波探査断面からサイスミックファシスを認定し、その分布を平面的にマッピングしたうえで、振幅の平面的分布やラッピングパターン、坑井データと統合することにより、堆積物の供給系や堆積体の分布形態を推定することができる。サイスミックファシスの区分は、令和２年度委託事業の 2D/3D 探査データの統合地質解析・貯留可能量評価（鳥取沖）[18]（以下、「鳥取沖地質解析」と称する。）を参考とし、本作業において確認できなかったファシスは除外し、本作業で新たに認定したサイスミックファシスは追加を行った（図 4.6-18）。なお、本作業の調査範囲に近い坑井データからは貯留層となりうるような、粗粒なファシスは確認されなかった。

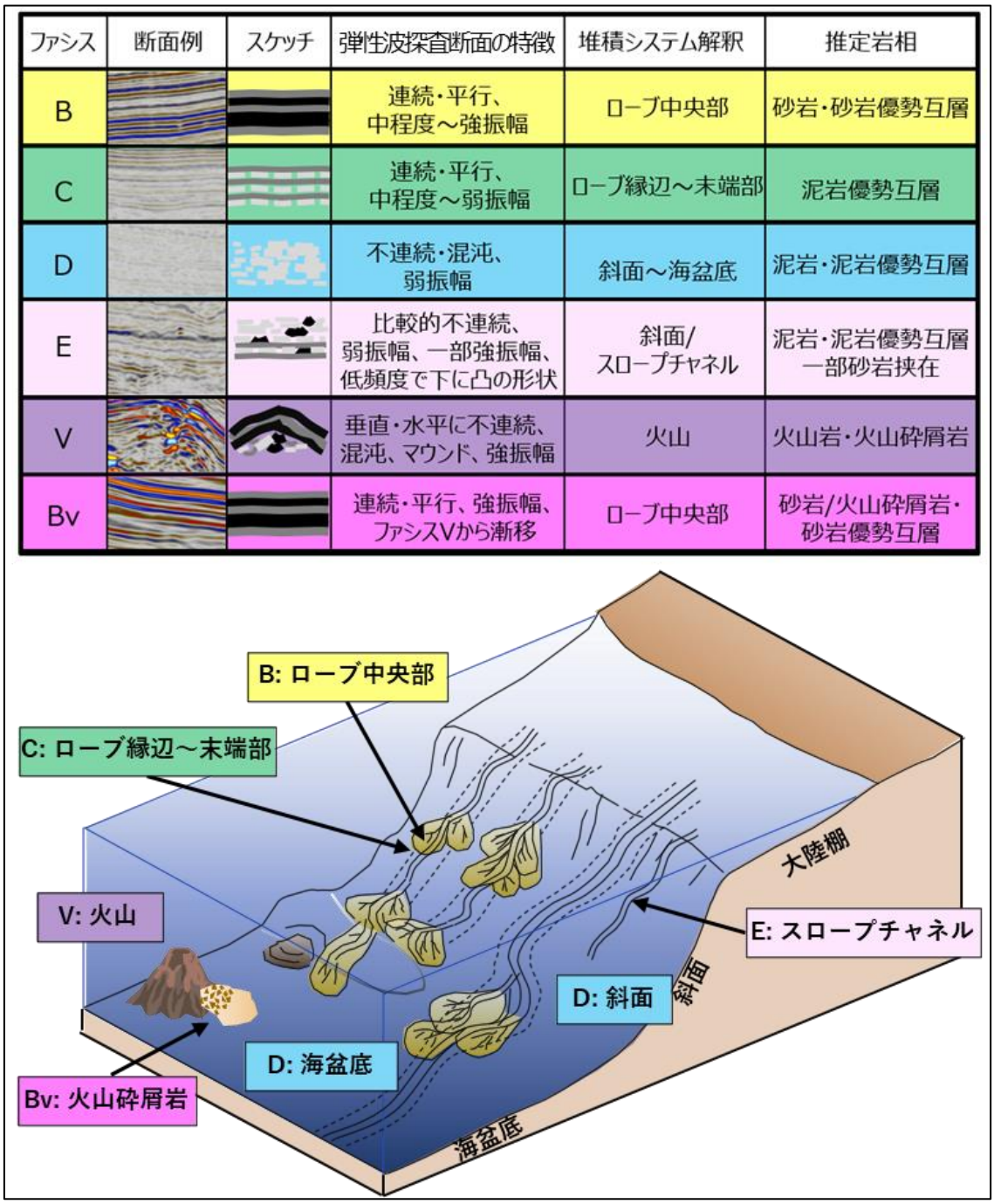


図 4.6-18　サイスミックファシス区分

②　反射波列端（ラッピングパターン）

弾性波探査断面において、反射波が他の反射波に突き当たり、収れんしている状態を反射波列端とよぶ。時間面である反射波列端のラッピングパターン（累重様式）は、地層の堆積環境や堆積システムの時空間的変遷を示していると考えられ、ラッピングパターンを解析することにより、地層の堆積環境や堆積システムの理解を深めることができる。

(2)　解釈結果

堆積相解析を実施した各区間について、堆積システム・砕屑物供給系の解析結果を記す。周辺坑井における有孔虫化石分析結果等から推測される堆積環境の変遷や既存文献の調査結果からは、全体的に中新世から更新世にかけて深海環境から陸棚環境に浅海化したことが示唆される。

①　オレンジホライズン～ブルーホライズン区間

ファシス V に代表される火山岩が卓越する区間で、その隙間を埋めるようにファシス C やファシス D 等の泥質岩優勢相やファシス Bv の火山砕屑岩等が分布する。図 4.6-19 に弾性波探査断面における解析例を示す。基礎試錐「金沢沖」[8)] における本区間相当層である黒瀬谷層では硬質泥岩が確認されており、底生有孔虫化石による堆積環境は中部半深海帯とされる。オレンジホライズン～ブルーホライズン区間には、凝灰岩や火山砕屑岩を挟在する。粗粒ファシスと考えられるファシス Bv は、ファシス V 付近から側方に漸移して存在することが多く、ファシス V に近いほど振幅が強い。大局的には細粒な泥質ファシスが堆積する環境である。火山岩は側方への岩相変化が著しいことが想定されることから、貯留適地調査事業では貯留対象としていない岩相である。

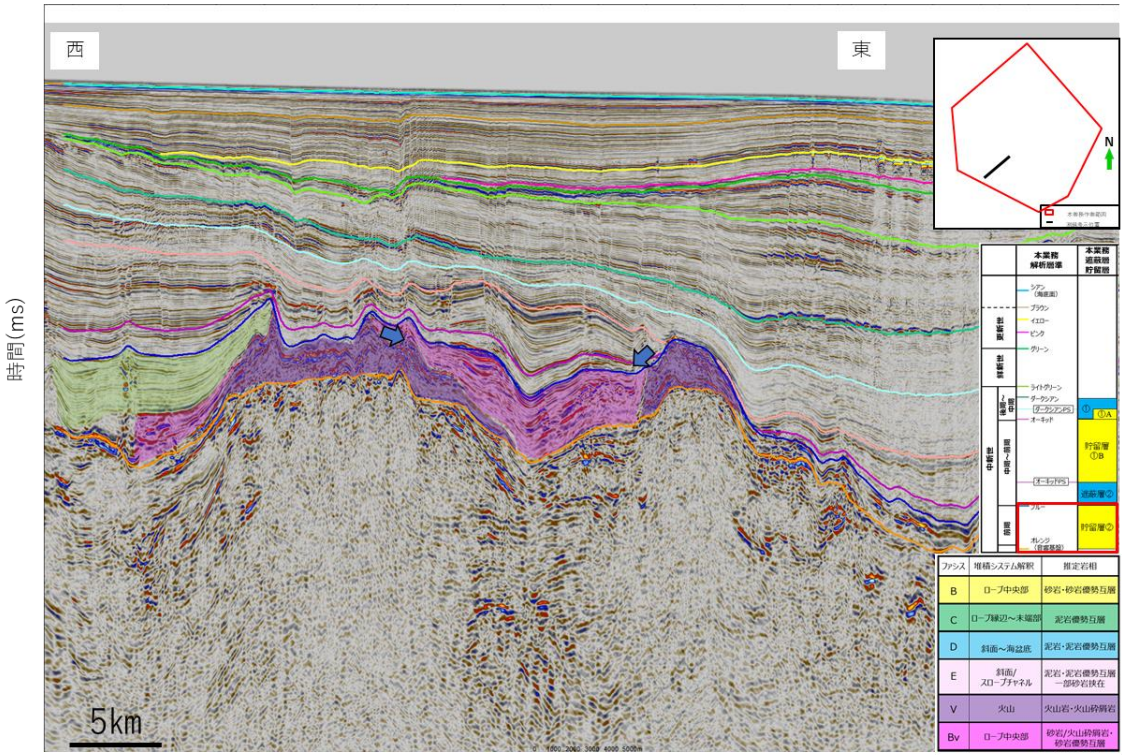


図 4.6-19　堆積相解析例　オレンジホライズン～ブルーホライズン間

②　ブルーホライズン～オーキッドホライズン区間

基礎試錐「金沢沖」[8)]では火山岩が確認されている東別所層＋黒瀬谷層に相当する。図 4.6-20 に弾性波探査断面における解析例を示す。主にファシス B の砂岩と、その側方に広がるファシス C の泥岩優勢砂岩泥岩互層からなり、一部地域ではファシス V の火山岩を確認した。ファシス B は平行で連続した比較的強い振幅が特徴で、特に陸側で厚く分布する。またファシス V の周辺では、一部強く混沌とした振幅を持つ傾向を確認した。ファシス C はファシス B と同様に平行で比較的連続した振幅を持つが、振幅はファシス B に比べて弱く、また連続性もファシス B に劣り、沖合の地域で卓越する。これらの結果からブルーホライズン～オーキッドホライズン間では、ベーズン環境で、陸側からの砕屑物の供給があると推定した。陸域に近い層厚が比較的厚い区域にファシス B が分布し、その沖側ではファシス C やその末端部が発達していることから、北西に向かって発達が弱まったと推測した。沖合の地域でみられるファシス B については、リッジや構造的高まりの周辺で、削剥にともない、小規模ながら供給された砕屑物と考えた。ファシス V の周辺は、火山砕屑岩等からなる可能性がある。

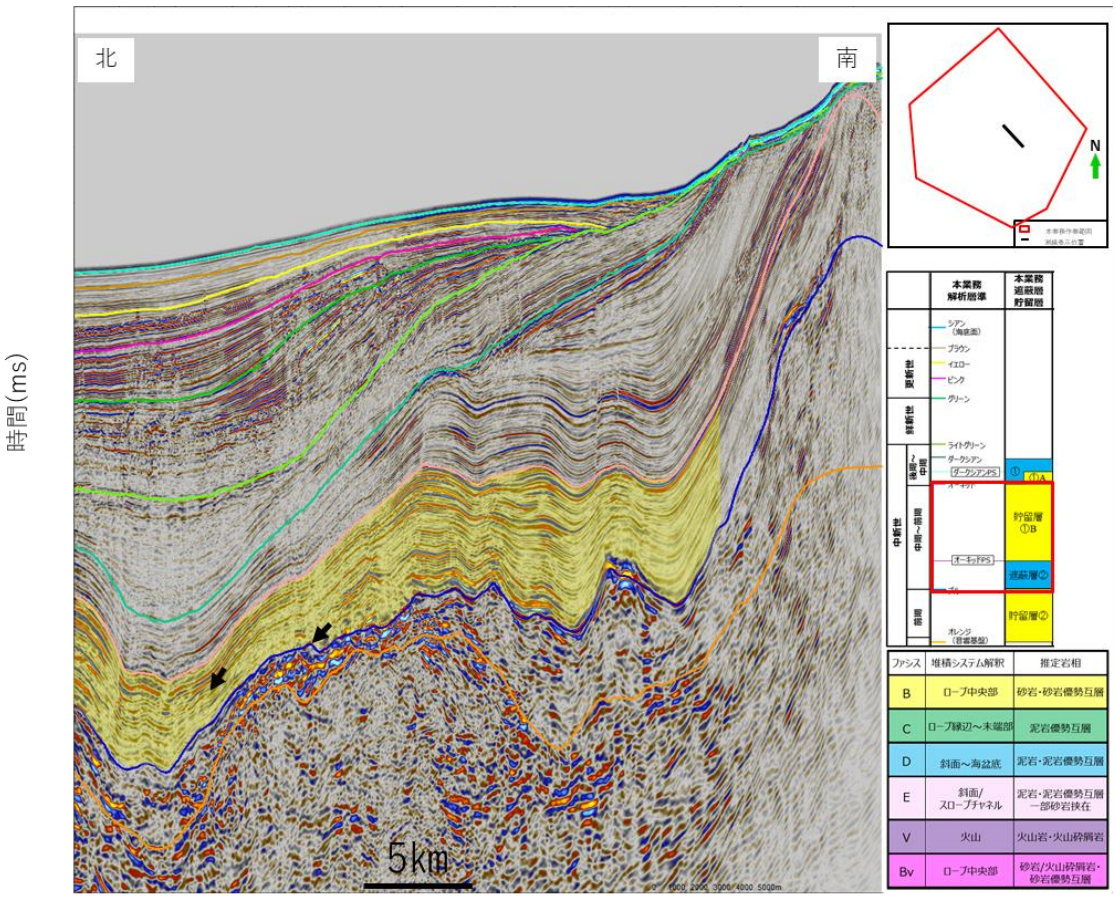


図 4.6-20　堆積相解析例　ブルーホライズン～オーキッドホライズン間

③　オーキッドホライズン～ダークシアンホライズン区間

基礎試錐「金沢沖」[8)]ではシルト質粘土岩からなる音川層に相当し、底生有孔虫化石による堆積環境は中部半深海帯と示される。図 4.6-21 に弾性波探査断面における解析例を示す。オーキッドホライズン～ダークシアンホライズン間では、主にファシス B の砂岩とその沖側に広がるファシス C の泥岩優勢砂岩泥岩互層からなる。ファシス B の分布範囲より陸側では、ファシス E の一部砂岩を挟在する泥岩優勢砂岩泥岩互層を確認した。また、ファシス C の分布範囲より沖合では、ファシス D の泥岩もしくは泥岩優勢互層を確認した。ファシス D やファシス E は、ファシス B やファシス C に比べ、層厚が薄い特徴がある。解釈結果から、スロープ～ベーズン環境で、陸側からの砕屑物の供給があったと推定した。斜面にはファシス E が分布し、陸域に近い区域にファシス B、ファシス C が、その沖側ではファシス D が発達する。沖合の地域でみられるファシス B は、小規模であるが、リッジや構造的高まりが削剥され、周辺に供給された砕屑物と考えられる。下位のブルーホライズン～オーキッドホライズン間に比べると、堆積環境の観点からはやや浅海化したと考えられる。

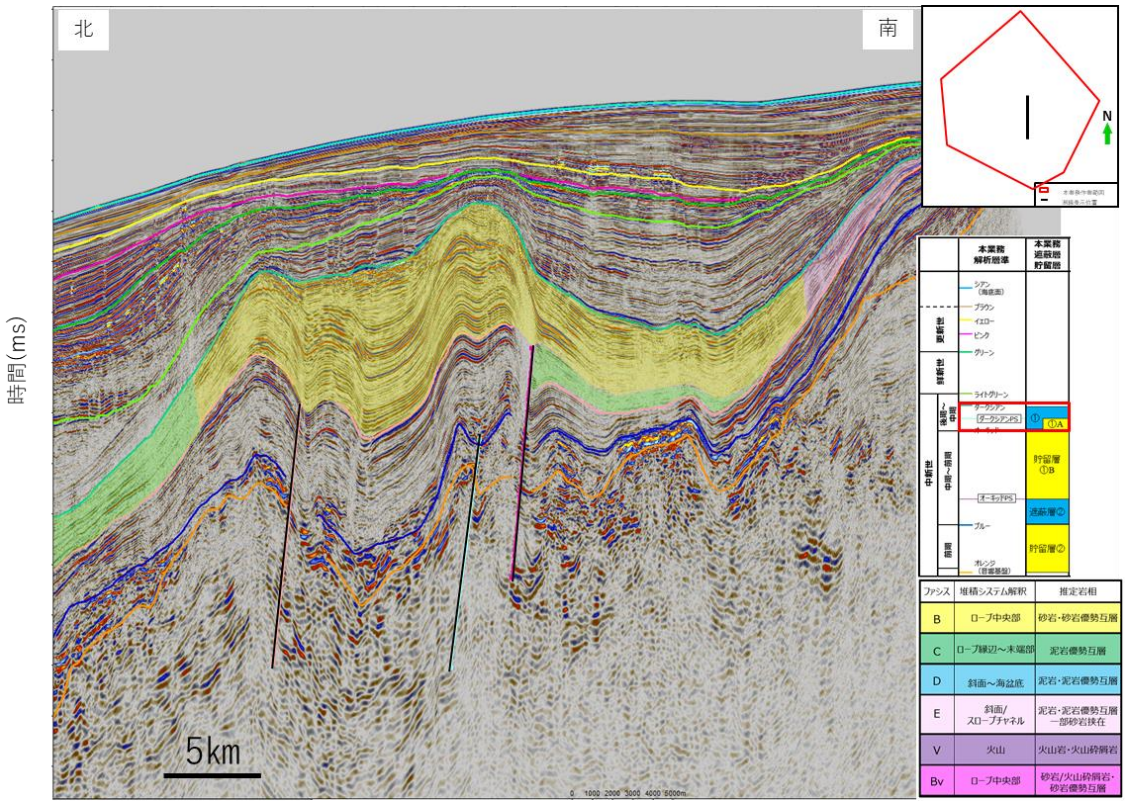


図 4.6-21　堆積相解析例　オーキッドホライズン～ダークシアンホライズン区間

④　ダークシアンホライズン～ライトグリーンホライズン区間

基礎試錐「金沢沖」[8)]ではシルト質粘土岩からなる音川層に相当し、底生有孔虫化石による堆積環境は中部～上部半深海帯と示される。図 4.6-22 に弾性波探査断面における解析例を示す。主にファシス B の砂岩とその沖側に広がるファシス C の泥岩優勢砂岩泥岩互層からなる。陸側ではファシス E の一部砂岩を挟在する泥岩優勢砂岩泥岩互層が分布し、沖合ではファシス D の泥岩もしくは泥岩優勢互層を確認した。これらの結果から、スロープ～ベーズン環境で、陸側からの砕屑物の供給があったと推定した。斜面にはファシス E が分布し、層厚が比較的厚い陸域に近い区域にファシス B、ファシス C で示されるような砂質あるいは凝灰岩質および泥質なローブやその末端部が発達し、沖側に向かって発達が弱まったと推測した。図 4.6-22 の黒矢印で示すように、ダークシアンホライズン～ライトグリーンホライズン間と、その上位のライトグリーンホライズン～グリーンホライズン間では、南東から北西に向かって反射波が下位層にダウンラップする様子が顕著で、陸側から沖合へ堆積前面が前進した事を示唆する。下位のオーキッドホライズン～ダークシアンホライズン間に比べると、堆積環境は、やや浅海化したと考えられる。

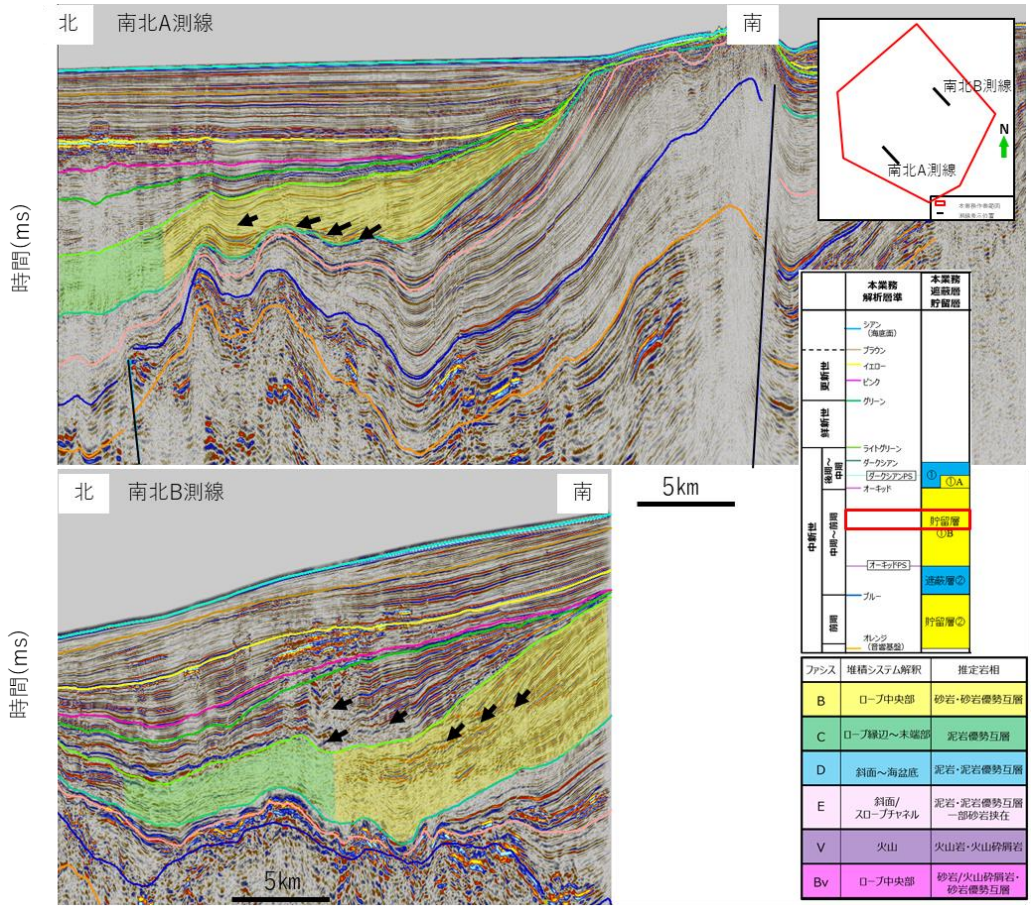


図 4.6-22　堆積相解析例　ダークシアンホライズン～ライトグリーンホライズン区間

(3) 貯留層および遮蔽層の分布

堆積相解析結果を基に、遮蔽層および貯留層の分布を考察した。貯留層となりうる粗粒ファシスは、ファシス B およびファシス Bv である。ファシス B は、ブルーホライズン～ライトグリーンホライズン間の、特に陸側に多く分布する。ファシス Bv は、火山性であり、貯留適地調査事業においては貯留対象ではないが粗粒ファシスであるため、参考結果として解析した。粗粒ファシスおよび細粒ファシスの分布から、貯留層および遮蔽層の分布を推定した。

オーキッドホライズン～ダークシアンホライズン間は、層厚の厚い東部において、上部と下部で粗粒ファシスの分布が異なることを確認した。堆積相解析に用いたプロポーショナルスライスで、ダークシアンホライズン～オーキッドホライズン間に含まれる、ダークシアン PS ホライズンは、このホライズンを境に上下でファシスが変化することからファシス区分のためホライズンとして採用した。また、オーキッドホライズン～ブルーホライズン間においても、同様にそのホライズンの上下においてファシスの変化する、オーキッド PS ホライズンをホライズンとして採用した。二つのプロポーショナルスライスを追加したことにより、上部遮蔽層はダークシアンホライズン～オーキッドホライズンの一部、上部貯留層はダークシアン PS ホライズン～オーキッド PS ホライズン、下部遮蔽層はオーキッド PS ホライズン～ブルーホライズン、下部貯留層はブルーホライズン～オレンジホライズンと設定した。上部貯留層では部分的に遮蔽層区間が異なることから、上位から①A、①B とした。

4.6.5 貯留層層準と遮蔽層層準の評価

(1) 貯留層層準の評価

堆積相解析により設定した貯留層層準には、貯留岩となりうる粗粒な岩相の分布が周辺坑井において確認されていない。また、陸上の試料でもこれらの貯留層層準の性状を評価した結果が確認できなかった。一方、坑井位置で抽出された貯留層となりうる粗粒な岩相は、基礎試錐「鳥取沖」[6)]における成相寺層最上部（上部貯留層）と中部（下部貯留層）である。したがって、本地域の貯留層層準の評価においては、基礎試錐「鳥取沖」[6)]の検層データを基にした砂質岩の圧密曲線を用いることとした。

① 砂質岩の圧密曲線

孔隙率の深度プロットでは、孔隙率に対して、Vshale と坑径を用いてカットオフを行った。この際に、カットオフ値は、Vshale が 0.5 以下、かつ坑径検層結果がビットサイズに対して 1.1 倍以下であることとした。また、使用した坑井は、現在が最大埋没であると仮定した。砂岩層の孔隙率は、深度とともに減少し、若干のばらつきを持つ。このため、孔隙率

の中間値を通るようなトレンドを、指数関数で表現した圧密曲線を推定した。

② N/G 比

鳥取沖地質解析[18)]の検層解析では、中新統に相当する Top F ホライズン～Base Upper Sst 区間が本作業の調査範囲の上部貯留層①A に対応する。この下位の Base Upper Sst～Base Sst/Tf 区間は、本作業の調査範囲の上部貯留層①B および下部貯留層に対応する。それぞれ N/G 比が算出されており、それぞれ対応する N/G 比を適用した。上部貯留層①A は 0.34、上部貯留層①B および下部貯留層は 0.46 である。

③ 地層温度

解析に使用した基礎試錐 3 坑井[6)、7)、8)]の温度データから推定した地温勾配はバラツキが大きい。地温勾配から求める CO_2 の超臨界状態となる上限面深度は、比較的浅い深度となることが想定されることから、これらの坑井の浅部の温度データと基礎試錐「金沢沖」[8)]の RFT 検層にて得られた海底面付近の温度（4℃）を基に推定を行った。この結果、CO_2 超臨界状態の温度条件である 31.1℃以上に達する深度は、海底面下 520 m 以深となった。

④ 地層圧力

基礎試錐 3 坑井の RFT 検層[6)、7)、8)]による地層圧力の深度プロット（図 4.6-37）から、浅部の圧力勾配は、等価泥水比重で 1.05 g/cm^3 である。CO_2 の超臨界状態の圧力条件である 7.38 MPa 以上に達する深度は、プロットから推定した圧力勾配を用いると、海水面下 750 m 以深となった。

⑤ 貯留層区間の上限深度および下限深度

算出した、圧力と温度から貯留層区間の上限深度を設定した。圧力および温度の両面から CO_2 超臨界状態の条件を満たす貯留層区間の上限深度は、海底面の深度に依存する。海底面が深い区域では温度から計算される上限深度が深く、海底面が浅い区域では圧力から計算される上限深度が深い。本作業の調査範囲においては、陸に近い一部の範囲では圧力条件が、沖側の多くの部分では温度条件が上限深度を規定する条件となった。貯留層区間の下限深度については、海底面下深度 3,000 m とした。

(2) 遮蔽層層準の評価

遮蔽層①は基礎試錐「金沢沖」[8)]から、音川層のシルト質粘土岩に相当する。このシルト質粘土岩の堆積環境は、中部半深海帯と示され、遮蔽層に必要な一定以上の層厚がほぼ全域に認められることから、遮蔽層としての能力を有すると考えられる。遮蔽層②は、基礎試錐

「金沢沖」[8)]では確認されていないが、直下の黒瀬谷層の硬質泥岩は、堆積環境が中部半深海帯と示され、一部の地域を除き十分な層厚を有する。ただし、いずれの遮蔽層も、陸域に近い区域においては粗粒ファシスが広く発達している。さらに浅部については、正断層が発達している。

4.6.6 貯留可能量評価

CO_2貯留可能量の算定には、以下に示すRITE（2006）[20)]の式を用いた。貯留率については構造タイプの区域に対し50%、緩傾斜部（同斜構造）タイプに対し25%の値を使用した。超臨界CO_2飽和率は原則として、中間値の50%とした。

CO_2貯留可能量 ＝ $Sf \times A \times h \times \Phi \times Sg / BgCO_2 \times \rho$

Sf：貯留率（構造タイプ：50%、緩傾斜部タイプ：25%）

A：貯留可能域の面積（km^2）

h：有効層厚（m）

Φ：孔隙率（%）（圧密曲線を使用）

Sg：超臨界CO_2飽和率（20%・50%・80%）

$BgCO_2$：CO_2の容積係数（約0.003 m^3/m^3）

ρ：CO_2密度（標準状態で1.976 kg/m^3）

実際には、貯留可能域の面積と、有効層厚を乗じた体積の代わりとして、貯留層上限および下限の深度構造図を用いて算出した。GRVには検層解析で得られたN/G比と堆積体の深度方向の出現率を乗じた。

地質構造解析、堆積相解析、貯留層評価および遮蔽層評価を受けて、貯留層層準に対して貯留可能域の抽出を行った。抽出条件は、CO_2超臨界状態の条件を満たす貯留層上限・下限深度に加え、以下の条件を満たす区域とした。

1）遮蔽層を切る断層から2.5 km以上離れる。

2）地層の傾斜が30度以下である。

3）ファシスBもしくはファシスBvの、粗粒ファシスが分布する。

4）粗粒ファシスの上位に、20 m以上の細粒ファシスが分布する。

上記の条件を満たさない範囲を除外した結果、複数の比較的規模の小さな貯留候補域を抽出した。

抽出した貯留候補域について、先に示した算定式を用いて、貯留可能量を算出した。なお、貯留層②のファシスBvは火山砕屑岩からなり、火災砕屑岩は、貯留適地調査事業において

は貯留対象としていないため、参考として貯留可能量を算出した。

貯留層①A は、合計 3.71 億 t の貯留可能量を算出した。このうち貯留可能量が 1 億 t を超える貯留候補域は「貯留候補域①A-a」のみであった。

貯留層①B は、合計 15.52 億 t の貯留可能量を算出した。このうち貯留可能量が 1 億 t を超える貯留候補域は、「貯留候補域①B-a」、「貯留候補域①B-b」、および「貯留候補域①B-c」であった。

貯留層②は、火山砕屑岩からなり参考値ではあるが、合計 4.78 億 t の貯留可能量を算出した。このうち貯留可能量が 1 億 t を超える貯留候補域は、「貯留候補域②-a」、「貯留候補域②-c」であった。

「貯留候補域①A-a」は「貯留候補域①B-a」と、「貯留候補域①A-d」は「貯留候補域①B-b」と、「貯留候補域①A-b」は「貯留候補域①B-c」とそれぞれが垂直方向に連続する。垂直方向の連続性を考慮し、①A-a と①B-a を貯留可能域Ⅰ、①A-b と①B-c を貯留可能域Ⅱ、①A-d と①B-b を貯留可能域Ⅲとし、②a と②c を参考貯留可能域とした。これらの貯留可能量は、貯留可能域Ⅰで 6.13 億 t、貯留可能域Ⅱで 1.92 億 t、貯留可能域Ⅲで 5.91 億 t、参考貯留可能域で 2.63 億 t となった。各貯留可能域における評価パラメータを表 4.6-2 にまとめた。

表 4.6-2 にまとめた評価パラメータを用いて計算した技術評点を表 4.6-3 に示す。

表 4.6-2　貯留可能量と評価パラメータ

貯留可能域	貯留候補域	貯留層			貯留可能量（百万ton）	遮蔽層		地質構造	
		平均海底面下深度(m)	層厚(m)	性状 孔隙率（%）		層厚(m)	遮蔽能力（堆積環境・岩相）	構造安定度（断層など）	地層傾斜(deg)
Ⅰ	①A-a	-1802	299	19.5	613	299	中部半深海帯・泥岩優勢砂岩泥岩互層	断層が多いがごく浅部まで達していない	6
	①B-a	-2138	799	15.7		269			7
Ⅱ	①A-b	-1418	225	25.1	192	220			4
	①B-c	-1862	838	18.8		256			7
Ⅲ	①A-d	-1142	205	30.1	591	205			8
	①B-b	-1856	529	18.9		177			9
参考	②a	-1014	391	32.7	263	76			5
	②c	-1417	742	25.1		166			10

表 4.6-3　技術評点

貯留可能域	貯留候補域	貯留層			貯留可能量（百万ton）	遮蔽層		地質構造	
		平均海底面下深度(m)	層厚（m）	性状孔隙率(%)		層厚（m）	遮蔽能力（堆積環境・岩相）	構造安定度（断層など）	地層傾斜（deg）
I	①A-a	◎	○	△	◎	◎	○	△	◎
	①B-a	○	◎	△		◎			◎
II	①A-b	◎	○	◎	○	◎			◎
	①B-c	◎	◎	△		◎			◎
III	①A-d	◎	○	◎	◎	◎			◎
	①B-b	◎	◎	△		◎			◎
参考	②a	◎	○	◎	○	○			◎
	②c	◎	◎	◎		◎			◎

			技術要素							
			貯留層			貯留可能量	遮蔽層		地質構造	
			深　度 (m)	層　厚 (m)	性状 (孔隙率%)	(百万 ton)	層厚 (m)	遮蔽能力 (環境・岩相)	構造安定度 (断層など)	地層傾斜 (deg)
技術評点	◎	1	800-2,000m	>=500	>=25	>=5,000	>=100	深海性・泥岩	断層なし	<=10
	○	0.6	800-3,000m	>=200	>=20	>=1,000	>=50	半深海性・泥質岩	断層あるが極浅部まで達していない	<=20
	△	0.3	>=2,000m	>=50	>=15	>=200	>=20	陸棚以浅・泥質岩	断層多いが極浅部まで達していない	<=30
	△-	0.1			>=5	>=100			広域地質構造の安定度が低い	
	×	0	>=3,000m	<50	<5	<100	<20	砂質シルト岩	対象区域内に活断層あり	>30
	NA	0.5	(評価できず)			(評価できず)	(評価できず)		(評価できず)	

注 1）評点の単位は、$\times 10^{-3}$ である。
注 2）地温勾配、圧力を考慮し、CO_2 を超臨界状態で圧入できる深度の上限が 800 m より深くなるケースでは、貯留層の深度に関わる評価基準の上限を、CO_2 を超臨界条件で圧入できる深度まで下げて考えるものとする。
注 3）“×”の技術要素を有する場合は、その地域は貯留可能域とはならない。

4.6.7　調査井の提案

地質解析および貯留可能量評価の結果を踏まえ、調査井位置を検討した。調査井は、掘削深度 3,000 m の坑井である。提案位置では、本作業の調査範囲内で抽出した貯留可能域のうち、もっとも規模が大きい貯留候補域①B-b が分布し、堆積相解析の結果から、本作業の調査範囲においてもっとも有望と考えられる粗粒ファシス B（砂岩・砂岩優勢砂岩泥岩互層）が確認できる位置とした。

4.6.8　評価

既存および新規の 2D 探査データと、本作業の調査範囲外ではあるが既存の坑井データを活用して、地質解析・貯留可能量評価を行った。その結果、地質構造、地質層序、堆積環境等を基に、堆積相や堆積体の分布を推定したうえで、本作業の調査範囲内の陸側に貯留層と

遮蔽層のペアとなる貯留可能域を抽出した。これらは本作業の調査範囲中央付近の北東－南西方向の軸を持つ堆積盆地の陸側斜面下で、非構造性の貯留可能域である。おおむね中期～後期中新世の地層である。それぞれ貯留可能量は、貯留可能域Ⅰで 6.13 億 t、貯留可能域Ⅱで 1.92 億 t、および貯留可能域Ⅲで 5.91 億 t と評価した。また、参考ではあるが、前期中新世の地層において火山砕屑岩からなる貯留可能域を抽出し、貯留可能量は 2.63 億 t と評価した。

本作業の調査範囲の中心付近に分布する堆積盆では、後期中新世から更新世の地層において多くの正断層を確認した。これらは、横ずれ断層の活動に起因する可能性が高い。また、堆積盆地の縁には海底面まで変形させるような活構造も点在することを確認したことから、CO_2 の地下貯留を行う際には、3D 探査データを用いた評価を行う等、活構造や断層群について十分な注意が必要である。また、本作業の調査範囲には既存の坑井が存在しないことから、貯留可能量の評価には、やや離れた位置の既存坑井データを用いた。より詳細な評価を行ううえでは、貯留可能域における性状把握が必要不可欠であるため、調査井を掘削し直接的なデータを取ることが重要であり、欠かせない。

【参考文献】

1) 国土地理院ホームページ、地理院地図（電子国土 Web）、https://maps.gsi.go.jp
2) 石油公団、“昭和 48 年度 大陸棚石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「北陸」調査報告書”（1973）
3) 石油公団、“昭和 56 年度 基礎物理探査「富山沖・北陸～隠岐沖・山陰沖」調査報告書”（1981）
4) (国研)海洋研究開発機構、“日本海地震・津波調査プロジェクトにおける地震探査調査研究”（2014）
5) 日本ＣＣＳ調査(株)、“令和２年度二酸化炭素貯留適地調査事業成果報告書”（2020）
6) 石油公団、“昭和 57 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 基礎試錐「鳥取沖」調査報告書”（1983）
7) 石油公団、“昭和 63 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 基礎試錐「香住沖」調査報告書”（1990）
8) 石油公団、“昭和 60 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 基礎試錐「金沢沖」調査報告書”（1986）
9) 岩崎哲治、“北陸～山陰海域の石油地質”、石油技術協会誌、57、1、p.59-66 (1992)
10) 田中隆、小草欽治、“山陰沖における中期中新世以降の構造運動”、地質学雑誌、87、

11、p.725-736（1981）
11) 田中隆、“北陸・山陰沖の堆積盆地の分布と性格”、石油技術協会誌、44、5、p.76-88（1979）
12) 山本博文・梅田美由紀、“北陸沖日本海の地質構造とその意義”、福井市自然史博物館研究報告、40、p.13-26（1993）
13) 産業技術総合研究所　活断層データベース、https://gbank.gsj.jp/activefault/search
14) 国土交通省、内閣府・文部科学省、「日本海における大規模地震に関する調査検討会」報告書（2014）、https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/daikibojishinchousa/
15) 気象庁ホームページ、https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/bulletin/index.html
16) 伊藤康人、荒戸裕之、“九州西方-山陰・北陸海域 日本海南部における鮮新世以降の応力場変遷”、地質ニュース、541、p.25-31（1999）
17) 日本ＣＣＳ調査株式会社、“平成３０年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務に係る「地質解析・貯留可能量評価（金沢沖）3D 探査データの解析”（2019）
18) 日本ＣＣＳ調査株式会社、“令和２年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務に係る 2D/3D 探査データの統合地質解析・貯留可能量評価（鳥取沖）”（2021）
19) 杉山雄一・山本博文・村上文敏・宇佐見琢哉・畑山一人・島崎裕行、“柳瀬・関ケ原断層帯主部北方延長（坂井市沖～福井市沖）における活断層の分布と活動性”、活断層・古地震研究報告、No.13、p.145-185（2013）
20) 財団法人地球環境産業技術研究機構、“平成 17 年度二酸化炭素固定化・有効利用技術等対策事業「二酸化炭素地中貯留技術研究開発」成果報告書”（2006）

4.7　貯留層シミュレーションによる貯留可能性検討（日高沖）

北海道日高地方の沖合海域では基礎物理探査 3D 探査データ、基礎試錐データを用いて、地質解析を実施し、貯留適地候補地点として CO_2 超臨界状態で 26.3 億 t-CO_2 程度圧入できる可能性を令和２年度委託事業の成果報告書（以下、「R2 成果報告書」と称する。）の 4.7 節[1)]で報告した。本節では、日高沖での地質解析結果を反映した地質モデルを作成し、調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーションを実施した結果について報告する。

4.7.1　概要

日高沖の貯留層モデルの特徴として、以下があげられる。

1) 貯留可能域は CO_2 貯留可能量 1 億 t-CO_2 以上の貯留可能域は 6 区域あり、合計で 26.3 億 t-CO_2 の貯留可能量が見込まれる。
2) ただし、6 区域の内 4 区域は 1～2 億 t-CO_2 の貯留可能量であり、残りの 2 区域で 10 億 t-CO_2 前後の貯留可能量となる。
3) 地層破壊圧評価の結果、埋没深度が浅いことにより地層破壊圧が低く許容される圧入圧力は低いと評価された。

上記のような特徴から、調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーションの検討経緯とその結果概要は、以下のとおりとなった。

1) 今回の貯留シミュレーションについては浸透率がそれほど高くないことに加え許容される圧入圧力も低いことから、どの区域に坑井を配置しても圧入レートを上げることが困難であり、もっとも有望な圧入性の高いエリア（砂岩が発達したエリア）を選択して 5 坑で 40 年間圧入した場合の CO_2 の累計圧入量は 0.5 億 t-CO_2 程度であり、1 億 t-CO_2 には到達しなかった。
2) 圧入条件として坑井数および、圧入期間を変更し、1 億 t-CO_2 を圧入可能な坑井数および圧入期間を検討した結果、1 億 t-CO_2 の圧入を行う場合にはいずれのケースも遮蔽層下端の圧力変化がスレッショルド圧力（610 kPa）を超えないという条件と CO_2 を貯留可能域外へ浸透させないという制限条件は満たせない結果となった。
3) ただし、坑井数 10 坑、貯留可能域の下部 80%仕上げであれば、CO_2 の貯留範囲外への浸透は限定的で、56 年間の圧入で 1 億 t-CO_2 の圧入が可能であった。また掘削本数や圧入期間も許容できると判断し、これをベースケースとした。
4) 最大圧入レートおよび最大圧入量については、ベースケースを用いて評価した。最大圧入レートは 375 万 t-CO_2/年で、累計圧入量 1 億 t-CO_2 に到達するには 54

年間かかり、期間短縮化の効果は 2 年程度であった。また、最大圧入レートは 375 万 t-CO_2/年（54 年で 1 億 t-CO_2）最大圧入量は 1.11 億 t-CO_2（最大 375 万 t-CO_2/年×60 年）となった。いずれも短期間で最大圧入レートを維持できなくなるため、限定的な効果となった。

5) 感度分析はベースケースを用いて評価した。その結果、圧入期間に対する影響は「浸透率」がもっとも大きく、ついで「地層破壊圧」、「地層圧」という順番であり、浸透率 2 倍のケースでは 40 年間で累計 1 億 t-CO_2 の貯留が可能であった。

6) 今回のシミュレーションでは 5 坑、40 年間で 1 億 t-CO_2 の圧入は困難であったが、この原因については浸透率や地層破壊圧が圧入時の拘束条件となっており、これが圧入レートや貯留可能量に影響を与えるためである。ただし、浸透率や地層破壊圧のような岩石物性値は基礎試錐や地表調査等の結果から広範囲を一義的に決定して評価しており、今後、調査井の掘削等により検層、コアおよび圧入テストのデータの追加取得を行ない、代表物性値の不確実性を減らし、不均質性の影響も考慮していくことが必要と考えられる。

(1) シミュレーション実施範囲

R2 成果報告書 4.7 節で示した地質解析範囲を含む前期中新世から鮮新世の遮蔽層および貯留層を対象に調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーションを実施した。（図 4.7-1）

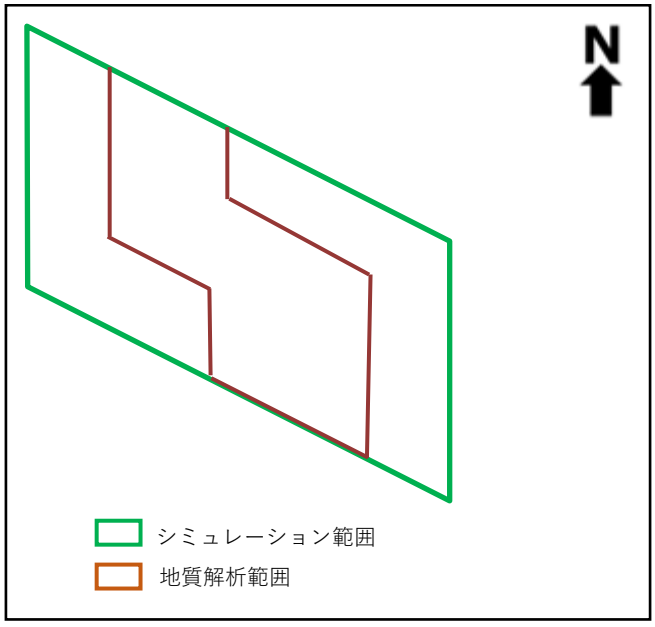


図 4.7-1　CO_2 挙動予測シミュレーション実施範囲

(2)　使用データ

シミュレーションによる貯留可能量の検討に使用した主なデータを表 4.7-1 に示す。R2 成果報告書 4.2 節[2)]に示す地表地質調査試料分析業務の結果、および R2 成果報告書 4.7 節に示す坑井データ、地質解析・貯留可能量評価業務結果、苫小牧 CCS 坑井分析データ、その他公開されている地質情報に関する資料等を使用した。

表 4.7-1　地質モデルの作成で使用する主なデータ一覧

[1]　坑井データ	
(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構 国内石油・天然ガス基礎調査	掘削深度
平成 29 年度～令和元年度 基礎試錐 「日高トラフ」	1,067.5 m (平均海水面下)
[2]　地質解析・貯留可能量評価業務データ	
「二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務」に係る地質解析・貯留可能量評価（北海道日高沖）3D 探査データの解析	
[3]　地表調査・分析業務結果	
「二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務」に係る「地表調査・採取試料及び分析業務（北海道日高周辺）」	
[4]　苫小牧ＣＣＳ坑井データ	
苫小牧調査井 CCS-1	
苫小牧調査井 CCS-2	
[5]　その他公開されている地質情報に関するデータ	
本業務を実施するにあたって必要となるその他の地質情報データ	

4.7.2　地質モデルの作成

(1)　構造モデルの作成

図 4.7-2 にホライズン・層序および貯留層・遮蔽層の対応関係を示す。R2 成果報告書 4.7 節に示す地質解析により作成した深度構造図および断層解析結果を使用し、以下に示される 20 ホライズンからなる 19 の区間を構造モデルとして作成した。モデル作成範囲のうち、C1.6～MUNC の区間が遮蔽層および貯留層であり、主な解析範囲に相当する。

1) Seafloor～C4.2（萌別層）：遮蔽層上限の上位層
2) C4.2～C4.0（萌別層）：遮蔽層上限の上位層
3) C4.0～C3.1（萌別層）：遮蔽層上限の上位層

4) C3.1～C2.5（萌別層）：遮蔽層上限の上位層

5) C2.5～C1.9（萌別層）：遮蔽層上限の上位層

6) C1.9～C1.6（萌別層）：遮蔽層上限の上位層

7) C1.6～C1.3（萌別層）：遮蔽層

8) C1.3～C1.1（萌別層）：貯留層

9) C1.1～B2.5（荷菜層）：貯留層

10) B2.5～B2.0（荷菜層）：貯留層

11) B2.0～B1.6（荷菜層）：貯留層

12) B1.6～B1.3（荷菜層）：貯留層

13) B1.3～A1.8（荷菜層）：貯留層

14) A1.8～A1.5（荷菜層）：貯留層

15) A1.5～A1.0（荷菜層～平取・軽舞層）：貯留層

16) A1.0～MUNCc（平取・軽舞層～振老層～滝の上層）：貯留層

17) MUNCc～MUNCb（平取・軽舞層～振老層～滝の上層）：貯留層

18) MUNCb～MUNCa（平取・軽舞層～振老層～滝の上層）：貯留層

19) MUNCa～MUNC（平取・軽舞層～振老層～滝の上層）：貯留層

20) MUNC～OUNC（幌向層～南長沼層）：貯留層

ここで、16)～19)は平取・軽舞層～振老層～滝の上層に対比される A1.0～MUNC 間をプロポーショナルスライスにより分割した区間で、個々の層準との対比は未定義である。

また、遮蔽層層準を切る断層として 4 条の断層についてモデル化した。

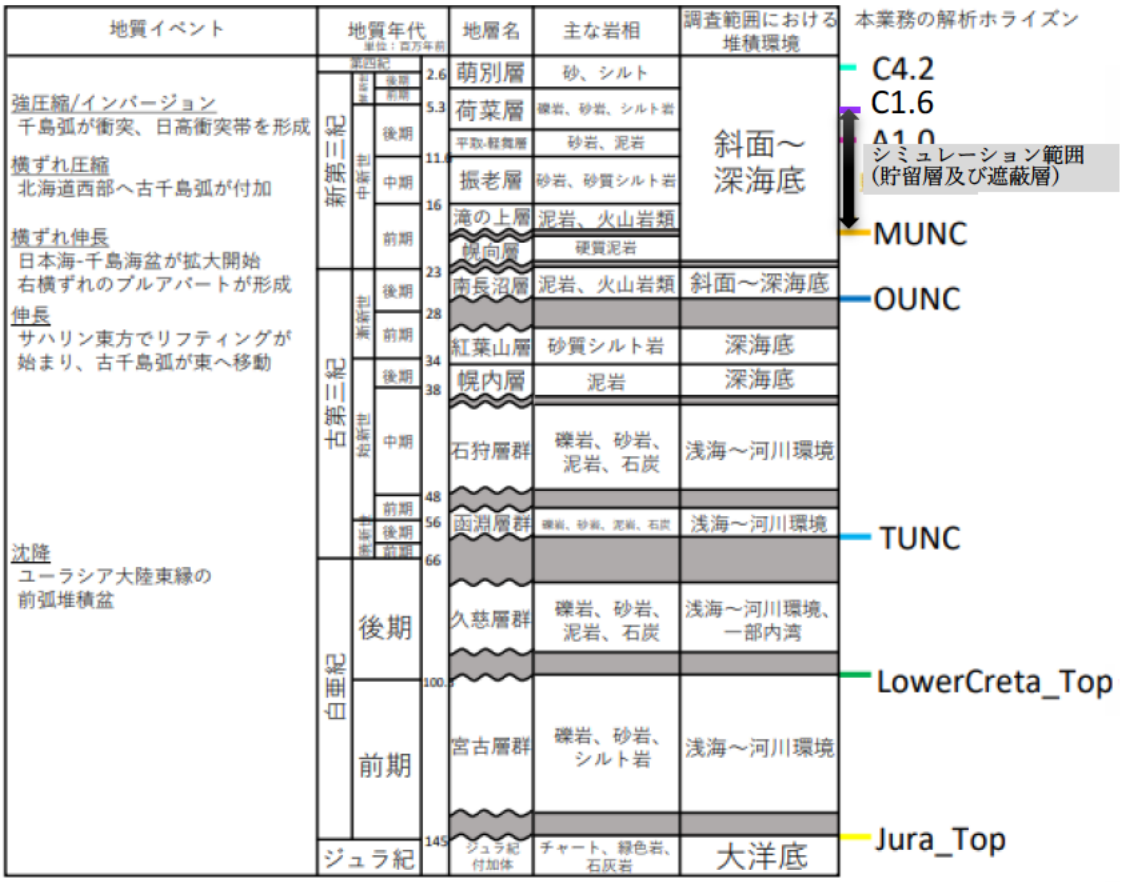


図 4.7-2　層序表（左）および貯留層・遮蔽層の対応関係

(2)　グリッドモデルの作成

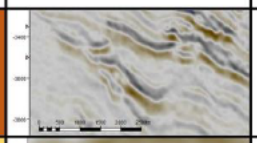
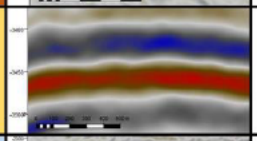
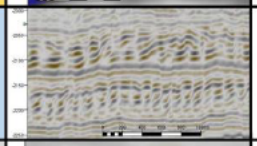
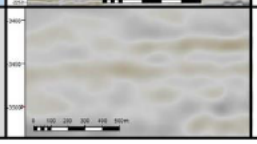
作成した構造モデルを基に、東西方向（I）が 281 セル、南北方向（J）が 105 セル、深度方向（K）が 122 セルの合計 3,599,610 グリッドからなるグリッドモデルを構築した。図 4.7-3 に層序とグリッドモデルの深度方向のセルの番号 K の対応関係を記す。

エリア内の断層の伸長方向は北北東－南南西方向の構造トレンドとおおよそ一致しており、垂直方向のグリッドサイズは圧入後の CO_2 の挙動を精緻に確認できるよう、遮蔽層区間においては平均で約 15 m、貯留層区間においては平均で約 20 m となるように分割し、平面方向のグリッドサイズはシミュレーションの計算時間を考慮して 500 m×500 m とした。

図 4.7-3　層序とグリッドモデルの K 番号の対応関係

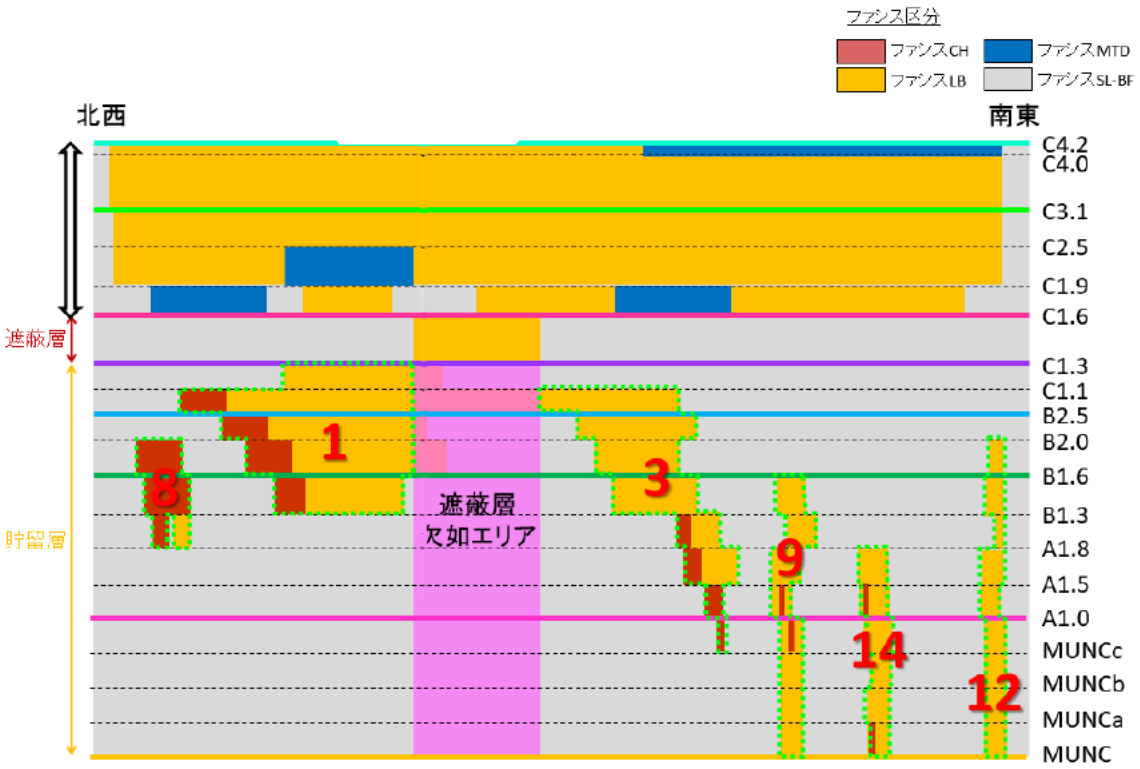
(3)　ファシス設定

地質モデルのファシスは R2 成果報告書 4.7 節に示す堆積層解析の結果に基づき、図 4.7-4 に示すようにファシス LB およびファシス CH を砂質岩ファシス、ファシス SL_BF およびファシス MTD を泥質岩ファシスと区分して物性値の検討を行った。図 4.7-5 に各層序におけるファシス分布および主要な貯留可能域の断面図（概念図）を示す。シミュレーションでの坑井配置候補エリアとしては図 4.7-5 に示すように六つの貯留可能域の内、貯留可能域 1 のように砂が厚いエリアがもっとも有望な候補になる。

ファシス	断面例	特徴	堆積環境解釈	推定岩相
CH		・強振幅 ・側方へせん滅 ・下に凸の形状	深海成重力流堆積物の チャネル部	礫岩、砂岩、 砂岩泥岩互層
LB		・連続性良い ・強振幅 ・側方へせん滅	深海成重力流堆積物の ローブ部	砂岩優勢互層、 礫岩、砂岩
MTD		・弱い連続性 ・小逆断層	斜面～堆積盆底に発達する 海底地すべり堆積物	不連続な礫岩、 砂岩、砂岩泥 岩互層、シル ト岩、泥岩
SL-BF		・混沌～弱い連続性 ・連続性悪い ・弱振幅	斜面～堆積盆底	泥岩、 泥岩優勢互層

注）R2 成果報告書 4.7 節参照

図 4.7-4　ファシスの区分



注）R2 成果報告書 4.7 節参照

図 4.7-5 主要な貯留可能域の断面図（概念図）

(4) 貯留層・遮蔽層にかかる物性値

① 孔隙率

孔隙率は基礎試錐「日高トラフ」[3)]で取得された検層データおよびコアのデータを基に、図 4.7-6 に示す孔隙率と深度の関係（圧密曲線）を評価した。Athy[4)]によると図 4.7-6 に示すように孔隙率は地層の堆積による圧密の影響を受けて深度とともに指数関数的に減少する傾向がある。今回、ファシス CH は“礫質砂岩”、ファシス LB は“砂岩”、ファシス SL_BF および MTD は“シルト岩・泥岩”で示される圧密曲線（式（4.7-2）から式（4.7-4））により深度方向に変化する孔隙率を推定した。

Athy の圧密曲線

$$\Phi = \Phi_0 \times \exp(-b \times \mathrm{Depth}) \cdots\cdots \text{式（4.7-1）}$$

Φ_0：孔隙率、

b：圧密係数、

Depth：埋没深度（m）

ファシス CH

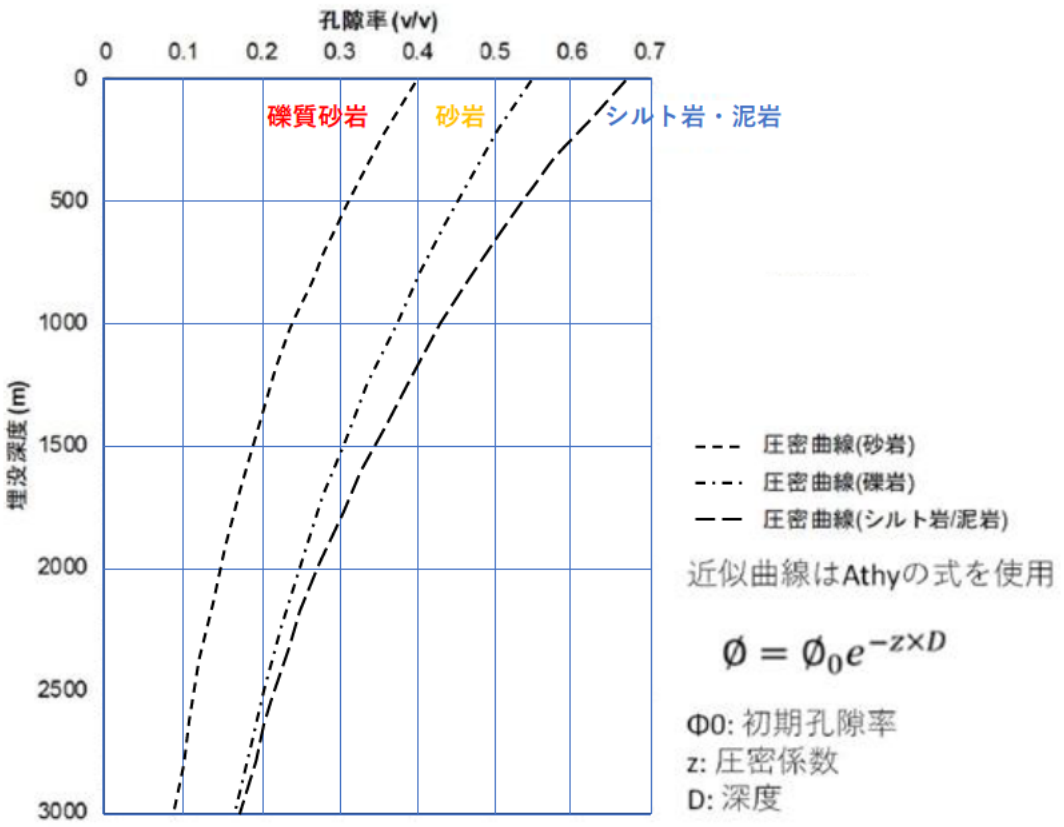
$$\Phi = 0.40 \times \exp(-0.0005 \times \mathrm{Depth}) \cdots\cdots \text{式（4.7-2）}$$

ファシス LB

$$\Phi = 0.55 \times \exp(-0.0004 \times \mathrm{Depth}) \cdots\cdots \text{式（4.7-3）}$$

ファシス SL_BF および MTD

$$\Phi = 0.67 \times \exp(-0.00045 \times \mathrm{Depth}) \cdots\cdots \text{式（4.7-4）}$$



注）R2 成果報告書 4.7 節参照

図 4.7-6　圧密曲線

②　浸透率

浸透率も同様に、基礎試錐「日高トラフ」で取得されたコアデータを基に孔隙率と浸透率の関係から FZI（Flow Zone Indicator, μ m）を分類した。FZI は貯留層の性状を示す指標で、値が大きい方がフローに寄与する程度が高くリザバークオリティーが高いことを示すものであるが、砂質岩ファシスの FZI は 1.0、泥質岩ファシスの FZI は 0.047 を平均的なトレンドとして式（4.7-5）および式（4.7-6）を作成して浸透率を推定した。

Flow Zone Indicator（FZI）

$$Perm = 1014FZI^2\ \Phi^3/(1-\Phi)^2 \cdots\cdots \text{式（4.7-5）}$$

ファシス CH および LB

$$Perm = 1014 * \Phi^3/(1-\Phi)^2 \cdots\cdots \text{式（4.7-6）}$$

ファシス SL_BF および MTD

$$Perm = 1014 * 0.047^2 * \Phi^3/(1-\Phi)^2 \cdots\cdots \text{式（4.7-7）}$$

なお、深度方向の浸透率の変化は、図 4.7-6 に示す圧密曲線により深部に向かって孔隙率が低下する傾向が考慮されており、上記相関式を適用することで浸透率についても深部に

向かって低下していく傾向が反映される。

③ Kv/Kh

垂直浸透率と水平浸透率の比 Kv/Kh については明確な裏付けとなるデータがなかったため、一般的な値として貯留層内は Kv/Kh=0.1、遮蔽層内は Kv/Kh=1 と仮定した。

④ N/G 比

N/G 比については R2 成果報告書 4.7 節に示す基礎試錐「日高トラフ」の貯留層性状評価および遮蔽層性状評価を基に、ファシス CH については 0.50、ファシス LB については 0.43 とし、ファシス SL_BF および MTD については一律に 0.10 とした。

⑤ 貯留層温度

貯留層温度は基礎試錐「日高トラフ」で測定された温度検層結果に基づき設定した。

貯留層温度（℃）= 0.0172 × 深度（mTVDss）− 11.185 ……式（4.7-8）

貯留層層準の最深部は 4,000 mTVDss を超えることから基準面深度は 4,050 mTVDss とし、58.3℃とした。

⑥ 塩分濃度

一般的な古環境の塩分濃度として 20,000 ppm NaCl を仮定した。

⑦ 貯留層圧力

貯留層圧力は基礎試錐「日高トラフ」で測定された圧力測定結果に基づき 1.065 g/cm^3 と推定し、下式より基準面深度 4,050 mTVDss における初期圧力は 42.40 MPa とした。

貯留層圧力（MPa）= 1.065/100 × 深度（mTVDss）× 0.98066 式（4.7-9）

⑧ 岩石圧縮率

地表調査試料分析の周圧下孔隙率測定の結果から 2.94×10^{-6} kPa^{-1} とした。

⑨ 相対浸透率

基礎試錐「日高トラフ」および R2 成果報告書 4.2 節で報告した表 4.7-2 に示すエンドポイントを基に岩相毎に、相対浸透率曲線を作成した。

なお、臨界ガス飽和率（Sgc）については一般値として 0.050 を仮定し、残留ガス飽和率の最大値（Sgrmax）については GEM で使用される式（4.7-10）により推定した。

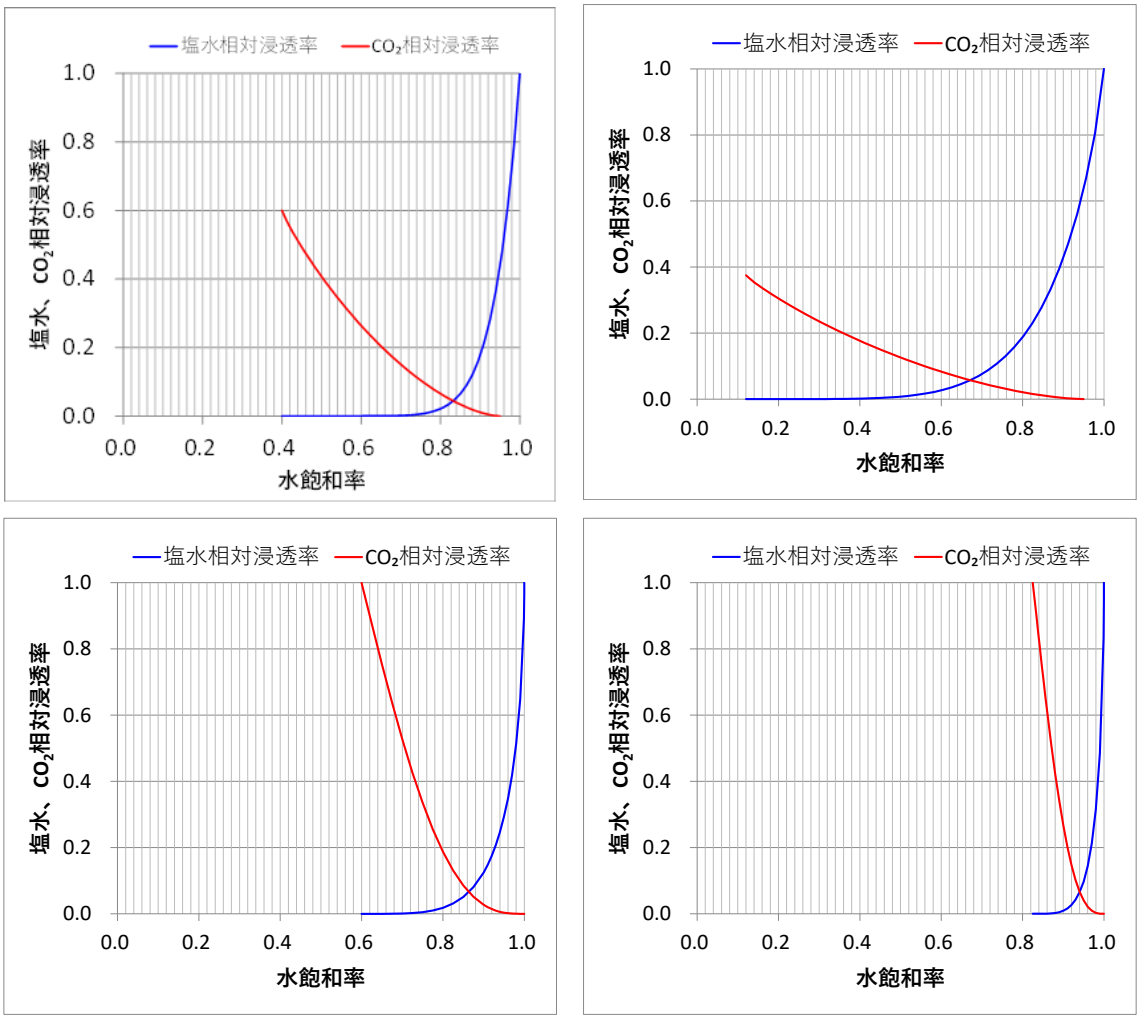
$$S_{grmax} = S_{gc} + 0.5\left(1 - S_{wir} - S_{gc}\right) \quad \text{……式（4.7-10）}$$

また、遮蔽層のエンドポイントでは確からしいデータが取得されておらず、Krg および

Krw を 1 と仮定した。図 4.7-7 に作成した相対浸透率曲線を示す。

表 4.7-2　各相対浸透率曲線のエンドポイント

ファシス	Krg	Krw	Sgc	Sgrmax	Swir
CH	0.600	1.000	0.050	0.325	0.400
LB	0.375			0.465	0.120
SL_BF	1.000			0.225	0.600
MTD	1.000			0.113	0.825



注 1）左上：ファシス CH の相対浸透率曲線　　右上：ファシス LB の相対浸透率曲線
　　左下：ファシス SL_BF の相対浸透率曲線　　右下：ファシス MTD の相対浸透率曲線
注 2）R2 成果報告書 4.7 節参照

図 4.7-7　相対浸透率曲線

⑩　毛細管圧力

各ファシスの毛細管圧力曲線を図 4.7-8 に示す。毛細管圧力曲線も相対浸透率曲線と同様に基礎試錐「日高トラフ」および R2 成果報告書 4.2 節のコアデータより標準化曲線および拘束点を抽出し、J-function の式（4.7-11）により標準化した。

$$Pc = J(Sw^*) * T\cos\theta * \sqrt{\varphi/k} * CF \quad \cdots\cdots \text{式（4.7-11）}$$

Pc：毛細管圧力

Sw*：　標準化水飽和率

Tcosθ：界面張力×Cos（接触角）

φ：孔隙率

k：浸透率

CF：Conversion Factor

各ファシスのエンドポイントでは、これらのデータから不動水飽和率（Swir）はファシス CH で 0.40、ファシス LB で 0.12、ファシス SL_BF で 0.60、ファシス MTD で 0.825 とし、臨界ガス飽和率（Sgc）については一般値として 0.05 を仮定した。

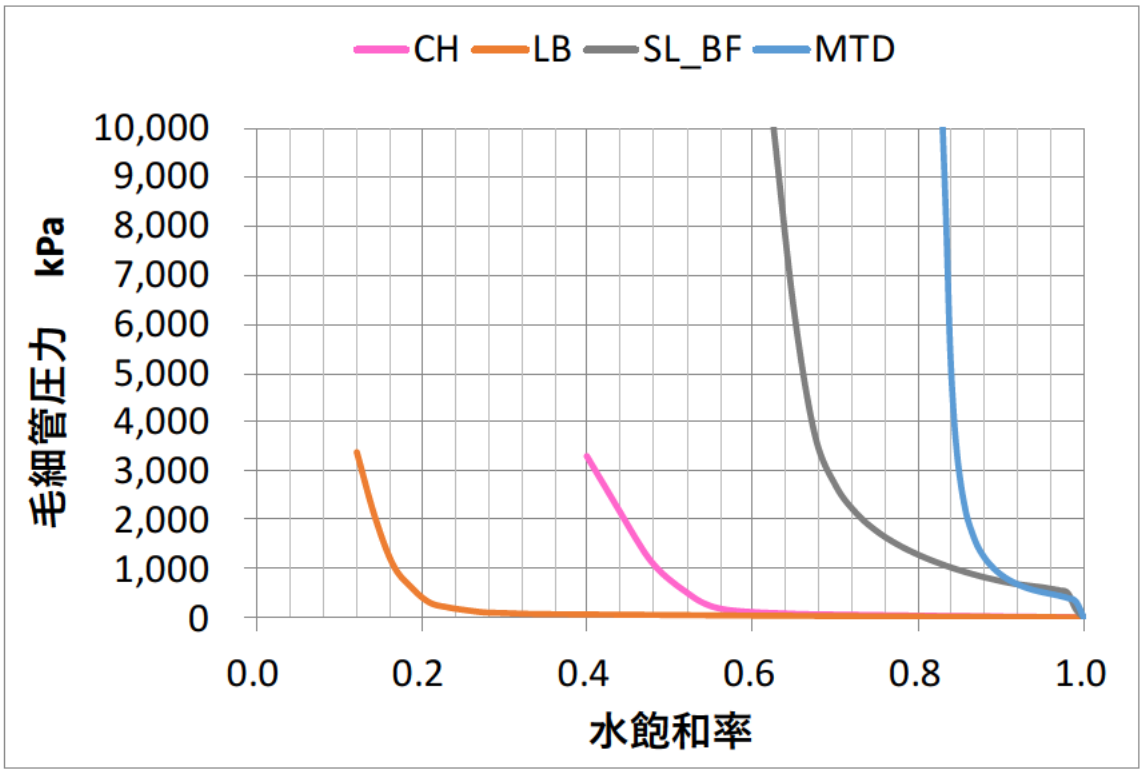


図 4.7-8　各ファシスの毛細管圧力曲線

⑪　スレッショルド圧

遮蔽層のスレッショルド圧については基礎試錐「日高トラフ」にてシルト岩と泥岩の測定結果があり、表 4.7-3 に示されるとおり、臨界ガス飽和率条件下（Sg＝Sgc）においてファシス SL_BF のスレッショルド圧力は 0.61 MPa、ファシス MTD のスレッショルド圧力は 0.51 MPa となるようにスケーリングして毛細管圧力曲線を作成した。

表 4.7-3　基礎試錐「日高トラフ」におけるコア分析結果（抜粋）

No.	深度（m）	岩相	水浸透率（mD）	スレッショルド圧力（MPa）	備考
2-11	2500.3	Silt Stone	0.034	0.61	荷菜層シルト岩相当
2-15	2747.8	Sandy Siltstone	0.048	0.54	
3-9	3968.6	Silty Mudstone	0.062	0.51	平取軽舞層泥岩相当
3-12	3054.1	Silt Stone	0.480	0.25	

⑫　貯留層・遮蔽層にかかる物性値まとめ

貯留層・遮蔽層にかかる物性値についてまとめ、表 4.7-4 に代表物性値の一覧を示す。

表 4.7-4　貯留層・遮蔽層にかかる物性値一覧

項目		値	項目			値
孔隙率（Φ） Φ＝Φini*Exp(-z*D) ※D：埋没深度	CH	0.1024	相対浸透率エンドポイント	Krg	CH	0.6000
	LB	0.2285			LB	0.3750
	SL-BF	0.2196			SL-BF	1.0000
	MTD	0.2529			MTD	1.0000
浸透率 K＝1014FZI^2*φ^3/(1-φ)^2	CH	1.35		Krw	CH	1.0000
	LB	20.32			LB	1.0000
	SL-BF	0.04			SL-BF	1.0000
	MTD	0.06			MTD	1.0000
Kv/Kh		0.1		Sgc	CH	0.0500
ネットグロス比	CH	0.50			LB	0.0500
	LB	0.43			SL-BF	0.0500
	SL-BF	0.10			MTD	0.0500
	MTD	0.10		Sgrmax	CH	0.3250
毛細管圧力 Psresh：スレッショルド圧力（MPa）	CH	0.0084			LB	0.4650
	LB	0.0042			SL-BF	0.2250
	SL-BF	0.61			MTD	0.1125
	MTD	0.51		Swir	CH	0.4000
貯留層温度勾配		1.7°C/100m			LB	0.1200
貯留層圧力（EMW）		1.065			SL-BF	0.6000
貯留層塩分濃度		20000			MTD	0.8250
岩石圧縮率 (1/kPa)		2.94E-06				

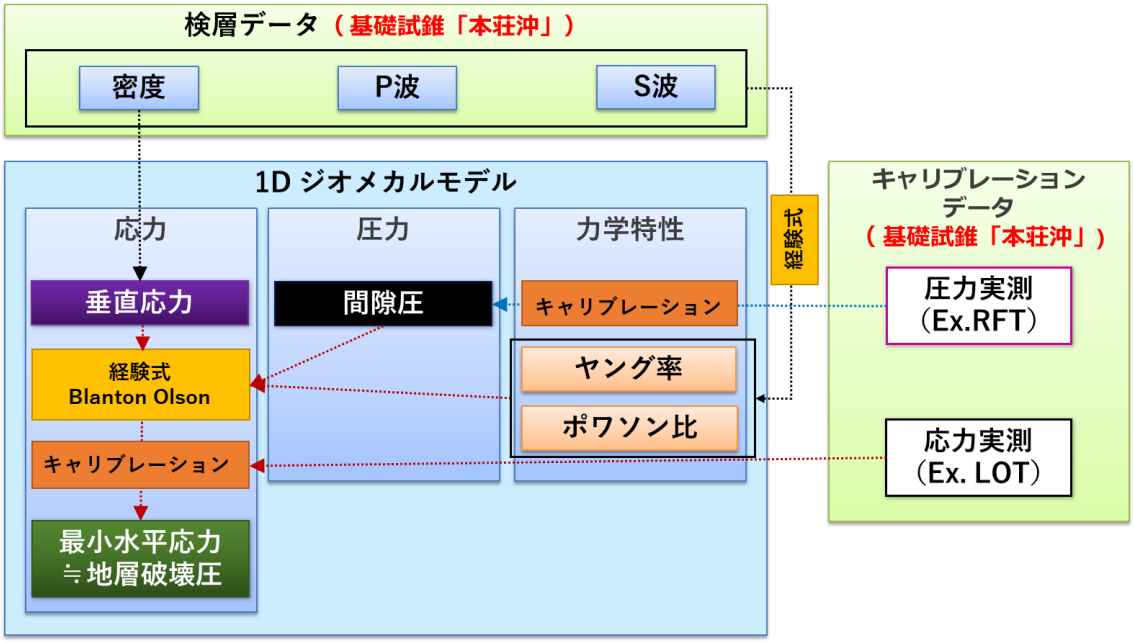
(5) 地層破壊圧力

CO_2圧入にあたり、圧入上限圧力の基準値として、地層破壊圧力を推定した。

① 評価ワークフロー

図 4.7-9 に示す評価ワークフローに従って、以下の 1)～7)の手順で地層破壊圧力予測を実施した。

1) 地層破壊圧力予測を実施する対象井（本作業では基礎試錐「日高トラフ」）を選定した。
2) 基礎試錐「日高トラフ」の検層データ、キャリブレーションデータ（圧力実測データ、応力実測データ）を収集した。
3) 力学特性（ヤング率・ポアソン比）を、検層データ（密度・P 波速度・S 波速度）から経験式を用いて推定した。
4) 圧力実測データ（RFT）に合致するように間隙圧力を推定した。
5) 密度検層データを深度方向に積分することで垂直応力を推定した。
6) 3)～5)で推定した力学特性・間隙圧力・垂直応力を用いて経験式から地層破壊圧力を算出した。
7) 算出した地層破壊圧力を応力実測データ（LOT）に合うようにキャリブレーションし、最終的な地層破壊圧力を推定した。
8) 上記 7)の作業で推定した地層破壊圧力を外挿することで、基礎試錐「日高トラフ」の掘削深度以深における地層破壊圧力を推定した。



注）RFT：Repeated Formation Test、LOT：Leak off Test

図 4.7-9　地層破壊圧予測の評価ワークフロー

② 使用データ

地層破壊圧力予測（1D ジオメカニカルモデルの構築）作業に使用する検層データおよびキャリブレーションデータを表 4.7-5 に示す。

表 4.7-5　対象井の検層データ・キャリブレーションデータ

項目	識別
検層データ	Gamma Ray
検層データ	Sonic (P-wave)
検層データ	Sonic (S-wave)
検層データ	Density
検層データ	Resistivity
検層データ	Caliper
キャリブレーションデータ	LOT
キャリブレーションデータ	RFT

注）RFT：Repeated Formation Test、LOT：Leak off Test

③ 1D ジオメカニカルモデルの構築

地層破壊圧予測に必要なパラメータである「ヤング率」、「ポアソン比」、「垂直応力」および「間隙圧」については、以下のように推定した。

a. ヤング率

動的ヤング率（E_{dyn}）は、検層データを用いて、以下の式より推定した。

$$E_{dyn} = \rho_{bulk} \times (1 + Vp) \times Vs^2 \quad \cdots\cdots \text{式（4.7-12）}$$

ρ_{bulk}：岩石バルク密度

Vp：P 波速度

Vs：S 波速度

静的ヤング率（E_{stat}）は、岩相毎に以下の式より推定した。岩相は、検層解析により得た Vsh の値[1)]を用いて分類した。

砂岩（Lacy for sand）[8)]

$$E_{stat} = 0.0293 \times E_{dyn}^2 + 0.4533 \times E_{dyn} \quad \cdots\cdots \text{式（4.7-13）}$$

泥岩（Lacy for shale）[8)]

$$E_{stat} = 0.0428 \times E_{dyn}^2 + 0.2334 \times E_{dyn} \quad \cdots\cdots \text{式（4.7-14）}$$

b. ポアソン比

動的ポアソン比は、検層データを用いて、以下の式より推定した。

$$\nu_{dyn} = \frac{(Vp/Vs)^2 - 2}{2 \times (Vp/Vs)^2 - 1} \quad \cdots\cdots \text{式（4.7-15）}$$

ν_{dyn}：動的ポアソン比

Vp：P 波速度

Vs：S 波速度

静的ポアソン比は、動的ポアソン比と同値であると仮定した。

c. 垂直応力

垂直応力の深度分布は式（4.7-16）に示すとおりバルク密度を積分して推定した。

$$\sigma_v(z) = \int_0^z \rho_{bulk}(z) g \, dz \quad \cdots\cdots \text{式（4.7-16）}$$

σ_v：垂直応力

ρ_{bulk}：岩石バルク密度

z：深度

g：重力加速度

なお、密度検層データが取得されていない区間の密度に関し、海上から海底までの密度

は 1.03 g/cm^3（海水の密度）、海底から密度検層開始深度までの区間は 1.64 g/cm^3（密度検層データ取得区間上限深度での密度）を仮定した。

d. 間隙圧

基礎試錐「日高トラフ」で実施された掘削中のリアルタイム地層圧評価結果を参照し、地層圧の実測データを用いて、間隙圧をキャリブレーションした。

「B2.5 サブホライズン（2,839 mTVDss）」～「B2.0 サブホライズン（2,969 mTVDss）」の区間は異常高圧と解釈し、それ以外の区間は静水圧勾配と解釈した。

各区間の圧力勾配を表 4.76 に示す。

表 4.7-6　各層の EMW

対象層	深度区間	EMW
B2.5 サブホライズン以浅	0～2,839 mTVDss	1.03 g/cm^3
B2.5 サブホライズン～ B2.0 サブホライズン	2,839～2,969 mTVDss	1.03 g/cm^3～ 1.30 g/cm^3
B2.0 サブホライズン以深	2,969～3,572 mTVDss	1.30 g/cm^3

e. 地層破壊圧

a.～d.で推定した「ヤング率」、「ポアソン比」、「垂直応力」および「間隙圧力」を用いて、Blanton and Olson（1999）[9] の式（4.7-17）により、深度に対する地層破壊圧力の分布を推定した。

$$FP = \left(\frac{\nu}{1-\nu}\right)\left(S_V - P_p\right) + \frac{E}{1-\nu^2}\varepsilon_{hmin} + \frac{E\nu}{1-\nu^2}\varepsilon_{Hmax} + P_p \quad \cdots\cdots \text{式（4.7-17）}$$

FP：地層破壊圧

E：ヤング率

ν：ポアソン比

Pp：間隙圧

Sv：垂直応力

ε_{hmin}：最小主応力 shmin 方向のひずみ

ε_{Hmax}：最大主応力 sHmax 方向のひずみ

ε_{hmin} と ε_{Hmax} は、LOT 結果に地層破壊圧がマッチするように値を求めた。

ε_{hmin}＝0.000010

ε_{Hmax}＝0.000050

f. 地層破壊圧力の外挿

基礎試錐「日高トラフ」の掘削深度以深における貯留層区間の地層破壊圧力は「e.地層破壊圧力」の推定結果を外挿することで算出した。

R2 成果報告書 4.7 節での評価では、外挿区間は基礎試錐「日高トラフ」の位置では遮蔽層ファシスと同様のファシスが分布する。一方、広域的には貯留層ファシスのファシス LB が分布する。そのため、本作業では以下の二つの区間において、外挿線を導出し、掘削深度以深における貯留層区間の地層破壊圧力の外挿を行った。

遮蔽層区間のデータを用いて導出した外挿線

垂直深度（m）= 69.93 × 圧力（MPa）+ 342.93 ……式（4.7-18）

貯留層ファシス LB 区間のデータを用いて導出した外挿線

垂直深度（m）= 66.88 ×圧力（MPa）+ 482.55 ……式（4.7-19）

4.7.3 CO_2 挙動予測シミュレーションモデルの作成

(1) 貯留エリアの選定

本地域は浸透率がそれほど高くないことに加え、大水深で埋没深度が浅いことにより地層破壊圧が低いことで許容される圧入圧力が低く、どこに坑井を配置しても圧入レートが上げられないということが事前検討に予想された。このため、CO_2 挙動予測シミュレーションの予察的な検討として、R2 成果報告書 4.7 節で抽出された図 4.7-10 に示す貯留可能域の貯留層層準に試行錯誤で圧入井を配置して圧入を行い、合わせて貯留層層準の浸透率（K）と有効層厚（h）を積算して作成した Kh マップを用いて坑井の圧入レートと Kh マップを比較した。その結果、250 万 t-CO_2/年の圧入レートを満たすために坑井を配置するには貯留層の Kh は最低でも 6,000 mD*m 以上のエリアが分布する必要であることを確認した。この条件を満たすエリアは貯留可能域 1 と貯留可能域 9 の一部の砂の厚いエリアに限られていることから、シミュレーション範囲の外部境界から離れており、砂層の広がり方が明らかである貯留可能域 1 をもっとも有望なエリアとして選定した。

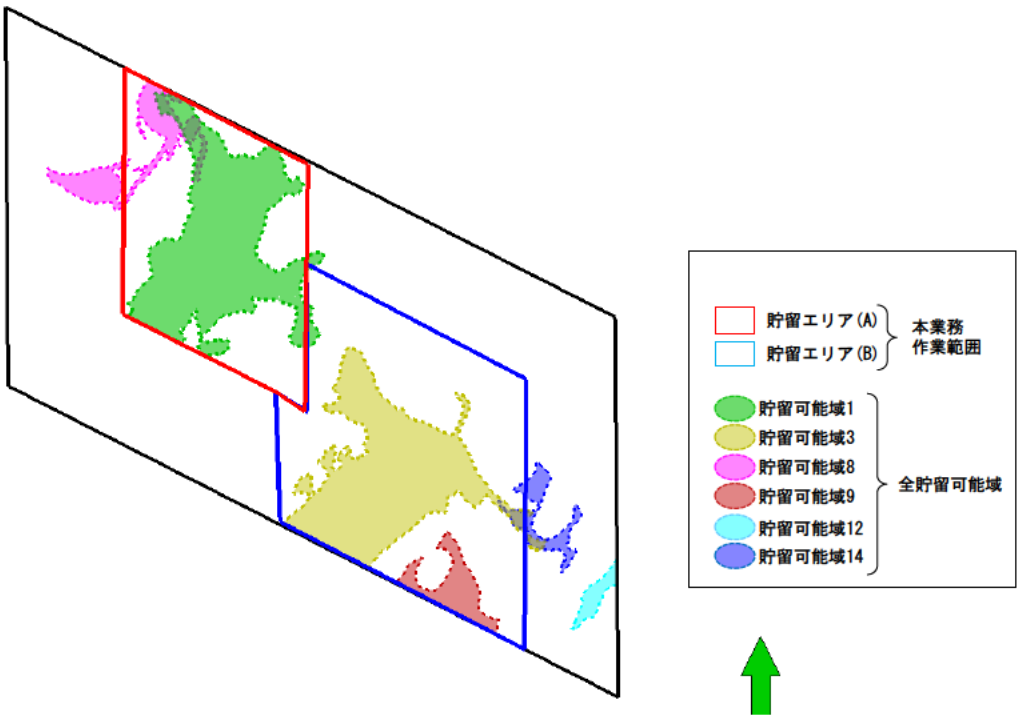


図 4.7-10　貯留エリアの選定範囲

(2)　圧入制限条件

CO_2 を安定的に圧入および地下貯留するため表 4.7-7 に示す圧入中および圧入停止後 1,000 年間における制限条件を設定した。

表 4.7-7　シミュレーション結果が満たすべき制限条件

圧入中～圧入停止後 1,000 年間
1) 遮蔽層下端での圧力上昇がスレッショルド圧力（610 kPa）を上回らないこと。 2) 溶存 CO_2 量の分布範囲が超臨界条件を外れる深度に到達しないこと。 3) 溶存 CO_2 量の分布範囲が遮蔽層を切る断層の 2.5 km 範囲内に到達しないこと。 4) 溶存 CO_2 量の分布範囲が試掘井や基礎試錐井に達しないこと。 5) 溶存 CO_2 量の分布範囲がシミュレーション範囲を超えないこと。
圧入中
6) 圧入圧力が地層破壊圧の 90%を上回らないこと。 7) 流速が TBG（4-1/2“）のエロージョナルベロシティーに到達しないこと。

(3) 境界条件

グリッドモデルの境界グリッドの有効孔隙に一定の倍率を掛け、開境界とした。モデル境界の設定はシミュレーションの範囲が広くグリッドが大きいため、開境界での倍率を 100 倍に設定した。

4.7.4 圧入可能量の事前検討（5 坑井×40 年間圧入ケース）

(1) 圧入条件

図 4.7-11 に示すように貯留可能域 1 に圧入井（垂直井）を 5 坑配置した。各坑井は、緑枠で示される範囲が R2 成果報告書 4.7 節で報告された CO_2 の貯留可能域であるが、Kh マップにより圧入性の分布を考慮しつつ、1,000 m スペーシングを目安に坑井を配置した。圧入時の坑底圧力は仕上げ区間上端深度における地層破壊圧の 90%を上限として設定し、貯留層層準すべてを仕上げ区間として、1 坑あたり 50 万 t-CO_2/年のレートで 40 年間連続圧入する場合の挙動を確認した。

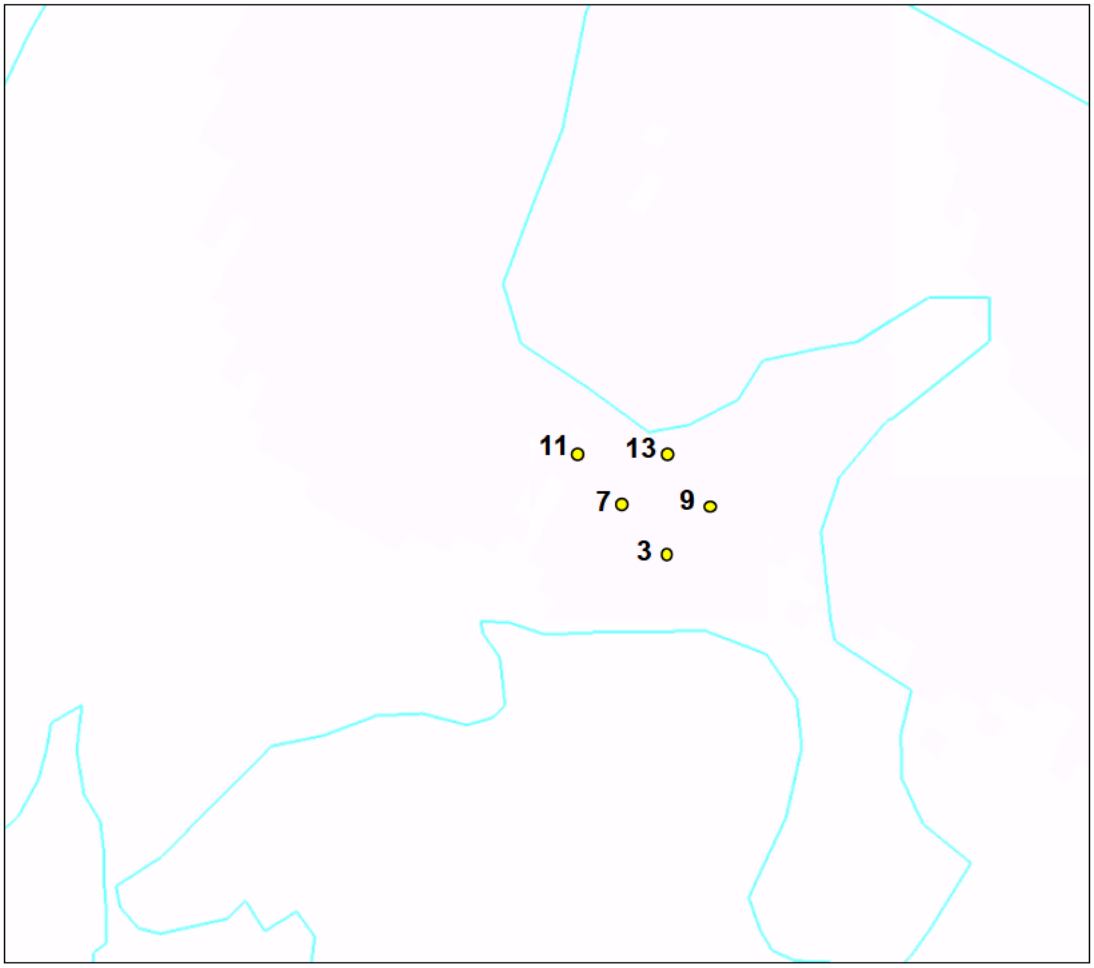


図 4.7-11 貯留可能域と圧入井の配置

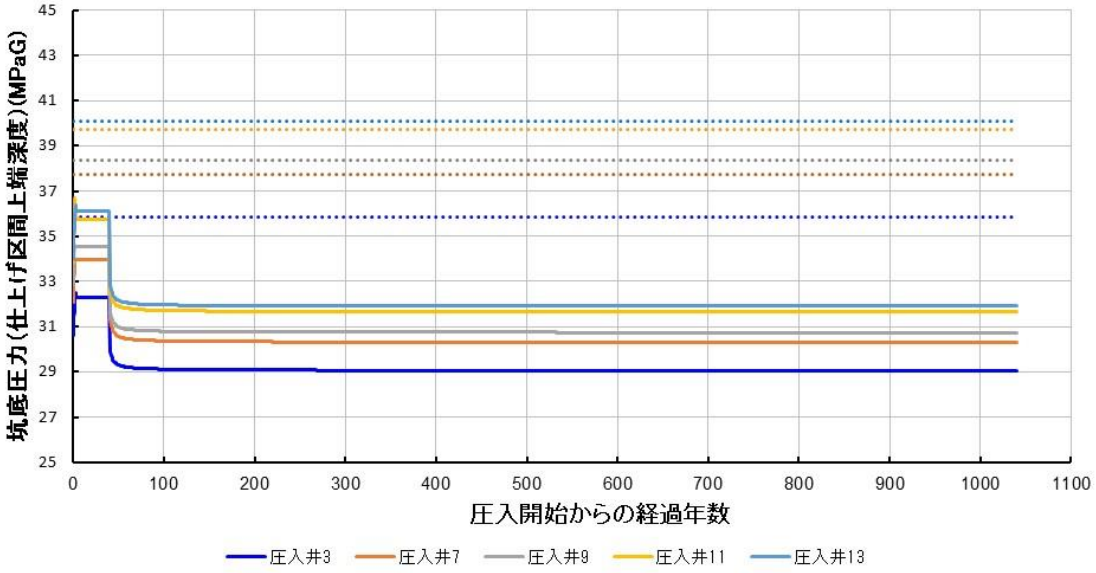
(2)　坑底圧力および圧入レート推移

圧入停止時の坑底圧力と地層破壊圧力を表 4.78 に、坑底圧力推移を図 4.712、圧入レート推移を図 4.713 に示す。

表 4.7-8　各圧入井の圧入停止直後の坑底圧力と地層破壊圧力

坑井	仕上げ区間上端深度 圧入停止時の圧力 [MPaG]（①）	地層破壊圧力 [MPaG]（②）	地層破壊圧力-圧入停止時の圧力 [MPa]（②-①）
3	32.3	35.9	3.59
7	34.0	37.7	3.77
9	34.5	38.4	3.84
11	35.8	39.7	3.97
13	36.1	40.1	4.01

圧入停止時の坑底圧力と地層破壊圧力の差圧は、3.5～4 MPa 程度であり、圧入期間中は仕上げ区間上端の圧入圧力は地層破壊圧を大幅に下回っている。ただし、坑底圧力を上限である圧入区間の地層破壊圧の 9 割で制御しているため、1 坑当たり 50 万 t-CO_2/年のレートは維持できず、40 年間の CO_2 累計圧入量は 0.51 億 t-CO_2 に留まった。



注）点線は各圧入井仕上げ区間上端深度の地層破壊圧力、色は実線が表す圧入井に対応

図 4.7-12　圧入井仕上げ区間上端深度の坑底圧力推移

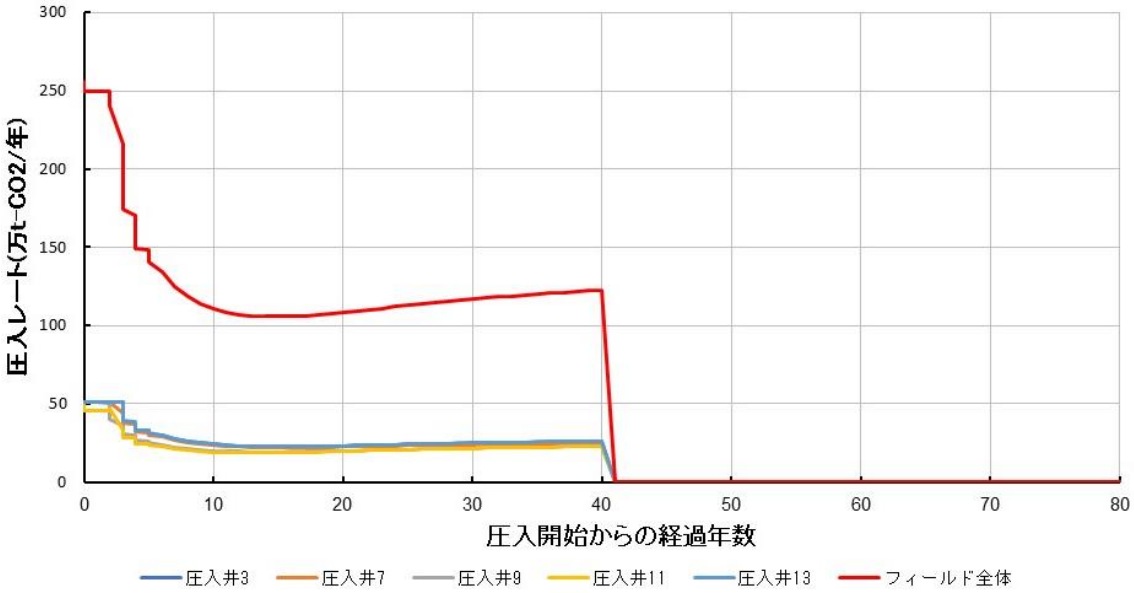


図 4.7-13　圧入レート推移

また、図 4.713 の圧入レート推移では全坑井ともに圧入開始後、初めの 2 年間は 250 万 t-CO_2 の圧入を維持するが、以降は圧入とともに坑井近傍の地層圧力が上昇するため、坑底圧力を圧入区間の地層破壊圧の 9 割以下で維持しつつ圧入を継続するには、坑井あたりの圧入レートを下げることが必要になる。また圧入開始して約 15 年以降は坑井周辺の CO_2 飽

和率が上昇することで緩やかに圧入性が改善していき、徐々に貯留層全体の圧入レートは増加する。

(3) CO_2 飽和率分布

CO_2 は深部塩水よりも密度が小さいため、圧入中および圧入停止中は、浮力により深度の浅い方に向かって移動する。CO_2 飽和率分布をみると、CO_2 は地層傾斜に沿って、あるいは比較的 Kh が高いエリア（貯留可能域の層厚が厚いエリア）に沿って各坑井の若干南方へ広がっていく傾向がみられるが、顕著な移動はみられず、圧入井を中心とした半径 1,500 m 程度の円の範囲内に収まっている。

(4) 溶存 CO_2 量分布

基本的な挙動としては前述の CO_2 飽和率分布と同様で、若干南方に広がる傾向にある。圧入した CO_2 は、地層傾斜に沿ってあるいは比較的 Kh が高いエリア（貯留可能域の層厚が厚いエリア）に沿って広がっており、各坑井から半径 2,500 m 程の円内に貯留され、わずかではあるが貯留可能域 1 の貯留可能域の範囲外への浸透も確認された。

このエリアの南北方向の貯留可能域は「遮蔽層内の砂質岩ファシスの分布状況」および「断層からの離隔距離（2.5 km）」で規定されているが、貯留可能域 1 の範囲外や遮蔽層内への CO_2 の浸透量は表 4.7-9 に示すとおり、総圧入量に対して前者は 0.2%、後者は 0.5%程度であった。

表 4.7-9　総圧入量に対する CO_2 の分布割合

層準	貯留可能域 （貯留可能域 1）内	貯留可能域 （貯留可能域 1）外	層準別合計
遮蔽層	0.5%	0.0%	0.5%
貯留層	99.3%	0.2%	99.5%
領域別合計	99.8%	0.2%	100.0%

(5) 圧入可能量の事前検討（5 坑井×40 年間圧入ケース）まとめ

R2 成果報告書 4.7 節で抽出された各貯留可能域（貯留可能域 1、3、8、9、14）に対して坑井を 1 坑ずつ配置した場合の挙動と Kh マップから、圧入性の観点から貯留可能域 1 の砂の厚いエリアがもっとも有望なエリアであるとして選定した。

1 億 t-CO_2 が貯留可能か否か貯留可能域 1 の砂の厚いエリアに 5 坑井配置して検討を行っ

たが、40 年間の CO_2 の累計圧入量は 0.51 億 t であり、1 億 t-CO_2 には到達しなかった。

浸透率と地層破壊圧の低さが 40 年間で 1 億 t-CO_2 の圧入が達成できなかった主な理由となる。このエリアは圧入性の高いエリアではあるが、範囲は限られており、圧入開始初期は目標レートの 250 万 t-CO_2/年を達成できているが、圧入とともに坑井周辺の貯留層圧力は上昇し､坑底圧力が地層破壊圧の 9 割の圧力を超えないように圧入を継続するには圧入レートを下げることが必要であった。

また制限条件については、遮蔽層下端の圧力がスレッショルド圧力を超えない等の条件を満たすことは出来なかった。ただし、貯留可能域 1 の領域外や遮蔽層へ浸透する CO_2 の量は非常にわずかであり、CO_2 は遮蔽層内に留まることから 5 千万 t-CO_2 程度であれば安定して CO_2 を貯留できると考えられる。

4.7.5　1 億 t-CO_2 を圧入可能な坑井数および圧入期間の検討

4.7.4 項の検討において 5 坑井で 40 年の圧入では 1 億 t-CO_2 の圧入が困難であることが判明した。このことを踏まえ、貯留エリアを貯留可能域 1 の砂の厚いエリアとし、1 億 t-CO_2 を圧入可能な坑井数と圧入期間について圧入条件を検討した。

(1)　圧入条件

250 万 t-CO_2/年を目標レートとして累計 1 億 t-CO_2 まで圧入する条件は変えずに、圧入期間の上限を最大 60 年間として、貯留層全層準を仕上げる設定で圧入井の本数を 5 坑から 15 坑まで 1 坑ずつ追加して坑井数と圧入期間について検討を行ない、そのうえで遮蔽層への浸透を最小限に抑える目的で仕上げ区間の設定について検討を行った。

(2)　制限条件

制限条件は 4.7.4 項と同じ条件にもとづくが、4.7.4 項の検討を基に以下の条件を追加した。

1) 圧入圧力が地層破壊圧を上回らないこと
2) 溶存 CO_2 量の分布範囲が遮蔽層の層厚中間まで到達しない、あるいは遮蔽層に浸透する CO_2 が総圧入量の 1%を超えないこと
3) 溶存 CO_2 量の分布範囲が超臨界条件を外れる深度に到達しないこと

(3)　坑井数の検討

各坑井数における圧入期間と圧入開始から 40 年間の総圧入量について表 4.710 に示す。坑井数が多いほど、1 億 t-CO_2 を圧入するのに要する期間は短くなる一方で、経済的には掘削費用や設備費用が大きくなるデメリットが考えられる。坑井数はこれらの経済的観点お

よび圧入に要する期間を勘案して 10 坑とした。

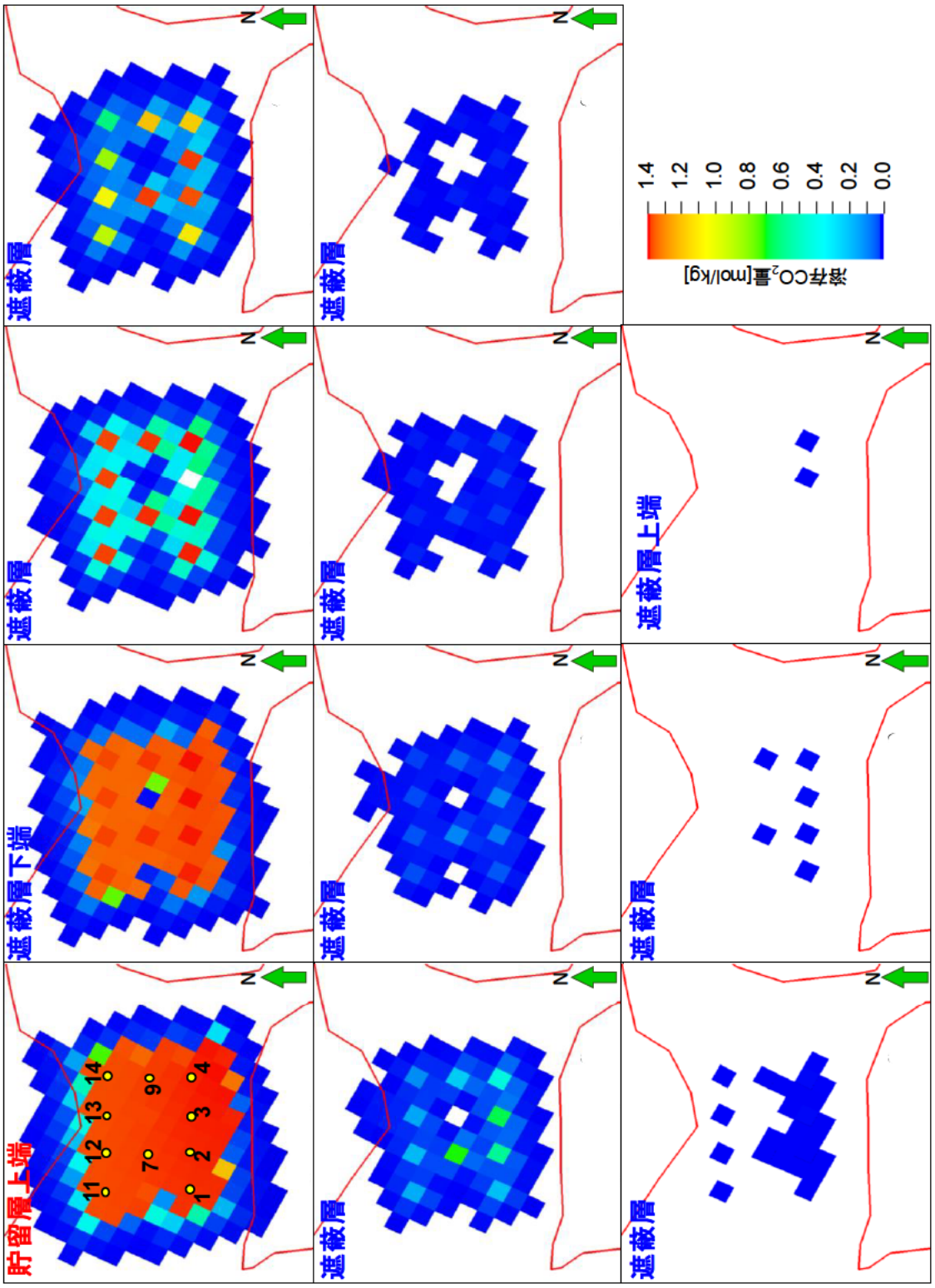
表 4.7-10　坑井数と圧入期間および 40 年間の総圧入量

坑井数	1 億 t-CO_2 圧入に要する期間（年）	40 年総圧入量（億 t-CO_2）
6	>60	0.56
7	>60	0.62
8	>60	0.68
9	56	0.74
10	53	0.78
11	50	0.81
12	49	0.84
13	46	0.88
14	44	0.92
15	43	0.94

(4)　仕上げ区間の検討

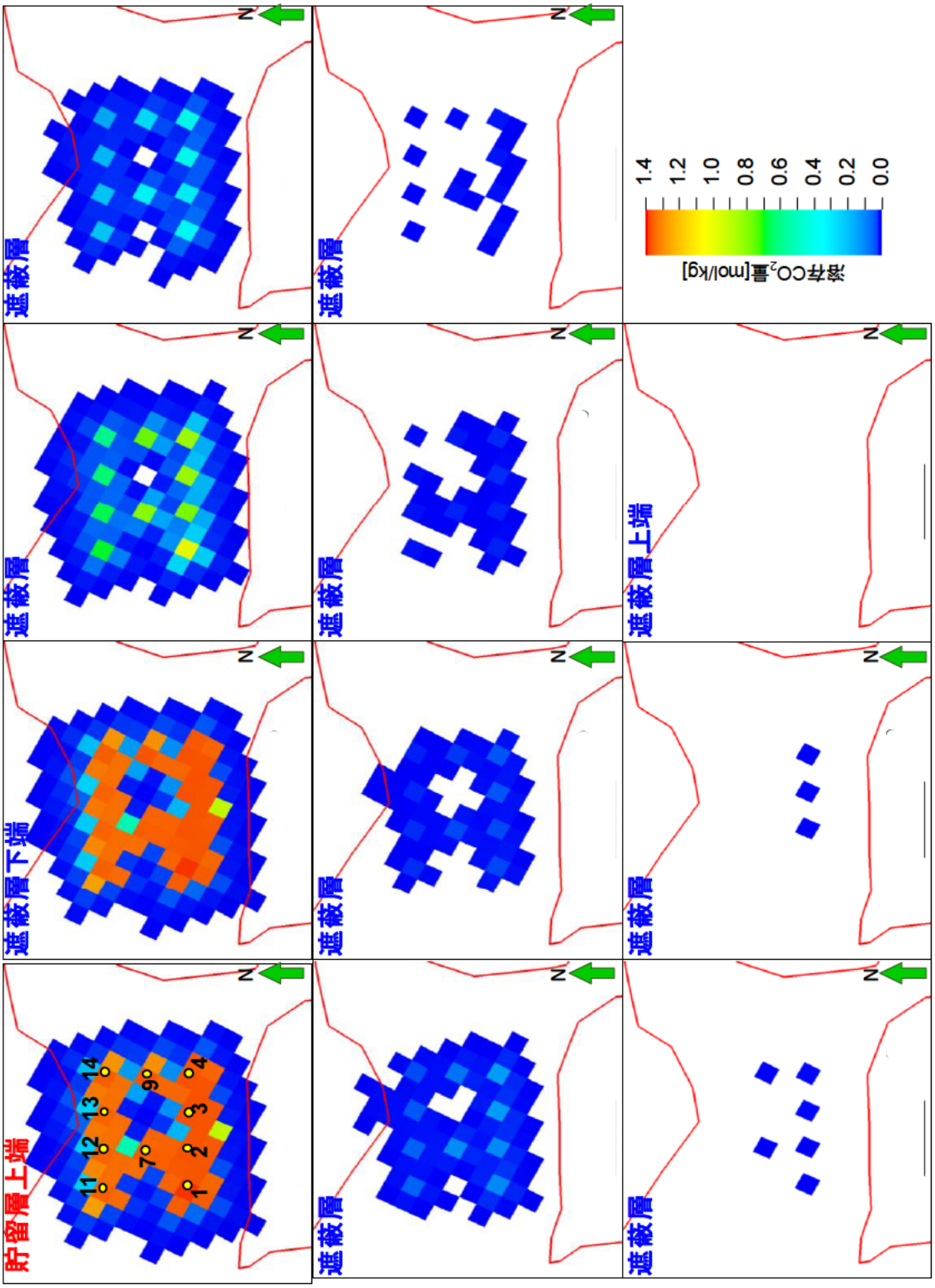
砂質岩ファシスが発達した層準を選択して仕上げ区間とした。この仕上げ区間の仕上げ検討として、選択した区間の仕上げ範囲を下部から 100%、90%、80%としたケースで、シミュレーションを行い、遮蔽層への CO_2 浸透量を評価した。累計 1 億 t-CO_2 を圧入後、1,000 年間経過した貯留層上端から遮蔽層上端までの溶存 CO_2 量分布を図 4.7-14～図 4.7-16 に示す。また、仕上げ区間を変化させた場合における 1 億 t- CO_2 圧入に要する期間と遮蔽層への浸透割合については表 4.7-11 に示す。仕上げ区間を 100%とした場合には図 4.7-14 に示すように圧入した CO_2 が遮蔽層上端まで達することを確認した。一方、下部から 80%とした場合には、下部 90%とした場合と比べて、貯留層下部に圧入されることで浮力により遮蔽層上部に浸透する CO_2 が抑制され、遮蔽層内への浸透量も総圧入量の 0.2%程度に抑えられている。

以上から、最少坑井数の設定においては、遮蔽層内への浸透割合を抑制するために坑井数 10 坑、貯留層下部 80%仕上げケースをベースケースとして選定した。



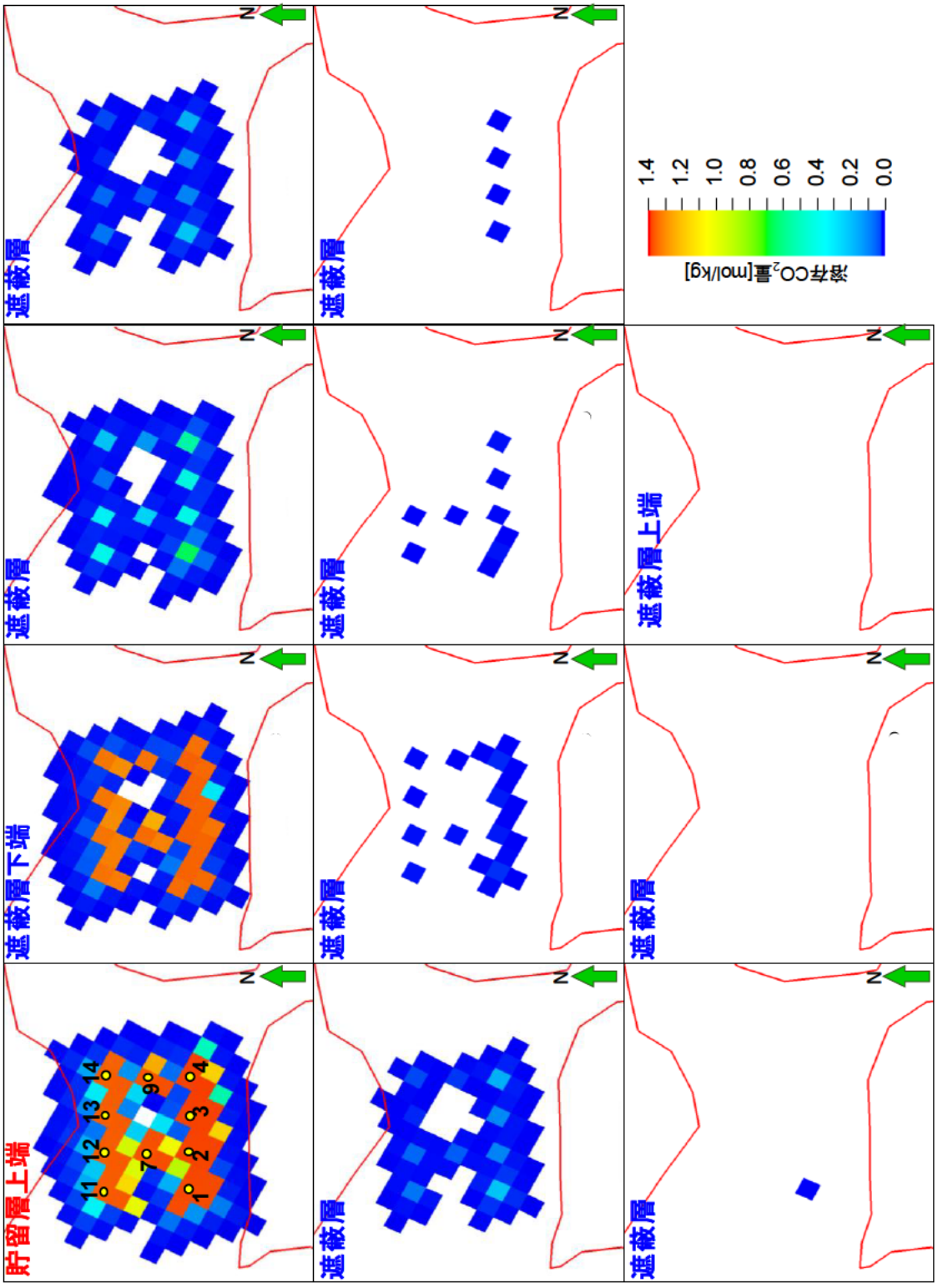
注）平面図（溶存 CO_2 量 3.0×10^{-5} mol/kg 以上のグリッドを表示）

図 4.7-14　貯留層上端～遮蔽層上端における圧入停止 1,000 年後の
溶存 CO_2 量分布（100%仕上げケース）



注）平面図（溶存 CO_2 量 3.0×10^{-5} mol/kg 以上のグリッドを表示）

図 4.7-15　貯留層上端～遮蔽層上端における圧入停止 1,000 年後の
溶存 CO_2 量分布（90%仕上げ設定）



注）平面図（溶存 CO_2 量 3.0×10^{-5} mol/kg 以上のグリッドを表示）

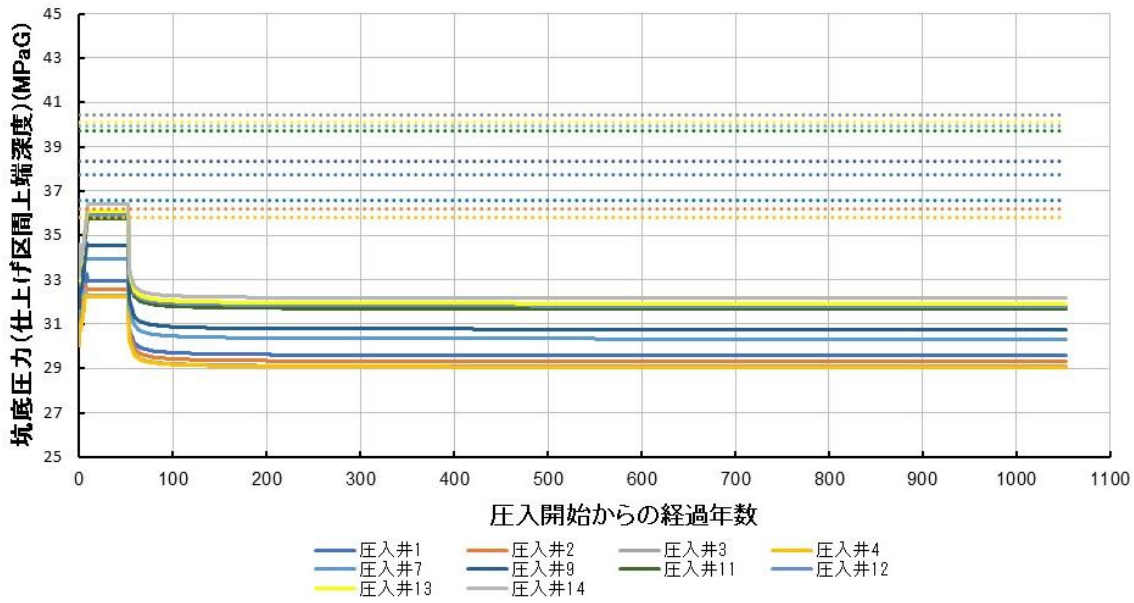
図 4.7-16　貯留層上端～遮蔽層上端における圧入停止 1,000 年後の
溶存 CO_2 量分布（80%仕上げ設定）

表 4.7-11　圧入期間および遮蔽層への浸透割合

仕上げ区間割合（%）	1 億 t-CO_2 圧入に要する期間（年）	総圧入量に対する遮蔽層への浸透割合（%）
全区間	53	0.7
90%	54	0.4
80%	56	0.2

(5)　坑底圧力および圧入レート推移

坑井数 10 坑、貯留層下部 80%仕上げで 1 億 t-CO_2 圧入したときの坑底圧力の推移を図 4.717 に、圧入レート推移を図 4.7-18 に示す。



注）点線は各圧入井仕上げ区間上端深度の地層破壊圧力。色は実線が表す圧入井に対応。

図 4.7-17　圧入井仕上げ区間上端深度の坑底圧力推移

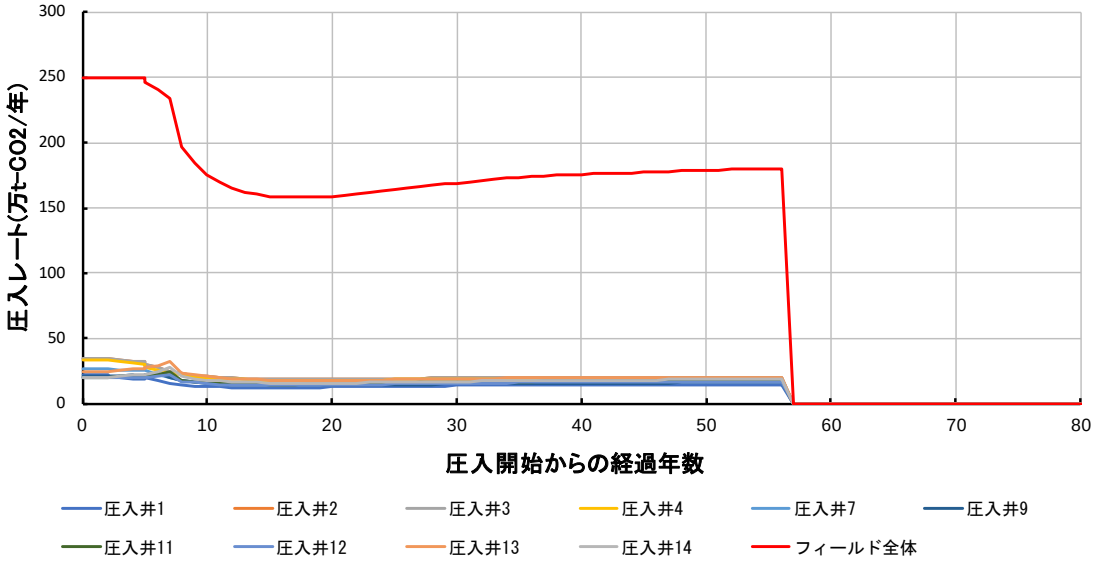


図 4.7-18　圧入レート推移

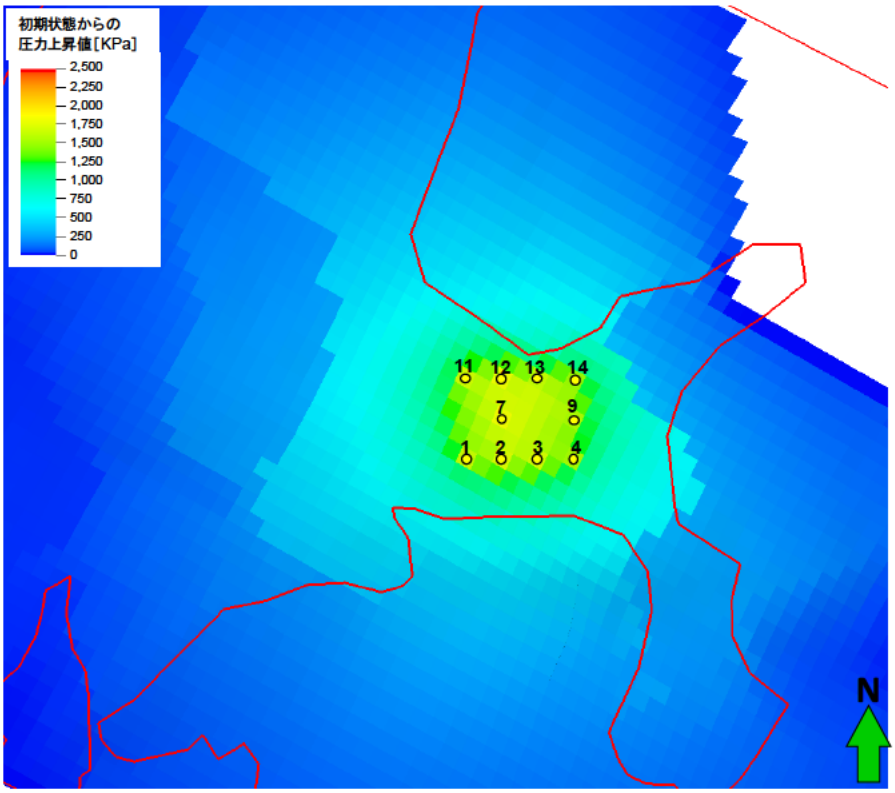
図 4.717 の点線は各圧入井仕上げ区間上端深度の地層破壊圧を示しており、全圧入期間および監視期間において、仕上げ区間上端の坑底圧力は地層破壊圧を下回っている。また図 4.7-18 の圧入レート推移をみると、全坑井ともに圧入開始後、初めの 5 年間は目標レート 250 万 t-CO_2/年を維持できているがそれ以降、坑底圧力を地層破壊圧の 9 割で制御するためにレートが低下する。また圧入開始から約 15 年以降は、坑井周辺の CO_2 飽和率が上昇することで緩やかに圧入性が改善していき、合計圧入レートは徐々に増加する。

(6)　遮蔽層下端圧力変化

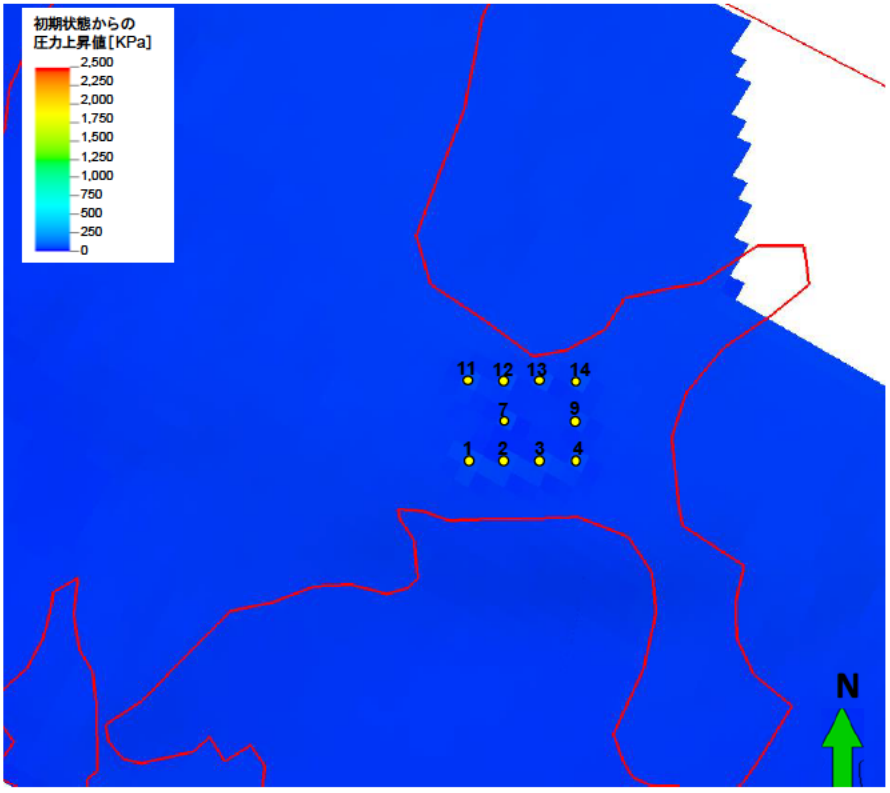
圧入停止直後と 1,000 年後の遮蔽層下端における初期状態からの圧力上昇値の平面図を図 4.719 に示す。また、各坑井における遮蔽層下端の初期状態からの圧力変化推移を図 4.720 に示す。

遮蔽層下端における圧力変化がもっとも大きくなるのは、各坑井への圧入を停止するタイミングである。圧入期間中は、初期圧力に対して各坑井とも 1,100～1,800 kPa 程度まで上昇し、スレッショルド圧力の 610 kPa を超過し、遮蔽層への浸透も生じている。また、圧入停止 20 年以内にはスレッショルド圧力以下となり、圧入停止 1,000 年後にはおおむね初期圧力まで戻っている。

圧入停止直後（圧力上昇値(遮蔽層下端)）



圧入停止1,000年後（圧力上昇値(遮蔽層下端)）



注）平面図（コンター：遮蔽層下端）

図 4.7-19　圧入停止時および圧入停止 1,000 年後の初期状態からの圧力上昇値

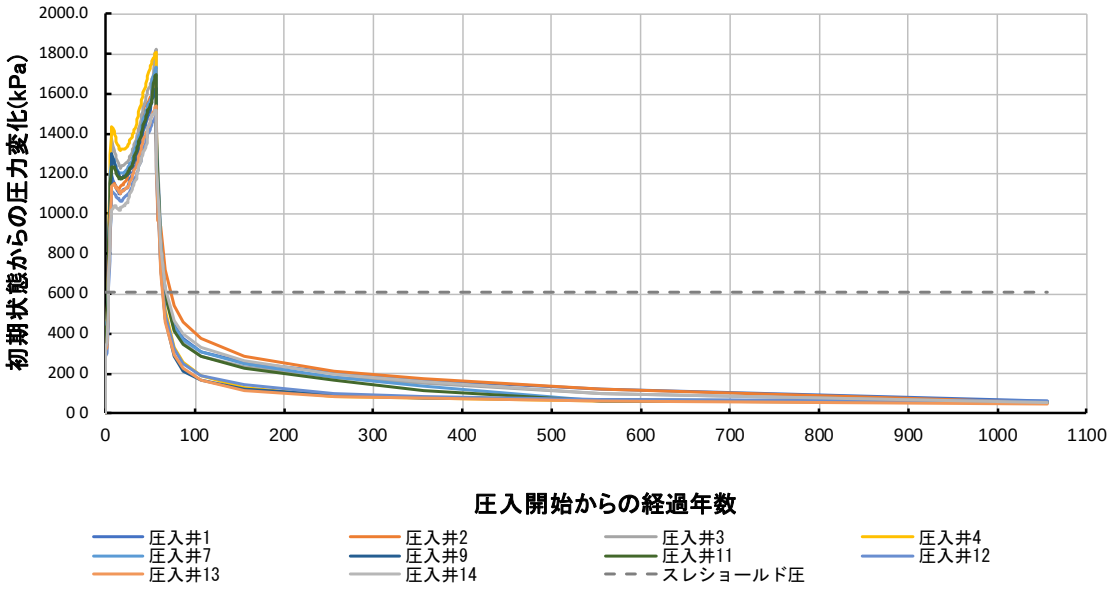


図 4.7-20　遮蔽層下端圧力推移

(7)　CO_2 飽和率分布

各圧入井の圧入停止時および圧入停止 1,000 年後の CO_2 飽和率分布については 4.7.4 項の検討と同様に圧入した CO_2 は、地層傾斜に沿って深度が浅い、あるいは比較的 Kh が高いエリア（貯留可能域の層厚が厚いエリア）に沿って各圧入井より若干南方に広がっているが、CO_2 の顕著な移動はみられず、圧入井を中心とした半径 1,500 m 程度の円の範囲内に収まっている。

(8)　溶存 CO_2 量分布

各圧入井の圧入停止時および圧入停止 1,000 年後の溶存 CO_2 量分布については 4.7.4 項の検討と同様に、溶存 CO_2 量分布は CO_2 飽和率分布より若干広い範囲に分布している。基本的な挙動としては、地層傾斜に沿って深度が浅い、あるいは比較的 Kh が高いエリア（貯留可能域の層厚が厚いエリア）に沿って各圧入井より若干南方に広がっており、各坑井を中心として 2,500 m の半径の円内に収まっている圧入停止 1000 年後には、溶存 CO_2 が貯留可能域 1 の範囲外や遮蔽層内に分布しているが、表 4.7-12 に示すように総圧入量に対する割合はそれぞれ 0.2%程度であり、遮蔽層へ浸透した CO_2 は遮蔽層上端には到達しておらず、区域内に安定して貯留されていることを確認した。

表 4.7-12　総圧入量に対する CO_2 の分布割合

層準	貯留可能域（貯留可能域 1）内	貯留可能域（貯留可能域 1）外	層準別合計
遮蔽層	0.2%	0.0%	0.2%
貯留層	99.7%	0.2%	99.8%
領域別合計	99.8%	0.2%	100.0%

(9)　CO_2 貯留形態

CO_2 貯留形態の推移を図 4.721 に示す。溶存 CO_2 は深部塩水に溶存した CO_2 の割合であり、残留 CO_2 は岩石にトラップされた CO_2 の割合である。圧入停止 1,000 年後には溶存 CO_2、および残留 CO_2 割合がそれぞれ 36%、63%に落ち着いている。流動可能な CO_2 の割合は、超臨界 CO_2 の割合から残留 CO_2 の割合を引いた値であり、その割合は 1%程度である。4.7.5 項と同様で、最終的に、圧入した CO_2 の 0.3%強は貯留可能域 1 の範囲外や遮蔽層へ浸透しているが、流動可能な CO_2 の割合は 1%程度であり、ほとんど流動がない状態であることから安定して貯留できている。

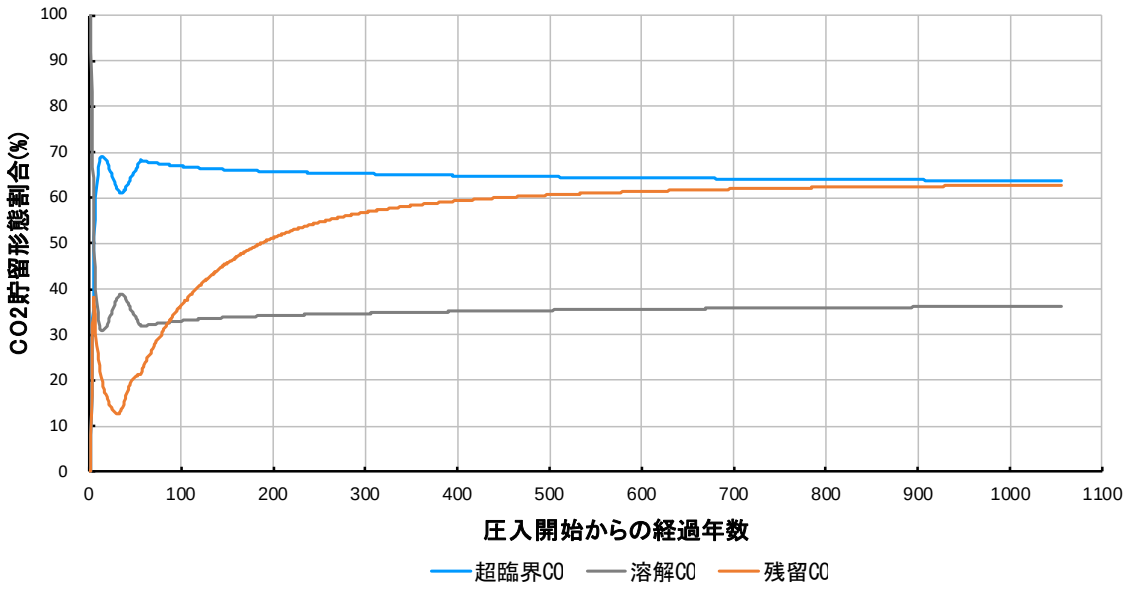


図 4.7-21　CO_2 貯留形態割合推移

(10)　1 億 t-CO_2 を圧入可能な坑井数および圧入期間の検討まとめ

1 億 t-CO_2 を貯留可能な坑井数および圧入期間の設定について検討を行った。

まず、貯留層層準の全区間を仕上げる設定では圧入井の本数を 5 坑から 15 坑まで 1 坑ずつ追加して圧入期間や遮蔽層等への浸透状況を確認した。坑井数 9 坑以上で 60 年間以内に 1 億 t-CO_2 を圧入可能であり、圧入期間は 9 坑で 56 年間、10 坑で 53 年間、11 坑で 50 年間、12 坑で 49 年間と、限られた範囲に坑井を追加していくため、坑井数を増やしても徐々に圧入期間の短縮効果は薄くなっていき、15 坑では 43 年間という結果であった。一方、経済的には掘削費用や設備費用が大きくなるため、10 坑ケースであれば掘削数としても圧入期間としても現実的な圧入条件であると判断して検討を進めた。ただし、遮蔽層への浸透状況については非常にわずかであるが圧入した CO_2 が遮蔽層上端まで達していたため、圧入期間は伸びることになるものの、さらに 10 坑ケースで仕上げ区間の深部化（部分仕上げ）に変更して検討した。

部分仕上げでは、下部 90%仕上げと下部 80%仕上げについて検討を行い、下部 80%仕上げであれば遮蔽層への浸透量は CO_2 の総圧入量の 0.2%程度に抑えられ、圧入期間 56 年で 1 億 t-CO_2 を貯留可能であったことから、坑井数 10 坑の 80%仕上げを最少坑井数の設定として結論付けた。なお、最少坑井数の設定における 40 年間の累計圧入量は 0.73 億 t であった。

4.7.6　最大圧入レートの検討

4.7.5 項で選定したベースケースを用いて、最大圧入レートの検討を行なった。1 億 t-CO_2 を圧入するのに要する期間と 40 年間の累計圧入量について表 4.7-13 に示す。

具体的には、250～375 万 t-CO_2/年まで、25 万 t-CO_2/年間隔で目標圧入レート（固定レート）を変えたケースを作成し、最少坑井数の設定における最大圧入レートについて検討した。いずれのケースにおける圧入挙動も圧入開始初期は目標レートを達成できるものの数年のうちに坑井周辺の圧力は上昇するため、地層破壊圧の 9 割で圧入を継続するには圧入レートを下げることになり圧入期間の短縮効果は限定的であった。

もっとも圧入期間の短縮効果が確認できたのは 375 万 t-CO_2/年のケースであり、250 万 t-CO_2/年のケースに対して圧入期間は 2 年程度短縮され、54 年間で 1 億 t-CO_2 の圧入が可能であった。40 年経過時点での CO_2 の累計圧入量は 0.75 億 t であった。遮蔽層等への浸透状況についても最少坑井数のケースと同程度であり、溶存 CO_2 の分布域は遮蔽層の中間よりも上位へ浸透しているものの量としては非常にわずかで、最終的に、遮蔽層への浸透量は総圧入量の 0.2%程度であり、安定して貯留されていることを確認した。

表 4.7-13　1 億 t-CO_2 圧入に要する期間および 40 年間の累計圧入量

圧入レート（万 t-CO_2/年）	1 億 t-CO_2 圧入に要する期間（年）	40 年間の累計圧入量（億 t-CO_2）
250	56	0.73
275	55	0.73
300	55	0.74
325	55	0.75
350	55	0.75
375	54	0.75

4.7.7　最大圧入量の検討

4.7.6 項の結果を踏まえて、ベースケースを用いて最大圧入量の検討を行った。各坑井の圧入量および圧入開始から 40 年時点の圧入量について表 4.7-14 に、圧入レートの推移を図 4.7-22 に、圧力推移を図 4.7-23 に示す。

最少坑井数の設定（坑井数 10 坑下部 80%仕上げ）において目標レート 375 万 t-CO_2/年、圧入期間 60 年間を圧入条件としてシミュレーションを実施し、60 年間で 1.11 億 t-CO_2 の貯留が可能であることを確認した。40 年経過時点での CO_2 の累計圧入量は 0.75 億 t であった。遮蔽層等への浸透状況についても最少坑井数の設定のケースと同程度であり、最終的に、溶存 CO_2 の分布域は遮蔽層の中間よりも上位へ浸透しているものの量としては非常にわずかで、遮蔽層への浸透量は総圧入量の 0.2%程度であり、移動可能な CO_2 は全体の 1%まで下がっており、安定して貯留されていることを確認した。

表 4.7-14　各坑井の圧入量

坑井	40 年間での圧入量 （億 t-CO_2）	総圧入量 （億 t-CO_2）
1	0.06	0.09
2	0.09	0.13
3	0.09	0.12
4	0.07	0.10
7	0.08	0.12
9	0.07	0.10
11	0.07	0.11
12	0.07	0.10
13	0.08	0.13
14	0.07	0.11
合計	0.75	1.11

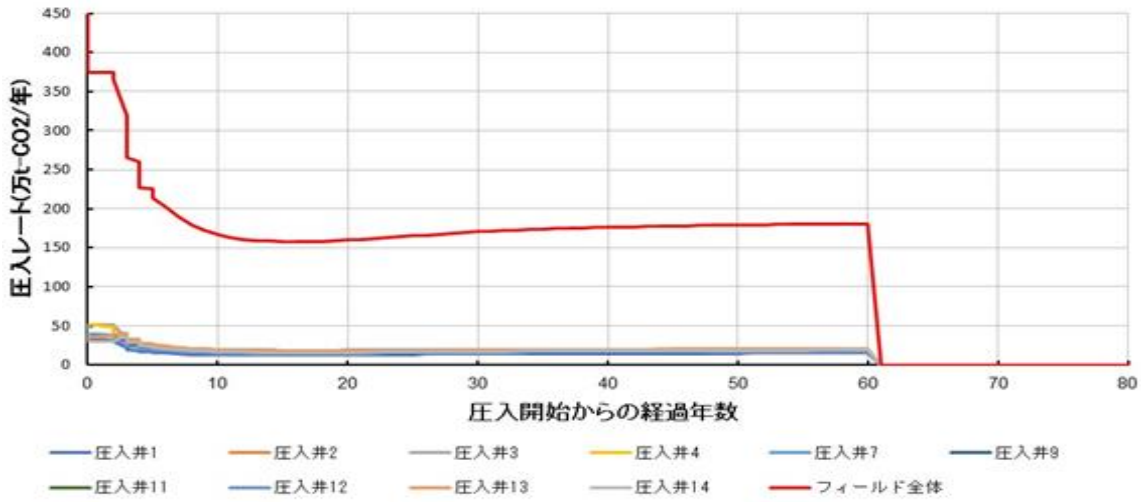
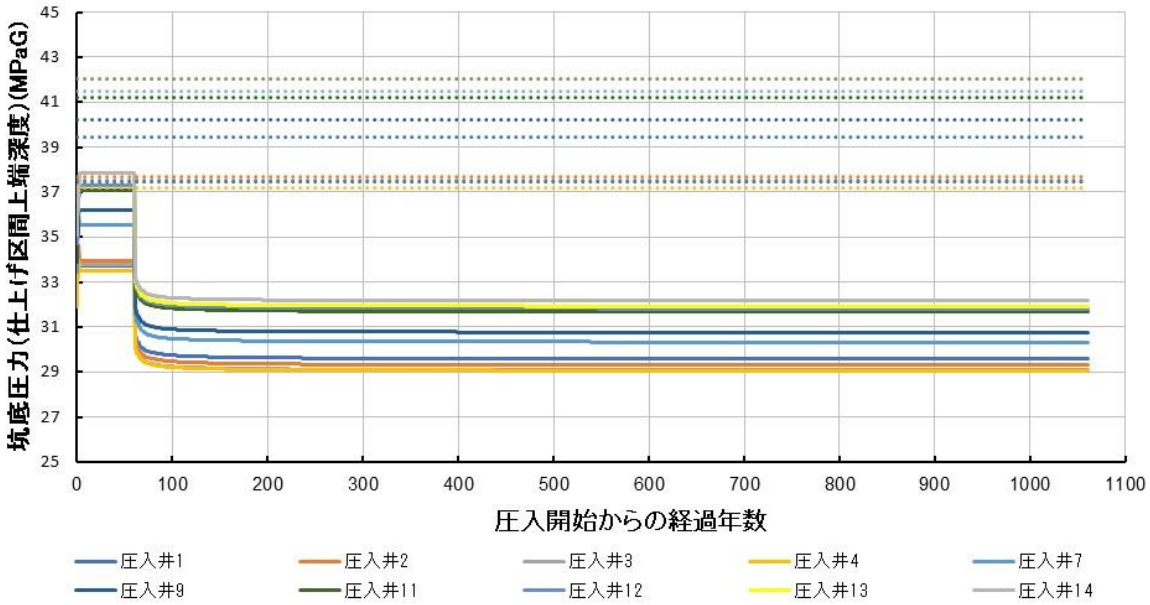


図 4.7-22　圧入レート推移



注）点線は各圧入井仕上げ区間上端深度の地層破壊圧力、色は実線が表す圧入井に対応

図 4.7-23　坑井仕上げ区間上端深度の坑底圧力推移

4.7.8　感度分析

前述の１億 t-CO_2 を圧入可能な坑井数および圧入期間の検討にて 10 坑井で約１億 t-CO_2 の圧入・貯留が可能であるとする結果を得た。ただし、現状は調査井掘削前であり地質的な不確実性を考慮すると 1)地層圧、2)浸透率、3)地層破壊圧の三つが圧入量に影響を与える可能性が大きいパラメータと考えられるため、表 4.7-15 に示すように三つのパラメータの値を変化させ、CO_2 圧入量や圧入状況、貯留形態に与える影響について比較検討を行い、圧入量や CO_2 の分布等の変化について、リスク感度分析を行った。さらに、10 坑井で 1 億 t-CO_2 の半分の 5,000 万 t-CO_2 を圧入した場合の CO_2 の挙動を確認するため、5,000 万 t-CO_2 圧入ケースについてもシミュレーションを行った。

表 4.7-15　感度分析ケース設定

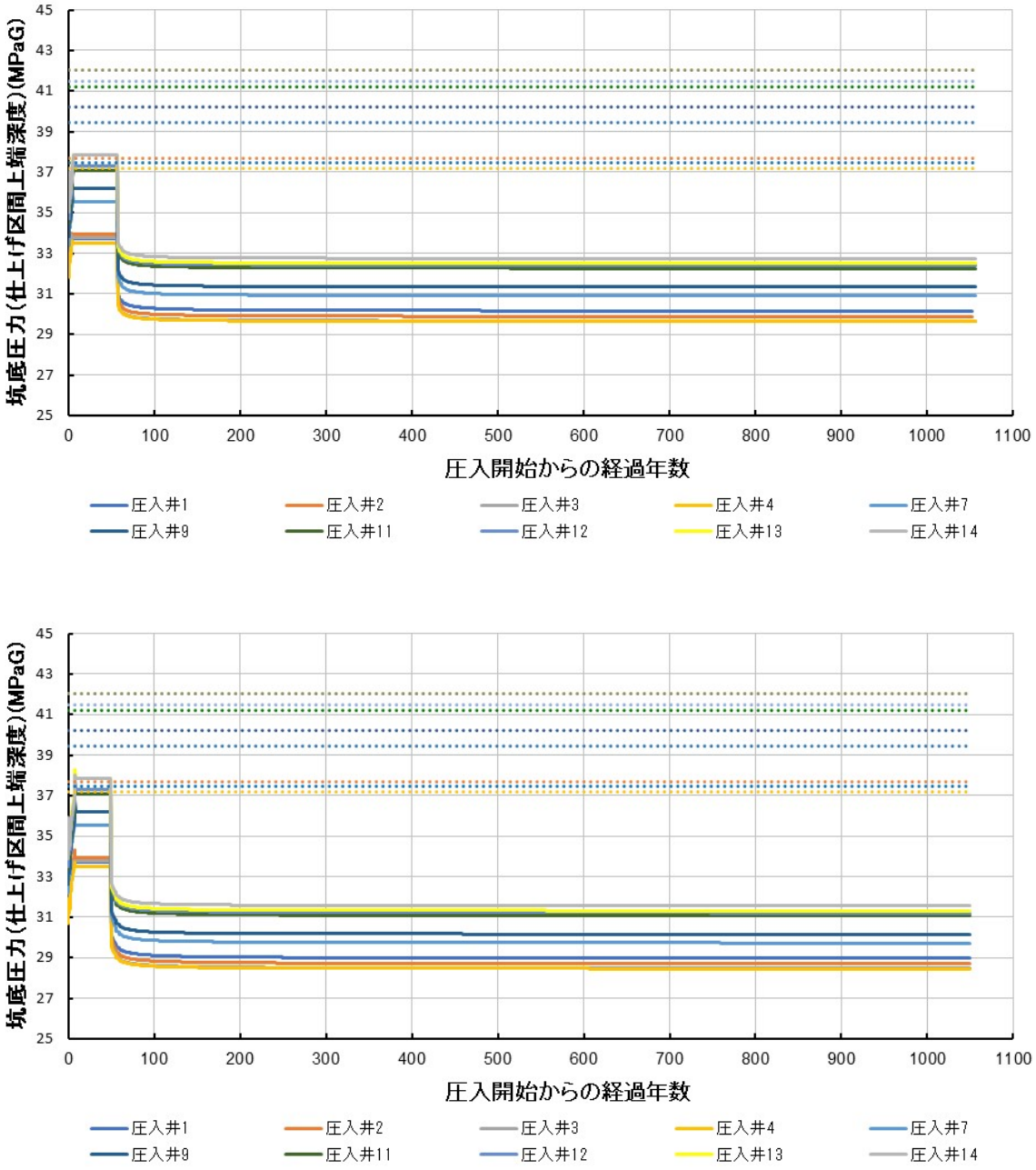
パラメータ	小	ベース	大
地層圧	(-15%)	4.7.5 節で選定したベースケースのパラメータ	(+15%)
浸透率	0.5 倍		2 倍
地層破壊圧	Low case		High case
圧入量	圧入量を 5,000 万 t-CO_2 までとしたケース		

(1)　地層圧を変化させたケース

地層圧(等価比重 1.065 g/cm³)について、圧力勾配を±15%変化させ、地層圧が 1.05 g/cm³ 相当および 1.08 g/cm³ 相当の時の累計 1 億 t-CO_2 を圧入する場合の挙動を確認した。圧入量の比較を表 4.7-16 に、地層圧を変化させたケースの各坑井の坑底圧を図 4.7-24 に示す。また圧入レートを図 4.7-25 に示す。CO_2 の累計圧入量は、地層圧力を+15%したケースでは 56 年間で 0.87 億 t、地層圧力を-15%したケースでは 49 年間で 1.01 億 t-CO_2 であった。40 年間での圧入量で比較すると、地層圧力を-15%したケースの方が地層圧力を+15%したケースより累計圧入量は 30%ほど大きく、圧入期間も短縮できている。これは、地層圧力を-15%したケースでは初期の貯留層圧力と地層破壊圧の圧力差が大きい分、圧入レートを高く維持できるためである。

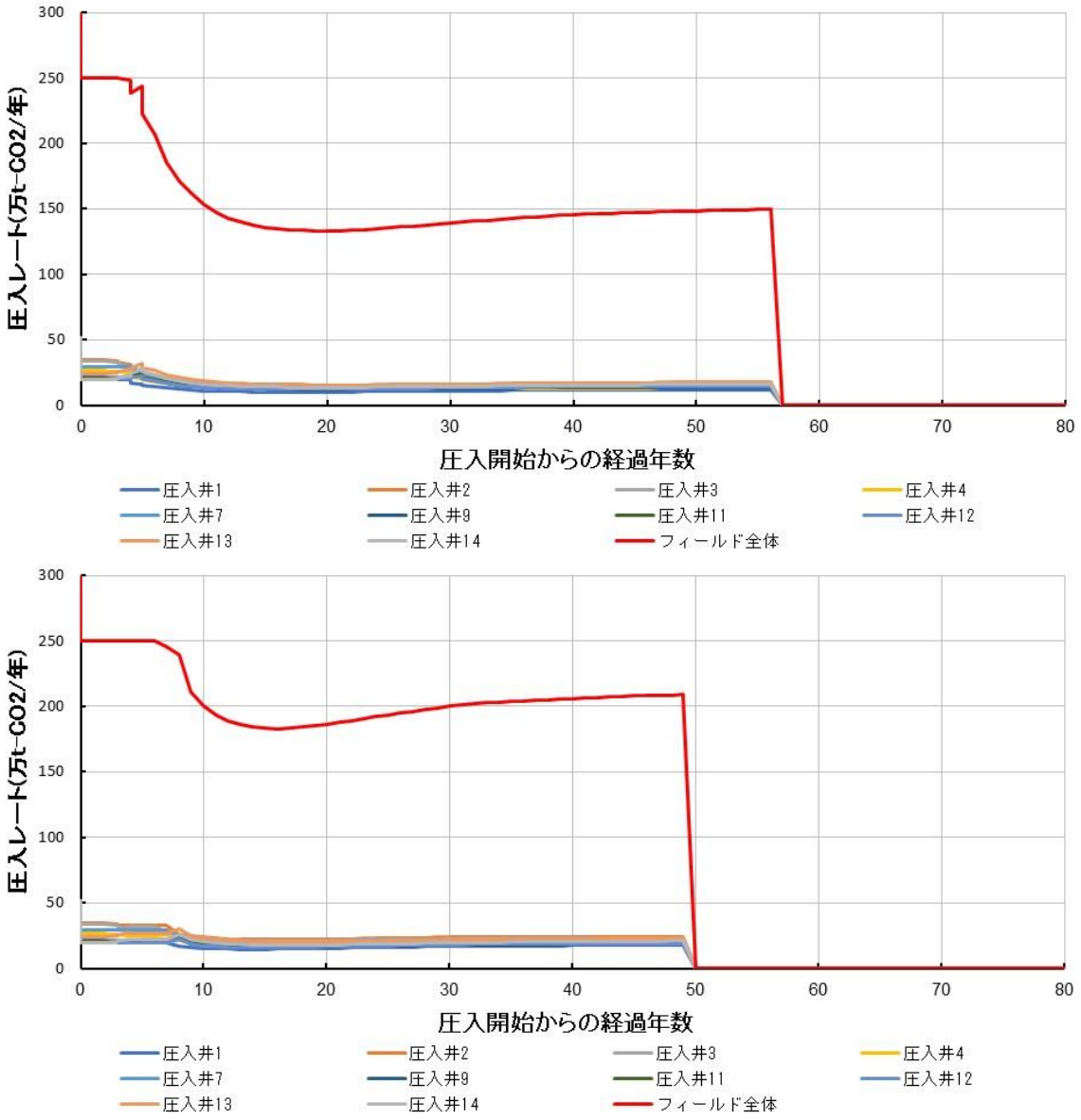
表 4.7-16　圧入量の比較

坑井	地層圧力（+15%）			地層圧力（-15%）		
	圧入期間（年）	40 年間での圧入量（億 t-CO_2）	総圧入量（億 t-CO_2）	圧入期間（年）	40 年間での圧入量（億 t-CO_2）	総圧入量（億 t-CO_2）
合計	56	0.63	0.87	49	0.82	1.01



注 1）点線は各圧入井仕上げ区間上端深度の地層破壊圧力。色は実線が表す圧入井に対応
注 2）上図：地層圧力+15%ケース、下図：地層圧力-15%ケースを示す。

図 4.7-24　圧入井仕上げ区間上端深度の坑底圧力推移



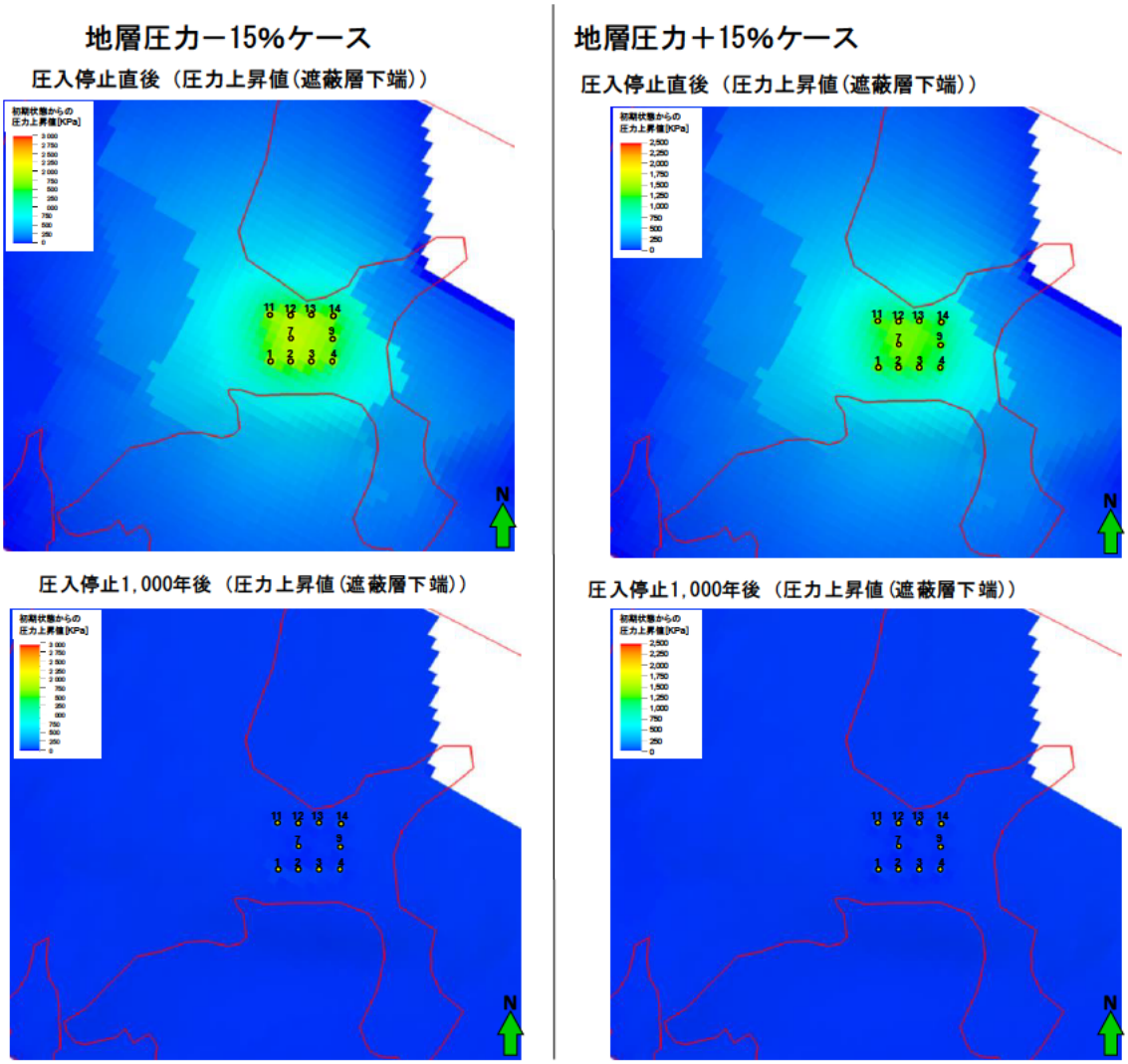
注）上図：地層圧力+15%ケース、下図：地層圧力-15%ケースを示す。

図 4.7-25　圧入レート推移

①　圧力分布の比較（地層圧（小）と地層圧（大）ケース）

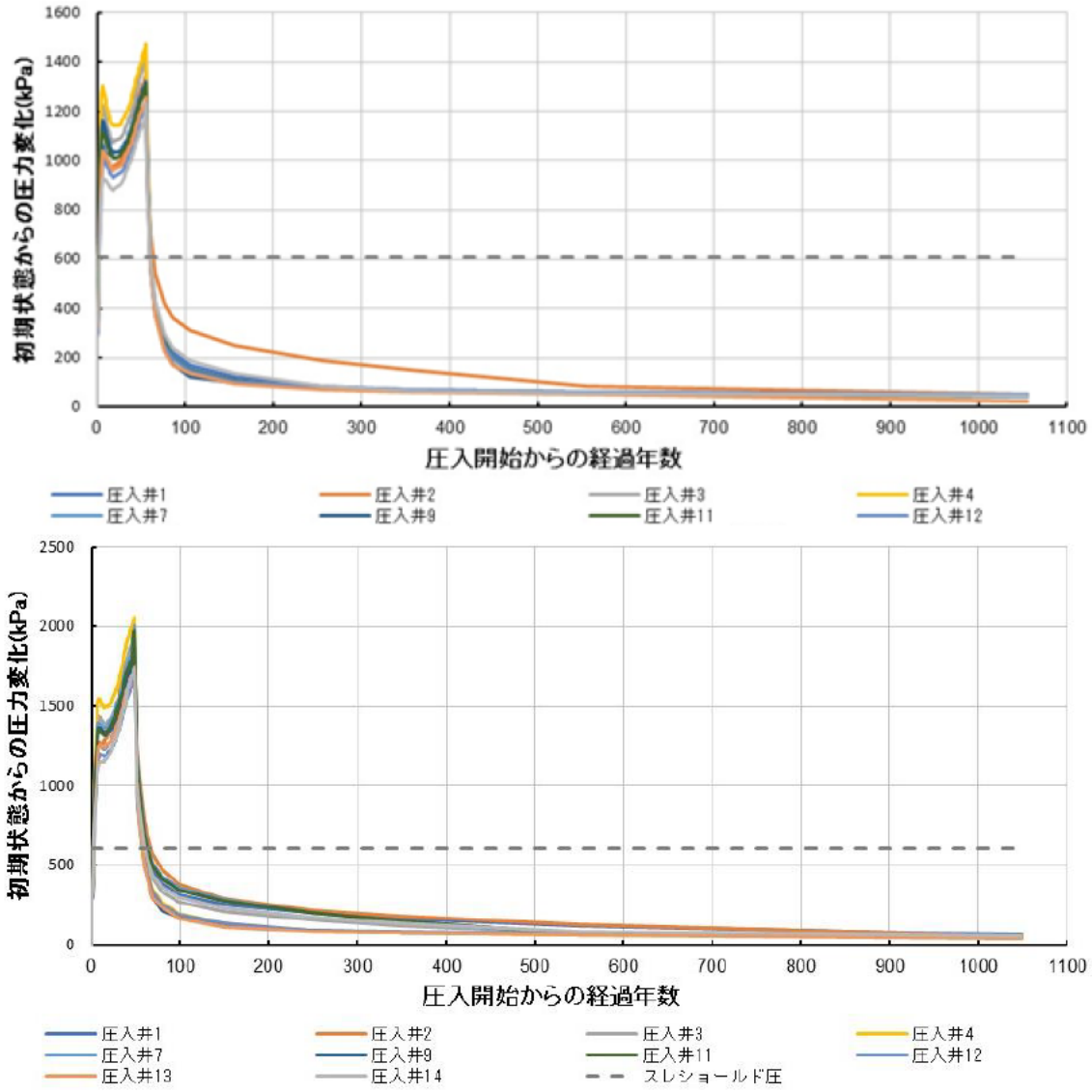
地層圧力を+15%したケースと地層圧力を-15%したケースにおける圧入停止時および圧入停止 1,000 年後の遮蔽層下端における初期状態からの圧力上昇値の平面図を図 4.7-26 に示す。また、各坑井における遮蔽層下端の初期状態からの圧力変化推移を図 4.7-27 に示す。遮蔽層下端における圧力変化がもっとも大きくなるのは、各坑井を圧入停止するタイミングである。圧入期間中は、地層圧力を+15%したケースでは 1,200～1,400 kPa 程度、地層圧力を-15%したケースでは 1,600～2,000 kPa 程度上昇し、スレッショルド圧力 610 kPa

を超過し、遮蔽層への浸透も生じている。また、両ケースともに、圧入停止 20 年以内にはスレッショルド圧力以下となり、停止 1,000 年後にはおおむね初期圧力まで戻っている。



注）平面図（コンター：遮蔽層下端）

図 4.7-26　圧入停止時および圧入停止 1,000 年後の圧力分布の比較



注）上図：地層圧力勾配+15%ケース、下図：地層圧力勾配-15%ケースを示す。

図 4.7-27　遮蔽層下端圧力推移

②　CO_2 飽和率分布の比較（地層圧（小）と地層圧（大）ケース）

各圧入井の圧入停止時および圧入停止 1,000 年後の CO_2 飽和率分布については 4.7.7 項までの検討と同様に両ケースとも、圧入した CO_2 は地層傾斜に沿って、あるいは比較的 Kh が高いエリア（貯留可能域の層厚が厚いエリア）に沿って各坑井の若干南方へ広がっていく傾向がみられるが、CO_2 の顕著な移動はみられず、圧入井を中心とした半径 1,000 m 程度の円の範囲内に収まっている。

③　溶存 CO_2 量分布の比較（地層圧（小）と地層圧（大）ケース）

各圧入井の圧入停止時および圧入停止 1,000 年後の溶存 CO_2 量分布については 4.7.7 項までの検討と同様で、溶存 CO_2 量分布は、両ケースともに CO_2 飽和率分布より若干広い範囲に分布している。基本的な挙動も同じで、地層傾斜に沿って深度が浅い、あるいは比較的 Kh が高いエリア（貯留可能域の層厚が厚いエリア）に沿って各圧入井より若干南方に広がっている。両ケースを比較すると、地層圧力を-15%したケースの方が累計量を多く圧入している分広く分布している。貯留可能域 1 の範囲外や遮蔽層への浸透量については表 4.7-17 に示すように、どちらのケースも遮蔽層上端まで溶存 CO_2 は到達しておらず、遮蔽層内への CO_2 の浸透量は総圧入量の 0.2%ほどに収まっており、区域内に安定して貯留されていることを確認した。

表 4.7-17　総圧入量に対する CO_2 の分布割合

地層圧力 +15%

層準	貯留可能域（貯留可能域 1）内	貯留可能域（貯留可能域 1）外	層準別合計
遮蔽層	0.2%	0.0%	0.2%
貯留層	99.6%	0.2%	99.8%
領域別合計	99.8%	0.2%	100.0%

地層圧力 -15%

層準	貯留可能域（貯留可能域 1）内	貯留可能域（貯留可能域 1）外	層準別合計
遮蔽層	0.2%	0.0%	0.2%
貯留層	99.6%	0.2%	99.8%
領域別合計	99.8%	0.2%	100.0%

④　貯留形態割合の推移

CO_2 貯留形態の推移を図 4.7-28 に示す。溶存 CO_2 は深部塩水に溶存した CO_2 の割合であり、残留 CO_2 は岩石にトラップされた CO_2 の割合である。超臨界 CO_2 の割合から残留 CO_2 の割合を引いた値が流動可能な CO_2 の割合である。圧入停止 1,000 年後の溶存 CO_2 の割合と残留 CO_2 の割合について表 4.7-18 に示す。流動可能な CO_2 の割合は、超臨界 CO_2 の割合から残留 CO_2 の割合を引いた値となり、その割合は両ケースともに 1%程である。

最終的に、両ケースとも圧入した CO_2 の 0.2%は貯留可能域 1 の範囲外や遮蔽層へ浸透しているが、流動可能な CO_2 割合は 1%ほどであり、CO_2 はほとんど流動しない状態で安定して貯留できることを確認した。

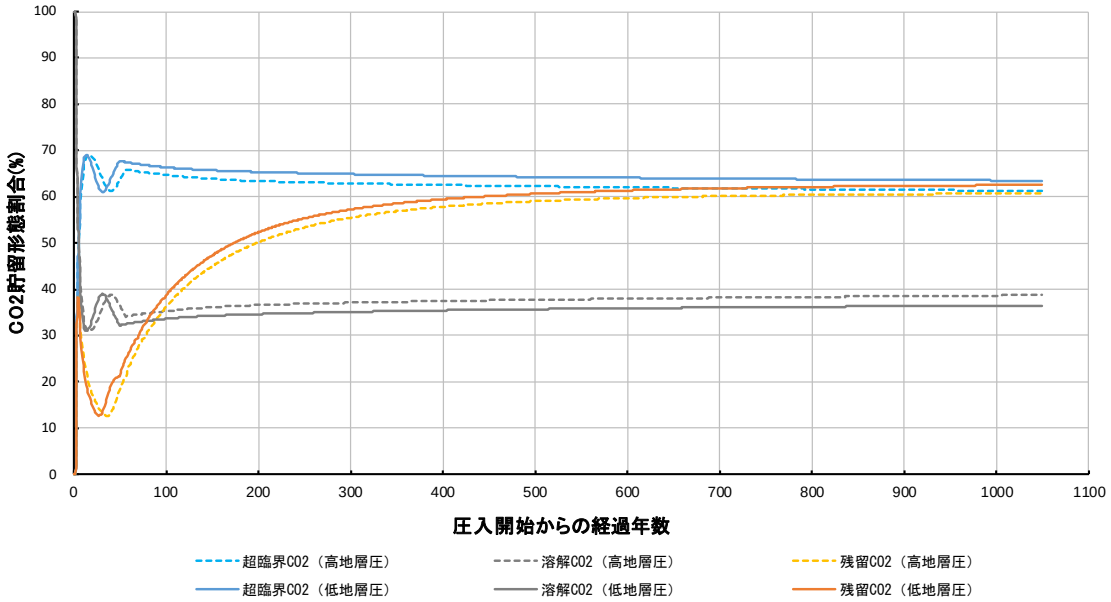


図 4.7-28　CO_2 貯留形態の経時変化

表 4.7-18　CO_2 貯留形態割合

	溶存 CO_2（%）	残留 CO_2（%）
地層圧力 +15%	39	61
地層圧力 −15%	37	63

(2)　浸透率を変化させたケース

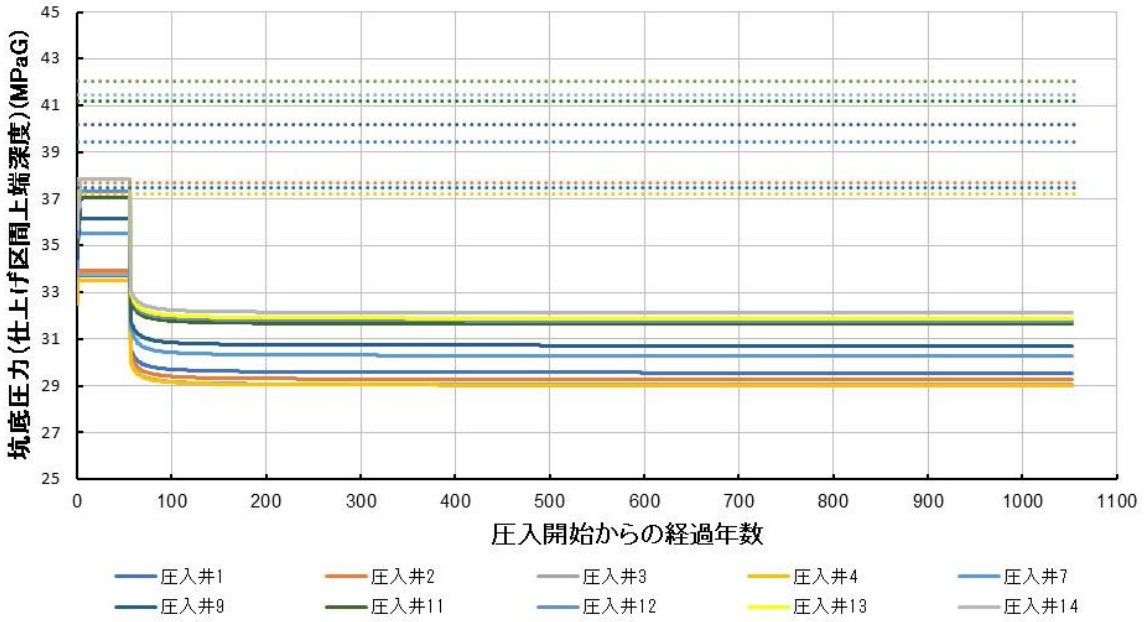
浸透率 0.5 倍のケースと浸透率 2 倍のケースについて、圧入期間、40 年間での圧入量および総圧入量について表 4.7-19 に示す。また、坑底圧力推移を図 4.729、圧入レート推移を図 4.730 に示す。

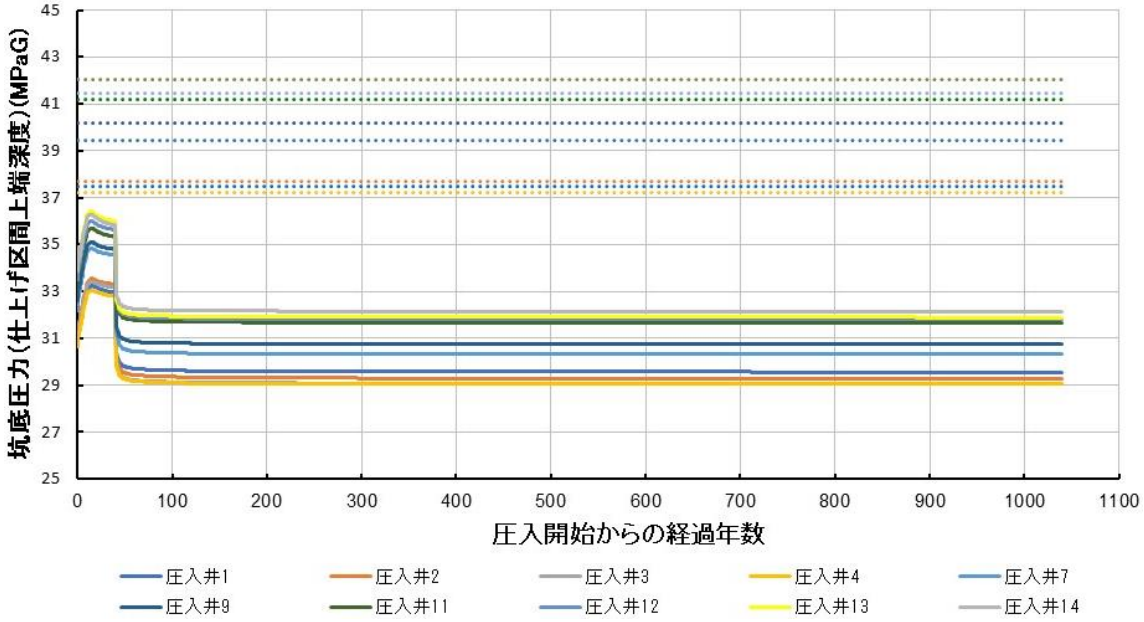
CO_2 の累計圧入量としては、浸透率 0.5 倍のケースは 56 年間圧入で 0.55 億 t、浸透率 2 倍のケースは 40 年間圧入で 1.0 億 t であった。40 年間での圧入量で比較すると、浸透率 2 倍のケースの方が浸透率 0.5 倍のケースより圧入量は 2.3 倍大きい。これは、浸透率を 2 倍のケースの方は貯留可能域 1 の砂の厚いエリアだけでなくその周辺も浸透率が高くなった結果、圧入エリアの圧力上昇が限定的で、圧入性が良くなったことで圧入圧力による制御を

受けずに目標レート 250 万 t-CO_2/年を維持できるからと考えられる。図 4.729 の点線は各圧入井仕上げ区間上端深度の地層破壊圧を示しており、全圧入期間および監視期間において、仕上げ区間上端の坑底圧力は地層破壊圧を下回っている。また図 4.730 の圧入レート推移をみると、圧入開始後、浸透率 0.5 倍のケースでは 2 年間一定となっているが、以降、坑井近傍の地層圧力上昇とともに坑底圧力を地層破壊圧力の 9 割に維持するにはレートを下げることになり 250 万 t-CO_2/年の目標レートを維持できないことによるものである。圧入から 15 年程度経過すると、他のケースと同様に徐々に圧入レートを上げることができるようになっていく。一方で、浸透率 2.0 倍のケースはこれまでの各ケースで見られたような、圧入性の低さに伴う圧入レートの拘束をうけず、全圧入期間を通して 250 万 t-CO_2/年の圧入を維持できることを確認した。

表 4.7-19　各坑井の圧入量（浸透率）

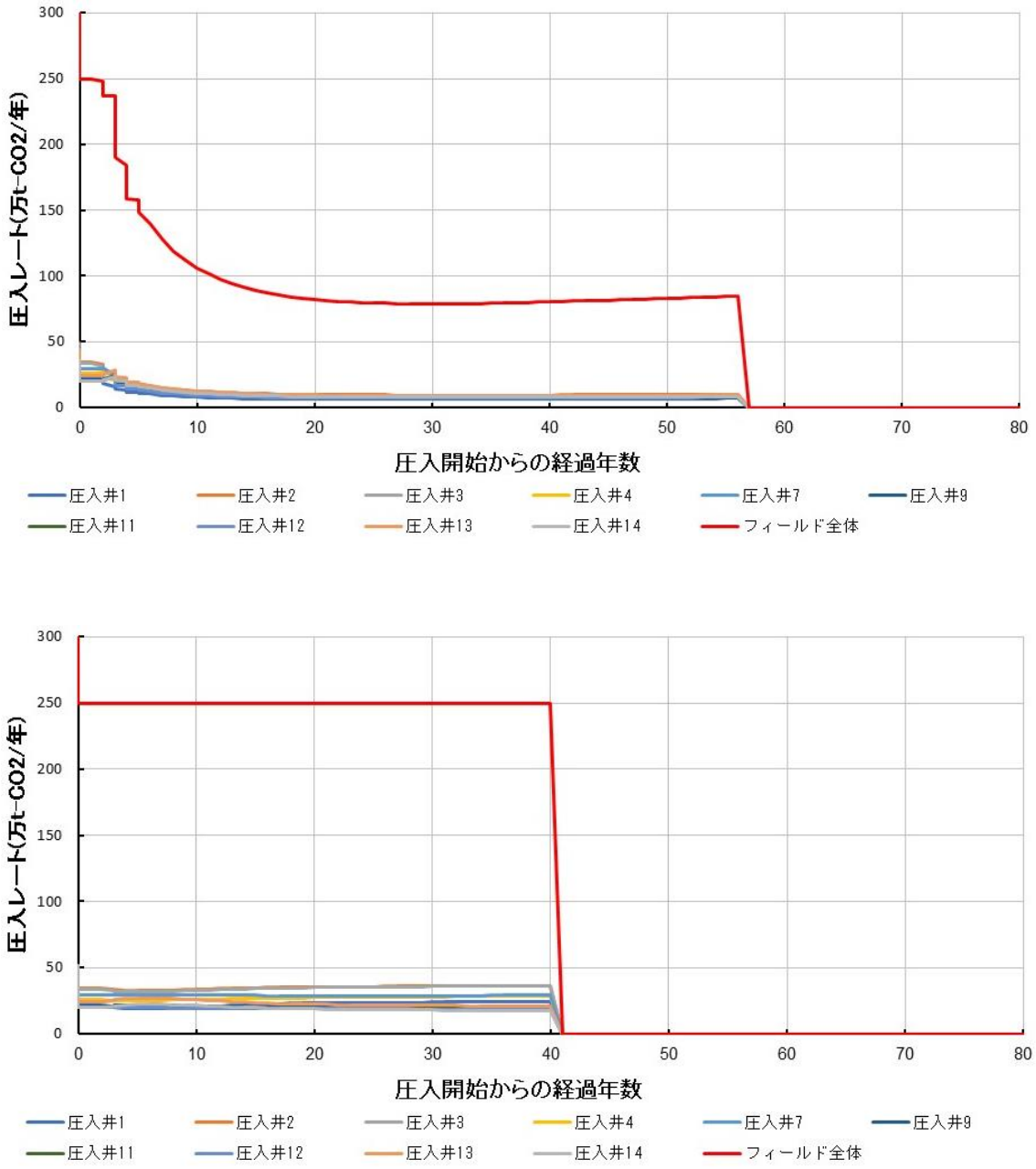
坑井	浸透率（0.5 倍）			浸透率（2 倍）		
	期間（年）	40 年間での圧入量（億 t-CO_2）	総圧入量（億 t-CO_2）	期間（年）	40 年間での圧入量（億 t-CO_2）	総圧入量（億 t-CO_2）
合計	56	0.42	0.55	40	1.00	1.00





注 1）点線は各圧入井仕上げ区間上端深度の地層破壊圧力。色は実線が表す圧入井に対応
注 2）上図：浸透率　0.5 倍ケース、下図：浸透率　2 倍ケースを示す。

図 4.7-29　圧入井仕上げ区間上端深度の坑底圧力推移



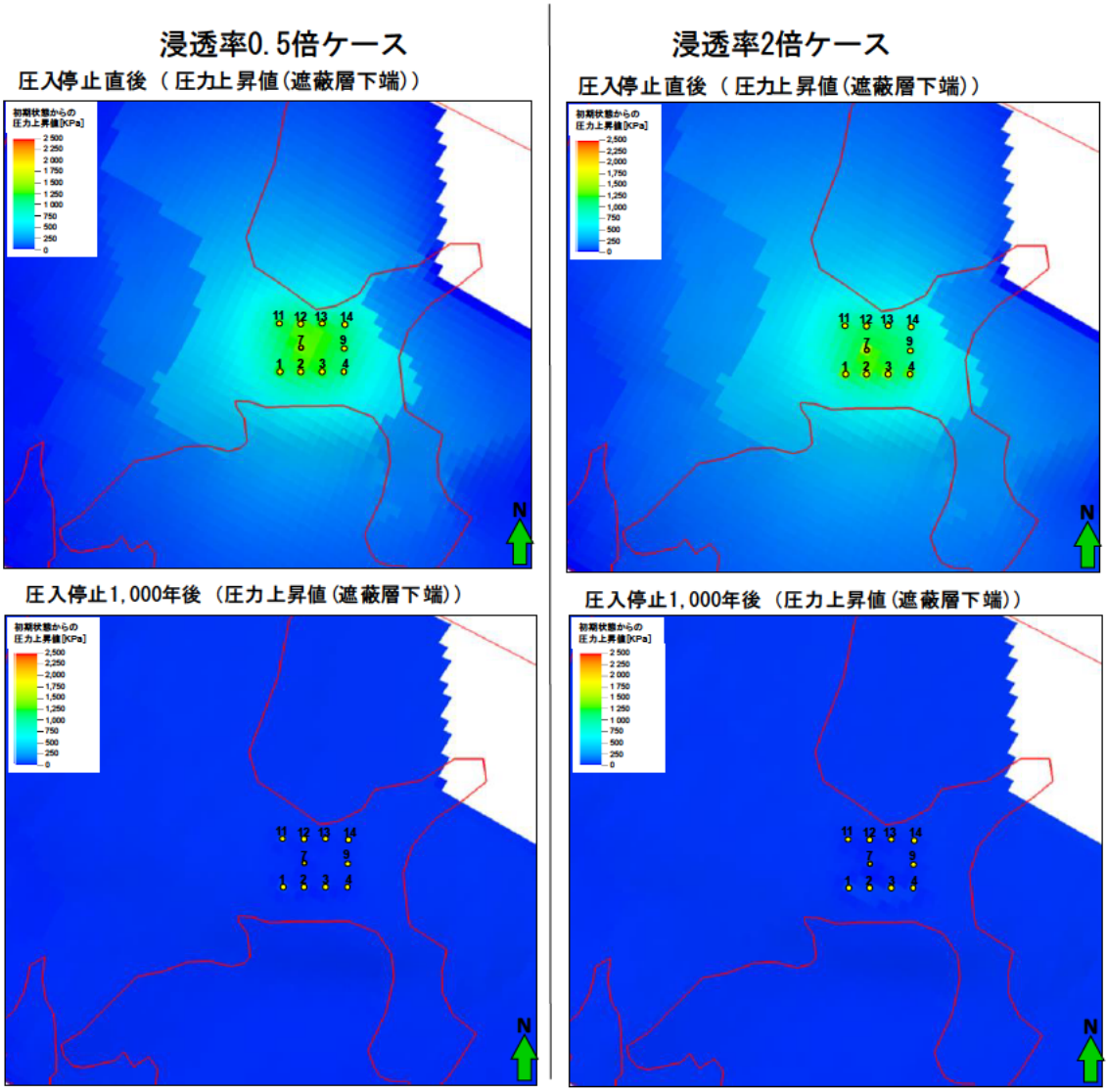
注）上図：浸透率　0.5 倍ケース、下図：浸透率　2 倍ケースを示す。

図 4.7-30　圧入レート推移

①　圧力分布の比較（浸透率（小）と浸透率（大）ケース）

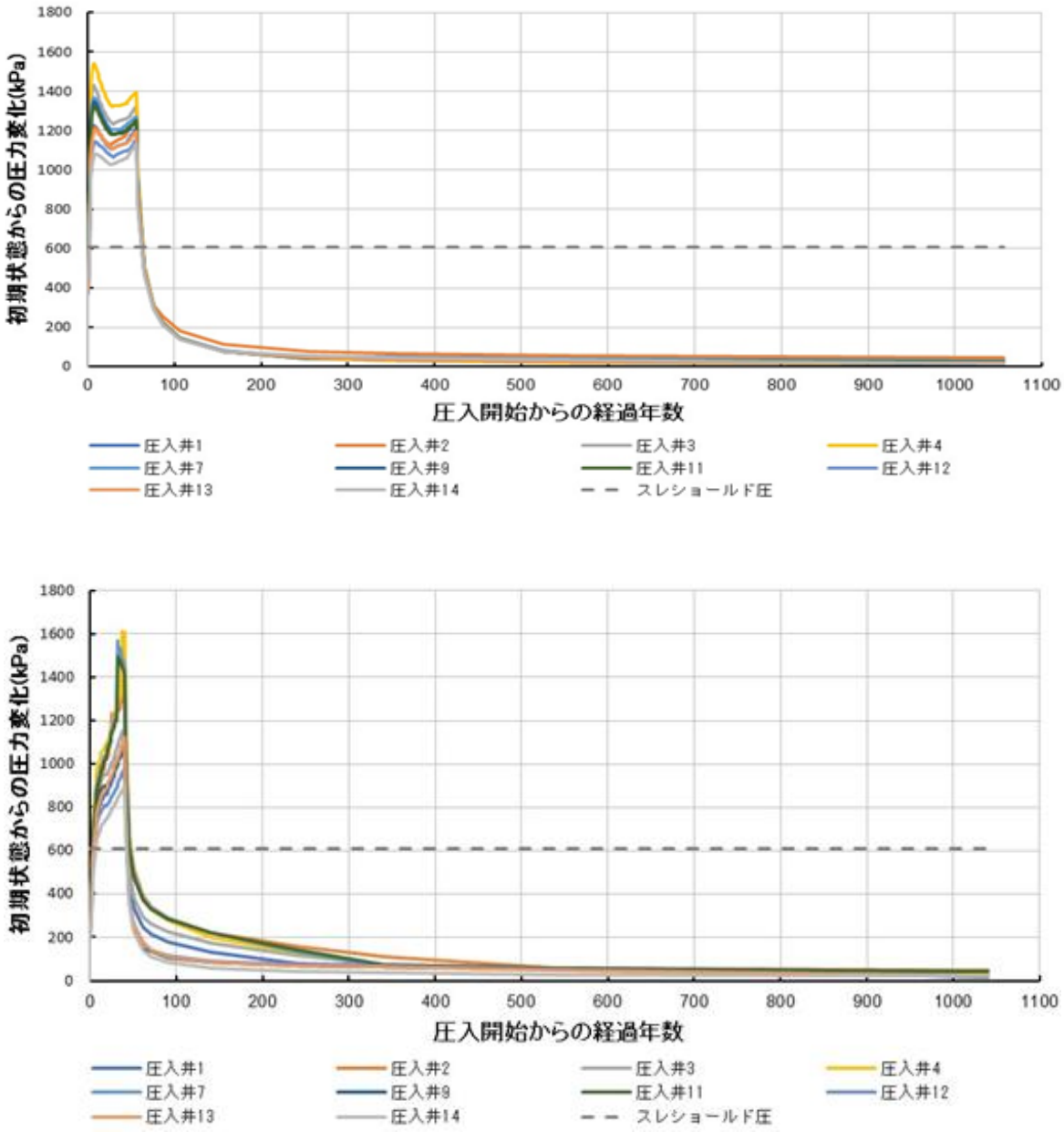
浸透率を 0.5 倍したケースと浸透率を 2 倍したケースについて、圧入停止時および圧入停止 1,000 年後の遮蔽層下端における初期状態からの圧力上昇値の平面図を図 4.7-31 に示す。また、各坑井における遮蔽層下端の初期状態からの圧力変化推移を図 4.7-32 に示す。遮蔽層下端における圧力変化がもっとも大きくなるのは、浸透率を 0.5 倍としたケースでは各坑井で圧入を開始するタイミングで、浸透率を 2 倍としたケースでは各坑井の圧入を停

止するタイミングである。圧入期間中は、浸透率を 0.5 倍としたケースでは 1,000～1,500 kPa 程度、浸透率を 2 倍としたケースでは 1,600 kPa 程度まで上昇し、スレッショルド圧力 610 kPa を超過し、遮蔽層への浸透も生じている。また、両ケースともに、圧入停止 20 年以内にはスレッショルド圧力以下となり、停止後 1,000 年後にはおおむね初期圧力まで戻っている。



注）平面図（コンター：（遮蔽層下端））

図 4.7-31　圧入停止時および圧入停止 1,000 年後の圧力分布の比較



注）上図：浸透率　0.5 倍ケース、下図：浸透率　2 倍ケースを示す。

図 4.7-32　遮蔽層下端圧力推移

②　CO_2 飽和率分布の比較（浸透率（小）と浸透率（大）ケース）

各圧入井の圧入停止時および圧入停止 1,000 年後の CO_2 飽和率分布については、浸透率を 0.5 倍したケースでは、圧入した CO_2 の坑井位置からの大きな移動はみられず、半径 1,000 m 程の円の範囲内に収まっている。一方、浸透率を 2.0 倍したケースでは、圧入した CO_2 は地層傾斜に沿い深度の浅い方向あるいは Kh が高いエリアに沿って各坑井の若干南方へ広がる傾向を示している。特に Kh が相対的に高い南側の坑井（圧入井 1～4）の方が、

北側の坑井（圧入井 11～14）より CO_2 が移動しているが、半径 1,500 m 程の円の範囲内に収まっている。

③ 溶存 CO_2 量分布の比較（浸透率（小）と浸透率（大）ケース）

各圧入井の圧入停止時および圧入停止 1,000 年後の溶存 CO_2 量分布については 4.7.7 項までの検討と同様で、溶存 CO_2 量分布は両ケースとも CO_2 飽和率分布より若干広い範囲に分布している。基本的な挙動としては、地層傾斜に沿って深度が浅い、あるいは比較的 Kh が高いエリア（貯留可能域の層厚が厚いエリア）に沿って各圧入井より若干南方に広がっている。両ケースを比較すると、浸透率を 2 倍としたケースの方がより広く分布している。また、表 4.7-20 に示すように両ケースともに溶存 CO_2 が貯留可能域 1 の範囲外や遮蔽層内にそれぞれ 0.1%、0.2%程度浸透しているが、遮蔽層上端まで達しておらず、区域内に安定して貯留されていることを確認した。

表 4.7-20　総圧入量に対する CO_2 の分布割合

浸透率　0.5 倍ケース

層準	貯留可能域 （貯留可能域 1）内	貯留可能域 （貯留可能域 1）外	層準別合計
遮蔽層	0.1%	0.0%	0.1%
貯留層	99.9%	0.1%	99.9%
領域別合計	99.8%	0.1%	100.0%

浸透率　2 倍ケース

層準	貯留可能域 （貯留可能域 1）内	貯留可能域 （貯留可能域 1）外	層準別合計
遮蔽層	0.2%	0.0%	0.2%
貯留層	99.6%	0.2%	99.8%
領域別合計	99.8%	0.2%	100.0%

④ CO_2 貯留形態

浸透率を変化させたケースについて、CO_2 貯留形態の推移を図 4.733 に示す。溶存 CO_2 は深部塩水に溶存した CO_2 の割合であり、残留 CO_2 は岩石にトラップされた CO_2 の割合である。超臨界 CO_2 の割合から残留 CO_2 の割合を引いた値が流動可能な CO_2 の割合である。

表 4.721 に、浸透率を 0.5 倍したケースおよび 2 倍したケースにおける、圧入停止 1,000 年後の溶存 CO_2、残留 CO_2 の割合を示す。流動可能な CO_2 の割合は、超臨界 CO_2 の割合から残留 CO_2 の割合を引いた値であり、その割合は両ケースともに 1%以下である。両ケースにおいても圧入した CO_2 の 0.1～0.2%が貯留可能域 1 の範囲外や遮蔽層へ浸透しているが、流動可能な CO_2 の割合が最終的には 1%程度であることから、CO_2 はほとんど流動しない状態で安定して貯留できることを確認した。

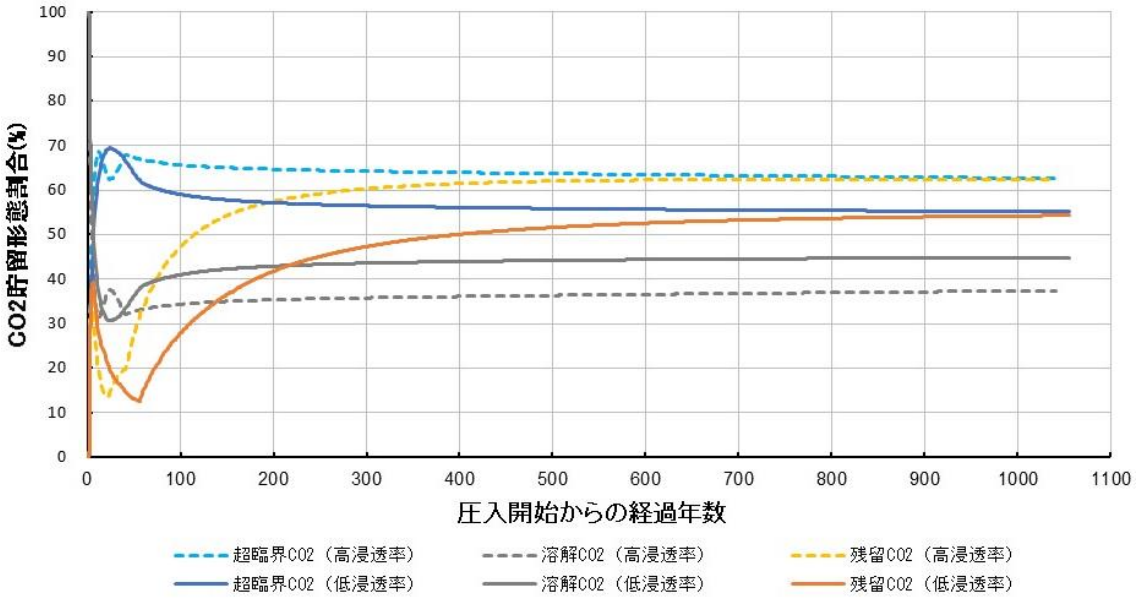


図 4.7-33　CO_2 貯留形態割合推移

表 4.7-21　CO_2 貯留形態割合

	溶存 CO_2（%）	残留 CO_2（%）
浸透率 0.5 倍	45	54
浸透率 2.0 倍	37	62

(3)　地層破壊圧を変化させたケース

地層破壊圧について High Case と Low Case を想定した場合における、総圧入量が 1 億 t-CO_2 に達するまでの圧入期間と 40 年間での圧入量、圧入停止時の総圧入量について表 4.722 に示す。地層破壊圧の High Case と Low Case は基礎試錐「日高トラフ」の貯留層区間におけるベースケースと同じ勾配で、フィッティングにより高めの予測と低めの予測を

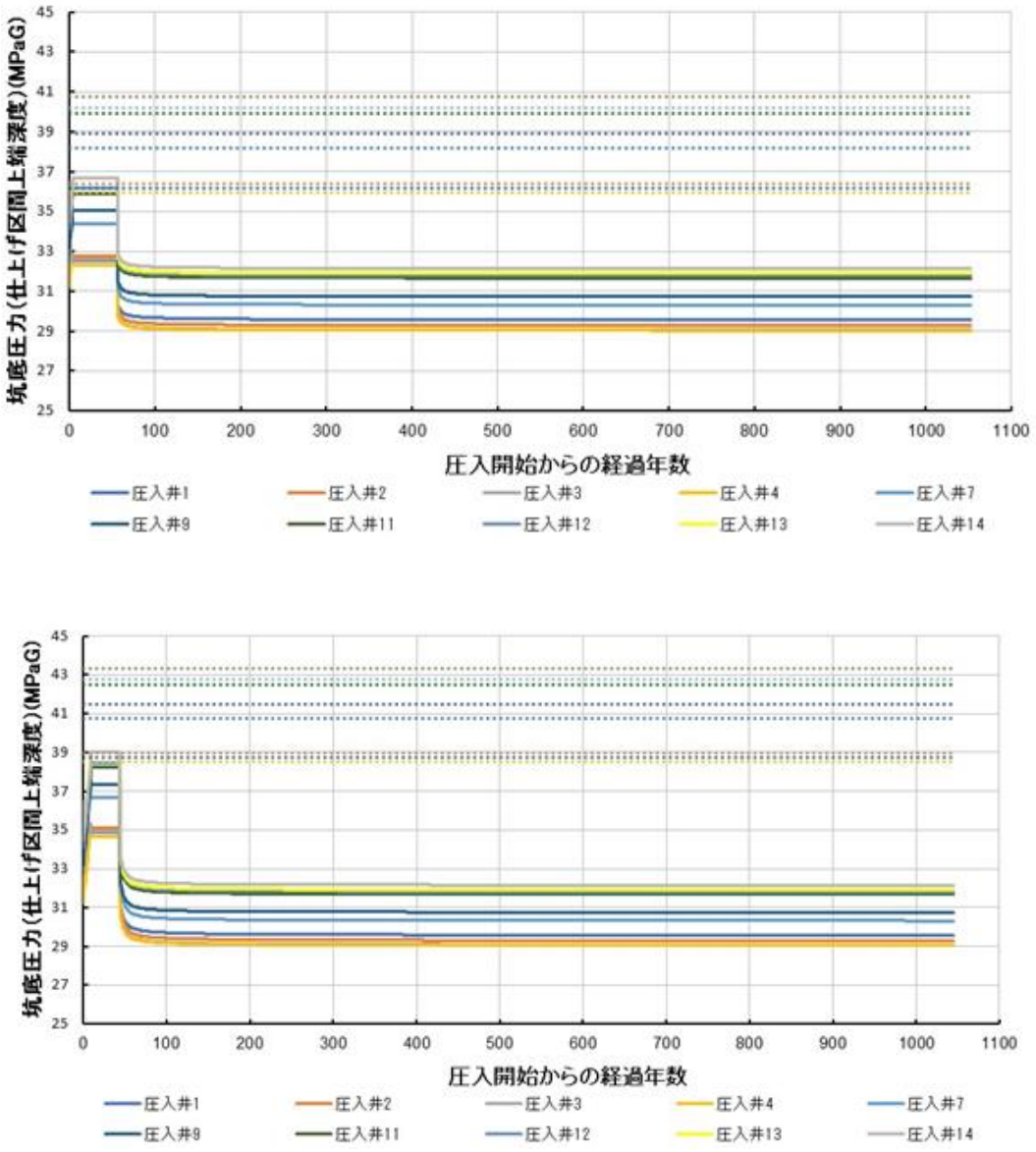
行い、検討に用いた。

CO_2 の累計圧入量は、地層破壊圧の Low Case では 56 年間圧入で 0.73 億 t-CO_2、地層破壊圧の High Case では 44 年間圧入で 1.01 億 t-CO_2 であった。40 年間での圧入量で比較では地層破壊圧の High Case の方が、地層破壊圧の Low Case より圧入量は 70%大きいが、これは、地層破壊圧が高いことでベースケースより高い圧入レートを維持できるためである。坑底圧力推移および圧入レート推移について図 4.734、図 4.735 に示す。

図 4.734 の点線は各圧入井仕上げ区間上端深度の地層破壊圧を示しており、全圧入期間および監視期間において、仕上げ区間上端の坑底圧力は地層破壊圧を下回っている。また図 4.735 の圧入レート推移をみると、圧入開始後、地層破壊圧の Low Case では初めの 3 年間、地層破壊圧の High Case では 9 年間は目標圧入レートの 250 万 t-CO_2/年を維持できているが、それ以降は坑井近傍の地層圧力が上昇するため、坑底圧力を地層破壊圧の 9 割で維持しつつ圧入を継続するにはレートを下げることが必要になる。また、圧入開始から約 15 年以降は、圧入井周辺の CO_2 飽和率が上昇することで緩やかに圧入性が改善していき、徐々に貯留層全体の圧入レートは上げられる状況になっていくことを示している。

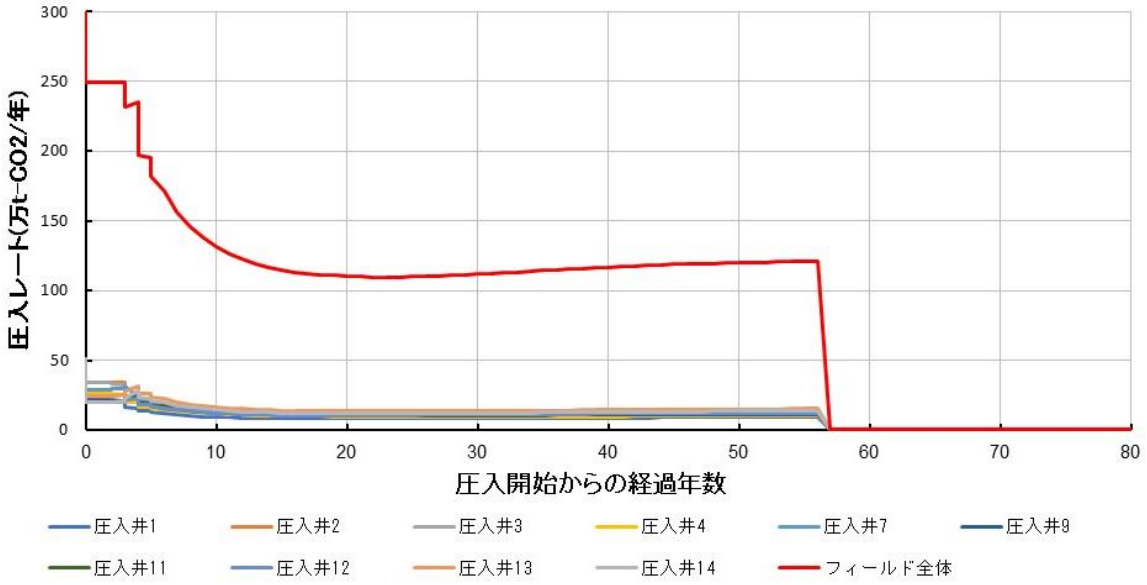
表 4.7-22　各坑井の圧入量（地層破壊圧）

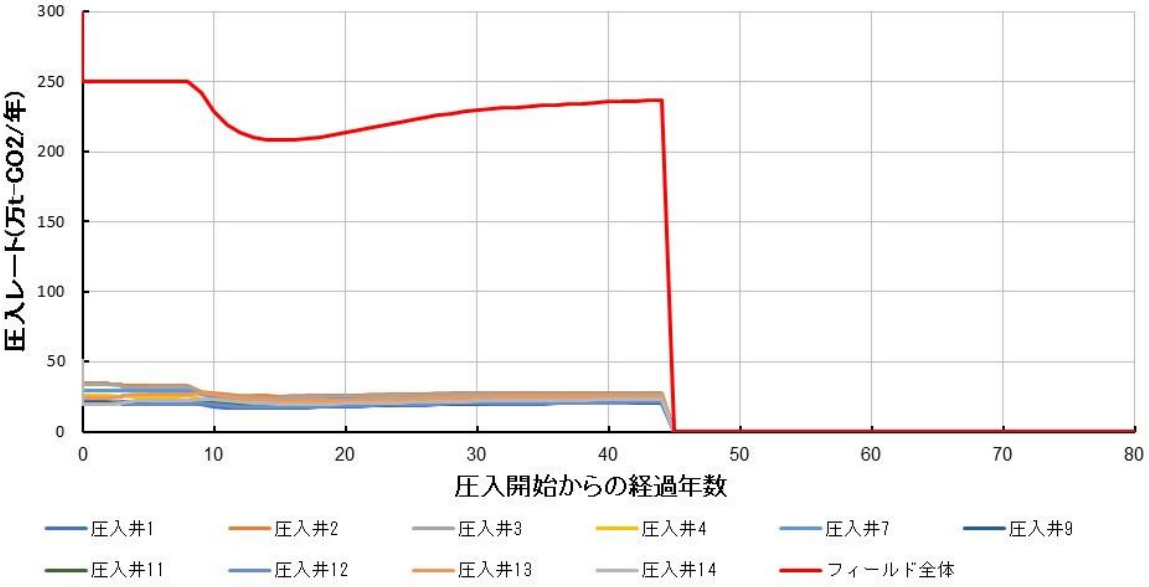
坑井	地層破壊圧力　Low Case			地層破壊圧力　High Case		
	圧入期間（年）	40 年間の圧入量（億 t-CO_2）	総圧入量（億 t-CO_2）	圧入期間（年）	40 年間の圧入量（億 t-CO_2）	総圧入量（億 t-CO_2）
合計	56	0.53	0.73	44	0.92	1.01



注 1）点線は各圧入井仕上げ区間上端深度の地層破壊圧力。色は実線が表す圧入井に対応
注 2）上図：地層破壊圧　Low Case、下図：地層破壊圧　High Case を示す。

図 4.7-34　圧入井仕上げ区間上端深度の坑底圧力推移





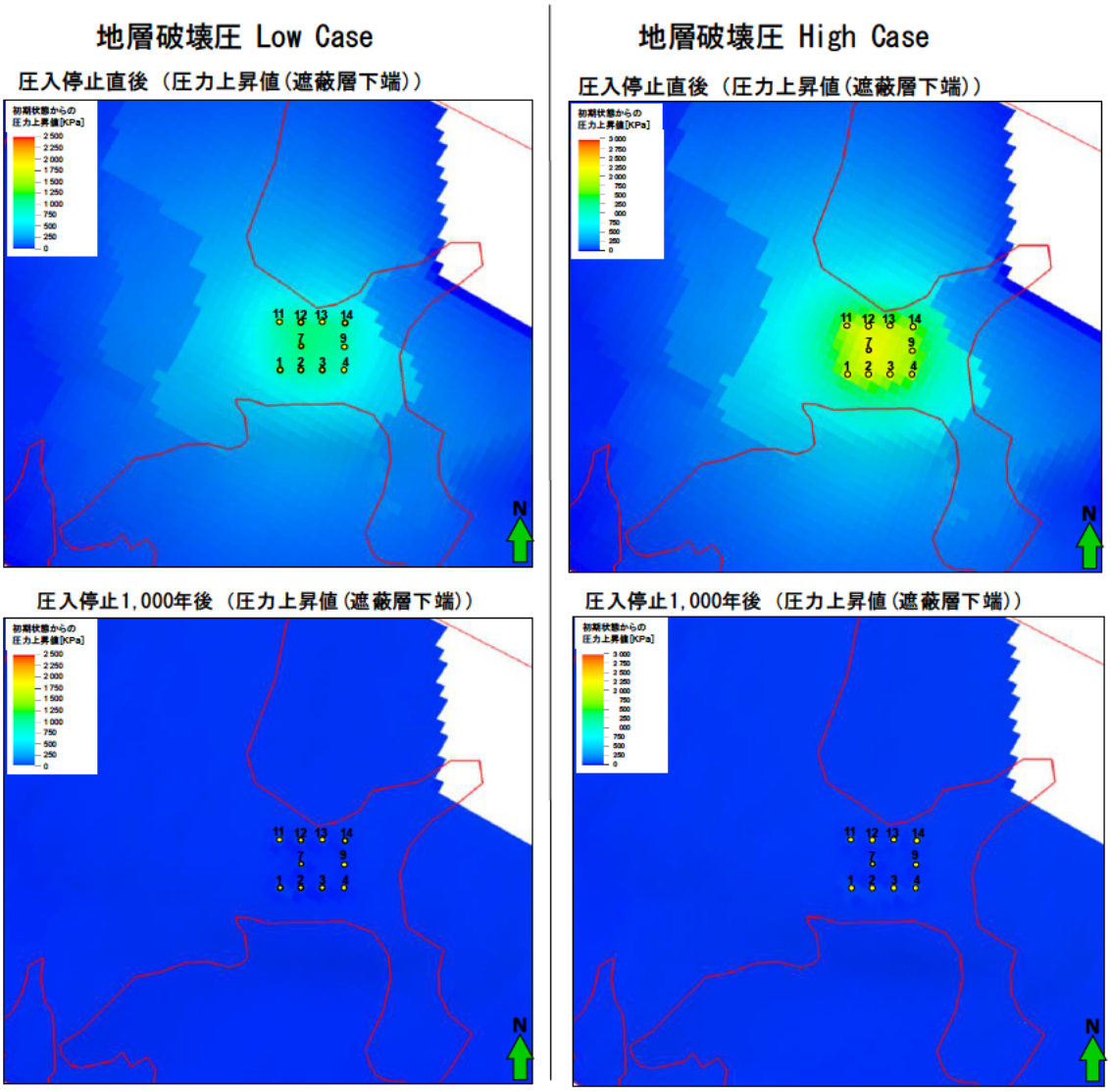
注）上図：地層破壊圧　Low Case、下図：地層破壊圧　High Case を示す。

図 4.7-35　圧入レート推移

①　圧力分布の比較（Low Case および High Case）

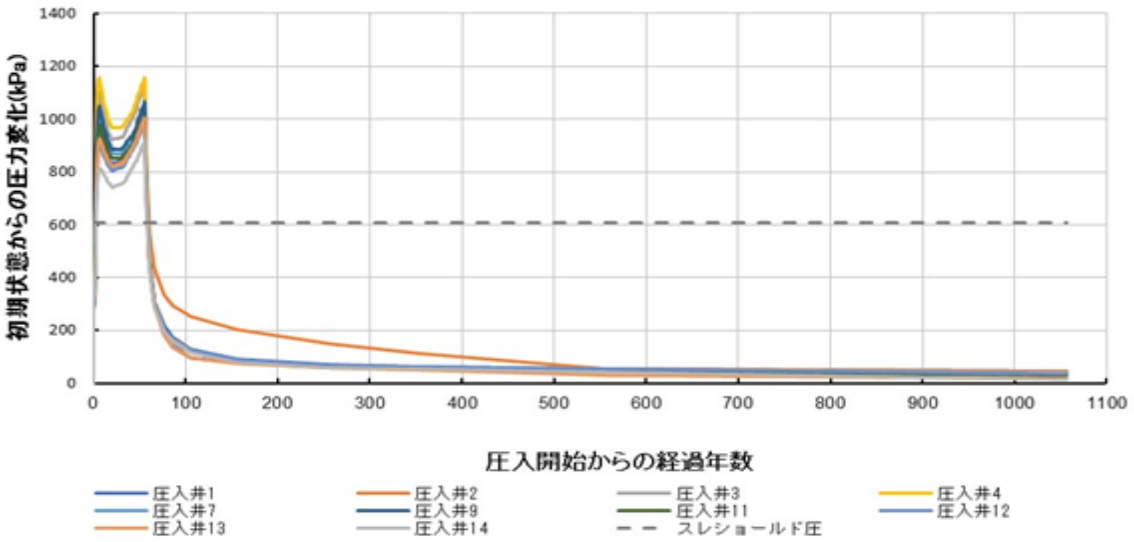
圧入停止時および圧入停止 1,000 年後の遮蔽層下端における初期状態からの圧力上昇値について、平面図を図 4.7-36 に示す。また、各坑井における遮蔽層下端の初期状態からの圧力変化推移を図 4.737 に示す。遮蔽層下端における圧力変化がもっとも大きくなるのは、地層破壊圧の Low Case では各坑井より圧入開始するタイミングで、地層破壊圧の High

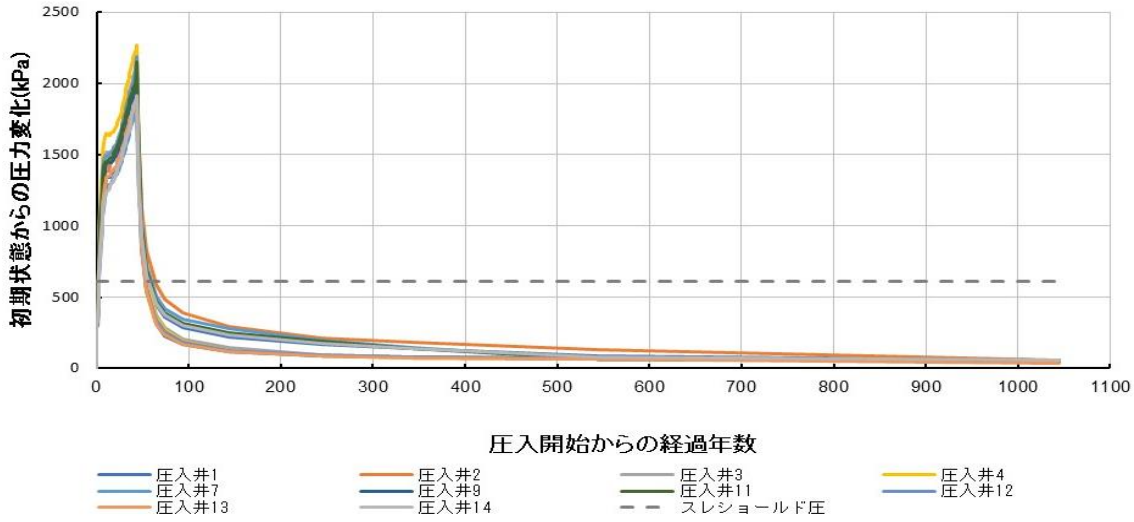
Case では各坑井を圧入停止するタイミングと異なる。圧入期間中は、地層破壊圧の Low Case では 800～1,200 kPa 程度、地層破壊圧の High Case では 2,300 kPa 程度遮蔽層下端の圧力は上昇し、スレッショルド圧力 610 kPa を超過し、遮蔽層への浸透も生じる。なお、両ケースともに、圧入停止 20 年以内にはスレッショルド圧力以下となり、停止後 1,000 年後にはおおむね初期圧力まで戻っている。



注）平面図（コンター：（遮蔽層下端））

図 4.7-36　圧入停止時および圧入停止 1,000 年後の圧力分布の比較





注）上図：地層破壊圧の Low Case、下図：地層破壊圧の High Case を示す。

図 4.7-37　遮蔽層下端圧力推移

②　CO_2 飽和率分布の比較（Low Case および High Case）

各圧入井の圧入停止時および圧入停止 1,000 年後の CO_2 飽和率分布については両ケースともに、圧入した CO_2 は地層傾斜に沿い深度の浅い方向あるいは Kh が高いエリアに沿って各坑井の若干南方へ広がる傾向を示しており、CO_2 の顕著な移動はみられず、圧入井を中心とした半径 1,000 m 程度の円の範囲内に収まっている。

③　溶存 CO_2 量分布の比較（Low Case および High Case）

各圧入井の圧入停止時および圧入停止 1,000 年後の溶存 CO_2 量分布については、溶存 CO_2

量分布は両ケースともに CO_2 飽和率分布より若干広い範囲に分布している。地層傾斜に沿って深度が浅い、あるいは比較的 Kh が高いエリア（貯留可能域の層厚が厚いエリア）に沿って各圧入井より若干南方に広がっている。両ケースを比較すると、地層破壊圧の High Case の方がより広く分布している。また、両ケースともに溶存 CO_2 が貯留可能域 1 の範囲外や遮蔽層内にそれぞれ 0.1%、0.2%程度浸透しているが、遮蔽層上端まで達しておらず、CO_2 は区域内に安定して貯留されていることを確認した。

④　貯留形態割合の推移

CO_2 貯留形態の推移を図 4.7-38 に示す。溶存 CO_2 は深部塩水に溶存した CO_2 の割合であり、残留 CO_2 は岩石にトラップされた CO_2 の割合について表 4.7-23 に示す。超臨界 CO_2 の割合から残留 CO_2 の割合を引いた値が流動可能な CO_2 の割合であるが、最終的に、地層破壊圧の Low Case ではわずかであり、地層破壊圧の High Case でも 1%程度であった。両ケースともに CO_2 の総圧入量の 0.1～0.2%は貯留可能域 1 の範囲外や遮蔽層へ浸透しているものの、流動可能な CO_2 の割合は 1%以下であることから、CO_2 はほとんど流動しない状態で安定して貯留できることを確認した。

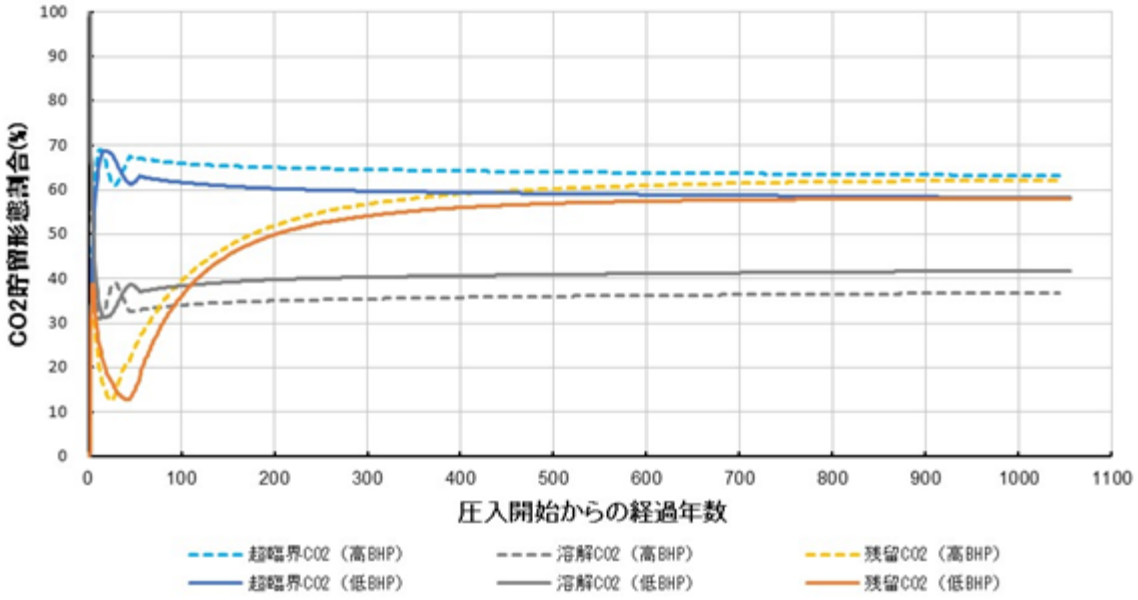


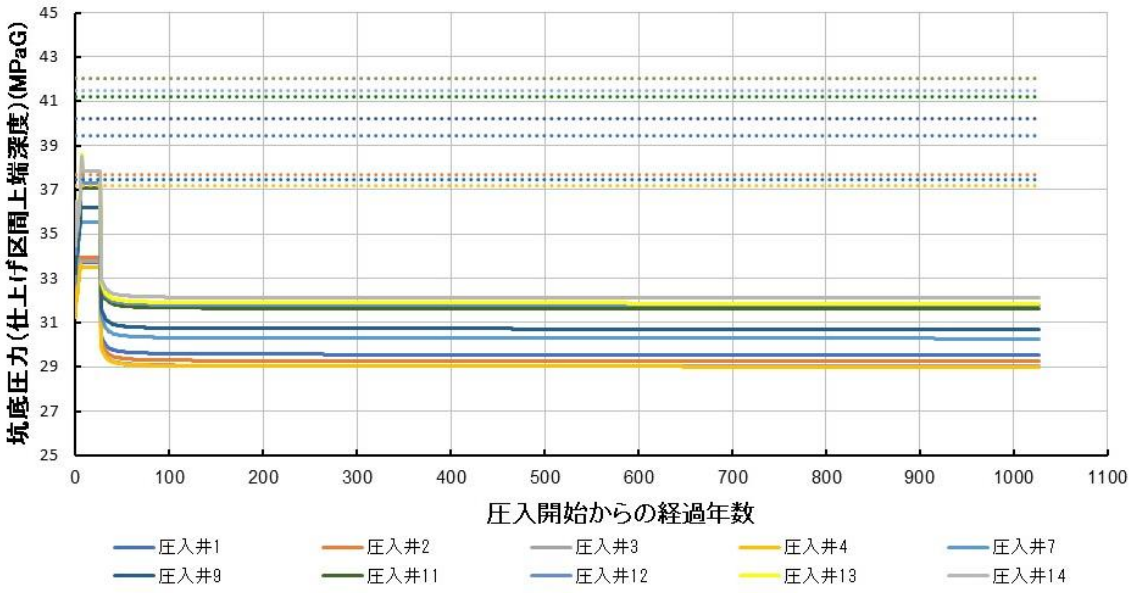
図 4.7-38　CO_2 貯留形態割合推移

表 4.7-23　CO_2 貯留形態割合

	溶存 CO_2（%）	残留 CO_2（%）
地層破壊圧　低ケース	41	58
地層破壊圧　高ケース	37	63

(4)　圧入量を 5,000 万 t-CO_2 としたケース

CO_2 の累計圧入量を 5,000 万 t に変更し、27 年間圧入した時の坑底圧力推移を図 4.7-39 に、圧入レート推移を図 4.7-40 に示す。図 4.739 の点線は各圧入井仕上げ区間上端深度の地層破壊圧を示しており、全圧入期間および監視期間において、仕上げ区間上端の坑底圧力は地層破壊圧を下回っている。また、図 4.740 の圧入レート推移をみると、圧入開始後、初めの 5 年間は目標レート 250 万 t-CO_2/年を維持できているが、坑井近傍の地層圧力上昇とともに坑底圧力を地層破壊圧の 9 割で圧入を維持するにはレートを下げることになる。圧入開始から約 15 年以降は、圧入井周辺の CO_2 飽和率が上昇することで緩やかに圧入性が改善していき、徐々に貯留層全体で圧入レートは上げられる状況になっていくことを示している。



注）点線は各圧入井仕上げ区間上端深度の地層破壊圧力。色は実線が表す圧入井に対応。

図 4.7-39　圧入井仕上げ区間上端深度の坑底圧力推移

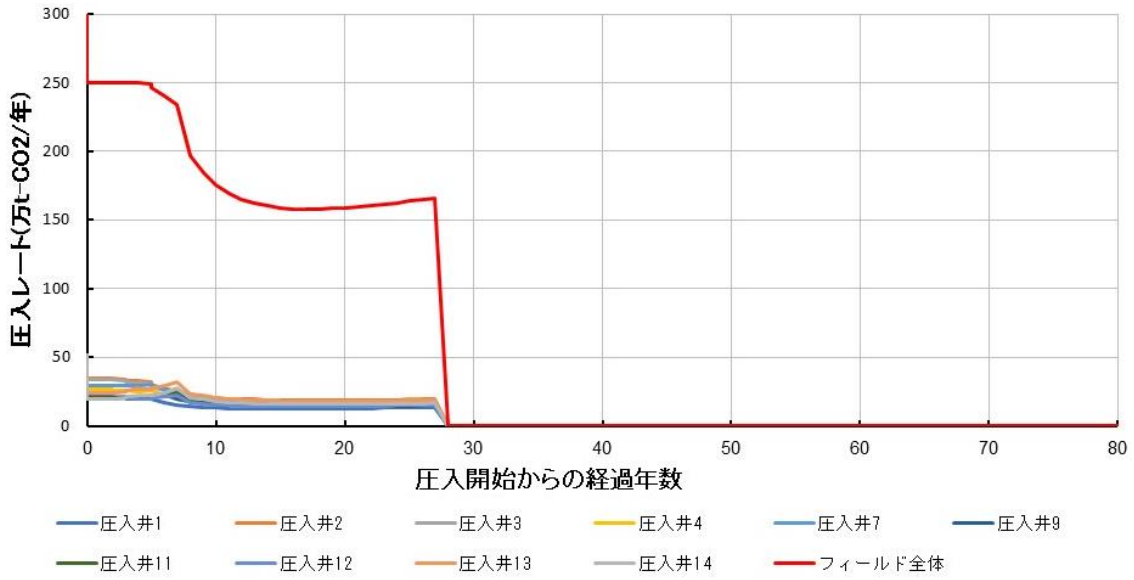


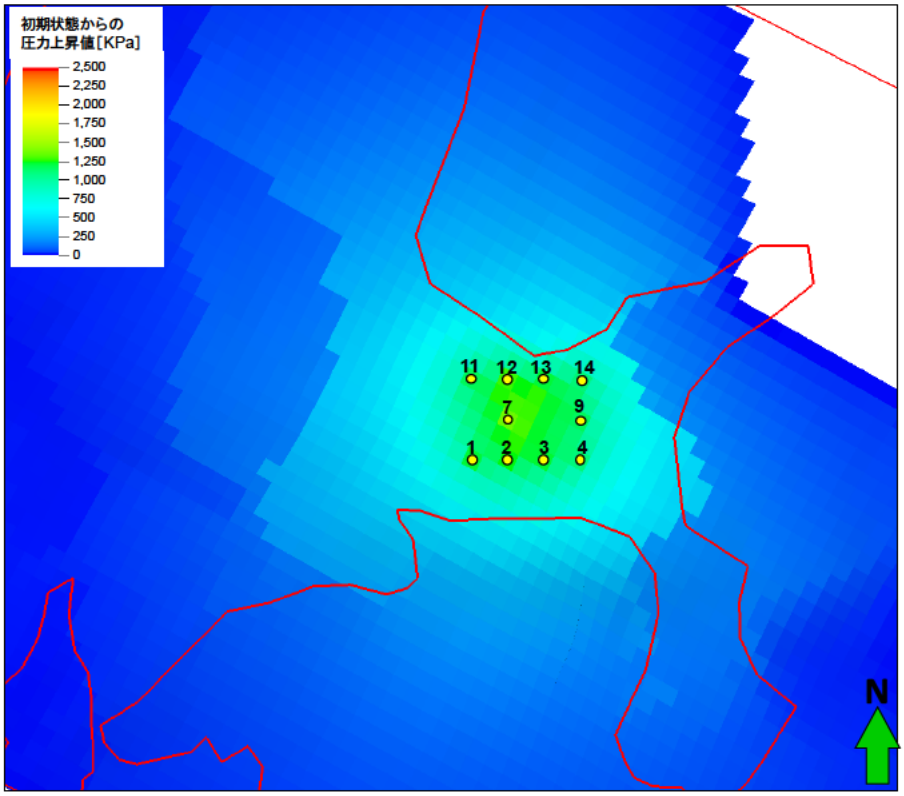
図 4.7-40　圧入レート推移

①　圧力分布の比較（圧入量 5,000 万 t-CO_2 ケース）

圧入停止時および圧入停止 1,000 年後の遮蔽層下端における初期状態からの圧力上昇値について平面図を図 4.7-41 に示す。また、各坑井における遮蔽層下端の初期状態からの圧力変化の推移を図 4.742 に示す。

遮蔽層下端における圧力変化がもっとも大きくなるのは、各坑井を圧入開始するタイミングである。圧入期間中は、1,000～1,400 Pa 程度まで上昇し、スレッショルド圧力 610k Pa を超過し、遮蔽層への浸透も生じている。また、圧入停止 20 年以内にはスレッショルド圧力以下となり、圧入停止後 1,000 年後にはおおむね初期圧力まで戻っている。

圧入停止直後（圧力上昇値(遮蔽層下端)）



圧入停止1,000年後（圧力上昇値(遮蔽層下端)）

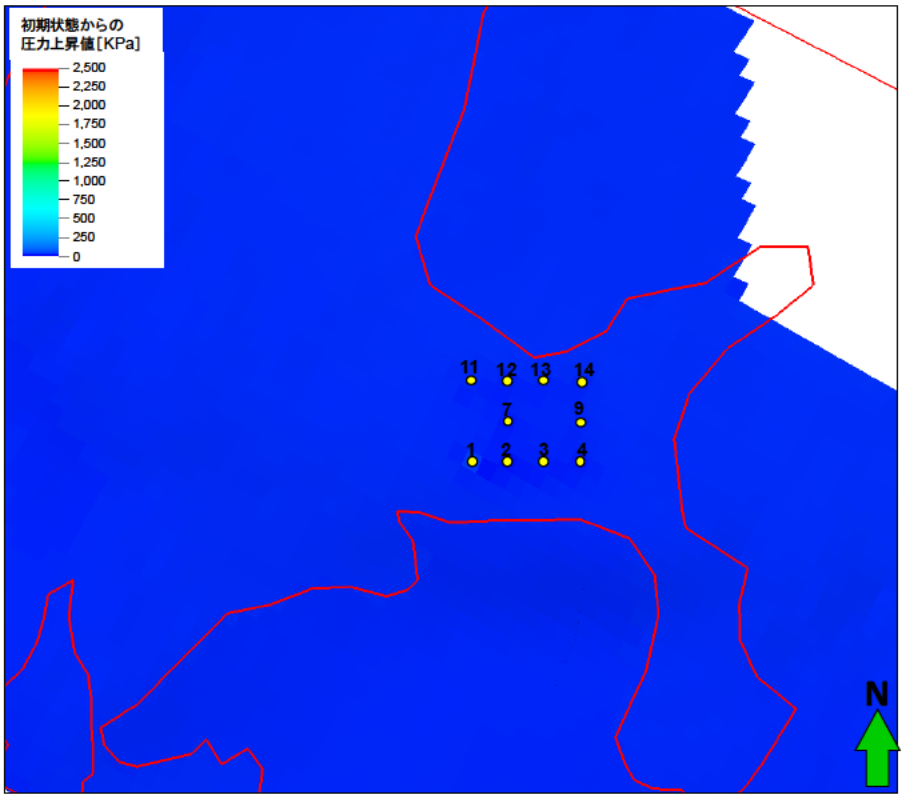


図 4.7-41　圧入停止時および圧入停止 1,000 年後の圧力分布

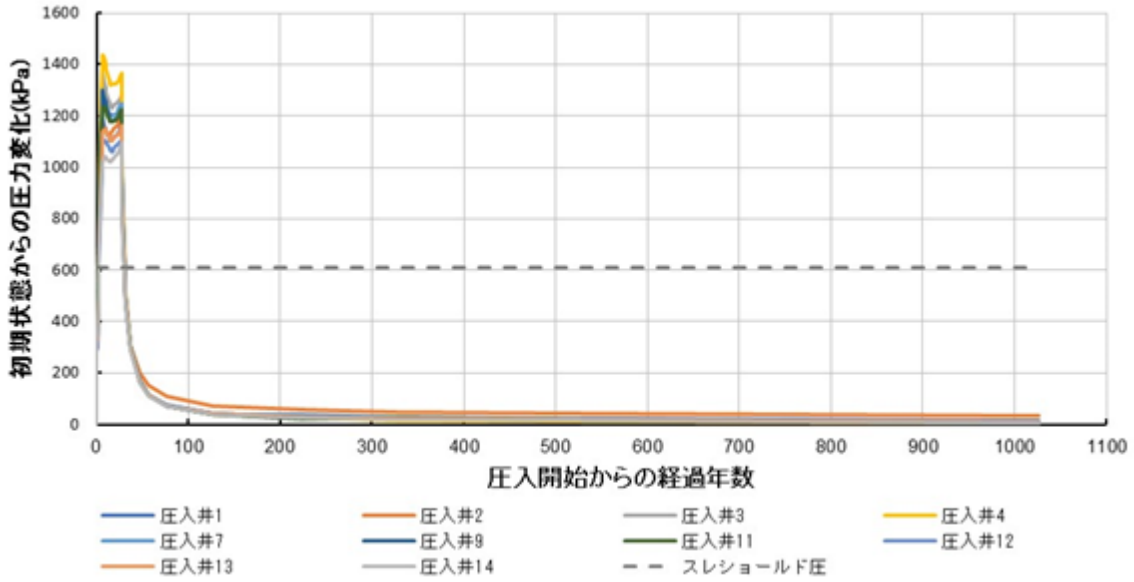


図 4.7-42　遮蔽層下端圧力推移

②　CO_2 飽和率分布の比較（圧入量 5,000 万 t-CO_2 ケース）

各圧入井の圧入停止時および圧入停止 1,000 年後の CO_2 飽和率分布については CO_2 の顕著な移動はみられず､圧入井を中心とした半径 1,000 m 程度の円の範囲内に収まっている。

③　溶存 CO_2 量分布の比較（圧入量 5,000 万 t-CO_2 ケース）

圧入停止時および圧入停止 1,000 年後の溶存 CO_2 量分布について貯留層上端～遮蔽層上端における圧入停止 1,000 年後の溶存 CO_2 量分布を図 4.7-43 に示す。これまでの検討と同様に、溶存 CO_2 量分布は CO_2 飽和率分布より若干広い。基本的な挙動も同じで、地層傾斜に沿って深度が浅い、あるいは比較的 Kh が高いエリア（貯留可能域の層厚が厚いエリア）に沿って各圧入井より若干南方に広がっていくが、他のケースよりも圧入量が少なく、圧入井周辺における溶存 CO_2 量が多くなる。貯留エリア（貯留可能域 1）の範囲外と遮蔽層に対する CO_2 の浸透量も非常にわずかで、図 4.7-43 に示すように遮蔽層層準の下部 50%以内に収まっており、CO_2 は安定して貯留されていることを確認した。

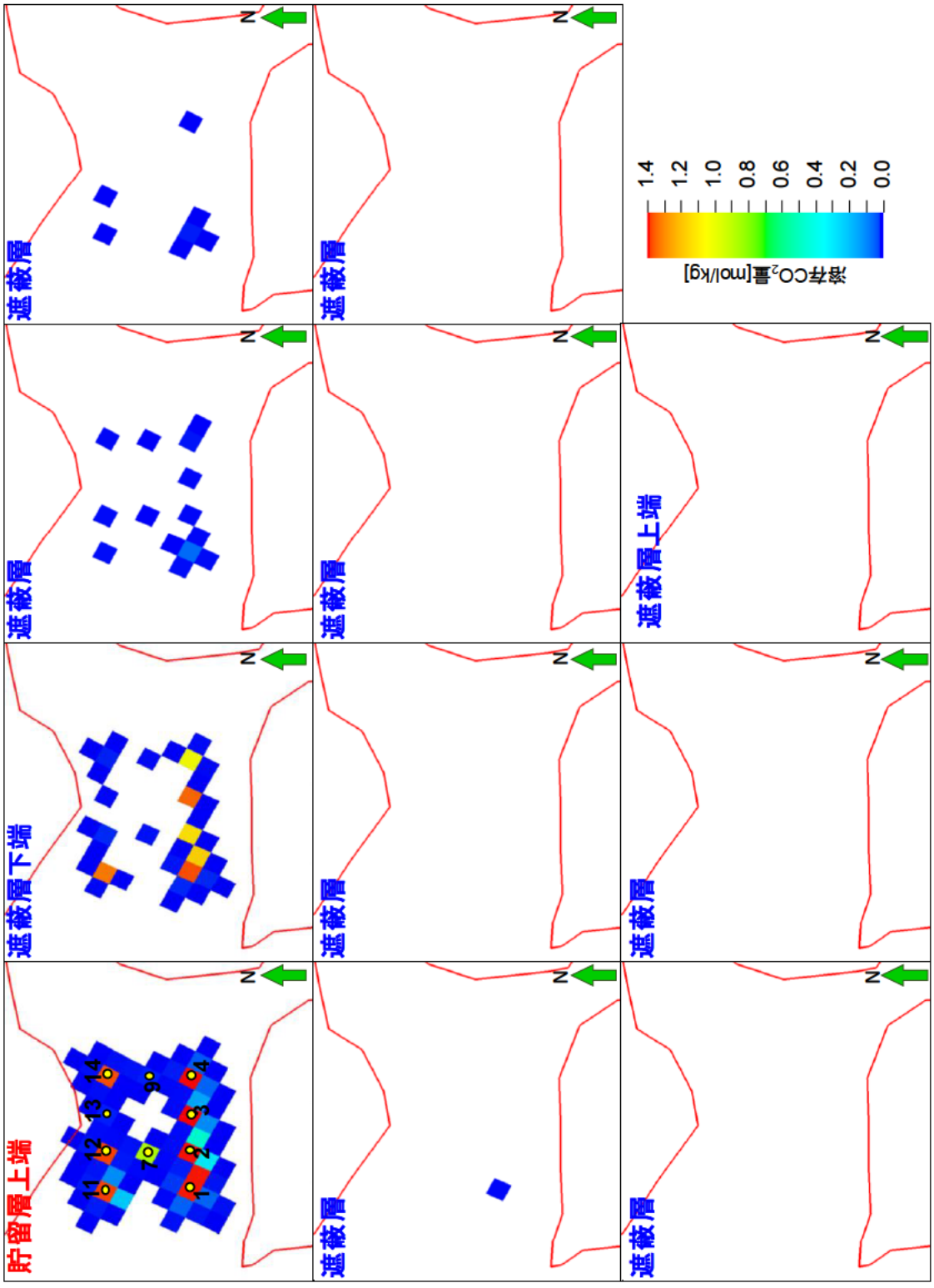


図 4.7-43　貯留層上端～遮蔽層上端における圧入停止 1,000 年後の溶存 CO_2 量分布

④　貯留形態割合の推移

CO_2 貯留形態の推移を図 4.744 に示す。溶存 CO_2 は深部塩水に溶存した CO_2 の割合であり、残留 CO_2 は岩石にトラップされた CO_2 の割合である。超臨界 CO_2 の割合から残留 CO_2 の割合を引いた値が流動可能な CO_2 の割合であり、非常にわずか（0.1%未満）である。圧入停止 1,000 年後には溶存 CO_2、および残留 CO_2 の割合はそれぞれ 45%、55%に落ち着いている。貯留可能域 1 の範囲外や遮蔽層に浸透している CO_2 の割合も総圧入量に対してそれぞれ 0.1%未満であり、安定して貯留できることを確認した。

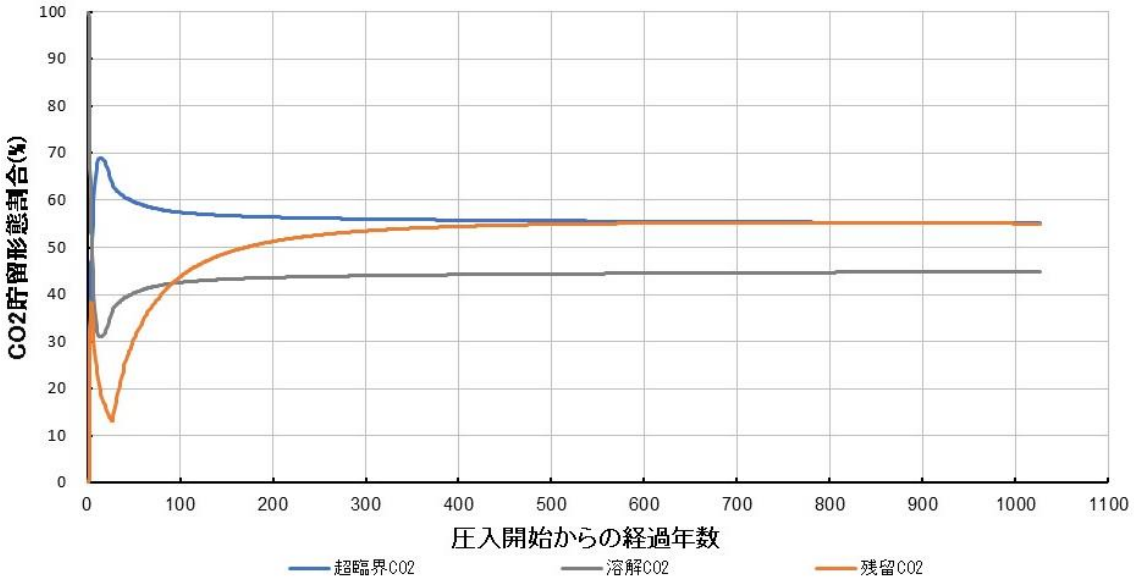


図 4.7-44　CO_2 貯留形態割合推移

4.7.9　まとめと課題

(1)　まとめ

R2 成果報告書の 4.7 節に示す地質解析の結果等を基に地質モデルを作成し、累計圧入量 1 億 t-CO_2 を目標とした調査井掘削前の CO_2 挙動予測シミュレーションにより日高沖の貯留可能量やその特徴を以下の順序で検討した。

まず、“貯留エリアの選定”においては、各貯留可能域に 1 坑ずつ配置した坑井の CO_2 の圧入挙動を確認したところ、坑井の圧入性と地層破壊圧が圧入レートを拘束する要因になっていることが判明し、圧入性確保の観点から貯留可能域 1 の一番厚く広がるエリアを貯留エリアとして選定した。

圧入条件は、坑井配置を 1 箇所から掘削可能な範囲に収まるよう 1,000 m スペーシングで 5 坑配置し、目標レートは 250 万 t-CO_2/年で固定とした。シミュレーションの結果は、

浸透率および地層破壊圧が低いことに起因して一定レートでの圧入を維持できず、CO_2 の累計圧入量は 40 年で 0.51 億 t であった。また、わずかではあるものの、遮蔽層内や貯留可能域 1 の範囲外への浸透や、遮蔽層下端の圧力変化がスレッショルド圧力 0.61 MPa を超えることを確認した。

次に、“最少坑井数の設定”において、貯留可能域 1 の砂が厚いエリアに坑井を 5 本配置しても 250 万 t-CO_2/年の圧入レートを維持できなかったため、圧入期間を最大 60 年以内で 1 億 t 圧入が達成できる坑井数や仕上げ区間の深部化（部分仕上げ）により遮蔽層への浸透を最少化できる仕上げについて検討した。遮蔽層への CO_2 の浸透を抑えつつ 1 億 t-CO_2 が貯留可能な現実的な圧入条件として、坑井 10 本、仕上げ区間 80%、圧入期間 56 年、を最少坑井数の設定とした。

続いて、“最少坑井数における最大圧入レートの検討”および“最少坑井数における最大圧入量の検討”においては、375 万 t-CO_2/年を目標レートとして最大 60 年まで圧入を行ったが、いずれも圧入性が高い範囲が限られており、レートを維持できないという傾向が顕著で 1 億 t-CO_2 の圧入を達成するまでの期間短縮の効果は限定的であった。

最後に、“リスク感度分析の実施”においては、”最少坑井数の設定”をベースケースとして、「地層圧」、「浸透率」および「地層破壊圧」のそれぞれのパラメータのみ変更し、パラメータの不確実性が貯留層内の挙動や貯留可能量へ与える影響について、リスクの感度分析を行った。圧入期間に対する影響は「浸透率」がもっとも大きく、ついで「地層破壊圧」、「地層圧」という順であり、特に浸透率 2 倍のケースでは 40 年間で累計 1 億 t の CO_2 を貯留可能であった。また、CO_2 の累計圧入量を 5 千万 t としたケースでは遮蔽層への浸透量等は遮蔽層の下部半分以下に収まる、という結果となった。

(2) 今後の課題

今回のシミュレーションでは 5 坑、40 年間で 1 億 t-CO_2 の圧入は困難との結果となった。しかしながら、孔隙率や浸透率の基になっている検層データやコアデータは基礎試錐「日高トラフ」や R2 成果報告書 4.2 節に示す地表調査試料分析結果に基付いているが、岩石物性値をこれらのみで一義的に決定して評価するのは不確実性が大きいと考えられる。また、感度テストの結果からも十分可能性のある浸透率 2 倍程度の評価で、40 年間定レート圧入、1 億 t-CO_2 貯留が可能であることを確認することができたことからも、浸透率や地層破壊圧の評価は圧入レートや貯留可能量へのインパクトが大きく、これらの追加データ取得が貯留可能量評価の精度向上における課題であると考えられる。

今後、調査井の掘削等により検層、コアおよび圧入テストのデータの追加取得を行ない、

代表物性値の不確実性を減らしつつ不均質性の影響も考慮していくことが今後の圧入可能量の予測精度向上を行ううえで必要である。

【参考文献】

1) 日本ＣＣＳ調査(株)、“令和２年度 二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務 成果報告書 第４章 4.7 節 地質解析と貯留適地調査（日高沖)”（2021）
2) 日本ＣＣＳ調査(株)、“令和２年度 二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務 成果報告書 第４章 4.2 節 地表地質調査試料分析（日高沖)”（2021）
3) (独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構、“平成 29 年度～令和元年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎試錐「日高トラフ」調査報告書”（2020）
4) Athy, L. F., “Density, porosity, and compaction of sedimentary rock”, AAPG Bulletin, Vol. 14, No.1, p.1-24（1930）
5) Brooks, R.H.; Corey, A.T. Properties of porous media affecting fluid flow. J. Irr. Drain. Div. 1966, 92, 61–88
6) Corey, A.T., “The Interrelation between Gas and Oil Relative Permeabilities” Producers Monthly November, p.38-41（1954）
7) Van Genuchten, M.TH., “A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of undersaturated soils” Soil Science Society of America. Journal Vol 44 p.892-898（1980）
8) Lacy, L.L., “Dynamic Rock Mechanics Testing for Optimized Fracture Designs”, SPE Annual Technical Conference and Exhibition（1997）
9) Blanton, T. L. and Olson, J. E., “Stress magnitudes from logs: effects of tectonic strains and temperature”, SPE Reservoir Evaluation and Engineering, 2, 62-68（1999）

4.8　貯留層シミュレーションによる貯留可能性検討（秋田沖）

秋田沖の北部では 2D 探査データ、基礎試錐データ、民間坑井データ、公開されている地質情報に関する資料を用いて笹岡層に相当する上部貯留層において CO_2 超臨界状態で合計 3.9 億 t-CO_2、秋田沖～本荘沖における貯留候補域として過年度の解析結果を含め、CO_2 超臨界状態で合計 49.4 億 t-CO_2、程度の圧入が可能なことを 4.3 節で報告した。本節では、平成２８年度委託事業の秋田沖の貯留可能量評価も含め、秋田沖および秋田沖の北部での地質解析結果を反映した地質モデルを作成し、調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーションを実施した結果について報告する。

4.8.1　概要

秋田沖の貯留層モデルの特徴として、以下があげられる。

1) 貯留可能域は層序で笹岡層と桂根相に大きく分かれるが、今回は笹岡層（上部貯留層）をシミュレーション対象とした。笹岡層については秋田沖の北部評価区間で 3.9 億 t-CO_2、平成３０年度委託事業の秋田沖評価区間を加えると 15.3 億 t-CO_2 程度の貯蔵可能量が見込まれる。
2) 地質モデルの構築と合わせて、試料分析により上部遮蔽層の能力について検討を行った。その結果、推定されるスレッショルド圧力の値は 0.35 MPa 程度であり、本地域で使用してきたスレッショルド圧力 0.37 MPa は妥当な値と判断された。
3) 地質解析の結果、上部貯留層は笹岡層ファシス境界より浅部は上方細粒化により泥質岩が発達しており泥質岩が主な区間（低浸透率な地層）、深部は砂質岩が多く分布していることから砂質岩が主な区間とした。

上記のような特徴から、調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーションの検討経緯とその結果概要は、以下のとおりとなった。

1) 今回の貯留シミュレーションについては秋田沖北部に加え、隣接する秋田沖までを評価範囲とした。また、本年度に実施した本荘沖南部のシミュレーション結果と比較するため、5 坑井で 1 億 t-CO_2 貯留ケースについて実施可能かどうか確認した後で、5 坑井の最大貯留ケースおよび 10 坑井の最大貯留ケースについて圧入期間を最大 60 年として最大貯留可能量を検討した。
2) 垂直井を 5 坑配置で CO_2 の圧入をした場合には、制限条件であるスレッショルド圧を超えずに 40 年間で 1 億 t-CO_2 を圧入が可能であることが判明した。
3) 5 坑井最大貯留ケースではスレッショルド圧は超えるものの 1,000 年後も遮蔽層下端まで CO_2 が到達せずに、60 年間一定レート（1 坑井あたり 75 万 t-CO_2/年）

で 2.25 億 t の CO_2 を貯留可能であることを確認した。

4) 同様の条件で 10 坑井を全区間仕上げしたケースでは溶存 CO_2 が南北に広がり貯留可能域外に流れる傾向を示したことから仕上げ区間の深部化(部分仕上げ)を追求し、坑井数 10 坑、貯留層層準の下部 20%仕上げであれば、溶存 CO_2 の広がりは貯留可能域内に抑えられ、60 年間で 4.5 億 t 貯留可能であることを確認した。

5) いずれのケースにおいても CO_2 は泥質岩への岩相変化により東西方向への広がりが抑えられる。また、下部遮蔽層の砂質ファシスに浸透するが、浸透する CO_2 量は総圧入量に対しては 1%以下と想定されることを確認した。

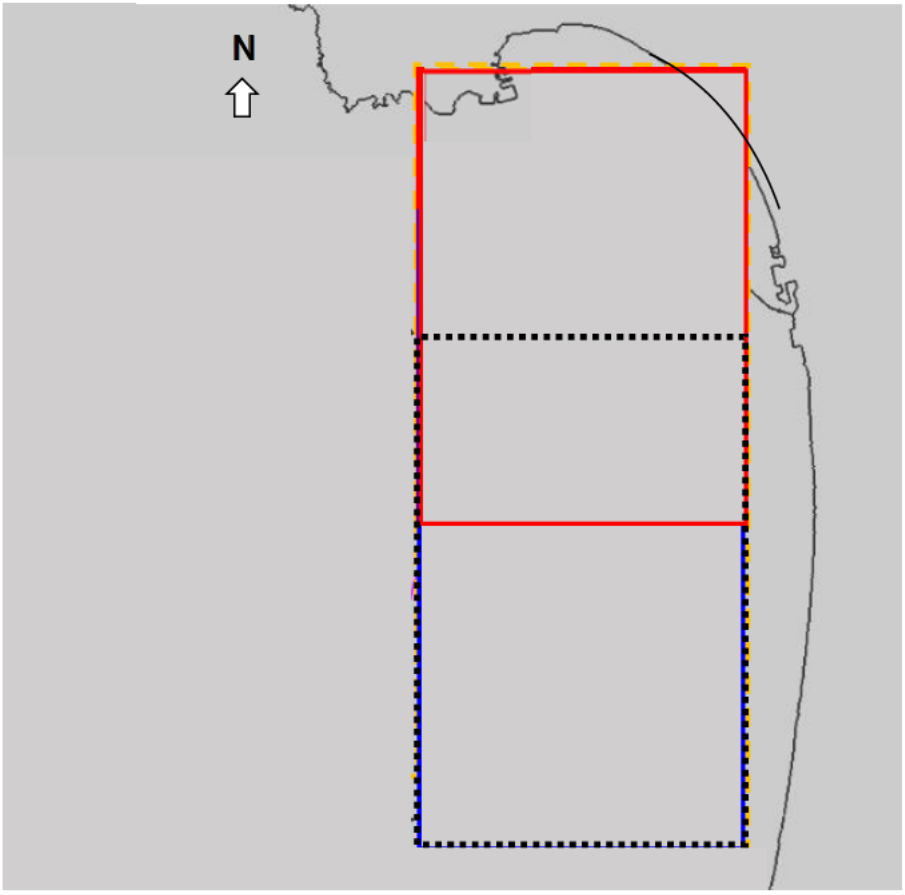
6) 圧入された CO_2 は貯留層がある南部方向へ層準に沿って広がりが卓越していく挙動が観察されたものの、遮蔽層に砂質岩が分布する北部までは到達しない。

7) 感度分析では「浸透率」、「ネットグロス」および「毛細管圧力」について、それぞれのパラメータのみ変更し、いずれのケースにおいても遮蔽層へは CO_2 が達せずに 40 年間で 1 億 t-CO_2 は貯留可能である、という結論を得た。圧入した CO_2 の挙動に対する影響は「浸透率」がもっとも大きく、ついで「ネットグロス」、「毛細管圧力」という順番であった。

8) 本シミュレーションで圧入井を配置したエリアは向斜構造で、東西方向は東側に向かって深度が浅くなるが、シミュレーション予測ではファシス E やファシス G といった泥岩が優勢な砂泥互層により CO_2 プルームの東西方向の広がりは抑えられ、南北方向に広がっていくという傾向にあった。貯留層の東側には延長線上に既存坑井や断層が存在し、さらに陸側に向かって超臨界 CO_2 超臨界条件から外れる深度になることから、より詳細な貯留評価を行うためには砂岩優勢ファシス、泥岩優勢ファシスというファシス区分だけではなく、検層データや弾性波探査データ、コアデータから得られる砂泥互層の不均質性の特徴を反映した、地質イメージおよび物性値モデルに基づいた不均質モデルを構築し、砂泥互層での CO_2 挙動をより詳細に予測する必要がある。

(1)　シミュレーション実施範囲

4.3 節で示した地質解析範囲と過年度の地質解析を実施した隣接する地域を含む鮮新世から更新世の遮蔽層および貯留層を対象に調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーションを実施した。（図 4.8-1）



注 1）赤枠：地質解析の範囲
注 2）青枠の範囲：シミュレーションの範囲（平成２８年度委託事業の地質解析含む）

図 4.8-1　CO_2 挙動予測シミュレーション実施範囲

(2)　使用データ

シミュレーションによる貯留可能量の検討に使用した主なデータを表 4.8-1 に示す。4.3 節に示す坑井データ、地質解析・貯留可能量評価業務結果、調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーション業務結果、地表調査・分析業務結果、後述する「4.8.2 試料分析」結果、苫小牧 CCS 坑井分析データ、その他の公開されている地質情報に関する資料等を使用した。

表 4.8-1　地質モデルの作成で使用する主なデータ一覧

[1]　坑井データ	
石油公団 国内石油・天然ガス基礎調査	掘削深度
平成 4 年度 基礎試錐「由利沖中部」	約 5,000 m
平成 5 年度 基礎試錐「本荘沖」	約 4,800 m
民間坑井	掘削深度
5 坑井	——
[2]　地質解析・貯留可能量評価業務データ	
「平成２７年度二酸化炭素貯留適地調査事業」に係る「既存 2D/3D 探査データを利用したデータ処理・地質解析・貯留可能量評価のうち、地質解析・貯留可能量評価（3）秋田沖」	
「平成２８年度二酸化炭素貯留適地調査事業」に係る「既存探査データを利用した地質解析・貯留可能量評価業務（1）秋田沖」	
「平成２８年度二酸化炭素貯留適地調査事業」に係る「既存探査データを利用した地質解析・貯留可能量評価業務（2）本荘沖」	
平成３０年度「二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務」に係る「地質解析・貯留可能量評価業務（秋田沖）3D 探査データの解析」	
令和２年度「二酸化炭素貯留適地調査委託業務」に係る「地質解析・貯留可能量評価（本荘沖南部）2D 探査データ、3D 探査データの解析」	
令和３年度「二酸化炭素貯留適地調査委託業務」に係る「地質解析・貯留可能量評価（秋田沖北部）」	
[3]　調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーション業務結果	
「平成２９年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務」に係る「本荘沖区域における、第一次地質モデルの作成と第一次 CO_2 挙動予測シミュレーション」	
平成３０年度「二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務」に係る「調査井掘削前 CO2 挙動予測シミュレーション（秋田沖）」	
[4]　地表調査・分析業務結果	
「平成２９年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務」に係る「地表地質調査採取試料の分析・検討業務（「秋田区域」、「宮崎区域」、「金沢区域」）」のうち「秋田区域」	
[5]　苫小牧ＣＣＳ坑井データ	
苫小牧調査井 CCS-1	
苫小牧調査井 CCS-2	
[6]　その他公開されている地質情報に関するデータ	
本業務を実施するにあたって必要となるその他の地質情報データ	

4.8.2　試料分析

秋田沖堆積盆北部に位置する民間坑井の岩石試料分析の結果から得られた CO_2 スレッショルド圧と孔隙率の相関性について図 4.8-2 に示す。圧入対象層の遮蔽層下限深度（海底面下約1,200 m）の孔隙率約31%におけるCO_2スレッショルド圧は、おおよそ0.1～1.0 MPa

の範囲であり、もっとも可能性の高い値は 0.35 MPa であると評価した。

この結果から、本地域は今回シミュレーションで使用した苫小牧沖萌別層泥岩と同程度の遮蔽層能力（CO_2 スレッショルド圧 0.37 MPa）を有すること、およびその振れ幅 0.1～1.0 MPa は流動シミュレーションの感度分析に資するインプットパラメータとして妥当であると判断される。

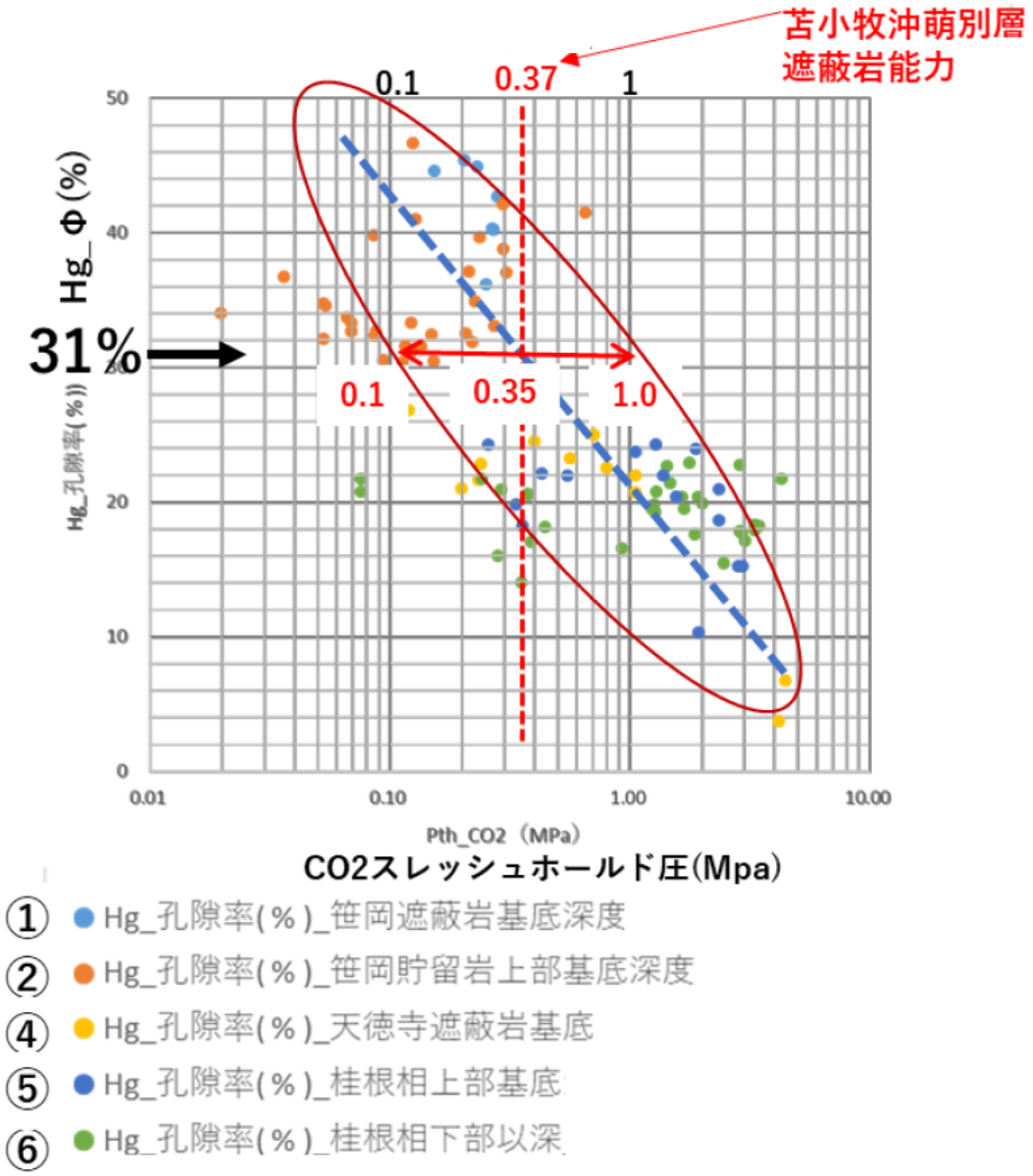


図 4.8-2　笹岡層上部の遮蔽層能力（CO_2 スレッショルド圧）の振れ幅

4.8.3　地質モデルの作成

(1)　構造モデルの作成

図 4.8-3 にホライズン・層序および貯留層・遮蔽層の対応関係を示す。4.3 節に示す地質解析により作成した深度構造図および断層解析結果を使用し、以下に示す 5 ホライズンからなる五つの区間の構造モデルを作成した。

1）海底面～Horizon A

2）Horizon A～Intra 笹岡／観音寺：上部遮蔽層

3）Intra 笹岡／観音寺～笹岡ファシス境界：上部貯留層（泥質岩卓越）

4）笹岡ファシス境界～笹岡層／観音寺層下限：上部貯留層（砂質岩卓越）

5）笹岡層／観音寺層下限～No. 3 G. inflata bed 上限：下部遮蔽層

図 4.8-3 に示すとおり、貯留候補域では上部貯留層である Intra 笹岡／観音寺ホライズン～笹岡ファシス境界において泥質岩が発達していることから、この区間を上部貯留層内の泥質岩が卓越するゾーン（以下、「上部貯留層（泥質岩卓越）」と称する。）と設定し、その下位の笹岡ファシス境界～笹岡層／観音寺層下限ホライズン間を砂質岩が卓越するゾーン（以下、「上部貯留層（砂質岩卓越）」と称する。）と設定した。

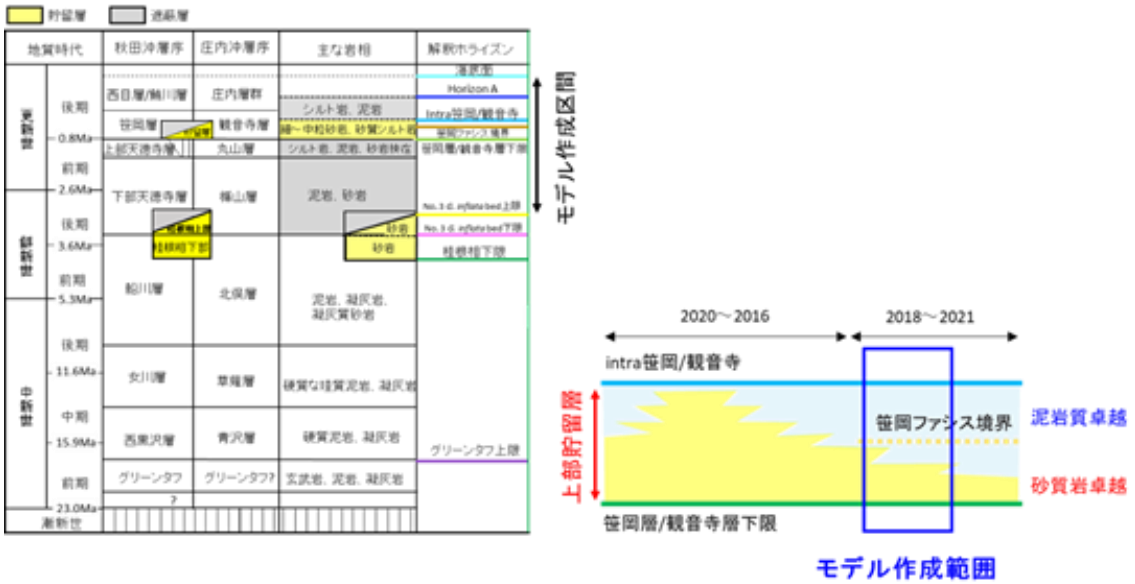


図 4.8-3　層序表（左）および貯留層・遮蔽層の対応関係

4.3 節で解析された断層分布に基づき、評価範囲中の断層を評価した。その結果、解釈された 20 条の断層のうち、貯留可能域評価を行ううえで離隔距離を考慮すべき断層は飛島・船川隆起帯と本荘沖構造の推定活断層および北由利衝上断層にある 9 条の断層となる。ま

た、北由利衝上断層については断層の詳細な形状が不明であるため、ここでは垂直断層としてモデル化した。

(2) グリッドモデルの作成

作成した構造モデルを基に海底面～No. 3 G. inflata bed 上限間に対して、I×J×K=85×148×245 の合計 3,082,100 グリッドからなるグリッドモデルを構築した。図 4.8-4 に層序とグリッドモデルの深度方向のセルの番号 K の対応関係を記す。

グリッドモデルの平面グリッドは、評価範囲の南北系の構造トレンドを考慮し、同構造トレンドに極力平行になる軸およびそれに直交するグリッドとした。また、垂直方向のグリッドサイズは圧入後の CO_2 の挙動を精緻に確認できるよう、各区間平均約 10 m となる様に分割し、平面方向のグリッドサイズはシミュレーションの計算時間を考慮して 200 m×200 m とした。

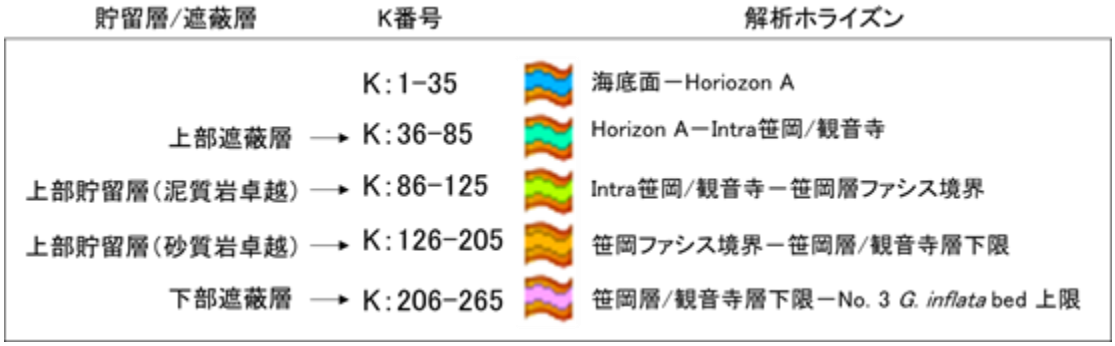


図 4.8-4　層序とグリッドモデルの K 番号の対応関係

(3) ファシス設定

地質モデルのファシスは 4.3 節に示す堆積層解析の結果にもとづき、堆積相解析結果で抽出された A～G からなるファシスについて広がりを推定している。この結果に基づき、上部遮蔽層および上部貯留層ではファシス A と C、下部遮蔽層ではファシス D を砂質岩ファシスとして区分し、上部遮蔽層、上部貯留層および下部貯留層ではファシス E、F および G を泥質岩ファシスとして区分し、各ファシスの物性値の検討を行った。

(4) 貯留層・遮蔽層にかかる物性値

① 孔隙率

孔隙率は評価範囲周辺で掘削された坑井のコアおよび検層データを用いて、図 4.8-5 に示される孔隙率と深度の関係（圧密曲線）を評価した。Athy[4)] によると図 4.8-5 に示される

ように孔隙率は地層の堆積の影響を受けて深度とともに指数関数的に減少する傾向がある（式（4.8-1））。抽出された孔隙率の最小値、中間値および最大値を通る圧密曲線のうち、中間値を通る圧密曲線（式（4.8-2）および式（4.8-3）を採用した。

Athy の圧密曲線

$$\Phi = \Phi_0 \times \exp(-b \times Depth) \quad \cdots\cdots \text{式（4.8-1）}$$

Φ_0：孔隙率、

b：圧密係数、

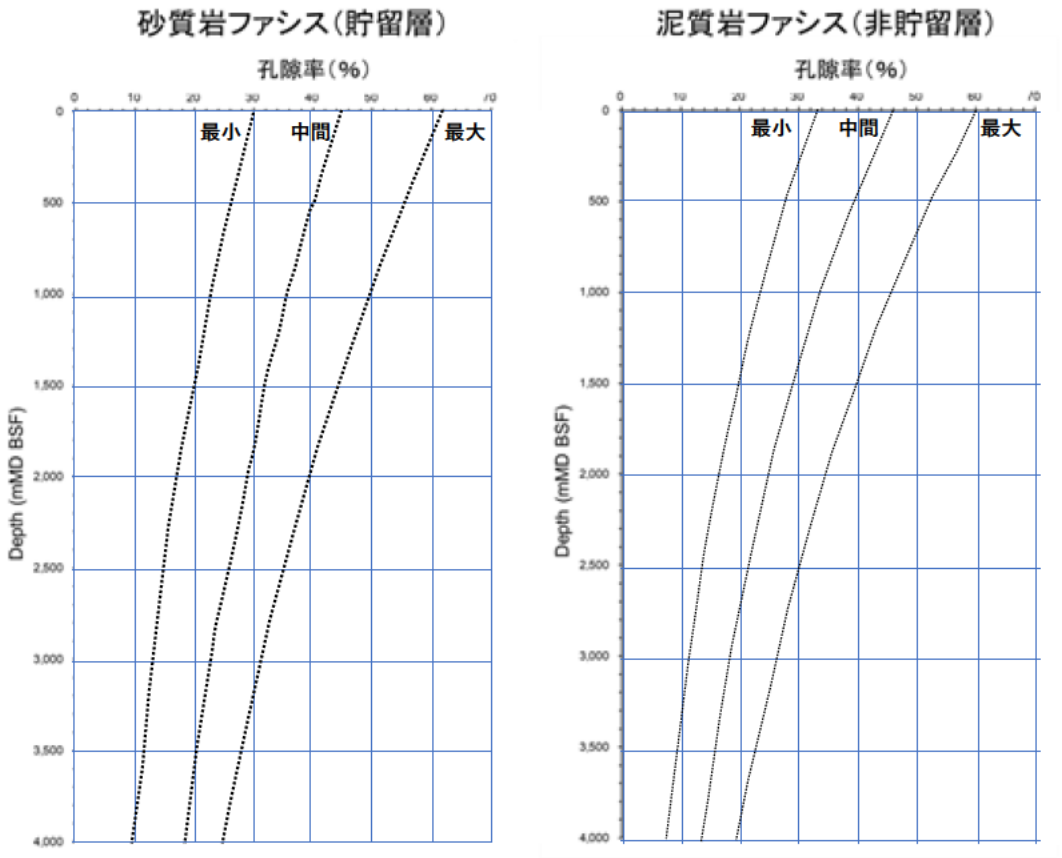
Depth：埋没深度（m）

砂質岩ファシス（貯留層）

$$\Phi = 0.45 \times \exp(-0.00023 \times Depth) \quad \cdots\cdots \text{式（4.8-2）}$$

泥質岩ファシス（非貯留層）

$$\Phi = 0.46 \times \exp(-0.00031 \times Depth) \quad \cdots\cdots \text{式（4.8-3）}$$



注）基礎試錐および民間坑井データを参考に作成

図 4.8-5　砂質岩と泥質岩の圧密曲線

② 浸透率

浸透率については、周辺坑井のコアデータを基に、孔隙率－浸透率クロスプロットを作成し、孔隙率と浸透率の関係を検討した。

FZI（Flow Zone Indicator、μm）は貯留層の性状を示す指標で、値が大きい方がフローに寄与する度合いが高く貯留層性状が良好であることを示す。砂質岩ファシスの FZI を 1.1、泥質岩ファシスの FZI を 0.04 として、また平均的なトレンドとして式(4.8-4)から式(4.8-6)により浸透率の推定を行った。

Flow Zone Indicator（FZI）

$$\mathrm{Perm} = 1014\mathrm{FZI}^2\,\Phi^3/(1-\Phi)^2 \quad \cdots\cdots \text{式（4.8-4）}$$

砂質岩ファシス

$$\mathrm{Perm} = 1014 * 1.1^2 * \Phi^3/(1-\Phi)^2 \quad \cdots\cdots \text{式（4.8-5）}$$

泥質岩ファシス

$$\mathrm{Perm} = 1014 * 0.04^2 * \Phi^3/(1-\Phi)^2 \quad \cdots\cdots \text{式（4.8-6）}$$

なお、深度方向の変化は図 4.8-5 に示す圧密曲線により、深部に向かって孔隙率が低下する傾向が考慮されており、上記相関式を適用することで浸透率についても深部に向かって低下していく傾向が反映される。

③ Kv/Kh

垂直浸透率と水平浸透率の比 Kv/Kh については明確な裏付けとなるデータはなかったため、一般的な値として貯留層内は Kv/Kh=0.1、遮蔽層内は Kv/Kh=1 と仮定した。

④ N/G 比

N/G 比については 4.3 節に示す堆積相解析の結果を踏まえ、表 4.8-2 のように区間毎にファシス A、C、D の出現率と検層解析の N/G 比を用いて評価を行った。

なお、泥質岩ファシスの N/G 比は一律で 0.1 とし、検層解析が未実施の区間については一律で 0.5 とした。

表 4.8-2　区間毎の砂質岩ファシスの N/G 比

区間	①ファシスの出現率	②検層解析の N/G 比	N/G 比（①×②）
海底面～Horizon A	0.47	0.78	0.37
Horizon A～Intra 笹岡／観音寺	0.42	0.52	0.22
Intra 笹岡／観音寺～笹岡ファシス境界	0.56	0.50	0.28
笹岡ファシス境界～笹岡層／観音寺層下限	1.00	0.70	0.70
笹岡層／観音寺層下限～No. 3 G. inflata bed 上限	0.76	0.50	0.38

⑤　貯留層温度

貯留層温度については、周辺坑井での温度検層の結果から温度勾配を 3.16℃/100m と設定し、各深度において以下の式に基づき設定した。また、基準面深度 1,650 mTVDss における地層温度は 62.6℃とした。

貯留層温度（℃）= 0.0316 × 深度（mTVDss）+ 10.45 ……式（4.8-7）

⑥　塩分濃度

周辺坑井の検層解析に用いた値から、27,500 ppm NaCl とした。

⑦　貯留層圧力

貯留層圧力は周辺坑井での物理検層結果に基づき 1.02 g/cm^3 と設定し、各深度において以下の式に基づき設定した。また、基準面深度 1,650 mTVDss における貯留層圧力は 16.5 MPa とした。

貯留層圧力（MPa）= 1.02/100 × 深度（mTVDss） × 0.98066 ……式（4.8-8）

⑧　岩石圧縮率

本荘地域地表サンプル（笹岡層砂岩）の分析値から、3.49×10^{-6} kPa^{-1} とした。

⑨　相対浸透率

相対浸透率曲線については、評価範囲周辺を対象に行われているシミュレーション評価[1)、2)、3)]および地表調査分析[8)]で報告されている標準化曲線とそのエンドポイントを基に作成した。表 4.8-3 に各相対浸透率曲線のエンドポイントを示す。

標準化 CO_2 相対浸透率 Krg*は式（4.8-9）で示される Corey(1954)モデル[9)]、標準化塩水相対浸透率 Krw*は式（4.8-10）で示される van Genuchten(1980)モデル[10)]を用いた。

$$K_{rg}^{*} = (1 - S_{w}^{*})^{n} \quad \text{式（4.8-9）}$$

$$K_{rw}^{*} = \begin{cases} \sqrt{S_{w}^{*}}\left(1 - \left(1 - S_{w}^{*\frac{1}{\lambda}}\right)^{\lambda}\right)^{2} & (S_{gr} = 0) \\ \left(1 - \hat{S}_{w}\right)^{2}\left(1 - \hat{S}_{w}^{2}\right) & (S_{gr} > 0) \end{cases} \quad \text{式（4.8-10）}$$

$$K_{rg}^{*} = K_{rg}/K_{rg}@S_{wir} \text{ ，} K_{rw}^{*} = K_{rw}/K_{rw}@S_{wmax} \quad \text{式（4.8-11）}$$

$$S_{w}^{*} = \frac{S_{w} - S_{wir}}{1 - S_{wir}} \text{ ，} \hat{S}_{w} = \frac{S_{w} - S_{wir}}{1 - S_{wir} - Sgr} \quad \text{式（4.8-12）}$$

Krg*：標準化 CO_2 相対浸透率

S_{w}^{*}，$\hat{S}_{w}$：標準化水飽和率

n：定数

Krw*：標準化水相対浸透率

λ：定数

Krg：CO_2 相対浸透率

Krw：水相対浸透率

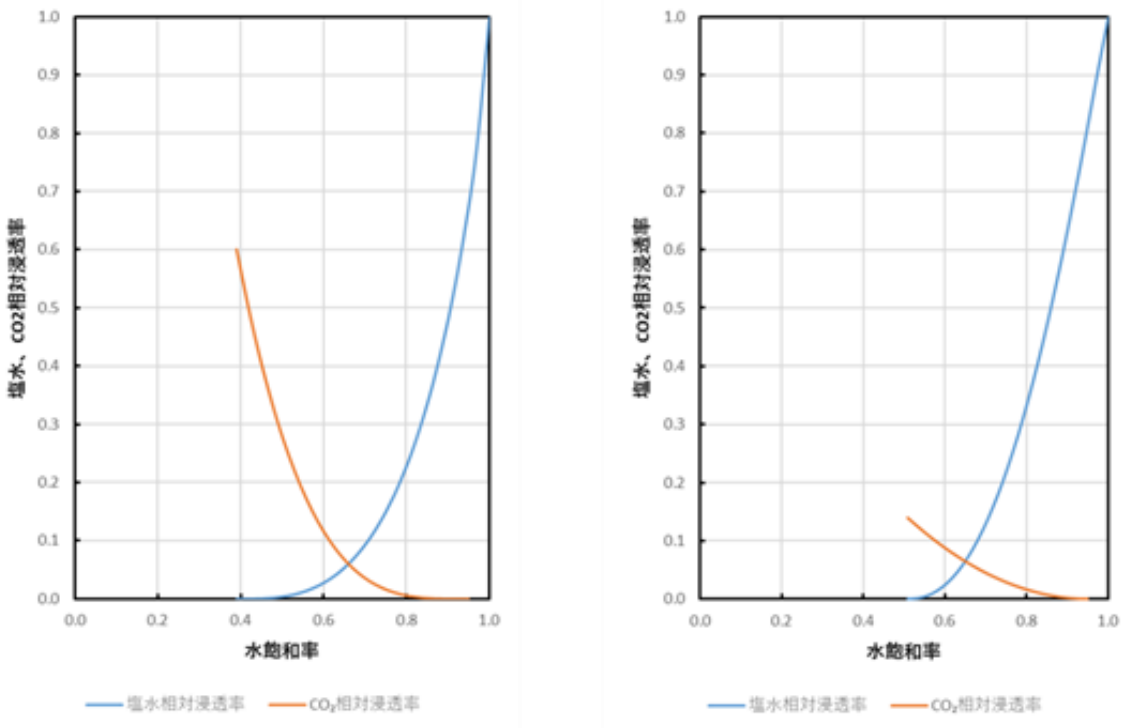
Swir：不動水飽和率

Sw：水飽和率

なお、遮蔽層のエンドポイントについては文献調査に基づき評価を行っている。本作業においても同様の設定として Krg および Krw を 1、臨界ガス飽和率を 0.05 とし、不動水飽和率（Swir）については Bennion ほか（2007）[11] の低浸透性岩石に対する CO_2－水系のフラッド実験結果より得られた 0.638 を仮定し、Sgrmax については GEM のデフォルトの計算式から得られる値の 0.206 を採用し、相対浸透率曲線を作成した。図 4.8-6～図 4.8-8 に作成した相対浸透率曲線を示す。

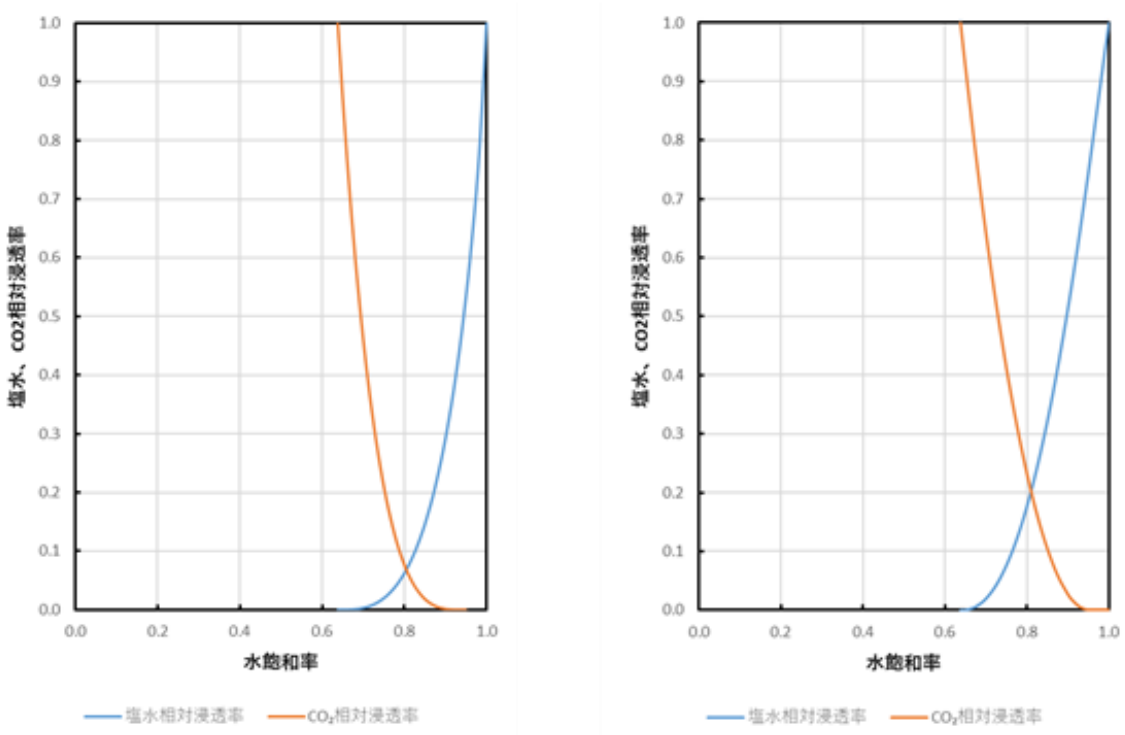
表 4.8-3　各相対浸透率曲線のエンドポイント（上部貯留層）

項目	ファシス	値	備考
Krg	砂質岩	0.6	平成 30 年度委託事業成果報告書第４章 4.10 節[2)]で使用された笹岡層貯留層のエンドポイント
	泥質岩	0.14	
Krw	砂質岩	1.0	
	泥質岩	1.0	
Sgc	砂質岩	0.05	一般的な値として仮定
	泥質岩	0.05	
Sgrmax	砂質岩	0.33	GEM の標準的な計算方法: $S_{grmax} = S_{gc} + 0.5 \times (1 - S_{wir} - S_{gc})$
	泥質岩	0.27	
Swir	砂質岩	0.39	秋田地域　笹岡層地表サンプル分析値
	泥質岩	0.51	能代地域　笹岡層地表サンプル分析値



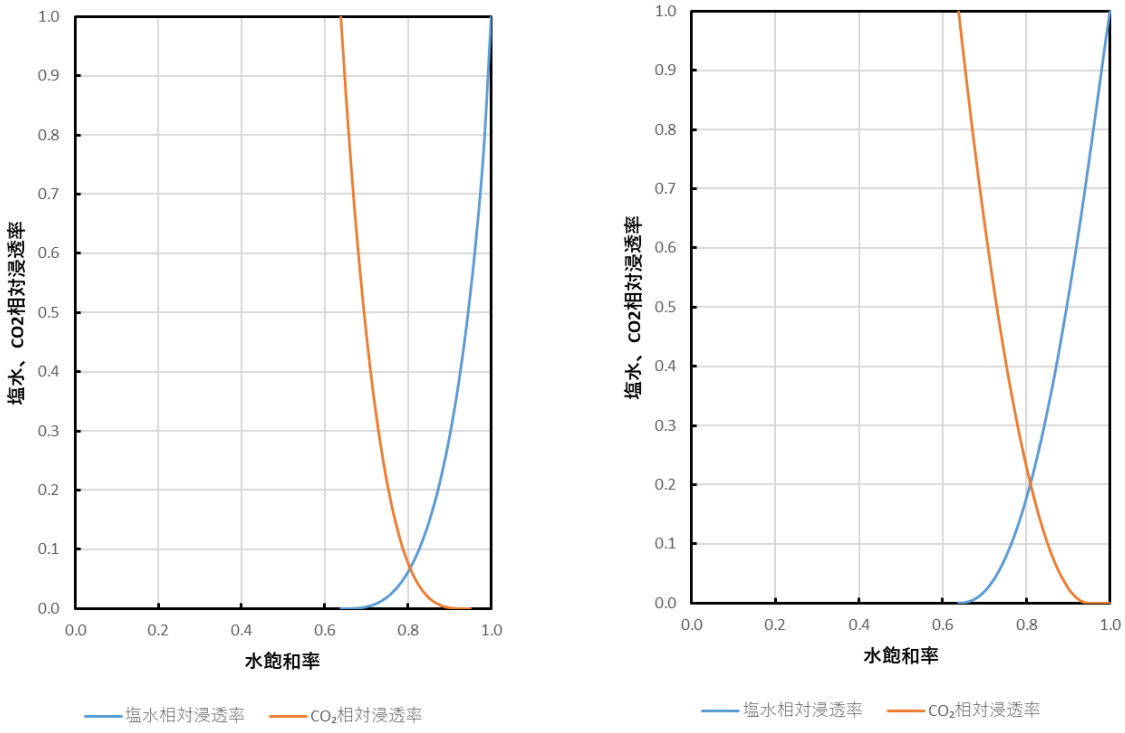
注）左：砂質岩ファシス、右：泥質岩ファシス

図 4.8-6　上部貯留層（砂質岩卓越）相対浸透率曲線



注）左：砂質岩ファシス、右：泥質岩ファシス

図 4.8-7　上部遮蔽層および上部貯留層（泥質岩卓越）相対浸透率曲線



注）左：砂質岩ファシス、右：泥質岩ファシス

図 4.8-8　下部遮蔽層相対浸透率曲線

⑩　毛細管圧力

毛細管圧力曲線については、苫小牧における CCS 大規模実証試験に関わる調査の成果として得られた図 4.8-9 の標準化水飽和率－J-function 相関および式（4.8-13）に基づいて求めた。

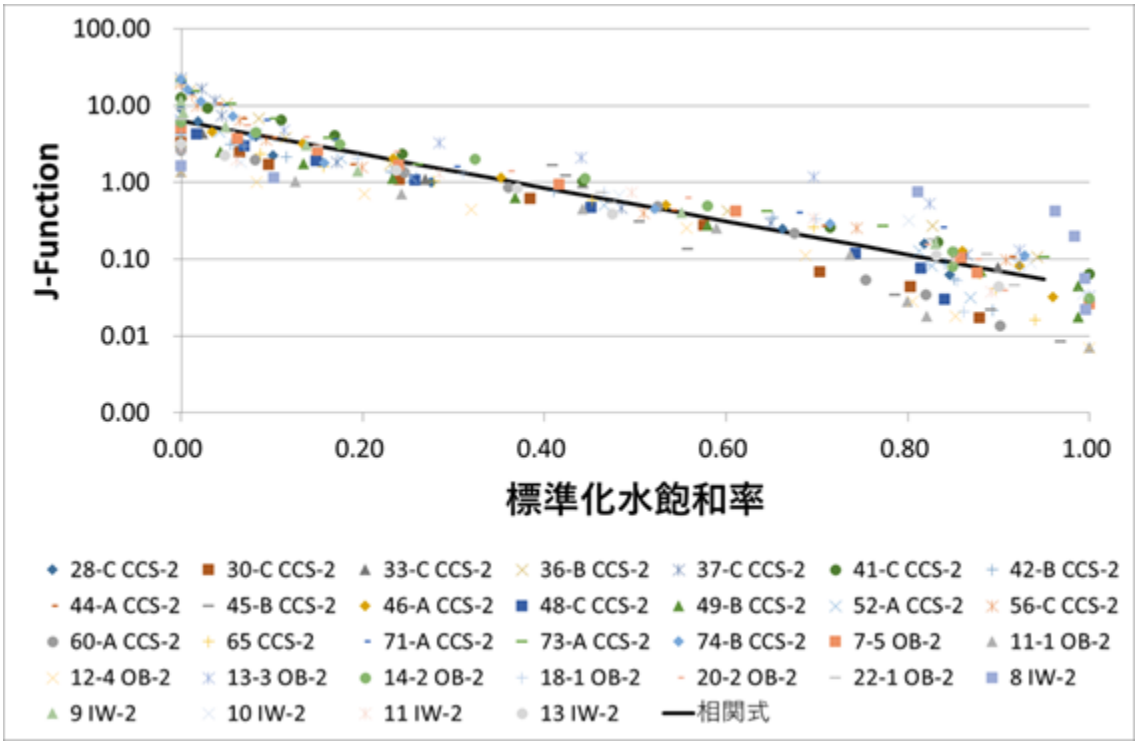


図 4.8-9　毛細管圧力曲線の算出に用いた標準化水飽和率と J-function の関係

$$Pc = J(Sw^*) * T\cos\theta * \sqrt{\varphi/K} * CF \quad \cdots\cdots \text{式（4.8-13）}$$

Pc：毛細管圧力

Sw*：標準化水飽和率

Tcosθ：界面張力×Cos（接触角）

φ：孔隙率

K：浸透率

CF：Conversion Factor

泥質岩ファシス（非貯留層）の毛細管圧力曲線は、シール能力の基準となるスレッショルド圧力を再現できるモデルとして van Genuchten の式（4.8-14 を適用した。J-function 式（4.8-13）と整合的な van Genuchten の式による毛細管圧曲線を作成するうえでは平成３０年度委託事業成果報告書第４章 4.10 節[2)] の手順を参考にした。図 4.8-10 に地表サンプルの分析値および van Genuchten の式から作成した毛細管圧力曲線と標準化水飽和率の関

係を示す。

$$Pc = P_0 \times \left([S^*]^{-\frac{1}{\lambda}} - 1 \right)^{(1-\lambda)} \quad \cdots\cdots \text{式（4.8-14）}$$

Pc：毛細管圧力（kPa）

Po：置換圧力（kPa）

S*：標準化水飽和率

λ：係数（λ=0.6）

標準化水飽和率と J-function の関係への適用する際は Pc を J(Sw*)と読み替える

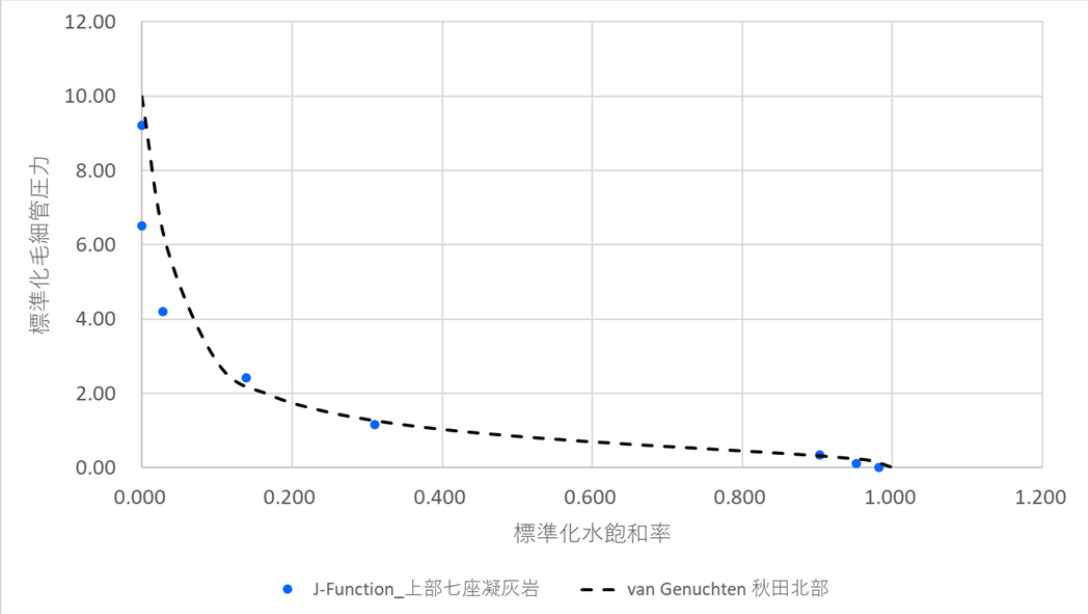
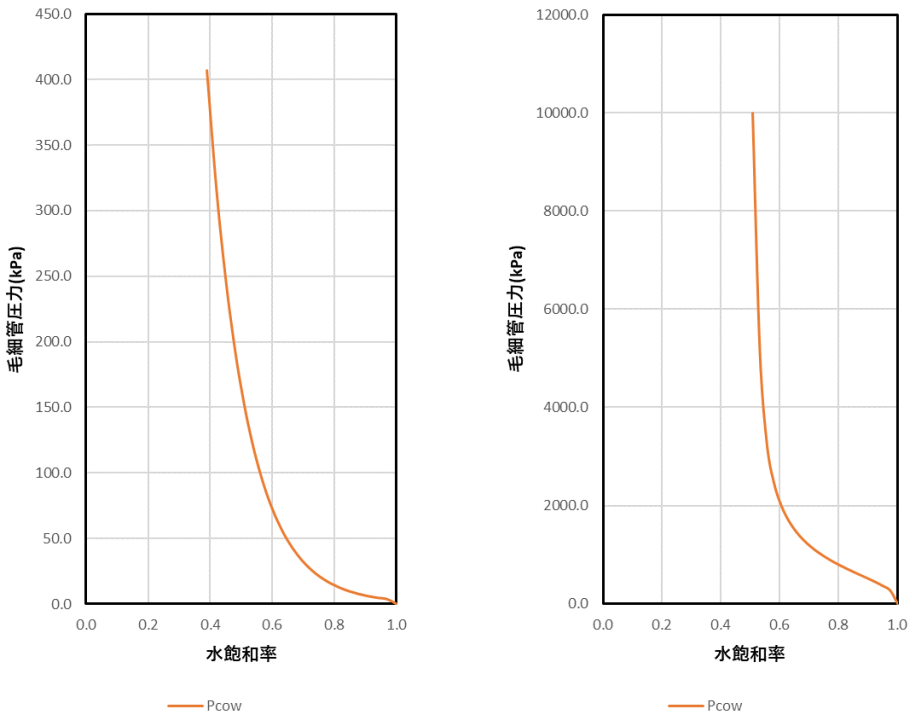


図 4.8-10　毛細管圧力曲線の算出に用いた標準化水飽和率と J-function の関係

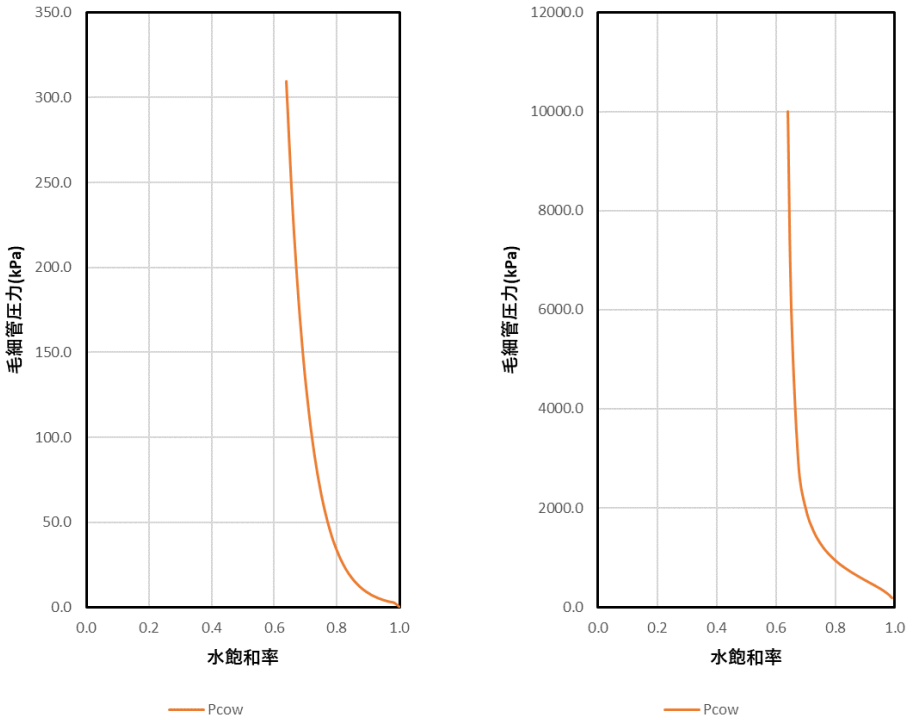
標準化毛細管圧力曲線から毛細管圧力曲線を作成する際は、式（4.8-14 において臨界飽和率における毛細管圧力がスレッショルド圧力となるように定数 P_0 を設定した。上部遮蔽層のスレッショルド圧力は平成３０年度委託事業成果報告書第４章 4.10 節[2)]と同様に萌別層泥岩のスレッショルド圧力 370 kPa を採用し、下部遮蔽層のスレッショルド圧力は基礎試錐「本荘沖」[1 2)]で確認されている下限値 13,700 kPa となるように定数を設定した。注）左：砂質岩ファシス、右：泥質岩ファシス
図 4.811～注）左：砂質岩ファシス、右：泥質岩ファシス

図 4.813 に作成した毛細管圧力曲線を示す。



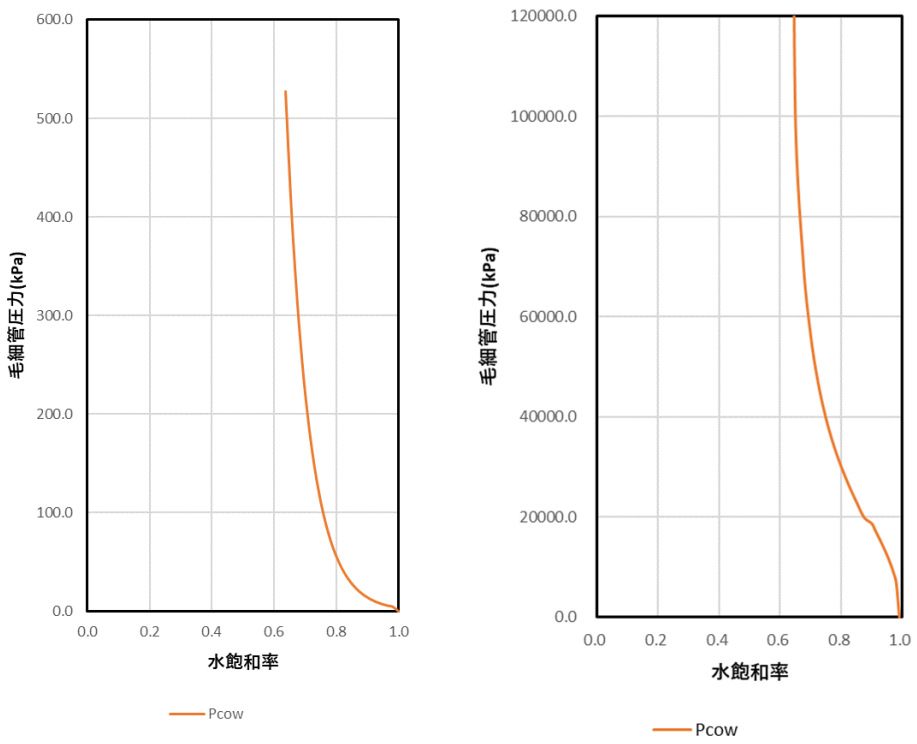
注）左：砂質岩ファシス、右：泥質岩ファシス

図 4.8-11　上部貯留層（砂質岩卓越）毛細管圧力曲線



注）左：砂質岩ファシス、右：泥質岩ファシス

図 4.8-12　上部遮蔽層および上部貯留層（泥質岩卓越）毛細管圧力曲線



注）左：砂質岩ファシス、右：泥質岩ファシス

図 4.8-13　下部遮蔽層毛細管圧力曲線

⑪　スレッショルド圧およびリークオフ圧力

スレッショルド圧力は、上部遮蔽層では実測データがないためこれまでの評価を参考に萌別層のスレッショルド圧力 370 kPa と同程度であると仮定した。なお、試料分析の結果もっとも可能性の高い値は 350kPa であり、その結果からもスレッショルド圧力を 370 kPa に設定するのは妥当であると判断される。また、リークオフテストは上部遮蔽層にて 1.3 g/cm^3 相当の結果を周辺坑井で確認している。この結果をもとに後述する 1D ジオメカニカルモデルで求めた地層破壊圧の補正を行っている。

⑫　貯留層・遮蔽層にかかる物性値まとめ

貯留層・遮蔽層にかかる物性値まとめとして、表 4.8-4 に入力値の一覧を示す。

表 4.8-4　貯留層・遮蔽層にかかる物性値一覧

貯留層/遮蔽層	浅部/深部	項目			入力値
貯留層	上部貯留層（砂質岩卓越）	ファシス	砂質岩ファシス		ファシスA, C
			泥質岩ファシス		ファシスE, F, G
		孔隙率（ΦT）	砂質岩ファシス		$\Phi=\Phi_{ini}$*Exp(−b*Depth)
			泥質岩ファシス		$\Phi=\Phi_{ini}$*Exp(−b*Depth)
		浸透率	砂質岩ファシス		K = 1014 * (1.1)^2 * (Φ)^3 / ((1−Φ))^2
			泥質岩ファシス		K = 1014 * (0.04)^2 * (Φ)^3 / ((1−Φ))^2
		Kv/Kh			0.1
		ネットグロス比	砂質岩ファシス		0.7
			泥質岩ファシス		0.1
		相対浸透率・エンドポイント	Krg	砂質岩ファシス	0.60
				泥質岩ファシス	0.14
			Krw	砂質岩ファシス	1.00
				泥質岩ファシス	1.00
			Sgc	砂質岩ファシス	0.05
				泥質岩ファシス	0.05
			Sgrmax	砂質岩ファシス	0.33
				泥質岩ファシス	0.27
			Swir	砂質岩ファシス	0.39
				泥質岩ファシス	0.51
		毛細管圧力			Pc=J*(Sw*)*Tcosθ*$\sqrt{}$(ϕ/k)*CF
		貯留層温度勾配			3.16℃/100m
		貯留層圧力（EMW）			1.02g/cc
		貯留層塩分濃度			27,500 ppm
		岩石圧縮率			3.49×10−6　kPa−1
遮蔽層	上部遮蔽層・上部貯留層（泥質岩卓越）	ファシス	砂質岩ファシス		ファシスA, C
			泥質岩ファシス		ファシスE, F, G
		孔隙率（ΦT）	砂質岩ファシス		$\Phi=\Phi_{ini}$*Exp(−b*Depth)
			泥質岩ファシス		$\Phi=\Phi_{ini}$*Exp(−b*Depth)
		浸透率	砂質岩ファシス		K = 1014 * (1.1)^2 * (Φ)^3 / ((1−Φ))^2
			泥質岩ファシス		K = 1014 * (0.04)^2 * (Φ)^3 / ((1−Φ))^2
		Kv/Kh			1
		相対浸透率・エンドポイント	Krg		1
			Krw		1
			Sgc		0.05
			Sgrmax		0.206
			Swir		0.638
		毛細管圧力			Pc=P0 * ((S*)^(−1/λ)−1)^((1−λ))
		リークオフ圧力			1.3g/cc
		スレッショルド圧力			370kPa
	下部遮蔽層	ファシス	砂質岩ファシス		ファシスD
			泥質岩ファシス		ファシスE, F, G
		孔隙率（ΦT）	砂質岩ファシス		$\Phi=\Phi_{ini}$*Exp(−b*Depth)
			泥質岩ファシス		$\Phi=\Phi_{ini}$*Exp(−b*Depth)
		浸透率	砂質岩ファシス		K = 1014 * (1.1)^2 * (Φ)^3 / ((1−Φ))^2
			泥質岩ファシス		K = 1014 * (0.04)^2 * (Φ)^3 / ((1−Φ))^2
		Kv/Kh			1
		相対浸透率・エンドポイント	Krg		1
			Krw		1
			Sgc		0.05
			Sgrmax		0.206
			Swir		0.638
		毛細管圧力			Pc=P0 * ((S*)^(−1/λ)−1)^((1−λ))
		リークオフ圧力			—
		スレッショルド圧力			13.7 Mpa以上

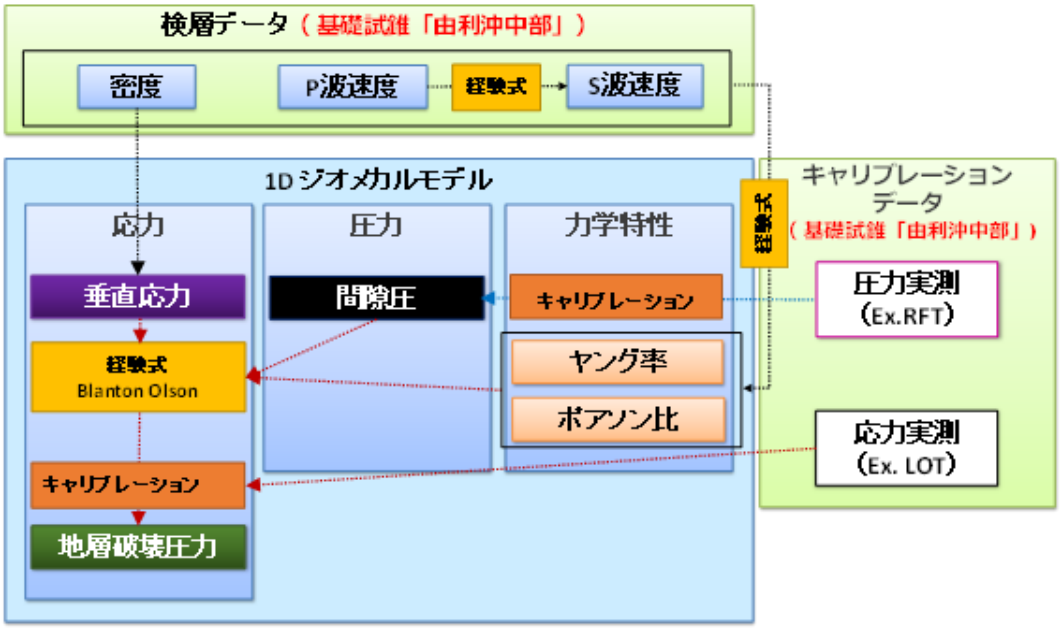
(5)　地層破壊圧力

CO_2 圧入にあたり、圧入上限圧力の基準値とするために地層破壊圧力を推定した。

①　評価ワークフロー

図 4.8-14 に示す評価ワークフローに従って、以下の 1)～7)の手順で地層破壊圧力予測を実施した。

1) 地層破壊圧力予測を実施する対象井（基礎試錐「由利沖中部」）を選定した。
2) 基礎試錐「由利沖中部」の検層データ、キャリブレーションデータ（圧力実測データ、応力実績データ）を収集した。
3) 力学特性（ヤング率・ポアソン比）を、検層データ（密度・P 波速度・S 波速度）から経験式を用いて推定した。S 波速度検層データは、P 波速度検層データから経験式を用いて推定した。
4) 間隙圧力を推定し、圧力実績データ（RFT）で較正（キャリブレーション）した。
5) 密度検層データから垂直応力を推定した。
6) 3)～5)で推定した力学特性・間隙圧力・垂直応力を用いて多孔質弾性論に基づき地層破壊圧力を算出した。
7) 算出した地層破壊圧力を応力実測データ（LOT）で較正（キャリブレーション）し、最終的な地層破壊圧力を推定した。



注）RFT：Repeated Formation Test、LOT：Leak off Test

図 4.8-14　地層破壊圧予測の評価ワークフロー

②　使用データ

本項では、地層破壊圧力予測に使用したデータである「坑井データ」、「検層データ」、「キャリブレーションデータ」について記載する。

a.　坑井（参照井）データ

シミュレーション実施範囲周辺で利用できる坑井は、基礎試錐「由利沖中部」、秋田沖北部 SI-1、由利沖北部 SI-1、脇本沖 SK-1、芦川沖 SI-1 の 5 坑井である。

5 坑井のうち、基礎試錐「由利沖中部」についてのみ、地層破壊圧力の予測に必要な検層データおよびキャリブレーションデータが存在した。このことから基礎試錐「由利沖中部」を対象として地層破壊圧力予測を実施した。以後、基礎試錐「由利沖中部」の地層破壊圧力予測作業について説明する。

b.　検層データおよびキャリブレーションデータ

地層破壊圧力予測（1D ジオメカニカルモデルの構築）作業に使用する検層データおよびキャリブレーションデータの有無を表 4.8-5 に示す。〇を記載したものが、存在が確認されたデータである。これらの検層データおよびキャリブレーションデータを使用し、1D ジオメカニカルモデルを構築した。

表 4.8-5　対象井の検層データ・キャリブレーションデータ

データの種類	データ名	基礎試錐「由利沖中部」
検層データ	Gamma Ray	○
検層データ	Sonic (P-wave)	○
検層データ	Sonic (S-wave)	―
検層データ	Density	○
検層データ	Resistivity	○
検層データ	Caliper	○
キャリブレーションデータ	LOT	○
キャリブレーションデータ	RFT	○

RFT : Repeated Formation Test、LOT : Leak off Test

c.　S 波速度

本作業の対象坑井である基礎試錐「由利沖中部」では S 波速度検層データが取得されていなかった。そこで、S 波速度検層データが取得されている基礎試錐「本荘沖」[12)] のデータを使用し、P 波速度と S 波速度の関係を記述した Castagna の経験式[13)] を、本対象地域への適用のために補正した（修正 Castagna 式）。修正 Castagna 式を式（4.8-15）

式に示す。基礎試錐「由利沖中部」における S 波速度（Vs）は、式（4.8-13）式を書き換え式（4.8-16）式とし、P 波速度検層データより推定した。

$$V_p = 1.166 \times V_s + 1229 \cdots\cdots \text{式（4.8-15）}$$

$$V_S = \frac{V_P - 1229}{1.166} \cdots\cdots \text{式（4.8-16）}$$

V_p：P 波速度（m/s）

V_s：S 波速度（m/s）

③ 1D ジオメカニカルモデルの構築

地層破壊圧予測に必要なパラメータである、「ヤング率」、「ポアソン比」、「垂直応力」、「間隙圧」について以下のように推定した。

a. ヤング率

動的ヤング率（$E_{dyn}\,[Pa]$）は、検層データを用いて、式（4.8-17）式より推定した。

$$E_{dyn} = \frac{\rho_{bulk} V_s^2 (3V_p^2 - 4V_s^2)}{V_p^2 - V_s^2}) \cdots\cdots \text{式（4.8-17）}$$

$\rho_{bulk}\,[kg/m^3]$：岩石バルク密度

静的ヤング率（$E_{stat}\,[Pa]$）は、岩相毎にそれぞれ式（4.8-18）および式（4.8-19）より推定した。岩相は、検層解析より得たV_{sh}の値[15)]を用いて分類した。

砂岩（Lacy for sand）[16)]

$$E_{stat} = 0.0293 \times E_{dyn}^2 + 0.4533 \times E_{dyn} \cdots\cdots \text{式（4.8-18）}$$

泥岩（Lacy for shale）[16)]

$$E_{stat} = 0.0428 \times E_{dyn}^2 + 0.2334 \times E_{dyn} \cdots\cdots \text{式（4.8-19）}$$

b. ポアソン比

動的ポアソン比は、検層データを用いて、以下の式より推定した。

$$\nu_{dyn} = \frac{(Vp/Vs)^2 - 2}{2 \times (Vp/Vs)^2 - 1} \cdots\cdots \text{式（4.8-20）}$$

ν_{dyn}：動的ポアソン比

静的ポアソン比は、動的ポアソン比と同値であると仮定した。

c. 垂直応力

垂直応力の深度分布は式（4.8-21）に示すとおりバルク密度を積分して推定した。

$$\sigma_v(z) = \int_0^z \rho_{bulk}(z) g \, dz \cdots\cdots \text{式（4.8-21）}$$

σ_v：垂直応力

$\sigma_v\,[Pa]$：垂直応力

z [m]：深度

g [m/s^2]：重力加速度

なお、密度検層データが取得されていない区間の密度に関し、海上から海底までの密度は 1.03 g/cm^3（海水の密度）、海底から密度検層開始深度までの区間は 1.92 g/cm^3（密度検層データ取得区間上限深度での密度）を仮定した。

d. 間隙圧

RFT（Repeated Formation Test）の結果を用いて、静水圧勾配と仮定した間隙圧力をキャリブレーションした。上部貯留層内の「RFT（1,263 mTVDss）」～「RFT（1,283 mTVDss）」の区間、および下部貯留層内の深度（2,000 mTVDss）～深度（2,100 mTVDss）の区間は異常高圧と解釈し、それ以外の区間は静水圧勾配と解釈した。各区間の圧力勾配を RFT の実測値から推定した。その結果を表 4.8-6 に示す。

表 4.8-6　各層の EMW（Equivalent Mad Weight）

対象層	深度区間	EMW
RFT（1,263 mTVDss）以浅	0～1,263 mTVDss	1.03 g/cm^3
RFT（1,263 mTVDss） ～RFT（1,283 mTVDss）	1,263～1,283 mTVDss	1.03 g/cm^3～ 1.15 g/cm^3
RFT（1,283 mTVDss） ～深度（2,000 mTVDss）	1,283～2,000 mTVDss	1.15 g/cm^3
深度（2,000 mTVDss） ～深度（2,100 mTVDss）	2,000～2,100 mTVDss	1.15 g/cm^3～ 1.27 g/cm^3
深度（2,100 mTVDss） ～「桂根相下限」	2,100～2,353 mTVDss	1.27 g/cm^3

e. 地層破壊圧

a.～d.の流れで推定した「ヤング率」、「ポアソン比」、「垂直応力」、「間隙圧力」を用いて、Blanton and Olson（1999）[14] の式（4.8-22）により、深度に対する地層破壊圧力の分布を推定した。

$$FP = \left(\frac{\nu}{1-\nu}\right)(S_V - P_p) + \frac{E}{1-\nu^2}\varepsilon_{hmin} + \frac{E\nu}{1-\nu^2}\varepsilon_{Hmax} + P_p \quad \cdots\cdots \text{式（4.8-22）}$$

FP：地層破壊圧

E：ヤング率

ν：ポアソン比

Pp：間隙圧

Sv：垂直応力

ε_{hmin} ：最小主応力 shmin 方向のひずみ

ε_{Hmax} ：最大主応力 sHmax 方向のひずみ

ε_{hmin} と ε_{Hmax} は、LOT 結果に地層破壊圧がマッチするように値を求めた。

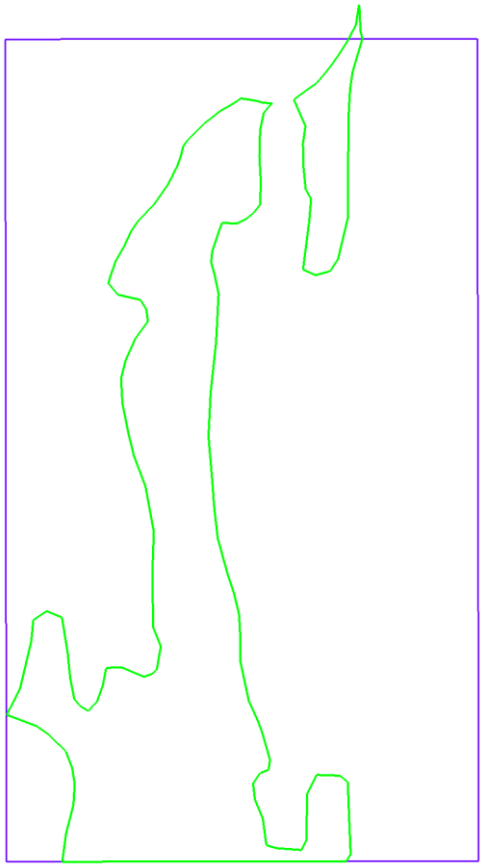
ε_{hmin}＝0.00006

ε_{Hmax}＝0.0003

4.8.4 CO_2 挙動予測シミュレーションモデルの作成

(1) 貯留エリアの選定

CO_2 挙動予測シミュレーションでは予察的な検討として、図 4.8-15 に示す上部貯留層の砂質岩ファシスの分布域に貯留層層準を全区間仕上げた圧入井を配置してシミュレーションを実施し、CO_2 圧入時の貯留層内の挙動や累計圧入量を評価した。その結果をもとに、最適な CO_2 貯留エリアを選定した。



注）緑色の実線で囲まれた範囲が砂質ファシスが分布する範囲

図 4.8-15 対象区域および貯留エリアの選定範囲と予察のための圧入井位置

(2)　圧入制限条件

CO_2 を安定的に圧入および地下貯留するため表 4.8-7 に示す圧入中および圧入停止後 1,000 年間における制限条件を設定した。

表 4.8-7　シミュレーション結果が満たすべき制限条件

圧入中～圧入停止後 1,000 年間	
1)	**遮蔽層下端での圧力上昇がスレッショルド圧力（370 kPa）を上回らないこと。**
2)	**溶存 CO_2 量の分布範囲が超臨界条件を外れる深度に到達しないこと。**
3)	**溶存 CO_2 量の分布範囲が断層の 2.5 km 範囲内に到達しないこと。**
4)	**溶存 CO_2 量の分布範囲が既存の坑井に達しないこと。**
5)	**溶存 CO_2 量の分布範囲がシミュレーション範囲を超えないこと。**
圧入中	
6)	**圧入圧力が地層破壊圧の 9 割を上回らないこと。**
7)	**流速が TBG（4-1/2“）のエロージョナルベロシティーに到達しないこと。**

(3)　境界条件

グリッドモデルの境界グリッドの有効孔隙に一定の倍率を掛け、開境界とした。モデル境界の設定は以前実施した評価範囲周辺で行われているシミュレーション評価を参考に、開境界での倍率を 2,000 倍に設定した。

4.8.5　圧入可能量の検討（5 坑井×40 年間圧入ケース）

(1)　圧入条件

貯留層上限ホライズンの構造図およびファシスモデルを参考に、圧入井（垂直井）5 坑を配置し、500 m スペーシングを目安に坑井を配置した。圧入時の坑底圧力は仕上げ区間上端深度における地層破壊圧の 90%を上限として設定し、貯留層層準すべてを仕上げ区間として、1 坑あたり 50 万 t-CO_2/年のレートで 40 年間連続圧入する場合の挙動を確認した。

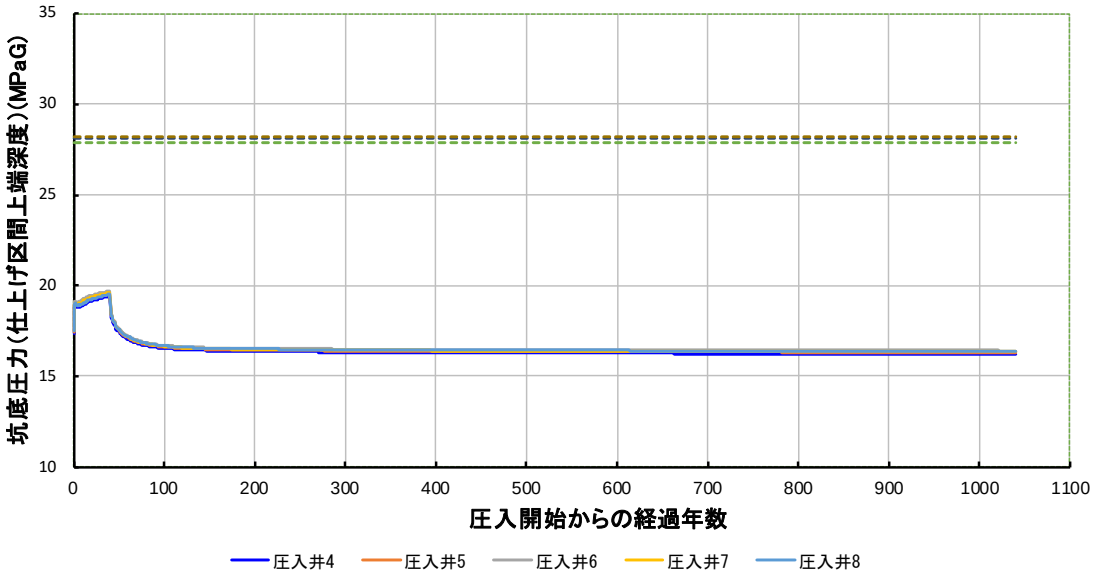
(2)　坑底圧力および圧入レート推移

圧入停止直後の坑底圧力と地層破壊圧力を表 4.8-8 に、坑底圧力推移を図 4.8-16 に、圧入レート推移を図 4.8-17 に示す。

圧入停止直後の坑底圧力と地層破壊圧力の差圧は 9.5 MPa 程度あり、全圧入期間および監視期間において、仕上げ区間上端の圧入圧力は地層破壊圧を下回っている。坑底圧力は上限である地層破壊圧の 9 割で拘束されているものの、全圧入期間を通して 250 万 t-CO_2/年の圧入を維持できることが示され、40 年間の CO_2 累計圧入量は 1.0 億 t であった。

表 4.8-8　各圧入井の圧入停止直後の坑底圧力と地層破壊圧力

坑井	仕上げ区間上端深度 圧入停止時の圧力 （MPaG）（①）	地層破壊圧力 （MPaG）（②）	地層破壊圧力-圧入停止時の圧力 （MPa）（②-①）
4	18.5	27.9	9.5
5	18.6	28.1	9.5
6	18.7	28.3	9.6
7	18.6	28.1	9.5
8	18.6	28.2	9.6



注）点線は各圧入井仕上げ区間上端深度の地層破壊圧力。色は実線が表す圧入井に対応。

図 4.8-16　圧入井仕上げ区間上端深度の坑底圧力推移

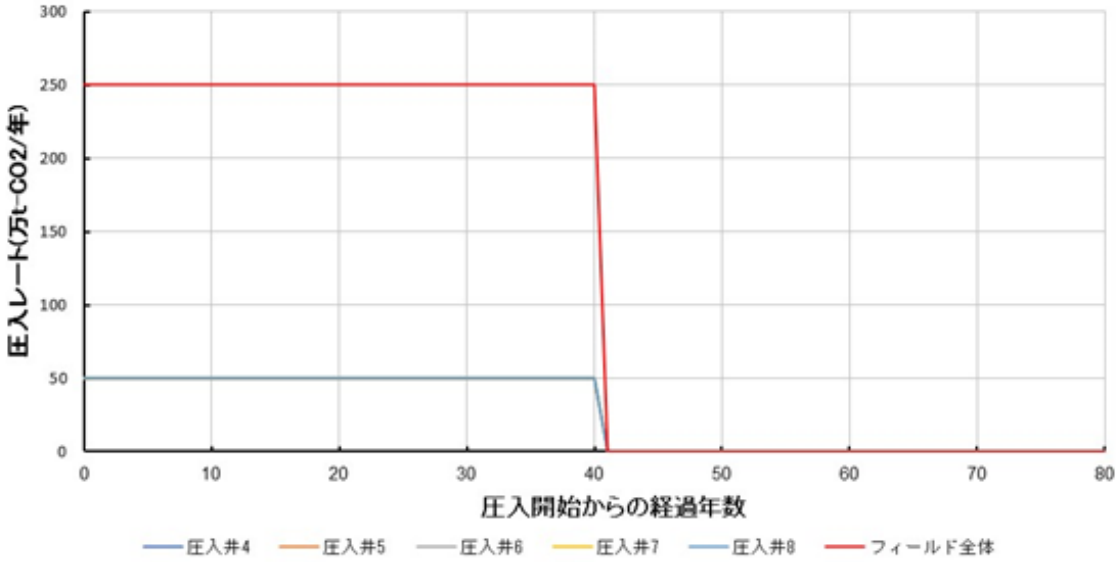


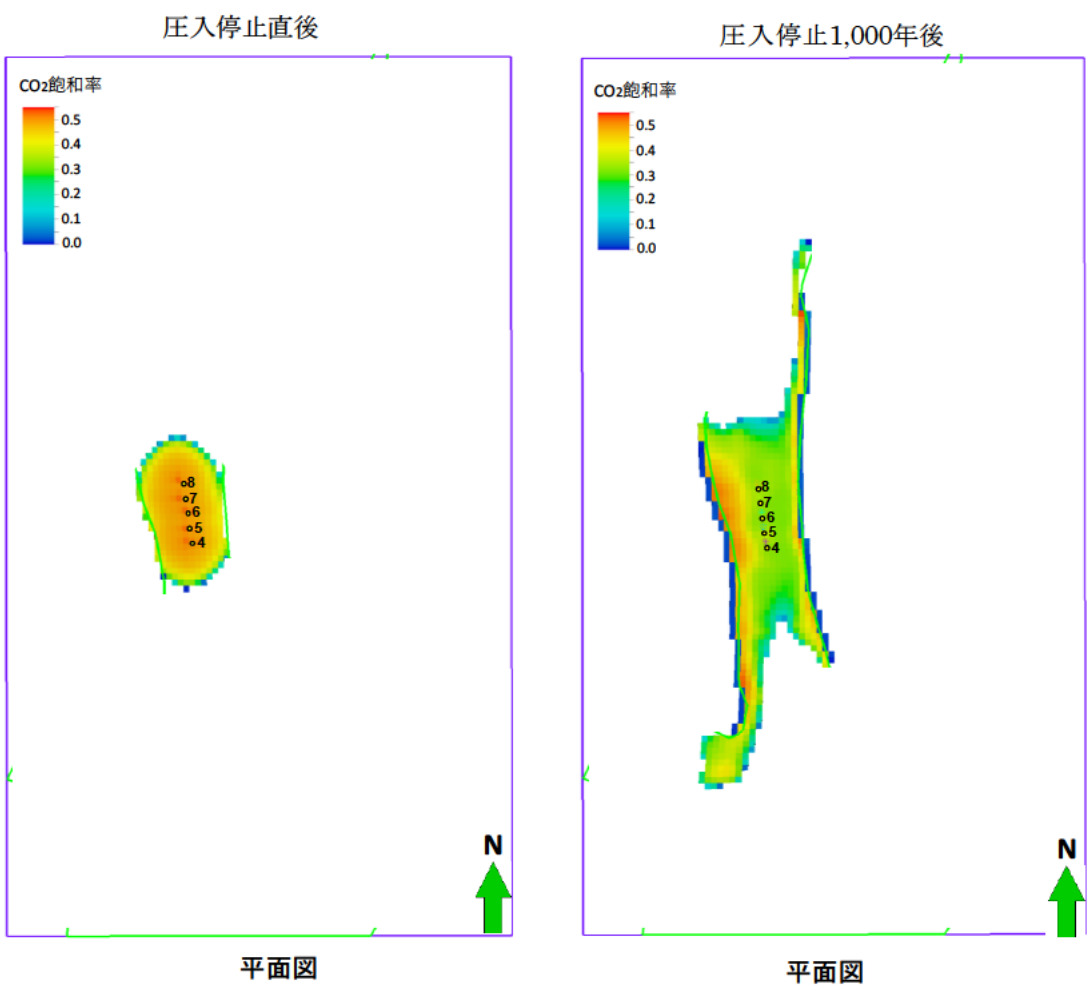
図 4.8-17　圧入レート推移

(3)　CO_2 飽和率分布

圧入停止直後および圧入停止 1,000 年後の CO_2 飽和率分布の平面図を図 4.8-18 に示す。

CO_2 は深部塩水よりも密度が小さいため、圧入停止後は、浮力により時間経過とともに地層傾斜に沿って深度の浅い方に向かって移動する。貯留層上部には泥質岩が広がっているため、浅部へ移動した CO_2 は貯留層内の砂質岩と泥質岩の境界（笹岡ファシス境界ホライズン）に沿うように移動する。さらに東西方向の岩相は泥岩が優勢な砂泥互層に側方変化するため、CO_2 は貯留可能域の繋がる南北の深度の浅い方向（坑井 4 の南方、坑井 8 の北方）に顕著な移動が見られた。

以上のことから、CO_2 を貯留範囲内に留めておくうえで、貯留層上部に広がる泥質岩の傾斜および東西方向の岩相の変化が坑井配置において留意すべき重要な要素であると考えられる。



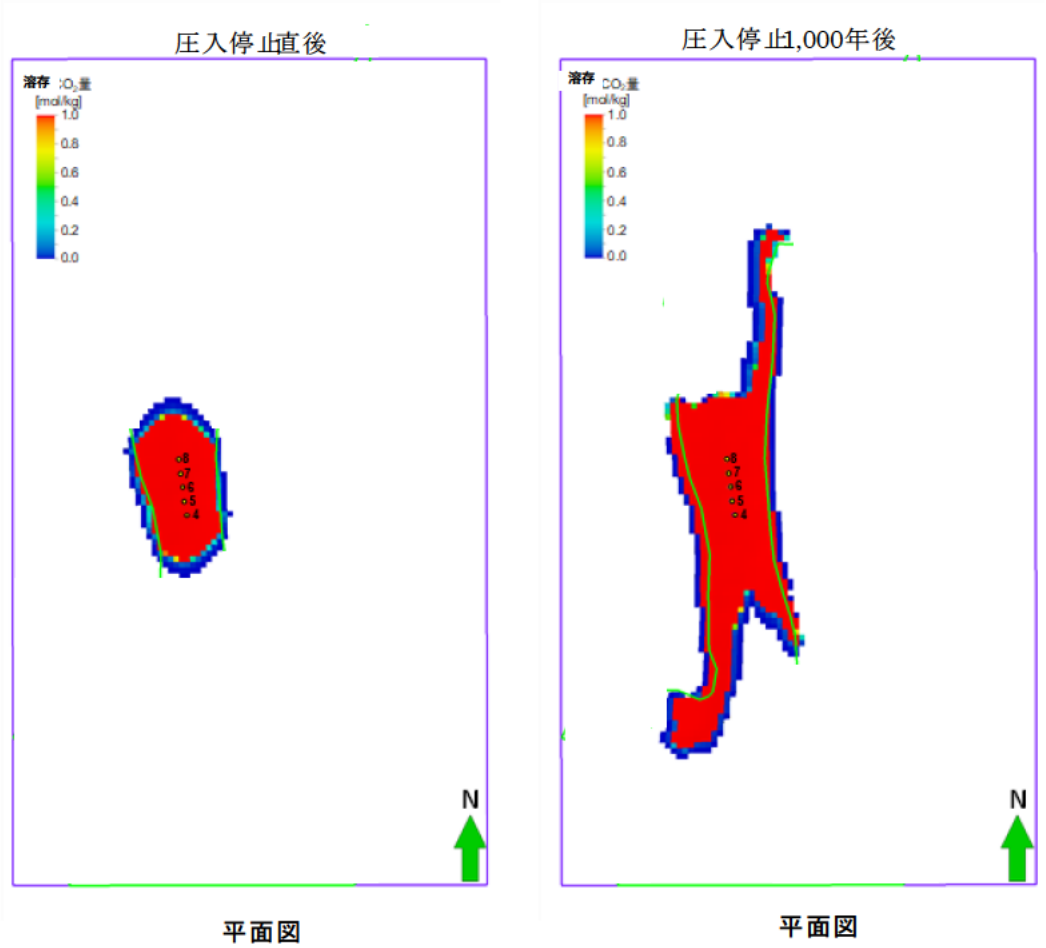
注 1）CO_2 飽和率 0.001 以上のグリッドを表示。
注 2）笹岡ファシスホライズン深度の CO_2 飽和率を示す。

図 4.8-18　圧入停止直後および圧入停止 1,000 年後の CO_2 飽和率分布

(4)　溶存 CO_2 量分布

圧入停止直後および 1,000 年後の溶存 CO_2 量分布の平面図を図 4.8-19 に示す。

基本的な挙動について、平面図を見ると(3)で示した CO_2 飽和率分布同様、時間経過とともに超臨界 CO_2 分布域を取り囲むように溶存 CO_2 が広がる。CO_2 プルームの外周では溶存 CO_2 は低濃度であり、新しく CO_2 が溶存可能な水相との接点となっている。また、平面図で確認されたように、CO_2 プルームの外周において溶存 CO_2 は低濃度となっており、新しく CO_2 が溶存可能な水相と接し、CO_2 を溶存しながら CO_2 プルームが広がっている。また、圧入終了 1,000 年後には溶存 CO_2 を含んだ水相が重くなり、重力により下方に移動する。さらに、遮蔽層内に溶存 CO_2 は分布しておらず、遮蔽層内に CO_2 は浸透しない。



注 1）溶存 CO_2 量 3.0×10^{-5} mol/kg 以上のグリッドを表示
注 2）笹岡ファシスホライズン深度の溶存 CO_2 量を示す。

図 4.8-19　圧入停止直後および圧入停止 1,000 年後の溶存 CO_2 分布

(5)　貯留形態割合の推移

CO_2 貯留形態の推移を図 4.8-20 に示す。CO_2 は超臨界状態で圧入され、一部が水相に溶存し溶存 CO_2 となるが、深部塩水に溶存しない超臨界 CO_2 は貯留層の孔隙を移動する。移動する過程でその一部が孔隙から移動せずに取り残され残留 CO_2 となる。超臨界 CO_2 割合から残留 CO_2 割合を引いた値が流動可能な超臨界 CO_2 割合である。圧入停止直後は超臨界 CO_2 の割合が高く、圧入停止後からは溶存 CO_2 が徐々に増加する。また、残留 CO_2 も同様に、圧入停止 1,000 年後には残留 CO_2 割合が大幅に増加し、超臨界 CO_2 のほとんどが残留 CO_2 としてトラップされている結果となった。これは貯留可能域が同斜構造であり、圧入した CO_2 が構造の傾斜に沿って移動するためと考えられる。圧入停止 1,000 年後には、溶存 CO_2 割合、残留 CO_2 割合、流動可能な CO_2 割合がそれぞれ 22%、67%、11%に落ち着いており、CO_2 の流動はほとんどなく、安全に貯留されていることを示している。

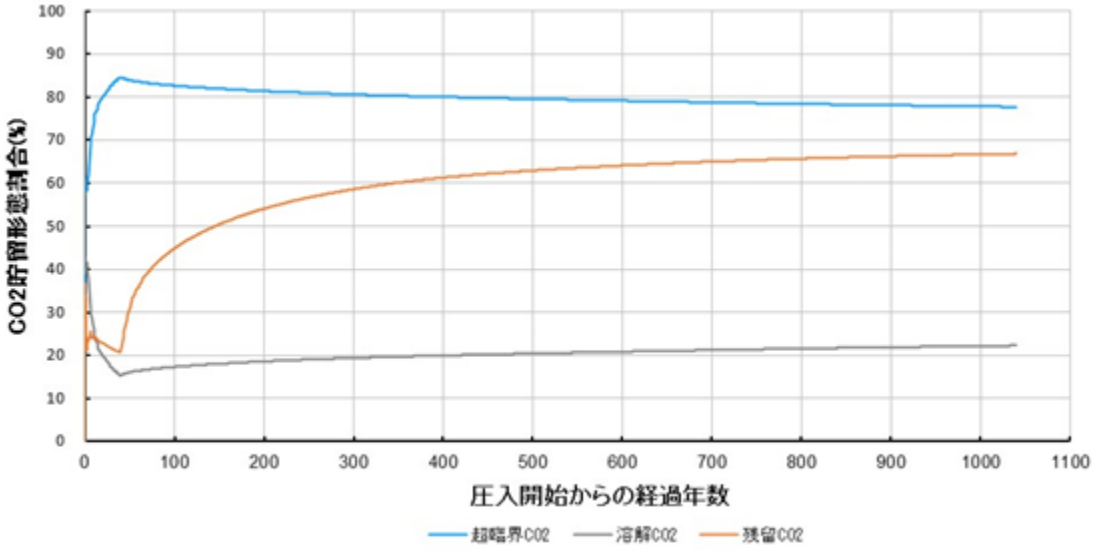


図 4.8-20　CO_2 貯留形態割合推移

(6)　貯留層の圧力挙動

遮蔽層下端における圧入停止直後および圧入停止 1,000 年後の圧力変化について平面図を図 4.8-21 に示す。遮蔽層下端における圧力変化がもっとも大きくなるのは各坑井を圧入停止した直後のタイミングである。圧入期間中は、初期圧力に対して各圧入井ともに 300 kPa 程度上昇しているが、図 4.8-22 に示すように遮蔽層の下端圧力はスレッショルド圧力 370 kPa を超過していない。また圧入停止 1,000 年後には、圧力はおおむね初期圧力に戻っている。

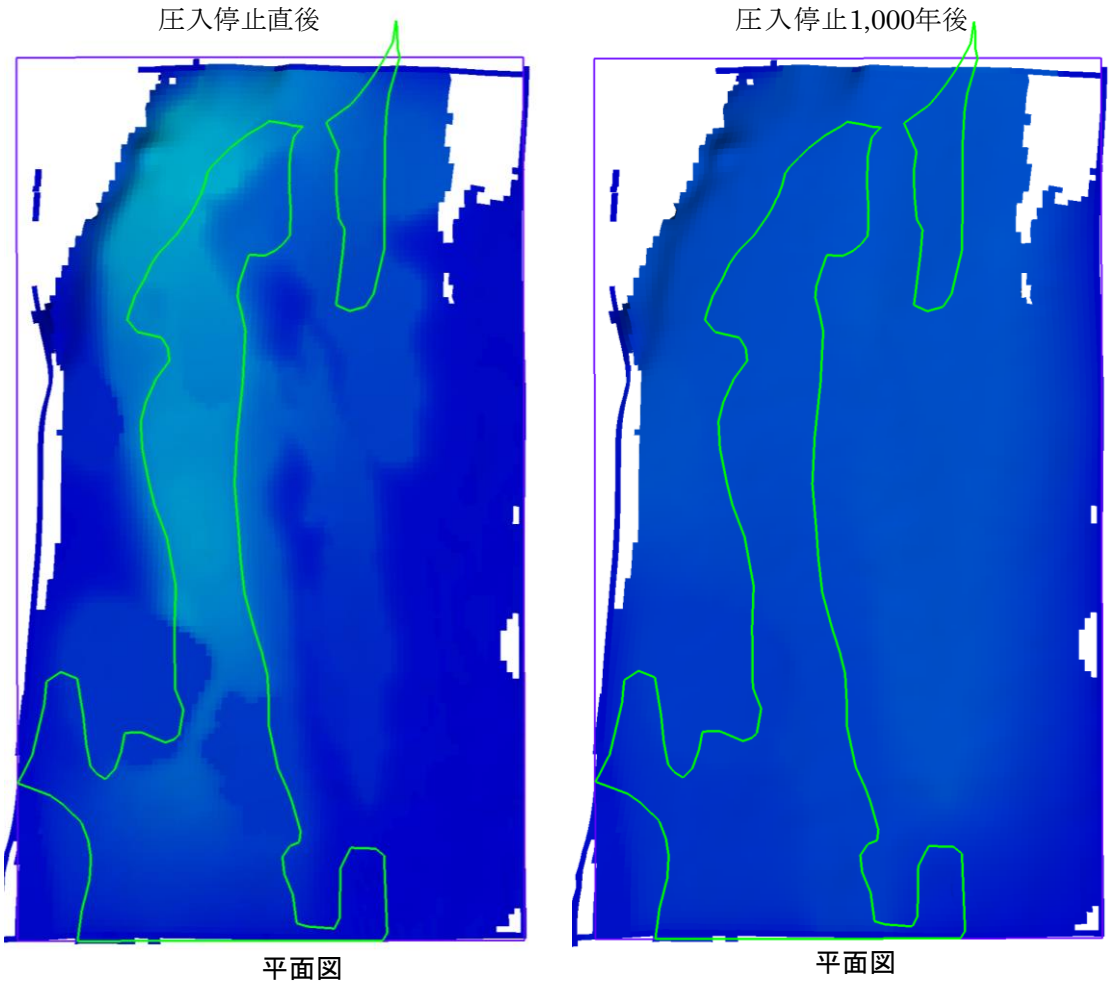


図 4.8-21　圧入停止直後および圧入停止 1,000 年後の初期状態からの圧力上昇値

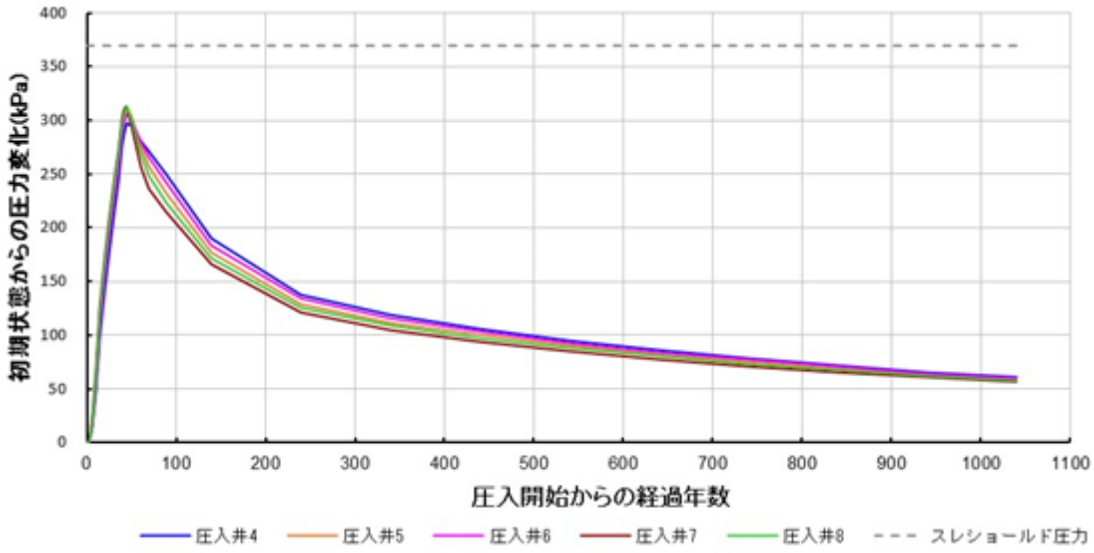


図 4.8-22　遮蔽層下端圧力推移

(7) 圧入可能量の検討まとめ（5 坑井×40 年間圧入ケース）

5 坑井×40 年間圧入ケースで 1 億 t-CO_2 を貯留可能かどうかについて検討を行った。

まず、上部貯留層に坑井 5 坑を配置し、40 年間で 1 億 t-CO_2 を貯留可能であることを確認した。また制限条件については、圧入圧力が地層破壊圧以下、溶存 CO_2 量の分布が制限条件に達しない、遮蔽層下端圧力の上昇がスレッショルド圧力（370 kPa）を超えないというすべての条件を満たすことを確認した。以上のことから、評価範囲内に CO_2 を 1 億 t-CO_2 圧入可能であり、かつ、安定して貯留できると考えられる。

4.8.6 坑井数の検討

評価範囲で CO_2 を 1 億 t-CO_2 圧入可能な十分な能力を確認し、また、隣接する貯留対象域の評価では 1 億 t-CO_2 を超える圧入量について評価していることから坑井数については 4.8.5 項で選定した貯留エリアに対して、坑井数は 5 坑あるいは 10 坑による最大圧入量の予測を行うこととした。なお、貯留エリアの選定において、貯留可能量を決める主な要因は CO_2 の分布域であることがわかっており、全区間仕上げであれば CO_2 が広がった際のリスクを最大限考慮しつつ貯留可能量を評価できることから全区間仕上げを基本の圧入条件とした。

4.8.7 最大圧入レートの検討

4.8.6 項の検討で決定した設定において、最大圧入レートについて検討した。具体的には 4.8.5 項で決定した坑井数 5 坑、全区間仕上げの設定において、目標レートを 1 坑井あたり 50 万 t-CO_2/年から 5 万 t-CO_2/年ずつ増加させ、1 坑井あたり 75 万 t-CO_2/年を上限レートとして圧入レートの推移や 1 億 t-CO_2 圧入達成までの圧入期間の短縮効果について確認を行なった。表 4.8-9 に各圧入レートにおける 1 億 t-CO_2 圧入に要する期間および 40 年間の累計圧入量を示す。

いずれのケースにおいても圧入期間中は目標圧入レートを維持できることを確認した。もっとも圧入期間を短縮化できたケースは 375 万 t-CO_2/年のケースであり、250 万 t-CO_2/年のケースに対して 1 億 t-CO_2 の圧入に要する期間は 13 年程短縮可能であることが確認された。375 万 t-CO_2/年のケースでは、40 年間での累計圧入量は 1.5 億 t-CO_2 であった。またスレッショルド圧力の制限条件はわずかに上回るものの溶存 CO_2 の分布から遮蔽層内に CO_2 は浸透していないことが確認できたことから、圧入した CO_2 は安定して貯留されていることを確認した。

表 4.8-9　1 億 t-CO_2 圧入に要する期間および 40 年間の累計圧入量

圧入レート （万 t-CO_2/年）	1 億 t-CO_2 圧入に 要する期間（年）	40 年間の累計 圧入量（億 t-CO_2）
250	40	1.0
275	36	1.1
300	33	1.2
325	31	1.3
350	28	1.4
375	27	1.5

4.8.8　最大圧入量の検討（5 坑井ケース）

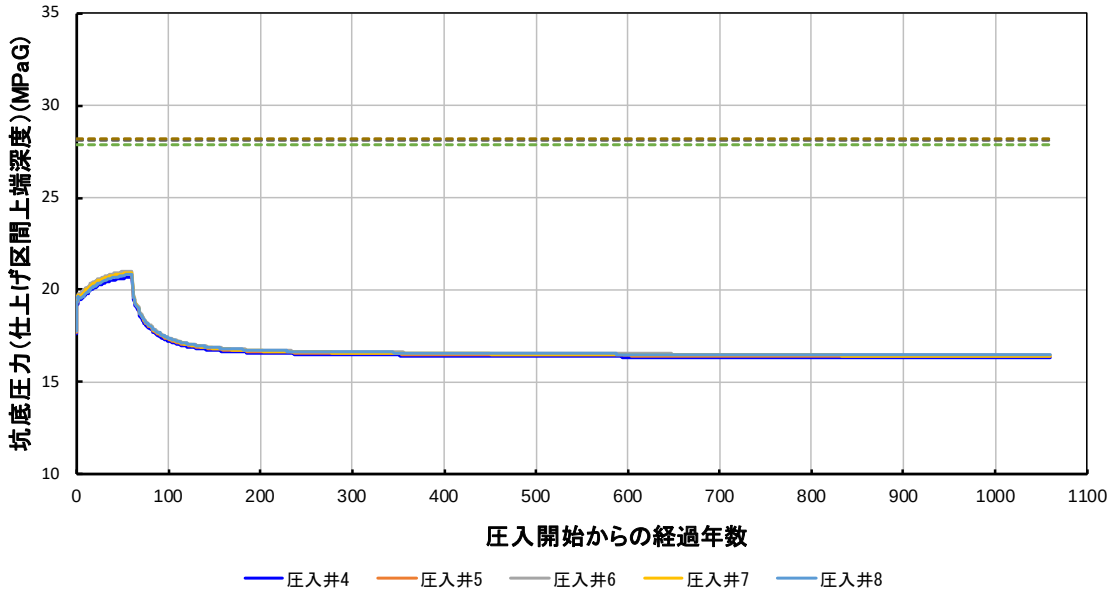
(1)　圧入条件

4.8.6 項および 4.8.7 項で決定した、坑井数 5 坑（全区間仕上げ）における最大圧入レート（1 坑井あたり 75 万 t-CO_2/年）を用いて、最大圧入期間を 60 年間とした場合の最大圧入量および CO_2 の挙動について検討を行なった。

(2)　坑底圧力および圧入レート推移

坑底圧力推移を図 4.8-23、圧入レート推移を図 4.8-24 に示す。最少坑井数の設定における最大圧入レートで 60 年間圧入すると CO_2 の累計圧入量は 2.25 億 t-CO_2 であった。

図 4.8-23 の実線と点線は各圧入井仕上げ区間上端深度における坑底圧と地層破壊圧の関係を示しており、全圧入期間および監視期間において、仕上げ区間上端の坑底圧力は地層破壊圧を下回っている。また各坑井の坑底圧力は、地層破壊圧の 9 割の水準に達しておらず圧入余力があると考えられる。図 4.8-24 の赤線はフィールド全体の圧入レートを示しているが、圧入期間を通じて 375 万 t-CO_2/年のレートを維持できている。



注）点線は各圧入井仕上げ区間上端深度の地層破壊圧力。色は実線が表す圧入井に対応

図 4.8-23　圧入井仕上げ区間上端深度の坑底圧力推移

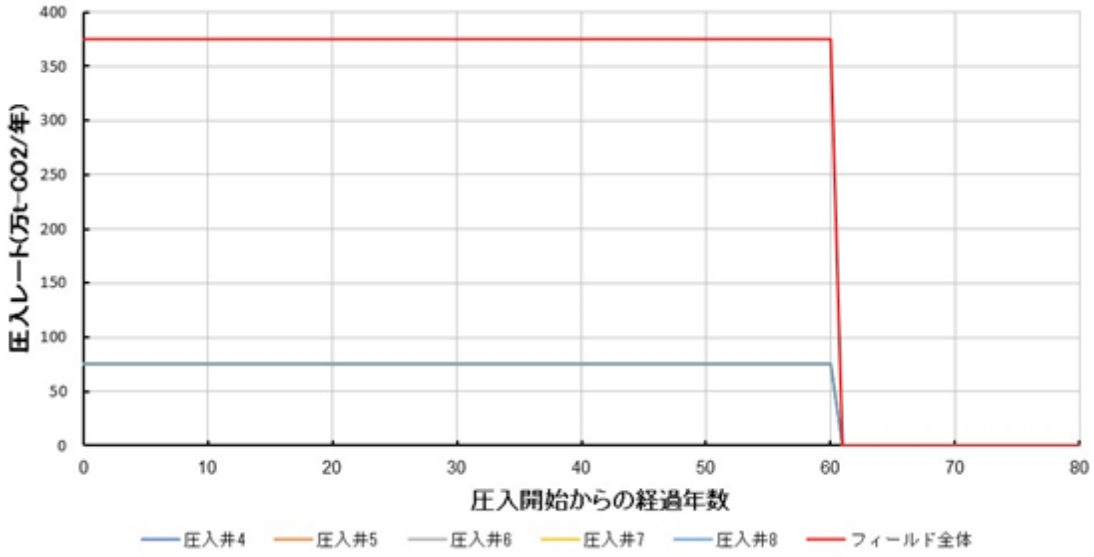
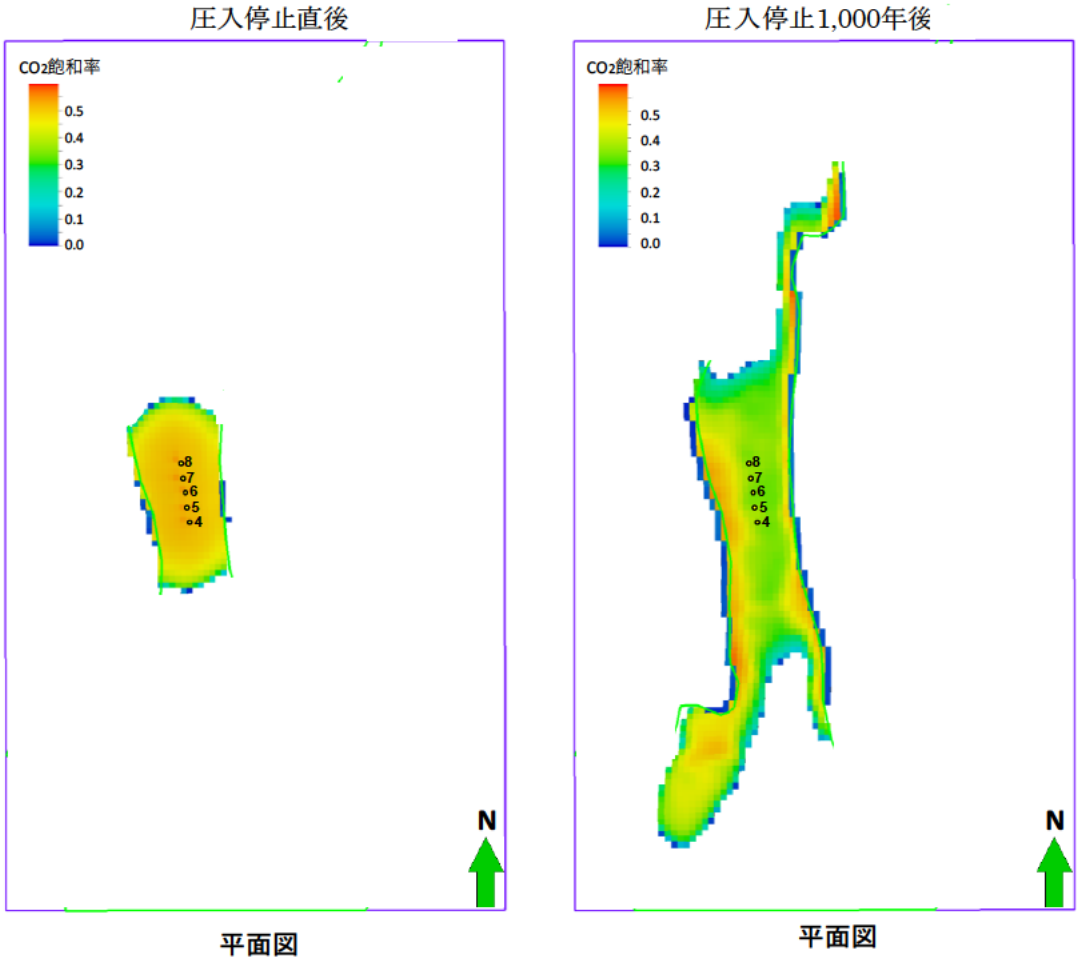


図 4.8-24　圧入レート推移

(3)　CO_2 飽和率分布

圧入停止直後および圧入停止 1,000 年後の CO_2 飽和率分布の平面図を図 4.8-25 に示す。4.8.5 項の検討と同様、貯留層上部には泥質岩が広がっているため、時間経過とともに浅部へ移動した CO_2 は貯留層内の砂質岩と泥質岩の境界（笹岡ファシス境界ホライズン）に沿うように、南北の深度の浅い方向へ坑井位置から約 10 km 程度の移動がみられた。



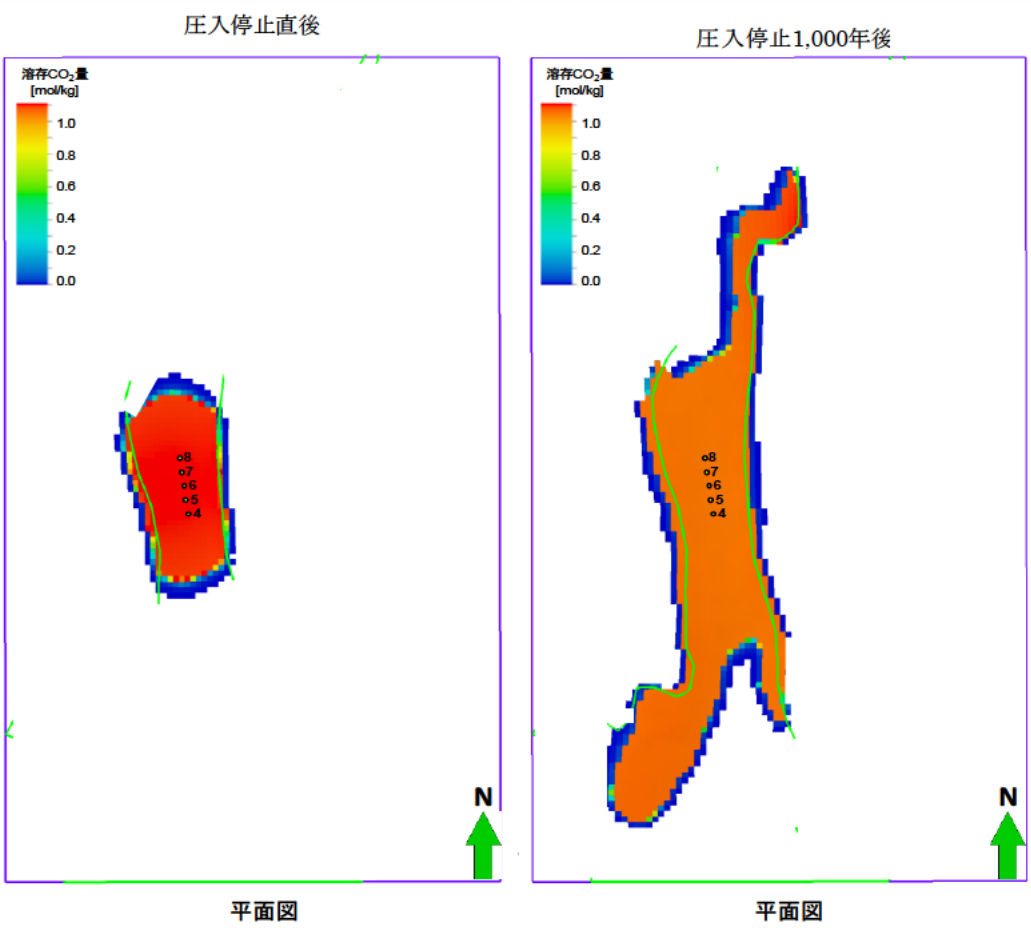
注 1）CO_2 飽和率 0.001 以上のグリッドを表示
注 2）笹岡ファシスホライズン深度の CO_2 飽和率を示す。

図 4.8-25　圧入停止直後および圧入停止 1,000 年後の CO_2 飽和率分布

(4)　溶存 CO_2 量分布

圧入停止直後および圧入停止 1,000 年後の溶存 CO_2 量分布について平面図を図 4.8-26 に示す。いずれの図も下限値として設定した 3×10^{-5} mol/kg（測定下限値の 1 ppm に相当）以上の溶存 CO_2 量をもつグリッドを表示している。

4.8.5 項の検討と同様で、平面図の溶存 CO_2 量分布は時間経過とともに CO_2 飽和率分布を取り囲むように溶存 CO_2 が広がっていることがわかる。CO_2 プルームの外周では溶存 CO_2 は低濃度であり、新しく CO_2 が溶存可能な水相との接点となっている。CO_2 プルームの外周において溶存 CO_2 は低濃度となっており、新しく CO_2 が溶存可能な水相と接し、水相が CO_2 を溶存しながら広がっている。また、圧入終了 1,000 年後には溶存 CO_2 を含んだ水相が重くなり、重力により下方に移動する。さらに遮蔽層内に溶存 CO_2 は分布しておらず、遮蔽層内に CO_2 は浸透していない。



注 1）溶存 CO_2 量 3.0×10-5 mol/kg 以上のグリッドを表示
注 2）笹岡ファシスホライズン深度の溶存 CO_2 量を示す。

図 4.8-26　圧入停止直後および圧入停止 1,000 年後の溶存 CO_2 分布

(5)　貯留形態割合の推移

CO_2 貯留形態の推移を図 4.8-27 に示す。CO_2 は超臨界状態で圧入され、一部が水相に溶存し溶存 CO_2 となり、溶存しない超臨界 CO_2 は貯留層の孔隙を移動する。移動する過程でその一部が孔隙から移動せずに取り残され残留 CO_2 となる。図 4.8-27 に示す溶存 CO_2 は深部塩水に溶存した CO_2 の割合であり、残留 CO_2 は岩石にトラップされた CO_2 の割合である。超臨界 CO_2 割合から残留 CO_2 割合を引いた値が流動可能な CO_2 割合である。圧入停止直後は超臨界 CO_2 の割合が高く、圧入停止後からは溶存 CO_2 が徐々に増加していく。また、圧入停止後の残留 CO_2 割合は 20%程度であるが、その後大幅に増加し、超臨界 CO_2 のほとんどが残留 CO_2 としてトラップされている結果となった。また、圧入停止 1,000 年後には、溶存 CO_2 割合、残留 CO_2 割合、流動可能な CO_2 割合がそれぞれ 20%、68%、12%に落ち着いており、CO_2 の流動はほとんどなく、安全に貯留されていることを示している。

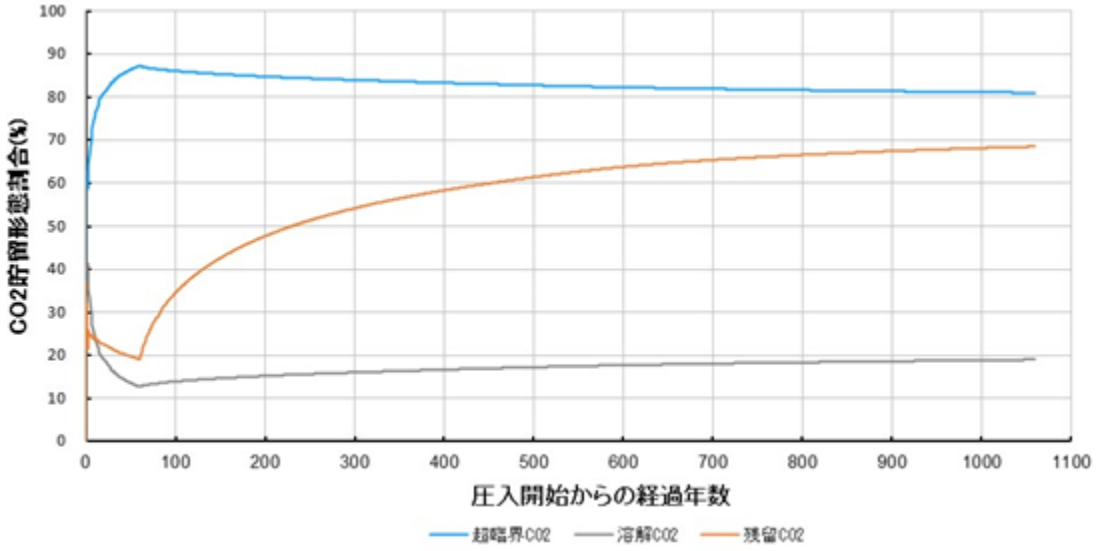


図 4.8-27　CO_2 貯留形態割合推移

(6)　貯留層の圧力挙動

遮蔽層下端における圧入停止直後および 1,000 年後の初期状態からの圧力上昇値を図 4.8-28 に示す。また、各坑井における遮蔽層下端の初期状態からの圧力変化推移を図 4.8-29 に示す。

遮蔽層下端における圧力変化がもっとも大きくなるのは、各坑井を圧入停止した直後のタイミングである。圧入期間中は、初期圧力に対して各坑井とも 600 kPa 程度まで上昇し、スレッショルド圧力の 370 kPa を超過している。また、圧入停止 100 年以内にはスレッショルド圧力以下となり、停止後 1,000 年後にはおおむね初期圧力まで戻っている。

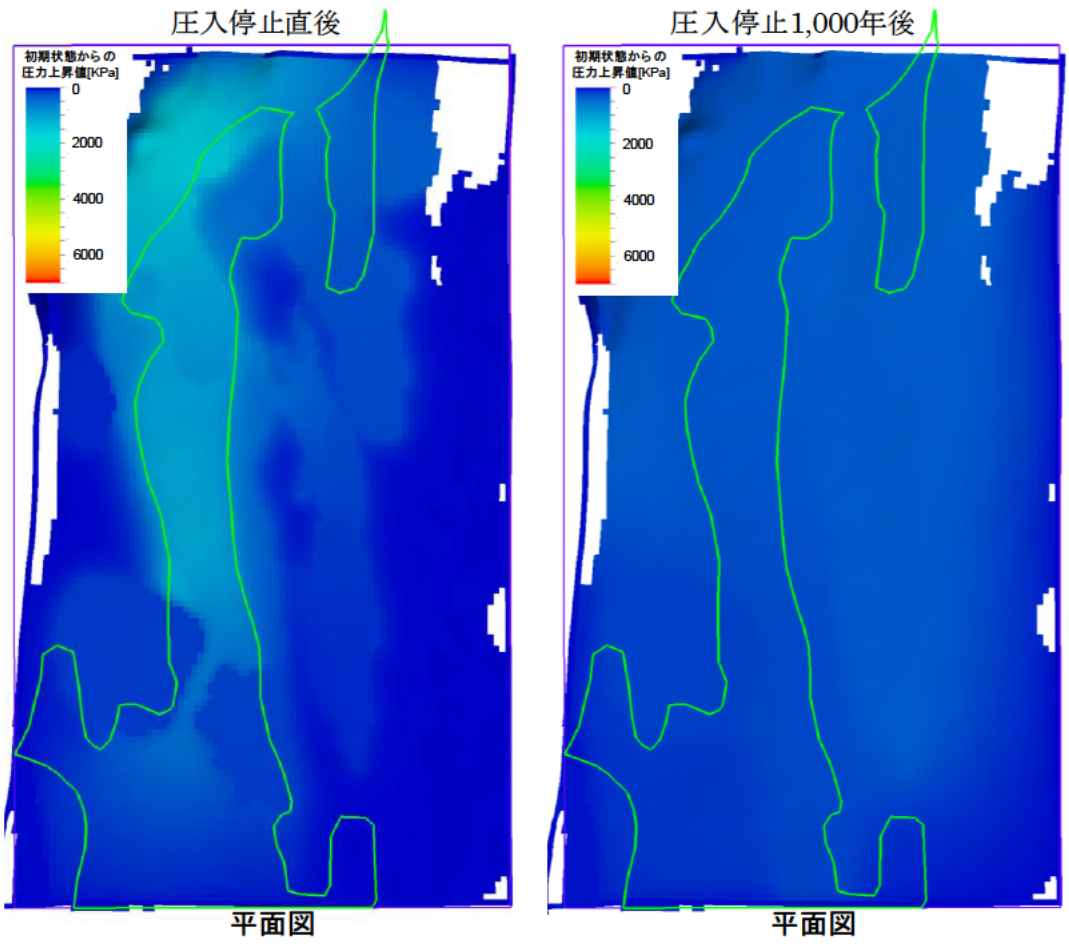


図 4.8-28　圧入停止直後および圧入停止 1,000 年後の初期状態からの圧力上昇値

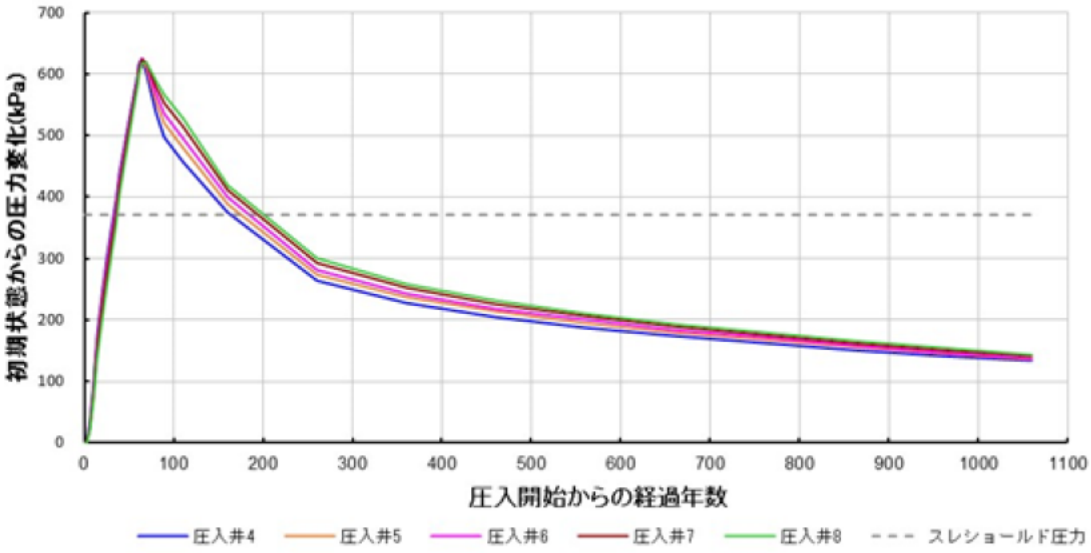


図 4.8-29　遮蔽層下端圧力推移

(7)　最大圧入量の検討まとめ（5 坑井ケース）

4.8.7 項における検討結果を踏まえて、5 坑井における最大圧入量の検討を行った。具体的には、坑井数 5 坑（貯留層全区間仕上げ設定)において目標レート 375 万 t-CO_2/年（1 坑井あたり 75 万 t-CO_2/年)、圧入期間 60 年間を圧入条件としてシミュレーションを実施し、60 年間で 2.25 億 t-CO_2 の貯留が可能であることを確認した。40 年経過時点での CO_2 の累計圧入量は 1.5 億 t-CO_2 であった。また、スレッショルド圧力の制限条件は上回るものの溶存 CO_2 の分布から遮蔽層内に CO_2 は浸透していないことが確認でき、移動可能な CO_2 も全体の 12%で落ち着いていることから、圧入した CO_2 は安定して貯留されていることを確認した。

4.8.9 最大圧入量の検討（10 坑井ケース）

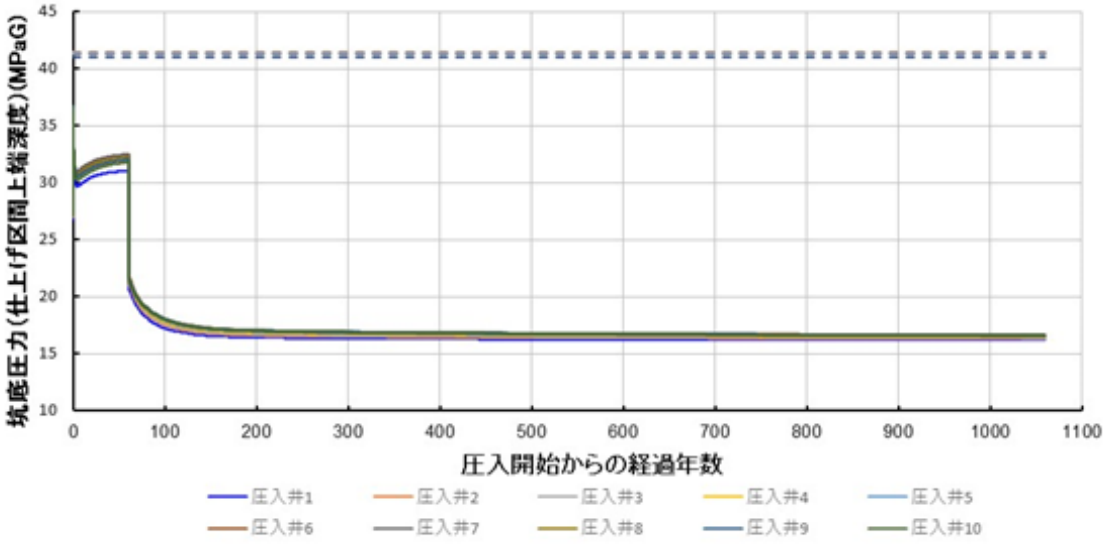
(1)　圧入条件

4.8.8 項での検討を踏まえ、坑井数を 10 坑とした場合において最大貯留量を検討した。坑井 4～8 は 4.8.5 項と同位置とし、笹岡ファシス境界ホライズンの傾斜および CO_2 貯留可能域を考慮して、5 坑ケースより南方に坑井 1～3、北方に坑井 9 および坑井 10 を追加配置した。また、検討の過程で全区間仕上げではシミュレーション範囲の南端まで溶存 CO_2 が到達することを確認したため、圧入条件は変えず、仕上げ区間のみを溶存 CO_2 の広がりをもっとも抑えられる上部貯留層（砂質卓越）の下部 20%の仕上げ設定に変更して、最大貯留量を検討した。

(2)　坑底圧力および圧入レート推移

坑底圧力推移を図 4.8-30、圧入レート推移を図 4.8-31 に示す。最少坑井数の設定における最大圧入レートで 60 年間圧入すると CO_2 の累計圧入量は 4.5 億 t-CO_2 であった。

図 4.8-30 の実線と点線は各圧入井仕上げ区間上端深度における坑底圧と地層破壊圧の関係を示しており、全圧入期間および監視期間において、仕上げ区間上端の坑底圧力は地層破壊圧を下回っている。また各坑井の坑底圧力は、地層破壊圧の 9 割の水準に達しておらず圧入余力があると考えられる。図 4.8-31 の赤線はフィールド全体の圧入レートを示しているが、圧入期間を通じて最大圧入レートである 1 坑井あたり 75 万 t-CO_2/年のレートを維持できている。



注）点線は各圧入井仕上げ区間上端深度の地層破壊圧力。色は実線が表す圧入井に対応

図 4.8-30　圧入井仕上げ区間上端深度の坑底圧力推移

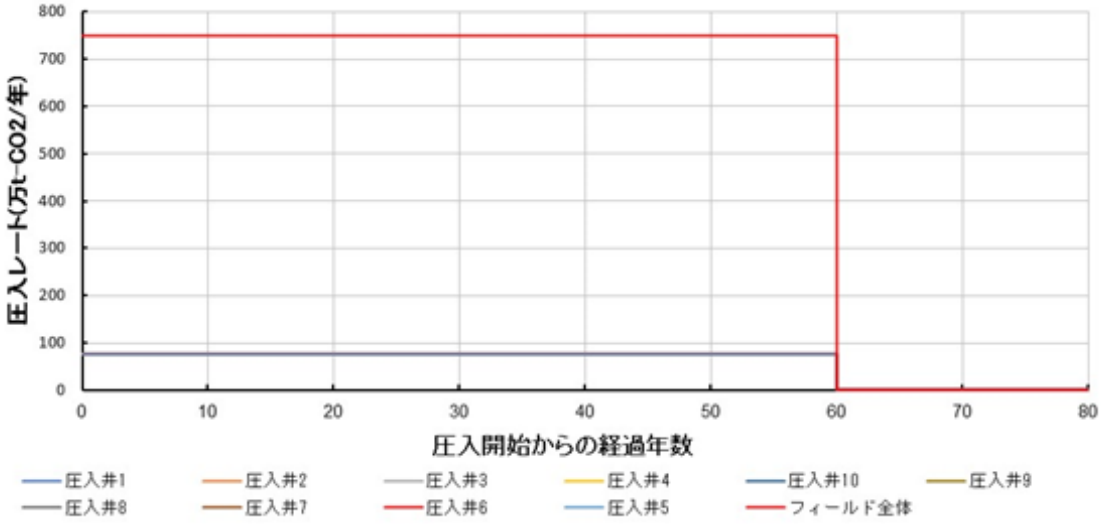
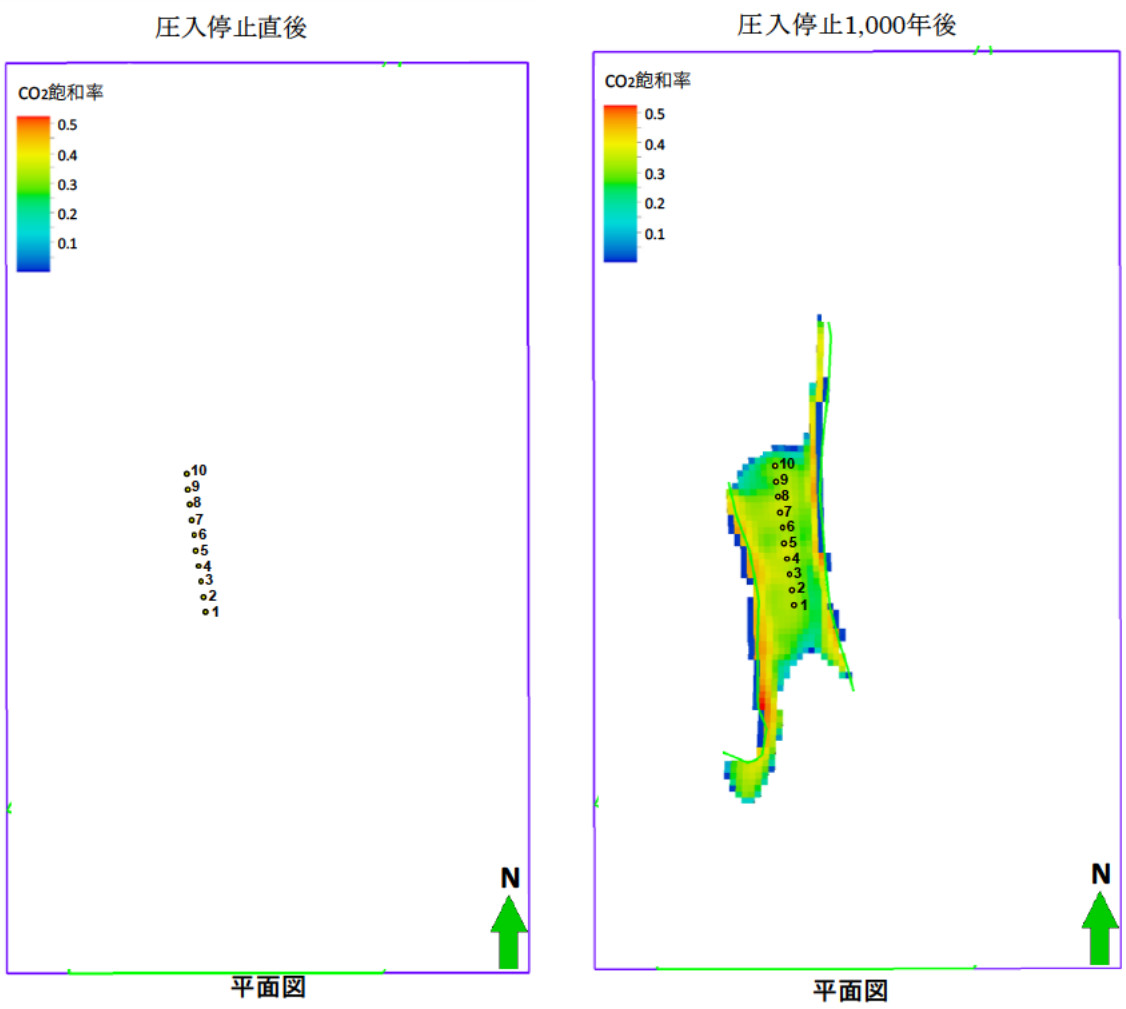


図 4.8-31　圧入レート推移

(3)　CO_2 飽和率分布

圧入停止直後および圧入停止 1,000 年後の CO_2 飽和率分布の平面図を図 4.8-32 に示す。下部 20%に圧入した超臨界 CO_2 は浮力により貯留層上部に移動するため、全区間仕上げと比べて貯留層下部砂質岩ファシスの分布域全体に貯留される。また 4.8.8 項(3)の検討と同様、貯留層上部には泥質岩が広がっているため、圧入停止 1,000 年後には CO_2 はさらに貯留層上部に移動し、時間経過とともに貯留層内の砂質岩と泥質岩の境界（笹岡ファシス境界

ホライズン）に沿うように坑井位置から約 10 km 程度の砂層の繋がる南北の深度の浅い方向（坑井 1 の南方、坑井 10 の北方）に広がる傾向が確認できる。



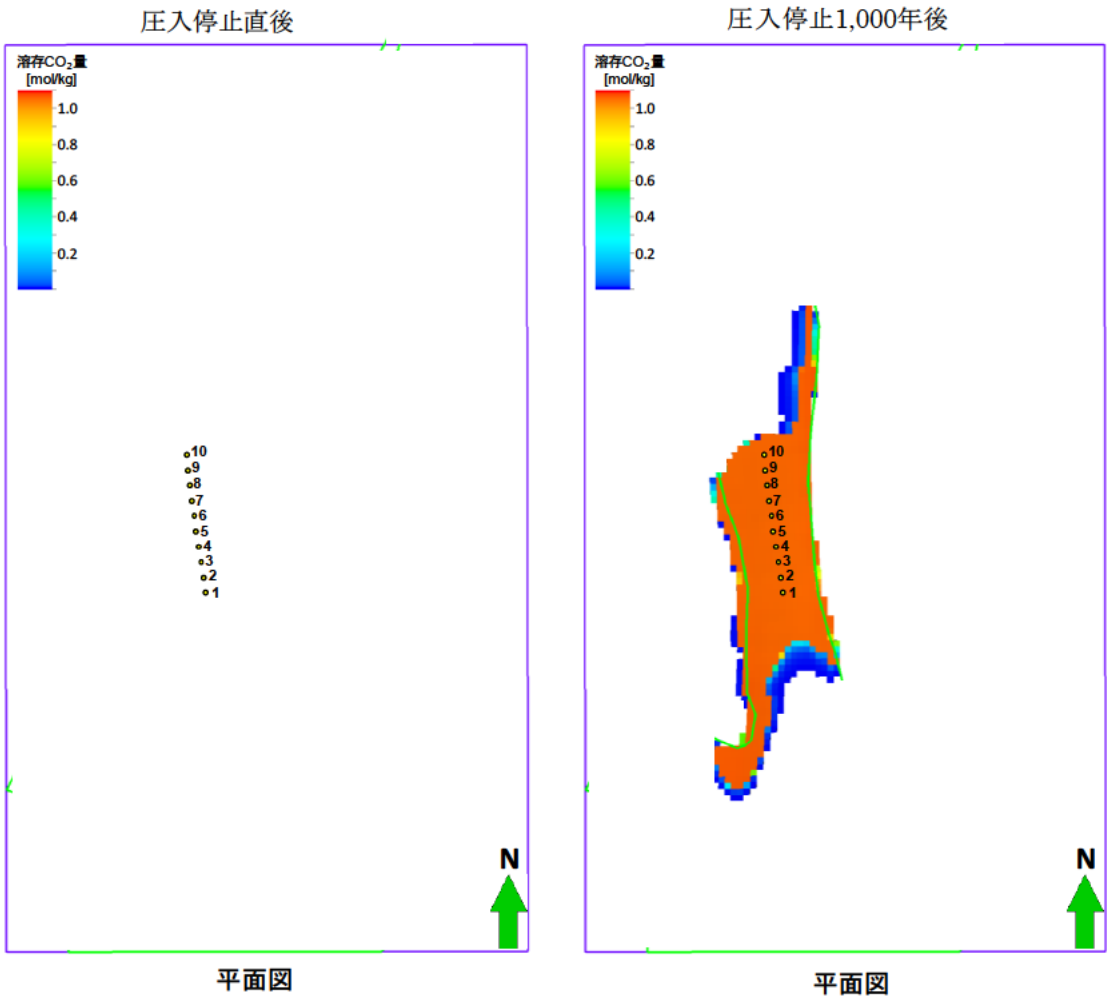
注 1）CO_2 飽和率 0.001 以上のグリッドを表示
注 2）笹岡ファシスホライズン深度の CO_2 飽和率を示す。

図 4.8-32　圧入停止直後および圧入停止 1,000 年後の CO_2 飽和率分布（平面図）

(4)　溶存 CO_2 量分布

圧入停止直後および圧入停止 1,000 年後の溶存 CO_2 量分布について、平面図を図 4.8-33 に示す。いずれの図も下限値として設定した 3×10^{-5} mol/kg（測定下限値の 1 ppm に相当）以上の溶存 CO_2 量をもつグリッドを表示している。4.8.8 項(4)までの検討と同様で、溶存 CO_2 量分布は時間経過とともに CO_2 飽和率分布より若干広い範囲を取り囲むように広がる。CO_2 プルームの外周では溶存 CO_2 は低濃度であり、新しく CO_2 が溶存可能な水相との接点となっている。

また、下部 20%の仕上げでは下部遮蔽層の砂質ファシスに浸透することを確認した。下部遮蔽層に浸透している CO_2 量は総圧入量に対して 0.39%である。



注 1）溶存 CO_2 量 3.0×10^{-5} mol/kg 以上のグリッドを表示
注 2）笹岡ファシスホライズン深度の溶存 CO_2 量を示す。

図 4.8-33　圧入停止直後および圧入停止 1,000 年後の溶存 CO_2 分布

(5)　貯留形態割合の推移

CO_2 貯留形態の推移を図 4.8-34 に示す。溶存 CO_2 は深部塩水に溶存した CO_2 の割合であり、残留 CO_2 は岩石にトラップされた CO_2 の割合である。超臨界 CO_2 割合から残留 CO_2 割合を引いた値が流動可能な CO_2 割合である。圧入停止直後は超臨界 CO_2 の割合が高く、圧入停止後からは溶存 CO_2 が徐々に増加していく。また、残留 CO_2 割合が高く、超臨界 CO_2 のほとんどが残留 CO_2 としてトラップされている結果となった。圧入停止 1,000 年後には、溶存 CO_2 割合、残留 CO_2 割合、流動可能な CO_2 割合がそれぞれ 23%、74%、3%に落ち着

いており、CO_2 の流動はほとんどなく、安全に貯留されていることを示している。また、10 坑ケースは 5 坑ケースと比較すると流動可能な超臨界 CO_2 割合が大幅に減少する傾向にある。

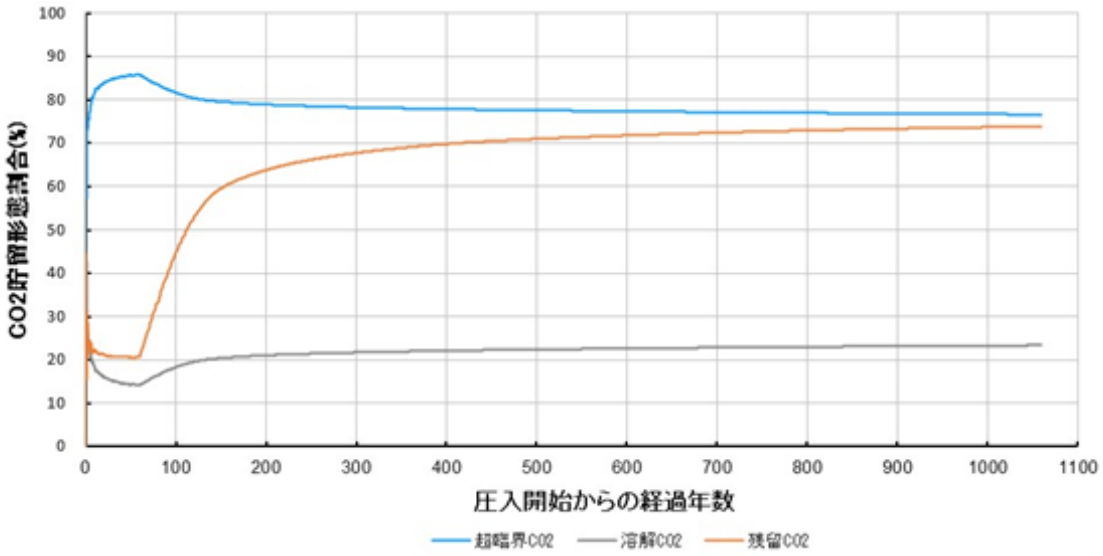


図 4.8-34　CO_2 貯留形態割合推移

(6)　貯留層の圧力挙動

遮蔽層下端の各坑井における遮蔽層下端の初期状態からの圧力変化推移を図 4.8-35 に示す。また、圧入停止直後および圧入停止 1,000 年後の初期状態からの圧力上昇値の平面図を図 4.8-36 に、示す。遮蔽層下端における圧力変化がもっとも大きくなるのは、各坑井を圧入停止した直後のタイミングである。圧入期間中は、初期圧力に対して各坑井とも 1,150 kPa 程度まで上昇し、スレッショルド圧力の 370 kPa を超過している。圧入停止後、圧力は徐々に低下しているが、停止後 1,000 年後でも初期圧力まで戻っていない。

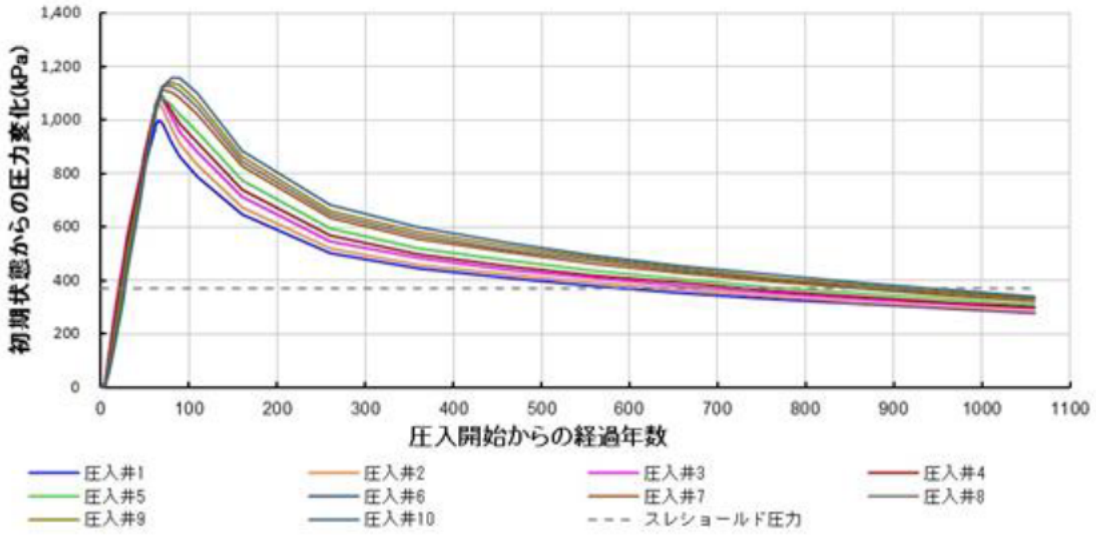


図 4.8-35　遮蔽層下端圧力推移

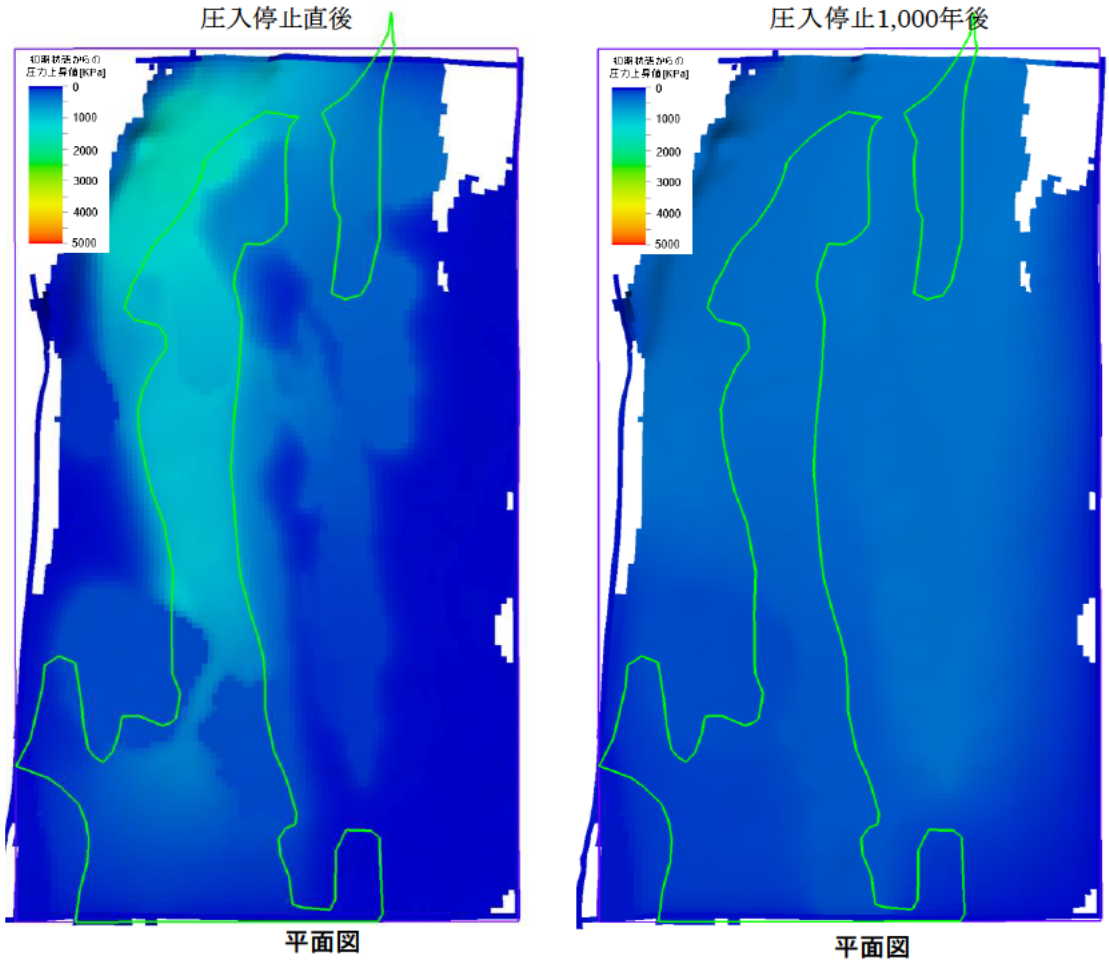


図 4.8-36　圧入停止直後および圧入停止 1,000 年後の初期状態からの
圧力上昇値（平面図）

(7)　最大圧入量の検討まとめ（10 坑井ケース）

4.8.8 項における検討結果を踏まえて、坑井数 10 坑とした場合における部分仕上げによる溶存 CO_2 分布域の深部化の検討を行った。具体的には、仕上げ設定のみを変更して部分仕上げとした。また、目標レートを 1 坑井あたり 75 万 t-CO_2/年とし、圧入期間 60 年間を圧入条件としてシミュレーションを実施し、溶存 CO_2 分布域の確認を行った。その結果、上部貯留層（砂質卓越）の下部 20%仕上げ設定とした場合に、貯留層上限における溶存 CO_2 の広がりをもっとも抑えられることが確認できた。累計圧入量は 60 年間で 4.5 億 t-CO_2 の貯留が可能であることを確認した。また下部遮蔽層内に浸透していることを確認したが、その浸透量は総圧入量の 0.39%程度であり、流動可能な超臨界 CO_2 は全体の 3%まで下がっており、安定して貯留されていることを確認した。

4.8.10　感度分析

4.8.5 項で示したように坑井数 5 坑、全区間仕上げの設定として 40 年間で 1 億 t-CO_2 を圧入可能であるとする結果を得た。ただし現状は調査井掘削前であり、地質的な不確実性を考慮すると 1）浸透率、2）ネットグロス、3）毛細管圧力（スレッショルド圧）の三つが圧入量に影響を与える可能性の大きいパラメータと考えられるため、表 4.8-10 に示すように三つのパラメータの値を変化させ、CO_2 圧入量や圧入状況、貯留形態に与える影響について比較検討を行い、圧入量や CO_2 の分布等がどのように変化するか感度分析を行った。

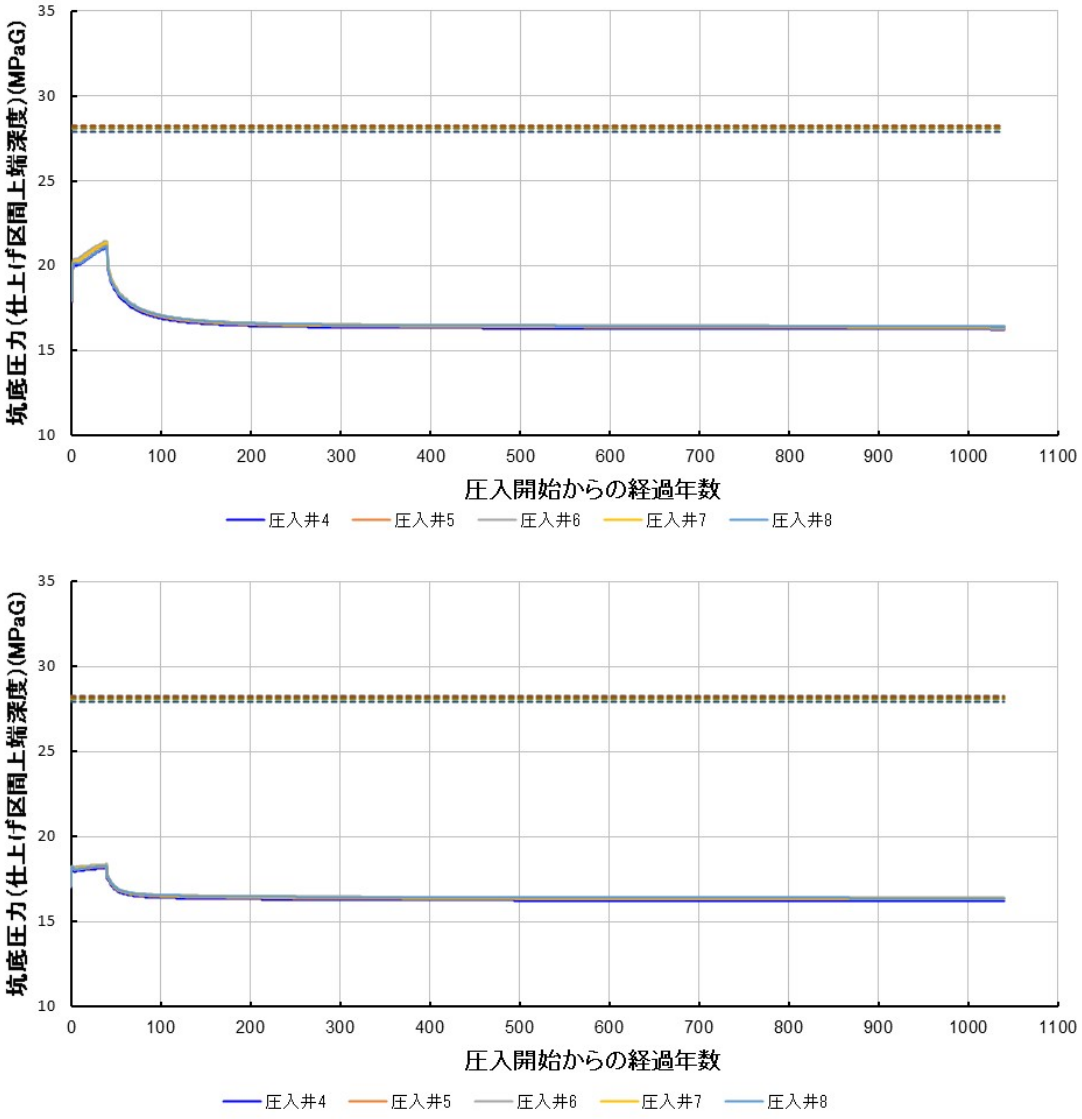
表 4.8-10　感度分析ケース設定

パラメータ	極小	小	ベース	大
浸透率	--	0.5 倍	4.8.5 項で選定したベースケースのパラメータ	2 倍
ネットグロス	ファシス出現率 0.5	ファシス出現率 0.75		--
スレッショルド圧	--	100 kPa		1,000 kPa

(1)　浸透率を変化させたケース

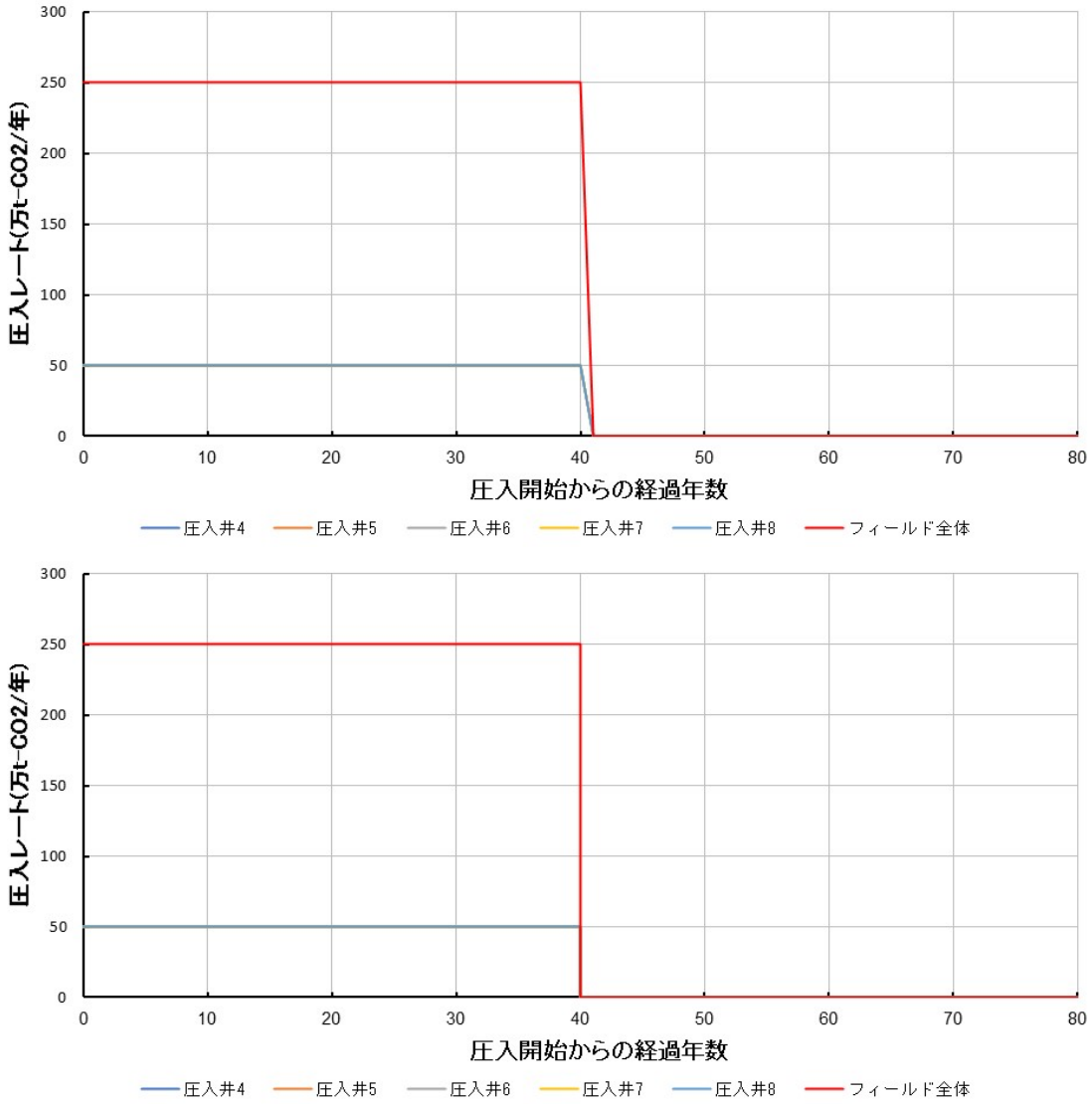
浸透率 0.5 倍のケースと浸透率 2 倍のケースについて、坑底圧力推移を図 4.8-37 に、圧入レート推移を図 4.8-38 に示す。図 4.8-37 の実線と点線は各圧入井仕上げ区間上端深度における坑底圧と地層破壊圧の関係を示しており、全圧入期間および監視期間において、仕上げ区間上端の坑底圧力は地層破壊圧を下回っている。図 4.8-38 の赤線はフィールド全体の

圧入レートを示しているが、両ケースともに圧入期間を通じて目標圧入レートである 1 坑井あたり 50 万 t-CO_2/年のレートを維持できている。40 年間での累計圧入量は 1 億 t-CO_2 であった。圧入した CO_2 の分布範囲では、ケースにより違いがみられた。浸透率を 2 倍にしたケースでは、高浸透率の影響により水平方向に広い範囲に分布している。一方で、0.5 倍としたケースでは、水平方向に広がりにくいため、より深部へ CO_2 が分布している。



注 1）点線は各圧入井仕上げ区間上端深度の地層破壊圧力。色は実線が表す圧入井に対応
注 2）上図：浸透率 0.5 倍ケース、下図：浸透率 2 倍ケースを示す。

図 4.8-37　圧入井仕上げ区間上端深度の坑底圧力推移



注）上図：浸透率 0.5 倍ケース、下図：浸透率 2 倍ケースを示す。

図 4.8-38　圧入レート推移

①　圧力分布の比較（浸透率（小）と浸透率（大）ケース）

浸透率 0.5 倍のケースと浸透率 2 倍のケースにおける圧入停止直後および圧入停止 1,000 年後の遮蔽層下端の圧力分布を図 4.8-39、図 4.8-40 に示す。また、各坑井における遮蔽層下端の初期状態からの圧力変化推移を図 4.8-41 に示す。遮蔽層下端における圧力変化がもっとも大きくなるのは、各坑井を圧入停止した直後のタイミングである。浸透率を 0.5 倍としたケースでは 350 kPa 程度、浸透率を 2 倍としたケースでは 250 kPa 程度遮蔽層下端の圧力は上昇しているが、両ケースともにスレッショルド圧力の 370 kPa を超過していない。

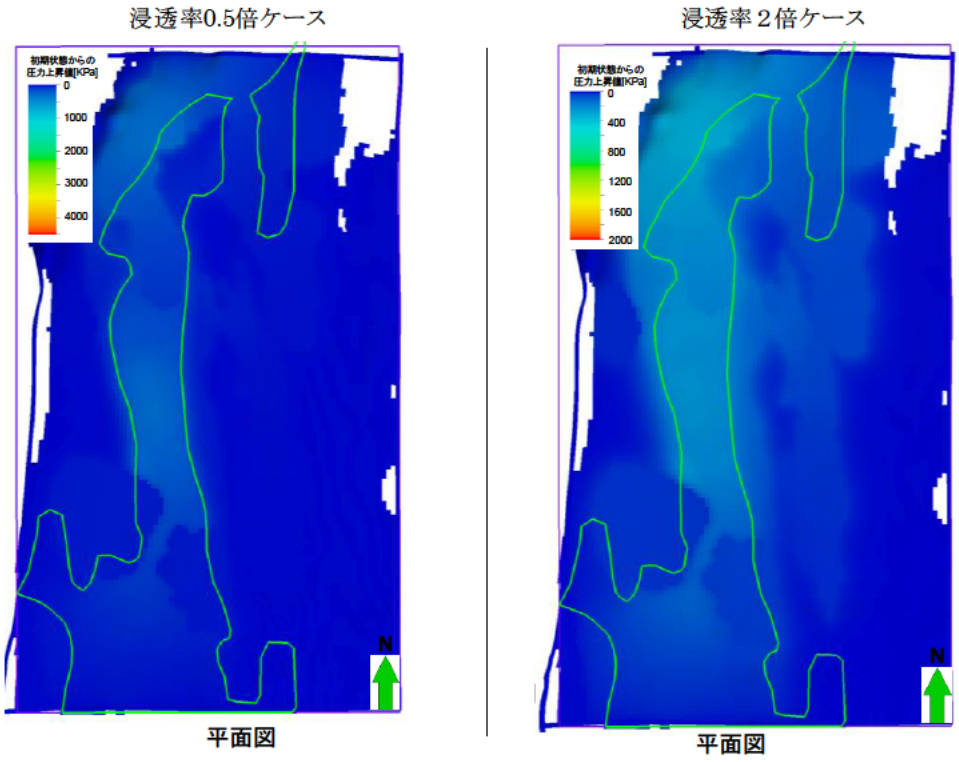


図 4.8-39　圧入停止直後の圧力分布の比較

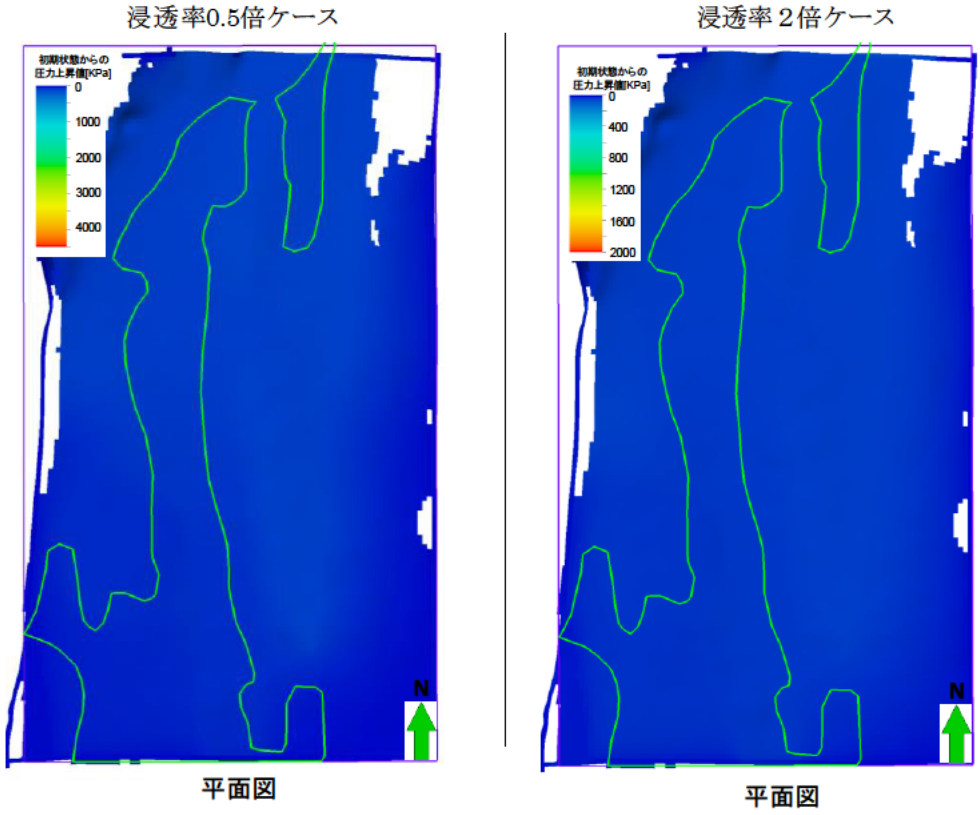
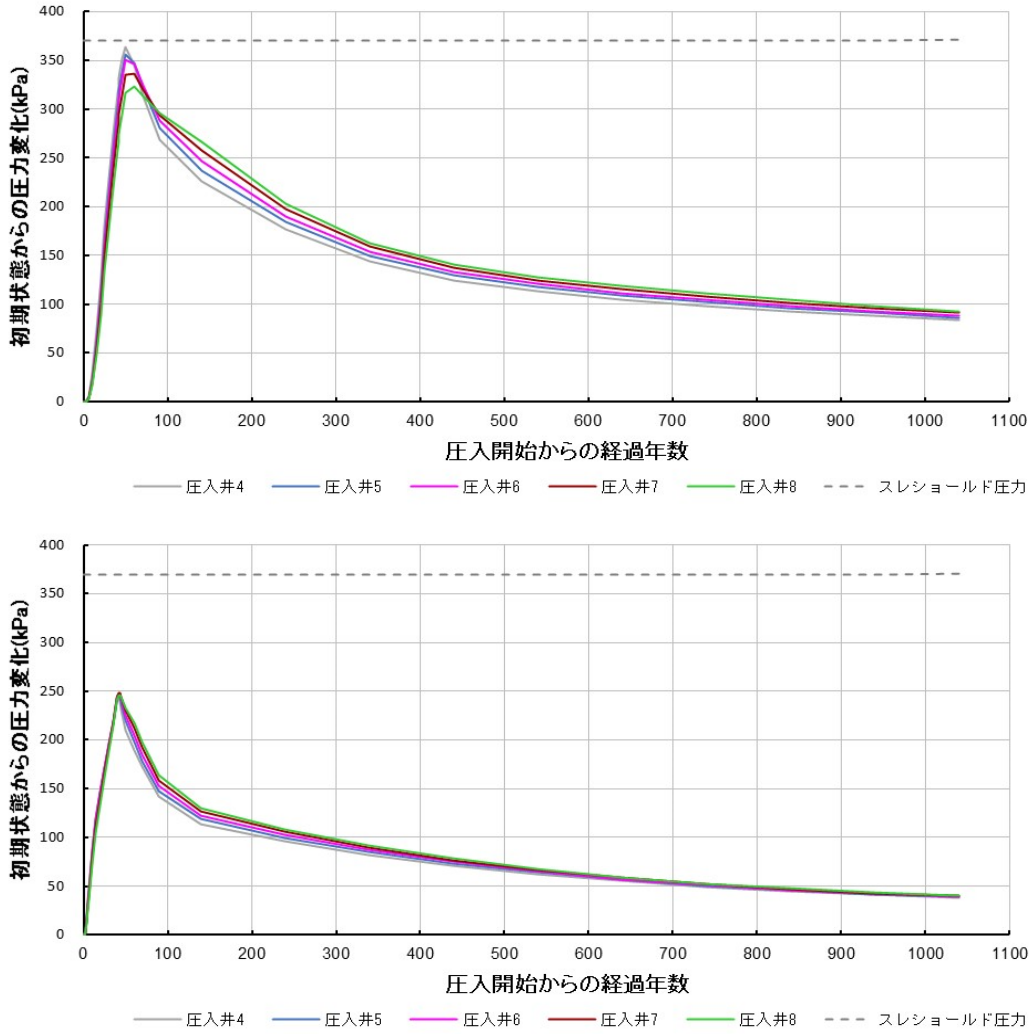


図 4.8-40　圧入停止 1,000 年後の圧力分布の比較

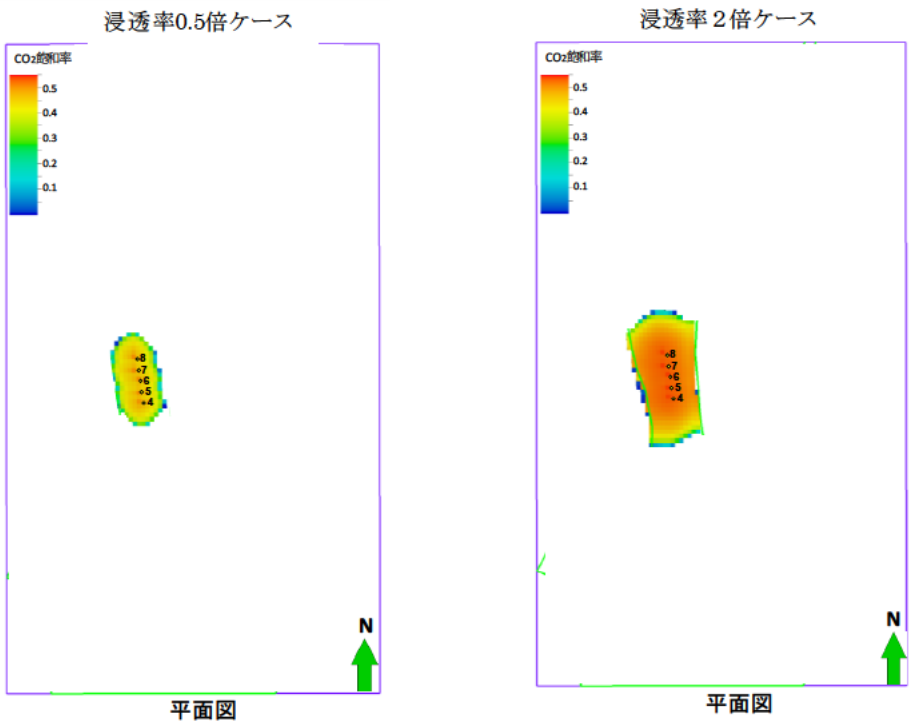


注）上図：浸透率 0.5 倍ケース、下図：浸透率 2 倍ケースを示す。

図 4.8-41　遮蔽層下端圧力推移

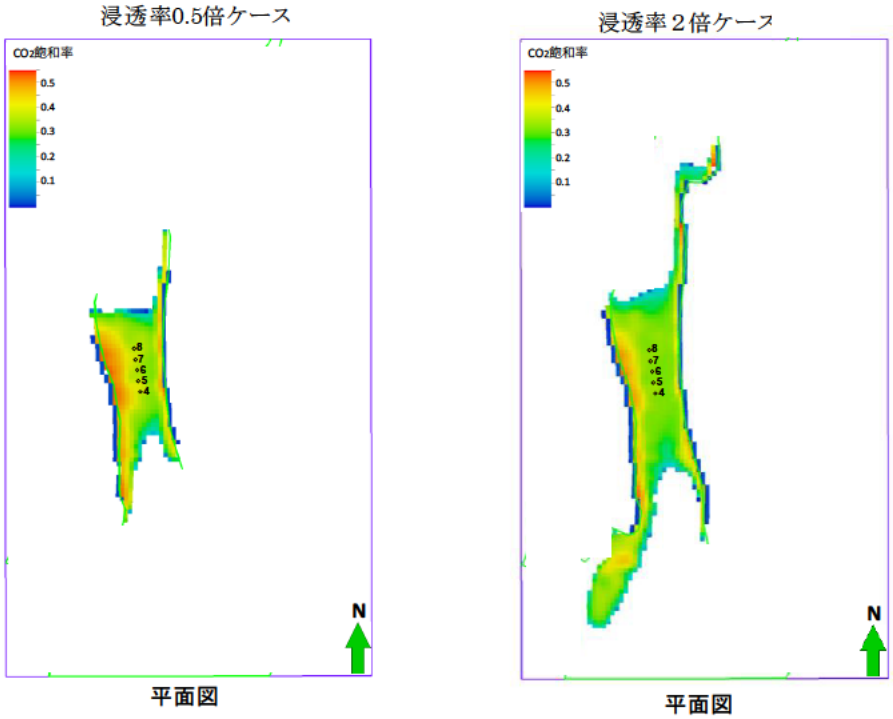
②　CO_2 飽和率分布の比較（浸透率（小）と浸透率（大）ケース）

浸透率 0.5 倍のケースと浸透率 2 倍のケースにおける圧入停止直後および圧入停止 1,000 年後の笹岡ファシスホライズン深度の CO_2 飽和率を示す。CO_2 飽和率分布を図 4.8-42 と図 4.8-43 に示す。基本的な挙動としては、両ケースともに 4.8.9 項(3)までの検討と同様で、浅部に移動した CO_2 が貯留層内の笹岡ファシス境界ホライズンに沿って南北の深度の浅い方向（坑井 4 の南方、坑井 8 の北方）へ顕著に移動する様子が見られた。両ケースを比較すると、浸透率を 2.0 倍としたケースの方が仕上げ区間の上部への圧入量が多くなり、笹岡ファシス境界ホライズンに沿ってより広い範囲に分布している。一方、浸透率を 0.5 倍としたケースの方は低浸透率のため、水平方向への広がりが小さく、より深部へ CO_2 が分布する傾向が見られた。



注 1）CO_2 飽和率 0.001 以上のグリッドを表示
注 2）笹岡ファシスホライズン深度の CO_2 飽和率を示す。

図 4.8-42　圧入停止直後の CO_2 飽和率の比較



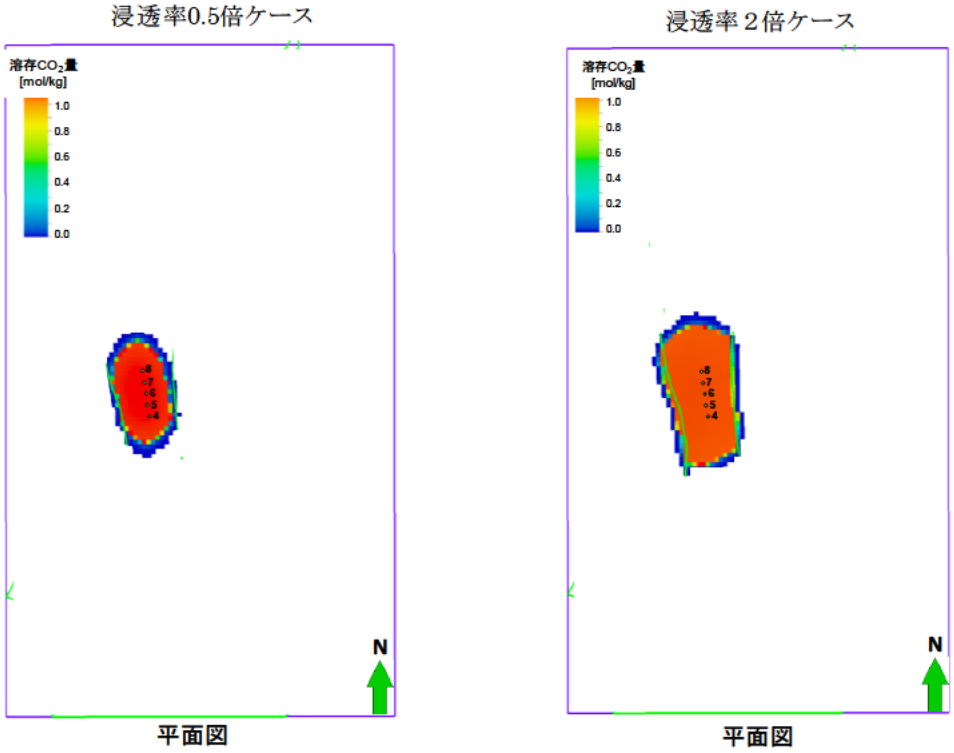
注 1）CO_2 飽和率 0.001 以上のグリッドを表示
注 2）笹岡ファシスホライズン深度の CO_2 飽和率を示す。

図 4.8-43　圧入停止 1,000 年後の CO_2 飽和率の比較

③　溶存 CO_2 量分布の比較（浸透率（小）と浸透率（大）ケース）

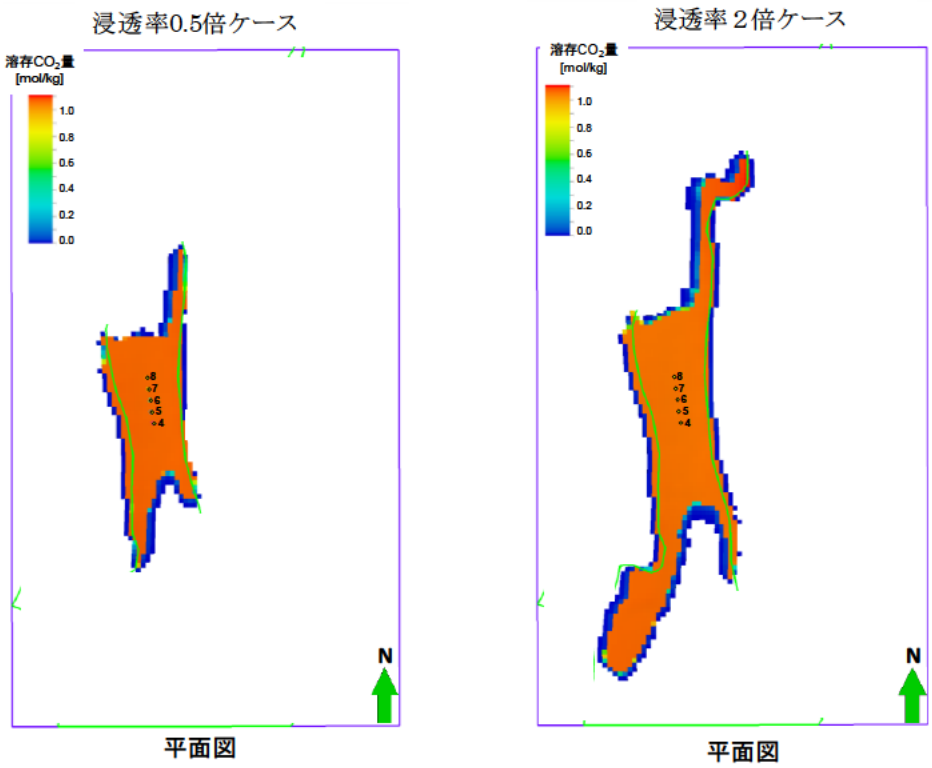
浸透率 0.5 倍のケースと浸透率 2 倍のケースにおける圧入停止直後および圧入停止 1,000 年後の溶存 CO_2 量分布を図 4.8-44 と図 4.8-45 に示す。4.8.9 項(4)までの検討と同様で、溶存 CO_2 量分布は時間経過とともに CO_2 飽和率分布より若干広い範囲を取り囲むように広がっている。また、圧入終了 1,000 年後には溶存 CO_2 を含んだ水相が重くなり、重力により下方に移動する。両ケースを比較すると、浸透率を 2.0 倍としたケースの方が仕上げ区間の上部への圧入量が多くなり、笹岡ファシス境界ホライズンに沿ってより広い範囲に分布している。一方、浸透率を 0.5 倍としたケースの方は低浸透率のため、水平方向への広がりが小さく、より深部へ分布する傾向が見られた。

また、浸透率を 0.5 倍にしたケースは浸透率を 2 倍にしたケースよりも貯留層の深部方向に浸透しており、溶存 CO_2 が下部遮蔽層へわずかに浸透しているのを確認した。浸透量は、総圧入量の 0.1%以下である。



注 1）溶存 CO_2 量 3.0×10^{-5} mol/kg 以上のグリッドを表示
注 2）笹岡ファシスホライズン深度の溶存 CO_2 量を示す。

図 4.8-44　圧入停止直後の溶存 CO_2 量分布の比較

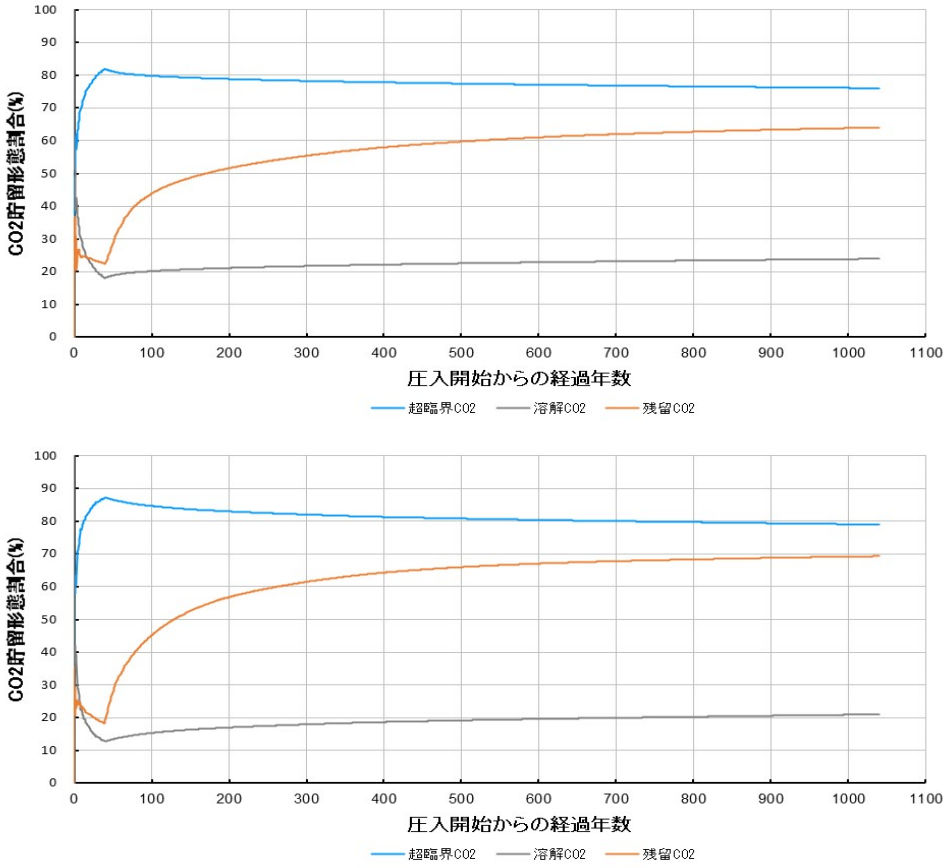


注 1）溶存 CO_2 量 3.0×10^{-5} mol/kg 以上のグリッドを表示
注 2）笹岡ファシスホライズン深度の溶存 CO_2 量を示す。

図 4.8-45　圧入停止 1,000 年後の溶存 CO_2 量分布の比較

④　貯留形態割合の推移

浸透率を変化させたケースについて、CO_2 貯留形態の推移を図 4.8-46 に示す。溶存 CO_2 は深部塩水に溶存した CO_2 の割合であり、残留 CO_2 は岩石にトラップされた CO_2 の割合である。超臨界 CO_2 割合から残留 CO_2 割合を引いた値が流動可能な CO_2 割合である。圧入停止 1,000 年後には、溶存 CO_2 割合、残留 CO_2 割合および流動可能な CO_2 割合は、それぞれ、浸透率を 0.5 倍にしたケースでは 24%、64%、12%、浸透率を 2 倍にしたケースでは 21%、69%、10%であり、両ケースともに CO_2 の流動はほとんどなく、安全に貯留されていることを示している。また、浸透率 2 倍ケースでは CO_2 が仕上げ区間上部を中心に早い時期に平面的に広範囲に分布するため、CO_2 が移動する過程で岩石にトラップされ残留 CO_2 となる割合が多く、流動可能な超臨界 CO_2 の割合は減少する。一方、仕上げ区間の中下部に圧入される割合が少なく、新しく溶存可能な水相との接点が減少するため溶存 CO_2 の割合は減少したものと考えられる。



注）上図：浸透率 0.5 倍ケース、下図：浸透率 2 倍ケースを示す。

図 4.8-46　CO_2 貯留形態の経時変化

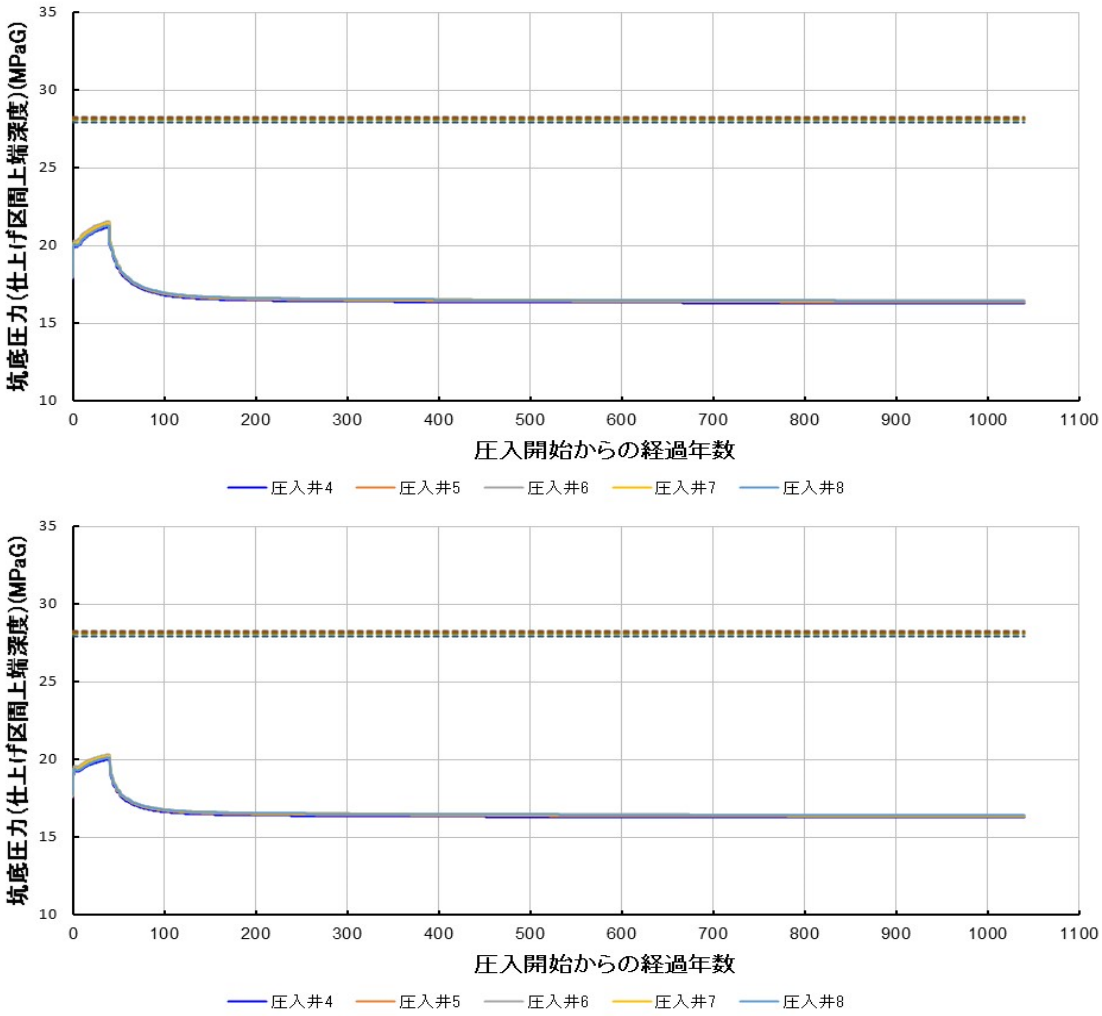
(2)　ネットグロスを変化させたケース

表 4.8-11 に示すように、上部貯留層（砂質岩卓越）の砂質岩ファシスの出現率を 0.5（極小ケース）および 0.75（小ケース）に設定したネットグロスモデルを用いてシミュレーションを行ったケースの坑底圧力推移を図 4.8-47、圧入レート推移を図 4.74.8-48 に示す。

図 4.8-47 の実線と点線は各圧入井仕上げ区間上端深度における坑底圧と地層破壊圧の関係を示しており、全圧入期間および監視期間において、仕上げ区間上端の坑底圧力は地層破壊圧を下回っている。図 4.8-48 の赤線はフィールド全体の圧入レートを示しているが、両ケースともに圧入期間を通じて目標圧入レートである 1 坑井あたり 50 万 t-CO_2/年のレートを維持できている。40 年間での累計圧入量は 1 億 t-CO_2 であった。圧入した CO_2 の分布については、ネットグロスが小さいほど貯留層の容積が小さくなるため、深度方向にも水平方向にも広範囲に広がるという傾向を確認した。

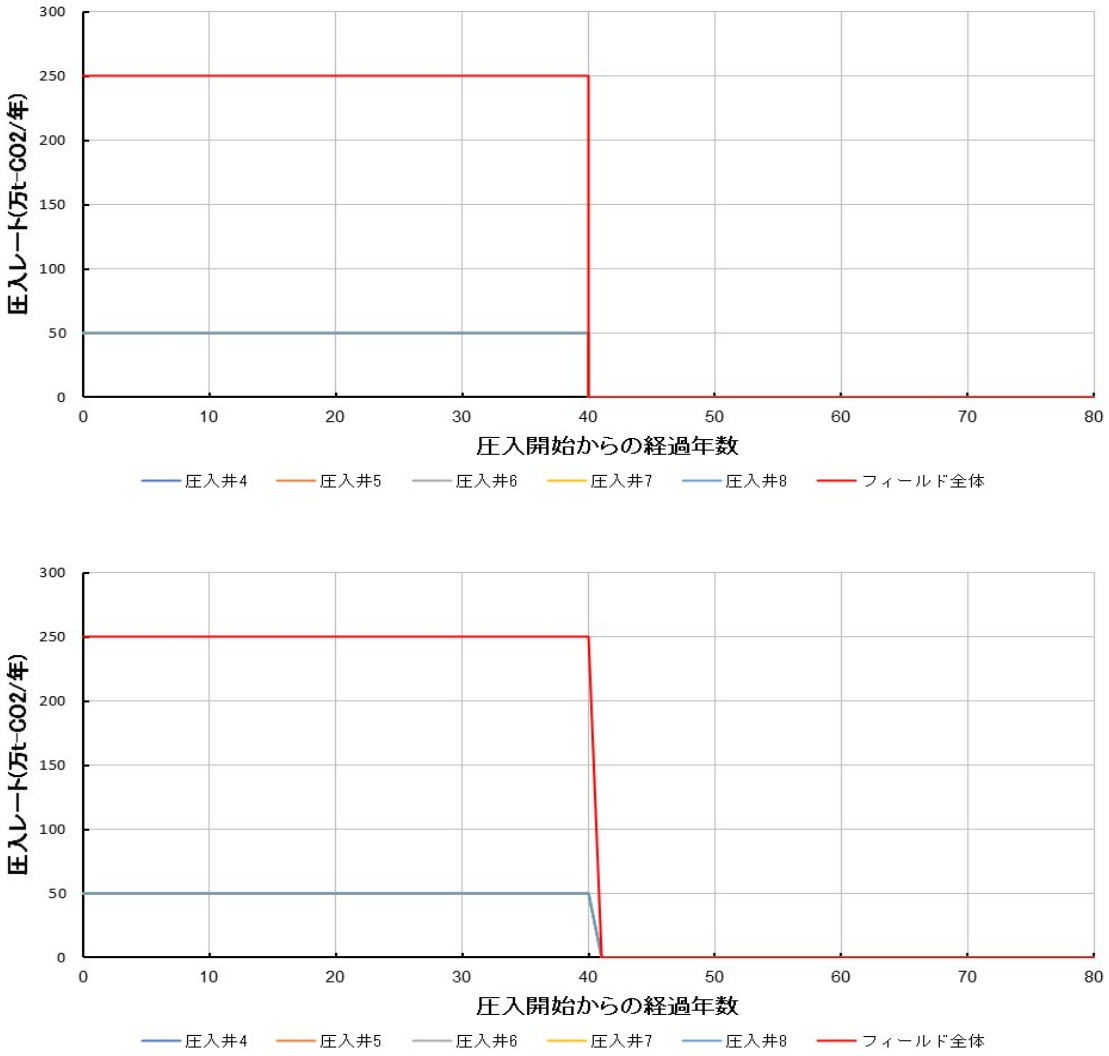
表 4.8-11　上部貯留層（砂質岩卓越）の砂質岩ファシスの N/G 比

	区間	ファシス出現率 (①)	検層解析の N/G 比 (②)	N/G 比 (①×②)
ベースケース	笹岡ファシス境界	1.0	0.7	0.7
小ケース	から	0.75	0.7	0.53
極小ケース	笹岡層/観音寺層下限	0.5	0.7	0.35



注 1）点線は各圧入井仕上げ区間上端深度の地層破壊圧力。色は実線が表す圧入井に対応
注 2）上図：ネットグロス（極小）ケース、下図：ネットグロス（小）ケースを示す。

図 4.8-47　圧入井仕上げ区間上端深度の坑底圧力推移



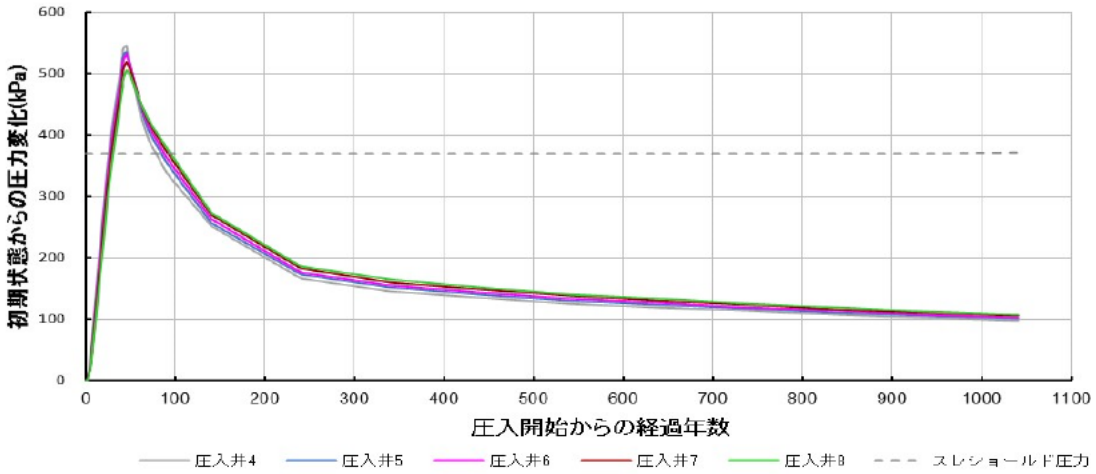
注）上図：ネットグロス（極小）ケース、下図：ネットグロス（小）ケースを示す。

図 4.8-48　圧入レート推移

①　圧力分布の比較（ネットグロス（小）とネットグロス（極小）ケース）

ネットグロス（小）ケース（砂質ファシスの出現率を 0.75 としたケース）とネットグロス（極小）ケース（砂質ファシスの出現率を 0.5 としたケース）における各坑井の遮蔽層下端の初期状態からの圧力変化推移を図 4.8-49 に示す。また、圧入停止直後および圧入停止 1,000 年後の圧力分布を図 4.8-50 と図 4.8-51 に示す。遮蔽層下端における圧力変化がもっとも大きくなるのは、各坑井を圧入停止した直後のタイミングである。ネットグロス（極小）ケースでは 550 kPa 程度、ネットグロス（小）ケースでは 380 kPa 程度まで遮蔽層下端の圧力は上昇し、ネットグロス（小）ケースでもわずかにスレッショルド圧力の 370 kPa を超過している。圧入停止後、ネットグロス（極小）ケースでは 50 年後、ネットグロス（小）

ケースでは 10 年後に圧力はスレッショルド圧力以下となり、圧入停止 1,000 年後にはおおむね初期圧力まで戻っている。



注）上図：ネットグロス（極小）ケース、下図：ネットグロス（小）ケースを示す。

図 4.8-49　上部遮蔽層下端圧力推移

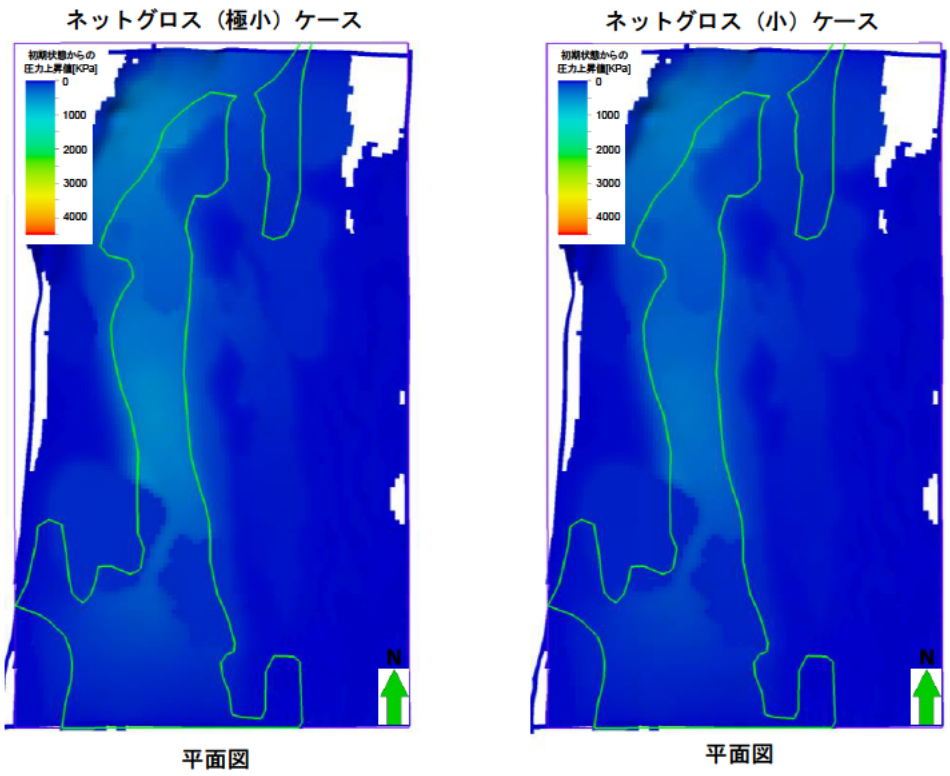


図 4.8-50　圧入停止直後の圧力分布の比較

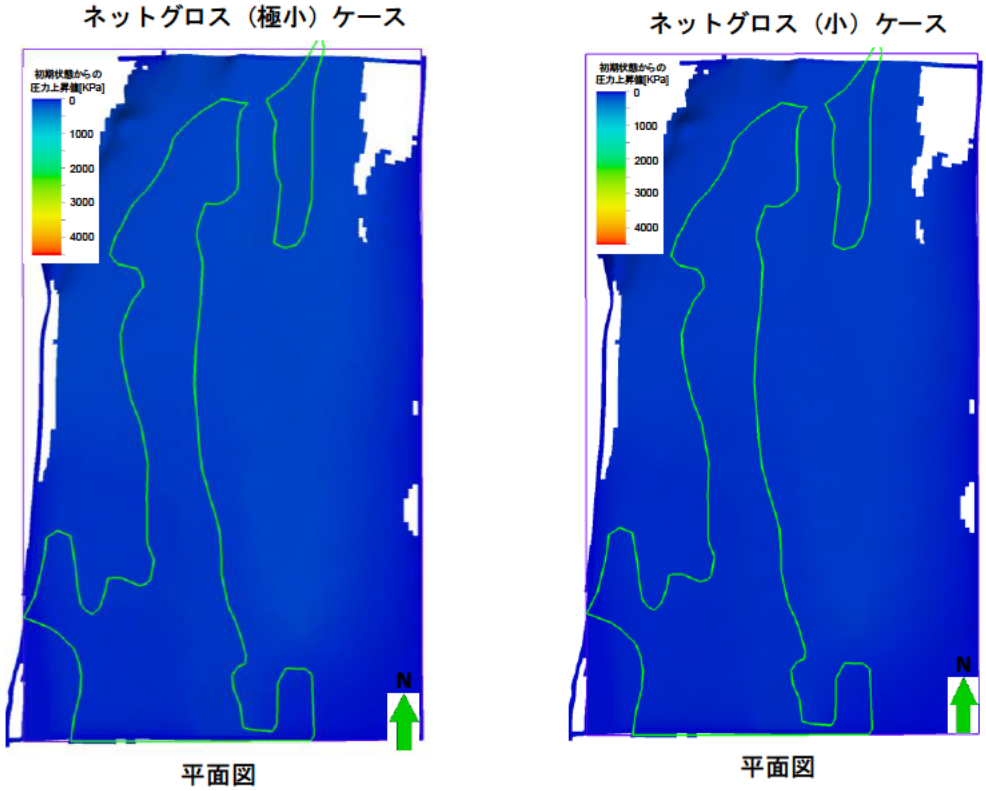


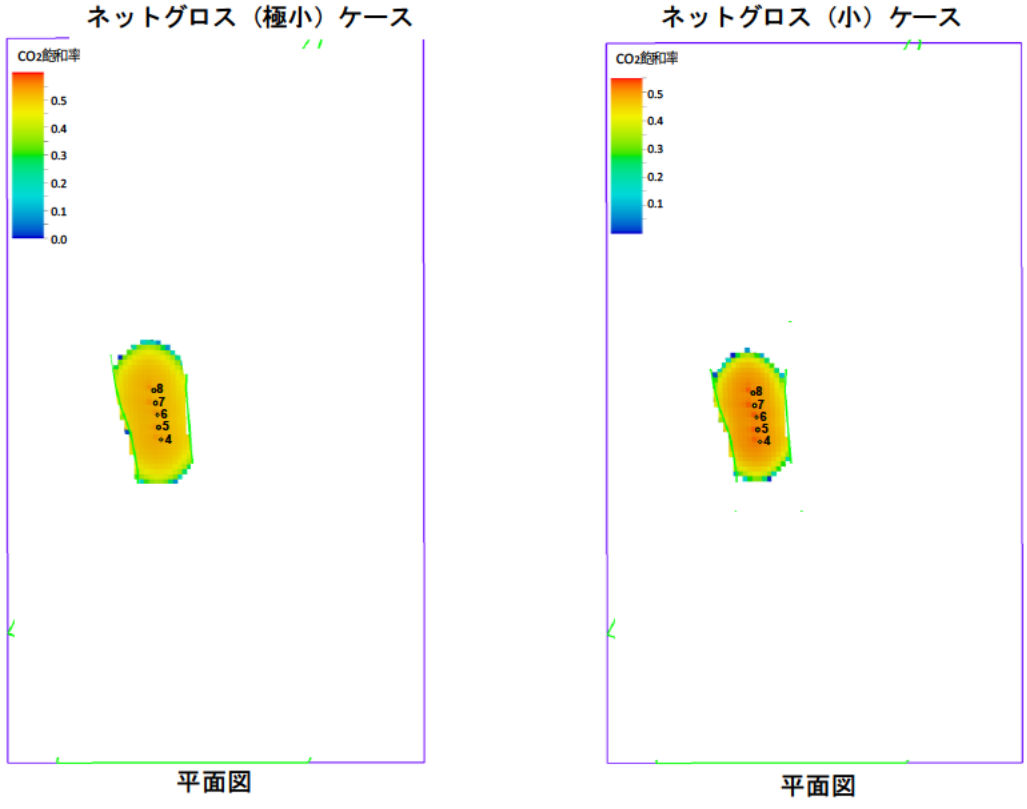
図 4.8-51　圧入停止 1,000 年後の圧力分布の比較

② CO_2 飽和率分布の比較（ネットグロス（小）とネットグロス（極小）ケース）

ネットグロスを変化させたケースについて、圧入停止直後および圧入停止 1,000 年後の CO_2 飽和率分布の平面図を図 4.8-52 と図 4.8-53 に示す。

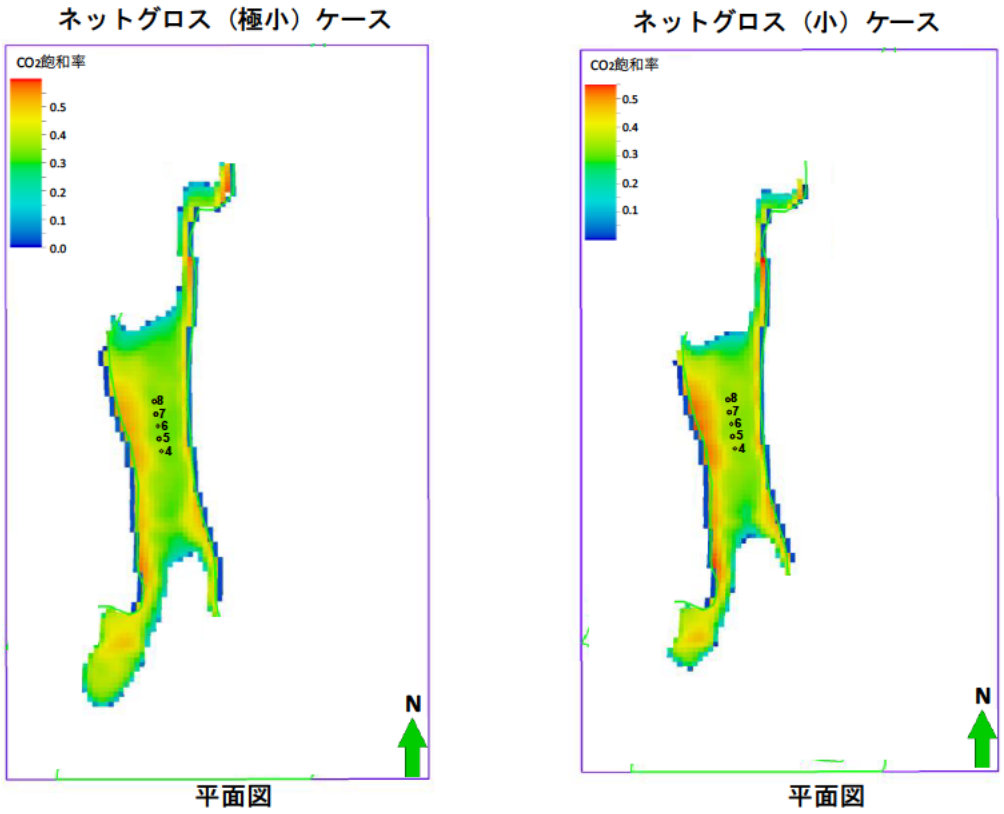
基本的な挙動としては、両ケースともに 4.8.10 項(1)、②の検討と同様で、浅部に移動した CO_2 が貯留層内の笹岡ファシス境界ホライズンに沿って南北の深度の浅い方向（坑井 4 の南方、坑井 8 の北方）へ顕著に移動する様子が見られた。両ケースともベースケースと比べると CO_2 の広がりは水平方向、深度方向ともに広範囲に広がる傾向にある。

また、ネットグロス（小）ケース（砂質ファシスの出現率を 0.75 としたケース）と（極小）ケース（出現率を 0.5 としたケース）を比較すると、極小ケースの方がより広く分布している。これは、(極小) ケースでは砂質ファシスの出現率を 0.5 に下げたことで、各グリッドの貯留層の容積が減少し、CO_2 が深度方向および水平方向により広範囲に広がったためと考えられる。



注 1）CO_2 飽和率 0.001 以上のグリッドを表示
注 2）笹岡ファシスホライズン深度の CO_2 飽和率を示す。

図 4.8-52　圧入停止直後の CO_2 飽和率の比較



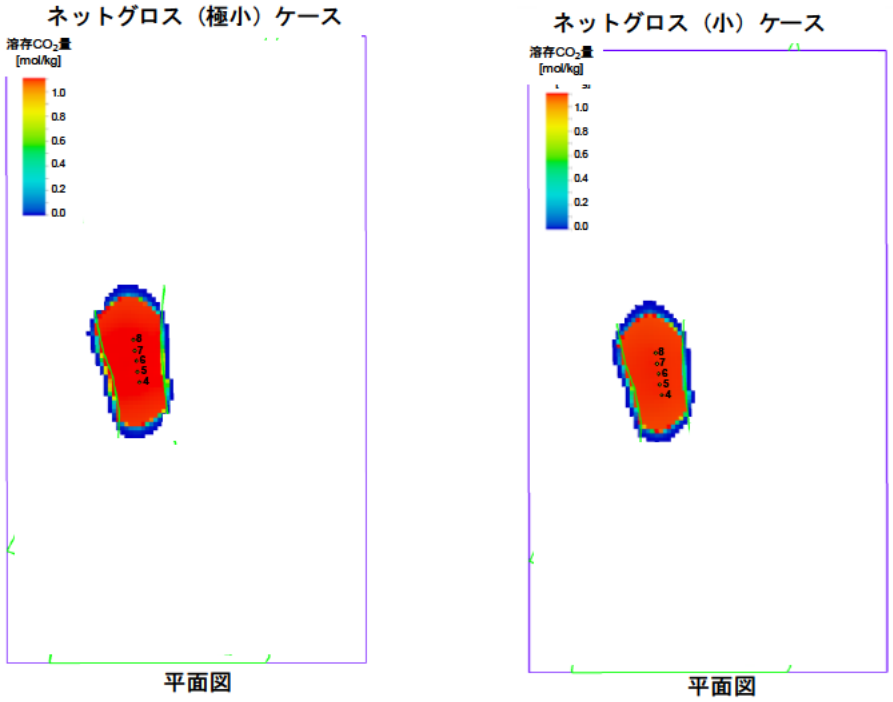
注 1）CO_2 飽和率 0.001 以上のグリッドを表示
注 2）笹岡ファシスホライズン深度の CO_2 飽和率を示す。

図 4.8-53　圧入停止 1,000 年後の CO_2 飽和率の比較

③　溶存 CO_2 量分布の比較（ネットグロス（小）とネットグロス（極小）ケース）

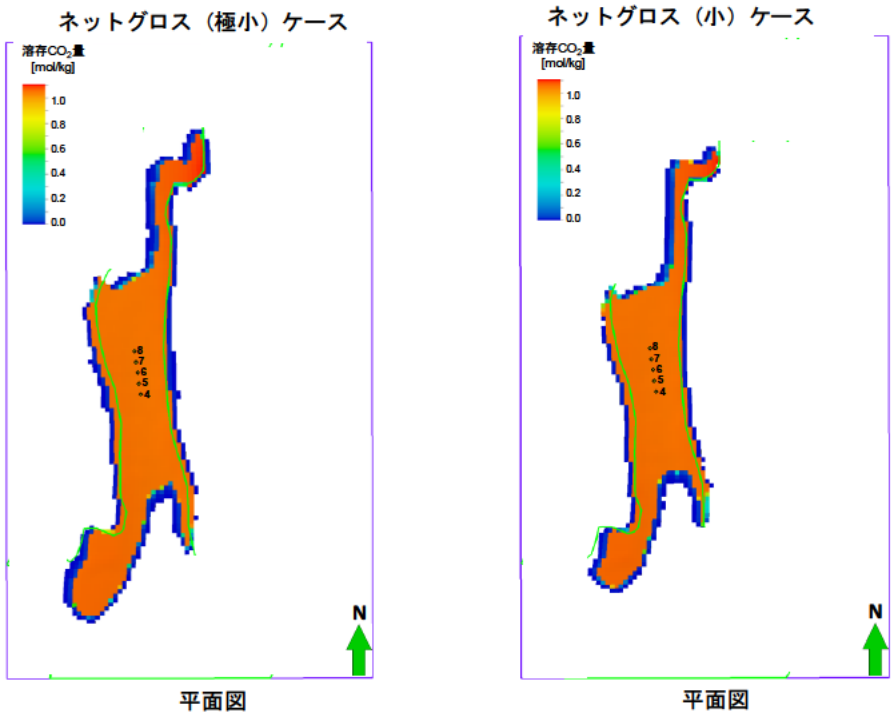
ネットグロスを変化させたケースについて、圧入停止直後および圧入停止 1,000 年後の溶存 CO_2 量分布の平面図を図 4.8-54 と図 4.8-55 に示す。いずれの図も下限値として設定した 3×10^{-5} mol/kg（測定下限値の 1 ppm）以上の溶存 CO_2 量をもつグリッドを表示している。4.8.10 項(1)、③までの検討と同様で、溶存 CO_2 量分布は両ケースとも CO_2 飽和率分布範囲を取り囲むように貯留層内の笹岡ファシス境界ホライズンに沿って深度の浅い方向へ、坑井位置から北方および南方へ広がっている。また、圧入終了 1,000 年後には溶存 CO_2 を含んだ水相が重くなり、重力により下方に移動する。

なお、ネットグロス（極小）ケース（砂質ファシスの出現率を 0.5 としたケース）では下部遮蔽層へわずかに浸透しているのが確認された。その浸透量は、総圧入量の 0.1%以下である。



注 1）溶存 CO_2 量 3.0×10^{-5} mol/kg 以上のグリッドを表示
注 2）笹岡ファシスホライズン深度の溶存 CO_2 量を示す。

図 4.8-54　圧入停止直後の溶存 CO_2 量分布の比較

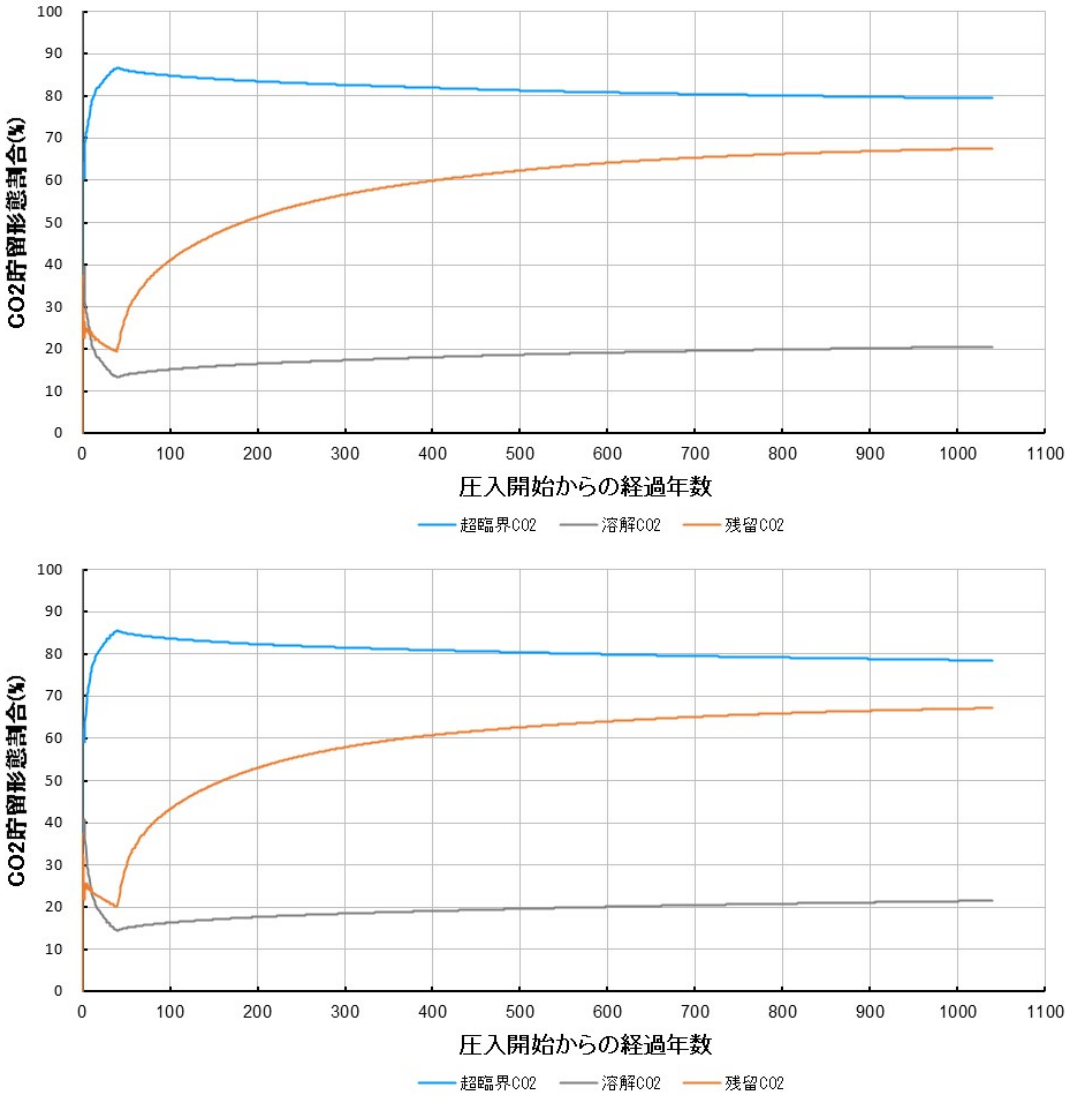


注 1）溶存 CO_2 量 3.0×10^{-5} mol/kg 以上のグリッドを表示
注 2）笹岡ファシスホライズン深度の溶存 CO_2 量を示す。

図 4.8-55　圧入停止 1,000 年後の溶存 CO_2 量分布の比較

④　貯留形態割合の推移

ネットグロスを変化させたケースについて、CO_2 貯留形態の推移を図 4.8-56 に示す。溶存 CO_2 は深部塩水に溶存した CO_2 の割合であり、残留 CO_2 は岩石にトラップされた CO_2 の割合である。超臨界 CO_2 割合から残留 CO_2 割合を引いた値が流動可能な CO_2 割合である。圧入停止 1,000 年後には、溶存 CO_2 割合、残留 CO_2 割合および流動可能な CO_2 割合は、それぞれ、ネットグロス（極小）ケースでは 20%、68%、12%、ネットグロス（小）ケースでは 22%、67%、11%とほぼ同程度の貯留形態割合となり、両ケースともに CO_2 の流動はほとんどなく安全に貯留されていることを示している。また、両ケースとも CO_2 貯留形態の割合はベースケースとほぼ同じ割合となっている。



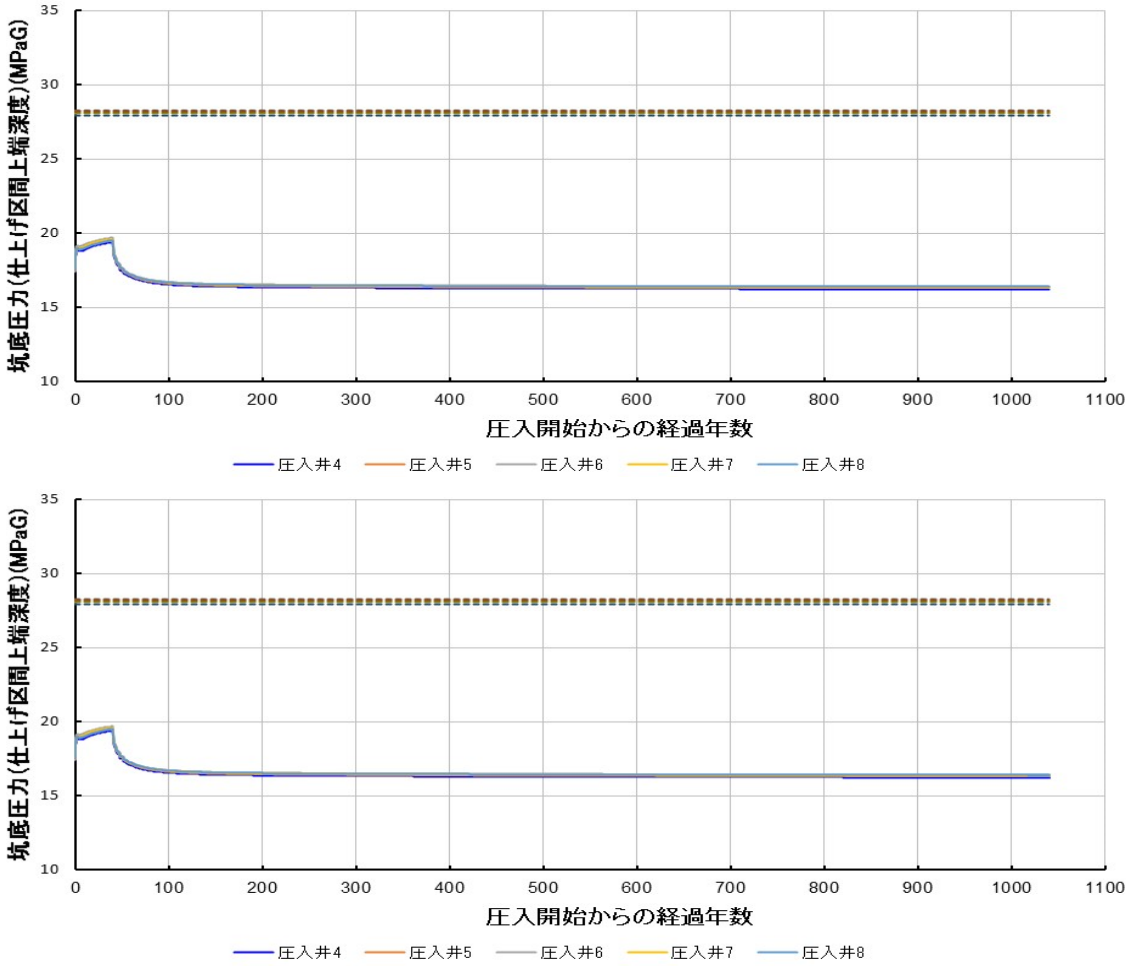
上図：ネットグロス（極小）ケース、下図：ネットグロス（小）ケースを示す。

図 4.8-56　CO_2 貯留形態の経時変化

(3) 毛細管圧（スレッショルド圧）を変化させたケース

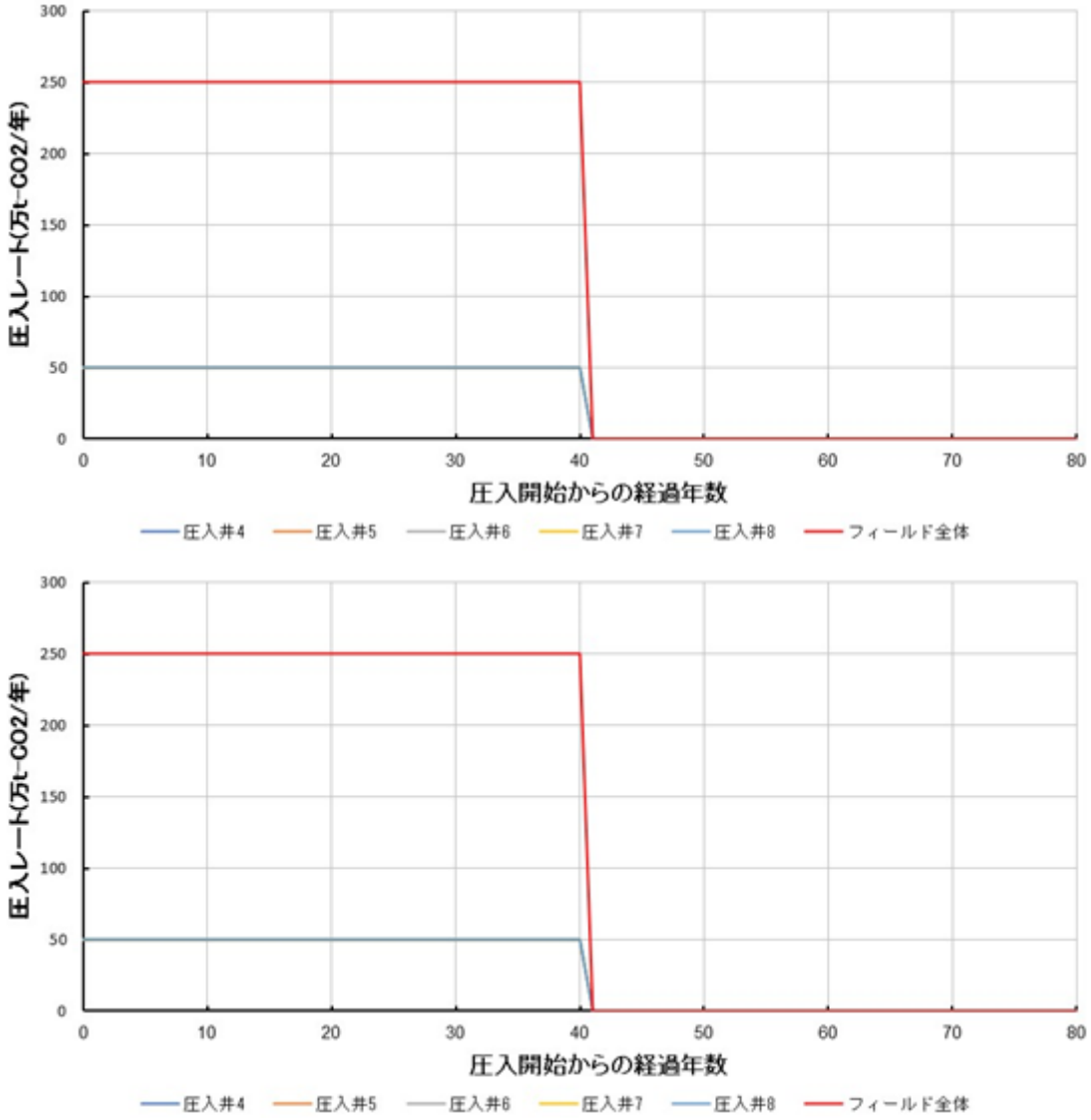
上部貯留層（泥質岩卓越）および上部遮蔽層における泥質岩ファシスの毛細管圧力を変更して、遮蔽層の能力を変化させたケースのシミュレーションを行った。van Genuchten の式（4.3-12）の定数 P_0 を、臨界飽和率におけるスレッショルド圧力が 100 kPa（Low Case）および 1,000 kPa（High case）となるように設定して毛細管圧力を算出した。

坑底圧力推移を図 4.8-57 に、圧入レート推移を図 4.8-58 に示す。図 4.8-57 の実線と点線は各圧入井仕上げ区間上端深度における坑底圧と地層破壊圧の関係を示しており、全圧入期間および監視期間において、仕上げ区間上端の坑底圧力は地層破壊圧を下回っている。図 4.8-58 の赤線はフィールド全体の圧入レートを示しているが、両ケースともに圧入期間を通じて目標圧入レートである 1 坑井あたり 50 万 t-CO_2/年のレートを維持できている。40 年間での累計圧入量は 1 億 t-CO_2 であった。CO_2 の累計圧入量については、圧入した CO_2 の深度方向の浸透域で、ケースにより違いがみられた。毛細管圧力の Low Case（スレッショルド圧力が 100 kPa）では、圧入した CO_2 が上部貯留層（泥質岩卓越層）へ浸透することが確認された。ただし、上部遮蔽層まで CO_2 は到達していない。



注 1）点線は各圧入井仕上げ区間上端深度の地層破壊圧力。色は実線が表す圧入井に対応
注 2）上図：スレッショルド（小）ケース、下図：スレッショルド（大）ケースを示す。

図 4.8-57　圧入井仕上げ区間上端深度の坑底圧力推移



注）上図：スレッショルド（小）ケース、下図：スレッショルド（大）ケースを示す。

図 4.8-58　圧入レート推移

①　圧力分布の比較（スレッショルド（小）とスレッショルド（大）ケース）

圧入停止直後および圧入停止 1,000 年後の初期状態からの圧力上昇値について、平面図を図 4.8-59 と図 4.8-60 に示す。また、各坑井における上部遮蔽層下端の初期状態からの圧力変化推移を図 4.8-61 に示す。

遮蔽層下端における圧力変化がもっとも大きくなるのは、各坑井を圧入停止した直後のタイミングである。スレッショルド（小）ケースでは 350 kPa 程度、スレッショルド（大）ケースでは 250 kPa 程度遮蔽層下端の圧力は上昇しているが、両ケースともにスレッショルド圧力の 370 kPa を超過していない。また、圧入停止 1,000 年後にはおおむね初期圧力まで戻っている。

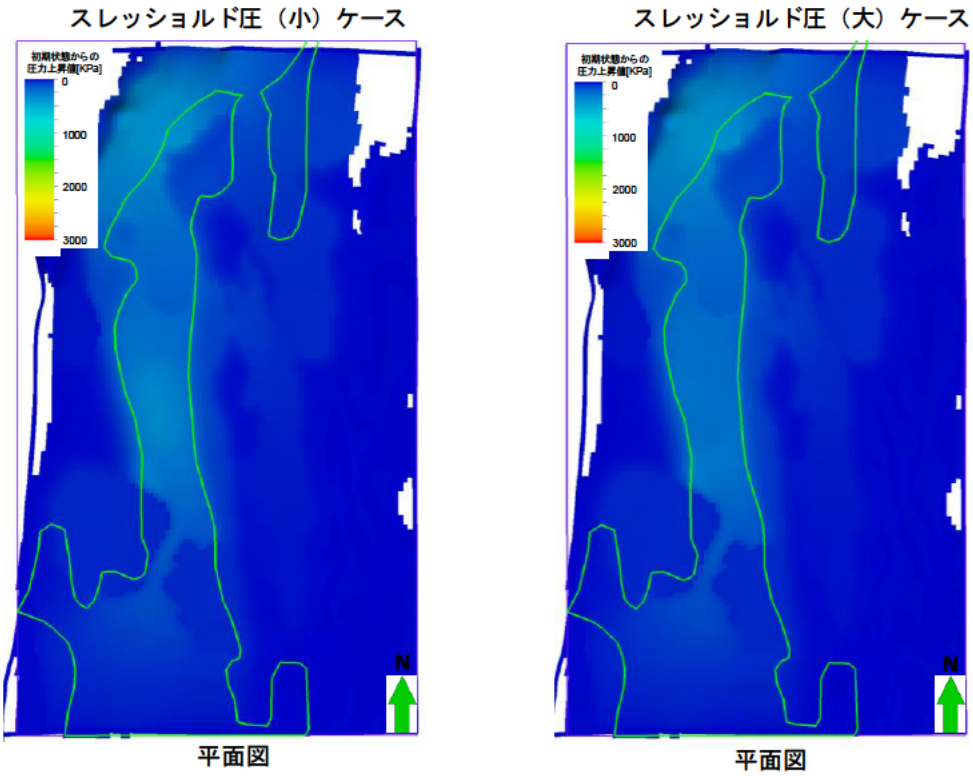


図 4.8-59　圧入停止直後の圧力分布の比較

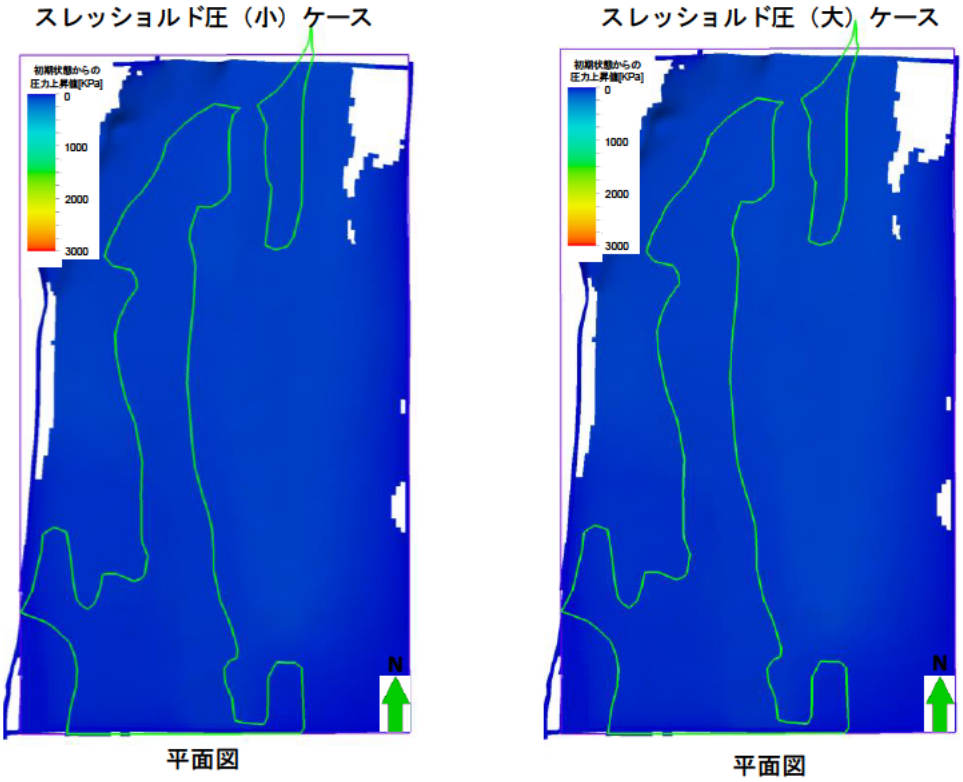
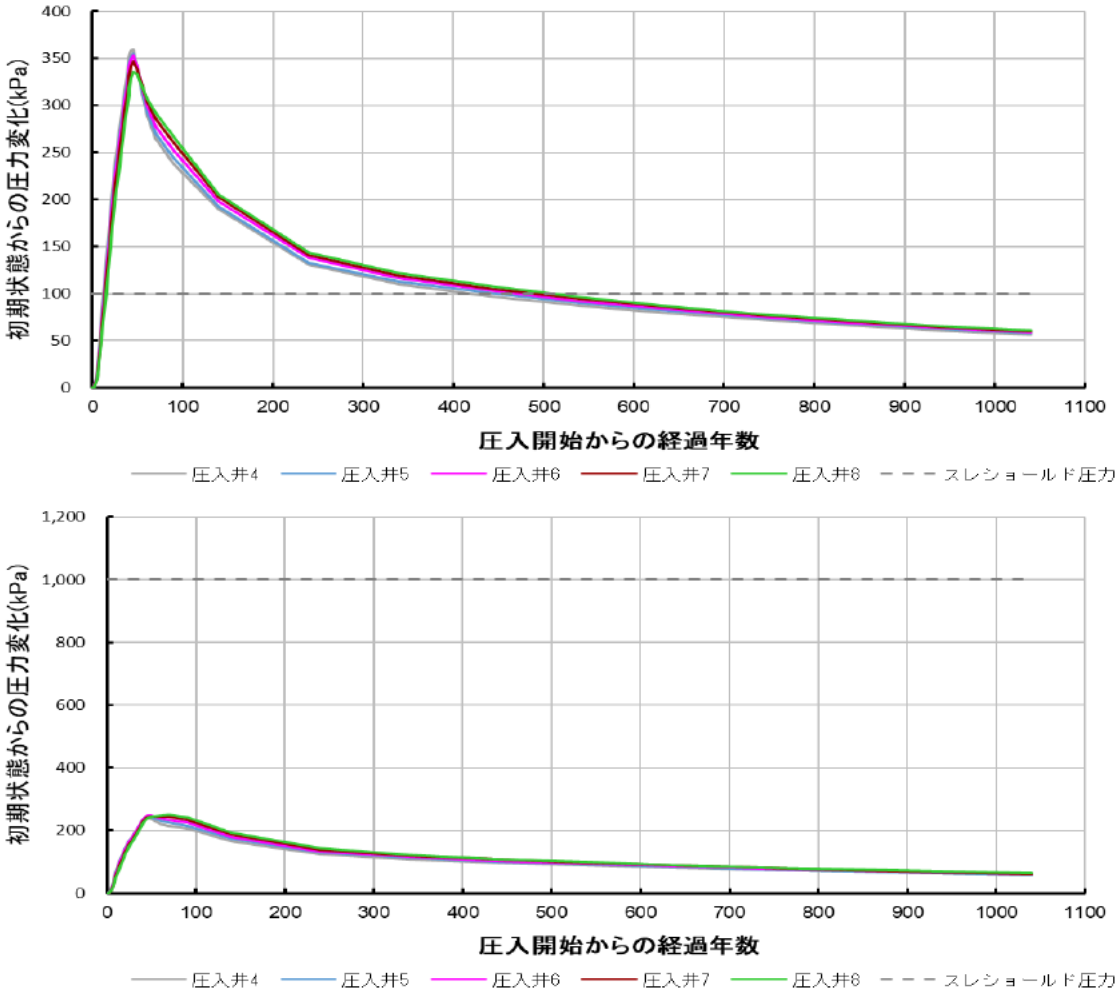


図 4.8-60　圧入停止 1,000 年後の圧力分布の比較



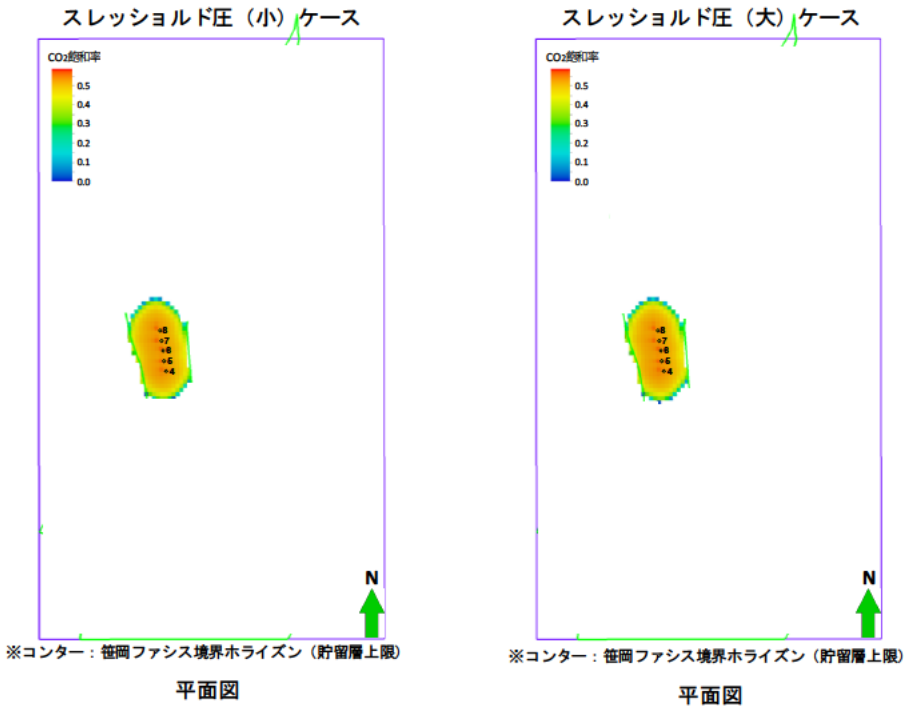
注）上図：スレッショルド（小）ケース、下図：スレッショルド（大）ケースを示す。

図 4.8-61　遮蔽層下端圧力推移

②　CO_2 飽和率分布の比較（スレッショルド（小）とスレッショルド（大）ケース）

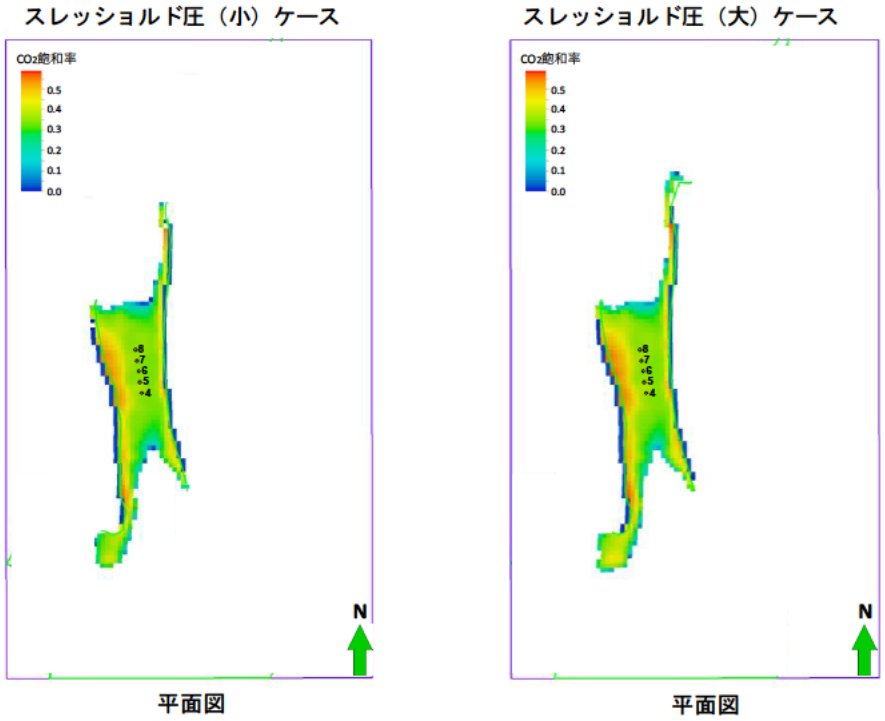
毛細管圧力を変化させたケースについて、圧入停止直後および圧入停止 1,000 年後の CO_2 飽和率分布の平面図を図 4.8-62 と図 4.8-63 に示す。

基本的な挙動としては、両ケースともに 4.8.10 項(2)、②までの検討と同様で、浅部に移動した CO_2 が貯留層内の笹岡ファシス境界ホライズンに沿って南北の深度の浅い方向（坑井 4 の南方、坑井 8 の北方）へ顕著に移動する様子が見られた。スレッショルド圧（小）ケース（スレッショルド圧力：100 kPa）では、笹岡ファシス境界ホライズンに沿って水平方向への移動にくわえて、圧入停止 1,000 年後に上部貯留層（泥質岩卓越）にも浸透している。一方で、スレッショルド（大）ケース（スレッショルド圧力：1,000 kPa）では上部貯留層（泥質岩卓越）への浸透はみられず、圧入した CO_2 は上部貯留層（砂質岩卓越）内に留まっている。



注 1）CO_2 飽和率 0.001 以上のグリッドを表示
注 2）笹岡ファシスホライズン深度の CO_2 飽和率を示す。

図 4.8-62　圧入停止直後の CO_2 飽和率の比較

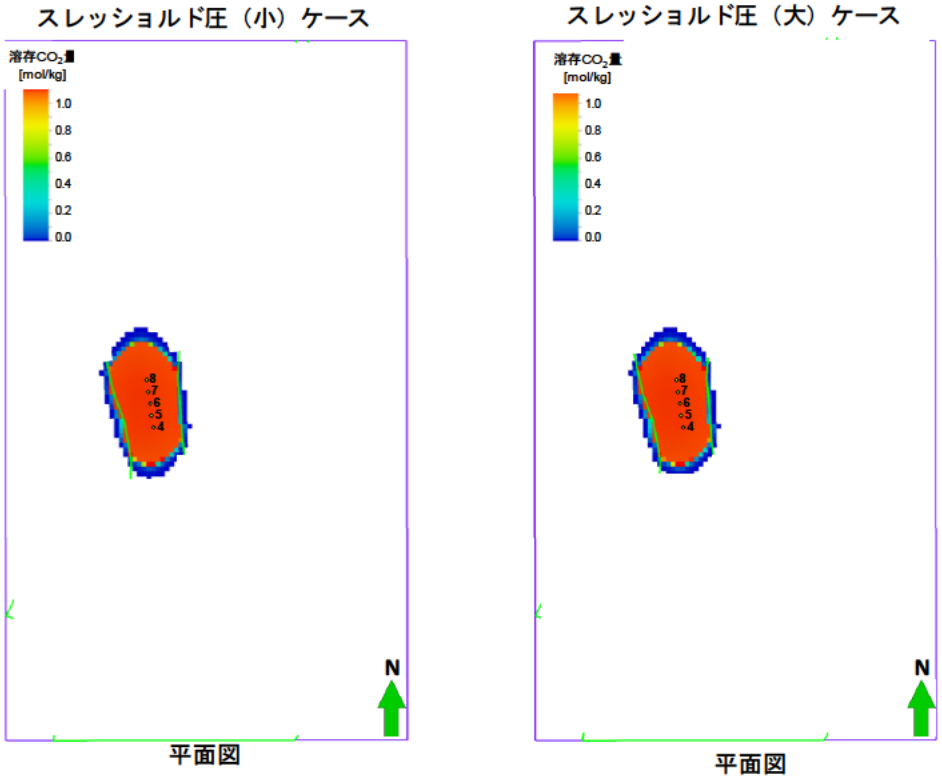


注 1）CO_2 飽和率 0.001 以上のグリッドを表示
注 2）笹岡ファシスホライズン深度の CO2 飽和率を示す。

図 4.8-63　圧入停止 1,000 年後の CO_2 飽和率の比較

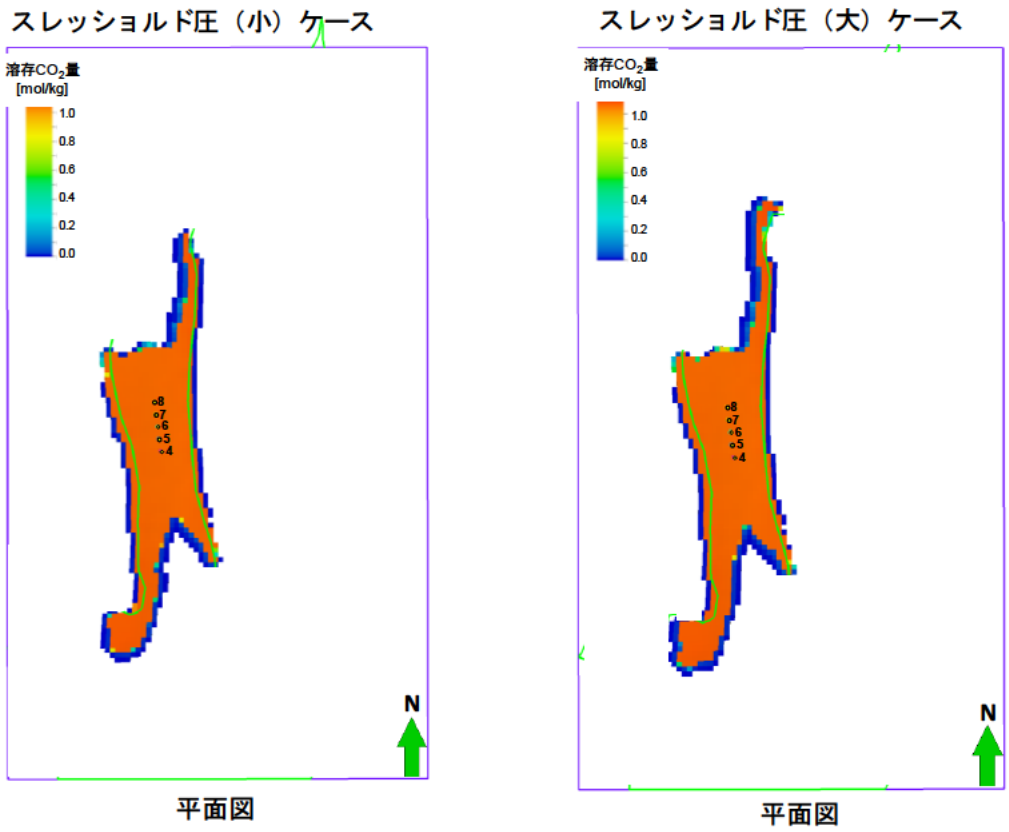
③　溶存 CO_2 量分布の比較（スレッショルド（小）とスレッショルド（大）ケース）

毛細管圧力を変化させたケースについて、圧入停止直後および圧入停止 1,000 年後の溶存 CO_2 量分布の平面図を図 4.8-64 と図 4.8-65 に示す。いずれの図も下限値として設定した 3×10^{-5} mol/kg（測定下限値の 1 ppm）以上の溶存 CO_2 量をもつグリッドを表示している。4.8.10 項(2)、③までの検討と同様に溶存 CO_2 量分布は両ケースとも CO_2 飽和率分布範囲を取り囲むように笹岡ファシス境界ホライズンに沿って深度の浅い方向へと広がり、さらに北方および南方へ広がっている。また、圧入終了 1,000 年後には溶存 CO_2 を含んだ水相が重くなり、重力により下方に移動している。またスレッショルド圧（小）ケースでは圧入停止 1,000 年後に上部貯留層（泥質岩卓越）に浸透する。



注 1）溶存 CO_2 量 3.0×10^{-5} mol/kg 以上のグリッドを表示
注 2）笹岡ファシスホライズン深度の溶存 CO_2 量を示す。

図 4.8-64　圧入停止直後の溶存 CO_2 量分布の比較

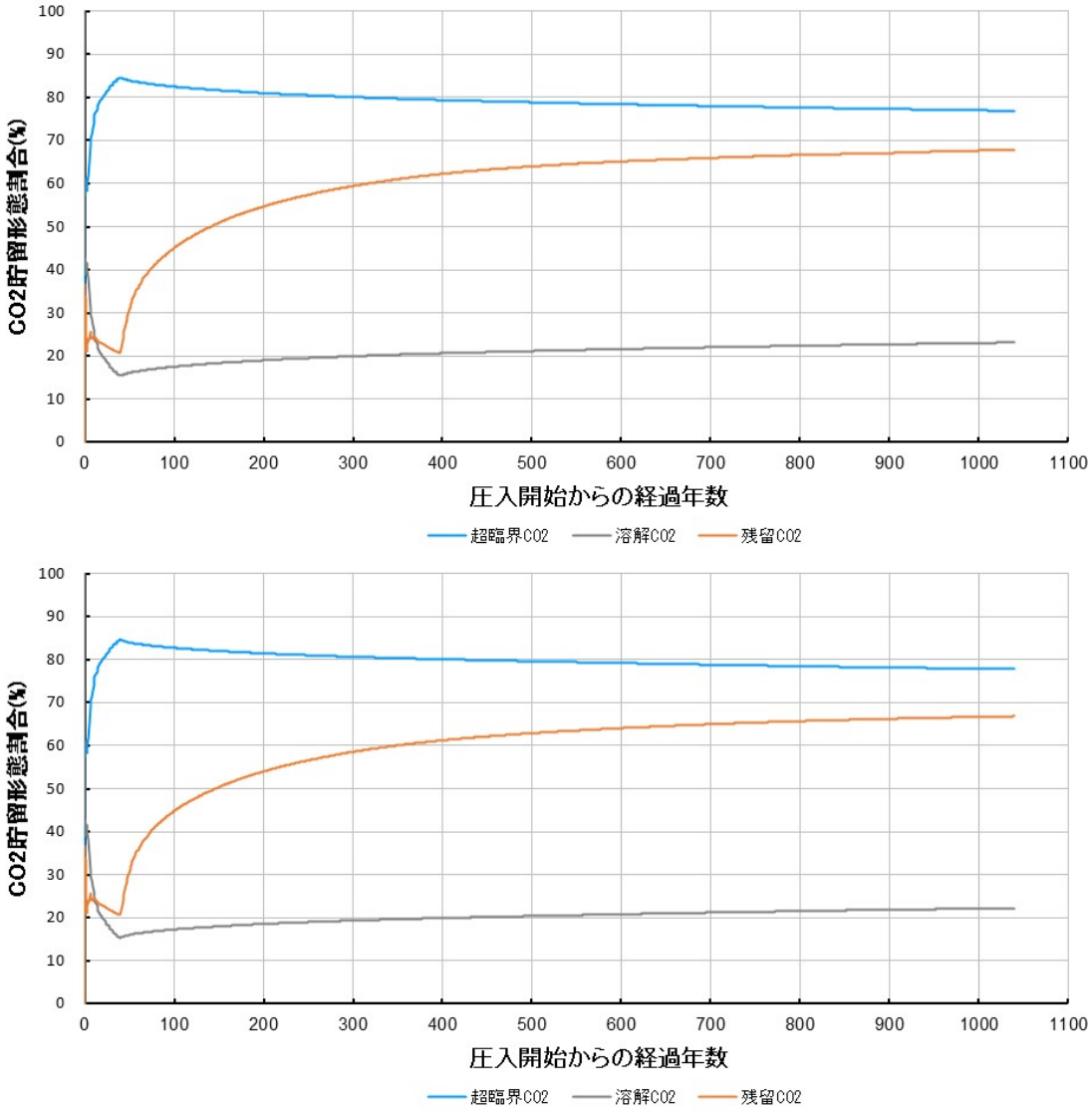


注 1）溶存 CO_2 量 3.0×10^{-5} mol/kg 以上のグリッドを表示
注 2）笹岡ファシスホライズン深度の溶存 CO_2 量を示す。

図 4.8-65　圧入停止 1,000 年後の溶存 CO_2 量分布の比較

④　貯留形態割合の推移

毛細管圧力を変化させたケースについて、CO_2 貯留形態の推移を図 4.8-66 に示す。溶存 CO_2 は深部塩水に溶存した CO_2 の割合であり、残留 CO2 は岩石にトラップされた CO_2 の割合である。超臨界 CO_2 割合から残留 CO_2 割合を引いた値が流動可能な CO_2 割合である。圧入停止 1,000 年後には、溶存 CO_2 割合、残留 CO_2 割合および流動可能な CO_2 割合は、それぞれ、スレッショルド（小）ケースでは 23%、68%、9%、スレッショルド（大）ケースでは 22%、67%、11%と両ケースともベースケースとほぼ同程度の貯留形態割合となり、両ケースともに CO_2 の流動はほとんどなく、安全に貯留されていることを示している。



注）上図：スレッショルド（小）ケース、下図：スレッショルド（大）ケースを示す。

図 4.8-66　CO_2 貯留形態の経時変化

4.8.11 まとめと課題

(1)　まとめ

4.3 節に示す地質解析の結果等を基に地質モデルを作成し、調査井掘削前の CO_2 挙動予測シミュレーションにより秋田沖の貯留可能量やその特徴を以下の流れで検討した。

まず、“貯留エリアの選定”においては、上部貯留層の砂質岩ファシスの分布域に貯留層層準を全区間仕上げた圧入井を配置し、CO_2 圧入時の貯留層内の挙動や累計圧入量から、本作業範囲中央付近の笹岡層ファシス境界の最深部を中心とした貯留エリアを選定した。

圧入条件は、坑井配置は 1 箇所から掘削可能な範囲に収まるよう 500 m スペーシングで

5 坑配置し、目標レートは 1 坑井あたり 50 万 t-CO_2/年、40 年間で 1 億 t-CO_2 の貯留が可能であることを確認した。

本作業範囲における貯留可能量評価では、坑井配置および仕上げ区間、圧入レート、期間について、留意して試行錯誤検討を行った。その結果、本作業範囲の貯留層上部には泥質岩が発達しており、貯留層上端まで CO_2 は到達しないため、遮蔽層下端における圧力がスレッショルド圧力を超えた場合でも貯留層上端まで CO_2 は到達しないことを確認して評価を継続した。

本作業範囲の貯留層下部(砂質岩卓越)から圧入された CO_2 は浮力により浅部へ移動し、笹岡層ファシス境界まで到達した後はファシス境界面の傾斜に沿い、砂層が繋がる南北方向に、平面的に広がっていくという傾向であった。

坑井仕上げを深部の部分仕上げとすると坑井周辺を立体的に貯留域として利用でき、CO_2 の平面的な広がりを抑える可能性があることを確認した。

次に、“最大圧入レートおよび最大貯留可能量“において坑井数 5 坑のケースでは、全区間仕上げで目標レートを 1 坑井あたり 75 万 t-CO_2/年まで段階的にあげていき、375 万 t-CO_2/年では 40 年間一定レートで 1.5 億 t-CO_2、60 年間一定レートで 2.25 億 t-CO_2 を貯留可能であることを確認した。

また坑井数 10 坑のケースでは、全区間仕上げでは溶存 CO_2 が南北に広がり貯留可能域外に流れる傾向を示したことから仕上げ区間の深部化(部分仕上げ)を追求し、坑井数 10 坑、貯留層層準の下部 20%仕上げであれば、溶存 CO_2 の広がりは貯留可能域内に抑えられ、375 万 t-CO_2/年であれば 40 年間で 3 億 t-CO_2、60 年間で 4.5 億 t-CO_2 貯留可能であることを確認した。また、いずれのケースにおいても CO_2 は貯留層層準側方への岩相変化により東西方向への広がりが抑えられる。貯留可能域外への CO_2 の浸透は総圧入量に対して 1%以下と想定されることを確認した。

最後に、“リスク感度分析の実施”においては、、坑井数 5 坑ケース（全区間仕上げ）をベースケースとしつつ、「浸透率」、「ネットグロス」および「毛細管圧力」について、それぞれのパラメータのみ変更し、いずれのケースにおいても 40 年間で 1 億 t-CO_2 は貯留可能である、という結論を得た。圧入した CO_2 の挙動に対する影響は「浸透率」がもっとも大きく、ついで「ネットグロス」、「毛細管圧力」という結果となった。

(2)　今後の課題

今回のシミュレーションでは圧入井を配置したエリアは向斜構造で、東西方向は東側に向かって深度が浅くなるが、地質モデルではエリアの東西方向がファシス E やファシス G

といった泥岩の優勢な砂泥互層に岩相変化するため、シミュレーションの予測では CO_2 プルームの東西方向のひろがりは抑えられ、南北方向に広がっていくという傾向にあった。貯留層の東側には延長線上に既存坑井や断層が存在し、さらに陸側に向かって超臨界 CO_2 超臨界条件から外れる深度になることから、より詳細な貯留評価を行うためには砂岩優勢ファシス、泥岩優勢ファシスというファシス区分だけではなく、検層データや弾性波探査データ、コアデータから得られる砂泥互層の不均質性の特徴を反映した、詳細な地質イメージおよび物性値モデルに基づいた不均質モデルにより泥質岩での CO_2 の挙動を予測する必要がある。また今回のシミュレーションではいずれのケースも圧入した CO_2 の大部分は貯留可能域の範囲内に貯留され、CO_2 は構造上位の遮蔽層に到達していない。貯留層上部の泥質岩卓越部分が尖滅して上位の遮蔽層に直接接すること等により、遮蔽層内へ CO_2 プルームが浸透した際にどういったメカニズムでトラップ可能かは、今後 CCS を実装するうえでのリスク評価における検討課題になりうると考えられる。

【参考文献】

1) 日本ＣＣＳ調査(株)、“平成２９年度 二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務 成果報告書 第４章 4.9 節 調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーションによる貯留可能性検討（本荘沖）”（2019）
2) 日本ＣＣＳ調査(株)、“平成３０年度 二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務 成果報告書 第４章 4.10 節 貯留層シミュレーションによる貯留可能性検討（秋田沖）”（2020）
3) 日本ＣＣＳ調査(株)、“令和２年度 二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務 成果報告書第４章 4.12 節 地質解析と貯留適地調査（本荘沖の南部）”（2022）
4) Athy, L. F., “Density, porosity, and compaction of sedimentary rock”, AAPG Bulletin, Vol. 14, No.1, p.1-24（1930）
5) 石油公団、“平成 4 年度　国内石油・天然ガス基礎調査　基礎試錐「由利沖中部」調査報告書”（1993）
6) 日本海洋石油資源開発株式会社、“昭和 57 年度　芦川沖 SI-1 試掘完了報告”（1982）
7) 日本海洋石油資源開発株式会社、“昭和 46 年度　由利沖北部 SI-1 号井試掘完了報告書”（1971）
8) 日本ＣＣＳ調査(株)、“平成２９年度 二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務 成果報告書第４章 4.2 節　地表地質調査試料分析”（2019）
9) Corey, A.T., “The Interrelation between Gas and Oil Relative Permeabilities” Producers Monthly November, p.38-41（1954）

10) van Genuchten, M.TH., “A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of undersaturated soils” Soil Science Society of America. Journal Vol 44 p.892-898（1980）

11) Bennion,B., Bachu, S., “Permeability and Relative Permeability Measurements at Reservoir Conditions for CO_2-Water System in Ultra low Permeability Confining Caprocks” SPE 106995（2007）

12) 石油公団、“平成 5 年度　国内石油・天然ガス基礎調査　基礎試錐「本荘沖」調査報告書”（1994）

13) Castagna, J. P., Batzle, M. L., and Eastwood, R. L., “Relationships between compressional wave and shear-wave velocities in clastic silicate rocks”, Geophysics, 50(No.4), 571-578（1985）

14) Blanton, T. L. and Olson, J. E., “Stress magnitudes from logs: effects of tectonic strains and temperature”, SPE Reservoir Evaluation and Engineering, 2, 62-68（1999）

15) 日本ＣＣＳ調査株式会社、“「平成２８年度二酸化炭素貯留適地調査事業」に係る「既存探査データを利用した地質解析・貯留可能量評価(1)秋田沖」報告書”（2016）

16) Lacy, L.L., “Dynamic Rock Mechanics Testing for Optimized Fracture Designs”, SPE Annual Technical Conference and Exhibition（1997）

4.9 既存廃坑井に対するリエントリーおよび是正の実現可能性調査

4.9.1 概要

CO_2 貯留適地候補の中には、過去に油ガスの探鉱対象となった地域もあり、廃坑措置がなされた試掘井等が存在する場合がある。こういった既存の廃坑井は CO_2 漏洩経路となる可能性があり、CO_2 貯留可能域内の既存廃坑井に適切に対応できるか否かが適地としての要件となる。

油ガス井の廃坑措置は、セメントプラグと称されるコラム状のセメントを坑内に設置して坑井を閉塞し地層流体を密閉することによりなされる。当該坑井近傍において CO_2 貯留を新たに行った場合、その遮蔽層部のセメントプラグやケーシング外側環状部（以下、「アニュラス」と称する。）のセメントの質が良好で、バリアとして十分に機能することが期待できるか否かが漏洩リスクに大きな影響を与える。セメントの質が悪い場合は、セメントの補修や再設置といった是正方法が考えられる。廃坑井は、地表や海底面部の坑口装置やケーシングが撤去されセメント等で埋め立てられているため、坑井内に再度掘削機器を降下し（以下、「リエントリー」と称する。）、是正のための作業を実施するには、例えば、ケーシングを再接続して坑口装置および噴出防止装置（以下、「BOP」と称する。）を再設置するといった特殊な工程が必要となり、その実現可否や難易度は周辺環境、坑井の新旧や廃坑状況に大きくに左右される。

「既存廃坑井に対するリエントリーおよび是正の実現可能性調査」（以下、「本実現可能性調査」と称する。）では、貯留適地候補地の一つにおいて、CO_2 を貯留した場合、CO_2 漏洩に関してリスクとなる可能性がある既存廃坑井を対象として、CO_2 漏洩リスク低減のためのリエントリーおよび是正に関わる手法を検討し、その実現可能性の調査を実施した。検討対象とした既存廃坑井は、浅海域に位置し、1970 年代に油ガスの探鉱を目的として掘削され、産出テストを経て廃坑となったものである（以下、「本廃坑井」と称する。）。本廃坑井は、掘削当時の業界慣例に沿った廃坑がなされており、将来の CO_2 貯留が想定されたものではない。今後、当適地候補地域において CO_2 貯留が実施された場合に、圧入された CO_2 が貯留層を通じて本廃坑井に到達することが予測されることから、CO_2 漏洩リスク低減のためのリエントリーおよび是正に関わる手法を検討した。

本実現可能性調査では、切断されたケーシングにシール性を保持しながら同径ケーシングを接続すること（以下、「タイバック」と称する。）による坑口部からのリエントリー手法と、インターセクション坑井を介するリエントリー手法の検討を行った。インターセクション坑井とは、暴噴した坑井をコントロールする際に、暴噴井に交差させ抑圧するために新たに掘削されるリリーフウェルの技術を適用した坑井である。是正の手法としては、既存

のセメントプラグ等の切削除去、ケーシングアニュラスのセメントの再評価と必要に応じた補修、セメントプラグの再設置についての検討を行った。

坑口からのリエントリーおよび是正の手法は、切断されたケーシングへのタイバックの成否が鍵となり、BOP を再設置し既存のセメントプラグ等を切削して除去する際のガスの坑内への侵入に備え安全に是正作業を遂行できるようにする必要がある。インターセクション坑井を介するリエントリーおよび是正の手法では坑井交差部にケーシングを外部よりカットして開けられる窓部（以下、「ウィンドウ」と称する。）の品質が鍵となり、後の是正作業のため坑内へ降下する機器の出し入れに支障が出ないようにする必要がある。

二つのリエントリーおよび是正の手法はともにコンティンジェンシー計画を策定することで実現可能との結論となった。両手法の長所と短所を比較し、本廃坑井では、坑口部からのリエントリーおよび是正の手法がより現実的と考え、同手法に対して、詳細な作業手順を検討し、順調なケースで作業日数 38 日間、作業費用 23 億円、想定しうる複数のリスク事象を考慮した最大ケースで、作業日数 127 日間、作業費用を 50 億円と見積もった。

4.9.2　坑口部からのリエントリーおよび是正の手法

(1)　重要な技術

坑口部からのリエントリーおよび是正の手法に関わる重要な技術は次のようなものとなる。

①　坑口位置の特定

海域での廃坑井は、坑口装置が撤去され、海底面下でケーシング上端が切断撤去されセメント等で埋め立てられている。本廃坑井の坑口部は、廃坑後 40 年以上が経過しているため砂泥で埋まった状態であることが推定される。

坑口位置の特定については、切断されたケーシング上端の海底面からの深さにより手法が異なり、求める精度誤差にもよるが、ケーシング上端が海底面下 5 m 程度と浅い場合には磁気探査のみ、10 数メートルと深い場合には磁気探査にくわえて音波探査が必要となる。これら探査は海面から探査船により行うこととなるため、坑口位置をある程度特定したら海底面における調査となる。海底面においては、水深が浅ければダイバーが簡易計測器をもって潜水し、坑口位置を確定する。ダイバーが潜水できない水深となれば、遠隔操作型の無人潜水機（Remotely Operated Vehicle、以下「ROV」と称する。）での作業となる。本廃坑井のケーシング切断深度、および水深は十分に浅いため、磁気探査およびダイバーによる簡易計測により、坑井位置の特定が可能と考えるが、本実現可能性調査ではより精度良く坑口位置を特定するため、1 m 程度の誤差で特定が可能なように音波探査も実施する想定

としている。

坑口位置を特定した後は、坑口部状況確認のため、ケーシング切断部を露わにする必要がある。これについては、海底の土砂を浚う浚渫船を用いて行う方法があげられる。ケーシング切断部の状況確認は、坑口位置特定時と同様に、水深によりダイバーもしくはROVにより行うこととなる。また、掘削リグ動員後の作業時にもダイバーもしくはROVによるビーコンの設置や坑口部のクリーニング作業を行うこととなるため、浚渫後に土砂が崩れないようにカバーするためのケースを設置しておく必要がある。なお、浚渫船についても60 m程度までが作業限界水深になり、さらに深くなった場合は、掘削リグを動員した後に事前にある程度特定しておいた坑口部の周囲をビットやジェッティング機器にて掘り起こし、クレーターの中に坑口部がある状態を作ることになる。

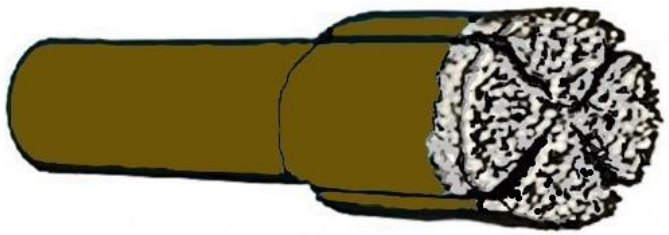
② ケーシングのタイバック

既存のセメントプラグやセメントリテーナーを切削して除去する際、それらの下部に籠っている可能性のあるガスのキックに備える必要がある。このため、切断されたケーシングに新たにケーシングを再接続して、その上部に坑口装置およびBOPを設置することが不可欠となる。坑内の圧力を保持できるようにシール性を保持しながら、新たな同径のケーシングを接続するタイバックにはケーシングパッチが用いられ、その設置のための事前作業として切断されたケーシングの上端の修正やその外面の洗浄が必要となる。

a. ケーシング上端の修正および外面洗浄

廃坑時に切断されたケーシング上端は、切断時に変形している可能性がある。また、13-3/8”ケーシングアニュラスには掘削作業時に海底面までセメントが設置されており、5-1/2”ケーシングは切断後にその上部にセメントプラグが設置されているため、ともに上端付近の外面にはセメントが付着している可能性が高い。ケーシングパッチを用いてタイバックするには、ケーシング上端を修正し、外面に付着しているセメントを除去する必要がある。

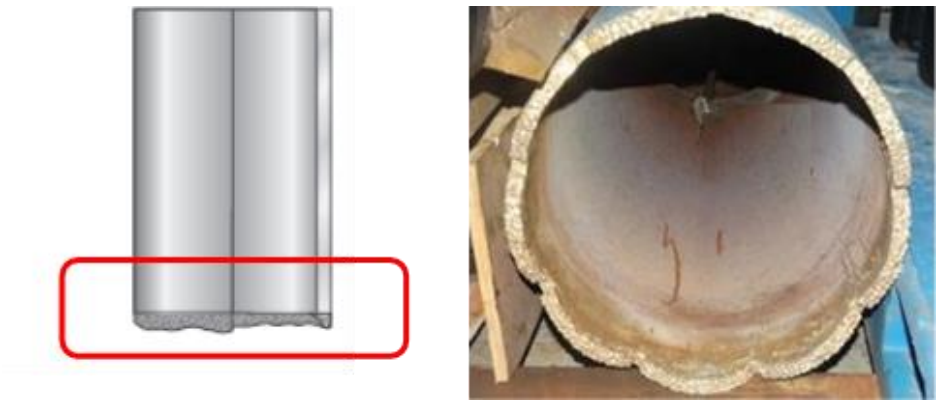
ケーシング上端の修正には、フラットボトムミルを最初に使用する。このフラットボトムミルは、図4.9-1に示すように、平らな底面にタングステンカーバイドのチップを取り付けた切削用ツールであり、ドリルストリングにて降下し回転させてケーシング上端を削り整形する。



注）右側がタングステンカーバイドのチップが取り付けられた底面となる。

図 4.9-1　フラットボトムミル

ケーシング上端の外面の洗浄には、図 4.9-2 に示すウォッシュオーバーパイプを用いる。ウォッシュオーバーパイプはその先端および先端付近の内面にタングステンカーバイドのチップが取り付けられており、ケーシングの外径より少し大きな内径を有している。このウォッシュオーバーパイプを、ドリルストリングにて降下し回転させてケーシング上端の外面に付着したセメントを削り落とす。



注 1）右側は、左側の図の赤枠部を下から見た図
注 2）図提供シュルンベルジェ社

図 4.9-2　ウォッシュオーバーパイプ

13-3/8”および 5-1/2”ケーシング上端の修正および外面の洗浄作業後の状態は、ダウンホールカメラを降下して確認し、タイバックが可能な状態か否かを判断する。

b.　ケーシングパッチ

ケーシング上端の修正および外面洗浄後のタイバックには、図 4.9-3 の左側に示すケーシングパッチというツールを用いる。このツールには、ケーシングのようなパイプを外側から掴む機構に加え、掴んだパイプとの接続部をシールする機構が備わっている。リエントリー後、既存のセメントプラグを切削して除去する作業では、セメントプラグ下部に

籠ったガスが坑内に浸入する可能性があり、作業の安全を確保するためには、坑内の圧力を制御しながらこのガスを排出する必要があるため、タイバック部のシール性は必須のものとなる。

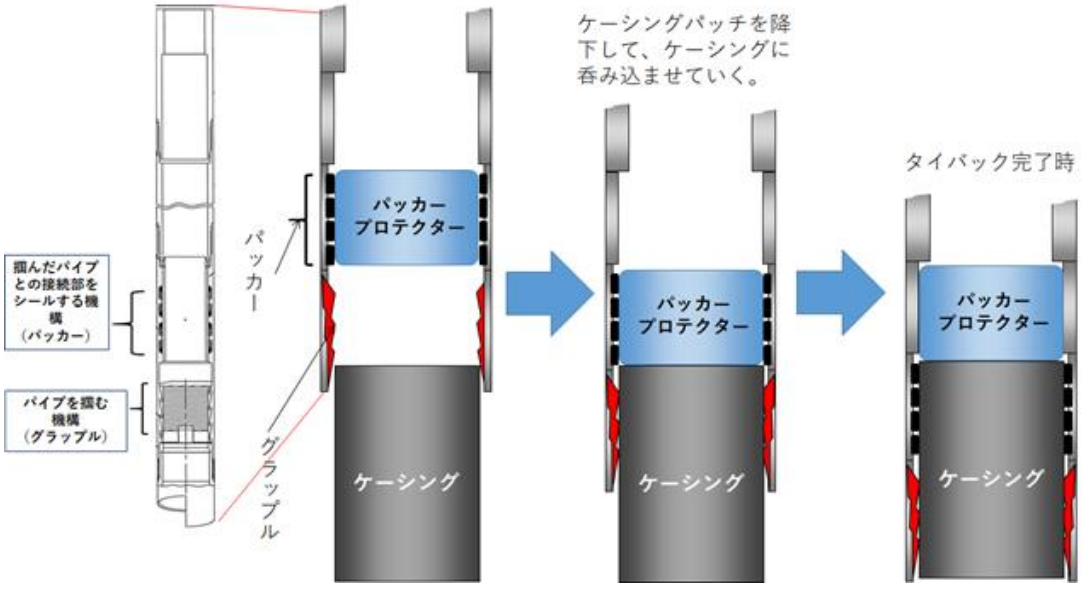


図 4.9-3　ケーシングパッチを用いたタイバックのイメージ

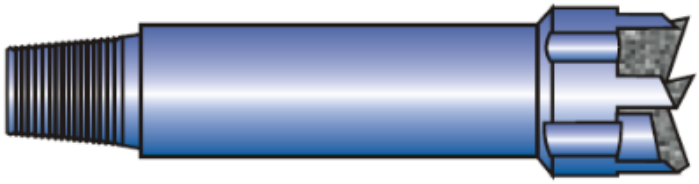
ケーシングパッチはその上部にケーシングを繋ぎながら降下する。タイバック後にケーシング内を加圧しシール機構の健全性を確認する。シールの健全性が確認できたら、掘削リグ上でケーシングを切断し、坑口装置および BOP を取り付ける。このケーシングのタイバックから BOP 設置までの一連の作業を 13-3/8”および 5-1/2”ケーシングに対して実施後にリエントリーを開始する。

③　是正の手法

既存の 5-1/2”ケーシング内のセメントおよびリテーナーを切削して除去し、5-1/2”ケーシングアニュラスのセメント再評価後、遮蔽層部にセメントプラグを設置する。

a.　セメントおよびセメントリテーナーの切削

セメントの切削にはミルツースビットを使用する。セメントリテーナーは図 4.9-4 に示すジャンクミルを使用して切削する。



注 1）図の右側が底面
注 2）図提供シュルンベルジェ社

図 4.9-4　ジャンクミル

b.　5-1/2”ケーシングアニュラスのセメント再評価

5-1/2”ケーシングアニュラスのセメントの評価には、Ultrasonic Imager Tool（以下、「USIT」と称する。）を用いる。セメント評価ログのツールとして Cement Bond Log（以下、「CBL」と称する。）および Variable Density Log（以下、「VDL」と称する。）もあり、これはセメントとケーシング間およびセメントと地層間のボンディング状況を測定・評価するものであるが、USIT は CBL や VDL とは異なり超音波を用いた方法でセメント評価を行うツールで、360 度方向の評価が可能であり、またボンドインデックスというセメントボンディングの定量評価、ケーシングアニュラスの固体・液体・ガスの存在評価が可能なものとなっている。本廃坑井では掘削作業時に CBL および VDL の測定が実施されているが、CBL では産出テスト区間より上部の遮蔽層部に設置されている 5-1/2”ケーシングアニュラスのセメントについて、おおむね良好なボンディングがみられる。VDL については保存されているデータが鮮明でなく評価はできない。本実現可能性調査において検討した手順では、5-1/2 ケーシングアニュラスを経由した CO_2 漏洩リスクを極力軽減することを目的に、USIT および VDL を用いてケーシングアニュラスのセメントを再評価することとした。

c.　セメントプラグの設置

圧入された CO_2 が本廃坑井の上部へ漏洩しないように、遮蔽層部にバリアとして機能する良好なセメントプラグを設置する。セメントプラグの設置場所や区間等に関しては、石油業界において坑井健全性に関する世界的な規格として知られているノルウェーの NORSOK D-010 を参照した。セメントプラグのコラム長は 100 m 以上とし、CO_2 に対して耐性のあるセメントスラリーを使用する。その設置手法はドリルストリングを用いたセメント置換法とし、石油業界における最善慣行の適用を想定した。セメントプラグの

確認は、セメントプラグ硬化後にドリルストリングを降下してその頭部位置を確認することによりなされるが、可能であれば、加圧もしくは負圧テストにてセメントプラグの確認を行うことを検討する。さらに、本実現可能性調査では、貯留層部の 5-1/2”ケーシング内にもセメントプラグを設置することとし、5-1/2”ケーシングの状況が許せば、セメントプラグ設置前に、貯留層部の既存ガンパー孔へのセメントのスクイズを実施することとした。

(2) 作業手順

掘削リグ動員後の坑口部からのリエントリーおよび是正の手法に関する作業手順を以下のようなものとした。

1) 掘削リグ（ジャッキアップ型リグ）動員、掘削リグ設置
2) 13-3/8”ケーシング上端修正および外面洗浄
3) 13-3/8”ケーシングにタイバック
4) 坑口装置および BOP 取付
5) 5-1/2”ケーシング上端修正および外面洗浄
6) 5-1/2”ケーシングにタイバック
7) セメントおよびセメントリテーナー切削除去
8) 貯留層ガンパー孔へのセメントスクイズ（5-1/2”ケーシングの状況がよい場合）
9) 5-1/2”ケーシングアニュラスのセメント再評価
10) 貯留層および遮蔽層部へのセメントプラグの設置
11) 遮蔽層部以浅の廃坑措置
12) 掘削リグ復員

(3) 想定されるリスクとその回避または緩和策

坑口部からのリエントリーおよび是正の手法に対して、以下に示すように、作業手順に基づき想定されるリスクとその回避または緩和策に関する検討を行った結果、同手法が実現可能と判断した。

① タイバックの不可

13-3/8” ケーシング上端の状態が悪く修正もできず、ケーシングパッチによるタイバックができないと BOP の設置ができず安全に作業を進めることができなくなる。この場合は、13-3/8” ケーシング内の 5-1/2” ケーシングを、2nd ステージのセメントトップである 250 m まで切削して除去する。その後、新たに 9-5/8” ケーシングを 250 m に設置し、この上部に

BOP を設置する。

②　ケーシングの腐食

泥水は坑内に長期間放置されると劣化する。泥水に含まれる調泥剤の有機物成分が腐敗したり生分解されたりすることにより調泥剤の持つ本来の機能が失われるためである。さらに、この過程において CO_2 が発生し泥水が酸性になる。このような状態になった泥水は、ケーシング等の鋼管の腐食を促進する材料となりうる。

本廃坑井の掘削時には「海水リグネート泥水」と称される海水ベースの泥水が使用されていた。この泥水は、良好な性状を保つために、アルカリ度が高く維持され、その調整のため苛性ソーダおよびライム（消石灰）が添加されていた。ライムが添加された泥水は、特に不溶解状態のライムが多いほど、長期間坑内に残存した場合においても、アルカリ度が高く維持されていることが期待できる。さらに、廃坑時のセメントプラグ設置時のセメントの泥水への混入により、不溶解状態のライムが多くなっている可能性がある。これらのことから、廃坑から 40 年以上が経過してはいるものの、本廃坑井に放置された泥水のアルカリ度が高く維持されていれば、ケーシングの腐食は進んでいないことが期待できる。しかしながら、実際にリエントリーするまでケーシングの状態を確認する術がない。腐食により 5-1/2”ケーシングが劣化していた場合、是正作業のための機器が降下できなくなり、この対策として長区間の 5-1/2”ケーシングを切削して除去することを余儀なくされる可能性があり、そのためのミルを準備しておく必要がある。

③　ケーシング切削中の意図しないサイドトラック

5-1/2”ケーシングの切削では、坑壁を削り新たに枝坑を掘ってしまうこと（以下、「サイドトラック」と称する。）が意図せずに起こってしまう可能性がある。この対策として、図 4.9-5 に示すパイロットミルを用いる。切削対象のケーシングの内部に入ってガイドの役割を果たすミルが先端に付いたもので、ミルの回転軸をケーシングの中心軸と一致させながら効率的にケーシングを切削できるのみでなく、坑壁を削りサイドトラックする可能性も低くするようになっている。パイロットミル１式あたりの切削可能長はケーシングのグレードや状態により差があるが数 100 m 程度であるため、長区間のケーシングを切削して除去するには、相当数を準備する必要がある。

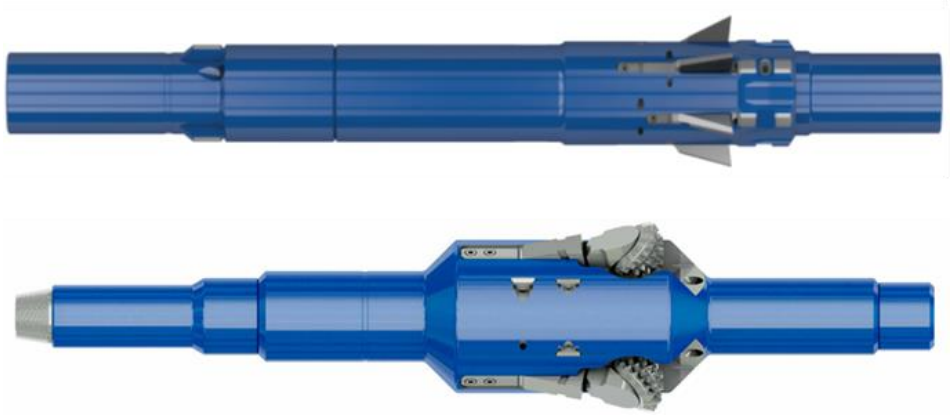
注 1）右側が先端
注 2）図提供シュルンベルジェ社

図 4.9-5　パイロットミル

ケーシングが破断していたり、周辺部にセメントがなく坑径が拡大していたりした場合は、先端のミルがケーシングの内側に入らず、意図せずにサイドトラックしてしまう可能性がある。サイドトラックしてしまった場合は、インターセクション坑井の掘削技術を適用して元坑に再度リエントリーさせることが必要となる。

④　5-1/2”ケーシングアニュラスのセメント不良

5-1/2”ケーシングアニュラスのセメント再評価の結果、遮蔽層部のセメントが不良と判断された場合は、アニュラスのセメントをケーシングとともに切削して除去し、その後セメントプラグを設置する。セメントとケーシングの切削には、図 4.9-6 に示すセクションミルとアンダーリーマーを使用する。これらは、泥水をポンプすることにより生じるドリルストリング内の圧力を利用してカッターの開閉を行う機構となっており、区間を選択してケーシングの内径より大きな径の切削を行うことができる。



注 1）右側が坑内への降下方向となる。
注 2）図提供シュルンベルジェ社

図 4.9-6　セクションミル（上）およびアンダーリーマー（下）

セクションミルおよびアンダーリーマーによるケーシングおよびアニュラスのセメントの切削のイメージを図 4.9-7 に示す。セクションミルのみではカッターが地層まで届かず、ケーシングアニュラスのセメントをすべて切削できない可能性が高いため、アンダーリーマーも使用することとした。

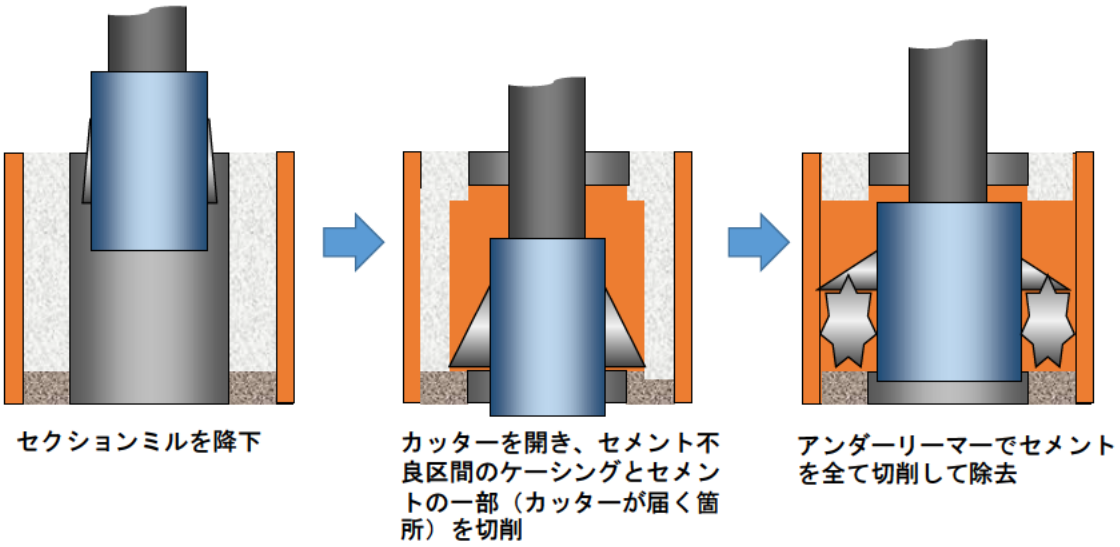


図 4.9-7　ケーシングとセメントの切削イメージ

4.9.3　インターセクション坑井を介するリエントリーおよび是正の手法

(1)　重要な技術

インターセクション坑井を介するリエントリーおよび是正の手法に関わる重要な技術は次のようなものとなる。

①　インターセクション坑井の掘削

本廃坑井へのリエントリー深度におけるインターセクション坑井の坑井傾斜を 3 度程度とした。この坑井傾斜で本廃坑井に交差させ、かつその上部の坑跡をスムーズなものとするべく、インターセクション坑井の坑口位置は本廃坑井の坑口部位置から 10～20 m 程度離した位置に設定した。交差に失敗するとインターセクション坑井の先端部をセメントで埋め立てて掘削し直す必要がある。これを数回試行する余地を確保するため、700 m 付近を交差深度に設定した。

インターセクション坑井の坑跡案を表 4.9-1 に、坑跡のイメージを図 4.9-8 に示す。

表 4.9-1　インターセクション坑井の坑跡案

	掘削深度 （m）	坑井傾斜 （度）	方位 （度）	垂直深度 （m）	増角率 （度/30m）
1	0	0	0	0	0
2	450	0	0	450	0
3	600	3	90	600	0.6
4	716	3	90	715	0

注）本廃坑井の真西 10 m に坑口を設置した場合

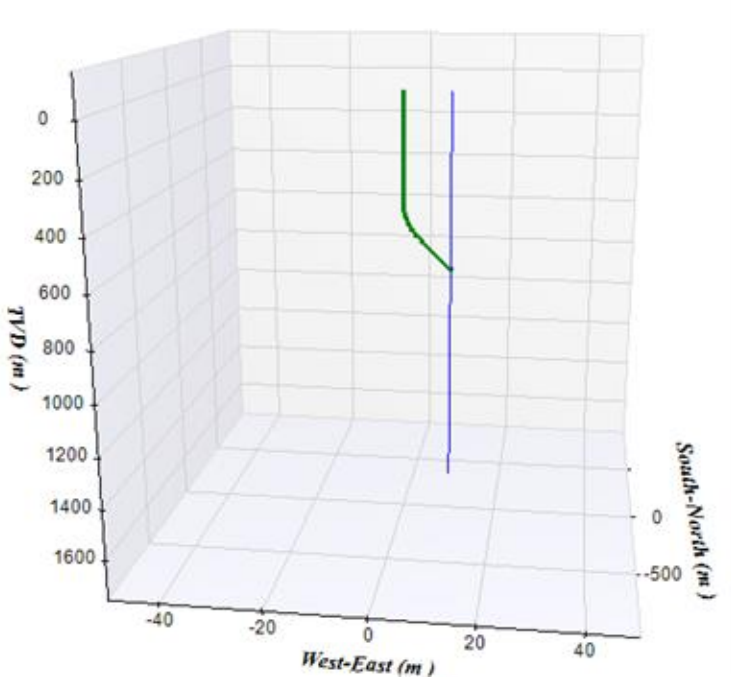


図 4.9-8　坑跡のイメージ（緑：インターセクション坑井、青：本廃坑井）

インターセクション坑井を本廃坑井に交差させるためには、本廃坑井の位置をかなりの精度で特定する必要がある。インターセクション坑井で傾斜掘りを行う際は、坑井の傾斜・方位を測定するために Measurement While Drilling（以下、「MWD」と称する。）ツールを用いるが、この作業ではインターセクション坑井における傾斜・方位測定誤差を最小化すべく、ジャイロセンサーを有した MWD を用いることとしている。また、本廃坑井にある程度接近した深度より、レンジングツールを使用する。レンジングツールは、ケーシングの磁極をセンサーで計測して解析することにより、ケーシングとの距離および方向を把握するものである。本実現可能性調査における検討では、ドリルストリング中をワイヤーラインで降下するタイプのレンジングツールを用い、このツールを適宜降下して測定を行うことで徐々に本廃坑井に接近し、最終的に交差させる方法とした。ケーシングの位置特定のイ

メージを、図 4.9-9 に示す。図中赤点がインターセクション坑井の位置、青円がターゲット井、緑円ないし扇形がターゲット井の誤差を含む存在範囲を示している。測定を重ねることで、誤差範囲を小さくしていき、ターゲット坑井位置を特定する。

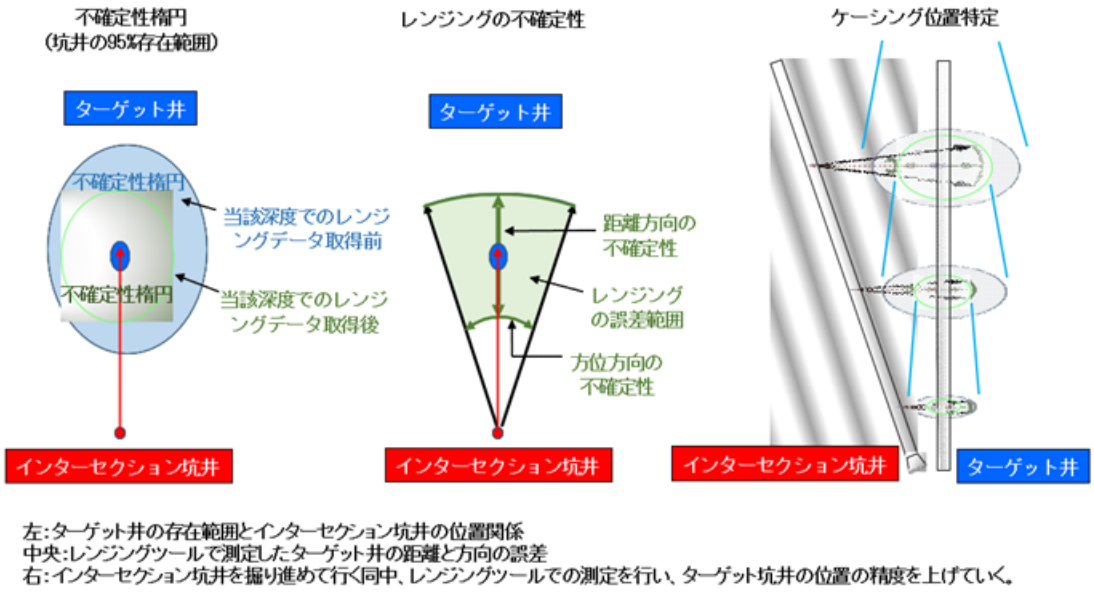


図 4.9-9　レンジングツールによるケーシング位置特定のイメージ

②　ケーシングウィンドウカット作業

本廃坑井の 5-1/2”ケーシングに交差することに成功したら、外側からケーシングにウィンドウをカットする作業となる。後の是正作業のため坑内へ降下する機器の出し入れに支障が出ないように、ケーシングの中心軸と合致した綺麗なウィンドウをカットする必要がある。この点に関しては、最初にケーシング径よりも大きな径のミルを用いてウィンドウをカットすることが有利となる。最大径 8-1/2”の窪んだ底面形状を有するミルを用いて 5-1/2”ケーシングにウィンドウをカットし、必要に応じて、これより小径のミルでウィンドウを修正することとした。ウィンドウカットのイメージを図 4.9-10 に示す。

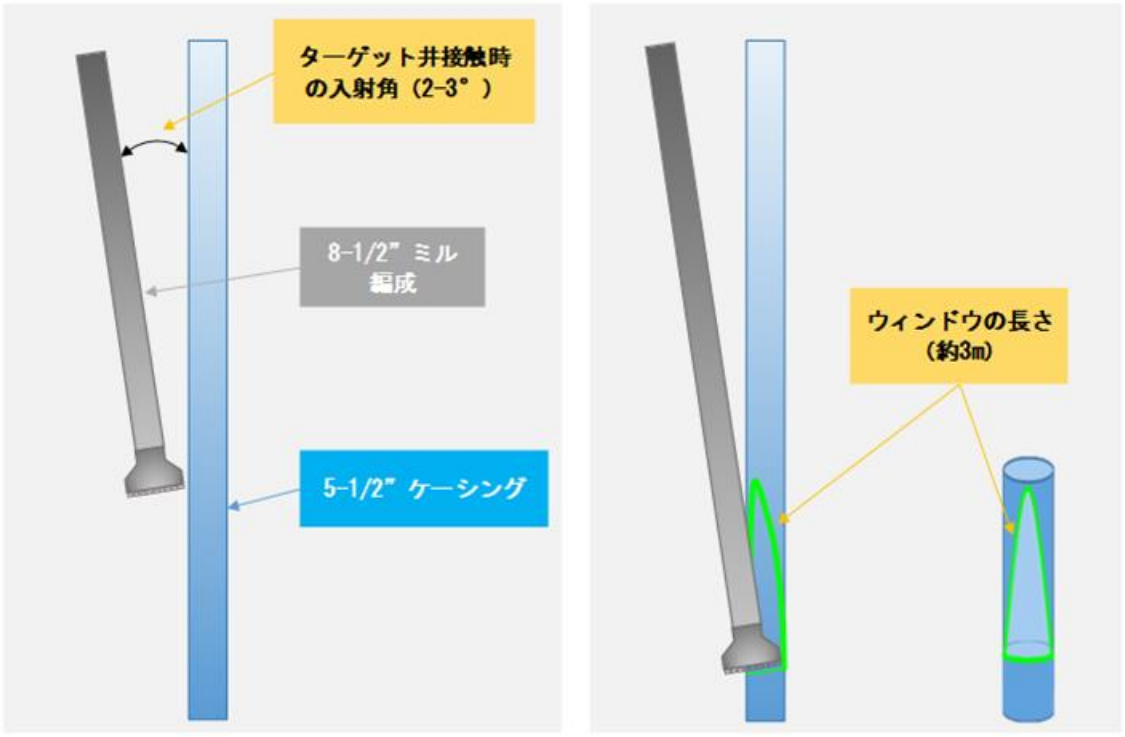


図 4.9-10　ウィンドウカットのイメージ

③　是正の手法

4.9.2(1)③と同様であるが、インターセクション坑井を介して坑内を加圧することは困難であるため、貯留層部の既存ガンパー孔へのセメントのスクイズは実施しないこととした。

(2)　作業手順

インターセクション坑井を介するリエントリーおよび是正の手法に関する作業手順を以下のようなものとした。

1) インターセクション坑井位置確認
2) 掘削リグ（ジャッキアップ型リグ）動員、掘削リグ設置
3) 36”坑掘削、30”コンダクター設置
4) 17-1/2”坑掘進、13-3/8”ケーシング設置
5) 坑口装置および BOP 取付
6) 8-1/2”坑傾斜掘り to 700 m
7) 本廃坑井の 5-1/2”ケーシングに外側よりウィンドウをカットしてリエントリー
8) セメントおよびセメントリテーナー切削除去
9) 5-1/2”ケーシングアニュラスのセメント再評価

10）貯留層および遮蔽層部へのセメントプラグの設置

11）インターセクション坑井の廃坑措置

12）掘削リグ復員

(3)　想定されるリスクとその回避または緩和策

インターセクション坑井を介するリエントリーおよび是正の手法に対して、以下に示すように、作業手順に基づき想定されるリスクとその回避または緩和策に関する検討を行った結果、同手法が実現可能と判断した。

①　ウィンドウカット深度周辺の軟弱地層

ウィンドウカット深度付近の地層が軟弱である場合は、ミルが対象とするケーシングから弾かれ地層側に向かう傾向となるため、ウィンドウをカットできなくなる可能性がある。この回避策として、8-1/2”坑を 12-1/4”坑に拡掘し、9-5/8”ケーシングを本廃坑井に交差する直前に設置することがあげられる。ケーシングを設置しその内部にミル編成を降下することにより、対象とするケーシングに弾かれにくくする対策を講じることが可能となる。

②　ウィンドウカット後のリエントリー失敗

本廃坑井のウィンドウカット深度に設定した区間は、周辺地域で崩壊が生じている地層である。是正作業のため坑内へ降下する機器は、5-1/2”ケーシング内を降下させるため小径であり、ウィンドウ周辺で崩壊により坑径拡大が生じていた場合は、ウィンドウに向かわずケーシングの外に出てしまう可能性がある。このような状態になった場合は、坑内へ降下する機器の編成の工夫やウィンドウ周辺にセメントを設置して固める等の対策を施しリエントリーを試行する。

③　ウィンドウの形状不良

ウィンドウの形状によっては、ケーシングスクレーパー等、是正のための機器がウィンドウに引っ掛かり降下できなくなる可能性がある。この場合は、ウィンドウ矯正のためのミルを用いて、坑内機器が問題なく通過可能となるまで矯正を実施する。

④　本廃坑井の位置を精度良く特定できない

本廃坑井では比較的小径の 5-1/2”ケーシングを使用していること、また、ウィンドウカット後の是正作業への考慮から、非常に高い精度で本廃坑井の位置を特定する技術力が求められる。そのため、技量があり経験豊富なエンジニアを招致すること、また使用資機材の品質保証／品質管理が適切に行われていることを事前に確認することがきわめて重要である。

4.9.4　手法の比較

坑口部からのリエントリーおよび是正の手法、インターセクション坑井を介するリエントリーおよび是正の手法に関し、比較検討を目的とした作業日数および費用の概算をそれぞれ行った。以下のような観点から本廃坑井では坑口部からのリエントリーおよび是正の手法がより現実的と考え、同手法に対して、詳細な検討を行うこととした。

1) インターセクション坑井を介するリエントリーおよび是正の手法は、既存ケーシングの状態に左右されないという長所があるものの、是正作業のための坑内機器の降下に支障をきたさないウィンドウをカットすることの難易度が非常に高く、試行錯誤が予想されるという短所がある。
2) 作業日数・費用に関しては、坑口部からのリエントリーおよび是正の手法が有利であり、最短日数・最小費用が期待できる。

4.9.5　坑口部からのリエントリーおよび是正の手法に関する詳細検討

坑口部からのリエントリーおよび是正の手法に関し、詳細な作業手順を検討し費用の概算を行った。

(1)　作業手順

4.9.2 (2)の作業手順を基に想定されるリスク事象とその対応策を考慮し、図 4.9-11 に示す作業フロー図を作成した。

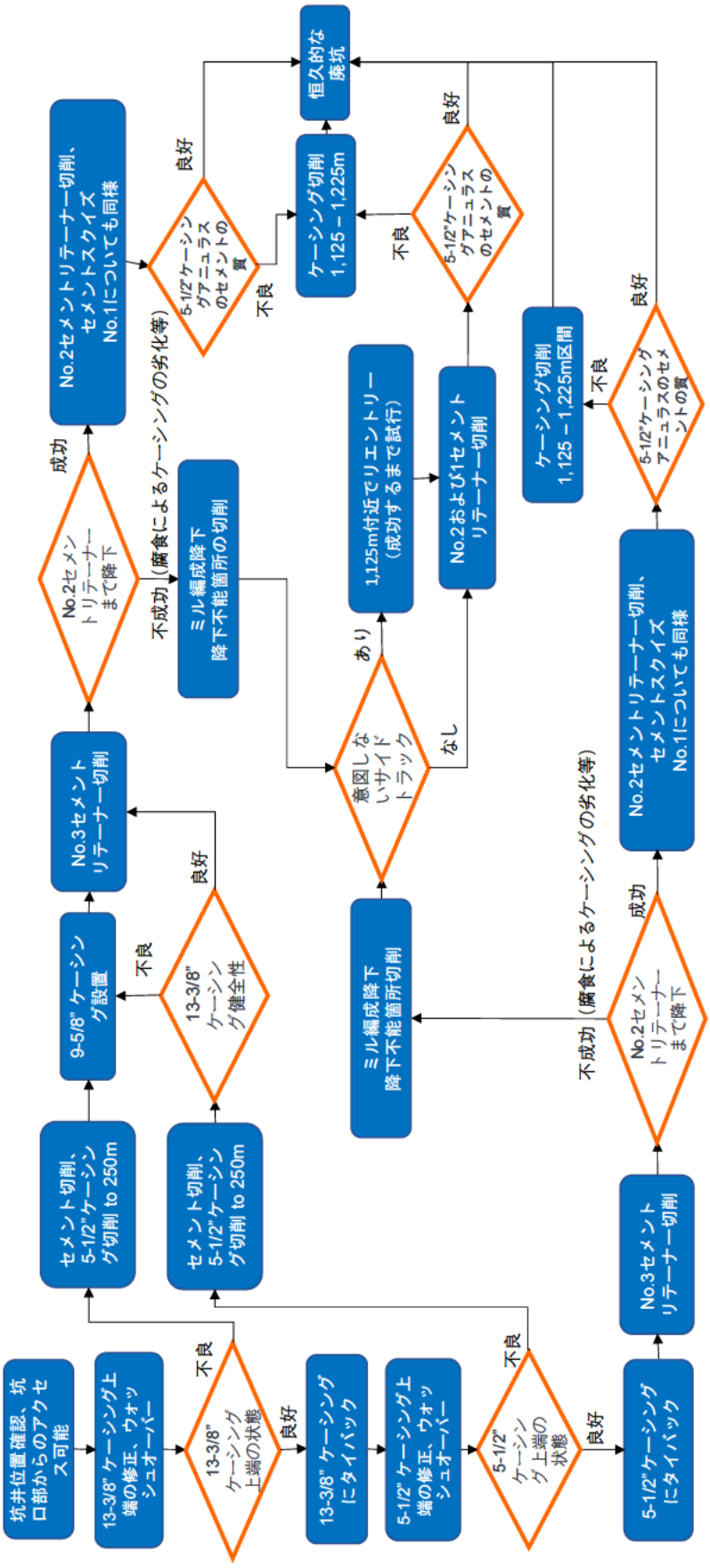


図 4.9-11　作業フロー図

この作業フロー図より、リスク事象への対応を網羅して検討できるように、作業手順として以下の四つのケースを抽出した。各ケースで実施する作業を表 4.9-2 に示す。

ケース 1：すべてが順調に進むベースケース

ケース 2：ベースケースで進んでいたが、再評価の結果 5-1/2”ケーシングアニュラスのセメントが不良と判断され、遮蔽層部の 5-1/2”ケーシングを切削して除去しセメントプラグを設置するケース

ケース 3：13-3/8”ケーシングにタイバックできず、9-5/8”ケーシングを設置、その後は順調に進むケース

ケース 4：複数のリスク事象の組合せ（タイバック不可、ケーシング切削中の意図しないサイドトラック、5-1/2”ケーシングアニュラスのセメント不良）に対応したもっとも費用が掛かるケース

表 4.9-2　ケース 1～4 で実施する作業（表中の○）

	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
掘削準備	○	○	○	○
13-3/8"ケーシング上端修正	○	○	○	○
13-3/8"ケーシングへのタイバック、坑口装置設置	○	○		○
セメント切削（5-1/2"ケーシング上端@75mまで）	○	○	○	○
5-1/2"ケーシング上端修正	○	○		○
5-1/2"ケーシングへのタイバック、坑口装置設置	○	○		
セメントおよびNo.3セメントリテーナー切削	○	○	○	○
セメントおよびセメントリテーナー（No.2およびNo.1)切削	○	○	○	○
ガンパー孔へのセメントスクイズ（5-1/2″ケーシングの状況が良い場合）	○	○	○	
5-1/2"ケーシングアニュラスのセメント再評価	○	○	○	○
セメントプラグの設置（貯留層区間：1,600-1,350m、1,350-1,100m）	○	○	○	○
セメントプラグの確認	○	○	○	
セメントプラグの設置（650-450m）	○	○		
セメントプラグの設置（75-14m）	○	○		
坑口装置取り外し、5-1/2"ケーシングパッチ回収	○	○		
坑口装置取り外し、13-3/8"ケーシングパッチ回収	○	○		○
5-1/2"ケーシング切削（75-250m）			○	
5-1/2"ケーシング切削（75-250m）、13-3/8"ケーシング加圧テスト				○
9-5/8"ケーシング設置～セメント切削			○	○
セクションミルによる切削およびセメントプラグ設置（遮蔽層区間）		○		○
セメントプラグの設置（250-100m）			○	○
セメントプラグの設置（100-14m）			○	○
9-5/8"ケーシング切断			○	○
5-1/2"ケーシング切削（250-600m）				○
意図しないサイドトラックと再リエントリー				○
パイプ類倒管	○	○	○	○

(2)　作業日数および費用

詳細に検討を行うため、各作業における単位時間や個数あたりの進捗率を表 4.9-3 に示すように設定した。これらには業界の標準的な時間や数値を採用したが、ケーシング切削およびインターセクション坑井掘削についてはサービスカンパニーからの情報を基にした。

表 4.9-3　各作業おける単位時間や個数あたりの進捗率

No.	作業	単位	量
1	掘削リグ設置	時間	24
2	掘削リグ復員準備	時間	24
3	BOP設置および加圧テスト	時間	12
4	ケーシング設置、坑口装置設置および加圧テスト	時間	12
5	編成組み立て	時間	4
6	揚降管速度	m/時間	400
7	ケーシング降下速度	m/時間	100
8	5-1/2”パイロットミルの切削速度	m/時間	2
9	5-1/2“パイロットミルの切削長	m/ミル	100
10	5-1/2“セクションミルの切削速度	m/時間	2
11	5-1/2“セクションミルの切削長	m/ミル	100
12	セメントプラグ切削速度	m/時間	10
13	セメント硬化待機	時間	5
14	意図しないサイドトラック後のインターセクション坑井掘削速度	時間/1ラン	36

作業日数の概算に関しては、順調な進捗の場合（P10）、平均的な進捗の場合（P50）、順調に進捗しない場合（P90）として、それぞれ標準的な時間に対し 20%、80%、140%のコンティンジェンシーを見込むこととした。このようなコンティンジェンシーは、不確定要素が多い作業日数の見積に一般的とされている。なお、これらのコンティンジェンシーには荒天待機分を含めず、荒天待機として 7 日を別途見込んだ。

費用の概算に関しては、掘削リグに対して85,000米国ドル／日の日割料率を適用し、動員起点はシンガポールとした。また、海外からの調達品やサービスの料金については、為替レートを1米国ドル＝110円とした。

ケース 1 の作業日数の概算内容を表 4.9-4 に、費用の概算内訳を表 4.9-5 に示す。さらに、四つのケースの作業日数・費用の概算結果を表 4.9-6 に示す。

表 4.9-4　ケース 1 の作業日数の概算内容

掘削準備	2.9
13-3/8"ケーシング上端修正	1.6
13-3/8"ケーシングへのタイバック、坑口装置設置	3.1
セメント切削（5-1/2"ケーシングトップ@75mまで）	0.9
5-1/2"ケーシング上端修正	1.6
5-1/2"ケーシングへのタイバック、坑口装置設置	3.1
セメントおよびNo.3セメントリテーナー切削	3.8
セメントおよびセメントリテーナー(No.2およびNo.1)切削	1.8
ガンパー孔へのセメントスクイズ（5-1/2"ケーシングの状況が良い場合）	2.0
5-1/2"ケーシングアニュラスのセメント再評価	2.2
プラグバックセメンチング（貯留層区間：1,600-1,350m、1,350-1,100m）	1.4
セメントプラグの確認	1.4
セメントプラグ設置（650-450m）	0.9
セメントプラグ設置（75-14m）	0.7
坑口装置取り外し、5-1/2"ケーシングパッチ回収	0.7
坑口装置取り外し、13-3/8"ケーシングパッチ回収	0.4
パイプ類倒管	2.3
合計	31

注 1）P50 の日数
注 2）荒天待機として別途 7 日を見込む。

表 4.9-5　ケース１の費用概算内訳

1$=　110　円

区分	大項目	小項目	金額(百万円)
人件費		人件費	14
		小　計	14
掘削経費	掘削直接経費	掘削リグ	761
		掘削直接経費　計	761
	掘削間接経費	旅費交通費	5
		保険料	22
		漁業補償料	58
		港湾、事務所、倉庫関連	36
		輸送費	10
		印刷、通信、手続き他	6
		技術サービス料金	856
		(料金内訳)　泥水技術サービス	(14)
		泥水検層サービス	(23)
		ワイヤーラインサービス	(9)
		コンサルタントサービス	(27)
		レンジングサービス	(0)
		ケーシング降下サービス	(6)
		スワーフサービス	(0)
		セメンチングサービス	(22)
		坑口装置セッティングサービス	(5)
		水中カメラサービス	(4)
		リグインスペクションサービス	(6)
		ケーシングパッチ、採揚、廃坑サービス	(106)
		各種坑内機器レンタルサービス	(7)
		サイトサーベイサービス	(33)
		浚渫及び潜水サービス	(44)
		気象海象情報サービス	(1)
		リグポジショニングサービス	(6)
		サプライボート運航サービス	(259)
		ヘリコプター運航サービス	(90)
		カッティングス・坑廃水処理サービス	(17)
		環境関係・その他分析サービス	(30)
		荒天待機	(150)
		掘削間接費　計	992
		小　計	1,753
資材費	資材費	燃料及び油脂	203
		調泥剤・セメント添加剤	32
		ビット・スタビライザー	5
		セメンチング機器	6
		坑口装置	11
		パイプ(ケーシング)	11
		水	0.1
		小　計	267
直接費	a	(人件費＋掘削経費＋資材費)　　計	2,034
	b	コンティンジェンシー　5%	78
	c	管理費　／(a+b-漁業補償料)x 10%　計	205
	d	合　計　(a ＋ b ＋ c)	2,318

注 1) P50 の作業日数を用いて算出
注 2) 荒天待機、漁業補償料、資機材は、5%のコンティンジェンシーの対象外とする。
注 3) 消費税は含まない。

表 4.9-6　ケース 1～4 の作業日数および費用の概算結果

	日数（日）			費用（億円）		
	P10	P50	P90	P10	P50	P90
ケース1	27	38	48	21	23	26
ケース2	32	45	57	22	25	28
ケース3	29	41	52	21	24	27
ケース4	67	97	127	33	42	50

※荒天待機7日を含む

図 4.9-11 で示した作業フロー図を基に、想定される他のケースも含めた作業日数および費用の概算を確率論的な手法を用いて検討した。図 4.9-12 に示すように、作業フロー図の各分岐点において分岐の条件となる事象が発生する確率を定性的に設定し、全ケースの発生確率を算出した。

全ケースの発生確率を考慮して、その結果を以下のように取りまとめた。

1) すべてが順調に進むケース（ケース 1)、P50 を適用

作業日数：38 日、費用：23 億円

2) 作業フロー図の全ケースの各発生確率を考慮した期待値、P50 を適用

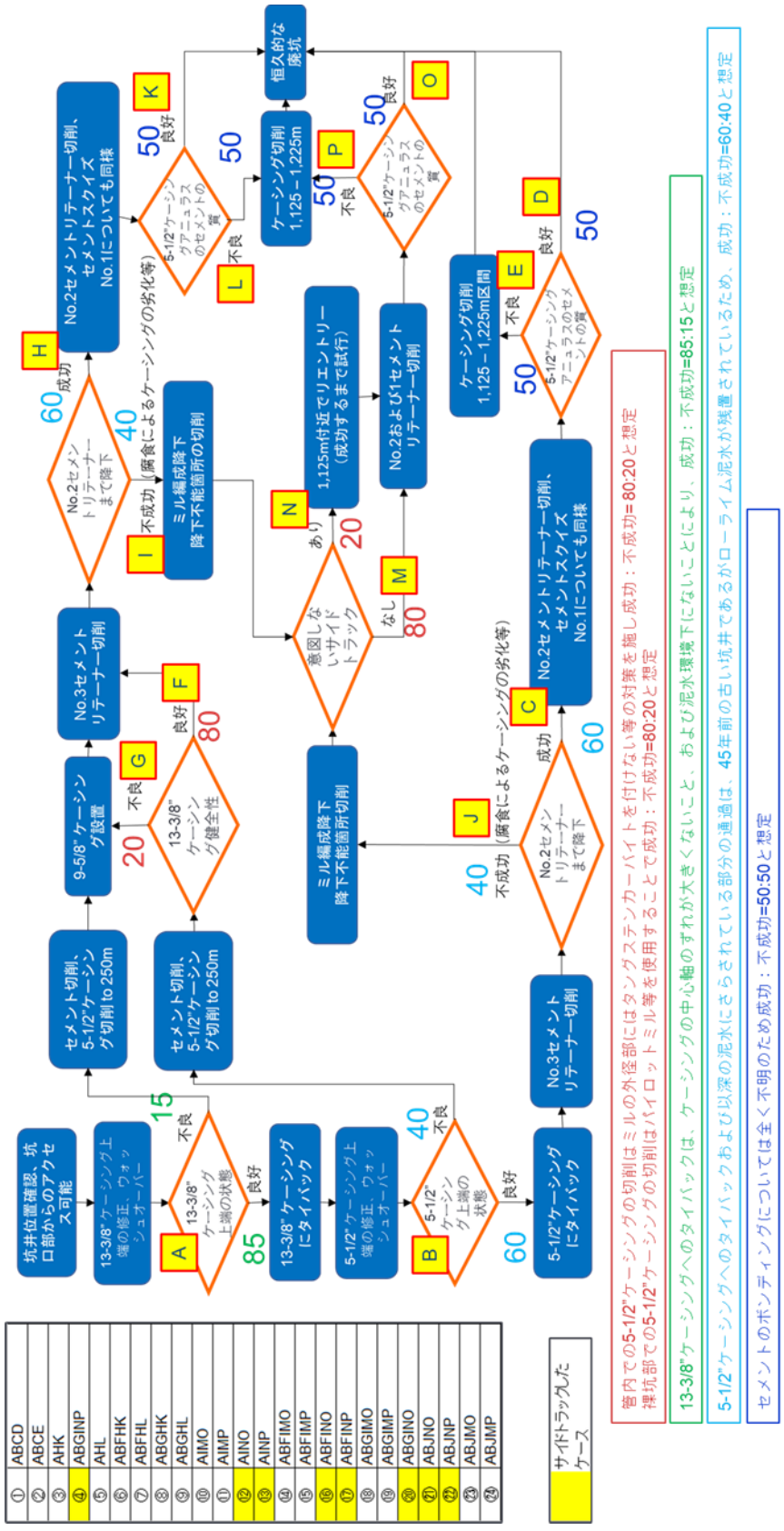
作業日数：45 日、費用：26 億円

3) 費用の増加が顕著となる、意図せずにサイドトラックしてしまったケースのみの発生確率を考慮した期待値、P50 を適用

作業日数：87 日、費用：38 億円

4) 複数のリスク事象の組合せを考慮した最大値（ケース 4)、P90 を適用

作業日数：127 日、費用：50 億円



注）発生確率設定理由も記載、理由と確率は同色となっている

図 4.9-12　各分岐点に発生確率を設定した作業フロー図

第５章

2022 年度以降の調査候補地点の選定
および調査計画（案）の作成

第５章　2022 年度以降の調査候補地点の選定および調査計画（案）の作成

貯留適地調査事業は、当初、2020 年度末までに 1 億 t 以上の CO_2 を貯留可能な複数の大規模貯留適地を選定することを目的として 2014 年度に開始された。当社は、これまで貯留適地調査事業を毎年度受託し、貯留適地調査を実施してきた。調査の進行により貯留適地候補地点として有望と判断した地点において調査井を掘削したうえで貯留適地としての総合評価を行うことを予定していたが、調査井の掘削が見送られ、5.3 節で述べるように調査井掘削前の段階での貯留適地評価により複数地点の有望な貯留適地候補地点を 2021 年度末までに選定することとなった。調査井掘削による貯留適地の総合評価については、貯留適地調査事業に継続して 2022 年度以降に実施されると想定される事業（以下、「第二段階の貯留適地調査事業」と称する。）で実施されるものとして 2022 年度の貯留適地調査を計画した。

本業務では、令和２年度委託事業に係る有識者委員会において 2021 年度調査対象として確認された地点に対して貯留適地としての評価を行うとともに、2021 年度末までに複数地点の有望な貯留適地候補地点を選定することを目的として、以下の業務を実施した。

1）調査候補地点の見直し（5.1 節）

令和２年度委託事業までの調査候補区域地点の見直しを実施した。

2）調査候補地点の選定（総合評価）（5.2 節）

本業務および令和２年度委託事業で実施した各調査地点の調査結果を用いて、調査候補地点の選定（総合評価）を再検討し、評価を見直した。

3）2022 年度以降の調査計画（案）の作成（5.3 節）

上記評価に基づき、令和２年度委託事業で作成した 2021 年度以降の調査計画（案）を見直し、2022 年度の調査計画（案）を作成した。

本業務に係る有識者委員会において 2022 年度調査対象として確認された地点に対し、2022 年度新規 3D 探査計画案の策定および地元調整準備を実施した。

5.1　貯留適地調査の経緯と調査候補地点の見直し

令和２年度委託事業報告書で述べたとおり、調査地点の見直しと整理を実施した結果、2020 年度末時点の調査候補地点数は、表 5.1-3 に示す 25 区域 41 地点となった。本業務においてもこの見直し方針を踏襲し、新たな調査候補地点は追加していない。

表 5.1-3　2021 年度末の調査候補地点

海域番号	海域名	区域番号	区域名	地点番号	地点名	地点の範囲
1	石狩ー礼文沖海域	1	石狩-礼文沖	1-1	石狩-礼文沖	石狩－礼文沖海域の石狩湾を除いた範囲
		2	石狩湾	1-2	石狩湾	石狩－礼文沖海域の石狩湾内
2	オホーツク海域	3	オホーツク海	2-1	北見大和堆	オホーツク海域の北見大和亜堆
				2-2	紋別沖	オホーツク海域の紋別沖堆積盆地
3	北海道南部ー久慈沖海域	4	内浦湾　海域	3-1	内浦湾	北海道南部－久慈沖海域の内浦湾内
			日高沖	3-2	日高沖	北海道南部－久慈沖海域の日高沖地点
			渡島半島東方沖	3-3	渡島半島東方沖	北海道南部－久慈沖海域の渡島半島東方沖の堆積盆地
4	十勝ー釧路沖海域		十勝－釧路沖	4-1	十勝沖	十勝－釧路沖海域の十勝沖堆積盆地
5	渡島半島ー津軽沖海域	5	渡島半島ー津軽沖	5-1	西津軽沖	渡島半島－津軽沖海域の西津軽沖堆積盆地
6	秋田ー庄内沖海域	6	能代沖	6-1	能代沖	秋田－庄内沖海域の能代沖堆積盆地
		7	秋田沖	6-2	秋田沖	秋田－庄内沖海域の由利沖北部構造とその周辺海域
				6-3	本荘沖	秋田ー庄内沖海域の本荘沖構造とその周辺
		8	酒田沖	6-4	酒田沖	秋田－庄内沖海域の酒田沖堆積盆地
7	新潟ー富山沖海域	9	新潟-富山沖	7-1	新潟沖	新潟－富山沖海域の新潟沖堆積盆地
				7-2	佐渡西方沖	新潟－富山沖海域の佐渡西方－能登東方堆積盆地
				7-3	新潟北西沖	新潟－富山沖海域の新潟北西沖の堆積盆地
				7-4	佐渡南方沖	新潟－富山沖海域の佐渡南方の堆積盆地
8	北陸ー隠岐沖海域	10	北陸-隠岐沖	8-1	金沢沖	北陸－隠岐沖海域の金沢沖構造とその周辺
				8-2	京都－福井沖	北陸－隠岐沖海域の京都－福井沖の堆積盆地
				8-3	鳥取沖	北陸－隠岐沖海域の鳥取沖構造とその周辺、隠岐トラフ
9	山陰－九州北部海域	11	山陰沖	9-1	山口沖	山陰－北部九州海域の山口沖
				9-2	対馬西沖	山陰－北部九州海域の長崎県対馬の西方沖
				9-3	萩沖	山陰－北部九州海域の山口県萩沖
				9-4	浜田沖	山陰－北部九州海域の島根県浜田沖
				9-5	隠岐西沖	山陰－北部九州海域の隠岐の島西方
				9-6	隠岐北沖	山陰－北部九州海域の隠岐の島北方
		12	北部九州小倉海域	9-7	小倉沖	山陰－北部九州海域の福岡県小倉沖
		13	北部九州松浦海域	9-8	松浦沖	山陰－北部九州海域の福岡県松浦沖
10	釜石ー金華山沖海域					釜石－金華山沖海域の堆積盆地
11	常磐ー鹿島沖海域	21	常磐－鹿島沖	11-1	鹿島沖周辺福島沿岸	常磐－鹿島沖海域の福島沿岸域
				11-2	鹿島沖周辺北部	常磐－鹿島沖海域の磐城沖ガス田周辺
				11-3	鹿島沖周辺中部	常磐－鹿島沖海域の福島県いわき沖
				11-4	鹿島沖周辺南部	常磐－鹿島沖海域の茨城県北茨城沖
				11-5	茨城沖北部	常磐－鹿島沖海域の茨城県日立沖
12	房総沖海域					房総沖海域の堆積盆地
13	東海ー四国沖海域	20	御前崎沖	13-1	御前崎沖	東海－四国沖海域の御前崎沖
14	宮崎沖海域	19	宮崎沖	14-1	宮崎沖	宮崎沖海域の宮崎沖
		15	別府湾	14-2	別府湾	宮崎沖海域の別府湾内
15	天草ー五島沖海域	14	天草沖	15-1	天草沖	天草－五島沖海域の天草沖
		18	天草-五島沖	15-2	甑島西方	天草沖－五島沖海域の甑島西方の堆積盆地
		22	枕崎沖	15-3	枕崎沖	天草－五島沖海域の南端部枕崎沖の堆積盆地
16	沖縄ー南西諸島沖海域	16	沖縄-南西諸島	16-1	沖縄-南西諸島	沖縄から南西諸島に掛けての堆積盆地
		17	宮古島沖	16-2	宮古島沖	沖縄から宮古島に掛けての堆積盆地

2013年度1次スクリーニング時の17区域23地点である。
2014年度から2021年度末までに追加した8区域18地点、合計25区域41地点となる。
2021年度末までに、区域・地点が設定されていない。

5.2　調査候補地点の選定（総合評価）

本業務における各調査地点の評価および総合評価では、令和２年度委託事業報告書[1)]をベースとし、第３章および第４章に述べた各調査地点の調査結果にくわえて、5.1 節で述べた 41 地点について地質解析・貯留可能量評価の実施可能性を再検討し、総合評価を見直した。

5.2.1　調査地点の評価方法（技術要素）

調査地点の評価方法としては、平成２５年度経済産業省委託事業報告書[2)]で示された評価手法に則り、二酸化炭素貯留適地の条件となる各調査地点の個々の技術要素に対して、表 5.2-1 の基準に従って評価点数を与えた。データがなく、評価できなかった項目については NA とし、中間点数 0.5 を与えた。

次に、各技術要素の点数をすべて掛け合わせ、技術評点（図 5.2-1 の B）を算出した。さらに、この技術評点に各地点の貯留可能量（図 5.2-1 の A）を掛け合わせ、リスク付き貯留可能量（図 5.2-1 の C）を求めた。このリスク付き貯留可能量によって、調査地点の技術評価順位付け（図 5.2-1 の技術評価ランキング R）を行なった。

表 5.2-1　技術要素と評価点数基準

			技術要素							
			貯留層			貯留可能量	遮蔽層		地質構造	
			深　度 (m)	層　厚 (m)	性状(孔隙率) (%)	(百万 ton)	規模(層厚) (m)	遮蔽能力 (環境・岩相)	構造安定度 (断層など)	地層傾斜 (deg)
技術評点	◎	1	800-2,000m	>=500	>=25	>=5,000	>=100	深海性・泥岩	断層なし	<=10
	○	0.6	800-3,000m	>=200	>=20	>=1,000	>=50	半深海性・泥質岩	断層あるが極浅部まで達していない	<=20
	△	0.3	>=2,000m	>=50	>=15	>=200	>=20	陸棚以浅・泥質岩	断層多いが極浅部まで達していない	<=30
	△−	0.1			>=5	>=100			広域地質構造の安定度が低い	
	×	0	>=3,000m	<50	<5	<100	<20	砂質シルト岩	対象区域内に活断層あり	>30
	NA	0.5	(評価できず)			(評価できず)	(評価できず)		(評価できず)	

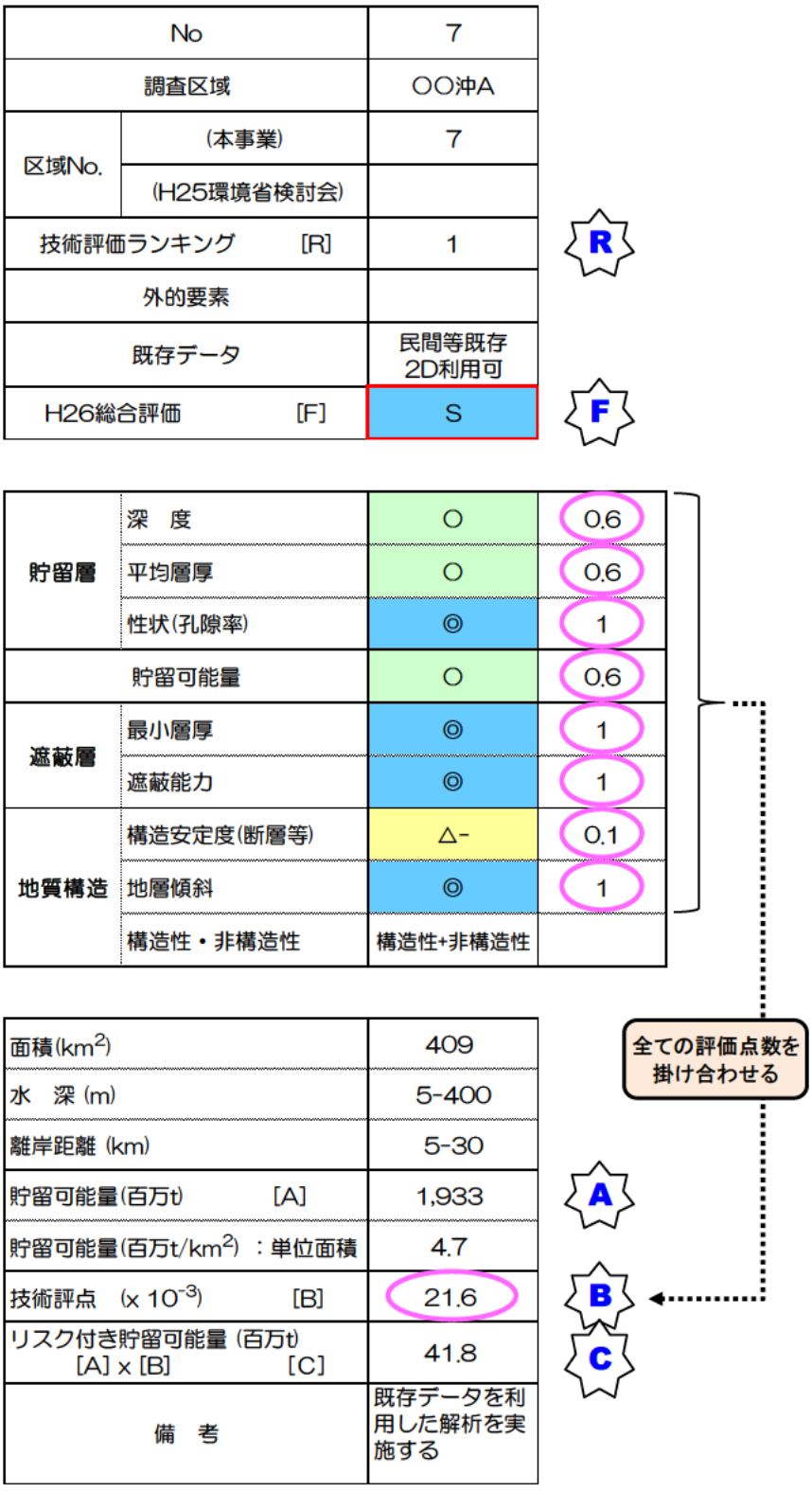


図 5.2-1 技術評点の算出方法の例

5.2.2　調査地点の評価方法（外的要素と総合評価）

調査地点には、地点ごとに考慮すべき地域・環境等の特殊性（外的要素）が存在する。本業務での総合評価では、5.2.1 項の技術評価にくわえて、地点ごとに考慮すべき地域・環境等の特殊性（外的要素）および既存探査データの借用とこれを活用した地質解析が実施可能か否かをも検討したうえで、次の調査ステップへ進むか否かを判断した。以下に、2021 年度末の総合評価を示す。

表 5.2-2 に本業務での総合評価基準を示す。令和２年度委託事業の総合評価基準と同様、S、A、B、C、NA の 5 段階の基準にくわえて、S の上位に AD（Advanced）、AD の上位に SA（Super Advanced）を加えた 7 段階の総合評価基準を用いて、各調査地点を総合的に評価した。

表 5.2-2　本業務での総合評価基準

令和３年度 貯留適地調査のための総合評価基準	
SA	掘削調査結果やその他の最新知見を反映させ、地質の不均質などを反映させたより正確な地質・物性モデルを用いたCO_2挙動予測シミュレーション結果など多角的な視点から地質の再評価を基に、安全かつ安定的な貯留が可能と予測できる地点
AD	2D/3D探査データや既存坑井等を基にした地質構造解析や地質評価、地質・物性モデル構築および調査井掘削前CO_2挙動予測シミュレーションの結果から、圧入影響範囲とその周辺の地質構造等と照らし合わせ、安定的な貯留が可能と予測（期待）できる地点で、かつ、外的要因も含めて掘削調査に進む事が可能と見込まれる地点
S [2D] S [3D]	民間等の比較的豊富な既存2D/3D 探査データを利用した地質解析が実施できる地点
A [2D] A [3D]	技術的評価が高く、2D/3D探査に進める地点
	民間等の既存2Dデータを利用した地質解析が見込めるが、必要に応じて探査を実施する地点
B [2D] B [3D]	A以外の技術的評価が高い地点
	解決すべき特定の課題があり、調査保留となっている地点
C	技術的評価が低い地点
NA	データが不足し技術評価が実施できない地点

(1)　総合評価 SA の調査地点

2021 年度末時点で調査井は掘削されておらず、地層の不均質性を反映させたより正確な

地質･物性モデルを用いた CO_2 挙動予測シミュレーション等が行われていない。そのため、SA と評価した地点はない。

(2)　総合評価 AD の調査地点

2020 年度末に AD と評価した地点のうち、茨城沖北部を S に格下げし、それ以外の能代沖、秋田沖、本荘沖および宮崎沖の 4 地点は AD 評価を継続した。

1) 能代沖

2020 年度および 2021 年度には、本調査地点に関する調査を実施していない。2019 年度末時点で、調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーションにより 1 億 t 以上の CO_2 の安定的貯留を確認し、陸上から掘削する調査井の基本設計を終了しており、総合評価を AD で継続した。

2) 秋田沖

本業務において、本調査地点の北部の地質解析・貯留可能量評価を実施し、あわせて本調査地点から隣接する本荘沖地点までの貯留可能量を総括した。この結果に基づいて本調査地点における調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーションを実施し、1 億 t 以上の CO_2 の安定的貯留をあたためて確認したことから、総合評価を AD で継続した。

3) 本荘沖

本業務では、2)の通り、隣接する秋田沖地点の貯留可能量評価とあわせて、本地点まで含めた貯留可能量を総括した。2019 年度までに調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーションによる 1 億 t 以上の CO_2 安定的貯留の確認、および海上から掘削する調査井の基本設計を終了している。また、令和２年度委託事業の 2021 年度繰越業務において、本地点の南部についても調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーションによる 1 億 t 以上の CO_2 の安定的貯留を確認しており、総合評価を AD で継続した。

4) 宮崎沖

2021 年度には、本調査地点に関する調査を実施していない。平成３１年度委託事業の 2020 年度繰越業務にて調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーションを実施し、1 億 t 以上の CO_2 の安定的貯留を確認しており、総合評価を AD で継続した。

(3)　総合評価 S の調査地点

S と評価した地点は合計 9 地点である。

令和２年度委託事業で 2020 年度末に S と評価した 7 地点については、いずれも評価を S

で継続し、総合評価をSから下げた地点はない。2021年度末に新たに総合評価をSとした地点は、ADから格下げした茨城沖北部およびAから格上げした酒田沖の2地点である。

1) 日高沖

令和２年度委託事業において、地質解析・貯留可能量評価を実施し、26億t以上の貯留可能量が見込まれた。これを踏まえて、本業務において調査井掘削前CO_2挙動予測シミュレーションを実施したところ、1億t以上のCO_2の安定的貯留を確認するには不確実性が残る結果となったことから、総合評価をSで継続した。

2) 酒田沖

平成２５年度経済産業省委託事業報告書[2)]によると貯留可能域の大半が陸域に位置するため、従来は総合評価をCとしていた。調査候補地点の見直しの一環で、沖合にも堆積盆の存在が示唆されたことから、令和２年度委託事業において既存2D探査データの再処理を実施するとともに、新規2D探査の実施を計画し、同報告書において総合評価をAとした。これを踏まえて本業務において新規2D探査を実施し、これらの既存および新規2D探査データに基づき地質解析・貯留可能量評価を実施したところ、4億tの貯留可能量が見込まれる結果となり、総合評価をSに上げた。

3) 新潟沖

2021年度には、本調査地点に関する調査を実施していない。新潟県から富山県の沖合までを含めた広域を調査対象として想定していた新潟－富山沖海域の内、平成３０年度委託事業の2019年度繰越業務で新潟沖と呼称した範囲において、既存3D探査データの再処理データを用いた地質解析・貯留可能量評価を実施し、13億t以上の貯留可能量が見込まれたことから、総合評価をSで継続した。

4) 佐渡西方沖

令和２年度委託事業において、地質解析・貯留可能量評価を実施し、11億t以上の貯留可能量が見込まれた。これを踏まえて、同業務の2021年度繰越業務において調査井掘削前CO_2挙動予測シミュレーションを実施したところ、1億t以上のCO_2の安定的貯留を確認するには不確実性が残る結果となったことから、総合評価をSで継続した。

5) 新潟北西沖

新潟県から富山県の沖合までを含めた広域を調査対象として想定していた新潟－富山沖海域の内、新潟沖と呼称した地点の北西側に隣接する地点である。基礎物理探査「新潟沖3D」[3)]の探査データおよび基礎試錐「佐渡沖」[4)]等の坑井デー

タを活用して地質解析・貯留可能量評価を実施できる見込みとなったことから、令和２年度委託事業報告書において総合評価をSとした。本業務において、上記のデータに基づき地質解析・貯留可能量評価を実施した結果、現時点では単体で1億t以上の貯留可能域は抽出されなかったが、今後の弾性波探査記録の改善の余地があることから総合評価をSで継続した。

6) 佐渡南方沖

新潟県から富山県の沖合までを含めた広域を調査対象として想定していた新潟－富山沖海域の内、令和２年度業務および本業務でそれぞれ地質解析・貯留可能量評価を実施した佐渡西方沖と新潟北西沖の間に位置する地点である。上記の新潟北西沖と同様に、基礎物理探査「新潟沖3D」[3)]および「佐渡海盆3D」[5)]の探査データならびに基礎試錐「佐渡沖」[4)]および「柏崎沖」[6)]の坑井データを活用して地質解析・貯留可能量評価を実施できる見込みとなったことから、令和２年度委託事業報告書において総合評価をSとした。本業務において、上記のデータに基づき地質解析・貯留可能量評価を実施した結果、2.5億tの貯留可能量が見込まれる結果となり、総合評価をSで継続した。

7) 京都－福井沖

平成３１年度委託事業の2020年度繰越業務および令和２年度委託事業にて既存2D探査データの再処理および新規2D探査データ取得を実施したことにより、豊富な2D探査データを利用した地質解析が見込めることから、令和２年度委託事業報告書において総合評価をSとした。本業務において、上記のデータに基づき地質解析・貯留可能量評価を実施した結果、14億t以上の貯留可能量が見込まれる結果となり、総合評価をSで継続した。

8) 鳥取沖

2021年度には、本調査地点に関する調査を実施していない。2020年度に実施した2D/3D探査データを活用した統合地質解析・貯留可能量評価の結果、鳥取沖全体でおよそ16億tの貯留可能量が見込まれたが、調査井掘削前CO_2挙動予測シミュレーションの実施には至っていないことから、総合評価をSで継続した。なお､本地点に隣接し一部重複する京都－福井沖地点を2021年度に評価した結果、本地点で抽出されていた貯留可能域の一部を除外するのが妥当と判断し、貯留可能量を15億tに修正した。

9) 茨城沖北部

平成３１年度委託事業にて物性解析を実施した結果を踏まえて、令和２年度委託

事業（2021 年度に一部繰越）にて地質解析・貯留可能量評価を実施した結果、貯留可能量が 29 億 t 以上に増加することが見込まれた。また、既に平成３１年度委託事業の 2020 年度繰越業務にて調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーションを実施し、1 億 t 以上の CO_2 を安定的に貯留できることを確認している。しかしながら、地震活動がまだ比較的活発であることから調査井掘削に向けた優先度を下げることとし、総合評価を S に格下げした。

(4) 総合評価 A の調査地点

A と評価した地点は、2020 年度末時点の 5 地点から S 評価に格上げされた酒田沖を除いた、石狩－礼文沖、紋別沖、隠岐西沖および隠岐北沖の 4 地点である。

1) 石狩－礼文沖

2019 年度に文献調査を行った結果、基礎物理探査「天北西方 3D」[7)]、基礎物理探査「利尻・礼文トラフ 2D/3D」[8)] の 3D 探査データおよび 2D 探査データを活用して評価を実施できる見込みとなったものの、現時点では評価を実施する計画が未定のため、総合評価を A で継続した。

2) 紋別沖

2019 年度における調査候補地点の見直しで、基礎物理探査「オホーツク枝幸沖 3D」[9)、10)] と民間坑井データを活用して地質解析・貯留可能量評価を実施できる見込みとなったものの、現時点では評価を実施する計画が未定のため、総合評価を A で継続した。

3) 隠岐西沖

平成２６年度委託事業から山陰沖 11f（中央）として地元調整を継続している地点である。総合評価を A で継続した。

4) 隠岐北沖

平成２６年度委託事業から山陰沖 11a を含めて山陰沖 11f（北部）として地元調整を継続している地点である。総合評価を A で継続した。

(5) その他の調査地点

その他の調査地点の総合評価は 2020 年度末と同様とした。

5.2.3 総合評価結果（2021 年度末）

各調査地点の従来の総合評価を更新したものを表 5.2-3 に、総合評価状況（主要地点および評価を変えた地点）を表 5.2-4 にまとめた。

総合評価結果は、2021 年度末時点のものである。今後、2022 年度以降に実施が想定されている第二段階の貯留適地調査事業において、新たな地質データや解析結果が加わること、地元自治体等のヒアリング結果から考慮すべき要素が判明すること等、貯留適地調査の進展にともない各調査地点の総合評価を適宜更新することが望まれる。

表 5.2-3(1)　調査地点の総合評価結果（2021 年度末）（その 1）

海域番号		1			2		3			4	5			6						7						
海域名		石狩ー礼文沖			オホーツク		北海道南部ー久慈沖			十勝ー釧路沖	渡島半島ー津軽沖			秋田ー庄内沖						新潟ー富山沖						
区域名（参考）		石狩ー礼文沖	石狩湾		オホーツク海		内浦湾海域	日高沖		渡島半島東方沖	十勝ー釧路沖	渡島半島ー津軽沖		能代沖	秋田沖			酒田沖		新潟ー富山沖						
地点番号		1-1	1-2		2-1	2-2	3-1	3-2		3-3	4-1	5		6-1	6-2		6-3		6-4	7-1				7-2	7-3	7-4
地点名		石狩ー礼文沖	石狩湾		北見大和堆	紋別沖	内浦湾	日高沖		渡島半島東方沖	十勝沖	西津軽沖		能代沖	秋田沖		本荘沖		酒田沖	新潟沖				佐渡西方沖	新潟北西沖	佐渡南方沖
個別貯留可能域			石狩湾北西部	石狩湾南東部				貯留可能域1	貯留可能域2-6			西津軽 Unit C南部	西津軽 Unit D南部	西津軽 Unit E南部		秋田沖桂根相	秋田沖笹岡層	本荘沖笹岡層	本荘沖桂根相		西方	西部ブロック 阿賀沖	中部ブロック	東部ブロック(沿岸域)			
2013年度末総合評価		B [2D]	A [2D]	A [2D]	B [2D]		NA			NA	NA	B [2D]	B [2D]	B [2D]	C	B [2D]	B [2D]	B [2D]	B [2D]	C	B [2D]	B [2D]	B [2D]	B [2D]			
2014年度末総合評価		B [2D]	A [2D]	A [2D]	B [2D]		NA			NA	NA	A [2D]	A [2D]	A [2D]	S [2D]	S [2D]	S [2D]	S [2D]	S [2D]	C	B [2D]	B [2D]	B [2D]	B [2D]			
2015年度末総合評価		B [2D]	B [2D]	B [2D]	B [2D]		NA			NA	NA	S [2D]	S [2D]	S [2D]	A [3D]	S [3D]	S [3D]	S [3D]	S [3D]	C	B [2D]	B [2D]	B [2D]	B [2D]			
2016年度末総合評価		B [2D]	B [2D]	B [2D]	B [2D]		NA			NA	NA	S [2D]	S [2D]	S [2D]	A [3D]	S [3D]	S [3D]	S [3D]	S [3D]	C	B [2D]	B [2D]	B [2D]	B [2D]			
2017年度末総合評価		B [2D]	B [2D]	B [2D]	B [2D]		NA			NA	NA	B [3D]	B [3D]	B [3D]	AD	S [3D]	S [3D]	S [3D]	S [3D]	C	B [2D]	S [3D]	S [3D]	S [3D]			
2018年度末総合評価		B [2D]	B [2D]	B [2D]	B [2D]		NA			NA	NA	B [3D]	B [3D]	B [3D]	AD	S [3D]	S [3D]	AD	AD	C	B [2D]	S [3D]	S [3D]				
2019年度末総合評価		S [3D]	B [2D]	B [2D]	B [2D]	S [3D]	NA	S [3D]	S [3D]	NA	NA	B [3D]	B [3D]	B [3D]	AD	AD	AD	AD	AD	C	B [2D]	S [3D]	S [3D]		S [3D]		
2020年度末総合評価		A [3D]	B [2D]	B [2D]	B [2D]	A [3D]	NA	S [3D]	S [3D]	NA	NA	B [3D]	B [3D]	B [3D]	AD	AD	AD	AD	AD	A [2D]	B [2D]	S [3D]	S [3D]		S [3D]	S [3D]	S [3D]
2021年度末総合評価		A [3D]	B [2D]	B [2D]	B [2D]	A [3D]	NA	S [3D]	S [3D]	NA	NA	B [3D]	B [3D]	B [3D]	AD	AD	AD	AD	AD	S [2D]		S [3D]	S [3D]		S [3D]	S [3D]	S [3D]
貯留層	深　度	○	○	○	○	令和2年度から評価開始予定（保留）		△	○			◎	◎	△	◎	○	○	◎	○	◎	△	○	○	△	◎	◎	○
	平均層厚	△	◎	◎	○			◎	◎			○	△	◎	○	◎	◎	◎	○	○	NA	◎	◎	◎	◎	○	○
	性状(孔隙率)	△	◎	◎	○			○	○			○	◎	△-	◎	○	◎	◎	○	◎	○	◎	◎	○	△	◎	◎
貯留可能量		△	△-	△	△			○	△			△	×	×	△-	△-	○	○	△	△	△	△	△		△	×	△
遮蔽層	最小層厚	○	△	△	○			◎	◎			◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	◎	◎		◎	◎	◎
	遮蔽能力	○	○	○	◎			◎	◎			◎	◎	◎	○	○	○	○	○	○	○	◎	△		○	◎	◎
地質構造	構造安定度(断層等)	△	○	○	△			○	○			○	○	○	○	△	◎	○	○	△-	○	△	○	NA	○	○	◎
	地層傾斜	○	△	△	○			◎	◎			◎	◎	◎	○	○	○	○	○	◎	○	◎	◎	○	△	◎	◎
	構造性・非構造性	非構造性	非構造性	非構造性	非構造性			非構造性	非構造性			非構造性	非構造性	非構造性	構造性+非構造性	非構造性	非構造性	非構造性	非構造性	非構造性	非構造性	非構造性	非構造性	非構造性	非構造性	非構造性	非構造性
面積(km^2)		541	8	22	596			331	297			75	35	53	42	57	123	287	13	39	398	40	30		225	30	91
水　深 (m)		100-130	0-100	0-100	150-200			1000-1100	1100-1200			1,900	1,900	1,900	10-30	60	60	100	100	0-60	50-100	50-100	50-80		1000-1100	50-250	50-520
離岸距離 (km)		30	20	5	40-70			30-50	50-80			50	50	50	1-5	10	10	15	15	0-5	5	5	5		30-50	10-40	0-20
貯留可能量(百万t)　[A]		647	115	334	950			1,105	1,524			254	31	44	251	100	1,526	3,773	443	388		691	608		1,180	72	251
貯留可能量(百万t/km^2)：単位面積		1.2	14.9	14.9	1.6			3.3	5.1			3.4	0.9	0.8	6.0	1.8	12.4	13.1	34.1	10.0		17.3	20.3		5.2	2.4	2.8
技術評点　(x 10^{-3})　[B]		1.0	1.9	5.8	7.0			64.8	64.8			64.8	0.0	0.0	13.0	3.9	129.6	129.6	0.0	10.8		32.4	32.4		9.7	0.0	108.0
リスク付き貯留可能量(百万t) [A] x [B]　[C]		0.7	0.2	1.9	6.6			71.6	98.8			16.5	0.0	0.0	3.3	0.4	197.8	489.0	0.0	4.2		22.4	19.7		11.5	0.0	27.1
備　考		2013年度末時点の既往文献を利用した総合評価。基礎調査の3D弾性波探査が利用可能。民間坑井の借用が困難であるため、評価実施時期は未定。	2015年度末時点の密な2D探査データを利用した総合評価。	2015年度末時点の密な2D探査データを利用した総合評価。	2013年度末時点の既往文献を利用した総合評価。流氷の影響再検討が必要なため評価を保留。			2020年度末時点の3D探査データを利用した総合評価。	2020年度末時点の3D探査データを利用した総合評価。			2018年度末時点の3D探査データを利用した総合評価。広域地質構造の安定性に懸念があるため評価を保留。	2018年度末時点の3D探査データを利用した総合評価。広域地質構造の安定性に懸念があるため評価を保留。	2018年度末時点の3D探査データを利用した総合評価。広域地質構造の安定性に懸念があるため評価を保留。	2019年度末時点の3D探査データを利用した総合評価。	2021年度末時点の3D探査データを利用した総合評価。	2021年度末時点の3D探査データを利用した総合評価。	2020年度末時点の3D探査データを利用した総合評価。	2020年度末時点の3D探査データを利用した総合評価。	2021年度末時点の密な2D探査データを利用した総合評価。	2013年度末時点の既往文献を利用した総合評価。2021年度に概ね重複するエリアを新潟北西沖として評価したので、この欄には貯留可能量を計上せず。	2018年度末時点の3D探査データを利用した総合評価。	2018年度末時点の3D探査データを利用した総合評価。	2018年度末時点の3D探査データを利用した総合評価。遮蔽層が欠如しているため、貯留可能域を設定不可。	2020年度末時点の3D探査データを利用した総合評価。	2021年度末時点の3D探査データを利用した総合評価。	2021年度末時点の3D探査データを利用した総合評価。

注）黄色に着色した調査地点は 2021 年度末（2022 年 3 月末）時点での有望な CO_2 貯留適地候補地点

表 5.2-3(2)　調査地点の総合評価結果（2021 年度末）（その２）

海域番号		8			9								11						13		14			15			16	
海域名		北陸ー隠岐沖			山陰ー九州北部								常磐ー鹿島沖						東海ー四国沖		宮崎沖			天草ー五島沖			沖縄ー南西諸島	
区域名（参考）		北陸ー隠岐沖			山陰沖						北部九州小倉海域	北部九州松浦海域	常磐ー鹿島沖						御前崎沖		宮崎沖		別府湾	天草沖ー五島沖		枕崎沖	沖縄ー南西諸島	宮古島沖
地点番号		8-1	8-2	8-3	9-1	9-2	9-3	9-4	9-5	9-6	9-7	9-8	11-1	11-2	11-3	11-4	11-5		13-1		14-1		14-2	15-1	15-2	15-3	16-1	16-2
地点名		金沢沖	京都-福井沖	鳥取沖	山口沖	対馬西沖	萩沖	浜田沖	隠岐西沖	隠岐北沖	小倉沖	松浦沖	鹿島沖周辺福島沿岸	鹿島沖周辺北部	鹿島沖周辺中部	鹿島沖周辺南部	茨城沖北部		御前崎沖		宮崎沖		別府湾	天草沖	甑島西方	枕崎沖	沖縄-南西諸島	宮古島沖
個別貯留可能域																	下部	上部	御前崎沖B	御前崎沖A2	宮崎沖北部	宮崎沖南部		（下層）			沖縄-南西諸島	宮古島沖
2013年度末総合評価		A [2D]		A [2D]	S [2D]	S [2D]	S [2D]	B [2D]	S [2D]		NA	NA											C	B [2D]			NA	C
2014年度末総合評価		A [2D]		A [2D]	B [3D]	B [3D]	C	B [2D]	A [2D]	A [2D]	NA	NA	A [2D]	A [2D]	A [2D]	A [2D]			S [2D]	S [2D]	S [3D]	S [3D]	C	A [2D]			NA	C
2015年度末総合評価		B [3D]		S [3D]	B [3D]	B [3D]	C	B [2D]	A [2D]	A [2D]	NA	NA	S [2D]	S [2D]	S [2D]	S [2D]			B [3D]	B [3D]	S [3D]	S [3D]	C	B [2D]	C	C	NA	C
2016年度末総合評価		S [3D]		A [3D]	B [3D]	B [3D]	C	B [2D]	A [2D]	A [2D]	NA	NA	B [2D]	B [2D]	S [2D]	S [2D]			C	C	S [3D]	S [3D]	C	B [2D]	C	C	NA	C
2017年度末総合評価		S [3D]		A [3D]	B [3D]	B [3D]	C	B [2D]	A [2D]	A [2D]	NA	NA	B [2D]	B [2D]	S [2D]	S [2D]			C	C	S [3D]	S [3D]	C	B [2D]	C	C	NA	C
2018年度末総合評価		C	A [2D]	S [3D]	B [3D]	B [3D]	C	B [2D]	A [2D]	A [2D]	NA	NA	B [2D]	B [2D]	B [2D]	S [2D]	S [3D]	S [3D]	C	C	S [3D]	S [3D]	C	B [2D]	C	C	NA	C
2019年度末総合評価		C	A [2D]	S [3D]	B [3D]	B [3D]	C	B [2D]	A [2D]	A [2D]	NA	NA	B [2D]	B [2D]	B [2D]	C	S [3D]	S [3D]	C	C	S [3D]	S [3D]	C	B [2D]	C	C	NA	C
2020年度末総合評価		C	S [2D]	S [3D]	B [3D]	B [3D]	C	B [2D]	A [2D]	A [2D]	NA	NA	B [2D]	B [2D]	B [2D]	C	AD	AD	C	C	AD	AD	C	B [2D]	C	C	NA	C
2021年度末総合評価		C	S [2D]	S [3D]	B [3D]	B [3D]	C	B [2D]	A [2D]	A [2D]	NA	NA	B [2D]	B [2D]	B [2D]	C	S [2D]	S [2D]	C	C	AD	AD	C	B [2D]	C	C	NA	C
貯留層	深　度	○	◎	◎	○	○	○	○	○	○	○		◎	○	○	○	○	◎	○	◎	○	○	○	○	○		○	△
	平均層厚	△	○	◎	○	◎	◎	◎	○	◎	△		△	○	△	△	○	○	△	△	○	◎	NA	○	◎		NA	○
	性状(孔隙率)	△	△	○	◎	◎	△	△-	○	◎	△-		○	○	○	○	△	◎	◎	◎	△	△	NA	○	△		NA	○
	貯留可能量		○	○	△	○	◎	○	◎	◎	NA		○	△	△-	△	○	○	△	△	△	△	△	○	◎		NA	
遮蔽層	最小層厚	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	△	△		◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	△	NA	◎		NA	◎
	遮蔽能力	◎	○	○	△	△	△	○	NA	NA	◎		△	○	△	△	○	△	○	○	○	○	△	△	NA		NA	NA
地質構造	構造安定度 断層等)	×	△	△	△	△	△-	△	△	△-	△		○	○	○	○	△	△	△-	○	○	○	×	△	NA	×	△	×
	地層傾斜	◎	◎	△	◎	◎	◎	○	◎	◎	○		○	◎	○	◎	△	○	○	○	◎	◎	NA	NA	◎	NA	NA	NA
	構造性・非構造性	非構造性	構造性+非構造性	構造性+非構造性	非構造性	非構造性	非構造性	非構造性	非構造性	非構造性	非構造性		非構造性	構造性+非構造性	非構造性	非構造性	非構造性	非構造性	構造性+非構造性	構造性+非構造性	非構造性	非構造性	非構造性	NA	NA	非構造性	NA	非構造性
面積 km^2)			100	95	148	128	167	1,433	496	1,043	NA		600	170	20	120	80	581	195	239	328	77	54	240	338		NA	
水　深 (m)			100-300	291	>180	130-180	100	150	80-200	200-1000	0-10		100-150	150-200	150-200	200-300	120-300	120-500	500-1,000	500-1,000	100-800	200-600	5-50	50-150	835		>200	>200
離岸距離 (km)			20	25	110	5-15	20-40	20	30	80-100	0-5		10-35	40	35	33	25	25	20	30	10-20	20	5-10	5-10	67		NA	30
貯留可能量(百万t)　[A]			1,396	1,446	905	2,022		3,546	8,127	15,344	NA		1,186	924	101		1,377	1,506			960	458		1,046			NA	
貯留可能量(百万t/km^2) ：単位面積			14.0	15.2	6.1	15.8		2.5	16.4	14.7	NA		2.0	5.4	5.1		17.3	2.6			2.9	6.0		4.4			NA	
技術評点　(x 10^{-3})　[B]			19.4	19.4	9.7	32.4		3.9	32.4	9.0	0.5		11.7	23.3	1.2		3.5	19.4			11.7	19.4		2.9			NA	
リスク付き貯留可能量(百万t) [A] x [B]　　[C]			27.1	28.1	8.8	65.5		13.8	263.3	138.1	NA		13.8	21.5	0.1		4.8	29.3			11.2	8.9		3.0			NA	
備　考		2018年度末時点の3D探査データを利用した総合評価。解析範囲に第四紀に活動した断層が多数分布するため、貯留可能域を設定不可。	2021年度末時点の密な2D探査データを利用した総合評価。	2020年度末時点の密な2Dおよび3D探査データを利用した総合評価。2021年度に一部重複する京都ー福井沖の評価結果に基づき、貯留可能量を修正。	2014年度末時点の粗い2D探査データを利用した総合評価。有望区域は中間線に近接する。	2014年度末時点の粗い2D探査データを利用した総合評価。有望区域は中間線に近接する。	2014年度末時点の粗い2D探査データを利用した総合評価。広域地質構造の安定性に懸念があるため貯留可能量は算定せず。	2013年度末時点の既往文献を利用した総合評価。	2014年度末時点の粗い2D探査データを利用した総合評価。	2014年度末時点の粗い2D探査データを利用した総合評価。	2013年度末時点の既往文献を利用した総合評価。		2015年度末時点の粗い2D探査データを利用した総合評価。	2015年度末時点の粗い2D探査データを利用した総合評価。	2015年度末時点の粗い2D探査データを利用した総合評価。	2015年度末時点の粗い2D探査データを利用した総合評価。広域地質構造の安定性に懸念があるため貯留可能量は算定せず。	2020年度末時点の3D探査データおよび物性解析結果を利用した総合評価。	2020年度末時点の3D探査データおよび物性解析結果を利用した総合評価。	2015年度末時点の粗い2D探査データを利用した総合評価。広域地質構造の安定性に懸念があるため貯留可能量は算定せず。	2015年度末時点の粗い2D探査データを利用した総合評価。広域地質構造の安定性に懸念があるため貯留可能量は算定せず。	2019年度末時点の3D探査データおよび追加2D探査データおよび物性解析結果を利用した総合評価。	2019年度末時点の3D探査データおよび追加2D探査データを利用した総合評価。	2013年度末時点の既往文献を利用した総合評価。貯留可能量評価に足るデータに乏しいため算定せず。	2013年度末時点の既往文献を利用した総合評価。	MOE（2014）の調査候補地点案の情報を基に評価。広域地質構造の安定性に懸念があるため貯留可能量は算定せず。	2016年度末時点の密な2D探査データを利用した総合評価。広域地質構造の安定性に懸念があるため評価を保留。	2013年度末時点の既往文献を利用した総合評価。	2013年度末時点の既往文献を利用した総合評価。

注）黄色に着色した調査地点は 2021 年度末（2022 年 3 月末）時点での有望な CO_2 貯留適地候補地点

表 5.2-4　総合評価状況（主要地点および評価を変えた地点）

調査地点名	評価	総合評価状況
石狩ー礼文沖	A	・スケジュール上、2021 年度までに評価を実施できないことから、総合評価を A で継続する。
紋別沖	A	・スケジュール上、2021 年度までに評価を実施できないことから、総合評価を A で継続する。
日高沖	S	・総合評価を S で継続する。
能代沖	AD	・総合評価を AD で継続する。
秋田沖	AD	・総合評価を AD で継続する。
本荘沖	AD	・総合評価を AD で継続する。
酒田沖	S	・既存 2D 探査の再処理データおよび新規取得した 2D 探査データを活用した評価を実施し、総合評価を S に上げた。
新潟沖	S	・総合評価を S で継続する。
佐渡西方沖	S	・総合評価を S で継続する。
新潟北西沖	S	・総合評価を S で継続する。
佐渡南方沖	S	・総合評価を S で継続する。
京都ー福井沖	S	・既存 2D 探査の再処理データおよび新規取得した 2D 探査データを活用して評価を実施し、総合評価を S で継続した。
鳥取沖（北部を含む）	S	・総合評価を S で継続する。
隠岐西沖	A	・地元調整が難航しているため、調査を順延している。 ・総合評価を A で継続する。
隠岐北沖	A	・地元調整が難航しているため、調査を順延している。 ・総合評価を A で継続する。
茨城沖北部	S	・調査井掘削の優先度を下げることから、総合評価を S に格下げする。
宮崎沖	AD	・総合評価を AD で継続する。

【参考文献】

1) 日本 CCS 調査、“令和２年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務報告書”(2021)

2) 日本 CCS 調査、“平成２５年度中小企業等環境問題対策調査等委託費（全国二酸化炭素貯留層基礎調査）成果報告書”（2014）

3) (独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構“平成 30 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「新潟沖 3D」データ取得報告書、データ処理報告書、データ解釈報告書”（2012）

4) 石油公団“昭和 63 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 基礎試錐「佐渡沖」調査報告書”（1988）

5) (独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構“平成 30 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「佐渡海盆 3D」データ取得報告書、データ処理報告書、データ解釈報告書”（2012）

6) 石油公団“昭和 62 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 基礎試錐「柏崎沖」調査報告書”（1987）

7) (独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構“平成 22 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「天北西方 3D」データ取得報告書、データ処理報告書、データ解釈報告書”（2012）

8) (独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構“平成 28 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「利尻・礼文トラフ 2D/3D」データ取得報告書、データ処理報告書、データ解釈報告書”（2018）

9) (独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構“平成 23 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「オホーツク枝幸沖 3D」データ取得報告書”（2013）

10) (独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構“平成 24 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「オホーツク枝幸沖 3D」データ取得報告書、データ処理報告書、データ解釈報告書”（2014）

5.3　2022 年度以降の調査計画（案）の作成

2022 年度以降に実施が想定されている第二段階の貯留適地調査事業について、2021 年度末時点での調査計画（案）を記述する。

5.3.1　基本方針

貯留適地調査事業開始当初の目標では、複数地点において調査井を掘削し、坑井データに基づくシミュレーション等による評価を行ったうえで、貯留適地を選定するものとされていた。しかしながら、予算上の制約により本業務を含む貯留適地調査事業において調査井掘削には至らなかったため、現状ではいずれの候補地点においてもその調査の進捗段階は図 5.3-1 に示した「貯留適地調査の進め方」の青色の破線より上の段階に留まっている。

2022 年度以降に実施が想定されている第二段階の貯留適地調査事業においては、評価が先行する地点について図 5.3-1 の青色の破線より下の段階まで早期に移行するとともに、その他の地点についても評価段階を着実に進めるべく、以下の手順で調査を段階的に進めることを基本方針とする。

1）2D 探査データ取得処理・データ地質解析
2）3D 探査データ取得処理･データ地質解析、調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーション
3）調査井掘削位置選定、基本設計、掘削、試料分析
4）CO_2 挙動予測シミュレーション、貯留適地総合評価
5）貯留適地選定

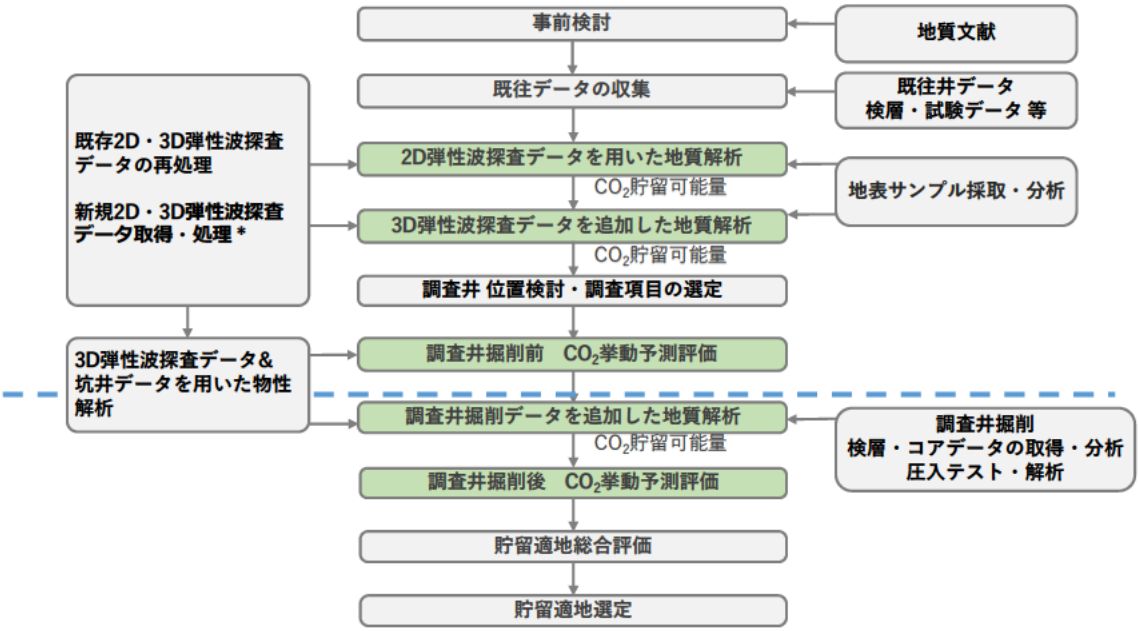


図 5.3-1　貯留適地調査の進め方

1)、2)については、利用可能な既存探査データがあれば、それらを可能な限り活用する。また、有識者委員会での検討と指摘を踏まえ、3D 探査データの地質解析が終了した地点のうち優先度の高い地点に対し調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーションを実施することとする。2022 年度以降も継続的に、調査井掘削前の段階での貯留適地評価により、より多くの有望な貯留適地候補地点を選定する。

3)～5)については、2022 年度以降に想定される第二段階の適地調査事業で実施されるものとし、2021 年度末までに抽出された有望な貯留適地候補地点から調査井を掘削する地点を選定するものと想定する。

5.3.2 貯留適地調査の進め方

表 5.2-4 に記載した 17 地点の総合評価結果に基づき、調査進捗度が高い地点順に調査の進め方について以下の 1)から 11)に記述する。

1) 本荘沖（総合評価 AD）

令和２年度委託事業の 2021 年度繰越業務において、本地点の南部についても調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーションを実施し、高い貯留ポテンシャルを確認した。また、既に調査井の基本設計を実施済みである。今後は、調査井掘削のために地元への周知、漁業関係者への周知等の調整を始め、掘削に向けた準備を検討する。

一方、本地点東部には水深の制約によりこれまで 3D 探査未実施の範囲があり、この範囲の貯留可能量推定の精度向上を目的として、浅海域に対応した仕様の新規 3D 探査の実施を計画する。

2) 能代沖（総合評価 AD）

平成３０年度委託事業までに、調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーションおよび調査井の基本設計を実施済みである。今後は、調査井掘削のために地元への周知等の調整を進め、掘削に向けた準備を検討する。並行して、地質解析の精度向上を目的として、海底地形判読および海底地質情報コンパイルの実施を計画する。また、浅海域から陸上に掛けて実施した 3D 探査は貯留可能量算定域全体をカバーしていないことから、貯留可能量推定の精度をさらに高めるためには、貯留可能域の北部で新たな 3D 探査（OBC）データを取得することも考えられる。

3) 秋田沖（総合評価 AD）

本業務において、本地点北部についての地質解析・貯留可能量評価結果を踏まえ、調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーションを実施した結果、貯留可能量推定の精度を高め、高い貯留ポテンシャルを確認した。今後は、調査井掘削のために地元への周知等の調整を進め、掘削に向けた準備を検討する。また、提案した調査井掘削位置において調査井の基本設計を実施して、準備を進める必要がある。

4) 宮崎沖（総合評価 AD）

平成３１年度委託事業までに、調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーションを実施済みである。今後は、調査井掘削のために地元への周知等の調整を進め、掘削に向けた準備を検討する。また、提案した調査井掘削位置において調査井の基本設計を実施するとともに、必要に応じて追加の調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーションを実施するなどして、準備を進める必要がある。

5) 茨城沖北部（総合評価 S）

基礎物理探査の 3D 探査データを使用した物性解析を実施した結果を踏まえて、令和２年度委託事業（一部、2021 年度に繰越）において地質解析・貯留可能量評価を実施した。その結果、貯留可能量推定の精度を高め、従来評価よりさらに大きな貯留可能量が算定された。この結果を踏まえて、今後の評価の優先度や進め方を検討する必要があり、調査井掘削のためには、提案した調査井掘削位置において調査井の基本設計を実施して、準備を進める必要がある。

6) 日高沖、佐渡西方沖（総合評価 S）

それぞれ、本業務および令和２年度委託事業の 2021 年度繰越業務において調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーションを実施した。この結果を踏まえて、今後の評価の優先度や進め方を検討する必要がある。

7) 新潟沖（総合評価 S）

既存 3D 探査データを用いた地質解析･貯留可能量評価の結果、1 億 t 以上の CO_2 貯留可能量が算定されており、今後の調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーションの実施可否を検討する。本地点の評価には民間企業データの活用が望ましい。

8) 新潟北西沖、佐渡南方沖、鳥取沖（総合評価 S）

いずれも本業務および令和２年度委託事業において、基礎物理探査の 3D 探査データを活用して地質解析・貯留可能量評価を実施した。この評価結果を踏まえて、今後、調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーションの実施可否を検討する。

9) 京都－福井沖、酒田沖（総合評価 S）

それぞれ令和２年度委託事業および本業務において新規に取得した 2D 探査データを用いて、本業務において地質解析･貯留可能量評価を実施した。この評価結果を踏まえて、今後の新規 3D 探査および調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーションの実施可否を検討する。

10) 石狩－礼文沖、紋別沖（総合評価 A）

利用可能な基礎物理探査の 2D/3D 探査データ、基礎試錐の坑井データおよび民間坑井データが存在しているものの、地質解析･貯留可能量評価の実施を保留している。2022 年度以降において調査の優先度を勘案したうえで評価実施可否を検討する。

11) 隠岐西沖、隠岐北沖（総合評価 A）

地元調整が難航しているため 2021 年度までには 2D 探査を実施できなかった。2022 年度以降に実施できるように、最新の情報収集および地元調整を継続する。

並行して、今後の効率的な探査計画に資する目的で、海底地形判読および海底地質情報コンパイルの実施を計画する。

上記 17 地点のほか、総合評価 B の地点のうち、上記の隠岐西沖・隠岐北沖に近接する山口沖、対馬西沖、浜田沖の 3 地点についても、2022 年度以降に 2D 探査を実施できるように地元調整を継続する。平成３１年度委託事業において、貯留適地調査の追加候補地点としてあげた天草－五島沖海域の福江沖（仮称）および茨城沖南部（仮称）は、調査実施保留とした。

5.3.3　2022 年度の調査計画（案）

5.3.1 項で述べたように、2022 年度以降に想定される第二段階の適地調査事業において、2021 年度末までに抽出された有望な貯留適地候補地点を対象に経済性・社会的受容性調査等も加えた総合評価を行ったうえで、2023 年度末までに調査井を掘削する候補地点を選定することを想定する。具体的には、図 5.3-2 に示すようにこれまでの適地調査事業で評価を実施した地点から評価作業が進み地質ポテンシャルが比較的高い地点等を 1 次選定し、次に社会的受容性調査・経済性調査により段階的に地点を絞り込み、3 地点程度の調査井掘削候補地点の選定を計画するが、この選定作業を 2022 年度中に可能な限り進めることを目指す。

また、5.3.2 項で述べたように、貯留適地候補地点をできるだけ増やす観点で、地点ごとの評価の進捗状況に応じて必要な評価作業を引き続き実施するものとする。具体的には、本荘沖地点においてこれまで 3D 探査データが取得されていなかった浅海域のデータを補う目的で、新規に 3D 探査データの取得を計画する。その他、各地点の優先度等を勘案したうえで、海底地形コンパイル作業、地質解析・貯留可能量評価作業、調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーション等を適宜実施する（図 5.3-3）。

なお、本計画（案）は 2021 年度末（2022 年 3 月末）時点の暫定的なものであり、3D 探査の実施は、漁業活動の時期や海象条件の制約にくわえて、地元調整や資機材調達等の影響を受けるため、計画を随時更新することとする。

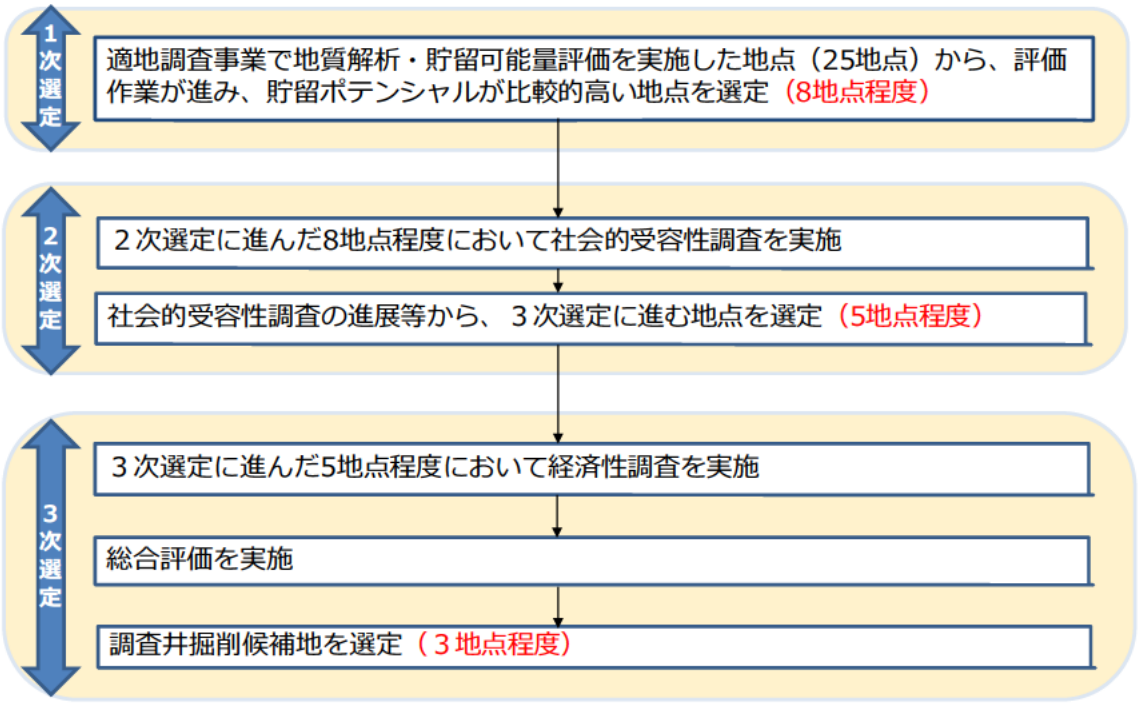


図 5.3-2　調査井掘削候補地選定フロー（JCCS 案）

地点名	番号	評価	(H26年度) 2014年度	(H27年度) 2015年度	(H28年度) 2016年度	(H29年度) 2017年度	(H30年度) 2018年度	(H31年度/R1年度) 2019年度	(R2年度) 2020年度	(R3年度) 2021年度	(R4年度) 2022年度
本荘沖	6-3	AD		既存2Dデータ 処理・解析・評価	3Dデータ 解析・評価	前シム ←追前シム 調査井検討 事前調査		←基本設計	←再処理 解析・評価 海底地形	←前シム	3D探査・ データ処理
能代沖	6-1	AD		既存2Dデータ 処理・解析・評価	3D探査(OBC)・ データ処理	3Dデータ 解析・評価 2D探査・ データ処理 探査準備 前シム	← 南2D探査・ データ処理 解析・ 評価	←前 シム ←基本設計			海底地形
秋田沖	6-2	AD		既存2Dデータ 処理・解析・評価	3Dデータ 解析・評価 3D探査準備	3D探査(ST)・ データ処理	←追加解析 3Dデータ 解析・評価	←前 シム	←再処理	2Dデータ 解析・評価 前シム	
宮崎沖	14-1	AD		既存2D/3Dデータ 解析・評価	3D探査 (ST)・ データ処理 3D探査 (ST)・ データ処理	追加 処理 3D データ 解析・評価	2D探査・ データ処理 ←地質調査 分析	←解 析 2D/3D解 析・評価・モ デル	←前シム		前シム＊
茨城沖北部	11-5	S		既存2Dデータ 処理・解析・評価	JOGMEC 3D探査			←再処 ←海底地形 地質調査・分析 2-3D解・評 価	←追加処理 ←前シム	3D解析評価	
日高沖	3-2	S						机上調査	3D解・評価 海底地形 地質調査・分析	前シム	前シム＊
新潟沖	7-1	S				阿賀沖 パイプライ ン 3Dデータ 再処理	3Dデータ 解析・評価				
新潟北西沖、 佐渡南方沖	7-3, 7-4	S								3D解析・評価 海底地形	前シム
佐渡西方沖	7-2	S							3D解・評価 海底地形	←前シム	
鳥取沖	8-3	S	2D探 査 2Dデー タ解析	2Dデータ 解析・評価	JOGMEC 3D探査	JOGMEC 3D探査		地質調査・分析 ←再処 2D探査	←3D解析 ←海 2D解 析		
京都-福井沖	8-2	S						2D再処理	2D取得・処 理 2D概 地質調査・分析	2D解析	
酒田沖	6-4	S							2D再処理	2D探査・処 理 解析	
隠岐西沖、隠岐北沖	9-5, 9-6	A	2D データ 処理 既存 2D データ 解析	（調査延期）							海底地形
石狩湾	1-2	B	2D データ 処理 既存 2D データ 解析	既存2Dデータ 処理・解析・評価	（調査延期）						
西津軽沖	5-1	B			2D 探査 データ処理 FWI 解析 2D/3D データ 解析・評価		3Dデータ 解析・評価				
鹿島沖周辺 （いわき沿岸～中部）	11-1～3	B		既存2Dデータ 処理・解析・評価	（調査延期）						
天草沖	15-1	B			既存2D データ・解析 （調査延期）						
金沢沖	8-1	C	2D データ 処理 2D データ 解析	←2D探査・ データ処理 ←概略 解析	2Dデータ 解析・評価 再評 価(社 内)		3D探査(ST)・ データ処理 3Dデータ 解析・評価				
御前崎沖	13-1	C		既存2Dデータ 処理・解析・評価	（優先順位低下）						
甑島西方	15-2	C		既存データによる 調査・地質評価	（調査延期）						
枕崎沖	15-3	C			2D探査・ データ処理 2Dデータ 解析・評価	（優先順位低下）					

注 1）前シム：調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーションの略である。
注 2）薄灰色の地点は諸般の事情により調査を中断した地点、濃灰色の地点は技術評価により調査継続を中止した地点である。
注 3）石狩－礼文沖、紋別沖、福江沖（仮称）、茨城沖南部（仮称）については、調査保留のため計画案に含まない。

図 5.3-3　貯留適地調査計画（案）（20222 年 3 月）

5.4　貯留適地候補地点における経済性に関する調査

当社は、2014 年度から貯留適地調査事業を継続して受託し、日本周辺海域での二酸化炭素地中貯留適地の調査・検討を進めており、2021 年度末にこれまでの貯留適地調査事業の総括を実施した。

2022 年度以降に想定される第二段階の貯留適地調査事業では、2030 年の CCS 社会実装化に向けて、これまでの貯留適地調査事業では実施されなかった調査井掘削が計画されている。調査井掘削候補地点の選定に向けて、令和 4 年度委託事業において、各貯留適地候補地点の CCS 事業モデルの比較検討による「貯留適地候補地点における経済性に関する調査」が計画されている。この経済性に関する調査を円滑に実施するため、本業務の中で「経済性調査（Phase-1）」を先行して実施した。

経済性調査（Phase-1）では、公開されている CCS 関連コスト情報および日本全国の CO_2 排出源情報の収集等を実施した。

第６章

社会的受容性の醸成活動

第６章　社会的受容性の醸成活動

6.1　概要

貯留適地調査事業に関連して、社会的受容性の醸成活動の一環として、調査候補地点における社会的受容性の醸成に向けた情報発信活動を実施した。2021 年度は全国 6 箇所の環境系展示会への出展を計画し、1 箇所で実施した。また、研究機関・団体等で講演を実施した。

6.2　パネル展への出展

6.2.1　パネル展の概要

2021 年度は全国 6 箇所の環境系展示会に出展する計画であった。しかしながら、新型コロナウイルス感染症拡大の影響により 5 箇所のイベントが中止となり、1 箇所の展示会に出展するに留まった。

出展する展示会については、事業委託者と相談のうえ、貯留適地調査事業の調査地域や情報発信の継続性等を考慮して選択した。

展示会で配布した貯留適地調査事業のパンフレットを図 6.1-1 に、展示用パネルを図 6.1-2 に示す。また、「苫小牧における CCS 大規模実証試験事業」で制作した図 6.1-3 に示すツール（パンフレット類）を CCS 事業の説明で使用した。

図 6.1-1　配布した貯留適地調査事業のパンフレット

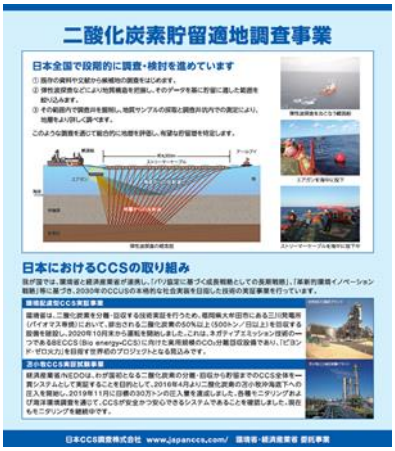


図 6.1-2　貯留適地調査事業の展示用パネル

CCS パンフレット　　CCS 実証試験パンフレット　　まんが（続編）

図 6.1-3　CCS 事業説明用ツール（パンフレット類）

6.2.2　環境パネル展 2021 みやざき

(1)　実施目的

貯留適地調査事業における社会的受容性の醸成に向けた情報発信活動の一環として、本イベントでのパネル等の展示を通じて、宮崎県内の一般市民に向けて、貯留適地調査事業および地球温暖化対策としての CCS 関連技術の情報発信を行うことを目的とした。

(2)　実施戦略

新型コロナウイルス感染症拡大の影響を受け、従来の開催方式とは異なり説明員を置かないパネル展示のみでのブース出展となった。ブースの中央に貯留適地調査事業の展示用パネルを貼り出し、パンフレットやアンケート BOX を周辺に配置して来訪者の目を引く工夫を行った。また、出展の成果測定のために、アンケートを実施した

(3) 開催実績

［名　　称］　環境パネル展 2021 みやざき

［会　　期］　2021 年 6 月 27 日（日）10 時～16 時

［会　　場］　イオンモール宮崎スペースコート

［テ　ー　マ］　地球温暖化・省エネ・SDGs 等、楽しみながら環境のことを学んでみよう！

・環境啓発パネル展示

・エコクイズに答えてエコグッズをもらおう！

・SDGs ビンゴゲーム

・VR シアター

［主　　催］　環境みやざき促進協議会、宮崎県

［出 展 内 容］　パネルの展示、パンフレットの配布、アンケート調査

［来場者数］　85 名

※来場者数は、主催者からの報告による。

ブース来訪者への各パンフレット種類別配布部数を表 6.2-1 に、アンケケート結果を表 6.2-2 に示す。

表 6.2-1　各パンフレット種類別配布部数

種類【配布部数】
1) 貯留適地調査パンフレット【13 部】 2) CCS パンフレット【12 部】 3) CCS 実証試験パンフレット【11 部】 4) まんが（続編）【15 部】
合計配布部数【51 部】

表 6.2-2　アンケート結果

回答者数：8 名
1) 弊社の展示ブースについて、全体的にいかがでしたか？ A.満足【5 名】、B.やや満足【1 名】、C.どちらともいえない【2 名】、 D.やや不満足【0 名】、E.不満【0 名】
2) 弊社の展示ブースでは、下記のどれにご興味を持たれましたか？（複数回答可） A.展示パネル【5 名】、B.パンフレット（貯留適地調査）【0 名】、 C.パンフレット（CCS）【3 名】、D.パンフレット（CCS 実証試験）【1 名】、 E.パンフレット（まんが続編）【2 名】
3) 展示内容は分かりやすかったですか？ A.とても分かりやすかった【5 名】、B.分かりやすかった【3 名】、 C.どちらともいえない【0 名】、D.分かりにくかった【0 名】、 E.とても分かりにくかった【0 名】
4) CCS について、本日ご来場前は、どの程度ご存じでしたか？ A.すでによく知っていた【1 名】、B.ある程度知っていた【2 名】、 C.言葉は聞いたことがある程度【3 名】、D.まったく知らなかった【2 名】
5) 弊社の展示ブースをご覧になられて、CCS についてどの程度、ご理解いただけましたか？ A.十分理解できた【1 名】、B.ある程度理解できた【6 名】、 C.どちらともいえない【1 名】、D.あまり理解できなかった【0 名】、 E.まったく理解できなかった【0 名】
6) あなた自身について、さしつかえない範囲でお答えください。 性別：A.男性【2 名】、B.女性【6 名】、C.答えたくない【0 名】 年代：A.10 代以下【0 名】、B.20 代【0 名】、C.30 代【1 名】、D.40 代【1 名】、 E.50 代【4 名】、F.60 代【2 名】、G.70 代【0 名】、H.80 代【0 名】 職業：A.会社員・役員【3 名】、B.大学・研究機関【0 名】、C.公務員【3 名】、 D.農水産業【0 名】、E.自営業（農業・水産業以外）【0 名】、 F.専業主婦（夫）【2 名】、G.学生【0 名】、H.パート・派遣等【0 名】、 I.無職【0 名】、その他【0 名】 住い：A.宮崎県内【8 名】、B.宮崎県外【0 名】

(4) 考察

今回は説明員を置かない方式での展示会のため来場者と対面でのコミュニケーションを取ることができず、一方通行の情報発信活動となった。コロナ禍のおり、来場者数は 85 名（2019 年度の JCCS ブースへの来場者数 153 名の 56%）、パンフレット類の配布部数は 51 冊となった。

アンケートの回答者は 8 名と少ないながら、集計結果から以下の考察を行った。

Q1 と Q3 の当社ブースの満足度について、Q1 では A.満足・B.やや満足と回答した方が全体の 75%、Q3 では A.とても分かりやすかった・B.分かりやすかったと回答した方が全体の 100%となり、おおむね満足してもらえたと考える。また、Q4 の CCS 認知度については、C.言葉は聞いたことがある・D.全く知らなかったと回答した方が全体の 63%で、CCS の周知活動として成果があったことがわかる。アンケートは、手書き用に加えて、回答率の向上を図るためにスマートフォン等から回答可能な web アンケートも準備したが、web 回答者はゼロであったため、次回への課題としたい。

宮崎沖エリアでは貯留適地調査を今後も実施する可能性があり、主催者や事務局には地元自治体等が関係していることから、地元との関係強化のためにも、今後も出展していくべきと考える。

6.3 講演の実施

6.3.1 実施目的

貯留適地調査事業の理解促進を目的に研究機関、団体等で講演を実施した。

6.3.2 実施戦略

2021 年度当初は新型コロナウイルス感染症拡大の影響により、教育機関、各種団体における会議・講演等はオンラインが主流であった。新型コロナウイルス感染症緊急事態解除宣言後の 10 月 1 日以降は、オンラインの他に、実地開催とオンラインを組み合わせた「ハイブリッド方式」も開催されるようになり、そのような様々な形態において適地調査についての講演を実施するに至った。

6.3.3 開催実績

講演の実績を表 6.3-1 に示す。

表 6.3-1　講演の実績

	日　程	名　称	参加者数
1	2021 年 10 月 22 日（金）	石油技術協会秋季講演会 （オンライン開催）	154 名
2	2021 年 11 月 11 日（木）	石油学会・函館大会 （ハイブリッド方式）	190 名
3	2021 年 11 月 25 日（木）	能代港シンポジウム （実地開催）	50 名
		合計	394 名

6.3.4　考察

JCCS は、かねてより、大学、研究機関、業界団体等で、世界の CCS の情勢、苫小牧 CCS 大規模実証試験および貯留適地調査事業の概況を発信することで、聴講者の CCS への理解と社会的受容性醸成の促進が期待できると考え、講義・講演を実施してきた。2021 年度は、貯留適地調査事業に特化した講演（表 6.3-1 の 1）および講演の演目に貯留適地調査事業を含めた CCS 全般の講演（表 6.3-1 の 2 と 3）という二つの講演形式で対応し、前述の効果創出を図った。また、オンライン形式のコミュニケーションが社会全般に普及してきたなか、新型コロナウイルス感染症の緩和以降に「ハイブリッド」方式が取り入れられており、開催の選択肢が広がったと言える。

苫小牧の CCS 実証試験については、30 万 t の圧入達成および停止から 2 年以上が経過しており、課題である CCS の社会実装化に向けて貯留適地に関する演目のニーズがより高まることが想定される。このような背景を踏まえ、今後、新たな講演資料作成や見せ方の工夫等に配慮し、講演の充実を図る。

6.4　総括

これまで出展した展示会では、地球温暖化対策としての CCS 技術の概要や安全性、国内における貯留適地調査事業の実施、そして我が国における CCS の実証例である苫小牧 CCS 実証試験について、対面による説明に重点を置いて実施してきた。しかしながら、2021 年度は 2020 年度と同様に新型コロナウイルス感染症拡大の影響により、当初出展を計画していた展示会等のイベントの多くが中止となった。唯一出展した「環境パネル展 2021 みやざき」においても説明員の配置が認められず、2021 年度を通して対面での説明ができなかった。なお、貯留適地調査事業のフェーズが調査井掘削の候補地選定に向けて新たな段階へと進む過程において、ブース出展地域住民との関わり方に留意する必要があ

るため、出展する展示会の選定に関しては委託者と協議のうえ判断することが肝要である。

また、2021 年度は、研究機関・団体等での講演を 3 箇所で実施し、聴講者の合計は 394 名であった。昨今の地球温暖化への社会的な関心が高まるなか、二酸化炭素の貯留適地に関する演目のニーズが増加しており、今後もこの傾向は強まると予測される。

貯留適地調査事業においても、「with コロナ」の中で、展示会への出展および講演以外にも効果的な広報のあり方や活動方法を検討し、さらなる社会的受容性の醸成に努める必要がある。

第７章

各調査地点のデータアーカイブ業務

第７章　各調査地点のデータアーカイブ業務

7.1　概要

2014 年度から 2021 年度まで経済産業省と環境省による共同事業（平成２６年度委託事業～本業務）を受託し、16 海域 41 地点の中から優先調査地点を設定し、貯留適地調査を実施してきた。表 7.1-1 に、2021 年度末の地点評価ならびに貯留適地調査事業における各地点の調査概況を示す。

貯留適地調査事業においては、各地点の CO_2 地中貯留の可能性を評価するため、新規取得弾性波探査データ、既往弾性波探査データ、海底地形および海底地質コンパイル結果、近傍既存坑井データおよび地表地質試料の分析データを収集し、地質構造の把握、貯留可能量の推定、貯留層に CO_2 を圧入した場合の長期 CO_2 挙動予測等を行った。これらの解析データや評価結果は、2022 年度以降に想定される第二段階の貯留適地調査事業においても活用されることが望ましく、これまで実施してきた貯留適地調査で得た各種データおよび資料について、将来の散逸を防ぎ一元的に管理できるようなデータ管理が必要である。

データ管理方法を検討する目的で、平成３１年度委託事業の繰越業務として 2020 年度にデータアーカイブ業務の Phase-1 を実施した。Phase-1 において検討した管理方法や媒体案を用いて、同業務の Phase-2 となる 2021 年度には、各種データおよび評価結果の整理ならびに集約を行った。

Phase-1 では、データ管理方法の概念設計を行った。この設計のためには 2 地点の調査地点のデータをサンプルとして用いてプロトタイプを作成した。設計したデータの一元管理方法を「データアーカイブシステム」と呼称することとした。データ管理方法の概念設計では、データを視覚的に速く検索できるフロントエンドの検討、格納するデータの種類およびデータフォーマット等の検討、格納するデータの整理方法等の検討、格納先となるストレージの検討等を実施した。

2021 年度に実施した Phase-2 では、Phase-1 で作成したデータアーカイブシステムの概念のうち、格納時のフォルダ名やフォルダ構成、フロントエンドにおけるレイヤ構成やレイヤ名について修正を施し、貯留適地調査事業において実際に調査を行った 11 海域 28 地点についてのデータ整理および格納を行った。貯留適地調査事業では、地質的に関連性が高く隣接する複数の地点を一つの調査範囲、すなわち一つの地質解析業務として調査している場合がある。その場合、調査結果の内容を地点ごとに分割して格納することは困難なため、調査範囲ごと（地質解析業務ごと）に整理する方法が最も効率的であると判断した。これまで貯留適地調査事業では、CO_2 地下貯留先として有望と考えられる範囲を、「地点」という

用語で呼び整理を行ってきたが、「地点」という用語は、地質解析範囲を指し示す用語ではないため、データアーカイブシステムの中では、地質解析範囲を示す用語として便宜的に「地域」を用いることとした。

表 7.1-1　各地点の調査概況とデータアーカイブ地域分類

海域番号	海域名	区域番号	区域名	地点番号	地点名	データアーカイブ地域番号	データアーカイブ地域名
1	石狩－礼文沖海域	1	石狩-礼文沖	1-1	石狩-礼文沖		
		2	石狩湾	1-2	石狩湾	1	石狩湾
2	オホーツク海域	3	オホーツク海	2-1	北見大和堆		
				2-2	紋別沖		
3	北海道南部－久慈沖海域	4	内浦湾　海域	3-1	内浦湾		
			日高沖	3-2	日高沖	2	日高沖
			渡島半島東方沖	3-3	渡島半島東方沖		
4	十勝－釧路沖海域		十勝－釧路沖	4-1	十勝沖		
5	渡島半島－津軽沖海域	5	渡島半島－津軽沖	5-1	西津軽沖	3	西津軽沖
6	秋田－庄内沖海域	6	能代沖	6-1	能代沖	4	能代沖
		7	秋田沖	6-2	秋田沖	5	秋田沖・本庄沖
				6-3	本荘沖		
		8	酒田沖	6-4	酒田沖	6	酒田沖
7	新潟－富山沖海域	9	新潟-富山沖	7-1	新潟沖	7	新潟沖
				7-2	佐渡西方沖	8	佐渡西方沖
				7-3	新潟北西沖	9	新潟北西沖・佐渡南方沖
				7-4	佐渡南方沖		
8	北陸－隠岐沖海域	10	北陸-隠岐沖	8-1	金沢沖	10	金沢沖
				8-2	京都－福井沖	11	京都－福井沖
				8-3	鳥取沖	12	鳥取沖
9	山陰－九州北部海域	11	山陰沖	9-1	山口沖	13	山陰-九州北部
				9-2	対馬西沖		
				9-3	萩沖		
				9-5	隠岐西沖		
				9-6	隠岐北沖		
				9-3	浜田沖		
		12	北部九州小倉海域	9-7	小倉沖		
		13	北部九州松浦海域	9-8	松浦沖		
10	釜石－金華山沖海域						
11	常磐－鹿島沖海域	21	常磐－鹿島沖	11-1	鹿島沖周辺福島沿岸	14	鹿島沖周辺
				11-2	鹿島沖周辺北部		
				11-3	鹿島沖周辺中部		
				11-4	鹿島沖周辺南部		
				11-5	茨城沖北部	15	茨城沖北部
12	房総沖海域						
13	東海－四国沖海域	20	御前崎沖	13-1	御前崎沖	16	御前崎沖
14	宮崎沖海域	19	宮崎沖	14-1	宮崎沖	17	宮崎沖
		15	別府湾	14-2	別府湾		
15	天草－五島沖海域	14	天草沖	15-1	天草沖	18	天草沖
		18	天草-五島沖	15-2	甑島西方		
		22	枕崎沖	15-3	枕崎沖	19	枕崎沖
16	沖縄－南西諸島沖海域	16	沖縄-南西諸島	16-1	沖縄-南西諸島		
		17	宮古島沖	16-2	宮古島沖		

2013年度1次スクリーニング時の17区域23地点である。
2014年度から2021年度末までに追加した8区域18地点、合計25区域41地点となる。
2021年度末までに、区域・地点が設定されていない。

上記の方針に基づくと、秋田沖地点と本荘沖地点、新潟北西沖地点と佐渡南方沖地点、隠岐北沖地点、隠岐西沖地点、山口沖地点、萩沖地点および対馬西沖地点、鹿島沖周辺福島沿岸地点、鹿島沖周辺北部地点、鹿島沖周辺中部地点および鹿島沖周辺南部地点の 13 地点は、それぞれ一つの地質解析範囲から複数抽出された地点である。これらの地点を、調査範囲ごと（地質解析業務ごと）に以下のように整理した。

秋田沖地点、本荘沖地点を「秋田沖・本荘沖地域」に、新潟北西沖地点、佐渡南方沖地点を「新潟北西沖・佐渡南方沖地域」に、隠岐北沖地点、隠岐西沖地点、山口沖地点、萩沖地点、対馬西沖地点を「山陰―九州北部地域」に、鹿島沖周辺福島沿岸地点、鹿島沖周辺北部地点、鹿島沖周辺中部地点、鹿島沖周辺南部地点を「鹿島沖周辺地域」に整理し、他の地点とあわせて合計 19 の地域とした（図 7.1-1）。なお、表 7.1-1 や図 7.1-1 には示していないが、特定の地点を対象としない業務については、地域名「全国」を作成して格納した。

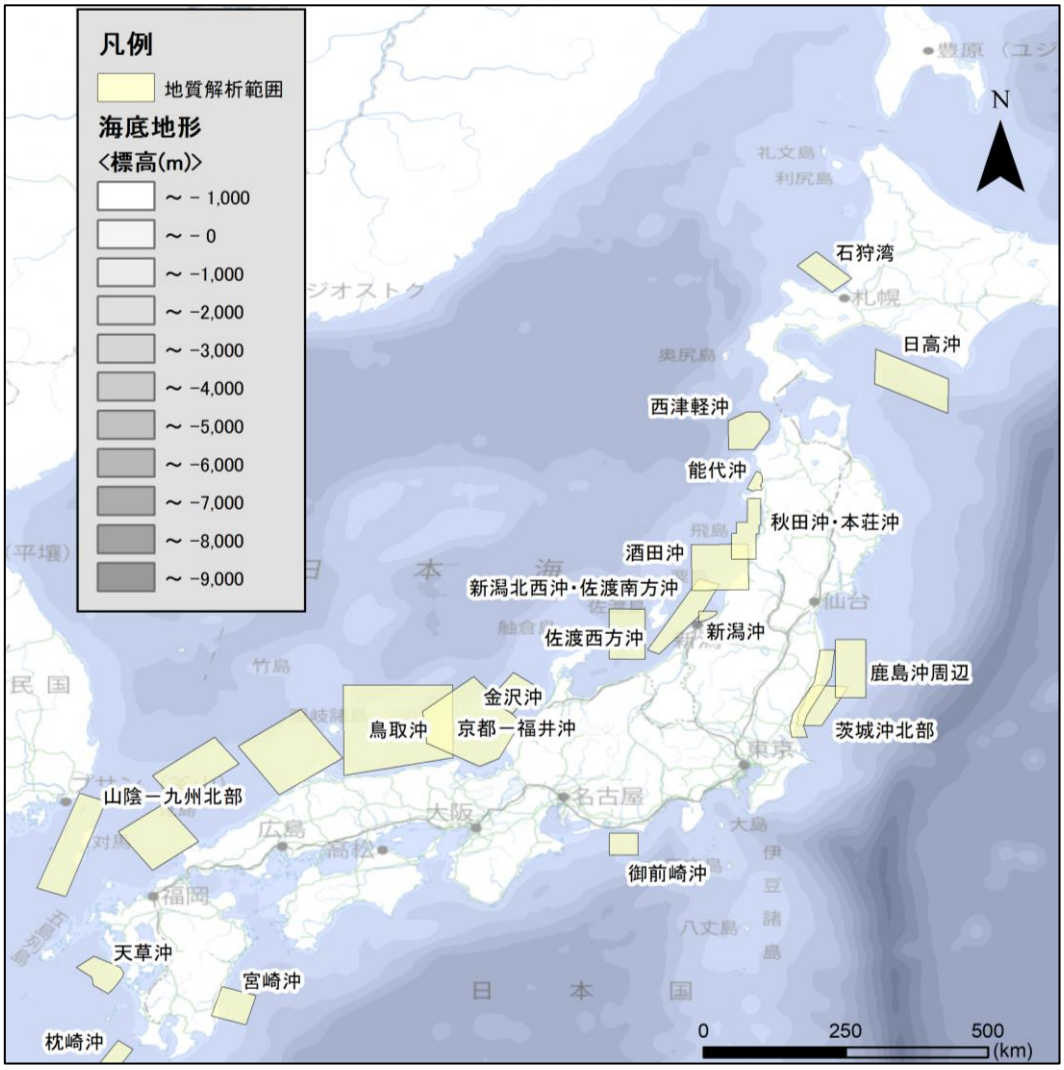


図 7.1-1　地質解析範囲（データアーカイブ「地域」）の位置図

7.2　フロントエンドの検討と構築

(1)　フロントエンドソフトウェア

データアーカイブシステムのフロントエンドには、ArcGIS Desktop を採用した。Phase-1 において、表 7.2-1 に示した三種類の Geographic Information System（以下、「GIS」と称する。）ソフトウェア（フリーソフトウェアの代表格である QGIS、商用ソフトウェアの代表格である ArcGIS Desktop および ArcGIS Pro）をフロントエンドの候補として検討した結果、バージョン間の互換性の高さ、サポートの充実度、管理のしやすさ等を総合的に考慮して「ArcGIS Desktop」を採用することとした。なお、GIS とは、地理的位置を手がかりに、位置に関する情報を持ったデータを総合的に管理・加工し、視覚的に表示し、高度な分析や迅速な検索を可能にする技術である。

表 7.2-1　フロントエンド候補

ソフトウェア名	QGIS	ArcGIS desktop	ArcGIS Pro
ライセンス	フリー	商用	商用
価格	無料	有料	有料
開発元	OSGeo 財団[注1)]	米国 ESRI 社[注2)]	米国 ESRI 社[注2)]
概要	・世界中で最も普及したフリーGIS ・FOSS4G[注3)]の一種 ・ツールとアドオンで拡張が可能 ・商用サポートあり。	・世界最大シェア ・機能が豊富で、汎用性が高い。 ・初学者向けサポートが充実 ・日本語書籍多数	・世界最大シェア ・能が豊富で、汎用性が高い。 ・初学者向けサポートが充実 ・日本語書籍多数
機能	限定的	多機能	多機能
サポート	なし	あり	あり
PC	一般 PC	ハイスペック PC	ハイスペック PC
利用者	・個人や学生 ・エントリー層	・企業や行政等 ・ハイエンドユーザー主体	・企業や行政等 ・ハイエンドユーザー主体
長所	・無償である。 ・プラグインも無料で利用可能	・使いやすい。 ・大容量データに適する。 ・サポートが充実	・使いやすい。 ・大容量データに適する。 ・サポートが充実
短所	・大容量では描画が遅くなることがある。 ・バージョン感の互換性が低い。	・拡張機能は有償	・ArcGISOnline へ登録が必要 ・クラウドベースの設計 ・拡張機能は有償
評価	○	◎	△

注 1）Open Source Geospatial Foundation の略称、地理技術および地理データの共有化を推進する非営利の非政府組織である。

注 2）Environmental Systems Research Institute, Inc.の略称、地理情報システム(GIS)のソフトウェア、データ、出版、提供を行なっている企業である。

注 3）Free Open Source Software for GeoSpatial の略で、オープンソースの地理情報ソフトウェア群の名称である。

(2)　フロントエンド設定座標系

座標系には、地理座標系と投影座標系があり、それぞれ地域や用途によって使い分けて使用する。地理座標系は、日本全国や世界の広い範囲を一定の尺度を持った一つのデータとして管理するのに適しているが、ある範囲に着目した場合には、距離・面積・角度のいずれも誤差が生じる。一方で、投影座標系は、距離・面積・角度のいずれかを正確に表現できるが、広い範囲を同時に表現すると原点から離れた範囲では誤差が大きくなる。データアーカイブシステムでは、日本全国の周辺海域に解析結果やデータ位置を示す必要があることから、

地理座標系が最適であると判断した。データアーカイブシステムでは、数多く存在する地理座標系の中で、日本において一般的に用いられている「世界測地系 WGS1984」を採用した。

(3) フロントエンド表示項目

選定したフロントエンドである GIS 画面上に表示するデータの種類を表 7.2-2 に示す。表示項目は、地質解析範囲、測線、貯留可能域はポリゴン（コンピューター-グラフィックスなどで、立体物をデータ化するために表面を分解して描くときに用いる多角形）データで、坑井はポイントデータで作成表示している。①～④に、各表示項目の詳細を述べる。

表 7.2-2　フロントエンド表示項目

表示項目	内容
地質解析範囲	地質解析・貯留可能量評価の解析範囲
測線	弾性波探査データの測線や範囲、海底地質情報コンパイルで使用した測線等
坑井	基礎試錐、民間坑井、その他坑井、調査井候補掘削地点
貯留可能域	貯留可能域の形状、名称および貯留可能量

①　地質解析範囲

各地域において実施した地質解析の調査範囲を示すポリゴンである。ポリゴンには、付帯データとして、表 7.2-3 に示す情報を属性テーブルに記載した。この付帯情報を閲覧するためには、**エラー! 参照元が見つかりません。**地質解析範囲のポリゴンをクリックすると属性テーブルを示すダイアログボックスが開く。ダイアログボックスには属性テーブルに入力した情報が表示され、このうち「詳細情報エクセル」および「報告書」の説明部分に入力されたリンクパスをクリックすると、報告書の格納フォルダ等の詳細情報を記載したエクセルが表示される。

表 7.2-3　属性テーブルのフィールド名（地質解析領域）

フィールド名	説明	備考
Shape	データ形状	ポリゴン
地域名	報告書記載の名前	
報告書数	成果報告書の数	
業務名称 1_1	作業内容その１	2D 探査 3D 探査 既存 2D 弾性波探査データ再処理 地質解析と貯留可能量評価 地表地質調査試料分析 CO_2 挙動予測シミュレーション
業務名称 1_2	作業内容その２	
・ ・ ・ ・	・ ・ ・ ・	
業務名称 1_n	作業内容その n	
詳細情報_エクセル	地点ごとのデータリスト Excel のリンクパス	
報告書	報告書 PDF フォルダのリンクパス	Excel 起動
測地系	表示ポリゴンの測地系	

② 測線

各地点において取得や処理を実施した測線および範囲を示すポリゴンである。属性テーブルのフィールド名とその内容を表 7.2-4 に示す。地質解析範囲のポリゴンと同様に、クリックすると属性テーブルを示すダイアログボックスが開く。

表 7.2-4　属性テーブルのフィールド名（測線）

フィールド名	説明
No	通し番号
Shape	データ形状
測線名	報告書記載の名前
データ権者	企業名（管理者）
種別	調査年度、地域名

③ 坑井

各地域において解析に使用した既存坑井および解析の結果、解析の結果を基に提案した調査井の掘削位置を示すポイントデータである。属性テーブルのフィールド名とその内容を表 7.2-5 に示す。地質解析範囲のポリゴンと同様に、クリックすると属性テーブルを示すダイアログボックスが開く。

表 7.2-5　属性テーブルのフィールド名（坑井）

フィールド名	説明
No	通し番号
Shape	データ形状
坑井名	報告書記載の名前
種別	民間、基礎調査（METI）

④　貯留可能域

地質解析の結果得られた、CO_2貯留可能域を示すポリゴンである。属性テーブルのフィールド名を表 7.2-6 に示す。地質解析範囲のポリゴンと同様に、クリックすると個別属性テーブルを示すダイアログボックスが開く。

表 7.2-6　属性テーブルのフィールド名（貯留可能域）

フィールド名	説明
SHAPE	データ形状
貯留可能域名	報告書記載の名前
貯留可能量（億 t）	貯留可能量

7.3　格納データの検討と構築

(1)　格納データ種別

格納するデータは、報告書および業務成果デジタルデータである。報告書に関するデータは、テキスト形式、一般的な画像形式、PDF 形式、マイクロソフト社のオフィス形式にて作成されており、一般的な PC 環境にて取り扱いが可能である。業務成果デジタルデータについても、テキスト形式、マイクロソフト社のオフィス形式にて作成されたものは、一般的な PC 環境にて取り扱いが可能である。

弾性波探査、地質解析、坑井データ解析、調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーション等のデータは、それぞれの作業に特化したソフトウェアが利用されるため、これら特定ソフトウェア固有の形式となっている。貯留適地調査事業において使用した特定ソフトウェアを表 7.3-1 に、格納したデータの種類を表 7.3-2 に示す。

表 7.3-1　解析用特定ソフトウェア一覧

作成会社／ソフトウェア名	用途
Schlumberger 社／Petrel	地質解析／貯留層モデル作成
IHS 社／KINGDOM	地質解析
Geoenergy 社／IP	坑井検層データ解析
Computer Modelling Group 社／GEM	CO_2 挙動予測シミュレーション
米国ローレンスバークレイ国立研究所／TOUGH2	CO_2 挙動予測シミュレーション

表 7.3-2　格納対象のデータ種類一覧

業務種類	データ種類
弾性波探査データ再処理業務	・報告書（図面、ワード本文、PDF 本文） ・Navigation データ　SEGP1 ・速度解析結果　TXT ・反射法重合記録 SGY（NON PSTM、PSTM） ・速度解析結果（SEGY） ・反射法重合記録 CRS SEGY ・マイグレーション結果（SEGY） ・デジタイズ処理結果（SEGY） ・デジタイズ処理データマイグレーション結果（SEGY）　等
弾性波探査データ取得・処理業務	・報告書（図面、ワード本文、PDF 本文） ・Navigation データ（SEGP1） ・データシート（PDF、DOC、XLS） ・反射法フィールドデータ ・発振時刻データ（TXT） ・速度解析結果（TXT） ・トモグラフィ結果（SEGY） ・反射法重合記録 SGY（NON PSTM、PSTM、MDRS） ・速度解析結果（SEGY） ・反射法重合記録（CRS SEGY）等
海底地形コンパイル業務	・報告書（図面、ワード本文、PDF 本文） ・デジタルデータ（GIS 形式） ・3D 測深データ（CSV）等
地質解析業務	・報告書（図面、ワード本文、PDF 本文） ・Kingdom や Petrel による解析結果（オリジナルデータが含まれる） ・アスキーデータ（断層、ホライズンの深度時間） ・検層結果（解析結果とオリジナルデータの編集したもの） ・速度解析結果（SEGY）等
地表調査・試料分析業務	・報告書（図面、ワード本文、PDF 本文）等

業務種類	データ種類
弾性波探査データ再処理業務	・報告書（図面、ワード本文、PDF 本文） ・Navigation データ　SEGP1 ・速度解析結果　TXT ・反射法重合記録 SGY（NON PSTM、PSTM） ・速度解析結果（SEGY） ・反射法重合記録 CRS SEGY ・マイグレーション結果（SEGY） ・デジタイズ処理結果（SEGY） ・デジタイズ処理データマイグレーション結果（SEGY）　等
シミュレーション業務	・報告書（図面、ワード本文、PDF 本文） ・シミュレーション結果デジタルデータ（GEM 形式） ・モデル作成結果デジタルデータ（Petrel 形式）等
物性解析業務	・報告書（図面、ワード本文、PDF 本文） ・処理結果（AI、AVO、Porosity、Facies ボリューム）SEGY ・速度解析結果（SEGY） ・反射法重合記録 SGY（PSTM） ・反射法重合前記録 SEGY（CMP、CIP） ・速度解析結果 PSTM（SEGY） ・反射法重合記録 CRS SEGY ・マイグレーション結果（SEGY） ・デジタイズ処理結果（SEGY） ・デジタイズ処理データマイグレーション結果（SEGY）等

(2)　フォルダ構成

貯留適地調査事業において蓄積された大量のデータから、データの検索および必要とするデータへのアクセスを容易にするため、体系的なフォルダ構成を構築し、規則性のあるフォルダ名称を付した。検討の結果、表 7.3-3 に示す 5 階層のフォルダ構成とした。

表 7.3-3　フォルダ階層と名称

階層	情報	備考
1	地域名称	連番＋地域名称（例：01_能代沖）
2	業務名称	連番＋業務種別（例：06_地質解析・貯留可能量評価）
3	作業内容	年度＋作業内容＋追加情報（例：H31_反射法データ再処理_追加物性解析）
4	データ種別	例：業務結果デジタルデータ（既存民間）
5	データ項目	例：反射法重合記録、図表

7.4　ストレージの検討と構築

(1)　ハードウェア

ストレージのハードウェアの検討として、ハードディスクドライブおよびテープドライブの 2 案を検討した。ぞれぞれの長所と短所を考慮した結果、両者の組み合わせを採用することとした。それぞれの長所と短所を表 7.3-4 に、導入したシステムの外観を図 7.3-1 に、システム構成を表 7.3-5 に示す。

ストレージのハードウェアとして、ハードディスクドライブには、Network Attached Storage（以下、「NAS」と称する。）を、テープドライブには Linear Tape-Open テープストレージ（以下、「LTO」と称する。）を、システム統括にはワークステーション（以下、「WS」と称する。）を採用した。また、緊急時の停電等に備える目的で、非常用電源の Uninterruptible Power Supply（以下、「UPS」と称する。）に接続することにした。

表 7.3-4　ストレージの比較

ハードディスクドライブの長所	ハードディスクドライブの短所
・ハンドリングが容易である。 ・データへのアクセススピードが速い。	・データ維持の堅牢性がテープドライブに劣る。 ・別途バックアップを作成することが望ましい。
テープドライブの長所	**テープドライブの短所**
・テープでのデータ保持が堅牢である。 ・テープを入れ替えることにより全体容量を大きくすることが容易である。	・ハンドリングが煩雑である。 ・管理に知識を要する。 ・アクセス速度が HDD に劣る。 ・導入費用がハードディスクドライブよりやや高い。

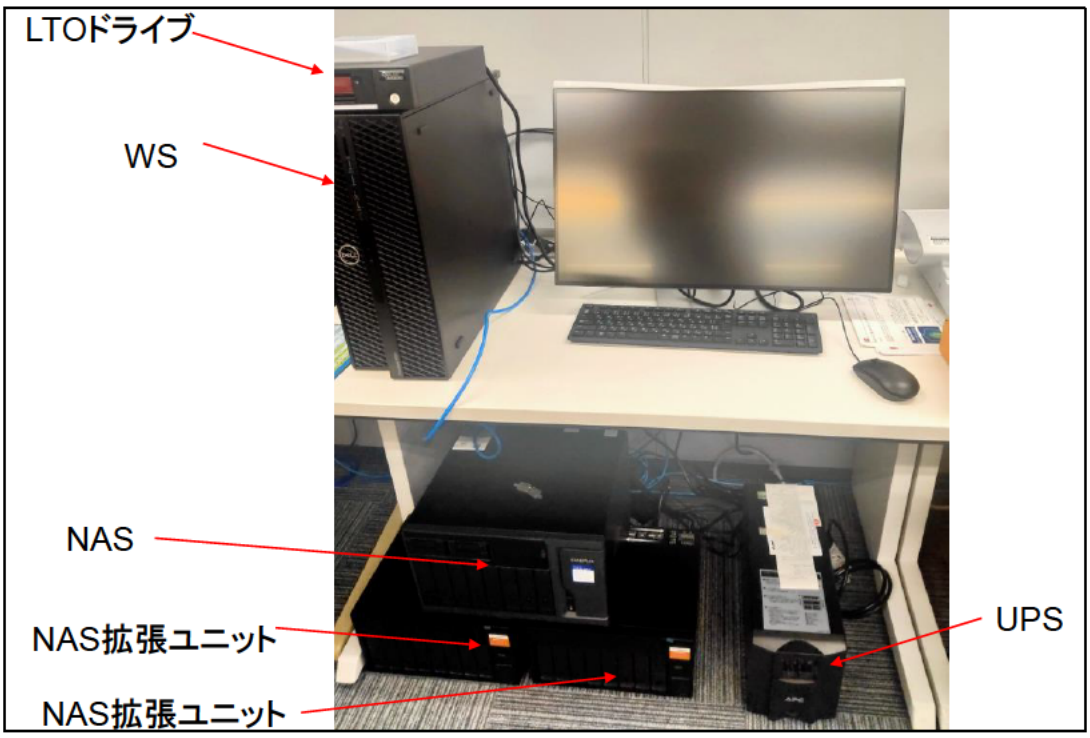


図 7.3-1　ストレージシステム外観

表 7.3-5　ストレージシステム構成

導入機器	数量
NAS	
TVS-h1288XTVS-h1288X-W1250-16G）　QNAP 社	1
8GB DDR4 ECC RAM　QNAP 社	2
DUAL M.2 PCIE SSD EXPANSION CARD　QNAP 社	1
TL-D800S　NAS 拡張ユニット　QNAP 社	2
12TB 3.5”HDD　SEAGATE 社	24
1TB 2.5”SSD　Western Digital 社	4
テープドライブ	
TD-LTO8xSA　タンベルグ社	1
管理用サーバー	
Precision 5820 Tower（27 インチモニター）　DELL 社	1
Microsoft Office 2021　Microsoft 社	1
無停電電源装置	
Smart-UPS 1500　APC 社	1

(2)　格納方法

ハードディスクドライブには、公開データと非公開データの区画を設けて、ファイルやフォルダを格納した。ハードディスクドライブの最上位層には、“archive”という名称のフォ

ルダを作成し、その下位に表 7.3-3 に示した 5 階層のフォルダを作成し、データを格納した。弾性波探査データのフィールド記録のうち、中間処理のデータについては、位置情報を付加した編集済みのフィールド記録を格納した。また取得機器により数万を超える非常に多数のファイルが納められているものについては、複数のファイルやフォルダを一つのファイルにまとめて効率的に格納することとし、その際、標準的な形式である zip 形式や tar 形式等を採用した。まとめた各ファイルについては、後の利便性を考慮して、ファイル内にまとめられたファイル一覧リスト（テキスト形式）を加えた。また、特定のソフトウェアにより実施した地質解析や調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーション等の結果も、多数の内部ファイルから構成されているため、1 ファイルにまとめたうえで格納することとした。

(3) 格納データリスト

格納したデータは、格納データの整理方針に基づいて属性情報を付加したファイルリストを作成した。ファイルリストは、地域ごとに別ファイルとし、ストレージの最上位に専用フォルダを作成して保存した。ファイルリストには、表 7.3-6 に示す属性情報を追加した。

表 7.3-6　ファイルリスト記載属性情報

属性情報名	備考 1	備考 2
地域名称	フォルダ階層 1 と共通	
業務名称	フォルダ階層 2 と共通	
作業内容／年度別	フォルダ階層 3 と共通	
データ種別	フォルダ階層 4 と共通	
データ項目	フォルダ階層 5 と共通	
ファイル名	アーカイブ中のファイル名	
Path	データパス	
データ権者	当該業務に用いたデータの所有者	データを使用する際に了承を得るべき機関、企業の情報
事業年度	委託事業の年度	繰り越し実施のケースあり
実施年度	当該業務の実際の実施年度	同上
作業測地系	当該業務で使用した測地系	例）世界測地系／UTM52 等、測地系と投影法を示す。
作成者	当該ファイル作成機関、企業	
フォーマット	当該ファイルのフォーマット	
ファイルサイズ		
以下、オプショナル		
ファイル説明資料の有無	当該ファイルについて、別途説明の有無	資料がある場合のみ、“有”と記載する。
ファイル説明資料の path	説明資料がある場合は、その資料の格納パスを記載する。	
その他検索用ワード	ファイル検索に有用な文言があれば、自由記載する。	

7.5　まとめ

2014 年度から 2021 年度まで実施してきた貯留適地調査事業において取得や解析をした各種データを統一的に整理し格納するデータアーカイブシステムを作成した。データアーカイブシステムには、実データを用いて評価を行った 28 地点を調査範囲ごと（地質解析業務ごと）に 19 地域に整理して格納した。データの内訳は、弾性波探査業務データ、地質解析業務データ、海底地形コンパイル業務データ、地表調査・試料分析業務データ、シミュレーション業務データ、物性解析業務データ等である。これらのデータは、設定したルールに基づき整理格納し、リスト化するとともに、フロントエンドとなる GIS ソフトウェアから容易にアクセスすることを可能とした。

なお、専用ソフトウェアから出力してアーカイブシステムに格納したデータに関しては、その専用ソフトウェアのバージョン更新に注意が必要となる。特定ソフトウェアのバー

ジョン更新により、内部ファイルの形式が変更されることがあり、場合によっては、バージョン更新後のソフトウェアで格納済みファイルの読取りができなくなる可能性がある。状況によってはアーカイブシステムに格納済みのデータ形式の更新が必要となる場合がある。

将来の調査井掘削や、CCS の社会実装に向けての取り組みの中で、貯留適地調査事業のデータは貴重な財産となる。今後、追加されたデータや再評価したデータについても、更新と蓄積の継続が重要である。

第８章

有識者委員会の運営

第８章　有識者委員会の運営

本業務では、以下の委員会を設置した。

1) 令和３年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務に係る有識者委員会

2) 再委託契約の技術的妥当性を判断する第三者委員会

2)の第三者委員会に関しては、入札可能性調査の結果、再委託契約に伴う委託業者の技術的妥当性の判断を必要とする再委託業務の発生がなかったため、2021 年度は開催しなかった。

8.1　有識者委員会の目的と設置

第三者の有識者による助言と確認を受け、本業務を的確に推進することを目的に、本業務に係る委員会「令和３年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務に係る有識者委員会」（以下、「有識者委員会」と称する。）を設置した。

8.2　委員構成および基本的な運営方針

有識者委員会は、委員長１名、CCS に関わる専門的知見および地質調査・研究等の実績を有する大学・研究機関等の学識経験者 12 名、計 13 名の委員により構成する。2021 年度は、新型コロナウイルス感染症拡大防止のため東京の会議室と Web 会議システムを併用したハイブリット方式により 3 回開催した。

有識者委員会の委員構成は、以下に示すとおりである。

〈委員長〉

松岡 俊文　　(公財)深田地質研究所 顧問
　　専門：地球物理学、CCS 全般

〈委員〉　（アイウエオ順）

東　垣　　(国研)海洋研究開発機構
　　革新的深海資源調査技術管理調整プロジェクトチーム　技術統括
　　専門：海洋調査・研究を専門とする機関の責任者、海洋地質学、堆積学

安藤 寿男　　(国学)茨城大学　大学院理工学研究科 地球環境科学領域 教授
　　専門：地質（堆積学）

伊藤 慎　　(国学)千葉大学 大学院理学研究院 地球科学研究部門 教授
　　専門：地質（層序学、堆積学）

稲垣　史生　(国研)海洋研究開発機構　研究プラットフォーム運用開発部門
マントル掘削プロモーション室　室長
専門：地球生物学、生物地球科学等

小西　祐作　(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構 石油天然ガス開発技術本部
技術部探査技術課　課長
専門： 地質学、民間企業での探鉱、開発、生産および CO_2-EOR の実務経験

佐藤 徹　(国学)東京大学 大学院新領域創成科学研究科 環境学研究系
海洋技術環境学専攻 教授
専門：CO_2 の海洋隔離法と海域地中貯留での環境影響評価手法の開発等

薛　自求　二酸化炭素地中貯留技術研究組合 部長
兼 (公財)地球環境産業技術研究機構 CO_2 貯留研究グループ 主席研究員
専門：CCS 全般、特にモニタリング

辻　健　(国学)九州大学 大学院工学研究院 地球資源システム工学部門　教授
専門：海洋地質、物理探査、シミュレーション

遠田 晋次　(国学)東北大学 災害科学国際研究所 災害理学研究部門 教授
専門：活断層の地震発生履歴および地震の連鎖現象と断層間相互作用

中尾 信典　(国研)産業技術総合研究所 地質調査総合センター 総合センター長
専門：地熱貯留層工学、物理探査、CO_2 地中貯留に関する研究を統轄

長縄 成実　(国学) 秋田大学　大学院国際資源学研究科　教授
専門：石油掘削技術全般

松島 潤　(国学)東京大学 大学院新領域創成科学研究科
環境システム学専攻 教授
専門：弾性波探査、メタンハイドレート、岩石物理学

8.3 開催実績

8.3.1 第 1 回有識者委員会

開催日時：2021 年 7 月 6 日（火） 14：30～17：24

開催場所：フクラシア東京ステーションK会議室（朝日生命ビル 5 階）

議題

1) 二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務進捗報告

A) 2020 年度 第 2 回有識者委員会（2021 年 3 月 1 日）での指摘事項整理

2) 令和２年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務（繰越）報告

A) 2020 年度委託業務の進捗報告

B) 佐渡西方沖地質解析・貯留可能量評価

3) 令和３年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務報告

A) 2021 年度委託業務の進捗報告の概要

4) JCCS 案に基づく議論

A) 2022 年度以降の貯留適地調査計画について

8.3.2　第 2 回有識者委員会

開催日時：2021 年 11 月 25 日（木）　16：05～18：08

開催場所：日本ＣＣＳ調査(株)　1901/1902/1903 会議室

議題

1) 令和３年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務報告

A) 2021 年度 第 1 回有識者委員会（2021 年 7 月 6 日）での指摘事項整理

B) 2021 年度委託業務の進捗報告の概要

C) 京都―福井沖地質解析・貯留可能量評価

D) 秋田沖の北部地質解析・貯留可能量評価

E) 総括報告書（案）

2) 2022 年度以降の貯留適地調査計画（案）

A) 本荘沖 3D 探査データ取得（案）

8.3.3　第 3 回有識者委員会

開催日時：2022 年　2 月 28 日（月）　14：30～18：10

開催場所：日本ＣＣＳ調査(株)　1901/1902/1903 会議室

議題

1) 令和 3 年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務報告

A) 2021 年度 第 2 回有識者委員会(2021 年 11 月 25 日)での指摘事項整理

B) 2021 年度委託業務の進捗報告の概要

C) 酒田沖地質解析・貯留可能量評価

D) 新潟北西沖・佐渡南方沖地質解析・貯留可能量評価

E) スレッショルド圧と地層破壊圧の考え方

F) 秋田沖調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーション

G) 日高沖調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーション

H) 既存廃坑井に対するリエントリーおよび是正の実現可能性調査

I) 各調査地点のデータアーカイブ業務(Phase-2)

2) 2022 年度以降の貯留適地調査計画（案）

A) これまでの総括と 2022 年度以降の適地調査事業について

B) 2022 年度計画概要

8.4 検討内容の概要

第 1 回～第 3 回の各有識者委員会における検討内容の概要を以下に記載する。

8.4.1 第 1 回有識者委員会

(1) 二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務進捗報告

① 2020 年度 第 2 回有識者委員会（2021 年 3 月 1 日開催）での指摘事項整理

茨城沖北部調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーションにおける容積法による貯留可能量と挙動予測シミュレーションによる圧入量の違いについて、および宮崎沖調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーションでの浸透率の下限についての指摘事項へ回答した。

1) 指摘：CO_2 挙動予測シミュレーションで、温度が下がって超臨界状態ではなくなったとしても、亜臨界状態とか、動きにくい液相状態になると思われるので、もう少し圧入を続けて、その後の挙動、安全をもう少し観察してはどうか。

(2) 令和２年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務（繰越）報告

① 2020 年度委託業務の進捗報告

2020 年度に終了した業務と 2021 年度に繰越した業務に関してその進捗および概要を説明した。

② 佐渡西方沖地質解析・貯留可能量評価

佐渡西方沖は RITE、AIST、電力中央研究所を含む過去の評価において個別の評価を実施していない。JOGMEC から 3D 探査データが公開され、砂岩が確認され、堆積物も厚いことがわかったため地質解析・貯留可能量評価を実施した。今回は地質解析範囲を糸魚川―静岡構造線、柏崎―千葉構造線に挟まれる地域とした。貯留層となり得る岩相を示す地層は、鮮新世前期・中新世後期の地層の堆積岩であり、堆積相解析では貯留可能と考えられる堆積体を解析した。解析の結果、抽出した三つの貯留可能域における貯留可能量は合計で約 7.5 億 t と算出した。圧力が高く圧入が難しいと考えられる中新世後期の上部寺泊

層（M5 ユニット）に圧入が可能であれば、貯留可能量は合計で約 11.8 億 t となる。今後の作業としては調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーションを実施し、M5 ユニットへの圧入の可能性についても検討を行う。

委員との主な質疑応答は以下のとおりである。

1) 指摘 : 品質の高い 3D 探査データを使用しているため、ファシス解析を行うなかで、定性的であったとしても浸透率など砂層に係る性状を把握できると良い。

2) 指摘 : 地形を見ても地質的にそれほど静かな地域には見えない。地質解析範囲において震央分布を示して地震活動が少ないとしていたが、プロットの期間により印象が異なるため、確認の際には注意するべきである。

3) 質問 : ファシスの区分はどのように行っているのか。区分に関しての裏付けはあるのか。

   回答 : 3D 探査データの反射波の見え方で決定している。なお、坑井位置での確認を行っている。

4) 指摘 : ファシスによってはローブ／レビーと並列に解釈している部分がある。ローブとレビーで砂泥比が違うので区別したほうが良いと考える。

5) 指摘 : 想定している遮蔽層のファシスはチャネル堆積物であるが、チャネル堆積物は淘汰度が悪く、層内でも場所により浸透率の変化がみられる。また、チャネル堆積物は、その軸の下の断層など変形した部分を流れていくことが多い。そのためチャネル堆積物の下部にはあまり貯留に適さないような活構造がある可能性が高い。この種類の遮蔽層、貯留層を扱う際には、精度の良い解析を行った上で評価する必要がある。

6) 質問 : このように入り組んだファシスチャネル実際に圧入する場合、浸透率はどのようなものになるのか。通常の貯留層のように一定で扱うのか、それともいくつかの坑井やパーコレーションを入れていく必要があるのか。

   回答 : いくつか貯留可能域がスタックしている部分では通常の貯留層のように扱うことができるが、間に厚い泥層を挟む部分に関しては、上下に分けて圧入しなくてはならない。

(3)　令和３年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務報告

①　2021 年度委託業務の進捗報告の概要

2021 年度委託業務の対象である 6 地点での取り組み状況の全体を示したうえで、その内の 3 地点について業務の概要および変更点を説明した。

新潟北西沖および佐渡南方沖の地質解析業務範囲の変更について説明した。佐渡南方沖西端部分は断層が顕著に発達しているため対象外とした。新潟北西沖においては基礎試錐のデータがないため、隣の佐渡南方沖の中にある基礎試錐のデータを使うことが有用であると考えた。そのため、二つの地点を併せて評価することが効率的と判断した。

秋田沖北部での試料分析追加の提案について説明した。2021 年度は地質解析とシミュレーション業務を予定しているが、遮蔽岩性状に関するデータを得るために既存坑井のサンプルを用いた分析の実施を考えている。対象は遮蔽層区間を含む泥質岩のカッティングスおよび、可能であればサイドウォールコアを用いて孔径分布等の測定を行い、浸透率、スレッショルド圧等の算出を考えている。

1) 質問 : 11 月に第 2 回委員会を予定しているが、可能であれば、その際に 2021 年度内に作成する総括報告書について簡単に紹介してもらいたい。
回答 : 業務の進捗にもよるが、できるだけ示せるようにする。

(4) JCCS 案に基づく議論

2022 年以降の貯留適地調査について JCCS 案に基づく作業計画案について説明し、有識者委員との議論を行った。

① 2022 年度以降の貯留適地調査計画について

貯留適地調査事業の目標と現状の実績を説明した。現時点での実績は 3D 探査データを用いた解析結果において 1 億 t 以上を貯留可能と思われるのが 10 地点、2D 探査データを用いた解析では 5 地点が抽出されている。しかし、調査井はまだ 1 坑も掘削されておらず、直接的なデータがないため、貯留適地評価のための最も重要な判断材料が欠けていると認識している。

貯留適地調査事業は 2021 年度で終了の予定であったが、現在、2022 年度成果目標として、CO_2 貯留層ポテンシャル調査・評価の継続に加え、2030 年の社会実装化に向け、選定された貯留適地候補地点における経済性・社会的受容性等の調査を行い、総合的な観点から CO_2 貯留に適している調査井掘削の候補地を 2023 年度頃までに 3 箇所以上選定することを目指すことがあげられている。しかし、2030 年の社会実装を見据えた場合、2021 年度から 2030 年度までをつなぐ具体的シナリオがなければ中途半端な状態に終わりかねないという意見を前回までの委員会で有識者から受けたため、今回の委員会にて議論の場を設けた。

議論材料として JCCS としての社会実装までのシナリオの案を示した。まず、2022 年度以降の貯留適地調査事業を Phase2 として継続し、調査井の第 1 坑井掘削を CCS の社

会実装プロジェクトにつなげる方向で進める例を提案した。さらに 2030 年社会実装に間に合わせるには、遅くとも 2025 年度の調査井掘削が必要である。そのため、法令の整備やインセンティブ施策等が整ってから事業を開始しても間に合わず、社会実装プロジェクトを進めると同時に並行して事業環境の制度面での対応が必要であると考える。その上で社会実装プロジェクト第１号は国家プロジェクトであるべきという考えを示した。

次に貯留適地調査事業令和４年度業務（案）を示した。従来の作業項目に加えて、貯留適地候補地点における経済性・社会的受容性調査、調査井掘削候補地選定を行う予定であることを説明した。また、貯留適地調査事業 令和５年度業務（JCCS 案）に関しても簡潔に紹介した。

1) 質問：年間少なくとも１億ｔ貯留という目標をあげているが、これは国内需要のみについて考えているのか。
   回答：国内を念頭において想定している。
2) 質問：社会実装へのスケジュール提案に、PA に関する調整が入っていない。また、年間１億ｔの目標を想定した場合、地域によっては PA が難しくなる可能性があるため、プラスアルファ分を考えた目標の掲げ方をしなければ実際に目標を達成することができないのではないかと思う。
   回答：今後、調査井掘削候補地の優先順位を弾性波探査の評価結果を踏まえて抽出していくと思うが、その際には PA の観点を含めて検討を行う必要があると認識している。
3) 質問：洋上風力発電の場合には特区という新しい考え方を導入しているが、CCS でも検討するべきではないか。
   回答：法令の整備が必要であるため、行為規制の制度設計の中で、行政上当該する関係官庁とも議論していければと考えている。
4) 質問：社会実装に関しては基本的には地産地消という考え方になるのか。
   回答：基本的にそこにこだわりはない。海外でもハブ＆クラスターという考え方が広がり始めており、日本においても産業集積地と貯留適地との間には距離があるため、船舶輸送も含めてハブ＆クラスター的な方法で対応していく必要があると認識している。
5) 質問：貯留適地調査事業という観点からは、短期間に非常に膨大なデータを取得して作業を進めてきたことは評価する。しかし、調査井掘削に関しての総合評価や様々な指数の優先順位などの観点を含めたワークフローが完成されていないと感じる。

回答：現時点ではそこまで至っていない。しかし 2022 年度、経済性・社会的受容性調査を行う中で委員会においても、調査井掘削第 1 号の具体的地点について議論することは可能であると考える。

6) 質問：社会実装プロジェクトに関しての圧入量やソースに関しての概念がないがどのように考えているのか。規模を想定して対象設備に分離・回収装置の設備等も検討する必要があるため、ある程度めどを立てて全体的な計画を立てると考えて良いか。

回答：ハブ＆クラスターをイメージしているため、貯留量に合わせた船舶輸送を想定している。そのため、排出源における分離・回収の規模を決め打ちする必要はない。しかし、排出源との調整・連携は重要であると考える。すでに分離・回収装置を備えている発電所などもあるため、船舶輸送でつなげて持ってくることを想定している。

7) 指摘：今後、2022 年度以降に実施が予定されている調査業務に向けて国民的に CCS の理解を賜る必要がある。また、目標と戦略を明確にすることにより、スピード感をもって事業を推進できる。

8) 指摘：これまで膨大なデータを取得してきたので、全体を見て解釈を整理すると将来的に役に立つのではないかと考える。これまでは海外でよく使われる安定帯をベースにした地質モデルを使用していたが、日本では海外と比べて地質も異なり、また国内でも地域によって地質が異なるため、これから貯留適地候補地点を絞っていく上で有益であると考える。

9) コメント（委託者）：2030 年が CCUS 社会実装全体としての一つの節目となるため、事業環境整備、官民の役割をどう整備していくかを検討し、官民の分担にある程度の整理を持った上で、民間主体のプロジェクトとして、2030 年に何かしら圧入等々を開始できればと考えている。

8.4.2 第 2 回有識者委員会

(1) 令和３年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務報告

① 2021 年度 第 1 回有識者委員会（2021 年 7 月 6 日開催）での指摘事項整理

2021 年度第 1 回有識者委員会での指摘事項について今後の対応方針を示した。

② 2021 年度委託業務の進捗報告の概要

2021 年度委託業務の対象である 6 地点での取り組み状況の全体を示したうえで、その内の 2 地点について地質解析・貯留量可能評価について報告することを示した。また、鳥

取沖に関しては、実施計画では CO_2 挙動シミュレーションを行う予定であったが、取りやめたため、その理由を説明した。

委員との主な質疑応答は以下のとおりである。

1）質問：2021 年度の委託事業に関しての繰越はないのか。

回答：今年度は繰越がないと見込んでいる。

③　京都―福井沖地質解析・貯留可能量評価

この地点は環境省が評価した経緯があり、2019 年度に行った既往データ再処理により厚い堆積物が存在することを確認している。その後、2020 年に新規データを取得し、2021 年度に地質解析を実施した。調査範囲は鳥取沖地点と金沢沖地点に挟まれた若狭湾沖であるが、鳥取沖や金沢沖のような規模の大きな堆積盆は認められず小さな堆積盆が点在している。既往文献の調査から、沖合においては地震活動や活断層が少ないことが確認できる。新規取得データを用いた地質構造解析から、中央部に北東―南西方向の堆積盆地が見えてきたが、比較的浅い区間（後期中新世～更新世の地層）には非常に多くの正断層が発達していることが確認された。正断層の数は非常に多く、その分布と比較して 2D 探査データの密度が粗いため、測線間で正断層がどのようにつながっているかを把握することが不可能であった。断層の他に、若い年代の地層に変形をおよぼしたと思われる活構造も複数確認した。堆積盆地の陸側斜面下付近の中期～後期中新世の地層に多くの粗粒な堆積物があると解釈して上部貯留層とした。前期中新世の地層では火山岩が広く分布していると考えられるが、火山岩の高まり周辺では火山砕屑物と推定される粗粒な堆積物があると解釈して下部貯留層とした。貯留可能域条件に当てはまらない範囲を除外した結果、上部貯留層に約 14 億 t の貯留可能量を評価した。下部貯留層は火山起源の堆積物であるため、参考となるが約 3 億 t の貯留可能量を評価した。この地点は比較的大きな貯留ポテンシャルであると考えるが、多数の正断層を確認したことから、貯留適地として評価する際には十分な注意が必要であると考える。

委員との主な質疑応答は以下のとおりである。

1）質問：東西圧縮に伴う横ずれによる浅部を中心とした正断層の発達との記載があるが、要するに横ずれが主要であるが、その周辺に付随する正断層にも動きがあったと考えているのか。

回答：その通りである。そのため堆積盆地の中のみに、そのようなものが見えているのではないかと考える。

2）質問：浅い部分に断層が多い区間を示しているが、その下の砂岩の層も変形して

いるということか。

回答：断層が多い区間では主に正断層が見えているが、その下の砂岩部分では見えていないと理解している。また、堆積相解析においてはエリアを抽出することを目的としているため、この段階では断層を評価していない。

質問：通常、浅い所に断層があれば、深い所にも断層があるのではないかと考えられるため、注意深く見るべきである。浅い層と深い層の間で何か滑り面があり、重力的に不安定であり発達した断層などであれば深い所にも断層があると考えられる。

回答：報告で表示している断面を見ても、深い部分に関しては明瞭な落差やずれは見えない。このような傾向は、金沢沖でも確認されている。

3) 質問：下部貯留層は火山起源の堆積物であるとのことだが、これは基礎試錐などのデータから、ある程度浸透性の高い火山岩類が確認されているということか。

回答：断面上で若干振幅が強いが成層して堆積していると思われる部分に関しては貯留が可能だと考える。しかし、本調査においては火山岩起源の貯留層は優先的には検討しない方針であるため、今回は参考値として示した。

4) 質問：断面上でいくつか乱れてパッチ状のような部分が確認できるがこれはどのように解釈しているのか。

回答：ノイズではないと考える。この断面では含まれていないが、このエリアでは浅部で点状ではあるが、少し振幅の強いガス状のものがいくつか見えている。また、明瞭ではないが何らかの断層である可能性がある。

5) 質問：再処理測線に比べて新規取得測線のデータ品質が向上しているが、その原因（理由）は何か。

回答：データ取得スペックの違いではないかと考える。ストリーマー長などの違いが効いているのではないかと考える。

④　秋田沖の北部地質解析・貯留可能量評価

秋田沖～本荘沖の評価作業は 2015 年度から始まり、2016 年度の本荘沖、2018 年度の秋田沖、2020 年度の本荘沖南部で広範囲に地質解析・貯留可能量評価を実施した。本作業の目的は、未調査の範囲である秋田沖の北部において、2018 年度秋田沖の評価作業で摘出した貯留域の北部延長域での状況を確認することと、秋田沖～本荘沖に至る全体の範囲で貯留可能量評価基準を統一して貯留可能域を見直したうえで貯留可能量を算定することである。

貯留層に関しては、これまでの評価と同様に三つの貯留層、桂根相下部貯留層、桂根相上部貯留層および笹岡層貯留層を抽出した。また、堆積相解析の結果、調査範囲にはこれら貯留層となる砂岩優勢ファシスの砂体が分布すると解釈した。貯留可能量について、秋田沖の北部での貯留可能量は、桂根相下部貯留層が約 0.3 億 t、桂根相上部貯留層が約 0.7 億 t、笹岡貯留層が約 3.9 億 t と評価した。

秋田沖～本荘沖に至る広域の貯留可能量については桂根相下部貯留層約 4.2 億 t、桂根相上部貯留層約 2.6 億 t、笹岡層貯留層約 53.0 億 t と評価した。抽出した貯留可能量から見て、笹岡層貯留層は特に貯留ポテンシャルが高いと考えられた。

委員との主な質疑応答は以下のとおりである。

1) 質問 : 地域性としては、少し東西に圧縮しているような力を受けているのかと理解しているが、弾性波探査でわかる断層以外にも区分したファシスの中でフラクチャー的なものは考慮しているのか。ここであげている七つすべてのファシスの中ではフラクチャーはなくて、多孔質体と考えてもいいということか。
   回答 : 四つのファシスが砂質優勢で多孔質であると考えており、それが貯留層になると解釈している。
2) 指摘 : 今回の再評価は、秋田県北部に既存の南側の三つの範囲を合わせ、全部で四つの範囲を総合した結果であり、これまでの貯留可能域の探査の中では、最も精度の高い成果だったということで十分評価できる。
3) 質問 : 笹岡層の貯留可能域を見ると大きく広域に広がる印象だが、それに比べて桂根層は小さめになっている。また、秋田沖と本荘沖でも貯留可能域の形が異なる。これはファシスの分布の違いによるものか。
   回答 : 貯留可能域に関しては、深度、断層からの離隔距離などから選別していき、それに合わせて砂質のファシスが分布しているところを抽出した結果となっている。

⑤　総括報告書（案）

総括報告書（案）について報告した。全体の目次案を示し、その後、主要部分である各地点の評価結果とその比較を中心に説明を行った。各地点の評価結果について従来から評価に用いてきた技術的な評価項目（貯留層・貯留可能量・遮蔽層・地質構造）に加えて、新たな評価項目も追加する考えを示した。具体的な追加項目はデータの充実度と評価段階（弾性波探査データ範囲と品質、坑井データの有無、評価段階）、地震や活構造の有無、地層圧力すなわち異常高圧等の有無、既存廃坑井の有無である。具体的な評価地点例とし

て、宮崎沖、能代沖、秋田沖～本荘沖を示した。その後、現時点での各地点の評価をまとめた表とプロットを示した。プロット図は横軸にデータの充実度、縦軸に技術的な評価項目を掛け合わせた技術評点を表示し、貯留可能量をバブルの大きさで示した。

委員との主な質疑応答は以下のとおりである。

1) 質問：今後の貯留適地調査においての調査井掘削の位置づけ、貯留適地選定プロセスなどは、報告の中で示した目次の今後の道筋と課題に書き込まれるのかと思われるが、その大枠のロジックは構築されていると理解してよいか。

回答：今後 2 年、主に 2022 年度を想定しているが、貯留可能量評価などをベースにして、有望と思われる地点をいくつか選び、社会的受容性・経済性の調査などを行い絞り込んでいく予定である。

2) 質問：レーダーチャートに関してだが、定性的に見ているものか。定量と定性の項目が混ざっていないかを懸念している。

回答：貯留層・遮蔽層などに関しては定量的な数値で区分しているが、定量化が難しい項目については定性的に評価している部分もある。

3) 質問：プロットに関しては、横軸をデータの充実度として、縦軸を技術評点としているが、技術評点にも定性的なものが入っているのか。

回答：縦軸の技術評点のほうは、貯留層、遮蔽層などのパラメータを掛け合わせてものなので定量的な数値が入っていると考える。

4) 質問：プロットは、右上に位置づけされると高評価であるということだが、各技術評点（縦軸）項目の評価点にマイナスがないため、評価を進めてデータ充実度（横軸）が向上すると必ず技術評点も上がり、すべての地点が右上の枠に入っていくのではないか。

回答：各項目の評価点にマイナスはないが 0.0～1.0 点となっており、また縦軸には各評点の足し算ではなく掛け合わせた結果をプロットしているので、データ充実度（横軸）が向上しても必ずしも技術評点が上がるわけではない。

5) 質問：目次案を見ると「各地点の評価結果の概要」では地点ごとに章立てしているが、地点によって評価の進み具合も違うのでそのようにリストするとまとまりがないように思える。そのため章立てに評価の進み具合を反映させる必要があると考える。

回答： ここで示している章立ては最終確定ではないが、評価の進んでいる地点を筆頭に並べている。

6) 意見：CCS は通常、資源開発などでフィールドの理解がある程度進んでいるエ

リアをターゲットにするが、今回の貯留適地調査事業はいわゆるバージンフィールドから探査を行い世界的に見ても非常に価値のあることをしていると感じる。そのため、データの充実度なども総合評価の内に含めていることは非常に良いことであると考える。

(2)　2022 年度以降の貯留適地調査計画（案）

①　本荘沖 3D 探査データ取得（案）

令和３年度委託事業において、本荘沖-秋田沖の笹岡層貯留層で約 53 億 t の貯留可能量を算出した。この地域では多くの弾性波探査データが取得されているが、陸側の水深が浅い領域は既存 3D 探査の範囲外にあり、その領域では既存 2D 探査データのみを用いて評価をしている。従来よりもコンパクトな新たな 3D 探査を実施することにより、水深が浅い領域において、地質解析・貯留可能量評価の精度向上を図る計画を示した。

委員との主な質疑応答は以下のとおりである。

1) 質問：提案している 3D 探査で良いが、報告の中で 2D に比べて 3D の品質が良いという説明があったが必ずしもそうとは限らず、稠密な 2D 探査のほうが通常の 3D 探査より分解能も改善し品質が向上するのではないか。

回答：一般的に 2D 探査が悪いのではなく、既存の 2D 探査データの品質が好ましくないということである。既存データは 1980 年代に取得したデータが主であり、ニアオフセットの欠落、受振点間隔が粗いなどの問題点がある。稠密な 2D 探査を行うのも一つの考え方ではあるが、堆積相解析などでは 3D のほうが解釈精度は高くなると考えており、本荘沖が有望な地域でもあることから 3D 探査の計画を選択した。

2) 質問：ケーブル長の長さに関して、報告でもあるように構造解釈を想定した場合は十分であるが、将来的に AVO（Amplitude Variation with Offset、オフセットによる振幅変化）解析を行う、もしくはファシス解析を行う際への影響は考慮したのか。

回答：ケーブル長 2,500m で 4 秒までデータを取れば 30 度までの入射角を確保できる。入射角の影響を最も受けるのは物性解析であると考え、また今までの調査では 45 度ぐらいあれば良いという考えで計画を立てていたが、他地点の物性解析を進める中で最近では AVO 解析などでも 45 度も要らず、入射角 30 度でも十分であるということが見えてきた。

3) 質問：海底受振ノード、ケーブルを使用せず、ストリーマーでの探査を選択した

理由は何か。

回答：ストリーマーであれば比較的安価に調査を実施できる。ノードでは広い領域をカバーできず、漁業漁具などを考えると海底設置は好ましくない。また、ノードでの調査は調査期間が長くなるため、漁協との関係性なども考慮してストリーマーを選択した。

8.4.3 第 3 回有識者委員会

(1) 令和 3 年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務報告

① 2021 年度 第 2 回有識者委員会(2021 年 11 月 25 日開催)での指摘事項整理

2021 年度第 2 回有識者委員会での指摘事項について今後の対応方針を示した。

本荘沖の南部調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーションにおいて貯留層内のフラクチャーを考慮したスタディ等を検討すべきと指摘を受けたが、フラクチャー分布を既存の弾性波探査データ等から評価することは困難であり、調査井掘削前の段階ではフラクチャーを考慮した評価は行わない考えを示した。

佐渡西方沖調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーションでは、遮蔽層粗粒ファシスの代表深度パラメータの値が浅いとの指摘を受けた。しかし、遮蔽層粗粒ファシスの代表深度はシミュレーションモデル内粗粒ファシス深度の加重平均値であり、実際には粗粒ファシス分布域は貯留可能域直上には存在せず、貯留可能域から離れた浅い深度に分布するため、問題ないと説明した。

京都―福井沖地質解析・貯留可能量評価の報告では、既存弾性波探査データの再処理測線に比べ、新規取得測線の結果が向上している原因・理由について明確化すべきであるとの指摘を受けた。第 2 回有識者委員会ではエアガンやストリーマー等のスペックの違いによる可能性が高いと答えたが、再処理測線のほうがエアガン容量は大きく、ストリーマー長も長い深部探査仕様であることが確認された。両測線は水平方向に約 3 km 離れており、両測線とも浅部のガス胚胎によるものと考えられる弱振幅・低周波が部分的に確認できるが、再処理測線のほうが、ガスによる影響をより大きく受けているものと考えられると説明した。

委員との主な質疑応答は以下のとおりである。

1) 質問：貯留層内のフラクチャーを考慮したスタディに関して掘削調査前では困難であり、坑井を使った圧力テストの情報が必要とのことについて承知した。圧力テストは遮蔽層・貯留層の両方を対象に測定しているという理解で正しいか。また、圧入後に新たな亀裂や地層の変形が発生する可能性があるが、圧力テスト

は圧入前の状態のみを確認しているという理解で正しいか。

回答：圧入テストではリークオフ前が対象となるので圧入前の状態確認となる。また、貯留層が対象となる。

2) 質問：京都―福井沖の既存弾性波探査について、深部をターゲットとして取得したデータであることもあり、エアガンアレイも大容量のガンを組み合わせて形成していると理解している。一方で新規取得は様々な容量のエアガンを組み合わせてアレイを形成していると考えるが、それに関してコメントはあるか。

回答：周波数成分解析は行っていないが、既存弾性波探査は大型のエアガンでアレイを形成して、低周波成分を主要とした深部調査に対応する仕様となっている。

② 2021 年度委託業務の進捗報告の概要

2021 年度委託業務の対象である 6 地点での取り組み状況の概要を説明した。その内の 3 地点における地質解析・貯留量可能評価および 2 地点における調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーションについて報告することを示した。また、既存廃坑井に対するリエントリーおよび是正の実現可能性調査、データアーカイブ業務（Phase-2）についても上記業務に加えて報告することを示した。

③ 酒田沖地質解析・貯留可能量評価

山形県酒田市の沖合が調査対象範囲であり、今年度新規取得した 2D 探査データと、昨年度再処理した既存 2D 探査、基礎試錐「最上川沖」と民間坑井データを用いて評価を行った。地質解析、堆積相解析においては、隣接する本荘沖地点を参考にホライズン解析を実施した。既存坑井結果および堆積相解析結果から、本荘沖地点とは異なる貯留層・遮蔽層を設定した。基礎試錐「最上川沖」で確認した下部貯留層（女川層砂岩＋船川層火山砕屑岩）は、二つの条件（反射波弱振幅の女川層の上位に強振幅の船川層、グラーベン／ハーフグラーベンに存在）を満たす範囲に同様に分布すると仮定した。その結果、貯留可能量評価として下部貯留層で三つの 1 億 t を満たす貯留可能域を見出した。今後 3D 探査データを取得し堆積層解析や物性解析を実施して評価の確度を向上することにより、本評価において砂岩層と評価できなかった範囲や、2D 探査測線間において局所的に発達する砂岩層を見つけることができる可能性について言及した。

委員との主な質疑応答は以下のとおりである。

1) 質問：女川層に関して断面図で反射波が弱いのは均質性のためと説明したが、坑井データなどでの確認は行ったのか。

回答：基礎試錐の坑井データを用いた合成弾性波探査記録でも確認を行っている。

質問：今回は坑井データがあったため、物性評価につなげることができたが、断面だけで評価すると泥層であると判断する可能性が高い。このような例は一般的によくあるものなのか。

回答：今までの経験ではこのような例はない。

2) 質問：堆積層解析の結果を見ると遮蔽層、貯留層の両層において砂質ファシスや泥質ファシスが混在している結果となっており、両層の構成物はほとんど同じであると考える。遮蔽層と貯留層の違いはどのように区別して判断したのか。

回答：坑井データに基づき判断した。

3) 質問：弾性波探査断面について新規取得断面と再処理断面を比べると品質の差が明確であるが、一般的に 60 年代などの既存データの再処理には限界があると考えて良いか。

回答：全てのデータを見てきたわけではないので一律にコメントはできないが、既存の古いデータでは、特に水深の浅い地域において多重反射抑制処理が上手く適用できないケースが多い。

指摘：古いデータの再処理にそのような限界があるのであれば、今後の再処理時には、データ取得年代を含めて、再処理に価する取得スペックの基準を整理しても良いのではないか。

④　新潟北西沖・佐渡南方沖地質解析・貯留可能量評価

新潟沖の貯留可能量評価は、2013 年度から始まり、2018（平成 30）年度に調査範囲の東方、新潟沖の沿岸の範囲において既存民間 3D 探査データの再処理データ等を利用し地質解析・貯留可能量評価を実施した。2021 年度は新潟北西沖・佐渡南方沖を対象として平成 30 年度基礎物理探査「新潟沖 3D」、「佐渡海盆 3D」、既存 2D 探査の一部、基礎試錐等を利用し、地質解析・貯留可能量評価を実施した。貯留層について、佐渡海盆では椎谷層上部層～西山層下部層の砂質岩を、新潟堆積盆地では西山層の砂質岩を貯留層として抽出した。堆積相解析の結果、これらの貯留層層準には砂岩優勢ファシスであるチャネル相とローブ相が分布していると解釈した。結果的に貯留可能域については佐渡海盆では 4 区域、新潟堆積盆地では 3 区域を抽出した。抽出した貯留可能域の貯留可能量は、佐渡海盆で約 2.5 億 t と算出され、この有望と評価された 1 区域を除き、他は 1 億 t 以下であった。次年度において佐渡海盆の有望とされる貯留可能域における調査井掘削前 CO_2 挙動予測

シミュレーションの実施を計画している。

委員との主な質疑応答は以下のとおりである。

1) 指摘：今回の評価は地質学的に興味深い結果となっており、3D 探査を行うことにより、評価の確度が向上した良い例であると考える。

2) 質問：資料を見るとローブに注目して貯留可能量を抽出したように説明しているが、ローブとレビーの二つの堆積層を考えているように見える。ローブとレビーでは砂泥比も違うので、どちらに解釈するかによって貯留可能量の評価も変わると考える。

回答：弾性波探査を用いたファシス解析では特徴が大きく変わらないので区別していない。しかし、アトリビュートおよび画像解析において特徴が異なるため、今後評価を更に進める場合には二つを区別して貯留可能量を評価できる可能性はある。

3) 質問：解析結果には影響はないと考えているが、今回報告した範囲では浅海域のごく一部だけ、多重反射波抑制の効果が限定的である箇所があったが、具体的な理由はあるのか。

回答：本来であれば多重反射波抑制は重合前に行うべきであるが、今回の限られた作業期間内では重合前まで戻り、データ処理作業を行うことは困難であったため、重合後の簡易的な多重反射抑制処理を適用した。重合前に戻り、従来の多重反射波抑制を適用すれば改善すると考える。

⑤　スレッショルド圧と地層破壊圧の考え方

圧入制限条件の一つ「遮蔽層下端の圧力はスレッショルド圧以下とする」について「原則として遮蔽層の下端圧力はスレッショルド圧以下とするが、スレッショルド圧を超えた場合でもシミュレーションなどの検討により、圧入停止 1,000 年後も安定的に CO_2 を貯留できると判断できればその条件も可とする」ことに、制限条件を緩和したく、その理由およびスレッショルド圧と地層破壊圧の考え方について説明した。

委員との主な質疑応答は以下のとおりである。

1) 指摘：　地層破壊圧を Ringrose ＆　Meckel の論文を基に議論を進めているが、論文の Appendix を見るとかなり不正確なデータを用いているため危惧している。

2) 指摘：地層破壊圧は、井戸を掘った後に行うリークオフテストの結果より得られる。実際の操業においては、CO_2 圧入圧力はこのリークオフテスト結果に基づ

き、その圧力に到達しないように管理される。CO_2最大圧入圧力については、安全性を考慮し、リークオフテスト結果の 70%で設定するサイトもあれば、90%というサイトもある。実際の操業においては、この安全性を考慮した最大圧入圧力を管理値として設定し、コントロールすることになる。よって、浸透率が小さく、あるいは圧入のレートが高くなると、貯留層の中の圧力は高くなるが、高くなっても圧入圧力が管理値を超えないように制御すれば、CO_2 は安全に圧入できるし、操業そのものにも問題ないというのがそもそもの考えである。

3) 質問：CO_2 の広がりを基準深度より浅い領域まで広げる場合、相変化をシミュレーターで再現できるか。

回答：シミュレーターとしては相変化が扱える仕様となっている。今後、その動作確認を行い再現の可能性を検討する予定である。

⑥ 秋田沖調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーション

秋田沖調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーションでは、これまでと同様に 5 坑井で年間 250 万 t、40 年間で 1 億 t の CO_2 が圧入可能であることを確認した。地質評価の結果では有望な地域とされているため、さらに 5 坑および 10 坑で 60 年間圧入した場合の最大貯留量についてもあわせて評価した。最大貯留量の評価では貯留層内の泥質岩におけるスレッショルド圧は超えるものの 1,000 年後も遮蔽層下端まで CO_2 は到達せずに、60 年間一定レート（1 坑井あたり 75 万 t- CO_2/年）で 5 坑井の全層仕上げで約 2.3 億 t-CO_2 貯留可能であることを確認した。また 10 坑井の下部 20%仕上げで約 4.5 億 t-CO_2 貯留可能であることを確認した。圧入した CO_2 の挙動に関しては最大貯留ケースでも、層準に沿って南北方向への広がりが観察されたが、貯留層の泥質岩ファシスが尖滅する北西部までは到達しないことを確認した。感度分析においては浸透率、N/G、スレッショルド圧に振れ幅を与えたケースを評価したが、各ケースにおいて 40 年間で 1 億 t-CO_2 貯留可能であることを確認した。

委員との主な質疑応答は以下のとおりである。

1) 質問：シミュレーション結果では容積法で求められた貯留可能量と比べて値が減少したが、圧入方法の検討をさらに進めれば容積法で得られた値に近づくのか。

回答：容積法による貯留可能量は最大値であり、CO_2 の貯留が可能な「器」を示す数値であるため、一般的に貯留可能量はシミュレーション結果において減少する。この地域では今回の検討制約では約 4.5 億 t と算出されたが、貯留形状が

非常に良好であり、さらに坑井位置や圧入レート等を詳細に検討すればこの値は増加すると考える。

2) 指摘：容積法は貯留適地のスクリーニングを行う際に優先順位を決めるためのパラメータである。スクリーニングの結果を基に追加の調査（3D 探査など）を行い、シミュレーションを通して確度を上げて評価を進めるのが一般的である。容積法とシミュレーションによる貯留可能量は、目的と用途が違うため結果を単純に比較すると誤解を招くことになる。

3) 質問：5 坑井、10 坑井ケースにおいて均等な間隔で坑井を配置しているように見えるが、間隔はどれくらいか。

回答：500 m 間隔で配置している。

4) 質問：この地域では断層への影響はないとまとめているが、それはどのように判断したのか。断層への影響を考えると圧力は CO_2 の挙動範囲の先へ伝搬するため、その影響を注視する必要があると考える。

回答：従来通り、超臨界 CO_2 の挙動が遮蔽層を切る断層から 2.5 km の離隔距離をとっていることを確認している。シミュレーションでは圧力を確認しており、今回は圧力の上昇も少ない。

⑦　日高沖調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーション

5 坑井で年間 250 万 t、40 年間で 1 億 t の CO_2 が圧入可能であるかの確認を目的として日高沖調査井掘削前シミュレーションを実施した。結果は、上記パラメータの設定では 1 億 t-CO_2 の圧入が不可能であった。1 億 t- CO_2 の圧入を可能にするためには、坑井数を 10 坑井とするとともに、圧入期間を 56 年間に延長する必要があり、これらの条件ではスレッショルド圧を超え、遮蔽層に CO_2 が浸透する結果となった。また、圧入レートや圧入期間の 1.5 倍に増加・延長したケースも検討したが効果は限定的であった。感度分析においては浸透率が想定より良好（約 2 倍）であった場合には圧入期間や状況などが改善される可能性を確認した。今後の課題としては坑井数の増加、仕上げ区間の工夫があげられる。

委員との主な質疑応答は以下のとおりである。

1) 質問：水平坑井であれば効率をあげることができると考えるが、今回は検討しなかったのか。

回答：水平坑井もしくは高傾斜坑井であれば、圧力の上昇もある程度避けることができ、圧入の効率を改善できる可能性はある。今後の課題であると認識している。

⑧ 既存廃坑井に対するリエントリーおよび是正の実現可能性調査

CO_2 貯留適地候補の中には、過去に油ガスの探鉱対象地域として、廃坑措置がなされた試掘井などが存在する場合がある。既存の廃坑井の中には CO_2 漏洩経路となる可能性があるものもあり、適切に対応できるか否かが貯留適地としての要件となる。貯留適地候補地の一つにおいて CO_2 を貯留した場合、その漏洩に関して許容できないリスクとなる可能性がある廃坑井 A を対象として、CO_2 漏洩リスク低減のためのリエントリーおよび是正に関わる手法を検討し、その実現可能性の調査実施結果を報告した。

委員との主な質疑応答は以下のとおりである。

1) 質問：使用するセメントの CO_2 に対する耐性についてコメントはあるか。
   回答：セメントに関しては耐 CO_2 セメントを使用する予定である。
2) 質問：廃坑井がある地域に関しては CO_2 圧入前に必ず廃坑井の是正処置を行わなくてはならないのか。
   回答：全ての廃坑井で行う必要はなく、各貯留地点での CO_2 の挙動が廃坑井へ到達する可能性、廃坑の状態、漏洩リスク等を確認して判断する必要がある。また、作業の難易度も地点によって異なる。
3) 質問：コンティンジェンシー80%は多くないか。コンティンジェンシーなしの見積もりも示してもよいのではないか。
   回答：今回調査検討した廃坑井の是正作業は不確実性のある作業項目が多く含まれ、坑井の情報も少なく、経験的にも古い井戸の改修では想定していないことも起こりうるため、80%のコンティンジェンシーを見込む工程を標準としている。
4) 指摘：漏洩経路によって対処法および漏洩が地表に到達するまでの時間も異なる。廃坑井内の漏洩および経路を確認する観点からは光ファイバー技術を使った廃坑井のモニタリングが有効であると考える。
5) 指摘：廃坑井においては漏洩が検知されてから処置を行うことも可能ではないのか。国内では陸上において廃坑した古い石油・天然ガス坑井が多数あり、漏洩が検知されたときのみ是正処置を行っている。このような考えもオプションとして検討してもよいのではないか。

⑨ 各調査地点のデータアーカイブ業務(Phase-2)

適地調査事業において様々な解析を実施した解析データや評価結果は、2022 年度以降の適地調査事業や CCS の事業化段階において活用されることが期待される。そのため、

適地調査事業において得た各種データおよび資料を散逸せず、一元的に管理することを目的として作成したデータアーカイブについて報告した。運用については、委託者と協議する必要がある。

委員との主な質疑応答は以下のとおりである。

1) 質問：このデータアーカイブシステムは誰が使用するのか。提供の考え方についてコメントはあるか。

回答：当面は JCCS が事務局として保持する予定である。このシステム自体を事業者等へ貸し出すことは考えていない。

質問：データに関しては CCS を検討している事業者等へ貸し出すことになるのか。

回答：データの貸し出しに関しては今後、JOGMEC が管理することが予定されており、このシステム内のデータを JOGMEC に移管する予定である。

2) 質問：JCCS がこの事業で得たノウハウ等はデータアーカイブシステムに含まれるのか。

回答：システムには含まれていない。

(2) 2022 年度以降の貯留適地調査計画（案）

① これまでの総括と 2022 年度以降の適地調査事業について

これまでの適地調査事業の総括と来年度以降の計画案について報告した。

2014 年度～2021 年度にかけて、新規に 2D 探査を 8 箇所、3D 探査を 4 箇所において実施し、それらの結果および既存データを用いて 25 地点において地質解析・貯留可能量評価を実施し、その結果、3D 探査データに基づく解析結果では、11 地点において合計約 160 億 t の貯留可能量を算定した。また、データの充実度と技術的リスク評価により、各地点間の相対評価を実施し、優先度の高い複数地点を抽出したが、現時点では調査井の掘削までは至っておらず、次期フェーズにおいて早期に調査井を掘削した上で、貯留適地の選定を実現する必要がある。今後は調査井掘削候補地の選定と並行して、各地点のポテンシャル評価を継続的に進める必要があり、地点ごとの評価案を検討している。2022 年度以降の貯留適地調査事業に関して、JCCS が示す CCS 社会実装に向けたシナリオおよび適地調査計画案を提示した。

委員との主な質疑応答は以下のとおりである。

1) 質問：容積法の貯留可能量についての考え方を公開する際に整理して記載する必要があると考える。実際に圧入を行った際に容積法の貯留可能量に届かない

理由等を説明し、貯留可能量の記載に反映しなくては誤解を招くこととなる。例として、貯留可能量をレンジなどで示せば、読み手も範囲の幅で数値の確度についてある程度の考えを持つことができるのではないか。

回答：貯留可能量を振れ幅で示すのは今後の課題であると考える。容積法で得た値が貯留可能量の最大値と考えるが、最低限の値は示していない。なお、この表で記載している地点に関しては 1 億 t 以上の貯留可能域を足し合わせたものとなるので最低でも 1 億 t の圧入が可能である個所であると考える。

2) 指摘：容積法から得た貯留可能量に関しては地点比較をするために有効であり、石油開発での原始埋蔵量と同等のものであると考える。そのため、容積法での貯留可能量とシミュレーションで得た貯留可能量を分けて示すことは有効であると考える。

② 2022 年度計画概要

2022 年度に JCCS が貯留適地調査事業を行う場合に予定している業務とその概要を説明した。具体的には本荘沖にて、3D 探査データの取得と処理、これまでの地質解析で得られた結果を活用した堆積システムの検討業務、海底地形コンパイルと調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーション、そして調査井掘削候補地点の選定のために、経済性調査、社会的受容性等調査、総合評価を行う予定であることを報告した。

委員との主な質疑応答は以下のとおりである。

1) 質問：社会的受容性に関する調査を行う対象を 8 地点選定しているが、この 8 地点で排出源やコストなどを考えたうえで、日本における CCS の社会実装をカバーできるのか。

回答：この 8 地点はこの事業のこれまでの経緯とも関係があり、地理的にも偏りがある。日本で CCS を進めて行くには、さらに弾性波探査等を含めた調査等を継続する必要があると考える。しかし、現時点での適地調査事業から得られた結果では、この 8 地点が最も有望である。

2) 指摘：経済性調査の対象地点に関してはコストおよび事業促進の面から見ても、陸域からの掘削もしくはジャッキアップリグで掘削が可能な地域に絞っても良いのではないか。

第９章

まとめと課題

第９章　まとめと課題

本業務では、2D 探査、地質解析と貯留適地評価、調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーション等の調査業務を実施し、調査地点の総合評価を見直した。本業務による総合評価に基づき、2022 年度以降の貯留適地調査の予定を作成した。その他の業務として、社会的受容性の醸成活動を実施した。

なお、貯留適地調査事業では、有識者委員会での確認を経て一連の業務を実施している。

9.1　本業務の成果

本業務の成果は以下のとおりである。

9.1.1　2D/3D 探査の実施

貯留適地調査業務では、基礎物理探査、公的機関および民間の既存 2D/3D 探査データの有無を確認し、必要に応じて新規の 2D/3D 探査を実施している。

本業務では、酒田沖で新規 2D 探査を実施した。

酒田沖は既存 2D 探査データにより厚い堆積層が存在する可能性が示唆され、貯留可能域を抽出できる可能性が指摘された。本地点における地質解析と貯留適地評価に資するデータを得ることを目的として、新規 2D 探査のデータ取得およびデータ処理を実施した。

9.1.2　二酸化炭素貯留適地調査に係る調査・解析・検討の実施

本業務において実施した業務の成果を以下に示す。

(1)　海底地形判読および海底地質情報コンパイル

新潟北西沖および佐渡南方沖の 2 地点において、海底地形および海底地質に関する情報を整理した。

(2)　地質解析と貯留適地評価

秋田沖の北部区域において、基礎物理探査 2D 探査データ、基礎物理探査 3D 探査データ、民間 2D 探査データ、基礎試錐坑井データ、民間坑井データを用いて地質解析と貯留適地評価を実施した。その結果、更新世笹岡層貯留層で容積法により 1 億 t 以上の貯留可能域を一つ抽出し、貯留可能量は約 3.9 億 t と算定した。あわせて、秋田沖～本荘沖において過年度業務で算定されていた貯留可能量を含めて総括した。その結果、秋田沖～本荘沖における貯留可能量は、鮮新世桂根相下部相当層（下部貯留層下部）で約 4.2 億 t、桂根相上部相当層（下部貯留層上部）で約 2.6 億 t、笹岡層相当層（上部貯留層）で約 53.0 億 t と算定した。

新潟北西沖および佐渡南方沖において、基礎物理探査 3D 探査データ、基礎試錐坑井デー

タ、民間坑井データ、および本業務にて実施した海底地質情報のコンパイルデータを用いて地質解析と貯留適地評価を実施した。その結果、佐渡南方沖（佐渡海盆）では鮮新世の椎谷層～西山層で四つの貯留可能域を抽出したが、容積法により 1 億 t 以上の貯留可能量を算定したのは貯留可能域 1 のみであり、貯留可能量は約 2.5 億 t と算定した。新潟北西沖（新潟堆積盆地）では鮮新世～更新世の西山層で三つの貯留可能域を抽出したが、いずれも貯留可能量は 1 億 t 以下であった。

京都－福井沖において、基礎物理探査 2D 探査データ、2020 年度に実施した 2D 探査のデータおよび基礎試錐坑井データを用いて地質解析と貯留適地評価を実施した。その結果、中期中新世の貯留層で 1 億 t 以上の貯留可能域を三つ抽出し、貯留可能量の合計を約 14.0 億 t と評価した。

酒田沖において、基礎物理探査 2D 探査データ、2021 年度に実施した 2D 探査のデータおよび基礎試錐坑井データを用いて地質解析と貯留適地評価を実施した。その結果、下部貯留層（中期中新世～鮮新世 女川層、船川層）で 1 億 t 以上の貯留可能域を三つ抽出し、貯留可能量の合計を約 3.9 億 t と評価した。

(3) 調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーションによる貯留可能性検討

本業務で、日高沖と秋田沖の 2 地点において調査井掘削前 CO_2 挙動予測シミュレーションを実施した。

日高沖では、遮蔽層（鮮新世 萌別層）の地層破壊圧力が比較的低いこと、および貯留層（後期中新世～鮮新世 平取・軽米層、荷菜層、萌別層）の浸透率が比較的低いことにより、想定した圧入レート（50 万 t/坑/年）を維持することができず、5 本の圧入井では 40 年間で累計約 0.5 億 t の圧入可能量に留まった。また、累計約 1 億 t の圧入には 10 本の圧入井で 56 年間の圧入が必要であることを確認した。なお、本シミュレーションでは、遮蔽層下端圧力が制約条件であるスレッショルド圧を超えるが、遮蔽層内への CO_2 の浸透は圧入量の 0.2%であり、遮蔽層上部にも到達していないことから貯留可能と判断した。

秋田沖では、更新世の笹岡層貯留層を対象として、坑井配置を 1 箇所から掘削可能な範囲に収まるよう 500 m 間隔で 5 本配置し、目標圧入レートは 1 坑井あたり 50 万 t-CO_2/年、40 年間で 1 億 t-CO_2 の貯留が可能であることを確認した。また、坑井数 10 本、貯留層層準の下部 20%区間の仕上げであれば、溶存 CO_2 の広がりは貯留可能域内に抑えられ、60 年間で 4.5 億 t 貯留可能であることを確認した。

(4) 既存廃坑井に対するリエントリーおよび是正の実現可能性調査

既存の廃坑井は CO_2 漏洩経路となる可能性がある。貯留適地候補地点の一つにおいて、

CO_2 を貯留した場合にその漏洩に関して許容できないリスクとなる可能性がある既存廃坑井を対象として、CO_2 漏洩リスク低減のためのリエントリーおよび是正に関わる手法を検討し、その実現可能性の調査を実施した。

本調査では、海底面付近の切断されたケーシングにシール性を保持しながら同径ケーシングを接続することによる坑口部からのリエントリー手法と、インターセクション坑井を介するリエントリー手法の検討を行った。

二つのリエントリーおよび是正の手法はともにコンティンジェンシー計画を策定することで実現可能との結論となった。両手法の長所と短所を比較し、本廃坑井では、坑口部からのリエントリーおよび是正の手法がより現実的と考え、同手法に対して、詳細な作業手順を検討し、順調なケースで作業日数 38 日間、作業費用 23 億円、想定しうる複数のリスク事象を考慮した最大ケースで、作業日数 127 日間、作業費用を 50 億円と見積もった。

(5)　各調査地点のデータアーカイブ業務

2014 年度から 2021 年度までの貯留適地調査事業で得た各種データおよび評価結果を統一的に整理し格納する、データアーカイブシステムを作成した。

平成３１年度委託事業の繰越業務においてデータアーカイブ業務 Phase-1 を実施し、データ管理方法や媒体案を検討した。本業務においてデータアーカイブ業務 Phase-2 として、各種データおよび評価結果の整理ならびに集約を行った。

データアーカイブシステムには、貯留適地調査事業で評価を行った 28 地点を調査範囲毎（地質解析業務毎）に 19 地域に整理して格納した。データの内訳は、弾性波探査業務データ、地質解析業務データ、海底地形コンパイル業務データ、地表調査・試料分析業務データ、シミュレーション業務データ、物性解析業務データ等である。これらのデータを設定したルールに基づき整理格納し、リスト化するとともに、フロントエンドとなる GIS ソフトウェアから容易にアクセスすることを可能とした。

(6)　報告書

JCCS は、JOGMEC から国内石油天然ガス基礎調査基礎試錐および同海上基礎物理探査等に関する資料ならびに民間会社から坑井掘削および 2D/3D 探査に関する資料を借用し、本業務を遂行した。借用資料には経済産業省および民間会社が公開不可としている資料が含まれており、本報告書では公開不可資料を掲載することなく調査結果をまとめた。

9.1.3　2022 年度以降の調査候補地点の選定および調査計画（案）の作成

(1)　貯留適地調査地点の総合評価

本業務において、2021 年度の調査結果に基づき、令和 2 年度委託事業における 2020 年度末の調査地点の総合評価を、表 5.2-2 に記載している総合評価基準により見直した。2021 年度末の調査地点の総合評価結果は表 5.2-3(1)～(2)に示したとおりである。同表に記載の 41 地点のうち、総合評価 AD の 4 地点（能代沖、秋田沖、本荘沖、宮崎沖）、総合評価 S の 9 地点（日高沖、酒田沖、新潟沖、佐渡西方沖、新潟北西沖、佐渡南方沖、京都－福井沖、鳥取沖、茨城沖北部）、総合評価 A の 4 地点（石狩－礼文沖、紋別沖、隠岐西沖、隠岐北沖）の 17 地点を有望な貯留適地候補地点として評価した。

(2)　貯留適地調査の 2022 年度の予定

図 5.3-2 に示した 2022 年度の貯留適地調査計画（案）では、有望な貯留適地候補地点として評価した 17 地点のうち 2 地点（石狩－礼文沖、紋別沖）を除いた 15 地点で調査を継続する計画としている。

①　2D/3D 探査を実施する調査地域の選定

本業務による総合評価の結果、2022 年度に 3D 探査を実施する地点として本荘沖を選定した。令和 2 年度委託事業において、本荘沖－秋田沖の笹岡層貯留層で約 50 億 t の貯留可能量を算出した。しかしながら本荘沖では、貯留可能域内の陸側の水深が浅い海域においては、既存 3D 探査データが存在せず、既存 2D 探査データのみを用いて評価を行っている。当該範囲における地質解析精度の向上を目的として、新規 3D 探査を実施する。

隠岐西沖および隠岐北沖については依然として地元調整が難航しているため、2022 年度に 2D 探査を実施できる状況にはないが、最新情報を収集しつつ、2023 年度以降に実施できるように地元調整を継続する。

②　2022 年度に地質解析を実施する地点の選定

2014 年度から 2021 年度にかけて実施した貯留適地調査事業における地質解析結果データを用いた堆積システムの整理、および日本により適合した堆積モデルの検討を行う予定である。貯留適地調査事業において実施した堆積相解析の結果から、日本において卓越する堆積システムとその分布、日本海側と太平洋側の地域的な堆積システムの違いや、どのような堆積システムの組み合わせがより貯留に適しているか等を検討する。

9.1.4　その他

(1)　社会的受容性の醸成活動

貯留適地調査事業に関する社会的受容性の醸成を図るため、自治体や地域住民への事業説明や各地での展示会を活用し、国内の幅広い世代への CCS に関する情報発信活動を計画したが、本業務における実績は第 6 章に示した 1 件に留まった。また、各種講演会において貯留適地調査事業の概要と現況等について講演し、貯留適地調査事業および日本の貯留ポテンシャルへの産業界や大学関係者等の理解の促進に努めた。

(2)　有識者委員会の運営

本事業を的確に推進することを目的に、第三者の有識者による助言および指導確認を受けるための委員会を設置し、3 回開催した。

9.2　課題

今後の課題として、次の項目をあげる。

9.2.1　事業の進捗状況

貯留適地調査事業の当初目的は、2020 年度末の CCS 技術の実用化という目標（苫小牧 CCS 実証試験開始時の目標）を受けて、国内に 3 箇所程度の大規模貯留適地を提示することであった。2013 年度に、RITE による既往調査結果を参照し、17 区域 23 地点の候補地（調査対象地点）を CO_2 貯留可能量 1 億 t 以上の貯留適地候補地点として抽出した。その後、各年度事業において地質調査および地質解析等を実施し、2021 年度末において有望な貯留適地候補地点として評価した 17 地点のうちの 15 地点について貯留適地調査計画(案)（2022 年 3 月）を作成し、図 5.3-2 に示した。

同計画では、図 5.3-1 に示した従来から採用している貯留適地調査の進め方を踏襲した。2022 年度以降に想定される第二段階の貯留適地調査事業において調査井掘削に向けた準備を開始すると仮定すると、調査井掘削および評価分析の完了年度が最短の能代沖で 2025 年度、本荘沖で 2026 年度上期、秋田沖で 2028 年度上期、その他の地点では未定となっており、当初目標から 5 年～7.5 年遅れている[1)]。遅れの要因は、2D/3D 探査実施時期の制約および地元交渉の難航により地質調査の実施が遅れたこと、基礎物理探査データの公開が見込みより遅れたこと、地質解析結果により必要となった追加地質調査を実施したこと、調査井掘削候補地点での事前調査と準備および 3 箇年度以上の複数年事業で実施する必要がある調査井掘削の保留等があげられる。

貯留層総合評価には調査井掘削が必要条件であり、有望な貯留適地候補地点で調査井を

掘削した場合であっても貯留適地として不適と判定される可能性があるため、有望であることを確認した貯留適地候補地点において、順次、調査井を掘削するための体制を構築する必要がある。

9.2.2　社会的受容性の醸成

今後、貯留適地調査事業を推進継続するためには、地元自治体と関係者および調査対象海域で操業する漁業関係者に対して丁寧な事前説明を行い、調査実施時期の調整を行うとともに、貯留適地調査事業に対する理解と協力を得ることがきわめて重要である。これまで2D/3D 探査の実施について地元に対し説明を重ねてきたが、調査井掘削段階に向けて、2D/3D 探査調査と調査井掘削でわかることの違いや調査井の必要性について丁寧かつわかりやすく説明する必要がある。調査地域住民に対しては、CCS に関する正しい情報を発信し、CCS の社会的受容性を醸成していくことが重要である。

また、新型コロナウイルス感染拡大防止のため、これまで基本としてきた対面での説明が必ずしも実施できない状況が続くことも考えられるため、その状況に適した説明の手段を検討する必要がある。

【参考文献】

1) 日本 CCS 調査(株)、“令和２年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務”報告書(2022)

令和３年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務
調査報告書　附属書１
令和４年３月

用 語 集

１．略語一覧

【組織名】

AIST　：National Institute of Advanced Industrial Science and Technology／
国立研究開発法人産業技術総合研究所

JAMSTEC　：Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology／
国立研究開発法人海洋研究開発機構

JOGMEC　：Japan Oil, Gas and Metals National Corporation／
独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構

NEDO　：New Energy and Industrial Technology Development Organization／
国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

RITE　：Research Institute of Innovative Technology for the Earth／
公益財団法人地球環境産業技術研究機構

【委員会・検討会】

Ｈ２５経済産業省委員会　：「平成２５年度中小企業等環境問題対策調査等委託費（全国二酸化炭素貯留層基礎調査）に係る委員会」

Ｈ２５環境省検討会　：「平成２５年度我が国周辺水域二酸化炭素貯留適地検討会」

【事業名】

平成２５年度経済産業省委託事業　：経済産業省委託事業　「平成２５年度中小企業等環境問題対策調査等委託費（全国二酸化炭素貯留層基礎調査）」

平成２５年度環境省委託事業　：環境省委託事業　「平成２５年度シャトルシップによるＣＣＳを活用した二国間クレジット制度実現可能性調査委託業務」

平成２６年度委託事業　：経済産業省・環境省委託事業　「平成２６年度二酸化炭素貯留適地調査事業」

平成２７年度委託事業　：経済産業省・環境省委託事業　「平成２７年度二酸化炭素貯留適地調査事業」

平成２８年度委託事業　：経済産業省・環境省委託事業　「平成２８年度二酸

化炭素貯留適地調査事業」

平成２９年度委託事業　：環境省・経済産業省委託業務　「平成２９年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務」

平成３０年度委託事業本業務　：環境省・経済産業省委託業務　「平成３０年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務」

平成３１年度委託事業本業務　：環境省・経済産業省委託業務　「平成３１年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務」

令和２年度委託事業本業務　：環境省・経済産業省委託業務　「令和２年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務」

本業務　：経済産業省・環境省委託業務　「令和３年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務」

２．用語一覧

表１　用語集（五十音）

五十音	用語	説明
ア行	アイソクロン	特定の層準の垂直方向で同じ厚さ（往復走時）のこと。
	アウトサイドミュート	弾性波探査のデータ処理内容の一つで、大きなオフセット範囲の波形の振幅を抑制する処理のこと。
	圧縮強度	一軸ないし三軸圧縮試験において、試料が破壊に達した時の試料への載荷圧力のこと。
	アトリビュート解析	属性解析ともいう。3D 探査によって得られた弾性波動トレースの 3 次元ボリュームデータを使用して、波動トレースが持つ各種特徴（属性）を抽出し可視化する技術である。 着目する属性によりさまざまな解析の種類があり、類似性・相関性に着目したシミラリティアトリビュート解析、反射強度と卓越周波数に着目したスイートネスアトリビュート解析、3 つの周波数成分と堆積相の相関を基に、光の 3 原色（RGB）を用いて可視化する RGB ブレンディング解析等がある。
	アニュラス	坑壁とケーシング、パイプとケーシング間等の環状の間隙のこと。
	阿武隈リッジ	宮城県南部から茨城県北部にかけての沿岸に発達する、常磐沖堆積盆地の東縁部に南北方向に連なる先第三系のリッジのこと。
	安山岩	火山岩の一種。斜長石・輝石の斑晶 （はんしょう） を含み、また、角閃石 （かくせんせき） や黒雲母 （くろうんも）、輝石(きせき) を含むこともある。日本で最も普通の火山岩で、土木・建築材や墓石などに使用される。
	イートン法	弾性波探査や物理探査データから地層圧力を推定する手法の一つ。
	異常高圧	地層圧が地層水による静水圧力を超えること。
	逸泥	坑井内の泥水が地層中に失われること。
	イライト	ケイ酸塩鉱物の一種でカリウムを含む粘土鉱物のこと。砕屑性または高温な熱水変質鉱物として出現する。
	インターセプト・アトリビュート	AVO 解析で得られるアトリビュートの一つ。P アトリビュートともいう。P 波の反射係数を表し、音響インピーダンスの変化に反応する。
	インバージョンテクトニクス	既存の断層が、これまでとは異なった運動方向に再活動することによって新しい地質構造を形成すること。特に、堆積盆の拡大期に引張応力により正断層として活動した断層が、その後の応力場の変化により圧縮応力によって逆断層として再活動する例がある。
	インピーダンス	弾性波速度と密度の積で与えられる物理量のこと。単にインピーダンスという場合は、P 波（音響）インピーダンスを指すことが多い。
	インライン	Inline (IL)。三次元反射法処理において定義される平面の方向の一軸のこと。
	インライン CMP ビンサイズ	受振器測線方向（海上調査ではストリーマケーブル曳航方向）の CMP ビンの大きさ。受振点間隔の 1/2 となる。受振点が 25m であれば 12.5m となる。
	ウェットガス	メタンとともにエタン、プロパン、ブタン、ペンタンなどの高級炭化水素をある程度以上含む可燃性天然ガスのこと。
	エアガン	水中で圧縮空気を瞬間的に放出して弾性波を発生させる非爆薬振源装置のひとつ。海域での反射法弾性波探査では最も一般的に使用される。

五十音	用語	説明
	エアガンアレイ	容量の異なるエアガンを複数組み合わせたもの。エアガンアレイにより波形をパルスに近づけることができる。
	エクスパンダブルライナーハンガー	上部ケーシング内からライナーケーシングを吊り下げる機器であり、パイプを塑性変形により拡張させ、上方ケーシング内に密着させる機構を有するもの。
	エチレングリコール	溶媒、不凍液、合成原料などとして広く用いられる 2 価アルコールの一種で、分子式は $C_2H_6O_2$ である。粘土鉱物の同定に利用される。
	延性度	一軸ないし三軸圧縮試験において、試料が破壊に達した時の試料への歪のこと。
	往復走時	Two Way Time (TWT)。振源から伝播する弾性波が地下で反射し、受振点まで到達するのに要する時間。
	オングストローム	長さの単位で、Å と表記する。1 Å = 10^{-10}m = 0.0001 μm = 0.1nm である。
	オーバーバーデン圧	それより上部にある岩石の重量によって生じる圧力。
	オープンニコル	偏光顕微鏡の光路に偏光子のみを差し込んだ状態のこと。鉱物の形状、色、屈折率、多色性などが観察できる。
	オフセット	弾性波探査における、発振点と受振点の間の距離のこと。
	音響インピーダンス	媒質の弾性波速度と密度の積で与えられる物理量である。
	音響インピーダンス解析	坑井において求めた音響インピーダンスログと岩相分布を対比し、砂岩層や泥岩層の特徴を音響インピーダンスボリュームから抽出する解析手法のこと。
	音響基盤	弾性波探査や音波探査記録断面上で、層序解析が可能な最も下位の反射面の総称である。音響基盤の基準は、絶対的ではなく、使用機器の特性や調査の目的によって異なる。
	温度勾配	地温勾配。地球内部の熱源から地表に伝播してくる熱エネルギーに起因して、深度の増加とともに温度（地温）が高くなる割合。100 m（もしくは 300 ft）当たりの温度で表すことが多い。世界の多くの堆積盆地では 1.5～5℃/ 100 m とされる。
	音波検層	発信機器から音波を地層に発信し、受信機にて戻った波形を記録することで、地層中の音波の走行速度を求める検層のこと。
	音波探査	水中で音を発振し、反射または屈折する音波により水底下の地質構造を調べる手法である。音源として、水中放電を使用するスパーカー、高圧空気を使用するエアガン、振動板を使用するブーマーなどがある。
	オンラップ	弾性波探査データの比較的水平な反射波の端が、傾斜した下位の反射波に斜めにぶつかる形態のこと。便宜的には陸方向へ向かって反射波が消滅する現象をいう。
カ行	外圧加圧式のテスターバルブ	坑内流体の産出テスト時に、パイプに接続して坑内に降下されるバルブであり、パイプ外側の圧力制御によりその開閉を行うもの。
	海進期堆積体	Transgressive systems tract (TST) 地層成因論を相対的海水準変動によるものとする概念「シーケンス層序学」の用語であり、堆積盆内の海水準が上昇している時期に堆積した堆積体のこと。
	海底擬似反射面	Bottom Simulating Reflector(BSR)。海底擬似断面ともいう。 弾性波記録断面上で、層理面とは関係なくほぼ海底面に並行（往復走時差で通常 0.5 秒以内）して現れる強振幅のイベントで海底擬似反射面といわれる。例としてメタンハイドレート層の下限に見られることが多い。

五十音	用語	説明
	海底谷	Submarine canyon。海底にある陸上の谷地形に似た細長い凹地。
	海底受振ケーブル	Ocean Bottom Cable(OBC)。 地震計およびデータ転送装置を内蔵した、海底に設置するケーブルである。長期間設置用に開発されたものは、設置型 OBC とよばれ、長期間にわたる地震動のモニタリングに適している。
	海底扇状地	Submarine fan。海底にみられる扇状の堆積地形。
	海底面下深度	Meter Below Sea Floor (mBSF)。海底面をゼロとした場合の深度。
	カオリナイト	ケイ酸塩鉱物の一種で粘土鉱物のこと。化学組成は $Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$、結晶系は三斜晶系である。
	火砕岩	火山砕屑岩ともいう。 火山活動により放出された破片状の固体物質を火山砕屑物と総称し、これが固結したもの。
	火山角礫岩	火砕岩のうち、主として粒径 64mm 以上の火山破屑物から構成される岩石（図２「火砕岩の分類」を参照）のこと。
	火山岩	マグマが冷え固まってできた岩石のうち地上もしくは比較的浅い地下で固まった岩石のこと。
	火山礫凝灰岩	火砕岩のうち、主として粒径 2～64mm の火山破屑物から構成される岩石（図２「火砕岩の分類」を参照）のこと。
	ガスチムニー	地層中の深いところから浅部に向かってメタンガスなどが抜けた形態のこと。
	活断層	最近の時代まで活動しており、将来も活動する可能性のある断層のこと。〈最近〉とは、一般に第四紀の後期（およそ十数万年前以降）を指す。
	カッティングス	坑井掘削時にビットで掘り起こした岩石片のこと。
	カットオフ値	定量的検査について、検査の陽性／陰性を判別する値のこと。
	桂根相	秋田地域標準層序では天徳寺層に発達する砂泥互層を指し、秋田沖坑井層序では船川層から下部天徳寺層中に発達する砂泥互層を指す。
	ガラス基流晶質組織	火山岩の石基組織の名称の１つ。細かい柱～針状の斜長石の隙間を主としてガラスが埋めたもののこと。
	ガラスシャード	マグマが急激に冷却され、非晶質のままガラス状に固化した破片のこと。
	軽石ガラス質石質ワッケ	基質含有量 15%未満の砂岩のうち、砕屑粒子として軽石ガラス片を特徴的に多く含むもの。
	含角閃石紫蘇輝石普通輝石安山岩	紫蘇輝石、普通輝石を含む安山岩で、角閃石もまれに含むもの。
	ガンマ線検層	地層中から自然に放射されるガンマ線を計測する検層のこと。
	岩石圧縮率	岩石が加圧されることにより変化する体積の割合のこと。
	岩相	地層の特徴のこと。
	基質量	砂岩を構成する砕屑粒子のうち、直径が 20 もしくは 30μm 以下のもの。
	基図	GIS を利用して図を作成する場合に背景図となる地図データのこと。
	基礎試錐	長期計画に基づき、国の事業として石油・天然ガスの基礎データ取得を目的として掘削された調査井のこと。
	基礎物理探査	国の事業として石油・天然ガスの基礎的データ取得を目的とした調査の中で実施されてきた物理探査のこと。
	キック	地層流体が坑内に侵入すること。
	キックオフポイント	傾斜掘り掘削において、坑井傾斜の増角を開始する深度。

五十音	用語	説明
	逆断層	断層によって地層が切断され、断層に沿って上の岩（上盤）が下の岩（下盤）に対して乗りあがるような運動をした断層。
	凝灰角礫岩	火砕岩のうち、粒径 64mm 以上の火山破屑物と基質である火山灰よりなる岩石（図 2「火砕岩の分類」を参照）のこと。
	凝灰質石質ワッケ	基質含有量 15%未満の砂岩のうち、砕屑粒子として凝灰岩岩片を特徴的に多く含むもの。
	共通受振点記録	弾性波探査において、同一地点での受振によって得られる観測記録波形のこと。
	共通発振点記録	ショットギャザーともいう。 弾性波探査において、同一地点での発振によって得られる観測記録波形のこと。
	共役断層	同一時期に同一条件下の力の作用でできた、ずれの向きが互いに逆である断層の組のこと。
	極隆部	背斜構造の中で相対的に高い部分をいう。
	キルマッド	地層流体の坑内流入を停止させるための高比重泥水。
	キンク構造	結晶に見られる変形構造のひとつである。滑り面が局所的に屈曲した変形帯状領域や、岩石の劈開面に見られるシャープな屈曲で示される帯状部分のこと。
	空気浸透率	多孔質媒体内における空気の流れやすさを示す測度で，その媒体に固有の性質である。
	空気粘性	空気浸透率測定時に、対象試料内を流れる空気の粘度のこと。
	掘削深度	坑井の掘削に使用するパイプ長さより求められる坑井の深度。
	掘削船	海洋での掘削が可能となるように、掘削装置を装備し、定点保持を可能とした船。
	掘削装置	坑井は地上から降下されるパイプの先端にビットと称する歯を取り付け、これを回転させ岩石を砕くことで掘削する。パイプを吊るための巻き揚げ装置や、回転機構、砕いた岩石屑を地表に回収するための泥水循環機構など掘削に必要な設備の総称を掘削装置という。
	屈折トモグラフィー	弾性波探査により得られた地下の速度分布をセル分割し、各セルの速度値を求め、その結果得られた最適な速度分布から地下の構造を解析する方法である。
	屈折波	地中を伝わる波（弾性波）の中で、地層の境界面（速度と密度が変化する面）で屈折し、地層を伝わり、地表に帰ってくる波のこと。
	グラーベン	ほぼ平行に発達する正断層群によって形成された狭長な地形的凹地帯のこと。地溝とも呼ぶ。（図 3「グラーベンとハーフグラーベン」参照。）
	グラディエント・アトリビュート	AVO 解析で得られるアトリビュートの一つであり、G アトリビュートともいう。S 波速度の情報を含み、S 波速度またはポアソン比の変化に反応する。
	グリーンタフ	日本海側に発達する新第三紀下部緑色凝灰岩層のこと。
	クロージャー	貯留層の地下構造図で、背斜構造によってコンター線が閉塞する地質構造形態のこと。
	クロススプレッドギャザー	3D 探査では、同一地点の発振によって、2 方向（主測線方向とクロス方向）の観測記録が得られる。そのうち、クロス方向（主測線に交差した方向）の測線で得られる観測波形のこと。
	グロス層厚	地層ユニットの全層厚をいう。

五十音	用語	説明
	クロスニコル	偏光顕微鏡の光路に偏光子に加え、検光子を差し込んだ状態のこと。複屈折で生じる「干渉色」や、試料の色が暗く見えたり明るく見えたりする「消光」を観察することができる。
	クロスライン	Crossline (XL)。三次元反射法処理における平面の方向の一軸のこと。インラインに直交する方向のこと。
	グロスロックボリューム	Gross Rock Volume(GRV)。総岩石容積。 貯留層全体の容積（体積）であり、一般的には、石油・ガス鉱床において端水面より上位の岩石の総量を指す。
	珪藻化石（の分帯）	堆積物中から珪藻化石を検出し、種類・化石群から堆積環境、地層の対比などを化石分帯により考察する方法のこと。
	ケーブル深度調整機器	曳航式ケーブルに取り付ける深度調整用の機器である。調整装置には翼が付随しており、船上からの指示により角度を変化させることによりケーブル深度を任意に調整できる。
	ケーブル展開用機器	OBC もしくはストリーマケーブルを船上から降下したり巻き上げる装置のこと。
	ゲルマッド	掘削屑の坑井内からの除去を目的として使用される高粘性の泥水。
	検層解析	検層による測定結果を基にし、岩石タイプ、岩相、有効層厚、孔隙率、流体のタイプ、孔隙中の流体の分布、流体の飽和率、生産可能性、二次的孔隙率、浸透率などの性状を明らかにすること。
	玄武岩	塩基性の火山岩であり、斜長石・輝石・橄欖（かんらん）石を含み、暗灰色ないし黒色である。最も多く世界各地に産する火山岩である。
	コア	坑井内などから採取される円柱形の岩石試料のこと。
	コア試験	コアに対しておこなう各種試験のこと。一般コア試験により得られるデータとしては孔隙率測定、絶対浸透率測定、飽和率測定などがある。特殊コア試験としては相対浸透率測定や毛細管圧力測定などがある。
	コア分析	コアの観察結果、コア試験結果などから分析をすること。
	高温型石英	二酸化ケイ素結晶の多形の一つで、1 気圧、573℃で低温型石英から転移する六方晶系の鉱物のこと。
	鉱山保安法	鉱山の保安等について定めた日本の法律。
	高海水準期堆積体	Highstand Systems Tract(HST)。 地層成因論を相対的海水準変動によるものとする概念「シーケンス層序学」の用語。堆積盆内の海水準が高い位置で停滞している時期に堆積した堆積体のこと。
	高傾斜井	坑井傾斜が大きく、掘削開始地点と地下の目的地点の偏距が大きな坑井。
	孔径半径分布	孔径分布測定では孔隙の入り口（孔口）のサイズを測定する。したがって、ここでの孔径分布は孔口半径分布である。
	孔径分布	孔隙サイズの体積頻度分布のこと。
	孔隙性状	孔隙率・浸透率などの良し悪しのこと。
	孔隙率	岩石の総容積に対する孔隙容積の割合のこと。%で表すこともある。
	坑口装置	坑井頂部に位置し内部にケーシングやチュービングを懸垂する機構を有する装置。
	向斜構造	褶曲している地層の谷に当たる構造のこと。
	更新世	表 4「地質年代表」参照。

五十音	用語	説明
	合成地震記録	Synthetic Seismogram。 速度検層と密度検層または速度検層のみから理論的に合成された反射弾性波記録のこと。一般に反射特性とウェーブレット（基本波形）のコンボリューションとして計算される。反射特性は速度と密度から求まる反射係数を使用して、平行多層構造の仮定のもとに作成される。1次反射だけでなく、重複反射や球面発散の効果を考慮することもある。ウェーブレットとしては振源波形や地下のフィルタ効果、観測装置の特性、処理過程で使用されるフィルタなどが考慮される。
	構成粒子	砂岩に含まれる砕屑粒子のこと。
	坑跡	坑井の軌跡。
	構造運動	地殻を構成する岩石や地層の形成後、それらに褶曲ないし断層などの構造的な変位、変形および破壊を引き起こす原因となる運動およびその過程の総称である。
	構造モデル	深度構造図をもとに地質構造を再現した数値モデル。このモデルを細かくセルに分割後、物性値を入力し貯留層モデルを作成する。
	広帯域三次元弾性波探査	広帯域（Broadband）3D 探査ともいう。 従来の 3D 探査よりも周波数帯域の広いデータが得られる 3D 探査のこと。
	後背地	堆積盆に堆積物をもたらした供給源地、つまり背後の陸地のこと。
	鉱物相	火成岩でも変成岩でも、その鉱物組み合わせは化学組成と生成時の温度・圧力条件に支配される。一定の化学組成の岩石が一定の鉱物組み合わせを生ずる温度・圧力の範囲を相と呼び、火成岩と変成岩においてそれぞれの相に特有の岩石名をつけた相区分が提案された。それぞれ火成相、変成相というが、それらを一括して鉱物相という。
	坑壁	掘削後、ケーシングセット前の坑井の壁面。
	坑壁のせり出し	坑壁が坑井内に押し出してくること。
	坑壁の崩壊	坑壁が崩れること。
	コヒーレントノイズ	弾性波探査において連続的に線上に出現するノイズ波群のこと。
	コンター線、コンター図	図面上である量が等しい値を結んだ線をコンター線、複数のコンター線が描かれた図をコンター図という。
サ行	サイスミックインバージョン	反射法弾性波探査データをある一定の仮定の基で、岩石の物性値（密度など）を求める手法のこと。数学的な逆解析で無いので、初期モデル依存性が高く、入力データ（解釈ホライズン、坑井、弾性波データ）の質が結果に大きく影響する。
	サイスミックファシス解析	弾性波探査断面上で反射波群がつくる定性的・形態的特徴の違いから堆積システムとその分布を推定する解析方法のこと。
	最大海氾濫面	Maximum flooding surface（MFS） 相対的海水準の上昇速度が最も早い時期に、海岸線は最も陸側に移動する。このときの時間面を最大海氾濫面と呼ぶ。
	最大残留ガス飽和率	岩石の孔隙を満たす水をガスにより排除したのち、再び水を最大限押し込んだ際のガスの割合。ガスを押し込む前よりもガスの割合は高くなる。初期状態との差分が岩石に固定され移動しなくなり、これを残留トラップと称する。
	ザク揚げ	泥水の循環により、掘削屑を坑内から排出すること。
	三軸圧縮試験機	油圧により封圧を制御することで第 2 主応力と第 3 主応力が等しい条件下での圧縮試験を行うことができる圧縮試験機のこと。

五十音	用語	説明
	三次元弾性波探査	3D 探査ともいう。 面的に発振点、受振点を配置し、測定を空間的に密に行うことで、三次元的な地下構造を把握することができる。
	シーケンス境界	sequence boundary (SB) 不連続面の一種で、陸上や浅海での不整合とそれに連続する沖側の整合面のこと。上下の２つのシーケンス境界によって境された１つの堆積シーケンスは、幾つかの堆積体（低海水準期堆積体、海進期堆積体、高海水準期堆積体）から構成される。
	シール能力	貯留層の上部を覆っている不浸透性の岩石（遮蔽層）について、流体の上方への移動を阻止する能力のこと。
	時間構造図	弾性波探査時間断面図の解析ホライズンにより解析された地下構造図のこと。
	時間層厚図	等時間層厚図（アイソクロンマップ）ともいう。 水平方向に厚さが変化する地層について、その厚さの変化をコンター図で表現したもので、厚さの単位が時間であるもの。
	軸歪	一軸ないし三軸圧縮試験における、ピストンによる載荷方向の歪のこと。
	地震探鉱機	反射法弾性波探査で使用されるデータ収録装置のこと。探鉱を目的とした弾性波探査で用いられ、探鉱機の能力が探鉱成果を大きく左右する。
	地震探鉱機フィルター	地震探鉱機の観測パラメータ設定で、あらかじめ特定の周波数帯域の弾性波を除去・抑制した観測を行うために適用するフィルターのこと。
	紫蘇輝石普通輝石安山岩	紫蘇輝石、普通輝石を含む安山岩のこと。
	シデライト	日本語で、菱鉄鉱のこと。炭酸塩鉱物の一種で化学組成は $FeCO_3$、結晶系は三方晶系である。
	自動振幅補償	Automatic Gain Control(AGC)。 入力の大小に応じ、増幅器利得を増減するもので無線機、通信機をはじめ各種の電子機器に幅広く利用されている。ダイナミックレンジの狭いアナログ弾性波探査探鉱器においても、適度に AGC を行い振幅を抑圧するように設計されている。
	視認孔隙率	薄片鑑定の際に、顕微鏡下で目視で定性的に算出した孔隙率のこと。
	シミラリティーアトリビュート解析	隣接する波動トレース間の類似性・相関の指標であり、反射波の連続性や不連続性を強調することで、断層や亀裂等の抽出を目的とした解析方法のこと。
	斜交葉理	地層中に見られる、層理面に斜めな筋（粒子の配列）のこと。
	ジャッキアップリグ	移動式海洋掘削装置の一種。掘削時は昇降可能な脚を海底面に設置する。
	斜プチロル沸石	沸石の一種で、ケイ酸分に富むものの一つのこと。火山ガラスが変成して出来るものが多い。 化学組織は $(Na,K,Ca_{0.5},Sr_{0.5},Ba_{0.5},Mg_{0.5})_6[Al_6Si_{30}O_{72}]\cdot\sim 20H_2O$ である。
	遮蔽層	キャップロックともいう。 CO_2 などの流体を通しにくい泥岩などで構成された層のこと。
	シャローガス	地下の浅い深度に貯まった掘削障害となるようなガスのこと。
	衝上断層	断層によって地層が切断され、一方が他方の上に乗り上げた形となっている逆断層のうち、断層面の傾斜が比較的緩いもの。

五十音	用語	説明
	初成孔隙	岩石が形成された初期に持っていた孔隙のこと。続成作用や二次的に生じた鉱物に埋められるなどして初生孔隙は減少していくことが多い。
	初動屈折波	地中を伝わる波（弾性波）の中で、地層の境界面（速度と密度が変化する面）で屈折し、地層の境界を伝わり、地表に帰ってくる波を屈折波と呼ぶ。 振源から近い受振器では直接波が初動（受振器に最も早く到達する波）となるが、ある程度振源から離れた受振器では、屈折波が初動となる。この波を初動屈折波と呼ぶ。
	シルト岩	図 1「砕屑性堆積物の粒度」参照。
	真空飽和	水飽和の方法のこと。孔隙内に空気が残ると十分に飽和ができないことから、孔隙内を真空にしてから孔隙内を水で飽和する。
	震探相	サイスミックファシス（Seismic Facies）。 弾性波探査記録の反射波の連続性、振幅強度、形態などにおいて類似性を持つ特徴（反射波断面上において類似性を持つ反射波の様相）、あるいはその類似性をもとに分類されるユニットのこと。
	浸透率	岩石などの中を流れる流体の通りやすさを表す物性値のこと。
	深度構造図	弾性波探査データを深度でホライズン解釈し得られる地下構造の平面図のこと。
	深部塩水層	孔隙や割目が地下水で飽和された地層のこと。
	シンリフト期	地球のマントル上昇に伴い地殻に伸張作用が働く地質現象をリフトという。リフトが生じる時代をシンリフト期といい、シンリフト期の前の時代をプレリフト期、シンリフト期の後の時代をポストリフト期という。
	水系泥水	掘削泥水の内、水をベースとしたもの。
	垂直深度	傾斜掘りにおいて垂直方向の距離で表される深度。
	スイートネス解析	3D 探査データにおいて、RMS エネルギーを平均周波数（瞬時振幅を瞬時周波数の平方根）で割ることにより得られ、砂層の領域を示す相対値として使用する。不透明度調整解析により、砂層イベントが明瞭に表示されるスイートネス領域を予め選定し、選定したスイートネスの不透明度領域を、三次元地形図上に投影させ、海底谷や海底扇状地に堆積する砂層分布を表す。
	スイープ回数	同一発振点でのバイブレータを振動させる回数のこと。スイープ回数が多いほど信号/雑音比が改善されるが、その分測定時間が長くなり、作業効率に影響する。
	スイープ周波数	バイブレータの振動周波数帯域。スイープ周波数帯域が広いほど信号がパルスに近づく。
	スイープ長	バイブレータの振動時間長のこと。1 回当たりのスイープ長が長いほど地中に送られる波のエネルギーが大きい。
	水和・膨潤	粘土鉱物の層間に水分子が入り込むことを水和と言い、水和により底面間隔が広がる現象を膨潤と言う。
	スウェルノイズ	海域での弾性波探査において影響を受ける波浪に起因したノイズ波のこと。
	スタンドオフ比	坑壁とケーシングの最小距離（スタンドオフ）の最大距離に対する比。
	増角率	坑井傾斜が増す割合。通常、増角度/30 m で表される。
	ストリーマーケーブル	海上の反射法弾性波探査で一般に用いられるハイドロフォンを複数内蔵したケーブルのこと。

五十音	用語	説明
	ストレッチミュート	弾性波探査のデータ処理の中の NMO 補正処理に伴う波形の伸長および Far オフセット側に残留する屈折初動部分を抑制する処理のこと。
	スピルポイント	Spill Point。 背斜トラップなどで形成されたクロージャーは、構造形態上、流体が貯留しうる限界レベルがあり、それ以上は溢れ出すことになる。この溢れ出すレベル（点）をスピルポイント（こぼれ出し点）という。
	スペクトラルデコンポジション解析	弾性波探査ボリュームを任意の周波数帯に分解し、周波数ごとの特徴を解析する。
	スメクタイト	ケイ酸塩鉱物の一種で粘土鉱物のこと。化学組成は $(Na,Ca)_{0.33}(Al,Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2・nH_2O$ である。結晶系は単斜晶系である。モンモリロナイト族の総称をさす。
	スランプ・スカー	海底地すべりにより形成された凹状の崖面のこと。
	スレッショルド圧力	非濡れ性流体が岩石サンプルに浸入を開始する最小の圧力のことを置換圧力といい、スレッシュホルド圧力と呼ばれることもある。
	整合	重なり合う二つの地層の堆積した年代がほぼ連続していること。
	正断層	上盤が下盤に対し、相対的にずり下がった断層。
	石英外部標準法	X 線回折分析において、鉱物の量比を定量化する手法の一つ。測定試料とは別に石英 100%の試料（標準試料）を測定し、その強度との比から鉱物の量比を算出する。
	石質アレナイト	基質含有量 15%未満の砂岩のうち、砕屑粒子として岩片を多く含むもののこと。
	接触角	固体表面で液体と気体が接しているとき、この 3 相が接触する境界線で液体面が固体面となす角度のこと。
	絶対浸透率	単一流体が流動する時の浸透率のこと。
	セミサブマージブルリグ	移動式海洋掘削装置の一種。半潜水型海洋掘削装置と呼ばれる。
	セメンチング	掘削後にケーシングを降下し、その外側をセメントで固めること。
	セメント柱圧	固化前のセメントスラリー柱により発生する圧力。
	セメントプラグ	セメンチングにおいて、セメントスラリーと泥水の混合を防止するために用いられるゴムとアルミニウムから構成される栓。
	浅海 3D 探査	浅海三次元弾性波探査ともいう。浅海域および浅海域と陸域に跨るエリアにて実施する 3D 探査のこと。
	浅海帯	低潮線から大陸棚外縁（水深 140m 前後）までの海底のこと。晴天時波浪限界（水深 30m 前後）を境に、上部と下部に区分される。
	尖度	分布が正規分布からどれだけ尖っているかを表す統計量で、山の尖り度と裾の広がり度を示す。
	セントラライザー	セメンチング時にセメントスラリーがケーシングと坑壁の隙間に一様に満たすようにケーシング外側に設置される芯だし器具。
	層厚	地層の厚さのこと。
	層準	層序上のある特定の位置を指す。例えば、A 層と B 層が同層準にあるとは、両者が同時期に形成されたことを意味する。
	層序	ある地域において、下位から上位に向け、どのような地層が重なっているのかを示したもの。すなわち時代の古い順から新しい順にどのような地層が重なっているかを示したもの。
	相対浸透率	孔隙内に 2 つの流体が存在する時の各流体の浸透率（有効浸透率）を単一流体での浸透率（絶対浸透率）で除したもの。

五十音	用語	説明
	相転移面	珪質岩の鉱物相の転移面のこと。珪藻殻は続成作用（温度上昇）によりシリカ鉱物のオパール A からオパール CT、石英へ鉱物相が転移する。ここではオパール A とオパール CT の境界のことを指す。
	層理面	堆積岩ないし堆積相の重なりにおいて、岩相の変化により肉眼的に区別される単層の表面のこと。
	続成変質	堆積物が堆積し、埋没して温度・圧力が上昇し、岩石化していく過程で生じる変質のこと。
	（弾性波探査での）測線	弾性波探査において、発振点や受振点を設ける位置の連なりをいう。発振点の連なりを発振測線、受振点の連なりを受振測線という。
	速度フィルター	弾性波探査データ処理において、特定の見かけ速度域の情報を強調したり、抑制したりする操作を行うためのフィルター。
タ行	タービダイト	混濁流と呼ばれる重力流により運搬された堆積物。混濁流堆積物とも呼ばれる。砂岩と泥岩の互層となることが多い。級化成層が発達すること、堆積の下底面に堆積時の水底が水流によって侵食された跡（ソールマーク）が見られること、などで特徴付けられる。
	ターミネーションパターン	弾性波探査記録断面上で、反射面が他の反射面にぶつかる際に、反射波の端点が示す様々なぶつかり方の形態のこと。
	堆積環境	堆積物が堆積する場のいろいろな条件。例えば、地理的、物理的、化学的、生物的といった諸条件を含む。堆積物はこれらの諸条件に支配されて堆積しており、またこれらの諸条件を反映した特徴を示す。したがって堆積物の特徴からその場の堆積環境を推定することや、あるいは逆に堆積環境からその場に分布する堆積物の種類を推定することができる。
	堆積相	地層をその総合的な諸性質（岩相、鉱物相、化石相、化学相など）によってとらえた特徴。
	堆積相解析	Sedimentary Facies Analysis。 堆積相自身および各種の堆積相の時間的・空間的関係に基づいて、地層の形成過程と環境を解明すること。個々の堆積相の検討から、その堆積相を形成した水理学的・地質学的条件を研究する一方、普遍的な堆積相の組み合わせやその時間的・空間的分布から、現世の堆積環境における堆積相や堆積相モデルなどと比較検討して、層序区分単元の形成環境とその変遷を明らかにする。古地理の復元や地史の解明に重要である。
	堆積相分布図	地層をその総合的な諸性質（岩相、鉱物相、化石相、化学相など）によってとらえた特徴を面的にあらわした図のこと。
	堆積体	相対的海水準変動に応じた、堆積システムの連なりや組み合わせによって形成されたもの。
	堆積盆地	ある期間、沈降が継続し、その間に堆積物が累積した地域のこと。
	大偏距井	一般に、傾斜井において水平偏距と垂直深度の比が 2 以上の坑井。広義には、技術的な難易度に応じて、この比にとらわれず大規模な水平に近い坑井を大偏距井と呼ぶこともある。ERDは Extended Reach Drilling の略で、大偏距掘削をいう。
	ダウンホールモーター	ビット直上に取り付けられ、循環する泥水の力でビットを回転させる機器。
	ダウンラップ	弾性波探査データの反射波の端が、比較的水平な下位の反射波面に斜めにぶつかる形態。陸側での堆積と沖側での無堆積を意味する。

五十音	用語	説明
	多角測量	トラバース測量ともいう。 基準点から測点 1、測点 1 から測点 2、測点 2 から測点 3 のように測点を結んで測量エリアを多角形で示し、それぞれの測点間の距離と角度を観測して位置関係を求める方法である。
	卓越	周期または波長に用いられる場合、他の波に比べて顕著に大きくなること。
	多重反射波	海上弾性波探査において、地層又は海水層などで 2 回以上反射を繰り返した反射波のこと。反射断面図に現れる多重反射波は、地下構造を解釈する上で障害となる。
	縦歪	定義は軸歪に同じ。文脈の中で、横歪と対比するかたちで縦歪が使われる。
	ダルシーの式	ヘンリー・ダルシーが発見した多孔質媒体内の単一相の流量と圧力損失および粘性係数との関係を表した経験式のこと。この関係の比例定数 K が浸透率と定義される。
	単結晶（高温型）石英	二酸化ケイ素結晶の多形の一つで、1 気圧、573℃で低温型石英から転移する六方晶系の鉱物のこと。
	弾性波探査	地下を伝わる弾性波が物性（主に P 波速度、S 波速度および密度）の異なる境界で屈折や反射などの現象を生じることを利用して、地下構造を調査するための手法のこと。
	地質層準	層準を参照。
	地質層序	層序を参照。
	地質リスク	地盤・地質のさまざまな不確実性に起因して生じる不都合な事象に対し、地質的リスク、ジオリスク、地盤リスク、地下リスク、地山リスクなどいくつか類似な言葉が用いられている。地質リスク学会では、「地質に係わる事業リスク」を"地質リスク"と定義し、事業コスト損失そのものとその要因の不確実性を指すとした。
	地層圧	地層の孔隙内に存在する流体の圧力。
	地層破壊圧	地層に亀裂が生じる圧力。
	チャネル	海底に形成された河川のような谷の形態を示す地形のこと。
	中央孔口半径	測定された孔口半径データを、大きさ順に並べたときの中央の値のこと。
	チュービング	地層流体を地上に導くための小口径のパイプ。
	中性子検層	高速中性子を地層に照射して地層流体の水素密度を計測することにより、地層の孔隙率を求める検層のこと。測定結果は水素原子エーピーアイ（API）ユニット、あるいは石灰岩で較正された孔隙率を単位として表示される。孔隙率は、岩質に影響をうけるほか、ガス層では見掛け上減少する。
	貯留層	CCS において、CO_2 を圧入し、長期間留めておく地層のこと。一般的に、砂岩などの浸透性の高い地層が貯留の対象層とされる。
	貯留層モデル	遮蔽層や貯留層を再現した数値モデルのこと。細かく分割したセルに物性値を入力し、CO_2 挙動シミュレーションで使用される。
	低海水準期堆積体	Lowstand systems tract (LST) 地層成因論を相対的海水準変動によるものとする概念「シーケンス層序学」の用語のひとつである。堆積盆内の相対的海水準が低下した時期に堆積した堆積体のこと。

五十音	用語	説明
	地理座標系	地球上の特定の位置を表すため用いる座標系の一種である。地理座標系は、広域に渡る範囲を一定の尺度を持った１つのデータとして管理できるという利点があるが、ある範囲に着目した場合には、距離・面積・角度のいずれも誤差が生じる。
	泥火山	泥ダイアピルともいう。 頁岩･泥岩のような塑性流動を起こしやすい地層が、上位に乗る地層の荷重を受けて、地層の割れ目などに沿って、上位層を押し上げて上昇することによってできるドーム状または背斜状の構造のこと。
	ディジタルテレメトリ	受振点の近くでアナログ信号をディジタル化して中央制御装置に伝送するシステムのこと。
	泥水比重	単位体積あたりの泥水の重量。泥水による泥水柱圧が地層圧より小さくならないように調整する。
	ディスタル	堆積物の供給源から離れた場所に堆積した地層の岩相を指す。海底扇状地堆積物では、扇状地の先端（縁辺）部で堆積した地層の岩相を指す。
	底生有孔虫	海底付近に生息する有孔虫のこと。
	ディファレンシャル GPS	DGPS。 任意点の位置座標を GPS で求めるときに、位置座標が正確に判明している基準局で受信した GPS 信号から求めた位置座標と正確な位置座標の差を補正値として使用し、GPS 受信時の誤差を補正して位置座標の精度を高めた GPS のこと。
	データ伝送ケーブル	有線型探鉱機データ伝送装置の伝送ケーブルのこと。
	デコンボリューション	反射法弾性波探査データ処理において、振源特性、観測機器の特性、地層特性および観測系の特性等の影響を除去して記録の分解能を高めるフィルターのこと。
	デタッチメント断層	断層・褶曲で変形した上盤と、変形を被っていない下盤との境界をなす低角度の断層のこと。
	デブリフロー様堆積物	砕屑粒子と水の混合物が粒子濃度の高い状態で、重力を駆動力として斜面などを流下し、堆積したもの。
	デルタ	海洋や内湾、湖沼などの水域に河川が流入することによってできた堆積体。三角州。
	デルタフロント	デルタ内において、海や湖沼、潟湖、内湾などの水域側とそこに流入する河川との相互作用が最も顕著に行われる領域。
	テレス（テラス）状構造	ある一方向に傾斜した地層が、部分的に平たんになっている場合に、その平たんな部分をテレス（テラス）状構造という。
	出羽変動	秋田の油田構造を作った造陸・造山運動である。船川階後期における羽越地向斜の地域的背斜化による隆起運動に始まり、天徳寺階桂根期に主要造山運動があり、南北系の褶曲・断層構造を生じた。この造構によって、女川層・船川層および天徳寺層下部（桂根相）などの秋田油田における油母層が構造をうけ、それらの集油形態に石油が集積し、鉱床を成立させた。
	投影座標系	地球上の特定の位置を表すため用いる座標系の一種である。投影座標系では、用いる投影法によって、距離・面積・角度のいずれかを正確に表現できるが、広い範囲を同時に表現すると基準とした原点から離れた範囲では誤差が大きくなる。
	撓曲	地下の断層が動き続けると、地表では断層の延長上の一部分に変形が集中し、そこだけ地層が急傾斜したり、ときには地層が逆転したりする。このような構造を撓曲（撓曲構造）という。

五十音	用語	説明
	同時異相	同時期に堆積した地層が場所によって異なる層相を示すもの。
	等時間層厚図	時間層厚図や等時間層厚線図ともいう。
	同斜構造	地層がある程度の広範囲にわたって、おおむね同一方向に傾斜している地質構造のこと。
	等層厚線図	地層の厚さの水平的変化を表すために、厚さの等しい点を結んで示した図のこと。
	淘汰度	岩石を構成する粒子の粒径分布のばらつきの度合いのこと。粒径の揃ったものは淘汰が良く、揃っていない（粒径がばらついている）ものは淘汰が悪いといえる。
	トータルステーション	光波距離計とセオドライトを一体化した測距測角儀のこと。1 回の測定で水平角、鉛直角、距離を同時に観測できる。
	ドーム（状）構造	地下において地層がドーム状に上に凸に盛り上がっている地質構造を指す。
	独立型探鉱機データ収録装置	受振器のアナログ信号を受振点近くでディジタル化し収録するシステム。データ伝送は行わずデータは装置内部に収録される。
	トップドライブシステム	地表部でドリルパイプに回転を与える装置。
	トップラップ	弾性波探査データの反射波の端が、上位の反射波に斜めにぶつかる形態のこと。
	トラフ充填型タービダイト	トラフ状の堆積盆地を埋積したタービダイトのこと。
	トランスポンダー	送信機が発出した信号に応答して自身の位置を知らせる信号を送信する応答器。
	ドリルシップ	移動式海洋掘削装置の一種。船型で掘削装置を装備したもの。
	ドリルステムテスト	掘削直後に掘削装置を用いて実施される流体生産試験。
	トルク・ドラッグ	掘削作業時に使用するパイプが坑壁やケーシング内面との接触によって生じるトルクや摩擦。
	トレーサビリティ	品質マネージメントシステムにおいては、管理対象とするものの履歴、適用や所在等を追跡できること。
	トレース	弾性波探査において時間的に連続して観測された一観測点のデータ、あるいはこのデータの経時変化を連続する線として表示した波形のこと。
	ドレライト	Dolerite。 半深成岩の一つ。化学組成上、火山岩では玄武岩が相当する。岩床･岩脈として産する。
	トレンド	走向ともいう。 地層面・岩脈壁・節理面・断層面・片理面・鉱床面などが水平面と交わる直線の方向のこと。
ナ行	ナイキスト周波数	連続信号を等間隔で離散的にサンプリングする際のサンプリング周波数の 1/2 に相当する周波数のこと。
	内部摩擦角	モール円の包絡線を直線で表した場合の、その直線の傾きを角度として表したもの。
	二次元弾性波探査	2D 探査ともいう。 直線状に発振点、受振点を配置し、測定を行い、測線に沿う地下構造を把握することができる。
	ネット／グロス比 ネット／グロス	貯留層砂岩を含むある地層ユニットの全層厚（グロス）に対する有効砂岩層厚（ネット）の比率を指す。

五十音	用語	説明
	ネット孔隙率	岩石中に存在する孔隙のうち、流体の移動が可能な隙間をネット孔隙といい、単位岩石中に含まれるネット孔隙の割合を指す。
	ネット層厚	地層ユニットの中での、貯留層の有効層厚のこと。
	ネットワーク型 RTK 法	3 点以上の電子基準点のリアルタイムデータを使用して、電子基準点から離れた場所でも利用者のごく近傍に仮想の基準点を作り出し、精度良く観測できるようにしたリアルタイムキネマティック GPS 測量のこと。
	熱フラックス	熱による伝導性が高められる促進効果のこと。
	粘性係数	物質のねばりの度合のこと。SI 単位は Pa·s（パスカル秒）である。
	粘着力	モール円の包絡線を直線で表した場合の、その直線の切片に相当する強度のこと。
	ノーマルトレンドライン	正常圧力状態での音波検層速度もしくはモデル化された音波速度データの傾向の近似線を指し、正常圧力状態からどれほど変化が発生しているかで異常高圧状態を予測するもの。
ハ行	バードシステム	ストリーマーケーブルを使用した弾性波探査においてストリーマーケーブルの曳航深度を一定に保つため、ストリーマーケーブルに取り付けられる調整装置のこと。
	パーフォレーション	セメントで固められたケーシングを火薬にて穿孔すること。
	ハーフグラーベン	ほぼ平行に発達する正断層群によって形成された狭長な地形的凹地帯をグラーベン（地溝）と言い、片側のみ正断層によって沈降した凹地帯をハーフグラーベン（半地溝）という。図 3「グラーベンとハーフグラーベン」参照。
	ハイアロクラスタイト	水冷破砕された火砕岩の一種である。
	背斜構造	褶曲している地層の波の山に当たる構造のこと。
	廃水	使用済みとなった泥水等の不要となった水。
	ハイドロフォン	海上の弾性波探査において、エアガンから発射された音波が海底面下の地層境界で反射し、海水内で圧力変化として伝わる反射波を捉える受振器（圧力計）のこと。
	ハイドロリクス	泥水循環系に適用される水力工学。
	バイブレーター	ダイナマイトと並び、陸上用の主要な震源の 1 つ。マスと呼ばれる重りが付いたプレートを大地に接地し、油圧機構により、スイープ波形という特殊な振動を発生させることができる。
	破壊強度	固体試料が、外力の作用のもとに二つまたはそれ以上の部分に分離する現象を破壊という。このときの応力（単位断面積当りの荷重）、すなわち破壊応力を破壊強さ、または破壊強度という。
	破壊限界線	モールの包絡線のこと。応力状態がモールの包絡線に達したところで岩石試料が破壊することを明示する文脈で使われる。
	発震機構	地震を起こした断層が地下でどのようになっているか（断層がどちらの方向に伸びているか、傾きはどうか）とその断層がどのように動いたかを示すもの。
	パッチ	3D 弾性波探査では、通常、調査エリア全体を幾つかの小エリアに分割してデータ収録作業を実施する。この小エリアをパッチという。
	バリアンス	弾性波探査データの反射波の側方不連続性を抽出する手法の一つ。ソフトウェア毎に名称やアルゴリズムが異なる（シミラリティ、コヒーレンシーなど）。
	バライト	硫酸バリウムの微粉末。比重調整のため泥水に添加される。
	バルク体積	見かけの体積のこと。本体積中には試料中の孔隙も含まれる。

五十音	用語	説明
	パルク密度	試料の質量を見かけの体積で除し、単位体積当たりで表現した密度のこと。
	パルス	弾性波探査において瞬間的に急峻な変化をする信号の総称である。
	反射波	エアガンやバイブレータなどの振源より発生した波動が水中、地中を伝播し、反射面で反射して受振点で観測される波のこと。
	反射波列端解析	反射波列端とは弾性波探査断面上において、ある反射波列が別の反射波列にぶつかる終端部分を示す。反射波列端がどのような形態で終結するかを観察し、不連続面や地層の層位関係、堆積方向を推定する解析手法のこと。
	反射法弾性波探査	反射法探査ともいう。 地表や海中で振動を発生させ、地下の地層境界ではね返ってくる弾性波（反射波）を計測することにより、地下の地質構造を知る手法のこと。
	斑晶	斑状の火成岩において、より細粒の石基中に肉眼的に目だって大きく見える結晶。多くの火山岩・半深成岩などに認められる。
	半潜水型海上掘削装置	セミサブマージブルリグ。
	比エンタルピー	単位質量あたりのエンタルピーのこと。単位は、kJ/kg(DA)である。
	歪（ひずみ）集中帯	長期的に見て、地殻変動による歪が特に集中している地域のこと。日本では、1990 年代以降に GPS による精密な測地が可能となったことにより、その存在が明らかとなった。
	歪速度	一軸ないし三軸圧縮試験において、単位時間あたりに増加する岩石試料の歪量のこと。
	歪速度制御	一軸ないし三軸圧縮試験において、歪速度を任意に設定することでピストンによる載荷速度を制御すること。
	歪度	分布が正規分布からどれだけ歪んでいるかを表す統計量で、左右対称性を示す指標である。
	比表面積	孔径分布測定で測定された孔隙が、真円管と仮定して求めた孔隙の表面積のこと。
	ビン	反射法弾性波探査のデータ解析において、面的に分布する反射点に対して、共通の CMP を構成するトレースを集める正方形あるいは長方形の範囲のこと。
	ϕe	Effective Porosity。 有効孔隙率を参照。
	ファインマイグレーション	岩石の基質中の粘土鉱物などの細粒物質が、水やガスの浸透に伴い移動する現象のこと。この現象が起きると浸透率が実際の数値よりも悪くなる。
	ファシスマップ	岩相図のこと。層位学的単位の岩石特性の地域的変化を示す地図のこと。
	ファンデルタ	海または湖に接している扇状地のこと。
	フーリエの法則	熱伝導における基本法則である。物体内に温度差があり、温度の高い方から低い方へと熱が流れるときに、熱の流れに垂直な面を考えると、この面を通過する熱の量（q）は、そこの温度勾配（dt/dx）と面積（A）とに比例する。
	フォースアウト	バイブレーターによる発振作業において発振毎の地面へ与える振動の最大圧力値のこと。バイブレータの最大圧力値（ピークフォース）に対する割合で表す。

五十音	用語	説明
	不整合	上下に重なる地層二つの間に堆積の不連続があり、地層形成時期にも大きな時間的間隙が認められる場合の両者の関係のこと。
	物性解析	反射法弾性波探査解析結果を用いて、弾性波速度、密度、ポアソン比等の岩石物性を推定すること。
	不動水飽和率	岩石の孔隙に占める水のうち、他の流体で孔隙を満たしても移動せずに無くならない水の割合のこと。
	浮遊性有孔虫	外洋の表層水中に終生浮遊生活をする有孔虫。
	ブライン	塩水のこと。一般的に地層水には塩化物が含まれることから、実験では地層水相当の塩水が使われることが多い。
	フラクショナルフロー	2 つの流体の非定常流動を表す指標のこと。
	フラワー構造	横ずれ断層帯内で、上方で分岐している断層が、下方で収束していく配置のこと。地塁状の盛り上がりの形態を正のフラワー（ポジティブフラワー）構造と、地溝状に落ち込む形態を負のフラワー（ネガティブフラワー）構造と呼ぶ。
	フランボイダル黄鉄鉱	急激に成長した鉱物は結晶系に関わらず微細な針状結晶になる傾向があり、それが放射状に集合した黄鉄鉱のこと。
	ブリッジプラグ	坑井ケーシング内に圧力遮蔽を目的として装置される栓。
	フリップフロップ発振	海上 3D 探査において、２組のエアガンアレイを交互に発振すること。
	プルアパート、プルアパート堆積盆地	横ずれ断層に付随して発生する盆地のこと。
	ブルーレジン	青色に染色した樹脂のこと。岩石中にブルーレジンを圧入することで、薄片鑑定の際に孔隙分布・形状などの評価を容易にできる。
	プレッシャービルドアップ	坑井を密閉し坑内圧力の時間的変化を測定解析すること。
	プレッシャーフォールオフ	圧入を停止し、坑内圧力時間的変化を測定解析すること。
	フローバック	坑内にある流体を地上に排出すること。
	プログラデーション	海退期に海岸線が海側へ前進することに伴い、三角州が前進平衡（埋め広め）作用によって沖合側へ前進、発達すること。
	プロダクト・アトリビュート	AVO 解析で得られるアトリビュートの一つ。P×G アトリビュートともいう。インターセプト・アトリビュート（P アトリビュート）とグラディエント・アトリビュート（G アトリビュート）の積であり、水飽和のトレンドからの乖離（流体異常）を示す。
	プロデルタ	デルタの水中部分のうち、波浪浸食の影響を受ける水深よりも深い（デルタフロントよりも沖側）領域。
	プロポーショナルスライス	上下ホライズンの間に、等間隔に整合的な構造のホライズンを追加すること。
	分級度	堆積物の粒子の大きさの揃い具合のこと。粒子の大きさの分布を統計的に処理し、その標準偏差の大小で表わすことが多い。
	フロントエンド	フロントエンドとは、ネットワークサービスやアプリケーションで直接ユーザーの目に触れる部分を示す。
	分枝状チャネル	本流から分岐したチャネルで、本流と合流することなく流下する。このチャネルは側方へ移動しやすく、運搬してきた砂質堆積物の堆積場となる。
	平均海水面下深度	Meter Mean Sea Leve (mMSL)。平均海水準をゼロとした深度。

五十音	用語	説明
	平均粒径	その岩石を構成する粒子の平均の粒子径のこと。
	平行葉理	地層中に見られる、層理面に平行な筋（粒子の配列）のこと。
	米国石油協会	American Petroleum Insutitute（API） 原油比重やガンマ線検層・中性子検層の単位にもその名称が用いられる。
	ポアソン比	物体に弾性限界内で応力を加えたとき、応力に直角方向に発生する歪と応力方向に沿って発生する歪の比のこと。 ヤング率などと同じく弾性限界内では材料固有の定数と見なされる。縦歪に対する横歪の比に-1を乗じたもの。(=-横歪/縦歪)
	放物線ラドン変換法	多重反射波抑制手法のひとつ。水平に並ぶ反射波以外の反射波を抽出し、これを本処理適用前のデータから除去することにより、多重反射波を抑制する手法のこと。
	防噴装置	坑井からの地層流体の噴出を防止するために坑井を密閉する装置。
	飽和率	孔隙内に含まれる流体や流体の体積と孔隙容積との比のこと。
	ポストリフト期	シンリフト期を参照。
	ポップアップ	もともとは断層一褶曲帯において反対の傾斜を持つスラスト間にある相対的な隆起に対して用いられた。現在ではその構造的な位置は問わない。圧縮場において背斜構造の両翼に断層が形成され、両者に挟まれた部分が上位へ持ち上げられた構造形態のこと。
	ホライズン	層準。 地層を時間層序学的に解析する上で基準となるような特定の層又は層理面のこと。
	ポルトランドシステム	セメント種類の一つであるポルトランドセメントをベースとしたセメントシステム。
マ行	マール	marl。 炭酸塩鉱物成分が 25～75%、粘土鉱物成分の多い不純な細粒石灰質堆積物のこと。
	マイグレーション	反射法弾性波探査のデータ処理に含まれる処理ステップのひとつである。反射法弾性波探査では、反射波はその到達方向によらず受振点で往復走時として記録される。これをそのまま横軸を受振位置、縦軸を往復走時として表示すると、傾斜した反射面や地下回折源からの反射波はその真の位置ではなく、その受振点直下に表示されることになり、またその往復走時は真の深度と対応していないため、表示される記録断面は歪んだイメージとなる。例えば重合記録断面では、背斜構造は見掛け上大きくなり、逆に向斜構造は見掛け上小さくなる。マイグレーションは、この様な反射波をその反射点・回折点に対応する水平位置と垂直往復走時に移動する処理である。地層の起伏の形状や、断層の位置・傾斜の把握をより正確に行えるようになる。
	マッドダイアピル	泥火山（泥ダイアピル）を参照。
	マリンカッター	廃坑時にケーシングを切断する機器。
	水浸透率	水で測定した絶対浸透率のこと。
	密度検層	ガンマ線の散乱現象を利用して地層の密度を測定する検層のこと。
	ミュートスタートタイム	弾性波探査のデータ処理の中で、ストレッチミュート等の処理を適用するスタート時間のこと。
	毛細管圧力 （毛管圧）	互いに混ざり合わない二つの流体が固体表面で接したとき、固体表面を濡らそうとする両流体性状の違いから生じる両流体間の圧力差のこと。

五十音	用語	説明
	モール円の包絡線	異なる封圧条件での圧縮強度と、その封圧によって描かれるモールの応力円を包絡する線のこと。一般的に直線で近似されることが多い。
	モールの応力円	横軸に垂直応力、縦軸にせん断応力を取った平面において描かれる円のこと。モール円と垂直応力軸の交点が当該応力場の主応力強度を表す。当該応力場に与えられるいかなる面の応力状態（垂直応力とせん断応力）も、モール円の内部にプロットされることが証明されており、当該応力場の応力状態を表す目的で、しばしば使われる。
	ヤング率	物質を押す（もしくは引く）際に、単位面積あたりに働く力をF、同軸方向の物質の伸びをεとすると、フックの法則 F＝Eεが成り立つ。この時の比例定数Eがヤング率である。軸歪に対する載荷応力の比を示す。（ヤング率＝載荷応力／軸歪）
ヤ行	有効孔隙率	岩石中の連続してつながっている隙間（すきま）の割合のこと。
	有効層厚	層厚から貯留層の対象となり得ない部分を除いた層厚のこと。 貯留層の有効層厚＝貯留層の層厚×ネット／グロス比。
	有線型探鉱機データ伝送装置	受振器のアナログ信号を受振点近くでディジタル化して中央録音装置に有線でデータを伝送するシステムのこと。送られたデータは中央録音装置でディジタル記録して保存される。有線型ディジタルテレメトリともいう。
	油系泥水	掘削泥水の内、油をベースとしたもの。
	溶岩	岩石を構成する物質が溶融状態にあったもの。マグマとほぼ同じだが、マグマは地下にあるものを、溶岩は地上に噴出したものを指す。主として珪酸塩の溶融帯からなるものが多い。
	容積係数	地表条件における単位体積の流体が地層内で占める体積の比率のこと。
	溶脱孔隙（二次孔隙）	岩石が形成された初期には存在せず、変質作用などで二次的に形成された孔隙のこと。特に岩石中の鉱物などが溶解した孔隙を溶脱孔隙と言う。
	抑留	掘削作業中に坑井内での負荷により、予期しないところでパイプが動かなくなる事故のこと。回復しない場合は掘削作業の中断となる。
	抑留時の強引	抑留後パイプを動かすために、機器やパイプ自体の強度限界を勘案して強く引張ること。
	ライザーレス掘削	海洋掘削において、海底から海上掘削装置までの泥水循環を可能とするパイプをライザーと称する。海底からの掘削開始時等、ライザーを用いないで掘削すること。
ラ行	ライナーケーシング	その頂部が坑口装置まで伸びておらず、上部ケーシングの途中から吊り下げられるケーシング。
	ラディアルトレースデコンボリューション	多重反射波抑制手法のひとつで、主に短周期多重反射波を抑制する手法である。反射法弾性波探査のデータにおいて空間-時間領域のデータを振源からの見かけ速度が一定な直線に沿ってリサンプルし、見かけ速度-時間領域に変換し、予測型デコンボリューションを適用することで周期性を持つ多重反射波を抑制することができる。
	リアルタイムキネマティック GPS 測量	RTK-GPS。 位置が分かっている既知点（基準局）で観測したデータを、移動局に無線や携帯電話を利用して伝送してその位置を求める測量方法である。信号波の位相を用いるため数 cm 程度の精度があり、現在、陸上測量の主流となっている。
	リークオフ圧力	地層に亀裂が入り始める圧力のこと。

五十音	用語	説明
	リークオフテスト	坑井掘削作業において、地層強度の把握のため坑井内に流体を圧入し、圧力に応じた圧入量の変化を見る試験のこと。エクステンデッドリークオフテストは再現性の確認のため、これを繰り返し実施すること。
	リグネート NC	泥水添加剤の一つ。
	リストリック断層	断層面の形状（傾斜面）が地表付近で高角であるが、深部になるにつれて低角（著しい場合は水平）になる断層のこと。インバージョンの様式の１典型でもあることが指摘されている。
	リフト	Rift。引っ張り応力場によって引き裂かれた割れ目の部分で、正断層とそれにともなう段々に大地が落ち込んでできた大規模な地溝のこと。
	粒子支持	主に礫層で、礫と礫が互いに接して支え合うように堆積をしているもの。対義語は「基質支持」。
	粒子密度	試料の質量を孔隙を除いた体積で除し、単位体積当たりで表現した密度のこと。
	流速	気体や流体の流れる速さのこと。
	流紋岩	酸性の火山岩。流紋岩は一般に斑状をなし、石英・アルカリ長石、少量のソーダ斜長石・黒雲母の斑晶を有する。
	緑泥石	ケイ酸塩鉱物の一種で粘土鉱物のこと。化学組成は $(Mg、Fe、Al、Cr、Mn)_{12}(Si、Al)_8O_{20}(OH)_{16}$ である。結晶系は単斜晶系または三斜晶系である。
	臨界ガス飽和率	岩石の孔隙に占めるガスのうち水などで押しやっても 0%にならないガスの割合のこと。
	燐灰石	リン酸塩鉱物に対する一般的な名称である。
	ローブ	Lobe。海底扇状地の中部～下部扇状地表面を流れる樹枝状に分岐した水路末端部がつくる小規模扇状地といえる舌状の堆積体。
ワ行	ワイヤーライン検層	らせん状に織り込まれたケーブルをワイヤーラインと言い、このケーブルを用いて坑内に検層ツールを降下して測定をおこなうこと。

表２　用語集（英字）

英字	用語	説明
A	A/D 変換	アナログ-ディジタル変換。 アナログ量をディジタル量に変換する操作を A/D 変換という。測定量が電気量（電圧、電量）に変換されれば、目的に応じた電気的変換方式によりディジタル化することができる。
	AGC	Automatic Gain Control の略称である。 自動振幅補償を参照。
B	BSR	Bottom Simulating Reflector の略称である。 海底擬似反射面を参照。
	BroadSeis/BroadSource	CGG 社が実施する広帯域弾性波探査の商標名である。
C	CaBr2 ブライン	坑井仕上げに用いられる無機塩類溶液の一つ。
	CCS	Carbon dioxide Capture and Storage の略称である。 CO_2 の回収と貯留のこと。
	CDP	Common Depth Point（共通反射点）の略称である。 CMP と同義である。
	CDP 重合	CMP 重合と同義である。

英字	用語	説明
	CIP（ギャザー）	Common Image Point の略称である。反射法弾性波探査のデータ処理において重合前時間マイグレーション処理の共通イメージポイントのトレース群のこと。
	CIP 重合	同一の CIP に属する複数のトレースを加算する処理のこと。
	CMP	Common Mid Point （共通反射点）の略称である。CDP(Common Depth Point)ともいう。 同一の反射点に対応する発振点と受振点の組み合わせから構成されるトレース群、あるいはその反射点のこと。
	CMP 重合	同一の CMP に属する複数のトレースを加算する処理のこと。NMO 補正後に適用される。これによりランダムな雑音が抑制され、S/N 比が向上する。CDP 重合とも呼ばれる。
	Corey	相対浸透率曲線の一般的なモデルのこと。U 字カーブを示すことが特徴である。
	CRS 法	Common Reflection Surface 法の略称であり、共通反射面重合法ともいう。連続する複数の CMP 記録に含まれる反射イベントを近軸波線理論に基づき重合する手法であり、微弱な反射イベントの強調を目的とする重合処理法である。
D	DMO 補正	Dip Move Out（ディップムーブアウト）補正の略称である。 地表で観測される反射記録は地下構造が水平層であれば、発振点と受振点の中点直下で反射するが、地下構造が傾斜している場合は、反射点は傾斜の上側へずれる。より正しいと考えられる反射点の位置で、トレースを足し合わせる処理を DMO 補正といい、この補正によって、より正確な地下構造とより高品質の反射法断面図が得られることになる。
	DSDP	Deep Sea Drilling Program の略称である。1968～1983 年に実施された深海底掘削調査プログラムのこと。
E	ERD	ERDは Extended Reach Drilling の略で、大偏距掘削のことをいう。大偏距掘削とは、一般に、傾斜井において水平偏距と垂直深度の比が 2 以上の坑井の掘削である。
F	F-X 予測フィルター	直線的な反射波イベントは、周波数－空間（F-X）領域において、空間方向に予測可能である。こうした特性を利用して、反射波イベントに対応する振幅および位相スペクトルを空間方向に予測するフィルターを設計し、それを適用することでランダムノイズを抑制する。
	FWI 解析	フルウェーブインバージョン（Full Waveform Inversion）解析の略称である。逆解析手法によって地下の速度構造を求める解析技術である。解析の際、地下の初期速度モデルを仮定して理論波形を計算し、実際の弾性波探査で得られた観測波形と比較し、その差分から速度モデルを更新する。さらに更新した速度モデルを用いて再び理論波形計算と観測波形の比較を行う。この計算過程を差分が所定の収束条件に達するまで逐次繰り返し、最終的な速度モデルを解析結果として地下の速度構造を得る。 FWI 解析は、従来の地下速度構造を求める解析手法に比して、走時データだけではなく、波動トレース全体の情報（周波数、位相、振幅、減衰率など多くの情報）を考慮した波形フィッテングを行うことを特徴とする。
G	GIS	Geographic Information System の略称で、『ジーアイエス』または『地理情報システム』と呼ばれる。地理情報という位置に関連づけられたさまざまな情報を、作成、加工、管理、分析、可視化、共有するための情報技術のこと。

英字	用語	説明
	GNSS 測位	Global Navigation Satellite System の略称で『全地球測位システム』と呼ばれる。人工衛星を使用して地上の現在位置を計測する「衛星測位システム」のうち、全地球を測位対象とすることができるシステムのこと。「衛星測位システム」の代表的なシステムとしては、米国の GPS、ロシアの GLONASS がある。
	GPS 時刻	1980 年 1 月 6 日 0 時に UTC(協定世界時)に同期して開始された GPS 衛星の原子時計が刻む時刻のこと。
	GRV	Gross Rock Volume の略称である。グロスロックボリューム参照。
H	HCF	High-Cut Filter の略称である。高い周波数帯域の波を遮断するファイルターのこと。
	HST	Highstand System Tract の略称である。高海水準期堆積体を参照。
K	KCl ブライン	坑井仕上げに用いられる無機塩類溶液の一つ。
	Krg	ガスの相対浸透率。超臨界状態の CO_2 もガスとして表現している。
	Krw	水の相対浸透率。
L	LCF	Low-Cut Filter の略称である。低い周波数帯域の波を遮断するファイルターのこと。
	LTO	Linear Tape-Open の略称である。大量のデータを長期的に保管するのに適した磁気テープ記憶装置の規格の一つで、業界団体の LTO Consortium が仕様の策定を行っている。
	LWD	Logging While Drilling の略称である。特殊坑内機器を用いて、掘削作業を行いながら物理検層を行うこと。
M	MTD	Mass Transport Deposit の略称である。斜面崩壊によって形成されたスライドブロック、スランプ堆積物、デブリフロー堆積物などを含めた総称のこと。混沌堆積物ともいう。
N	NaBr ブライン	坑井仕上げに用いられる無機塩類溶液の一つ。
	N/G 比	Net gross ratio の略称である。 ネット／グロス比を参照。
	NAS	Network Attached Storage の略称である。ネットワーク（LAN）に直接接続して使用するファイルサーバで、コントローラとハードディスクから成るファイルサービス専用のコンピュータである。ネットワーク上の複数の PC,WS からアクセスすることが出来る。
	NMO 補正（動補正）	Normal Move Out correction の略称である。 反射法弾性波探査のデータ処理において、CMP 重合に先だって行われる処理。各 CMP トレース上の同一反射波について、オフセット距離（発振点と受振点距離）による到達時間の遅れをオフセット距離 0 の場合の時間に補正する操作のこと。
O	OBC	Ocean Bottom Cable の略称である。 海底受振ケーブルを参照。
P	P 波インピーダンス	弾性波探査におけるインピーダンスとは、「P 波速度」＊「密度」のこと。反射法処理を用いたインピーダンスの求め方は、使用できるデータの制限から弾性波探査データだけを使用した（instantaneous）なものから、坑井データ等を用いて初期モデルを使用したインバージョンによって求めたものまで様々なものがある。
	PDO	Plan for Development and Operation

英字	用語	説明
	PSDM	Pre-Stack Depth Migration（重合後深度マイグレーション）の略称である。反射波弾性波探査のデータ処理において、重合処理の前に行うマイグレーション処理。地下構造が複雑で水平多層構造とみなせない場合には、重合後マイグレーションでは精度の良い処理が困難となる。この場合、重合処理の前にマイグレーション処理を行い、精度を向上させる。
	PSTM	Pre-Stack Time Migration（重合前時間マイグレーション）の略称である。反射波弾性波探査のデータ処理において、重合処理の前に行うマイグレーション処理。地下構造が複雑で水平多層構造とみなせない場合には、重合後マイグレーションでは精度の良い処理が困難となる。この場合、重合処理の前にマイグレーション処理を行い、精度を向上させる。
Q	QICS プロジェクト	Quantifying and Monitoring Potential Ecosystem Impacts of Geological Carbon Storage の略称である。CO_2 海域地中貯留の環境影響評価を目的とした日英共同プロジェクト。2012 年度にスコットランドの海域で CO_2 放出実証実験が行われ、浅部海底堆積物の CO_2 移動解析、生物地球化学的・生態学的な影響評価、漏出を検出／モニタリングするツール評価、CO_2 拡散とその影響を予測するモデリングツール開発などを目的とした。
R	RAID	Redundant Array of Independent Disk の略称である。複数のディスクにデータを分散し冗長性データを付加して格納し、ディスク障害のときにユーザデータの再生を可能とするディスクアレイである。
	RGB ブレンディング解析	3D 探査データを周波数特性から三つの周波数（赤、緑、青）に選択・分解し、それぞれの周波数の振幅強度を光の三原色の強度で表現する解析手法のこと。表現された同色の堆積相の形に着目し体積形態を同定する。
	RMS 速度	Root Mean Square 速度の略称である。 各層の区間速度を一定とする多層構造において次式で定義される。 $Vrms = SQRT(\Sigma Vi^2 Ti / \Sigma Ti)$ ここで Vi は各層の区間速度、Ti は各層の垂直往復走時を表す。 水平多層構造においては、任意の反射面に至る速度構造を、当該反射面までの Vrms を区間速度とする二層構造で近似することができる。
	Rotary Steerable Tool	パイプを回転させながら、坑跡のコントロールを可能とする掘削機器。
	RTK-GPS	リアルタイムキネマティック GPS 測量を参照。
S	SEG-D 形式 SEG-Y 形式	地球物理学的データを格納するため、米国物理探査学会（the Society of Exploration Geophysicists：SEG）によって開発された規格。オープン規格であり、SEG 技術標準委員会（非営利組織）によって管理されている。
	Sgc	臨界ガス飽和率参照。本報告では、水-CO_2 相対浸透率曲線を作成するために考慮したもので、CO_2 を圧入する際に CO_2 の相対浸透率が 0 ではなくなる CO_2 飽和率。
	Sgrmax	最大残留ガス飽和率参照。本報告では、水-CO_2 相対浸透率曲線を作成するために考慮したもので、貯留層（水飽和率=1）に圧入した CO_2 が移動しても、水飽和率＝１には戻らず CO_2 が残留する割合。
	Shear Failure Gradient	せん断破壊圧力勾配
	S/N 比	Signal to Noise Ratio の略称である。 信号と雑音の比のこと。
	Spill Point	スピルポイントを参照。
	SRME 法	Surface Related Multiple Elimination の略称である。

英字	用語	説明
		多重反射波抑制手法のひとつ。波動方程式に準拠する多重反射波抑制手法であり、波線経路に海面での反射を含む Surface-Related 型の多重反射波を予測し、抑制する手法。
	Staging Area	陸棚縁辺部で運ばれてきた堆積物が集まっている場所のこと。
	Swir	不動水飽和率参照。本報告では、水-CO_2 相対浸透率曲線を作成するために考慮したもので、全孔隙に CO_2 を圧入可能な最大の比率に相当。
T	TCP	Tubing Conveyed Perforation の略称である。ワイヤーラインを用いず、テストや仕上げのパイプの先端に火薬を取り付けパーフォレーションを実施するシステム。
	T-D 関係 （時間ー深度関係）	基準面（地表面、海面）から各地層の境界面までの弾性波の伝播時間と深度の関係。地層の弾性波速度の分布を把握する際や伝播時間から深度に変換する際に用いられる。T は Time（時間）、D は Depth（深度）を表す。
	Traction	流体の流れにより、土砂が滑ったり、転がったり、跳ねたりして移動すること。
	TVDss	True Vertical Depth Subsea の略称である。 平均海水面からの垂直深度のこと。
U	UTM 座標系	Universal Transverse Mercator (UTM)。ユニバーサル横メルカトル図法を基にした座標系。
V	Vclay	単位岩石中の泥質分の含有量。検層解析によりこの値が得られる。
	VRS 方式	Virtual reference station の略称で、ネットワーク型 RTK-GPS 観測（ネットワーク型 RTK 法）のうちの仮想基準点方式のこと。
W	Wheeler ダイアグラム解析	不連続面（反射面）として痕跡が残る堆積休止の時代を、堆積時間の欠如として、そのまま（縦軸に時間をとった）二次元座標に表現する解析手法のこと。堆積時間の欠如や不連続面の移動から、堆積体の推定を行う。
	Wyllie 式	音波検層から孔隙率を求める式の一つである。 Φs=(ΔT-ΔTma)/(ΔTf-ΔTma)*1/Cp ΔT=音波検層の測定値、ΔTma=55.5μsec/ft（典型的な砂岩の場合）、ΔTf=189μsec/ft（泥水の値）、Cp=ΔTsh/100μsec/ft、1.0＜Cp＜1.4(一般的な手法)。 Cp：Compaction Factor。
	WGS84	World Geodetic System 1984 の略称である。 世界測地系のひとつ。アメリカ合衆国が構築・維持している世界測地系で、GPS によるナビゲーションの位置表示の基準として使用されている。
X	X 線回折	X 線が結晶格子を回り込んで進行する現象のこと。この現象を利用して物質の結晶構造を調べることが可能となる。
	X 線回折強度	X 線回折分析において、発射した X 線が測定試料に反射して返って来た際にどれだけ検出されたかを示した値のこと。単位は cps（Count Per Second）で示す。

表 3　用語集（数字）

数字	用語	説明
2	2D 探査	二次元弾性波探査を参照。
	24 ビット Delta-sigma 型 A/D 変換	A/D 変換の一種でサンプリングした値の差分を積分していく方式。アナログ回路が少なく小型化できる。
3	3D 探査	三次元弾性波探査を参照。
4	4way クロージャー	構造頂部を持つ背斜構造のこと。

３．地質年代表

表 4　地質年代表

<table>
<tr><th>界／代
(Era)</th><th>系／紀
(Period)</th><th>統／世
(Epoch)</th><th>年代／
百万年前</th></tr>
<tr><td rowspan="8">新生界／代
(Cenozoic)</td><td rowspan="2">第四系／紀
(Quatemary)</td><td>完新統／世
(Holocene)</td><td rowspan="8">0.0117
2.58
5.333
23.03
33.9
56.0
66.0</td></tr>
<tr><td>更新統／世
(Pleistocene)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">新第三系／紀
(Neogene)</td><td>鮮新統／世
(Pliocene)</td></tr>
<tr><td>中新統／世
(Miocene)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">古第三系／紀
(Paleogene)</td><td>漸新統／世
(Oligocene)</td></tr>
<tr><td>始新統／世
(Eocene)</td></tr>
<tr><td>暁新統／世
(Paleocene)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">中生界／代
(Mesozoic)</td><td>白亜系／紀
(Cretaceous)</td><td>※</td><td rowspan="3">145.0
201.3±0.2
251.902±0.024</td></tr>
<tr><td>ジュラ系／紀
(Jurassic)</td><td>※</td></tr>
<tr><td>三畳系／紀
(Triasic)</td><td>※</td></tr>
<tr><td>古生界／代
(Paleozoic)</td><td colspan="2">※</td><td>541.0±1.0</td></tr>
</table>

出典：国際年代層序表（2021 年 10 月）から抜粋して作成。
http://www.geosociety.jp/uploads/fckeditor//name/ChronostratChart_jp.pdf
注：「界」「系」「統」「階」は各地質時代に堆積した地層区分を表す場合に用い、
「代」「紀」「世」「期」は地質時代を表す場合に用いる。
※：省略。

碎屑性堆積物の粒度　(Wentworth 1922)

堆積物の種類		主要構成粒子の区分と境界粒径	mm	(φ数)
礫岩		巨　礫　(boulder)	256	(−8)
		大　礫　(cobble)	64	(−6)
		中　礫　(pebble)	4	(−2)
		細　礫　(granule)	2	(−1)
砂岩		極粗粒砂　(very coarse sand)	1	(0)
		粗粒砂　(coarse sand)	1/2	(1)
		中粒砂　(medium sand)	1/4	(2)
		細粒砂　(fine sand)	1/8	(3)
		極細粒砂　(very fine sand)	1/16	(4)
泥岩	シルト岩	シルト　(silt)	1/256	(8)
	粘土岩	粘　土　(clay)		

図 1　砕屑性堆積物の粒度（地学事典、1980 年）

表　火砕岩の構成粒子の粒径による分類
（Fisher, 1966*による）

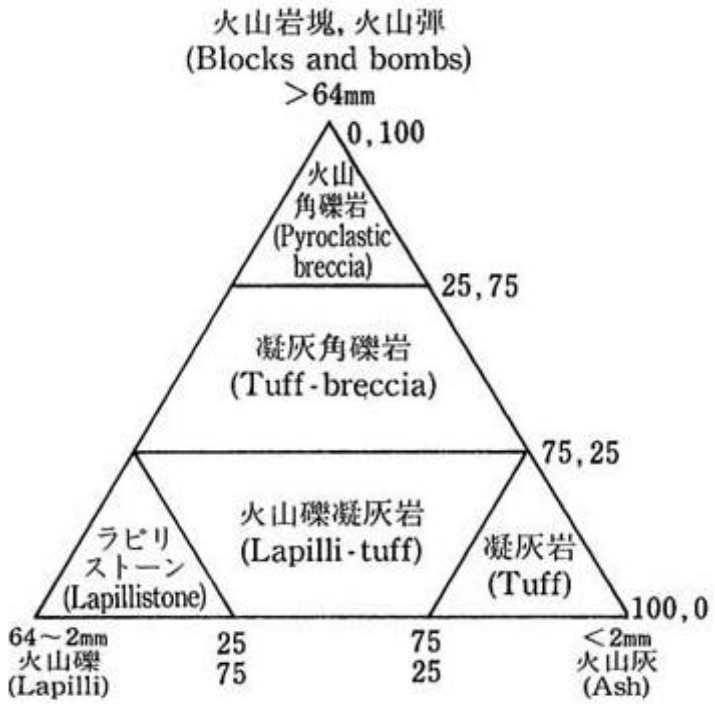
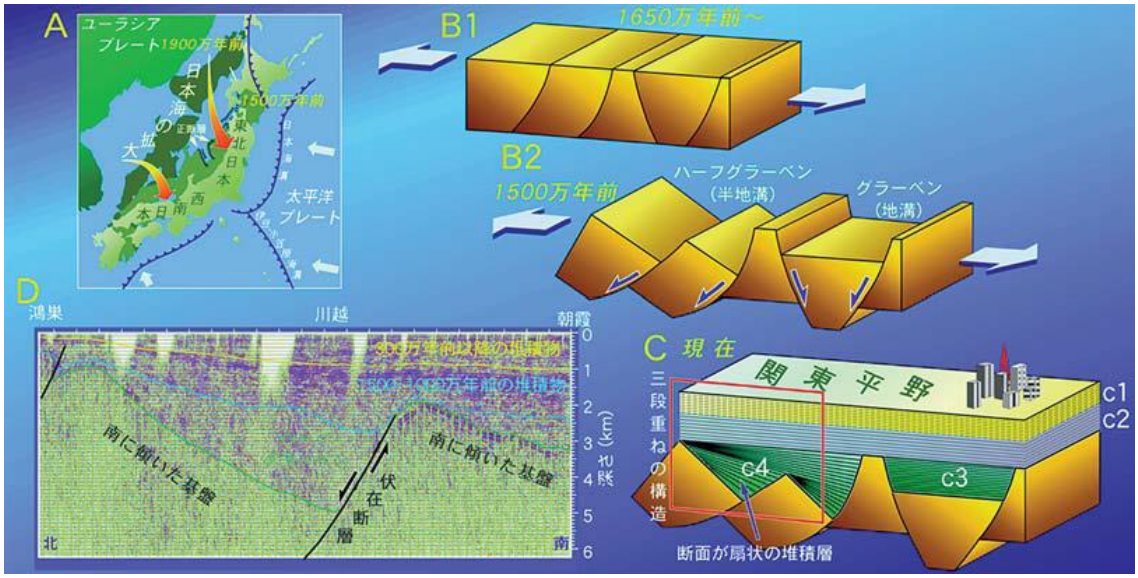


図 2　火砕岩の分類（JOGMEC、石油天然ガス用語辞典）



http://www.zisin.jp/pdf/nf-vol63.pdf

図３　グラーベンとハーフグラーベン（日本地震学会広報誌、2007 年）