

平成30年北海道胆振東部地震と 苫小牧CCS実証試験の関係について

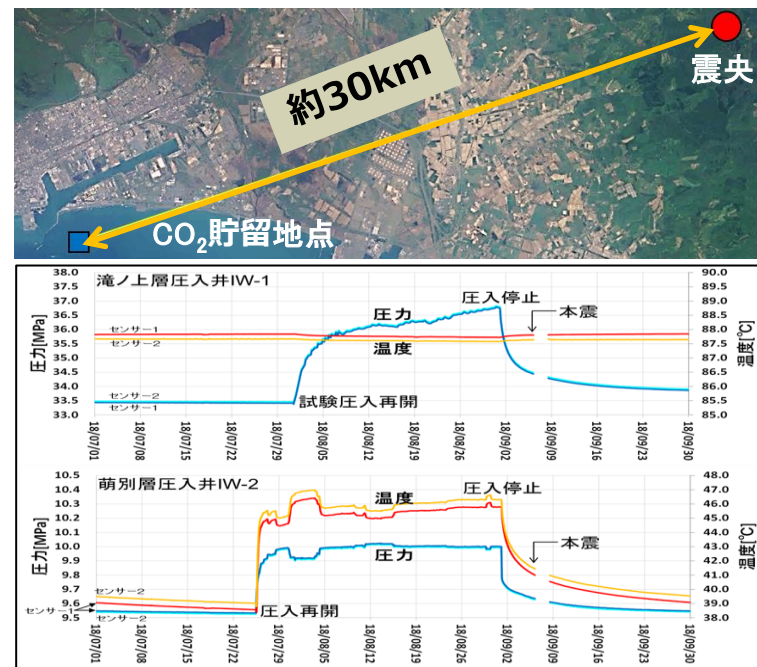
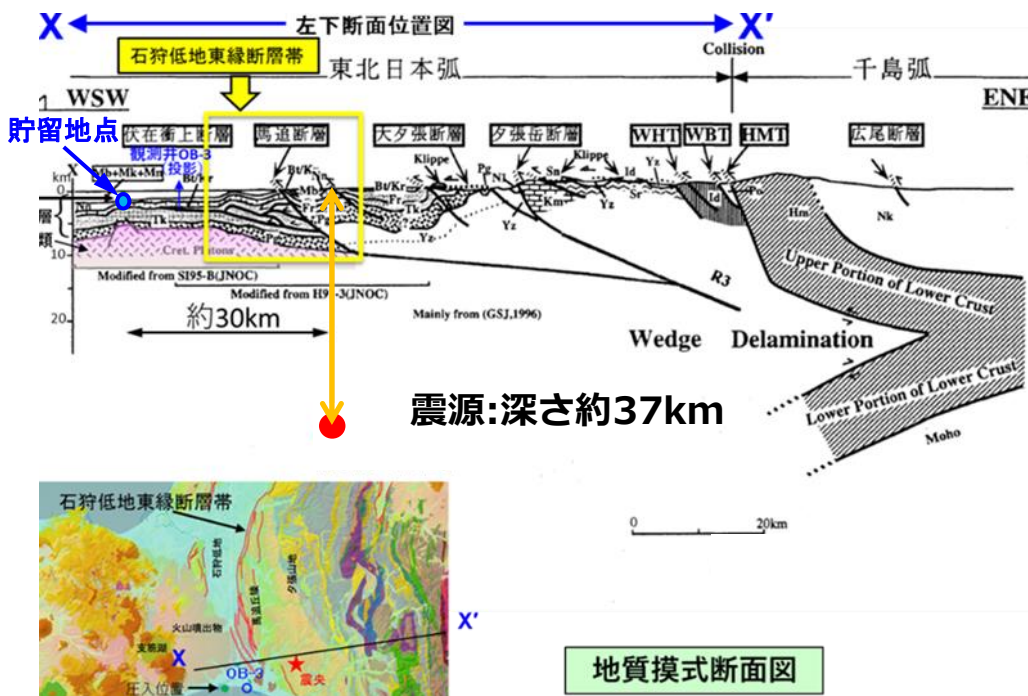
2023年11月28日
日本CCS調査株式会社



出典:「LC81070302016141LGN00, courtesy of the U.S. Geological Survey」を加工

- 2018年9月6日北海道胆振東部地震が発生（M6.7）。
苫小牧CCS実証試験センターは震度5弱、地上設備は異常無し。
※CO₂含有ガス供給元の都合により、9月1日よりCO₂圧入を停止中であった。
- 震源は、貯留地点より水平距離で約30km離れた深度37kmの地点で、
CO₂貯留層は 深度1～3kmで、震源が位置する地層との連続性無し。
- 貯留層の温度・圧力の観測結果等から、CO₂の漏洩を示唆するデータは確認されていない。

2018年10月19日「苫小牧CCS実証試験に係わる課題検討会」での有識者委員会による見解



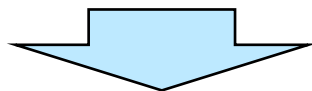
貯留層の温度・圧力観測結果

■ モニタリング：微小振動の観測記録

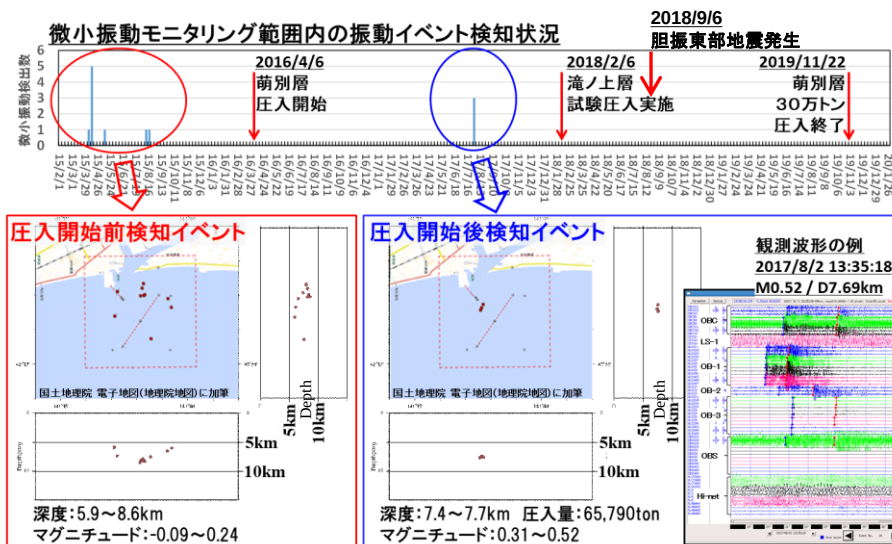
- 周辺のHi-net(*)観測点4点に当実証試験用の地震観測設備を追加して、貯留層相当深度付近における極めて小さな振動（マグニチュード -0.5以上）を高い確度で観測可能なモニタリングシステムを構築した。

(*) Hi-net：国立研究開発法人防災科学技術研究所が運営する高感度地震観測網

- 圧入開始前の2015年から圧入地点近傍のモニタリングを継続しているが、検知された微小振動は、いずれも圧入地点よりも深い地点で発生した、ごく小規模（マグニチュード1未満）の自然地震であった。

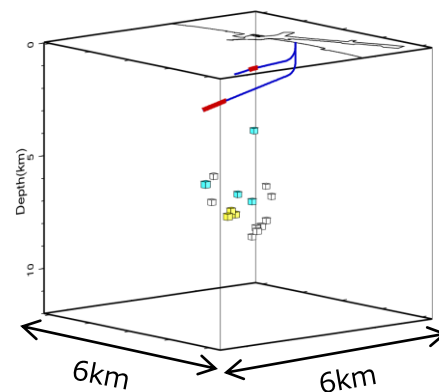


◆ 今回の地震前後に圧入に起因する振動は検知されていない



注: 推定震源位置●を平面図及び南北・東西両断面図にて、観測井(坑跡)、OBC、OBSとともに示す

圧入地点近傍にて観測された微小振動推定震源位置（全期間）



□ : 圧入前
■ : 圧入期間中
■ : 圧入期間後

- 2018年9月6日 北海道胆振東部地震が発生
- 2018年10月19日 苫小牧CCS実証試験に係る課題検討会 開催
(CO₂貯留層への本地震の影響等を検討)
- 2018年11月21日 「北海道胆振東部地震のCO₂貯留層への影響等に関する検討報告書」
当社Webサイトにて公表

https://www.japanccs.com/wp/wp-content/uploads/2019/09/report_re2.pdf

【検討会における委員の共通認識】

- ◆ 今回の地震が苫小牧でのCO₂圧入と関係して発生したとは考えられない
- ◆ 地震によるCO₂貯留層の異常はなく、CO₂の漏洩は認められない

【報告書抜粋】 p.2 「(4)地震との関係」より

- 圧入圧力の増加による（中略）震源位置での応力変化は、地球潮汐力による地殻への圧力の変化（数kPa）の1/1,000程度と計算された。また、苫小牧の圧入地点では微小振動を常にモニタリングしており、圧入開始以来、CO₂圧入地点近傍での微小振動は検出されていない。このため、CO₂の地中貯留と、約30km離れた場所で発生した本地震との関係を示唆するデータは確認されていないとの共通認識が委員の間で得られた。
- 貯留層の圧力と温度データは、一部、停電の影響によるデータの欠損はあるものの、復電後にデータの取得を再開したところ、停電前と同じトレンドにあり、過去の停止時と同様である。（中略）したがって、今回の地震によりCO₂の漏洩があったとは認められないとの共通認識が委員の間で得られた。

参考資料



**北海道胆振東部地震の
CO₂貯留層への影響等に関する
検討報告書（要旨）**

平成30年12月

日本CCS調査株式会社

1. 検討報告書の概要 1) 目的

苫小牧CCS実証試験事業では、開始前(平成24年以前)に、CO₂地中貯留に関する地震による影響、地震との関係を検討し、シミュレーションなどにより安全性の評価を実施した

平成30年9月6日 平成30年北海道胆振東部地震発生
苫小牧CCS実証試験センター 震度5弱



本地震を踏まえ、当社の分析・評価に対して、改めて広く専門委員(10月19日)の意見をいただき、その結果を報告・情報公開する(11月21日HP掲載)

[報告書内容]

- ・ 苫小牧におけるCCS大規模実証試験の現地での対応状況
- ・ 「苫小牧CCS実証試験に係わる課題検討会」の内容
- ・ 同検討会で専門委員の方からいただいた意見

- ◆ 今回の地震が苫小牧でのCO₂圧入と関係して発生したとは考えられない
- ◆ 地震によるCO₂貯留層の異常はなく、CO₂の漏洩は認められない

1. 検討報告書の概要 2) 課題検討会

- ◆ 名称 苫小牧CCS実証試験に係わる課題検討会(CO₂貯留層への本地震の影響等を検討)
- ◆ 主催 日本CCS調査(株)
- ◆ 日時 平成30年10月19日(金) 14:30～17:30
- ◆ 出席者 専門委員(13名)、日本CCS調査(株)、経済産業省(METI)、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)

<委員名簿>

【委員】

二酸化炭素地中貯留技術組合 技術部 部長

兼 地球環境産業技術研究機構 CO₂貯留研究グループ主席研究員

産業技術総合研究所 CO₂地中貯留研究グループ グループ長

早稲田大学 理工学術院 創造理工学部 総合機械工学科 教授

東京工業大学 物質理工学院 応用化学系 准教授

深田地質研究所 理事長 兼 京都大学 名誉教授

薛 自求氏

徂徠 正夫氏

中垣 隆雄氏

渕野 哲郎氏

松岡 俊文氏

【臨時委員】

北海道大学 名誉教授

東北大学 名誉教授

東京大学 地震研究所 災害科学系研究部門 教授

電力中央研究所 地球工学研究所 地圏科学領域 上席研究員

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

東北大学 災害科学国際研究所 教授

京都大学 防災研究所 地震発生機構研究分野 教授

名古屋大学大学院 環境学研究部門(地震火山・防災研究センター)教授

兼 日本地震学会 会長

池田 隆司氏

今泉 俊文氏

纈纈 一起氏

末永 弘氏

辻 健氏

遠田 晋次氏

James Jiro Mori氏

山岡 耕春氏

2. 苫小牧実証試験概要 1) 実証試験設備の位置関係

10

実証試験設備の位置関係



【実証試験スケジュール】

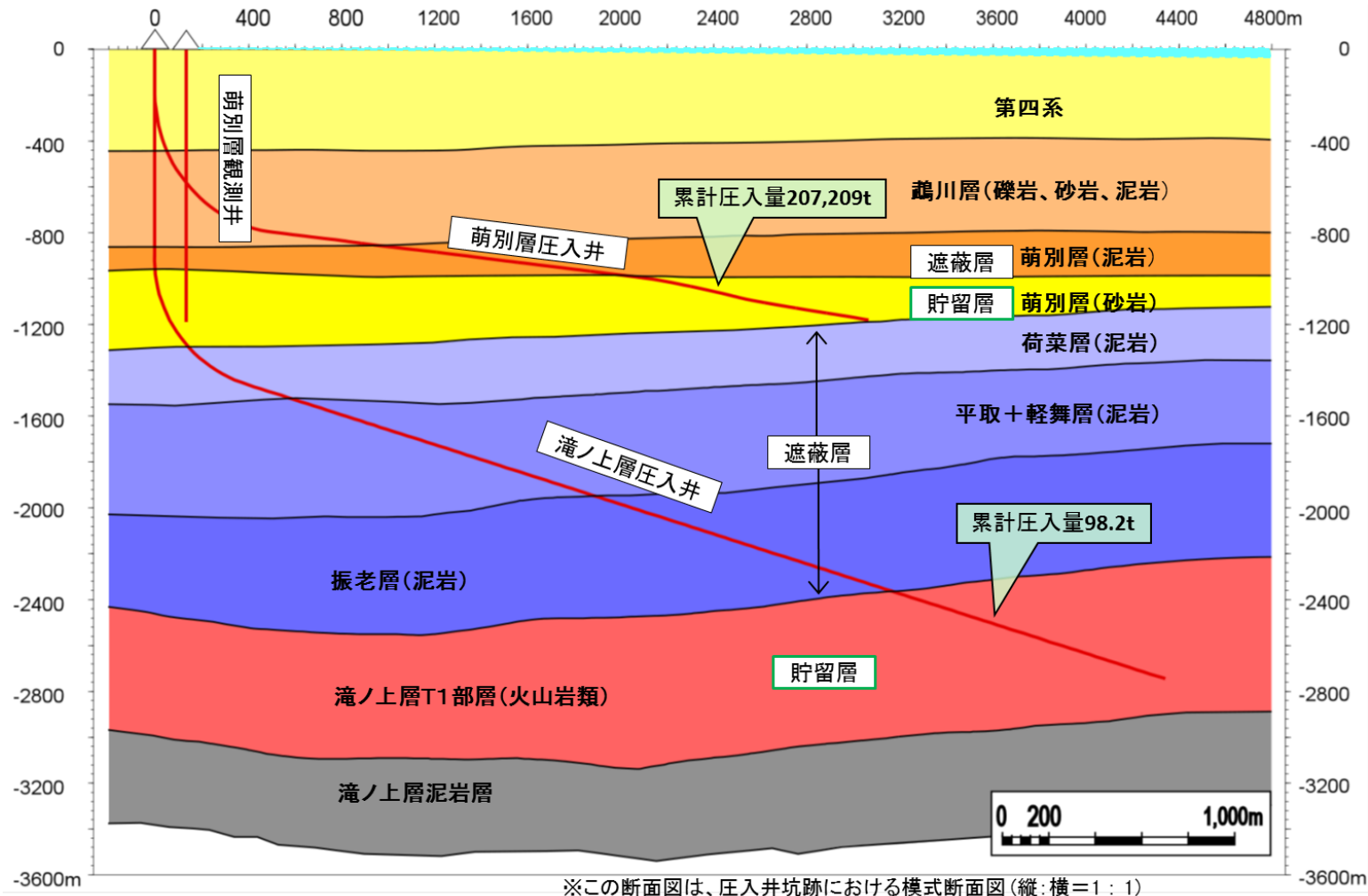
- 2012～15年度: 準備期間
- 2016～18年度: 3年間で30万トン程度のCO₂を2つの地層(萌別層、滝ノ上層)に圧入。
- 2015～20年度: CO₂圧入モニタリング実施

【CO₂圧入モニタリング】

- 圧入温度・圧力・流量・成分
- 地層温度・圧力
- 貯留層近傍の微小振動
- 貯留層周辺の自然地震
- 三次元・二次元弾性波探査
- 周辺海洋環境調査(四季)

- OBC (Ocean Bottom Cable: 海底受振ケーブル)
微小振動、自然地震観測、二次元弾性波探査に使用。
- OBS (Ocean Bottom Seismometer: 海底地震計)
微小振動、自然地震観測に使用。

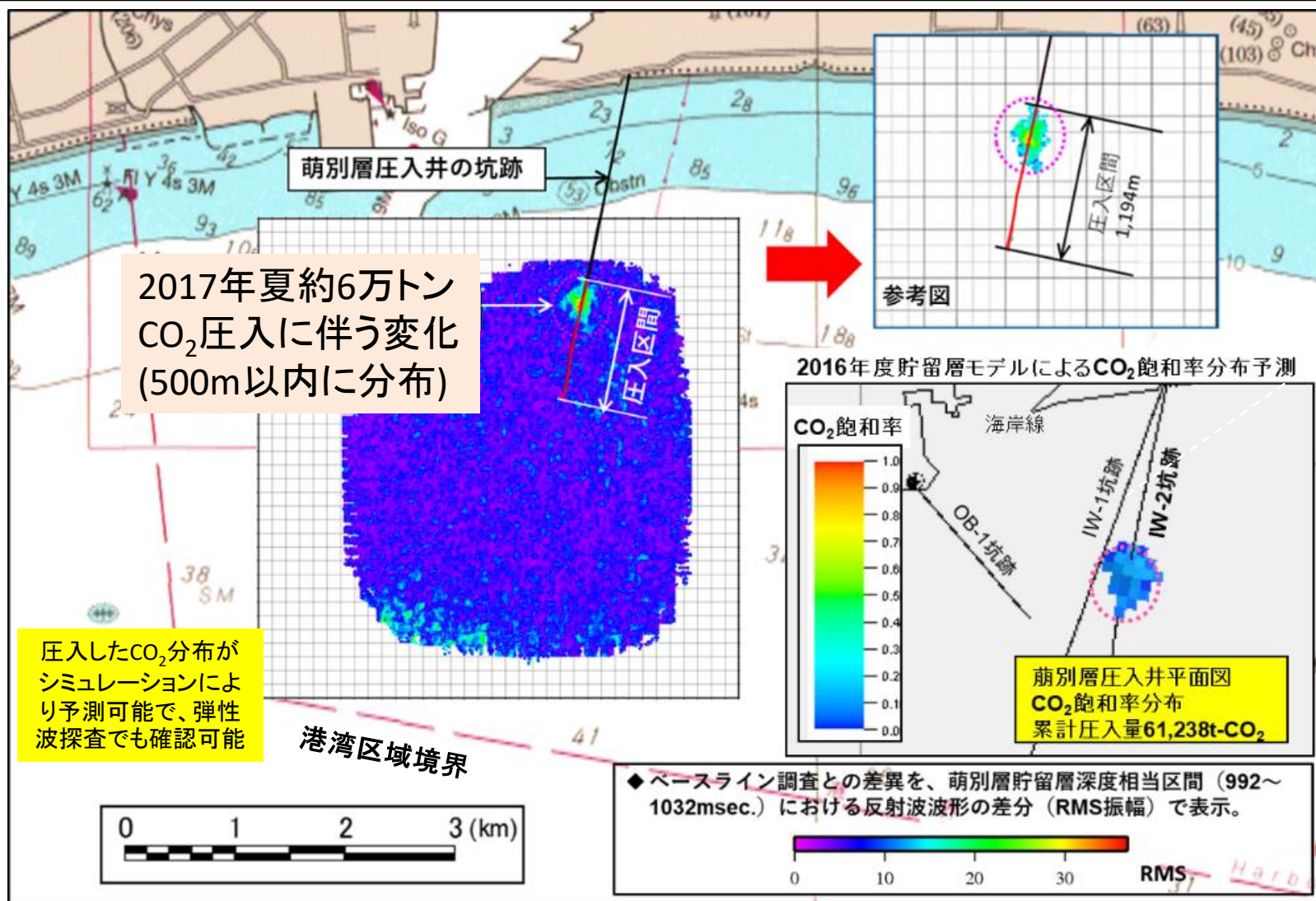
- | | | | |
|---------|---------------------|------------------------|-----------|
| 1) 萌別層 | 沖合約3km・海底下1.0～1.2km | 累計圧入量(2016年4月～2018年9月) | 207,209トン |
| 2) 滝ノ上層 | 沖合約4km・海底下2.4～3.0km | 累計圧入量(2018年2月～2018年9月) | 98.2トン |



2. 苫小牧実証試験概要 3) 三次元弾性波探査調査結果 12

三次元弾性波探査(平成29年8月実施)によりCO₂圧入に伴う弾性波の変化を検出

※ 萌別層CO₂累積圧入量61,238.9~69,070.0トン

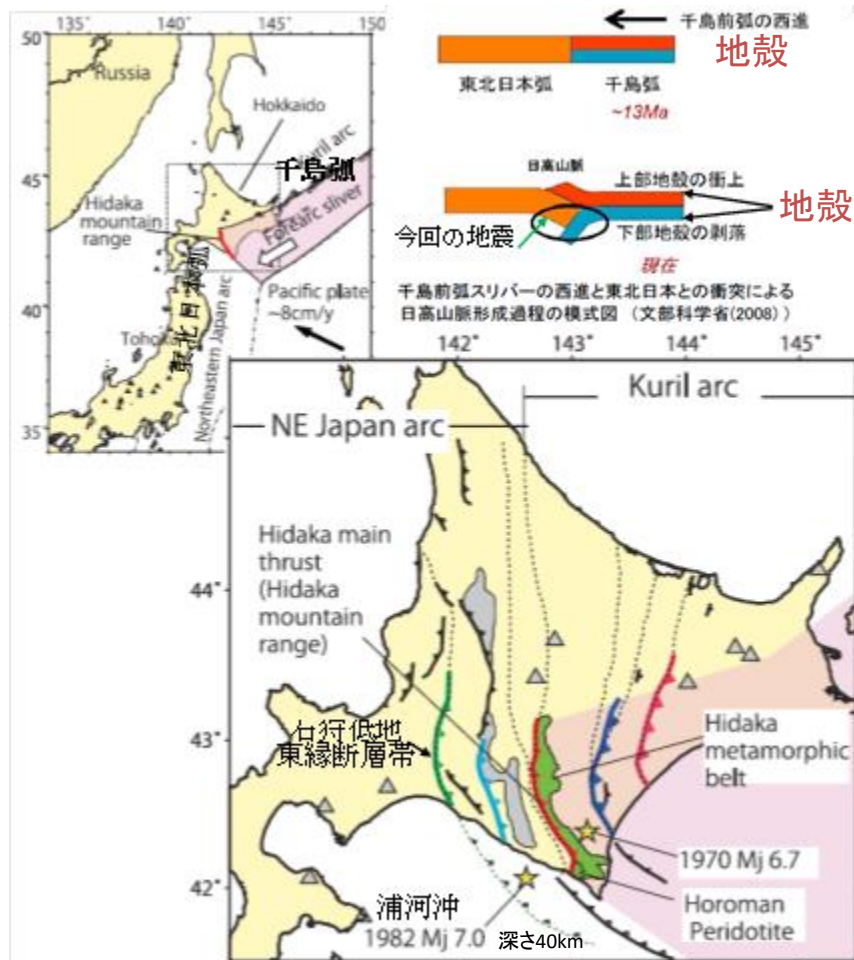


海上保安庁航海用海図W1034室蘭港至苫小牧港に加筆

CO₂挙動の実績は予測と同傾向。将来のCO₂分布予測に有効。

3. 北海道胆振東部地震

- 発生日時：9月6日03時07分
 - マグニチュード：6.7
 - 場所および深さ：胆振地方中東部、深さ37km
 - 最大震度：震度7（北海道厚真町）
- ※ 実証試験センター震度5弱（158gal）観測



北海道南部テクトニクスイメージ

1) 地震発生メカニズム

13

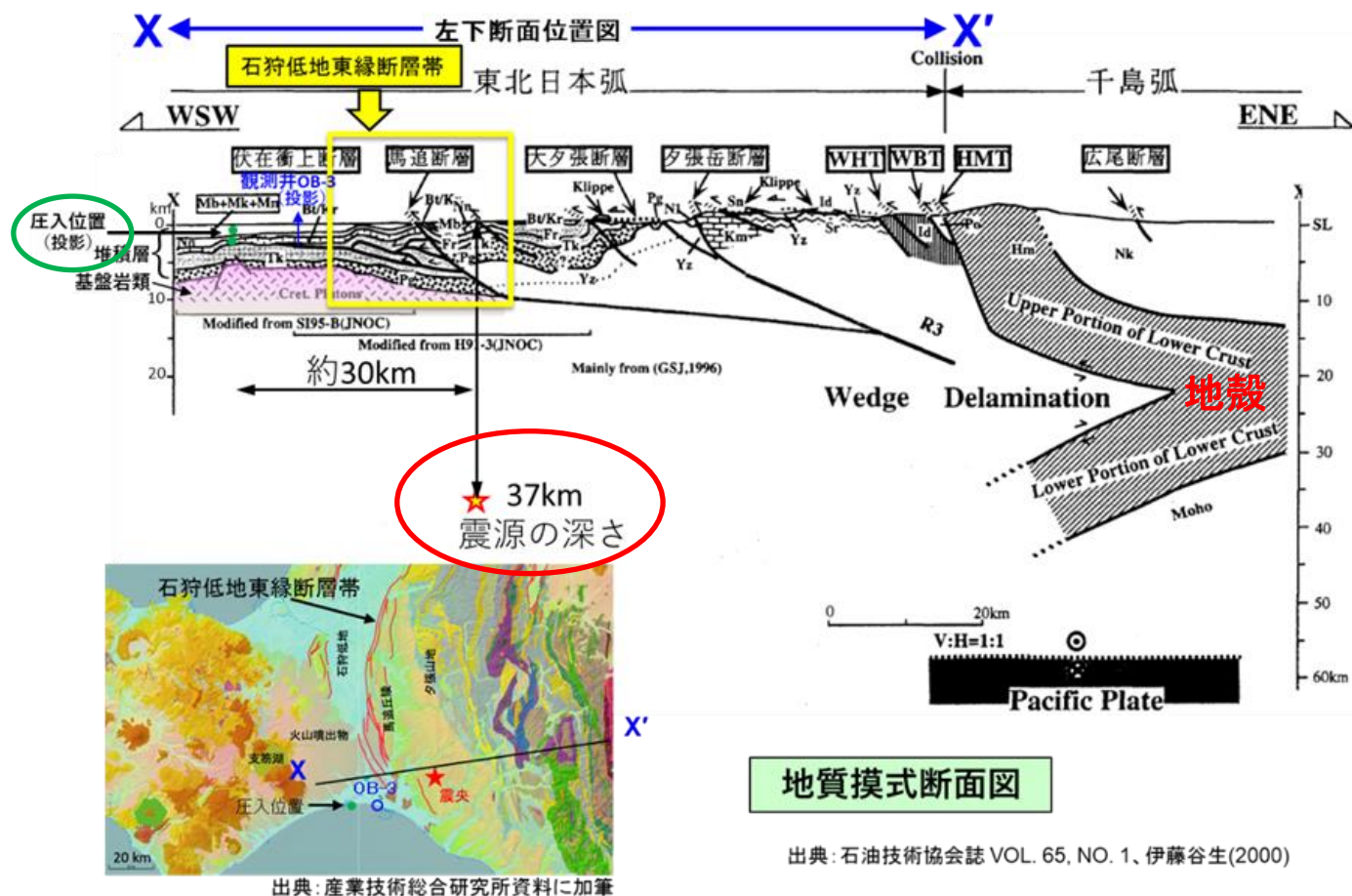
- 千島弧の端は、地殻*の上部が衝突して日高山脈を形成し、地殻の下部はプレートに沈み込み、東北日本弧も引きずられて沈み込み、日高山脈付近とその西方では、地殻が厚くなっていると考えられている。
- 本地震は地殻の折れ曲がった付近で発生したと考えられる。
- 地震調査委員会は「胆振地方東部・日高地方から浦河沖の周辺では、陸域で通常発生する地殻内の地震よりも深い場所でも地震が多く発生している特徴が見られ、今回の地震活動はこのような特徴がある地域で発生したものである」との見解を示している。
- 本地震は特異な場所で発生したものではないと考えられる。

*地殻とは、地表からマントル境界までの地球表層部。
大洋地域の地殻厚さ約 5km、大陸地域の地殻厚さ 30～60km

3. 北海道胆振東部地震 2) 震源位置と圧入位置

14

- 地震の震源は、基盤岩中の深さ37km、CO₂貯留地点は、深さ1～3kmの堆積層。
- CO₂貯留地点は、震源と震央(水平)距離で約30km離れ、震源のある基盤岩とは連続性がない別の地層内である。



北海道胆振東部地震震源位置と本地域の地質模式断面図

9月6日(木)

3:07 地震発生。

当直運転員は、避難、人員点呼、情報収集を行った後に、点検リストに従い、現場点検を実施し、「地上設備」の事故・災害、設備異常がないことを確認して、実証試験センター長に報告。

7:03 本社貯留技術部長、プラント本部長よりMETI地球環境連携室、NEDO環境部に対し、プラントに異常がない旨の第一報をメール。

8:00 安否確認、設備や建屋、構内全域についても異常がないことが確認できたため、改めて「点検結果、人的、設備の物的被害、異常が認められない」ことを実証試験センター長から本社プラント本部に電話連絡。

8:50 苫小牧漁業協同組合、9:00苫小牧市産業経済部、9:15北海道漁業協同組合連合会に「設備に異常がない」旨の第一報を電話連絡。

9:37 当社HPのお知らせに「地上設備に異常がない」旨を掲載。

9月12日(水)

19:40 当社HPのお知らせにCCSと本地震に関する見解を掲載。

9月13日(木)

苫小牧漁業協同組合、苫小牧市産業経済部、北海道漁業協同組合連合等の主な地元関係者にHPのお知らせの内容を連絡。

4. リスク対応 1) 実証試験センター地震前後の設備状態 16

今回(9月6日)の地震による設備異常は無く、人的・物的被害無し
全停電、インターネット不通が長期化したが、3日後の9月9日に全て復旧

※ 停電55時間(含む固定電話回線)、インターネット不通3日間

9月1日(土) 2時25分	CO ₂ 含有ガス供給元の都合により送気停止・圧入停止 待機状態で維持
9月5日(水) 11時 17時	CO ₂ 含有ガス供給元からの送ガス再開まで時間が必要と判明 待機から停止状態に移行
<u>9月6日(木) 3時 7分</u>	<u>地震発生</u>
3時 8分	地震感知(現地地震計158gal)、北海道電力(北電)特高停電
3時25分	全停電
4時40分	無停電電源装置(UPS)停止
5時37分頃	モニタリング測定停止
8時	設備異常ないことを確認
9月8日(土) 11時18分	北電から特高受電再開
12時15分	実証試験センター通電確認完了
14時50分	地震前の停止状態に復旧(計装空気・窒素・工水運転)
9月9日(日) 15時	インターネット環境復旧
9月10日(月)11時45分頃	モニタリング観測再開(定期点検中の観測井OB-3を除く)

※ 現在 CO₂含有ガス供給元の都合(地震停止から復旧中)で圧入停止中

今回の地震においては、事前の計画・設計のとおりリスク対応を実施できた

【危機管理マニュアル】

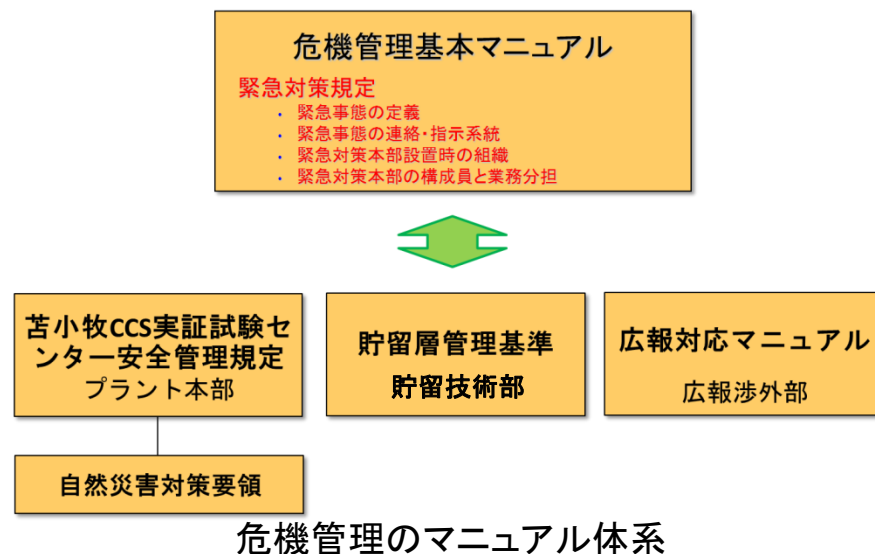
- 危機管理基本マニュアルを中心に、事業形態（地上設備・地下貯留・広報）毎に規定整備
- ⇒ 今回の地震時には、本マニュアルの体系が適用され、これに沿って各部署が対応を実施

【地上設備の災害対策】

- 重篤な災害や設備異常時を想定した緊急遮断システム(ESD)、保安設備の設置
- ⇒ 地震時は加速度150galで主要設備緊急停止（今回、地震時には主要設備は既に停止中）
- ⇒ 停電時は無停電電源装置(UPS)で保安電源確保

【CO₂貯留層の災害対策】

- 貯留層管理基準による異常の判断と対応
- ⇒ 地震後のデータ分析にて管理基準上の異常なし
- 海洋汚染防止法の監視計画による異常時対応
- ⇒ 9月1日より既にCO₂圧入停止中で異常なし
地震発生後も通常監視を継続（9月6日環境省に確認）



＜改善すべき課題＞

- 電源喪失によるモニタリング欠測時間の短縮
- 長時間停電やインターネット回線停止に対する強化

＜改善策：観測井を除く連続観測＞

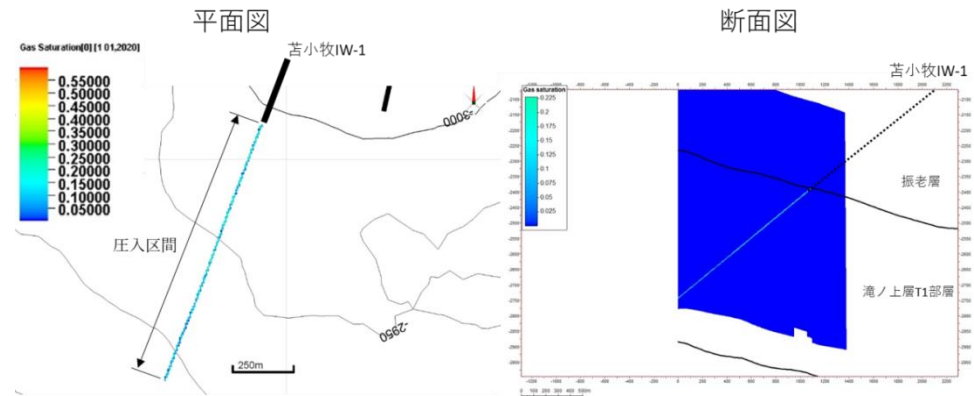
- 実証試験センター：非常用電源（80kVA*）
- 圧入井：バッテリー（12V、130Ah）

*地震後の仮設置、現在は50kVAを導入

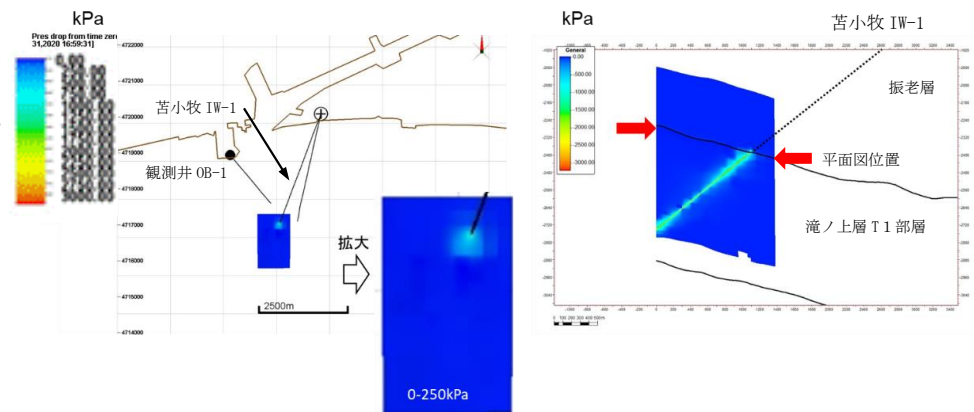
今回の地震が苫小牧でのCO₂圧入と関係して発生したとは考えられない

- 貯留層へのCO₂圧入により周辺の地層圧力への影響をシミュレーションで確認
- 圧力上昇が大きい滝ノ上層圧入井について、「累計圧入量750トン圧入終了、圧入圧力5 MPa上昇」とした場合の圧力変化は、
 - 坑井周辺では2MPa
 - 1km離れると約0.25MPa以下
 - 30km以上離れた震源付近における地点での圧力変化は約1Pa(1cm²あたり約0.01gの力で押したのに等しい)程度
- この圧力変化約1Paとは、潮汐力*による毎日の地殻での圧力変化 数kPa(数千Pa)の1/1,000程度と極めて小さく、CO₂圧入による圧力変化が地震発生に影響するとは考えられない。

* 潮汐力: 月または太陽が地球の海水に潮の干満を発生させる力



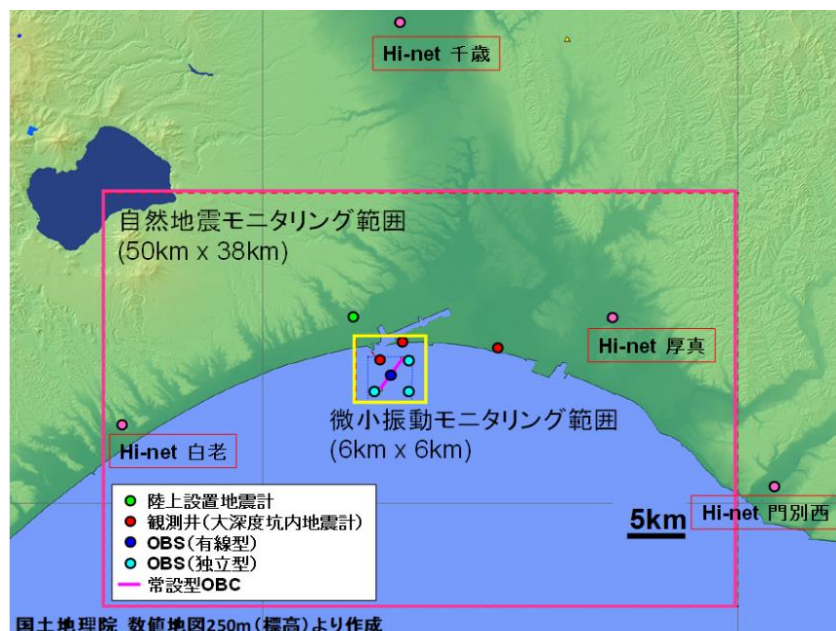
CO₂飽和度の挙動予測(圧入終了時)



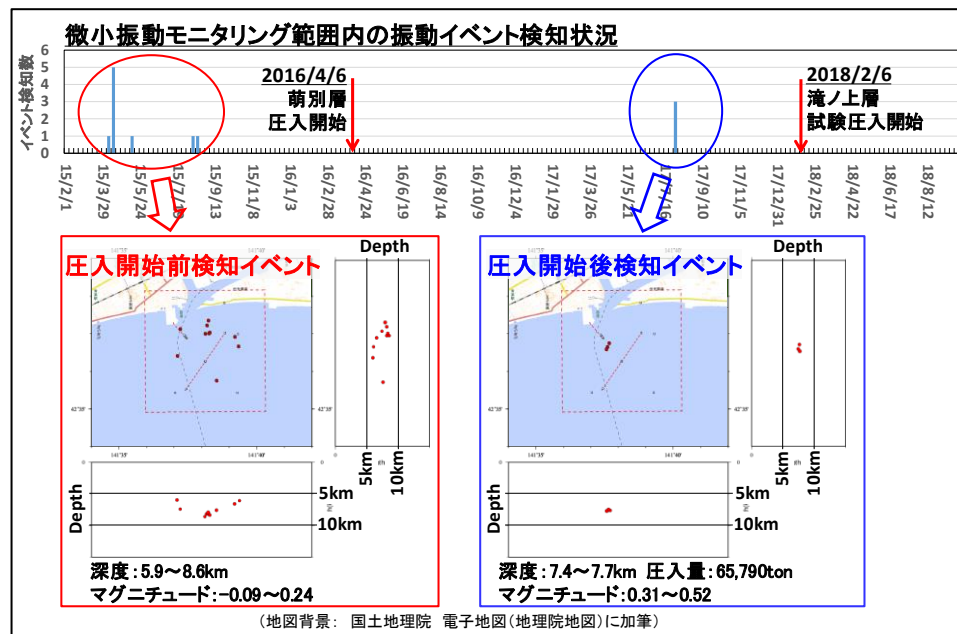
圧力変化の挙動予測(圧入終了時)

今回の地震前後に異常を示す微小振動は検知されず

- ・ 圧入貯留層近傍(6km×6km)で発生する微小な振動を重点的に監視
- ・ 貯留層の深度付近でマグニチュード マイナス0.5以上を検知可能
- ・ 微小振動モニタリング範囲内で、これまで検知された微小振動イベントは、いずれも深度約6km以深、極小規模の自然地震
(圧入前2015年4月～8月:9回、圧入後2017年8月:3回)
- ・ 2018年は、本地震前および後においても微小振動イベントの検知は無い



地震観測点配置およびモニタリング対象範囲

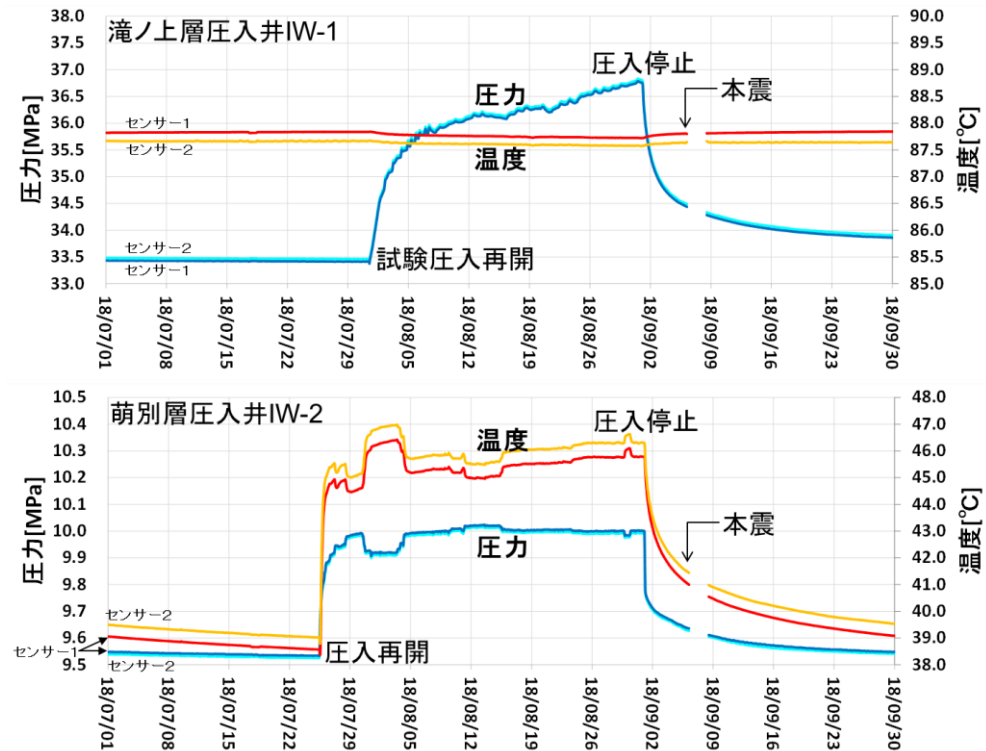


微小振動モニタリング範囲におけるイベント検知状況

5. 地震との関係 2) 貯留層への影響 ②温度・圧力変化²⁰

今回の地震前後で異常を示す温度・圧力変化は無い

- ・ 滝ノ上圧入井(IW-1)7月30日に試験圧入開始、萌別層圧入井(IW-2)7月25日に本圧入再開
- ・ 本震前の9月1日にガス供給元の送ガス停止に伴い圧入停止
- ・ 本震時の圧入井坑内圧力は圧入停止に伴う低下途上
- ・ 本震時の坑内温度は、IW-1では圧入CO₂の温度が地層温度よりも低いために上昇途上にあつた一方、IW-2では圧入CO₂の温度が地層温度よりも高いために下降途上にあつた。
- ・ 本震の前後で温度・圧力の傾向に変化は見られない。



平成30年北海道胆振東部地震前後の
圧入井坑内温度・圧力観測結果(3ヵ月間)

5. 地震との関係 3) 貯留層への影響 ③地震による圧力 21

今回の地震による貯留層への影響は潮汐力以下である

- 今回の地震の初期余震分布を考慮し震源断層モデルを作成し、観測地点で想定される圧力変化を計算
- 計算された体積歪みから、滝ノ上層の構造方向への法線応力変化*を計算
- 滝ノ上層にて約1.9kPaの圧力上昇、これは潮汐力以下の変化
- 実際、滝ノ上層では約1.8kPaの圧力上昇が観測された。

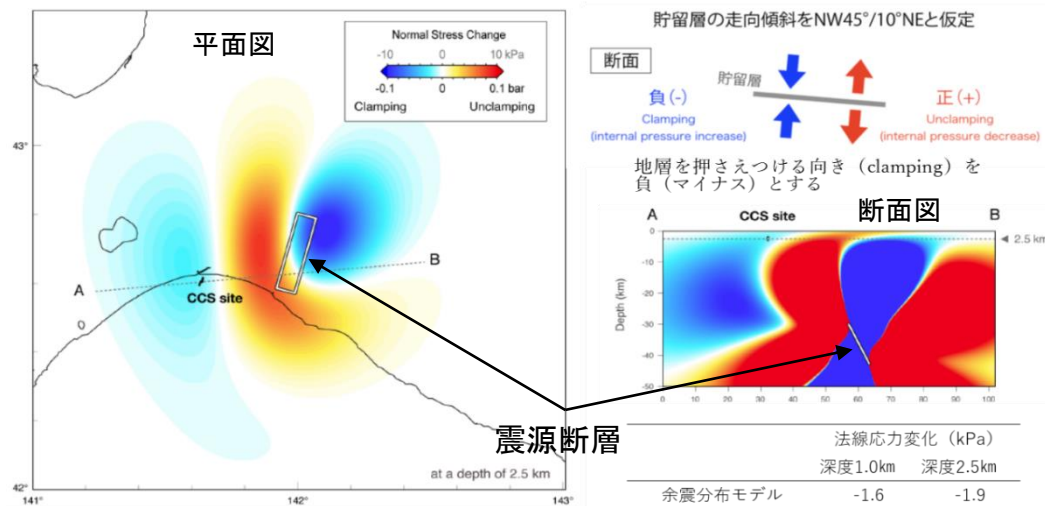
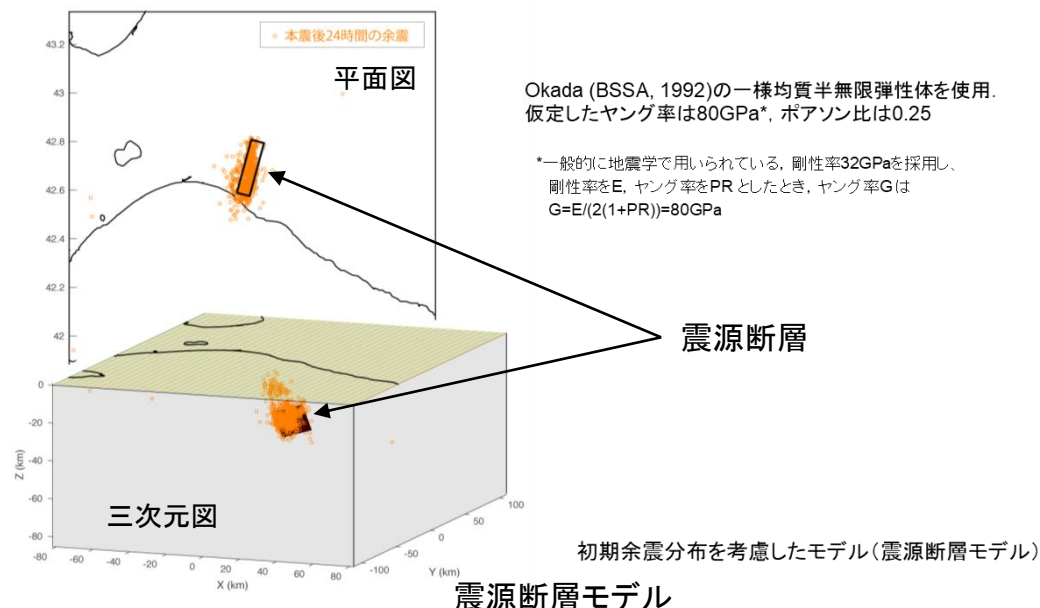
* 垂直に働く圧力変化

(参考)

応力と圧力: 応力とは、物体に力を加えた結果、物体の内部で生ずる力。圧力はその物体に加わる力。

今回の地震によるCO₂貯留層の異常はなく、CO₂の漏洩は認められない。

断層モデル	経度 [°]	緯度 [°]	上端深さ (km)	長さ (km)	幅 (km)	走向 [°]	傾斜 [°]	レイク [°]	すべり量 (m)	M _w
余震分布モデル	141.920	42.591	30.0	25.0	13.9	15	65	90	0.9	6.6



法線応力計算結果

6. 総括

1. リスク対応

1) 停電時の非常用電源の設置

- ・ 実証試験センター：非常用電源（80kVA*）
- ・ 圧入井：バッテリー（12V、130Ah） *地震後の仮設置、現在は50kVAを導入

2. 地震との関係

1) CO₂圧入による震源断層への影響

- ・ 圧入地点は、震源のある基盤岩とは連続性がない別の地層内である。
- ・ 震源へのCO₂圧入圧力の影響は1Pa程度であり、今回の地震が苫小牧でのCO₂圧入と関係して発生したとは考えられない。

2) 貯留層への地震の影響

- ・ 地震によるCO₂貯留層の異常はなく、CO₂の漏洩は認められない。
- ・ 地震による滝ノ上層への応力の増加は、1.9kPa程度と見積られる。

