

文献調査段階の評価の考え方（案）

第22回（1/24）資料1からの主な修正、追加部分は、
頁右上等に「追加」、「修正」等と示している。

最終処分法で定められた要件、地層処分技術WGで審議された科学的特性マップ策定時の考え方、原子力規制委員会で決定された「特定放射性廃棄物の最終処分における概要調査地区等の選定時に安全確保上少なくとも考慮されるべき事項」などを参照するなどして、NUMOとして整理した案である。

2023年3月14日
原子力発電環境整備機構



● 資料の構成

- I . 最終処分法で定められた要件の具体化**
- II . 項目ごとの基準**
- III . その他の評価**

検討の枠組み

最終処分法で定められた要件の具体化(Ⅰ章の2.)

●最終処分法第六条第二項(Ⅰ章の1.p.12)

いずれにも適合・・・の中から・・・選定・・・

- 「・・・記録がない・・・」、
「・・・おそれが少ない・・・」

- 地層の著しい変動
(地震、噴火、隆起など)
- 第四紀の未固結堆積物
- 鉱物資源

「記録がない」ことの確認を考慮した考え方

●文献・データの収集
の考え方
(Ⅰ章の3. p.50～)

●要件の具体化の考え方
(Ⅰ章の2. p.23～)

項目ごとの基準 (Ⅱ章)

- 1.断層等(p.58～)
- 2.マグマの貫入と噴出
(p.94～)
- 3.地熱活動(非火山性
含む)(P.123～)
- 4.火山性熱水や深部流体
の移動・流入(p.127～)
- 5.侵食(p.132～)
- 6.第四紀の未固結堆
積物(p.151～)
- 7.鉱物資源(p.162～)

右記に立脚
して具体化
の考え方を
整理

右記に
立脚して
具体化

＜選定に関する考え方の資料＞ (Ⅰ章の1.)

段階的な処分地選定調査の考え方
(p.5,6)

概要調査へ進むための基準などにつ
いての過去の検討例(p.13～15)
総合資源エネルギー調査会
(2002) /原子力安全委員会
(2002)

＜事象や特性、具体的な基準 に関する資料＞

(概要はⅠ章の2.(以下の頁)、
項目ごとの詳細はⅡ章)

「科学的特性マップ」策定時の考
え方のうち、事象や特性の基本的
考え方(p.28,30)

原子力規制委員会の「考慮事項」
及びその背景情報(p.31)

その他の補足情報(p.33)

その他の評価(Ⅲ章)

●技術的観点からの検討 (Ⅲ章の3. p.200～)

- 地層や岩体、断層な
どの分布といった地下の
状況のとりまとめ
- 地質環境特性の整
理と、好ましい地質環
境特性、過去の処分
場概念の設定環境と
の比較

●最終処分法に定めら れた要件の具体化の対 象としなかった項目 (Ⅲ章の1. p.191～)

●「地熱資源など」 (Ⅲ章の2. p.193～)

左記に立脚
して具体化

- 
-
- I. 最終処分法で定められた要件の具体化
 - II. 項目ごとの基準
 - III. その他の評価

I. 最終処分法で定められた要件の具体化

1. 処分地選定段階における文献調査
2. 最終処分法で定められた要件の具体化
3. 文献・データの収集の考え方



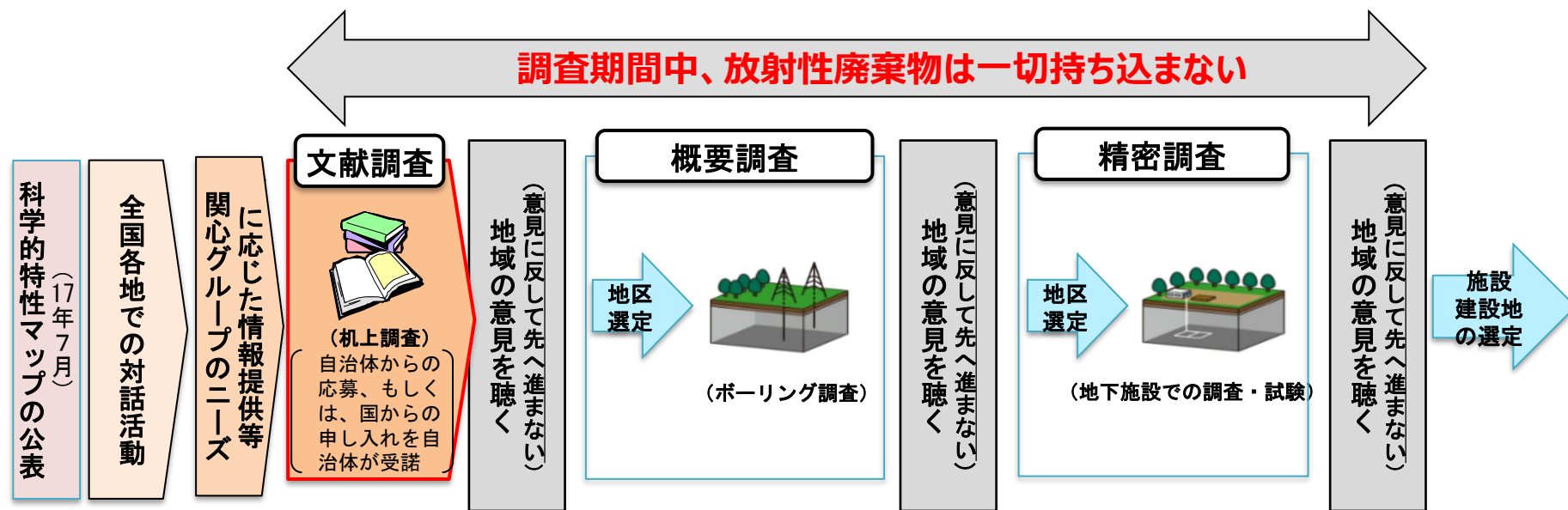
1. 処分地選定段階における文献調査

- 段階的処分地選定調査、文献調査、科学的特性マップ
- 各段階の調査と次段階への要件の概要
- 最終処分法で定められた概要調査地区選定の要件
- 概要調査へ進むための基準などについての過去の検討例

● 段階的処分地選定調査、文献調査、科学的特性マップ

- 最終処分法では段階的な調査を経て処分地選定することを規定。文献調査は、その最初の調査であり、調査事項等についても法令で規定しており、地域固有のデータ等に基づき、NUMOにおいて評価していく法令上のプロセスとなっている。
- 一方、科学的特性マップは、地層処分に関する国民理解を深めるための対話活動に活用していくため、既存の全国データに基づき一定の要件・基準に従って客観的に整理し、全国地図の形で示したもの。このため、地層処分に関する地域の科学的な特性を確定的に示すものではない。

放射性廃棄物WG第36回会合（2022.4）資料3より



北海道寿都郡寿都町、同古宇郡神恵内村文献調査計画書 図1より

● 各段階の調査と次段階への要件の概要

- 段階的に、調査する範囲を絞り、より詳細な調査を行う。
- 先に、広い範囲を調べて火山や活断層などを避け、次に、地下の状況が適している場所を選んでいく。

	文献調査	概要調査	精密調査
調査の概要	● 机上調査 ● 既存の文献・データによる調査	● 地上からの調査 ● ボーリング調査 ● 物理探査など	● 地下施設での調査・試験
次段階への要件の概要	概要調査地区選定のための要件：以下を避ける。 ● 火山や活断層など ● 鉱物資源、未固結堆積物	精密調査地区選定のための要件：以下を避ける。 ● 火山や活断層など ● 坑道の掘削への支障 ● 地下水の流れなどの著しい悪影響	施設建設地選定のための要件：以下の場所を選ぶ。 ● 地層の性質が適している。 ● 地下水やその流れが障害を及ぼすおそれがない。

最終処分法第6条
に規定

最終処分法第7条
に規定

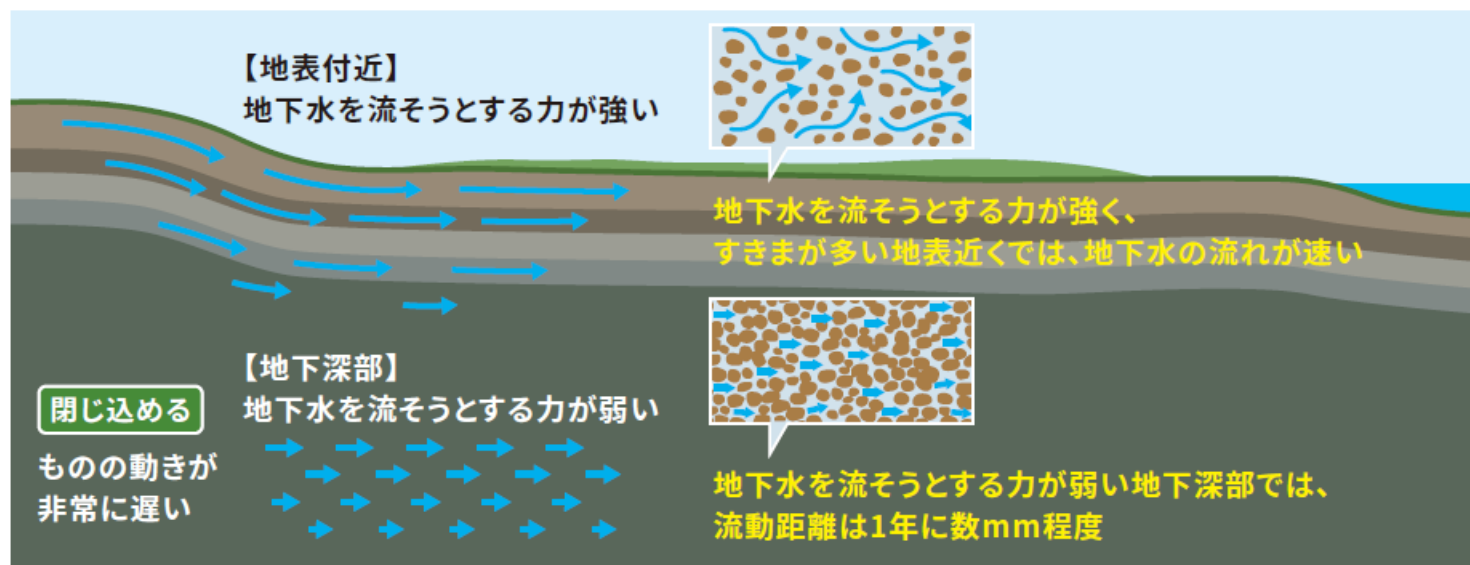
最終処分法第8条
に規定

(参考) 段階的調査とそれに対応した工学的対策・安全評価の関係



(参考) 地下深部の隔離機能、閉じ込め機能

- 地層処分は、地下300メートル以上の深度とすることが最終処分法で定められている。
- 侵食や地下水流動の観点では深い方が好ましいが、地温やトンネル等の掘削の観点からは深すぎると支障が生ずることなどを考慮して処分する深度を設定する。
- 包括的技術報告書（NUMO,2021）においては、モデルの岩種の強度などに応じて500mや1000mの深度を想定して地下施設の設計などを検討している。



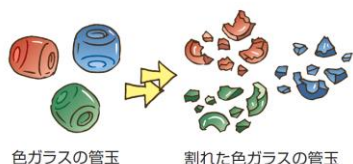
※対話型全国説明会説明
参考資料（資源エネルギー
庁・NUMO,2023）より

<人工バリア>

<天然バリア>

① ガラス固化体

物質を閉じ込める性質を有する
ガラスに放射能の高い廃液を
とかし合わせ固化したもの



↓
安定して放射性物質を
閉じ込める

↓
ガラス固化体が地下水に触れて
放射性物質がガラスとともに溶け出す
としても、
**全てのガラスが溶けるには数万
年以上の長い時間が必要**

② オーバーパック

放射能レベルが高い間、
地下水との接触を防ぐ
(少なくとも1000年以上)

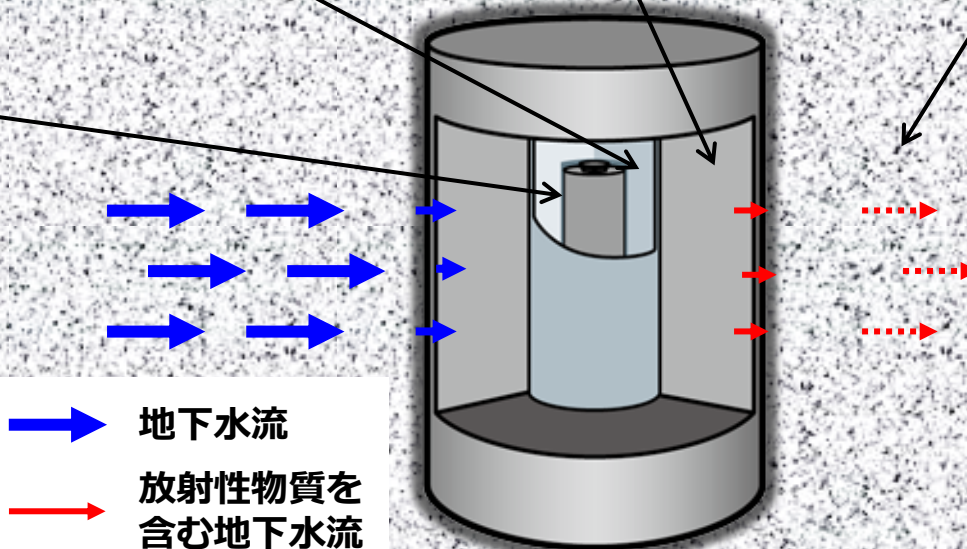
③ 緩衝材

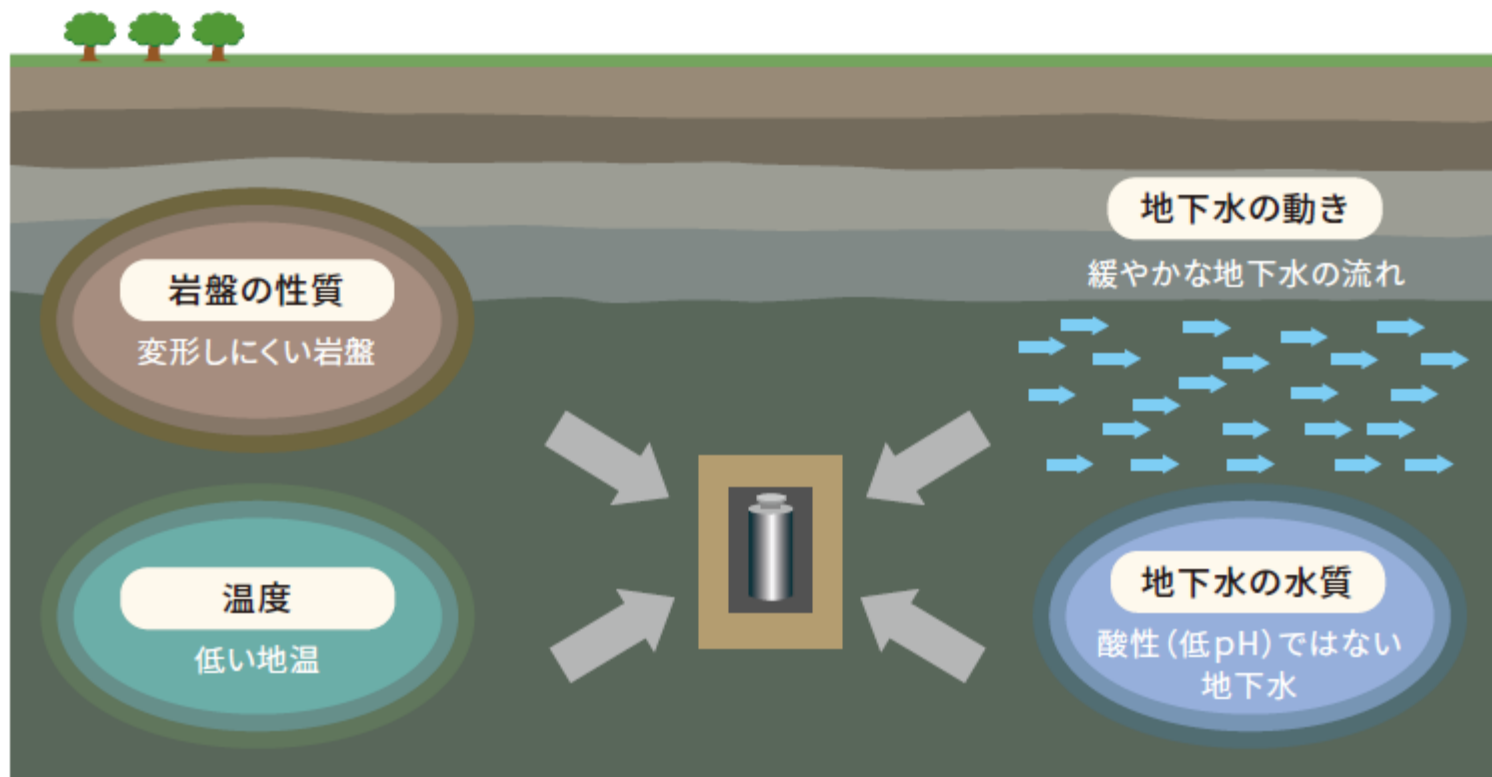
水を容易に通さない

④ 岩盤

水を通しにくいいため、地下
水の流れは非常に遅い

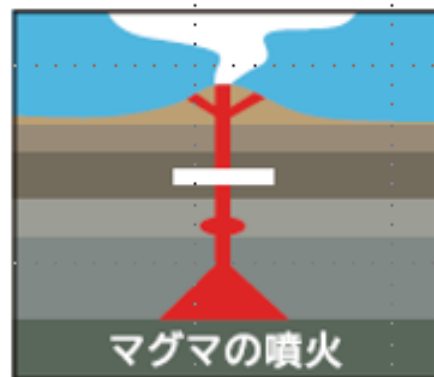
放射性物質の移動には長い時間がかかる





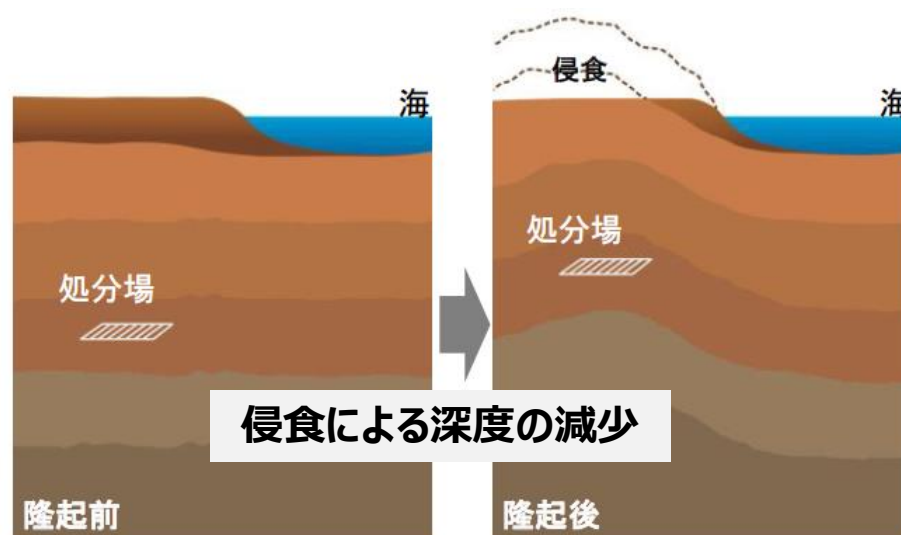
閉じ込め機能の喪失

- 人工バリア、天然バリアの破壊
- 好ましい地質環境の毀損



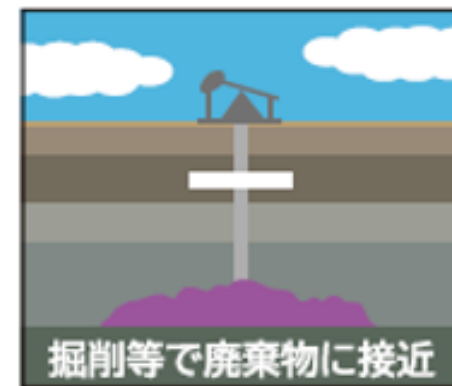
隔離機能の喪失

- 廃棄物が地表の人間の生活環境に接近する。



人間侵入

- 隔離機能の喪失の一種
- 資源の掘削等により廃棄物が人間の生活環境に接近



※図の「断層のずれ」、「マグマの噴火」及び「掘削等で廃棄物に接近」は、対話型全国説明会説明参考資料（資源エネルギー庁・NUMO,2023）より。
「侵食による深度の減少」は、「科学的特性マップ」の説明資料（資源エネルギー庁,2017）に加筆。

● 最終処分法で定められた概要調査地区の選定の要件

＜選定の要件の概要＞

- 「地層の著しい変動」、「第四紀の未固結堆積物」、「掘採が経済的に価値が高い鉱物資源」に関する各号がある。
- 各号では「記録がないこと」や「おそれが少ないと見込まれること」を求めている。
- 各号のいずれにも適合しているものの中から概要調査地区を選定。

特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律 第六条（概要調査地区の選定）

- 2 機構は、前項の規定により文献調査を行ったときは、その結果に基づき、経済産業省令で定めるところにより、当該文献調査の対象となった地区（以下この項において「文献調査対象地区」という。）のうち次の各号のいずれにも適合していると認めるものの中から概要調査地区を選定しなければならない。
- 一 当該文献調査対象地区において、**地震等の自然現象による地層の著しい変動の記録がないこと。**
 - 二 当該文献調査対象地区において、将来にわたって、**地震等の自然現象による地層の著しい変動が生ずるおそれが少ないと見込まれること。**
 - 三 その他経済産業省令で定める事項

※第二条（定義）第十項 ……**地震、噴火、隆起、侵食その他の自然現象**（以下「**地震等の自然現象**」という。）…

特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律施行規則 第六条（概要調査地区の選定）

- 2 法第六条第二項第三号の経済産業省令で定める事項は、次のとおりとする。
- 一 当該概要調査地区として選定しようとする地区内の最終処分を行おうとする地層が、**第四紀の未固結堆積物**であるとの**記録がないこと。**
 - 二 当該概要調査地区として選定しようとする地区内の最終処分を行おうとする地層において、その**掘採が経済的に価値が高い鉱物資源**の存在に関する**記録がないこと。**

● 概要調査へ進むための基準などについての過去の検討例

- 総合資源エネルギー調査会（2002）、原子力安全委員会（2002）において、概要調査へ進むための基準などについて、以下のように提言されている。

- 総合資源エネルギー調査会原子力部会高レベル放射性廃棄物処分専門委員会技術ワーキング・グループ（2002）：「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」における処分地選定プロセス及び技術ワーキング・グループの当面の検討の進め方について（案）
- 原子力安全委員会（2002）高レベル放射性廃棄物処分の概要調査地区選定段階において考慮すべき環境要件について https://www.rwmc.or.jp/law/file/shiryo_5.pdf

＜概要調査へ進むための基準などの考え方＞

- A) 概要調査をするまでもなく、文献調査により明らかに処分地として不適切であると判断できる基準とする。
- B) 概要調査以降の調査の結果をもとに判断することが適当と考えられるもの、工学的対策や安全評価との関連において検討されるべきものは基準としない。
- C) 十分な評価が行えない場合は、概要調査以降の調査、評価にもとづき判断する。

(参考) 総合資源エネルギー調査会 (2002)

「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」における処分地選定プロセス及び技術ワーキング・グループの当面の検討の進め方について (案) (総合資源エネルギー調査会原子力部会高レベル放射性廃棄物処分専門委員会技術ワーキング・グループ, 2002)

概要調査地区の選定の目的

3 段階の処分地選定プロセスの第1段階である「概要調査地区」の選定においては,

- ・ 調査手法が文献その他の資料による調査に限られ, 自ずと**得られる情報には限界がある**こと。また, 地域により情報量に差があり, 過去の痕跡がいまだ確認されていない場合も考えられること。
- ・ **文献では適否が不明確な事項については, 概要調査以降**で行われるボーリング, 地表踏査, 物理探査, トレンチ掘削等の調査により, 過去の痕跡を確認し, 地層の著しい変動が長期間生じていないことを**確認することになっている**こと。
- ・ 概要調査以降の調査により, ある程度の変動の生じる可能性が確認されたとしても, その変動が処分システムに与える**影響について評価を行い, 工学的な対策をとることによって対処できる可能性**があり, いずれにせよ, 最終的には, 安全審査により処分の安全性が判断されること。

などを考慮し, 「**文献調査で分かる範囲で明らかに適性の劣るサイトを排除する**」ことを目的として選定が行われる**必要がある**。

(参考) 原子力安全委員会 (2002)

高レベル放射性廃棄物処分の概要調査地区選定段階において考慮すべき環境要件について(原子力安全委員会, 2002)
https://www.rwmc.or.jp/law/file/shiryo_5.pdf

- ・概要調査地区選定段階で考慮すべき環境要件とは、処分地となり得る可能性を第一段階で、広く調査する際に考慮すべき地質的環境要件であって、**将来の処分地としての適性や妥当性を決定するためのものではない。本選定段階では、概要調査をするまでもなく、文献調査により明らかに処分地として不適切であると考えられる要件を示すことが適切である。**処分地としての適性や妥当性は、・・選定プロセスに即して段階的かつ慎重に判断されるべきであり、・・
- ・概要調査地区選定段階において考慮すべき環境要件の考え方を次のようにした。

実際に概要調査を行うまでもなく、**明らかに処分地として不適切と考えられる環境要件**を示す。・・また、**概要調査あるいはそれ以降の調査の結果をもとに判断することが適当と考えられる事項**や、処分施設の**設計・施工との関連において検討されるべき事項は環境要件**としない。

- なお、「概要調査地区選定段階において考慮すべき環境要件」を**実際に考慮するにあたっては、選定段階では限られた情報にもとづくため十分な評価が行えない場合も考えられる。**その場合には、概要調査あるいはそれ以降の調査で、概要調査地区等において行われる、ボーリング、地表踏査、物理探査、トレンチの掘削、地下の測定及び試験を行う施設による**詳細な調査にもとづき再評価されることが必要である。**また、それらの再評価を一層適切なものとするとの観点から、必要に応じ、調査地区のみならずその周辺においても調査が行われることが望ましい。



I .1の参考資料

(参考) 最終処分法第六条第一項、施行規則第五条

特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律 第六条（概要調査地区の選定）

機構は、概要調査地区を選定しようとするときは、最終処分計画及び当該機構の承認実施計画（前条第一項前段の規定による承認を受けた実施計画をいい、同項後段の規定による変更の承認があったときは、その変更後のもの。以下同じ。）に従い、次に掲げる事項について、あらかじめ、文献その他の資料による調査（次項において「文献調査」という。）を行わなければならない。

- 一 概要調査地区として選定しようとする地区及びその周辺の地域において過去に発生した地震等の自然現象に関する事項
- 二 前号の地区及び地域内に活断層があるときは、その概要に関する事項
- 三 その他経済産業省令で定める事項

特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律施行規則 第五条（文献調査の調査事項）

法第六条第一項第三号の経済産業省令で定める事項は、次のとおりとする。

- 一 概要調査地区として選定しようとする地区に第四紀の未固結堆積物があるときは、その存在状況の概要に関する事項
- 二 概要調査地区として選定しようとする地区に鉱物資源があるときは、その存在状況の概要に関する事項

(参考) 段階的な処分地選定の考え方：JNC（1999）

わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性－地層処分研究開発第2次取りまとめ－ 分冊1 わが国の地質環境(核燃料サイクル開発機構, 1999) 4.1 処分地の選定と地質環境調査

表4.1-1 サイト選定における地質環境上の要件

サイト選定のプロセス		候補地の選定	予定地の選定	処分地の選定	着眼点
可否の要件	地質環境の長期安定性				○断層活動 ○火山活動 ○隆起・侵食
	処分場の建設可能性				○岩盤の規模, 深度
	人間侵入				○地下資源
考慮の条件	人工バリアの設置環境				○地質構造 ○地下水の流動特性 ○地下水の地球化学特性
	天然バリア機能				○岩盤の熱特性・力学特性 ○岩盤中の物質移動特性
主要な調査手段		文献調査	地上調査	地下調査	

表 4.1-2 サイト選定にともなう地質環境調査のプロセスの例（その1）より抜粋

サイト選定のプロセス	処分候補地選定の段階	処分予定地選定の段階	処分地選定の段階
地質環境の調査	文献調査	地上からの調査／ボーリング調査	地下施設を利用した調査
主な目的	・地層処分の場として不適格な地質環境を除外する。	・主要な地質環境条件が地層処分にとって適切であることを確認する。	・サイトにおける詳細な地質環境条件を把握し、設計および安全評価に必要なデータを整備する。

(参考) 他事業の例：地熱開発



図 地熱発電事業の一般的な開発プロセス

■ 地域との関係構築

- ① 事業計画作成の**初期段階**から地域住民、温泉事業者等の関係者と**適切なコミュニケーション**を図るとともに、地域住民、温泉事業者等の**関係者に十分配慮**して事業を実施するように努めること。
- ② 地域住民、温泉事業者等の関係者とのコミュニケーションを図るに当たり、配慮すべき関係者の範囲や、説明会の開催や戸別訪問など具体的なコミュニケーションの方法について、**自治体と相談**するように努めること。環境アセスメント手続の必要がない規模の発電設備の設置計画についても自治体と相談の上、**事業の概要や環境・景観への影響等について、関係者への説明会を開催するなど、事業について理解を得られるように努めること。**
- ③ 運転開始後も、自治体、地域住民、温泉事業者等の関係者に情報を共有しつつ、継続的にコミュニケーションを図るように努めること。

事業計画策定ガイドライン（地熱発電）（資源エネルギー庁，2017年策定、2022年最新改訂）より

https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/dl/fit_2017/legal/guideline_geothermal.pdf

(参考) 他事業の例：二酸化炭素貯留：海域選定書

特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄の許可申請に当たっての必要書類

1. 許可申請書（実施計画及び監視計画により構成される）
2. 海底下廃棄事前評価書
3. **海域選定書**
4. 当該特定二酸化炭素ガスが海底下廃棄以外に適切な処分の方法がないものであることを説明する書類（以下、略）

海域選定書の留意事項：廃棄海域の選択の基準として考慮すべき要件

① 地質学的観点；海底下の地質／地層の適性

- ・廃棄海域の地質／地層に係る詳細なデータがあり（又はデータ入手が可能であり）、シール層の状態、活断層の影響が認められない、廃棄後の二酸化炭素の挙動が予測できる場所である。
- ・廃棄海域を含む地域が、貯留層まで十分な深度を確保できる、又は、シール層が多重になっている等、地質学的に安全性が高い場所である。

② 技術的観点；漏出の把握可能性、防止措置の実行可能性・技術的に監視が実施可能な場所である。

- ・技術的に防止措置が実施可能な場所である。

③ 自然保護的観点；特別に保護すべき対象の存在状況

- ・特別に保護すべき対象の存在の状況が把握されている場所である。

(参考) 他事業の例：二酸化炭素貯留：地質学的観点

● 把握すべき情報

廃棄海域の選択に当たっては、廃棄海域が存在する地域について、以下を含む地質学的な特徴を示す必要がある。

- ① **廃棄海域を含む広域の地層／地質の特徴**；廃棄海域及びその周辺（広域）の地球科学的構造と地質の特徴（プレート構造、活断層の存在、火山の存在、大規模地震の履歴等、廃棄の安全性に関わるものを中心に整理する）
- ② **廃棄海域とその近傍の地層／地質の特徴**；廃棄海域及び廃棄の安全性や地層内での二酸化炭素の移動等に直接関係すると考えられる範囲の地層／地質／水文の詳細
- ③ **鉱業権の設定又は出願の状況、若しくは鉱物資源の存在可能性の詳細**

● 把握の方法

上記の情報については、海底下廃棄許可申請者が有する**知見**、国等有する調査研究の成果その他の資料の引用等の**文献調査**及び**現地調査による観測並びに試料の採取及び分析等**によることを基本とし、必要に応じ専門家その他の当該情報に関する知見を有する者からの聴取をすることにより把握するものとする。

- 調査方法、解析方法は、SRCCS や 2006 年 IPCC 国別インベントリガイドライン（以下「2006 年 IPCC ガイドライン」という。）等の国際的な標準的手法を踏まえつつ、その時点での BAT を用いることを基本とする。
- 鉱業権に係る情報又は鉱物資源の存在可能性については、当該鉱業権の権者たる事業者等や資源エネルギー庁への確認により把握するものとし、当該鉱業権の権者たる事業者等との調整状況又は資源エネルギー庁への確認状況等を記載するものとする。

(参考) 他事業の例：石油地下備蓄

- 我が国に石油地下備蓄基地を設定する場合の諸条件
 - 臨海地域であること
 - 開発熟度が低い地域
 - 自然環境保全上の制約がない地域
 - 港湾条件の良い地域
 - 地質条件の良い地域
- 岩盤中に大規模地下空洞を掘削する場合の地質条件
 - 岩質：硬岩及び中岩
 - 適合岩盤：古生層から第三紀層下部まで（火成岩類を含む）
 - 岩体面積：断層、破碎帯を除いて15km²以上
 - 備考：第四紀火山岩、蛇紋岩、変成岩を除く
- 水封式石油備蓄空洞に対する岩盤適性
 - 空洞壁面が何らの被覆もなく裸壁のままで放置⇒力学安定性
 - ✓ 大断面、裸壁、大深度⇒硬岩
 - ✓ 必要な岩体の広がり：1km×1km×100m。
 - ✓ 安定性を損なう断裂がなく、均質な岩石
 - 空洞内部で適度の流体圧⇒地下水位が安定していること
 - ✓ 水封機能を妨害する要因：岩質の不均質性、割れ目の発達
- 個別地域について、事前調査とデータ検討をすべき事項
 - 地下地質構造
 - 岩体中の物性(強度、弾性率(変形係数) 弾性波速度など)
 - 断裂系(活断層を含む)
 - 周辺既往地震歴及び地殻応力(初期地質)
 - 地下水位分布



2. 最終処分法で定められた要件の具体化

- 要件の具体化の考え方
- 「地層の著しい変動」の具体化の考え方、適合性を確認する場所
- 具体化の基とする資料：「科学的特性マップ」策定時の考え方のうち、事象や特性の基本的考え方
- 具体化の基とする資料：原子力規制委員会の「考慮事項」及びその背景情報
- 参照する資料：その他の補足情報
- 「将来にわたって」について
- 「地層の著しい変動」の具体化
- 「第四紀の未固結堆積物」、「鉱物資源」の具体化
- 「避ける」基準への該当性の確認の仕方
- 既往の文献・データでは十分な評価が行えない場合

● 要件の具体化の考え方

＜選定の要件の概要（p.12）＞

- 「地層の著しい変動」、「第四紀の未固結堆積物」、「掘採が経済的に価値が高い鉱物資源」に関する各号がある。
- 各号では「記録がないこと」や「おそれが少ないと見込まれること」を求めている。
- 各号のいずれにも適合しているものの中から概要調査地区を選定。

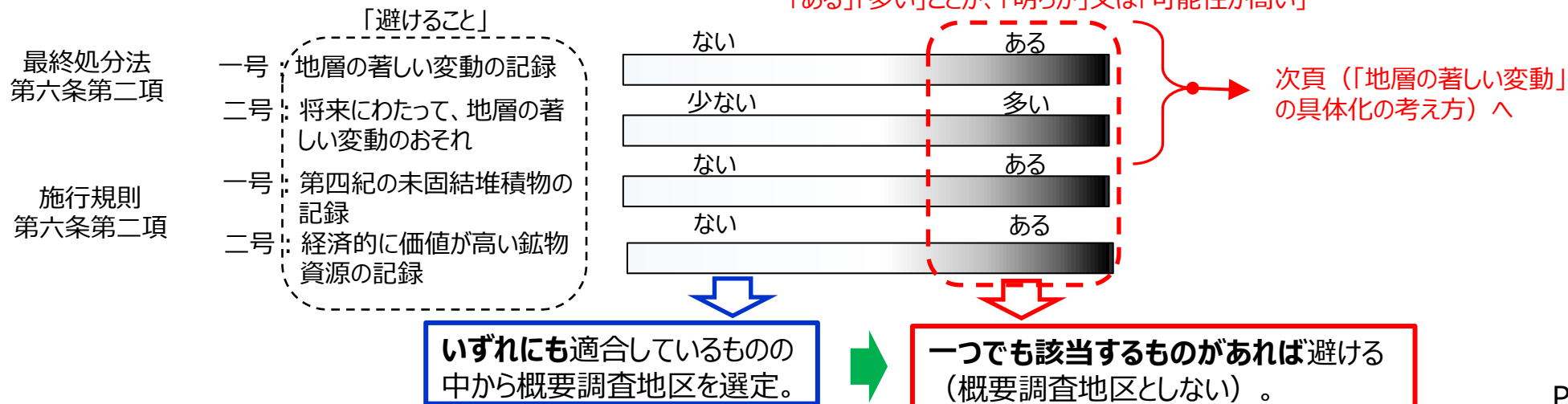
＜概要調査へ進むための基準などの考え方（p.13）＞

- A)概要調査をするまでもなく、文献調査により明らかに処分地として不適切であると判断できる基準とする。
- B)概要調査以降の調査の結果をもとに判断することが適当と考えられるもの、工学的対策や安全評価との関連において検討されるべきものは基準としない。
- C)十分な評価が行えない場合は、概要調査以降の調査、評価にもとづき判断する。

- ・ 技術的には、「地層の著しい変動」などの「記録がない」、「おそれが少ない」ことを確認することは難しく、「地層の著しい変動」などの「記録がある」や「おそれが多い」ことが明らかなこと、可能性が高いことを特定する方が、評価の確実性が高いと考えられる。

①地層の著しい変動などの「避けること」の「記録がある」、「おそれが多い」ことが「明らか」又は「可能性が高い」と考えられることを避けることにより、「記録がない」、「おそれが少ない」ものを選択する。

②「明らかに不適切」と判断できるように、「避けること」をできるだけ具体化する。



● 「地層の著しい変動」の具体化の考え方、適合性を確認する場所

＜概要調査へ進むための基準などの考え方（p.13）＞

A)概要調査をするまでもなく、文献調査により明らかに処分地として不適切であると判断できる基準とする。

B)概要調査以降の調査の結果をもとに判断することが適当と考えられるもの、工学的対策や安全評価との関連において検討されるべきものは基準としない。

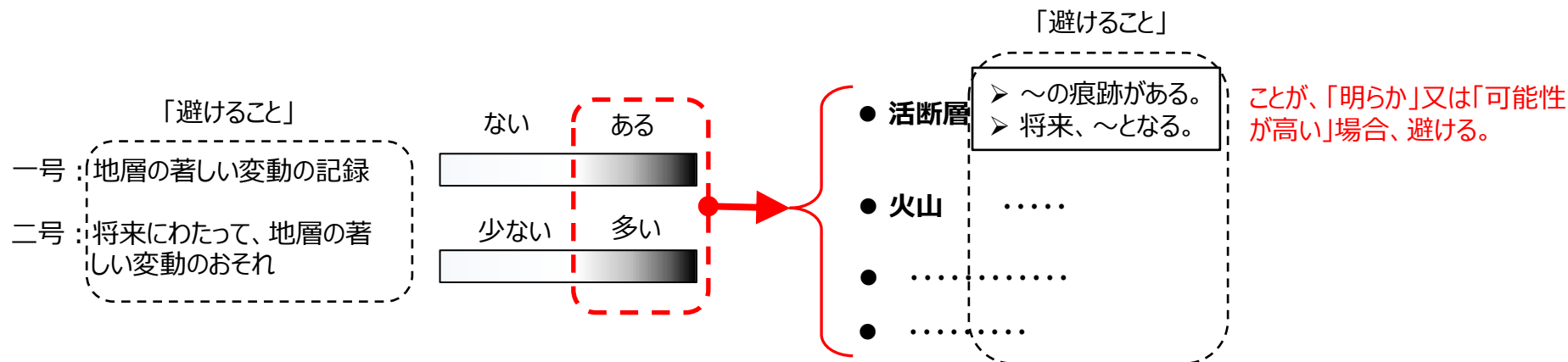
C)十分な評価が行えない場合は、概要調査以降の調査、評価にもとづき判断する。



③「地層の著しい変動」は活断層、火山などの項目ごとに基準を設定する。

④これらの基準は、「～の痕跡がある」等、「将来、～となる」等が「明らか」又は「可能性が高い」場合に避ける、といった基準とする。

- 地層の著しい変動の発生要因と考えられるプレート運動の継続性から、過去に生じた事象の発生を今後将来の一定期間外挿することには合理性がある。したがって、「～の痕跡がある」等は、同時に「将来、～と想定される」等にも該当すると考える。



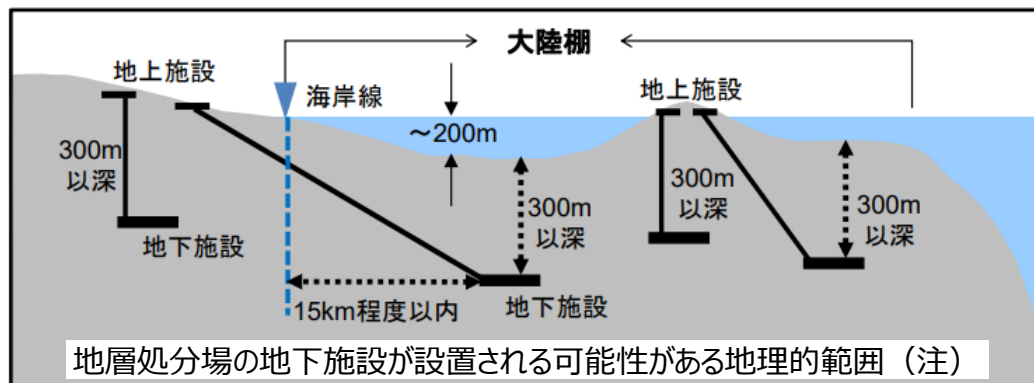
⑤項目ごとの基準への適合性を確認する場所は、文献調査対象地区内の「最終処分を行おうとする地層を含む地下の一定の範囲」とする。

- 概要調査地区等（精密調査地区、最終処分施設建設地）は**地下の地質環境を対象**として選定する。
- 施行規則において、「最終処分を行おうとする地層」**が用いられている。
- 項目ごとの基準においては、**項目に応じた表現**とする。
- 沿岸海底下も対象**であり、陸域と同様に扱う。

沿岸海底下等における地層処分の技術的課題に関する研究会 とりまとめ 平成28年 8月
https://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy_environment/engan_kaitaikai/pdf/report01_01.pdf

● 実現可能性、文献調査

➤ 沿岸海底下の場合も含め、段階的な処分地選定調査、工学的対策および安全評価を適切に行うことによって、安全に地層処分を行うことは技術的な実現可能性があると考えられる。



(注)

1. 工学的対応の観点から海岸線から15km程度以内を目安としている。これまでの標準的な検討例では、深度1,000mの地下施設へのアクセス斜坑の延長は、斜度10%で10km、7%で14kmであり、この程度までであれば、建設、換気、避難などについて大きな追加的対応は必要ないと考えられる。
2. 「廃棄物その他の物の投棄による海洋汚染の防止に関する条約」(ロンドン条約)と呼ばれる国際条約の1996年の改正では、海底下への廃棄は原則禁止とされたが、「陸上からのみ利用することのできる海底の下の貯蔵所を含まない」とされている。

- 沿岸部の地質環境において検討すべき項目(海水準変動(次頁参照)、塩淡水境界、水理場、化学場)やその長期安定性を把握するための調査・評価技術を整理した。
- **文献調査においては、概要調査地区として選定しようとする地区およびその周辺の地域について、物理的隔離機能や閉じ込め機能の喪失に係る天然事象等が調査されるとともに、地質環境特性やその長期安定性が推定される。この際、沿岸部の海陸接合部の文献情報に空白域がある場合は、陸域と海域の文献情報から空白域における断層や地質・地質構造の分布を推定する。**

➤ 沿岸部に関連するデータ及び調査の事例

沿岸海底下等における地層処分の技術的課題に関する研究会(第1回)-資料4より
https://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy_environment/engan_kaitaikai/pdf/001_04_00.pdf

- 産業技術総合研究所：海洋地質図、海陸シームレス地質情報集、海域地質構造データベース、高分解能音波探査断面データベース、●海上保安庁：沿岸の海の基本図、大陸棚の海の基本図、海底地形デジタルデータ、●国土地理院：沿岸海域基礎調査、●地震調査研究推進本部：沿岸海域における活断層調査、●海洋研究開発機構：海洋資源調査研究プロジェクト、国際深海科学掘削計画、●経済産業省：海洋エネルギー・鉱物資源開発計画

- 鉱物資源について：沿岸海底下は海岸線から比較的近い範囲であり、油田・ガス田、炭田などは陸域から連続して分布しているものが知られている(科学的特性マップの個別条件図「鉱物資源／油田・ガス田」、「鉱物資源／炭田」)。

追記箇所

● 文献調査計画書の例

➤「沿岸海底下についても文献調査対象地区に含めることとします。」

北海道寿都郡寿都町文献調査計画書、北海道古宇郡神恵内村文献調査計画書 2020年11月17日 原子力発電環境整備機構
<https://www.numo.or.jp/press/202020111717.html>

(参考) 海水準変動

- 過去約80万年間では概ね10万年を周期とした100m規模の海水準変動（氷河性海水準変動）が知られている。

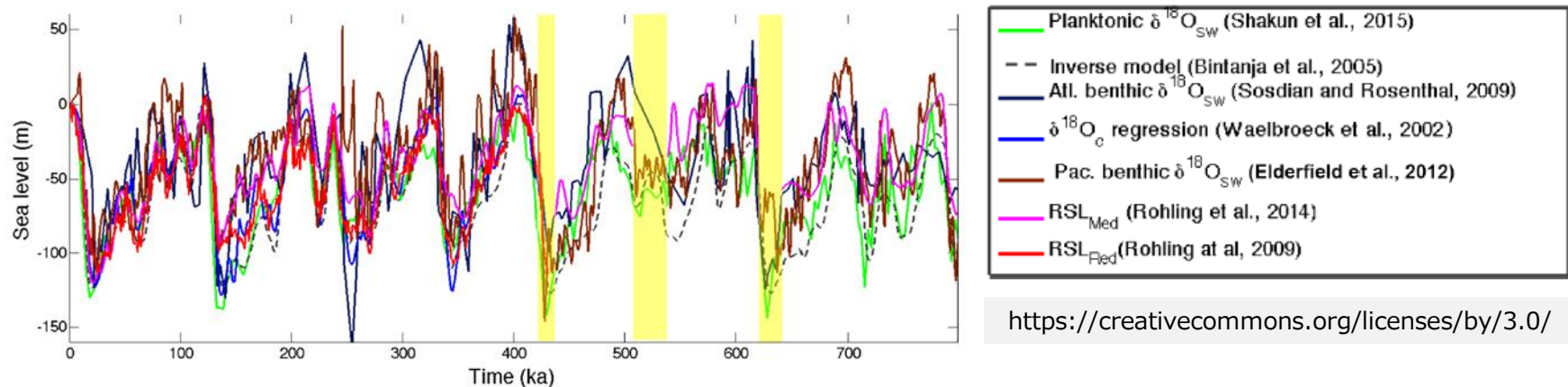


図. 過去約80万年間の全地球的な海水準変動と相対的海水準変動 (Spratt and Lisiecki, 2016)
LR04年代モデル (Lisiecki and Raymo, 2005) に基づく7つの文献・データが示されている。黄色のバーは、地中海の相対的
海水準変動の記録から除かれたサブロペル（腐泥）層を意味する(Rohling et al., 2014)。kaは1000年前を意味する。

Lisiecki and Raymo (2005) *Paleoceanography*, 20, PA1003, doi:10.1029/2004PA001071.

Rohling et al. (2014) *Nature*, 508, 477–482.

Spratt and Lisiecki (2016) *Climate of the Past*, 12, 1079–1092.

- 中期更新世以降の氷期-間氷期サイクル*と同様の傾向が将来においても繰り返されるのであれば、将来の約10万年間は氷期であり、現在よりも海水準が低くなると予想される。しかし、人為起源の温室効果ガスの影響により現在の間氷期から氷期への移行が5万年程度遅れるというシミュレーション結果がある（例えば、Berger and Loutre, 2002; Ganopolski et al., 2016）。その場合、現在と同程度ないしはより高い海水準が将来の約5万年間にわたって継続することが予想される。

*約100～80万年を境に氷期-間氷期サイクルが4.1万年周期から10万年周期に移行するとともに、氷期と間氷期における気候・海水準の振幅も大きくなったと考えられている（例えば、大場, 2013）。

Berger and Loutre (2002) *Science*, 297 (5585), 1287–1288.

Ganopolski et al. (2016) *Nature*, 529, 200–203.

大場忠道（2013）in 日本第四紀学会50周年電子出版編集委員会編「デジタルブック最新第四紀学（第2刷）」, 6-49-6-65.

● 具体化の基とする資料：

「科学的特性マップ」策定時の考え方のうち、事象や特性の基本的考え方①

「科学的特性マップ」策定時の 考え方のうち、事象や特性の 基本的考え方

- 好ましい地質環境
- 著しい影響を与える事象
- 回避する必要がある範囲、
現象の考え方、検討すべき
対象、**好ましくない範囲**

文献調査段階の評価の考え方

その他の評価(Ⅲ章)

●技術的観点からの検討(Ⅲ章の3.)

➤地質環境特性の整理と、**好ましい地質環境特性**、過去の処分場概念の設定環境との比較

項目ごとの基準(Ⅱ章)

- | | |
|--------------------|--------------|
| 1.断層等 | 5.侵食 |
| 2.マグマの貫入と噴出 | 6.第四紀の未固結堆積物 |
| 3.地熱活動(非火山性含む) | 7.鉱物資源 |
| 4.火山性熱水や深部流体の移動・流入 | |

科学的特性マップの検討

- 全国規模のマップを作成するための好ましくない範囲の基準(※)の策定
- 参照する全国規模の既存の文献・データの選定

※全国規模の文献・データを前提としているため、文献調査で参照する場合は注意深い配慮が必要。

例) 活断層に関して、「破碎帯の幅として(全国規模のデータベースによる)断層長さの1/100」

地熱に関して、「緩衝材が長期に100℃を大きく超える地温」→全国規模のデータベースを用いて「地温勾配15℃/100m以上」

科学的特性マップの基準

- **全国規模**で「好ましくない範囲」を描くため
- **全国規模**の文献・データに基づく
- その当時（2017）の知見に基づく
- **地表の場所**を対象

基準



全国規模の文献・データ



マップの作成方法

「好ましくない範囲」（オレンジ、シルバーの範囲）

文献調査段階の項目ごとの基準

- **個別地区**ごとに避ける場所の有無や範囲を判断するため
- **個別地区**ごとの詳細な文献・データの調査に基づく
- **最新（2023）**の知見に基づく
- **地下**の最終処分を行おうとする地層を対象

基準



個別地区の文献・データ



確認の仕方

避ける場所

● 具体化の基とする資料： 「科学的特性マップ」策定時の考え方のうち、事象や特性の基本的考え方②

地層処分に関する地域の科学的な特性の提示に係る要件・基準の検討結果（地層処分技術WGとりまとめ）（2017）より

＜埋設後長期安全性の観点＞

●地下深部の機能に関して**好ましい地質環境**

●**熱環境**／●**力学場**／●**水理場**／●**化学場**



●地下深部の機能に**著しい影響を与える事象**

＜物理的隔離機能の喪失＞

- マグマの処分場への貫入と地表への噴出
- 著しい隆起・侵食に伴う処分場の地表への著しい接近

＜閉じ込め機能の喪失＞

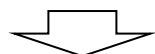
- 地熱活動（非火山性を含む）
- 火山性熱水や深部流体の移動・流入
- 処分深度に達する断層のずれ及び断層のずれに伴う透水性の増加

＜人間侵入の観点＞

- 鉱物資源



●回避する必要がある範囲、現象の考え方、検討すべき対象、**好ましくない範囲**



●科学的特性マップの検討

●さらに、処分地選定調査（できれば**概要調査段階**で）明らかにしていく必要がある範囲。

＜建設・操業時の安全性の観点＞

●安全性に関する懸念事象



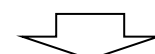
●工学的対応が難しく、**立地を避けることが求められている事象**

＜地下施設に対して＞ ＜地上施設に対して＞

- **未固結堆積物** ● **火山の影響**



●回避する必要がある範囲、事象の考え方、**好ましくない範囲**



●科学的特性マップの検討

● 具体化の基とする資料：原子力規制委員会の「考慮事項」及びその背景情報

「特定放射性廃棄物の最終処分における概要調査地区等の選定時に安全確保上少なくとも考慮されるべき事項」、第31回原子力規制委員会
(2022年8月24日) 資料1より <https://www.nra.go.jp/data/000402042.pdf>

<「考慮事項」の概要>

- 最終処分施設の設計による対応が困難であり、**最終処分施設の設置を避ける**ことにより対応する必要がある事象が対象とされている。
- 「考慮事項」は、**概要調査地区等の選定時において、それぞれの時点で得られている情報に基づき、適切に考慮されるべき**とされている。
- 中深度処分の規制基準が参照されている。

項目	概要
断層等	活断層やその活動に伴う損傷領域、規模が大きい断層などを避けること。
火山現象	第四紀火山の火道、岩脈等、火山の中心からおおむね15km以内の場所を避けること。 新たな火山が生じる可能性のある場所を避けること。
侵食	将来、侵食を受けても一定の深度を確保すること。
鉱物資源等	経済性が高い鉱物資源の存在の記録がないこと。地温勾配が著しく大きくないこと。

<最終処分法に定められた要件の具体化にあたって>

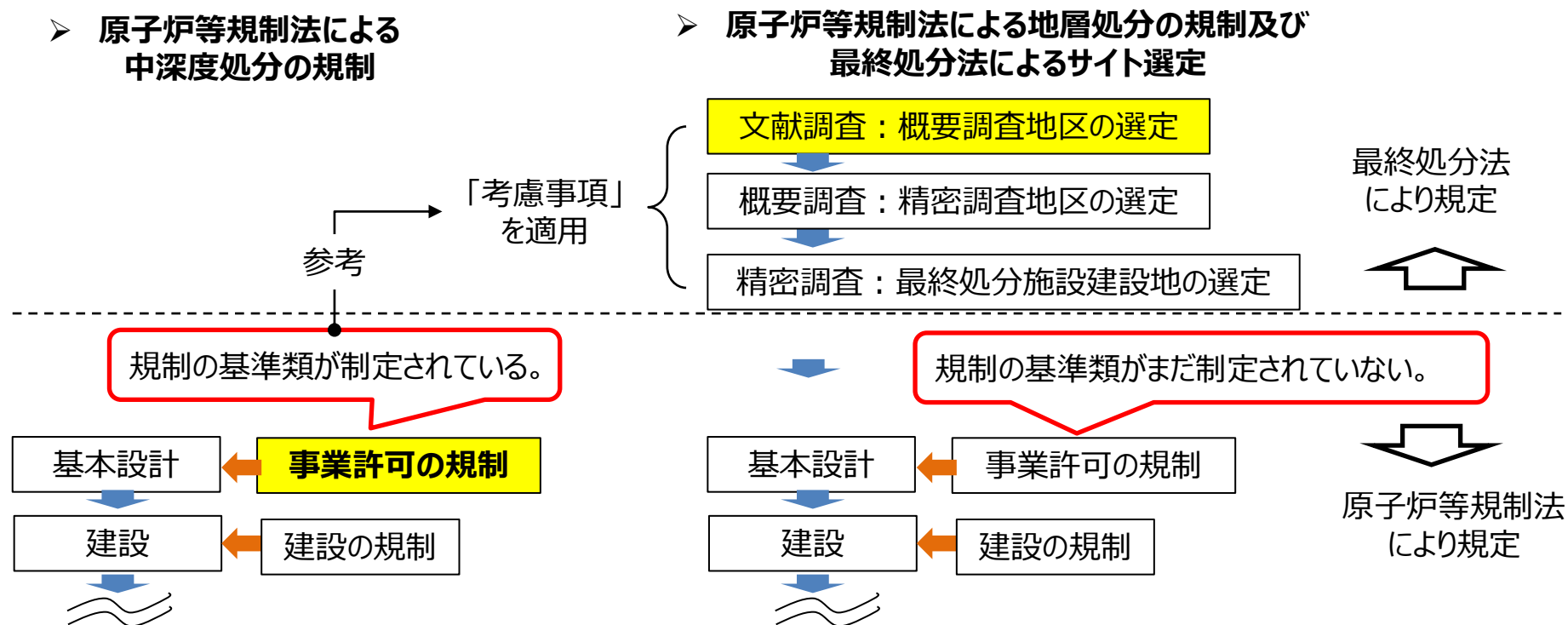


- 中深度処分の規制資料や、「考慮事項」の決定に至るまでの資料などの**背景情報も参照する**。
- 「それぞれの時点で得られている情報に基づき、適切に考慮」とされていることから、中深度処分の規制資料などから、**現地調査まで含めた調査・評価の方法を把握し、これらを踏まえて基準化する**。十分な評価が行えない場合は、概要調査以降の調査、評価にもとづき判断する（概要調査へ進むための基準などの考え方(p.13) C)。
- 「**最終処分施設の設置を避ける**ことにより対応」とされていることから、「避ける」対象は「最終処分を行おうとする地層」に対して基準化する。

(参考) 中深度処分の規制

- 文献調査のみでなく、現地調査結果も踏まえて、事業許可申請を行う。
- 中深度処分は、事業許可の規制基準類が制定されているが、地層処分では未制定である。
- 地層処分の処分地選定段階は原子炉等規制法では規定されておらず、最終処分法により規定されている。
- 「考慮事項」はこの処分地選定の各段階（※）において考慮すべきとされている。
- 「考慮事項」は中深度処分の規制基準を参考にしてしている。

※「概要調査地区等の選定時において、それぞれの時点で得られている情報に基づき、適切に考慮」とされている。
概要調査地区等とは、概要調査地区、精密調査地区及び最終処分施設建設地のことをいう。



● 参照する資料：その他の補足情報

＜要件の具体化の考え方＞

③「明らかに不適切」と判断できるように、「避けること」をできるだけ具体化する。



「科学的特性マップ」策定時の考え方のうち、
事象や特性の基本的考え方

● 「回避する必要がある範囲、現象の考え方、検討すべき対象、好ましくない範囲」などを参照

「考慮事項」及びその背景情報

● 中深度処分の規制資料などを参照



● 項目ごとの基準をできるだけ具体化するために情報が不足する場合がある。



- 火山や活断層などの事象や特性、文献・データの状況、調査方法や調査の精度・限界などに関する、**その他の補足情報**も参照する。
- 必要に応じて、項目ごとの基準の「避けること」や、基準適用の際の留意事項などへ反映する。

●「将来にわたって」について

修正

最終処分法第六条第二項第二号

「…**将来にわたって**、地震等の自然現象による地層の著しい変動が生ずるおそれが少ないと見込まれること。」

- プレート運動に関連する断層運動や地殻変動は少なくとも数10 万年から100 万年程度は同じ傾向で継続していることから、現時点では、**将来10万年程度であれば現在の運動の傾向が継続する可能性は高い**と考えられる。
- 10万年程度の期間、地質環境が大きく変化する可能性が低い地域を選定し、その地域を対象とした、**10万年以降も含めた地質環境の変動幅を評価して、地層処分システム全体としての安全性を示す**こととする。



● 概要調査地区の選定に当たって「地層の著しい変動」を考慮する**将来の期間**については、「**10万年程度**」とする。

- **中深度処分の規制**においては、以下のように考えられている。
 - 火山・断層の活動範囲や隆起速度を合理的に外挿可能と考えられる期間について、今後10万年程度の期間や、数10万年といった期間が考えられるものの、**海水準変動に伴う侵食量については、100メートル程度の深度においては、今後10 万年を超える次のサイクルの10 万年以降は不確実性が增大**することが考えられる。
 - したがって、自然事象への対策として少なくとも10万年間は火山活動及び断層活動、侵食作用が著しい影響を及ぼすおそれのない区域に廃棄物埋設地を設置することを要求するとともに、少なくとも10万年間は、侵食作用を考慮しても離隔に必要な深度を確保することを要求する。
 - 上述の要求に基づき選定された区域においては、10 万年以降においても直ちに火山活動や断層活動等が廃棄物埋設地に著しい影響を及ぼすリスクが増大することは想定されない。
- **高レベル放射性廃棄物は**、中深度処分の代表的な対象廃棄物である炉内等廃棄物に比べて**放射能濃度が高く**、また長半減期核種を多く含むため減衰により**長期間を要する**。
- 一方で、**地層処分は**、海水準変動に伴う侵食量が10万年以降に不確実性が增大するとされている**100メートル程度の深度より十分に大きい、300m以上の深さの地層に埋設**することが最終処分法により定められている。
- したがって、少なくとも概要調査地区の選定に当たっては「地層の著しい変動」を考慮する将来の期間については、「10万年程度」とする。

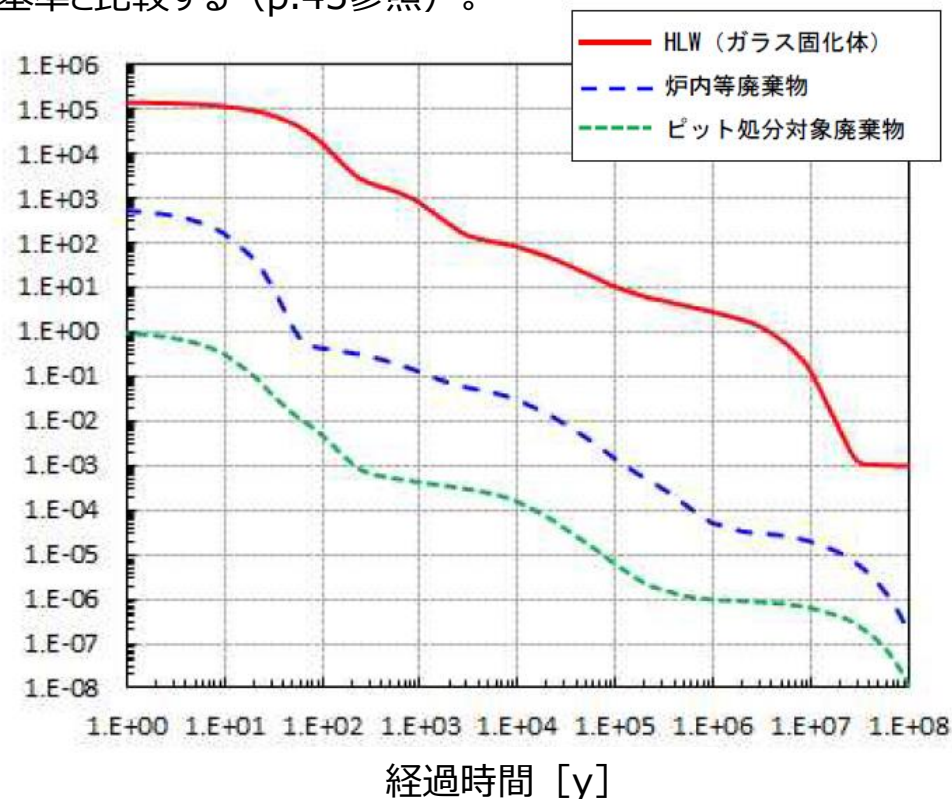
修正箇所

(参考) 地層処分対象廃棄物の放射能の低減の様子： 中深度処分対象廃棄物等との比較

追加

- 中深度処分の代表的な対象廃棄物である炉内等廃棄物に比べて放射能濃度が高く、また長半減期核種を多く含むため減衰により長期間を要する。
- 安全評価においては、廃棄物の放射能自体ではなく、地下水に溶けだし長い時間をかけて地表の人間の生活環境に達した放射性物質による人間への影響を安全基準と比較する（p.43参照）。

放射性廃棄物に含まれる
放射性核種の放射能濃
度を各核種のクリアン
スレベルで除した値の合計
[－]



地層処分において安全確保上少なくとも考慮されるべき事項に関する検討（第5回目）－考慮事項案－
<https://www.nsr.go.jp/data/000393021.pdf> 「参考3」地層処分において安全確保上少なくとも考慮されるべき事項に関する検討（第1回目）－検討方針案－令和4年1月19日 原子力規制庁「参考5」

放射性廃棄物に含まれる放射性核種の放射能濃度を各核種のクリアランスレベルで除した値の合計（※）
（0年目におけるピット処分対象廃棄物についての合計値を1として規格化）と時間の関係

※ 放射性廃棄物に含まれる個々の放射性核種の人への影響の大きさを反映させるため、放射性核種の影響が大きいほど数値が小さくなるクリアランスレベルを活用した。
・キャニスタ容器に固型化されたHLW（ガラス固化体：重量約500 キログラム）は、鋼鉄製のオーバーバック（厚さ約20 センチメートル）に封入することが想定されている。HLW の値は、キャニスタ容器の重量を含み、オーバーバックの重量は含まない。放射能量は過去の報告書等を参考に設定し、製造後50 年間の冷却期間終了後の時点を経過時点の0 年とした。
・炉内等廃棄物については、BWR、PWR 及びGCR の運転及び解体廃棄物のうち中深度処分対象廃棄物と想定されているものについて、電気事業連合会より提出された代表的な照射履歴を想定した放射化計算により算出された値から当庁で算出した平均値であり、廃棄物の封入に用いられる鋼鉄製容器の重量を含む廃棄体の重量から算出した。

(参考) 中深度処分における評価期間の考え方

原子力規制委員会(2016)炉内等廃棄物の埋設に係る規制の考え方について、平成28年8月31日
<https://www.da.nsr.go.jp/file/NR000034858/000173269.pdf>

4. 規制要求の考え方 4-2 設計要求 (2) 規制期間終了後の安全確保のための設計要求の考え方 1) 自然事象に関する要求

① 廃棄物埋設地の位置に係る要求

・・過去に生じた**火山・断層の活動範囲や隆起**速度を合理的に外挿可能と考えられる期間については、立地地点における火山・断層等の分布及び隆起作用や、これらの活動に影響を与えるプレート運動等の科学的知見に基づき決まるものであるが、科学的知見に十分に基づいていれば、事業者が立地地点の地質環境に応じ、**今後10万年程度の期間や、数10万年といった期間の地質環境の状態について外挿することによって評価することは合理的**であると考えられる。

・・**ただし、海水準変動に伴う侵食量**は、我が国の沿岸部においては過去に最大で140メートル前後に達している場所が確認されていることなどから、**100メートル程度の深度においては、今後10万年を超える次のサイクルの10万年以降は侵食の不確実性が增大することが考えられる。**

・・以上を踏まえ、自然事象への対策として**少なくとも10万年間は火山活動及び断層活動、侵食作用が著しい影響を及ぼすおそれのない区域**に廃棄物埋設地を設置することを要求するとともに、**少なくとも10万年間は、侵食作用を考慮しても離隔に必要な深度を確保することを要求する。**・・

....

なお、上述の要求に基づき選定された区域においては、**10万年以降においても直ちに火山活動や断層活動等が廃棄物埋設地に著しい影響を及ぼすリスクが増大することは想定されない。**

② 長半減期核種の濃度制限に係る要求

・・炉内等廃棄物の廃棄物埋設地を10万年以降における海水準変動に伴う侵食の影響を受ける可能性のある位置に設置する場合は、あらかじめ廃棄物埋設地に埋設する廃棄物の長半減期核種の濃度を制限することにより、長期にわたり残存する長半減期核種の潜在的な影響を抑制することを要求する。具体的には、不確実性が大きくなる前の離隔に必要な深度（人間侵入防止のための深度）が確保されている時点（10万年後）において、あえて廃棄物埋設地内の廃棄物と人間の接触を仮想した設定に基づいた線量評価を行い、影響が一定水準以下になることを要求する。

・・上記の10万年後を評価点とした長半減期核種の濃度制限は、**10万年以降における海水準変動に伴う侵食の影響を受ける可能性のある深度に廃棄物埋設地を設置する場合のように、10万年を超える数10万年にわたる離隔の見通しに不確実性がある場合における要求であり、中深度処分という処分概念特有の規制要求である。**したがって、**廃棄物埋設地を設置する深度によっては当該要求を行う必要はなく、その深度とは、10万年以降にわたる海水準変動等に伴う侵食量を考慮しても、離隔に必要な深度（人間侵入防止のための深度）を確保できる深度とすることが合理的である。**・・

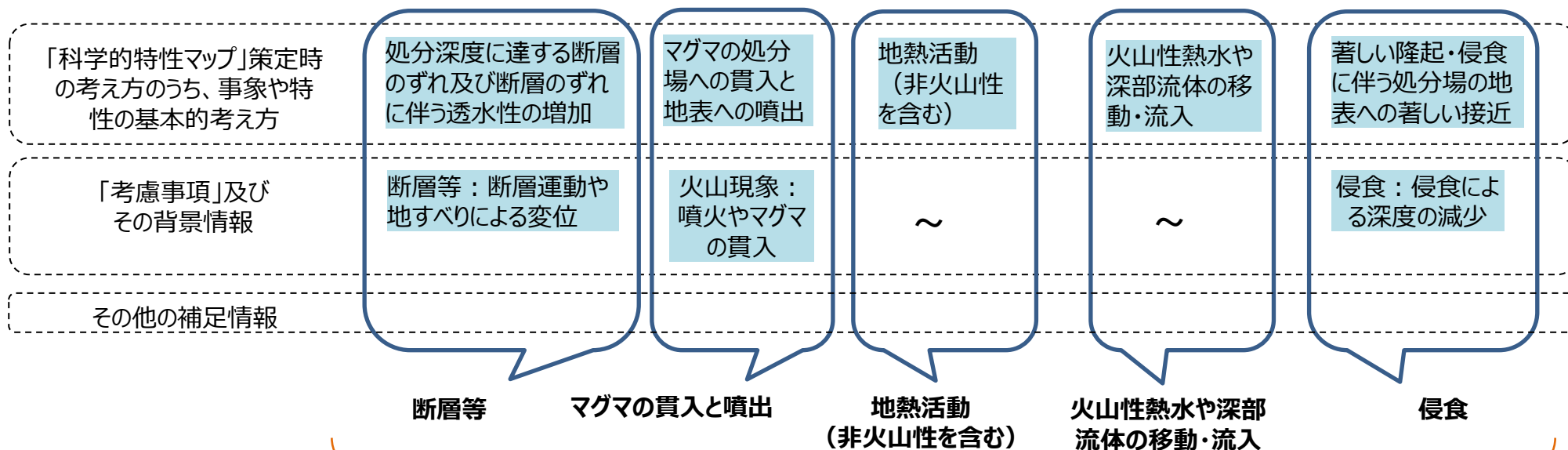
●「地層の著しい変動」の具体化

＜最終処分法第六条第二項＞

- 一 当該文献調査対象地区において、**地震等の自然現象による地層の著しい変動の記録がないこと。**
- 二 当該文献調査対象地区において、**将来にわたって、地震等の自然現象による地層の著しい変動が生ずるおそれが少ないと見込まれること。**

※第二条（定義）第十項 ……**地震、噴火、隆起、侵食その他の自然現象**（以下「地震等の自然現象」という。）…

- 一号、二号の要件について、「科学的特性マップ」策定時の考え方、「考慮事項」などを基に、「地層の著しい変動」を「断層等」、「マグマの貫入と噴出」、「地熱活動（非火山性を含む）」、「火山性熱水や深部流体の移動・流入」及び「侵食」の5項目として基準化を検討する。
- 限られた情報で明確に判断できるように、「科学的特性マップ」策定時の考え方のうち、事象や特性の基本的考え方、「考慮事項」及びその背景情報、その他の補足情報から、**具体的判断事項を抽出する。**
- 項目に事象の特性や関連する文献情報の状況が異なることから、具体的判断事項及びそれに基づく基準案は、数字の有無など、項目ごとに表現は異なる。

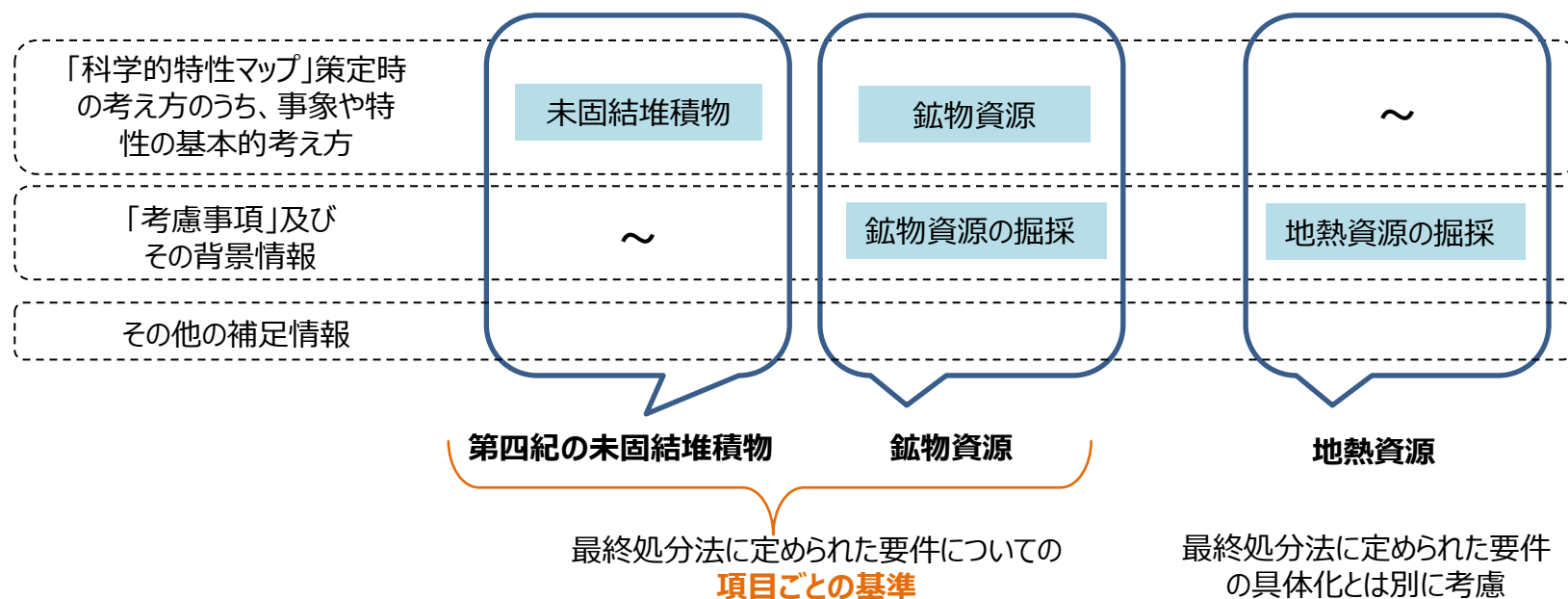


●「第四紀の未固結堆積物」、「鉱物資源」の具体化

＜施行規則第六条第二項＞

- 一 当該概要調査地区として選定しようとする地区内の最終処分を行おうとする地層が、**第四紀の未固結堆積物であるとの記録がないこと。**
- 二 当該概要調査地区として選定しようとする地区内の最終処分を行おうとする地層において、**その掘採が経済的に価値が高い鉱物資源の存在に関する記録がないこと。**

- 一号の要件について、「科学的特性マップ」策定時の考え方の「**未固結堆積物**」の考え方を基に、二号の要件については、「科学的特性マップ」策定時の考え方の「**鉱物資源**」、「考慮事項」の「**鉱物資源等の掘採**」のうち**鉱物資源**を基に基準化する。
- 「考慮事項」の「**鉱物資源等の掘採**」のうち**地熱資源については別途考慮**する。
- 限られた情報で明確に判断できるように、「科学的特性マップ」策定時の考え方のうち、事象や特性の基本的考え方、「考慮事項」及びその背景情報、その他の補足情報から、**具体的判断事項を抽出**する。
- 項目に事象の特性や関連する文献情報の状況が異なることから、具体的判断事項及びそれに基づく基準案は、数字の有無など、項目ごとに表現は異なる。



●「避ける」基準への該当性の確認の仕方

修正

「科学的特性マップ」策定時の考え方のうち、事象や特性の基本的考え方

- 回避する必要がある範囲、現象の考え方、検討すべき対象

原子力規制委員会の「考慮事項」及びその背景情報

- 「それぞれの時点で得られている情報に基づき、適切に考慮」とされていることから、**中深度処分の規制資料**などから、**現地調査まで含めた調査・評価の方法を把握し、これらを踏まえて基準化する。**

その他の補足情報

- 火山や活断層などの事象や特性、**文献・データの状況、調査方法や調査の精度・限界など**に関する、その他の補足情報も参照する。
- 必要に応じて、項目ごとの基準の「避けること」や、**基準適用の際の留意事項**などへ反映する。

● 「避ける」基準への該当性の確認の仕方を予め具体化しておく

◆ 「地層の著しい変動」

- 中深度処分などの規制において、現地調査まで含めた調査・評価の方法がこれまでに整備されている。
- 基準と同様に、確認の仕方も、**これまでに整備されたものを踏まえて具体化する。**
- 文献調査段階においても、現地調査結果をまとめた既往の文献・データなどから詳しい状況が分かるものがある。

修正箇所

◆ 「第四紀の未固結堆積物」

- 後段の概要調査段階で「岩石の性状」を現地調査し「坑道の掘削に支障がないこと」を確認する。
- 文献調査対象地区の最終処分を行おうとする地層の強度などの定量的情報は文献・データから殆ど得られない。
- したがって、**定性的な基準とし、このような事情を踏まえた確認の仕方とする。**

◆ 「鉱物資源」

- 個別の鉱山ごとの記録により確認することを基本とするが、このような**記録が公表されているものが多いとは言えないことに留意する。**

●既往の文献・データでは十分な評価が行えない場合

修正

＜概要調査へ進むための基準などの考え方（p.13）＞

C)十分な評価が行えない場合は、概要調査以降の調査、評価にもとづき判断する。



●文献調査で十分な評価が行えない場合、仮に概要調査以降の調査を実施するとした際、取得が望ましいと考えられる情報などを整理しておく。

◆「地層の著しい変動」

➤仮に概要調査を実施するとした場合の留意点については、これまでに整備されている現地調査まで含めた調査・評価の方法のうち、既往の文献・データで確認できなかったものなどを参照する。

修正箇所

◆「第四紀の未固結堆積物」

➤不足していた情報は、最終処分法により概要調査段階において実施することが定められている、「岩石の性状」などの現地調査と「坑道の掘削に支障がないこと」の確認により解決できると考えられ、これが、仮に概要調査を実施するとした場合の調査の方向性となる。

◆「鉱物資源」

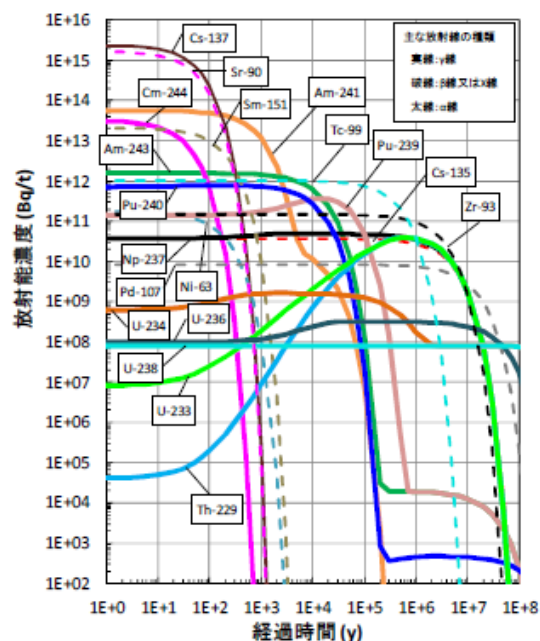
➤ 個別の鉱山ごとの記録は公表されているものが多いとは言えない。

➤ 仮に概要調査を実施するとした場合、まず、このような公表されていない個別の鉱山ごとの記録の調査について検討する。

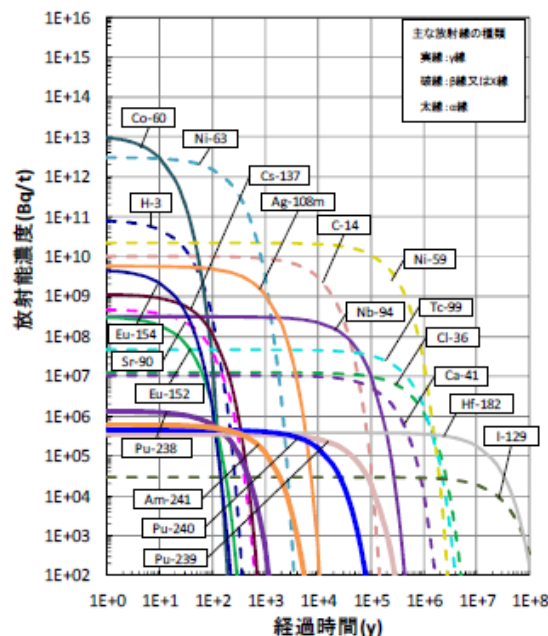


I .2の参考資料

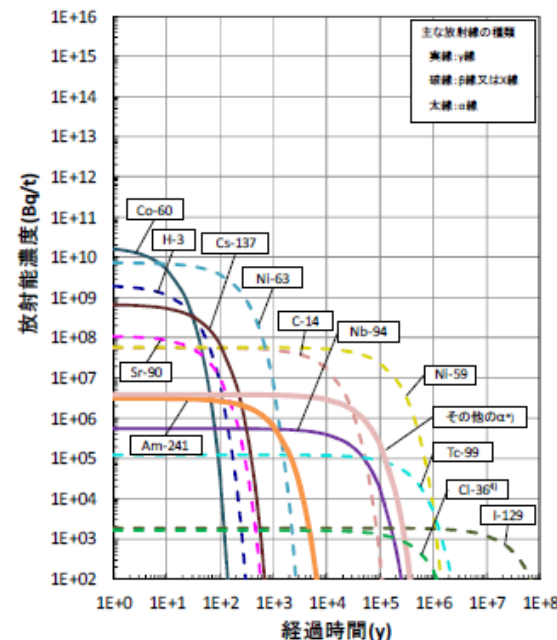
高レベル放射性廃棄物¹⁾



炉内等廃棄物 (平均)²⁾



ピット処分対象廃棄物 (平均)³⁾



- 1) 「高レベル放射性廃棄物ガラス固化体のインベントリ評価」核燃料サイクル開発機構東海事業所（平成11年11月）の核燃料の燃焼条件等に基づき、原子力規制庁が計算
- 2) BWR、PWR、GCRの運転及び解体廃棄物の平均放射能濃度（＝総放射エネルギー／廃棄体総重量）（電気事業連合会「余裕深度処分対象廃棄物に関する基本データ集（一部改訂）」（平成28年8月23日）より作図）
- 3) JNFL2 号埋設（ピット処分）事業許可申請書記載の平均放射能濃度（日本原燃株式会社「六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センター 廃棄物埋設事業変更許可申請書」（平成9年1月）より作図）

地層処分において安全確保上少なくとも考慮されるべき事項に関する検討（第5回目）－考慮事項案－

<https://www.nsr.go.jp/data/000393021.pdf> 「参考3」地層処分において安全確保上少なくとも考慮されるべき事項に関する検討（第1回目）－検討方針案－令和4年1月19日 原子力規制庁「参考5」

▼ 安全性の確認の手順

リスク要因の抽出

埋設後長期の安全性に影響を与えるかもしれない現象など（リスク要因）を網羅的に抽出します。

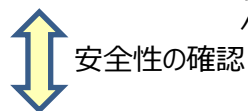
検討ケースの設定

リスク要因がもたらす影響（リスク）を定量的に評価するための検討ケースを設定します。

- 放射性物質が地表まで移動することにより、人間の生活環境に与える影響をさまざまな要因を考慮して評価するケースなど

解析による評価

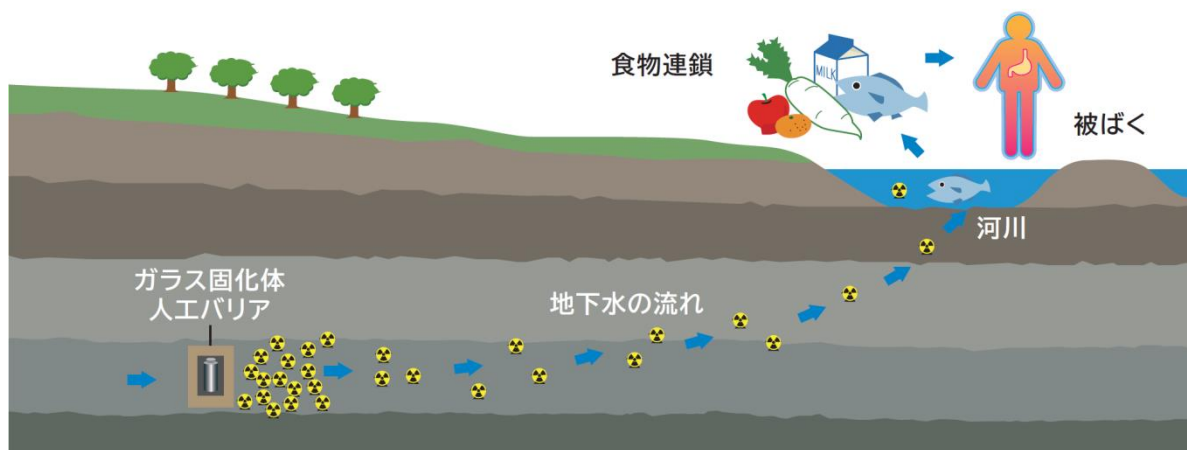
サイトの特徴と処分場の設計結果を考慮し、解析モデルと解析に必要なパラメータを設定して、人間の生活環境への影響を算出します。



安全基準

地下水によりガラス固化体の放射性物質が地表まで運ばれるケースの例

- ① オーバーパックが腐食により破損し、地下水がガラス固化体に接触する。破損する時期は保守的に1000年後と設定する。
- ② ガラス固化体が地下水に溶けることによって、放射性物質が地下水に溶け出す。ガラス固化体全体が溶ける時間を保守的に約7万年と設定する。
- ③ 溶け出した放射性物質は緩衝材中に広がり、岩盤との境界へ達する。
- ④ 岩盤に達した放射性物質は、岩盤中の地下水の流れが比較的速い亀裂などの中を、地下水の流れによって移動する。その移動中、亀裂の表面へ放射性物質が吸着したり、亀裂から岩盤中へ放射性物質が移動したりすることにより、放射性物質自体の移動が地下水の流れと比べて遅くなる。岩盤中の放射性物質の移動経路、距離、亀裂の性状などは、サイトの特徴、地下水の流れ方などを踏まえて設定する。
- ⑤ 河川などに放射性物質が流れ出た後、地表の環境中を移動し、食物連鎖などを経て人間が被ばくする。地下浅部や地表における放射性物質の移動経路などはサイトの特徴を踏まえて設定する。



(参考) 概要調査以降の調査を必要としないような具体化

<概要調査へ進むための基準などの考え方 (p.13) > B)概要調査以降の調査の結果をもとに判断することが適当と考えられるものは基準としない。

- 概要調査段階とは、調査方法、調査対象、調査内容、評価内容が異なる。
- 概要調査段階との違いを考慮して、要件を具体化する。

文献調査段階：最終処分法第六条抜粋 既存の文献・データによる調査

第一項 調査項目

- 一 概要調査地区として選定しようとする地区及びその周辺の地域において過去に発生した地震等の自然現象に関する事項

第一項 調査項目

- 二 前号の地区及び地域内に活断層があるときは、その概要に関する事項

施行規則第五条 調査項目

- 一 概要調査地区として選定しようとする地区に第四紀の未固結堆積物があるときは、その存在状況の概要に関する事項

第二項 適合性を確認する条件

- 一 当該文献調査対象地区において、地震等の自然現象による地層の著しい変動の記録がないこと。

第二項 適合性を確認する条件

- 二 当該文献調査対象地区において、将来にわたって、地震等の自然現象による地層の著しい変動が生ずるおそれが少ないと見込まれること。

(施行規則第六条第二項) 適合性を確認する条件

- 一 当該概要調査地区として選定しようとする地区内の最終処分を行おうとする地層が、第四紀の未固結堆積物であるとの記録がないこと。

概要調査段階：最終処分法第七条抜粋 地表踏査、物理探査、ボーリング調査などの現地調査

第一項 調査項目

- 一 当該概要調査地区内の最終処分を行おうとする地層及びその周辺の地層（以下この条において「対象地層等」という。）における地震等の自然現象による対象地層等の変動に関する事項

第一項 調査項目

- 三 当該対象地層等内に活断層があるときは、その詳細に関する事項

第一項 調査項目

- 二 当該対象地層等を構成する岩石の種類及び性状に関する事項

第二項 適合性を確認する条件

- 一 当該対象地層等において、地震等の自然現象による地層の著しい変動が長期間生じていないこと。

第二項 適合性を確認する条件

- 二 当該対象地層等が坑道の掘削に支障のないものであること。

(参考)「概要調査地区等の選定時に安全確保上少なくとも考慮されるべき事項」の概要

原子力規制委員会は、特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針を受け、「概要調査地区等の選定時に安全確保上少なくとも考慮されるべき事項」（以下「考慮事項」）について審議を重ね、最終処分施設建設地の選定時に、最終処分施設の設計による対応が困難であり、**最終処分施設の設置を避ける**ことにより対応する必要がある事象を対象に、「考慮事項」を決定した。**「考慮事項」は、概要調査地区等の選定時において、それぞれの時点で得られている情報に基づき、適切に考慮されるべきである。**

1. 断層等

次に掲げる断層等を避けること。

- ①後期更新世以降（約12～13万年前以降）の活動が否定できない断層等のうち震源として考慮する活断層
- ②上記①の活断層の活動に伴い損傷を受けた領域
- ③後期更新世以降（約12～13万年前以降）の活動が否定できない断層等のうち地震活動に伴って永久変位が生じる断層及び変位を及ぼす地すべり面
- ④上記①及び③の断層等以外のものであって規模が大きい断層

ここで、後期更新世以降（約12～13万年前以降）の活動が否定できない断層等の認定に当たって、後期更新世（約12～13万年前）の地形面又は地層が欠如する等、後期更新世以降の活動性が明確に判断できない場合には、中期更新世以降（約40万年前以降）まで遡って地形、地質・地質構造及び応力場等を総合的に検討した上で活動性を評価すること。なお、活動性の評価に当たって、設置面での確認が困難な場合には、当該断層の延長部で確認される断層等の性状等により、安全側に判断すること。

3. 侵食

中深度処分より更に深い深度を確保すること。この際、隆起・沈降及び気候変動による大陸氷床量の増減に起因する海水準変動を考慮した侵食による深度の減少を考慮すること。

2. 火山現象

次に掲げる場所を避けること。

- ①マグマの貫入による人工バリアの破壊が生ずるような第四紀（現在から約258万年前まで）における火山活動に係る火道、岩脈等の履歴が存在する場所
- ②第四紀に活動した火山の活動中心からおおむね15キロメートル以内の場所
- ③第四紀に活動した火山が存在しない場所であっても、新たな火山が生じる可能性のある場所。ここで、プレートの特性や運動と深い関係があるマグマの発生の傾向は今後10万年程度の間大きく変化することは想定し難いことを考慮した上で、新たな火山が生じる可能性について検討すること。

4. 鉱物資源等の掘採

資源利用のための掘削が行われる可能性がある十分な量及び品位の鉱物資源の鉱床の存在を示す記録が存在しないこと並びに地温勾配が著しく大きくないこと。

(参考) 地層の著しい変動：「科学的特性マップ」策定時の考え方

著しい影響を与える事象を抽出しそれを回避することで、それらの事象の発生要因と考えられるプレート運動の継続性から、10万年程度の期間、地質環境の長期安定性を確保できる場所が選定できると考えられる（3.3地質環境特性及びその長期安定性の確保に関する検討）としていることから、抽出された事象を「地層の著しい変動」とし、事象を避ける考え方には「将来にわたって」の意味が含まれているとする。

➤ 著しい影響を与える事象（3.3.1「好ましくない範囲」の要件・基準）

✓物理的隔離機能の喪失：マグマの処分場への貫入と地表への噴出／著しい隆起・侵食に伴う処分場の地表への著しい接近

✓閉じ込め機能の喪失：地熱活動（非火山性を含む）／火山性熱水や深部流体の移動・流入／処分深度に達する断層のずれ及び断層のずれに伴う透水性の増加

なお、「地震によるゆれ」、「津波」については、地質環境特性およびその長期安定性の確保に著しい影響を及ぼすとはいえない、「地下水」については、「地下水の性状・挙動等を調査した上で、評価」とされており、「著しい影響を与える事象」とされていない。

表 3.3.1.1 物理的隔離機能の喪失、閉じ込め機能の喪失にかかわる天然現象

		火山・火成活動等	断層活動	隆起・侵食	気候・海水準変動
物理的隔離機能の喪失		①マグマの処分場への貫入と地表への噴出	—	②著しい隆起・侵食に伴う処分場の地表への著しい接近	侵食の要因として評価
閉じ込め機能の喪失	熱環境	③地熱活動（非火山性を含む）	—	—	
	力学場	—	⑤処分深度に達する断層のずれ	—	
	水理場	—	⑤断層のずれに伴う透水性の増加	—	
	化学場	④火山性熱水や深部流体の移動・流入	⑤断層のずれに伴う透水性の増加（条件による）	—	

(参考) 地層の著しい変動：「考慮事項」

公衆に著しい被ばくを与えるおそれがある事象のうち、廃棄物埋設地の設計による対応が困難であり、廃棄物埋設地の設置を避けることにより対応する必要がある自然事象が対象とされ（2.検討の範囲）、抽出された事象の将来の変遷について、過去に生じた事象の発生を今後将来の一定期間外挿することには合理性があるものと考えられる（3. 検討の方向性）とされていることから、抽出された事象を「地層の著しい変動」とし、事象を避ける考え方には「将来にわたって」の意味が含まれているとする。

➤ 抽出された事象

- ✓ **断層等**：断層運動や地すべりによる変位、規模の大きい断層による地下水流動経路
- ✓ **火山現象**：噴火やマグマの貫入
- ✓ **侵食**：侵食による深度の減少

地層処分において安全確保上少なくとも考慮されるべき事項に関する検討（第5回目）－考慮事項案－
<https://www.nsr.go.jp/data/000393021.pdf> 「参考3」地層処分において安全確保上少なくとも考慮されるべき事項に関する検討（第1回目）－検討方針案－令和4年1月19日 原子力規制庁

表 検討対象とする事象及び各事象が公衆に著しい被ばくを与えるプロセス

事象		公衆に著しい被ばくを与えるプロセス
自然事象	断層運動、地すべり	【人工バリア等の損傷及び生活環境への放射性物質の移動の促進】 ・断層運動や地すべりにより変位が生じると、人工バリアや放射性廃棄物の損傷を引き起こすおそれがある。また、廃棄物埋設地において規模の大きい断層が存在すると、人工バリアの性能が低下した後において、当該断層が地下水流動経路となり、生活環境への放射性物質の移動が長期にわたり促進されるおそれがある。
	火山現象	【生活環境への放射性廃棄物の放出】 ・廃棄物埋設地に噴火やマグマの貫入が発生すると、廃棄物埋設地が破壊され、放射性廃棄物が地表に放出されるおそれがある。
	侵食	【生活環境への放射性廃棄物の接近】 ・隆起及び海水準変動※3に伴う侵食による深度の減少により、放射性廃棄物が生活環境に接近するおそれがある。
人為事象	鉱物資源等の掘採	【生活環境への放射性廃棄物の放出等】 ・鉱物資源や地熱資源が存在する場所に廃棄物埋設地を設置した場合、偶発的な掘削を誘引し、掘削者が放射性廃棄物に接近するおそれや、生活環境に放射性物質が放出されるおそれがある。

●「科学的性マップ」策定時の考え方

地層処分に関する地域の科学的な特性の提示に係る要件・基準の検討結果（地層処分技術WGとりまとめ）（地層処分技術WG,2017）
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/chiso_shobun/pdf/20170417001_1.pdf

「3.4.1地下施設の建設・操業に関する検討」において、地下施設の建設・操業の安全性に関する検討対象の中から、「**未固結堆積物**」が抽出され、「科学的特性マップ」の基準が設定されている。他の地熱・温泉、膨張性地山、山はね、湧水、有害ガス、地震については、「対策を検討する」方針であって、回避は必ずしも求められていない、とされている。

「泥火山」については、「概要調査地区選定時に考慮すべき地質環境に関する基本的考え方」（土木学会原子力土木委員会地下環境部会，2001）において、「著しい影響を及ぼすと判断される場合は避ける必要がある」とされている（枠外の※参照）。

「3.3地質環境特性及びその長期安定性の確保に関する検討 ⑨鉱物資源」において、物理的離隔機能を損なわないために、偶発的な人間侵入の可能性をできるだけ低減させる必要があるとして、鉱物資源の探査や採掘が検討対象とされている。地熱・温泉資源、地下水資源等については一律に判断することは困難とされている。

※「概要調査地区選定時に考慮すべき地質環境に関する基本的考え方」（土木学会原子力土木委員会地下環境部会，2001）においては、「施工及び性能評価の観点から、著しい影響・・・」とされている（4.11異常間隙水圧）。「施工及び性能評価の観点」は総合的な検討を指している（3.4概要調査地区選定に関する要件とは）ことから、「対策を検討する」方針であって、回避は必ずしも求められていないと考えられる。

●「考慮事項」

地層処分において安全確保上少なくとも考慮されるべき事項に関する検討（第5回目）－考慮事項案－<https://www.nsr.go.jp/data/000393021.pdf>
「参考3」地層処分において安全確保上少なくとも考慮されるべき事項に関する検討（第1回目）－検討方針案－令和4年1月19日 原子力規制庁

公衆に著しい被ばくを与えるおそれがある事象のうち、廃棄物埋設地の設計による対応が困難であり、廃棄物埋設地の設置を避けることにより対応する必要がある人為事象として「**鉱物資源等の掘採**」が抽出されている（2.検討の範囲）。

➤ 抽出された事象

✓ **鉱物資源等の掘採：鉱物資源や地熱資源の掘削**

(参考)「考慮事項」の背景情報

● 「考慮事項」決定に至るまでの資料：

- 検討方針案、火山の専門家への意見聴取結果、考慮事項の考え方
地層処分において安全確保上少なくとも考慮されるべき事項に関する検討（第5回目）-考慮事項案-参考3,4,5
<https://www.nsr.go.jp/data/000393021.pdf>
- 考慮事項案に対して提出された科学的・技術的意見に対する考え方
地層処分において安全確保上少なくとも考慮されるべき事項に関する検討（第7回目）-考慮事項の決定-別紙1
<https://www.nra.go.jp/data/000402042.pdf>

● 中深度処分の廃棄物埋設地の位置に関する規制資料

- 第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則（平成25 年原子力規制委員会規則第30 号）
<https://www.nra.go.jp/data/000069191.pdf>
- 第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈（原管廃発第1311277 号）
<https://www.nra.go.jp/data/000069192.pdf>
- 第二種廃棄物埋設の廃棄物埋設地に関する審査ガイド
令和3年9月29日 原子力規制委員会（最終改正：令和4年4月20日）<https://www.da.nsr.go.jp/file/NR000223817/000388538.pdf>
- 中深度処分の規制基準における断層等に係る要求事項について
令和3年度第5回原子力規制委員会資料4より <https://www.nra.go.jp/data/000349781.pdf>
- NRA 技術ノート 中深度処分の規制基準の背景及び根拠
<https://www.nra.go.jp/data/000402746.pdf>
- 敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド
平成25年6月 原子力規制委員会 <https://www.nra.go.jp/data/000393628.pdf>
- 原子力発電所の火山影響評価ガイド
平成25年6月 原子力規制委員会 <https://www.nra.go.jp/data/000294814.pdf>



3. 文献・データの収集の考え方

● 文献・データの収集の考え方

- 評価に必要と考えられ、品質が確保され一般的に入手可能な文献・データを収集し、必要な情報を抽出する。
- 評価に必要と考えられる文献・データを収集するが、最終処分法に定められた要件への適合性の確認においては「記録がない」ことを求めているものがあることから、可能な限り収集の見落としが無いようにする。
- 以上の考え方から、次のような文献・データを調査し、必要なものを収集し情報を抽出する。
 - ① 産業技術総合研究所地質調査総合センターなどの公的な機関が公表している地質図、地質データなど
 - ② 学術雑誌、学会や学会の委員会などが編集した書籍、原子力規制委員会審査資料など
 - ③ 論文など。信頼性のある文献データベースを検索する。
 - ✓ ①は全国規模の機関に加えて、地域の機関も対象とする。地域の図書館等のみで入手できるものも対象とする。
 - ✓ ①②については、参考文献についても文献調査対象地区及びその周辺の地域に関するものを収集対象とする。
- 情報を抽出しなかったものも含めて、内容を確認した文献・データを調査した範囲として記録を残しておく。
- 文献調査報告書とりまとめまでに、評価に必要と考えられる新たな文献・データが確認された場合は、その情報を確認し、必要な場合は評価に反映する。
- 概要調査段階に進んだ以降に新たな文献・データが確認された場合は、それらも調査の対象とする。

<寿都町、神恵内村文献調査計画書から抜粋>

(5 文献・データの収集より)

科学的特性マップでは、品質が確保され、一般的に入手可能な公開された文献・データのうち、全国規模で整備された文献・データを用いていますが、個別の地域の文献・データは用いていません。これに対して文献調査では、文献調査対象地区に関連した文献・データをひとつひとつ詳しく調べていきます。

文献調査対象地区に関連する文献・データとしては、地質などに関して、学会や国の研究機関により地域別に整備されている文献・データや、特定の地域に関する学術論文が考えられます。

火山や活断層などの活動は広域に及ぶ可能性があります。そのため、必要に応じ、文献調査対象地区のみでなく、当該市町村の外側も含め、その周辺についても文献・データを収集する可能性があります。

(添付資料 1 より)

基本的に以下を考慮して評価に用いるかどうかを検討します。

- 文献調査で評価する要件を満たしているか、を判断するにあたって必要か
- 品質が確保され、一般的に入手可能な公開された文献・データであるか

(参考) 文献・データの収集に関する有識者のご意見

- 評価に必要と考えられる文献・データを収集するが、最終処分法に定められた要件への適合性の確認においては「記録がない」ことを求めているものがあることから、**可能な限り収集の見落としが無いようにする。**



- **寿都町、神恵内村の文献調査において「収集した文献・データに不足がないか」について、分野ごとの有識者に、以下の要領でご意見を伺った（第37回放射性廃棄物WG（2022.9.6）資料4より）。**
 - 最終処分法第六条第二項各号に対応した、「地震及び活断層」、「噴火」、「隆起・侵食」、「鉱物資源」、「第四紀の未固結堆積物」及びこれらの基礎情報となる「地形、地質・地質構造」の**項目ごとに個別にご意見を伺った。**
 - これらの**各項目に関して専門の知見**を有するとともに、**地層処分について造詣が深い有識者のご意見を伺った。**
 - 前頁の考え方で収集した**文献・データのリスト**（対話の場で説明し、NUMOウェブサイトで公表したもの。リストに収めた文献・データの数、寿都町、神恵内村合わせて761）を用いて説明した。
- **いただいたご意見の概要**
 - 各項目について、**収集した結果は概ね妥当**であるというご意見をいただいた。
 - 念のための追加の文献を紹介いただき、収集済み。



I . 3 の参考資料

(参考) 寿都町・神恵内村の文献調査における主な文献・データの例

※対話の場（寿都町第3回、神恵内村第3回）資料の「収集した主な文献・データ」から抜粋しまとめたもの。

項目	収集した主な文献・データ（上段：科学的特性マップの作成に用いられたもの、下段（黄色）：地域固有のものなど）
火山・火成活動など	- 日本の火山（第3版）（産業技術総合研究所地質調査総合センター，2013） - 日本の第四紀火山カタログ（第四紀火山カタログ委員会，1999） - 全国地熱ポテンシャルマップ（産業技術総合研究所地質調査総合センター，2009）
	- 日本の火山データベース（産業技術総合研究所地質調査総合センターウェブサイト） - 札幌地熱資源図（地質調査所，2001） - 日本列島におけるスラブ起源水の上昇地域の分布図（風早ほか，2015）
断層活動	活断層データベース（産業技術総合研究所地質調査総合センターウェブサイト）
	- 活断層詳細デジタルマップ〔新編〕（今泉ほか編，2018） - 新編日本の活断層（活断層研究会編，1991） 50万分の1活構造図「札幌」（地質調査所，1984） - 日本被害地震総覧599-2012（宇佐美ほか，2013） - 黒松内低地断層帯の長期評価について（地震調査研究推進本部地震調査委員会，2005） - 日本周辺海域の中新世最末期以降の構造発達史「付図 日本周辺海域の第四紀地質構造図」（徳山ほか，2001）
隆起・侵食	日本列島と地質環境の長期安定性「付図5 最近10万年間の隆起速度の分布」（日本地質学会地質環境の長期安定性研究委員会編，2011）
	- 日本の海成段丘アトラス（小池・町田編，2001） - 日本列島における侵食速度の分布（藤原ほか，1999） - 日本の地形2北海道（小嶋ほか，2003）
鉱物資源	- 日本油田・ガス田分布図（第2版）（地質調査所，1976） - 日本炭田図（第2版）（地質調査所，1973） - 国内の鉱床・鉱徴地に関する位置データ集（第2版）（内藤，2017）
	- 鉱物資源図「北海道（東部・西部）」（地質調査所，1996） - 鉱業原簿および鉱区図（北海道経済産業局） - 北海道金属非金属鉱床総覧Ⅰ、Ⅱおよび説明書（地質調査所，それぞれ1963、1963、1967）
未固結堆積物、地質・地質構造、項目共通	日本列島における地下水賦存量の試算に用いた堆積物の地層境界面と層厚の三次元モデル（第一版）（越谷・丸井，2012）
	5万分の1地質図幅および同説明書「寿都」、「歌棄」、「島古丹」など（北海道立地下資源調査所，それぞれ1981、1984、1976）、「古平（附 幌武意）」および説明書「古平および幌武意」、同図幅および説明書「茅沼」など（北海道開発庁，それぞれ1955、1952）、「余別および積丹岬」、「神恵内」など（北海道立地下資源調査所，それぞれ1979、1980） 20万分の1地質図幅「岩内（第2版）」（地質調査所，1991） - 沿岸の海の基本図「寿都」（海上保安庁，1995）、沿岸の海の基本図「神威岬」（海上保安庁，1979） - 日本地方地質誌1北海道地方（日本地質学会編，2010） - 北海道電力株式会社泊発電所の新規規制基準適合性に係る審査会合資料（原子力規制委員会ウェブサイト）

(参考) 主な学術雑誌等の例①

- 寿都町、神恵内村の文献調査において調査した既往の文献・データの中から一般性があると考えられる学術雑誌等を抜粋した。
- 学会等の出版物では、論文集のように査読されたものもあれば、講演予稿集のように査読が無いものもある。このような事情も考慮した上で、評価に必要な情報を抽出する。

地質学雑誌 地質学論集 応用地質 情報地質	物理探査 海洋調査技術 原子力バックエンド研究	地理学評論 地理学評論 Ser. A 東北地理 北海道地理	水利科学 地下水学会誌 測地学会誌 雪氷 海岸工学論文集 沿岸海洋研究	岩鉱 岩石鉱物 岩石鉱物科学 日本地熱学会誌 日本水文科学会誌 日本化学会誌 温泉科学	Resource Geology 岩石礦物礦床學會誌 岩石鉱物鉱床学会誌 鉱物学雑誌 北海道鉱山学会誌 日本エネルギー学会誌 燃料協会誌 地熱エネルギー 温泉科学
地図 科学 月刊地球 地球科学 地団研専報 地学教育と科学運動	粘土科学 地震 地震 第2輯 活断層研究 地学雑誌 第四紀研究	自然災害科学 地すべり 日本地すべり学会誌 砂防学会誌 森林科学 土と基礎／地盤工学会誌	石油技術協会誌 Diatom 日本ベントス学会誌 火山 火山.第2集	鉱山地質 資源地質 日本鉱業会誌 資源と素材	

日本地質学会学術大会講演要旨
日本応用地質学会研究発表会講演論文集
地球惑星科学関連学会合同大会予稿集

日本地震学会講演予稿集
日本活断層学会秋季学術大会講演予稿集

日本第四紀学会講演要旨集
日本地理学会予稿集
日本地理学会発表要旨集

日本火山学会講演予稿集

資源地質学会年会講演会講演要旨集
日本温泉科学会大会講演要旨集

地質調査所月報
地質調査所報告
地質調査研究報告
地質調査総合センター研究資料集

電力中央研究所報告
サイクル機構技報

水路部研究報告

海洋情報部研究報告
原子力資料情報通信室

地震研究所彙報

地震予知連絡会会報

活断層・古地震研究報告

(参考) 主な学術雑誌等の例②

日本の地質 増補版
日本地質アトラス第2版

町田ほか(2003) 第四紀学
日本第四紀学会50周年電子出版
編集委員会編(2013) デジタルブッ
ク最新第四紀学.

B II、B III、B IV、B V a～b、B VI a～
b、B VII
日本鉱業協会(1965, 1968) :
日本の鉱床総覧 上・下

日本第四紀学会編(1977) 日本
の第四紀研究
茂木(1977) 日本近海海底地形
誌－海底俯瞰図集.
日本第四紀学会編(1987) 日本
第四紀地図

地質調査所編纂(1959、1955、
1956、1954、1951、1955、
1953、1960、1957、1957、
1955、
1956) : 日本鉱産誌A、B I a～c、

Journal of Geophysical
Research : Solid Earth
Geophysical Research Letters
Tectonics
Geophysical Journal
International
Journal of Geomagnetism and
Goelectricity

Journal of Volcanology and
Geothermal Research
Tectonophysics
Earth and Planetary Science
Letters
Physics of the Earth and
Planetary Interiors
Pure and Applied Geophysics

Geochemical Journal
Earth, Planets and Space
Island Arc
Geographical Reviews of Japan (Supplementary Issues)
(Ser. B)
The Quaternary Research
Quaternary International

Quaternary Research
Quaternary Science Reviews
Earth-Science Reviews
Zeitschrift für Geomorphologie

➤ 寿都町、神恵内村の文献調査において調査した中には含まれなかったが、一般的に重要と考えられる他の例を下記に示す。

Science
Science Advances
Scientific Reports

Nature
Nature Geoscience
Nature Communications

Nature Reviews Earth &
Environment
Nature scientific data

- 
-
- | |
|----------------------|
| I. 最終処分法で定められた要件の具体化 |
| II. 項目ごとの基準 |
| III. その他の評価 |

II. 項目ごとの基準

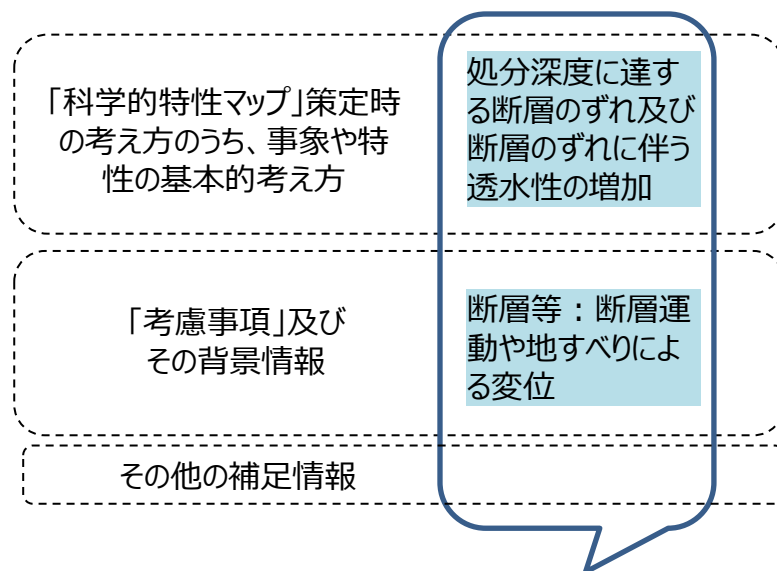
1. 断層等
2. マグマの貫入と噴出
3. 地熱活動（非火山性含む）
4. 火山性熱水や深部流体の移動・流入
5. 侵食
6. 第四紀の未固結堆積物
7. 鉱物資源

1. 断層等

- 具体的判断事項の抽出
- 断層のずれ及び透水性の増加
- 断層及びその周辺の構造
- 基準案設定にあたっての断層及びその周辺の構造の概念図と用語の整理
- 「・・・規模が大きい断層」について
- 基準案
- 基準への該当性への確認の仕方の基となる資料
- 確認の仕方案

● 最終処分法 第六条（概要調査地区の選定）第二項

- 一 当該文献調査対象地区において、地震等の自然現象による地層の著しい変動の記録がないこと。
- 二 同地区において、将来にわたって、地震等の自然現象による地層の著しい変動が生ずるおそれが少ないと見込まれること。



断層等

● 具体的判断事項の抽出

- 「科学的特性マップ」の「好ましくない範囲」など、「考慮事項」及び背景情報、その他の補足情報から、**具体的判断事項である赤字部分を抽出**する。
※「記録がある」の確認は、「おそれが多いと見込まれる」の確認も兼ねる。

	記録がある おそれが多いと見込まれる			
➤「科学的特性マップ」策定時の考え方のうち、事象や特性の基本的考え方 ☒ 「好ましくない範囲」 ☐ 現象の考え方など	最近の地質時代において繰り返し活動し、変位の規模の大きい既知の断層がある場所 既知の断層の分布等を把握し、その影響範囲	破碎帯の幅として断層長さの100分の1程度(断層の両側合計) 既知の破碎帯の幅等を把握し、その影響範囲		
➤「考慮事項」及びその背景情報 ☒ 「考慮事項」 ☐ 中深度処分の規制基準などの背景情報	① 後期更新世以降（約12～13 万年前以降）の活動が否定できない断層等のうち震源として考慮する活断層	② 左記①の活断層の活動に伴い損傷を受けた領域	③ 後期更新世以降（約12～13 万年前以降）の活動が否定できない断層等のうち地震活動に伴って永久変位が生じる断層及び変位を及ぼす地すべり面	④ 左記①及び③の断層等以外のものであって規模が大きい断層
➤ その他の補足情報		✓断層コアは変位の大半を賄う・・		✓主な断層として、地質図などで延長10km以上の断層を抽出した例がある。

● 断層のずれ及び透水性の増加

- 「科学的特性マップ」策定時の考え方のうち、事象や特性の基本的考え方（文献1）
 - 閉じ込め機能の喪失：処分深度に達する断層の**ずれ**、断層のずれに伴う**透水性の増加**
- 「考慮事項」、中深度処分の規制基準
 - 中深度処分の規制基準では、**人工バリアの損傷を防止する観点**から、実用発電用原子炉等の基準を参考に、**活断層及びその活動に伴い損傷を受けた領域に加え、地震活動に伴い永久変位が生じる断層及び変位を及ぼす地すべり面を避けること**を要求している。また、**地下水流動経路を通じた放射性物質の移動の促進等を防止する観点**から、活動性にかかわらず**規模の大きい断層**を避けることを要求している。地層処分の安全確保においても、・・・中深度処分の断層等に係る要求内容は考慮されるべきと考えられる。（文献2）
 - **地下水流動経路を通じた放射性物質の移動の促進等を防止する観点**から、避けるべき断層の具体的な**規模の程度は、岩盤等の特性や人工バリアを始めとする施設設計にもよる**（文献3）



- 地下水流動経路を通じた放射性物質の移動の促進等の防止の観点については、概要調査以降の詳細な調査が必要であり、工学的対策（設計）、安全評価と関連することから、**文献調査段階では、ずれによる人工バリア損傷防止の観点のみ考慮**することとする。なお、技術的観点からの検討においては、断層の地下水流動への影響を考慮する。

文献1) 地層処分に関する地域の科学的な特性の提示に係る要件・基準の検討結果（地層処分技術WGとりまとめ）（地層処分技術WG,2017）

文献2) 地層処分において安全確保上少なくとも考慮されるべき事項に関する検討（第5回目）－考慮事項案－「参考5」

文献3) NRA 技術ノート 中深度処分の規制基準の背景及び根拠：断層等

● 断層及びその周辺の構造

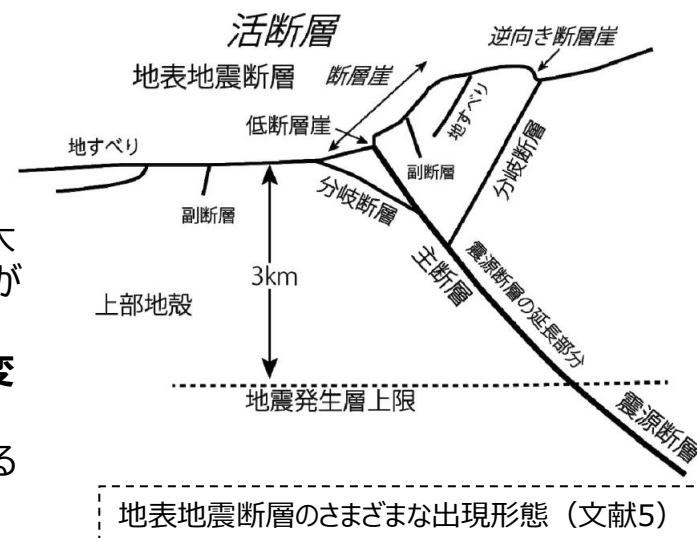
※圧縮性ステップにおける破砕帯の構造－岐阜県飛騨市の跡津川断層西部の例－，地質学雑誌，第114巻，第10号，pp. 495-515

●断層コアとダメージゾーン 丹羽ほか（2008）※の「破碎帯と断層岩の用語」より

- サンアンドレアス断層などでの研究に基づくと、脆性領域における**破砕帯は、断層コアとダメージゾーン**とで構成される。
- 断層コア**は**断層変位の大半を賄う**…断層ガウジやカタクレーサイトなどの断層岩からなる。
- ダメージゾーン**は、……周辺岩盤よりも**割れ目や小断層などが密に発達**する…
- 本調査地域は、跡津川断層が…、単純な2層構成とはならず、**複数の断層コアとダメージゾーンが繰り返す構造**…

●ダメージゾーンを含む周辺の構造

- リモートセンシング技術の精度向上により、地震に伴って生じる地表変位の検出精度が向上し、**面的な分布を把握することが可能**となってきた。（例えば、文献1, 2, 3）
- ダメージゾーンは一般的に、副断層、亀裂などの**二次的な構造**が見られる。（文献4）
- 震源断層に連続する主断層のほかに**分岐断層、副断層**などの出現形態。変位量の大きな主断層は別として、それ以外の小さな断層を**成因によって区別するのは困難**なことが多い（文献5）。
- 2016年熊本地震では、震源となった日奈久断層北部だけでなく200個所以上で**小変位**を検出。これらは静的応力変化や地震動によって誘発したと考えられる（文献2）。
- 地すべりの場合は面に沿って粘土や角礫岩等（地すべり起源の破碎岩）が形成される（例えば、文献6,7,8,9）

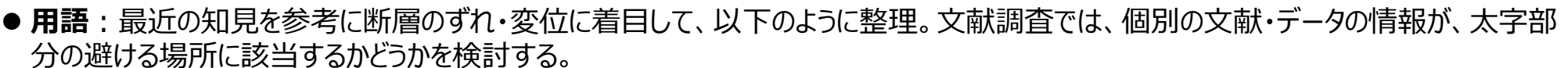


- 明らかに、ずれ（断層変位）の影響があると考えられるのは、**断層面と断層コアの部分**。
- **断層コアの部分**は震源として考慮する活断層に該当する主な断層のみでなく、**永久変位が生じる断層及び変位を及ぼす地すべり面に該当する周辺の断層等にもある**と考えられる。同様に、**規模が大きい断層にもある**と考えられる。
- **永久変位が生じる断層及び変位を及ぼす地すべり面**に該当する周辺の断層等の**成因による区別は難しい**。

文献1) Fujiwara et al. (2016) Earth, Planets and Space, 68:160., **文献2)** 遠田・石村 (2019) 第四紀研究, 58 (2), pp. 121-136., **文献3)** 高橋・遠田 (2022) 活断層研究, 56号, p. 1-12., **文献4)** Choi et al. (2016) Earth-Science Reviews, 152, pp.70-87., **文献5)** 山崎 (2013) 日本原子力学会誌, Vol.55, No.6, 322-325., **文献6)** 丸山 (1996) 地すべり, 第33巻, 第1号, pp.35-43., **文献7)** 山根ほか (2015) 応用地質, 第56巻, 第3号, pp.94-104., **文献8)** Wakizaka (2015) 10th Asian Regional Conference of IAEG, pp.1-8., **文献9)** 脇坂 (2016) 地すべり, Vol.53, No.4, pp.152-155.

追加

文献1) Choi et al. (2016) Earth-Science Reviews, 152, pp.70–87., **文献2)** Faulkner et al. (2010) Journal of Structural Geology, 32, pp.1557–1575., **文献3)** 山崎 (2013) 日本原子力学会誌, Vol.55, No.6, pp.322–325., **文献4)** Nurminen et al. (2022) Sci Data 9, 729, doi : 10.1038/s41597-022-01835-z.



- P.62

- 断層コアはダメージゾーンとセットでよく使用され、断層の変位の大部分をまかなう**断層コア**と、割れ目が多く透水性が大きい**ダメージゾーン**といった説明がある。その他の定義も見受けられる。
- 文献調査では、ずれ（断層の変位）に着目し、透水性の増加については概要調査以降考慮することから、文献調査段階の基準としては、断層の変位の大部分をまかなう部分として、**断層コア**という用語を用いる。

● 海外の教科書・用語集

➤ Fossen (2016)^{文献1}

- ✓ In most cases it makes sense to distinguish between the central **fault core** or slip surface and the surrounding volume of brittlely deformed wall-rock known as the **fault damage zone**.

➤ Neuendorf et al. (2011)^{文献2}

- ✓ Fault coreという用語は掲載されていない。
- ✓ **Damage zone** : The area of fracturing around and related to a fault, typically caused by accumulation of displacement on a fault as well as fault-propagation and linkage (Peacock et al., 2000)

● 日本での使用例

- ✓ 脆性領域における破碎帯は、断層変位の大半を賄う**断層コア**と、その周辺の割れ目が密に発達する**ダメージゾーン**で構成される（丹羽ほか, 2008^{文献3}）。
- ✓ Fillings of fault gouge within the **fault core** and fractures distributed in the **damage zone** are effective indicators of the **fault core** and **damage zone** evolution during fault movement (Yoshida et al., 2014^{文献4}).
- ✓ その内部構造は、断層の変位の大部分をまかない透水性の小さい**断層コア**と、亀裂が多く透水性が大きい**ダメージゾーン**に分けられる（重松ほか, 2018^{文献5}）。

文献1) Fossen (2016) Structural Geology. Second Edition, Cambridge University Press., **文献2)** Neuendorf et al. (2011) Glossary of Geology. Fifth Edition, Revised, American Geosciences Institute., **文献3)** 丹羽ほか (2008) 地質学雑誌, 第114巻, 第10号, pp. 495-515., **文献4)** Yoshida et al. (2014) Engineering Geology, 177, pp.93-103., **文献5)** 重松ほか (2018) 地質学雑誌, 第124巻, 第9号, pp.759-775.

● 「・・・規模が大きい断層」について

● 「考慮事項」の考え方

- ✓ 中深度処分の規制基準では、人工バリアの損傷を防止する観点から、実用発電用原子炉等の基準を参考に、活断層及びその活動に伴い損傷を受けた領域に加え、地震活動に伴い永久変位が生じる断層及び変位を及ぼす地すべり面を避けることを要求している。また、**地下水流動経路を通じた放射性物質の移動の促進等を防止**する観点から、**活動性にかかわらず規模の大きい断層**を避けることを要求している。
- ✓ 地層処分の安全確保においても、人工バリアの損傷を防止するとともに、地下水流動経路を通じた放射性物質の移動の促進等を防止するとの観点は同様と考えられる。このため、中深度処分の断層等に係る要求内容は考慮されるべきと考えられる。



- 「活動性にかかわらず」と、将来数万年を超える長期においての活動も想定していることから、「**地層の著しい変動**」に含める。
- 規模を規定すると考えられる「地下水流動経路を通じた放射性物質の移動の促進等の防止の観点」などは、**概要調査以降の詳細な現地調査、工学的対策（設計）、安全評価と関連することから、文献調査段階では「明らかに規模が大きい」と考えられる断層を避けることとする。**



● 「明らかに規模が大きい」について

- 地下地質環境に著しい影響を及ぼす可能性のある断層の規模として**概ね10km以上の延長**としている文献がある。
- 活断層データベース（産業技術総合研究所：<https://gbank.gsj.jp/activefault/database.html>）では、**長さ10km以上の活断層**のデータが収録されている。

● 最終処分法 第六条（概要調査地区の選定）第二項

- 一号 当該文献調査対象地区において、地震等の自然現象による地層の著しい変動の記録がないこと。
二号 当該文献調査対象地区において、将来にわたって、地震等の自然現象による地層の著しい変動が生ずるおそれが少ないと見込まれること。

- 一号及び二号に対して、
- **最終処分を行おうとする地層について以下のいずれかに該当することが明らかまたは可能性が高い場所（※）を避ける。**
※（ア）～（エ）のいずれかが最終処分を行おうとする地層と重なる場所。

（ア）後期更新世以降（約 12～13 万年前以降）の活動が否定できない震源として考慮する活断層の断層面（注1）

（イ）後期更新世以降（約12～13 万年前以降）の活動が否定できない断層等のうち地震活動に伴って永久変位が生じる断層の断層面（注1）及び変位を及ぼす地すべり面（注1）

（ウ）上記（ア）または（イ）以外の、地表における延長がおおむね10km以上の断層の断層面（注1）

（エ）上記（ア）～（ウ）の断層コアの部分（注1）

注1)

- 地下水流動経路を通じた放射性物質の移動の促進等の防止の観点については、概要調査以降の詳細な調査が必要であり、工学的対策（設計）、安全評価と関連することから、文献調査段階では、ずれによる人工バリア損傷防止の観点のみ考慮することとする。
- 明らかに、ずれ（断層変位）の影響があると考えられるのは、断層面と断層コアの部分。
- 基準案の（ア）（イ）（ウ）において、明確にするために「断層面」を追記している。

- ✓ Neuendorf et al. (2011) American Geosciences Institute, p.230-231.

Fault : a discrete **surface or zone** of discrete surfaces separating two rock masses across which one mass has slid past the other.

Fault plane : A fault **surface** that is more or less planar.

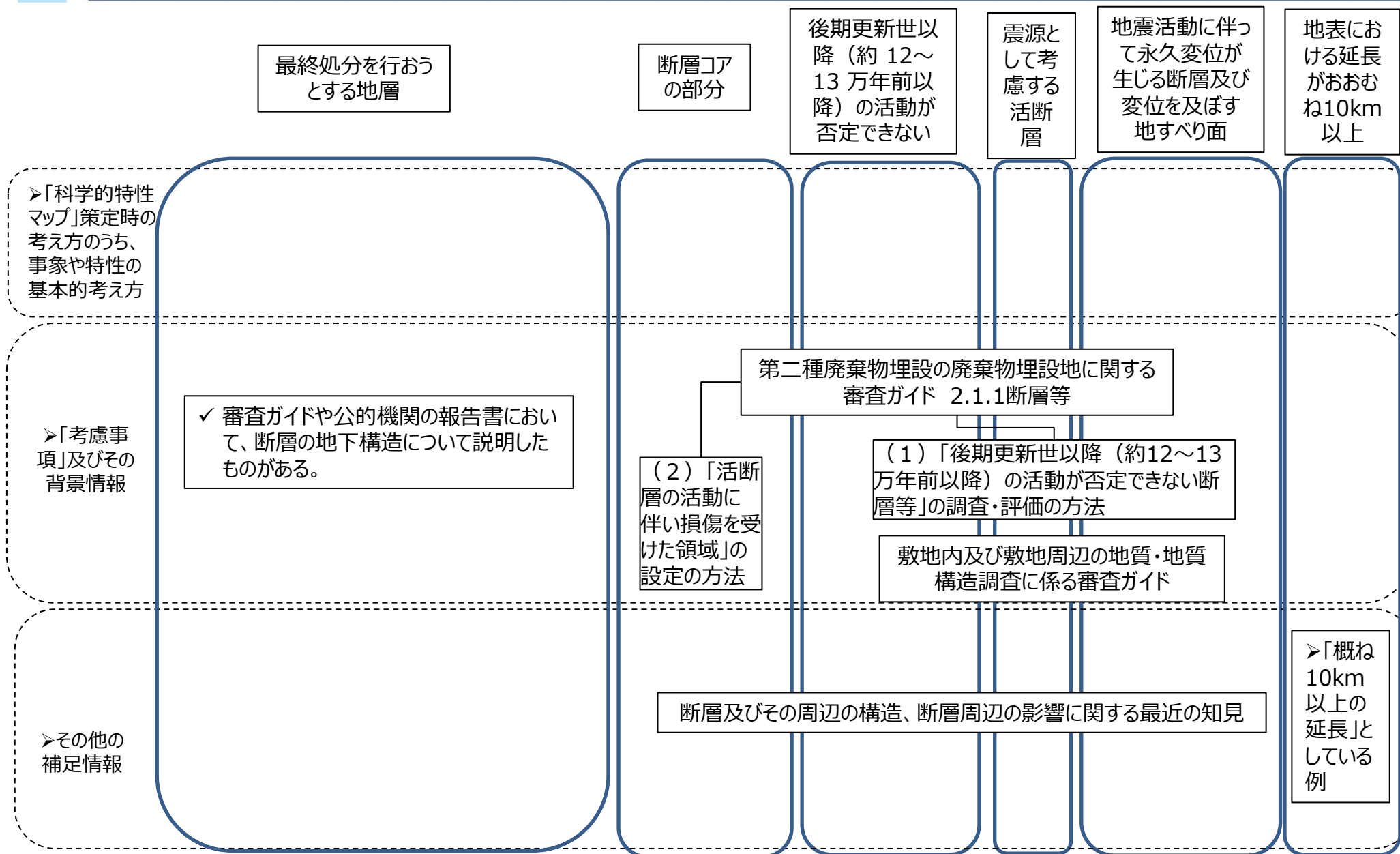
- ✓ 地学団体研究会編（1996）平凡社, p.790-791, 793.

断層 : 岩石の破壊によって生ずる**不連続面**のうち、面に平行な**変位のあるもの**。力学的には、岩石の剪断破壊を表す。この不連続面を**断層面**といい・

断層面 : 断層によってずれの生じる**面**。

● 基準への該当性の確認の仕方の基となる資料

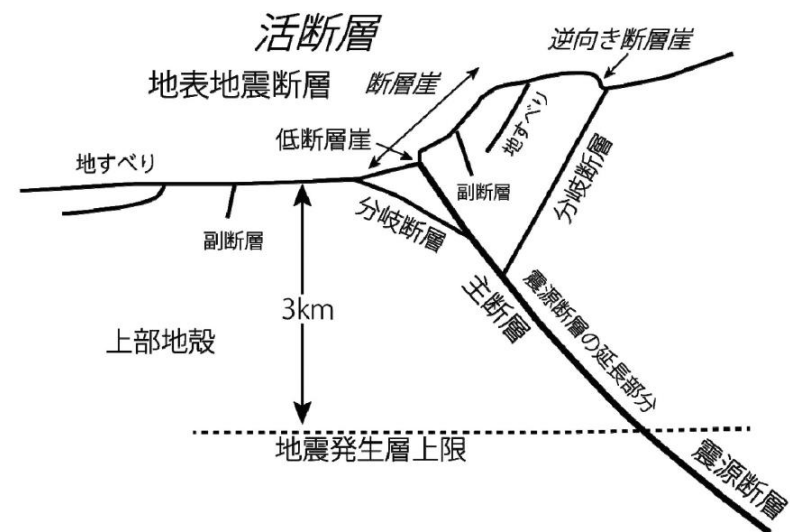
修正



震源として考慮する活断層

地震活動に伴って永久変位が生じる断層及び変位を及ぼす地すべり面

- 基準では、いずれも断層面や地すべり面に加えて、断層コアの部分避ける対象としているため、**必ずしもどちらかであるかを区別する必要はない。**
- 以下に示す**審査ガイドの説明**や**最近の知見**を参考に検討する。
 - ✓ 震源として考慮する活断層：地下深部の地震発生層から地表付近まで破壊し、地震動による施設への影響を検討する必要があるものをいう(文献1)
 - ✓ 地震活動に伴って永久変位が生じる断層及び変位を及ぼす地すべり面の留意点 (文献1)
 - 地震活動に伴って永久変位が生じる断層及び支持地盤まで変位及び変形が及ぶ地すべり面は、地震活動と常に同時に活動するとは限らない。
 - 逆断層では、例えば、断層の変位に伴って、上盤側に局所的な引張場が形成され別の正断層が形成される場合があること、断層とは傾斜が反対の別の逆断層（バックスラスト）が形成される場合があること、これらの断層が活動して永久変位を起こすことがあることに留意する。
 - 伏在逆断層によって生じた断層関連褶曲に伴って、断層等が活動して永久変位を起こすことがあることに留意する。
 - 横ずれ断層では、例えば着目する亀裂等が横ずれ断層に伴うフラワー構造の一部である可能性に留意する。
 - 地すべり面は、冠頂部で正断層、側方部で横ずれ断層、末端部で逆断層と似た様相を呈することがある。



地表地震断層のさまざまな出現形態 (文献2)

文献1) 敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド <https://www.nra.go.jp/data/000069164.pdf>
文献2) 山崎 (2013) 日本原子力学会誌, Vol.55, No.6, pp. 322-325.

● 確認の仕方案②

修正

最終処分を行おうとする地層について（ア）、（イ）、（ウ）、（エ）のいずれかに該当する

- 最終処分を行おうとする地層において、**断層等の分布の位置や幅が確認できる／確度の高い推定ができる場合（※）**は、避ける場所とする。

※「（参考）断層の地下構造について」に示した文献などを参考に検討する。

- **地表付近の情報のみに限られる場合など上記の検討が難しい場合には、（ア）、（イ）、（ウ）、（エ）に該当する断層等とする。最終処分を行おうとする地層において避ける位置については概要調査以降で確認するものとする。**

後期更新世以降（約 12～13 万年前以降）の活動が否定できない

- 後期更新世以降の活動性が明確に判断できない場合には、中期更新世以降（約40万年前以降）まで遡って地形、地質・地質構造及び応力場等を総合的に検討した上で活動性を評価すること（文献1）。
- **後期更新世以降**の活動性評価には、この時代の**段丘面や地層の変位・変形に注目する方法**が一般的である。中でも、酸素同位体ステージ5e に対応づけられる**中位段丘面や地層**は分布及び保存が良好であることから有効である（文献2）。
- 中期更新世以降の断層等の評価には、この時代の地形面や地層の変位・変形に注目することが一般的である。中でも酸素同位体ステージ7、9、11 の温暖期（高海水準期）に対応づけられる段丘面や地層の利用が有効である（文献2）。

断層コアの部分

修正箇所

- 野外の露頭の観察、トレンチ調査結果やボーリングデータなどの文献・データによりこれらの領域を確認する。こういった文献・データがない場合は、概要調査以降で確認するものとする。地すべり面についてはその周辺の破碎部を断層コア相当とする。

地表において延長がおおむね10km以上

- **地表地質図などで延長がおおむね10km以上の断層を抽出する。**
- 抽出した断層について、個別の文献などにより、存在の確実性や延長や「最終処分を行おうとする地層」部分への分布などを確認する。

文献1) 地層処分において安全確保上少なくとも考慮されるべき事項に関する検討（第7回目）－考慮事項の決定等－「別紙2」

文献2) 敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド <https://www.nra.go.jp/data/000069164.pdf>

(参考) 断層の地下構造について

● 敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド

2.2 将来活動する可能性のある断層等の活動性評価

- (2) 将来活動する可能性のある断層等が疑われる地表付近の痕跡や累積的な地殻変動が疑われる地形については、個別の痕跡等のみにとらわれることなく、その起因となる地下深部の震源断層を想定して調査が実施されていることを確認する。また、それらの調査結果や**地形発達過程及び地質構造等を総合的に検討して評価が行われていることを確認する**。その際、**地表付近の痕跡等とその起因となる地下深部の震源断層の活動時期は常に同時ではなく、走向や傾斜は必ずしも一致しないことに留意する**。
- (3) 地球物理学的調査によって推定される地下の断層の位置や形状は、変動地形学的調査及び地質調査によって想定される地表の断層等や広域的な変位・変形の特徴と矛盾のない位置及び形状として説明が可能なことを確認する。

● 地震研究推進本部 地震調査委員会 長期評価部会（2010）「活断層の長期評価手法（暫定版）」報告書

4.2 活断層の詳細位置を評価するための体系的調査

今後の長期評価にあたっては、活断層の詳細な地表位置形状や断層に沿うずれの量の空間分布、地表地質、地下構造等の情報が必要になるが、現状では適切な評価の実施に必要な情報が不足している活断層も多い。

4.3 震源断層の三次元位置・形状評価のための調査

現行の長期評価では、地表における活断層の長さやそれに基づく地震の規模の評価が主体であり、地下における震源断層の位置・形状に関する評価は必ずしも十分ではない。断層の地下構造に関する情報を取得するための**地震波探査や地震波トモグラフィーなどの地球物理学的調査**を実施する必要がある。また、**重力異常分布の解析や断層の運動に関連した褶曲、傾動、隆起、沈降など地表面の変形を面的に調査することにより**、地下に伏在する断層面の形状を検討する必要がある。

また、以下の調査方法が個別に紹介されている。

反射法地震探査、重力異常分布データの活用、地震波トモグラフィーなどによる構造調査、広域的な変位地形の地形・地質調査、ボーリングデータの活用。

● 産業技術総合研究所 深部地質環境調査研究センター（2007）概要調査の調査・評価項目に関する技術資料

2.2 地震活動 (2) 活断層の活動履歴と影響範囲評価【調査の内容】

地震波探査・電磁気探査・精密重力探査などの地球物理学的手法による**断層地下構造のイメージング**（例えば物理探査学会，1998；池田ほか，2000；麻植ほか，2004）・・（略）・・が必要である。

(3) 既存断層の再活動性評価

地震波探査・精密重力探査などの地球物理学的手法による断層地下構造のイメージングや伏在断層の抽出を行わなければならない。

断層の地下構造については処分地深度よりもさらに深い構造、例えば数km以深まで地震波探査などの地球物理学的調査により明らかにしておくことが必要である。

(参考) 延長が概ね10km以上

- 「日本の断層マップ」 小坂和夫・金折裕司・千木良雅弘・吉田鎮男（2010）日本の断層マップ、培風館

<まえがき>

- ..**地表での分布長が概ね10km以上**のものを網羅的に抽出した、いわば“断層カタログ”である。
- ..**活断層以外**..、すなわち第四紀以前の地質時代に形成された断層及び現在は活動の証拠が認められない断層を網羅したもの..
- 本書の目的は、地質学・地球科学研究者や技術者の用に供すること、および道路・鉄道・トンネル・橋梁・ダム・地下空洞・港湾・ビル等の計画－立地－設計－施工－保守の用に供することである。
- それぞれの断層の分布を国土地理院発行20万分の1地勢図ごとに示し、..

<断層の対象範囲>

- 本書でとり上げた断層は、縮尺20万分の1の**地質図で延長が概ね10km以上**の日本列島及び島部の陸域に分布する断層である。断層の延長を概ね10km以上とした理由は以下のとおりである。
 - (1)10km以上の延長を有していれば、断層を確認ないしは推定する根拠が複数以上あることが推定され、確実性が高いと判断されること。
 - (2)10km以上の延長があれば地質的にある程度の構造的規模を反映していると考えられること。
 - (3)活断層を想定した場合、延長10kmはM6.5の地震規模に相当すること。
 - (4)大規模地下施設とそれを取り巻く地下地質環境に著しい影響を及ぼす可能性のある断層の規模と考えられること。

※抽出された本数

- ※20万分の1地勢図の区画ごとに付番された断層うち活断層、推定活断層以外の本数を合計すると、約1900である。最も多い区画で約90である。

- **活断層データベース** https://gbank.gsj.jp/activefault/division#kishin_kubun

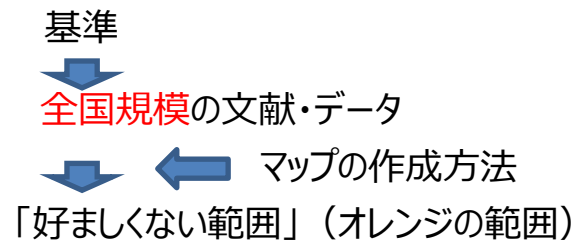
<収録対象活断層の抽出手順と使用資料> から抜粋

- 既存の文献資料に掲載された活断層線（推定断層以上の信頼度）を1/20万地勢図上（紙上）に重ね合わせてトレースする。
- トレースした活断層分布図から、起震断層の区分方法に基づいて起震断層（**長さ10km以上**の断層群）を抽出・区分する。
- 10km未満の活断層・活断層群および確実度III以下の活断層は本データベースには含まれない。

※サイトの検索機能を用いて合計数を求めると、活動セグメントは583本、起震断層は320本である。これらを構成する活断層線の数を数えると3千を超える。

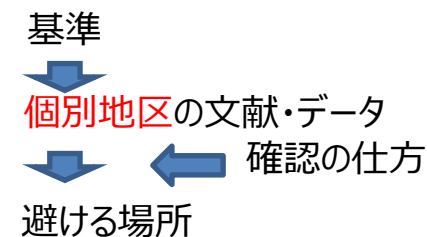
科学的特性マップの基準

- **全国一律**で「好ましくない範囲」を描くため
- **全国規模**の文献・データに基づく
- その当時（2017）の知見に基づく
- **地表の場所**を対象



文献調査段階の項目ごとの基準

- **個別地区**ごとに避ける場所の有無や範囲を判断するため
- **個別地区**ごとの詳細な文献・データの調査に基づく
- **最新（2023）**の知見に基づく
- **地下**の最終処分を行おうとする地層を対象



- 活断層に、破碎帯として断層長さ（活動セグメント長さ）の1/100程度（断層の両側合計）の幅を持たせた範囲
- 活断層に、破碎帯として断層長さ（起震断層長さ）の1/100程度（断層の両側合計）の幅を持たせた範囲

- 最終処分を行おうとする地層について以下のいずれかに該当することが明らかまたは可能性が高い場所
 - （ア）後期更新世以降（約12～13万年前以降）の活動が否定できない震源として考慮する活断層の断層面
 - （イ）後期更新世以降（約12～13万年前以降）の活動が否定できない断層等のうち地震活動に伴って永久変位が生じる断層の断層面及び変位を及ぼす地すべり面
 - （ウ）上記（ア）または（イ）以外の、地表における延長がおおむね10km以上の断層の断層面
 - （エ）上記（ア）～（ウ）の断層コアの部分

<断層等の基準、確認の仕方の特徴>

- 断層及びその周辺、影響範囲に関する最新の知見から、幅広い影響範囲をもたらす可能性のある事象を検討
- その事象のうち、（イ）を対象に加え、把握が難しいものは概要調査以降で安全評価等と関連して調査・評価
- 文献調査段階では、ずれ（断層変位）のみ対象とし、透水性の観点からは概要調査以降で安全評価等と関連して調査・評価
- 活断層ではない明らかに規模が大きい断層として地表における延長がおおむね10km以上の断層も避ける対象



Ⅱの1. の参考資料

(参考) 地層処分技術WGとりまとめ (2017) 抜粋

3.3 地質環境特性及びその長期安定性の確保に関する検討 3.3.1 「好ましくない範囲」の要件・基準

⑤断層活動（処分深度に達する断層のずれ、断層のずれに伴う透水性の増加）より

- 断層活動については、地下深部から地表・地下浅部に達するような断層のずれが発生し、処分場の一部が力学的に破壊される場合及び断層のずれに伴い断層周辺の岩盤の透水性が増加し、地下水の移行経路が変化した場合について、著しい影響があると考えられる。
- 今まで繰り返し活動し、将来も活動する可能性が高く、変位の規模が大きい断層は回避する必要がある。現象の考え方及び検討すべき対象については、以下のように整理される。
 - 第2次取りまとめでは、わが国における既存の主な活断層はおおむね把握されているが、特に広い沖積平野等伏在断層の存在が考えられる地域や海域等については、ボーリングや物理探査等を用いた地下構造調査によって、既存のもの以外の活断層の有無や分布を確認する必要があるとされている。その後の知見も踏まえると、繰り返し活動し、変位の規模の大きい断層の分布については、全国規模のデータベースの情報だけでなく、より綿密な空中写真判読、地表調査、物理探査、ボーリング調査等の現地調査に基づいて、第2次取りまとめ以降に発生した地震とその後の活断層調査の知見も踏まえて確認する必要がある。
 - さらに、断層活動の影響が生じる可能性が高い範囲と考えられる破碎帯の幅の目安としては、断層長さの100分の1程度（断層の両側合計）とすることが考えられる。また、サイトごとに個別に評価するが、将来の断層活動の範囲として、断層の伸展や分岐が発生する可能性がある領域（活断層帯）を回避する。
 - さらに、変形帯や活褶曲・活撓曲についても、地層処分システム全体への影響が著しい場合は回避することを検討する。
- このうち、**好ましくない範囲**は、以下のとおりである。
 - 最近の地質時代において繰り返し活動し、変位の規模の大きい既知の断層がある場所について、破碎帯の幅として断層長さの100分の1程度（断層の両側合計）の範囲。
 - 既知の断層の分布、破碎帯の幅等を把握し、その影響範囲。
- 断層面は一般的に傾斜しているため、**処分深度における断層位置は地表のそれとは異なる**。処分地選定調査（特に概要調査段階）においては、個別に調査・評価する必要がある。
- 上述した好ましくない範囲に加えて、**処分地選定調査の中で（できれば概要調査段階で）地震波探査やボーリング調査により以下の範囲を明らかにしていく必要がある**。
 - 上記以外で、断層の分布、破碎帯の幅等を把握し、その影響範囲
 - 断層の伸展・分岐が発生する可能性がある範囲（活断層帯）
 - 地層処分システム全体への影響が著しい変形帯や活褶曲・活撓曲の範囲
 - 変位規模が小さい断層、地表の痕跡が不明瞭である断層、地下に伏在している断層、地質断層による影響

（参考）「考慮事項」の「断層等」

次に掲げる断層等を避けること。それぞれの時点で得られている情報に基づき、適切に考慮。

- ① 後期更新世以降（約12～13 万年前以降）の活動が否定できない断層等のうち震源として考慮する活断層
- ② 上記①の活断層の活動に伴い損傷を受けた領域
- ③ 後期更新世以降（約12～13 万年前以降）の活動が否定できない断層等のうち地震活動に伴って**永久変位が生じる断層及び変位を及ぼす地すべり面**
- ④ 上記①及び③の断層等以外のものであって規模が大きい断層

ここで、後期更新世以降（約12～13 万年前以降）の活動が否定できない断層等の認定に当たって、後期更新世（約12～13 万年前）の地形面又は地層が欠如する等、後期更新世以降の活動性が明確に判断できない場合には、中期更新世以降（約40 万年前以降）まで遡って地形、地質・地質構造及び応力場等を総合的に検討した上で活動性を評価すること。なお、活動性の評価に当たって、設置面(※)での確認が困難な場合には、当該断層の延長部で確認される断層等の性状等により、安全側に判断すること。

（※）本考慮事項において、「設置面」とは人工バリアを設置しようとする場所を指す。（以上 文献1）

※人工バリアの損傷を防止する観点から①②③、地下水流動経路を通じた放射性物質の移動の促進等を防止する観点から④とされている(文献2)。

①中深度処分の規制基準（文献2）

＜規則＞断層運動、火山現象その他の自然現象により人工バリアの著しい損傷が生じるおそれがないものであること。

＜解釈＞・・・廃棄物埋設地の位置について、次のことを求めている。

一 人工バリアを、次に掲げる断層等を避けて設置すること。

（上記「考慮されるべき事項」と同じ）

二 人工バリアは、廃棄物埋設地の建設・施工時において上記③及び④の断層等が発見された場合には、当該断層等を避けて設置するとの方針としていること。

②断層等に係る考慮事項の考え方（文献2）

○中深度処分の規制基準では、**人工バリアの損傷を防止する観点**から、実用発電用原子炉等の基準を参考に、活断層及びその活動に伴い損傷を受けた領域に加え、地震活動に伴い永久変位が生じる断層及び変位を及ぼす地すべり面を避けることを要求している。**また、地下水流動経路を通じた放射性物質の移動の促進等を防止する観点**から、**活動性にかかわらず**規模の大きい断層を避けることを要求している。

○地層処分の安全確保においても、人工バリアの損傷を防止するとともに、地下水流動経路を通じた放射性物質の移動の促進等を防止するとの観点は**同様と考えられる**。このため、中深度処分の断層等に係る要求内容は考慮されるべきと考えられる。

文献1) 地層処分において安全確保上少なくとも考慮されるべき事項に関する検討（第7回目）－考慮事項の決定等－「別紙2」

<https://www.nra.go.jp/data/000402042.pdf>

文献2) 地層処分において安全確保上少なくとも考慮されるべき事項に関する検討（第5回目）－考慮事項案－「参考5」

<https://www.nsr.go.jp/data/000393021.pdf>

(参考)「地震活動に伴って永久変位が生じる断層及び変位を及ぼす地すべり面」

発電用軽水型原子炉施設の「敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド」策定時の議論

第10回発電用軽水型原子炉施設の地震・津波に関わる新安全設計基準に関する検討チーム(平成25年3月22日)資料震基10-2-1「敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド(案)」<https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/10953979/www.nsr.go.jp/data/000050721.pdf>

Ⅱ編：敷地及び敷地周辺における地下構造の調査及び地盤の調査

4. 敷地における断層等の調査 4.2 評価の観点 4.2.1 評価方針

(1) 主断層の変位に伴う副断層の活動に留意する。

① 例えば逆断層では、主断層の変位に伴って、①上盤側に局所的な引張場が形成され、正断層が形成される場合、②主断層とは傾斜が反対の逆断層(バックスラスト)が形成される場合があり、これらの断層が活動して永久変位を起こすことがあることに留意する。また伏在逆断層によって生じた断層関連褶曲に伴って、断層等が活動して永久変位を起こすことがあることに留意する。

② 例えば横ずれ断層では、着目する亀裂等が横ずれ断層に伴うフラワー構造の一部である可能性を考慮する。

(2) 地すべり(岩盤すべり)面は、冠頂部で正断層、側方部で横ずれ断層、末端部で逆断層と似た様相を呈することがあり、露頭での地すべり(岩盤すべり)面と断層面の判別が困難な場合があることに留意する。

4.2.2. 地震活動に伴って永久変位が生じる断層及び支持基盤を切る地すべり面の認定について

(1) 地震活動に伴って永久変位が生じる断層や、支持基盤を切る地すべり面は、主に重力によるもの、応力解放によるもの、地盤沈下と地下空洞に関するもの、火山活動に関連するものに大別され、これらは相互に関連するものも多く必ずしも明確に区別されない。地盤変形を生ずることはあるが、地震と地盤振動を生ずる可能性が少ないこのような断層等は、**ノンテクトニック断層**と呼ばれる(Lettis et al., 1998)。

(2) 上記のような断層等は、場所により正断層、横ずれ断層、逆断層と似た構造を呈することがあるが、形成機構については、より広い範囲の調査に基づいて検討されていることを確認すること。

(3) 不確かさの考慮：地震活動に伴って永久変位が生じる断層及び支持基盤を切る地すべり面の認定には、必要な調査を行っても不確かさ(ばらつき)が存在する。活断層の認定に当たっては、不確かさを考慮した判断を行うこと。

〔解説〕ノンテクトニック断層の具体的事例

・重力によるもの：天王山断層の斜面変動／高知県の地すべり移動体と滑落崖(2002年)／柏崎市の砂質堆積物中の小断層／富山県大寺山リニアメント(隆起運動に伴うもの)

・地震活動に伴うもの：兵庫県南部地震(地表変位)(1995年)／鳥取県西部地震(地表変位)(2000年)／浦河沖地震(段丘崖の崩壊)(1982年)／鹿児島県北西部の地震(本震 M6.3)の際に表れたクラック(地表断層)(1997年)

・火山活動に関連するもの：有珠山に伴った断層地形(2000年)／霧島火山のえびの高原周辺にある断層地形／鹿児島湾新島の断層地形／韓国岳火山体に周辺に見られる断層地形

3.2 廃棄物埋設地の位置に関する要求

3.2.1 断層等

．．．．

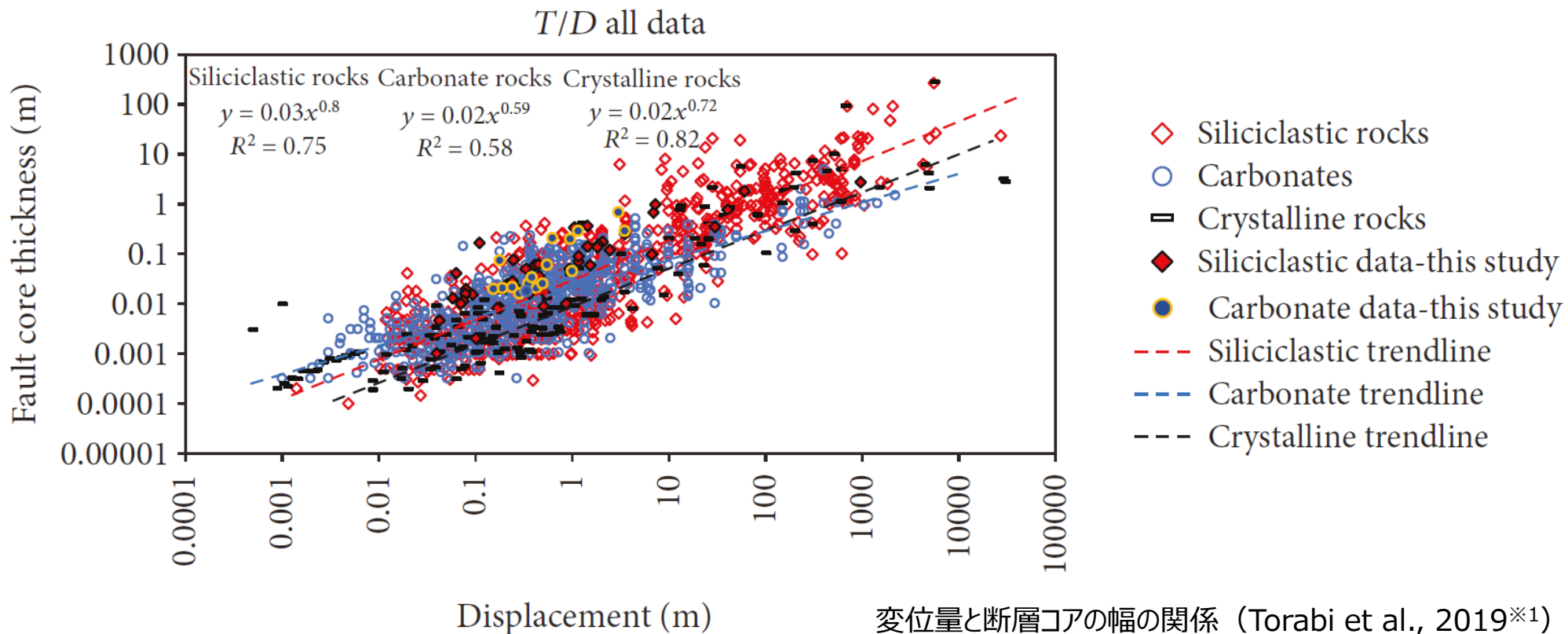
上記解釈一③及び④に該当する断層等については、事業許可までの物理探査等の調査では、細かな断層等の判別や破碎帯の幅等の確認が困難であることも考えられること及び以下の点を踏まえ、事業許可後の建設段階における掘削時に断層等が確認された場合は詳細に調査を行った上で、上記解釈一③又は④に該当する断層等であると確認された場合には、その破碎帯を避けて人工バリアを設置することを求めている。また、この方針及びそれが可能な見込みであることを事業許可の時点で明確にしておくため、予め事業許可申請書に記載することを求めている。

- ・許可段階で細かな断層等を判別するための詳細かつ高密度の掘削調査等を行うことは、新たな地下水流動経路を形成し、天然バリアの移動抑制機能に係る性能を低下させる場合があること。
- ・建設段階においては、掘削範囲にある断層等を直接確認し、原位置における観察や物理探査等により、活動性に係る履歴、断層破碎帯等について詳細な調査を行うことが可能となること。

．．．．．

上記審査ガイドの(3)では、上記解釈一④の「規模が大きい断層」として考慮する必要がないと判定してよい目安の例を記載している。地下水流動経路を通じた放射性物質の移動の促進等を防止する観点から、**避けるべき断層の具体的な規模の程度は、岩盤等の特性や人工バリアを始めとする施設設計にもよるが、**以下を踏まえて、「破碎帯の幅が 20～30センチメートル程度を越えない」又は「累積の変位量が、おおむね廃棄物埋設地の上端から下端までの長さを超えない」のいずれかとしている。

- ・一般的に、断層の規模が大きいほど地下水流動への影響が大きいと考えられ、断層の規模が大きいほどその破碎帯の幅や変位量が大きくなると考えられること。
- ・破碎帯の幅については、1メートル程度を超えるものは、地下水流動経路の形成の観点から、明らかに規模の大きい断層と判断することが適当と考えられるところ、保守性の観点及び廃棄物埋設地における目視等による確認可能性を踏まえて、20～30センチメートル程度とする。
- ・変位量については、活断層に関する事例（松田（1975）の Table 1 に記載されているデータ）より、規模の大きい断層と考えられる数キロメートル以上の断層の活動による変位は数十センチメートル～数メートルに及ぶことが確認できる。ただし、古い断層について確認が可能と考えられるのは累積の変位量であること及び廃棄物埋設地における物理探査等での確認可能性を踏まえて、累積変位量が廃棄物埋設地の「埋設坑道」の径（20メートル程度）を超えていることとした。



<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

- 断層の変位量 (D) と断層コアの厚さ (CT) には正の相関関係があり, 「D = 1000CT」と「D = 10CT」の直線の間
に概ね収まる (Fossen, 2016^{※2})。

● 断層コア (Fault core)

- 非常に集中した歪や強いせん断の結果であり、断層変位の大部分を占める。一般的に、繰り返し動くすべり面や断層岩（ガウジ、カタクレサイト、角礫など）から構成される。（Choi et al., 2016^{*3}）。
- ダメージゾーン内で、複数の断層コアが分岐・結合する場合があること（Faulkner et al., 2010^{*4} ; Bense et al., 2013^{*5}）や、成熟度などにより主断層付近とそれ以外の断層運動の影響範囲で変位・変形量の割合が変化する（例えば、Manighetti et al., 2021^{*6} ; Perrin et al., 2021^{*7} ; Antoine et al., 2022^{*8}）。
- 断層コアの透水性は、一般的にダメージゾーンや母岩よりも小さく（例えば、Mizoguchi et al., 2008^{*9} ; Niwa et al., 2009^{*10} ; Torabi et al., 2021^{*11}）、水みちの障壁となることがよくある（例えば、Faulkner et al., 2010^{*4} ; Bense et al., 2013^{*5}）。
- 地すべりの場合は面に沿って粘土や角礫岩等（地すべり起源の破碎岩）が形成される（例えば、丸山, 1996^{*12} ; 山根ほか, 2015^{*13} ; Wakizaka, 2015^{*14} ; 脇坂, 2016^{*15}）。

● ダメージゾーン (Damage zone)

- 断層コアと比べて歪が小さく、変形の程度が小さい。一般的に、副断層、割れ目などの二次的な構造が見られる（Choi et al., 2016^{*3}）。
- 測地学的には、せん断剛性の低下した領域、または光学衛星画像などで地震に伴う破壊が検出された場合は、ひずみが地盤の弾性限界を超過した領域として、また、地震学的には、S波速度が低下した領域として表現される（Rodriguez Padilla et al., 2022^{*16}）。また、最近の構造地質学では、1つは、断層コアの両側の変形した領域として広く使われている。もう1つは、ステップオーバーや先端で局所的に生じている二次的な構造。これらは、物理的・力学的な違いではなく、観察記載の見方の違いによる（Choi et al., 2016^{*3}）。以上のように研究者や学問分野によって、様々な使われ方がされている。
- ダメージゾーンは一般に亀裂が多く透水性が大きい（重松ほか, 2018^{*17}）が、亀裂ではなく変形を主体とする場合や地質環境によっては、透水性が低下する場合や透水性に影響を与えない場合がある（Bense et al., 2013^{*5} ; Choi et al., 2016^{*3}）。
- プロセスゾーンはダメージゾーンと対比されている（Scholz, 2002^{*18} ; 吉田ほか, 2009^{*19}）。

● 遷移域/混合域 (Transitional/Mixed zone)

- 堆積物の混合が断層帯 (fault zone) 内に起こり得る未固結堆積物の場合など、ダメージゾーンと断層コアの組み合わせやこれらの繰り返しによって特徴付けられる領域が存在する（Heynekamp et al., 1999^{*20} ; Choi et al., 2016^{*3}）。

● 断層破碎帯 (Fracture/Crush/Shatter zone)

- 断層破碎帯を断層コア（断層岩相当）とする文献（例えば、緒方・本荘, 1981^{*21} ; 狩野・村田, 1999^{*22} ; 相川・金折, 2019^{*23}）や断層コアとダメージゾーン（プロセスゾーン相当）の組み合わせとする文献（例えば、丹羽ほか, 2008^{*24} ; 山口ほか, 2019^{*25}）が存在する。

- 「考慮事項」が参照している中深度処分の規制基準

「破砕帯」については、例えば、「狩野謙一、村田明広『構造地質学』（朝倉書店、1999）」によると、「断層活動に伴って断層面の周辺には、二次的な小構造をもつ断層岩（fault rock）が形成される。この断層岩が破砕帯（fracture zone）もしくは剪断帯（shear zone）と呼ばれる部分を構成する。（略）。断層岩の中で、手でこわせるほど軟弱で、粘土状の細粒な基質部が多いものを断層ガウジ（fault gouge）と呼ぶ。断層ガウジに比べて基質が少なく、角礫状の岩片が多いものを断層角礫（fault breccia）と呼ぶ。これに対して、基質と岩片が固結しているものが破砕岩またはカタクレースイト（cataclasite）である。」とされており、参考になると考えます。

中深度処分の規制基準における断層等に係る要求事項に対する科学的・技術的意見の募集の結果について（第2回）

令和3年4月28日原子力規制庁 pp.15,16

- 地層処分技術WG (2017) で参照している緒方・本荘（1981）※²¹における破砕帯の記載状況

3.2 規模

・・野外露頭あるいはトンネル等では破砕帯の露頭によって断層の存在が確認される場合が多い。露頭では断層の破砕幅は計量可能な量である。

3.3 断層組織と断層内物質

・・断層は規模の大小をとわず、断層組織を伴っており、破砕帯内部は破砕角礫、粘土により断層組織を形成する。この断層組織および断層内物質は断層の生成条件および活動の履歴により各々その特性を有するものと考えられる。

調査技術の進歩

- 干渉SAR解析や高詳細のDEM、光学衛星画像などリモートセンシング技術の精度向上により、地震に伴って生じる地表変位の検出精度が向上し、これまで見落とされる可能性のあった山間部の変位も含めて面的な分布を把握することが可能となってきた（例えば、Fujiwara et al., 2016^{※26}；遠田・石村, 2019^{※27}, 高橋・遠田, 2022^{※28}）。
- リモートセンシングによる測地観測結果は利用しやすくなってきており、衛星によるデータ取得頻度も増加している（Barnhart et al., 2019^{※29}）。
- 2019年米国リッジレスト地震では、高精度光学画像を用いて、断層近辺の地表変位が50cm精度で測定されている（Antoine et al., 2022^{※8}）。水平変位は正確に測定できるが、垂直変位の分解能に関しては、向上しているもののかなり低い（Kou et al., 2019^{※30}など）。
- 2016年熊本地震では、合成開口レーダ（SAR : Synthetic Aperture Radar）干渉解析により、主断層による弾性変形のほかに、約230本の変位を示す線状不連続面をリニアメントとして確認している（Fujiwara et al., 2016^{※26}）。
- LiDAR（Light detection and ranging : 光による検知と測距）により、樹林に覆われている地表面の形状の把握可能なことに加え、LiDARに基づくDEMの地震前後の差分解析により、地表地震断層の変位量分布を明らかにすることができる（品川ほか, 2013^{※31}）。高解像度だが、一般には地震前のデータに限られる（Howell et al., 2020^{※32}）ことに注意する必要がある。
- 上記による地表変位・変形の検出の進歩などにより、地下を含めた断層モデルの推定精度が向上している（例えば、Roten et al., 2017^{※33}；Klinger et al., 2018^{※34}；Antoine et al., 2021^{※35}）。

変位・変形などの種類

- ダメージゾーンは、断層コアと比べて歪が小さく、変形の程度が小さい。一般的に、副断層、割れ目などの二次的な構造が見られる（Choi et al., 2016^{※3}）。
- 地盤の変形は、断層上で発生する局所的な成分と、周囲に影響を与えるオフフォルトの成分から構成される。オフフォルト変形（OFD ; off-fault deformation）は分散された破壊（distributed fracturing）と広がりを持つ変形（diffuse deformation）で構成され、断層の周囲で数百メートルから数キロメートルのスケールで発生する（Antoine et al., 2022^{※8}）。
- 断層からの距離に伴う非弾性変形の減衰は、逆べき法則（inverse power law）でよく表すことができる（Rodriguez Padilla et al., 2022^{※16}；2019年リッジレスト地震での事例）。
- 主断層から離れた地表破壊（surface rupturing）を、多様なタイプの初生的な構造に沿った破壊（rupturing）と、主断層近傍でより不規則に分布する破壊（rupturing）に分類。初生的な構造として、深部で主断層に連続している断層と、非連続で地震時に変位が誘発される断層（同調破壊 : sympathetic rupturing）がある（Nurminen et al., 2022^{※36}）。
- 地震時のオフフォルト変位（副次断層、誘発変位）は、表層地質や断層の成熟度次第では震源断層沿いの地表変位に対して無視できない量になるのに加えて、地震時の破壊プロセスや変位量を明らかにする上で重要である（高橋ほか, 2020^{※37}）。
- 2016年熊本地震では、干渉SAR画像などから地表変位を分析し、地下深部では斜め方向であった断層変位が、地表では横ずれ成分と縦ずれ成分が卓越するそれぞれの断層に分岐するスリップパーティショニングが発生したことを指摘している（Toda et al., 2016^{※38}）。

副断層の広がり

- スラスト断層において、マグニチュードと副断層の出現幅に正の相関が明確に見られ、基本的な副断層； simple thrust faults（層面すべり； flexural-slip や上盤の曲げモーメント； bending-momentと、断層から離れた同調すべり； Sympathetic slip on distant faultを除いた副断層）の90%は840m以内に出現している。また、副断層が出現する幅は上盤と下盤で約2:1となる（Boncio et al., 2018^{※39}）。
- 2008年のWenchuan地震（逆断層型右横ずれ成分含む）で発生した地表破壊（Surface ruptures）の影響幅は15～60mに集中している。上盤側と下盤側では非対称であり、一般に3:1～2:1である（Zhang et al., 2013^{※40}）。
- 2016年熊本地震では、震源となった日奈久断層北部、布田川断層だけでなく200個所以上で小変位が検出され、これらは本震の静的応力変化や地震動によって誘発されたと考えられる（遠田・石村, 2019^{※27}）。これらのうちの主破砕帯の東端から10km離れた副断層（distributed secondary faults）では、過去のイベントが認められることから、大地震によってすべりが誘発されていると推定される（Ishimura et al., 2021^{※41}）。
- リッジレスト地震では、271-384km離れた場所で表面波の通過後、見かけの移動速度 2.2 ± 0.1 km/秒で連続的な誘発すべりが発生した。遠隔地の断層の滑りは数分かけて進行した（Bilham & Castillo, 2020^{※42}）。

ダメージゾーンの広がり

- ダメージゾーンは断層コアの外側に広がり、両者の間には遷移帯（transitional zone）がある。ダメージゾーンの幅は断層変位と相関性がある。断層先端付近だけでなく、上盤と下盤でも幅が非対称であることが一般的である（Choi et al., 2016^{※3}）。
- 流体包有物面（FIP； fluid inclusion planes）の密度によって定義されるダメージゾーンの幅は、断層の変位に伴って拡大するが、数kmの変位で最大となるようである。また、ある断層では、断層中心部の両側で損傷が見られるが、損傷の非対称性は見られない（Mitchell & Faulkner, 2009^{※43}）。
- ダメージゾーンは断層中央部付近で狭く、下盤よりも上盤でダメージゾーンが広がる（Torabi et al., 2021^{※11}；正断層の研究）。
- 跡津川断層では、幅2 m以上の破砕帯（fracture zone）のほとんどが断層から500 m以内に分布する（Niwa et al., 2011^{※44}）。
- 阿寺断層では、割れ目（fractures）の密度から、断層運動によって形成された力学的（mechanical）ダメージゾーンは主断層面（main fault plane）の両側それぞれ約200mまで広がっていると考えられる（Yoshida et al., 2014^{※45}）。
- 有馬-高槻構造線において、断層による損傷（fault damage）は、著しく非対称である。断層の南側の花崗岩には幅200mに及ぶダメージゾーンがあるが、北側の流紋岩には幅3m程度の非粉碎断層角礫岩（non-pulverized fault breccia）があるのみである（Mitchell et al., 2011^{※46}）。

地下における広がり

- リッジレスト地震の北側と南側の領域は、深部での最大すべり量が4～6mであるのに対し、地表の変位量は最大2mである。これらの区間では、地表に向かう断層すべりの変動に対応して地盤（地殻）内に歪が分散され、地表に変形勾配が生じている。断層近傍の広がりを持つ変形（diffuse deformation）は、一般にSSD（shallow slip deficit→地殻の最上部では地震発生深度よりも系統的にすべりが小さいこと; Fialko et al., 2005^{※47}）を含む断層の地下の変動に対する応答により生じ、SSDは深さ約2kmまでの地殻に影響を与えている（Antoine et al., 2021^{※35}）。
- 中央構造線（三重県）と跡津川断層での花崗岩中のダメージゾーンの発達様式の地殻深度による違い（Takagi et al., 2012^{※48}）や中央構造線（四国）でのMT法探査による深度20kmまでの比抵抗構造の地質学的解釈によるダメージゾーンの性状（Ikeda et al., 2013^{※49}）などから、ダメージゾーンの発達、地殻深度による違いが見られる（重松ほか, 2018^{※17}）。
- 北海道幌延地域（堆積岩）を事例とした調査・解析において、地下約400mを境界として、それ未満では断層同士を繋げるスプレー状の亀裂が発達、それより深い領域では雁行型のせん断破壊の発達というような断層の成長メカニズムの違いを指摘している。このことは、地下約400m未満の深さでは、高透水性を示すことと一致している。（Ishii et al., 2010^{※50}）。

成熟度

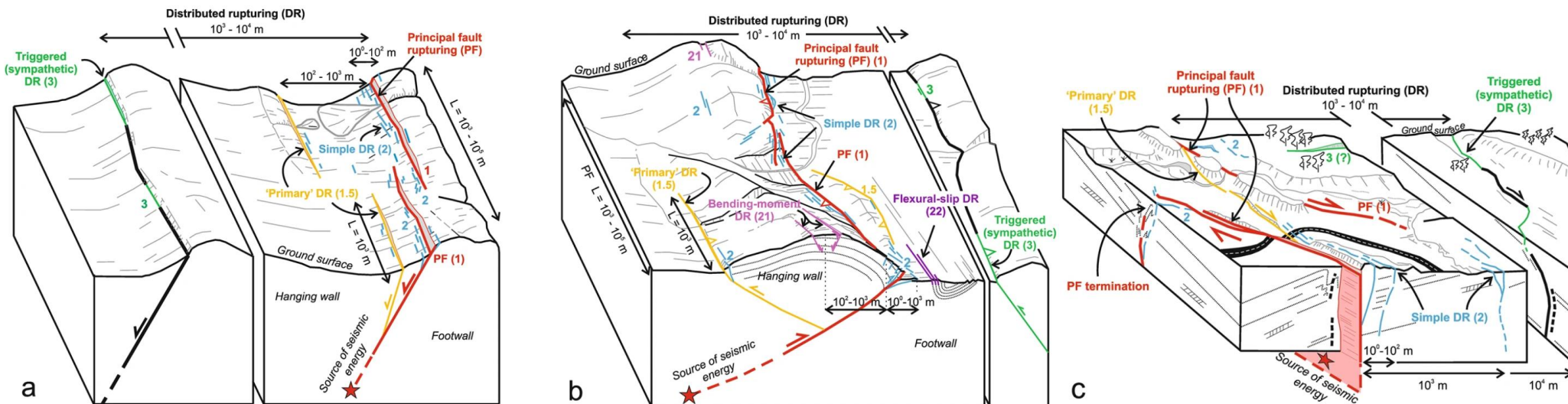
- 断層上の変位(on-fault slip)と断層から離れた変形(off-fault deformation)を支配する要因として、断層の成熟度が重要である。Mw7.1を超える6つの地震について、地表変位を分析した結果、未成熟の断層では総変位量に対して断層ごく近傍の地表変位は50～60%にとどまるのに対して、成熟した断層では85-95%に達する（Dolan & Haravitch, 2014^{※51}）
- 地表トレースの形態（波形の具合、ステップオーバーの密度）と成熟度にスケーリング関係があることを示した（Manighetti et al., 2021^{※6}）。
- 主断層面を取り囲むせん断変形活動域（active shear deformation zone）の幅は、成熟した断層で1.0～2.5km、未成熟な断層で6～9kmと成熟度が増すと小さくなることを指摘。また、せん断変形帯の幅は断層の累積変位量に比例してべき乗則で減少することを示した。成熟度は断層の累積変位、長さ、活動開始年代、すべり速度（slip rate）などによる（Perrin et al., 2021^{※7}）。
- 主断層の局所的な変形とOFD（off-fault deformation）の比率は、断層形状が複雑な地域ではOFDの割合が大きく、断層形状が単純な地域ではOFDの割合が小さい（Antoine et al., 2022^{※8}）。

地すべり面周辺の破碎部

- 地すべり起源の破碎岩にはすべり面粘土を除いて面構造が認められず、造構断層起源の破碎岩には複合面構造の面構造が認められ、面構造の有無によって破碎岩が地すべり起源であるか、造構断層起源であるのかが基本的には識別できる（Wakizaka, 2015^{※14} ; 脇坂, 2016^{※15}）。

基準 (ア) と (イ) に関する情報

- Nurminen et al. (2022) ※36は世界の地表地震断層の情報から下図のように各断層タイプの**主断層及び副断層を分類**している。
- **主断層は一般に最も地表で連続して出現した、最も変位が大きいもの**として認識される (Nurminen et al., 2022※36)。
- **副次断層** (secondary, subsidiary surface rupture) は、主な地震断層 (primary surface rupture) から**分岐または並走する断層**を指す。また、**誘発変位** (triggered slip) は、変位を生じた断層が、その周辺地域で主要なものかどうかに関わらず、地震に伴う応力変化や地震波の通過に関連して生じた変位を指し、**副次断層と一部重複**する (高橋ほか, 2020※37)。
- 詳細な調査を行っても、**変位量の大きな主断層は別として、それ以外の小さな断層を成因によって区別するのは困難なことが多い** (山崎, 2013※52)。
- 多くの報告では二次的あるいは副次的に形成される断層について、地下の主断層との連続性を露頭・トレンチ調査や物理探査により直接確認しておらず、**分岐断層と副断層の区別がされていない** (後藤, 2020※53)。
- 地質図や断面図などの地質データから、深部で主断層に直接つながっていると考えられる場合に、これらの初生的な構造に沿った副断層 (分散破壊 : distributed rupture) を分岐断層 (主要な分散破壊 : Principal distributed rupture) としている (Nurminen et al., 2022※36)。
- 確率論的断層変位ハザード解析の作成にあたり想定する断層が主断層と連続するかは重要であるため分岐断層は副断層と区別される (例えば、高尾ほか, 2013※54)。



断層タイプの概念図 (a) normal, (b) reverse, (c) strike-slip fault. Principal fault (rank 1), Primary distributed rupturing (rank 1.5), Simple distributed rupturing (rank 2), Triggered rupturing (rank 3), Bending-moment (rank 21), flexural-slip (rank 22)

Nurminen et al. (2022) ※39 <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

- 近年、地表を変位・変形させる規模の地震が発生した際に、**地震前後の光学衛星画像、高解像度DEM（航空レーザ測量データ）及び干渉SARの地表の面的な差分解析**によりその時の断層活動の影響範囲や変位・変形様式を明らかにしている。
- 近年に地表を変位・変形させる規模の地震が発生していない地域においても、**小断層、累積破壊密度分布、地下比抵抗構造**を調査する方法がある。また、**断層の成熟度、断層模型実験や数値シミュレーション**などが参考となる。
 - 跡津川断層付近の小断層を調査した結果、活動領域の地殻ひずみの4～24%が小断層によるものと見積もられている（Tamura et al., 2020^{※55}）。
 - 「ダメージゾーン」を、断層沿いのダメージゾーン（along-fault）、断層先端周辺のダメージゾーン（around-tip）、断層横断方向のダメージゾーン（cross-fault）の3つに分類した。これらの境界を累積破壊密度分布（the distribution of cumulative fracture density）を用いて定義し、断層コアからの距離による累積頻度勾配の変化に着目してダメージゾーンの境界を決定する手法を提案している（Choi et al., 2016^{※3}）。
 - 断層周辺の断層コアは透水性が低く、ダメージゾーンは透水性が高いことに着目し、山崎断層帯・琵琶甲断層を対象にAMT（audio-frequency magnetotelluric）法電磁探査を実施し、地下比抵抗構造を推定している（山口ほか, 2019^{※25}）。また、大曲断層の事例では、高比抵抗ゾーンとダメージゾーンがほぼ一致し、地質構造の分布を検討するうえでAMT探査が有効とされている（石井ほか, 2006^{※56}）。
 - 成熟度（地表トレースの不均質性；Manighetti et al. (2021)^{※6}、断層の累積変位、長さ、活動開始年代、すべり速度；Perrin et al., (2021)^{※7}）の大きさと断層の影響範囲には相関がある（Manighetti et al., 2021^{※6}；Perrin et al., 2021^{※7}；Antoine et al., 2022^{※8}）。
 - 断層模型実験に基づいた地表地震断層の出現位置・範囲の傾向から、それを評価する際には、未固結被覆層の厚さ、断層タイプ、断層の傾斜角（特に逆断層）、変位量を留意することを提案している（上田, 2022^{※57}）。
 - 数値計算などにより、実際の地表地震断層（副断層を含む）の再現を行い、SSD（shallow slip deficit）やOFD（off-fault deformation）の周辺の岩盤物性への影響を検討した事例がある（例えば, Roten et al., 2017^{※33}；Klinger et al., 2018^{※34}；澤田ほか, 2018^{※58}）。

(参考) 第二種廃棄物埋設の廃棄物埋設地に関する審査ガイド 2.1.1断層等

令和3年9月29日 原子力規制委員会 (最終改正: 令和4年4月20日) <https://www.da.nsr.go.jp/file/NR000223817/000388538.pdf>

(1) 「後期更新世以降(約12～13万年前以降)の活動が否定できない断層等」の調査・評価の方法

「後期更新世以降(約12～13万年前以降)の活動が否定できない断層等の認定」(解釈第12条1一)に関し行われた調査・評価の方法の妥当性の確認に当たっては、**敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド**(原管地発第1306191号(平成25年6月19日原子力規制委員会決定))を準用する。

(2) 「活断層の活動に伴い損傷を受けた領域」の設定の方法

「上記①の活断層の活動に伴い損傷を受けた領域」(解釈第12条1一②)が、次の**いずれか**の方法で設定されていることを確認する。

- 震源として考慮する活断層に沿って岩盤等が損傷を受けている領域の**調査結果に基づいて**設定。
- 震源として考慮する活断層の長さを評価した上で、当該断層面からその長さのおおむね100分の1以内の領域を設定。

(3) 「規模が大きい断層」の判定の方法

廃棄物埋設地において確認された断層が「上記①及び③の断層等以外のものであって規模が大きい断層」(解釈第12条1一④)として考慮する必要があるものと判定されている場合は、その判定に当たり、次のいずれかであることが確認されていることを確認する。

- 破砕帯の幅が20～30センチメートル程度を超えない。
- 累積の変位量が、おおむね廃棄物埋設地の上端から下端までの長さを超えない。

(4) 事業許可における確認の視点

・「後期更新世以降(約12～13万年前以降)の活動が否定できない断層等のうち震源として考慮する活断層」(解釈第12条1一①)及び「上記①の活断層の活動に伴い損傷を受けた領域」(解釈第12条1一②)に係る調査が事業許可申請までに適切に実施されていること並びに、それらを避けた場所に人工バリアを設置する設計となっていることを確認する。

・「後期更新世以降(約12～13万年前以降)の活動が否定できない断層等のうち地震活動に伴って永久変位が生じる断層及び変位を及ぼす地すべり面」(解釈第12条1一③)及び「上記①及び③の断層等以外のものであって規模が大きい断層」(解釈第12条1一④)については、事業許可後の廃棄物埋設地の建設段階においてそれらが廃棄物埋設地の設置場所に確認された場合の対応として、それらを避けて人工バリアを設置する方針であること及びそれが技術的に可能と見込まれることが示されていることを確認する。

(参考) 敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド①

まえがき 4. 東北地方太平洋沖地震から得られた知見の反映

・・、断層等に関する詳細調査については、より厳密かつ総合的に行う必要があるため、特に以下のような点に注意が払われている必要がある。

- ① 当該地域について、地震観測等により、どのような応力場であるかを把握しておくこと。
- ② 変動地形学的調査、地質調査、地球物理学的調査について、それぞれが独立した視点から行う調査であることを踏まえ、例えば変動地形学的調査により、断層の活動を示唆する結果が得られ、これを他の調査で否定できない場合には、活動性を否定できないこと等を念頭に評価を進めること。
- ③ 後期更新世（約 12 ～ 13 万年前）の地形面又は地層が欠如する場合には、更に古い年代の地形面や地層の変形等を総合的に検討すること。

I. 地質・地質構造、地下構造及び地盤等に関する調査・評価 2. 将来活動する可能性のある断層等の認定 2.1 基本方針

- (1) 「将来活動する可能性のある断層等」は、後期更新世以降（約 12 ～ 13 万年前以降）の活動が否定できないものとする。
- (2) その認定に当たって、後期更新世（約 12 ～ 13 万年前）の地形面又は地層が欠如する等、後期更新世以降の活動性が明確に判断できない場合には、中期更新世以降（約 40 万年前以降）まで遡って地形、地質・地質構造及び応力場等を総合的に検討した上で活動性を評価すること。
- (3) なお、活動性の評価に当たって、設置面での確認が困難な場合には、当該断層の延長部で確認される断層等の性状等により、安全側に判断する必要がある。
- (4) また、「将来活動する可能性のある断層等」には、震源として考慮する活断層のほか、地震活動に伴って永久変位が生じる断層に加え、支持地盤まで変位及び変形が及ぶ地すべり面が含まれる。
- (5) 「震源として考慮する活断層」とは、地下深部の地震発生層から地表付近まで破壊し、地震動による施設への影響を検討する必要があるものをいう。

【解説】(5)は次頁

- (1) 約 12 ～ 13 万年前以降の複数の地形面又は連続的な地層が十分に存在する場合は、これらの地形面又は地層にずれや変形が認められないことを明確な証拠により示されたとき、後期更新世以降の活動を否定できる。なお、この判断をより明確なものとするため、活動性を評価した年代より古い（中期更新世（約 40 万年前）までの）地形面や地層にずれや変形が生じていないことが念のため調査されていることが重要である。
- (2) 約 12 ～ 13 万年前の地形面又は地層が十分に存在しない場合には、より古い（中期更新世（約 40 万年前）まで）地形面又は地層にずれや変形が認められないことを明確な証拠により示されたとき、後期更新世以降の活動を否定できる。
- (3) 約 40 万年前から約 12 ～ 13 万年前までの間の地形面又は地層にずれや変形が認められる場合において、約 12 ～ 13 万年以降の地形面又は地層にずれや変形が確認されない場合は、調査位置や手法が不適切である可能性が高いため、追加調査の実施も念頭に調査結果について詳細に検討する必要がある。その際、地表付近の痕跡等とその起因となる地下深部の震源断層の活動時期は常に同時ではなく、走向や傾斜は必ずしも一致しないことに留意する。
- (4) 新設の場合には、敷地及び敷地の極近傍における将来活動する可能性のある断層等の活動性評価において、造成工事前の上載層がある段階で、詳細な調査が行われていることが重要である。これは、活動性の低い断層等の活動性評価を行うことが多く、活動年代が問題となるためである。

(参考) 敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド②

(前頁からのつづき) (5) 地震活動に伴って永久変位が生じる断層及び支持地盤まで変位及び変形が及ぶ地すべり面の認定に当たっては、上記のほか、以下の点に留意する。

- ① 地震活動に伴って永久変位が生じる断層と、支持地盤まで変位及び変形が及ぶ地すべり面とは、露頭では、区別が困難な場合がある。
- ② 地震活動に伴って永久変位が生じる断層及び支持地盤まで変位及び変形が及ぶ地すべり面は、地震活動と常に同時に活動するとは限らない。このことを踏まえ、安易に、将来活動する可能性を否定してはならない。
- ③ 上記のような断層等は、様々な構造を呈することがある。例えば、一つの地すべり面においても、場所により、正断層、横ずれ断層、逆断層と似た形態を呈することがある。

2. 将来活動する可能性のある断層等の認定 2.2 将来活動する可能性のある断層等の活動性評価

将来活動する可能性のある断層等の活動性評価に当たっては、以下の各項目が満足されていることを確認する。

- (1) 将来活動する可能性のある断層等の認定においては、調査結果の精度や信頼性を考慮した安全側の判断が行われていることを確認する。その根拠となる**地形面の変位・変形は変動地形学的調査**により、**地層の変位・変形は地表地質調査及び地球物理学的調査**により、それぞれ認定されていることを確認する。
- (2) 将来活動する可能性のある断層等が疑われる地表付近の痕跡や累積的な地殻変動が疑われる地形については、**個別の痕跡等のみにとらわれることなく、その起因となる地下深部の震源断層を想定して調査が実施されていることを確認**する。また、それらの調査結果や地形発達過程及び地質構造等を総合的に検討して評価が行われていることを確認する。その際、地表付近の痕跡等とその起因となる地下深部の震源断層の活動時期は常に同時ではなく、走向や傾斜は必ずしも一致しないことに留意する。
- (3) 地球物理学的調査によって推定される**地下の断層の位置や形状**は、変動地形学的調査及び地質調査によって想定される**地表の断層等や広域的な変位・変形の特徴と矛盾のない位置及び形状**として説明が可能なことを確認する。
- (4) 将来活動する可能性のある断層等の認定においては、一貫した認定の考え方により、適切な判断が行われていることを確認する。
- (5) 将来活動する可能性のある断層等の認定においては、認定の考え方、認定した根拠及びその信頼性等が示されていることを確認する。

〔解説〕(2) のつづき以降は次頁へ

- (1) **後期更新世以降の活動性評価**には、この時代の**段丘面や地層の変位・変形に注目する方法が一般的**である。中でも、**酸素同位体ステージ5e に対応づけられる中位段丘面や地層**は分布及び保存が良好であることから有効である。利用可能な火山灰も多いため、比較的精度の高い年代評価に基づいた断層等の活動性評価が実施されている。
- (2) **中期更新世以降の断層等の評価**には、この時代の**地形面や地層の変位・変形に注目することが一般的**である。中でも酸素同位体ステージ7、9、11 の温暖期（高海水準期）に対応づけられる段丘面や地層の利用が有効である。当該段丘面や地層の形成年代については、阿多鳥浜テフラ（23 万年前～25 万年前※）や加久藤テフラ（約30 万年前※）といった火山灰を利用する方法や、微化石分析（花粉、珪藻、有孔虫、貝形虫など）や化学分析から古環境変遷を明らかにし、上記の温暖期（高海水準期）と対応づける方法等がある。

(※町田洋・新井房夫、2003：新編 火山灰アトラス-日本列島とその周辺-、東京大学出版会、336p。)

(参考) 敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド③

前頁のつづき（（２）のつづき） 他方、対象年代が古いことから、下記の課題もある。

① 高位段丘面の浸食（特に断層付近の隆起側等）② 高位段丘堆積物の浸食・風化（火山灰や離水時期を示す堆積物等の対比基準の消失）③ 分析対象の変質・消失（微化石の化学的溶解や化学物質の変質等）

また、中期更新世を対象とした年代評価には以下のような技術的課題があることを踏まえ、その適用限界や結果の精度に留意する必要がある。

① 放射性年代測定手法の適用年代範囲の限界と測定誤差（炭素同位体年代測定、フィッション・トラック法 等）② 中期更新世の広域テフラに関する情報の不足（噴出源と分布の関係、物理・化学的性質、年代 等）

（３）将来活動する可能性のある断層等の認定に当たっては、各調査手法には適用限界があり、すべての調査方法で断層等が確認されるとは限らないことに注意し、いずれかの調査手法によって、それらの断層等が存在する可能性が推定される場合は、調査手法の特性及び調査結果を総合的に検討する必要がある。

（４）基盤岩からなる山地内の河谷屈曲等が発達する場所及び海食台等侵食作用が卓越する場所等においては、堆積物の年代により断層運動の時代を特定できない場合でも活断層の存在する可能性について総合的に検討する必要がある。

（５）顕著な海岸隆起によって累積的な変位が認められる地域では、弾性波探査によって断層が確認されない場合でも、これをもって直ちに活断層の存在を否定せず、累積的な変位を説明する適切な地殻変動を検討する必要がある。また、海底に顕著な変動地形が認められる場合にも、それを合理的に説明できる活断層を想定する必要がある。

（６）地層が局所的に急傾斜している場所については、その地下の比較的浅いところに活断層が存在する可能性を検討する必要がある。また、広域的な隆起等の変動についての要因を活断層によらないものと判断する際には、その理由を明確にする必要がある。

（７）厚い沖積層が分布する地域及び個々の変動地形が短い又は不明瞭な地域等のように、活断層を見つけ出すことが困難な特性を持つ地域においては、そのことを念頭においた慎重な検討を行う必要がある。

【参考】審査においては、地震調査研究推進本部の『「活断層の長期評価手法」報告書（暫定版）』（平成22年11月）に記載された下記の評価の考え方も参考にする。

① 「最近の地質時代」について、地表付近の形態は、主として段丘面上での活動の痕跡等から認定できること、高位段丘面の年代は、地域等により異なるが、最終間氷期（酸素同位体ステージ5）より前の間氷期（酸素同位体ステージ7、9、11）と対応づけられることが多いことから、約40万年程度を目安とする。

② 上記の目安について、現在の地殻変動様式や応力場がどれくらい前から継続しているかが、活断層を定義する上で重要であることから、地質学的にごく最近の時代（例えば最終間氷期以降）の活動の痕跡が認められないことや、高位段丘面や第四紀前半の地層に累積的な変位がないことのみをもって活断層ではないと評価するのではなく、広域的な応力場の状況等も含めた検討を行う必要がある。

③ 第四紀に活動したが、将来活動する可能性は極めて低い断層もあり、これらの断層と活断層は地形的に区別がつきにくい場合もある。活断層と見なさない断層としては、岡田・東郷編（2000）にあるように、①第四紀前期の地層を切っているが、最近数十万年程度の地形面や地層を変位させていないもの、②火山地域などに多くみられる、ある時期（たとえば噴火期間）に動き、それ以降では全く活動していないもの、③日本アルプスの稜線付近にみられるような短い正断層で、山頂上部の重力性のずれによって生じたと考えられるものがある。

(参考) 敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド④

I. 地質・地質構造、地下構造及び地盤等に関する調査・評価

3.敷地内及び敷地極近傍における地盤の変位に関する調査 3.2 敷地内及び敷地極近傍の調査

(1) 敷地内及び敷地極近傍の調査は、「4.1.2 断層等の調査手法」、「4.2 内陸地殻内地震に係る調査」及び「6. 敷地及び敷地周辺の地盤及び周辺斜面に関する調査」に基づいて確認する。

(2) 施設に与える影響を正確に評価するための十分な調査密度や精度が保たれていることを確認する。

〔解説〕

(1) 敷地内及び敷地極近傍においては、地盤のずれによる被害が大きな問題となるため、震源として考慮する活断層のほか、地震活動に伴って永久変位が生じる断層に加え、支持地盤まで変位及び変形が及ぶ地すべり面を対象とする。

(2) 逆断層では、例えば、断層の変位に伴って、上盤側に局所的な引張場が形成され別の正断層が形成される場合があること、断層とは傾斜が反対の別の逆断層（バックスラスト）が形成される場合があること、これらの断層が活動して永久変位を起こすことがあることに留意する。

(3) 伏在逆断層によって生じた断層関連褶曲に伴って、断層等が活動して永久変位を起こすことがあることに留意する。

(4) 横ずれ断層では、例えば着目する亀裂等が横ずれ断層に伴うフラワー構造の一部である可能性に留意する。

(5) 地すべり面は、冠頂部で正断層、側方部で横ずれ断層、末端部で逆断層と似た様相を呈することがある。

4.震源断層に係る調査及び評価 4.1共通事項 4.1.2 断層等の調査手法

4.1.2.1既存文献の調査

4.1.2.2変動地形学的調査

4.1.2.3地質調査

4.1.2.4地球物理学的調査

- **活褶曲、活撓曲などの地下深部には活断層が存在する可能性がある。**

➤地震活動に関連した活褶曲や活撓曲等については、活断層と同様に調査対象とし、その性状に応じて震源として想定する断層の評価に考慮されていることを確認する。

敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド（原子力規制委員会, 2013）

I. 地質・地質構造、地下構造及び地盤等に関する調査・評価

4. 震源断層に係る調査及び評価 4.4 震源断層の評価 4.4.2 内陸地殻内地震に関する震源断層の評価(4)

- **活断層データベース**※59

➤よくある質問 <https://gbank.gsj.jp/activefault/question.html#dansouiti>

Q.活断層の位置はどの程度正確にわかっているのですか？

A. 発掘調査などの調査が非常によく進んでいる活断層については、数メートルの単位で活断層の位置を特定できるものもありますが、地形のみから推定されている活断層の位置については、数十メートルかそれ以上の誤差がある場合があります。

(参考) スケールごとの地質環境モデルにおける断層の考え方と地下施設設計での取り扱い

追加

- 「長さ10km以上」を目安とした規模が大きい断層と同様に、包括的技術報告書の広域スケールの地質環境モデルにおいても、長さ10km以上の断層を除外としている。

➤包括的技術報告書
(NUMO, 2021) 第
4章付属書 4-48 ※60
地下施設のレイアウト
の設計における断層の
考え方 より

断層の長さ：地表や坑道壁
面などにおいて観察される断
層・割れ目のトレス長（第3
章 3.3.3 地下深部の特徴
を考慮した地質環境モデルの
構築 (3) 地質構造モデル
および水理地質構造モデルの
構築の考え方）

断層，割れ目の分類	地質環境モデルの構築における考え方 (3.3.3 項 (3) (i) (a) 参照)	地下施設の設計での取り扱い
長さ 10 km 以上の断層	・ 活断層の可能性がある断層と想定する。 ・ 文献調査から精密調査の前半までの段階で除外する断層として扱う。 ・ 広域スケールの地質構造モデルで記載するが，処分場スケールの領域からは除外するように扱う。	・ 左記の対応により，地下施設レイアウトの検討では対象とならない。
長さ 1～10 km の断層	・ 文献調査から精密調査の前半までの段階でその位置や構造のおよび水理学的な特徴を概ね把握できる断層。 ・ 広域スケールおよび処分場スケールの地質環境モデルにその分布が記載される断層。	・ 異常出水などにより掘削に支障を生じる可能性があるため，断層が分布する領域に処分坑道を配置しない。 ・ レイアウト決定特性（LDF）に設定する。
長さ 1 km 未満の断層	・ 母岩中に普遍的に分布しているため，概要調査および精密調査の段階において，すべてを検出することは現実的ではなく，その性状の把握や統計量の算出を目的とした調査・評価を行うこととなる。 ・ パネルスケールの地質環境モデルで記載される断層。	・ 処分区画の設置領域に分布することを許容して扱う。湧水対策の観点から処分坑道または処分孔の掘削，緩衝材などの施工に支障が生じる可能性がある場合には，分布箇所に廃棄体を定置しない。 ・ 定置位置決定特性（EDF）に設定する。

<https://scct.numo.or.jp/GeoCom2/faces/content/content10003013/content.xhtml>

(参考)「人工バリアは、・・建設・施工時において、・・当該断層等を避けて設置する」例

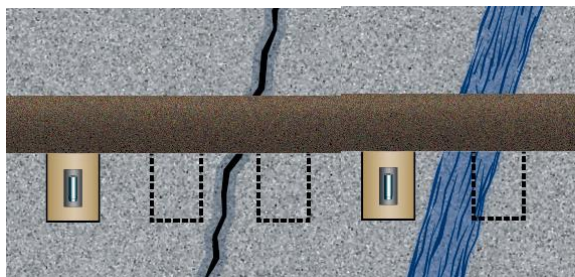
①中深度処分の規則の解釈 (文献1)

(略)・・・人工バリアは、廃棄物埋設地の**建設・施工時において**・・・、当該断層等を避けて設置するとの方針としていること。

文献1) 地層処分において安全確保上少なくとも考慮されるべき事項に関する検討 (第5回目) - 考慮事項案 - 「参考5」

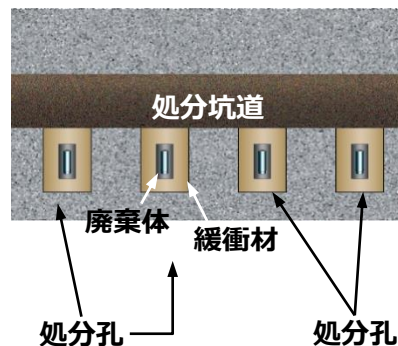
<https://www.nsr.go.jp/data/000393021.pdf>

● 廃棄体、緩衝材の配置により避ける例



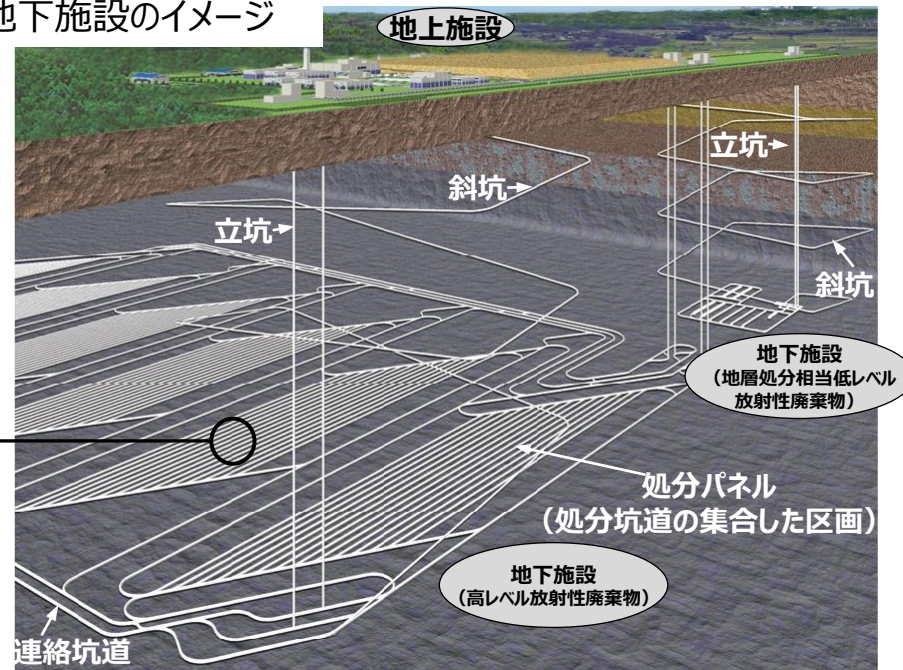
小規模な地下水を通しやすい断層

割れ目帯など



地層処分 安全確保の考え方
(NUMO, 2018) p.24より

● 地下施設のイメージ



● 諸外国の考え方の例：SKB(2011) ※61

➢ 以下のような亀裂が交差する処分孔は使用しない。

✓ 処分孔内の廃棄体位置を横切る（亀裂の透水性が高い場合は、処分孔の廃棄体以外の位置を横切る場合も含む）。

かつ

✓ 処分坑道の全周を交差する。

SKB(2011) Long-term safety for the final repository for spent fuel at Forsmark

Main report of the SR-Site project Vol. I

5.2 Site adapted repository—the underground openings-

5.2.2 Repository design and resulting layout Fig.5-4 より

Ⅱの1. の参考資料の引用文献 (簡易表記)

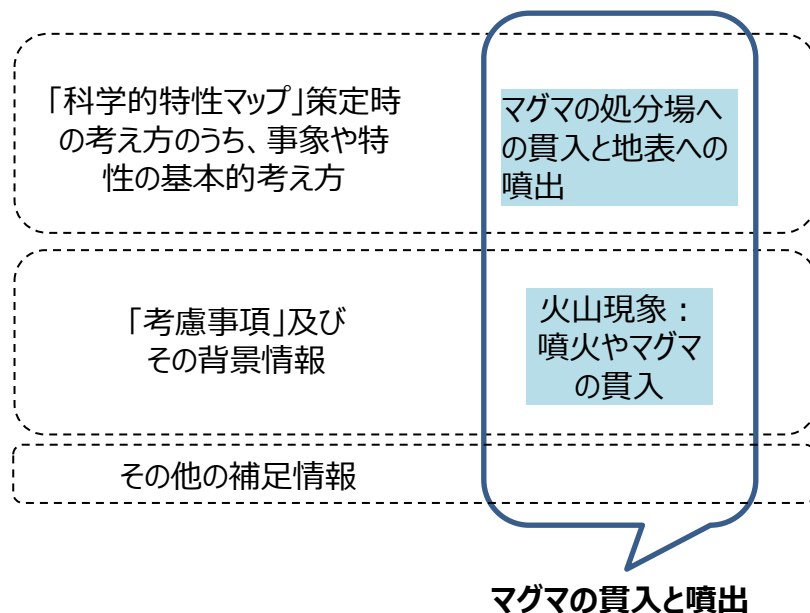
1. Torabi et al. (2019) *Geofluids*, vol. 2019, doi : 10.1155/2019/2918673.
2. Fossen (2016) *Structural Geology*. Second Edition, Cambridge University Press.
3. Choi et al. (2016) *Earth-Science Reviews*, 152, pp.70-87.
4. Faulkner et al. (2010) *Journal of Structural Geology*, 32, pp.1557-1575.
5. Bense et al. (2013) *Earth-Science Reviews*, 127, pp.171-192.
6. Manighetti et al. (2021) *Geophysical Research Letters*, 48, e2021GL095372, doi : 10.1029/2021GL095372.
7. Perrin et al. (2021) *Journal of Geophysical Research : Solid Earth*, 126, e2020JB020447, doi : 10.1029/2020JB020447.
8. Antoine et al. (2022) *Journal of Geophysical Research : Solid Earth*, 127, e2022JB024480, doi : 10.1029/2022JB024480.
9. Mizoguchi et al. (2008) *Journal of Structural Geology*, 30, 4, pp.513-524.
10. Niwa et al. (2009) *Island Arc*, 18, pp.577-598.
11. Torabi et al. (2021) *Marine and petroleum Geology*, 133, 105297, doi : 10.1016/j.marpetgeo.2021.105297.
12. 丸山 (1996) 地すべり, 第33巻, 第1号, pp.35-43.
13. 山根ほか (2015) 応用地質, 第56巻, 第3号, pp.94-104.
14. Wakizaka (2015) 10th Asian Regional Conference of IAEG, pp.1-8.
15. 脇坂 (2016) 地すべり, Vol.53, No.4, pp.152-155.
16. Rodriguez Padilla et al. (2022) *Nature Geoscience*, 15, pp.222-226.
17. 重松ほか (2018) 地質学雑誌, 第124巻, 第9号, pp.759-775.
18. Scholz (2002) *The Mechanics of Earthquakes and Faulting*, Cambridge University Press.
19. 吉田ほか (2009) 応用地質, 第50巻, 第1号, pp.16-28.
20. Heynekamp et al. (1999) Haneberg et al.(Eds.) : *Faults and Subsurface Fluid Flow in the Shallow Crust*, American Geophysical Union, Vol.113 of *Geophysical Monograph Series*, pp.27-49.
21. 緒方・本荘 (1981) 応用地質, 22巻, 1号, pp.67-87.
22. 狩野・村田 (1999) 構造地質学, 朝倉書店.
23. 相山・金折 (2019) 地質学雑誌, 第125号, 第7号, pp.555-570.
24. 丹羽ほか (2008) 地質学雑誌, 第114巻, 第10号, pp. 495-515.
25. 山口ほか (2019) 地質学雑誌, 第125巻, 第2号, pp.137-151.
26. Fujiwara et al. (2016) *Earth, Planets and Space*, 68:160, doi : 10.1186/s40623-016-0534-x.
27. 遠田・石村 (2019) 第四紀研究, 58 (2), pp.121-136.
28. 高橋・遠田 (2022) 活断層研究, 56号, pp.1-12.
29. Barnhart et al. (2019) *Remote Sensing*, 11, 1357, doi : 10.3390/rs11111357
30. Kuo et al. (2019) *Seismological Research Letters*, 90 (1), pp.97-107.
31. 品川ほか (2013) 応用地質, 第53巻, 第6号, pp.271-281.
32. Howell et al. (2020) *Journal of Geophysical Research : Solid Earth*, 125, doi : 10.1029/2019JB018739.
33. Roten et al. (2017) *Geophysical Research Letters*, 44, pp.7733-7742.
34. Klinger et al. (2018) *Geophysical Research Letters*, 45, pp.10,279-10,287.
35. Antoine et al. (2021) *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol.111, no.5, pp.2275-2302.
36. Nurminen et al. (2022) *Sci Data* 9, 729, doi : 10.1038/s41597-022-01835-z.
37. 高橋ほか (2020) 活断層研究, 53号, pp.51-65.
38. Toda et al. (2016) *Earth, Planets and Space*, 68:188, doi : 10.1186/s40623-016-0560-8.
39. Boncio et al. (2018) *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18, pp.241-256.
40. Zhang et al. (2013) *Engineering Geology*, 166, pp.245-254.
41. Ishimura et al. (2021) *Earth, Planets and Space*, 73:39, doi : 10.1186/s40623-021-01371-x.
42. Bilham and Castillo (2020) *Seismological Research Letter*, 91, pp.707-720.
43. Mitchell and Faulkner (2009) *Journal of Structural Geology*, 31, 8, pp.802-816.
44. Niwa et al. (2011) *Engineering Geology*, 119, 1-2, pp.31-50.
45. Yoshida et al. (2014) *Engineering Geology*, 177, pp.93-103.
46. Mitchell et al. (2011) *Earth and Planetary Science Letters*, 308, 3-4, pp.284-297.
47. Fialko et al. (2005) *Nature*, 435, pp.295-299.
48. Takagi et al. (2012) *Journal of Structural Geology*, 35, pp.64-77.
49. Ikeda et al. (2013) *Tectonophysics*, 601, pp.78-86.
50. Ishii et al. (2010) *Journal of Structural Geology*, 32, 11, pp.1792-1805.
51. Dolan and Haravitch (2014) *Earth and Planetary Science Letters* 388, pp.38-47.
52. 山崎 (2013) 日本原子力学会誌, Vol.55, No.6, pp.322-325.
53. 後藤ほか (2020) JAEA-Review 2020-003.
54. 高尾ほか (2013) 日本地震工学会論文集, 第13巻, 第1号, pp.17-36.
55. Tamura et al. (2020) *Earth, Planets and Space*, 72:7, doi : 10.1186/s40623-020-1132-5.
56. 石井ほか (2006) 地質学雑誌, 第112巻, 第5号, pp.301-314.
57. 上田 (2022) 電力土木, No.420, pp.3-8.
58. 澤田ほか (2018) 土木学会論文集A2(応用力学), Vol.74, No.2, I_627-I_638.
59. 産業総合技術研究所 : 活断層データベース, <https://gbank.gsj.jp/activefault/>, 2023年3月9日閲覧.
60. NUMO (2021) 包括的技術報告書 付属書4-48.
61. SKB (2011) Long-term safety for the final repository for spent fuel at Forsmark Main report of the SR-Site project Vol. I , TR-11-01.

2. マグマの 貫入と噴出

- 具体的判断事項の抽出
- 基準案
- 基準への該当性への確認の仕方の基となる資料
- 確認の仕方案

● 最終処分法 第六条（概要調査地区の選定）第二項

- 一 当該文献調査対象地区において、地震等の自然現象による地層の著しい変動の記録がないこと。
- 二 同地区において、将来にわたって、地震等の自然現象による地層の著しい変動が生ずるおそれが少ないと見込まれること。



※火山現象のうち、ここでは「地層の著しい変動」としてマグマの貫入と噴出について扱っている。

「著しい変動」に当たらず非常に古い過去の火山活動により生じた火山岩については、Ⅲ章その他の評価の「3. 技術的観点からの検討」のうち「地層や岩体、断層などの分布といた地下の状況のとりまとめ」において取り扱う。

他の火山現象である火砕流は地表の現象であり、最終処分を行おうとする「地層の」著しい変動には当たらないため、ここでは扱わない。



● 具体的判断事項の抽出

修正

- 「科学的特性マップ」の「好ましくない範囲」など、「考慮事項」及び背景情報、その他の補足情報から、**具体的判断事項である赤字部分を抽出**する。
※「記録がある」の確認は、「おそれが多いと見込まれる」の確認も兼ねる。

	記録がある	おそれが多いと見込まれる	
➤ 「科学的特性マップ」策定時の考え方のうち、事象や特性の基本的考え方 ■ 「好ましくない範囲」 □ 現象の考え方など	半径15kmを超える場合についての カルデラ 内	個別の火山によるリスクはそれぞれ異なるものの、第四紀火山から半径15km以内	
➤ 「考慮事項」及びその背景情報 ■ 「考慮事項」 □ 中深度処分の規制基準などの背景情報	① マグマの貫入による人工バリアの破壊が生ずるような第四紀（現在から約258万年前まで）における 火山活動に係る火道、岩脈等の履歴 が存在する場所	② 第四紀に活動した火山の活動中心からおおむね15キロメートル以内 の場所	③ 第四紀に活動した火山が存在しない場所であっても、 新たな火山が生じる 可能性のある場所。ここで、プレートの特性や運動と深い関係があるマグマの発生傾向は今後10万年程度の間に大きく変化することは想定し難いことを考慮した上で、新たな火山が生じる可能性について検討すること。
➤ その他の補足情報			修正箇所

● 基準案

修正

● 最終処分法 第六条（概要調査地区の選定）第二項

一号 当該文献調査対象地区において、地震等の自然現象による地層の著しい変動の記録がないこと。

二号 当該文献調査対象地区において、将来にわたって、地震等の自然現象による地層の著しい変動が生ずるおそれが少ないと見込まれること。

- 一号及び二号に対して、以下に該当することが**明らか**または**可能性が高い**場所を避ける。

（ア）マグマの貫入等（注）による人工バリアの破壊が生ずるような第四紀（現在から約258万年前まで）における火山活動に係る火道、岩脈、カルデラ等の履歴が存在する。

（注）マグマの貫入を伴わない水蒸気噴火

- 二号に対して、以下に該当することが**明らか**または**可能性が高い**場所を避ける。

（イ）第四紀に活動した火山の活動中心からおおむね15キロメートル以内。

（ウ）第四紀に活動した火山が存在しない場所であっても、新たな火山が生じる。

修正箇所

● 基準への該当性の確認の仕方の基となる資料

修正

マグマの貫入による人工バリアの破壊が生ずるような第四紀（現在から約258万年前まで）における火山活動に係る火道、岩脈、カルデラ等の履歴

第四紀に活動した火山の活動中心

第四紀の火山活動

新たな火山

➤「科学的特性マップ」策定時の考え方のうち、事象や特性の基本的考え方

✓「日本の火山 第3版」では、火山の中心の位置は示されておらず、火山を代表する位置（最高標高点等）が示されている。
✓・・・「日本の第四紀火山カタログ」・・・においては、多くの火山について主火道の位置等の情報をもとに火山中心の位置を評価・特定している・・・

✓「日本の火山 第3版」
✓「日本の第四紀火山カタログ」

✓・・・将来、その条件が発生する可能性があるか否かについて、マントル物質の対流モデル等を加えて新たな評価モデルを構築することが望ましい。
✓地殻熱流量、地震波トモグラフィ、MT 法電磁探査、ヘリウム同位体比などの観測データなどを用いる方法も考えられる。

第二種廃棄物埋設の廃棄物埋設地に関する審査ガイド 2.1.1火山

➤「考慮事項」及びその背景情報

原子力発電所の火山影響評価ガイド 3.2地形・地質調査及び火山学的調査

✓火道、岩脈等の分布が調査された上で地表における当該分布の幾何学的な中心位置

✓活動履歴がある火山から一定距離離すことを求めたものであり、「おおむね15キロメートル以内」は「日本の第四紀火山カタログ」に示された第四紀火山の中心および個別火山体の分布などを参考としている。

✓・・・新たな火山の発生の蓋然性を評価する場合には、・・・研究段階であり、現時点においては確立された評価方法は見当たらない。
✓沈み込み帯では、基本的に、マントルウェッジ内の高温部の上昇と水の供給による融点低下という状況が整った場合に、マグマが発生するとされている

➤その他の補足情報

✓日本の火山DB「第四紀火山」においては、「第四紀」の活動を取り消されたものがある。

✓・・・地球物理学的手法と地球化学的手法を組み合わせた統合アプローチが、非火山地域で将来の火山活動を引き起こす可能性がある地殻のマグマ貯留の検出に役立つ・・・

第四紀の火山活動

- 地質図等の資料に記載される火山噴出物の年代測定データ及び層序等に基づいて、第四紀火山及びその活動に伴う噴出物であることを確認する。

マグマの貫入等による人工バリアの破壊が生ずるような第四紀（現在から約258万年前まで）における火山活動に係る火道、岩脈、カルデラ等の履歴

- 第四紀にマグマが噴出・貫入した場所や水蒸気噴火が生じた場所を直接的に示すものとして、**地質の観点**から火道、貫入岩、岩脈、シル及びそれらを指すもの※1、**地形の観点**からカルデラ、火口及びそれらを指すもの※2を対象とする。

※1 個別の文献によって、岩床、フィダーダイク等と記載されている場合がある。

※2 個別の文献によって、爆裂火口、火口列等と記載されている場合がある。

第四紀に活動した火山の活動中心

修正箇所

- 「日本の第四紀火山カタログ」※3などに示される位置を目安とし、既報の火道・火口等の位置との整合性等により妥当性を確認の上、活動中心を定める。
- 活動中心とする妥当性が十分に得られない場合は、概要調査段階以降に判断する。

※3 第四紀火山カタログ委員会編（1999）日本の第四紀火山カタログ、日本火山学会。

基準（イ）は活動履歴がある火山から一定距離離すことを求めたものであり、「おおむね15 キロメートル以内」は「日本の第四紀火山カタログ」に示された第四紀火山の中心および個別火山体の分布などを参考としている(NRA技術ノート)。

(参考) 第四紀の火山活動、貫入、噴出

● 第四紀の活動による火山噴出物の確認の仕方

- 「日本の第四紀火山カタログ」及び「日本の火山 第3版」において第四紀火山であることが認定されており、その火山噴出物の年代測定及び層序に基づいて、活動時期が第四紀に及ぶことが確認できる。
- 第四紀火山であることが認定されていない火山に由来する火山噴出物、または給源とする火山が明らかでない火山噴出物については、その年代測定及び層序等に基づいて、第四紀に噴出したことが確認できる。

以下の両者に該当する場合、「明らかまたは可能性が高い」とする。

- 対象とする地層（火山噴出物）において、年代測定値が文献により示されており、第四紀に噴出したことに対して相反する見解※1が認められない。
- 対象とする地層（火山噴出物）の噴出時期が第四紀であることが、明確な根拠※2に基づく層序により示されており、これに相反する見解が認められない。

※1 既往の文献による指摘、データ及びNUMOによる推定を含む

※2 例えば、対象とする地層（火山噴出物）やその上位層、下位層の形成年代

● 地質の観点から第四紀に貫入、噴出したと判断するもの

- 第四紀に形成された地層に貫入したことを示す火道、岩脈等
- 年代測定値に基づいて、第四紀に噴出したことが確認できる火道、岩脈等

以下のいずれかに該当する場合、「明らかまたは可能性が高い」とする。

- 第四紀に形成された地層に貫入した火山噴出物であることが、明確な根拠※1に基づいて示されており、これに相反する見解※2が認められない。
- 対象とする地層（火山噴出物）において、年代測定値が示されており、第四紀に貫入あるいは噴出したことに対して相反する見解※2が認められない。

※1 例えば、母岩の形成年代に関する年代測定データ、貫入に伴い母岩との接触部で観察される特徴等の記載

※2 既往の文献による指摘、データ及びNUMOによる推定を含む（例えば、被覆する地層がある場合はその形成時代・年代）。

● 地形の観点から第四紀に貫入、噴出したと判断するもの

- 第四紀の火山噴出物の分布域に位置する火口等
- 第四紀の火山活動により形成されたことが確認できるカルデラ

以下のいずれかに該当する場合、「明らかまたは可能性が高い」とする。

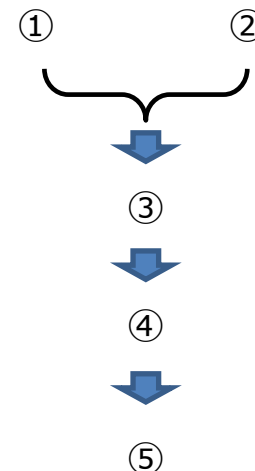
- 火山地形の観点に基づいて示されていることが確認できる※1。
- 第四紀に形成されたカルデラであることが、明確な根拠※2に基づいて示されており、これに相反する見解※3が認められない。

※1 地形判読に基づく火山地形のほか、「日本の火山 第3版」に示されるカルデラリム（「基本的に直径5 km以上のカルデラ地形のみを示した」と記載されている）

※2 例えば、カルデラ周辺における火山活動履歴

※3 既往の文献による指摘、データ及びNUMOによる推定を含む

- ① 「日本の第四紀火山カタログ」及び「日本の火山 第3版」に示される位置※¹を目安とし、調査で収集・整理した情報に基づき、活動中心の位置としての妥当性を確認する。例えば、既報の火道・火口との整合性を確認する。妥当性が乏しいと考えられる場合には、改めて、妥当性のある活動中心の位置を検討する。
- ② 「日本の第四紀火山カタログ」及び「日本の火山 第3版」に示されていない場合についても、調査で収集・整理した情報に基づき、上記と同様にして、妥当性のある活動中心の位置を検討する。
- ③ さらに、基準（ア）の履歴が（イ）の範囲に収まることを確認する。（イ）の範囲に収まらない履歴が確認された場合は、岩脈発達方向性、活動期の区分や活動場の変遷など※²を考慮して避けるべき範囲を評価する。
- ④ ①～③の評価に十分な情報が得られない際には、概要調査以降の調査で避けるべき範囲を判断する。
- ⑤ また、活動中心を定めるにあたり、文献～概要調査を通じ、科学的に十分な根拠が得られない場合には、火道、岩脈等の履歴に基づく幾何学的な中心も考慮して定める。



※¹ 国内の火山については、「日本の火山」（a）により取りまとめられて以降、火山区分の統合や再定義などを経て、「第四紀火山カタログ」（b）や「日本の火山（第3版）」（c）として取りまとめられている。

（a）一色直記，松井和典，小野晃司（1968）日本の火山，200万分の1地質編集図，11，地質調査所

（b）第四紀火山カタログ委員会編（1999）日本の第四紀火山カタログ，日本火山学会。

（c）中野 俊，西来邦章，宝田晋治，星住英夫，石塚吉浩，伊藤順一，川辺禎久，及川輝樹，古川竜太，下司信夫，石塚 治，山元孝広，岸本清行（2013）日本の火山（第3版），200万分の1地質編集図，11，産業技術総合研究所地質調査総合センター。

※² 例えば，地形的観点に基づく山体の区分，火山噴出物の層厚

新たな火山が生じる

- プレートの特性や運動と深い関係があるマグマの発生の傾向は今後10 万年程度の間大きく変化することは想定し難いことを考慮した上で、火山の発生メカニズムに関する地域性の観点から、現在マグマの発生条件が成立していることが否定できない場合、以下を行う。
- **現在**、文献調査対象地区下の地殻及びマントル最上部に**メルトが存在する可能性**を地球物理学的、地球化学的な観測データ※¹を用いて評価する。

※¹ 例えば、地殻熱流量，地震波速度構造，比抵抗構造，ヘリウム同位体比，低周波地震，地震波減衰構造の観測データ

- ✓ 将来、より深部から地殻にメルトが貫入する可能性については、「現時点においてマグマの発生条件の成立を否定できない地域について、新たな火山の発生の蓋然性を評価する場合には、マントルウェッジの対流や沈み込む海洋プレートの特性等を加味した評価モデル等の構築によって評価することが考えられるが、研究段階であり、現時点においては確立された評価方法は見当たらない」※²とされていることから、関連する情報※³を整理しておく。

※² 地層処分において安全確保上少なくとも考慮されるべき事項に関する検討（第3回目）－火山の専門家への意見聴取結果－
令和4年5月18日 原子力規制庁

※³ 例えば、マントルウェッジにおける脱水・溶融の数値シミュレーションや現在の高温域・流体分布に係る不均質構造などが挙げられる。

- **火山地域と同様に、以下の特徴がそれぞれの観点で認められ、それらの場所が概ね整合的※¹であり、これに相反する見解※²が認められない場合、可能性が高い※³とする。**

- 地下温度構造に関する情報※⁴より、周囲に比べて高温の領域であることを示唆する特徴（例えば、高温を示すデータのピークが位置する）が複数種の情報に認められること。さらに、その位置が概ね整合的であり、これに相反する見解が認められないこと。
- 地下水等の化学特性に関する情報※⁵より、マントル起源流体の供給を示唆する特徴（例えば、火山地域と同等の値が観測されている）が複数種の情報に認められること。さらに、その位置が概ね整合的であり、これに相反する見解が認められないこと。
- 地下深部の物性分布に関する情報※⁶より、流体の存在を示唆する特徴（例えば、顕著な地震波低速度体が認められる）が複数種の情報に認められること。さらに、その位置が概ね整合的であり、これに相反する見解が認められないこと。

※¹ 既往の推定事例として、例えば、Umeda（2009）が挙げられる。

※² 既往の文献による指摘及びNUMOによる推定を含む。

※³ 将来の変動に関する推定であること、定性的な推定を含むことから、その可能性が「明らか」とは言えない。

※⁴ 例えば、地殻熱流量（田中ほか、2004）、キュリー点深度（大久保、1984）、地震発生層の下面深度（長谷川ほか、2004）。

※⁵ 例えば、ヘリウム同位体比（森川ほか、2019）、Li/Cl（風早ほか、2015）。

※⁶ 例えば、低周波地震（長谷川・中島、2022）、地震波速度構造、地震波減衰構造、比抵抗構造（中島、2016）

● Umeda (2009)

An Integrated Approach for Detecting Latent Magmatic Activity beneath Non-volcanic Regions: An Example from the Crystalline Iide Mountains, Northeast Japan, Stability and Buffering Capacity of the Geosphere for Long-term Isolation of Radioactive Waste: Application to Crystalline Rock, OECD/NEA, NEA No. 6362.

- ✓ 将来の処分場等における火山災害を回避するためには、**地下深部に潜むマグマ活動の存在**を事前に把握することが不可欠である。
- ✓ 鮮新世と第四紀の火山活動の証拠は飯豊山地とその周辺で知られていないが、この地域は高温の温泉の存在によって示されるように、他の非火山地域と比較して珍しいと長い間認識されてきた。**熱水活動の熱源**が、この非火山性地域での最近のマグマ活動に由来するかどうかを調べるために、局所的な地震走時トモグラフィーと広帯域MT法電磁探査を実施し、**ヘリウム同位体比**も決定した。推定された**地震速度構造**と**比抵抗構造**より、P波・S波低速度、高い V_p/V_s 比、および高い電気伝導率を持つ領域が、飯豊山地の15km以深に認められた。この地球物理学的異常の位置は、高い $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比を持つ温泉の地理的分布と相関しており、熱源がマントル物質由来の高温流体および/または融解によるものであることを示唆している。したがって、**飯豊山地直下の地球物理学的異常は、現在の沈み込み帯において新たに上昇するマグマによるものであると結論付けられる。**
- ✓ これは、**地球物理学的手法と地球化学的手法を組み合わせた統合アプローチが、非火山地域で将来の火山活動を引き起こす可能性がある地殻のマグマ貯留の検出に役立つことを意味する。**

※ 原文（英文）をNUMOが翻訳

- 地球物理学的な情報（観測データを基に解析・推定）や地球化学的情報を基にマグマ（部分溶融域、メルト）の存在や分布を推定している事例を示す。
- 基とした情報に加えて、他の論文等で示されている情報（低周波地震、地震発生層、地殻熱流量等）を考慮して推定している。
- 下記の事例では、論文名の後に、このような基とした情報を示している。

● 火山を対象とした事例

➤ 鳴子カルデラ

Nakajima and Hasegawa (2003), Okada et al. (2014) : 地震波速度構造

Asamori et al. (2010) : 比抵抗構造, ヘリウム同位体比

➤ 箱根火山群

Yukutake et al. (2015) : 地震波速度構造

➤ 富士山

Aizawa et al. (2004) : 比抵抗構造

➤ 吾妻山

Ichiki et al. (2021) : 比抵抗構造

➤ 阿蘇カルデラ

Hata et al. (2016, 2018) : 比抵抗構造

➤ Taupo Volcanic Zone (New Zealand)

Heise et al. (2010) : 比抵抗構造

➤ Kluchevskoy volcano (Kamchatka peninsula)

Koulakov et al. (2011) : 地震波速度構造

● 非火山地帯の事例

➤ 飯豊山地

Umeda et al. (2006) : 比抵抗構造

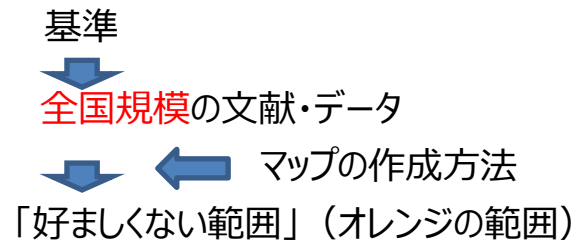
Umeda et al. (2007) : 地震波速度構造, 比抵抗構造, ヘリウム同位体比

引用文献

- Aizawa et al. (2004) Geophys. Res. Lett., 31, L09603, doi:10.1029/2004GL019477.
Asamori et al. (2010) International Journal of Geophysics, 2010, 738139, doi:10.1155/2010/738139.
Hata et al. (2016) Geophys. Res. Lett., 43, 10,720–10,727, doi:10.1002/2016GL070315.
Hata et al. (2018) Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 123, 6334–6346. <https://doi.org/10.1029/2018JB015951>.
Heise et al. (2010) Geophys. Res. Lett., 37, L10301, doi:10.1029/2010GL043110.
Ichiki et al. (2021) Earth, Planets and Space, 73:150.
Koulakov et al. (2011) Geophys. Res. Lett., 38, L09305, doi:10.1029/2011GL046957.
Nakajima and Hasegawa (2003) Journal of Volcanology and Geothermal Research, 127, 1-18.
Okada et al. (2014) Earth, Planets and Space, 66:114.
Umeda et al. (2006) Geochem. Geophys. Geosyst., 7, Q08005, doi:10.1029/2006GC001247.
Umeda et al. (2007) J. Geophys. Res. Solid Earth, 112, B05207, doi:10.1029/2006JB004590.
Yukutake et al. (2015) J. Geophys. Res. Solid Earth, 120, 3293–3308, doi:10.1002/2014JB011856.

科学的特性マップの基準

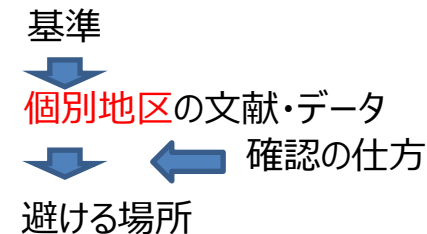
- **全国一律**で「好ましくない範囲」を描くため
- **全国規模**の文献・データに基づく
- その当時（2017）の知見に基づく
- **地表の場所**を対象



- 第四紀火山の中心から15km以内
- 第四紀の火山活動範囲が15kmを超えるカルデラの範囲

文献調査段階の項目ごとの基準

- **個別地区**ごとに避ける場所の有無や範囲を判断するため
- **個別地区**ごとの詳細な文献・データの調査に基づく
- **最新（2023）**の知見に基づく
- **地下**の最終処分を行なおうとする地層を対象



- 以下に該当することが**明らか**または**可能性が高い**場所

- (ア) マグマの貫入等による人工バリアの破壊が生ずるような第四紀（現在から約258万年前まで）における火山活動に係る火道、岩脈、カルデラ等の履歴が存在する。
- (イ) 第四紀に活動した火山の活動中心からおおむね15キロメートル以内。
- (ウ) 第四紀に活動した火山が存在しない場所であっても、新たな火山が生じる。

＜マグマの貫入と噴出の基準、確認の仕方の特徴＞

- マグマの貫入、噴出の直接的な影響として、火道、岩脈などを避ける対象として評価
- 15kmの範囲を設定するにあたって、全国規模の文献・データにおける位置のみではなく、火道、火口等を個別に調査の上、中心を設定。
- 新たな火山が生じる可能性として、地球物理学・地球化学的情報に基づき、地殻及びマントル最上部にメルトが存在する可能性を評価
- 現象の特徴から、地下の最終処分を行おうとする地層のみを対象としたものではない



Ⅱ の2. の参考資料

(参考) 地層処分技術WGとりまとめ (2017) 抜粋：好ましくない範囲など

3.3 地質環境特性及びその長期安定性の確保に関する検討

3.3.1 「好ましくない範囲」の要件・基準①火山・火成活動（マグマの処分場への貫入と地表への噴出）より

- マグマの貫入・噴出は、地層処分システムの物理的な隔離の機能を広範囲にわたり喪失させる恐れがあるため、その影響範囲を回避する必要がある。**現象の考え方、検討すべき対象及び好ましくない範囲**については、以下のように整理される。
 - 東北地方では、火山活動は火山フロントから背弧域に限定して繰り返し生じており、火山が分布する領域と、分布しない領域（空白域）が存在している。北海道に関しても、火山フロントが形成されている。一方、西南日本のうち山陰から九州地方北部に関しては、火山フロントが明確ではない。
 - 一部の火山を除いて、マグマが地表に噴出した火口の位置は、その火山を代表する位置を中心として概ね半径15 km の円の範囲に分布することから、個別の火山によるリスクはそれぞれ異なるものの、第四紀火山から半径15 km 以内を**好ましくない範囲**の基準とすることが適当と考えられる。
 - なお、カルデラや単成火山群等の第四紀火山のマグマ活動の範囲は、上記の範囲を超える可能性もあること、さらに、三宅島火山の2000 年噴火では、岩脈マグマが火山中心から30 km 以上移動した事例があることから、実際に確保すべき火山中心からの距離については、個別地点における現地調査の結果に基づいて評価する。
 - カルデラ火山については、カルデラ内は、過去の噴火活動等により地下数km までの範囲で様々な擾乱を受けている可能性が高いことから、半径が15 km を超える場合についてもカルデラ内は**好ましくない範囲**と考える。
- 上述のように個別の火山におけるマグマ活動の範囲は、上記の範囲を超える可能性もあることから、**処分地選定調査の中で（できれば概要調査段階で）以下の範囲を明らかにしていく必要**がある。
 - 火山の有無、火山活動の痕跡の有無、影響範囲、マグマの発生領域となる高温異常域、熱水・ガス噴出の分布範囲について、調査・評価することにより、影響が想定される範囲。

(参考) 地層処分技術WGとりまとめ (2017) 抜粋：活動時期など

3.3 地質環境特性及びその長期安定性の確保に関する検討

3.3.1 「好ましくない範囲」の要件・基準①火山・火成活動（マグマの処分場への貫入と地表への噴出）より

- （再掲）マグマの貫入・噴出は、地層処分システムの物理的な隔離の機能を広範囲にわたり喪失させる恐れがあるため、その影響範囲を回避する必要がある。**現象の考え方**、検討すべき対象及び好ましくない範囲については、以下のように整理される。
 - また、火山には誕生から活動停止までのライフサイクルがあることが知られており、**マグマだまりの熱的寿命は、数十万年程度**と考えられている（東宮，1991）。活動休止期を挟み数十万年以上の長期に活動している火山については、活動期ごとに異なる熱源により活動している可能性がある。したがって、こうした火山がどういう状況となっているか把握するためには、個別地点における現地調査の際にマグマの状況を注意深く調査することが必要となる。
 - なお、現在火山のない場所に、将来、新たな火山が発生する可能性も考慮する必要がある。そのため、第四紀火山が存在しない地域にあっても、現地調査の結果に基づいて評価した結果、将来新たな火山・火成活動が生じる可能性の高い地域は回避すべきである。そのため、現在、上部マントル内にマグマが発生・上昇する温度・圧力条件が存在しない地域においても、将来、その条件が発生する可能性があるか否かについて、マントル物質の対流モデル等を加えて新たな評価モデルを構築することが望ましい。
- （再掲）上述のように個別の火山におけるマグマ活動の範囲は、上記の範囲を超える可能性もあることから、**処分地選定調査の中で（できれば概要調査段階で）以下の範囲を明らかにしていく必要がある。**
 - 対象地域の火山活動の規則性や、マントル内の熱・物質対流評価等に基づいて推定することにより、将来著しい影響が及ぶ可能性が高いと考えられる範囲

(参考) 地層処分技術WGとりまとめ (2017) 抜粋：活動中心

3.3 地質環境特性及びその長期安定性の確保に関する検討

3.3.1 「好ましくない範囲」の要件・基準①火山・火成活動（マグマの処分場への貫入と地表への噴出）より

- 火山には、メインとなる中心火口から繰り返し噴出物を出して形成された複成火山と、1回の噴火活動のみで形成された単成火山が存在する。**複成火山は**、中心火口から繰り返し噴出物を放出することで山が成長するため、火山中心が最も高くなることが一般的であり、**一律的に最高標高を火山中心とみなすことは合理的である**。こうした火山は、日本で最近活動した火山に多い。
- 一方、**単成火山群は**、それぞれの火山ごとにマグマの通路が異なるため、1つの火口をもって火山群全体の中心と見なすことはできず、また火山ごとに噴火する場所の標高も違うので、その**火山群の中で最も高い地点を火山群の火山中心とみなすことができない**。さらに、**古い時代の火山については、侵食などにより地形が変化し、主火口の位置が不明であったり地形的に低くなったりすることも多い**。そのため、一部の火山の中心については、マップ上の扱いを検討する必要がある。
- 「日本の火山 第3版」では、火山の中心の位置は示されておらず、火山を代表する位置（最高標高点等）が示されている。
- このほかの利用可能な文献・データとして、「日本の第四紀火山カタログ」（第四紀火山カタログ委員会，1999）があり、本文献においては、**多くの火山について主火道の位置等の情報をもとに火山中心の位置を評価・特定しているが、約200 万年前までの火山しか掲載されていないことに留意が必要である（注）**。

(注) ②日本の第四紀火山カタログには掲載されていないものの、日本の火山（第3版）に掲載されている火山（主に約200万年前～260 万年前の火山）については、i) **最高標高点等を火山の中心と推定することが妥当と考えられる火山（複成火山、単成火山のうち溶岩ドーム）**は、その情報を使うこととする。ii) **それ以外の火山は暫定的に岩体の東西南北の広がり（分布）の中心点を作図によって求めることで、マップ作成における火山中心を機械的に置くことが考えられる**。

(参考)「考慮事項」の「火山現象」

次に掲げる場所を避けること。それぞれの時点で得られている情報に基づき、適切に考慮。

- ① マグマの貫入による人工バリアの破壊が生ずるような**第四紀**（現在から約258 万年前まで）における火山活動に係る**火道、岩脈等の履歴が存在する場所**
- ② 第四紀に活動した火山の活動中心から**おおむね15キロメートル以内**の場所
- ③ 第四紀に活動した火山が存在しない場所であっても、**新たな火山が生じる可能性のある場所**。ここで、プレートの特性や運動と深い関係があるマグマの発生の傾向は今後10万年程度の間大きく変化することは想定し難いことを考慮した上で、新たな火山が生じる可能性について検討すること。（以上 文献1）

①中深度処分の規制基準（文献2）

＜規則＞断層運動、火山現象その他の自然現象により人工バリアの著しい損傷が生じるおそれがないものであること。

＜解釈＞・・・廃棄物埋設地の位置について、次のことを求めている。

廃棄物埋設地を、次に掲げる場所を避けて設置すること。

- ①「考慮事項」の①と同じ
- ②「考慮事項」の②と同じ

文献1) 地層処分において安全確保上少なくとも考慮されるべき事項に関する検討（第7回目）－考慮事項の決定等－「別紙2」<https://www.nra.go.jp/data/000402042.pdf>

文献2) 地層処分において安全確保上少なくとも考慮されるべき事項に関する検討（第5回目）－考慮事項案－「参考5」<https://www.nsr.go.jp/data/000393021.pdf>

②火山現象に係る考慮事項の考え方(文献2)

○中深度処分の規制基準では、火道、岩脈等の履歴が存在する場所及び火山の活動中心からおおむね15km 以内を避けることを要求している。この要求は、第四紀における火山の活動履歴がない場所、又は活動履歴がある火山から一定距離離れた場所であれば、基本的には、噴火やマグマの貫入による廃棄物埋設地の破壊が生じる蓋然性を十分に低減することができると考えられることによる。

○地層処分の安全確保においても、中深度処分と同様に、噴火やマグマの貫入による廃棄物埋設地の破壊が生じる蓋然性を十分に低減することが必要と考えられる。また、HLW 中の長半減期核種の放射能濃度が中深度処分対象物より数桁高いことを考慮すると、中深度処分の規制基準に加え、新たな火山の発生の可能性についても考慮されるべきと考える。この場合、プレートの特性や運動と深い関係があるマグマの発生の傾向は、今後10万年程度の間大きく変化することは想定し難いことを考慮すること。

(参考) 水蒸気噴火

- 及川ほか (2018) 水蒸気噴火の地質学的研究, 地質学雑誌, 124, 231-250.
 - 一般に水蒸気噴火とは, マグマなどの熱で熱せられた水や水蒸気が地下浅所で急激に膨張することにより, **周囲の岩石などの固形物を吹き飛ばして発生する**噴火である。そのため噴出物には新鮮なマグマ片 (本質物) が含まれず, しばしば熱水変質によってつくられた粘土鉱物を多く含むのが特徴である。
 - 本論では水蒸気噴火の定義を, ほぼ大場 (2011) に従って, 新鮮なマグマ片 (本質物) を含まず (含んでいたとしても極々微量で), 既存の火山体起源の固形物 (岩片, 粘土) および H_2O を主成分とする液・気相を放出する噴火を水蒸気噴火とよぶ。
 - マグマ噴火は, マグマ中に含まれる揮発性成分の発泡によって, マグマが自発的に地表に噴出する噴火である。
 - 地下においてマグマの関与があったとしても, **マグマの発泡による自発的な上昇および地表への噴出がなく, 噴出物に本質物を含まない**噴火は, 本論では水蒸気噴火に分類する。
 - 水蒸気噴火では噴火毎に**新たな火口が形成されることが多い**。一般的には, 水蒸気噴火で形成される火口径はマグマ噴火で形成されるものより小さい。
- 大場 (2011) 熱水変質鉱物に富む火山噴出物－火山直下熱水系との関係, 噴火機構, 繰り返し様式, 地質学雑誌, 117, 344-356.
 - 本論文では, マグマ片 (本質物質) を伴わず, 岩片, 粘土, および H_2O を主成分とする流体相を放出する噴火を水蒸気噴火とよぶ。
- 大場 (2015) 水蒸気噴火の噴火機構と斑岩銅鉱床モデル, 日本地質学会第122年学術大会講演要旨, T3-O-1.
 - 日本では水蒸気噴火の英訳をphreatic eruption とすることが多い。日本の火山で発生する水蒸気噴火には, 火山直下に発達する熱水系に由来するものが多く, ニュージーランド等ではこのタイプの噴火を**熱水噴火** (hydrothermal eruption) と呼ぶ。また, 熱水系にマグマが接触し生じる噴火を**マグマ熱水噴火** (magmatic hydrothermal eruption) と呼ぶ。



(参考) 第二種廃棄物埋設の廃棄物埋設地に関する審査ガイド 2.1.1火山

令和3年9月29日 原子力規制委員会 (最終改正：令和4年4月20日) <https://www.da.nsr.go.jp/file/NR000223817/000388538.pdf>

(1) 火山活動に係る履歴の調査の方法

・「第四紀（現在から約258万年前まで）における火山活動に係る火道、岩脈等の履歴」（解釈第12条1三①）の調査の方法の妥当性の確認に当たっては、**原子力発電所の火山影響評価ガイド**（原規技発第13061910号（平成25年6月19日原子力規制委員会決定））の3.2(1)及び(2)の規定を**準用**する。

(2) 火山の活動中心

・「第四紀に活動した火山の活動中心」（解釈第12条1三②）については、第四紀における火山活動に係る火道、岩脈等の分布が調査された上で地表における当該分布の幾何学的な中心位置が設定されていることを確認する。

(参考) 原子力発電所の火山影響評価ガイド抜粋

平成25年6月 原子力規制委員会 <https://www.nra.go.jp/data/000294814.pdf>

3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

3.1 文献調査、3.2 地形・地質調査及び火山学的調査を行い、火山の活動履歴、噴火規模及びその影響範囲等を把握する。次に 3.3 将来の火山活動可能性の評価を行う。この場合、地域特性、マグマの性質等により火山活動の特性や規模が異なることから、個々の火山噴出物の種類、分布、地形、規模、噴火タイプ、噴火パターン、活動間隔等を総合的に検討する必要がある。なお、類似火山の活動を参照することも重要である。

3. 1 文献調査

文献調査では、地理的領域内の火山とその火山活動、火山噴出物に関する既存の文献を集約し、あるいはデータベースを活用し、地理的領域内の第四紀火山についての概略（火山噴出物、火山噴出中心の位置、噴出物種類、活動時期、噴出物分布等）を把握し、最新の知見も参照の上、地理的領域における火山の存在と分布を決定する。本調査結果は、地形・地質調査を行うための基礎資料として用いる。

3. 2 地形・地質調査及び火山学的調査

(1) 地形調査

地形調査では、既存の地形図、航空写真等を用いた判読及び海底地形データ等に基づき、火山地形の把握を行う。また、必要に応じて航空測量による最新データの取得を行うことも有効である。

(2) 地質調査

地質調査では、文献調査及び地形調査によって、活動位置・規模・様式や噴出時期等の活動履歴の評価に十分な情報が得られなかった場合、当該調査等を行い、原子力発電所周辺の地理的領域の火山噴出物の噴出中心位置、噴出物種類、活動時期、噴出物（堆積物）分布等の評価に必要な情報を収集する。調査においては、露頭又はボーリング若しくはピット掘削等により火山噴出物の試料採取・分析・年代測定等を行い、詳細な情報の収集・評価を実施する。

（解説-6：地質調査においては、別途実施する地質調査（例えば原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601-2007）に基づき実施する地質調査）の結果を参照することができる。）

(3) 火山学的調査

地質調査において、火山灰、火砕流、溶岩流等の火山噴出物（堆積物）が認められた場合、火山学的な調査を行う。（以下略）

3. 3 将来の火山活動可能性

地理的領域にある第四紀火山から、上述の 3.1 及び 3.2 の調査により、次の 2 段階の評価を行い、原子力発電所に影響を及ぼし得る火山を抽出する。

(1) 完新世に活動を行った火山

(2) 完新世に活動を行っていない火山

● 3.2 廃棄物埋設地の位置に関する要求 3.2.2 火山

- 火山の周辺における**側火口分布等の評価や廃棄物埋設地への側火口等の影響評価の不確実性も考慮し、「火山の活動履歴がないこと」及び「活動履歴がある火山から一定距離離すこと」**を求めたものであり、・・・**「おおむね15 キロメートル以内」は以下を参考**としている。

- ✓ 我が国において、一部の火山を除きマグマが地表に噴出した火口の位置は、その火山を**代表する位置を中心として**おおむね半径15 キロメートルの円の範囲に分布すること(注)。
- ✓ 我が国で側火山・側火口の数が最大クラスとされている富士山については山頂部から山腹にかけて半径約13 キロメートルの範囲に70 以上の側火山・側火口があること。
- ✓ 我が国の最大クラスのカルデラである屈斜路カルデラの長直径は約26キロメートルであること。

- また、第四紀火山の活動中心からの距離にかかわらず、第四紀における火山活動に係る火道、岩脈等の履歴が確認された場所は「・・・火道、岩脈等の履歴が存在する場所」に該当するため、当該場所に廃棄物埋設地を設置することはできない。

(注)「地層処分に関する地域の科学的な特性の提示に係る要件・基準の検討結果（地層処分技術WG とりまとめ）」の3.3.1①の図3.3.1.1 の脚注に、「第四紀火山の中心および個別火山体の分布（第四紀火山カタログ委員会,1999）に基づく、97.7%の火山（収録されている全ての348 火山のうち、火山の位置が記載されていない、あるいは明らかな誤りがあると思われる4 つの火山を除く344 火山）で、火山中心から半径15km の範囲内に個別火山体が収まっている。」

● 4. 検討の過程で考え方を変更した主なもの

- 廃棄物埋設地に係る規制基準として要求すべき内容は「火山の活動**履歴がないこと**」及び「活動履歴がある**火山から一定距離離すこと**」であると考えられる。

- ✓ 廃棄物埋設地周辺の第四紀（現在から約258 万年前まで）における火山活動の活動履歴から、マグマの貫入による廃棄物埋設地の破壊が生ずるような火道、岩脈等の履歴が存在しないことを確認した場所に設置すること。
- ✓ 当該履歴が存在する場合は、**廃棄物埋設地からおおむね15 キロメートル内の範囲で火山の側火口分布等を評価し、側火口等の影響を考慮しても廃棄物埋設地の破壊等が生ずることがないこと。**

- **火山の周辺における側火口分布等の評価や廃棄物埋設地への側火口等の影響評価の不確実性を考慮し、上記の内容を一部変更し、火山の周辺において廃棄物埋設地の設置を認めない場所については、距離により一律に判断するものとされた。**

(参考) 火山の中心、火道、岩脈

- **日本の火山データベースの「第四紀火山」** https://gbank.gsj.jp/volcano/Quat_Vol/index.html

各火山（火山群）の緯度経度は、火山活動の中心地点ではなく、以下に示す地点を示したものです。

1. 火山の最高標高点。単成火山群の場合は最も高い標高点、あるいは代表的な火山の最高標高点。
2. カルデラ火山の場合は、カルデラ縁の最高地点あるいはカルデラ地形（推定を含む）の中心。

ただし、カルデラ中心に後カルデラ火山が存在する場合は、数値をややずらしたことがある。

3. 海底噴火地点は主に海上保安庁資料による。

- **日本の火山（第3版）概要及び付表**

・孤立した分布を示す溶岩流の場合は、その給源が特定できなくても火山活動中心がそれほど遠方であると考えられず、ほぼ現在の分布域付近に給源があると想定し、1火山として扱っていることが多い。

・**第四紀の下限がさかのぼることにより**、より開析された火山が多くなるだけでなく、特に第四紀前半の変動地形では火山岩が堆積岩中に挟在、変形している場合も見られるようになる。これらのうち、**元の火山体の復元あるいは火山活動中心の推定が困難な場合**は、火山として認定しなかった。

・孤立した分布を示す溶岩流の場合は、その給源が特定できなくても火山活動中心がそれほど遠方であると考えられず、ほぼ現在の分布域付近に給源があると想定し、1火山として扱っていることが多い。

- **第四紀火山カタログ（第四紀火山カタログ委員会編，2000）**（説明より）

・1個のレコードとしてまとめた一つの「火山」の多くが、実際には複数の火山の集合である。（中略）個々の「火山」の概念は事例によって、また著者によってかなりの相違がある。

火山の位置を緯度、経度で示しているが、「**地形的**」緯度・経度と「**主火道**」の緯度・経度を示しているもの、「地形的」緯度・経度のみ示しているもの、「地形的」と「主火道」の種別に言及せず緯度・経度のみを示しているものがある。種別に言及せず緯度・経度のみを示しているものの数は多い。

「主火道」は必ずしも火道、岩脈の幾何学的中心ではない。

(参考) 活動時期の不確実性

- 日本の火山データベースの「第四紀火山」https://gbank.gsj.jp/volcano/Quat_Vol/index.htmlにおいては以下のように、「第四紀」の活動を取り消されたものがある。

北海道西部 火山アイコンをクリック			Western Hokkaido Click the volcano icon	to TOP
C01	 利尻山	北海道(宗谷)、利尻島	Rishiri Zan	HOKKAIDO (SOYA), RISHIRITO
C02	 滝川火山群 (石山, コップ山)	北海道(十勝)	Takikawa Volcano Group (Ishiyama, Koppu Yama)	HOKKAIDO (TOKACHI)
C03	 イルムケップ山	北海道(十勝)	Irumukeppu Yama	HOKKAIDO (TOKACHI)
C04	 暑寒別岳	北海道(十勝)	Shokanbetsu Dake	HOKKAIDO (TOKACHI)
C05	 藻岩山	北海道(石狩)	Moiwa Yama	HOKKAIDO (ISHIKARI)
C06	 積丹岳	北海道(後志)	Shakotan Dake	HOKKAIDO (SHIRIBESHI)
C07	 赤井川カルデラ	北海道(後志)	Akaigawa Caldera	HOKKAIDO (SHIRIBESHI)
C08	 札幌岳 (除外)	北海道(石狩)	Sapporo Dake (revised to Pre-Quaternary volcano)	HOKKAIDO (ISHIKARI)
C09	 空沼岳 (除外)	北海道(石狩)	Soranuma Dake (revised to Pre-Quaternary volcano)	HOKKAIDO (ISHIKARI)
C10	 漁岳 (除外)	北海道(石狩)	Izari Dake (revised to Pre-Quaternary volcano)	HOKKAIDO (ISHIKARI)
C11	 支笏カルデラ	北海道(石狩)	Shikotsu Caldera	HOKKAIDO (ISHIKARI)
C12	 恵庭岳	北海道(石狩)	Eniwa Dake	HOKKAIDO (ISHIKARI)

札幌岳の例

火山の概要・補足事項	Watanabe (1990)及びNakagawa (1992) で 1.2 ± 0.1 、 1.6 ± 0.6 Maが報告されていたが、中川ほか(2013、日本地質学会講演要旨)により 2.88 ± 0.07 Ma、 2.91 ± 0.07 Ma(鮮新世の年代)が報告されたため、第四紀火山から除外する。
------------	---

(参考) 火山の専門家への意見聴取結果の概要

地層処分において安全確保上少なくとも考慮されるべき事項に関する検討（第5回目）－考慮事項案－

<https://www.nsr.go.jp/data/000393021.pdf> の「参考4」地層処分において安全確保上少なくとも考慮されるべき事項に関する検討（第3回目）

－火山の専門家への意見聴取結果－令和4年5月18日 原子力規制庁

3. 火山の専門家への意見聴取結果の概要

（略）意見聴取の結果、別紙1のとおり、我が国における火山の発生メカニズム等に関する科学的・技術的知見を整理した。主なポイントは以下のとおり。

○プレート境界に位置する日本列島において、マグマの発生はプレートの特性や運動と深い関係がある。プレートの特性や運動と深い関係があるマグマの発生の傾向が今後10万年程度の間大きく変化することは想定し難く、これを否定する学説や科学的知見は見当たらない。

○**マグマの発生条件が成立していないと考えられる地域**（例えば、東北日本※の前弧域）では、今後10万年程度の期間において**火山が発生する蓋然性は極めて低い**。※関東以北から北海道までを含む範囲

○**現時点においてマグマの発生条件の成立を否定できない地域について**、新たな火山の発生の蓋然性を評価する場合には、マントルウェッジの対流や沈み込む海洋プレートの特性等を加味した評価モデル等の構築によって評価することが考えられるが、研究段階であり、**現時点においては確立された評価方法は見当たらない**。

<その他の抜粋>

- 沈み込み帯では、基本的に、マントルウェッジ内の高温部の上昇と水の供給による融点低下という状況が整った場合に、マグマが発生するとされている。
- 発生したマグマは、地殻まで上昇し、マグマ溜まりを形成する。このマグマ溜まりから供給されたマグマが地表に到達した場合、火山の噴火を引き起こす。マグマがマグマ溜まりから地表に至るまでには、上部地殻における応力の状態や岩盤特性などが影響すると考えられる。

(参考) マントルウェッジの対流や沈み込む海洋プレートの特性等を加味した評価モデル等の例

- Honda and Yoshida (2005) Application of the model of small-scale convection under the island arc to the NE Honshu subduction zone, *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 6, Q01002, doi:10.1029/2004GC000785
 - **数値シミュレーションによる島弧下の対流に関する2次元/3次元モデルを、東北日本の沈み込み帯で観測された地球物理学および地質学的データと比較**
 - 3次元モデルによる温度構造によると、火山フロントの下では連続的な高温度域を示すとともに、その背弧に指状の温度域が形成され、地震波トモグラフィによるパターンに類似

- Yoo and Lee (2020) Correlation of quaternary volcano clusters with partial melting of mantle wedge, Northeast Japan: A numerical model study., *Geophys.Res. Lett.*, 47, e2019GL086205. <https://doi.org/10.1029/2019GL086205>
 - 数値シミュレーションにより島弧に沿ったマントルウェッジの温度変化、スラブの脱水、流体の流れ、および部分熔融を考慮した二次元数値モデルを構築
 - これによると、マントルウェッジの高温異常部と低温異常部では、それぞれ火山クラスターに対応すると考えられる顕著な熔融域および非火山地域でのわずかな熔融が生じることが示され、地球化学および地球物理学的なデータと調和的

田中ほか（2004） 日本列島及びその周辺域の地温勾配及び地殻熱流量データベース, 地質ニュース, 603, 42-45.

・また陸上では、測定点は火山・地熱地帯に集中しており、一般的に高い値を示しますが、値のばらつきも大きいことがわかります。これは、**地表に向かって運ばれる熱が、熱伝導のみではなく、火山のマグマの上昇や地下水の循環など、ローカルな現象の影響も受けているものと考えられています。**（東北地方における地殻熱流量の分布より）

Tanaka et al. (2004) Geothermal gradient and heat flow data in and around Japan (I): Appraisal of heat flow from geothermal gradient data, Earth Planets Space, 56, 1191-1194.

・地殻熱流量は火山からの距離が大きくなるにつれて減少する。（九州南部における地殻熱流量の分布より）

大久保（1984） 全国のキュリー点解析結果, 地質ニュース, 362, 12-17.

・この図から**火山フロントと浅いキュリー点深度地域とは良く一致する**ことが読み取れる。（日本列島におけるキュリー点深度8km以浅の分布より）

長谷川ほか（2004） 東北日本弧における地殻の変形と内陸地震の発生様式, 地震 第2輯, 56, 413-424.

・メルトの冷却固化に伴って、メルトから離脱した水は、地殻下部で何らかの原因により急激に移動する場合があります、それが深部低周波微小地震と推測される。水は地殻中部でシル状に層を形成し滞留する。それが脊梁山地に沿って広域に検出されるS波反射面であろう。**脊梁山地では上部マントルからの高温物質の貫入により温度が局所的に高くなり、地震発生層の下限(脆性—延性境界)は局所的に浅くなる。観測される地殻熱流量も、これに対応して脊梁山地で局所的に高い値をもつ。**

Omuralieva et al. (2012) Lateral variation of the cutoff depth of shallow earthquakes beneath the Japan Islands and its implications for seismogenesis, Tectonophysics, 518-521, 93-105.

・D90の水平方向の変化は、主に地熱の変化によってもたらされる。**マントルウェッジから供給されるマグマによる加熱が、火山地域の浅いD90の主な原因であると考えられる。**（日本列島における地震発生層の深さ分布より）

森川ほか（2019） ヘリウム同位体を用いた地殻流体計測, 地学雑誌, 128, 785-795.

- ・上部マントル起源のヘリウムはマグマ・熱水流体を介して地表付近に運ばれるため, 火山ガス, 深層ガス, 温泉水・ガス等の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比を測ることにより, マントル物質およびマントルを通過した流体の地球表層への到達を検出できる。

Sakamoto et al. (1992) $^3\text{He}/^4\text{He}$ ratio distribution in and around the Hakone volcano, Geochemical Journal, 26, 189-195.

- ・ $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比は、各火山からの距離とともに減少する傾向がある。（御岳, Nevado del Ruiz火山, 草津白根における $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比分布より）

風早ほか（2014） 西南日本におけるスラブ起源深部流体の分布と特徴, 日本水文科学会誌, 44, 3-6.

- ・成因が判別可能な深層地下水50試料についてLi, Clおよび水の安定同位体比の分析を行い, 深部流体の化学指標としてLi/Cl比が有効であることを示した。**Li/Cl重量比が0.001以上の水（ただし, Cl濃度200 mg/L以上）をスラブ起源深部流体（マグマ起源水も含む）の指標とした。**（西南日本におけるLi/Cl比より）

包括的技術報告書（NUMO, 2021）

- ・熱水・溶存ガスの 水質・安定同位体（ δD - $\delta^{18}\text{O}$, Li/Cl 比, $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比など）に関する情報は, マグマ由来の地下水や深部流体（深部上昇水など）の判別において有用である。

長谷川・中島 (2022) 陸域下の低周波地震とその地震学およびテクトニクス的意義, 地学雑誌, 131, 289-315.

- ・一般に, **深部低周波地震はマグマあるいはH₂Oを主成分とする地殻流体の移動で (あるいはそれに密接に関わって) 発生すると考えられているが, その発生メカニズムの詳細は必ずしも明らかになっているわけではない。**

Nakajima and Hasegawa (2021) Prevalence of Shallow Low-Frequency Earthquakes in the Continental Crust, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 126, e2020JB021391.

- ・深部低周波地震の発生について提案されているモデルには、マグマまたは流体の急速な移動、せん断引張亀裂に沿った破壊、マグマの冷却過程、およびマグマプロセスに関連する流体-圧力変化がある。

中島 (2016) プレーートの沈み込みと島弧マグマ活動, 火山, 61, 23-36.

- ・多くの沈み込み帯のマントルウエッジでは、マグマ活動と関係する構造として、地震波低速度・高減衰、低比抵抗（高電気伝導度）が観測される。一般に、100℃の高温異常に対する速度低下率は約1%、比抵抗の低下率は約30%であるが、メルトが数%存在する場合、速度は数～10数%も低下し、比抵抗は桁で小さくなる。つまり、**メルトは、例え少量であっても地震波速度や比抵抗を大きく低下させる要因となる。さらに、少量のメルトが存在すると地震波の減衰は大きくなる**ことが知られている。

Okada et al. (2014) Seismic velocity structure in and around the Naruko volcano, NE Japan, and its implications for volcanic and seismic activities, Earth Planets Space, 66:114.

- ・鳴子火山の下部地殻には、直径約10～20 kmの顕著な地震低速度体が認められ、マグマ溜りに相当する可能性が考えられる。（鳴子火山周辺の地震波速度構造より）

Hata et al. (2018) Three-Dimensional Electrical Resistivity Modeling to Elucidate the Crustal Magma Supply System Beneath Aso Caldera, Japan, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 123, 6334-6346.

- ・MT探査による3次元比抵抗構造により、阿蘇カルデラ下のマグマ供給系を推定した。このマグマ供給系は、深さ約17 kmの深部マグマ貯留層、北向きに傾斜するマグマで満たされた亀裂域、深さ6 km を中心とする浅部のマグマ貯留層、および深さ2-4 kmの亀裂域からなる。（阿蘇カルデラ周辺の否定鋼構造より）

4. 原子力発電所の運用期間における火山活動に関する個別評価

- 3. で抽出された原子力発電所に影響を及ぼし得る火山（以下「検討対象火山」という。）について、設計対応が不可能な火山事象が運用期間中に原子力発電所に影響を及ぼす可能性の評価を行う。この際、検討対象火山の活動を科学的に把握する観点から、過去の火山活動履歴とともに、必要に応じて、4.2 地球物理学的及び地球化学的調査を行い、現在の火山の活動の状況も併せて評価することとする。具体的には、地球物理学的観点からは、検討対象火山に関連するマグマ溜まりの規模や位置、マグマの供給系に関連する地下構造等について、地球化学的観点からは、検討対象火山の火山噴出物等について分析することにより、火山の活動状況を把握する。

4. 2 地球物理学的及び地球化学的調査

- 地球物理学的調査では、地震波速度構造、重力構造、比抵抗構造、地震活動及び地殻変動に関する検討を実施し、マグマ溜まりの規模や位置、マグマの供給系に係る地下構造等について調査する。（解説-12、13、14、15、16）
- 地球化学的調査では、火山ガス（噴気）の化学組成分析、温度などの情報から、地理的領域に存在する火山の火山活動を調査する。

解説-12. 地震波速度構造

地震探査の解析により求める地震波速度の空間分布

解説-13. 重力構造

重力探査（精密な重力測定）により求める密度の空間分布

解説-14. 比抵抗構造

電磁気探査により求める比抵抗の空間分布

解説-15. 地震活動

火山周辺における地震発生現象

解説-16. 地殻変動

GNSS (Global Navigation Satellite System : 全地球測位衛星システム) 測量等により求める火山活動に伴う地殻の変形現象

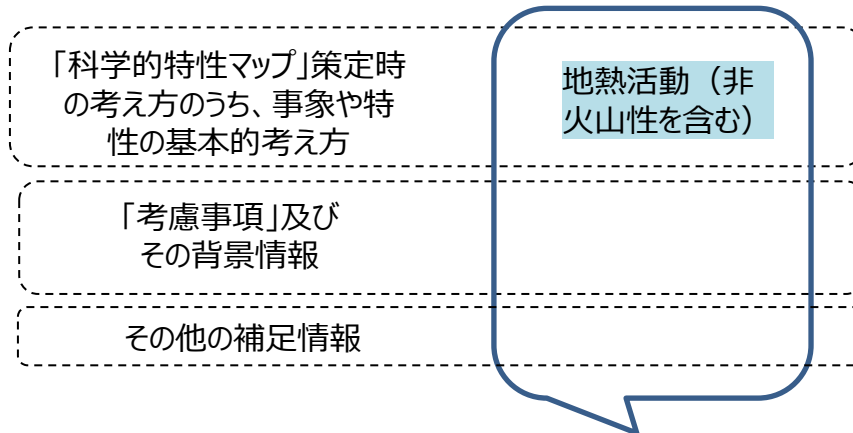


3. 地熱活動 (非火山性を含む)

● 基準案の検討

● 最終処分法 第六条（概要調査地区の選定）第二項

- 一 当該文献調査対象地区において、地震等の自然現象による地層の著しい変動の記録がないこと。
- 二 同地区において、将来にわたって、地震等の自然現象による地層の著しい変動が生ずるおそれが少ないと見込まれること。



地熱活動（非火山性を含む）

● 基準案の検討

- 「科学的特性マップ」策定時の考え方のうち事象や特性の基本的考え方では、「好ましくない範囲」などとして以下を示している。

- 「科学的特性マップ」策定時の考え方のうち、事象や特性の基本的考え方



「好ましくない範囲」



現象の考え方など

第四紀火山の影響範囲のうち、処分深度で**緩衝材の温度が長期に100℃を大きく超える地温の範囲**

非火山性熱水または深部流体が存在し、処分深度で**緩衝材の温度が長期に100℃を大きく超える地温の範囲**

✓非火山性熱水は、地下に高温岩体が存在する場合に、涵養した地下水が熱せられ熱水となったもの

✓深部流体は、沈み込むスラブやマントル起源の流体が断裂系等を通じて地表付近に上昇するもの。温度が高い場合には熱環境への著しい影響・・・

- 「第四紀火山の影響範囲」、「非火山性熱水または深部流体が存在」への該当性は、文献・データにより必ずしも明らかになるとは限らない。該当しない場合は、この観点からは最終処分法第六条の「地層の著しい変動」に該当しない。
- 「緩衝材の温度が長期に100℃を大きく超える地温の範囲」は、緩衝材の設計や廃棄体の配置などの工学的対策と関連する。



- 「Ⅲ. その他の評価」の「3. 技術的観点からの検討」において、「好ましい地質環境特性」の観点から検討する。



Ⅱ の3. の参考資料

(参考) 地層処分技術WGとりまとめ (2017) 抜粋

3.3地質環境特性及びその長期安定性の確保に関する検討

3.3.1「好ましくない範囲」の要件・基準③地熱活動（非火山性を含む）より

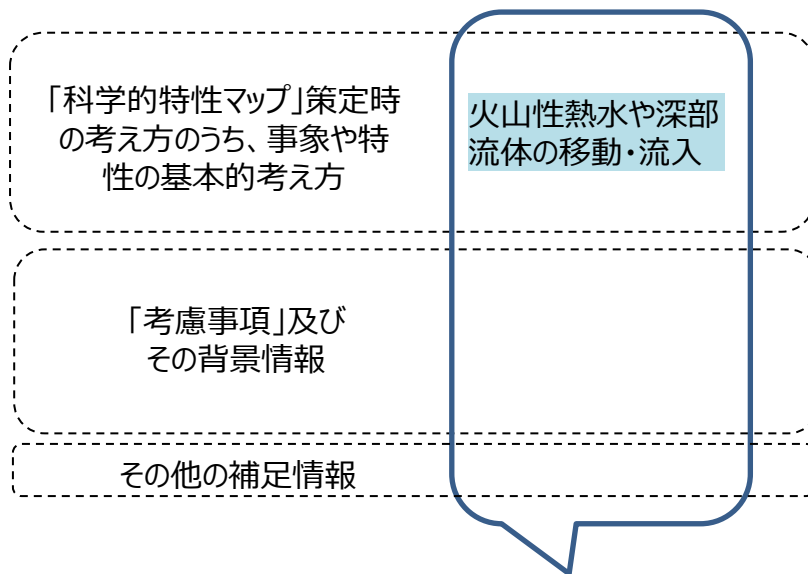
- 地熱に廃棄物の崩壊熱、岩盤、人工バリアの熱特性などを総合的に考慮し、**100℃を越えるような環境では、緩衝材の変質を招く恐れがある**。人工バリアに与える熱影響は、熱源である地温と廃棄体の崩壊熱、人工バリア・岩盤の熱特性及び廃棄体の配置により決まるが、熱特性や廃棄体の配置は処分地選定調査において個別地点毎に考慮されることとなるため、ここでは第2次取りまとめにおける硬岩、軟岩におけるモデルケースにおける評価結果を基に検討を行うこととする（JNC, 1999b）。
- 緩衝材の主成分であるベントナイトに含まれる膨潤粘土鉱物モンモリロナイトの熱変質については温度及びカリウム濃度を主な変数として関係式が提示されている（Karnland et al., 2000）。この関係式によると、地温90℃の条件では10 万年以上の期間、熱変質が軽微で機能低下は起こらないが、地温が130℃を超えると10 万年程度の期間で、170℃ の条件では1 万年程度の期間でモンモリロナイトの熱変質が50%程度進行することが予測される。第2次取りまとめにおいては、緩衝材の温度が100℃未満の場合は緩衝材性能を損なうような変質は考えにくいことが示されている（JNC, 1999c）。このような理由により、熱環境が人工バリアの安全機能に**著しい影響を及ぼす範囲は回避する必要がある**。**現象の考え方及び検討すべき対象**については、以下のように整理される。
 - 高温異常域の分布は、一部の例外を除き第四紀火山の分布と整合的であるため、火山・火成活動の好ましくない範囲と同じ範囲が好ましくない特性を有すると考えられる。
 - 非火山性熱水は、地下に高温岩体が存在する場合に、涵養した地下水が熱せられ熱水となったもので、熱環境への著しい影響を及ぼすことが考えられる。また、深部流体は、沈み込むスラブやマントル起源の流体が断裂系等を通じて地表付近に上昇するもの（風早ほか, 2014）で、温度が高い場合には熱環境への著しい影響を及ぼすことが考えられる。
- このうち、**好ましくない範囲**（直接指標から確認される範囲）は、以下のように考えられる。
 - 第四紀火山の影響範囲のうち、処分深度で緩衝材の温度が長期に100℃ を大きく超える地温の範囲
 - 非火山性熱水または深部流体が存在し、処分深度で緩衝材の温度が長期に100℃ を大きく超える地温の範囲
- 第2次取りまとめにおける処分場の熱解析結果を用いて検討を行ったところ、隣接する廃棄体の崩壊熱の影響を無視できるほど距離を離れた場合、**緩衝材の温度上昇幅は、岩種や定置方式によらず約35℃である**ことが示されている。
- なお、廃棄物の崩壊熱、岩盤、人工バリアの熱特性を含めた地層処分システム全体の熱影響については、処分地選定調査において評価する必要がある。加えて、上述した好ましくない範囲に加えて、**処分地選定調査の中で（できれば概要調査段階で）以下の範囲を明らかにしていく必要がある**。
 - 熱水やガス噴出の分布範囲などを調査・評価することにより、影響が想定される範囲
 - 対象地域の火山活動の規則性や、マントル内の熱対流評価等に基づいて推定することにより、将来著しい熱の影響が及ぶ可能性が高いと考えられる範囲
 - 処分深度において、火山性熱水、非火山性熱水または深部流体の存在・分布について確認し、システムの安全性に影響を及ぼすことが想定される場合は、その影響範囲

4. 火山性熱水や 深部流体の移動・ 流入

- 基準案の検討

- 最終処分法 第六条（概要調査地区の選定）第二項

- 一 当該文献調査対象地区において、地震等の自然現象による地層の著しい変動の記録がないこと。
- 二 同地区において、将来にわたって、地震等の自然現象による地層の著しい変動が生ずるおそれが少ないと見込まれること。



火山性熱水や深部流体の
移動・流入

● 基準案の検討

- 「科学的特性マップ」策定時の考え方のうち事象や特性の基本的考え方では、「好ましくない範囲」などとして以下を示している。

- 「科学的特性マップ」策定時の考え方のうち、事象や特性の基本的考え方



「好ましくない範囲」



現象の考え方など

処分深度に**火山性熱水が存在し**、かつ
化学場への影響が明らかな範囲

- ✓火山性熱水は、マグマに含まれる揮発成分・・・これらがマグマの上昇に伴う圧力の低下によって放出され、地下水に溶解し、その**pHを低下**させ、化学場に影響を与える。

処分深度に**深部流体が存在し**、かつ
化学場への影響が明らかな範囲

- ✓深部流体は、明らかになっていない部分が多い。
✓沈み込むスラブやマントル起源の流体が断裂系等を通じて地表付近に上昇するもので、**pHが低く炭酸化学種が高濃度に含まれる等**の特徴があり、化学場に影響を与えと考えられる。

- 「火山性熱水が存在」、「深部流体が存在」への該当性は、文献・データにより必ずしも明らかになるとは限らない。該当しない場合は、この観点からは最終処分法第六条の「地層の著しい変動」に該当しない。
- 「化学場への影響が明らかな範囲」、「pHの低下」、「pHが低く炭酸化学種が高濃度に含まれる等」は、人工バリア、天然バリアの性能といった工学的対策と安全評価に関連する。



- 「Ⅲ．その他の評価」の「3．技術的観点からの検討」において、「好ましい地質環境特性」の観点から検討する。



Ⅱ の4. の参考資料

(参考) 地層処分技術WGとりまとめ (2017) 抜粋

3.3地質環境特性及びその長期安定性の確保に関する検討

3.3.1「好ましくない範囲」の要件・基準④火山性熱水・深部流体の移動・流入より

- 地下水が**低pH** 及び高pH の場合は、**ガラス固化体の溶解速度の促進、緩衝材の変質による透水性の増大や収着能の低下、放射性物質の溶解度の増加及び天然バリアの収着能の低下**をもたらす。また、**高い炭酸化学種濃度はオーバーバックの不動態化、局部腐食**を招く可能性がある。
- 低pH 地下水の流入及び炭酸化学種を含む地下水の流入に関連する地質的な事象としては、火山性熱水や深部流体の移動・流入が、また、高pH 地下水の流入に関連する地質的な事象としては、超塩基性岩と反応した地下水の移動・流入が考えられる。
- 炭素鋼オーバーバックが高pH の地下水に接触すると、オーバーバック表面が不動態化し、局部腐食や応力腐食を引き起こしやすくなるが、緩衝材によるpH 緩衝作用により、地下水のpH が12 程度までであれば、不動態化を防ぐことができることが報告されている（谷口ほか, 1999 ; JNC, 2005）。
- 超塩基性岩と反応した地下水のpH は最高でもおおむね11 であり、この程度のpH であれば、緩衝材の化学的緩衝機能により、オーバーバックの耐食性及び多くの放射性物質の溶解度に著しい影響を与えることはないと考えられる。
- また、緩衝材であるベントナイトの変質は著しくなく、その影響範囲も限定的であると考えられることから、超塩基性岩と反応した高pH 地下水の移動・流入は、著しい影響を与えないと考えられる事象である。
- 火山性熱水は、マグマに含まれる揮発成分は火山ガスの組成等から、 H_2O 、 CO_2 、 SO_2 、 H_2S 、 HCl を主成分とし、これらがマグマの上昇に伴う圧力の低下によって放出され、地下水に溶解し、そのpH を低下させ、化学場に影響を与える。
- 一方、深部流体は、形成・移動メカニズム等が研究途上であり、明らかになっていない部分が多い。
- 沈み込むスラブやマントル起源の流体が断裂系等を通じて地表付近に上昇するもので、pH が低く炭酸化学種が高濃度に含まれる等の特徴があり、化学場に影響を与えられられる。そのため、火山性熱水または深部流体が存在し、かつ化学場への影響が明らかな場合は、**処分場に著しい影響**を与えるため、その**範囲を回避する必要がある**。
- 代替指標の検討にあたっては、低pH とは実質的な酸性領域であるpH4.8 未満（野田・高橋, 1992）を用いることとする。また、**炭酸化学種濃度が 0.5 mol/dm^3 以上となる条件では炭素鋼のオーバーバックが不動態化、局部腐食を招きやすくなる**ことが示されている（谷口ほか, 1999）ことから、これらの基準を代替指標として用いることをする。
- なお、上述した好ましくない範囲に加えて、岩石の特性や地下水の成分により異なるガラス固化体、緩衝材、放射性物質の溶解度への化学場としての影響を、処分地選定調査において確認し、岩石—地下水反応を把握することが推奨される。
- 加えて、**処分地選定調査の中で（できれば概要調査段階で）以下の範囲を明らかにしていく必要がある**。
 - 熱水やガス噴出の分布範囲などを調査・評価することにより、影響が想定される範囲
 - 対象地域の火山活動の規則性や、マントル内の熱対流評価等に基づいて推定することにより、将来著しい影響が及ぶ可能性が高いと考えられる範囲
 - 処分深度において、深部流体の存在・分布について確認し、システムの安全性に影響を及ぼすことが想定される場合は、その影響範囲

(参考) 炭酸化学種の影響について

- 火山ガスには、 CO_2 ・二酸化炭素など強酸性の地下水を作る成分が常に含まれている。また、二酸化炭素を含む酸性の地下水が岩石と反応するとアルカリ性に変化し、炭酸イオンを生じる。この炭酸イオンはウランと錯体を作り、**ウランの溶解度が高くなる**ため、地下水系を介して放射性核種の移行を促進させる。
- 深部流体には、高温、高塩濃度、低pHで多量の二酸化炭素を含む流体（たとえば、有馬型温泉水）があるため、地下水の反応性の変化に大きな影響を及ぼす可能性がある。
- CO_2 を含む地下水は周囲の岩石と反応すれば、**ウランの溶解度を増加させる**炭酸を生じる。

概要調査の調査・評価項目に関する技術資料-長期変動と地質環境の科学的知見と調査の進め方-

(産業技術総合研究所深部地質環境研究センター, 2007) 地質調査総合センター研究資料集, no. 459

第3章 調査・評価項目に関する科学的知見 5.火山・マグマ活動、6 .深部流体

<https://www.gsj.jp/data/openfile/no0459/0459.pdf>

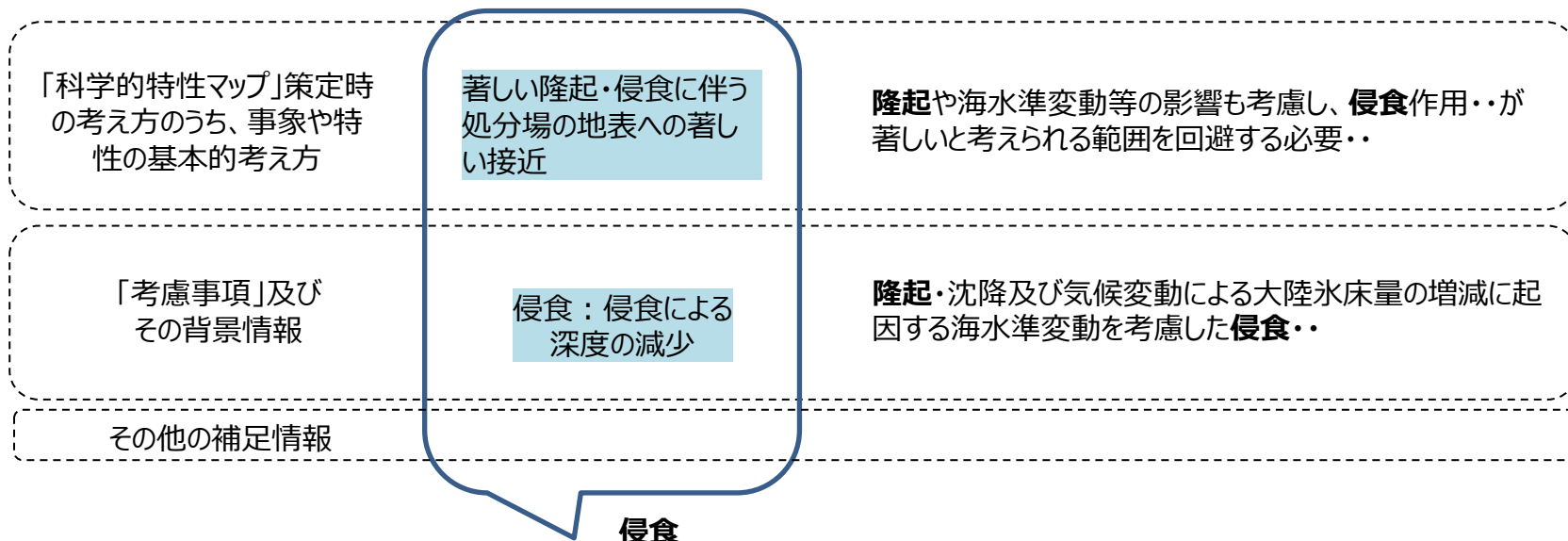
5. 侵食

- 具体的判断事項の抽出
- 基準案
- 基準への該当性への確認の仕方の基となる資料
- 確認の仕方案

● 最終処分法 第六条（概要調査地区の選定）第二項

- 一 当該文献調査対象地区において、地震等の自然現象による地層の著しい変動の記録がないこと。
- 二 同地区において、将来にわたって、地震等の自然現象による地層の著しい変動が生ずるおそれが少ないと見込まれること。

※以下のように、「隆起」は「侵食」の原因のひとつとされている。



● 具体的判断事項の抽出

- 「科学的特性マップ」の「好ましくない範囲」など、「考慮事項」及び背景情報、その他の補足情報から、**具体的判断事項である赤字部分を抽出**する。

記録がある

※「記録がある」の確認は、「おそれが多いと見込まれる」の確認も兼ねる。

おそれが多いと見込まれる

- 「科学的特性マップ」策定時の考え方のうち、事象や特性の基本的考え方

「好ましくない範囲」

現象の考え方など

※「処分深度が未定であるため、最も浅い深度300mに処分されると想定」とされていることから「300m」は「最終処分を行おうとする地層の深度」とする。

過去十万年における最大侵食量が300mを超えたことが明らかな範囲

以下のような明らかに著しい侵食量が予想される場所

- ✓ 内陸の隆起性山地（目安として今後十萬年以内に隆起量が300mを超えとえられる地域）
- ✓ 隆起が顕著な沿岸部で、海水面低下量と合わせて大きな侵食量が見込まれる地域（目安として、隆起と海面低下に伴う侵食量が今後10 萬年以内に300mを超えとえられる地域）

- 「考慮事項」及びその背景情報

「考慮事項」

中深度処分の規制基準などの背景情報

中深度処分より更に深い深度を確保すること。それぞれの時点で得られている情報に基づき、適切に考慮。この際、隆起・沈降及び気候変動による大陸氷床量の増減に起因する海水準変動を考慮した侵食による深度の減少を考慮すること。

- ✓ 中深度処分の規制基準では、10萬年後においても70m以上の深度を確保することを要求している。
- ✓ 地層処分においても、隆起・侵食を考慮した上で一定の深度は維持する・中深度処分と同様・

- その他の補足情報

(参考) 中深度処分の「10万年後」、「70m以上の深度」など

● 中深度処分の規制

原子力規制委員会(2016)炉内等廃棄物の埋設に係る規制の考え方について. 平成28年8月31日

<https://www.da.nsr.go.jp/file/NR000034858/000173269.pdf>

4. 規制要求の考え方 4-2 設計要求 (2) 規制期間終了後の安全確保のための設計要求の考え方

➤ 10万年後においても

1) 自然事象に関する要求

…ただし、**海水準変動に伴う侵食量**は、我が国の沿岸部においては過去に最大で140メートル前後に達している場所が確認されていることなどから、**100メートル程度の深度においては、今後10万年を超える次のサイクルの10万年以降は侵食の不確実性が増大することが考えられる。**

…以上を踏まえ…、**少なくとも10万年間は、侵食作用を考慮しても離隔に必要な深度を確保することを要求する。**…

➤ 70m以上の深度を確保（離隔に必要な深度）

2) 人間侵入に関する要求

…中深度処分における人間侵入防止のための深度は、**我が国における現状の地下利用状況に照らし…極めて事例が少ないものや…特殊で高度な技術を要するものは考慮する掘削行為から除くものとする。**また、トンネル施工による廃棄物埋設地への掘削行為を**廃棄物埋設地の大規模な損傷を引き起こす事象と位置付け、トンネル施工の深度等を参考に、地表から廃棄物埋設地の頂部までの深さが70メートルより深いこととする。**

● 「考慮事項」

地層処分において安全確保上少なくとも考慮されるべき事項に関する検討（第5回目）－考慮事項案－「参考5」

<https://www.nsr.go.jp/data/000393021.pdf>

➤ 地層処分の安全確保においても、**隆起・侵食を考慮した上で一定の深度は維持するという基本的な考え方は中深度処分と同様と考えられる。**他方で、HLW 中の長半減期核種の**放射能濃度が中深度処分対象物より数桁高く、放射能濃度の減衰がより緩やか**であることを踏まえ、中深度処分より**更に深い深度を確保することが適当と考えられる。**

● 最終処分法 第六条（概要調査地区の選定）第二項

一号 当該文献調査対象地区において、地震等の自然現象による地層の著しい変動の記録がないこと。

二号 当該文献調査対象地区において、将来にわたって、地震等の自然現象による地層の著しい変動が生ずるおそれが少ないと見込まれること。

修正箇所

- 一号、二号に対して、以下に該当することが**明らか**または**可能性が高い**場所（※）を避ける。

（ア）過去10万年程度（注1）における最大侵食量が最終処分を行おうとする地層の深度（注2）を超えている。

- 二号に対して、以下に該当することが**明らか**または**可能性が高い**場所（※）を避ける。

（イ）侵食による深度の減少を考慮すると、10万年後程度（注1）において、最終処分を行おうとする地層について、70mより更に深い深度（注3）を確保できない。

注1）侵食量の想定根拠となる段丘面等の年代は必ずしも10万年丁度ではないため、過去10万年前丁度の時点、さらに将来の丁度10万年後を想定することは困難であるため、「程度」を加えた。

注2）最終処分を行おうとする地層の深度は、地下施設の配置という工学的対策により対応可能な部分がある。

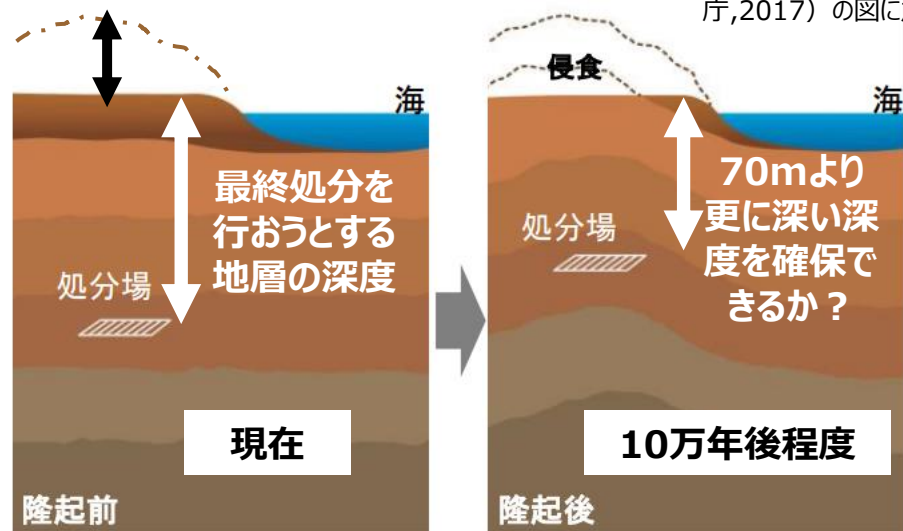
注3）「70mより更に深い深度」の具体化には、工学的対策（設計）や安全評価が関連すると考えられることから、文献調査段階では、「明らかに、又は可能性が高く」、更に深い深度が確保できない場所を避けることとする。

修正箇所

※（ア）または（イ）に該当する浅い部分。それより深い部分は残ることとなる。

過去10万年程度の侵食量は最終処分を行おうとする地層の深度以下か？

「科学的特性マップ」の説明資料（資源エネルギー庁、2017）の図に加筆



● 基準への該当性の確認の仕方の基となる資料

過去10万年程度における最大侵食量

10万年後程度における、侵食による深度の減少

➤「科学的特性マップ」策定時の考え方のうち、事象や特性の基本的考え方

- ✓ 侵食のうち、線的侵食である河川による下刻が最も厳しく、主要な検討対象とすべき形式である。また、波浪侵食による海食崖の後退にも留意する必要がある。
- ✓ 内陸については、隆起があった場合は隆起した分だけ侵食する、隆起量の予測の不確実性が高い場合は保守的に侵食基準面まで侵食する、等と仮定する方法が考えられる。
- ✓ 沿岸については、侵食の要因となる海水準変動を推定し、地形面と侵食基準面である海水面との比高から、侵食量の時間的な変化を積算して評価する方法等が考えられるが、不確実性が高い場合には、氷期において海水準が最大で150m程度低下した状態を想定し、侵食量を保守的に評価することが考えられる。沖積層の基底深度の情報も、将来の侵食量を推定する際の目安となると考えられる。

✓ 侵食作用（マスマーブメントも含む）が著しいと考えられる範囲を回避する必要がある。

第二種廃棄物埋設の廃棄物埋設地に関する審査ガイド 2.1.3 侵食

➤「考慮事項」及びその背景情報

✓「隆起・沈降及び気候変動による大陸氷床量の増減に起因する海水準変動を考慮した侵食（廃棄物埋設地の近くに、河川がある場合は下刻の進展に伴って谷幅が広がる側方の侵食も考慮し、海岸がある場合は海食による侵食も考慮する）」の量（鉛直変位量）について、文献調査、物理探査、ボーリング調査等により過去に形成された地形面と現在の地形面とのオフセット量の系統的な評価・解析や、氷期－間氷期サイクル 1 回以上を経た地形面を用いた変動量の評価の結果を踏まえ、設定されていることを確認する。

➤その他の補足情報

✓ 過去に形成された地形面に崖錐などが堆積して現在の地形面を形成している場合がある。地形調査のみではわからない場合がある。

過去10万年程度における最大侵食量

修正箇所

➤ 地形場別に以下のように考える。

沿岸部	過去10万年程度の期間の隆起量（注1）
沿岸部の 沖積低地	過去10万年程度の期間の隆起量（注1） + 沖積層の基底深度（注2）
大陸棚	過去10万年程度の期間の隆起量（注1）（注3）
内陸部	過去10万年程度の隆起、削剥、侵食量

注1) 隆起した分だけ侵食される（隆起量 = 侵食量）という保守的な仮定に基づいて評価する。

注2) 右上図参照

注3) 地層の累重様式から大陸棚が沈降していること、ないしは安定している（隆起と沈降が生じていない）ことが確認できない場合、安全側の評価とするため、隆起している大陸棚と仮定し、沿岸部において推定された隆起量を外挿する。

※地層の累重様式に基づく大陸棚の地殻変動様式の判別事例には、例えば、岡村（1990）、Choi et al. (2019)、佐藤（2022）がある。

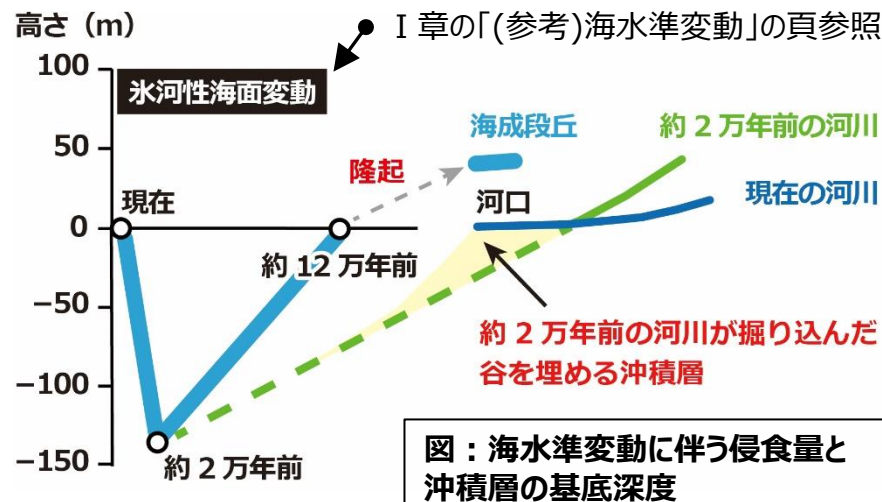
岡村（1990）地質学雑誌, vol.96, 223-237.

Choi et al. (2019) Geo-Marine Letters, vol.39, 493-511.

佐藤（2022）号外地球, no.73, 79-86.

10万年後程度における、侵食による深度の減少

- 上表の変動量のうち、現在の地殻変動様式・応力場になったと考えられる時代における変動量・変動速度に基づいて、将来10万年後程度における侵食量を想定する。
- マスムーブメントの可能性がある場合は、それによる深度の減少を上記の深度の減少量に加えることを検討する。



(参考) 沿岸部の隆起量, 沖積層の基底深度

● 隆起量

- 隆起量については、文献調査地区内だけでなく、より広域を対象とした評価も必要となる可能性がある。
- **基本的に海洋酸素同位体ステージ (MIS) 5e (約12~13万年前) に対比される海成段丘面の分布高度**から求めた約12~13万年相当の隆起量に基づいて評価する。MIS 5eの海成段丘面が発達しない場では、MIS 5c (約10万年前) ないしはMIS5a (約8万年前) の海成段丘面の分布高度から求めた約10万年間ないしは約8万年間相当の隆起量に基づいて評価する。
- 文献調査地域における海成段丘面の分布については、**文献情報に加えて地形判読**からも確認する。海成段丘面の区分ならびにMISとの対比については、地形面の分布・性状、テフラ層序、絶対年代、段丘堆積物・被覆層の風化度合に関する情報等に基づいて総合的に判断する。
- 海成段丘面が発達しない場では、MIS 11, 9, 7, 5のいずれかに対比され*, 堆積環境が明らかになっている海成層の分布高度から求めた約10万年間相当の隆起量に基づいて評価する。

* MIS 11以降の間氷期の地層を対象としたのは、それらの形成年代を比較的制約しやすいため (例えば、原子力規制委員会, 2013)。

原子力規制委員会 (2013) 敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド。

- 過去10万年程度に満たない期間で求められた隆起速度については、その値が少なくとも氷期・間氷期サイクル1回程度の期間の時間代表性をもつ値であると解釈できる場合に限り、その10万年間相当の隆起量を評価に用いる。
- 間氷期の時代と海水準高度については、最近の知見に基づいて設定する。
- 既往研究に示された隆起量・速度については、値の算出に用いられた方法を精査し、値の信頼性等を考慮した上で評価に用いる。
- 沖積層の基底深度と合算する場合は、過去12~13万年間相当の隆起量を用いる。

● 沖積層の基底深度

- 文献情報だけでなく**物理探査断面やボーリング柱状図の読み取り**に基づいて把握する。
- 沖積層の基底深度についての**情報を得られない場合**は、「現河口／現海岸線付近において、後期更新世以降現在までに生じた下刻量は、少なくとも隆起域については、その期間の隆起量に100mを加えたものに相当する深さが限度となると考えられる」(幡谷ほか, 2016) に基づいて評価する。

幡谷ほか (2016) 応用地質, vol.57, 15-26.

(参考) 内陸部の侵食量

- 過去10万年程度よりも長い時間スケールで変動量（隆起，侵食，削剥量）が求められている場合，変動量が求められた期間の気候変動やテクトニクス等を踏まえた上で，その10万年間相当の変動量を評価する。
- 過去10万年程度に満たない期間で求められた変動速度については，その値が少なくとも氷期・間氷期サイクル1回程度の期間の時間代表性をもつ値であると解釈できる場合に限り，その10万年間相当の変動量を評価に用いる。
- 文献情報や既存データ等の分析に基づいて評価する。評価のための検討材料として以下が挙げられる。
 - ・氷期・間氷期サイクルに対応して形成された**河成地形面**における1サイクル分の**地形面オフセット量**に基づいた過去10万年程度程度の**隆起量**（吉山・柳田, 1995; 田力・池田, 2005; 幡谷, 2006）。
 - ・形成年代が制約された**河成地形面**（高木ほか, 2000; 山元, 2007; 渡壁ほか, 2014）や**穿入蛇行跡の流路堆積物**（安江ほか, 2014; 小形ほか, 2021）の**現河床からの比高**に基づいた過去10万年程度の下刻量。
 - ・低温領域ないしは超低温領域の**熱年代法等**による山地の数10万～100万年スケールの削剥速度（末岡ほか, 2015; 小形・末岡, 2021）や，**宇宙線生成核種法**による山地流域における100～1000年スケールの削剥速度（松四ほか, 2014）から算出される10万年間相当の削剥量。

- ・ 幡谷（2006）電力中央研究所報告, N05017.
- ・ 松四ほか（2014）応用地質, vol.54, 272–280.
- ・ 小形・末岡（2021）RADIOISOTOPES, vol.70, 159–172.
- ・ 小形ほか（2021）第四紀研究, vol.60, 27–41.
- ・ 末岡ほか（2015）地球科学, vol.69, 47–70.
- ・ 田力・池田（2005）第四紀研究, vol. 44, 229–245.
- ・ 高木ほか（2000）地学雑誌, vol.109, 366–382.
- ・ 渡壁ほか（2014）地形, vol.35, 131–146.
- ・ 山元（2007）地質調査研究報告, vol.57, 217–228.
- ・ 安江ほか（2014）地質学雑誌, vol.120, 435–445.
- ・ 吉山・柳田（1995）地学雑誌, vol.104, 809–826.

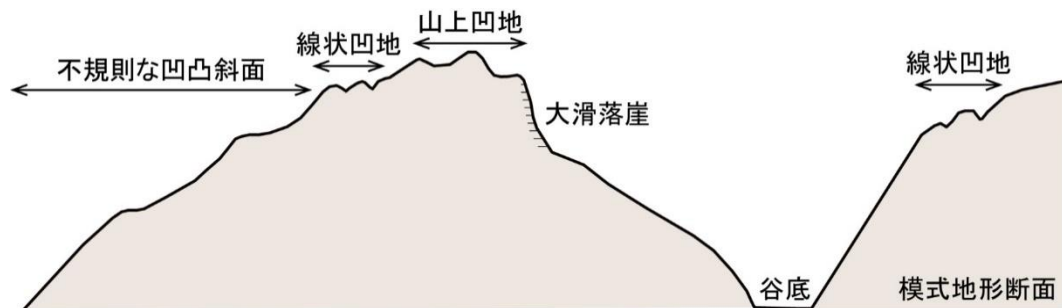
(参考) マスムーブメント

- 文献情報や既存データ等の読み取り・分析などから、**重力性変形を示唆する地表変動や地形**（不規則凹凸斜面，線状凹地，大滑落崖または山上凹地；千木良，2015）を確認でき、**地質断面等の情報からマスムーブメントの規模を推定できる斜面**において、マスムーブメントが**発生した場合の深度減少量**を評価する。

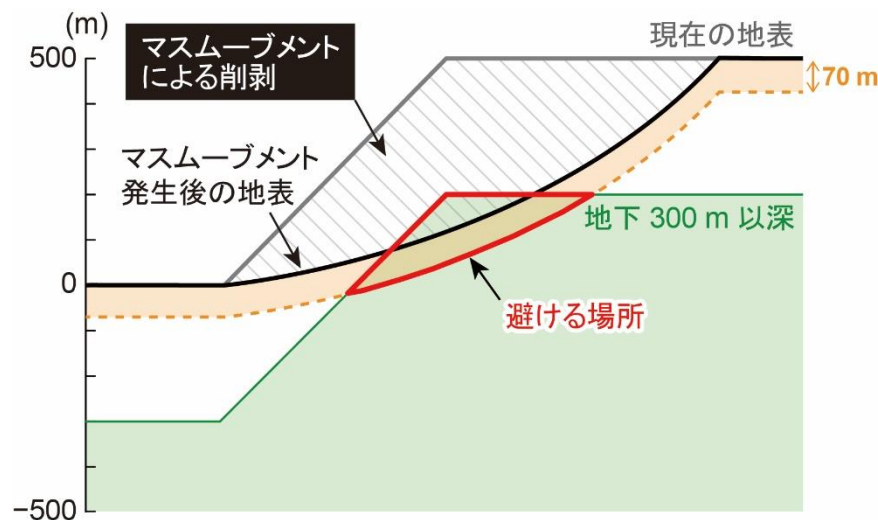
千木良（2015）応用地質，vol.56，200-209.

深層崩壊の地形的兆候として着目される 重力斜面変形地形の例*

* 千木良（2015）を参考にして作成。



マスムーブメントによる深度減少量のイメージ



- 我が国で発生した歴史時代の巨大崩壊（移動土塊量， $> 1000 \text{万m}^3$ ；塚本，2011）の中には，火山体で発生したものを除いたとしても，崩壊地の比高が300 mを超えるものがある。例えば，町田（1984）には，大谷崩れ（古第三紀の砂岩・粘板岩）と庄川帰雲崩れ（濃飛流紋岩）における崩壊地の比高（※）がともに550 mと記されている。

町田（1984）地形，vol.5，155-178. 塚本（2011）地質調査総合センター研究資料集，no.543.

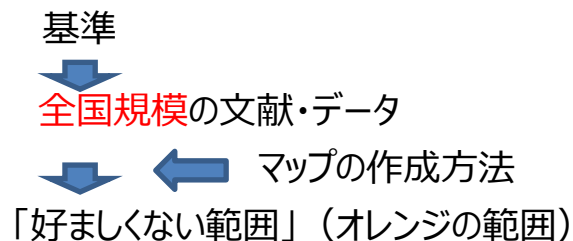
- 日本列島の海域において過去約10万年間に発生したマスムーブメントの中には，斜面崩壊によって生じた凹地の比高（※）が300mを超える場もある（例えば，福井沖大陸斜面で発生した海底マスムーブメント；山本，1991を参照）。

山本博文（1991）地質調査所月報，vol.42，no.5，221-232.

※崩壊前の斜面からの深度減少量そのものは不明であるため、崩壊後の比高を示している。

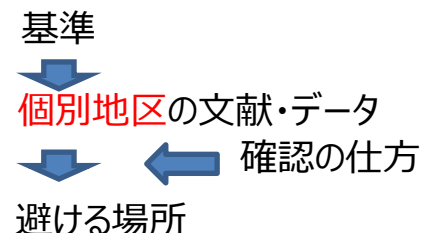
科学的特性マップの基準

- **全国一律**で「好ましくない範囲」を描くため
- **全国規模**の文献・データに基づく
- その当時（2017）の知見に基づく
- **地表の場所**を対象



文献調査段階の項目ごとの基準

- **個別地区**ごとに避ける場所の有無や範囲を判断するため
- **個別地区**ごとの詳細な文献・データの調査に基づく
- **最新（2023）**の知見に基づく
- **地下**の最終処分を行おうとする地層を対象



- 海水準低下による最大150mの侵食量が考えられる沿岸部のうち、隆起速度最大区分（90 m以上/10万年）のエリア

- 以下に該当することが**明らか**または**可能性が高い**場所

- （ア）過去10万年程度における最大侵食量が最終処分を行おうとする地層の深度を超えている。
- （イ）侵食による深度の減少を考慮すると、10万年後程度において、最終処分を行おうとする地層について、70mより更に深い深度を確保できない。

<侵食の基準、確認の仕方の特徴>

- 将来確保すべき深度（70mよりさらに深い）の設定
- 地形場別（沿岸部、沿岸部の沖積低地、大陸棚、内陸部）に侵食量の確認の仕方を設定
- 10万年後程度における深度の減少については、マスマーブメントによる削剥の可能性も考慮



Ⅱの5. の参考資料

(参考) 地層処分技術WGとりまとめ (2017) 抜粋

3.3 地質環境特性及びその長期安定性の確保に関する検討 3.3.1 「好ましくない範囲」の要件・基準

② 隆起・侵食 (著しい隆起・侵食に伴う処分場の地表への著しい接近) より

- 隆起・侵食により、**処分場が地表に著しく接近する場合**について、地層処分システムの物理的隔離の機能を広範囲にわたり喪失させる恐れがあるため、隆起や海水準変動等の影響も考慮し、侵食作用 (マスムーブメントも含む) が**著しいと考えられる範囲を回避する必要がある**。**現象の考え方及び検討すべき対象**については、以下のように整理される。
 - 侵食のうち、線的侵食である河川による下刻が最も厳しく、主要な検討対象とすべき形式である。また、波浪侵食による海食崖の後退にも留意する必要がある。
 - 内陸については、隆起があった場合は隆起した分だけ侵食する、隆起量の予測の不確実性が高い場合は保守的に侵食基準面まで侵食する、等と仮定する方法が考えられる。
 - 沿岸については、侵食の要因となる海水準変動を推定し、地形面と侵食基準面である海水面との比高から、侵食量の時間的な変化を積算して評価する方法等が考えられるが、不確実性が高い場合には、氷期において海水準が最大で150m 程度低下した状態を想定し、侵食量を保守的に評価することが考えられる。沖積層の基底深度の情報も、将来の侵食量を推定する際の目安となると考えられる。
- このうち、**好ましくない範囲 (直接指標から確認される範囲)** は、以下のとおりである。**なお、処分深度が未定であるため、最も浅い深度300 mに処分されると想定している**。
 - 過去十万年における最大侵食量が300 m を超えたことが明らかな範囲
 - 以下のような明らかに著しい侵食量が予想される場所
 - ✓ 内陸の隆起性山地 (目安として今後十萬年以内に隆起量が300 m を超えると考えられる地域)
 - ✓ 隆起が顕著な沿岸部で、海水面低下量と合わせて大きな侵食量が見込まれる地域 (目安として、隆起と海面低下に伴う侵食量 (海面が最も低下した状態 (最大 - 150 m) で海面低下分が全て侵食されると想定) が今後10 萬年以内に300 mを超えると考えられる地域)
- 上述した好ましくない範囲に加えて、**処分地選定調査の中で (できれば概要調査段階で) 以下の範囲を明らかにしていく必要がある**。
 - 以下のような明らかに著しい侵食量が予想される場所
 - ✓ 内陸の隆起性山地 (目安として今後十萬年以内に隆起量が300 m を超えると考えられる範囲)
 - ✓ 隆起が顕著な沿岸部 (目安として、隆起と海面低下に伴う侵食量が、今後十萬年以内に300 m を超えると考えられる範囲)
 - 基準地形面の調査や堆積物の調査等の現地調査に基づいて、隆起量を評価し、さらに海水準変動を考慮して将来の侵食量を評価する。評価結果に基づき、処分場の設置深度を設定し、工学的な実現可能性も評価した上で、著しい影響が想定される範囲を回避し、精密調査を行う範囲を設定する。

(参考)「考慮事項」の「侵食」

中深度処分（※）より更に深い深度を確保すること。それぞれの時点で得られている情報に基づき、適切に考慮。

この際、隆起・沈降及び気候変動による大陸氷床量の増減に起因する海水準変動を考慮した侵食による深度の減少を考慮すること。

（※）地表から深さ70メートル以上の地下に設置された廃棄物埋設地において放射性廃棄物（廃炉等に伴い発生する比較的放射能レベルの高いもの）を埋設の方法により最終的に処分すること。核燃料物質又は核燃料物質によつて汚染された物の第二種廃棄物埋設の事業に関する規則（昭和63年総理府令第1号）第1条の2 第2項第3号。
（以上 文献1）

①中深度処分の規制基準（文献2）

＜規則＞ 侵食により地表からの深さが七十メートル未満に減少するおそれがないものであること。

＜解釈＞・・・廃棄物埋設地の位置について、次のことを求めている。

・・・廃棄物埋設地の位置について、隆起・沈降及び気候変動による大陸氷床量の増減に起因する海水準変動を考慮した侵食（廃棄物埋設地の近くに、河川がある場合は下刻の進展に伴って谷幅が広がる側方の侵食も考慮し、海岸がある場合は海食による侵食も考慮する）による10万年間の深度の減少を考慮しても、10万年後において廃棄物埋設地を鉛直方向に投影した地表面のうち、最も高度の低い地点から廃棄物埋設地の頂部までの距離が70メートル以上であることを求めている。

②侵食に係る考慮事項の考え方（文献2）

○中深度処分の規制基準では、一般的なトンネル掘削の深度から、隆起・沈降及び侵食を考慮して、**10万年後においても70m以上の深度を確保することを要求している。**

○地層処分の安全確保においても、**隆起・侵食を考慮した上で一定の深度は維持するという基本的な考え方は中深度処分と同様と考えられる。**他方で、HLW 中の長半減期核種の放射能濃度が中深度処分対象物より数桁高く、放射能濃度の減衰がより緩やかであることを踏まえ、**中深度処分より更に深い深度を確保することが適当と考えられる。**

文献1) 地層処分において安全確保上少なくとも考慮されるべき事項に関する検討（第7回目）－考慮事項の決定等－「別紙1」
<https://www.nra.go.jp/data/000402042.pdf>

文献2) 地層処分において安全確保上少なくとも考慮されるべき事項に関する検討（第5回目）－考慮事項案－「参考5」
<https://www.nsr.go.jp/data/000393021.pdf>

(参考) 中深度処分の要求深度の設定①

原子力規制委員会: 炉内等廃棄物の埋設に係る規制の考え方について, 平成28 年8月31 日 :

4-2 設計要求 (2) 規制期間終了後の安全確保に関する設計要求の考え方及び「参考7」

2) 人間侵入に関する要求

・中深度処分における人間侵入防止のための深度は、**我が国における現状の地下利用状況に照らし**・極めて事例が少ないものや・特殊で高度な技術を要するものは考慮する掘削行為から除くものとする。また、トンネル施工による廃棄物埋設地への掘削行為を**廃棄物埋設地の大規模な損傷を引き起こす事象と位置付け、トンネル施工の深度等を参考に**、地表から廃棄物埋設地の頂部までの深さが 70 メートルより深いこととする。

我が国における地下利用を伴う開発分野等

「参考7」

開発分野		深度設定に関する取扱い	理由など
①インフラ開発 (石油・ガス備蓄基地を除く)	地表からの掘削(開削)	・深度設定にあたっては踏まえない	・大部分が地表付近の利用のため不適 (ただし、シールド工法用の立坑はトンネル施工に包含)
	トンネル施工	・ 深度設定にあたって踏まえる	
	基礎杭	・ 深度設定にあたって踏まえる (支持地盤の深度に依存する)	・開削より深い深度までの利用形態が多い
①インフラ開発 (石油・ガス備蓄基地)		・深度設定にあたっては踏まえない	・ボーリング調査が先行実施される ・ボーリング調査は④井戸開発に包含
②資源開発		・深度設定にあたっては踏まえない	・立地選定により発生可能性を低減
③学術調査開発		・深度設定にあたっては踏まえない	・多くは既存の鉱山を用いたものであり ②資源開発に包含 ・新たに掘削されるものは先行ボーリング調査が行われており④井戸開発に包含
④井戸開発		・深度設定にあたっては踏まえない	・ボーリング掘削の事例は多く、一般的地下利用と考えられるが、深度の大小によらず行われることから、深度設定にあたって踏まえる事例とはせず、周辺公衆への影響評価を別途検討

一般的と考えられる①インフラ開発と④井戸開発による地下利用のうち、深度設定にあたり踏まえる事例として、①インフラ開発のうちトンネル施工と基礎杭を抽出

(参考) 中深度処分の要求深度の設定②

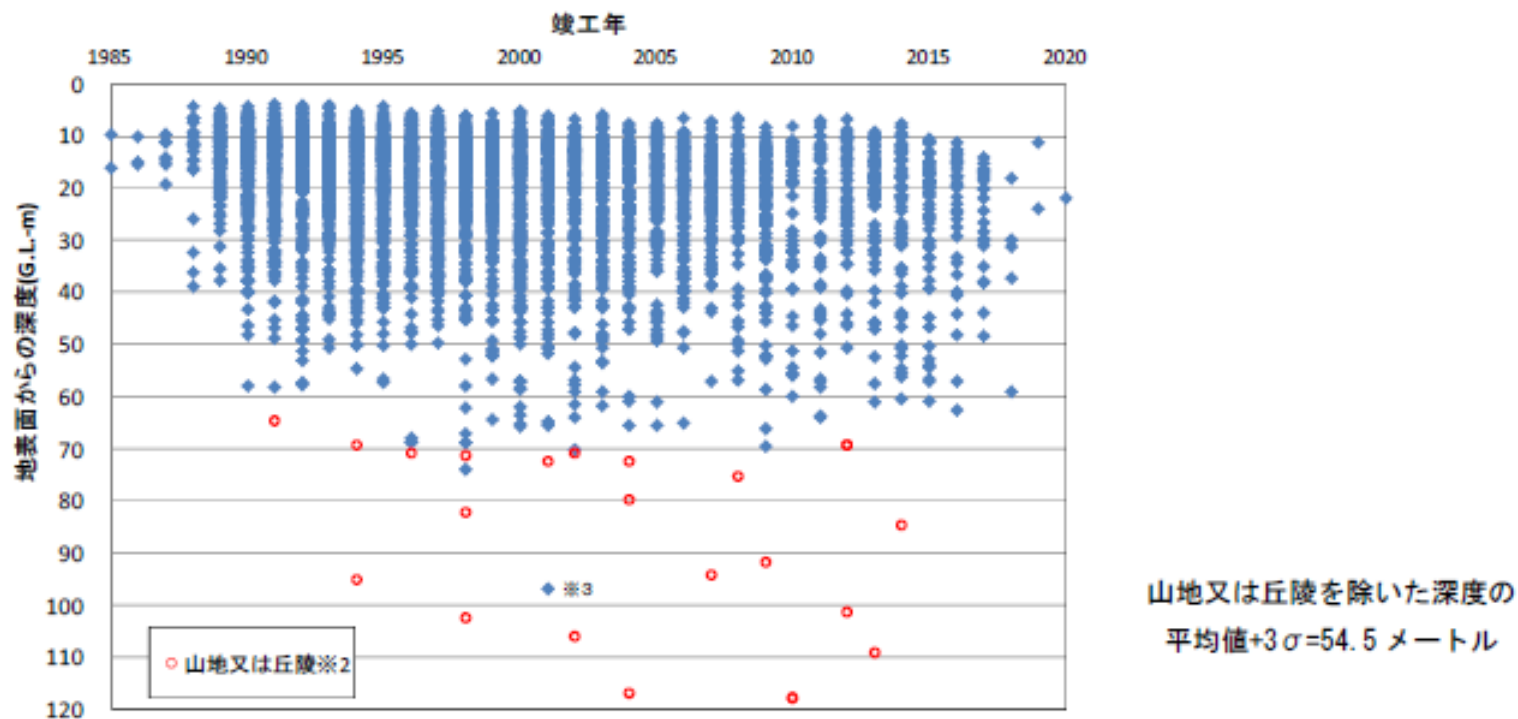
原子力規制委員会：炉内等廃棄物の埋設に係る規制の考え方について、平成28 年8月31 日：

4－2 設計要求 (2) 規制期間終了後の安全確保に関する設計要求の考え方及び「参考8」

2) 人間侵入に関する要求

・・・中深度処分における人間侵入防止のための深度は、**我が国における現状の地下利用状況に照らし**・・・極めて事例が少ないものや・・・特殊で高度な技術を要するものは考慮する掘削行為から除くものとする。また、トンネル施工による廃棄物埋設地への掘削行為を**廃棄物埋設地の大規模な損傷を引き起こす事象と位置付け、トンネル施工の深度等を参考に**、地表から廃棄物埋設地の頂部までの深さが 70 メートルより深いこととする。

シールド工法によるトンネル施工の深度と竣工年※1 「参考8」



※1 2020 年までの計画を含むシールド工法技術協会工事実績データ集に基づき、原子力規制庁で作図

※2 山地又は丘陵の地表からの深度であることを確認したもの(ここで、地表面の高低差が 50 メートル以上と判断されるものを山地又は丘陵とした)

※3 今井川調節池(横浜市)(高低差 45 メートル)

(参考) 第二種廃棄物埋設の廃棄物埋設地に関する審査ガイド 2.1.3 侵食

令和3年9月29日 原子力規制委員会 (最終改正: 令和4年4月20日) <https://www.da.nsr.go.jp/file/NR000223817/000388538.pdf>

(1) 侵食による深度の減少に係る調査・評価の方法

・「隆起・沈降及び気候変動による大陸氷床量の増減に起因する海水準変動を考慮した侵食（廃棄物埋設地の近くに、河川がある場合は下刻の進展に伴って谷幅が広がる側方の侵食も考慮し、海岸がある場合は海食による侵食も考慮する）」（解釈第12条2）の量（鉛直変位量）について、文献調査、物理探査、ボーリング調査等により**過去に形成された地形面と現在の地形面とのオフセット量の系統的な評価・解析や、氷期－間氷期サイクル1回以上を経た地形面を用いた変動量の評価の結果**を踏まえ、設定されていることを確認する。

(2) 廃棄物埋設地の頂部から地表面までの距離の測定方法

・「廃棄物埋設地を鉛直方向に投影した地表面のうち、最も高度の低い地点から廃棄物埋設地の頂部までの距離が70メートル以上であること」（解釈第12条2）について、廃棄物埋設地が複数の埋設坑道から構成されている場合は、個々の埋設坑道について、鉛直方向に投影した地表面のうち最も高度の低い地点から当該埋設坑道の頂部までの距離が70メートル以上であることが確認されていることを確認する。

(参考) 中深度処分における隆起と侵食の考え方 (廣田・伊藤, 2022) ①

廣田明成, 伊藤一充 (2022) 中深度処分における隆起と侵食の考え方. 原子力バックエンド研究, vol.29, 119-129.

要旨

～略～過去の研究成果から廃棄物埋設地周辺の隆起量を評価する場合においては、**採用するデータの時間スケールを考慮し、適用可能性について検討することが重要**となる。

4.3 「隆起・侵食」の検討における留意点のまとめ

以上のことから、**河川の中流域では**、同じ気候条件下で同じ河床縦断形を再現する河川の侵食の評価が必要な場合、気候変動1 サイクルよりも十分長い期間においては、河床の隆起速度と侵食速度を等しいと仮定することが可能である。しかし、気候変動1 サイクルよりも短い期間では、間氷期における最大侵食深が、廃棄物埋設地へ大きな影響を与える可能性がある。また、**河川の下流域となるような海岸部に廃棄物埋設地が設置される場合**、侵食基準面が低下する氷期に河川の最大侵食深が廃棄物埋設地へ大きな影響を与える可能性がある。加えて、海食の影響評価では、海食が発生する位置、つまり汀線位置、の移動についても検討が必要である。

6.2 地域的な隆起量の空間分布と時間分布

～略～、隆起は局所的な地殻変動ではなく、より広域な地殻変動が発生している区域の一部であると考えられる。**廃棄物埋設地の隆起量評価においては、該当地域だけの評価でなく、より広域の区域としての評価を行うことが必要となる可能性**がある。また、隣接する地域でも隆起速度が異なる例が珍しくないことから、流域全体を等速隆起と仮定したFig.1 の考え方は、そのまま現実の河川に適用できない場合があることに留意しなければならない。傾動運動が発生している河川流域での隆起に関する研究も行われており（例えば[31]）、**実際の廃棄物埋設地の評価においては、これまでの研究成果をふまえ、該当地域の現状に適した考え方を適用する必要**がある。

31:幡谷 (2006) 電力中央研究所報告, N05017.

(参考) 中深度処分における隆起と侵食の考え方 (廣田・伊藤, 2022) ②

廣田明成, 伊藤一充 (2022) 中深度処分における隆起と侵食の考え方. 原子力バックエンド研究, vol.29, 119-129.

5 隆起量評価手法の留意点

～略～そこで, 過去の研究例を参考にし, 海成段丘を使った隆起量評価手法の留意点について検討した.

5.1 隆起量の決定における留意点

海成段丘の段丘面上には離水後に堆積した風成被覆層等の陸成層が堆積している場合があり, 陸成層の層厚は一定とは限らない. 陸成層の正確な厚さを考慮せず, 段丘面高度から陸成層の層厚を一定として隆起量の指標とした場合, その値は過大もしくは過少評価となる可能性がある. 小池・町田[32]では, 高度の精度をA: 誤差 ± 0.1 m 程度 (実測), B: 誤差 ± 1 m 程度 (1/5,000 地形図からの読みとりなど) およびC: 誤差 ± 10 m 程度 (1/2.5 万地形図からの読みとりなど) とランク分けしており, 精度B およびC の一部地点では, 被覆層の厚さを正確には計測しておらず誤差が大きいことに注意が必要である[32]. そのため, 海成段丘を用いて隆起量を決定する際には, 離水後に堆積した陸成層を除いた, 離水時の汀線 (旧汀線) となる堆積物の高度と現汀線高度の比高を隆起量の指標とする必要がある. その際, 現在の海面高度と比較するために, 正確に旧汀線を確認する必要がある. 旧汀線の指標としては, 海食洞, ノッチ, ベンチ等の地形やヤッコカンザシ等の化石が挙げられるが, 生痕化石を含む前浜・後浜堆積物もある (例えば[32]等). これら堆積物の特徴を確認するための適当な手法としては堆積相解析が挙げられ (例えば[37,38]等), 旧汀線付近の露頭や, その地点で採取した複数のボーリング試料等から, 海面指標となる前浜・後浜堆積物を認定する. その際, 前浜・後浜堆積物より深部で堆積する外浜堆積物を海面指標と誤認した場合, 隆起量を過小に見積もる可能性がある. また, 陸成層を前浜・後浜堆積物と誤認した場合, 隆起量を過大に見積もる可能性がある. **堆積相解析を行わず, 地形判読のみから隆起量を把握する方法は簡便であり, 傾向を把握するためには有用であるため, 過去にそのような研究例は多いものの (例えば[32]等), 隆起量を誤って見積もる危険性があるため注意が必要である. 隆起量評価で過去の調査例を引用する場合にはその手法を精査し, 確度の高さを評価する必要がある.**

32:小池・町田 (2001) 東京大学出版会.

37:増田 (1988) 応用地質, vol.29, no.4, 28-37.

38:増田 (1989) 応用地質, vol.30, no.1, 29-40.

● 段丘面の高さ

- ✓ 地形面，特に段丘面は，段丘堆積物とそれを覆う斜面堆積物や風成堆積物などの被覆層からなる。そのため地形判読や地形図の読図により把握することができる段丘面の高さは，段丘堆積物に被覆層の厚さが加わったものである。地殻変動の傾向・量を正確に評価するためには，**ボーリング調査等により被覆層の厚さがどの程度あるのかを把握する必要**がある（例えば，Matsu'ura et al., 2014, 2019）。

Matsu'ura et al. (2014) Geomorphology, vol. 209, 1-17.

Matsu'ura et al. (2019) Quaternary Science Reviews, vol. 212, 45-68.

6. 第四紀の 未固結堆積物

- 具体的判断事項の抽出
- 基準案
- 基準への該当性の確認の仕方の基となる資料
- 確認の仕方案

● 施行規則 第六条（概要調査地区の選定）第二項

一 当該概要調査地区として選定しようとする地区内の最終処分を行おうとする地層が、第四紀の未固結堆積物であるとの記録がないこと。

「科学的特性マップ」策定時
の考え方のうち、事象や特
性の基本的考え方

「考慮事項」及び
その背景情報

その他の補足情報

未固結堆積物

～

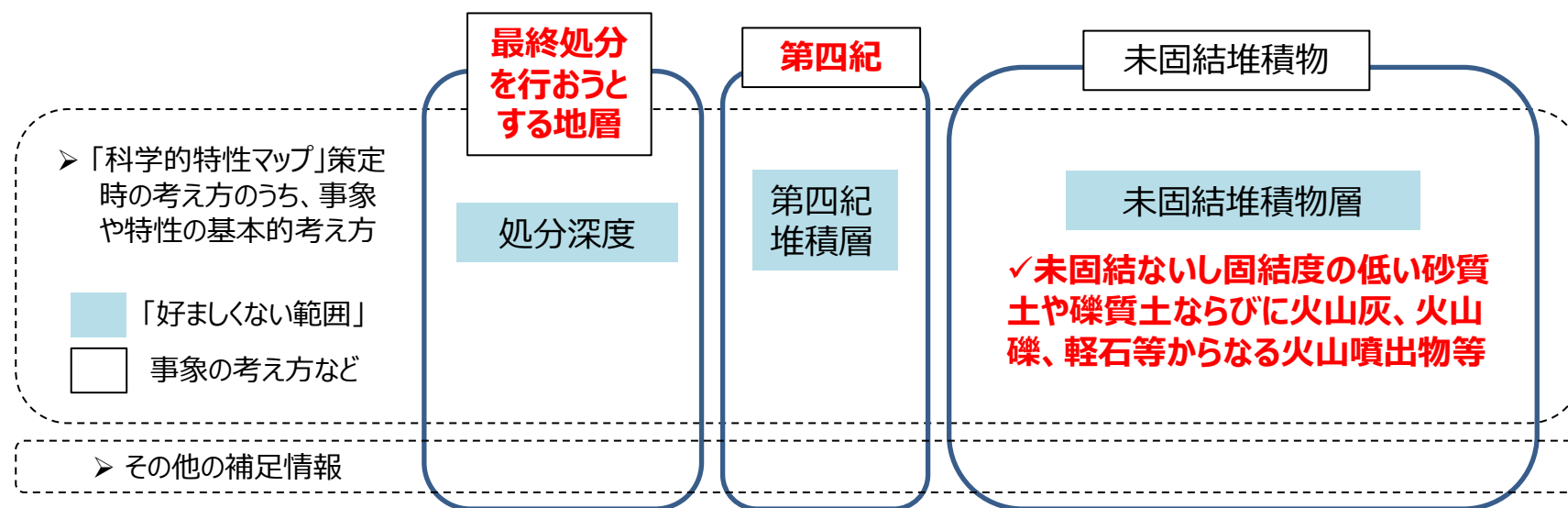
第四紀の未固結堆積物

● 具体的判断事項の抽出

- 最終処分施行規則、「科学的特性マップ」の「好ましくない範囲」などから、**具体的判断事項である赤太字部分を抽出**する。

- 施行規則 第六条（概要調査地区の選定）第二項

- 一 当該概要調査地区として選定しようとする地区内の**最終処分を行おうとする地層**が、**第四紀の未固結堆積物**であるとの記録がないこと。



- 施行規則 第六条（概要調査地区の選定）第二項

- 一 当該概要調査地区として選定しようとする地区内の最終処分を行おうとする地層が、第四紀の未固結堆積物であるとの記録がないこと。

- 最終処分を行おうとする地層が以下に該当することが**明らか**または**可能性が高い**場所（※）を避ける。

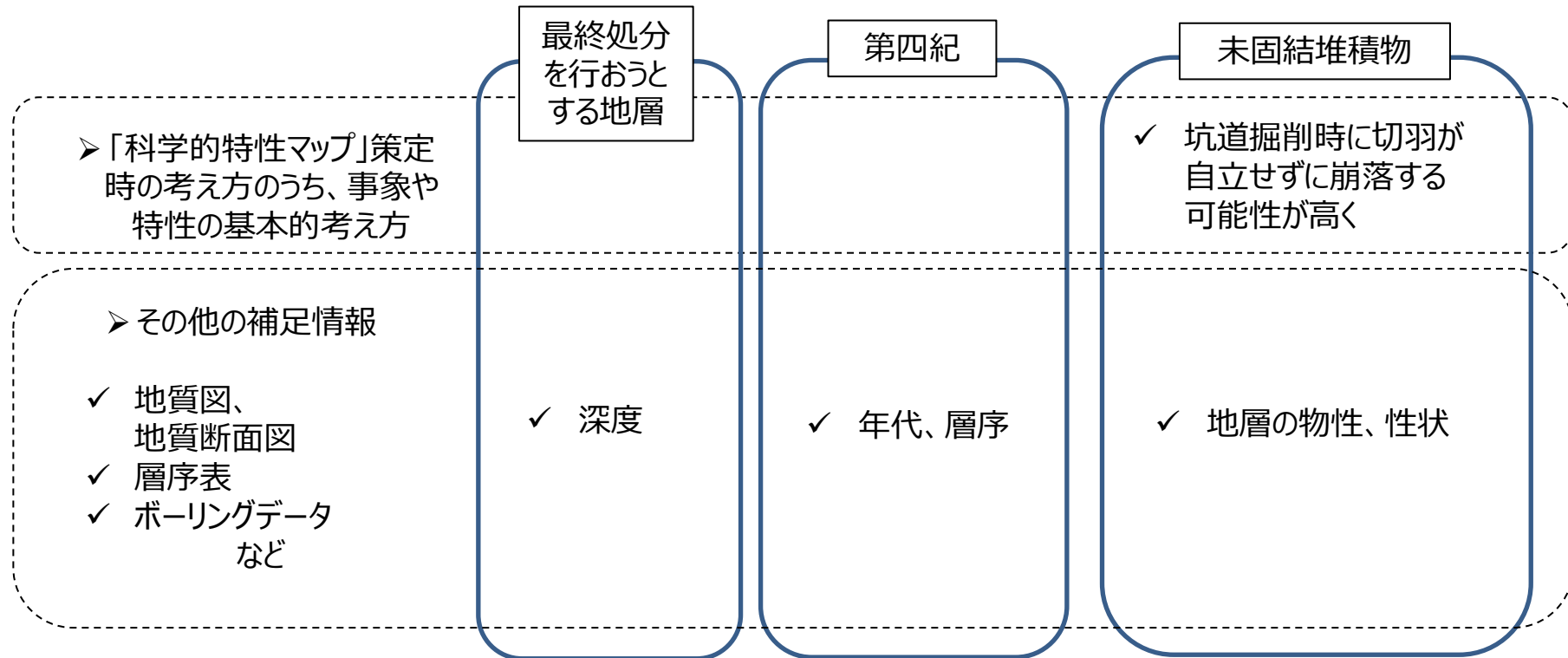
※（ア）かつ（イ）が最終処分を行おうとする地層と重なる部分

追記箇所

（ア）第四紀の地層であり、
かつ、

（イ）未固結ないし固結度の低い砂質土や礫質土ならびに火山灰、火山礫、軽石等からなる火山噴出物等

● 基準への該当性の確認の仕方の基となる資料



● 確認の仕方案

最終処分を行おうとする地層が、

(ア) 第四紀の地層であり、

- 表1に示す形成年代や分布の情報から、確認対象の地層の**年代と深度**を確認する。

(イ) 未固結ないし固結度の低い砂質土や礫質土ならびに火山灰、火山礫、軽石等からなる火山噴出物等

- 表1に示す**地層の性状や物性**の情報から、確認対象の地層が基準(イ)に該当するかを確認する。
- ボーリング柱状図などは、直接的な情報であり、**物性**の観点からも観察されている可能性があるため、得られればその情報を重視する。**岩相**の記載が基準(イ)に該当するかを確認する。

<定量的な評価について>

- 最終処分を行おうとする300m以深の岩盤強度に関する文献・データは少ないことから、そのような定量的な評価は概要調査において、現地調査で岩石の性状を調べ、「坑道の掘削に支障のない」ことを確認するとされていると考えられる。
- したがって、文献調査では、定性的な情報であっても明らかに未固結であると考えられる堆積物を避けることが目的と考えられる。
- 仮に、最終処分を行おうとする300m以深の岩盤強度に関する文献・データの情報があつた場合は、概要調査段階で行う定量的評価を想定して、明らかに「未固結」かどうかを判断するものとする。
- 概要調査段階で行う定量的評価はトンネルの地山評価方法、その中の基本的指標としては地山強度比が考えられる。**最も等級が低い地山分類の地山強度比よりも十分に小さいことなどが目安**になると考えられる。

(参考) 岩盤と比べて軟らかい地表の地盤の強度などの簡易判定法として標準貫入試験がある。この方法で得られるN値では目安として、砂の場合10以下が「緩い」、粘土の場合4以下が「軟らかい」という例が示されている。この例では、粘土の場合のN値4が一軸圧縮強度49.1kN/m² (=0.049MPa≒0.5kgf/cm²) に相当するとされている。

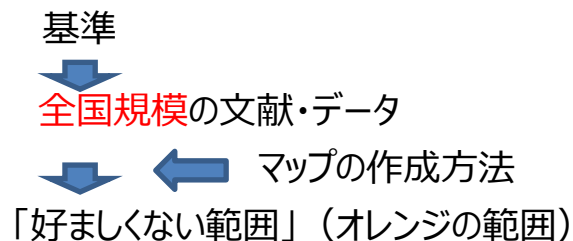
地盤工学会(2013)地盤調査 基本と手引き 第15章 標準貫入試験 1. はじめに 1.1標準貫入試験とは 1.2試験方法の概略 1.4結果の目安 表-15.1 より

表1 確認に用いる文献・データ及び情報

確認に用いる文献・データ	確認に用いる情報
地質図・地質データ	地層の性状、形成年代、分布
ボーリングデータ(柱状図など)	地層の性状、物性
物理探査データ	推定される地層の性状、形成年代

科学的特性マップの基準

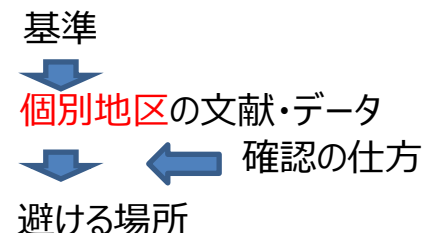
- **全国一律**で「好ましくない範囲」を描くため
- **全国規模**の文献・データに基づく
- その当時（2017）の知見に基づく
- **地表の場所**を対象



- 深度300m以深まで更新世中期以降（約78万年前以降）の地層が分布する範囲

文献調査段階の項目ごとの基準

- **個別地区**ごとに避ける場所の有無や範囲を判断するため
- **個別地区**ごとの詳細な文献・データの調査に基づく
- **最新（2023）**の知見に基づく
- **地下**の最終処分を行おうとする地層を対象



- 最終処分を行おうとする地層について以下のいずれかに該当することが明らかまたは可能性が高い場所

（ア）第四紀の地層であり、かつ、
（イ）未固結ないし固結度の低い砂質土や礫質土ならびに火山灰、火山礫、軽石等からなる火山噴出物等

＜第四紀の未固結堆積物の基準、確認の仕方の特徴＞

- 「未固結」そのものを評価
- 地質図、ボーリングデータなど「未固結」の具体的な確認の仕方を設定



Ⅱ の6. の参考資料

(参考) 地層処分技術WGとりまとめ (2017) 抜粋

地層処分技術WGとりまとめ (2017)

3.4 地下施設・地上施設の建設・作業時の安全性の確保に関する検討 3.4.1 地下施設の建設・作業に関する検討

①未固結堆積物より

- 一般的な未固結堆積物に関して、トンネル標準示方書（土木学会，2016）には「未固結地山」について、「**未固結ないし固結度の低い砂質土や礫質土ならびに火山灰、火山礫、軽石等からなる火山噴出物等**」と定義している。
- 地層処分のための地下施設は深度300 m より深い岩盤に建設されるため、このような未固結堆積物が地下深部まで存在する場合は、**坑道掘削時に切羽が自立せずに崩落する**可能性が高く作業従事者の安全が著しく損なわれることから、**回避する必要がある。**
- 「第四紀堆積層のうち未固結堆積物層が分布する範囲」を「**好ましくない範囲（直接指標から確認される範囲）**」として検討する。

(参考) 概要調査段階の調査・評価との比較

文献調査段階：最終処分法第六条**抜粋**
既存の文献・データによる調査

概要調査段階：最終処分法第七条**抜粋**
地表踏査、物理探査、ボーリング調査などの現地調査

施行規則第五条 調査項目

- 一 概要調査地区として選定しようとする地区に**第四紀の未固結堆積物**があるときは、その**存在状況の概要**に関する事項

第一項 調査項目

- 二 当該対象地層等を構成する**岩石の種類及び性状**に関する事項

(施行規則第六条第二項) 適合性を確認する条件

- 一 当該概要調査地区として選定しようとする地区内の最終処分を行おうとする地層が、**第四紀の未固結堆積物である**との記録がないこと。

第二項 適合性を確認する条件

- 二 当該対象地層等が**坑道の掘削に支障のない**ものであること。

(参考)「未固結」の定量的な目安の例：地山強度比

竹林亜夫, 滝沢文教 (2002) : トンネル掘削時の坑内変位に関する地質工学的研究, 応用地質技術年報, No. 22
https://www.oyo.co.jp/oyocms_hq/wp-content/uploads/2014/12/2002_04.pdf

- 素掘りトンネル（側圧係数1.0）の場合に塑性領域が生じるのは、地山強度比が2以下の場合である。
- 地山強度比が1よりも小さくなると塑性領域は大きくなり、内部摩擦角が小さい程塑性領域は大きくなる。この解析では、塑性領域が大きい程、坑内変位量が大きいことを示している。

● 地山強度比 $= q_u / \gamma h$

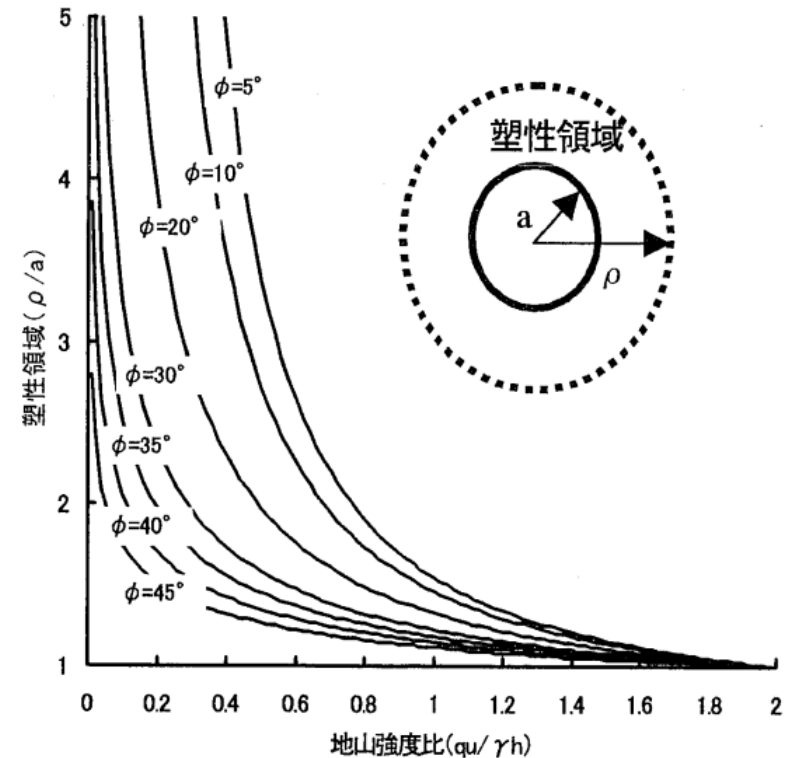
- ✓ q_u : 一軸圧縮強度
- ✓ γ : 単位体積重量
- ✓ h : 土被り厚

(以下、試算)

地山強度比1の場合

仮に岩盤の単位体積重量を 20kN/m^3 、深度を $300\text{m} \sim 1,000\text{m}$ とした場合、必要な一軸圧縮強さは $6 \sim 20\text{MPa}$ となる。

$1\text{kgf/cm}^2 \doteq 0.1\text{MN/m}^2 = 0.1\text{MPa}$ 、 $6 \sim 20\text{MPa} \doteq 60 \sim 200\text{kgf/cm}^2$



図ー7 円要素掘りトンネルの塑性領域と地山強度比の関係
Fig-7 Relationship between competence factor and plastic area around circular tunnel

(参考)「未固結」の定量的な目安の例：鉄道トンネルの地山等級

土木学会 (2016) トンネル標準示方書 [山岳工法編]・同解説 第2編 計画および調査
3.3.2地山条件調査結果の整理と利用 付表1 より

(独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構：
山岳トンネル設計施工標準・同解説、
p.39,2014 より

付表1 鉄道トンネルの地山等級(計画段階における地山分類基準)¹⁾

地山 等級	地山 種類	A岩種	B岩種	C岩種	D岩種	E岩種	F, G岩種	
							粘性土	砂質土
V _N		$V_p \geq 5.2$	—	$V_p \geq 5.0$	$V_p \geq 4.2$	—	—	—
IV _N		$5.2 > V_p \geq 4.6$	—	$5.0 > V_p \geq 4.4$	$4.2 > V_p \geq 3.4$	—	—	—
III _N		$4.6 > V_p \geq 3.8$	$V_p \geq 4.4$	$4.4 > V_p \geq 3.6$	$3.4 > V_p \geq 2.6$ かつ $G_n \geq 5$	$2.6 > V_p \geq 1.5$ かつ $G_n \geq 6$	—	—
II _N		$3.8 > V_p \geq 3.2$	$4.4 > V_p \geq 3.8$	$3.6 > V_p \geq 3.0$	$2.6 > V_p \geq 2.0$ かつ $5 > G_n \geq 4$	$2.6 > V_p \geq 1.5$ かつ $6 > G_n \geq 4$	—	—
I _{N-2}		$3.2 > V_p \geq 2.5$	—	$3.0 > V_p \geq 2.5$	$2.6 > V_p \geq 2.0$ かつ $4 > G_n \geq 2$ あるいは $2.0 > V_p \geq 1.5$ かつ $G_n \geq 2$	$2.6 > V_p \geq 1.5$ かつ $4 > G_n \geq 3$	—	—
I _{N-1}		—	$3.8 > V_p \geq 2.9$	—	—	$2.6 > V_p \geq 1.5$ かつ $3 > G_n \geq 2$	$G_n \geq 2$	$D_r \geq 80$ かつ $F_c \geq 10$
I _S					$1.5 > V_n$	$1.5 > V_n$	$2 > G_n \geq 1.5$	—
I _L		$2.5 > V_p$	$2.9 > V_p$	$2.5 > V_p$	あるいは $2 > G_n \geq 1.5$	あるいは $2 > G_n \geq 1.5$	—	$D_r \geq 80$ かつ $10 > F_c$
特S							$1.5 > G_n$	—
特L					$1.5 > G_n$	$1.5 > G_n$	—	$80 > D_r$

- 地山強度比1.5の場合
仮に岩盤の単位体積重量を
20kN/m³、深度を300m～
1,000mとした場合、必要な一軸圧
縮強さは9～30MPaとなる。

$$1\text{kgf/cm}^2 \div 0.1\text{MN/m}^2 = 0.1\text{MPa}$$

$$9 \sim 30\text{MPa} \div 90 \sim 300\text{kgf/cm}^2$$

等級が低い地山分類において

G_n : 地山強度比 < 1.5

V_p : 弾性波速度 (km/sec) < 1.5

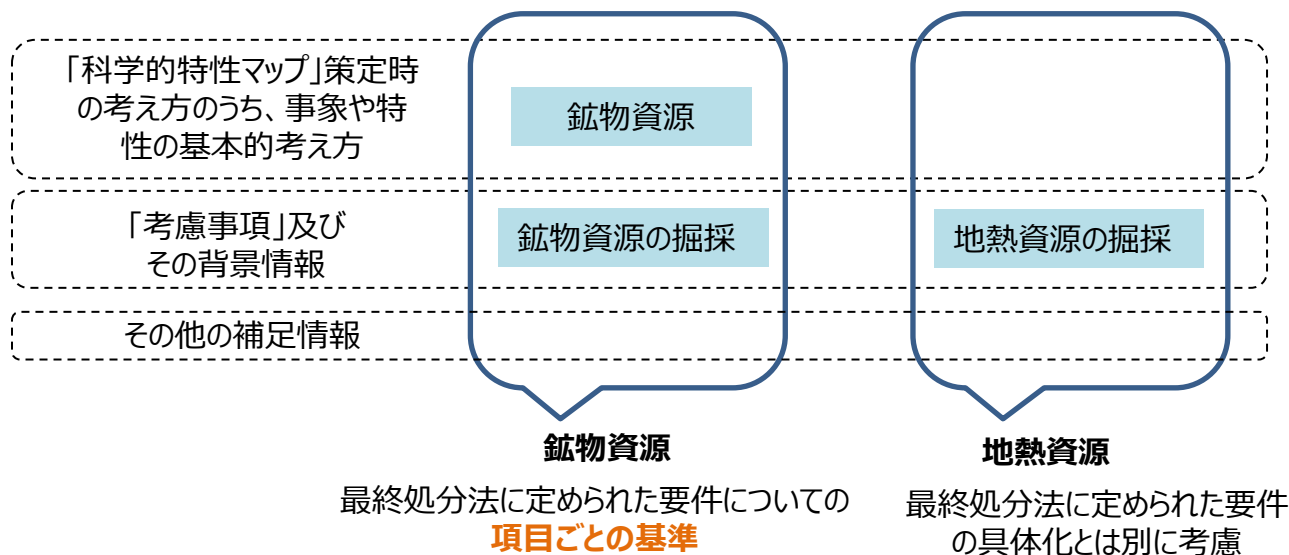
V_p : 弾性波速度(km/sec), G_n : 地山強度比, D_r : 相対密度(%), F_c : 細粒含有率(%)

7. 鉱物資源

- 人間侵入の観点
- 「鉱物資源」：鉱業法第3条第1項
- 現在の経済的価値
- 具体的判断事項の抽出
- 「現在稼働中」、「残存鉱量」、「十分な量及び品位」
- 基準案
- 基準への該当性の確認の仕方の基となる資料
- 確認の仕方案

- 施行規則 第六条（概要調査地区の選定）第二項

二 当該概要調査地区として選定しようとする地区内の最終処分を行おうとする地層において、その掘採が経済的に価値が高い鉱物資源の存在に関する記録がないこと。



● 人間侵入の観点

- 「鉱物資源」に関する基準は偶発的な人間侵入（掘削）の可能性をできるだけ低減させることを目的としている。
- 掘削により、掘削者が放射性廃棄物に接近するおそれ、生活環境に放射性物質が放出されるおそれがある。

➤ 地層処分技術WGとりまとめ（2017）

- ✓ 放射性廃棄物の物理的隔離機能を損なわないためには、・・・地下深部の長期安定性とは性質が異なることとなるが、最終処分施設に対する**偶発的な人間侵入**の可能性についてもできるだけ低減させる必要がある。
- ✓ 人間侵入としては鉱物資源の**探査や採掘**といった行為が一般的に考えられる。

➤ 地層処分において安全確保上少なくとも考慮されるべき事項に関する検討（第1回目）－検討方針案－

- ✓ 検討対象とする事象及び各事象が公衆に著しい被ばくを与えるプロセスの一つとして、以下のように説明されている。
 - ・ 事象：人為事象－鉱物資源等の掘採
 - ・ 公衆に著しい被ばくを与えるプロセス

【生活環境への放射性物質の放出等】

鉱物資源や地熱資源が存在する場所に廃棄物埋設地を設置した場合、**偶発的な掘削**を誘引し、**掘削者が放射性廃棄物に接近するおそれや、生活環境に放射性物質が放出されるおそれがある。**

※最終処分施設、廃棄物埋設地ではなく、その周辺における掘削の影響については、施設の配置や地下水流動評価といった、工学的対策、安全評価と関連することから、概要調査以降で考慮していく。

● 「鉱物資源」：鉱業法第3条第1項

- 「科学的特性マップ」の「好ましくない範囲」、「考慮事項」から、対象となる「鉱物資源」は**鉱業法第3条第1項**に規定されているものとする。
- 鉱業法第3条第1項には、**石炭、石油、可燃性天然ガスなどの燃料鉱物も含まれる。**

➤ 地層処分技術WGとりまとめ（2017）

- ✓ **議論の対象とする鉱物資源を「鉱業法で定められる鉱物」とし、「好ましくない範囲（直接指標から確認される範囲）」は、「現在稼働中の鉱山あるいは残存鉱量が大きな閉山鉱山や未開発発見済み鉱床」とすることとした。**

➤ 地層処分において安全確保上少なくとも考慮されるべき事項に関する検討（第7回目）－考慮事項の決定等－

- ✓ 資源利用のための掘削が行われる可能性がある十分な量及び品位の**鉱物資源（※）**の鉱床の存在を示す記録が存在しないこと並びに地温勾配が著しく大きくないこと。

（※）**鉱業法（昭和25年法律第289号）第3条第1項に規定されているものをいう。**

➤ 鉱業法第三条（適用鉱物）

この条以下において「鉱物」とは、金鉱、銀鉱、銅鉱、鉛鉱、そう鉛鉱、すず鉱、アンチモニー鉱、亜鉛鉱、鉄鉱、硫化鉄鉱、クローム鉄鉱、マンガン鉱、タングステン鉱、モリブデン鉱、ひ鉱、ニッケル鉱、コバルト鉱、ウラン鉱、トリウム鉱、りん鉱、黒鉛、**石炭、亜炭、石油、アスファルト、可燃性天然ガス、硫黄、石こう、重晶石、明ばん石、ほたる石、石綿、石灰石、ドロマイト、けい石、長石、ろう石、滑石、耐火粘土（ゼーゲルコーン番号三十一以上の耐火度を有するものに限る。以下同じ。）**及び砂鉱（砂金、砂鉄、砂すずその他ちゅう積鉱床をなす金属鉱をいう。以下同じ。）をいう。

2 前項の鉱物の廃鉱又は鉱さいであつて、土地と附合しているものは、鉱物とみなす。

● 現在の経済的価値

- 「掘採が経済的に価値が高い」については、**現在の経済的価値に基づくものとする。**

➤ 地層処分技術WGとりまとめ（2017）

- ✓ ・・特に何が「経済的に価値の高い鉱物資源」であるかは時代や地域性によって異なる可能性があり、そうした不確実性も認識しつつ、**現在の経済的価値が高いもの**は、できるだけ避けていくことが国際的にも議論されている。
- ✓ ・・また、現在は資源とみなされていないものの、**将来資源となる可能性のあるものについては、一般的な環境要件として論ずることは困難**であり、処分地選定調査を行う前段階において地層処分に好ましくない特性を有するか否かを判断する際の要件・基準として示すことには適さないと考えられる。

➤ NRA技術ノート：中深度処分の規制基準の背景及び根拠（文献1）

- ✓ 量や品位を問わなければ鉱物資源はどこにでも存在するが、掘採が行われるかどうかは経済合理性にも依存すると考えられる。上記規則及び解釈の鉱物資源（鉱業法に規定されているもの）に関する規定は、資源採取を目的とした掘削行為を誘発することを避けるため、**事業許可時点において「資源利用のための掘削が行われる可能性がある十分な量及び品位の鉱物資源の鉱床の存在を示す記録」が存在しないことを求めている。**

文献1) 原子力規制庁（2022）<https://www.nra.go.jp/data/000402746.pdf>

(参考) 制度による掘削の制限

- 最終処分法及び原子炉等規制法により、施設の敷地及びその周辺の区域及びこれらの地下について、一定の範囲を定めた区域が指定され、土地の掘削が制限される。

➤ 最終処分法

第二十一条 経済産業大臣は、機構の申請があった場合において、最終処分施設を保護するため必要があると認めるときは、その最終処分施設の敷地及びその周辺の区域並びにこれらの地下について一定の範囲を定めた立体的な区域を保護区域として指定することができる。

2～5 (略)

6 保護区域内においては、経済産業大臣の許可を受けなければ、土地を掘削してはならない。(略)

7～9 (略)

➤ 原子炉等規制法 (核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律)

第五十一条の二十七 原子力規制委員会は、廃棄物埋設の事業開始前に、当該事業に係る廃棄物埋設施設の敷地及びその周辺の区域並びにこれらの地下について一定の範囲を定めた立体的な区域を指定するものとする。

2～4 (略)

第五十一条の二十八 (略)

2 原子力規制委員会は、前項の規定により提出された記録を公示するとともに、これを永久に保存しなければならない。

第五十一条の二十九 指定廃棄物埋設区域内においては、原子力規制委員会の許可を受けなければ、土地を掘削してはならない。(略)

2 (略)

第五十一条の三十 (略)

● 具体的判断事項の抽出

- 最終処分法施行規則、「科学的特性マップ」の「好ましくない範囲」など、「考慮事項」及び背景情報、その他の補足情報から、**具体的判断事項である赤太字部分を抽出**する。

- 施行規則 第六条（概要調査地区の選定）第二項

二 当該概要調査地区として選定しようとする地区内の**最終処分を行おうとする地層**において、その**掘採が経済的に価値が高い**鉱物資源の存在に関する記録がないこと。

	最終処分を行おうとする地層	掘採が経済的に価値が高い	存在に関する記録
➤ 「科学的特性マップ」策定時の考え方のうち、事象や特性の基本的考え方 ■ 「好ましくない範囲」 □ 現象の考え方など		現在 稼働 中の鉱山あるいは 残存鉱量が大きな 閉山鉱山や未開発発見済み鉱床	
➤ 「考慮事項」及びその背景情報 ■ 「考慮事項」 □ 中深度処分の規制基準などの背景情報		資源利用のための掘削が行われる可能性がある 十分な量及び品位 の鉱物資源の鉱床 ✓ 事業許可時点において、「資源利用の・・・記録」が存在しないことを求めている。	存在を示す記録が存在しないこと ✓ 公的研究機関が取りまとめたデータベース等を対象に調査
➤ その他の補足情報		✓ 経済的、技術的に採掘可能な 可採埋蔵量	✓ 個別の鉱山ごとの記録・・・公表されているものが多いとは言えない。

● 「現在稼働中」、「残存鉱量」、「十分な量及び品位」

● 現在稼働中の鉱山

- 石油、天然ガスは数十存在する。
- 石炭、金属鉱物は非常に少ない。
- 非金属鉱物が多い。

● 残存鉱量

- いくつかの種類の埋蔵量がある。一定のルール（JIS規格など）により区画を設定して鉱量を計算していると考えられる。
- 経済的、技術的に実際採掘可能と考えられる可採埋蔵量のうち、確実度が高い、「確定」や「確認」といった埋蔵量が参考になると考えられる。
- こういった埋蔵量、分布の区画が調査されている、**個別の鉱山ごとの記録を調べる**必要があるが、公表されているものが多いとは言えない。適宜、**公的研究機関が取りまとめたデータベース等**により、鉱種ごとに国内の埋蔵量の状況などを調査することは可能。

● 資源利用のための掘削が行われる可能性がある**十分な量及び品位**

- 上記の現在稼働中または近年まで稼働した鉱山の鉱量、品位に準ずるのが妥当だと考えられる。
- 経済性は鉱量と品位の両方に依存するため、両者を考慮して設定され、比較的確実度が高い、**可採埋蔵量**などの参照が妥当と考えられる。
- 鉱区が設定されても採掘が稼働していない場所は、掘採の経済性は少ないと考えられる。
- 国民経済上重要な特定鉱物の特定区域の設定が制度化されているが、それだけでは鉱区は未設定であるため、経済性については上記と同様に、稼働、埋蔵量等で判断するのが妥当と考えられる。

● 施行規則 第六条（概要調査地区の選定）第二項

二 当該概要調査地区として選定しようとする地区内の最終処分を行おうとする地層において、その掘採が経済的に価値が高い鉱物資源の存在に関する記録がないこと。

➤ **最終処分を行おうとする地層に、以下が存在することが明らかまたは可能性が高い場所（※）を避ける。**

※（ア）または（イ）が最終処分を行おうとする地層と重なる部分

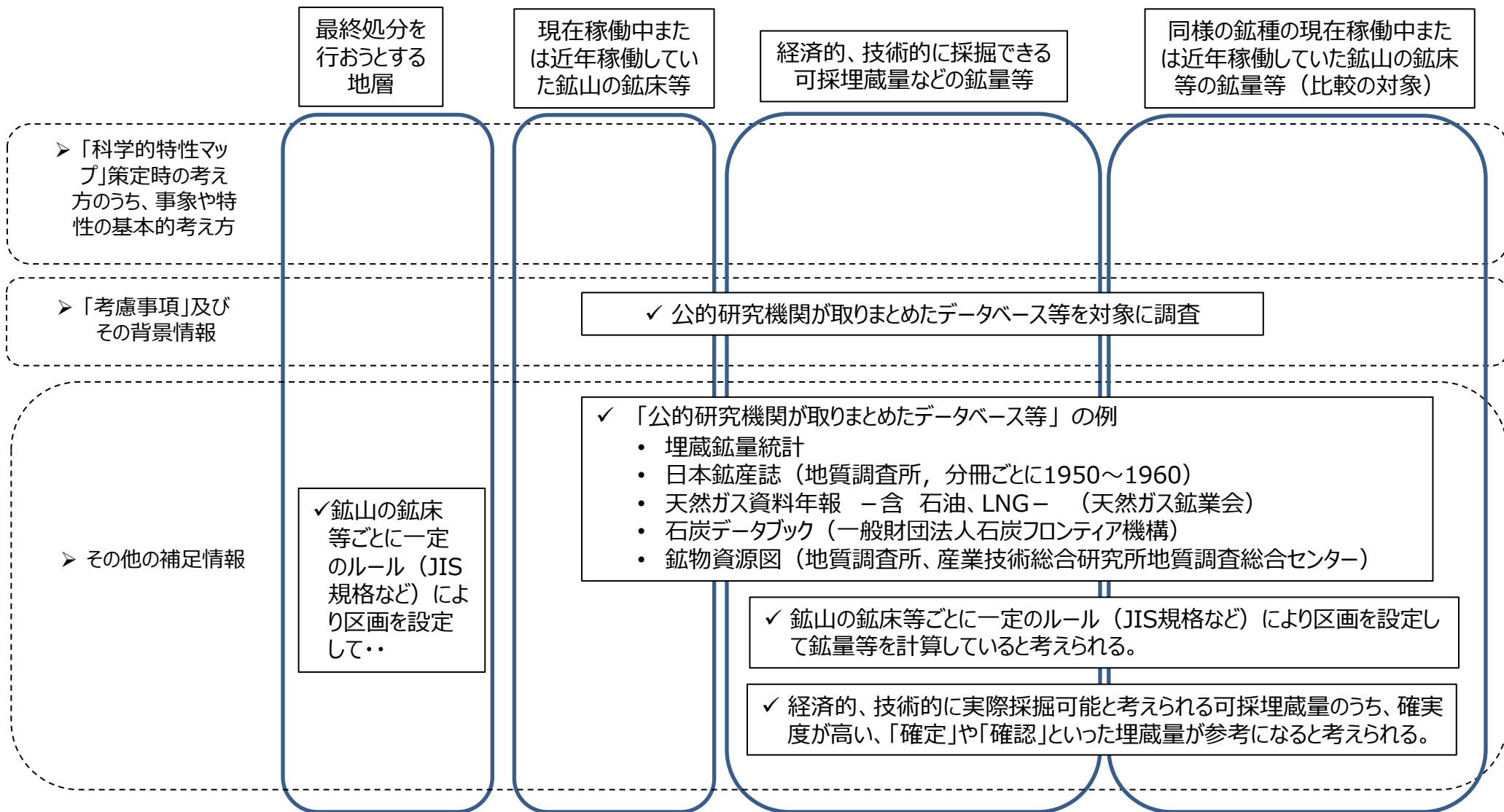
追記箇所

（ア）現在稼働中または近年稼働していた、鉱山の鉱床等（炭田、油田、ガス田含む）

または

（イ）経済的、技術的に採掘できる可採埋蔵量などの鉱量等（炭量など含む）が、同様の鉱種の現在稼働中または近年稼働していた鉱山の鉱床等（炭田、油田、ガス田含む）と同等である。

● 基準への該当性の確認の仕方の基となる資料



● 確認の仕方案

①現在稼働中または近年稼働していた鉱山の鉱床等（炭田、油田、ガス田含む）

- 「現在稼働中の鉱山の鉱床等」は鉱業権が設定され、休止していない鉱山の鉱床等とする。
- 「近年稼働していた鉱山の鉱床等」は公的機関などの埋蔵鉱量調査時点（※）で稼働していた鉱山の鉱床等とする。
 - ✓ 所管の各経済産業局で鉱業権の設定状況と稼働状態を確認。

②経済的、技術的に採掘できる可採埋蔵量などの鉱量等（炭量など含む）

最終処分を行おうとする地層に、

個別の鉱床等ごとに次のように調査する。

- JISに基づく**鉱量評価が確認できる場合は、その鉱量等とする。
 - ✓ 鉱業法施行規則第27条に係る施業案など
- JISに基づく**鉱量評価が確認できない場合は、公的機関などがとりまとめたデータベース等の結果を鉱量等とする。
 - ✓ 鉱物資源図の鉱床規模評価結果など

- 鉱量等を計算した区画などを以下のような資料から確認する。
 - ✓ JIS M1001-1994 解説図10に準ずる図面、坑道図などで深度方向を確認する。
 - ✓ 文献（ボーリング結果、深度方向の鉱床評価結果など）で確認する。

③現在稼働中または近年稼働していた鉱山の鉱床等の鉱量等（比較の対象）

- 文献調査対象地区の評価対象鉱床等と同鉱種であって、同地区外で現在稼働中または近年稼働していた鉱山の鉱床等と比較する。
- **JISに基づく**鉱量評価が確認できる場合は、その鉱量等とする。鉱業法施行規則第27条に係る施業案など。
- 確認できない場合は、公的機関などがとりまとめた統計資料（埋蔵鉱量統計）や調査結果（埋蔵量調査）から設定。
 - ✓ 近年実施された埋蔵鉱量統計（※）や埋蔵量に関する調査結果に記載された可採埋蔵量

※最近の埋蔵鉱量統計としては、平成21年度分、平成16年度分がある（p.182参照）。

追記箇所

- ②が不明の場合は、十分な評価が行えないとする。
- ③が存在しない場合、「経済的に価値が高いとは言えない」とする。

(参考) 鉬量の定義の例：普通の鉬物①

JIS M1001-1994 (2019確認) 鉬量計算基準より

➤適用範囲：石炭、石油、天然ガス及び石灰石以外の鉬床の鉬量計算について規定する。

➤埋蔵鉬量：各種鉬種について予想できる最低の採算限界を規定し、その限界のもとに、いわゆる鉬石となりうる鉬物を含めたもの

➤可採粗鉬量：埋蔵鉬量のうち、経済的または技術的に実際採掘しうる実収鉬量に混入されるずりの量を加えたもの

➤関係式：可採粗鉬量 = 実収鉬量 + ずり量 = 埋蔵鉬量 × 採鉬実収率 + 可採粗鉬量 × ずり混入率

➤埋蔵鉬量及び可採粗鉬量はそれぞれ、**確定、推定及び予想**の3種に分ける。確定鉬量は“適当な鉬画”によって容積及び品位が確認された鉬量。推定鉬量は“適当な鉬画”によって確定されていないが探鉬の結果及び鉬床の性質によって容積及び品位が推定される部分の鉬量。予想鉬量は確定鉬量及び推定鉬量としては計上できないが地質鉬床的に容積及び品位が予想される部分の鉬量。

➤“適当な鉬画”：鉬脈の場合は、鉬床面内に設けられた坑道及び坑井のうち、上下2つの坑道（30m以内）と1つの坑井、又は、1つの坑道と2つの坑井（60m以内）、の3側面以上で囲まれた部分。

➤鉬量記載様式：確定・推定・予想の別を記した鉬山名

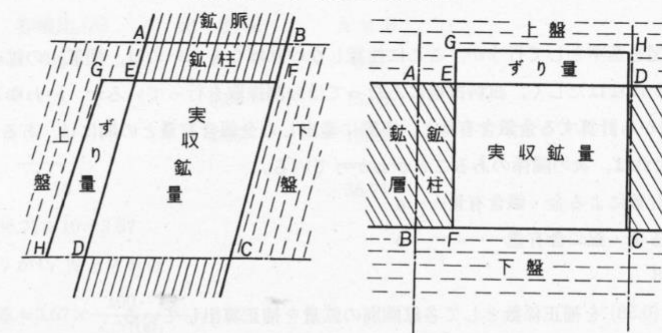
鉬床ごと：鉬床名、埋蔵鉬量（鉬量、品位、含有量）、可採粗鉬量（鉬量、品位、含有量）、採鉬実収率、ずり混入率

(参考) 鉱量の定義の例：普通の鉱物②

JIS M1001-1994 (2019確認) 鉱量計算基準より

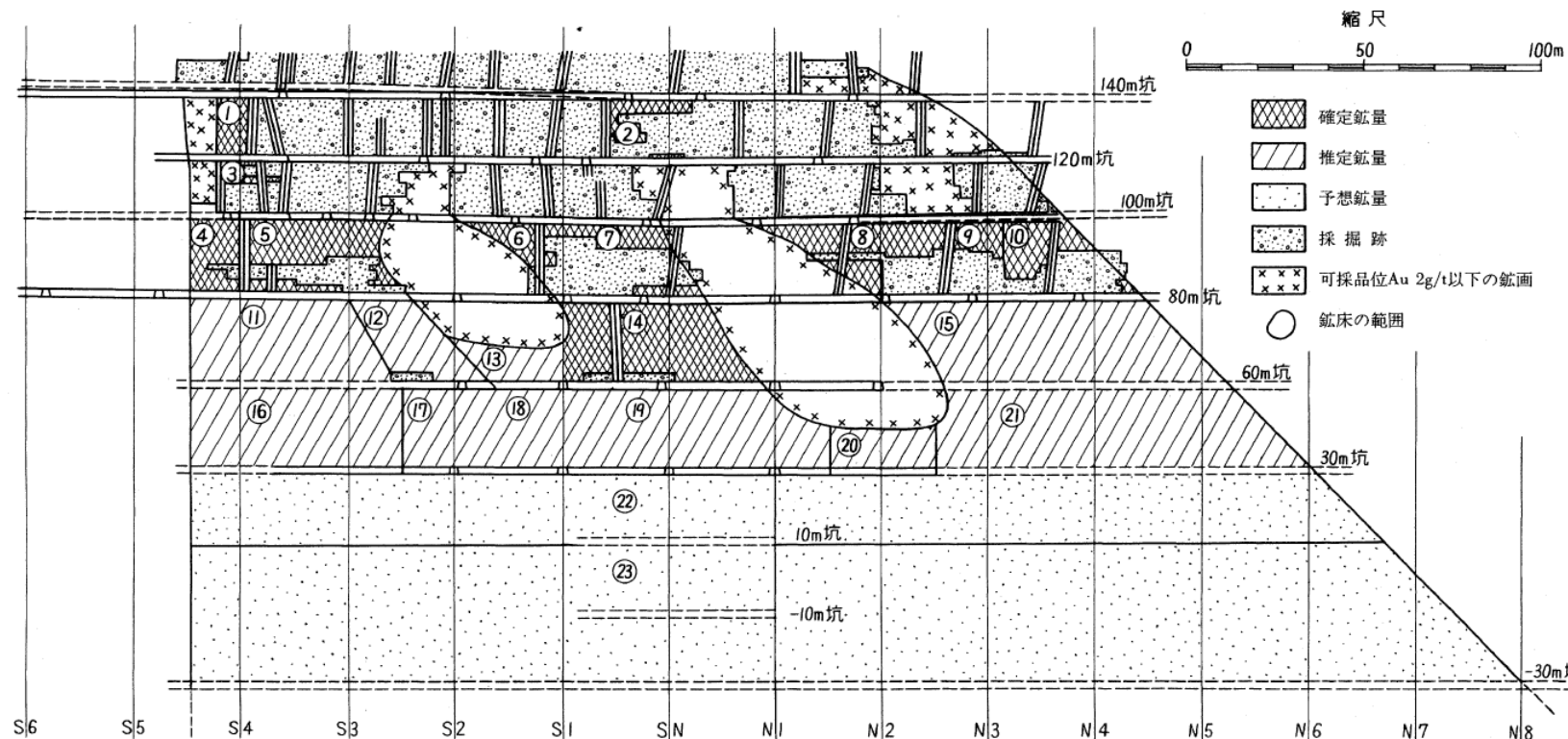
表2 鉱量記載様式

確定											年 月 日現在			
推定	鉱量			鉱山名			鉱業権者氏名							
予想														
可能 (ウランに限る)														
鉱床名	埋蔵鉱量			可採粗鉱量						採鉱 実収率 %	ずり 混入率 %	備考		
	鉱量 t	品位	含有量	標準分類品位		鉱量 t	品位	含有量						
				自	至									



$ABCD$ ——埋蔵鉱量
 $ABFE$ ——鉱柱
 $EFCD$ ——実収鉱量
 $GEDH$ ——ずり量
 $GFCH$ ——可採粗鉱量

$\frac{EFCD}{ABCD}$ = 採鉱実収率
 $\frac{GEDH}{EFCD}$ ずり混入率 (旧JIS M 1001-1950)
 $\frac{GEDH}{GFCH}$ = ずり混入率 (統計調査)



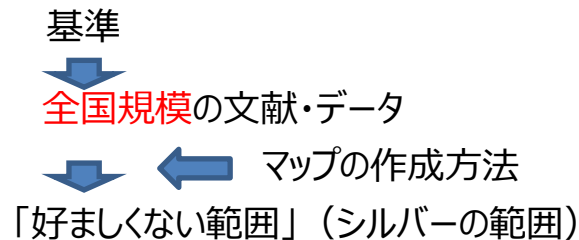
解説図10

(参考) 公的研究機関が取りまとめたデータベース等の例

- **全般**
 - 日本統計年鑑
総務省統計局ウェブサイト> 統計データ> 日本統計年鑑> 本書の内容> 第七十一回日本統計年鑑 令和4年第9章 鉱工業 <https://www.stat.go.jp/data/nenkan/71nenkan/09.html> など
 - 埋蔵鉱量統計調査
https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11520357/www.enecho.meti.go.jp/statistics/coal_and_minerals/cm004/
 - 資源・エネルギー統計年報
経済産業省ウェブサイト> 統計> 経済産業省生産動態統計調査> 長期時系列データ(年報掲載情報) (<https://www.meti.go.jp/statistics/tyo/seidou/archives/>)
 - 日本鉱産誌 (地質調査所, 分冊ごとに1950~1960) : 金属原料 (B-I)、窯業原料 (B-III)、燃料 (B-V) など
- **石油、天然ガス**
 - 天然ガス鉱業会ウェブサイト> わが国の天然ガス鉱業 I. 国産天然ガス資源 https://www.tengas.gr.jp/natural-gas/natural-gas_resources/
 - 天然ガス資料年報 - 含 石油、LNG - 平成29年版 (天然ガス鉱業会)
 - わが国石油・天然ガス開発の現状と課題 (石油鉱業連盟)
 - 基礎試錐 (独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構)
- **石炭**
 - 独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構 石炭資源情報ウェブサイト <https://coal.jogmec.go.jp/>
 - 石炭データブック (一般財団法人石炭フロンティア機構 <http://www.jcoal.or.jp/>)
- **金属鉱物、非金属鉱物**
 - 各地方 (北海道東部、同西部、東北、関東甲信越、中部近畿、中国四国、九州、南西諸島) の鉱物資源図 (地質調査所、産業技術総合研究所地質調査総合センター) : 鉱種と鉱床の規模。

科学的特性マップの基準

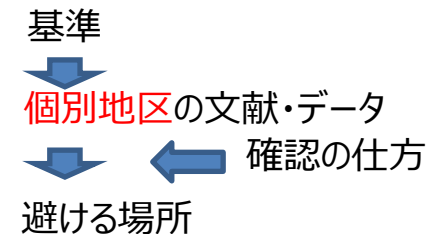
- **全国一律**の機械的な基準
- **全国規模**の文献・データに基づく
- その当時（2017）の知見に基づく
- **地表の場所**を対象



- 鉱業法で定められる鉱物のうち、全国規模で整備された文献データにおいて、技術的に採掘が可能な鉱量の大きな鉱物資源の存在が示されている範囲（ただし、当該地域内においては、鉱物の存在が確認されていない範囲もあり、調査をすればそうした範囲が確認できうることに留意する必要がある。）

文献調査段階の項目ごとの基準

- **個別地区**の状況を反映するため、具体的ではあるが機械的ではない基準
- **個別地区**ごとの詳細な文献・データの調査に基づく
- **最新（2023）**の知見に基づく
- **地下**の最終処分を行おうとする地層を対象



- 最終処分を行おうとする地層について以下のいずれかに該当することが明らかまたは可能性が高い場所

（ア）現在稼働中または近年稼働していた、鉱山の鉱床等（炭田、油田、ガス田含む）
または
（イ）経済的、技術的に採掘できる可採埋蔵量などの鉱量等（炭量など含む）が、同様の鉱種の現在稼働中または近年稼働していた鉱山の鉱床等（炭田、油田、ガス田含む）と同等である。

<鉱物資源の基準、確認の仕方の特徴>

- 「技術的に採掘が可能な鉱量」を「可採埋蔵量」などとして具体化
- 「鉱量の大きな」について、現在稼働または近年稼働していた鉱山等と比較するなどの具体的な方法を導入



Ⅱ の7. の参考資料

(参考) 地層処分技術WGとりまとめ (2017) 抜粋

3.3地質環境特性及びその長期安定性の確保に関する検討 3.3.1「好ましくない範囲」の要件・基準 ⑨鉱物資源 より

- 放射性廃棄物の物理的隔離機能を損なわないためには、①～⑥、⑧で議論してきた地下深部の長期安定性とは性質が異なることとなるが、最終処分施設に対する偶発的な人間侵入の可能性についてもできるだけ低減させる必要がある。
- 最終処分法上は、文献調査段階において「当該概要調査地区として選定しようとする地区内の最終処分を行おうとする地層において、その採掘が経済的に価値が高い鉱物資源の存在に関する記録がないこと」の条件に適合していると認めるものの中から概要調査地区を選定しなければならないとされている。ただ、特に何が「経済的に価値の高い鉱物資源」であるかは時代や地域性によって異なる可能性があり、そうした不確実性も認識しつつ、現在の経済的価値が高いものは、できるだけ避けていくことが国際的にも議論されている。
- 人間侵入としては鉱物資源の探査や採掘といった行為が一般的に考えられる。この他にも温泉や地下水利用のための行為等も考えられるが、わが国においては、地下水は浅層からくみ上げている例がほとんどであり（川上ほか,2011）、深度300m程度以上の処分深度まで達するものは少ないと考えられること、地熱・温泉資源、地下水資源等については、現時点では資源としてのその重要性を一律に判断することは困難であり、これらの扱いについては、将来的に検討すべきものであると考えられる。また、現在は資源とみなされていないものの、将来資源となる可能性のあるものについては、一般的な環境要件として論ずることは困難であり、処分地選定調査を行う前段階において地層処分に好ましくない特性を有するか否かを判断する際の要件・基準として示すことには適さないと考えられる（原子力安全委員会（2002）でも同様の指摘がある）。
- 上記を踏まえ、議論の対象とする鉱物資源を「**鉱業法で定められる鉱物**」とし、「好ましくない範囲（直接指標から確認される範囲）」は、「**現在稼働中の鉱山あるいは残存鉱量が大きな閉山鉱山や未開発見済み鉱床**」とすることとした。
- なお、例えば「日本炭田図（第2版）」（産業技術総合研究所，1973）において一定の資源の存在の範囲が示されている地域の中でも、地域ごとのデータでは鉱物の存在が確認できない範囲も存在し得る（図3.3.1.7）。また、これらのデータは他のデータと比較すると約40年以上前のものであるため、その後の採掘により埋蔵量が増減したことにより現在の状況とは異なる可能性があること、その後発見された油・ガス田、炭田がデータに含まれていない等の点に留意が必要である。
- 今回の検討においては、全国規模のデータを用いることを前提としているので、「技術的に採掘が可能な鉱量の大きな鉱物資源の存在が示されている範囲」の全域において均一にすべからず鉱物資源の存在が確認されているわけではなく、調査によって鉱物資源の不存在が確認できる地点も存在するであろうことに留意する必要がある。このように、これらの資料は、当該資源が存在する範囲を広域的に示したものであることに留意が必要である。

〔参考〕「考慮事項」の「鉱物資源等の掘採」

● 「考慮事項」の「鉱物資源等の掘採」

- ✓ 資源利用のための掘削が行われる可能性がある**十分な量及び品位**の鉱物資源（※）の鉱床の存在を示す**記録が存在しない**こと並びに地温勾配が著しく大きくないこと。

（※）鉱業法（昭和25年法律第289号）第3条第1項に規定されているものをいう。（以上 文献1）

① 中深度処分の基準（文献2）

＜規則＞ 鉱物資源又は発電の用に供する地熱資源の掘採が行われるおそれがないものであること。

＜解釈＞・・・廃棄物埋設地の位置について、資源利用のための掘削が行われる可能性がある十分な量及び品位の鉱物資源の鉱床の存在を示す記録が存在しないこと並びに地温勾配が著しく大きくないことを求めている。ここで「鉱物資源」とは、鉱業法第3条第1項に規定されているものをいう。

② 鉱物資源等の掘採に係る考慮事項の考え方（文献2）

○中深度処分の規制基準では、十分な量の鉱物資源の記録がないこと及び地温勾配が大きい場所であることを要求している。この基準は、**人が廃棄物埋設地を掘削することを誘発する可能性を低減するため、有用な天然資源が有意に存在し、資源採取のための事業が現在行われている又は資源の賦存状況に鑑み今後行われる見込みのある場所を避けた地点を選定することを要求したものである。**

○人為事象としての鉱物資源等の掘採は、中深度処分と地層処分とで差異はないと考えられることから、地層処分の安全確保における鉱物資源等の掘採に関する考慮事項は中深度処分の規制基準と同様とすることが適当と考えられる。

● 第二種廃棄物埋設の廃棄物埋設地に関する審査ガイド 2.1.4 鉱物資源及び地熱資源（文献3）

（1）鉱物資源の鉱床の存在を示す記録

・「資源利用のための掘削が行われる可能性がある十分な量及び品位の鉱物資源の鉱床の存在を示す**記録が存在しないこと**」（解釈第12条3）について、**公的研究機関が取りまとめたデータベース等を対象に調査**されていることを確認する。

※現地調査は必ずしも要求されていない。

● NRA技術ノート：中深度処分の規制基準の背景及び根拠（文献4）

量や品位を問わなければ鉱物資源はどこにでも存在するが、掘採が行われるかどうかは経済合理性にも依存すると考えられる。上記規則及び解釈の鉱物資源（鉱業法に規定されているもの）に関する規定は、資源採取を目的とした掘削行為を誘発することを避けるため、**事業許可時点において「資源利用のための掘削が行われる可能性がある十分な量及び品位の鉱物資源の鉱床の存在を示す記録」が存在しないことを求めている。**

文献1) 地層処分において安全確保上少なくとも考慮されるべき事項に関する検討（第7回目）－考慮事項の決定等－「別紙2」<https://www.nra.go.jp/data/000402042.pdf>

文献2) 地層処分において安全確保上少なくとも考慮されるべき事項に関する検討（第5回目）－考慮事項案－「参考5」<https://www.nsr.go.jp/data/000393021.pdf>

文献3) 令和3年9月29日 原子力規制委員会（最終改正：令和4年4月20日）<https://www.da.nsr.go.jp/file/NR000223817/000388538.pdf>

文献4) 原子力規制庁（2022）<https://www.nra.go.jp/data/000402746.pdf>

(参考) 現在の全国の状況：石油、天然ガス

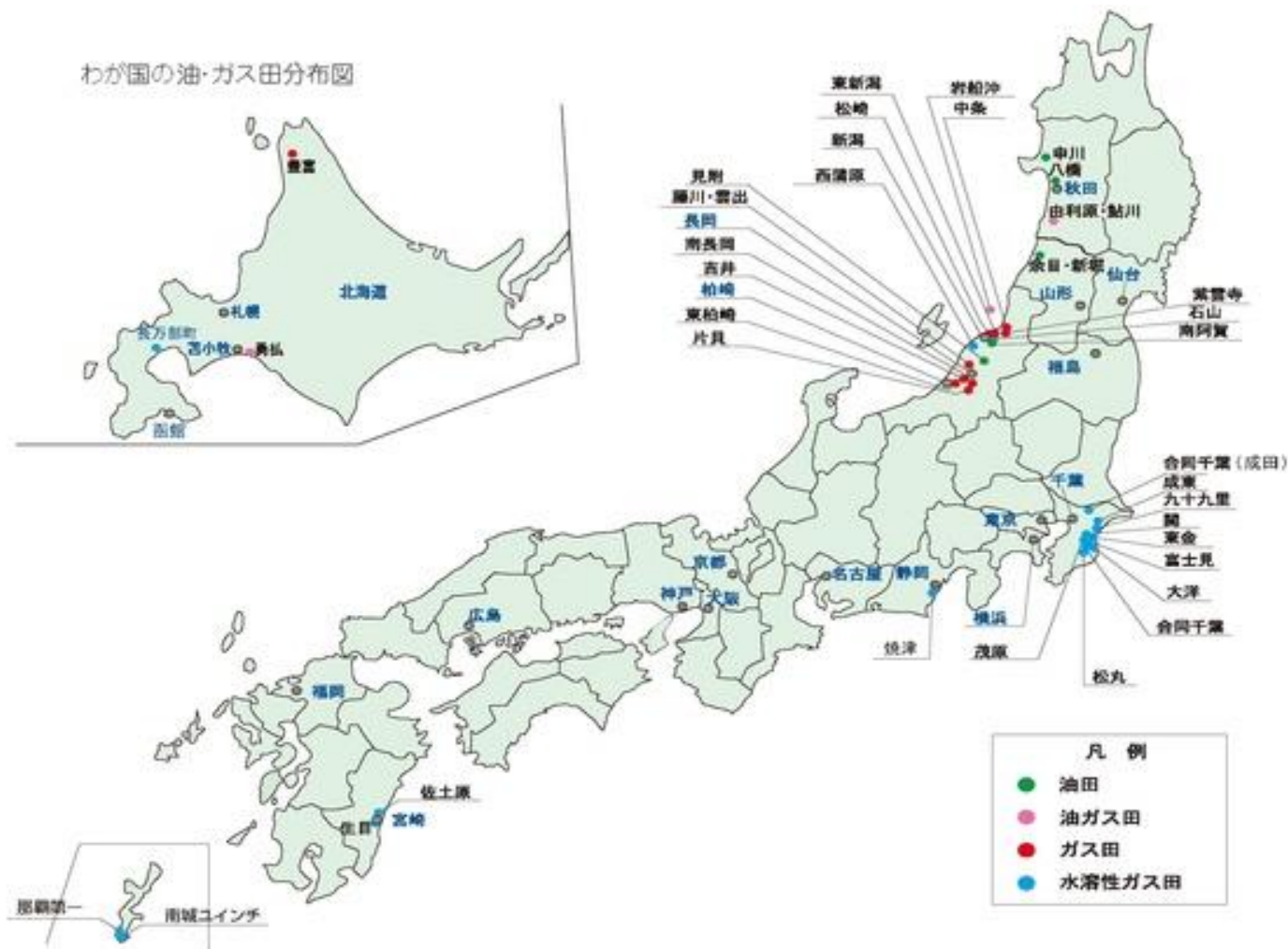
- 国内では、新潟県、千葉県、北海道、秋田県、宮崎県などで天然ガスの生産を行っており、**2019年末現在、石油・天然ガス鉱山は60鉱山存在し、年間約25億立方メートルの天然ガスが生産**されています。国産の天然ガス生産量は、国内供給量の約2.3%に相当しています。（また、国産原油の年間生産量は約50万KL強で国内供給量の0.2%程度）（文献1）。
- 国内の**確認可採鉱量**は、**原油：532万kl**（2016年度時点、文献2）、**天然ガス：285.9億m³**（2016年度時点、文献2）

- （略）地層の背斜構造などにガス体のまま圧縮されて貯まっている**構造的天然ガス**と、地下水に溶け込んでいる**水溶性天然ガス**の2つに大きく分けています。
（略）国内生産の割合（2019年末）は、構造的天然ガスが80%、水溶性天然ガスが19%です（残り1%は、油田から原油とともに生産される随伴ガス）（文献1）。

（文献1）天然ガス鉱業会ウェブサイト
>わが国の天然ガス鉱業 I. 国産天然ガス資源（2022年10月11日閲覧）より

https://www.tengas.gr.jp/natural-gas/natural-gas_resources/

（文献2）天然ガス資料年報－含 石油、LNG－平成29年版（天然ガス鉱業会）



(参考) 現在の全国の状況：石炭

表 3-1 石炭埋蔵量

(千トン)

地域	炭田	残存埋蔵量算出結果			
		確認	推定	予想	合計
北海道	天北	144,867	164,517	754,208	1,063,592
	留萌	99,489	89,701	290,602	479,792
	石狩	1,596,306	1,181,669	3,517,556	6,295,531
	釧路	309,464	413,362	1,498,604	2,221,430
	その他	55,074	45,615	101,124	201,813
	計	2,205,199	1,894,864	6,162,094	10,262,157
本州	常磐	325,815	232,512	441,687	1,000,014
	本土東部	48,928	39,742	130,726	219,396
	宇部	311,061	154,464	336,451	801,976
	大嶺				
	本土西部	20,171	18,101	25,342	63,614
	計	705,975	444,819	934,206	2,085,000
九州	筑豊	1,313,740	317,295	703,053	2,334,088
	福岡	111,774	26,294	37,454	175,522
	三池	73,035	269,421	1,445,689	1,788,145
	唐津	129,764	122,401	603,636	855,801
	佐世保	89,127	97,741	698,977	885,845
	崎戸松島	224,353	224,428	1,168,020	1,616,801
	高島				
	天草	13,308	10,193	45,307	68,808
	その他	32,775	14,954	27,433	75,162
	計	1,987,877	1,082,727	4,728,464	7,799,068
全国計		4,899,051	3,422,410	11,824,764	20,146,225

注：石炭埋蔵量は平成20年度調査時の値 出所：一般財団法人石炭フロンティア機構（JCOAL）、コールデータバンク



図 3-1 操業中の炭鉱（出所：一般財団法人石炭フロンティア機構（JCOAL）、石炭データブック）

(参考) 現在の全国の状況：金属、非金属鉱物 概況、生産量

● 概況

- 『非鉄金属鉱業』は、(略)。国内で今でも稼働している主な 非鉄金属鉱山としては、鹿児島県の菱刈鉱山（金）などがあります。
- 『非金属鉱業』は、石灰石、けい砂、粘土といった非金属の採掘を行っています。石灰石は、セメントや鉄鋼の原料として使われ、けい砂は主にガラスの原料となっています。粘土は化粧品や陶磁器というような身近な製品に利用されています。

資源エネルギー庁ウェブサイト> 政策について> 資源・燃料> 鉱物資源政策について> 私たちの生活や産業に不可欠な「鉱物資源」> 1. 私たちの生活や産業に不可欠な「鉱物資源」 （最終更新日：2020年8月26日）より

https://www.enecho.meti.go.jp/category/resources_and_fuel/mineral_resource/situation/001/

● 資源・エネルギー統計年報

経済産業省ウェブサイト> 統計> 経済産業省生産動態統計調査> 長期時系列データ(年報掲載情報)

(<https://www.meti.go.jp/statistics/tyo/seidou/archives/>)

平成16年（埋蔵鉱量統計調査時点）での生産量は

- 金属鉱物（精鉱、含有量）
金：8.0トン、銀：75.7トン、鉛：5512トン、亜鉛：47781トン
- 非金属鉱物
けい石：12.2百万トン、石灰石：161.9百万トン、ドロマイト3.7百万トン

● 本邦鉱業の趨勢

経済産業省ウェブサイト> 統計> 本邦鉱業のすう勢調査

(<https://www.meti.go.jp/statistics/tyo/honpouko/index.html>)

平成16年（埋蔵鉱量統計調査時点）での事業所数

- 金属鉱業
金・銀鉱業：5、鉛・亜鉛鉱業：1、鉄鉱業：2
- 非金属鉱業
耐火粘土鉱業：45、ろう石鉱業：22、ドロマイト鉱業：7、長石鉱業：21、けい石鉱業：49、石灰石鉱業：197、滑石鉱業：5

(参考) 現在の全国の状況：金属、非金属鉱物 埋蔵量

● 埋蔵鉱量統計調査

https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11520357/www.enecho.meti.go.jp/statistics/coal_and_minerals/cm004/results.html#headline1

- 各鉱種について、埋蔵鉱量及び可採粗鉱量の鉱量、品位、含有量、実収鉱量を確定、推定、予想鉱量に対して記載している。
- それぞれの可採粗鉱量の確定鉱量を示す（括弧内は調査鉱山数）。鉱物資源図の鉱床規模の数値（金属は精鉱中含量、非金属は精鉱換算量）を踏まえて、金属については、含有量を示し、非金属については可採粗鉱量とズリ混入率（可採粗鉱量のうちズリの混入量）と併せて示す。

<平成21年度分>

金鉱(4)2トン、白けい石(17)92百万トン（7.4%）、ろう石(15)22百万トン（22.5%）、石灰石(154)5946百万トン（8.2%）など

<平成16年度分>

金鉱(8)71トン、銀鉱(9)443トン、銅鉱(4)4525トン、鉛亜鉛鉱(4)鉛63千トン・亜鉛430千トン、鉄鉱(4)85千トンなど

白けい石(30)195百万トン（11.1%）、ろう石(26)21百万トン（22.1%）、石灰石(277)9182百万トン（11.8%）など

● 用語の解説

- **可採粗鉱量**:埋蔵鉱量は必ずしもその全てが採掘できるわけではなく、その中の一部は経済的あるいは技術的に採掘できない場合がある。また、採掘に際して、低品位な鉱物及び岩石(ズリ)までも一緒に掘らねばならない場合もある。したがって、現存する鉱床の採鉱によって出鉱が予定される粗鉱の量を「可採粗鉱量」とし、埋蔵鉱量のうち**実際に採掘しうる鉱量(実収鉱量)**と、**混入されるズリの量の和で表す**。
- **確定鉱量**:適当な区画(分布線又は坑・単位確定面及び確定面によって形成された容積)により容積が確認された鉱量をいう。
- **推定鉱量**:適当な区画により確定されてはいないが、採鉱の結果及び鉱床の性質により容積が推定される部分の鉱量をいう。
- **予想鉱量**:確定鉱量及び推定鉱量としては計上できないが、地質鉱床的に容積が予想される部分の鉱量をいう。

(参考) 金属、非金属鉱物の埋蔵量：鉱物資源図

- 地方図（北海道東部、同西部、東北、関東甲信越、中部近畿、中国四国、九州、南西諸島）ごとに、おもな鉱床が付番されリスト化されている。
- 主な鉱床のリストには鉱種と鉱床の規模が示されている。鉱床の規模は**鉱種ごとにL、ML、M、S、SSなどの区分**が決められている。

おもな鉱床 Inventory of mineral deposits

Number	鉱床名	Ore deposit	Commodity	Size
1	知床	Shiretoko	S	S
2	羅臼	Rausu	S	S
3	跡佐登	Atosanupuri	S	M

鉱物資源図 北海道（東部）（1996）より

➤ 鉱床の規模は、既生産量と埋蔵量との合計値（※金属は精鉱中の含有量、非金属は精鉱換算量）により**鉱種ごとに設定された量によりL、ML、M、S、SSに区分されている。**

鉱床の規模（既生産量＋埋蔵量）
Threshold of deposit size (Production plus reserves)

Commodity \ Size	L	ML	M	S	SS	Commodity \ Size	L	ML	M	S	SS
Metal						Non-metal*					
Au: Gold	100t	50t	10t	1t		Ab: Asbestos	10Mt	1Mt	100kt	10kt	
Cr: Chromium (Cr ₂ O ₃)	1000kt	100kt	10kt	1kt		Ba: Barite	5Mt	500kt	50kt	5kt	
Cu: Copper	1000kt	100kt	10kt	1kt		Bn: Bentonite	5Mt	500kt	50kt	5kt	
Fe: Iron	100Mt	10Mt	1Mt	100kt		Cl: Clay	50Mt	25Mt	5Mt	500kt	
Hg: Mercury	17kt	1.7kt	0.34kt	34t		Da: Diatomite	1Mt	100kt	10kt	1kt	
Mn: Manganese (40%Mn)	10Mt	1Mt	100kt	10kt		Dl: Dolomite	100Mt	10Mt	1Mt	100kt	
Ni: Nickel	500kt	250kt	25kt	3kt		C: Graphite	1Mt	100kt	10kt	1kt	
Pb: Lead	1000kt	100kt	10kt	1kt		Gy: Gypsum	100Mt	10Mt	1Mt	100kt	
Sb: Antimony	50kt	10kt	5kt	0.5kt		Ka: Kaolin	10Mt	1Mt	100kt	10kt	
Ti: Titanium (TiO ₂)	10Mt	1Mt	100kt	10kt		Ls: Limestone	500Mt	100Mt	50Mt	1Mt	
Zn: Zinc	1000kt	100kt	10kt	1kt		Ps: Pottery stone**	10Mt	1Mt	100kt	10kt	
kt=10 ³ metric ton, Mt=10 ⁶ metric ton						Pp: Pyrophyllite	10Mt	1Mt	100kt	10kt	
*concentrate except for Sulfur						Py: Pyrite	20Mt	2Mt	200kt	20kt	
**Quartz and sericite, or Toseki						S: Sulfur	10Mt	1Mt	100kt	10kt	
						Si: Silica	25Mt	1Mt	100kt	10kt	
						Tc: Talc	10Mt	1Mt	100kt	10kt	

※吉井ほか（1998）鉱物資源図と鉱物資源データ(3)－鉱物資源情報のプロットー，地質ニュース523号，pp.57-62

鉱物資源図 区分の例（北海道東部（1996）より）

地方図ごとに記載されている鉱種が異なり、上図の北海道（東部）以外の北海道西部、東北、関東甲信越、中部近畿、中国四国、九州、南西諸島で記載されているものをあわせると鉱業法第3条に規定されている鉱物資源のうち燃料資源（石炭、亜炭、石油、可燃性天然ガス）、そう鉛鉱、トリウム鉱、アスファルト、明ばん石、砂鉱以外が記載されている。



- 不規則な塊状をなすドロマイト及びケイ石（坑内採掘はM1001を適用）にも適用。ほかに**ほとんど全部が露天採掘によって採取される岩石類にも準用可**。
- 調査の未熟練による鉬量の過大評価を排除し、露天採掘で採取し得る鉬床の部分だけに鉬量を限定し、明確でない地下深部の鉬床を考慮外とするため、理論可採埋蔵量及び可採粗鉬量を次のように定義した。
- 理論可採埋蔵量**：地質学的に石灰石の存在が確定される鉬床中、鉬床露頭周辺から鉬床内に向かって水平面と75度の傾きを持った面を仮定し、この面の上方に含まれる部分の質量。
- 可採粗鉬量**：理論可採埋蔵量中、現状において露天採掘可能な部分の質量（ズリ量をも含む）。採掘レベルは当該鉬山の計画レベルとし、計画未定の場合は鉬床露頭の最下限とする。
- 理論可採埋蔵量及び可採粗鉬量は、**確定、推定及び予想**の3種類に分ける。確定鉬量は適当な区画により容積が確認された鉬量。推定鉬量は適当な区画により容積が推定される鉬量。予想鉬量は確定鉬量及び推定鉬量以外の鉬量。
- 鉬量記載様式**：確定・推定・予想の別を記した鉬山名
鉬床ごと：鉬床名、埋蔵鉬量（鉬量、品位）、可採粗鉬量（鉬量、品位）、採鉬実収率、ズリ混入率

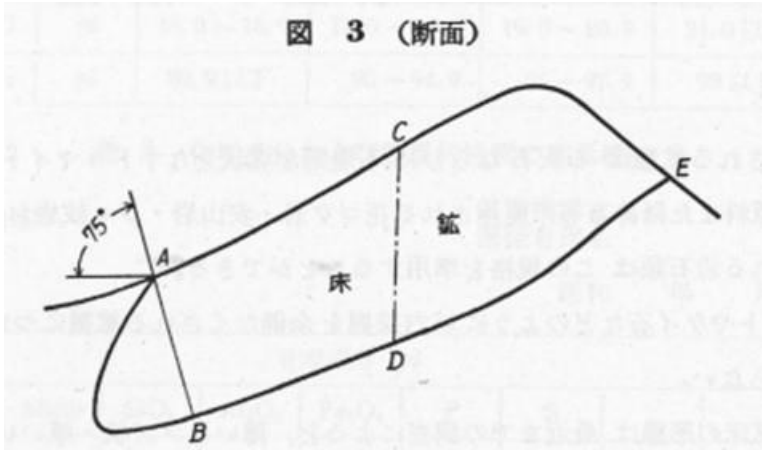


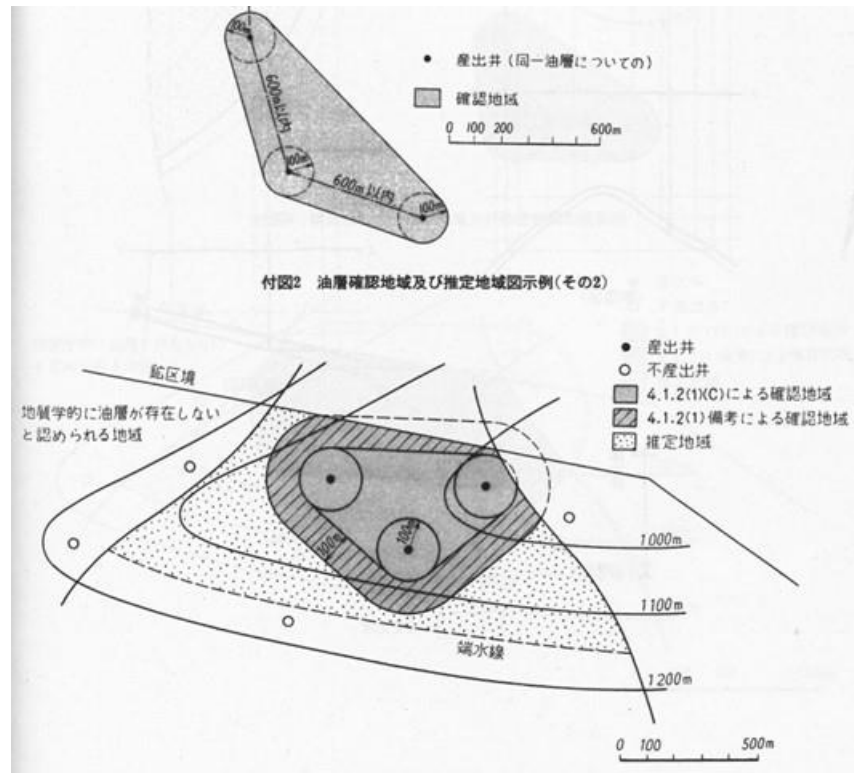
表 1 鉬量記載の様式									
確定 推定 予想	鉬量		鉬山名		鉬業権者または掘採者氏名				
					昭和 年 月 日現在				
	理論可採埋蔵鉬量		可採粗鉬量				採 鉬 実収率	ズ リ 混入率	備 考
鉬 床 名	鉬 量	品 位	標準分類品位		鉬 量	品 位			
	t	%	自	至	t	%	%	%	

- **既発見地域**の原油及び天然ガスの鉱量の計算基準。
- **油層**：適切な条件の下で採取可能な原油・ガスが存在する地層で、開発以前において原油とガスが共存するのを常態とするもの。
- **構造的ガス層**：適切な条件の下で採取可能なガス又はガスとコンデンセート（天然ガスに伴って産出する軽質原油）が存在する地層で、開発以前においてガス又はガスとコンデンセートが、ガス状態で存在するのを常態とする地層。
- **水溶性ガス層**：同様の地層で、開発以前においてガスが水に溶解して存在するのを常態とする地層。
- **鉱量**（埋蔵鉱量又は埋蔵量）：油層・ガス層内に存在している油量・ガス量。地表条件に換算した容積で表す。総鉱量と可採鉱量に分け、それぞれ確認鉱量、推定鉱量及び予想鉱量の3種類に区分。
- **総鉱量**：開発以前に存在していた原油・ガスの総量
- **可採鉱量**：適切な条件の下で**その日付以後採取可能な**鉱量
- **計算方法**：容積法、物質収支法又は減退曲線法による。水溶性ガス層は容積法のみ。
- **容積法**による油層の原油の計算例： $\text{可採鉱量} = \text{総鉱量} \times \text{採取率} - \text{計算時までの累計産出量}$
$$\text{原油の総鉱量} = \text{油層の全容量} \times \text{油層の孔隙率} \times (1 - \text{油層の間隙水飽和率})$$

／開発以前の油層内の圧力及び温度における原油の容積係数
- **物質収支法**：開発が相当に進んでいて、計算資料が整備されている場合の確認鉱量算出に用いることができる。計算時までの累計生産量、水の累計産出量、計算時と開発以前の容積係数などを用いて算出。
- **減退曲線法**：産出が減退期にある場合の確認鉱量算出に用いる。産出量と累計産出量から減退曲線図を作成して求める。
- **確認鉱量**：全容積は確認地域の面積と有効層厚を基にする。
- **確認地域**：産出井（現在、過去産出など）から一定の半径（油層：100m、構造的ガス層：250m、水溶性ガス層：1000m）の円及び一定の中心距離（油層：600m、構造的ガス層：1000m、水溶性ガス層：2000m）以内の近傍産出井による一定の半径の円との間など
- **推定地域**：確認地域の周辺において地質学的に油層などが存在することが地質学的に推定される地域
- **予想地域**：埋蔵が地質学的に予想される地域で、確認、推定地域以外。
- **鉱量記載様式**（油田の例）：確定・推定・予想の別を記した油田名
油層ごと：油層名、総鉱量、採取率、累計産出量、可採鉱量など

(参考) 鉱量の定義：石油、天然ガス②

JIS M1006-1992 (2021確認)
原油及び天然ガス－鉱量計算基準より



付表1-1 鉱量計算表(油層－容積法)例

年 月 日 現在

鉱業権者名
油 田 名
油田の所在地 (都道府県名)
油田内の地区名
鉱量の分類 (確認・推定・予想の別)

ガス量表示の単位 (Nm^3 , Sm^3)

油 層 名			合 計	備 考
平均深度	(m)			
対象地域の面積	(10^3 m^2)			
有効層厚	(m)			
全 容 積	(10^3 m^3)			
平均孔けき率	(比率)			
総孔けき容積	(10^3 m^3)			
間けき水飽和率	(比率)			
油層温度	($^{\circ}\text{C}$)			
油 層 圧	(kPa) (kgf/cm^2)			
原油の容積係数				
ガスの容積係数				
溶解ガス油比	(m^3/kl)			
原 油	総 鉱 量	($10^3/\text{kl}$)		
	採 収 率	(比率)		
	累計産出量	($10^3/\text{kl}$)		
	可採鉱量	($10^3/\text{kl}$)		

(参考) 鉱量の定義：石炭①

JIS M1002-1978 (2021確認)
炭量計算基準参照

	確実度	第1類	第2類
確定炭量第1類甲	開発区域内で、坑内において炭層の2面以上を確認した範囲内の炭量	採掘限界深度 (無煙炭歴青炭亜 歴青炭) 1級600m、	採掘限界深度 (無煙炭歴青炭亜 歴青炭) 1級
確定炭量第1類乙	未開発区域又は開発区域の確定炭量第1類甲に接続する区域で賦存が確実とみなされる	2級450m、3級	1200m、2級900m、
確定炭量第2類	確定炭量第1類乙と同じ	300m、(かつ炭)	3級600m
推定炭量	確定炭量第1類乙に接続する区域で賦存が推定される	1級300m、2級	(かつ炭) 1級600m、
予想炭量	推定炭量第1類に接続する区域で賦存が予想される	230m	2級450m
		※ 級は炭だけの級数	※ 級は炭だけの級数

➤炭量計算区域

- ✓炭層を確認した場所から炭層面に沿って傾斜方向に一定距離を計算区域とし、確認箇所から近い方からそれぞれ確定炭量、推定炭量の計算区域、その外側を予想炭量の計算区域というような手順が示してある。
- ✓露頭、坑内などで線状に確認した場合は、線を両端から500mずつ延長した線を底線、線長を高さとした等脚台形状、試すいで確認した場合は、点から、計算区域が確定炭量の場合は半径250m、推定炭量の場合は半径500mまでの円状が示されている。
- ✓炭層傾斜が30度以上の場合は傾斜方向の計算範囲の限度が示されている。

➤鉱量記載様式

縦軸：各炭層を第1類（確定の甲と乙、推定、予想）及び第2類（確定、推定、予想）ごとに集計

横軸：炭層ごとに、**理論可採埋蔵炭量**（A）、安全炭量、実収炭量、不可掘埋蔵炭量（B）、理論埋蔵炭量（A+B）

安全炭量：確定炭量第1類甲及び乙の理論可採埋蔵炭量のうち調査の精度及び地質炭層上の諸条件に基づく減少を見込んだ採掘の対象となる炭量

実収単量：安全炭量のうち実際に採掘し得る炭量



(参考) 鉞量の定義：石炭②

JIS M1002-1978 (2021確認)
炭量計算基準より

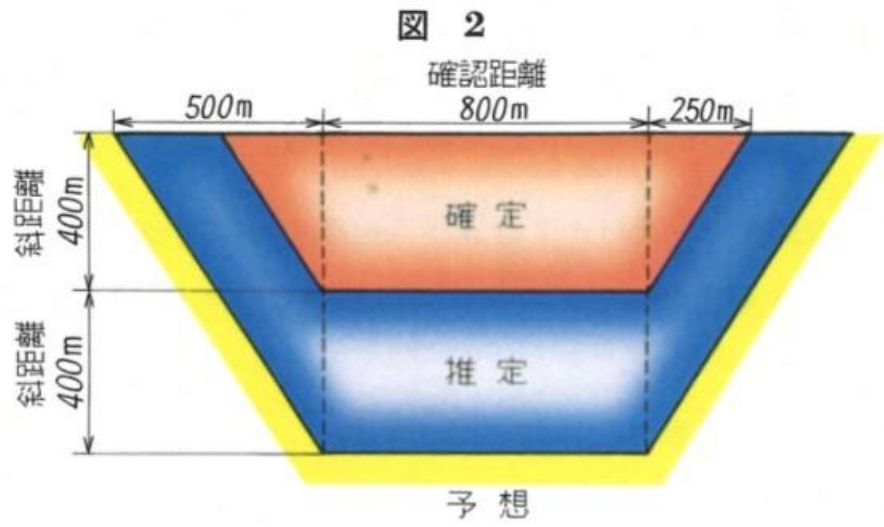


表 6 炭 鉞 炭 層 別 炭 量 計 算 総 括 表

昭和 年 月 日現在 関係鉞区番号
面積

確 実 に よ る 区 分	区 域 又 は 坑 別	きょう炭層名	炭層名	区域 符号	炭たけ		比重	平面積 m ²	傾斜		斜 面積 m ²	理論可採 埋蔵炭量 (A) t	安全率 (C) %	安全炭量 (A×C) t	実収率 (D) %	実収炭量 (A×C×D) t	深 度 (排水準下)(m) 排水 準上 ～-1200m	不 可 掘 埋蔵炭量 (B) t	理 論 埋蔵炭量 (A+B) t	炭質区分 A ₁ , A ₂ , B ₁ , B ₂ , C, D, E, F ₁ , F ₂	分 析			備 考
					m	級			度	sec											水分 (%)	灰分 (%)	発熱量 kcal/kg [kJ/kg]	
確 実	甲	第 1 坑	上部きょう炭層	6番層																				
				5番層																				
				4番層																				
			下部きょう炭層	3番層																				
				2番層																				
				1番層																				
			計 6 層	計 3 層																				
確 実	甲	第 2 坑	下部きょう炭層	3番層																				
				2番層																				
				1番層																				

(参考) 鉱区、特定鉱物（鉱業法第六条の二）、特定区域の指定など

● 鉱業法

第五条（鉱業権）

この法律において「鉱業権」とは、登録を受けた一定の土地の区域（以下「鉱区」という。）において、登録を受けた鉱物及びこれと同種の鉱床中に存する他の鉱物を掘採し、及び取得する権利をいう。

第六条（租鉱権）

この法律において「租鉱権」とは、設定行為に基き、他人の鉱区において、鉱業権の目的となつてゐる鉱物を掘採し、及び取得する権利をいう。

第十一条（種類） 鉱業権は、試掘権及び採掘権とする。

第六条の二（特定鉱物）

この法律において「特定鉱物」とは、鉱物のうち石油、可燃性天然ガスその他国民経済上重要な鉱物であつてその合理的な開発が特に必要なものとして政令で定める鉱物をいう。

（種類）

第三十八条（特定区域の指定）

経済産業大臣は、特定鉱物の鉱床が存在し、又は存在する可能性がある区域について、当該特定鉱物の開発により公共の利益の増進を図るためには、当該区域における当該特定鉱物の開発を最も適切に行うことができる者（以下「特定開発者」という。）を選定し、その特定開発者に当該特定鉱物の試掘又は採掘を行わせる必要があると認めるときは、当該区域を特定区域として指定することができる。（以下略）

第三十九条（設定の申請）

前条第一項の規定により指定された特定区域（特定区域の変更があつたときは、その変更後のもの。以下同じ。）において特定鉱物を目的とする**鉱業権の設定を受けよう**とする者は、当該特定区域に係る実施要項に従つて、経済産業大臣に申請して、その許可を受けなければならない。（以下略）

● 鉱業法第六条の二の鉱物を定める政令

鉱業法第六条の二の政令で定める鉱物は、次に掲げる鉱物とする。

- 一 海底又はその下に存在する熱水鉱床をなす金鉱、銀鉱、銅鉱、鉛鉱、そう鉛鉱、すず鉱、アンチモニー鉱、亜鉛鉱、鉄鉱、硫化鉄鉱、マンガン鉱、タングステン鉱、モリブデン鉱、ニッケル鉱、コバルト鉱、ウラン鉱、トリウム鉱及び重晶石
- 二 海底又はその下に存在する堆積鉱床をなす銅鉱、鉛鉱、亜鉛鉱、鉄鉱、マンガン鉱、タングステン鉱、モリブデン鉱、ニッケル鉱及びコバルト鉱
- 三 アスファルト

- 
-
- | |
|----------------------|
| I. 最終処分法で定められた要件の具体化 |
| II. 項目ごとの基準 |
| III. その他の評価 |

III. その他の評価

1. 最終処分法で定められた要件の具体化の対象としなかった項目
2. 地熱資源など
3. 技術的観点からの検討
4. その他



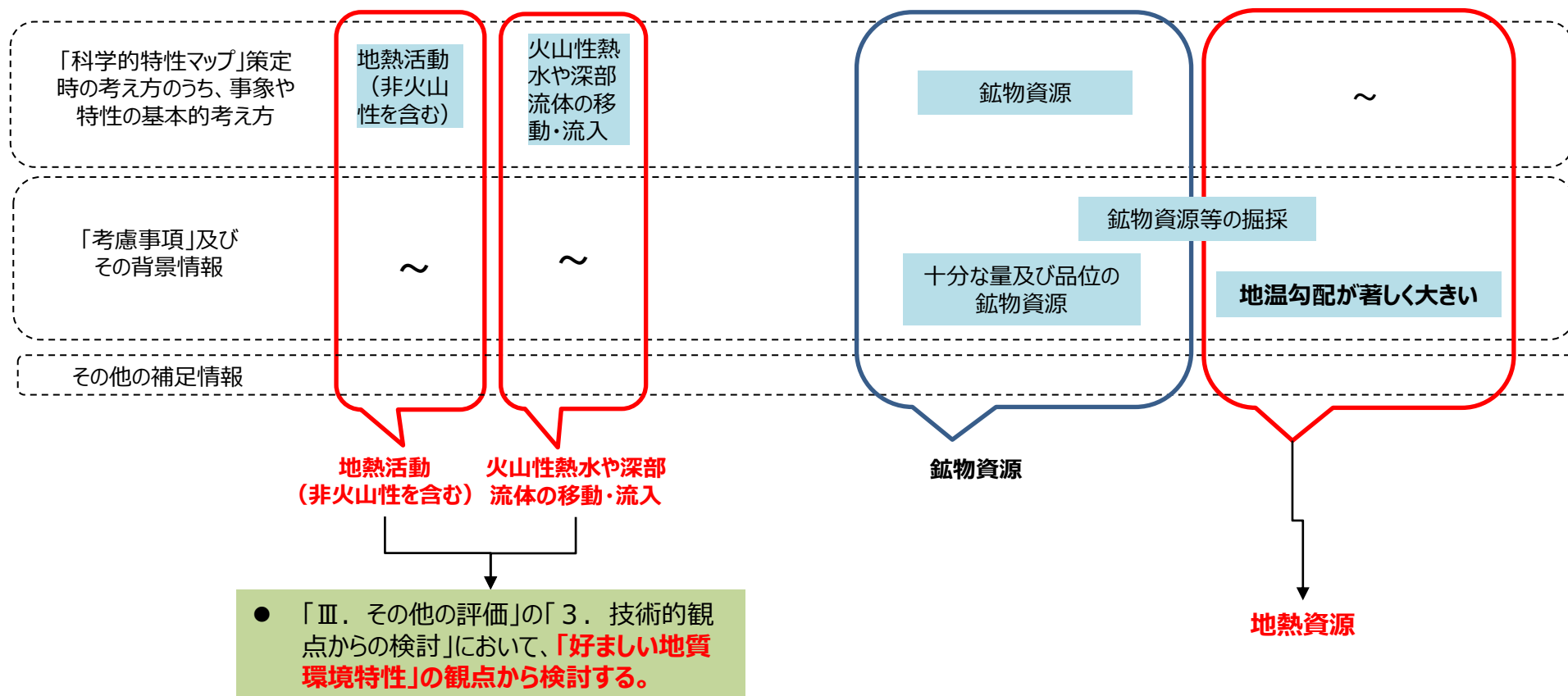
1. 最終処分法で定められた要件の 具体化の対象としなかった項目

● 最終処分法で定められた要件の具体化の対象としなかった項目

- 地熱活動（非火山性を含む）、火山性熱水や深部流体の移動・流入⇒「技術的観点からの検討」
工学的対策や安全評価と関連することなどから、「避ける」基準ではなく「好ましい地質環境特性」の観点から検討する。
- 「考慮事項」の「鉱物資源等の掘採」うち「地温勾配が著しく大きい」⇒「地熱資源」
施行規則第六条の「鉱物資源」には該当しないことから、「避ける」事項として別途考慮する。

<「地層の著しい変動」としての検討>

<「資源」としての検討>





2. 地熱資源など

- 地熱資源
- 温泉などについて

● 地熱資源①

● 「考慮事項」：地温勾配が著しく大きくないこと

（中深度処分の規則）

- ・・発電の用に供する地熱資源の掘採が行われるおそれがないものであること。

（中深度処分の規則の解釈）

- ・・並びに地温勾配が著しく大きくないことを求めている。

地層処分において安全確保上少なくとも考慮されるべき事項に関する検討（第5回目）－考慮事項案－

<https://www.nsr.go.jp/data/000393021.pdf>

「別紙」、「参考5」より

または、<https://www.nsr.go.jp/data/000069192.pdf>

（第二種廃棄物埋設の廃棄物埋設地に関する審査ガイド） <https://www.nsr.go.jp/data/000388538.pdf>

（2）発電の用に供する地熱資源の掘採

- ・「地温勾配が著しく大きくない」（解釈第12条3）について、**次のことが確認されていることを確認する。**

- 文献調査の結果を踏まえ、廃棄物埋設地が設置される地点における**地温勾配（地下増温率）が100℃/キロメートルを大きく超える記録**が確認されない、又は廃棄物埋設地が設置される地点で**測定された地温勾配が100℃/キロメートルを大きく超えない。**
- 廃棄物埋設地の**周辺数キロメートルまでの範囲において発電の用に供する蒸気井が設置**されていない。

（NRA技術ノート：中深度処分の規制基準の背景及び根拠）

原子力規制庁（2022）<https://www.nra.go.jp/data/000402746.pdf>

・・地熱資源に関する規定も、鉱物資源と同様に、資源採取を目的とした掘削行為を誘発することを避けるためのものであるため、「発電の用に供する地熱資源」とはその利用が経済合理性のあるもの、すなわち比較的出力の大きい発電が合理的に可能な地点を対象としている。

（略） 蒸気等を取り出すための井戸は「**蒸気井（生産井）**」と呼ばれている。

追記箇所

文献1) 資源エネルギー庁ウェブサイト> スペシャルコンテンツ> 記事一覧> 地熱エネルギーの宝庫・東北エリアで見る、地熱発電の現場（前編）

https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/chinetsuhatsuden_yuzawa01.html

追記箇所

（その他の補足情報）

- 蒸気・熱水を取り出す井戸を「**生産井（せいさんせい）**」と呼びます（文献1）。
- 全国地熱ポテンシャルマップ（産業技術総合研究所地質調査総合センター，2009）では、坑井で測定された地温を基にした測定点の地温勾配の値に加えて、それらから想定された、測定点以外の場所における値もコンター（等値線）として示されている。



● 地熱資源②

● 基準案

- 以下に該当することが、**明らか**または**可能性が高い**場所を避ける。

(ア) 地温勾配（地下増温率）が100℃/キロメートルを大きく超える記録が確認されている。
または、
(イ) 周辺数キロメートルまでの範囲において発電の用に供する生産井が設置されている。

修正箇所

- 既存の文献・データから地温測定結果の情報が必ずしも得られるわけではないこと、地温勾配については、「・・・又は廃棄物埋設地が設置される地点で**測定された**地温勾配が100℃/キロメートルを大きく超えない。」とされており、次段階以降の現地調査による確認も考えられていることに留意する。

● 確認の仕方案

地温勾配（地下増温率）が100℃/キロメートルを大きく超える記録

- 坑井データを調べる。
- 坑井データがない場合は、以下のような文献を参照するが、測定点以外の場所は推定であること、概要調査以降では「記録」に限らず、現地調査による確認も考えられていることを踏まえて、判断する。

村岡洋文・阪口圭一・玉生志郎・佐々木宗建・茂野 博・水垣桂子・駒澤正夫（2009）：全国地熱ポテンシャルマップ，数値地質図，GT-4，産業技術総合研究所地質調査総合センター。

周辺数キロメートルまでの範囲において発電の用に供する生産井

修正箇所

- 周辺10km内の、稼働している地熱発電所の位置を以下のような資料で確認する。

✓ 火力原子力発電技術協会

地熱発電関係の情報の収集及び提供，<https://www.tenpes.or.jp/mmetc/>

● 温泉などについて

- 地層処分技術WGとりまとめ（2017） 3.3地質環境特性及びその長期安定性の確保に関する検討 3.3.1「好ましくない範囲」の要件・基準 ⑨鉱物資源 より
- ✓ 放射性廃棄物の物理的隔離機能を損なわないためには、・・地下深部の長期安定性とは性質が異なることとなるが、**最終処分施設に対する偶発的な人間侵入の可能性についてもできるだけ低減させる必要がある。**
 - ✓ 人間侵入としては鉱物資源の探査や採掘といった行為が一般的に考えられる。**この他にも温泉や地下水利用のための行為等も考えられるが、わが国においては、地下水は浅層からくみ上げている例がほとんどであり（川上ほか,2011）、深度300m程度以上の処分深度まで達するものは少ないと考えられること、地熱・温泉資源、地下水資源等については、現時点では資源としてのその重要性を一律に判断することは困難であり、これらの扱いについては、将来的に検討すべきものであると考えられる。また、現在は資源とみなされていないものの、将来資源となる可能性のあるものについては、一般的な環境要件として論ずることは困難であり、処分地選定調査を行う前段階において地層処分に好ましくない特性を有するか否かを判断する際の要件・基準として示すことには適さないと考えられる（原子力安全委員会（2002）でも同様の指摘がある）。**
- NRA技術ノート：中深度処分の規制基準の背景及び根拠（文献1）
上記規則及び解釈の地熱資源に関する規定も、**鉱物資源と同様に、資源採取を目的とした掘削行為を誘発することを避けるためのものであるため、「発電の用に供する地熱資源」とは、その利用が経済合理性のあるもの、すなわち比較的输出の大きい発電が合理的に可能な地点を対象としている。**



- **資源としての重要性の判断が難しい、地熱・温泉資源、地下水資源等のうち、判断できるものとして、比較的输出の大きい発電が合理的に可能な地点、を対象としたと考えられる。**
- **その他の資源については判断が難しいと考えられる。**
- また、温泉、地下水資源については、**地下水の状況に依存し、経済性が大きい鉱物資源や地熱資源と比べると、その資源としての継続性が小さいことが考えられる。**また、地下水の詳細な状況を把握するには、概要調査以降の詳細な現地調査等が必要と考えられる。
- **したがって、これらについては概要調査以降で考慮することとする。**
- なお、文献調査段階の「技術的観点からの検討」や概要調査段階以降における地質環境特性（熱環境、水理場、化学場）の評価において、温泉や地下水が利用されるような場所は、比較的好ましくない評価になることが考えられる。



Ⅲの2. の参考資料

●「考慮事項」の「鉱物資源等の掘採」

✓・・・地温勾配が著しく大きくないこと。(以上 文献1)

①中深度処分の基準 (文献2)

＜規則＞・・・発電の用に供する地熱資源の掘採が行われるおそれがないものであること。

＜解釈＞・・・廃棄物埋設地の位置について、・・・地温勾配が著しく大きくないことを求めている。

②鉱物資源等の掘採に係る考慮事項の考え方 (文献2)

○中深度処分の規制基準では、十分な量の鉱物資源の記録がないこと及び地温勾配が大きくない場所であることを要求している。この基準は、人が廃棄物埋設地を掘削することを誘発する可能性を低減するため、有用な天然資源が有意に存在し、資源採取のための事業が現在行われている又は資源の賦存状況に鑑み今後行われる見込みのある場所を避けた地点を選定することを要求したものである。

○人為事象としての鉱物資源等の掘採は、中深度処分と地層処分とで差異はないと考えられることから、地層処分の安全確保における鉱物資源等の掘採に関する考慮事項は中深度処分の規制基準と同様とすることが適当と考えられる。

● 第二種廃棄物埋設の廃棄物埋設地に関する審査ガイド 2.1.4 鉱物資源及び地熱資源 (文献3)

(2) 発電の用に供する地熱資源の掘採

「地温勾配が著しく大きくない」(解釈第12条3)について、次のことが確認されていることを確認する。

- ・文献調査の結果を踏まえ、廃棄物埋設地が設置される地点における地温勾配(地下増温率)が100℃/キロメートルを大きく超える記録が確認されない、又は廃棄物埋設地が設置される地点で測定された地温勾配が100℃/キロメートルを大きく超えない。
- ・廃棄物埋設地の周辺数キロメートルまでの範囲において発電の用に供する蒸気井が設置されていない。

● NRA技術ノート：中深度処分の規制基準の背景及び根拠 (文献4)

上記規則及び解釈の地熱資源に関する規定も、**鉱物資源と同様に、資源採取を目的とした掘削行為を誘発することを避けるためのものであるため、「発電の用に供する地熱資源」とはその利用が経済合理性のあるもの、すなわち比較的大きな出力の大きい発電が合理的に可能な地点を対象としている。**

地熱発電は、大きく分けると、発電用のタービンを回すために地下の高温の蒸気や熱水を直接利用する方法(シングルフラッシュ方式(以下「SF方式」という。))、ダブルフラッシュ方式(以下「DF方式」という。))及びドライスチーム方式(以下「DS方式」という。))と、沸点の低い別の流体を利用する方法(バイナリ方式(以下「B方式」という。))がある。

(略) 蒸気等を取り出すための井戸は「蒸気井(生産井)」と呼ばれている。(略)

表3.1に示したSF方式、DF方式及びDS方式の地熱発電所は、いずれも火山から10キロメートル以内の場所に設置されている。実質的には当該火山に係る基準によって、SF方式、DF方式及びDS方式による発電が既に行われている場所への廃棄物埋設地の設置は避けられることになる。

文献1) 地層処分において安全確保上少なくとも考慮されるべき事項に関する検討(第7回目)－考慮事項の決定等－「別紙2」<https://www.nra.go.jp/data/000402042.pdf>

文献2) 地層処分において安全確保上少なくとも考慮されるべき事項に関する検討(第5回目)－考慮事項案－「参考5」<https://www.nsr.go.jp/data/000393021.pdf>

文献3) 令和3年9月29日 原子力規制委員会(最終改正：令和4年4月20日)<https://www.da.nsr.go.jp/file/NR000223817/000388538.pdf>

文献4) 原子力規制庁(2022) <https://www.nra.go.jp/data/000402746.pdf>

「考慮事項」の背景情報である中深度処分の規制基準においては「蒸気井」という表現となっているが、以下のとおり「生産井」としたり、両方を併記の文献もあるため、ここでは資源エネルギー庁にならい、「生産井」という表現とした。

➤ 資源エネルギー庁（文献1）

地熱発電は、地下深くの「地熱貯留層」から、マグマの熱で温められた高温高压の蒸気・熱水を取り出し、その力を利用してタービンを回すことで発電します。この、**蒸気・熱水を取り出す井戸を「生産井（せいさんせい）」と呼びます。**

➤ NRA技術ノート：中深度処分の規制基準の背景及び根拠（文献2）
…、蒸気等を取り出すための井戸は「**蒸気井（生産井）**」と呼ばれている。（後略）

➤ 温泉資源の保護に関するガイドライン（地熱発電関係）（文献3）
3.関連用語について

○地熱井

地熱貯留層及びその周辺部や高温岩体中に掘削される坑井。以下のようなものがある。（後略）

・**生産井**

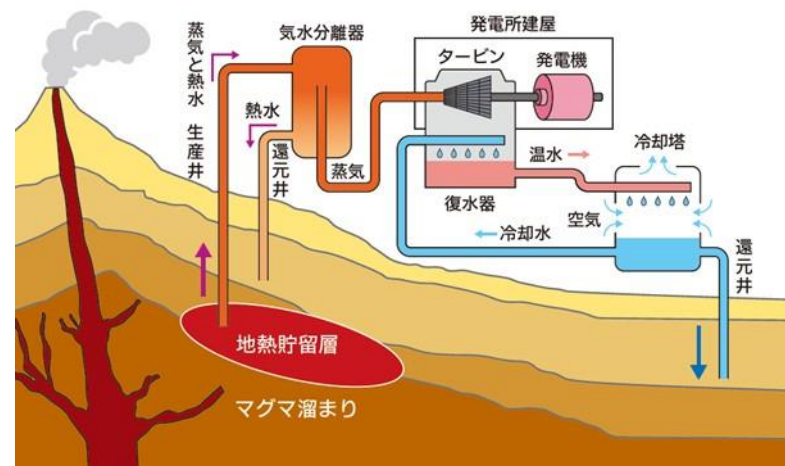
地熱貯留層から地熱流体を採取するための坑井。**蒸気井ともいう。**採取された地熱流体は地熱発電所で発電に使用される。

➤ 事業計画策定ガイドライン（地熱発電）（文献4）

(2) 発電設備に関する用語

①**蒸気井**

地下から蒸気・熱水を取り出し、地熱発電設備を供給するための井戸。**「生産井」とも言う。**（後略）



地熱発電のしくみ（文献1）

文献1) 資源エネルギー庁ウェブサイト> スペシャルコンテンツ> 記事一覧> 地熱エネルギーの宝庫・東北エリアで見る、地熱発電の現場（前編）
https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/chinetsuhatsuden_yuzawa01.html

文献2) 原子力規制庁（2022）<https://www.nra.go.jp/data/000402746.pdf>

文献3) 環境省（2021）温泉資源の保護に関するガイドライン（地熱発電関係）（改訂）令和3年9月

文献4) 資源エネルギー庁（2022）事業計画策定ガイドライン（地熱発電）2022年4月改訂



3. 技術的観点からの検討

- 考え方
- 地層や岩体、断層などの分布といった地下の状況のとりまとめ
- 「科学的特性マップ」策定時の考え方のうち好ましい地質環境特性
- これまでに検討されている処分場概念において設定されている地質環境特性の例

左記に立脚して検討の考え方を整理

段階的な処分地選定調査の考え方

「科学的特性マップ」策定時の考え方
のうち、事象や特性の基本的考え方



●技術的観点からの検討

- 地層や岩体、断層などの分布といった地下の状況のとりまとめ
- 地質環境特性の整理と、好ましい地質環境特性、過去の処分場概念の設定環境との比較

- ① 最終処分法に定められた要件への適合性の確認と同様に、技術的観点からの検討についても、**地下の地質環境を対象として概要調査地区の候補を選定するために実施する。**
- ② 最終処分法に定められた要件への適合性以外の技術的な観点から、最終処分を行おうとする地層（**地下施設設置場所**）として適切ではない場所の回避やより好ましい場所の選択について検討する。
- ③ 技術的な観点は、地層の著しい変動などの回避の次に重要となり、概要調査や精密調査においても調査事項とされている、**放射性物質の閉じ込め機能**に関して検討する。その上で、掘削や施設収容性などの観点からの**地下施設の建設可能性**に関しても検討する。
- ④ このような観点から、**地層や岩体、断層などの分布といった地下の状況**、地層処分への適性の観点からの**地質環境特性を取りまとめ**、地下施設設置場所としてのおおよその適性を把握する。検討の目的から、最終処分を行おうとする地層だけでなく上部を含めた周辺の地層も評価の対象とし、閉じ込め機能に関する特性についてはその継続期間も考慮する。
- ⑤ 既往の文献・データでは、地層や岩体、断層などの分布といった地下の状況については一定程度把握することが可能であるが、地層処分への適性の観点からの**地質環境特性については文献調査対象地区の情報は限られている**ことから、**周辺や同様の岩種**について得られている特性を用いて推定する。
- ⑥ その上で、「科学的特性マップ」の策定時の考え方のうち「**好ましい地質環境特性**」や、これまでに設計や安全評価が実施されている**モデル**の地質環境特性と比較する。

- 地下施設の建設可能性の検討については、地下施設の設計フローにおける検討事項を念頭に置き、既往の文献・データで可能な範囲で検討する。

➤ 包括的技術報告書(NUMO, 2021) 第4章処分場の設計と工学技術 より

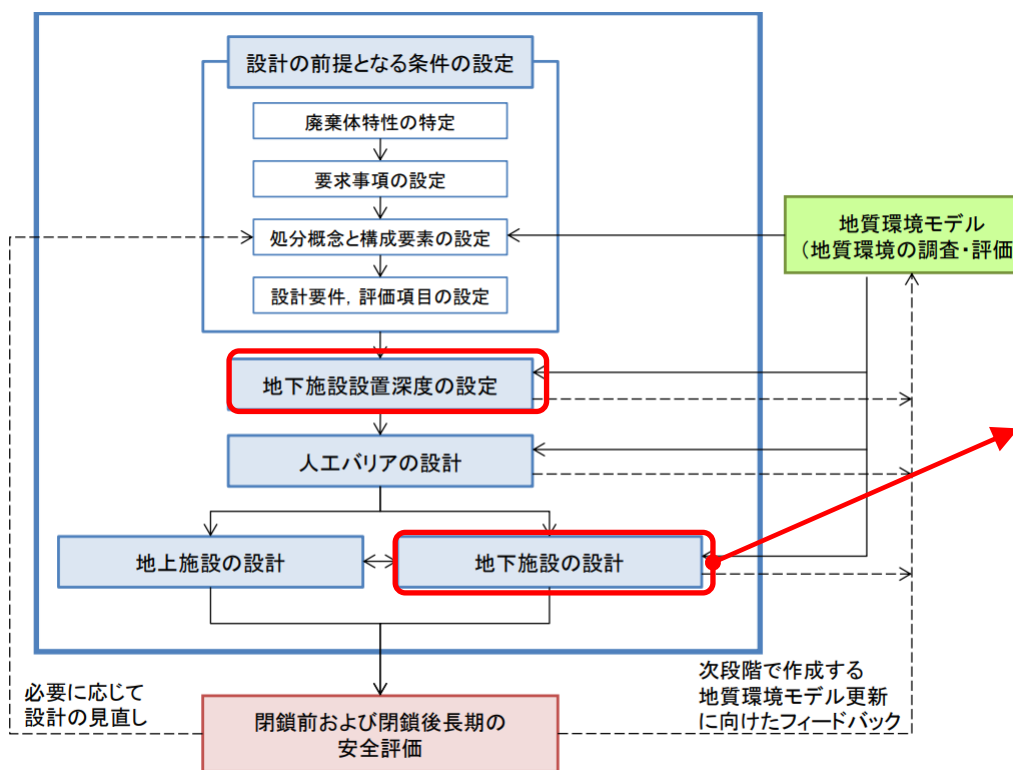


図 4.2-1 処分場の設計フロー

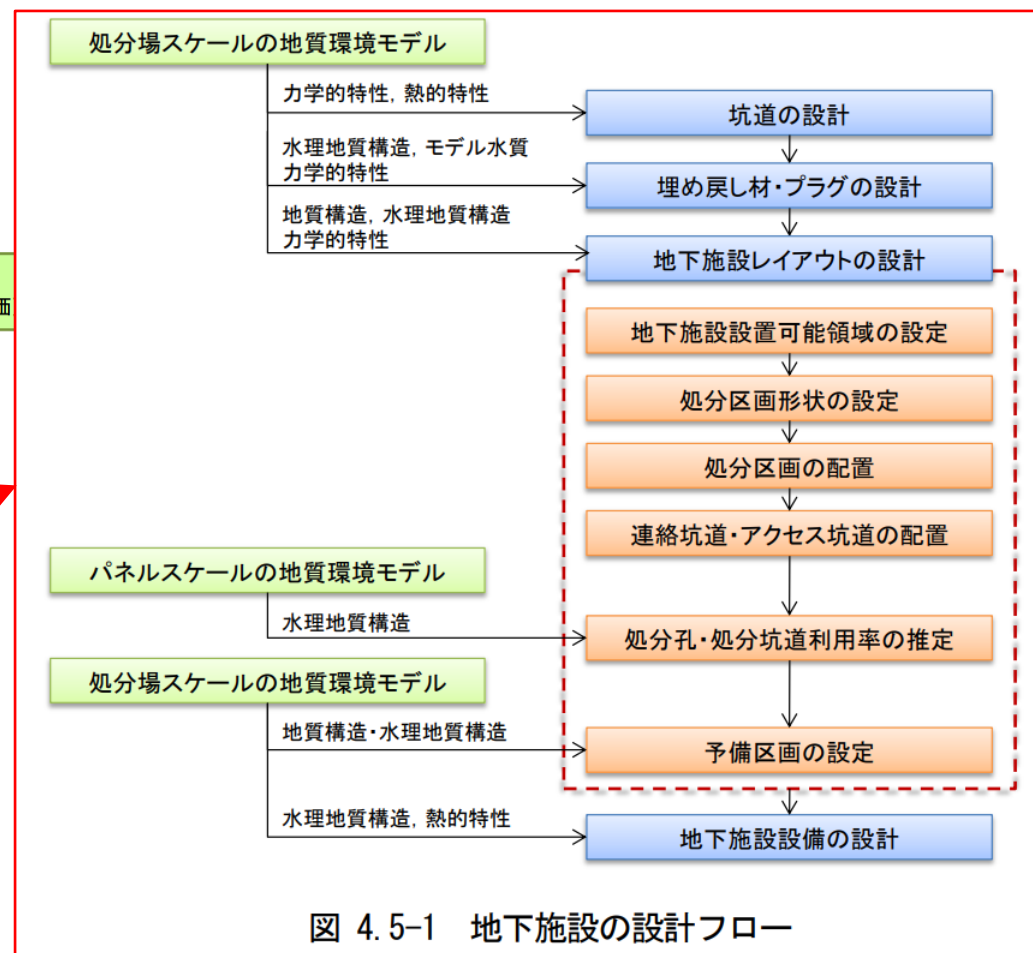


図 4.5-1 地下施設の設計フロー

● 地層や岩体、断層などの分布といった地下の状況のとりまとめ

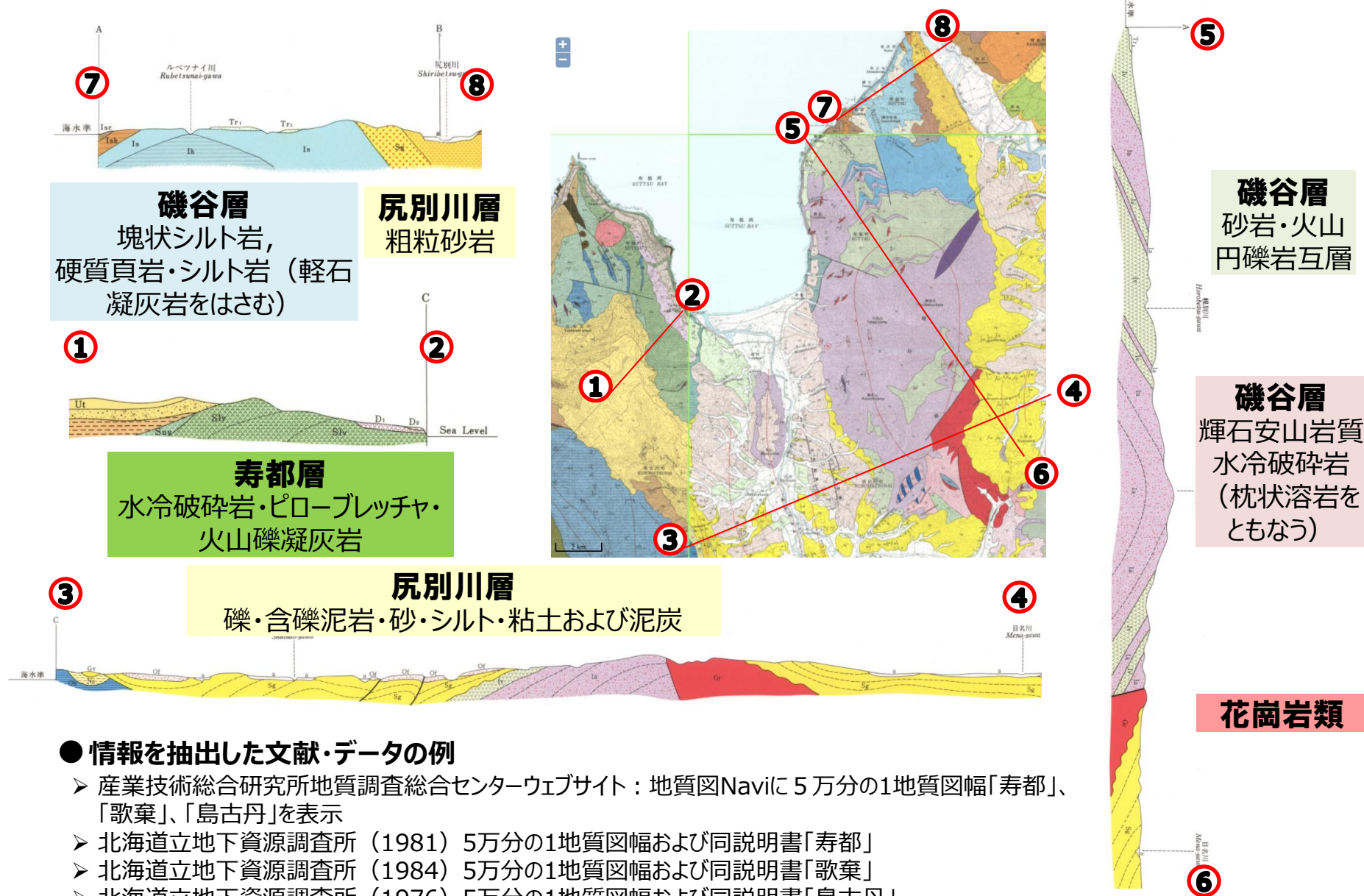
最終処分法に定められた要件への適合性の評価の過程で地層や岩体、断層などの分布といった地下の状況を把握することとなるため、これをとりまとめる。

- 文献調査対象地区の地質・地質構造について、以下のような図表及びその説明書を作成する。
 - 地表地質図
 - 主要な断面における地質断面図
 - 地質層序表
 - 地史
- 収集した文献・データ（公的機関が発行した地質図幅及びその説明書や個別の研究論文など※）から得られた情報を総合的に評価して作成する。
- 既往の文献・データから得られる情報には限界があるため、“主要な断面における地質断面図”など作成できるものに限界があること、不確実性が残ることに留意する。

※寿都町、神恵内村の例を次頁、次々頁に示す。

(参考) 公的機関が発行した地質図幅：寿都町の例

※地質断面図上の主な地層について、地層名とその下にその部分の岩相を示した。



(参考) 公的機関が発行した地質図幅：神恵内村の例

※地質断面図上の主な地層について、地層名とその下にその部分の岩相を示した。

尾根内層

石英含有角閃石安山岩質水冷
破碎岩および同質火山円礫岩

尾根内層

輝石安山岩溶岩
(火砕岩をとまなう)

積丹岳溶岩

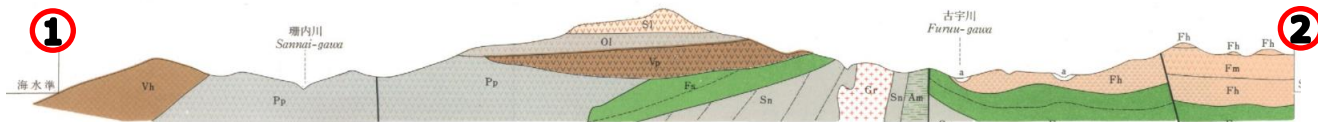
かんらん石含有
角閃石安山岩

花崗岩類

黒雲母花崗閃緑
岩および花崗斑岩

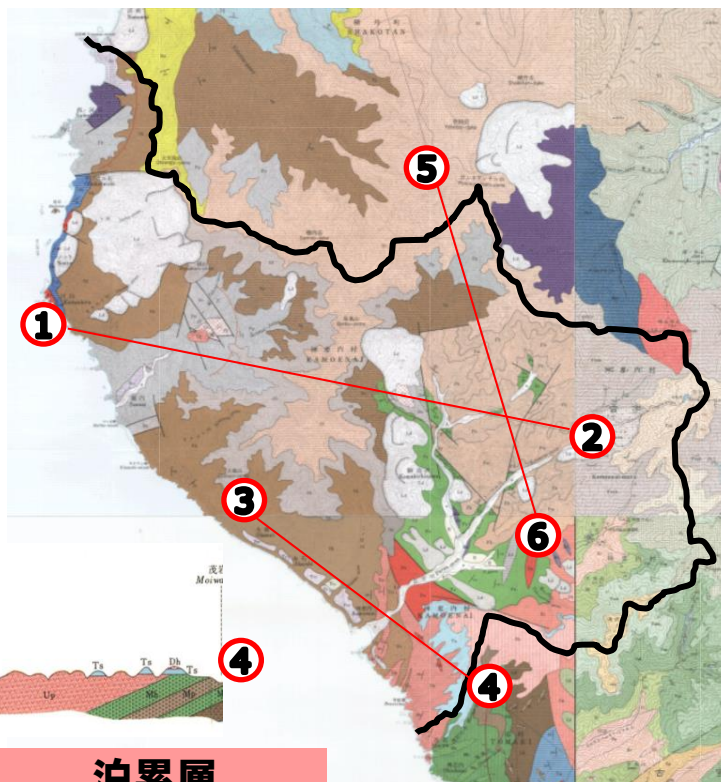
古宇川層

砂岩、頁岩および
緑色凝灰岩



● 情報を抽出した文献・データの例

- 産業技術総合研究所地質調査総合センターウェブサイト：地質図Naviに下記4図幅を表示し断面図位置などを加筆
- 北海道立地下資源調査所（1979）5万分の1地質図幅および同説明書「余別および積丹岬」
- 同（1980）5万分の1地質図幅および同説明書「神恵内」
- 北海道開発庁（1952）5万分の1地質図幅および同説明書「茅沼」
- 同（1955）5万分の1地質図幅「古平（附 幌武意）」および説明書「古平および幌武意」



③

尾根内層

石英含有角閃石安山岩質水冷
破碎岩および同質火山円礫岩

④

泊累層

しそ輝石普通輝石
安山岩質水冷破碎岩

⑤

積丹岳溶岩

かんらん石含有
角閃石安山岩

尾根内層

輝石安山岩溶岩
(火砕岩をとまなう)

尾根内層

しそ輝石普通輝石
安山岩質水冷
破碎岩および同質
火山円礫岩

古宇川層

角閃石石英安山
岩質塊状溶岩、
角閃石石英安山
岩質水冷破碎岩
および火山円礫岩

⑥

●「科学的特性マップ」策定時の考え方のうち好ましい地質環境特性

第 I 章 2. 具体化の基とする資料：「科学的特性マップ」策定時の考え方のうち、事象や特性の基本的考え方② より

「科学的特性マップ」策定時の考え方のうち、事象や特性の基本的考え方

＜埋設後長期安全性の観点＞ ●地下深部の機能に関して好ましい地質環境

●熱環境／●力学場／●水理場／●化学場

・地層処分に關する地域の科学的な特性の提示に係る要件・基準の検討結果（地層処分技術WGとりまとめ）（2017）

3.3.2 「好ましい範囲」の要件・基準 より

・最新の科学的知見に基づく地層処分技術の再評価—地質環境特性および地質環境の長期安定性について—（2014）

第3章 好ましい地質環境特性 より

- 好ましい地質環境特性は下表の左列のようにまとめられている。また、わが国の地質環境に広く認められる特性が右列のように整理されている。
- 閉じ込め性能が大幅に向上するような明確な基準を設定することは難しいとしている。
- 一方で、必ずしも明確ではないものの、定量的な目安が示されている例がある（次頁以降参照）。

地質環境に求められる要件		地質環境に広く認められる特性
熱環境	地温が低いこと	火山地域などの高温異常域を除けば、地温勾配は 3～5°C/100 m 程度
水理場	地下水流動が緩慢であること	地下深部では、動水勾配は 0.001～0.01 オーダー、透水係数は 10^{-12} ～ 10^{-6} m/s オーダーで深度とともに減少し、低透水係数の岩盤に伴って大きな動水勾配が発生
力学場	岩盤の変形が小さいこと	地下深部では、岩盤の圧縮強度および弾性率が大きく、長期的なクリープ変形量は設計で対応可能な範囲内
化学場	地下水は、高 pH あるいは低 pH ではないこと、酸化性雰囲気ではないこと、炭酸化学種濃度が 0.5 mol/L 以上とならないこと	地下深部では、地下水は、pH6～9 程度で還元性雰囲気維持され、炭酸化学種濃度は最大でも 0.1 mol/L 程度

包括的技術報告書（2021.2） 3.1.3 わが国における地層処分に適した地質環境の選定の可能性

（2）地層処分の観点から好ましい特性を有する地質環境の存在 表3.1 5 わが国の地下深部に広く認められる好ましい地質環境特性より

(参考) 好ましい熱環境の例：イライト化

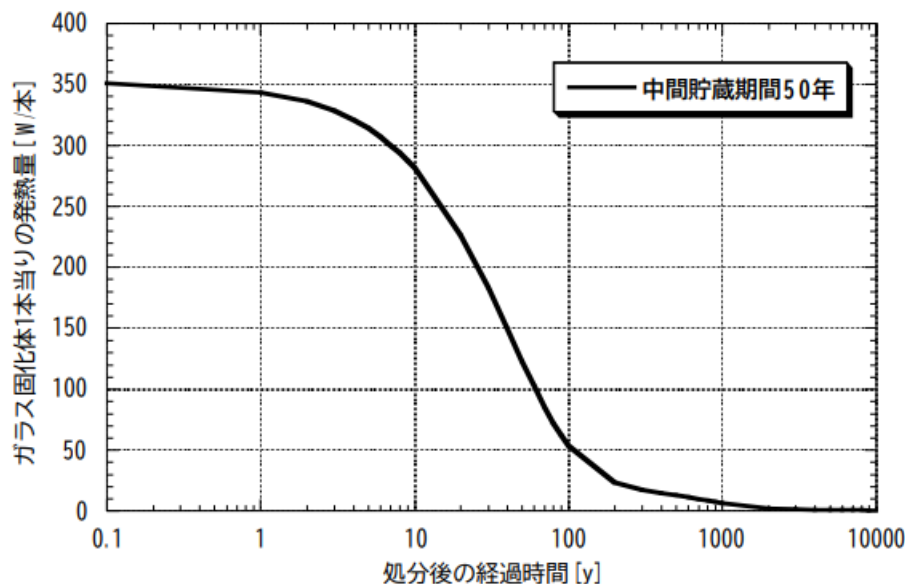
- 人工バリアのうち、ガラス固化体、鋼製オーバーパックは材料として高い耐熱性を有している。
- これに対し、緩衝材であるベントナイトについては、長期にわたり100℃を大きく超えると鉱物学的に変化し（イライト化）、特にそれが著しい場合には、主要な機能の一部喪失につながる恐れがある。また、緩衝材内の温度上昇を抑制するために、施設規模を大きくしなければならない可能性もある。
- したがって、熱環境としては「地温が低いこと」が好ましい条件であり、その条件について、**緩衝材の主成分である膨潤性粘土鉱物の熱変質（モンモリロナイトのイライト化）に基づき検討する必要がある。**
- モンモリロナイトのイライト化については、温度およびカリウム濃度を主な変数として、関係式が提示されている（Karnland et al., 2000）。
- この関係式に基づいた解析結果によると（海水程度のカリウム濃度（2mmol/dm³）において）、
 - 地温90℃の条件では10年以上の期間、熱変質は軽微で、機能の低下は起こらない。
 - 地温が130℃を超えると10万年程度の期間で、モンモリロナイトの熱変質が50%程度進行すると予測される。
 - 地温170℃の条件では1万年程度の期間で、モンモリロナイトの熱変質が50%程度進行すると予測される。

（文献）

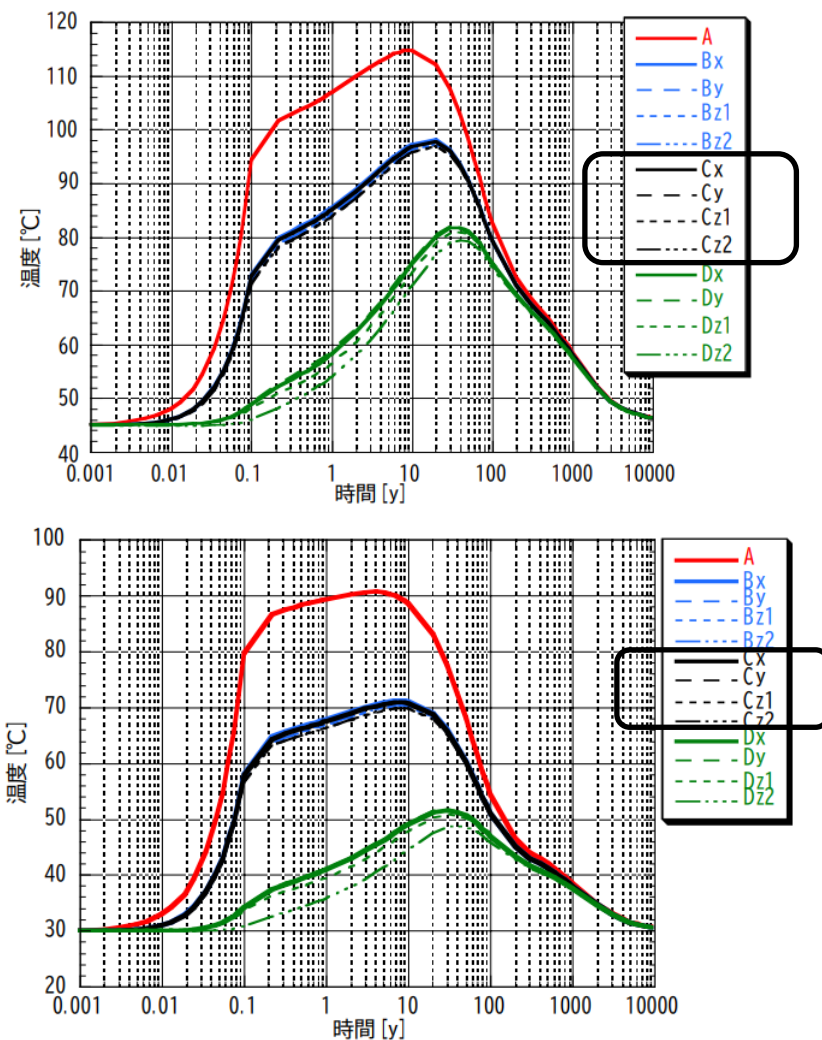
- ・ 地層処分技術WG（2014）3.1.1 熱環境（1）閉じ込め機能の観点からみた好ましい条件
- ・ 地層処分技術WG第5回会合 参考資料-1
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/chiso_shobun/pdf/005_s01_00.pdf
- ・ Karnland et al.(2000):"Long term test of buffer material Final report on the pilot parcels", SKB TR-00-22.

(参考) 好ましい熱環境の例：ガラス固化体の発熱の影響

- 緩衝材の内側では、人工バリア定置後約10～20年で最高上昇温度に到達し、その後温度が低下する。
- 廃棄体定置後約10,000年で人工バリアの温度は初期地温に戻る。



● ガラス固化体中間貯蔵期間後の発熱量経時変化



● ガラス固化体及びその周辺の温度変化の解析例

上:硬岩(深度1000m)処分孔縦置き、下:軟岩(深度500m)処分孔縦置き
✓ 記号は解析出力点であり、A:ガラス固化体中心、B:ガラス固化体表面かつオーバーパック内面、C:オーバーパック外面かつ緩衝材内面、D:緩衝材外面かつ岩盤内面

JNC (1999) : 『わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性』—地層処分研究開発第2次取りまとめ—, 一分冊2 工学技術の開発—に加筆
4.2.2.4.2 3)(1)ニアフィールドの温度経時変化 図4.2.2-94、図4.2.2-100、図4.2.2-102より

(参考) 好ましい力学場の例：オーバーパックへの作用力

- 地下深部では**地下水の水圧**や**緩衝材の圧密変形に伴う反力**などの外力が**オーバーパックに作用**する。さらに、岩種、地形、断層や処分深度の条件によっては、**岩盤中の断層変位やクリープ変形等**が考えられる。
- これらに対して、岩盤の変形が著しいと考える場合には、オーバーパックの破損を招かないように強度を上げる必要がある。
- この場合、オーバーパックの厚さを増す等の対策も考えられるが、一方で、溶接等の施工の難易度も高くなることから、合理的ではないと考えられる。そのため、力学場として好ましい条件は、岩盤の変形量が小さいことである。

➤ オーバーパックの厚さの設計

- ✓ オーバーパックには、耐食性、耐圧性および放射線遮へい性の観点から、適切な厚さを設定することが必要となる。このうち、耐圧性については、オーバーパックに作用する荷重に対して耐えるように厚さを設定する。**作用する荷重**は、表－1に示すように**地下水静水圧、岩盤のクリープ変形、オーバーパックの腐食膨張により生じる緩衝材の圧密反力**がある。
- ✓ 作用する荷重の大きさは、表－2に示す結果が第2次取りまとめに示されている。この結果からも明らかなように、処分場の設置を想定する深い岩盤中では**地下水静水圧が支配的**である（表－2の軟岩系岩盤は深度500mを想定した地下水静水圧を考慮している）。したがって、岩盤のクリープ変形がオーバーパックの耐圧性に与える影響は相対的に小さいと言えるが、**クリープ変形量が小さい方が耐圧性にとって有利**であり好ましい。

表－1 オーバーパック設計時の作用荷重の組み合わせ（JNC，1999に加筆）

	荷重の組み合わせ
硬岩系岩盤 (深度 1,000 m)	[地下水静水圧] + [オーバーパックの腐食膨張により生じる緩衝材の圧密反力 (緩衝材の膨潤応力含む)]
軟岩系岩盤 (深度 500 m)	[地下水静水圧] + [岩盤クリープ変形により生じる緩衝材の圧密反力] + [岩盤クリープ終了後、オーバーパックの腐食膨張により生じる緩衝材の圧密反力の増加分 (緩衝材の膨潤応力含む)]

表－2 オーバーパック設計時の作用荷重（JNC，1999に加筆）

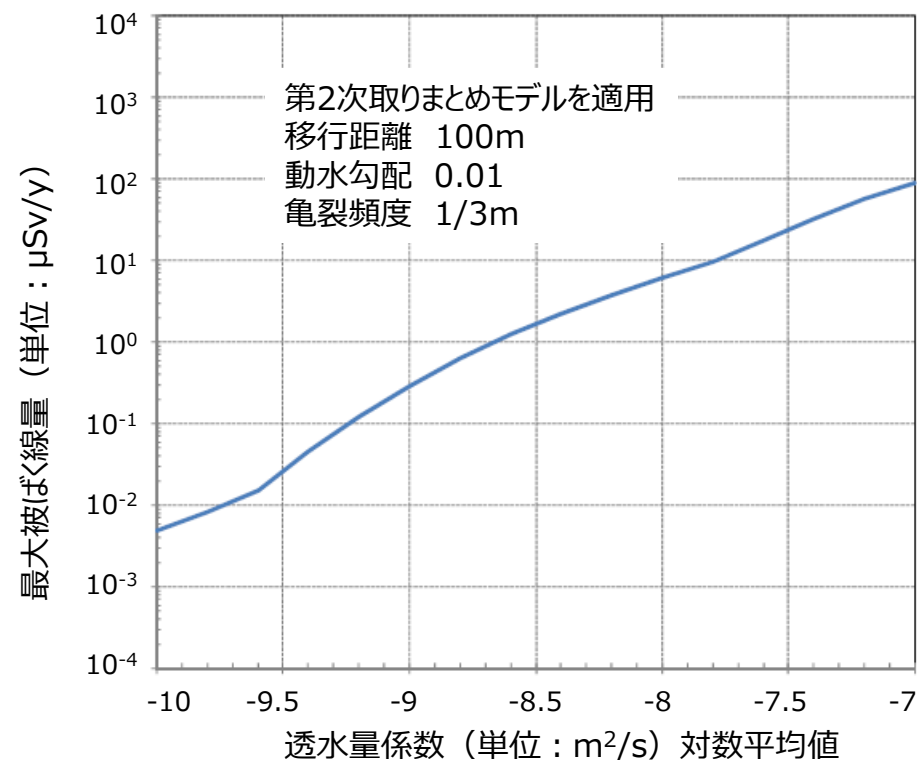
	作用外圧値 [MPa]	
	硬岩系岩盤	軟岩系岩盤
地下水静水圧	9.80	4.90
岩盤のクリープ変形および腐食生成物膨潤圧による緩衝材の圧密反力	0.86 (岩盤クリープは考慮しない)	1.87
合 計	10.7	6.8

- ・ 地層処分技術WG（2014）3.1.2 力学場（1）閉じ込め機能の観点からみた好ましい条件
- ・ 地層処分技術WG第3回会合 資料-1 https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/chiso_shobun/pdf/003_01_00.pdf
- ・ JNC（1999）：『わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性』－地層処分研究開発第2次取りまとめ－，－分冊2 工学技術の開発－表4.1.1.7,8 より

(参考) 好ましい水理場の例:複数のパラメータ、岩盤の透水性

- 地下深部の地下水の流速が緩慢である場合、**放射性物質の移行にかかる時間が長くなり、その間に放射能が減衰する。**
- そのため、水理場として好ましい条件は、岩盤の**低い透水性と小さい動水勾配**を以て、**地下水流動が緩慢**であることである。

- 地下水移行シナリオでは、地下水に溶存した核種の移行を評価するものである。核種は地層内に止まる期間が長いほど減衰が期待できることから、地下水の生物圏までの移動時間が母岩の性能を決定する因子となる。
- 地下水の生物圏までの移動時間は、**場の透水性、亀裂の性状と頻度、動水勾配および移行経路長に支配される**ことから、透水性、亀裂頻度、動水勾配に関しては小さい方が好ましい。
- 核種の移行率に関しては、上に示した**4つのパラメータ**が連成して決定されることから、個々のパラメータに関して独立に目安を設定できるものではない。
- しかしながら、これらのパラメータの中では、**透水性（透水量係数または透水係数）の取り得る範囲が、他のパラメータに比較して変動範囲が広いもの**と考えられる。右図に、亀裂の透水量係数（分布の対数平均値）を変動させた解析結果を示す。
- 目安とする線量を $10\mu\text{Sv/y}$ と仮定する場合、亀裂透水量係数は $10^{-8}\text{m}^2/\text{s}$ 以下であることが望ましいと考えられる。



亀裂の透水量係数対数平均と最大被ばく線量の関係

- ・ 地層処分技術WG (2014) 3.1.3 水理場 (1)閉じ込め機能の観点からみた好ましい条件
- ・ 地層処分技術WG第3回会合 資料-1
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/chiso_shobun/pdf/003_01_00.pdf

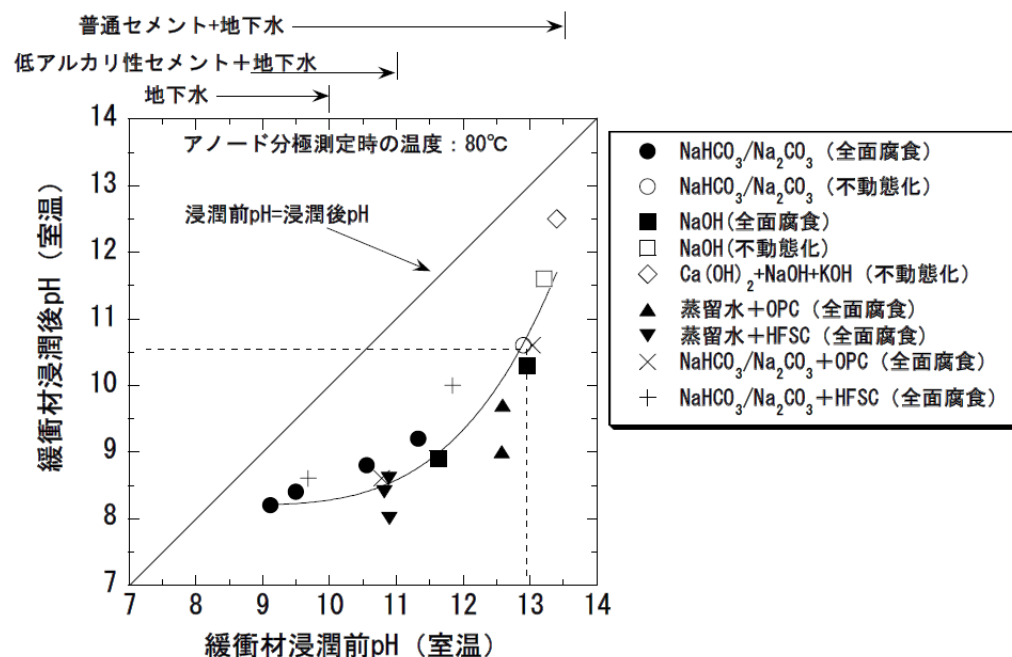
(参考) 好ましい化学場の例：pH、緩衝材の緩衝作用

- 地下水が低pHあるいは高pHの場合は、ガラス固化体の溶解速度が速く、放射性物質の浸出率が増加する。
 - pHが5程度を下回る、9を上回る領域で、浸出率が増大する結果が示されている（Wicks et al., 1982）。
- 高pHの場合はオーバーパックが不動態化し、局部腐食や応力腐食を引き起こしやすくなるが、緩衝材によるpH緩衝作用により、地下水のpHが12程度までであれば、不動態化を防ぐことができることが報告されている。
 - 人工バリアを構成する緩衝材にはpH緩衝作用が期待できる。例えば、緩衝材外側のpH（下図の“緩衝材湿潤前pH”）が11-12程度でも、緩衝材の内側のpH（“緩衝材湿潤後pH”）は8.5-9.5程度となる。

- 地下水が低pHあるいは高pHの場合は、以下が報告されている

- 緩衝材が変質しやすい。
- 一部の放射性物質の溶解度が増加する。
- 低pHの場合は、緩衝材および天然バリアともに収着能が低下する。

- ・ 地層処分技術WG（2014）3.1.4 化学場（1）閉じ込め機能の観点からみた好ましい条件
- ・ Wicks, G.G., O'Rourke, P.E. and Whitkop, P.G. (1982) : The Chemical Durability of Savannah River Plant Waste Glass as a Function of Groundwater pH, DP-MS-81-104. J. American Ceramic Society.
- ・ 地層処分技術WG第5回会合 参考資料-1 https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/chiso_shobun/pdf/005_s01_00.pdf
- ・ 核燃料サイクル開発機構（2005）：高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する知識基盤の構築－分冊2工学技術の開発－, JNC TN1400 2005-015, p.25.



緩衝材のpH緩衝作用の実測例
(JNC, 2005)

(参考) 好ましい化学場：炭酸化学種濃度、酸化還元電位

- 地層処分技術WG (2014) 3.1.4化学場
- 地層処分技術WG第5回会合 参考資料-1 https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/chiso_shobun/pdf/005_s01_00.pdf

<炭酸化学種濃度>

●炭酸化学種濃度が 0.5mol/dm^3 以上となる条件ではオーバーパックの不動態化、局部腐食を招きやすくなる。

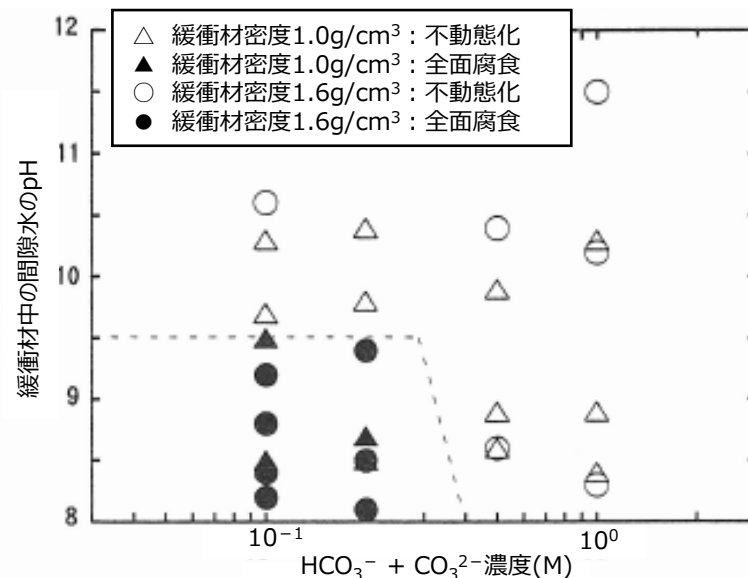
- オーバーパックに関しては、顕著な腐食現象である局部腐食を招く不動態化の回避が望まれる。
- これまでの実験の結果から、炭酸化学種の濃度の高い環境では不動態化しやすいことが示されている。

- 谷口 ほか(1999) : “ベントナイト中における炭素鋼の不動態化条件の検討”, サイクル機構技報, No.4, pp.87-91.

<酸化還元電位>

酸化性条件では、

- オーバーパックの耐食性が低下する。
- 一部の放射性物質の溶解度が増加する。
 - 同じpHであっても、酸化還元電位(Eh)が異なる場合には、核種の溶解度を支配する化学種が異なり、とくに酸化性の雰囲気では顕著に溶解度が高くなることが報告されている (Barbara, 2005)。
- 緩衝材および天然バリアともに、収着能が低下する。



オーバーパックの腐食挙動の炭酸化学種濃度依存性
谷口ほか (1999)

- Barbara(Ed.)(2005) : Environmental geochemistry , p.235.

● これまでに検討されている処分場概念において設定されている地質環境特性の例①

□ 包括的技術報告書の検討岩種

包括的技術報告書（NUMO, 2021） 第3章 3.3.2 検討対象母岩の設定 より

- 代表的な岩種の特性を整理している。文献調査段階では特性のデータが限られているが、岩種によりその特性を概略想定することができる。

表 3.3-1 地層処分の観点から見た5岩種の特徴

時代	新第三紀	先新第三紀	新第三紀・ 先新第三紀	新第三紀・ 先新第三紀	
岩種	堆積岩類	堆積岩類	火山岩類	深成岩類	変成岩類
地表分布面積比率 ^{※1} [%]	15	41	18	18	8
深度 500 m 分布面積比率 ^{※1} [%]	15	40	15	20	10
深度 1,000 m 分布面積比率 ^{※1} [%]	10	45	10	25	10
水みちの構造	粒子間隙 割れ目	割れ目 層理面	割れ目	割れ目 岩脈	割れ目 片理面
透水係数の代表値 ^{※2} [m/s]	2.9×10^{-7}	4.7×10^{-7}	2.1×10^{-7}	5.5×10^{-8}	4.3×10^{-8}
有効間隙率の代表値 ^{※3} [%]	25～27	3.5～6.8	5.4～7.9	0.8～1.5	1.2～6.8
熱伝導率の代表値 ^{※3} [W/m K]	1.6～1.8	1.4～1.5	2.4～2.5	2.8～2.9	3.3
一軸圧縮強さの代表値 ^{※3} [MPa]	9～28	74～90	92～106	108～110	55～66

※1 第四紀火山の中心から 15 km 以内の範囲を除外した地質環境を対象とする。

※2 代表値として対数平均値を示す。

※3 代表値として特性値の分布（ばらつきの幅や偏りなど）を考慮して平均値および中央値の幅を示す。

新第三紀・先新第三紀火山岩類および変成岩類については、先新第三紀堆積岩類および深成岩類に適用する考え方や手法を応用することにより、処分場の設計および安全評価における対応が可能であると考えられる。

以上の類型化の結果を踏まえて、本報告書では、深成岩類、新第三紀堆積岩類、先新第三紀堆積岩類を検討対象母岩として設定した。これらの3岩種を対象とした処分場の設計および安全評価の考え方や手法を整備することにより、新第三紀・先新第三紀火山岩類および変成岩類を加えたわが国の代表的な5岩種すべてについて技術的に対応できると考えられる。

● これまでに検討されている処分場概念において設定されている地質環境特性の例②

□ 包括的技術報告書におけるモデルの設定値の例

包括的技術報告書（NUMO, 2021） 第3章 3.3.3地下深部の特徴を考慮した地質環境モデルの構築 (4)構築した地質構造モデルおよび水理地質構造モデル (6) 地下水水質のモデル化 (7)岩盤の熱的・力学的特性のモデル化 より

- 代表的な岩種の特性を用いて設定した地質環境特性を用いて処分場の設計及び安全評価が実施されており、その結果を参照することができる。

➤ 岩盤の力学的特性の例

・それぞれの検討対象母岩を代表する特性値として平均値および中央値を算出した。また、集約したデータ（数値データの分布のばらつきや偏りの程度を把握するために、第1四分位数および第3四分位数も算出している。

パラメータ		深成岩類	新第三紀堆積岩類	先新第三紀堆積岩類
一軸圧縮強さ [MPa]	データ数	805	1,057	592
	平均値	110	24	88
	第1四分位数	57	3	18
	中央値	108	6	68
	第3四分位数	165	20	142

・表中の新第三紀堆積岩類および先新第三紀堆積岩類の熱伝導率および一軸圧縮強さの特性値は、地下施設の設計対象とした特定の岩相を対象として算出したものであるため、前頁に掲示した岩相を特定しない場合の代表値とは必ずしも一致していない。

➤ 岩盤の水理学的特性の例

・深成岩類、
処分場スケールの例

水理地質区分	透水係数 [m/s]	備考
断層	断層面に平行方向： 1.6×10^{-6} 断層面に直交方向： 1.3×10^{-9}	長さ1 km 以上
基質	2.7×10^{-8}	長さ1 km 未満の断層・割れ目を含む

➤ 地温、地下水の化学的性質の例

検討対象母岩		深成岩類		新第三紀堆積岩類		先新第三紀堆積岩類	
地下水		低 Cl濃度	高 Cl濃度	低 Cl濃度	高 Cl濃度	低 Cl濃度	高 Cl濃度
温度	[°C]	45	45	30	30	45	45
pH	[-]	8.16	7.56	8.38	6.54	8.15	6.33
Eh	[mV]	-301	-259	-282	-168	-289	-171

・深成岩類、新第三紀堆積岩類、先新第三紀堆積岩類のそれぞれの検討対象母岩を対象に、わが国の地下深部で認められる地下水の塩分濃度の高低を考慮しつつ、処分場の工学的実現性に係る検討および閉鎖後長期の安全性に係る検討に必要となる地下水の水質をモデル化した。
・地温は地下施設の設計を行う深度に対応する温度を設定している。



4. その他

- 環境保全対策

● 環境保全対策

- 処分場の建設工事の開始前に、環境影響評価法（注）に沿うなどして、周辺環境への影響を調査・評価し、環境保全対策を講じる。
- 一般的な環境調査項目に加え、**地層処分事業で特徴的と考えられる地下岩盤の掘削にともなう掘削残土の処理**や、坑道内の湧水の周辺河川などへの放流などの影響についても、調査と予測評価を行う。
- 処分地選定としては、環境保全に関する事項について段階に応じた内容を、技術的観点からの検討や経済社会的観点からの検討において総合的な評価の一環として考慮していく。



（注）地層処分事業は現時点では対象事業とはされていないが、これに沿った調査・評価等を進める。同法及び関連規則等では、配慮書、方法書、評価書などの手続きや、評価の対象である構成要素（大気環境、水環境、土壌環境、動植物、生態系、景観、廃棄物等）などが示されている。

（左図の説明）

- 放射線安全対策、作業安全対策に加えて、周辺環境への影響を事前に調査・評価し、環境保全対策を講じます。
- 処分場の建設工事の開始前に周辺環境の調査と環境への影響の予測評価を行います。**騒音・振動、動植物、生態系、景観など、一般的な環境調査項目に加え、地層処分事業で特徴的と考えられる地下岩盤の掘削にともなう掘削残土の処理や、坑道内の湧水の周辺河川などへの放流などの影響**についても、調査と予測評価を行います。
- 影響を回避・低減できるよう適切な環境保全対策を講じるとともに、適切に対策を行って工事を進めます。
- 実施した対策が有効に働いていることをモニタリングによって確認していくことにより、環境保全を確実にいきます。

(参考) 掘削残土に含まれる可能性がある有害物への対応

- 「土壤汚染対策法」などの**法律や公共機関のマニュアルなどを遵守**し、環境に配慮した管理を実施する。
- 公共土木工事、幌延など**既往の事例を参照**する。



(*)「重金属等」：ここでは、土壤汚染対策法で指定する有害物質のうち、**天然の岩石や土に存在する「カドミウム」、「六価クロム」、「水銀」、「セレン」、「鉛」、「砒素」、「ふっ素」、「ほう素」**を「重金属等」と総称します。

国立研究開発法人 土木研究所 Webマガジン Mar.2016 Vol.43 研究成果の紹介
<https://www.pwri.go.jp/jpn/about/pr/mail-mag/webmag/wm043/seika.html>

埋め戻し→埋戻し

- 地下施設、地上施設の位置や坑道の配置などの設計の具体化に併せて、対策を検討していく。

- ✓地下施設の建設工事で発生する掘削土は、**地下施設の埋戻し材料として再利用**することが考えられるため、掘削と同時に地上へ搬送し、**再利用するまでの期間、風雨による飛散や流出などの防止対策を講じた上で地上施設の敷地内にて保管**することが想定される（文献1）。
- ✓掘削土置き場は**地上施設のなかで最も大きな面積**を必要とするため、掘削土を置くための地形条件の有利な場所（例えば谷部など）を数箇所選定し、分散して配置することも可能である（文献1）。
- ✓掘削土置き場は、**四方を傾斜面とした盛土であり、数段に分けた形状**としている（文献2）。
- ✓高レベル放射性廃棄物処分場では、先行するパネルは掘削土を再利用して埋戻しを行うため、**仮置き土量は掘削土量より小さくなる**。ここではパネル数を6とし、**仮置き土量が最大となる時点**を、第5パネルが定置終了し埋戻し前で第6パネルが掘削終了している状態を仮定した。このとき仮置き土量は、**(2パネル分の掘削土量) + (4パネル分の残土量) + (連絡坑道、アクセス坑道の掘削土量)**（文献2）。
- ✓埋戻し土はベントナイトを混合するため、埋戻し空間充填体積のうち掘削土が占める割合は**6～8割程度**である（文献2）。
- ✓高レベル放射性廃棄物処分場と地層処分低レベル放射性廃棄物処分場を併置した地上施設の敷地の広さは、建屋エリア及び掘削土置き場を合わせた規模が約1600m×950mであり、このほかに少し離れて位置する立坑入口のための広さが必要である。**併置する場合の掘削土置き場に置くこととなる掘削土量は、内陸部・硬岩（深度1000m）の例では、約730万m³程度**であると考えられる（文献3）。
 - ・文献1)NUMO（2004）高レベル放射性廃棄物地層処分の技術と安全性－「処分場の概要」の説明資料－ 4.5地上・地下施設の設計 4.5.1地上施設 より
 - ・文献2)NUMO（2010）地層処分低レベル放射性廃棄物に関わる処分の技術と安全性－付録資料－「処分場の概要」の説明資料－ 付録6-3 掘削土置き場の試算（6.5.2および9.2） より
 - ・文献3)NUMO（2010）地層処分低レベル放射性廃棄物に関わる処分の技術と安全性「処分場の概要」の説明資料 9.2 併置のレイアウト 9.2.2 地上施設 より

