

パネルディスカッション 「地層処分技術の社会との共有について」 地層処分技術WGの議論について

最新の科学的知見に基づく地層処分技術の再評価（平成26年5月）

ー地質環境特性および地質環境の長期安定性についてー

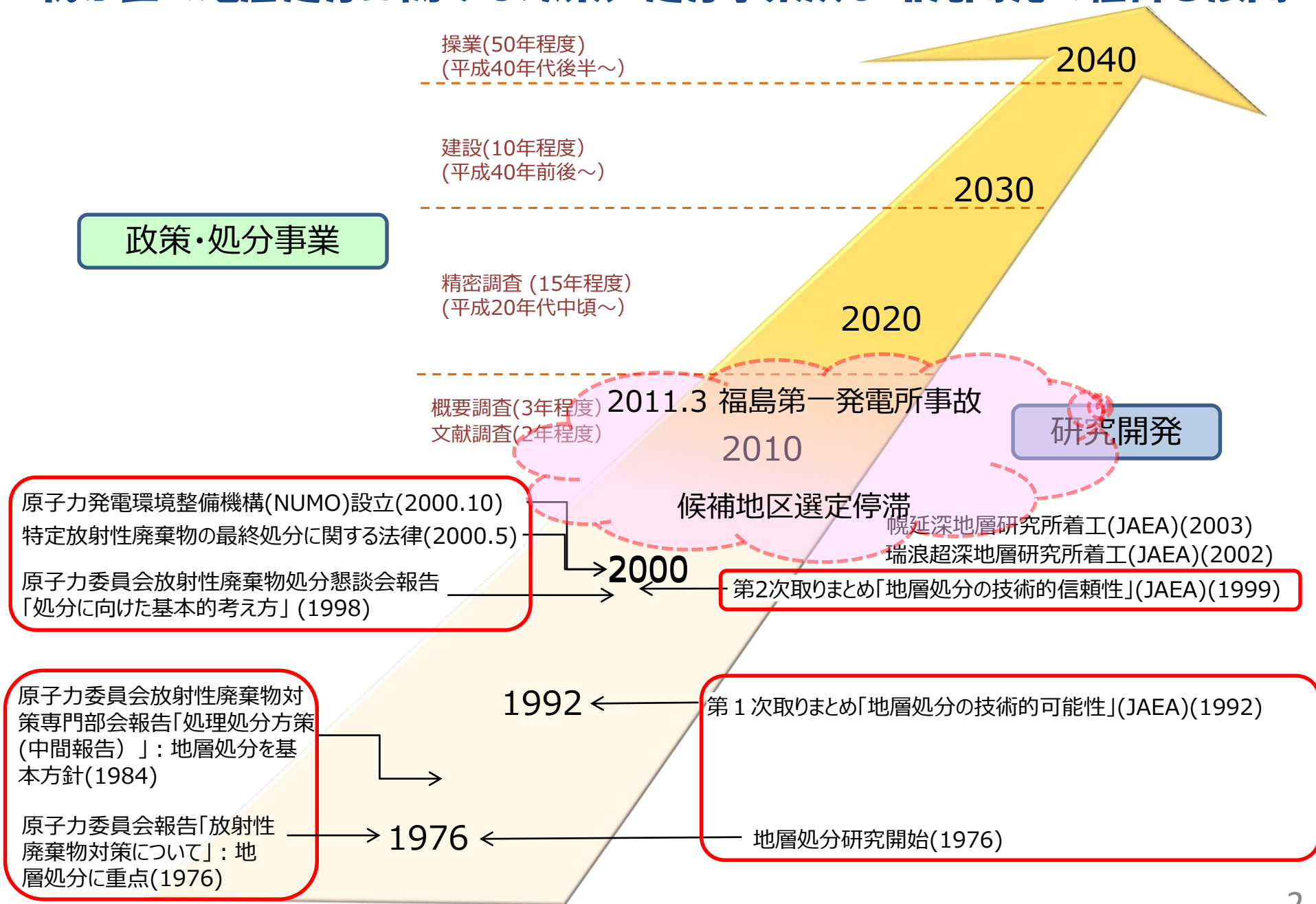
総合資源エネルギー調査会電力・ガス事業分科会原子力小委員会地層処分技術WG

- 第1章 はじめに（地層処分技術WGの議論のポイント）
- 第2章 地層処分の基本的考え方（地層処分に求められる地質環境特性）
- 第3章 地質環境の長期安定性への影響要因と対応方針（回避と工学的対策）
- 第4章 地質環境の長期安定性への影響要因に関するサイト調査の方針
- 第5章 まとめと今後の取り組みにあたって（まとめと研究課題）

原子力安全研究協会処分システム安全研究所 所長

朽山 修

我が国の地層処分に関する政策、処分事業及び研究開発の経緯と展開



地層処分の技術的信頼性の再評価の必要性

平成12年（2000） 原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会

平成24年（2012） 日本学術会議

原子力委員会

平成25年（2013） 総合資源エネルギー調査会電力・ガス事業分科会原子力小委員会放射性廃棄物WG



- 地層処分＝絶対確実とはいえない将来に対する予測（地層処分の成立性に関する見通し）に基づく長期的事業
地層処分の安全性に対する技術的信頼性は、プロジェクトの段階的進行に伴い定期的に再評価されなければならない（計画の各段階時点での信頼性の程度の把握、残る不確実性（必要な研究開発項目）の把握）
- 公募制に関連した「適地」の判断基準に対する社会的不信
- 東北太平洋沖地震の発生（天然現象の評価の妥当性）



地層処分技術WG（平成25年10月から平成26年4月まで、計8回：5月取りまとめ）

1. 放射性物質を長期に隔離し閉じ込めておくために好ましい地質環境特性の整理
2. 地層処分の安全機能に著しい影響を与える（回避が必要な）天然現象を抽出
3. 段階的なサイト選定における回避の考え方

総合資源エネルギー調査会電力・ガス事業分科会原子力小委員会 地層処分技術WG委員名簿

委員長

- ✓ 朽山 修 原子力安全研究協会処分システム安全研究所所長（放射性廃棄物WG委員）

委員

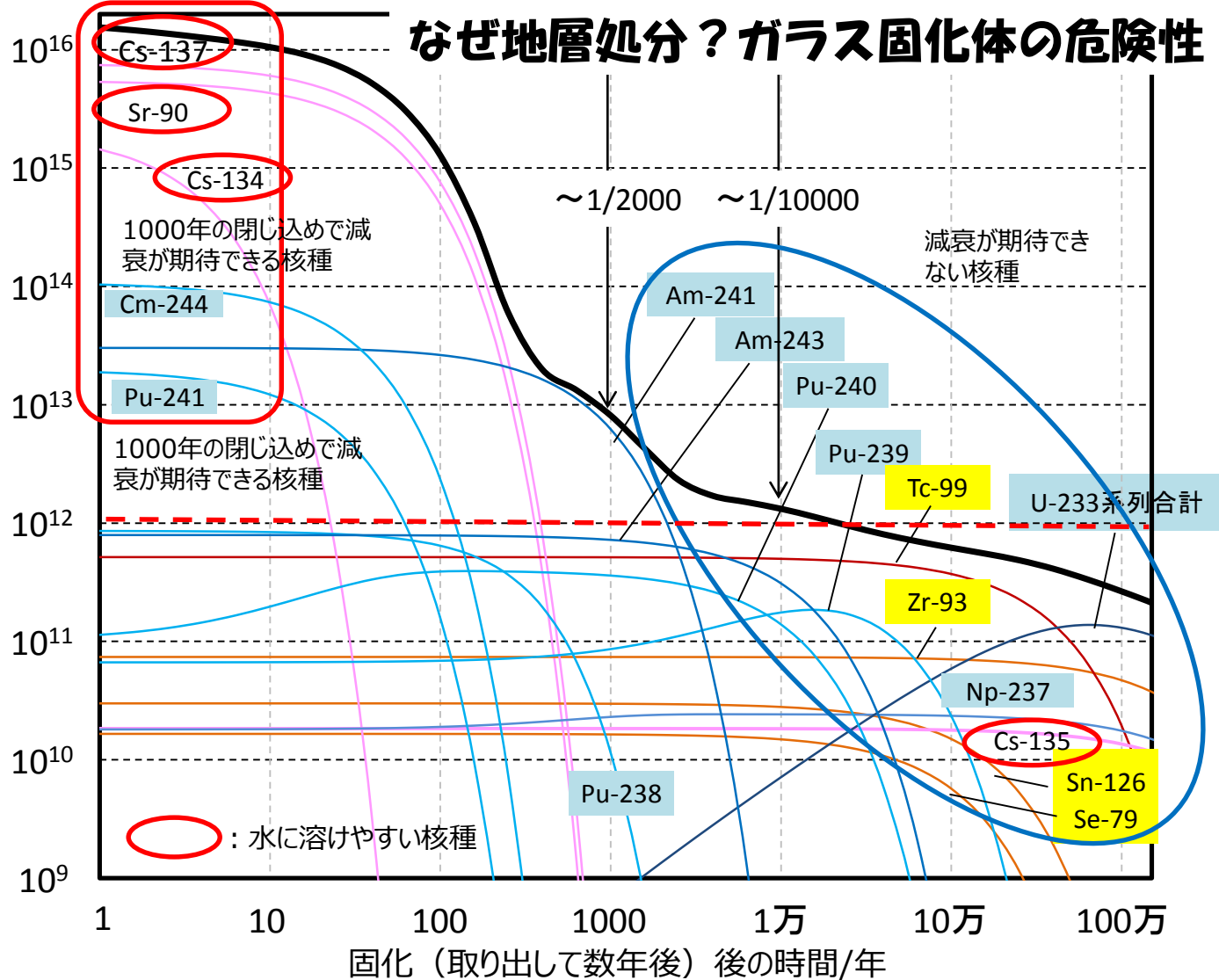
- ✓ 宇都 浩三 産業技術総合研究所企画本部企画副本部長（日本火山学会推薦）
- ✓ 遠藤 邦彦 日本大学名誉教授（日本第四紀学会推薦）
- ✓ 長田 昌彦 埼玉大学地圏科学研究センター准教授（日本応用地質学会推薦）
- ✓ 小峯 秀雄 茨城大学工学部都市システム工学科教授（土木学会推薦）
- ✓ 田所 敬一 名古屋大学大学院環境学研究科地震火山研究センター准教授（放射性廃棄物WG委員推薦）
- ✓ 遠田 晋次 東北大学災害科学国際研究所教授（日本活断層学会紹介）
- ✓ 徳永 朋祥 東京大学大学院新領域創成科学研究科教授（放射性廃棄物WG委員）
- ✓ 丸井 敦 産業技術総合研究所地圏資源環境研究部門総括研究主幹（日本地下水学会推薦）
- ✓ 山崎 晴雄 首都大学東京大学院都市環境科学研究科教授（放射性廃棄物WG委員）
- ✓ 吉田 英一 名古屋大学博物館教授（館長）（放射性廃棄物WG委員）
- ✓ 渡部 芳夫 産業技術総合研究所地質調査情報センター長/深部地質環境研究コア代表（日本地質学会推薦）

（計 12名）

サイト選定の論拠

なぜ地層処分？ガラス固化体の危険性

放射能濃度 / (Bq/本ガラス固化体)



- ほぼ全ての放射性物質は小さな体積の固体としてひとまとめに閉じ込められている。
- 含まれている放射能は膨大で、ガラス固化体が**自然現象または人の行為により破壊され、何らかの力（自然現象、人の行為）**で環境に飛散させられれば、放射線影響により人や環境に危険を与える。
（自分から環境に拡がる力はない）
- 生活環境に放出して希釈・拡散と環境の浄化能力に頼ることはできない。⇒生活環境からの隔離

なぜ地層処分？

環境からの隔離（地下深部は“環境”ではない）
環境 = 生活環境 = 生態圏

安全機能

隔離

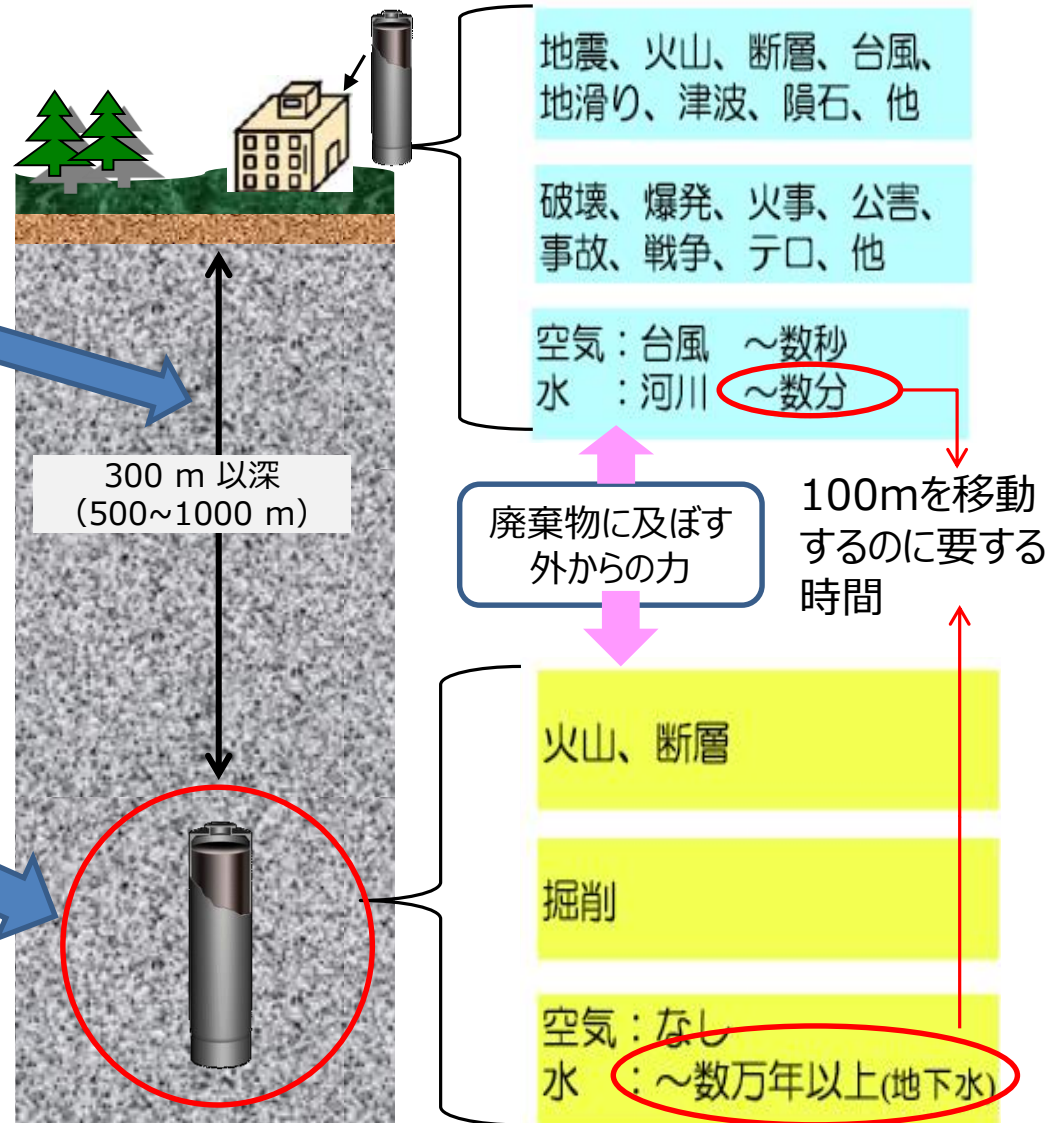
非常に厚い（数百メートルの）岩の壁が**本来的に持つ隔離機能**

- 地表の生活環境からの隔離
- 地表の擾乱事象からの隔離

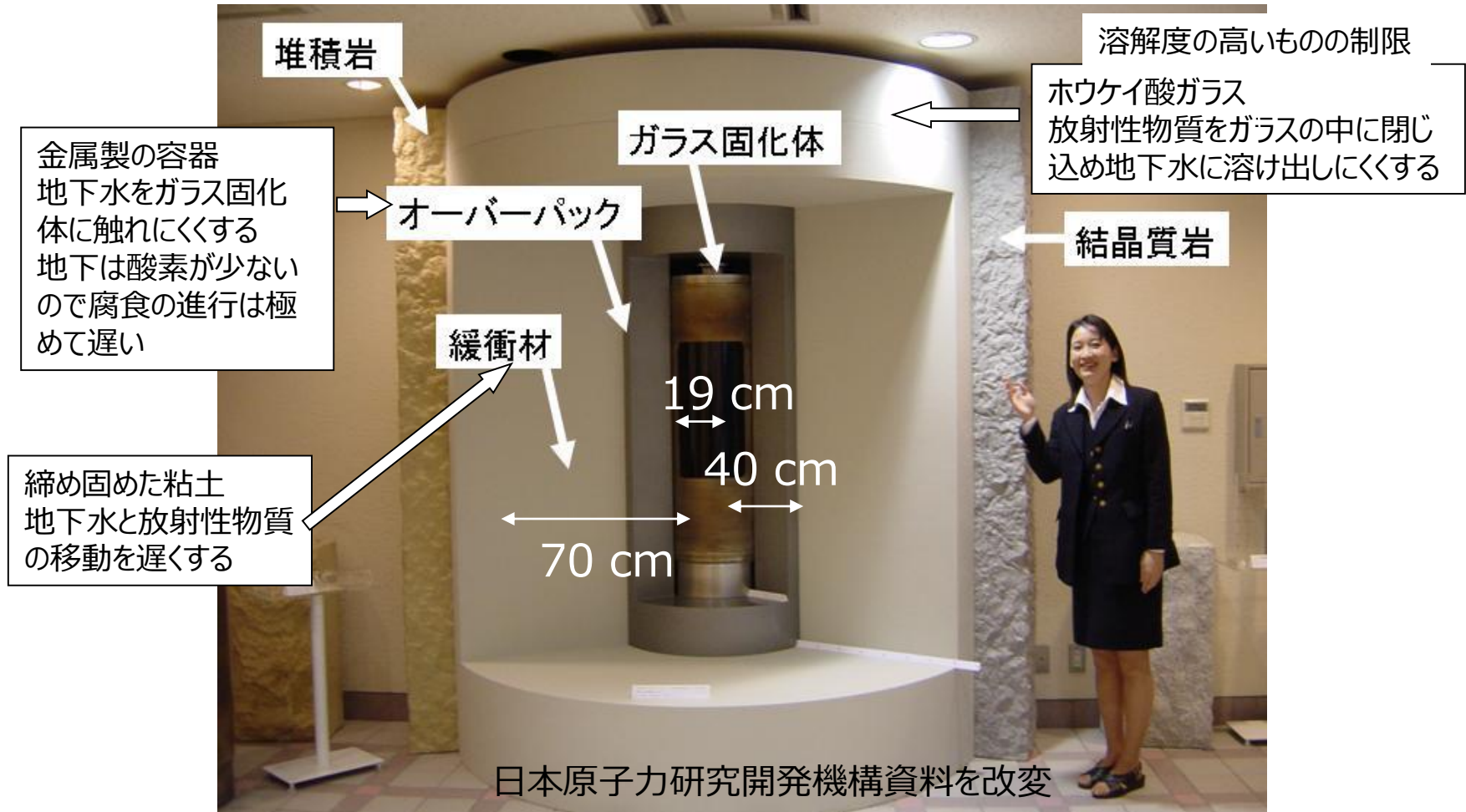
閉じ込め

地下深部の**地質環境**が**本来的に持つ閉じ込め機能**

- 地下水はわずかししか動かない
- 放射性物質の大部分は溶解度が非常に低い（ $< 0.1 \text{ ppm}$ ）
- ほぼ全ての放射性核種はニアフィールド（その場または近傍）で崩壊してなくなる
- ごくわずかな漏出核種は地表に至るまでに大幅に希釈される



人工バリア：放射性物質の閉じ込めをより確実に



初期：溶解しやすいCs-137, Sr-90の放射能レベルが高い

- ❑ 浸出の抑制（ガラス固化体）
- ❑ 地下水の接触の防止（オーバーパック＋緩衝材）
- ❑ より長い移行時間の確保（緩衝材）

Cs-137(30年), Sr(29年), Am-241(432年), Am-243(7370年)

好ましい地質環境特性

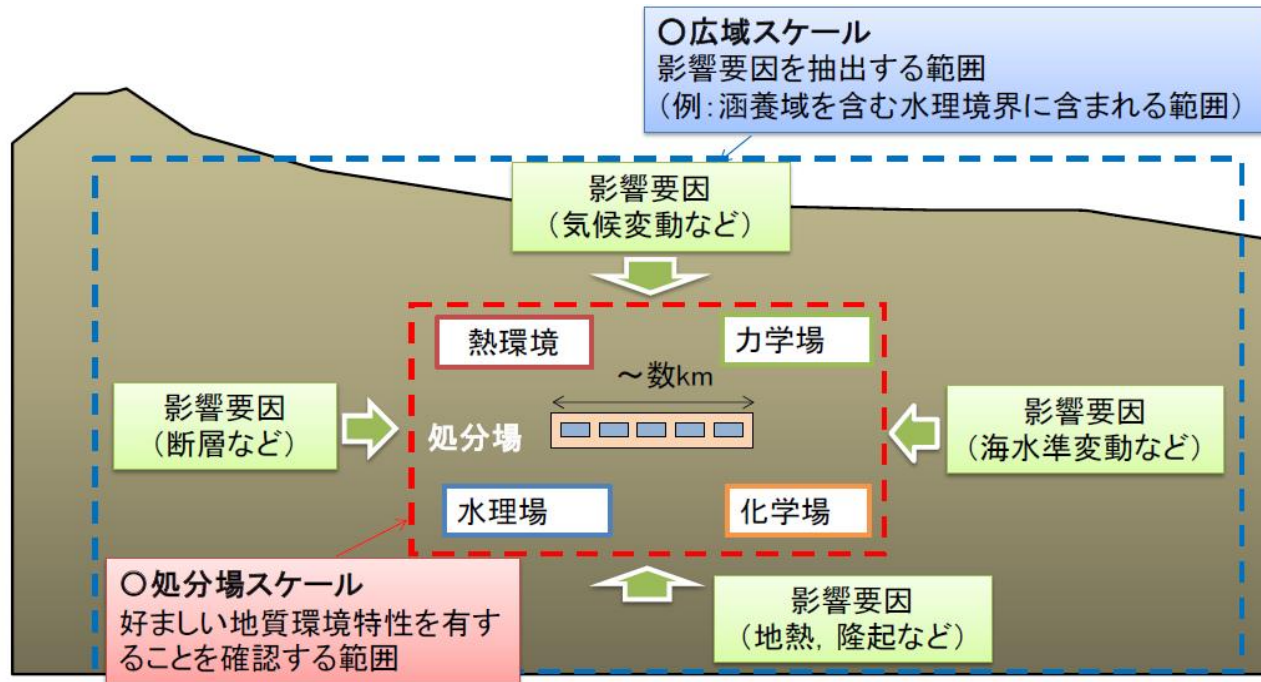


表 1 好ましい地質環境特性のまとめ

	人工バリア設置環境として好ましい 主な地質環境特性	天然バリアとして好ましい 主な地質環境特性
熱環境	地温が低いこと	—
力学場	岩盤の変形が小さいこと	—
水理場	—	地下水流動が緩慢であること
化学場	- 地下水の水素イオン指数 (pH) が高 pH あるいは低 pH ではないこと - 地下水が酸化性雰囲気でないこと - 地下水の炭酸化学種濃度が高くないこと	- 地下水の水素イオン指数 (pH) が高 pH あるいは低 pH ではないこと - 地下水が酸化性雰囲気でないこと

地質環境への長期安定性への影響要因

閉じ込め機能への影響要因

熱環境（非火山地域：3～5℃/100 m）

- ・ 熱源の移動・発生－地熱活動
- ・ 熱源の移動・発生－断層面における摩擦熱
- ・ 地表の温度の上昇－気候変動による気温変化
- ・ 地表の温度の上昇－火砕流による地表温度の上昇

➤ 地熱活動

力学場（岩盤の長期的なクリープ変形量は設計で対応が可能な範囲）

- ・ 岩盤の破断・破砕－処分深度に達する断層のずれ
- ・ 岩盤の弾性変形－地震動による岩盤のひずみ
- ・ 岩盤のクリープ変形量の増大－地温上昇に伴う岩盤クリープ変形量の増大

➤ 処分深度に達する断層のずれ

水理場（透水係数： 10^{-12} ～ 10^{-6} m/s, 動水勾配0.001～0.1）

- ・ 動水勾配の増加－海水準変動および地形変化
- ・ 動水勾配の変化－地震に伴う地下水位（または水圧）の変化
- ・ 地下水流動経路の変化－気候・海水準変動に伴う流出点の変化、塩水／淡水境界の位置の変化
- ・ 地下水流動経路の変化－断層のずれに伴う透水性の増加
- ・ 涵養量の変化－気候変動に伴う涵養域の降水量の変化

➤ 断層のずれに伴う透水性の増加

化学場（pH: 6～10、炭酸塩濃度：<0.5 mol/dm³）

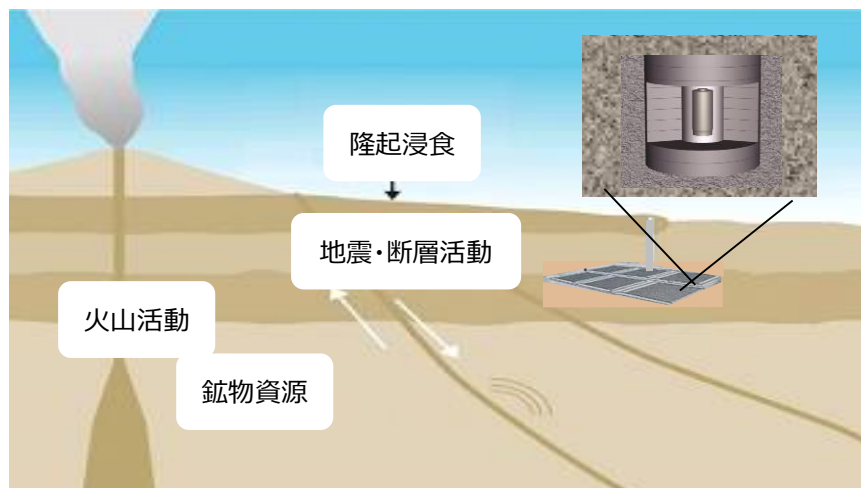
- ・ 低pH地下水の流入、炭酸化学種を含む地下水の流入－火山性熱水や深部流体の移動・流入
- ・ 高pH地下水の流入－超塩基性岩と反応した地下水の移動・流入
- ・ 酸化性地表水の流入－断層のずれに伴う透水性の増加

➤ 火山性熱水や深部流体の移動・流入、断層のずれに伴う透水性の増加

物理的隔離機能への影響要因

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

地質環境の長期安定性への影響要因と対応方針



回避
サイト選定

工学的対策

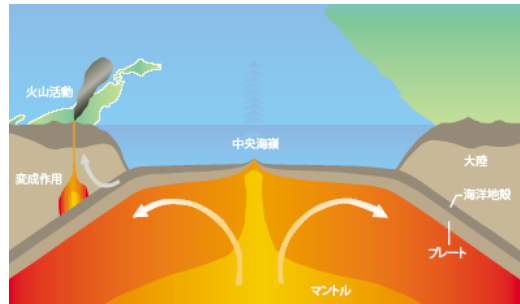
施設レイアウトによる天然現象の影響低減や、余裕をもたせた人工バリアの設計など



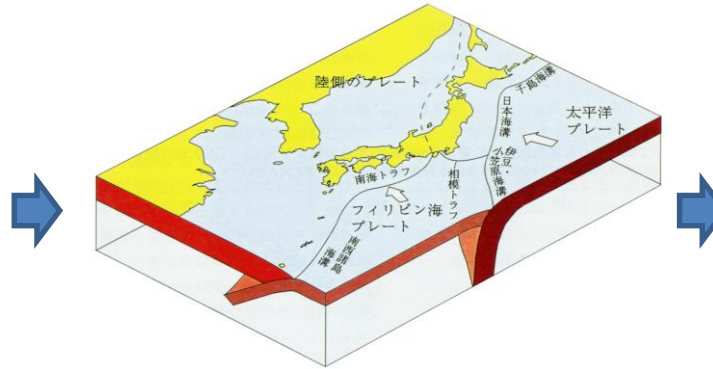
		火山・火成活動	断層活動	隆起・侵食	気候・海水準変動
閉じ込め機能の喪失	熱環境	地熱活動	—	—	侵食の要因として評価
	力学場	—	処分深度に達する断層のずれ	—	
	水理場	—	断層のずれに伴う透水性の増加	—	
	化学場	火山性熱水や深部流体の移動・流入	断層のずれに伴う透水性の増加(条件による)	—	
物理的隔離機能の喪失		マグマの処分場への貫入と地表への噴出	—	著しい隆起・侵食に伴う処分場の地表への著しい接近	

地質環境の長期安定性への影響要因に関するサイト調査の方針

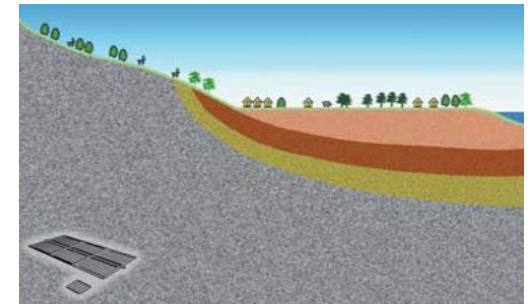
地質構造の分布と時間的変遷



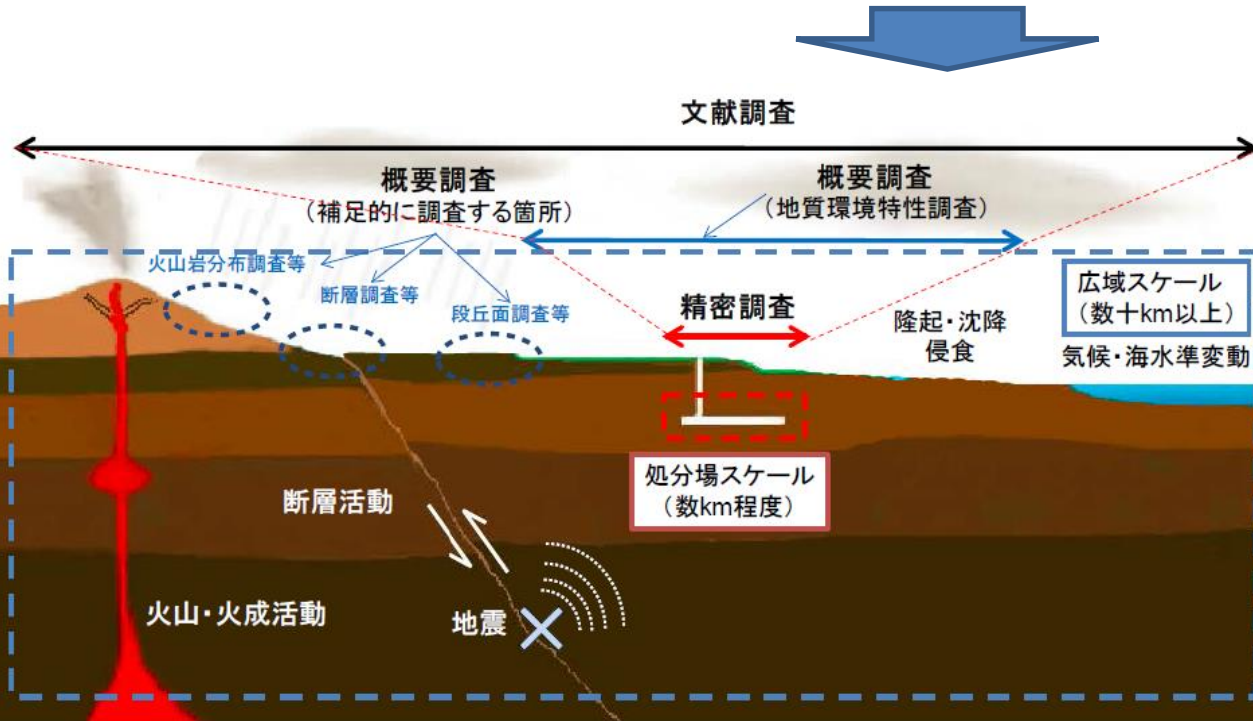
マンテル対流



日本列島周辺のプレート配置



プレート運動による地層の形成



調査・考慮すべき天然現象の時間空間配置

- ◆ 日本は太平洋プレート、フィリピン海プレートといった海洋プレートが、ユーラシアプレートや北米プレートといった大陸プレートの下に沈み込んでいるため、火山や地震が多い
- ◆ プレートの位置や運動方向・速度は約200～100万年前からほとんど変化がなく、今後も10万年程度はほとんど変化しないと考えられている

調査段階ごとの自然現象の回避と工学的対策の判断

事前確認

全国規模で体系的に整備された文献その他の資料により調査される。

- マグマの貫入・噴出：火山から15 km 程度の範囲を除外
- 非火山性熱水・深部流体：熱環境、化学場に対する影響が明らかな地域を回避
- 断層活動：破碎帯の幅として断層長さの100分の1程度の範囲を除外
- 隆起・侵食：過去10万年における最大侵食量が300 mを超えた範囲を回避

文献調査

選定しようとする地区およびその周辺の地域について、文献その他の資料により、過去の地震等の履歴、活断層・火山の状態、地層の状態、および鉱物資源の有無等が調査される。

- 個々の天然現象について影響を評価し、回避を判断

概要調査

概要調査地区内の処分を行おうとする地層及びその周辺の地層について、ボーリングやトレンチ調査などにより、岩石の性質と状態、活断層の位置や性状、過去の地震等の履歴、および破碎帯や地下水の概要等が調査される。

- 個々の天然現象について影響を評価し、回避、工学的対策を判断

精密調査

地下施設を建設することにより、岩石の強度・性質、地層の化学的性質、および地下水の流速や化学組成などの詳細等が調査される。

地層処分技術WG中間とりまとめ 概要

○関連学会の推薦等による専門家の参画の下、昨年10月より8回にわたって地層処分技術WG（委員長：朽山修）を開催し、本年5月30日に中間取りまとめを公表。

○まず、地層処分に好ましい以下の地質環境特性は我が国に広く存在。

- ①火山周辺等を除けば、**地温が低い**（ガラス固化体の溶解や緩衝材の変質を抑制）
- ②地下深部は、地表面に比べ、**地下水の流れが緩慢である**（漏出した放射性物質の移動を抑制）
- ③火山周辺等を除けば、**地下深部は酸化性の環境ではない**（金属容器の腐食、放射性物質の地下水への溶解を抑制）

○次に、これらの地質環境特性に擾乱を与える天然事象を段階的な調査により回避することが可能。

①火山活動：

- 火山の発生領域は**数百万年前から変わっておらず**、北海道、東北地方や九州の日本海側に**偏在**。
影響範囲（側火山、地温、化学環境への影響）は、**火山から15km程度**。
- **既存の火山から15km以内は不適地。**

②隆起・侵食：

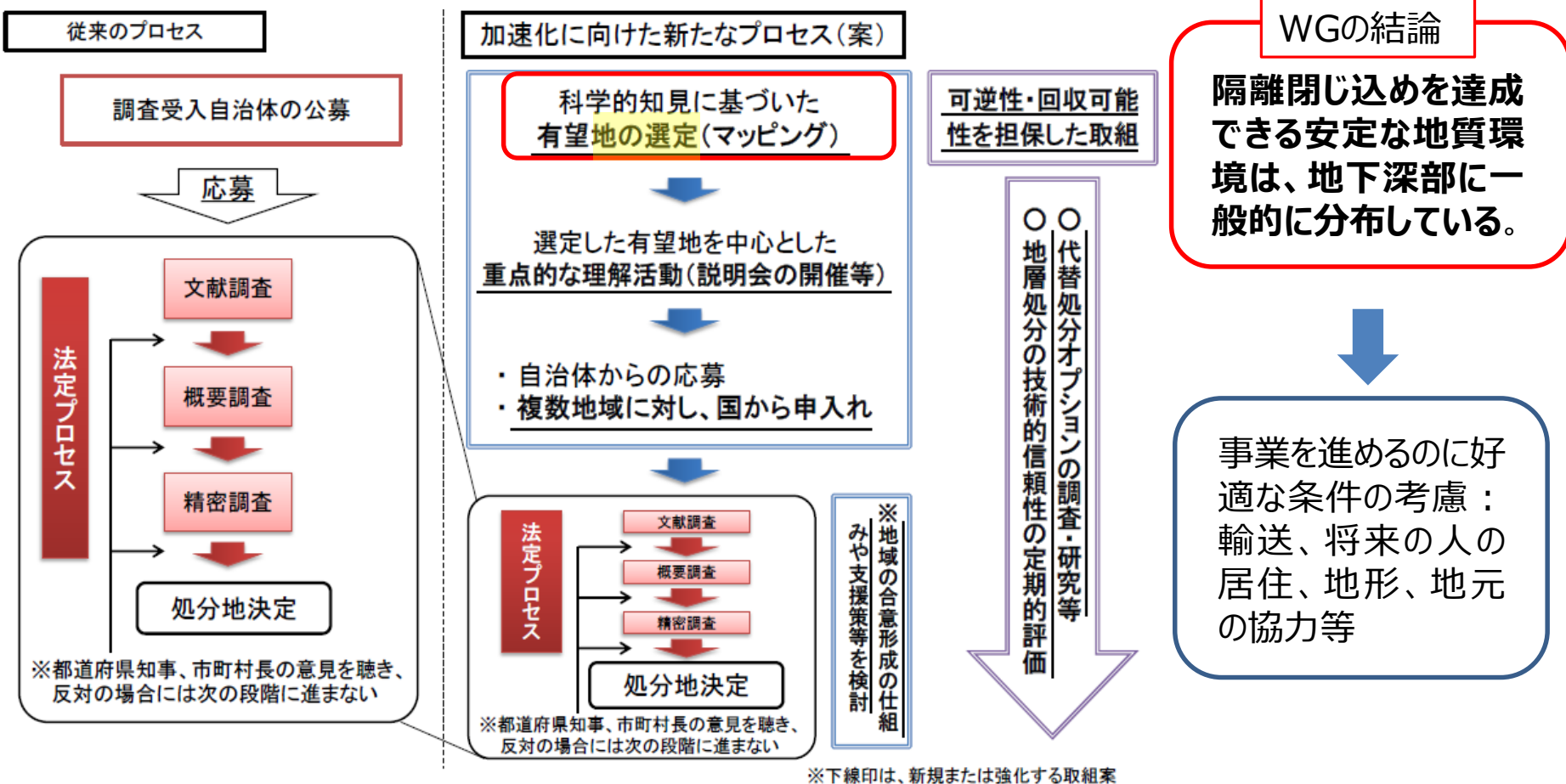
- 日本の隆起量は、山間部を除き、**過去10万年間で概ね100m未満**。（沿岸部については150mを考慮。）
- **過去10万年間の隆起量が300m（沿岸部は150m）を超える地域は不適地。**

③断層活動：

- 破碎帯の幅は断層長さの1／100程度（**数百m程度**）を少なくとも**回避する必要**。

地層処分事業に協力してくれる地域(パートナー)を求める理解活動

最終処分に向けた新たなプロセス(案)



OECD/NEA "Geological Disposal of Radioactive Waste: National Commitment, Local and Regional Involvement" 2012

- 絶対的尺度で、技術的に最善なサイトというものはなく、①安全であるとして許可できるサイト、および②受け入れ地域に支持される廃棄物管理概念、の組み合わせがあるだけである。このよりよい組み合わせを見出すことがサイト選定プロセスの目的である。