

地層処分における地質環境の 安定性およびその見解

平成28年7月15日(金)

日本大学 竹内真司

目次

- 地層処分とは
- 地層処分の安全確保のしくみ
- 地層処分における地質環境の安定性とは
- 見解
- 最近の話題（科学的有望地・沿岸海底下処分）
- 私見

地層処分とは

ウラン鉱山



95~97%

ウラン
プルトニウム

3~5%

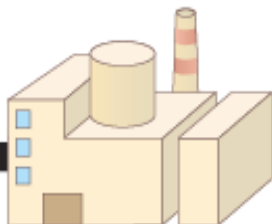
高レベル
放射性廃棄物

核燃料
サイクル

原子力
発電

再処理

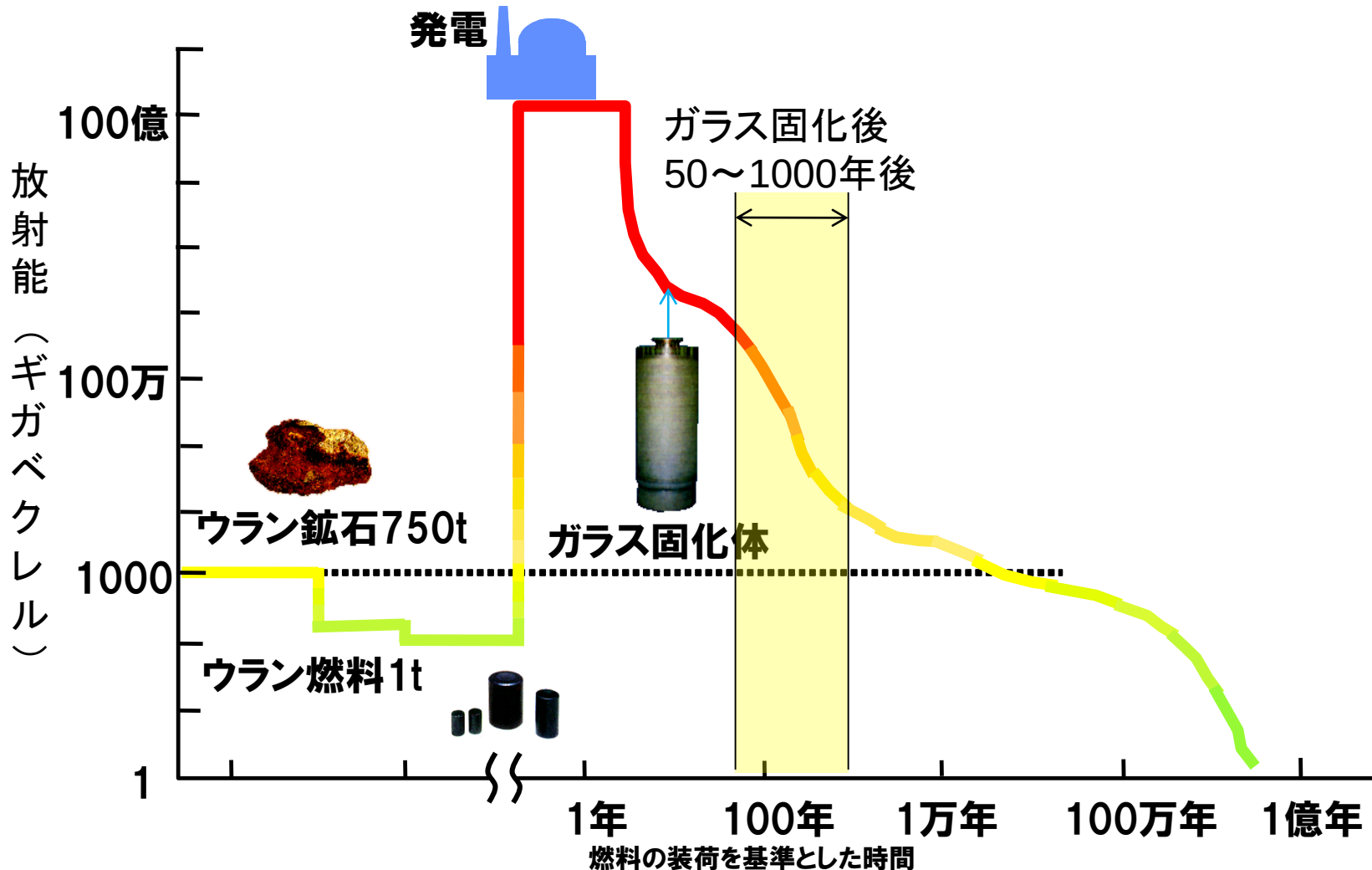
使用済燃料



高レベル放射性廃棄物の性質

高レベル放射性廃棄物の放射能は、非常に高い

時間とともに放射能は低下し、数万年後にウラン鉱石と同じ程度に

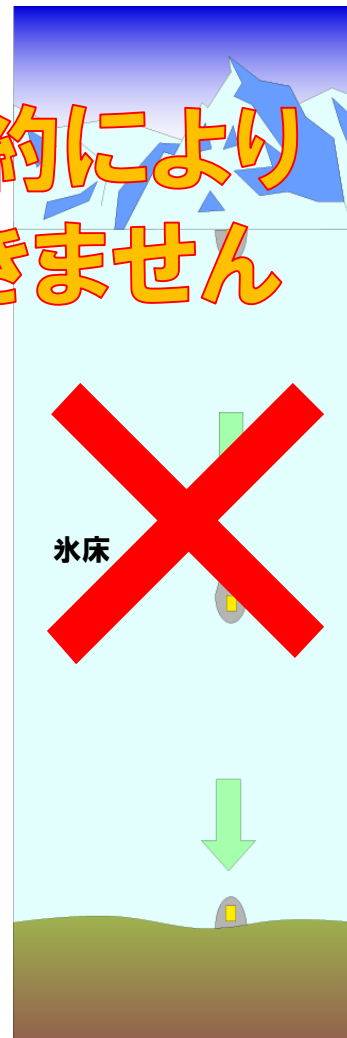


高レベル放射性廃棄物の処分方法

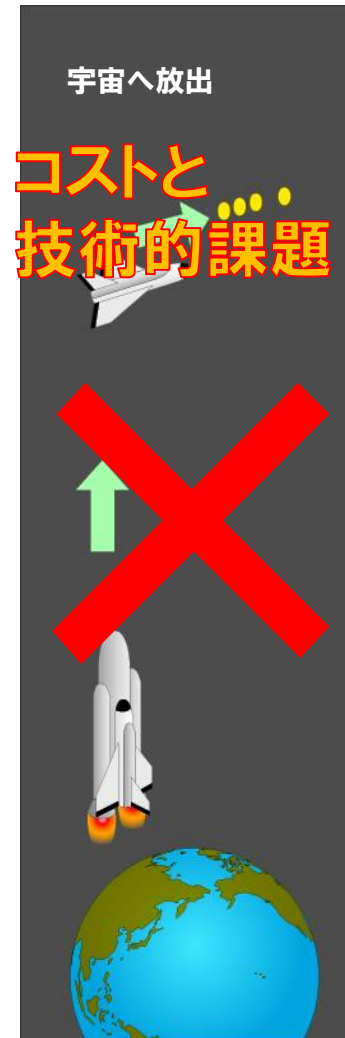
海洋底下処分



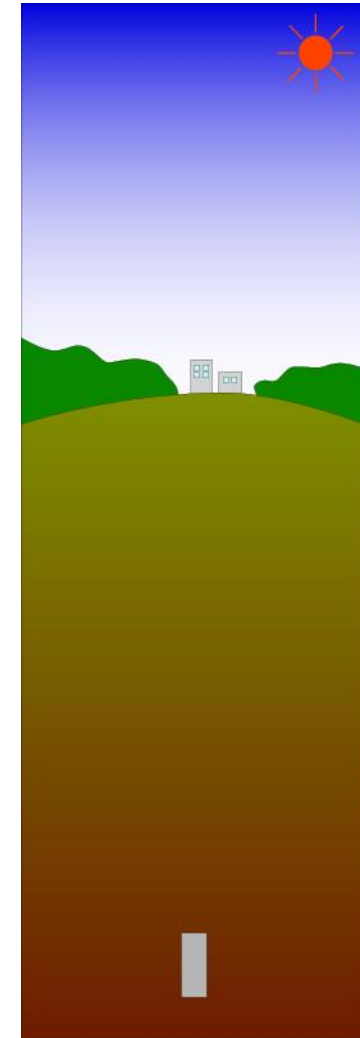
氷床処分



地球外へ処分



地層処分



高レベル放射性廃棄物の処分方法

海洋底下処分

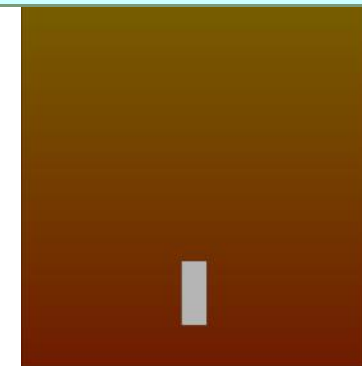
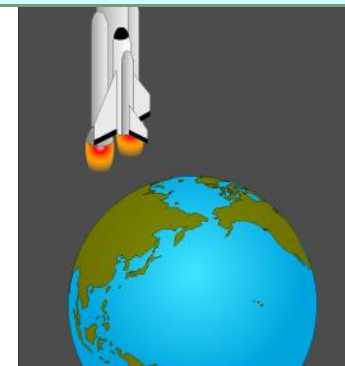
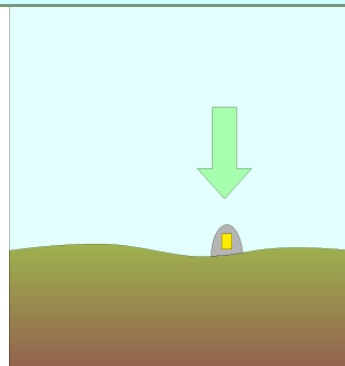
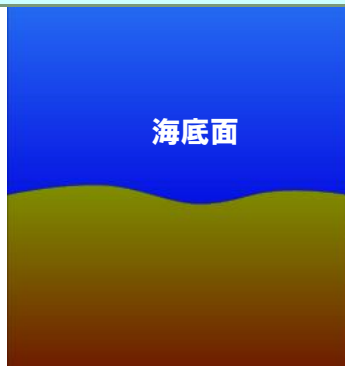
氷床処分

地球外へ処分

地層処分

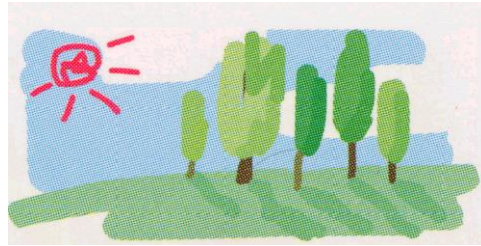


数万年以上にわたり人間の生活環境から遠ざけることができ、かつ、実現が可能な方法を考えると、地層処分が最適な方法であることが世界共通の認識

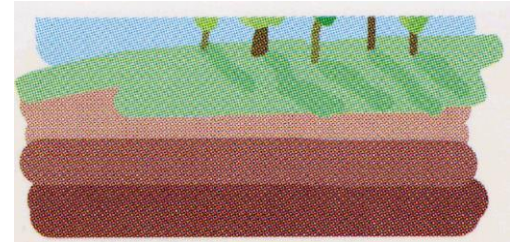


地表と地下

地下深部はものを
閉じ込めておく上
で安定している。

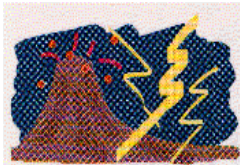


地表（人間による管理）



地下（処分）

自然現象



地震，火山，断層，台風，
地滑り，津波，隕石，他

火山、断層

人の行為



破壊，爆発，火事，公害，
事故，戦争，テロ，他

掘削

ものの動き (100m動く)



空気：台風　～数秒
水　：河川　～数分

空気　：なし
地下水：～数万年以上

残されて いるもの



文字：～数千年
建物：～数千年

化石：～数億年
地層：～数十億年

地層処分の安全確保の仕組み

(1) 想定されるリスク

- ・人間と廃棄体の接近
- ・地下水による放射性物質の移動

(2) 対策

- ・適切なサイトを選定する
- ・処分場を適切に設計し適切な工学的対策をとる。
- ・地層処分システムの安全評価を実施する。

火山、隆起・侵食等

地質環境の特徴

断層活動、地下水の存在

人間と廃棄体との接近

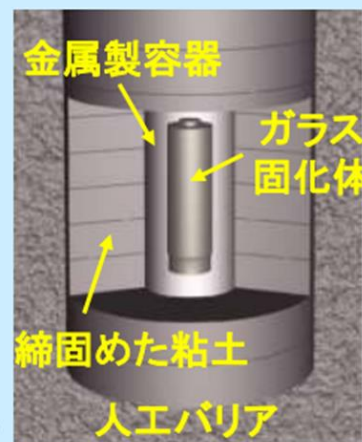
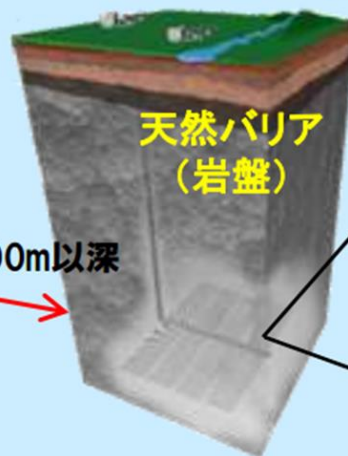
安全性への影響

地下水による放射性物質の移動

対策

火山や活断層、隆起・侵食の激しい場所等を避けることで、地層処分にとって安定な場所を選定(サイト選定)

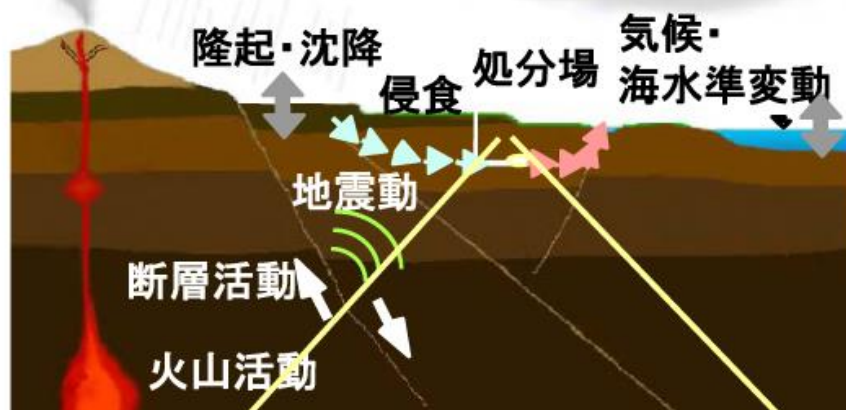
人工的なバリアによって、放射性物質と地下水の接触を遅らせる(工学的対策)



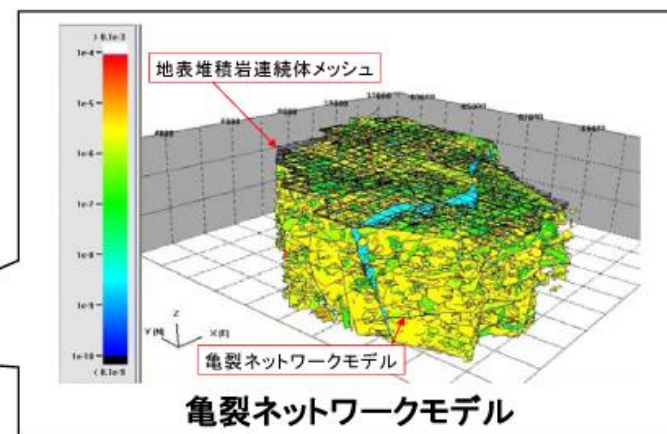
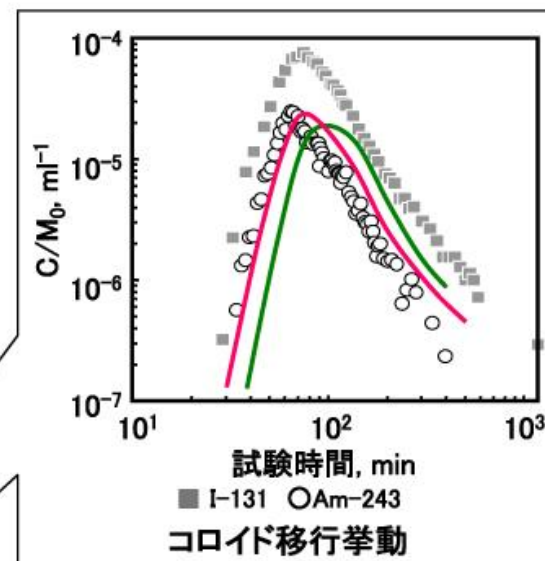
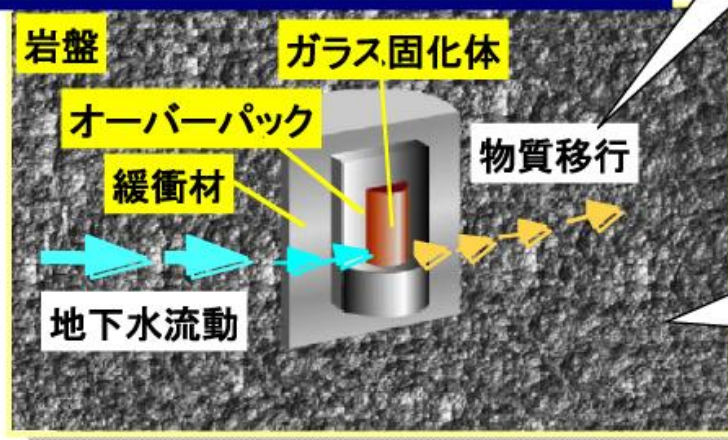
多重バリアシステム(天然バリア+人工バリア)の長期安定性を保守的に評価(安全評価)

地層処分システムの長期挙動の理解

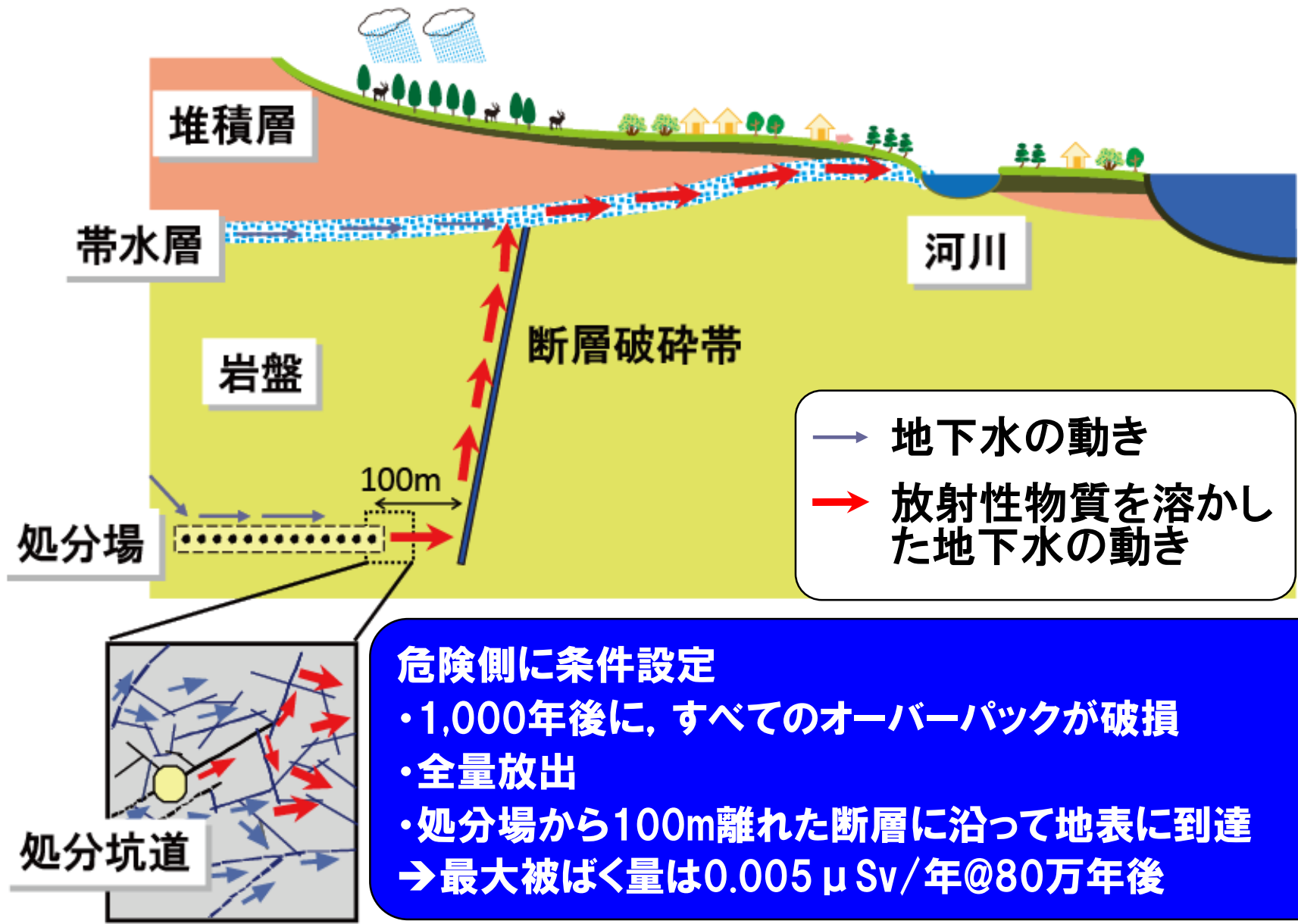
地質環境の長期的変遷の把握



現象理解に基づくモデルの高度化



第2次とりまとめ(地層処分の安全性)



危険側に条件設定

- 1,000年後に、すべてのオーバーパックが破損
- 全量放出
- 処分場から100m離れた断層に沿って地表に到達
→ 最大被ばく量は $0.005 \mu\text{Sv}/\text{年}$ @80万年後

移行中の減衰効果

表-1 溶解度制限による溶出抑制と遅い地下水流速と収着遅延による移行抑制

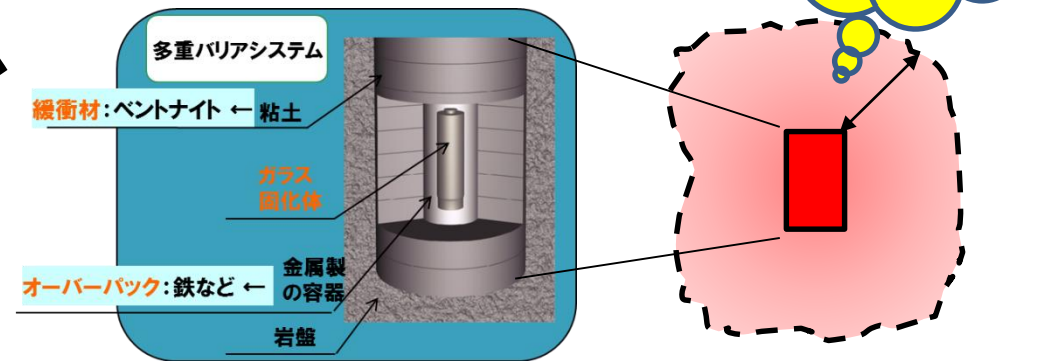
	半減期	1本あたりに含まれる総放射能 (Bq/本)	ガラスの溶解速度 (Bq/年)	地下水への溶解度 (Bq/L)	起こる結果
Sr-90	29年	5.5×10^{15}	7.8×10^{10}		オーバーパック内で1000年で減衰
Cs-137	30年	7.6×10^{15}	1.1×10^{11}		
Am-241	432年	3.0×10^{13}		6.1×10^6	数万年以上の地下水移行時間で減衰
Am-243	7370年	7.9×10^{11}		3.6×10^5	
Se-79	6.5万年	1.7×10^{10}		6.1×10^2	地表に運ばれる少量の地下水が大量の地表水で希釈
Sn-126	10万年	3.0×10^{10}		6.6×10^5	
Tc-99	21万年	5.2×10^{11}		2.5×10^3	
Zr-93	153万年	7.4×10^{10}		8.6×10^3	
Np-237	214万年	1.8×10^{10}		1.2×10^2	
Cs-135	230万年	1.8×10^{10}	2.6×10^5		

地層処分にとって安定な地質環境とは

- 地下深部に本来備わる包蔵性を有する**天然バリア**: 遅い地下水 + 溶解度 + 核種収着

- さらに確かなものにするための**人工バリア**: ガラス固化体 + オーバーパック + ベントナイト

→ 多重バリアシステム



- 放射性崩壊に必要な時間にわたって廃棄物周辺に留めることが出来る環境

地層処分にとって安定な地質環境とは

- 地層処分システムを構成する領域の内部で、地質環境の緩衝能力によって、長期にわたって急減な機能喪失を生ずる可能性が低い環境
- 深部岩盤の特性
 - 地下水はゆっくり動く(低透水性、低動水勾配)
 - 核種の溶解度制限(還元環境)
 - 核種移行の遅延(岩盤への収着)
- 人工バリア周辺岩盤の数メートル程度～数十メートルの範囲での安定した環境

石橋らの見解

- 「将来**10万年程度安定**で、地層処分に適した地質環境が**広く存在**」は地震現象の科学からは疑問。「地質環境の長期安定性」は地震の影響を曖昧にしている。(石橋2012)
 - ➔地殻変動について日本列島全体を巨視的に捉えている？
 - ➔地層処分にとっての安定な地質環境とは、**「廃棄体周辺の限られた領域」**

懸念事項

10万年程度の間の断層活動には地域性があるものの・・・

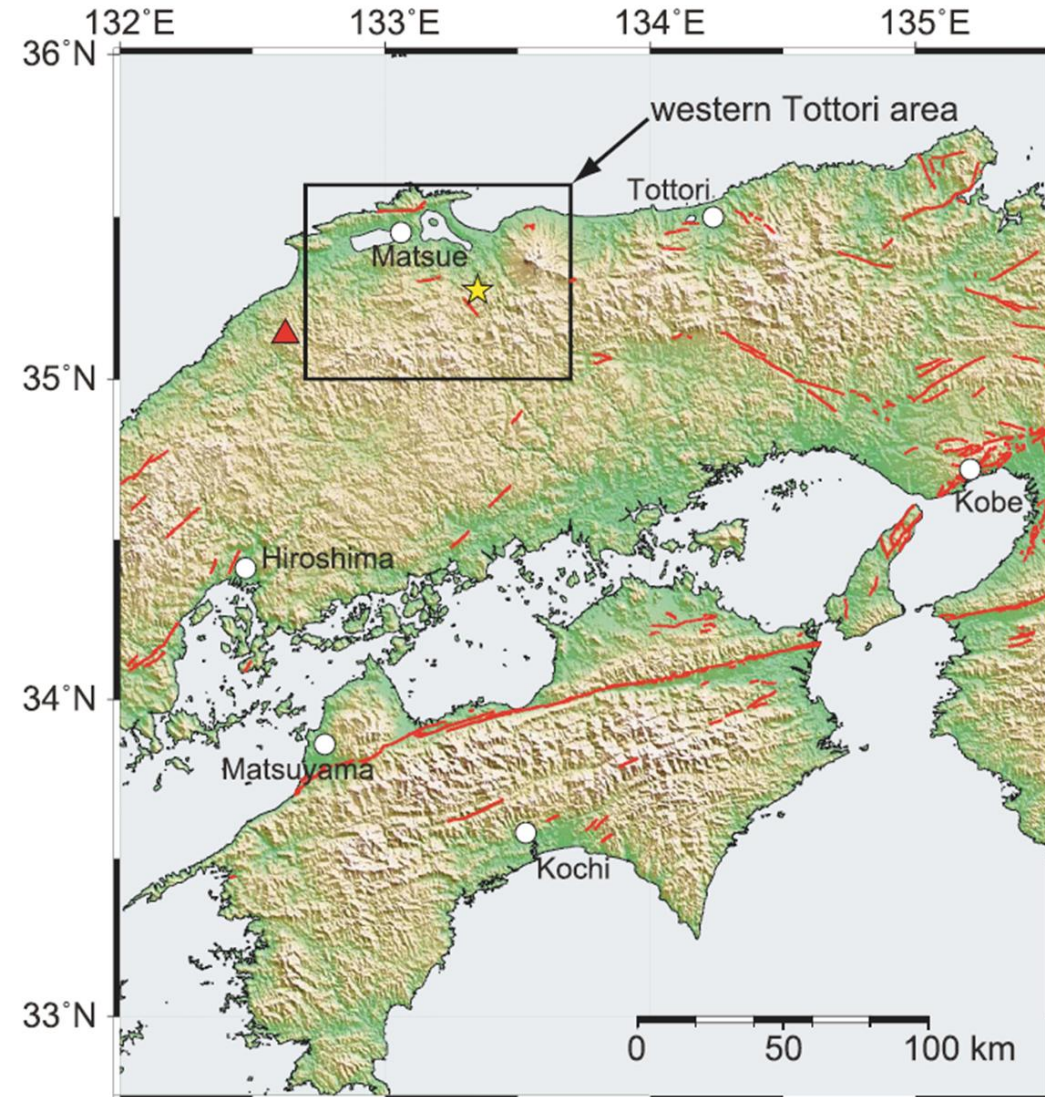
- 地表に現れていない断層がある

→ 地表の断層は電磁探査とヘリウム同位体で検出可能（鳥取県西部地震など）

- 断層が処分場を直撃したら？

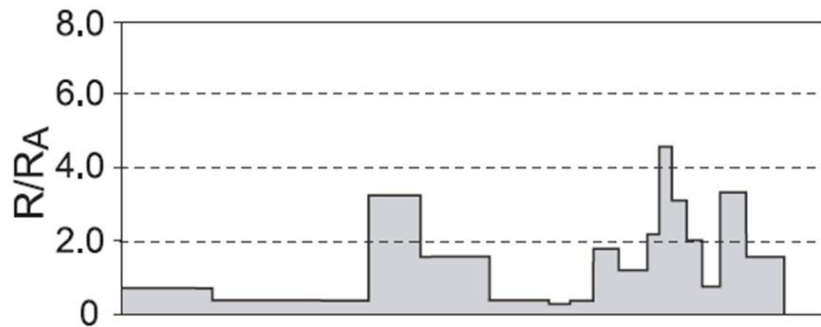
→ シナリオの解析例

未成熟な断層 (地表に現れていない)の評価



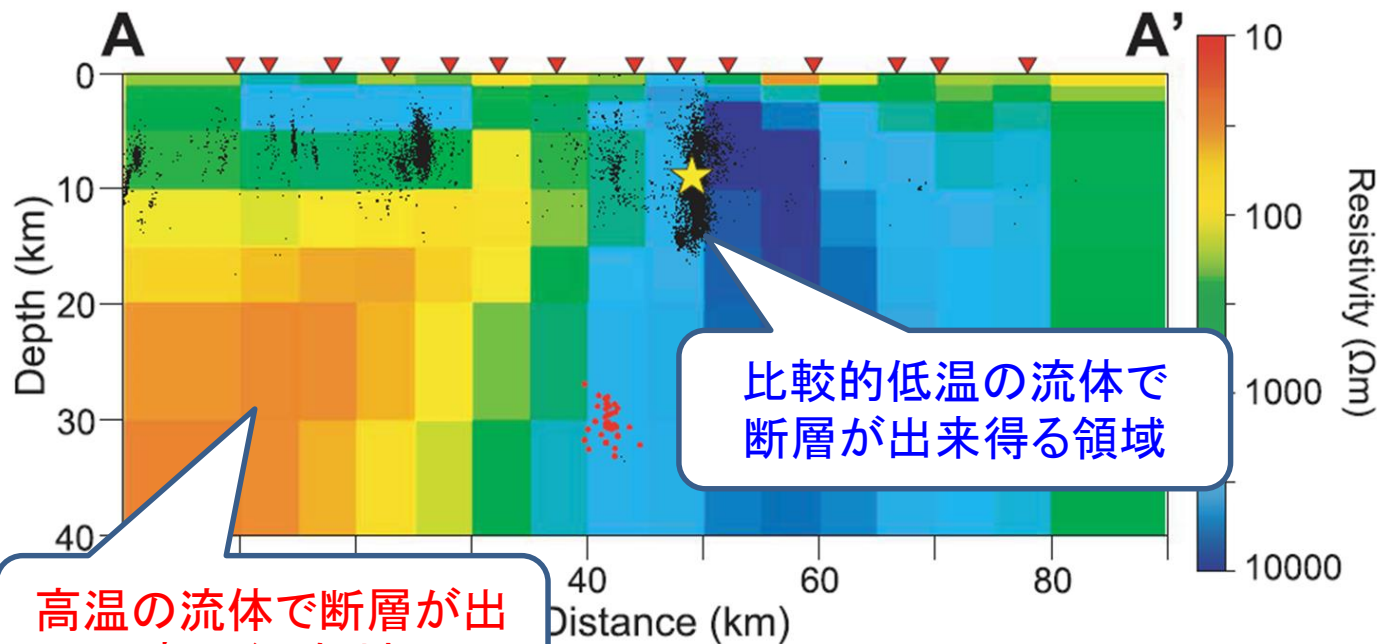
- 鳥取県西部地震
(2000.10.6)
- M7.3
- 地表に明瞭な断層なし

ヘリウム同位体比と比抵抗分布



ヘリウム同位体比

- 断層の直上で高い
- 大気の3倍以 $\rightarrow$ 地下深部由来
- 断層沿いに上昇

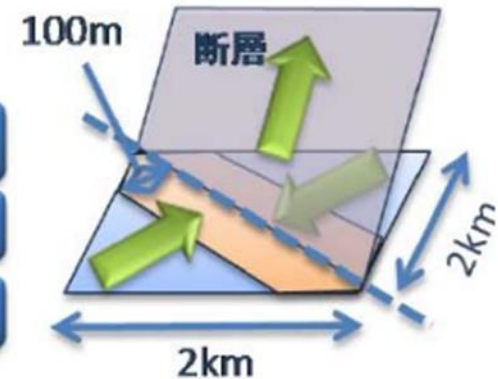


高温部での変形が
低温部に伝搬し、
岩盤が破壊した...

断層直撃による評価例

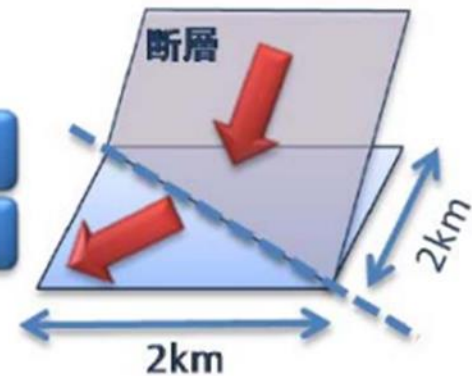
シナリオ1 還元性深部地下水の上昇

10万年後人工バリア内に
残存する核種



シナリオ2 酸化性地表水の引き込み

10万年後人工バリア内に
残存する核種



詳細情報(TR-10-09)

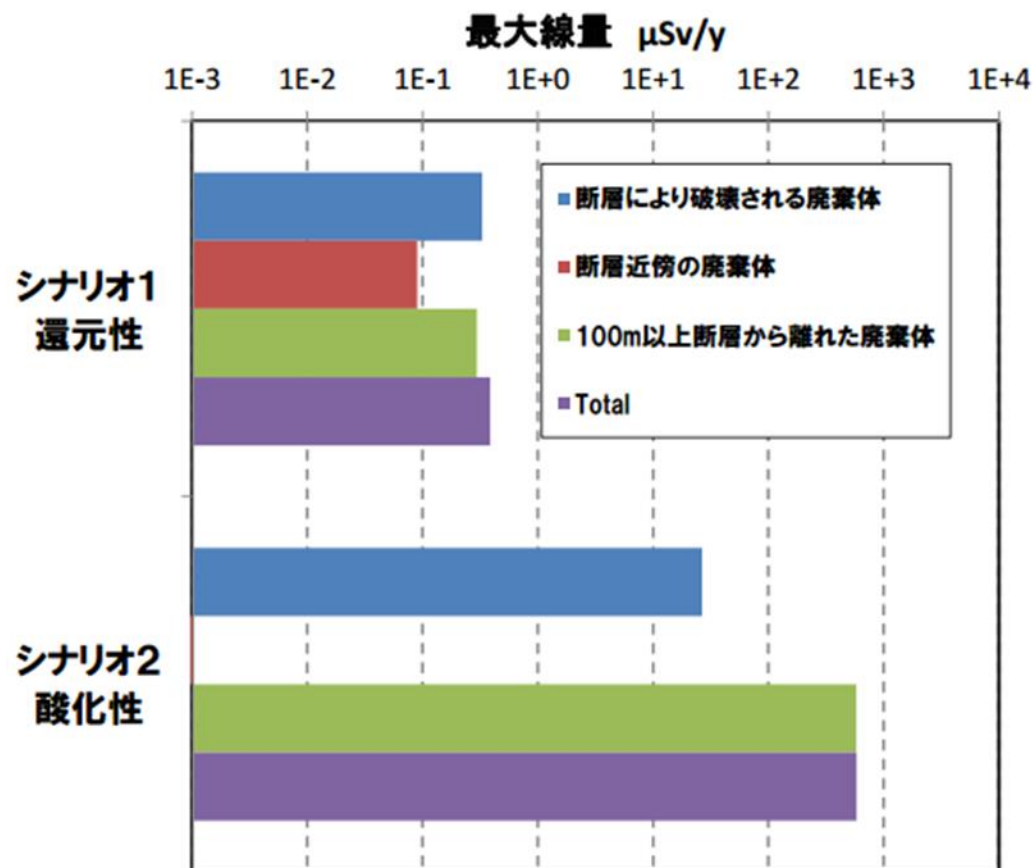
※ EDZは掘削影響領域を表す

http://www.numo.or.jp/approach/technical_report/index.html#index_03

断層直撃による評価例

2.断層活動の直接的影響を考慮した評価

●評価結果例



- 保守的・様式化を実施し概略的な評価が可能
- 概略的な評価においても、線量の増加は限定的



様式化における論拠整備を進める

- 化学環境の変遷が、大きな影響を与える可能性が示唆された



実際の断層の調査を継続して化学的な変遷の程度の確認を進める

学術会議の提言

- 暫定保管→中間貯蔵との違い
- 適地選定は全国くまなく→科学的有望地
- 粘り強い取り組み→技術継承

中間貯蔵と暫定保管

● 中間貯蔵

- 地層処分前の廃棄体温度の低減のための30～50年間の冷却期間

● 暫定保管

- 地層処分についての**安全性確保の研究、国民の理解と合意形成のための期間**(地層処分のための冷却だけでなく、それ以上の目的)
- 高レベル放射性廃棄物を一定の暫定的期間(50年間)に限って、その後のより長期的期間における**責任ある対処方法を技術的及び社会的に検討し決定する時間を確保するために、安全性に厳重な配慮をしつつ保管すること。**

最近の話題

- 科学的有望地
- 沿岸海底下等における地層処分

科学的有望地

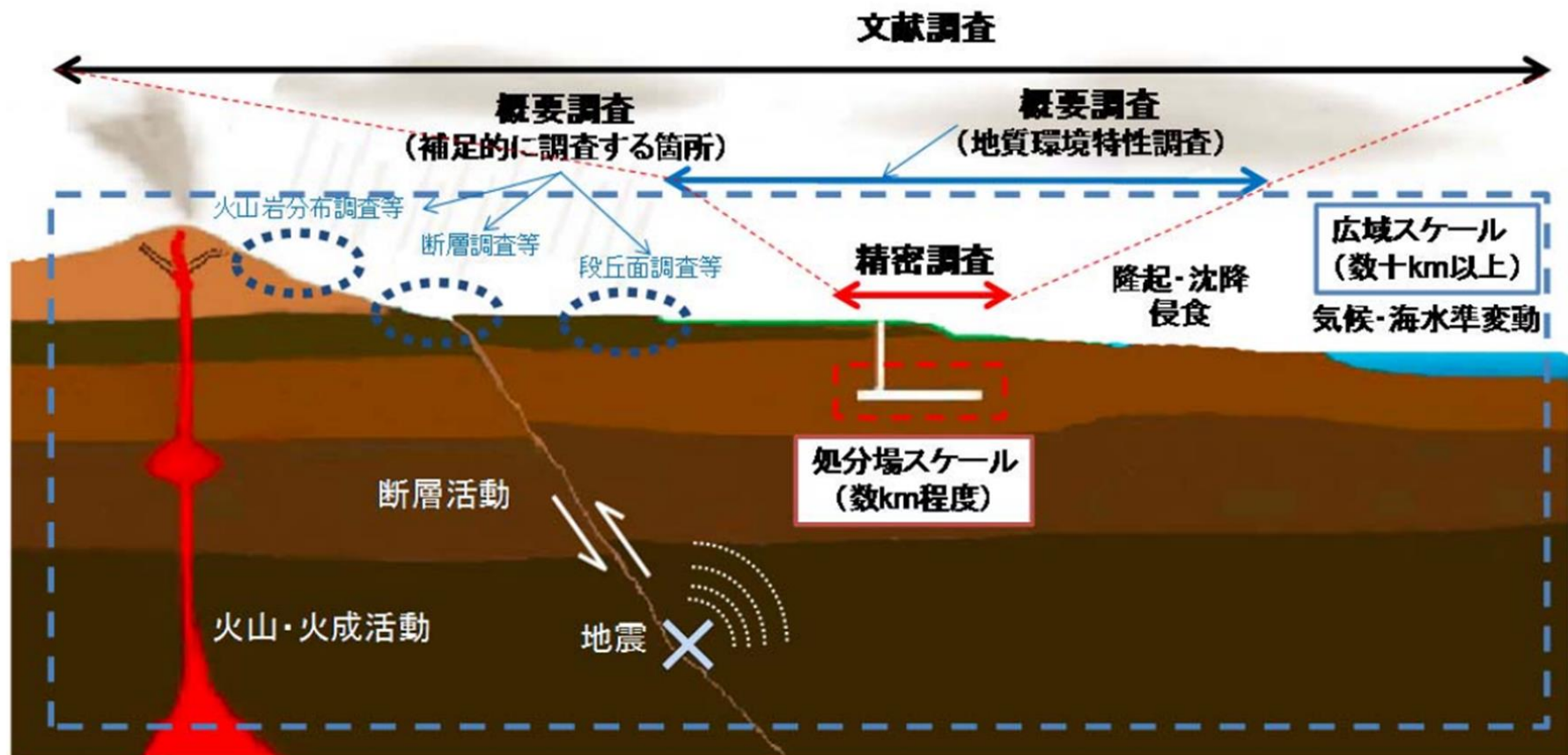


図 3. 4. 1 調査スケールと空間スケールのイメージ (中間とりまとめ, 図 2)

科学的有望地

地層処分技術WG中間整理のポイント① ～科学的有望地の議論の前提～

● 科学的有望地の意義・目的

- 安全性の確保の観点から相対的に適性の低い地域を予め調査対象から除外することによって、安全を第一に処分地選定を進めることに資する。また、そうした政府の方針について、具体的な取組で示すことで、国民・地域の理解を得ていく。
- 科学的有望地が含まれる地域のみならず、広く全国の国民・地域に最終処分問題を認識・理解してもらう契機・材料を提供する。また、科学的有望地が含まれる地域に対し、その後の重点的な理解活動に繋げる。

● 法令に基づく処分地選定調査との関係

- 現時点での科学的知見に基づき、法令に基づく処分地選定調査(文献調査、概要調査、精密調査)に入る前段階における評価として、将来的に処分地選定調査を行うことによって最終処分施設建設地としての適性が確認できる可能性が高いと評価できる地域を「科学的有望地」とする。
- そのため、科学的有望地に含まれることは、直ちに個別地点の最終処分施設建設地としての適性を保証するものではなく、その適性は、法令に基づく処分地選定調査において、段階的に確認されるものである。



(注1) 地層処分の処分地選定の考え方について、特に以下の点が重要であることを確認した。

「地層処分の処分地選定の考え方は元来、一定の安全上の基準がクリアされ地層処分システムが成立する場所を選ぶもの。地層処分には、そもそも最適地という概念はなく、“最適地”を選びそこで実施することを目指すものではない。安全評価は、広域的なデータのみでは判断できず、段階的な処分地選定調査において様々なデータを取得し、総合的な評価により判断していく。」

(注2) 全国規模で体系的に整備され一般的に利用可能なもののみを用いることが今回の検討の前提であるが、そうした条件を満たすデータのみで評価することには、一定の限界がある。また、評価に必要なデータを全国的に整備していくことは容易ではなく、文献調査対象地域を絞った上で重点的に調査を進めていくことが合理的と考えられる。

科学的有望地

地層処分技術WG中間整理のポイント② ～「適性の低い地域、高い地域」の考え方～

- 回避すべき範囲、回避が好ましい範囲が1つでも該当する場合は、「適性の低い地域」と整理する。
- 「適性の低い地域」に該当しない範囲は、処分地選定調査を実施する範囲として「適性の低い地域」ではないという意味で「適性のある地域(適地)(※)」とし、適地の中で好ましい範囲に当てはまる範囲は「より適性の高い地域」と整理する。

(※)この地域は、地層処分にとって好ましい地質環境が存在し、長期にわたってそれが維持されることを現時点で保証するものではないが、処分地選定調査によって、そのことが確認できることが期待できる地域であり、処分地選定調査を進めていく価値がある地域。

○地質環境特性及びその長期安定性に関する検討

- | | |
|--------------|---|
| <回避すべき> | 火山、活断層の近傍 |
| <回避が好ましい(※)> | 隆起・侵食が大きい地域、地温が高い地域、
火山性熱水・深部流体が存在する地域、
鉱量の大きな鉱物資源が存在する地域 |

○地下施設・地上施設の建設・操業時の安全性に関する検討

- | | |
|--------------|--|
| <回避が好ましい(※)> | (地上施設) 火砕流の影響を受ける地域
(地下施設) 軟弱な地層である地域 |
|--------------|--|

○輸送時の安全性に関する検討

- | | |
|--------|----------------------------------|
| <好ましい> | 港湾からの距離が十分短いこと
(沿岸海底下や島嶼部を含む) |
|--------|----------------------------------|

一つでも
該当する
場合

適性の低い地域

適性のある地域
(適地)
(上記の「適性の低い地
域」に該当しない
範囲)

より適性の高い
地域

(※)「回避が好ましい」の要件・基準のいずれかに該当する範囲は、今後様々な調査研究等が行われデータが充実していくことで適性がより明確になっていく可能性があり、将来的に処分地選定調査を進めていく価値が否定されるものではない。

科学的有望地

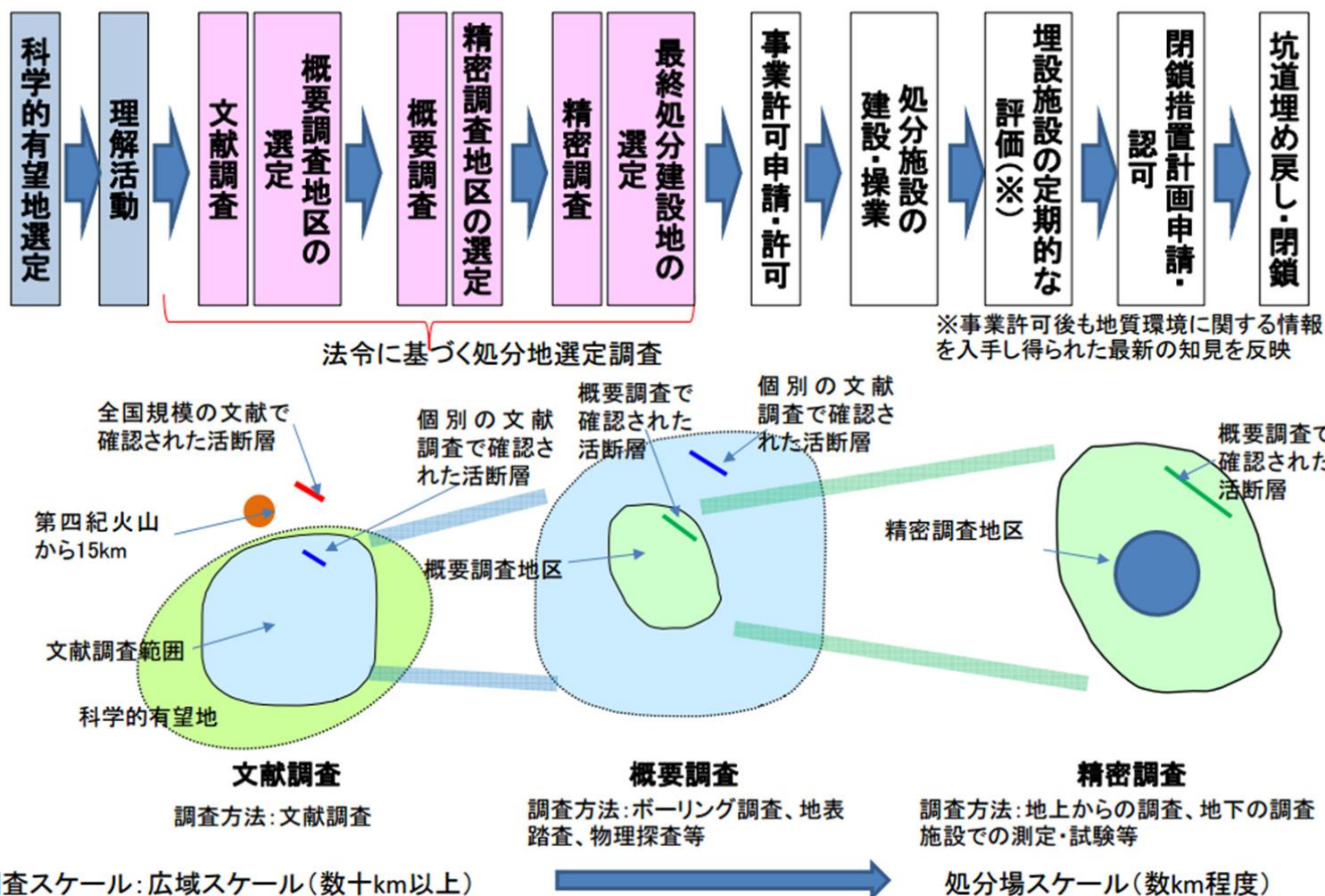


図 3.4.2 具体的な処分地選定に係わる法定調査の進め方と調査スケールのイメージ
(例として、火山・活断層を図中に記載)

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

地層処分技術WG中間整理のポイント③ ～沿岸部に関連する事項～

- 沿岸部に期待される一般的特性や事業を進める上での留意事項は以下の通り。

①地質環境特性及びその長期安定性の観点

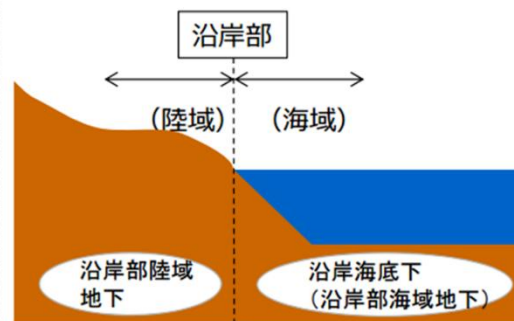
- 沿岸部のなだらかな地形部分(平野等)では、隆起速度が比較的小さい、動水勾配が比較的緩やかであることが期待。
- 海水準変動に伴う侵食や地下水流動等への影響については、段階的調査において確認が必要。

②地下・地上施設の建設・作業時の安全性の観点

- 基本的には工学的に対応することが可能(あらかじめ「適性の低い地域」を除く)。
- 津波は、地上施設に与える影響を個別地点毎に考慮する必要がある(特に、標高の極めて低い範囲など)
- 塩水流入の可能性を考慮する必要性(特に、地下施設の建設の際など)

③事業の実現可能性の観点

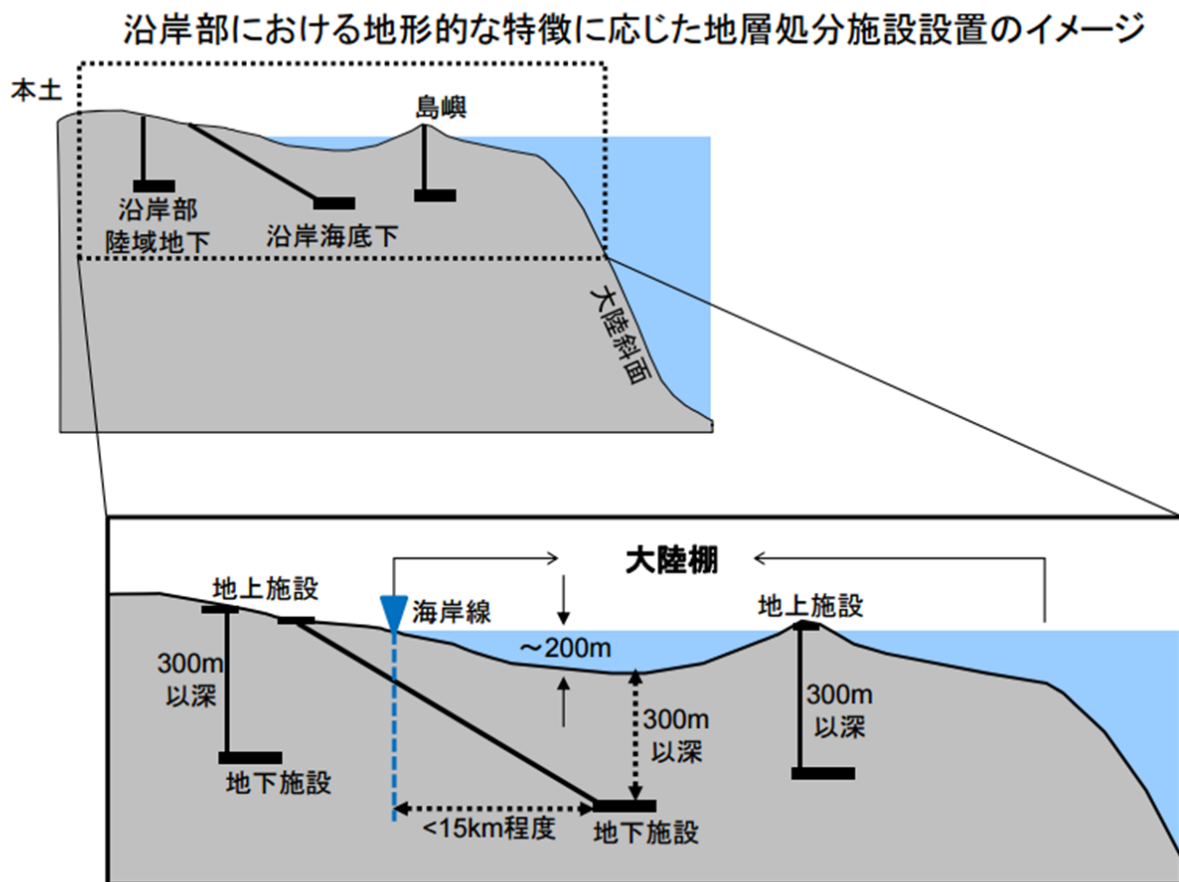
- 安全評価に必要な調査が容易となる可能性がある(地質環境が比較的単純で評価しやすい等)
- 海底下処分の場合、土地利用に関する制約が小さいことが大きな利点。
- 土地利用の確保可能性について実施主体として考慮が必要。(沿岸部陸域は一般的に土地利用が進んでいる)
- 港湾の利用・建設の可能性や輸送経路について、実施主体として考慮が必要。



- ①～③の留意事項を踏まえ、沿岸海底下における地質環境の調査技術、塩水環境下における施設の工学技術、安全評価の課題について、実施主体や関連研究機関等の適切な役割分担と連携のもと、専門家を交えた具体的な検討を進めていくことが重要。

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

(参考)沿岸部における地層処分のイメージ



※陸域は輸送の観点から海岸線から20km程度の範囲、海域は追加的な工学的対応の必要性を考えると海岸線から比較的近い(15km程度以内:下記検討例参照)範囲が検討の一つの目安となる。

➤ 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である。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。

私見

- 地層処分ありき、でよいか？

- ➔ 地層処分は認めないという意見

- 放射性廃棄物ありき、からでは？

- ➔ 放射性廃棄物が存在することは事実

- ➔ これをどうするか？から始めるべきでは？

- 粘り強い取り組み

- ➔ 技術継承

- ➔ 長期にわたる事業（事前の理解活動、合意形成）➔ 継続的な人材育成が重要