

科学的有望地の要件・基準に関する地層処分技術WGにおける中間整理について

- 地層処分開発のこれまでの経緯
- 地層処分技術WG* 中間といまとめ(2014.5: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)
- 地層処分技術WG* 中間整理(2015.12:科学的有望地の要件・基準に関する中間整理)
- これからの議論の方向

朽山 修

地層処分にに関する取り組みの歴史

原子力発電導入時から放射性廃棄物をどうするかが検討されてきた。
地層処分の科学的成立性，倫理的正当性は国際的に認められている。
日本では，2000年に地層処分を法制度化している。

日 本

2000年5月：「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」制定・10月 NUMO設立

1999年：「第2次取りまとめ：技術的信頼性」
日本においても地層処分は技術的に実現可能であることを確認
1999年：原子力委員会放射性廃棄物処分懇談会報告
「処分に向けた基本的考え方」

1976年：原子力委員会決定
地層処分研究スタート

1962年：原子力委員会報告書
高レベル放射性廃棄物の処分の検討開始

1950

1960

1970

1980

1990

2000

2010

2020

2011年：スウェーデン
2012年：フィンランド
施設建設許可を国に申請

1995年：OECD/NEA報告書(Environmental & Ethical Basis of Geological Disposal)
「現世代の責任で地層処分を実施することは最も好ましい」

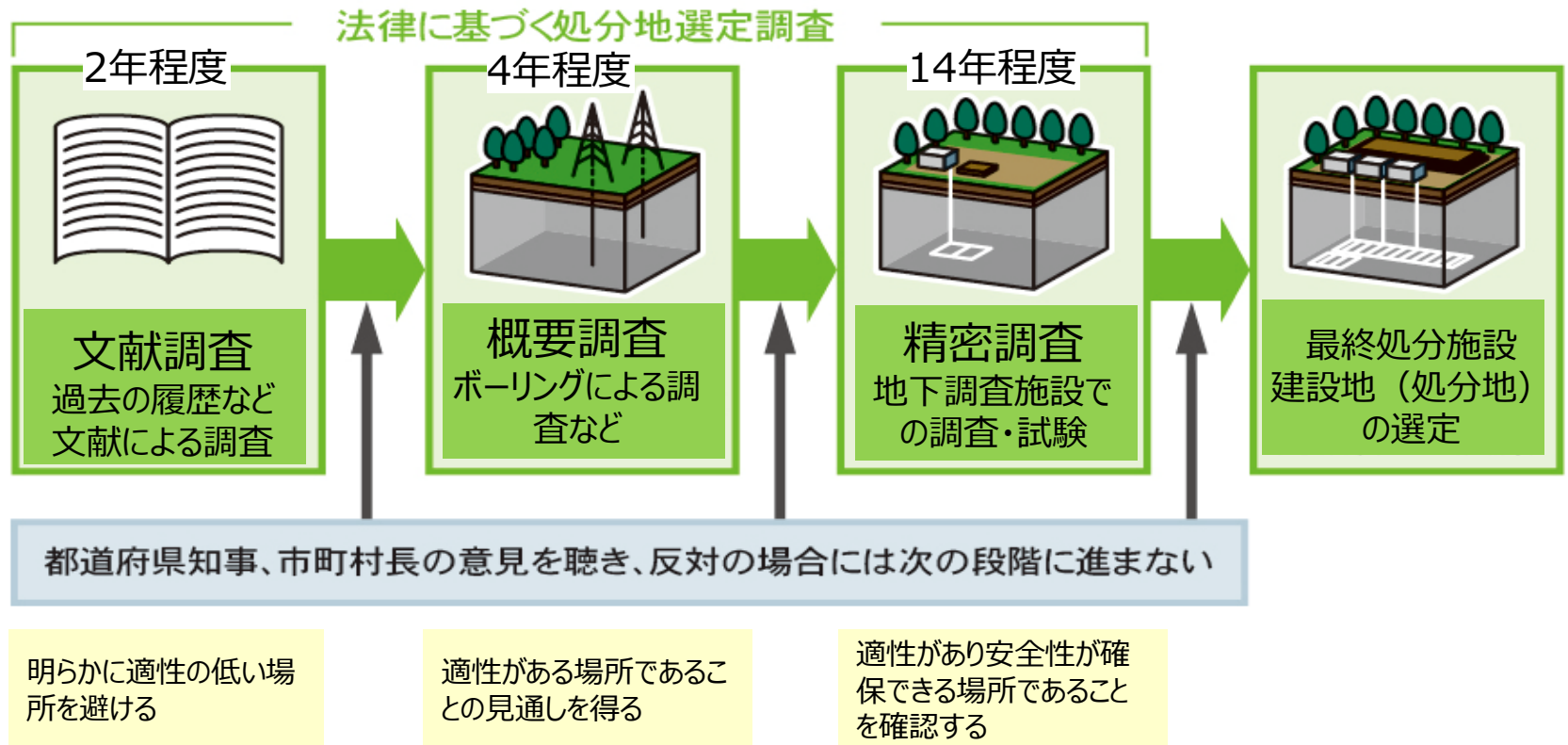
1977年：OECD/NEA報告書 (Polvani Report)
「安定な地層中へ閉じ込めることが、最も進歩した解決方法である」

1957年：米国科学アカデミー報告書
地層処分の概念を初めて提示

国 際

特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律(最終処分法)の概要

- 原子力発電に伴って生じた使用済燃料の再処理等を行った後に生じる高レベル放射性廃棄物等の最終処分（地下300m以深の地層への処分）を計画的かつ確実に実施させるため、以下を法定（2000年6月公布）。
 - ✓ 最終処分の基本方針等を経済産業大臣が策定（閣議決定）
 - ✓ 処分の実施主体としてNUMO（原子力発電環境整備機構）を設立
 - ✓ 処分地を選定するための3段階の選定調査プロセスを設定 等



わが国の最終処分地の選定プロセスの進捗状況

- (1) 2000年に制定された「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」に基づいて、処分事業の実施主体(原子力発電環境整備機構(NUMO))が、2002年より全国市町村を対象に最終処分場立地に向けた調査の**公募**を開始。**自治体の応募(自発的参加=事業としての誘致)を待つ方式を採用**
- (2) 高知県東洋町での失敗を踏まえ、2007年に国から自治体に申入れる方式を追加するとともに地層処分の安全性・信頼性向上に向けた研究開発や国民的理解に向けた広聴・広報活動を展開するも、**これまで申入れの実績無く、文献調査にも着手できていない。**

【参考資料P49～54(高知県東洋町による文献調査応募の経緯)】

これまで応募が報道された地点

H14年 (2002年)	H15年 (2003年)	H16年 (2004年)	H17年 (2005年)	H18年 (2006年)	H19年 (2007年)	H20年～ (2008年～)
14/12 ▼ 公募開始	15/4 ★ 福井県和泉村	15/12 ★ 高知県佐賀町	16/4 ★ 熊本県御所浦町	17/1 ★ 鹿児島県笠沙町	7 ★ 長崎県新上五島町	10 ★ 滋賀県余呉町
			18/8 ★ 鹿児島県宇検村	9 ★ 滋賀県余呉町(再)	12 ★ 高知県東洋町	18/8 ★ 滋賀県余呉町(再)
				10 ★ 高知県津野町	12 ★ 対馬市	18/8 ★ 滋賀県余呉町(再)
				19/1 ☆ 応募	12 ★ 長崎県	18/8 ★ 滋賀県余呉町(再)
				2 ★ 福岡県二丈町	4 ★ 応募取下げ	18/8 ★ 滋賀県余呉町(再)
				3 ★ 鹿児島県南大隅町	7 ★ 秋田県上小阿仁村	18/8 ★ 滋賀県余呉町(再)
						21/3 ★ 福島県楡葉町
						22/12 ★ 鹿児島県南大隅町

公募制

- 入口で頓挫：処分の必要性・安全性についてのコミュニケーション不可能
- 首長に説明責任が生じ、政治的リスクが過大化
- 応募地域の地質学的安全性についての不信が発生（電源立地対策交付金）

もたもたしているうちに

2011年3月11日:東日本大震災（福島第一原子力発電所事故）の発生

原子力に対する信頼の崩壊 ⇒ 「原子力を推進するための地層処分」の批判

不信→科学的信頼性に対する疑念

日本学術会議提言及び原子力委員会見解の概要

(1) 原子力委員会からの依頼(2010年9月)に応じて、日本学術会議は2012年9月に回答を公表。

(2) これを受け、原子力委員会は2012年12月、今後の政府が取り組むべき方向性を提示。

【参考資料P72～73(日本学術会議提言及び原子力委員会見解)】

日本学術会議「高レベル放射性廃棄物の処分について」(2012年9月)

原子力政策についての社会的合意を得た上で、最終処分地選定に向けた合意形成に取り組むべき。そのため、高レベル放射性廃棄物の処分に関する政策を抜本的に見直すべき。

- 地層処分の安全性について専門家間の十分な合意がないため、自律性・独立性のある科学者集団による専門的な審議を尽くすべき。
- そのための審議の期間を確保するとともに、科学的により優れた対処方策を取り入れることを可能とするよう、今後、数十年～数百年の間、廃棄物を暫定的に保管(暫定保管)すべき。
- 高レベル放射性廃棄物が無制限に増大することを防ぐために、その発生総量の上限を予め決定すべき(総量管理)。
- 科学的な知見の反映の優先等立地選定手続きの改善、多様なステークホルダーが参画する多段階合意形成の手続き等を行うべき。

原子力委員会「今後の高レベル放射性廃棄物の地層処分に係る取組について(見解)」(2012年12月)

高レベル放射性廃棄物の処分方法として、地層処分は妥当な選択。

- 地層処分の安全性について、独立した第三者組織の助言や評価を踏まえつつ、最新の科学的知見に基づき、定期的に確認すべき。
- 最新の科学技術的知見に基づき、処分計画を柔軟に修正・変更することを可能にする可逆性・回収可能性を考慮した段階的アプローチについて、その改良改善を図っていくべき。
- 原子力・核燃料サイクル政策に応じた放射性廃棄物の種類や処分場規模について、選択肢を示し、それらの得失について説明していくべき。
- 立地自治体を始めとするステークホルダーと実施主体が協働する仕組みの整備など、国が前面に出る姿勢を明らかにするべき。

科学的有望地の要件・基準に関する地層処分技術WGにおける中間整理について

- 地層処分開発のこれまでの経緯
- **地層処分技術WG* 中間といまとめ(2014.5: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)**
- 地層処分技術WG* 中間整理(2015.12:科学的有望地の要件・基準に関する中間整理)
- これからの議論の方向

朽山 修

最終処分に向けた取組の見直し

最終処分関係閣僚会議を設置（2013年12月）

見直しの方向性を議論

エネルギー基本計画（2014年4月）

下記方向性を閣議決定

- 地層処分を前提に取組を進める。
- 可逆性・回収可能性を担保する。
- 国が科学的有望地を提示する。

総合資源エネルギー調査会 放射性廃棄物WG（2014年5月：放射性廃棄物WG中間とりまとめ）

取組や体制の改善策等を専門家から提言

総合資源エネルギー調査会 地層処分技術WG（2014年5月:最新の科学的知見に基づく地層処分技術の再評価ー地質環境特性および地質環境の長期安定性について）

地層処分に好ましい地質環境及びその長期安定性が確保できる場所が我が国において選定可能であることを確認

最終処分法に基づく基本方針を改定（閣議決定）（2015年5月22日）

- （1）現世代の責任と将来世代の選択可能性
- （2）全国的な国民理解、地域理解の醸成
- （3）**国が前面に立った取組**
- （4）事業に貢献する地域に対する支援
- （5）推進体制の改善等

放射性廃棄物の処分は公共的性格が強い（国を挙げて解決すべき課題である）ので、その実現に向けて国が前面に立って取り組む

地層処分技術WG委員名簿(計12名) : **学会からの推薦による科学者による再評価**
(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)

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 早稲田大学理工学術院創造理工学部教授 (**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 敦尚 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**)

固体にされた放射性廃棄物にもたらされる外的擾乱 (地表に放置すると危険:現状のままでよいか?)

人工バリア
の一部

- 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が、今は危険)**
- 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。



桜島 南岳噴火
(2009.10.3)

地震、火山、断層、台風、
地滑り、津波、隕石、他

破壊、爆発、火事、公害、
事故、戦争、テロ、他

空気：台風 ～数秒
水：河川 ～数分



航空機の衝突で炎上する世界貿易センタービル (2001.9.11 ニューヨーク)



事故直後の福島第一原子力発電所 (2011.3.20)

地層処分の基本的考え方(世代間の衡平)

現世代にとっても将来世代にとっても最善の選択肢

●目標：人間が管理し続けることに頼らずに、将来にわたる安全性を確保すること。

➡ 今、地下深くに適切に埋設すれば、将来世代の負担を小さくでき、かつ、地上で保管を続けるよりも、安全上のリスクを十分に小さくすることができます。

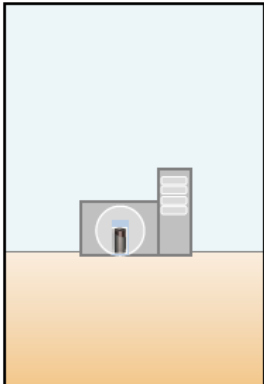
現在

数十年

数百年

数千年

数万年



管理の実行可能性に不確実性が増す

- ・いつまで管理し続けられるのか？
- ・管理に必要な技術や人材は維持し続けられるのか？
- ・管理に必要なコストを将来世代が負担し続けるのか？

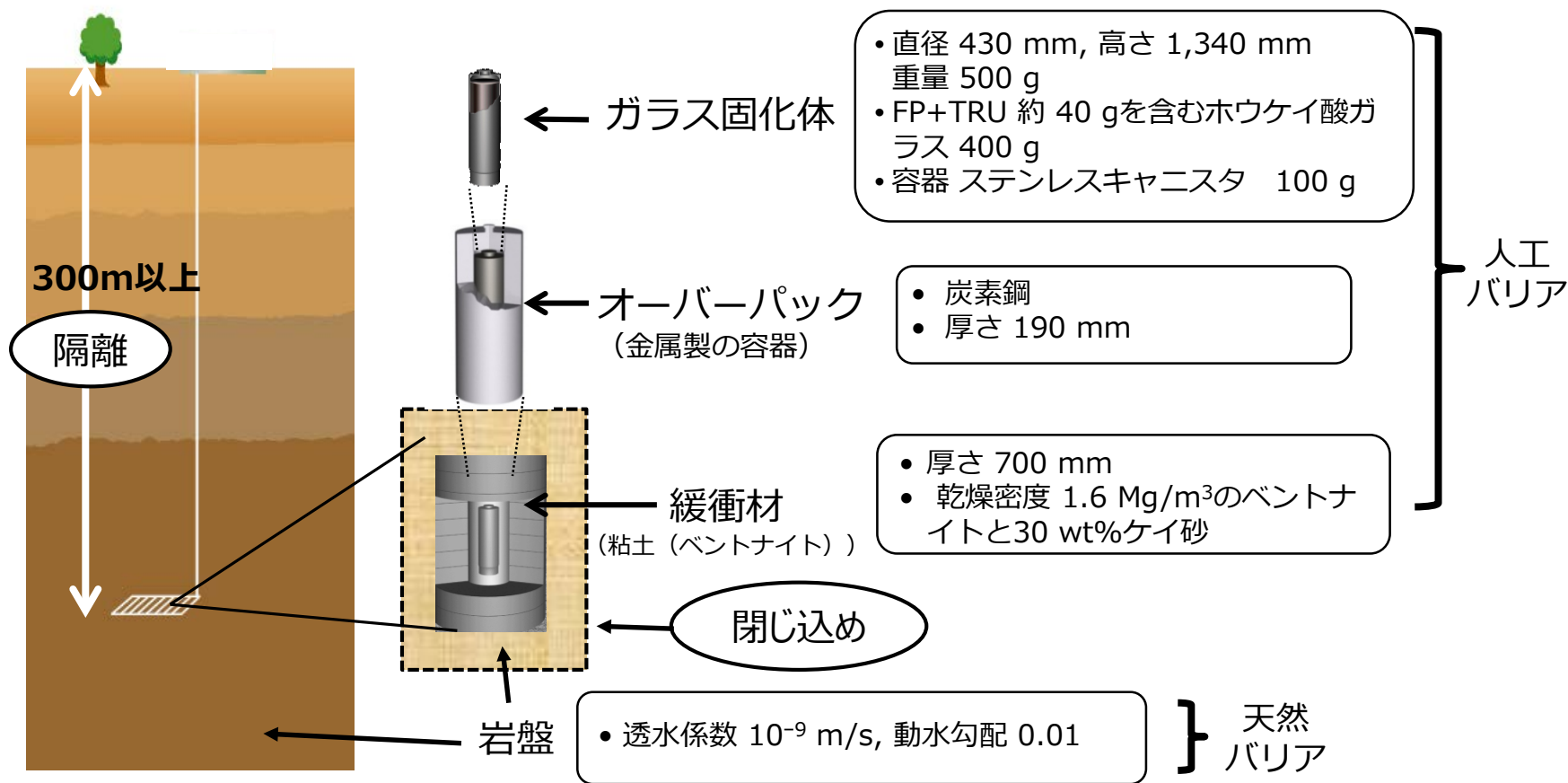
安全上のリスクは大きくなる

- ・地下よりも地上の方が、地震、火山噴火、台風、津波等の影響を受けやすい
- ・地下よりも地上の方が、ものが腐食しやすい

高レベル放射性廃棄物の地層処分

高レベル放射性廃棄物は、地下深部の安定した地層に埋設して人間の生活環境から隔離し、最終的に処分する（地層処分）こととしている。

「人工バリア」と「天然バリア」を組み合わせた多重バリアシステムで、長期にわたり放射性物質の動きを押さえ閉じ込める。



値は代表的な場合（レファレンスケース）の場合

技術WGの再評価

地層処分の成立性（隔離と閉じ込めが達成される）

処分された高レベル放射性廃棄物が
人間と環境に影響を与える可能性は？

放射性物質は化学的性質を持つ物質（自然科学の扱う対象）である。

摂取、吸入、外部被ばく：これ以外にない

人間侵入や自然事象による廃棄物への接近

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**

火山

地下水による放射性物質の溶解と運搬

閉じ込め

地下深部（地質環境）が**本来的に持つ閉じ込め機能**

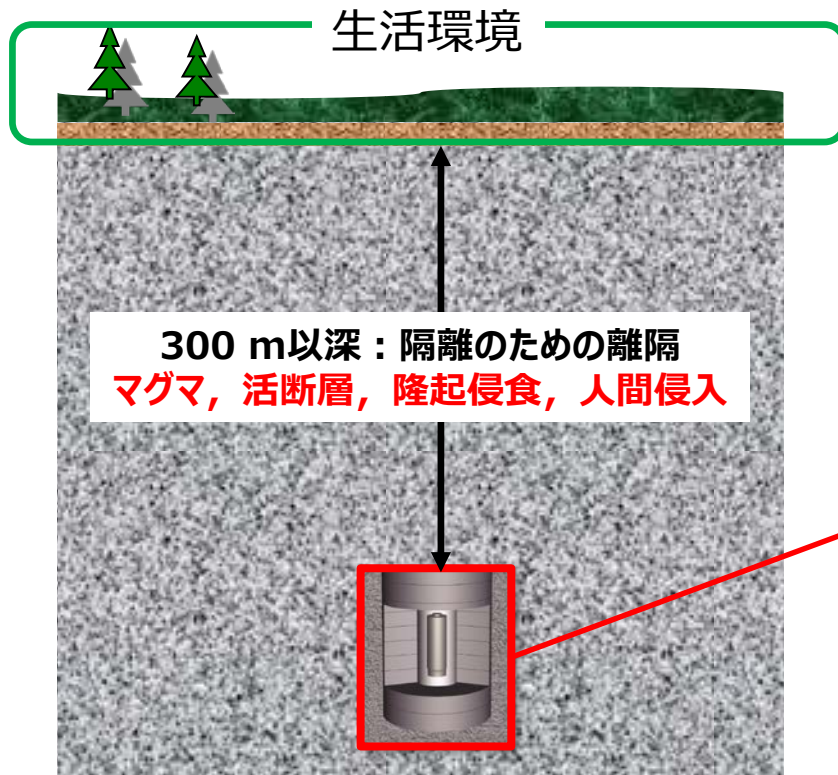
- 地下水は動かない
- 放射性物質の大部分は溶解度が非常に低い（ $< 0.1 \text{ ppm}$ ）

隆起・侵食
地震・断層活動

鉱石や岩石と同様の固体にして、地下の鉱床と同じように岩盤中に注意深く定置した廃棄物中の放射性物質が地表の生活環境に影響を及ぼすことはあるか

好ましい地質環境特性

	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pHが高pHまたは低pHでないこと 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pHが高pHまたは低pHでないこと 地下水が酸化性雰囲気でないこと



技術WG中間とりまとめ
(2014.5)のメッセージ

閉じ込め

地質環境（ニアフィールド母岩）の特性が一般的な地下深部の特性を備えていれば、ほぼ全ての放射能（危険性の源）はニアフィールド内に閉じ込められたまま減衰してなくなる。

この地質環境が乱されない
サイトを選べばよい

ニアフィールド地質環境への閉じ込め

地質環境（ニアフィールド母岩）の特性が一般的な地下深部の特性を備えていて、その特性が外部事象による擾乱を受けなければ、ほぼ全ての放射能（危険性の源）はニアフィールド内に閉じ込められたまま減衰してなくなる。

10万年の確実な閉じ込め

ガラス固化体 1 本あたり

多重バリア

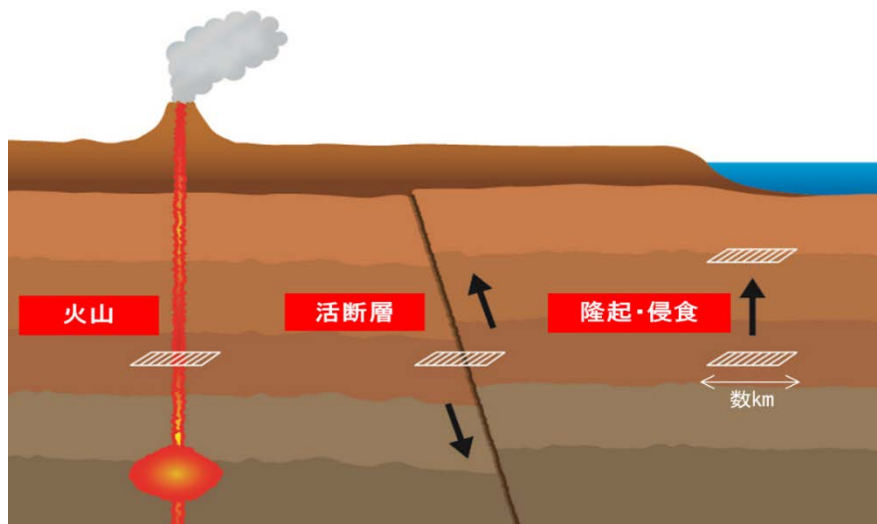
核種	半減期 (年)	50年貯蔵後のイ ンベントリ(Bq)	1,000年後のイ ンベントリ(Bq)	溶解度 (mol/dm ³)	溶解放射能 (Bq/dm ³)	人工バリア	地質環境
Sr-90	< 30	2.9E+01	8.4E+14	2.9E+04	5.9E-06	オーバーバック（鉄製 容器）中で減衰する	地下水が900年で30 cm 移動する*間に1/10 ⁹ 以 下に減衰する。
Cs-137		3.0E+01	1.3E+15	1.3E+05	可溶		
小計			2.2E+15	1.6E+05			
Pu-238	< 500	8.8E+01	5.4E+11	2.0E+08	6.3E-08	溶解度により溶出量 が制限される。	地下水が1.5万年で5m 移動する*間に1/10 ⁹ 以 下に減衰する。
Am-242m		1.4E+02	1.9E+11	1.4E+09	2.8E-08		
Am-241		4.3E+02	3.5E+13	7.1E+12	2.8E-08		
小計			3.6E+13	7.1E+12			
C-14	< 1万	5.7E+03	1.2E+08	1.1E+08	可溶	ガラスと粘土緩衝材 中で減衰する。	地下水が30万年で100 m移動する*間に1/10 ⁹ 以下に減衰する。
Pu-240		6.6E+03	3.2E+11	3.3E+11	6.3E-08		
Am-243		7.4E+03	8.1E+11	7.4E+11	2.8E-08		
小計			1.1E+12	1.1E+12			
Pu-239	> 1万	2.4E+04	6.8E+10	8.8E+10	6.3E-08	溶解度により溶出量 が制限される。	1 dm ³ /年で運ばれる*地 下水は地表に出るまでに 10 ⁸ m ³ /年（中級河川 水量）に希釈される （1/10 ¹¹ 以下になる）。
Tc-99		2.1E+05	5.2E+11	5.1E+11	4.3E-09		
Se-79		3.0E+05	1.4E+09	1.6E+10	9.9E-09		
Zr-93		1.6E+06	7.3E+10	7.4E+10	1.1E-04		
Np-237		2.1E+06	1.4E+10	2.0E+10	7.7E-08		
Cs-135		2.3E+06	1.8E+10	1.8E+10	可溶		
小計			7.2E+11	7.6E+11			

*緩衝材外側の地下水流速 = 透水係数 (10⁻⁹ m/s) × 動水勾配 (0.01) = 10⁻¹¹ m/s = 0.3 mm/年 と仮定

10万年以降の放出量の制限

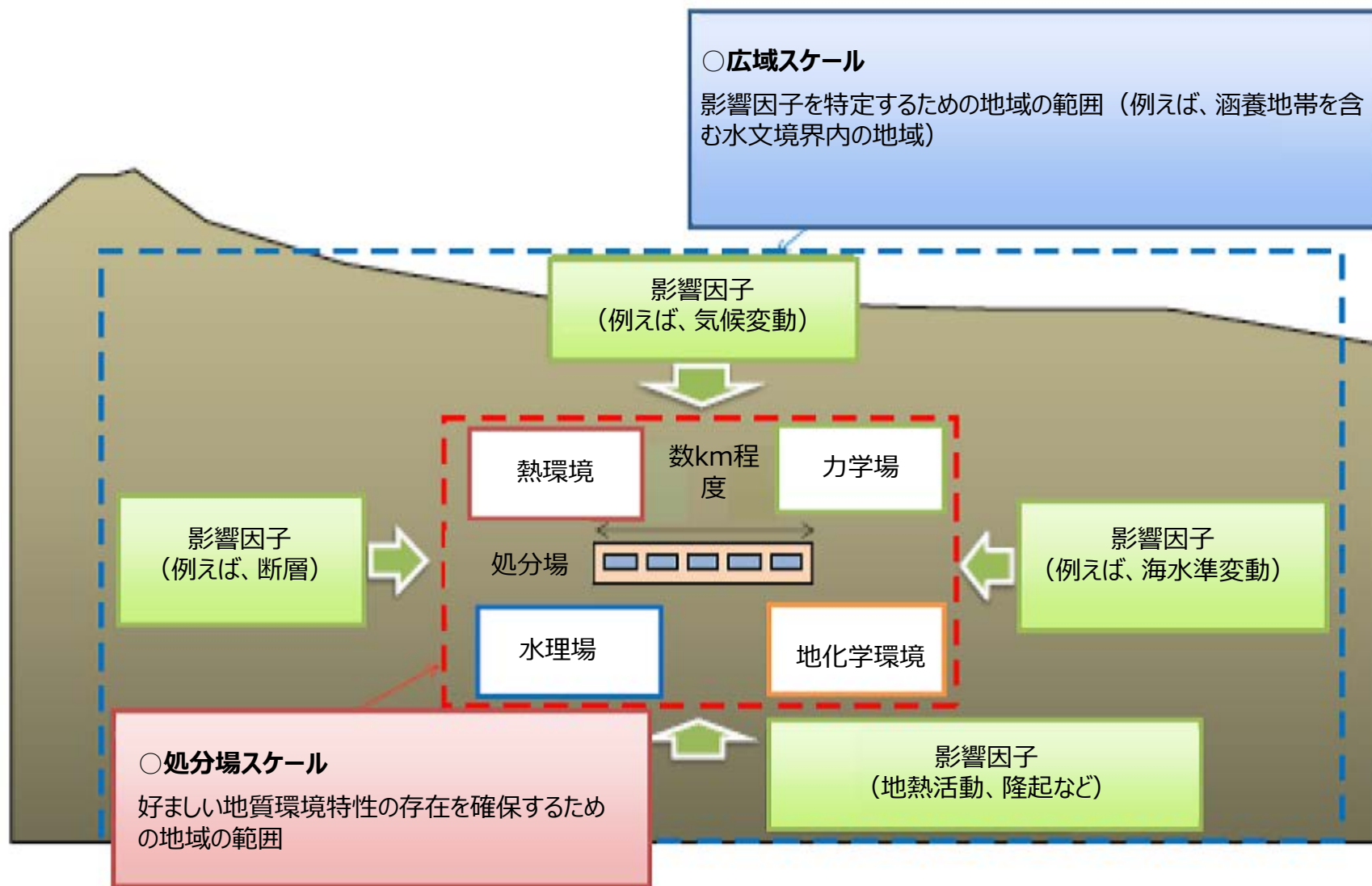
著しい影響を与える事象とその原因となる天然現象

		火山・火成活動等	断層活動	隆起・侵食	気候・海水準変動
閉じ込め機能の喪失	熱環境	地熱活動 (非火山性を含む)	—	—	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	

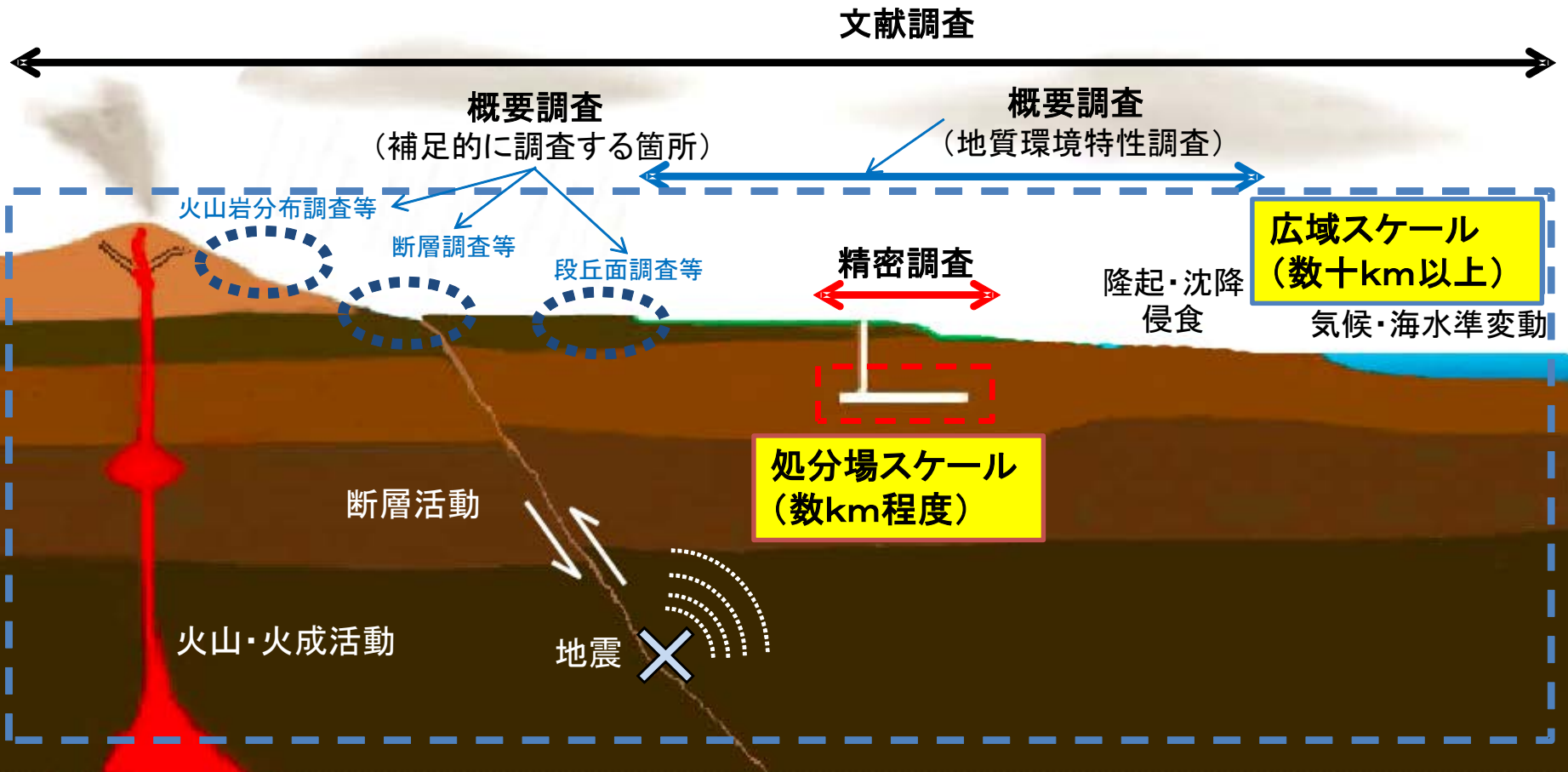


- ✓ 天然現象については、文献調査でほぼ回避し、概要調査でその回避を確実なものにする。
- ✓ 地質環境特性は、文献調査では地下深部は一般にこれを満足すると仮定し、概要調査で確認する。

空間スケールの考え方(1)

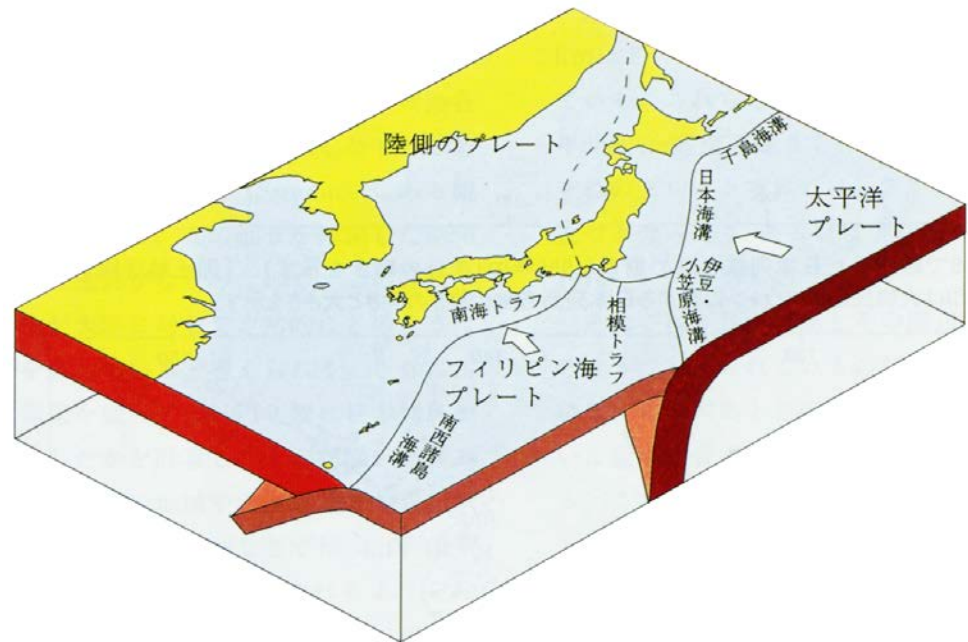
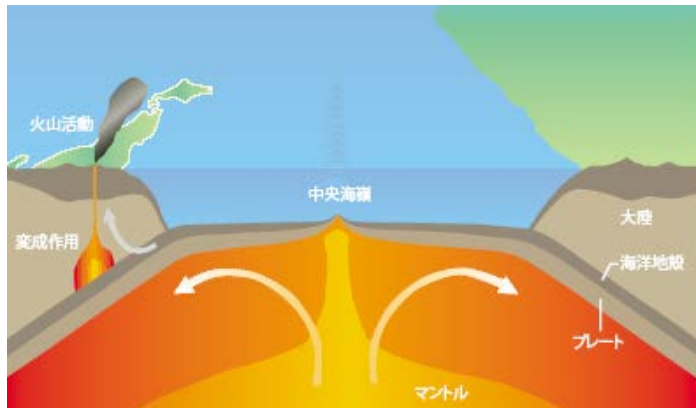


空間スケールの考え方(2)



回避すべき天然現象の分布と変遷

日本列島を含む周辺のプレートシステムの理解



日本列島とその周辺のプレート

(地震調査研究推進本部地震調査委員会編、1997に一部加筆)

プレートの動き：3~7 cm/年

- 大陸の形成と分裂を支配するマントル対流：数千万年～数億年をかけて移動。
- 日本列島の動きや火山活動は、マントル対流によるプレート運動によっている。

*プレート:地球の表面を覆う、十数枚の厚さ100 kmほどの岩盤のこと。地殻とマントルの最上部を合わせたもの。

日本列島とその周辺のプレート

	地質時代			日本列島の形成	プレート運動, 断層活動の継続性		
					太平洋プレート	フィリピン海プレート	活断層の活動
6600万年前	新生代	古第三紀	暁新世		4~5千万年前 ↑ ↓		
5600万年前			始新世				
3390万年前			漸新世	日本列島は大陸の一部 後に日本海となる地溝帯が拡大			
2300万年前		新第三紀	中新世	日本海形成	300~500万年前 ↑ ↓		約250万年前 ↑ ↓
533万年前			鮮新世	日本列島完成, 圧縮応力場支配のネオテクトニクス成立			
258万年前			更新世 (洪積世)				
1万700年前	有史時代	第四紀	完新世 (沖積世)				
今日							

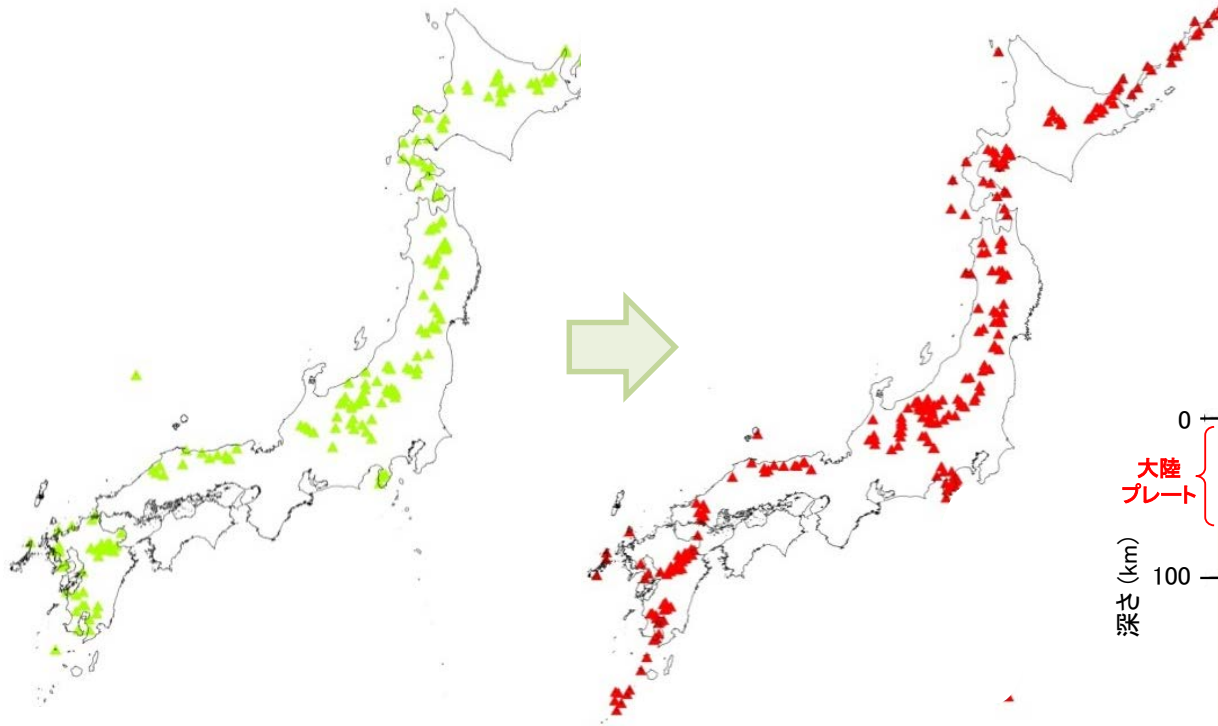
- 日本は太平洋プレート、フィリピン海プレートといった海洋プレートが、ユーラシアプレートや北米プレートといった大陸プレートの下に沈み込んでいるため、火山や地震が多い。
- プレートの位置や運動方向・速度は約200~100万年前からほとんど変化がなく、今後もその(0.1~0.2)倍の期間の10万年程度はほとんど変化しない（離散事象の影響をほぼ確実に回避できる）と考えられている。
- また、プレートの大きさに比べて処分施設は十分小さいため（6~10 km²）、極めてゆっくりと動くプレートと一体になって、その構造や形状を変えずに動いていく。

火山や活断層は過去から現在までの分布が把握されており、 今後の変遷を10万年程度の時間範囲で予測できる

【日本列島における火山の分布】

約260万年前～
約80万年前
に活動した火山

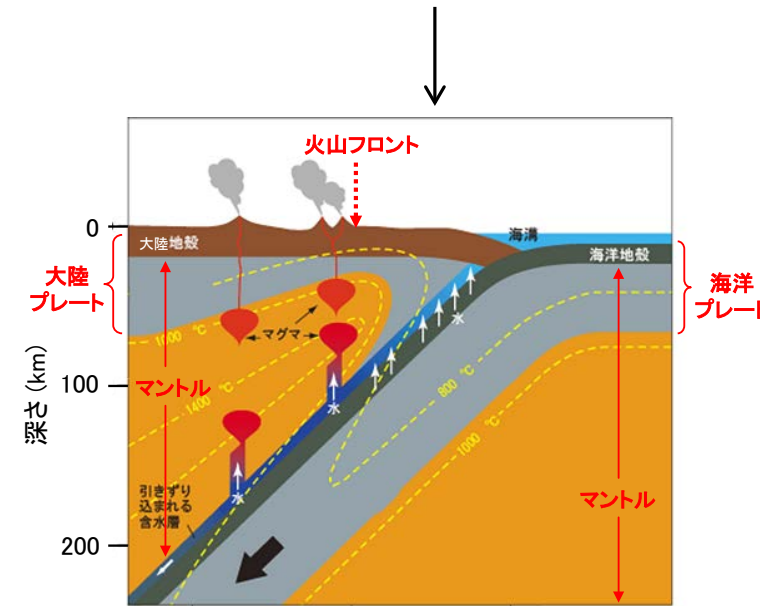
約80万年前～現在
に活動した火山



約80万年前：中期更新世の始まり
約260万年前：第四紀の始まり

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）に基づいて作成

日本列島地殻：約30 km
処分場深度：300 m以深

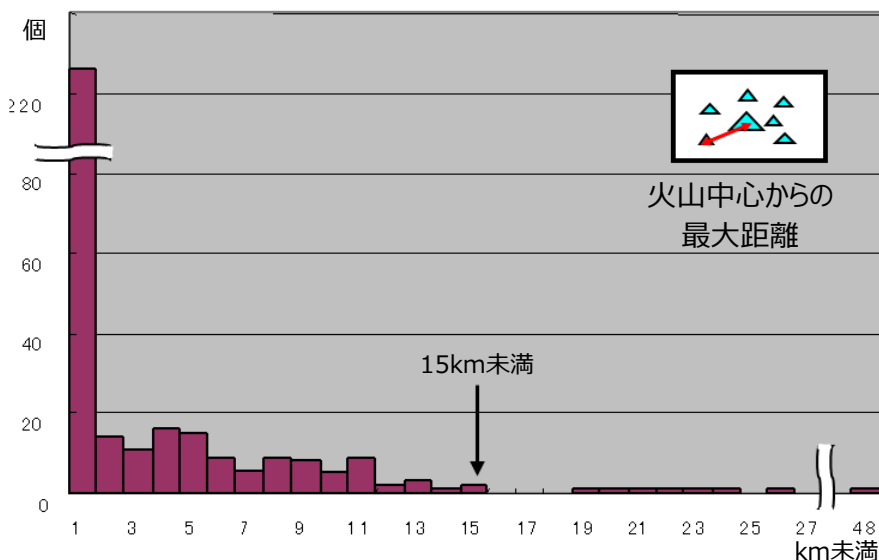


沈み込み帯におけるマグマ発生モデル
の例（巽、1995を編集）

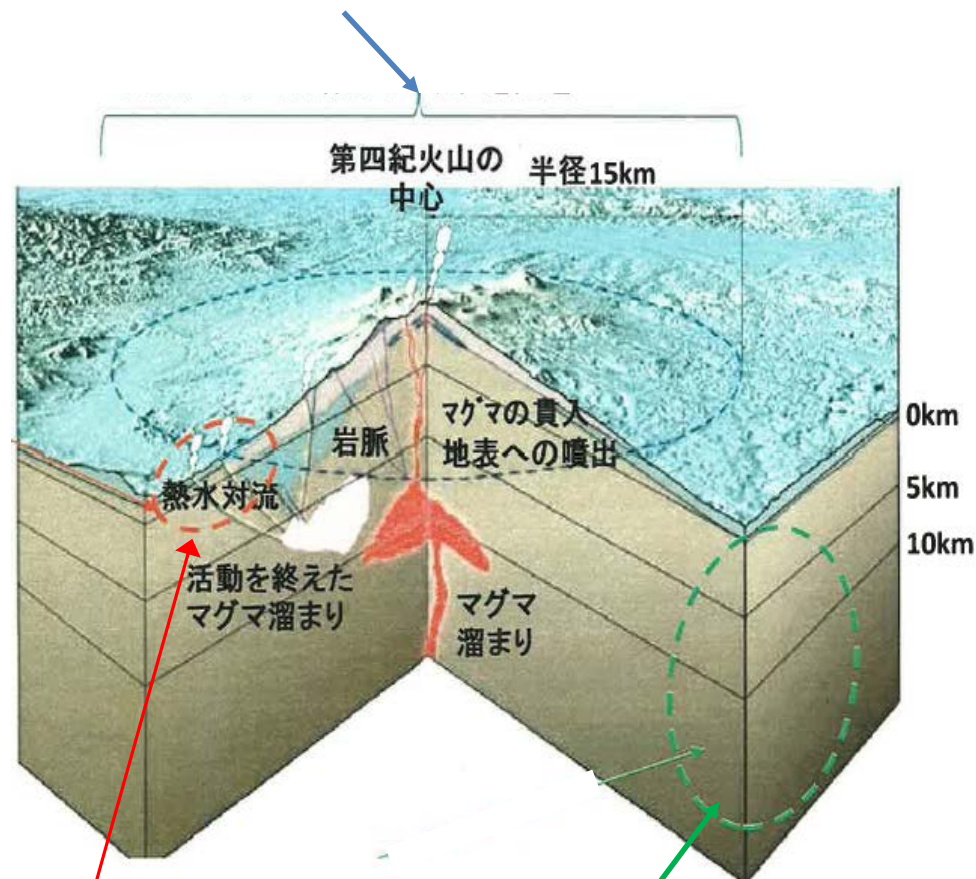
火山の影響の避け方

火山活動は火山の中心から概ね半径15kmの円の範囲にとどまっている。さらに、巨大なカルデラ※の範囲を除けば火山の影響はほぼ回避できる。火山の活動範囲はさらに詳細な調査を実施し回避する。

※カルデラ：火山の活動でできた大きなくぼ地



第四紀火山の中心と個別の火山体との最大距離と頻度（『日本の第四紀火山カタログ』（1999））に基づき作成）



文献調査：第四紀火山中心から15km以遠や巨大カルデラ外縁以遠でも、火山の有無、マグマの発生領域となる高温異常域、熱水・ガス発生を文献により調査・評価し、影響が想定される範囲を回避

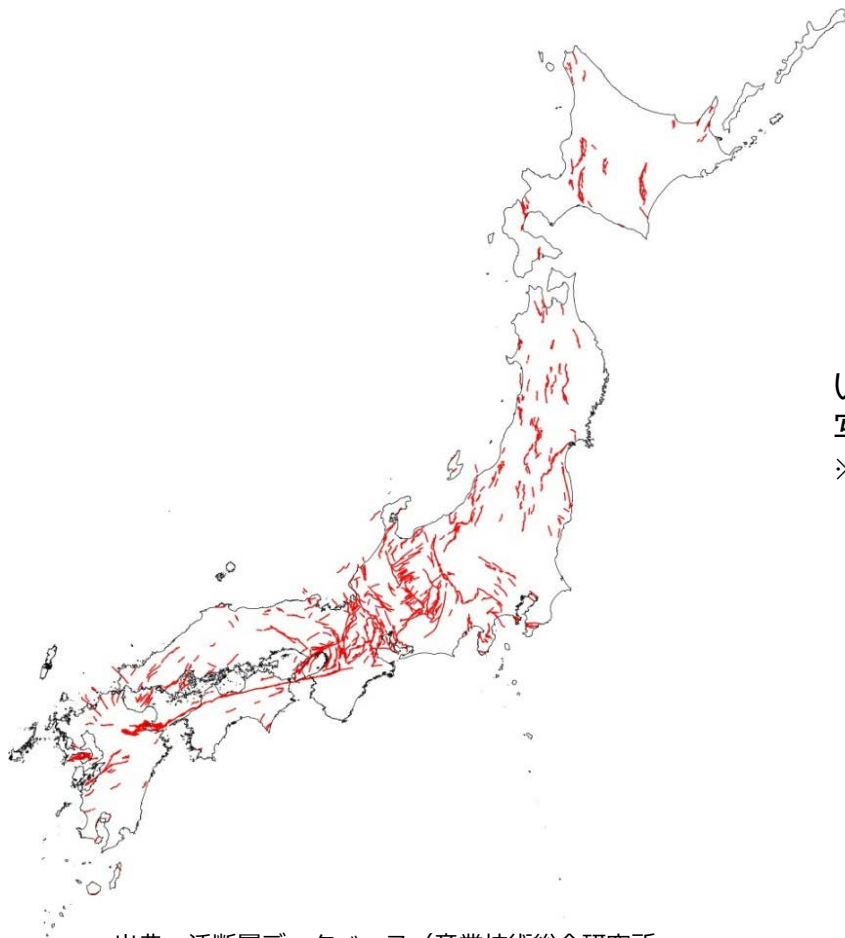
概要調査：火山の有無、マグマの発生領域となる高温異常域、熱水・ガス発生を物理探査やボーリング調査などの地下深部の現地調査により評価し、影響が想定される範囲を回避

活断層の影響の避け方(1)

活断層：過去数十万年以降に繰り返し活動し、将来も活動する可能性のある断層。

活断層の影響範囲：断層周辺の岩盤の破壊や変形が生じている領域、ならびに将来、断層が伸展したり分岐する可能性がある領域のこと。

断層活動に伴って地層が破砕された範囲(破砕帯)は、断層の長さにはほぼ比例することがわかっている。**それぞれの活断層について、断層長さの100分の1の幅**を持たせて除けば活断層の影響はほぼ回避できると考えられている。



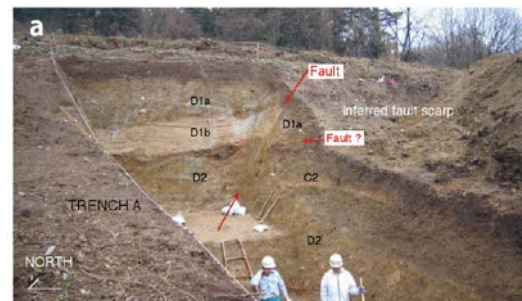
出典：活断層データベース（産業技術総合研究所
https://gbank.gsj.jp/activefault/index_gmap.html）



物理探査

（物理探査は、岩石の電気や弾性波のとおりやすさといった物性の違いを測定して地下の様子を調査する方法。写真は地下に弾性波を送る大型バイブレータ震源。）

※写真提供：地球科学総合研究所 H P



トレンチ調査

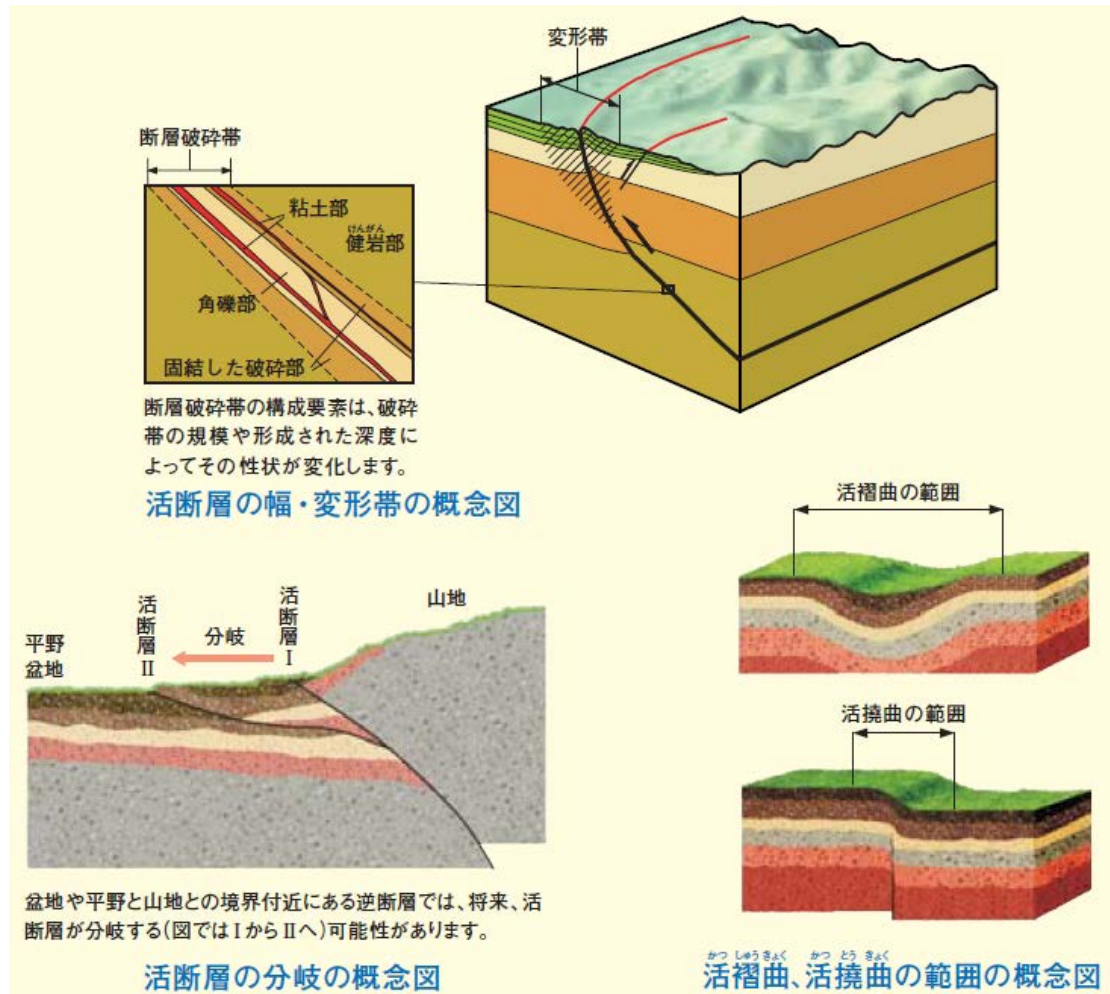
（実際に溝を掘り、その壁面にみられる地層の綿密な観察を行っている様子（遠田ほか，2009））

活断層の影響の避け方(2)

分地選定調査において、空中写真判読や、物理探査、トレンチ調査、ボーリング調査、断層から放出されるガスの分析等を組み合わせることによって、以下の点を把握し、処分施設に著しい影響を及ぼす可能性がある場合は、回避する。

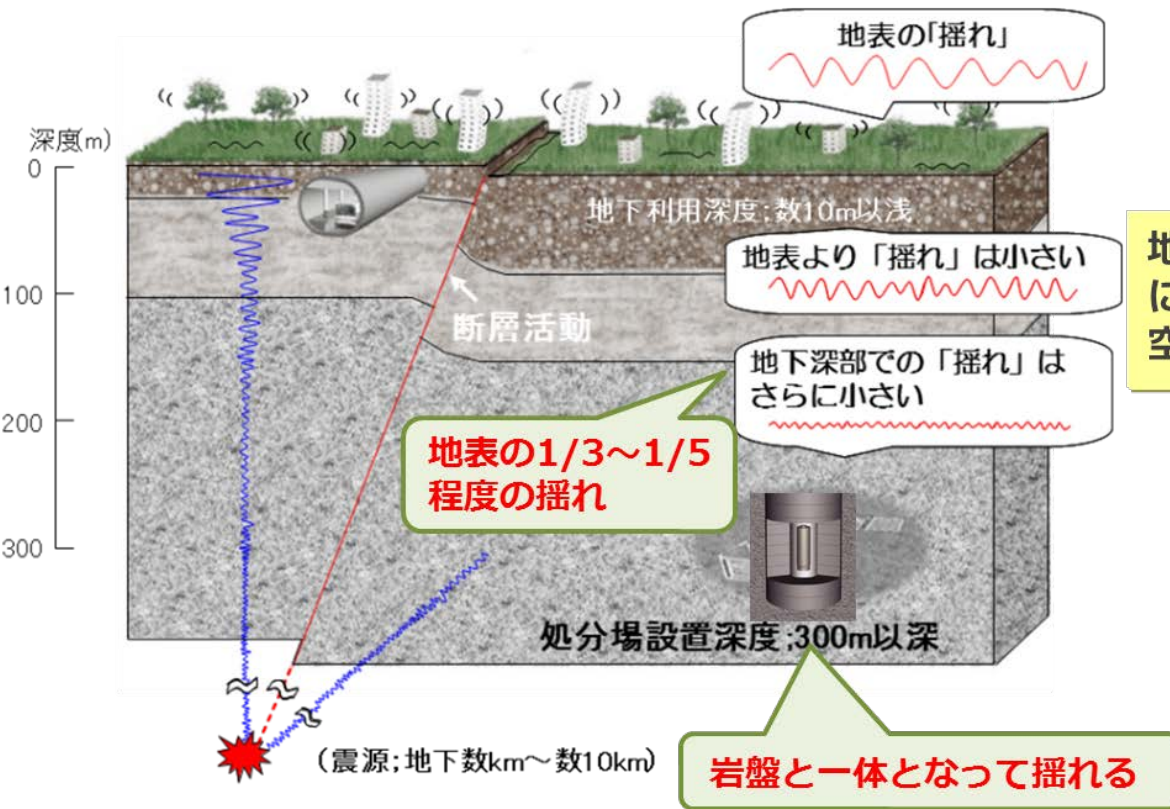
- 断層の分布、破碎帯の幅および外側の変形帯に含まれる範囲
- 断層の伸展・分岐が発生する可能性がある領域
- 変形帯や活褶曲・活撓曲の分布範囲
- 変位規模の小さい断層、地表の痕跡が不明瞭な断層、地下に伏在している断層による影響

※空中写真判読とは、高空から撮影した写真を用いて地形的な特徴を判読し、断層を示している可能性のある直線的な地形等を推定する方法



地震の影響

地下の揺れは地表に比べて小さく、周囲の岩盤と一体となって揺れるため、地震の揺れによる処分施設への影響はほとんどない。



震度7直下型地震における被害事例



(土木学会(第1次)・地盤工学会合同調査団 調査速報より)

地下・地上施設の建設・操業時には影響を考慮する必要がある

隆起・侵食の影響の避け方

隆起・侵食により地表と処分場の距離が縮まることにより、放射性廃棄物と人間が直接接触するリスクがある。



- 回避に係る要件：著しい隆起・侵食に伴う処分場の地表への著しい接近により、物理的隔離機能が喪失されないこと。
- 回避すべき範囲の基準：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。
- 回避が好ましい範囲の基準：隆起速度が90m以上/10万年である沿岸部
- 全国規模の文献・データ：最近約10万年間の隆起速度の分布（地質リーフレット4 日本地質学会、地質環境の長期安定性研究委員会 編 2011）

設定の根拠

- 過去10万年間の最大侵食量が300mを超えていた場所は、将来、侵食が著しく大きく、処分場が地表へ著しく接近すると考えられるが、全国規模の文献・データは無い。
- 過去約10万年間の隆起速度の全国分布図があり、区分値の最大は「90m/10万年以上」。
- 保守的に隆起した分だけ侵食されることを想定し、沿岸部はさらに保守的に海面が低下して陸化した分（最大150m/10万年）も侵食されると想定すると、沿岸部の「90m/10万年以上」の場所は、将来、侵食が著しく大きく、処分場が地表へ著しく接近または露出する可能性が大きい。



隆起に伴う侵食

- ・海底面が隆起して陸化すると河川などにより侵食される。
- ・全国規模の文献には、隆起量が大きい地域として、過去10万年間の隆起量が90m以上の場所が示してある。

海面低下に伴う侵食

- ・海面が低下して陸化する場合も、隆起の場合と同様に侵食が起こる。
- ・過去10万年間に海面は現在より最大150m程度低下している。

段階的処分地選定調査の内容と空間スケールのイメージ

文献調査

※文献による調査

- 文献の収集と調査によって、
- 火山や活断層などの自然現象の活動記録を調査
 - 鉱物資源の記録の有無を確認
 - 軟弱な地層（第四紀未固結層）の記録の有無を確認

概要調査

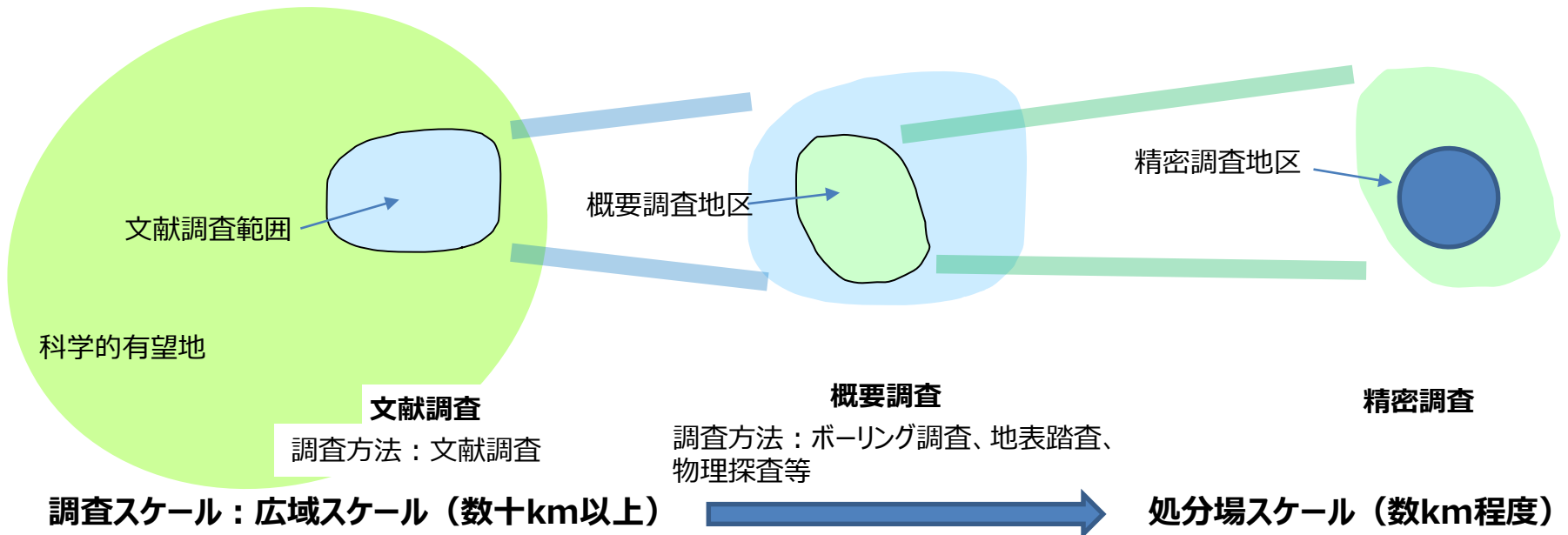
※地表からの調査

- 地表からのボーリング調査などによって、
- 火山活動の痕跡や活断層などの存在を確認
 - 地質、地下水の流れ方などを現地で調査
 - （得られたデータでの）安全評価を実施

精密調査

※地表＋地下調査施設での詳細調査

- 地下深部の調査施設において、
- 断層や岩盤の性質、地下水の成分などを直接調査
 - 工学的対策も含めた安全評価を実施



科学的有望地の要件・基準に関する地層処分技術WGにおける中間整理について

- 地層処分開発のこれまでの経緯
- 地層処分技術WG* 中間といまとめ(2014.5: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)
- **地層処分技術WG* 中間整理(2015.12:科学的有望地の要件・基準に関する中間整理)**
- これからの議論の方向

朽山 修

地層処分技術WG委員名簿(計13名) : **学会からの推薦による**

(科学的有望地の要件・基準に関する地層処分技術WGにおける中間整理 平成27年10月)

委員長

- 朽山 修 原子力安全研究協会技術顧問 (**放射性廃棄物WG委員**)

委員

- 宇都 浩三 産業技術総合研究所臨海副都心センター所長 (**日本火山学会推薦**)
- 蛭沢 勝三 東京都市大学客員教授/電力中央研究所上級研究員 (**土木学会 原子力土木委員会推薦**)
- 長田 昌彦 埼玉大学大学院理工学研究科環境科学・社会基盤部門准教授(**日本応用地質学会推薦**)
- 小峯 秀雄 早稲田大学理工学術院創造理工学部教授 (**土木学会推薦**)
- 三枝 利有 電力中央研究所研究アドバイザー (**日本原子力学会推薦**)
- 谷 和夫 東京海洋大学大学改革準備室教授 (**土木学会 原子力土木委員会推薦**)
- 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 敦尚 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 (**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総合センター地質情報基盤センター長 (**日本地質学会推薦**)

新たなプロセスの追加(科学的有望地の提示)

最終処分関係閣僚会議(2015年12月)において「今後の方針」を決定

- 地層処分の推進について、更に幅広い国民の理解と協力を得られるよう、関係行政機関の緊密な連携の下、①国民理解の醸成、②地域対応の充実、③科学的有望地の検討、を積極的に進める。
- 原子力委員会に体制を整え、その進捗について評価を行う。
- これらの取組を通じ、科学的有望地について、地層処分の実現に至る長い道のりの最初の一步として国民や地域に冷静に受け止められる環境を整えた上で、平成28年中の提示を目指す。

※各調査段階において、地元自治体の意見を聴き、これを十分に尊重する(反対の場合には次の段階へ進まない)。

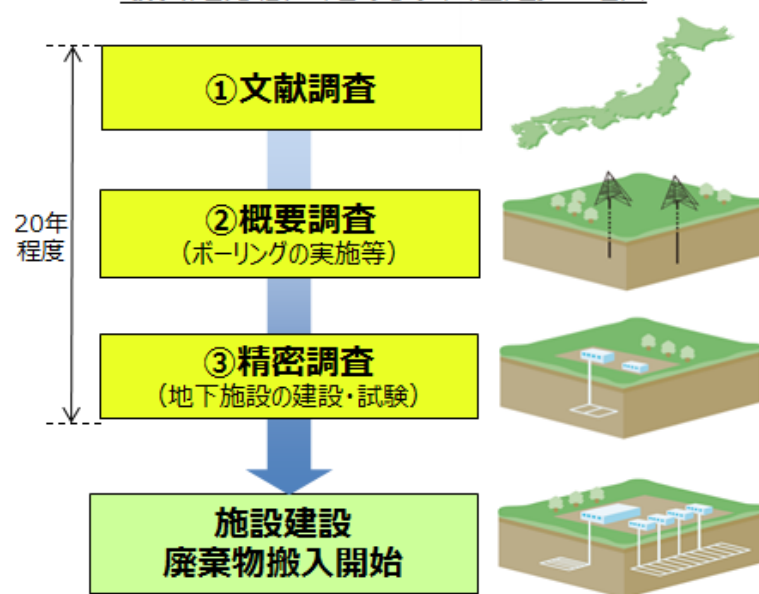
文献調査の開始に向けて、新たなプロセスを追加

国による科学的有望地の提示(マッピング)
2016年中の提示を目指す

重点的な理解活動
(説明会の開催等)

- ・ 自治体からの応募
- ・ 複数地域に対し、国から申入れ

最終処分法で定められた選定プロセス



2年

3年

15年

科学的有望地：スウェーデン・フィンランドにおける処分地選定の経緯

○ 両国とも、**適性の高い地域の提示を一つの契機とし**、地域の理解を深め、協力を得ながら、段階的に選定調査を実施。処分地決定までには20年近くを要している。

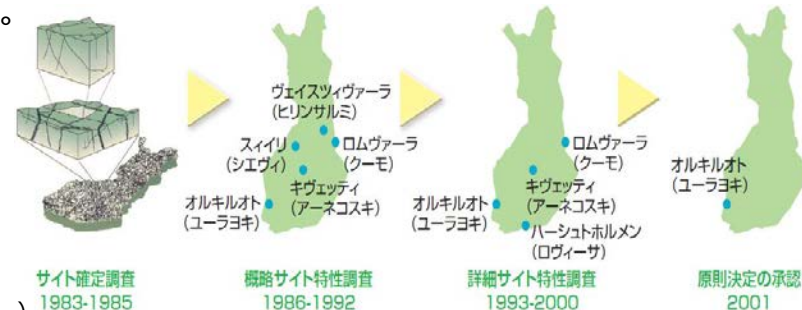
スウェーデン（1992年～）

- ▼ 1992年～1999年、実施主体が総合立地調査（全国規模・県域別の文献調査）により、母岩の適性に応じた全国の色分け（※右図参照）等を実施。
- ▼ 1993年、公募に応じた2自治体でフィージビリティ調査（地方自治体単位での文献調査）を実施するも、住民投票で反対多数となり調査打ち切り。
- ▼ 1995年以降、原子力施設立地自治体を対象とした**総合立地調査（文献調査）に基づき、原子力施設立地自治体への申入れを実施**。議会の承認が得られた6自治体で調査を実施。
- ▼ 2000年、実施主体が3地区を選定。地元議会の承認が得られた2自治体で2002年よりサイト調査（概要調査）を実施、2009年にエストハンマル自治体のフォルスマルクを選定。



フィンランド（1983年～）

- ▼ 1983～85年、実施主体が全国より102箇所の潜在的調査地域を選定。
- ▼ 1986～92年、潜在的調査地域から、**調査に好意的な自治体の同意を得て、5箇所の概略サイト特性調査地域を選定**。ボーリング調査等を実施し、3箇所の詳細サイト特性調査地域を選定。
- ▼ 1993～2000年、詳細サイト特性調査を実施し、オルキオトを選定。



（※概略サイト特性調査、詳細サイト特性調査はどちらも日本の概要調査に相当。フィンランドでは、法律に基づく処分地選定（原則決定）後に、地下特性調査施設（オンカロ）で精密調査が行われている。）

科学的有望地提示の意義・目的(国民理解の促進)

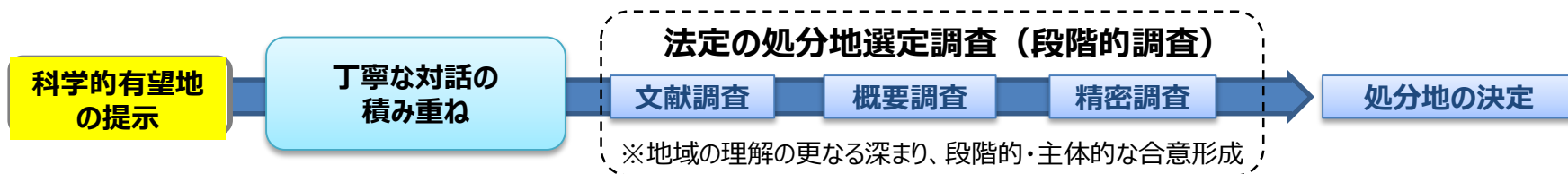
- 安全性の確保の観点から相対的に適性の低い地域を予め調査対象から除外することによって、安全を第一に処分地選定を進めることに資する。また、そうした政府の方針について、具体的な取組で示すことで、国民・地域の理解を得ていく。
- 有望地が含まれる地域のみならず、広く全国の国民・地域に最終処分問題を認識・理解してもらう契機・材料を提供する。
- 有望地が含まれる地域に対し、最終処分問題を認識・理解してもらう契機・材料を提供し、その後の重点的な理解活動に繋げる。

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。

科学的有望地の位置付け(法定の段階調査の前段階)

- **段階的調査の前段階としての有望地の提示**：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（信頼性・透明性・公平性：現時点で、全国規模で体系的に整備され一般的に入手可能で品質保証されたデータを用いる）。
- **段階的調査による安全確認**：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、様々なデータを取得し、総合的な評価により段階的に判断していくこととなるものである。
- **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た場所において、天然バリアと人工バリアを組み合わせた地層処分システムが成立する場所を選ものであって、"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。**



科学的有望地の要件・基準において検討すべき事項と手順の考え方

● 埋設後長期の安全性（好ましい地質環境特性とその長期

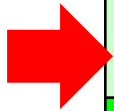
安定性が確保されること）が最も重要。

- 地層処分の実施のためには、定置された放射性廃棄物の周辺の地質環境（天然バリア）が放射性物質を「閉じ込め」、人工バリアが期待される性能を長期にわたり発揮できる特性を有することが必要（好ましい地質環境）
- さらに、長期間のうちに地質環境が変化していくとしても、放射性廃棄物が長期にわたり隔離され、その変化がある範囲内にとどまることが求められる（地質環境の長期安定性）

● その上で、**操業から閉鎖までの間の安全性**も当然重要。

- ・ 地下・地上施設の建設・操業時の安全性
- ・ 放射性廃棄物の輸送時の安全性

適性の低い地域	工学的対応の実施が著しく困難で、安全機能の喪失に直結してしまう事象・特性によって地層処分に著しい影響を与えられる可能性が極めて高い地域。
適性のある地域	適性の低い地域に該当しない地域
より適性の高い地域	適性のある地域の中で、積極的に考慮することで、地層処分の安全裕度が大きく向上する可能性が高い地域。また事業の実現性の観点から、考慮することで実現可能性を大きく高めると評価できる地域。



地質環境特性(閉じ込め機能)および隔離機能の確保のための要件・基準

(1) 隔離機能

	想定されるリスク	要件	分類	基準	使用可能な文献・データ
火山・火成活動	マグマの処分場への貫入と地表への噴出により、放射性廃棄物と人間が直接接触するリスク	マグマの処分場への貫入と地表への噴出により、物理的隔離機能が喪失されないこと	回避すべき	第四紀(約258万年前以降)火山中心から15km以内 第四紀の火山活動範囲が15kmを超える巨大カルデラの範囲	日本の火山(第3版)(産総研地質調査総合センター, 2013)
隆起・侵食	隆起・侵食により地表と処分場の距離が縮まることにより、放射性廃棄物と人間が直接接触するリスク	著しい隆起・侵食に伴う処分場の地表への著しい接近により、物理的隔離機能が喪失されないこと	回避すべき	過去十万年における最大侵食量が300mを越えたことが明らかな範囲	(データなし)
			回避が好ましい	隆起速度最大区分(90m以上/10万年)のメッシュがある沿岸部	最近約10万年間の隆起速度の分布 日本列島と地質環境の長期安定性 付図5 地質リーフレット4(日本地質学会地質環境の長期安定性研究委員会編, 2011)
鉱物資源	現在認められている経済的価値の高い鉱物資源が存在することにより、意図的でない人間侵入等により地層処分システムが有する隔離機能や閉じ込め機能が喪失するリスク	現在認められている経済的価値の高い鉱物資源が存在することにより、意図的でない人間侵入等により地層処分システムが有する隔離機能や閉じ込め機能が喪失されないこと	回避すべき	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が残存する範囲	(データなし)
			回避が好ましい	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。)	日本油田・ガス田分布図第2版(産総研, 1976) 日本炭田図第2版(産総研, 1973)

(注) 現時点で利用可能な文献・データがないときは、代替指標の利用等により要件・基準を設定。

地質環境特性(閉じ込め機能)および隔離機能の確保のための要件・基準

(2)閉じ込め機能(地質環境に対する擾乱)

	想定されるリスク	要件	分類	基準	使用可能な文献・データ
地熱活動	地熱活動に伴う熱が緩衝材を変質させ、放射性物質を吸着する機能等が低下することにより、放射性物質が早く生活環境に出てくるリスク	処分システムに著しい熱的影響を及ぼす地熱活動により、閉じ込め機能が喪失されないこと	回避すべき	処分深度で地温が長期に100℃を大きく超える範囲	(データなし)
			回避が好ましい	処分深度において100℃以下を確保できない地温勾配の範囲 ※地上温度15℃、深度300mを想定し、地温勾配28.3℃/100m	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(産総研地質調査総合センター, 2004)
火山性熱水・深部流体	ガラスを溶かしやすくする、オーバーパックを腐食しやすくすることなどの特性を持つ地下水により、放射性物質が早く生活環境に出てくるリスク	処分システムに著しい化学的影響を及ぼす火山性熱水や深部流体の流入により、閉じ込め機能が喪失されないこと	回避すべき	処分深度に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範囲	(データなし)
			回避が好ましい	地下水の特性として、pH4.8未満あるいは炭酸化学種濃度0.5mol/dm ³ (mol/L)以上を示す範囲	深層地下水データベース(高橋ほか, 2011) 全国地熱ポテンシャルマップ(産総研地質調査総合センター, 2009)
断層活動	断層活動により処分場が破壊されると共に、断層の透水性が高まり地下水が流れやすくなるなどにより、放射性物質が早く生活環境に出てくるリスク	断層活動による処分場の破壊、断層のずれに伴う透水性の増加等により閉じ込め機能が喪失されないこと	回避すべき	活断層に、活動セグメント長さの1/100の幅を持たせた範囲	活断層データベース(産総研地質調査総合センターウェブサイト) 日本周辺海域の第四紀地質構造図 日本周辺海域の中新世最末期以降の構造発達史 付図(徳山ほか, 2001)
			回避が好ましい	活断層に、起震断層長さの1/100の幅を持たせた範囲	

(注) 現時点で利用可能な文献・データがないときは、代替指標の利用等により要件・基準を設定。

科学的有望地:埋設後長期(10万年)の安全性

回避すべき, 回避が好ましい地域

火山活動、断層活動、隆起・侵食といった天然現象の影響は、学術的な知見が蓄積されており、それを踏まえて慎重な調査を行うことにより回避できると考えられる。

過去数百万年程度の期間、火山の位置はほとんど変わっていない。
火山活動は火山の中心から概ね半径15kmの円の範囲にとどまっていることがわかっている。

火山

活断層

隆起・侵食

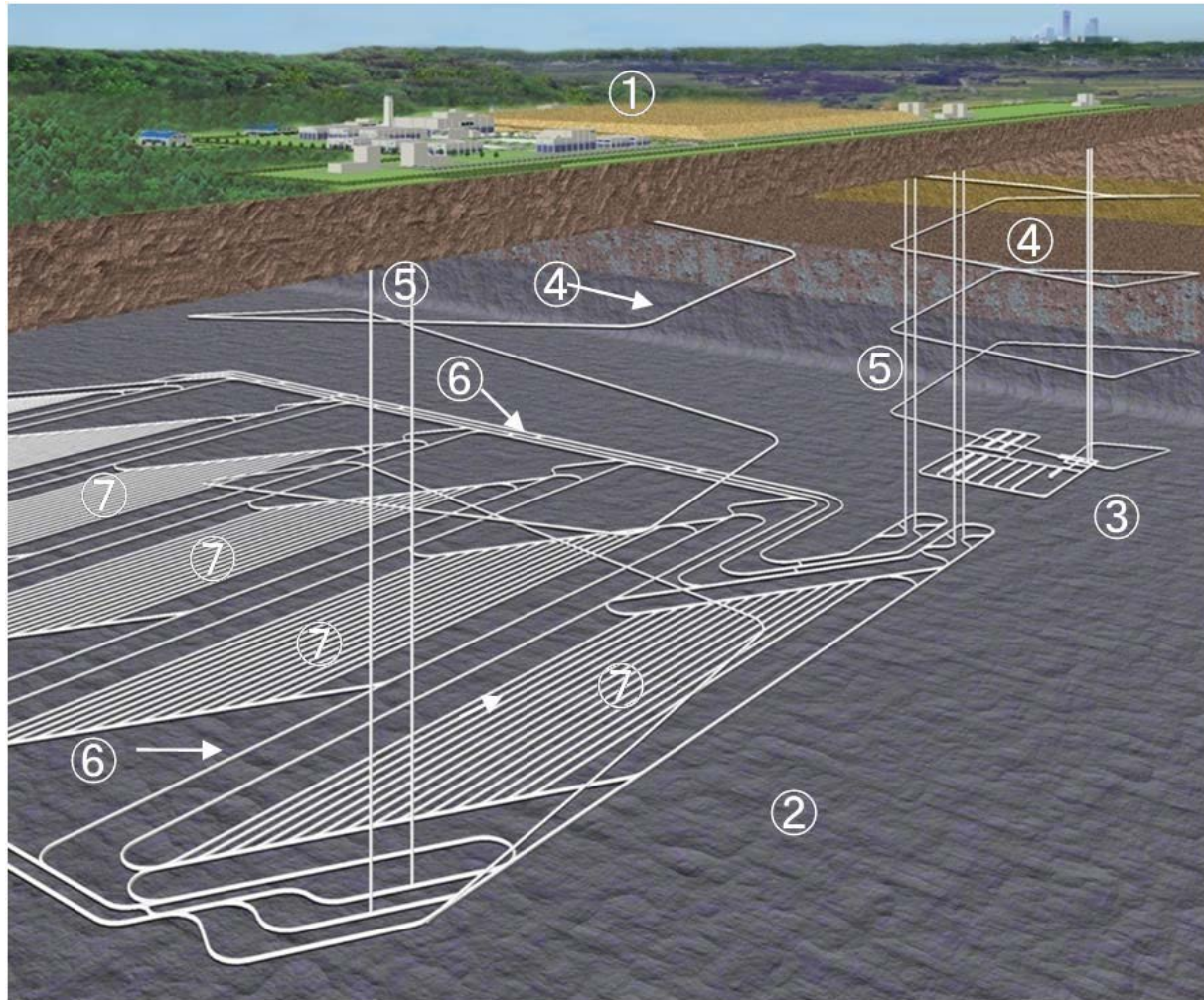
断層活動は、過去数十万年にわたり同じ場所で繰り返し活動している。活断層は断層長さの100分の1の幅を除けば影響をほぼ回避できるとされている。

隆起・侵食は過去と同じ傾向が今後も続くとされています。10万年間で、300 m以上隆起しているような場所は避ける。

数km

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

現在想定している標準的な地下施設レイアウトの例 (NUMO, 2009)



①地上施設、②高レベル放射性廃棄物処分場の地下施設、③地層処分低レベル放射性廃棄物処分場の地下施設、④斜坑、⑤立坑、⑥連絡坑道、⑦処分パネル（処分坑道の集合した区画）

地下施設の建設に関する検討対象として抽出した事象

安全確保上の懸念事象	想定される事故の内容	工学的対応策の例	工学的対応の可否
未固結堆積物	坑道崩落	グラウト等による全域を対象とした地山改良	施工例（土木学会(2006)解説表6.1。14例）はあるが千部が大半である。
地熱、温泉	地温が著しく高い場合、コンクリート支保の性能低下による坑道崩落	必要に応じ支保再設置	安房トンネルの例などあり。
	地温が著しく高い場合、湧水が水蒸気で噴出、また作業環境の悪化による健康被害	換気設備等の増強	
膨張性地山	膨張量が大きい場合、坑道内空の狭小化による廃棄体運搬が困難。坑道崩壊	支保再設置 グラウト等による地山改良	鍋立山トンネルなど（土木学会(2006)解説表6.2。他に13例）の例あり、
山はね	山はね量が激しい場合、坑壁から岩片が飛散。坑道崩落	掘削前のモニタリング管理等	清水トンネルなど（土木学会(2006)解説表6.3。他に6例）の例あり。
泥火山	異常間隙水圧、ガス噴出量が多い場合、作業従事者のガス中毒・酸欠、ガス爆発。地温が高い場合、作業従事者のやけど	グラウト等による地山改良 換気設備等の増強	施工例がある膨張性地山の原因として泥火山を指摘している例あり。
湧水	地下水が多く、断層などの水みちが多い場合、突発大量出水	グラウト等による出水抑制	青函トンネルの例などあり。
有害ガス	ガス噴出量が多い場合、作業従事者のガス中毒・酸欠、ガス爆発	換気設備等の増強	可燃性ガスへの対応の例などあり。

地上施設の建設・操業については廃棄物管理施設に対する規則に従って検討した。

地下施設・地上施設の建設・操業時の安全性の確保に関する要件・基準

	想定されるリスク	要件	分類	基準	利用可能な文献・データ
①地下施設					
未固結堆積物	固結していないため掘削と同時に坑道が崩落する可能性	処分場の地層が未固結堆積物でないこと	回避すべき	処分深度に第四紀未固結堆積物層が分布する範囲	(データなし)
			回避が好ましい	深度300mまでに中期更新世（約78万年前）以降の地層が分布する範囲	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（越谷・丸井，2012）
		固結した岩盤であることにより、安全裕度が大きく向上すること	好ましい	処分深度において地山強度比が2以上の地層が分布している範囲	(データなし)
地熱、温泉	地温が著しく高い場合、コンクリート支保の性能低下による坑道崩落。また、湧水が水蒸気で噴出、また作業環境の悪化による健康被害	地温が高温でないことにより、安全裕度が大きく向上すること	好ましい	処分深度で45℃以下を確保できる地温勾配の範囲 ※地上温度15℃、深度300mを想定し、地温勾配10℃/100m以下	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（産総研地質調査総合センター，2004）
②地上施設					
地上施設を支持する地盤（注1）	施設の十分な支持性能を発揮できず、施設の安全性が損なわれるリスク	施設を支持する地盤への対応に際して、安全裕度が大きく向上すること	好ましい	中期更新世（約78万年前）以降の地盤の層厚が既往構造物の工学的対応実績より小さい場所 ※既往構造物において基礎掘削 25m	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（越谷・丸井，2012）
津波（注2）	津波の影響により、施設の安全性が損なわれるリスク	津波への対応に際して、安全裕度が大きく向上すること	好ましい	平均的な海岸堤防等により、津波の到来を回避できると考えられる範囲	（一定地域のデータしか存在しない）
火山の影響（注3）	地震・津波以外の自然事象や人為的な事象の影響により、施設の安全性が損なわれるリスク	操業時に火砕物密度流等による影響が発生することにより施設の安全性が損なわれないこと	回避が好ましい	完新世（約1万年前以降）の火砕流堆積物・火山岩・火山岩屑の分布範囲	20万分の1日本シームレス地質図（産総研地質調査総合センターウェブサイト）

（注1）回避すべき範囲については、類似施設の規制基準において「将来活動する可能性のある断層等の露頭」は回避が要求されているものの、現地調査で判明する個別具体的な対象そのものが指定されているため、今回要件・基準等は設定しないことが適当と判断

（注2）津波については、類似施設の規制基準において、直接的に回避が要求されている事象・特性はなし

（注3）**回避すべき範囲、好ましい範囲については、現地調査による詳細な情報を基に個別具体的に判断するため、設定しないことが適当と判断**

（注4）地震については、類似施設の規制基準において、直接的に回避が要求されている事象・特性はなし。好ましい範囲において、現地調査による詳細な情報を基に個別具体的に判断するため、設定しないことが適当と判断

未固結堆積物の回避

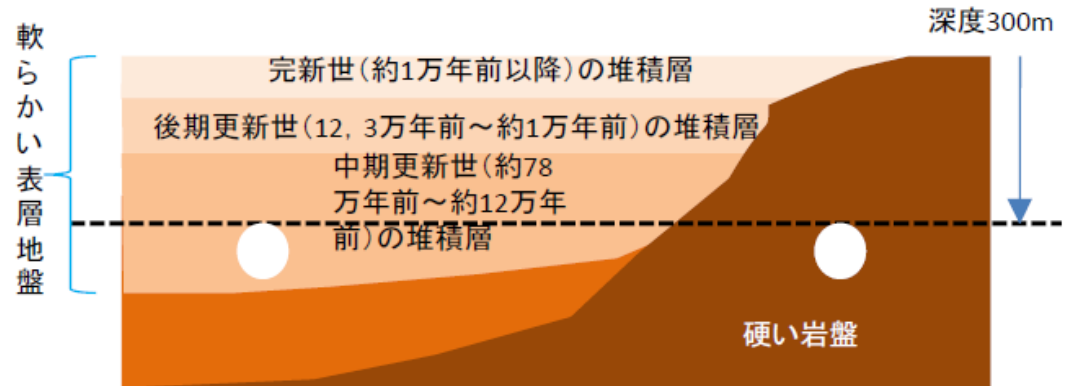
未固結堆積物中に延長の長い坑道を掘削する場合、適切な対策を講じても、坑道が崩壊する潜在的危険性ある。



- 回避に係る要件: 処分場の地層が第四紀未固結堆積物でないこと。
- 回避すべき範囲の基準: 処分深度に第四紀(約258万年前以降)未固結堆積物層が分布する範囲。
- 回避が好ましい範囲の基準: 深度300mまで中期更新世(約78万年前以降)の地層が分布する範囲。
- 全国規模の文献・データ: 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(越谷・丸井, 2012)

設定の根拠

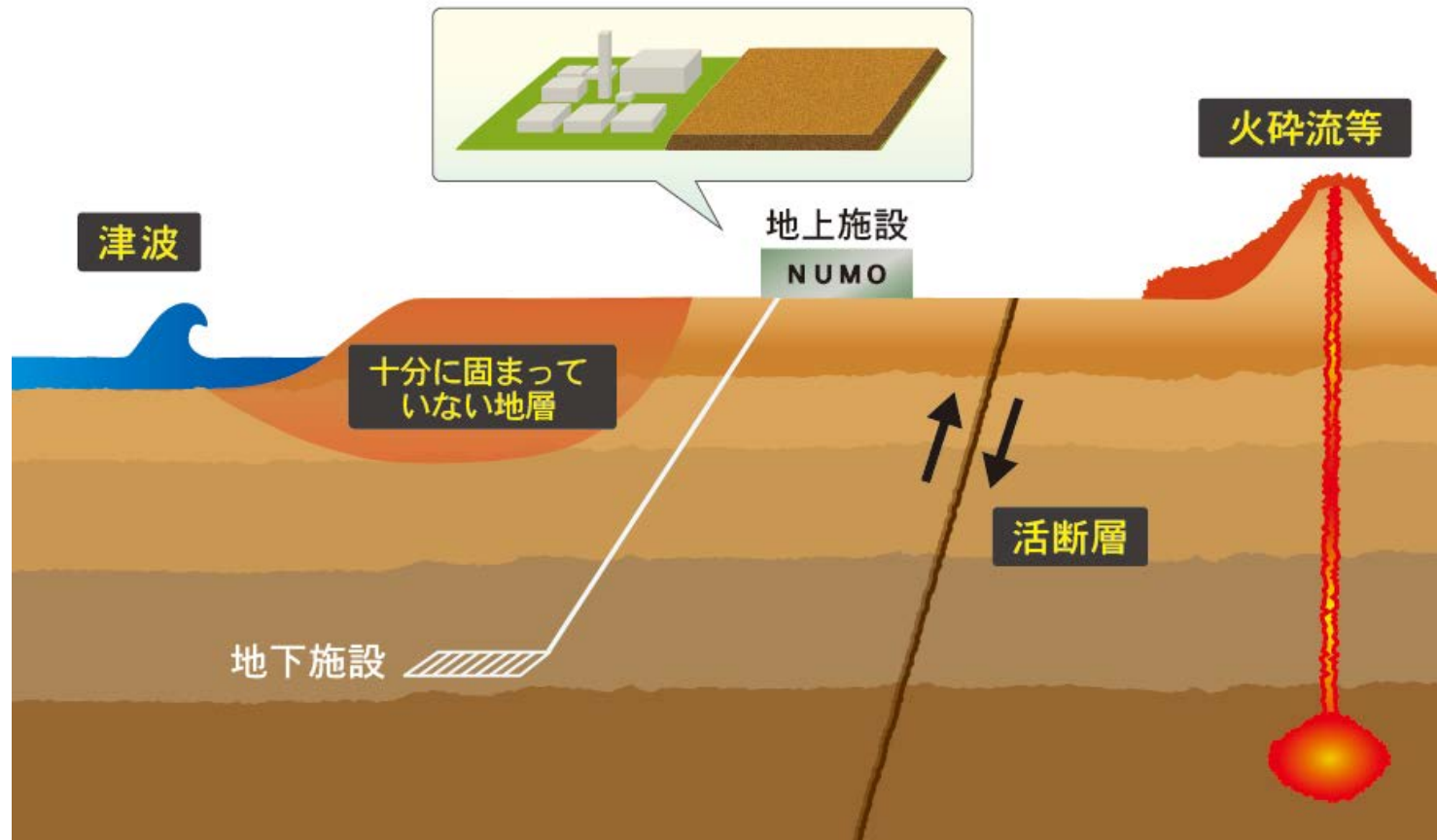
- 未固結堆積物の深度方向の分布を全国規模で示した文献は現状ない。地質の形成年代と地層の強度にはある程度の相関があり、約78万年前(中期更新世)以降に形成した地層は概ね未固結堆積物の地層に相当するので、これを代替指標とする。
- 最終処分法では、処分深度は300m以深と規定されている。



科学的有望地：処分施設の建設・操業時(100年)の安全性

回避すべき、回避が好ましい地域

処分施設の建設や操業時の安全性を確保するため、火砕流、断層活動、十分に固まっていない地層、津波等の影響を受けない場所を選ぶ。



【地下施設】

地下施設の設置場所を選定する際には、十分に固まっていない地層の深さ等を考慮する必要がある。

【地上施設】

地上施設の設置場所を選定する際には、自然災害として火砕流、断層活動、津波等を考慮する必要がある。

輸送時の安全性の確保に関する検討

長距離輸送における輸送方法の比較

方法	輸送回数等	公衆被ばくの観点	核セキュリティ	交通インフラ上の制約等
鉄道	貨車 1 両でガラス固化体等28本収容 キャスク1基を輸送可能。 必要な貨車総数は166両。貨車の牽 引力から 30 回以上に分けて輸送 線路の最急勾配：3.5%（普通鉄道 構造規則）	3 方法の中で、通常時の公衆被 ばくリスクは中程度（○）	予め経路が判明する可能性が 高いため、「遅延」（情報漏洩 防止等の保護）対策の観点か ら、好ましくない（△）	勾配の制限から、輸送できる範囲が限定さ れる（△） 日本における輸送実績がない（△） ターミナル駅から処分場等まで、専用線の 敷設が車両輸送が必要（△）
車両	1車両で輸送できるガラス固化体等は4 本程度。 1回に4車両で輸送する場合、年間 290 回程度に分けて輸送 設計速度20km/h の場合の道路の最 大縦断勾配は9%（特例値で12%） と定められている（道路法に基づく道路 構造令）	3 方法の中で、通常時の公衆被 ばくリスクは最も高い（△） 公道の重量制限から 一台の車両 ではガラス固化体等を4本までしか 運べず、輸送回数が増加（△）	宿泊等で途中で停止する場合 は、立入制限措置のために特別 な施設が必要となる（△）	路盤、橋梁の補強あるいは輸送キャスクの 小型化が必要（△）
海上 （船舶）	3,000t 級の船舶1台で500 本程度の ガラス固化体等を輸送可能。 1 年にガラス固化体等を10回程度に分 けて輸送	3 方法の中で、通常時の公衆被 ばくリスクが最も低い（○）	予め経路が判明する可能性が 低いため、「遅延」（情報漏洩 防止等の保護）対策の観点か ら、好ましい（○） 立入制限措置のために特別な施 設は基本的には不要と考えられ る（○）	海上輸送の実績あり。また、1 回にガラス固 化体等を最大 500 本程度大量輸送でき る（○） 船舶の規模から接岸できる港湾が限定され るため、適用港湾がない場合は既存港湾を 改修するか新規建設する必要がある （△） 港湾から処分場まで、陸上輸送（鉄道輸 送が車両輸送）が必要（△）

一般的には、公衆被ばくの観点から輸送回数が少ない方が望ましいため、一度に大量輸送ができることが望ましい。キャスクの大きさを小さくすることも可能であるが、キャスクには一定の遮蔽厚が必要となるため、キャスク重量はガラス固化体の数に比例して減ることはない。

科学的有望地廃棄物の輸送時の安全性

よい適性の高い地域として考慮

安全性を確保するために、長距離輸送は海上輸送が最も適当な手段であり、港湾から処分場までの地上での輸送距離や輸送時間は短い方が好ましいと考えられる。



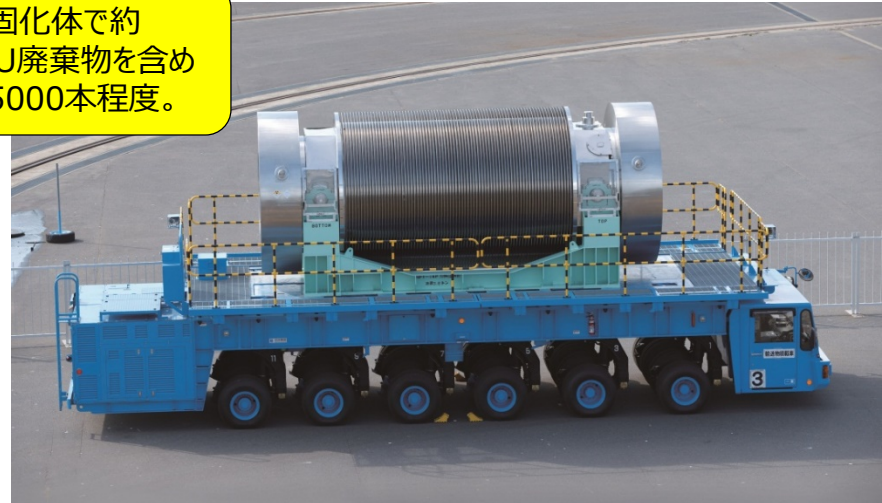
高レベル放射性廃棄物の海上輸送船

(写真提供：原燃輸送株式会社)

高レベル放射性廃棄物の長距離輸送は輸送船を用いて実施する。この輸送船によって、貯蔵施設から処分場近傍の港に輸送する。

世界的に安全に実施され、十分な実績の蓄積がある。

毎年、ガラス固化体で約1000本、TRU廃棄物を含めると全体で約5000本程度。



高レベル放射性廃棄物の陸上輸送車

(写真提供：原燃輸送株式会社)

港から処分場の敷地までは、車両などを用いて陸上輸送する。輸送にあたっては公衆被ばくや核セキュリティ（テロ）を考慮した対策を取る。

- 現存のキャスク1基はガラス固化体等28本を入れて総重量100トンを超える。
- 道路の荷重制限（特殊車両許可を得て44 t）。そのため、そのままでは通常の国道・高速道路は利用できない。（路盤や橋梁の補強が必要。）
- また、重量車両のため、設計速度は20 km、最大縦断勾配は9%と定められている。

科学的有望地の要件・基準の検討

地球科学的観点を中心とした安全性に関する検討

○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

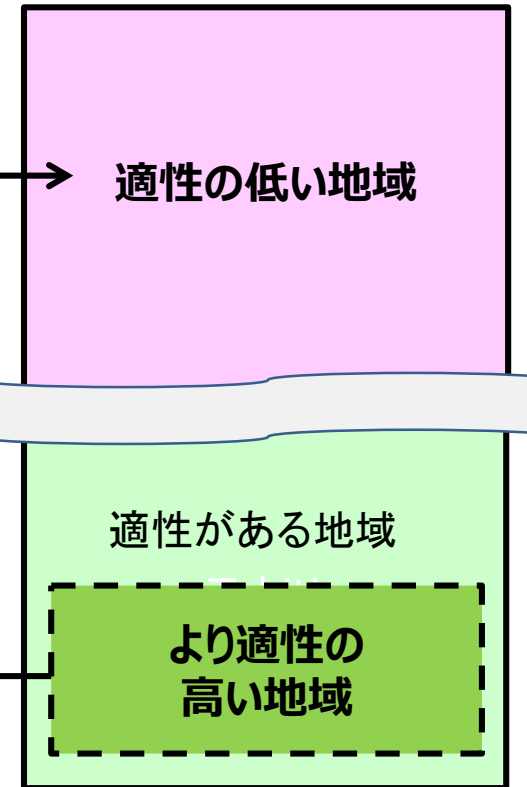
○地下施設・地上施設の建設・操業時の安全性に関する検討

- ＜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

- ＜より適性が高い＞ 港湾からの距離が十分短いこと (沿岸部)

(※) 利用可能なデータの精度等の理由から「回避すべき」範囲 (地域) を具体的に示せないため、代替指標を用いて「回避が好ましい」範囲 (地域) を設定した。



● 地球科学的観点を中心に議論 (9月に検討結果を整理)

→ **科学的有望地の要件・基準に関する地層処分技術WG における中間整理** (2015.12)
意見募集、関係学会会員* および関係機関に情報提供と意見照会

説明会、意見交換：地盤工学会、土木学会、日本応用地質学会、日本火山学会、日本原子力学会、日本地下水学会、日本地質学会

HP、合同説明会等：岩の力学連合会、資源・素材学会、資源地質学会、日本活断層学会、日本地震学会、日本地球化学会、日本測地学会、物理探査学会

好ましい地域：沿岸部の特性と留意事項

- 「適地」の中の沿岸部（島嶼部や海底下を含む）を「より適性の高い地域」と整理するに当たり、沿岸部に期待される一般的な特性や事業を進める上で留意すべき事項を分析し、確認した。

①地質環境特性及びその長期安定性の観点

- 平野等は隆起速度が比較的小さい、動水勾配（注1）が比較的緩やかであることが期待。
- 海水準変動（注2）に伴う侵食や地下水流動（注3）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・操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。津波等の対応は具体的なサイト選定で配慮。

③事業の実現可能性の観点

- 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。
- 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。
- 海域での調査に関しては、実施主体としての調査方法の整備、関連研究機関等の協力の下でのデータの整備・拡充が必要。
- 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。

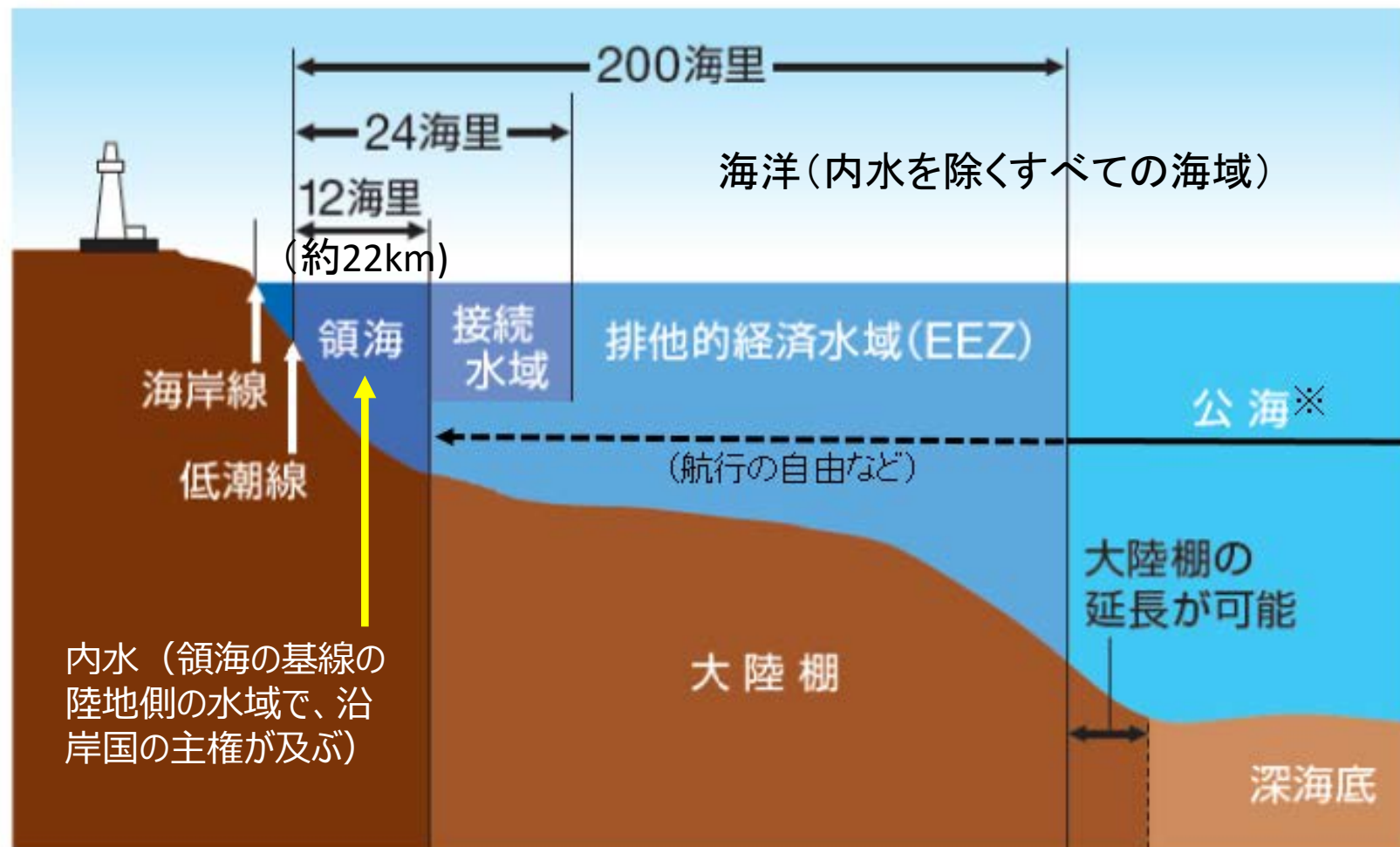
技術WGでは科学的観点のみ扱う

（注1）動水勾配：地下水の動きを決める要因の一つで、地下水が流れる方向の単位距離あたりの水圧（正確には水頭）の差のこと

（注2）海水準変動：陸地に対する海面の相対的な高さの変化のこと

（注3）地下水流動：岩盤中を移動する地下水の流れのこと

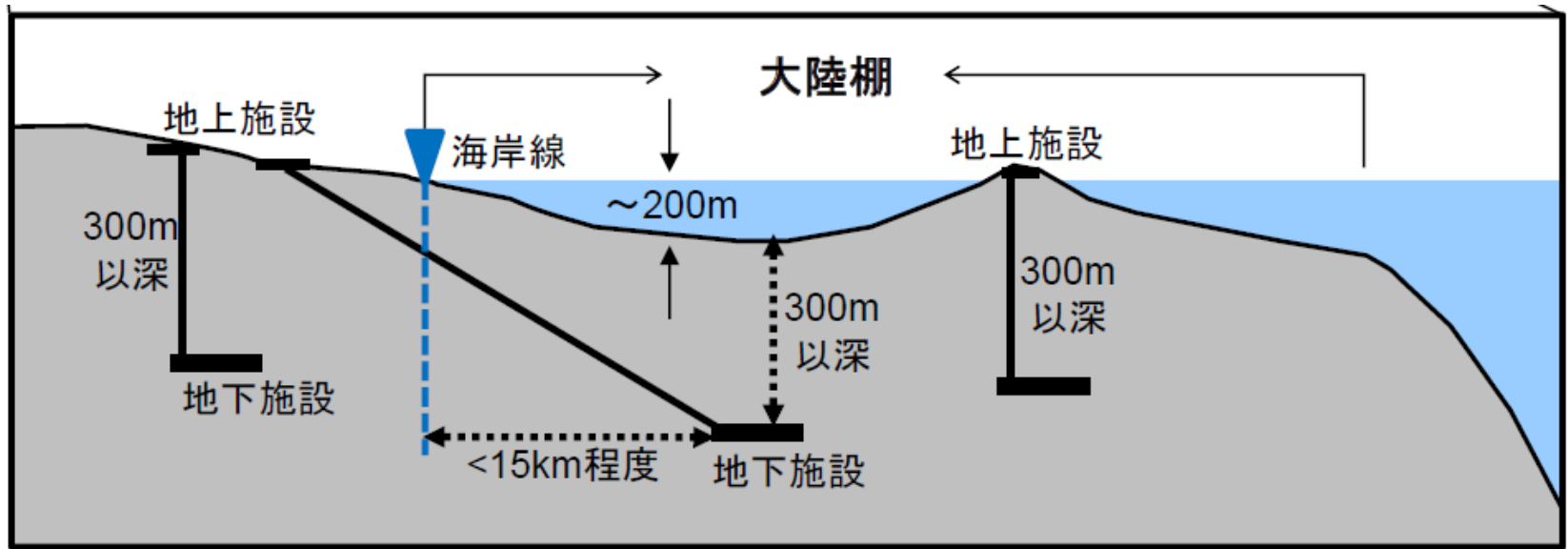
◆ 領海・排他的経済水域等模式図



海上保安庁：管轄海域情報—日本の領海—より

ロンドン条約：廃棄物の**海洋への投棄 (dumping)**・焼却を禁止

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 (2016/1/26, 3/22, 4/19)



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）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。

【主査】

大西有三 関西大学環境都市工学部都市システム工学科客員教授（京都大学名誉教授）

【委員】

大江俊昭 東海大学工学部原子力工学科教授
佐藤治夫 岡山大学大学院自然科学研究科准教授
竹内真司 日本大学文理学部地球科学科准教授
登坂博行 東京大学特任研究員
山崎晴雄 首都大学東京名誉教授
吉田英一 名古屋大学博物館教授

【関連研究機関等】

海洋研究開発機構（JAMSTEC）
原子力環境整備促進・資金管理センター（RWMC）
原子力発電環境整備機構（NUMO）
産業技術総合研究所（AIST）
電力中央研究所（CRIEPI）
日本原子力研究開発機構（JAEA）
量子科学技術研究開発機構（QST）
（旧放射線医学総合研究所（NIRS））
文部科学省

好ましい地域:沿岸部

海岸線から比較的近い範囲:大陸棚の分布

- 日本周辺の大陸棚(大陸や島嶼の周辺に分布する緩傾斜で平坦な海底地形)
(「日本の地形 1総説」(東大出版会, 2001)、8-2)
 - 幅:20-30km前後
 - 大陸棚外縁の平均深さ:140m
- 例えばP4で示された、「海岸線から比較的近い(10~15km程度以内)範囲」
は以下のイメージ。
 - 平均的には大陸棚の海底下。水深は数十m。
- この程度の水深の範囲は、海水準の低下(最大で約十万年後に150m程度)に
ともなって陸化する。

大陸棚外縁の分布 (「日本の地形 1総説」 (東大出版会, 2001) 図8.2.1)

白丸は平均水深(140m前後)より浅いところ、
黒丸は平均水深より深いところ。数字は大陸棚
面より深い平坦面の外縁水深

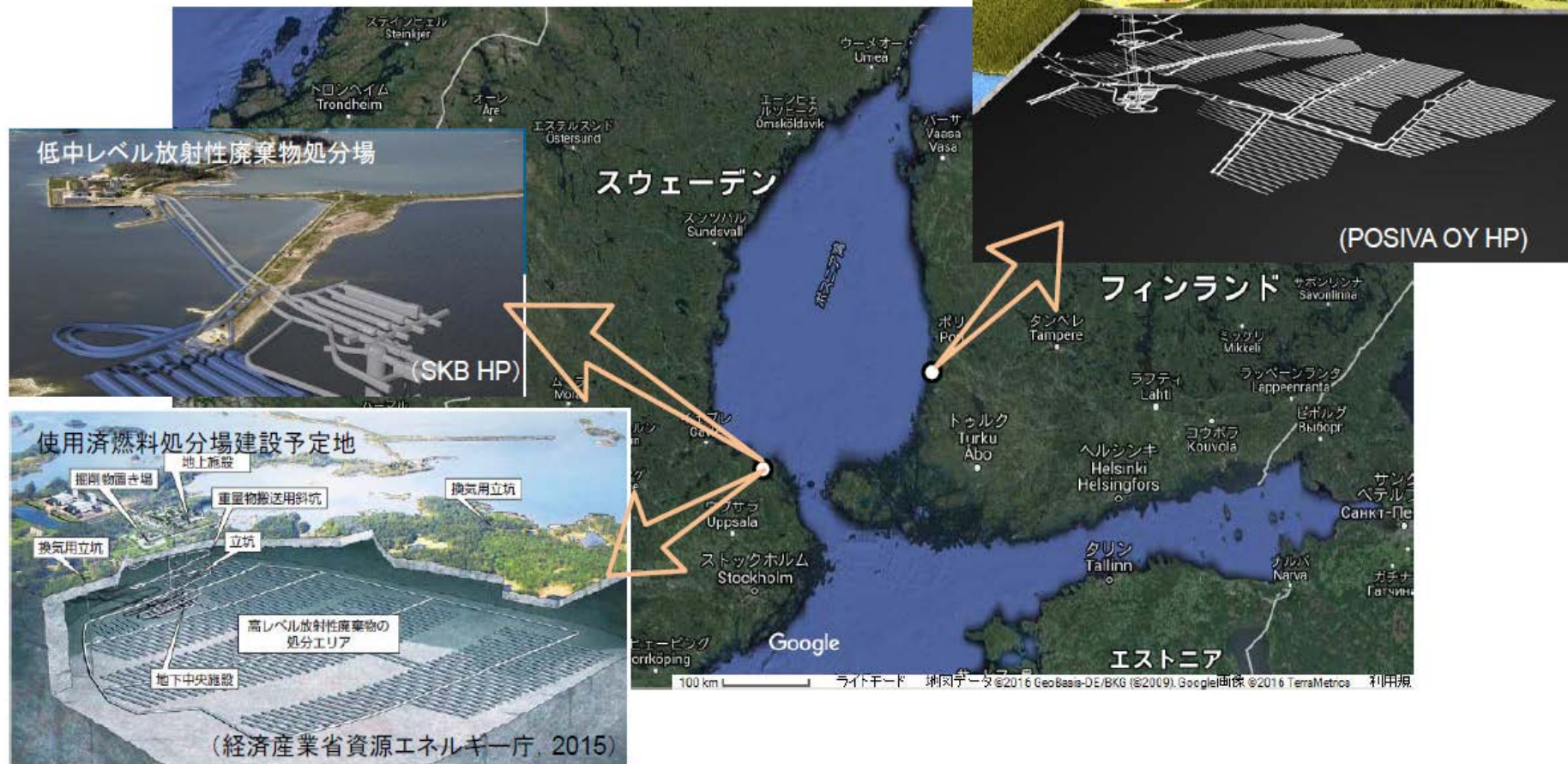
「日本の地形 1総説」(東大出版会, 2001) 8-2より

- 北九州から島根沖の日本海南縁部と北海道北部
周縁のオホーツク海側と日本海側に最も広い大陸
棚がみられる。
- 北海道渡島半島西岸、富山湾周辺、房総沖から
紀伊半島周辺の本州南岸の大陸棚はかなり狭い。



好ましい地域：沿岸部海域における地層処分等の海外事例

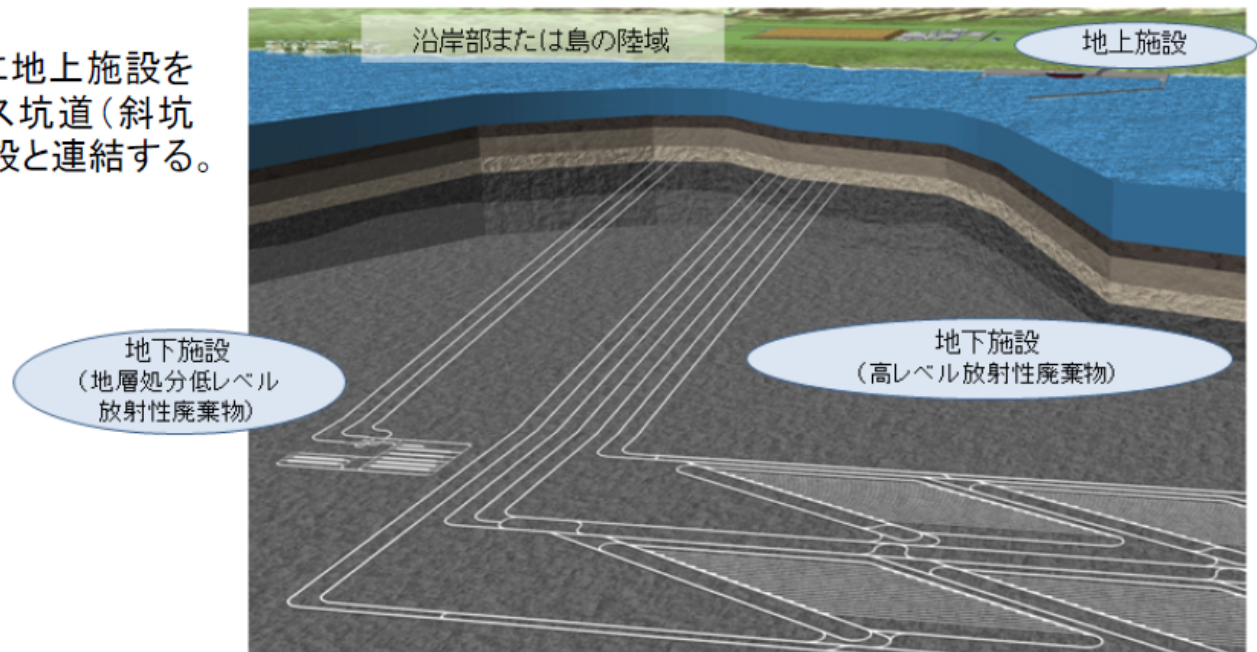
- フィンランドの使用済燃料処分場は、沿岸部に設置される計画（予定地：オルキルオト）である（2015.11建設許可）。
- スウェーデンの使用済燃料処分場は、沿岸部に設置される計画（建設予定地：フォルスマルク）である（立地・建設許可の安全審査中）。
- スウェーデンの低中レベル放射性廃棄物処分場は、沿岸海底下（水深約5m、海底下約50m）に設置されている（1988より操業中）。



好ましい地域：沿岸部海域における最終処分場設置のイメージ

過去の調査研究実績等を踏まえ、NUMOとして沿岸部に最終処分場を設置する場合についても、検討を行ってきたところ

- 沿岸部または島の陸域に地上施設を設置し、そこからアクセス坑道（斜坑あるいは立坑）で地下施設と連結する。



沿岸部・島嶼部における沿岸海底下に地下施設を設置する場合の例
公募関係資料：処分場の概要－放射性廃棄物の地層処分事業について 分冊1－，NUMO，2009

※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（10～15km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、追加的な工学的対応は特段必要ないと考えられる。

好ましい地域：沿岸部海域の地質環境特性及びその長期安定性

(動水勾配)

- 海面下では地下水面勾配がないことから、動水勾配が比較的小さいことが期待できる。
- 沿岸大陸棚下では、海水準が低下し海底が陸化した場合においても、地形勾配が緩やかなため動水勾配が大きく増加しない。

(塩水環境)

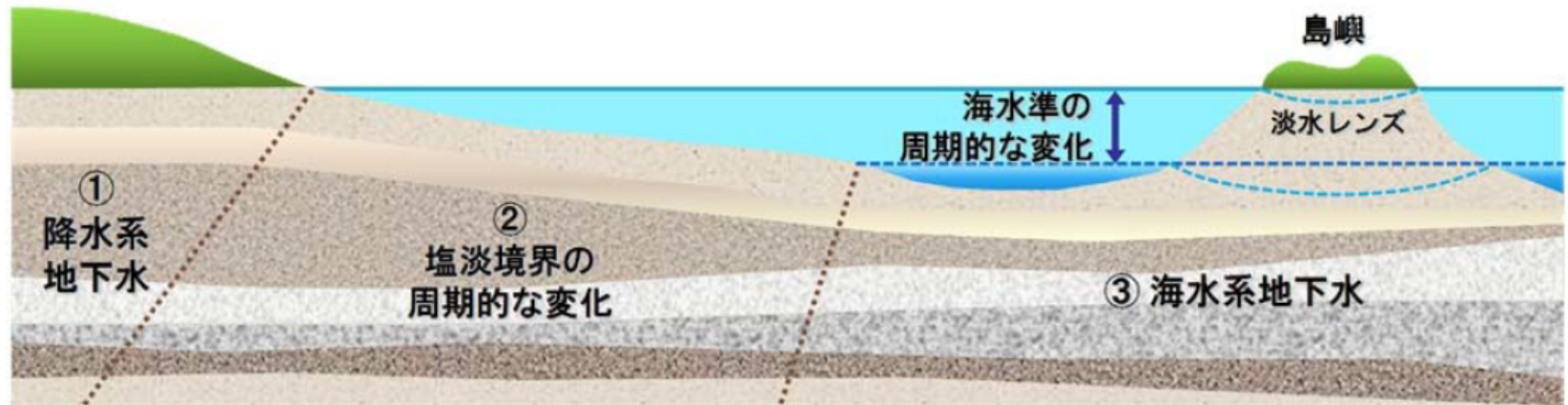
- 地下水の塩分濃度が高いところ(海水系地下水の分布域)がある。
- 十数万年周期の気候変動による海水準変動に伴い、塩淡水境界が移動し、①降水系地下水の分布領域、②塩淡水境界の周期的な変化領域、③海水系地下水の分布領域、の3つに大別される。

(隆起・侵食)

- 「隆起・侵食」については、沿岸部(島や海底下も含む)のなだらかな地形部分(平野など)では、隆起速度が小さい場所(沈降している場合もある)を見いだすことが期待できる。

(人間侵入)

- 海水があることにより、人間侵入を防ぐ機能が陸域より大きい。

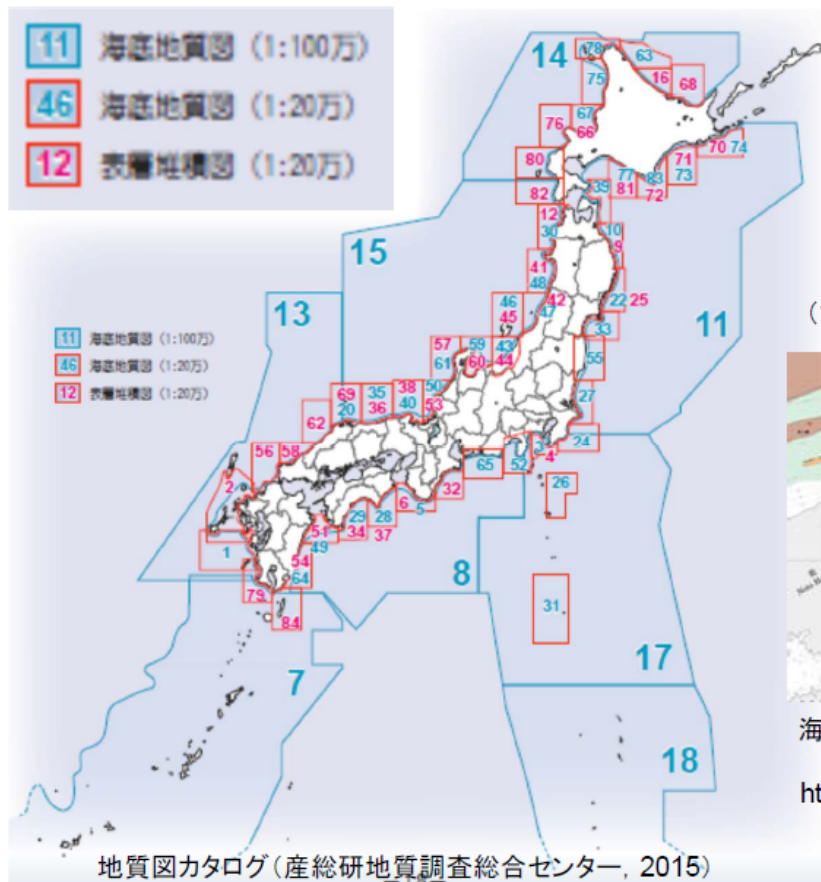


沿岸部における地質環境の特徴
(NUMO(2011)の図6.5.1-3の一部)

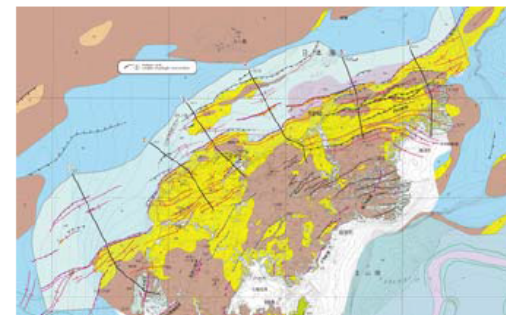
沿岸部：地形，地質，地質構造調査のための技術が整備されている 海域から陸域の地質データの例

- 海底地質図は100万分の1、20万分の1の縮尺の地質図が全国的に整備されている。
- 海岸線から近い範囲は陸域の地質からの連続性が想定される。

●海洋地質図一覧



●海陸の地質図を連続させた例



能登半島北部域20万分の1 海陸シームレス地質図

(<https://www.gsj.jp/researches/project/coastal-geology/results.html#results-01>)

●海底地質図の例

(能登半島東方海底地質図)



海洋地質図(産総研地質調査総合センター, 2015)
https://www.gsj.jp/Map/jpeg/marine/marine_59.jpg



沿岸域の地質・活断層情報のシームレス化
研究の対象地域

(<https://www.gsj.jp/researches/project/coastal-geology/results.html#results-01>)

科学的有望地の要件・基準に関する地層処分技術WGにおける中間整理について

- 地層処分開発のこれまでの経緯
- 地層処分技術WG* 中間といまとめ(2014.5: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)
- 地層処分技術WG* 中間整理(2015.12:科学的有望地の要件・基準に関する中間整理)
- **これからの議論の方向**

朽山 修

地層処分のサイト選定はなぜうまくいかないのか

「社会」を意識しない個人の立場から考えると：NIMBY

- 原子力発電による公共基盤の整備 ⇒ 生まれたときから整備されているので，社会に属していることによる当然の権利
- 廃棄物の発生（便益と分離して時間を経て問題化）（個人にとってはある日降ってわいたように目の前に現れる）
⇒ 便益（差益）を得たのは他者（サービス提供者（原子力）または大都市消費者）。百歩譲っても自分の与り知らぬところで発生したもの。
- 廃棄物になってから廃棄物是他者の責任だと押し付け合う
環境は自分の権利，廃棄物は他人の責任 → NIMBY問題
- 分業化社会の成熟 ⇒ 消費者の他者依存性の進行 ⇒ 他者（国やサービス提供者）を搾取階級と見なして責任追及と補償要求
- 好き嫌い**ヒューリスティックス**（affect heuristics）による国，サービス提供者（科学者）に対する**疑心暗鬼と偏見＝不信** ⇒ 協力の拒否



- サービス提供者とサービス受け手では見えているものが違う（限定合理性、情報の非対称性）
- 知らないことを補う自らの知識と経験による直感的（感情的・本能的）思考（論理の飛躍）
＝システム1（ヒューリスティックス）（⇔ 論理的（科学的）思考＝システム2）
- 人の認知におけるヒューリスティックバイアスの問題：人の心の本質的エラー（カーネマン）

システム1思考の弊害:利用可能性カスケード (利用可能性ヒューリスティックス:すぐ思いつくことは起こり易いと思う)

些細なことをメディアが報道することから始まり、一般市民のパニックや大規模な政府介入に発展する

些細なことをメディアが報道

メディアはシステム 1

リスクに関する報道が特定グループの注目をひき、このグループが不安に陥って騒ぎ立てる（そんなことが起これば大変なことになる）

感情的な反応それ自体がニュースの材料となり、新たな報道を促す

新たな懸念を煽る

利用可能性の威力を心得ていて、**不安を煽るニュースを流し続けようと画策する個人や組織が出現**する

高まる一方の恐怖心や嫌悪感を和らげようとする科学者や評論家は注目されず、敵視され悪質な危険隠しとみなされかねない（「空気」の形成）

政治家の反応は市民感情の強さに左右されるようになり、政治的重要性を帯び、政策を左右する

伝言ゲームで伝わらないこと（不確実性と思い込みバイアス）が **疑心暗鬼** を生む

C. R. Sunstein: ラブ・カナル事件（化学有害廃棄物処分施設への人間侵入）は利用可能性カスケードによる健康被害の過大視

ステークホルダー間の信頼関係の構築

(最初は地層処分について知らないので信頼関係はない)

- 科学技術の内容、推進しようとしている人々の意図がわからない。
- 「上からの説明」に対しては、信頼して受け入れるために、まず疑うことから出発せざるを得ない。
- 地層処分に関する知識や経験がないので、懸念は、誤解やバイアス、感情を含む形で表明される **(善し悪しではなく必然)**
- 地層処分のコミュニケーションの入り口はシステム1にならざるを得ない。



両者に確証バイアス（予測の過信）や感情ヒューリスティック（感情、感覚で判断した後で理由づけ）が働くため、二項対立に陥りやすい
→ 社会が間違った情報（誤解）のもとに意思決定に失敗する。

カーネマン「ファスト・アンド・スロー」: 合理的であれ、不合理であれ、不安は苦痛をもたらす活力を失わせる。政策立案者は、市民を現実の危険から守るだけでなく、不安からも守るべき努力しなければならない。

リチャード・セイラー, キャス・サンスティーン「実践行動経済学」: リバタリアン・パターンリズム（市民がよりよい選択をするようにフレーミングする）

対話とステークホルダー参加に関する議論

2012 OECD/NEA 集約意見：放射性廃棄物の地層処分：国を挙げたの関与と地元及び地域の参加*

DAD model から EIC model へ

- DAD (“decide, announce and defend (決定、発表そして防衛)”)モデル：焦点は技術的内容
- EIC (“engage, interact and co-operate (関与、相互交流そして協働)”)モデル：技術的内容とプロセスの品質が同等の重要性を持つ



- この流れにおいて、廃棄物管理の技術面は、もはや、重要性をもつ唯一のものではない。**組織の、学習し、コミュニケーションし、適合させる能力**が今や最前線に位置している。
- この対話における関係者として、地元および地域の政治的プレーヤーと市民社会は、適切な場面で、サイトの選定や地層処分施設の実施を含む、放射性廃棄物管理に関する意思決定において能動的役割を果たす。

社会の問題を社会が解決する（技術はその一要素）

* Geological Disposal of Radioactive Waste **National Commitment, Local and Regional Involvement**, A Collective Statement of RWMC, OECD/NEA (2012).

対話とステークホルダー参加に関する議論

2012 OECD/NEA 集約意見：放射性廃棄物の地層処分：国を挙げたの関与と地元及び地域の参加

Social learning: 社会的学習

- 個人あるいは個人から成るコミュニティにとって、安全の重要な構成要素は、**コントロール度と、手元の問題の慣れ親しみの程度**である。この意味をさらに考えると、コントロールの概念は、知識を持っていること、情報を得ることができること、介入できること、責任を負っていること、に関連していることが分かる。
- **慣れ親しみの程度 (familiarity)** もまた（この語は“family(家族)”からきていて、知識を有していることという考えに関連しているが、さらに、予測可能性、継続性に関連していて、現在と将来を結んでいる。規制者と実施者は、放射性廃棄物管理についての安全に関する事柄に対してコントロール感と慣れ親しみ感を持っていて、彼らの役割は、（研究と評価を通じて）これらの側面を社会のために発展させることにある。その他のステークホルダーは、コントロール感と慣れ親しみ感を、彼ら自身のやり方で、獲得する必要がある。

対話とステークホルダー参加に関する議論

2012 OECD/NEA 集約意見：放射性廃棄物の地層処分：国を挙げたの関与と地元及び地域の参加

放射性廃棄物管理施設の受け入れについて、熟考し、計画し、準備しているプロセスでは、施設は受け入れ地域またはコミュニティとそのアイデンティティの重大な意味のある部分となる。したがって、適切な目標というのは、その設計と実施が、ある時点で受け入れられるということにとどまらず、何か付加価値を生み出す、地域の生活全般の永続性のある部分となり、コミュニティが“own（自分のものとして所有）”して誇りとするようなものになるということである。

- 地層処分の専門家は地層処分の実現が社会の役に立つと信じて自分の仕事に誇りを持っている。
- 仕事に誇りを持つ：仕事を通じて社会に貢献し、自分もそれによる見返りを受けて幸福になる。

国民・地域との丁寧な対話の進め方

○まずは国民や地域の方々と丁寧な対話を積み重ね、関心を持っていただくことに注力。
その中から、地域の方々が主体的に学習活動を始めていただくことを期待。

国民的な議論と地域の関心・理解の深まり

