

Seeps企画セッション（20180908）
高レベル放射性廃棄物（HLW）の最終処分をめぐる
社会的受容性と可逆性
第4報告

「日本の地層処分研究と社会的受容性」

平成30年9月8日（土）

竹内 真司（日本大学 文理学部）
師岡 慎一（早稲田大学 理工学術院）
勝田 正文（早稲田大学 理工学術院）

於 上智大学四谷キャンパス 415 教室

内容

- 地層処分の概念と技術的成果
- 地層処分の技術的受容性を妨げる要因
- 地層処分の代替案（長期管理・回収可能性）
- 今後の課題（放射性廃棄物処分の受容のために）

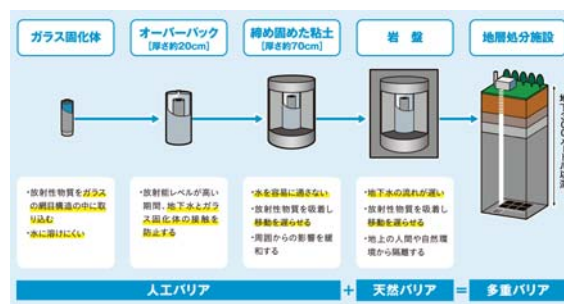
背景

- 1992／1999：地層処分研究の成果の取りまとめ（動燃事業団／サイクル機構）
- 2000：実施主体（NUMO）設立
- 2017：科学的特性マップ公表

- ◆多様かつ専門的な内容＋処分場の受容性
→トランスサイエンス

- ✓地層処分の技術的受容性を阻害する要因は？
- ✓解決策は？

地層処分の概念 ～多重バリアシステム～

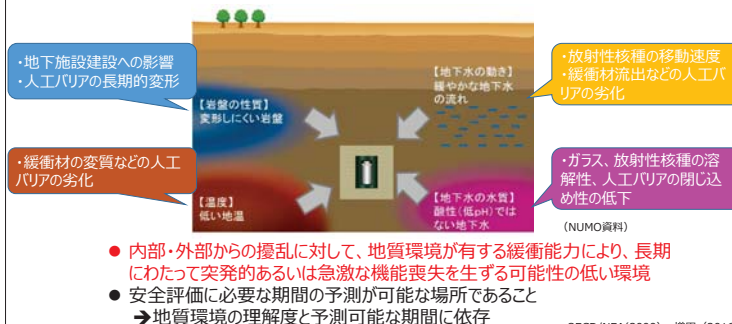


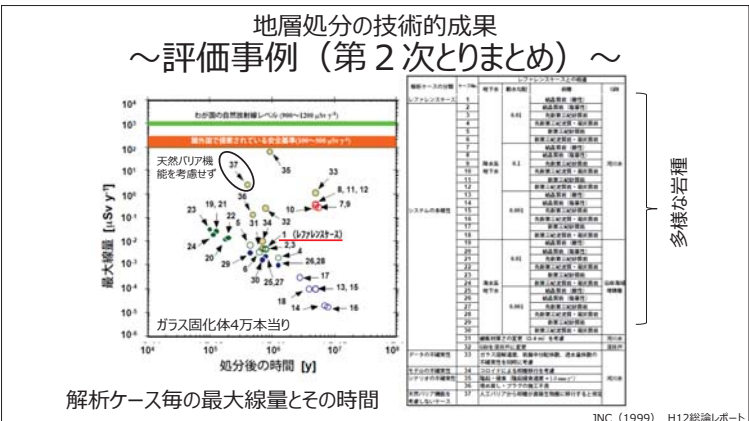
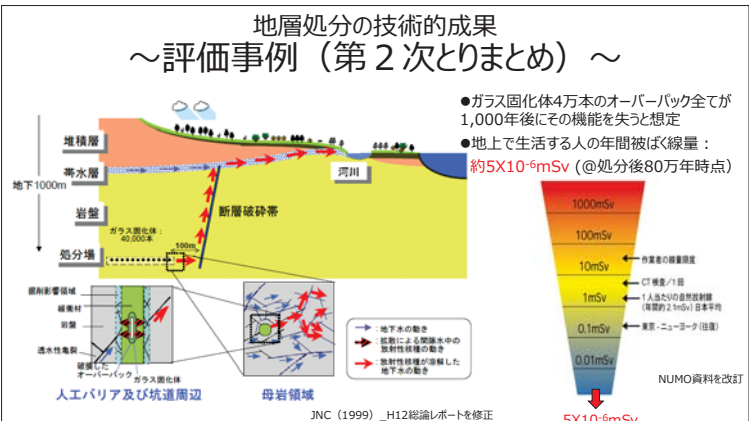
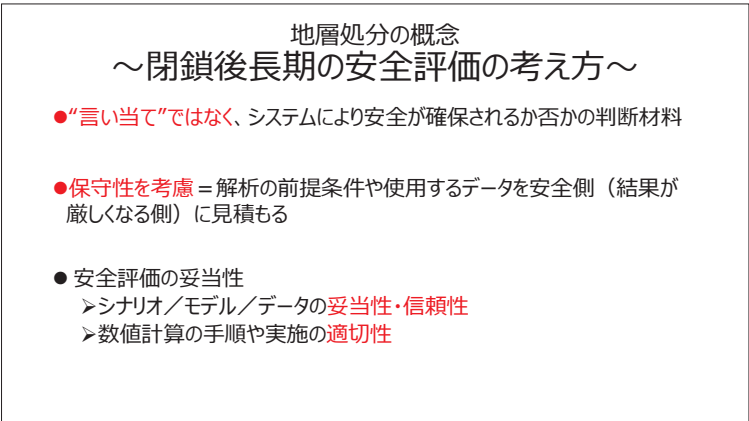
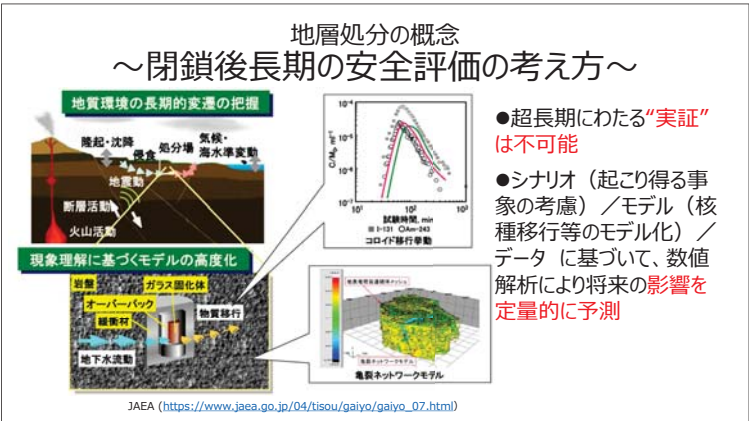
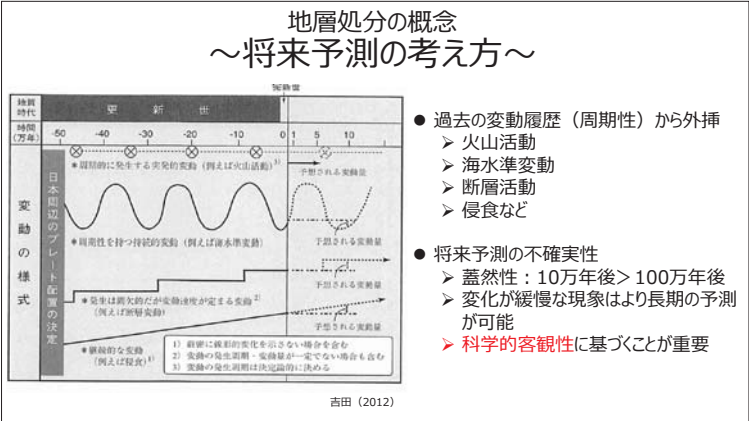
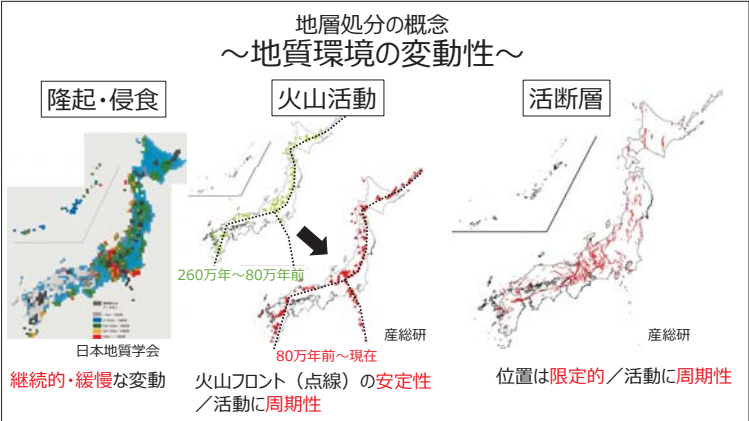
資源エネルギー庁 (http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/rw/hlw/hlw01.html#h04)

地層処分の概念 ～地層処分の経緯～

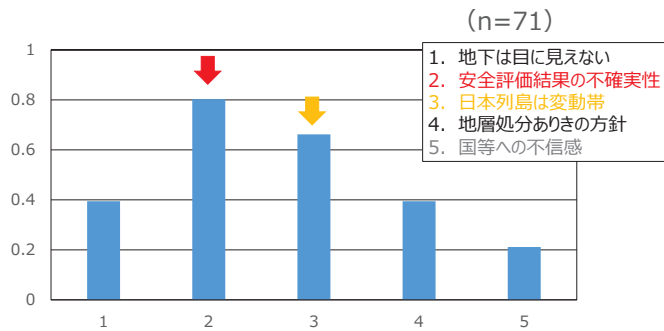
- 全米科学アカデミー（1957）：岩塩層中への処分の有効性
- OECD/NEA（1977）：複数オプションのうち、地層処分を推奨。地上での貯蔵の有効活用も。
- 全米科学アカデミー（1983）：放射性核種は廃棄物周辺で崩壊、漏出した核種の地下水による希釈。岩種による適否判断は適当でない。
- 原子力委員会（1976）：当面地層処分研究を推進
- 動燃事業団（1984）：可能性のある地層の調査（中間報告）

地層処分の概念 ～安定な地質環境～





地層処分の技術的受容性を妨げる要因



地層処分の技術的受容性を妨げる要因

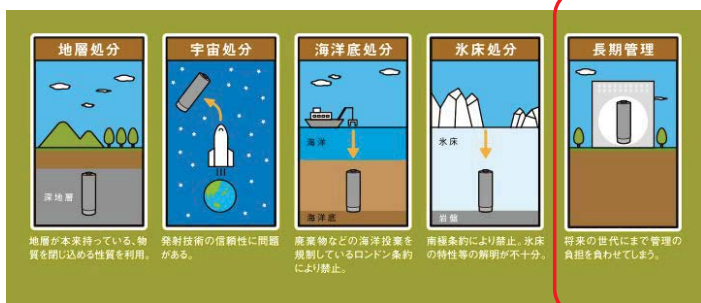
2. 安全評価結果の不確実性

➢安全評価は将来を**言い当てるもの**！？

3. 日本列島は変動帯

➢日本列島の**広い範囲で安定（動かない）**でなければならぬ！？

地層処分の代替案

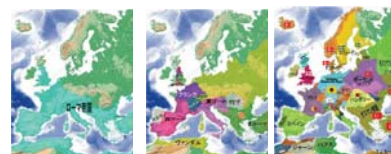


資源エネルギー庁 (<https://chisoushobun.jp/>)

長期管理（地上管理）

●社会構造が遠い将来まで変わらない、あるいは、技術は進展し続けるという想定を置かず、制度的管理に依存しない対策（受動的な安全確保）を目指すべき（OECD/NEA,1982）

➢戦争、侵略、テロなど



<http://www.geocities.jp/euroapi/>



防衛省資料

(http://www.mod.go.jp/j/approach/kokusai_heiwa/hokuyushien/pdf/tataki_katsudou.pdf)

地層処分の代替案の検討 ～フランスの例～

1991年 放射性廃棄物管理研究法

- 分離変換
- 長期貯蔵
- 地層処分



- 上記方策に対する研究の実施
- 15年を超えない期間内で研究成果を取りまとめ

地層処分の代替案の検討 ～フランスの例～

2006 年放射性廃棄物等管理計画法

- 分離変換
 - 高度分離と変換によりさらに進める
 - 放射能の毒性をゼロにすることはできない（廃棄物は残る）
- 長期貯蔵
 - 廃棄物の管理に柔軟性を与えるもの
 - 永続的な管理方法ではない
- 地層処分
 - 可逆性を確保（100年＜）
 - 最終的な管理方策

回収可能性（フランスの例）

- 廃棄体は埋め戻さずに定置
- 回収は定置時と逆動線（Andra, 2016）



- ✓技術の進展、将来世代に選択の自由度
- ✓長期開放による廃棄体などの化学的変質
- ✓施設の維持管理
- ✓作業員の被曝リスクの評価（閉鎖前の安全性評価）
- ✓モニタリング項目とその方法

今後の課題 放射性廃棄物処分の受容のために

- 自由闊達なコミュニケーション：フラットかつ冷静な議論
- 公文書館の設置：全ての関連資料の閲覧（松本、2012）
- Point of departure: 地層処分 → 放射性廃棄物
- 代替オプションの検討
 - 長期管理
 - 直接処分
 - 回収可能性（再取り出し）
 - 深孔処分
 - 減容・有害度低減技術（分離・変換技術）
- 技術継承・人材育成：2つの地下研（瑞浪・幌延）の積極的活用

参考資料

高レベル放射性廃棄物の放射エネルギーの減衰

高レベル放射性廃棄物の放射能は、非常に高い
時間とともに放射エネルギーは低下し、数万年後にウラン鉱石と同レベルに



エネ庁 (http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/rw/hlw/ga/syo/syo03.html)

地層処分の概念 ～地層処分の選択（世界の動向）～

- 全米科学アカデミー（1957）：岩塩層中への処分の有効性
- OECD/NEA（1977）：複数オプションのうち、地層処分を推奨。地上での貯蔵の有効活用も
- OECD/NEA（1982）：将来世代への負担の軽減。回収は可能。
- 全米科学アカデミー（1983）：放射性核種は廃棄物周辺で崩壊、漏出した核種の地下水による希釈

地層処分の概念 ～地層処分の選択（日本の動向）～

- 原子力委員会（1976）：当面地層処分研究を推進（ロンドン条約発効（1975）による）
- 原子力委員会（1980）：研究開発5段階
 1. 可能性のある地層の調査 → 中間報告（1984）
 2. 有効な地層の調査
 3. 模擬固化体現地試験
 4. 実固化体現地試験
 5. 試験的処分
- 動力炉・核燃料開発事業団（1984）：中間報告
 - 有効な地層は広く考え得る（特定の岩種によらない）
 - 人工バリアシステムによる安全確保の見通し
 - 客観的判断基準の欠如、現地調査の合意形成難航 → 次段階以降、中止

(注)下表における安全規制制度の欄

[illegible]

(注)下表における安全規制制度の欄

国	可逆性・回収可能性の維持等を要求する規定の有無		地権者の意向を尊重する制度（製造・撤去）の有無		制度整備状況に関する概要
	事業計画段階	保全規制制度	維持	更新	
英国	×	×	○	○	●法規制制度（サイト選定に係る2014年の政府白書や安全規制に係る2009年のガイダンス）では、廃棄物段層における回収を行うことができる。回収可能性の維持は要求していない。 ●サイト選定段階（詳細）：可逆性/維持における地域の協議を、サイト選定手続きを規定する政府白書（2014年）に記述している。
カナダ	△	×	○	△	●法規制文書としては、可逆性・回収可能性に関する規定はない。 ●例として、2005年に実施主体（NWMO）が政府に提出した、「回収可能性を維持した上で適応性のある段階的管理」は、2007年の総督決定により、カナダの長期管理アプローチとなっている。その後2010年よりサイト選定を開始。 ●NWMOの2010年に策定したサイト選定計画（段階からなる4フェーズ）において、地下床面建設の段階（掘削に係る回収可能な土の掘削、廃棄物の掘削）と、地中汚染の掘削（地中汚染のある段階的管理、サイト内の掘削や地中汚染を総括して最大240年の期間、回収のためのアクセスを維持する概念）との両概念として示されている。
米国	○	×	×	×	●ユタ州ワシントン郡の選定に至るサイト選定の中等段階（1982年NWPA）における安全規制制度（1981年RC規制）の双方で、廃棄物場における回収可能性の維持を要求。 ●安全規制が要求する回収可能性の維持については、その目的と類型が特定されている（安全性の観点から、RC管理段階における最上層汚染物質の回収可能性を要因）。 ●サイト選定段階（大規模な処分されたサイトの可能性を評価前に提出する段階）に、サイト立地の地権者が不同意の場合を通知する機会にできる。ただし、連絡済みの上での決断による土地承認決議により承認を要することが可能。

第四紀火山
デューガル

~0 m/10万年
0~30 m/10万年
30~60 m/10万年
60~90 m/10万年
90m+/10万年

(凡例は換算した隆起速度)

0 100 200 km

- NUMO資料
日本列島と地質環境の長期安定性（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）付図5

約260万年前～約80万年前に活動した火山

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

約80万年前～現在に活動した火山

火山フロント（海溝側の火山列）の位置は**長期間（200万年程度）安定**

NUMO資料（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）

NUMO資料

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

- 過去数
返し発生
- 活動に
- 断層活
の100%

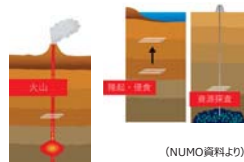
- 隔離
 - 人間の生活環境、自然環境の影響を受けにくい
- 閉じ込め
 - 酸素が少ない／無い（化学反応の進行抑制）
 - 流速が遅い（物質移行の抑制）



地層処分概念 ～安定な地質環境を乱す要因～

●隔離性

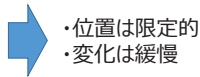
- 隆起・侵食（緩慢な深度減少プロセス）
- 火山噴火（放射性核種の噴出）
- 人間の掘削行為（鉱物資源探査等）



(NUMO資料より)

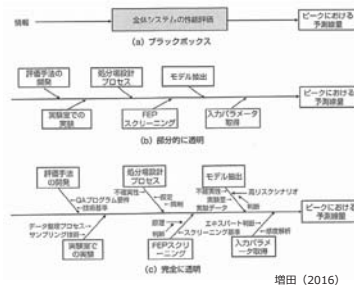
●閉じ込め性

- 断層による地下水・核種移行経路の短絡
- 熱水・深部流体の流入
- 海水準変動による酸化性地下水の流入



- ・位置は限定的
- ・変化は緩慢

地層処分概念 ～透明性の確保～



- 安全評価の妥当性は、シナリオ／モデル／データの信頼性に依存
 - シナリオの十分性、モデル・コードの妥当性
 - 数値計算の手順や実行の適切性などの検討結果を提示

●透明性の確保

- 第三者に理解される程度
 - (a) 中身はブラックボックス
 - (b) 何をやったかは分かる
 - (c) プロセスも含めて分かる

(a) << (c)

セーフティーケース（Safety Case）

- 安全評価結果だけでなく、安全性の確保に関する様々な論拠や証拠を統合し、地層処分システムの安全性を説明（IAEA, 2012）
- 最大限の努力を払って証拠を集め、議論を尽くして処分システムの安全性を説明
- 地層処分計画を進める中で技術の進歩や地質環境に関する知見の蓄積を反映しながら繰り返し作成、恒常的に信頼性を向上

まとめ

- 地層処分は隔離（地下深部）と閉じ込め（多重バリアシステムによる）が基本
- 人工バリア近傍（ニアフィールド）に初期の高い放射能が継続する期間、放射性核種を閉じ込め、その後は天然バリア（地質環境）で移行を抑制
- 地層処分にとって好ましい地質環境（安定した地質環境）とは、地質環境が有する緩衝能力により、擾乱に対して長期にわたって突発的・急激な機能喪失を生ずる可能性の低い、廃棄体周辺の地質環境を指す（岩種に依らない）（→日本列島全体におよぶ広域の安定性は求められない）
- 閉鎖後長期の安全評価は、保守性を考慮した数値解析により予測し、安全が確保されるか否かを判断する材料を提供するもの（→そこに評価に至るプロセスの透明性・信頼性が重要）
- 地質環境の安定性に関する将来予測は過去の変動の規則性から外挿可能（科学的客観性が重要）

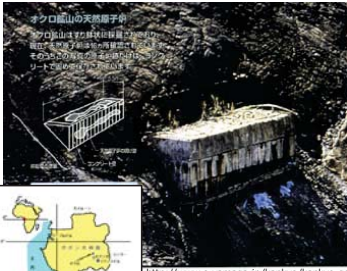
課題

- 安全から安心のための議論
 - ステークホルダーを巻き込んだ透明性の高い合意形成の場
 - 分かりやすい説明
 - 科学的客観性の確保
- 技術継承
 - 100年規模の事業（調査・解析・評価技術などの継承）
- 地下研（瑞浪・幌延）の活用

地質環境による長期保存の例

オクロの天然原子炉
 シガーレイクウラン鉱床
 東濃ウラン鉱床
 化石
 鉄斧

オクロの天然原子炉

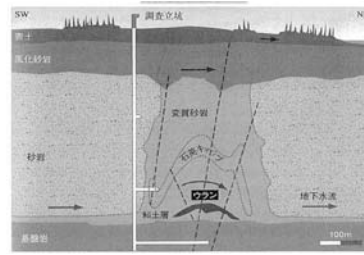


- オクロ（ガボン共和国）の天然原子炉
- 約20億年前のウラン鉱床でのウラン235の自発核分裂の跡

<http://www.s-yamaga.jp/kankyo/kankyo-genpatsu-2.htm>

<http://www.rist.or.jp/atomica/data/pict/04/04020110/05.gif>

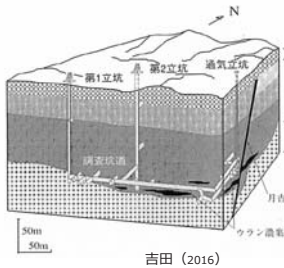
シガーレイクウラン鉱床（カナダ）



- 粘土層内に約13億年間

粘土に囲まれたウラン鉱床

東濃ウラン鉱床（岐阜県）



- 花崗岩中のウランが堆積岩中の黒雲母等に吸着
- 断層によって変位するも、ウランの移動はほとんどない

吉田 (2016)

断層に切られたウラン鉱床

化石



三葉虫
(カンブリア紀：約5億年前)



アンモナイト
(ヘルム紀（約2.5億年前）～白亜紀（約6500万年）)



ツノガイ
(約2000万年前)

Yoshida et al.(2015)

40

鉄斧

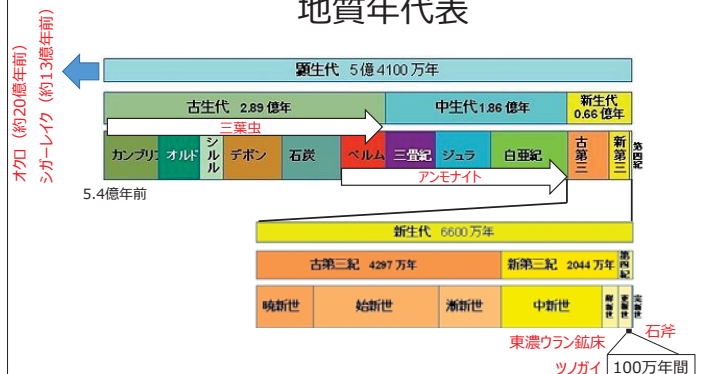


(NUMO資料より)

出雲大社境内遺跡から出土した鉄斧
(730～750年前)

41

地質年代表

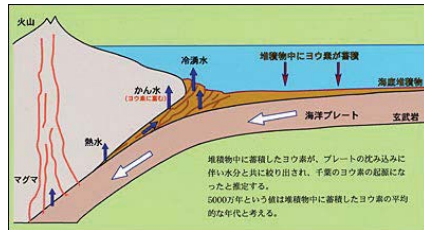


ヨウ素の保持の事例



<https://www.gas-youso.com/qa.html>

ヨウ素貯留の例



http://www.nirs.qst.go.jp/publication/nirs_news/200112/hik1p.htm

世界のMOX利用の現状

[illegible]

● 康平町 三島山 三島山