

地層処分

(1)制度から見た課題

2022年5月29日神恵内村
伴 英幸
原子力資料情報室共同代表

今の制度を見直し 応募・申し入れには 知事の同意も必要とする

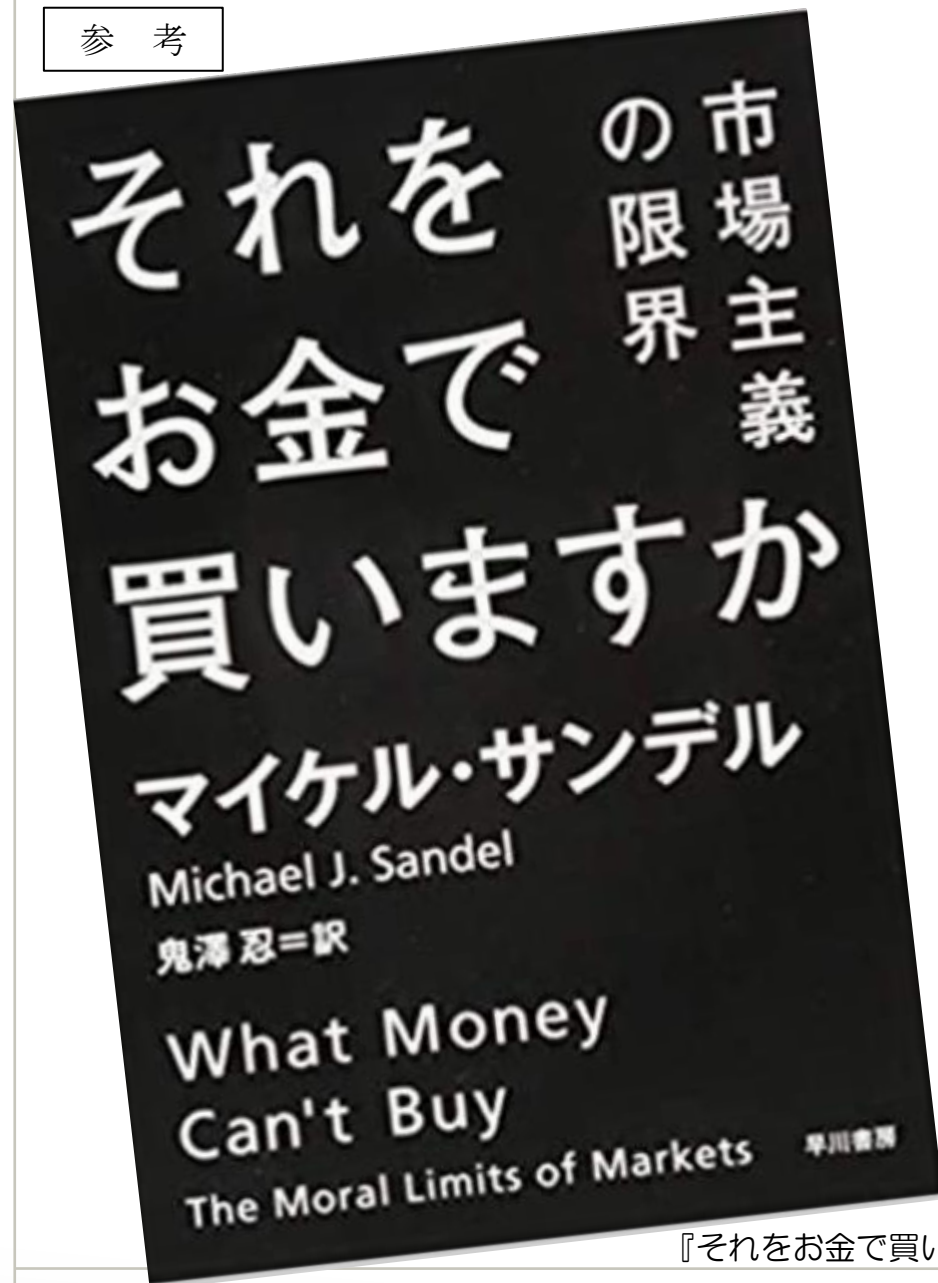
「概要調査地区等の選定に係る関係住民の理解と協力を得ること、及びその前提として国民の理解と協力を得ることが極めて重要」（基本方針-2015年）

概要調査段階で処分候補地選定から降りることが分かっているのに、文献調査を実施するのは、地域の混乱を招く。

文献調査段階では 交付金を支給しない

交付金めあてに応募や誘致が行なわれると、
かえって地域が混乱する可能性がある。

地域経済は交付金に依存するようになり、
地域の経済構造が大きく変化する。むしろ、
地場産業は衰退する恐れがある。



世界には こんな地域もある

スイスのヴォルフェンシーセン村（2100人）、放射性廃棄物の処分場をめぐる住民投票の直前に村民調査を実施（1993年）。連邦政府が建設を決定したら受け入れるか否かで、51%が受け入れ。続いて、決定と同時に毎年補償金を支払うことを申し出たら賛成かに対し、処分場受け入れの賛成は25%に減少した。補償金を年間8700ドルに増額しても、賛成は増えなかった。

『それをお金で買いますか』 マイケル・サンデル、鬼澤忍訳、早川書房

使用済核燃料も 高レベル放射性廃棄物 種類と総量を確定する

ガラス固化体とTRU廃棄物だけが処分対象はおかしい。近い将来には、使用済核燃料や使用済プルサーマル燃料も、さらには福島第一の廃棄物なども処分対象となるはず。これらの総量を確定して、それらの処分方法や安全評価を研究・実施するのが先決。数キロの深さに処分する選択肢もある。

特にコスト高の点から全量再処理政策は見直しが必至。

再処理の超高いコスト

40年間費用（割引率0%）	計画通り	事故費用加算
再処理建設・操業（兆円）	◎ 13.94	23.94
MOX建設・操業（兆円）	◎ 2.34	2.34
MOX加工総量（トン）	4,700	2,300
燃料1トンの製造費（億円）	34.6	114.3
燃料1トンあたりの発電量	3.9億kWh/t	
MOX燃料費単価（円/kWh）	8.9	29.3

使用済燃料再処理機構の資料（◎）を基に計算

このページには

北海道新聞 2022年5月26日朝刊

「核燃料再処理工場完成26回目延期へ」という見出しの記事
が引用されています。

貯蔵を継続して 議論と研究を進める

それぞれの処分方法と安全評価には時間が必要。

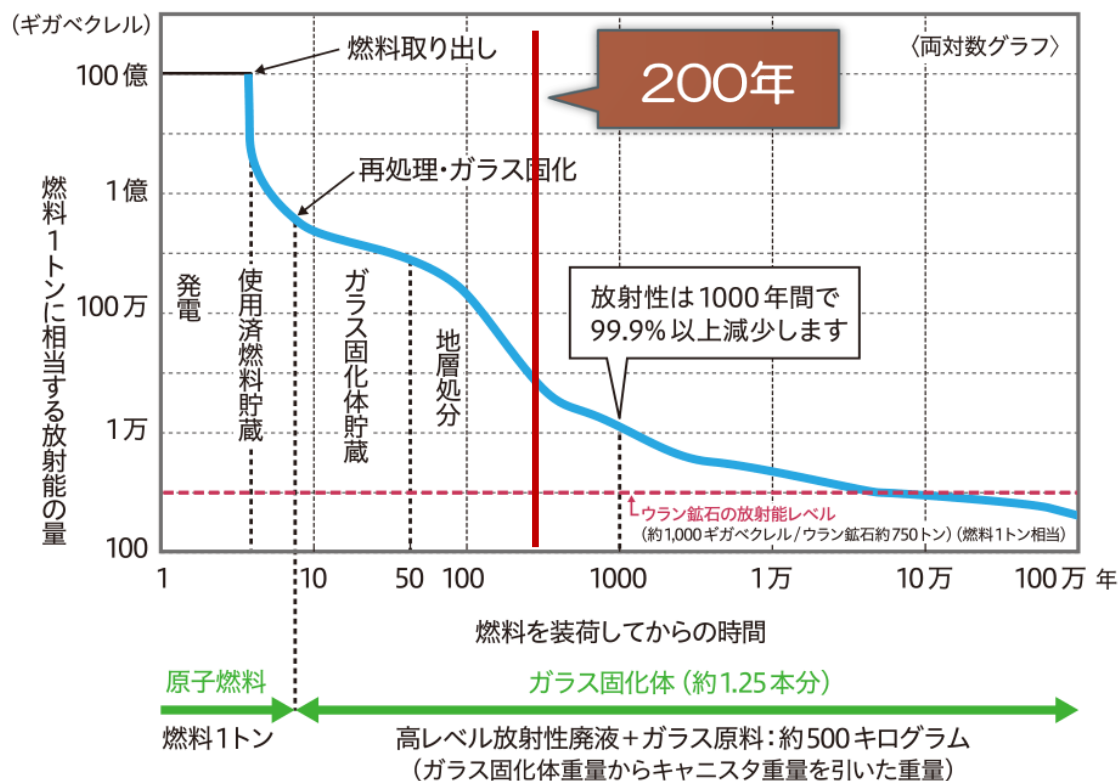
その間、貯蔵を継続する。

貯蔵継続にはメリットもある。

ガラス固化体など処分場の面積を小さくできる。

長期貯蔵にメリットあり

ガラス固化体の放射能の経時変化



それぞれの総量と対応の選択肢を示して議論を進める

地層処分の是非ではなく、それぞれの選択肢の得失をテーブルに乗せて、どの選択肢が合理的かの議論をすすめる。

決定するのは市民であるので、市民参加が不可欠。

いずれ環境に漏れ出ることを考えると、総量は少なければ少ないほどいい。

以前の決定をくつがえせる 仕組みを作る

最終処分基本方針では「最終処分に関する政策や最終処分事業の可逆性を担保する」としている。しかし、その仕組みが作られておらず、担保されていない。

(2) 安全性や処分技術の課題

地下深部は掘ってみないと
わからない…その通り
だが、ここはダメという
基準がない。

科学的特性マップに示された基準以外になく、
「一つぐらい基準を超えても総合的に判断して
設計する」（放射性廃棄物技術WGでNUMO）。
設計が良かったか悪かったかは、安全評価で判
断される。

引き返す基準作りが必要。

稀頻度事象が起きた場合

**あり得ることは起こる。
あり得ないと思うことも起こる。**
畑村洋太郎所感：東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会最終報告書

断層直撃ケース 4～14ミリシーベルト/年

地下水の水の流れや岩の亀裂などなど平均値や中央値を採用している。

地下環境の微生物やその挙動についてはよくは分かっていない。
さらに被ばくが増えるかも知れない。

被ばく線量 mSv/y	TRU 等廃棄物処分場閉鎖後のシナリオ発生時期		
	1,000 年	1 万年	10 万年
深成岩類	4 (I-129)	4 (I-129)	4 (I-129)
	4 (I-129)	4 (I-129)	4 (I-129)
新第三紀 堆積岩類	14 (I-129)	14 (I-129)	14 (I-129)
	14 (I-129)	14 (I-129)	14 (I-129)
先新第三紀 堆積岩類	4 (I-129)	4 (I-129)	4 (I-129)
	4 (I-129)	4 (I-129)	4 (I-129)

被ばく限度は原子力利用と健康影響の釣り合い

「放射線被ばくに安全な量はない（閾値なし）」

「社会的、経済的要因を考慮に入れながら、合理的に達成可能な限り低く抑える」（国際放射線防護委員会）

原子力利用からのメリット（電力）と健康影響の釣り合いで被ばく限度が決まっている（年間1ミリシーベルト）

事故が深刻であればあるほど、被ばく線量が緩和される（例：福島原発事故）

原子力の時代が終わった後の世代（メリットなし）に、現在の甘い被ばく限度を適用して良いのか？ 倫理的に許されない。

従来とは異なるアプローチ -適正のさらに高い地域の絞り込み-

例えば、火山フロントの東側から、例えば、稀頻度事象で得られた結果から新第三紀は除外するとか、

従来のアプローチを変更することもあると考えてはどうか。

◎物性区分と要件・基準
人 間 関 係 学

-
- Figure 1 is a flowchart titled '三方联动机制' (Three-Party Joint Participation Mechanism). It shows the process of joint participation in the construction of the mechanism. The process starts with '政府' (Government) and '企业' (Enterprise) leading to '三方联动机制' (Three-Party Joint Participation Mechanism). This mechanism then leads to '三方联动机制' (Three-Party Joint Participation Mechanism) and '三方联动机制' (Three-Party Joint Participation Mechanism). The final output is '三方联动机制' (Three-Party Joint Participation Mechanism).

三、影响-品牌

[illegible]

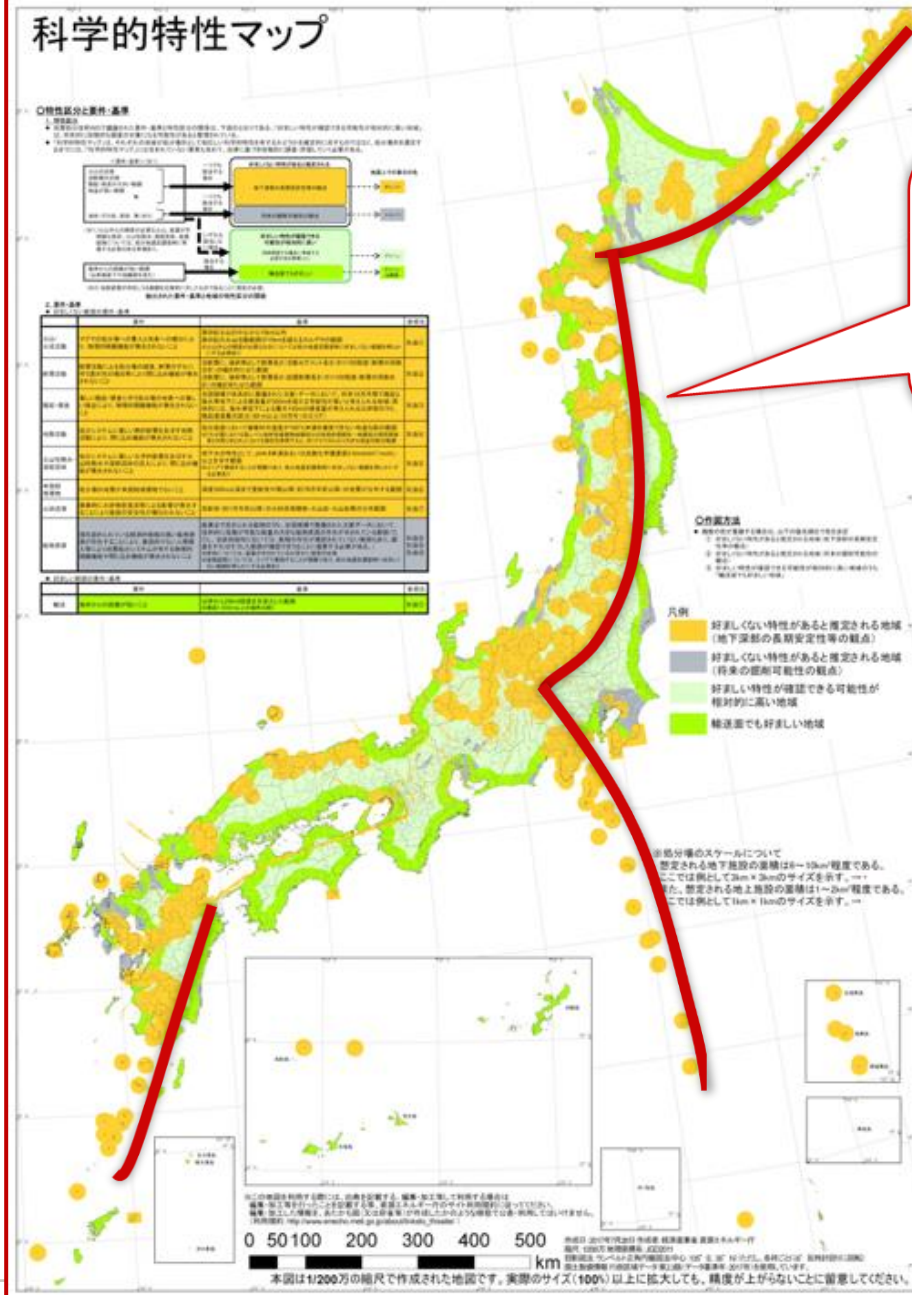
◎ 作圖方法

- [illegible]

凡例

- 好ましくない特性があると推定される地域
(地下深部の長期安定性等の観点)
- 好ましくない特性があると推定される地域
(将来の震害可能性の観点)
- 好ましい特性が確認できる可能性が
相対的に高い地域
- 輸送面でも好ましい地域

※ 地下埋設のケーブルについて
 想定される地下埋設の深さは6~10cm程度である。
 ※ ここでは例として30cm×30cmのサイズを示す。→
 ※ 想定される地上埋設の深さは1~2cm程度である。
 ※ ここでは例として10cm×10cmのサイズを示す。→



走りながら考えるより
立ち止まって考えよう

先へ進むほど、戻れなくなる

高レベル放射性廃棄物の 地層処分に関する技術と課題

吉田 英一

名古屋大学博物館・大学院環境学研究科

dora@num.nagoya-u.ac.jp

< 専門 >

◆環境地質学・応用地質学

◆地層・岩石の風化や変質、続成過程（岩石化）に伴う元素移動など、水（地下水）と岩石・鉱物との反応プロセスに関する分野

< 関連する応用地質学分野（地下環境に関する分野） >

◆LPG(*liquefied petroleum gas*)地下備蓄

（地下約200m岩盤空洞にLPGガスを液体化させて**100年以上備蓄**する方法）

◆CO₂地下貯留

（CO₂を地下数百メートル以深の地層中に圧入して**1000年以上の長期に渡って貯留**する手法）

◆高レベル放射性廃棄物地下処分

（地層処分：放射性廃棄物を地下300mよりも深い地下環境に**数万年以上隔離**する方法） など



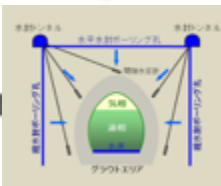
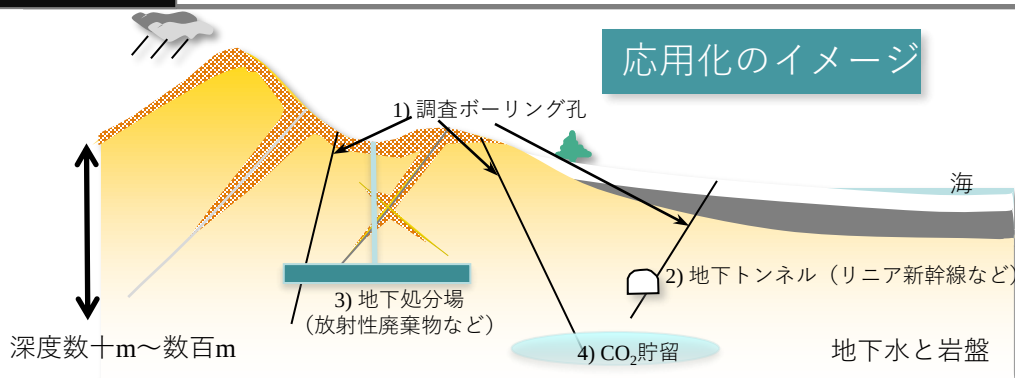
吉田英一 名古屋大学
大学博物館／大学院環境学研究科
dora@num.nagoya-u.ac.jp



ニュージーランド南島
モエラキボールダー
（数メートルサイズが数年で
形成されることを明らかにする）



なぜ、コンクリーションか？ (コンクリーション化プロセスの実用化に向けた応用)



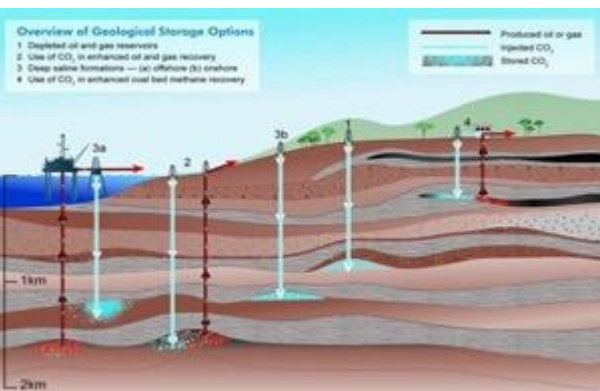
地層処分：放射性廃棄物の地下処分



積水化学との実験による
コンクリーション化樹脂を開発

特許6889508号

現在幌延で実験実施中



現有技術：コンクリートの限界
100年以上持つとは現状
考えられていない

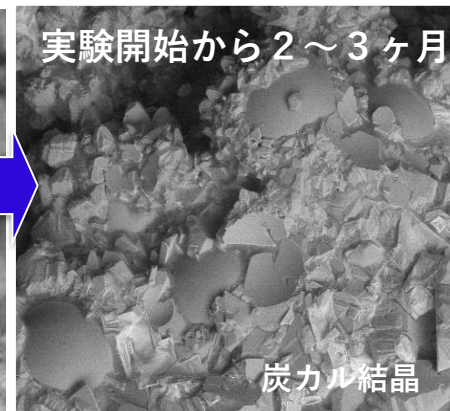
コンクリーション化を応用して数
万年以上もの長期シーリングによる
隔離を目指す

実際の地下環境で実証試験を開始

実験開始



実験開始から2~3ヶ月



二酸化炭素の回収・貯留
(Carbon dioxide Capture and Storage, CCS)

本日の話の内容

- 1) なぜ、地層（地下）処分なのか？
- 2) 多重バリアとは？（なぜ、多重バリアなのか？）
- 3) 日本の地質環境の特徴は？

地層処分 (Geological Disposal) という考え方の由来 (1970年代～)

オクロ天然原子炉の発見

◆天然原子炉とは..

今から20億年ほど前に、地下400mほどのウラン鉱床の濃集部分で、自発的に核分裂反応が生じたもの（1970年代にIAEAが中心になって調査研究）

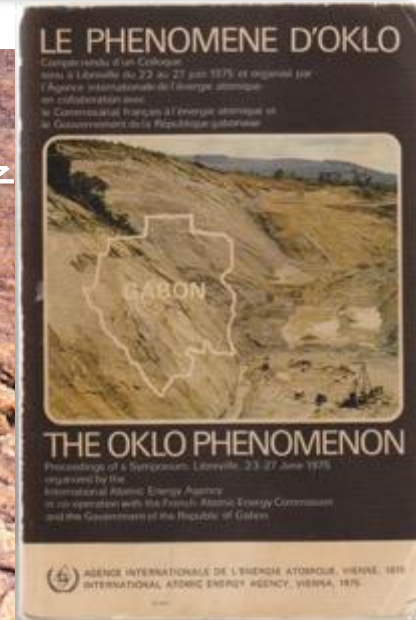
◆場所：アフリカ・ガボン共和国

◆1970年代、フランスの鉱山会社が、ウラン鉱床を掘削、鉱石を採取しているときに発見。

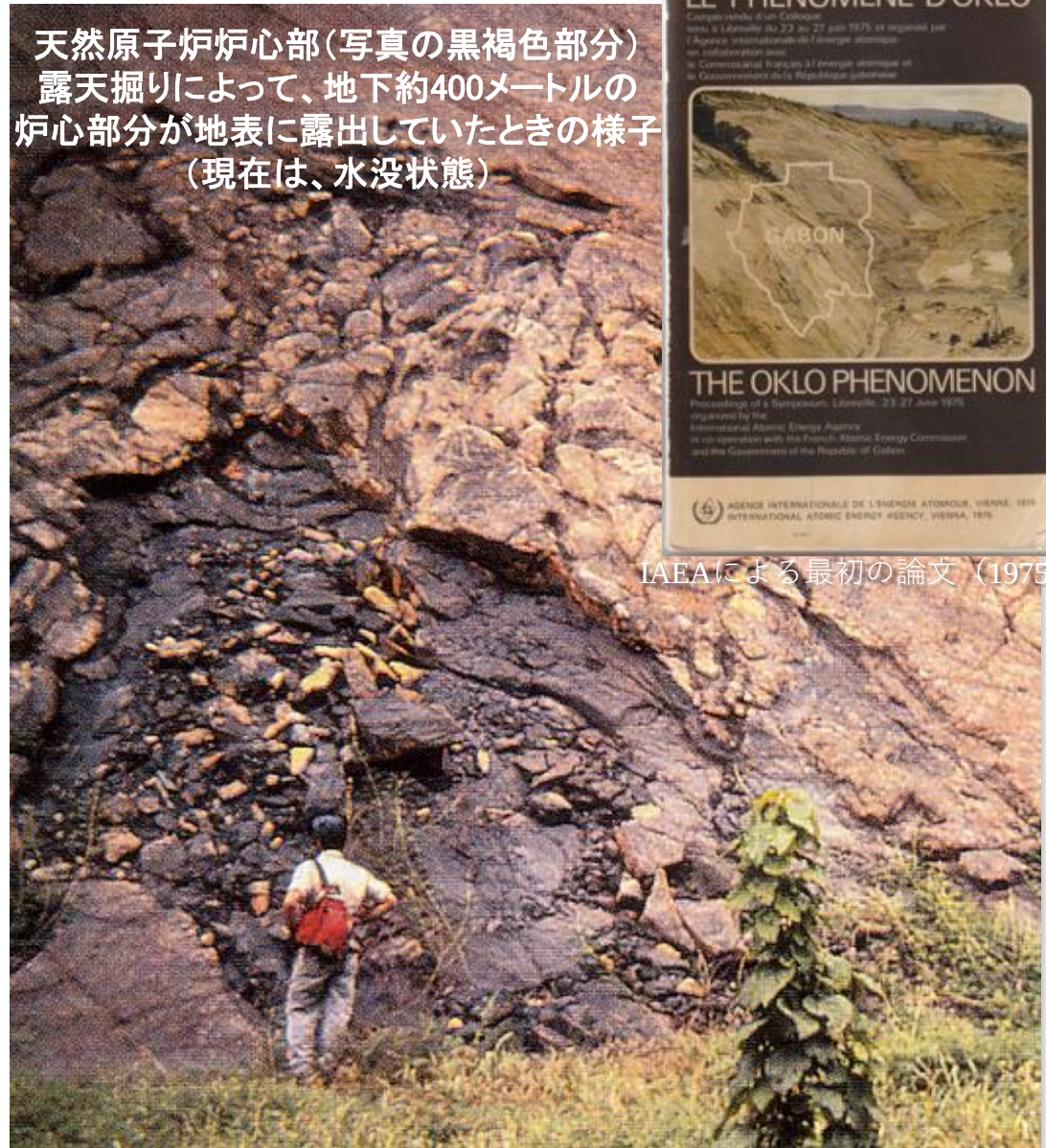
採掘の段階で調査した結果、プルトニウムなどの超ウラン元素（中性子との反応で生成された核反応物質）の娘核種が原子炉の周辺に残っていることが確認される

↓
地下環境における隔離の可能性
(Natural Analogue)

天然原子炉炉心部(写真の黒褐色部分)
露天掘りによって、地下約400メートルの
炉心部分が地表に露出していたときの様子
(現在は、水没状態)



IAEAによる最初の論文 (1975)



天然原子炉での臨界現象はなぜ生じたのか？

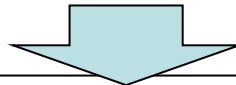
現在の天然ウラン鉱石中の同位体ウランの存在率

ウラン238 : 99.3% (半減期 約44億年) 最後は鉛になる。
ウラン235 : 0.7% (半減期 約7億年)

原子炉中の同位体ウランの存在率

ウラン238 : 95% 程度
ウラン235 : 5% 程度 (約3%以上でないと臨界反応は生じない)
天然の状態から、ウラン235を濃縮しないと原子炉の燃料には使用できない

ウラン235 : ウラン鉱石中で5%程度以上であれば、天然の状態でも臨界反応であることを示している。ウラン235の半減期は約7億年。したがって今から7億年前は、自然の状態でもウラン235は約1.4%、さらに7億年（今から14億年前）は2.8%。さらに7億年（今から約21億年前）は5.6%となり、自然の状態でも臨界に達し得ることとなる。



自然の臨界反応の後、地下約400mの鉱床中にプルトニウムなどの放射性核種（娘核種）が20億年以上、隔離され、保存されていた。

天然の地層処分（地層処分という考えの原点）

2) 多重バリアシステムとは？（その役割）

（人工バリア／天然バリアの複合システム）

ガラス固化体

（高レベル放射性廃棄物）

オーバーパック

（金属製の容器に封入）

緩衝材

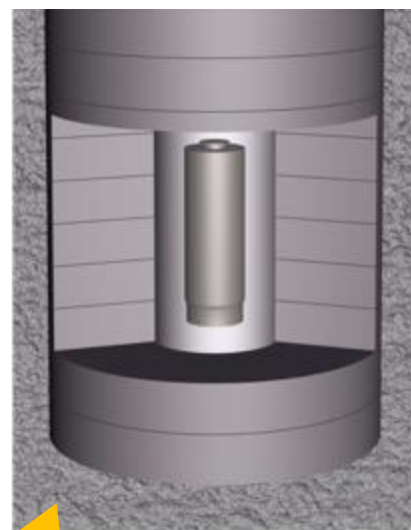
（締め固めた粘土で覆う）

地質環境

高さ約1.3m



直径40cm
重さ500kg



岩盤

300m以深

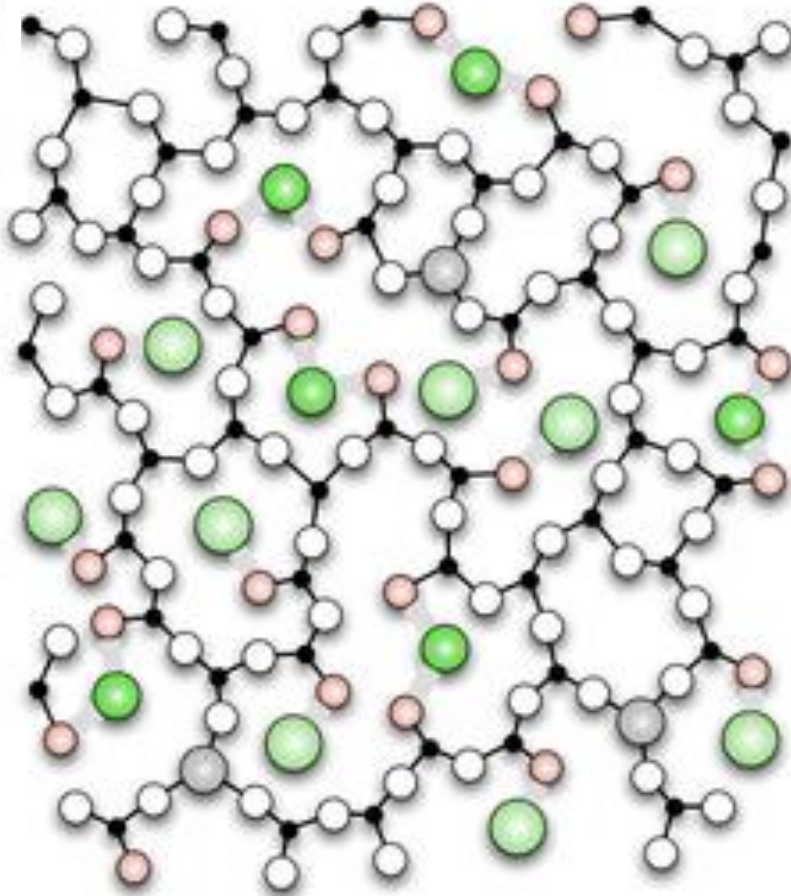


地下施設
（約2km四方）

それぞれにバリアとしての役割がある

ガラス固化体：なぜ、ガラスなのか？

ガラスの分子構造のイメージ



ガラスは非晶質（アモルファス）なため、いろいろな元素を分子構造の中に取り込める性質がある

色が着けられる



色が抜けにくい



スパイラルレースガラス碗

東地中海地域(伝クレタ島出土) 前2世紀

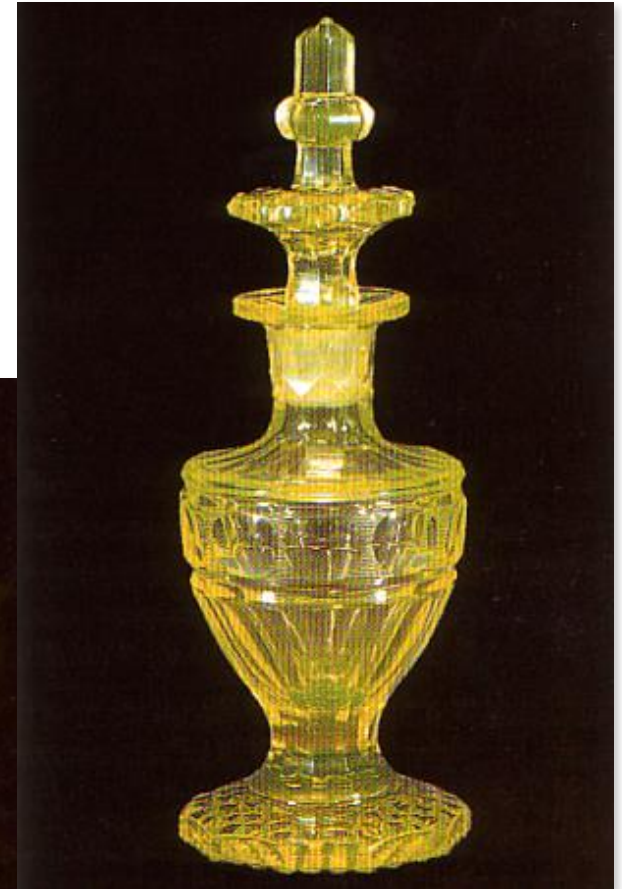
大英博物館蔵 © The Trustees of the British Museum

約200年前のウランガラス

ウランガラスの研究

チェコスロバキアなどの東欧では、ウランをガラスに混ぜて、装飾のために着色（黄色）させる技術が1800年代に用いられていた。ウランの含有量は、数%レベル。

ウランの放射線による、ガラスの耐久性に関する研究に応用。
これまでの成果からは、放射性によるガラスの非晶質構造が破壊されていることを示した事例は報告されていない。



当時、これらのグラスはワインを飲むのに使われた。

約200年前のウランガラス（ビー玉）

ウランガラスの研究

当時の貴族が
用いていた
ビー玉

（名大博物館蔵）



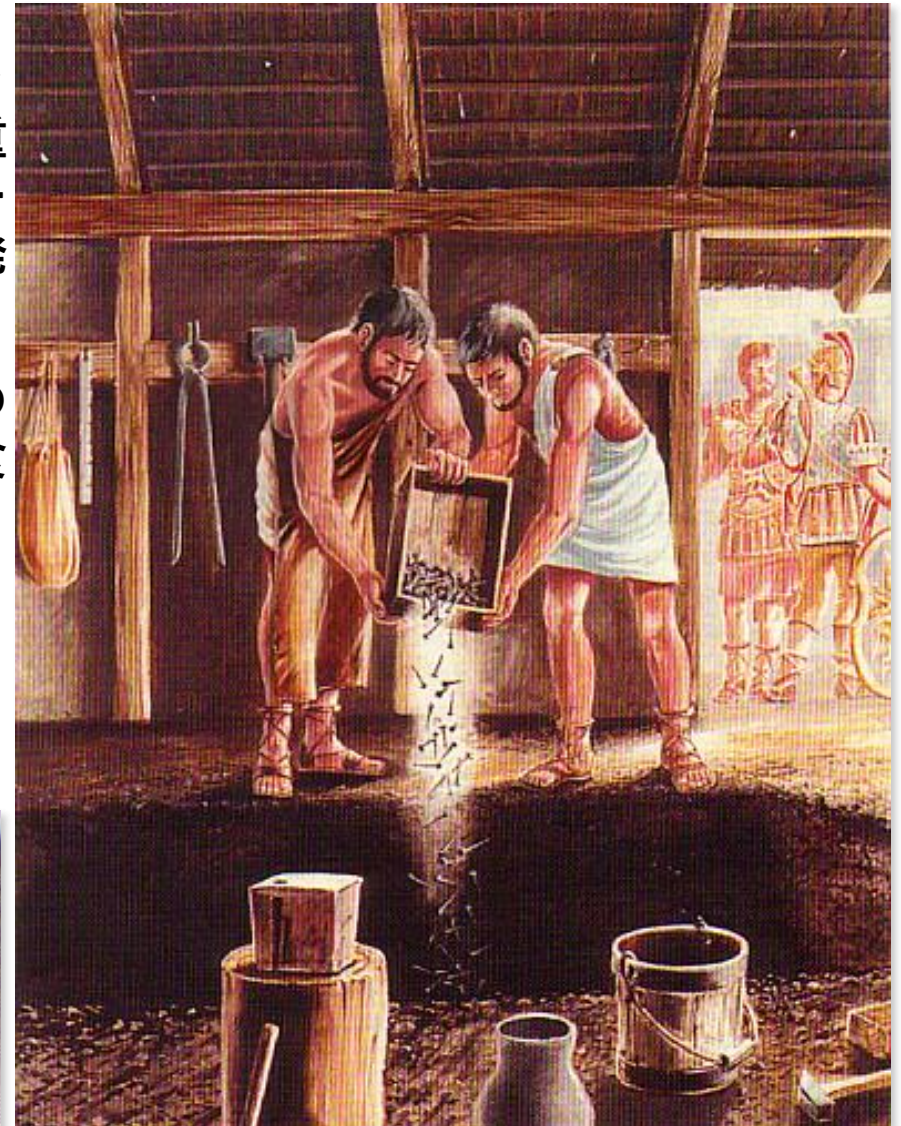
オーバーパック：なぜ、鉄なのか？

ローマ時代の鉄製釘の腐食に関する研究
約2000年前に、ローマ軍がイギリス（スコットランド）から撤退するときに、当時貴重だった鉄くぎを略奪されないように、数メートルの穴を掘って隠したものが、1995年に発見される。

埋設した釘の本数は数十万本におよぶ。そのほとんどは、今だ建築にも耐えうるほど腐食が進んでいないことが調査の結果判明。

理由は：

- 1) 埋設した周辺の粘土層が、地表からの雨水や酸素の侵入を防いだこと
- 2) 外側の鉄釘が錆びて、内部を還元状態になったこと



約2000年前の釘

ローマ時代の鉄製釘

スコットランドでの調査に参加した時に譲ってもらう（日本国内唯一の資料）
（名大博物館蔵）



緩衝材：なぜ、粘土なのか？

約200万年前の粘土層中に埋没・保存されていた化石化していない木材
(イタリア中央部Dunaroba地方)



粘土の水を透過させない働きで物質の変質が妨げられる

多重バリアシステムの役割（まとめ）

（人工バリア／天然バリアの複合システム）

ガラス固化体

（高レベル放射性廃棄物）

高さ約1.3m



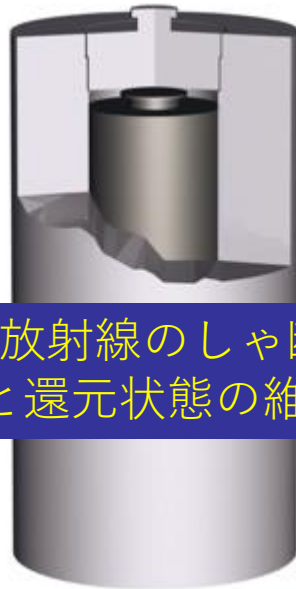
溶解しにくい

直径40cm

重さ500kg

オーバーパック

（金属製の容器に封入）



放射線のしゃ断
と還元状態の維持

緩衝材

（締め固めた粘土で覆う）

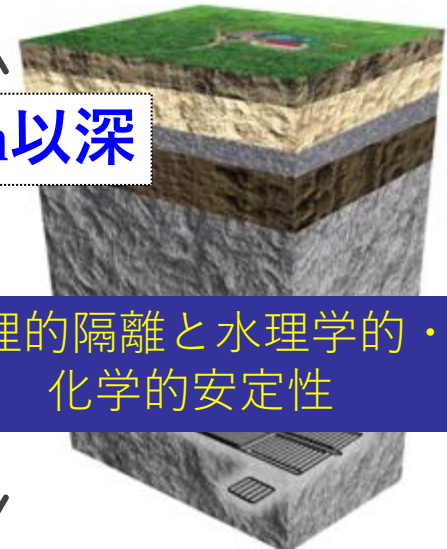


しゃ水性と放射性
元素の吸着・遅延

地質環境

300m以深

物理的隔離と水理的・
化学的安定性

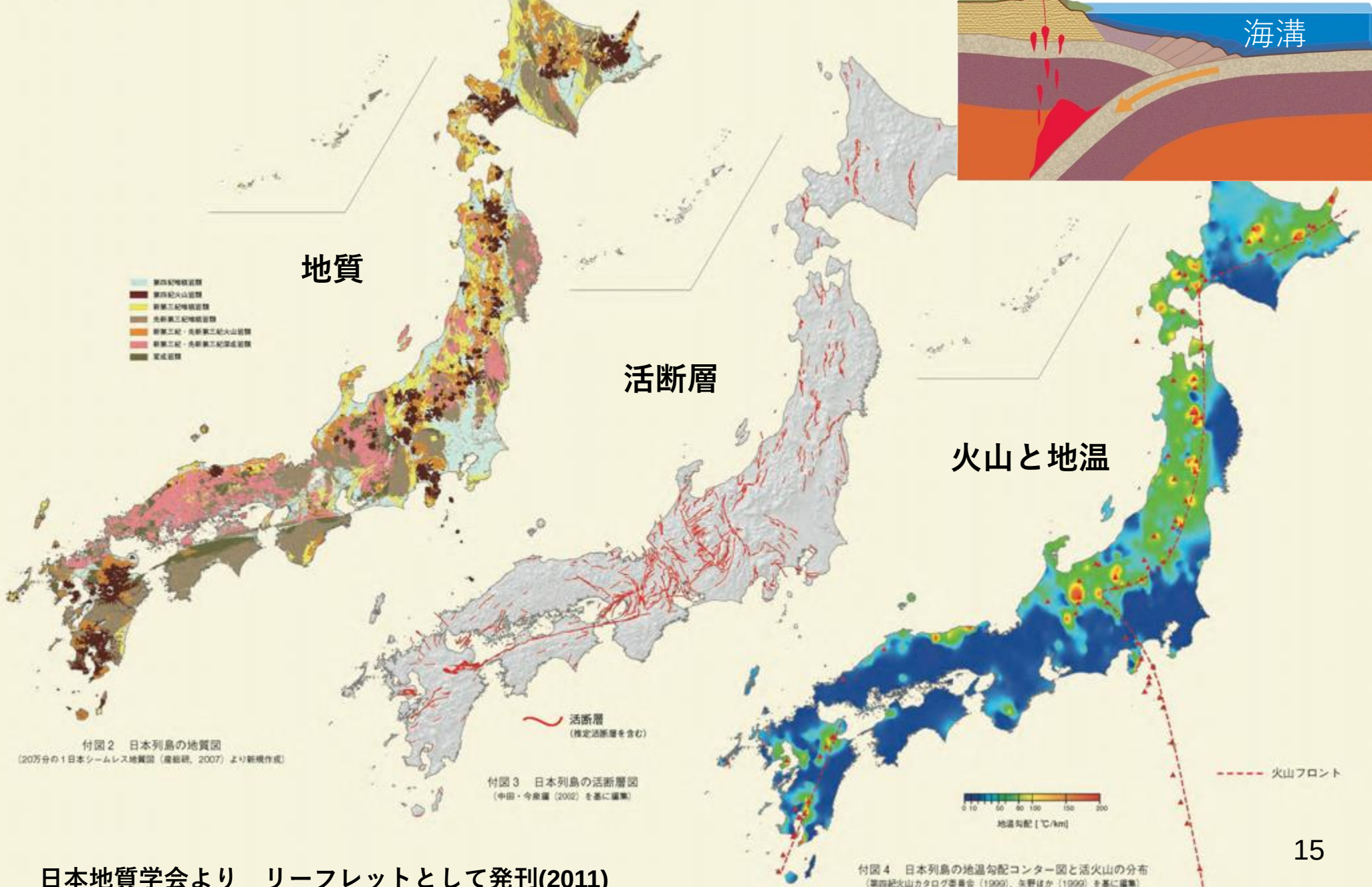
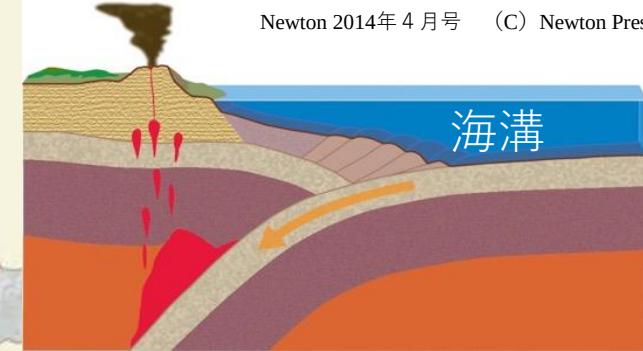


地下施設
（約2km四方）

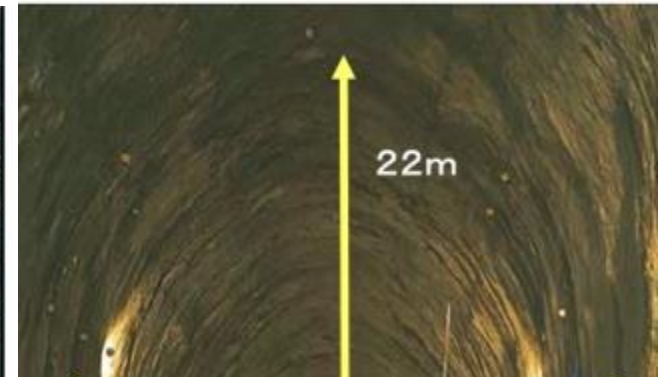
それぞれ素材としての特性を活かしたバリア効果を有している

3) 日本の地質環境の特性

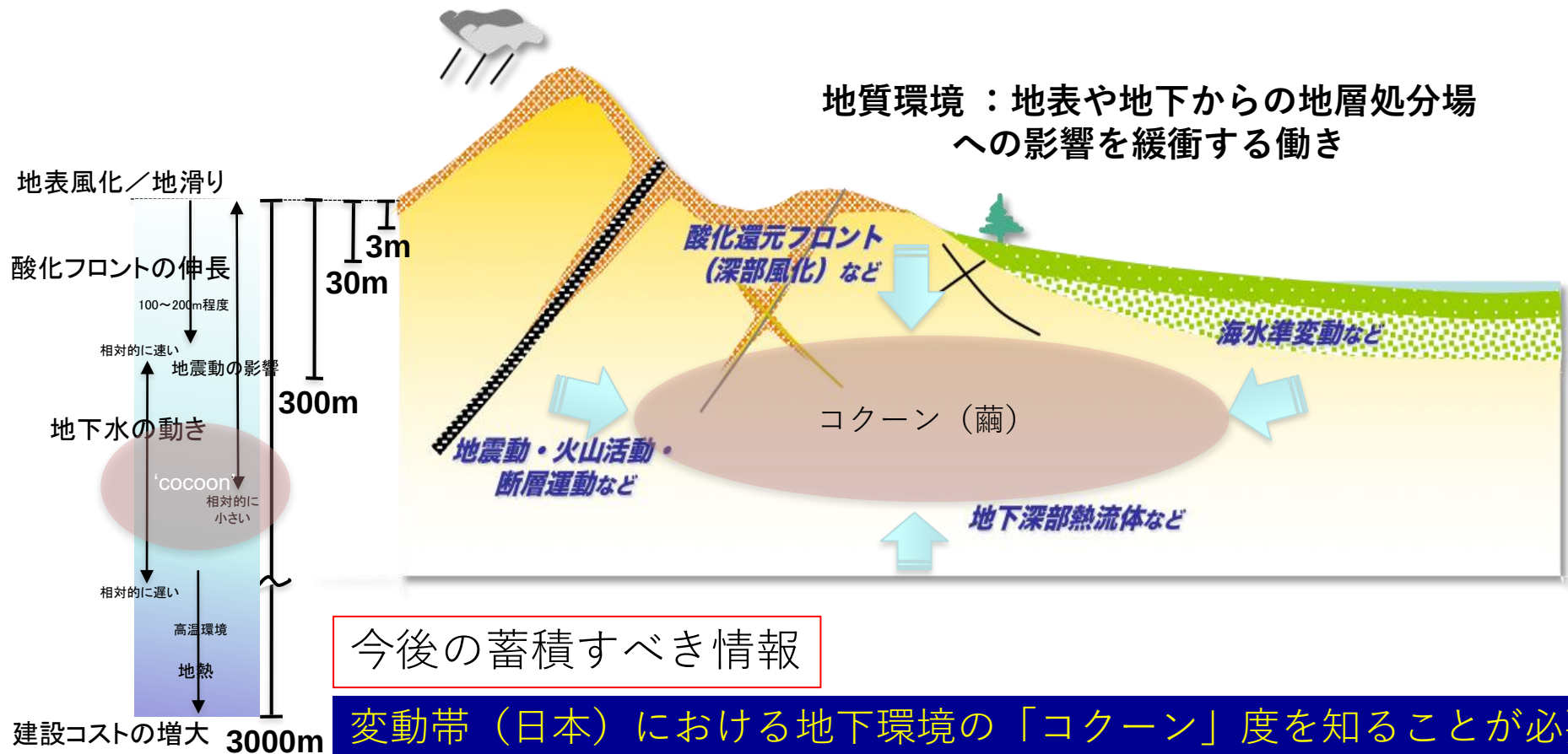
Newton 2014年4月号 (C) Newton Press



地下環境の安定性の事例（石油地下備蓄基地）



地層処分求められる地下環境の働き／役割とは…



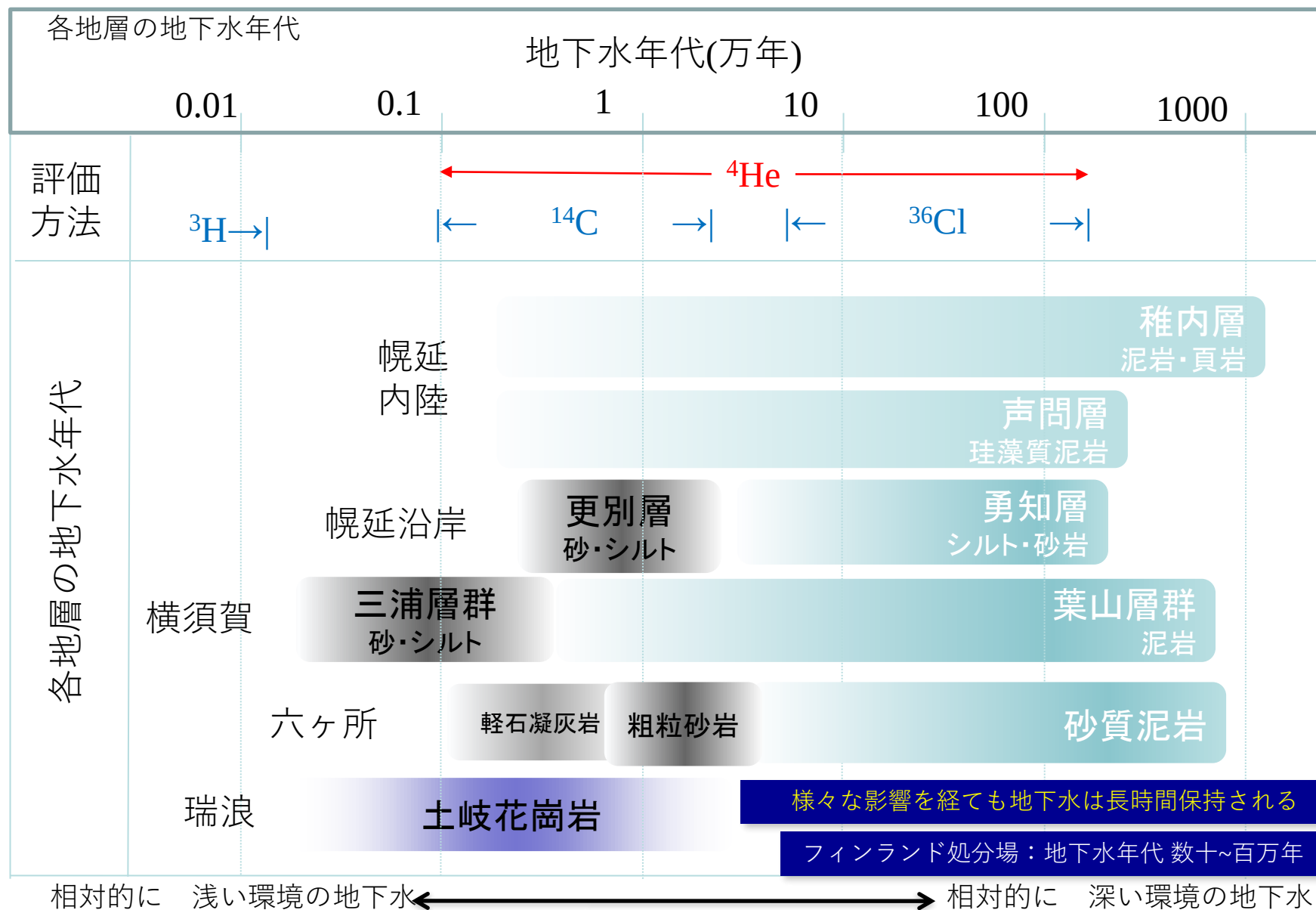
今後の蓄積すべき情報

変動帯（日本）における地下環境の「コクーン」度を知ることが必要

- ◆ 割れ目・断層の水みちとしての性状把握
- ◆ 風化帯の形成（地表からの擾乱）
- ◆ 地下水滞留時間（地下水年代）・水質（pH-Eh）
- ◆ 元素の吸着・遅延効果

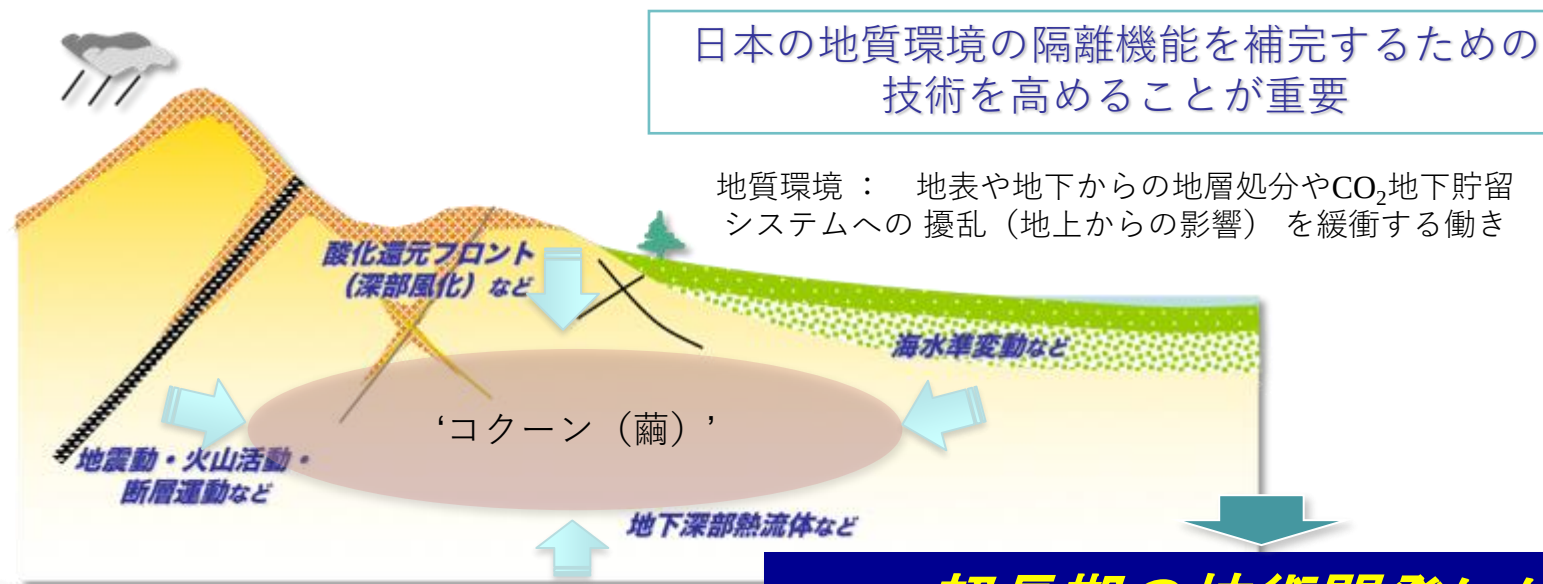
など

日本の地下水年代の例 (地下研究所やボーリング孔による原位置地下水の分析結果より)



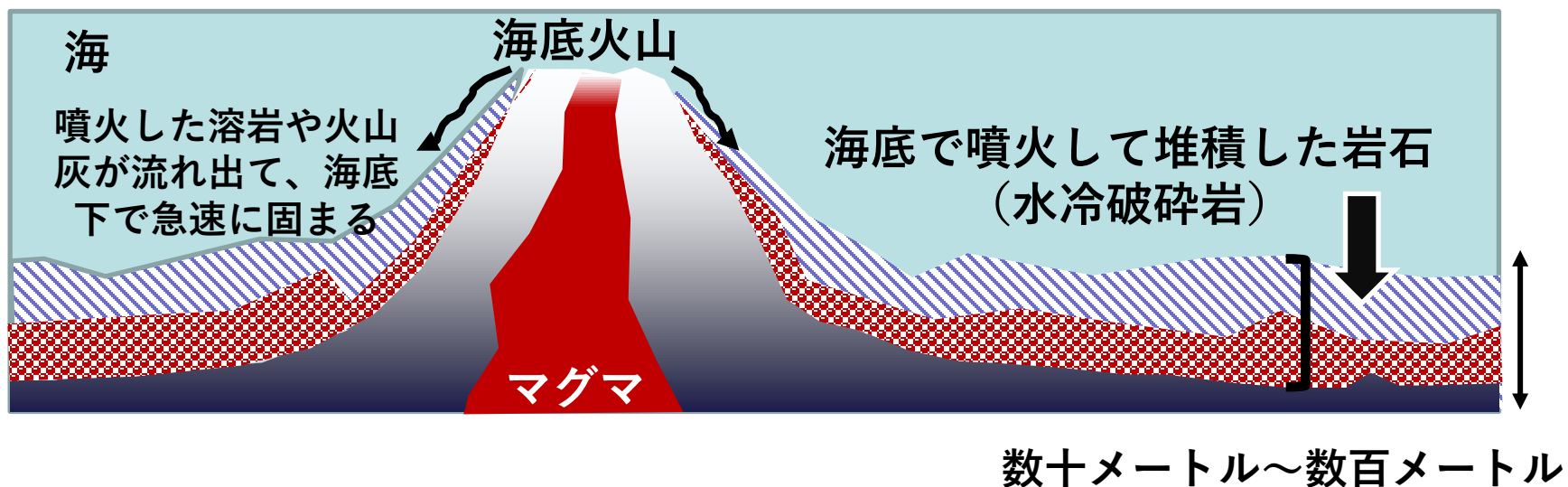
地層処分による安全性を補強するには…

- ◆地層処分は自然に学んだ方法
- ◆多重バリアは、数十年の研究成果と自然の素材を活用した方法
- ◆岩石・地質には、状態を維持する働きがある
(岩石が新鮮に保存され、化石などが発見される所以)
- ◆日本の地質環境は不均質
(不均質にはその必然性としての理由がある)



**超長期の技術開発には、
自然に学んだ技術の応用は不可欠**

水冷破碎岩とは？



好ましくない範囲の要件・基準

	要件	基準
火山・火成活動	火山の周囲（マグマが処分場を貫くことを防止）	火山の中心から半径15km以内等
断層活動	活断層の影響が大きいところ（断層のずれによる処分場の破壊等を防止）	主な活断層（断層長10km以上）の両側一定距離（断層長×0.01）以内
隆起・侵食	隆起と海水面の低下により将来大きな侵食量が想定されるところ（処分場が地表に接近することを防止）	10万年間に300mを超える隆起の可能性のある、過去の隆起量が大きな沿岸部
地熱活動	地熱の大きいところ（人工バリアの機能低下を防止）	15℃/100mより大きな地温勾配
火山性熱水・深部流体	高い酸性の地下水等があるところ（人工バリアの機能低下を防止）	pH4.8未満等
軟弱な地盤	処分場の地層が軟弱なところ（建設・操業時の地下施設の崩落事故を防止）	約78万年前以降の地層が300m以深に分布
火砕流等の影響	火砕流などが及びうところ（建設・操業時の地上施設の破壊を防止）	約1万年前以降の火砕流等が分布
鉱物資源	鉱物資源が分布するところ（資源の採掘に伴う人間侵入を防止）	石炭・石油・天然ガス・金属鉱物が賦存

好ましい範囲の要件・基準

	要件	基準
輸送	海岸からの陸上輸送が容易な場所	海岸からの距離が20km以内目安