

高レベル放射性廃棄物の最終処分ってどんなもの

- 地層処分の考え方とこれまでの経緯
- 科学的特性マップの提示
- マップの提示の意味と今後考えていただきたいこと

原子力安全研究協会 技術顧問

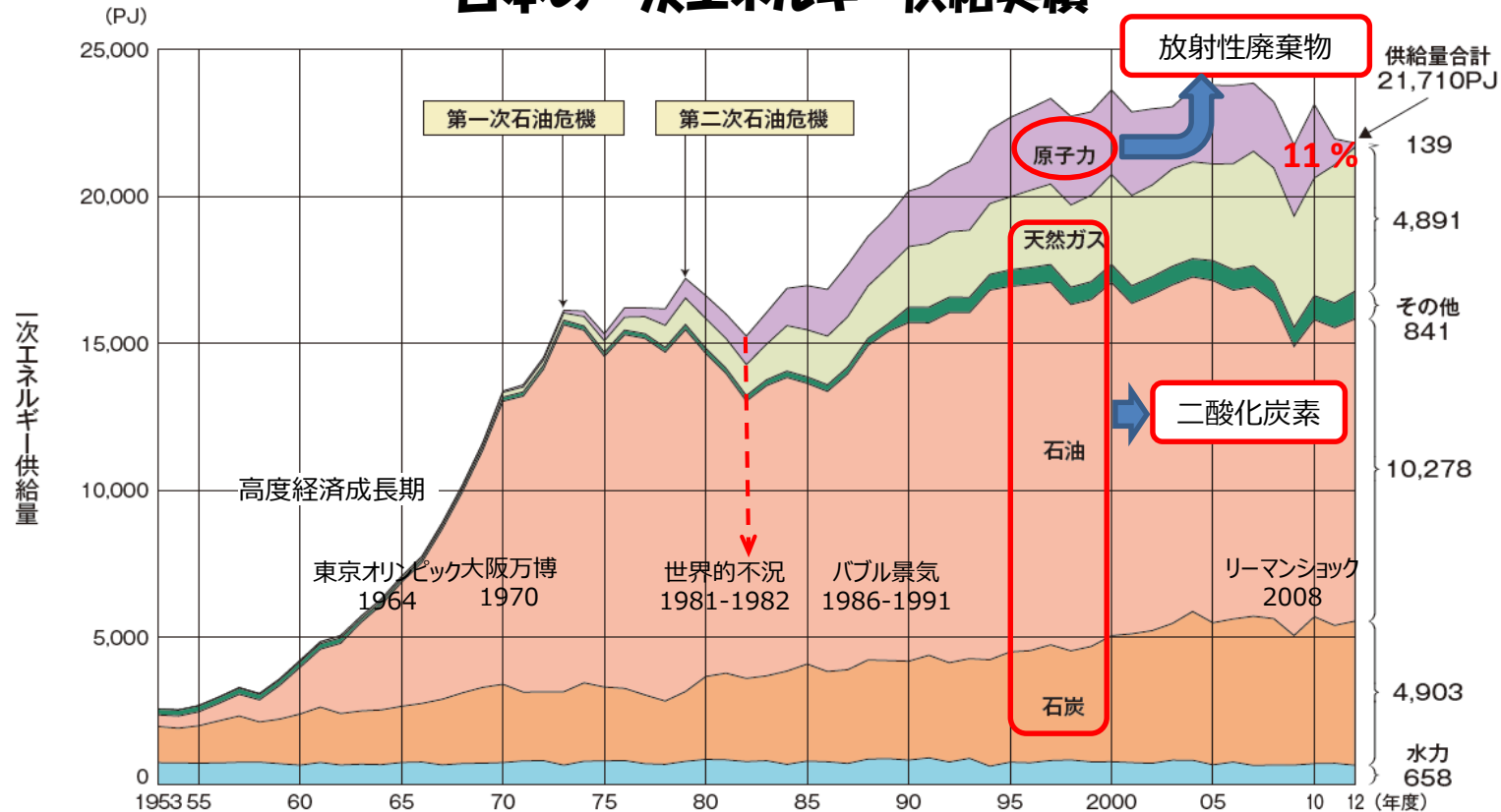
朽山 修*

* 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 地層処分技術ワーキンググループ委員長

- **地層処分の考え方とこれまでの経緯**
- 科学的特性マップの提示
- マップの提示の意味と今後考えていただきたいこと

放射性廃棄物はエネルギーを使うことによって発生する

日本の一次エネルギー供給実績



(注) 1PJ(=10¹⁵J)は原油約25,800kℓの熱量に相当(PJ:ペタジュール) 原子力エネルギー図面集2016 (日本原子力文化財団) より

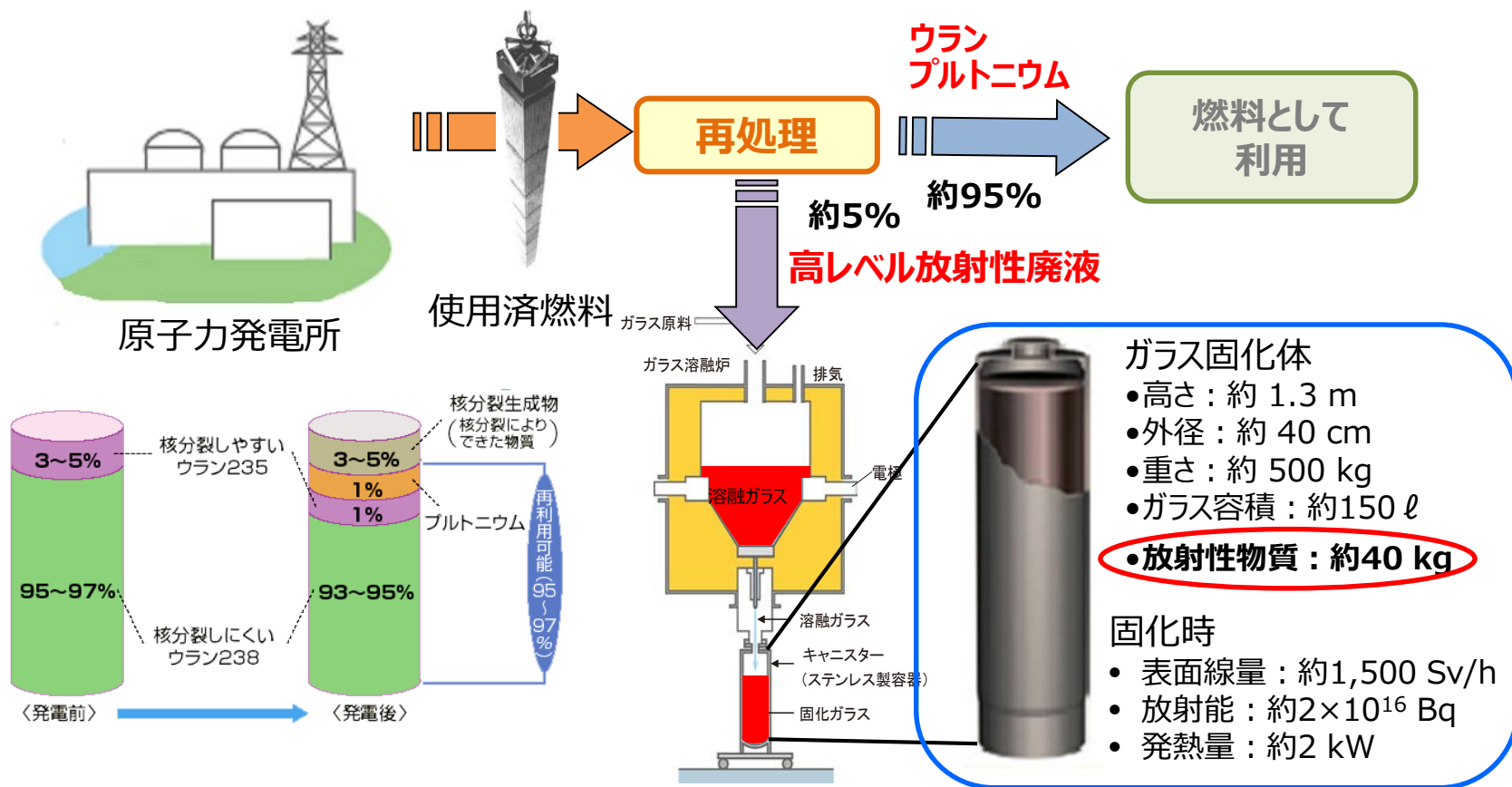
人が道具を用いて活動するためには、もとをたどれば全て一次エネルギーの投入が必要。
ものを加工するにも、他の廃棄物进行处理してリサイクルするためにも、エネルギーが必要。
エネルギー資源の利用からもたらされる廃棄物は、**生産者と消費者が協力して**生み出したもの。

二酸化炭素や放射性廃棄物は (自分以外の誰かではなく) 社会の廃棄物

高レベル放射性廃棄物とは何か

実際に燃えて（核分裂して）廃棄物になるのは約5%

わが国では原子力発電で使い終えた燃料を再処理してウランやプルトニウムを取り出し、再び燃料として使うことにしている。この再処理の過程で発生する高レベル放射性廃液をガラス固化したもの（ガラス固化体）が高レベル放射性廃棄物。



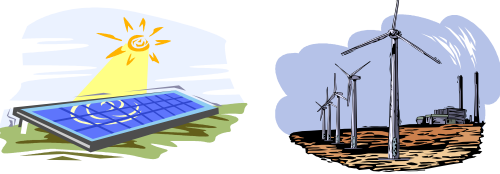
エネルギー資源と廃棄物(100万kWの発電所を1年間運転するのに必要な量)

エネルギーは
ためられない

自然

エネルギーの空間密度が低い
発生に時間的むらがある

太陽光 **風力**



58 km²
(1人 58m²)

214 km²
(1人 214 m²)

100万kWの発電を
するのに必要な面積

エネルギー資源

化石

資源枯渇、気候変動が懸念される

53年 **55年** **113年**

1兆6,879億
バレル

186兆m³

8,915億トン

石油 (2013年末) 天然ガス (2013年末) 石炭 (2013年末)

155万トン **95万トン** **235万トン**

確認可採
埋蔵量

原子力

安全性が問題

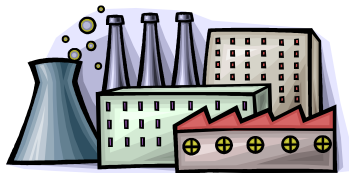
99年
(再処理/サイクル
でおよそ2500年)

590万トン

ウラン (2013年1月)

濃縮ウラン21トン

100万kWの発電を
するのに必要な量



化石

CO₂

石炭 650万トン
石油 500万トン
天然ガス 300万トン


毒性はないが**量が膨大**なので、
地球**温暖化**が心配

廃棄物

原子力

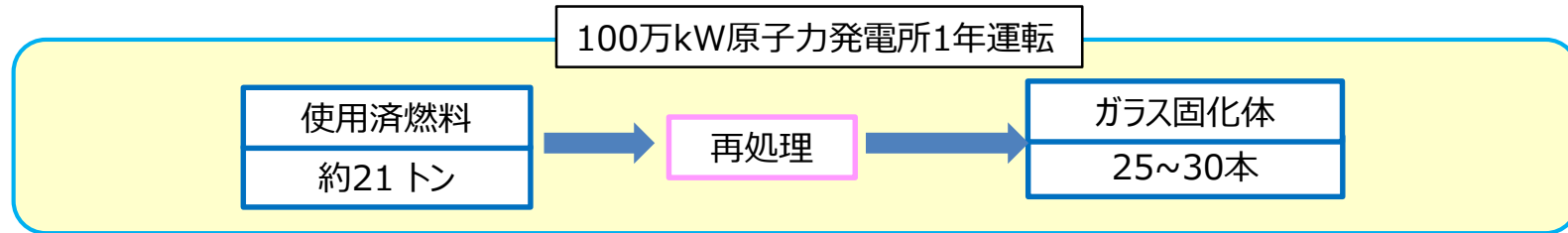
ガラス固化体
25~30本(15トン)

量は僅かだが、長期にわたる**放射能**のため、
環境に分散すると危険

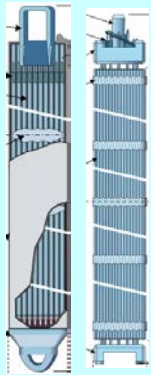
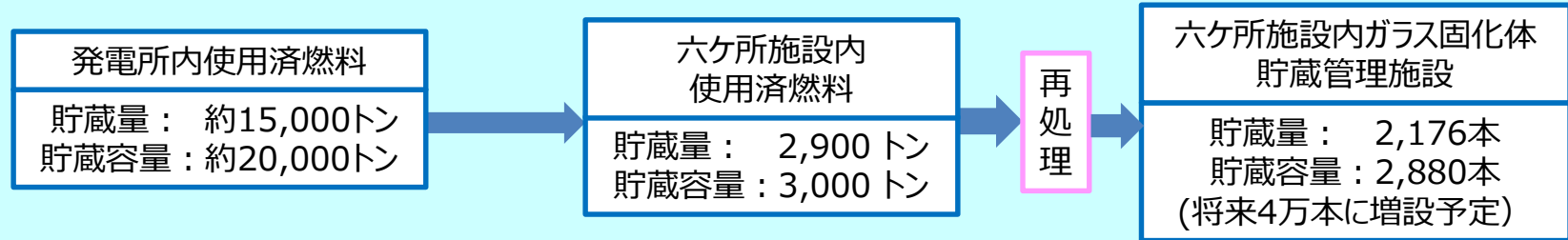


全て大気中に拡散している ← **環境負荷** → 全て管理下にあり閉じ込められている

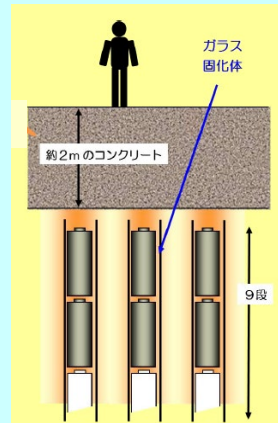
高レベル廃棄物は今後の原子力計画とは無関係に既に存在する



日本全体の現状
ガラス固化体換算で約25,000本が既に発生している



BWR PWR



日本で発生する廃棄物の区分と発生量(原子力のごみは「物量」はごくわずか)

廃棄物の種類			廃棄物量 (トン/日)			備考
			排出量	資源化量	最終処分量	
一般廃棄物	ごみ	家庭系ごみ：一般ごみ（可燃ごみ、不燃ごみ等）、粗大ごみ	11.83万	2.41万	1.09万	平成28年度実績
		事業系ごみ：オフィス、飲食店等から出るもの				
	し尿					
	特別管理一般廃棄物 ^{*1}					
産業廃棄物	事業活動に伴って生じた廃棄物のうち法令で定められた20種類 ^{*2}		107.18万	56.86万	2.76万	平成27年度実績
	特別管理産業廃棄物 ^{*3}					
放射性廃棄物 ^{*4}	原子力施設の運転、保守等に伴って発生する放射性の廃棄物 ^{*5}	高レベル			1.4	平成12～18年推定 ^{*6}
		低レベル			48	平成28年度実績

*1 揮発性、毒性、感染性、その他の健康または生活環境に係る被害を生じる恐れがあるもの

*2 燃えがら、汚泥、廃油、金属くず、ガラスくず、コンクリートくず等

*3 一般廃棄物以外の揮発性、毒性、感染性、その他の人の健康または生活環境に被害を生じる恐れのあるもの

*4 クリアランスレベルを超える放射性核種を含むもの、それ以下のレベルのものは、放射性廃棄物でない廃棄物として資源化又は最終処分される

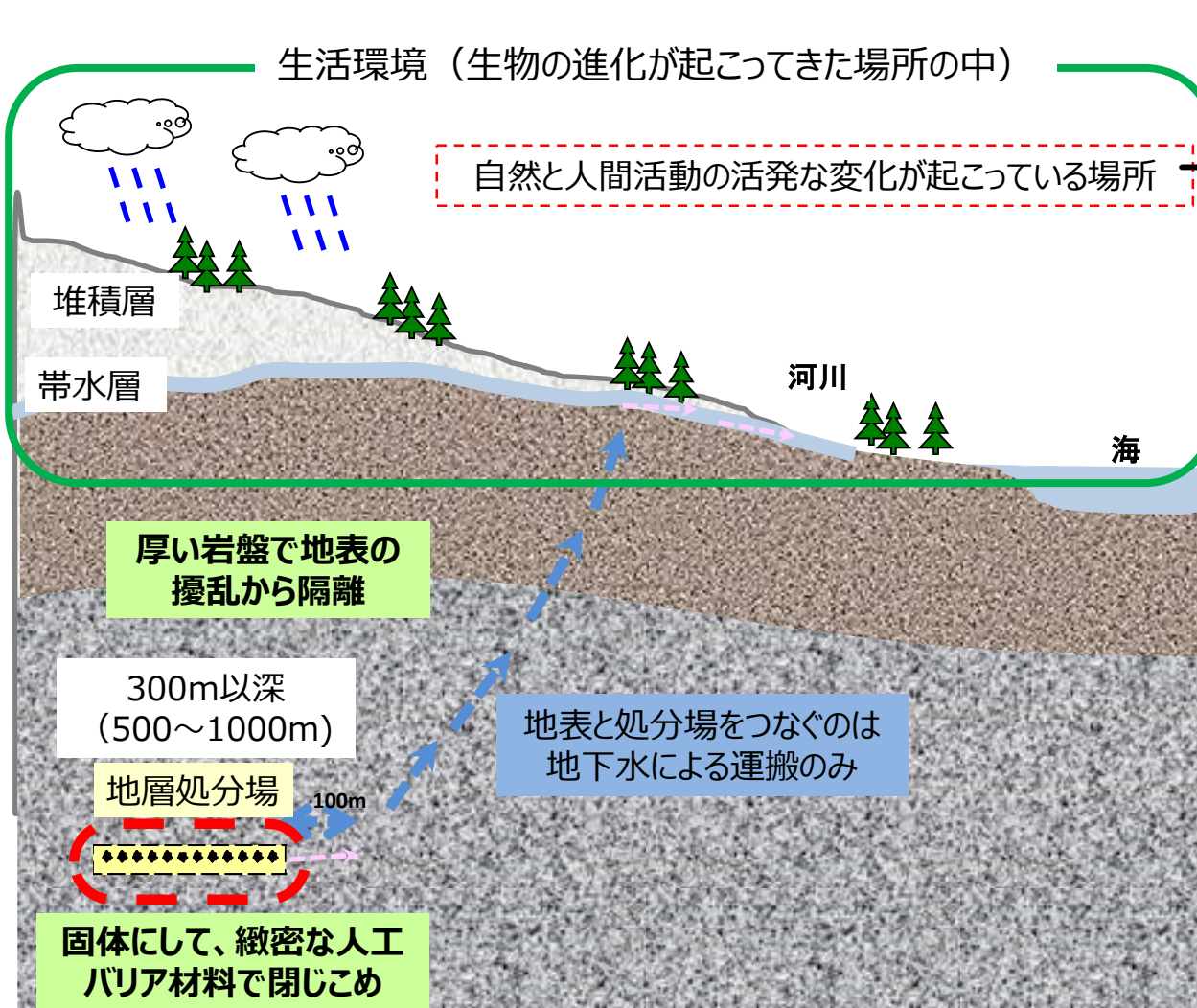
*5 現在行われている活動からの廃棄物のみ、将来的には施設の解体や改修等からも廃棄物が発生する

*6 原子力による発電比率が約30%の時期を参考に推定

出典：環境省「一般廃棄物の排出及び処理状況等（平成28年度）について」
 環境省「産業廃棄物の排出及び処理状況等（平成27年度実績）について」
 原子力規制庁「原子力施設にかかる平成29年度放射線管理等報告について」等

高レベル放射性廃棄物の地層処分：放射性物質を閉じ込めて隔離する

宇宙処分、海洋下処分、氷床処分、核変換に比べて確実（可逆的）で実現性がある



外的擾乱事象

自然過程

- ✓ 氷期・間氷期（十万年周期）
- ✓ **地震、火山、断層**、台風
- ✓ 地滑り、津波、隕石、他

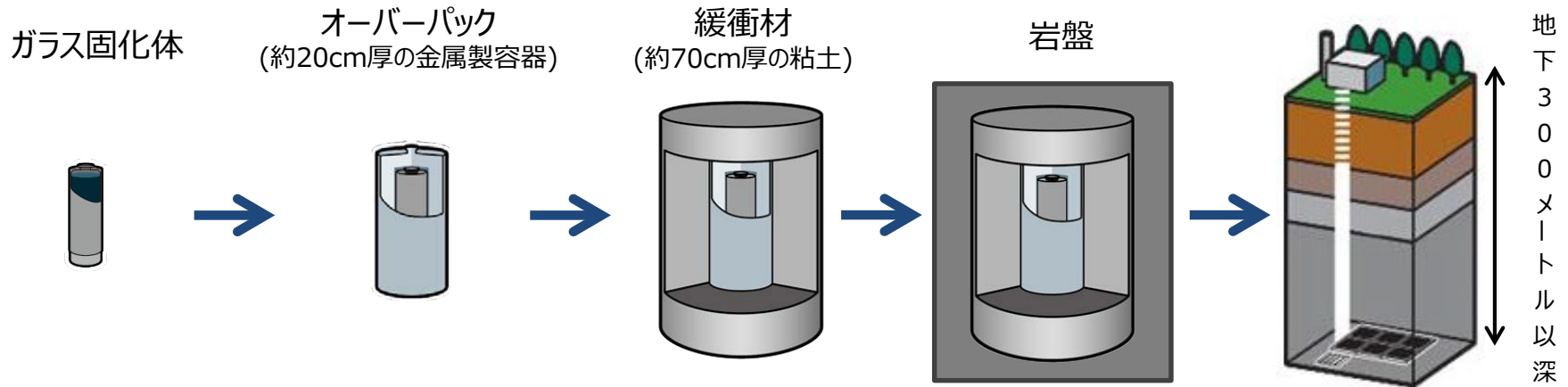
人為過程(人間侵入)

- ✓ 破壊、爆発、火事、公害、
- ✓ 事故、戦争、テロ、他
- ✓ **探査**、道路工事、建設

赤字：地下深部まで影響が及ぶもの

地層処分の仕組み(多重バリアシステムの構築)

- 高レベル放射性廃棄物を地下300mより深い安定した岩盤に埋設する。[天然バリア]
- その際には、放射能が大きく減少するまでの期間（少なくとも1000年間）は放射性物質を取り込んだガラス固化体をオーバーパック（厚い金属製容器）に格納し、さらに緩衝材（粘土）で包む。[人工バリア]
- これら「天然バリア」に「人工バリア」を組み合わせた多重バリアシステムは、長期にわたり放射性物質を人間の生活環境から隔離し閉じ込めるのに効果的。



- 放射性物質をガラスの網目構造の中に取り込む
- 水に溶けにくい

- 放射能が高い期間、地下水とガラス固化体の接触を防止する

- 水を容易に通さない
- 放射性物質を吸着し、移動を遅らせる
- 周囲からの影響を緩和する

- 酸素が少ない
- 地下水の流れが遅い
- 放射性物質を吸着し、移動を遅らせる
- 地上の人間や自然環境から隔離する

人工バリア

+

天然バリア

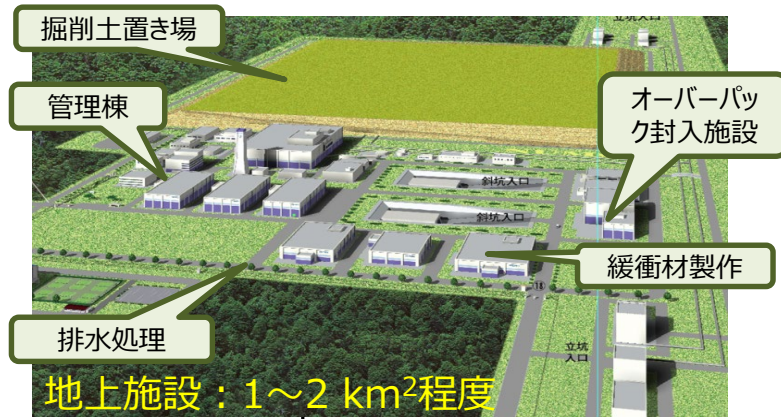
=

多重バリア

放射性物質は固体の中の間隙を動くしかない = ほとんど動けない → 人に接近することはない

地層処分場の全体概要図(イメージ)

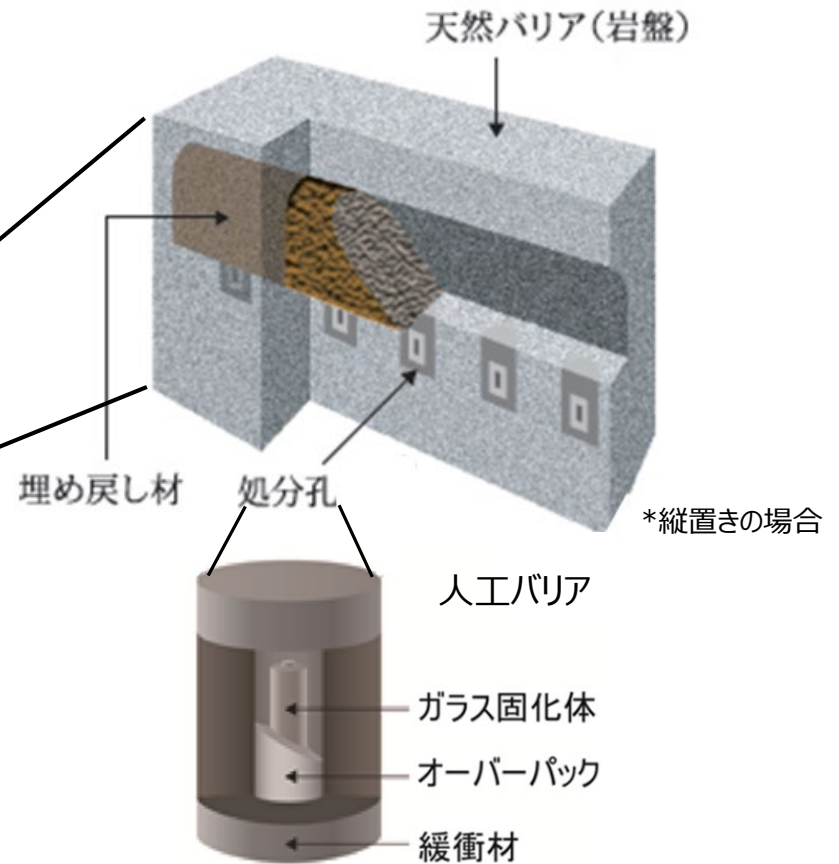
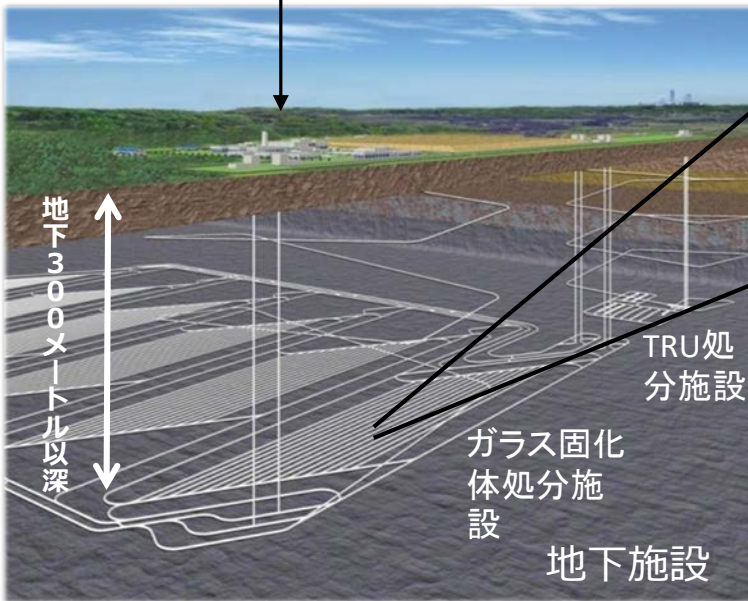
(ガラス固化体を4万本(1000本/年×40年)をTRU等廃棄物とともに埋設する場合)



最終処分事業費: 約3.7兆円

※地層処分相当低レベル放射性廃棄物(TRU等廃棄物)の処分費用も含む。

※費用は原子力発電を行う電力会社等が拠出。



面積: 6~10 km²程度

坑道総延長: 200~300 km (東京地下鉄総延長 ~300 km)

地層処分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

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

1960

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」

1970

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」

1980

1990

2000

2010

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

2020

国際

地層処分は未だ社会には認められていない

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。

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

2000年：「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」制定・NUMO設立

段階的処分地選定では

今まで何も知らなかった人々に

1. 放置すると危険であり、措置が必要な廃棄物が存在する、
2. その廃棄物を地層処分により安全に処分できる見通しがある、
3. 地層処分を実現するためには、地層処分場の入り口に住む人々はもとより、社会全体の協力が必要である、

ということを説明しなければならない。

リスク = 危害のひどさ × 危害のもたらされる確率

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 ★ 高知県津野町	10 ★ 高知県東洋町
					12 ★ 対馬市	12 ★ 長崎県
					19/1 ☆ 応募	7 ★ 秋田県上小阿仁村
					2 ★ 福岡県二丈町	4 ★ 応募取下 南大隅町
					3 ★ 鹿児島県	21/3 ★ 福島県楢葉町
						22/12 ★ 鹿児島県南大隅町

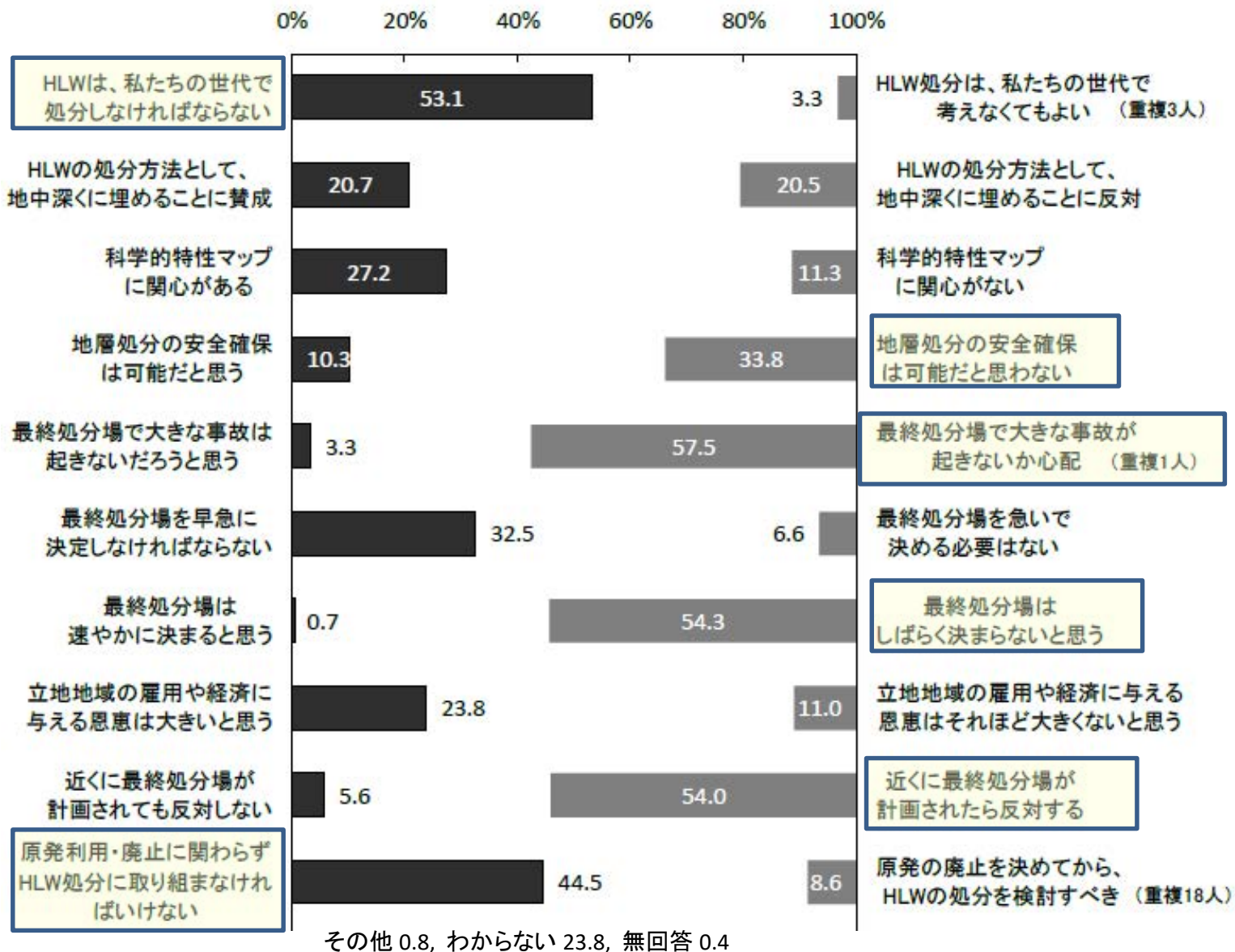
公募制

- 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）

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

人々のリスク認知(原子力文化財団アンケート2017/10, N=1200)

HLWは現世代で取り組むべき問題だが、地層処分場で大きな事故が起きないか心配



放射性廃棄物の処分について人々の受け取る情報と抱くイメージ

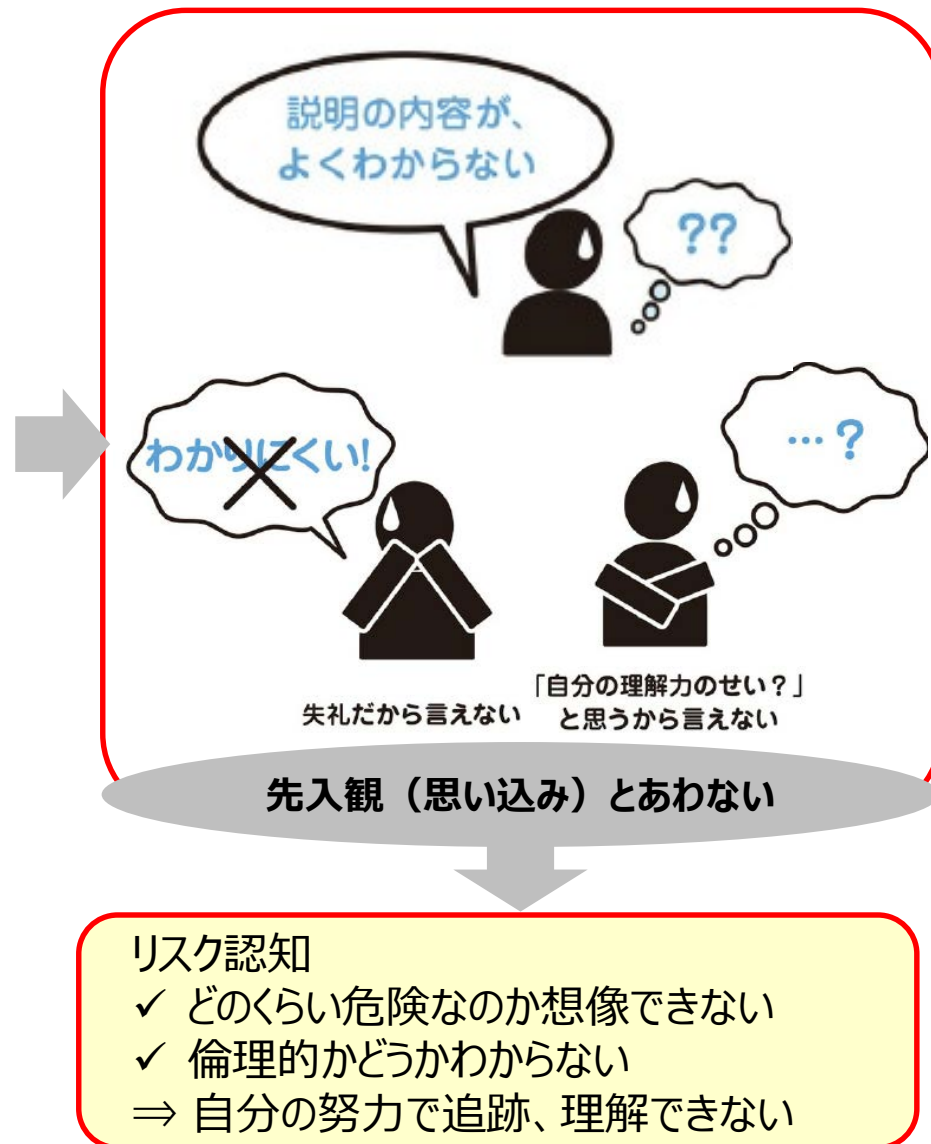
馴染みのなさ（社会的学習の困難さ）

-----（受ける情報）-----

- 原子力のもたらす破局的な惨事
- 膨大な放射能と放射線
- 核のゴミと立地選定、国を挙げての合意形成
- 放射線の確率的な健康影響
- 世代内と世代間衡平性
- 「廃棄物」「処分」の意味

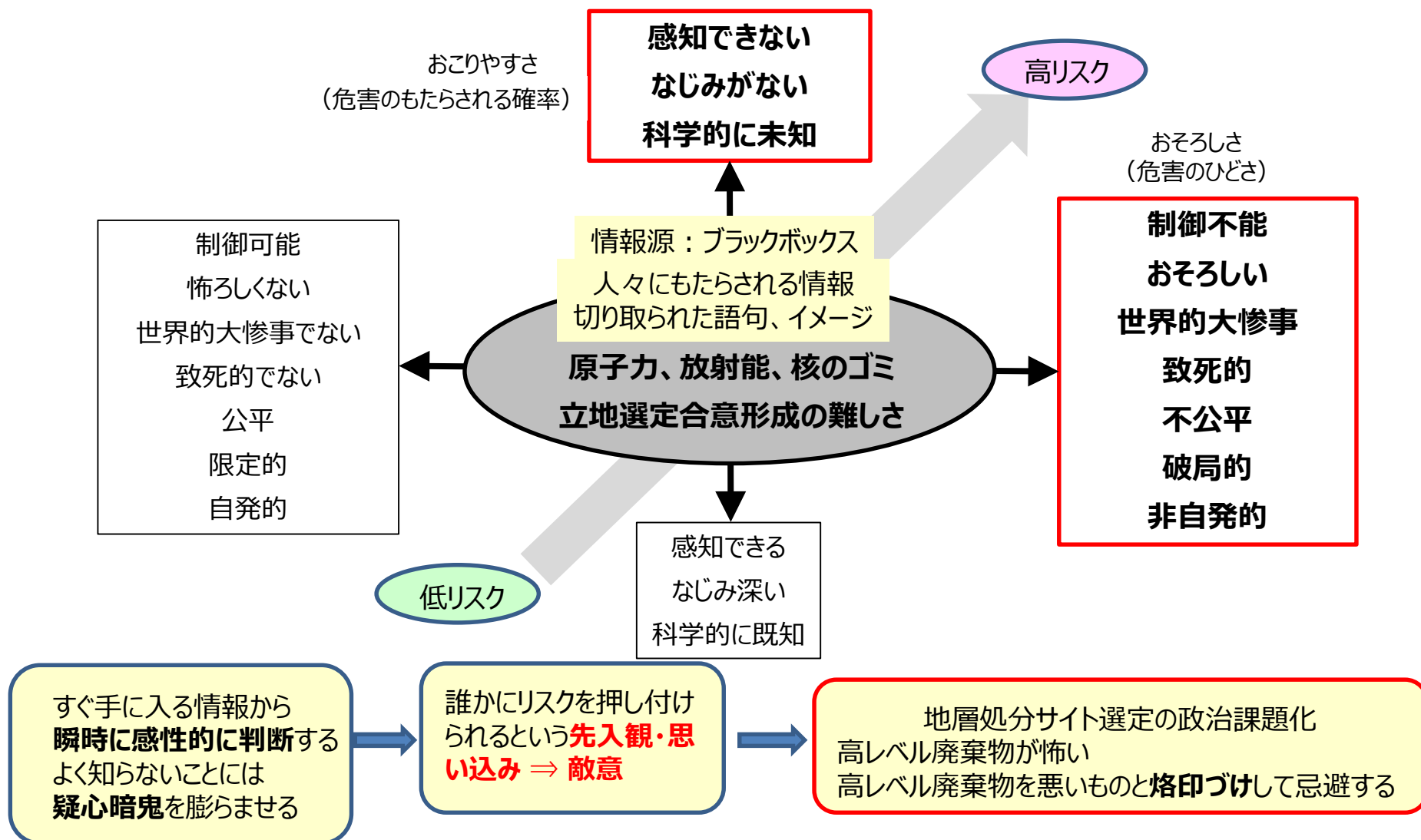
-----（安全評価）-----

- 核種（元素）ごとに決まる化学的性質と挙動
- 地下で起こっていること
- 長期の時間軸で起こっていること
- 受動的な安全系
- 処分のもたらす残留リスク



一般人の心の中にあるリスク

- ✓ なじみがなく怖い=リスクを考えたときの出発点として知らされている情報が限られている
- ✓ リスク=危害のひどさ × 危害のもたらされる確率 → 正体不明の危険と考える
- ✓ 長い時間のうちには何か危険なことが起こるに違いない



好き嫌い感情ヒューリスティック*

(P. Slovic : 人々は好き嫌いの感情に従って判断や意思決定を行う)

人々のリスク認知 (リスクは避けたいという心理がある)

- 人々は、直面した物事に対して、まずは「好き」か「嫌い」、「よい」か「悪い」、「快」か「不快」、「味方」か「敵」かの感情を瞬時に生じさせる。
- **それを基準にして**、その後の判断や判断のもととなる**情報の取捨選択** (理屈の後付け) を行うため、一見合理的に熟慮して判断したように思える結果であっても、往々にして単なる好き嫌いをもとにした判断となってしまう。
- 危険性が高いと直感される対象は便益性がないと判断されやすく、逆に、便益性が高いと直感される対象には危険がないと判断されやすい。

「我々は常に、論理的判断の基準と、空気の判断の規準という、一種の二重基準 (ダブルスタンダード) のもとに生きているわけである。そしてわれわれが通常口にするのは論理的判断の基準だが、本当の決断の基本となっているのは、「空気が許さない」という空気の判断の基準である」山本七平『『空気』の研究』(1977)

*ヒューリスティック : 論理の飛躍を伴う、もの理解や判断の仕方

Paul Slovic: The Perception of Risk(Risk, Society and Policy), Earthscan (2000).

放射性廃棄物の潜在的危険性(リスク源 = hazard)

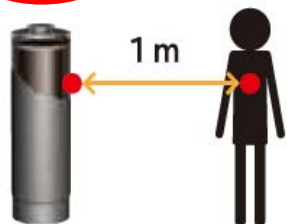
リスク (危害のひどさ × 危害をもたらされる確率) の誤解 = 潜在的危険性を危害のひどさと誤解する

ガラス固化体1本あたりの放射能 (放射能 = 物質が放射線を出す能力) = 潜在的危険性

ガラス固化体製造直後

20,000TBq
発熱量: 約2 kW

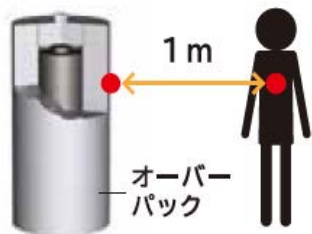
表面線量 1,500,000 (mSv/時)
1m位置 110,000 (mSv/時)



50年間貯蔵・管理後
オーバーパックあり

2,000TBq

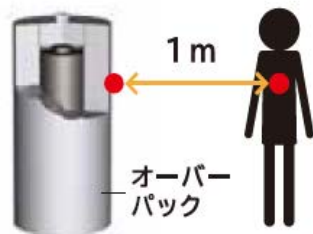
表面線量 2.7 (mSv/時)
1m位置 0.37 (mSv/時)



1000年後
オーバーパックあり

約10TBq

表面線量 0.15 (mSv/時)
1m位置 0.02 (mSv/時)



数万年後

あまりにも
遠い将来

約1TBq*
(*T = 10¹² = 兆)

天然ウラン約7トンの放射能に相当



致死線量 6,000~7,000 mSv

とても危険

- 1人当たりの自然放射線量 (年間) 2.1mSv (日本人の平均)
- 東京・ニューヨーク飛行機往復 0.08~0.11 mSv/回
- 胸のX線集団検診 0.06 mSv/回
- CTスキャン 2.4 ~12.9 mSv/回

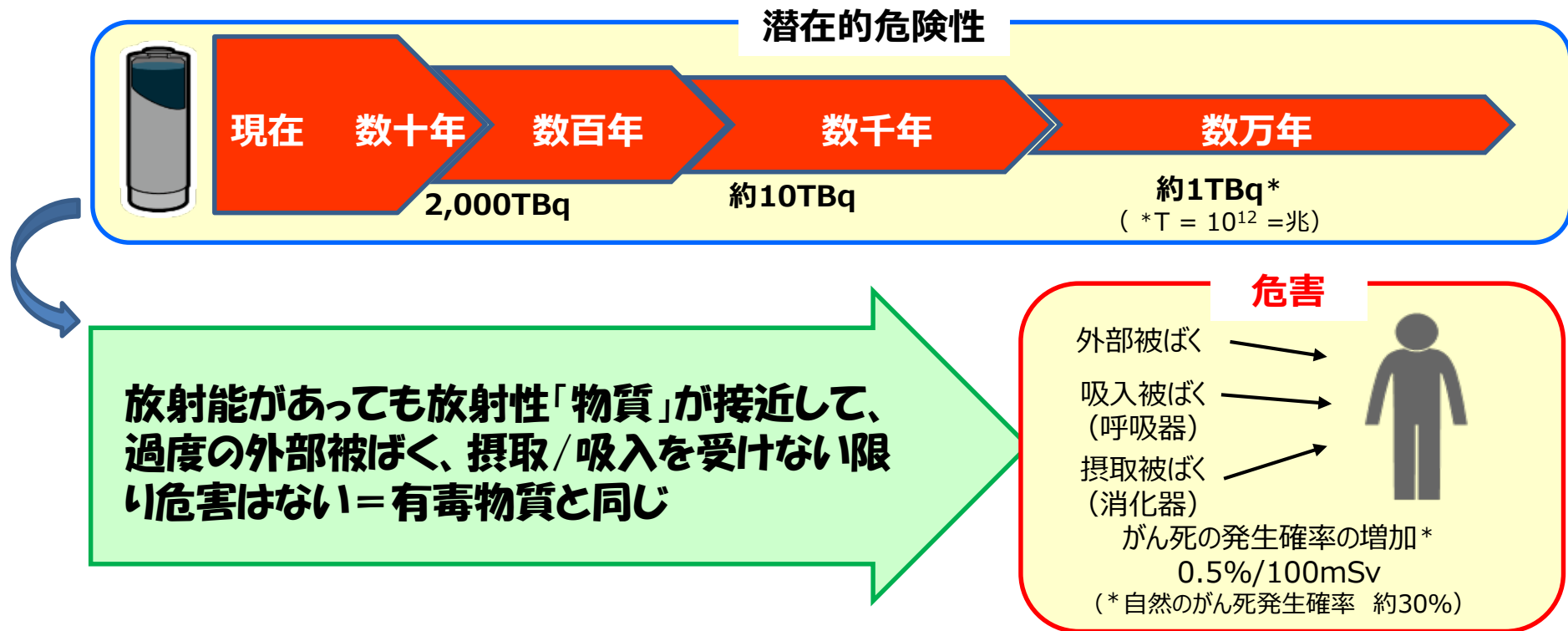
100 mSvの被ばくでガン死の確率が 0.5 %増加する

放射性廃棄物が怖い、いやだ!

何が怖いのか(幽霊の正体見たい枯れ尾花)

リスク = 危害のひどさ × 危害のもたらされる確率

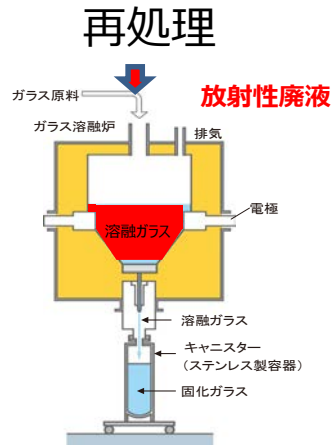
避けたい危害は放射性物質(潜在的危険性)ではなく、その接近による被ばくのリスク



1. 避けたいのは廃棄物そのものではなく、その中の放射性物質が接近して起こる**被ばくによる健康影響** (風評被害等はこれを怖がることによる二次影響)
2. 被ばくは、放射性**物質**が生活環境に分散して人と接近して起こる
3. 放射性廃棄物のおかれている物理的・化学的状態によって、水、空気による放射性物質の運搬による生活環境への分散のしやすさ (危害の起こる確率) は変わり、運搬される放射性物質の量 (危害の大きさ) も限られる

リスクは放射性物質のおかれている状態によって異なる

(リスク = 危害のひどさ × 危害のもたらされる確率) は右の状態に行くほど小さくなる



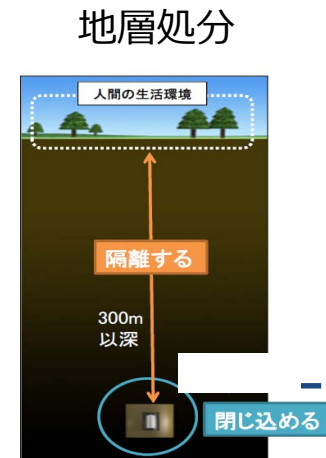
液体⇒固体

固体にされていれば、空気や水により運ばれて生活環境に飛散・分散する可能性は小さい



固体として生活環境中で管理

管理されていれば人が接近したり外部の擾乱により廃棄物が壊される可能性は小さい
遠い将来は管理が保証できない



固体として地下深部に隔離
地下の鉱物と同じ状態

水に溶けて運ばれて生活環境に到達する可能性は小さく、あるとしてもごくわずか

固体状態の放射性物質は自分から爆発することも動くこともない

- ✓ 放射性物質は一般的に水に非常に溶けにくい
- ✓ 地下深部の地下水の動きは一般的に非常に小さい
- ✓ 地下深部の地質環境は一般的に長い間ほとんど変化しない
- ✓ 核種 (元素) ごと
- ✓ 場所 (地質環境) ごとに程度が決まる

地層処分

原子力発電に伴って発生する「高レベル放射性廃棄物」を、地下深くの安定した岩盤に閉じ込め、人間の生活環境や地上の自然環境から隔離して処分する方法を「地層処分」と言う。

地下深部の特徴



隔離機能

- 人の生活環境や地表の自然過程の擾乱から隔離されている



閉じ込め機能

- 酸素が少ないため、ものが変化しにくい
- 地下水の流れが遅いので、ものの動きが非常に遅い



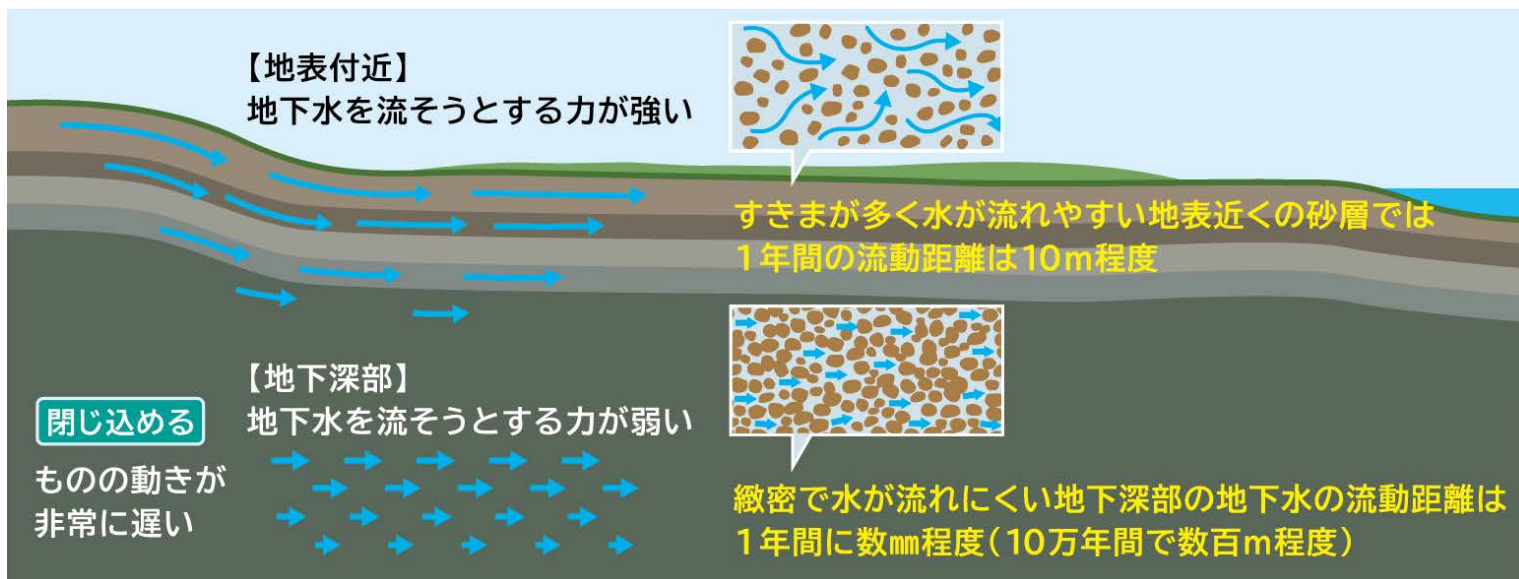
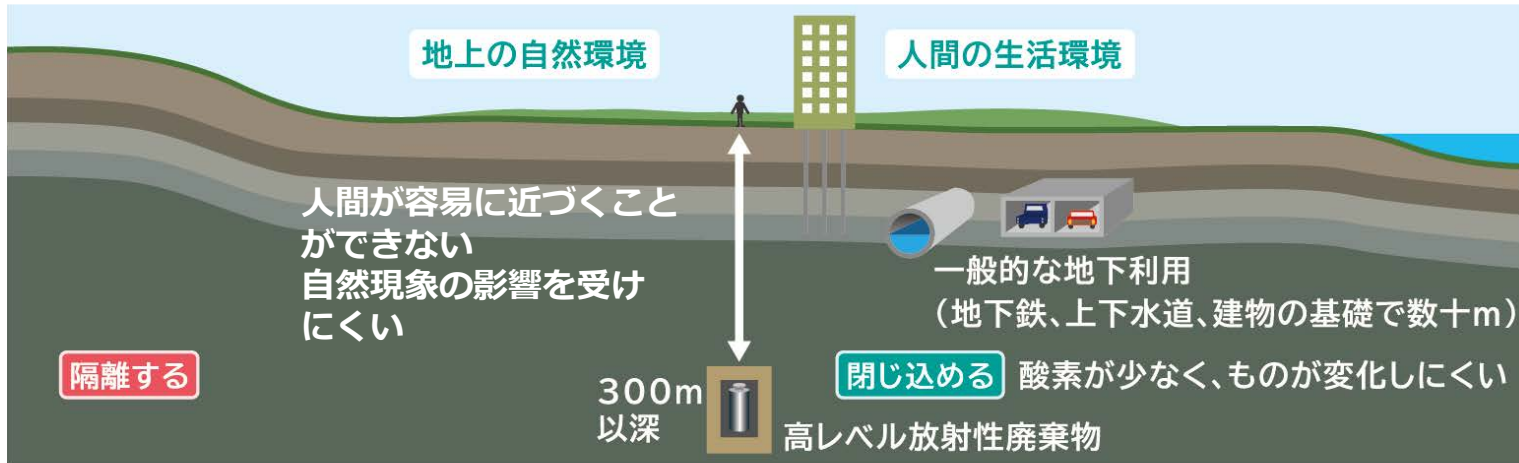
廃棄物の周囲が乱されなければ、放射性物質は減衰してなくなるまで固体中に閉じ込められたまま（地層中の固体成分と同じ）となり、長期間にわたり人間の生活環境に影響が及ばない

放射性廃棄物のリスク



放射能だからいつか何か恐ろしいことが起こる→情報不足による誤解
放射性廃棄物を隔離して閉じこめておけば人が被ばくすることはない

地層処分が利用する地下深部の特徴



外的擾乱事象

自然過程

- ✓ 氷期・間氷期 (十万年周期)
- ✓ **地震、火山、断層**、台風
- ✓ 地滑り、津波、隕石、他

人為過程(人間侵入)

- ✓ 破壊、爆発、火事、公害、
- ✓ 事故、戦争、テロ、他
- ✓ **探査**、道路工事、建設



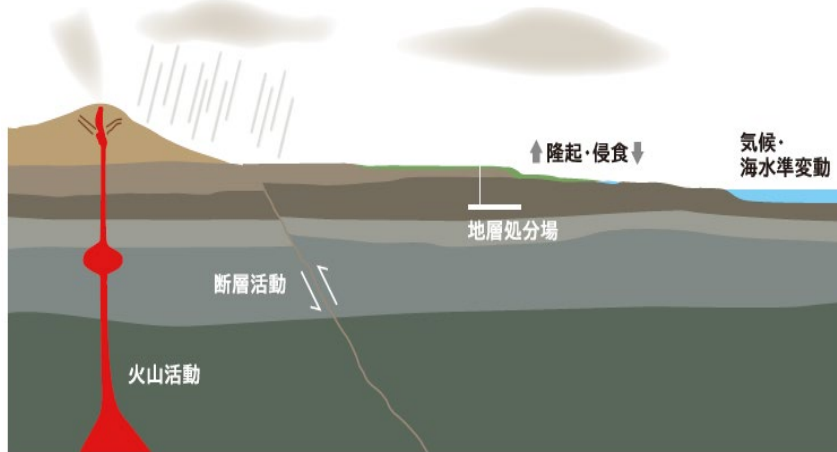
大抵の外的擾乱事象の影響は避けられるが、火山、断層運動、人間侵入などの影響は地下深部にも及ぶ。

処分地の選定：段階的調査の必要性

変動帯である日本列島においても安定な地域が存在する一方で、日本のどこでも地層処分が可能なわけではない。

不利な自然現象の回避

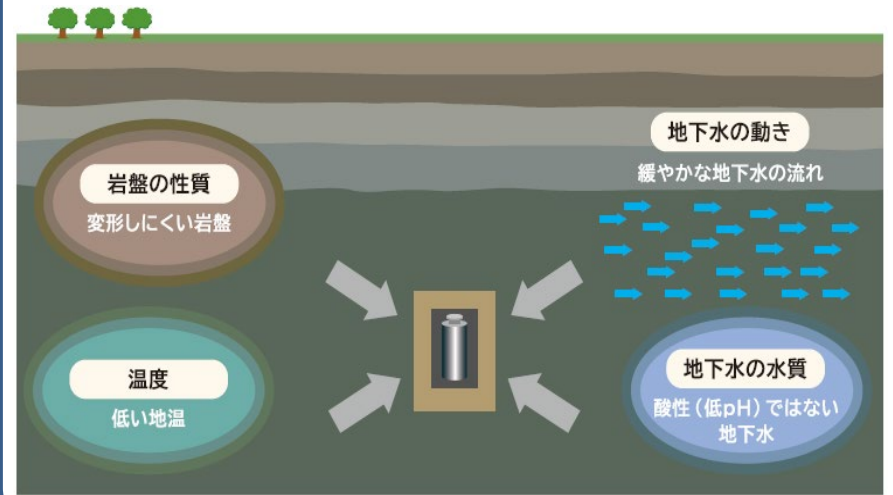
- 将来にわたって、火山活動や大きな断層のずれが、処分場を破壊するようなことがないか
- 隆起・侵食などにより、処分場が地上に近づくことがないか



過去の記録、地表の情報、地表からの調査（ボーリングなど）でほぼわかる。

安定な地質環境の確保

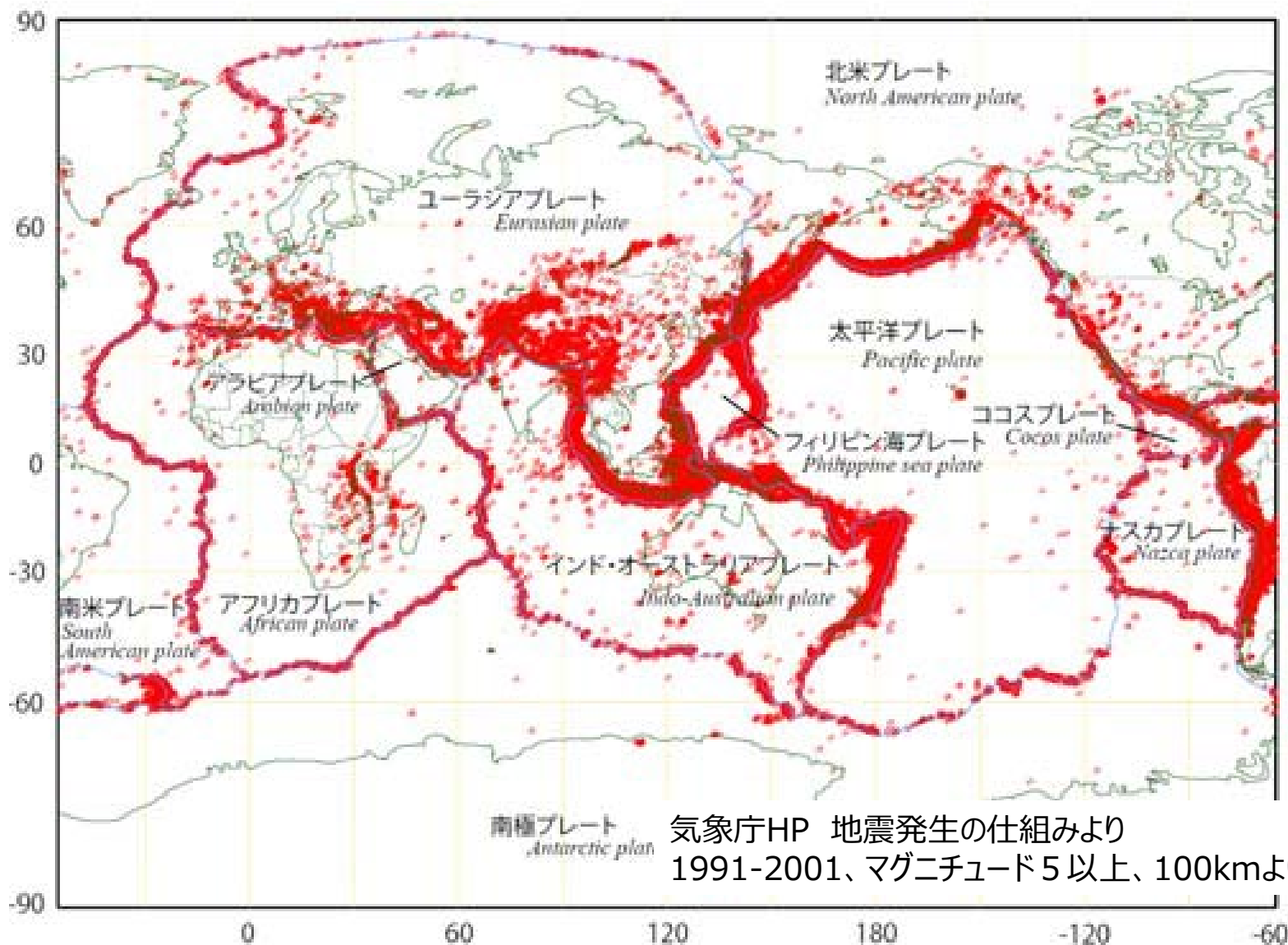
- 好ましい地下環境特性（地下の温度、地下水の動きや水質、岩盤の性質）が長期間にわたって確保できるか



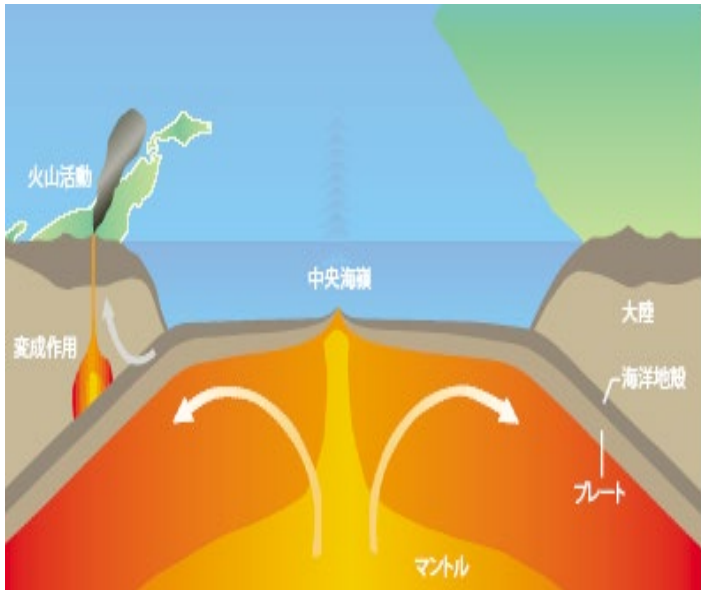
地下は概ね安定であると考えられるが、詳細は地下を調査しないとわからない。

地表から地下へ、広域から狭域へ段階的に調査・評価して、処分地を選定することが必要。

火山国、地震国の日本でも大丈夫？ 世界の大きな地震の分布



地下深部はどのくらい安定しているか 日本列島を含む周辺のプレートシステムの理解



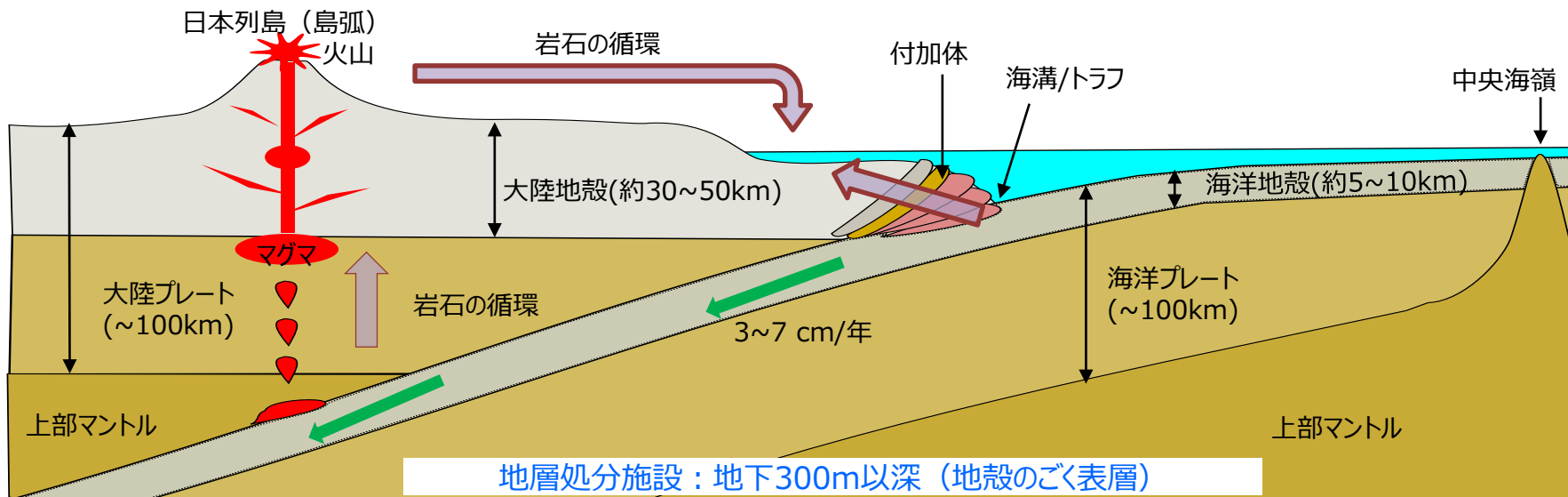
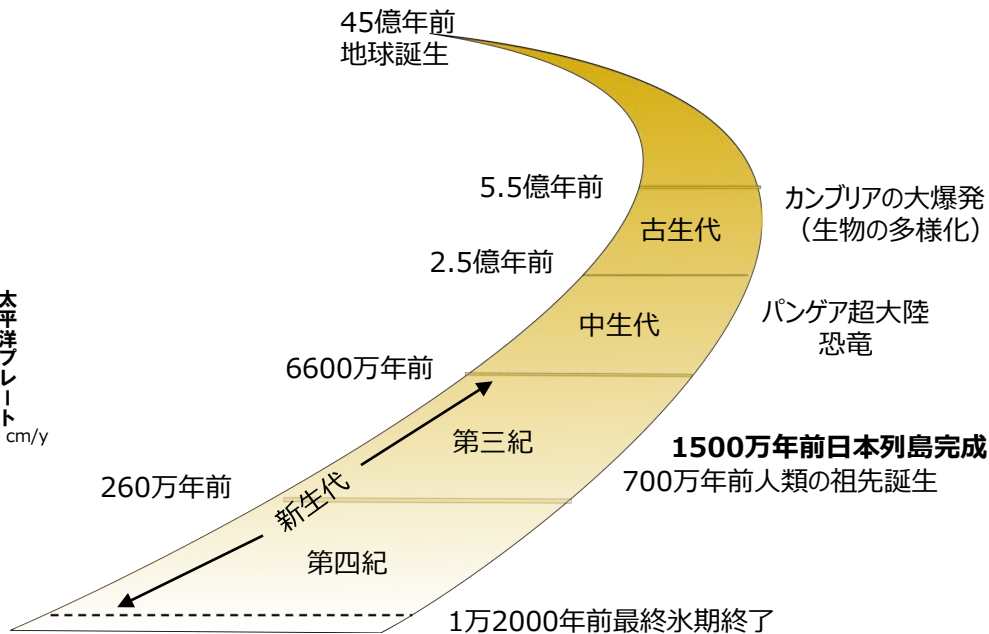
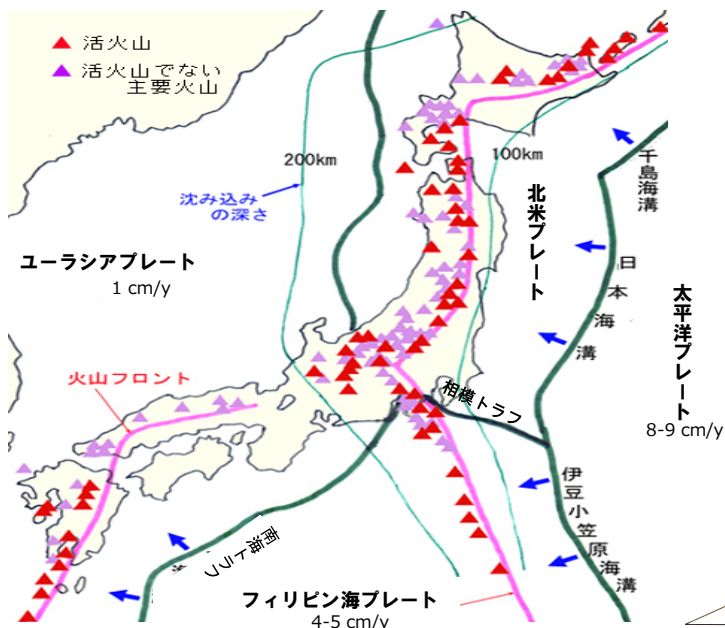
プレートの動き：3~7 cm/年 (×1億年 = 3000~7000 km)

- 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。

日本列島の地形・地質の形成

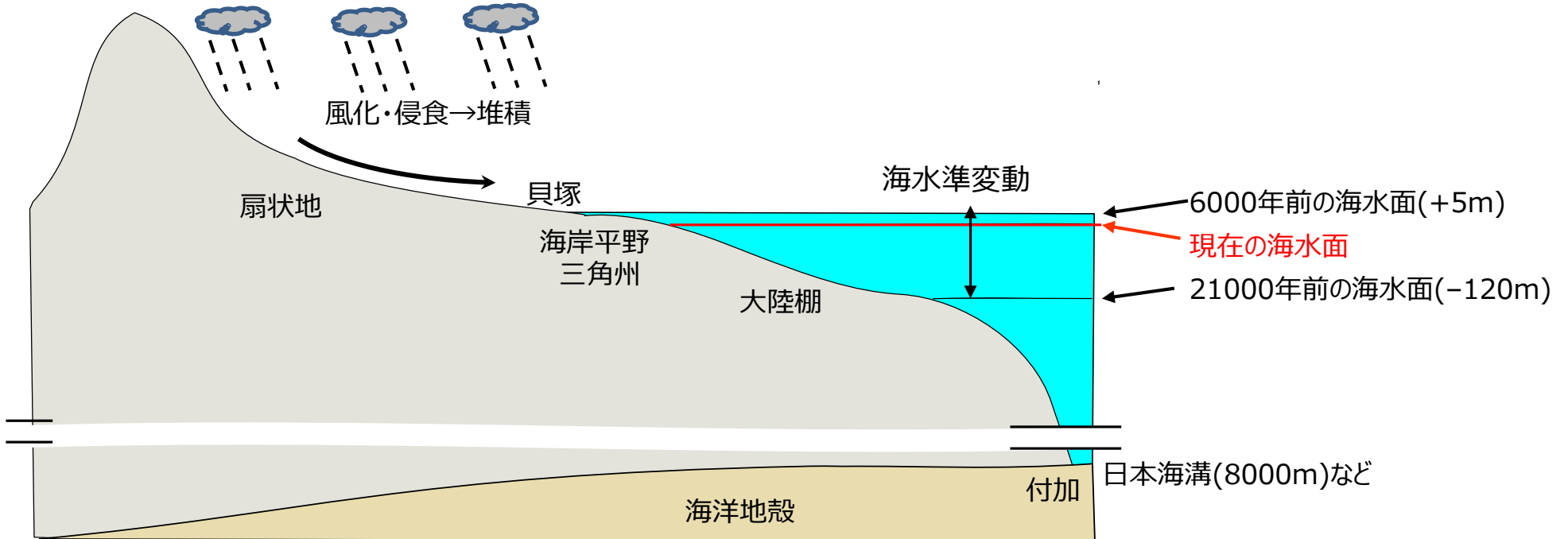
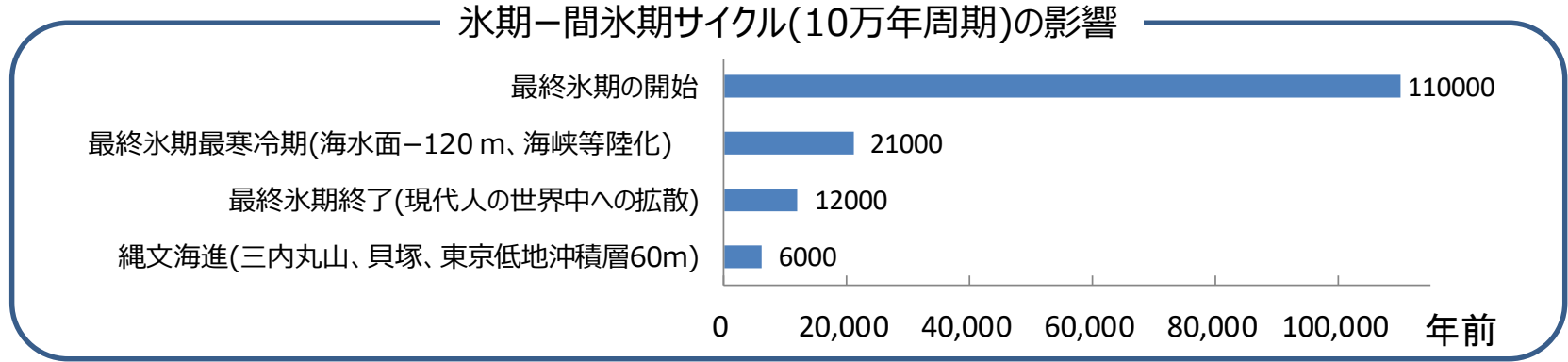
地下環境（地層）の形成は数百万年以上の長期の時間をかけた変化



地層処分施設：地下300m以深（地殻のごく表層）

地表環境の変遷(地形の形成)

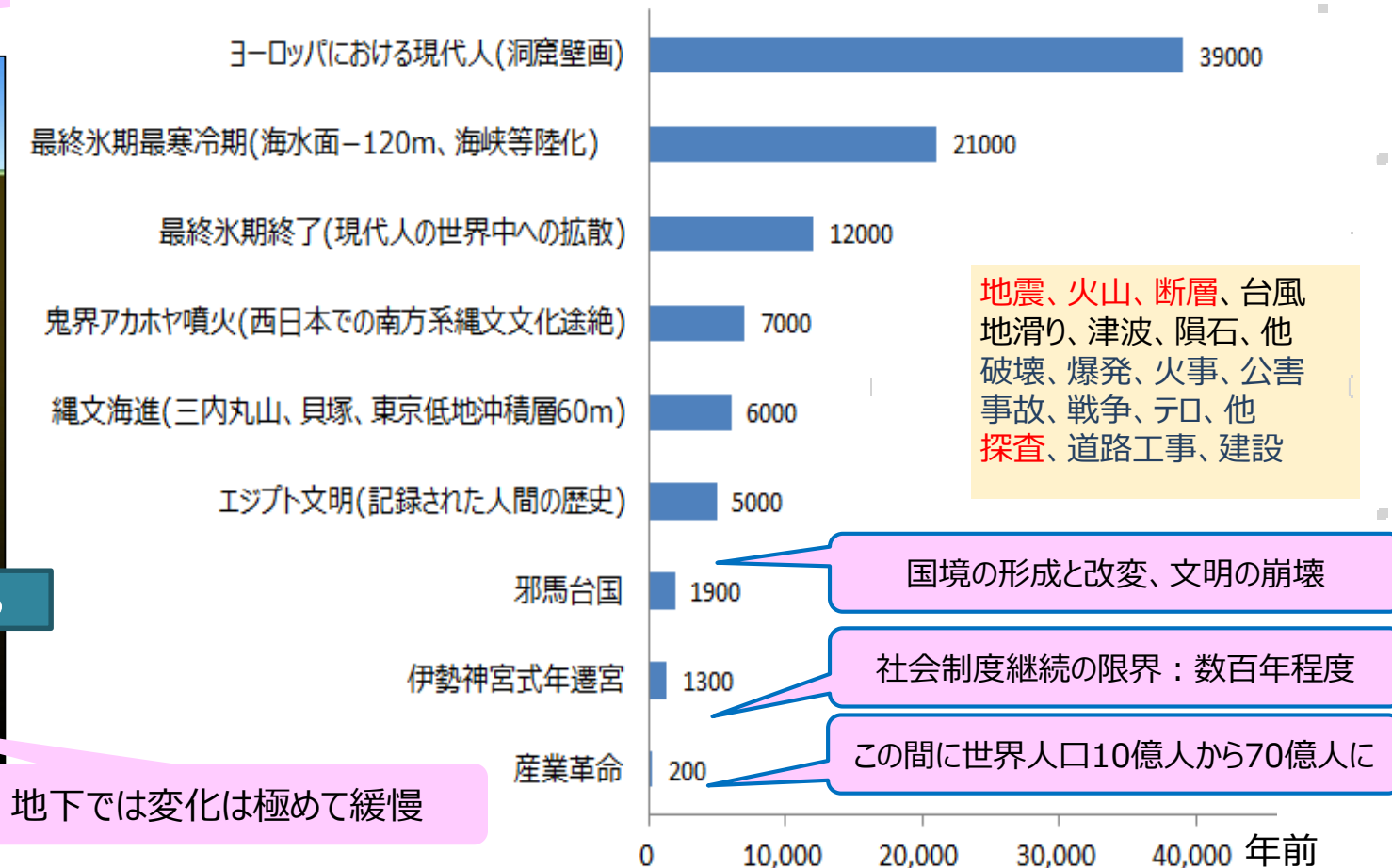
地表の地形・地質の変化は気象・気候、生物活動の影響を受けて活発



地層処分の基本的な考え方:

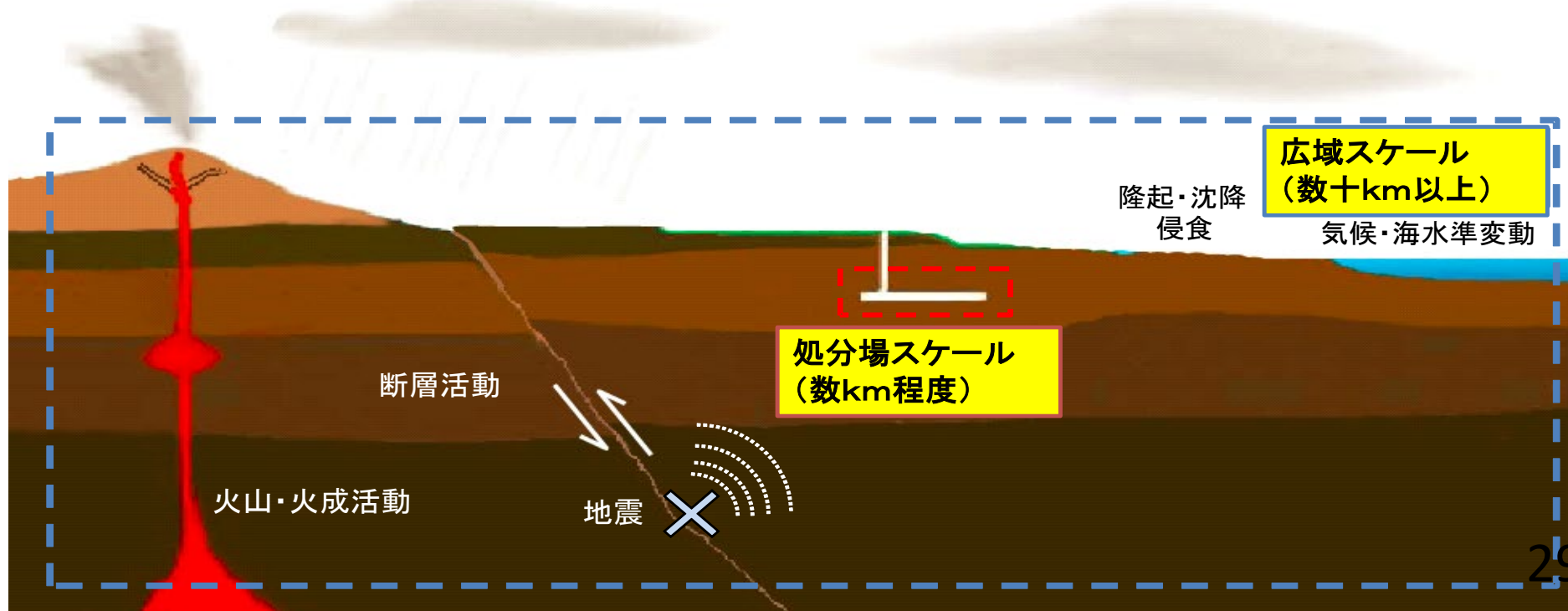
①被ばくからの人と環境の防護 ②現世代と将来世代を同等に防護する

- 地上は地下よりも、地震、火山噴火、台風、津波などの影響を受けやすい
- 地上は地下よりも、ものが腐食・劣化しやすい
- 数万年も人間社会が管理し続けられるのか？
- 管理に必要な技術や人材を維持し続けられるのか？
- 将来世代が管理を行うために必要なコストを負担できるのか？

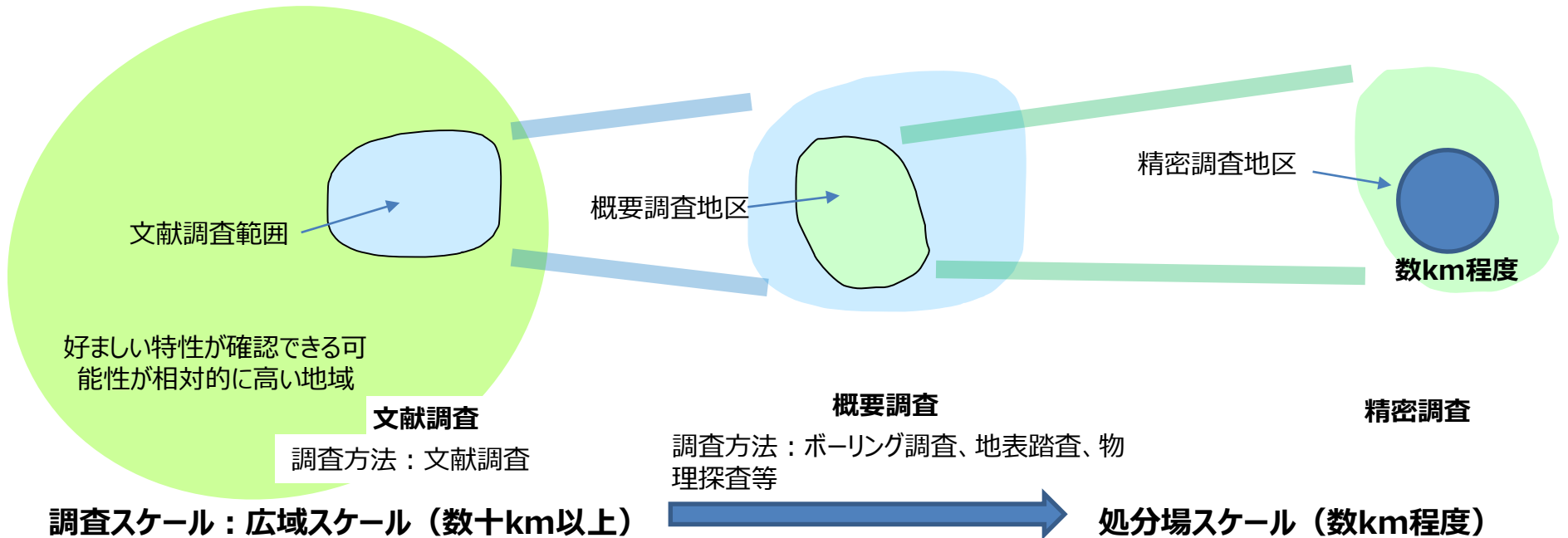
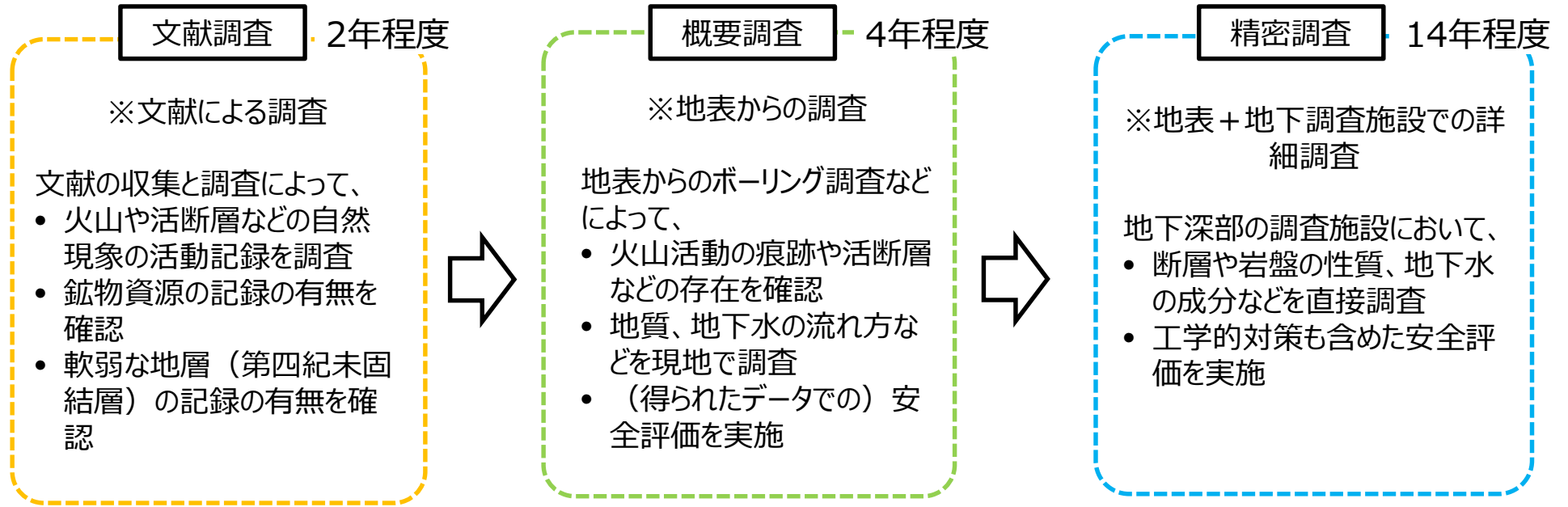


「科学的特性マップ」の提示の意義及び要件・基準の検討の視点

- 地層処分に関する地下環境等の科学的特性を示すことで、多くの方に関心と理解を深めて頂くため、「科学的特性マップ」を提示。その要件・基準は、主に以下の観点で検討。
 - ①地質環境特性とその長期の安定性（数万年以上）
 - ②建設・操業時の安全性（数十年程度）
 - ③輸送時の安全性（数十年程度）
- 特に、広域スケールの科学的特性（火山、活断層など）を中心に検討。処分場スケールの科学的特性は、基本的には今後の処分地選定調査で明らかにする必要。

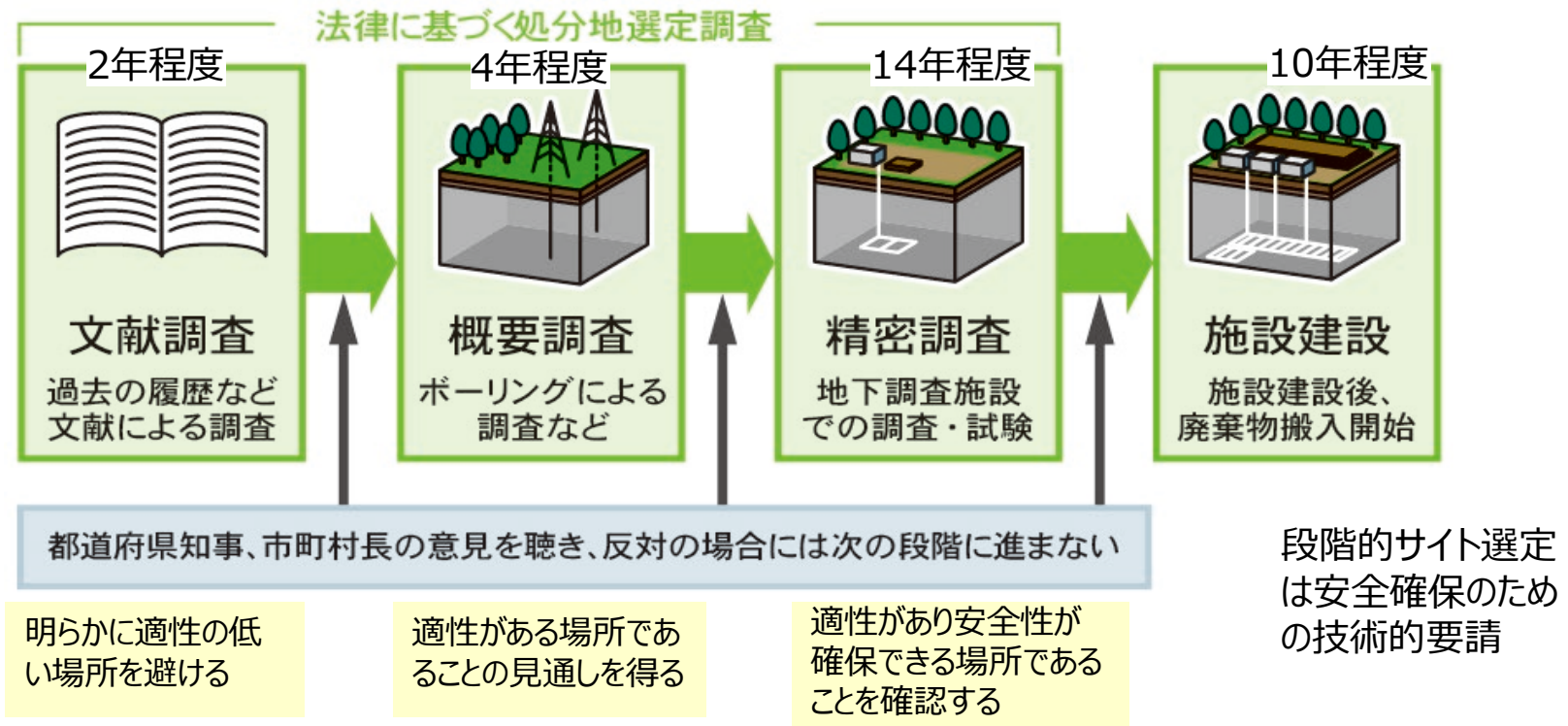


段階的処分地選定調査の内容と空間スケールのイメージ



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



※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）。

- 地層処分の考え方とこれまでの経緯
- **科学的特性マップの提示**
- マップの提示の意味と今後考えていただきたいこと

新たなプロセスの追加(科学的特性マップの提示)

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。 ← 科学的特性マップに改称
- 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。

平成29年7月公表

※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
特性マップの提示

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

①文献調査

②概要調査
(ボーリングの実施等)

③精密調査
(地下施設の建設・試験)

施設建設
廃棄物搬入開始

20年
程度

2年

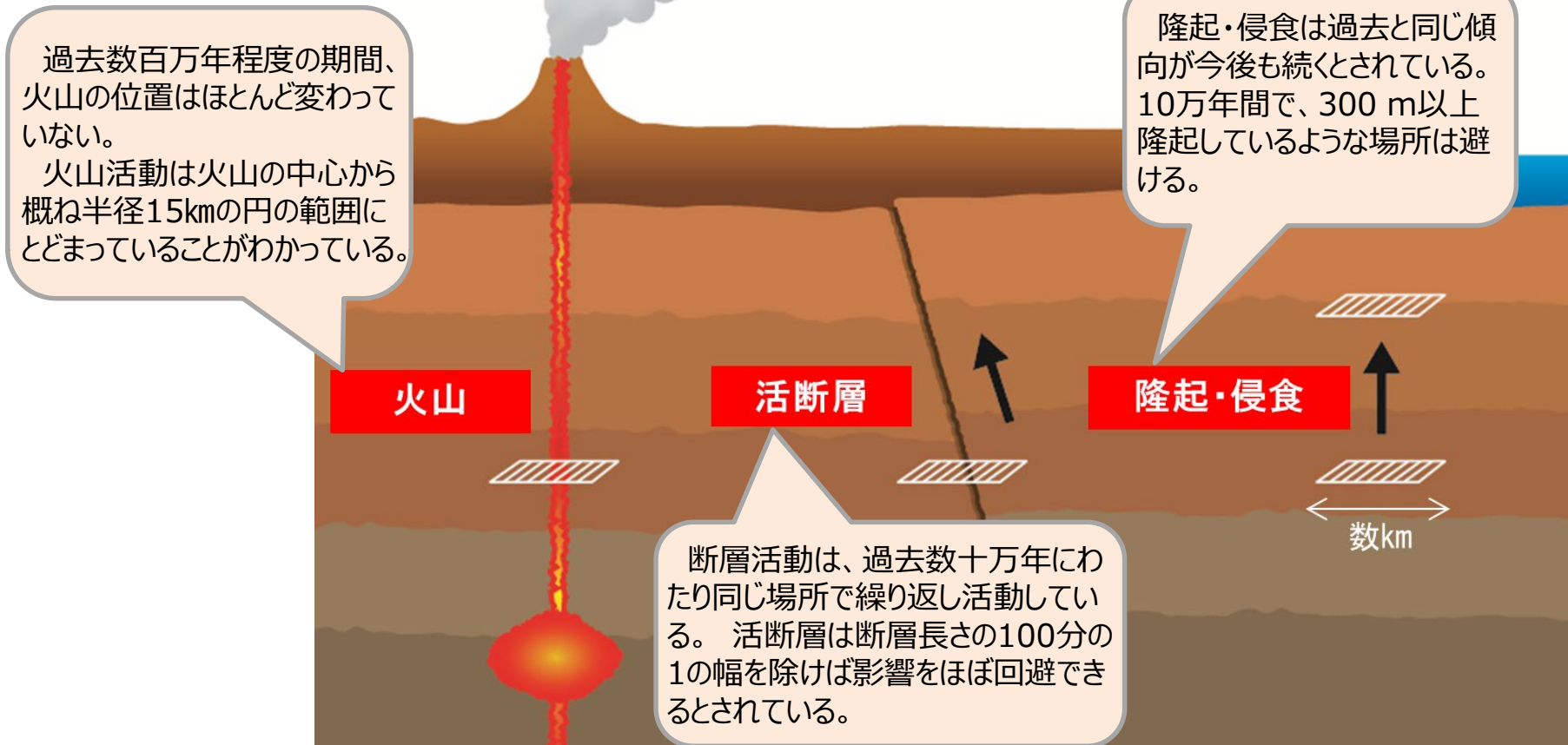
4年

14年

要件・基準の例

埋設後長期（数万年以上）の安全性（天然現象）

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することができると考えられる。



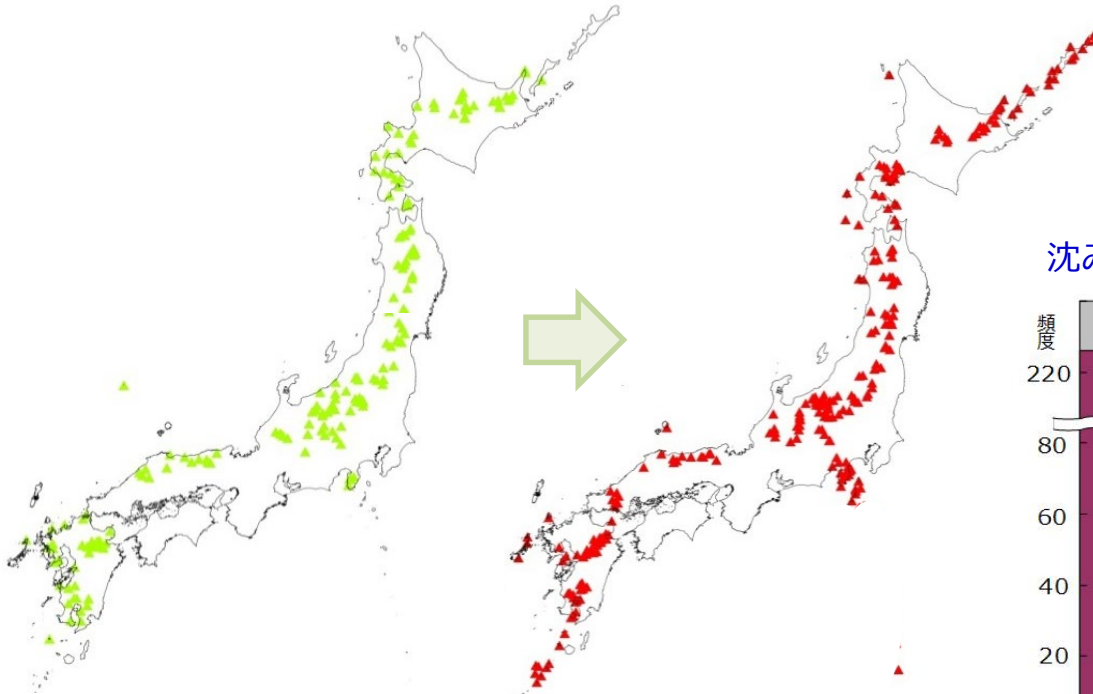
火山や活断層

過去から現在までの分布が把握されており、今後の変遷(ほとんど変化がないこと)を少なくとも10万年程度の時間範囲で予測できる

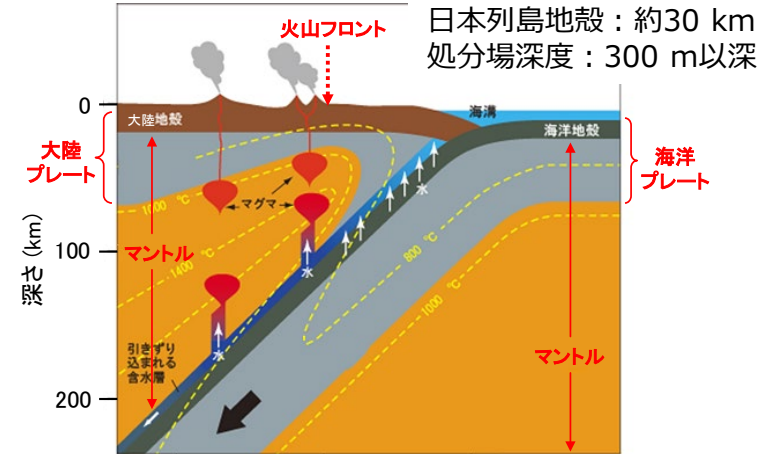
【日本列島における火山の分布】

約260万年前～
約80万年前
に活動した火山

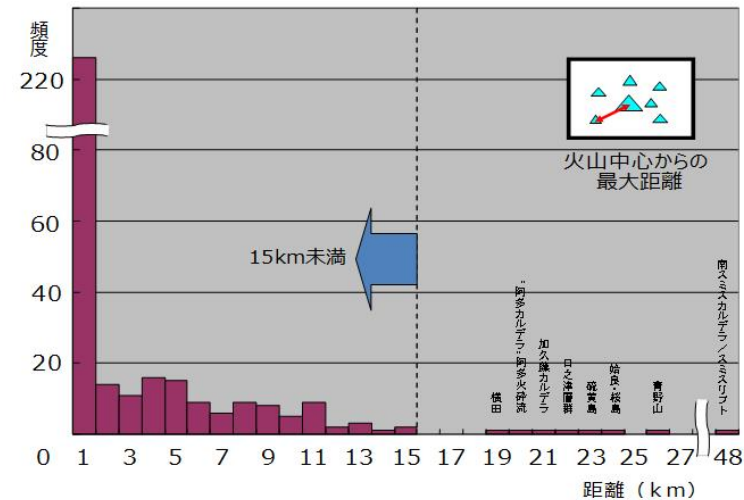
約80万年前～現在
に活動した火山



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



沈み込み帯におけるマグマ発生モデルの例 (巽, 1995を編集)

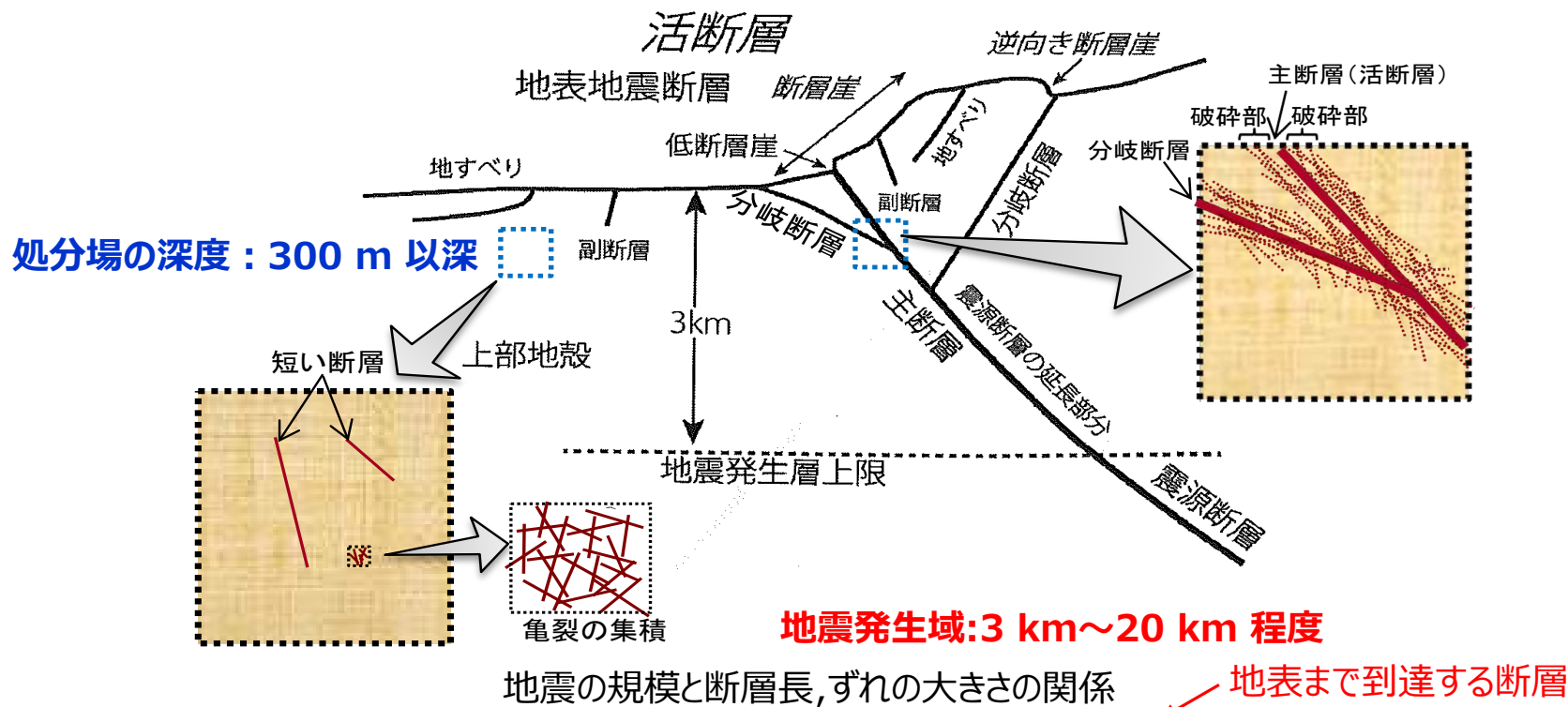


第四紀火山の中心と個別の火山体間の最大距離と頻度

(第四紀火山カタログ委員会編, 1999を基に作成されたNUMO, 2004を使用)

活断層の影響

- マグニチュード7以上の地震を引き起こす震源断層のずれは、地震発生域（地下3～20 km程度）の全体に及び、上限を突き抜けて地表にまで達する可能性がある。このような活断層は、繰り返し活動するとともに、大きな変位をもたらすため、廃棄体を直撃しないように避ける必要がある。なお、地下には地表に現れていない活断層が存在する可能性があることに留意する必要がある。
- 断層活動に伴って地層が破碎された範囲(破碎帯) は、断層の長さにはほぼ比例することがわかっている。**断層長さの100分の1の幅**(断層の両側合計)を持たせて除けば活断層の透水性に対する影響はほぼ回避できると考えられている。

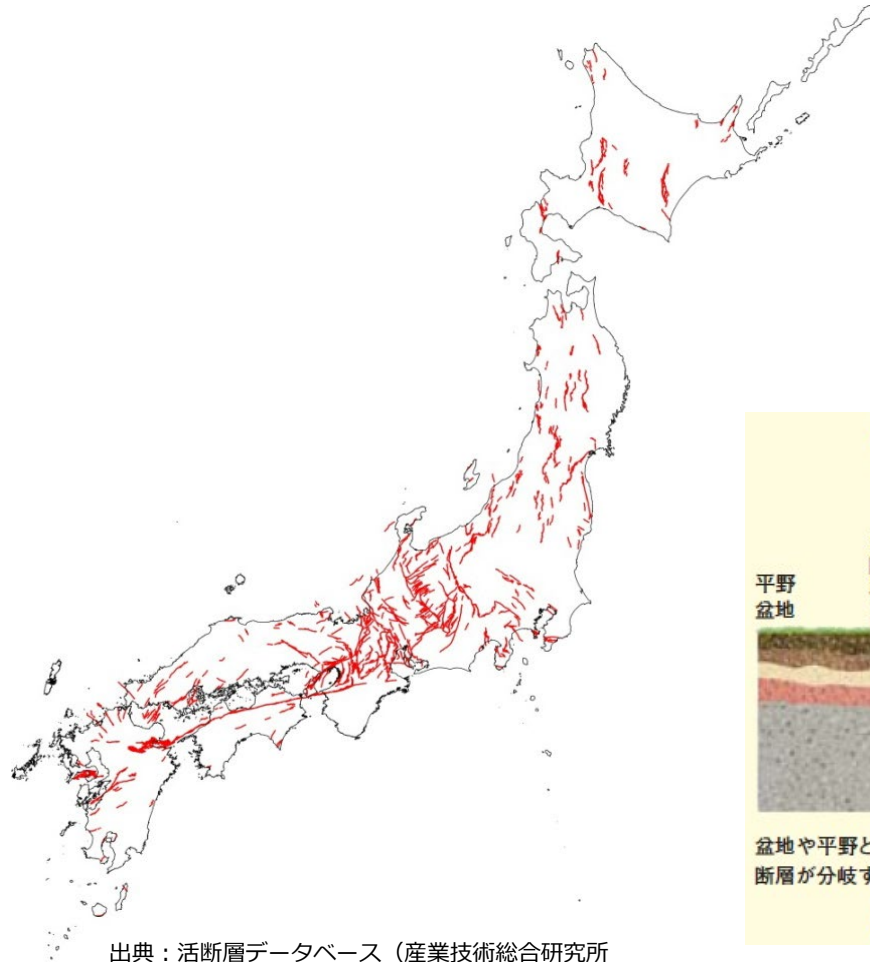


地震の規模と断層長, ずれの大きさの関係

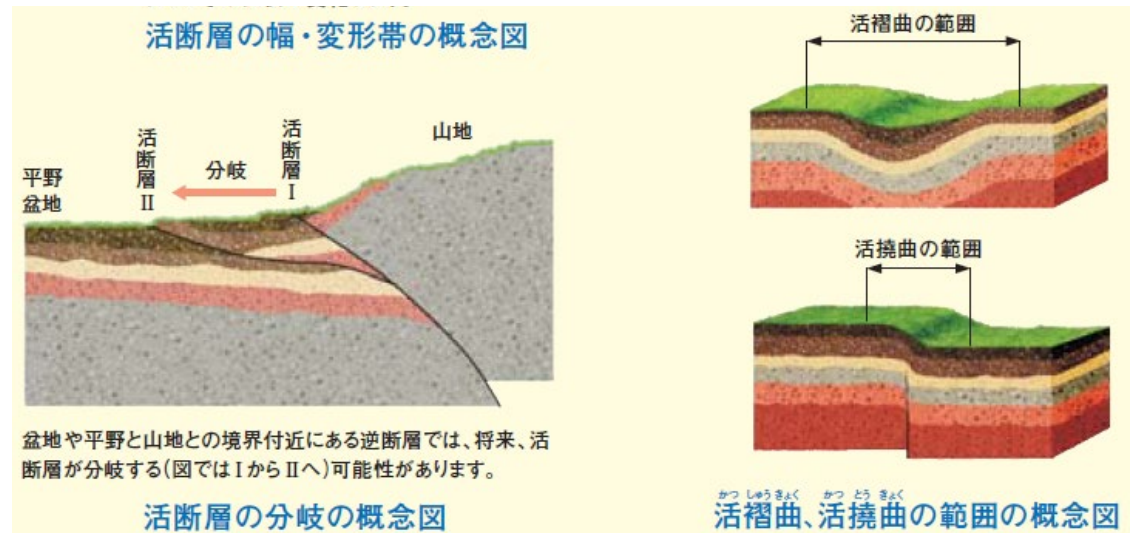
マグニチュード	M4	M5	M6	M7	M8
断層長	0.8 km	2 km	8 km	20 km	80 km
ずれの大きさ	0.9 cm	4 cm	22 cm	2 m	10 m

活断層の影響の避け方

処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。



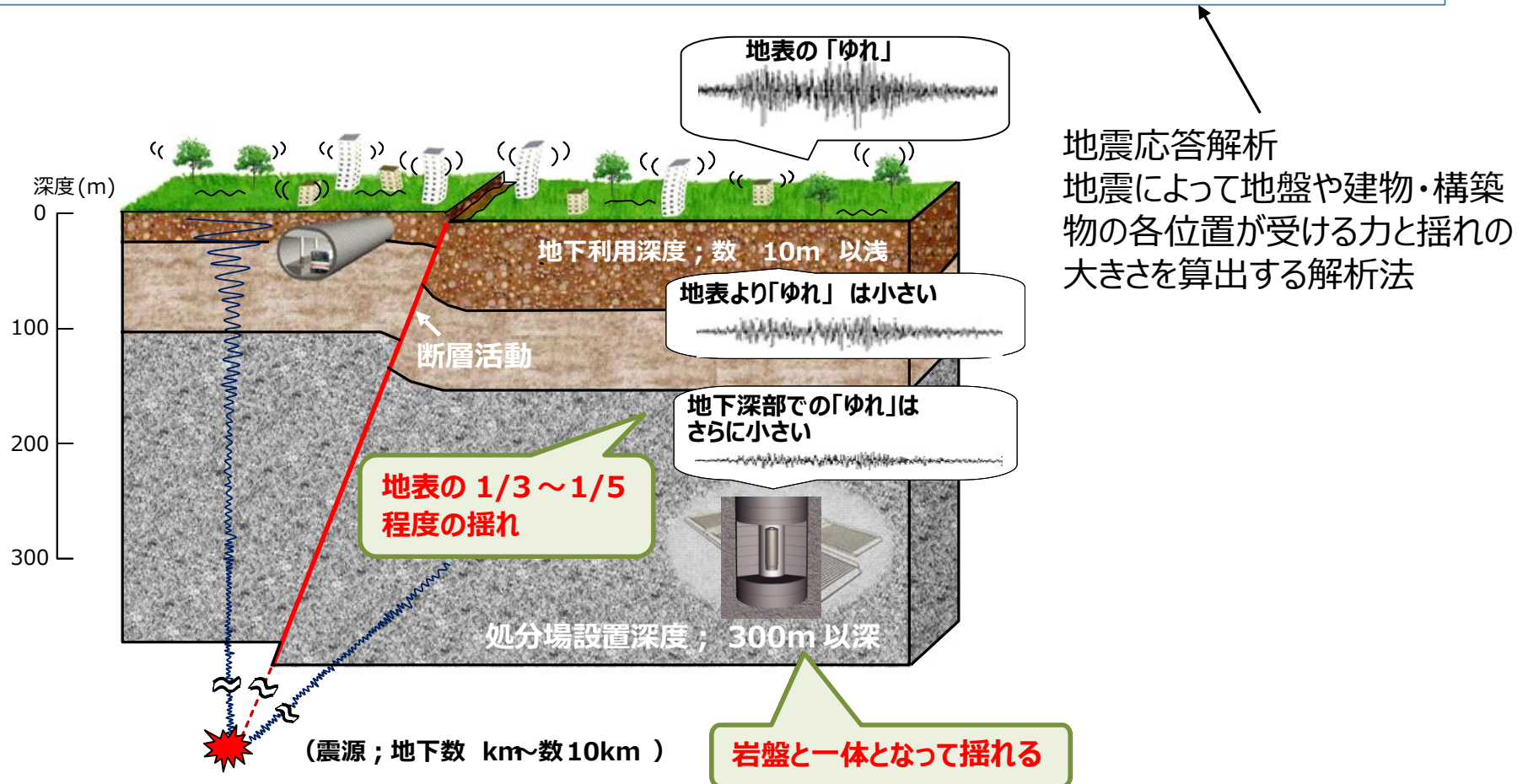
- 断層の分布、破碎帯の幅および外側の変形帯に含まれる範囲
- 断層の伸展・分岐が発生する可能性がある領域
- 変形帯や活褶曲・活撓曲の分布範囲
- 変位規模の小さい断層、地表の痕跡が不明瞭な断層、地下に伏在している断層による影響



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）

地震の影響について

- 地震時の地下深部の揺れは地表に比べて1/3～1/5程度に小さい。
- また、廃棄体と岩盤が一緒に揺れることから、地下深部の処分施設に地上と同程度の大きな影響が及ぶことは考えにくい。
- 具体的な対象地点が決まれば、その地下環境を詳しく調べ、どのような影響が及ぶかを評価し、必要な設計上の対策を講じていく。



隆起・侵食の影響

隆起・侵食により、処分場が地表に著しく接近することにより、放射性廃棄物と人間が直接接触するリスクがある。



- ◆ 隆起、海水準変動により海水面との高さの差が生まれる。
- ◆ 河川による下刻、波浪侵食、風食、マスマーブメント等が起こる。
- ◆ 最も大きな場合、隆起または海水準変動分だけ侵食する可能性がある。
- ◆ 氷期においては海水準が最大で150m 程度低下する可能性がある。

◆ 好ましくない範囲の基準

過去 10 万年における最大侵食量が300 m を超えたことが明らかな範囲

※基準を適用する全国規模で体系的に整備された文献・データが存在しない。

将来10 万年間で隆起と海水準低下による侵食量が300 m を超える可能性が高いと考えられる地域（具体的には、海水準低下による最大150 m の侵食量が考えられる沿岸部のうち、隆起速度最大区分（90 m 以上/10 万年）のエリア）

要件・基準の例

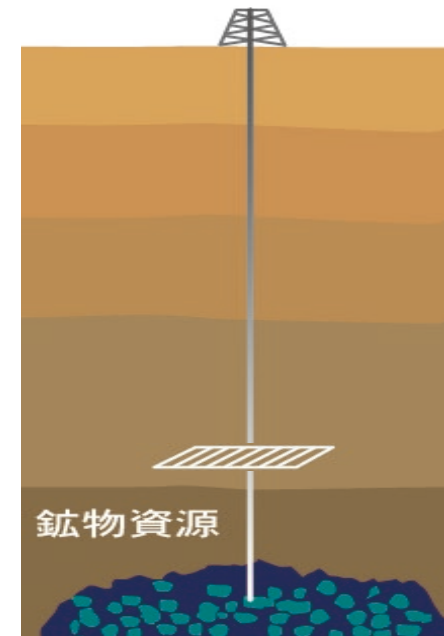
埋設後長期（数万年以上）の安全性（鉱物資源：人間侵入）

- 鉱物の探査や採掘にともなう人間の侵入を避ける必要。
 - 埋設後の長期安定性に係る要素だが、他の要件・基準とは異なり、将来の人間侵入リスクに関するもの。
 - 何が「有価物」かは、時代や地域性によって異なる可能性があり、そうした不確実性も認識しつつ、現在の経済的価値が高いものは少なくともできるだけ避けようとの議論が国際的になされている状況。
 - 具体的には、経済的に価値の高い油田・ガス田、炭田、金属鉱物の存在を考慮。

◆好ましくない範囲の基準

- 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量の大きな鉱物資源の存在が示されている範囲

※炭田については、鉱量が示されているか否かに留意が必要
※金属鉱物については、エリアで表現することが困難であることに留意が必要

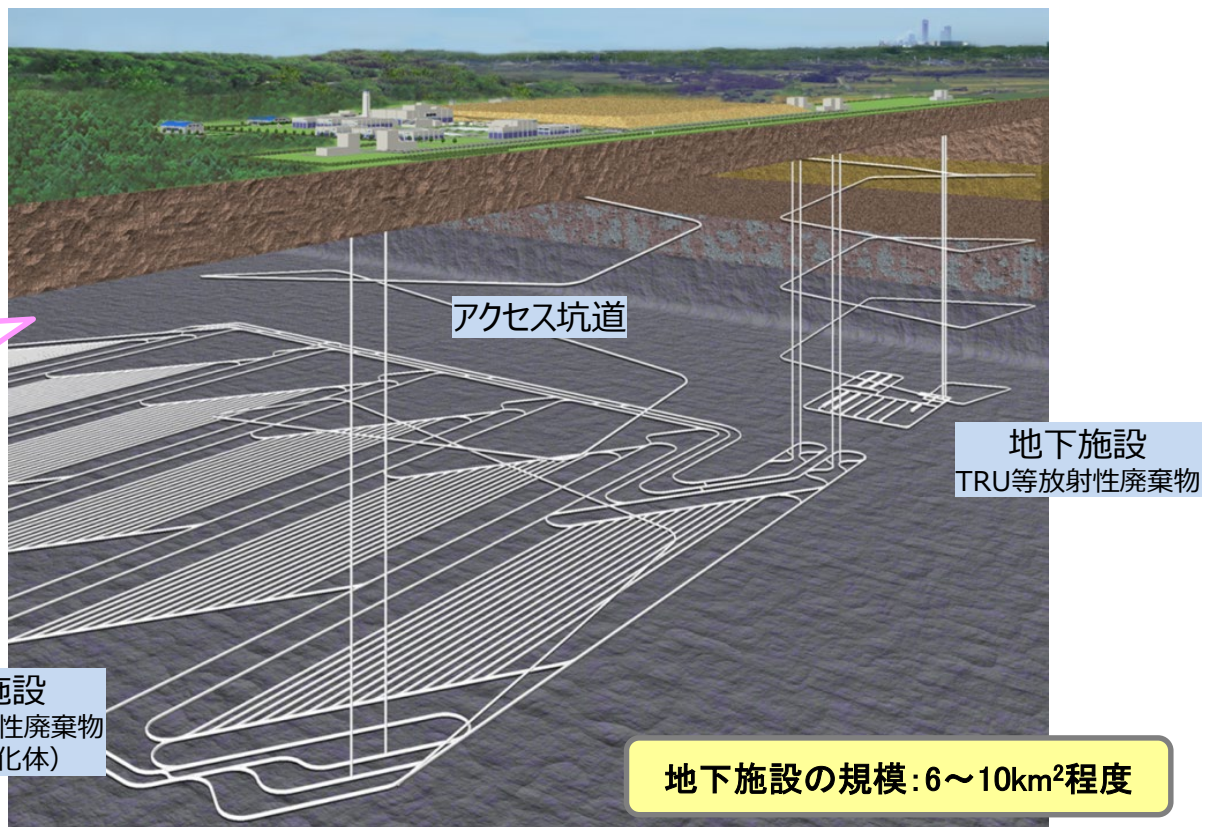


鉱物資源の探査による人間侵入のイメージ

要件・基準の例 建設・操業時の安全性（数十年程度）：軟弱地盤

- 地下施設は、地下300mより深いところまで行動を掘り、その総延長は200km～300kmにもなる。
- 日本のトンネル掘削技術は世界トップクラスであるが、崩落等のリスクが高いところは施設の設置には不向き。

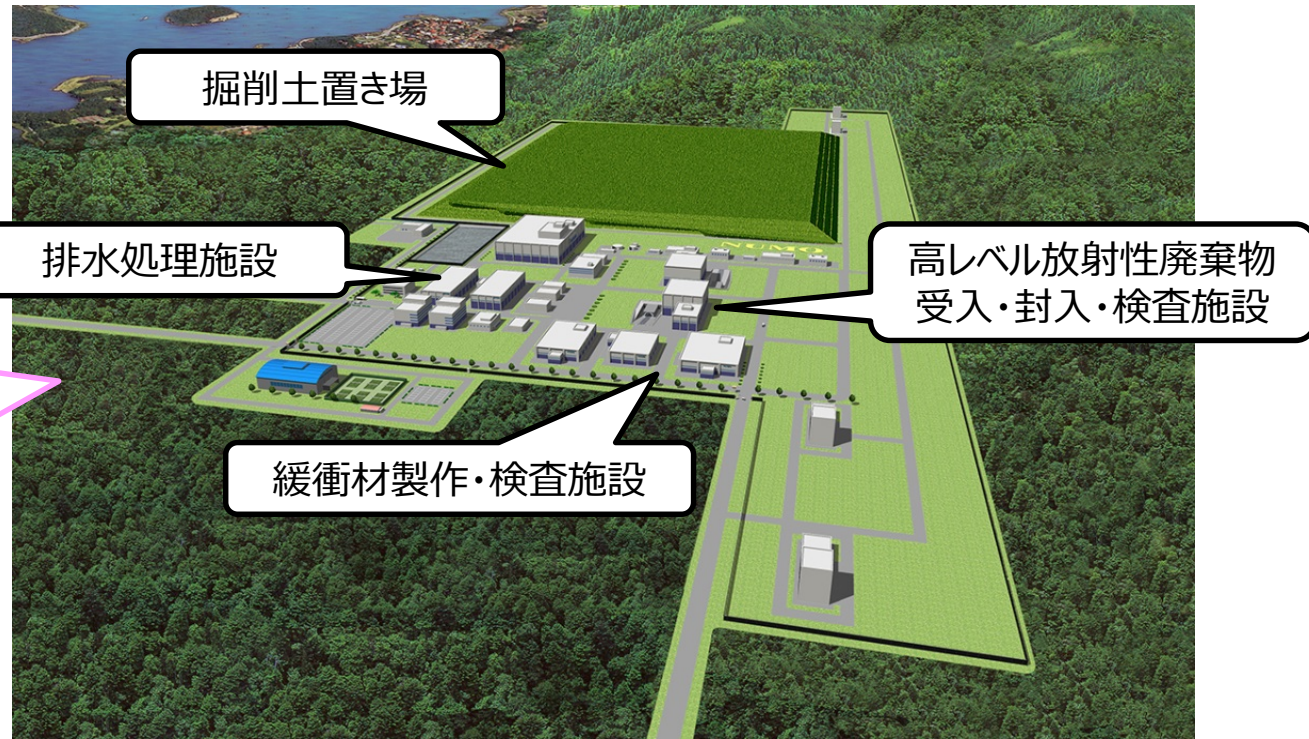
深度 300 m以深まで更新世中期(約78 万年前)以降の地層が分布する範囲



要件・基準の例

建設・操業時の安全性（数十年程度）：自然災害

- 地上施設は、ガラス固化体から放出される放射線を十分に遮蔽するために、施設の壁を厚くする等の工学的対応を行う。
- ただし、**火砕流等**の自然災害の影響により、施設が破壊されてしまうことは避ける必要がある。



完新世（約 1万年以降）の火砕流堆積物・火山岩・火山岩屑の分布範囲

地上施設の規模：1～2km²程度

要件・基準の例

輸送時の安全性: 好ましい地域

20km程度以内が好ましい

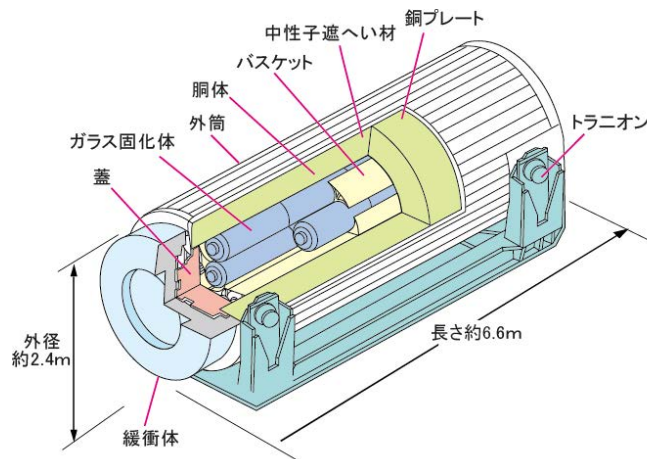
再処理後に発生するガラス固化体は、青森県六ヶ所村にある高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センターで、30～50年間貯蔵し、温度（発熱量）が十分に下がるのを待ってから、処分施設に輸送する予定。安全性を確保するために、長距離輸送は海上輸送が最も適当な手段であり、港湾から処分場までの地上での輸送距離や輸送時間は短い方が好ましいと考えられる。

専用海上輸送船



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。

ガラス固化体の輸送容器



合計約150 t

ガラス固化体：約0.5 t × 28本
容器：約100 t
車両：約34 t

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。

専用輸送車両



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。

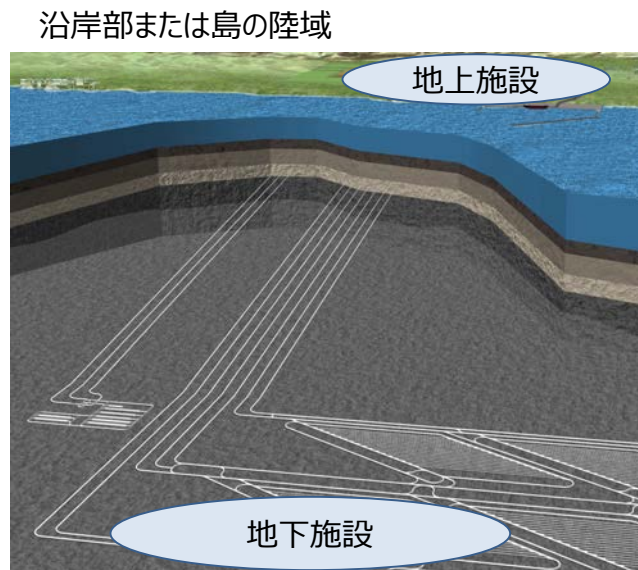
グリーン沿岸部について

- 20kmは一律に設定した目安
海岸線からの距離が短い範囲でも、港湾の確保や、輸送道路の確保などが難しいこともあり得る。逆に、目安の20kmを超えても、輸送上の制約が大きい地域も存在する可能性はあるので、調査受け入れ地域毎に、事業者（NUMO）が具体的に検討する。
- 津波の影響
処分場閉鎖後：坑道が完全に塞がれるので、地下処分場には影響は及ばない。
閉鎖前の施設（特に地上施設）：個別地域の状況に応じて、原子力関連施設と同様の津波対策が必要。具体的には、必要に応じて、標高の高いところに地上施設を設置するなど工学的対策をとることなどが検討される。

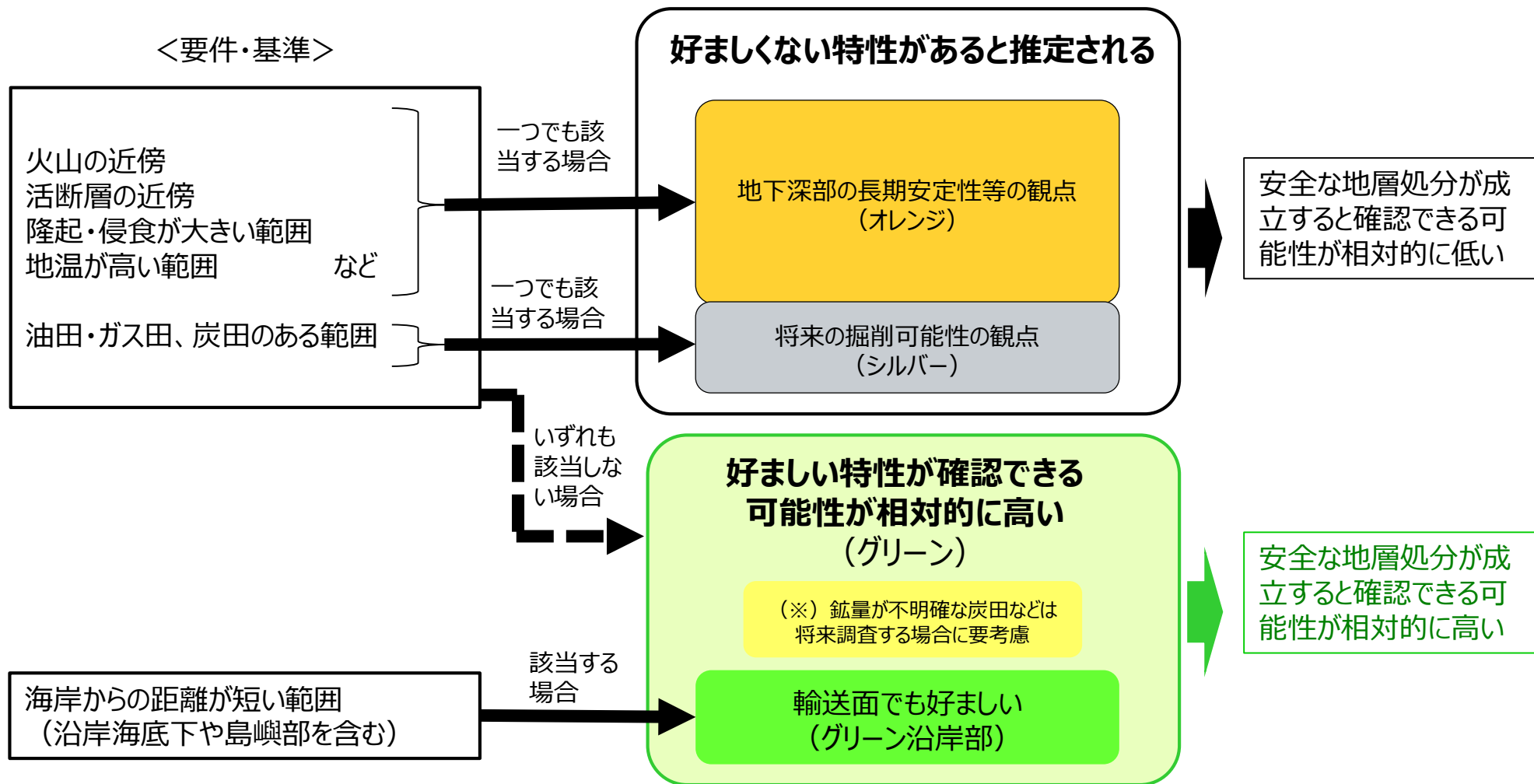
- 沿岸海底下の処分
地上施設を沿岸部又は島の陸域に、地下施設を海底下に設置することも可能

考慮事項

- ✓ 地下水の流れが極めて小さい
- ✓ 海水準変動、塩淡境界、侵食の影響
- ✓ 建設操業時の安全性（津波、湧水）



要件・基準のまとめ／特性区分



✓ 社会科学的観点（土地確保の容易性など）は、科学的特性マップの要件・基準には採用しない。

要件・基準のまとめ

好ましくない特性があると推定される範囲の要件・基準

		要件	基準
地質環境特性と長期安定性	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がある、過去の隆起量の大きな沿岸部
	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
建設・操業	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るところ（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
人間侵入	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

好ましい特性が確認できる可能性が相対的に高い（輸送面でも好ましい）範囲の要件・基準

		要件	基準
操業	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

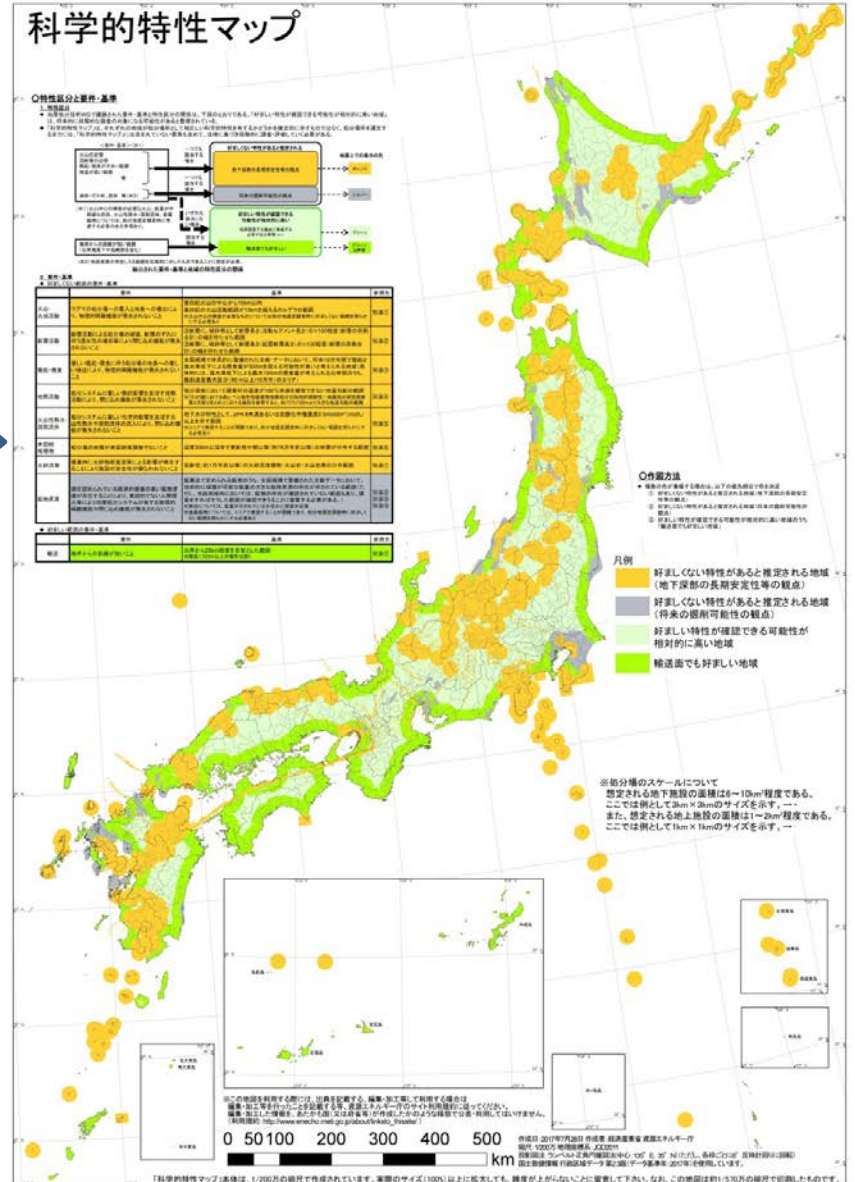
科学的特性マップは段階を前に進めたいための試み

科学的特性マップ提示(2017年7月28日公表)

http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/rw/kagakutekitokuseimap/

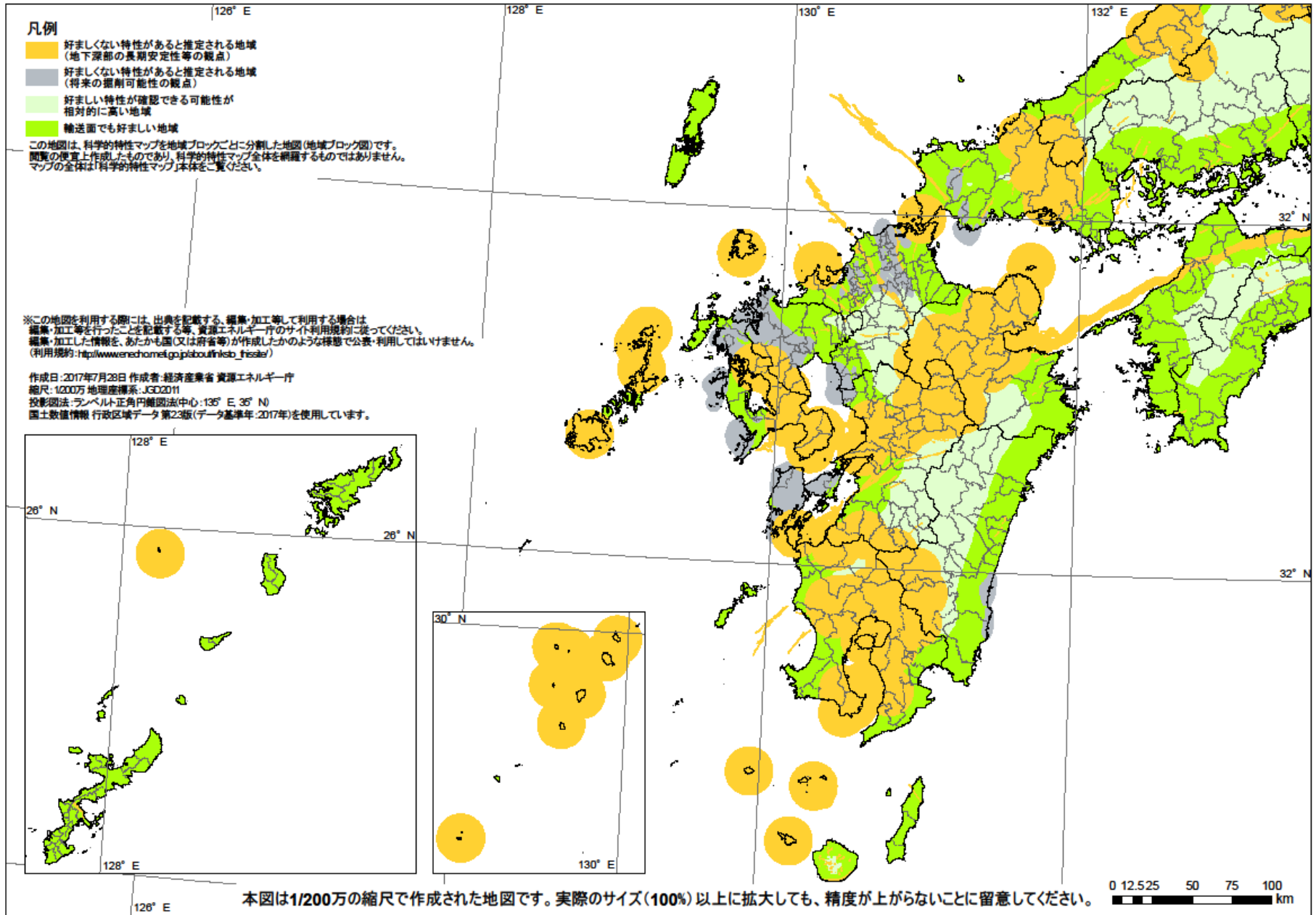
- 日本全国の地域特性を4区分(色)で示す
- 日本全国に占める面積割合
 - オレンジ : 約 30 %
 - シルバー : 約 5 %
 - グリーン : 約 35 %
 - グリーン沿岸部(濃いグリーン) : 約 30 %
- 地域特性区分に一部でも含まれる自治体数
 - オレンジ : 約 1,000
 - シルバー : 約 300
 - グリーン : 約 900
 - グリーン沿岸部(濃いグリーン) : 約 900

- 高レベル放射性廃棄物の地層処分の必要性
 - 地層処分の仕組みや日本の地質環境等についての理解
- を社会に訴えて、社会における協力を仰ぎたい。



注記：「科学的特性マップ」本体は、1/200万の縮尺で作成(約90cm×約120cm)

九州地域の科学的特性マップ



- 地層処分の考え方とこれまでの経緯
- 科学的特性マップの提示
- **マップの提示の意味と今後考えていただきたいこと**

科学的特性マップの提示の意図

- 科学的特性マップは、地層処分に関する地域の科学的特性を、一定の要件・基準に従って客観的に整理したもの。広く国民に、地層処分の仕組みや日本の地質環境等について理解を深めてもらうことが目的。
→ 廃棄物そのものに釘付けになっている意識（出てしまった廃棄物の善悪を問題とする意識）を、地層処分により安全が確保されるしくみ（どうすれば安全になるか）に向けてもらう。
- 今回のマップ公表は、長い道のりの最初の一步。やがては複数の地域に処分地選定調査を受け入れて頂くことを目指しながら、まずは一人でも多くの方に関心を持ち理解を深めてもらえるよう、全国各地で対話を重ねていく。
→ 認知バイアス（感情支配による誤解）の克服は、両者が積極的に関わる丁寧な対話（コミュニケーション）でしか乗り越えられない。
- 日本でも地層処分に適した地下環境が広く存在するとの見通しを共有しつつ、どうすればこの事業を社会全体として実現していけるのかについても、一緒に考えてほしい。
→ まず出発点として科学的知識を広く共有してもらい、その上で社会にとって良い意思決定をしてもらう。

放射性廃棄物の危険性に正しく対処する

放射性物質が環境に分散して人に接近しない限り危害はもたらされない
問題となるのは疑心暗鬼の感情のもたらす誤解

放射性廃棄物は社会の廃棄物、社会で協力して解決する

- 放射性廃棄物は既に発生して存在している。
- 発生（原子力の利用）により便益を受けたのは国民全員である。
- 廃棄物の放射能レベルは長期にわたり高いままで、放置によりもたらされる危険は国民の不特定多数特に将来世代に及ぶ。
- 現世代および将来世代へのリスクが最も小さくなる、実行可能な最善の方法として、地層処分が最善で、実現の見通しがある

地層処分事業に対する地域の参加があって初めて成立

- 社会問題の解決を目指す公共的生産事業と理解して、地域に事業に参加してほしい（地層処分事業を経営するパートナーとして）。
- 地域がその事業に参加することにより、利益を得て豊かになるのは他の生産事業の仕組みと全く同じ。
- 地層処分事業：公益性が特に強い長期の事業となるので、地域の安定的発展が重要。⇒ 今後の議論では地域とのパートナーシップの構築（一般国民の理解と協力）が特に重要となる。