

原子力発電により発生する 高レベル放射性廃棄物地層処分 についての所見

東京大学大学院新領域創成科学研究科
環境システム学専攻

徳永 朋祥

tokunaga@edu.k.u-tokyo.ac.jp

簡単な自己紹介

- 専門：地下水学、地質工学
- 現職：東京大学大学院新領域創成科学研究科
環境システム学専攻 教授
- 高レベル放射性廃棄物処分に関連する活動
 - 経済産業省 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 放射性廃棄物ワーキンググループ 委員
 - 経済産業省 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
(2022年11月より委員長)
- その他原子力事業に関連する活動
 - 原子力規制委員会 特定原子力施設監視・評価検討会 外部専門家

地層処分について考えるうえで歴史的に重要であったと認識していること(1)

実は、原子力利用の幕開け期、この問題の重要性はあまり深く認識されていなかった

The previous year (1948), Robert Oppenheimer, Chairman of the AEC (Atomic Energy Commission)'s General Advisory Committee, had dismissed the waste problem as “unimportant”. (Alley and Alley, 2013; カッコ部分加筆)

Alley, W. M. and Alley, R., 2013, Too Hot To Touch: The Problem of High-Level Nuclear Waste. Cambridge University Press, 370 pp.

地層処分について考えるうえで歴史的に重要であったと認識していること(2)

日本においては、その初期の検討では、タンク貯蔵などによる「閉じ込め方法」が検討されており、当時の方針としては、深海投棄を念頭において議論がなされていた(1962年の原子力委員会報告書)。この時代には、「地層処分」は実現困難とされていた。

米国ワシントン州ハンフォードサイトにおける高レベル放射性廃液漏洩(1972)

海外における多重バリアシステムに関する研究開発(ガラス固化等の技術導入)

⇒「原子力発電計画に伴う放射性廃棄物管理の目標・概念・戦略」報告書

(Polvani報告書, 1977)

など

1976年には、原子力委員会において「地層処分」を主たる方向性にするという方針変更がなされた。

増田ほか(2015) 原子力学会誌, 57, 325-330

小池(2015) レファレンス, 65(12), 59-88.

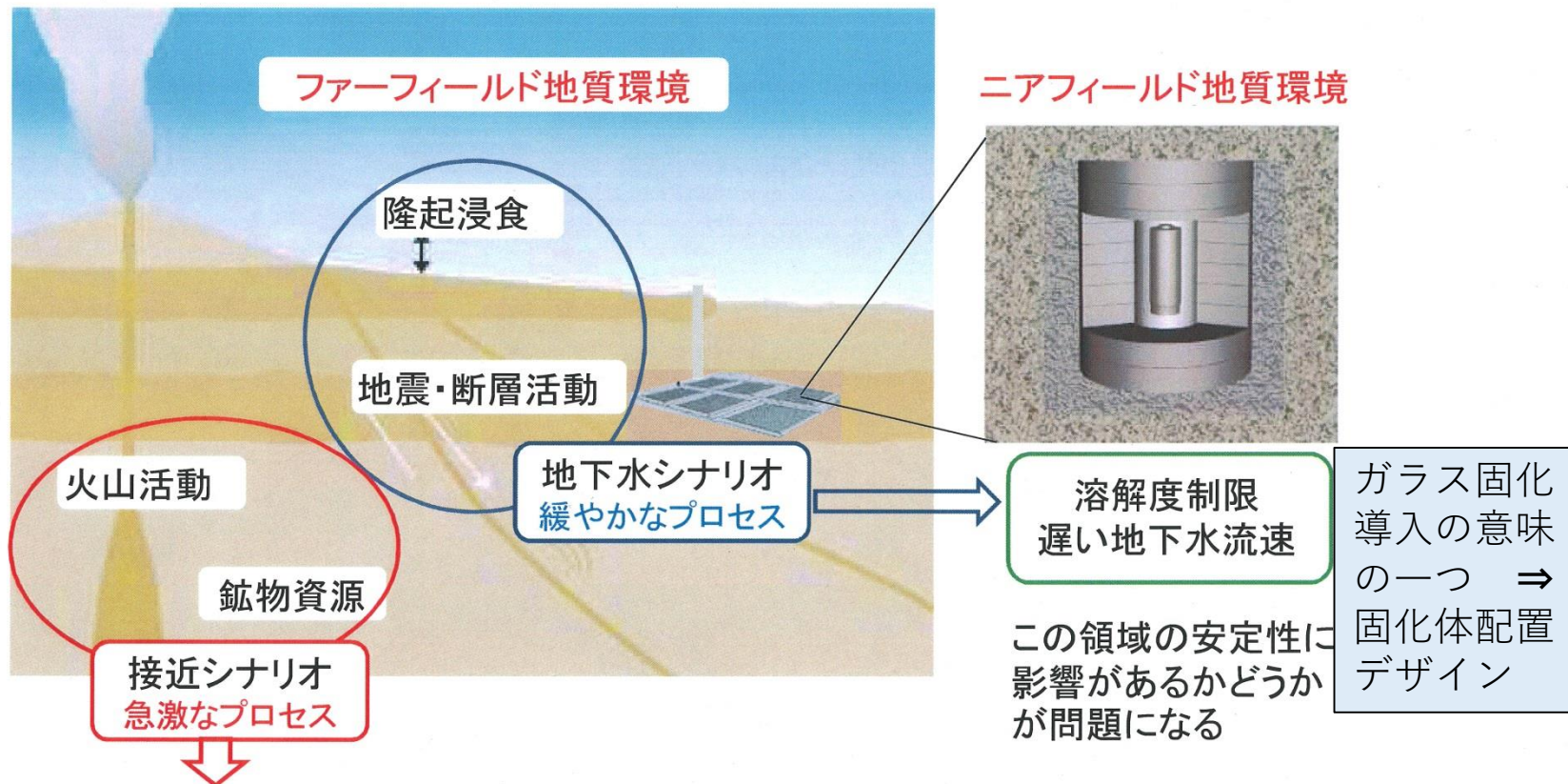
深部地下環境に期待することから

- 地表に比べて変動を受けにくい
 - 地下深部は、地表に比べて地震動・気象変動・人間活動の影響を受けにくい
 - 物質が変質しにくい
 - 地下深部は一般に還元的な環境であり、金属等の腐食が起きにくい
 - 物質が動きにくい
 - 地下水の流速は、地下深部では一般に遅いことが知られており、また、地下が還元的な環境であるため、核種によっては、固体表面に収着されやすいという性質を持つ場合があり、物質も動きにくい
- ・このような条件が達成される領域を選ぶということが「適切なサイトを選定する」ということ
- ・そのうえで、「サイトの特性に応じた地層処分に必要な機能を発揮する工学デザイン」を進めていくというアプローチ

シナリオに基づく将来評価とその説明 (朽山 前地層処分技術WG委員長のご説明資料:一部加筆)

https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/hoshasei_haikibutsu/pdf/002_01_00.pdfに加筆

自然事象の接近シナリオ、地下水シナリオに対する影響



深地下ファーフールド地質環境の変遷は極めて緩やかなので、火山や断層の位置や隆起の傾向は数十万年では変化しない(大抵の場所は大丈夫)

放射性核種の運命を言い当てるのではなく、運命の幅を把握する

火山活動、隆起侵食、鉱物資源、断層等についての考え方は、科学的特性マップ作成時の議論がある ⇒ 鉱物資源については、より丁寧な検討が必要と認識 (分布の三次元性等)

科学的特性マップ議論における好ましくない範囲とその要件・基準

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 |
| 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 |



地層処分技術WGでの議論における断層コアの見方

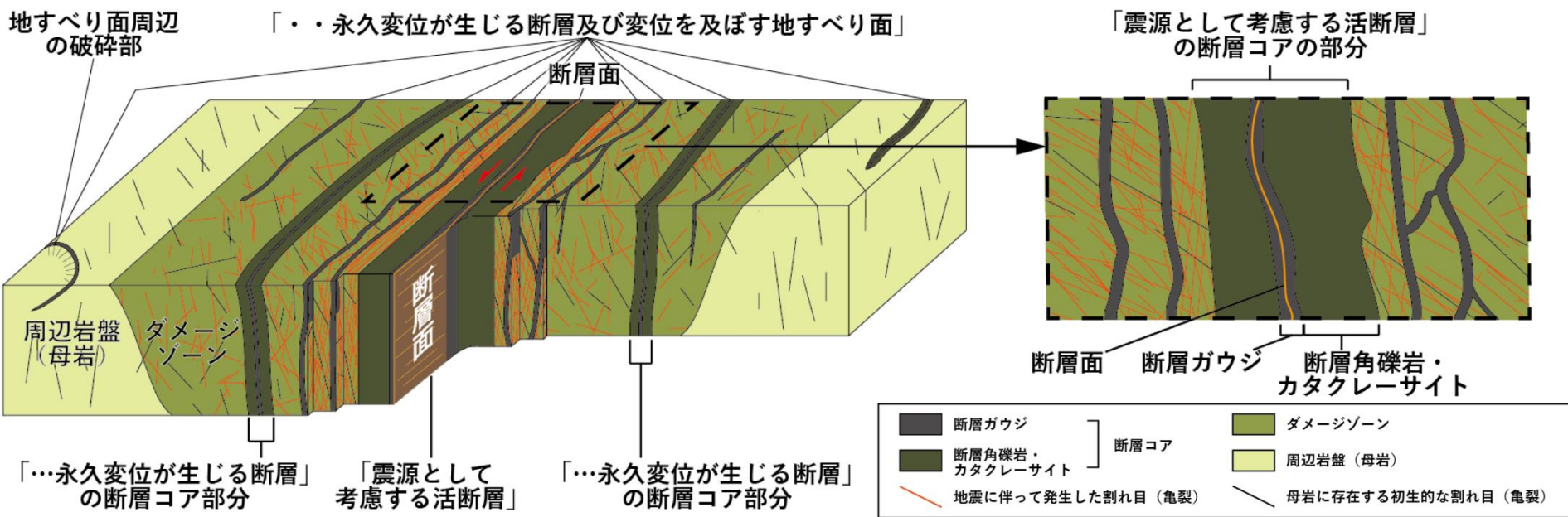


図8 断層及びその周辺の構造の概念図

避ける対象（文献調査段階）

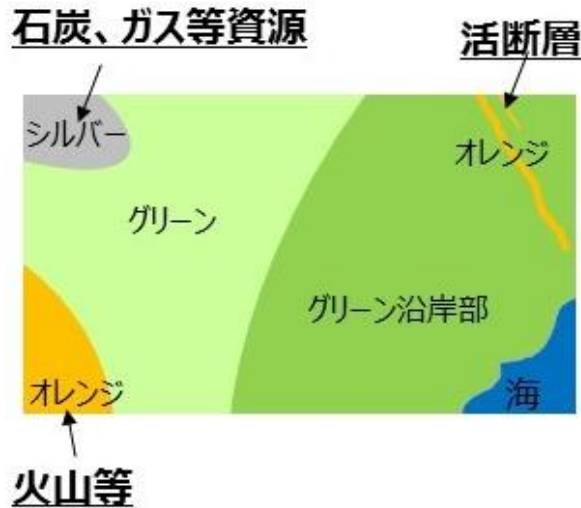
- (ア) 後期更新世以降（約 12～13 万年前以降）の活動が否定できない震源として考慮する活断層の断層面¹¹
- (イ) 後期更新世以降の活動が否定できない断層等のうち地震活動に伴って永久変位が生じる断層の断層面¹¹及び変位を及ぼす地すべり面
- (ウ) 上記（ア）または（イ）以外の、地表における延長がおおむね 10km 以上の断層の断層面¹¹
- (エ) 上記（ア）～（ウ）の断層コアの部分

断層に関する議論は、地下水流動においても重要（深部流体挙動との関連もあるものと想定）

文献調査の位置づけ

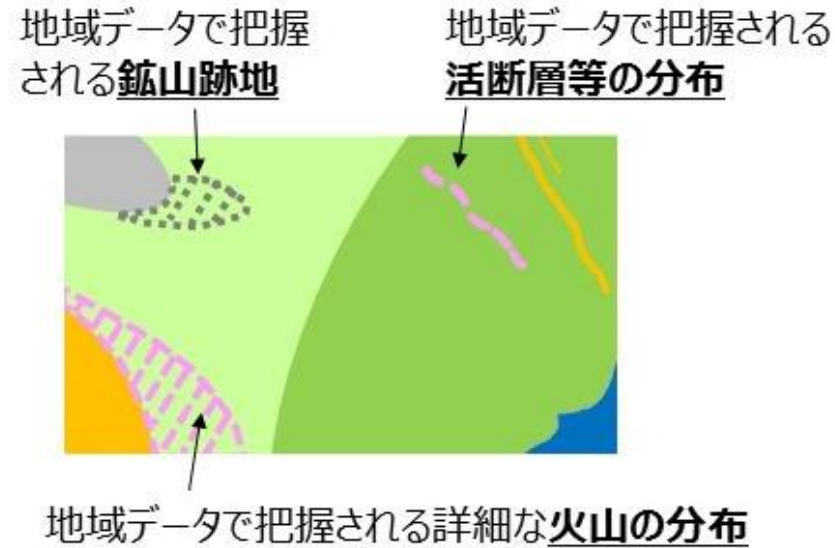
科学的特性マップ
(全国一律に評価)

- ◆ 既存の公開された全国データを利用。
- ◆ 一定の要件・基準に従って、全国地図の形で示したもの。



文献調査
(地域のデータによる調査)

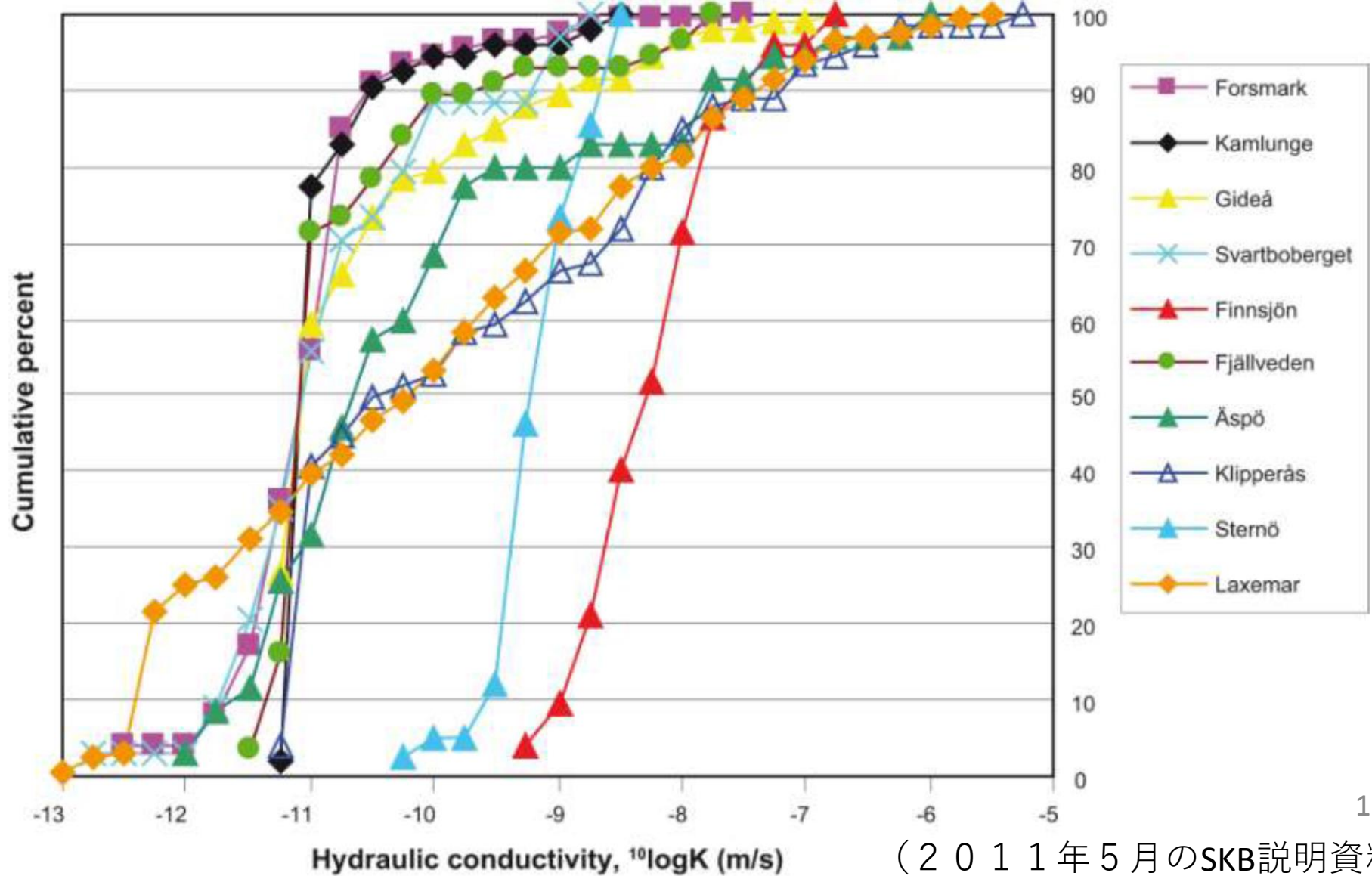
- ◆ 全国データに加えて、地質図等の地域固有の文献・データを利用。
- ◆ 明らかに処分場に相当でない場所を除外。



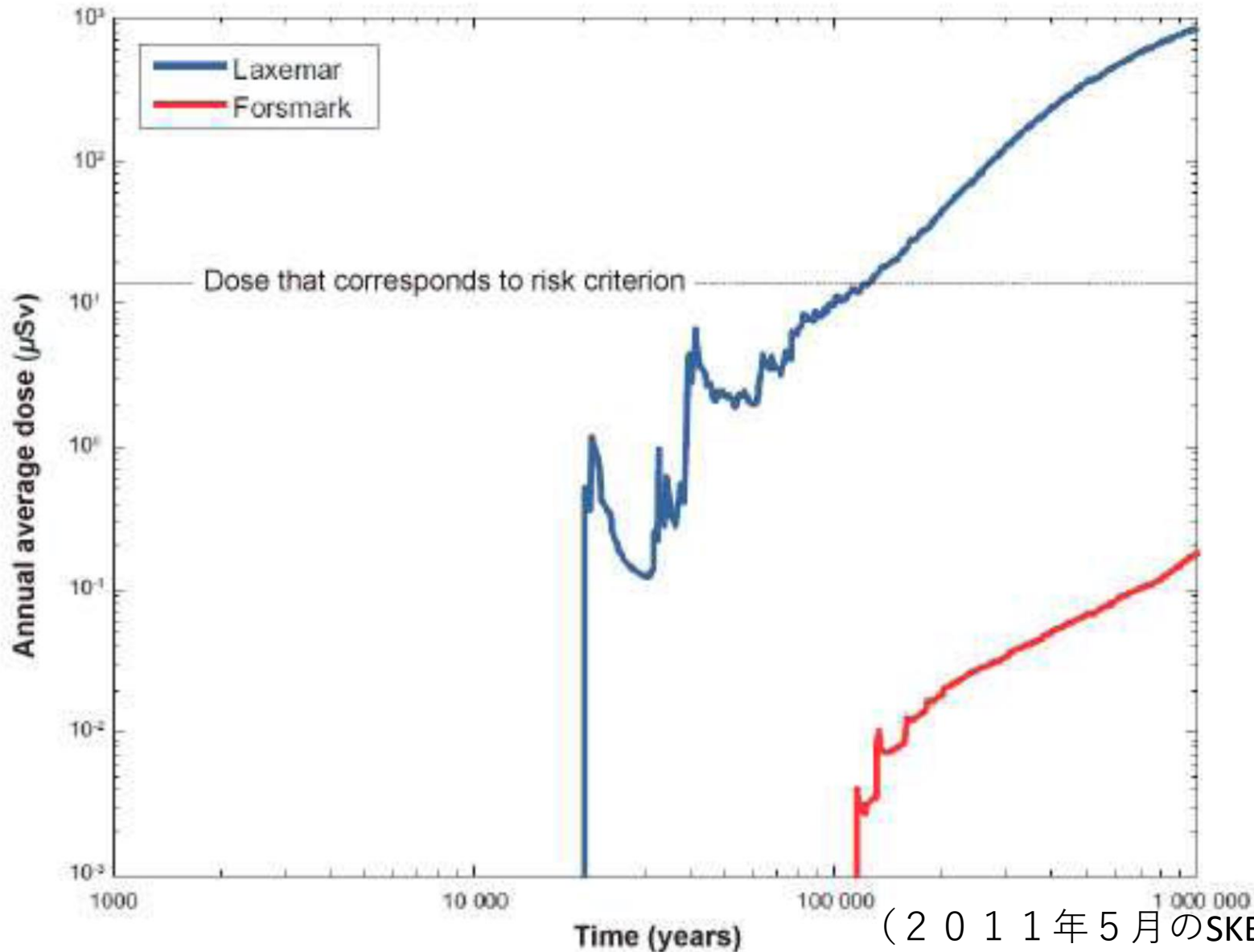
段階的な調査で地下を理解することの意義

- 期待される深部地下環境が発揮される場所選定が目標
 - 長期にわたって安定した環境であること
 - 火山、活断層、隆起・侵食等の実態とその影響の評価
 - 将来、人間による侵入が起こらないような場所であること
 - 経済的価値の高い資源の存在の評価
 - 地下環境が地層処分に対して適切な環境であること
 - 処分を行う深度の岩盤の強度・透水性・熱特性や地下水水質の把握
 - 安全に建設・操業ができる環境であること
 - 建設・操業期間の坑道の安全性 ・地上施設の耐震・耐津波・耐火山被害 等
- これらについて、段階をおって調査を行い、地下環境の理解を深めていくことが必要(地表での調査で判断できることもあるしできないことも少なからずある)
- 同様の観点について検討する場合においても、調査の段階が進むにつれて、情報が増える
- 段階的な調査では、「不適切な地域を除く」ことや、「その時点で得られない情報が何で、それらを次の段階でどのように取得し判断するかを考える」ことなど、様々な観点からの評価・検討が不可欠となる
- 「排除要件」に関する議論を主体にする(初期段階)のアプローチから、本来の目標に到達する道筋は明確か？また、どのように説明を行い、社会の理解を得るのか？

サイト選定における「比較」 亀裂の透水係数

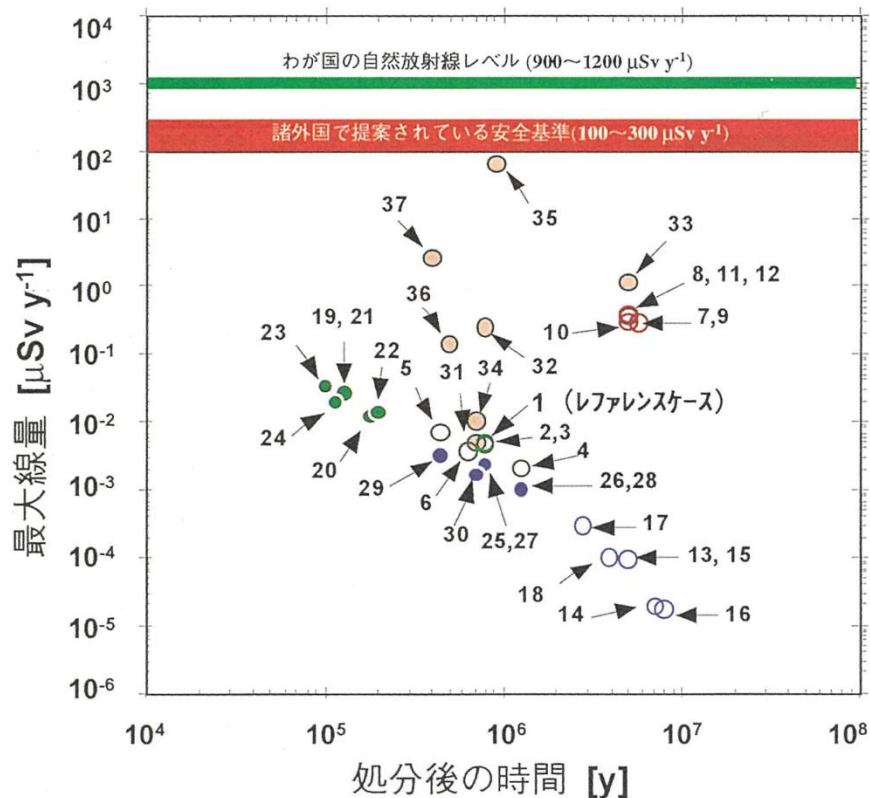


サイト選定における「比較」 “corrosion”シナリオ



(2011年5月のSKB説明資料)

シナリオ(群)に基づく将来の追加被爆の予測



| 解析ケースの分類 | ケースNo. | レファレンスケースとの相違 | | | | |
|------------------|--------|---------------|--|----------------------|-----|-------------|
| | | 地下水 | 動水勾配 | 岩種 | | |
| システムが多様性 | 1 | | | 結晶質岩 (酸性) | 河川水 | |
| | 2 | | | 結晶質岩 (塩基性) | | |
| | 3 | | 0.01 | 先新第三紀砂質岩 | | |
| | 4 | | | 先新第三紀泥質・凝灰質岩 | | |
| | 5 | | | 新第三紀砂質岩 | | |
| | 6 | | | 新第三紀泥質岩・凝灰質岩 | | |
| | 7 | | | 結晶質岩 (酸性) | | |
| | 8 | | | 結晶質岩 (塩基性) | | |
| | 9 | 降水系 | 0.1 | 先新第三紀砂質岩 | | |
| | 10 | 地下水 | | 先新第三紀泥質・凝灰質岩 | | |
| | 11 | | | 新第三紀砂質岩 | | |
| | 12 | | | 新第三紀泥質岩・凝灰質岩 | | |
| | 13 | | | 結晶質岩 (酸性) | | |
| | 14 | | | 結晶質岩 (塩基性) | | |
| | 15 | | 0.001 | 先新第三紀砂質岩 | | |
| | 16 | | | 先新第三紀泥質・凝灰質岩 | | |
| | 17 | | | 新第三紀砂質岩 | | |
| | 18 | | | 新第三紀泥質岩・凝灰質岩 | | |
| | 19 | | | 結晶質岩 (酸性) | | 沿岸海城 堆積層 |
| | 20 | | | 結晶質岩 (塩基性) | | |
| | 21 | | 0.01 | 先新第三紀砂質岩 | | |
| | 22 | | | 先新第三紀泥質・凝灰質岩 | | |
| | 23 | | | 新第三紀砂質岩 | | |
| | 24 | 海水系 | | 新第三紀泥質岩・凝灰質岩 | | |
| | 25 | 地下水 | | 結晶質岩 (酸性) | | |
| | 26 | | | 結晶質岩 (塩基性) | | |
| | 27 | | 0.001 | 先新第三紀砂質岩 | | |
| | 28 | | | 先新第三紀泥質・凝灰質岩 | | |
| | 29 | | | 新第三紀砂質岩 | | |
| | 30 | | | 新第三紀泥質岩・凝灰質岩 | | |
| | 31 | | | 緩衝材厚さの変更 (0.4 m) を考慮 | | 河川水 |
| 32 | | | GBIを深井戸に変更 | 深井戸 | | |
| データの不確実性 | 33 | | ガラス溶解速度, 岩盤中分配係数, 透水量係数の不確実性を同時に考慮 | 河川水 | | |
| モデルの不確実性 | 34 | | コロイドによる核種移行を考慮 | | | |
| シナリオの不確実性 | 35 | | 隆起・侵食 (隆起侵食速度 = 1.0 mm y ⁻¹) | | | |
| | 36 | | 埋め戻し・プラグの施工不良 | | | |
| 天然バリア機能を考慮しないケース | 37 | | 人工バリアから核種が直接生物圏に移行すると仮定 | | | |

図 7.2-1 システム性能の総合的解析の結果における最大線量とその時間

(ガラス固化体 4 万本あたり)

安全であることを述べるためのアプローチが懸念をもって捉えられている可能性は？

バリア喪失のリスクケース(とバリア機能の説明)としての計算結果提示(スウェーデンの例)

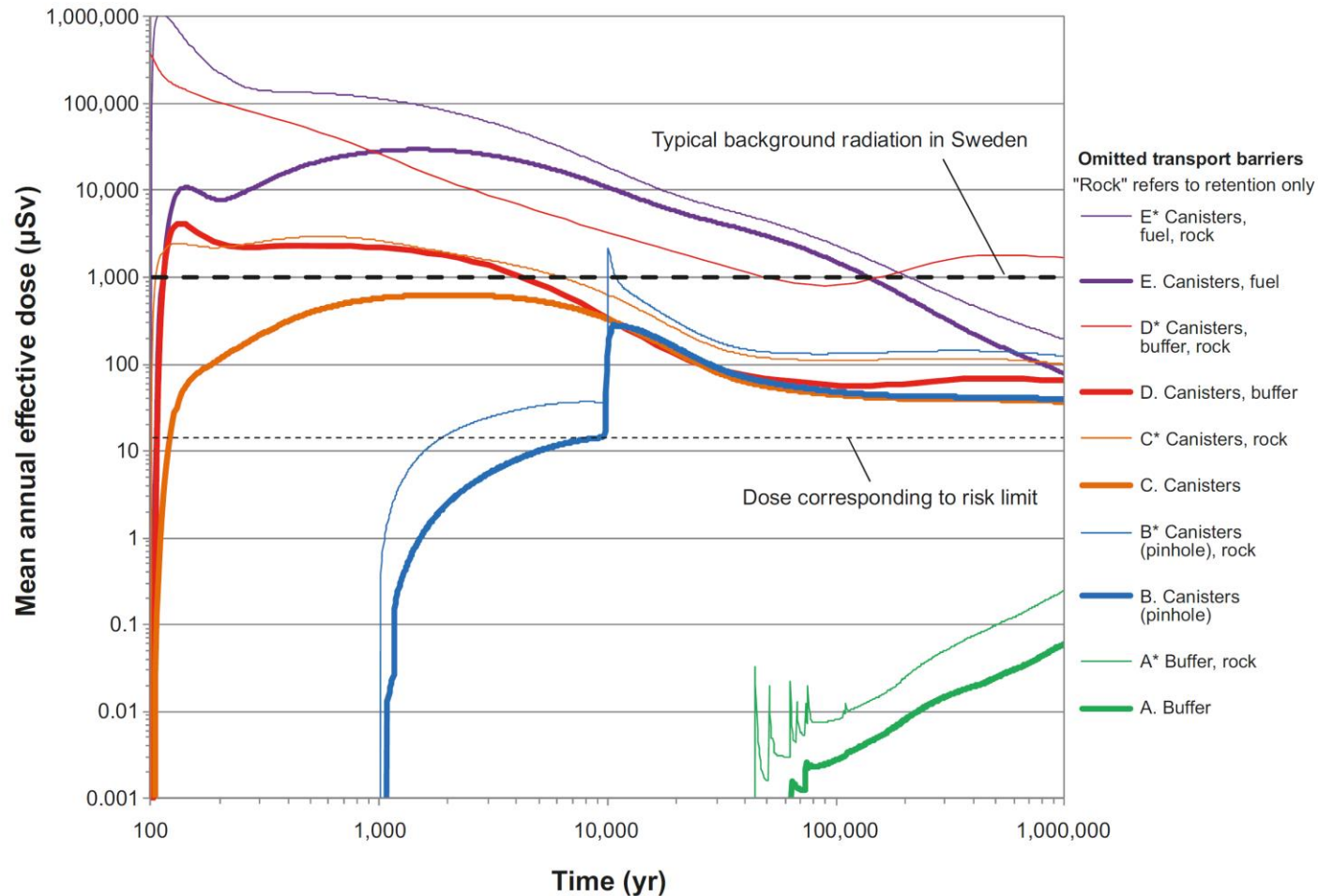
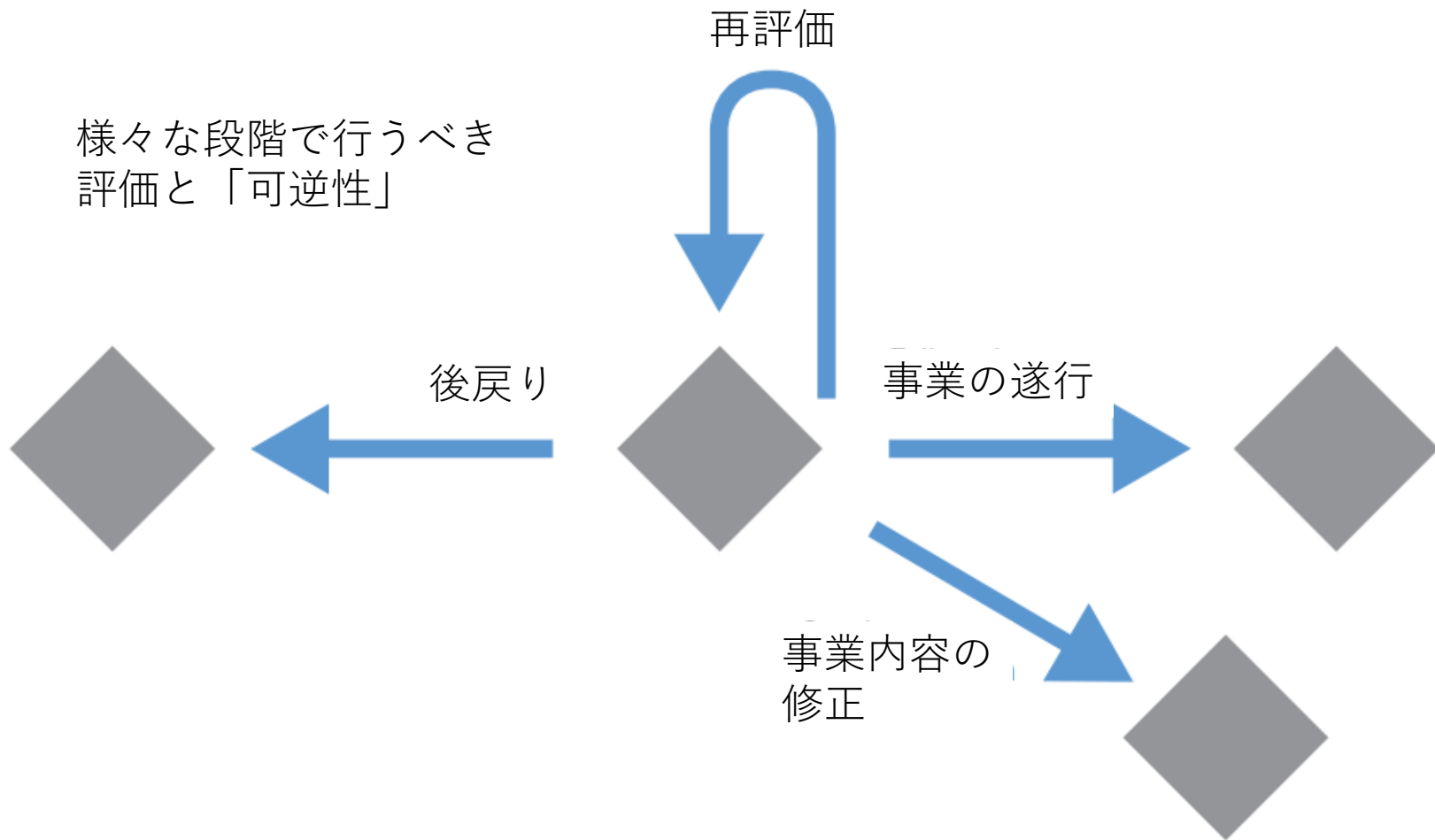


Figure S-12. Results of stylised cases to illustrate loss of barrier functions. Note that an omission of the “rock” barrier in these cases refers to omission of retention of radionuclides in the rock fractures only, whereas the favourable, low flow rate at repository depth and the favourable geochemical conditions are still taken into account.

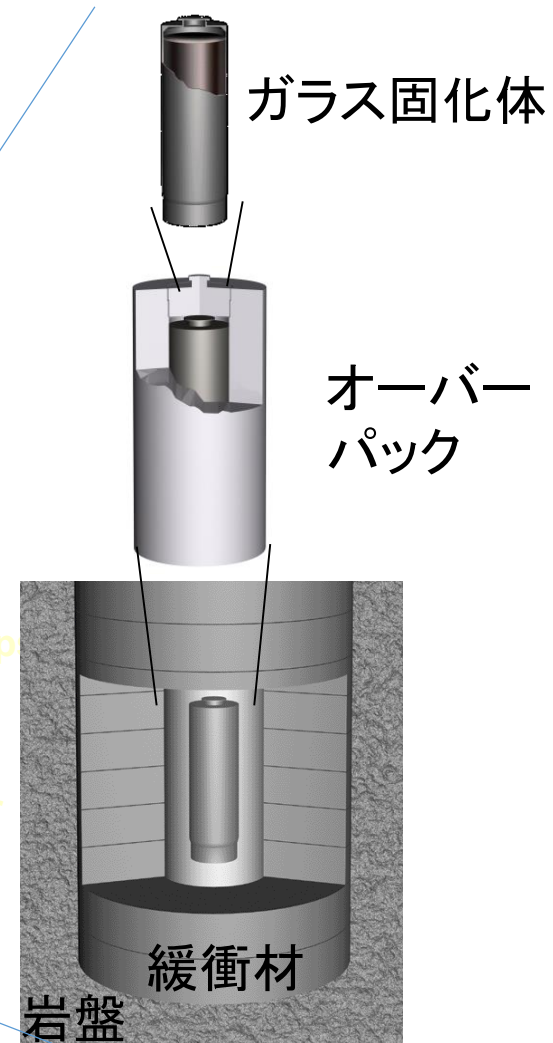
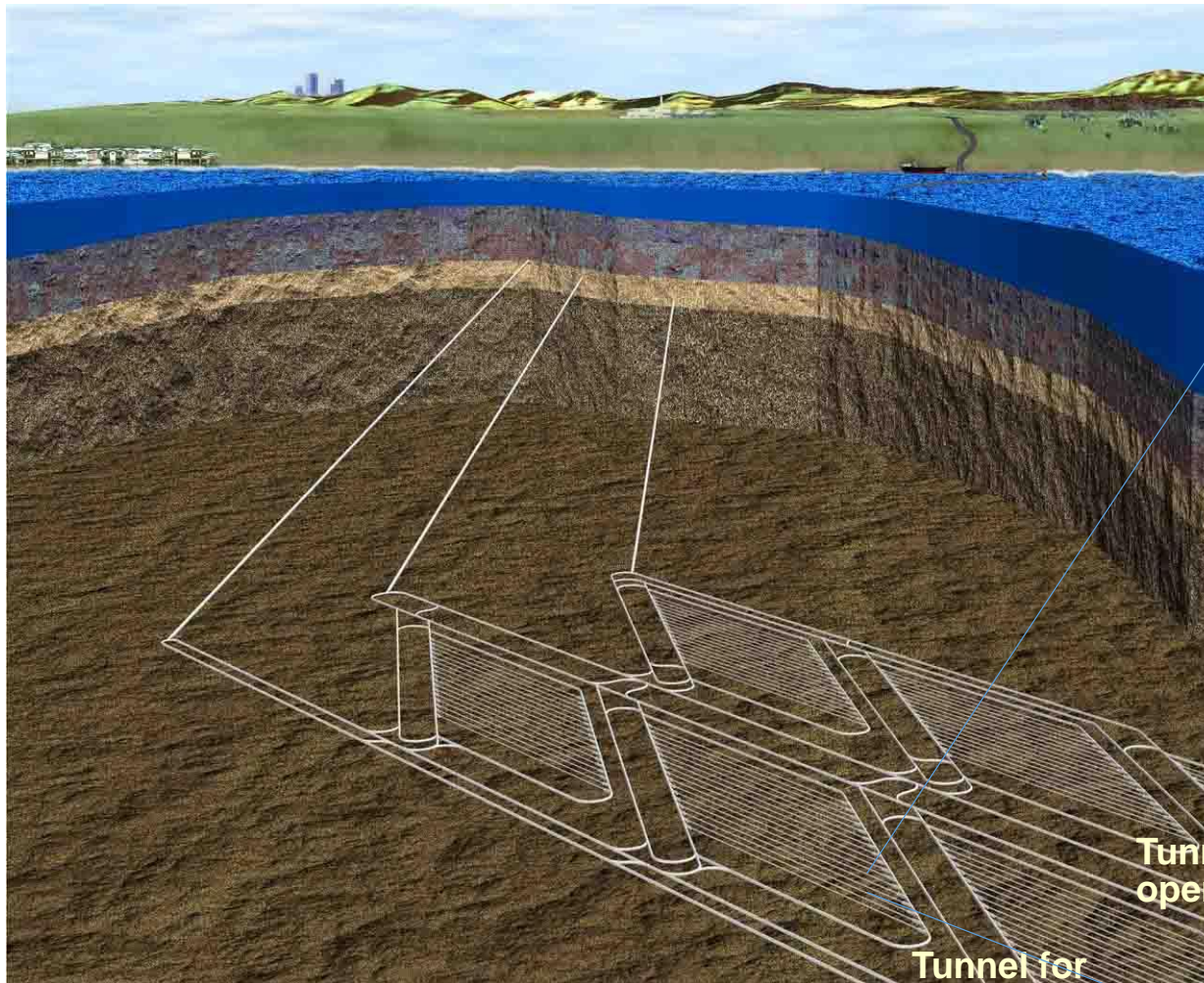
地層処分を進めるうえで重要と思われること

- 国全体としての理解の醸成
 - 高レベル放射性廃棄物処分事業は国として解決しなければならない課題
 - 最終的には1か所ないし極めて少数の地点で進める事業とされていること
- 「地域」を知ることの重要性
 - 地層処分を実施する深度(現在は300mよりも深い領域と設定されている)の地質状況(どのような岩盤からなっているのか、地下水の流れの状態はどのようになっているのか、等)や地形・地勢等自然科学の分野からの理解
 - 地域の特性
- 柔軟かつ頑健なシステムの達成
 - 調査を進めるに従い理解が深まるということ
 - 事前の想定と違う場合の対処
 - 柔軟性と頑健性を併せ持つ事業の遂行
- 長期にわたる事業と技術の進展
 - 地層処分事業についての理解を世代を超えて共有すること
 - 調査の進展や事業の遂行による理解の深化を取り込めること
 - 技術分野で行っていることを社会と共有するための工夫を継続すること
 - 技術開発の成果等を適切に導入できること
- 「立ち止まることができる仕組み」の重要性 ⇒ 可逆性

可逆性の概念的理解



日本で考えられている地層処分場のイメージ



このデザインにとらわれすぎていないか？

地層処分場概念の多様性（日本で考えられた概念）

オプションの検討

