

高レベル放射性廃棄物の 地層処分

高木学校 藤村 陽

放射性廃棄物政策の現状
高レベル放射性廃棄物
地層処分の技術的な問題
高レベル廃棄物の処分問題

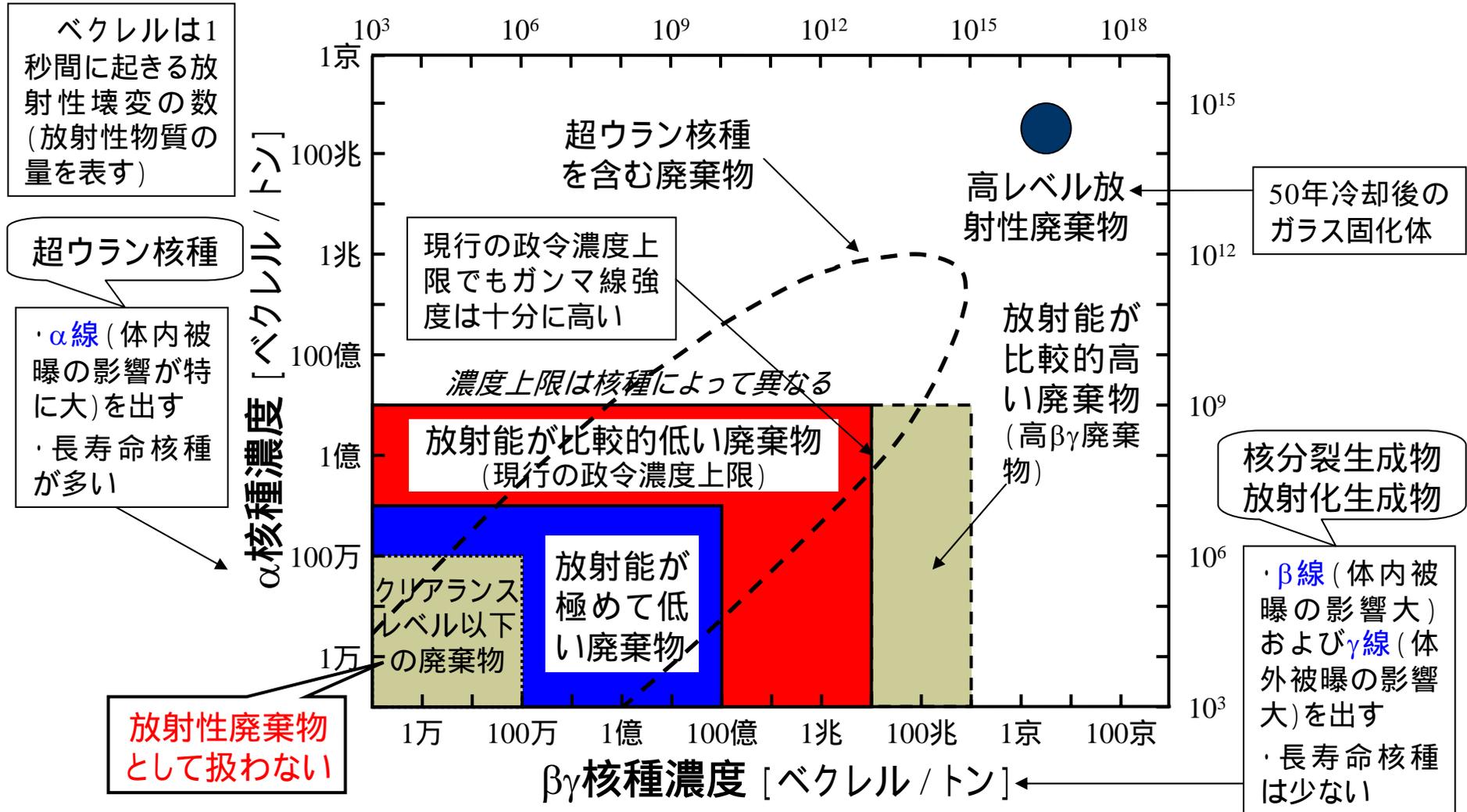
放射性廃棄物の現状

高レベル廃棄物と低レベル廃棄物
廃棄物処分政策の現状
地層処分のスケジュール・費用
高レベル廃棄物の現状

放射性廃棄物の分類

- ◆ 放射能の強さで分類 統一基準はない
 - 「高レベル放射性廃棄物」 世界共通
 - 使用済み核燃料 または ガラス固化体
 - 「低レベル放射性廃棄物」 日本の場合
 - 高レベル廃棄物以外はすべて「低レベル」
 - 一部は濃度上限を法令で区分
 - 発生場所でも分類
 - ◆ 「発電所廃棄物」「超ウラン核種を含む廃棄物」「ウラン廃棄物」
 - 「高レベル」と「低レベル」のあいだ
 - 「放射能の高い」低レベル廃棄物 ???

放射性廃棄物の区分



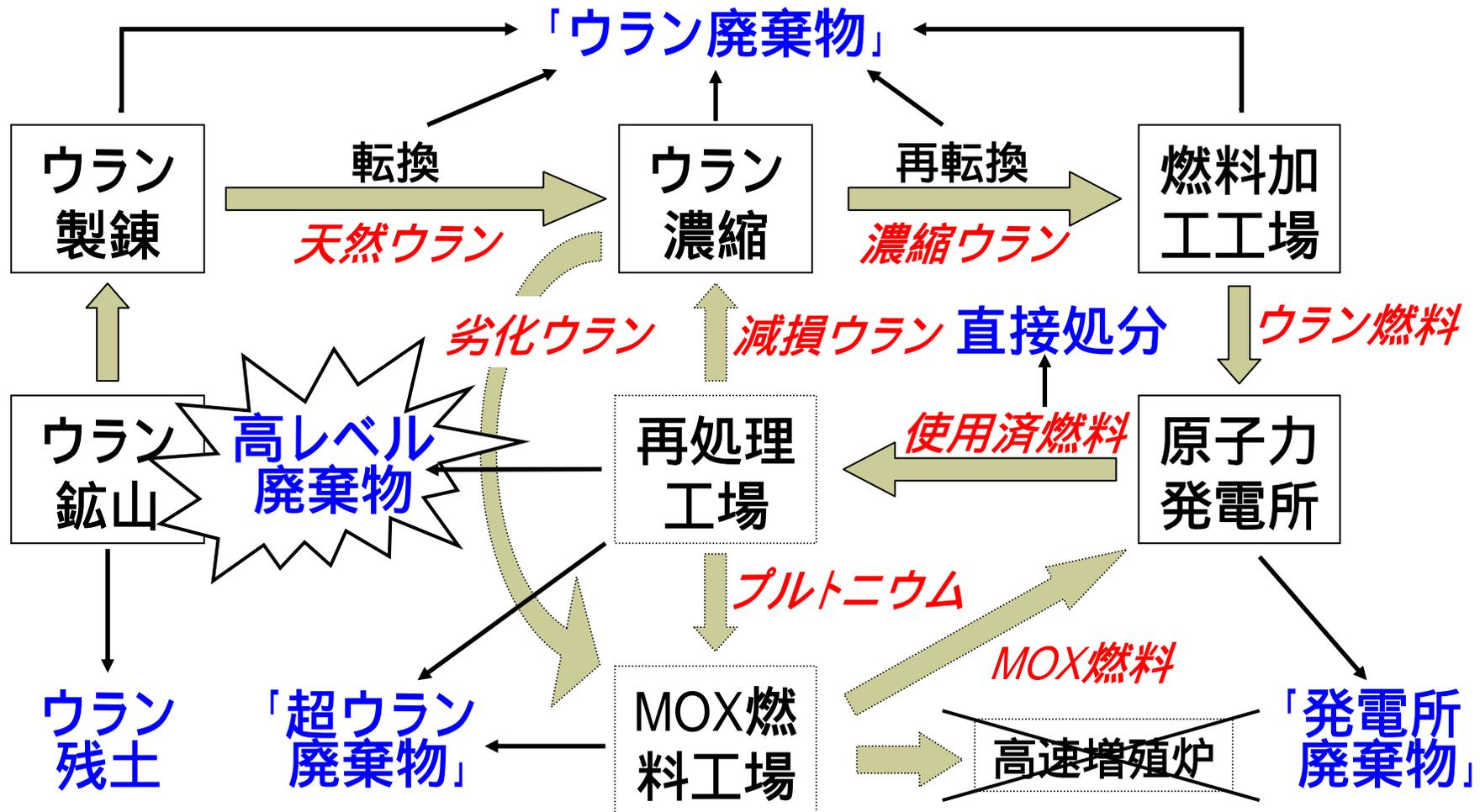
(資源エネルギー庁資料より)

低レベル廃棄物の分類

廃棄物の種類			放射能	廃棄物の例
核燃料サイクル	発電所廃棄物	放射能の比較的高い廃棄物	放射能高 ↓ 低	制御棒、炉内構造物
		放射能の比較的低い廃棄物		廃液、フィルター、廃器材、消耗品等
		放射能の極めて低い廃棄物		コンクリート、金属等
	クリアランスレベル以下の廃棄物	原発の解体廃棄物の大部分		
	超ウラン核種を含む廃棄物			燃料棒の部品、廃液、フィルター
	ウラン廃棄物			消耗品、スラッジ、廃器材
RI・研究所等廃棄物(上記 ~ 相当をすべて含む)				医薬品、注射器、研究用放射性物質

は処分実施中、 は法令整備済・実地試験中、それ以外は法整備もまだ

核燃料サイクルと廃棄物



低レベル廃棄物の処分方法

◆ 放射能に応じて地下に埋め捨て

■ 浅地中処分

- 素掘り処分、管理型処分

簡易埋設

「放射能が極めて低い廃棄物」

- コンクリートピット処分

「放射能が比較的低い廃棄物」

低レベル放射性廃棄物埋設センター

(青森県六ヶ所村)

- 地下利用に十分な余裕を持った深度への処分

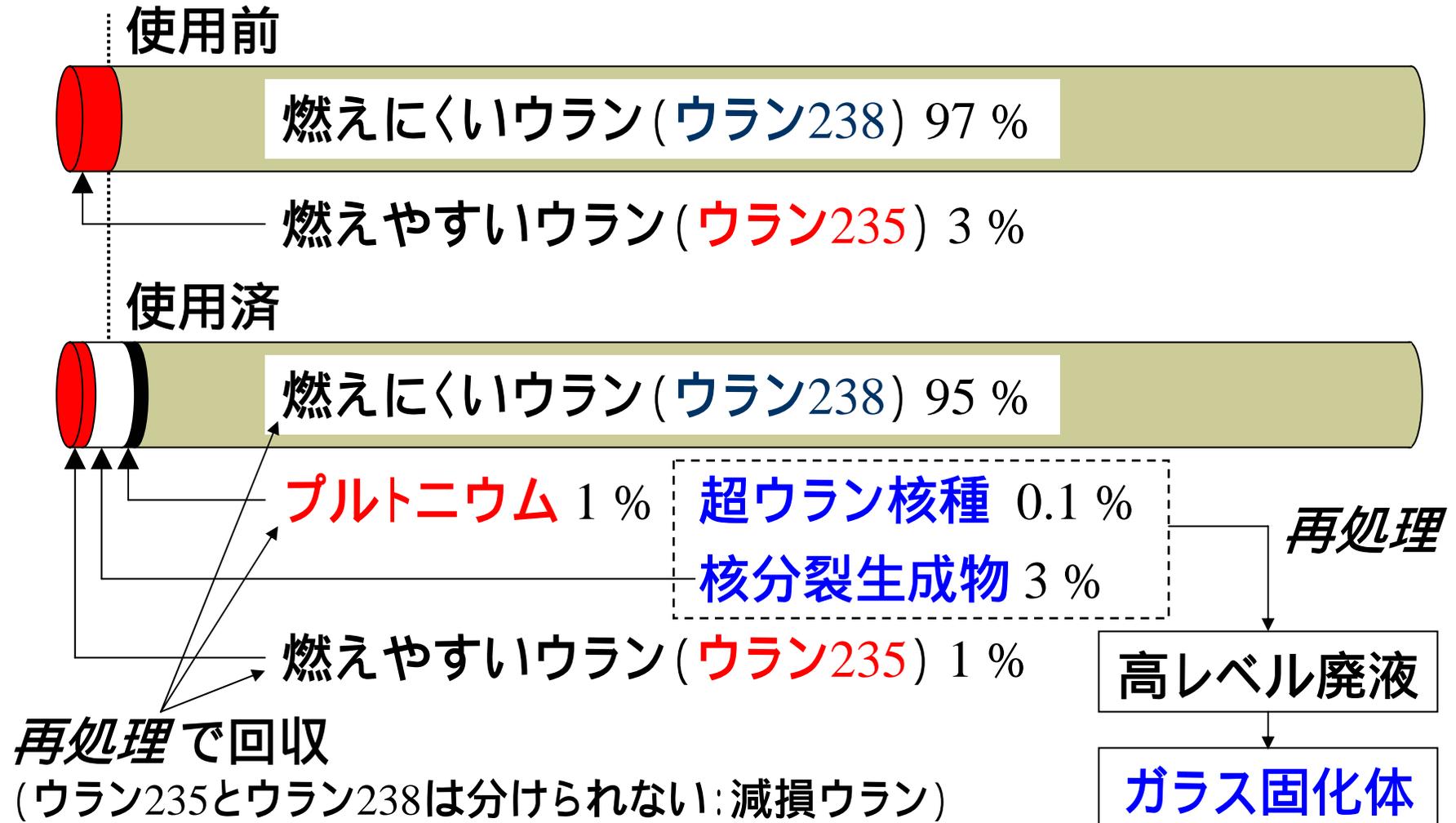
「放射能が比較的高い廃棄物」

■ 地層処分

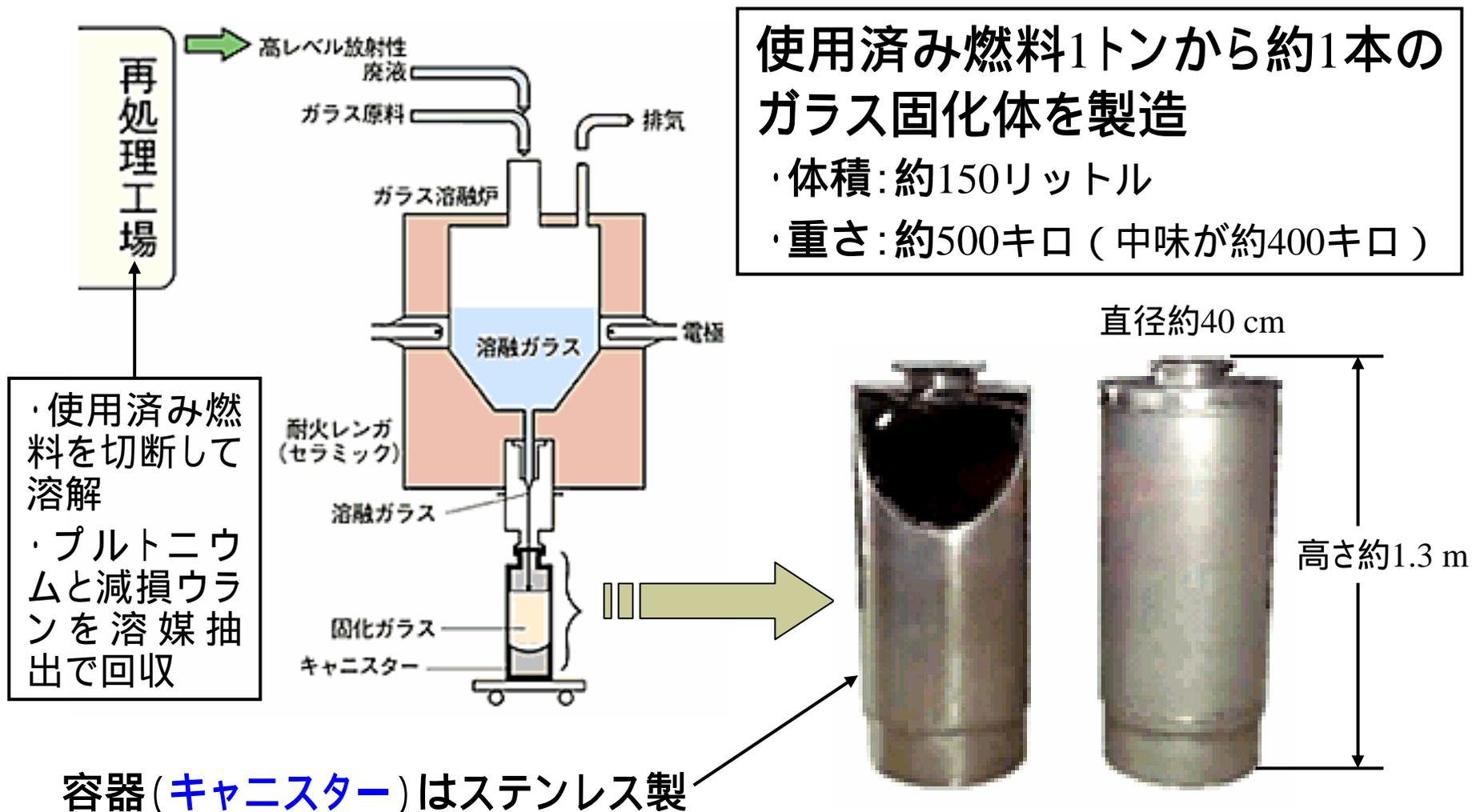
「放射能が高い超ウラン廃棄物」

ヨウ素129(半減期1570万年)が問題

ウラン燃料と高レベル廃棄物



ガラス固化体



高レベル廃棄物処分の基本方針

◆ 原子力長計(1987年)

■ 高レベル放射性廃棄物対策の基本方針

- 「安定な形態に固化した後、30年から50年間程度冷却のための貯蔵を行い、地下数百メートルより深い地層中に処分(地層処分)する」

やはり埋め捨て

放射能レベルが
下がるのを待つ

処分場はまだ決まっていない

地層処分政策の現状

◆ 法律 2000年5月制定

- 「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」
 - ガラス固化体を地層処分(300 m以深)
 - 処分地選定手順、事業実施主体を規定
 - 電気事業者から費用を徴収

◆ 実施主体 2000年10月設立

- 原子力発電環境整備機構(略称:原環機構)
 - 拠出金徴収、処分地選定、処分事業をおこなう

Nuclear Waste Management
Organization of Japan
(NUMO)

地層処分スケジュール

- ◆ 原子力長計(1994年)
 - ✓ 処分実施主体設立 2000年目安
 - 処分場の操業開始 2030年代から2040年代半ば

実施はまだまだ先

だが...

処分地選定の第一歩はもう始まる！

処分地の選定手順

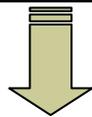
候補地の公募 2002年開始予定

←← 交付金が出る！



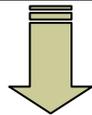
文献調査(文献資料): 自然現象による著しい変動の記録

「概要調査地区」の選定 2000年代半ば



概要調査(ボーリング): 地層の長期間にわたる安定性

「精密調査地区」の選定 2010年頃



精密調査(地下施設): 地層の性質の適性

「最終処分施設建設地区」の選定 2020年代半ば



安全規制、最終処分施設建設

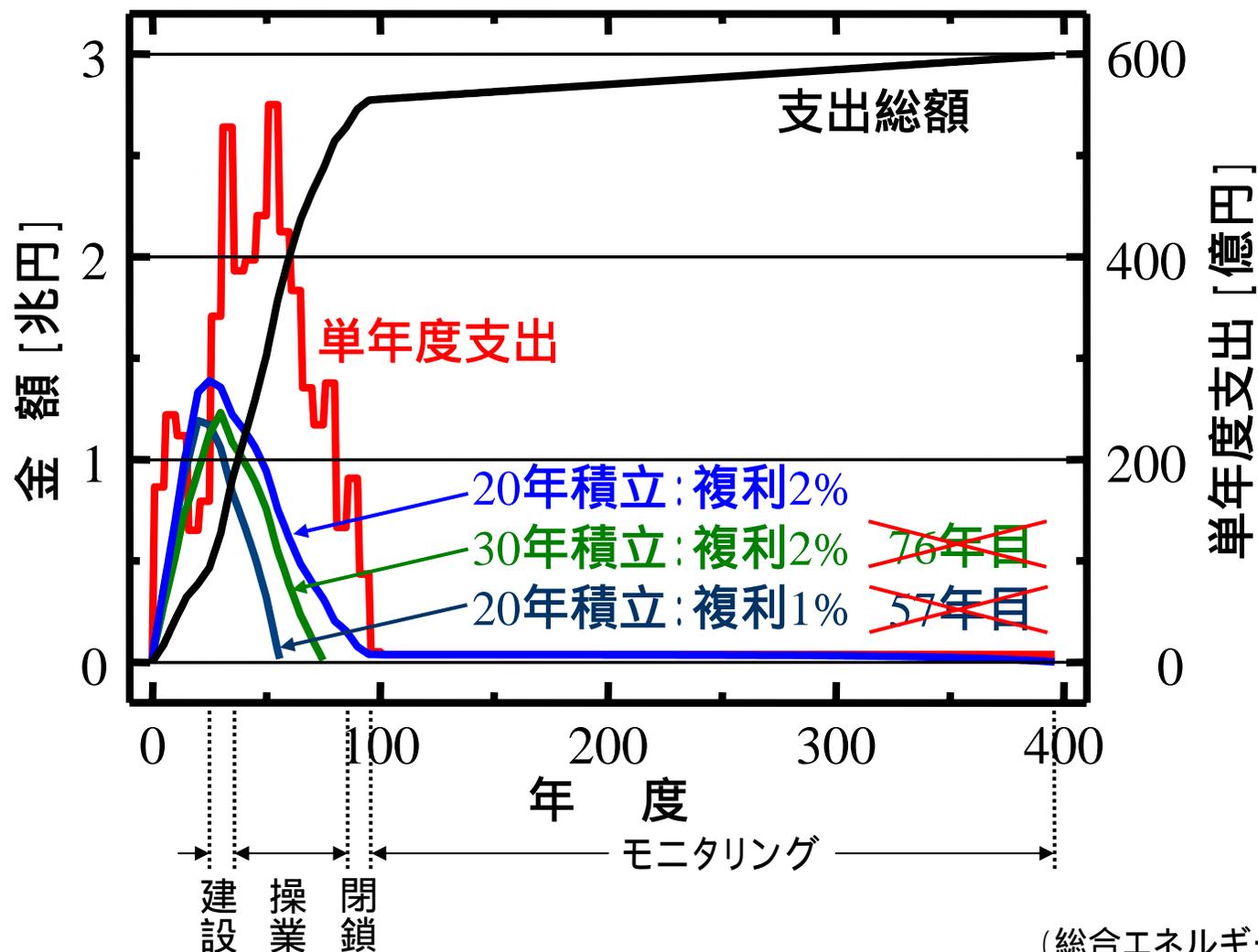
最終処分開始 2030年代半ば

地層処分の費用

- ◆ ガラス固化体4万本埋設で約3兆円
 - 一つの処分場にたくさん埋めるほど単価は低い
 - 本数によらない経費 約8000億円
 - 本数に比例する経費 約5500万円 / 本
 - 処分費用は「キロワット時当たり13銭」？
 - 1本当たり約7500万円、2～3億キロワット時の発電
= 約30銭 / キロワット時
 - ◆ 割引率なし: 26～30銭 / キロワット時
 - ◆ 割引率2% : 12～14銭 / キロワット時 (約半額！)
 - ◆ 割引率3% : 9～11銭 / キロワット時
 - ◆ 割引率4% : 7～9銭 / キロワット時

不足しない？

処分費用の推移の試算



- ・費用総額 2兆9977億円を4万本で均等割り
- ・総額の48.53%を積み立て
- ・過去分 13300本分を15年分割(初年度に2年分拠出)
- ・将来分 26700本を均等割りで積立

使用済み核燃料の発生量

- ◆ 1年に約1000トン発生
 - 年間発電量約3000億キロワット時
- ◆ これまで(2001年12月現在)
 - 約2万トンの使用済み核燃料
- ◆ 今後の発生量
 - 2020年までにガラス固化体4万本相当??
 - 原発増設計画に基づいた経産省見込み

炉内燃料の半分(約2400トン)も含む

「2015年までに4万本」から2000年夏に下方修正

使用済み核燃料の行き場

◆ これまで

- 英仏に再処理委託 7100トン(契約分は搬出済)
- 核燃機構再処理施設 約1000トン
- 残り約1万トンは原発の冷却プールで保管中
 - 貯蔵容量の60～90%を占める原発が多い

糞詰まり

六ヶ所再処理工場の貯蔵プール(容量 3000トン)

使用済み核燃料の置き場所が足りない！

使用済み核燃料の今後

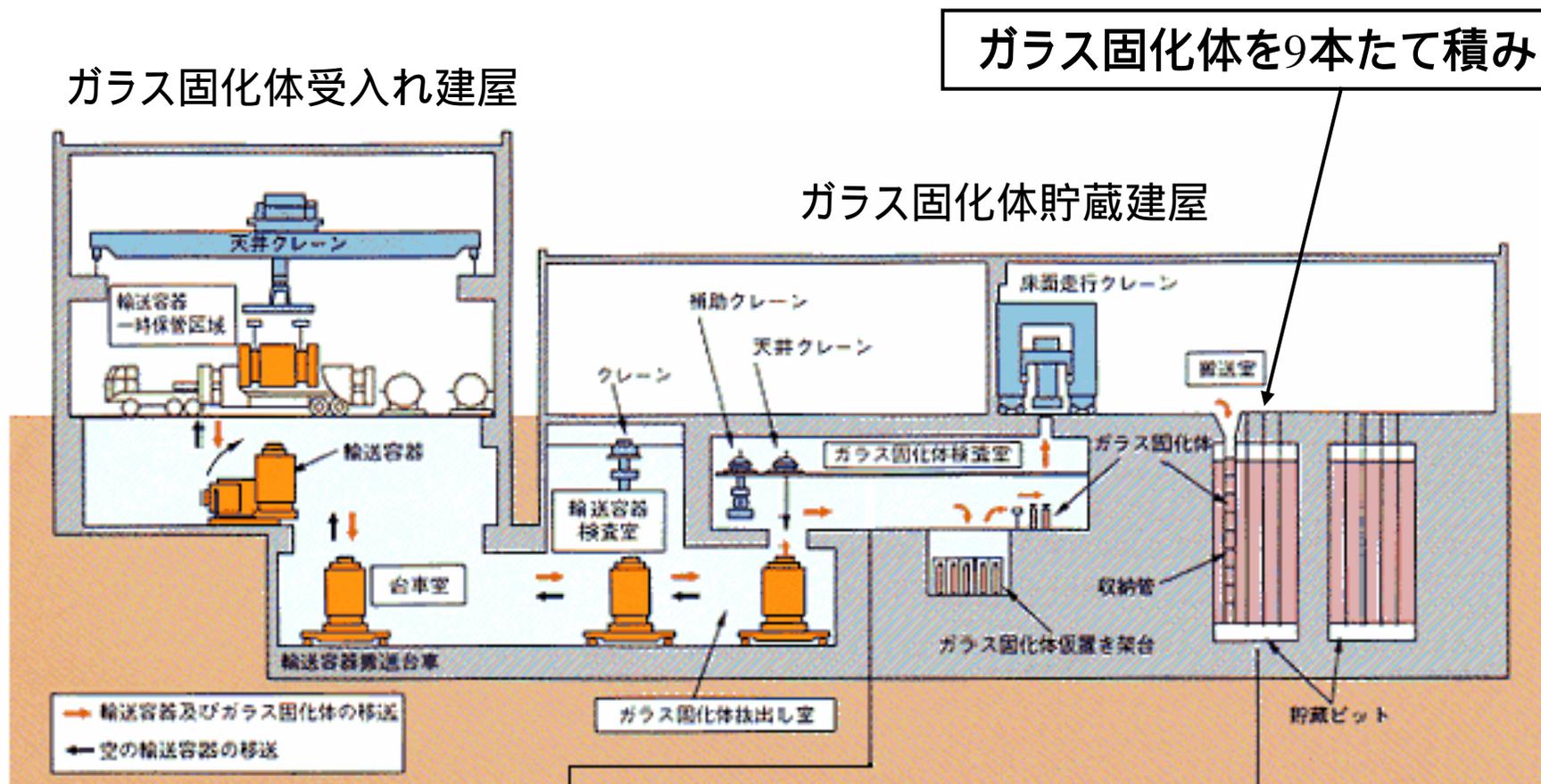
- ◆ 中間貯蔵施設計画 各地に打診
 - 原発の敷地外で使用済み核燃料を貯蔵
 - キャスク(金属容器)の乾式貯蔵またはプールで水冷の湿式貯蔵
 - 容量5000トン規模、40年貯蔵程度の費用試算
 - ◆ 水冷貯蔵 約5000万円/トン (15銭/キロワット時)
 - ◆ 乾式貯蔵 約3000万円/トン (9銭/キロワット時)
- ◆ 六ヶ所再処理工場
 - 年間800トン再処理予定(試運転は2004年予定)

使用済み核燃料の発生量
(約1000トン)の方が多い

ガラス固化体の貯蔵

- ◆ これまで (2001年12月現在)
 - 返還ガラス固化体 464本 (+ 152本 : 輸送中)
 - 7100トンの再処理で約3500本返還の予定
 - 六ヶ所高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センター
(容量 1440本 : 最終規模2200本)
 - 茨城県東海村 119本
- ◆ 今 後
 - 六ヶ所再処理工場
 - 年間800トン処理で1000本発生予定

高レベル廃棄物貯蔵管理センター



放射線が強いので遠隔操作

自然の通風で空冷貯蔵

六ヶ所再処理工場の予定

使用済み核燃料の取得計画と予定再処理数量

年 度	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
取得量	8	24	97	350	400	400	500	800	850	850	800	800
再処理							210	360	480	640	800	800
貯蔵量	8	32	129	479	879	1279	1569	2009	2379	2589	2589	2589
固化体							263	713	1313	2313	3313	4313

(日本原燃ウェブページをもとに作成)

取得量、再処理、貯蔵量はウランのトン数(照射前金属ウラン重量換算)

1998・1999年度は施設の試験のための受け入れ

2001年度は12月20日現在約300トン受け入れ済

再処理は2004年試験運転開始、2005年商業運転開始予定

ガラス固化体本数は使用済み核燃料1トンから1.25本製造として換算

高レベル放射性廃棄物

高レベル放射性廃棄物とは
何が難しいのか
処分や管理の方法

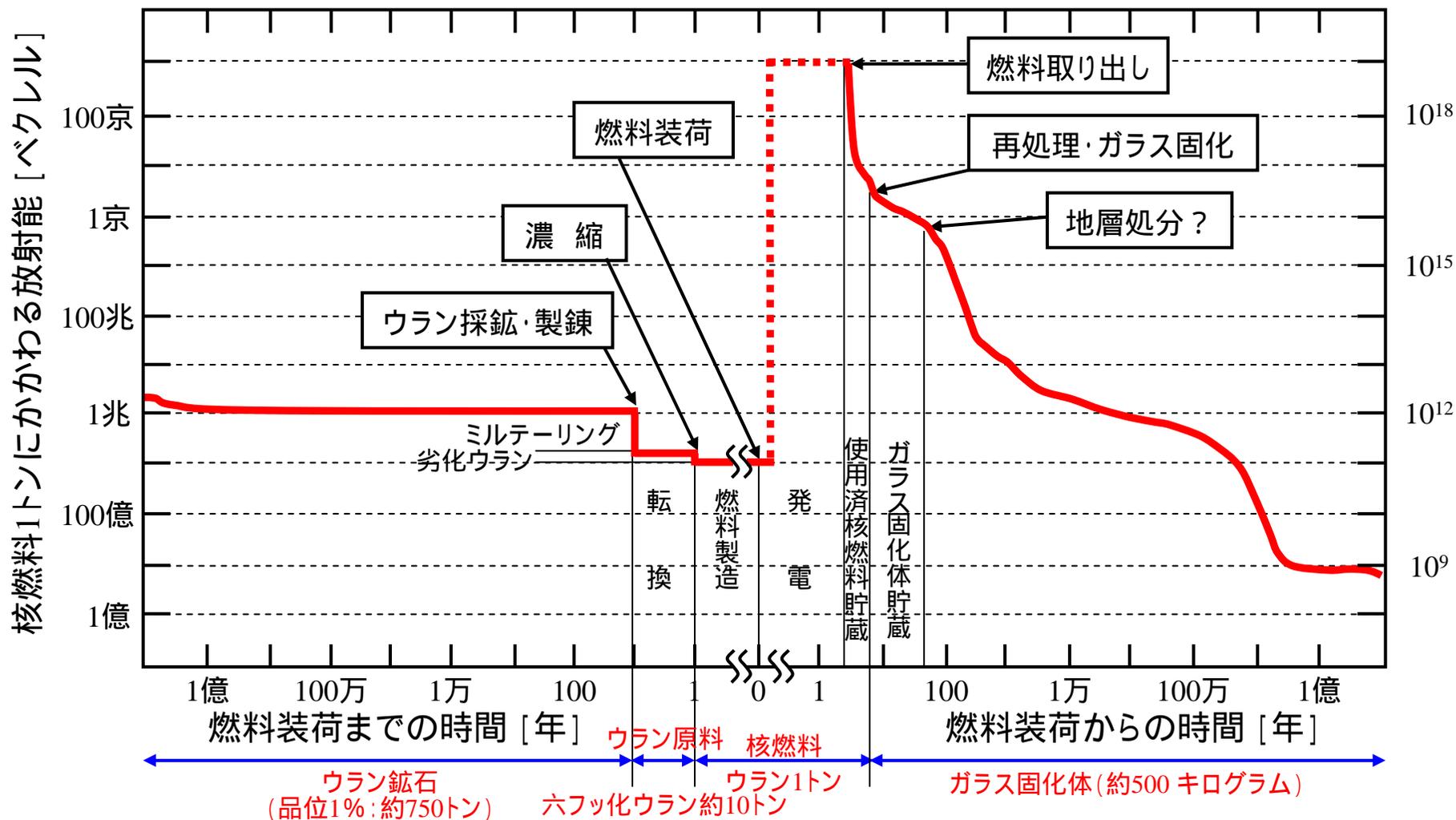
高レベル放射性廃棄物

◆ ガラス固化体の成分

- 核分裂生成物(ガラス固化体の10%以下)
 - クリプトン85、ヨウ素129は再処理工場で排出
- ウラン(再処理で約99%は抽出)
- 超ウラン核種とその娘核種
 - プルトニウムは再処理で約99%抽出
- 放射化生成物
- 再処理廃液
- ガラス成分(ホウケイ酸ガラス)

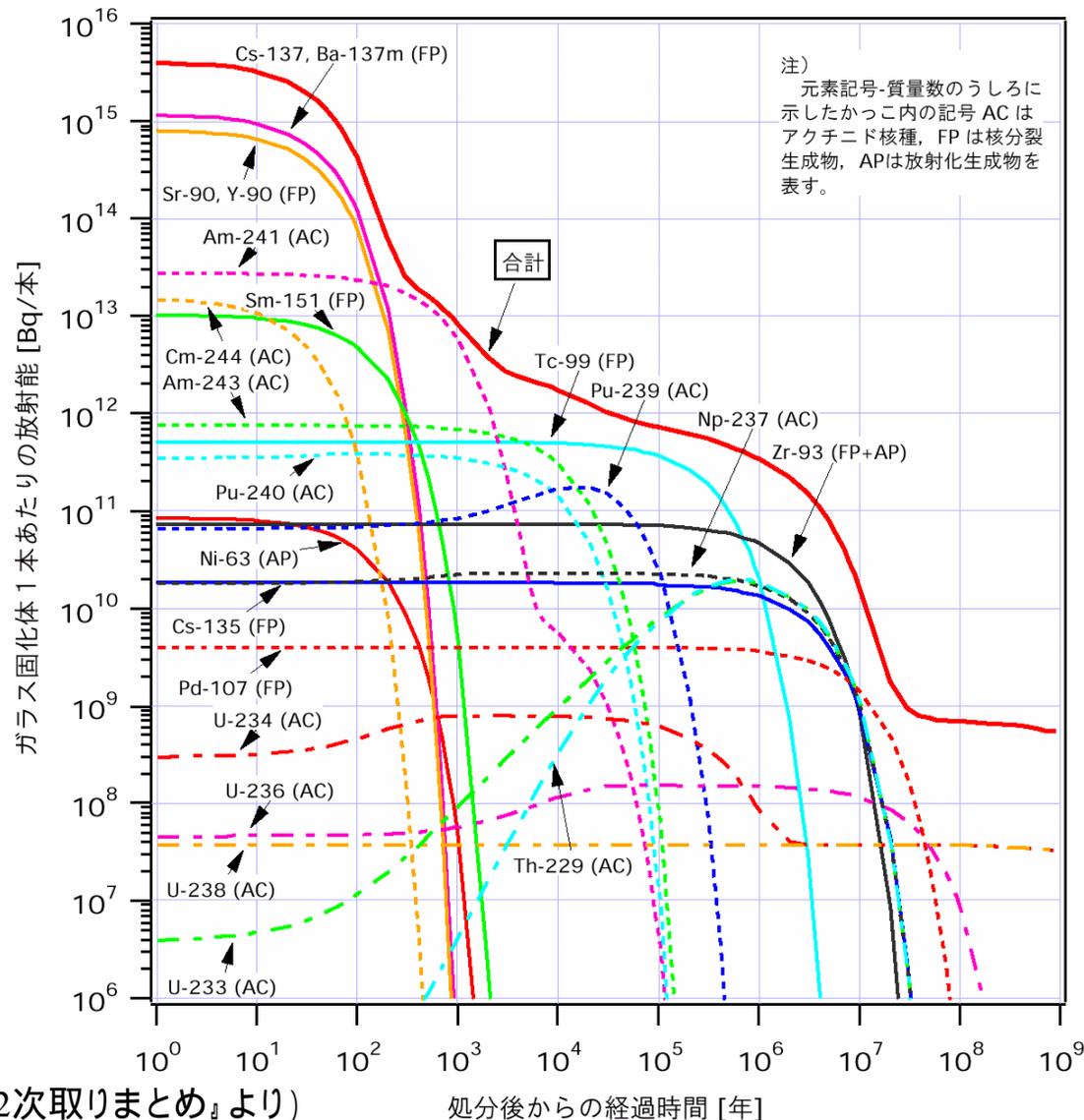
ホウ素やケイ素は (α, n) 反応で中性子を発生

ウラン燃料1トンの放射能の変化



(『第2次取りまとめ』より)

ガラス固化体の放射能の経時変化



実績はない

日本原燃仕様

- ・濃縮度: 4.5%
- ・燃焼度: 45000MWd/tU
- ・炉取出し後4年で再処理
- ・ガラス固化体への移行率
 - ・U: 0.442%
 - ・Pu: 0.548%
 - ・H、C、I、Cl、希ガス: 0%
 - ・その他: 100%
- ・ガラス固化体発生量: 1.25本 / tU
- ・製造後50年で地層処分

核分裂生成物

- ◆ 約40種の元素(原子番号30番から60番台)
 - 多種なので化学的には取り扱いが複雑
 - おもに金属元素
- ◆ 中性子が過剰
 - ベータ線(電子)を放出 体内被曝
 - 多くの核種でガンマ線(電磁波)も放出 体外被曝

核分裂生成物

- ◆ 多くの核種は半減期数年以下
 - 半減期がやや長い核種
 - ストロンチウム90(29年)
 - セシウム137(30年)
 - 半減期が非常に長い核種
 - セレン79(6万5千年)
 - テクネチウム99(21万年)
 - ジルコニウム93(153万年)
 - セシウム135(230万年)
 - ヨウ素129(1570万年) など

原子炉から取り出し数年後の多くの核種は1回のベータ崩壊で安定核種になる

超ウラン核種

- ◆ ウランが中性子を吸収して生成
 - ウラン ネプツニウム プルトニウム アメリシウム キュリウム . . .
- ◆ すべて原子核が不安定
 - 多くは**アルファ線**を放出 **体内被曝の影響特に大**
 - 安定核種になるまで10回以上の壊変
 - 半減期が長い核種
 - アメリシウム²⁴¹(430年)
 - プルトニウム²³⁹(2万4000年)
 - ネプツニウム²³⁷(214万年) など

高レベル廃棄物の難しさ

◆ 強い放射能

- 短寿命の核種の影響 (数百年から数千年程度)

- 強いガンマ線

近寄れない

- ガラス固化体表面
製造直後 約 4 Sv/s
30年貯蔵後 約 140 mSv/s

◆ 長期の放射能毒性

- 長寿命の核種 (1000万年以上)

◆ 中間貯蔵の必要

- 放射線による発熱 (数十年)

核種変換

- ◆ 中性子照射で原子核を変換
 - 安定核種または半減期の短い核種に変換
 - 現実的には困難：セシウムの例
 - セシウム137(30年) + 中性子：0.25 b
セシウム138(33分) バリウム138(安定)
 - セシウム135(230万年) + 中性子：9 b
セシウム136(13日) バリウム136(安定)
 - セシウム134(2年) + 中性子：140 b
セシウム135(230万年) バリウム135(安定)
 - セシウム133(安定) + 中性子：30 b
セシウム134(2年) バリウム134(安定)

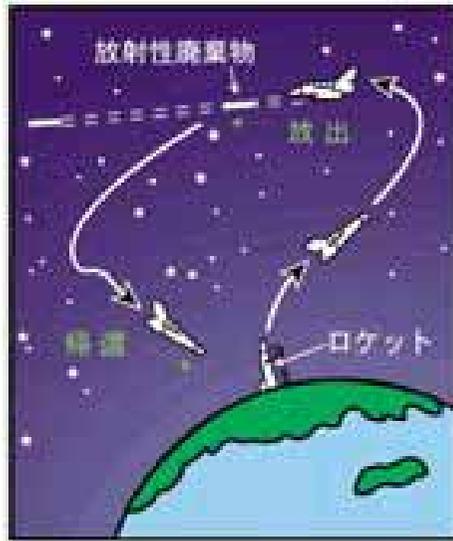
結局、セシウム135を増やす

将来の安全と安心

- ◆ 遠いところに隔離？
 - 将来世代に対して倫理的？
 - 万一に対して安心できる？
- ◆ 近いところで管理？
 - 長期管理は将来世代への負担の押しつけ？
 - 安全に長期管理できる？

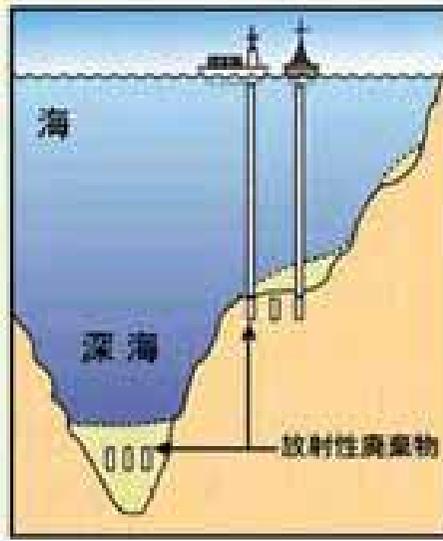
原子力関係者は隔離を選択

高レベル廃棄物の隔離処分



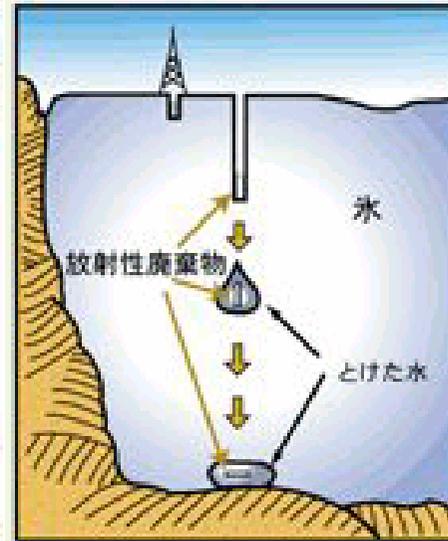
~~宇宙処分~~

技術的に難しい



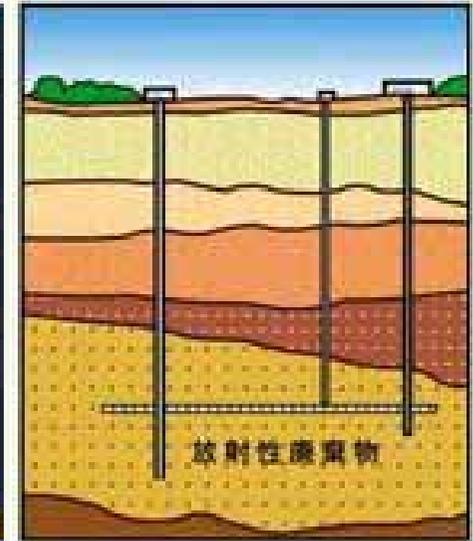
~~海洋底処分~~

ロンドン条約



~~氷床処分~~

南極条約



地層処分

地層処分がベスト???

地層処分の技術的な問題

なぜ「埋める」などと考えるか
地層処分の課題
『第2次取りまとめ』報告書

なぜ「埋める」などと考えるか

- ◆ 地下水にふれない地質環境もある
 - 岩塩層、砂漠、．．．(日本にはない)
- ◆ 放射性核種はすべて地下水に溶けるわけではない
 - 溶解度は化学的性質で決まる
- ◆ 地下深くの地下水は地表ほど速くはない

日本の取り組み

- ◆ 1956年以來
 - 原子力委員会で地上保管、深海投棄、地層処分などを検討
- ◆ 1976年以來
 - 原子力委員会の方針として地層処分を前提
- ◆ 1984年
 - 原子力委員会中間報告
 - 「明らかに適正に劣る地層は別として、地質条件に対応して人工バリアを設計することにより、地層処分としての安全性を確保できる見通しが得られた」

日本の取り組み

◆ 1992年

- 『高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告書(第1次取りまとめ)』

旧動力炉・核燃料開発事業団

- 「わが国における地層処分の安全確保を図っていく上での技術的可能性が明らかにされた」

◆ 1997年

- 『高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発等の今後の進め方』 原子力委員会報告書

- 「地層処分の技術的信頼性」

『第2次取りまとめ』
の課題を設定

『第2次取りまとめ』報告書

- ◆ 『我が国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性 地層処分研究開発第2次取りまとめ』

核燃料サイクル開発機構 1999年11月

- 地層処分の技術的信頼性を示す
- 地層処分事業化の技術的拠り所を示す

地層処分問題研究グループ

- ◆ 高木学校 + 原子力資料情報室
 - 2000年7月 『高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性』批判
 - 2000年10月 核燃機構『見解』発表
 - 2000年10月 公開討論会「高レベル放射性廃棄物の地層処分を考える」
 - 2001年8月 同記録集
 - 岩波『科学』2000年12月号・2001年3月号「高レベル放射性廃棄物の地層処分はできるか」
 - 2001年11月号 核燃機構「見解」掲載

『第2次取りまとめ』3つの目標

- ◆ 地質環境
 - 日本の地質環境は長期にわたって安全と示す
 - 工学設計に必要な地質特性を示す
 - 地層処分に適した地質特性を示す
- ◆ 工学技術
 - 地層処分は技術的経済的に可能と示す
- ◆ 安全評価
 - 将来への影響は小さいことを示す

『第2次取りまとめ』 一般向け

- ◆ 地層処分に適した地質が日本にひろく存在
- ◆ 現在利用可能な技術をもとに設計・施工可能
- ◆ 考えうるさまざまなケースに対して安全

地層処分の実現性と安全性を保証

している？！

『第2次取りまとめ』 本音

- ◆ 活断層を避ければ地震の影響は十分低い
- ◆ 現状の技術やその延長上の技術で実施できる見通しを確認 要するにまだできない
- ◆ 適切な処分地選定と工学的対策をとるので過度に保守的な安全評価はしない

安全な地層処分も可能

と言っているに過ぎない

「地層処分の概念」

◆ 多重バリアシステム

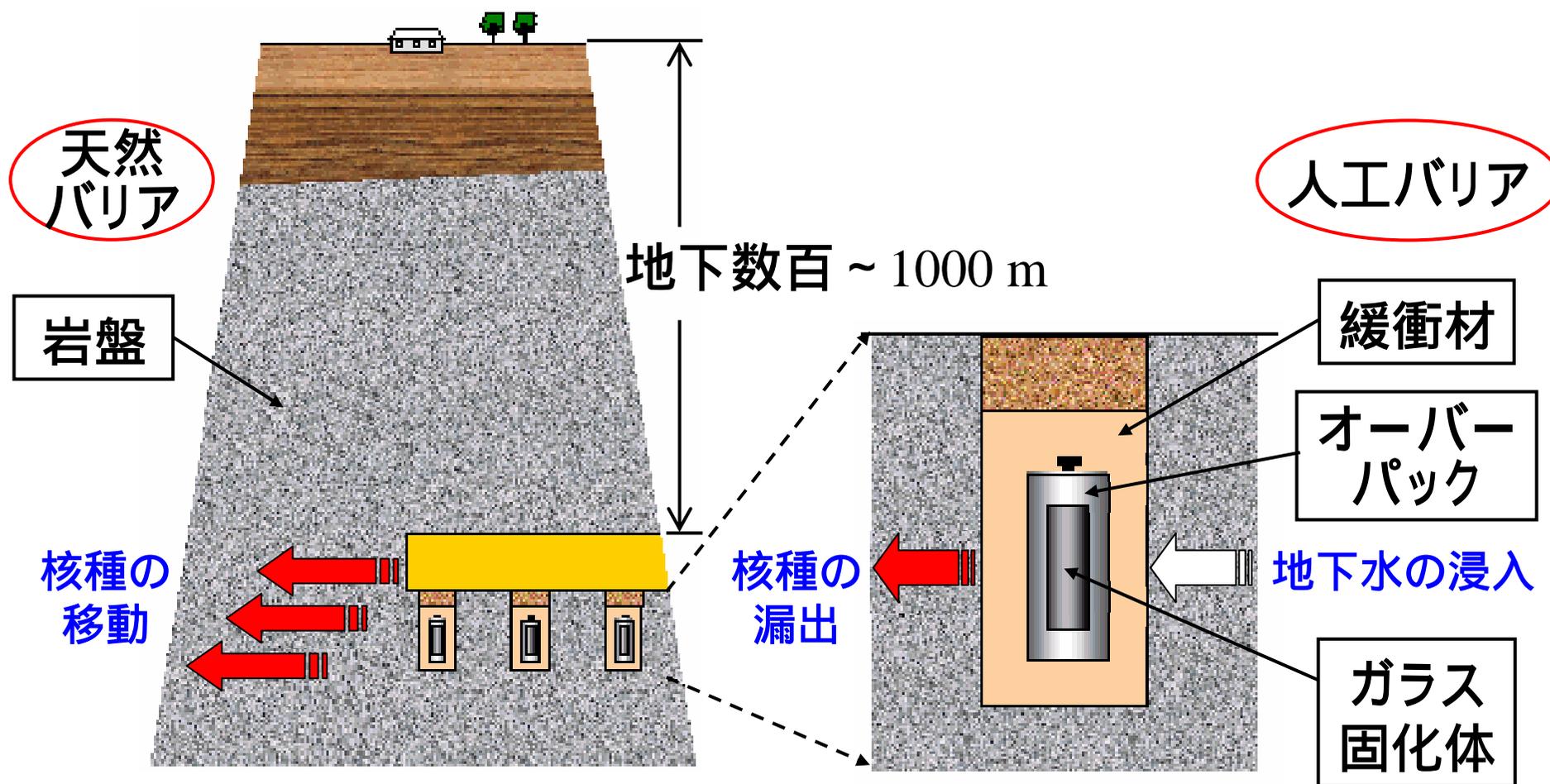
■ 人工バリア

- オーバーパック(金属容器:炭素鋼 厚さ 20 cm程度)
- 緩衝材(ベントナイト粘土70% + ケイ砂30% : 厚さ 70 cm程度)
- ガラス固化体

■ 天然バリア

- 天然の地質

「多重バリアシステム」の概念図



人工バリアの役割

- ◆ オーバーパック (金属容器)
 - ガラス固化体への地下水接触を防ぐ
 - 1000年もてば半減期30年の核種は減衰
- ◆ ガラス固化体
 - 地下水にゆっくり溶ける
- ◆ 緩衝材 (ベントナイト粘土)
 - オーバーパックやガラス固化体への水の接触を低減
 - ガラス固化体の溶解速度を低減
 - 溶け出た放射性核種を収着 (有機物・コロイドも)

緩衝材は非常に重要な役割を担っている

天然バリアの役割

- ◆ 放射性核種の移動を抑制
 - 地下水は酸素が少なく(還元的)で放射性核種が溶けにくい
 - 地下水の流れが遅い
 - 亀裂中の粘土鉱物に核種が吸着

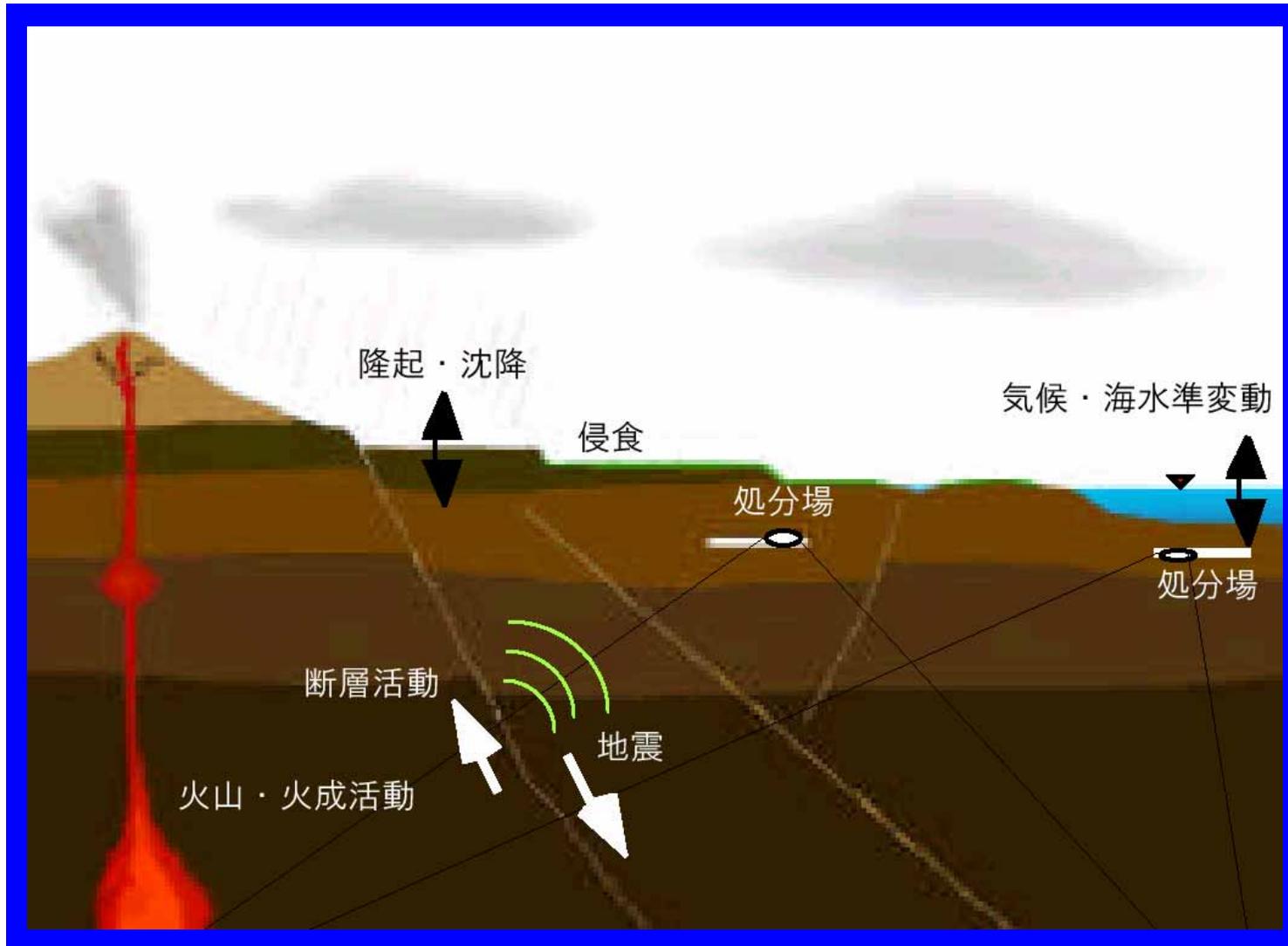
地層処分は本当にできるのか？

- ◆ 処分場の建設と埋め戻し
 - 史上かつてない大工事
- ◆ ガラス固化体の埋設
 - 遠隔操作・無人化技術の開発
- ◆ 埋設後の安全の確保
 - 100万年以上にわたる安全の保証
 - 将来予測の不確定が大きい

「地層処分の安全性は間接的に
実証される」（『第2次取りまとめ』）

？ ？ ？ ？

地層処分に関する天然現象



(『第2次取りまとめ』より)

処分場に要求される地質条件

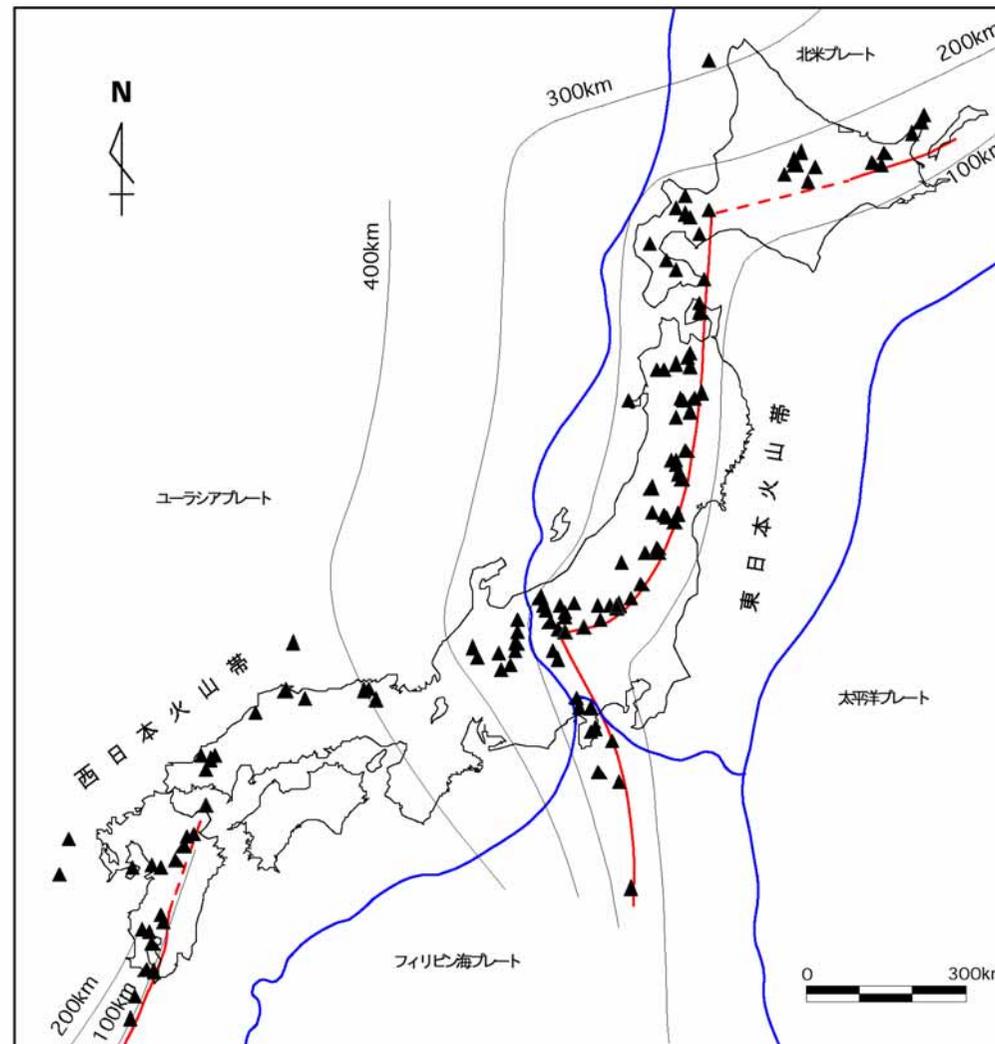
- ◆ 地殻変動の影響を受けない
- ◆ 火山活動の影響を受けない
- ◆ 丈夫で均質な岩盤
- ◆ 地温が低い、熱特性が良い
- ◆ 地下水の流速が遅い
- ◆ 地下水の化学的性質が核種移行を抑制

安定な地質があるか

- ◆ 『第2次取りまとめ』の結論
 - 火山の分布はわかっている
 - 活断層を避ければ地震の重大な影響は低い
- ◆ 地震の扱いの問題点
 - 地震学的にみて誤り
 - 「ズレ」と「揺れ」だけでなく、地震による岩盤の変形と応力の変化も重大



第四期火山の分布



海洋プレートの沈み込み
深さ110キロ
ほどでマグマ
が生成

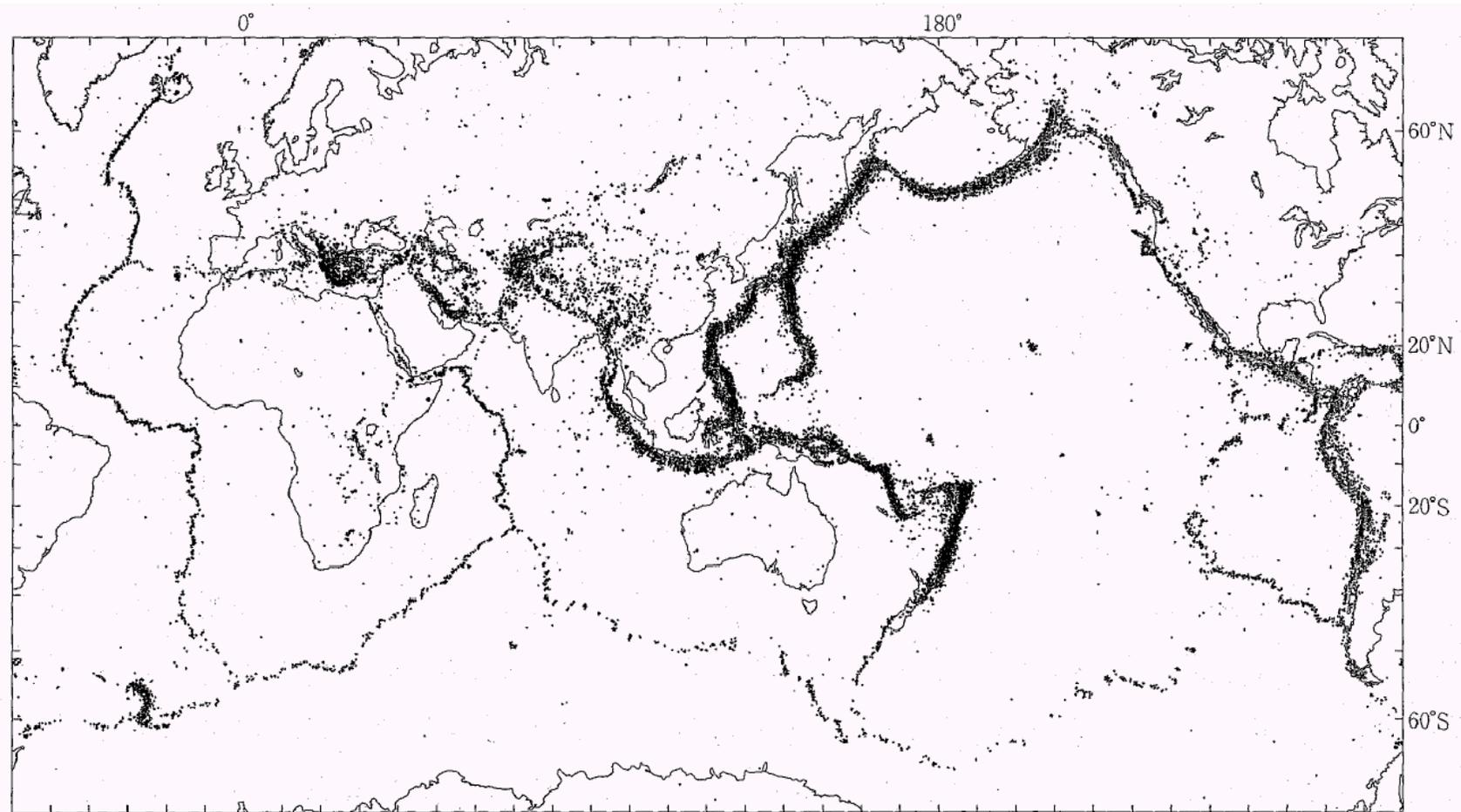
↓
火山フロント

(『第2次取りまとめ』より)

(▲：第四紀火山； - 火山フロント； - プレート境界； - 深発地震面の等深線)

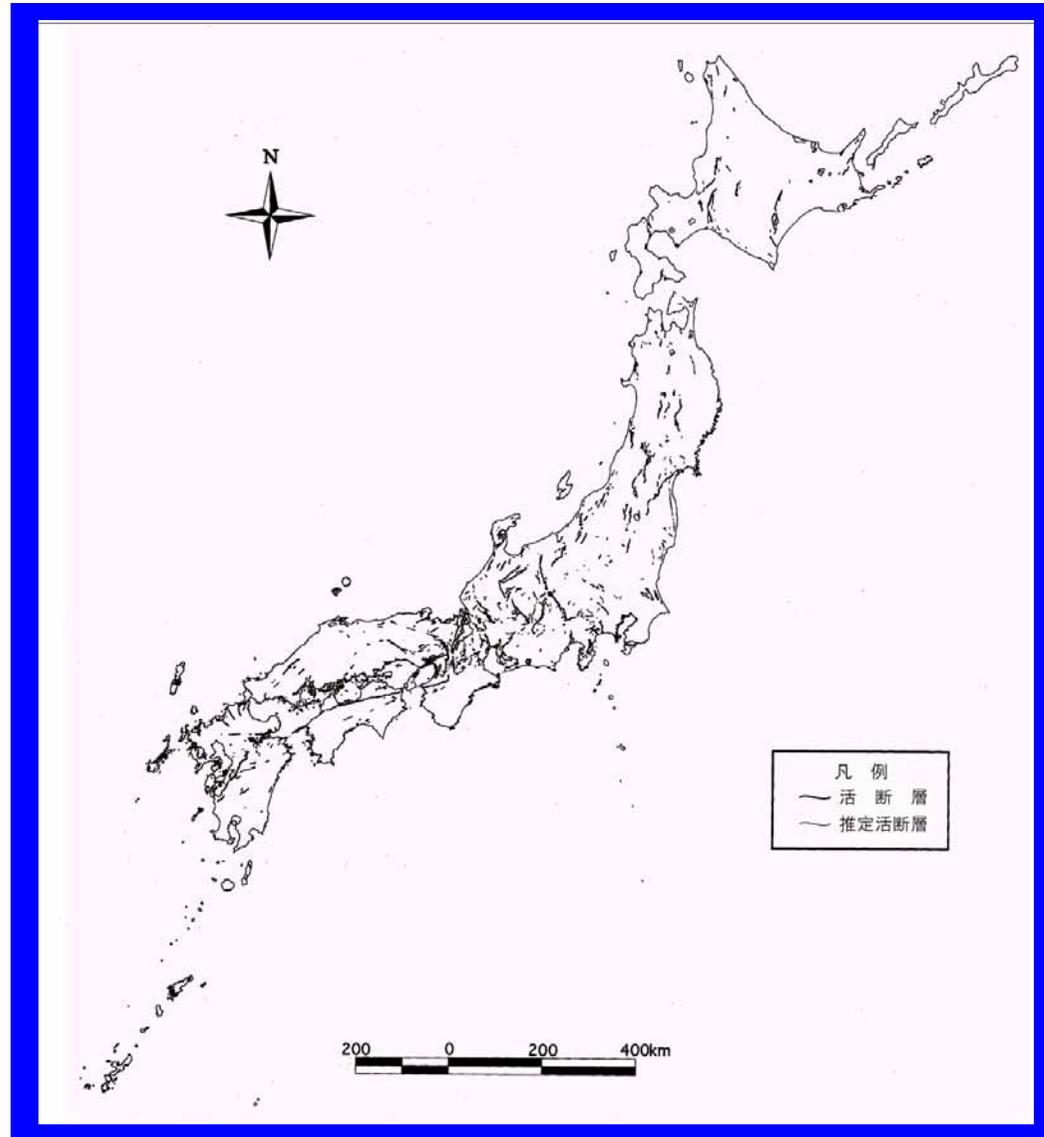


世界の地震分布



(石橋克彦『大地動乱の時代』より・吉井敏尅原図)

日本列島活断層図

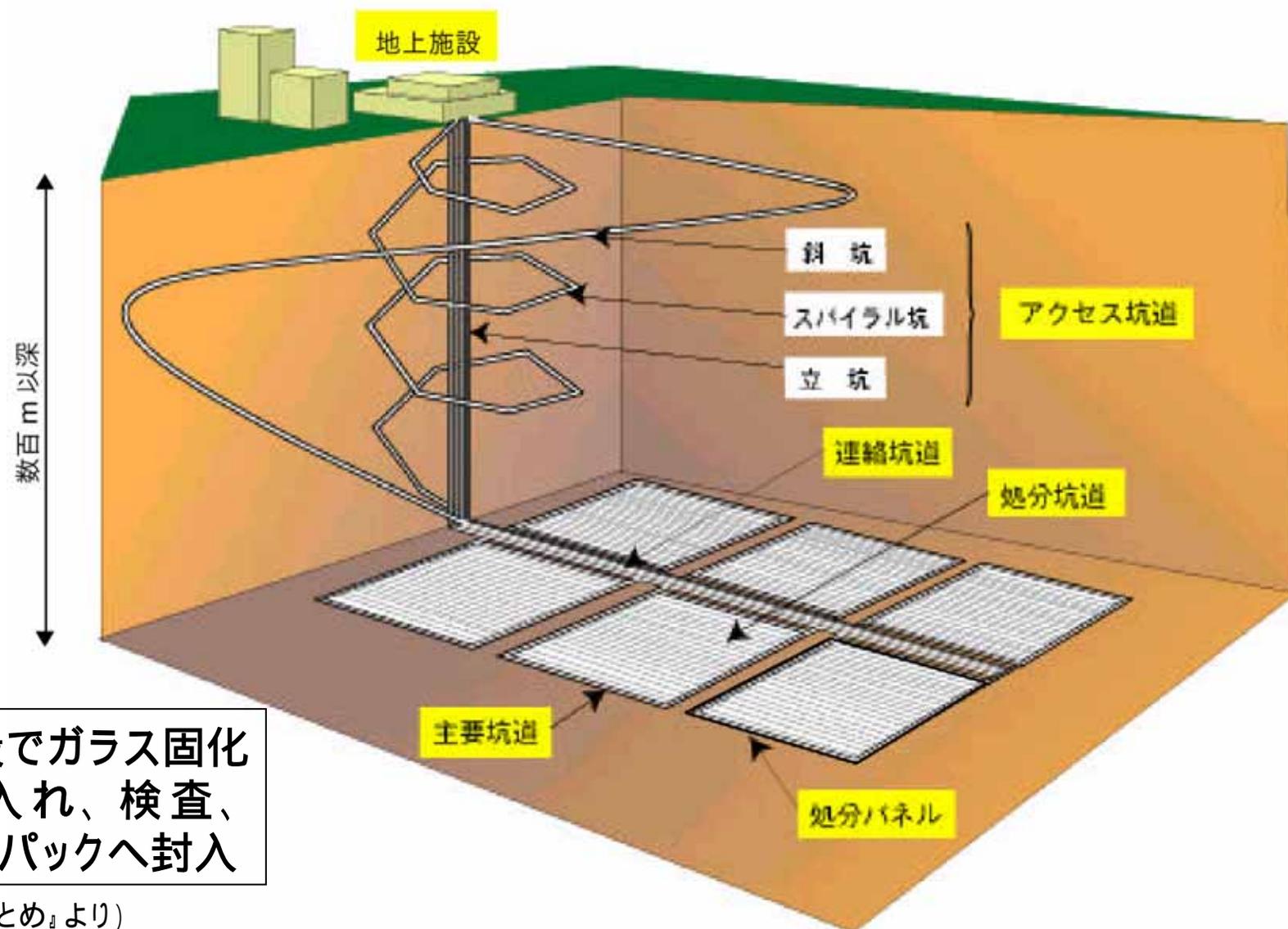


この論文自体
が多くの活断
層を見落とし
ている可能性
を否定できな
いとしている

200万分の1「日本列
島活断層図」より)



処分施設の概念図



地上施設でガラス固化体受け入れ、検査、オーバーパックへ封入

(『第2次取りまとめ』より)

処分場の概要

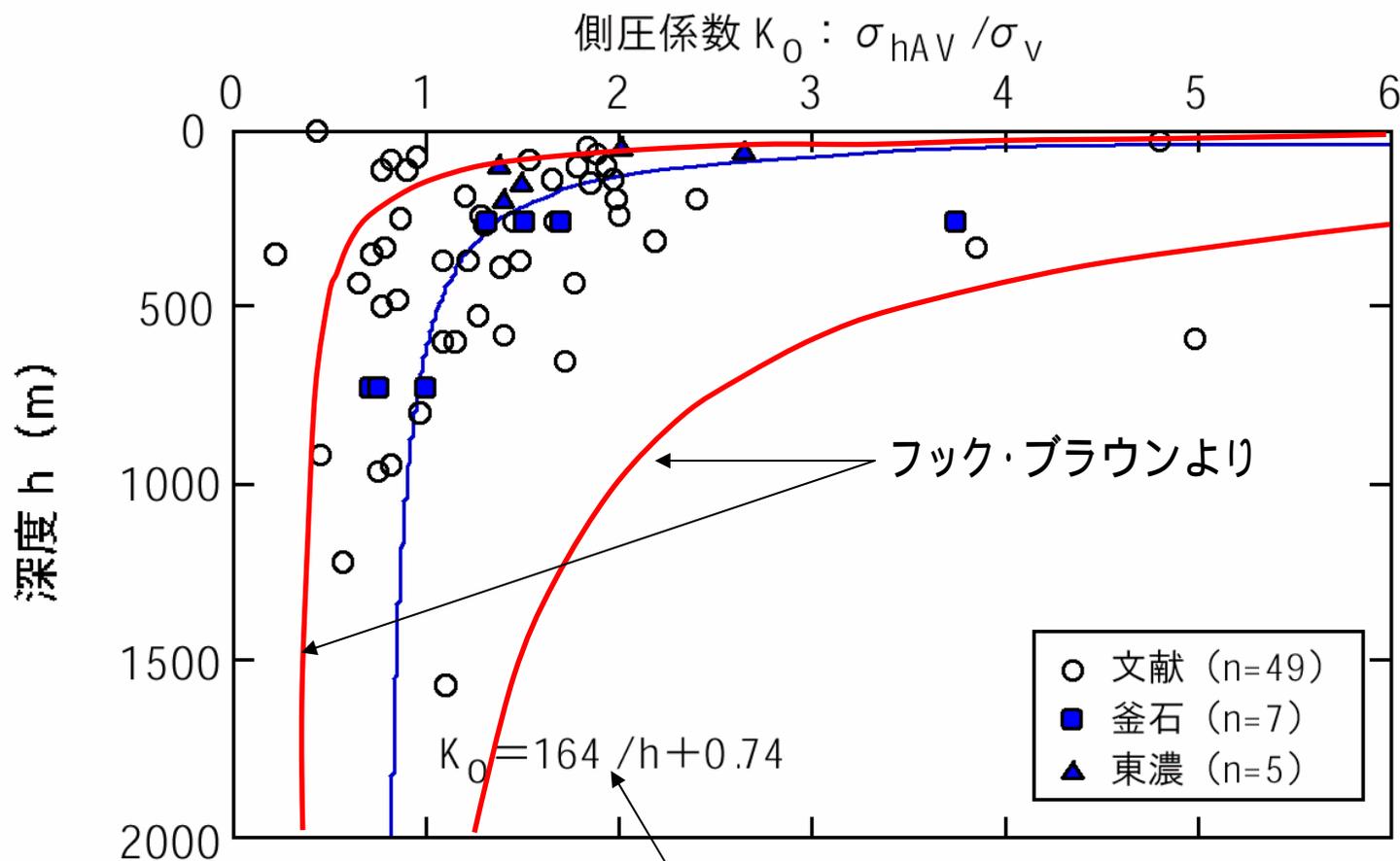
- ◆ 処分場の設計
 - ガラス固化体4万本埋設
 - 深さ 数百 ~ 1000 m
 - 広さ 1 ~ 2 km 四方 ($4 \text{ km}^2 = \text{東京ドーム}85\text{個分}$)
 - 坑道総延長距離 100 ~ 300 km (東京箱根間往復)
- ◆ スケジュール
 - 建設10年 : 操業50年 : 閉鎖10年
 - 300年のモニタリング ?

処分場の設計

- ◆ 岩盤の特性値から処分坑道の安定性を検討
 - 岩種ごとに日本の平均値を使用
 - 飽和密度、一軸圧縮強度、弾性係数、ポアソン比、粘着力、内部摩擦角、...
 - 鉛直応力、水平面内応力、側圧係数、...

平均値はよいとして、実際にはどうなるのか？

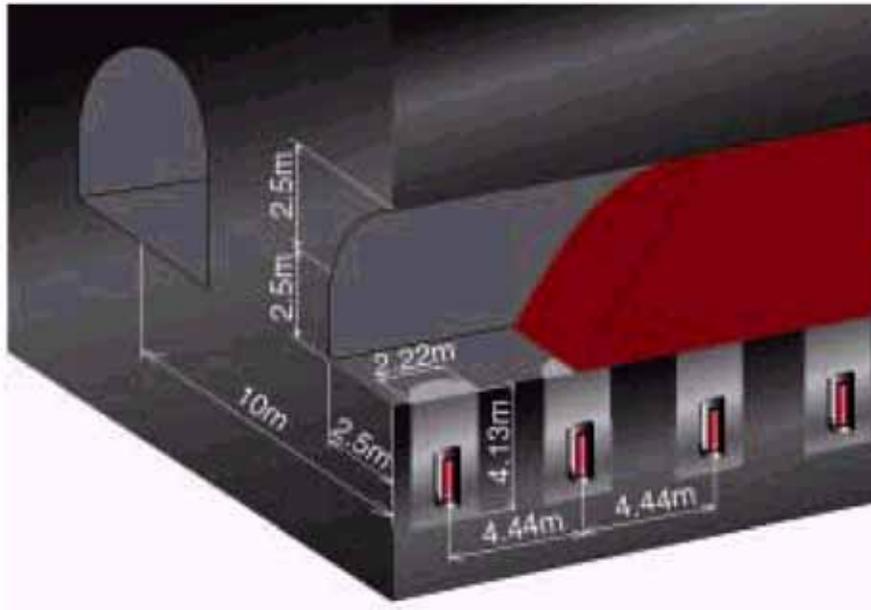
水平面内平均応力と鉛直応力の比



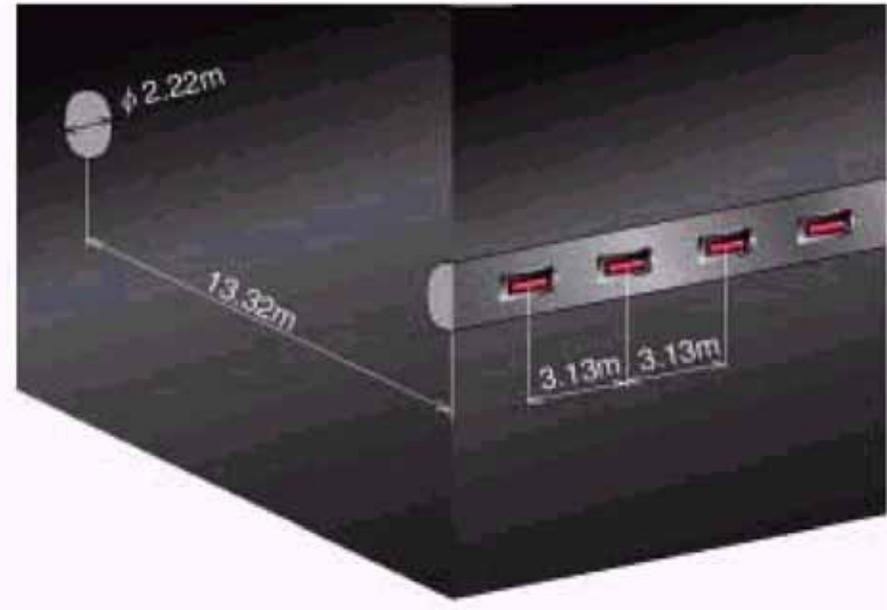
大事なものは
バラつきで
は？

水平面内平均応力の最小二乗式 ÷ 鉛直応力の最小二乗式 で求めている

処分坑道の仕様と廃棄体間隔



処分孔縦置き方式



処分坑道横置き方式

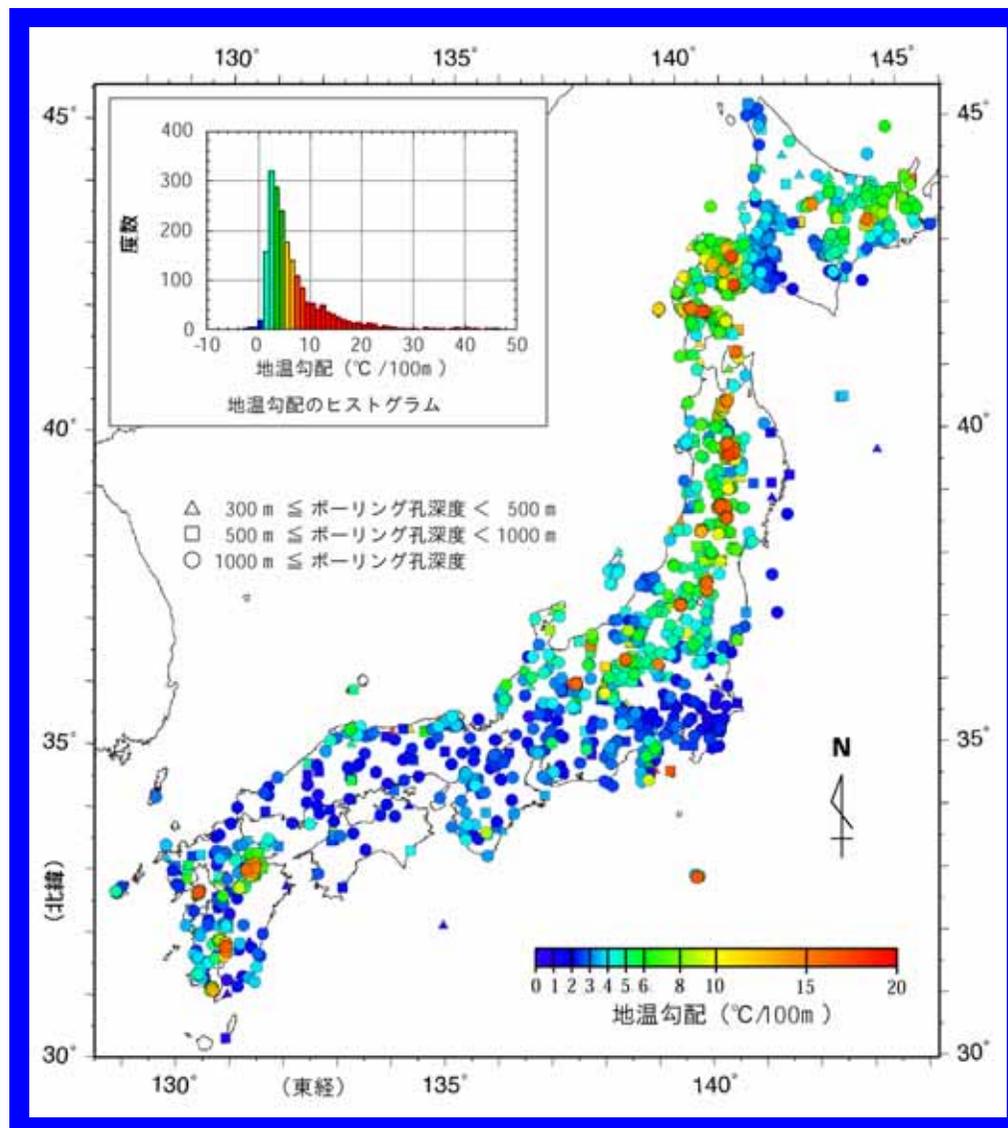
処分坑道の安定性やガラス固化体の発熱量から設計が決まる

ガラス固化体の埋設

- ◆ ガラス固化体からの放射線
 - 主に中性子線
 - オーバーパック表面で 100 ミリシーベルト / 時
 - 作業の無人化・遠隔操作 技術開発はこれから
- ◆ 地下の高温環境
 - 平均で 100 m につき 3 の温度上昇
 - 地下 1000 m は約 45
- ◆ 重量物の埋設 (5トン強)
 - 1日に数本程度 (1年に1000本弱)
 - 4万本埋設に50年を予定



日本の地温勾配



(『第2次取りまとめ』より)



ガラス固化体の輸送の問題

- ◆ ガラス固化体貯蔵施設からの輸送
 - 大型トレーラーの低速走行でキャスクを運搬



立地条件
によっては
非常な困難

ガラス固化体20本入り
キャスク

(日本原燃ウェブページより)

人工バリアの健全性

◆ オーバーパック

- 設計寿命1000年：炭素鋼 200 mm 厚
 - 全面腐食 12 mm：水による還元腐食 20 mm / 1000年
 - 放射線遮蔽厚さ 150 mm
 - 耐圧厚さ 100 mm

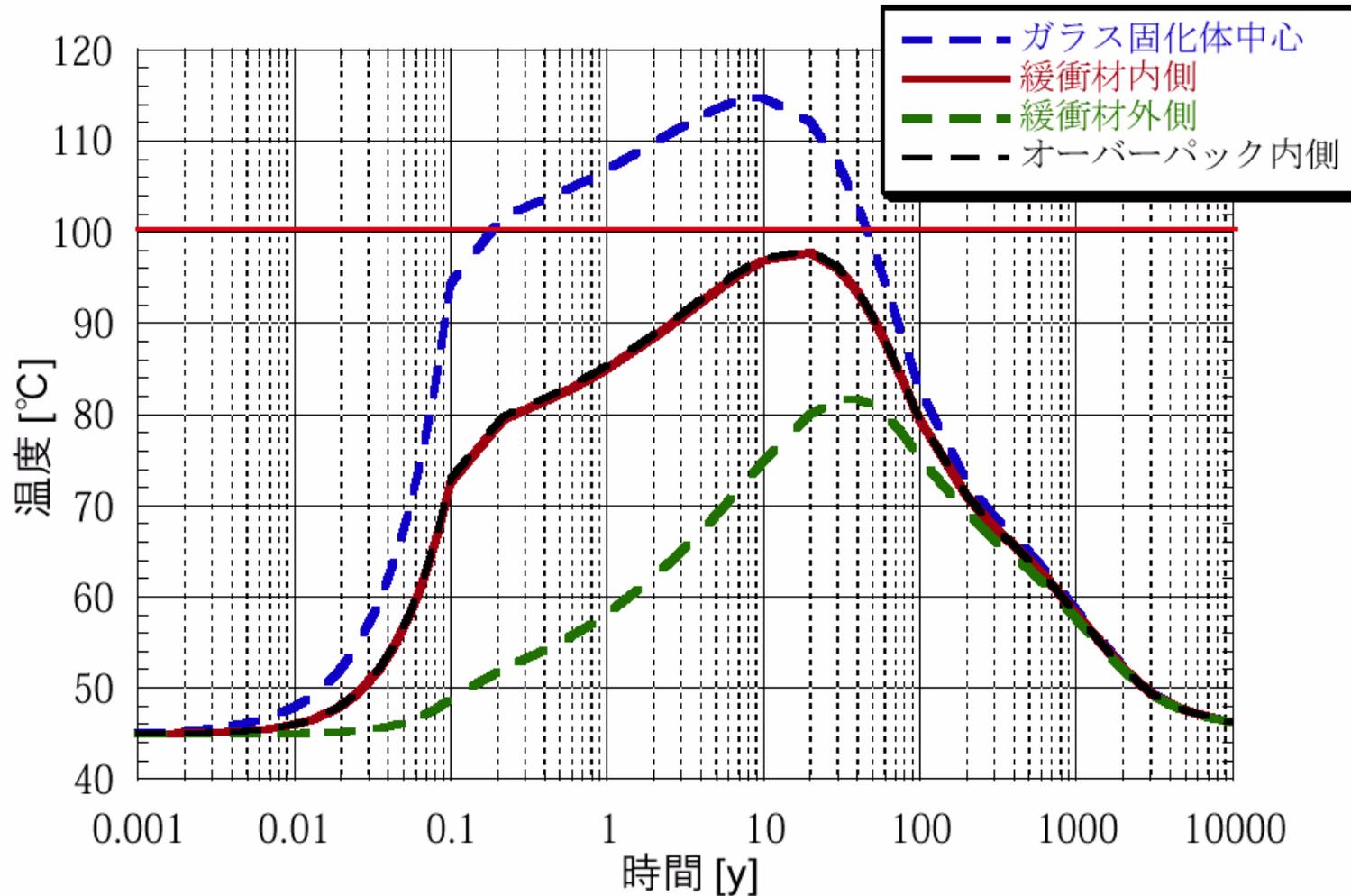
◆ ガラス固化体

- すべて溶けきるのに7万年以上
 - 緩衝材が地下水の流れを止める
 - ケイ酸の濃度が飽和するため溶解速度低い

ガラス固化体の発熱量の問題

- ◆ ガラス固化体の放射エネルギーが高いと発熱が大きい
 - 緩衝材の変質をもたらす可能性(制限温度 100)
 - 地温からの温度上昇は発熱量に比例
- ◆ 返還ガラス固化体には、『第2次取りまとめ』の想定より放射能が高いものもある
 - 30年埋設と50年埋設で条件変わる
 - プルサーマルの使用済み核燃料は発熱量が大きく減衰も遅い(キュリウム244、アメリシウム241の影響)

廃棄体周辺の温度の経時変化



(『第2次取りまとめ』より)

本来、ガラス固化体中心の初期値は105、緩衝材の初期値は75

ガラス固化体の放射エネルギー

- ◆ ガラス固化体製造時または貯蔵開始時のセシウム137の放射エネルギー (ベクレル / 本)

『第2次取りまとめ』(日本原燃仕様値)	3.8×10^{15}
COGEMA仕様計算値	4.8×10^{15}
COGEMA(六ヶ所申請値)	6.7×10^{15}
BNFL(六ヶ所申請値)	8.0×10^{15}
落下事故被害評価(六ヶ所申請値)	1.1×10^{16}

返還固化体の平均値は 4.5×10^{15} ベクレル / 本だが、高いものは 6.1×10^{15} ベクレル / 本

「安全評価」

◆ 将来の被曝線量を計算

■ シナリオ

- 地下水シナリオ、接近シナリオ、...

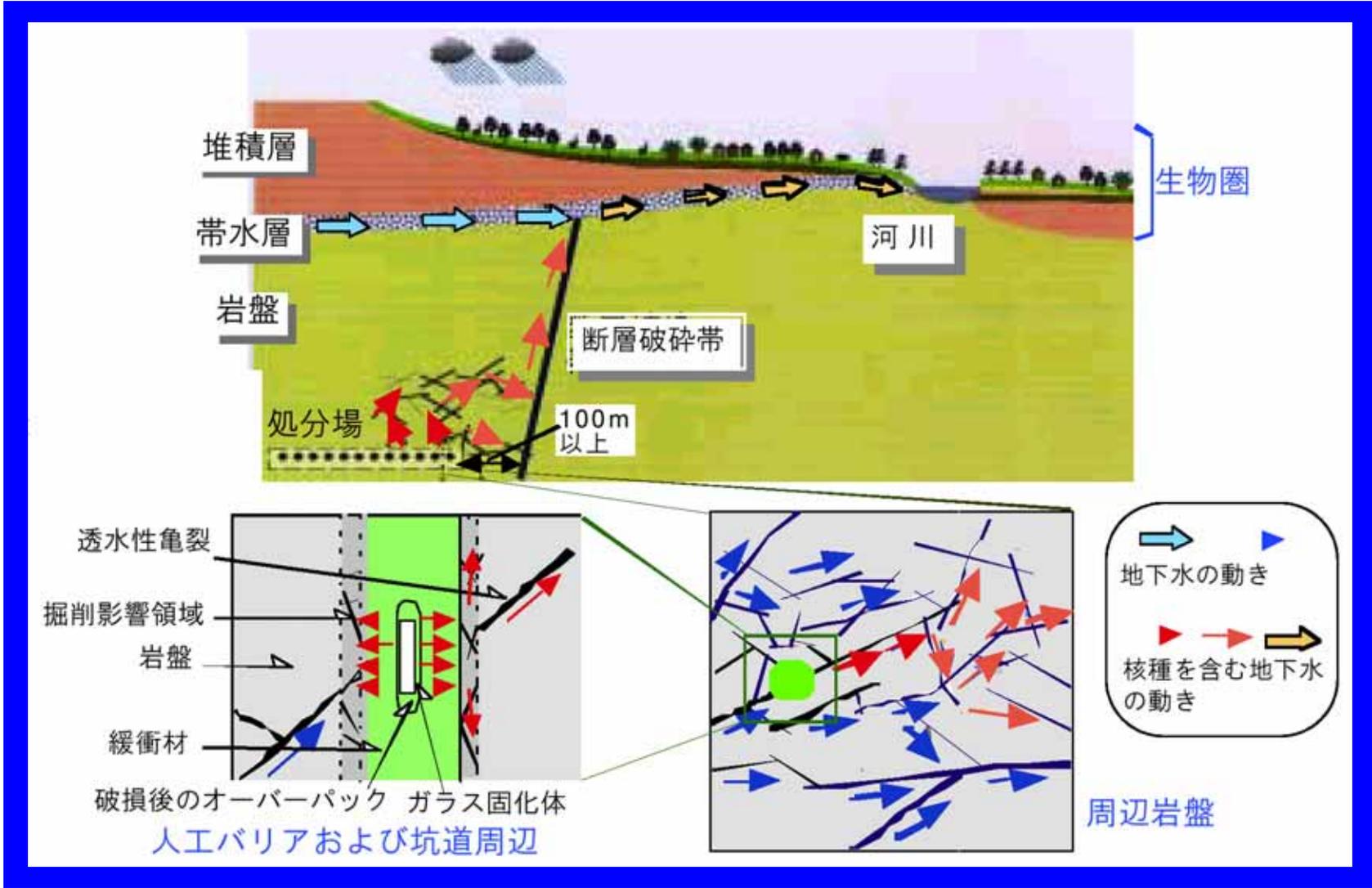
■ モデル

- 核種移行 *放射性核種が生物圏に達する量*
- 生物圏 *生物圏での放射性核種の摂取*

■ データ

- オーバーパックの腐食、ガラスの溶解、核種の溶解度、核種の分配係数、...

地下水シナリオ

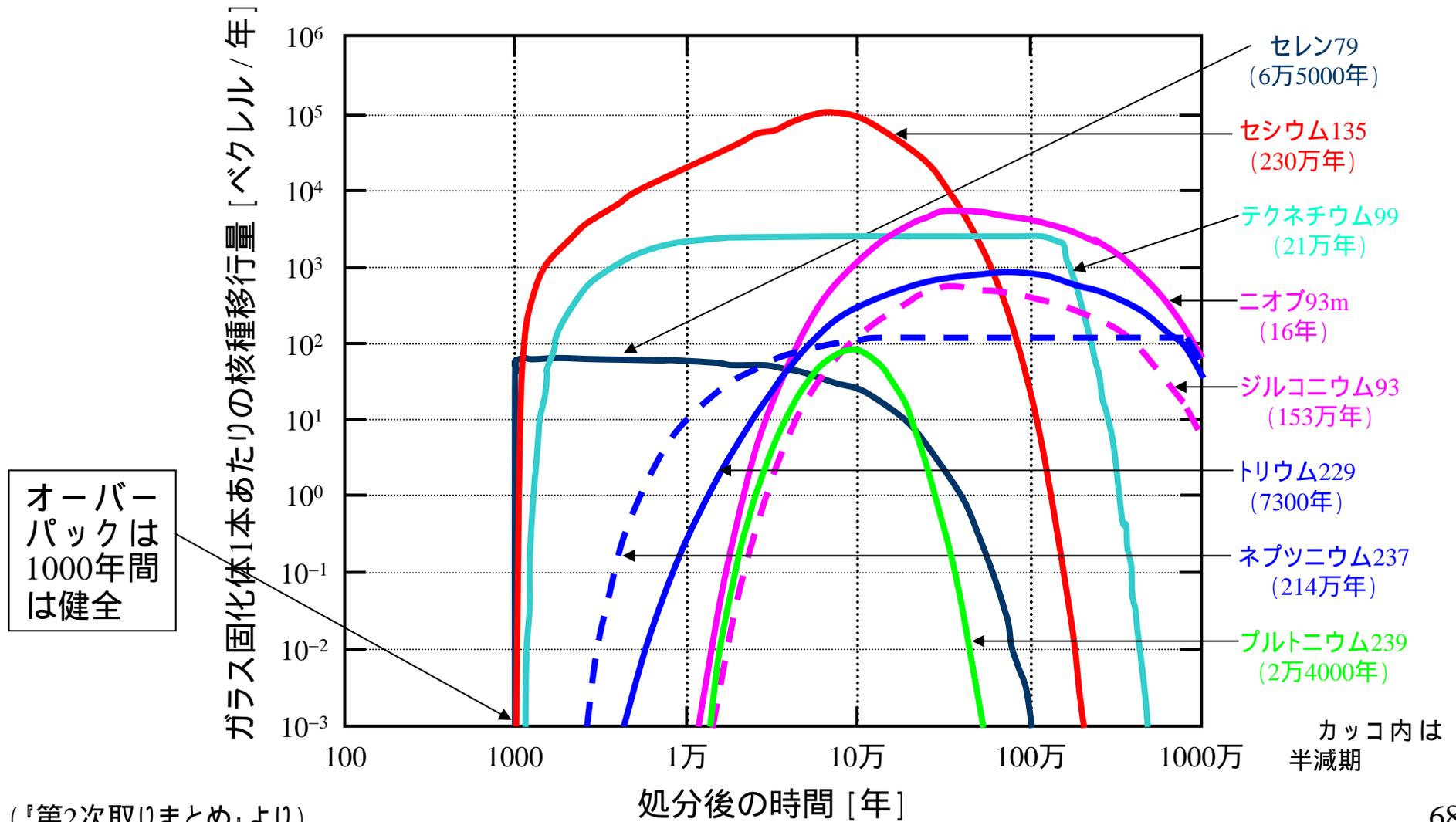


(『第2次取りまとめ』より)

放射性核種の特徴と被曝線量

- ◆ 被曝線量を決める要素
 - 放射性核種の生物圏への移行量
 - 放射性核種の生物圏での摂取量
 - 放射性核種の放射線影響
- ◆ 影響の大きい核種
 - 含有量が多い、半減期が長い
 - 移動性が高い
 - 放射線影響が強い

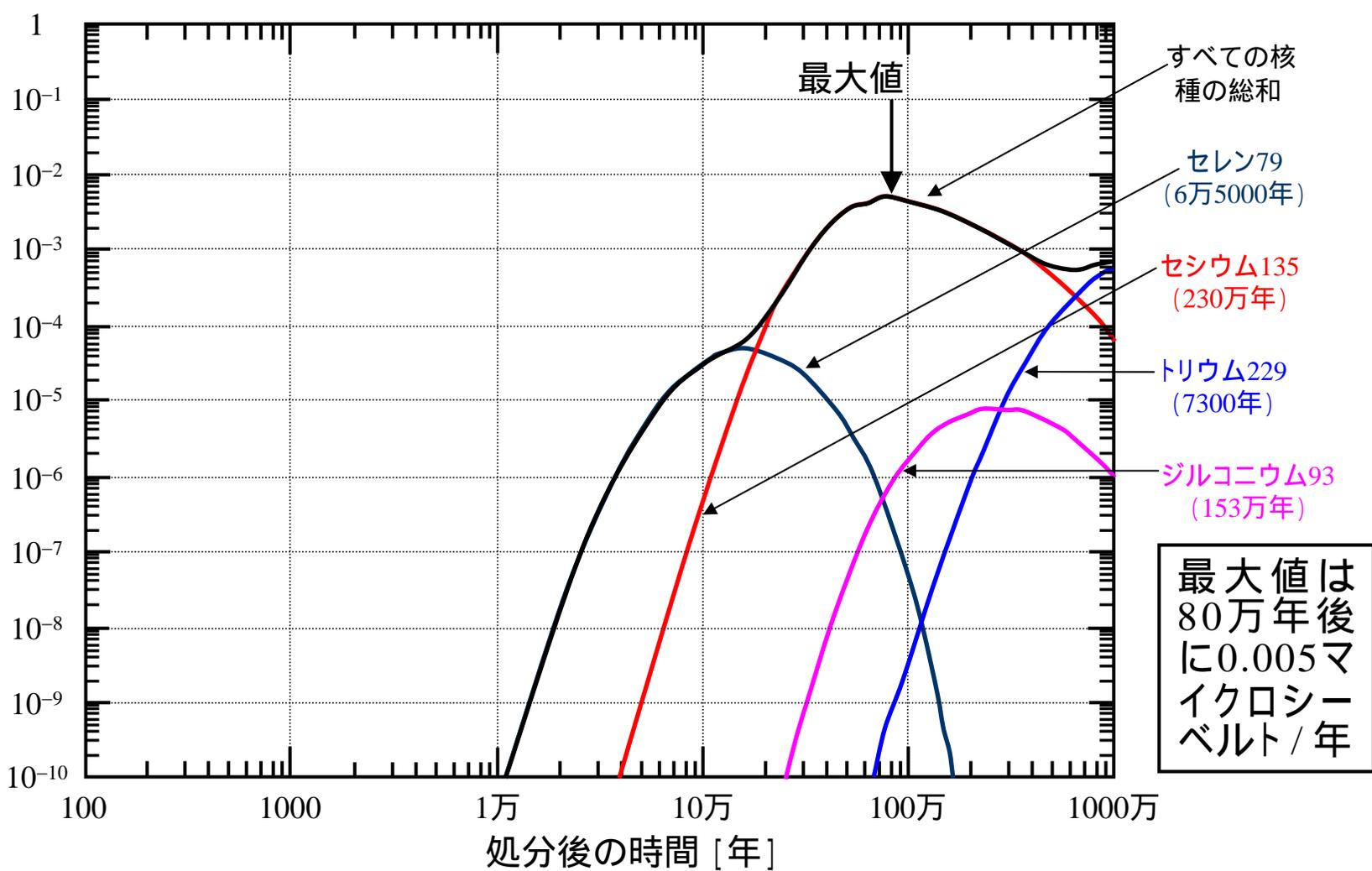
人工バリアからの放出量



(『第2次取りまとめ』より)

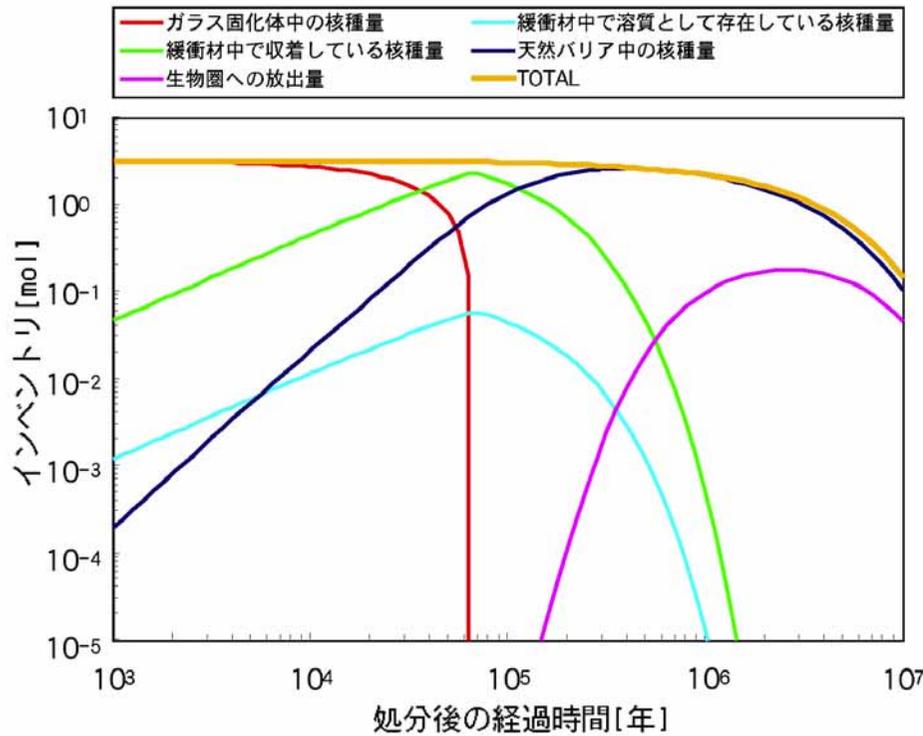
被曝線量：レファレンスケース

ガラス固化体4万本分の被曝線量 [マイクロシーベルト/年]



(『第2次取りまとめ』より)

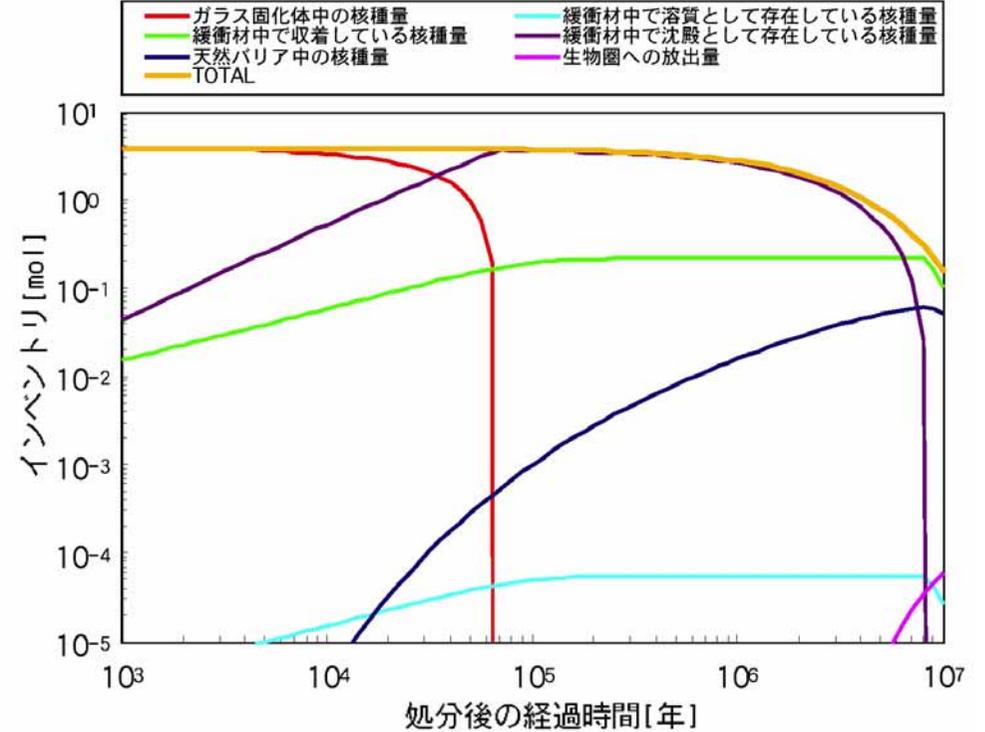
各バリア内での核種の存在量



セシウム135

緩衝材に収着していない

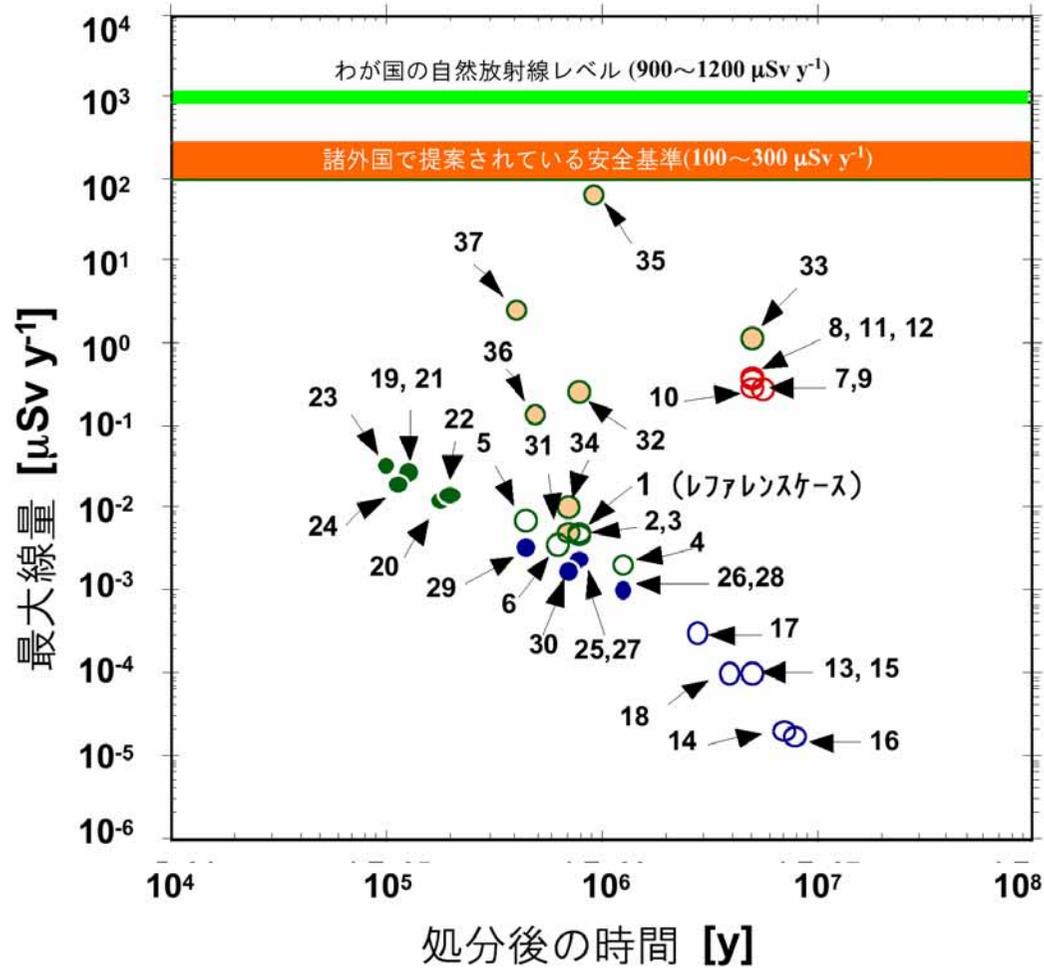
ガラス固化体1本当りの核種の量



ネプツニウム237

緩衝材に収着している

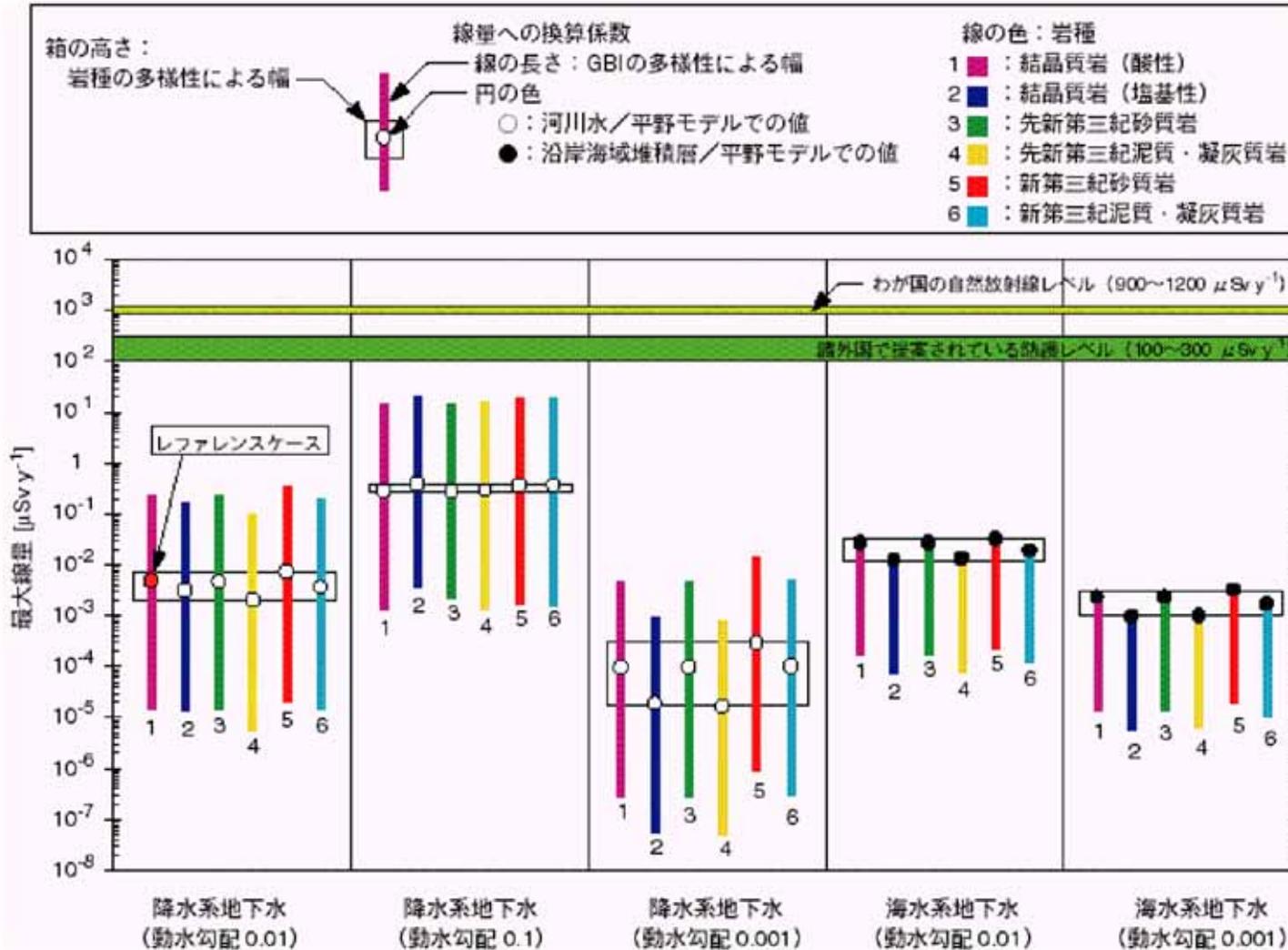
最大被曝線量の比較



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	GBI
システムの多様性	1	降水系 地下水	0.01	結晶質岩 (酸性)	河川水
	2			結晶質岩 (塩基性)	
	3			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		先新第三紀砂質岩		
	10		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		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	海水系 地下水	0.01	結晶質岩 (酸性)	沿岸海域 堆積層
	20			結晶質岩 (塩基性)	
	21			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		新第三紀泥質岩・凝灰質岩		
	25		0.001	結晶質岩 (酸性)	
	26			結晶質岩 (塩基性)	
	27			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			

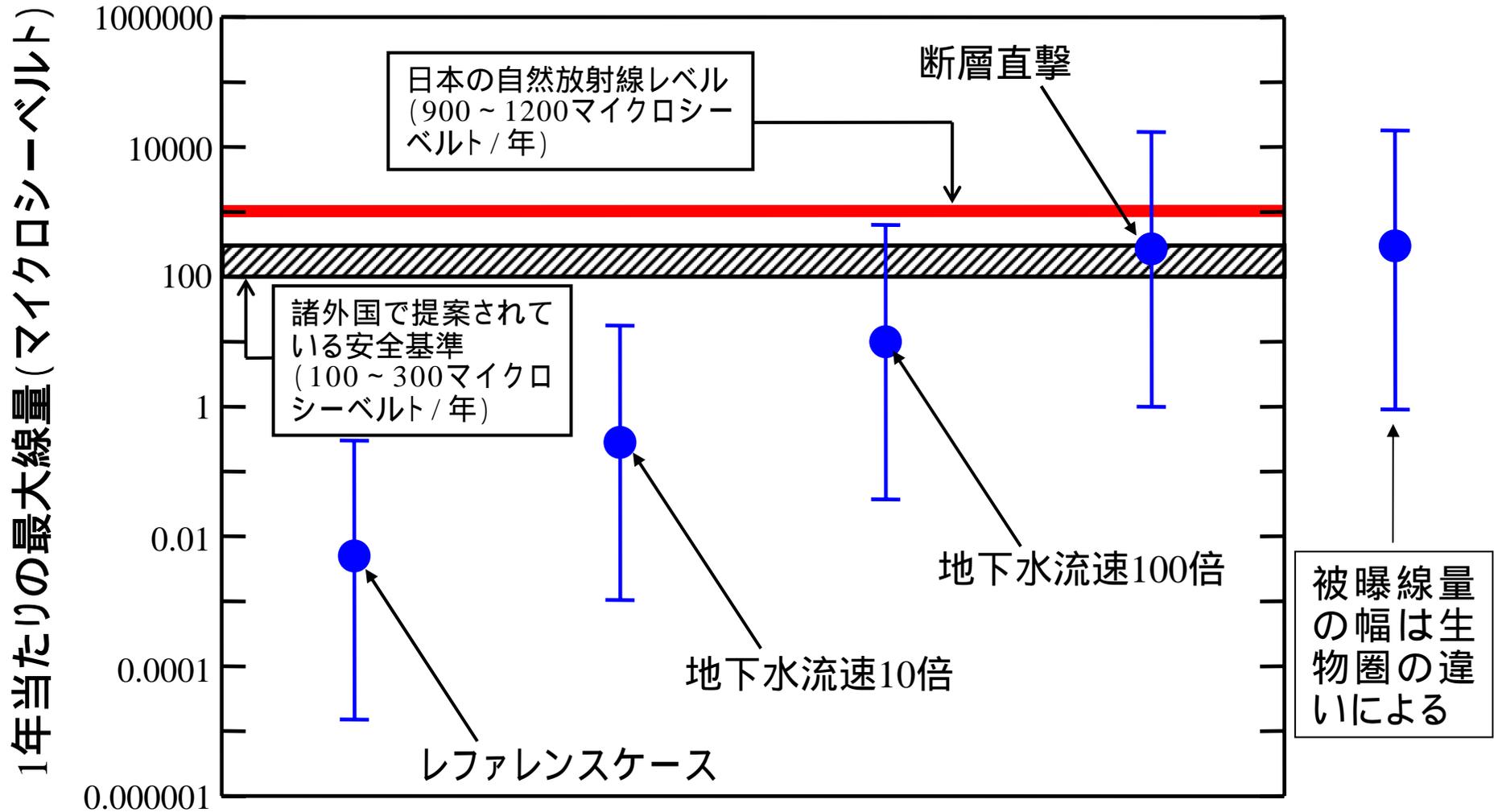
(『第2次取りまとめ』より)

最大被曝線量の比較



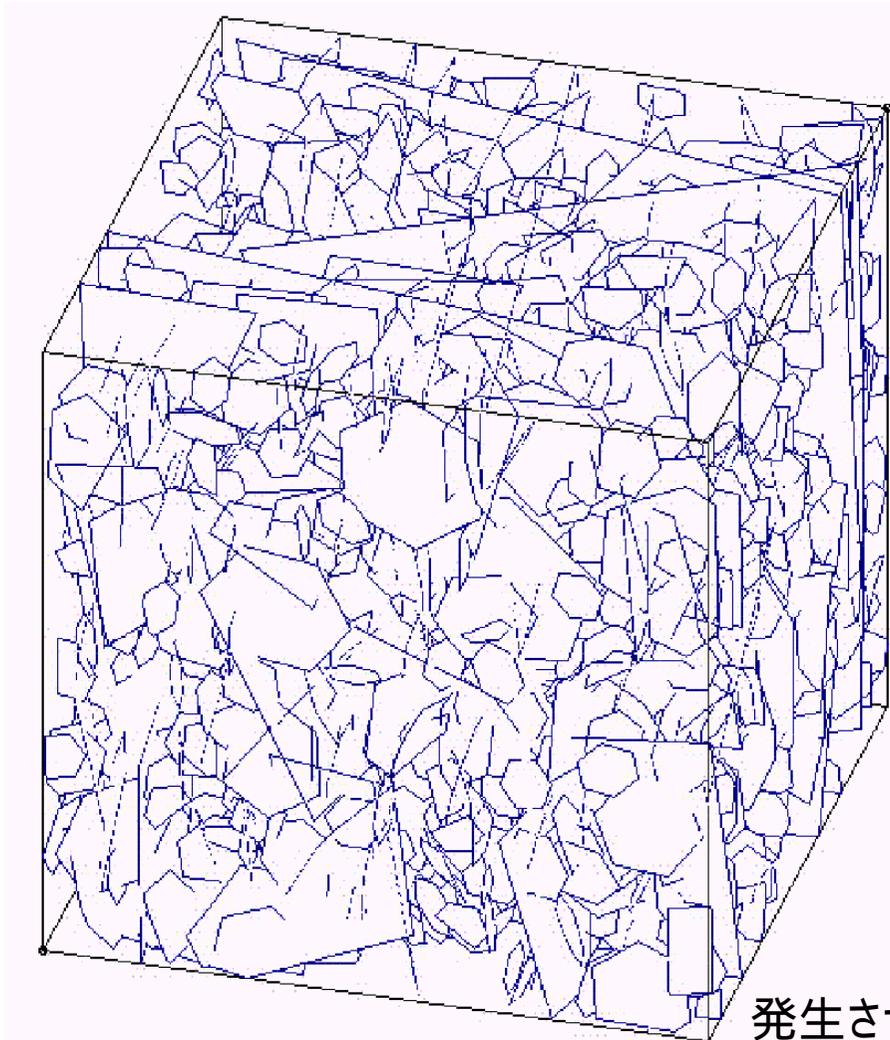
(『第2次取りまとめ』より)

最大被曝線量の比較



(『第2次取りまとめ』をもとに作成)

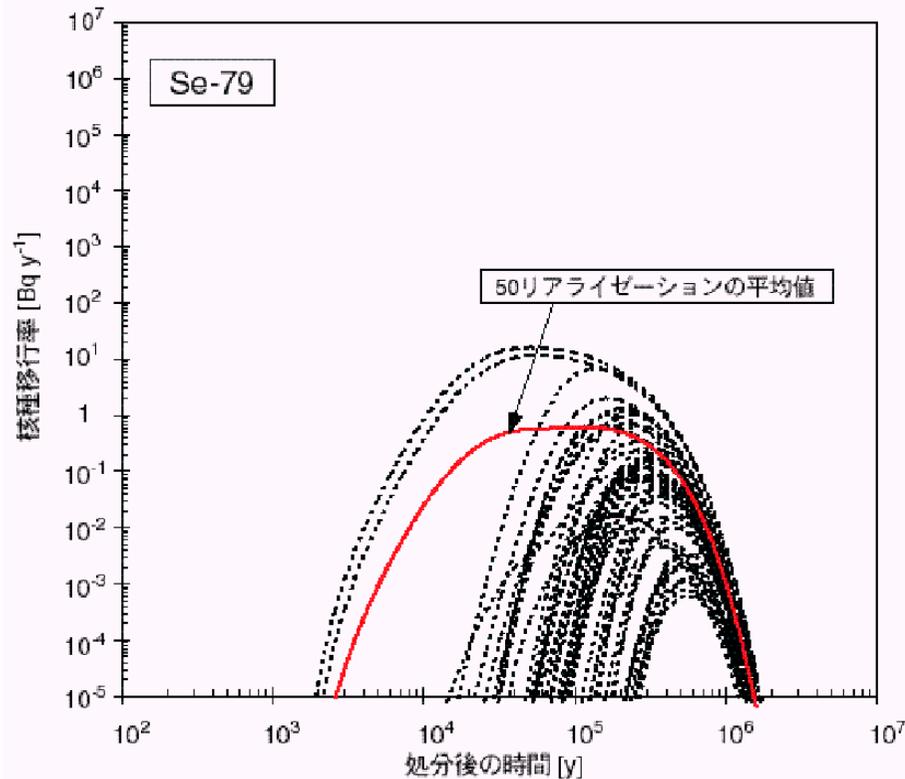
3次元亀裂ネットワークモデル



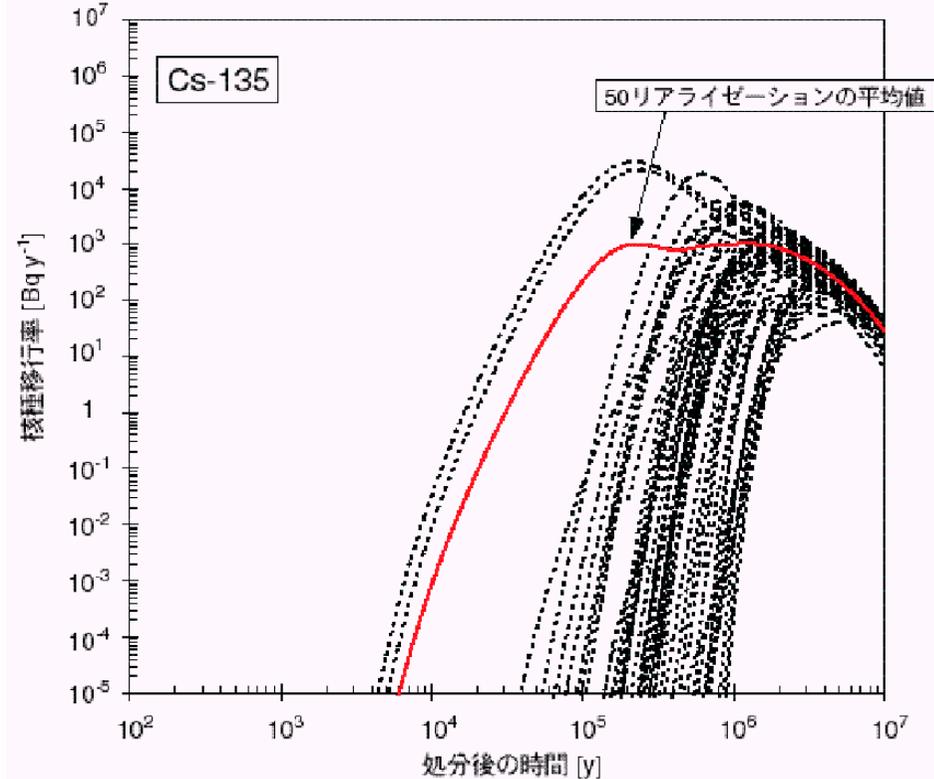
- ・ 計算機で乱数的に発生させた亀裂のネットワーク
- ・ 透水性、頻度、大きさ、方向性の分布関数を仮定
- ・ 透水性と亀裂の大きさは相関させていない
- ・ 50回ぐらい計算すると平均値は一定値に落ち着く

発生させた全亀裂のうち25%の亀裂のみ表示

亀裂分布による核種移行のばらつき



(a) Se-79



(b) Cs-135

亀裂の状況によって天然の岩盤中の移行量は大きく変わる

「安全評価」について

- ◆ 要するに . . . 不確定の幅が大きい
 - 地質の条件
 - 地下水流速、亀裂のつながり、 . . .
 - 放射性核種と地質の相性
 - 亀裂に充填された粘土鉱物、地下水の化学的性質、 . . .
 - 生物圏の条件
 - 生活の様式、飲料・食物の摂取、 . . .
- 坑道掘削時に流される可能性あり

『第2次取りまとめ』の何が問題か

- ◆ 「地層処分の可能性」は示しているかもしれないが、「安全の保証」はしていない
 - 日本の地質特性の「平均値」を多用
 - 最悪の結果を見せない
 - 「適切なサイト選定と工学的対策」でOK？
- ◆ 解決の必要な課題が示されていない
- ◆ 「地層処分の技術的信頼性」とは何か
- ◆ 「地層処分は絶対安全」という宣伝に使われている



『科学』11月号 核燃機構見解

- ◆ 『第2次取りまとめ』は、地層処分計画を研究開発だけの段階から実施を目指した段階に進めることについての技術的な判断材料を与えることを意図したものであり、『科学3月号』の「今後10万年以上にわたって地層処分が確実に安全にできることを、特定の場所についてあらかじめ科学的に保証することはしていない」という批判は『第2次取りまとめ』の目的を理解していない。



『科学』11月号 核燃機構見解

- ◆ 個々に想定される最悪の条件を組み合わせた評価や、処分システムの性能が破綻するような非現実的な条件の提示は、あえてしていない。
- ◆ 処分地が選ばれていない現段階における『第2次取りまとめ』のような簡略かつ保守的な評価において、地層処分の成立が困難な条件を想像して並べ立てることは、今後のサイト選定や安全審査のプロセスに対して unnecessary な制約を与えてしまう。

ナチュラルアナログ

◆ 自然の事例

- ウラン鉱床が100万年以上保持
- 天然原子炉の核種移動がほとんどない
- 古代のガラスが出土
- 粘土の中で金属が保持

× 動かなかったものや保持されているものだけが観測可能

× 天然原子炉でもセシウムは移動している

高レベル廃棄物の処分問題

各国の現状
残された廃棄物
どう考えるか

各国の地層処分政策の現状

- ◆ アメリカ
 - ヤッカマウンテンを処分場候補地としてサイト特性調査中
- ◆ フィンランド
 - オルキルオトが処分地として決定
- ◆ スウェーデン
 - 3地区でサイト調査中
- ◆ ドイツ・フランス・カナダ・イギリス
 - 凍結・一時中断中など

議論の不健全さ

◆ 推進側の主張

- 「高レベル廃棄物は量が少ない」
- 「待てば放射能が減る」
- 「原発を停止しても現時点で存在している」
- 「原子力の恩恵を享受した世代が解決すべき」

そもそも処分は50年後の世代なのに...

「ゴミを減らす」ことが論点にない

残された放射性廃棄物

- ◆ ウラン残土
- ◆ プルトニウムとウラン
- ◆ ヨウ素129
 - 直接処分の研究は現段階では御法度

将来の世代との関係

- ◆ モニタリング？
 - 「地層処分は管理や監視を必要としない技術」？
- ◆ 再取り出し可能性
- ◆ 「ベネフィット」は現世代、「リスク」は将来世代
- ◆ 廃棄物のことは忘れてほしいのか覚えていてほしいのか

どう考えるか

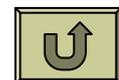
- ◆ いろいろなスタンス
 - 合意もなく原発を進めた側が責任をとるべき
 - 原発をとめるために廃棄物問題を話し合う
 - 地層処分だけは良くない etc...
- ◆ 問題の難しいところ
 - よい方策がありえるのか
 - 「国民の御理解」のもとに数十年分の廃棄物が一ヶ所の処分場へ

月並みだが、やはりこれ以上増やさないこと

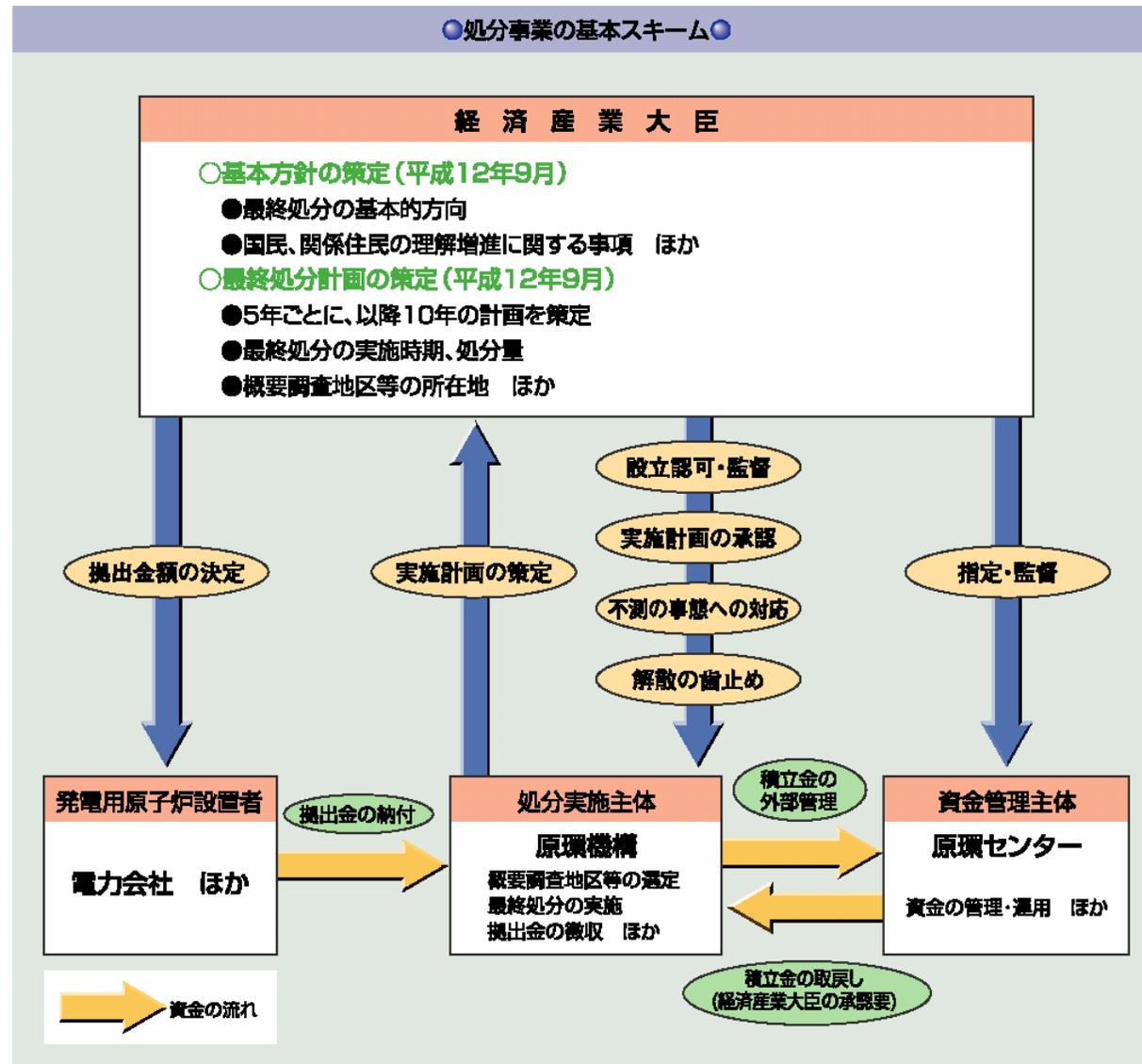
長い時間どうもありがとう
ございました

元素の周期表

	IA	IIA	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA	IB	IIB	IIIB	IVB	VB	VIB	VII B	0		
1	1 H															2 He		
2	3 Li	4 Be									5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne		
3	11 Na	12 Mg									13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar		
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba	L	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	A															
		L	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu	
		A	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr	

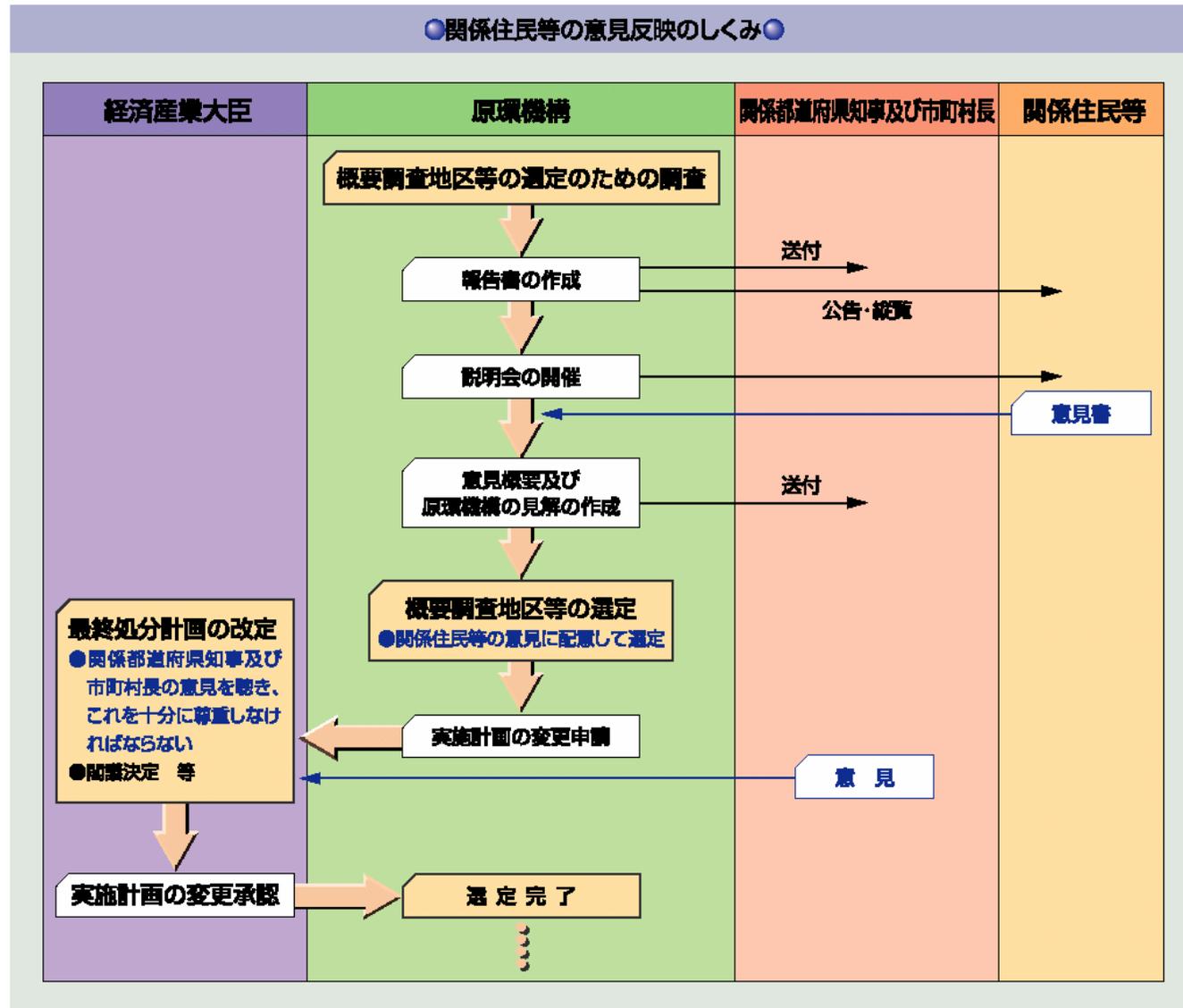


「処分事業の基本スキーム」



(資源エネルギー
庁パンフレットより)

「関係住民等の意見反映のしくみ」



(資源エネルギー
庁パンフレットより)