

意見募集後

地層処分技術WGのこれまでの議論の整理

平成27年9月
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WG

専門家による意見募集の趣旨について

- 地層処分技術WG(以下、「技術WG」)では、2013年10月からの議論の成果について昨年5月に「中間とりまとめ」を行いました。その後、「中間取りまとめ」も踏まえつつ、「国は、科学的により適性が高いと考えられる地域(科学的有望地)を示す」との国の方針の下、この科学的有望地の要件・基準の議論を昨年12月から行っています。
- これまで計5回の審議を実施し、議論の前提となる概念整理を行うとともに、安全性確保に関する事項を中心に要件・基準に関する議論を行ってまいりました。
- 技術WGの議論は、引き続き行っていく予定ですが、これまでの議論の内容の科学的妥当性について検証し、今後の議論の参考にするため、この段階でこれまでの議論を整理し、要件・基準の検討手順、想定されるリスク、検討結果、現時点で使用可能と整理している文献・データについてその妥当性に関する専門家の御意見を募集することとしました。
- 今回の意見募集の対象は、本資料及び(別添)参考資料となります。

※なお、本資料の右上に(別添)参考資料の関連ページを記載しています。併せて御確認下さい。

(注)意見提出者については、地層処分技術に関連する学会に所属する者や、関連する論文・報告書等の公開文献の執筆経験を有する者など、本分野についての高い専門性を有する者とさせていただきます。また、意見の提出においては、意見の根拠(論文・報告書等の公開文献)を示したもののみを意見として受領いたします。なお、本WGでの御説明をいただく可能性もあります。

(参考)地層処分技術WGの議論の経緯

- 地層処分技術WGでの議論の開始(2013年10月)

第2次取りまとめ(※)の「地層処分の技術的信頼性(地質環境特性およびその長期安定性)」について、研究開発の進展及び東北地方太平洋沖地震のような未曾有の天然現象を踏まえ、最新の知見を反映した再評価を実施。

※日本原子力研究開発機構 わ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(1999年)

- 地層処分技術WG「中間とりまとめ」を実施(2014年5月)

最終処分施設に求められる好ましい地質環境とその長期安定性について考え方を整理するとともに、後者の長期安定性の確保については、求められる地質環境に著しい影響を与える天然事象を回避するための段階的調査の考え方も整理。

- 地層処分技術WGでの議論を再開(2014年12月)

地層処分に好ましい地質環境及びその長期安定性に関する2014年5月の「中間とりまとめ」をベースとし、操業時の安全性(地下施設・地上施設)、実現可能性を検討対象として追加した上で、科学的有望地の要件・基準の検討を開始。

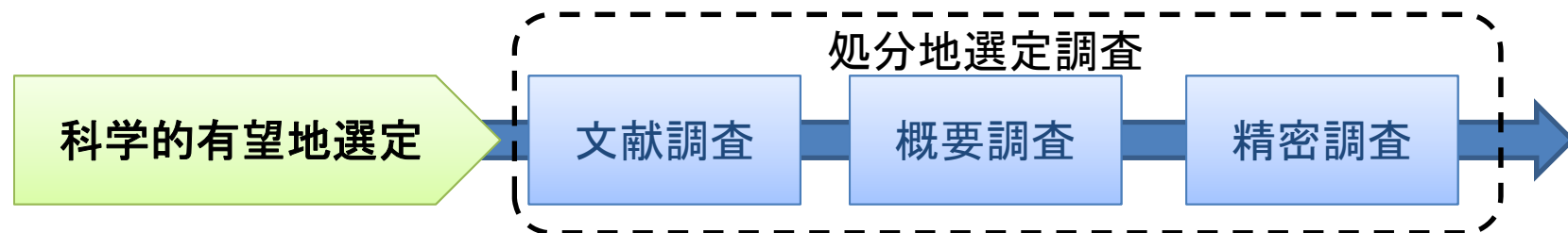
1. 議論の前提の整理

議論の前提の整理(1)

○技術WGでは、科学的有望地の要件・基準の検討をどのような前提で行うべきかを議論し、現時点で以下の通り整理することとしている。

●科学的有望地の位置付けについて

- 個別地点の最終処分建設地としての適性は、法令に基づく処分地選定調査によって段階的に確認され、かつ、その安全性については規制基準に基づき規制当局が評価するものである。
- 「科学的有望地」は、法令に基づく処分地選定調査に入る前段階において、法令に基づく文献調査を実施する範囲としての適性を評価するものである。
- よって、科学的有望地として選定されることが、最終処分地としての適性を保証するものではない。
- 「科学的有望地」は、科学技術の進展等に応じて将来的な変更があり得るものであるとの前提で、現時点の科学的知見を踏まえて提示するものである。



(参考) 法令に基づく処分地選定調査およびその後の工程(1)

参考資料の関連ページ
p3～p5

➤ 段階的な調査・評価による処分地選定

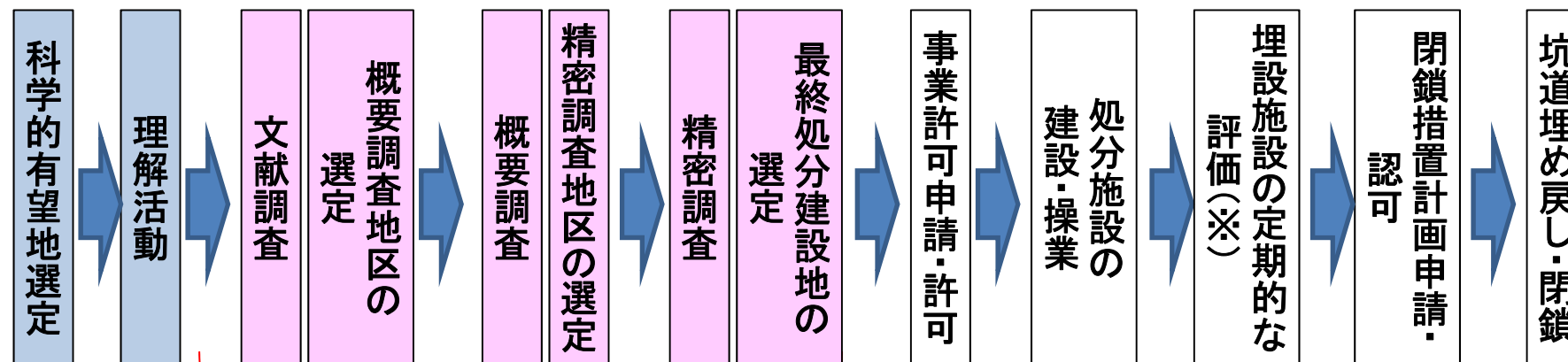
- 最終処分法に基づき、実施主体(NUMO)が文献調査→概要調査→精密調査と詳細度を高めながら調査を行うと共に、各段階で求められる要件への適合性などを確認しながら最終処分建設地を選定
- 各段階で法定要件などを満足しない場合は、その地点は候補地から除外

➤ 処分地選定後の工程

- 選定した最終処分建設地について、原子炉等規制法に基づき実施主体が原子力規制委員会に事業許可を申請し、原子力規制委員会が安全性を審査。(審査に係る規制基準は現在、未制定)
- 実施主体は、事業許可後も地質環境に関する情報を入手し、得られた最新の知見を反映した定期的な評価を実施
- 実施主体は、回収可能性を確保しつつ、坑道埋め戻し・施設閉鎖前に、閉鎖措置計画申請・認可、閉鎖後の安全性を最終確認

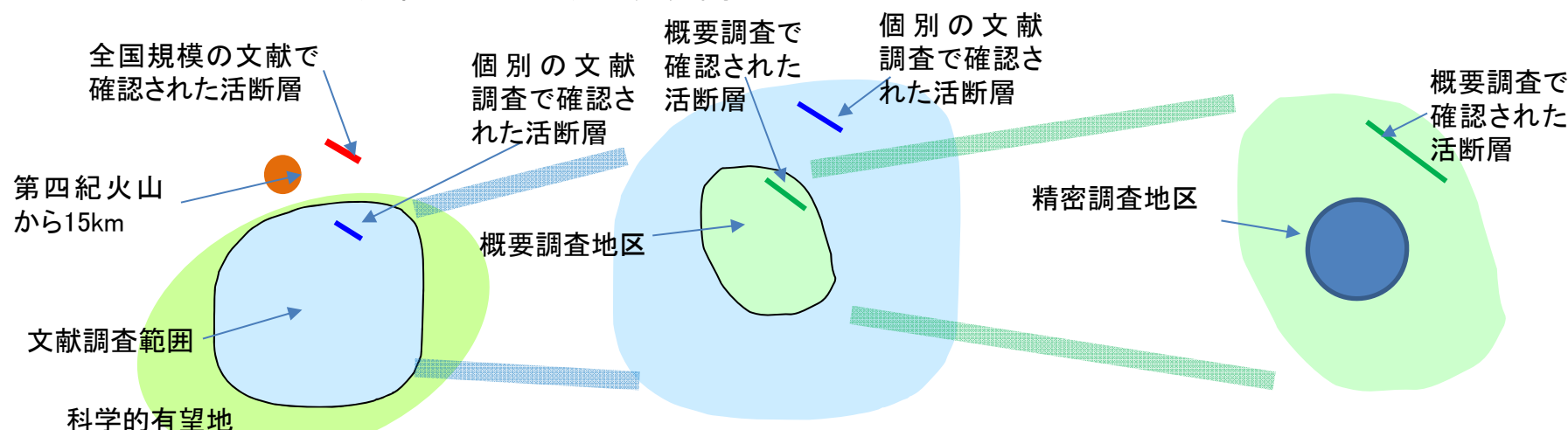
(参考) 法令に基づく処分地選定調査およびその後の工程(2)

- 処分地選定のフロー及び、各調査のイメージは以下の通り。



法令に基づく処分地選定調査

※事業許可後も地質環境に関する情報を入手し得られた最新の知見を反映



文献調査

調査方法: 文献調査

概要調査

調査方法: ボーリング調査、地表踏査、物理探査等

精密調査

調査方法: 地上からの調査、地下の調査施設での測定・試験等

調査スケール: 広域スケール(数十km以上)

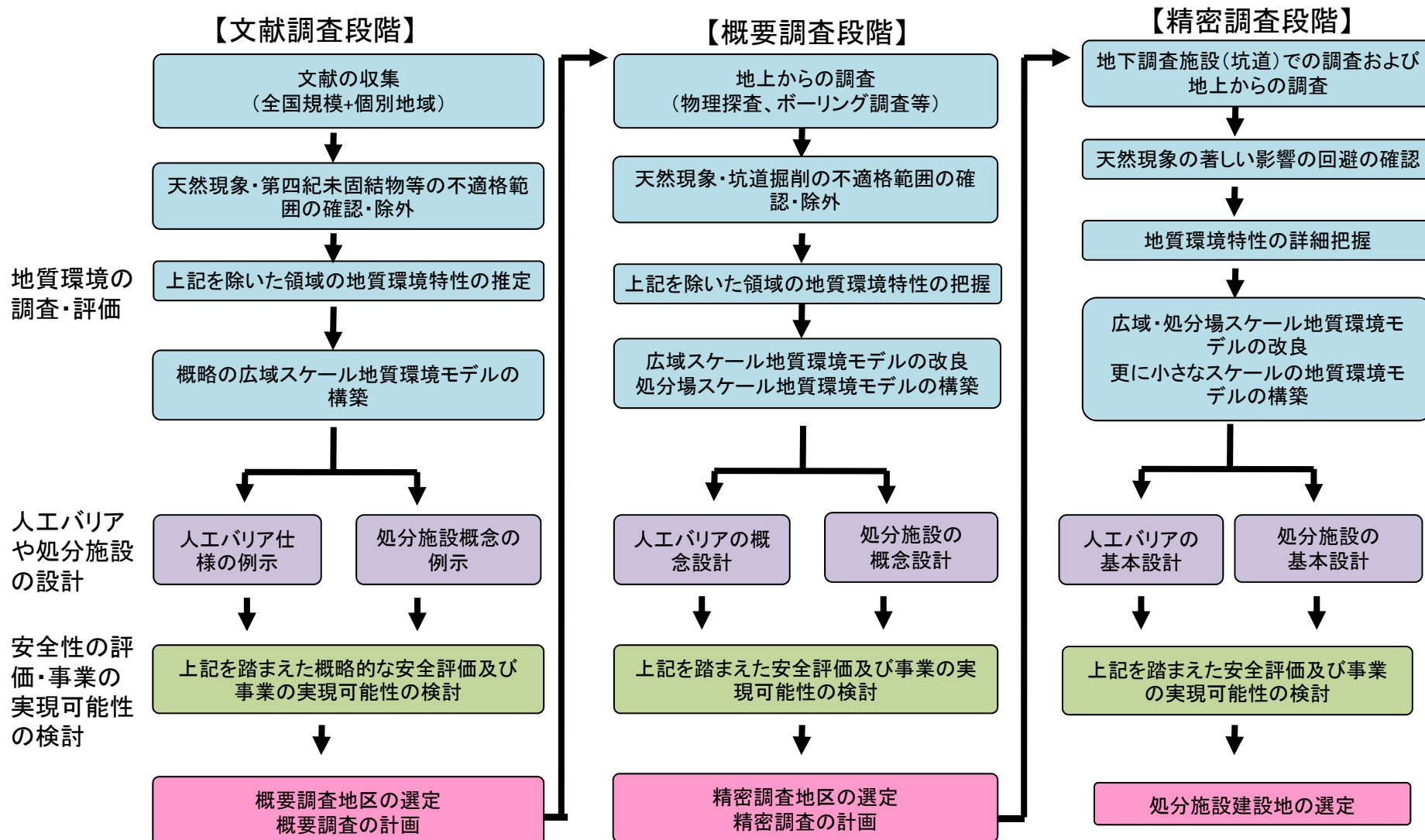


処分場スケール(数km程度)

(参考)各調査段階における実施事項

参考資料の関連ページ
p3～p7

- 各調査段階で、地質環境の調査・評価を行うとともに、人工バリアや処分施設の設計を踏まえた総合的な安全性の評価(安全評価)や事業の実現可能性の検討を実施。



議論の前提の整理(2)

参考資料の関連ページ
p58～p68

●使用する文献・データについて

科学的有望地の提示の目的に鑑み、以下のものに限る。

- ・ 信頼性の観点から、品質が保証されたもの。
- ・ 透明性・検証可能性の観点から、現時点で一般的に入手可能なもの。
- ・ 地域間の公平性確保の観点から、全国規模で体系的に整備されたもの。

●要件・基準について

①要件・基準の定義

- ・ 「要件」とは、ある地域の適性を評価するために考慮すべき条件。
- ・ 「基準」とは、上記の要件に照らして、ある地域の適性の高低を評価するために設ける閾値。

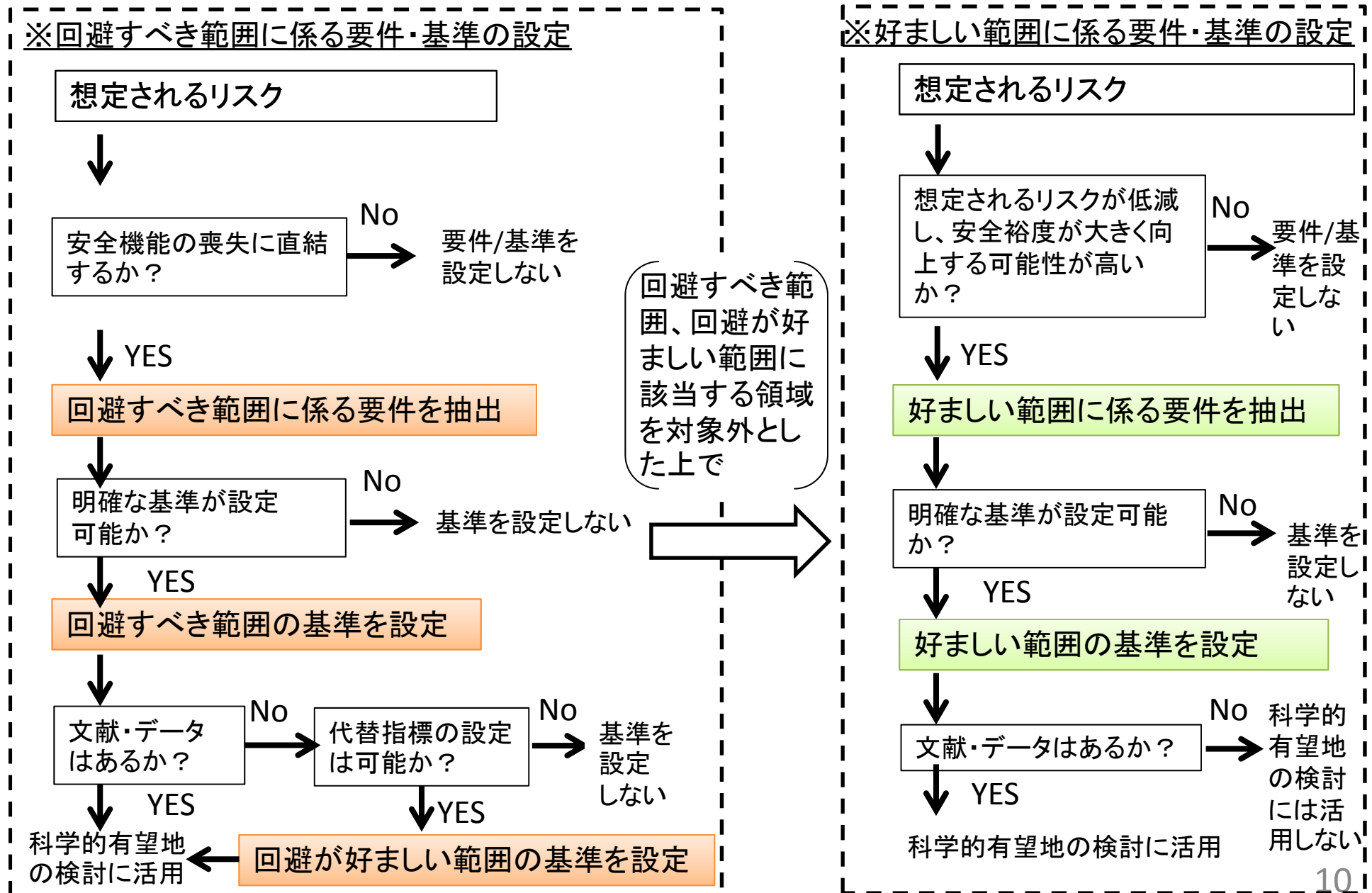
②要件・基準の検討手順(詳細は次頁(p10)のフロー図参照)

- ・ まず安全性の観点から要件を検討した上で、明確な基準の設定可能性を検討する。
- ・ その上で、文献・データの入手可能性を確認し、科学的有望地の範囲確定に利用する。

●科学的有望地選定にあたっての検討事項及び手順について(詳細はp11のフロー図参照)

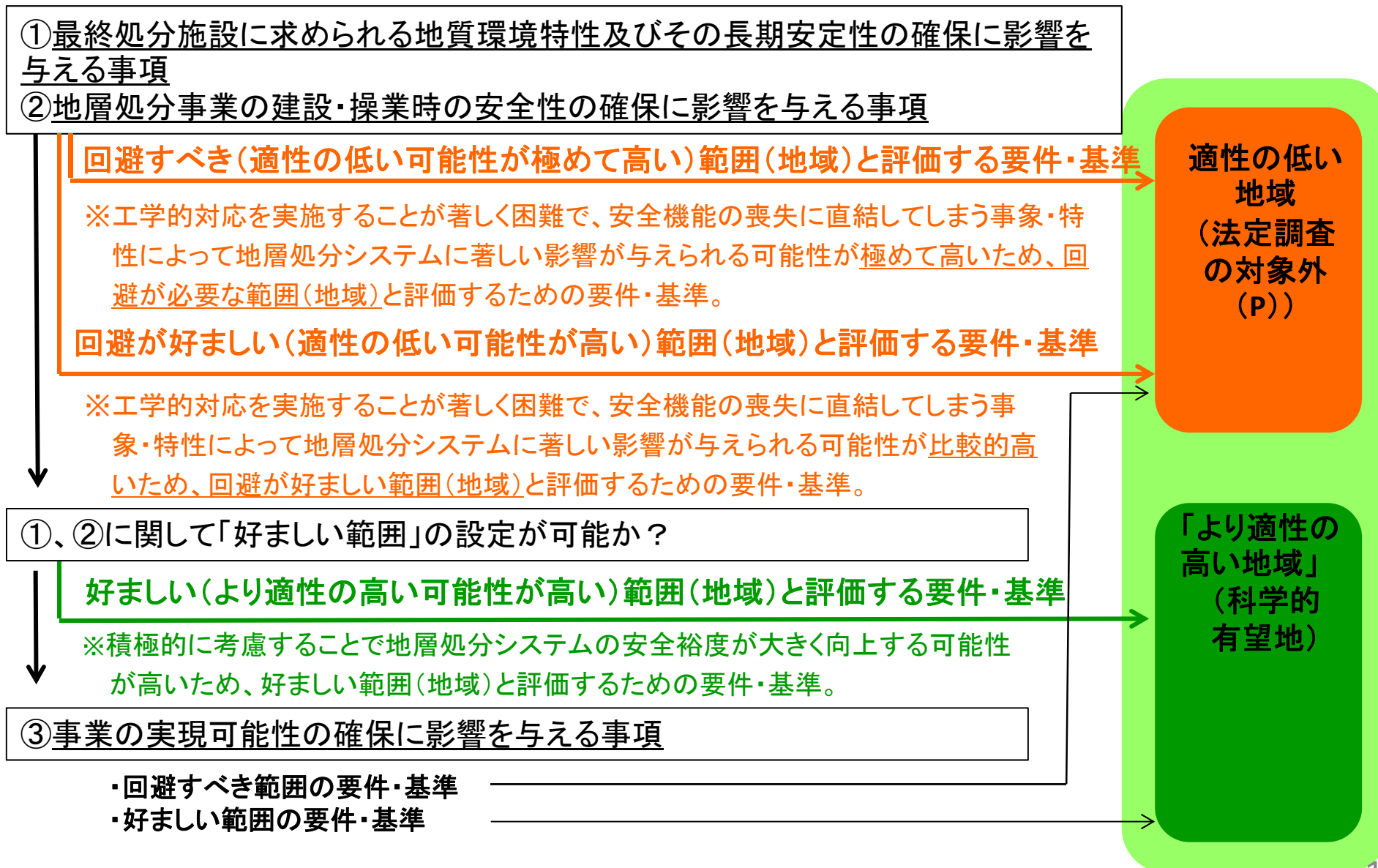
- ・ ①地質環境特性及びその長期安定性に影響を与える事項と、②建設・作業時の安全性の確保に影響を与える事項に関して、まず回避の観点から検討を行い、続いて、好ましい範囲の設定可能性を検討する。
- ・ その後に、事業の実現可能性の確保に影響を与える事項に関して検討する。

要件・基準の検討手順



科学的有望地選定にあたっての検討事項及び手順

(放射性廃棄物WGで提示された枠組みを基本的に利用しつつ、「回避が好ましい範囲」についての検討を追加。)



議論の前提の整理(3)

●検討事項の相互の関係性について

前掲(p11)の検討事項①、②及び③の相互の関係性は、以下のように整理できる。

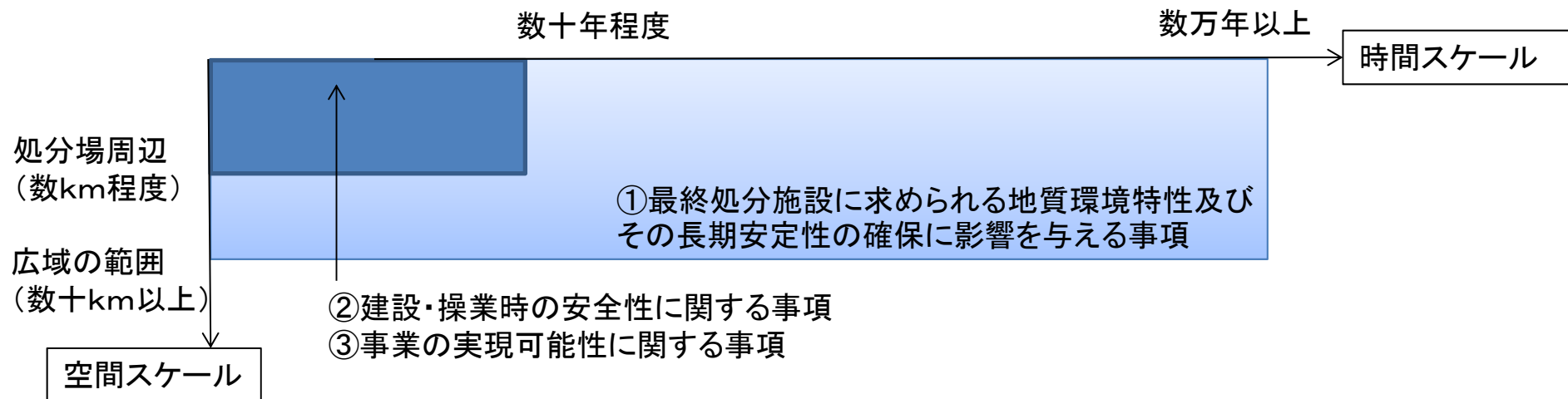
- ①最終処分施設に求められる地質環境特性及びその長期安定性の確保に影響を与える事項は極めて長期間を評価するのに対し、②建設・操業時及び③事業の実現可能性は、一般的な建設時の時間スケールを想定するものである。

(空間スケール・時間スケールに関する詳細はp13を参照)

- また、①に関する事項は広域の範囲において評価するのに対し、②(※)、③は処分場の周辺での議論のため、空間スケールという観点からも、評価すべき項目の性質も大きく異なる。

※なお、②の天然現象については、一部広域の範囲で評価する項目もある。

- よって、①、②及び③は、相互に別のものとして検討を行うことが可能である。



空間・時間スケールの考え方

(技術WG「中間とりまとめ」(第2章)を基に整理)

【空間スケールについて】

- 地下深部の好ましい地質環境特性やその長期安定性を確認する対象となる範囲として、放射性廃棄物を埋設した空間(処分場)とその近傍の岩盤を含む空間を処分場スケール(数km程度)として整理。
- 処分場スケールの外側にあって、処分場スケールの地質環境特性に対して影響を与える事象が分布する可能性のある領域を広域スケール(数十km以上)(※1)として整理。

※1 火山・火成活動は調査地域から10～100km程度外側まで、地層・断層活動は10km程度外側の範囲、隆起・侵食は調査地域の中心から数十km程度、地下水は調査地域を含む100km²程度の範囲を調査するなど、それぞれ項目により考慮する範囲が異なる。
(NUMO 概要調査地区選定上の考慮事項の背景と技術的根拠 TR-04-02)

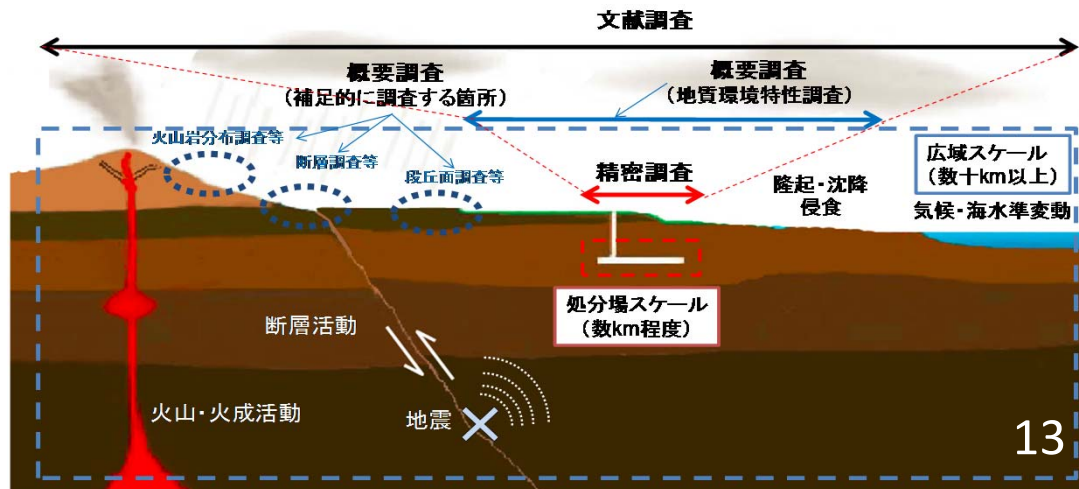
【時間スケールについて】

- 将来、地下水を介して放射性物質が移行することを想定したシナリオ(※)を基に、人工バリア及び天然バリアに求められる必要な特性の変動範囲が、機能維持の観点から許容できる範囲であることの期間として、数万年以上の長期間を想定。

(※) 安全評価のシナリオについては、好ましい地質環境が長期的に変わらないとした第2次取りまとめのリファレンスケースを念頭に置いた。なお、接近シナリオ(断層や火山活動の直撃)については、オーバーパック閉じ込め機能の確保が必要な1000年以降を対象に安全評価を行っているため、人工バリア設置環境の観点からの好ましい地質環境特性の検討に包含される。

＜時間スケールの考え方＞

- ・ 廃棄物埋設後、数百年程度の期間は、初期の放射能の大部分をしめる物質の崩壊に伴う主にガラス固化体の発熱が著しい。このため、廃棄物の周囲では地下水の熱対流や放射線分解等が起こりやすい条件が想定される。
- ・ オーバーパックは、上記の条件の下、少なくとも千年程度の期間、ガラス固化体と地下水との接触を防止することにより、放射性物質の地下水への浸出を抑制する。
- ・ ガラス固化体は、非常にゆっくりとはあるが、ガラスが溶解する可能性があり、保守的な見積もりによれば7万年程度経過するとガラス固化体の全量が溶解すると考えられている。



2. 要件・基準の検討状況

要件・基準に関するこれまでの検討の全体像

- 前掲(p11)の検討事項及び検討手順に従って、これまで、以下の要件・基準の設定可能性についての検討を行った。
 1. 「①最終処分施設に求められる地質環境特性及びその長期安定性の確保に影響を与える事項」に関して、「回避すべき範囲」(+「回避が好ましい範囲」)の要件・基準
 2. 「①」に関して、「好ましい範囲」の要件・基準
 3. 「②地層処分事業の建設・操業時の安全性の確保に影響を与える事項(※)」に関して、「回避すべき範囲」(+「回避が好ましい範囲」)の要件・基準
 4. 「②」に関して、「好ましい範囲」の要件・基準

(※)地下施設・地上施設に関する議論を実施。それ以外の項目については、今後検討予定。
- これまでの検討結果等について、次頁以降でご紹介する。

2－1. 最終処分施設に求められる地質環境特性 及びその長期安定性の確保に影響を与える事項

地層処分の「隔離機能」と「閉じ込め機能」 (技術WG「中間とりまとめ」(第2章)を基に整理)

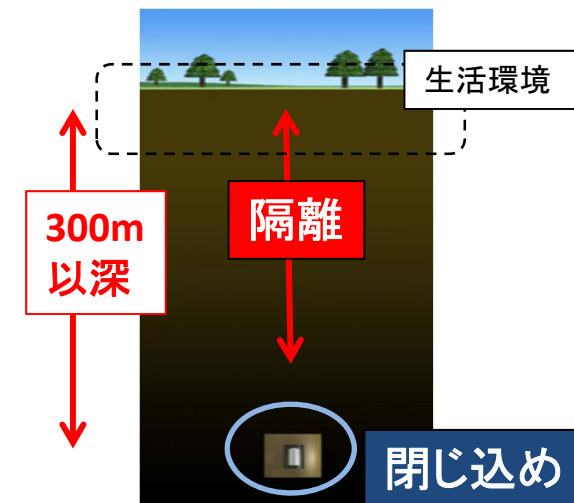
- 高レベル放射性廃棄物の最終処分においては、数万年以上の長期間にわたり人間とその生活環境に放射性廃棄物の影響が及ばないようにすることが求められる。
- 地層処分は、地下深部に放射性廃棄物を埋設することで、放射性物質が、生活環境から隔離され、さらに長期にわたってはその放出や分散が抑制され処分場周辺に閉じ込められるようにすることを目的としている。(※1)
- これらの目的を達成するために、放射性廃棄物が埋設される地質環境が本来的に有する(※2)廃棄物の隔離機能および放射性物質の閉じ込め機能(※3)にいくつかの工学的対策(※4)を組み合わせ、それらの複合的および補完的特性によって放射性廃棄物が隔離され閉じ込められておかれるよう、多重バリアシステムにより受動的な安全機能が確実に働くようにすることとしている。
- 「隔離機能」と「閉じ込め機能」が長期的かつ安定的に維持されること(長期安定性)が、最終処分施設の建設地に求められる必要条件である。

※1 この間に、放射性廃棄物に含まれる放射能の大部分が減衰するため、人間と環境が放射性廃棄物に由来する放射線の影響から防護される。

※2 特別な条件を除いて地下深部が一般的に備えている特性

※3 天然の地質環境条件が本来的に有する、溶解度制限による溶出抑制と遅い地下水流速による移行抑制のバリア機能(天然バリア)

※4 工学的に性能を織り込んだ機能(人工バリア)



「隔離機能」「閉じ込め機能」に著しい影響を与える天然現象等

- 地質環境の長期安定性に関連する重要な天然現象として、我が国においては、以下の4つの天然現象を考慮する必要がある。
 - i) 火山・火成活動、ii) 地震・断層活動※1、iii) 隆起・沈降※2・侵食、iv) 気候・海水準変動
- それらの天然現象が最終処分施設に与える影響は、下表の通り整理することができる。
(閉じ込め機能と熱環境、力学場、水理場、化学場の関係については、p21参照。)
- 技術WGでは、下表の①～⑤のリスクを考慮事項として、前掲(p11)の手順に従って、「回避すべき／回避が好ましい範囲」の要件・基準の検討を行った。現時点での検討結果はp19、20の通りである。なお、偶発的な人間侵入リスク(鉱物資源探索リスク)は今後検討を行う予定としている。

天然現象		火山・火成活動等	断層活動※1	隆起・侵食	気候・海水準変動
物理的隔離機能の喪失		①マグマの処分場への貫入と地表への噴出	—	②著しい隆起・侵食に伴う処分場の地表への著しい接近	
閉じ込め機能の喪失	熱環境	③地熱活動(非火山性を含む)	—	—	侵食の要因として評価
	力学場	—	処分深度に達する断層のずれ	—	
	水理場	—	⑤断層のずれに伴う透水性の増加	—	
	化学場	④火山性熱水や深部流体の移動・流入	断層のずれに伴う透水性の増加(条件による)	—	

※1 断層等を震源とする地震活動による処分システムへの影響のうち、「地震動による岩盤のひずみ」を検討した結果、著しい影響にはならないと整理し(中間とりまとめp19)、断層の変位(断層活動)が及ぼす影響についてのみ考慮し議論している。

※2 沈降については、地質環境特性への影響は工学的対応が可能なこと(第4回技術WG資料2p24)、隔離機能の観点からは安全側になるため隆起・侵食が要因として抽出(第4回技術WG資料2p46～48)

「回避すべき／回避が好ましい範囲」の検討結果(1)

参考資料の関連ページ
p14～p22

想定されるリスク	回避に係る要件	回避すべき範囲の基準	回避が好ましい範囲の基準
□ 【火山・火成活動】 マグマの処分場への貫入と地表への噴出により、放射性廃棄物と人間が直接接触するリスク。	マグマの処分場への貫入と地表への噴出により、物理的隔離機能が喪失されないこと	・第四紀(約258万年前以降)火山中心から15km以内 ・第四紀の火山活動範囲が15kmを超える巨大カルデラの範囲	— (代替指標を用いた場合)
□ 【隆起・侵食】※ 隆起・侵食により地表と処分場の距離が縮まることにより、放射性廃棄物と人間が直接接触するリスク。	著しい隆起・侵食に伴う処分場の地表への著しい接近により、物理的隔離機能が喪失されないこと。	・過去十万年における最大侵食量が300mを超えたことが明らかな範囲	・隆起速度最大区分(90m以上/10万年)のメッシュがある沿岸部
□ 【鉱物資源】 鉱物資源探索のための人間侵入により、地表と処分場の距離が縮まることにより、放射性廃棄物と人間が直接接触するリスク。	詳細は今後検討の予定		

「回避すべき／回避が好ましい範囲」の検討結果(2)

参考資料の関連ページ
p14～p22

想定されるリスク	回避に係る要件	回避すべき範囲の基準	回避が好ましい範囲の基準
(代替指標を用いた場合)			
□【地熱活動】 地熱活動に伴う熱が緩衝材を変質させ、放射性物質を吸着する機能等が低下することにより、放射性物質が早く生活環境に出てくるリスク	処分システムに著しい熱的影響を及ぼす地熱活動により、閉じ込め機能が喪失されないこと	・処分深度で地温が長期に100℃を大きく超える範囲	・処分深度において100℃以下を確保できない地温勾配の範囲
□【火山性熱水・深部流体】 ガラスを溶かしやすくする、オーバーパックを腐食しやすくすることなどの特性を持つ地下水により、放射性物質が早く生活環境に出てくるリスク	処分システムに著しい化学的影響を及ぼす火山性熱水や深部流体の流入により、閉じ込め機能が喪失されないこと	・処分深度に火山性熱水または深部流体が存在し、かつ化学場への影響が明らかな範囲	・地下水の特性として、pH4.8未満あるいは炭酸化学種濃度0.5mol/dm ³ (mol/L)以上を示す範囲
□【断層活動】 断層活動により処分場が破壊されると共に、断層の透水性が高まり地下水が流れやすくなるなどにより、放射性物質が早く生活環境に出てくるリスク	断層活動による処分場の破壊、断層のずれに伴う透水性の増加等により閉じ込め機能が喪失されないこと	・活断層に、活動セグメント長さの1/100の幅を持たせた範囲	・活断層に、起震断層長さの1/100の幅を持たせた範囲

「好ましい範囲」の設定可能性について(1)

- 最終処分施設に求められる地質環境特性及びその長期安定性の確保に影響を与える事項に関して、「好ましい範囲」の設定可能性について、以下の観点から議論を行った。

1. 最終処分施設に求められる地質環境特性の個別要素に着目して「好ましい範囲」の要件や基準を設定する可能性

- ・地層処分を行う上で好ましい地質環境特性(下表※1)に基づき、個別要素に着目して検討を行った。次頁(p22)で示す通り、要素毎に「好ましい」と評価するための要件を定性的に抽出することは可能であるが、具体的な基準の設定はほとんどの特性に対して困難であるとの結論に現時点で至っている。

※1 技術WG「中間とりまとめ」では、最終処分の方法として、地層処分を前提に議論を行ったため、ここでは「地層処分を行う上で好ましい地質環境特性」と表現

- ・また、ある地域の地質環境が「好ましい」かどうかは、個別要素間の相互作用も踏まえた総合的な評価を行うべきものであり、そうした総合的な評価(※2)が不可能な科学的有望地選定の段階では、個別要素に着目した適性評価については、誤解を招かないように注意深くあるべきとの意見が示されている。

※2 総合的な評価を行うためには、地下300mより深い領域までの地質環境特性を推定あるいは取得し、それらの特性を考慮したモデルや多数のパラメータの値等を設定する必要がある。また、地質環境特性に関するデータについては、サイト毎に調査しないと入手できないものが多く、全国規模で整備されているものには限界があるため、科学的有望地選定の段階で入手することは著しく困難

地層処分を行う上で好ましい地質環境特性(技術WG「中間とりまとめ」(第3章)を基に整理)

	人工バリア設置環境として好ましい 主な地質環境特性	天然バリアとして好ましい 主な地質環境特性
熱環境	地温が低いこと	—
力学場	岩盤の変形が小さいこと	—
水理場	—	地下水流動が緩慢であること
化学場	・地下水の水素イオン指数(pH)が高pHあるいは低pHではないこと ・地下水が酸化性雰囲気でないこと ・地下水の炭酸化学種濃度が高くないこと	・地下水の水素イオン指数(pH)が高pHあるいは低pHではないこと ・地下水が酸化性雰囲気でないこと

「好ましい範囲」の設定可能性について(2)

想定されるリスク	好ましい要件	好ましい範囲の基準
□ 地温が高いことにより、温度による緩衝材等の変質が起こる。	地温が低いこと	※地温が低い範囲の例 火山地域等の高温異常域を除いた範囲など ※実在する地下水流動が緩慢である範囲の例 地形による影響を殆ど受けないほどの地下深部や海底下、古い地下水が滞留している場所など 明確な基準を設定することが難しい 酸化還元電位が負であること (ただし、pHや炭酸化学種濃度との相互の影響があり得る)
□ 岩盤の変形が大きいことにより、人工バリアが破壊される。	岩盤の変形が小さいこと	
□ 地下水の動きが活発であることにより、短期間に放射性物質が生活環境に放出される。	地下水流動が緩慢であること	
□ 酸化性雰囲気であること等により、長期間にわたり人工バリアの性能やその周辺に放射性物質を閉じ込める機能が喪失される。	高pHあるいは低pHでないこと、酸化性雰囲気でないこと、及び炭酸化学種濃度が高くないこと	

「好ましい範囲」の設定可能性について(3)

2. 地質環境の長期安定性に影響を与える天然現象の影響の観点から「好ましい範囲」を設定する可能性

- ・また、天然現象の影響を長期にわたって受けにくく、地質環境が長期にわたって安定している可能性が高いという意味での「好ましい範囲」を設定することについては、以下の理由から慎重であるべきとの意見が示されている。
- ・具体的には、考慮する時間スケールが数万年以上と長期間にわたるものであること、システムとして期待する機能を個別データが得られた段階で総合的に評価すべきものであること、科学的有望地の段階ではそうしたデータに基づく安全評価が行われないこと、等の理由から、一定の地域の地質環境の長期安定性について「好ましい」と評価することには慎重であるべきとの意見があった。

2－2. 地層処分事業の建設・操業時の安全性確保 に影響を与える事項

地下施設の建設・操業時の安全性確保に影響を与える事項の考え方について

- 実施主体として、地下施設の建設・操業は、一般的な構造物の建設・操業と同様に40～50年程度(※1)を想定している。

※1 可逆性を考慮すると期間延長の可能性あり

- 地下施設の全体像はp26の通りである。地下では、処分坑道(※2)の建設、廃棄体の定置、処分坑道の埋め戻しを順次行っていくことが設定されている。

※2 実際の処分坑道は200km以上を想定。(NUMO「処分場の概要(放射性廃棄物の地層処分事業について分冊－1)」)

- 処分坑道に関しては、概要調査段階で「坑道の掘削に支障がない」地層を選ぶこと(最終処分法第2条第11項)とされており、更にその前の文献調査段階で「第四紀の未固結堆積物である」地層を回避すること(最終処分法施行規則第6条第2項)とされている。
- 処分坑道の掘削の類似事例として、地下トンネルの掘削があげられる。地下トンネルの掘削の際には、一般的に作業従事者の安全を確保することが求められている。
- 地下トンネルの掘削の際に考慮しなければならない事項について、土木学会が一般的な考え方(※3)を示していることから、技術WGとしてはそれを参考とすることとし、その中で掲げられる項目について、「回避すべき/回避が好ましい/好ましい範囲」の要件・基準の検討を行った。現時点での検討結果はp27、28の通りである。

※3 トンネル標準示方書 山岳工法・同解説(土木学会、2006)他で掲げられている項目

①未固結堆積物(自立しない地層)

⑤有害ガス

②膨張性地山(膨張する地層)

⑥高圧、多量の湧水

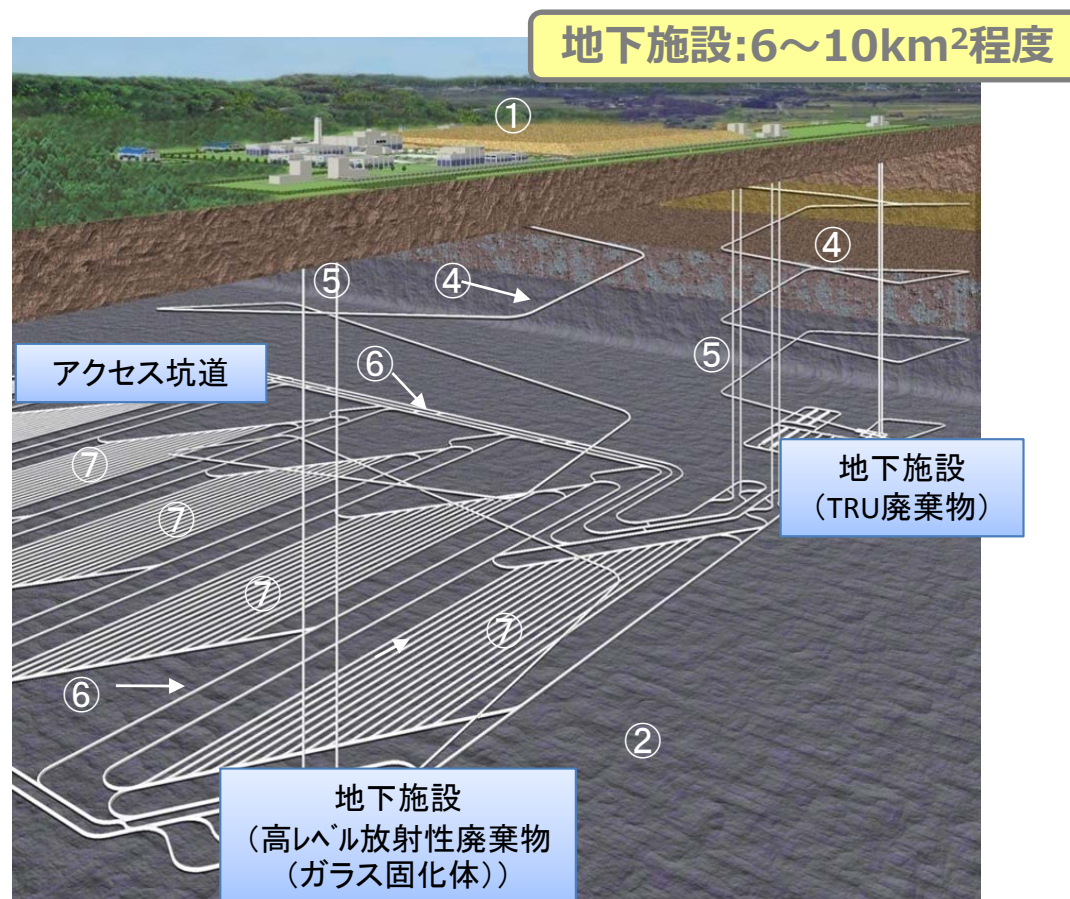
③山はね(岩盤の破裂)

⑦泥火山

④高い地熱、温泉

(参考)地下施設のイメージ

- 埋設後長期の物理的隔離機能を担保するため、地下300mより深い、安定した岩盤に地下施設を設置することが求められている。



地下施設の配置例

①地上施設、②高レベル放射性廃棄物処分場の地下施設、③地層処分低レベル放射性廃棄物処分場の地下施設、④斜坑、⑤立坑、⑥連絡坑道、⑦処分パネル(処分坑道の集合した区画)

(「処分場の概要(放射性廃棄物の地層処分事業について 分冊ー1)」より)

地下施設の建設・作業時の安全性確保についての要件・基準の考え方(1)

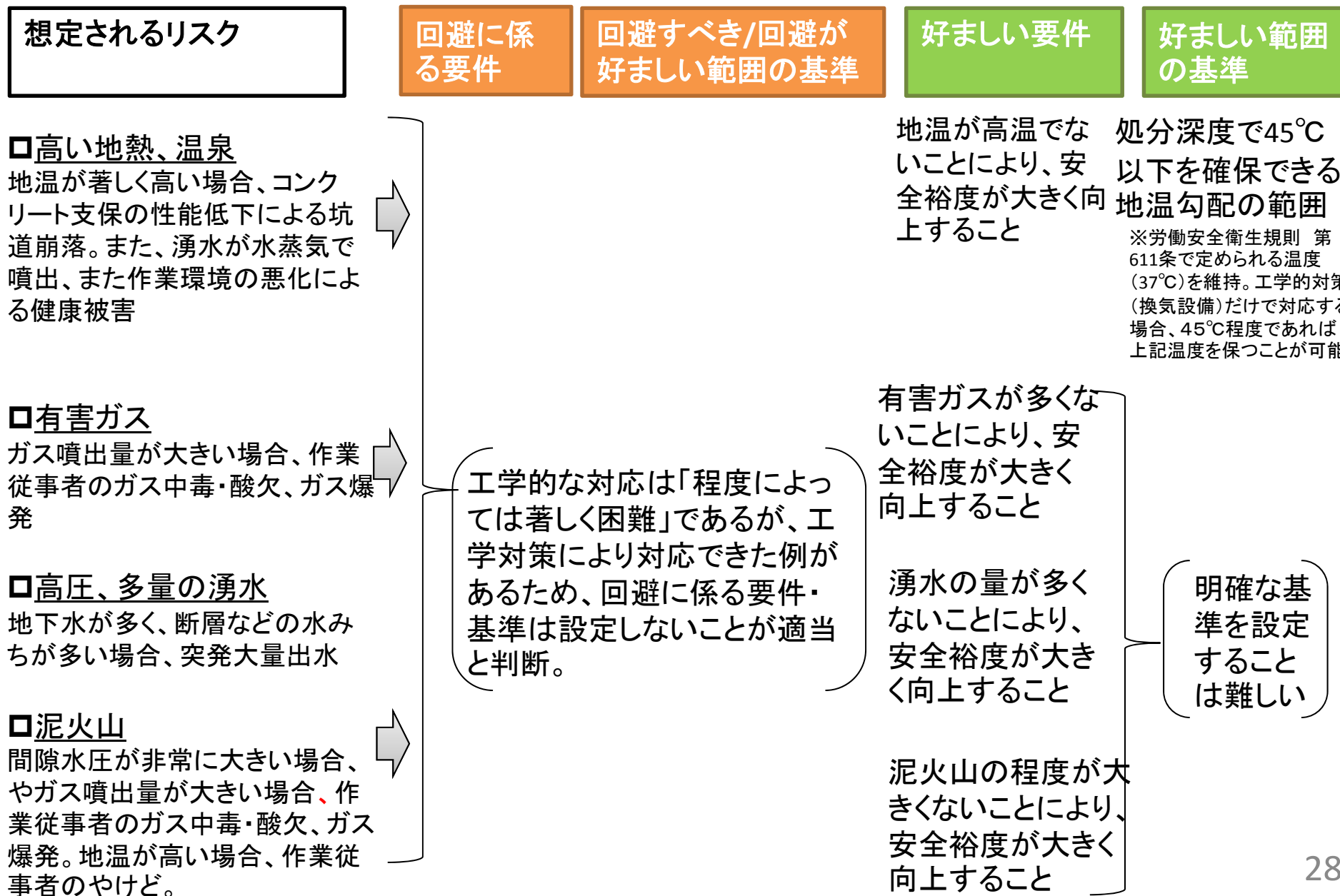
参考資料の関連ページ
p32～p44

想定されるリスク	回避に係る要件	回避すべき範囲の基準	回避が好ましい範囲の基準	好ましい要件	好ましい範囲の基準
□未固結堆積物 (自立しない地層) 固結していないため掘削と同時に坑道が崩落する可能性。	処分場の地層が未固結堆積物でないこと	処分深度に第四紀(約258万年前以降)未固結堆積物層が分布する範囲	深度300mまでに中期更新世(約78万年前)以降の地層が分布する範囲	固結した岩盤であることにより、安全裕度が大きく向上すること	処分深度において地山強度比が2以上の地層が分布している範囲
□膨張性地山(膨張する地層) 膨張量が大きい場合坑道内の空間が狭小化し、廃棄体運搬が困難、坑道崩壊	工学的な対応は「程度によっては著しく困難」であるが、工学対策により対応できた例があるため、回避に係る要件・基準は設定しないことが適当と判断			地山の膨張性が小さいことにより安全裕度が大きく向上すること	明確な基準を設定することは難しい
□山はね(岩盤の破裂) トンネル掘削時に解放されるエネルギーが大きい場合、坑壁から岩片が飛散。山はね量が大规模の場合、坑道が崩落する可能性。				山はねの程度が小さいことにより安全裕度が大きく向上すること	

※トンネル工事において施工の容易さを図る目安として地山強度比を用いる。通常地山強度比が2以上の地層は、固結した岩盤であり施工上好ましいとされている。

地下施設の建設・作業時の安全性確保についての要件・基準の考え方(2)

参考資料の関連ページ
p32～p44



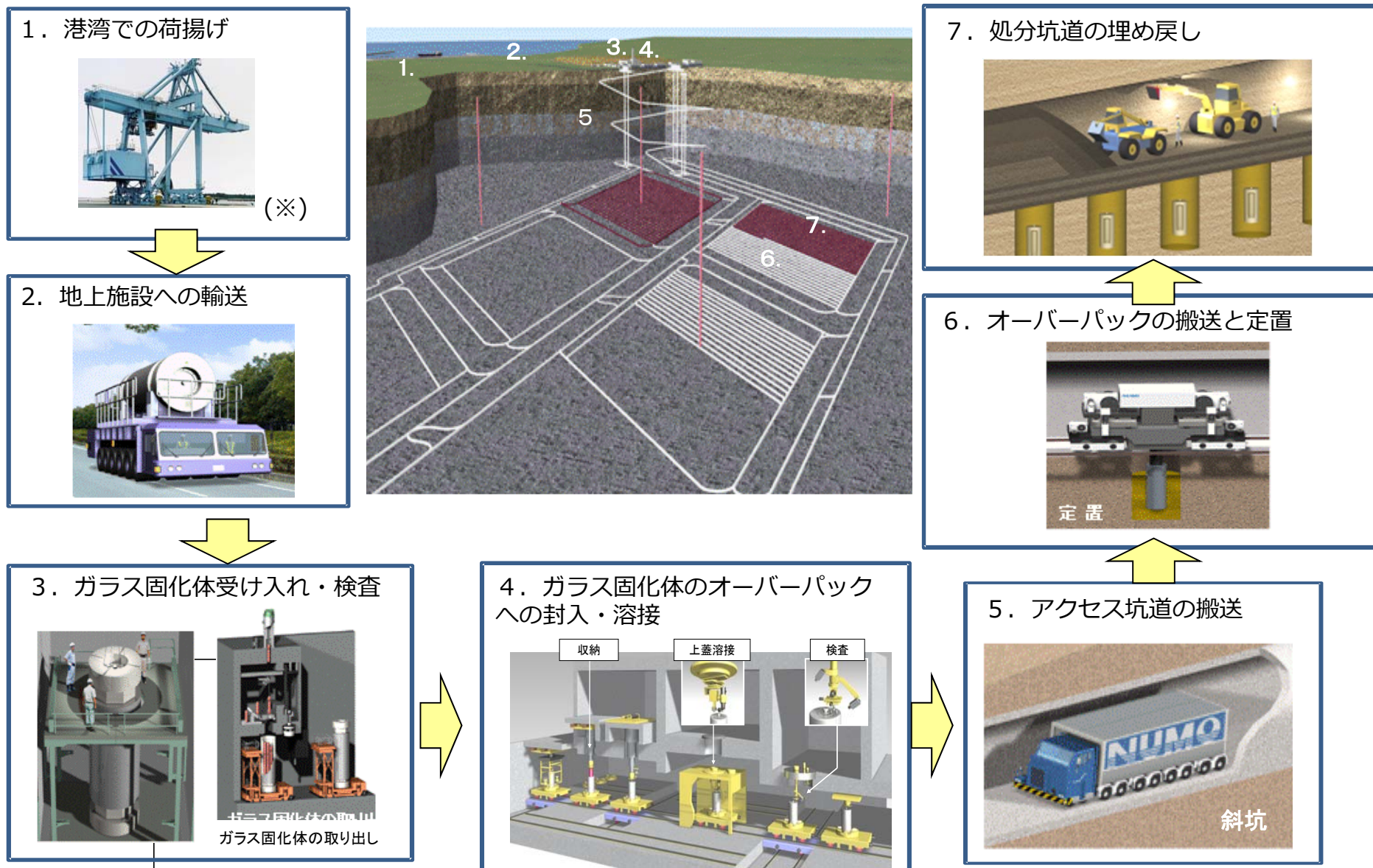
地上施設の操業時の安全性確保に影響を与える事項の考え方について

- 実施主体として地上施設の操業時40～50年程度(※1)の間で、ガラス固化体をオーバーパックに封入するなど、高い放射線下の作業を実施することを想定している(※2)。
※1 可逆性を考慮すると期間延長の可能性がある。
※2 p30:地上施設における操業全体の流れ 参照
- 放射線の遮蔽と放射性物質の閉じ込めを適切に行わなければ、生活環境へ影響を及ぼすこととなる。そのため、放射線の遮蔽、放射性物質の閉じ込め機能を担保する構築物・系統・機器は、地震・津波やそれ以外の外部からの衝撃に十分耐えうるように設計する必要がある。
- 高レベル放射性廃棄物を貯蔵している類似施設が既に存在することから、技術WGとして、当該施設の規制基準(※3、4)を参考とすることとし、その中で掲げられる説明について「回避すべき/回避が好ましい/好ましい範囲」の要件・基準の検討を行った。現時点での検討結果はp31、32の通りである。

(※3) 日本原燃(株)高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センター(海外から返還されたガラス固化体の貯蔵施設)

(※4) 廃棄物管理施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則(原子力規制委員会、2013)

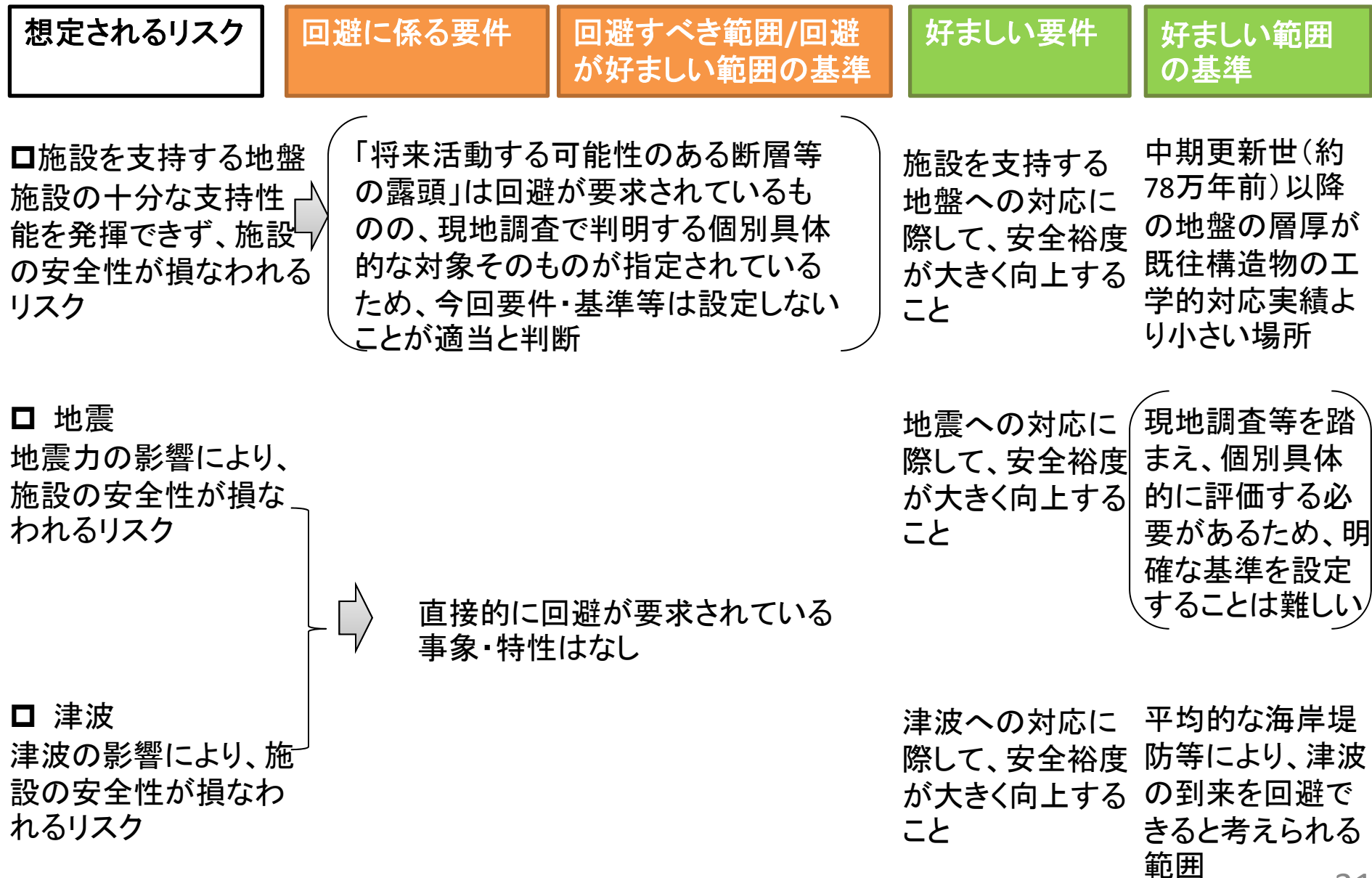
(参考)地上施設における操業全体の流れ



(※原燃輸送ウェブサイト <http://www.nft.co.jp/equipment/equipment3.html>)

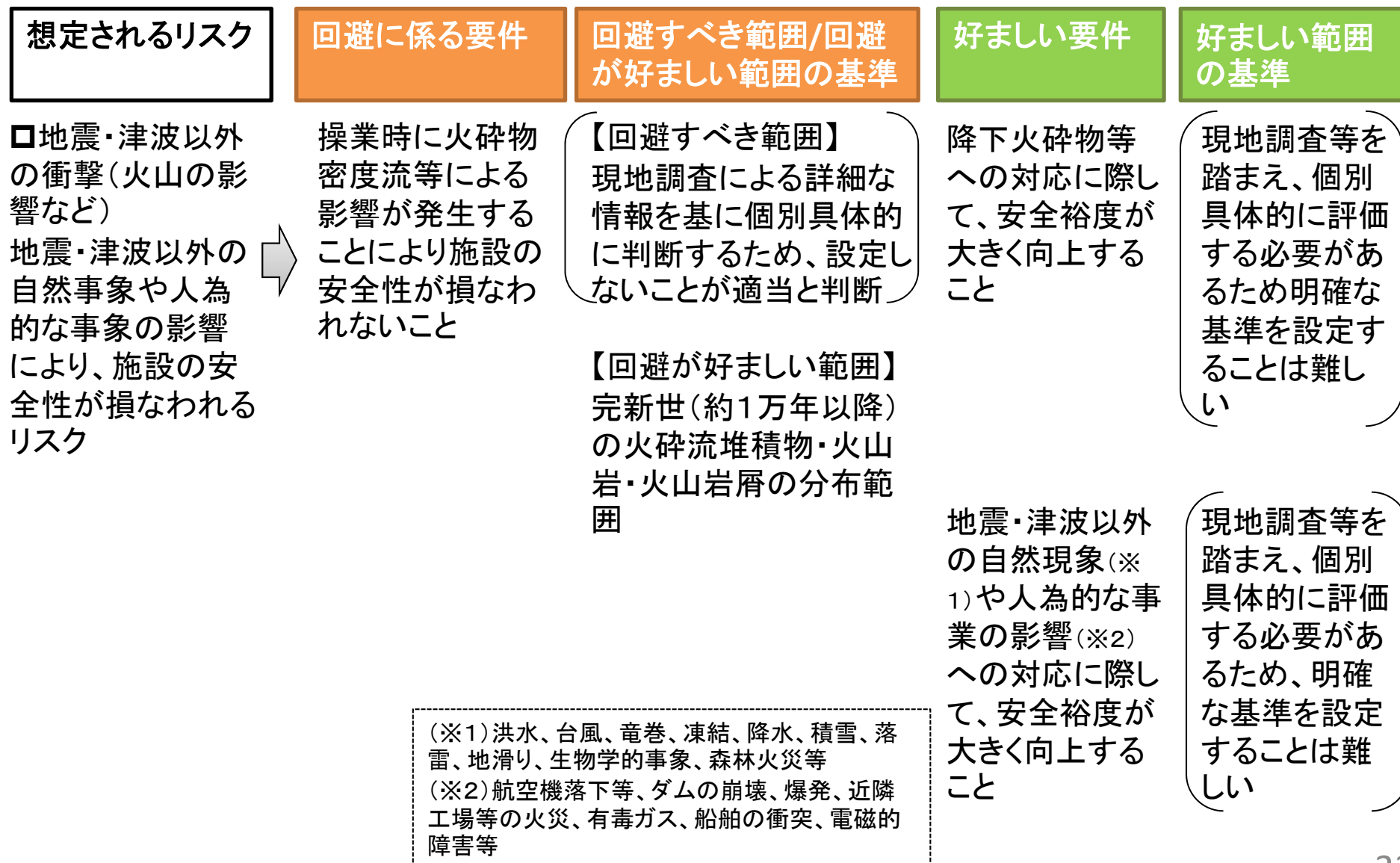
地上施設操業時の安全性確保に関する要件・基準の考え方(1)

参考資料の関連ページ
p46～p56



地上施設操業時の安全性確保に関する要件・基準の考え方(2)

参考資料の関連ページ
p46～p56



(別添)参考資料

1. 処分地選定の段階的な調査・評価の考え方

文献調査の方法と取得情報

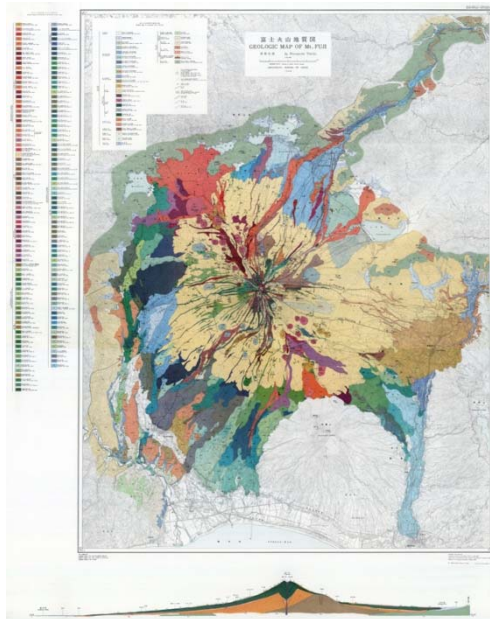
➤ 調査の方法

- 全国規模の文献、個別地域を対象とした文献の収集
- データベース検索システムの活用、関係機関への訪問調査、一般提供

➤ 取得情報

- 天然現象(過去における火山・火成活動、断層活動、隆起・侵食)、鉱物資源など
- 地質環境特性(地下深部の地質環境特性に係る情報は非常に少ないと考えられる)

【地質図】



富士火山地質図(産総研地質調査総合センター, 1968)

https://www.gsj.jp/Map/jpeg/misc/misc_12.jpg

【空中写真】

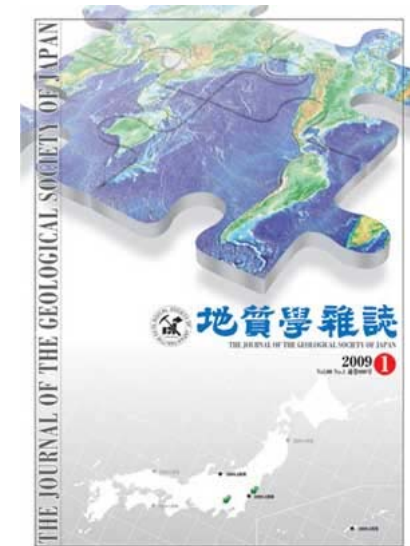


空中写真の実体視の作業

日本の地震防災「活断層」(文部科学省, 2004)

<http://www.jishin.go.jp/main/pamphlet/katsudanso/Chap3.pdf>

【学術論文】



<http://www.geosociety.jp/publication/content0002.html>

概要調査の方法と取得情報

➤ 調査の方法

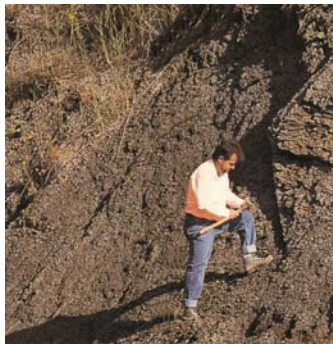
- 地上からの調査
- 地表踏査、物理探査、ボーリング調査、トレンチ調査など

➤ 取得情報

- 天然現象(過去における火山・火成活動、断層活動、隆起・侵食)、鉱物資源など
- 地質環境特性(地下の熱・力学・水理・地化学特性など)

【地表踏査】

*nagra “bulletin
No.31 ” (Nagra,1997)



【物理探査】



陸上の反射法探査の
大型バイブレータ震源

海上の音波探査の調査船

写真提供：地球科学総合研究所 H P

写真提供：洞海マリンシステムズ

【ボーリング調査】



調査現場の外観

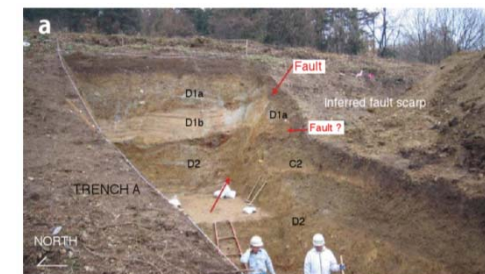
写真提供：日本原子力研究開発機構



岩石サンプルの例

写真提供：日本原子力研究開発機構

【トレンチ調査】



活断層・古地震研究報告
(遠田ほか, 2009)

精密調査の方法と取得情報

➤ 調査の方法

- 処分深度に建設する地下調査施設を用いた調査、地上からの調査
- 坑壁観察、物理探査、坑内ボーリング調査、地下水モニタリングなど

➤ 取得情報

- 処分深度の地質環境特性(熱・力学・水理・地化学特性など)など

【地下調査施設】



・nagra “10years GTS”(Nagra,1994)

【壁面観察】



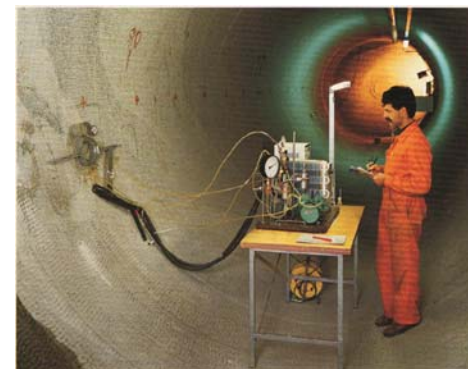
写真提供: 日本原子力研究開発機構

【坑内ボーリング調査】



写真提供: 日本原子力研究開発機構

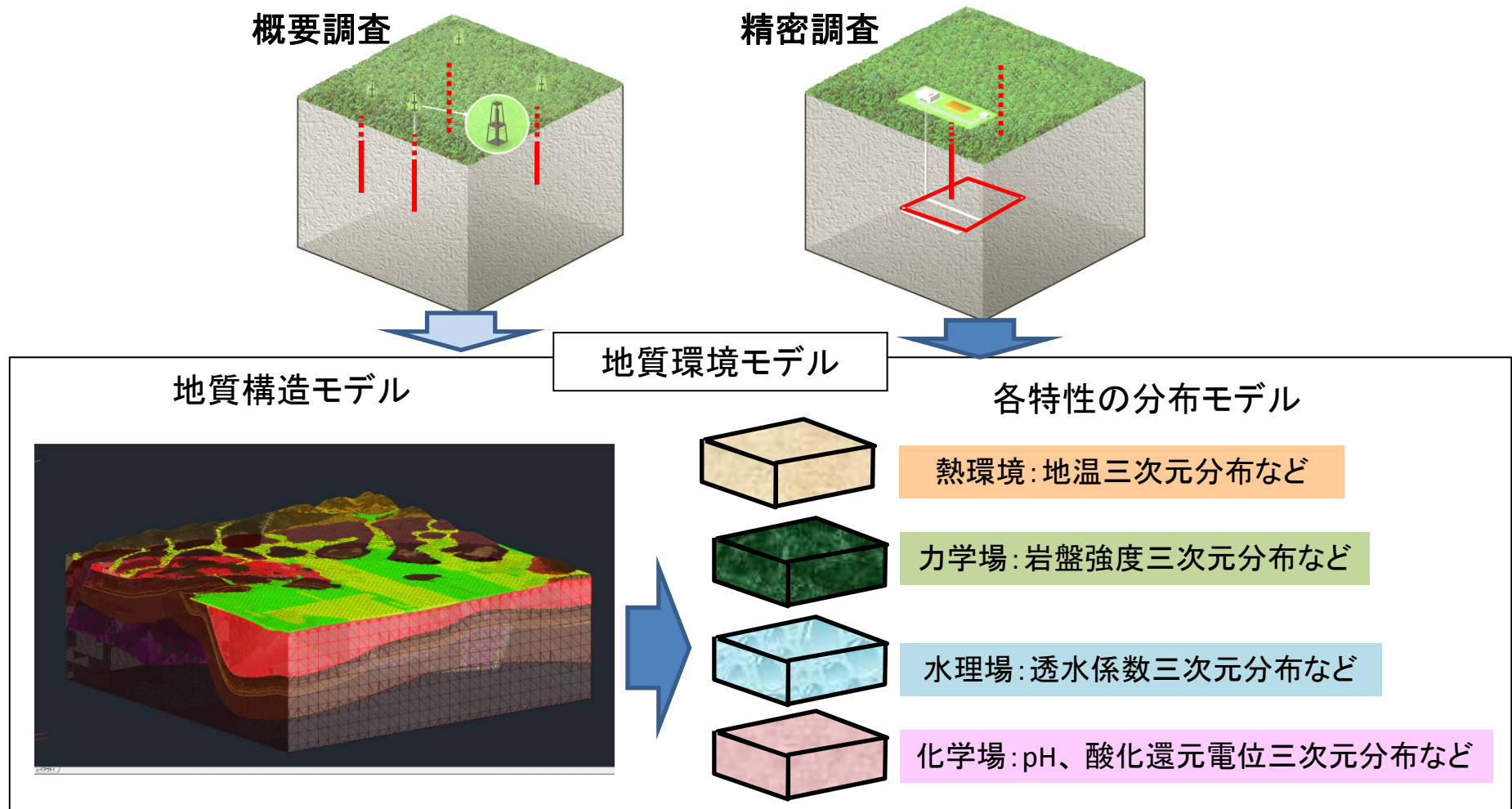
【地下水モニタリング】



・nagra “bulletin Special Edition ” (Nagra,1998)

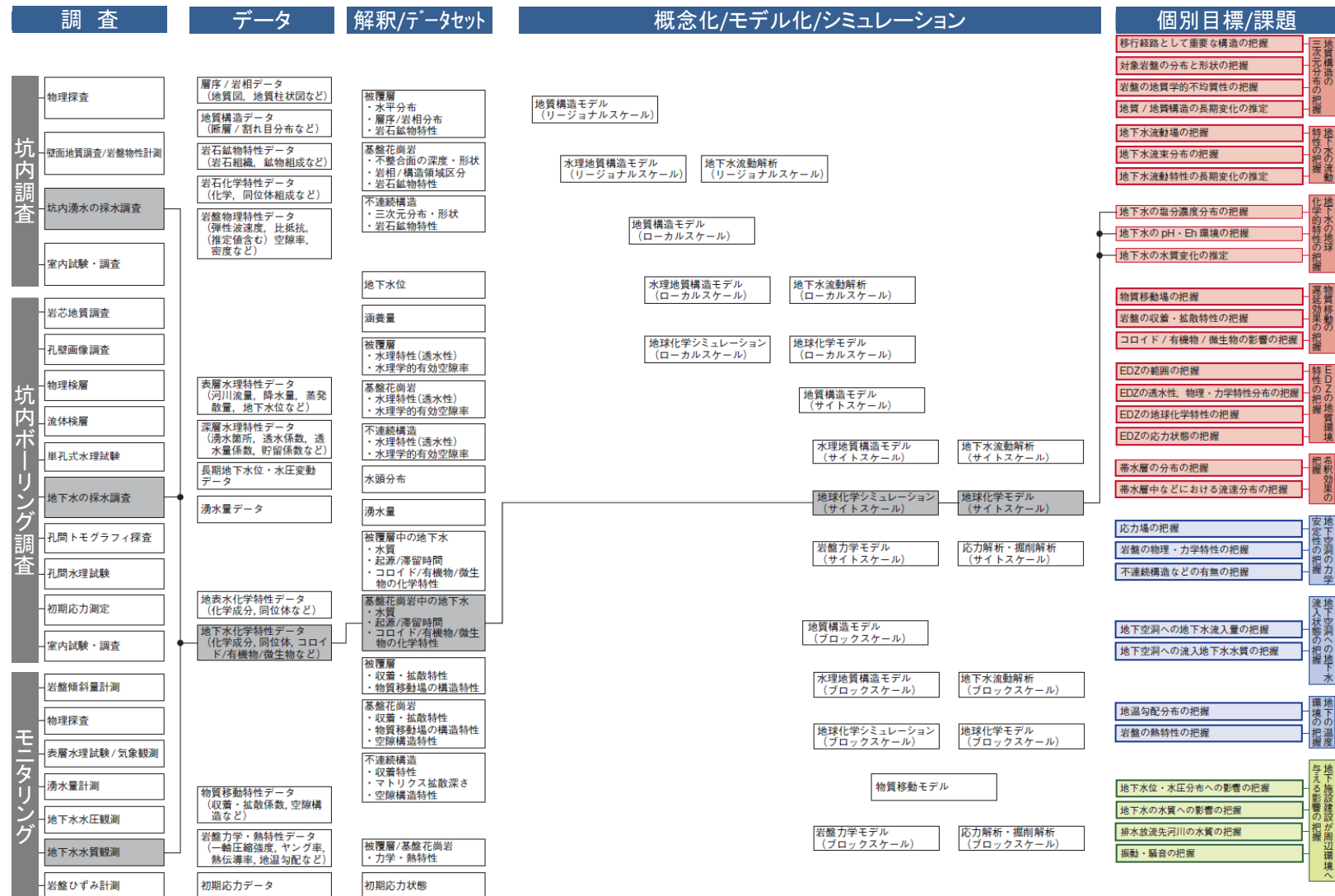
地質環境特性の把握と地質環境モデルの構築

- 文献調査段階では、地下の特性情報はほとんどなく、地質環境モデルは概念的
- 概要調査段階では、地下の特性情報が得られ、基本的な地質環境モデルの構築が可能
- 精密調査段階では、より詳細な特性情報が得られ、より精度の高い地質環境モデルが構築可能



地質環境特性調査から地下施設の設計・施工、安全評価までの流れ

研究坑道の掘削を伴う調査研究段階における地下水の化学特性の把握(サイトスケール) 統合化データフローの例

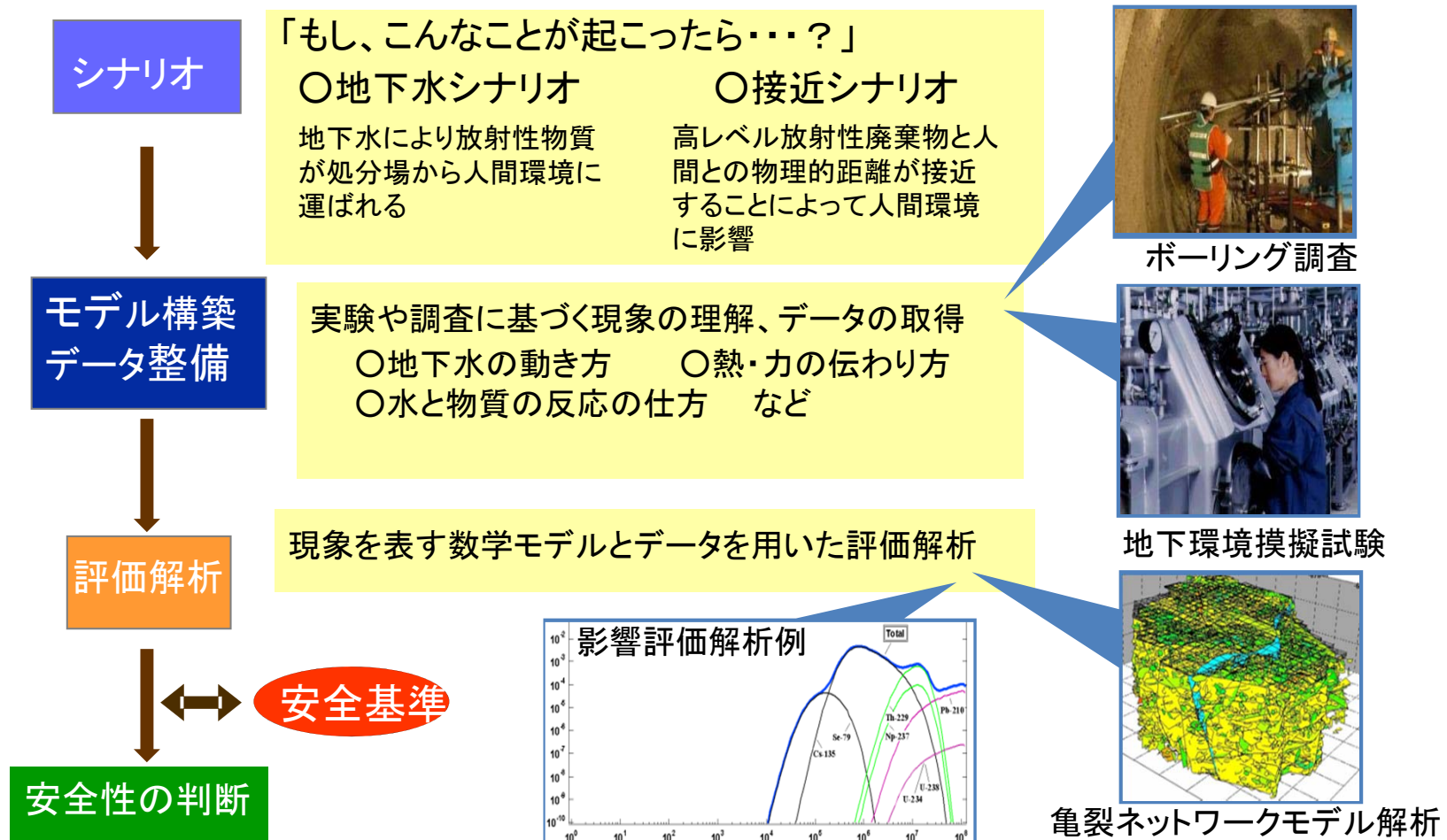


濱ほか
(2013)

- ✓地質環境特性調査によって取得された情報は、多段階の統合的な過程を経て、地下施設の設計・施工、安全評価に反映
- ✓統合化データフローを構築し、情報の追跡性と透明性を確保する技術として整備

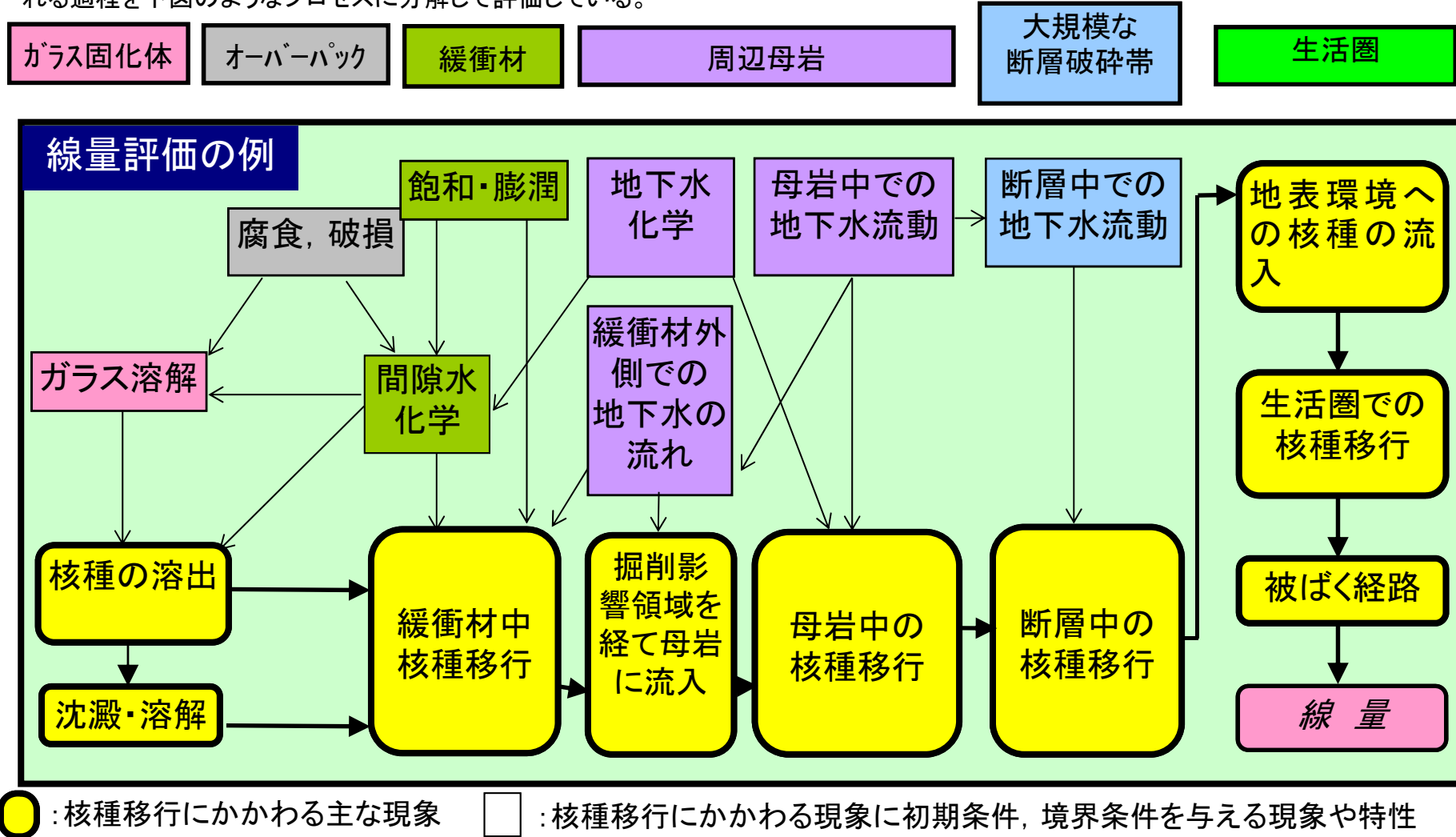
安全評価の考え方と進め方

- 安全評価とは？**
- ・ 将来に予想される変化や心配される状況をシナリオとして描き、そのシナリオに沿ってモデルとデータを設定し、解析により放射性物質の影響を評価
 - ・ 最も確からしいと考えられる知見や技術を利用し、将来の状態を予想することにより、安全性を判断するための材料を提供



安全評価で取り扱う現象と特性の例(地下水シナリオの例)

地下水シナリオでは、オーバパックの破損によるガラス固化体への地下水の接触から、放射性物質が地下水によって地上付近まで運ばれる過程を下図のようなプロセスに分解して評価している。



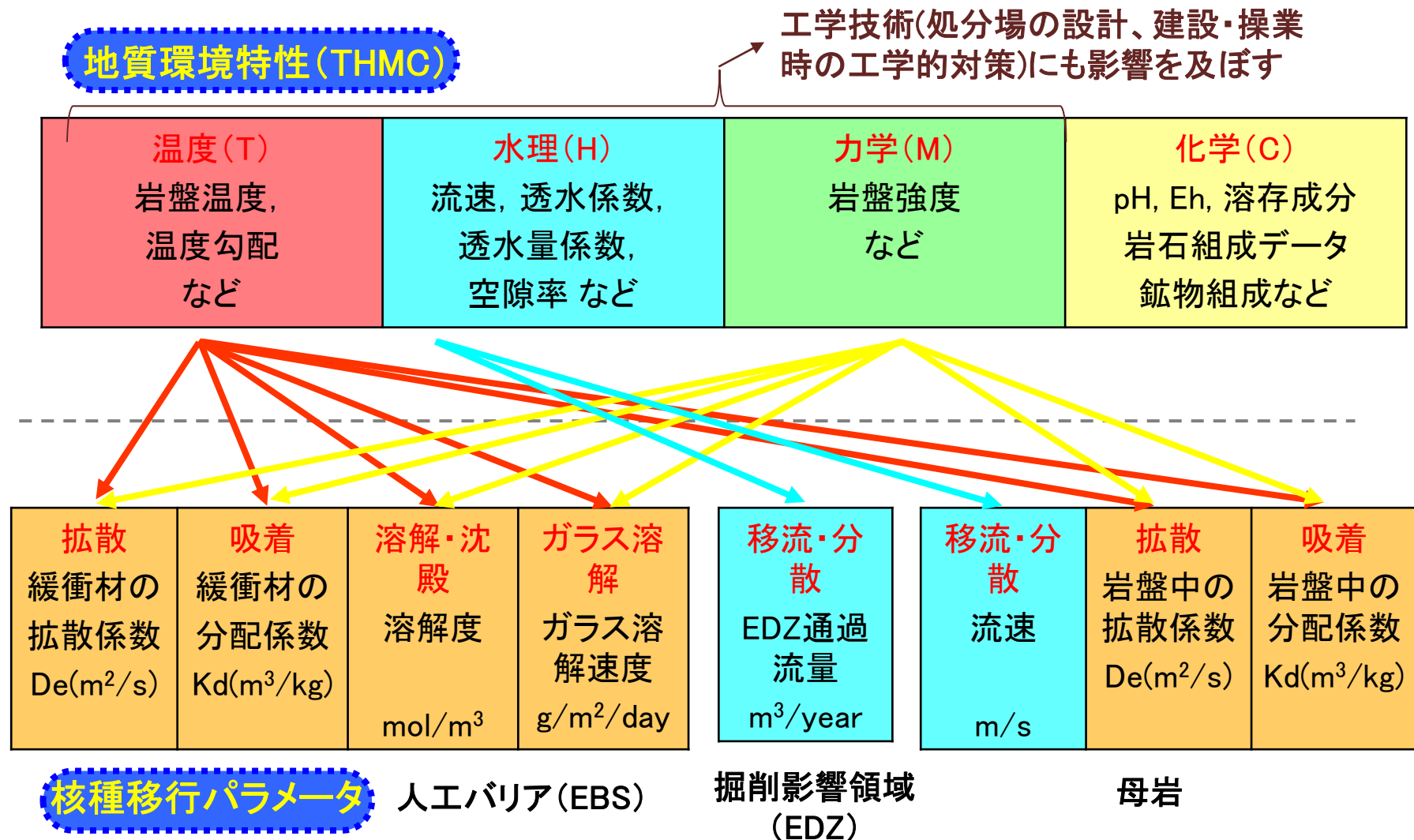
間隙水: 緩衝材中に含まれる地下水

掘削影響領域: 岩盤において掘削の影響を受け、その岩盤が初期に持っていた性質より変化をきたす範囲

生活圏: 人間が生活の範囲においてアクセス可能な環境である「地表環境」とそこで営まれる人間の生活様式を含めたもの

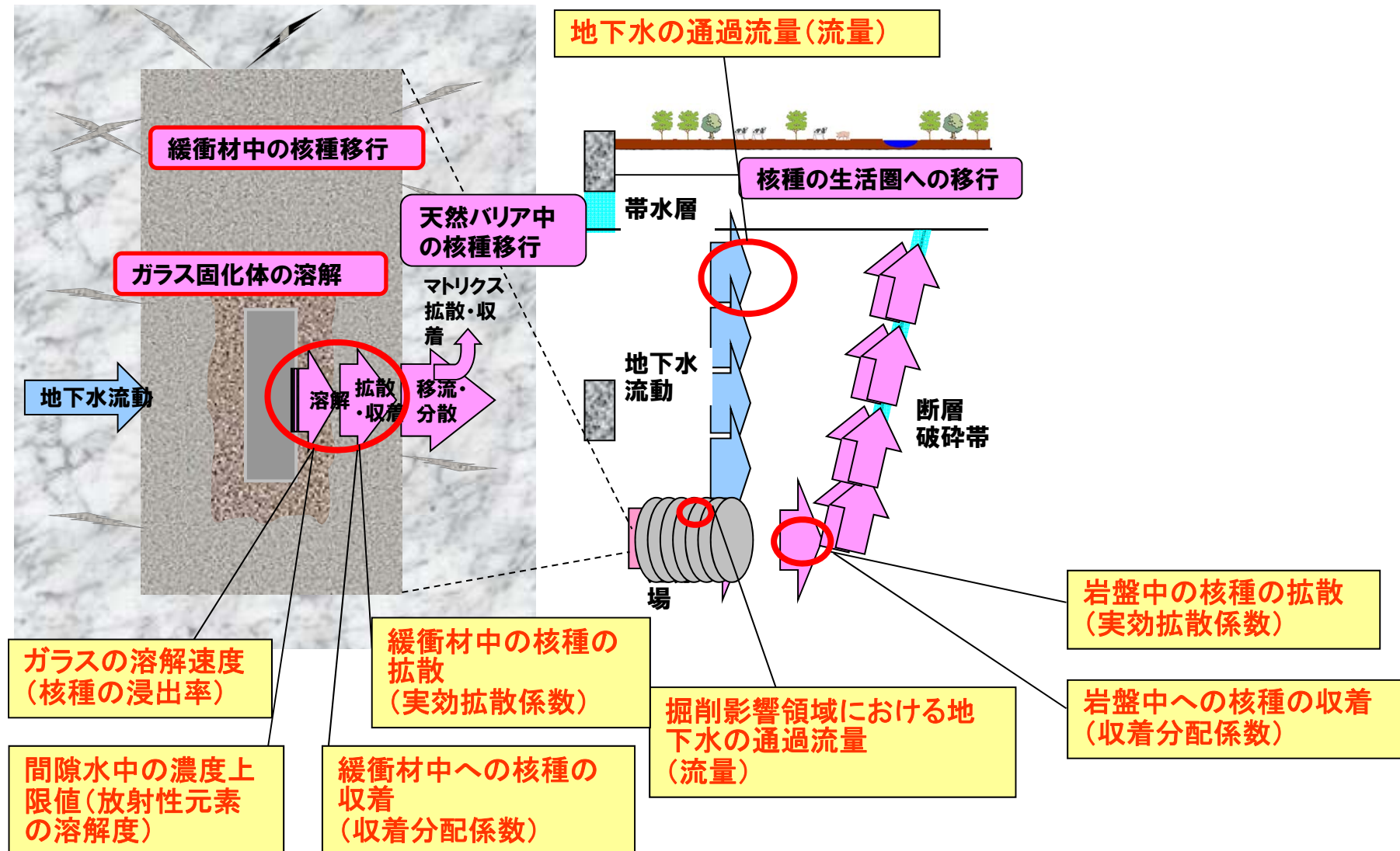
地質環境特性と安全評価に用いられるパラメータとの関係

- ・地質環境特性に応じて処分施設の設計や工学的対策が行われる。
- ・地質環境特性は核種移行評価に必要な核種移行パラメータに影響を及ぼす。



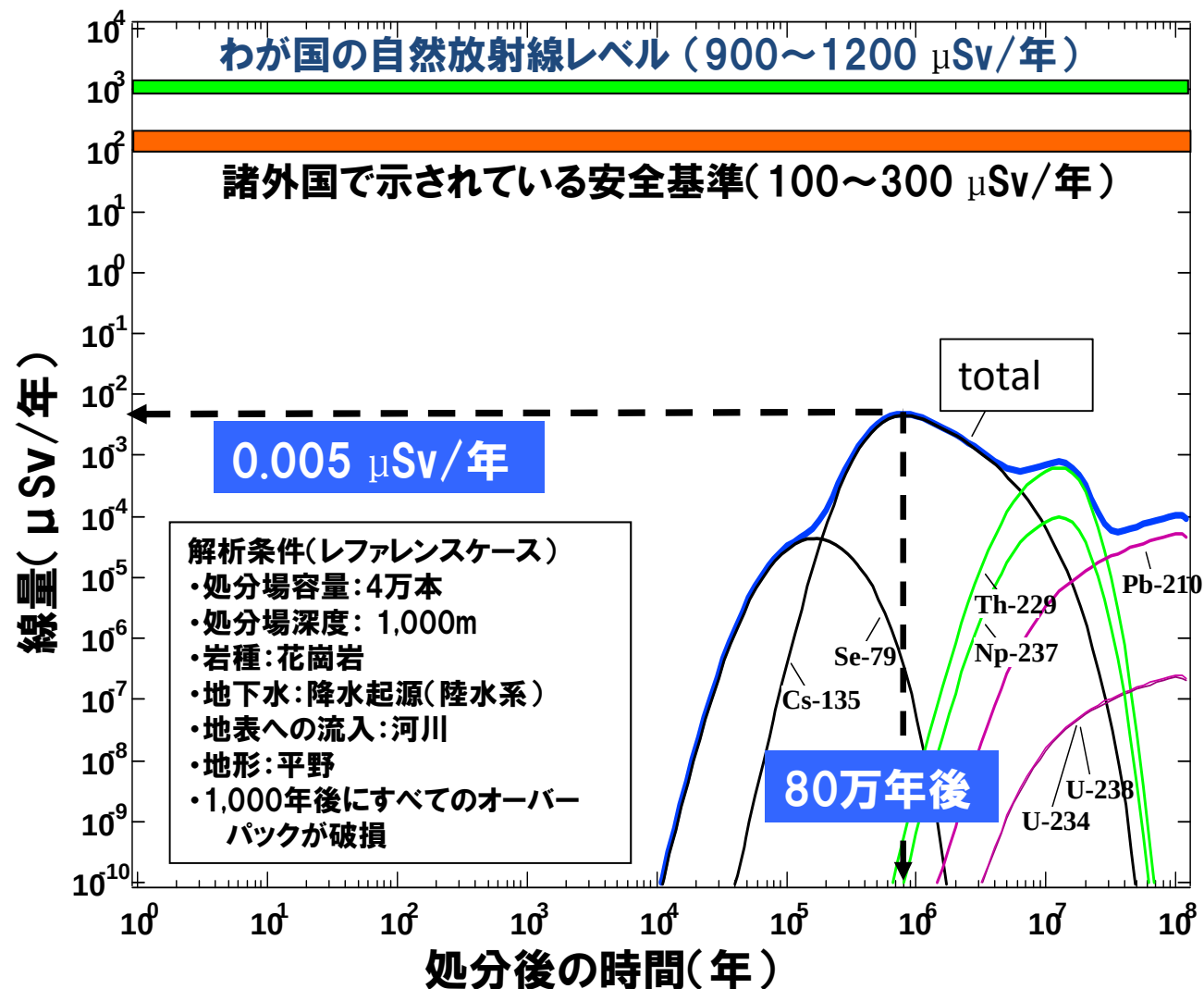
安全評価のための核種移行解析とパラメータとの関係

- ・ 地層処分システムは複数のバリアが相互補完的に安全機能を発揮する多重バリアシステムである。
- ・ 地層処分システムの安全性を確認するための核種移行評価には、地質環境特性の影響を受ける多くの核種移行パラメータが用いられる。



地下水シナリオに基づく安全評価の例

- ・ 多重バリアからなる地層処分システムの安全性は、地質環境特性に影響される様々なパラメータを用いた総合的な評価により判断される。



2-1. 最終処分施設に求められる地質環境特性 及びその長期安定性の確保に影響を与える事項 (回避すべき/回避が好ましい範囲に関するもの)

火山に関連する現象（マグマの処分場への貫入と地表への噴出）①

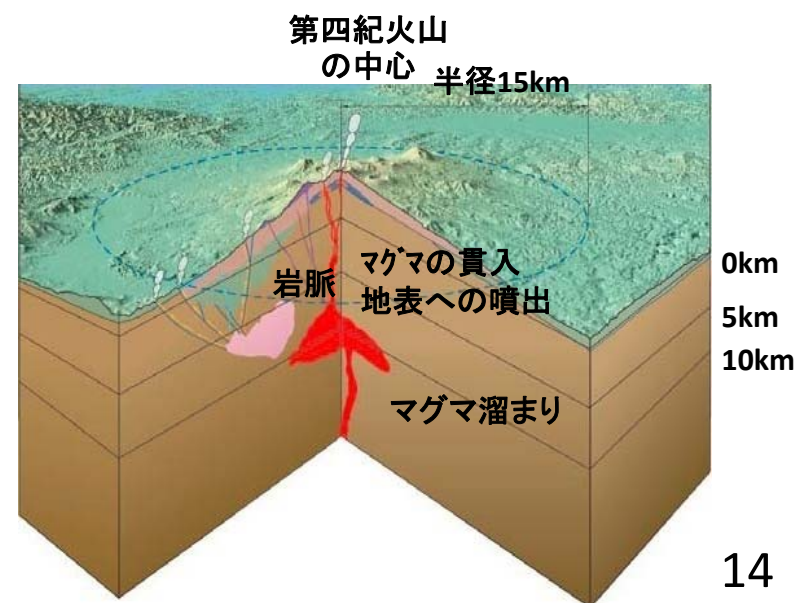
マグマの処分場への貫入と地表への噴出により、放射性廃棄物と人間が直接接触するリスクがある。



- 回避に係る要件：マグマの処分場への貫入と地表への噴出により、物理的隔離機能が喪失されないこと。
- 回避すべき範囲の基準：第四紀火山から15km内および第四紀の火山活動範囲が15kmを超える巨大カルデラの範囲。
- 回避が好ましい範囲の基準：－
- 全国規模の文献・データ：日本の火山（第3版）（産総研地質調査総合センター，2013）

設定の根拠

- 第四紀（約258万年～現在）の間の火山活動の場所に大きな変化は認められず、将来数万年以上にわたっても同様の傾向を示すと考えられる。
- 多くの火山では過去のマグマの活動は半径15km程度の範囲に収まっている。ただし、大規模なカルデラを有する火山ではこの範囲を超えている場合もある。
- 第四紀に活動した火山の位置やカルデラの範囲などをまとめた全国規模の文献・データが存在することから、これを用いて回避すべき範囲を設定。

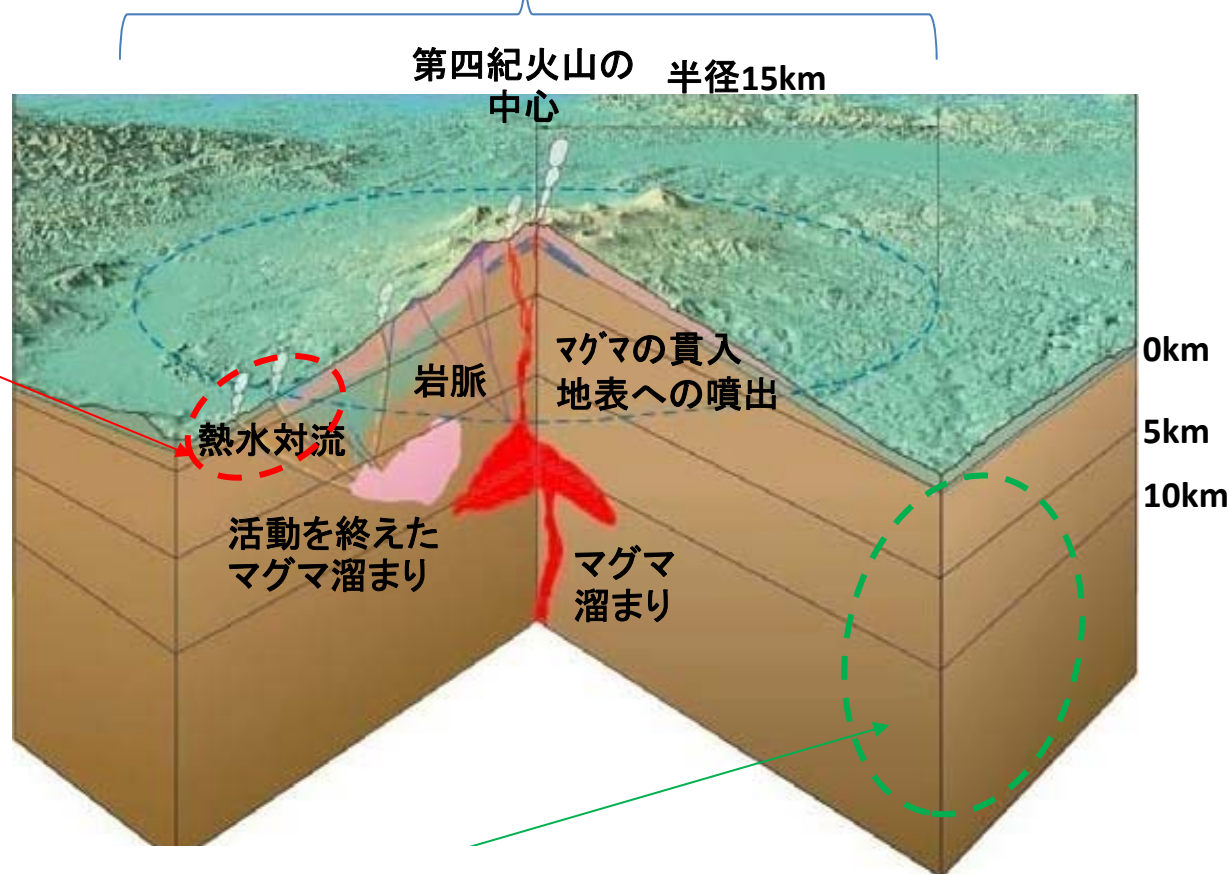


火山に関連する現象(マグマの処分場への貫入と地表への噴出)②

※文献調査以降に確認する回避に係る範囲

文献調査: 第四紀火山中心から15km以遠や巨大カルデラ外縁以遠でも、火山の有無、マグマの発生領域となる高温異常域、熱水・ガス発生を文献により調査・評価し、影響が想定される範囲を回避

科学的有望地選定: 全国規模の文献に示された第四紀火山の中心から半径15kmの円の範囲、15kmを超える巨大カルデラの外縁までの範囲を回避



概要調査:火山の有無、マグマの発生領域となる高温異常域、熱水・ガス発生を物理探査やボーリング調査などの地下深部の現地調査により評価し、影響が想定される範囲を回避

隆起・侵食に関連する現象①

隆起・侵食により地表と処分場の距離が縮まることにより、放射性廃棄物と人間が直接接触するリスクがある。



- 回避に係る要件: 著しい隆起・侵食に伴う処分場の地表への著しい接近により、物理的隔離機能が喪失されないこと。
- 回避すべき範囲の基準: 過去十万年における最大侵食量が300mを超えたことが明らかな範囲。
- 回避が好ましい範囲の基準: 隆起速度が90m以上/10万年である沿岸部
- 全国規模の文献・データ: 最近約10万年間の隆起速度の分布 (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)

設定の根拠

- 過去10万年間の最大侵食量が300mを超えていた場所は、将来、侵食が著しく大きく、処分場が地表へ著しく接近すると考えられるが、全国規模の文献・データは無い。
- 過去約10万年間の隆起速度の全国分布図があり、区分値の最大は「90m/10万年以上」。
- 保守的に隆起した分だけ侵食されることを想定し、沿岸部はさらに保守的に海面が低下して陸化した分(最大150m/10万年)も侵食されると想定すると、沿岸部の「90m/10万年以上」の場所は、将来、侵食が著しく大きく、処分場が地表へ著しく接近または露出する可能性が大きい。



隆起に伴う侵食

- ・海底面が隆起して陸化すると河川などにより侵食される。
- ・全国規模の文献には、隆起量が大きい地域として、過去10万年間の隆起量が90m以上の場所が示してある。

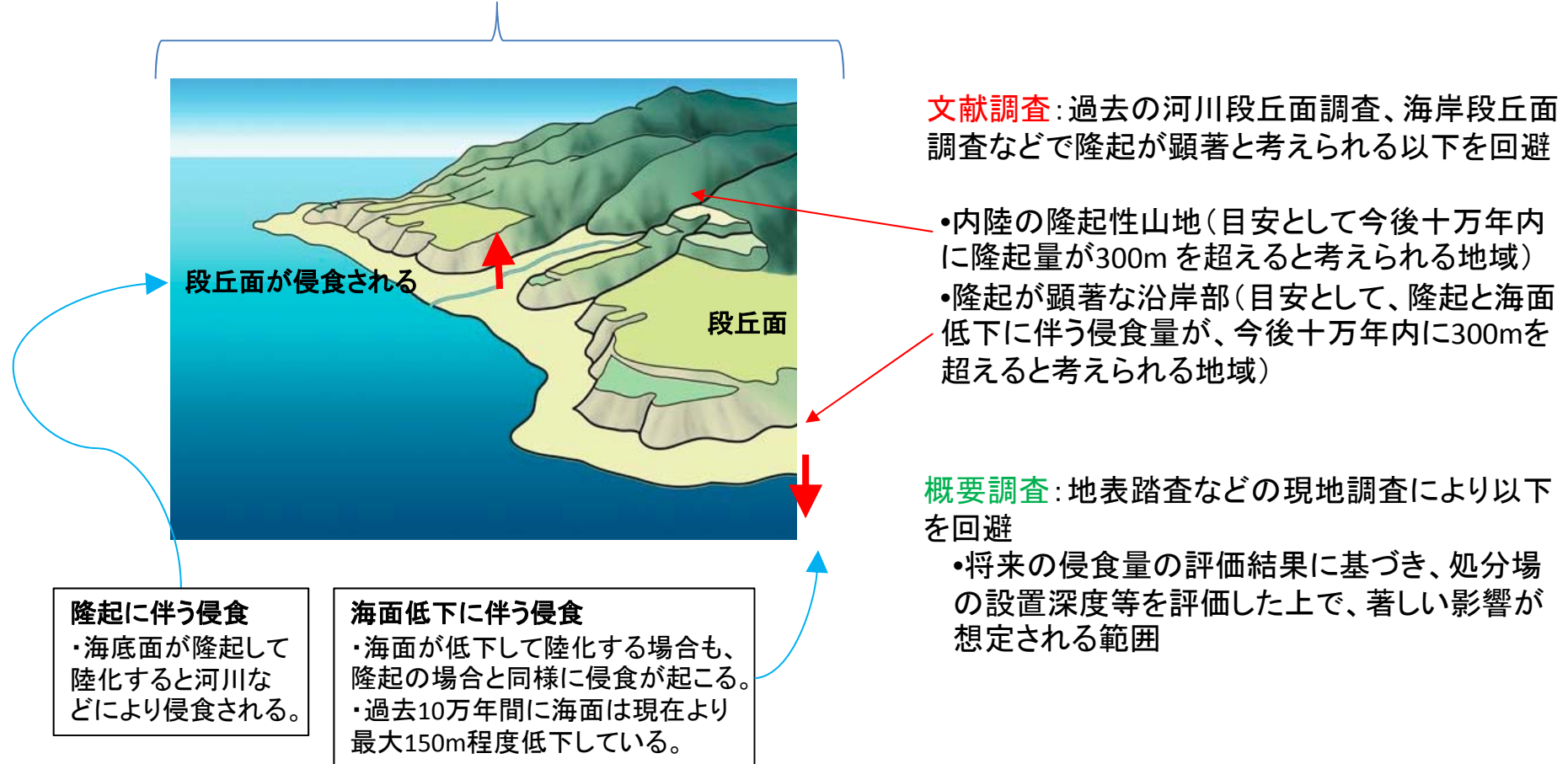
海面低下に伴う侵食

- ・海面が低下して陸化する場合も、隆起の場合と同様に侵食が起こる。
- ・過去10万年間に海面は現在より最大150m程度低下している。

隆起・侵食に関連する現象②

※文献調査以降に確認する回避に係る範囲

科学的有望地選定: 全国規模の文献において大きな隆起速度が示された一定の広さのエリア(回避が好ましい範囲: 例えば下図の範囲全体)



火山に関連する現象（地熱活動）

地熱活動に伴う熱が緩衝材を変質させ、放射性物質を吸着する機能が低下することにより、放射性物質が早く生活環境に出てくるリスクがある。

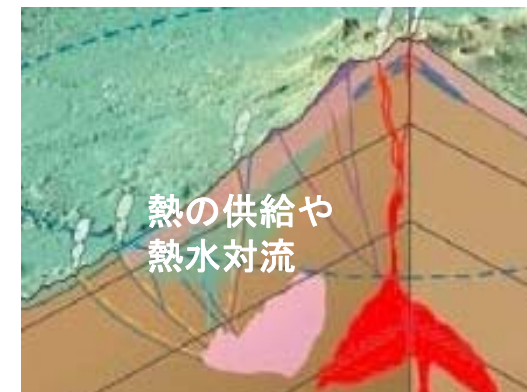


- 回避に係る要件：処分システムに著しい熱的影響を及ぼす地熱活動により、閉じ込め機能が喪失されないこと。
- 回避すべき範囲の基準：・処分深度で地温が長期に100℃を大きく超える範囲。
- 回避が好ましい範囲の基準：処分深度で100℃超えるような地温勾配の範囲。
- 全国規模の文献・データ：日本列島の地温勾配コンター図と活火山の分布（日本地質学会リーフレット，2011）等

設定の根拠

- 緩衝材は長期間100℃を大きく超えると変質しやすい。
- 長期間100℃を大きく超える範囲を示す、全国規模の文献・データは現状ないため、代わりに全国規模の情報のある地温勾配を用いて処分深度の地温を推定し、100℃を超える地温勾配の地域を回避が好ましい範囲として設定。
（地表温15℃とすると、処分深度が300mの場合28.3℃/100m、1000mの場合8.5℃/100m）

火山周辺の地熱活動



活動を終えたマグマ溜まり マグマ溜まり

火山性熱水、深部流体に関連する現象①

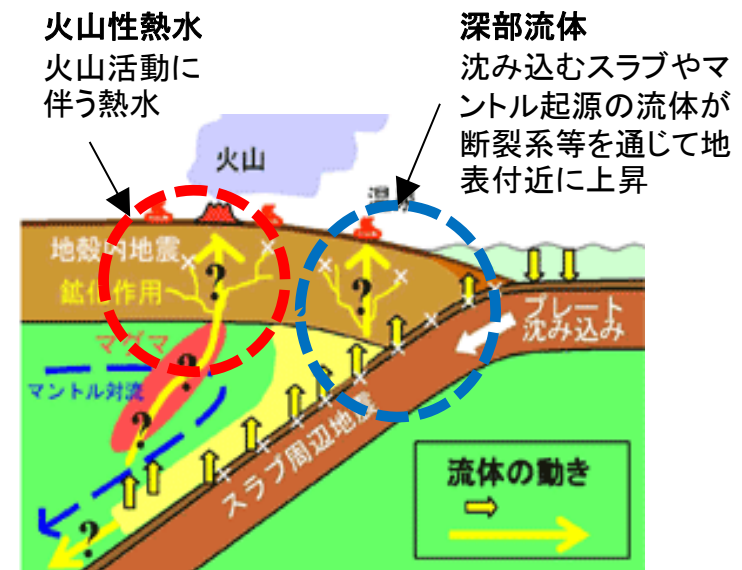
ガラスを溶かしやすくする、オーバーパックを腐食しやすくすることなどの特性を持つ地下水により、放射性物質が早く生活環境に出てくるリスクがある。



- 回避に係る要件：処分システムに著しい化学的影響を及ぼす火山性熱水や深部流体の流入により、閉じ込め機能が喪失されないこと。
- 回避すべき範囲の基準：処分深度に火山性熱水または深部流体が存在し、かつ化学場への影響が明らかな範囲。
- 回避が好ましい範囲の基準：地下水が酸性あるいは炭酸化学種濃度 0.5mol/dm^3 以上を示す範囲。
- 全国規模の文献・データ：深層地下水データベース（高橋ほか，産総研地質調査総合センター，2011）など

設定の根拠

- 酸性の地下水の場合、ガラスや放射性物質が溶けやすくなる。酸性の目安として、「pH4.8未満」を用いる（第2次取りまとめ注1，腐食防食協会（2001）注2など）。
注1）分冊1（2.4.2.5）熱水の化学組成「4.8未満は自然界における実質的な酸性領域」、
注2）腐食・防食ハンドブックCD-ROM版（1.1.3淡水のpHと炭酸塩平衡）
- 炭酸化学種が地下水中に 0.5mol/dm^3 以上含まれている場合、オーバーパックの腐食速度が大きくなる可能性がある。
- 火山性熱水や深部流体など起源と共に整理した全国規模の文献・データが現状ないため、保守的に上記特徴をもった地下水の存在する場所を回避が好ましい範囲として設定



文部科学省科学研究費補助金新学術領域研究（研究領域提案型）「地殻流体：その実態と沈み込み変動への役割」より
<http://www.geofluids.titech.ac.jp/a03.html>

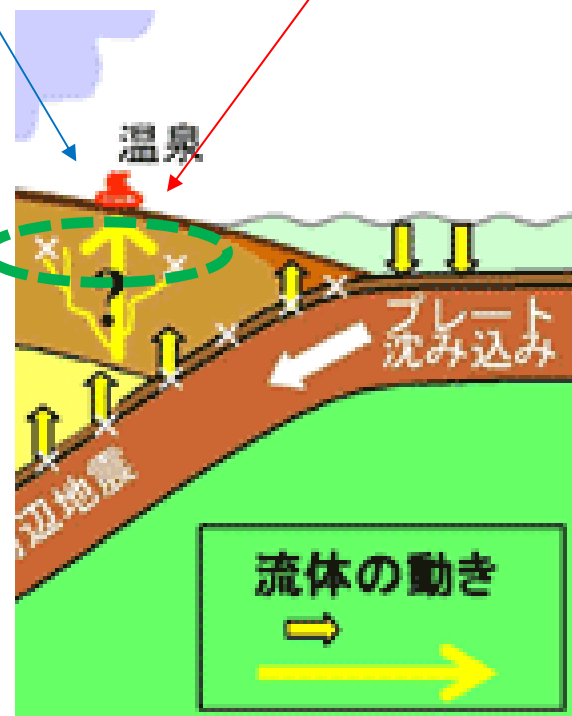
火山性熱水、深部流体に関連する現象②

※文献調査以降に確認する回避に係る範囲

科学的有望地選定: 可能性の観点で起源を問わず、全国規模の文献に示されたpH4.8未満、炭酸化学種濃度 0.5mol/dm^3 以上の場所(回避が好ましい範囲)

文献調査: 地表湧出地下水成分等から、火山性熱水、深部流体などが起源であり、化学場への影響が著しいと文献で判断できる場所を回避

概要調査: ボーリング調査、物理探査などの地下深部の現地調査や、深層の地下水成分分析等により、起源を推定し、大規模断裂など地下へ通ずる通路の存在等を確認して、化学場への影響が著しいと判断できる場所を回避



深部流体

沈み込むスラブやマントル起源の流体が、断裂系等を通じて地表付近に上昇

断層活動に関連する現象①

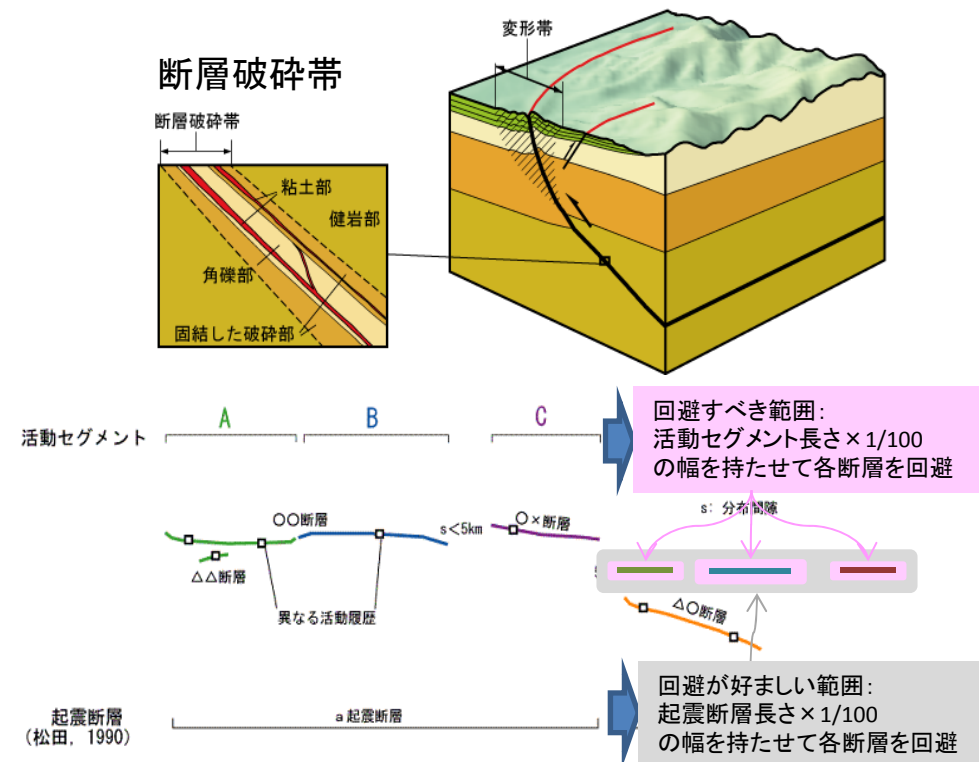
断層活動により処分場が破壊されると共に、断層の透水性が高まり地下水が流れやすくなるなどにより、放射性物質が早く生活環境に出てくるリスクがある。



- 回避に係る要件: 断層活動による処分場の破壊、断層のずれに伴う透水性の増加等閉じ込め機能が喪失されないこと。
- 回避すべき範囲の基準: 活断層に、活動セグメント長さの1/100の幅を持たせた範囲。
- 回避が好ましい範囲の基準: 活断層に、起震断層長さの1/100の幅を持たせた範囲。
- 全国規模の文献・データ: 活断層データベース(産総研地質調査総合センターウェブサイト)等

設定の根拠

- 活断層(最近の地質時代において繰り返し活動し、変位規模の大きい既知の断層)は、将来数万年程度もほぼ同じ場所で同様の活動を繰り返すと考えられる
- 断層活動に伴って地層が破碎された範囲(破碎帯)は将来の断層活動によりずれを発生する可能性が考えられる。
- 破碎帯の幅は、断層の長さの1/100~1/350程度との知見がある。
- 活断層に関する全国規模のデータとして、地震を繰り返す最小単位「活動セグメント」と、いくつかの活動セグメントが一緒に活動する可能性が高いグループ「起震断層」が整備されている。



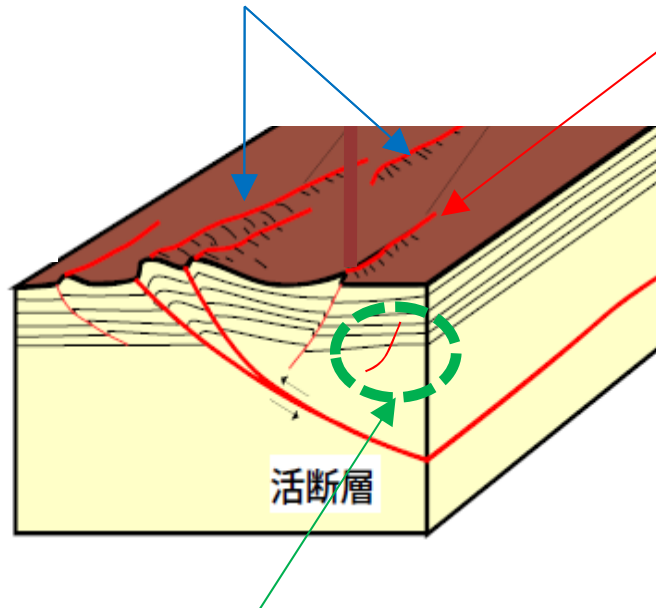
起震断層と活動セグメントの模式図

断層活動に関連する現象②

※文献調査以降に確認する回避に係る範囲

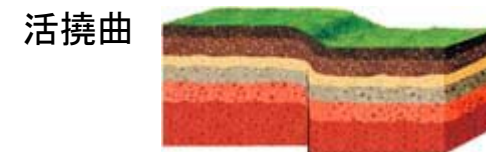
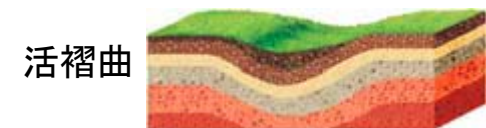
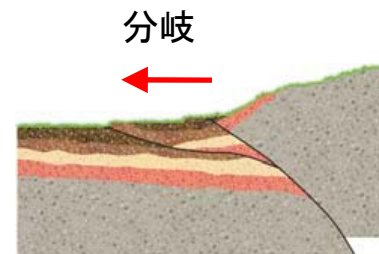
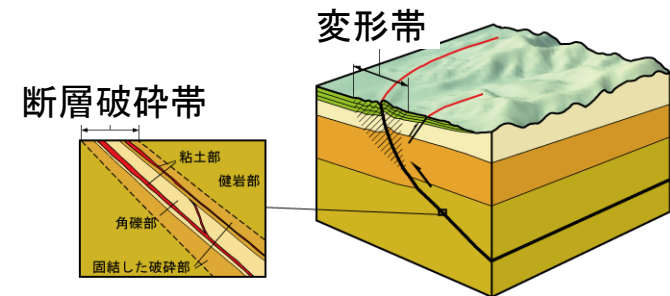
科学的有望地選定: 全国規模の文献に示された活断層に、破碎帯として断層長さの1/100の幅を持たせた範囲(回避すべき範囲の場合は活動セグメント長さ、回避が好ましい範囲の場合は起震断層長さ)

- 地表に出現した断層が全国規模の文献にまとめられている。



文献調査: 以下を回避

- 全国規模の文献に示されていない活断層の破碎帯などの影響範囲(断層の進展・分岐、活断層帯、変形帯含む)
- 活褶曲・活撓曲について、地層処分システム全体への影響が著しい場合



概要調査: ボーリング調査などの地下深部の現地調査により以下を回避

- 文献調査と同じ対象で現地調査により判別するもの
- 変位規模が小さい断層、地表の痕跡が不明瞭である断層、地下に伏在している断層、地質断層で著しい影響が想定されるもの

2-2. 最終処分施設に求められる地質環境特性 及びその長期安定性の確保に影響を与える事項 (好ましい範囲に関するもの)

熱環境「地温が低いこと」

地温が低いことにより、温度による緩衝材等の変質を防ぐことができる。



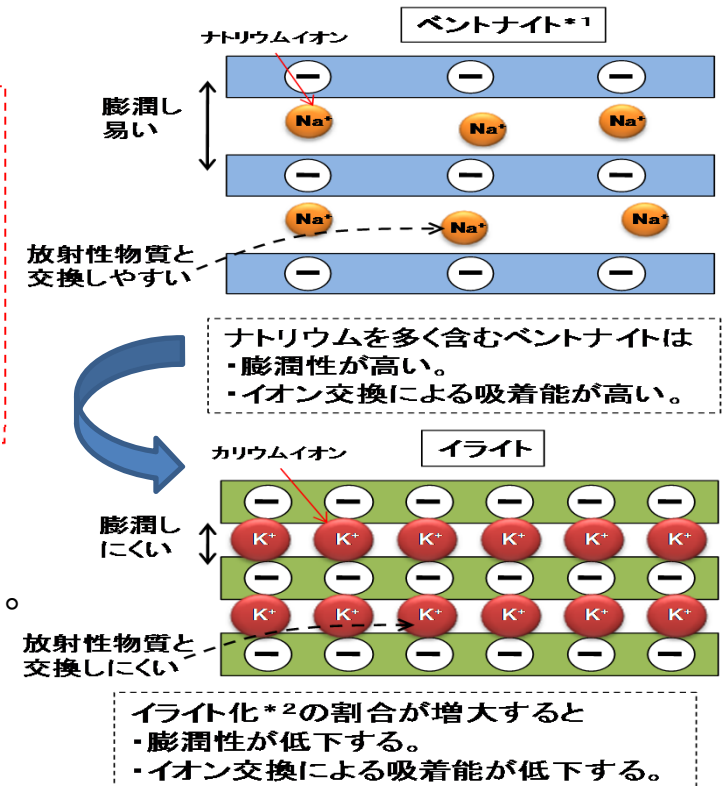
- 好ましい要件 : 地温が低いこと。
- 好ましい範囲の基準: 安全性の大きな向上が見られる明確な基準が設定できない。

なぜ「地温が低いこと」が必要か

- 人工バリアのうち、緩衝材であるベントナイトについては、長期にわたり 100°C を大きく超えると鉱物学的に変化し(イライト化)、特にそれが著しい場合には、主要な機能の一部喪失につながる恐れがある。
- したがって、緩衝材の熱変質を対象として、地温が 100°C を大きく超える期間が、長期に亘り継続しないことが必要。

- 一方で、緩衝材の性能(透水係数、熱伝導率等)において、特に性能が大幅に向上するような温度を設定することは難しい。
- なお、地下深部の地温については、地温勾配によってある程度推定することが可能であり、火山地域等の高温異常域を除けば地温勾配はおおむね $3\sim 5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 程度であることは一般的知見とみなすことができる、そのため、地下深部の地温が低い環境(※)は広く存在していると考えられる。

※年平均地表温度を 15°C とし、地温勾配 $3\sim 5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ とすると地温は深度 300 m では $24\sim 30^{\circ}\text{C}$ 、深度 500 m では $30\sim 40^{\circ}\text{C}$ 、深度 1000 m では $45\sim 65^{\circ}\text{C}$ と推定できる。



*1: 実際には、ベントナイトに含まれるモンモリロナイトという鉱物が膨潤性や吸着能を有する。

*2: 100°C 以上ですべてのベントナイトが直ちにイライトに変化するわけではない。カリウムが絶えず供給される条件に、100年以上の極めて長期間さらされると、ベントナイトの一部が徐々にイライトに変化する。

力学場「岩盤の変形が小さいこと」

岩盤の変形が小さいことにより、処分場の破壊を防ぐことができる。



- 好ましい要件 : 岩盤の変形が小さいこと。
- 好ましい範囲の基準: 安全性の大きな向上が見られる明確な基準が設定できない。

なぜ「岩盤の変形が小さいこと」が必要か

- 地下深部では地下水の水圧や緩衝材の変形に伴う外力がオーバーパックに作用する。さらに、岩種、地形、断層や処分深度の条件によっては、岩盤中の断層変位やクリープ変形等が考えられる。
 - これらに対して、岩盤の変形が著しい場合には、オーバーパックの破損を招かないように強度を上げる必要がある。(オーバーパックの厚さを増す等の対策も考えられるが、施工の難易度も高くなる。)
 - よって、「岩盤の変形が小さいこと」が求められる。
-
- 一方で、オーバーパックの厚さは、作用する外力の中で最も大きい地下水の水圧が支配的であり、「岩盤の変形が小さいこと」の明確な基準を設定することは難しい。
 - 第2次取りまとめや深地層研究所等の研究結果から、岩盤の変形については設計で対応が可能な範囲と考えられるため、好ましい特性を有する地質環境は広く存在している。

	作用外圧値 [MPa]	
	硬岩系岩盤	軟岩系岩盤
地下水静水圧	9.80	4.90
岩盤のクリープ変形および 腐食生成物膨潤圧による 緩衝材の圧密反力	0.86 (岩盤クリープは考慮しない)	1.87
合 計	10.7	6.8

・硬岩系岩盤は深度1000m、
軟岩系岩盤は深度500mを想
定している。

(※) オーバーパックと岩盤の間の
緩衝材がない場合は、オーバー
パックの腐食膨張によるオーバー
パックへの反力は岩盤の変形が小
さい(硬い)ほど、逆に大きくなる。

水理場「地下水流動が緩慢であること」

緩やかな地下水の動きの場所を選ぶことにより、短期間に放射性物質が生活環境に放出されることを防ぐことができる。



- 好ましい要件 : 地下水流動が緩慢であること。
- 好ましい範囲の基準 : 安全性の大きな向上が見られる明確な基準を設定することが難しい。

なぜ「地下水の流れが緩慢であること」が必要か

- 地下深部の地下水の流速が緩慢である場合、放射性物質の移行にかかる時間が長くなり、その間に放射能が減衰する。
 - そのため、岩盤の低い透水性と小さい動水勾配(注1)を以て、地下水流動が緩慢であることが必要。
 - 地下水流動が非常に緩慢で拡散が支配的な場(注2)は安全性が大きく向上すると考えられる。この場合、地下水移動に対する緩衝材による工学的対応が容易になる可能性がある。
-
- 地下水流動が非常に緩慢で拡散が支配的な場は、具体的には透水性が非常に小さい場所、動水勾配が非常に小さい場所、ならびに古い地下水が滞留している場所である。
 - 動水勾配については地形による影響を殆ど受けないほどの地下深部や海底下などで非常に小さくなる。
 - また、海水準が下がった場合でも、地下水流動速度が緩慢である場所であることが望ましい。

(注1) 動水勾配は水が流れる方向の単位距離あたりの水頭(※)の差。着目している場所を通る水の経路の始点と終点の水頭差が小さいほど、始点と終点間の距離が長いほど動水勾配は小さくなる。

(※) 水の持つエネルギー(位置、水圧など)を水柱の高さに置き換えたもの。

(注2) 放射性物質は一般的に、地下水の流れによって運ばれる「移流」と濃度の大きい場所から小さい場所へ移動する「拡散」により移行する。地下水流動が非常に緩慢である場合、移行のうち「移流」が殆ど無くなり「拡散」が移行の大部分を占めることになる。

化学場①「高pHあるいは低pHではないこと」

高pHあるいは低pHでない化学環境により、短期間にオーバーパックの腐食が進み、ガラスが溶け地下水に放射性物質が溶け出すことを防ぐことができる。



- 好ましい要件 : 高pHあるいは低pHでないこと。
- 好ましい範囲の基準 : 安全性の大きな向上が見られる明確な基準を設定することが難しい。

なぜ「高pHあるいは低pHではないこと」が必要か

- 地下水が高pHあるいは低pHの場合、ガラス固化体の溶解速度が速く、放射性物質の浸出率が増加する
 - また、高pHの場合はオーバーパックが不動態化し、局部腐食や応力腐食を引き起こしやすくなるが、緩衝材によるpH緩衝作用により、地下水のpHが12程度までであれば、不動態化を防ぐことができる。
 - また、緩衝材が変質しやすい。
 - そのため、地下水が高pHあるいは低pHではないこと（＝中性付近であること）が必要。
-
- ただし、中性付近の領域であれば一定性能は確保されるものの、安全性が大きく向上するポイントは定められないため明確な基準の設定は難しい。

オーバーパックの腐食の違い

地下水のpHが中性付近

- 皮膜を作りにくい。
- ゆっくりと均一に腐食。

地下水が高pH条件

表面の不動態皮膜が形成されると腐食は進みにくい。

皮膜が一部欠損すると、局部的に腐食が進む。

化学場②「酸化性雰囲気ではないこと」

酸化性雰囲気でない化学環境により、短期間にガラスが溶け地下水に放射性物質が溶け出すことを防ぐことができる。



- 好ましい要件 : 酸化性雰囲気でないこと。
- 好ましい範囲の基準: 長期にわたり、酸化還元電位が負であること。

なぜ「酸化性雰囲気でないこと」が必要か

- オーバーパックは酸化性条件で、不動態化・局部腐食しやすい
- 酸化性雰囲気では、ネプツニウム(Np)など一部の放射性物質が酸化され、イオンとして溶けるようになるため、溶解度が増加する。
- 上記の放射性物質は、酸化されることで吸着の状態も変わるので、緩衝材、および天然バリアともに収着能が低下する。

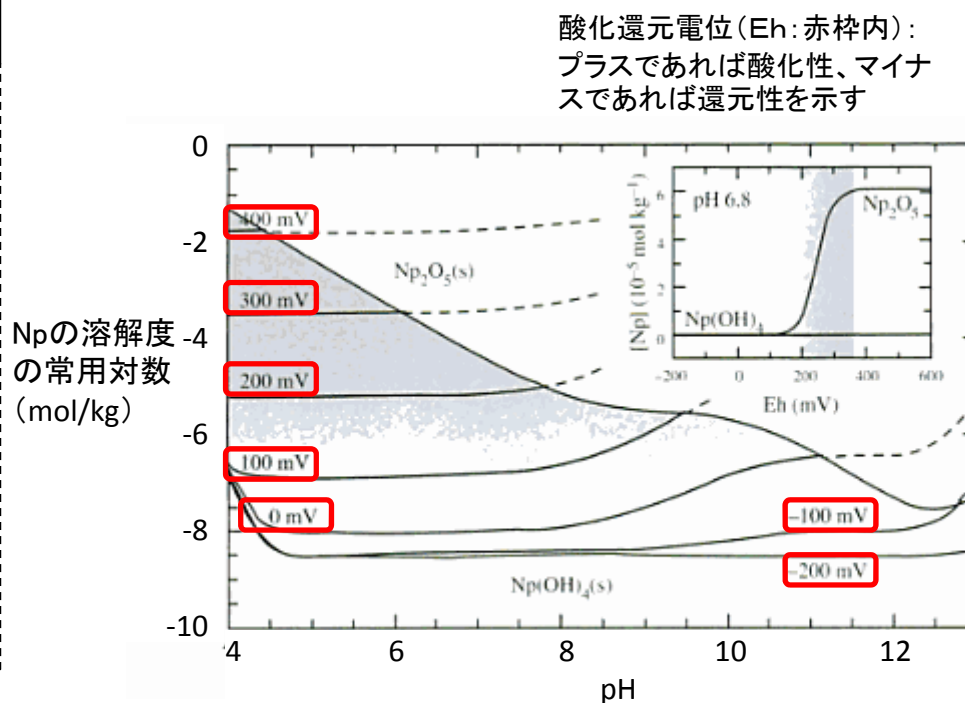


図 酸化還元電位(Eh)の違いによる核種の溶解度の変化の例

化学場③「炭酸化学種濃度が高くないこと」

炭酸化学種濃度が高くない化学環境により、短期間にオーバーパックの腐食が進み、地下水に放射性物質が溶け出すことを防ぐことができる。



- 好ましい要件 : 炭酸化学種濃度が高くないこと。
- 好ましい範囲の基準 : 安全性の大きな向上が見られる明確な基準を設定することが難しい。

なぜ「炭酸化学種濃度が高くないこと」が必要か

- 炭酸化学種濃度が 0.5 mol/dm^3 以上となる条件ではオーバーパックが不動態化、局部腐食を招きやすくなる
- 一方、炭酸化学種濃度が 0.5 mol/dm^3 未満であれば人工バリアの安全機能は確保されるものの、炭酸化学種濃度が小さいほど人工バリアの安全性が大きく向上するわけではないため、明確な基準の設定は難しい。

オーバーパックの腐食の違い

炭酸化学種濃度が低い

- 皮膜を作りにくい。
- ゆっくりと均一に腐食。

炭酸化学種濃度が高い

表面の不動態皮膜が形成されると腐食は進みにくい。

皮膜が一部欠損すると、局所的に腐食が進む。

(参考)不動態化、腐食の仕組み

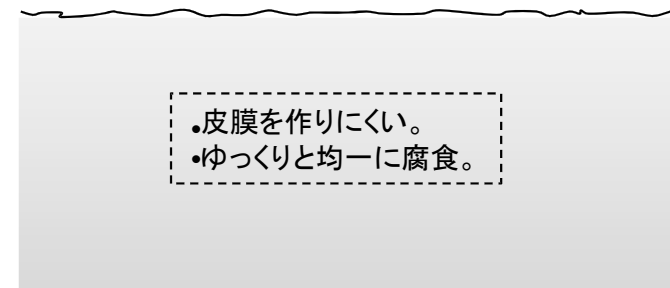
○不動態化とは？

- オーバーパックの表面では、鉄が酸素と化学反応し、“さび”が発生する。
- この“さび”が表面を緻密に覆ったものが不動態皮膜で、この現象を不動態化と呼ぶ。
- 不動態皮膜が表面を覆うと、オーバーパックの腐食はそれ以上進みにくくなる。すなわち、表面がさびることによって、それ以上の“さび”を防いでいることとなる。

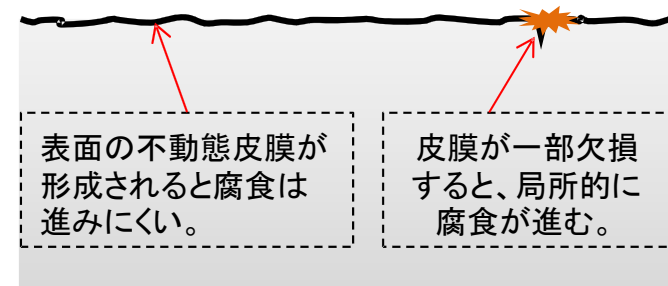
○なぜ、地層処分では不動態化を防ぐのか？

- 不動態皮膜が発生すると、腐食はそれ以上進みにくくなるので、オーバーパックにとっては好ましい。
- 一方で、オーバーパック周辺の環境が変化し、不動態化しない環境条件で、不動態皮膜が局所的に失われると、その部分の腐食が選択的に進行する可能性がある(局部腐食)。局部腐食の進行は、予測が容易ではない。
- これに対し、不動態皮膜を形成しないで、腐食が均一に進行する方が長期の予測がしやすい(全面腐食)。
- そこで、地層処分では、地下深部の環境で、不動態皮膜を形成しにくい炭素鋼をオーバーパック材料として選定している。

全面腐食



不動態化



3. 地下施設建設・操業時の安全性確保について

学会基準等から工学的対応が困難となる可能性のある事象の抽出

- トンネル設計・施工に関する土木学会基準である「2006年版トンネル標準示方書 山岳工法・同解説」で記載されている特殊地山の対象は以下の通り。

第1章 特殊地山のトンネル

第1節 通 則

第147条 特殊地山のトンネル一般

次に示すような特殊地山のトンネルの設計、施工にあたっては、それぞれの地山の性状に適応した安全で、経済的な対策を検討しなければならない。

- (1) 未固結地山のトンネル
- (2) 膨張性地山のトンネル
- (3) 山はねが生ずる地山のトンネル
- (4) 高い地熱、温泉、有害ガス等がある地山のトンネル
- (5) 高圧、多量の湧水がある地山のトンネル

学会基準等から工学的対応が困難となる可能性のある事象の抽出

- 地層処分のサイト選定に係る土木学会報告書「概要調査地区選定時に考慮すべき地質環境に関する基本的考え方」(2001.8)、「精密調査地区選定段階における地質環境調査と評価の基本的考え方」(2006.1)に記載されている建設時の考慮事項は以下の通り。

建設に関係する検討項目	概要調査地区選定時に考慮すべき地質環境に関する基本的考え方	精密調査地区選定段階における地質環境調査と評価の基本的考え方
火成活動	地温勾配は小さいことが好ましい。	地温は低いことが好ましい。
岩体の規模、形状	なるべく均質で、地質構造が単純であり、なるべく大きな岩体が好ましい。	・地質構造が単純で、均質で大きな岩体が好ましい。 ・十分に強度のある岩体で、地山強度比が大きく、強度特性と変形特性が施工の観点から合理的な範囲であることが望ましい。
岩盤の力学特性	第四紀未固結層は掘削が困難であることから回避する必要がある。	第四紀未固結層は法定要件に基づき回避する。
膨張性地山	技術的には掘削は不可能ではないが、膨張性地山の分布が予想される地域は回避が好ましい。	膨張性に関わる粘土鉱物(スメクタイトなど)の含有量が少ない岩種・岩体が好ましい。
(多量の)湧水	技術的には掘削は不可能ではないが、大湧水の発生が予想される地域は回避が好ましい。	掘削時の湧水量が少ないことが好ましい。
有害ガス	技術的には掘削は不可能ではないが、著しいガス突出が予想される地域は回避が好ましい。	メタンガス、二酸化硫黄、硫化水素などの有害ガスの発生が少ない岩体であることが好ましい。
山はね	技術的には掘削は不可能ではないが、山はねの発生が予想される地域は回避が好ましい。	山はねの兆候を示すコアディスキングなどが少ない岩体であることが好ましい。
泥火山 (異常間隙水圧)	発生に伴う急激な流体の移動が施工に著しい影響を及ぼすと想定される場合は、異常間隙水圧の開放により泥火山が発生すると想定される地域を回避する必要がある。	処分場に貫入したら長期安定性に影響。また建設時に遭遇した場合、高い間隙水圧やガスを有し施工性に大きな影響を及ぼすことから、間隙水圧が異常高圧となっている地層が存在する地域は回避が好ましい。

膨張性地山

(概要)

膨張性地山に遭遇すると、時間とともに岩盤が空洞側に押し出され、長期的には廃棄体の設置が困難になったり、坑道崩壊にもつながり作業従事者の生命にかかわる事故につながる可能性がある。なお、原因については、吸水膨張説、高圧のガス・間隙水圧説等がある。

膨張性地山は、新第三紀の泥岩・凝灰岩や蛇紋岩等の熱水変質帯で事例が多く、膨張性に関わる粘土鉱物(スメクタイトなど)を30%以上含有し強度が低く、地山強度比が2以下になると著しい膨張性を示すことが知られている。

引用:土木学会「精密調査地区選定段階における地質環境調査と評価の基本的考え方」(2006.1)

(トンネル工事における発生事例)

トンネル名称 : 飯山トンネル(北陸新幹線)
 施工場所 : 長野県~新潟県
 工期 : 1999年~2009年
 トンネル延長 : 約 22.2 km
 主な地質 : 新第三紀中新世の泥岩

出典: 剣持ほか「膨圧性泥質岩地山におけるトンネルの多重支保工の効果」(土木学会論文集F Vol62, No2, 312-325, 2006.5)

表 膨張性地山の特徴

膨張性地山の指標	指標の範囲と特徴
岩種	・泥岩・凝灰岩、泥岩、凝灰岩、蛇紋岩、火山岩・深成岩・変成岩等の熱水変質(温泉余土)あるいは断層粘土・破碎帯などで発生している
地山強度比	・0.03~10.0に分布している。 ・2.0以下の発生事例が多い。
モンモリロナイト含有量(%)	・測定値が明確なものについては38~80%に分布している。 ・モンモリロナイトまたは膨張性鉱物が検出された場合に膨張性が発生している事例が多い。
浸水崩壊度(A, B, C, D)	・浸水崩壊度CまたはDで膨張性が発生している事例が多い。
塑性指数	・5~210の間に分布しており、70以上で膨張性が発生している事例が多い。
変形係数(MPa)	・大半が2000MPa以下の値を示している。 ・800MPa以下で膨張性が発生している事例が多い。
一軸圧縮強度(MPa)	・大半が10MPa以下の値を示している。 ・4MPa以下で膨張性が発生している事例が多い。
単位体積重量(g/cm ³)	・1.5~2.9g/cm ³ の間に分布している。
自然含水比(%)	・0~60%の間に分布している。 ・20%以下でも膨張性が発生している事例がある。
液性限界(%)	・20~300の間に分布している。 ・データ数が少ないため全体の傾向が不明である。
2μm以下粒子含有率(%)	・20~60%の間に分布しており、30%以上で膨張性が発生している事例が多い。 ・データ数が少ないため全体の傾向が不明である。
CEC(塩基交換容量試験)	・5~160meq/100gの間に分布しており、35meq/100g以上で膨張性が発生している事例がある。
膨張率(%)	・0~48%の間に分布している。 ・20%以下でも膨張性が発生している事例がある。
弾性波速度(km/sec)	・Vp=0.2~6.0km/secの間に分布している。 ・Vsについてはデータ数が少ないため全体の傾向が不明である。



写真-1 上半支保工の肩部 (165km230m 付近)

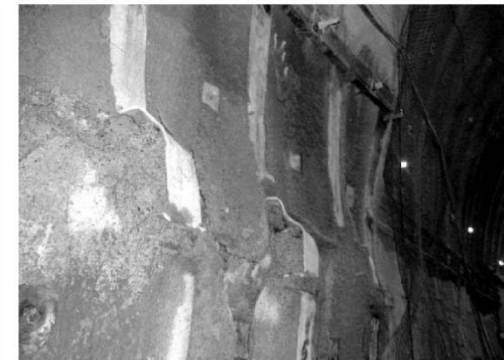


写真-2 上半支保工の根足部 (166km960m 付近)

山はね

(概要)

山はねは、坑道掘削時に生じる岩片の急激な飛散等を伴う破壊現象であり、著しい場合は切羽全体が瞬時に圧壊し、安全対策をとらないと作業従事者の生命にかかわる事故につながる可能性がある。

発生原因は、岩石の弾性ひずみエネルギーが急激に解放されること等に起因すると考えられるが、詳細なメカニズムについては明らかになっていない。

(トンネル工事における山はね事例)

トンネル名称	: 関越トンネル
施工場所	: 群馬県～新潟県
工期	: 1977年～1991年
トンネル延長	: 上り線 11,055m 下り線 10,926m

県境付近で土被りが750m以上となる区間では“山はね”が発生し、掘削作業が幾度となく中断した。

作業従事者の安全確保と掘進速度を極端に低下させない方法を検討した結果、岩盤の補強と岩塊の飛び出しを防ぐため、一発破の進行を3mから1.2mにするとともに、トンネルの切羽面にロックボルト(長さ3m)を打設し、山はね防護ネットを設置して、この難関を克服した。

出典: 2009 土木学会関東支部新潟会HP



山はねで飛び出した岩塊

泥火山

(概要)

周辺より著しく高い間隙水圧やメタンなどのガス圧が原因で、地下からの急激な流体噴出やガス噴出が生じる事象であり、作業従事者の生命にかかわる事故につながる可能性がある。

泥火山は、地下深部から泥状流体が周辺地層へ貫入しながら上昇し、地表に噴出し形成された火山状円錐小丘でカルデラ状陥没地形を伴う(右上図)。

第三紀～第四紀の油田・ガス田地域では、堆積岩形成過程における圧密過程で脱水作用が進まず高圧な間隙水を維持したまま地表近くに存在していることがあり、泥火山はこのような高圧を有した地層から背斜軸部や断層などの弱線に沿って上昇してきた地層構成物と間隙水により形成されたものと考えられている。

引用:土木学会「精密調査地区選定段階における地質環境調査と評価の基本的考え方」(2006.1)

(トンネル工事における泥火山の事例)

トンネル名称	: 北越北線鍋立山トンネル
施工場所	: 新潟県東頸城郡松代町～大島町
工期	: 1973年～1997年
工事内容	: 長さ 9,116.50m
地質	: 新第三紀中新世後期から更新世前期にかけての泥岩・砂岩・凝灰岩(活褶曲地帯)
弾性波速度	: トンネル中央部の地山弾性波速度は2.0km/sec以下でほとんどが1.5km/sec程度

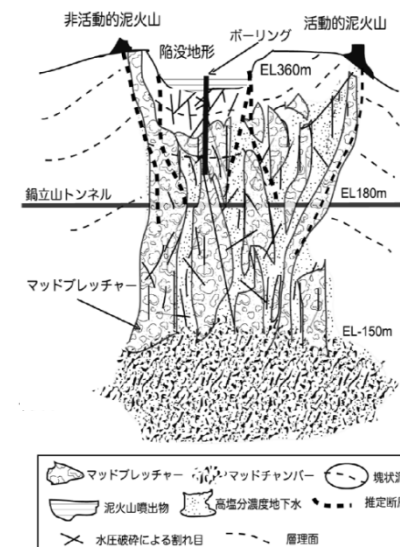


図 鍋立山トンネル周辺の地下の地質構造概念図
(田中・石原, 2009)



出典: 社団法人 日本土木工業協会HP
トンネル崩壊

多量の湧水

(概要)

掘削時の突発的な多量湧水は、大出水によるに伴うトンネルの崩壊事故や、湧水が高温の場合の水蒸気爆発事故など、作業従事者の生命にかかわる事故につながる可能性がある。

突発的な多量湧水が発生する可能性の高い地層としては、カルストを形成しやすい石灰岩、泥灰岩などが想定される。

(大出水による難工事事例)

トンネル名称	: 地芳トンネル
施工場所	: 愛媛県～高知県
工期	: 1999年～2009年
トンネル延長	: 約 3 km
地質	: 四国カルスト
大出水による湧水量	: 最大約 20 t/min.
突発湧水遭遇以降700mの掘削に約7年	

1) 国土交通省四国地方整備局(2004):一般国道440号地芳道路について,第2回四国地方整備局事業評価監視委員会資料,資料-7.

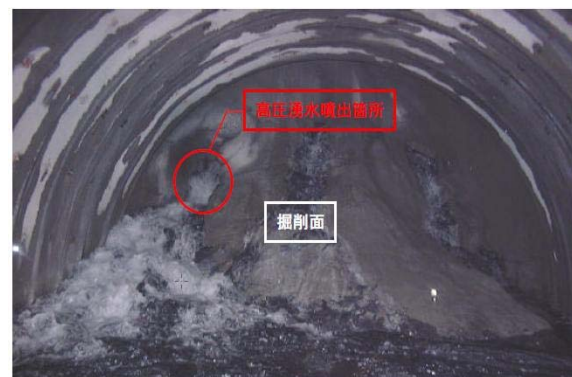


図 地芳トンネル突発湧水状況¹⁾

トンネル名称	: 青函トンネル
施工場所	: 青森県～北海道
工期	: 1964年～1988年
トンネル延長	: 約 54 km
地質	: 主に凝灰質泥岩、砂岩 (トンネル中央部)
大出水による湧水量	: 最大約 70 t/min.

2) 井上俊隆:土木学会論文集 第391号/VI-8 1988年3月「青函トンネル—調査から開業まで」



写真-8 異常出水事故²⁾

吉岡作業坑異常出水時における排水ポンプ据付け作業
(最大出水量70m³/分, 昭和51年5月)

有害ガス

(概要)

掘削時に有害ガスが噴出すると、過去の事故事例でも作業従事者の酸欠・ガス中毒やガス爆発が報告されており、作業従事者の生命にかかわる事故につながる可能性がある。ガスが発生する地域としては、油田・ガス田・炭田地域が知られている。また、火山性ガスは火山・火成活動地域で発生する。

(留意すべき有害ガス)

トンネル工事において留意すべき有害ガスとして、メタンガス(CH_4)、硫化水素ガス(H_2S)等が挙げられる¹⁾。(表-1)

表 自然発生ガスの種類と発生する地層等¹⁾

種別	産 状	発生する地層	発生するガス	摘 要
可燃性ガス	油田ガス	石油を胚胎する新第三紀層	メタン、エタンが主体、地域や層によっては炭化水素も含まれる	北陸、東北、北海道の日本海側に多い
	炭田ガス	古・新第三紀層、第四紀層の狭炭層及びその上下層	メタンがほとんど	北九州、常磐、北海道に多い
	水溶性ガス	新第三紀層及び第四紀層の地層水中に溶存	メタンがほとんど	習慣上、これを天然ガスという
	古期岩層及び現世層中のガス	その他の発生源としての位置付け。古第三紀以前及び泥岩地等	メタンが主体	
	火山・温泉ガス	火山、温泉地帯	硫化水素、二酸化炭素、窒素、二酸化硫黄	
不燃性ガス	水成岩中のガス	古生代－新生代の水成岩	窒素がほとんど	

注) 通常、天然ガスには CO_2 、 N_2 が同時に含まれている。

- 1) 建設業労働災害防止協会(2012):新版 ずい道等建設工事における換気技術指針《換気技術の設計及び粉じん等の測定》。

(トンネル工事におけるガス爆発事例)

トンネル: 八箇峠トンネル(南魚沼工区)

発生日時: 2012 年5 月24 日(木)午前10 時30 分頃

発生原因: トンネル坑内に噴出したメタンガスに引火(作業従事者死亡事故)



【写真: 爆発直後の状況】

坑口から約590m地点(総務省消防庁提供)

坑口から約550m地点(総務省消防庁提供)

高い地熱

(概要)

周辺岩盤の地熱が著しく高い場合は、坑内温度も高くなり、作業環境として非常に過酷な環境となるため、従事者の健康を阻害する可能性になるばかりでなく、掘削時に高温の湧水が発生した時は作業従事者の生命にかかわる事故につながる可能性がある。また、空洞の安定性確保のためのコンクリート支保工も温度により劣化が促進される可能性がある。

このため、既往の地下空洞建設作業等では、高い地熱を考慮するにあたり、以下の2点を考慮する。

- ・トンネル支保の安全性(コンクリートの性能が劣化しない温度)
- ・工事従事者の作業環境(高温湧水や労働安全衛生法上の制限温度)

表－1に示す温度制限値は、コンクリートの材料特性が温度の影響を受けて著しく劣化することがないように定められたものであるが、一方で、高温の地盤を通過した工事事例として、安房トンネル(1997年開通、長野県～岐阜県)がある。掘削時70℃を超えていた高熱地盤にコンクリートが設置され供用後18年を経過しているが、コンクリートが劣化したという報告はない。

しかし、温度が高い場合には、その影響による力学性能の変化を適切に反映するため、事前にセメント系材料の圧縮強度、引張強度や弾性係数の熱による変化の時期や影響程度を確認しておく必要がある。

表－1 原子力関連施設のコンクリートの温度制限(土木学会, 2008)

温度荷重の 作用状態	原子炉建屋構造設計指 針・同解説 (日本建築学会 1988)		温度荷重の 作用状態	コンクリート製原子炉格納容器 に関する構造などの技術基準 (通産省告示 452 号)	
長時間	一般部	局部	定常状態	貫通部	その他の部分
	65℃	90℃		90℃	65℃
短時間	一般部	局部	非定常状態	ジェット力を 受ける部分	その他の部分
	175℃	350℃		340℃	175℃

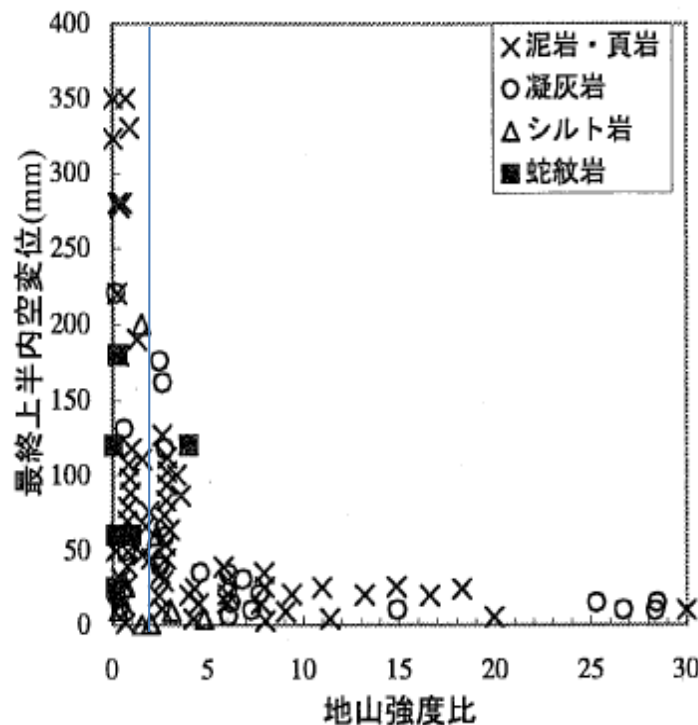
引用元:土木学会エネルギー委員会(2008):余裕深度処分の安全評価における地下水シナリオに用いる核種移行評価パラメータ設定の考え方, pp. 288.

未固結堆積物

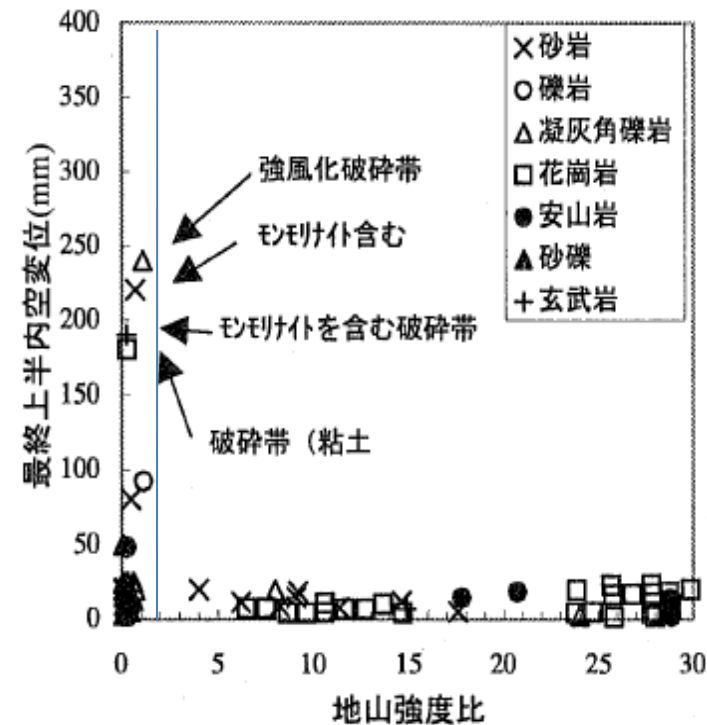
(概要)

弾性理論上、空洞壁面での局所安全率1以上とするためには地山強度比は2以上必要である。しかし、実際には、地山強度比2未満でも空洞周辺岩盤への応力再配分によりすぐには崩壊には至らない。このため、地山強度比が2以上であれば坑道の自立が可能と想定され、好ましい範囲と考えられる。仮に岩盤の単位体積重量を 0.002kgf/cm^3 、深度300～1000mとした場合、必要な一軸圧縮強度は $120\sim 400\text{ kgf/cm}^2$ となる。

ただし、1よりかなり小さい値の場合は坑道の自立は著しく困難であるため、処分深度にそのような地層がある場合は回避する必要がある。



図一3 内空変位量と地山強度比 (C地山)



図一4 内空変位量と地山強度比 (φ地山)

竹林垂夫, 滝沢文教(2002):トンネル掘削時の坑内変位に関する地質学的研究, 応用地質技術年報, No. 22

未固結堆積物(※検討した事項のうち、要件・基準が設定できたもの)①

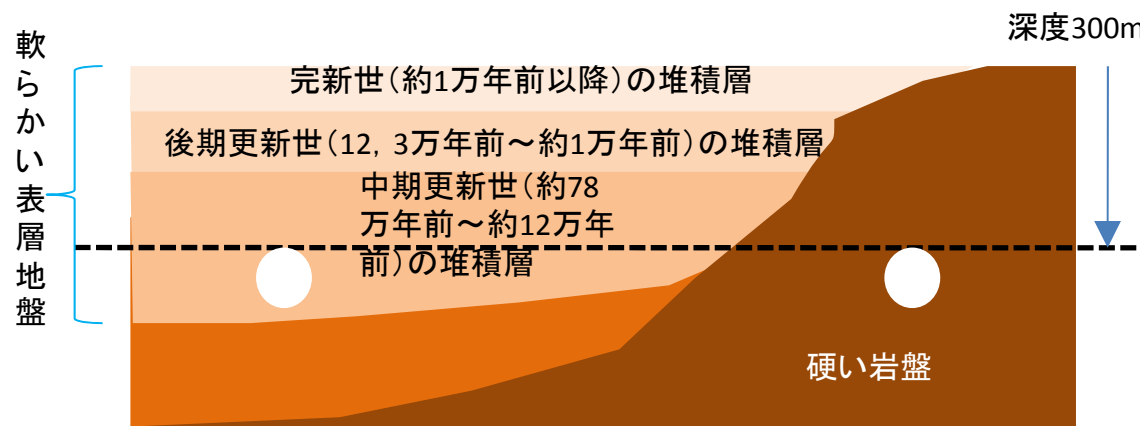
未固結堆積物中に延長の長い坑道を掘削する場合、適切な対策を講じても、坑道が崩壊する潜在的危険性ある。



- 回避に係る要件: 処分場の地層が第四紀未固結堆積物でないこと。
- 回避すべき範囲の基準: 処分深度に第四紀(約258万年前以降)未固結堆積物層が分布する範囲。
- 回避が好ましい範囲の基準: 深度300mまで中期更新世(約78万年前以降)の地層が分布する範囲。
- 全国規模の文献・データ: 日本列島における地下水賦存量の試算に用いた堆積物の地層境界面と層厚の三次元モデル(越谷・丸井, 2012)

設定の根拠

- 未固結堆積物の深度方向の分布を全国規模で示した文献は現状ない。地質の形成年代と地層の強度にはある程度の相関があり、約78万年前(中期更新世)以降に形成した地層は概ね未固結堆積物の地層に相当するので、これを代替指標とする。
- 最終処分法では、処分深度は300m以深と規定されている。

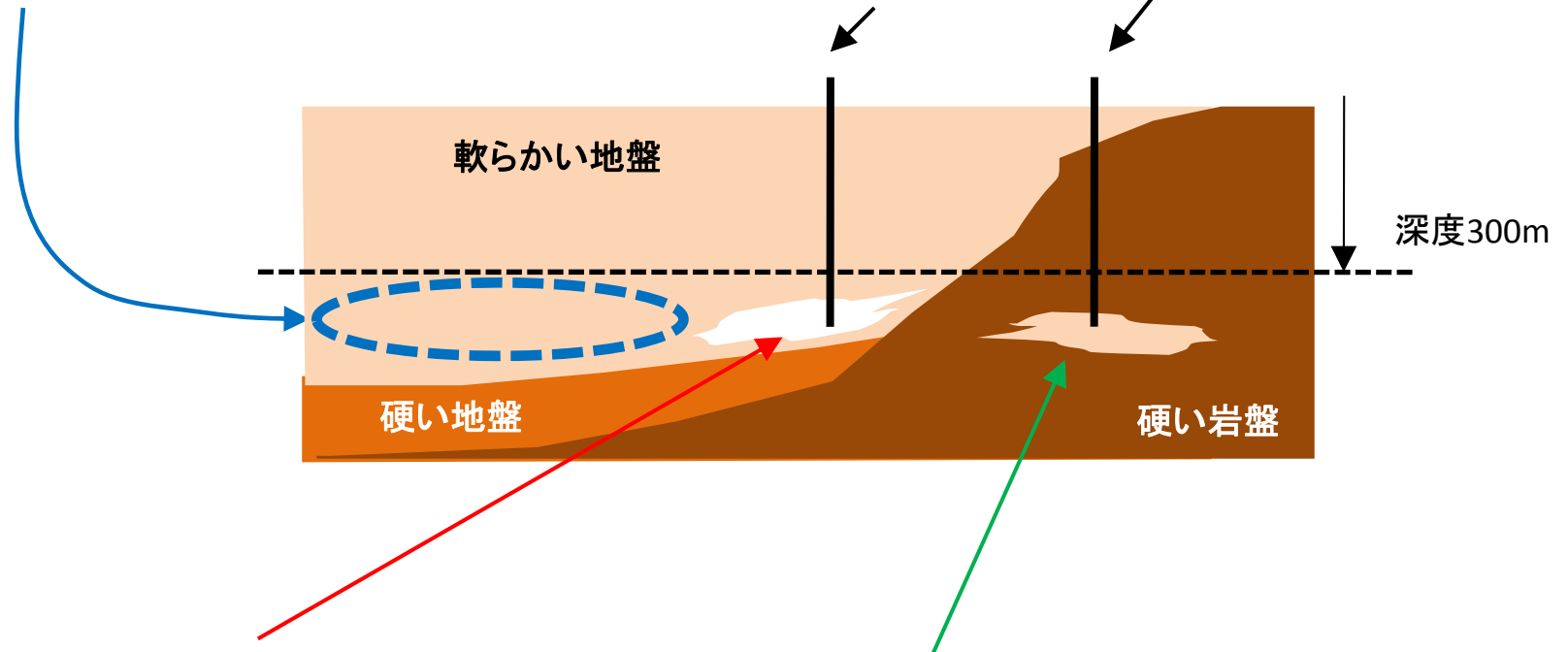


未固結堆積物(※検討した事項のうち、要件・基準が設定できたもの)②

※文献調査以降に確認する回避に係る範囲

科学的有望地選定:

全国規模の文献で深度300mまで軟らかい地盤
(中期更新世以降の地層と設定)が分布すると
されている範囲(回避が好ましい範囲)



文献調査:

既往のボーリング調査結果等を踏
まえた個別の文献に示された第四紀
の未固結堆積物の分布範囲を回避

概要調査:

ボーリング調査などの地下深部の現地調査
により、坑道の掘削に支障のある範囲を回避

地質年代と地盤の強度との関係

図の「沖積世」および「洪積世」は最大でも一軸圧縮強度は数 kgf/cm^2 未満と考えられ、施設を支持する地盤として十分な強度を持たない可能性が高いと考えられる。

ただし図の「洪積世」を新しい時代区分と対比すると前期更新世の一部が含まれていない(注)。そこで、ここでは図の「洪積世」は中期および後期更新世が最も近いものとして扱うこととする。

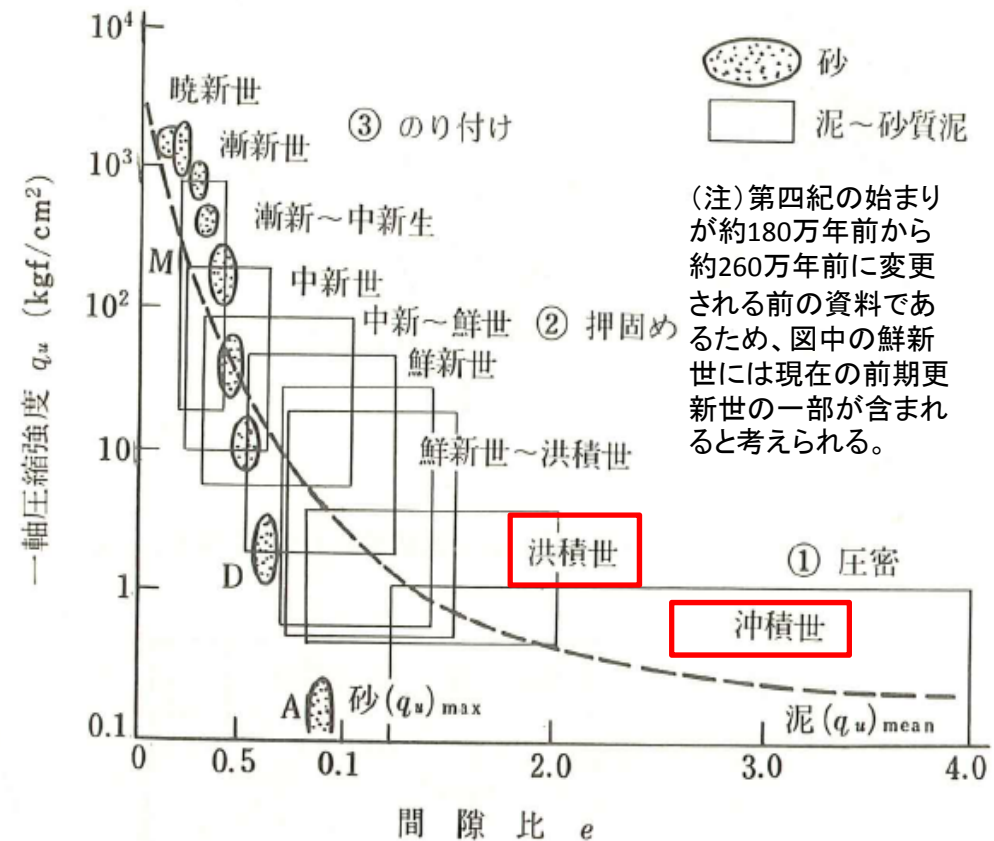


図 岩化に伴う日本の新生代堆積物の物理的性質の変化

軟岩—調査・設計・施工の基本と事例—
(土木学会岩盤力学委員会, 1984)

高い地熱(※検討した事項のうち、要件・基準が設定できたもの)

地熱が著しく高い場合、コンクリート支保の性能低下による坑道が崩落、湧水が水蒸気で噴出、また作業環境の悪化による健康被害などのリスクがある。



- 好ましい要件: 地温が高温でないことにより、安全裕度が大きく向上すること。
- 好ましい範囲の基準: 処分深度での地温が45℃以下となる地温勾配の範囲。
- 全国規模の文献・データ: 日本列島の地温勾配コンター図と活火山の分布(日本地質学会リーフレット, 2011)等

設定の根拠

- 建設中の作業従事者の作業環境として、トンネル内の温度は法令*で37℃以下に維持することが必要
- 一般的なトンネル工事では、通常換気設備だけでトンネル内温度を法定温度以下に調整しているが、地温が高すぎる場合、換気設備だけでなく冷房設備を導入しなければ、法定温度以下にはできない。
- 換気設備だけで坑内温度37℃以下にするためには、地温が45℃程度以下であることが目安となる。
- 処分深度における地温そのものを示す、全国規模の文献・データは現状ないため、代わりに全国規模の文献・データのある地温勾配を用いて処分深度の地温を推定し、45℃以下の地温勾配の地域を好ましい範囲とした。
(地上温度15℃、上限地温が45℃程度とすると、処分深度が300mの場合で10℃/100m以下)

※労働安全衛生規則 第611条



4. 地上施設操業時の安全性確保について

地上施設の例

サイト内：廃棄体の受入・検査・封入施設(①②※)、緩衝材製作施設(③)、換気施設(④)、排水処理施設(⑤)、掘削土の仮置き場(⑥)

サイト外：港湾(⑦)、輸送道路(⑧)

(※)①高レベル放射性廃棄物、②地層処分低レベル放射性廃棄物



⑦



地上施設および港湾施設

(「処分場の概要(放射性廃棄物の地層処分事業について 分冊－1)」より)

地上施設における操業全体の流れ

1. 港湾での荷揚げ

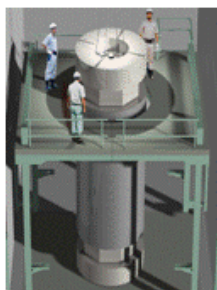


(※)

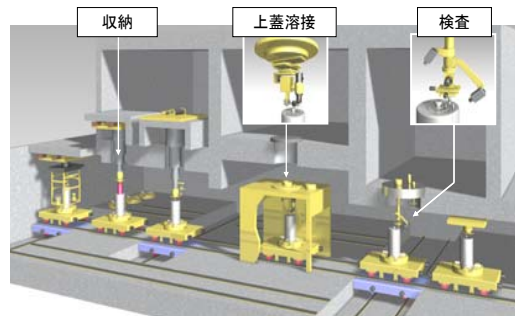
2. 地上施設への輸送



3. ガラス固化体受け入れ・検査



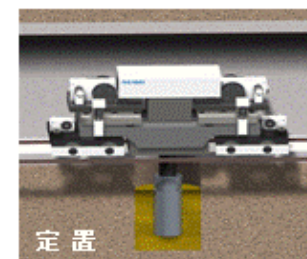
4. ガラス固化体のオーバーパックへの封入・溶接



7. 処分坑道の埋め戻し



6. オーバーパックの搬送と定置



5. アクセス坑道の搬送



(※原燃輸送ウェブサイト <http://www.nft.co.jp/equipment/equipment3.html>)

廃棄物管理施設に対する規則等の概要 — 施設を支持する地盤 —

- 施設を支持する地盤に関し、配置も含む設計による対応が困難となる可能性がある事象は以下のとおり整理される。
 - 耐震重要度に応じた地震力に対する支持性能の確保
 - 地殻変動によって生じる支持地盤の傾斜及び撓み
 - 将来活動する可能性のある断層等の露頭
- 上記の事象の設計対応可能性の評価は、現地での詳細な調査の結果を踏まえて実施することが、原子力規制委員会が定めた各種審査ガイド(※)に規定されている。

※「敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド」、「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」「基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に係る審査ガイド」(いずれも原子力規制委員会, 2013)

規則の概要	解釈の概要
1. 地震力が作用した場合においても十分に支持することができる地盤	・耐震重要度分類に応じた地震力に対して、接地圧に対する十分な支持性能を有する設計であること ・安全上重要な施設は、基準地震動(※)による地震力に対する支持性能の確保(弱面上のずれ等の発生を検討含む)
2. 安全上重要な施設に対して、変形した場合においてもその安全機能が損なわれるおそれがない地盤	「変形」とは地震発生に伴う下記 ・地殻変動によって生じる支持地盤の傾斜及びたわみ ・建物・構築物間の不等沈下 ・液状化及び揺すり込み沈下等の周辺地盤の変状
3. 安全上重要な施設に対して、変位が生ずるおそれがない地盤	・「変位」とは、将来活動する可能性のある断層等が活動することにより、地盤に与えるずれ ・安全上重要な施設は、将来活動する可能性のある断層等の露頭がないことを確認した地盤に設置

※基準地震動:「その供用中に当該安全上重要な施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震」による地震動。実用炉設置許可基準の方針を準用。

廃棄物管理施設に対する規則等の概要 ー地震ー

- 地震に関しては、配置も含む設計により対応が可能と考えられる。
- 設計に当たっては、現地での詳細な調査の結果を踏まえて実施することが、原子力規制委員会が定めた各種審査ガイド*に規定されている。

(*)「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」「基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に係る審査ガイド」(いずれも原子力規制委員会, 2013)

規則の概要	解釈の概要
1. 施設は地震力に十分に耐えることができること	「地震力に十分に耐える」とは、ある地震力に対して施設全体としておおむね弾性範囲の設計がなされること
2. 地震力は、地震の発生によって生ずるおそれがある廃棄物管理施設の安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度に応じて算定	「地震の発生によって生ずるおそれがある廃棄物管理施設の安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度」とは、地震により発生するおそれがある廃棄物管理施設の安全機能の喪失及びそれに続く放射線による公衆への影響を防止する観点から、各施設の安全機能が喪失した場合の相対的な程度(耐震重要度)。
3. 安全上重要な施設は、大きな影響を及ぼすおそれがある地震力に対して安全機能が損なわれない	「その供用中に当該安全上重要な施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震」による地震動(基準地震動)は、実用炉設置許可基準の方針を準用
4. 安全上重要な施設は、地震の発生によって生ずる斜面の崩壊に対して安全機能が損なわれない	基準地震動による地震力を作用させた安定解析を行い、崩壊のおそれがないことを確認。崩壊のおそれがある場合には、当該部分の除去及び敷地内土木工作物による斜面の保持等の措置。

廃棄物管理施設に対する規則等の概要 ー津波ー

- 津波に関しては、配置も含む設計による対応が可能と考えられる。
- 設計に当たっては、現地での詳細な調査の結果を踏まえて実施することが、原子力規制委員会が定めた各種審査ガイド*に規定されている。

(*)「基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド」(原子力規制委員会, 2013)

規則の概要	解釈の概要
1. 施設は、その供用中に当該廃棄物管理施設に大きな影響を及ぼすおそれがある津波に対して安全性が損なわれない	「大きな影響を及ぼすおそれがある津波」 ・安全上重要な施設: 実用炉設置許可基準を準用して策定 ・それ以外: 過去の記録、現地調査の結果、行政機関等が実施した津波シミュレーションの結果及び最新の科学的・技術的知見等を踏まえ、影響が最も大きいもの 「安全性が損なわれない」ための設計の方針 ・安全性を確保する上で必要な施設(津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を除く)は、津波による遡上波が到達しない十分高い場所に設置 ・津波による遡上波が到達する高さにある場合には、遡上波によって廃棄物管理施設の閉じ込め機能等の安全機能を損なわない(※) ※遡上波による安全機能への影響を評価し、施設の一部の機能が損なわれることがあっても、施設全体としては、閉じ込め等の機能が確保される

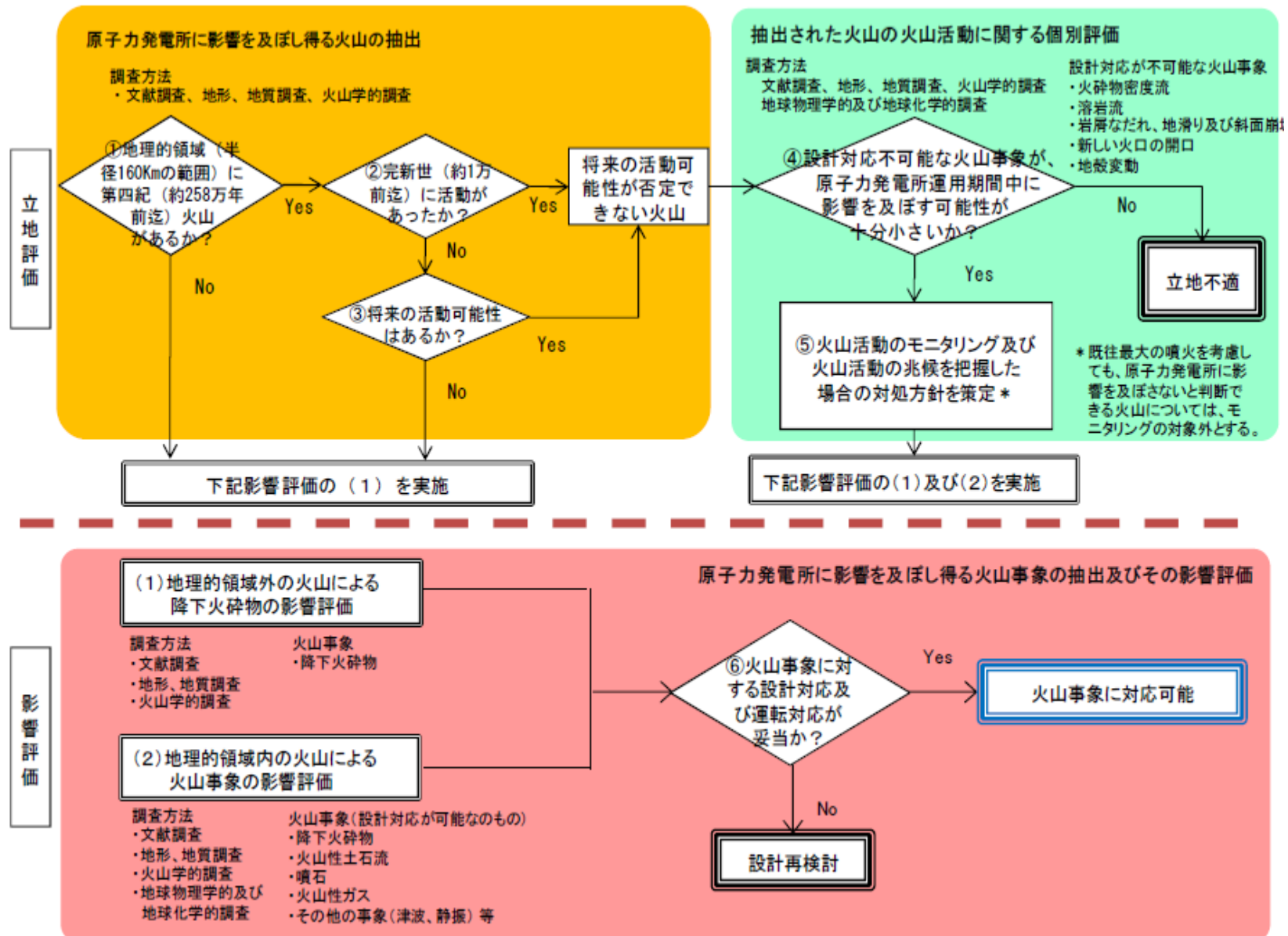
廃棄物管理施設に対する規則等の概要 ー外部からの衝撃ー

- 外部からの衝撃のうち、自然現象の一部の火山に関わる事象では、配置も含む設計による対応が困難となる可能性があると考えられる。
- 人為事象については、配置も含む設計による対応が可能と考えられる。
- 自然現象に対する設計対応可能性評価や設計に当たっては、現地での詳細な調査の結果を踏まえて実施することが、原子力規制委員会が定めた各種影響評価ガイド＊を参照することになっている。

(＊) 竜巻、火山の影響、森林及び近隣工場等の火災に関しては、原子力発電所の竜巻影響評価、火山影響評価及び外部火災影響評価ガイド(いずれも原子力規制委員会, 2013)がある。

規則の概要	解釈の概要
1. 施設は、想定される自然現象(地震及び津波を除く)が発生した場合においても安全性を損なわない	・想定される自然現象 洪水、風(台風)、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、火山の影響、生物学的事象、森林火災等
2. 施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの(故意によるものを除く)に対して安全性を損なわない	・人為によるもの(故意によるものを除く) 飛来物(航空機落下等)、ダムの崩壊、爆発、近隣工場等の火災、有毒ガス、船舶の衝突又は電磁的障害等をいう。 ・「航空機落下」については、「実用発電用原子炉施設への航空機落下の評価基準について」等を参考にし、防護設計の要否について確認。 ・近隣工場における事故については、事故の種類と施設までの距離との関連においてその影響を評価した上で、必要な場合、廃棄物管理施設の安全性を確保する上で必要な施設が適切に保護されていることを確認

原子力発電所の火山影響評価の概要



火山の影響(火砕物密度流・溶岩流など)①

操業時に火砕物密度流等による影響が発生することにより、施設の安全性が損なわれるリスクがある。



- 回避に係る要件: 操業時に火砕物密度流等による影響が発生することにより施設の安全性が損なわれないこと。
- 回避すべき範囲の基準: (現地調査による詳細な情報を基に個別具体的に判断するため、設定せず)
- 回避が好ましい範囲の基準: 約1万年前以降の火砕流、溶岩流などの跡の分布範囲。
- 全国規模の文献・データ: 20万分の1日本シームレス地質図(産総研地質調査総合センターウェブサイト)

設定の根拠

- 施設の操業期間中に活動する可能性がある火山を抽出し、設計で対応できない火砕流、溶岩流などの影響がある場合は回避が必要。
- 完新世に活動を行った火山は、将来の活動可能性があるものとして広く受け入れられていることから、これを将来活動の可能性がある火山とする。これより古い火山については現地調査の上、影響を評価する。
- 現地調査の上、詳細な影響評価が必要なため、現時点では回避すべき範囲は設定は難しい。
- 代わりに全国規模の文献・データがある、完新世の火砕流堆積物、火山岩(溶岩が固まったもの)、火山岩屑の分布域を回避が好ましい範囲とする。



雲仙岳の火砕流(平成6年6月24日)



伊豆大島噴火の溶岩流(昭和61年11月19日)

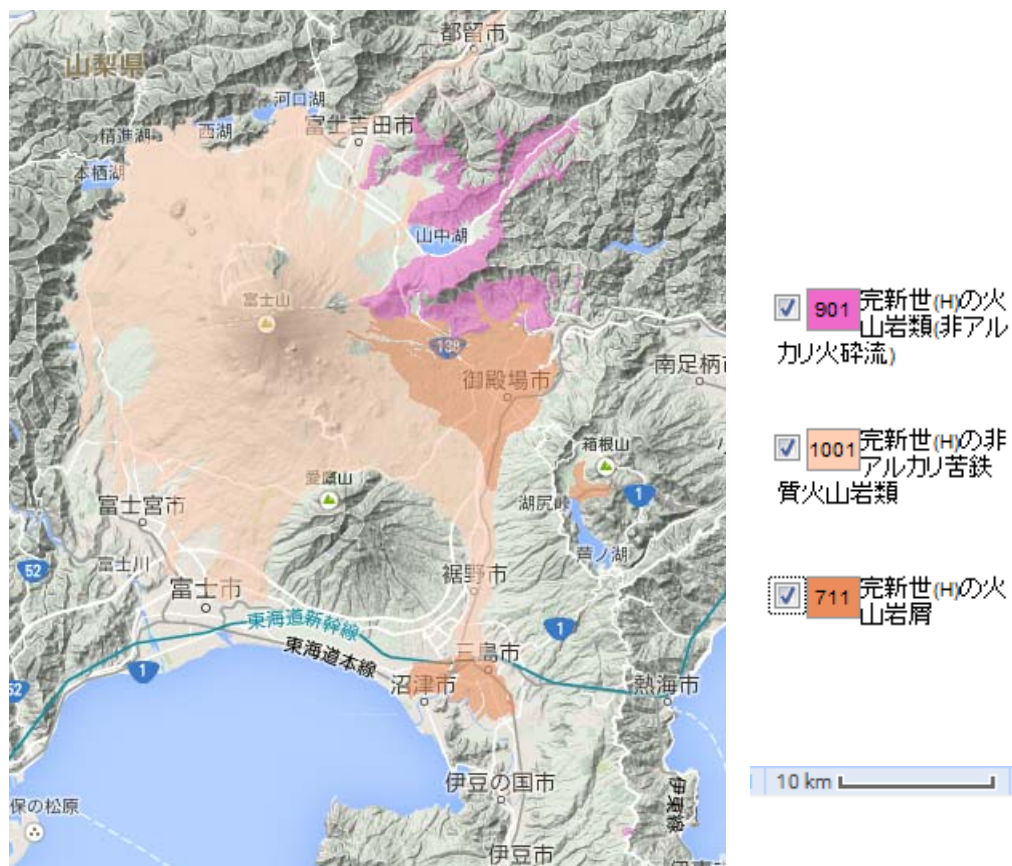
気象庁ウェブサイト、主な火山災害

(<http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/kaisetsu/volsaigai/saigai.html>)より

火山の影響(火砕物密度流・溶岩流など)②

※文献調査以降に確認する回避に係る範囲

科学的有望地選定: 全国規模の文献に示された完新世の火砕物・火山岩・火山岩屑の分布範囲(回避が好ましい範囲)



富士山付近で完新世の火山岩類(火山岩屑、火砕流含む)を表示させた例

◆20万分の1日本シームレス地質図(産総研地質調査総合センターウェブサイト)



文献調査、概要調査:

調査対象: 完新世の火山に限らず将来の活動可能性が否定できない第四紀火山

調査方法: 個別の文献調査、地形、地質調査、火山学的調査などの現地調査

回避対象: 火砕物密度流、溶岩流、岩屑などなどの設計対応不可能な火山事象による操業期間中の影響

※原子力発電所の火山影響評価ガイド(原子力規制委員会, 2013)を参照



雲仙岳の火砕流(平成6年6月24日)

気象庁ウェブサイト、主な火山災害
(<http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/kaisetsu/volsaigai/saigai.html>)より

施設を支持する地盤

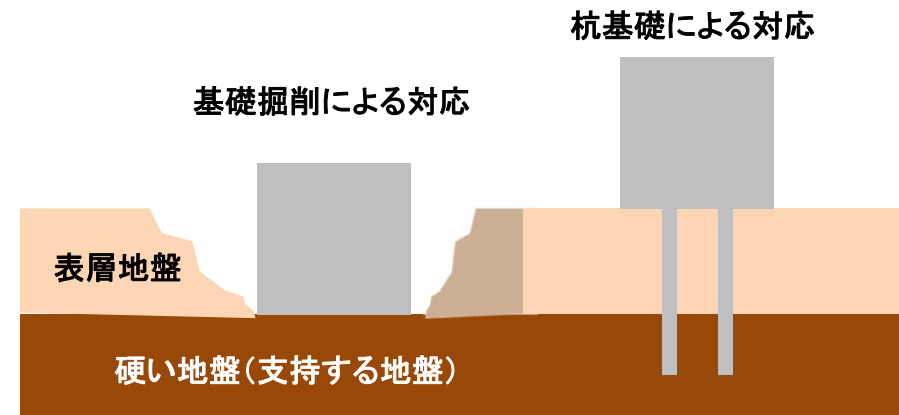
施設を支持する地盤施設の十分な支持性能を発揮できず、施設の安全性が損なわれるリスク。



- 好ましい要件: 施設を支持する地盤への対応に際して、安全裕度が大きく向上すること。
- 好ましい範囲の基準: 中期更新世(約78万年前)以降の地層の厚さが既往構造物の基礎掘削等の深さより小さい範囲。
- 全国規模の文献・データ: 日本列島における地下水賦存量の試算に用いた堆積物の地層境界面と層厚の三次元モデル(越谷・丸井, 2012)

設定の根拠

- 硬い地盤を軟らかい表層地盤が覆っているときは、表層地盤を掘削して硬い地盤を露出させる(基礎掘削)か、硬い地盤まで杭を設置して施設を支持する(杭基礎)。
- 既往構造物において基礎掘削で対応している深さは25m程度¹⁾であり、軟らかい表層地盤の厚さが、この深さ以下であることが好ましい。
- なお、原子力関係施設では、基礎掘削や杭基礎で最大50m程度対応した実績があり、より深い基礎で確実な安全確保も可能となる。
- 施設を支持できない軟らかい表層地盤として、約78万年前以降(中期更新世～完新世)に堆積した地盤が相当すると考えられる²⁾。



- 1) 大深度地下使用技術指針・同解説
(国土交通省都市・地域整備局企画課大深度地下利用企画室, 2001)
- 2) 軟岩—調査・設計・施工の基本と事例—
(土木学会岩盤力学委員会, 1984)

*なお、構造物の耐震設計では、弾性波速度(S波速度)が重要であり、これは地盤の硬さとも概ね対応していることから、全国規模のデータはないものの代替指標にできる場合がある。

津波

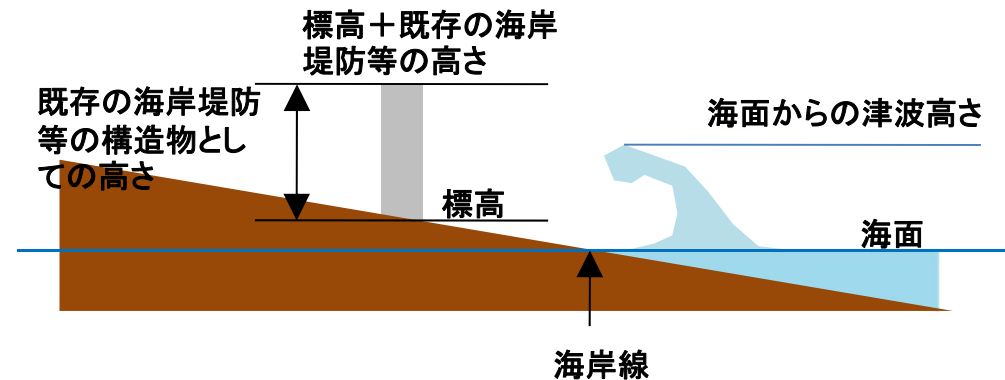
津波の影響により、施設の安全性が損なわれるリスク。



- 好ましい要件: 津波への対応に際して、安全裕度が大きく向上すること。
- 好ましい範囲の基準: 平均的な海岸堤防等により、津波の到来を回避できると考えられる範囲
- 全国規模の文献・データ: 日本海における大規模地震に関する調査検討会(国土交通省, 2014)等

設定の根拠

- 津波の到来は海岸堤防などを構築して対応可能である。
- 平均的な既往の海岸堤防等の構築物としての高さは6m程度¹⁾と考えられ、基本的にはこの高さに標高を加えた値より、津波高さが低いことが好ましい。
- 一方で、津波を考慮した既往の海岸堤防等の高さは大きいもので15m程度²⁾であるため、必要に応じ高くすることで、より確実な安全確保が可能となる。
- なお、原子力発電所は海水を取水するために標高に実務的制約条件があるため、防潮堤等で対策しているが、廃棄体の受入・検査・封入施設では操業中における海水取水の計画はない。



1)「海岸堤防・護岩構造収覧」(運輸省港湾技術研究所, 1983)に示された30箇所程度の堤防の工事基準面からの天端高について集計すると、平均は6m程度であり、約9割が8m以下である。

2)岩手県下閉伊郡普代村太田名部防潮堤、普代水門(岩手日報・東日本大震災ニュース http://www.iwate-np.co.jp/311shinsai/sh201104_2/sh1104247.html)
東北電力女川発電所の例: 約15m(http://www.tohoku-epco.co.jp/news/atom/_icsFiles/afieldfile/2013/05/14/13051401_BESSI.pdf)

5. 科学的有望地選定に使用可能な文献・データ

科学的有望地選定に使用可能な文献・データについて①

名称	有望地選定に関係する 記載内容	発行機関・著者	発行 時期	備考
日本の火山(第3版) ※	火山の位置(位置は画像データと解説書に緯度経度の数値データ)、カルデラの範囲(画像データ)	産業技術総合研究所 地質調査総合センター	2013	・2009年の第四紀の定義の変更に伴い第2版から456火山へ増加 ・放射年代により信頼できる火山を第四紀火山として採用 ・直径5km以上のカルデラおよび第四紀火山岩の分布を図示 ・付表に火山の緯度経度を表示
最近約10万年間の隆起速度の分布 ※	約20km四方メッシュ毎に隆起速度を幅で表示(画像データ)	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) 付図5	2011	・海岸部では約13-12万年前に形成された海成段丘、平野・丘陵部では過去十数万年間に形成された河成段丘を拠り所として作成された藤原ほか(2004)に中国・四国地方以西のデータを追加
日本列島の地温勾配コンター図と活火山の分布 ※	地温勾配のコンター図(画像データ)	同上 付図4	2011	・日本列島地温勾配図(地質調査所、1999)を基に編集
日本列島及びその周辺域の地温勾配及び地殻熱流量データベース ※	個々のボーリング等の位置と地温勾配の値(位置は数値データ)等値線を新たに作成要	産業技術総合研究所 地質調査総合センター	2004	・300m以深の坑井の温度データから地温勾配を算出(1937点のデータ)
日本列島地温勾配図		産業技術総合研究所 地質調査総合センター	1999	・日本列島の地温勾配コンター図の基となるデータ

※については、別途、スライドにて説明

科学的有望地選定に使用可能な文献・データについて②

名称	有望地選定に関する記載内容	発行機関・著者	発行時期	備考
深層地下水データベース ※	個々のボーリング等の位置とpH、水温等の値(位置は画像データ)	高橋ほか, 産業技術総合研究所地質調査総合センター	2011	・印刷物として出版された論文、報告書、書籍等から、深部流体、深層地下水、温泉水、湧水等と記述されている深層地下水に関する水温、化学分析データ等を抽出 ・データベースに格納した地点の総数は17,584点
全国地熱ポテンシャルマップ	個々のボーリング等の位置とpH、水温等の値(位置は数値データ)	産業技術総合研究所 地質調査総合センター	2009	・全国から収集した7,203個の温泉化学分析値データと3,066個の坑井地温データ
200万分の1日本列島活断層図	断層線(位置は数値データ)	活断層詳細デジタルマップ付図(中田・今泉)	2002	・活断層: 第四紀後期(過去数十万年以内)に繰り返し活動している断層 ・旧版及び新編「日本の活断層」の確実度Ⅰ～Ⅱに相当する実在性の高いものは全て網羅されていると考えられる。 ・断層長さデータなし。
日本周辺海域の第四紀地質構造図	断層線(位置は画像データ)	日本周辺海域の中 新世最末期以降の 構造発達史付図(徳山ほか)	2001	・活断層: 日本周辺海域の表層堆積物は第四紀後半(0.6Ma)以降に堆積したものであり、それらを切って発達する断層 ・断層長さデータなし。

科学的有望地選定に使用可能な文献・データについて③

名称	有望地選定に関する記載内容	発行機関・著者	発行時期	備考
活断層の長期評価	主要110断層のみ (位置は画像データ)	地震研究推進本部ウェブサイト	継続更新中	・「新編日本の活断層(1991)」等から、確実度Ⅱ以上かつ活動度B以上を抽出し、松田(1990)の基準により主要活断層帯として設定
活断層データベース ※	断層線(位置は画像データ)	産業技術総合研究所地質調査総合センターウェブサイト	継続更新中	・上記資料(海域除く)等に掲載された活断層のうち長さ10km以上の断層群(起震断層)を抽出 ・長さ10km未満の活断層・活断層群及び確実度Ⅲ以下の活断層は評価対象外 ・起震断層及びそれらを構成する活動セグメントの長さのデータあり。 ・位置図は、既存資料に基づき独自に編纂・簡略化したものであり、あくまでも概略の分布を示すもの
日本鉱床分布図 (粘土、金・銀等、硫黄等、鉛・亜鉛、銅、マンガン)	個々の鉱床の位置(位置は画像データ)	200万分の1地質編集図< No.17-1～6>(産業技術総合研究所地質調査総合センター)	1976 1979	・位置情報(ポイント)のみ
日本油田ガス田分布図	油田ガス田の範囲(位置は画像データ)	200万分の1地質編集図< No.9>(産業技術総合研究所地質調査総合センター)	1976	・分布範囲に関する説明なし。
日本炭田図	炭田の範囲(位置は画像データ)	200万分の1地質編集図< No.5>(産業技術総合研究所地質調査総合センター)	1973	・分布範囲に関する説明なし。

科学的有望地選定に使用可能な文献・データについて④

名称	有望地選定に関係する記載内容	発行機関・著者	発行時期	備考
日本海における大規模地震に関する調査検討会(国土交通省, 2014)等	市町村毎に海岸線における最大津波高さ。	日本海における大規模地震に関する調査検討会(国土交通省)	2014	・60の海底断層の震源断層モデルを用いて計算
20万分の1日本 シームレス地質図※	完新世の火砕流堆積物・火山岩・火山岩屑の分布範囲	産業技術総合研究所地質調査総合センター ウェブサイト	継続更新中	・日本全国を統一凡例でまとめた地質図 ウェブ上で、特定の地質を指定して表示することが可能
日本列島における地下水賦存量の試算に用いた堆積物の地層境界面と層厚の三次元モデル※	基準地域メッシュ(約1kmメッシュ)あたりの地層境界面と層厚の三次元モデルのデジタルデータ	越谷・丸井	2012	・数値地質図とボーリングデータから地球統計学的手法を用いて構築 ・各ボーリング位置について、新第三紀(N1、N2、N3)から第四紀(Q1、Q2以降)までの5つの地層の境界面の標高と層厚のデータ(Q2: 第四系中期更新世)

◆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)

(内容)

カルデラ外
縁



(赤字の火山番号は完
新世活動あるいは現
在噴気活動が認めら
れる火山)

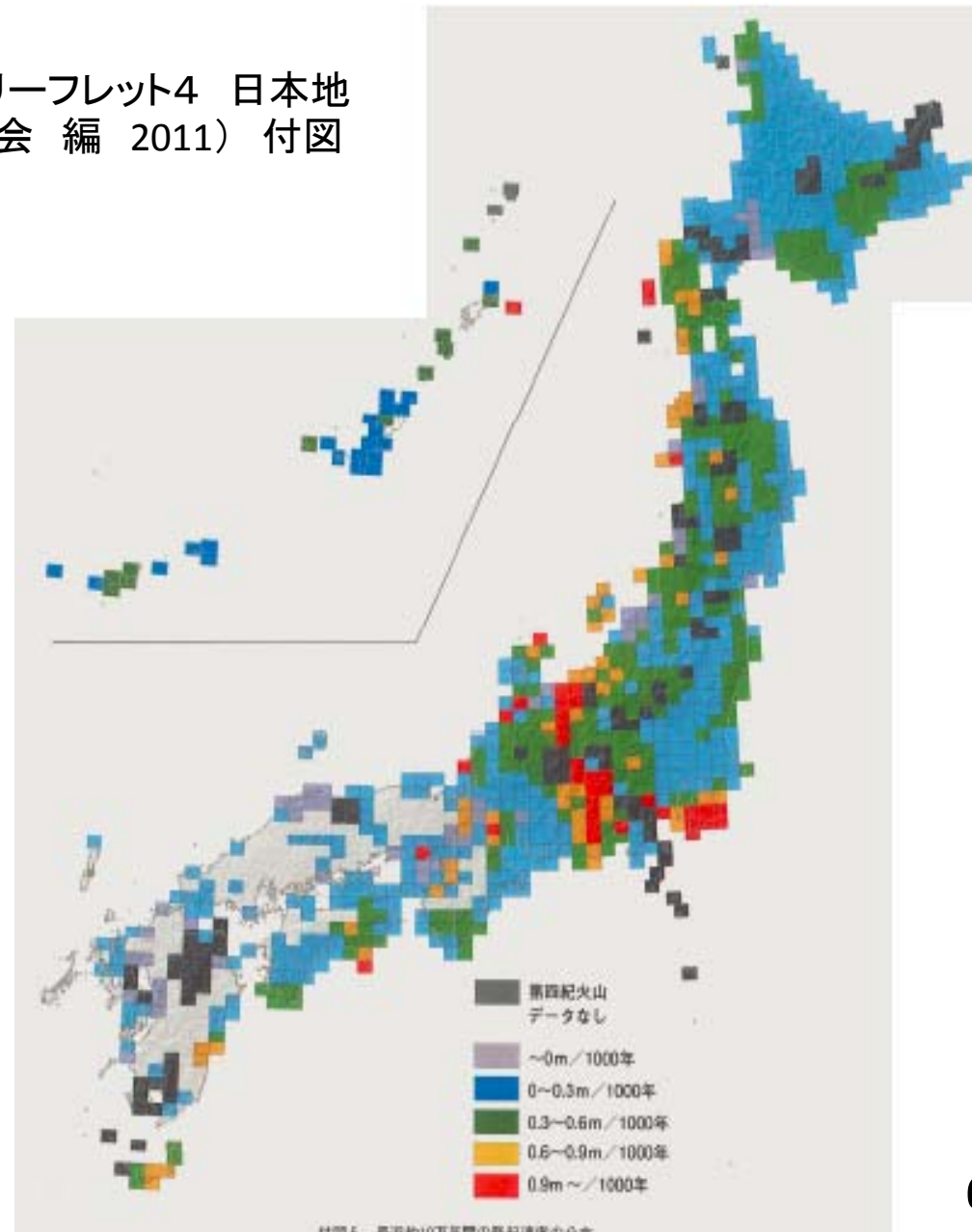
最近約10万年間の隆起速度の分布

◆最近約10万年間の隆起速度の分布

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

(内容)

- 「最近約10万年間の隆起速度の分布」(日本地質学会)では、約20km四方を1単位(メッシュ)として、過去十数万年で平均した隆起・沈降速度を示している。
- 隆起速度の区分の最大値は0.9m以上/1000年(90m以上/10万年)である。



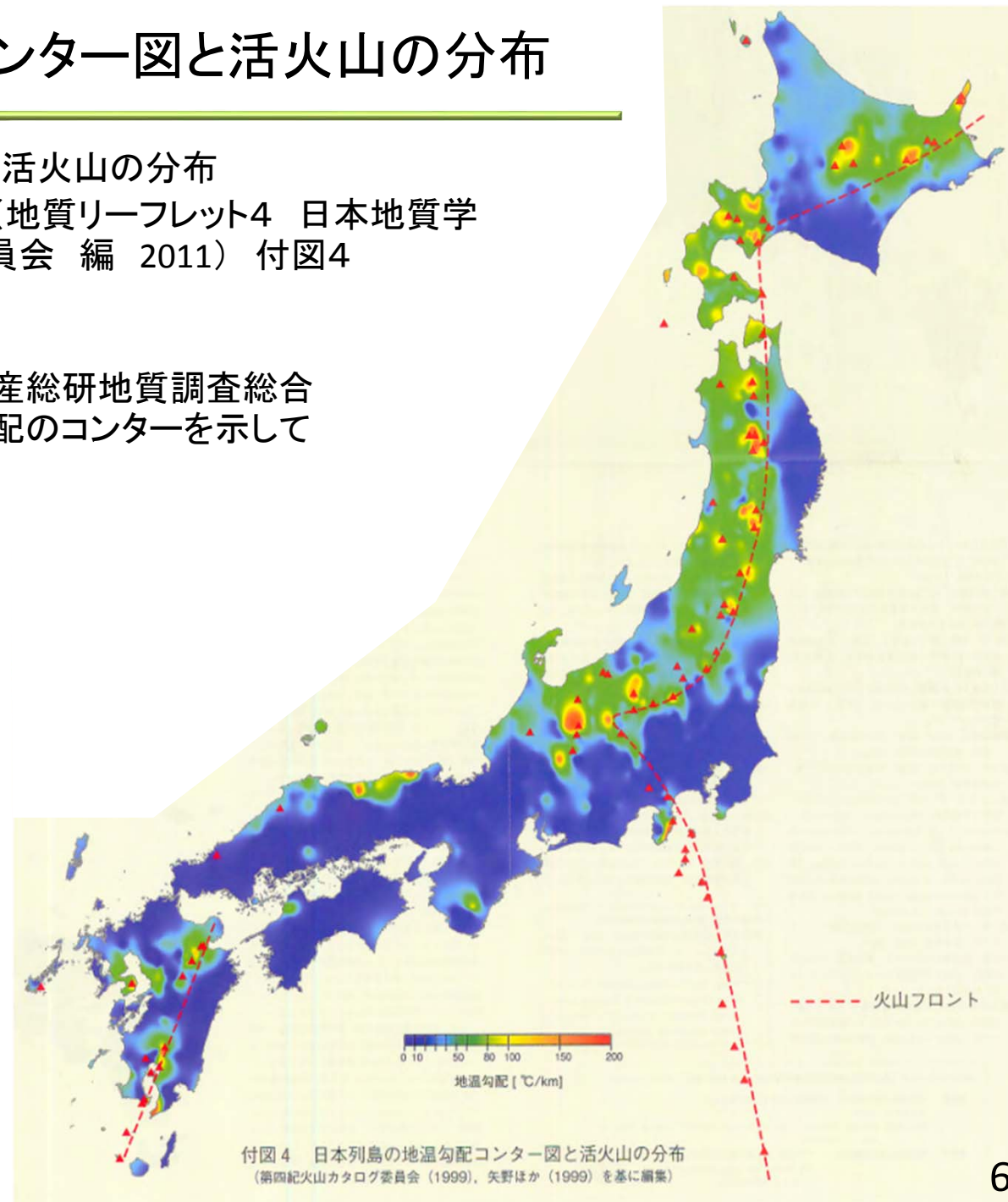
日本列島の地温勾配コンター図と活火山の分布

◆日本列島の地温勾配コンター図と活火山の分布

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4

(内容)

日本列島地温勾配図(矢野ほか, 産総研地質調査総合センター, 1999)を基にして、地温勾配のコンターを示している。



深層地下水データベース

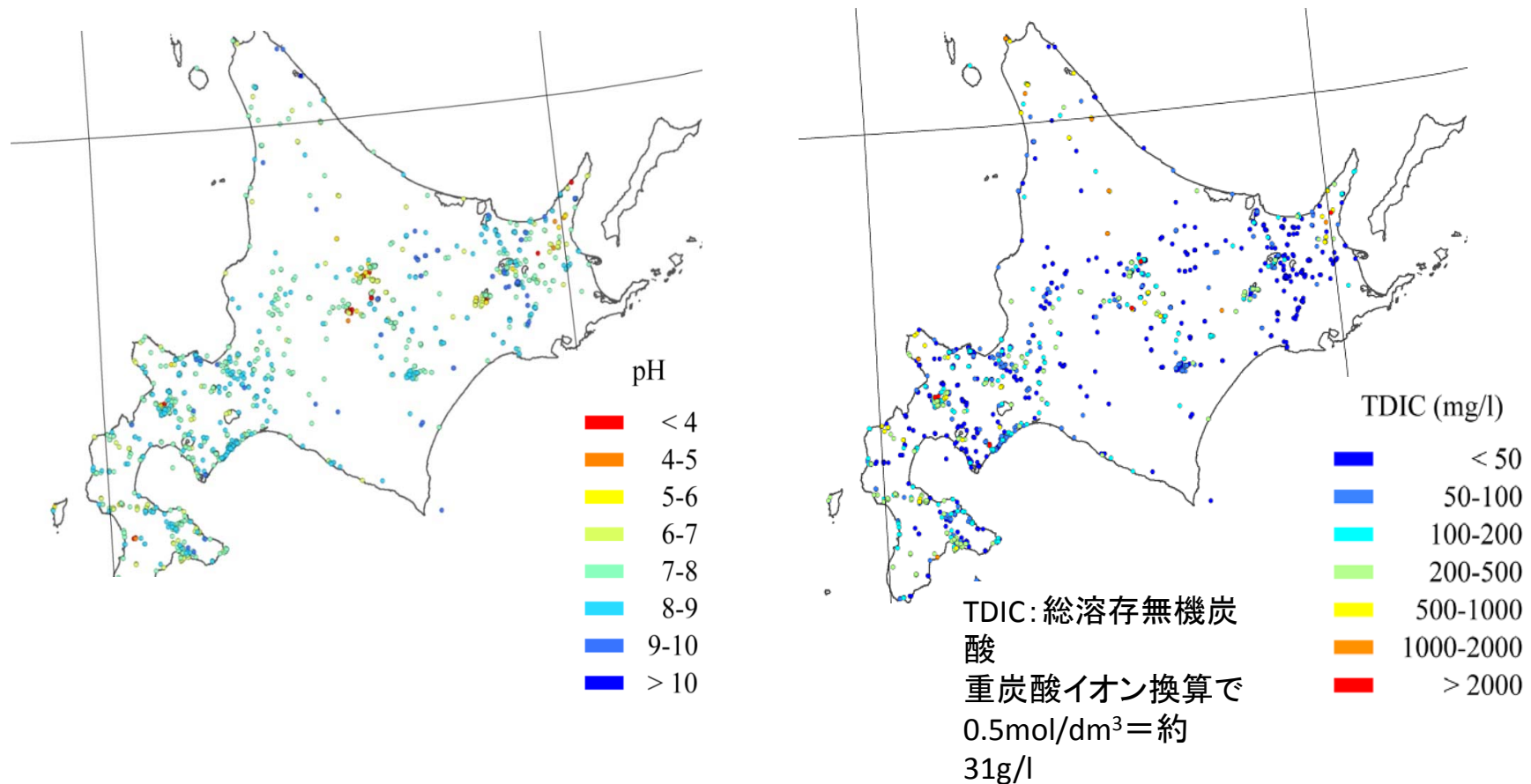
◆ 深層地下水データベース.

高橋正明ほか(2011),地質調査総合センター研究資料集, no.532,産業技術総合研究所地質調査総合センター

(CC) BY-ND

(内容)

深部流体、深層地下水、温泉水、湧水に関する印刷物(論文、報告書、書籍など)のデータ(約18千点)をもとに水温、pHなどをデータベース化



活断層データベース

◆活断層データベース(産業技術総合研究所地質調査総合センターウェブサイト, 参照
2014年10月23日)

(CC) BY-ND

(内容)

- 活断層の線が示されている。

(使い方)

- 活断層の線から断層長さの1/100の範囲を抽出



20万分の1日本シームレス地質図

◆20万分の1日本シームレス地質図(産総研地質調査総合センターウェブサイト)



(内容)日本全国を統一凡例でまとめた地質図

ウェブ上で、特定の地質を指定して表示することが可能

(使い方)

•完新世の火砕流堆積物、火山岩、火山岩屑の分布域を抽出

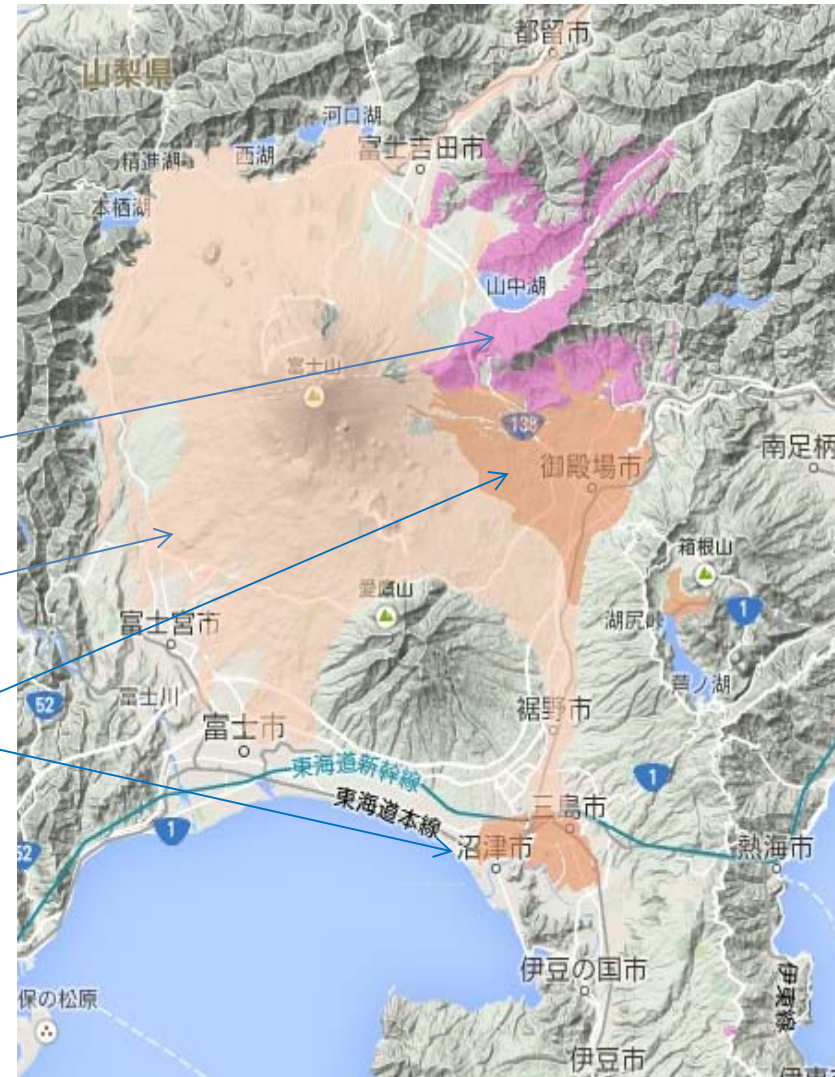
☒ 901 完新世(H)の火山岩類(非アルカリ火砕流)

☒ 1001 完新世(H)の非アルカリ苦鉄質火山岩類

☒ 711 完新世(H)の火山岩屑

10 km

富士山付近で完新世の火山岩類(火山岩屑、火砕流含む)を表示させた例



日本列島における地下水賦存量の試算に用いた堆積物の地層境界面と層厚の三次元モデル

◆日本列島における地下水賦存量の試算に用いた堆積物の地層境界面と層厚の三次元モデル(越谷・丸井, 2012)

(内容)

- ・日本列島における基準地域メッシュ(約1kmメッシュ)あたりの地層境界面と層厚の三次元モデルのデジタルデータ
- ・新第三紀(N1、N2、N3)から第四紀(Q1、Q2以降)までの5つの地層の境界面の標高と層厚のデータ(Q2: 第四系中期更新世)

(使い方)

- ・軟らかい表層としてQ2以降(約78万年前以降)の層厚が25m以上の範囲を抽出

