

地層処分の安全確保に向けた 国としての考え方

2024年3月29日

資源エネルギー庁 電力・ガス事業部

放射性廃棄物対策課

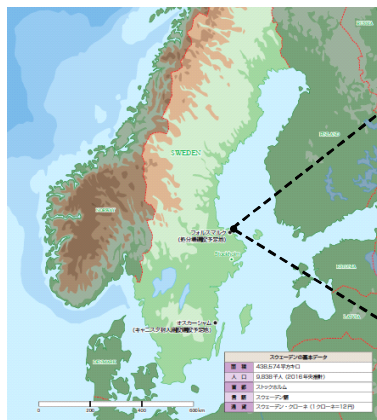
日本列島と北欧の地質特性の違いについての御指摘

- 10億年以上、地殻変動のないスカンジナビアのような安定陸塊と、地殻変動の激しい、世界でも有数の変動帯にある日本列島では、地質条件が全く異なる。
- 地層処分は、安定陸塊で考えられた方法であり、変動帯には不適當である。

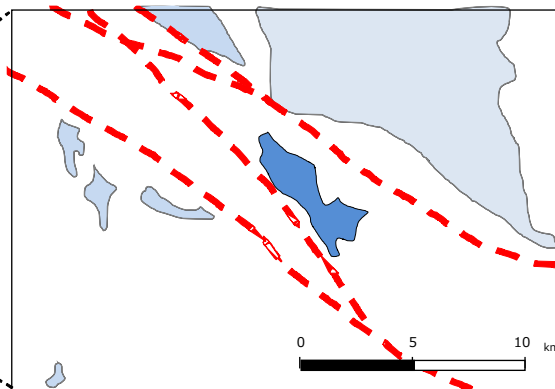
国としての考え方

- 変動帯である日本でも、断層活動や火山活動が起こる地域はほとんど変化しておらず、繰り返し同じ地域で起こっているため、そういった地域を避けることで、地質環境が大きく変化しない場所を探すことは可能であると考えている。
- 北欧でも、氷河期に形成される氷床の成長・後退に伴い荷重が変化し、断層活動や地盤の隆起・沈降が生じているため、日本と同様、段階的な調査を経て処分地を選定している。

(参考) スウェーデンの処分場の建設予定地であるフォルスマルクの例



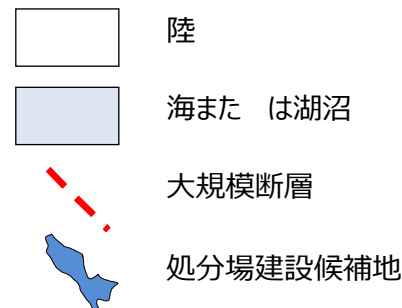
諸外国における高レベル放射性廃棄物の処分について
SITE INVESTIGATION Forsmark2002



2019 年版) (資源エネルギー庁発行) P.9,14

- 2007 (http://skb.se/upload/publications/pdf/Site_investigation_Forsmark_2002

スウェーデンの建設予定地でも、断層を考慮した立地になっています。



- 2007.pdf) の p.6 より作成

内陸型地震に関する御指摘

- 世界で最も活発な変動帯である日本列島では、活断層が確認されていないところでも、しばしば大きな地震が発生している。例えば、2018年の北海道胆振東部地震(M6.7)は、活断層である石狩低地東縁断層帯の東側約15 km、しかも20～40 kmの上部マントルに達する深度で発生した。

国としての考え方

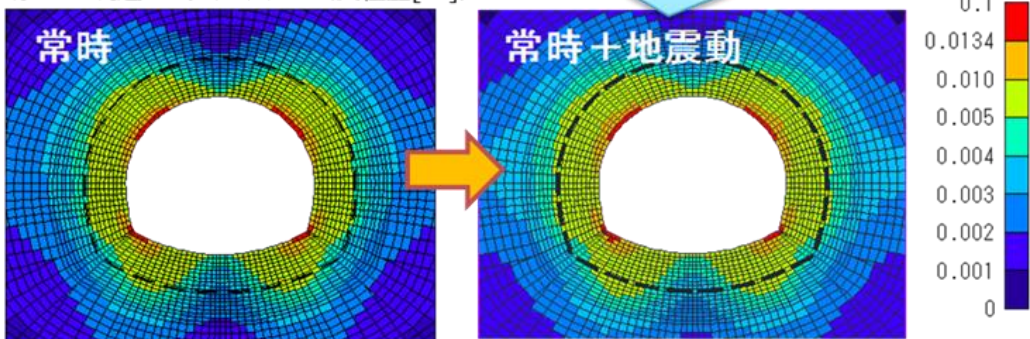
- 数万年以上を見据えた長期的なリスクとして、地震のゆれによる影響は限定的と考える。
- 地震時には廃棄体は周囲の岩盤と一体となってゆれるため、**地震のゆれによって埋設した廃棄体が破壊される可能性は低い**と考えられる。また、一般的に地下深くのゆれは地表より小さい。
- 地層処分施設の建設・操業中は、**地震のゆれによって施設が損傷することを防ぐため、最大級の地震を想定した耐震設計を行う。**

東日本大震災時の揺れを再現した坑道のひずみの数値解析結果

坑道にかかる圧力、地震力によるひずみを示した断面図

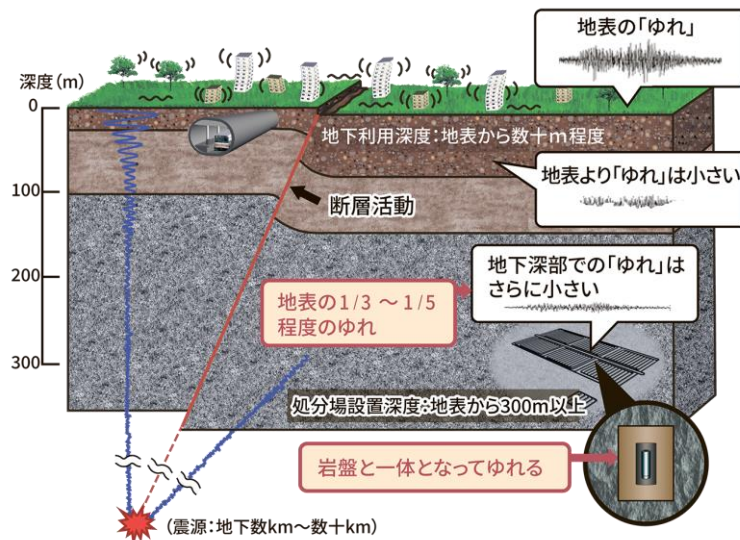
計算の結果、**地震の揺れによる坑道のひずみはほとんどない**
(最大でも0.06%程度)

赤いほど坑道のひずみが大きい (変位量[%])



https://www.numo.or.jp/technology/technical_report/tr14_02pdf/TR-14-02.pdf

地震によるゆれ／地質環境への影響



「科学的特性マップ」に関する御指摘

- 認定された活断層の直上とごく近傍だけを除けば、地層処分の「適地」とする「科学的特性マップ」は、抜本的な見直しが必要。

国としての考え方

- 「科学的特性マップ」は、**地層処分を行う場所を選ぶ際にどのような科学的特性を考慮する必要があるのか、それらは日本全国にどのように分布しているかを大まかに俯瞰できるよう示すもの**。地層処分にに関する国民理解を深めるための対話活動に活用している。
- 「科学的特性マップ」は、**地層処分にに関する地域の科学的特性を確定的に示すものではない。処分地を選定するまでには、「科学的特性マップ」に含まれていない要素も含めて、法令に基づき、段階的な調査・評価を行う必要がある。**

資源エネルギー庁公表「科学的特性マップ」の説明資料（抜粋）

1. 特性区分

- 地層処分技術WGで議論された要件・基準と特性区分の関係は、下図のとおりである。「好ましい特性が確認できる可能性が相対的に高い地域」は、将来的に段階的な調査の対象になる可能性がある整理されている。
- 「科学的特性マップ」は、それぞれの地域が処分場所として相応しい科学的特性を有するかどうかを確定的に示すものではなく、処分場所を選定するまでには、「科学的特性マップ」には含まれていない要素も含めて、法律に基づき段階的に調査・評価していく必要がある。

https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/rw/kagakutekitokuseimap/maps/setsumeimaps.pdf

「評価の考え方」における活断層の考え方についての御指摘

- 「評価の考え方」の「活断層」の定義では、そもそもスケールが入っておらず、主断層からごく狭い範囲だけに限られるような図になっているのが不適當。

国としての考え方

- 科学的特性マップ^①では、活断層の「破碎帯」の幅として「断層長さの1/100程度」を設定し、好ましくない特性があると推定される区域としてオレンジ色で提示している。
- 「断層長さの1/100程度」という設定は、既往の断層の長さと「破碎帯」の幅の関係に関する知見（例えば、破碎帯幅は断層長さの350分の1から150分の1程度など）に基づいて、「破碎帯」の幅として考慮する範囲とされた、2014年の地層処分技術WGの中間取りまとめを踏襲している。
- 評価の考え方でも、避ける場所として、上記の「破碎帯」に相当する断層コアを含めている。個々の断層等の検討に当たっては、個別の文献・データを参照し、地すべり面については周辺の破碎部を断層コア相当としながら、断層コアの部分の領域を考慮することとしている。
- 各調査区域における、より具体的な断層コアの部分の可能性、避ける位置については、概要調査以降で確認していく。

参考：破碎帯の幅として考慮する「断層長さの1/100程度」の 考え方が示された地層処分技術WG中間とりまとめ

2014年5月 総合資源エネルギー庁調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会 地層処分技術WG
最新の科学的知見に基づく地層処分技術の再評価 ―地質環境特性および地質環境の長期安定性について―
(抜粋)

第5章 地質環境の長期安定性への影響要因に関するサイト調査の方針

5.3.3 断層活動

(抜粋注：1999年の、地層処分の技術的信頼性に関する第2次とりまとめの) その後の知見としては、断層の延長が長く累積変位量が大きいほど、破碎幅も大きい (Shipton et al., 2006) ことや、既往の断層の長さと破碎帯およびプロセスゾーンの幅の関係に関する知見 (例えば、破碎帯幅は断層長さの $1/350 \sim 1/150$ 程度、プロセスゾーンの幅は断層長さの $1/100$ 程度) が示されている (緒方・本荘, 1981 ; Scholz, 2002 ; Sibson, 2003 ; 金折・遠田, 2007 ; 大橋・小林, 2008 ; 長友・吉田, 2009 ; 吉田ほか, 2009 ; Niwa et al., 2009, 2011) 。また、近い距離にほぼ平行や雁行、あるいは断続的に存在する活断層には含まれる区間を「活断層帯」として評価することが、将来の断層活動の影響を避ける上で重要 (土木学会 原子力土木委員会 地下環境部会, 2006 等) とされている。

以上の知見に基づくと、断層活動の影響範囲は、目安となる破碎帯の幅として、保守的には断層長さの 100 分の 1 程度とすることが考えられる。また、サイト毎に個別に評価するが、将来の断層活動の範囲として、断層の進展や分岐が発生する可能性がある領域 (活断層帯) を回避する。さらに、変形帯や活褶曲・活撓曲についても、地層処分システム全体への影響が著しい場合には回避することを検討する。

海底活断層の評価に関する御指摘

- 「評価の考え方」・「文献調査報告書（案）」の問題点として、従来の音波探査では明らかにしえない海底活断層があることなどについて十分考慮されていない。

国としての考え方

- 評価の考え方では、審査ガイド※の説明や最近の知見を参考に、個々の断層等の検討対象について、**震源として考慮する活断層、地震活動に伴って永久変位が生じる断層及び変位を及ぼす地すべり面に該当するかどうかを確認することとしている。**
- 審査ガイドでは、活断層の有無を、**変動地形学的調査、地質調査、地球物理学的調査の結果により総合的に評価することを求めている。**

※原子力規制委員会（2013）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

- 変動地形学的調査、地質調査、地球物理学的調査について、**それぞれが独立した視点から行う調査であることを踏まえ、例えば変動地形学的調査により、断層の活動を示唆する結果が得られ、これを他の調査で否定できない場合には、活動性を否定できないこと等を念頭に評価を進めること（「まえがき」）**
- 将来活動する可能性のある断層等が疑われる地上付近の痕跡や累積的な地殻変動が疑われる地形については、個別の痕跡等のみにとらわれることなく、その起因となる地下深部の震源断層を想定して調査が実施されていることを確認する。また、それらの調査結果や地形発達過程及び**地質構造等を総合的に検討して評価が行われていることを確認**する。（「将来活動する可能性のある断層等の活動性評価」）
- 活断層の有無は、**変動地形学的調査、地質学的調査及び地球物理学的調査等によって総合的に判断する。**（「附則」）

深部流体起源の低周波地震についての御指摘

- 「評価の考え方」・「文献調査報告書（案）」の問題点として、深部流体起源の低周波地震について、「新たな火山の可能性」に限定した一面的な評価しかしていない。

国としての考え方

- 評価の考え方では、**文献調査対象地区下の地殻及びマントル最上部にメルトが存在する可能性**を**地球物理学的、地球化学的な観測データ※**を用いて評価することとしている。
※地球物理学的、地球化学的な観測データには低周波地震の観測データも含まれる。
- 一方、近年指摘されている、**低周波地震と深部流体、断層活動との関連**については、今後、**深部流体やそのメカニズム**に関する知見の蓄積状況を踏まえながら、**必要に応じて評価の考え方への反映も検討**していく。
- **深部流体の有無に関わらず断層のずれによる人工バリア損傷防止**の観点等から、**断層面や断層コアを避けて立地することが重要**である。

声明で指摘いただいた地層処分に関する技術的な御懸念の概要

- 激しい変動帯の下におかれている日本列島において、今後10万年間にわたる地殻の変動による岩盤の脆弱性や、深部地下水の状況を予測し、地震の影響を受けない安定した場所を具体的に選定することは、現状では不可能と言える。

国としての考え方

- **断層活動や火山活動が起こる地域はほとんど変化しておらず、繰り返し同じ地域で起こっているため、そうした地域を避けることで、地質環境が大きく変化しない場所を探すことは可能である**と考えている。
- **未確認の活断層等による影響等**については、概要調査以降に実施する**現地調査※等を適切に行うことで避けていく。** ※ボーリング調査、地表踏査、物理探査等
- **地震時には廃棄体は周囲の岩盤と一体となってゆれるため、地震のゆれによって埋設した廃棄体が破壊される可能性は低い**と考えられる。
- 地層処分施設の建設・操業中は、**地震のゆれによって施設が損傷することを防ぐため、最大級の地震を想定した耐震設計を行う。**
- 適切な評価を行うためには、**その時々最新の知見を取り込んで行くことが重要**である。

参考：その他、声明で御指摘いただいた技術的な御懸念

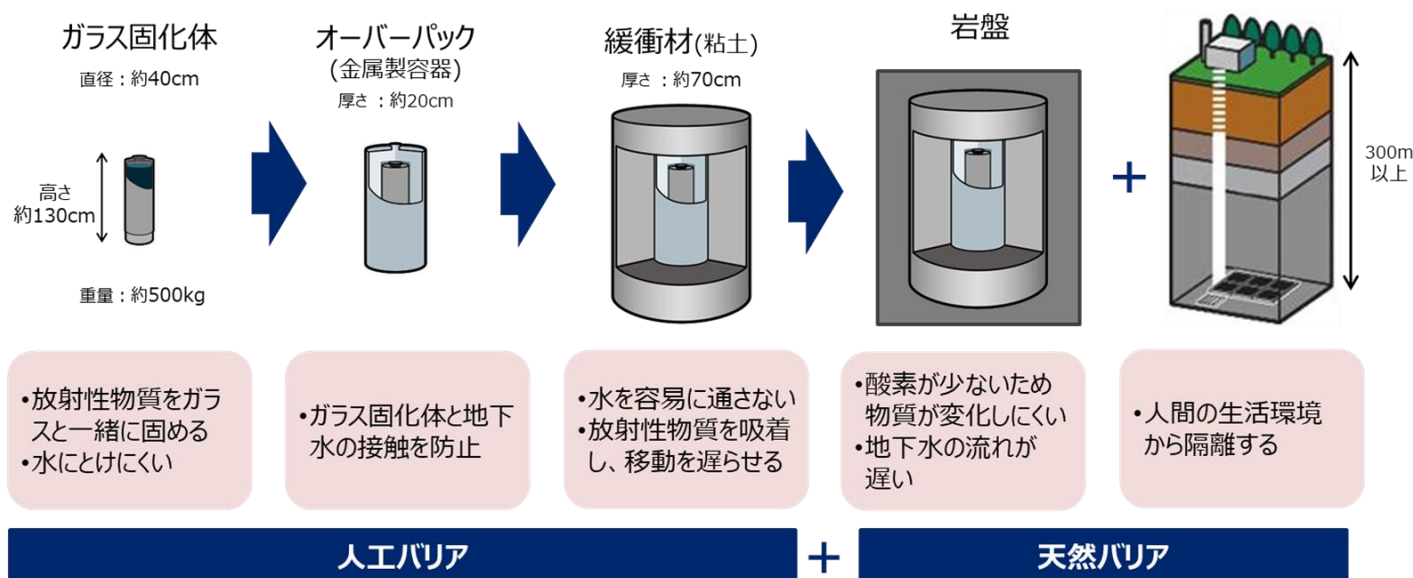
- 人工バリアの安全性は実験段階であり、安定状態の仮説でしかない。北欧と日本の地質条件の違いを無視して、人工バリア技術で安全性が保障されるとみなすのは論外である。

国としての考え方

- 人工バリア技術の工学的実現性はすでに示されており※、適切なモデルとデータを用いたシミュレーションを通じて、様々なリスクや不確実性を考慮した安全性評価を行う。その結果を人工バリアの設計等に反映することで、長期にわたる地層処分の安全性を確保していく。
- また、地層処分では人工バリアと、地下深くの安定した岩盤層を活用する天然バリアを組み合わせた多重バリアシステムで、高レベル放射性廃棄物が地上の生活環境に影響を及ぼすことを防ぐ。

※地層処分研究開発第2次とりまとめ分冊 2, 1999

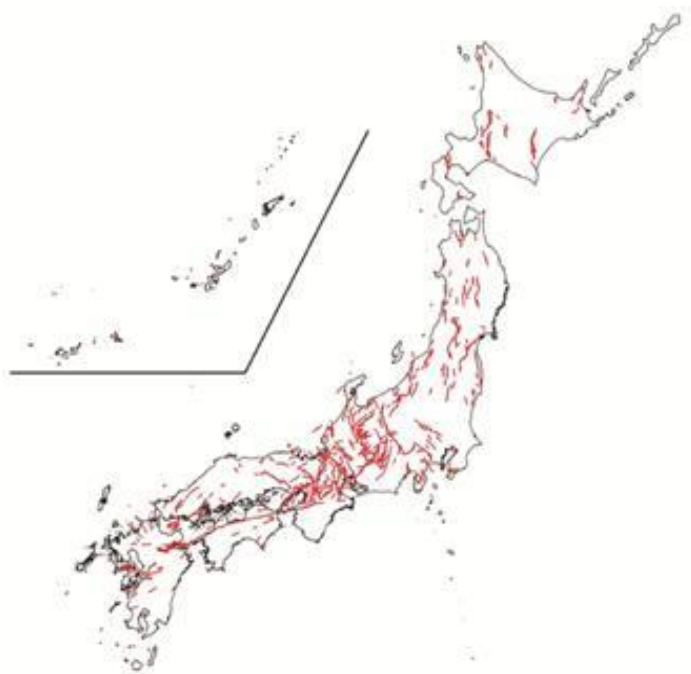
人工バリアと天然バリアを組み合わせた多重バリアシステムの概要図



参考：活断層による数万年以上を見据えたリスクと対策

- 断層活動で処分場が破壊されると、処分場の閉じ込め機能が失われる可能性がある。
- 断層活動は特定の地域に偏り、数十万年にわたり同じ場所で繰り返し発生しており、今後10万年程度の期間は同様と考えられる。隠れた活断層は、概要調査以降の現地調査等を通じて確認する。
- このような場所を避けて立地することで断層活動のリスクに対応する。

活断層の分布



活断層の調査方法例（例）

①ボーリング調査

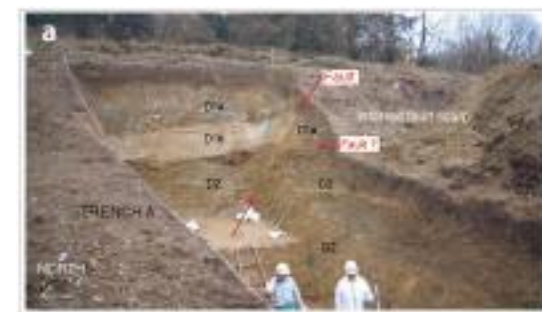


②物理探査



写真提供：地球科学総合研究所 H P

③トレンチ調査



参考：未知の断層は本当に発見できるのか

- 地下に伏在する断層など、地形的に確認が難しい断層はある。
- このような断層も、概要調査以降に実施する現地調査（ボーリング調査、地表踏査、物理探査等）により検出していく。

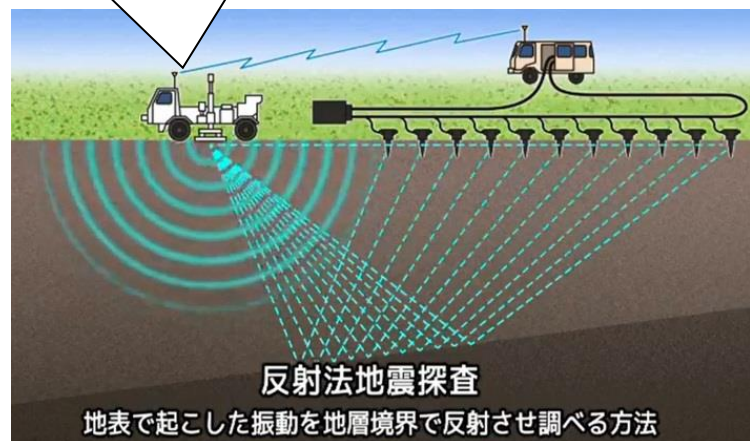
地表から物理探査で地下の断層の分布を確認した例

奈良盆地東縁断層帯の帯解（おびとけ）断層の事例

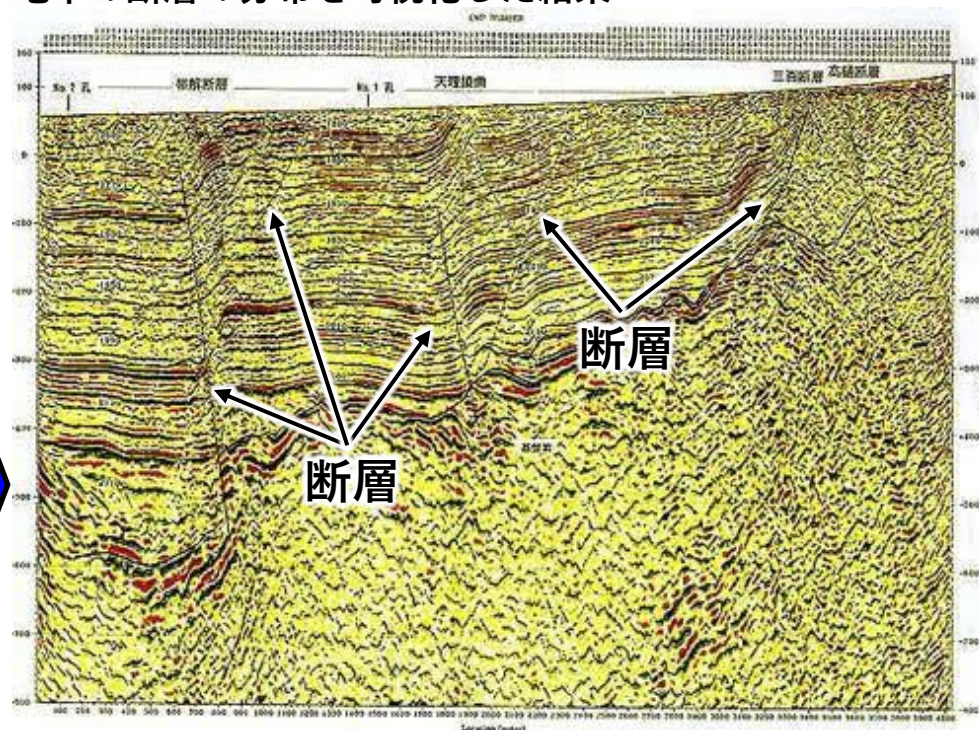
人工的に揺れを発生させる車



出典：(株)地球科学総合研究所提供



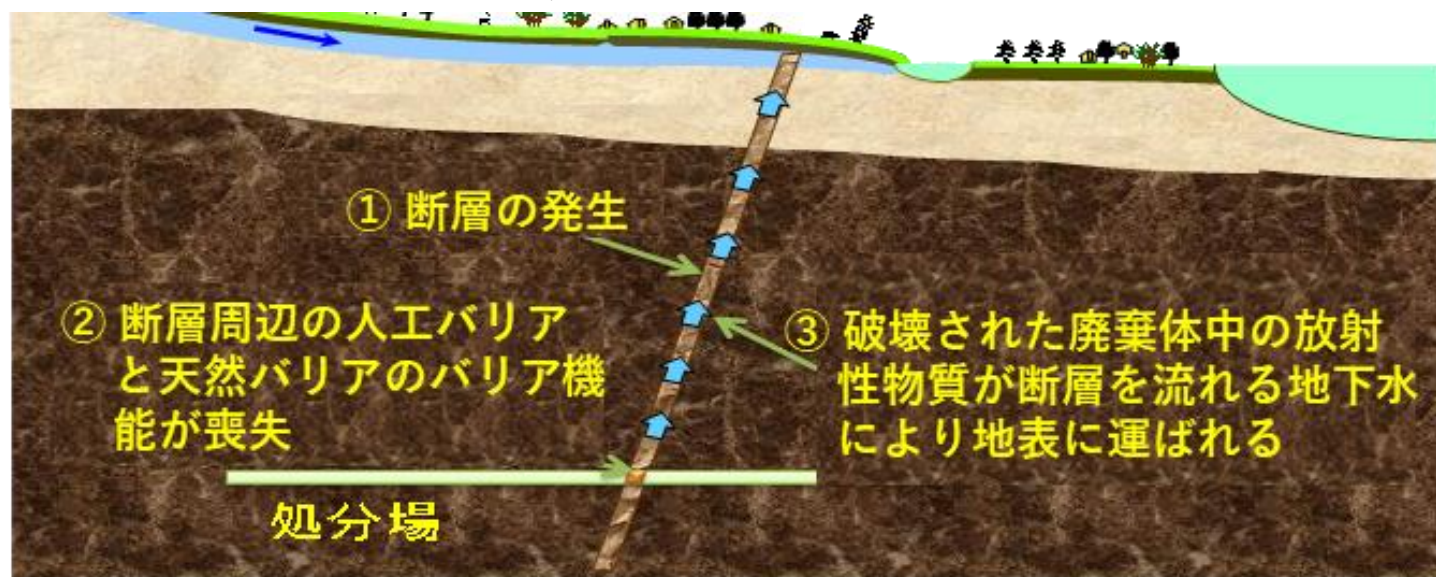
地中の断層の分布を可視化した結果



参考：断層が直撃する事態を想定したシミュレーション

- 発生する可能性が低い過酷な事象が同時に発生するような設定のシミュレーションも実施し、人間の生活環境への影響が安全な範囲に収まることを確認していく。
- 設定例：調査段階で発見できなかった、地表まで到達する大規模な断層が発生し、廃棄体を直撃してバリア機能が喪失し、断層が水みちとなって放射性物質が地表に運ばれるケース。

シミュレーション例のイメージ図



① 発生した断層が最も多くの廃棄体を直撃

- 地表まで到達する断層面が、250体の廃棄体を直撃すると想定。

③ 断層のずれによる透水性の増加

- 断層活動により水みちが発生すると仮定。水みちでは健岩部と比較して透水係数が5桁増加すると想定。

② 断層のずれによるバリア機能の喪失

- 実験的には、緩衝材厚さの80%程度のせん断変形であれば、オーバーパックが回転し、損傷しないことを確認。
- シミュレーションでは、全バリア機能を喪失すると想定。

