

平成25年度における個別研究開発の現状および今後の予定について

① 地質環境の長期安定性研究

平成25年12月11日
日本原子力研究開発機構
地層処分研究開発部門

地層処分の安全確保の考え方と研究課題

考慮すべきわが国の地質環境の特徴

環太平洋変動帯に位置
噴火・地震など地殻変動が活発

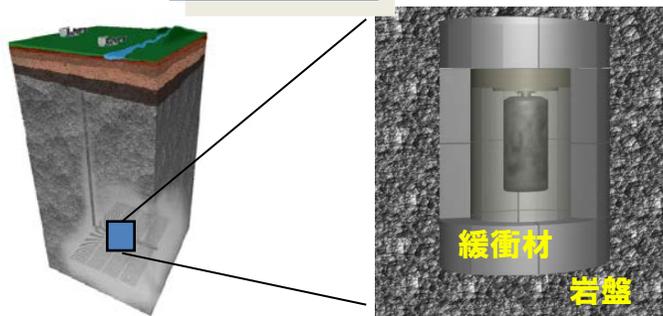
・生活環境との離間距離の短縮
(接近シナリオ)

地層処分の長期的な
安全性への影響

・自然現象による地下水の変化
(地下水シナリオ)

対策

地層処分システムの性能が著しく損なわれないよう
長期にわたって安定な地質環境を選定
(**サイト選定**)



想定される自然現象の変動を見込んで処分施設を適切に設計・施工および
長期的な安全性を評価
(**工学的対策・安全評価**)

① 調査技術の開発・体系化
過去の自然現象の記録や現在の状況を調査するための体系的な技術の整備

② 長期予測・影響評価モデルの開発
将来の自然現象に伴う地質環境の変化を予測・評価するための手法の整備

③ 年代測定技術の開発
最先端の機器分析装置による放射年代測定技術(世界初)を含めた編年技術の高度化

① 調査技術の開発・体系化

⇒ サイトの選定や安全性の検討に必要なデータの取得

- 変動地形が明瞭でない活断層等に係る調査技術
- 地下で遭遇した断層の活動性に係る調査技術
- 地殻内の震源断層等に係る調査技術
- 内陸部の隆起・侵食速度の算出に係る調査技術 等

② 長期予測・影響評価モデルの開発

⇒ 変動シナリオに基づく安全評価に必要な技術

- 地形変化シミュレーション技術の高度化
- 断層運動に伴う地下水流動系の変化に関する評価技術
- 超長期における予測・評価手法に関する検討
- 古水理地質学的アプローチによる地質環境の変化の予測・評価手法の開発 等

③ 年代測定技術の開発

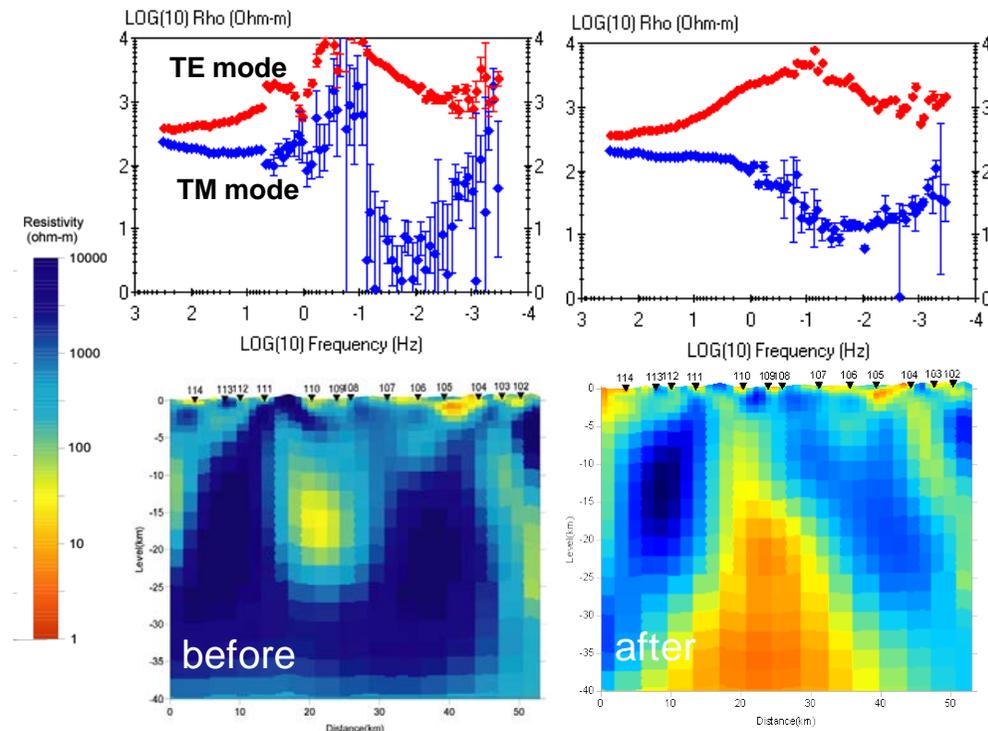
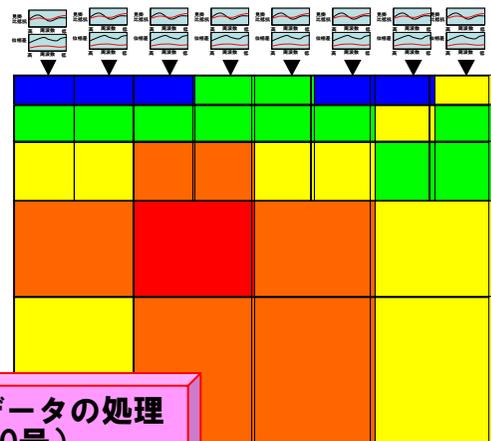
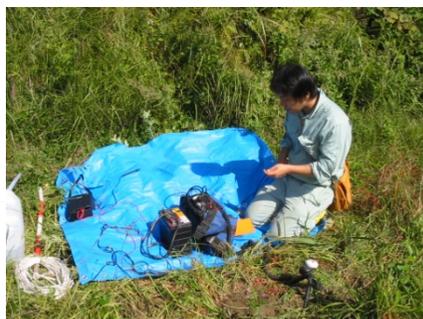
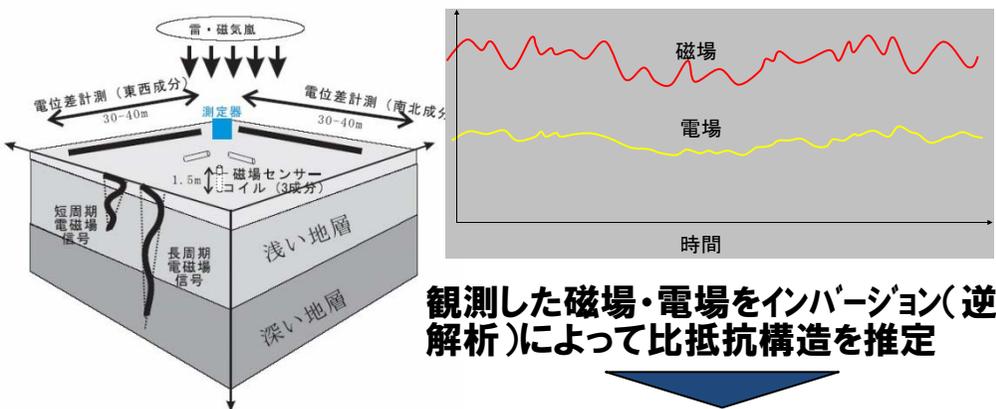
⇒ ①, ②の信頼性の向上するための技術基盤

- 加速器質量分析計を用いた ^{10}Be 年代測定法の実用化
- 四重極型質量分析計等を用いた(U-Th)/He年代測定法の実用化
- 希ガス質量分析計等を用いたK-Ar年代測定法の実用化
- 高分解能のテフラ同定手法の開発

地殻内の震源断層等に係る調査技術

必要性・目標

- サイト選定にあたっては、地下深部の震源断層等の存否や構造をあらかじめ確認し、それらを適切に回避するための調査技術が不可欠。
- 内陸地震の発生には地殻流体が関与していることが指摘されていることから、地磁気・地電流法(MT法)による比抵抗構造解析を用いた震源断層の調査技術を整備。



地磁気地電流法における観測データの処理方法及び装置(特許第4512790号)

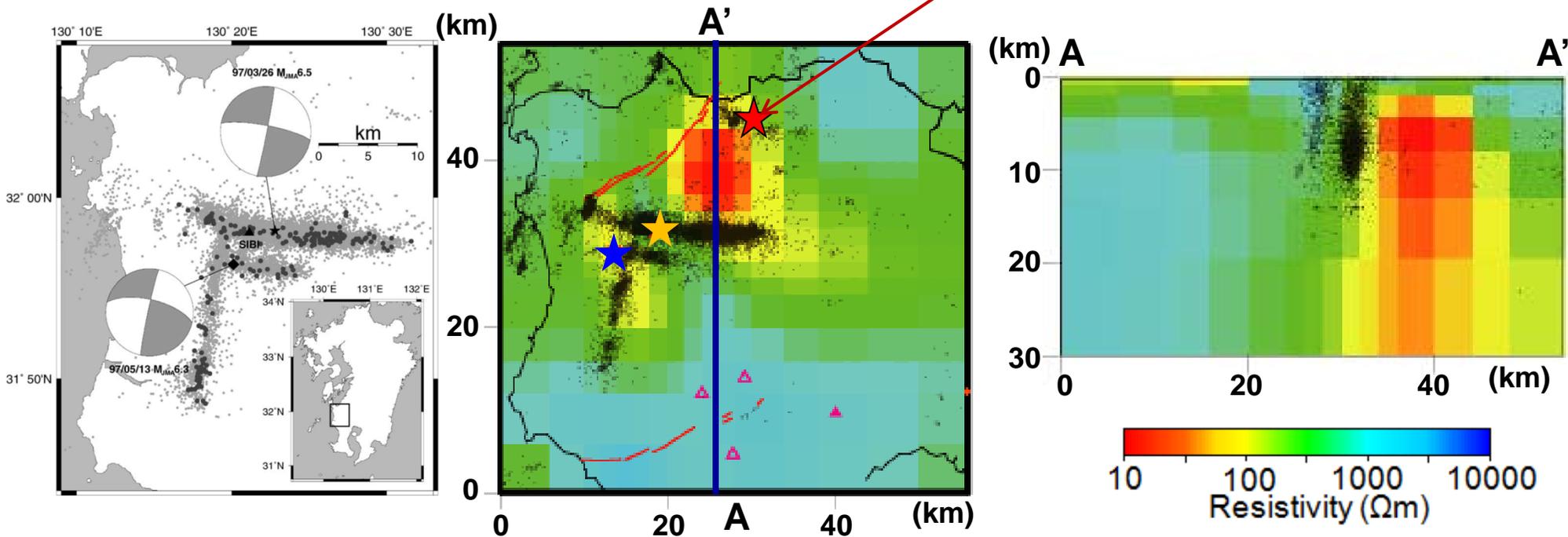
周波数ごとの連続性、誤差の低減によるデータの品質向上
(見掛比抵抗と位相差の相関に基づく重み付けスタッキング)

地殻内の震源断層等に係る調査技術

★ 1997.3EQ (M 6.5, D=8 km)

★ 1997.5EQ (M 6.3, D=8 km)

1994EQ (M 5.7, D=11 km)



1997年鹿児島県北西部地震の震央分布と本震のメカニズム解(1997.3~1998.9)

1997鹿児島県北西部地震震源域の三次元比抵抗構造(地下8~13kmの水平断面, A-A'鉛直断面)

1997年鹿児島県北西部地震や2000年鳥取県西部地震(活断層が認識されていない地域)において三次元比抵抗構造解析を実施し、地震学的手法で推定されている震源断層の構造と比較・検討。

- 震源断層(余震分布)周辺の中~下部地殻には低比抵抗体(地殻流体)が存在する。
- 地震波トモグラフィーに比べてMT法比抵抗解析が地殻内の震源断層の調査技術として有効。

① 調査技術の開発・体系化

⇒ サイトの選定や安全性の検討に必要なデータの取得

- 変動地形が明瞭でない活断層等に係る調査技術
- 地下で遭遇した断層の活動性に係る調査技術
- 地殻内の震源断層等に係る調査技術
- 内陸部の隆起・侵食速度の算出に係る調査技術 等

② 長期予測・影響評価モデルの開発

⇒ 変動シナリオに基づく安全評価に必要な技術

- 地形変化シミュレーション技術の高度化
- 断層運動に伴う地下水流動系の変化に関する評価技術
- 超長期における予測・評価手法に関する検討
- 古水理地質学的アプローチによる地質環境の変化の予測・評価手法の開発 等

③ 年代測定技術の開発

⇒ ①, ②の信頼性の向上するための技術基盤

- 加速器質量分析計を用いた ^{10}Be 年代測定法の実用化
- 四重極型質量分析計等を用いた(U-Th)/He年代測定法の実用化
- 希ガス質量分析計等を用いたK-Ar年代測定法の実用化
- 高分解能のテフラ同定手法の開発

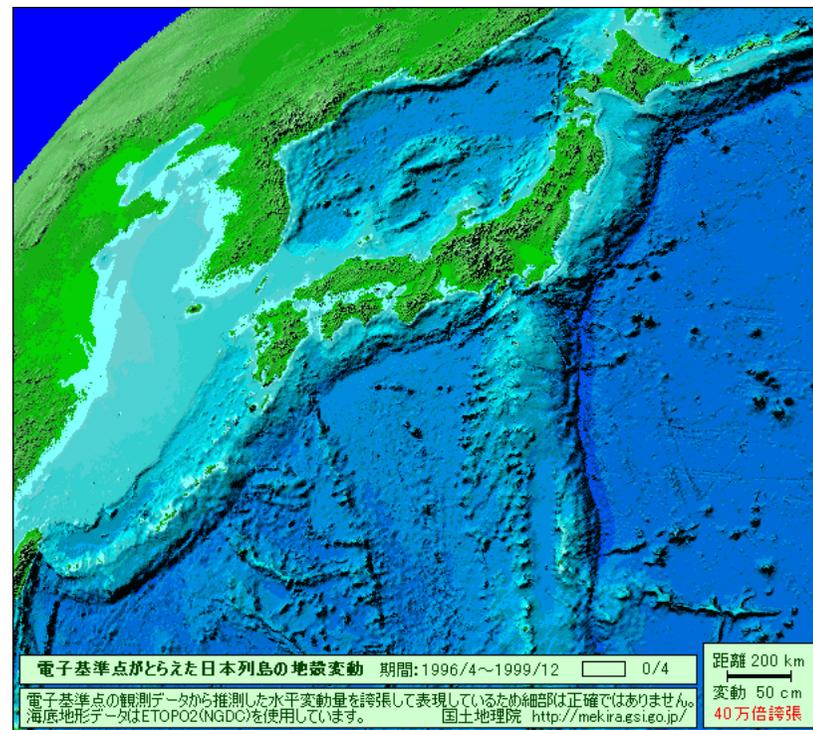
超長期における予測・評価手法に関する検討

必要性・目標

- H24独法評価にて「日本学術会議の提言以降、国民的関心の高まっている地質環境の長期安定性について、理解の助けとなる知見の充実や調査技術の高度化等に期待」との指摘。
- 数万年以上の長期の予測・評価の信頼性を明らかにするため、外挿法の前提となる地殻変動の変位の累積性・等速性、地域性等について検討。

(回答) 高レベル放射性廃棄物の処分について
(日本学術会議, H24.9.11)

- 候補地の選定にあたって社会的合意を得るには、放射性廃棄物の隔離機能が十分に確保され、これに影響を与える地質事象の空間的および時間的不確実性が小さいことが重要。
- **しかしながら、現在の科学的な知見と技術では、万年単位の将来を確実に予測することは困難であり、不確実性が残されることは不可避。**



日本列島の第四紀の地殻変動は、それまでの太平洋・フィリピン海プレートの北西～西方向への沈み込みに加えて、第四紀初頭に開始したアムールプレートの東方向の運動が関連していると考えられている。

* 1996年4月～1999年12月のGPSで観測された日本列島の地殻変動(変動を40万倍に誇張:120万年間に相当)

超長期における予測・評価手法に関する検討

必要性・目標

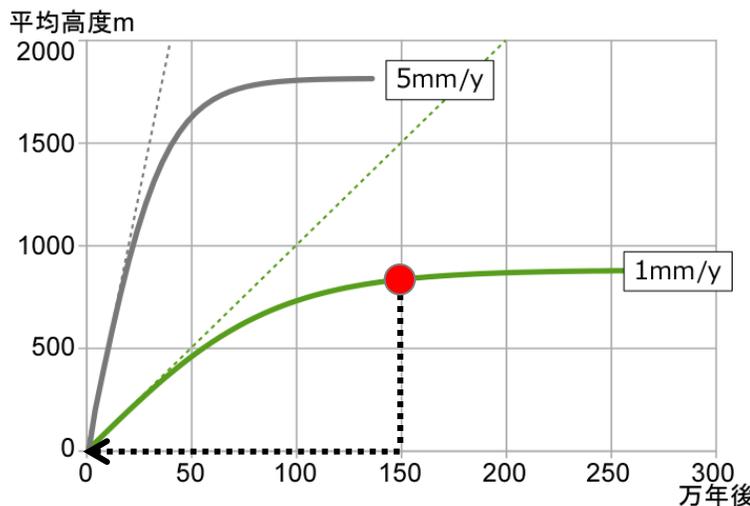
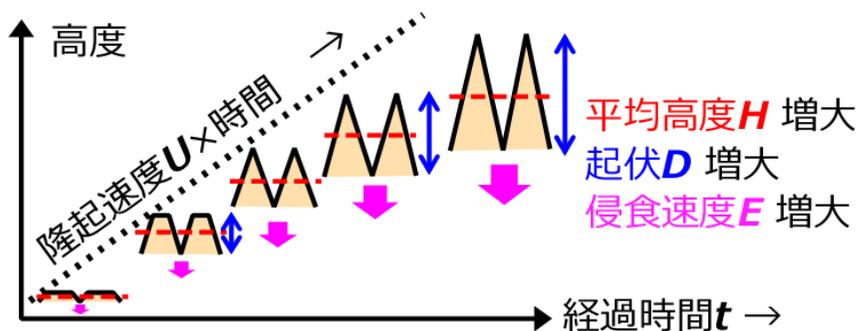
- H24独法評価にて「日本学術会議の提言以降、国民的関心の高まっている地質環境の長期安定性について、理解の助けとなる知見の充実や調査技術の高度化等に期待」との指摘。
- 数万年以上の長期の予測・評価の信頼性を明らかにするため、外挿法の前提となる地殻変動の変位の累積性・等速性、地域性等について検討した。

【地殻変動の一様継続性に基づく外挿による予測の考え方】

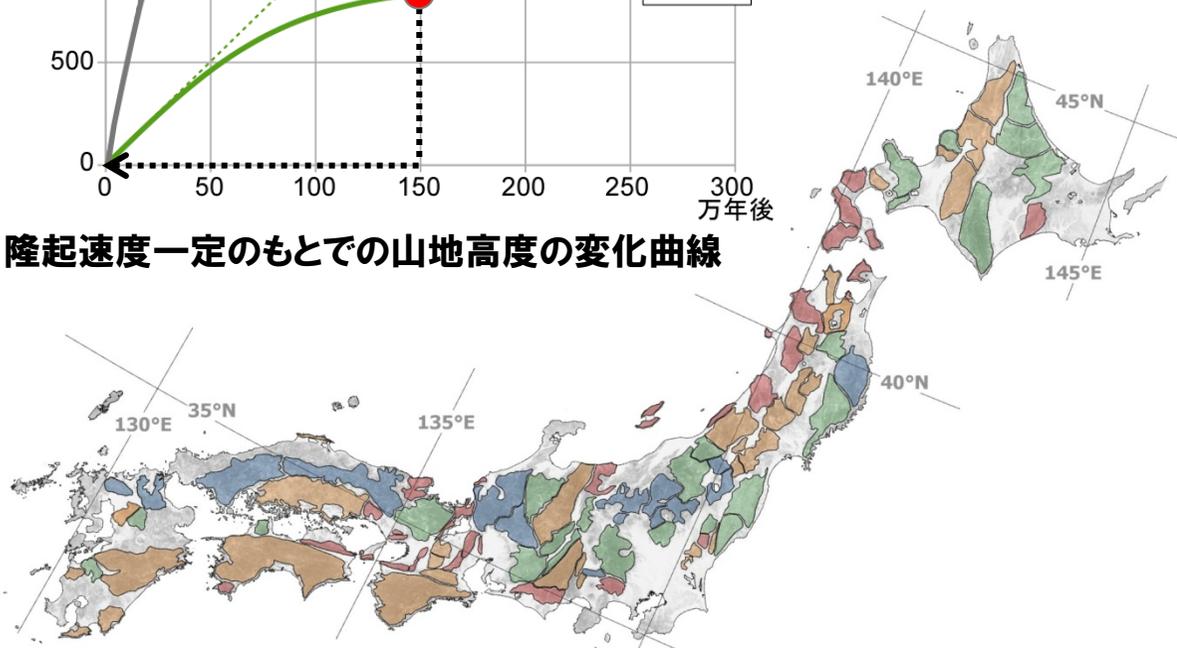
- 第四紀後期の地殻変動の一様継続性(変位方向の一様性、変位の等速性)が成立している場合には、過去から現在までの変動傾向・速度を同程度の将来まで外挿することは可能である(松田, 1987)。
- 時系列解析モデル(例えば、自己回帰移動平均モデル)の研究例によると、過去の期間(N)に成り立っていた関係性(定常性)は、将来になればなる程、その関係性そのものが変化していると考えられるので、 $0.1 N \sim 0.2 N$ 程度であれば関係性が継続する確率が高いと考えられている。

外挿法による予測が可能な期間を検討するためには、現在のネオテクトニクスの枠組みの中で変動の一様継続性(変位方向の一様性、変位の等速性)がどの地域でいつ頃に成立したかを地形・地質学的な情報等から検討する必要がある。

超長期における予測・評価手法に関する検討



隆起速度一定のもとでの山地高度の変化曲線



■山地の平均高度 H の変化

$$\Delta H / \Delta t = \text{隆起速度 } U - \text{侵食速度 } E \dots \textcircled{1}$$

■山地の侵食速度 E は起伏 D の関数

$$E = \alpha D^\beta \quad (D: \text{高度分散量}) \dots \textcircled{2}$$

■山地の起伏 D は平均高度 H の関数

$$D = aH^b \dots \textcircled{3}$$

$$\therefore \Delta H / \Delta t = U - \delta H^\gamma \dots \textcircled{1}'$$

山地発達モデルを用いて地殻変動の方向・速度等の継続期間およびその地域性の推定を行った。

- 日本列島の多くの地域で、現在の変動方向・速度が一定になったのは、中期更新世以降と推定。
- 過去数十万年に地殻変動の一様継続性が成立した地域では、将来十万年程度であれば外挿法による(隆起・侵食量等の)予測の信頼性は確保されると考えられる。

① 調査技術の開発・体系化

⇒ サイトの選定や安全性の検討に必要なデータの取得

- 変動地形が明瞭でない活断層等に係る調査技術
- 地下で遭遇した断層の活動性に係る調査技術
- 地殻内の震源断層等に係る調査技術
- 内陸部の隆起・侵食速度の算出に係る調査技術 等

② 長期予測・影響評価モデルの開発

⇒ 変動シナリオに基づく安全評価に必要な技術

- 地形変化シミュレーション技術の高度化
- 断層運動に伴う地下水流動系の変化に関する評価技術
- 超長期における予測・評価手法に関する検討
- 古水理地質学的アプローチによる地質環境の変化の予測・評価手法の開発 等

③ 年代測定技術の開発

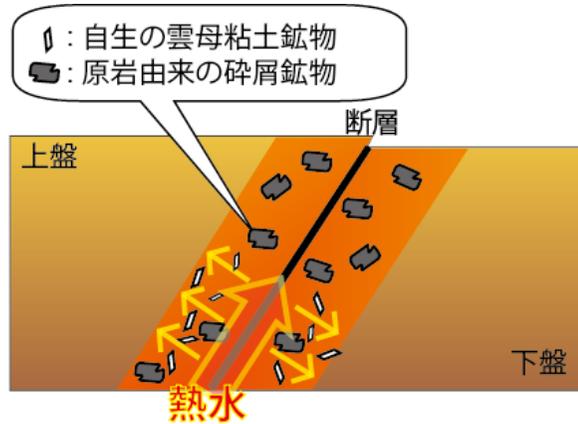
⇒ ①, ②の信頼性の向上するための技術基盤

- 加速器質量分析計を用いた ^{10}Be 年代測定法の実用化
- 四重極型質量分析計等を用いた(U-Th)/He年代測定法の実用化
- 希ガス質量分析計等を用いたK-Ar年代測定法の実用化
- 高分解能のテフラ同定手法の開発

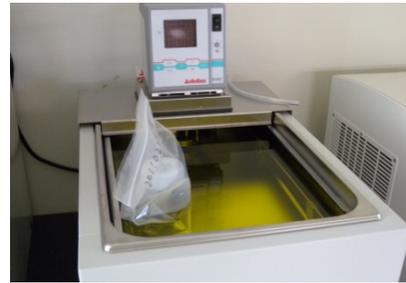
希ガス質量分析計等を用いたK-Ar年代測定法の実用化

必要性・目標

- 原子力安全保安院より「もんじゅ」敷地内の破砕帯の活動性について、破砕帯内物質の年代測定によって、断層の活動性を評価するよう指示(H24.8)。
- 破砕帯内物質の年代測定を行うため、極細粒の自生粘土鉱物の抽出を含むK-Ar年代測定システムを整備するとともに、実際の破砕帯内物質に適用し、その活動性を検討。



原岩由来の雲母鉱物や高温の熱水活動に伴って形成されたイライトは平板状を示すのに対して、断層運動に伴う低温の熱水活動に伴って生成したイライトは針状を示す。(Zwingmann et al., 2010)。



凍結・融解粉碎



高速遠心分離



TEM解析



粒度分析



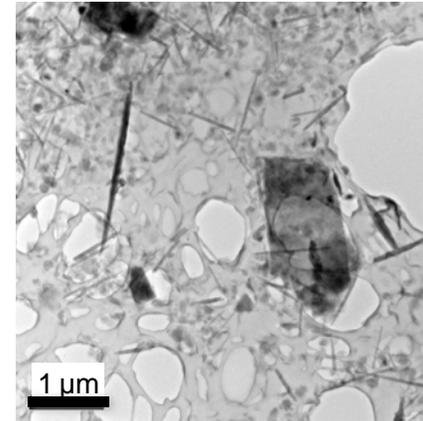
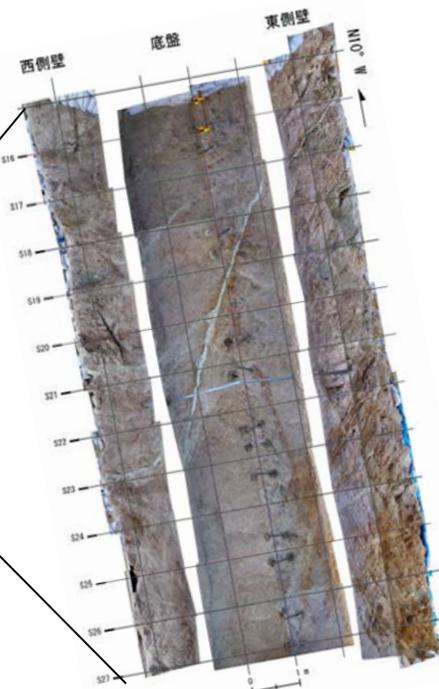
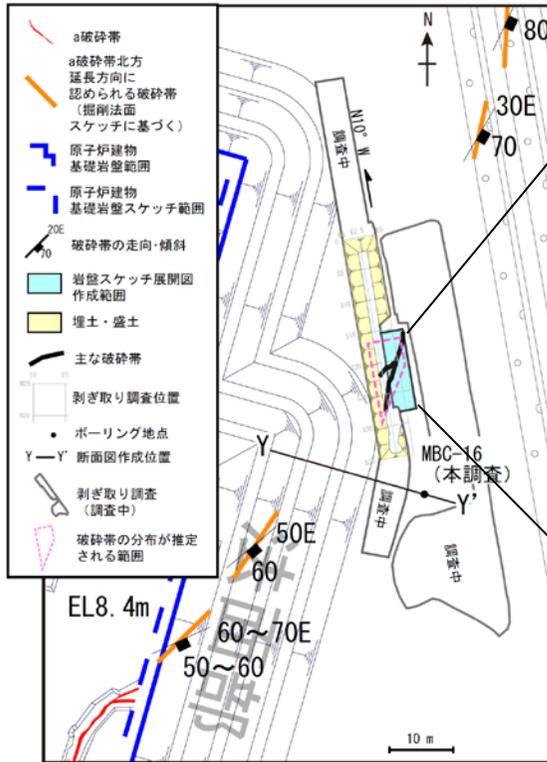
^{40}Ar 定量



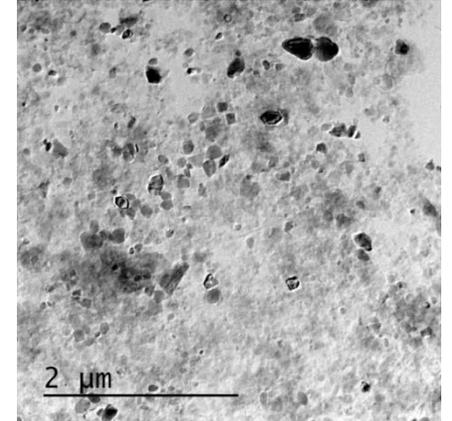
K 定量

東濃地科学センターにおける自生粘土鉱物の
カリウム・アルゴン年代測定の流れ

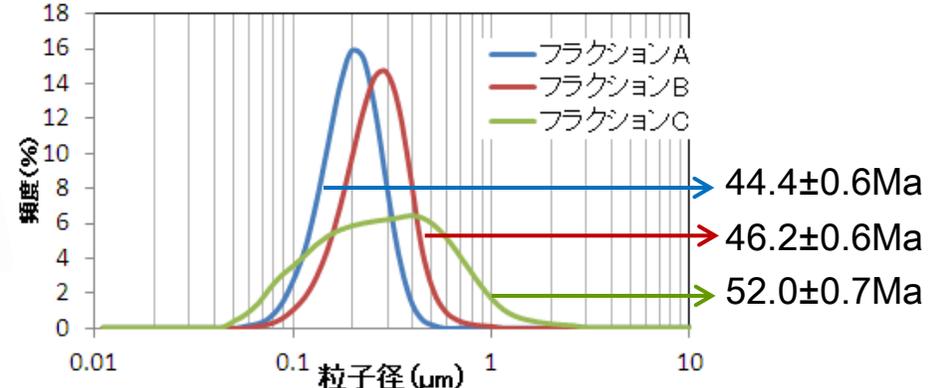
希ガス質量分析計等を用いたK-Ar年代測定法の実用化



有馬-高槻構造線TEM画像
針状のイライトが認められる。



もんじゅ破砕帯TEM画像
平板状のイライトのみ存在。



各フラクションの粒度分布とK-Ar年代

自生粘土鉱物のK-Ar年代測定システムを整備し、「もんじゅ」破砕帯内物質の年代測定を実施。

- 「もんじゅ」破砕帯内物質は断層運動に伴う低温の熱水活動で生じる針状イライトは認められない。
- K-Ar年代測定の結果、破砕帯中の自生粘土鉱物は約5000万年前の高温の熱水活動によって生じたものと推定される。

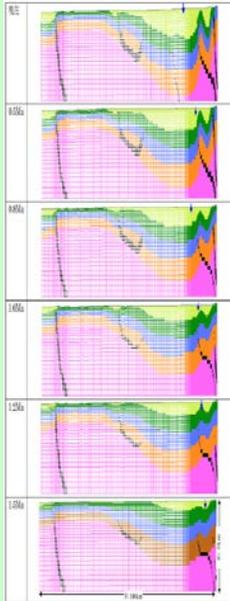
今後の予定について

地質環境長期変動モデル(GEMs)

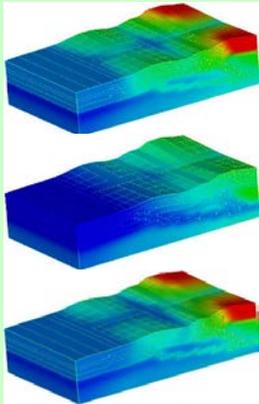
過去から現在の地質環境の長期変動を評価するための技術を確認するため、これまでに個別に進めてきた地形・地質モデル、生物圏モデル、水理モデル、地球化学モデルを統合化した地質環境長期変動モデルを構築するとともに、これらに必要な可視化・数値化技術や不確実性の評価手法等の開発も併せて進める。

地形・地質モデル

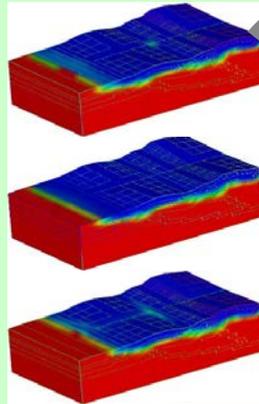
現在
時間軸
過去



水理モデル

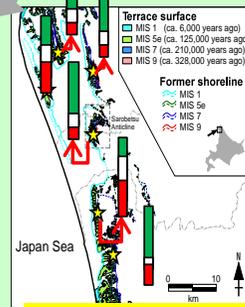


地球化学モデル



生物圏モデル

調査技術へのフィードバック



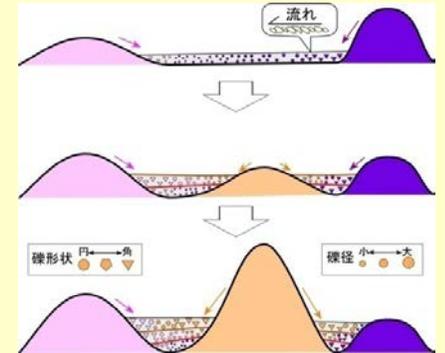
データの種類、量、品質等

全水頭 塩分濃度 低 ← → 高 0 ← → 1.0

モデルの不確実性

モデルの検証・不確実性の評価

革新的要素技術の開発



後背地解析技術



炭酸塩鉱物の放射年代測定技術 (過去の地下水の化学的性状を保持)



炭酸塩鉱物によるEh推定技術

経済産業省「地層処分技術調査等事業」を本年10月に受託・研究に着手
⇒ 地質環境長期安定性評価確認技術開発(平成25年度～)