



# 地質環境の長期安定性研究の進捗状況

平成27年2月5日

バックエンド研究開発部門  
東濃地科学センター 地層科学研究部

# 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

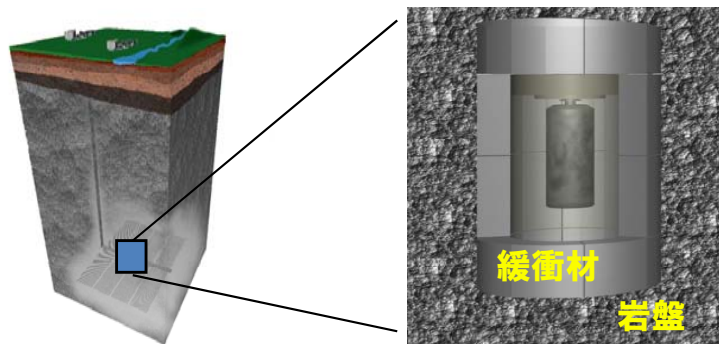
・生活環境との離間距離の短縮  
(接近シナリオ)

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)

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**)

対策



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

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

⇒ サイト選定に必要なデータを取得する技術

## 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

⇒ 変動シナリオに基づく安全評価に必要な技術

## ③ 年代測定技術の開発

最先端の機器分析装置を用いた放射年代測定技術を含めた編年技術の高度化

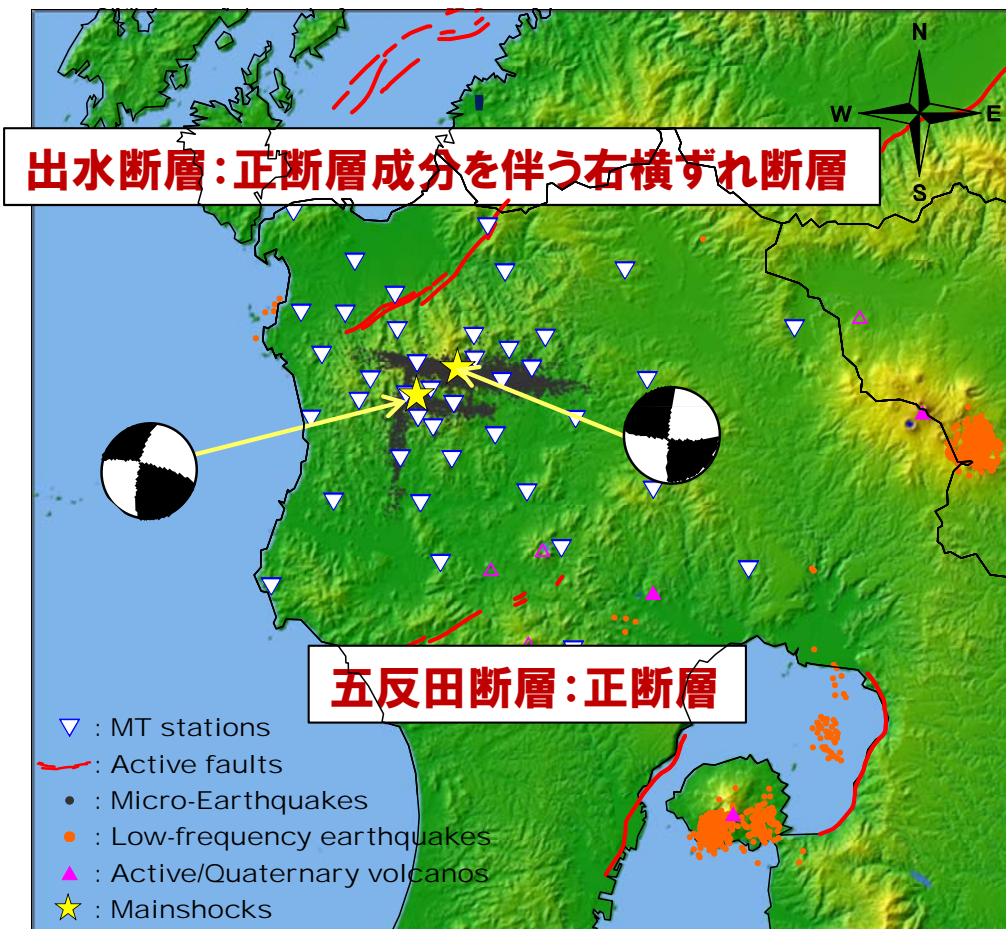
⇒ ①, ②の信頼性を向上させるための技術基盤

(データの品質・解釈等の妥当性を評価するための技術的能力の蓄積)

# 第2期中期計画の進捗状況(その1)

研究課題	目的・概要(調査技術の開発・体系化)	進捗状況(主な成果)
変動地形が明瞭でない活断層に係る調査技術	変動地形が明瞭でない活断層の存否を確認するため、断層ガスの主成分・同位体組成等を指標とした調査技術を提示する。	地下水中の溶存ガスのヘリウム同位体比( $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比)が活断層(特に、横ずれ断層)の検出に有効。
断層の発達段階の評価に係る調査技術	活断層からの離間距離を適切に設定するため、それぞれの断層の発達段階を明らかにするための調査・評価技術を提示する。	断層パラメータの多変量解析による発達段階の定量化を試みたが、顕著な傾向は認められなかった。
地下で遭遇した断層の活動性に係る調査技術	上載地層法の適用が困難な地下で遭遇した断層等の活動性を把握するため、断層岩や充填物質等を用いた調査技術を提示する。	断層岩に含まれる自生粘土鉱物のK-Ar年代、アパタイトのFT年代等による活動性の評価を試みた。 <b>⇒カルサイト等の天水起源の鉱物の放射年代値による評価が必要。</b>
地殻内の震源断層に係る調査技術	地下深部における震源断層や高温流体等の存否を確認するため、地球物理学的アプローチによる調査技術を提示する。	地殻浅所構造を考慮した震源再決定、三次元比抵抗構造解析、深部S波トモグラフィ等の要素技術を開発。 <b>⇒これらを統合した実用化研究(地殻構造の不均質性、深部流体の検出)および長期モニタリング技術開発</b>
内陸部の隆起・侵食速度の算出に係る調査技術	宇宙線生成核種(TCN)による削剥速度、旧河谷堆積物の編年とその標高に基づく隆起速度等の調査技術を提示する。	旧河谷堆積物の編年は困難。TCNによる削剥速度については、深度方向への宇宙線強度の減衰から推定可能。

# 地殻内の震源断層に係る調査技術



## 1997年鹿児島県北西部地震の震源分布とMT観測点

第1北西部地震(3月26日)深さ7.6km, Mj6.6 (最大震度5強)

第2北西部地震(5月13日)深さ7.7km, Mj6.4 (最大震度6弱)

観測期間: 2013/1/15~2/19(42点)

リモート点: 岩手県西和賀町

測定成分: 磁場3成分, 電場2成分

測定周波数: 100~0.001Hz(Phoenix MTU-5)

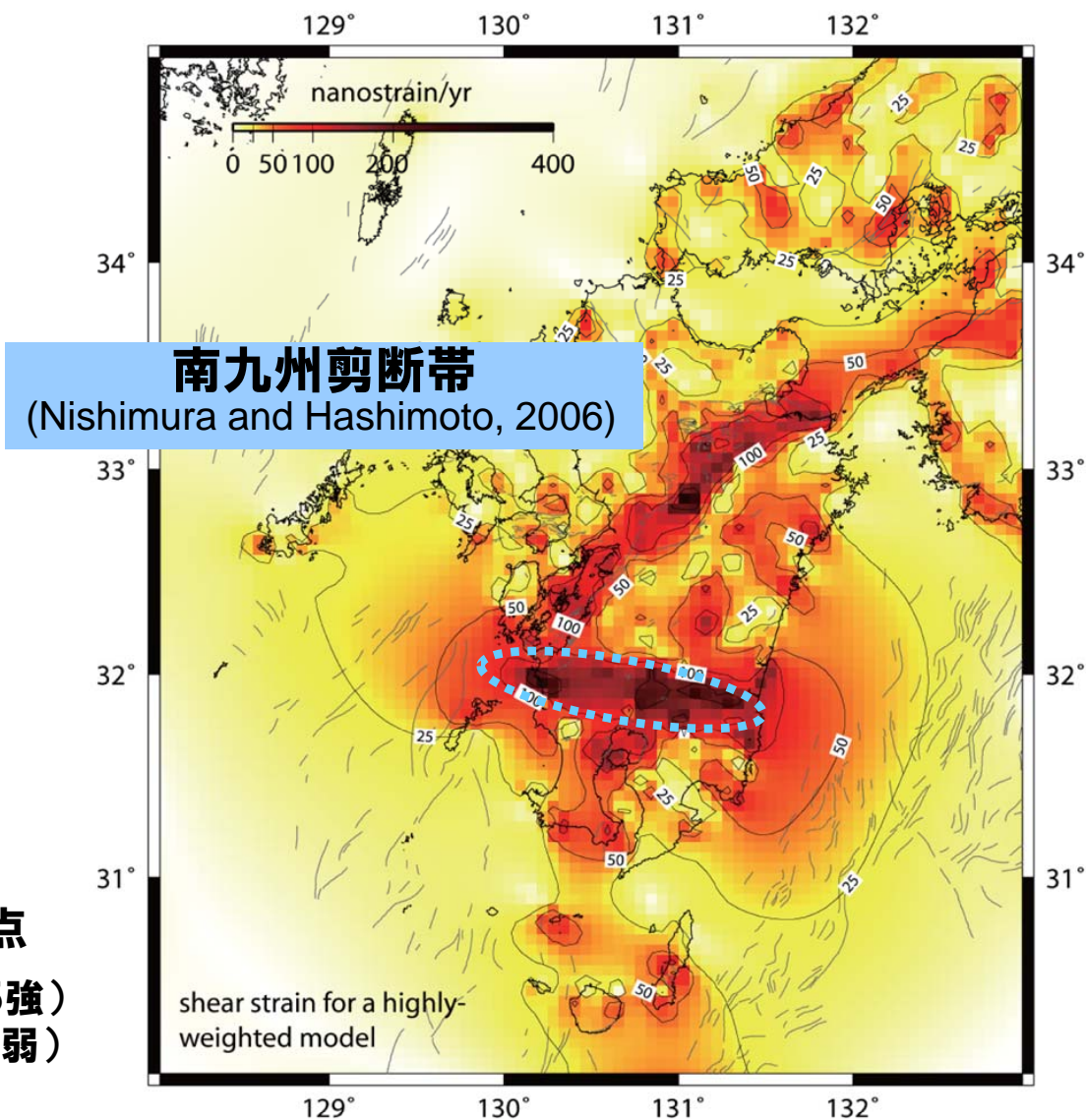
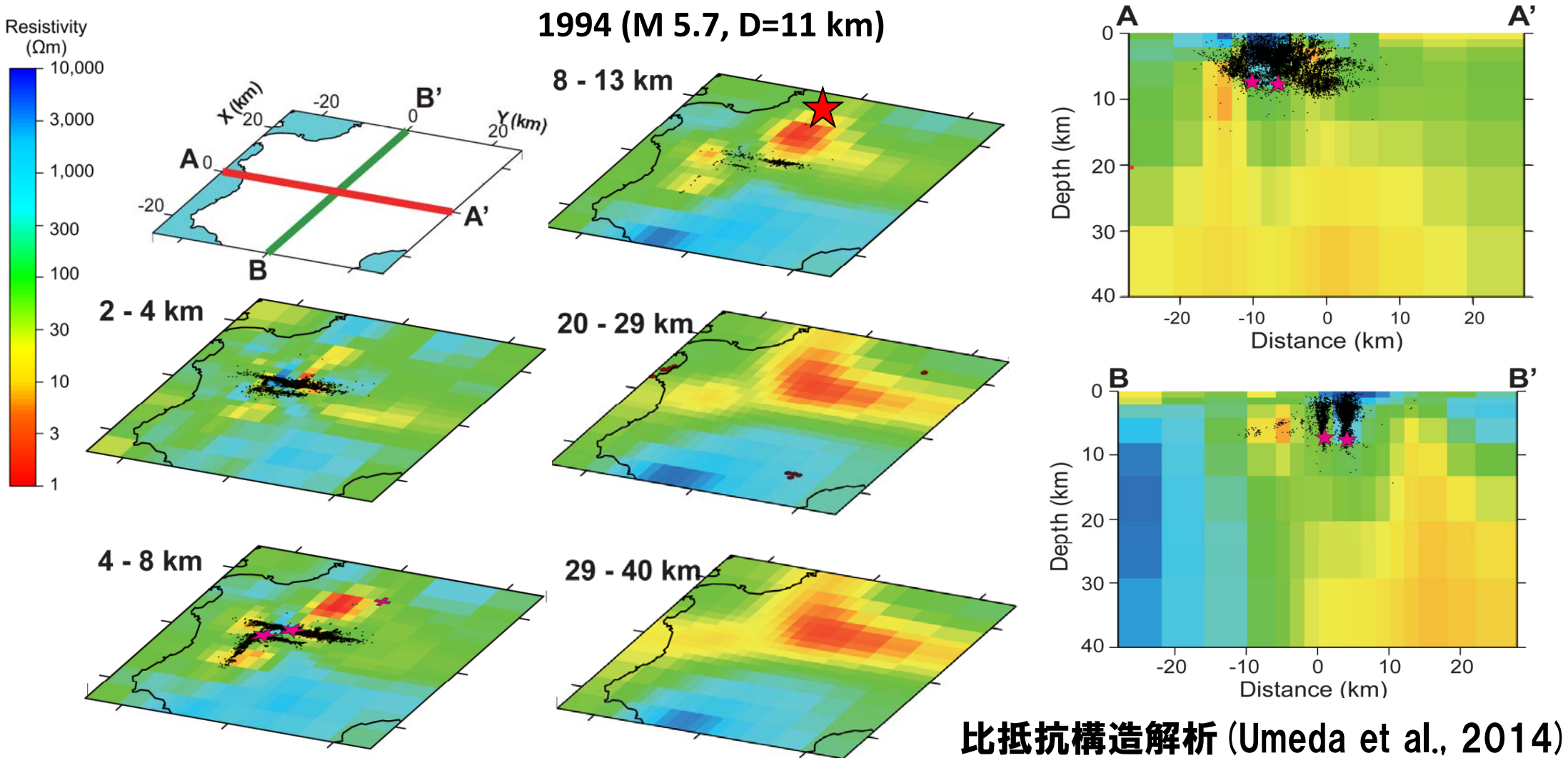


Figure 9.9: Maximum shear strain calculated from the velocity field in Figure 9.7 (with subduction-related elastic strains removed).

# 地殻内の震源断層に係る調査技術



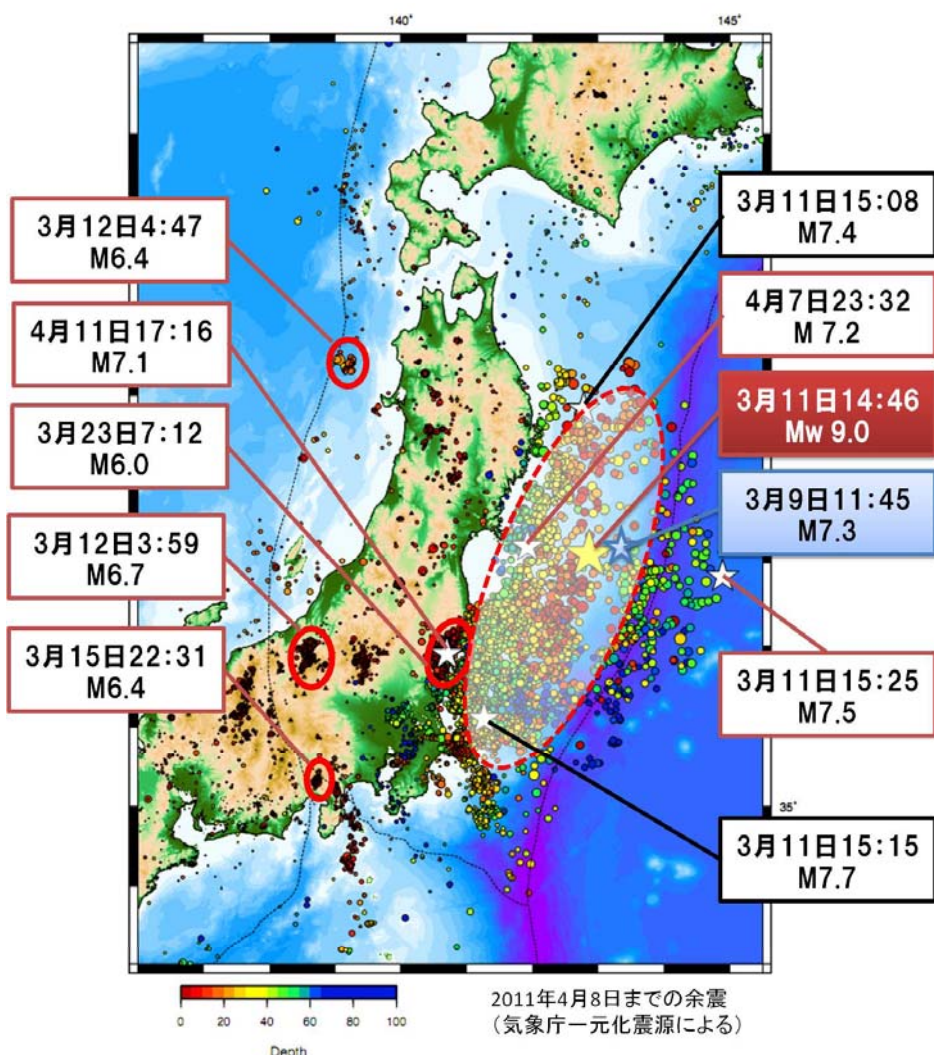
- 1997年鹿児島県北西部地震の震源域の近傍には上部マントルから延びる低比抵抗体が存在する(低比抵抗体周辺には震源断層が存在する可能性を示唆)。
- 地磁気・地電流法は震源断層の調査技術として有効である見通しを得た。

## 第2期中期計画の進捗状況(その2)

研究課題	目的・概要(長期予測・影響評価モデルの開発)	進捗状況(主な成果)
地形変化シミュレーション技術の高度化	将来十万年程度の広域的な地形変化を把握するための基盤となるシミュレーション技術の高度化を図る。	約十万年前の古地形を復元し、そこを起点とする地形シミュレーションによって現在の地形を概ね再現した。
地質断層の再活動性に関する評価技術	海溝型地震等による地殻応力・歪の変化及び地質断層が再活動する可能性を評価するための手法を提示する。	実施中。⇒海溝型巨大地震に伴う沿岸域の地殻変動やそれに伴う地質環境の変化の予測・評価手法の開発。
断層運動に伴う地下水流動系の変化に関する評価技術	サイトの近傍での断層運動や海溝型地震の発生によって生じる地下水流動系の変化を評価するための手法を提示する。	断層運動に伴う体積歪のシミュレーションに基づく地下水位の変化幅を予測するとともに実際の観測値による検証を行った。
超長期における予測・評価手法に関する検討	より長期の変動シナリオを考慮した安全評価に反映するため、外挿法や確率論等の既存の予測・評価に伴う不確実性を検討する。	山地発達モデルによる将来の地形の予測・評価に伴う不確実性について検討。新規火山等の発生の確率モデルの開発。
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	過去から現在までの地下水の流れや水質の変化を復元するための一連の調査・評価・解析手法を提示する。	実施中。⇒古地形・地質の復元およびそれに基づく地下水理・水質の変動幅を評価するための一連の手法の開発。

年代測定技術の開発	進捗状況
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 加速器質量分析装置を用いた宇宙線生成核種年代測定法</li> <li>• 四重極型質量分析計などを用いた(U-Th)/He年代測定法</li> <li>• 希ガス質量分析計などを用いたK-Ar年代測定法</li> <li>• 高分解能のテフラ同定手法</li> </ul>	石英 <sup>10</sup> Be年代, ジルコン・アパタイト(U-Th)/He年代, イライトK-Ar年代等の実用化。 ⇒地下水( <sup>36</sup> Cl, 希ガス), 炭酸塩鉱物(U-Pb, U-Th), 堆積物(OSL, ESR)等

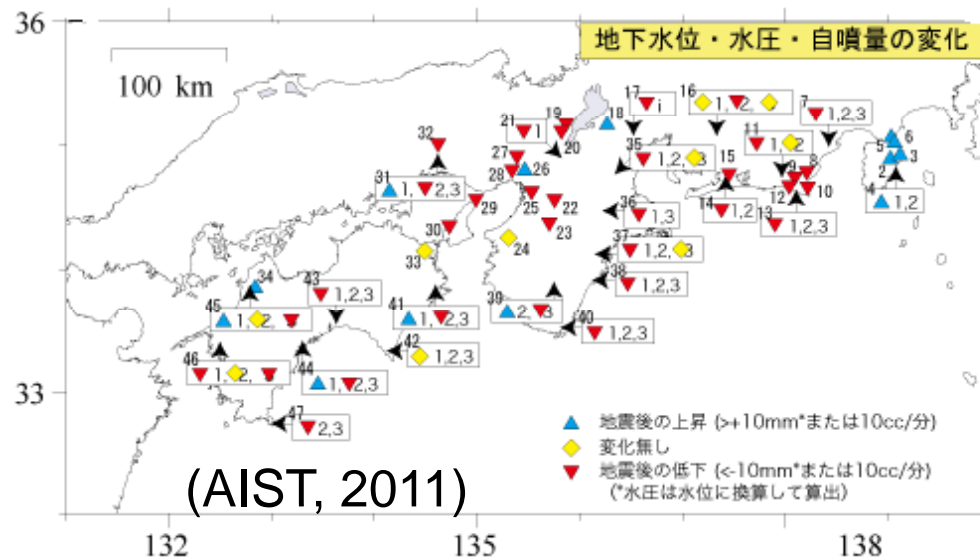
# 断層運動に伴う地下水流動系の変化に関する評価技術



本震の震央: 142.86E, 38.10N

震源の深さ: 23.7km

- ほぼ東西の圧縮軸を持つ低角逆断層  
(断層面の形状は, 約400×100km)
- 最大で水平方向に約5.3m(東南東), 上下方向に約1.2m(沈下)の地殻変動を観測
- 各地で地下水や温泉水の変化を観測

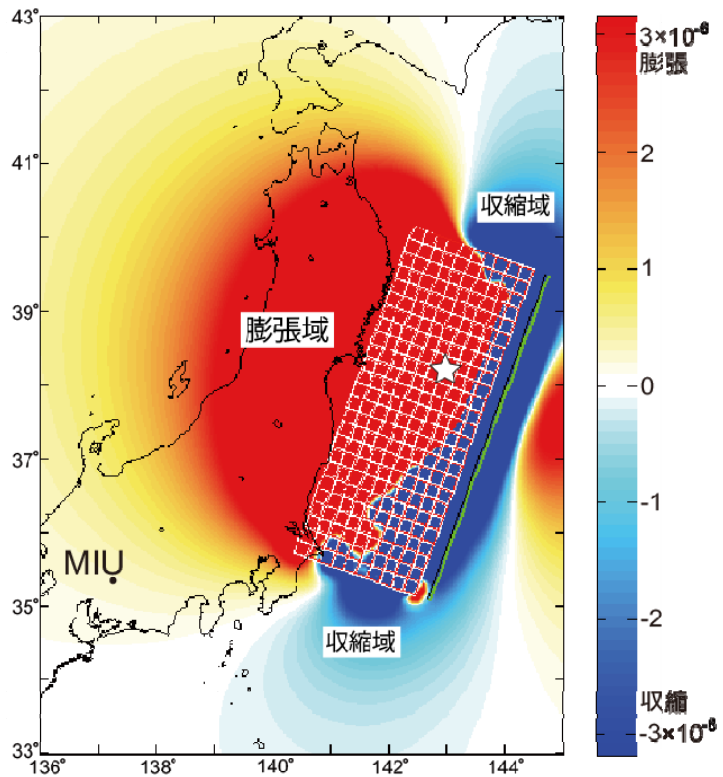


地球潮汐による変動からの推定によれば, 被圧地下水の水位変化に対する体積歪応答感度は, **~数mm/n strain(1 n strainは10の-9乗の歪)**

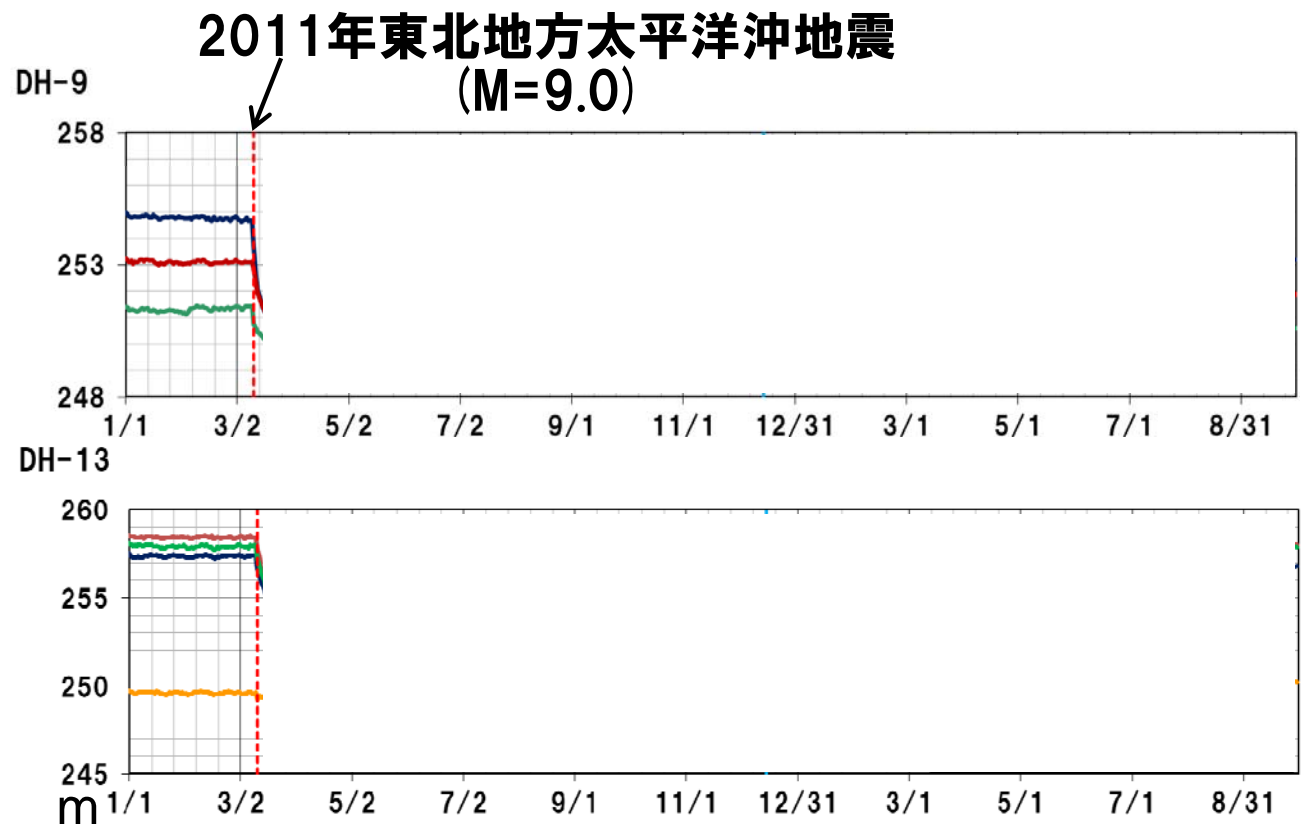
断層モデルによるディスロケーション解析(Coulomb3.1)によって体積歪の分布は推定可能。



# 断層運動に伴う地下水流動系の変化に関する評価技術



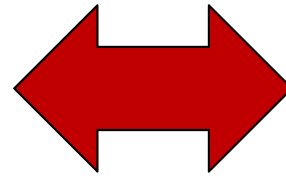
2011東北地方太平洋沖地震に伴う体積歪のシミュレーション結果  
(Niwa et al., 2012)



東濃地域(DH-9, 13)の地下水圧の経時変化  
(2011.1.1~2012.9.30)

- 東濃地方では $10^{-7}$  strainオーダーの膨張→10cm~1m以上の地下水位低下（実際の地下水位の変化は、体積歪の変化に基づく計算結果と概ね整合的）。
- 但し、地震後に変化した地下水圧も、時間の経過につれて変化前の状態に回復していく傾向が認められる。

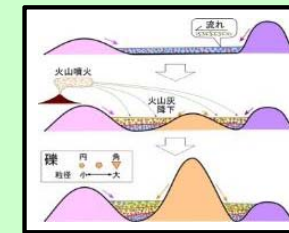
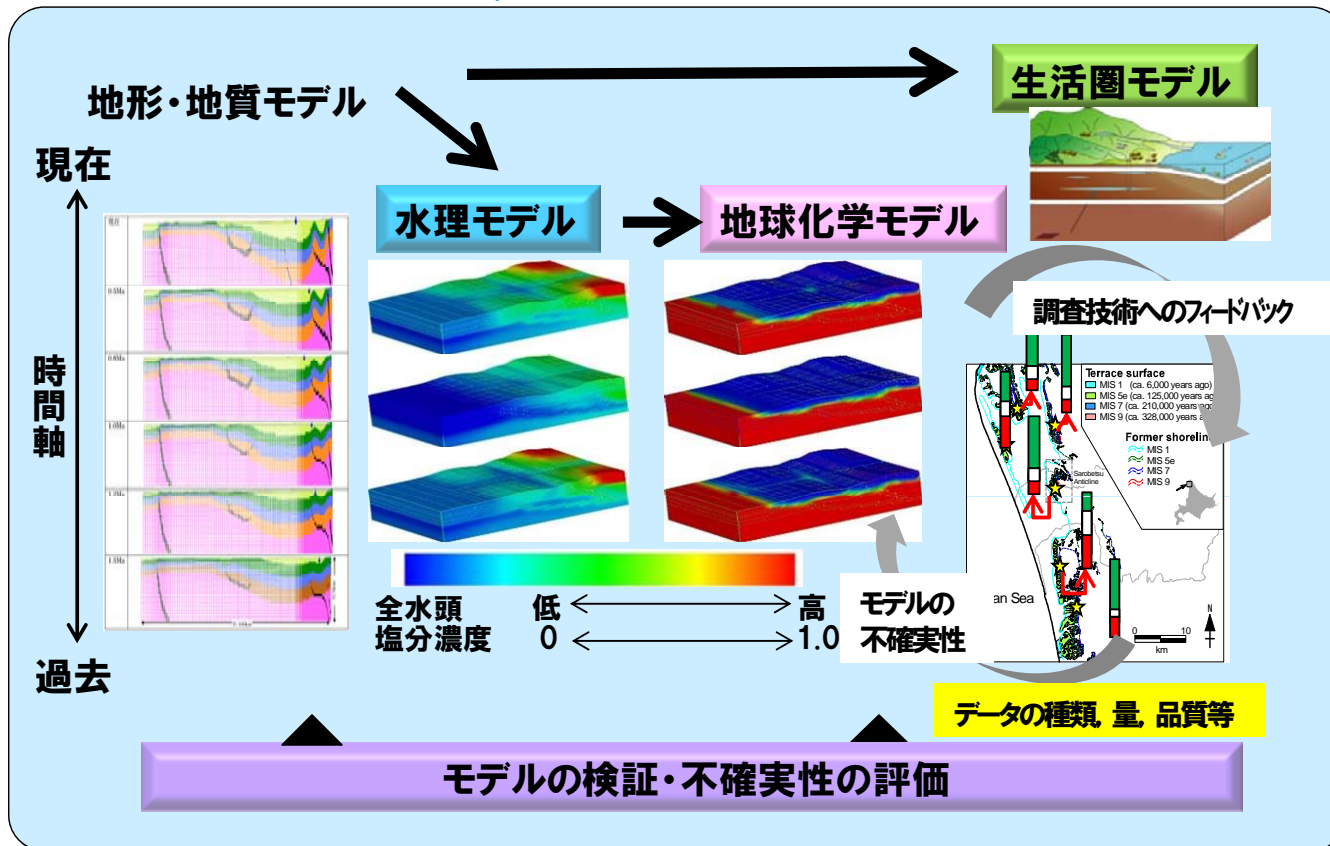
## 地質環境長期変動モデル (GEMs)の開発



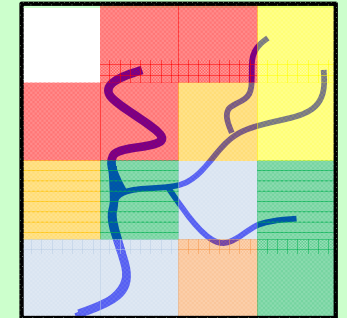
## 革新的要素技術の開発

(GEMs: Geological-Evolutionary Model)  
過去から現在までの地質環境の長期的な変化を表現できる三次元地質環境長期変動モデルの開発。

個別モデルの作成に必要となる情報やモデルの検証に用いるデータを取得するための革新的な要素技術の開発。



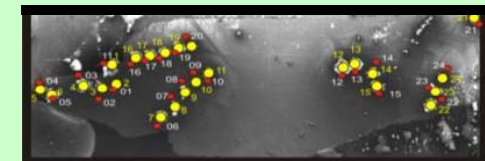
後背地解析技術



地下水涵養量予測技術

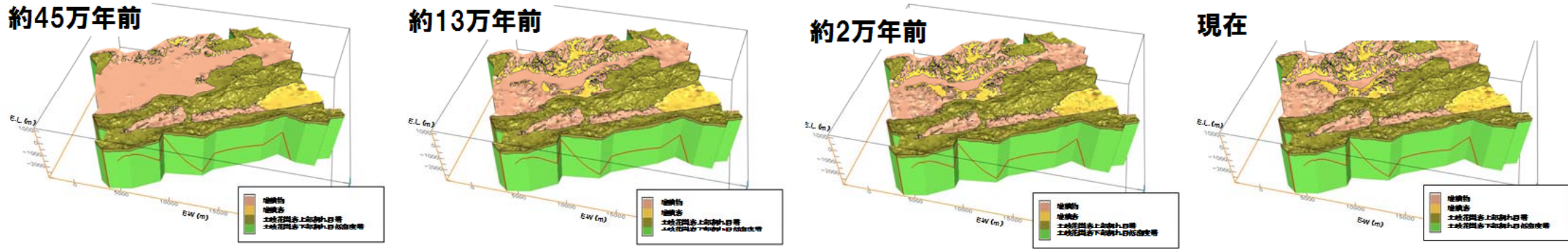


炭酸塩鉱物の放射年代測定技術

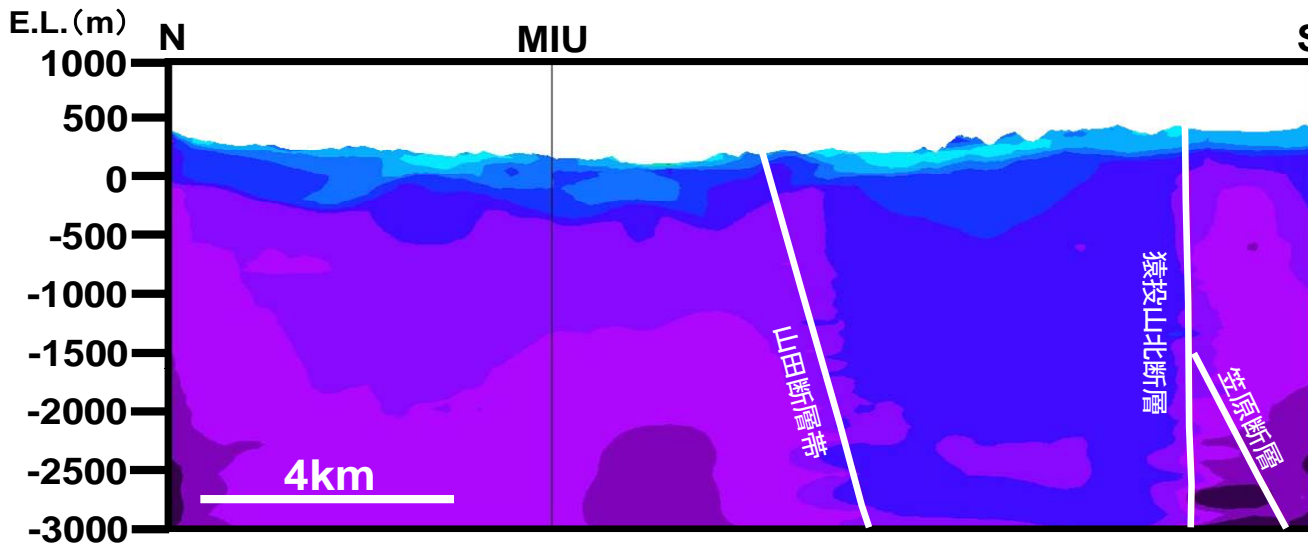


炭酸塩鉱物の酸化還元電位推定技術

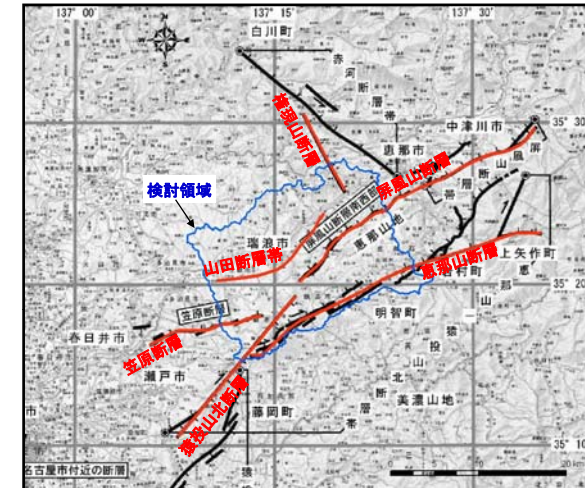
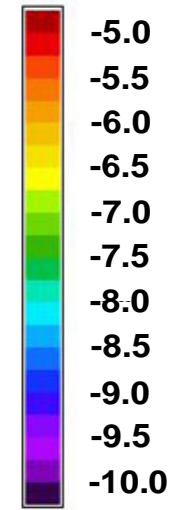
# 地質環境長期変動モデルの例(東濃)



現在



V(m/s)の対数値



地質構造モデルに考慮した断層(地震調査委員会, 2004に加筆)

# 革新的要素技術の開発(炭酸塩鉱物を用いた環境変動解析)

## 炭酸塩鉱物

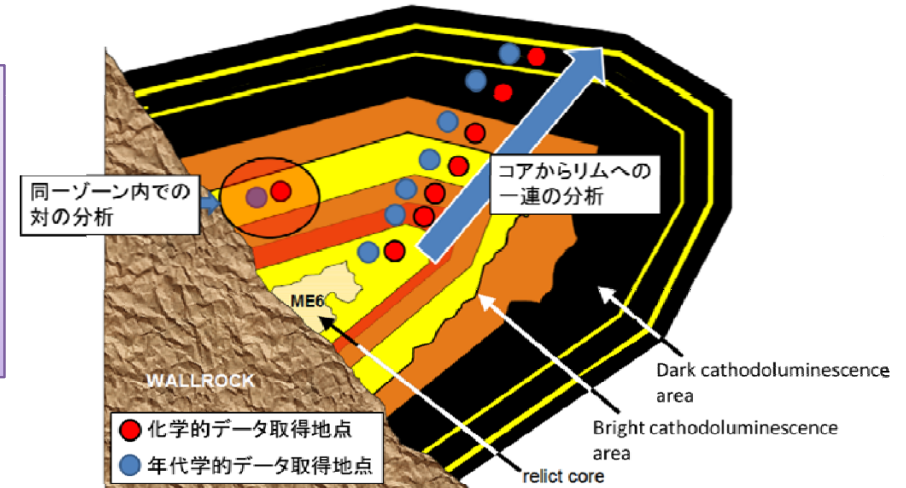
水-岩石反応により地下水の化学特性を反映しながら地下水から沈殿した二次鉱物

- 地下水から晶出した際の年代情報を保存?
- 生成時の地下水の地球化学的特徴(塩分濃度や酸化還元状態)を保存
- 岩石中で普遍的に産出
- 低温度領域を含めた広い温度範囲で生成

U-Pb法, U-Th法, (U-Th)/He法,  $^{14}\text{C}$ 法等を用いた炭酸塩鉱物の放射年代測定システムの開発

炭酸塩鉱物中の微量金属元素 (Fe, U など) の分配係数を指標とした酸化還元電位推定技術の開発

- ① 放射性元素等の元素マッピング手法の開発
- ② 標準試料の選定と基礎分析技術開発
- ③ 微小領域を対象とした高精度同位体比測定による放射年代測定技術の開発



炭酸塩鉱物の累帯構造を利用した分析のイメージ (Milodowski et al., 2005に加筆)



Thermo Fisher Scientific 製 NEPTUNE-plus (LA-ICP-MS)

# 長期安定性研究を取り巻く現状

## 東日本大震災・福島原発事故

- 超長期にわたって安定した地層を確認することは現状の科学技術では困難。社会的合意を得るためには、その不確実性が小さいことが必須であり、地層の安定性に関する研究もさらなる進展が求められる。

高レベル放射性廃棄物の処分について(回答)【日本学術会議;2012年9月】

- 3.11地震や原発事故の教訓を踏まえ、巨大地震や津波の影響が発生した場合の影響評価や、複合的な自然現象の影響評価、発生確率が低いとして排除された事象の影響評価技術の開発を新たに推進。

地層処分基盤研究開発に関する全体計画【地層処分基盤研究開発調整会議;2013年3月】

- 国民的関心の高まっている地質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も取り組んでいくことを期待。

日本原子力研究開発機構の平成24年度に係る業務の実績に関する評価【文科省;2013年8月】

- 学際的な協働によって、地震・断層等自然現象の将来予測に関する専門家の議論において一定の統一見解を導く方法論を提示すべき。

放射性廃棄物地層処分の学際的評価【日本原子力学会;2014年1月】

# 地層処分の技術的信頼性向上に向けた研究課題

「最新の科学的知見に基づく地層処分技術の再評価」

(総合資源エネルギー調査会 地層処分技術WG;H26.5)

## 【広域的現象の理解に関する研究課題】

- 火山の分布および地熱活動の評価に反映するための、マグマ成因論に関する知見の収集およびマントル内の熱対流モデルの評価手法の整備。
- 繰り返し活動し、変位の規模が大きな断層の評価に反映するための、**地形的に不明瞭な活断層の調査事例の蓄積および調査や評価方法の整備。**
- 隆起量・侵食量の評価に反映するための、**地形学的手法や堆積物の年代測定に基づく評価方法の整備。**
- 天然現象の将来予測を行う上での前提となるプレートシステムの継続性の評価のための、プレートシステムの変遷と地質学的イベントの関係の整理および検討。
- 深部流体および非火山性熱水の流出の評価に反映するための、**深部流体および非火山性熱水に関する形成・移動メカニズム等の調査事例の蓄積。**

# 地層処分の技術的信頼性向上に向けた研究課題

「最新の科学的知見に基づく地層処分技術の再評価」

(総合資源エネルギー調査会 地層処分技術WG;H26.5)

## 【概要調査以降の調査・評価手法に関する研究課題】

- 断層の活動性の評価に反映するための、地質断層の再活動性に関する調査事例および上載法の適用が困難な断層の活動性の評価方法(断層岩や充填鉱物の年代測定方法)の整備。
- 断層活動による影響範囲の評価に反映するための、既存の活断層の破碎帯の分布等の調査事例の蓄積および調査や評価方法の整備。
- 表層付近の酸化帯分布の評価に反映するための、表層付近の酸化帯に関する調査事例の蓄積。
- 地震活動の評価に反映するための、東北地方太平洋沖地震後に誘発された地震や湧水(たとえば、2011年4月11日の福島県浜通り地震)に関する調査事例の蓄積。
- 地下水の動きが緩慢であることを評価するための地下水年代測定などの技術の確保や調査事例の蓄積。

# 次期計画(H27~33)への取組み

自然現象に伴う地質環境の変化を予測・評価する技術を、地球年代学に係る最先端の施設・設備も活用しつつ整備する。

機構の改革計画に基づく「地層処分技術に関する研究開発」報告書  
—今後の研究課題について—(平成26年9月30日)

## ① 断層の活動性に係る評価技術

- ✓ 坑道で遭遇したような上載地層法が用いられない断層の活動性
- ✓ 地すべりに伴うノンテクトニック断層の判定 等

## ② 地殻構造の高精度・高空間分解能モニタリング技術

- ✓ 鳥取県西部地震の震源断層のような未成熟な断層の検出
- ✓ 処分場閉鎖後の長期(~300年)モニタリング技術 等

## ③ 稀頻度自然現象による地質環境への影響の評価技術

- ✓ 巨大海溝型地震による沿岸域での地質断層の再活動, 地下水の異常湧出
- ✓ 断層の伸展に伴う地質環境の変化(深部流体(熱水)の上昇, 表層水の混入) 等

## ④ 時間スケールに応じた地圏環境変動の予測技術

- ✓ 10万年を超えるような超長期の予測技術の整備
- ✓ モデルの高度化(可視化・数値化)による予測に対する信頼性の向上 等