

**令和5年度における個別課題の現状および今後の予定**

## **②地質環境の長期安定性に関する研究**

**令和6年3月13日**

**国立研究開発法人日本原子力研究開発機構  
核燃料・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**

# 本日の内容

- **第4期中長期計画及び年度計画**
- **地層処分の安全確保の考え方と研究開発のフレーム**
- **令和5年度の成果**
  - ① **調査技術の開発・体系化**
  - ② **長期予測・影響評価モデルの開発**
  - ③ **年代測定技術の開発**

# 第4期中長期計画及び年度計画

## (3) 高レベル放射性廃棄物等の地層処分研究開発

### 2) 地質環境の長期安定性に関する研究

#### 中長期計画（令和4年4月1日～令和11年3月31日）

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。これらの技術については、地層処分事業における各調査段階に必要な編年技術の構築のみならず、原子力を取り巻く課題解決や社会のニーズへの対応も考慮して整備を行う。また、大学等研究機関との協働を進め、土岐地球年代学研究所に設置されている施設・設備の利用促進を図るとともに、最先端の地球科学分野の研究成果を創出する。

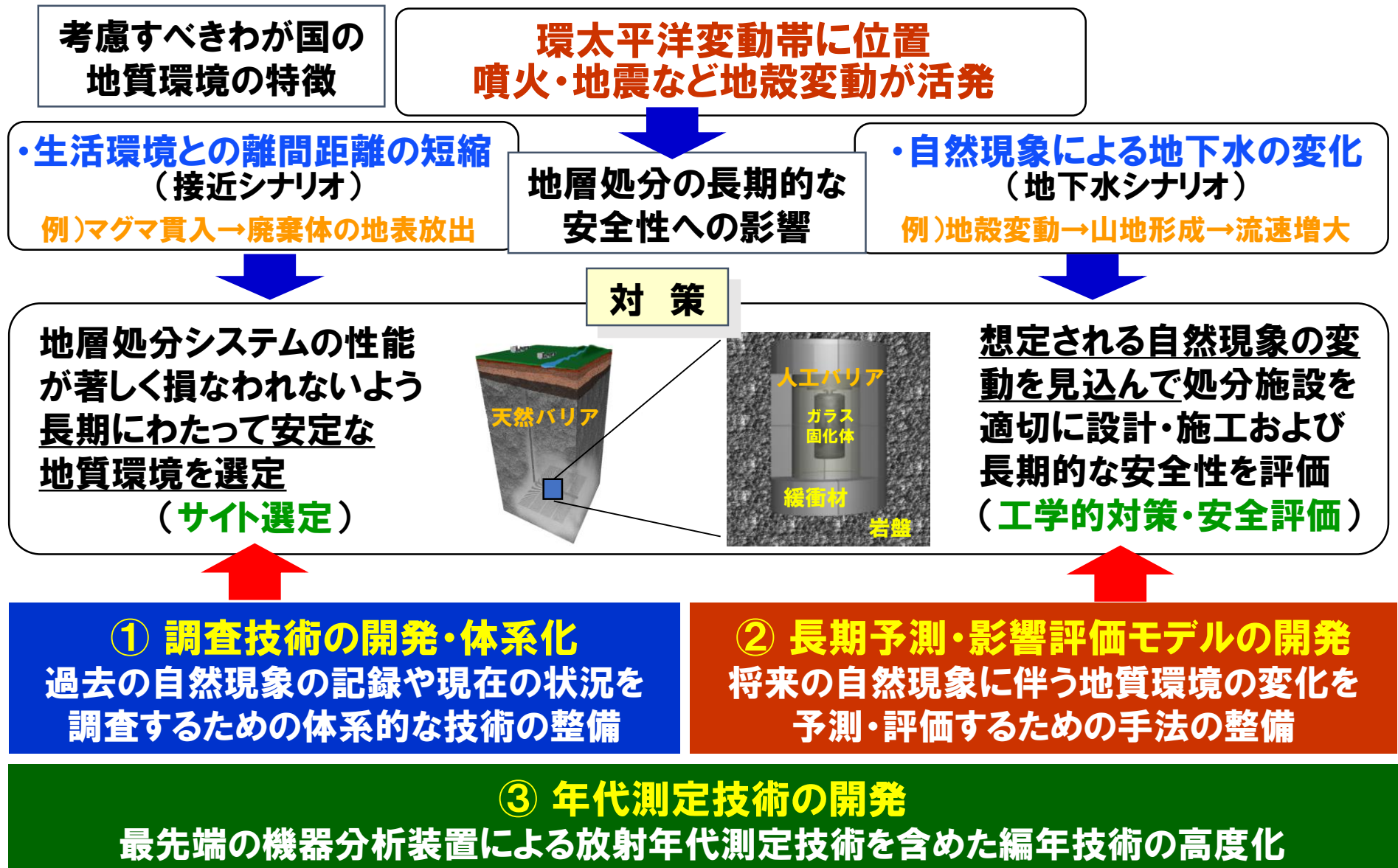
#### 年度計画（令和5年4月1日～令和6年3月31日）

地層処分に適した地質環境の選定に係る自然現象の影響把握及びモデル化を目指して、令和5年度は、大学等との共同研究等を通じながら、個別技術の整備を進め、統合化に着手する。個別技術としては、隆起・侵食や断層活動、熱水活動、気候・海水準変動等に関する熱年代学的手法や地球物理学的手法、地形・地質学的手法等を活用した技術の整備を進める。

統合化は、地層処分事業の各調査段階への具体的適用や、災害要因となる自然現象の理解への貢献を想定した科学的・技術的知見の創出を目標に進める。具体的には、御嶽山地域等における断層活動の影響評価に係る割れ目調査と地震学的解析の組み合わせにより、地形に現れていない活断層の検出技術等を提示する。こうした統合化は、原子力に係る課題解決や社会のニーズへの対応を考慮しながら、地質環境の大きく異なる検討地域に応じて、適切な個別技術を組み合わせつつ進める。

自然現象の理解と予測等に係る研究開発で重要な放射年代測定技術等の微量の試料に対応可能な測定手法や前処理技術の改良等を図る。

# 地層処分の安全確保の考え方と研究開発のフレーム



# 地質環境の長期安定性に関する研究

## ① 調査技術の開発・体系化

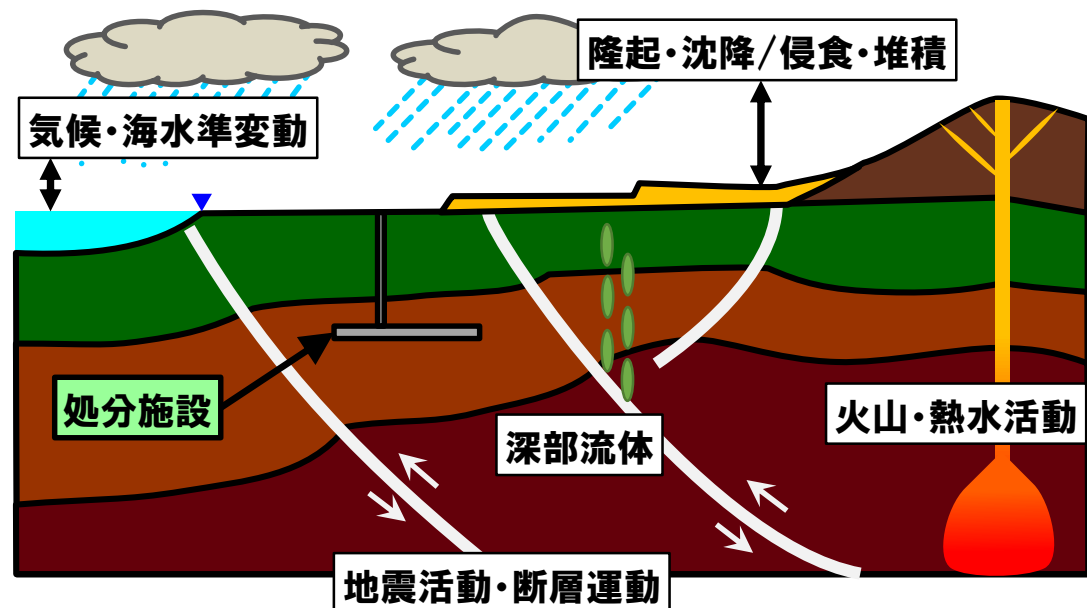
⇒サイトの選定や安全性の検討に必要なデータ取得技術

## ② 長期予測・影響評価モデルの開発

⇒将来の長期的な変動を考慮した安全評価に必要な技術

## ③ 年代測定技術の開発

⇒①, ②の信頼性を向上するための技術基盤



# 令和5年度の主な成果

- 幅広い地質環境に対する将来の自然現象の影響評価に反映するための調査・評価技術の充実に向けて、事例研究の蓄積及び各種年代測定技術の信頼性の向上を図った。
- 火山・火成活動については、第四紀火山が存在しない地域において、火山・火成活動が新たに発生する可能性を調査・評価する手法として、電磁探査と熱年代学的手法を組み合わせた手法の検討に着手した。
- 地震波解析及び地質構造解析（割れ目調査）等により深部流体の移行経路を把握するための手法について適用事例の蓄積（能登半島地域等）を図った。
- 小断層解析に基づき、活断層地形が不明瞭な地域において活構造を検出する手法について、適用事例の蓄積を進めるとともに、適用性拡充のための手法の改良に着手した。
- 隆起・侵食速度推定のための手法の拡充・信頼性向上（OSL、TCN等）を図るとともに、地形の長期的な変化をシミュレーションする手法の高度化を進めた。

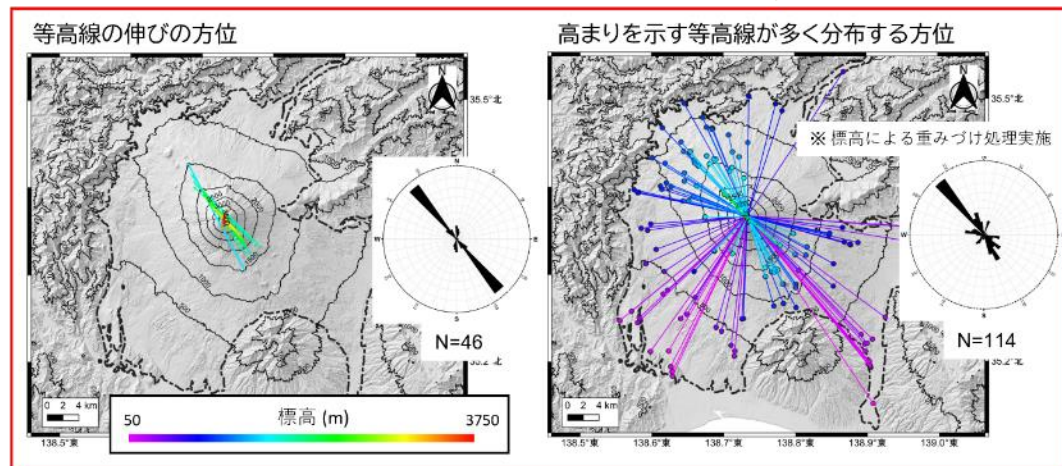
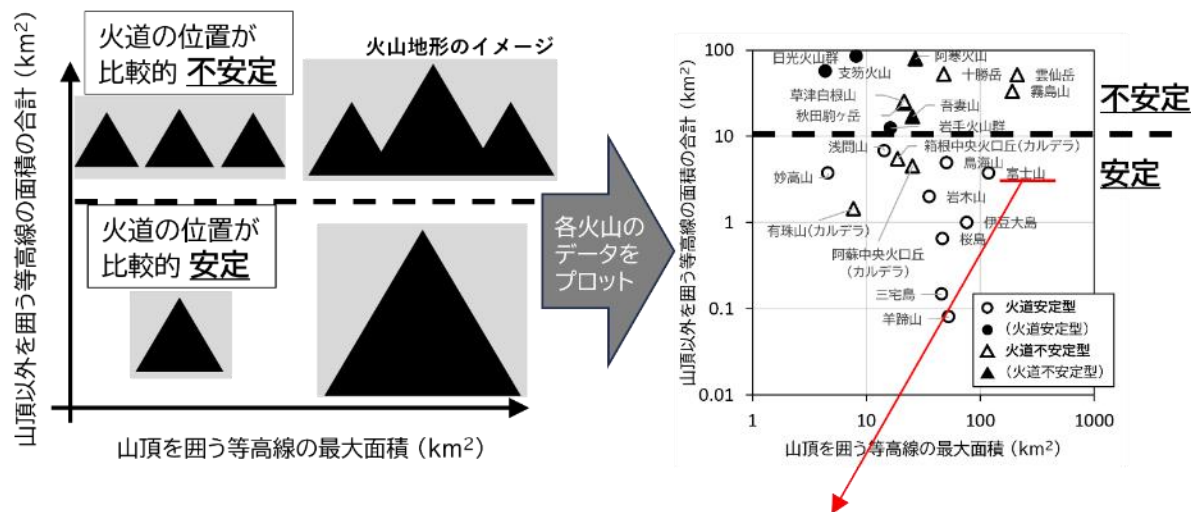
\* 本研究は、経済産業省資源エネルギー庁委託事業(高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業[JPJ007597])の成果の一部を利用した。

# ①調査技術の開発・体系化:火山・火成活動

**【目的】** マグマの影響範囲の評価における妥当な設定(火山体の中心の定め方や離隔距離)のための考え方の整備

## 【令和5年度の実施内容】

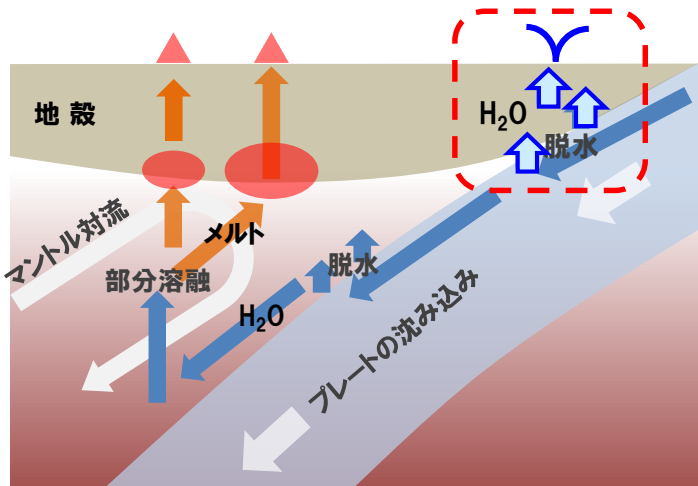
- ▶ 昨年度構築した、地形解析に基づき火道の安定性を評価する手法について、論文発表(西山ほか, 2023, 応用地質)及び**プレスリリース**を実施
- ▶ 地形解析手法については隆起・侵食評価のための山地の発達過程の検討にも展開
- ▶ **新規火山の発生ポテンシャルを検討するための新たな技術開発に着手**(後のスライド「②長期予測・影響評価モデルの開発」で説明)



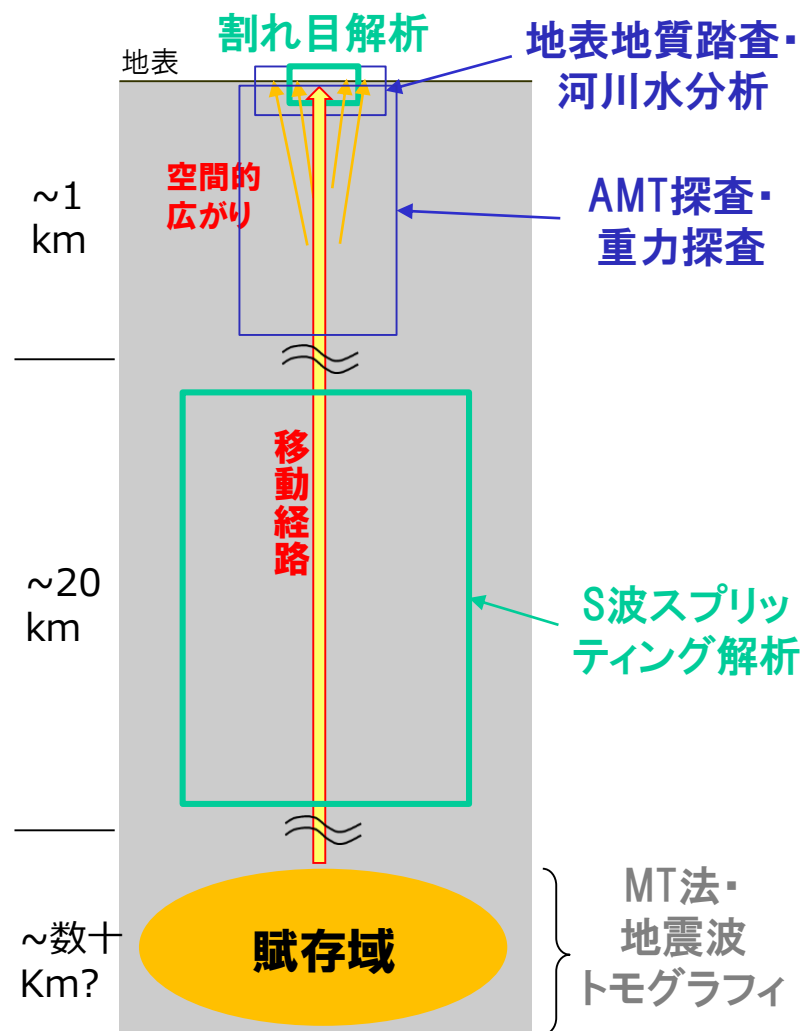
火道が安定している火山に対して、放射状岩脈が卓越する方向を推定可能

# ①調査技術の開発・体系化：深部流体

**【目的】** 沈み込むプレート起源の深部流体の地表付近への流入経路や空間的広がりを調査・評価する技術(地震波解析、割れ目解析、地化学探査等)の拡充



- 深部流体(非天水起源の地下水)のうち、特に沈み込むプレート起源のものは高温・高塩濃度・高CO<sub>2</sub>濃度等の特徴を有することが多く、地層処分システムに及ぼす影響を適切に評価することが重要
- 深部流体の特徴、賦存域、移動経路等を把握するための体系的な調査・評価技術の構築に向け、資源エネルギー庁委託事業を通じて電力中央研究所と共同で研究開発を実施



各調査手法の空間スケール・深度の概念図

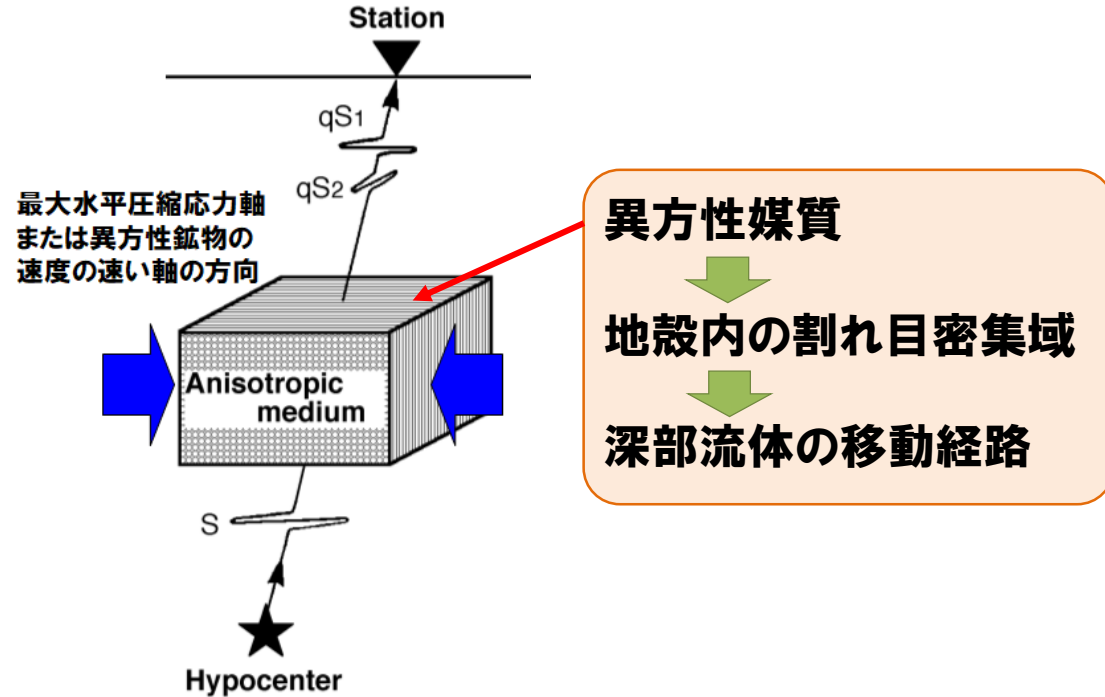


# ①調査技術の開発・体系化：深部流体

## 【令和5年度までの実施内容及び成果】

### S波スプリッティング解析

異方性媒質に入射した地震波(S波)が速度・振動方向の異なる2つの波に分離する現象を解析することにより、異方性媒質の分布や性状(クラック卓越方向や密度)、流体の移動や応力場の変化等を明らかにする手法



- これまでに、沈み込むプレート起源の深部流体の湧出が知られている地域(紀伊半島、有馬温泉等)や、地震に伴い大量の湧水の発生が報告されている地域(長野県松代、福島県いわき)を事例対象として解析を実施し、適用性を確認
- 2020年12月以降群発地震が活発化している能登地域(非火山地域)でも昨年度より手法を適用

⇒令和6年1月1日の能登半島地震(M7.6)前後の変化について検討中

# ①調査技術の開発・体系化:地震・断層活動

**【目的】** 地表地形では特定が困難な地下に伏在する活構造を検出するための信頼性の高い手法の提示

## **【令和5年度の実施内容及び成果】**

地球物理学的手法（震源メカニズム解析等）と地質学的手法（小断層解析）のそれぞれから推定される応力場を比較することにより、地下に伏在する活構造の分布を把握する手法を検討

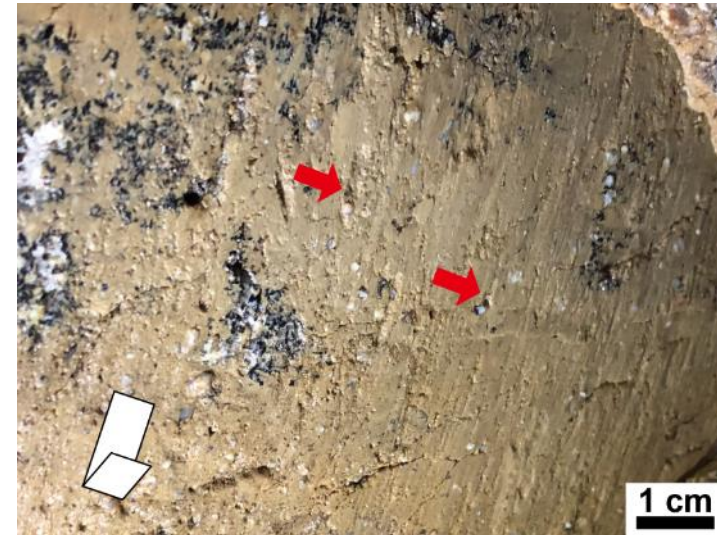
### ➤ これまでの成果について論文発表

- 1997年鹿児島県北西部地震震源域  
(Niwa et al., 2024, Island Arc)
- 1984年長野県西部地震震源域  
(Nishiyama et al., submitted to Earth and Space Science)

### ➤ 手法の信頼性向上に向けた事例研究の拡充に着手 (2016年鳥取県中部地震震源域)

## **【今後の計画】**

- 小断層解析手法の適用性拡充のため、Hough法(運動方向の不明な不完全データにも適用できる手法)やTPHモデル(ブロック回転を考慮したモデル)の適用性の検討
- UAVレーザー測量や割れ目密度解析等の取り入れによる、断層運動の「影響範囲」の把握に向けた検討

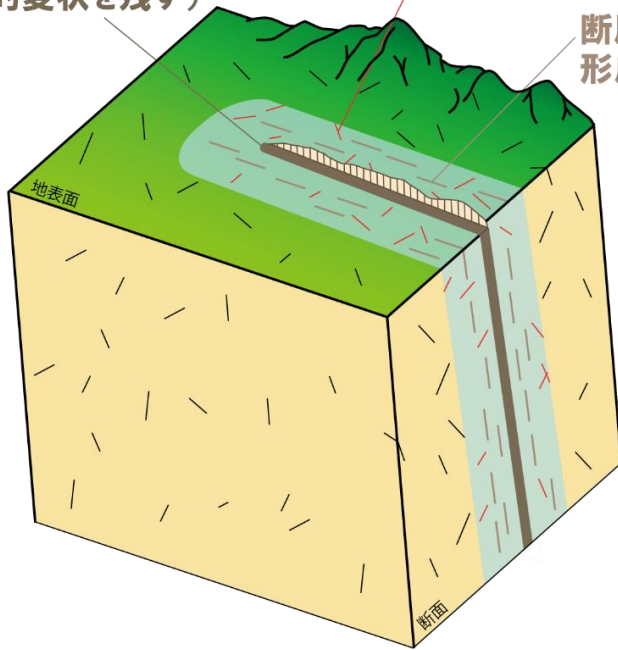


小断層に記録される条痕の形状から運動方向を復元

# ①調査技術の開発・体系化：地震・断層活動

## 地下に伏在する活構造の分布を把握する手法

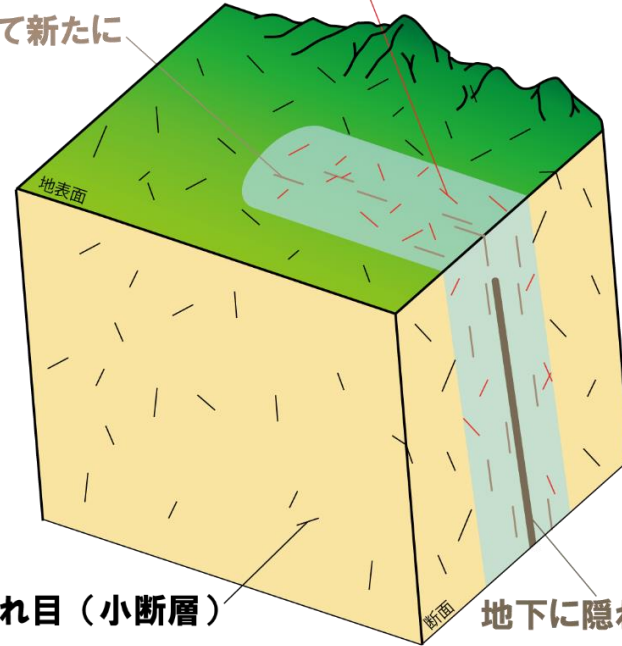
地表に露出した活断層  
(地表に地形的変状を残す)



地表に活断層が露出している場合

周辺の既存の小断層も、断層運動に伴って変位しうる

断層運動に伴って新たに  
形成した割れ目



既存の割れ目(小断層)

地下に隠れた活断層

活断層が地下に隠れている場合

地表の既存の割れ目(小断層)の解析

: 現在と過去の応力が混在



応力場を比較 → 現在の応力によって変位した可能性の高い小断層  
が多く分布する範囲を特定

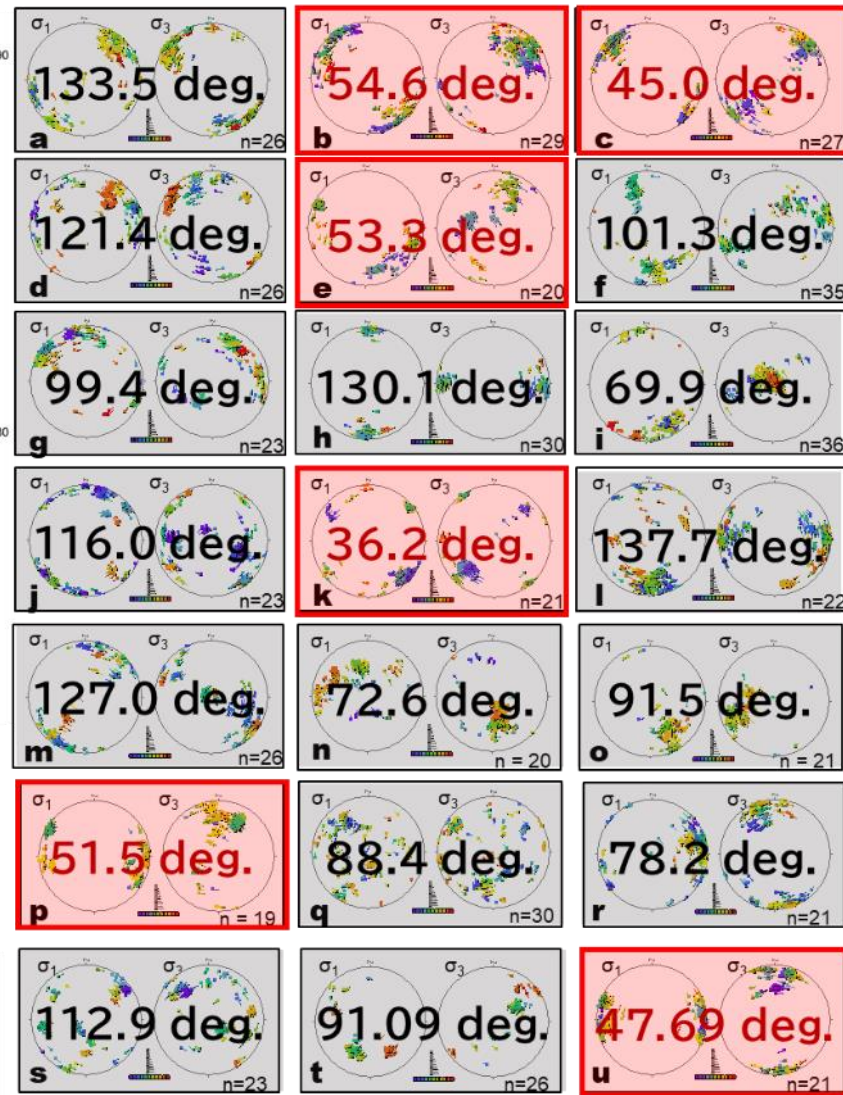
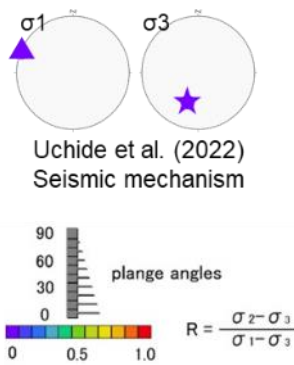
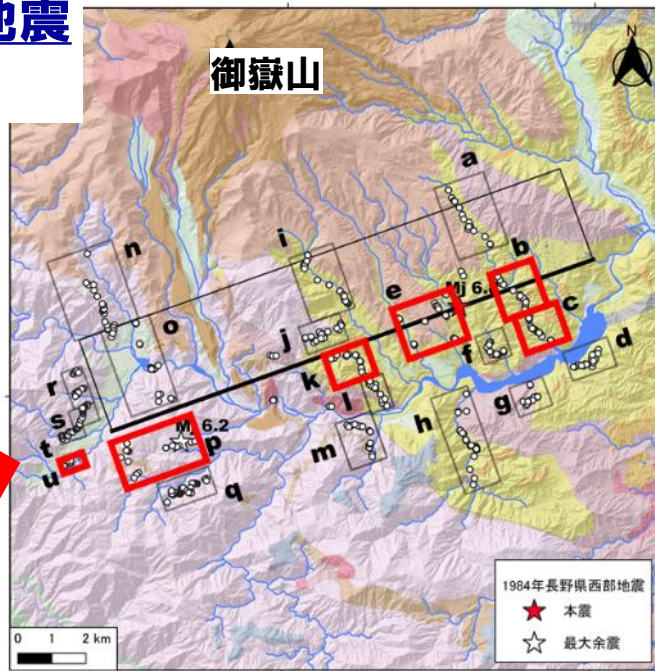
常設観測点で検知される微小地震の解析

: 現在の応力(過去数十年間程度の地震データ  
から計算されるため)

# ①調査技術の開発・体系化:地震・断層活動

## 1984年長野県西部地震 震源域での事例研究

推定断層



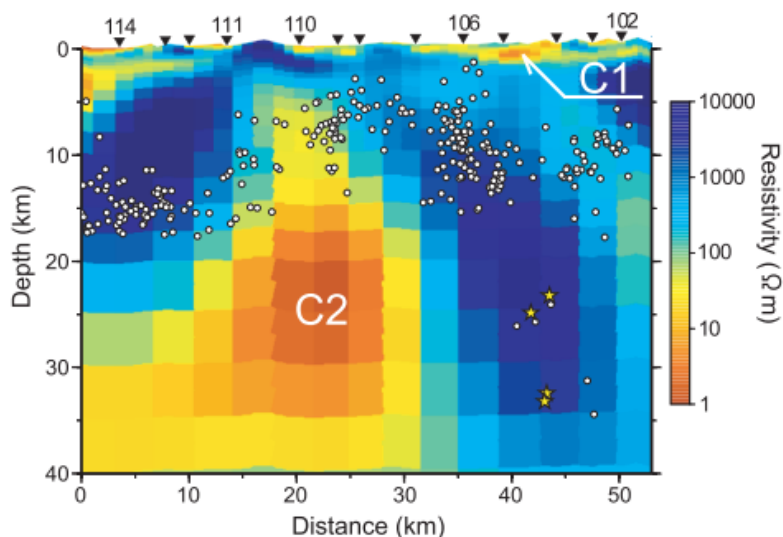
震源メカニズム解析と小断層解析の両者から推定される応力の近さを数値化(応力角距離)  
⇒1984年長野県西部地震の推定断層沿いで現在の応力場に近い

## ② 長期予測・影響評価モデルの開発：火山・火成活動

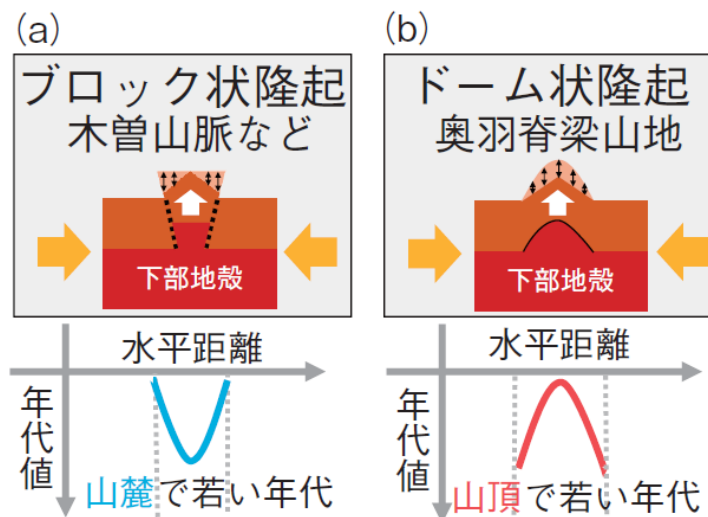
**【目的】** 第四紀火山が存在しない地域において、火山・火成活動が新たに発生する可能性と、その影響に関する予測の信頼性向上

### 【令和5年度の実施内容】

非火山性山地を事例対象とした、山地直下の高温流体の存否を明らかにする**電磁探査**と、山地の隆起形態を明らかにする**熱年代学的手法**を組み合わせることにより、将来的に火山活動へと発展する蓋然性について提示するための事例研究（飯豊山地及び太平洋山地）に着手



飯豊山地(非火山)における電磁探査結果(2次元比抵抗分布)  
(Umeda et al., 2006)



(a) 構造性山地と (b) 火山性山地の隆起形態とそれらに対応する年代分布(福田・末岡, 2021)

[https://rdreview.jaea.go.jp/review\\_jp/2021/j2021\\_8\\_7.html](https://rdreview.jaea.go.jp/review_jp/2021/j2021_8_7.html)

### 【今後の計画】

電磁探査データの解析、及び、熱年代データの解析及び拡充を継続

## ② 長期予測・影響評価モデルの開発：隆起・侵食

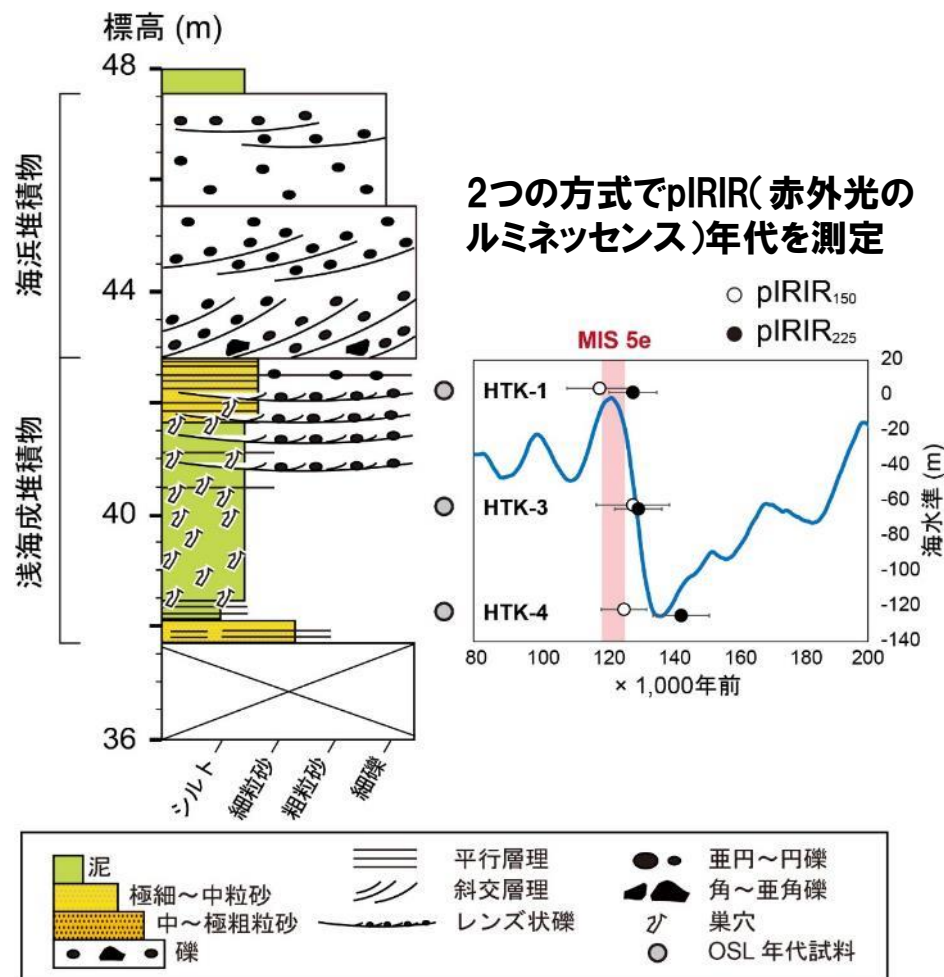
**【目的】** 隆起・侵食速度推定のための、従来手法(火山灰層序、放射性炭素等)では年代決定が困難な堆積物に対する新たな手法の構築、及び、地質環境長期変遷のモデル化への反映

### 【令和5年度の実施内容及び成果】

- 従来手法に代わる手法として、光ルミネッセンス(OSL)法と宇宙線生成核種(TCN)法の適用性を、MIS 5e(約12万年前)まで確認
- さらに古い年代(MIS 7より古い；数十万年前)に対するOSL、TCN、+α(花粉、古地磁気等)による隆起・侵食速度推定技術の検討を、能登半島を事例対象として実施中
- 得られた隆起・侵食速度データを適切に反映するための地形変化シミュレーション技術を検討

### 【今後の計画】

OSL等の各分析手法及び地形変化シミュレーション技術の適用性の拡充を継続



紀伊半島南部、新宮地域の海成段丘での適用事例  
(Ogata et al., submitted to Earth, Planets and Space)

### ③ 年代測定技術の開発

土岐地球年代学研究所のリソース(研究者及び装置)を最大限活用し、多岐にわたる年代測定手法について、**幅広い年代範囲や対象物への適用**を目指した新規技術の開発、及び既存技術の適用事例の拡充を推進

#### 新規開発中の主な手法

- 火山活動時期に関する編年技術の高精度化を目的とした、火山灰中の鉱物等に対するレーザーアブレーションを用いた局所分析法によるU-Th非平衡年代測定技術の整備
- 断層試料に対する新しい年代測定手法としてのK-Ca法の開発
- 礫に対するOSL測定技術の構築や可搬型OSL測定装置の開発による、OSL年代測定技術の適用範囲の拡充や効率化
- 熱年代学的手法の高度化（モナザイトFT法等の新規手法の開発やFT自動計測技術の適用鉱物の拡充等）
- 加速器質量分析による地下水を対象としたCl-36年代測定法の実用化（同重体分別の最適化等の検討）
- 放射性炭素年代測定の効率化のための、超小型かつ安価で管理区域の設定が不要な加速器質量分析装置の開発

# ③ 年代測定技術の開発

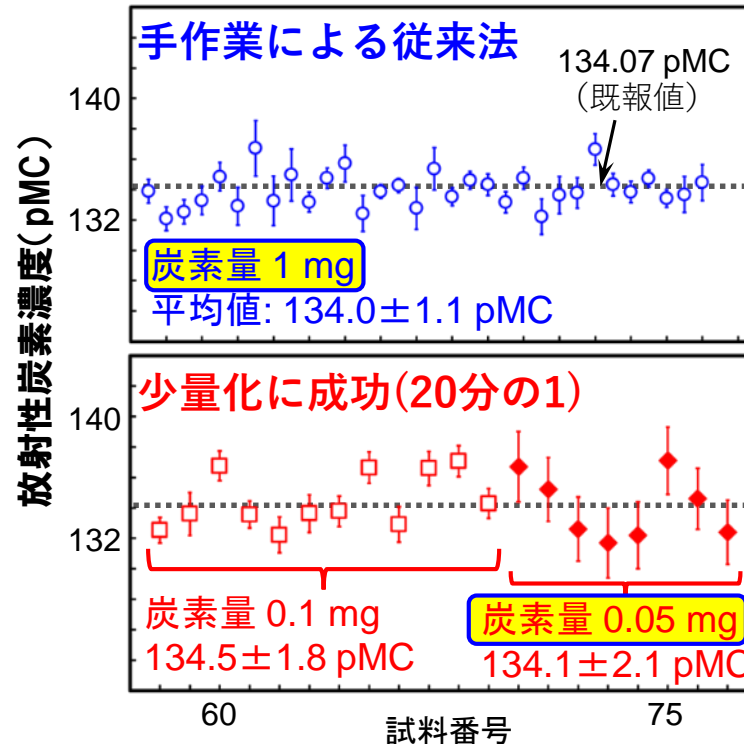
## 微量の試料に対応可能な測定手法や前処理技術の改良

### 【目的】 放射性炭素年代測定における微量試料の前処理手法の構築

\* pMC: パーセントモダンカーボン  
1950年の大気中<sup>14</sup>C濃度を  
100としたときの割合

### 【令和5年度までの実施内容及び成果】

- 市販の自動グラファイト調製装置を最適化し、従来法の20分の1の量（炭素量0.05 mg）での放射性炭素年代測定に成功
- 微量で年代測定を実施する際に重要となる分析作業時の炭素汚染評価を実施
- 試料導入用カプセルの材質を選定し事前に加熱処理を行うことで分析時に混入する炭素（バックグラウンド）を低減



自動化,  
少量化  
手法を構築



(Watanabe et al., 2021, Geochemical Journal)

[https://rdreview.jaea.go.jp/review\\_jp/2021/j2021\\_8\\_8.html](https://rdreview.jaea.go.jp/review_jp/2021/j2021_8_8.html)

### 【今後の計画】

炭素量不足のため放射性炭素年代測定ができなかった試料への適用を継続して実施



# 理解促進活動・人材育成

## 理解促進活動

研究内容について、地域の皆様への成果紹介(サイエンスカフェや、東濃地科学センターセミナー&地層科学研究情報・意見交換会の開催、地元主催の野外学習会への協力等)を積極的に実施するとともに、博物館(静岡県立ふじのくに地球環境史ミュージアム等)の企画展や学会等での地層処分に係る招待講演、大学・高校(岐阜大学、信州大学、富山県立高校等)での講義・講演にも協力した。



サイエンスカフェの様子(年間6回開催)



土岐市主催の野外学習会への協力(2023年10月)

## 人材育成

夏期休暇実習生や特別研究生等の制度や、共同研究を通じ、大学院生等の若手研究者への技術指導や機構事業の認知度向上に努めた。

R5年度実績: 夏期休暇実習生5名、学生実習生3名

# 共同研究・成果発表等

共同研究先	研究テーマ
岐阜大学	堆積物等の詳細分析に基づく気候・環境変動に関する研究
国立歴史民俗博物館	日本産樹木年輪による炭素14年代較正曲線の整備
日本大学・愛知大学	断層破砕帯の内部構造解析に関する共同研究
深田地質研究所・東京大	断層中のメタンガス高精度検出に関する共同研究
関西電力・富山大	断層岩化学組成データベースの構築と断層活動性評価への活用に関する研究
富山大学	断層運動や地殻変動の履歴に関する共同研究
熊本大・東京大・山形大・学習院大	岩石・鉱物の微小領域分析技術に関する共同研究
弘前大学	第四紀地殻変動の評価手法の高度化に関する共同研究
京都大学	地質環境の長期安定性評価に係る自然現象調査技術の高度化に関する共同研究
山口大学	捕獲電子を用いた断層年代測定法に関する共同研究
福井県立恐竜博物館	化石試料の年代測定を通じた高精度年代測定手法の妥当性評価に関する共同研究

(青字は資源エネルギー庁受託事業において実施)

【成果発表等(R5年度)】〔今後の予定分も含む〕

査読付論文29件(うち11件投稿中)、学会発表62件、その他論文等5件

# 令和5年度の成果のまとめと今後の計画

## 成果のまとめ

- 幅広い地質環境に対する将来の自然現象の影響評価に反映するための調査・評価技術の充実に向けて、事例研究の蓄積及び各種年代測定技術の信頼性の向上を図った。
- 火山・火成活動については、第四紀火山が存在しない地域において、火山・火成活動が新たに発生する可能性を調査・評価する手法として、電磁探査と熱年代学的手法を組み合わせた手法の検討に着手した。
- 地震波解析及び地質構造解析（割れ目調査）等により深部流体の移行経路を把握するための手法について適用事例の蓄積（能登半島地域等）を図った。
- 小断層解析に基づき、活断層地形が不明瞭な地域において活構造を検出する手法について、適用事例の蓄積を進めるとともに、適用性拡充のための手法の改良に着手した。
- 隆起・侵食速度推定のための手法の拡充・信頼性向上（OSL、TCN等）を図るとともに、地形の長期的な変化をシミュレーションする手法の高度化を進めた。

## 今後の計画

- 引き続き、幅広い地質環境に対する将来の自然現象の影響評価に反映するための研究開発を進める。特に、1) 処分事業への反映を念頭に置いた、調査技術の効率化及び最適な調査技術を選択するための考え方の提示、2) 最先端の科学的知見を取り入れることにより、幅広い年代範囲や対象物への適用を実現するための様々な年代測定技術等の開発、3) 各自然現象間の相互関係を考慮した、個別の知見や手法を統合化した調査・評価プロセスの提示、に重点を置く。