

令和6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7年3月28日

**国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
東濃地科学センター**

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6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6年4月1日～令和7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6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、統合化に向けた取組を継続する。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を整備しつつ、調査事例を通じて技術適用性を確認する。

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、既存の河床縦断面地形変化シミュレーションの汎用性の拡充を行うとともに、氷期・間氷期の気候変化が山地の削剥速度に与える影響を定量的に評価するための調査・研究に着手し、両者を組み合わせることで地形の長期的な変化の過程を把握する。こうした統合化は、原子力に係る課題解決や防災・減災といった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開発や改良等を継続して図る。

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

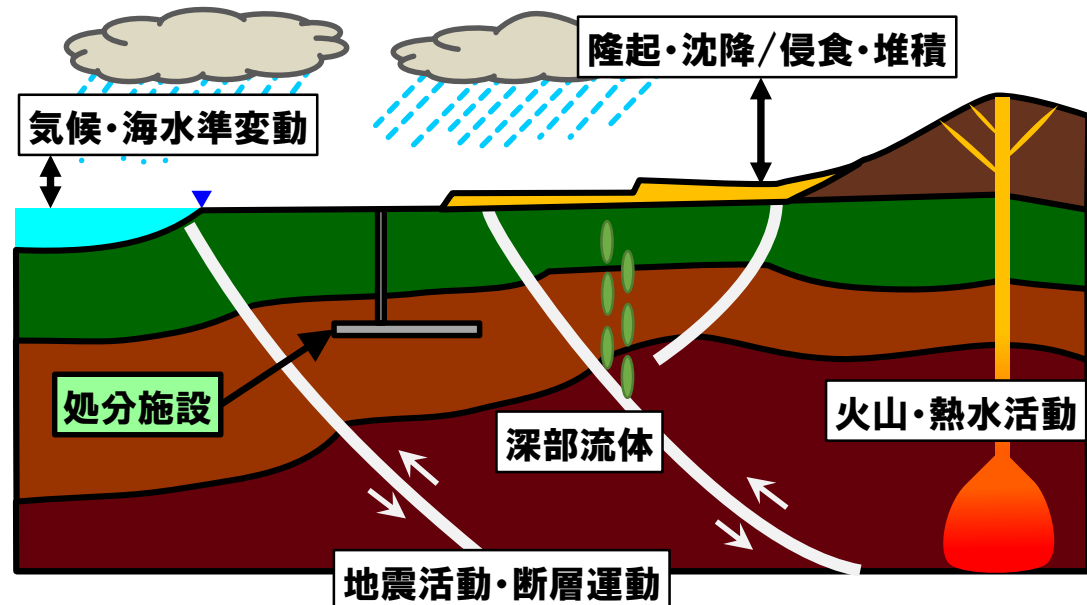
⇒サイトの選定や安全性の検討に必要なデータ取得技術

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



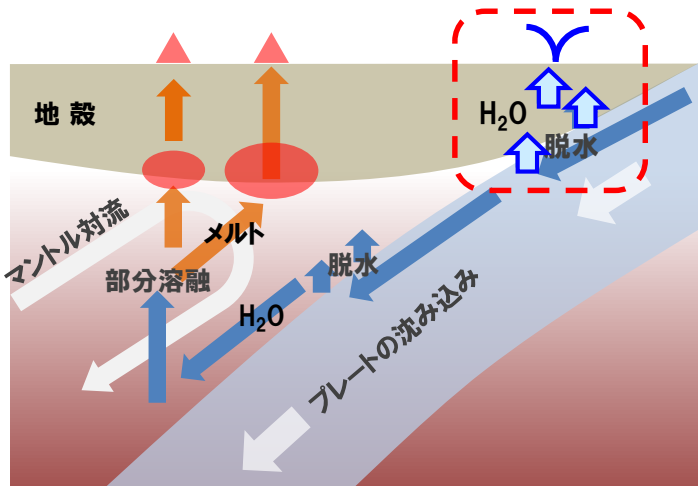
令和6年度の主な成果

- 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事例研究を実施し、非火山地域で起こり得る火成活動の空間的な安定性に関する知見を獲得できる見込みを得た。
- 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、その有用性を示す適用事例を蓄積した。
- 地震学的手法と地質学的手法を組み合わせた、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、適用事例の蓄積を通じて、信頼性向上に必要な課題を特定した。
- 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）に係る適用事例を拡充するとともに、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。

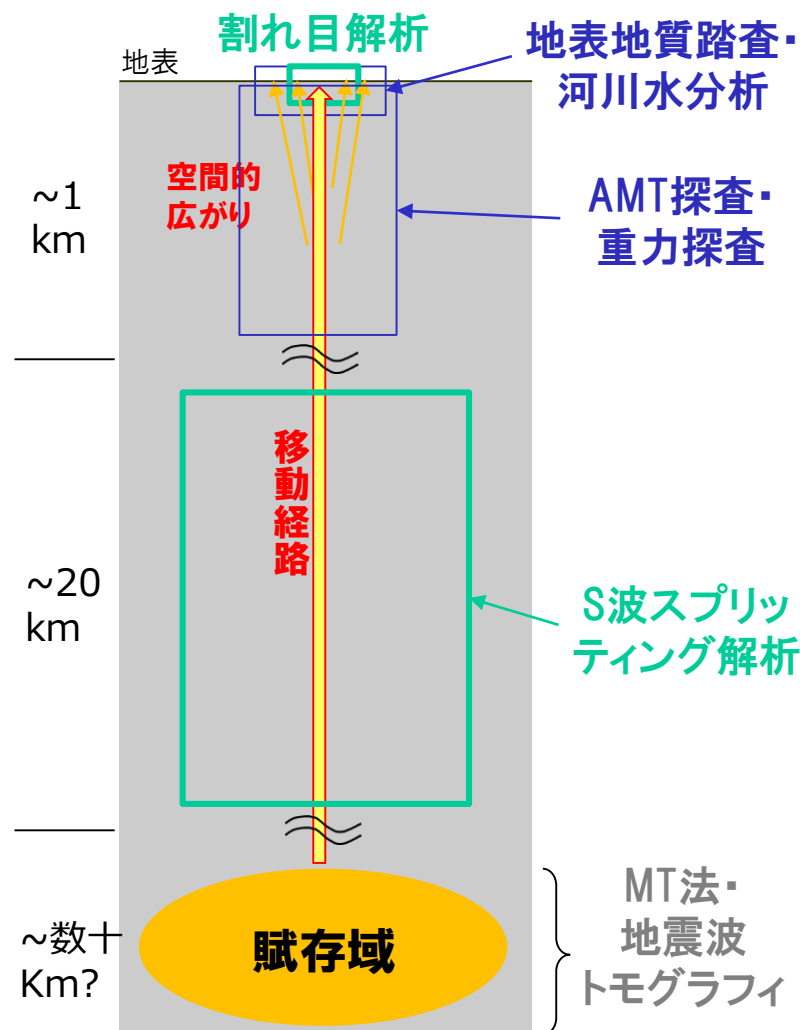
* 本研究は、経済産業省資源エネルギー庁委託事業(高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業[JPJ007597])の成果の一部を利用した。

①調査技術の開発・体系化：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)の構築



- 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CO₂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

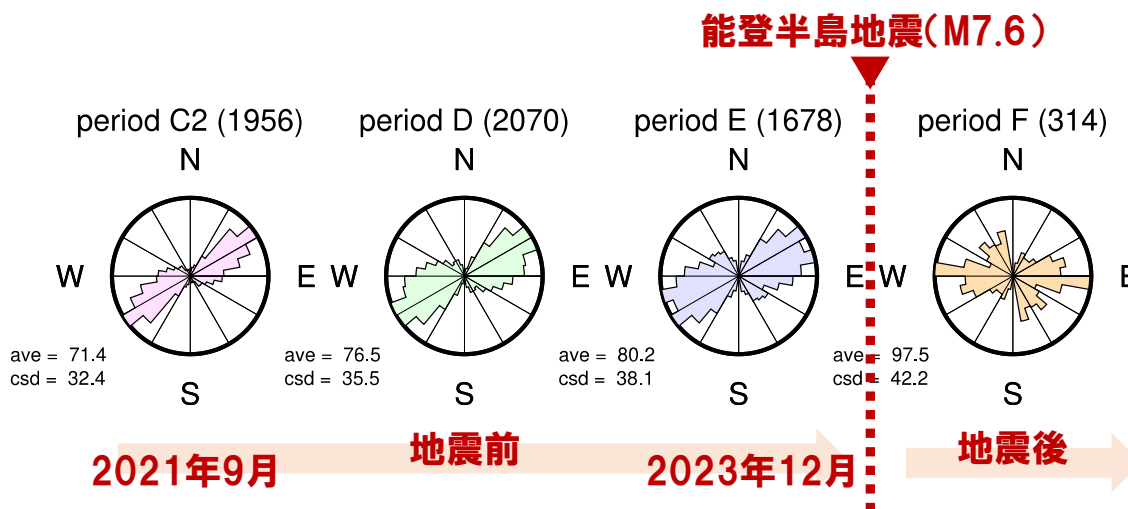
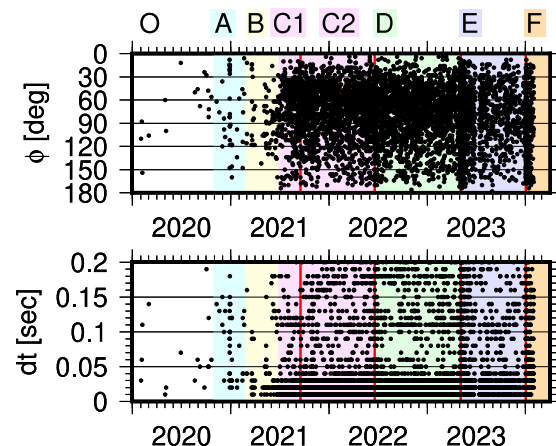
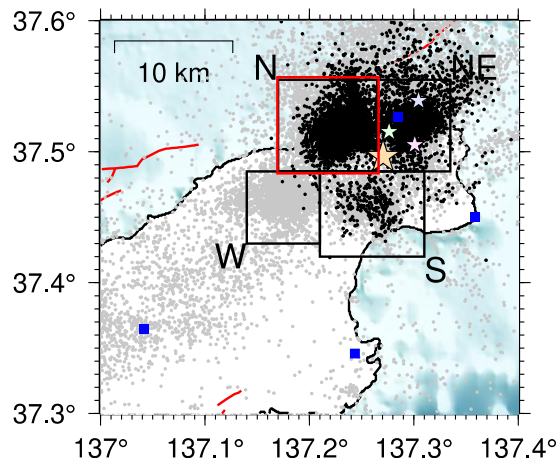


各調査手法の空間スケール・深度の概念図

① 調査技術の開発・体系化：深部流体

【令和6年度までの実施内容及び成果】

- 2024年1月1日の能登半島地震 (M7.6) 前後の地震観測データを対象としたS波スプリッティング解析を実施し、流体流入に関する適用事例を取得
- 深部流体が湧出する八塩鉱泉を事例として割れ目調査を実施し、湧出地点と割れ目分布の関係性について検討



【今後の計画】

- 地震波解析の適用条件の整理
- 電力中央研究所が実施する地球化学、物理探査を併せた体系的な方法論の検討

能登半島地震を事例としたS波スプリッティング解析の適用事例
 → 異方性の時間変動が認められ、深部からの流体流入を示唆する可能性

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6年度の実施内容及び成果】

地震学的手法（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

➤ これまでの成果の論文発表・プレスリリース

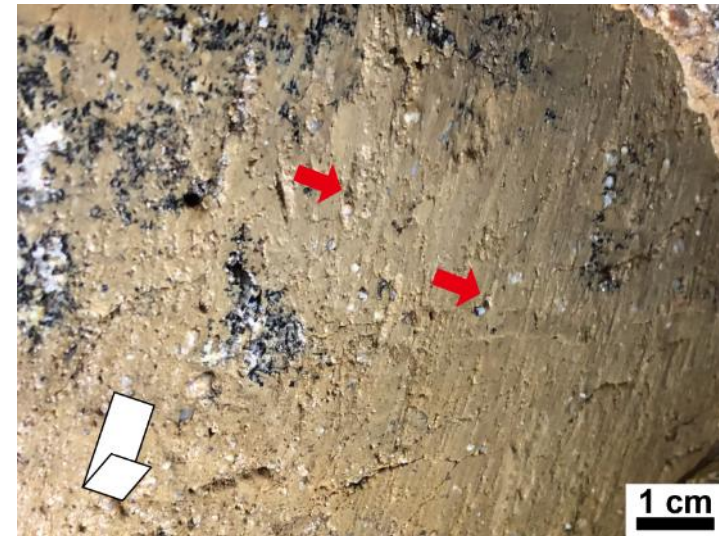
- 1984年長野県西部地震震源域
(Nishiyama et al., 2024 Earth and Space Science)
- 「岩盤に記録された“滑り痕”から、“隠れ活断層”検出の手がかりを発見」2024年7月19日

➤ 手法の信頼性向上に向けた事例研究の拡充

- 1984年長野県西部地震震源域におけるデータ拡充
- 2016年鳥取県中部地震震源域における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)の適用

【今後の計画】

➤ 調査結果の信頼性向上のため、Hough法の適用、及び解析領域内における複数応力の検出・分離方法の検討

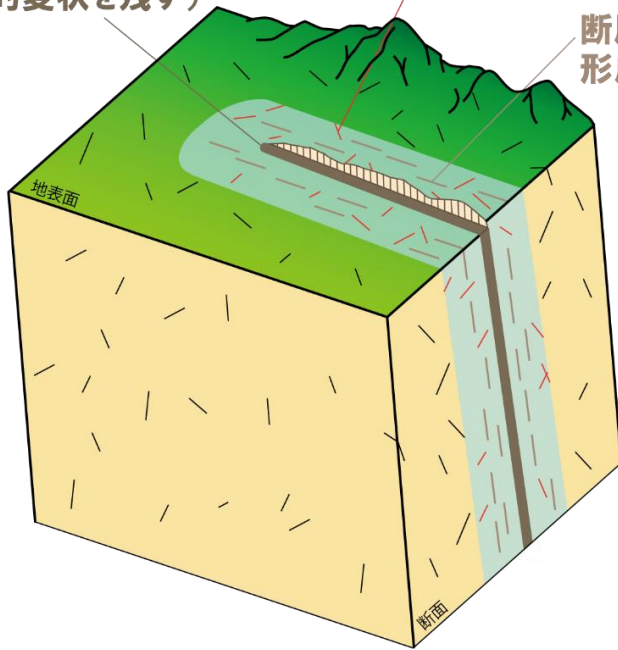


小断層に記録される条痕の形状から運動方向を復元

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

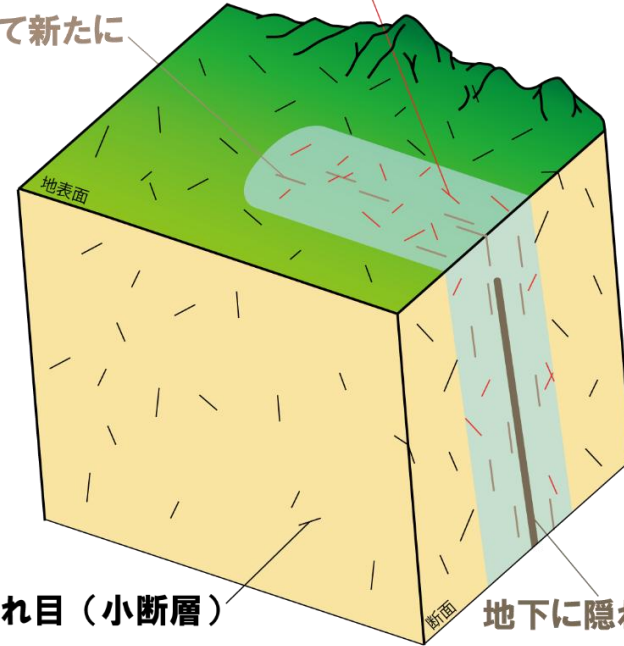
地表に露出した活断層
(地表に地形的変状を残す)



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



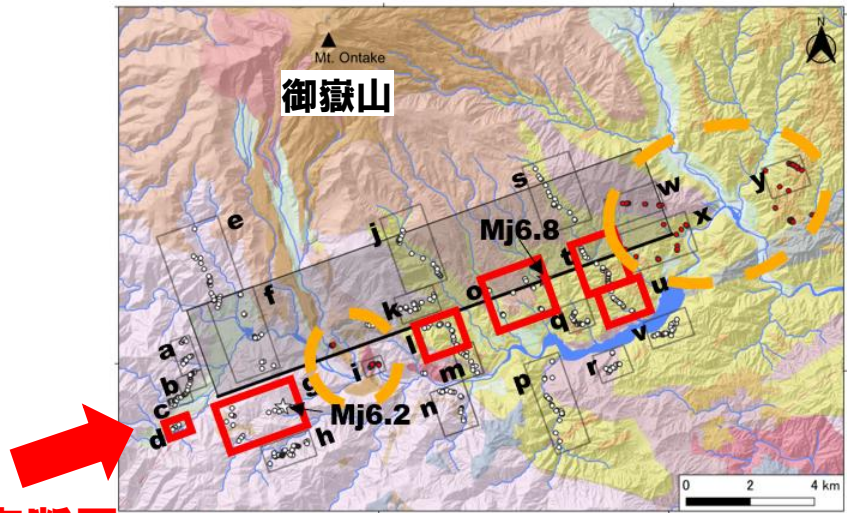
応力場を比較 → 現在の応力によって変位した可能性の高い小断層
が多く分布する範囲を特定

常設観測点で検知される微小地震の解析

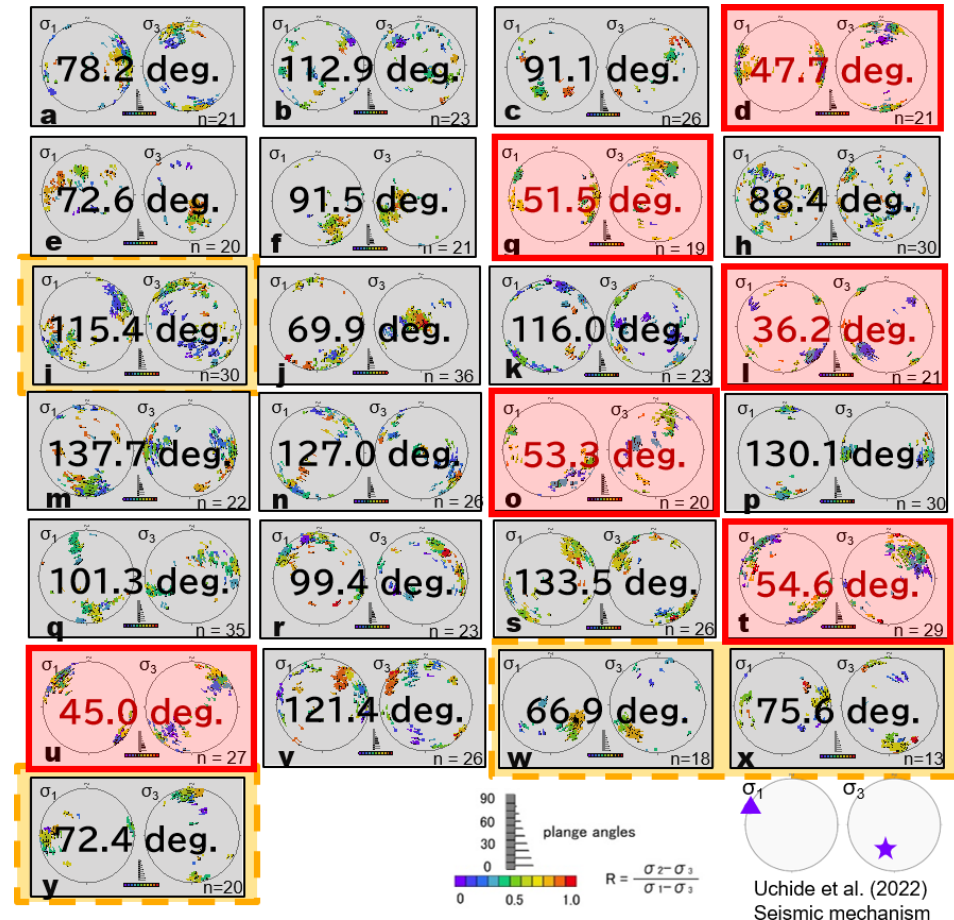
: 現在の応力(過去数十年間程度の地震データ
から計算されるため)

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



➤ 地震学的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

➤ 各領域内に広域応力と似た応力と、別の応力が混在

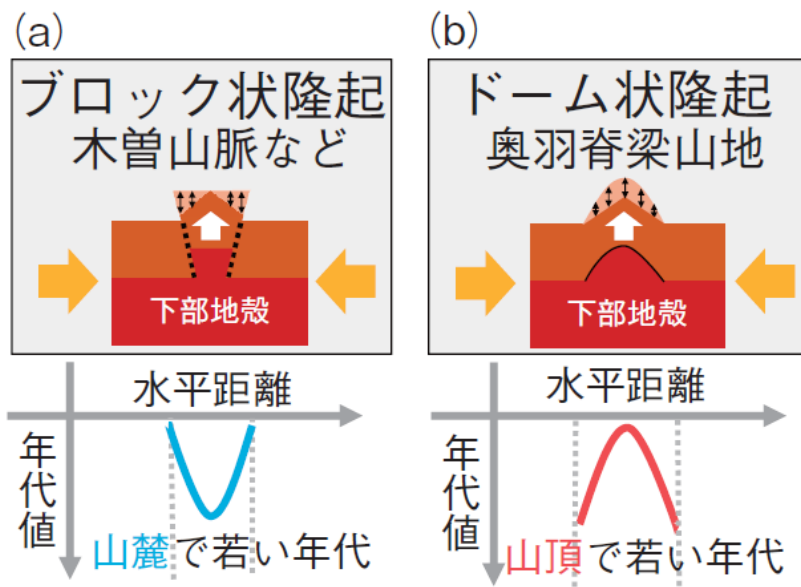
→ 信頼性向上のためには、複数応力の検出・分離が必要

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に関する予測の信頼性向上

【令和6年度の実施内容】

非火山性山地を事例とした、現在の高温流体の存否を明らかにする**電磁探査**等と、過去～現在の山地隆起形態を明らかにする**熱年代学的手法**を組み合わせ、将来新たな火山が生じる可能性に係る評価手法の拡充、非火山地域で起こり得る火成活動の時空間的な安定性に関する知見を得るための事例研究を実施（飯豊山地及び太平山地）



(a) 構造的な隆起形態と (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)

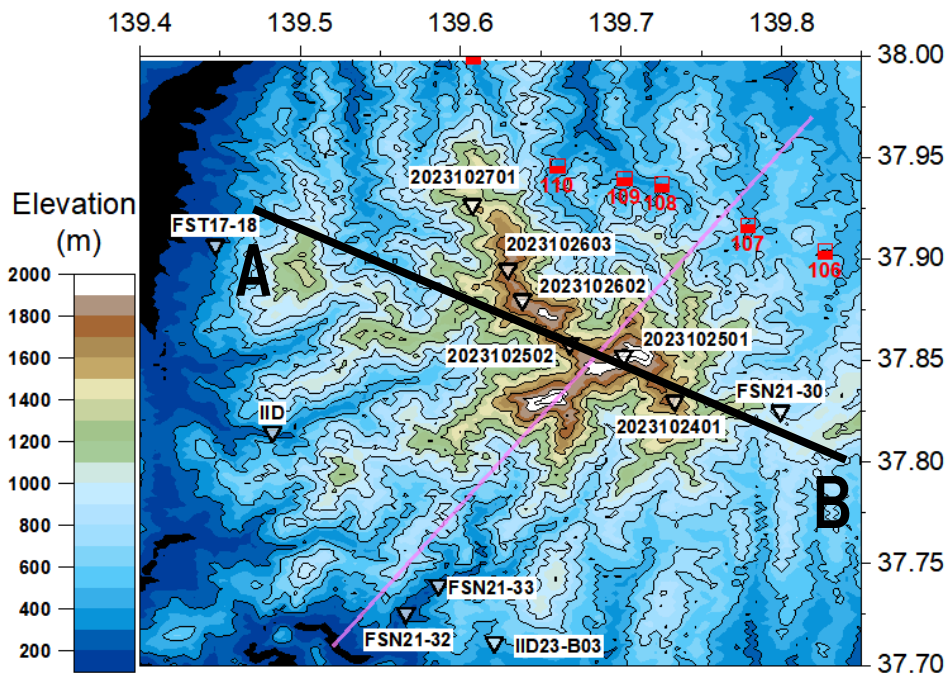
https://rdreview.jaea.go.jp/review_jp/2021/j2021_8_7.html

【今後の計画】

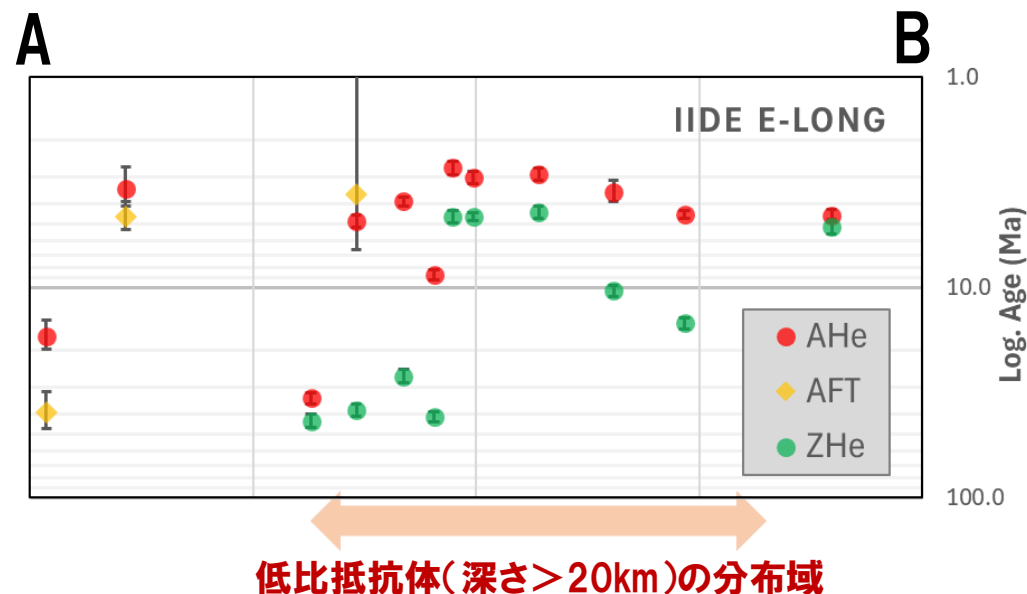
➤ 熱年代データの拡充及び熱史逆解析による高精度な熱履歴の復元

② 長期予測・影響評価モデルの開発：火山・火成活動

飯豊山地での事例研究



飯豊山地における試料採取地点(▽)及び電磁探査観測点(■)の分布



採取地点の東西断面の標高プロファイル(上)、東西方向の熱年代分布(下)。

- 熱年代試料の採取・分析を実施し、ドーム状隆起を示唆する熱年代の空間分布が検出
- 手法の組み合わせにより、非火山地域における火成活動の時空間的な安定性について議論できる可能性

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6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)法の適用性を検討

➤ これまでの成果について論文発表

・紀伊半島南部の海成段丘

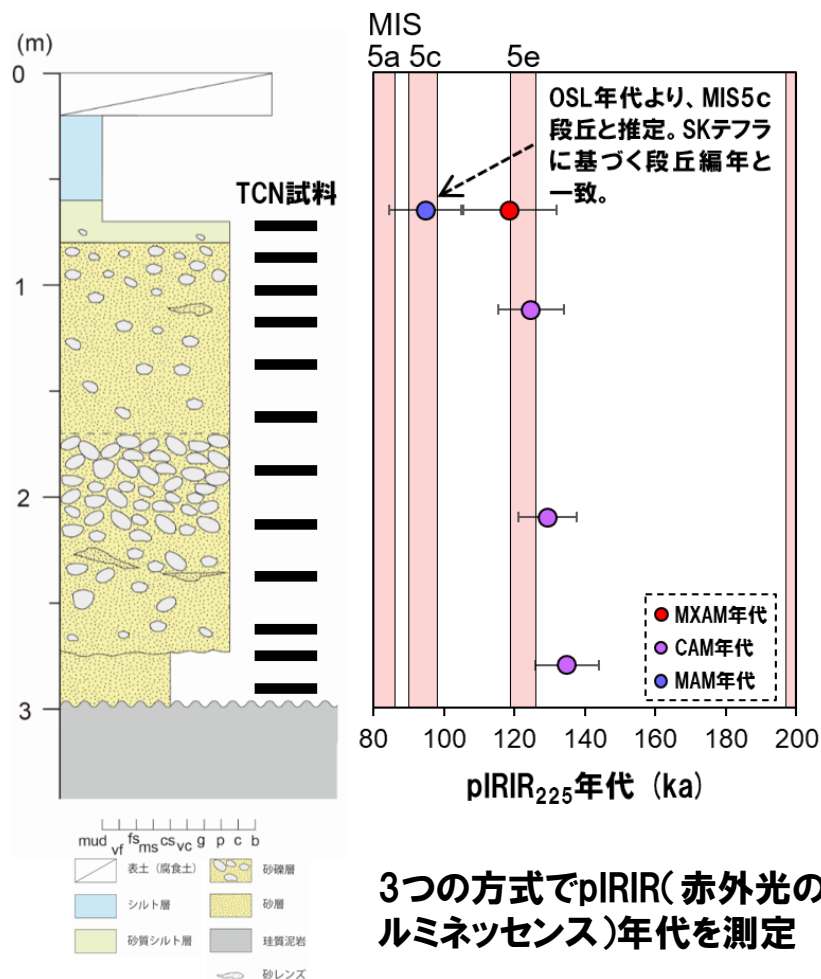
(Ogata et al., 2024 Earth, Planets and Space)

➤ MIS5やさらに古い年代(MIS7より古い；数十万年前)に対するOSL、TCNによる隆起・侵食速度推定技術の検討を能登半島にて実施し、適用事例を蓄積

➤ 地形変化シミュレーションによるモデルの妥当性に関する検討

【今後の計画】

より高位の海成段丘に対する適用性の確認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



3つの方式でpIRIR(赤外光のルミネッセンス)年代を測定

能登半島珠洲の海成段丘における適用事例

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・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）
- 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

土岐地球年代学研究所で実施中の年代測定法

対象施設	年代測定法	年代測定範囲(年前)							主な反映先	主な対象物質
		10 ⁹	10 ⁸	10 ⁷	10 ⁶	10 ⁵	10 ⁴	10 ³		
加速器質量分析装置 (JAEA-AMS-TONO-5MV & 300kV)	¹⁴ C法							■	断層運動	地下水, 有機物, 炭酸塩鉱物
	¹⁰ Be法			■	■	■			侵食速度	石英
	²⁶ Al法			■	■	■			侵食速度	石英
	³⁶ Cl法※				■	■			地下水年代	地下水
	¹²⁹ I法			■	■	■			地下水年代	地下水
希ガス質量分析装置	K-Ar法	■	■	■	■	■			断層運動	自生雲母粘土鉱物
四重極型質量分析装置	(U-Th) / He法		■	■	■	■			侵食速度	アパタイト, ジルコン
光ルミネッセンス測定装置	OSL法					■	■	■	断層運動	石英
					■	■	■		隆起速度	長石
電子スピン共鳴装置	ESR法			■	■	■	■	■	断層運動	石英
高精度希ガス質量分析装置	希ガス法		■	■	■	■	■		地下水年代	地下水
電子プローブマイクロアナライザ	CHIME法	■	■	■					後背地解析	モナザイト, ジルコン
レーザーアブレーション誘導 結合プラズマ質量分析装置	U-Pb法	■	■	■	■				後背地解析	ジルコン, チタナイト
		■	■	■	■				断層運動	炭酸塩鉱物
フィッショントラック自動計測装置	FT法		■	■	■	■			侵食速度	アパタイト, ジルコン, モナザイト※

※は開発中のもの

■ 地層処分に係る評価において重要な年代範囲

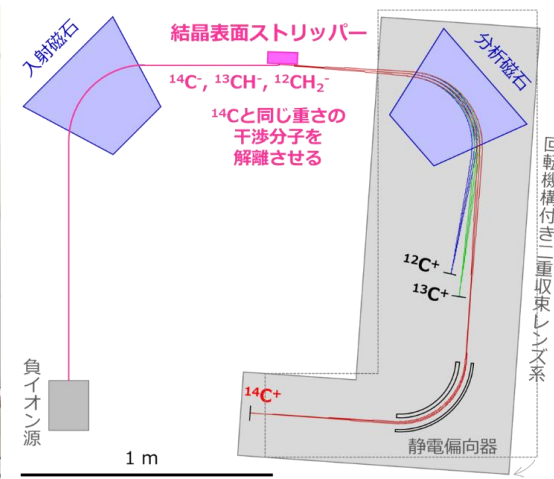
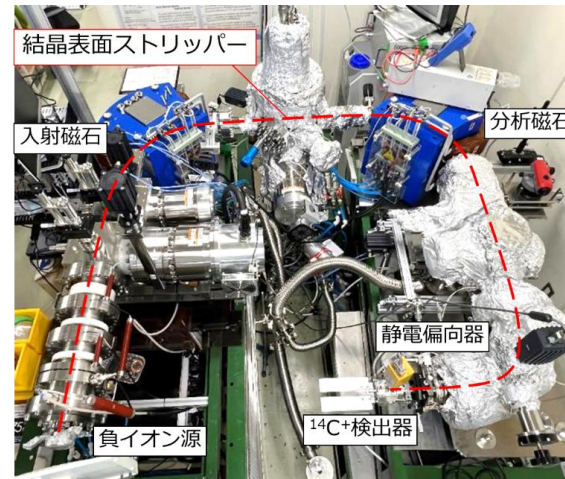
③ 年代測定技術の開発

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

【目的】 放射性炭素年代測定の効率化

【令和6年度までの実施内容及び成果】

- 加速器質量分析装置の超小型化への道を開く、「結晶表面ストリッパ法」という**独自技術の実証に世界で初めて成功**
- 装置を小型化しながらもビームの拡散を抑えることを実証
- 成果の論文発表・**プレスリリース**
 - Jinno et al. (2024) Nucl. Instr. Meth. B
 - 「新しい加速器質量分析技術の開発に成功」
2024年11月15日



開発を進めている超小型加速器質量分析装置

<https://www.jaea.go.jp/02/press2024/p24111502/>

【今後の計画】

結晶表面ストリッパの性能向上を目的とした、様々な金属結晶表面の探索・検討を、シミュレーションと実機を用いた実験により継続して実施

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の実施等)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)の企画展や大学(信州大学)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)

Science Cafe 2024
サイエンスカフェ

第1回 「超小型装置で時代の謎を解き明かす」
8月3日 土
地球科学や考古学の分野において、化石や遺物、遺跡などの年代を測定する方法のひとつに加速器質量分析という方法があります。東濃地科学センターでは、加速器質量分析を、今まで以上に様々な分野に普及させるべく、小型化させた装置を開発中です。講演では加速器質量分析の歴史から開発状況までご紹介します。

第2回 「湖の底から海の姿を知る」
9月7日 土
約 7500 年前の日本の海岸線は、現在よりもさらに内陸にあったことはよく知られています。これは主に縄文海進と呼ばれています。このような過去の海の姿を知る手がかりが、湖の底にある湖底堆積物に存在しています。湖底堆積物から読み取れる、過去からのメッセージをご紹介します。

参加申込方法 オンライン同時開催 (事前申込み制) 開催時間 10:00~11:15 (各回とも)
①全員参加 (定員 30名 先着順) ②オンライン参加
東濃地科学センター 1F
電話 予約は 0572-53-0211 (平日 9:00~18:00 受付)
0572-53-0211 (平日 9:00~18:00 受付)
東濃地科学センター 総機・共生課まで
(ホームページからの申込) <https://forms.office.com/MWzYFpPB>
上記アドレスまたは QR コード
をスマホ、タブレット、PC から
申し込みが可能です。申込
メールアドレス、電話番号等
は個別にお知らせいたします。

会場案内 東濃地科学センター
1階 会議室 (東濃地科学センター 1F-03)

(主催) AEA 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 東濃地科学センター

人材育成

夏期休暇実習生や学生実習生等の制度や、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。

R6年度実績: 夏期休暇実習生4名、学生実習生6名

共同研究・成果発表等

共同研究先	研究テーマ
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
国立歴史民俗博物館	日本産樹木年輪による炭素14年代較正曲線の構築に関する研究
名古屋大・東京大	第四紀火山の活動年代への制約に向けた年代測定手法の整備に関する共同研究
東京科学大(東京工業大)	高精度同位体分析技術に関する共同研究
富山大	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	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	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
福井県立恐竜博物館・日本大	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
立命館大、岡山理科大、神奈川大	将来の月面その場分析・観測装置の校正用サンプル分析データの取得とデータアーカイブ化

(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(R6年度)】

査読付論文30件(うち2件印刷中、9件投稿中)、学会発表81件、その他論文等7件

令和6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事例研究を実施し、非火山地域で起こり得る火成活動の時空間的な安定性に関する知見を獲得できる見込みを得た。
- 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、その有用性を示す適用事例を蓄積した。
- 地震学的手法と地質学的手法を組み合わせた、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、適用事例の蓄積を通じて、信頼性向上に必要な課題を特定した。
- 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）に係る適用事例を拡充するとともに、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。