

令和4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5年3月29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4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4年4月1日～令和5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4年度は、大学等との共同研究等を通じながら、隆起・侵食や断層運動、熱水活動、気候・海水準変動等の自然現象に関する過去から現在までの履歴を把握するための熱年代学的手法や地球物理学的手法等を活用した個別技術について、地質環境の大きく異なる各サイトへの適用を考慮しつつその整備を進める。また、これまで行ってきた南九州を対象とした活構造解析について、将来の自然現象の影響評価に反映することを視野に、地殻変動等のモデル化の一例として取りまとめを行う。その際は、これらの成果が地盤変状等の災害要因となる断層運動等の自然現象の理解等に貢献できる科学的・技術的知見となることも留意して取りまとめしていく。さらに、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手法の改良等を図る。

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

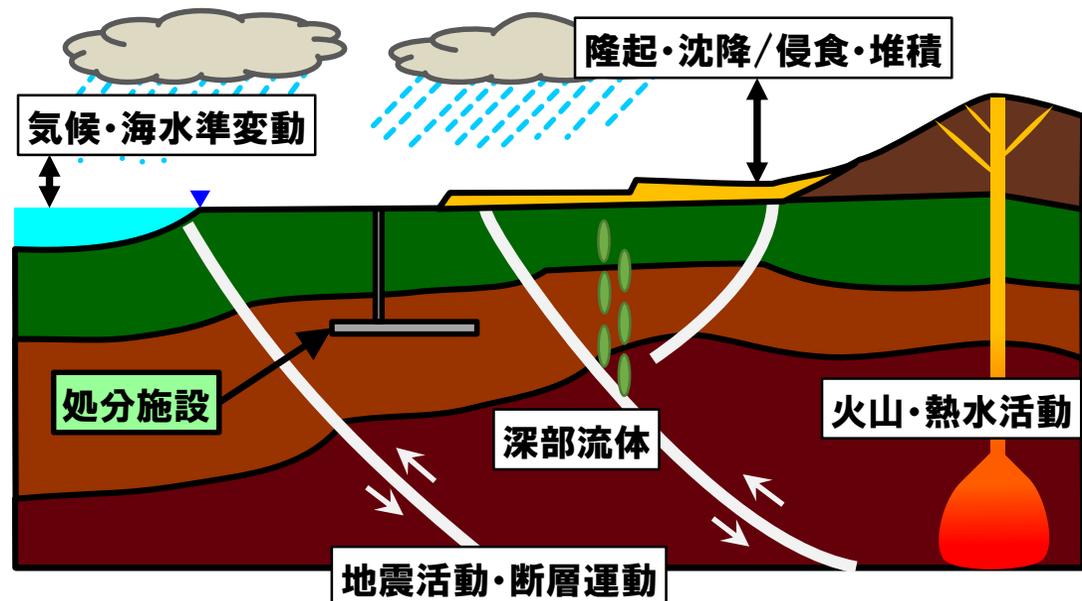
⇒サイトの選定や安全性の検討に必要なデータ取得技術

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

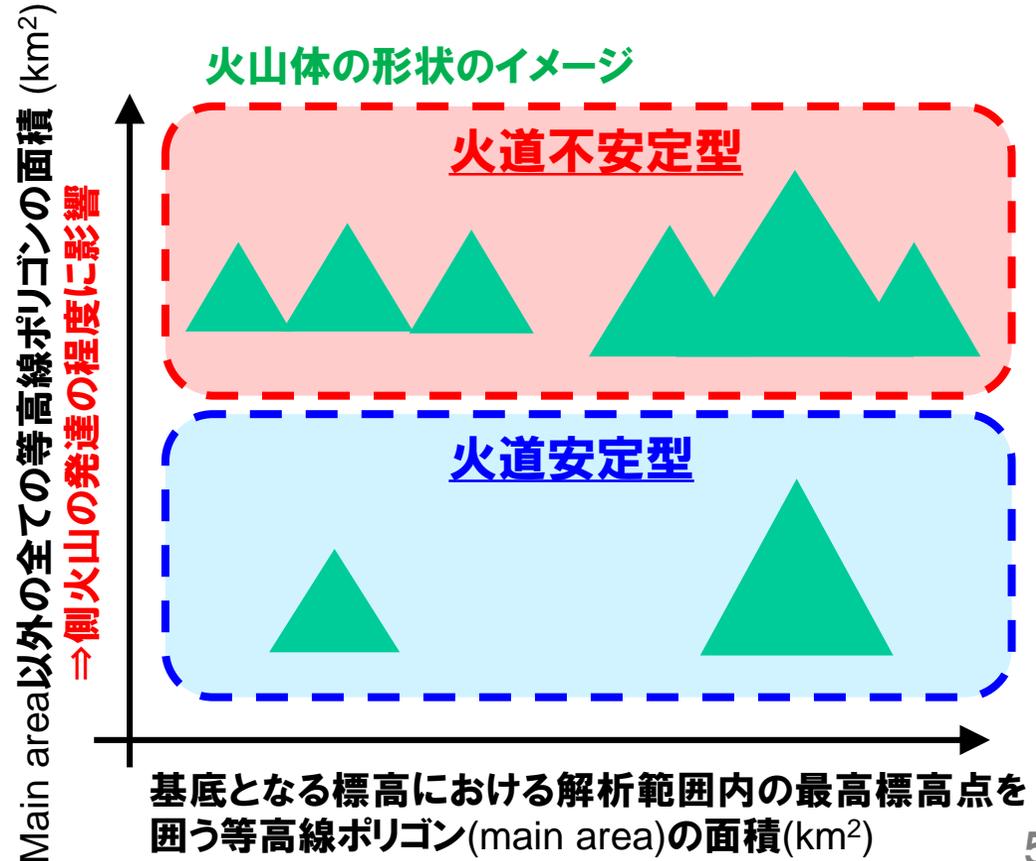
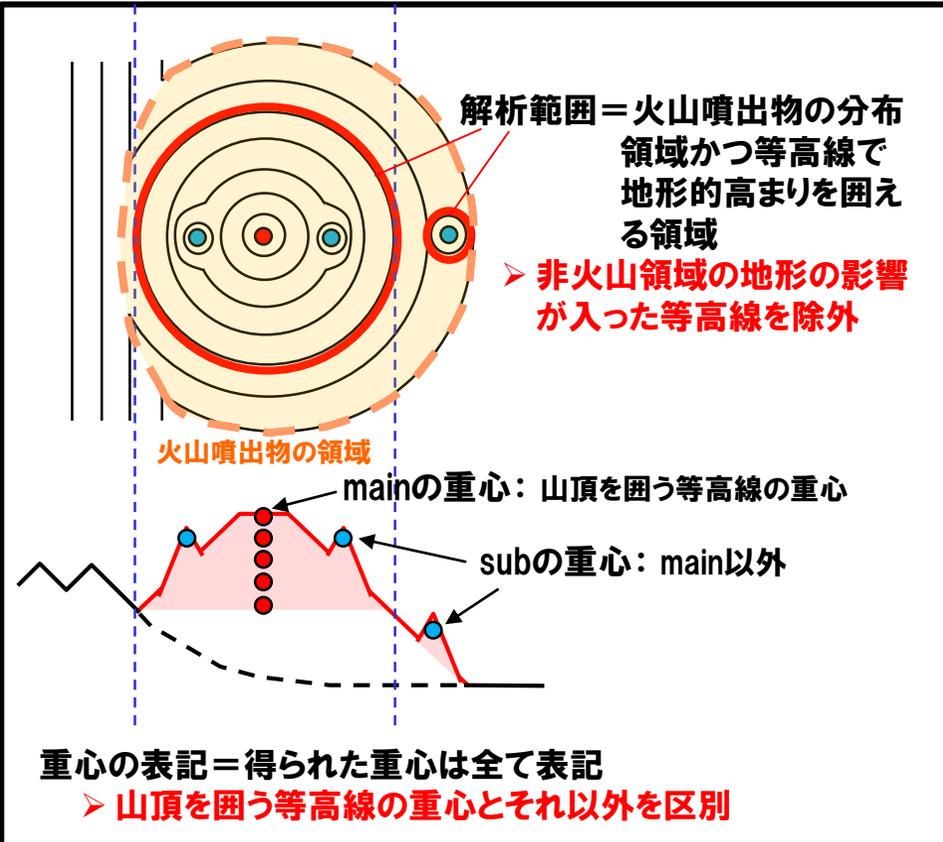
⇒①, ②の信頼性を向上するための技術基盤



①調査技術の開発・体系化:火山・火成活動

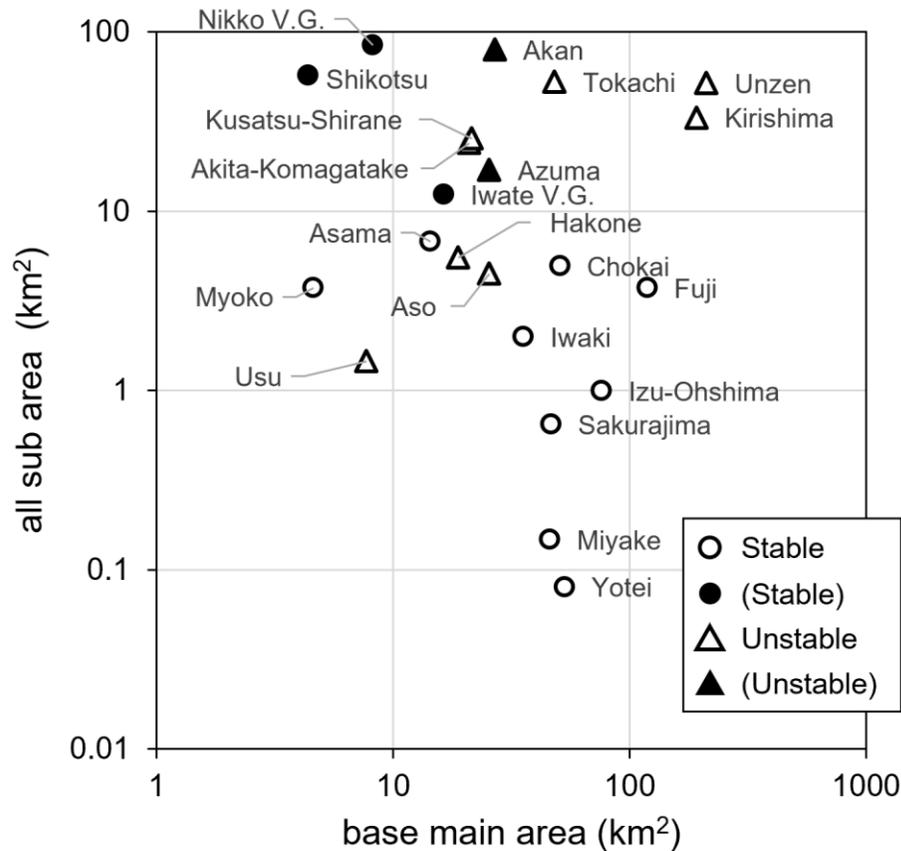
【目的】 マグマの影響範囲の評価における妥当な設定(火山体の中心の定め方や離隔距離)のための考え方の整備

【令和4年度の実施内容】 火山体を構成する等高線を用いた地形解析(エキスパートジャッジを極力排除した客観的な評価手法)に基づき、火道の安定性を評価する手法を提示

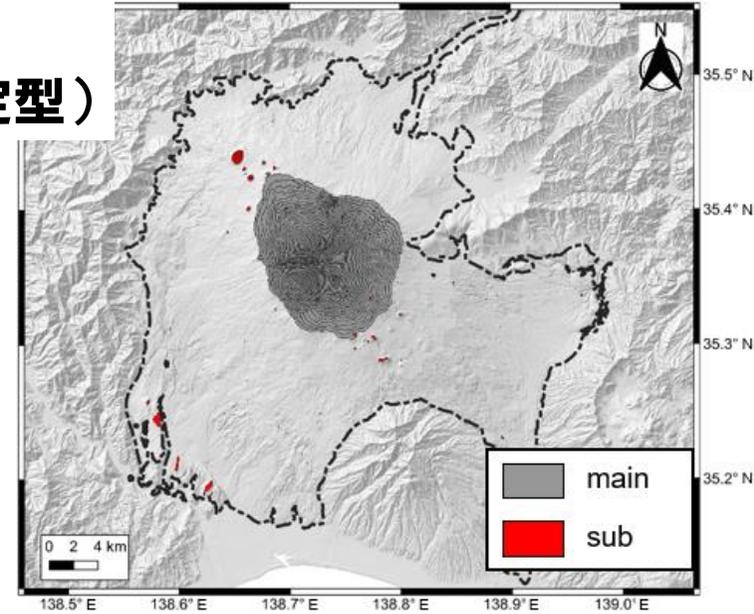


①調査技術の開発・体系化:火山・火成活動

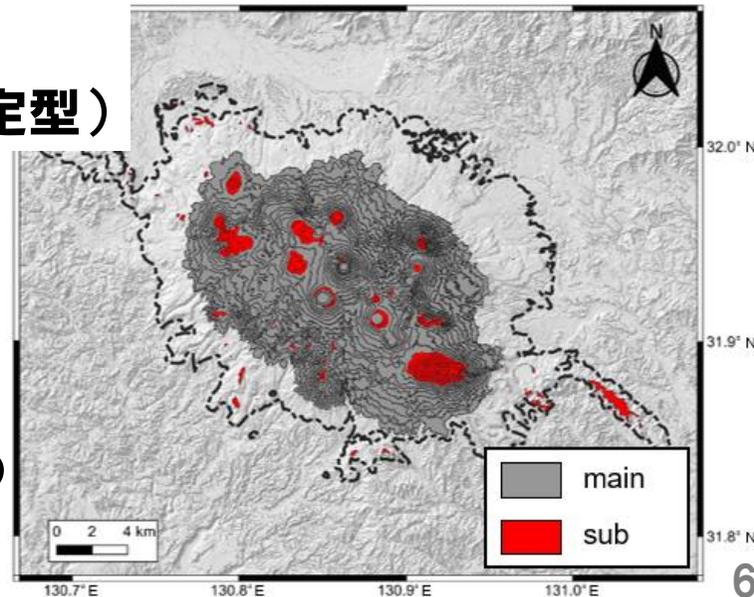
【令和4年度の成果】



富士山 (火道安定型)



霧島山 (火道不安定型)

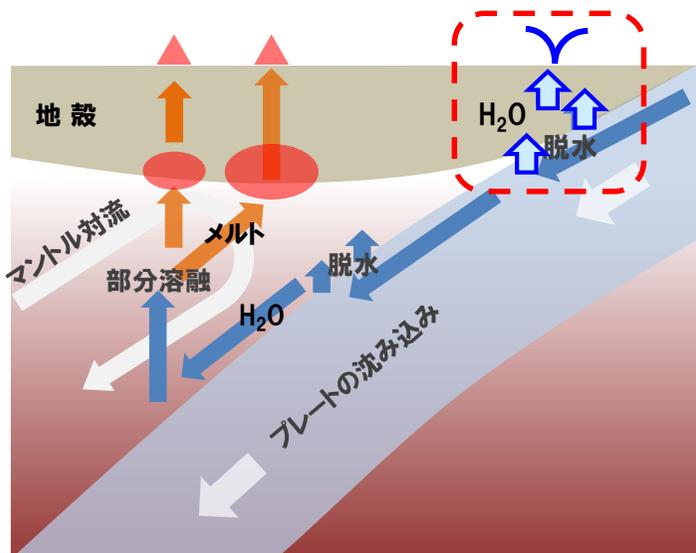


安定型／不安定型の区別は高橋 (1994) による。ただし、高橋 (1994) よりも長期間の火山活動を対象にして評価したので、黒丸のものは不安定型になりうる

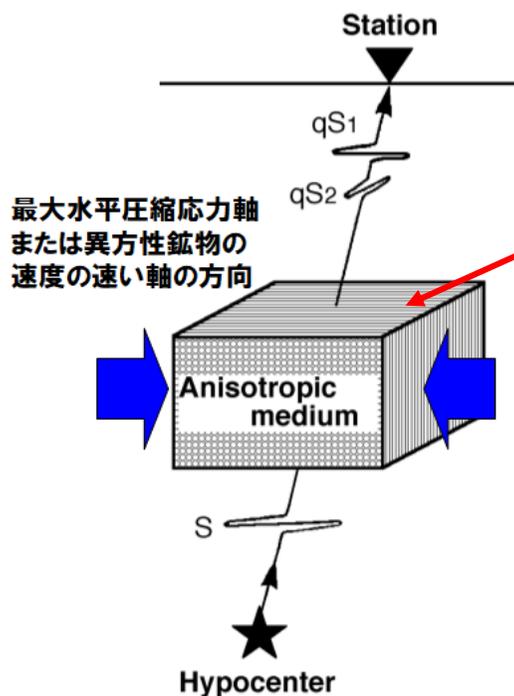
【今後の計画】 地下の物理探査データや、地表の火山岩の年代・化学組成の空間分布との比較・評価

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を調査・評価する技術(地震波解析+割れ目解析)の拡充



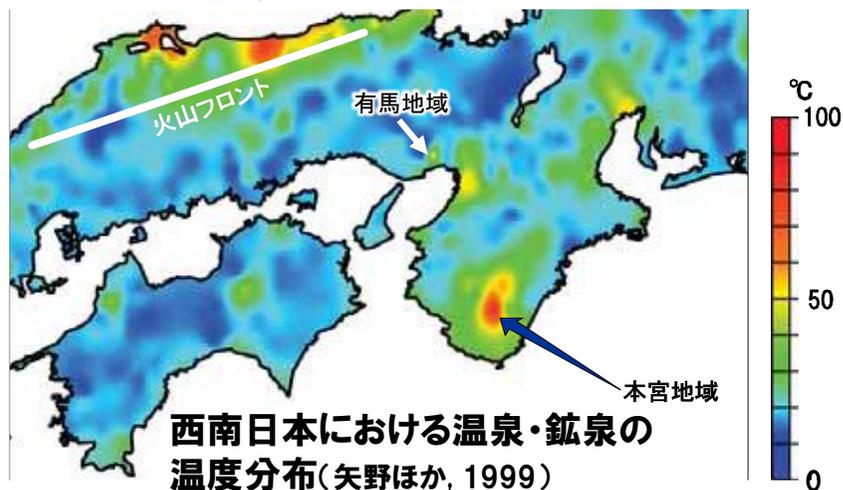
適用手法：S波スプリッティング解析



異方性媒質

地殻内の割れ目密集域

深部流体の移動経路



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を明らかにする手法を適用

① 調査技術の開発・体系化：深部流体

これまでの事例検討地域

地域	テクトニック セッティング	深部流体の 分類	S波スプリッティング		露頭での 割れ目構 造解析
			ϕ (クラック卓越 方向に対応)	dt (クラック密度 に対応)	
和歌山県本宮（川湯温泉 周辺）	前弧側	スラブ起源水	○	○	○
有馬（有馬温泉周辺）	前弧側	スラブ起源水	(○)	(△)	
宮崎（宮崎平野周辺）	前弧側	(スラブ起源水)	○	△	
いわき（2011年福島県浜 通りの地震後の湧水）	前弧側	(スラブ起源水)	△	○	
長野県松代（1966年松 代群発地震後の湧水）	背弧側	(マグマ起源水)	○	△	△
能登（珠洲の群発域）	背弧側	スラブ起源水？	○	○	



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**）でも手法を適用

移動経路の構造の特徴として

○: 比較的明瞭

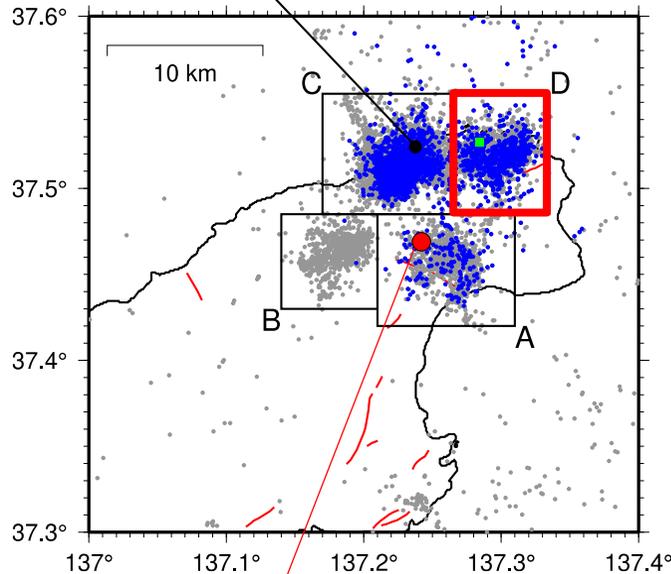
△: 比較的不明瞭 (): データが少数

①調査技術の開発・体系化：深部流体

【令和4年度の実施内容】 能登地域での検討結果

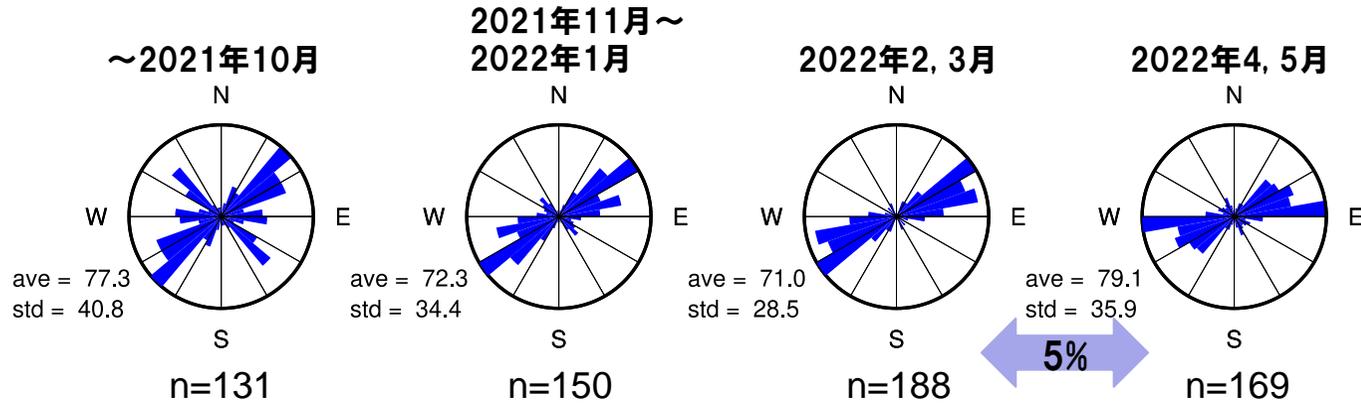
2004/04～2022/5に発生した
M \geq 1.0、depth $<$ 20kmの地震

2022年3月8日 01時58分
14km M4.8 最大震度: 4



西村 (2022) により推定された
球状圧力源の位置

クラスターDの期間別の速いS波の偏向方向



2022年2,3月と2022年4,5月(period4)で
平均は等しいという帰無仮説が棄却(有意水準5%)

速いS波の偏向方向の時間変動の要因として、**球状圧力源の膨張による応力場の変動や、間隙流体圧の増加・減少などが考えられる**

⇒引き続きデータ収集・解析を継続

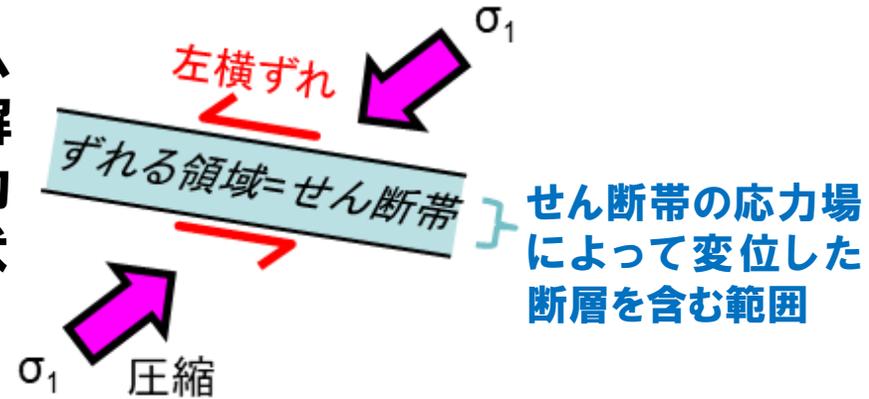
① 調査技術の開発・体系化：地震・断層活動

【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4年度の実施内容】

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

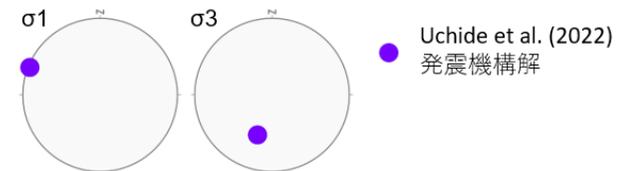
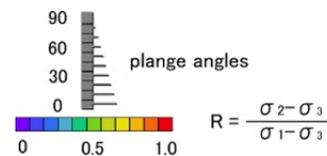
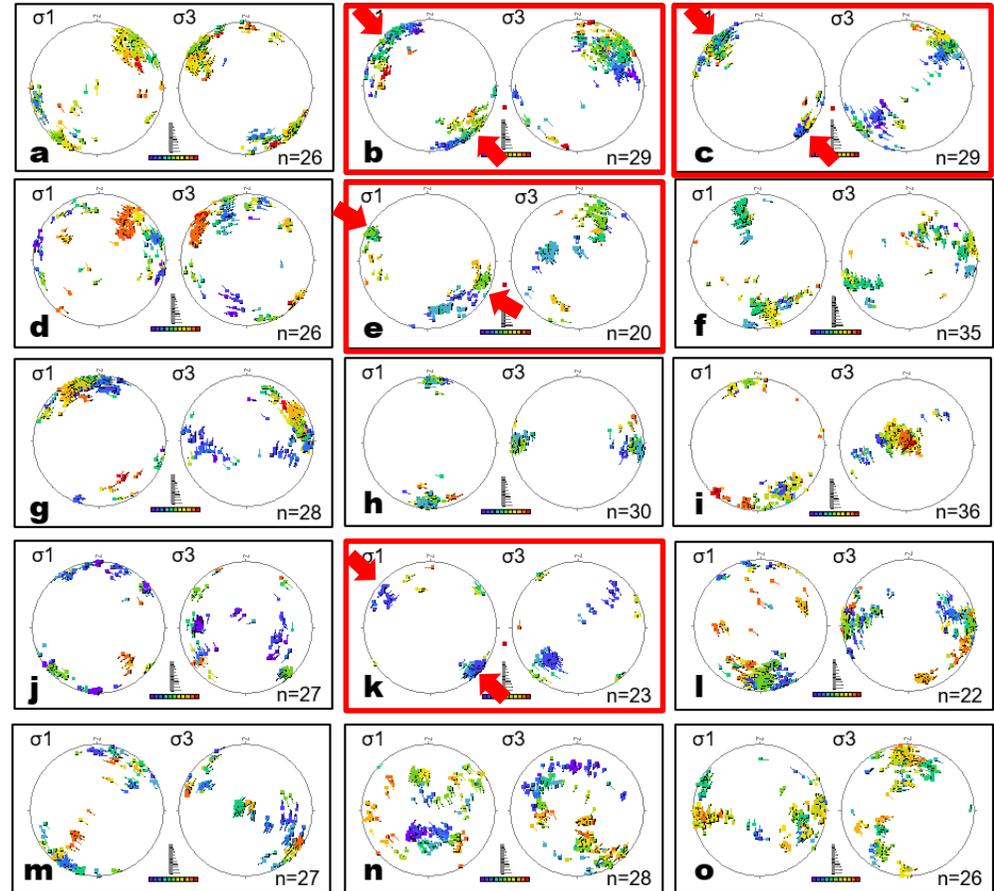
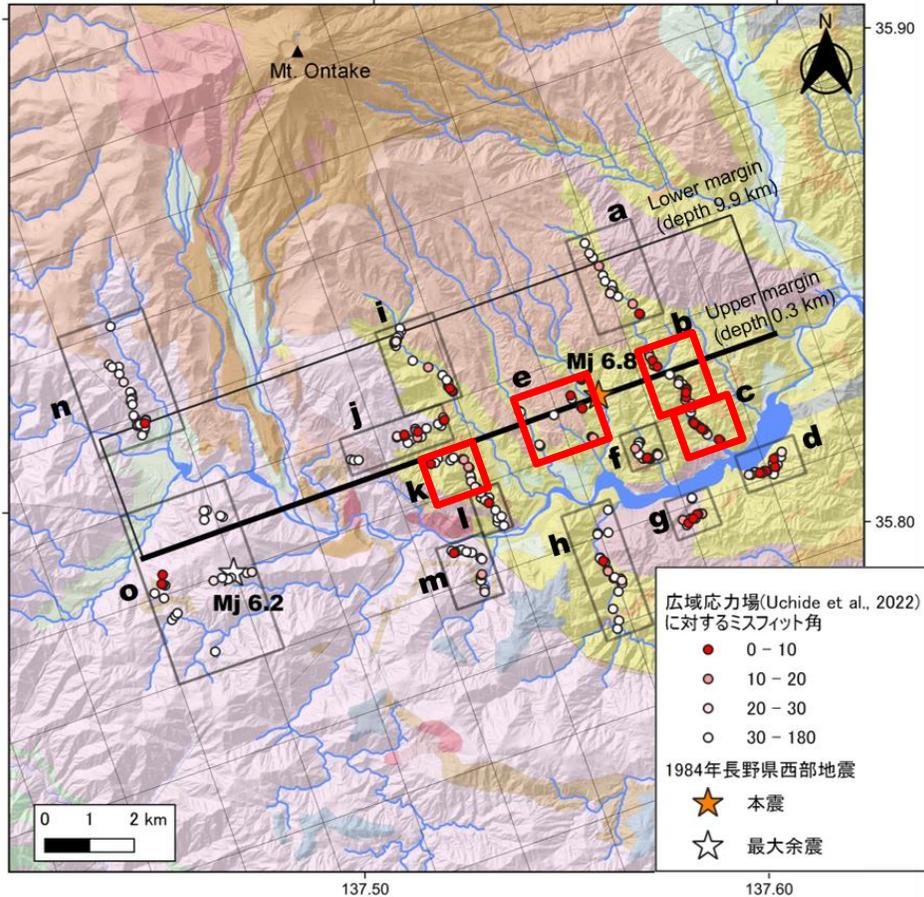


小断層に記録される条痕の形状から運動方向を復元

現場作業の様子

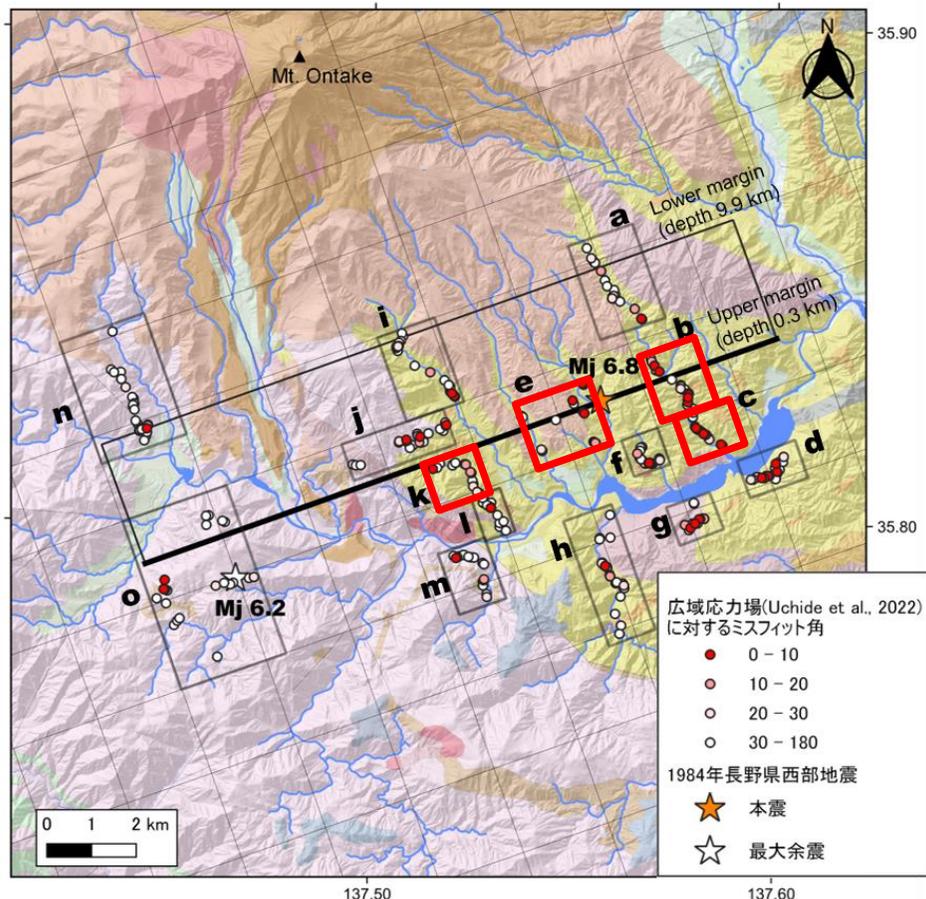
①調査技術の開発・体系化:地震・断層活動

【令和4年度の成果】 1984年長野県西部地震震源域において適用事例を蓄積



①調査技術の開発・体系化:地震・断層活動

【令和4年度の成果】



多重逆解法の解析結果の検討

- 伏在断層近傍で現在の広域応力場と調和的な応力が検出された
- 第四紀溶岩にも条線を伴う断層を複数検出 (小断層群の一部が第四紀以降に活動)



- 伏在断層の周辺に現在の応力下で運動した小断層が集中する領域が存在

活断層地形が不明瞭な場合でも、地表踏査により伏在断層の分布を制約可能

本研究の成果で、日本活断層学会2022年度秋季学術大会若手優秀講演賞を受賞

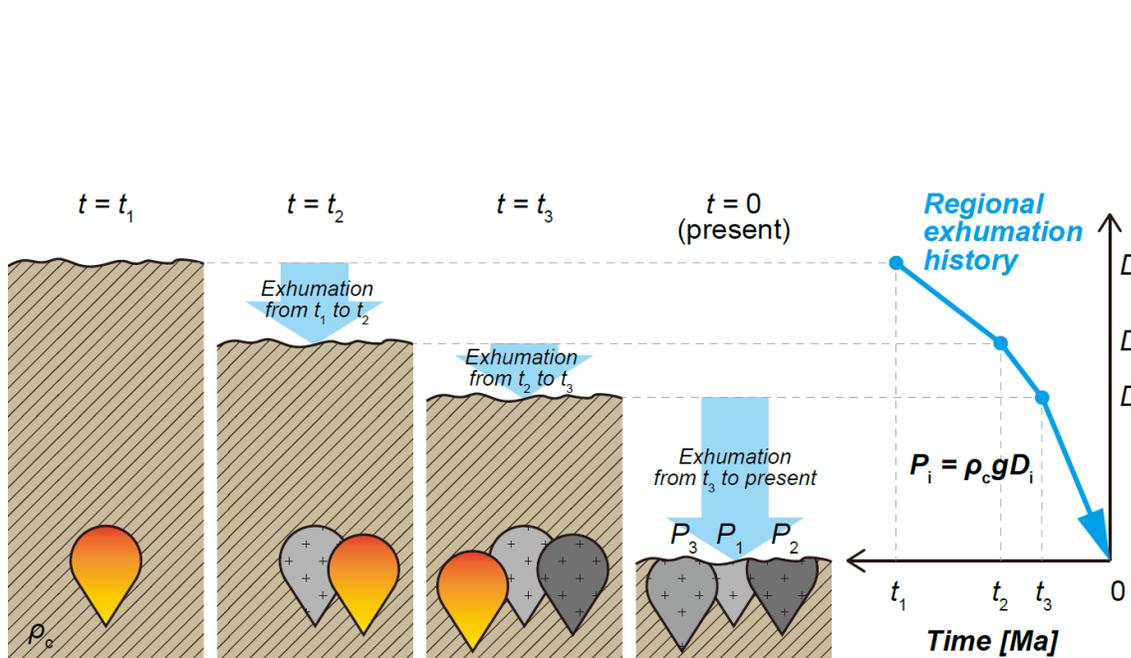
【今後の計画】

伏在断層が処分システムに及ぼす影響を提示するための、長期変動(変位速度等)や水理地質特性(割れ目密度や交差関係、充填物の性状等)も踏まえた検討

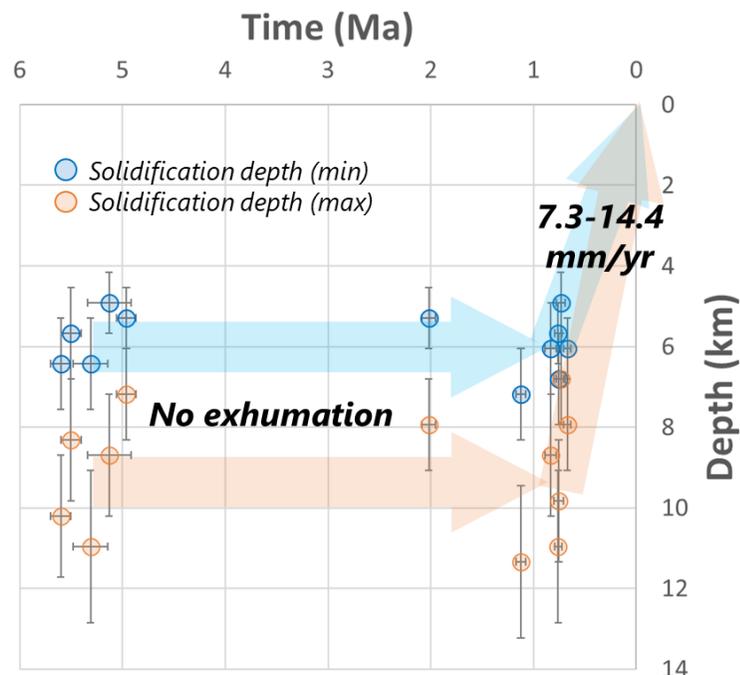
② 長期予測・影響評価モデルの開発：隆起・侵食

【目的】 近年進展が著しい熱年代学的手法を用いた隆起・侵食評価手法の適用範囲の拡充

【令和4年度の実施内容】 熱構造／熱史が複雑な地域においても侵食史を評価する技術をととして、地質温度・圧力計とU-Pb年代測定を組み合わせた手法を提示



地質温度圧力計とU-Pb年代を用いた侵食史の推定のイメージ

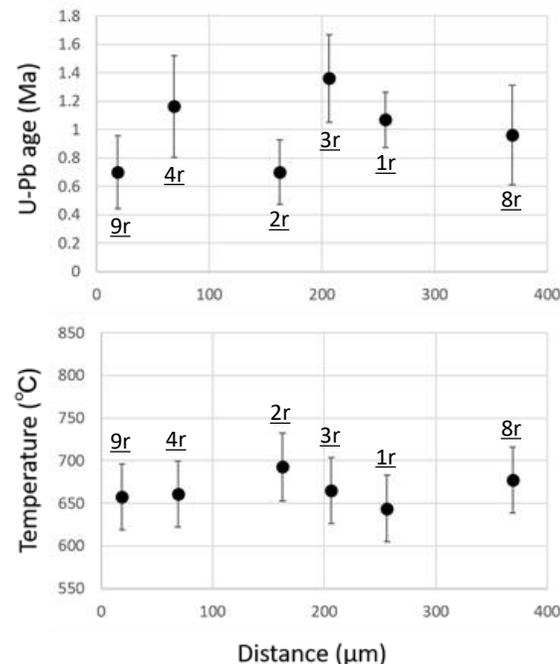
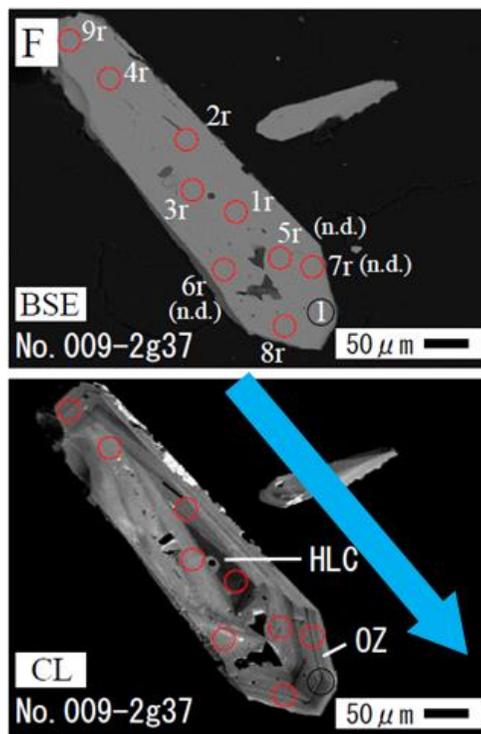
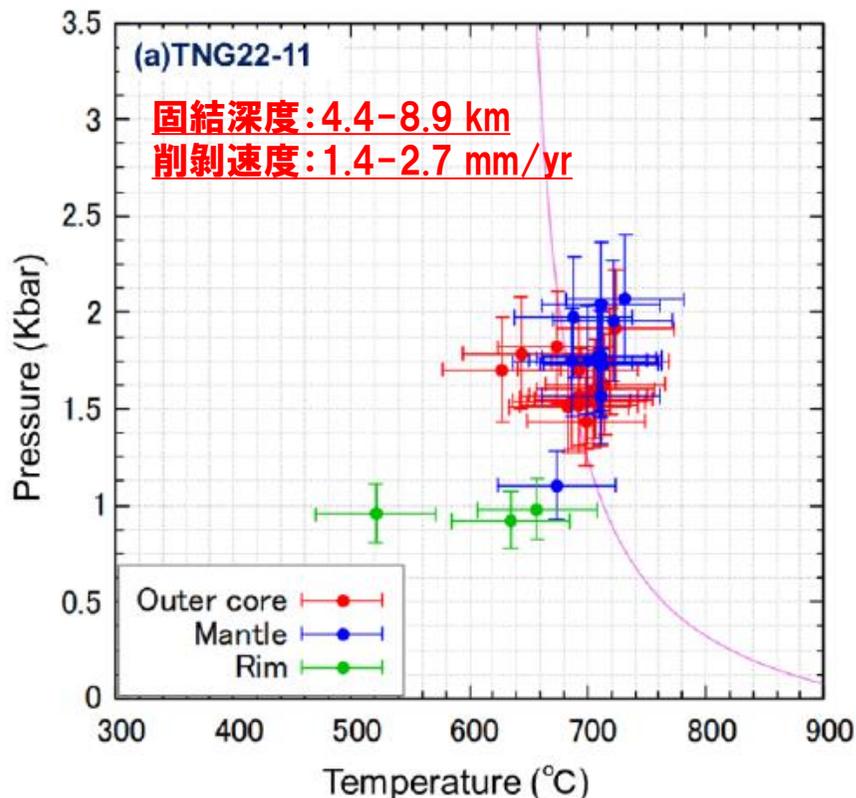


黒部地域における侵食史の推定結果
⇒約80万年前以降に、隆起・侵食速度が急速に増大する様子を復元

② 長期予測・影響評価モデルの開発：隆起・侵食

【令和4年度の成果】

U-Pb年代に加え、Al-in-Hornblende（角閃石）圧力計やジルコンのTi温度計の適用事例を拡充



Al-in-Hbl圧力計による花崗岩類の固結圧力の推定結果(谷川岳地域の例)
 固結深度と侵食速度の計算には、岩石密度2.7 g/cm³と固結年代3.3 Maを使用。

ジルコンU-Pb年代とTi濃度の同時分析例
 (試料は黒部川花崗岩体優白質部に含まれるジルコンの一例)

論文公表済 (Yuguchi et al., 2022, JAES)

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)

※括弧は開発中のもの

 地層処分に係る評価において重要な年代範囲

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(サイエンスカフェ等)を積極的に実施するとともに、博物館等の企画展や招待講演にも協力した。



サイエンスカフェ(R4年度は6件実施)



博物館企画展示及び講演会への協力
(静岡県立ふじのくに地球環境史ミュージアム)

人材育成

夏期休暇実習生や特別研究生等の制度を活用し、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。

R4実績： 夏期休暇実習生6名、学生実習生5名、特別研究生2名

共同研究(土岐地球年代学研究所)

共同研究先	研究テーマ	主な実績
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	論文1件投稿中、科研費1件申請中
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	学会発表1件
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	学会発表1件、学術研究報告会の一般紙掲載(4月)
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	科研費1件採択、機構広報誌「げんき」3月掲載予定
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	学会発表2件
富山大学	機械学習に基づいた断層の活動性評価手法の開発に関する共同研究	
山形大・東京大・学習院大	岩石・年代学的手法を用いた自然現象の影響評価手法の高度化に関する研究	論文1件、学会発表1件
弘前大学	第四紀地殻変動の高度化に関する共同研究	論文1件投稿中、学会発表4件
京都大学	地質環境の長期安定性評価に係る地形・地質・断層調査技術の高度化に関する研究	論文1件、学会発表12件

(青字は資源エネルギー庁受託事業において実施)

令和4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、地形解析に基づき火道の安定性を評価する手法を提示した。
- ・ 地震波解析及び地質構造解析（割れ目調査）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を提示し、適用事例の蓄積を図った。
- ・ 地質温度・圧力計とU-Pb年代測定を組み合わせた手法により、熱構造／熱史が複雑な地域において侵食史を評価する技術を提示した。

* 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に関する技術開発事業〔JPJ007597〕)の成果の一部を利用した。

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た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調査・評価プロセスの提示、に重点を置く。
- ・ 例えば、電磁探査等により地下に高温流体の分布が推定された地域において低温領域の熱年代法を適用し、山地の発達様式から、将来の火山体への成長ポテンシャルについて検討する。また、高精度の同位体分析に基づく断層活動性評価や新しい年代測定法の開発に向けた検討に着手する。