

断層の活動性評価手法に関する研究

事前評価 説明資料

令和5年11月

原子力規制庁長官官房技術基盤グループ

地震・津波研究部門

目次

1. 背景
2. 目的
3. 研究の概要
4. 研究計画(行程表)

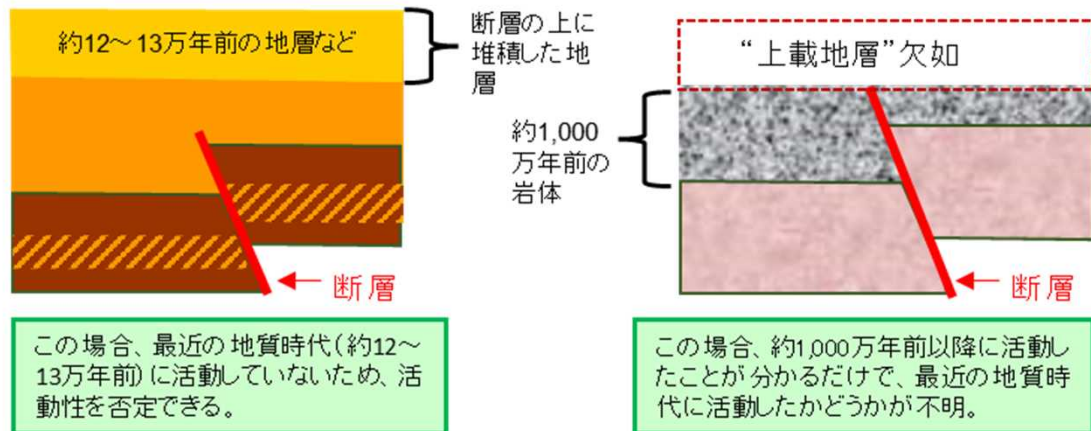
1. 背景

(1) 断層破碎物質等を用いた断層活動性評価に関する課題

a. 鉱物脈法等

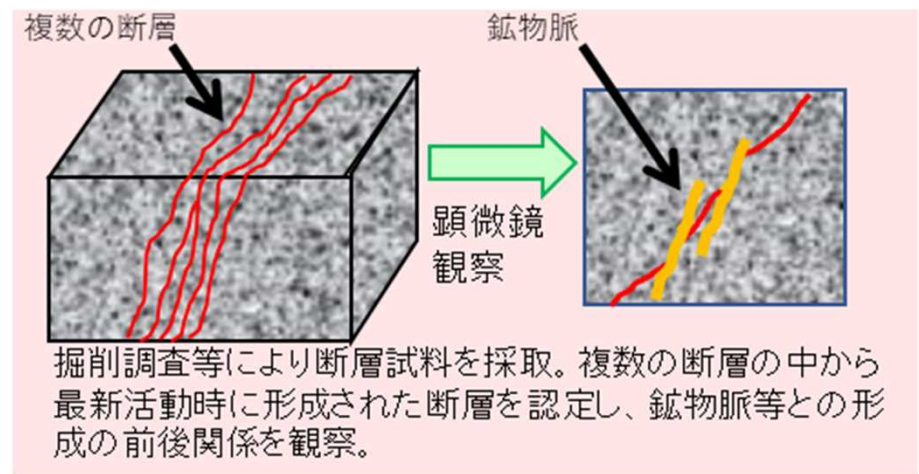
- 断層の活動年代は通常、断層の上位に堆積した地層の年代に基づき特定又は推定する（図1-①）。しかし、地域によっては通常の方法の適用が難しい場合があり、断層本体の性状や断層破碎物質から活動性を判断するケースが多くなる（図1-②）。
- 断層と鉱物脈との接触関係を解析して断層の活動性を評価する手法（「鉱物脈法」石渡(2016)⁽¹⁾（図2））について過年度プロジェクトにおいて、限定的ながら知見を蓄積した。
- 一方、基準適合性審査においては既に鉱物脈法が利用されており、審査での実績が増えつつある。ただし、適用対象とするサイトごとに地質環境が異なるために事業者による試行錯誤が繰り返されること、学協会における適用事例が少ないこと、評価手法が一定の手順として示されていないこと等の課題が残されている。

①通常の方法(“上載地層法”) ②通常の方法が利用できない場合



(図はオリジナル)

図1 「将来活動する可能性のある断層等」の識別に当たり適用される上載地層法とその課題



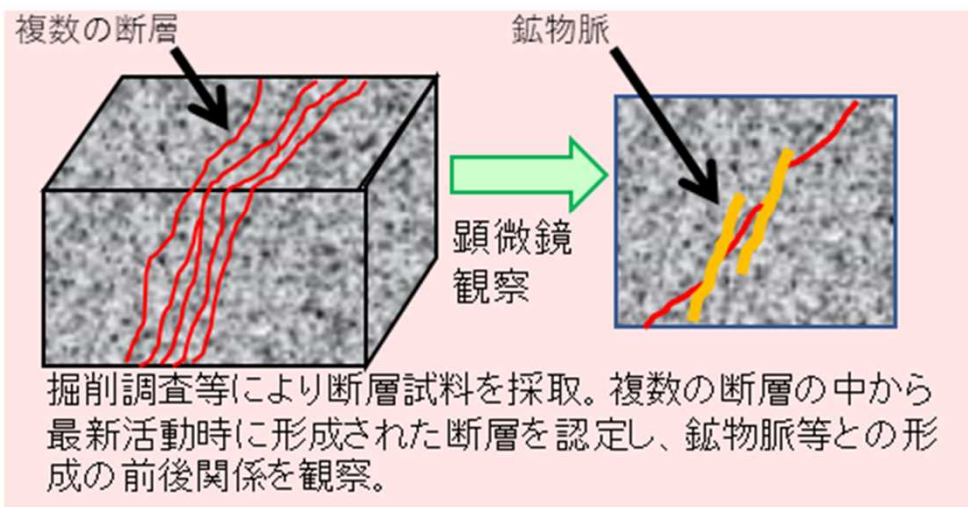
(図はオリジナル)

図2 鉱物脈法のイメージ

b. 断層岩の物質科学（地球化学）的指標等

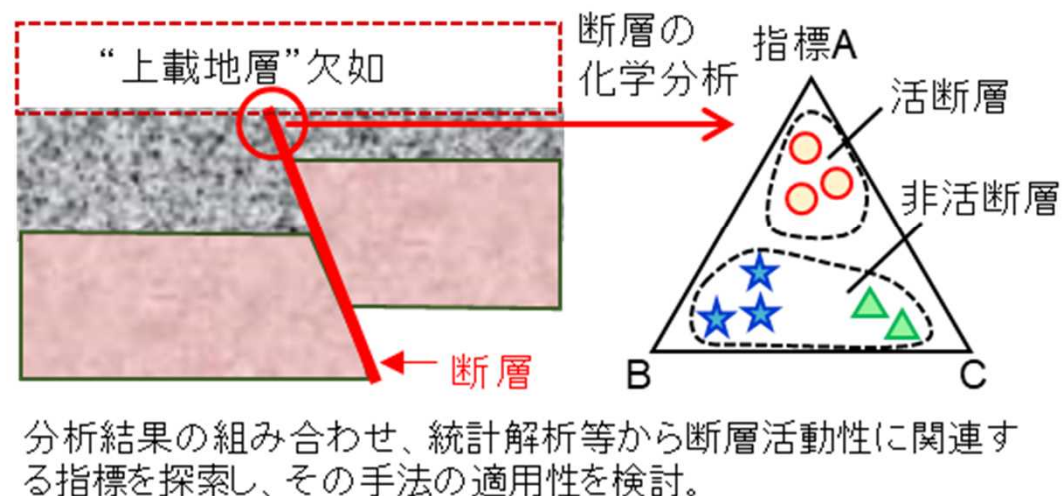
- 断層破碎物質を用いたより確度の高い断層活動性評価を行うためには、鉱物脈法を含め、複数の手法による総合的な評価を行うことが有効な場合がある。
- 近年、全岩化学組成等を用いた断層の活動性評価に関する研究（図3の②）も行われつつあるが（立石ほか, 2021⁽²⁾、岩森ほか, 2022⁽³⁾）、入力データである断層岩の化学組成データが乏しく、十分な信頼性が確保されていないほか、それらの化学的差異を生じさせるメカニズム、判別手法の適用性等に関する知見もほとんど得られていない。
- このような手法が審査に適用されることを予見し、データの客観性及び評価の妥当性を判断するための留意点を整理しておくことが重要である。

① 鉱物脈法



(再掲)

② 化学的風化指標等



(図はオリジナル)

図3 本研究で扱う断層破碎物質等を用いた断層活動性評価

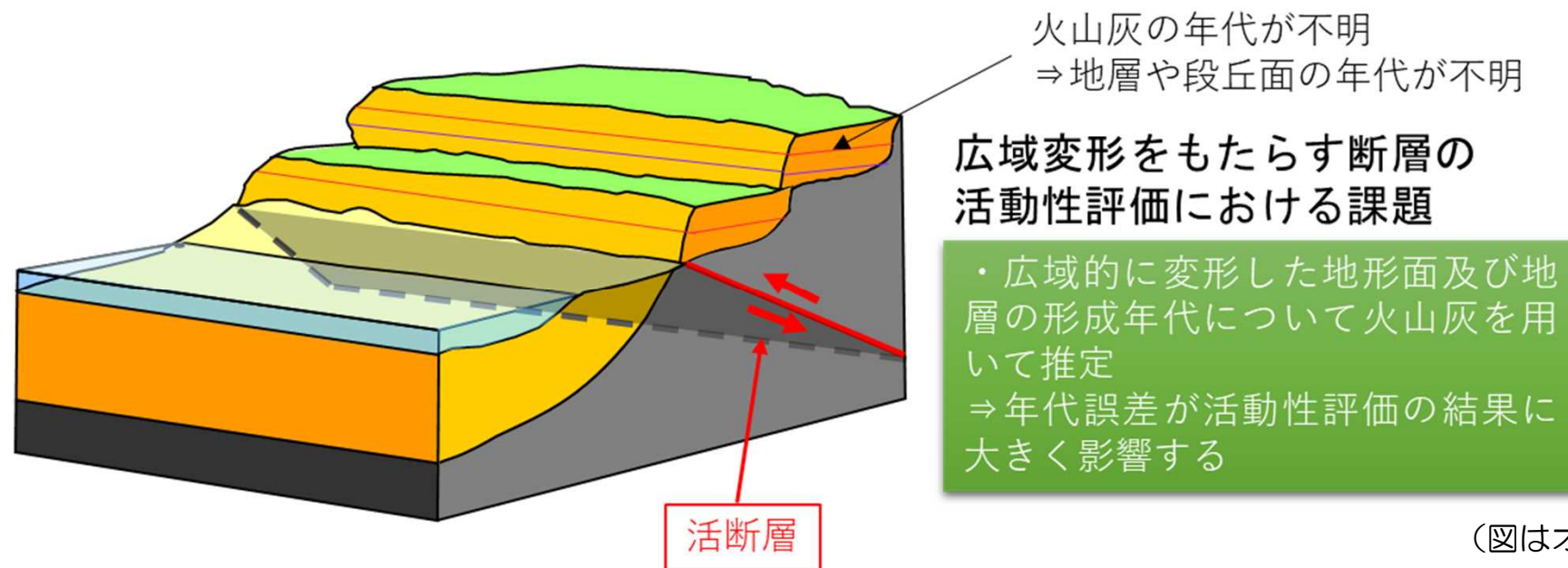
(2) 断層活動時期を示す地形・地層の年代評価に関する課題

a. 火山灰年代評価手法

- ▶ 後期更新世以降（約12～13万年前以降）の活動性が明確に判断できない断層の活動性評価又は活動性の低い断層活動の評価を行うための手段として、**約40万年前***まで遡って上載地層法を適用すること、断層活動によって変位・変形を受けている段丘堆積物の年代を決定すること等が挙げられる（図4）。

*実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈 別記1第3条第3項に記載

- ▶ このような堆積物の年代を決定するには、通常、地質学的に“一瞬”で広域に降り積もったと考えられる、噴出年代が既知の火山灰が利用されるが、火山灰を同定するに足る**鉱物の化学組成及び噴出年代に関するデータが乏しい**との課題がある。そのため、このようなデータを拡充し、火山灰層序学的な年代決定手法・手順を整備することが重要である。



(図はオリジナル)

図4 断層活動時期を示す地形・地層の年代評価における火山灰の位置づけと主要課題

2. 目的

本プロジェクトでは、「断層破碎物質等を用いた断層活動性評価」及び「断層活動時期を示す地形・地層の年代評価」について、その技術的根拠となる分析データを取得し、断層の活動性評価及び活動年代評価を行う過程で得られた具体的な留意点及び知見を蓄積することを目的とする。

(1) 断層破碎物質等を用いた断層活動性評価

a. 鉱物脈法等を用いた断層活動性評価に関する研究

年代評価手法に関する知見と併せて、鉱物脈法の適用事例を拡充し、鉱物脈を用いた断層活動性評価手法を体系的に整備する。

b. 断層岩の物質科学（地球化学）的指標等を用いた断層活動性評価に関する研究【新規テーマ】

断層岩の化学組成を用いた断層の活動性評価について、評価に有用な指標を検討しその妥当性を評価するために、分析データを蓄積するとともに、解析手法等の違いによる評価結果への影響を整理する。

(2) 断層活動時期を示す地形・地層の年代評価

a. 中期更新世以降の火山灰年代評価手法に関する研究

「将来活動する可能性のある断層等」の活動時期（中期更新世以降（約40万年前以降））に対応した断層の活動性評価ができるよう、特に西南日本～中部日本を中心とした火山灰の鉱物化学組成、噴出年代に関するデータ等を蓄積する。

本プロジェクトの実施項目で得られた成果等は、NRA技術報告等にまとめるとともに技術的確認等を踏まえ、基準や地質審査ガイドの改正に資する。

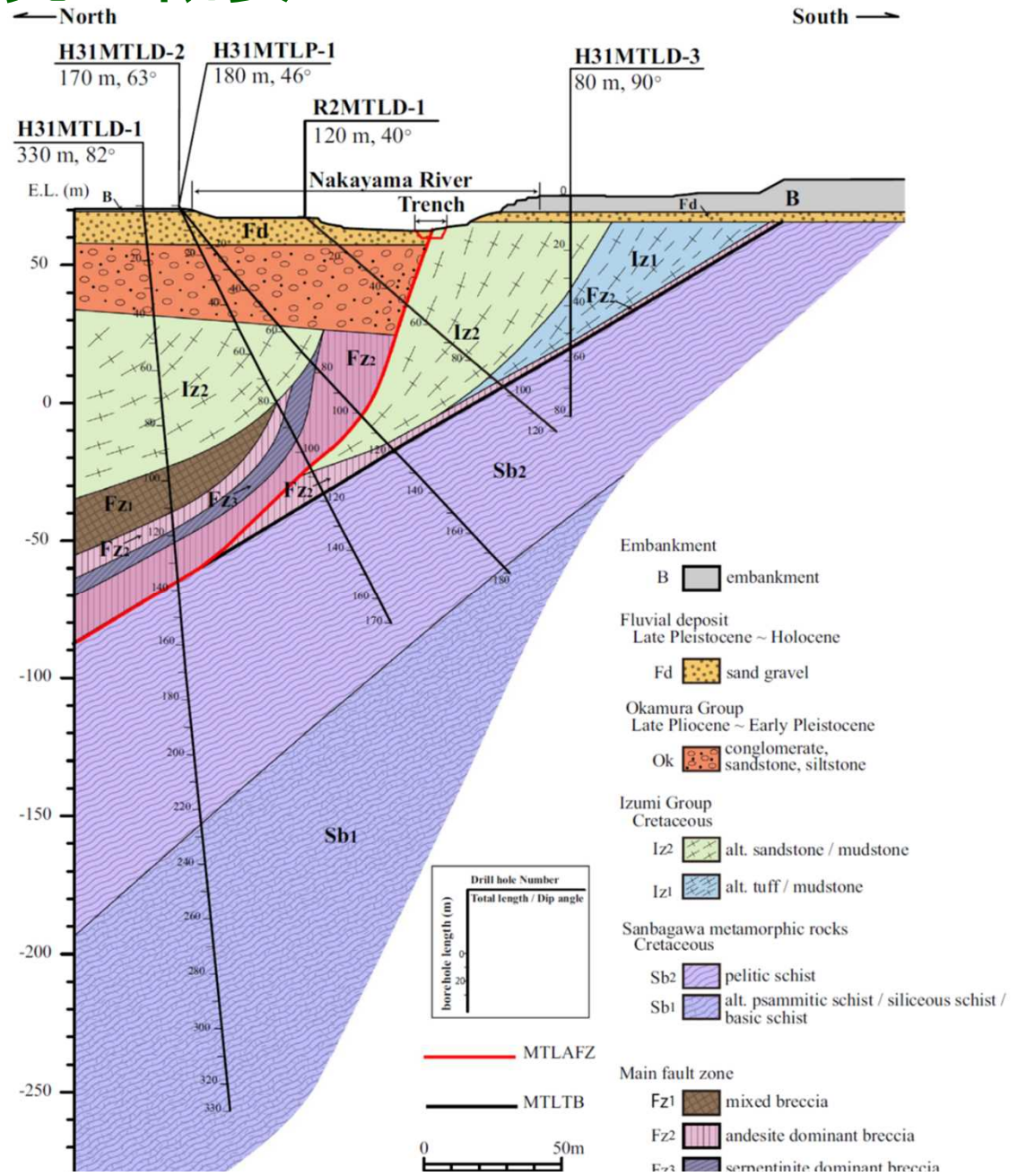
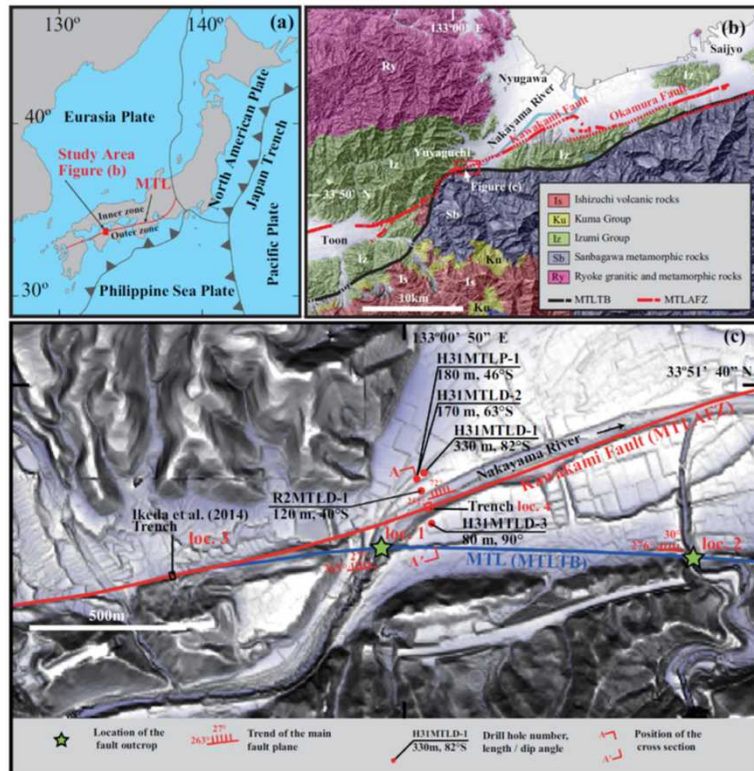
3. 研究の概要

(1) 断層破碎物質等を用いた断層活動性評価

a. 鉍物脈法等を用いた断層活動性評価に関する研究

【令和5年度までの主要成果】

- 中央構造線を例にして実施した研究では、断層活動性評価にとって前提となる地質構造を把握した (図5)。

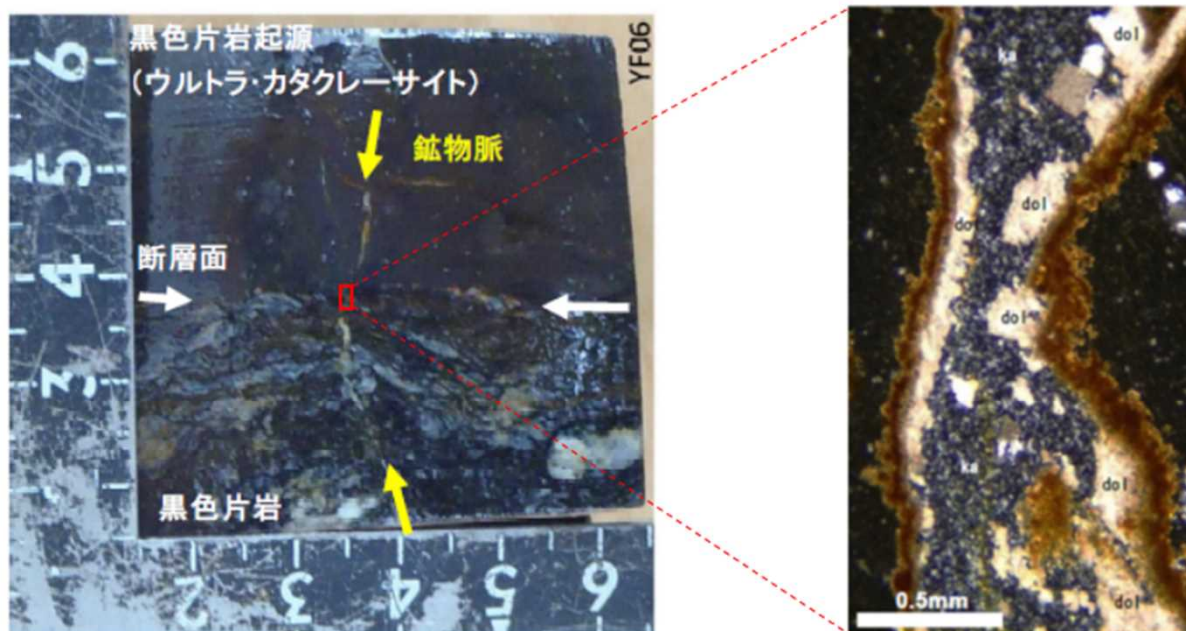


Miyawaki & Sakaguchi (2021)⁽⁴⁾より

図5 中央構造線において実施した物理探査、掘削調査から作成した地質断面図

【令和5年度までの主要成果】（続き）

- 中央構造線のうち最近活動していないと推定されている断層の地表部において実施した鉱物脈法の事例を示す。
- 最近活動していない断層では高温条件で晶出する鉱物脈が断層を横断していることが確認され、本手法の一つの適用事例を示した（図6）。
- 前プロジェクトにおいては、断層破碎物質等を用いた断層活動性を総合的に評価するための手法として、中央構造線及び根尾谷断層等において古応力解析を用いた断層活動性評価手法の事例も蓄積している。



断層面を横断する鉱物脈の
岩石研磨片の写真

断層面を横断する鉱物脈の
岩石薄片の写真（左図赤枠の範囲）

宮脇ほか (2020)⁽⁵⁾より

図6 中央構造線において実施した鉱物脈法の結果の例

【令和6年度以降の研究内容】

- 断層破碎物質の性状に基づいて断層の活動性評価を行うことを目的として、地質環境の異なる複数の断層を対象としてトレンチ調査、露頭調査等を行い、鉱物脈法を適用する（図7）。具体的には、断層の最新活動面の認定、鉱物脈（岩脈も含む）の同定及びその生成環境との比較を行うことで、断層活動と鉱物脈等との新旧関係を評価する。
- 断層活動に伴って断層面上に生じた傷（条線）から断層活動時の古応力を復元し、その結果と現在の応力場とを比較することで間接的に断層活動の時期を推定し、鉱物脈法による断層活動性評価の補強データとするほか、鉱物脈法に用いた鉱物脈又は岩脈の年代測定、化学分析等を実施し、断層活動性評価に対して年代的根拠を示す。

各種の評価手法の留意点をまとめ、鉱物脈を用いた断層活動性評価手法を体系的に整備

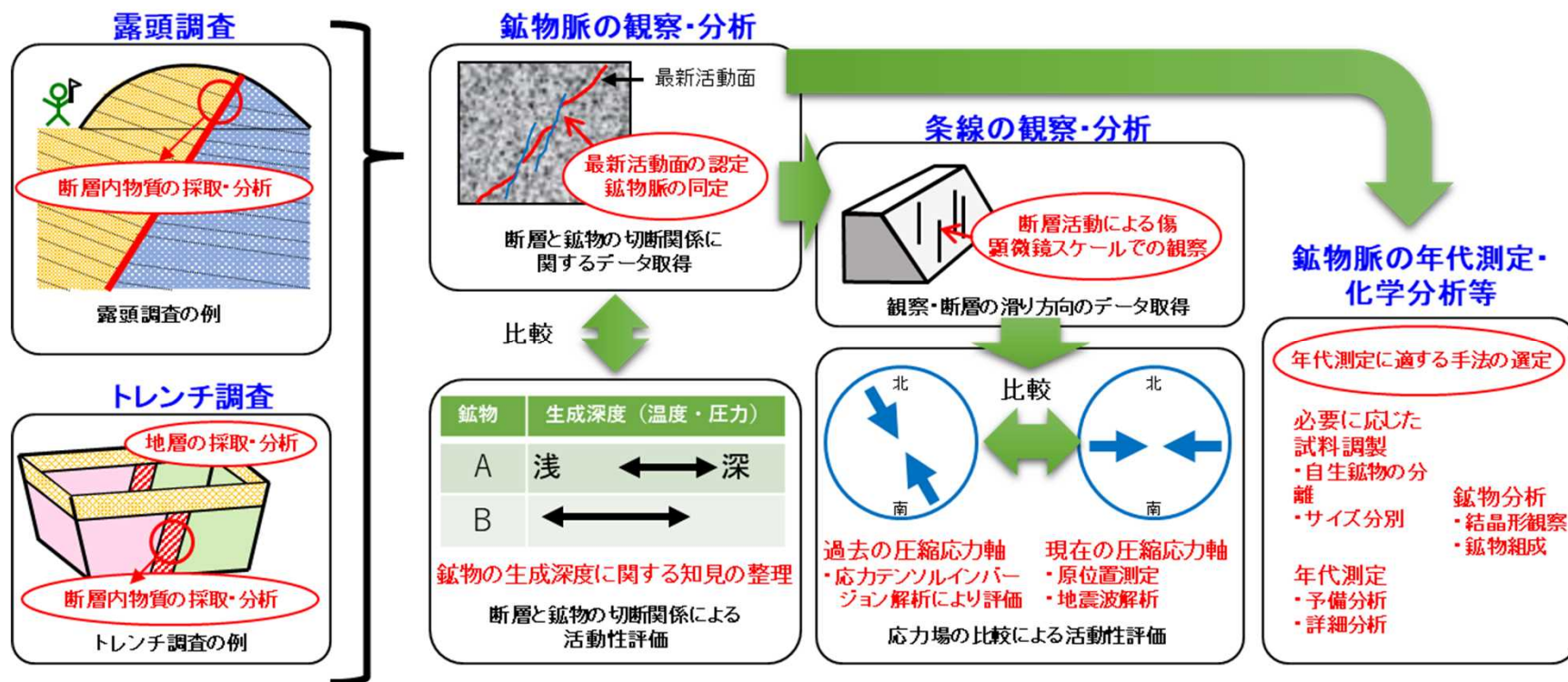


図7 鉱物脈法等を用いた断層活動性評価に関する研究の概要

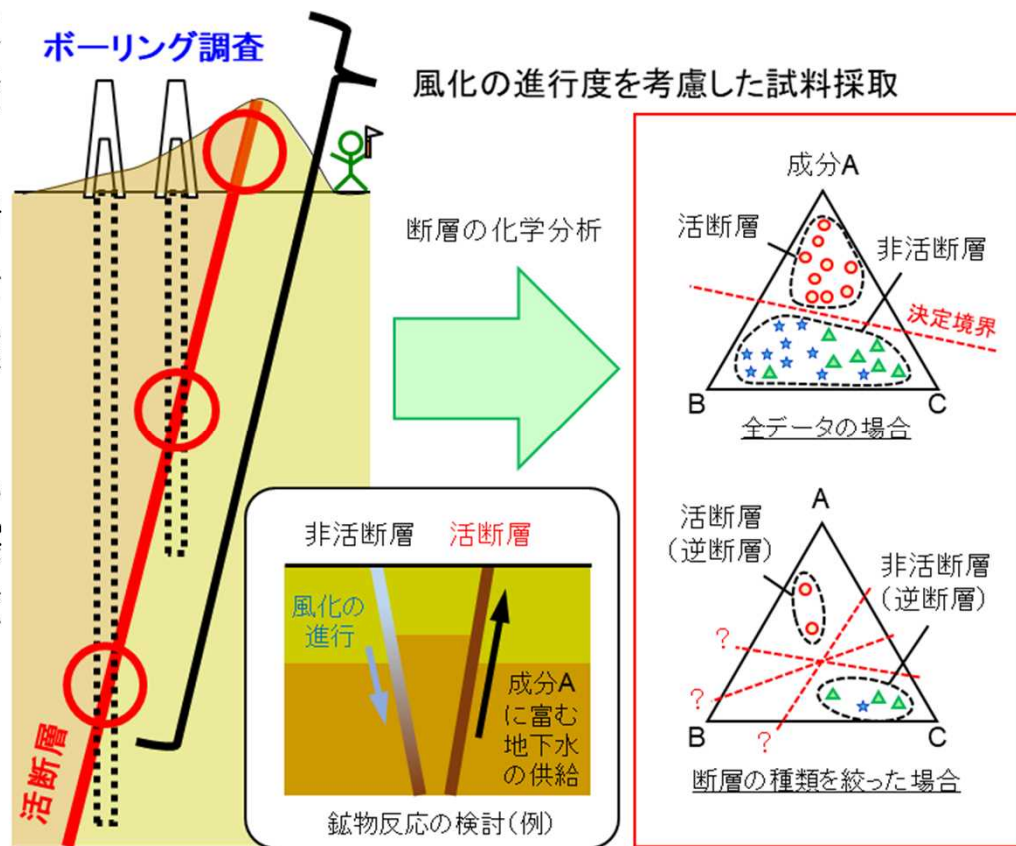
(図はオリジナル)

b. 断層岩の物質科学（地球化学）的指標等を用いた断層活動性評価に関する研究

【令和6年度以降の研究内容】（新規テーマ）

- 現在利用可能な化学組成データは敦賀半島江若花崗岩体（敦賀岩体）を中心とした少数の調査・分析例に留まる（立石ほか, 2021⁽²⁾、岩森ほか, 2022⁽³⁾）。
- したがって、十分な量の化学組成データに基づく評価手法の妥当性検討を行うため、原岩の化学組成及び断層の発達史の観点から既往研究と比較可能と考えられる江若花崗岩体を対象に野外調査、試料採取及び断層岩等の化学組成分析を行う。
- 化学組成データは敦賀岩体の値と比較した上で、既往の評価手法等を用いて活断層と非活断層の判別を目的とした試解析に用いる。
- 化学組成データ（文献値及び本研究の分析値）を用いて複数種の統計解析（線形判別分析等）を行い、入力データ、解析手法等の違いによる評価結果への影響を把握する。
- 断層岩の化学組成に差異が生じるメカニズム（風化変質、熱水変質等）についても考察し、それらの差異を体系的に説明できる地球化学的モデルを検討する（図8）。

活断層と非活断層の判別手法としての有効性、適用範囲及びその統計解析上の留意点を整理



（図はオリジナル）

(2) 断層活動時期を示す地形・地層の年代評価

a. 中期更新世以降の火山灰年代評価手法に関する研究

【令和5年度までの主要成果】

- 中期更新世以降（約40万年前以降）における断層等の活動時期を推定するに当たり、上載地層又は地形面の年代を決定するために、噴出年代が既知の火山灰が利用される。そのため、火山灰の同定に必要な火山灰粒子の化学組成及び噴出年代に関するデータを蓄積することが重要である。
- これらのデータの蓄積には、深海底コアを媒介として海陸に分布する火山灰のデータを関連付けることが有効である（図9）。

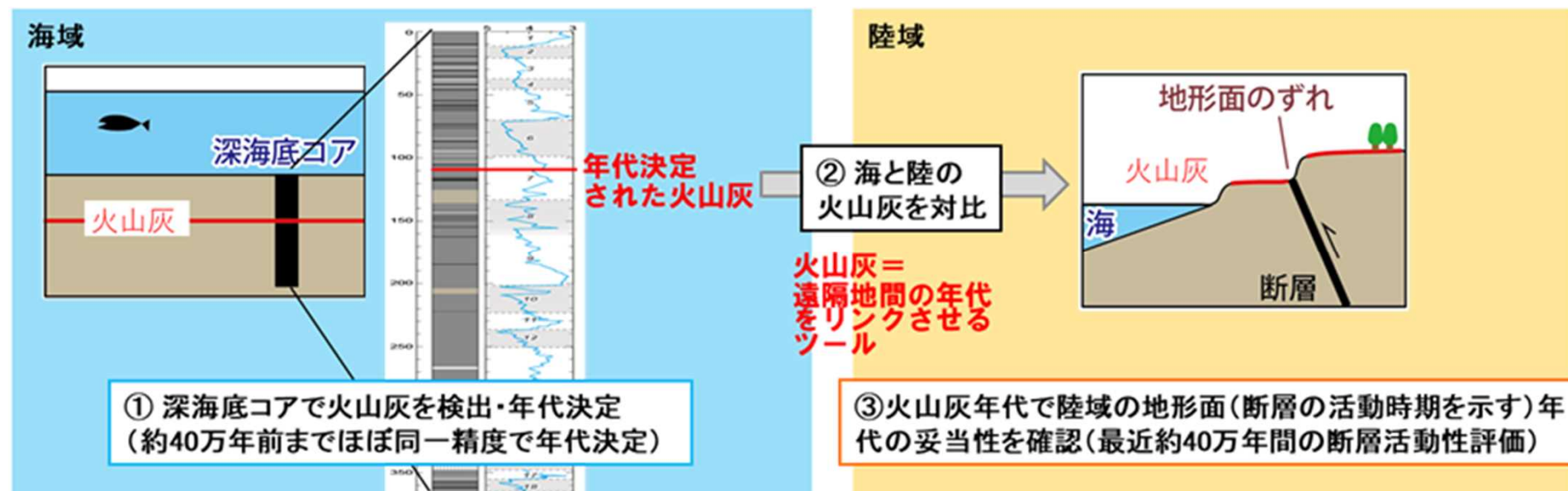


図9 深海底コアを媒介とした海陸に分布する火山灰の関連付け

(図はオリジナル)

【令和5年度までの主要成果】（続き）

- ▶ 火山灰の年代決定の精度は、断層の活動性評価の信頼性に直結するため、「将来活動する可能性のある断層等」の活動年代（中期更新世以降（約40万年前以降））に対応した年代決定の手順を整備することを目的として、これまで深海底コアを用いた研究に取り組んできた。

*実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈 別記1第3条第3項に記載

- ▶ 過年度プロジェクトでは東北日本を、前プロジェクトでは西南日本を主に対象とし、深海底コアが帯同する酸素同位体層序や微化石層序を用いて、最近40万年間に対応した火山灰層序を明らかにするとともに（図10）、コア中の火山灰の深度と年代の関係を明示する「年代モデル」の信頼性を向上させるための手順を整備した（図11⇒次ページ）。

Matsu'ura et al. (2021)⁽⁶⁾より
図中の文献情報は末尾を参照⁽⁷⁾

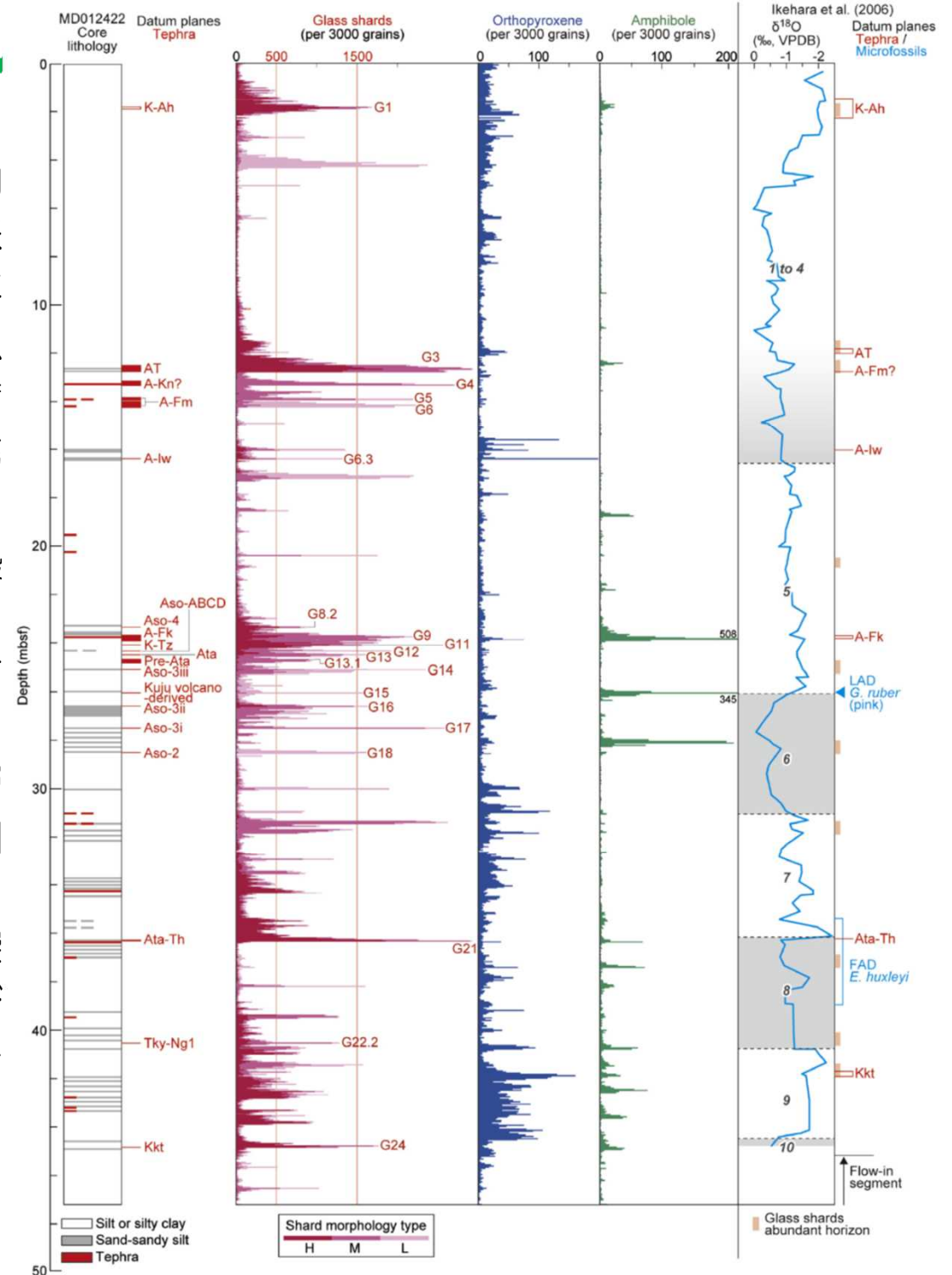
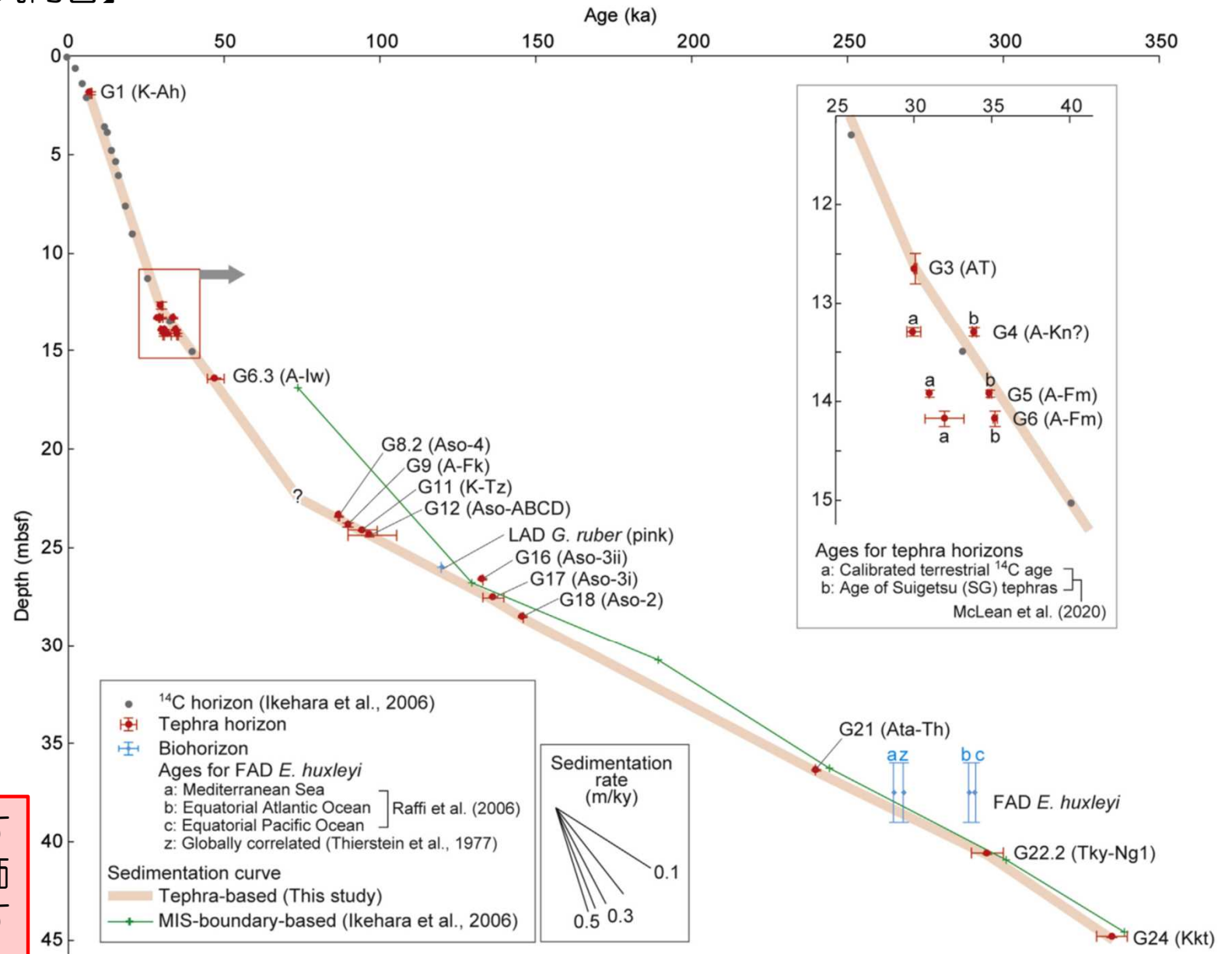


図10 深海底コアを媒介とした海陸に分布する火山灰の関連付け

【令和6年度以降の研究内容】

- 同様の知見を、九州の火山から噴出した火山灰が広く分布すると予想される西南日本～中部日本及び周辺海域へ拡充する。
- 精度良く年代決定された海域の火山灰を陸域の火山灰と対比して年代指標の整備を行う。



断層の活動時期を示す地形・地層を年代評価するための手順に関する知見を蓄積

Matsu'ura et al. (2021)⁽⁶⁾より 図中の文献情報は末尾を参照^(7,8,9,10)

図1 1 四国沖深海底コアの火山灰、微化石及び酸素同位体層序から推定された年代モデル

4. 研究計画(行程表)

実施項目番号	R6年度	R7年度	R8年度	R9年度	R10年度
(1)a. 鉍物脈法等を用いた断層活動性評価に関する研究	<ul style="list-style-type: none"> 予備調査(調査地域選定) 試料採取 化学分析(予備的分析を含む) 年代測定(予備的分析を含む) 	<ul style="list-style-type: none"> 火成岩地域における試料採取(調査地域ごとの比較検討) 化学分析(本格分析開始)、鉍物脈法及び岩脈法の検討 年代測定(測定手法の統一化) 	<ul style="list-style-type: none"> 変成岩又は堆積岩地域における試料採取(調査地域ごとの比較検討) 化学分析(本格分析)、鉍物脈法及び岩脈法の検討 年代測定の実施 	<ul style="list-style-type: none"> 試料採取(追加調査の必要性検討) 化学分析(本格分析)、鉍物脈法及び岩脈法の検討 年代測定の実施 	<ul style="list-style-type: none"> 年代評価手法の整理 鉍物脈法、岩脈法及び古応力解析に基づく断層活動性評価手法の整理
				▽学会発表	▽学会発表
(1)b. 断層岩の物質科学(地球化学)的指標等を用いた断層活動性評価に関する研究	<ul style="list-style-type: none"> 予備調査(地表踏査、ボーリング掘削) 室内分析(予備的分析:全岩化学組成分析、年代測定) 統計解析(予備解析) 	<ul style="list-style-type: none"> 試料採取(地表踏査、ボーリング掘削) 室内分析(本格分析開始:全岩化学組成分析、年代測定) 統計解析(判定手法の影響評価) 	<ul style="list-style-type: none"> 試料採取(地表踏査、ボーリング掘削) 室内分析(本格分析:全岩化学組成分析、年代測定) 統計解析(化学指標の適用性検討) 	<ul style="list-style-type: none"> 試料採取(ボーリング掘削) 室内分析(本格分析:全岩化学組成分析、鉍物化学分析、年代測定) 統計解析(断層タイプの影響検討) 	<ul style="list-style-type: none"> 室内分析(補足分析:鉍物化学分析、年代測定) 統計解析手法の取りまとめ 判別指標及び地球化学的根拠の提示
				▽学会発表	▽学会発表

※有用な研究成果は、研究期間中においても適宜論文として公表する。

(次頁へ続く)

実施項目番号	R6年度	R7年度	R8年度	R9年度	R10年度
(2)a. 中期更新世以降の火山灰年代評価手法に関する研究					▽論文公表
	<ul style="list-style-type: none"> ・海底コア中の火山灰、陸域火山灰の試料採取 ・海底コアに含まれる火山灰粒子の量比分布に基づく火山灰層準の検出 	<ul style="list-style-type: none"> ・海底コア中の火山灰、陸域火山灰の試料採取 ・室内分析(主成分元素組成分析) ・火山灰粒子の主成分元素組成に基づく海域・陸域の火山灰の特徴化 	<ul style="list-style-type: none"> ・海底コア中の火山灰、陸域火山灰の試料採取 ・室内分析(主成分・微量元素成分元素組成分析) ・火山灰粒子の主成分及び微量元素成分元素組成に基づく海域・陸域の火山灰の特徴化 	<ul style="list-style-type: none"> ・海底コア中の火山灰、陸域火山灰の試料採取 ・室内分析(主成分・微量元素成分元素組成分析) ・火山灰粒子の主成分及び微量元素成分元素組成に基づく海域・陸域の火山灰の特徴化 	<ul style="list-style-type: none"> ・補足調査 ・海域・陸域における火山灰の対比による海陸統合火山灰層序構築と火山灰年代評価

※有用な研究成果は、研究期間中においても適宜論文として公表する。

文 献

- (1) 石渡明、「鉍物脈法による断層活動性評価について」、日本地質学会第123年学術大会、R23-O-3、平成28年
- (2) 立石良、島田耕史、清水麻由子、植木忠正、丹羽正和、末岡茂、石丸恒存、「断層ガウジの化学組成に基づく活断層と非活断層の判別—線形判別分析による試み」、応用地質、62巻、pp.104-112、令和3年
- (3) 岩森暁如、小北康弘、島田耕史、立石良、高木秀雄、大田亨、菅野瑞穂、和田伸也、大野顕大、大塚良治、「風化度指標W値を用いた江若花崗岩中の断層岩の諸特性」、日本地質学会第129年学術大会、G6-O-1、令和4年
- (4) Miyawaki, M., Sakaguchi, A., “Trench and drilling investigation of the Median Tectonic Line in Shikoku, southwest Japan: implications for fault geometry”, Earth Planets Space, Vol. 73, 194, 2021.
- (5) 宮脇昌弘、内田淳一、林茉莉花、佐藤秀幸、「断層破碎物質を用いた断層の活動性評価手法に関する研究」、安全研究報告、RREP-2020-4003、原子力規制庁、令和2年
- (6) Matsu'ura, T., Ikehara, M., Ueno, T., “Late Quaternary tephrostratigraphy and cryptotephrostratigraphy of core MD012422: Improving marine tephrostratigraphy of the NW Pacific”, Quaternary Science Reviews, Vol. 257, 106808, 2021.
- (7) 池原実、村山雅史、多田井修、外西奈津美、大道修宏、川幡穂高、安田尚登、「四国沖から採取された2本のIMAGESコアを用いた第四紀後期におけるテフラ層序」、化石、79号、pp. 60-76、平成18年
- (8) McLean, D., Albert, P.G., Suzuki, T., Nakagawa, T., Kimura, J.-I., Chang, Q., Miyabuchi, Y., Manning, C.J., MacLeod, A., Blockley, S.P.E., Staff, R.A., Yamada, K., Kitaba, I., Yamasaki, A., Haraguchi, T., Kitagawa, J., SG14 Project Members, Smith, V.C., “Constraints on the timing of explosive volcanism at Aso and Aira calderas (Japan) between 50 and 30 ka: new insights from the Lake Suigetsu sedimentary record (SG14 core)”, G-cubed, 2020, <https://doi.org/10.1029/2019GC008874>.
- (9) Raffi, I., Backman, J., Fornaciari, E., Palike, H., Rio, D., Lourens, L., Hilgen, F., “A review of calcareous nanofossil astrobiochronology encompassing the past 25 million years”, Quaternary Science Reviews, Vol. 25, pp. 3113-3137, 2006.
- (10) Thierstein, H.R., Geitzenauer, K.R., Molino, B., Shackleton, N. J., “Global synchronicity of late Quaternary coccolith datum levels: validation by oxygen isotopes”, Geology, Vol. 5, pp. 400-404, 1977.