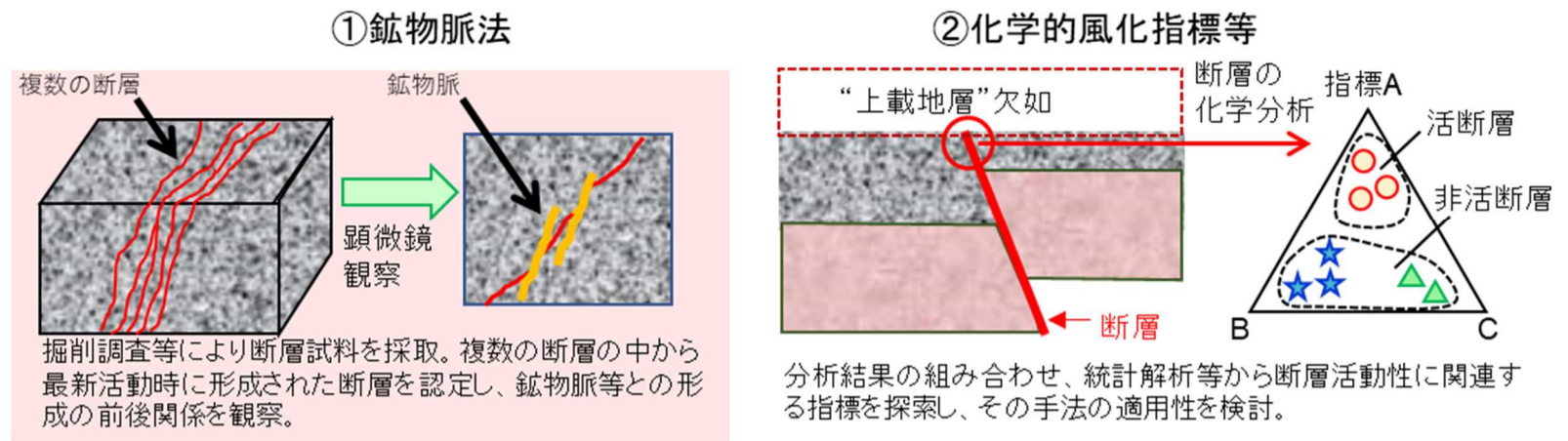


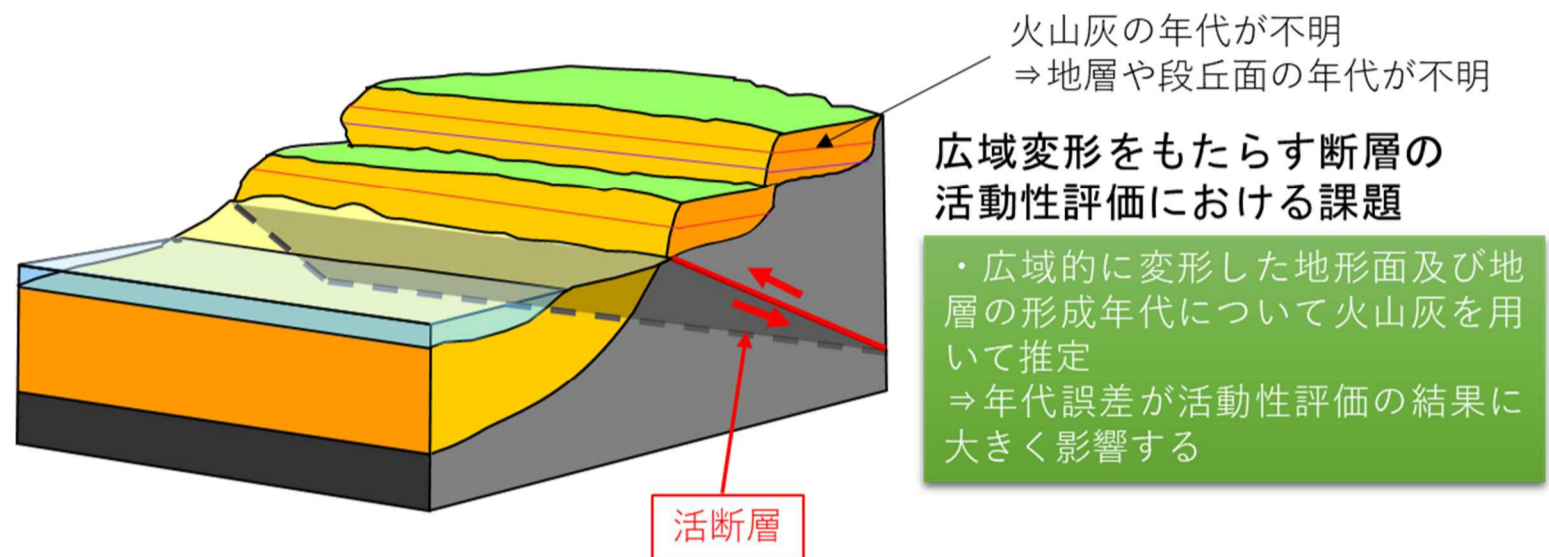
研究計画（案）

1. プロジェクト (始期：R6年度 終期：R10年 度)	2. 断層の活動性評価手法に関する研究	担当部署	技術基盤グループ 地震・津波研究部門
		担当責任者	内田淳一 統括技術研究調査官
2. カテゴリー・ 研究分野	【横断的原子力安全】 A) 外部事象（地震、津波、火山等）	主担当者	松浦旅人 主任技術研究調査官 宮脇昌弘 副主任技術研究調査官 林 宏樹 副主任技術研究調査官
3. 背景	<p>「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」（以下「規則の解釈」という。）別記1第3条第3項では、「将来活動する可能性のある断層等」が定義されている。また、「その認定に当たって、後期更新世（約12～13万年前）の地形面又は地層が欠如する等、後期更新世以降の活動性が明確に判断できない場合には、中期更新世以降（約40万年前以降）まで遡って地形、地質・地質構造及び応力場等を総合的に検討した上で活動性を評価すること。」とされている。</p> <p>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（以下「上載地層法」という。）（図1の①）。例えば「活断層の長期評価手法 報告書（暫定版）」（地震調査研究推進本部、平成22年）では、上載地層法に基づいた年代測定を基本としており、主として上載地層に含まれる有機物の放射性炭素同位体年代に基づいた数十年～数百年オーダーの測定精度と結果に対するばらつきの考え方が示されている。しかし、放射性炭素同位体年代の適用限界は約5万年程度であり、規則の解釈別記1第3条第3項で示されている「将来活動する可能性のある断層等」の定義に照らして十分な年代幅をカバーできないこと、地域によっては、そのような地層が欠如している等の理由により、上載地層法の適用が難しい場合があることから（図1の②）、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。</p> <p>平成26年に制定された「敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド」（以下「地質審査ガイド」という。）では、断層破碎物質を用いた活動性評価の具体例として、「断層の活動性評価に対し、断層活動に関連した微細なずれの方向（正断層、逆断層、右横ずれ断層、左横ずれ断層等）や鉱物脈又は貫入岩等との接触関係を解析することが有効な場合がある。」とされ、さらに「断層破碎物質を用いた活動性評価に関しては、信頼性の高い活動年代の評価手法が確立されていない。断層破碎物質の性状から断層の活動性評価を評価する場合には、このことを十分に考慮する必要がある。」との留意点が示されている。この留意点を課題として捉え、検討対象である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（以下「鉱物脈法」という。）⁽¹⁾について安全研究プロジェクト「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」（平成25年度～令和元年度）の一環として限定的ではあるが知見を蓄積した（図2の①）。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、その原理は断層の変位とそれを横切る鉱物脈の形成時期との前後関係に則った単純なものであるが、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。そのため、鉱物脈法の適用事例を追加し、鉱物脈を用いた断層活動性評価手法を体系的に研究することに加え、他の手法を含めた総合的な評価手法を構築するために、鉱物脈の年代評価手法に関する知見、古応力場を利用する方法等に関する知見を蓄積することが重要である。</p> <p>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2の②）も行われつつあるが^(2,3)、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。</p> <p>後期更新世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、規則の解釈別記1第3条第3項に記載されている約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3）。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。安全研究プロジェクト「地震の活動履歴評価手法に関する研究」（平成29年度～令和元年度）及び「断層の活動性評価に関する研究」（令和2年度～令和5年度）ではそれぞれ東北日本及び西南日本を主に対象とし、約40万年前まで遡って火山灰層序を明らかにするとともに、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てきた。このようなデータを西南日本～中部日本及び周辺海域にも拡充し、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。</p> <div style="text-align: center;"> <p>①通常の方法（“上載地層法”） 断層の上に堆積した地層 約12～13万年前の地層など 断層 この場合、最近の地質時代（約12～13万年前）に活動していなかったため、活動性を否定できる。</p> <p>②通常の方法が利用できない場合 “上載地層”欠如 約1,000万年前の岩体 断層 この場合、約1,000万年前以降に活動したことが分かるだけで、最近の地質時代に活動したかどうか不明。</p> </div> <p style="text-align: right;">（図はオリジナル）</p>		
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 本研究で扱う断層破碎物質等を用いた断層活動性評価



(図はオリジナル)

図3 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

<p>4. 目的</p>	<p>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。</p> <p>(1) 断層破碎物質等を用いた断層活動性評価</p> <p>a. 鉱物脈法等を用いた断層活動性評価に関する研究</p> <p>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。</p> <p>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</p> <p>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。</p> <p>(2) 断層活動時期を示す地形・地層の年代評価</p> <p>a. 中期更新世以降の火山灰年代評価手法に関する研究</p> <p>「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。</p>
<p>5. 知見の活用先</p>	<p>(1) で得られた知見は、地質・地質構造に関する審査において、「将来活動する可能性のある断層等」の評価（規則の解釈別記1第3条第3項）、断層の活動性評価（地質審査ガイドI 4.1.2.3）に係る技術基盤として活用される。</p> <p>(2) a. で得られた知見は、地質・地質構造に関する審査において、「将来活動する可能性のある断層等」の評価（規則の解釈別記1第3条第3項）「活断層の位置・形状・活動性等」の把握及び評価（規則の解釈別記2 第四条の5 二）、「中期更新世以降の断層等の評価指標である段丘面や地層の形成年代推定に利用する火山灰」の対比及び年代決定（地質審査ガイドI 2.2 [解説](2)）に係る技術基盤として活用される。</p> <p>さらに、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行い、基準や地質審査ガイドの改正に資する。</p>

本プロジェクトの研究は、「原子力規制委員会における安全研究の基本方針」（令和元年5月29日原子力規制委員会決定）における安全研究のうち以下の分類に基づき実施する。

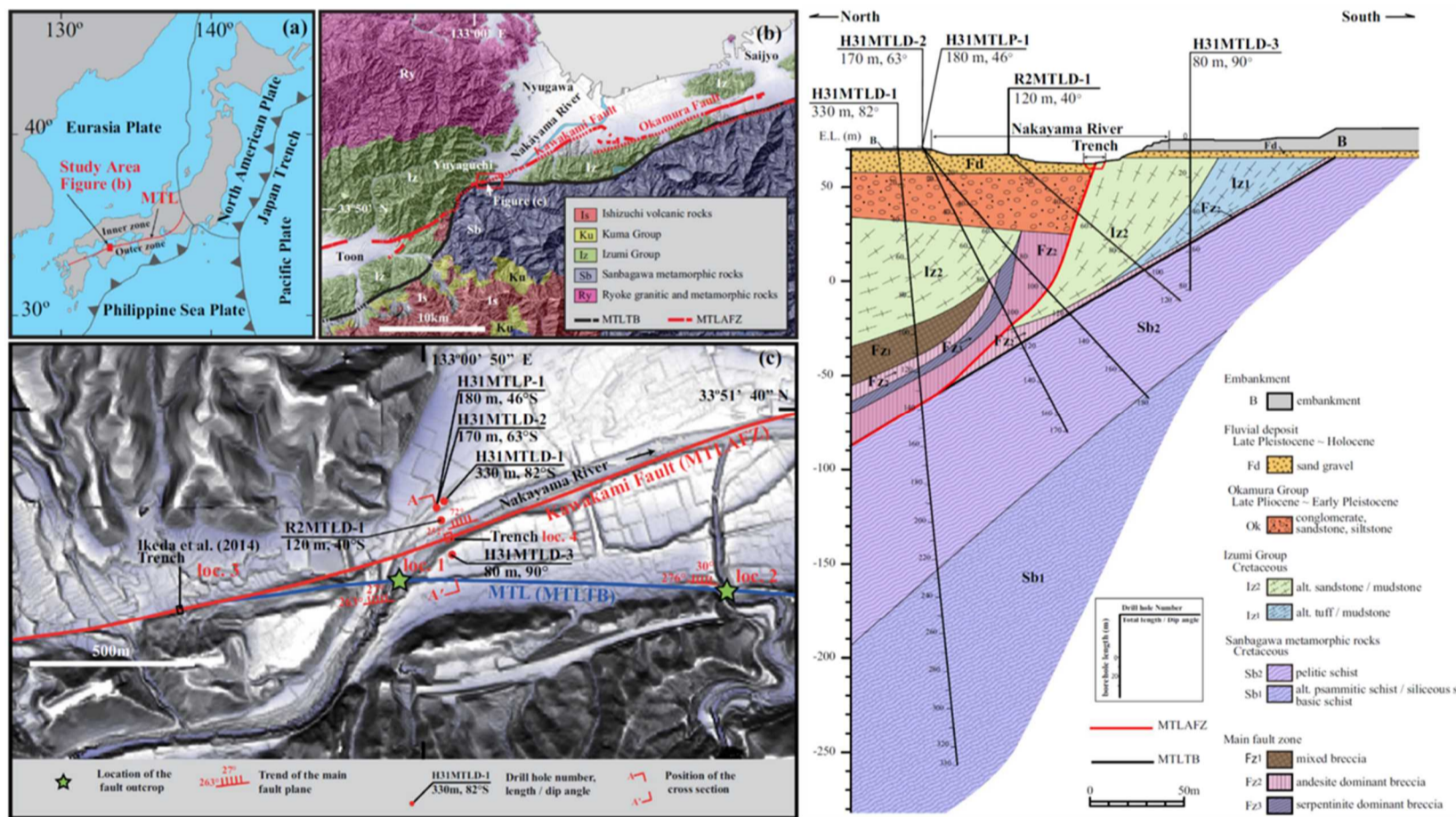
- ① 規制基準等の整備に活用するための知見の収集・整備（以下「分類①」という。）
- ② 審査等の際の判断に必要な知見の収集・整備（以下「分類②」という。）

(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【分類①、分類②】

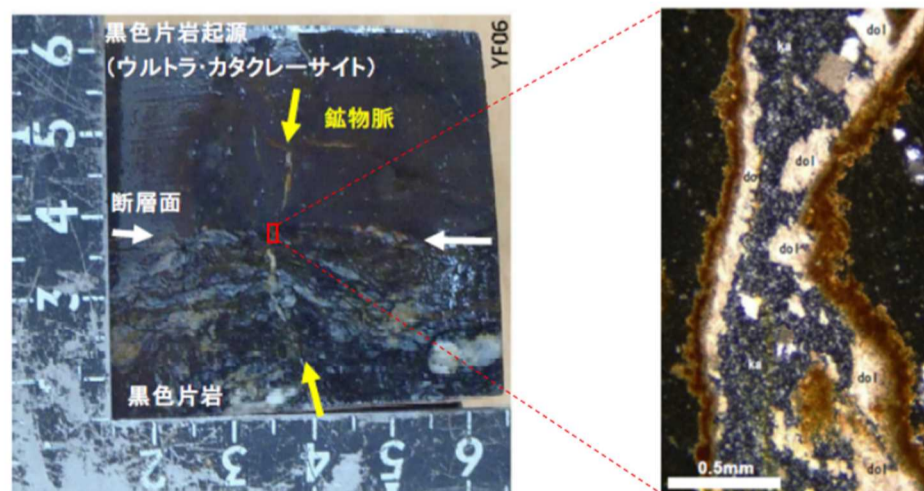
上載地層法の適用が難しい場合、断層本体の性状や断層破碎物質から断層の活動性を判断することが重要である。安全研究プロジェクト「断層破碎物質を用いた断層の活動性評価手法に関する研究」（平成25年度～令和元年度）においては、審査に適用されつつあることを踏まえ、鉱物脈法の適用事例の蓄積を開始した。その一環として中央構造線を例にして実施した研究⁽⁴⁾では、地質構造の把握（図4）とともに、活断層では高温条件下で晶出する鉱物脈が断層によって切断されていること、最近活動していない断層では高温条件下で晶出する鉱物脈が断層を横断していることが確認され、本手法の一つの適用事例を示した⁽⁵⁾（図5）。安全研究プロジェクト「断層の活動性評価に関する研究」（令和2年度～令和5年度）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。令和6年度以降は、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6）。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。また、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。これらの成果をもとに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する。

6. 安全研究概要



Miyawaki & Sakaguchi (2021)⁽⁴⁾より

図4 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

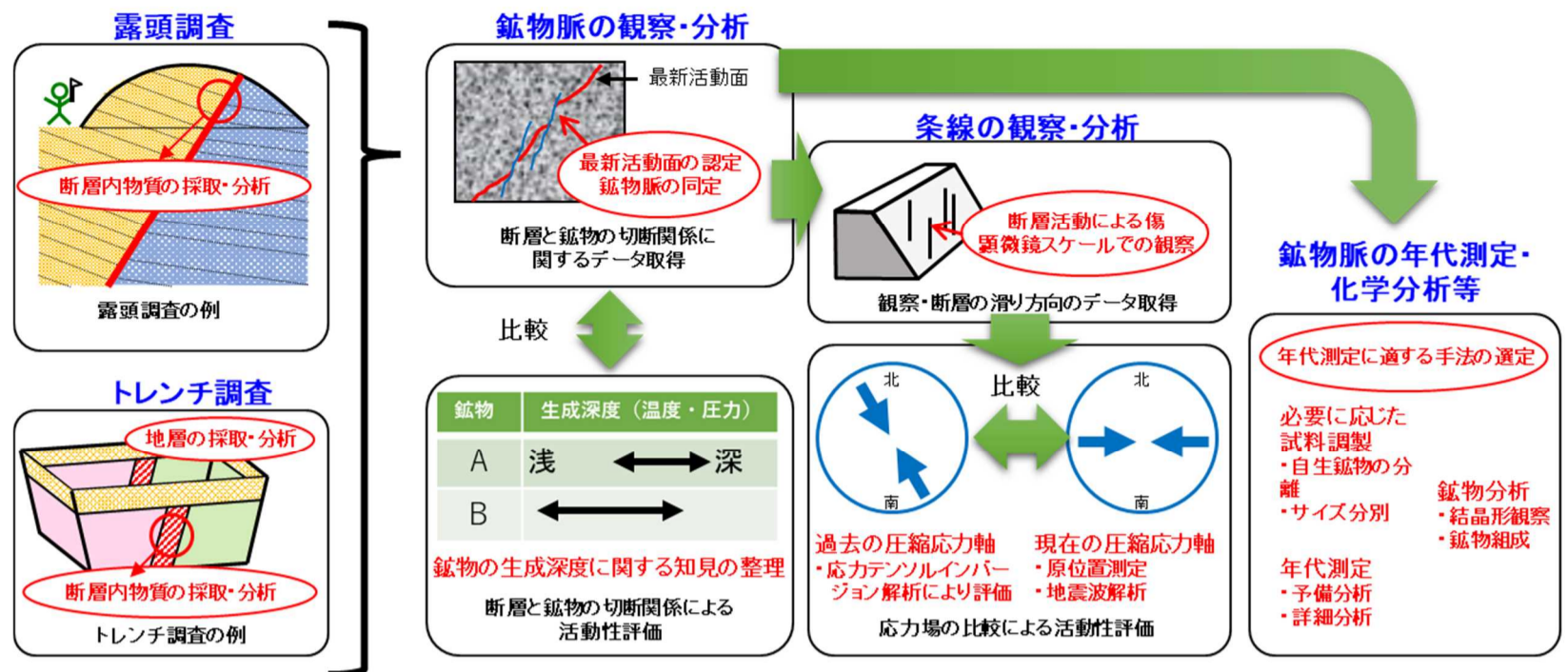


断層面を横断する鉱物脈の岩石研磨片の写真

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5 中央構造線において実施した鉱物脈法の結果の例

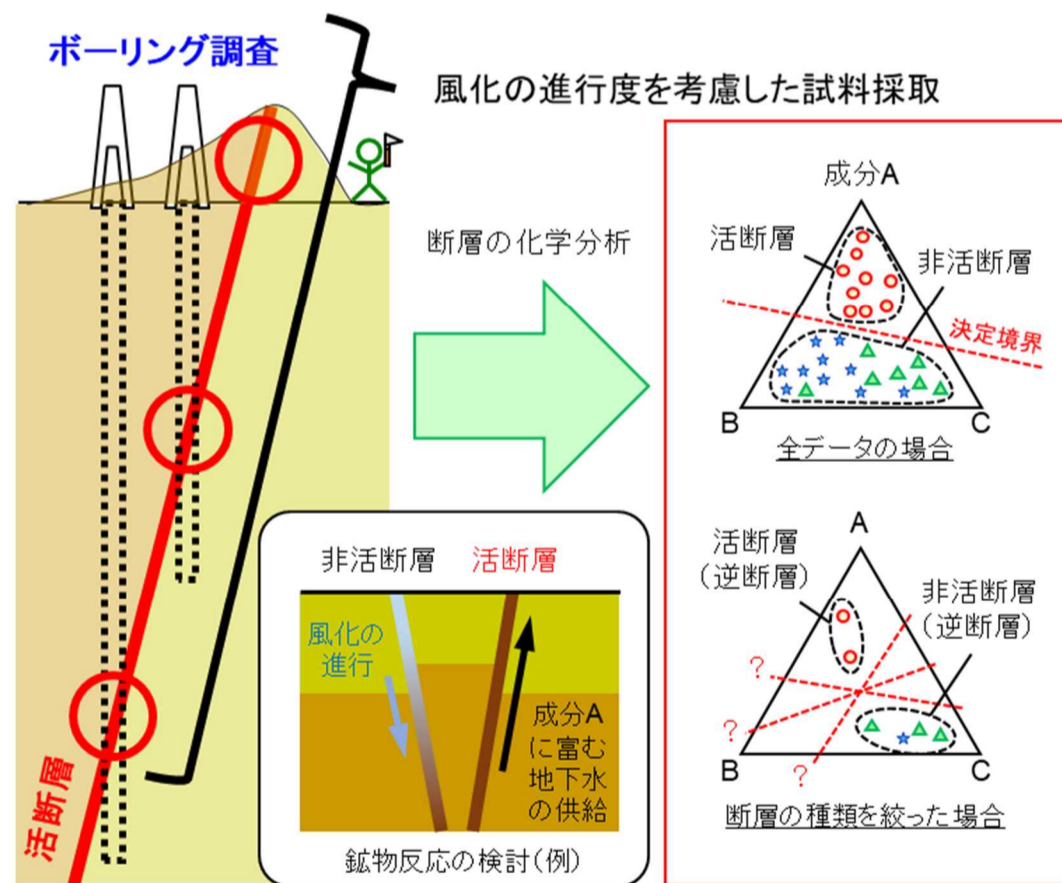


(図はオリジナル)

図 6 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

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【分類②】

断層岩の化学組成を用いた断層の活動性評価手法について、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^(2,3)。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（江若岩体）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。得られた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。また、断層岩等の化学組成データ（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。これに加え、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することができる地球化学的モデルを検討する（図 7）。以上の検討結果は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として取りまとめる。



(図はオリジナル)

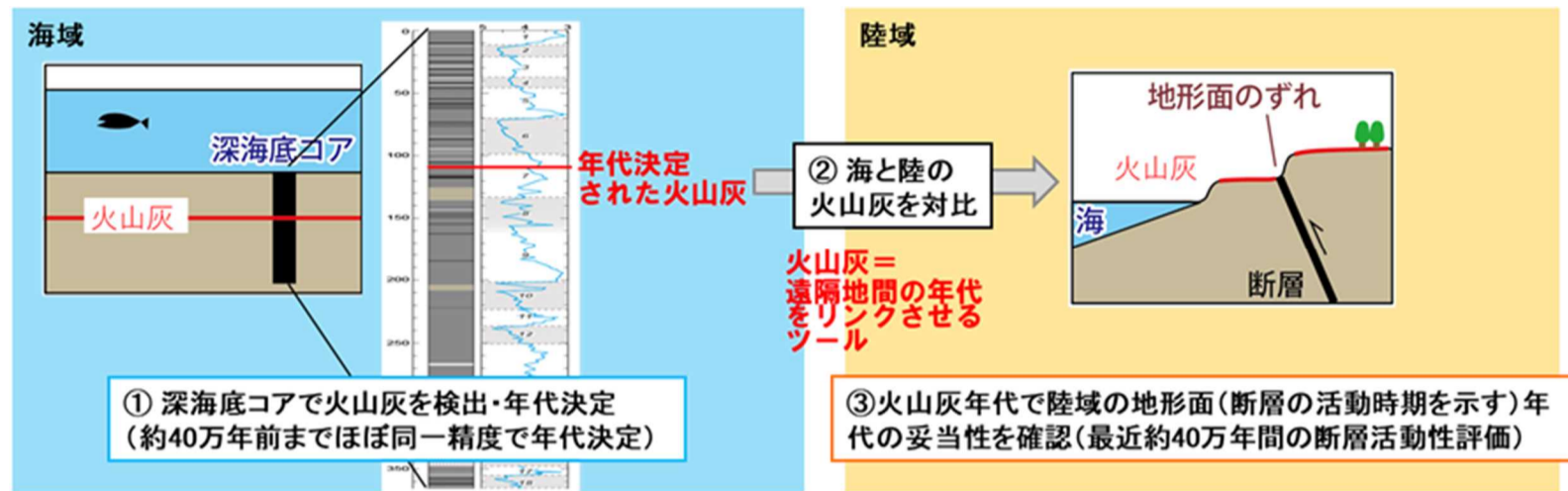
図 7 断層岩の物質科学（地球化学）的指標等を用いた断層活動性評価に関する研究の概要

(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【分類②】

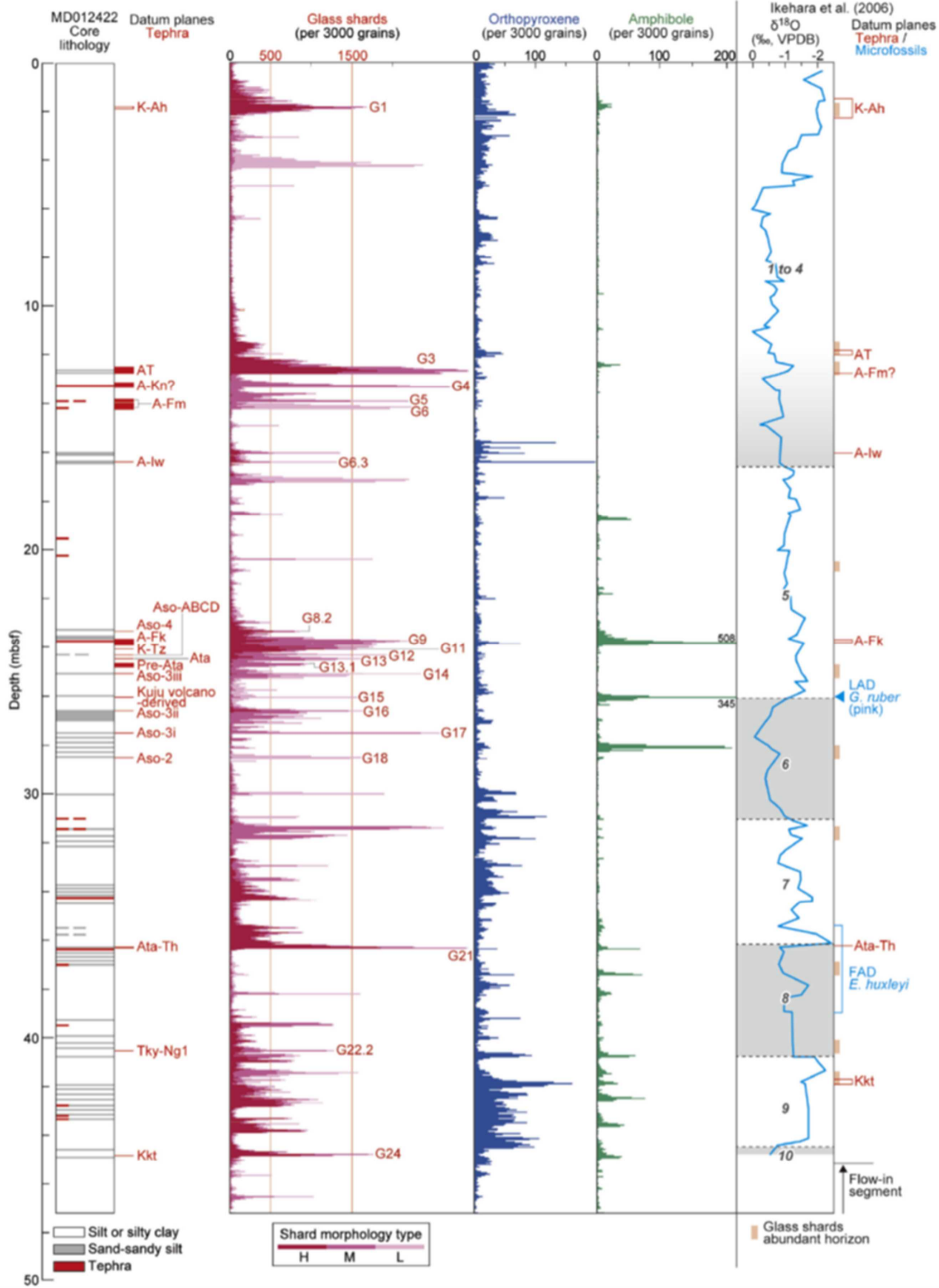
中期更新世以降（約 40 万年前以降）における断層等の活動時期を推定するに当たり、上載地層又は地形面の年代を決定するために、噴出年代が既知の火山灰が利用される。そのため、火山灰の同定に必要な火山灰粒子の化学組成及び噴出年代に関するデータを蓄積することが重要である。これらのデータの蓄積には、深海底コアを媒介として海陸に分布する火山灰のデータを関連付けることが有効である（図 8）。火山灰の年代決定の精度は、断層の活動性評価の信頼性に直結するため、規則の解釈別記 1 第 3 条第 3 項に規定されている「将来活動する可能性のある断層等」の活動年代（中期更新世以降（約 40 万年前以降））に対応した年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。安全研究プロジェクト「地震の活動履歴評価手法に関する研究」（平成 29 年度～令和元年度）では東北日本を、安全研究プロジェクト「断層の活動性評価に関する研

究」(令和2年度～令和5年度)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9)、コア中の火山灰の深度と年代の関係を示す「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10)。令和6年度以降は、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し、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い、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する。



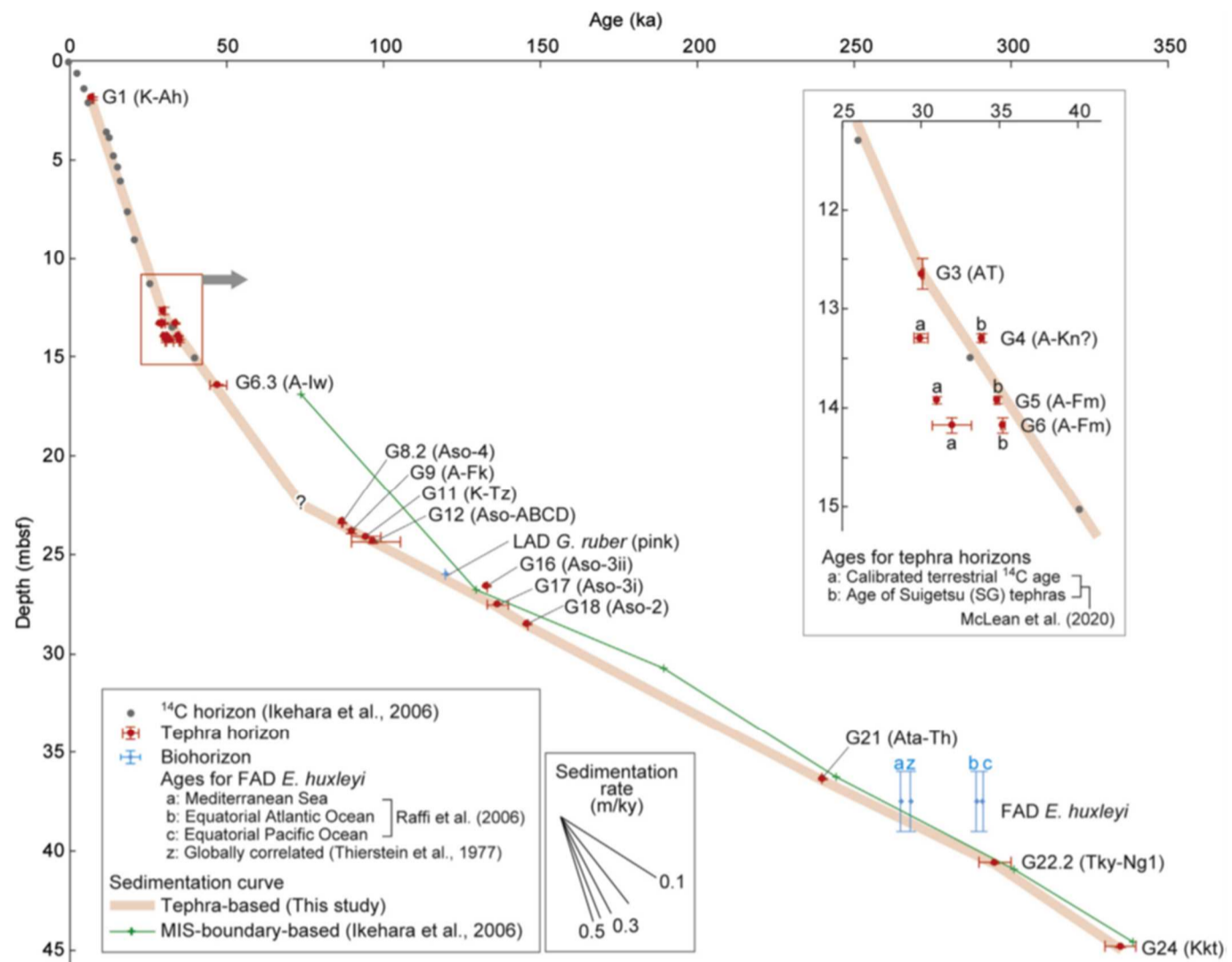
(図はオリジナル)

図8 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



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

図9 四国沖深海底コアにおける火山灰の層位、粒子の量比と海洋酸素同位体比曲線



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 10 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

7. 成果目標と実施計画

(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

成果目標：断層面と鉱物脈との切断関係の把握、鉱物脈の方位解析による古応力場の推定（岩脈法）、鉱物脈の年代測定、化学分析による鉱物脈の生成環境及び形成年代の特定に至るプロセスについての留意点をまとめる。得られた成果は学術雑誌又は NRA 技術報告において公表する。

実施計画：・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ボーリング調査、露頭調査等を行う。

- ・採取した試料を用いて、微細構造観察による断層面と鉱物脈との切断関係の把握、鉱物脈を用いた岩脈法による応力解析、年代測定及び化学分析等による鉱物脈の生成環境及び形成年代の特定を行う。
- ・令和 10 年度までに鉱物脈法を用いた断層の活動性評価、岩脈法を用いた古応力解析に基づく断層の活動性評価及び鉱物脈の年代測定による断層の活動性評価を実施し、各種の評価手法の留意点をまとめる。

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

成果目標：断層岩の化学組成を用いた活断層と非活断層の判別手法の有効性、適用範囲及びその統計解析上の留意点を学術雑誌又は NRA 技術報告にまとめる。

実施計画：・断層岩の化学組成データの取得を目的として、地表露頭の調査及び試料採取を行う。また、ボーリング掘削により風化の影響の小さい地下の断層岩試料を採取する。

- ・上載地層法等を用いて当該断層の活動時期を特定するとともに、断層岩試料の化学組成等の分析を行う。
- ・詳細な鉱物分析を行い、断層岩の化学的特徴に寄与する変質メカニズムを特定する。
- ・既往の統計解析手法を用いて、解析に用いるデータの種類の、判別手法等を変えた場合の評価結果への影響を確認する。
- ・令和 10 年度までに断層岩の化学組成を用いた活断層と非活断層の判別手法の有効性、適用範囲及びその統計解析上の留意点を取りまとめる。

(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

成果目標：西南日本～中部日本及び周辺海域における深海底堆積物の「年代モデル」を整備して火山灰の年代を精度良く決定し、海域・陸域の火山灰を対比して信頼性の高い年代指標の整備を行うことによって「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、最近 40 万年間）に対応した年代決定手順に関する知見を蓄積する。得られた成果は学術雑誌において公表する。

実施計画：・海底コアに含まれる火山灰粒子の量比分布を把握し、火山灰層準の検出を行うとともに、中期更新世以降に対応する海底コアの火山灰層序を整理する。

- ・火山灰の噴出源と推定される火山の近傍及び風下地域で、陸成堆積物中の火山灰調査を行う。
- ・海域・陸域で採取された火山灰の主成分化学組成及び微量化学組成を分析し、火山灰特徴化のためのデータを収集する。

・令和10年度までに取得された化学組成結果を基に火山灰を対比する。

行程表

	R6年度	R7年度	R8年度	R9年度	R10年度	
(1) a. 鉱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)、鉱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"> ▽学会発表 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)、鉱物脈法及び岩脈法の検討 年代測定の実施 	<ul style="list-style-type: none"> ▽学会発表 試料採取(追加調査の必要性検討) 化学分析(本格分析)、鉱物脈法及び岩脈法の検討 年代測定の実施 	<ul style="list-style-type: none"> ▽論文公表 ▽NRA技術報告公表 年代評価手法の整理 鉱物脈法、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 	
	(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"> ▽学会発表 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"> ▽学会発表 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、鉱物化学分析、年代測定) 統計解析(断層タイプの影響検討) 	<ul style="list-style-type: none"> ▽論文公表 ▽NRA技術報告公表 室内分析(補足分析:鉱物化学分析、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
		(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	<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・微量成分元素組成分析) 火山灰粒子の主成分及び微量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・微量成分元素組成分析) 火山灰粒子の主成分及び微量成分元素組成に基づく海域・陸域の火山灰の特徴化

8. 実施体制

- 【地震・津波研究部門における実施者】
- 内田淳一 統括技術研究調査官(全体管理)
 - 松浦旅人 主任技術研究調査官(実施項目(2)a関係)
 - 宮脇昌弘 副主任技術研究調査官(実施項目(1)a関係)
 - 林 宏樹 副主任技術研究調査官(実施項目(1)b関係)
 - 林茉莉花 技術研究調査官(実施項目(1)b関係)
 - 千葉 響 技術研究調査官(実施項目(1)b関係)

文 献

9. 備考

- (1) 石渡明、「鉱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、R23-0-3、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、G6-0-1、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., Molfino, B., Shackleton, N. J., “Global synchronicity of late Quaternary coccolith datum levels: validation by oxygen isotopes”, Geology, Vol. 5, pp. 400-404, 1977.