

地質環境の長期安定性に関する研究

調査技術の開発・体系化

－ 第2期中期計画における研究開発の現状と今後の予定 －

独立行政法人 日本原子力研究開発機構

地層処分研究開発部門

1. 調査技術の開発・体系化(前半)

1-1 変動地形が明瞭でない活断層などに係る調査技術

断層ガス等の化学組成等を指標とした活断層を検出するための手法を提示

1-2 地殻内の震源断層などに係る調査技術

震源断層、高温流体等を高い分解能で検出するための地球物理学的手法を提示

1-3 地下で遭遇した断層の活動性に係る調査技術

坑道等で遭遇した断層の活動性を解明するための物質科学的手法を提示

1-4 内陸部の隆起・侵食速度の算出に係る調査技術

河成段丘以外の堆積物の編年と標高等に基づく隆起・侵食速度の算出法を提示

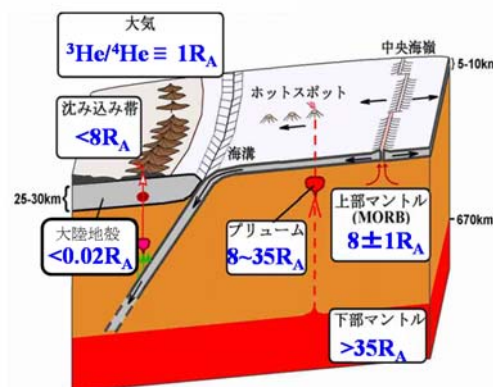
1-1 変動地形が明瞭でない活断層などに係る調査技術

【目 標】

地表からの調査の段階において、変動地形が明瞭でない活断層の存否を確認するため、断層ガスの主成分・同位体組成等を指標とした調査技術を提示する。

【実施項目】

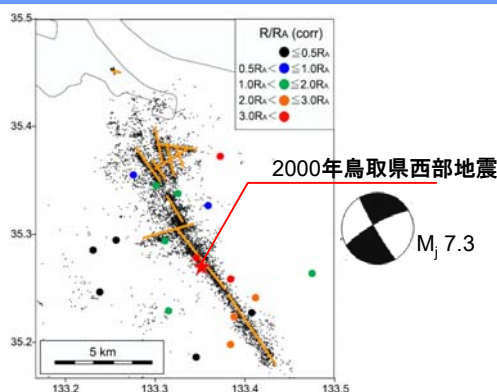
- ① 断層タイプによる $^3\text{He}/^4\text{He}$ 分布特性の違いに関する検討
→ 横ずれ断層、逆断層の周辺における $^3\text{He}/^4\text{He}$ の観測
- ② 内陸地震に伴う一時的なマントルヘリウムの上昇に関する検討
→ 内陸地震発生前後における $^3\text{He}/^4\text{He}$ の観測



1-1① 断層タイプによる $^3\text{He}/^4\text{He}$ 分布特性の違いに関する検討

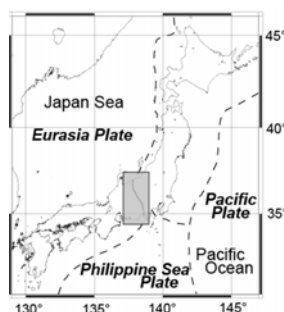
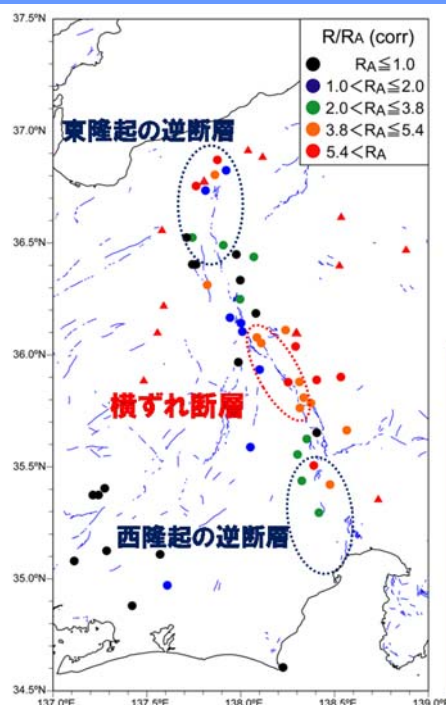
【実施内容・研究成果】 横ずれ断層、逆断層の周辺における $^3\text{He}/^4\text{He}$ の観測

様々なタイプの活断層周辺における $^3\text{He}/^4\text{He}$ 特性の把握が必要



➢ 震源域には活断層が識別されていないものの、震源域近傍の地下水の溶存ガスのヘリウム同位体比($^3\text{He}/^4\text{He}$)は高い値を示す

⇒ $^3\text{He}/^4\text{He}$ を指標として、活断層の存否等を明らかにできる可能性を指摘

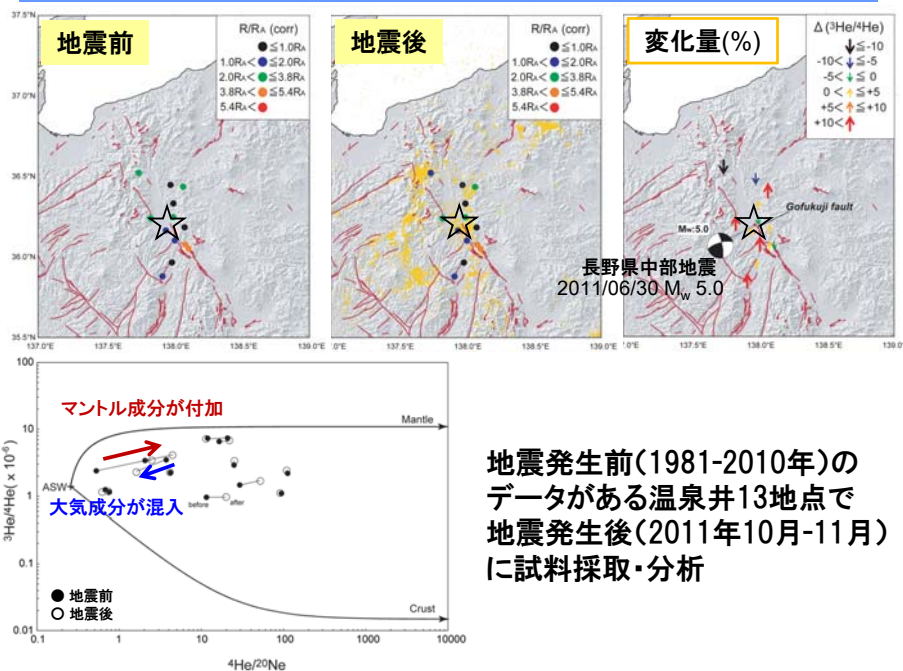


- 断層系全体において、大気の2倍以上の $^3\text{He}/^4\text{He}$ を多数確認
- マントル起源ヘリウムが、横ずれ断層・逆断層を通じて地表に供給されていることを示唆

1-1② 内陸地震に伴う一時的なマントルヘリウムの上昇に関する検討

【実施内容・研究成果】 内陸地震の発生前後における $^3\text{He}/^4\text{He}$ の観測

断層運動に伴い流体が断層内を上昇する可能性
⇒ 内陸地震前後の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 特性の把握が必要



地震発生前(1981-2010年)のデータがある温泉井13地点で地震発生後(2011年10月-11月)に試料採取・分析

- $^3\text{He}/^4\text{He}$ 変化量は、 $-0.8 R_A \sim +0.7 R_A$ であり、顕著な変化は認められない

➤ 断層近傍におけるマントル起源ヘリウムの地表への供給は、大地震の発生に伴う一時的な現象ではなく、定常的であることを示唆

⇒ 断層ガスに含まれる希ガス同位体を指標とした調査技術を提示

- 地球化学データのみならず、地形・地質データや地球物理データを組み合わせた総合的な解析手法としての検討

1-1 まとめと今後の課題

【目標達成状況】

- 断層ガスに含まれる希ガス同位体を指標とした調査技術を提示
✓ 逆断層および横ずれ断層を対象とした $^3\text{He}/^4\text{He}$ の有効性を示唆する事例
- ✓ 断層を通じたマントル起源ヘリウムの地表への供給が、地震発生（断層運動）に伴う一時的な現象ではないことを示唆する事例

【今後の計画】

- 地球化学データのみならず、地形・地質データや地球物理データを組み合わせた総合的な解析手法としての検討

1-2 地殻内の震源断層などに係る調査技術

【目 標】

地表からの調査段階において、地下深部における震源断層や高温流体等の存否や構造を確認するため、地球物理学的アプローチによる調査技術を提示する。

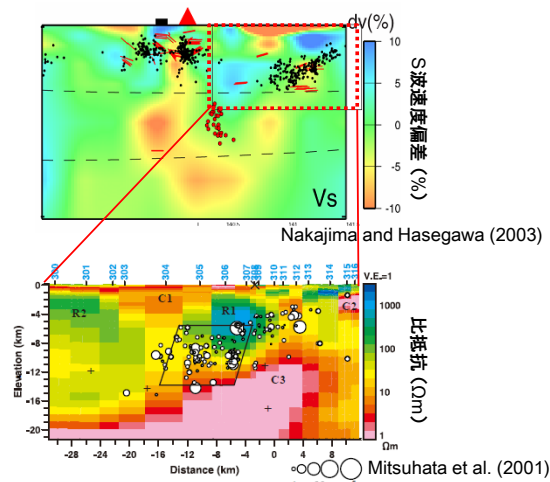
【実施項目】

① 微小地震の震源決定法・トモグラフィー法の高度化

- 地質構造を考慮した震源決定法の構築
- 地震波トモグラフィー法への適用

② MT法データ処理・解析手法の高度化

- 3次元比抵抗解析手法の開発
- 観測データのノイズ除去手法の開発
- 震源断層における比抵抗構造の推定

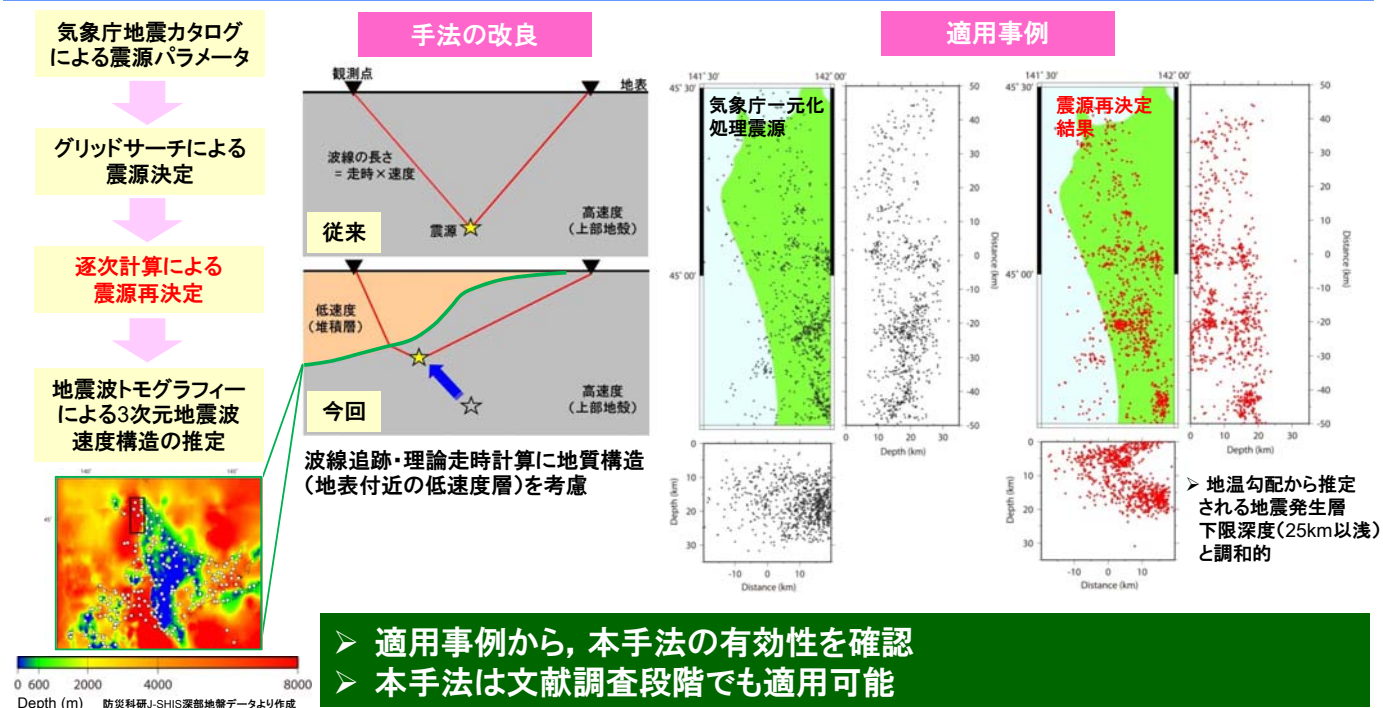


1967年宮城県北部地震の震源域周辺における地震波速度分布および比抵抗分布

1-2① 微小地震の震源決定法・トモグラフィー法の高度化

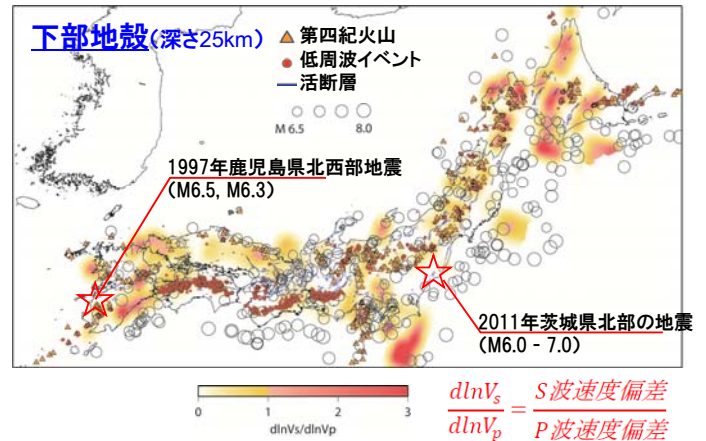
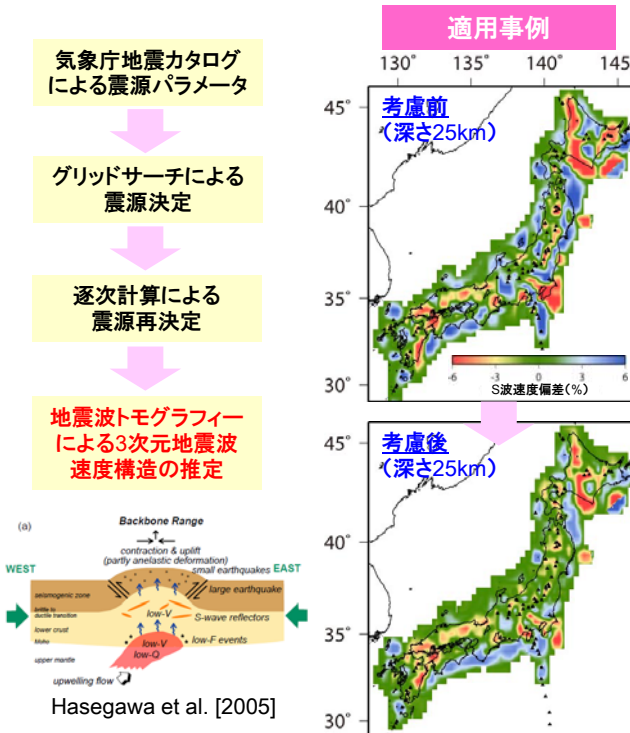
【実施内容・研究成果】 地質構造を考慮した震源決定法の構築

堆積層等の地震波速度が極めて遅い低速度層は、理論走時計算に大きな影響を及ぼす



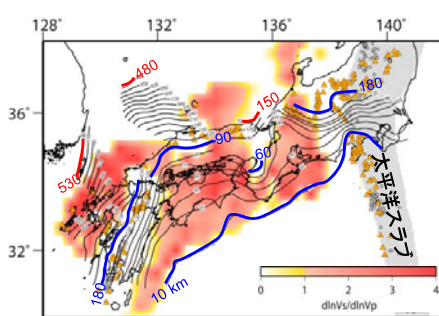
1-2① 微小地震の震源決定法・トモグラフィー法の高度化

【実施内容・研究成果】 地震波トモグラフィーへの適用



- 地震波速度分布のバラつき(地表付近からの染み出しによる偽像)が低減
- 下部地殻の低速度異常体は低周波イベント等の分布と調和的
- ⇒ より高い精度で地殻構造を推定する手法を提示
- 比抵抗構造や地球化学データ等を組合せた総合的な解析手法としての検討

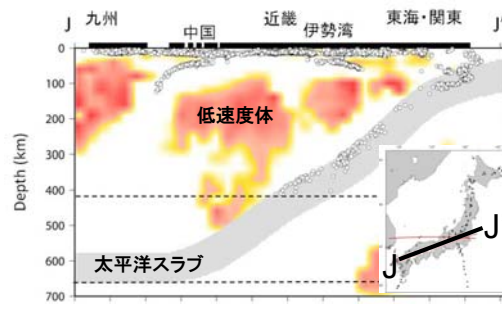
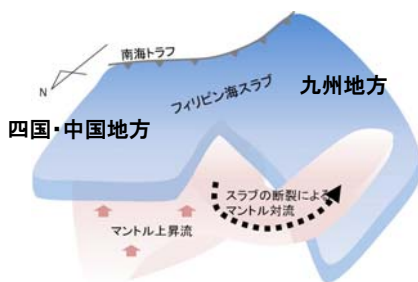
1-2① 微小地震の震源決定法・トモグラフィー法の高度化



深さ160kmにおける低速度異常体とフィリピン海スラブ等深線の分布

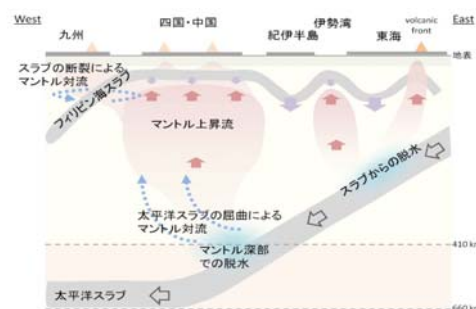
・フィリピン海スラブは北西方向に向かって深さ500kmまで沈み込む

・四国・中国地方ー九州地方間のスラブ断裂部を回り込むように低速度体が分布



関東ー九州地方断面における低速度体の分布

・マンテルウェッジにおける低速度体は、スラブが低角に沈み込む地域(四国・中国地方、伊勢湾、伊豆)に対応

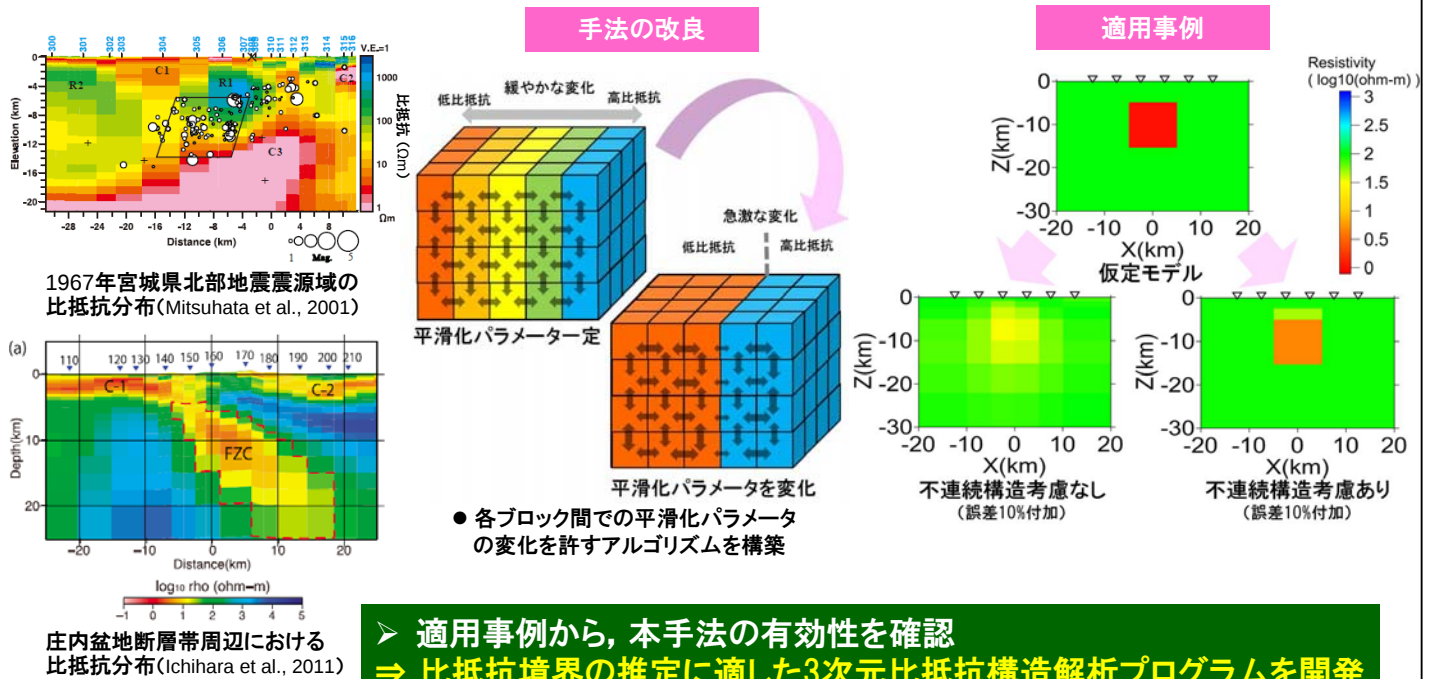


- 四国・中国地方ー九州地方間ではフィリピン海スラブが断裂し、これに起因する水平方向の局所的なマンテル対流が生じている可能性を示唆
- フィリピン海スラブ浅部の凹凸は、スラブ下の複数のマンテル上昇流により形成されたことを示唆

1-2② MT法データ処理・解析手法の高度化

【実施内容・研究成果】 3次元比抵抗解析手法の開発

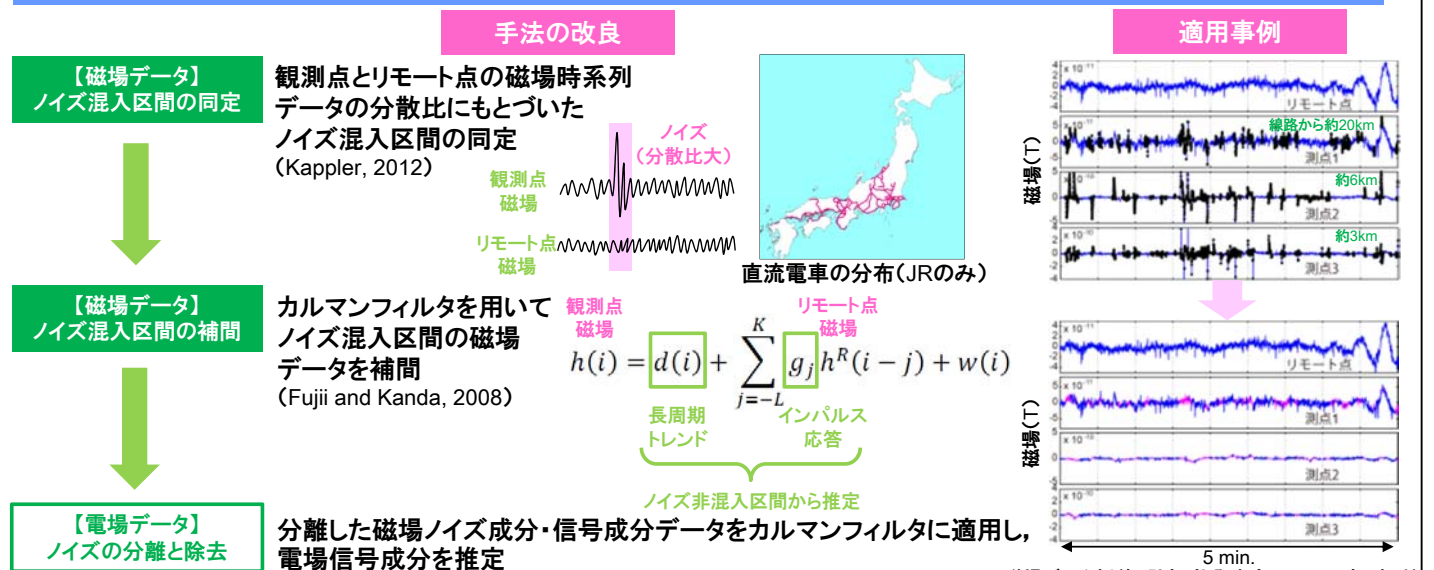
地下深部の断層を推定するためには、比抵抗境界を詳細に捉えることが重要



1-2② MT法データ処理・解析手法の高度化

【実施内容・研究成果】 観測データのノイズ除去手法の開発

自然磁場とその電磁誘導による電場を測定する電磁探査では、直流電車の漏洩電流等の人工ノイズが観測での大きな障害となる（線路から数十km以内は観測に不適）

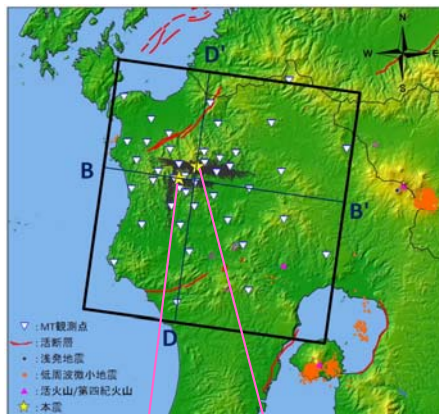


● 今後、電場データへの応用によるノイズ除去手法の開発を進める

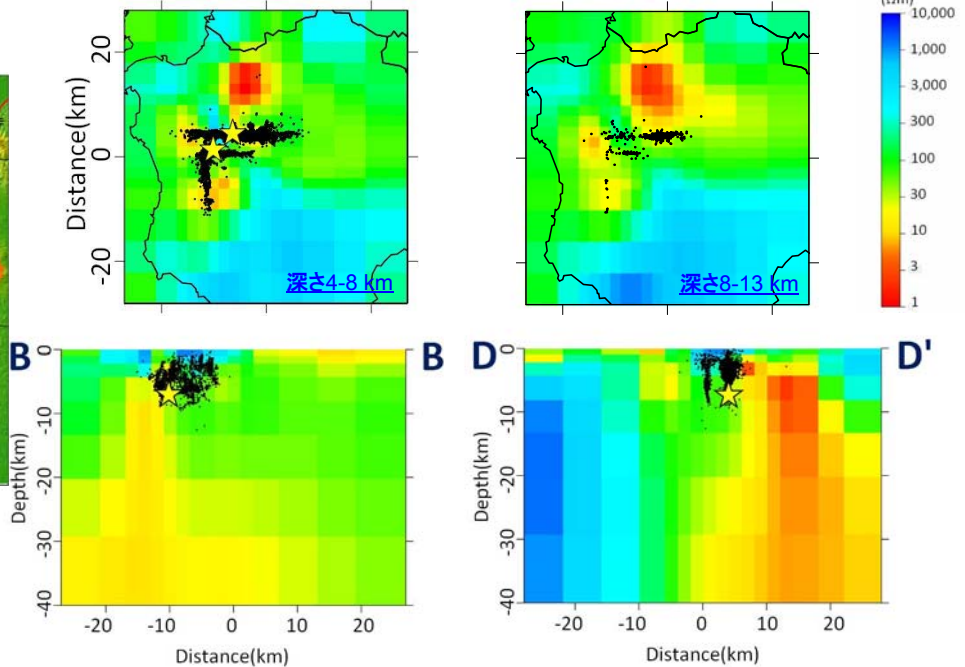
1-2② MT法データ処理・解析手法の高度化

【実施内容・研究成果】 震源断層における比抵抗構造の推定

1997年鹿児島県北西部地震



1997/05/13 Mj 6.3 1997/03/26 Mj 6.5



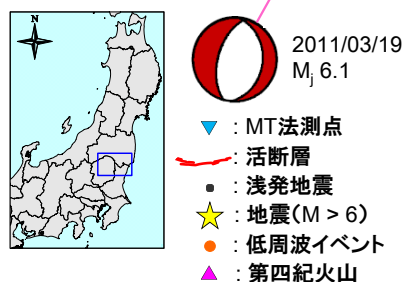
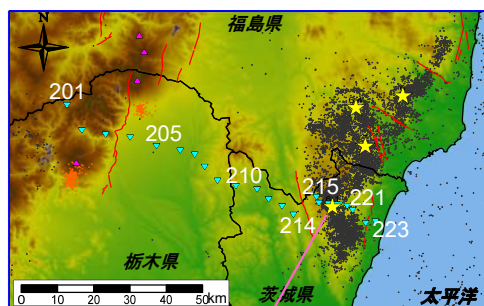
- 地表地震断層は確認されていない
- 未成熟な断層の活動(村田, 1999)

- 震源断層は低比抵抗体の端部に沿って位置
- 2つの本震は低比抵抗体の近傍で発生

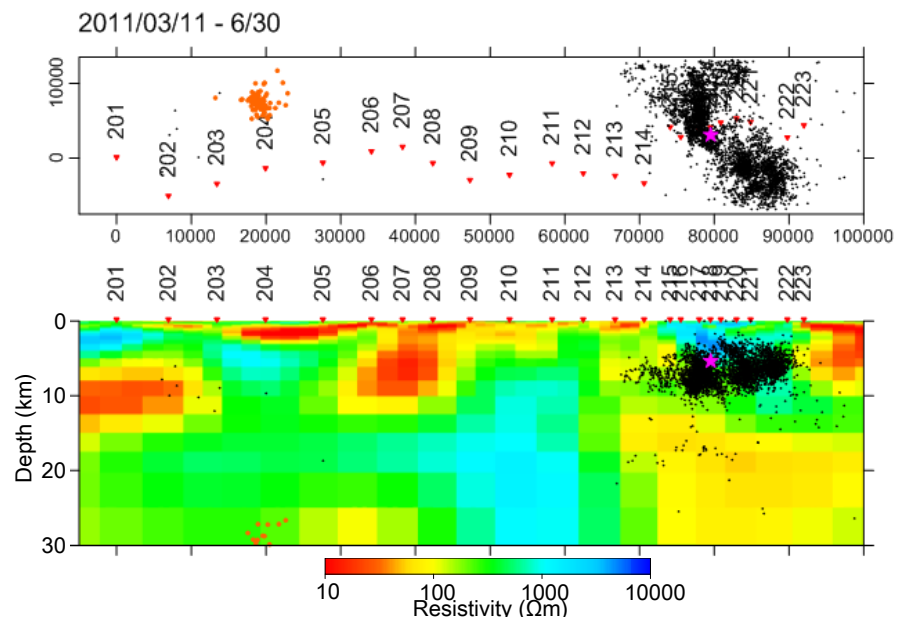
1-2② MT法データ処理・解析手法の高度化

【実施内容・研究成果】 震源断層における比抵抗構造の推定

2011年茨城県北部の地震



- 東北地方太平洋沖地震の発生後にMj 7.0を含む正断層型の地震活動が活発化



- ⇒ 地殻流体の分布を指標として、震源断層の存否や構造等を明らかにできる可能性を提示

- 地震学的手法(震源再決定, トモグラフィー等)を組合せた検討

1-2 まとめと今後の課題

【目標達成状況】

- 従来より高い精度で地殻構造を推定する地球物理学的手法を提示
✓ 震源決定法への地質構造に応じた地震波速度の適用と地震波
トモグラフィーへの応用
✓ 比抵抗境界の推定に適した3次元比抵抗構造解析プログラムを開発
- 地殻流体の分布を指標として、震源断層の存否や構造等を明らかに
できる可能性を提示
✓ 1997年鹿児島県北西部地震, 2011年茨城県北部の震源断層を対象
とした事例

【今後の計画】

- 様々なタイプの断層についての研究事例を蓄積しつつ、電磁気学的手法
と地震学的手法を組み合わせた調査手法としての検討

1. 調査技術の開発・体系化

1-1 変動地形が明瞭でない活断層などに係る調査技術

断層ガス等の化学組成等を指標とした活断層を検出するための手法を提示

1-2 地殻内の震源断層などに係る調査技術

震源断層、高温流体等を高い分解能で検出するための地球物理学的手法を提示

1-3 地下で遭遇した断層の活動性に係る調査技術

坑道等で遭遇した断層の活動性を解明するための物質科学的手法を提示

1-4 内陸部の隆起・侵食速度の算出に係る調査技術

河成段丘以外の堆積物の編年と標高等に基づく隆起・侵食速度の算出法を提示

1-3 地下で遭遇した断層の活動性に係る調査技術

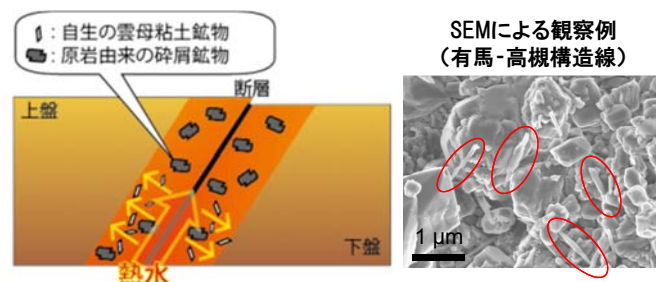
【目 標】

上載地層法の適用が困難な地下で遭遇した断層等の活動性を把握するため、断層岩や充填物質等を用いた調査技術を提示する。

【実施項目】

- 断層岩に生成した鉱物の年代測定と活動性の評価

→ 自生雲母粘土鉱物のK-Ar年代測定



Zwingmann et al.(2010)によると・・・

- 断層運動に伴う低温の熱水活動に伴って針状のイライトが形成される。
- より細粒の自生イライトのK-Ar年代は、最近の断層の活動性を評価できる可能性がある。

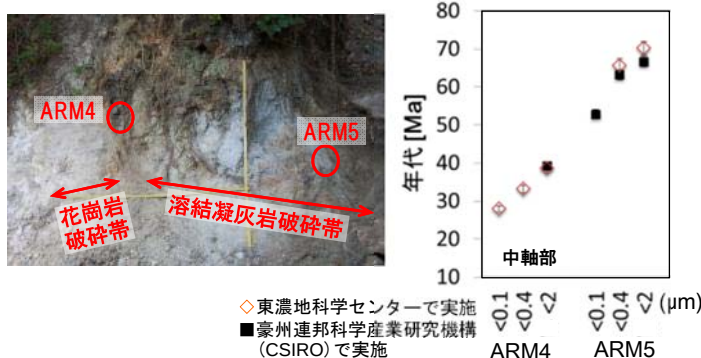
有馬-高槻構造線での事例研究や「もんじゅ」敷地内破碎帯での適用

⇒ 断層充填物質のうち、断層運動によって新たに生じた自生粘土鉱物の放射年代値を活動性の指標にするためのK-Ar年代測定システムを構築し、実際の断層に適用した。

1-3 地下で遭遇した断層の活動性に係る調査技術

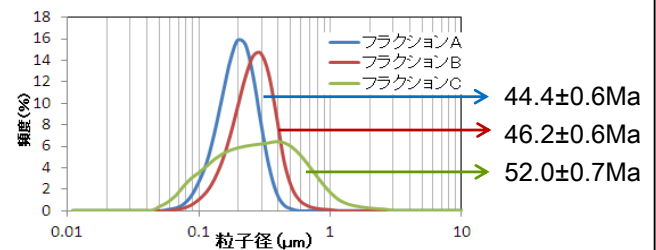
【研究成果】 自生雲母粘土鉱物のK-Ar年代測定

有馬-高槻構造線での事例研究



- 細粒フラクシオンほど若い
- 東濃地科学センターで実施した年代値とCSIROで実施した年代値との間に大きな違いは無い

「もんじゅ」敷地内破碎帯における適用



- 当該年代測定システムを用いて粘土鉱物を測定した結果、これらは4400万年前頃の高温の熱水活動によって生成されたと考えられる。

- 第四紀断層の活動性の評価を行うためには、断層を充填する炭酸塩鉱物のU-Pb, U-Th, (U-Th)/He等のウラン系列の年代測定法の開発が必要。

1-3 まとめと今後の課題

【目標達成状況】 K-Ar年代測定について(特に「もんじゅ」敷地内破碎帯を例に)

- 0.1 μm以下の極細粒粘土まで測定可能になった。
- 破碎帯に低温熱水で生成するような針状イライトは殆ど存在しなかった。
- イライトのK-Ar年代(44Ma頃)は、200℃以上の高温熱水で生成した時期と推定。
- この結果は、破碎帯の最初の生成時期を特定したものと考えられる。
→ この手法で、破碎帯がいつまで活動したかを評価することは困難。
- 一方、この破碎帯を変位させる割れ目を充填する炭酸塩鉱物に破壊は認められない。
→ 年代測定によって少なくともその年代以降に変位がなかった。
- 炭酸塩鉱物は、天水起源の流体によって地殻浅所で、低温の環境(最近)で沈殿したと考えられる。

【今後の課題】

- 炭酸塩鉱物の年代測定が断層の物質科学的アプローチのポイント。
- 第四紀断層の活動性の評価を行うために、断層を充填する炭酸塩鉱物のU-Pb, U-Th, (U-Th)/He等のウラン系列の年代測定法の開発が課題。

1-4 内陸部の隆起・侵食速度の算出に係る調査技術

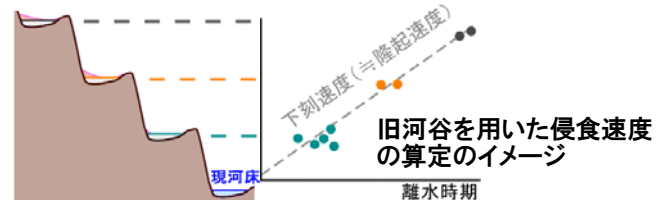
【目標】

旧河谷堆積物の編年と標高及び放射年代測定法による隆起・侵食速度の調査技術を提示する。

【実施項目】

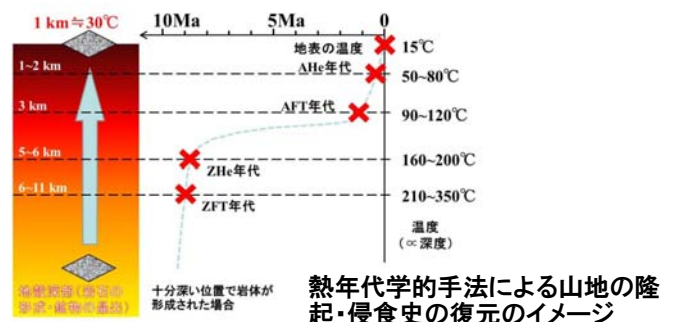
① 旧河谷堆積物を用いた隆起・侵食速度の算定

→ 内陸部の旧河谷堆積物の編年及び埋没谷底の形状・標高などに係る調査技術の提示



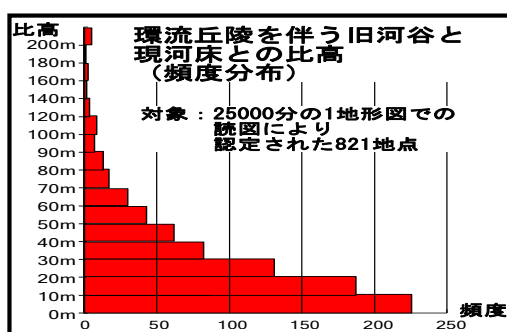
② 放射年代測定法による隆起・侵食速度の算定

→ 熱年代学的手法による隆起・侵食速度の推定
→ 宇宙線生成核種(TCN)を用いた岩体の露出年代・侵食速度の検討



1-4 旧河谷堆積物の編年と標高に基づく隆起・侵食速度の算定

【研究成果】



25,000分の1地形図から判読した環流丘陵を伴う旧河谷の分布

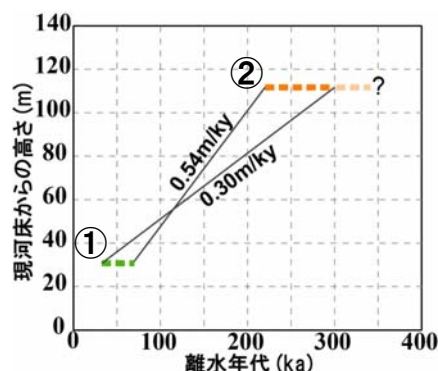
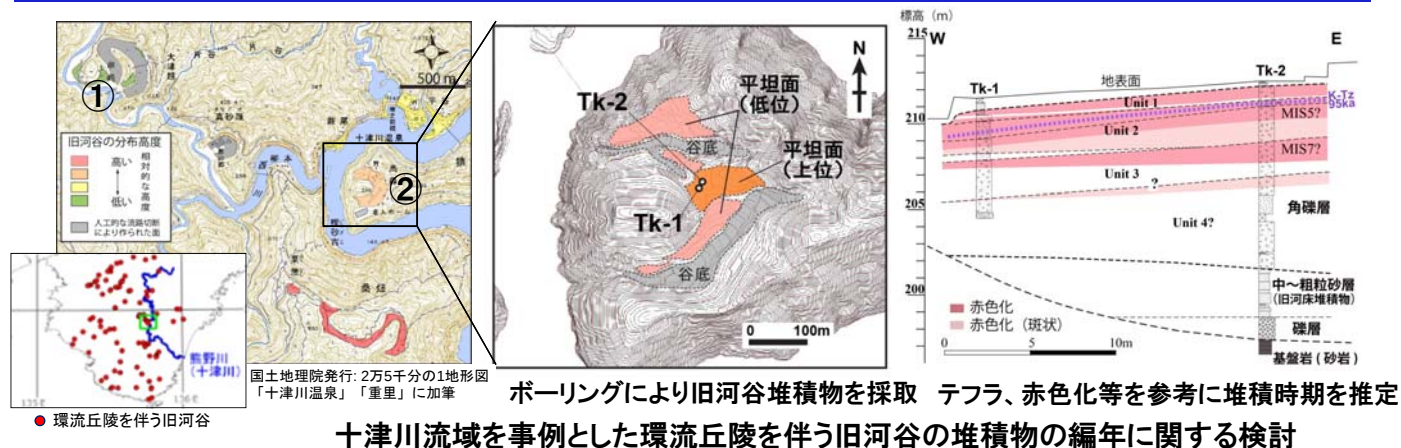
● 環流丘陵を伴う旧河谷

環流丘陵

環流丘陵を伴う旧河谷のイメージ

- 日本各地の内陸部に「環流丘陵を伴う旧河谷」が多く分布
- 約半数は現河床からの比高が 20m 以下、それ以上の比高を有する旧河谷も多く分布
- ⇒ 環流丘陵を伴う旧河谷が隆起・侵食の指標となる可能性あり

1-4 旧河谷堆積物の編年と標高に基づく隆起・侵食速度の算定

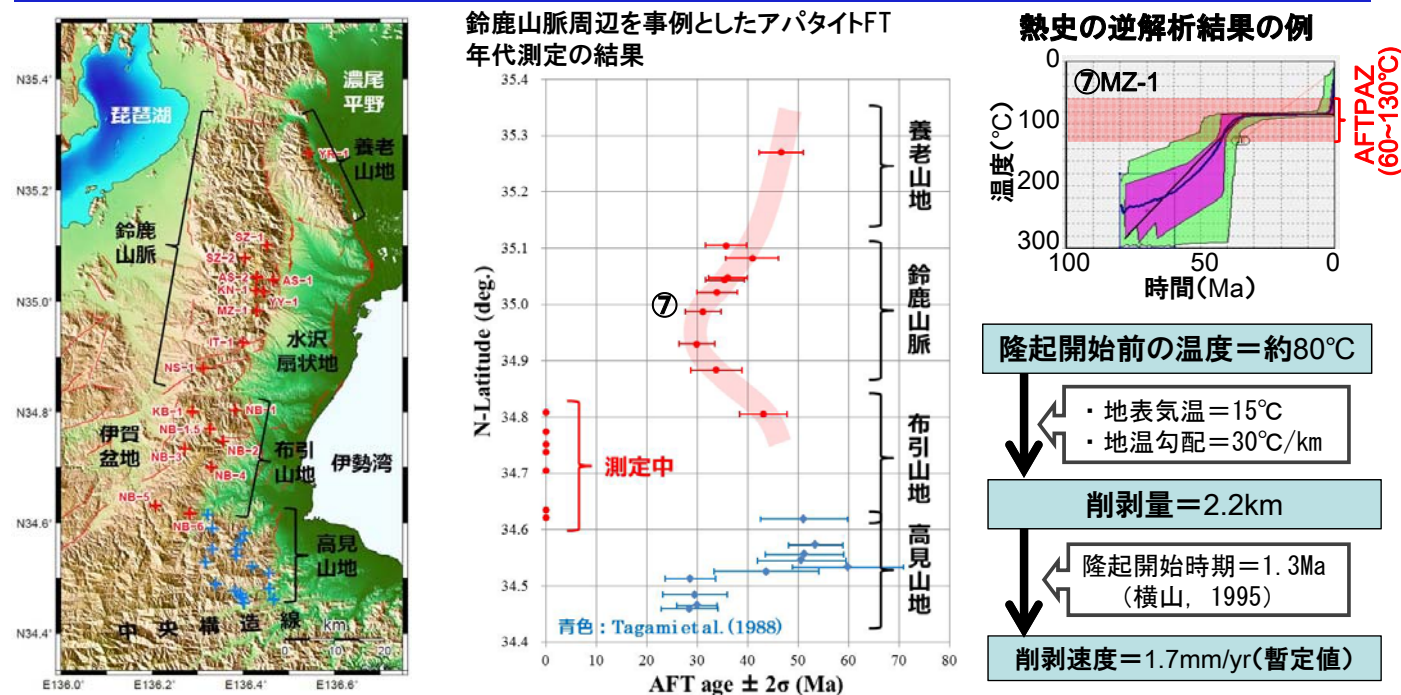


- 環流丘陵を伴う旧河谷と隣接する段丘面の離水時期を推定し、それらの比高を用いて暫定的に侵食速度を算出
- 過去数十万年間において、平衡河川が形成されているなら、下刻速度は隆起速度を反映している可能性あり
⇒ 旧河谷堆積物を用いて隆起・侵食速度を算出できる可能性あり
- 手法の信頼性を向上させるため、研究例の蓄積及び別手法の結果との比較が必要

地質環境の長期安定性研究検討委員会

第12回（平成26年3月12日） 21

1-4 放射年代法による隆起・侵食速度の算定



- 熱史の逆解析から、隆起開始以降の削剥量は、最大1.7mm/yr (暫定値)に達する可能性あり
⇒ 日本列島の中程度規模の山地における過去数百万年間の隆起・侵食速度の算出に熱年代学的手法が有効である見通しを得た
- 手法の信頼性を向上させるため、研究例の蓄積及び別手法の結果との比較が必要

1-4 まとめと今後の課題

【目標達成状況】

- 旧河谷堆積物及び熱年代学的手法を用いた調査技術を提示
- ✓ 環流丘陵を伴う旧河谷を用いた隆起・侵食速度の算出の事例
- ✓ 日本列島の中程度規模の山地における過去数百万年間の隆起・侵食速度の算出の事例

【今後の課題】

- 同様の研究事例の蓄積
 - 別手法の結果との比較
- 日本列島における過去数万～百万年程度の隆起・侵食量を定量的に把握する手法の信頼性向上