

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

－ 中間成果および今後の計画 －

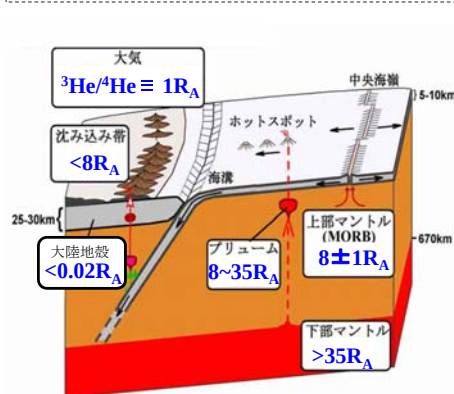
独立行政法人 日本原子力研究開発機構

地層処分研究開発部門

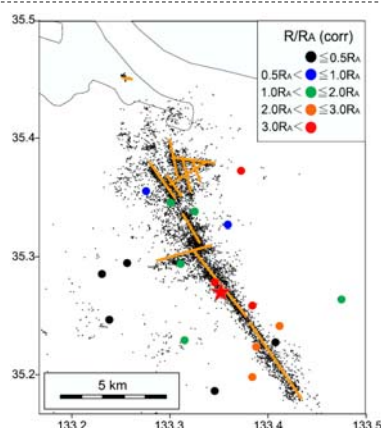
変動地形が明瞭でない活断層などに係る調査技術

【達成目標】

地表からの調査の段階において、変動地形が明瞭でない断層や伏在断層等の活断層の存在を確認するため、温泉ガス・地下水の主成分・同位体組成等を指標とした調査技術を提示する。



大気・地殻・マンタルの $^3\text{He}/^4\text{He}$ の特徴



2000年鳥取県西部地震の余震域における
地下水遊離・溶存ガスの $^3\text{He}/^4\text{He}$ 分布

検討課題：

- 断層タイプによる $^3\text{He}/^4\text{He}$ 分布特性の違い
- 地震断層を生じるような内陸地震に伴う一時的なマンタルヘリウムの上昇

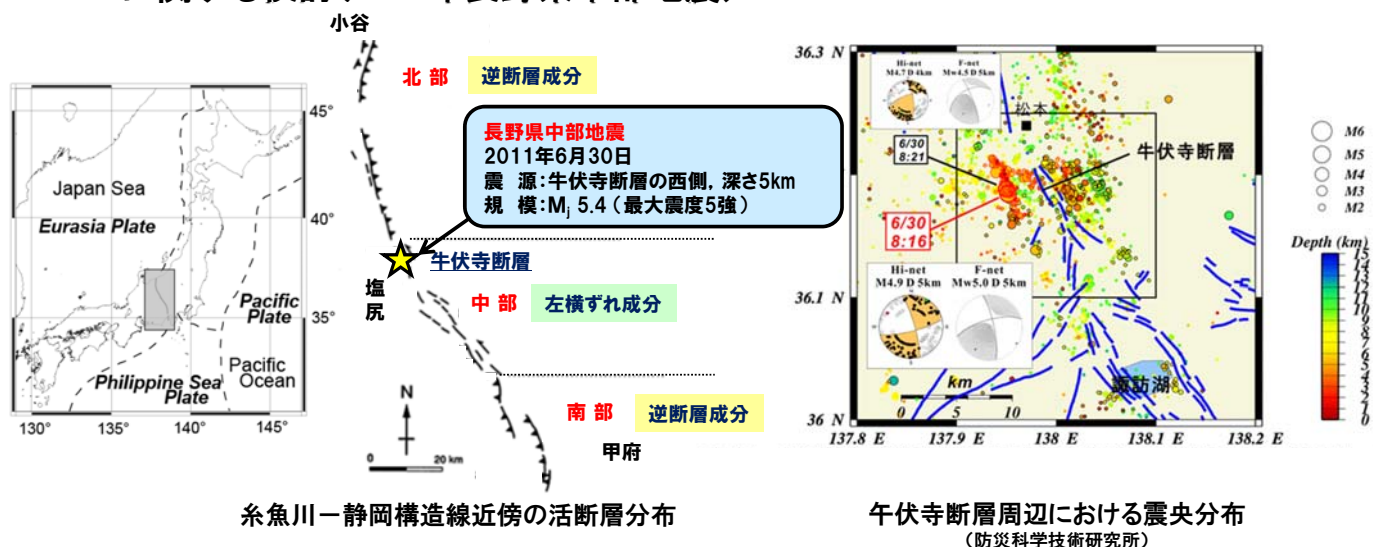
- 震源断層の直上において $^3\text{He}/^4\text{He}$ が高く、遠ざかるにつれて低下することを確認
⇒ $^3\text{He}/^4\text{He}$ を指標とした調査技術の有効性を示唆

変動地形が明瞭でない活断層などに係る調査技術

【実施項目】

活断層周辺における温泉ガス・地下水の採取と主成分・同位体組成の分析

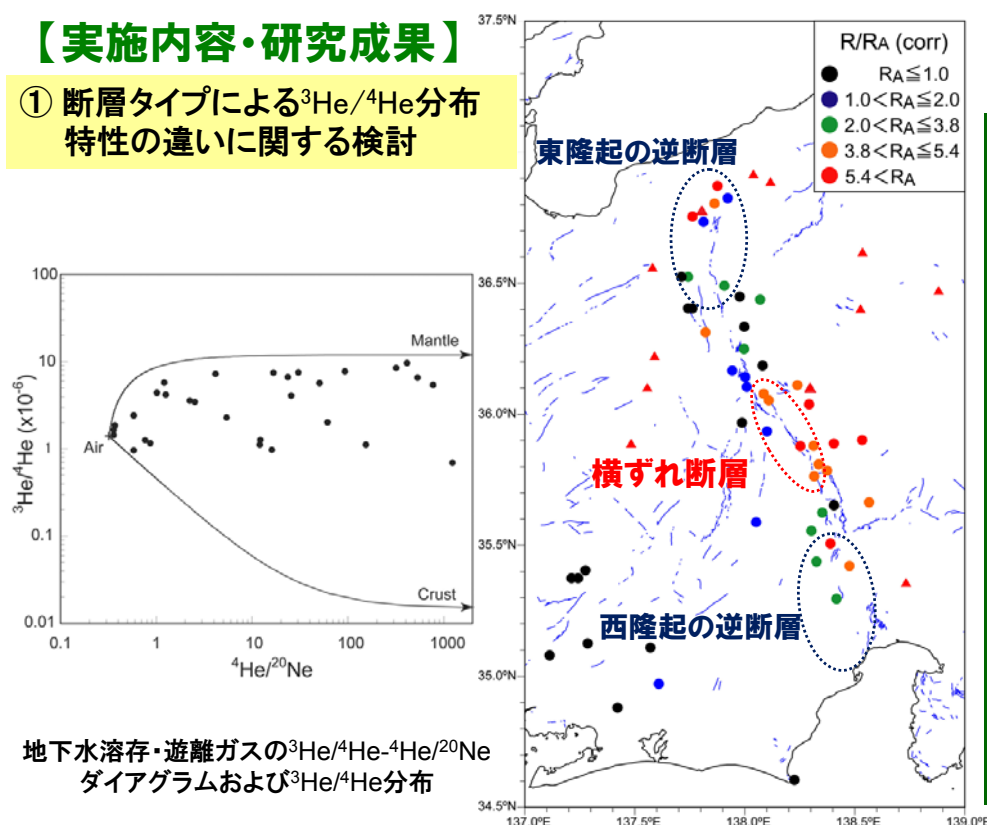
- ① 断層タイプによる $^3\text{He}/^4\text{He}$ 分布特性の違いに関する検討(糸魚川－静岡構造線)
- ② 地震断層を生じるような内陸地震に伴う一時的なマントルヘリウムの上昇に関する検討(2011年長野県中部地震)



変動地形が明瞭でない活断層などに係る調査技術

【実施内容・研究成果】

- 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

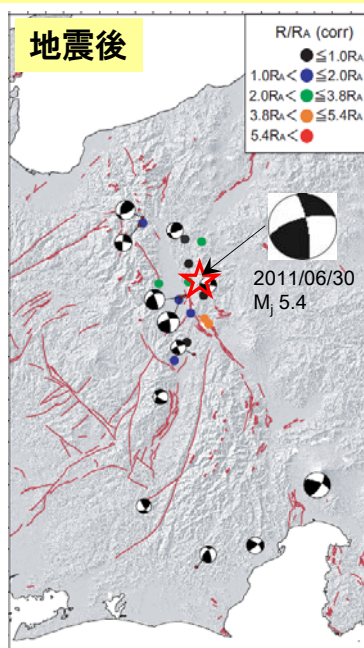
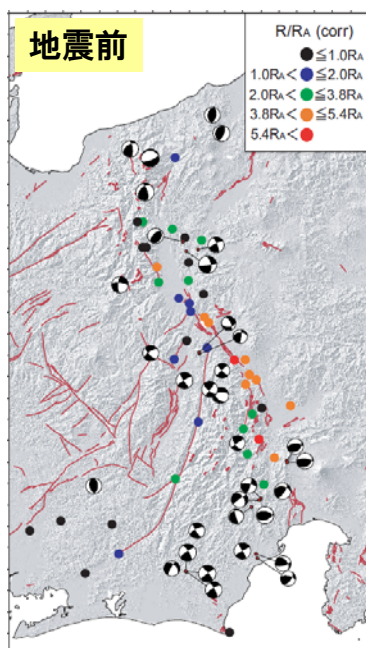


- 断層系全体において、大気の2倍以上の $^3\text{He}/^4\text{He}$ を多数確認
⇒ マントル起源ヘリウムが、逆断層・横ずれ断層を通じて地表に供給されていることを示唆
- 南部、北部の逆断層に比べて牛伏寺断層を含む中部の横ずれ断層周辺で特に高い値
⇒ 横ずれ断層は逆断層に比べてマントル起源物質の上昇に大きく関与している可能性を示唆

変動地形が明瞭でない活断層などに係る調査技術

【実施内容・研究成果】

② 地震断層を生じるような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



- 地震発生前(1981年～2010年)の温泉井13地点において、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、 $-0.8 R_A \sim +0.7 R_A$
- 地震発生の前後における $^3\text{He}/^4\text{He}$ の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

地震発生前後における地下水遊離・溶存ガスの $^3\text{He}/^4\text{He}$ 分布

変動地形が明瞭でない活断層などに係る調査技術

【目標達成状況】

- ・ 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を提示
- ・ 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を提示

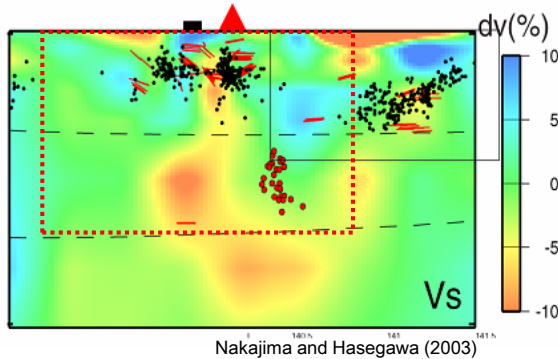
【今後の計画】

- ・ 伏在断層の活動によると考えられる1997年鹿児島県北西部地震の余震域における観測
- ・ 物理探査などにより推定される地下深部構造と併せた有効性の評価

地殻内の震源断層などに係る調査技術

【達成目標】

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あらかじめ確認することにより、断層運動やマグマ活動による地層処分システムへの重大な影響を回避するための調査技術を整備する。



鳴子火山周辺下におけるS波速度構造

技術的課題 (震源決定, 地震波トモグラフィー法):

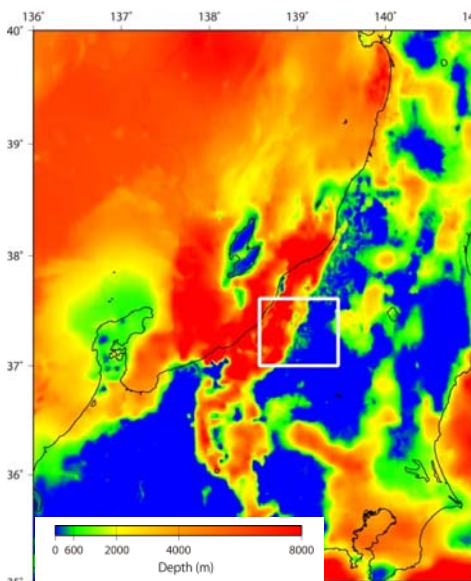
- 地質構造の不均質の考慮による解析精度の向上
- 地震観測網の端部や地震活動度が低い領域における空間分解能の向上

- 火山下の地殻・マントル最上部における部分熔融域(低速度体)の存在を示唆
- 震源断層の近傍において、断層運動に関連する深部流体(低速度体)の存在を示唆

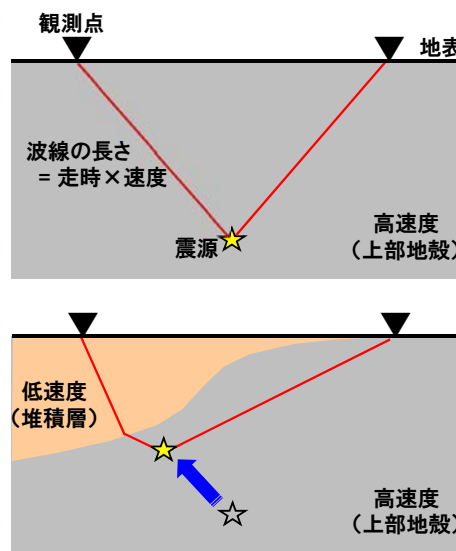
地殻内の震源断層などに係る調査技術

【実施内容・研究成果】

- ① 堆積層を考慮した震源決定手法の構築
- ② 堆積層を考慮した地震波トモグラフィー法の構築



地震基盤面深度分布
(防災科学技術研究所, 2010)



堆積層を考慮した震源決定の概念図

気象庁地震カタログによる
震源パラメータ

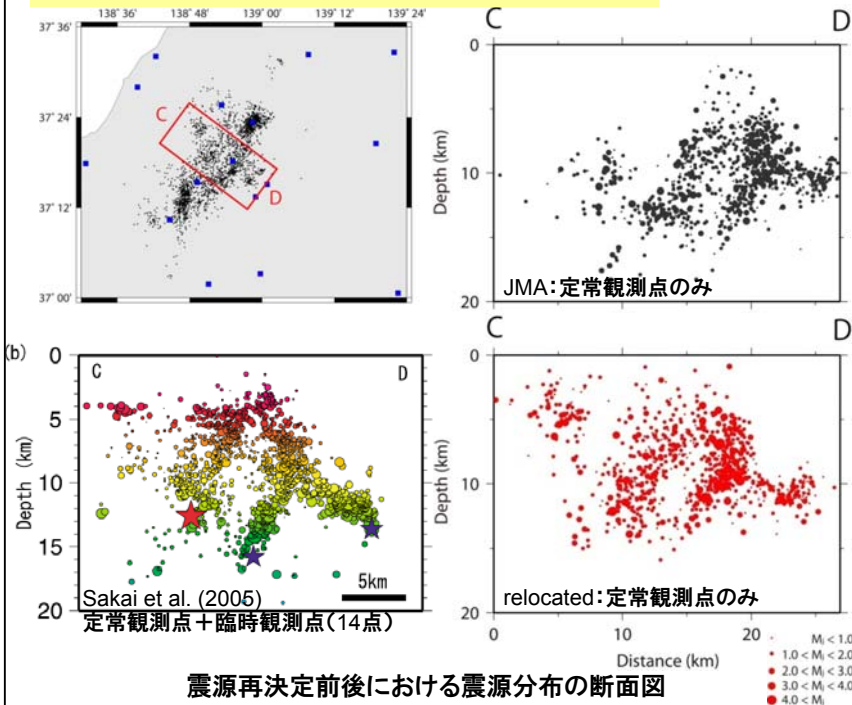
グリッドサーチによる
震源決定 (H23)

逐次計算による
震源再決定 (H22)

地殻内の震源断層などに係る調査技術

【実施内容・研究成果】

① 堆積層を考慮した震源決定手法の構築

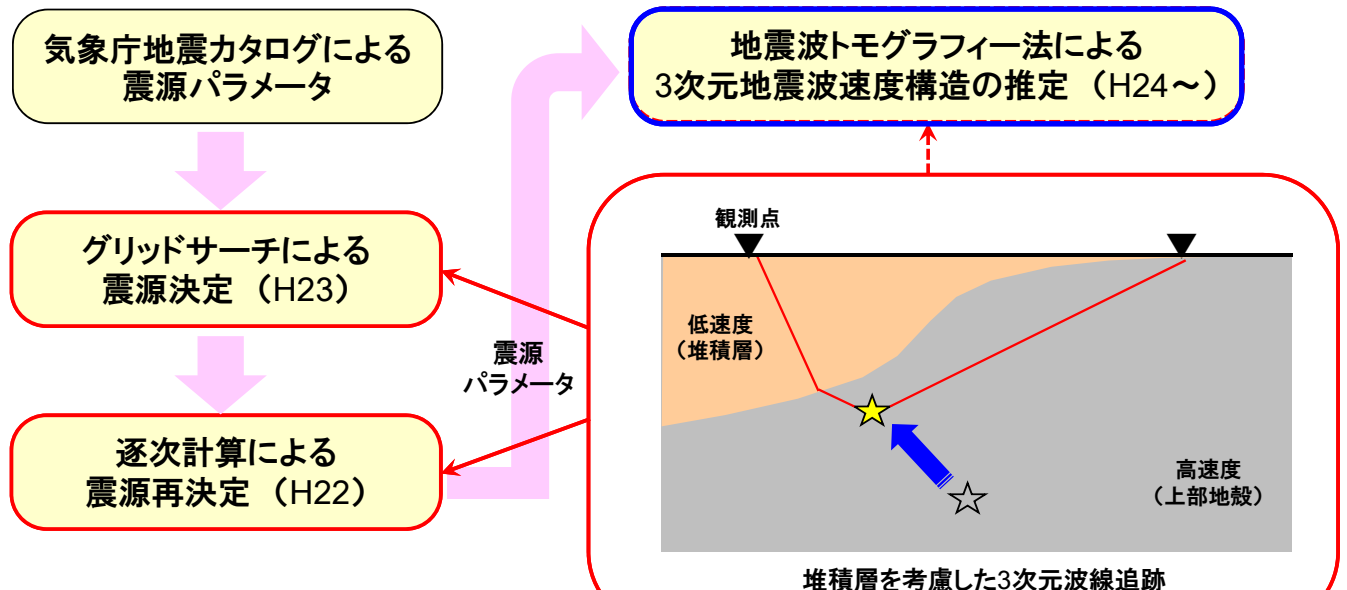


- 震源再決定の前後において、震源分布の傾向が変化
- 震源決定精度が震源再決定により向上
(震源深さ誤差平均: 1.08 km → 0.67 km)
- ⇒ 地質構造の不均質性を考慮する必要性を示唆
- 稠密に展開された臨時観測データを用いた震源決定結果と概ね同様の分布
- ⇒ 解析手法及び地震波速度モデルは概ね妥当

地殻内の震源断層などに係る調査技術

【実施内容・研究成果】

② 堆積層を考慮した地震波トモグラフィ法の構築

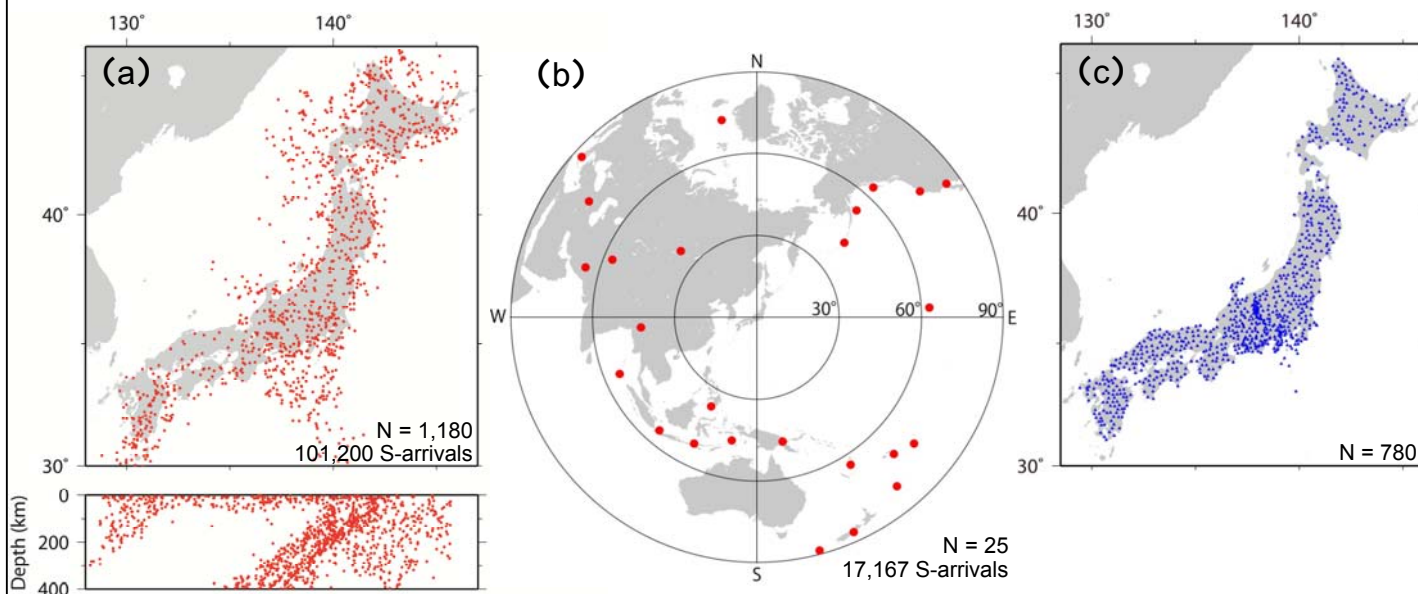


- 堆積層を考慮した地震波トモグラフィ法の有効性を検討するため、遠地地震データを用いたS波トモグラフィを実施中

地殻内の震源断層などに係る調査技術

【実施内容・研究成果】

② 堆積層を考慮した地震波トモグラフィー法の構築

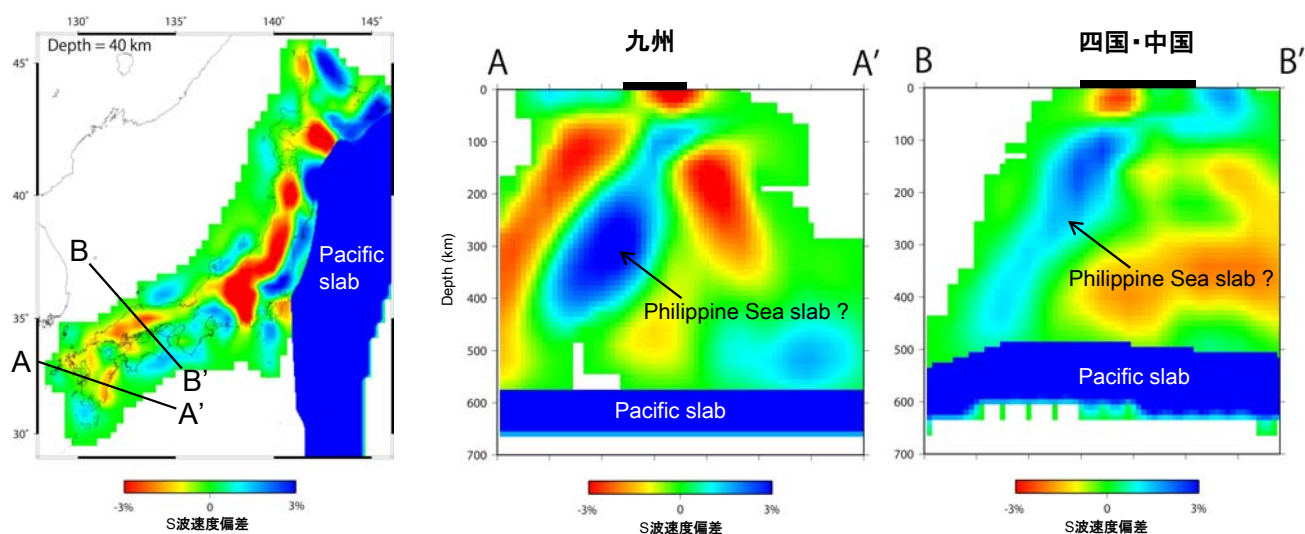


地震波トモグラフィーに用いた(a)近地地震, (b)遠地地震の震源分布および(c)観測点分布

地殻内の震源断層などに係る調査技術

【実施内容・研究成果】

② 堆積層を考慮した地震波トモグラフィー法の構築



地震波トモグラフィーによる日本列島下の3次元S波速度構造

⇒ 今後、堆積層を考慮した地震波トモグラフィーを実施し、手法の有効性を検討

地殻内の震源断層などに係る調査技術

【目標達成状況】

- ・ 堆積層の分布を考慮した震源決定手法の有効性を確認
- ・ 物性境界の検出に適したMT法3次元インバージョン・プログラムを開発し、その妥当性を確認

【今後の計画】

- ・ 堆積層の分布を考慮した地震波トモグラフィ法の有効性の評価
- ・ 伏在断層の活動による1997年鹿児島県北西部地震の余震域における解析事例(地震波速度構造, 比抵抗構造)の提示
- ・ MT法観測データの品質向上に関するデータ処理法の検討

地下で遭遇した断層の活動性に係る調査技術

【達成目標】

ボーリングや坑道などの地下で遭遇した基盤岩中の断層, あるいは被覆層が存在しない地域の断層の活動性を評価するための調査技術の開発
(断層を被覆する地層の変位から断層活動の時期を推定する上載地層法が適用できない場合の調査技術の開発)

【実施項目】

① 熱的事件による断層の活動性の評価

→FT法や(U-Th)/He法を用いた熱的事件の検出

H23までに終了

② 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
- 炭酸塩鉱物脈の ^{234}U - ^{230}Th 年代測定

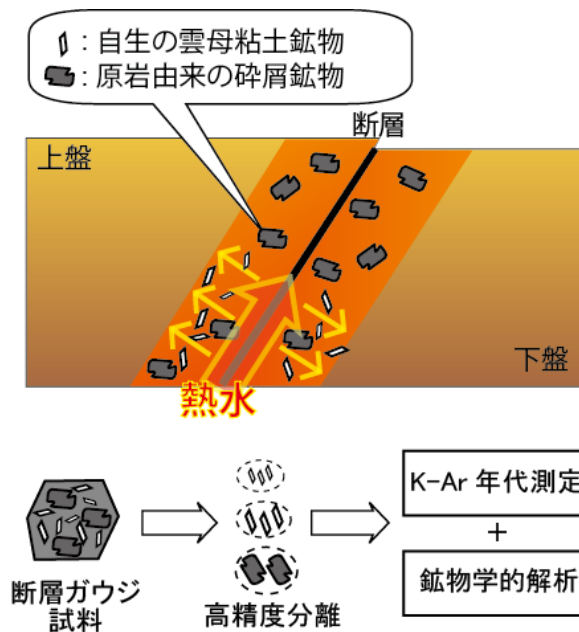
③ 断層の上盤と下盤の隆起速度の違いによる垂直変位速度の推定

→FT法や(U-Th)/He法などを組み合わせた断層の垂直変位速度の推定

H23までに終了

自生雲母粘土鉱物のK-Ar年代測定

【実施内容】



- 凍結-融解の繰り返しによるソフトな粉碎により、原岩由来の碎屑鉱物の物理的な破壊による混入を防止
- 高速遠心分離により、極細粒の自生雲母粘土鉱物のみを抽出



凍結粉碎のための超低温循環型恒温器

- 極細粒の自生雲母鉱物のみを検出する試料調整手法を開発
- より若い年代測定に有利な感度法を適用

自生雲母粘土鉱物のK-Ar年代測定

【研究成果】

有馬-高槻構造線(最新活動:AD1596)での事例研究

花崗岩と溶結凝灰岩(有馬層群)の境界に位置する主断層と、花崗岩中の分岐断層で試料採取



Maruyama and Lin (2002) に基づく

自生雲母粘土鉱物のK-Ar年代測定

【研究成果】

1.表面構造観察:走査型電子顕微鏡(SEM-EDS)

2.凍結粉碎:超低温循環型恒温器

3.サイズ分別 (>2 μ m):水篩法

4.サイズ分別 (<2 μ m):高速遠心分離機

5.粒度分布測定:レーザー粒度計

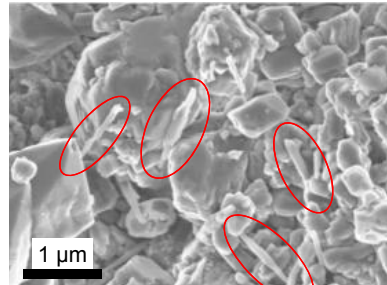
6.結晶形観察:透過型電子顕微鏡(TEM-EDS)

7.鉱物組成解析:X線回折装置(XRD)

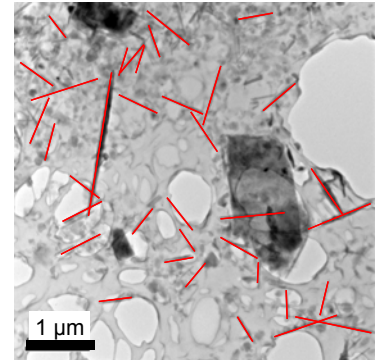
8.K濃度測定:蛍光光度計

9.Ar濃度測定:希ガス質量分析計

SEMおよびTEMにより, 細粒フラクション中に針状の自生雲母粘土鉱物(下写真の赤印)が観察できる



SEMによる観察例

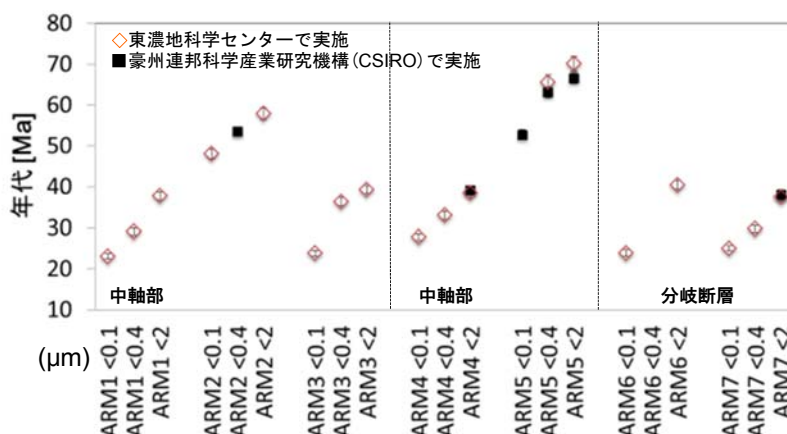


TEMによる観察例

- XRD, 粒度分析, SEM観察, TEM観察により, 極細粒の自生雲母粘土物が適切に分離できていることを確認

自生雲母粘土鉱物のK-Ar年代測定

【研究成果】



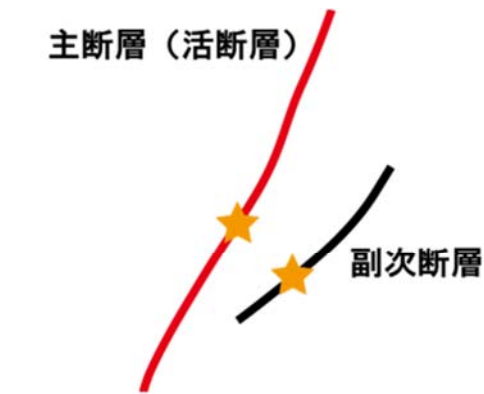
- 細粒フラクションほど若い
- 東濃地科学センターで実施した年代値とCSIROで実施した年代値との間に大きな違いは無い

- 年代測定は適切に実施することができた
- ただし, 年代値は古い
- ⇒ 比較的最近の地表付近の活動を直接検知することは困難

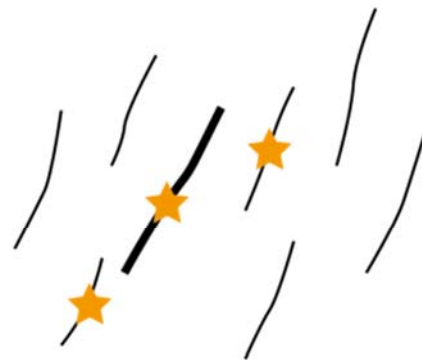
自生雲母粘土鉱物のK-Ar年代測定

【今後の見通し】

分離した自生雲母粘土鉱物の形状記載, およびK-Ar年代測定を主断層(活断層)だけでなく周辺の断層や割れ目充填物質などに対しても実施し, 相対的な比較に基づき, 活断層との差別化や周辺の断層の活動性評価などに適用する



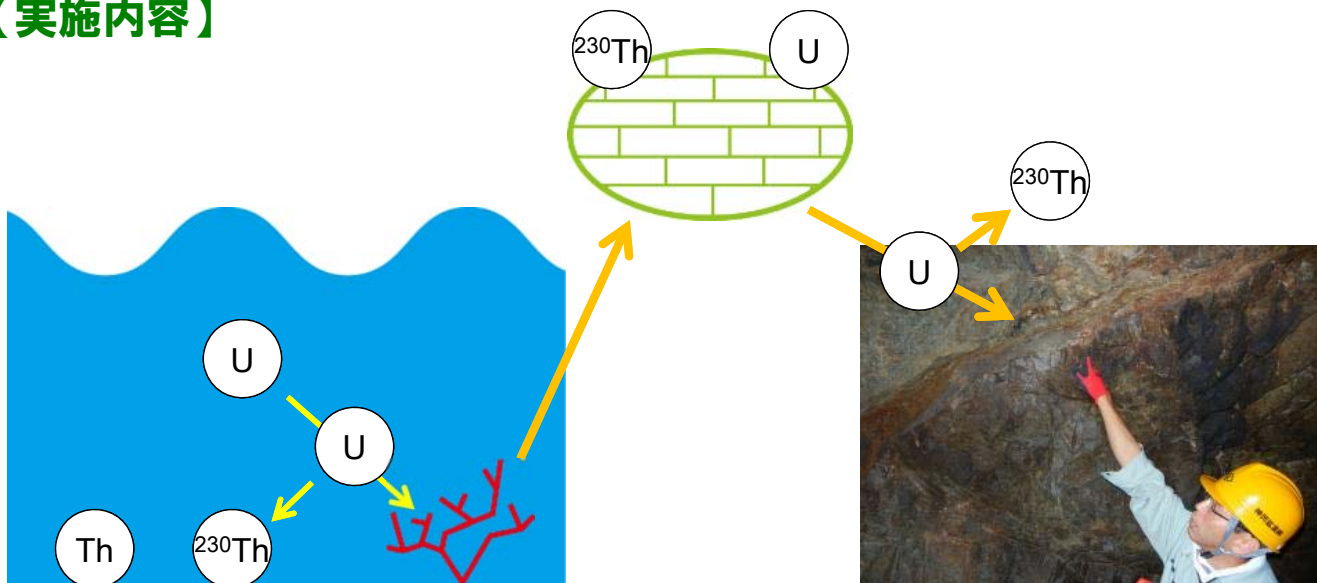
主断層と副次断層との比較
⇒副次断層の活動性



普遍的に発達する割れ目どうしの比較
⇒評価対象断層の活動性

炭酸塩鉱物脈の ^{234}U - ^{230}Th 年代測定

【実施内容】



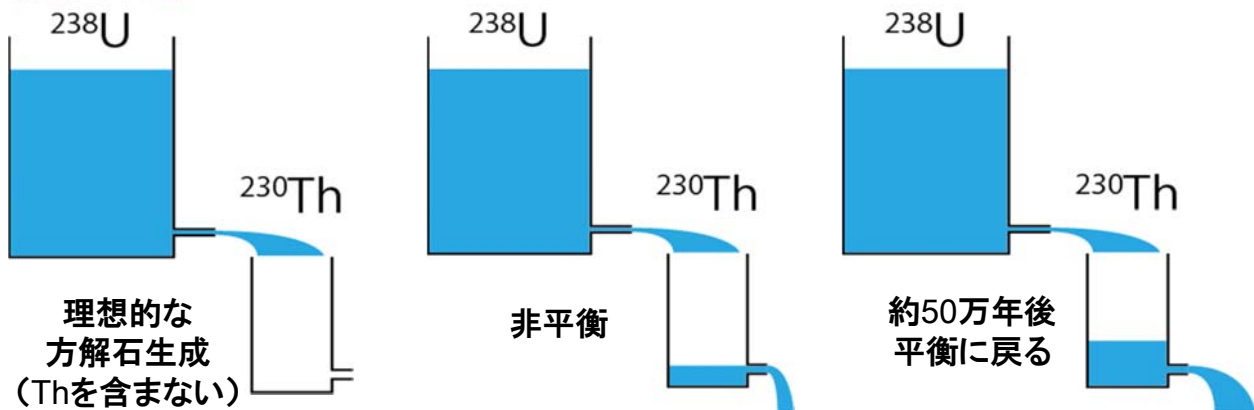
サンゴに含まれる ^{230}Th は
全てサンゴ内のU起源
=U-Th年代はサンゴの生成年代

炭酸塩鉱物脈に, Thが吸着しやすい土壌や
懸濁粒子の汚染が無ければ, サンゴと同様に
生成年代が得られる

断層を充填する脈の生成年代<断層の最終活動の年代

炭酸塩鉱物脈の ^{234}U - ^{230}Th 年代測定

【実施内容】



- ・生成時にThを含まない、純度の高い方解石
- ・分析量は一点当たり方解石で1g程度
- ・年代測定範囲は数千年～50万年程度

★まずは、活断層沿いで年代測定ができそうな純度の高い方解石を探索
(跡津川断層, 牛首断層, 田川断層での事例研究)

炭酸塩鉱物脈の ^{234}U - ^{230}Th 年代測定

【研究成果】

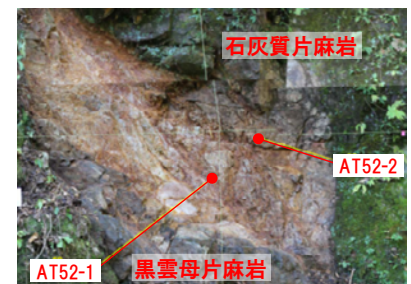
- ✓ 純度の高い炭酸塩鉱物脈が十分な量採取できる露頭は多くない
 - ✓ 試料採取ができて、U濃度が低く年代測定できない試料もある
- ➡ 現在、跡津川断層(最新活動:AD1858)のみで年代値を算出

試料名	U濃度 (ppb)	Th濃度 (ppb)	$(^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th})$	$(^{234}\text{U}/^{232}\text{Th})$	$(^{230}\text{Th}/^{234}\text{U})$	年代 (years)
AT11-1	550	539	1.69	3.24	0.525	$8.10\text{E}+04$
AT11-2	371.7	388	2.91	3.12	0.933	$2.95\text{E}+05$
AT11母岩	700	4				
AT52-1	3660	6.58	0.289	$1.71\text{E}+03$	$1.69\text{E}-04$	18
AT52-2	3310	4.76	1.01	$2.14\text{E}+03^*$	$4.70\text{E}-04^*$	51*
AT52母岩	10	3				

*AT52-2は分離の回収率が悪く $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 比が測定できなかったため、AT52-1のそれと同じ値と仮定して年代を計算

- AT11ではTh濃度が母岩よりもかなり大きい→不純物(粘土鉱物など)が多い?
- AT52ではU濃度が母岩よりもかなり大きく、露頭での産状とは相応しないような年代値

⇒ 今後、脈の切断関係が明瞭な活断層露頭を対象に測定実績を増やして検証する必要あり
⇒ 鏡下記載, ^{14}C 年代測定なども合わせて検討



地下で遭遇した断層の活動性に係る調査技術

【目標達成状況および今後の計画】

- 個々の測定技術については開発を着実に進めているところ
- 現状では、地質条件の制約や、手法そのものの限界などにより、単独の手法・試料だけから断層の活動性を評価するのは望ましくない
 - ✓ 複数の手法の組み合わせ（閉鎖年代の異なるFT法と(U-Th)/He法の併用など）
 - ✓ 複数の断層・割れ目ごとの比較（活断層と周辺の割れ目との比較）

➡ 適用事例を増やしていく

- 新規の手法開発も含め、中長期的な視点で研究開発を継続していくことが重要

例えば、

- ✓ 方解石への(U-Th)/He法の適用
- ✓ 石英の水和層を利用した年代測定手法の検討