

地質環境の長期安定性に関する研究

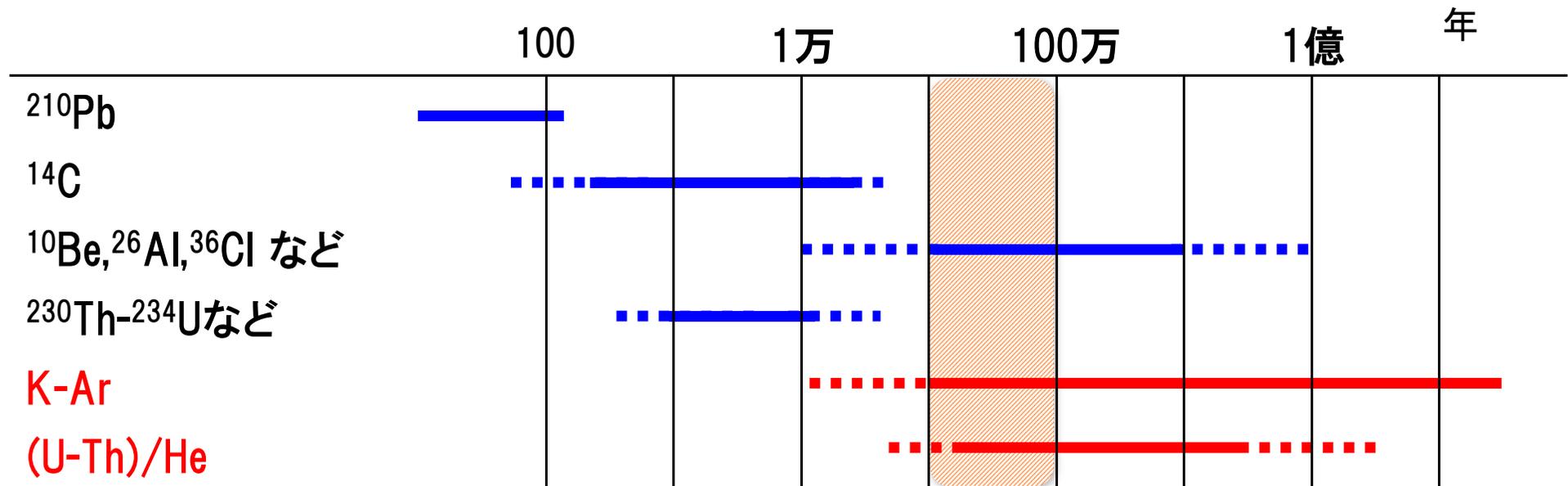
年代測定技術の開発

— H22年度の成果およびH23年度の計画 —

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

年代測定技術の開発



放射年代測定法のおおまかな適用年代範囲

一部は兼岡(1998)より

- 第2期中期計画における「年代測定技術の開発」では、過去数十万年程度の断層の活動年代や隆起速度等の算定に必要な編年技術を重点的に整備することの必要性を指摘

年代測定技術の開発

研究目的

数万年より古い時代の地質イベントを精度良く把握するために不可欠な編年技術のうち、過去数十万年程度の断層の活動年代や隆起速度等の算定に必要な編年技術を重点的に整備

【平成22年度】

実施内容

- 四重極型質量分析計による ^4He の定量法の確立とアパタイトの(U-Th)/He年代測定
- 断層岩のK-Ar年代測定を実用化するため、極細粒の粘土鉱物の分離法の確立

期待される成果

単なる科学的知見のみならず、概要調査等で得られるデータの品質や解釈の妥当性等に係る技術的能力の確保(実施主体および規制機関の技術的支援)

四重極型質量分析計などを用いた(U-Th)/He年代測定法の実用化

- ・アパタイト, ジルコン等 (単)粒子
- ・結晶が損なわれない程度の弱い加熱により脱ガス
- ・結晶は完全に溶解



選別したジルコンを白金パケットに封入



弱い加熱で脱ガスのみ行い, He定量 (分析速度の向上)



融剤を用いてジルコンを分解



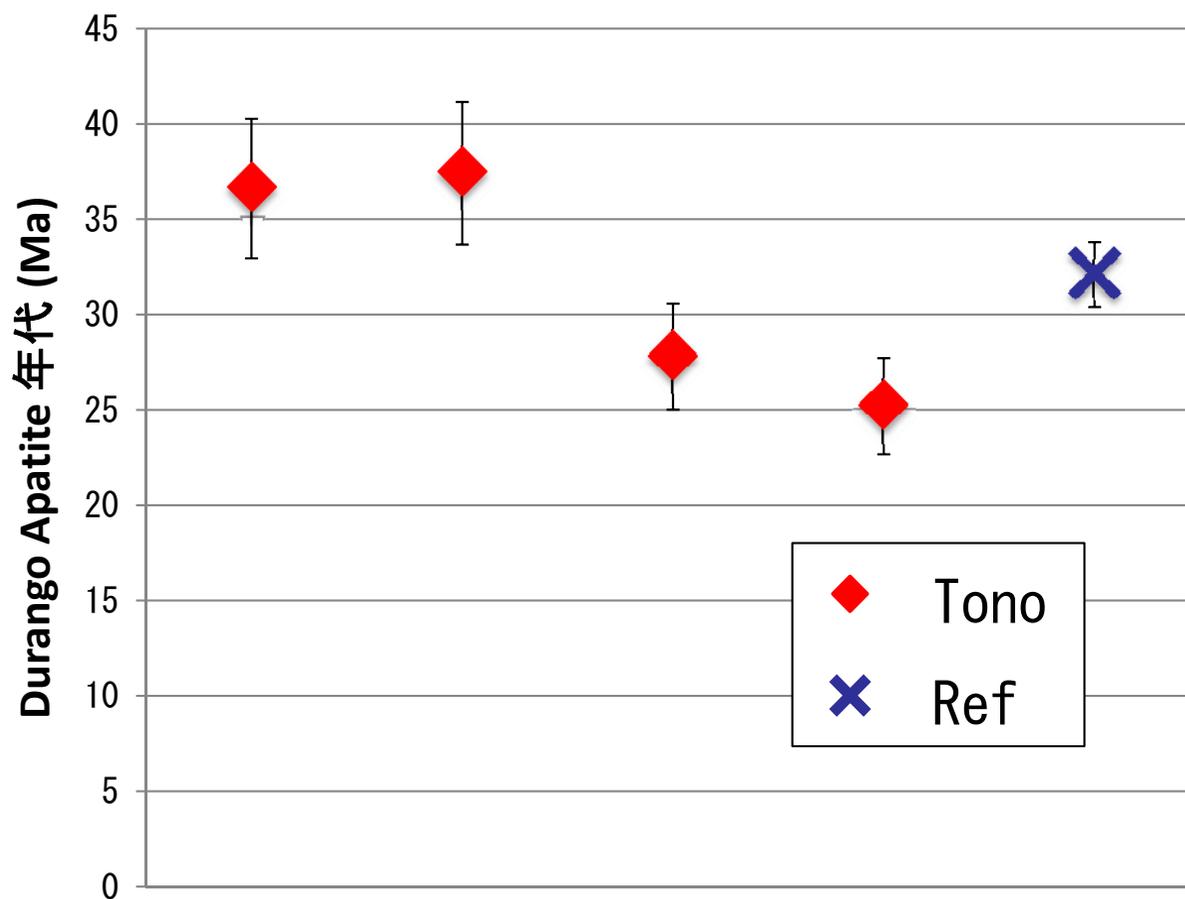
U,Th定量(自動化)

(U-Th)/He年代測定の流れと分析装置

- (U-Th)/He年代測定システムの改良内容
 - He定量: 四重極型質量分析計
 - U, Th定量: 誘導結合プラズマ質量分析装置(ICP-MS)

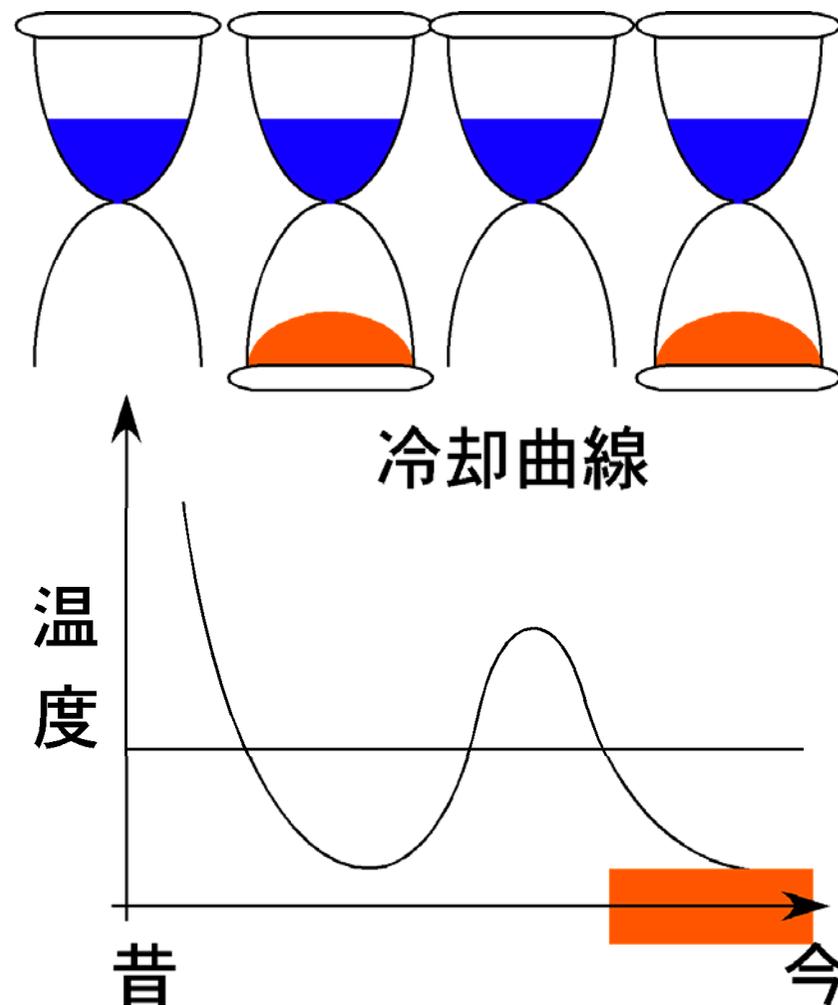
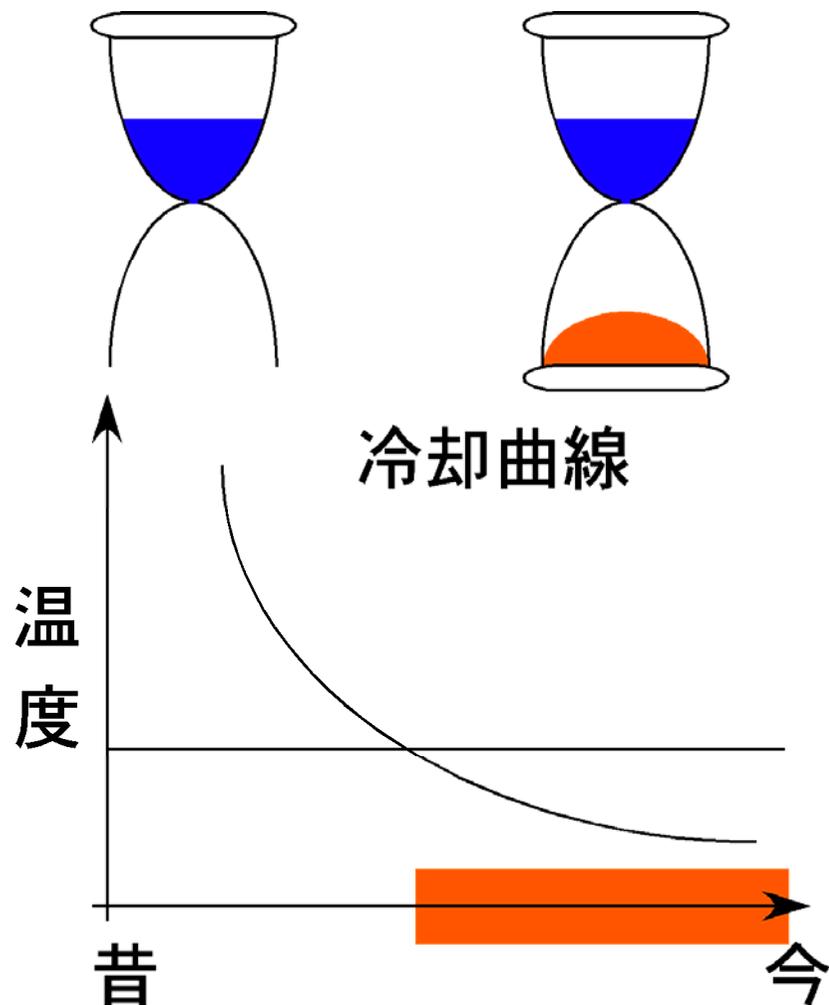
四重極型質量分析計などを用いた(U-Th)/He年代測定法の実用化

年代標準試料として用いられているDurango Apatiteの年代

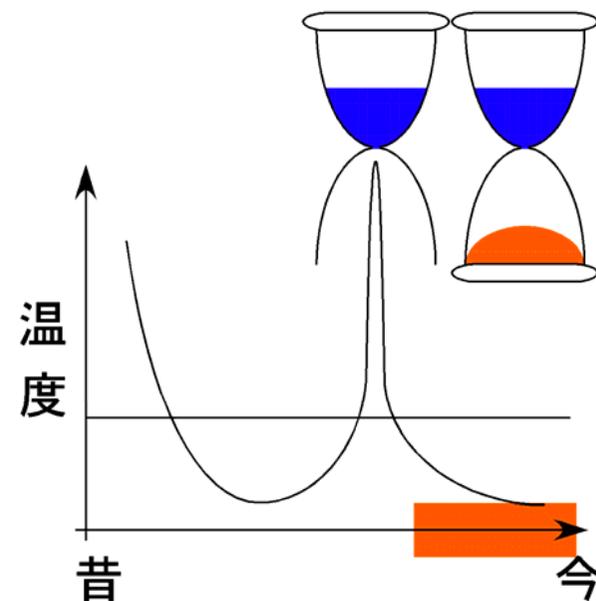
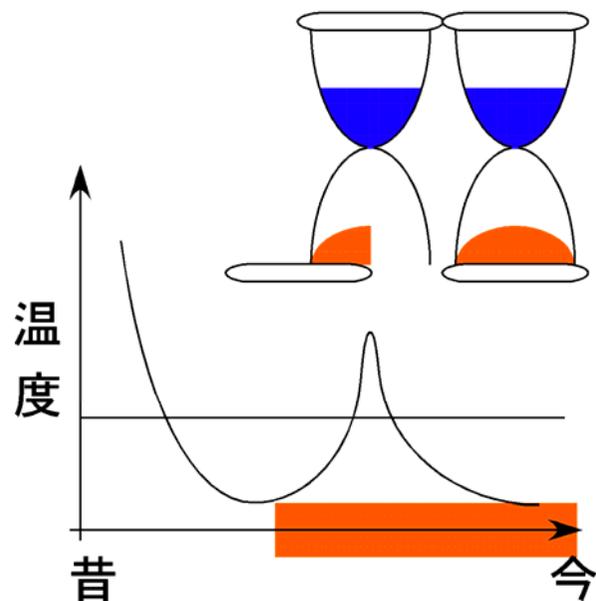
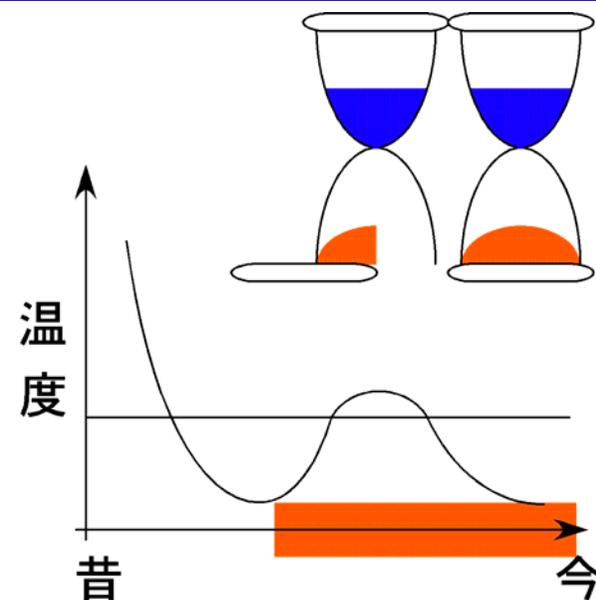
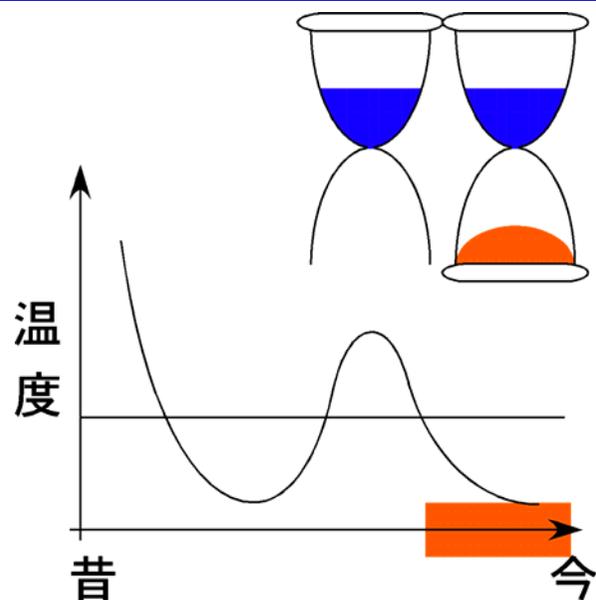


- 現状では測定数が少なく、得られた結果にもばらつき
→ データを増やすとともに精度向上を図る

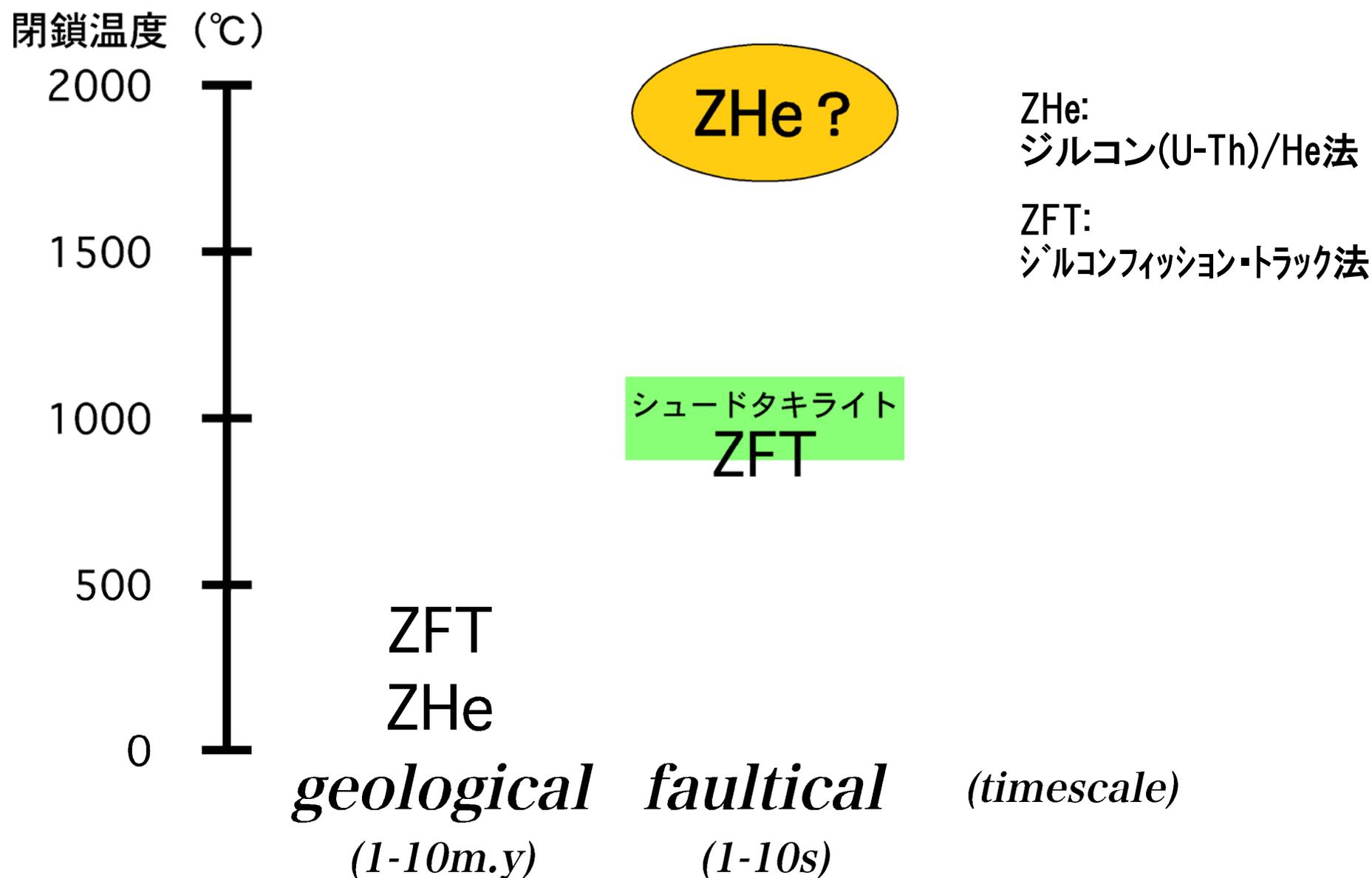
四重極型質量分析計などを用いた(U-Th)/He年代測定法の実用化



四重極型質量分析計などを用いた(U-Th)/He年代測定法の実用化

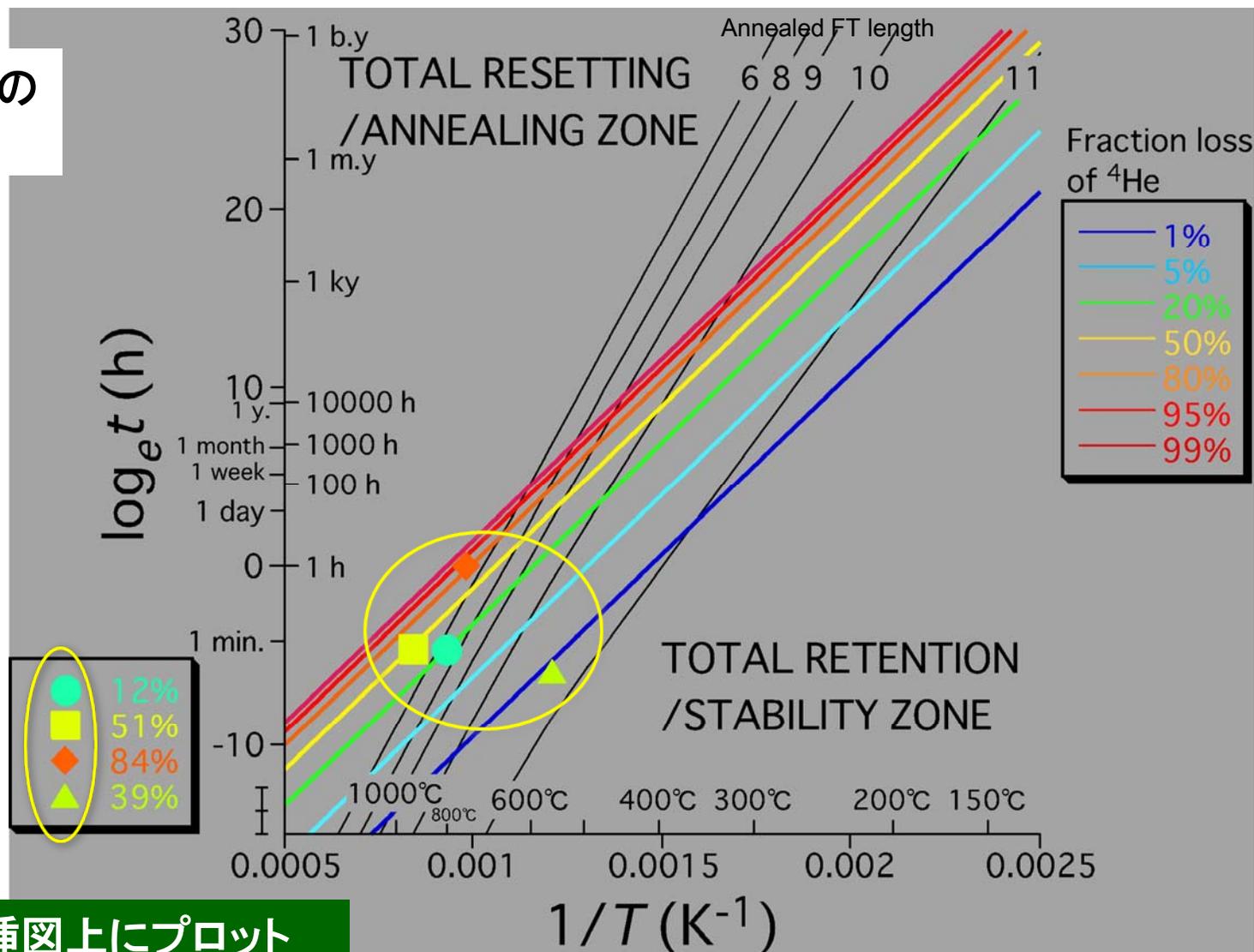


四重極型質量分析計などを用いた(U-Th)/He年代測定法の実用化



四重極型質量分析計などを用いた(U-Th)/He年代測定法の実用化

ジルコン(U-Th)/HeとZFT年代の
温度時間年代値若返り関係



一部はYamada et al.(2007),
Reiners et al.(2004)より

- 測定値を既報データの外挿図上にプロット
→550°C10s加熱試料以外はよく一致し、外挿はおおむね正しいことを実証

四重極型質量分析計などを用いた(U-Th)/He年代測定法の実用化

まとめ

- 四重極型質量分析計を用いた(U-Th)/He年代測定システムを改良し、アパタイトの年代測定を開始
- ICP-MSによるU,Th測定の自動化を行い、試料測定速度と再現性を向上
- 熱年代学的手法による断層摩擦発熱の検出と年代測定を実施し、断層摩擦発熱のようなごく短時間の加熱に対しては、フィッシュン・トラック法の方が閉鎖温度が低いことを実証
- 一方、検出した加熱イベントの時間スケール(≒断層摩擦発熱か、沈降に伴う再加熱か等)を検討するためには、(U-Th)/He法との併用が有効であることを提示

年代測定技術の開発

研究目的

数万年より古い時代の地質イベントを精度良く把握するために不可欠な編年技術のうち、過去数十万年程度の断層の活動年代や隆起速度等の算定に必要な編年技術を重点的に整備

【平成22年度】

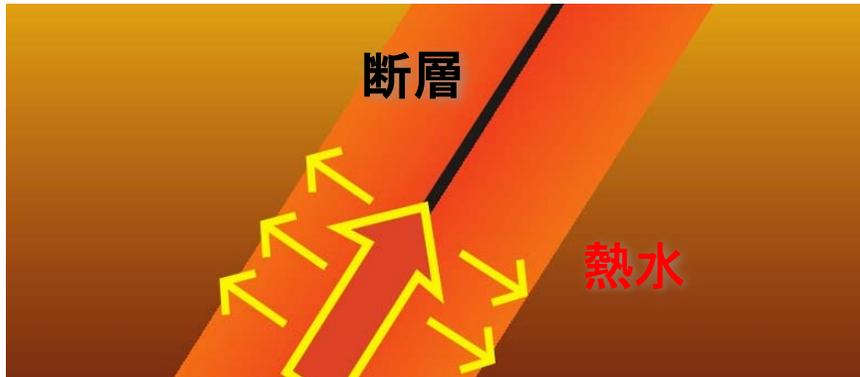
実施内容

- 四重極型質量分析計による ^4He の定量法の確立とアパタイトの(U-Th)/He年代測定
- 断層岩のK-Ar年代測定を実用化するため、極細粒の粘土鉱物の分離法の確立

期待される成果

単なる科学的知見のみならず、概要調査等で得られるデータの品質や解釈の妥当性等に係る技術的能力の確保(実施主体および規制機関の技術的支援)

希ガス質量分析計などを用いたK-Ar年代測定法の実用化



断層運動直後に割れ目に沿って上昇した熱水から、粘土鉱物が生成
→粘土鉱物の年代＝熱水の上昇・粘土生成年代
≡断層の活動年代

国内では中央構造線等において数例（例えば柴田ほか, 1988;1989）

しかし、推定年代より古い年代値

→異なる時期に成長したものの混合物の可能性

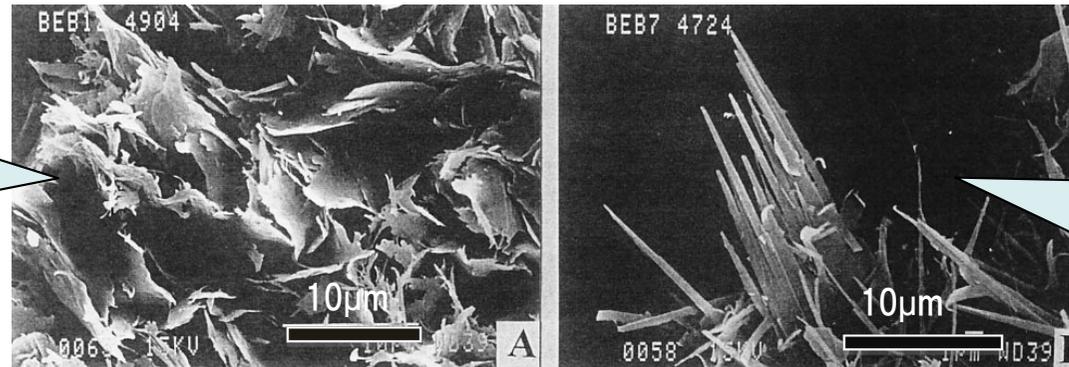
（原岩の碎屑物の混入→年代値の過大評価）

自生鉱物のみの高純度分離が困難

希ガス質量分析計などを用いたK-Ar年代測定法の実用化

自生鉱物のみの高純度分離が困難

原岩の碎屑物
サイズ大



自生鉱物
(一般的に)新しいものほど
サイズ小

(Zwingmann et al., 1999)

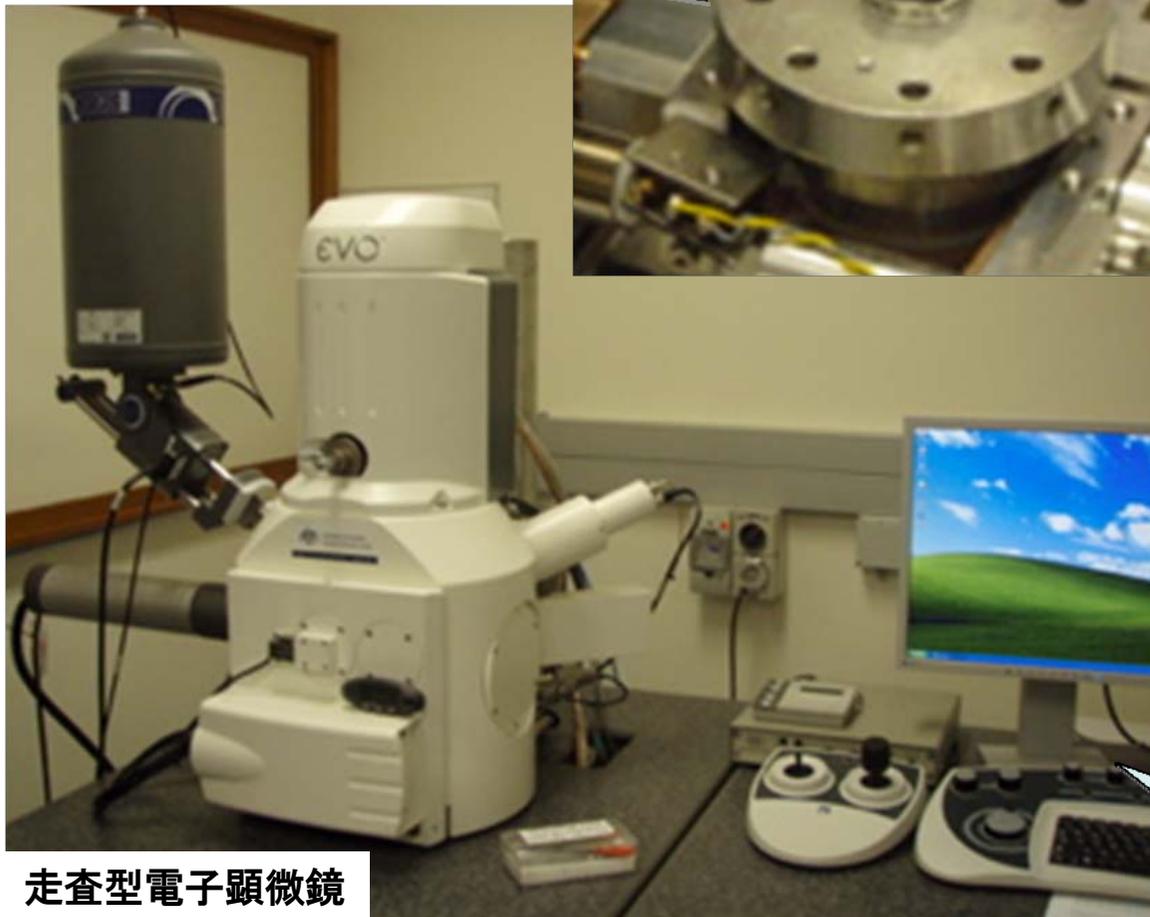
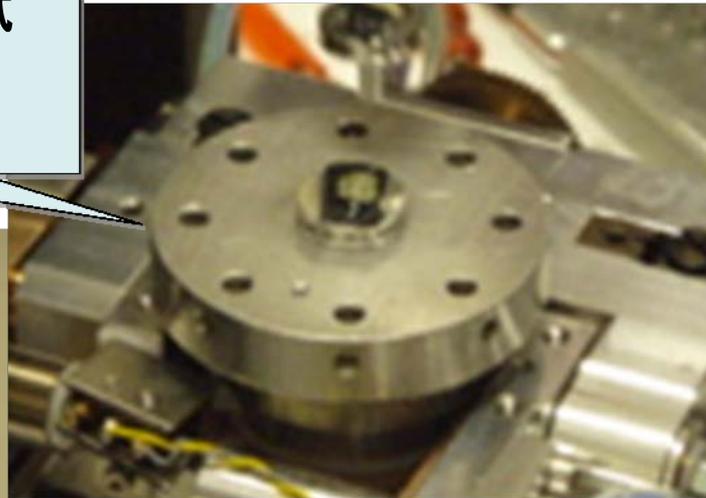
従来法($<2\mu\text{m}$)より細かくサイズ分別し, 各サイズの鉱物学的特徴を併せて
K-Ar年代値(同位体希釈法による)を解釈する試み(Zwingmann et al., 1999)

既往研究: 古く(\sim 数千万年前)大規模な断層
→新しい(\sim 数百万年前)断層には適用できないか?

- 断層岩中の自生雲母粘土鉱物のK-Ar年代測定による断層の活動時期推定の可能性
→東濃地科学センターにおいて, 断層粘土のK-Ar年代測定システムを整備中

希ガス質量分析計などを用いたK-Ar年代測定法の実用化

1. 約5mm大に砕いた試料をステージに固定し、SEMで表面構造を観察



走査型電子顕微鏡

1. EDSにより極小部分の組成を確認

分離・解析の流れ

1. 表面構造観察: SEM-EDS

2. 凍結粉碎: 超低温サーキュレータ

3. サイズ分別 (>2 μ m): 水簸法

4. サイズ分別 (<2 μ m): 高速遠心分離

5. 粒度分布測定: レーザー粒度計

6. 結晶形観察: TEM-EDS

7. 鉱物組成解析: X線回折装置

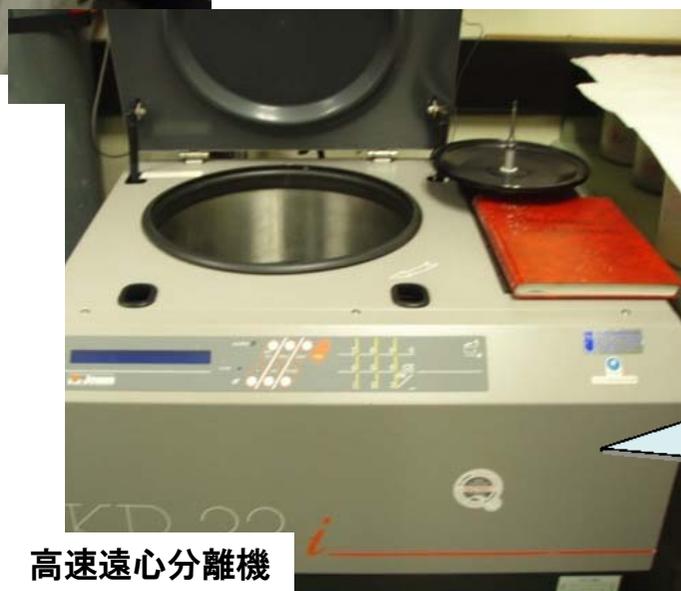
8. K濃度測定: 蛍光光度計

9. Ar濃度測定: 希ガス質量分析装置

希ガス質量分析計などを用いたK-Ar年代測定法の実用化



2. 鉱物層間の水を凍結⇔融解させることで丁寧に粉碎(数週間～数ヶ月)



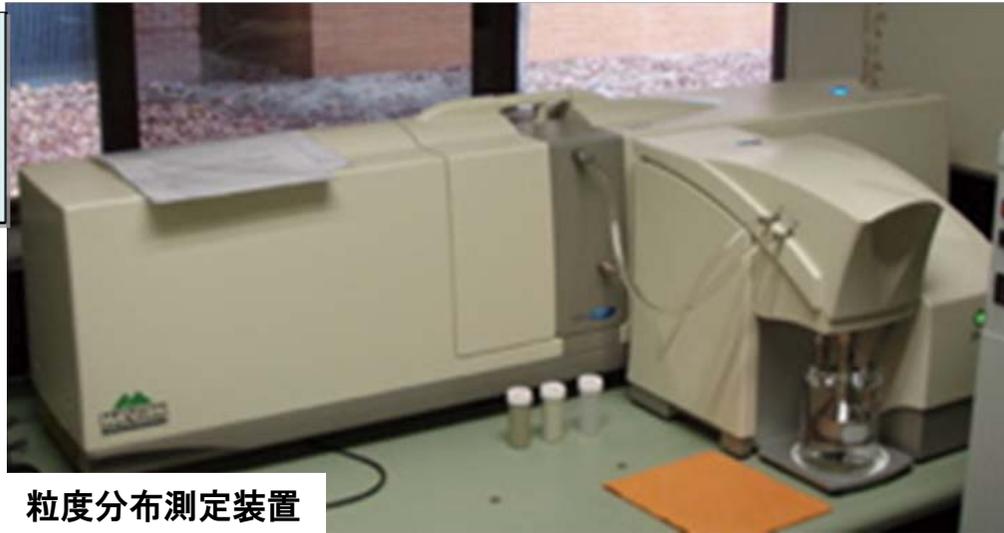
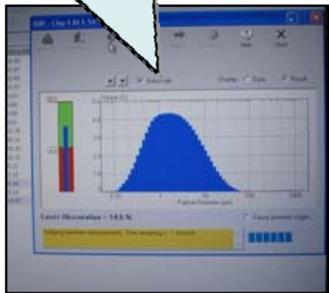
4. 高速遠心分離により従来法より細かくサイズ分離

分離・解析の流れ

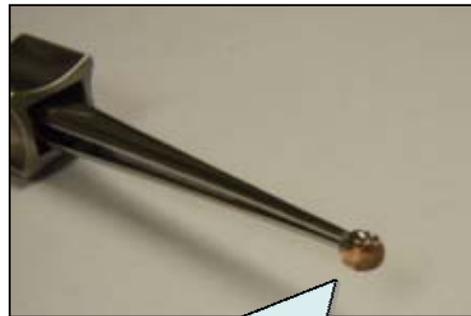
1. 表面構造観察: SEM-EDS
2. 凍結粉碎: 超低温サーキュレータ
3. サイズ分別 (>2 μ m): 水簸法
4. サイズ分別 (<2 μ m): 高速遠心分離
5. 粒度分布測定: レーザー粒度計
6. 結晶形観察: TEM-EDS
7. 鉱物組成解析: X線回折装置
8. K濃度測定: 炎光光度計
9. Ar濃度測定: 希ガス質量分析装置

希ガス質量分析計などを用いたK-Ar年代測定法の実用化

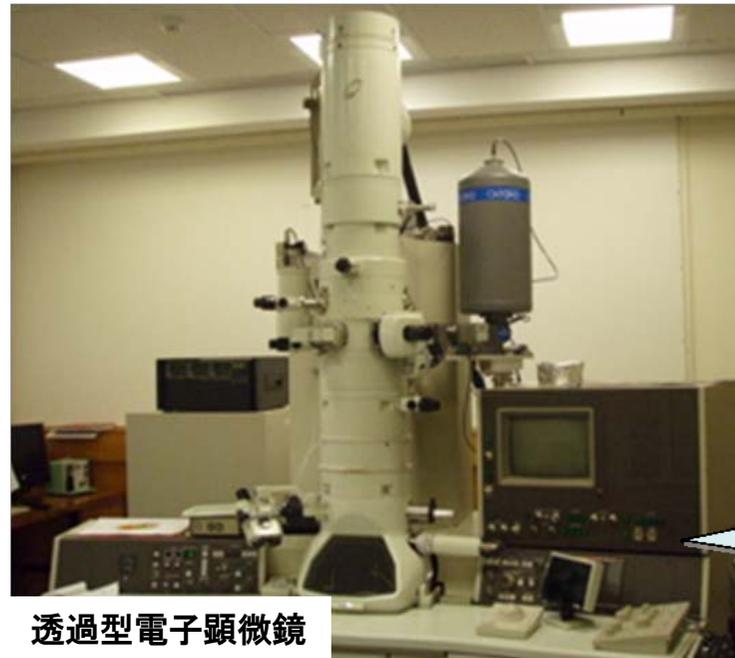
5. 分離精度と
粒度分布の特
徴を確認



粒度分布測定装置



6. 分離試料を1滴グ
リッドに乗せ、TEMに
より結晶形を観察



透過型電子顕微鏡

6. EDS分析により1粒子
ごとの組成を確認

分離・解析の流れ

- 1.表面構造観察:SEM-EDS
- 2.凍結粉碎:超低温サーキュレータ
- 3.サイズ分別 (>2 μ m):水簸法
- 4.サイズ分別 (<2 μ m):高速遠心分離
- 5.粒度分布測定:レーザー粒度計
- 6.結晶形観察:TEM-EDS
- 7.鉱物組成解析:X線回折装置
- 8.K濃度測定:炎光光度計
- 9.Ar濃度測定:希ガス質量分析装置

希ガス質量分析計などを用いたK-Ar年代測定法の実用化

7. XRDにより分離試料の鉱物組成を決定



X線回折装置



炎光光度計

9. 試料を金属箔に封入し、真空中で加熱することでガス抽出



8. 炎光光度法によりカリウムを定量



希ガス質量分析装置

分離・解析の流れ

1. 表面構造観察: SEM-EDS



2. 凍結粉碎: 超低温サーキュレータ



3. サイズ分別 (>2 μ m): 水簸法



4. サイズ分別 (<2 μ m): 高速遠心分離



5. 粒度分布測定: レーザー粒度計



6. 結晶形観察: TEM-EDS



7. 鉱物組成解析: X線回折装置



8. K濃度測定: 炎光光度計

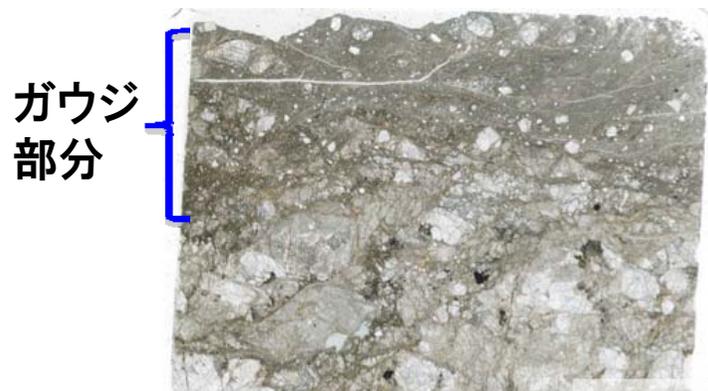
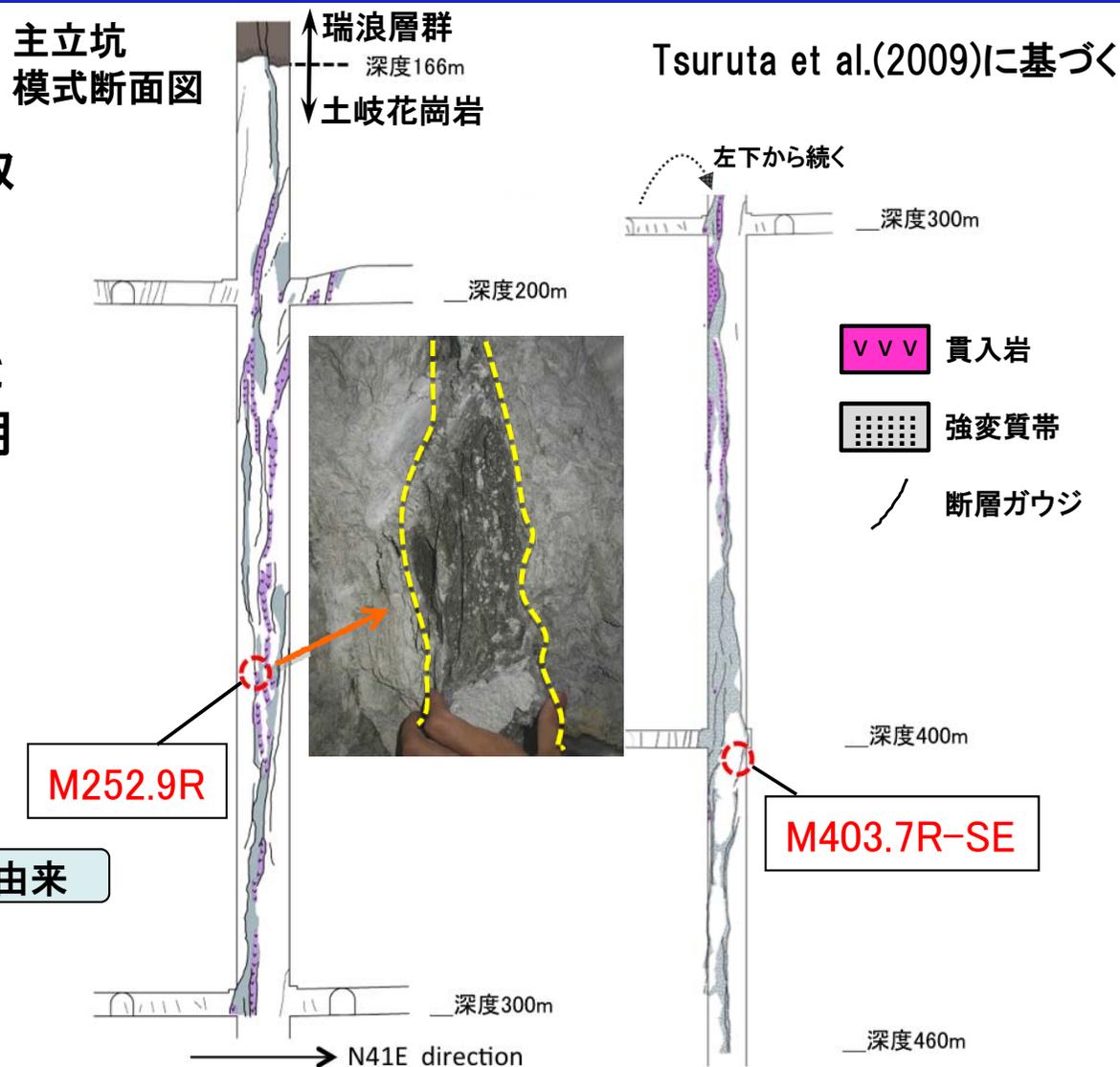


9. Ar濃度測定: 希ガス質量分析装置

9. 希ガス質量分析装置でアルゴンを定量

希ガス質量分析計などを用いたK-Ar年代測定法の実用化 (地下で遭遇した断層の活動性に係る調査技術)

- 主立坑には垂直方向に断層が存在
 - 深度**252.9m**, **403.7m**から断層試料採取
 - 土岐花崗岩: 約70Ma
 - 瑞浪層群: 約20Ma
- 主要な断層運動は20Ma以前ということが明らかだが詳細な活動時期は未解明



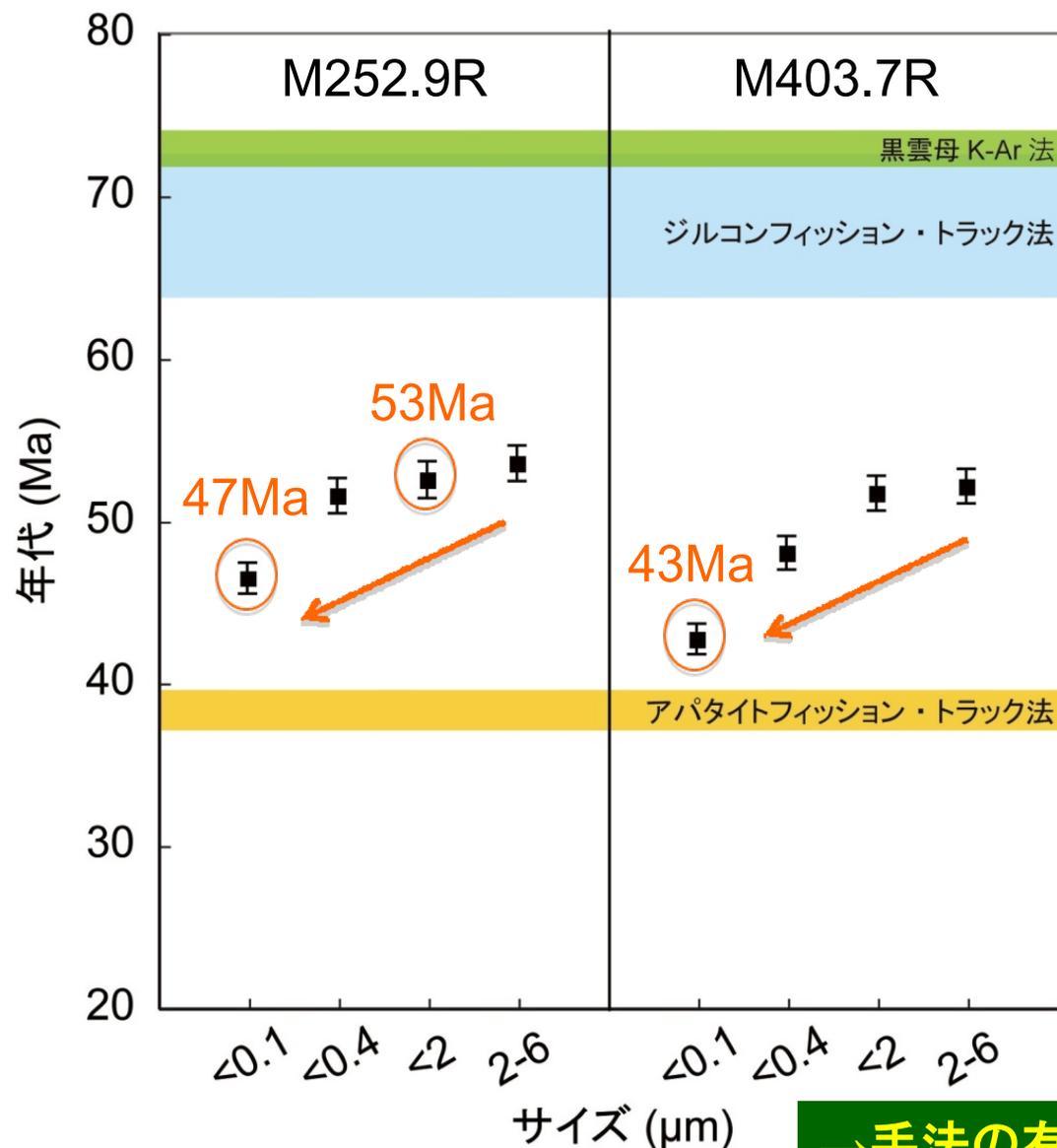
M403.7R試料の薄片 5mm

原岩由来

粘土基質中に石英や長石が<1mmの
円礫・亜円礫として含まれる
開口部に雲母粘土鉱物が充填

● 実試料に対して、分離処理およびK-Ar年代測定を実施

希ガス質量分析計などを用いたK-Ar年代測定法の実用化 (地下で遭遇した断層の活動性に係る調査技術)



- 細粒分ほど若い年代
→原岩由来の破砕物の除去, 自生粘土鉱物をより高純度で含むことを示唆

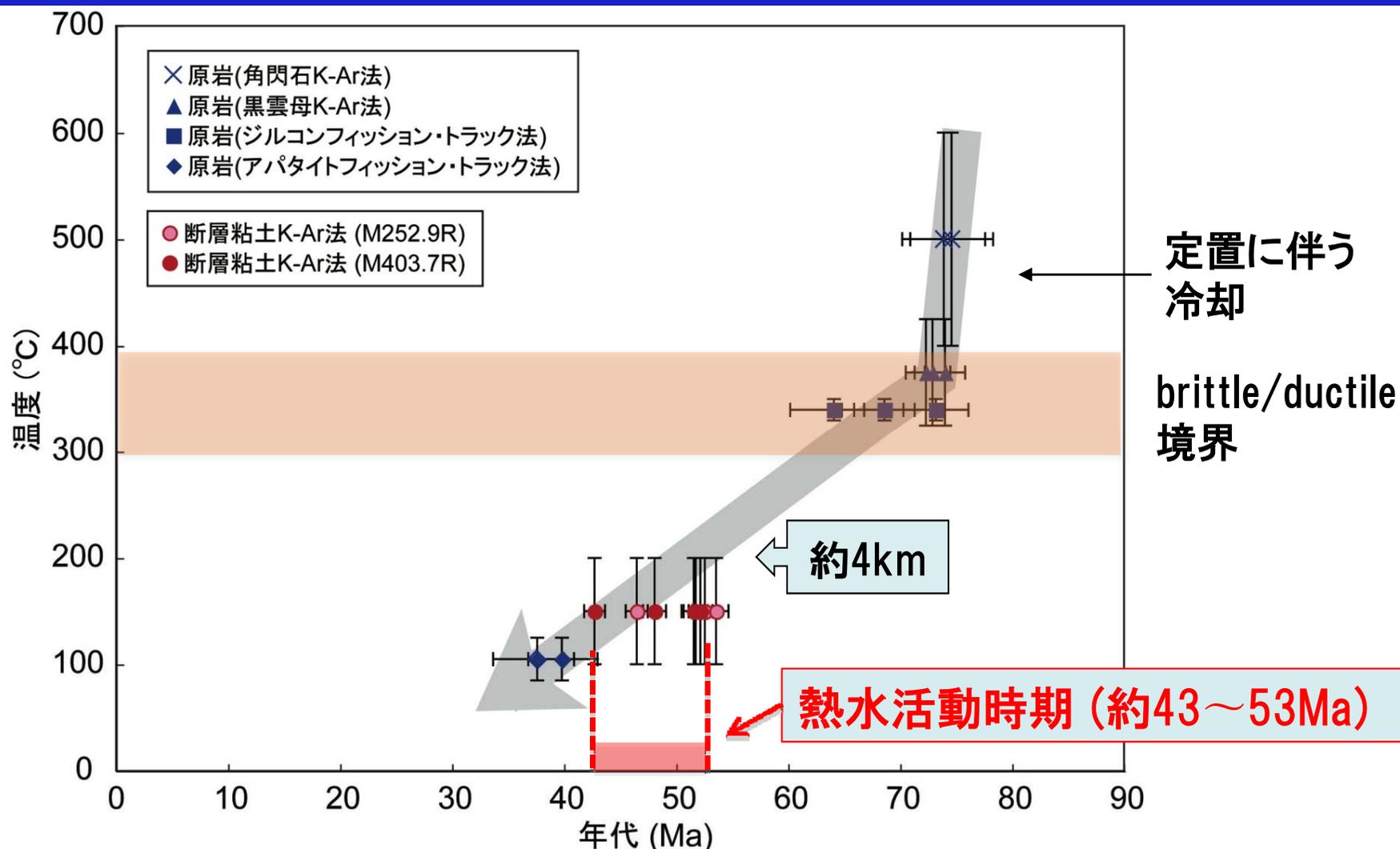
- <2μm試料のXRDデータ(予察)
M252.9R: 石英以外に原岩由来鉱物なし
→約53Maにはすでに割れ目, 熱水が存在

- 最細粒分の年代
M252.9R: 47 ± 1 Ma
M403.7R: 43 ± 1 Ma
→熱水は約40Maまで活動

Bt K-Ar, FT age は山崎, 梅田(投稿中)

→手法の有効性を確認

希ガス質量分析計などを用いたK-Ar年代測定法の実用化 (地下で遭遇した断層の活動性に係る調査技術)



● 他の年代測定データと併せて、MIU周辺の温度履歴を復元
→断層粘土のK-Ar年代測定により、熱水活動の時期・温度を推定

希ガス質量分析計などを用いたK-Ar年代測定法の実用化

まとめ

- 断層粘土を分離するために整備した装置(超低温サーキュレータ, 高速遠心分離機, レーザー粒度分布計等)の動作を確認し, 基礎実験を開始
- MIU立坑断層粘土の分離および年代測定を実施し, 粒径と年代の関係, 既報年代との関係からシステムの有効性を確認するとともに熱水活動時期を推定

年代測定技術の開発

平成23年度実施計画(案)

【年代測定技術の開発】

- (U-Th)/He法:分析事例の蓄積,装置調整と細かな改良
- K-Ar法:断層粘土試料分離法の改良・装置の感度向上

【地下で遭遇した断層の活動性に係る調査技術】

- (U-Th)/He法:MIU試料(土岐花崗岩)への適用と評価(冷却・削剥史推定)
- (U-Th)/He法:阿寺断層試料への適用と評価(冷却・削剥史と垂直変位速度推定)
- K-Ar法:MIU断層粘土試料への適用継続
- K-Ar法:より新しく(鮮新世以降),上下の堆積層から活動時期が推定される断層試料(屏風山断層)への適用と信頼性検証