

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

－断層の活動性に関連した放射年代測定法について－

－ H23年度の成果およびH24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

地質環境の長期安定性研究検討委員会

第10回(2012年2月29日)

1

年代測定技術(断層の活動性に関連した放射年代測定法)

研究目的

上載地層法の適用が困難な、地下で新たに遭遇した断層の活動性の評価を行うための調査技術として、断層充填鉱物、垂直変位速度の算定などの年代測定技術開発

【平成23年度】

実施内容

有馬一高槻構造線

- 断層破碎帯に含まれる(自生)鉱物の分析に基づく断層活動性評価
- 断層を充填する炭酸塩脈の調査・年代測定
- 阿寺断層周辺と掘削コア試料のFT解析に基づく断層活動性評価

期待される成果

各手法の適用性(試料・活動時期等)・信頼性に関する見通しの確立

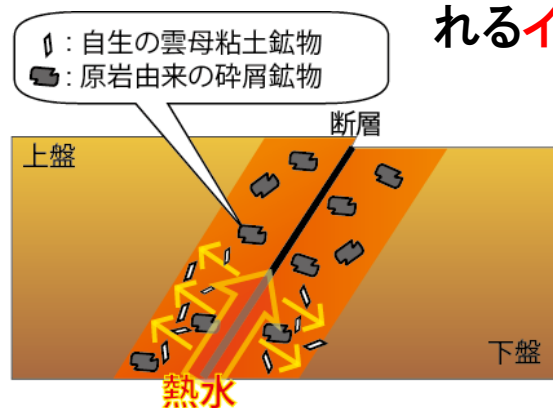
地質環境の長期安定性研究検討委員会

第10回(2012年2月29日)

2

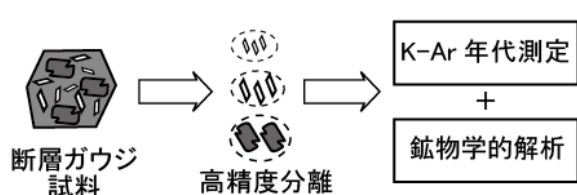
自生粘土鉱物のK-Ar年代測定

断層活動により地殻浅部で形成されたガウジに含まれる**イライト**はKを含むため**K-Ar年代測定が可能**



自生鉱物の年代 = 鉱物の生成年代 $\approx$ 断層の生成年代

しかし、中央構造線等における例(例えば、柴田ほか、1988, 1989)では、活断層であるにもかかわらず主に古第三紀の年代(20-60Ma)が報告されている



- 一つの原因として、原岩の白雲母等の碎屑物の混入
→ 精細分離の実施、鉱物学的解析

● 断層ガウジを利用して地下で遭遇した断層の活動性を把握するためには、ガウジ中の鉱物を高い精度で分離・検証する手法が不可欠

自生粘土鉱物のK-Ar年代測定



超低温循環型
恒温器



水簸法による分離



高速遠心分離機



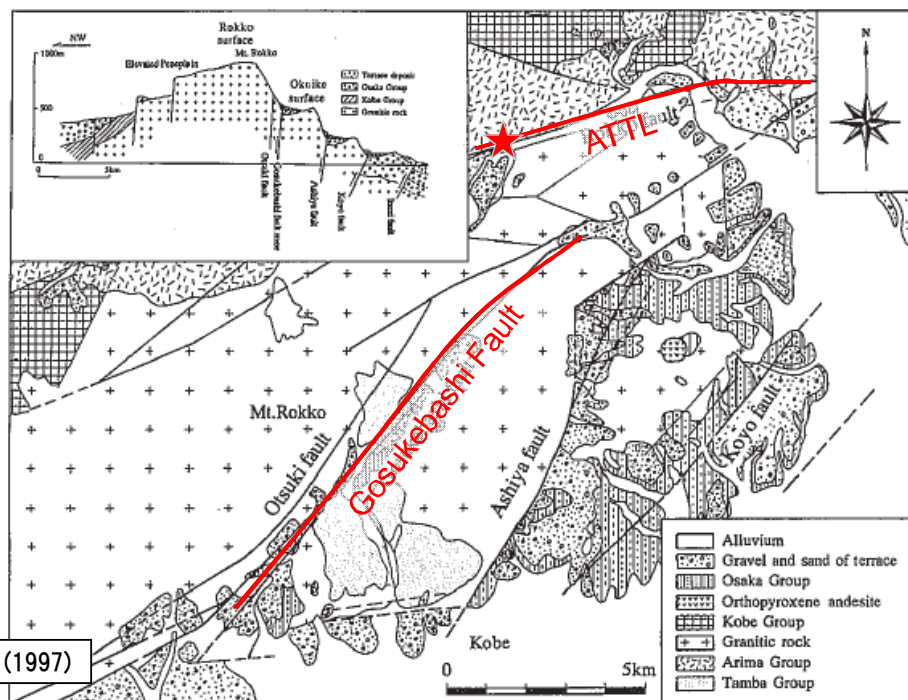
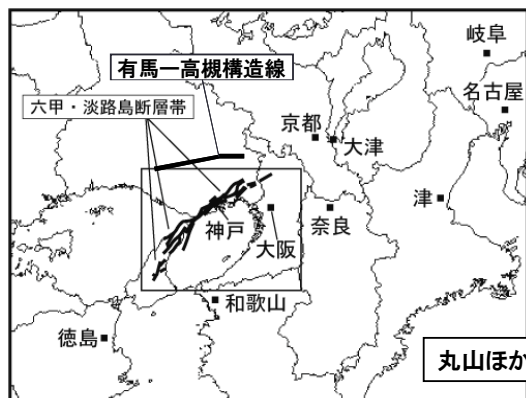
炎光光度計



希ガス質量分析計

自生粘土鉱物のK-Ar年代測定

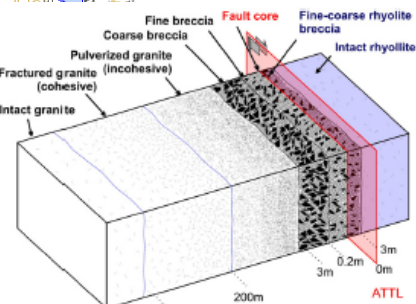
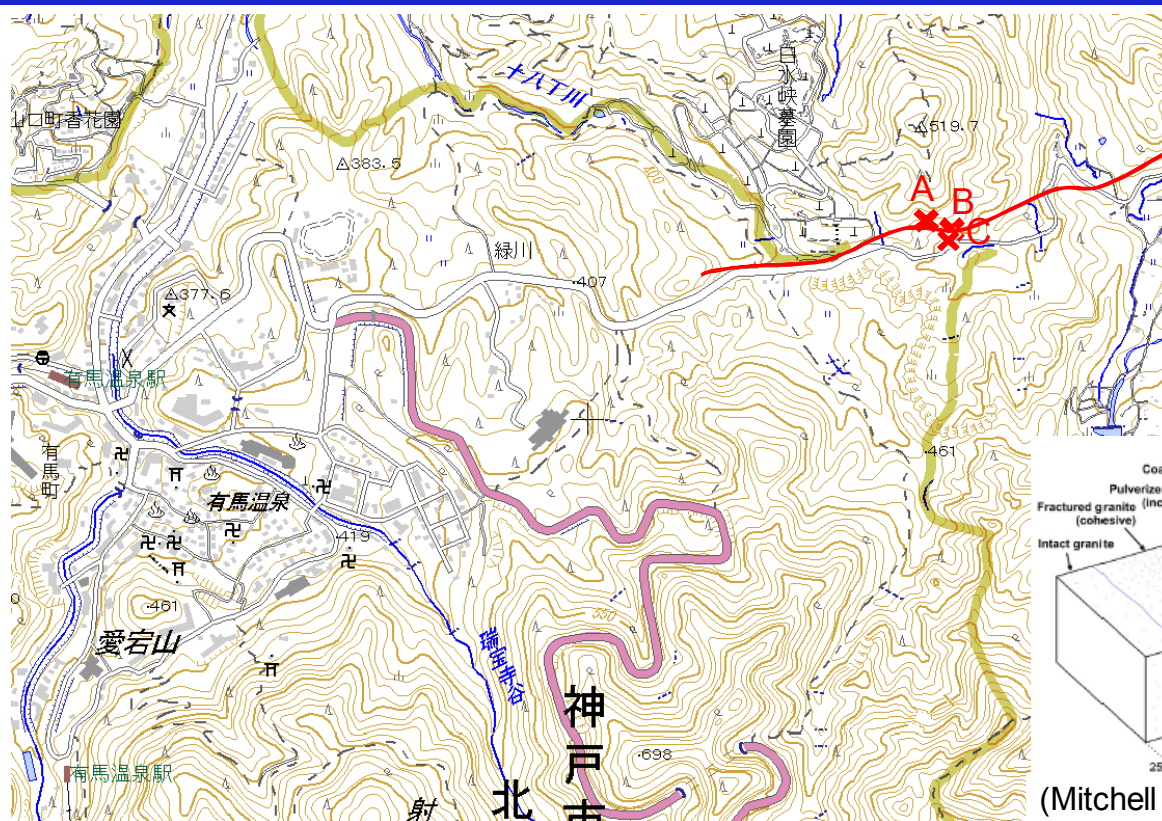
- 六甲山地を挟むENE-WSWおよびNE-SW系の活断層群
- 有馬一高槻構造線(ATTL)
調査域は右ずれ南側隆起
最新活動は慶長伏見地震(1596)
※今回の調査地点については不明
- 五助橋断層
右ずれ北西側隆起



丸山ほか (1997)

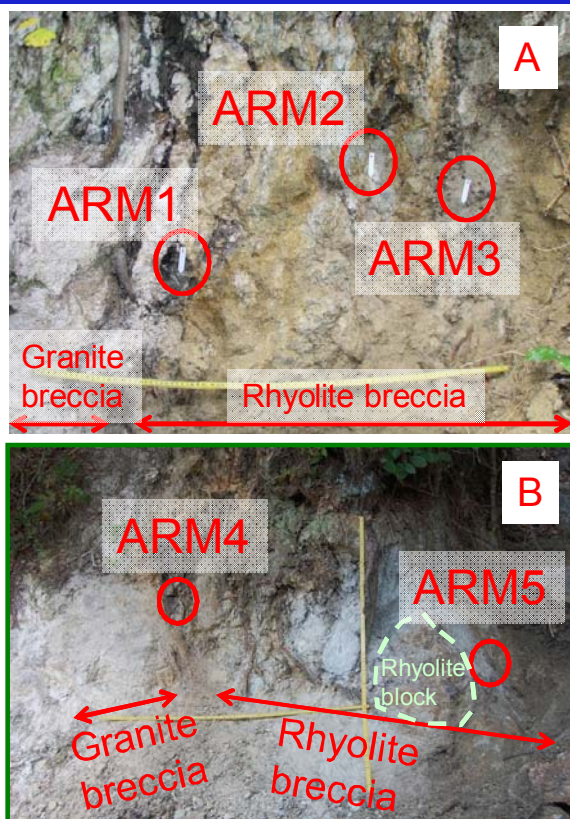
- 花崗岩の中の断層＝古い白雲母が少ない(ATTLはGr./Rhy.), 隆起速度が比較的早い
→若い放射年代が得られると期待される試料でのテストケース

自生粘土鉱物のK-Ar年代測定

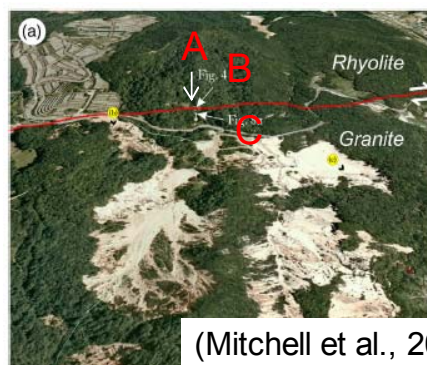


(Mitchell et al., 2011) nature on the ATTL

自生粘土鉱物のK-Ar年代測定



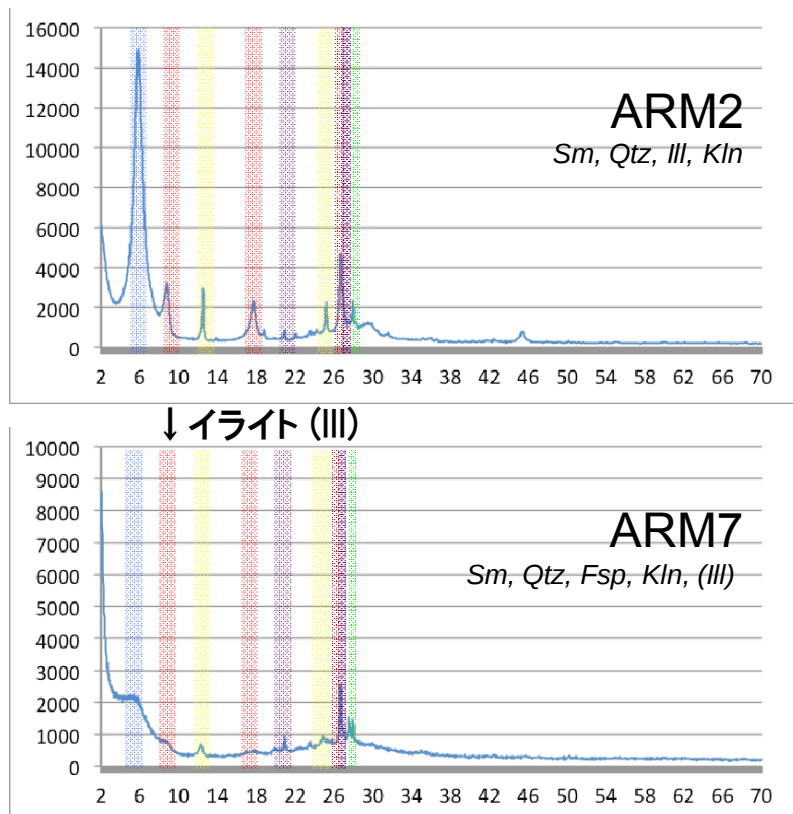
試料は
いずれも
断層粘土



(Mitchell et al., 2011)

自生粘土鉱物のK-Ar年代測定

○XRD



ARM2: Rhyolite breccia
ARM7: Granite breccia

ARM1からARM7まで
いずれにもイライトが
含まれていた

ただし、有馬層群の流紋岩は、
異地性(原岩性)のイライト/
白雲母を含む
→ARM2/7のイライト量の違い
と関係があるか？ あるいは
単に破碎/風化/続成の程
度の問題か？(スメクタイト・カ
オリンもARM2>ARM7)

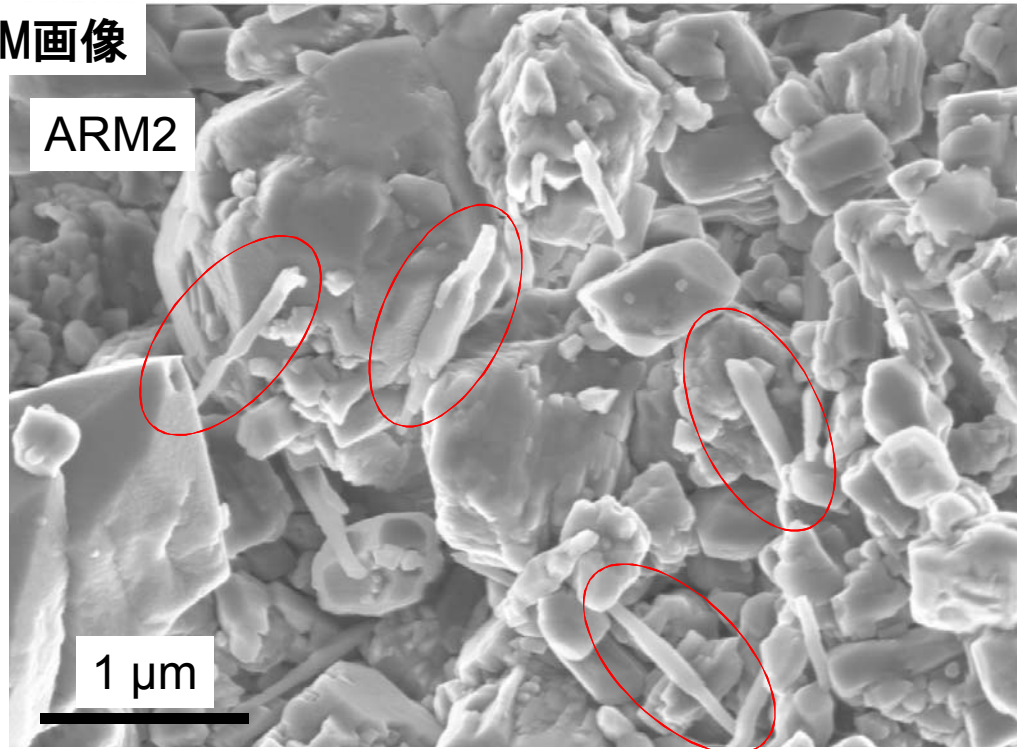
自生粘土鉱物のK-Ar年代測定



○SEM画像

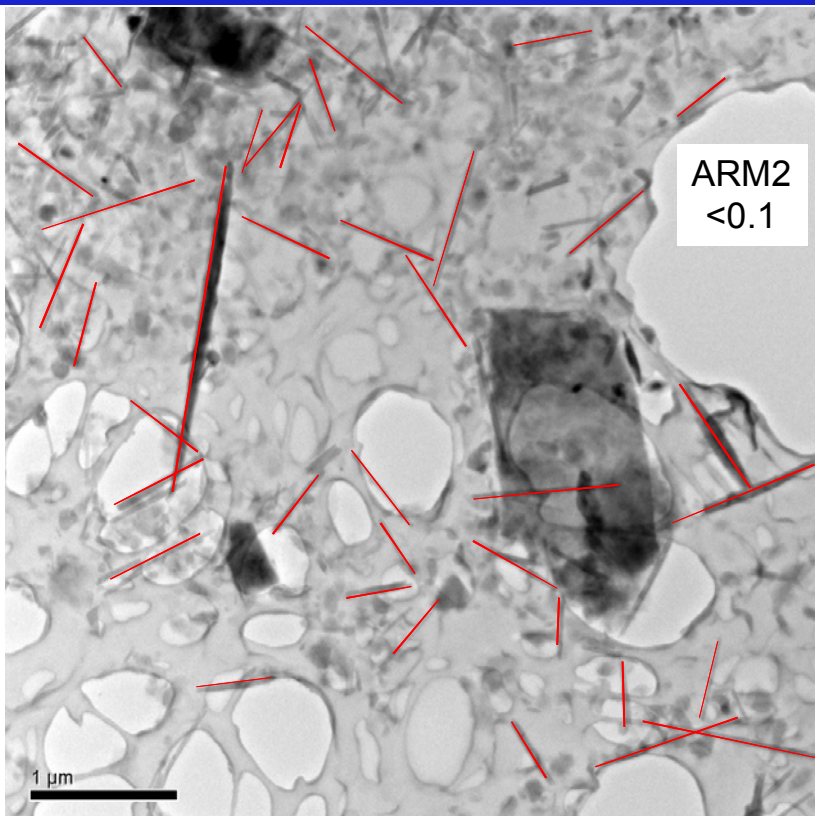
ARM2

1 μm



SEM観察により、GLZの端などから短期間で成長したフィラメント状のイライト結晶を確認

自生粘土鉱物のK-Ar年代測定



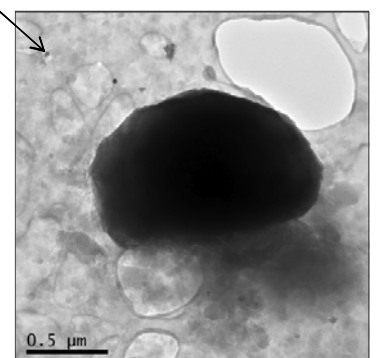
ARM2
<0.1

○TEM画像

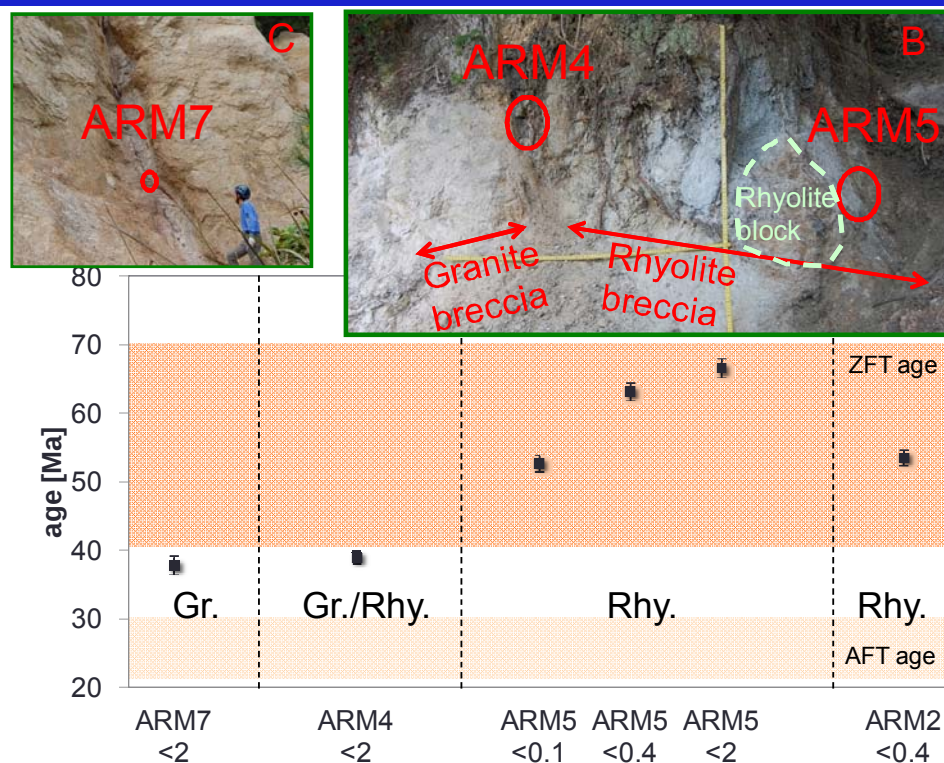
遠心分離後(<0.1μmフラクション)

幅<0.1μm×長さ>1μmのイライトや、
厚さが非常に薄い>1μmの鉱物が残存

石英も微量に含まれる
場合あり



自生粘土鉱物のK-Ar年代測定



○イライトK-Ar年代

- 細粒フラクションほど若い
- 100-200°C程度の熱水活動の時期を示す
- 流紋岩ガウジより, 主断層, 花崗岩ガウジが若い
- 閉鎖温度を考えると, FT年代との関係は整合的

● サンプルと予察的な分析を行った。現在も分離・測定作業を継続中。

炭酸塩脈のU-Th年代測定

研究目的

上載地層法の適用が困難な, 地下で新たに遭遇した断層の活動性の評価を行うための調査技術として, 断層充填鉱物, 垂直変位速度の算定などの年代測定技術開発

【平成23年度】

実施内容

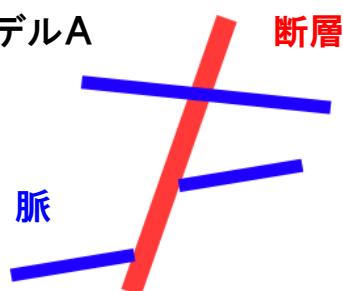
- 断層破碎帯に含まれる(自生)鉱物の分析に基づく断層活動性評価
- 断層を充填する炭酸塩脈の調査・年代測定 4活断層, 1地質断層
- 阿寺断層周辺と掘削コア試料のFT解析に基づく断層活動性評価

期待される成果

各手法の適用性(試料・活動時期等)に関する見通しの確立

炭酸塩脈のU-Th年代測定

モデルA



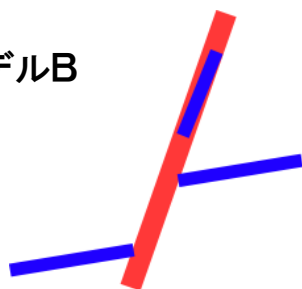
考え方

- 脈の生成年代測定が可能であるという前提
- モデルAであれば断層の活動時期を挟み込める（上載地層法と ^{14}C 年代法の関係）

候補

- カルサイト脈の生成年代はU-Th法で測定可能（であることがある）
- 適用年代範囲は ^{14}C 法より少し広く、0.5Maまで

モデルB



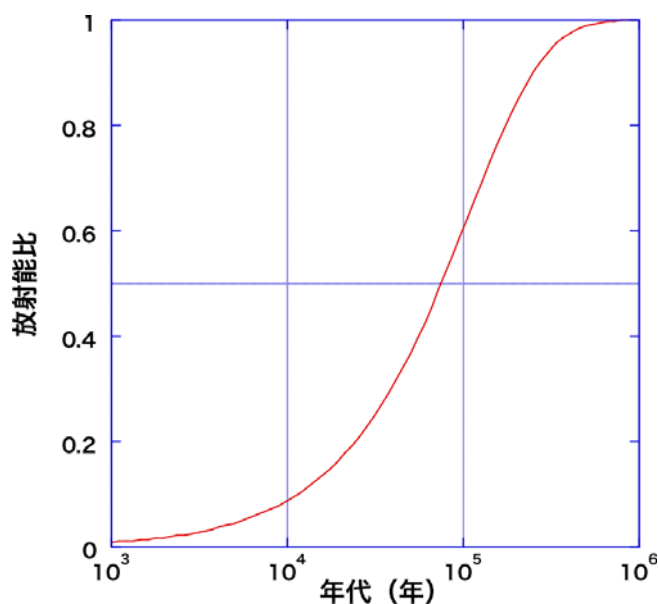
現状

- 断層を貫くカルサイト脈はほとんど見られなかった
- せいぜいモデルB（断層を充填する）
- この場合でも、ある程度の大きさの脈が見られれば、それは破碎されていない＝断層は動いていないとみなす

- 地下で遭遇した断層の活動休止期間を特定するためには、断層によって破碎されていない何かの年代を測定する必要がある→カルサイト脈にはその可能性がある

炭酸塩脈のU-Th年代測定

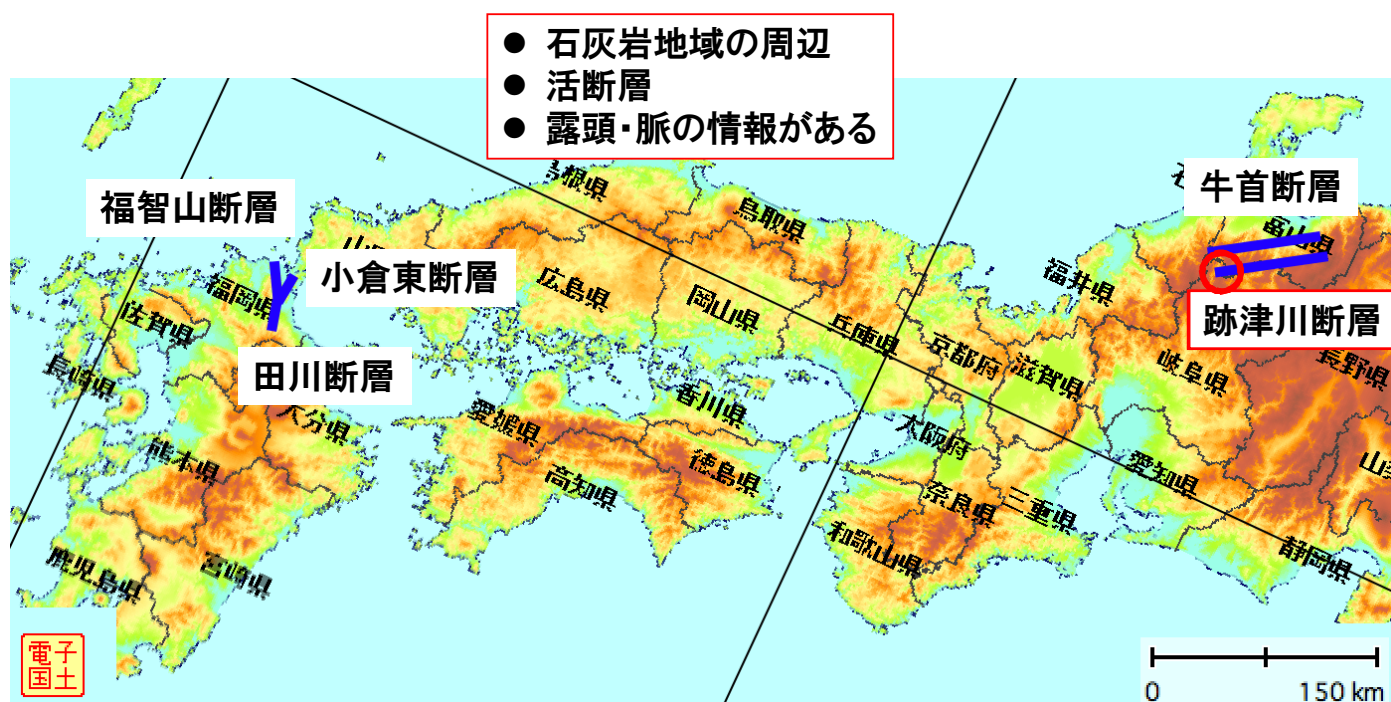
○U-Th非平衡年代法の原理



- $^{238}\text{U} \rightarrow (\text{略}) \rightarrow ^{230}\text{Th} \rightarrow (\text{略}) \rightarrow ^{206}\text{Pb}$
- 十分な時間が経過していれば放射平衡＝各同位体の放射能(単位時間あたりの壊変量)は等しい
- つまり $[^{230}\text{Th}]/[^{238}\text{U}] = 1$
([]は放射能を示す)
- サンゴ等で成長時にThを含まない例
- すなわち、 $t = 0$ において
 $[^{230}\text{Th}]/[^{238}\text{U}] = 0$
- $[^{230}\text{Th}]/[^{238}\text{U}]$ と時間の関係から年代が求められる(左図参照)

- 適用範囲が0-50万年程度、年縞と対応するほど高精度の年代が得られることから、近年は特に鍾乳石の成長速度や地球化学マーカーと対応した気候変動研究への応用が盛ん

炭酸塩脈のU-Th年代測定



炭酸塩脈のU-Th年代測定



炭酸塩脈のU-Th年代測定



第10回(2012年2月29日) 17

炭酸塩脈のU-Th年代測定



- 活動時期は主に ^{14}C 年代とその内挿に基づく
- 平均活動間隔は1000-3000年（文献による）
- 1万数千年間に5-10回の活動
- 歴史地震から見た最新活動は1858年（飛越地震）
- 年代測定中

推本のデータは活動時期を上下限で示し、×はその中心値を、トレンチのデータは¹⁴C年代の堆積境界への内挿値と誤差範囲を示す。誤差の大きさ（1σ or 2σ）は不明。

- 第四紀の活動を断層物質から直接捉える可能性

第10回(2012年2月29日) 18

断層周辺母岩のFT年代測定

研究目的

上載地層法の適用が困難な、地下で新たに遭遇した断層の活動性の評価を行うための調査技術として、断層充填鉱物、垂直変位速度の算定などの年代測定技術開発

【平成23年度】

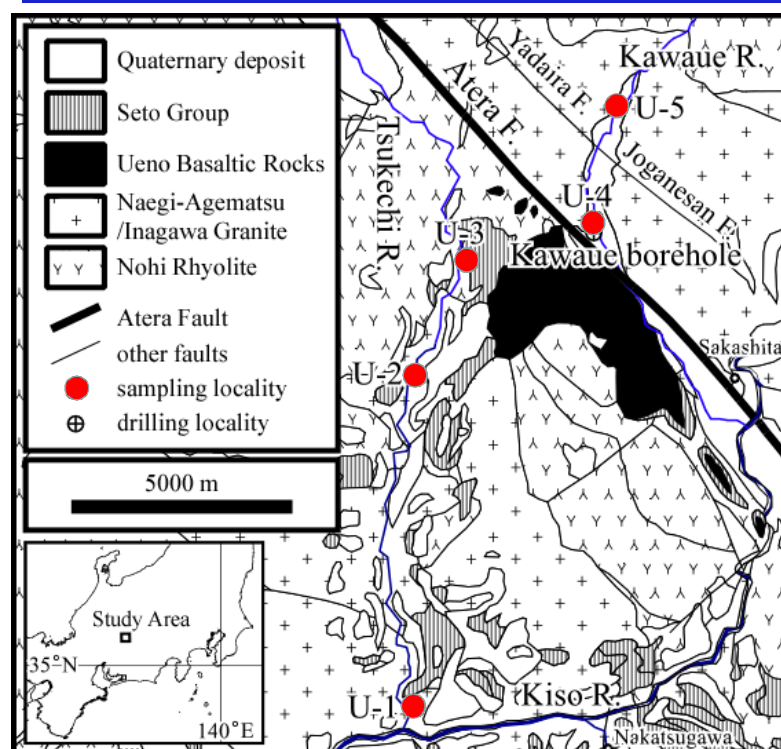
実施内容

- 断層破碎帯に含まれる(自生)鉱物の分析に基づく断層活動性評価
- 断層を充填する炭酸塩脈の調査・年代測定
- 阿寺断層周辺と掘削コア試料のFT解析に基づく断層活動性評価

期待される成果

各手法の適用性(試料・活動時期等)に関する見通しの確立

断層周辺母岩のFT年代測定

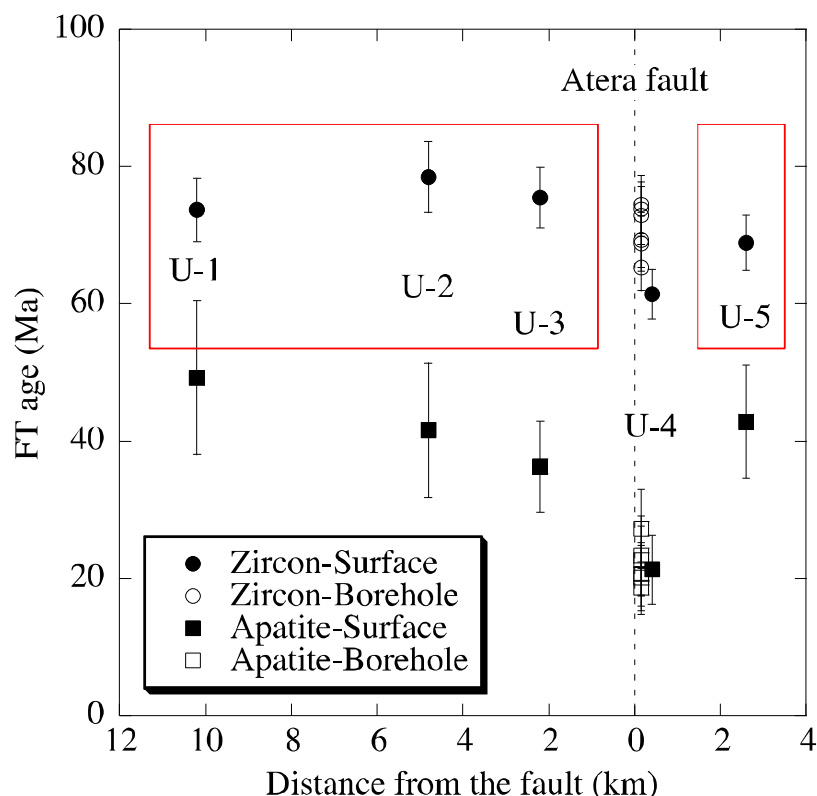


- 北東側隆起を伴うほぼ垂直な左横ずれ断層
- 活断層としての阿寺断層の活動開始は2Ma頃
- 垂直変位量は約1km
- 少なくとも始新世には破碎が開始

- ジルコンとアパタイトのFT法(年代・FT長解析)
- 変質していない花崗岩を中心に採取
- 川上コアは断層に起因する破碎を受けている部分もある

- 地表とボーリングコアの試料を用いて、熱年代学から断層の活動度を検討する

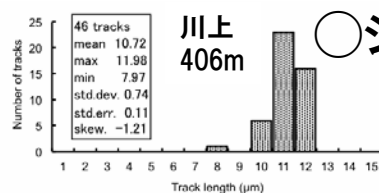
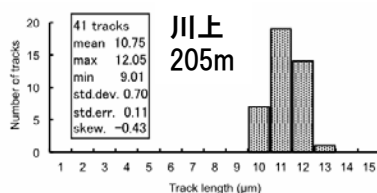
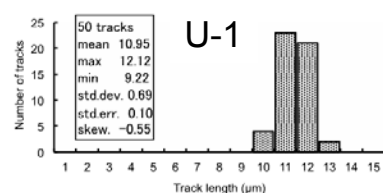
断層周辺母岩のFT年代測定



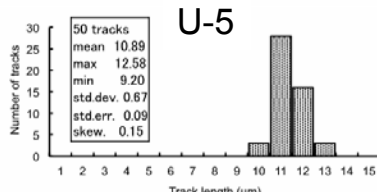
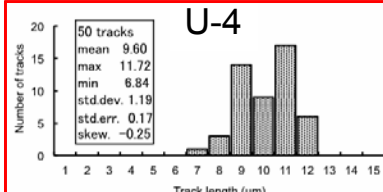
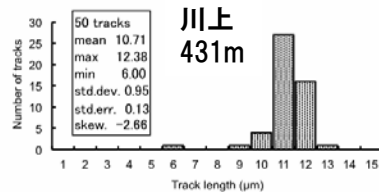
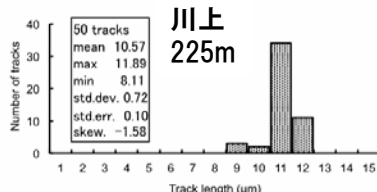
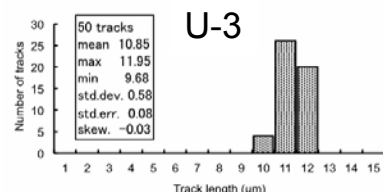
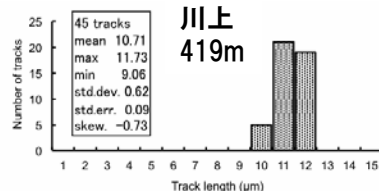
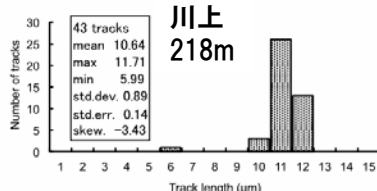
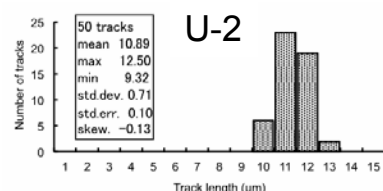
○ジルコンFT年代

- 隆起側(U-5)は沈降側(U-1,2,3)よりやや若い
- U-1,2,3,5の年代と標高他から垂直変位量を計算すると, 0.5-1.5km程度 (変位速度: 約0.5mm/yr)
→地形・基盤の変位量・変位速度と整合
- 川上コアの年代はU-4ではなくU-5と一致
→断層が熱源でない

断層周辺母岩のFT年代測定

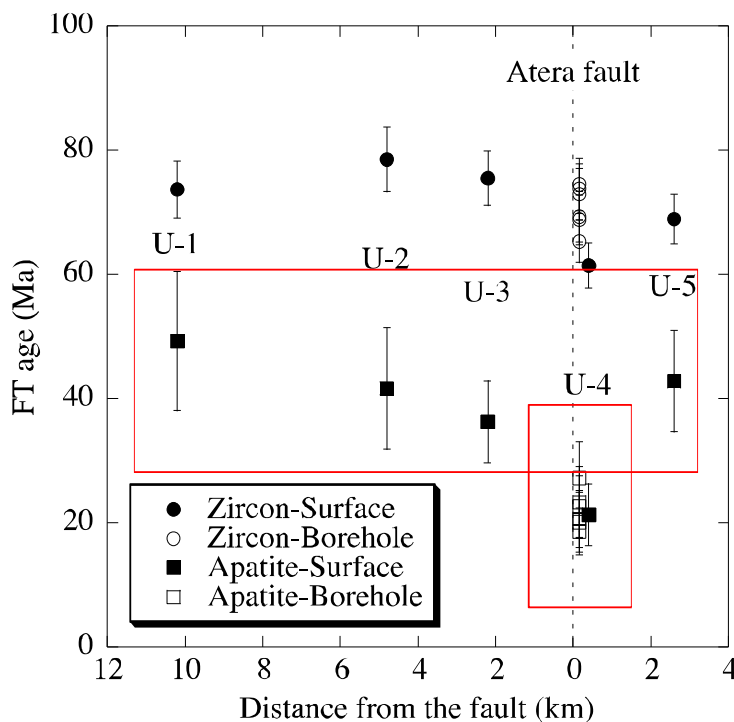


○ジルコンFT長



- U-4のみ, なんらかの再加熱・若返りを受けている
- 川上コアが影響を受けていないことから, 再加熱の範囲は非常に限られる
- 断層摩擦ではなく, 小規模な貫入等が考えられる

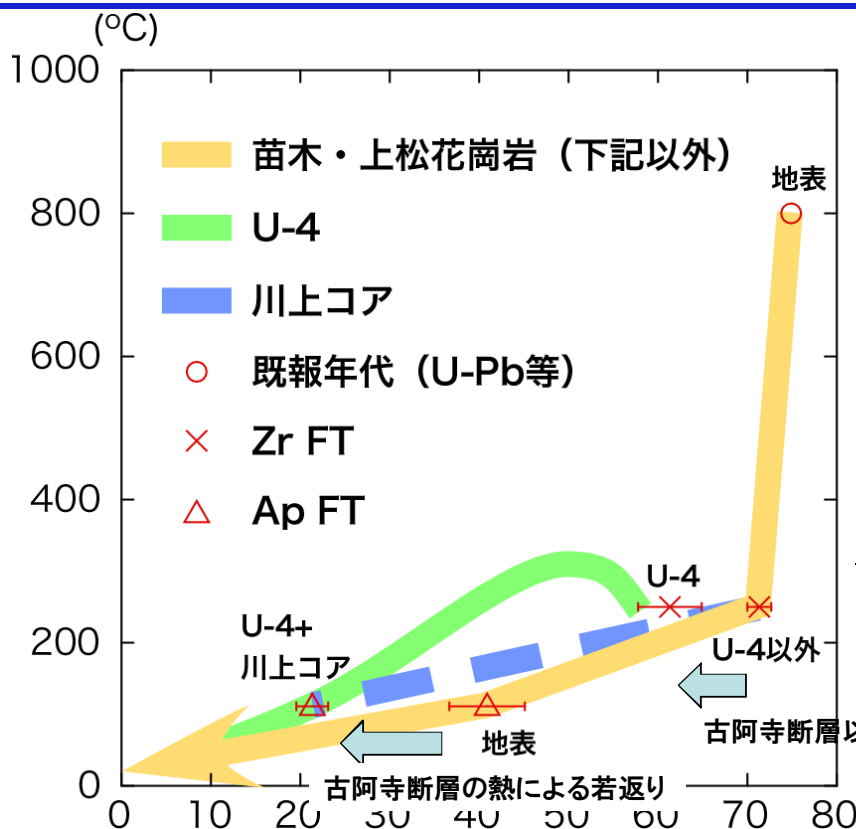
断層周辺母岩のFT年代測定



○アパタイトFT年代

- 断層を挟んだ地表試料の年代に傾向はない
- 川上コアの年代がU-5ではなくU-4と一致
→断層近傍で若返りが示唆される
→断層が熱源＝断層活動あり
- 完全なFT長が測定できなかったもので確実ではないが、ある程度古い時期(新第三紀等)の加熱と想定される

断層周辺母岩のFT年代測定



○まとめ

- 断層近傍を除く地表試料のジルコンFTに基づく変位量, 変位速度は既報値と整合
- アパタイトFTからは計算されず
- 断層近傍の試料のアパタイトFT年代は原岩に比べて若い. 原因は20Ma以降第四紀より前の加熱と考えられる.
→熱源としての古阿寺断層の活動

年代測定技術(断層の活動性に関連した放射年代測定法)

ま と め

- 上載地層法の適用が困難な、地下で新たに遭遇した断層の活動性の評価を行うための調査技術として、断層破碎帯に含まれる(自生)鉱物、断層充填鉱物の年代測定、断層周辺の地表・地下試料の分析等を行った。
- 今回のK-Ar法, FT法に基づく評価法からは、活断層であっても、地表～地下400m程度までの領域に100℃を越える熱的な影響をもたらした最新活動は第四紀以前といえる。
- 新たに試みた断層充填カルサイトの年代測定は、変位をもたらした第四紀の活動を捉える可能性がある。

平成24年度実施計画(案)

- 断層充填カルサイト年代測定の継続・発展(調査・試料事前評価・構造解析等他手法との比較等)
- K-Ar法: 破碎帯試料測定, 若い年代試料測定の継続
- (U-Th)/He法: 分析法の最終的な確定と測定スループットの向上, 断層試料測定