

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

— 第2期中期計画における研究成果 —

独立行政法人日本原子力研究開発機構

バックエンド研究開発部門

地質環境の長期安定性に関する研究（第2期中期計画）

① 調査技術の開発・体系化

過去の自然現象の記録や現在の状況を調査するための体系的な技術の整備

⇒ サイトの選定や安全性の検討に必要なデータの取得

② 長期予測・影響評価モデルの開発

将来の自然現象に伴う地質環境の変化を予測・評価するための手法の整備

⇒ 変動シナリオに基づく安全評価に必要な技術

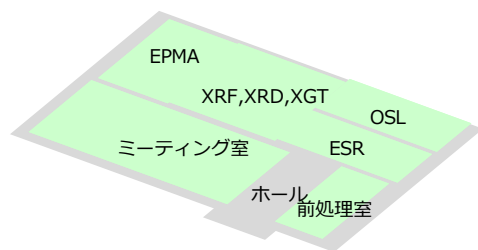
③ 年代測定技術の開発

最先端の機器分析装置を用いた放射年代測定技術を含めた編年技術の高度化

⇒ ①, ②の信頼性の向上するための技術基盤
（データの品質・解釈等の妥当性を評価するための技術的能力の蓄積）

土岐地球年代学研究所の開設

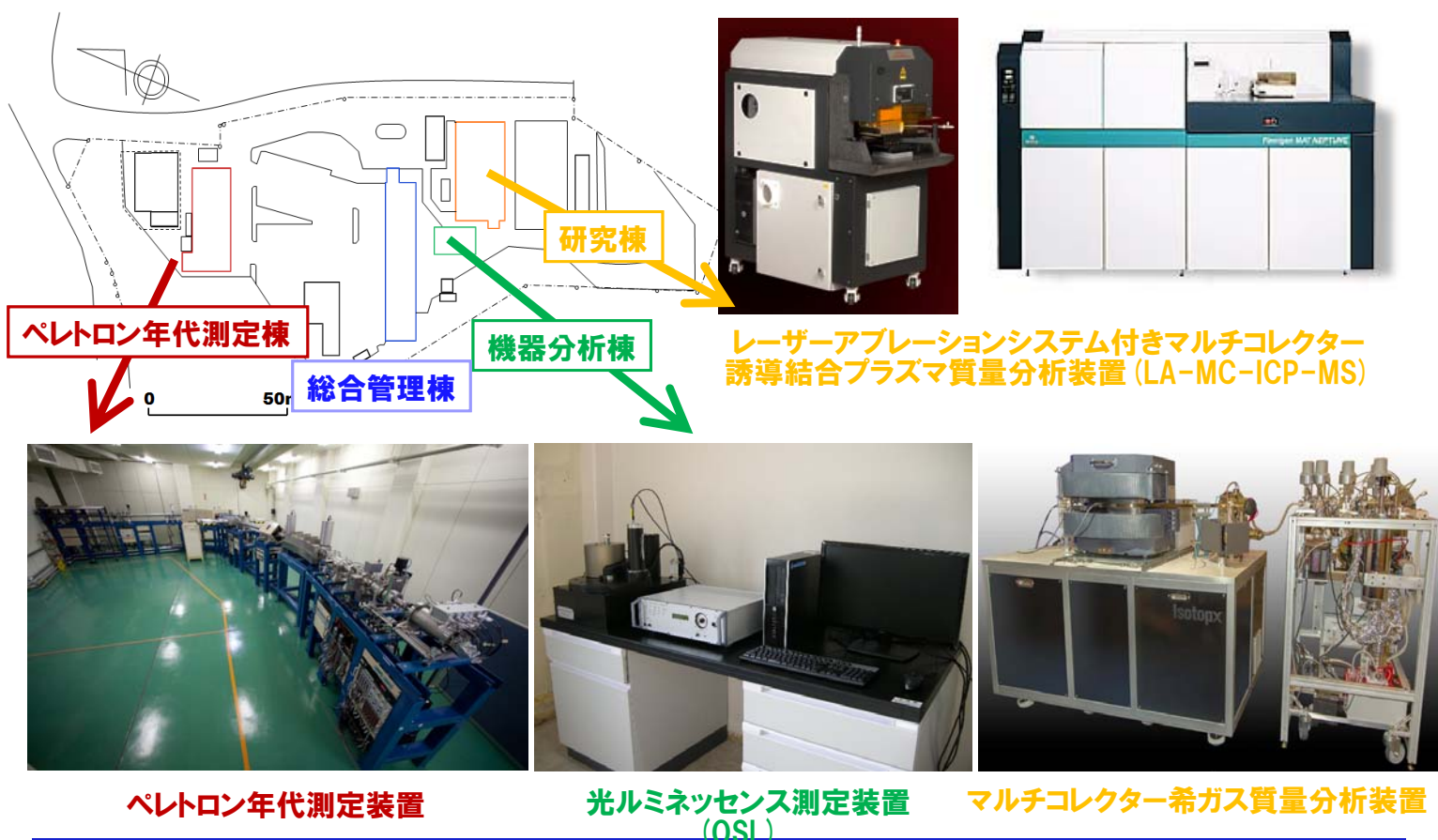
平成26年11月14日
機器分析棟完成



地質環境の長期安定性研究検討委員会

第13回（平成27年3月11日） 2

土岐地球年代学研究所 分析施設



地質環境の長期安定性研究検討委員会

第13回（平成27年3月11日） 3

地質環境の長期安定性に関する研究(第2期中期計画)

①調査技術の開発・体系化

過去の自然現象の記録や現在の状況を調査するための体系的な技術の整備

⇒ サイトの選定や安全性の検討に必要なデータの取得

② 長期予測・影響評価モデルの開発

将来の自然現象に伴う地質環境の変化を予測・評価するための手法の整備

⇒ 変動シナリオに基づく安全評価に必要な技術

③ 年代測定技術の開発

最先端の機器分析装置を用いた放射年代測定技術を含めた編年技術の高度化

⇒ ①, ②の信頼性の向上するための技術基盤
(データの品質・解釈等の妥当性を評価するための技術的能力の蓄積)

年代測定法

	年代測定法	適用年代 (年)	中村ら(1999)より 抜粋、修正
放射性同位体を用いた方法	^{210}Pb 法	0~200	
	^{238}U 系列(U-Th)法	$10^3 \sim 5 \times 10^5$	
	^{14}C 法	$0 \sim 6 \times 10^4$	
	$^{10}\text{Be}/^{26}\text{Al}$ 比法	$10^3 \sim 10^7$	
	$^{40}\text{K}-^{40}\text{Ar}$ 法	$10^4 \sim 10^9$	
放射線による損傷を計測する方法	熱ルミネッセンス(TL)法	$10^3 \sim 3 \times 10^5$	
	光ルミネッセンス(OSL)法	$10^3 \sim 3 \times 10^5$	
	電子スピン共鳴(ESR)法	$10^3 \sim 3 \times 10^6$	
	フィッシュントラック法	$10^3 \sim 3 \times 10^9$	
化学変化を利用した方法	アミノ酸のラセミ化法	$10^3 \sim 5 \times 10^6$	
	黒曜石水和法	$10^3 \sim 3 \times 10^4$	
年代マーカーと比較する方法	年輪年代法	0~ 10^4	
	氷縞粘土、年縞堆積物	0~ 10^4	
	火山灰層位法	0~ 10^6	
	古地磁気法	0~ 5×10^6	
	酸素安定同位体比法	$10^3 \sim 10^6$	

3. 年代測定技術の開発

3-1 加速器質量分析装置を用いた宇宙線生成核種年代測定法

^{10}Be の定量法を確立し、 ^{10}Be 年代測定法を実用化

3-2 四重極型質量分析計などを用いた (U-Th) / He年代測定法

U, Th及びHeを定量する技術を整備し、(U-Th) / He年代測定法を実用化

3-3 希ガス質量分析計などを用いたK-Ar年代測定法

感度法によるK-Ar 年代測定法を実用化

極細粒な自生雲母粘土鉱物を効率的に分離する技術を整備

3-4 高分解能のテフラ同定手法

メルトインクルージョンの化学組成によってテフラを同定する手法を開発

3-5 新規年代測定システムの整備

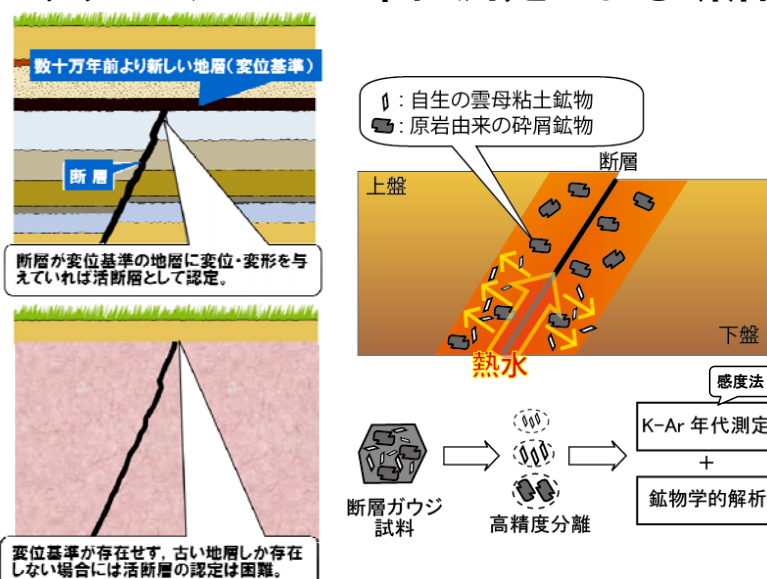
光ルミネッセンス測定システム、ウラン系列年代測定システム、
希ガス年代測定システムの整備

3-3希ガス質量分析計などを用いたK-Ar年代測定法

数万年～数百万年の正確な年代測定が可能な感度法によるK-Ar 年代測定法を実用化し、さらに極細粒な自生雲母粘土鉱物を効率的に分離する技術を整備

平成26年度理事長表彰研究開発功績賞 受賞

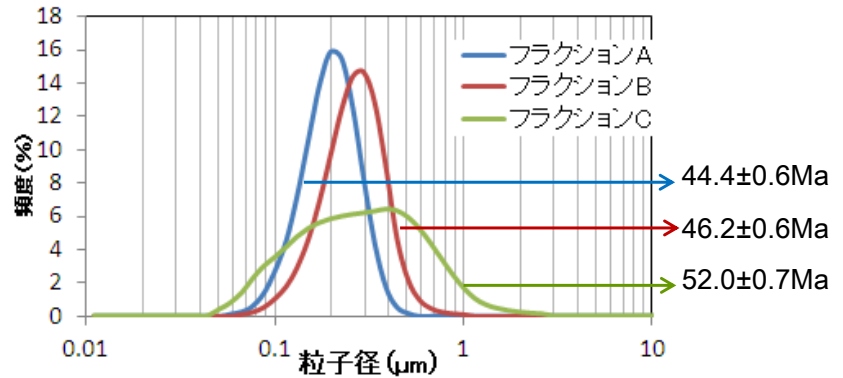
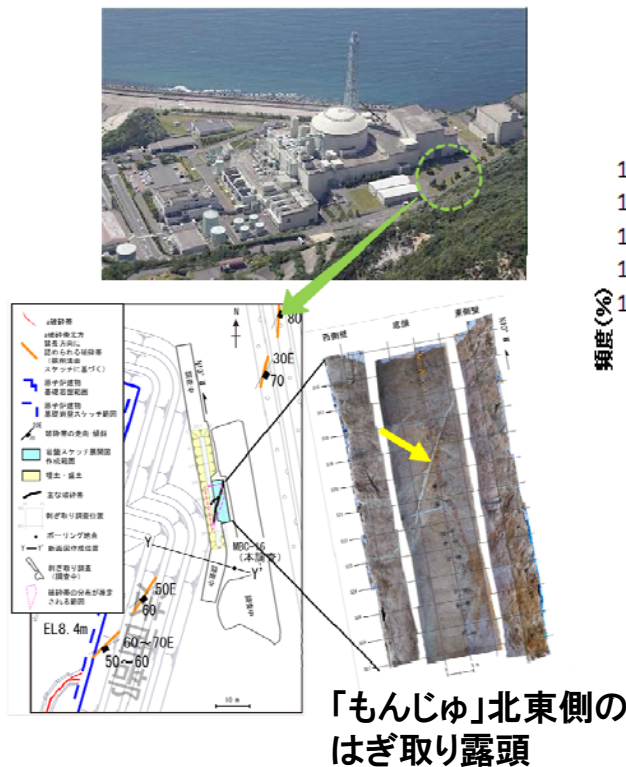
「カリウム・アルゴン年代測定による断層の活動性評価手法の開発」



3-3希ガス質量分析計などを用いたK-Ar年代測定法

もんじゅ敷地内破砕帯から採取した粘土鉱物の

の年代測定が評価される



もんじゅの破砕帯粘土：約5000万年前に形成

3-5新規年代測定システムの整備

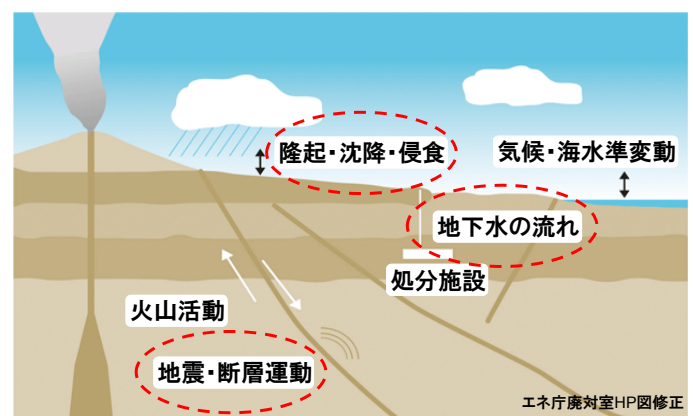
【目標】

地質環境の長期安定性の研究に有効な新規年代測定システムを整備する。

【実施項目】

- ① 光ルミネッセンス測定システムの整備
→光ルミネッセンス測定装置及びストロンチウム-90ベータ線源の導入
- ② ウラン系列年代測定システムの整備
→レーザーアブレーション付誘導結合プラズマ質量分析装置の導入
- ③ 希ガス年代測定システムの整備
→高精度希ガス質量分析装置の導入

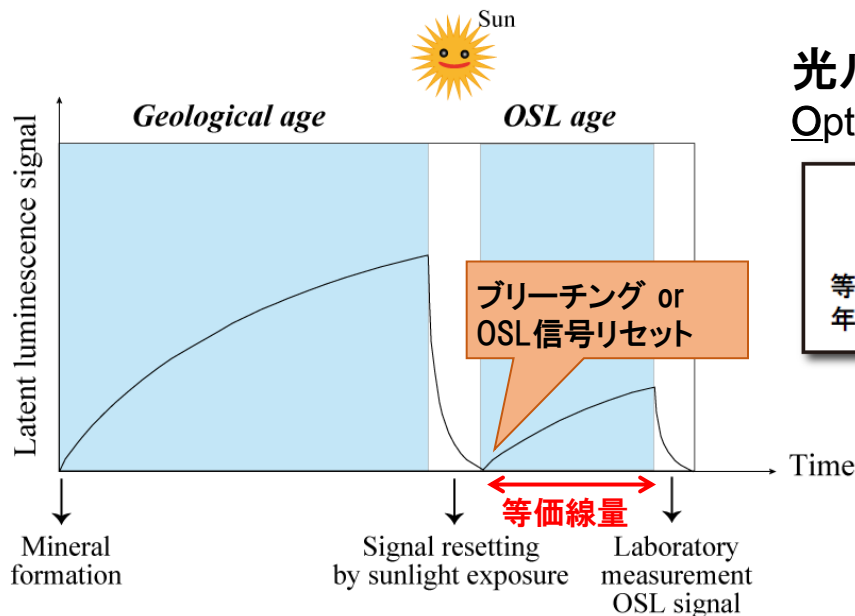
年代測定法	適用年代(年)
光ルミネッセンス(OSL)法	$10^3 \sim 3 \times 10^5$
U-Th法	$10^3 \sim 5 \times 10^5$
U-Pb法	$10^6 \sim 10^9$
希ガス法	$10^3 \sim 10^7$



3-5①光ルミネッセンス測定システムの整備

【目 標】

河成段丘堆積物の形成年代を直接測定することを目指し、OSL年代測定法により段丘堆積物試料を測定する技術を開発する。



光ルミネッセンス(OSL):
Optically Simulated Luminescence

$$\text{OSL年代値} = D_e / \text{Dose rate}$$

等価線量: D_e (equivalent dose、単位: Gy)
年間線量: Dose rate (単位: Gy/ky)

適用年代	$10^3 \sim 3 \times 10^5$ 年
試料	石英、長石

3-5①光ルミネッセンス測定システムの整備

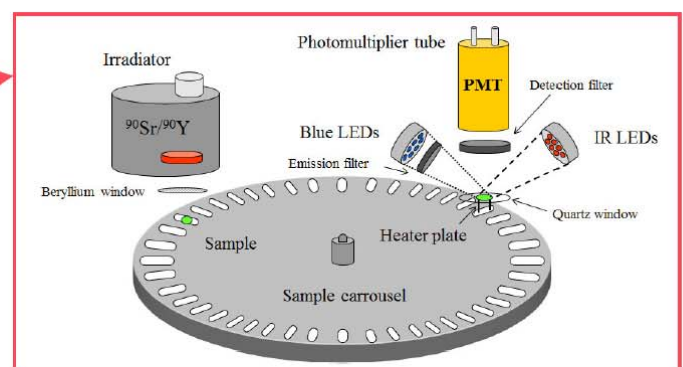
光ルミネッセンス測定装置及びストロンチウム-90ベータ線源の導入



① 測定装置 ② コントローラー ③ パソコン

Risø製TL/OSL-DA-20

- ・OSL検出器: 光電子増倍管(EMI9235QA)
- ・励起光: 発光ダイオード(青色LED, 赤色LED)
- ・試料数: 48個
- ・導入: H26.3



^{90}Sr ベータ線源

(1.48 GBq)

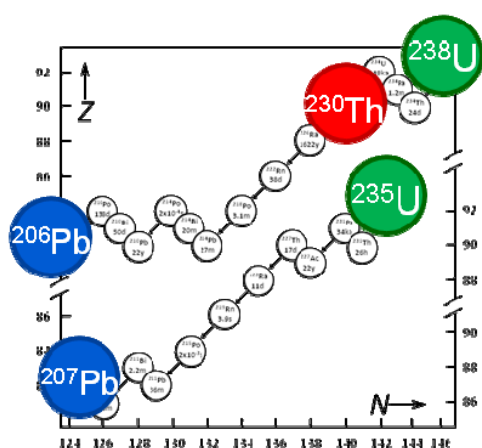
- ・変更申請許可: H26.8.8
- ・線源据付: H26.11.13

- 河成段丘堆積物中の石英や長石を用いたOSL年代測定手順の検討等

3-5②ウラン系列年代測定システムの整備

【目 標】

十万年以前の断層活動の生じた時期など地質安定性の評価を行うため、レーザーアブレーション付きマルチコレクター誘導結合プラズマ質量分析装置(LA-ICP-MS)を用いた断層岩の割れ目を普遍的に充填する炭酸塩鉱物のウラン系列の年代測定技術を開発する。



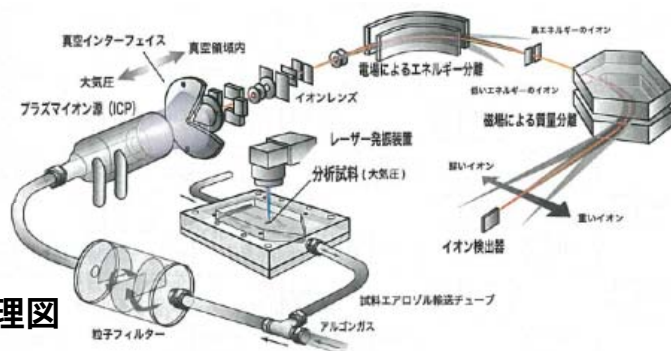
壊変系列



炭酸塩鉱物の
カソード
ルミネッセンス像
(Milodowski *et al.*, 2005)

LA-ICP-MSの原理図
(平田ほか, 2013)

適用年代	U-Th	$10^3 \sim 5 \times 10^5$ 年
	U-Pb	$10^6 \sim 10^9$ 年



3-5②ウラン系列年代測定システムの整備

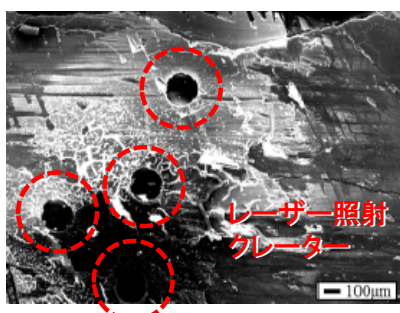
レーザーアブレーション付誘導結合プラズマ質量分析装置の導入



- **LA: Photon-machines製**
Analyte G2を採用
 - 炭酸塩鉱物への適用性、かつ汎用性を加味しエキシマレーザー搭載
- **ICP-MS: Thermo Fisher Scientific製**
NEPTUNE-plus (二重収束型誘導結合プラズマ質量分析装置)を採用
 - U-Th-Pb測定に適した16個の検出器を搭載

炭酸塩鉱物への
レーザー照射後の
二次電子像
(@JAMSTEC)

レーザービーム径:
約200 μm



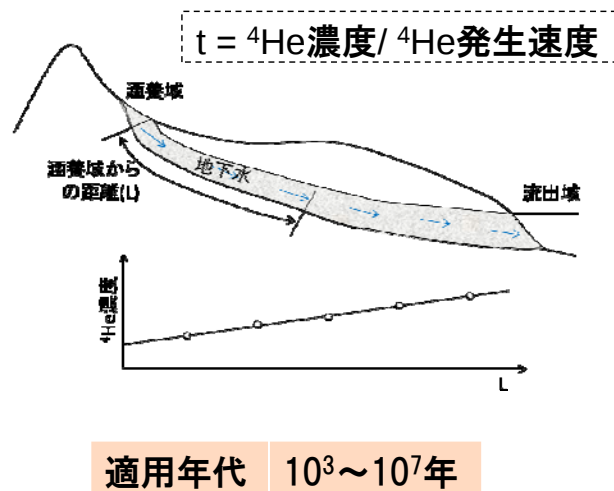
- 炭酸塩鉱物へのレーザー照射条件等の最適化
- 比較的年代測定手法の確立されたジルコンのU-Pb測定技術開発

3-5③希ガス年代測定システムの整備

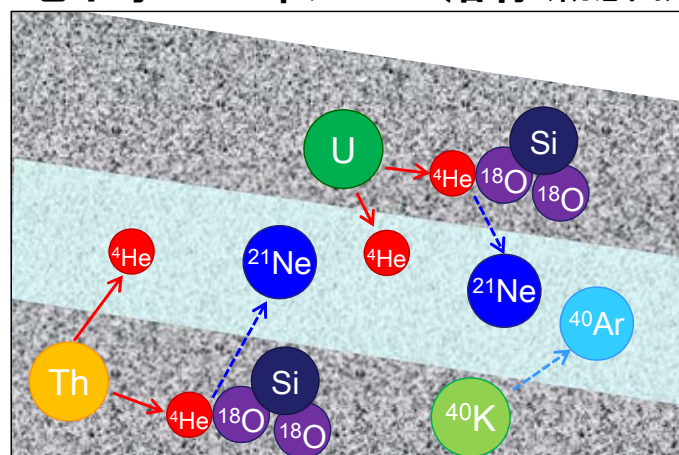
【目 標】

過去から現在までの地下水流動や水質の変化のシミュレーション結果等によるモデルの妥当性を示すため、地下水中に溶存するヘリウム-4やネオン-21、アルゴン-40を用いた年代測定技術を開発する。

地下水の ^4He 年代測定法



地下水への希ガスの溶存(概念図)



3-5③希ガス年代測定システムの整備

高精度希ガス質量分析装置の導入

希ガス精製装置
堀口鉄工所製
PEG-035
(自動化ライン付)



希ガス質量
分析装置
ISOTOPX製
NGX



希ガスMS	VG5400	NGX
検出器	ファラデーカップ:1 イオンカウンティング:1 ディリー:1	ファラデーカップ:3 イオンカウンティング:3 *同時測定可能
感度(Ar)	10^{-3} A/Torr	10^{-3} A/Torr
分析管容積	2000 cc	800 - 1000 cc

- 地下水からの希ガス回収技術及び各核種の定量・同位体分析の高度化

3 まとめ-1

【第2期中期計画の研究成果】

3-1 加速器質量分析装置を用いた宇宙線生成核種年代測定法

^{10}Be の定量法を確立し、 ^{10}Be 年代測定法を実用化

3-2 四重極型質量分析計などを用いた (U-Th) /He年代測定法

U、Th及びHeを定量する技術を整備し、(U-Th) /He年代測定法を実用化

3-3 希ガス質量分析計などを用いたK-Ar年代測定法

感度法によるK-Ar 年代測定法を実用化

極細粒な自生雲母粘土鉱物を効率的に分離する技術を整備

3-4 高分解能のテフラ同定手法

メルトインクルージョンの化学組成によってテフラを同定する手法を開発

3-5 新規年代測定システムの整備

光ルミネッセンス測定システム、ウラン系列年代測定システム、
希ガス年代測定システムの整備

3 まとめ-2

対象施設	年代測定法	年代測定範囲(年)							主な反映先	対象物質
		10 ⁹	10 ⁸	10 ⁷	10 ⁶	10 ⁵	10 ⁴	10 ³		
タンデム型加速器 質量分析装置 (ペレトロン)	^{14}C 法								断層活動	地下水, 有機物
	^{10}Be 法								隆起速度	石英
	^{26}Al 法								隆起速度	石英
	^{36}Cl 法								地下水年代	地下水
希ガス質量分析装置	K-Ar法	...							断層活動	自生雲母粘土鉱物
四重極型質量分析装置	(U-Th) /He法								隆起速度	アパタイト, ジルコン
光ルミネッセンス測定装置	OSL法								断層活動	石英, 長石
電子スピン共鳴装置	ESR法								後背地解析	石英, 炭酸塩鉱物
高精度希ガス 質量分析装置	希ガス法								地下水年代	地下水
レーザーアブレーション 誘導結合プラズマ 質量分析装置	U-Pb法								断層活動	炭酸塩鉱物
	^{230}Th - ^{234}U 法								断層活動	炭酸塩鉱物
	FT法								隆起速度	ジルコン, アパタイト

■ H24以前導入

■ H25導入

■ H26導入

■ 実用化

■ 開発中