



地質環境の長期安定性に関する研究 年度計画書  
(平成 21 年度)

Study Plan for Research on Long-Term Stability of Geological Environments  
in FY2009

安江 健一 花室 孝広 國分 陽子 石丸 恒存  
梅田 浩司

Ken-ichi YASUE, Takahiro HANAMURO, Yoko KOKUBU, Tsuneari ISHIMARU  
and Koji UMEDA

地層処分研究開発部門  
東濃地科学研究ユニット

Tono Geoscientific Research Unit  
Geological Isolation Research and Development Directorate

September 2009

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。  
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。  
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)  
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課  
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4  
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency  
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to  
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,  
Japan Atomic Energy Agency  
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan  
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2009

## 地質環境の長期安定性に関する研究 年度計画書（平成 21 年度）

日本原子力研究開発機構  
地層処分研究開発部門 東濃地科学研究ユニット  
安江 健一，花室 孝広，國分 陽子，石丸 恒存，梅田 浩司

（2009 年 7 月 16 日受理）

我が国は変動帯に位置しており，安定大陸に位置する欧米諸国に比べて，地震や火山活動などが活発である。地層処分においては，まず安定な地質環境を選んだうえで，そこに適切な多重バリアシステムを構築することが，安全確保の基本的な考え方である。このため，地質環境の長期安定性に関する研究においては，地層処分の場としての地質環境に重要な変化をもたらす可能性のある地震・断層活動，火山活動，隆起・侵食，気候・海水準変動などの天然現象に着目して，それらの有無や程度が文献から明らかでない場合に適用する調査技術や天然現象が地質環境に及ぼす影響を評価するための調査技術・解析手法に係る研究を進めている。

平成 21 年度は，我が国の地質環境において地層処分システムの成立性に重大な影響を及ぼす天然現象の存在や，その現象の変動履歴をあらかじめ確認するための調査技術に関する研究を進めるとともに，将来の天然現象に伴う地質環境条件の変化を予測・評価するための手法を整備する。また，加速器質量分析装置，希ガス質量分析装置などを用いた年代測定技術の開発を行う。

---

東濃地科学センター（駐在）：〒509-5102 岐阜県土岐市泉町定林寺 959-31

**Study Plan for Research on Long-Term Stability of Geological Environments in FY2009**

Ken-ichi YASUE, Takahiro HANAMURO, Yoko KOKUBU, Tsuneari ISHIMARU  
and Koji UMEDA

Tono Geoscientific Research Unit  
Geological Isolation Research and Development Directorate  
Japan Atomic Energy Agency  
Izumi-cho, Toki-shi, Gifu-ken

(Received July 16, 2009)

The Japanese islands lie in a region of the Circum-Pacific orogenic belt characterized by active tectonics such as volcanism and earthquakes. The concept of geological disposal of HLW in Japan is based on a multi-barrier system which consists of the engineered barrier in the stable geological environments and the natural barrier. The natural phenomena which potentially affect the geological environments in tectonically active Japan are volcanism, faulting, uplift, denudation, climatic change, and sea-level change. Investigation technologies to evaluate their long-term stability of the geological environments have been developed.

In fiscal year 2009, we continue researches to develop technologies for detecting latent geotectonic events in preliminary investigation. With regard to modelling technology, we plan to develop prediction models for evaluating the changes of geological environment (e.g., thermal, hydraulic, mechanical, and geochemical conditions) for long term. In addition to these, the development of dating techniques prerequisite for these studies is also carried out.

Keywords: Geological Disposal of HLW, Long-Term Stability of Geological Environments, Faulting, Volcanism, Uplift, Denudation, Climatic Change, Sea-Level Change

目次

1. 研究の概要	1
1.1 調査技術の開発・体系化	2
1.2 長期予測・影響評価モデルの開発	2
1.3 年代測定技術の開発	3
1.4 研究成果の取りまとめと評価	3
2. 平成 21 年度の研究計画	4
2.1 地震・断層活動に関する研究	4
2.1.1 断層の発達履歴・活動性に関する調査技術	4
2.1.2 地震・断層活動の影響評価モデルの開発	5
2.2 火山・地熱活動に関する研究	7
2.2.1 火山・熱水活動履歴の調査技術	7
2.2.2 地下深部のマグマ・高温流体などの調査技術	8
2.2.3 火山・地熱活動の長期予測・影響評価モデルの開発	9
2.3 隆起・侵食／気候・海水準変動に関する研究	11
2.3.1 古地形・古気候の復元調査技術	11
2.3.2 地形変化モデルの開発	12
2.4 年代測定技術開発	14
参考文献	15

Contents

1. Overview of research on long-term stability of the geological environment .....	1
1.1 Development and systematization of investigation techniques .....	2
1.2 Development of models for long-term prediction and effective assessment .....	2
1.3 Development of dating techniques .....	3
1.4 Report and evaluation of result of study .....	3
2. Study plan in fiscal year 2009 .....	4
2.1 Study on earthquake and fault movement .....	4
2.1.1 Investigation techniques for evolutionary history and activity of fault .....	4
2.1.2 Development of effective assessment model of earthquake and fault movement .....	5
2.2 Study on volcanology and geothermics .....	7
2.2.1 Application of thermochronological techniques .....	7
2.2.2 Detecting technique for crustal magma and high-temperature fluids .....	8
2.2.3 Development of models for long-term volcanic and geothermal hazards .....	9
2.3 Study on uplift, denudation, climatic change and sea-level change .....	11
2.3.1 Investigation techniques for paleo-topography and paleo-climate .....	11
2.3.2 Development of modeling techniques for landform changes .....	12
2.4 Development of dating techniques .....	14
References .....	15

## 1. 研究の概要

我が国における地層処分の概念は、地質環境の長期的な安定性について特に配慮し、「安定な地質環境」に、多重バリアシステムを構築するという特徴がある。すなわち、天然現象によって地層処分システムの性能が著しく損なわれるおそれのないようなサイトを選ぶことが前提であり、その上で、サイトの地質環境条件やその長期的な変化を見込んで、合理的な多重バリアシステムを構築し、長期的な安全性を確認することが必要となる。そのため、サイトの評価にあたっては、火山活動などのように地層処分システムの性能に著しい影響を与える現象が新たに発生する可能性や地殻変動などによって生じる地質環境条件（例えば、水理、水質、岩盤物性）の長期的な変化をあらかじめ検討しておくことが重要である。日本原子力研究開発機構（以下、「原子力機構」）では、「深地層の科学的研究」（原子力委員会、2005<sup>1)</sup>）の一環として、天然現象に伴う地質環境の変化を予測・評価するための調査技術の体系化やモデル開発など（「地質環境の長期安定性に関する研究」（原子力機構、2005<sup>2)</sup>））を実施している。この地質環境の長期安定性に関する研究は、日本全国を対象とした事例研究による調査技術や評価・解析手法の開発など、事象ごとの研究を東濃地科学研究ユニットで実施し、幌延地域を事例とした研究を幌延深地層研究計画の一部として幌延深地層研究ユニットで実施している。本計画書は、東濃地科学研究ユニットにおける研究を対象としている。

「わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性－地層処分研究開発第2次取りまとめ」（核燃料サイクル開発機構、1999<sup>3)</sup>）（以下、「第2次取りまとめ」）では、関連する地球科学の分野に蓄積された情報や知見を分析するとともに、地層や岩石の年代測定などを補足的に実施し、過去から現在までの活動の中に認められる傾向や規則性に基づいて、天然現象の将来の活動の可能性や変動の規模などを検討した。その結果、地層処分に適した安定な地質環境が我が国にも広く存在するとの見通しが得られた。また、その科学的な根拠となる基盤情報として、活断層や第四紀火山、海成段丘の分布・形成年代などに関する全国レベルでのデータベースを整備した。

「第2次取りまとめ」以降は、我が国の地層処分計画が事業段階に進展したことを踏まえ、「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」<sup>4)</sup>（以下、「最終処分法」）に定められた段階的な処分地選定の要件や「高レベル放射性廃棄物の処分に係る安全規制の基本的考え方について（第1次報告）」（原子力安全委員会、2000<sup>5)</sup>）を念頭において、また、「第2次取りまとめ」やその評価（例えば、原子力委員会 原子力バックエンド対策専門部会、2000<sup>6)</sup>; OECD/NEA, 1999<sup>7)</sup>）の過程で明らかにされた課題に焦点を当てて研究を進めた。具体的には、「高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発の全体計画」（核燃料サイクル開発機構、2001<sup>8)</sup>）に示したように、地形変化や非火山地域の温度異常など、注目すべき現象のモデル化やメカニズムの解明に焦点をあてた事例研究及び調査・解析手法の整備を進めるとともに、「第2次取りまとめ」までに整備した全国レベルでのデータベースの拡充を継続した。

その後、原子力安全委員会から、「高レベル放射性廃棄物の概要調査地区選定段階において考慮すべき環境要件について」（原子力安全委員会、2002<sup>9)</sup>）（以下、「環境要件」）が示され、これを踏まえて、2002年12月には原子力発電環境整備機構による「高レベル放射性廃棄物の最終処分施設の設置可能性を調査する区域」の公募が始まり、その中で「概要調査地区選定上の考慮事項」が公表された。また一方で、「高レベル放射性廃棄物処分の安全規制に係る基盤確保に向けて」（総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 廃棄物安全小委員会、2003<sup>10)</sup>）により、安全規制にとって重要な研究分野や課題が示されるなど、研究開発を進めていく上での方向性や課題がより明確になってきた。さらに、「高レベル放射性廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体計

画」(資源エネルギー庁・原子力機構, 2006<sup>11)</sup>)により, 安定な地質環境を選定する視点に加え, 選定された場の安定性や長期的な変化を評価する視点が加わった研究開発計画が示された。

このような状況の進展を受け, 原子力機構では, 最新の科学的知見・情報を取り込んだ全国レベルでの天然現象に関するデータベースの更新や個別現象の理解といった基盤的な研究を継続する一方で, 概要調査地区などの選定や安全規制に必要となる調査技術や評価手法の整備に重点をおいて研究を進めることとした(梅田ほか, 2005<sup>12)</sup>)。具体的には, 研究成果をタイムリーに反映していけるよう, 処分事業や安全規制のスケジュールを考慮して, 以下の3つの目標を設定し取り組んでいる。

- ・調査技術の開発・体系化: 天然現象に関する過去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(精密調査地区などの選定や安全性の検討に必要となるデータの取得)
- ・長期予測・影響評価モデルの開発: 将来の天然現象に伴う地質環境条件の変化を予測・評価するための手法の整備(天然現象による影響を考慮した安全評価への反映)
- ・年代測定技術開発: 加速器質量分析装置, 希ガス質量分析装置などを用いた最新の年代測定技術の開発・整備

### 1.1 調査技術の開発・体系化

調査技術の開発・体系化については, 原子力安全委員会の「環境要件」<sup>9)</sup>に示されているように, 文献から隆起・侵食量が明らかでない場合, 活断層や第四紀に活動したことのある火山の有無に関する判断ができない場合は, 概要調査地区及びその周辺地域において, 隆起・侵食量の程度, 活断層や第四紀火山などの存在の有無を確認することが必要であり, そのための調査技術を整備することが不可欠である。このため, 個別の要素技術の開発・改良のほか, それぞれの地質環境に応じた最適な技術の組合せを提示することを目指している。また, 地層処分システムに重大な影響を及ぼすと想定される現象の潜在的なリスクを排除するため, 地表付近で不明瞭となる震源断層, マグマ・高温流体などの存在をあらかじめ確認しておく必要がある。これらについては, 地球物理学的データの観測・解析などが主体となるが, 地球化学的な手法を併用することにより, 調査技術の体系化と信頼性の向上を目指している。

一方, 「最終処分法」<sup>4)</sup>によると, 過去においても概要調査地区及びその周辺地域において地層処分システムの性能に著しい影響を及ぼすような現象が発生した痕跡がないことを確認することが必要となる。これらについては, 過去数十万年の地殻変動, 火成活動などの履歴のみならず, 地質環境が有する水理, 水質, 岩盤物性などの性質が大きく変化していないことを直接的(例えば, 断層破碎帯・プロセスゾーンの岩盤物性, 熱水変質帯の熱史), あるいは間接的(例えば, 過去の水理を推定するための古地形)に示すデータを取得するための調査技術を整備していく必要がある。現段階では, 最終的な体系化に向け, 主に個別の要素技術の開発や既存の調査技術の適用性の確認などを進めており, 「断層の発達履歴・活動性に関する調査技術」, 「火山・熱水活動履歴の調査技術」, 「地下深部のマグマ・高温流体などの調査技術」, 「古地形・古気候の復元調査技術」などの研究課題に取り組んでいる。

### 1.2 長期予測・影響評価モデルの開発

長期予測・影響評価モデルの開発では, 地殻変動, 火山活動などに伴う地質環境条件の変動幅などを現象の発生の可能性を含めて予測するための評価手法の確立を目指している。

予測・評価についての方法論としては, 「第2次取りまとめ」<sup>3)</sup>でも述べているように, 過去か



ら現在までの現象の変動傾向から将来を外挿する方法や現象の生起を統計的に求めて発生確率を予測する方法などが基本となる。さらに、今後は経験則に加えて現象のプロセスを考慮した数値シミュレーションの研究開発を進めていくことにより、予測・評価に対する科学的信頼性の向上を図っていくことが重要となる。具体的には以下のアプローチをとる。

- ・現象を理解するための、過去から現在までの地質・地球物理・地球化学データの取得
- ・データに基づく現象の理解と概念モデルの構築
- ・現象の発生の可能性及び地質環境条件の変化の幅を予測するための数値シミュレーションモデルの開発

これらの結果は、例えば、断層活動に伴う周辺岩盤の歪や地形変化に伴う動水勾配などの変化の幅として、工学的対策や安全評価に反映されることになる。また、モデル開発に際しては、取得したデータの品質（例えば、物理探査などの分解能、分析方法に係る誤差・精度）やモデルの信頼性、検証方法やその方法の妥当性などを検討しつつ、予測・評価結果に係る確からしさを定量的に把握する必要がある。

現段階における長期予測・影響評価モデルの開発では、「環境要件」<sup>9)</sup>に示された今後検討すべき課題を考慮しつつ、「地震・断層活動の影響評価モデルの開発」、「火山・地熱活動の長期予測・影響評価モデルの開発」、「地形変化モデルの開発」などの研究課題に取り組んでいる。

構築されたモデルの妥当性を確認するためには、モデルに類似した現象の過去の痕跡（ナチュラル・アナログ）を調査することによって得られたデータとの比較・検証を行うことが必要であるとともに、地質環境の長期安定性に係る評価の信頼性を向上させるためには、個別の現象あるいは複合的な現象によって地質環境条件が長期的にどのように変化してきたかを示す傍証の事例を蓄積することが有効である。このような観点から、現段階では、熱水活動に伴う地質環境条件の変化に関する情報や地震動が地下空洞へ及ぼす影響に関する情報の収集・整備などに取り組んでいる。

### 1.3 年代測定技術の開発

年代測定技術開発については、地質環境の長期安定性に関する研究を進める上で必要になる放射年代データの提供を目的として、これらに必要なシステムを整備する。具体的には、加速器質量分析装置については、これまで実施してきた放射性炭素年代測定に加えて、ベリリウム同位体を用いた年代測定の技術開発を進める。また、希ガス質量分析装置を用いたウラン・トリウム・ヘリウム法やカリウム・アルゴン法などの年代測定システムの整備を進める。

### 1.4 研究成果の取りまとめと評価

平成 21 年度は、原子力機構の「独立行政法人日本原子力研究開発機構の中期目標を達成するための計画（中期計画）（平成 17 年 10 月 1 日～平成 22 年 3 月 31 日）」<sup>2)</sup>における最終年度に当たることから、平成 17 年度以降の研究成果の取りまとめを行うとともに、「地質環境の長期安定性研究検討委員会」などの外部専門家による委員会においてレビューを行う。また、研究成果の進捗や達成レベルを踏まえつつ、第 2 期中期計画（平成 22 年 4 月 1 日～平成 27 年 3 月 31 日）の策定を行う。

## 2. 平成 21 年度の研究計画

### 2.1 地震・断層活動に関する研究

#### 2.1.1 断層の発達履歴・活動性に関する調査技術

##### (1) 目的

「最終処分法」<sup>4)</sup>によると、精密調査地区の選定は、概要調査地区及びその周辺地域において、地表踏査、物理探査、ボーリングなどによる調査（概要調査）によって、「当該概要調査地区内の最終処分を行おうとする地層及びその周辺の地層において活断層がある場合に、これらが坑道その他の地下の施設に悪影響を及ぼすおそれが少ないと見込まれること」を確認する必要があるとされている。そのため、概要調査では、活断層のみならず、地層処分に影響を及ぼすと想定される断層の存在や活動性、発達レベルなどの情報を得るための調査技術を整備することが不可欠となる。そのため、第 1 期中期計画においては、「①断層の発達履歴に関する調査技術」及び「②断層の活動性に関する調査技術」に焦点を絞った研究開発を進めてきた。

断層の発達履歴を検討する上では、断層の屈曲、断層連続部、ステップ部、端部などの不均質部（以下、「断層の不均質構造」）や副次断層の形成、また、断層端部における断層の伸長や分岐断層の形成を考慮する必要がある。これまでは、総延長数十 km 規模の活断層帯である跡津川断層帯及び阿寺断層帯を事例対象とした地質調査を行い、破碎帯の分布や性状の概要を把握し、断層の不均質構造の特徴や副次断層などの形成過程について検討してきた。本年度は、これらの研究成果の取りまとめを行うとともに、これらの調査技術を提示していく。

一方、伏在活断層や低活動性で変動地形の明瞭でない活断層、未成熟な活断層など、いわゆる未知の活断層と呼ばれる断層を概要調査などによって確認することは、地層処分の安全性を確保する点から重要な課題である。これらの断層は、近年の変動地形学や地球物理学の進歩によって高い確度で識別されることが予想されるが、調査技術のさらなる信頼性の向上を図るため、これまで研究事例が少なかった地球化学的アプローチによる調査手法の可能性について検討を進めている。これまでは、断層破碎帯などから放出される様々なガスのうち、主に水素に着目し、簡易型の水素ガス測定装置を開発するとともに、代表的な活断層と地質断層において放出量を測定してきた。本年度はこれらのデータの取りまとめを行うとともに、地震学的データ、測地学的データなどを併せて断層ガスと断層の活動性との関連について検討する。

##### (2) 実施内容

#### ①断層の発達履歴に関する調査技術の整備

これまで事例研究を進めてきた跡津川断層帯及び阿寺断層帯について、破碎帯の分布や性状に基づき、断層の不均質構造の特徴や副次断層などの形成過程について取りまとめを行うとともに、これらの調査技術を提示する。また、破碎帯の分布頻度や露頭～顕微鏡スケールの変形構造、割れ目充填物質の鉱物組成・化学組成などに関する情報の取りまとめを通じて、断層活動に伴う力学的影響範囲（例えば、破碎帯の分布頻度）に関する知見を提示する。

#### ②断層の活動性に関する調査技術の整備

地震活動が活発的な地域において、補足的に水素、メタン、二酸化炭素などの断層ガスのデータを取得する。また、これまで取得したデータの整理・取りまとめを行うとともに、地震学的データ、測地学的データなどとの関連性について検討する。

(3) スケジュール（当面 5 年間の計画）

実施内容	H18	H19	H20	H21	H22
①断層の発達履歴に関する調査技術の整備	<ul style="list-style-type: none"> <li>断層の不均質部を考慮した破碎帯の分布と性状の把握 (地質調査, 検鏡)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>副次断層及び分岐断層を考慮した断層帯の分布及び発達履歴に関する調査手法の提示 (地質調査, 検鏡, 化学分析)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>長さ数 km 以下の小規模断層を対象とした破碎帯の分布と性状の把握 (地質調査, 検鏡, 化学分析)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>断層の不均質構造や副次断層, 断層破碎帯などの調査技術の提示</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>断層の消長や発達レベルを示すための調査技術の開発</li> </ul>
②断層の活動性に関する調査技術の整備	<ul style="list-style-type: none"> <li>破碎帯における水素ガス濃度測定手法の整備</li> <li>破碎帯の露頭スケールにおける変形構造の把握</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>活断層及び地質断層における水素ガス放出量分布の把握</li> <li>破碎帯の微細変形構造及び割れ目充填物質の鉱物組成・化学組成の把握</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>断層帯における水素・メタン・二酸化炭素などのガスの放出量分布の比較</li> <li>破碎帯の変形構造及び割れ目充填物質の鉱物組成・化学組成と断層の活動性との関係に関する検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>水素ガスを用いた断層の活動性に関する調査技術の提示</b></li> </ul>	終了

2.1.2 地震・断層活動の影響評価モデルの開発

(1) 目的

断層活動による地層の変形（地形変形）については、四国の中央構造線を事例対象とした空中写真判読と地殻変動解析（Coulomb3.0: Lin and Stein, 2004<sup>13)</sup>; Toda et al., 2005<sup>14)</sup>）を行い、断層帯の不均質構造を踏まえた地形の変形の特徴について検討を進めた。さらに、岩盤の破碎や地層の変形の影響範囲を把握するための解析手法の開発の一つとして、DEM（Digital Elevation Model；数値標高モデル）データを利用した地形要素解析技術の検討を行った。本年度は、これまで得られてきた研究成果を取りまとめるとともに、応力場の変化に伴う地質断層の再活動の評価に関する研究に着手する。

一方、将来の断層の伸展や破碎帯の拡大などの可能性を評価するためには、断層の発達過程をモデル化し、数値シミュレーションなどによってそれらを予測することが重要となる。その第一段階として、既存の地質学的データ、地震学的データ及び測地学的データを用いて、断層の発達過程の検討を行うとともに、それらに基づく断層の分類を試みる。

なお、地震動に伴う地質環境条件の変動幅を把握するため、これまでに我が国に現存する地下空洞（例えば、鍾乳洞や人工物）の変状と歴史地震などに関する情報収集を行ってきた。また、地震に伴う地下水変化などの情報収集も併せて実施してきた。本年度は、これらの情報の取りまとめを行い、その変動幅を提示する。また、これらの結果に基づき、地震動の影響に関する予察的な数値解析を実施する。

(2) 実施内容

①断層帯における力学的影響モデルの検討

これまでに実施した中央構造線などを事例対象とした地殻変動解析や DEM データによる地形要素抽出の結果と現地で取得したデータ（例えば、地形・地質データ、地下構造データ、リモートセンシングデータ）との比較・検討を行い、断層活動に伴う周辺岩盤の変形領域に関する数値解析手法の適用性・問題点について整理を行う。また、応力場の変化に伴う地質断層の再活動

を評価するための、断層と断層間物質の相互作用などを取り扱える既存の解析コードを調査するとともに、適用性・問題点を整理する。

②断層の発達過程のモデル化

気象庁一元化震源データを用いて、震源分布、規模、初動発震機構解、CMT (Centroid Moment Tensor ; セントロイド・モーメント・テンソル) 解などの解析を行う。また、GPS (Global Positioning System ; 全地球測位システム) データや産業技術総合研究所の活断層データベースに掲載されている断層パラメータとの関連性について統計的に解析を行う。さらに、地質学的データ、地震学的データ及び測地学的データに基づく断層の発達過程の概念モデルを構築するとともに、それに基づく断層の分類を試みる。

③地震動の地質環境への影響に関する検討

これまでに収集・整理した情報に基づいて、地震動が地下空洞や地下水へ与える影響の程度について、地形・地質・地下構造データと照らし合わせながら、その変動幅を提示する。

(3) スケジュール (当面5年間の計画)

実施内容	H18	H19	H20	H21	H22
①断層帯における力学的影響モデルの検討		<ul style="list-style-type: none"> <li>DEM データを利用した地形要素解析技術の検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>断層帯の形成過程のモデル化のための情報の収集 (例えば、アナログ実験, 数値解析)</li> <li>谷密度と水系パターンの解析及び断層帯に特徴的な地形要素の抽出</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>周辺岩盤の変形領域に関する数値解析手法の有効性の提示</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>応力の変化に伴う地質断層の活動性の評価</li> </ul>
岩盤の破碎にかかわる力学的影響	<ul style="list-style-type: none"> <li>断層の不均質部を考慮した破碎帯の分布, 性状, 変形構造の把握</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>断層帯周辺岩盤の小断層, 割れ目, 充填鉱物などの広域的な分布と性状の把握</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>割れ目充填物質の鉱物組成・化学組成などに基づく風化・変質及び断層破碎に伴う性状変化の特徴の整理</li> </ul>		
地層の変形にかかわる力学的影響	<ul style="list-style-type: none"> <li>断層活動に伴う地形変化の特徴の把握 (空中写真判読, 地殻変動解析)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>断層帯の構造の不均質性を考慮した地殻変動解析手法の検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地殻変動解析結果の現地調査データでの検証 (例えば, 測量, 年代測定)</li> </ul>		
②断層の発達過程のモデル化				<ul style="list-style-type: none"> <li><b>地質学的, 地震学的及び測地学的データを用いた断層の発達過程の検討及びそれらに基づく断層の分類</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地質学的, 地震学的及び測地学的データを用いた断層の発達過程の検討及びそれらに基づく断層の分類</li> </ul>
③地震動の地質環境への影響に関する検討		<ul style="list-style-type: none"> <li>日本に現存する地下空洞と歴史地震などに関する情報の収集・整理</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地震動の影響に関する予察的な数値解析, 地下空洞の変状調査</li> <li>地震に伴う地下水変化などの情報収集</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>地震動に伴う地質環境条件の変動幅の提示</b></li> </ul>	終了

## 2.2 火山・地熱活動に関する研究

### 2.2.1 火山・熱水活動履歴の調査技術

#### (1) 目的

「最終処分法」<sup>4)</sup>によると、精密調査地区の選定は、概要調査地区及びその周辺地域において、地表踏査、物理探査、ボーリングなどによる調査（概要調査）によって「対象地層等において自然現象による地層の著しい変動が長期間生じていないこと」を確認することとされている。火山活動については、対象地域において過去の噴火活動や熱水活動などの存在の有無を確認することが必要となることから、これらを調査するための技術の整備を進めている。

また、原子力安全委員会（2002）<sup>9)</sup>によると「第四紀に活動したことがある火山の有無に関する判断が文献調査からできない場合は、概要調査あるいはそれ以降の調査において、検討する必要がある」ことが示されていることから、当面は、地表踏査や室内試験などによって第四紀火山を認定するための調査技術（第四紀火山噴出物の同定）を整備する必要がある。これまでの研究開発では、主にテフクロノロジーによる噴火史の編纂手法（多量屈折率測定地質解析法）を提示するとともに、更新世後期～完新世の編年に有効な手法であることを確認した。本年度は、保存状況の悪いテフラの同定を可能とするため、石英や斜長石に含まれるメルトインクルージョンの化学組成を指標とした手法の検討を行う。

一方、マグマなどの高温物質から放出される熱エネルギーや火山ガスなどによって、その周辺では地温の上昇のほか、熱水対流系の形成、地下水や岩石の化学組成の変化などの現象が想定されている。そのため、概要調査に際しては、過去に生じた上記の現象の痕跡の有無を確認するための調査技術を整備していくことが重要となる。これについては、鉱物の絶対年代とその閉鎖温度（地質温度計）を利用した熱年代学的な手法によって、過去の古地温・熱水系を復元するための調査技術に取り組んでいる。本年度は、地熱活動を伴う地質イベント（非火山地帯の熱水活動、地下深部の断層運動）を事例とした熱履歴の解析手法の検討を行う。

#### (2) 実施内容

##### ①多量屈折率地質解析法（RIPL法）による鮮新統～第四系の編年の検討

RIPL法は、火山ガラスや鉱物の屈折率、主成分組成の定量を行い、試料中（レス）に含まれるテフラを同定する手法である。しかしながら、鮮新世～第四紀前半のテフラの多くは、火山ガラスの保存状況が悪いため、分析ができない場合が多い。一方、斜長石も多くの場合、風化などによる変質を伴うが、これらに包有されているメルトインクルージョンは、新鮮な状態で保存されている場合がある。本年度は、これらのメルトインクルージョンの化学組成に基づき、鮮新世～第四紀前半の保存状況の悪いテフラ（例えば、瀬戸層群中のテフラ）の同定を試みる。

##### ②非火山性熱水鉱床を利用した熱履歴解析手法などの整備

これまで非火山性熱水鉱床を対象に進めてきた研究の成果を踏まえ、ボーリングや坑道で遭遇した熱水変質帯や断層などの活動（形成）年代を把握するとともに、これらの発達過程を推定するための熱年代学的アプローチによる調査技術を整備する。本年度は、中部地方の主要な活断層のほか、超深地層研究所計画で得られたボーリングや坑道から採取した断層岩や周辺岩盤を対象として各種放射年代測定、主成分分析、同位体分析などを行う。

(3) スケジュール（当面5年間の計画）

実施内容	H18	H19	H20	H21	H22
① RIPL 法による鮮新統～第四系の編年の検討			終了		
	・鮮新統～第四系の編年への適用性の検討	・鮮新統～第四系の編年への適用性の検討	・メルトインクルージョンを用いたテフラ同定法の検討	・メルトインクルージョンを用いたテフラ同定法の検討	・メルトインクルージョンを用いたテフラ同定法の検討
② 非火山性熱水鉱床を利用した熱履歴解析手法などの整備					
	・K-Ar法, TL法, FT法による熱履歴解析 ・同位体組成に基づく熱源の判別手法の検討	・変質分帯, 熱年代学的手法による総合的な熱履歴解析 ・同位体組成に基づく熱源の判別手法の検討	・変質分帯, 熱年代学的手法による総合的な熱履歴解析 ・流体包有物のガス組成に基づく熱源の判別手法の検討	・熱年代学的アプローチによる断層の活動性に関する調査技術の検討	・熱年代学的アプローチによる断層の活動性に関する調査技術の検討

2.2.2 地下深部のマグマ・高温流体などの調査技術

(1) 目的

概要調査に際しては、対象地域やその周辺において、第四紀火山や過去の熱水活動などの痕跡を確認するための技術のほか、将来、地層処分システムに重大な影響を及ぼすと想定される現象（例えば、断層活動、火成活動）の潜在的なリスクを排除するため、地下深部のマグマ・高温流体などの存在の有無を把握するための調査技術を整備していくことが重要である。そのため、原子力機構では、地震波速度構造、比抵抗構造、希ガス同位体などといった地球物理学的、地球化学的データを用いた総合的な調査・解析手法の構築を目指している。本年度は、海水や潮流などが観測データの品質（S/N比（シグナル/ノイズ比））に及ぼす影響を定量的に評価するとともに、三次元インバージョン解析の実用化を図る。また、内陸地震を引き起こす震源断層の構造を明らかにするため、特に、未成熟な活断層を事例とした研究を進める。さらに、高温異常域や活構造帯などを把握するための地球化学的手法を検討するため、文献調査や事例研究などを通じて、温泉ガスや地下水（溶存ガス）などとして放出される揮発性物質の主成分・同位体組成の特徴を取りまとめる。

(2) 実施内容

①比抵抗構造解析技術の検討

沿岸域の震源断層などを事例に、地磁気・地電流の観測を行い、海水や潮流が観測データの品質（S/N比）に及ぼす影響を定量的に評価する。また、既存の三次元インバージョン解析コードの適用性を検討するとともに、沿岸域における最適なMT法（Magnetotelluric Method；地磁気・地電流法）調査手法を提案する。さらに、人工ノイズ（特に、直流の鉄道）がMT法に及ぼす影響範囲を定量的に示す。

②地球化学データに基づく評価手法の検討

活断層及び地質断層のほか、断層の性状（正断層、逆断層、横ずれ断層）や規模（成熟～未成熟、活動開始年代）、テクトニックな環境の違いなどによる揮発性物質の主成分・同位体組成の特

徴を取りまとめるため、文献調査や事例研究による温泉ガスや地下水の遊離ガスの採取及び化学分析を実施する。また、揮発性物質を用いた地球化学的手法による断層の分布・活動性などの評価手法について検討する。

(3) スケジュール（当面5年間の計画）

実施内容	H18	H19	H20	H21	H22
①比抵抗構造解析技術の検討	・朝日・飯豊山地の地磁気・地電流観測	・朝日山地，能登半島の二次元インバージョン解析 ・地震波速度構造と比抵抗構造のマッチング解析	・海水・潮流が観測データに及ぼす影響の評価 ・三次元インバージョン解析コードの適用性の検討 ・人工ノイズが卓越した地域におけるMT法の適用性の検討	・海水・潮流が観測データに及ぼす影響の評価 ・三次元インバージョン解析コードの適用性の検討 ・人工ノイズが卓越した地域におけるMT法の適用性の検討	・地震データなどを用いた解析結果の信頼性指標の検討。 ・震源断層の調査技術としての適用性の検討
③地球化学データに基づく評価手法の検討	・マグマ・高温流体などの希ガス同位体などによる評価手法の検討	・マグマ・高温流体などの希ガス同位体などによる評価手法の検討	・マグマ・高温流体などの希ガス同位体などによる評価手法の検討	・活構造などの希ガス同位体などによる評価手法の検討	・活構造などの希ガス同位体などによる評価手法の検討

2.2.3 火山・地熱活動の長期予測・影響評価モデルの開発

(1) 目的

我が国の火山活動は、火山列や火山地域と呼ばれるある特定の地域に偏在する傾向が認められる。しかしながら、火山フロントより日本海側では、火山の分布は離散的であり、明瞭な火山地域を形成しない。また、西南日本には独立単成火山群が広く分布しているが、これらは同一の火道から噴火を繰り返す複成火山とは異なり、その活動範囲を推定することは困難である。そのため、火山フロントよりも日本海側の地域における新たな成層火山の形成や単成火山群の周辺地域における単成火山の発生の可能性については、今後の検討課題とされている（原子力安全委員会，2002<sup>9)</sup>；総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 廃棄物安全小委員会，2003<sup>10)</sup>）。

対象地域において、火山活動の発生の可能性を検討するためには、概要調査などで第四紀火山の存在や過去の熱水活動の痕跡のほか、地下深部のマグマや高温流体などの存在の有無を確認することが基本となるが、地層処分の信頼性をさらに高めるためには、長期予測の方法論やモデル化についての研究開発を進めることにより、安全評価に反映させていくことが重要である。これまでの研究開発では、過去の地質データに基づき、確率論的アプローチによる予測モデル（確率モデル）の構築を進めてきた。本年度は、確率モデルの信頼性を向上させるため、地震波速度や地殻熱流量などの地球物理データや火山ガスや温泉ガスのヘリウム同位体比などの地球化学データをベイス法により結合させた **multiple inference** モデルの開発を進める。

一方、火成活動が地質環境に及ぼす影響としては、マグマや高温流体などから放出される熱エネルギーによる周辺岩盤の温度上昇のほか、熱水対流系の形成による地下水理の変化、火山ガスや熱水などの混入による水質の変化などが想定されている（原子力安全委員会，2002<sup>9)</sup>）。変動シナリオを念頭に置いた安全評価に際しては、火成活動が地質環境に及ぼす影響のほか、将来の地

質環境条件の変化などを評価するための技術開発が必要となる。そのため、本年度は、地下深部のマグマや高温流体などの熱源周辺の熱・地下水理・地球化学の変化を評価するためのシミュレーション技術の整備を進める。

(2) 実施内容

①ベイス法による multiple inference モデルの検討

これまで整備してきた、地球物理データ（例えば、地震波速度、地殻熱流量、移流熱流束）及び地球化学データ（例えば、温泉水の主成分、希ガス同位体）を基に multiple inference モデルの作成を行い、新規火山の発生確率などの検討を行う。

②熱・地下水理・希ガスなどのシミュレーション技術の検討

これまでに開発した高温・高圧領域を対象とした熱・水連成シミュレータ magma2002 を用いて非火山地帯の高温異常域の一つである能登半島などを事例に、既存データに基づいた概念モデルを作成し、そのモデルを用いて熱・地下水理のシミュレーションを行う。また、シミュレーションとヘリウム同位体比や地殻熱流量などの観測結果（実測値）との比較・検討を行い、モデル化手法の適用性を確認するとともに、問題点を抽出する。さらに、希ガスの挙動を扱えるシミュレータ（例えば、TOUGH2/EOSN）を用いて、能登半島などの熱・地下水理・ヘリウム-3, 4のシミュレーションを試行する。

(3) スケジュール（当面5年間の計画）

実施内容	H18	H19	H20	H21	H22
①ベイス法による multiple inference モデルの検討	・地殻構造の地球物理データの収集及びデータベース化	・火山・温泉ガスの地球化学データの収集及びデータベース化	・火山・温泉ガスの地球化学データの収集及びデータベース化	・multiple inference モデルの作成	● 終了
②熱・地下水理・希ガスなどのシミュレーション技術の検討	・magma2002による火山地帯の高温異常域のシミュレーション ・TOUGH2/EOSNなどの既存シミュレータの性能等の調査	・magma2002による火山地帯の高温異常域のシミュレーション ・TOUGH2/EOSNなどによる非火山地帯の高温異常域のシミュレーション	・magma2002による火山地帯の高温異常域のシミュレーション ・TOUGH2/EOSNなどによる非火山地帯の高温異常域のシミュレーション	・magma2002及びおよび TOUGH2/EOSN などによる非火山地帯の高温異常域のシミュレーション及び解析結果の比較・検討	・熱・地下水理・地球化学連成シミュレータの導入・コードの改良



## 2.3 隆起・侵食／気候・海水準変動に関する研究

### 2.3.1 古地形・古気候の復元調査技術

#### (1) 目的

「最終処分法」<sup>4)</sup>によると、精密調査地区及びその周辺地域において、地表踏査、物理探査、ボーリングなどによる調査（概要調査）によって「対象地層等において、地震等の自然現象による地層の著しい変動が長期間生じていないこと」を確認することとされている。また、原子力安全委員会（2002）<sup>9)</sup>は、「隆起・侵食量が文献調査から明らかでない場合は、概要調査あるいはそれ以降の調査において、処分施設の深度との関連も含め、隆起・侵食の進行に伴って、処分施設及び廃棄体が地表近くに接近する可能性の有無を検討する必要がある」としている。これらの確認・検討には、隆起・侵食によって形成された地形やその地形の変化に影響を与える気候について、過去から現在までの変遷を明らかにし、それらの科学的根拠に基づいて将来の変化を推定することが重要である。このため、古地形・古気候を復元するための調査技術の整備を進め、長期予測・影響評価モデルに反映する。

これまででは、主に内陸部における古地形・古気候を復元するための調査技術について既存の調査手法の適用性や体系化をすすめ、東濃地域を事例に古地理変遷モデルの構築を進めてきた。また、河成段丘形成モデルを用いた隆起量の調査手法に関する研究成果を公表するとともに、このモデルの適用が困難な地域における隆起速度推定法についての検討を行った。本年度は、東濃地域に分布する瀬戸層群や段丘堆積物を用いた古地形・古気候の把握に関する調査手法、河成段丘形成モデルに基づく隆起速度の調査手法について取りまとめる。また、河成段丘面の発達ที่乏しい地域の隆起量を推定する手法の開発として、旧河道を用いた調査手法の適用性の検討に着手する。

#### (2) 実施内容

##### ①古地形・古気候を復元するための調査技術の整備

瀬戸層群や段丘堆積物を用いた古地形・古気候の把握に関する調査成果を取りまとめて、土岐川流域の過去数百万年前以降の古地理変遷モデルを作成するとともに、古地形・古気候を復元するために必要な調査技術・手順について提示する。

##### ②河成段丘の形成モデルの検討

鑄川や土岐川などの流域における事例研究及び文献調査の成果を踏まえて、河成段丘を用いた隆起量の調査手順や適用条件について取りまとめる。また、河成段丘面の発達が乏しい西南日本において隆起量を推定する手法として、旧河道の堆積物を用いた調査手法の適用性の検討に着手する。

(3) スケジュール (当面 5 年間の計画)

実施内容	H18	H19	H20	H21	H22
①古地形・古気候を復元するための調査技術の整備	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地形変化の調査技術の適用性確認</li> <li>・東濃地域の古地形・古気候の復元と変遷の概略を検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・東濃地域における古地形・古気候の復元調査技術の整理・検討</li> <li>・東濃地域の古地理変遷の検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・古地形・古気候を復元するための調査技術の整理</li> <li>・東濃地域の古地理変遷モデルの構築</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・古地形・古気候復元調査手法の提示と古地理変遷モデルの作成</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・古地形・古気候の復元に関する一連の調査手法の提示及びマトリクス形式による地形変化史の整理例の提示</li> </ul>
②河成段丘の形成モデルの検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>・鑄川と長木川における河成段丘形成モデルの検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・鑄川と長木川における古環境に関する調査</li> <li>・河成段丘形成モデルの実証</li> <li>・河川下流域の地形変化に関する調査</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・河成段丘形成モデルが適用できない地域における隆起速度推定手法の検討</li> <li>・段丘が発達する地域の古地理変遷の例示</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・河成段丘を用いた隆起量の調査手法と適用条件の提示</li> <li>・旧河道の堆積物を用いた調査手法の検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・旧河道の堆積物を用いた調査技術の開発</li> </ul>

2.3.2 地形変化モデルの開発

(1) 目的

緩慢な現象である隆起・侵食や周期的な現象である気候・海水準変動に伴う地形変化の把握を目的として、原子力機構では、将来 10 万年間程度の地形変化をモデル化する手法の開発を進めている。これまでは、地質分布や礫径の変化を考慮して流域全体の地形変化をシミュレーションするプログラムの開発を進めるとともに、そのシミュレーションに必要な入力パラメータを取得する手法を整備するために、土岐川流域の河床や小盆地を事例として、地質分布、礫径、堆積物の厚さ、気候変化などを調査してきた。本年度は、地形変化モデルの作成にかかわる一連の調査・解析手法の手順について取りまとめる。その中で、断層活動などの地殻変動に伴う空間的な変位速度などの違いを踏まえた地形変化パラメータの設定について検討する。また、地形変化シミュレーション・プログラムで使用する方程式（理論）などについて整理し、プログラムの適用範囲や限界を提示する。

また、これまで実施してきた地形変化や気候変動などの履歴を考慮した地下水流動解析については、これまでの成果を取りまとめるとともに、今後の計画を策定する。

(2) 実施内容

①地形変化パラメータの取得

断層活動などの地殻変動に伴う空間的な変位速度などの違いを踏まえた地形変化パラメータの設定手順を検討する。

②地形変化シミュレーション技術の開発

地形変化シミュレーション・プログラムで使用する方程式や理論について、国内外の既存情報と比較しつつ整理し、現在開発中のプログラムの適用範囲や限界などについて提示する。

③地形変化モデルの作成

①, ②の結果を踏まえて, 地形変化モデルの作成に係る一連の調査・解析手法の手順について取りまとめるとともに, 当該研究における今後の計画を策定する。また, その一例として, 東濃地域を事例とした将来の地形の概念モデルの作成に着手する。

④ 地形変化及び気候変動などを考慮した地下水流動解析手法の適用

これまでの成果及び解析結果の妥当性を評価する手法について取りまとめ, 地形変化や気候変動に伴う地下水流動等の地質環境の変動幅を把握する一連の調査・解析手法を提示するとともに, 適用性・問題点を整理する。また, 当該研究における今後の計画を策定する。

(3) スケジュール (当面 5 年間の計画)

実施内容	H18	H19	H20	H21	H22
①地形変化パラメータの取得	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地質毎の地形変化パラメータの検討</li> <li>・地形変化パラメータ取得の調査手法の検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・河川域の地形変化パラメータの取得</li> <li>・入力パラメータの変化幅とシミュレーション結果の関係の検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・斜面域の地形変化パラメータの取得</li> <li>・優先的に取得が必要な入力パラメータの整理</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地殻変動に伴う地形変化パラメータの取得</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・気候変動に伴う地形変化パラメータの取得方法の検討</li> </ul>
②地形変化シミュレーション技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・東濃地域における地形変化モデルの概略を検討し, そのモデルのシミュレーションへの展開を検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・河川域と斜面域の地形変化アルゴリズムの検討</li> <li>・シミュレーション技術の他条件の場への適用検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・海水準変動などを考慮したシミュレーション技術の検討</li> <li>・実データを用いたシミュレーション</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・シミュレーション技術の適用に関する取りまとめ</li> </ul>	<p>終了</p>
③地形変化モデルの作成				<ul style="list-style-type: none"> <li>・地形変化モデルの作成にかかわる一連の調査・解析手法の手順についての取りまとめ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・東濃地域を事例とした将来の地形変化モデルの作成</li> </ul>
④地形変化及び気候変動などを考慮した地下水流動解析手法の適用	<ul style="list-style-type: none"> <li>・主な変動パラメータの推定</li> <li>・地殻変動などの長期挙動を考慮した水理地質構造概念モデルの検討</li> <li>・東濃地域を事例とした既存情報の整理と予備調査</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・断層活動と海水準変動の長期挙動を考慮した概念モデルの検討</li> <li>・古水理の復元及び変動パラメータに関する既存情報の収集及び事例調査</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実データを用いた天然現象の長期挙動を考慮した地下水流動解析の試行</li> <li>・現地調査から地下水流動解析に至る一連の調査技術・解析手法の整理</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地形変化及び気候変動などの履歴を考慮した地下水流動解析にかかわる一連の調査技術・解析手法の適用性の確認</li> </ul>	<p>終了</p>

## 2.4 年代測定技術開発

### (1) 目的

年代測定技術開発については、地質環境の長期安定性に関する研究を進める上で必要になる放射年代データの提供を目的として、これらに必要なシステムを整備する。具体的には、加速器質量分析装置については、これまで実施してきた放射性炭素年代測定に加えて、ベリリウム同位体を用いた年代測定の技術開発を進める。また、希ガス質量分析装置を用いたウラン・トリウム・ヘリウム法やカリウム・アルゴン法などの年代測定システムの整備を進める。

### (2) 実施内容

#### ①加速器質量分析装置（AMS）を用いたベリリウムなどの年代測定技術

ベリリウム同位体測定に向け、標準試料を用いて加速器質量分析装置の測定条件の最適化を行うとともに、岩石試料を対象とした前処理法について学会誌などを通じて情報を収集する。また、ペルトロン年代測定装置において塩素同位体測定を行うことを目指し、試料の前処理法及び加速器質量分析法による測定について情報を収集するとともに、測定に必要な装置の改良などに向けた検討を行う。

#### ②希ガス用質量分析装置を用いた K-Ar 法にかかわる年代測定技術

アルゴンについては希ガス用質量分析装置によって、カリウムについてはフレーム光度法によって定量を行えるよう、システムの立ち上げに着手する。

#### ③ 四重極型質量分析計を用いた(U-Th)/He 法にかかわる年代測定技術

これまで  $^4\text{He}$  の定量を行ってきた希ガス用質量分析計に代わり、四重極型質量分析計（QMS）を用いた (U-Th)/He 年代測定システムを構築する。誘導結合プラズマ質量分析装置（ICP-MS）を用いたウラン・トリウム定量法の検討を進めるとともに、標準試料による定量法の評価を行う。また、アパタイトの(U-Th)/He 年代測定法の実用化に着手する。

### (3) スケジュール（当面 5 年間の計画）

実施内容	H18	H19	H20	H21	H22
① ベリリウム の年代測定 技術			・ベリリウム同位 体の試験測定 ・装置の調整	・ベリリウム及び 塩素同位体測定用 試料の前処理法の 検討 ・装置の調整及び 測定条件の最適化	・ベリリウム測定 用岩石試料の前処 理法の開発 ・ベリリウム同位 体の実試料測定
② K-Ar 法に かかわる年 代測定技術				・システムの構築	・標準試料の測定
③ (U-Th)/He 法にかかわ る年代測定 技術	・希ガス抽出ライ ンの製作 ・ブランクと標準 試料のレーザー照 射試験	・ICP-MS による U, Th の定量 ・年代測定システ ムの試行	・標準試料による 較正 ・年代測定システ ムの運用	● 終了 ・アパタイトの (U-Th)/He 年代測 定法の実用化	・アパタイトの (U-Th)/He 年代測 定法の実用化

参考文献

- 1) 原子力委員会 (2005) : “原子力政策大綱”.
- 2) 日本原子力研究開発機構 (2005) : “独立行政法人日本原子力研究開発機構の中期目標を達成するための計画 (中期計画) (平成 17 年 10 月 1 日～平成 22 年 3 月 31 日)”.
- 3) 核燃料サイクル開発機構 (1999) : “わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第 2 次取りまとめ—分冊 1 わが国の地質環境—”, JNC TN1400 99-021.
- 4) “特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律 (平成 12 年法律第 117 号)” (2000).
- 5) 原子力安全委員会 (2000) : “高レベル放射性廃棄物の処分に係る安全規制の基本的考え方について (第 1 次報告)”.
- 6) 原子力委員会 原子力バックエンド対策専門部会 (2000) : “我が国における高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術的信頼性の評価”.
- 7) OECD/NEA (1999) : “International Peer Review of the Main Report of JNC’s H12 Project to Establish the Technical Basis for HLW Disposal in Japan”, NEA/RWM/PEER(99)2.
- 8) 核燃料サイクル開発機構 研究開発課題評価委員会 (廃棄物処理処分課題評価委員会) (2001) : “平成 13 年度研究開発課題評価 (中間評価) 報告書 評価課題「高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発の全体計画」”, JNC TN1440 2001-008.
- 9) 原子力安全委員会 (2002) : “高レベル放射性廃棄物の概要調査地区選定段階において考慮すべき環境要件について”, 21p.
- 10) 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 廃棄物安全小委員会 (2003) : “高レベル放射性廃棄物処分の安全規制に係る基盤確保に向けて”, 108p.
- 11) 資源エネルギー庁, 日本原子力研究開発機構 (2006) : “高レベル放射性廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体計画”, 110p.
- 12) 梅田浩司, 大澤英昭, 野原 壯, 笹尾英嗣, 藤原 治, 浅森浩一, 中司 昇 (2005) : “サイクル機構における「地質環境の長期安定性に関する研究」の概要—日本列島のネオテクトニクスと地質環境の長期安定性—”, 原子力バックエンド研究, 11, 2, pp.97-111.
- 13) Lin, J., and R.S. Stein (2004) : “Stress triggering in thrust and subduction earthquakes, and stress interaction between the southern San Andreas and nearby thrust and strike-slip faults”, Journal of Geophysical Research, 109, doi:10.1029/2003JB002607.
- 14) Toda, S., R.S. Stein, K. Richards-Dinger and S. Bozkurt (2005) : “Forecasting the evolution of seismicity in southern California: Animations built on earthquake stress transfer”, Journal of Geophysical Research, 110, doi:10.1029/2004JB003415.

This is a blank page.

# 国際単位系 (SI)

表1. SI基本単位

基本量	SI基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m <sup>2</sup>
体積	立方メートル	m <sup>3</sup>
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s <sup>2</sup>
波数	毎メートル	m <sup>-1</sup>
密度, 質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m <sup>3</sup>
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m <sup>2</sup>
比体積	立方メートル毎キログラム	m <sup>3</sup> /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m <sup>2</sup>
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 <sup>(a)</sup> , 濃度	モル毎立方メートル	mol/m <sup>3</sup>
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m <sup>3</sup>
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m <sup>2</sup>
屈折率 <sup>(b)</sup>	(数字の) 1	1
比透磁率 <sup>(b)</sup>	(数字の) 1	1

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。  
 (b) これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン <sup>(b)</sup>	rad	1 <sup>(b)</sup>	m/m
立体角	ステラジアン <sup>(b)</sup>	sr <sup>(c)</sup>	1 <sup>(b)</sup>	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
周波数	ヘルツ <sup>(d)</sup>	Hz	1	s <sup>-1</sup>
力	ニュートン	N		m kg s <sup>-2</sup>
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m <sup>2</sup>	m <sup>-1</sup> kg s <sup>-2</sup>
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup>
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s	m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup>
電荷, 電気量	クーロン	C		s A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A	m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup> A <sup>-1</sup>
静電容量	ファラド	F	C/V	m <sup>2</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>4</sup> A <sup>2</sup>
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup> A <sup>-2</sup>
コンダクタンス	ジーメンズ	S	A/V	m <sup>2</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>3</sup> A <sup>2</sup>
磁束	ウエーバ	Wb	Vs	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> A <sup>-1</sup>
磁束密度	テスラ	T	Wb/m <sup>2</sup>	kg s <sup>-2</sup> A <sup>-1</sup>
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> A <sup>-2</sup>
セルシウス温度	セルシウス度 <sup>(e)</sup>	°C		K
光束密度	ルーメン	lm	cd sr <sup>(c)</sup>	cd
照射度	ルクス	lx	lm/m <sup>2</sup>	m <sup>-2</sup> cd
放射性核種の放射能 <sup>(f)</sup>	ベクレル <sup>(d)</sup>	Bq		s <sup>-1</sup>
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト <sup>(g)</sup>	Sv	J/kg	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
酸素活性化	カタール	kat		s <sup>-1</sup> mol

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。  
 (b) ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。  
 (c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。  
 (d) ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。  
 (e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。  
 (f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。  
 (g) 単位シーベルト (PV, 2002, 70, 205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI組立単位		
	名称	記号	SI基本単位による表し方
粘力のモーメント	パスカル秒	Pa s	m <sup>1</sup> kg s <sup>-1</sup>
表面張力	ニュートンメートル	N m	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup>
角速度	ニュートン毎メートル	N/m	kg s <sup>-2</sup>
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s	m <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>
熱流密度, 放射照度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s <sup>2</sup>	m <sup>-1</sup> s <sup>-2</sup>
熱容量, エントロピー	ワット毎平方メートル	W/m <sup>2</sup>	kg s <sup>-3</sup>
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/(kg K)	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>
熱伝導率	ジュール毎キログラム	J/kg	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
体積エネルギー	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup>
電界の強さ	ジュール毎立方メートル	J/m <sup>3</sup>	m <sup>-1</sup> kg s <sup>-2</sup>
電荷密度	ボルト毎メートル	V/m	m kg s <sup>-3</sup> A <sup>-1</sup>
電表面積	クーロン毎立方メートル	C/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> s A
誘電率	クーロン毎平方メートル	C/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> s A
透磁率	クーロン毎平方メートル	C/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> s A
モルエネルギー	ファラド毎メートル	F/m	m <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>4</sup> A <sup>2</sup>
モルエントロピー, モル熱容量	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s <sup>-2</sup> A <sup>-1</sup>
照射線量 (X線及びγ線)	ジュール毎モル	J/mol	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> mol <sup>-1</sup>
吸収線量率	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> mol <sup>-1</sup>
放射強度	クーロン毎キログラム	C/kg	kg <sup>-1</sup> s A
放射輝度	グレイ毎秒	Gy/s	m <sup>2</sup> s <sup>-3</sup>
酵素活性濃度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m <sup>4</sup> m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup> = m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup>
	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m <sup>2</sup> sr)	m <sup>2</sup> m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup> = kg s <sup>-3</sup>
	カタール毎立方メートル	kat/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> mol

表5. SI接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10 <sup>24</sup>	ヨタ	Y	10 <sup>-1</sup>	デシ	d
10 <sup>21</sup>	ゼタ	Z	10 <sup>-2</sup>	センチ	c
10 <sup>18</sup>	エクサ	E	10 <sup>-3</sup>	ミリ	m
10 <sup>15</sup>	ペタ	P	10 <sup>-6</sup>	マイクロ	μ
10 <sup>12</sup>	テラ	T	10 <sup>-9</sup>	ナノ	n
10 <sup>9</sup>	ギガ	G	10 <sup>-12</sup>	ピコ	p
10 <sup>6</sup>	メガ	M	10 <sup>-15</sup>	フェムト	f
10 <sup>3</sup>	キロ	k	10 <sup>-18</sup>	アト	a
10 <sup>2</sup>	ヘクト	h	10 <sup>-21</sup>	ゼプト	z
10 <sup>1</sup>	デカ	da	10 <sup>-24</sup>	ヨクト	y

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1 h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	'	1'=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	"	1"=(1/60)'=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm <sup>2</sup> =10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>
リットル	L, l	1 L=1 dm <sup>3</sup> =10 <sup>3</sup> cm <sup>3</sup> =10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
トン	t	1 t=10 <sup>3</sup> kg

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI単位で表される数値
電子ボルト	eV	1 eV=1.602 176 53(14)×10 <sup>-19</sup> J
ダルトン	Da	1 Da=1.660 538 86(28)×10 <sup>-27</sup> kg
統一原子質量単位	u	1 u=1 Da
天文単位	ua	1 ua=1.495 978 706 91(6)×10 <sup>11</sup> m

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1 MPa=100 kPa=10 <sup>5</sup> Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1 mmHg=133.322 Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1 nm=100 pm=10 <sup>-10</sup> m
海里	M	1 M=1852 m
バロン	b	1 b=100 fm <sup>2</sup> =(10 <sup>-12</sup> cm) <sup>2</sup> =10 <sup>-28</sup> m <sup>2</sup>
ノット	kn	1 kn=(1852/6000) m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的な関係は、対数量の定義に依存。
ベベル	B	
デジベル	dB	

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI単位で表される数値
エルグ	erg	1 erg=10 <sup>-7</sup> J
ダイン	dyn	1 dyn=10 <sup>-5</sup> N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm <sup>-2</sup> =0.1 Pa s
ストークス	St	1 St=1 cm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> =10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>
スチルブ	sb	1 sb=1 cd cm <sup>-2</sup> =10 <sup>-4</sup> cd m <sup>-2</sup>
フォトル	ph	1 ph=1 cd sr cm <sup>-2</sup> 10 <sup>4</sup> lx
ガリ	Gal	1 Gal=1 cm s <sup>-2</sup> =10 <sup>-2</sup> ms <sup>-2</sup>
マクスウェル	Mx	1 Mx=1 G cm <sup>2</sup> =10 <sup>-8</sup> Wb
ガウス	G	1 G=1 Mx cm <sup>-2</sup> =10 <sup>4</sup> T
エルステッド <sup>(c)</sup>	Oe	1 Oe≈(10 <sup>3</sup> /4π) A m <sup>-1</sup>

(c) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「Δ」は対応関係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 <sup>10</sup> Bq
レントゲン	R	1 R=2.58×10 <sup>-4</sup> C/kg
ラド	rad	1 rad=1 cGy=10 <sup>-2</sup> Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 <sup>-2</sup> Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 <sup>-9</sup> T
フェルミ	f	1 f=1 fm=10 <sup>-15</sup> m
メートル系カラット		1メートル系カラット=200 mg=2×10 <sup>-4</sup> kg
トル	Torr	1 Torr=(101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm=101 325 Pa
カロリ	cal	1 cal=4.1858 J (「15°C」カロリ), 4.1868 J (「IT」カロリ), 4.184 J (「熱化学」カロリ)
マイクロン	μ	1 μ=1 μm=10 <sup>-6</sup> m

