

地質環境の長期安定性に関する研究

2006 年度調査研究計画書

平成 18 年 4 月

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 東濃地科学研究ユニット
自然事象研究グループ

地質環境の長期安定性に関する研究計画書（2006 年度）

目 次

1. 研究の概要	2
1.1 調査技術の開発・体系化	3
1.2 長期予測・影響評価モデルの開発	3
1.3 分析技術開発および研究情報基盤の整備	4
2. 2006 年度の調査研究計画	5
2.1 地震・断層活動に関する研究	5
2.1.1 活断層の活動履歴に関する調査技術	5
2.1.2 低活動性の活断層に関する調査技術	5
2.1.3 断層活動の力学的影響評価モデルの開発	6
2.2 火山・地熱活動に関する研究	8
2.2.1 火山・熱水活動履歴の調査技術	8
2.2.2 地下深部のマグマ・高温流体等の調査技術	9
2.2.3 火山・地熱活動の長期予測・影響評価モデルの開発	10
2.3 隆起・侵食 / 気候・海水準変動に関する研究	13
2.3.1 古地形・古環境の復元調査技術	13
2.3.2 三次元地形変化モデルの開発	14
2.3.3 地殻変動および気候・海水準変動を考慮した地下水流動解析手法の開発	15
2.4 ナチュラルアナログ研究	17
2.5 分析技術開発	18
2.6 地質環境の長期モニタリングに関する研究	20

1. 研究の概要

いわゆる安定大陸に位置する諸外国の地層処分概念に比べて、地殻変動の激しいわが国においては、特に地質環境の長期的な安定性について考慮し、「安定な地質環境」に、多重バリアシステムを構築する必要がある。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、火山活動等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等によって生じる地質環境条件（例えば、地下水理、水質、岩盤物性等）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。原子力機構では、深地層の科学研究の一環として、これらの予測・評価に係わる研究開発（地質環境の長期安定性に関する研究）を実施している。

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等を補足的に実施し、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いて、天然現象の将来の活動の可能性や変動の規模等を検討した。その結果、地層処分に適した安定な地質環境がわが国にも広く存在し得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・形成年代等に関する全国レベルでのデータベースを整備した（核燃料サイクル開発機構、1999）。

第2次取りまとめ以降は、わ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、「最終処分法」に定められた段階的な処分地選定の要件や「安全規制の基本的考え方」（原子力安全委員会、2000）を念頭において、また、第2次取りまとめやその評価（原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会、2000；OECD/NEA、1999等）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、「全体計画」（核燃料サイクル開発機構、2001）に示したように、地形変化や非火山地域の温度異常等、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、「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）が示され、これを踏まえて、2002年12月には原環機構による「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）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等、研究開発を進めていく上での方向性や具体的な課題がより明確になってきた。

このような状況の進展を受け、原子力機構では、従来から進めてきた全国レベルでのデータの蓄積や個別現象の理解といった学術的な研究を継続する一方で、概要調査地区等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。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つの目標を設定した。

- ・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（概要調査地区等の選定や安全性の検討に必要なデータの取得）
- ・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）
- ・分析技術開発および研究情報基盤の整備：上記のベースとなる最新の観測・分析技術の整備および安全評価に係わるデータベースの整備

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」に示されているように、概要調査地区およびその周辺地域において、活断層、第四紀火山等の存在を確認するための調査技術を整備することが不可欠である。そのため、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・高温流体等の存在を予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・解析等を主体となるが、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」によると、過去においても概要調査地区およ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、過去数十万年に地殻変動、火成活動等の履歴のみならず、地質環境が有する地下水理、水質、岩盤物性等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、熱水変質帯の熱史等）、あるいは間接的（例えば、過去の地下水理を推定するための古地形・水系等）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等を進めており、「活断層の活動履歴に関する調査技術」、「低活動性の活断層に関する調査技術」、「火山・熱水活動履歴の調査技術」、「地下深部のマグマ・高温流体等の調査技術」、「古地形・古環境等の復元技術」等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、処分施設の設計・施工等の工学的対策や地層処分システムの安全評価等に資するため、地層処分システムの性能に著しい影響を及ぼす現象が発生する可能性や地殻変動等に伴う地質環境条件（例えば、地下水理、水質、岩盤物性等）の変化の幅等を予測・評価するための手法の開発を目指している。

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等を基本となる。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モデル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・地球化学的データの取得
- ・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およ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等の変化の幅として、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（物理探査等の分解能、分析方法に係る誤差・精度等）やモデルの信頼性、検証方法の妥当性等を検討しつつ、予測・評価結果に係る不確実性を定量的に把握する必要がある。

また、長期予測・影響評価モデルの開発では、「環境要件」に示された今後検討すべき課題を考慮しつつ、「断層活動の破断、変形に与える影響評価モデルの開発」、「火山活動等の長期予測モデルの開発」、「熱水活動等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」,「三次元地形変化モデルの開発」,「地殻変動および気候・海水準変動を考慮した地下水流動解析手法の開発」等の研究課題に取り組んでいる。

1.3 分析技術開発および研究情報基盤の整備

分析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基盤データの提供を目的として、研究開発に必要な同位体測定技術を整備する。具体的には、ペレトロン年代測定装置については、これまで実施してきた放射性炭素年代測定に加えて、ベリリウムや塩素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ヘリウム同位体比測定技術開発および安定同位体比質量分析装置を用いた安定同位体比の測定技術開発を実施する。

研究情報基盤の整備については、これまでに進めてきた全国レベルでの天然現象データのGIS（地理情報システム）化を行っているほか、天然現象を考慮した安全評価に必要となる変動シナリオや物質移行解析の前提となる一般的かつ現実的な現象のプロセスに関する情報や地質環境条件（力学、熱、地下水理、水質等）の変化等に関するデータを重点的に整備する。なお、情報の整備にあたっては、データに関する品質やトレーサビリティ等を明らかにするとともに、これらの情報を包含したデータベース（THMC データベース）の開発を進める。

2. 2006 年度の調査研究計画

2.1 地震・断層活動に関する研究

2.1.1 活断層の活動履歴に関する調査技術

(1) 目的

最終処分法によると、精密調査地区の選定は、地表踏査、物理探査、ボーリング等による調査（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およ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。この確認は、科学的根拠となる活断層の活動履歴の変遷に基づいて行うことが重要である。そこで、活断層帯における活断層の分布や性状を調査し、断層の活動履歴に関する調査技術の検討を行う。

活断層帯の活動履歴を明らかにするため、活断層やその周辺岩盤の性状等による違いを考慮した調査手法の開発を目指す。平成 17 年度は、岐阜県の跡津川断層帯を事例対象とした地質調査を行い、断層岩の分布や性状に不均質があり、幅が局所的に変化していることを示した。平成 18 年度の調査では、断層岩の種類、分布範囲および形成順序を地質調査や年代測定等によって明らかにするとともに、顕微鏡スケールで認識される微小剪断面の分布密度や性状を調査し、断層岩の発達過程について検討する。

(2) 実施内容

中部地方の跡津川断層帯を事例として地質調査を行い、小断層や割れ目の分布、長さ、方向等の情報を収集する。さらに、破碎帯の岩石を露頭から採取し、顕微鏡観察、割れ目充填鉱物の分析および年代測定等を行う。これらの調査により得られた情報をもとに、破碎帯の種類、分布範囲および形成順序を明らかにし、活断層帯の活動履歴について検討する。

(3) 実施体制

現地調査、分析等の一部については、必要に応じて業務委託（外注）を行う。

(4) スケジュール（当面 5 年間の計画）

要求事項	H 18	H 19	H 20	H 21	H 22
活断層の活動履歴に関する調査技術の整備	 ・概要把握 （破碎帯分布、形成履歴の概要：文献調査、地質調査）	 ・破碎帯の分布および形成履歴に関する調査手法の提示 （分布と履歴の詳細：地質調査、検鏡、解析）	 ・第四紀破碎帯調査手法の開発 （年代測定試料採取、測定法提示：地質調査、試料分析、測定）		
破碎帯の分布および性状の調査に基づく将来の活断層の分布に関する検討				 ・破碎帯の分布および性状の調査に基づく将来の活断層の分布に関する検討	 ・将来の断層活動と力学的影響に関する詳細調査手法の検討

2.1.2 低活動性の活断層に関する調査技術

(1) 目的

主な活断層の分布は、地形調査によって推定され、現地調査で確認されるが、低活動性の

活断層は地形に現れにくいいため、その調査手法が緊急の課題である。岩盤中の断層の活動性調査手法として、断層活動に伴うリセットを仮定した断層年代測定技術が提案されているが、断層活動によるリセットが不完全な場合が多いため、より汎用性の高い調査手法の開発が求められている。

そのため、平成 18 年度は、低活動性の活断層の地球化学的、地質学的な特徴の把握と、その特徴をもとにした調査技術の検討を、文献調査と解析により行う。さらに、跡津川断層帯と中部地方の非活断層を比較検討することを目的として、水素ガス等の測定および粘土や充填鉱物の観察、分析を行う。

(2) 実施内容

文献調査により、活断層と非活断層の違いを整理する。また、跡津川断層帯とその周辺の非活断層を事例として、水素等の断層ガスの測定と、破碎帯、地すべり、変質帯等に分布する粘土や充填鉱物の観察および分析を行う。それらの結果をもとに、低活動性の活断層の調査に適用可能な調査項目と調査手法を検討する。

(3) 実施体制

現地調査、分析等の一部については、必要に応じて業務委託（外注）を行う。

(4) スケジュール（当面 5 年間の計画）

要求事項	H 18	H 19	H 20	H 21	H 22
低活動性の活断層の調査手法の検討	→ ・活断層の特徴と、既存の調査手法に関する文献調査・予備解析	→ ・活断層の特徴の検討	→ ・活断層の特徴の確認(現地調査、解析)	→ ・低活動性の活断層の調査技術の適用調査	→ ・調査手法の信頼性の向上
断層ガス調査	→ ・水素ガスの調査	→ ・水素ガスの調査に関する取りまとめ			
断層粘土、充填鉱物の調査	→ ・断層粘土、充填鉱物等の予備調査(分布の把握)	→ ・断層粘土、充填鉱物等の調査			

2.1.3 断層活動の力学的影響評価モデルの開発

(1) 目的

断層活動に伴う力学的影響の変化に関する将来的な予測評価技術の開発にあたっては、その活動に伴う破碎帯の破断や変形に着目した調査が重要である。平成 17 年度までの調査では、逆断層帯の将来の活動に伴う分岐、移動、伸長による力学的影響を評価するため、秋田県の横手盆地東縁断層帯等を対象として、周辺の地層や段丘面の変位等に着目した地質調査、弾性波探査等を行った。調査結果に基づくバランス断面法を用いた解析から、過去数 10 万年間の分岐断層の出現や変形帯の発達過程を復元した。平成 18 年度の調査では、活断層帯の将来の活動に伴う破断や変形の力学的影響を評価するため、阿寺断層帯を事例対象として、断層モデルを仮定した周辺岩盤の変動の解析を行う。そのモデルの検証のため、断層帯周辺岩盤の小断層、割れ目、充填鉱物等の分布と性状について、地質学的な調査を行う。また、逆断

層帯については、横手盆地東縁断層帯で所得したデータの解析を行い、地形、地質構造の発達過程を踏まえて、分岐断層および変形帯の範囲を把握するための手法の検討を行う。

(2) 実施内容

中部地方の活断層帯（阿寺断層帯等）を事例対象として既存文献の調査を行い、横ずれ断層活動に伴う周辺岩盤の変形や破断に係わる概念モデルの作成および解析を行う。その解析結果を踏まえて、割れ目や断層の分布および岩石の変形構造を調べるための地質調査と岩石の顕微鏡観察、および、割れ目等を充填する鉱物の種類の同定、化学組成の分析を行い、断層帯周辺岩盤の小断層、割れ目、充填鉱物等の分布と性状を調査し、断層活動による変形、破断の影響について検討する。逆断層帯については、データの再解析を行う。

(3) 実施体制

現地調査、分析等の一部については、必要に応じて業務委託（外注）を行う。また、名古屋大学等の研究者の協力を得る。

(4) スケジュール（当面 5 年間の計画）

要求事項	H 18	H 19	H 20	H 21	H 22
断層帯における力学的影響範囲のモデル化	 ・既存文献に基づく断層モデルの作成と周辺岩盤の変動の解析 ・周辺岩盤の小断層、割れ目、充填鉱物等の分布と性状の調査	 ・共役断層・分岐断層等を考慮した断層帯の現地調査と概念的な断層モデルの作成(横ずれ断層および逆断層)	 ・詳細な現地調査による断層モデルの改良(横ずれ断層)	 ・断層帯における力学的影響範囲のモデル化(横ずれ断層)	
将来の断層活動と力学的影響の予測評価モデルの検討					 ・将来の断層活動と力学的影響の予測評価モデルの検討

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

最終処分法によると、精密調査地区の選定は、概要調査地区およびその周辺の地域において、地表踏査、物理探査、ボーリング等による調査（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等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）によると「第四紀に活動したこと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等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。平成 18 年度については、事例研究を通じて、鮮新世～第四紀前半における当該手法の適用性の確認と問題点の抽出・改良方策等の検討を行う。

一方、マグマ等の高温物質から放出される熱エネルギーや火山ガス等によって、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等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。平成 18 年度については、特に、非火山地帯の鉱脈鉱床を事例にした熱履歴の解析手法の検討を行なう。また、低温（～100℃）かつ第四紀の地質試料に適用できる熱年代学手法を確立するため、(U-Th)/He 年代測定システムの開発を進める。

(2) 実施内容

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

下北半島の第四紀火山を事例に、RIPL 法による噴出物の編年を行なう。代表的な露頭において、火山ガラス、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。また、関連する広域テフラやローカルテフラとの対比に基づく編年を行うとともに、放射年代測定（FT）によって編年の妥当性を確認し、RIPL 法の問題点の抽出、手法の高度化等の検討を行う。

非火山性熱水鉱床を利用した熱履歴解析手法等の整備

紀伊半島等の非火山性熱水鉱床を対象に岩石・鉱物の K-Ar 法、FT 法等の年代測定およびその結果に基づく熱履歴の解析を実施する。また、熱水鉱物等の酸素、炭素、硫黄等の同位体測定を行い、熱水の起源等について検討する。

(U-Th)/He 年代測定システムの構築

レーザー溶融装置の設置および希ガス抽出ラインの構築、標準試料のレーザー照射試験を行う。また、ジルコンとアパタイトの鉱物分離手順のマニュアルを作成する。

(3) 実施体制

現地調査、観測・分析等の一部については、必要に応じて業務委託を行う。なお、については、先行基礎工学研究として京都大学、防災科学技術研究所との共同研究として実施す

る。また，山形大学等の研究者の協力を得る。

(4) スケジュール(当面5年間の計画)

要求事項	H 18	H 19	H 20	H 21	H 22
RIPL 法による鮮新統～第四系の編年の検討	・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	・解析手法の高度化(化学組成指標の導入)	・解析手法の高度化(同位体組成指標の導入)	終了
非火山性熱水鉱床を利用した熱履歴解析手法等の整備	・K-Ar, TL, 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	・Ar-Ar 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	・(U-Th)/He 年代法による低温領域の熱履歴解析	・(U-Th)/He 年代法による低温領域の熱履歴解析
(U-Th)/He 年代測定システムの構築(京都大学との共同研究)	・希ガス抽出ラインの製作 ・フランクと標準試料のレーザ照射試験	・アルタイト・ジルコンの分析テスト ・鉱物分離手順マニュアルの作成	・標準試料による校正 ・年代測定システムの運用		

2.2.2 地下深部のマグマ・高温流体等の調査技術

(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(断層活動，火成活動など)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，希ガス同位体等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。

平成 18 年度については，非火山地帯の高温異常域の一つである朝日山地を事例に，地震波トモグラフィーおよび MT 法の適用性を検討するとともに，MT 法については，観測データの品質(S/N 比)に応じた解析精度の評価手法の検討を併せて行なう。また，地球化学的手法として，温泉ガス等のヘリウムや炭素等の同位体比がマグマ・高温流体等の調査技術として有効性の確認を進める。

(2) 実施内容

三次元地震波トモグラフィー

朝日山地周辺を対象に地震波初動による三次元地震波トモグラフィーの解析を実施する。また，地震波トモグラフィーに用いる震源データの品質を担保するため，Double-Difference 法により気象庁の地震データの震源の再決定を行う。また，地震の発生頻度の少ない地域において，高精度の地震波速度構造を推定するため，後続波を利用した三次元高精度地震波トモグラフィー解析手法の導入を検討する。

二次元比抵抗構造解析

朝日山地において地磁気・地電流の観測を行うとともに，比抵抗構造のインバージョン解

析を実施する。また、観測データの人為的影響を低減させるため、国土地理院の江刺観測点のデータ等を用いたリモートリファレンス処理を行う。また、S/N 比がインバージョン解析の結果に及ぼす影響を定量的に把握するための評価指標の検討を併せて行なう。

地球化学データに基づく評価手法の検討

朝日山地周辺の温泉水・ガスの採取を行なうとともに、ヘリウム、炭素の同位体比の測定を実施するとともに、熱源の原因について検討を行なう。また、地下深部からの流体によって運ばれる熱（移流熱流束）とヘリウム同位体比の関係を定量的に把握するため、近畿地方を事例に、坑井温度プロファイルが取得されている温泉ボーリングの温泉水・ガスの採取を行い、ヘリウム同位体比の測定を実施する。

（３）実施体制

現地調査、観測・分析等の一部については、必要に応じて業務委託を行う。また、産業技術総合研究所、愛媛大学、東京大学、東京工業大学等の研究者の協力を得る。

（４）スケジュール（当面５年間の計画）

要求事項	H 18	H 19	H 20	H 21	H 22
三次元地震波トモグラフィ解析技術の検討	・地震波初動によるトモグラフィ解析 ・震源の再決定	・後続波によるトモグラフィ解析の導入	・後続波によるトモグラフィ解析の導入	・三次元高精度地震波トモグラフィ解析手法の確立	
二次元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 ・新庄・古川ルート of 統合解析	・朝日・飯豊山地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	・三次元比抵抗構造解析の検討	・三次元比抵抗構造解析の検討（インバージョン解析、プログラム等の改良）	
地球化学フラックスの評価手法の検討	・希ガス同位体による評価手法の検討	・希ガス同位体による評価手法の検討	・heat flux と $^3\text{He}/^4\text{He}$ の総合評価	・地球化学的手法による熱源の種類・深度等の評価手法の構築	・地質・地球物理・地球化学データを組合わせた総合的な調査技術の構築

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

わが国の火山活動は、火山列や火山地域と呼ばれるある特定な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；総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会、2003）。

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。平成 18 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等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等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、マグマや高温岩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）。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他、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、平成 18 年度は、地下深部のマグマや高温岩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開発を進める。

（２）実施内容

ベイス法による multiple inference モデルの検討

multiple inference モデルに用いる地球物理データ（地震波速度、地殻熱流量、移流熱流束等）および地球化学データ（温泉水の主成分、希ガス同位体等）を収集し、データベースを整備する。

熱・地下水理・希ガス等のシミュレーション技術の検討

平成 15 年度に開発した高温・高圧領域を対象とした熱・水連成シミュレータ magma2002 を用いて火山地帯の高温異常域の一つである鬼首・鳴子火山を事例に、熱・地下水理等のシミュレーションを行う。また、シミュレーションと観測結果（実測値）との比較・検討を行い、これらの解析コードの有効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既存のシミュレータ（TOUGH2/EOSN 等）について、その性能や本研究への適用性等を検討する。

（３）実施体制

解析の一部については、必要に応じて業務委託（外注）を行う。

（４）スケジュール（当面 5 年間の計画）

要求事項	H 18	H 19	H 20	H 21	H 22
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およびデータベース化	・火山・温泉ガスの地球化学データの収集およびデータベース化	・multiple inference モデルの作成	・日本海側の火山，単成火山群の評価 ・解析手法のマニュアル化	● 終了

熱・地下水理・希ガス等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 等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 等による非火山地帯の高温異常域のシミュレーション	・観測データの収集（必要に応じて調査の実施）取得，シミュレーション結果の検証・評価	・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	・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・古環境の復元技術

(1) 目的

最終処分法によると、精密調査地区の選定は、概要調査地区およびその周辺の地域において、地表踏査、物理探査、ボーリング等による調査（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。また、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）は、「水文地質学的変化が処分システム領域にどのように影響を与えるかを優先して研究を進める必要がある。」としている。とくに、隆起・侵食によりもたらされる地形変化は、動水勾配の変化や土被りの変化等を通じて、岩盤やそこに含まれる地下水などの地質環境へ影響を与える可能性が懸念される。これらのことから、過去から現在までの地形の変遷を明らかにし、将来の地形変化を推定するとともに、地形変化に伴う水理地質構造の変化や気候変動に伴う表層水理特性の変化などを推定するための調査技術の整備を進めている。

平成 17 年度は、東濃地域における山間小盆地のボーリングコアの観察、花粉分析、火山灰分析等により、過去数十万年間の気候変動および堆積環境の変遷に関する情報を得た。平成 18 年度は、古地形・古環境を復元するための調査手法の検討を目的として、東濃地域の土岐川流域およびその下流部の濃尾平野において、地形地質調査と試料採取を行い、その試料を用いた構成物の調査、火山灰分析、花粉分析等を行う。それら調査・分析の結果から堆積物の対比や堆積履歴などを明らかにし、東濃地域の古地形・古環境を検討することで、古地形・古環境を復元するための調査手法について例示する。さらに、内陸部における隆起量の推定手法の信頼性を高めるため、段丘の形成年代、形成過程、形成時の古環境等を明らかにすることによって、河成段丘の形成モデルの妥当性を検討する。

(2) 実施内容

古地形・古環境を復元するための調査技術

東濃地域の土岐川上流域において、地形地質調査および露頭やボーリングコアから採取した試料を用いた火山灰分析、花粉分析、構成物の調査等を行うことにより、堆積物の編年・堆積様式の変遷を明らかにし、東濃流域の古地形・古環境の復元とその変遷の概略を検討する。また、土岐川下流部の濃尾平野のボーリングコア等を用いて、堆積時期の検討、堆積相や構成物の調査等を行うことにより、気候・海水準変動に伴う土岐川流域の侵食様式の変遷および土岐川の河川縦断形の変遷を検討する。

河成段丘の形成モデルの検討

河成段丘面が良く発達する利根川支流の鎭川流域と米代川支流の長木川流域において、地形地質調査、火山灰分析、花粉分析、年代測定等を行う。それら調査・分析の結果から、段丘の形成年代、形成過程、形成時の古環境等を明らかにすることによって、河成段丘の形成モデルの妥当性を検討する。

(3) 実施体制

現地調査、観測・分析等の一部については、必要に応じて業務委託（外注）を行う。また、東京大学、岡山理科大学、岡山大学等の研究者の協力を得る。

(4) スケジュール (当面 5 年間の計画)

要求事項	H 18	H 19	H 20	H 21	H 22
古地形・古環境を復元するための調査技術	・地形変化の調査技術の適用性確認 ・東濃流域の古地形・古環境の復元と変遷の概略を検討	・古地形・古環境の復元調査技術検討 ・東濃地域の地層と地形の形成時期の検討	・斜面域の地形変化調査技術の検討・地殻変動速度の調査技術の検討	・東濃地域の古地形・古環境変遷モデルの構築 ・斜面域の地形変化および地殻変動速度の調査技術の適用性の確認	・地質条件の異なる地域における古地形・古環境復元調査技術の適用性の検討
河成段丘の形成モデルの検討	・嫡川と長木川における河成段丘形成モデルの検討	・地層と地形の形成年代測定 ・河成段丘形成モデルの実証			

2.3.2 三次元地形変化モデルの開発

(1) 目的

隆起・侵食，気候・海水準変動等によりもたらされる地形変化が，広域の地下水流動等の地質環境に与える影響を評価・解析するためには，評価・解析地域の地形変化メカニズムを理解し，地形変化の生じる場所，速さ，量について精度良く予測することが必要である。そのため，地形変化が将来の地質環境へ与える影響を評価するための技術開発の一環として，隆起・侵食，気候・海水準変動等によりもたらされる将来約 10 万年間の地形変化を三次元でシミュレートする技術の開発を進めている。これまでの研究開発では，地形を斜面域と河川域に分け，それぞれ異なる拡散方程式を用いることにより，流域全体の地形変化をシミュレートするモデルの開発を行ってきた。また，日本全国を対象に，気象条件の異なる地域において地形情報を取得することにより，温暖期と寒冷期における地形変化パラメータの検討を進めてきた。平成 18 年度からは，東濃地域などの具体的な地域を事例として，実際の地形変化パラメータの取得技術およびそのパラメータを考慮した地形変化シミュレーション技術の開発を目指す。

(2) 実施内容

地形変化パラメータの取得

地形地質調査および数値地図解析を行い，東濃地域の土岐川流域の一部において地形学的特徴およびそれらと地質・地質構造，標高等との関連性について整理・検討する。また，河川および斜面について，現在の地形地質学的特徴（現在の地形がどのようになっているのか）を整理するとともに，実際の地形形状および地質分布，堆積物の堆積期間等を考慮した数値解析を行うことにより，地形変化パラメータの時空間分布とその取得手法を検討する。

三次元地形変化シミュレーション技術の開発

において検討した地形変化パラメータを踏まえて，現在の地形がどのようにして形成され，将来どのように変化していくのかという地形変化モデルの概略を検討するとともに，そのモデルの三次元地形変化シミュレーションへの展開について検討する。

(3) 実施体制

現地調査，分析等の一部については，必要に応じて業務委託（外注）を行う。また，日本

大学等の研究者の協力を得る。

(4) スケジュール(当面5年間の計画)

要求事項	H 18	H 19	H 20	H 21	H 22
地形変化パラメータの取得(主に東濃地域を事例) ↓	・地質毎の地形変化パラメータの検討 ・地形変化パラメータ取得の調査手法の検討	・河川域の地形変化パラメータの取得	・斜面域の地形変化パラメータの取得	・気候変動に伴う地形変化パラメータの取得	・地質条件の異なる地域における地形変化パラメータの比較検討
三次元地形変化シミュレーション技術の開発	・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	・河川と斜面の地形変化(物質移動)アルゴリズムの検討・シミュレーション技術の他条件の場への適用性検討	・河川域と斜面域の地形変化シミュレーション・モデルの構築 ・シミュレーション技術の他地域への適用性検討	・谷頭移動や河川の側方侵食などの地形変化アルゴリズムの検討 ・三次元地形変化シミュレーション・モデルの構築	・地質、気候変動を考慮した三次元地形変化シミュレーションの実施

2.3.3 地殻変動および気候・海水準変動を考慮した地下水流動解析手法の開発

(1) 目的

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)は、「水文地質学的変化に関しては、その要因よりも、処分システム領域に与える影響を解明することを優先して研究を進める必要がある。」としている。したがって、地下水流動の長期変化に関しては、断層活動と隆起・侵食/気候・海水準変動が複合した場合を考慮して、処分システムに与える影響を把握することが求められている。

そこで、地殻変動および気候・海水準変動が複合して引き起こされる地下水流動系の長期変化に関する解析手法の開発を行う。平成17年度までの研究開発では、主に地形変化に着目し広域的な地下水流動の変化をモデル解析により推定した。平成18年度は、長期的な地下水流動の変化に関わる文献調査と東濃地域を事例とした水理地質構造モデルを用いた地下水流動解析によって、長期的な地下水流動系の変化に関する主な変動パラメータを抽出する。

ある地域を対象とした現地調査手法の開発については、その地域の地下水流動の履歴(古水理)について、地殻変動および気候・海水準変動による地下水流動の変化が、その地域の地質環境に対してどの程度の影響を及ぼしてきたかを把握することが必要である。そのため平成18年度は、主な湧水域と断層構造の関係を空中写真判読と予察的な現地調査によって調べる。これらの結果を踏まえて、必要な調査項目と適用可能な調査手法を検討する。

(2) 実施内容

地殻変動および気候・海水準変動を考慮した地下水流動解析に関わる変動パラメータの抽出

水理地質構造および地下水流動の長期変化に関わる既存情報の収集、解析を行い、東濃地域を事例とした水理地質構造モデルの検討と感度解析的な地下水流動解析を行い、主な変動パラメータを推定する。

古水理の復元に関する調査項目と手法の検討

主な変動パラメータのひとつと推定される断層周辺の高透水性構造の形成および変化につ

いて、中部地方（跡津川断層，阿寺断層～東濃周辺）を対象とした空中写真判読によるリニアメントの抽出を行う。その結果を基に、地殻変動等の変遷を考慮した水理地質構造の概念的なモデルを検討する。そのモデルの確認手法の検討を目的として、断層周辺の湧水、岩相等を露頭調査によって調べる。また、断層周辺の地下水流動系を検討するため、地下水調査（水素同位体，酸素同位体，溶存イオン成分等）の予備調査として、湧水地点のマッピング等を行う。

（３）実施体制

文献調査，概念モデル化，変動パラメータ抽出，現地調査・観測および分析等の一部については，必要に応じて業務委託（外注）を行う。また，福島大学，広島工業大学等の研究者の協力を得る。

（４）スケジュール（当面５年間の計画）

要求事項	H 18	H 19	H 20	H 21	H 22
地殻変動等による地下水流動変化の概念モデルの検討	・主な変動パラメータの推定 ・地殻変動などの長期挙動考慮した水理地質構造概念モデルの検討	・実データを用いた地下水流動変化の概念モデルの検討 ・変動パラメータに関する既存情報の整備および事例調査	・実データを用いた地殻変動などの長期挙動を考慮した地下水流動解析 ・概念モデルに必要なパラメータの事例調査	・地殻変動などの長期挙動を考慮した地下水流動の変化に係わる調査および解析手法の提示	・モデルの信頼性向上 ・他の地域の事例研究 ・他の地域への調査手法の適用
古水理の復元に関する調査項目と手法の検討	・東濃地域を事例とした既存情報の整理と予備調査	・断層周辺における古水理の復元に関する情報収集と解析			

2.4 ナチュラルアナログ研究

(1) 目的

地層処分システムの安全性に対する信頼性をさらに向上させるためには、長期的な時間スケールで生じる地質学的事象や地質環境の変化に伴う物質の移行・遅延挙動に関する理解を深めることが必要である。このため、H17 レポートまでのナチュラルアナログ研究においては、東濃ウラン鉱床を事例研究の場として、物質の固定・移行特性と地質環境の変化の影響を明らかにすることを目的として研究を行ってきた。

変動帯に位置するわが国においては、地質学的あるいは水理学的事象を個別に理解するだけでなく、それらがどのように関連しているのか、そして、そのような複合事象が地層処分システムにどのような影響を及ぼすのかについて理解することが重要である。また、長期安定性研究における課題として設定されている、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(長期予測・影響評価モデル)の妥当性を確認していくためには、地質環境の長期的な変遷を確認するための研究手法の検討が必要である。

H17 レポートでは物質移行解析に必要な情報として、熱(T)、水理(H)、化学(C)および力学(M)が挙げられている。このうち、水理については天然事象とそれに伴う地下水流動系の変化が他の研究課題で扱われているが、化学的な環境の変化を把握する手法は検討されていない。そこで、平成 18 年度については、国内外での事例を参考にしてこの研究手法を検討し、他の研究課題との連携も考慮した今後の研究計画案の策定を行う。

(2) 実施内容

研究計画案の策定

天然事象とそれに伴う化学的な環境の変化を把握する手法するための研究手法を外部機関による報告書等に基づいて整理し、研究計画案を策定する。策定した研究計画案は「地質環境の長期安定性研究検討委員会」によって評価を受ける。

(3) 実施体制

本研究は内部実施を基本とし、必要に応じて外部専門家の協力を得る。

(4) スケジュール(当面 5 年間の計画)

要求事項	H 18	H 19	H 20	H 21	H 22
研究基本計画案の策定	 ・研究計画の策定	・研究計画に基づく研究の実施	・研究計画に基づく研究の実施	・研究計画に基づく研究の実施	 ・研究計画に基づく研究の実施

2.5 分析技術開発

(1) 目的

本計画書で述べられているように、「地質環境の長期安定性に関する研究」の各調査研究課題においては多様なデータの取得を行う計画になっている。ペレトロン年代測定装置や安定同位体比質量分析装置等の既存の装置を活用し、同位体や同位体比から得られる年代の測定技術を整備することによって、調査研究を進める上で必要となる基盤データを取得することが可能となる。そこで、各調査研究課題と密接な連携のもと、年代測定技術開発および同位体測定技術開発を進める。

年代測定技術開発については、断層活動や火山活動の履歴の解明等の基盤データとなる放射性炭素年代を取得するため、年代測定装置の保守を適切に実施しつつ年代測定を行っていく。このほか、ベリリウム同位体から算定される表面照射年代は古地形の復元技術に、塩素同位体は地下水年代の推定に活用できることから、これらの年代測定技術開発を進めるとともに、試料前処理方法の検討を行う。

同位体測定技術開発については、炭素同位体は古気候の推定に必要な情報であるため、多様な試料形態に応じた前処理方法の検討を行い、安定同位体比質量分析装置を用いて実試料の分析を行う。硫黄同位体は過去の地下水理や酸化還元緩衝プロセスの解明、および古地温・熱水系の復元に活用できることから、この測定を行うため、安定同位体比質量分析装置の調整を行うとともに、試料前処理方法を検討する。

(2) 実施内容

ペレトロン年代測定装置を用いた放射性炭素年代測定の実施

隆起・侵食や断層活動、火山活動の履歴等の解明に寄与するため、放射性炭素年代測定を実施するとともに、安定的に年代測定を行うために必要な装置の保守等を行っていく。

ペレトロン年代測定装置を用いたベリリウム、塩素同位体等の測定技術開発

ベリリウムおよび塩素同位体測定に向け、学会誌等を通じて情報を収集し、試料前処理方法を検討する。また、ペレトロン年代測定装置において同位体測定を行うためには、従来に比べて高電圧を安定的に維持する必要があることから、これに必要な装置の保守・改良等を行う。

安定同位体比質量分析装置を用いた炭素、硫黄などの安定同位体測定技術開発

炭素と硫黄の安定同位体比の測定については、学会誌等を通じて情報を収集し、試料に応じた前処理方法および測定方法を検討する。炭素同位体比については試験測定を実施するとともに、硫黄同位体比測定に向けて装置の調整を行う

(3) 実施体制

技術開発に関わる業務は内部実施を基本とし、装置の保守業務については必要に応じて業務委託（外注）を行う。

(4) スケジュール (当面 5 年間の計画)

要求事項	H 18	H 19	H 20	H 21	H 22
ペレトロン年代測定装置を用いた放射性炭素年代測定の実施	→ ・装置の保守 ・年代測定の実施	・年代測定の実施	・年代測定分解能の向上	・年代測定分解能の向上	→ ・年代測定の実施
ペレトロン年代測定装置を用いたベリリウム、塩素同位体等の測定技術開発	→ ・装置の改良 ・前処理方法の検討	・装置の調整 ・前処理方法の確立	→ ・試験測定	→ ・実試料の測定	→ ・実試料の測定精度の向上
安定同位体比質量分析装置を用いた炭素、硫黄などの安定同位体測定技術開発	→ <炭素同位体> ・試料前処理方法の検討 ・装置の調整 ・試験測定	→ <炭素同位体> ・実試料の測定 <炭素以外の同位体> ・試料前処理方法の検討 ・装置の調整	→ <炭素同位体> ・実試料の測定 <炭素以外の同位体> ・試験測定	→ <炭素同位体> ・実試料の測定 <炭素以外の同位体> ・実試料の測定	→ <炭素同位体> ・実試料の測定 <炭素以外の同位体> ・実試料の測定

参 考：ペレトロン年代測定装置を用いた放射性炭素年代測定の実施の詳細スケジュール

H18									H19		
4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
	装置の補修		調整			実試料測定			装置の改良・保守・調整		

2.6 地質環境の長期モニタリングに関する研究

(1) 目的

地層処分の技術的信頼性を高める上では、地殻変動が地質環境に与える影響の把握が重要であり、その原因と考えられるプレート運動や活断層の形成メカニズムに関する科学的知見や、そのための調査手法を開発することが必要である。昨年度終了した陸域地下構造フロンティア研究の成果をとりまとめるとともに、その成果を活用して、地質環境の長期モニタリング技術開発に向けた検討を実施する。

(2) 実施内容

「陸域地下構造フロンティア研究」第2フェーズ(H13-H17)成果報告書の公表

微少な地殻変化を遠方からモニタリングすることを視野に入れた能動的調査技術としてアクロス(Accurately Controlled Routinely Operated Signal System; 精密制御定常信号システム)の開発成果をとりまとめ、公開資料を作成する。

活断層の破砕帯の構造やその発達史を解明するため跡津川断層帯において実施した、地震観測、GPS観測、構造地質学的調査、地球化学的調査の研究成果をとりまとめ、論文として公表する。

地質環境の長期モニタリング技術開発

アクロスの開発成果を活用して、地下構造物の影響を遠隔モニタリングする技術開発等の研究を行う。また、活断層周辺の地殻変動の長期モニタリング技術として、地震およびGPS観測と地殻変動解析技術に関わる研究を行う

(3) 実施体制

現地調査、分析等の一部については、必要に応じて業務委託(外注)を行う。

(4) スケジュール

要求事項	H18	H19
「陸域地下構造フロンティア研究」第2フェーズ(H13-H17)成果報告書の公表	「地震発生に関する研究」および「活断層帯での地殻活動研究」の成果報告	終了 (平成18年度で終了)
地質環境の長期モニタリング技術開発	地質環境の長期モニタリング技術開発に向けた研究	終了