



JP0750241

# 高レベル放射性廃棄物地層処分に係わる 天然現象影響評価に関する研究計画書 (当面5カ年の計画:H18年度版)

Study Plan for Performance Assessment of Potential Effect of Natural Phenomena  
on a HLW Disposal System (5-year Plan)

川村 淳 大井 貴夫 牧野 仁史 梅田 浩司  
新里 忠史 安江 健一 河内 進 石丸 恒存  
瀬尾 俊弘 蛭名 貴憲\* 宮原 要 中司 昇 茂田 直孝

Makoto KAWAMURA, Takao OHI, Hitoshi MAKINO, Koji UMEDA  
Tadafumi NIIZATO, Ken-ichi YASUE, Susumu KAWACHI  
Tsuneaki ISHIMARU, Toshihiro SEO, Takanori EBINA\*, Kaname MIYAHARA  
Noboru NAKATSUKA and Naotaka SHIGETA

地層処分研究開発部門

Geological Isolation Research and Development Directorate

January 2007

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

JAEA-Review

本レポートは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/index.shtml>)  
より発信されています。このほか財団法人原子力弘済会資料センター\*では実費による複写頒布を行つております。

〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4  
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  
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920

\* 〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4 日本原子力研究開発機構内

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

高レベル放射性廃棄物地層処分に係わる天然現象影響評価に関する研究計画書  
(当面 5 カ年の計画 : H18 年度版)

日本原子力研究開発機構 地層処分研究開発部門

川村 淳\*, 大井 貴夫<sup>+1</sup>, 牧野 仁史<sup>+2</sup>, 梅田 浩司<sup>+3</sup>, 新里 忠史<sup>+4</sup>, 安江 健一<sup>+3</sup>,  
河内 進\*, 石丸 恒存<sup>+2</sup>, 瀬尾 俊弘<sup>+2</sup>, 蛭名 貴憲\*, 宮原 要<sup>+1</sup>, 中司 昇<sup>+3</sup>, 茂田 直孝<sup>+4</sup>

(2006 年 12 月 5 日受理)

高レベル放射性廃棄物地層処分の天然現象影響評価に関する研究を対象とし、先にまとめられた“地質環境の長期安定性と地層処分－今後の研究開発に向けた視点”や“高レベル放射性廃棄物地層処分の性能評価に関する研究計画書（当面 5 カ年の計画 : H17 年度版）”等を踏まえ、今後 5 カ年を目途に実施すべき研究の項目とその内容等を記述した。

本計画書では、まず、“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（第 2 次取りまとめ）”までに実施された研究成果、“高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する知識基盤の構築（平成 17 年取りまとめ）”までになされた研究成果について整理するとともに、高レベル放射性廃棄物地層処分に係わる天然現象影響評価に関する研究の課題点を抽出した。抽出された課題を解決するために、当面 5 年程度で実施すべき研究目的・研究内容を提示した。更に、それらの目的内容に即して実施した天然現象に関する知見および影響解析に必要となる個別現象に関わる知見等の整理を例示する。

---

核燃料サイクル工学研究所（駐在）：〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33

- +1 地層処分基盤研究開発ユニット
- +2 研究開発統括ユニット
- +3 東濃地科学研究ユニット
- +4 幌延深地層研究ユニット
- ※ 技術開発協力員
- \* 株式会社 NESI

Study Plan for Performance Assessment of Potential Effect of Natural Phenomena  
on a HLW Disposal System (5-year Plan)

Makoto KAWAMURA<sup>※</sup>, Takao OHI<sup>+1</sup>, Hitoshi MAKINO<sup>+2</sup>, Koji UMEDA<sup>+3</sup>,  
Tadafumi NIIZATO<sup>+4</sup>, Ken'ichi YASUE<sup>+3</sup>, Susumu KAWACHI<sup>※</sup>,  
Tsuneaki ISHIMARU<sup>+2</sup>, Toshihiro SEO<sup>+2</sup>, Takanori EBINA<sup>\*</sup>, Kaname MIYAHARA<sup>+1</sup>,  
Noboru NAKATSUKA<sup>+3</sup> and Naotaka SHIGETA<sup>+4</sup>

Geological Isolation Research and Development Directorate  
Japan Atomic Energy Agency  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received December 5, 2006)

This report is to outline a 5-year plan of research and development (R&D) for performance assessment of potential effect of natural phenomena on a geological disposal system of high-level radioactive waste. This plan is based on "Long-term stability of the geological environment related with geological disposal in Japan - Issues to be considered in the R&D programme -" and "Study plan for performance assessment of HLW geological disposal (5-year plan)".

In this report, background of this study are clarified with the necessity and the significance, and the past progresses in "H12: Project to establish the scientific and technical basis for HLW disposal in Japan" (H12 report), and "H17: Development and management of the technical knowledge base for the geological disposal of HLW" (H17 report) are summarized. Then, objectives, outline, contents and schedule of this study in next 5-year are described in detail.

Keywords: 5-year Plan, Performance Assessment, Natural Phenomena, HLW Disposal, H12 Report, H17 Report

---

+1 Geological Isolation Research Unit

+2 Research and Development Integration Unit

+3 Tono Geoscientific Research Unit

+4 Horonobe Underground Research Unit

※ Cooperative Staff

\* NESI Incorporated

## 目 次

1. 研究の背景と経緯 .....	1
1. 1 背景 .....	1
1. 2 研究の経緯 .....	5
1. 2. 1 第2次取りまとめ .....	5
1. 2. 2 平成17年取りまとめ .....	5
1. 3 他機関および諸外国における研究 .....	10
1. 4 抽出された課題点 .....	10
2. 当面5カ年における研究 .....	11
2. 1 課題と目標の設定 .....	11
2. 2 概要 .....	13
2. 3 実施内容 .....	16
3. 技術情報統合システムの利用 .....	21
4. スケジュール .....	25
5. おわりに .....	31
謝辞 .....	31
参考文献 .....	32
付録A 天然現象影響評価「作業フレーム」の火山・熱水活動を例とした一連の作業例 .....	35
付録B 国内外における類似研究の現状 .....	53
付録C 天然現象を考慮した安全評価のために必要とされる深地層の科学的研究の知見 .....	57

## Contents

1. Background .....	1
1.1 Background of this study .....	1
1.2 Past progress in JAEA .....	5
1.2.1 H12 report .....	5
1.2.2 H17 report .....	5
1.3 Past progress and trend in domestic and foreign institutes .....	10
1.4 Issues for future study .....	10
2. 5-year plan .....	11
2.1 Objectives .....	11
2.2 Outline .....	13
2.3 Contents .....	16
3. Application of JGIS .....	21
4. Schedule .....	25
5. Conclusion .....	31
Acknowledgement .....	31
References .....	32
Appendix A: Example of application of framework to examination of potential effect of natural Phenomena -Application to Volcanism- .....	35
Appendix B: State of similar study at home and abroad .....	53
Appendix C: Knowledge of geoscientific research required for performance assessment .....	57

## 図表目次

図 1.1-1 「自然現象の悪影響を受けないために」 .....	3
図 1.2.2-1 地質環境の長期安定性に関する研究および成果の反映先 .....	7
図 2.2-1 天然現象影響評価手法の高度化の概念 .....	13
図 2.3-1 THMC の条件の変化に影響を与えると考えられる「観点」についての マトリクスと対応する知見の例 .....	17
図 3-1 「技術情報統合システム (JGIS : JAEA Geological Disposal Information Integration System)」の概念 .....	21
図 3-2 作業フレームに対応した JGIS への情報登録の例 .....	23
図 4-1 スケジュール .....	29
表 1.2.2-1 安定性研究における研究情報基盤に関する研究 .....	7

This is a blank page.

## 1. 研究の背景と経緯

### 1. 1 背景

高レベル放射性廃棄物の処分事業における天然現象（地震・断層活動、火山・熱水活動、隆起・沈降・侵食／気候・海水準変動）の取り扱いについては、国の方針が示されており、「断層や火山の活動については、過去から現在までの活動の中に見出された傾向や規則性に基づき、地層処分に悪影響を与えない場所を選定することができ、隆起・沈降・侵食や気候・海水準変動については、変動の激しい地域を避けたうえで、設置する地域における変動の規模を考慮して、適切な深度に処分施設を設置するなど対応を図ることにより、地層処分に悪影響を与えないようになることができる」（経済産業省 資源エネルギー庁、2006<sup>1)</sup>）とされている。基本的に、最終処分施設建設地の選定は、断層や火山活動によって処分環境・システム性能が重大な影響を被る可能性のある地域をあらかじめ排除したうえで進められる。具体的には、「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（以下、「概要調査地区」という）」（原子力発電環境整備機構、2002a<sup>2)</sup>）の選定に際しての考慮事項（「法定要件に関する事項」および「付加的に評価する事項」）において、「文献調査で分かる範囲で最終処分施設建設地としての適性が明らかに劣る地域を含まないように選定」することとされている（原子力発電環境整備機構、2002b<sup>3)</sup>）。また、「文献調査から明確に判断できない場合には、概要調査あるいはそれ以降の調査において、最終処分施設を合理的に配置することが困難となるような現象の有無を検討していく」（原子力発電環境整備機構、2002b<sup>3)</sup>）とされている。

このような立地要件を満たせば、数万年を超えるような超長期においても、処分場近傍にこれらの天然現象が発生し重大な影響を及ぼす可能性は極めて小さいと考えられる。しかしながら、処分場から離れた所の断層や火山活動が活動し何らかの影響を及ぼす可能性、あるいは緩慢で広範囲な隆起・沈降・侵食、気候・海水準変動などの天然現象による影響を予め考慮しておくことは重要である。また、「処分場の選定にあたっては、現地においてより詳細な調査が行われ、これらの影響について十分確認しながら進められる」一方で、「選定された処分地の地質環境に応じて処分施設の設計および性能評価を行うことになる」（経済産業省 資源エネルギー庁、2006<sup>1)</sup>）とされている（図1.1-1）。そのため、ジェネリックな検討のみならず具体的な地質環境条件に応じた安全評価手法を構築することは、地層処分の安全性に対する信頼を高める上で重要である。さらに、可能性は極めて小さいが重大な影響を及ぼす事象、つまり「断層・火山活動による仮想的な事例」（経済産業省 資源エネルギー庁、2006<sup>1)</sup>）についても、「what-if シナリオ<sup>注</sup>」として評価できるようにしておくことが、地層処分への技術的信頼性および安全性に対する国民の理解の向上による社会的なコンセンサスの醸成に資すると考えられる。

これらの天然現象の影響については、TRU廃棄物の処分においても「安全評価で考慮するシナリオ」として同様に検討されている（電気事業連合会・核燃料サイクル開発機構、2005<sup>4)</sup>）。

以上より、国の基盤研究開発として独立行政法人日本原子力研究開発機構（以下「原子力機構」とする）が、地層処分にとって考慮すべき天然現象の発生様式やそれに起因する場の変化の様式、それらの地域性による違いなどを関連づけつつ処分環境・システム性能への影響を評価する技術と経験とを先行的に開発・整備し、事業および規制が必要な段階で適切な検討ができるよう

<sup>注</sup> 不測の事態に対する処分システムの頑健性を評価することを目的に構築されるシナリオ（Nagra、2002<sup>5)</sup>）。

This is a blank page.

準備をしておくことは必要である。これらのことは、今後予想される多様な処分環境を対象とした評価に資するものと考える。

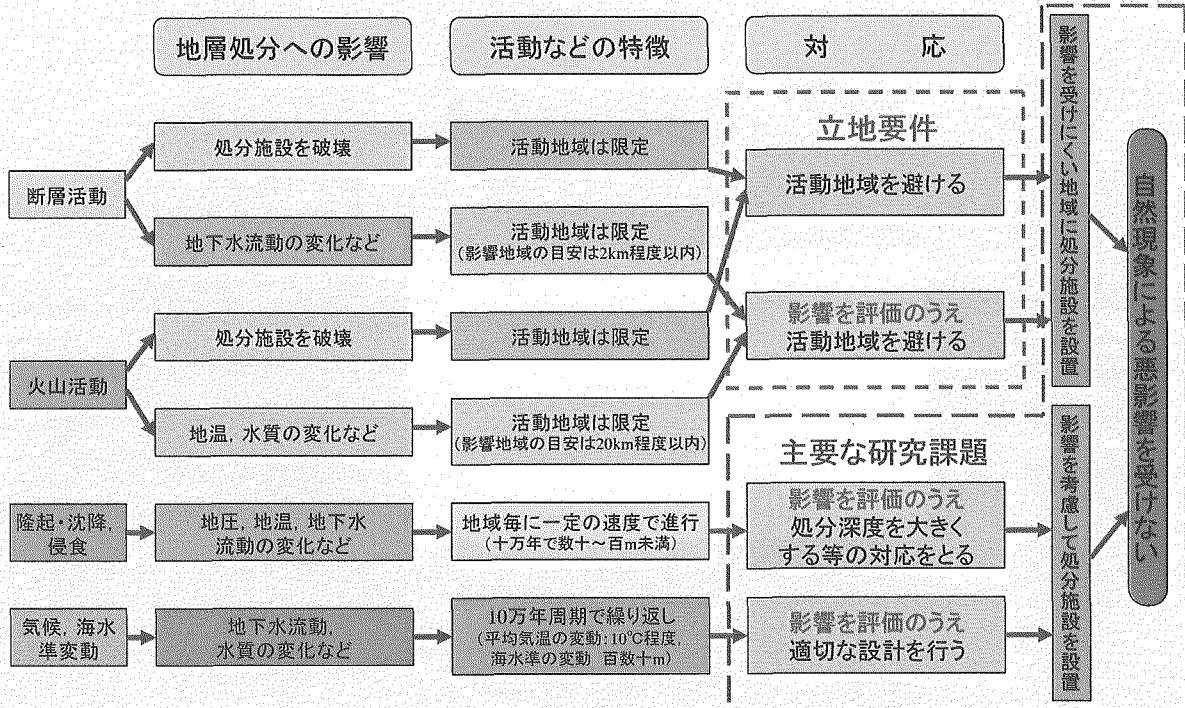


図 1.1-1 「自然現象の悪影響を受けないために」

経済産業省 資源エネルギー庁(2006)<sup>1)</sup>の「自然現象による悪影響を受けないために」(18 ページ) を引用、加筆

This is a blank page.

## 1. 2 研究の経緯

ここでは、「天然現象影響評価に関する研究」に関連した原子力機構におけるこれまでの研究開発の経緯について述べる。

### 1. 2. 1 第2次取りまとめ

核燃料サイクル開発機構（現 原子力機構）が取りまとめた「地層処分研究開発第2次取りまとめ」（以下、「第2次取りまとめ」とする）では、地質環境の長期安定性については、「深部地質環境に影響を及ぼす可能性のある天然現象について、地質学的記録などの情報を整理、分析することにより、過去の活動に認められる傾向や地域性に基づいて将来の活動を類推し、地層処分にとって十分に安定な地質環境がわが国に存在する可能性」を示した（核燃料サイクル開発機構、1999a<sup>6)</sup>）。

同時に、天然現象を考慮した安全評価のため、物質移行解析までを含む影響評価技術に関する研究として、シナリオの検討および例示的な影響解析を行った（核燃料サイクル開発機構、1999b<sup>7)</sup>、牧野ほか、2000<sup>8)</sup>）。このときのシナリオの検討は、それぞれの現象の発生の時期や頻度および地層処分システムに及ぼす影響の程度や時間的変遷等を現実的な条件として与えるのではなく、わが国における天然現象の研究成果および諸外国での取り扱い例なども適宜参考しつつ、システムへの特徴的な影響に焦点をあて、その影響を安全評価上十分と見込める程度に保守的に想定することにより取り扱っている。このような考え方に基づくシナリオの検討および影響評価の例示のために、各天然現象の発生による地層処分システムへの影響のパターンを複数想定し、その中から保守的なシナリオを中心に例示的な影響解析を行っている。但し、影響パターンの想定では、影響の発生の仕方の違いなどよりも解析における取り扱いの違いに着目しており、現実性よりも保守性を重視し、簡便なモデルとデータを用いた感度解析的な検討を行っている。これらの取り組みは、国の評価において「10万年を超える長期にわたる安全評価の手法、安全確保の在り方について、一つの考え方が提示されたものと判断できる」（原子力委員会 原子力バックエンド対策専門部会、2000<sup>9)</sup>）とされ、場所を特定しない幅広い地質環境を対象とした調査研究段階の取組みとして一定の評価を受けた。

### 1. 2. 2 平成17年取りまとめ

「高レベル放射性廃棄物処分の地層処分技術に関する知識基盤の取りまとめ－平成17年取りまとめ－」（以下「平成17年取りまとめ」とする）（核燃料サイクル開発機構、2005a<sup>10), b<sup>11)</sup>）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・メカニズムの解明といった基盤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た研究が進められた。この研究開発では、「①調査技術の開発・体系化」、</sup>

「②長期予測・影響評価モデルの開発」および「③研究情報基盤の整備」の3つの目標が設定され、隆起・沈降・侵食、気候・海水準変動、火山活動、地震・断層活動に関連するそれぞれの研究課題に対する検討が行われた（図1.2.2-1；核燃料サイクル開発機構、2005a<sup>10)</sup>）。

上記のうち「③研究情報基盤の整備」については、武田ほか(2004)<sup>12)</sup>により「安全評価に係る知的基盤の整備」、「安全評価に係る地質環境データベース」および「次世代の高精度探査技術・モニタリング技術に係る基盤研究」の3つの研究課題が設定されている。

This is a blank page.

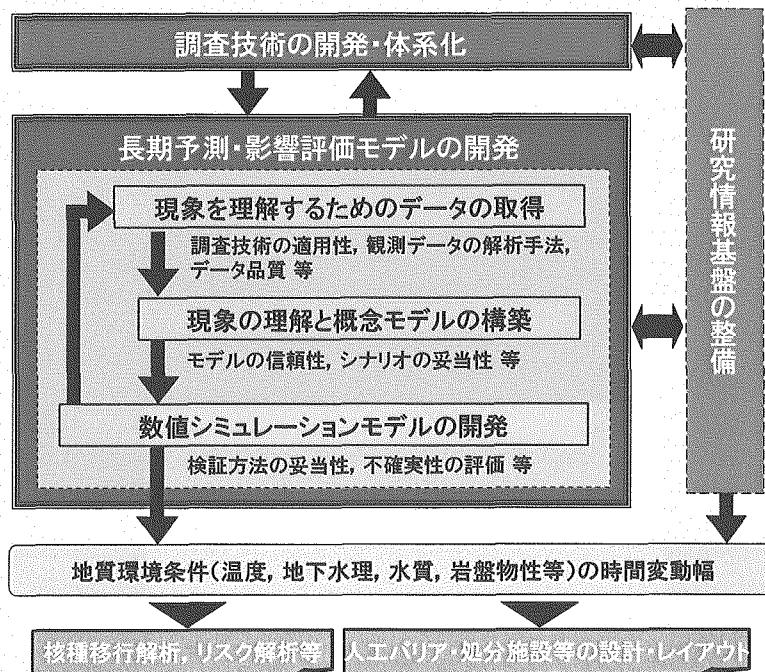


図 1.2.2-1 地質環境の長期安定性に関する研究および成果の反映先  
(核燃料サイクル開発機構(2005a)<sup>10)</sup>から引用)

これらの研究課題のうち、「安全評価に係る知的基盤の整備」では、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) 化が行われたほか、現象のメカニズムに関する最新の学術的知見やそれを支える最先端の観測・分析技術（たとえば、物理探査技術、年代測定法）に関する情報の収集・整備が進められた。特に、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、水質など）の変化などに関するデータが重点的に整備されるとともに、データに関する品質やトレーサビリティなどに関する情報を包含したデータベースの開発が進められた（表 1.2.2-1；核燃料サイクル開発機構, 2005a<sup>10)</sup> ; 武田ほか, 2004<sup>12)</sup>）。

表 1.2.2-1 安定性研究における研究情報基盤に関する研究

研究課題	実施内容
安全評価に係る知的基盤の整備	安全評価シナリオ（接近シナリオ、変動シナリオ）や概念モデルの基盤となる個々の現象メカニズムや複数の現象の相互作用等に関する最新の科学的知見を整備する。特に、発生しにくいシナリオを排除する根拠を明確化するための科学的根拠の蓄積を進める。
安全評価に係る地質環境データベース	安全評価に係る入力条件となる地質環境（力学的、熱的、水理学的、地球化学的データ）の変動幅を提示するため、文献調査や事例研究によって得られたデータの収集・整備、データベースの作成を行う。

武田ほか(2004)<sup>12)</sup>の「表 2 調査技術、長期予測・影響評価モデル、研究情報基盤に関する研究課題」から関係部分を抜粋

一方、安全評価の観点からは、わが国で起こり得る天然現象の発生バリエーションとそれによる地質環境への影響のバリエーションを組み合わせ、実際に起こり得る現象をより現実的に考慮した影響解析を行なうことが重要となる。そこで、上記の「③研究情報基盤の整備」のみならず、「①調査技術の開発・体系化」や「②長期予測・影響評価モデルの開発」の研究成果を変動シナ

This is a blank page.

リオの構築および影響解析に整合的かつ効果的に取り込むための包括的な作業手順を基本的手法として開発、整備することとした。その際、第2次取りまとめからの高度化の観点の一つである「保守性よりも現実性を重視した天然現象影響評価」を実施するため、以下の点に留意して、実際に起こり得る現実的な現象を出発点とした影響解析に至るまでの作業手順を構築した。

- ・現実性を重視しつつ天然現象の実際の特徴に基づく複数のシナリオの設定
- ・違いがわかりやすく（たとえば、第2次取りまとめのような保守的な観点で設定したシナリオが他のシナリオに比して具体的にどの程度保守的なのかを検証可能）かつ合理的な数の設定
- ・現実的な範囲内において保守的な想定に基づくシナリオの設定

また、構築されるシナリオは、

- ・透明性：検討に取り込んだ天然現象のプロセスやそれに起因する地質環境条件の変化の適切な記述とその際の出典、根拠の明確化
- ・追跡性：一連の作業の内容の明確化、記録化
- ・整合性：一連の作業における情報の受け渡しの適切性

が確保されることにも配慮することとした（核燃料サイクル開発機構、2005b<sup>11)</sup>）。

これらの取り組みの成果として、実際に起こり得る現実的な現象から影響解析に至るまでの検討手順を、ジェネリックな観点に基づいて「作業フレーム」として整理した。この「作業フレーム」の整理においては、透明性、追跡性および整合性の確保を考慮した（核燃料サイクル開発機構、2005b<sup>11)</sup>）。また、作業フレームを適用して作業を実施する場合、天然現象を発端とした地質環境条件の変化に関する知見を熱、水理、力学、化学（以下、「THMC」とする）の分類で収集・整理する手法（THMC情報シート）、および地質環境条件の変化が処分環境・システム性能に与える影響の伝播をRES（Rock Engineering System）法（Hudson, 1992<sup>13)</sup>）と呼ばれるマトリクス形式で整理する手法を適用し、検討作業の透明性と追跡性の確保を図った（核燃料サイクル開発機構、2005b<sup>11)</sup>；付録A参照）。その先行的な取り組みとして、火山・熱水活動を例に作業を実施し上記手法の適用性を評価した例を付録Aに示す（核燃料サイクル開発機構、2005b<sup>11)</sup>；川村ほか、2006a<sup>14)</sup>, b<sup>15)</sup>）。これにより、上記手法は実際の影響を科学的かつ適切に評価へ取り込むことが可能であること、また、モデルを構築する際の過度な保守性を排し、地球科学の専門家の合意が得られるレベルの現実性を有するシナリオに基づいた評価を可能とするアプローチであることが明らかになった。

### 1. 3 他機関および諸外国における研究

わが国におけるこれまでの安全規制に関わる報告書には、処分場閉鎖後の処分システム領域に外乱として影響を及ぼしうる「地質及び気候関連事象」の検討に必要とされる研究事項とその内容が記述されている。それらを集約すると「最新の事例研究の成果を取り込んだ科学的な知見に基づき、設計・施工での対応や処分システム全体の安全性能との関連も考慮し、過度な保守性を排した適切な天然現象影響評価ができる技術の開発」が求められている。つまり、安全規制側からも「天然現象および場の特徴を適切に取り込みつつ、なるべく現実的な評価が行えるようにすること」が求められているものと考えられる（たとえば、原子力安全委員会、2002<sup>16)</sup>；原子力安全委員会 原子力安全総合専門部会、2004<sup>17)</sup>；原子力安全委員会 放射性廃棄物安全規制専門部会、2000<sup>18)</sup>；総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会、2003<sup>19)</sup>；付録B参照）。

一方、諸外国においても、天然現象影響評価の検討の際にはその国の地域特性を十分に検討しつつ評価対象とする天然現象を選択するとともに、決定論あるいは確率論などの取扱い方法を検討しており、場の特徴を適切に取り込みつつ、なるべくその国特有の地質環境の特徴を考慮し、実状に適した現実的な評価が行えるようにすることを第1の目的としている（たとえば、ONDRAF/NIRAS, 2001a<sup>20)</sup>, 2001b<sup>21)</sup>; Marivoet, 1994<sup>22)</sup>; AECL, 1994<sup>23)</sup>; Vieno and Nordman, 1999<sup>24)</sup>; SKB, 1999<sup>25)</sup>; Nagra, 1994<sup>26)</sup>; CRWMS, 2000<sup>27)</sup>; US DOE, 2001<sup>28)</sup>; 付録B参照）。

### 1. 4 抽出された課題点

本研究計画では、これまでになされた天然現象に関する研究成果を踏まえ、地層処分の安全評価における天然現象影響評価手法の高度化を図るものとする。すなわち、実際の天然現象のプロセスやその影響に関する科学的知見を合理的に取り込むことにより、具体的な地質環境条件の変化も考慮できるような現実的な安全評価手法の構築を目指すものである。そのため、以下の課題を設定した。

- ①事例研究等で成果としてまとめられた天然現象に伴う地質環境条件の変化に関するデータ等を考慮しつつ、影響評価シナリオおよびモデル・パラメータを設定できること。
- ②ジェネリックな検討とあわせて、天然現象のシミュレーション技術の成果等を活用すること等により、具体的な地質環境条件の変化を反映できるような安全評価手法を構築すること。

なお、天然現象影響評価を検討する際に関係し得る、表層水理や生物圏評価および不確実性の取り扱いに関する調査研究についても連携して検討を進めることとする。それにより、最終的には表層水理、生物圏評価、不確実性解析、他関係する分野を体系的に扱い、かつ現実的なデータセットと影響解析シナリオ群を含む安全評価手法やその作業プロセス（不確実性の影響評価結果へのフィードバックなども含む）のノウハウを知識として提示する。

## 2. 当面 5 カ年における研究

### 2. 1 課題と目標の設定

平成 17 年取りまとめ以降、平成 22 年頃までの当面 5 カ年では、柔軟性のある変動シナリオの構築・評価手法を確立するため、THMC を介して、天然現象による地質環境条件の変化とそれによる核種移行パラメータの変化までの道筋を整理する。具体的には、平成 17 年取りまとめにおいて、火山活動を事例に構築した手法を他の現象に適用するとともに、影響解析まで展開することを通じて、安全評価のためのシナリオの構築から影響解析までの一連の技術を体系的かつ利用しやすい形で整備する。体系化においては、別途実施される基本シナリオを対象とした FEPs 情報に基づくシナリオの構築・評価技術に関する成果を活用することとする。また、シナリオ構築において重要なシナリオスクリーニング技術に関しては、シナリオの相対的な重要度の特性（どのような条件でどの程度重要か）を把握することを目的とし、天然現象に係わる場の特徴や発生の可能性などに係わる知見に基づく定性的情報整理、および影響解析結果（含む感度解析）に基づく定量的な情報整理のプロセスおよび技術を整備する。さらに、これら技術については、事例研究の調査結果や深地層の研究施設計画などによってまとめられる研究成果を例とした適用を通じて、有効性を確認することとする。

これまでに提示した天然現象影響評価に関する研究の全体の作業フレームは、「火山・熱水活動」（付録 A 参照）や「地震・断層活動」（川村ほか、2005<sup>29)</sup>）に適用され、現象の発生および地質環境条件の変化に応じて、妥当な THMC の組合せやそれに基づく影響解析パラメータを設定することにより、安全評価に関わるシナリオ・モデルや解析条件の設定や影響解析まで一貫した作業が可能であることがわかった。今後は作業フレームの次段階の高度化として、以下の事項を課題とする。

①「天然現象のプロセス」－「地質環境条件の THMC」－「影響解析パラメータ」の関係を可能な限り定量的に整理し、それに基づいてシナリオの重要度に関する特性を抽出できること

②超長期の地質環境条件の将来予測も含む「時間依存性」に対する不確実性も考慮できること

さらに、以下の検討を実施し、性能評価結果の妥当性検討も課題とする。

③天然現象に係わるシミュレーション技術の成果等を活用しつつ、具体的な地質環境条件の変化を考慮した一連の評価手法を構築すること

以上の検討を通じ、以下の成果を示すことを目標とする。

- ・天然現象に起因する地質環境条件の変化の定量的な提示、地域性や時間依存性（超長期の地質環境の将来予測）などに対する不確実性の検討
- ・検討や評価上の考え方、作業上の留意点、残された課題などに関する知識の整理
- ・検討や評価に必要な項目とそれに対して蓄積された知見・情報の事例などを総括的に取りまとめた情報集の作成

This is a blank page.

## 2. 2 概要

設定した課題に対し、まずは、シナリオの構築から影響解析までの一連の評価手法を構築することを考え、シナリオの構築やその重要性に関する情報整理に関わる技術を再整備し体系化するとともに、作業フレームの適用事例を増やすこととした。そのために、以下の検討を行う（宮原ほか、2006<sup>30)</sup>）。

- ①作業フレームの高度化
- ②作業フレームの適用事例の拡大

### (1) 作業フレームの高度化

前章1・4に記した課題への具体策として、これまでのジェネリックな観点に基づいて整理した作業フレームに対し、以下の検討を加えていく（図2.2-1参照）。

- ①天然現象の特性とTHMCの関係の定量化
- ②現象の発生可能性、時間依存性
- ③THMCの変化（時間的変遷も考慮）と安全評価上の重要パラメータとの関係整理
- ④安全評価上重要なパラメータに基づく変動シナリオの重要度の特性の整理

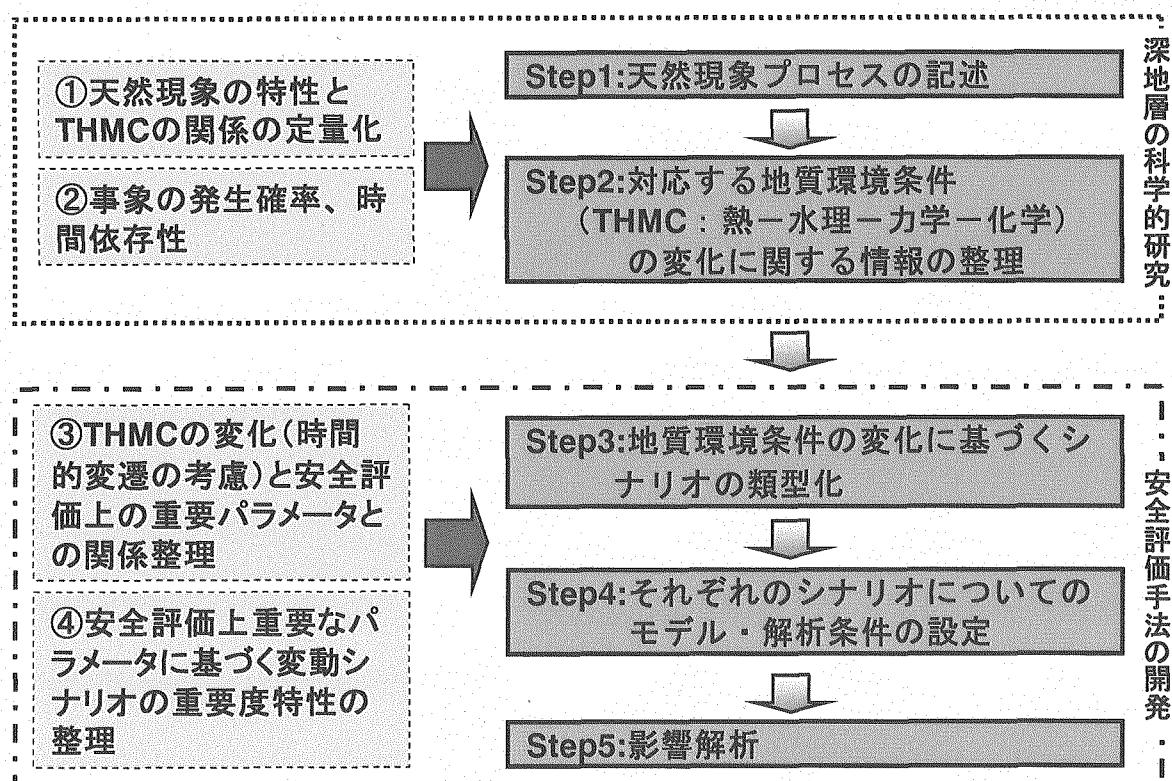


図 2.2-1 天然現象影響評価手法の高度化の概念

Step1～2の作業では、深地層の科学的研究における天然現象に係わる事例研究やシミュレーション技術の成果等がまとめられる。またStep3以降は、上記の成果等を活用しつつ、具体的な地質環境条件の変化を考慮した一連の安全評価手法の開発が行われる。

This is a blank page.

## (2) 作業フレームの適用事例の拡大

(1) で実施される作業フレームの高度化と並行して作業フレームの適用事例の拡大を図る。特に、緩慢かつ広域的な天然現象である「隆起・沈降・侵食」および「気候・海水準変動」に適用し、シナリオの構築から影響解析までを一貫して行うことのできる体系を整備する。作業フレームの適用事例を拡大する作業を同時に進めることにより、作業フレームの適用上の問題点や改良点などを抽出し、それらを作業フレームの高度化にフィードバックすることとする。また、体系化にあたっては、別途実施している「シナリオの構築・評価技術」に関する成果を活用することとする。さらに、一連の手法・技術を利用しやすい形で整備するとともに、成果については包括的にリスト化し取りまとめる。

上記の(1), (2)の技術については、天然現象に係わる事例研究やシミュレーション技術の成果等を活用しつつ、具体的な地質環境条件の変化を考慮する場合の適用性や課題点を整理する。特に、具体的な地質環境条件の変化に対する検討においては、天然現象のプロセスの変遷など、時間依存性に係わる情報がジェネリックな検討よりも、より詳細に与えられるものと考えられ、データが充実した場合の影響解析への効果についての検討も期待できる。

なお、天然現象に関わる場の特徴の把握および影響解析の条件設定等については、地質環境調査評価技術分野の細目（地質環境の長期安定性調査評価技術など）、性能評価技術分野内の「モデル化技術」と「データベース開発」の細目との連携を図り、それらの成果を取り込んでいく。

## 2. 3 実施内容

ここでは、前項に記された（1）および（2）の具体的な研究・作業内容について記述する。以下に記述する「作業フレームの高度化」および「作業フレームの適用事例の拡大」の作業を通して得られたリストや知識は、「天然現象に起因する変動シナリオの構築技術」、「シナリオや影響解析での知見・データの取り扱い方、知見・データを取り扱う際の判断根拠・基準や判断方法」および「一連の作業の実施例」として、処分事業や安全規制に対する概要調査地区選定時など情報の少ない段階、あるいは特定の場所の情報が得られた場合においても使用可能な基盤情報として利用可能なものとなる。

### （1）作業フレームの高度化

前項2. 2 (1) に記した①～④までの研究・作業の具体的な内容について以下に記す。①～④の作業を別途進めておくとともに、作業フレームへの反映の仕方についても検討を進め、最終的には作業フレームの高度化を図るものとする。

#### ① 天然現象の特性と THMC の関係の定量化：

天然現象の特性と THMC の関係を確実に把握するため、地震・断層活動、火山・熱水活動、隆起・沈降・侵食／気候・海水準変動の現象ごとに THMC の条件の変化に影響を与えると考えられる「観点」(たとえば、現象からの距離、現象の規模、現象の様式、現象の継続時間など)を選定し、それらについて検討する。この検討を通して、それぞれの観点ごとに THMC がどのように変化するかを包括的に取りまとめたマトリクス(たとえば、図 2.3-1)を作成する。このような取りまとめをすることにより、専門家の意見を取り入れやすくするとともに、研究の抜けや優先順位を明らかにすることが可能となる。

#### ② 現象の発生可能性、時間依存性：

時間依存性については、発生の可能性を考慮すべきものと单なる時間依存とを分けて考え、その取り扱い方について検討する。時間依存については、まず、現象の時間的な推移を捉え、どのくらいの期間でどのように変わりうるかをまとめる。その検討ののち、当該現象の発生の可能性を考慮すべきかどうかについての検討を加える。また、決定論的な評価で重要度の高い現象をピックアップしてから、その発生可能性について検討することとする。

#### ③ THMC の変化(時間的変遷を含む)と安全評価上の重要パラメータとの関係整理：

THMC の変化(時間的変遷を含む)と安全評価上の重要パラメータについて、まずは既存情報を用いて、核種移行パラメータとの関係を再整理する。当該条件下で情報が得られていないものは、マークし、その重要度に応じて重要な研究課題としてピックアップする。

#### ④ 安全評価上重要なパラメータに基づく変動シナリオの重要度特性の整理：

天然現象を考慮した安全評価において構築されるシナリオは、膨大なものになると考えられる。そのため、たとえば、前提条件を明示しつつ、シナリオに関する重要度特性を示すなどし、シナリオの重要度に関する情報を整理する必要がある。これらの情報整理においては、天然現象に関わる場の特徴や現象発生の可能性と時間依存性などに関する研究成果を活用した上で、シナリオの類型化や安全評価で必要となるシナリオの相対的な重要度の評価を行えるように、定性的な情報の整理および影響解析結果(含む感度解析)に基づく定量的な情報の整理に関する考え方やプ

ロセス、および技術を整備する。

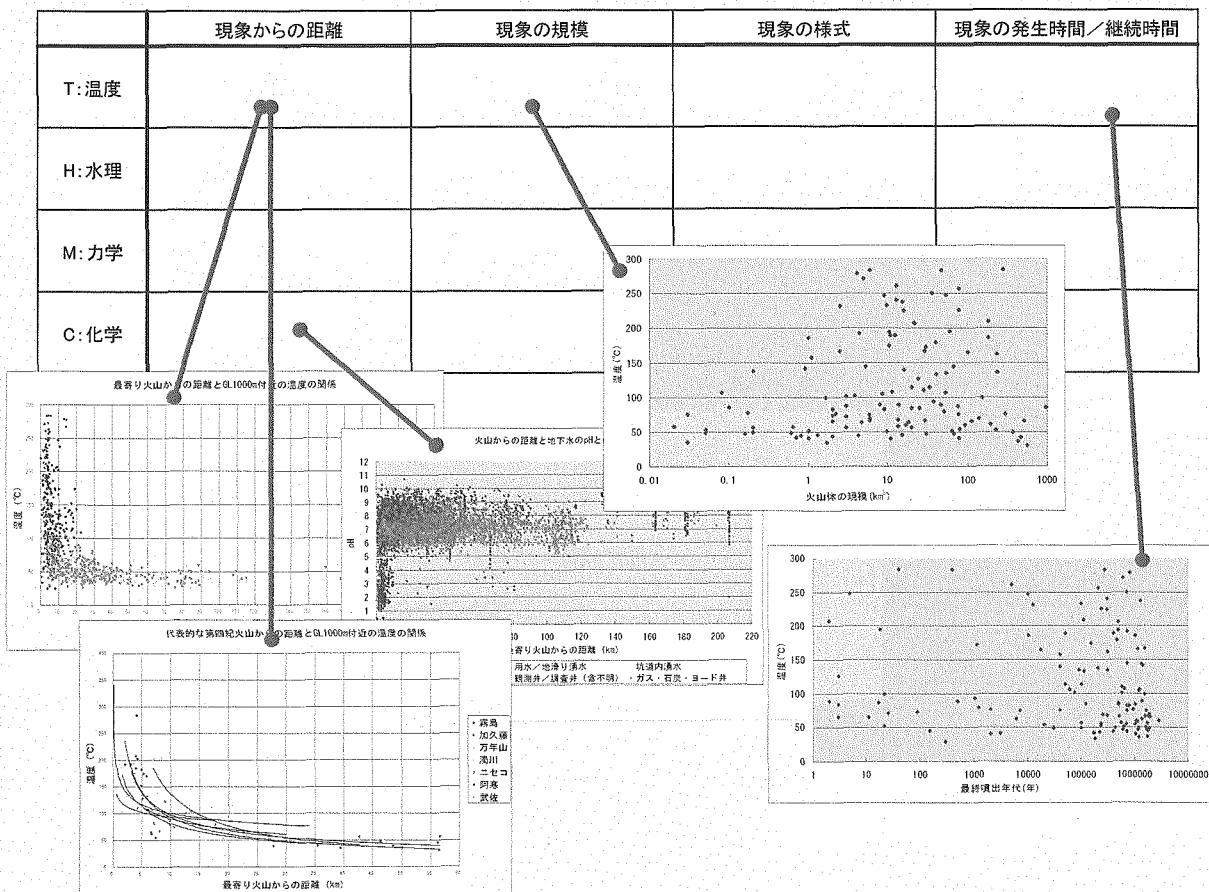


図 2.3-1 THMC の条件の変化に影響を与えると考えられる「観点」についてのマトリクスと対応する知見の例

具体的には、以下に示すような天然現象と THMC、あるいは THMC と評価パラメータを体系的に対応付け類型化する手法を整備するとともに、別途実施しているシナリオ解析技術などの知見を活用して変動シナリオを構築できるようにする。

#### Step1～2 :

- ・天然現象を起因とする現象（Step1）と地質環境条件の THMC の変化との関係（Step2）の整理（具体的には付録Cを参照）
- ・地球科学情報を活用し、定量的知識が得られているもの、定性的な知識が得られているものの、単に関係が想定されているだけで確かではないもの等に分類するなどして整理
- ・柔軟性を確保するための網羅的な整理、発生可能性や時間的変遷の検討、評価ケースの絞り込み方法の検討

#### Step3～5 :

- ・核種移行研究の成果を活用した THMC の変化と評価パラメータの変化の関係の整理（Step3～4）

This is a blank page.

- ・不確実性解析の実施および重要な天然現象の伝播経路に関する情報の検討に基づく、天然現象を対象として抽出された変動シナリオの類型化手法の検討（Step3；シナリオ解析技術からの知見の活用）
- ・THMC から評価パラメータに至る影響の伝播の網羅的整理手法の開発、特に、FEPs の相関関係の整理手法の応用による整理（Step4；シナリオ解析技術などの知見の活用）
- ・影響解析に必要な、不確実性解析、生物圏評価モデル、表層水理などの知見の天然現象影響評価での取り扱い方法の検討（Step4；シナリオ解析技術、生物圏評価技術などの知見の活用）
- ・構築された変動シナリオに対する適切な解析モデルの構築、それに基づく影響解析パラメータの設定と解析の試行（Step4～5）

## （2）作業フレームの適用事例の拡大

平成 17 年取りまとめでは、「火山・熱水活動」を先行的な事例として検討を進めてきた（核燃料サイクル開発機構、2005b<sup>11)</sup>；川村ほか、2006a<sup>14), b<sup>15)</sup>）。また「地震・断層活動」についても Step1～3 まで作業を実施し、作業フレームの適用性について検討した（川村ほか、2005<sup>29)</sup>）。この検討によりこれまで開発した「作業フレーム」と各 Step における情報の取りまとめ方法については、「火山・熱水活動」と「地震・断層活動」のような、現象の発生が局所的で地質環境への影響伝播の減衰が比較的把握しやすい「局所的で急激な現象」については、適用可能であることが確認できた。これは、これらの現象については影響の大小の区分けとそれによる評価対象とするケースの絞り込み、および影響と評価ケースに対する知見・情報の整理がしやすいためである。以上に基づき、今後は以下の検討を行う。</sup>

- ・「火山・熱水活動」および「地震・断層活動」の Step1～2 の検討内容の見直し：

平成 17 年取りまとめで行った検討内容の見直しを実施し、情報の誤りや過不足等があれば整理し、修正情報や不足情報の取得を図る。

- ・「隆起・沈降・侵食」および「気候・海水準変動」の Step1～2 の検討作業の実施：

「隆起・沈降・侵食」および「気候・海水準変動」は広範囲かつ長期間にわたる「広域的で緩慢な現象」である。「局所的で急激な現象」との考え方、取り扱い方の相違を検討し、「作業フレーム」の適用性について評価する。その結果、不都合な部分があれば適宜「作業フレーム」を改良し、柔軟性を確保する。

- ・天然現象を起因とし、地質環境条件の THMC の変化に至る影響の伝播の関係の網羅的整理と絞り込み手法の開発：

天然現象のインフルエンスを抽出するための検討項目リスト（Features, Events, Processes（以後「FEPs」とする）リスト的なもの）の検討・作成を行い、それを用いて整理を行う。たとえば、規模、距離、場の特性、継続期間、変位、発生時期などを項目として整理するなど。

- ・現象に対する「現象の発生可能性」、現象周辺の地質環境への「影響伝播の可能性」、および現象の「発生時刻」や「時間依存性」の検討の実施：

上記の検討をとおして、「火山・熱水活動」、「地震・断層活動」、「隆起・沈降・侵食」および「気候・海水準変動」について、「現象の発生可能性」、「影響伝播の可能性」および「時間依存性」を含んだ Step1～2 までの記述がなされることになる。

なお、平成 17 年度までの研究において検討された、天然現象を考慮した安全評価のために必要とされる深地層の科学的研究の知見については、付録 C を参照のこと。

Step3 以降の作業として、平成 17 年取りまとめでは、先行例である「火山・熱水活動」について、付録 A に記した RES を利用し、第 2 次取りまとめのレファレンスケースを基準に地質環境条件の変動としてモデル化し、その地質環境条件である THMC の変動量から影響解析パラメータ設定を試行した（川村ほか、2006a<sup>14)</sup>, b<sup>15)</sup>）。その結果、THMC で整理された天然現象に起因する地質環境条件の変化に基づいて影響解析パラメータ設定が可能である見通しを得た。

平成 17 年取りまとめの検討は特定の地質環境条件を想定しない検討であったためレファレンスケースの地質環境モデルを使用した。しかしながら、将来的には具体的な地質環境条件への適用が求められる。そのため、今後は、幅広の条件選択肢をもった柔軟性のある変動シナリオの構築・評価手法を確立するため、「(1) 作業フレームの高度化」での検討と、天然現象のシミュレーション技術等の結果を踏まえ、具体的な地質環境で予想される「天然現象」とそれに起因する「地質環境への影響」に関する成果を活用し、作業フレームの適用性を評価する。

### 3. 技術情報統合システムの利用

深地層の科学的研究と安全評価手法の開発についてそれぞれの基盤的な研究開発を行う中で、両者の研究開発から得られた様々な情報・知見のすり合わせを行い、各種のコミュニケーション手段を駆使し、「進捗状況の共有」、「情報・知見の共有」、「課題のフィードバック」を通常的に実施することとする。また、「進捗状況の共有」、「情報・知見の共有」、「課題のフィードバック」についての、手順や過程、運用方法なども知識として整理することとする。

また、検討内容や取り扱ったデータ・知見や得られた成果についてはデータベース化を図ることとする。情報や知見の収集・整理、モデルの設定、パラメータの設定、解析結果については、現在構築を進めている知識ベース（核燃料サイクル開発機構、2005c<sup>31)</sup>）へ展開する観点から、それらの品質や不確実性に関する情報、および作業内容やノウハウなどに関する情報を適切に記録・管理する必要ある。そのためのツールとして、「技術情報統合システム（JGIS : JAEA Geological Disposal Information Integration System）」を活用する（核燃料サイクル開発機構、2005b<sup>11)</sup>。

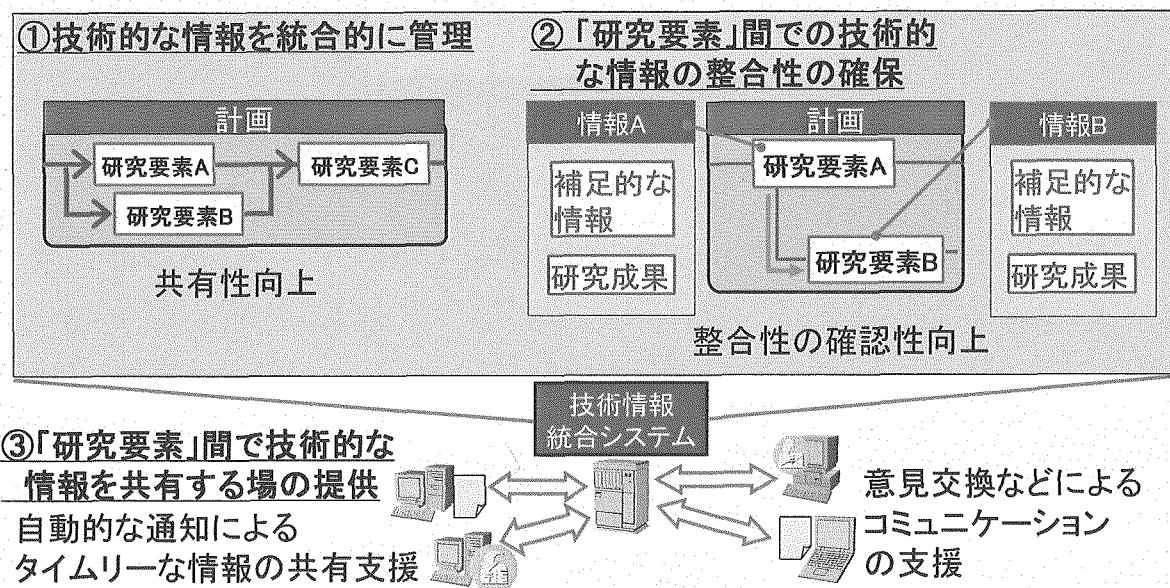


図 3-1 「技術情報統合システム（JGIS : JAEA Geological Disposal Information Integration System）」の概念

本研究では、研究者の観点から優先的に取り組むべき重要な情報を明示するとともに、合理的に情報を共有・分類整理する情報管理ツールとして JGIS を位置づける（図 3-1 参照）。

具体的には、JGIS 上において、作業フレームの Step1 から Step5 まで一貫した作業全体（たとえば「火山・熱水活動」に起因する変動シナリオの構築）を一つの「計画」として設定する（図 3-2）。その計画中の実行される Step1 から 5 までに対応する個々の検討および作業を「研究要素」（図 3-2 中の Act1 から Act5 として設定する。図 2-3-1 に示したように、各研究要素は更に「詳細項目」が定義されており（図 3-2 では Act2 および 3 におけるマトリクス）、その詳細項目に対応した「情報」をそれぞれのマトリクスに登録する（図 3-2）。

This is a blank page.

JGIS を利用して技術的な情報を共有する場を構築したうえで、作業フレームに沿った情報登録をすることにより、天然現象影響評価に関する研究の作業フレームにおける Step1~5 までを通した技術的な情報を統合的に管理することができ、各 Step で行う作業および研究成果などの情報の整合性や追跡性を確保することができる。

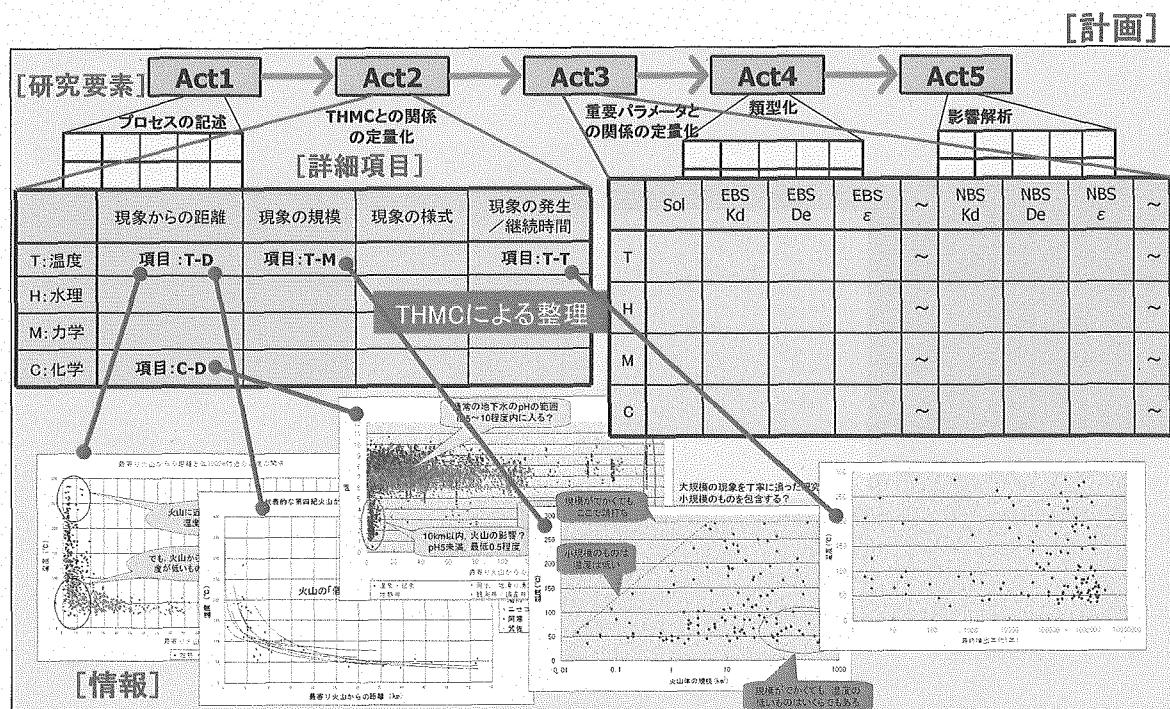


図 3-2 作業フレームに対応した JGIS への情報登録の例

This is a blank page.

#### 4. スケジュール

大まかなスケジュールは以下のとおり。

平成 18~19 年度は「作業フレームの高度化」のうち、「天然現象の特性と THMC の関係の定量化」、「THMC の変化と安全評価上の重要パラメータとの関係整理」および「安全評価上重要なパラメータに基づく変動シナリオの重要度特性の整理」の検討を進める。平成 19 年度以降、「作業フレームの高度化」の「現象の発生可能性、時間依存性」の検討を開始する。

「作業フレームの適用事例の拡大」については、平成 18 年度より、上記の「作業フレームの高度化」と並行して作業を進め、平成 19 年度を目指し、天然現象に係わる事例研究やシミュレーション技術の成果等を活用しつつ、具体的な地質環境条件の変化を考慮する場合の適用性や課題点を整理する。また、作業フレームの適用事例拡大については、本研究計画期間を通して継続的に実施することとする。

「作業フレームの高度化」と「作業フレームの適用事例の拡大」を同時進行的に実施し、「作業フレームの適用事例の拡大」において抽出される問題点や改良点を「作業フレームの高度化」の作業に反映するとともに、「改良」作業フレームの適用事例の拡大」を実施して、繰り返しアプローチ的に検討を進める。

また、研究の進展に伴い得られる以下のような情報、たとえば、

- ・天然現象の発生プロセスに関する情報
- ・それらに対応する THMC で整理された地質環境条件の変化の情報
- ・地質環境条件の変化の傾向に影響を与えると考えられる「観点」(たとえば、現象からの距離、現象の規模、現象の様式、現象の継続時間など) と THMC に関する情報
- ・地質環境条件の変化に伴う核種移行解析パラメータの変化についての情報

など、情報の十分／不十分なども付記したうえ図 3-2 に示したような JGIS に登録していくとともに、整合的かつ包括的なリストとしても取りまとめ（「包括的リスト」とする）、年度ごとの成果情報として公表していく。

実施内容の年度展開について以下に記すとともに、スケジュールを図 4-1 に示す。なお、各年度の実施内容において、文中の①～④は図 4-1 の①～④に対応する。

##### 平成 18 年度：

###### ① Step1～2 に関する作業：

ジェネリックな検討として、「火山・熱水活動」、「地震・断層活動」の Step1～2 の記述内容について、「天然現象の特性と THMC の関係の定量化」の観点から見直しを実施し、修正・追加を行う。また、「隆起・沈降・侵食／気候・海水準変動」の Step1～2 の記述について、検討作業を実施する。

###### ② Step3～5 に関する作業：

「THMC の変化と安全評価上の重要パラメータとの関係整理」に関するジェネリックな検討として「火山・熱水活動」および「地震・断層活動」に関する物質移行解析を引き続いて実施するほか、「隆起・沈降・侵食」、「気候・海水準変動」についてのモデルを構築する。また、「安全評価上重要なパラメータに基づく変動シナリオの重要度特性の整理」に関する解析の一環と

して「感度解析」も実施し、重要な影響解析パラメータの抽出とそれに対応する THMC を把握するとともに、重要な現象についての絞り込みを行う。

③ 包括的リストの整備：

平成 18 年度までの成果を取りまとめ、網羅的にリストアップされた発生可能性のある天然現象およびそれらに対応する地質環境条件（THMC）の変化を取りまとめた「包括的リスト Ver.1」を作成する。なお、①の Step2 において知見がないため「空欄」となる部分が発生することが予想されるが、根拠のある推定値やエキスパート・ジャッジによる「仮置き値（記述）」もその旨を明記して記述することとする。

**平成 19 年度：**

① Step1～2 に関する作業：

「天然現象の特性と THMC の関係の定量化」の検討の一環としてジェネリックな検討「火山・熱水活動」、「地震・断層活動」、「隆起・沈降・侵食」、「気候・海水準変動」の Step1～2 の改訂作業を継続する。

また、天然現象のシミュレーション技術等の結果も踏まえ、実際の地質環境で予想される「天然現象」とそれに起因する「地質環境への影響」について「包括的リスト Ver.1」からの絞り込みを行い、具体的な地質環境条件の変化を考慮した場合の適用性や課題点を整理する。不足、不適合が見いだされたときには、リストを加筆・修正する。

② Step3～5 に関する作業：

「包括的リスト Ver.1」から絞り込まれた処分環境・システム性能への影響伝播について、シナリオ解析技術からの知見を活用し、具体的な地質環境を考慮したシナリオ構築に着手する。また、同時にジェネリックな検討で構築したシナリオに対しても、解析モデルを構築、物質移行解析を継続する。

③ 包括的リストの整備：

平成 19 年度までの累積的成果と他機関との情報交換等の成果を取りまとめ、更に評価結果まで追記した「包括的リスト」の改訂を実施する（Ver.2 の作成）。

④ 「時間依存性」、「発生可能性」、「影響伝播の可能性」の検討：

「作業フレームの高度化」のうち「現象の発生可能性、時間依存性」に関して、各現象についての「時間依存性」、「発生可能性」、「影響伝播の可能性」の検討を行う。

**平成 20 年度：**

① Step1～2 に関する作業：

ジェネリックおよび具体的な地質環境条件の変化を考慮した適用性検討の継続

② Step3～5 に関する作業：

ジェネリックおよび具体的な地質環境条件の変化を考慮した適用性検討の継続

④ 「時間依存性」、「発生可能性」、「影響伝播の可能性」の検討：

「火山・熱水活動」、「地震・断層活動」、「隆起・沈降・侵食」、「気候・海水準変動」の各現象についての「時間依存性」、「発生可能性」、「影響伝播の可能性」の検討成果の作業フレームへの取り込みを検討する。検討結果は逐次「包括的リスト」へ反映する。

平成 21 年度：

① Step1～2 に関する作業：

ジェネリックおよび具体的な地質環境条件の変化を考慮した適用性検討の継続

② Step3～5 に関する作業：

ジェネリックおよび具体的な地質環境条件の変化を考慮した適用性検討の継続

③ 包括的リストの整備：

平成 20・21 年度までの累積的成果を取りまとめ、「包括的リスト」の改訂を実施する（Ver.3 の作成）。

④ 「時間依存性」、「発生可能性」、「影響伝播の可能性」の検討：

「火山・熱水活動」、「地震・断層活動」、「隆起・沈降・侵食」、「気候・海水準変動」の各現象についての「時間依存性」、「発生可能性」、「影響伝播の可能性」の検討成果の作業フレームへの取り込み検討を継続する。検討結果は逐次「包括的リスト Ver.3」へ反映する。

なお、スケジュール全体を通して、逐次「作業フレーム」の見直し／改良を継続する。

This is a blank page.

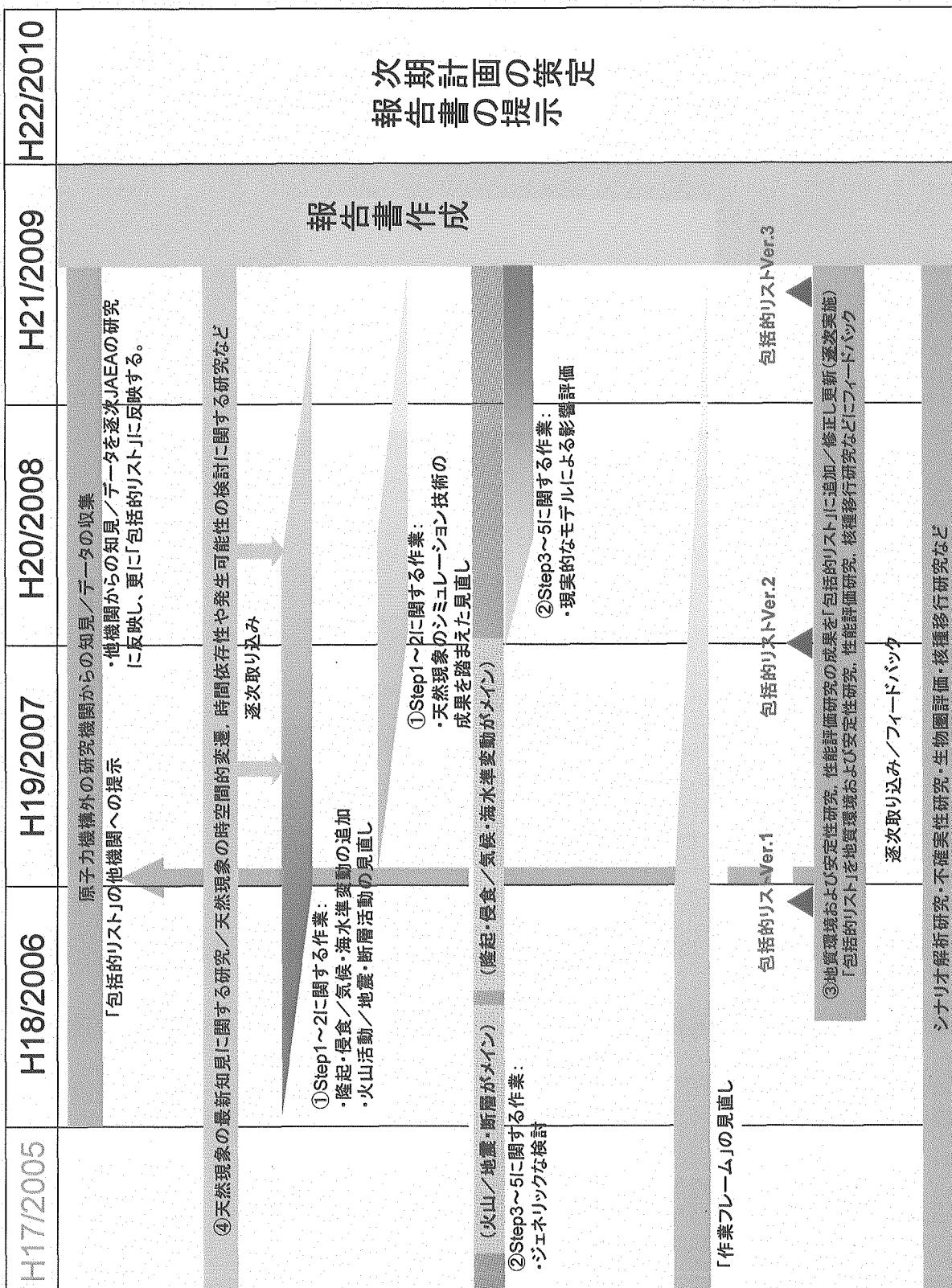


図 4-1 スケジュール

This is a blank page.

## 5. おわりに

高レベル放射性廃棄物の地層処分に係わる天然現象影響評価に関する研究を対象として、これまでの研究成果を踏まえ、当面 5 カ年を目途に実施すべき研究項目とその内容等を研究計画書としてまとめた。

本計画は、これまでの研究から得られた知見等に基づいて抽出された重要な研究課題について記述したものであり、高レベル放射性廃棄物地層処分の天然現象影響評価技術（資源エネルギー庁・日本原子力研究開発機構<sup>32)</sup>）に関する課題への対応をほぼ包含するものである。この計画に沿った研究の実施は、天然現象のみならず処分システムに及ぼす外的擾乱（たとえば、高レベル放射性廃棄物と TRU 廃棄物の併置処分の場合のそれぞれのシステムへの影響など）の影響解析に資するものと考える。

## 謝辞

本計画書を作成するにあたり、地層処分研究開発部門 地層処分基盤研究開発ユニット システム性能研究グループ 加藤智子氏および江橋健氏、並びに TRU 廃棄物処分研究グループ 亀井玄人グループリーダーには、有益な助言を頂きました。記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 経済産業省 資源エネルギー庁：“高レベル放射性廃棄物の処分の安全性について考えてみませんか”，平成 18 年 3 月，2006.
- 2) 原子力発電環境整備機構：“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について”，2002 年 12 月 19 日，2002a.
- 3) 原子力発電環境整備機構：“概要調査地区選定上の考慮事項”，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関係資料－3，2002b.
- 4) 電気事業連合会，核燃料サイクル開発機構：“TRU 廃棄物処分技術検討書－第 2 次 TRU 廃棄物処分研究開発取りまとめ”，電気事業連合会・核燃料サイクル開発機構，JNC TY 2005-013, FEP/C TRU-TR2-2005-02, 2005.
- 5) Nagra: “Project Opalinus Clay: Safety Report”, Demonstration of disposal feasibility for spent fuel, vitrified high-level waste and long-lived intermediate-level waste (Entsorgungsnachweis), National Cooperative for the Disposal of Radioactive Waste (Nagra), NTB02-05, 2002.
- 6) 核燃料サイクル開発機構：“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 次取りまとめ一分冊 1 わが国の地質環境”，核燃料サイクル開発機構, JNC TN1400 99-021, 1999a.
- 7) 核燃料サイクル開発機構：“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 次取りまとめ一分冊 3 地層処分システムの安全評価”，核燃料サイクル開発機構, JNC TN1400 99-023, 1999b.
- 8) 牧野 仁史, 加藤 藤孝, 宮原 要: “天然現象の発生が地層処分システム性能に与える影響についての概略的検討－サイトを特定しない段階での検討例－”，核燃料サイクル開発機構, JNC TN8400 2000-033, 2000.
- 9) 原子力委員会 原子力バックエンド対策専門部会：“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”，平成 12 年 10 月 11 日，2000.
- 10) 核燃料サイクル開発機構：“高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する知識基盤の構築－平成 17 年取りまとめ－，一分冊 1 深地層の科学的研究－”，核燃料サイクル開発機構, JNC TN1400 2005-014, 2005a.
- 11) 核燃料サイクル開発機構：“高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する知識基盤の構築－平成 17 年取りまとめ－，一分冊 3 安全評価手法の開発－”，核燃料サイクル開発機構, JNC TN1400 2005-016, 2005b.
- 12) 武田 精悦, 中司 昇, 梅田 浩司: “地質環境の長期安定性と地層処分－今後の研究開発に向けた視点－”，月刊地球（地質環境の長期安定性（上）－高レベル放射性廃棄物の地層処分と地球科学），Vol.26, No.6, pp.332-338, 2004.

- 13) Hudson, J.: "Rock Engineering System: Theory and Practice", Ellis Horwood, Chichester, 1992.
- 14) 川村 淳, 牧野 仁史, 梅田 浩司, 大井 貴夫, 新里 忠史, 石丸 恒存: "「火山活動」を例とした放射性廃棄物処分に係わる影響解析パラメータの設定", 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, G150-P019, 2006a.
- 15) 川村 淳, 牧野 仁史, 大井 貴夫, 梅田 浩司, 新里 忠史, 石丸 恒存: "放射性廃棄物処分に係わる天然現象影響評価に関する影響解析パラメータの設定手法の検討", 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, G150-012, 2006b.
- 16) 原子力安全委員会: "高レベル放射性廃棄物の処分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", 2002.
- 17) 原子力安全委員会 原子力安全総合専門部会: "放射性廃棄物処分の安全規制における共通的な重要事項について", 2004.
- 18) 原子力安全委員会 放射性廃棄物安全規制専門部会: "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)", 2000.
- 19) 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報告書—高レベル放射性廃棄物の安全規制に係る基盤確保に向けてー", 2003.
- 20) ONDRAF/NIRAS: "The SAFIR2 report. Safety Assessment and Feasibility Interim Report 2", National Agency for Radioactive Waste and Enriched Fissile Materials (ONDRAF/NIRAS), NIROND-2001-1, 2001a.
- 21) ONDRAF/NIRAS: "Technical overview of the SAFIR2 report. Safety Assessment and Feasibility Interim Report 2", National Agency for Radioactive Waste and Enriched Fissile Materials (ONDRAF/NIRAS), NIROND-2001-5E, 2001b.
- 22) Marivoet, J.: "Long-term performance studies: Selection of scenarios to be considered in a performance assessment for the Mol site", Belgian Nuclear Research Centre (SCK/CEN), R-2987, 1994.
- 23) AECL: "Environmental Impact Statement on the Concept for Disposal of Canada's Nuclear Fuel Waste", Atomic Energy of Canada Limited (AECL), AECL-10711, COG-93-1, 1994.
- 24) Vieno, T. and Nordman, H.: "Safety assessment of spent fuel disposal in Hästholmen, Kivetty, Olkiluoto and Romuvaara TILA-99", Posiva Oy, Posiva 99-07, 1999.
- 25) SKB: "SR97-Post-closure safety, Main Report Summary", Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Corporation (SKB), TR-99-06, 1999.
- 26) Nagra: "Kristallin-I: Safety Assessment Report", National Cooperative for the Disposal of Radioactive Waste (Nagra), NTB93-22, 1994.

- 27) CRWMS: "Total System Performance Assessment for the Site Recommendation" Civilian Radioactive Waste Management System Management and Operating Contractor, TDR-WIS-PA-000001 Rev. 00 ICN 01, 2000.
- 28) US DOE: "Yucca Mountain Science and Engineering Report: Technical information supporting site recommendation consideration", U. S. Department of Energy Office of Civilian Radioactive Waste Management, DOE/RW-0539, 2001.
- 29) 川村 淳, 梅田 浩司, 牧野 仁史: "高レベル放射性廃棄物処分に関する「地震・断層活動」シナリオの構築", 日本地震学会 2005 年度秋季大会講演予稿集, P152, p.238, 2005.
- 30) 宮原 要, 吉川 英樹, 大井 貴夫, 柴田 雅博, 澤田 淳, 笹本 広, 飯島 和毅, 前川 恵輔, 川村 淳, 加藤 智子, 江橋 健: "高レベル放射性廃棄物地層処分の性能評価に関する研究計画書(当面 5 カ年の計画: H17 年度版)", 日本原子力研究開発機構, JAEA-Review 2006-015, 2006.
- 31) 核燃料サイクル開発機構: "高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する知識基盤の構築—平成 17 年取りまとめ—, 一地層処分技術の知識化と管理—", 核燃料サイクル開発機構, JNC TN1400 2005-020, 2005c.
- 32) 資源エネルギー庁, 日本原子力研究開発機構: "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", 2006.

## 付録A 天然現象影響評価「作業フレーム」の火山・熱水活動を例とした一連の作業例

## Step1: 「天然現象のプロセスの記述」の検討内容

- ・現象の発生様式（形式、規模）の抽出・整理
- ・現象の発生条件、可能性の検討

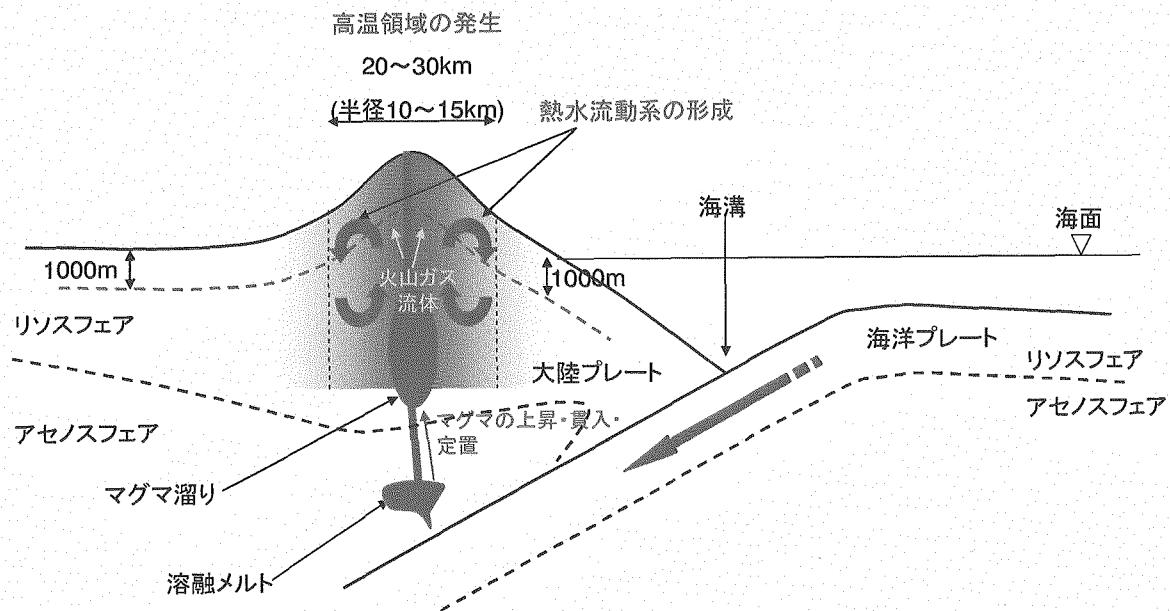


図 A-1 火山の発生様式の検討の例

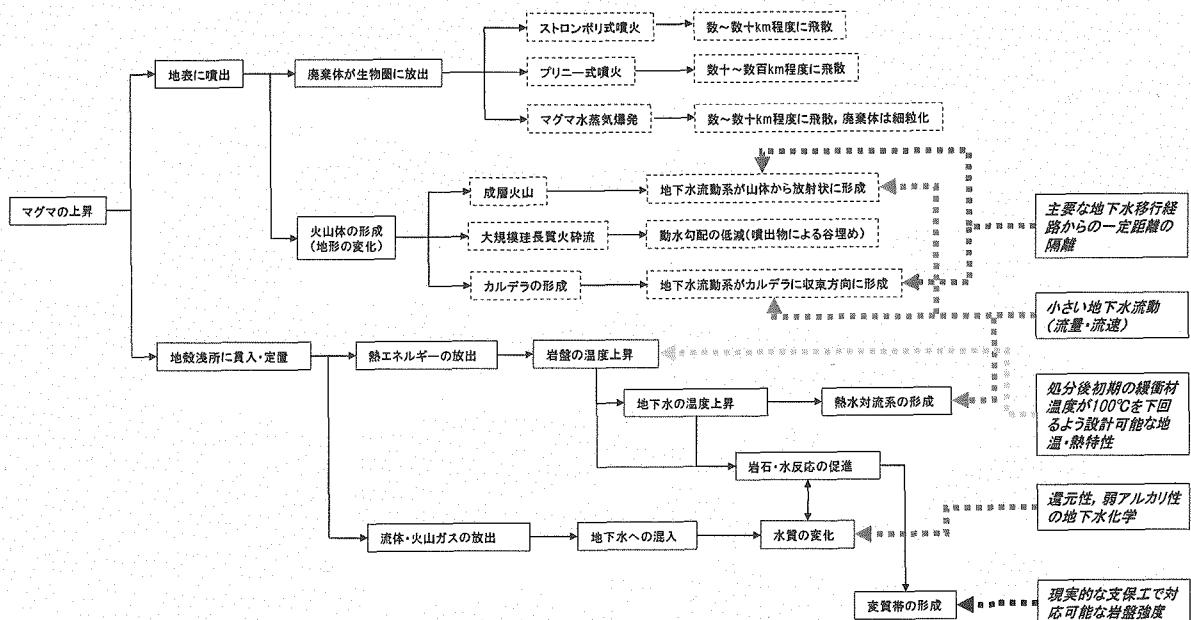


図 A-2 火山の発生様式（形式、規模）の抽出・整理の検討例

This is a blank page.

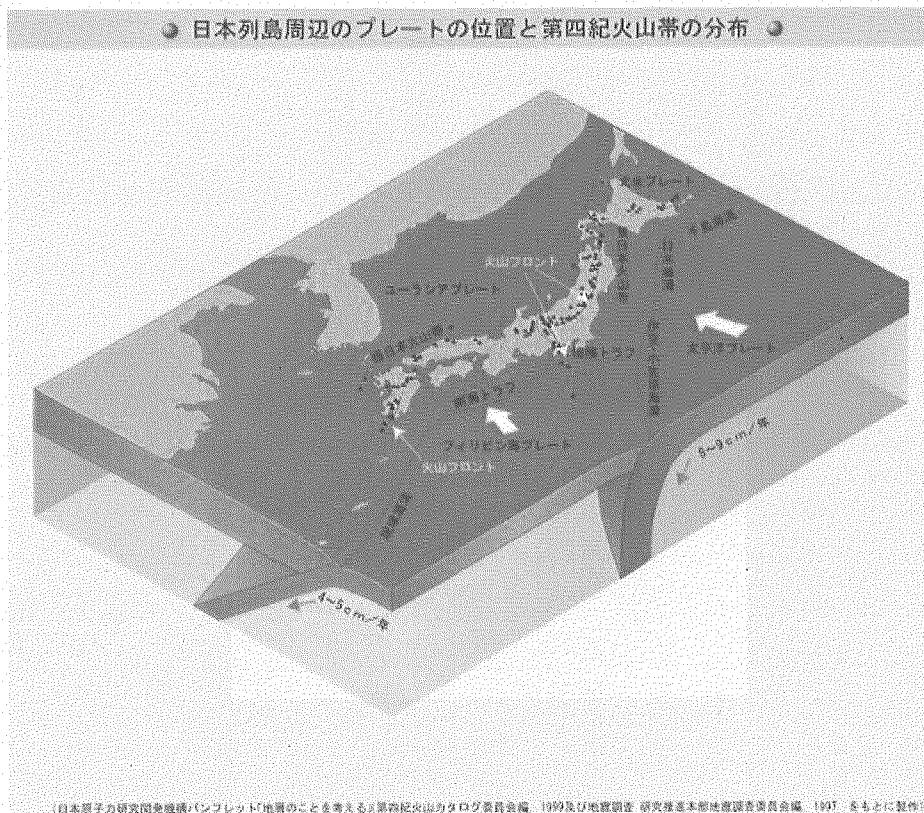


図 A-3 火山の発生条件・可能性の検討例（広域的な検討）

経済産業省 資源エネルギー庁 放射性廃棄物等対策室：「放射性廃棄物のホームページ」、Q&A コーナー、「火山について何がわかったのでしょうか」（<http://www.enecho.meti.go.jp/rw/hlw/qa/safe/safe04.html>）より転載。

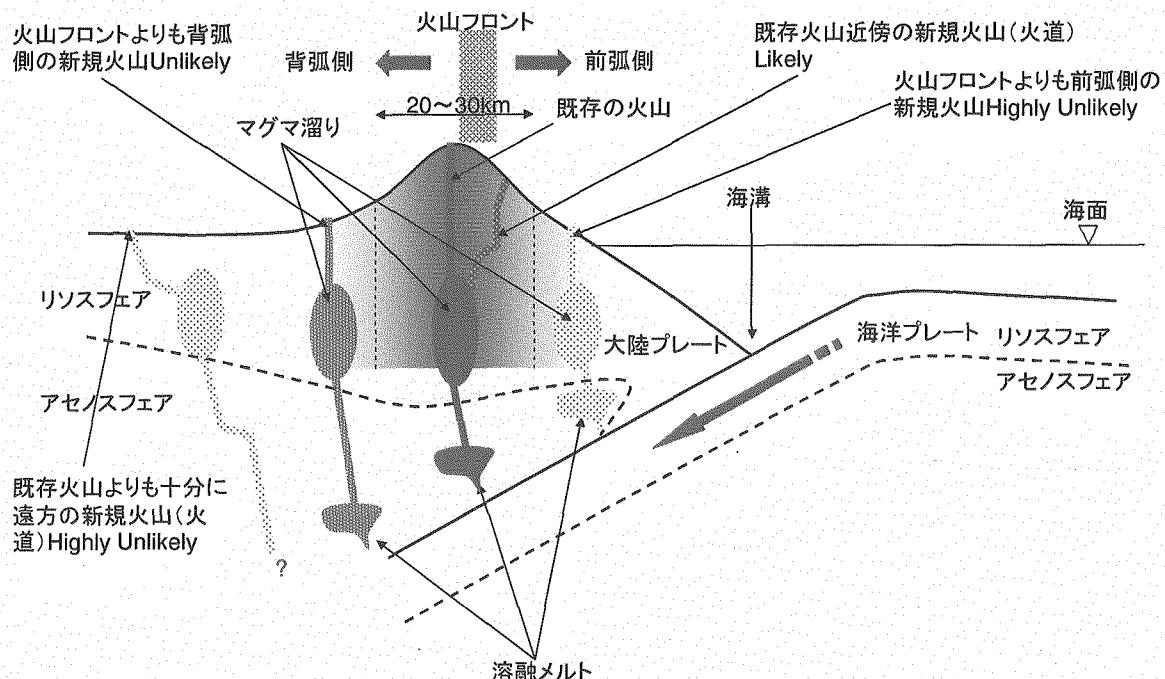


図 A-4 火山の発生条件・可能性の検討例（東北日本の検討例）

This is a blank page.

## Step2：「地質環境条件の変化の検討」の内容

- ・発生様式と地質環境条件の変化の組合せを抽出
- ・THMC（熱－水理－力学－化学）で整理  
(なお、ここまででの作業では、処分場の位置を一切考慮していない。)

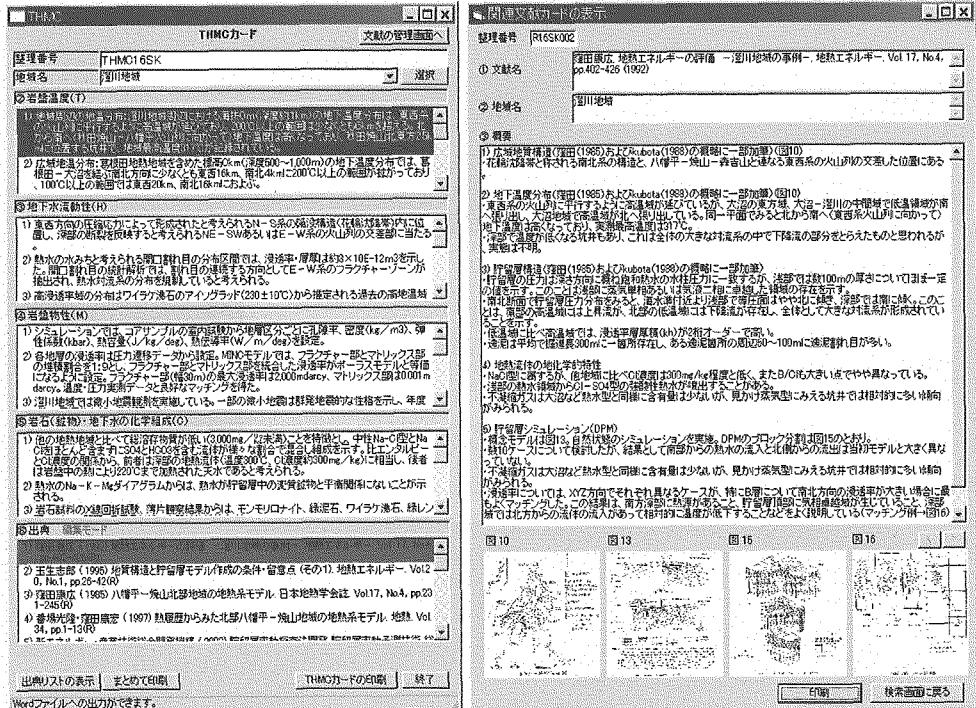


図 A-5 基礎情報の収集・整理の例ーその1(文献収集)

富山眞吾：“処分場に影響を及ぼす天然現象を対象とした安全評価のためのデータ収集”，日本地球惑星科学連合 2006 年大会，G150-011, 2006. より

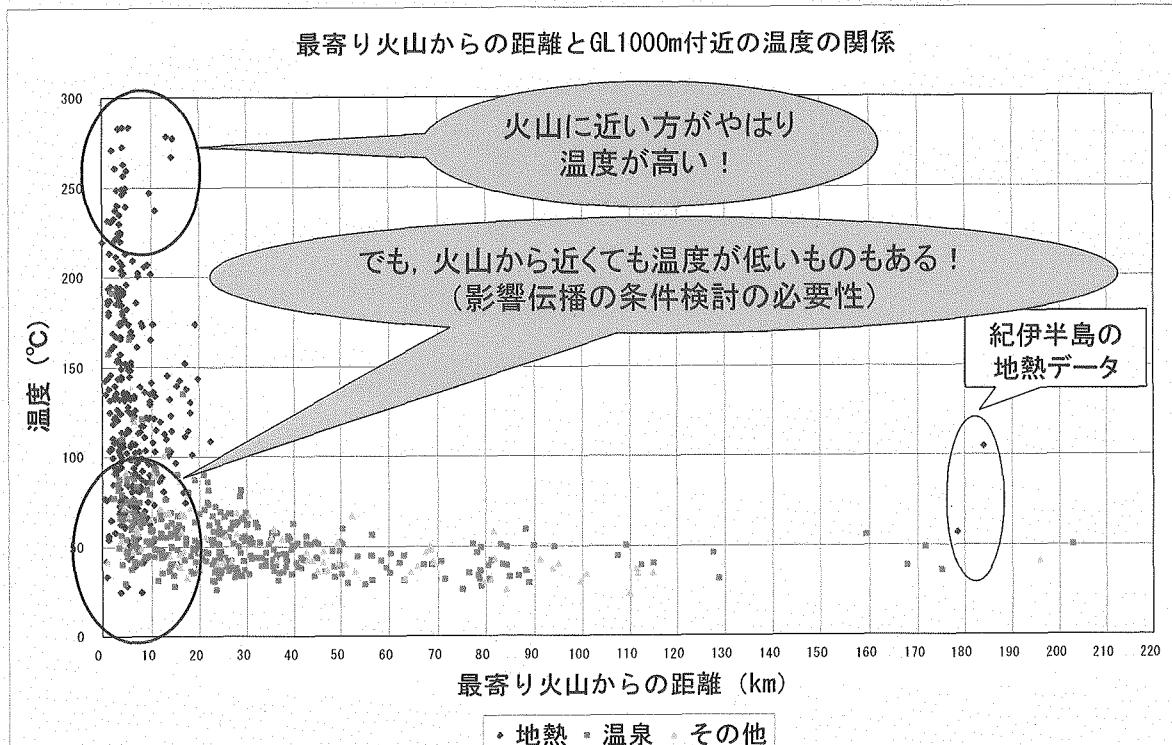


図 A-6 基礎情報の収集・整理の例ーその2(T: 温度)

This is a blank page.

## 火山からの距離と地下水のpHとの関係

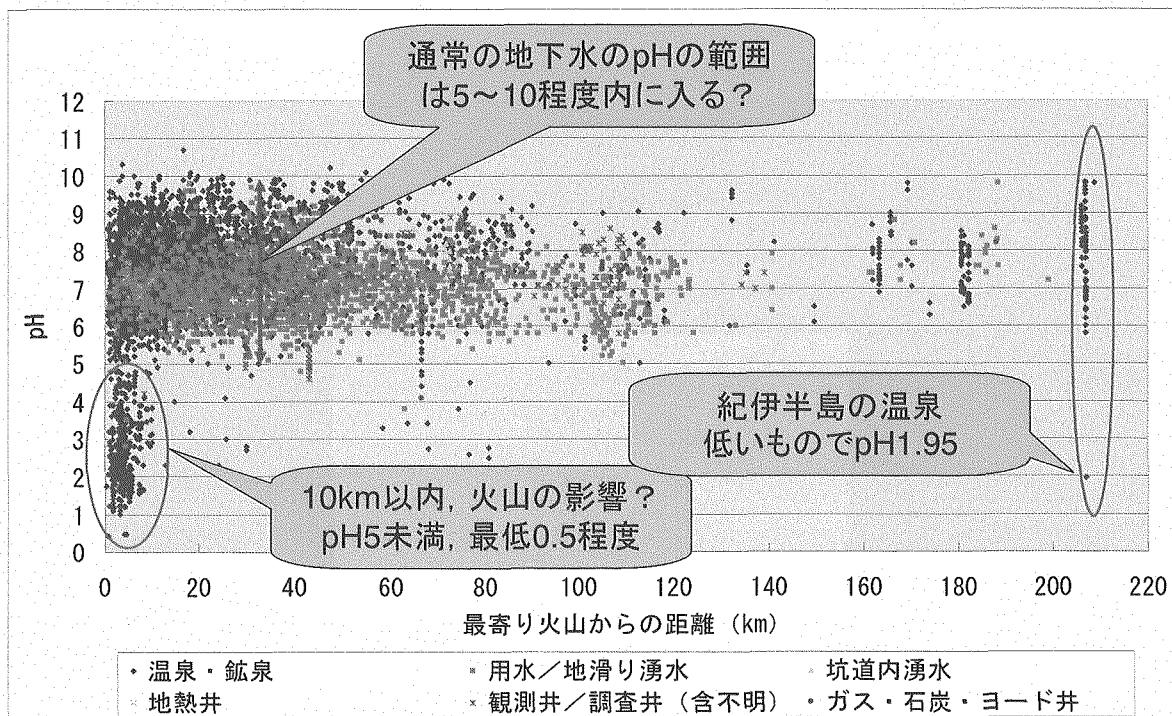


図 A-7 基礎情報の収集・整理の例ーその3 (C: 地下水化学)

T: 温度	300°C超. 600°C程度まで上昇	100°C(10°C/100m以上)の地温勾配	100~50°C(5~10°C/100mの地温勾配)	50°C~(3°C/100m程度の地温勾配による温度)
H: 水理	10 <sup>-9</sup> m/sオーダー			
M: 力学	岩盤が著しく劣化			
C: 水質	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 卓越	Cl <sup>-</sup> 卓越		HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 卓越
C: pH	酸性 pH4.8以下			中性～弱アルカリ
変質鉱物	カオリナイト・ハロイサイト化?	緑泥石・モンモリロナイト化?		炭酸塩化?
反応度	二桁速い?	一桁速い?		変化なし?
	近			遠
				火道からの「距離」

図 A-8 THMC 情報シートの例 (熱-水理-力学-化学で整理)

This is a blank page.

表 A-1 Step1～Step2（一部 Step3）までの表形式の取りまとめ例

This is a blank page.

## Step3：「地質環境条件の変化に基づくシナリオの類型化」の作業イメージ

- 影響の特徴→影響領域の区分→類型化（表 A-1 の右下の表参照）
- 処分場位置→影響解析で考慮するシナリオと影響の設定

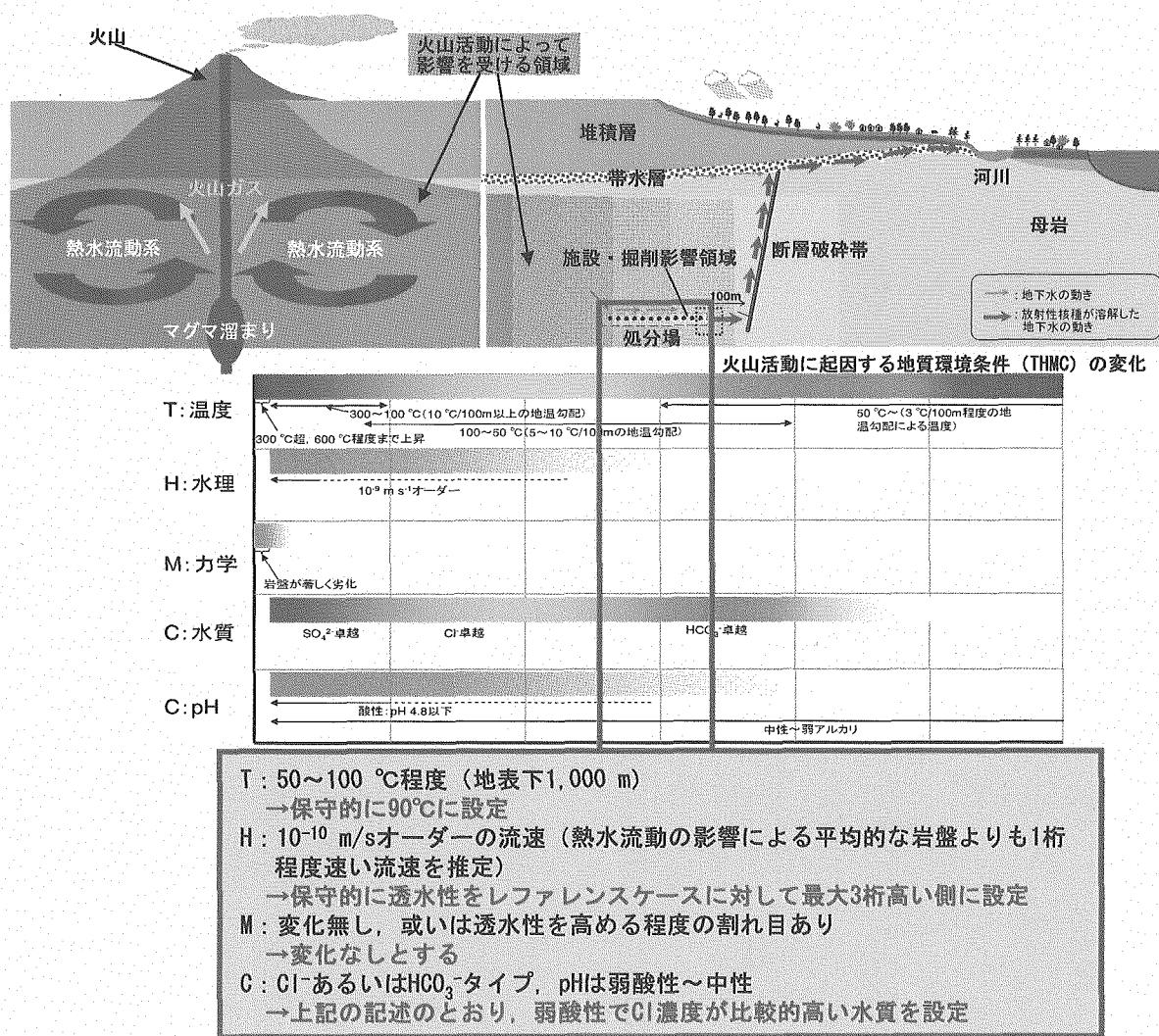


図 A-9 レファレンスケースの概念モデル（右側：核燃料サイクル開発機構, 1999b）の左側に「火山活動」を加筆し、Step2 および 3 で整理された地質環境条件の組合せを、レファレンスケースからの「変動」として抽出した検討図

This is a blank page.

## Step4 : 「モデル・解析条件の設定」の検討例

- 影響の処分環境・システム性能への伝播の整理
- モデル、パラメータ設定

地質環境への影響の整理結果を起点とする  
処分環境、システム性能への影響の伝播の整理

左図の影響の伝播結果(対角要素の状態)  
を受けた物質移行解析条件の設定・変更

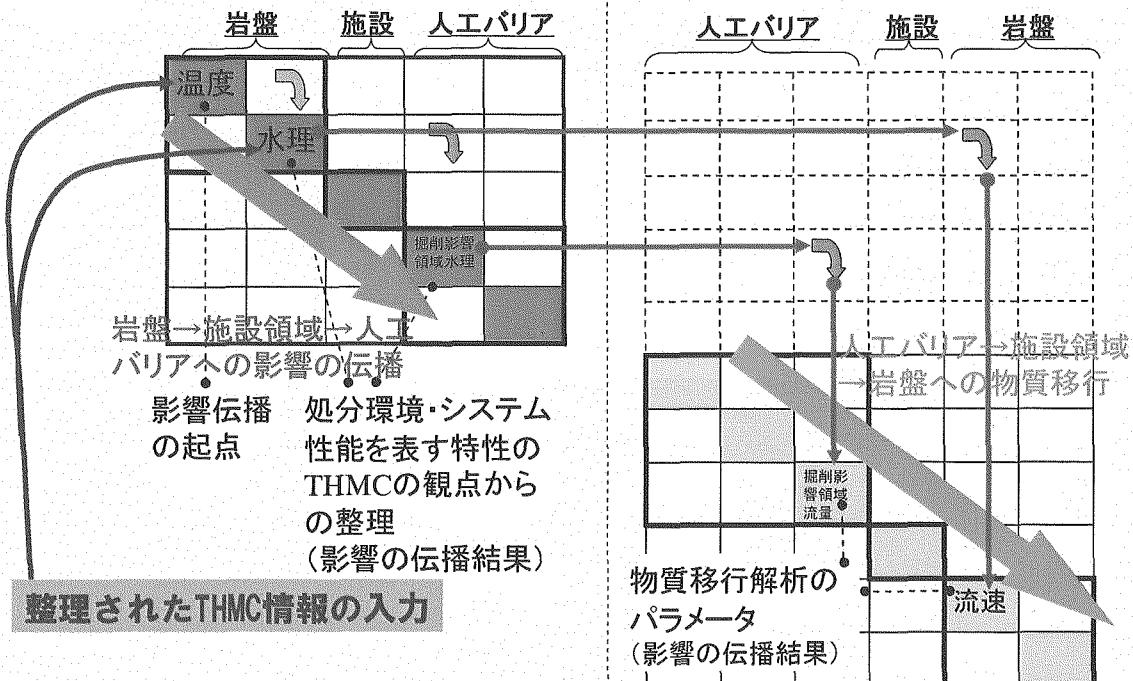


図 A-10 RES による物質移行解析パラメータの設定のイメージ  
(「火山・熱水活動」へ適用した具体的な例は図 A-11 参照)

This is a blank page.

擾乱を受けた処分環境・システム性能の検査行解析パラメータへ  
→施設・掘削影響領域へ人工バリアへの影響伝播の整理

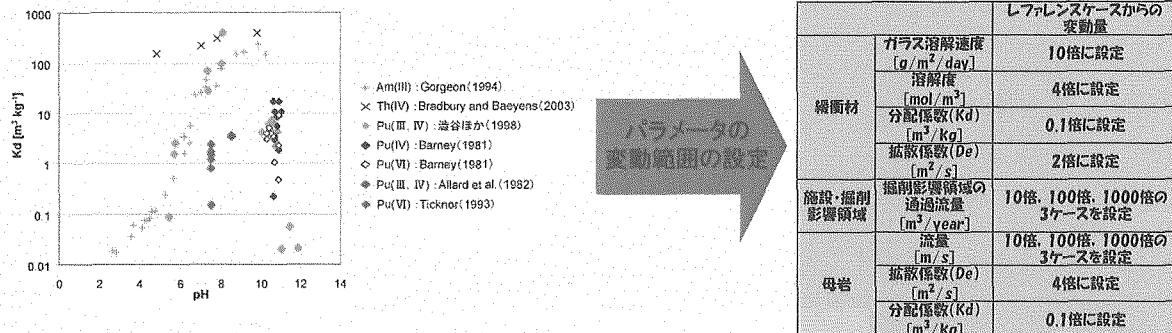
処分環境・システム性能の変化		人工アリナ中		物質移行特性の変化		人工アリナ中	
由来中	施設・掘削影響領域	由来中	施設・掘削影響領域	由来中	母岩TINCの变化→母岩域への影響伝播の伝播	由来中	母岩データからハラメータ補正→取扱
子のまま 伝播	子のまま 伝播	子のまま 伝播	子のまま 伝播	T:温度 90°Cに 昇温	母岩→掘削 場への影響 伝播	母岩データから ハラメータ補正→ 取扱	母岩データから ハラメータ補正→ 取扱
地盤 構造 変化	地盤 構造 変化	地盤 構造 変化	地盤 構造 変化	C:地下化学 組成 変化なし	そのままで あるまま伝播	そのままで あるまま伝播	そのままで あるまま伝播
地盤 透水性 変化	地盤 透水性 変化	地盤 透水性 変化	地盤 透水性 変化	T:温度 90°Cに 昇温	出地下水透徹 度が比較的高 い水質	出地下水透徹 度が比較的高 い水質	出地下水透徹 度が比較的高 い水質
地盤 透水性 変化	地盤 透水性 変化	地盤 透水性 変化	地盤 透水性 変化	M:压力 変化なし	C:地下水化 学 明確性 は較 的小高い 水質	C:地下水化 学 明確性 は較 的小高い 水質	C:地下水化 学 明確性 は較 的小高い 水質
地盤 透水性 変化	地盤 透水性 変化	地盤 透水性 変化	地盤 透水性 変化	H:水理 力学 考慮せず	H:水理 力学 考慮せず	H:水理 力学 考慮せず	H:水理 力学 考慮せず
RESフォーマットの見方		RESフォーマットの見方		RESフォーマットの見方		RESフォーマットの見方	
RESで表現される要素について3パターン		RESで表現される要素について3パターン		RESで表現される要素について3パターン		RESで表現される要素について3パターン	
RESの左側の「」の部分		RESの左側の「」の部分		RESの左側の「」の部分		RESの左側の「」の部分	
RESの左側の「」の部分		RESの左側の「」の部分		RESの左側の「」の部分		RESの左側の「」の部分	

図 A-11 RESによる影響の処分環境・システム性能への伝播の整理とパラメータ設定の検討例（図 A-10 具体化）

\*時間経過を考慮可能にただし、遷移的な要件などはStep-wiseを想定する

This is a blank page.

## THMCとパラメータの関係の整理



核種の分配係数(Kd)のpH依存性の検討例\*

設定した影響解析パラメータの例  
第2次取りまとめのリファレンスケースから、どの程度変動するかで表現

図 A-12 図 A-9 に示した地質環境条件 (THMC) の変動量を用いて、図 A-11 の検討を経て設定した影響解析パラメータのイメージ（レファレンスケースからの変動量で表示）

左図は、核燃料サイクル開発機構(2005)：高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する知識基盤－平成 17 年取りまとめ、一分冊 3 安全評価手法の開発－、核燃料サイクル開発機構、JNC TN1400 2005-016, p.2-20 に基づく

## Step5：影響解析

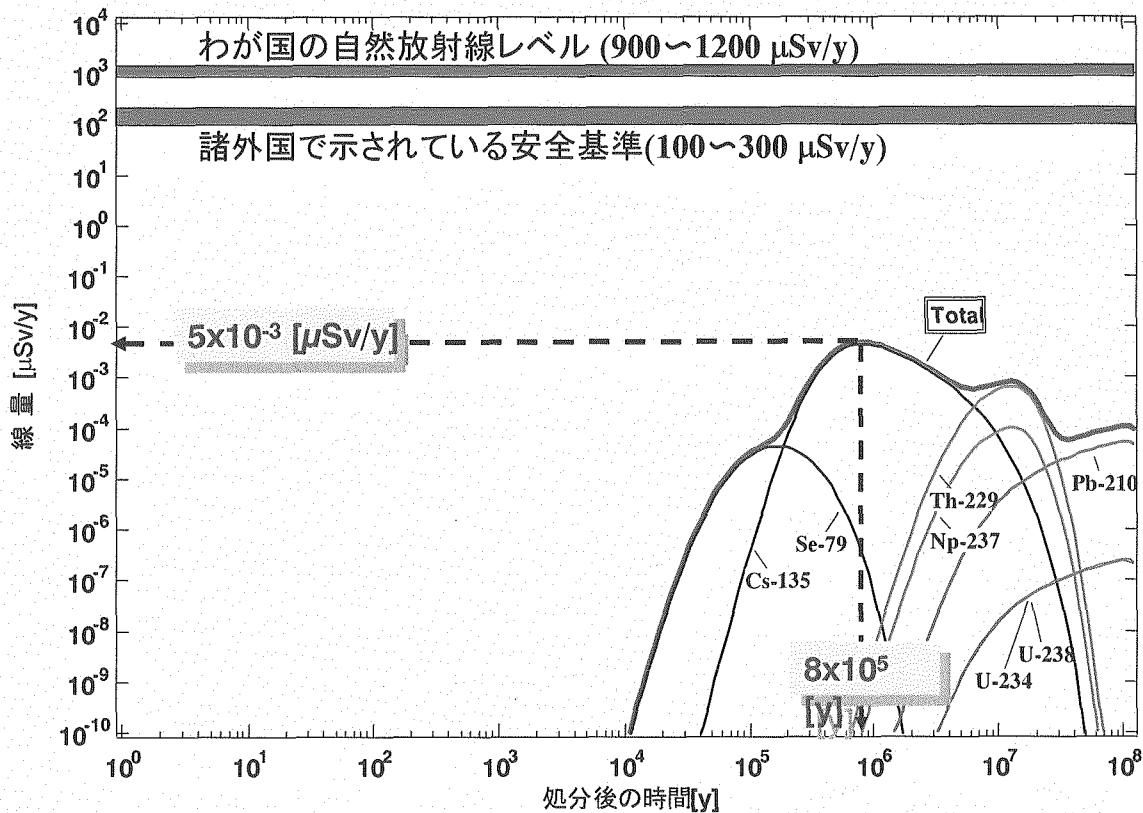


図 A-13 影響解析結果のイメージ

注：但し、この図は第2次取りまとめのレファレンスケースにおける線量解析結果

This is a blank page.

## 付録B 国内外における類似研究の現状

### 1. わが国における研究の状況・動向

#### 1. 1 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会

総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会（2003）<sup>a)</sup>および山元・小玉（2004）<sup>b)</sup>では、処分場閉鎖後の処分システム領域に外乱として影響を及ぼしうる地質及び気候関連事象（シナリオ）を経済協力開発機構原子力機関（OECD/NEA）（2002）<sup>c)</sup>の作成した国際 FEP リストから FEP 間の相関関係図の作成を試みている。FEPs 相関図から導き出された地質及び気候関連事象（シナリオ）については、事象ごとに「メカニズムと現象」、「時間的特徴」、「空間的特徴」、「影響度」を検討している。更にその中で同じ事象であっても特徴が異なるものについては可能な限り細分化しており、その結果シナリオの数は 55 個となっている。

また、全ての放射性固体廃棄物処分に共通する処分場閉鎖後の安全評価事項を網羅的にかつ体系的に整理し、個別具体的な放射性廃棄物処分の安全評価事項を検討する際の基礎として活用することができるよう「安全評価事項の構造」について検討しており、地質及び気候関連事象を「立地選定による排除が可能な事象」、「立地選定により排除ができない事象」および「現象の知識不足により割り振り不能な現象」に区分している。更に、「立地選定により排除ができない事象」を「時間的特徴」と「影響度」の観点から 5 つに細分して合計 7 つのカテゴリーとし、先に述べた 55 個に細分された地質及び気候関連事象（シナリオ）をそれらのカテゴリーに分類している。なお、評価期間については、今後も検討されなければならないとしながらも、高レベル放射性廃棄物を念頭に代表的な評価期間として  $10^4$  年オーダーと仮定している。

上記の整理から「安全規制のために必要な研究課題」を抽出し、その研究課題の中から「重要研究分野」を研究成果が必要となる時期を踏まえて 3 つの区分を設けて抽出している（天然現象関連のみ記述）。

- ・ A 区分：重要な研究分野であって早急に推進すべきもの－地震動・地震断層

処分場の立地選定で地震動・地震断層による影響を完全に排除できないことから、立地選定の段階において最も重要とされる研究分野である。

- ・ B 区分：重要な研究分野であって当面推進すべきもの－火山噴火・貫入

地震動・地震断層による影響よりも立地選定で排除できる可能性は高いが、排除できなかつた場合の影響は大きいため、立地選定で排除できるよう知見を蓄えておくことが必要である。

- ・ C 区分：重要な研究分野であって中長期的に推進すべきもの－熱水活動による水文地質学的变化、地震・地質構造の変形による水文地質学的变化、気候変動による水文地質学的变化、放射性核種の地下水による移行に関する全領域

個別具体的な処分場の安全評価では、放射性核種が地下水によって人間の生活環境へ移行していくものとして被ばく線量評価を行うこととなる。当該研究分野はいずれも被ばく線量評価を行う上で必要となるため、現時点から着実に研究を進めていくことが必要である。

また、安全評価上の重要性を勘案しつつ、当該分野の中で知見の集積が進んでいない範囲を特定し、重要研究分野の中でも規制機関が当面特に研究を促進すべき事例研究課題として「重点研究テーマ」を定めている。天然現象に関するものは以下のとおりである。

- ・ A 区分：活断層沿い以外の地震、新規火山による地震

- ・B 区分：既存火山の巨大噴火、新規火山
- ・C 区分：構造運動から生じる熱水活動

規制側機関においても、天然現象について「立地選定により排除ができない事象」という分類項目があり、安全評価とそのために必要とされる研究の促進が必要と考えられていることがわかる。現状では、「地質及び気候関連事象」として国際 FEPs の相関関係図から現象と影響の連鎖関係についての整理、そして今後それらについての安全評価を実施するために必要とされるニーズ、すなわち、研究課題や研究テーマを抽出した段階であり、具体的な安全評価手法の構築までには至っていない。

## 1. 2 日本原子力研究所（現 日本原子力研究開発機構 安全研究センター）

日本原子力研究所（現 日本原子力研究開発機構 安全研究センター、本節内のみ「日本原子力研究所」とする）では、シナリオ構築を前提に必要な項目を選定して研究を継続している（日本原子力研究所、2004<sup>40</sup>）。そのために、地層処分の長期的な安全評価を行うための確率論的評価手法を開発・整備すること、およびそれを用いて処分の安全評価における不確かさを定量化することを目的に確率論的アプローチによる放射性廃棄物処分の長期的評価手法の研究を展開している。

日本原子力研究所によれば、我が国の 3 つの天然事象（隆起・沈降・侵食、火山・火成活動、および地震・断層活動）を同一の領域区分で整理するために、同様の動きを示すプレートの区分（地殻変動ユニット）の設定に着手するとともに、火山・火成活動について我が国における変動履歴、地域特性、変動プロセス等のデータの収集、整理を実施。更に、放射性廃棄物の地下水流动現象に影響が及ぶと考えられる塩淡境界や海水準の変動に関する研究事例を調査し知見を整理している。

現状では、安全評価を実施するために必要とされる知見とデータの収集・整理の段階であり、具体的な安全評価手法の構築までには至っていない。

## 2. 諸外国における研究の状況・動向

諸外国において、性能・安全性評価の観点からどのようなシナリオが選択されているのか、またそれらのシナリオがどのように取り扱われているかについて、研究の状況と動向に関する調査・整理を行った。その調査結果を表 B-1 に示す。

天然現象影響評価については、カナダの AECL に代表されるように、処分場近隣で生ずる事象の発生可能性は無視し得るほど小さいと考えて、破壊的な天然現象影響シナリオの定量的評価が行われなかつた例や、スイスの NAGRA のように、破壊的な天然現象影響シナリオの定量的評価が行われてはいないものの、解析パラメータを変化させた不確実性解析を実施し、概略的な計算を通じて発生可能性の低い事象から受けると考えられる影響の見通しをたてようとした例が見受けられた。

天然現象による影響を定量的に評価した例については、スウェーデンの SKB における地震について評価例、米国の DOE における火成活動についての評価例が認められる。いずれのケースにおいても、シナリオ構築のために必要な天然現象の規模、発生場所、影響範囲など設定に係わる科学的根拠は、現在の活動状況の調査・観測データや地質調査等による過去の活動状況の推定

など、サイトスペシフィックな詳細情報に基づいた評価を実施している。

変動帯に位置するわが国は、上記諸外国が位置する西欧や北米に比較して地震・断層活動および火山・火成活動の発生頻度が高い。従って、諸外国での議論や手法をわが国に適用する場合には制限があり、わが国に適した評価手法の開発が必要と考えられる。

表 B-1 諸外国における天然現象影響評価研究の状況・動向

国 【評価】	変動シナリオ評価で取り上げられている 天然現象	備 考
ベルギー [SAFIR2] <sup>e)-g)</sup>	既存の断層活性化、強度の氷河作用（但し、定性的な扱い）	隆起・侵食などの地殻変動および気候変動については基本シナリオに含まれている。
カナダ [EIS] <sup>h)</sup>	なし（地震、侵食、氷河作用、火山活動について検討されているものの、発生確率<10 <sup>-8</sup> /年、または10 <sup>4</sup> 年間発生が見込まれない事象として評価除外）。	確率論的リスク解析による取り扱い、リスクは全ての重要なシナリオの合計。
フィンランド [TILA-99] <sup>i)</sup>	処分場への融冰水の浸入(処分場周辺の地質環境が酸化性状態に変化)、後氷期の断層運動	体系的な FEPs 解析やシナリオ構築プロセスはない。決定論的評価。
スウェーデン [SR97] <sup>j)</sup>	気候に起因する変化、テクトニクス／地震活動	体系的なシナリオ構築プロセスはない。決定論的評価。
スイス [Kristallin-I] <sup>k)</sup>	パラメータ変化で長期の地質学的変動や気候変動を扱うシナリオ	決定論的評価。 代替モデルを想定したリファレンスシナリオの不確実性解析。
米国 [TSPA 2000] <sup>l),m)</sup>	破壊的シナリオとして火山活動および地震・断層活動	確率論的評価。発生確率による評価の必要性について検討。

### 【参考文献】

- a) 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報告書－高レベル放射性廃棄物の安全規制に係る基盤確保に向けて－”，2003.
- b) 山元孝広、小玉喜三郎：“日本の地層処分で考慮すべき地質及び気候関連事象について”，月刊地球（地質環境の長期安定性（下）－高レベル放射性廃棄物の地層処分と地球科学），Vol.26, No.7, pp.452-456, 2004.
- c) OECD/NEA: “Establishing and Communicating Confidence in the Safety of Deep Geologic Disposal”, Organization for Economic Co-operation and Development / Nuclear Energy Agency (OECD/NEA), Paris, France, 2002.
- d) 日本原子力研究所：“平成 15 年度放射性廃棄物処分の長期的評価手法の調査報告書【確率論的アプローチによる長期的評価手法の調査】”，2004.
- e) ONDRAF/NIRAS: “The SAFIR2 report. Safety Assessment and Feasibility Interim Report 2”, National Agency for Radioactive Waste and Enriched Fissile Materials (ONDRAF/NIRAS), NIROND-2001-1, 2001a.
- f) ONDRAF/NIRAS: “Technical overview of the SAFIR2 report. Safety Assessment and Feasibility Interim Report 2”, National Agency for Radioactive Waste and Enriched Fissile

Materials (ONDRAF/NIRAS), NIROND-2001-5E, 2001b.

- g) Marivoet, J.: "Long-term performance studies: Selection of scenarios to be considered in a performance assessment for the Mol site", Belgian Nuclear Research Centre (SCK/CEN), R-2987, 1994.
- h) AECL: "Environmental Impact Statement on the Concept for Disposal of Canada's Nuclear Fuel Waste", Atomic Energy of Canada Limited (AECL), AECL-10711, COG-93-1, 1994.
- i) Vieno, T. and Nordman, H.: "Safety assessment of spent fuel disposal in Hästholmen, Kivetty, Olkiluoto and Romuvaara TILA-99", Posiva Oy, Posiva 99-07, 1999.
- j) SKB: "SR97-Post-closure safety, Main Report Summary", Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Corporation (SKB), TR-99-06, 1999.
- k) Nagra: "Kristallin-I: Safety Assessment Report", National Cooperative for the Disposal of Radioactive Waste (Nagra), NTB93-22, 1994.
- l) CRWMS: "Total System Performance Assessment for the Site Recommendation" Civilian Radioactive Waste Management System Management and Operating Contractor, TDR-WIS-PA-000001 Rev. 00 ICN 01, 2000.
- m) US DOE: "Yucca Mountain Science and Engineering Report: Technical information supporting site recommendation consideration", U. S. Department of Energy Office of Civilian Radioactive Waste Management, DOE/RW-0539, 2001.

## 付録C 天然現象を考慮した安全評価のために必要とされる深地層の科学的研究の知見

### 1. 前提

影響の程度、現象の発生頻度などのデータは、ジェネリックな検討においては以下のようない定性的表現にならざるを得ない。

- ・ 発生可能性あるいは頻度：「highly unlikely」，「unlikely」，「likely」，「highly likely」
- ・ 程度：「very low」，「low」，「high」，「very high」など

また、影響解析のためのパラメータ設定においては、詳細なデータまでは必要ではない。但し、詳細なデータの裏付けがある「定性的データ」、換言すれば「定性的」であっても品質保証が必要とされる。解析する際は上記の「low」と「high」（場合によっては「very low」や「very high」も）に該当する「数値」が必要となり、「数値」を決定する段階で収集・整理されたデータを参照する。データの収集・整理に際しては、データとそれを用いた解析結果の品質保証や不確実性の観点も情報として整理する（図C-1参照）。

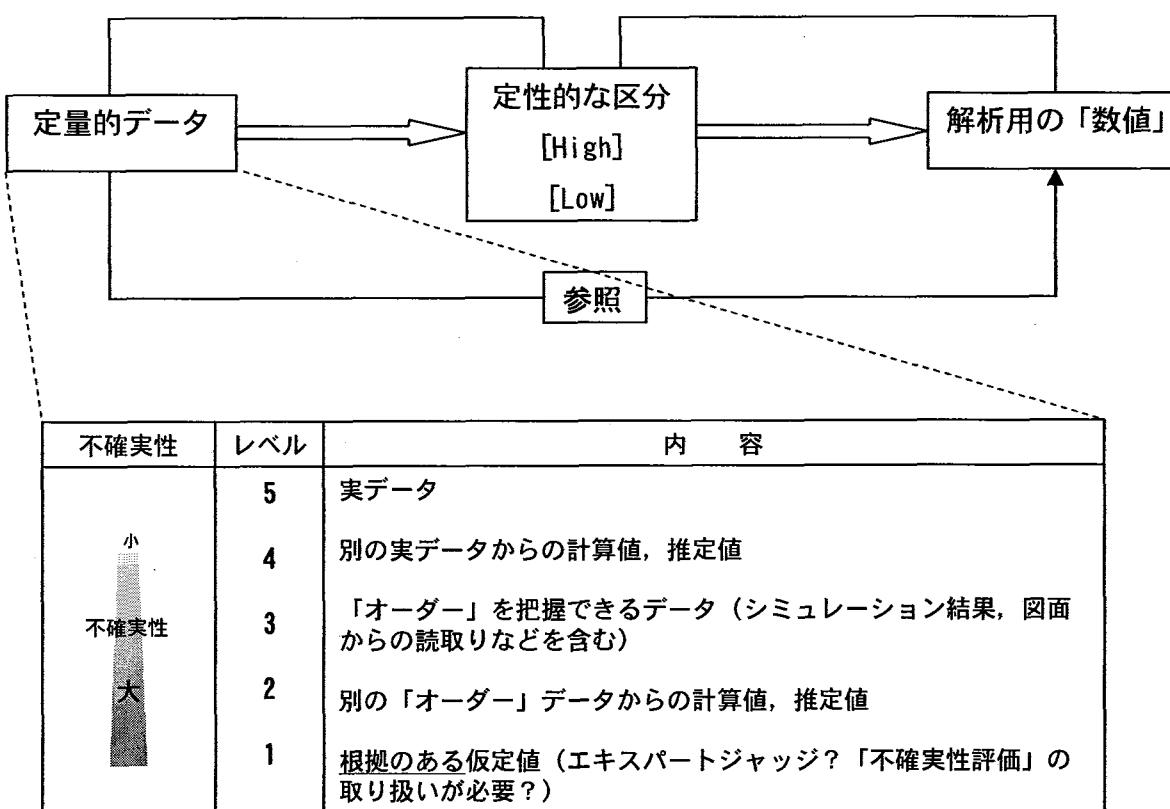


図 C-1 安定性研究から得られるデータの参照関係と不確実性レベルの検討

また、得られたデータを整理する際は以下の観点に留意する。

- ・ 最も大きな値（変動幅を含む）と平均的な（中間的な、あるいは高頻度の）値の提示。
- ・ 未公表の新知見は含めない。但し、新知見の考え方やロジックが整理可能であれば実施する。
- ・ 「変化がない、あるいは変動しない」と「知見・データがない」は明確に区別する。
- ・ 「知見・データがない」場合には、エキスパート・ジャッジで対応可能な場合には対応す

る。さらに、今後の調査・研究によりデータが得られるかどうか、つまり、データレベルの向上が図れるかどうかに関する“見込み”についても検討するものとする。

## 2. 必要な知見とデータ

### 2. 1 全ての天然現象に共通する項目

全てに必要となるのは、「Step1：天然現象のプロセスの記述」の「記述」である。この際、可能な限り選定した「観点」に基づき現象の情報を整理する。

収集可能なものは、実データ、変化傾向の幅（オーダー）あるいは記述と考える。具体的には以下のとおり。

- T：岩盤温度：具体的な値（℃, Kなど）（レベル5, 4）、変化傾向（オーダーあるいは記述：上昇・下降・変化なし）（レベル3, 2）など
- H：地下水流动：流量・透水係数・透水量係数・動水勾配などの具体的数値（レベル5, 4）、変化傾向（オーダーあるいは記述：増大・減少・変化なし）（レベル3, 2）など
- C：地下水水质：化学成分・同位体比・物理化学パラメータの実データ（レベル5, 4）、変化傾向（酸化、還元、塩水、淡水、・・・などのオーダーあるいは記述）（レベル3, 2）
- C：水－岩石反応速度：変化傾向（オーダーあるいは記述：増大・減少・変化なし）（レベル3, 2, 1?）など
- C：岩盤の化学組成：全岩組成、鉱物組成、粘土化などの記述（レベル5, 4）、変化傾向の記述（レベル3, 2, 1?）
- M：岩盤物性、応力状況：変化傾向（オーダーあるいは記述：増大・減少・変化なし）（レベル3, 2, 1?）など

また、THMC 以外に必要な知見としては、以下が挙げられる。

- ・ 上記の影響範囲（Area）
- ・ 硬岩系岩盤（結晶質岩）では処分深度 1,000m、軟岩系岩盤（新第三紀堆積岩）では処分深度 500m を念頭に置く

### 2. 2 天然現象ごとに必要となる知見

#### （1）火山・熱水活動

- ① 热水活動の規模（データレベル4～1まであり得る）
  - ・ 火山体やマグマ溜まりの位置、サイズなど
  - ・ 地熱・温泉地帯の3次元的な範囲など（非火山性热水も含む）
- ② 接近シナリオへの準備（データレベル4～1まであり得る）
  - ・ 溶岩の到達距離
  - ・ 火山噴出物の到達距離、大気中での滞留時間
  - ・ 火山噴出物の噴出源からの粒度プロファイル
- ③ 火山・熱水活動の発生条件、可能性（データレベル4～1まであり得る）
  - ・ 現在休止している既存火山の活動期間と活動当時の応力場の推定
  - ・ 「活火山」の活動開始時期、活動頻度など
  - ・ 非火山性热水の発生、頻度など？

④ その他（杞憂？ 不必要？）

- ・噴出物中に含まれる異質岩片（岩塊）の噴出源からの存在比プロファイル
- ・露頭で観察される岩脈の規模、頻度、周辺への熱の影響の有無
- ・大規模な貫入岩（併入岩）の規模、周辺への熱の影響の有無（接触変成岩）

(2) 地震・断層活動

① 断層の規模（データレベル5～1まであり得る）

- ・実在の断層の延長、幅、1回の変位量、トータルの変位量（レベル5、4）
- ・地震時の震源解析による断層パラメータの推定（レベル4、3、2）

② 地震（地震動による影響評価）（データレベル5～1まであり得る）

（第2次取りまとめでは、地震動については評価対象としていない。）

- ・マグニチュード、震源距離、歪量と水圧、水質変動の知見、可逆・不可逆
- ・マグニチュード、震源距離による最大振幅（地下低減特性、距離減衰式など・・・）

③ 断層の発生条件、可能性（データレベル5～1まであり得る）

- ・活断層ではない既存断層の活動期間と活動当時における応力場の推定
- ・「活断層」の活動開始時期、活動頻度など

(3) 隆起・沈降・侵食

① 隆起・沈降・侵食速度、継続性、およびその範囲など

（第2次取りまとめでは0.1mm/y、1.0mm/y、処分場が露出するまで継続することを想定）

- ・水準測量結果、GPS観測結果（国土地理院など？）（レベル5）
- ・段丘面標高から推定される隆起量（レベル4、3）
- ・地形変化シミュレーションの結果（レベル3、2）
- ・上記でデータが得られない場合は、他の知見からの推定？エキスパート・ジャッジ？

② 地下水の水質が変化する深度

（第2次取りまとめでは、還元環境から酸化環境へ変化する深度および酸化性の天水が到達する深度として100m、更に、比較ケースとして10m、200m、および500mを想定）

- ・試錐調査などによるEh、ORPあるいはpH、溶存酸素濃度などの実測値（レベル5）
- ・他の化学成分からの推定（レベル4）
- ・化学平衡論を用いたシミュレーション結果（レベル3、2）
- ・上記でデータが得られない場合は、他の知見からの推定？エキスパート・ジャッジ？

③ その他

- ・上記①、②は岩種により差があるか（結晶質岩・堆積岩）
- ・上記①、②は地域により差があるか（寒冷地・温暖地、内陸部・沿岸部など）
- ・傾動による地下水理への影響（動水勾配の急傾斜地と緩傾斜地による差異、地層が傾斜することによる動水勾配の変化など）

(4) 気候・海水準変動

① 氷期一間氷期サイクルと現在の位置

（第2次取りまとめでは、現在は間氷期のピークを過ぎ氷期に向かう時期であり、10万年を1サイクルとしている）

- ・氷期一間氷期に関する既存の研究成果（レベル4）
- ・微化石分析などによる古環境の推定の研究（レベル4）

- ・ 上記でデータが得られない場合は、他の知見からの推定？エキスパート・ジャッジ？
- ② 塩淡境界の移動による地質環境への影響（実データはない？）  
(第2次取りまとめでは各種パラメータは塩淡の変化に伴い瞬時に変わることとしている)
  - ・ 地下水流動シミュレーション結果（レベル3, 2）
  - ・ 推定、あるいは仮定（現在研究途上にあり、実地検証が不可能なため、現状では第2次取りまとめと同じにせざるを得ない？）（レベル2, 1）
- ③ 海水準の変動と塩淡境界の変動はどの程度のずれが生じるか
  - ・ ②と同様
- ④ その他
  - ・ 永久凍土、冰結割れ目は地下水流動に影響を与えるか？（第2次取りまとめでは影響しないとしている）
  - ・ 上記①～③は岩種により差があるか（結晶質岩・堆積岩）
  - ・ 上記①～③は地域により差があるか（寒冷地・温暖地、内陸部・沿岸部など）

# 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	記号
面積	平方メートル	$m^2$
立体積	立方メートル	$m^3$
速度	メートル毎秒	$m/s$
加速度	メートル毎秒毎秒	$m/s^2$
波数	メートル毎秒	$m^{-1}$
密度(質量密度)	キログラム毎立方メートル	$kg/m^3$
質量体積(比体積)	立法メートル毎キログラム	$m^3/kg$
電流密度	アンペア毎平方メートル	$A/m^2$
磁界の強さ	アンペア毎メートル	$A/m$
(物質量)濃度	モル毎立方メートル	$mol/m^3$
輝度	カンデラ毎平方メートル	$cd/m^2$
屈折率(数の)	1	1

表5. SI 接頭語

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

表3. 固有の名称とその独自の記号で表される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
平面角	ラジアン <sup>(a)</sup>	rad	$m \cdot m^{-1} = 1^{(b)}$
立体角	ステラジアン <sup>(a)</sup>	sr <sup>(c)</sup>	$m^2 \cdot m^{-2} = 1^{(b)}$
周波数	ヘルツ	Hz	$s^{-1}$
圧力	ニュートン	N	$N \cdot m^2$
応力	パスカル	Pa	$N \cdot m^{-1}$
エネルギー、仕事、熱量	ジユール	J	$N \cdot m$
功率、放熱束	ワット	W	$J/s$
電荷、電気量	クーロン	C	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
電位差(電圧)、起電力	ボルト	V	$W/A$
静電容量	ファラード	F	$C/V$
電気抵抗	オーム	Ω	$V/A$
コンダクタンス	シemens	S	$A/V$
磁束密度	エーパス	Wb	$Wb/m^2$
磁束密度	テスラ	T	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
インダクタンス	ヘルツリ一ー	H	$Wb/A$
セルシウス温度	セルシウス度 <sup>(d)</sup>	°C	$K$
光束度	ルーメン	lm	$cd \cdot sr^{(e)}$
(放射性核種の)放射能	ベクレル	Bq	$lm/m^2$
吸収線量、質量エネルギー一分与、カーマ	レイ	Gy	$lm^{-4} \cdot cd = m^{-2} \cdot cd$
線量当量、周辺線量当量、方向性線量当量、個人線量当量、組織線量当量	シーベルト	Sv	$J/kg$
			$m^2 \cdot s^{-2}$

- (a) ラジアン及びステラジアンの使用は、同じ次元であっても異なった性質をもった量を区別するときの組立単位の表し方として利点がある。組立単位を形作るときのいくつかの用例は表4に示されている。
- (b) 実際には、使用的する時には記号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“1”は明示されない。
- (c) 測光学では、ステラジアンの名称と記号srを単位の表し方の中にそのまま維持している。
- (d) この単位は、例としてミリセルシウス度m°CのようにSI接頭語を伴って用いても良い。

表4. 単位の中に固有の名称とその独自の記号を含む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
粘度	パスカル秒	Pa · s	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-1}$
の分子面張力	ニュートンメートル	N · m	$N \cdot m$
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	$m \cdot m^{-1} \cdot s^{-1} = s^{-1}$
角加速度	ラジアン毎平方秒	rad/s <sup>2</sup>	$m \cdot m^{-1} \cdot s^{-2} = s^{-2}$
熱流密度、放熱照度	ワット毎平方メートル	W/m <sup>2</sup>	$kg \cdot s^{-3}$
熱容量、エンタルピー	ジュール毎ケルビン	J/K	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
質量熱容量(比熱容量)、質量エンタルピー	ジュール毎キログラム	J/(kg · K)	$m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
質量エネルギー(比エネルギー)	ジュール毎キログラム	J/kg	$m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m · K)	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot K^{-1}$
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m <sup>3</sup>	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
体積電荷	クーロン毎立方メートル	C/m <sup>3</sup>	$m^{-3} \cdot s \cdot A$
電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m <sup>2</sup>	$m^{-2} \cdot s \cdot A$
誘電率	ファラード毎メートル	F/m	$m^{-3} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	$m \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot mol^{-1}$
モルエンタルピー	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol · K)	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$
照射線量(X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	$kg^{-1} \cdot s \cdot A$
吸収線量	グレイ毎秒	Gy/s	$m^2 \cdot s^{-3}$
放射強度	ワット毎メートル	W/sr	$m^4 \cdot m^{-2} \cdot kg \cdot s^{-3} = m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m <sup>2</sup> · sr)	$m^2 \cdot m^{-2} \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot kg \cdot s^{-3}$

表6. 国際単位系と併用されるが国際単位系に属さない単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86400 s
度	°	$1^\circ=(\pi/180) rad$
分	'	$1'=(1/60)^\circ=(\pi/10800) rad$
秒	"	$1''=(1/60)'=(\pi/648000) rad$
リットル	L	$1L=1 dm^3=10^{-3} m^3$
トン	t	$1t=10^3 kg$
ネーピル	Np	$1Np=1$
ベル	B	$1B=(1/2) ln10(Np)$

表7. 国際単位系と併用されこれに属さない単位で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 単位であらわされる数値
電子ボルト	eV	$1eV=1.60217733(49) \times 10^{-19} J$
統一原子質量単位	u	$1u=1.6605402(10) \times 10^{-27} kg$
天文単位	ua	$1ua=1.49597870691(30) \times 10^{11} m$

表8. 国際単位系に属さないが国際単位系と併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
海里	里	1 海里=1852m
ノット	ト	1 ノット=1 海里每時=(1852/3600)m/s
アール	a	$1a=1 dm^2=10^{-4} m^2$
ヘルツ	ha	$1 ha=1 hm^2=10^{14} m^2$
バル	bar	$1 bar=0.1 MPa=100kPa=1000hPa=10^5 Pa$
オングストローム	Å	$1 Å=0.1nm=10^{-10} m$
バーン	b	$1 b=100 fm^2=10^{-28} m^2$

表9. 固有の名称を含むCGS組立単位

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
エルグ	erg	$1 erg=10^{-7} J$
ダイナ	dyn	$1 dyn=10^{-5} N$
ポア	dz	$1 P=1 dyn \cdot s/cm^2=0.1 Pa \cdot s$
ストークス	St	$1 St = 1 cm^2/s = 10^{-4} m^2/s$
ガウス	G	$1 G = 10^{-4} T$
エルステッド	Oe	$1 Oe = (1000/4\pi) A/m$
マクスウェル	Mx	$1 Mx = 10^{-8} Wb$
スチール	sb	$1 sb = 1 cd/cm^2 = 10^4 cd/m^2$
ホル	ph	$1 ph = 10^4 lx$
ガル	Gal	$1 Gal = 1 cm/s^2 = 10^{-2} m/s^2$

表10. 国際単位に属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
キュリ	Ci	$1 Ci = 3.7 \times 10^{10} Bq$
レントゲン	R	$1 R = 2.58 \times 10^{-4} C/kg$
ラド	rad	$1 rad = 1cGy = 10^{-2} Gy$
レム	rem	$1 rem = 1 cSv = 10^{-2} Sv$
X線単位	X unit	$1X unit = 1.002 \times 10^{-4} nm$
ガンマ	γ	$1 \gamma = 1 nT = 10^{-9} T$
ジャニスキー	Jy	$1 Jy = 10^{-26} W \cdot m^{-2}, Hz^{-1}$
フェルミ	fm	$1 fermi = 1 fm = 10^{-15} m$
メートル系カラット	Torr	$1 metric carat = 200 mg = 2 \times 10^{-4} kg$
トール	Torr	$1 Torr = (101.325/760) Pa$
標準大気圧	atm	$1 atm = 101.325 Pa$
カラリ	cal	
ミクロン	μ	$1 μ = 1 μm = 10^{-6} m$