



高レベル放射性廃棄物処分における 天然現象影響評価技術の高度化

川村 淳 牧野 仁史 梅田 浩司*

瀬尾 俊弘*¹ 石丸 恒存*¹ 大澤 英昭*

東海事業所 環境保全・研究開発センター 処分研究部

*東濃地科学センター

*¹本社 経営企画本部 バックエンド推進部

Study on Evaluation Method for Potential Effect of Natural Phenomena on a HLW Disposal System

Makoto KAWAMURA Hitoshi MAKINO Koji UMEDA*

Toshihiro SEO*¹ Tsuneari ISHIMARU*¹ Hideaki OSAWA

Waste Isolation Research Division, Waste Management and Fuel Cycle Research Center, Tokai Works

*Tono Geoscience Center

*¹Nuclear Cycle Backend Division

高レベル放射性廃棄物処分における天然現象影響評価技術の「第2次取りまとめ」に対する高度化として、事例研究成果を適切にシナリオに取り込み、その上で「影響のバリエーションを適切に整理した上でシナリオを現実の特徴を失わない程度に適切に単純化すること」及び「影響の伝搬等の因果関係を明らかにすること」に着目した「作業フレーム」を構築した。本論で検討した「作業フレーム」により、シナリオの「現実性」のみならず「透明性」、「追跡性」、「整合性」を向上させることができた。また、シナリオ構築あるいは影響解析の作業向上の観点から必要となる、天然現象に関するデータ・知見の種類や量あるいは品質情報、及び現状におけるそれらの過不足などについて作業を通じて明らかにできると考えられる。このことは今後、天然現象の研究者が現象理解の研究フレームを効率的かつ適切に構築することにも役立ち、さらには将来の現実性や精度の高い評価の実施へつながっていくものと考えられる。

Evaluation for the potential effect of natural phenomena on a HLW disposal system is an important issue in safety assessment. A scenario construction method for the effects on a HLW disposal system condition and performance has been developed for two purposes: the first being effective elicitation and organization of information from investigators of natural phenomena and performance assessor and the second being, maintenance of traceability of scenario construction processes with suitable records. In this method, a series of works to construct scenarios is divided into pieces to facilitate and to elicit the features of potential effect of natural phenomena on a HLW disposal system and is organized to create reasonable scenarios with consistency, traceability and adequate conservativeness within realistic view.

キーワード

高レベル放射性廃棄物, 天然現象, 処分環境・システム性能, シナリオ, 整合性, 追跡性, 保守性, THMC: 温度-水理-力学-地球化学, 類型化

High Level Radioactive Waste, Natural Phenomena, HLW Disposal System Condition and Performance, Scenario, Consistency, Traceability, Conservativeness, T-H-M-C: Thermal-Hydrological-Mechanical-Geochemical, Typification



川村 淳

システム解析グループ所属
システム性能研究チーム
高レベル放射性廃棄物地層
処分天然現象影響評価業務に従事



牧野 仁史

システム解析グループ所属
システム性能研究チーム
リーダー
副主任研究員
高レベル放射性廃棄物地層
処分の安全評価解析および
その不確実性の評価に従事



梅田 浩司

地質環境研究グループ所属
チームリーダー
地質環境の長期安定性に関
する研究に従事
理学博士



瀬尾 俊弘

深地層研究施設計画グループ
所属
研究主幹
深地層研究施設計画に關する
調査研究業務に従事



石丸 恒存

深地層研究施設計画グループ
所属
副主任研究員
深地層研究施設計画に關する
調査研究業務に従事



大澤 英昭

地質環境研究グループ所属
サブグループリーダー
地質環境の長期安定性に関
する研究に従事

1. はじめに

1999年にサイクル機構が取りまとめた「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（以下、『第2次取りまとめ』とする）」¹⁾においては、「地層処分システムに影響を及ぼす可能性のある天然現象（地震・断層活動、火山・火成活動、隆起・沈降・侵食、気候・海水準変動）の重大な影響が及ばない安定な地質環境がわが国にも広く存在する」ことを科学的根拠に基づき示した。

また同時に「第2次取りまとめ」では、地層処分の技術的信頼性を提示することを目標として、場所を特定しないジェネリックな段階の検討として地層処分システムの安全評価を実施した²⁾。その中で、安全性に対する擾乱要因のひとつとしての天然現象の影響を「天然現象影響評価」として検討しており、地層処分の安全性の例示に供するために、サイト選定で適切に回避されるとした著しい影響を除外した中で、我が国での事例研究成果を参考にしながら地層処分システムが被る特徴的な影響のみに焦点をあてた保守的・簡略的なシナリオを設定し評価を実施した^{2),3)}。その結果、天然現象による擾乱をあえて生じさせた場合のシステムへの影響の程度を例示した。

一方、2000年10月には実施主体（原子力発電環境整備機構）が設立され2002年12月から「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（概要調査地区）」の公募が開始された⁴⁾。また、同時に原子力安全・保安院をはじめとする規制機関による検討⁵⁾も進められてきている。このことから、天然現象影響評価については、我が国で起こり得る多種多様な現象とその影響あるいは地域性の条件などの特徴が反映できる程度に現実的な取扱いが必要になるものと認識される。そのための検討の一つとして、以下の点に着目した天然現象影響評価のための作業手順を構築することを本研究の目標とした。

- ①保守性よりも実際に起こり得る現実性を重視し、我が国で起こり得る天然現象の発生の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合せること
- ②影響評価シナリオの数を合理的にするために、それら組合せを影響の種類や影響の程度の類似性の観点から類型化した上で、処分システム・性能への影響を検討すること
- ③一連の作業を通じて、足りない知見は何かを明

らかにし、研究課題の設定に活かせるようにすること

- ④最終的には、どんな場の特徴の時に、どんな天然現象影響評価を考えるかを提示できるように、天然現象影響評価のコンテンツのデータベース的な整理を目指すこと

本研究の目標を満たすためには、事例研究に基づく、実際に起こり得る現実的な現象を出発点とし、影響解析に至るまでの評価手順について、以下の点に留意したアプローチを開発する必要がある。

- ・整合性：検討に取り込んだ天然現象の発生プロセスやそれに起因する地質環境への影響の組合せの適切性の保証のため
- ・透明性：検討に取り込んだ天然現象の発生プロセスやそれに起因する地質環境への影響についての記述とその際の出典、根拠の明確化のため
- ・追跡性：一連の作業の内容の明確化と情報の受け渡し適切性の保証のため

上記の点に留意して開発したアプローチにより、過度に保守的とならずに、また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にしていく。

次章以降、全体的な作業手順を示した上で、その具体的な適用例として「火山・火成活動」を例に“バリエーションの組合せ”の部分を中心に述べる。

2. 作業手順の検討

まず事例研究を出発点として天然現象の発生から処分環境・システム性能への影響を抽出する作業手順について検討した。おおよその作業としては、

- ①どのような様式（事象、規模など）の天然現象が発生し得るかを検討する
- ②それに伴いどのような様式（温度、岩盤物性、地下水質、地下水流動の変化など）の地質環境への影響が想定されるかを検討する
- ③それら発生様式と影響様式の組合せに対して、処分環境・システム性能への影響を想定し、モデル化・影響評価を実施する

という流れが考えられる。ここで①から②への作業を行う際に、事例研究から情報を抽出しやすいように、

「天然現象による地質環境への影響領域をまず考えた上で影響領域内の任意の位置に処分場を配置

してみることににより処分場への影響を考える」というような工夫をした⁶⁾。これは、地層処分システムが被る特徴的な影響のみに焦点をあてた「第2次取りまとめ」とは異なる方法である。この方法により以下のような効果が期待できる。

- ・天然現象の発生と地質環境への影響を想定する際に、客観的な事実として既存の研究事例などの成果を利用しやすくなる
- ・処分場よりも大きいと考えられる天然現象による地質環境への影響領域に対して、処分場を相対的に配置することにより、天然現象による地質環境への影響のバリエーションが処分環境・システム性能に及ぼす影響を過度な保守性に偏らずに合理的に想定することが可能となる

次いで、②から③への作業については以下のような工夫をした。すなわち、現実には発生している現象及びその影響は多種多様であり、その発生は地域性などの条件とも関係する。また、例えば同一の火山であっても複数回の活動を比較すると異なる挙動を示す場合もあり得る。そのため、シナリオの現実性を向上させるためには、そのような情報について事例研究成果を網羅的に整理し、それらを組合せながらシナリオに取り込むことが必要とされる。しかしながら、それら組合せに対して逐一シナリオを構築しようとすることは、シナリオの数が膨大となると共にシナリオが複雑になりすぎるため現実的ではない。そこで、②から③の作業を実施する際に、事例研究からの情報の組合せをそのままシナリオに反映させるのではなく、それら情報を地質環境への影響の類似性などに基づきある程度パターン化することとした。また、この時に、①から③へのつながりが曖昧にならないように影響の伝播等の因果関係が追跡できるようにしておくことにも留意することとした。このように、現実の特徴を失わない程度にシナリオをある程度単純化すること（類型化）は、シナリオの分かりやすさや影響評価上の取り扱いやすさの観点からは重要な作業であると考ええる。

ここで、①～③の作業内容を更に細分化し、それらの作業順序と各段階における作業内容とアウト・プットを定めた「作業フレーム」として具体化することとした。具体的には、

- ・天然現象の実際の特徴に基づく複数のシナリオを設定可能
- ・それぞれのシナリオに保守的な観点を取り込

み、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を設定可能

とし、

- ・更に、複数のシナリオの違いも理解容易なこと、例えば「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具体的にどの程度保守的なのかを検討可能

とするよう作業フレームを具体化する。

このような観点で検討された作業フレームは、今後の具体的なサイトを対象とした天然現象の影響評価作業への適用に対する柔軟性も保持するものと考えられる。

3. 検討内容

ここでは、まず、前章で具体化を検討した「作業フレーム」の概要について述べ、次いで「火山・火成活動」を例に具体的な作業内容とその特徴について述べる。

3.1 作業フレームの概要

手順を具体化していく上では、まず我が国における既存の天然現象の事例研究の情報を適切に収集・分析・評価し、天然現象の合理的なバリエーション群に整理することが重要となる。本論では、天然現象の事例研究の情報の整理から影響解析までの一連の作業をバランスよく実施するための作業フレームを構築することを目的に作業ステップとその体系を構築した^{7),8)}(図1)。

構築した作業フレームの特徴は、図1に示した

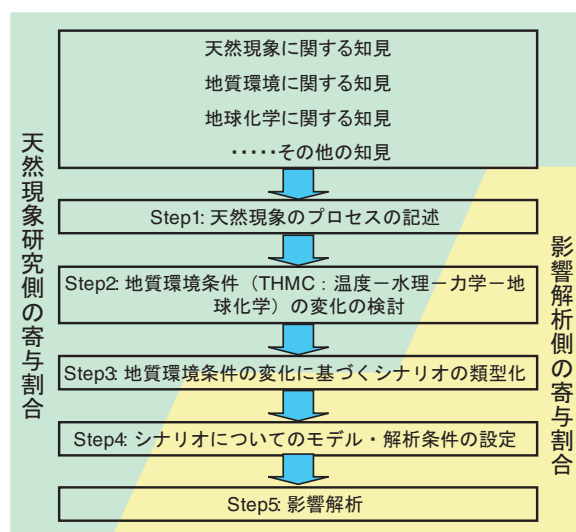


図1 天然現象影響評価の作業手順

ように、各作業を天然現象の専門家と影響解析の専門家が適切に分担及び協働できるように細分化したことである。

まず、「Step1：天然現象のプロセスの記述」と「Step2：地質環境条件（THMC：温度－水理－力学－地球化学）の変化の検討」を天然現象研究側が中心的に作業を行う。つまり、天然現象の専門家が中心となり、天然現象に関する既存の事例研究成果をそのまま活用し、どのような天然現象の発生様式やプロセスが考えられ、それに伴い地質環境へどのような変化が発生・伝播するかを検討を行う。次いで、「Step3：地質環境条件の変化に基づくシナリオの類型化」で天然現象研究と影響解析の専門家が協働し、最も重要な影響をキーとしてシナリオのパターン分類（類型化）を実施する。更に「Step4：シナリオについてのモデル・解析条件の設定」と「Step5：影響解析」は影響解析の専門家が引き継いで解析作業を実施する。Step 1 から 5 までの作業について天然現象研究と影響解析の寄与割合を模式的に示すと図 1 のようになる。すなわち、天然現象影響評価の作業全体にお

いて、天然現象研究側と影響解析側で作業の分担と連携が明確になっている。

本検討の作業手順のもう一つの特徴は、Step1とStep2の段階では処分場の位置を考えずに天然現象とそれに伴う地質環境への影響を想定し（図 2（a）参照）、それに対してStep3において処分場の位置を天然現象に相対的に変化させて配置（図 2（b）参照）、Step4においてその位置における処分環境・システム性能への影響を抽出し評価するという点である。これにより、事例研究の知見を処分場との位置関係とは係わらず整理できるため、天然現象の専門家の知見を引き出しやすくなった。また、事例研究の知見を整理した後に処分場の位置を選定することから、特徴的な影響を効果的に取り込んだパターン分類がしやすくなる。

3.2 作業フレームでの具体的な作業内容

3.1で概説した作業フレームでの作業内容について、火山・火成活動についてのシナリオ構築に適用した例を説明する⁹⁾。そのうち特に「Step1：天然現象のプロセスの記述」,「Step2：地質環境

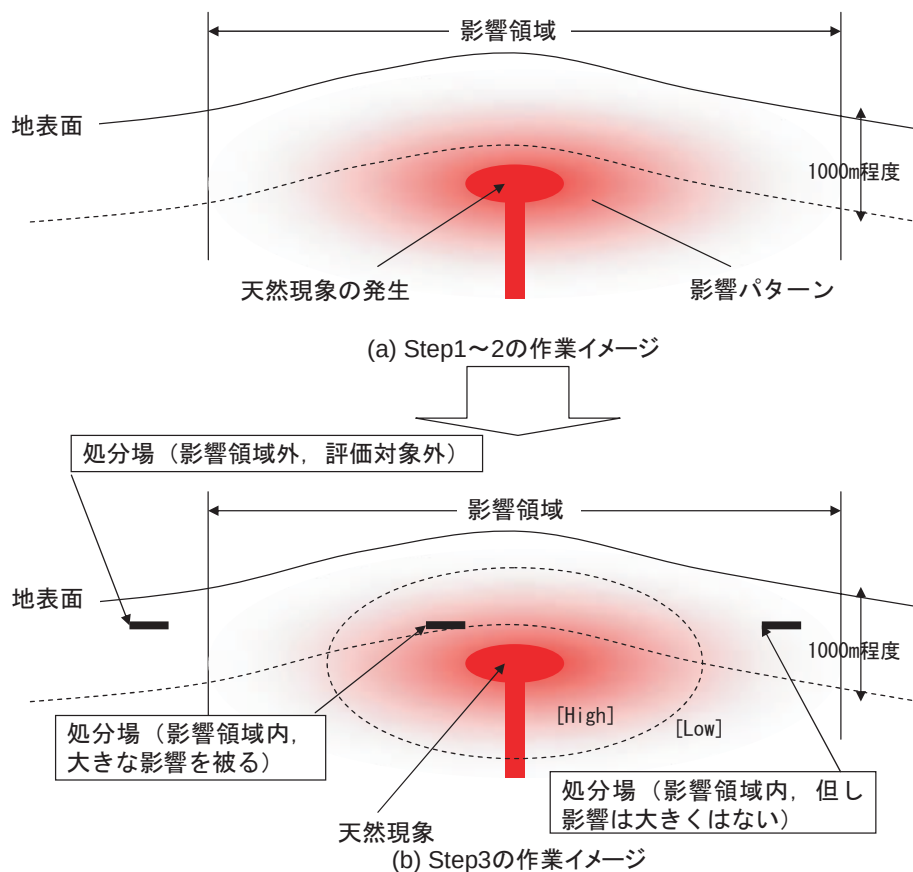


図 2 Step1～3までの作業イメージ

条件の変化の検討」及び「Step3：地質環境条件の変化に基づくシナリオの類型化」までを詳述する。

(1) Step1：天然現象のプロセスの記述

Step1で実施する作業は、主に天然現象の専門家により「天然現象のプロセス」をまず列挙することである。事例研究や一般的な科学的知見に基づき、火山・火成活動について現象の発生から地質環境への影響までのプロセスについて記述する。

図3に示すように、まずプレート運動に起因しプレート境界付近のアセノスフェアでメルト（マグマ）が発生する。溶融した状態のメルト（マグマ）は比重が周辺岩石よりも小さいため、浮力により地下深部から上昇し、ある程度の深度に貫入・定置し、マグマ溜まりを形成するという現象の発生様式が考えられる。その現象は地質環境を変化させる原因である「高温領域の発生」、「熱水流動系の形成」、また多くの場合「酸性の火山ガスや流体の発生」を伴う。Step1ではここまでの記述を行うこととする。

(2) Step2：地質環境条件の変化の検討

Step2では、Step1で列挙された「天然現象のプロセス」に対応する「地質環境条件の変化」について検討する。つまり、どのような天然現象の発生様式やプロセスが考えられ、それに伴い地質環境へどのような変化が発生・伝播するかを検討する。

具体的には、Step1で記述された「高温領域の発生」、「熱水流動系の形成」や「酸性の火山ガスや流体の発生」に起因する地質環境条件の変化、例えば「温度勾配の変化」、「地下水流動の変化」、「地下水質の変化」などを整理する。なお、この段

階においては処分場は意識せずに作業を行う。また、情報を整理する際は、温度(T)、水理(H)、力学(M)、地球化学(C)（以下「THMC」とする）のフォーマットを用いることとし、後工程である影響解析パラメータの設定作業など、評価側の使いやすさ等も前もって加味する（例えば、図4のような形式を用いて）。具体的には以下の内容についての知見・データの収集・整理を行う。

- ・ T（温度）：周辺温度（温度勾配、温度の変化など）
- ・ H（水理）：地下水流動（透水係数、流動方向、流速の変化など）
- ・ M（力学）：岩盤物性（各種岩盤物性の変化など）
- ・ C（地球化学）：地下水水質（pH、酸化還元状態の変化、溶存成分の変化など）、岩盤を構成する岩石の鉱物組成の変化、水-岩石反応速度の変化など

ここで、発生した一つの天然現象に対する地質環境への影響の様式は様式ではなく、評価地点と天然現象の位置関係や地質構造、あるいは岩石や地下水の化学組成によって多種多様な影響様式が考えられる。例えば、一つの火山活動においても火山からの距離や地質構造によって湧出する温泉水の温度、流量、水質などが異なることは普遍的に見られることである。図4の例では、Cの地下水のpHについて、火山体の火口近傍であっても必ずしも酸性になるケースばかりではないことを示している。よって、一つの「天然現象のプロセス」に対して複数の「地質環境条件の変化」が記述さ

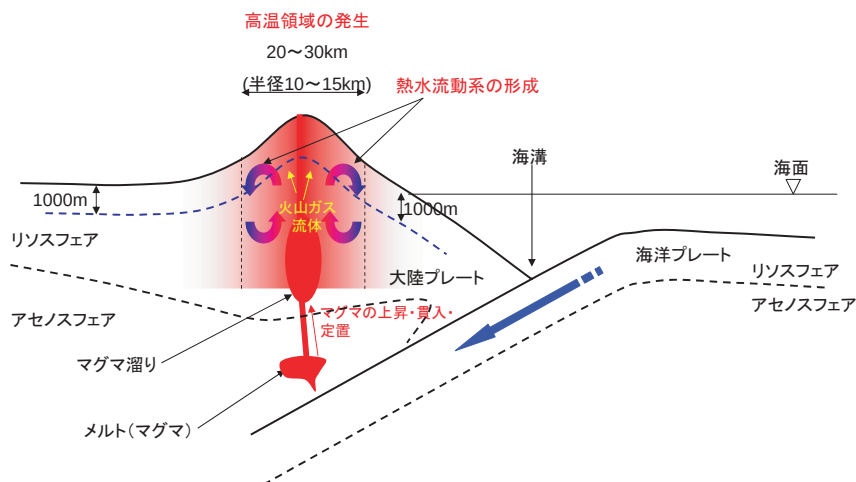


図3 Step1の作業イメージ（火山・火成活動の発生プロセスの検討例）

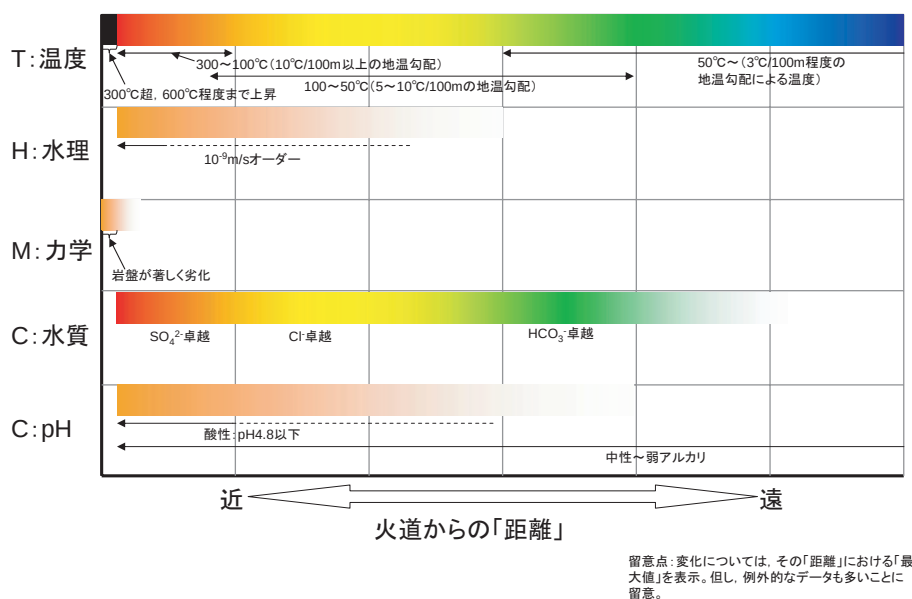


図4 Step2の作業イメージ（火山・火成活動に起因する地質環境条件の変化の記述の整理例）

れることになる。

この段階においては、可能な限り「網羅性」を重視するものとする。例えば、比較的遠方の現象でその影響が微弱あるいは短期間で可逆的であり、万年オーダーの長期的な評価の観点からは「無視できるレベル」と考えられても地下環境への変化が観測されるケースについては、可能な限り情報を整理しておくこととする。このような例としては、釜石原位置試験で得られた地震による地下水位変化の観測事例¹⁾、¹⁰⁾や、2004年12月26日9:58（日本時間）発生したスマトラ沖地震によって震源から約5,600km離れた我が国においても地下水位の変化があったようなケース¹¹⁾などがあげられる。

なお、天然現象の発生のしやすさについては地域性が考えられるものが多い。そのため、例えば現在の知見では事例が見いだされていない東北日本における火山フロントよりも海溝側の地域における火山活動の開始や、過去の氷河期においても形成された証拠が見いだされていない西南日本における永久凍土のような、地域性等を考慮しないシナリオを考えることは混乱を招くだけで、地球科学的な見地からは、むしろ現実性を損なうことから適切なものとは言えない。そのため天然現象が発生した後の影響を整理することと合わせて、それらの起こりやすさに係わる情報として「天然現象が発生する条件・可能性」、「地質環境が変化する条件・可能性」等の情報も各ステップのアウトプットにおいて留意事項として記述しておく。

これらの情報を、例えば表1に示すような定められたフォーマットに従って記録する。表1においては、Step1の作業として、「1. 新規火成活動」が発生し「2. マグマが貫入・定置し熱エネルギーが発生」、3. で「Ⅰ. 酸性流体・火山ガスが放出」される場合と「Ⅱ. 放出される流体に酸性ガスや酸性流体を多く伴わない」場合の2ケースを想定している。3. のケースⅠに対応する「地質環境条件の変化」はⅠ-①～④の4ケース、ケースⅡに対応するそれはⅡ-①～③の3ケースが想定、合計7ケース想定され、それぞれのケースについて、THMC形式で影響の様式が記述されている。なお、Step1の左側に「天然現象が発生する条件・可能性」、更にStep2の左側に「地質環境が変化する条件・可能性」が記述されている。

(3) Step3：地質環境条件の変化に基づくシナリオの類型化

Step1～2までに列挙されたバリエーションの数は、単純には「天然現象のプロセス」の数に「地質環境条件の変化」の数を掛けたものとなるので十数から数十個という数となる。それらに対して逐一評価シナリオを設定し解析することは現実的ではない。また、隆起による海水準の相対的な低下と気候変動による海退のように、異なるプロセスで発生した天然現象が地質環境へ同様の影響を与えられられる場合もある。このように、同様あるいは似たような地質環境への特徴的な影響に注目し、それら影響の種類や影響の程度で区別

され特徴づけられる比較的少数の組合せをシナリオとして設定し影響解析を実施するのが現実的である。そのため、主に事例研究に基づいて列挙されたStep1とStep2の多数のバリエーションに対し、天然現象研究と影響解析の専門家が協働して類型化するという作業を実施する。

具体的には、現象からの距離と影響の強さから複数段階の「影響領域」を設定する。地質環境への影響は一般的には現象から離れるに従って減衰していくと考えられる。しかしながら、現象からの距離と地質環境へ与える影響の強さについては図5に模式的に示すように、対象とする影響項目によって減衰パターンが異なるものと考えられる。そこで「影響領域」の設定の際には、THMCのどの影響項目が特徴的なバリエーションをもつか、及び影響解析に効くかを判断し、その影響項目によって区分する。

なお、現時点はジェネリックな検討段階であるため、影響の程度と影響領域の区分を厳密に定量的に表現することは困難であり、現時点では特に必要ないと考えられる。そのため、「影響の程度」を[Very High], [High], [Low], [Very Low]などとして設定し、それらに対応する「影響領域」については「数km～十数km」、あるいは、例えば現象の規模などを基準とした場合の「数倍、十数倍」などの定性的ないし半定量的表現で区分する。

図5では影響1～4のうち、影響4を最も特徴的なバリエーションを持つと判断し、影響領域

([High] 及び [Low]) を区分している。影響4を用いて区分された[High] 及び [Low] の影響領域内において影響1～3がどの程度の範囲の値をとり得るかを抽出する。

表1の「Ⅰ. 酸性流体・火山ガスが放出」される場合についてTHMCの影響項目のうちC：地球化学が最も特徴的なバリエーションを持つものと判断して影響領域を区分した例を図6に示す。影響[Very High] の領域は火道の極近傍の岩盤がマグマの貫入によって破碎され、かつ、熱的な影響が非常に大きい領域である。更にその外側を、Cの情報を用いて、

- ・影響 [High]： $\text{pH} \leq 4.8$ ないし水質が SO_4^{2-} に卓越する領域
- ・影響 [Low]：弱酸性～中性 ($\text{pH} \geq 4.8$) ないし水質が HCO_3^- に卓越する領域

として区分する。その区分された領域内において、残りの T, H, Mがどの程度の値を取り得るかをStep2で収集・整理されたデータから判断して設定する。同様の作業を表1中の「Ⅱ. 放出される流体に酸性ガスや酸性流体を多く伴わない」場合についても行う。

次に、上記したような影響項目に着目し、同様あるいは似たような影響であると判断されたものを統合するなどして特徴的な影響のバリエーションを記述するためのシナリオの「類型化」を行う(表1右下表参照)。このような「類型化」を、事例研究の知見を網羅的にかつTHMCという使い

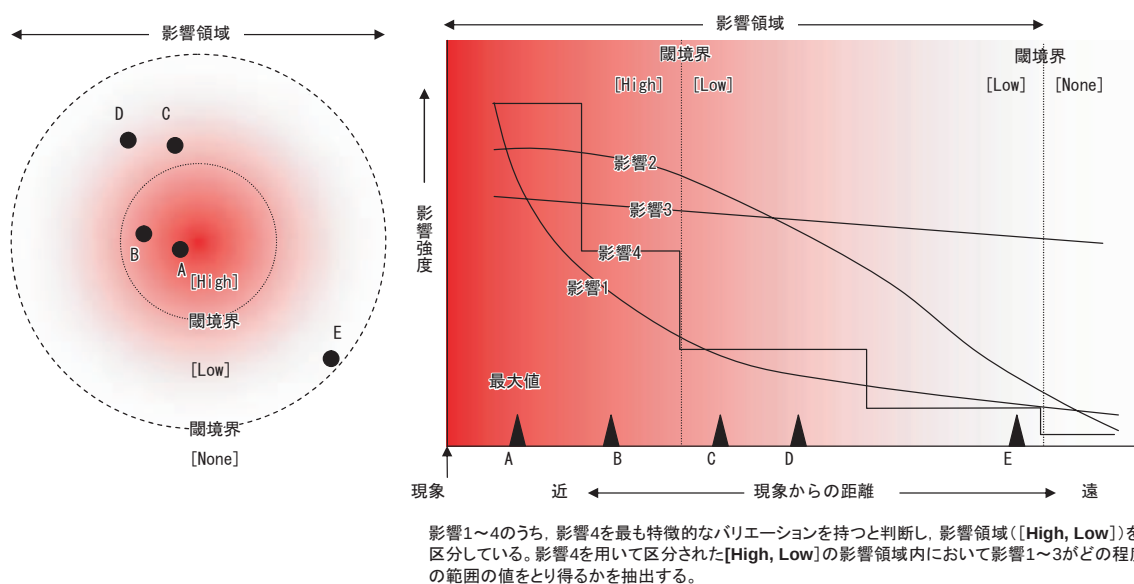


図5 現象からの距離と影響強度の関係の概念図

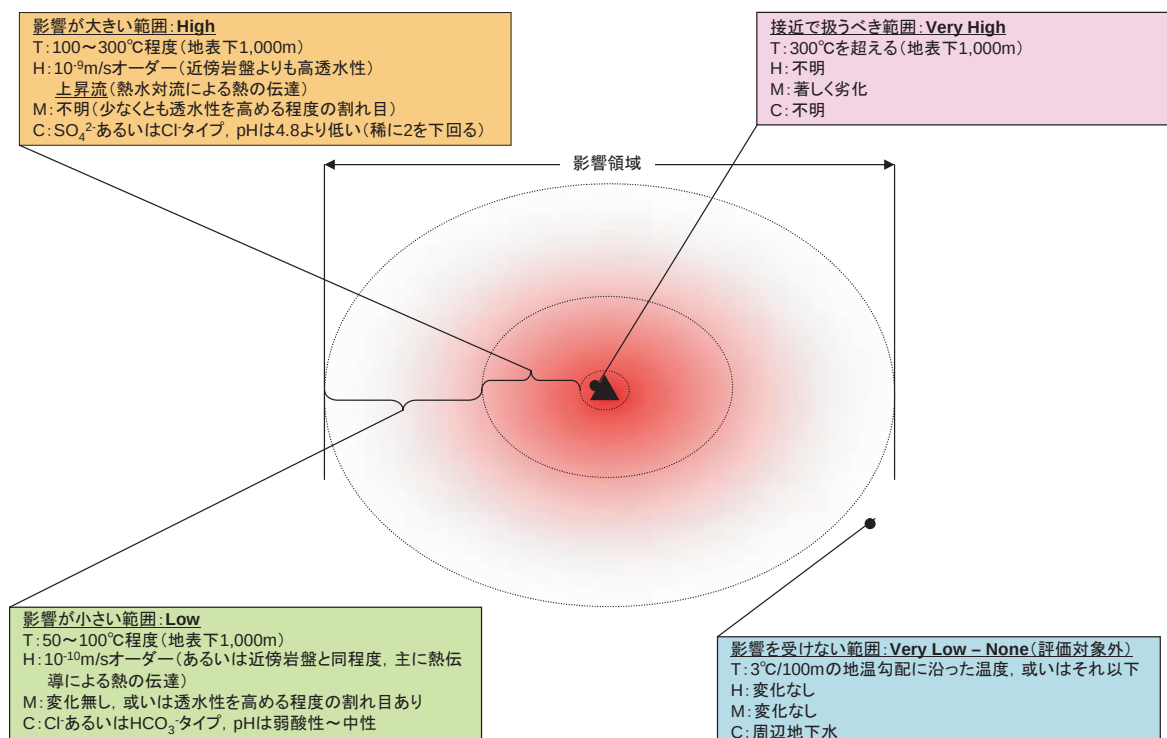


図6 Step3の作業イメージ (類型化された火山・火成活動に起因する地質環境への影響の取りまとめイメージ)

やすい形で整理した後に行うことにより, 特徴的な影響を効果的に取り込んだパターン分類がしやすくなる。また, 表1右下表の「備考」欄には類型化の際の優先項目やTHMCの影響項目の取り扱いなどについて記述し, 類型化の際の考え方を記録するものとする。また, どの「Step1: 天然現象のプロセス」のどの「Step2: 地質環境条件の変化」がどの「類型化」パターンに分類されたかを明記し, 追跡性を確保するものとする (表1右下表, 「該当するStep2のケースNo.」欄参照)。Step2で列挙されたケース数は7ケースであった。上記のような作業の結果類型化されたケース数は類型化ケースA~Cの3ケースとなっている。

以上までの作業により影響の程度の違いを表すことができるよう影響領域を区分することができた。この段階でそれぞれの領域に処分場を設定する。図2(b)において, 影響領域を[High]と[Low]の2つに分け, それぞれについて処分場を設定した例を示した。それと同様に, 表1において設定された類型化ケースA, B, C区分された処分場を設定する (イメージ的には図6の[Very High], [High], [Low]の3つの領域それぞれに処分場を設定する)。表1における類型化ケースA~Cのそ

れぞれのTHMCの記述が, 次のStep4において解析条件の設定するために必要な知見・データとなる。

(4) Step4: モデル・解析条件の設定, Step5: 影響解析

Step3において「類型化」された影響 (シナリオ) を引き継ぎ, モデル・解析条件の設定を行う。現在は, サイト選定に関する要件を考慮し, 処分場が被る確率が相対的に高くなると考えられる影響強度が[Low]に該当する場合を対象に, RES (Rock Engineering System) と呼ばれる, マトリクス形式の解析条件の設定方法について検討中である (図7)。この方法の利点は, シナリオとして記述された地質環境への影響の整理結果を起点として, 処分場の周辺岩盤→施設領域→人工バリアという順序で影響解析で対象とする処分環境・システム性能への温度, 水理, 力学, 地球化学特性の変化などの影響の伝播を明らかにすることができ, 更にそれと対応づけて, 人工バリア→施設領域→周辺岩盤の順で拡散係数, 分配係数, 溶解度, 溶解速度, 地下水の通過流量などの物質移行解析条件を設定できることである。

図7の例では, 岩盤の温度を起点に, それが岩盤の水理特性にどのような影響を与え, それが更

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

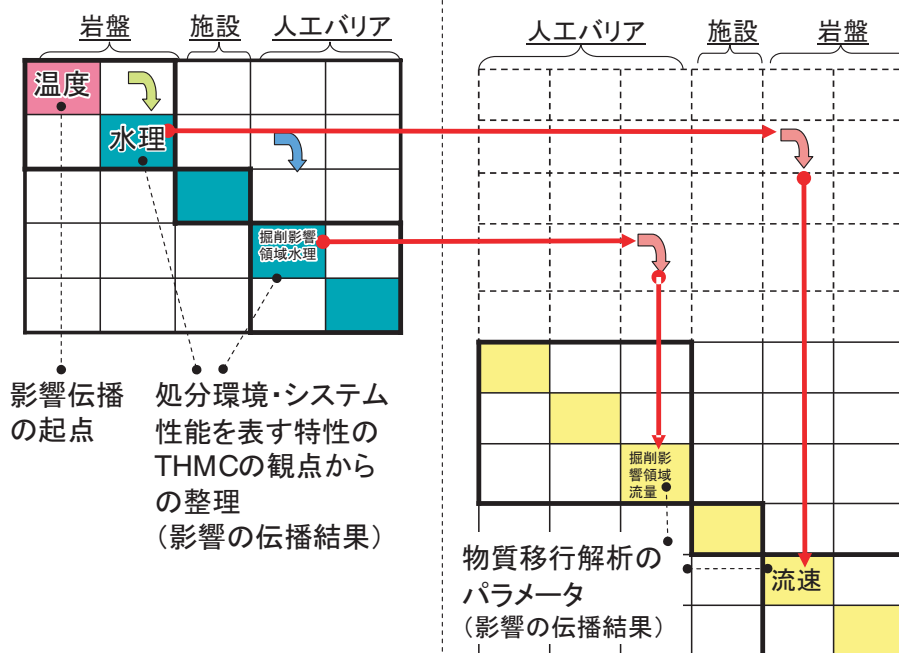


図7 Step4の作業イメージ (RESによる物質移行解析パラメータの設定イメージ)

に、施設領域を通して人工バリア中の掘削影響領域にどのような影響を与えていくかなど、影響の伝播について整理している。同時に、岩盤の水理特性の変化した結果、物質移行解析条件のうち流速がどの程度変化するか、また、人工バリア掘削影響領域の水理特性が変化した場合、そこを通過する流量がどの程度変化するかなどの物質移行解析パラメータの設定が可能である。

妥当な解析パラメータ設定後、Step5：影響解析を実施する予定である。

3.3 作業フレームの特徴

提案した作業フレームの特徴としては、図1に示したように天然現象の事例研究から影響評価までに至る作業工程を作業ステップとして細分化し、各ステップごとにアウトプットを定型化したフォーマットに記録・整理することとしたことにある。つまり、各ステップの作業をある程度独立した「モジュール化」し体系化したことに特徴がある。モジュール化を図ったことにより、各ステップで作業すべきことが明確になり透明性が確保できると共に、各作業の分担と協働の内容と手順を明らかにすることで追跡性が確保できる。ま

た、後工程の作業は前工程の成果を引用・参照して次のステップの作業を実施すると共に、後工程に引用されることを前提とした前工程の作業を実施することになる。そのため、前後工程間の双方向のコミュニケーションの促進や合意形成につながり、一連の作業の整合性の確保が可能になる。

また、各ステップをある程度独立したモジュールとしたことにより、ステップごとに作業方法や内容の改良などが容易になる。

更に、定型化したフォーマットを利用して各ステップの作業成果を記録することにより、影響解析に必要な天然現象の事例研究のデータ・知見の量や品質情報などの過不足が明らかとなり、このことは天然現象の専門家が現象理解のための次の研究フレームを効率的かつ適切に構築することにも役立ち、更に将来のより現実性や精度の高い評価の実施につながっていくものと考えられる。

4. 結論

「第2次取りまとめ」に対する天然現象影響評価技術の高度化として、以下の事項に着目し、作業のモジュール化や手順の体系化といった工夫を含めた作業フレームの構築を図った。

- 提案した作業フレームを適用することにより、
1. で設定した①から④の着目点に対し、以下のよう
な効果が期待できる。
 - ①保守性よりも実際に起こり得る現実性を重視
し、天然現象の発生の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合
せること
 - ・天然現象による地質環境への影響領域に対
して、処分場を相対的に配置することにより、天
然現象による地質環境への影響のバリエーショ
ンが処分環境・システム性能に及ぼす影響を合
理的に想定することが可能となる
 - ・上記の手順により、天然現象の発生と地質環境
への影響を想定する際に、客観的な事実として
既存の研究事例などの成果を利用しやすくなる
 - ・また、従来は保守性を重視するあまり、起こり
にくい影響が大きくなる可能性のあるもの、
つまり処分場を直撃あるいは直撃はしないま
でも大きなダメージを与える場合に着目するこ
が多かったが、本手順により「弱影響の範囲」
についても知見・データを収集・整理し評価の
対象とすることができる
 - ・温度、水理、地球化学特性などの地質環境条件
の変化の組合せの整合性にも留意しつつ作業を
進めることにより、個別の情報から「保守的」
なデータを独立に収集することに比べ、より現
実に即したシナリオを構築できる
 - ②影響評価シナリオの数を合理的にするために、
それら組合せを影響の種類や影響の程度の類似
性の観点から類型化した上で、処分システム・
性能への影響を検討すること
 - ・提案した作業フレームを用いることにより、考
えられ得る多種・多様な現象の影響の種類や程
度を、THMC形式に整理された記述内容から客
観的に類型化できる
 - ・上記の作業は、参照しやすい形の定められた
フォーマットに従って整理するため、作業の透
明性を確保できる
 - ・その際どのような現実の現象のデータ・知見に
基づきシナリオを構築したのか、解析用のデー
タやモデルを作成したのか、を記録するため、
追跡性を確保できる
 - ③作業を通じて、足りない知見は何かを明らかに
し、研究課題の設定に活かすこと
 - ・提案した作業フレームを用いることにより天然

現象に関するデータ・知見の種類や量あるいは
品質情報、及び現状におけるそれらの過不足な
どが作業を通じて明らかになり、今後、天然現
象の専門家が現象理解の研究フレームを効率的
に構築することにも役立つものと考えられ、将
来のより現実 に即した精度の高い評価の実施へ
つながっていく

以上より、作業フレームを適用することにより、
シナリオが現実の現象に即したものになり、評価
作業や内容の「透明性」、「追跡性」、「整合性」の
向上を図ることができると考える。

- ④最終的には、どんな場の特徴の時に、どんな天
然現象影響評価を考えるかが提示できるよう
に、天然現象影響評価のコンテンツのデー
タベース的な整理を目指すこと

これに関しては、提案した作業フレームにおい
て、現象・影響の起こりやすさに係わる情報とし
て地域性を考慮し「天然現象が発生する条件・可
能性」、「地質環境が変化する場合・可能性」等の情
報も留意事項として記述し、情報を整理している。

上記のような情報整理は、特定の場所について
の詳細な検討を始める前の段階において、どのよ
うな特徴をもつ地域ではどのような天然現象影響
評価をしておくことが考えられるのか、そのため
に優先的に必要な情報は何か、それを取得するに
はどのような調査・検討をする必要があるのかを
判断する材料の一つとすることができる。更に、
詳細な検討の段階においては、対象となった地域
にとって評価が必要となる天然現象は何か、ある
いは発生可能性は低いものの影響が大きいと想定
されるシナリオをどう扱うか、などの評価の方
針を検討する材料ともなうと考えられる。

以上は、天然現象影響評価の信頼性や実用性の
向上と同時に、地層処分技術に関する国民の理解
を得ることにもつながるものと考えられる。

5. 今後の課題

本報では、5つのステップに分けた作業フレー
ムのうち、「Step3：地質環境条件の変化に基づく
シナリオの類型化」までについて、「火山・火成活
動」を例に実作業を通じて適用性を確認した。今
後は、まずStep4のRESに基づく「モデル・解析条
件の設定」とStep5の「影響解析」までを「火山・
火成活動」について実施し、作業フレームの適用
性と有効性を確認する。

また、「火山・火成活動」のみならず「地震・断層活動」,「隆起・沈降・侵食」,「気候・海水準変動」にも適用例を拡充することにより適用性をより確かなものとすると共に、問題点の抽出と必要に応じた改良を加えていく。

合わせて、火道が処分場を直撃する、あるいは断層が廃棄体を切断するような接近シナリオや、隆起に伴う断層あるいは火山活動に起因する断層などのような「複合した現象」についても、提案した手順の適用を図り、知見を蓄積していく必要がある。

参考文献

- 1) 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」”, JNC TN1400 99-021 (1999).
- 2) 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」”, JNC TN1400 99-023 (1999).
- 3) 牧野仁史, 加藤藤孝, 他：“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—”, JNC TN8400 2000-033 (2000).
- 4) 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” (2002).
- 5) 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処分の安全規制に係る基盤確保に向けて—” (2003).
- 6) 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研究開発—平成15年度報告—”, JNC TN1400 2004-007 (2004).
- 7) 川村 淳, 牧野仁史, 他：“天然現象影響評価シナリオ構築手法の高度化”, 地球惑星科学関連学会2005年合同大会予稿集, G018-007 (2005).
- 8) 川村 淳, 牧野仁史, 他：“天然現象影響評価に関する検討—①シナリオ構築手順の概要—”, 地球惑星科学関連学会2005年合同大会予稿集, G018P-019 (2005).
- 9) 川村 淳, 梅田浩司, 他：“天然現象影響評価に関する検討—②火山・火成活動への適用例—”, 地球惑星科学関連学会2005年合同大会予稿集, G018P-019 (2005).
- 10) 佐々木俊二, 安池慎治, 他：“釜石鉾山で観測された地震に伴う地下水位・地下水位変化”, 電力中央研究所報告, U99030 (1999).
- 11) 産業技術総合研究所, 鳥取大学工学部, 他：“2004年スマトラ島西方沖の地震 (M9.0) の地震波に伴う地下水位・地下水位変化について”, <http://www.aist.go.jp/RIODB/gxwell/GSJ/database/20041226.pdf>, RIO-DB (2005).