

バックエンド部会セッション

地層処分セーフティケース —進捗状況—

Safety case for geological disposal of radioactive waste -Current status-

(2) 地層処分に適した地質環境の選定とモデル化

(2) Site characterisation and synthesis into site descriptive models

*三枝博光，太田久仁雄，近藤浩文，後藤淳一，國丸貴紀，山田彩織

原子力発電環境整備機構（NUMO）

1. はじめに

地層処分においては、地質環境が好ましい特性を有し、それが長期にわたり安定であることを技術的な信頼性をもって提示することが不可欠である。NUMO は、文献調査、概要調査、精密調査の三段階において、その時点で利用可能な最適かつ最も信頼性の高い技術を適用して地質環境調査・評価を実施し、対象サイトの法定要件¹などに対する適格性を確認するとともに、さまざまな地質環境情報を整合的な解釈を通じて地質環境モデルとして統合する。この結果に基づき処分場の設計から安全評価にいたる検討を繰り返して行うことにより、地層処分の観点から好ましい地質環境特性が長期にわたり維持されるサイトを選定する。現段階では処分場の候補地や母岩が特定されていないものの、国により「科学的特性マップ」^[1]が提示され、今後のサイト選定の進展に的確に対応するための技術基盤を整備することが重要である。

2. 地層処分に適した地質環境の選定

サイト選定においては、空間スケールや対象とする地質事象を絞り込みながら調査の詳細度を段階的に高めつつ、法定要件とそれに基づき整備する考慮事項^[2]、「科学的特性マップ」の要件・基準^[1]などに照らして地質環境の安全機能を損なう可能性のある自然現象による著しい影響を回避する。さらにその影響を回避したサイトにおいても緩慢かつ累積的な自然現象（例えば、隆起・侵食）の影響を考慮する必要があるため、地質構造や地質環境特性の過去から現在までの時間的・空間的変遷を把握し、その変化の幅を考慮に入れても長期にわたり地質環境が有する安全機能の低下が生じる可能性が小さい「地層処分に適した地質環境」であることを確認する。

これまでに蓄積されたわが国の地質環境に係る最新の科学的知見^[3]に基づくと、わが国の地下深部には地層処分の観点から好ましい熱環境、水理場、力学場、化学環境（THMC 条件）を有する地質環境が長期にわたり維持されている地域が存在し、そのような地域が広く分布すると考えられる。したがって、自然現象の著しい影響を適切に回避したうえで、対象サイトの地質環境特性の時間的・空間的な安定性を把握することにより、変動帯に位置しさまざまな自然現象が繰り返しあるいは継続的に発生しているわが国においても地層処分に適した地質環境を選定することが可能である。

NUMO セーフティケースでは、国の基盤研究開発機関などにより進められている総合的な研究開発などを通じて創出された成果に基づき、わが国の多様な地質環境に適用可能な、三段階の調査によって地質環境を適切に選定するための基本的な考え方（表 1）や実践的な方法論を提示した。段階的なサイト調査においては、法定要件や処分場の設計および安全評価における要求事項に対して、取得すべき地質環境情報とその詳細度を明確にしたうえで地質環境調査・評価を実施し、地質環境情報の統合化を通じた処分場の設計および安全評価との連携を実践することにより繰り返し不確実性の低減を図ることが基幹の方法論となる。また、この一連の過程において一貫性のある品質マネジメントが必須となる。

¹ 「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」および同施行規則に定められた処分地選定にかかわる要件

一方、わが国の多様な地質環境に適用可能な調査・評価技術については、これまでに開発され高度化が図られた個別の調査・評価技術の適用方法や事例、有効性、現状の技術的課題などを包括的に取りまとめ知識基盤の強化を図った。

表 1 地層処分に適した地質環境の選定において考慮する影響要因への対応の基本的な考え方

影響要因	対応の基本的な考え方	文献調査	概要調査	精密調査
		■ 広域スケール*	■ 処分場スケール**	■ パネルスケール***
深度 300 m 以上の深さにおける第四紀の未固結堆積物の分布	・ 深度 300 m 以深まで第四紀の未固結堆積物が分布する地域を除外	■	■	
安全性や施工性に影響を及ぼす事象の発生：高い地温・温泉、膨張性地山、山はね、泥火山、大量出水、有害ガス突出、軟弱な地盤の分布、地震、津波、地すべり、土石流、洪水など	・ 影響の程度や範囲などを把握 ・ 影響を低減するための適切な工学的対策を実施	■	■	■
安全性を損なう火山事象の発生：火砕物密度流、溶岩流、岩屑なだれなど	・ 影響の範囲などを把握 ・ 操業期間中の影響を回避し地上施設を設置	■	■	
自然現象の隔離機能への著しい影響：マグマの貫入および地表への噴出、岩盤の厚さの著しい減少 自然現象の閉じ込め機能への著しい影響：非火山性を含む地熱活動、火山性熱水・深部流体の流入、大規模な断層変位、断層とその周辺岩盤の透水性の増加	・ 著しい影響が生じる範囲を除外	■	■	■
自然現象の緩慢かつ累積的な影響：非火山性を含む地熱活動、火山性熱水・深部流体の流入、大きな断層変位、断層とその周辺岩盤の透水性の増加、地形や海陸分布の継続的な変化	・ 自然現象の影響に伴う地質環境特性の長期変遷を把握 ・ 適切な工学的対策を検討 ・ 安全評価により閉じ込め機能の長期的な維持を確認 ・ 閉じ込め機能が期待できない場合は、当該サイトを選定候補から除外	■	■	■
地下深部に経済的に価値のある鉱物資源の賦存	・ 地下に経済的に価値が高い鉱物資源が分布する地域を除外	■	■	

*広域スケール：処分場スケールの領域の THMC 条件に影響を与える要因となる自然現象を考慮する範囲

**処分場スケール：地下深部における地層処分の観点から好ましい THMC 条件やその長期安定性を確認する範囲

***パネルスケール：処分場スケールの領域において実際に処分パネルを設置する範囲

3. 検討対象母岩の地質環境モデルの構築

わが国の地質環境に係る最新の理解に基づき、サイト選定において現実的に対象となる可能性がある地質環境（日本地質学会が区分した 7 岩種^[4]のうち第四紀堆積岩類および第四紀火山岩類を除く 5 岩種）を対象に、処分場の設計（建設可能性や容易性）および安全評価（地下水流動や物質移動）の観点から重要となる特徴に着目した類型化を行い、深成岩類、新第三紀堆積岩類、先新第三紀堆積岩類を検討対象母岩として取り上げた。なお、5 岩種のうちの残りの 2 岩種（新第三紀・先新第三紀火山岩類および変成岩類）については、前述の特徴の類似性から深成岩類と一括して取り扱うことができると判断している。したがって、前述の 3 岩種を対象とした処分場の設計および安全評価の考え方や手法を整備することにより、わが国の代表的な全ての岩種に対応することができると考えられる。

それぞれの検討対象母岩について、全国規模で収集した地質環境情報および幌延・瑞浪における深地層の研究施設で取得された地質環境データ^{[5][6]}などを用いてさまざまな地質環境特性に係る整合的な解釈・統合を行うことにより、処分場の設計および安全評価に係る検討の基盤となる地質環境モデルを構築した。具体的には、岩体や地層の規模、地下深部において実際に認められる断層・割れ目の長さ、密度、方向性に加え、岩盤中の基質および断層・割れ目の透水係数などをパラメータとして、調査段階ごとに地質環境情

報の質・量が異なることを考慮に入れながら、広域（数十 km）スケール，処分場（数 km）スケール，パネル（数百 m）スケールの詳細度に対応する地質構造および水理地質構造の現実的なモデルを提示した（図 1）。さらに，それぞれの検討対象母岩における地質環境調査や原位置試験の結果に基づき，放射性核種の移行・遅延を支配する微細透水構造を表現した数 cm～数十 cm スケールの現実的な概念モデルも構築した。

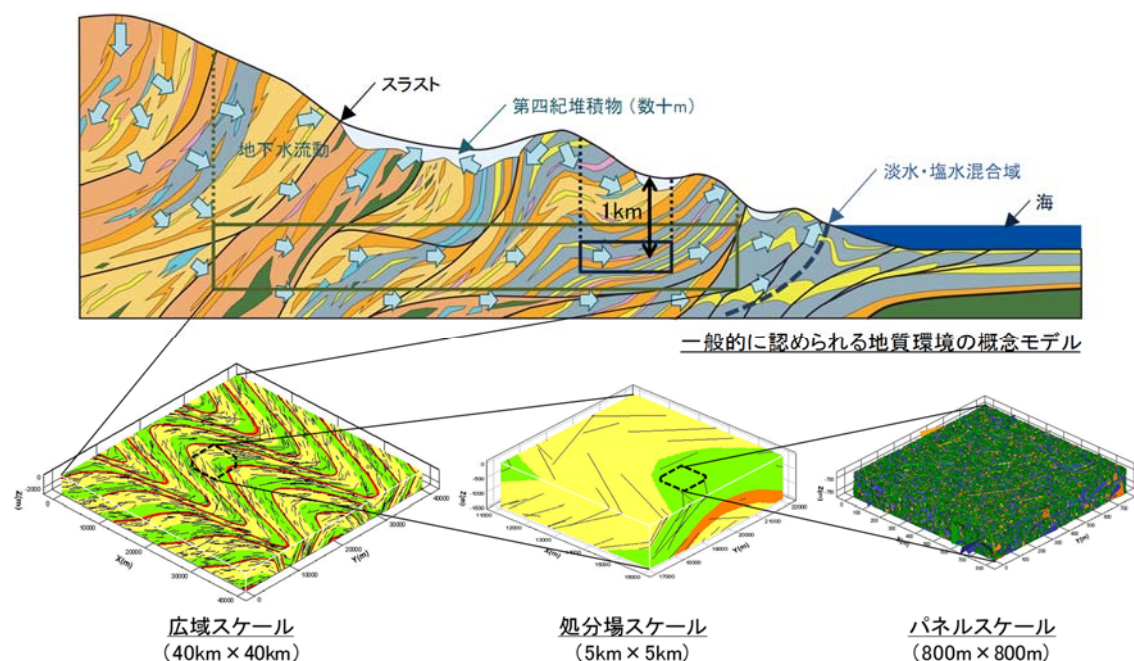


図 1 検討対象母岩の地質環境モデル（先新第三紀堆積岩類・整然相の地質構造モデルの例）

また，処分場の設計および安全評価に係る検討に必要となる岩盤の熱・力学特性および地下水水質について，全国規模で収集した地質環境情報に基づき，それぞれの検討対象母岩を対象に熱・力学特性データセットおよびモデル水質を設定した。このうちモデル水質は，わが国で認められる地下水の水質データひとつひとつを対象に地下水採水の対象岩種や深度，掘削水や地表水の混合の程度，電荷収支などの観点からスクリーニングを行い，品質が確認できた深度 300 m 以深の水質データについて，水みちに一般的に認められる鉱物との化学平衡を考慮した熱力学計算を行うことにより現実的に設定した。いずれの検討対象母岩においても，設定した低溶存成分濃度および高溶存成分濃度のそれぞれのモデル水質は，わが国の地下深部で認められる地下水の水質データをほぼ網羅するものである。

4. 将来における自然現象の発生可能性

検討対象母岩における地層処分システムの安全性に及ぼす自然現象の影響については，リスク論的な手法を導入しその発生可能性を考慮したシナリオを作成したうえで安全評価を行う。前述のように，自然現象の著しい影響は段階的なサイト調査を経て適切に回避するものの，安全評価においては，地質環境の長期的な安定性を論ずるうえで，将来 10 万年を超えるような長期にわたる発生の可能性が極めて小さい地質事象であっても，著しい影響が想定される場合はその要因となる自然現象の発生可能性を考慮する。このため，NUMO セーフティケースでは，安全評価における検討の基盤情報となる，将来における自然現象の発生可能性とその影響に係る科学的知見を網羅的に取りまとめた。

5. まとめと包括的技術報告書公表後の技術開発への取り組み

NUMO セーフティケースでは，わが国の多様な地質環境を対象に「地層処分に適した地質環境」を選定

するための基本的な考え方や調査・評価技術の体系的な整備について、「第2次取りまとめ」以降の着実な進展を示した。また、わが国の地質環境に係る最新の理解に基づき、サイト選定において現実的に母岩となる可能性がある地質環境を地層処分の観点から類型化し、検討対象母岩として設定した深成岩類、新第三紀堆積岩類、先新第三紀堆積岩類のそれぞれについて地質構造、水理地質構造、地下水水質の観点から現実的な地質環境モデルを構築した。これにより、わが国の地質環境に係る最新の科学的知見を統合する技術が整備されていることを実証するとともに、文献調査以降における対象サイトの地質環境モデルのひな形を提示することができた。以上の結果から、NUMOは、今後の三段階のサイト選定において地質環境調査・評価を的確に実施し、段階的に取得する地質環境情報を地質環境モデルとして解釈・統合することができ、この結果に基づく処分場の設計および安全評価における検討を繰り返し行うことにより、「地層処分に適した地質環境」を選定することを可能とする技術基盤を整えていると考えている。

包括的技術報告書公表後の技術開発に係る取り組みについては、NUMO セーフティケースの構築を通じて特定された技術的課題および国の審議会など^{[3][7]}で提示された技術的課題を網羅的に整理した。わが国の多様な地質環境を対象に適切にサイト選定を進めるためには、広域かつできるだけ長期間を対象とした自然現象の発生とその影響に係る理解を深めるとともに調査・評価事例などの蓄積を通じて知識基盤を拡充し、それに基づき調査・評価技術の高度化を継続的に図ることが不可欠である。また、閉鎖後長期の安全性評価における地下水を介した核種移行（地下水移行シナリオ）の評価の信頼性向上に向けては、地下水流動および核種移行・遅延が生じる水理場および化学環境の長期的な安定性を的確に調査・評価するための技術の高度化を図る。

NUMOは、引き続きわが国の地質環境に係る最新の科学的知見や技術開発の成果を取り込みながら、概要調査および精密調査の段階の開始までに必要となる調査・評価技術を体系的に整備するとともに、サイト調査を効率的・効果的に進めるための知識基盤や実践的な経験の蓄積を図る方針である。

参考文献

- [1] 経済産業省（2017）：科学的特性マップ公表用サイト、
http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/rw/kagakutekitokuseimap/（2017年7月28日閲覧）。
- [2] NUMO（2009）：概要調査地区選定上の考慮事項。放射性廃棄物の地層処分事業について、分冊－2。
- [3] 総合資源エネルギー調査会（2014）：最新の科学的知見に基づく地層処分技術の再評価－地質環境特性および地質環境の長期安定性について－。地層処分技術 WG，平成 26 月 5 月。
- [4] 日本地質学会（編）（2011）：日本列島と地質環境の長期安定性，地質リーフレット 4。地質環境の長期安定性研究委員会。
- [5] 太田久仁雄ほか（2007）：幌延深地層研究計画における地上からの調査研究段階（第1段階）研究成果報告書，分冊「深地層の科学的研究」。JAEA-Research 2007-044。
- [6] 三枝博光ほか（2007）：超深地層研究所における地表からの調査予測研究段階（第1段階）研究成果報告書。JAEA-Research 2007-043。
- [7] 沿岸海底下等における地層処分の技術的課題に関する研究会（2016）：沿岸海底下等における地層処分の技術的課題に関する研究会 とりまとめ。平成 28 年 8 月。

*Hiromitsu Saegusa, Kunio Ota, Hirofumi Kondo, Junichi Goto, Takanori Kunimaru and Saori Yamada

Nuclear Waste Management Organization of Japan