

高レベル放射性廃棄物地層処分の背景と社会的受容性について

竹内真司¹・師岡慎一²・勝田正文³・松岡俊二⁴

1: 日本大学 文理学部地球学科 〒156-8550 東京都世田谷区榎上水 3-25-40 e-mail: takeuchi.shinji@nihon-u.ac.jp

2: 早稲田大学名誉教授 〒167-0031 東京都杉並区本天沼 3-13-14

3: 早稲田大学名誉教授 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1

4: 早稲田大学アジア太平洋研究科 〒169-0051 東京都新宿区西早稲田 1-21-1

History and social acceptance on geological disposal of high-level radioactive waste in Japan

Shinji TAKEUCHI¹, Shin-ichi MOROOKA², Masafumi KATSUTA³ and Shunji MATSUOKA⁴

1: College of Humanities and Sciences, Nihon University, 3-25-40, Sakurajosui, Setagaya, Tokyo, 156-8550 Japan

2: Emeritus Professor, 3-13-14, Hon-amanuma, Suginami, Tokyo 167-0031, Japan

3: Emeritus Professor, 3-4-1, Okubo, Shinjuku, Tokyo, 169-8555, Japan

4: Graduate School of Asia-Pacific Studies, Waseda University, 1-21-1, Nishiwaseda, Shinjuku, Tokyo 169-0051 Japan

Abstract

Regarding the geological disposal of high-level radioactive waste generated from nuclear power plants, the implementing body of Nuclear Waste Management Organization of Japan (NUMO) has been established in 2000, and 20 years later, two municipalities in Hokkaido accepted the literature survey for the first time in October 2020. As a result of questionnaires for students on the technical aspects of the impeding factors among the social acceptance of geological disposal, the uncertainties of safety assessment and the feasibility of geological disposal in Japan located in the orogenic belt are the top factors. In this paper, we will review the history of geological disposal selected based on the international arguments and explain the findings to date regarding the impeding factors. Furthermore, to promote dialogue on geological disposal, we propose that neutral organizations should establish a flat and calm dialogue forum.

Keyword: high-level radioactive waste, geological disposal, social acceptance, Technical Aspect, Impeding Factor

はじめに

我が国における高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する研究開発は、1970年代に開始されて以来、地層処分の技術的可能性や信頼性等を取りまとめた報告書（動力炉・核燃料開発事業団, 1992; 核燃料サイクル開発機構, 1999a）などの公開や、2箇所の異なる深部地質環境に設置された調査坑道を有する研究施設（幌延, 瑞浪）を活用した研究開発、並びに国の研究機関等における研究開発により多くの技術的知見が蓄積されてきた。一方で、処分事業に実施に関しては、2000年に「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」（以下、最終処分法）が制定され、地層処分の実施主体である原子力発電環境整備機構（NUMO）が設立されたが、地層処分のサイト選定は進まない状況が続いた。このような状況を踏まえ、国は2017年7月28日に地層処分の国民理解の促進等を目的に「科学的特性マップ」を提示した（資源エネルギー庁, 2018a; 原子力発電環境整備機構, 2017）。このマップは、地層処分に関する地下環境等の科学的特性を、既存の全国データに基づき一定の要件・基準に従って客観的に整理し、全国地図の形で示したものである。マップの公開後、国およびNUMOは全国でマップや地層処分事業に関する説明会を開催してきている（資源エネルギー庁, 2018b）。そして、2020年10月に北海道の2町村（寿都町と神恵内村）が文献調査の受け入れを表明した。

地層処分は、地球科学、地球物理学、土木工学、環境科学、原子力工学、計算科学、そして社会科学など、様々な学問領域の総合科学であり、関連する全ての領域の知識を理解することは専門家でも容易なことではない。さらに、最終的には処分場という、いわゆる「迷惑施設」の受け入れが必要となることから、科学技術のみでは解決しきれない側面を有する、いわゆるトランスサイエンス（池内, 2012）の問題であることが特徴である。このため地層処分問題は社会的な関心を高めることが出来ず、結果として問題の解決が先送りされてきたことは否めない。しかしながらこの問題は、好むと好まざるにかかわらず、いたずらに先送りすべきではない国民的課題であり、国民各層が自らの問題として捉えることが必要である。

本論では、はじめに国際的な議論の中で地層処分が選択された経緯について概説する。次に、地層処分事業が進まない現状を踏まえ、地層処分の社会的受容性を阻害する懸念事項について意見聴取をした結果を示した上で、これらのうち技術的な観点からの主要な阻害要因に対して、これまでの研究開発の成果に基づく知見を解説する。さらに放射性廃棄物の再取り出し（回収可能性）や地上管理などの能動的管理について、内外の状況や課題について提示する。最後に、今後高レベル放射性廃棄物の処分に関する議論を合理的に進めるための方策について提案する。

本研究は、科学研究費補助金・基盤研究(B)(16H03010)「可

逆性アプローチによる高レベル放射性廃棄物 (HLW) 管理政策と世代間公平性」(研究代表者・松岡俊二, 2019 年度～2021 年度)の一部を利用した。

国際的な議論の中での地層処分の選択の経緯

ここでは増田 (2016), 増田ほか (2015a, b, c)などを参照しつつ, 国際的に地層処分が採択された経緯について概説する。

最初の地層処分に関する国際的な議論は, 1955 年 9 月の全米科学アカデミー (National Academy of Science: 以下, NAS) における放射性廃棄物の地層中への処分の可能性とそのための研究課題に関する会議 (プリンストン会議と呼ばれる) である。この会議では岩塩層中への処分の有効性とともにもそのための研究の必要性が勧告され, その結果は 1957 年に報告書として公表された (National Academy of Science-National Research Council, 1957)。

1977 年に経済協力開発機構原子力機関 (OECD/NEA) が取りまとめた報告書「原子力発電計画に伴う放射性廃棄物管理の目標・概念・戦略」の中で, 長期にわたる閉じ込め性能の観点から, 地上での工学的貯蔵, 長寿命核種の消滅処理, 地球外処分などとの比較により, 地層処分が推奨されている。なお, 地上での工学的貯蔵については, 最も魅力的な処分概念を詳細に評価するための期間として貯蔵期間が有効活用されるべきとの議論もなされている (OECD/NEA, 1977)。また, OECD/NEA が 1982 年に取りまとめた「放射性廃棄物の処分: 原則の概観」では, 放射性廃棄物処分の管理に関する基本原則の意見集約として, 廃棄物処分問題については現世代が負担し, 将来世代の負担を極力少なくするという考え方が支持されている。また受動的システムと永久管理の比較では, 永久管理を将来世代に負担させることを考えるべきではないとしている。さらに, 廃棄物の回収可能性については, 「処分」とはそもそも廃棄物の意図的な回収は意味してはいないものの, このことは必ずしも回収が不可能ということではなく, 処分施設の閉鎖前であれば分散状態にないほとんどの物質は回収可能である, としている。また何らかの理由で処分された廃棄物の回収機能を付与する決定がなされた場合でも, 処分システムの健全性を犠牲にしないような留意が必要であるとしている (OECD/NEA, 1982)。

1983 年には, NAS の報告書において, 地下深部に処分した放射性廃棄物が生活環境に影響を及ぼす可能性について地下水移行に着目した詳細な考察が行われた (14)。同報告書では, 地質環境が本来的に有するバリア機能について科学的なデータに基づいて以下のように考察されている。

- ・ほとんどの放射性核種は埋設した場所に留まる
- ・溶出した核種のほとんどはその近傍で崩壊する
- ・溶出した放射性核種を含む地下水は, 地表に至る間に大量の地下水により希釈される

さらに, 核種の地下水に対する溶解度や遅延係数は, 岩種ごとに異なる上, 同一岩種でも大きなばらつきを示した。また, 花崗岩における地下水流速は一般的に小さいことが

示されている。これらのことは, 岩種の違いよりも, 地下水流速が遅いことや生活圏までの距離が長いことが重要であることを示唆している, としている (National Academy of Science, 1983)。

一方, 我が国における放射性廃棄物処分の議論は, 1962 年の原子力委員会廃棄物処理専門部会の中間報告 (15) において, 「閉じ込め方式」(一定地点に安全に貯蔵する方式), 「拡散方式」(海洋投棄などの環境の拡散能力を利用する方式), そして「準閉じ込め方式」(放射能の人間への影響が極めて小さい地質構造などの天然の環境を利用する方式)が挙げられた(原子力委員会廃棄物処理専門部会, 1962)。同報告書では, 高レベル放射性廃棄物は放射線障害防止の立場から「閉じ込め方式」を処分の原則とするものの, これには常時管理が必要なことからこの方式は当面の措置とし, 最終処分は「深海投棄であろう」とされている。さらに立ち入り不可能でかつ漏洩のない土中への埋設, あるいは牽牛な洞窟や岩石層の調査発見についても努力すべきとされ, 地層処分については構想の対象になっていなかったようである。その後, 1972 年に採択され 1975 年に発効した「廃棄物その他の投棄による海洋汚染の防止に関する条約」(通称: ロンドン条約)により, 高レベル放射性廃棄物も投棄の禁止対象となった。これを受け, 当時の原子力委員会放射性廃棄物対策技術専門部会での議論の結果, 当面, 地層処分に重点をおいた調査研究を進めることが原子力委員会決定として公表され(原子力委員会, 1976), 以来, 国家プロジェクトとして位置づけられ研究開発が進められている。この原子力委員会決定に従い, 1980 年には同専門部会が具体的な研究開発計画を策定し, 地層処分研究開発について以下の 5 段階で実施する方針を示した (原子力委員会放射性廃棄物対策専門部会, 1980)。なお, 同専門部会報告書には, 地層処分の代替技術として, 群分離・消滅処理や処分の実施が遅れた場合の対応として長期貯蔵の研究開発, 海洋底下処分に関する調査も推進する必要がある旨が記されている。

第 1 段階: 可能性のある地層の調査

第 2 段階: 有効な地層の調査

第 3 段階: 模擬固化体現地試験

第 4 段階: 実固化体現地試験

第 5 段階: 試験的処分

これにしたがって, 当時, 研究開発の主体であった動力炉・核燃料開発事業団は, 第 1 段階の「可能性のある地層の調査」を進め, この結果を 1984 年に取りまとめ (動力炉・核燃料開発事業団, 1984), これを原子力委員会放射性廃棄物対策専門部会に報告した。この報告に基づき, 同専門部会は中間報告書を取りまとめた (原子力委員会放射性廃棄物対策専門部会, 1984)。この中でわが国における有効な地層は, 岩石の種類を特定することなく広く考え得ることや, 地質条件に応じて必要な人工バリアを設計することで, 地層処分システムの安全性を確保できる見通しが得られたこと, 処分の実施主体は適切な時期に具体化すること, などが示された。しかしながら, このような有効な地層を

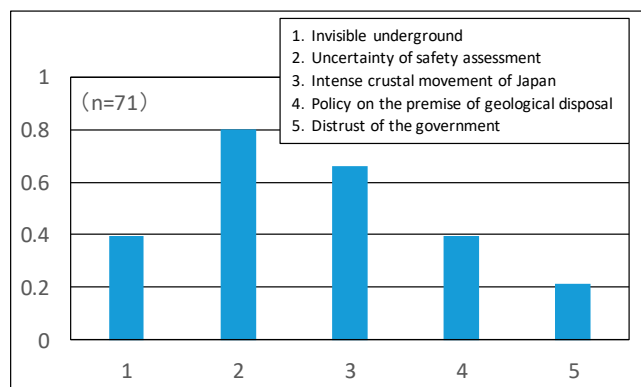


Fig. 1 Impeding factors on the acceptance of the geological disposal.

絞り込む方式は、調査結果の評価において客観的な判断基準がなかったことや現地調査(物理探査やボーリング調査)の合意形成が難航したことにより次段階以降には進展しなかった。

以上、放射性廃棄物処分の方法として我が国で地層処分が選択された経緯の概要を示した。なお、地層処分の背景に関する詳細については、核燃料サイクル開発機構(1999b)なども参照されたい。

地層処分の受容性を阻害する要因

ここでは増田(2016)、増田ほか(2015a, b, c)などを参照しつつ、国際的に地層処分が採択された経緯について概説する。

前章で述べたように、地層処分は1950年代から検討されてきた放射性廃棄物管理の歴史の中で、地層処分以外のオプションとの比較や国際条約等との関係から、国際的な議論を通して選択されたものである。しかしながら、地層処分のそもそもの考え方について地層処分の専門家以外の人々が見聞する機会は極めて少ないものと考えられる。地層処分事業は処分場の閉鎖までに100年以上にわたる長期の事業とされ(原子力委員会, 2012)、特に若年層に問題意識を持ってもらうことが必要との認識の下、大学生を対象として地層処分の受容性に対する懸念事項(阻害要因)について意見聴取を行った。意見聴取の方法は、著者の一人(竹内)が20年以上におよぶ地層処分関連の業務に携わった経験などを基に以下の5項目の阻害要因を列举し、各要因に対して同意するものについて複数回答を可として集計した。対象者は71名である。

1. 地下は目に見えないので不安である
2. 地層処分の安全評価結果は不確実性が大きい
3. 日本列島は変動帯に位置するため適地が存在しない
4. 地層処分ありきの方針が受け入れられない
5. 国が信用できない

集計結果をFig. 1に示す。これによると、2.「地層処分の安全評価結果は不確実性が大きい」と3.「日本列島は変動帯に位置するため適地が存在しない」が6割を超えた。また、1.「地下は目に見えないので不安である」、4.「地層処分ありきの方針が受け入れられない」も約4割が阻害要

因として挙げられた。これらのうち、技術的な観点でポイントが高かった阻害要因の2.と3.について、これまでに得られている科学技術的な知見について次章で詳述する。

地層処分の「安全評価」および「安定な地質環境」とは？

本章では、第3章で示された技術的な阻害要因に対して、地層処分における「安全評価」の考え方と「安定な地質環境」について解説する。

地層処分における安全評価

地層処分された高レベル放射性廃棄物による被ばく線量評価の際の基本的な考え方は、漏洩した放射性核種が地下水とともに地質環境を移行して地表の河川や海に達し、それを体内に取り込んだ魚介類等をサイト周辺の住民が摂取するというシナリオに基づいている。この時の被ばく線量を数値解析により予測し、特定の基準と比較評価することを安全評価と呼んでいる。漏洩した放射性核種の移行は一般的に遅いため、評価期間として数万年～数十万年の超長期の期間が対象となる。数十万年後の安全性を直接確認することは不可能なため、上記のようなシナリオに基づくモデルを構築して予測するという間接的な手法をとる。具体的には、起こり得る事象(シナリオ)を検討し、人工バリア、天然バリア中での地下水や核種移行などのモデル化を行い、地質環境のデータに基づいて将来のシステムの振る舞いを数値解析により予測し、影響を定量化する。これによりシステムの安全性が確保されるか否かを判断するための材料を提供する。この安全評価の妥当性は、シナリオの十分性、採用したモデルやデータの妥当性、数値解析の手順や実施の適切性などの観点から、第三者に理解されるよう透明性が確保されていることが重要である(増田, 2016)。例えば、安全評価の中身(記述されたシナリオ、採用したモデルやデータなど)が明らかにされない評価結果と、各プロセスの中身が開示された評価結果を比較した場合、後者の方がより透明性が確保されていると考えることができる。このような観点を考慮して、核燃料サイクル開発機構(現、日本原子力研究開発機構)は1999年に地域を特定せずに日本の代表的な地質環境を想定して実施した地層処分の安全評価に関する報告書(通称、H12レポート、あるいは第2次取りまとめ)を公表した(核燃料サイクル開発機構, 1999a)。同報告書では、結晶質岩(花崗岩のような主として亀裂中を地下水や放射性物質が移行する岩盤)中に処分場を想定し、ガラス固化体40,000本分の全てのオーバーパックが1,000年後に機能を失って放射性核種が漏洩し、深度1,000m(堆積岩の場合は深度500m)の処分場から100mの距離に仮定した断層破砕帯に到達し、その後断層に沿って地表付近の帯水層に移行する場合の被ばく線量を予測した。解析では多様な岩種、地下水組成、複数の動水勾配、シナリオ、データ、モデルの不確実性を設定した。その結果、天然バリアを考慮しないケース(人工バリアのみ)や隆起・侵食速度が極端に早いケースなどでは上

述の基本ケースと比較すると 3~4 桁大きい被ばく線量を示したものの、いずれの結果も諸外国で提案されている安全基準値、あるいは我が国の自然放射線レベルを下回ることが示された。

近年では、安全評価結果だけでなく安全性の確保に関する様々な論拠や証拠を統合して、地層処分システムの安全性を説明する「セーフティケース」(IAEA, 2012) の概念が導入されてきている。我が国では、原子力発電環境整備機構 (NUMO) が 2018 年に包括的技術報告書として、我が国で最初のセーフティケース報告書 (包括的技術報告書) を公開した (原子力発電環境整備機構, 2018)。同報告書では、我が国の地質環境特性を整理し、3 つの代表的な地質環境 (深成岩類, 新第三紀堆積岩類, 先新第三紀堆積岩類) としてモデルを構築した上で、それぞれのモデルに対して複数の地下水水質や処分場の設計 (廃棄物の設置方法など)、異なるシナリオ (基本シナリオ, 変動シナリオなど) を設定して安全評価を実施した。この際、処分場設置深度は、換気設備や支保工の空洞安定性の観点などから深成岩類と先新第三紀堆積岩類では深度 1,000m, 新第三紀堆積岩類では深度 500m とした。安全評価の結果、いずれのケースにおいても NUMO が設定した仮の目安値 (我が国の自然放射線量よりも数桁低い値) を下回っていることが示された。なお、上述の第 2 次取りまとめや包括的技術報告書における処分場の設置深度の設定根拠は明確に示されていないものの、第 2 次取りまとめにおいては、1984 年の原子力委員会放射性廃棄物対策専門部会中間報告書 (原子力委員会放射性廃棄物対策専門部会, 1984) における記述「地下数百メートルより深い地層中へ処分」に、包括的技術報告書においては、最終処分法の「地下三百メートル以上の政令で定める深さの地層」などが根拠に挙げられる。

上記の「セーフティケース」については我が国においては、言葉や概念について馴染みが薄いという意見 (原子力発電環境整備機構 (2019) や、専門家でも理解しにくいという意見もある (日本原子力学会「NUMO 包括的技術報告書レビュー」特別専門委員会, 2019)。これも地層処分の社会的な受容性を阻害する要因の一つと考えられ、難解な概念を分かりやすく伝える工夫が求められよう。

地層処分における安定な地質環境

現在の我が国の地層処分の基本的な考え方は、地下 300m 以深の安定な岩盤 (天然バリア) に放射性廃棄物を人工バリア (ガラス固化体+オーバーパック (鋼鉄製容器) +緩衝材 (粘土系材料)) で覆った状態で埋設する「多重バリアシステム」によって放射性廃棄物と人間環境との距離を確保し (隔離)、さらに、地下深部の還元的な環境における化学反応の進行の抑制と緩慢な地下水流速により漏出する放射性核種の移行を人工バリアとその周辺岩盤で抑制する (閉じ込め) というものである (原子力発電環境整備機構, 2018)。「多重バリアシステム」の概念は、1980 年代に公表されたスウェーデンの SKB (スウェーデン核燃料・廃棄物管理会社) の地層処分の実現性評価報告書 (SKBF/KBS,

1983) やスイスの Nagra (放射性廃棄物管理共同組合) による放射性廃棄物処分の実現可能性に関する報告書 (Nagra, 1985) などの中で提案されたものである。

地層処分における「安定な地質環境」とは、上記の「多重バリアシステム」の概念を前提とした以下のような岩盤を指す。

- ・人工バリアが長期的変形を受けにくく、地下施設建設への影響も小さく抑えられるような堅硬な岩盤
- ・緩衝材の変質や劣化が生じない程度の低い地温を有する岩盤
- ・放射性核種の移動速度が遅く、緩衝材の流出などが抑制されるような緩やかな地下水流速を有する岩盤
- ・ガラス固化体や放射性核種の溶解性、人工バリアの閉じ込め性の低下が抑制されるような酸性 (低 pH) ではない地下水条件を有する岩盤

このような環境は、内部・外部からの擾乱に対して、地質環境が有する緩衝能力によって、長期にわたって突発的あるいは急激な機能喪失を生ずる可能性が低いことから地層処分にとって安定であると考えられている。このような地質環境については、日本列島全体を対象とするような広範囲で長期の安定性は必ずしも必要とはしないが、処分場を含むその周辺領域において、後述する安全評価に求められる程度の期間における地質環境の安定性が根拠をもって提示できる地点であることが必要と考えられる。つまり、地層処分の観点から安定な地質環境は、当該地点における過去の地質環境の変動性の理解度とそこでの予測可能な期間に依存することとなる。

地層処分が成立する上で安定な地質環境に擾乱をもたらす要因としては、隆起・侵食、火山噴火、人間の掘削行為、断層活動、熱水・深部流体の流入、海水準変動が考えられる。これらのうち、隆起・侵食、火山噴火、人間の掘削行為は上述の隔離性に影響する (距離を縮める) 要因となり得る。また断層活動、熱水・深部流体の流入、海水準変動は閉じ込め性に影響する (移行経路の短絡、酸化性地下水の流入など) 要因となり得る。上記の要因は、日本列島では発生する位置が限定的であったり、変化速度が緩慢であったりするため、影響を受ける地点は避けることができると考えられる。さらにこれらの擾乱をもたらす要因の将来の変動は、発生位置の偏在性や過去の変動の周期性に基づく外挿により、ある一定期間における予測が可能と考えられる (吉田, 2012; 日本第四紀学会編, 1987)。また、将来予測の不確実性に関しては、100 万年先より 10 万年先の方が予測結果の不確実性は小さいというように、より近い将来の方が予測結果の蓋然性が高く、さらに変化速度が緩慢な現象ほど、より長期の予測が可能と考えられる。このような予測においては科学的客観性が確保されていることが求められることから、専門家間あるいは非専門家を含めた幅広い利害関係者の間で十分な議論や対話が必要不可欠である。なお、地質環境の長期の安定性や包蔵性については、数百年~数億年前の化石が地層中に保存されていることや、アフリカのガボン共和国におけるオクロの天然原

子炉と呼ばれている約 20 億年前に自発核分裂をしたウラン鉱床の保存の事例（藤井，1985）や、岐阜県の東濃ウラン鉱床が約 1 千年間ほとんど移動せずに地層中に保存されているという事例（核燃料サイクル開発機構，1999c）などがある。ただし、これらの事例は現代まで保存残されているために確認ができるものであり、長い地質時間の間に地殻変動等による環境変化で消滅する事例もあり得ることに留意が必要である。

地層処分の能動的管理の現状と課題

地層処分は、本来、受動的な安全性を基本とした概念であり、一旦埋設された廃棄物を取り出すことは前提としていない。しかしながら、近年、フランスをはじめとして各国で可逆性（地層処分政策や事業計画の一連の段階やある段階を元の段階へ戻す可能性）や回収可能性（地層処分した廃棄物を地表に回収する技術的可能性）を法律や安全規制等で要求するようになってきている（原子力環境整備促進・資金管理センター，2018）。

法律で可逆性を規定しているフランスでは、可逆性確保の期間を 100 年未満とはしないとしており、さらにフランスにおける地層処分の実施主体である Andra は、地層処分の安全評価書の中で、廃棄物の定置、密封、封鎖を段階的に実施する過程を通して、200～300 年間の廃棄物の回収可能性を確保するとしている。具体的には、ガラス固化された廃棄物については、廃棄物を定置した処分坑道の入口はコンクリートやベントナイトによりプラグ（蓋）を設置するものの、処分坑道内側に敷設するスリーブ（保護材）と廃棄物パッケージの間は埋め戻さないという方策を提示している（Andra，2005）。

一方、我が国でも 2015 年に改定された特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針の中で、回収可能性に関して「今後の技術その他の変化の可能性に柔軟かつ適切に対応する観点から、基本的に最終処分に関する政策や最終処分事業の可逆性を担保することとし、今後より良い処分方法が実用化された場合等に将来世代が最良の処分方法を選択できるようにする。このため、NUMO は、特定放射性廃棄物が最終処分施設に搬入された後においても、安全な管理が合理的に継続される範囲内で、最終処分施設の閉鎖までの間の廃棄物の搬出の可能性（回収可能性）を確保する。」としている（経済産業省，2015）。我が国では使用済み燃料は各原子力発電所の貯蔵施設で、また高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）は青森県六ヶ所村で管理されており、このまま処分サイトが決まらない場合は、地上における（能動的な）管理が今後も継続されることになる。地上での放射性廃棄物の管理については、冒頭の地層処分の選択の背景の中でも示したように、短期間での実施の意義や有効性は提示されているが、これを数千年、数万年という長期間にわたって安全に継続できる保証はない。このことは人間の管理を前提とした政策立案、実施、評価は放棄せざるを得ないことを示唆している（松本，2012）。しかしながら、将来、より良い処分方法が実用化された場合等に将来世代

がより良い処分方法を選択できるようにするため、可逆性と回収可能性あるいは限定された期間での地上管理をオプションとして準備しておくことは、世代間公平性や廃棄物処分の受容性の観点から有効と考えられる。上述のフランスのアプローチに関して松岡ほか（2019）は、柔軟で段階的で可逆的な決定プロセスのデザインであるとし、現在世代の責任として、「現在世代は最終処分方法を決めない」ということも一つの現在世代の決定としてあり得る、と述べている。

また、放射性廃棄物の再取り出し（回収可能性）については、全ての工程を遠隔操作で実施することは現状技術では容易ではないと考えられることから、作業員の放射性廃棄物への接近に伴う被爆リスクなどを評価しておくことも必要と考えられる。さらに、この再取り出しに関しては、取り出しの判断がなされた時点での廃棄物の状態を把握することが被爆リスクの低減につながるものと考えられる。そのためのモニタリング項目やその方法、あるいはモニタリング結果の可視化の方法、さらには再取り出しを判断する基準などについては、今後さらなる検討が必要である。

おわりに

本論では、我が国において地層処分が選択された歴史的経緯、地層処分の社会的受容性を阻害する要因、地層処分の考え方（安全評価、安定な地質環境）、放射性廃棄物の能動的管理の現状と課題などについて述べた。

地層処分は長い国際的な議論の中で選択された方法であり、長期にわたって放射性廃棄物を生活圏から隔離するための、現段階では最も有効な方法と考えられている。しかしながら技術的な内容は極めて専門性が高いことから、国民を含む多くの利害関係者が必ずしも理解できるものばかりではない。また専門家によっても多様な意見があり、一様のコンセンサスが得られていない事項も存在する。さらに地層処分の安全評価では、数万年～数十万年先の安全性に関する予測結果やその結果を導出する過程でのシナリオ・データ・モデルの信頼性が受容性を左右することとなる。地層処分が受容されるためには、地層処分が採択された背景、地層処分の安全評価の考え方や安定な地質環境などについて分かりやすく説明されること、そのための場が設けられること、すなわち利害関係者が自由闊達に対話をする場が必要である。これには、近年開講される機会が減っている高校などでの地学教育などの機会の復活も必要と考える。利害関係者への説明の際には、これまでしばしば実施されてきた国や実施主体、研究開発機関の専門家等による大人数を対象とした一方的な説明会だけでなく、説明側と説明される側が対等な関係でかつ冷静な意見交換ができるような場が設定されることが重要と考えられる。この際、実施側の組織に対する不信感も少なからず存在することが考えられることから、大学などの中立的な立場の人間が対話の場を提供することも一つの有効な方法と考えられる（吉田，2012）。さらに、“地層処分ありき”の対話ではなく、既に存在する放射性廃棄物をどう処分すべきか、と

いう“廃棄物ありき”の対話からスタートすることもアプローチの一つとしてあり得るであろう。また地層処分に関しては、処分場のサイト選定段階では、サイトの優位性のみを強調するのではなく、デメリットについても全て詳らかにした上で対話を行うことが重要と考えられる。さらに関連する全ての資料をだれもが閲覧できる公文書館(松本, 2012)などの設置も重要である。加えて学校における学生や教員、さらには市民を対象としたセミナーなどの開催も重要である。また、市民参加制度や第三者評価機関のあり方など、地層処分をめぐる社会制度のデザインに関する検討も必要である。

一方で、地層処分のサイト選定の現状を考慮すれば、今後の放射性廃棄物の処分対策については地層処分を基軸におきつつも、地上での長期管理や回収可能性を担保した地層処分、あるいは現行の地層処分システムに対するオプションとしての直接処分や深孔処分、あるいは放射性廃棄物の減容化・有害度低減技術などについても併せて十分に検討・評価し、将来世代の意思決定や今後期待される技術開発などにも柔軟に対応できるような体制整備も望まれる。さらに、放射性廃棄物処分は長期にわたる事業になることに鑑み、継続的な人材育成や技術継承が重要となる。例えば、地層処分に関する研究開発を目的とした幌延、瑞浪の地下研究施設はこのための重要な施設であり、これまで得られた膨大なデータの積極的な公開や、地元の合意を前提とした継続的な活用が重要であろう。

引用文献

- Andra, 2005, DOSSIER2005 ARGILE -ARCHITECTURE AND MANAGEMENT OF A GEOLOGICAL DISPOSAL SYSTEM, 497p.
- 動力炉・核燃料開発事業団, 1984, 高レベル放射性廃棄物地層処分技術開発成果報告—可能性のある地層の総合評価—, 昭和59年3月26日. 動力炉・核燃料開発事業団, PNC TN1410 98-010, 54p.
- 動力炉・核燃料開発事業団, 1992, 高レベル放射性廃棄物処分研究開発の技術報告書—平成3年度—, 動力炉・核燃料開発事業団, PNC TN 141092-081. 430p.
- 藤井 勲, 1985, オクロ天然原子炉とその現状, 日本原子力学会誌, 27巻, 4号, 304.
- 原子力発電環境整備機構, 2017, 科学的特性マップ. https://www.numo.or.jp/kagakutekitokusei_map/detail.html (2020年4月15日閲覧)
- 原子力発電環境整備機構, 2018, 包括的技術報告 わが国における安全な地層処分の実現—適切なサイトの選定に向けたセーフティケースの構築—レビュー版.
- 原子力発電環境整備機構, 2019, 「地層処分技術コミュニケーション—包括的技術報告書と地層処分の安全性に関する対話のあり方—」開催報告. <https://www.numo.or.jp/technology/techpublicity/lecture/190420.html> (2020年4月18日閲覧)
- 原子力委員会, 1976, 放射性廃棄物対策について(原子力委員会決定), 昭和51年10月8日. <http://www.aec.go.jp/jicst/NC/about/ugoki/geppou/V21/N10/197603V21N10.html> (2020年10月20日閲覧)
- 原子力委員会, 2012, 今後の高レベル放射性廃棄物の地層処分に係る取組について(見解), 平成24年12月18日. 9p.
- 原子力委員会廃棄物処理専門部会, 1962, 原子力委員会廃棄物処理専門部会中間報告, 昭和37年4月11日. <http://www.aec.go.jp/jicst/NC/about/ugoki/geppou/V07/N05/19620506V07N05.html> (2020年10月20日閲覧)
- 原子力委員会放射性廃棄物対策専門部会, 1980, 高レベル放射性廃棄物処理に関する研究開発の推進について, 昭和55年12月19日. <http://www.aec.go.jp/jicst/NC/about/ugoki/geppou/V25/N12/198023V25N12.html> (2020年10月20日閲覧)
- 原子力委員会放射性廃棄物対策専門部会, 1984, 放射性廃棄物対策専門部会中間報告書/放射性廃棄物処理処分方策について, 昭和59年8月7日. <http://www.aec.go.jp/jicst/NC/about/ugoki/geppou/V29/N08/198411V29N08.html> (2020年10月20日閲覧)
- 原子力環境整備促進・資金管理センター, 2018, 可逆性・回収可能性の確保に向けた論点整理について, 平成29年度 高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発報告書(別冊). 28p.
- IAEA, 2012, The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards for protecting people and the environment, Specific Safety Guide, No. SSG-23, 120p.
- 池内 了, 2012, 科学の限界, ちくま新書, 204p.
- 核燃料サイクル開発機構, 1999a, 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—総論レポート, 核燃料サイクル開発機構, JNC TN1400 99-020, 634p.
- 核燃料サイクル開発機構, 1999b, 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—別冊 地層処分の背景. 核燃料サイクル開発機構, JNC TN1400 99-024. 82p.
- 核燃料サイクル開発機構, 1999c, わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第2次取りまとめ—分冊1 わが国の地質環境. 核燃料サイクル開発機構, JNC TN1400 99-021. 559p.
- 経済産業省, 2015, 特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針(閣議決定).
- 増田純男, 2016, 高レベル放射性廃棄物を地下深く終る地層処分, 原子力環境整備促進・資金管理センター, 123p.
- 増田純男・佐久間秀樹・梅木博之, 2015a, 地層処分の概念の変遷 第1回地層処分黎明期(1950年代～1980年中頃), 日本原子力学会誌, 57巻, 5号, 19-24.
- 増田純男・佐久間秀樹・梅木博之, 2015b, 地層処分の概念の変遷 第2回地層処分概念の形成と分科(1980年代中

- 頃～2000年中頃), 日本原子力学会誌, 57巻, 6号, 34-39.
- 増田純男・佐久間秀樹・梅木博之, 2015c, 地層処分の概念の変遷 第3回(最終回)地層処分計画の実施段階(2000年以降), 日本原子力学会誌, 57巻, 7号, 48-53.
- 松本三和夫, 2012, 構造災 科学技術社会に潜む危機, 岩波新書, 203p.
- 松岡俊二・井上弦・Yunhee CHOI, 2019, バックエンド問題における社会的受容性と可逆性: 国際的議論から. アジア太平洋研究科論集(紀要)討究, 早稲田大学大学院アジア太平洋研究科, No.36, 43-56.
- Nagra, 1985, Project Gewähr 1985: Nuclear waste management in Switzerland: Feasibility studies and safety analysis, NGB 85-09. Nagra, Baden, Switzerland, 75p.
- National Academy of Science, 1983, A study of the isolation system for geological disposal of radioactive wastes, Isolation system panel, Board on Radioactive Waste Management Commission on Physical Sciences, Mathematics, and Resources, National Research Council, USA, 345p.
- National Academy of Science-National Research Council, 1957, The disposal of radioactive waste on land, Report of the Committee on Waste Disposal of the Division of Earth Science, 142p.
- 日本第四紀学会編, 1987, 百年・千年・万年後の日本の自然と人類 第四紀研究にもとづく将来予測, 古今書院, 231p.
- 日本原子力学会「NUMO 包括的技術報告書レビュー」特別専門委員会, 2019, 「NUMO 包括的技術報告書」レビュー報告書, 2019年12月. 日本原子力学会, 150p.
- OECD/NEA, 1977, Objectives, concepts and strategies for the management of radioactive waste arising from nuclear power programs, 174p.
- OECD/NEA, 1982, Disposal of radioactive waste: An Overview of Principles Involved, 22p.
- 資源エネルギー庁, 2018a, 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/ (2018年7月13日閲覧).
- 資源エネルギー庁, 2018b, 科学的特性マップ公表後の取組と今後の取組方針について. https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/rw/docs/library/pmpht/jichitaisetsumei2017/1seihunotorikumi.pdf (2020年4月10日閲覧).
- SKBF/KBS, 1983, Final storage of spent nuclear fuel: KBS-3, Swedish Nuclear Fuel Supply Co, Division KBS, Stockholm, 65p.
- 吉田英一, 2012, 地層処分 脱原発後に残される科学課題, 近未来社, 168p.