

日本の地層処分計画の国際的位置づけ

(仮訳)

チャールズ・マッコンビー

序論

地層処分の概念は今から約 50 年前、米国科学アカデミーから最初に提唱されたものである。今では、原子力を進める全ての国において、長寿命廃棄物の最終処分に向けて現在利用できる技術による唯一の安全な方法であると考えられている。この判断は、つい最近、カナダと英国でそれぞれおこなわれた熱心な公の協議で、再確認されている。日本では、地層処分は法律に組み込まれている。過去数十年、原子力先進国では地層処分場の長期安全性を決定するプロセスや事象を理解するために非常に多くの研究開発がおこなわれてきたが、処分場の実現に向けた進展はゆっくりであった。

高レベル放射性廃棄物や使用済み燃料の処分場の実現がもっと早く進まないのには実務的な理由が幾つかある。最もはっきりしているのは、容認できないほど処分場が高温になるという問題を避けるために、40～50年という冷却期間をほとんどの国が想定しているということである。しかし、処分事業実施者が直面する課題のなかには、その解決に数年から数十年を要するというものもあった。科学的、技術的な課題もあるが、残されたハードルのほとんどは社会的・政治的な課題である。最大の課題は、地質的かつ環境的に適した、また地方の社会に受け入れられるサイトを見つけることである。実際、地層処分場のサイトが、法規制上、必要なレベルで全て合意されているのはフィンランドだけである。その他、幾つかの国（例えば、スウェーデン、米国、フランス）がこの段階に非常に近い状況にあるが、これらの国では最終的なハードルがまだクリアされていない。さらに、これらの計画は、成功したフィンランドも含め、全て立地プロセスに数十年を費やしている。

以下では、地層処分で特に重要となる二つの課題について簡単に紹介し、これらの分野での原子力発電環境整備機構（NUMO）の計画の進捗状況についてコメントしたい。NUMOの計画が目標としているのは、以下の二つである。

安全な処分場を建設、操業するために必要な信頼できる科学的、技術的、工学的能力を構築すること

適切なサイトの特定につながり、また、処分場を立地する地方自治体に受け入れてもらえる透明性のある、公平なプロセスを策定すること

これらの目標は当然、互いに独立したものではない。科学的に正しいことは必要なことではあるが、それだけでは十分とは言えない。それは立地を成功させるための前提条件である。

地層処分における研究開発の役割

処分場の開発に携わる魅力の一つは、直面する課題が複数の専門分野に関係するという点である。実際に適用される技術を見ると、先端技術が使われることは他の多くの分野に比べてずっと少ないが、深地層処分場の多重バリアによる安全なシステムを設計し、理解するためには核物理、化学、工学、地球科学、生物科学の専門知識が必要である。その上、処分場の安全評価で考慮しなければならない時間スケールはこれまでに経験のないスケールであり、これがそれらの作業を更に複雑なものとしている。様々な人間活動が、我々の環境に対して非常に長期間にわたって継続し、あるいは永続的な影響をもたらしている（例えば、資源の採掘、大気中 CO₂ の増加）。しかし、そのようなずっと将来の問題に社会が直接的に気づくようになったのは、非常に長い寿命の放射性廃棄物を処分するという課題が出現してからである。多分野の専門家からなる廃棄物管理チームが処分場システムが何千年にわたってどのように変化するかについて理解しようと努力しており、これらのチームが先駆者としての役割を果たしてきた。このようなことが、他の環境分野に引き継がれることになると考えられる。

研究開発はまだおこなう必要があるのだろうか。この質問は、地層処分に関係した仕事に資金を提供している機関からしばしば受けてきたものである。その際、処分の安全な解決策が既に使える状態にあるという原子力関係者の主張が引き合いに出されることも多い。実際は、科学的、技術的な仕事を正当化する理由が幾つもある。それを挙げると以下の通りである。

未解決問題の技術的解決：処分の実施に向けた段階的な進展を阻害するような大きな未解決問題はないが、幾つかの技術、例えば埋め戻し・シーリング技術、モニタリング技術などを最終的に選定するには更なる研究開発が必要である。

処分場の安全性の信頼性向上：科学的理解をより深め、処分場の長期挙動を決定する特に重要なプロセスについて科学者が十分に理解していることを他の利害関係者に対してもっと自信を持って示すためには、さらに多くのデータと研究（例えば、長期試験、ナチュラルアナログ研究、フィールド試験）が不可欠である。

（過度に）保守的な設定を十分に正当化された現実的な設定に置き換える：非常に多くの分野において、処分場を設計する際、あるいはそれらの挙動をモデル化する際に、非常に保守的な仮定が置かれている。

技術あるいは経済性の最適化：最適化の一助となりうる開発の一例として、容器の設計や定置方法の簡素化、サイト特性評価方法、処分場建設方法などの向上がある。

別の分野で開発された技術の移転（コスト/便益上、妥当であれば）：廃棄物管理施設の開発と運転は何十年も続くことから、どこか別のところで開発された新しい技術や科学的なアイ

デアを使用したり，適用したりする機会が出てくる可能性がある。

次世代技術の開発(必要があれば):これは現在，多くの研究開発努力が払われている一つの目標である。現在の処分概念でも確かに高い安全性を有しているので，このような作業のコスト/便益については注意して検討する必要がある。

廃棄物管理プロセスを完遂するためには科学・技術の適切な応用が必要:廃棄物プログラムに係わっている科学者，技術者，それにそのプログラムに資金を提供している機関が留意すべき重要なことは，多岐にわたって発生する廃棄物の放射能特性評価（原子炉燃料サイクルが進展すると変化する），益々精巧化する計測器を使った処分サイトの地質特性評価，新技術を使った情報，知見の伝達といった作業が難しく，課題に満ちたものであることから，質の高い科学技術を長期間にわたって適用することが必要になるということである。

上記のリストを見れば，廃棄物管理分野で科学的研究を継続することに対する正当な根拠が幅広くあることがはっきりするはずである。重要なこととして最後に挙げたいのは，全国の研究者が幅広く従事し，専門家や一般の人にとって判りやすい，しっかりとした科学的，技術的な計画が，処分場計画の受入に大きく貢献できるということである。このことは，処分場の立地という微妙なプロセスを進める際に考慮すべき重要なポイントである。

処分場立地の課題

過去数十年，廃棄物管理の具体的な候補地選定に対するアプローチは変化してきた。初期の段階では，「エキスパートジャッジ」を使うことが一般的で，実際，よくおこなわれてきたが，これは秘密裏におこなわれてきた。特定のサイトを選定するために主として技術者からなるグループが幾つか集められ，続いて，彼らの決定をどのようにして「決定，通知，擁護」するのが最善かを計画することになる。このアプローチはそれ程うまくいかなかった。これに続いて，論理的，追跡可能な手順の開発に希望が託された。このアプローチは，候補サイトを段々と絞っていき，最終的に一つのサイトを選定するものであり，全員がそのサイトを「最善の選択」と論理的に考えなければならない。しかし，このアプローチは極めて大きな問題を抱えている。すなわち，オプションを絞る際に主観的判断の要素が多く，専門家の間でも議論をおもることになる。さらに，共通的に使用するために提案された技術基準には，鍵となる社会的側面が入っていなかった。

次のアプローチは多属性効用解析を用いるもので，これが現在，最も一般的なアプローチとなっている。この方法は，オプションの選択に影響する全ての基準を特定し，それぞれのオプションがその基準にどれだけうまく適合するかを定量化し，その定量化したスコアを適当な加重係数を使いながら組み合わせて，優先順位を付けるものである。このスコアと重み付け，特に重み付けは，いろんな利害関係者グループが割り付けることができるものであり，これが技術以外の問題がもっと幅広く入り込む余地を与えている。このアプローチは，パラ

メータに、そして個々のパラメータに関する判断を組み合わせる際に採用される加重係数について、透明性が全面的に確保されるようであれば有望な方法である。

最後のアプローチは、候補地を自治体の公募によって選定するものである。IAEA から出されている現行の立地指針は、一つの重要な条件付きでこの公募方式の妥当性を認めている。すなわち、「選定されたサイトは十分なレベルの安全性を備えている」という条件である。処分場候補地になることを名乗り出る、少なくともそれに同意することが、従来よりも一般化しつつある。カナダと米国は最近、このやり方を選択しており、以下に詳しく示すように、NUMO はこの公募方式の先駆者である。

今日、適切な立地プロセスの特性として以下のものが概ね合意されている。

状況に合わせた段階に分けられて、事業者が全ての利害関係者からの意見を受け入れるにしたがって変化する多年にわたるプロセスであることが認識されている。

立地プロセスが、客観的で、透明性のある、あらかじめ設定された、また根拠のしっかりした基準に基づいている。

安全性を実証できるサイトを特定することが目標であり、「最も安全な」サイトを特定できるという主張に基づいたプロセスとなっていない。

全ての人にとって公正かつ公平となるようにする目的で、そのプロセスには、全ての利害関係者、とくに立地候補自治体との真の対話が含まれている。

処分場建設に向けたプロセスにおいて、継続して全面的なパートナーとなるための十分な情報を持ち、進んで処分場を立地しようとする自治体の特定を目標とする。

国際的に見た日本の HLW 処分計画の位置づけ

HLW 処分に関して日本でおこなわれている活動は、上述した研究開発や立地に関して国際的なコンセンサスを得た考え方に照らしてみるとどうなるだろうか。

研究開発活動

研究開発の分野では、日本の専門知識や研究能力の確立に向けた取組が長期間おこなわれてきた。初期の活動は日本原子力研究開発機構（もしくはその前身である核燃料サイクル開発機構及び日本原子力研究所）、電力中央研究所、原子力環境整備促進・資金管理センターによるもので、それらが NUMO の活動のためのしっかりした基盤となった。特に重要な成果は、地層処分基盤研究施設（ENTRY）、地層処分放射化学研究施設（QUALITY）、地下研究施設といった研究施設や、H-12 報告書に見られるような概念設計である。高レベル放射性廃棄物対策推進協議会（SHP）の慎重な準備作業によって NUMO が創設されると、NUMO は、これらの基礎を使うことと、併せて海外の処分プログラムからの情報を使うことに集中し、研究開発計画を作成する際に独自の優先付けを設定することができた。国内の他の研究計画

の成果を統合する NUMO のアプローチは、特にうまく仕組みになっている。技術アドバイザー国際委員会(ITAC) が設置され、これにはいろんな国から、各国の処分計画において何がうまくいったか(失敗からどのような教訓を得たかについても)に関して熟知した専門家が参加している。しっかりした研究開発計画とするために、ITAC の助言と NUMO の技術アドバイザー国内委員会(DTAC)からの日本独自の知見との組み合わせを、今後も継続していくべきである。

NUMO 設立後の初期の技術的な作業の重点は、日本の HLW 処分計画の重要な特徴から直接的に決まってきた。公募方式をとっているために候補になり得る処分環境を多岐にわたって考慮する必要が生じることにより、柔軟性を持った処分概念とサイト調査計画を開発することが重要となった。さらに、処分場立地プロセスの進展に応じた概念、設計、計画の変化を管理するために、組織的なアプローチを開発しなければならなかった。特に力を入れたのは人工バリアシステムの研究であったが、応募する自治体が現れたときの地質環境の不確実性を考えると、これは理に適った戦略である。地球科学においては、NUMO は、テクトニクス分野で世界のリーダーとならなければならないと決意しているが、日本の国内に広がる地質条件を考えればこれは当を得たものである。NUMO が組織した国際テクトニクス会議(ITM)グループは、日本と各国の参加者の専門知識を組み合わせ、この分野で最先端の専門知識を確立している。このことは世界的に認識されている。

立地

NUMO は、設立後まもなく、そのサイト選定のアプローチにおいて各国の注目を集めた。最大の問題が技術的な難しさにあるのではなく、公衆の理解を得ることにあるとの認識から、NUMO は純粋な公募方式をとることを決意した。しかし、その実施に際して、応募の可能性のある自治体にとってどうしても必要と考えられる資料の作成が注意深く準備されていなかった。この資料の一部として、処分場の設計、建設、操業という技術的な側面を説明したものが作成された。この資料では、特定の立地環境に対応して、実現可能性、安全性及び経済性を保証できる処分場概念を構築する上で柔軟性を確保することが強調された。

さらに重要なことは、概要調査地区選定上の考慮事項(以下、「考慮事項」という)を早い時期に公表することであった。この考慮事項があることにより、処分場を立地しようとする自治体が、その自治体が立地区域としての適性を満たすことができることを独自に検証できるようにし、また地質的に適した場所しか NUMO の検討対象としないことを住民に示すことができるようになると考えられる。この決定的に重要なステップは、前述の合意された立地プロセスの特性の2番目に対応するものである。NUMO にとって不幸なことに、立地の可能性のある自治体との真の対話の開始に関するそれ以上の要件はまだ、主として以下の理由から完全には満たすことができなかった。つまり、正式な応募プロセスの仕組みが原子力反対グループに彼らの意見を述べさせる機会を NUMO と密接な交渉をするための機会より

多く提供することになったからである。この状況は、最近おこなわれた最終処分法の改定により変化するかもしれない。

今回の技術開発成果報告会の観点からは、研究開発と立地戦略の分野での NUMO の活動が互いに密接に関係していることを述べるのが、NUMO にとって、すなわち処分の実施主体としてきわめて重要である。根拠のしっかりした、透明性のある、また適切に運営された研究開発計画は、その計画の進展に必要な技術情報を提供するだけでなく、実施機関の信頼性を大きく高めることもでき、ひいては処分場計画を国民に認めてもらうのに重大な貢献をすることができる。

結論

日本の HLW 処分計画に関して、特にその研究開発の領域に関して以下のように結論することができる。

日本のいろんな機関がおこなっている研究開発活動は、それを合わせると地層処分の分野における研究プロジェクトの大きなポートフォリオになる。

関係する多くの機関の間で研究開発活動を更に調整する余地がある。

NUMO が設立される前の長い準備段階におこなわれた研究開発に基づいて、NUMO は実施主体の優先度を反映した研究開発を有する体系的な技術プログラムを構築した。

NUMO は日本及び海外の主要な研究機関を使うことによって既存の知見と熟練技術を特に効率的に利用してきた。NUMO はまた、そのプロジェクトにおけるデータ、計画、あるいは境界条件の今後の展開を追跡する体系的なアプローチの開発にも力を入れてきた。NUMO の公募方式による立地アプローチには、技術的な処分概念開発作業と立地研究のもつ性質上、柔軟なアプローチが必要である。

信頼のできる科学技術計画は、処分場実施計画を受け入れてもらう上で欠くことのできない基本的なものである。この点を最大限に生かすために、科学的活動の成果は全ての関係者が自由に入手できるようにし、また技術スタッフに対して彼らの科学的、工学的活動を通じてもっと幅広い公衆に接触する際の新たな役割について知らしめることが必要である。

立地を成功させるためには、日本の体制における全てのレベルの関係者、すなわち政府機関から地方自治体・住民との対話を進めつつ、しっかりした技術業務を社会的・政治的対策で補われなければならない。

NUMO が直面している科学的、技術的、工学的、社会的・政治的課題は何年も先まで続くことになる。そのために、専門の職員を長期的に雇用し、計画的に採用し、特別な訓練プログラムを用意することによって学際的プロジェクト作業を継続的にこなうことが必要となる。