

原子力の一般問題(その2)

最終処分場は安全に造ることができる

京都大学名誉教授
大西 有三

大西 有三（おおにし ゆうぞう）

○ 1968 年 3 月 京都大学 工学部土木工学科 卒業
 ○ 1973 年 6 月 カリフォルニア大学 バークレー校 博士課程修了 Ph.D
 ○ 1994 年 4 月 京都大学 工学部交通土木工学科教授、工学博士
 ○ 2005 年 4 月 京都大学 附属図書館長
 ○ 2008 年 10 月 京都大学 理事・副学長
 ○ 2013 年 4 月 関西大学 環境都市工学部都市システム工学科特任教授
 ○ 2013 年 4 月 京都大学名誉教授
 ○ 2016 年 4 月 関西大学 環境都市工学部客員教授
 ○ 2016 年 5 月 NPO 法人 あすの夢土木理事長
 ○ 2018 年 3 月 関西大学 退任
 ○ 2018 年 4 月 ドローン測量教育研究機構（DSERO）代表理事

1. 最終処分場の仕組み

高レベル放射性廃棄物（HLW）は、再処理の過程で使用済み燃料からウランやプルトニウムを分離した際に残る放射性の廃液をガラス固化したものであり、地層処分低レベル放射性廃棄物（以下、TRU廃棄物）は、再処理施設およびMOX燃料加工施設の操業および解体に伴って発生する半減期の長い核種が一定量以上含まれた長半減期低発熱放射性廃棄物を指し、高レベル放射性廃棄物（HLW）を半永久的に隔離する場所が、最終処分場と呼ばれる。

人が生活を維持する上で副産物として生じるゴミの処理は、昔から現在に至るまで避けて通れない問題となっている。原子力施設の運転等に伴って発生する放射性廃棄物は過去の実績で推定すると高レベル廃棄物で約1.4t/日である

（2007年度の実績）。一方、主に家庭やオフィスなどから排出される生ゴミ、紙くずなどの発生廃棄物量は約14万t/日ののぼり、対応に苦慮する状況になっている。

高レベル放射性廃棄物は半減期の長い核種を含むため、数万年という長期にわたって人間への影響を抑制する必要がある、貯蔵などの人間の管理に頼ることは合理的でないことから、長い議論を経た上でより現実的な選択肢として、地下数百メートルの安定な地層中に埋設して人間環境から隔離する「地層処分」が国際的にも認められている。

検討された地層処分以外の選択肢については、
 （1）人間の生活環境へ影響が及ばないように長期にわたる人間の管理（2）放射能の危険性の

除去（３）人間の生活環境から十分離れた場所に長期にわたって隔離するという３つの原則に従って、検討が進められてきた。（１）の長期にわたる人間の管理下に置くことは、人類の歴史を考えると現実的でなく、（２）の超長期の核種の危険性を無くすと言われるいわゆる核種変換は、実験段階では可能性があるが、商業規模の量を処理することは現実的でなく、結果的に放射能の高い元素の量が少なくなるだけで全てがなくなってしまうわけではない。（３）では、人間の生活圏から遠ざけるために、宇宙空間に放出するか地下深くに隔離することが現実的な選択肢としてあげられた。他に、深海底下処分、氷河氷床下処分も検討されたが、環境問題などの観点から検討から排除され、安全性確保、リスク低減などの観点からある程度人間が関与できる地層処分が選定されたわけである。

（１）地層処分

地層処分の基本は、物質を閉じ込めるという地下の環境が本来持つ機能を利用し、地下深くの安定した場所に廃棄物を埋設することにより、数万年以上にわたり高レベル放射性廃棄物（HLW）を人間の生活環境から隔離することである。

地層処分の安全性は、物質を閉じ込める地下の環境に大きく依存することになるため、その場所

特有の事象を考慮、検討することが必要となる。特に日本は変動帯に属し、地質環境が複雑であり、火山活動や地震に晒されている。地層処分は、火山や断層などの影響を受けない安定な場所を選ぶとともに、将来的に人間が廃棄物に接近しないように経済的価値の高い鉱物資源が存在していない場所を選び、かつ人間の生活圏から離れた深いところに隔離することが重要になる。このような国土の中で、地層処分を安全に実施できるような場所があるのかについては、国が「科学的特性マップ」を用いて見解を示している。

このように安定な場所であっても、地層中には地下水が存在し、この地下水によって廃棄物中の放射性物質が溶かし出され、地下を通じて地表に運ばれ人間と接触する可能性もあるので、十分な検討が必要であることは言うまでもなく、安全性を担保する方策を考えておかねばならない。

その方策として、これら放射性廃棄物を安定な地下深部に埋設し、人工バリアと天然バリアから構成される多重バリアシステムによって地層処分の安全性を確保できている。外国では、こうした概念に基づいて最終処分場の建設が始まっており、フィンランドではオルキルオトにおいて2016年に作業が開始されている。また、スウェーデンではフォルスマルクにおいて安全審査が行われており、フランスではビュール地下研究

所周辺区域において設置許可申請が出されようとしている。

（２）多重バリアシステム概念

地層処分の安全性は、これら放射性廃棄物を安定な地下深部に埋設し、人工バリアと天然バリアから構成される多重バリアシステムによってその機能を担保している。多重バリアシステムとは、天然バリアである地質環境が本来有する物質の閉じ込め機能をもとに、地質環境の条件を考慮に入れて設計された人工バリアを組み合わせることによって、隔離機能を更に高めようとする考え方である。

廃棄体が使用済燃料であるか、再処理をしているイギリス、フランス、日本のようにガラス固化体であるかの違いはあるが、処分場の形態は各国ともほぼ同じ多重バリアシステムの概念が採用されている。すなわち、廃棄体を収納する鋼製のオーバーパック、その周りを取り囲む低透水性ベントナイト系粘土を固めた緩衝材から構成される人工バリアと、地表の人間環境に至るまでの岩盤からなる天然バリアとで安全性を確保する多重バリアシステム概念が採用されている。地層処分は、もとも燃料であるウランが存在していた地下の環境が本来有する閉じ込め機能を積極的に活用する合理的な方法と言える。

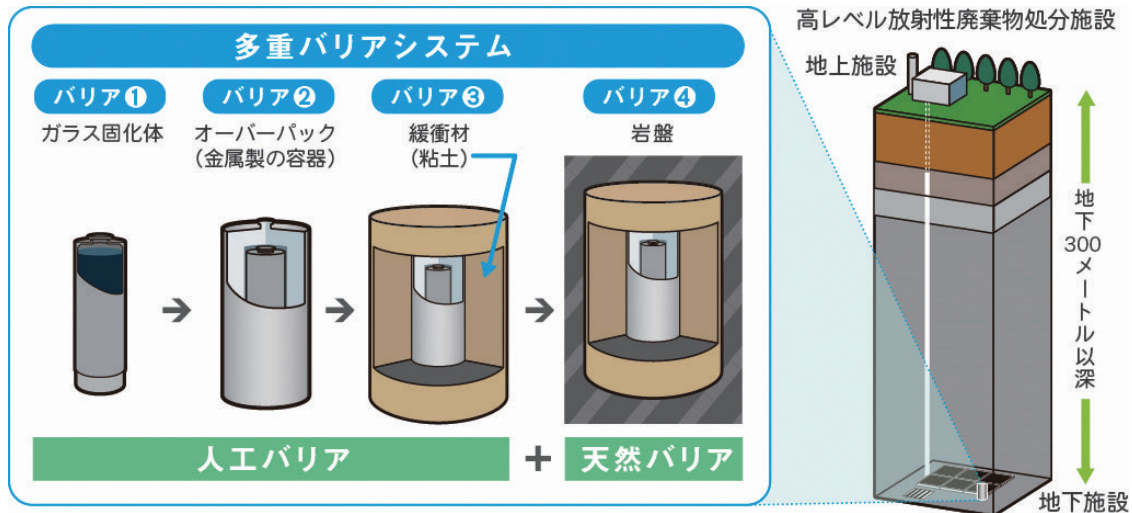


図1 多重バリアシステム (NUMOウェブサイトより)

地層処分システムを構成する人工バリアは、HLWではガラス固化体、金属製(炭素鋼など)オーバーパック、ベントナイトを主成分とした緩衝材からなり、TRUではドラム缶やキャニスターと呼ばれる容器にセメント系材料などを充填した廃棄体パッケージ、ベントナイトを主成分とした緩衝材からなる。HLWではガラス固化体、TRUでは廃棄体パッケージを地下300m以深の安定した岩盤中にトンネルを構築し設置する。

処分場の安全評価に必要なそれぞれのバリア材の特性に関しては、これまでに室内や原位置において数多くの試験や計測がなされ、その特性が明らかにされている。すなわち、ガラス固化体の溶解特性、オーバーパックの腐食特性・強度特性、緩衝材および岩盤の核種吸着特性・強度特性・透水性など、核種の漏出や移行に係わる特性が取得されている。

岐阜県瑞浪市のJAEA瑞浪超深地層研究所では、将来の高レベル放射性廃棄物の処分場を決める上で必要となる技術を研究するために、地下深く立坑を掘って(深さ500m程度)実際の岩盤内での人工バリアの挙動、岩盤の特性、地下水の流れの状況などに関する基礎的なデータを収集するための実験を継続してきたが、2019年度をもって研究は終了し、2020年度より埋め戻す

こととなった。一方、北海道幌延町でもJAEAにより同様の施設が建設・運用されており、地下深部における人工バリア、天然バリアの挙動に関する調査・研究が意欲的に進められている。

(3) 安全評価シナリオ

安全評価とは、地層処分システムが安全上受け入れられるものか否かを判断するため、システムの将来挙動の予測を踏まえた人間とその生活環境への影響に関する解析結果を放射線の影響を表す適切な指標(線量など)を用いて示し、これを安全規制のために定められた基準と比較して安全性を判定することである。

処分場から漏出した核種が地下水の流れによって処分場から地表近傍の人間環境にまで運ばれるという地下水シナリオを基本として地層処分場の安全性の評価が実施される。わが国では地殻変動が激しいことから、火山や断層の近く、隆起浸食の激しい場所、鉱物資源のある場所などは避け、地下深部の安定した地層への処分を対象としているが、万が一のために、火山活動や断層活動が影響したケースや、隆起浸食により処分場が地上露出したケースなど様々なシナリオ(変動シナリオ)を想定した安全評価も実施されている。

超長期の地殻変動や地下水の挙動を正確に予測

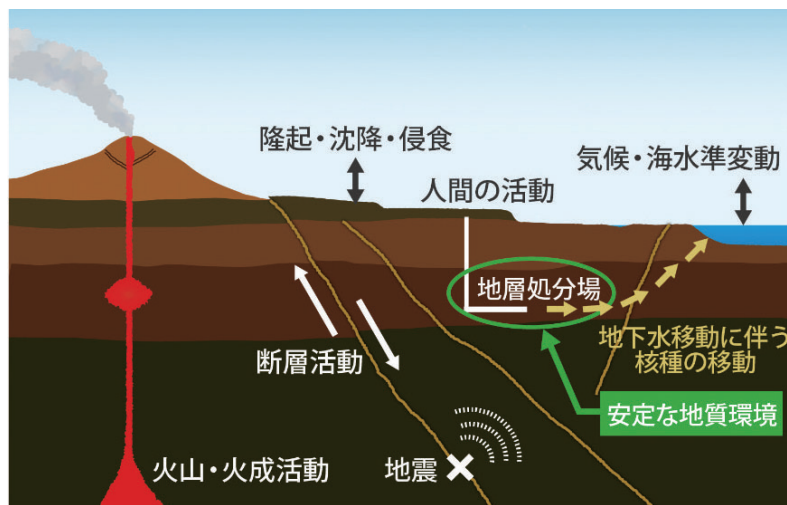


図2 地層処分の安全評価シナリオに関わる事象（NUMO ウェブサイトより）

して安全評価を行うことは易しくはない。様々な最新の知見を結集して安全性の評価を行うために、リスク評価の観点からある程度の余裕を見込んだ上で不確実性をカバーする手法を採用している。地層処分の将来予測は必ずこうなるといいう予測ではなく、予測したいことも含めた上で、評価結果はある定まった変位の中に収まるという予測であり、その妥当性は常に確認されている。現状では、地層処分は安全性を確保しながら事業を進められるとみられている。

（4）処分場概念に対応した地下施設

地下300m以深に設置される地下処分場の規模は、ガラス固化体1本あたりの処分単価が頭打ちになるガラス固化体4万本相当の処分場を念頭に、ガラス固化体の再処理後の貯蔵期間50年（再処理までの冷却期間4年）とした場合、地下坑道の延長は200～300km程度となり、平面的な拡がりには6～10平方km程度と見込まれている。効率的な建設・操業を考慮して、処分場を数箇の区画に区分したレイアウトを考えると、建設・操業に必要な連絡坑道・アクセス坑道と併せて、ブロック別に分かれた多数の坑道群が掘削される計画である（図13参照）。

地下施設は複雑な地質条件を有する地下岩盤の

内部に構築されるため、建設予定地の固有の特性調査、事前の地表・地下探査による地盤・岩盤・地下水の性状把握、地下施設が安全に建設できるかどうかの力学的安定性の確認、設計が適切に行われていて安全かつ迅速な施工が可能かどうか施工性への影響のチェック、経済性を考慮した計画の立案などが構築されているかどうかを考慮しなければならない。

これらに対応した技術として、火山、断層や隆起浸食といった自然現象に関してサイト選定を段階的に進めるための長期地質環境の評価技術、緩衝材やセメント材料の長期劣化現象の把握および大深度の地下施設的设计ならびに操業における工学技術、地下水流動や岩盤中の亀裂の把握などの安全評価技術などが開発されており、今後も地層処分施設建設のためにはさまざまな分野の技術の集結が不可欠である。

土木構造物としてのトンネルや地下空洞は、様々な規模で過去に数多く安全に構築され、現在もインフラ施設として生活の基盤として使われている。地層処分施設と土木インフラ施設に要求される性能が同じ程度であれば、処分場としての施設構築に技術的支障はないと考えてよいが、前述の超長期を考えた安全評価に耐えなければならぬので、少しでもリスクを減らすために研究開発が継続している訳である。

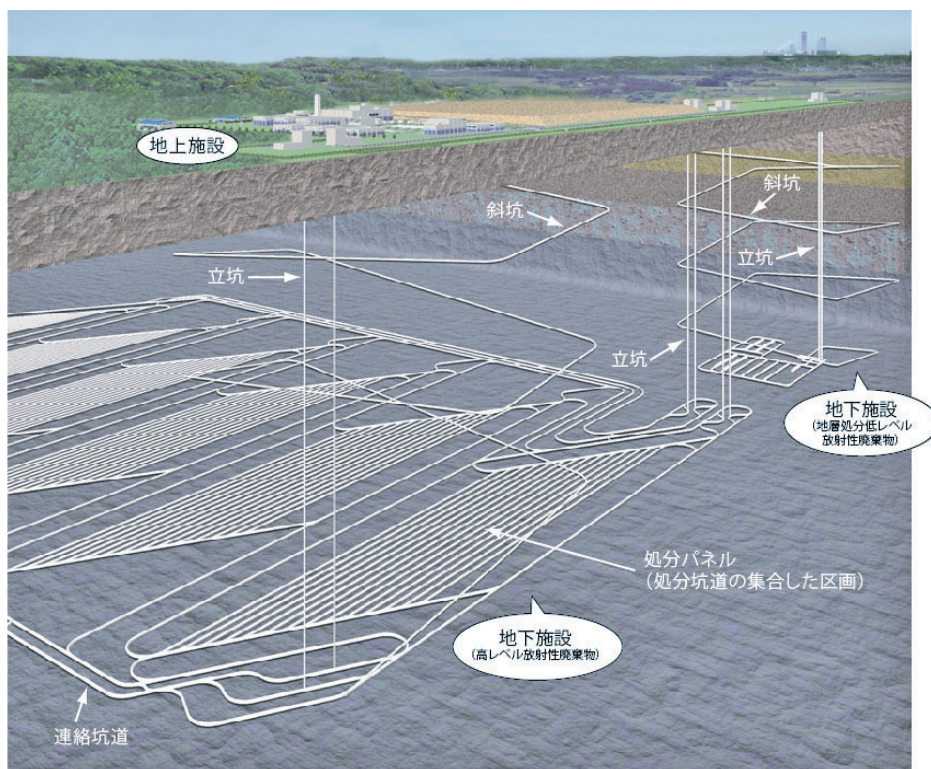


図3 地層処分場 (NUMO ウェブサイトより)

2. 最終処分場は安全に 造ることができる？

前述したように、我が国は変動帯に位置し、安定大陸に比べてプレート運動に起因する断層活動、火成活動、隆起・侵食などの自然現象が活発である。地層処分の安全性確保のためには、まず処分施設に直接影響を与える自然現象を避けることが必要である。さらに、地下水流動特性などの地質環境特性を把握し、より適切な場所（サイト）を選定することが肝要である。このようなサイト選定を的確に行うために、処分施設建設地は、3段階の調査（文献調査、概要調査、精密調査）および選定過程を経て、決定することが最終処分法にて規定されている。

最終処分場の建設は、

フィンランドで既に始まっているし、各国で青写真が出来上がり細部を詰めている状況である。建設のために必要な基本的な技術は出来上がっているが、相手は自然であり、予期しないことも起きるが、どんな場面でも臨機応変に対応することはどんなプロジェクトでも言えることである。我が国では、社会環境や許認可など技術以外の障壁も多いが、越えられないことではない。計画に余裕を持たせ、少しでもリスクを少なくするための研究が進められているので、詳細は次稿に譲る。