

地学クラブ講演要旨

高レベル放射性廃棄物地層処分場選定の考え方

吉 田 鎮 男*

Basic Concept for Geological Disposal of High-level Radioactive Wastes

Shizuo YOSHIDA *

主に原子力発電所の使用済燃料から排出される「高レベル放射性廃棄物」(以下 HLW)は、国際的に、自国の地下数 100 m の岩体中に埋設処分、すなわち「地層処分」という方針が取決められている。米国およびフィンランドでは最近その処分予定地が決ったが、その他の国では未定である。日本では今秋にも、地層処分を実施する非営利組織である「原子力発電環境整備機構 (NUMO ニューモ)」が自治体に向けて候補地の公募を開始し、選考をはじめめる段取になっている。

本講演では、HLW の地層処分事業の概要、処分地の選定を行うための基本的考え方、および選定要件について述べる。

1. 地層処分の概要

処分概念

HLW の放射能が人体に安全な自然放射能レベルになる期間は、一般に約 2 万年とされているが、約 10 万年を要するとの意見もある。数万年～10 万年程度の長期間、深度 300～1,000 m における地下環境が安定を保ち、安全に廃棄物を封じ込め得るような岩体中に、HLW を埋設・処分する。

NUMO の事業計画 (NUMO の HP: <http://www.numo.or.jp/> より)

平成 14 年秋: 公募開始→文献等既存資料による調査

平成 10 年代後半頃: 概要調査地区の選定→ボーリング等による調査

平成 20 年代前半頃: 精密調査地区の選定→地下施設等を用いた調査

平成 30 年代後半頃: 最終処分施設建設地の選定

平成 30 年代後半～: 処分場の設計→国による安全審査→処分場の建設

平成 40 年代後半頃: 最終処分の開始

廃棄物および処分場の設計

JNC (核燃料サイクル機構、元動燃) の設計: 地層・岩石の防御機能「天然バリア」と人工の防御機能「人工バリア」を組み合わせた「多重バリア」システムを採用。「人工バリア」とは、HLW をガラスと混合して「ガラス固化体」(径 43 cm × 高 134 cm) とし、これを厚さ 19 cm の炭素鋼「オーバーパック」でくるみ、さらに厚さ 40～70 cm の緩衝剤 (ベントナイト: ケイ砂 = 7:3) で覆ったもの。全体の寸法は 81 cm × 172 cm (ドラム缶を大きくしたような形状)。

処分坑道を水平・平行に複数本配列し、各坑道に廃棄体の大きさの処分孔を複数本くりぬき埋設する。満杯になった坑道から順次コンクリート等で充填する。埋設開始約 60 年 (埋設 40 年 + 坑道埋め戻し 20 年) で事業を完了する。

ガラス固化体の量と処分場の広さ

ガラス固化体は 2030 年までに 4 万～5 万本排出

* 東電設計 (株)

* Tokyo Electric Power Services Co. Ltd.

本稿は 2002 年 7 月 19 日に行われた講演をまとめたものである。

予定。これを収容するに要する処分場の面積は約 10 km²。現在約 1 万 2 千本のガラス固化体に相当する HLW が蓄積。

候補地の選定

NUMO は、公募に応募した複数の候補地について、文献等既存資料による調査を行い、それをパスしたものを「概要調査地区」として、概要調査（地表地質調査・ボーリング探査・物理探査など）を慎重に進めつつ「精密調査地区」を選定し、地下施設等を用いたより精度を高めた調査を行い、最終的には 1 ヶ所を選ぶ。

地層処分の研究開発

わが国の原子力委員会は、1976 年「HLW 対策としては地層処分に重点を置く」旨の方針を決めた。それ以降、動燃（現 JNC）をはじめ電事連・電力中央研究所などにより研究開発が進められてきた。JNC は 1999 年に「わが国における HLW 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—」（通称 2000 年レポート）を公表、電事連・電中研は 1999 年に「HLW 地層処分の事業化技術」を公表、次いで土木学会原子力土木委員会・地下環境部会（1997 設置）は 2001 年に純学問的に検討した成果「概要調査地区選定時に考慮すべき地質環境に関する基本的考え方」を公表した。これらはいずれも国際レビューを受けている。

2. 地下環境の長期安定性・長期安全性を 保証する論拠

日本の地質の特徴は、「変動帯である」「地殻変動が激しい」と言われる。そういう場所では、10 万年程度という長期安定性・長期安全性の将来予測を確実にできないのではないかと懸念する向きもある。しかし、「変動帯」「変動」「激しさ」についての概念や受取り方は、人によってかなり異なり、混乱があるようである。以下に、変動帯と活動期間、地殻の歪み速度、変動の過程、日本列島の形成史、地殻変動の枠組とプレート運動などに関して、それらの実態を実例に基づいて整理し、確度の高い、10 万年程度の将来予測が可能なことの論拠を示す。

1) 世界の主な変動帯とその変動期間（1 Ma=100 万年前）

カレドニア-アパラチア造山帯：約 450 ~ 400 Ma

ヘルシニア（パリスカン）造山帯：約 340 ~ 280 Ma

アルプス造山帯：約 65 ~ 5 Ma

ヒマラヤ造山帯：約 170 Ma ~ 現在、ただしインド大陸がアジア大陸に衝突し始めたのは約 35 Ma

コルディエラ造山帯（北米西岸）：約 120 Ma ~ 現在

アンデス造山帯：約 150 Ma ~ 現在

日本列島（日本海形成期以降）：約 33 Ma ~ 現在

以上から明らかなように、「変動が激しい」というのは、変動を 100 万年単位の時間尺度で捉えたときの変動の大きさを示す「地質学的表現」である。地層処分においては、10 万年程度の期間に、その「激しさ」がどの種の事象でどの程度であるかが問題となる。小松左京氏の SF「日本列島沈没」のような、急激な、カタストロフィックな変動は、実際には決して起こり得ない。

2) 諸変動における歪み速度

表に代表的な変動における「速いほう」の歪み速度を示す。変動帯における通常の変形速度はこれより一桁程度小さくなる。表中、スカンジナビア・ローレンタイトの例は、アイソスタシーによるものであり、プレート運動は地球規模の変位であって、上で述べた地殻変動ではないが、比較のために示した。

変動帯における地殻内の歪み速度は、通常 10^{-15} ~ 10^{-16} /s (0.0003 ~ 0.003/10 万年) であり、速い場合で上表のように、 10^{-14} /s (0.03/10 万年) である。地殻上部の岩石の変形は、断層・褶曲・隆起沈降のいずれにせよ、1 万年・10 万年という時間単位でみると、この歪み速度より速い速度で進むことはない。

3) 断層・火成活動の過程

長期安定性の観点から、地層処分にとっては、断層および火成活動がとりわけ重要なので、この

各種変動における「速いほう」の歪み速度（1秒当りおよび10万年当りの歪み率）。

変動の種類	具体例	歪み速度	変位置 / 千年
日本の非常に活動的な活断層	根尾谷断層，跡津川断層など	$10^{-14} \sim 10^{-15}/s$ (0.03 ~ 0.003/10 万年)	数 m/ 千年
世界で最も活動的な活断層	カリフォルニアのサンアンドレアス断層	$10^{-13} \sim 10^{-14}/s$ (0.3 ~ 0.03/10 万年)	数 ~ 数 10 m/ 千年
日本沿岸域で第四紀の上昇が速い地域	高知県室戸半島	$2 \times 10^{-14}/s$ (0.06/10 万年)	2 m/ 千年
第三紀以降の沈降速度が速い堆積盆地	東北日本中新世堆積盆地の沈降速度	$10^{-13} \sim 10^{-14}/s$ (0.3 ~ 0.03/10 万年)	数 ~ 数 10 m/ 千年
過去 100 年間の大きな測地学的歪	中部山岳地帯など	$10^{-15}/s$ (0.003/10 万年)	数 cm/ 千年
沈み込み速度の速いプレート	日本海溝における太平洋プレート	$3 \times 10^{-14}/s$ (0.09/10 万年)	数 10 m/ 千年
最終氷期後の氷の融解による荷重解放に伴う上昇	スカンジナビア半島とローレンタイド地域(カナダ)の隆起	$10^{-14}/s$ (0.03/10 万年)	20 ~ 30 m/ 千年

二つを取上げる。

中規模の断層（長さ数 km ~ 数 10 km）の形成過程

1. 地殻の一部で徐々に歪みが蓄積
2. 岩体の撓曲開始
3. 撓曲帯（幅数 100 m ~ 数 km 程度）における，微小断層・小断層の形成開始
4. 撓曲の進行に伴う小断層の増加，一部でより大きな断層（副断層）の形成
5. 撓曲帯の中で最も撓曲の強いところで，それに沿う主断層の形成
6. 顕著な弱面である主断層に沿う，歪みの蓄積に伴う断続的なずれの繰返し
7. 地質条件，力学条件の変化（プレート運動の変化等）による断層運動の終息

1 ~ 7 それぞれの過程の進行速度は，前項の地殻の歪み速度の限界以下の速さ，すなわち数万年 ~ 数 10 万年以上の時間をかけて徐々に進行するものと推定される。それまで断層がなかったところに突然大きな断層が生じ，一度の変位で数 10 m，数 100 m もずれ動くということは起こり得ない。

火成活動の過程

日本列島のような，プレートサブダクションに起因する変動帯での火成活動は，一般に次のような一連の過程を経ると考えられている（単成火山は除く）。

1. マグマのプレート上面付近（地下 100 km 前後）での発生
2. マグマの上昇，地殻下底部におけるマグマ溜り形成および周辺岩石の熔融
3. マグマの上部地殻への上昇，地殻浅部におけるマグマ溜りの形成，貫入岩体・岩脈形成，および上部地殻の変形・変成
4. マグマの地表への上昇：地盤の隆起・地熱活動
5. 火山噴火：火山体の形成，溶岩流・火砕流・火山泥流・降灰など
6. 火成活動の終息

この一連の過程は，通常，100 万年 ~ 数 100 万年程度の時間をかけて徐々に進行すると推定される。4 ~ 5 のステージにおいて，一つの火山体形成に要する時間は数万年 ~ 数 10 万年と見積られる。

ている。

4) 日本列島の形成, 地殻変動の枠組とプレート運動

日本列島が形成されるに至るまでには、5 億年にわたる地殻変動史があり、その間、数回の顕著な地殻変動を経験している。その変動史の中で、島弧形成の開始期は新しい。すなわち、日本海が本格的に開き始めた時期は約 33 Ma で、約 10 Ma までにほぼ現在の形の日本海ができあがった。

日本列島と太平洋プレートの位置関係および太平洋プレートの運動様式（移動速度・向き・沈み込み角度）は約 10 Ma 以降、また、日本列島とフィリピン海プレートの位置関係およびフィリピン海プレートの運動様式は約 6 Ma 以降、大きくは変わっていない。また日本列島における造構応力状態は、約 0.5 Ma 以降は現在と同様と考えられている。他方、プレート運動様式が変化する場合、その変化は 100 万年のオーダーで徐々に起っており、10 万年程度の短い時間で急激な変化が生じたことはない。

現在の日本列島の地殻変動と火成活動は、太平洋プレートとフィリピン海プレートの運動によって規定されている。日本列島の地殻変動史から、変動の規則性・定型パターン・地域特性などの経験則を導き、それを将来に当てはめれば、ある地域における地質環境の将来 10 万年程度の変化を信頼できる確度で予測することができる。

3. 地層処分場となりうる地質要件

避けるべき地質事象

第四紀火山：火山の中心から半径約 20 km の範囲

活断層：埋設した廃棄体を〔直接切る〕可能性がある断層を避ける。地震動は地下深部へ向かうにしたがって急激に減衰するので、ほと

んど問題にならない。

古い断層：幅広い断層破砕帯は地下水や熱水の通路となりうるのをこれを避ける。

地盤隆起：地盤隆起速度が 10 万年で 300 m 程度以上の地域は避ける。

地下資源：将来稼行される可能性がある地下資源分布域は避ける。

考慮すべき事象

地下水：地下水流量が多く流動速度が早いと、人工バリアを侵し放射性物質を地上へもたすおそれがある。岩体としての透水性を考慮する必要がある。

岩種：堆積岩・火成岩・変成岩などであれば岩種そのものより、岩体としての透水性、均質性、岩盤強度、岩体の必要規模などが重要である。

4. おわりに

実現性の高い処分地（私の考え）

廃棄体の運搬上、海岸域・島嶼が好ましい。100 年近くの長期間、事業従事者等の生活が成り立つ社会基盤も考慮する必要がある。

廃棄体保管か（私の考え）

地層処分が「絶対」安全と言えないのならば、廃棄ではなく、保管・管理すべきだとの主張がある。しかし、地層処分にだけ「絶対」を求める必要があるのだろうか。廃棄体が地表に接近し、人に放射能障害をもたらす確率は、諸地質変動プロセス等を考慮すると、隕石が落下する確率以下であろう。約 10 万年間の保管・管理に費やす労力と費用は、人類にとってもっと重要な課題、例えば食糧危機、ウィルス対策、火山噴火予知、将来のエネルギー開発、温暖化対策等々、人の生命を今日日常的に脅かす、あるいは数 100 年先の人類の存続に関わる課題に回すのが賢明であろう。