

高レベル放射性廃棄物の地層処分を考える
—原子力国民会議 草の根セミナー in Springより—

2017年4月24日、（一般社団法人）原子力国民会議により「高レベル放射性廃棄物の地層処分を考える」と題する草の根セミナー（於・東京都台東区池之端）が開催されました。講演内容は、

第一部 「解決できるトイレなきマンション」 講師 河田東海夫氏

第二部 「高レベル放射性廃棄物の地層処分の安全確保の考え方」 講師 石川博久氏

両講師の話は地層処分の正しい理解に役立つと思いますので紹介いたします。



第一部 「解決できるトイレなきマンション」

（河田東海夫氏の講演資料から）

感覚的処分悲観論の蔓延

- これほどの地震大国では、処分できる場所なんかない
- 10万年の安全なんか、だれが保証できるの？
- 地中に埋めるなんて、あとは野となれ山となれ、ではないの？

.....

でも、ちょっと耳を傾けてください

地層処分場がない現状では、原子力発電所はトイレなきマンションと揶揄されています。これは、原子力発電所の運転に伴って発生する高レベル放射性廃棄物の最終的な処分場がまだ決まっていないことを指しています。なぜ決まらないかという、一般の国民の方は上図に代表されるような疑問を持っていて簡単には納得してくれないからでしょう。この疑問はいささか情緒的ではありますが、大事な論点であることも確かです。

今回は河田講師のお話に沿ってこの疑問はどう解決できるのかみていきたいと思います。

地層処分の基本的考え方

- 高レベル放射性廃棄物の放射能
 - 初めは強烈だが、300年間で急激に減少
 - しかし元のウラン鉱石並みになるには1万年以上
- 万年オーダーの長期にわたる安全の確保
 - 人の管理はあてにできない(国家の存続、人類の存続すら保証できない)
- そこで、深部地質環境が持つ物質を超長期にわたって物質を閉じ込める固有の性質を利用し、「受動的安全」を達成



不変の「自然の原理」に超長期の安全をゆだねる

地層処分の考え方は、①1万年以上という時間はかかるが放射能は減衰していく、②人間の管理はあてにならない、そして③深部地下環境には物質を閉じ込める性

質がある、ということを利用することです。ここで言いたいことは、「自然の原理」が超長期の閉じ込めを保証してくれるということです。では、地層処分がどのように「自然の原理」を利用しているか順にみていきましょう。

自然の原理その1
色ガラスの色は何千年たっても消えない

3400年前の古代エジプトのガラス



写真提供 岡山県立オリエント美術館

- 色ガラス = ガラス+いろいろな元素
- ガラスの色がいつまでも消えない
⇒ ガラスに取り込まれた元素はガラスから抜け出られない



7

「自然の原理1」は3000年前のエジプトのガラスが色鮮やかな状態で保存されている事実です。これは色を付ける元素がガラスに閉じ込められていて、抜け出られないことを示しています。同様に高レベル放射性廃棄物の各成分も様々な元素ですのでガラスと混ぜ合わせて固めると抜け出られません。

自然の原理その2
還元環境(酸欠環境)では物質は錆びない、腐らない、溶けにくい

具体事例1



青谷上寺地(鳥取県)で発見された弥生人(約1800年前)の脳

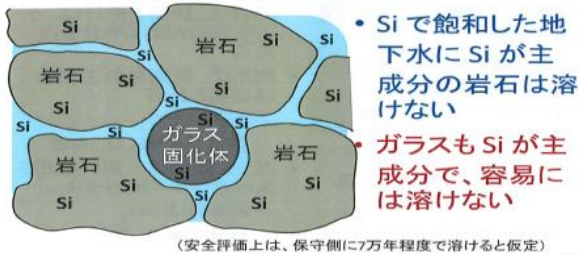
- 死体が粘土質の湿地に埋没
- 湿った粘土に包まれ、完全酸欠状態が形成された
- 酸欠環境は卑弥呼時代の人間の脳も腐らせずに保持

10

「自然の原理2」は、地下は還元環境（酸欠の環境）にあり物質は容易に錆びない、腐らない、溶けにくいということです。鳥取県の青谷上寺地遺跡で1800年前の人間の脳が発見されました。還元環境の中で腐食が抑えられたのです。このような環境であればガラスが腐食し、溶ける可能性は限りなく低いことを意味します。

自然の原理その3

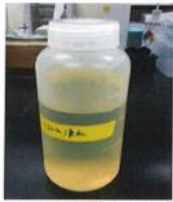
Siで飽和した地下水では、ガラスの溶解は容易に進まない



「自然の原理3」は、地下深いところでは地下水はほとんど動かないということです。そのため地下深部の地下水は、周りの岩石の主成分であるシリコンで飽和しています。シリコンで飽和した地下水に主成分がシリコンであるガラスは溶けないことは明らかです。

幌延地下350mの地下水

自然の原理その4
 地下深部は水の動きが極めて遅い



日本原子力研究開発機構提供

- 300m以深の地下水の年代測定結果 ⇒ 100万年以上
- 100万年以上昔の水がそこに留まっている
- そういう場所なら、仮に放射能が溶け出ても、その地下水は100万年たっても地表に出てこない ⇒ **日本にも処分できる場所があることを示す端的な証拠**
- 古代の地下水が残るのは幌延の特異現象では無く、地下深部の一般的特徴

「自然の原理4」は地下深部では水の動きは極めて遅いということです。

例えば、幌延深地層研究所の地下350メートルの地下水の年代を測定すると百万年以上になります。こういう場所であれば仮に放射能が溶け出たとしても100万年経っても地表に出てこないことを意味します。こうした場所が現実にあるということは、日本にも地層処分の適地があるという端的な証拠です。

自然の原理その5
 地下深部は地表に比べて地震の揺れが小さい

代表事例: 中国唐山地震 (1976年7月)



- 唐山市=巨大炭鉱都市
- マグニチュード7.8
- 死者24万人: 20世紀最悪の被害
- 地上では7人に一人が死亡 (人口107万人のうち14.8万人)
- 地下500~800mでは約600人に一人が死亡 (約1万人が坑内で採鉱作業中だったが、死者は17人)
- 日本の震度に換算すると、地表では震度7、地下500m以深では震度4(一部震度5)

「自然の原理5」は、地下深部は地表に比べて地震の揺れが小さいということです。左図に示した中国唐山地震の例では、死者数を比べると明らかに地下の方が少なくなっています。

宮城県栗駒市にある細倉マインパーク（旧細倉鉱山）では、東日本大震災の際、見学者が地下坑道内を見学していましたが、大地震が起きたことに気が付かなかったか分からなかったそうです。

そのくらい地下では地表より揺れが小さいということでしょう。このことから、操業中でも地下施設は揺れが小さいので地表施設よりも安全といえます。埋設後の廃棄物は周囲の岩盤と一体として揺れるので、揺れで破壊されることはないと考えられます。

処分先進国の近況

- **フィンランド**
 - 2015年末に建設許可
 - 昨年末地下トンネル掘削工事開始
 - 2023年処分開始目標
- **スウェーデン**
 - 2011年に立地・建設許可申請、現在安全審査中
 - 2020年建設開始、2030年処分開始を目指す
- **フランス**
 - 2010年に約30km²の広域処分候補地を決定
 - 具体的な処分場建設地を絞り込み、安全審査を進めるための諸準備を進めつつある

図は諸外国の地層処分場の進捗状況を示しています。フィンランドは処分場建設の許可があり、処分坑道の掘削工事が開始されました。スウェーデンは、場所が決まり、処分場の安全審査が行われています。フランスは広域の候補地が決まり、建設地絞り込みと安全審査開始に向けた諸準備が行われています。図には示されていませんが、米国ではユッカマウンテンのプロジェクトを再開するための予算がトランプ政権でついています。米国が今後どのように取り組んでいくのか注目されます。

直接処分は日本になじまない

人口密度の比較

国	人口密度 人/km ²	核燃料 サイクル政策
日本	336	再処理
フランス	113	
米国	33	直接処分
スウェーデン	21	
フィンランド	16	
カナダ	3.4	

- 再処理をやめて直接処分にすれば処分場必要面積は3倍
- 国土が狭く人口密度が高い日本に米国や北欧の真似はできない
- 1円/kWh発電コストが高くなっても再処理方式を堅持するのが国民のため

地層処分をする場合、原子力発電所からの使用済み燃料をそのまま処分する方法（直接処分）と再処理してウランとプルトニウムを回収して残りを処分する方法（再処理方式）があります。直接処分を選択すると処分場の必要面積は再処理の場合の3倍にもなります。その他に、放射能が十分に減衰するまでの期間も10倍くらい長くなります。国土の狭い日本では再処理方式を堅持することが望まれます。

第1部 まとめ

地下水年代が非常に古い場所があるということは、日本にも地層処分の適地があることを示しています。地層処分場は、自然の原理を巧みに利用することで、放射性廃棄物の超長期の閉じ込めを実現します。

また、使用済み燃料を再処理して地層処分する方法には処分場の面積が少なく済む、放射能の減衰する期間が短くなるという大きなメリットがあります。

第二部 「高レベル放射性廃棄物の地層処分の安全確保の考え方」

(石川博久氏の講演資料から)

第2部で、地層処分システムの重要な要素である人工バリアについて、それがどのような構造になっているのか、各部の働きはどのようなものか、地層処分システムの安全評価はどうなっているのかを見てみましょう。

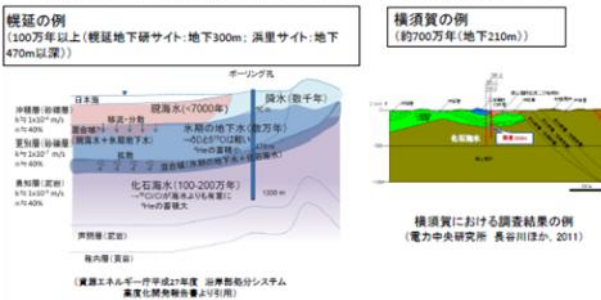
地表と地下の比較

	地表(人間による管理)	地下(処分)
自然現象	地震、火山、新層、台風、地滑り、津波、隕石、他	火山、新層
人の行為	破壊、爆発、火事、公害、事故、戦争、テロ、他	掘削
ものの動き(100m動く)	空気: 台風 ~数秒 水: 河川 ~数分	空気: なし 水: ~数百万年以上(地下水)
残されているもの	文字: ~数千年 建物: ~数千年	化石: ~数億年 鉱物: ~数億年

図は、地表と地下について、自然現象、人の行為、モノの動き、遺跡等について比較してみたものです。地下の方が、処分場として適していることは明らかです。

古い地下水の存在(物質が動きにくい)

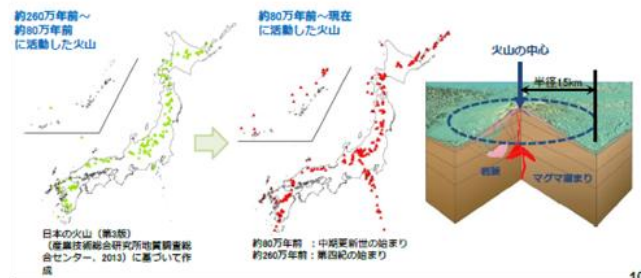
- 北海道の幌延では、約100万年以上の化石海水が確認されている。
- 横須賀では、約700万年前の化石海水(地下210m以深)が確認されている。



日本には100年以上の古い海水(化石水)が存在していることが確認されています。このような個所に地層処分場を設置すると、たとえ地下水に放射能が漏れいしてもほとんどその場所で動かないことを意味しています。

日本における火山の分布

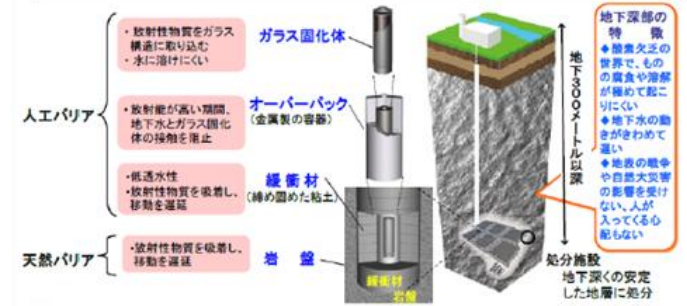
- ・プレートの活動は、過去200~100万年前からほとんど変化がない
- ・火山の活動地域と影響範囲は推定可能であり、影響範囲を避けて処分場を建設することが可能⇒ 火山の中心から概ね半径15kmの範囲に活動がとどまっている



火山の活動地域(火山中心)はほぼ決まっています。た、火山の中心から15kmの範囲にその影響がとどまっています。これは火山の影響を避けて処分場を建設することが可能であることを意味します。

地層処分システムの基本概念

- ・放射能が人間に影響を及ぼさないレベルに下がるまで放射性物質を長期間閉じ込めるために、多重のバリアを施す
- ・多重バリアは、ガラス固化体、オーバーバック(金属製容器)、緩衝材(締め固めた粘土)からなる人工バリアと、厚い岩盤による天然バリアから構成



多重のバリアで放射性物質を長期間閉じ込めます。多重バリアはガラス固化体等の人工バリアと天然バリアで構成されています。天然バリアは地下300メートル以深の岩盤です。各バリアの動きが上図に示されています。

人工バリアの概念

人工バリア:放射性物質の閉じ込めをより確実に



日本原子力研究開発機構PRより

17

人工バリアの模型図を示します。横に立つ人間との比較で、大きさなどのイメージが掴めると思います。ガラス固化体の分子構造の中心に放射性物質が閉じ込められており、外に出ることができません。

オーバーバック(金属容器)の機能と役割

- ◆オーバーバックは、ガラス固化体と地下水の接触を、放射能が大きく減る1000年間遮断する役割を持つ
- ・地下の深部では酸素が少ないため、金属の腐食は極めてゆっくりとしか進まない(長期腐食試験の結果、1000年間におけるオーバーバックの腐食量は、地下深部の環境条件の不確実性などを考慮して大きめに評価しても約3cm程度)

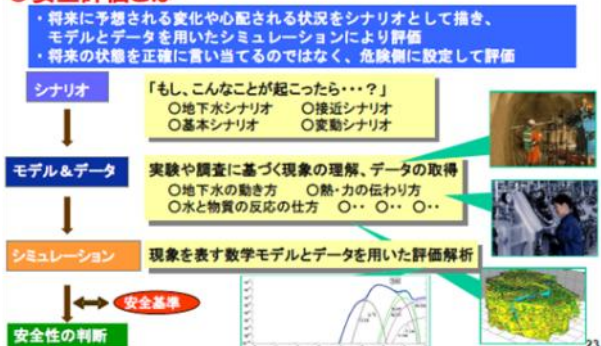


20

この外側は厚さ20cm、重さ6トンの金属容器(オーバーバック)に収納され、地下水との接触を遮断します。そしてその外側はベントナイトといわれる粘土の緩衝材内に収納し、地下水の浸透や万一漏れた場合の放射性物質の移動を遅らせます。

どのように安全を確かめるか

○安全評価とは

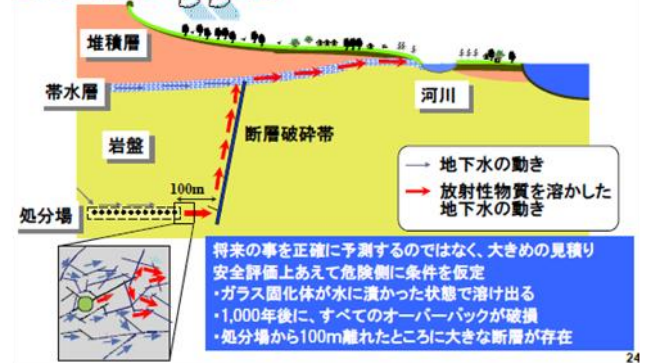


23

地層処分場の安全性とは、放射性物質が地下水に漏れ、その地下水が長時間後に地表に出てきたとしても人間に基準値を超える放射線被ばくをもたらさないことでしょう。それを確かめるため、予想されるシナリオを描き、解析するための数学モデルを作りコンピュータ解析を行います。

どのように安全を確かめるか

○地下水シナリオの評価



24

安全性を確認するために、例として図に地下水シナリオを示します。処分場の100メートル先に断層があると仮定し、そこを地下水とともに放射性物質が移動し人間の生活圏に出てくるものと仮定します。このように地表まで地下水が動きやすい条件でも、生活圏へ地下水が出てきたときに、放射能の人間への影響ほとんどありません。

第2部 まとめ

人工バリアと天然バリアを組み合わせた地層処分システムについて安全評価を行った結果、地下300メートル以深の岩盤に埋設すれば地下水に放射性物質が溶け出しても、基準値よりはるかに低い放射線被ばくしか生じないことが分かっています。

結び

高レベル放射性廃棄物の最終処分場の選定は、古くから取り組まれてきてはいましたが、長く進展してきませんでした。最近になって、国が前面に立つことになり、処分地選定のための科学的特性マップを発表する段階までできました。

このように状況になったのは、最終処分場とはどんなものか、その安全性について分かりやすい説明が行われていなかったことも一因に挙げられると思います。今回の草の根セミナーは、そのことを念頭に置いて開催されました。両講師の話から地層処分は、自然の特性(原理)を活かした無理をしない処分システムであり、安全性も高いことが分かったと思います。講演後の意見交換会で参加者から、専門家と普通の方の橋渡しができるような物差しの必要性、最終処分場の解決は今後の原子力推進にとって避けることのできない重要な問題であるとの意見が出されました。