

# 地層処分における地質環境の安定性

武田 精悦<sup>1)</sup>

## 1. はじめに

日本は環太平洋造山帯の一部をなす孤状列島に位置するため、いわゆる安定大陸に比べて地殻変動、地震活動、火山活動などがより活発である。そのため、我が国における地層処分の安全性を科学的・技術的に示すためには、それらが地質環境に与える影響を評価し、地質環境が長期にわたり安定であることを明らかにする必要がある。地下で鉱床が保存されていることが地層処分が可能であることの根拠の1つとされていること(OECD/NEA, 1982)と、地殻変動等による影響を多く受けてきた日本においても多数の鉱床が存在することを合わせて考えると、地殻変動等の影響を多く受けることが、必ずしも地質環境が不安定であることを意味しないように見える。そこに「安定な地質環境とは何か」を考える上でのかぎがあるように思われる。ここでは「地層処分における地質環境の安定とは何か」について論じてみたい。

なお、ここで用いる「地質環境」という言葉は、地層処分の観点から、地表から地下深部までの地層(および岩体。以下同様。)や地下水の性状、温度・圧力といった諸条件によって特徴づけられる場の環境を表わすこととする。

## 2. 地層処分の概念と安全確保の考え方

我が国における地層処分の方策は、安定な状態に固化した廃棄物(固化体)を、人工的な安全対策を施した上で、地下の深い地層中に埋設することにより、人間とその生活環境に影響を与えないようにすることである。

長期にわたる地層処分を考えた場合、廃棄物が人間とその生活環境に影響を及ぼす可能性としては、

大別して直接的影響と間接的影響の2つの場合が想定される。直接的影響とは固化体と人間とが物理的に直接接近することから生じるものであり、これに至る道筋は接近シナリオと呼ばれ、火山活動、断層運動、隆起/侵食、および地下資源の利用等のための処分場への人間侵入が発端事象として想定される。地層処分の実施にあたっては、これらの事象による直接的な影響は考慮する必要がないように、適切な地域を評価・選定する等の対策が基本となる。

間接的影響とは、固化体からの核種が地下水を介して人間環境へ到達する可能性から生じるとするものであり、これに至る道筋は地下水シナリオと呼ばれている。このシナリオにおいては、ある地質環境条件およびその時間的変遷での固化体や人工物の緩慢な化学変化や地下水による核種の移行が基本となる。

以上のように、地殻変動等の影響が小さく地下資源の存在する可能性が低い適切な地層(天然バリア)を選び、それが本来備える包蔵性と、人工的な安全防护(人工バリア)機能を組み合わせ、多重バリアシステムを構築することにより安全確保を図ることが地層処分の基本的な考え方である。

## 3. 多重バリアシステムにおける地質環境の役割

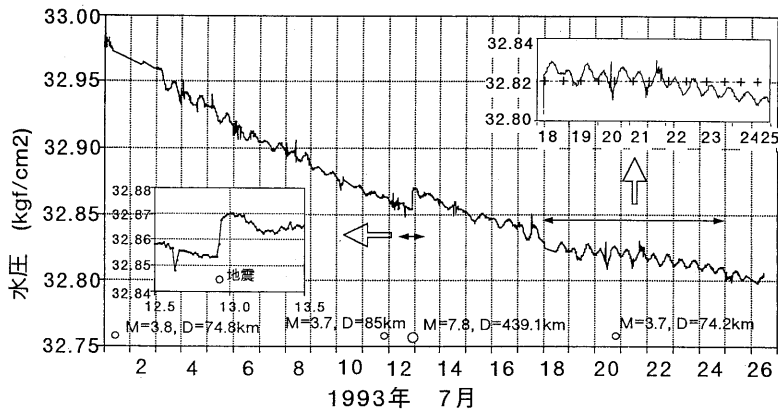
多重バリアシステムによって地層処分の安全性を維持するためには、地質環境に次のような役割が期待される。

第1の役割は物理的な隔離性を保つことである。このためには、処分場の場所として地域を適切に評価・選定するとともに、十分な深度に埋設することが重要である。

第2の役割は人工バリアを設置するのに適した

1) 動力炉・核燃料開発事業団：  
〒107 東京都港区赤坂 1-9-13

キーワード：地質環境、安定性、地震、地下水



第1図  
釜石鉱山における地下水の水圧  
観測結果  
(Shimizu et al., 1995による)

環境の維持である。人工バリアがその期待される性能を長期間維持するためには、その周辺の地質環境が適切な条件を維持することが前提となる。人工バリアの性能に関わる地質環境条件は、地下水の水理と地球化学的性質、温度や応力などの条件である。これらの条件が多少変動したとしても人工バリアの持つ、化学的緩衝性などの特有の性質によって大きな影響が生じないことが考えられるが、これらがどのような値とその変動範囲を持つかについて適切に把握しておくことが重要となる。

第3の役割は環境安全性をさらに確かなものとするための働きである。これは人工バリア内に閉じ込められていた固化体中の核種が、地層中に移動した場合においても、地下水の移行経路となる岩盤の割れ目や空隙において、地下水、核種、鉱物等の相互作用によって、核種が遅延・分散されるというものである。このような観点では、地質環境の現状の理解はもとより、その長期的な変化、すなわち地質構造、鉱物組成、地下水の水理・地球化学的性質などの変化について把握することが重要である。

以上のように多重バリアシステムにおいて、地質環境の中でも地下水の役割が占める比重はきわめて高く、以下においては、地下水を中心に論ずる。

#### 4. 地質環境の安定性の考え方

地層処分においては、火山活動のように接近シナリオで想定されている事象を避け、地殻変動の影響が小さい適切な地層と深度を選ぶことが基本であり、地質環境の安定性は、これを前提として考えられている。

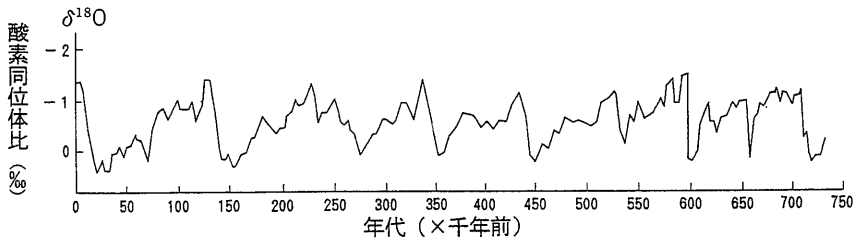
日本の各地で地震が起こり、緩慢ではあるが隆起  
1996年3月号

や沈降も起こっていることを考えると、厳密には固化体を埋設した場の環境が長期にわたって完全に不変であることは現実にはありえない。地質環境の安定性もそれを前提としているわけではない。もし、地質環境が、起こりうるその変化を考慮しても、多重バリアシステムにおいて期待される役割を果たしうることが、人工バリアや処分場の設計仕様と合わせて判断できれば、「その地質環境は安定である」とみなしてもよいのではないかと。例えば地下水の水理や地球化学的性質が短期的に変動したり、長期的に変化していったとしても、人工バリア性能に大きな影響を与えなければ、その地質環境は安定であると考えるのである。その場合の課題は、そのような地下水の性質が長期にわたり、どの程度の変動・変化をするのかを時間との関係において把握することである。地質環境の条件として、地下水の水理だけでなく、地球化学的性質も重要であることを考えると、この安定という表現は、物理的な意味のみならず、化学的な意味も含むものと考えてよい。

#### 5. 地質環境の安定性に関する事例

地質環境の安定性を検討する上で参考となるいくつかの事例について以下に紹介する。

地震と地下水の挙動との関係についての研究例としては、地震予知の観点からの報告が数多くあったが、最近では特に火山活動も含めた地殻歪と地下水の関係を論じた報告が多くなってきている。Shimizu et al. (投稿中)によれば、岩手県釜石鉱山では、地震が深部の地下水に及ぼす影響を把握することを目的に、地表下約300mの坑道から掘削された試錐孔の口元に圧力センサーを設置し、1990年から水



第2図 過去70万年間の海底堆積物中の浮遊性有孔虫殻の酸素同位体比較変動曲線(Emiliani, 1978による)。  
 曲線は、大西洋で取得された堆積物中の浮遊性有孔虫殻の酸素同位体測定結果をつなぎ合わせたもので、酸素同位体比の低い(負側の)部分が温暖期、高い(正側の)部分が寒冷期を表す。

圧観測を行っている。1991年11月から1994年12月までの観測では、水圧は11月～2月の冬季が低く、4月～5月の春季に急激に上昇する傾向が認められ、月雨量変化と良く対応している。また地震と水圧変化の関係については、地震時に一時的に水圧が変化する現象が観測されており、例えば1993年7月12日に発生した北海道南西沖地震では、水圧が急激に上がった後、1週間程でもとのトレンド上に戻っている(第1図)。また同じような地震時の水圧の変化は1994年12月までに20例観測されたとしている。

一方、川辺(1992)は地震予知の観点から、地震に伴う地下水・地球化学現象について議論した。その中で、1946年の北海道地震や1923年の関東大地震の時の地下水異常を取り上げ、前者の地震時には、道後温泉において最大深度303 mまで掘られた4つの源泉の水位がいずれも14 m程度低下し、3カ月後に元の水位にまで戻っていること、そして類似の現象が少なくとも、白鳳、宝永、安政の北海道地震の際にも道後温泉で観測されたことを報告している。

また、Igarashi & Wakita (1991)によれば、鎌倉にある井戸で行った観測においても、地震に伴う地下水の変化が記録されている。観測井戸は海岸から1 kmに位置する深度500 mの井戸で、ここで1986年6月24日の地震(M=6.5, 震源距離=140 km)と1987年12月17日の地震(M=6.7, 震源距離=110 km)に対し、それぞれ2.5 cmと3.8 cmの水位変化が観測されている。これに対し、潮汐などによる経時的な変動幅は10 cm程度であり、地震が原因と思われる地下水の変化幅はこの範囲に収まっている。

以上のことは、地震動に伴い地下水の水圧や水位は変化はするが、やがては時間と共にまた元にもど

る場合や、地震動による地下水の変化は通常の変動幅に収まる場合のあることを示している。上記の北海道地震の例のように、もし3カ月の間は地下水の条件が変化したままでも、それより数桁以上の時間スケールを考慮する地層処分システムにおいては、人工バリアに有意な影響を与えるとは考え難い。このことは、地震動による一時的な影響を受けても、上記の考えに基づく地質環境が、少なくとも数年～数十年程度であれば、安定であることの1つの例を示しているものと思われる。これまで地震に伴う地下水の挙動については、それが地震予知につながる可能性がないかという点から着目されてきたため、観測結果の報告も地震前後の地下水の変化の有無や程度のみに着目し、その後の挙動については十分な記載がない場合が多い。一方、地質環境の安定性という観点からは、一時的な変動より、長期的にどう変化していくかを知ることが重要である。したがって、今後はむしろ地下水が変化した後の挙動に注目し、既存の資料を見直すことも重要だと思われる。

気候・海水準変動については、例えば、有孔虫の殻の中の酸素同位体から、過去の気候変動を推定した例がある(Emiliani, 1978)。第2図は、大西洋の海底の堆積物に含まれている有孔虫の殻の中の酸素同位体を、過去70万年にまでさかのぼって調べ、その間の気候の変動を推定したものである。この図によれば、過去70万年間の気候はある周期をもって変動しており、その幅はほぼ一定である。このことは、地質環境の安定性を検討する上で、気候変動とそれに伴う海水準変動については、地域ごとにある変動幅を考慮することによって評価が可能であることを示している。

第1表 天然事象の研究目標

研究項目	シナリオ分類	研究目標
地震／断層運動	接近シナリオ	・断層活動の規則性とその影響範囲の把握 ・地下構造に関する調査手法の確立
	地下水シナリオ	・地震が地下水に与える影響の把握
隆起・沈降／侵食 気候・海水準変動	接近シナリオ	・侵食量の把握
	地下水シナリオ	・隆起・沈降量の把握 ・将来の地形変化の把握 ・気候・海水準の変動幅の把握
火山活動	接近シナリオ	・火山活動の規則性と地域特性の把握 ・火山活動域の変化と影響範囲の把握
	地下水シナリオ	・地熱が地下水へ与える影響の把握

6. 今後の天然事象研究の進め方について

地層処分において必要なことは、個々の事象がいつ起きるかを予知することではなく、それらが起こる地域—あるいは、むしろ起こらない地域—はどこかや、それらによってもたらされる地質環境への影響はどの程度かを把握し、それに対する対策を講じることである。地質環境に影響を与える可能性のある天然事象として、地震/断層運動、隆起・沈降運動/侵食作用、火山活動などが想定される。地質環境の安定性の観点から、これらの天然事象についての研究を進める上で、地層処分におけるシナリオを念頭においておくことが重要である(第1表)。

接近シナリオの発端事象として想定される隆起/侵食、活断層および火山活動については、その分布と、その事象発生によって引き起こされる直接的影響の範囲を明らかにすることが必要である。これらの事象については、その基礎となる研究の蓄積があり、それらの事象のおおよその分布などは既に知られている。特に活断層や火山については、全国規模での分布図が作成されている(活断層研究会編, 1991;地質調査所, 1982など)。

地下水シナリオに関しては、接近シナリオを避けることを前提とし、天然事象が周辺の地質環境に与える間接的な影響の性質とそれらの規模に関する情報が必要である。これらについては、これまでその

必要性があまりなかったこともあり、情報の蓄積が十分ではない。前述のように、たとえば海水準変動の幅はどのくらいか、あるいは地震に伴う地下水の変化はどの程度かといった新たな視点から、研究の成果を積み重ねていく必要がある。

多重バリアシステムによる地層処分の安全性を科学的・技術的に示すため、従来の研究による知見が不十分なものについては、新たにデータを蓄積していくことに努める必要がある。例えば、天然事象の規則性や地域性を把握するためには、活断層や火山の年代に関する情報がまだ十分とは言えず、新たなデータが必要と考えられる。また、現在は地域を特定せずに研究を行う段階であることから、天然事象が周辺の地層や地下水に与える影響の性質や規模を把握するためには、異なる地質条件を有する地域において事例研究を行うことも必要である。この場合、個々の事例における事象の規模や性質を把握することにもまして、その手法を確立することが重要である。また、将来予測の手法としては、小出(1992)も論じているように、過去に起こった変化を将来に外挿することを基本とした研究開発を進めることが重要である。

以下に各事象の研究に必要な課題を示す。

(1) 地震/断層運動

断層運動の規則性を明らかにするために、活動年代に関するデータの整備が必要である。また断層運

動に伴う割れ目系の発生による活断層周辺岩盤の力学的な変化や、地下水の流動や水質などの変化、あるいは大きな断層から派生する断層の形態やその影響範囲を把握することも必要である。そのためには活断層の運動様式の異なる地域における事例研究が有効な手段である。伏在する断層を把握するための方法として、微小地震観測や物理探査などを活用した手法を確立しておくべきである。また地震が地下水に与える影響については、観測の事例を増やすことが必要である。観測においては、対象とする地下水が被圧地下水かどうかの考慮や、地震動による割れ目の生成に伴う地下水の変化等の問題の検討も念頭に入れておくべきである(小泉, 1994)。

### (2) 隆起/沈降/侵食/気候・海水準変動

隆起運動や侵食作用は、時間の経過と共に累積し、地層を削剝するため、侵食速度の速い地域を把握しておく必要がある。隆起・沈降運動、気候・海水準変動、侵食作用による地質構造や地形の変化は地下水の流動系や水質に変化を与える可能性がある。そのため、これらの事象自体の変動幅を抑えた上で、地下水に対する影響を評価し、地下水の流動や水質の変動幅を明らかにしなければならない。それにはまず、第四紀における隆起・沈降運動の解析精度を向上させるため、変動基準面に関する調査手法を確立し、それにより日本列島における第四紀の隆起・沈降量に関する情報の充実を図る必要がある。気候・海水準変動については、地球規模における過去の気候変動および海水準変動に関する知見を整理・解析し、日本における将来の気温、降水量、海水準の変動幅を予測する必要がある。

### (3) 火山活動

火山活動による地質環境への直接的な影響に対しては、マグマの上昇や噴火が地質環境に与える影響の範囲と程度を明らかにし、適切な距離を設定することが基本となる。火山活動の場とそれを規制する地質構造・応力場・プレート配置等の要因を明らかにする上で、火山の活動年代や活動様式に関するデータが重要である。またマグマの上昇・噴火の際に生じる断裂系の形成・山体崩壊・陥没など、火山活動が地質環境に及ぼす直接的な影響の範囲や程度を事例研究を通して把握することが重要である。火山

活動が地質環境に及ぼす間接的な影響(マグマあるいは貫入岩体などの熱による地下水の水理・水質の変化、岩盤の変質など)を評価するため、火山の地下構造および活動史に関する知見の充実を図る必要がある。

## 7. おわりに

天然事象による直接的な影響を避けるという前提に立った場合、地質環境の条件として重要なのは地下水の性質である。したがって、地質環境の安定という時、地下水の性質の安定ということを見捨てることはできない。地殻変動という地質学的な現象が地下水という流体に及ぼす影響の内容は、地層のような固体に対する影響と異なることは十分に想像がつく。さらに、そこに長期にわたる時間というものを考慮に入れた時に、従来イメージしてきた地層の安定というものとは異なる性質の「地質環境の安定」を新たに考える必要があるように思われる。

### 引用文献

- Emiliani, C. (1978): The cause of the ice age, *Earth. Planet. Sci. Let.*, **37**, p349-352.
- Igarashi, G. and Wakita, H. (1991): Tidal responses and earthquake-related changes in the water level of deep wells, *Jour. Geophys. Res.* **96**, No. B3, p4269-4278.
- 活断層研究会(編) (1991): 新編日本の活断層—分布と資料, 東京大学出版会.
- 川辺岩夫(1991): 地震に伴う地下水・地球化学現象, *地震*, **44**, p341-364.
- 小出 仁(1992): 放射性廃棄物処分と地質長期未来予測, *地質ニュース*, no. 449, 51-54.
- 小泉尚嗣(1994): 地殻歪と地殻内流体, *火山*, **39** No. 4, p169-176.
- Shimizu, I., Osawa, H., Seo, T., Yasuike, S. and Sasaki, S. (1995): Earthquake-related groundmotion and groundwater pressure change at the Kamaishi Mine, *Eng. Geol.* (投稿中)
- 地質調査所(1982): 日本地質アトラス, 地質調査所.
- OECD/NEA (1982): Disposal of radioactive waste, An overview of the principles involved, Nuclear Energy Agency OECD.

---

TAKEDA Seietsu (1996): Long-term stability of geological environment in the geological disposal.

---

(受付: 1996年1月22日)