

放射性廃棄物地質処分と地質環境の長期安定性

塚本 齊¹⁾・小出 仁¹⁾

1. はじめに

原子力を利用している以上、放射性廃棄物対策は避けて通ることのできない課題である。放射性廃棄物対策として、地質処分はもっとも安全かつ確実な方法である。他のオプションとの比較をここでは説明しないが、要するに有害な物質は人間の活動の場からなるべく遠くへ隔離するのがもっとも安全で、そうすると宇宙でなければ地下深部がもっともよい。地殻の広大な広がりや質量のおかげで、力学的にも化学的にもバッファー効果が大いことが重要な要素である。すなわち、変化し難いので、本質的に長期に安定である。

しかし、日本のような地殻変動の激しい所で地質処分はできないと考えている人が多いことも確かである。阪神・淡路大震災や雲仙噴火などの天変地異を経験するとそう考えるのも無理からぬと思う。しかし、日本では地殻変動が激しいとは言っても、地殻はそれほど速く動くわけではないし、地域により変動の小さいところもある。活断層は地震発生時に数メートル動くとしても、次の地震まで数千年間は全く動かない。一万年間に10メートル以上動く断層はA級断層だけである。その上、地震や火山噴火が地下深くの処分施設に直接に影響を与える危険はほとんどない。

しかし、高レベル放射性廃棄物のように数千年以上の長期にわたり有害な廃棄物を地質処分するに当たっては、処分施設を含む岩体の長期安定性を確かめる必要が当然ある(武田, 1996)。現在の技術レベルをもってすれば、短期間廃棄物を封じ込めることは困難ではない。しかし、数千年、数万年にわたって封じ込めるとなると、現在の技術の視野を越えた課題になる。そこに地質処分すなわち自然の耐久性を生かした処分をしなければならない理由がある。

放射性廃棄物処分施設を収容し、それを外部の変化から守るべき処分場岩盤の長期安定性について検討する必要がある。

2. 高レベル放射性廃棄物地質処分

有害性が高くしかも長く持続するような廃棄物は、長期間確実に環境から隔離しなければならないので、地下深部のしゃへい性の高い岩盤中に処分しなければならない。その代表が、高レベル放射性廃棄物である。

高レベル放射性廃棄物は、確かに放射能レベルは高く、発熱もするが、ガラス固化体にすれば、決して爆発性はなく、可燃性ですらない、安定な固体である。近づかない限り、短期的な危険はほとんどない。核分裂生成物の多くは、強い放射線を出すのが、それだけ速く壊変し、1000年以上もたてば放射能レベルも十分に低下するので、危険性はごく小さくなる。ただし、超ウラン元素等の長寿命放射性核種が含まれているため、低くなるとはいえ、数千年から数万年以上も無視し得ない程度の放射性が残り、生活環境から隔離しなければならない期間が長期になる。数万年というような隔離期間は、人間文明の歴史を越えた長さであり、実験による実証が事実上不可能であるために、安全性がほとんど確実であっても、従来の実験科学的方法では厳密な実証ができない。すなわち、高レベル放射性廃棄物対策は、その性格上、短期の安全性は十分確保されるが、超長期の安全性を立証することが今後の課題として残っている。

しかし、地球の約45億年の歴史から見れば数万年は一瞬の間である。地球の長期の変動は岩石の中に刻み込まれているので、それを分析することにより超長期の変動を知ろうとする試みがあり、ナチュラ

1) 地質調査所 環境地質部

キーワード: 高レベル放射性廃棄物, 地質処分, 長期安定性, シナリオ解析, 地殻変動

ル・アナログと呼ばれている。人間社会とは異なり、地殻の変動はきわめてゆるやかであり、変化が小さいので、数千年から数万年先の地殻変動の方向や程度のおおまかな予測は可能であろう。地球未来の厳密な予測は難しいとしても、その程度の変動が隔離に影響しないことを確かめたり、影響しないように処分場を設計することは不可能ではない。地球環境の変動の範囲を予測し、長期にわたるための不確実性を考慮して、十分に安全側に設計することにより、地下深部への処分の安全性を確保できると考えられる。

地下に放射性廃棄物を処分したり貯蔵するより、地表で人間が常時監視しているべきであるという意見もある。しかし、放射性廃棄物の固化体は基本的に安定であり、短期の危険はないので、人間が常時監視する必要はない。常時監視するためには、人間の環境から離すことができないので、それだけ監視する人間を放射線にさらす機会が多くなる。むしろ人間の活動の場からできるだけ離す方が安全性は高い。現在考えられている数100ないし1000mクラスの深さの地下への処分であれば、処分場の位置や構造を正確に知ることができれば、再取り出しは可能である。もし、万一、処分場に予期していない変化があったとしても、例えば、1年以上に1回といった程度の時間間隔の粗い遠隔観測を行なっていれば十分であって、それにより変化を検出し、影響が実際に現われるまでに、対処する時間的余裕は十分にある。

現在、高レベル放射性廃棄物中の長寿命核種を原子炉等によって短寿命核種に変える研究もなされている。この研究が成功し、実用化されるようになれば、高レベル放射性廃棄物を隔離しなければならない期間を短縮できる可能性がある。しかし、研究開発には相当の期間が必要であり、また、実用化されても、地質処分すべき長寿命の放射性廃棄物を皆無にはできないであろう。また、放射性廃棄物の量としては、処理をすることによりむしろ増えるので、地質処分技術の必要性は変わらない。

3. 地下の安定性

地下は危険な場所であると考えている人が大変多い。しかし、地表は、岩圏・気圏・水圏の接点であって、変動がきわめて激しい。それに対して、例えば、

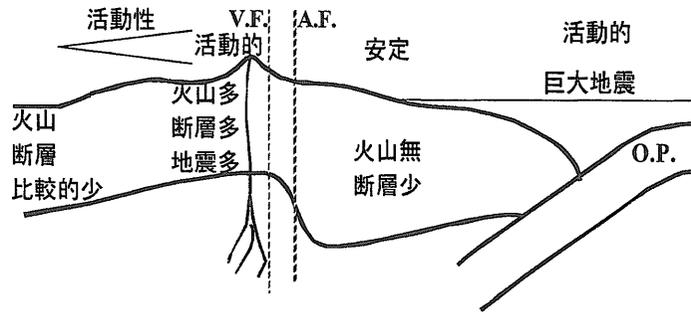
台風や洪水等で地下の処分場が直接被害を受けることはほとんどありえない。地表に比べれば、地下ははるかに変動が小さく、危険は少ない。さらに、人間活動の場から遠ざけることができるので、地下深部は廃棄物処分の場として最適である。

地下施設が地震に強いことは、多くの事例で示されているが、特に、中国の1976年唐山地震M7.8で劇的に実証された。唐山市の地下500~800mの深さには炭鉱があり、唐山地震を起した震源断層そのものが炭鉱の坑内を横切っていた。地下の炭鉱は震源域そのものの中にあつたといえるが、炭鉱の損害は軽く、付近の炭鉱もあわせて、作業中だった約1万人の坑夫もほとんど無事であった。しかし、炭鉱の地表施設は壊滅し、地表の唐山市ではほぼ2人に1人の割合で死傷するという大被害を受けていた。

放射性廃棄物処分施設は地下にあるうに、施設構造自体も耐震性が高いので、地震による直接の被害はほとんど考えられない。むしろ、唐山地震の際に坑内の出水量が40~300%増加したことで示されるような、地下の環境変動による間接的な影響の方が実際には重要である(高橋、小出、1993)。長期の安全性を確保するには、地震による地下水の流路の変化が、わずかでも処分場の隔離性能に影響するかどうかにも、十分な検討が要求されるためである。

火山噴火による溶岩流や火砕流は地表で広がるもので、地下でマグマの直接の影響を受ける範囲はごく狭い。したがって、火山噴火やマグマの貫入が地下の処分場に直接の影響を与える確率はきわめて小さい。マグマの熱による地下水の温度上昇や化学的性状の変化等の間接的な影響の方に注意すべきである。地下深部の岩盤の奥に、放射性廃棄物を封入すれば、生物環境から効果的に隔離される。CO₂を海底下や寒冷地の地下に圧入すると、地層中で地下水と反応してハイドレートを作り、不透水層を作って自ら封じ込めてしまうので、完全に漏えいを防ぐことが期待できる。放射性廃棄物の処分の場合も、充填物やグラウトにより化学的雰囲気を整え、岩盤の封じ込め性能を強化する様な研究も必要であろう。

また、地下は地表より安定で、変動があつたとしても、ゆるやかであり、実際に放射性核種が地表へ到達する危険は少ない。したがって、安全上からは、廃棄物はできるだけ早く地下に封入すべきであるといえる。



第1図 島弧地域における地殻変動の集中域と安定域の分布概念図。V.F., A.F.とO.P.はそれぞれ火山フロント, 活断層フロント, 海洋プレート。

4. 地下環境の多様性と変動の速さ

放射性廃棄物を地下深部の岩盤中に封入することは、現在および近い将来に私達が利用できる技術範囲で、もっとも安全確実な処分方法であることは確かといえる。しかし、なお、問題がまったくないわけではない。それは、地球には未知の要素がまだ多く残されていることである。特に、日本列島はプレート境界に近く、大部分がいわゆる変動帯に入る。そのため、大陸地域に比べて、地殻変動が激しく、断層も多い。地震や火山活動・地熱活動等の問題があり、地殻変動のために破碎岩・風化岩・変質岩・堆積性軟岩が多いという特徴がある。また、多雨で地形が急なため、地下水が豊富で流れが速い。

ただし、これらは一般的な特徴であり、狭い日本列島内でも場所による地下の環境の違いは大きい。例えば、火山の分布は偏っていて、プレートの沈み込む海溝と火山フロントの間にはまったく存在せず、火山フロントの陸側付近に集中する。活断層も、地域による偏在が著しく、やはり、火山フロントと海溝の間に活断層が少ない地域がある(第1図)。火山フロントのやや海溝側に活断層フロントがあると考えられる(Kinugasa, 1989)。

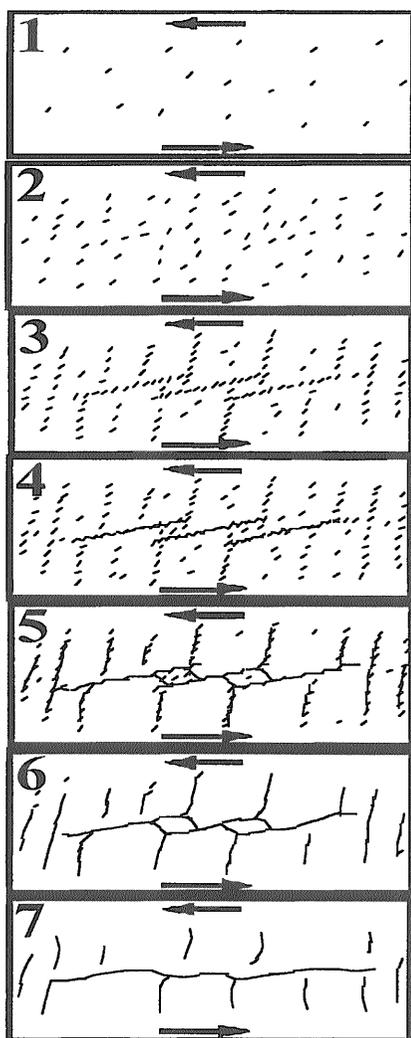
地下は、一般に深くなるほど圧力も温度も上昇する。地下十数キロメートル程度までは岩石の強度は増大するが、それ以上深くなると温度上昇の効果により岩石が流動的になって急に強度が小さくなる深さがある。このような軟化深度は温度によって決まるため、地温勾配の小さい地域では深く、地温勾配の大きい地域では浅い。火山フロントの付近では地下深部からのマグマの上昇により地下の温度が高く軟化深度が浅いので、剛性の高い地殻の厚さが極め

て薄い。それに対して、火山フロントより海溝側では、プレートの潜り込みの効果もあって地温勾配が小さいため、軟化深度が深く、したがって厚い剛性地殻が存在する。このため、変形が剛性地殻の薄い火山フロント付近に集中するので、火山フロント付近で地殻変動が激しく、火山フロントと海溝の間の剛性地殻の厚い地域は相対的に安定している(第1図)。但し、海溝側の海洋プレート付近では深発地震が多くなる。地震はほとんど剛性地殻内で発生する。

地殻の隆起の激しい地域も、プレート境界付近と火山フロント付近にあり、日本アルプスのように、現在も急峻な山地になっている。しかし、もっとも隆起の激しい地域でも、隆起の速さは、平均すればせいぜい年間数mm程度である。地下水の汲み上げすぎのために急速に地盤沈下している地区もあるが、局地的な表層の現象にすぎない。プレートの相互作用の影響を直接的に受けるような地域を除くと、ほとんどの地域の地殻の隆起あるいは沈降速度は、年間1mm以内であり、多くの地域ではこれよりはるかに遅い変動しかしていない。

活動の激しいA級活断層でも、年間数mm程度の平均変位速度である。A級以上の活動度を持つ活断層はプレート境界付近・火山フロント付近と中央構造線沿いに集中しているので、他の地域の大部分の活断層のずれの平均の速さは年間1mmよりずっと小さい。一般的な傾向として、日本列島は大陸に比べて地質条件が悪いとはいっても、個々のサイトを相互比較すると一概に悪いとは言えない。

活断層や火山がまったく前触れ無しに忽然として出現することはあり得ない。活断層や火山は数万年以上の寿命を持っていて、長い歴史を経て次第に大きく発展してくる。「ローマは一朝にしてならず」であ



第2図 断層の発達段階(小出ら, 1979).

- 1.微小割れ期, 2.幼年期, 3.少年期, 4.青年期,
- 5.壮年期, 6.老年期, 7.クリープ期.

る。自然は複雑であるが、決してでたらめではなく、ある程度の規則性を持っている。活断層の発達の規則性を知ることにより、活断層が進展してくる方向を知ることが出来る(第2図)。そのため活断層や火山の発達の規則性の研究を進めている。

日本は自然条件が厳しいので、外国の研究成果は利用できないという主張があるが、諸外国の研究開発の成果が日本にまったく活用できないわけではない。ただし、いかなる問題でも自然条件や社会条件の違いを無視して、そのまま真似しても解決しないことは明らかである。日本の自然条件や社会条件

にあわせた独自の対応が要求される。根本的には、日本の地下がどうなっていて、何が起きているかを詳細に知り、さらに将来何が起きるかを予測することが、長期にわたって安全な処分施設を作るための前提である。放射性廃棄物処分のためには、処分施設周辺の岩盤は詳細に調査しなければならないが、長期にわたる未来の予測をするためには広域のデータが必要になる。現在は、むしろ精度は多少粗くても広範な研究を行なって、地下の多様性や変動の範囲を知ることが重要である。

5. 我が国で考慮すべき安全評価シナリオ

処分場の安全性を評価するには、いわゆるシナリオ解析を行う。シナリオで設定されたことは、必ずしも現実に起こるわけではないが、日本の国土の特徴とされていることに対応して、適切なシナリオを考慮して、安全評価をしなければならない。ここでとりあげる日本の特徴は、ごく一般的な傾向を示すので、日本の内でも、地域によっては必ずしもあてはまらないことがある。そのような地域が処分サイトとして特定された場合は、ここであげられたシナリオは必ずしも検討する必要がないことになろう。しかし、以下のシナリオは、少なくとも定性的な検討をするべきシナリオの候補である。

(1) 国土が狭く、人口が多いことに対応するシナリオ:

高レベル地質処分場は広い面積を必要としないので、国土が狭いことは、シナリオの選択に、直接には問題ではない。しかし、サイト選定にあたって、選択の範囲が狭くなるという点で、広大な国土を持つ国に比べて、困難は大きくなる。

人口が多いことは、人間活動により一層注意する必要がある。例えば、サイトによっては、井戸取水シナリオや資源探査等のためのボーリング・シナリオを考慮する必要がある。ボーリングが処分場に直達しなくても、地下水の新しい流路が作られ、地下水移行に影響を与えるかもしれない。これらは、通常シナリオである地下水移行シナリオの変種、すなわち、変動シナリオといえる。

(2) 島国であることに対応するシナリオ:

大陸の乾燥地域のような内陸水系は存在せず、地下深部のトラップされた水の他は、究極的には海へ

排水されることになる。海への距離が近いと、海面変動の影響を受けて地下水の流動状況が変化する可能性があり、海面変動シナリオの検討が必要になる。気候の変動によって、氷河が拡大したり、融解することにより、海水準が変動する。氷河期がくると海水準は数10～数100m以上低下しうるし、気候が温暖化して氷河が完全に融解すれば、現在より30m程度海水準が上昇する可能性がある。このような気候変動は、人為的な温室効果による温暖化があれば、早い時期にくるかもしれない。

地下深部には、海水起源の地下水が存在していることが多い。内陸部でも、海水起源の地下水が存在する。このような「化石海水」は、地下水がほとんど動いていない証拠でもあるので、岩盤の隔離性能の証明にもなる。また、塩水は、人間に利用されることがほとんどなく、飲用に使われることはない。さらに、比重が大きいため上昇し難い等の利点がある。他方、化学的性質によっては、特にキャニスターの腐食などを検討しなければならない。

(3) 雨が多く、地下水位が高いことに対応するシナリオ：

深地質処分の場合は、地下水面下に当然位置するので、地下水位の高低に関わらず、通常シナリオの地下水移行シナリオで十分カバーできる。雨量や気温が変化すると、地表水・地下水の流れに影響を与える。前述のように、気候変動は比較的短時間で生じ、人間活動の影響も無視できなくなっている。

(4) 地形が急峻であることに対するシナリオ：

地形が急峻なため、侵蝕が速く、地下水流速も一般に大きいという傾向がある。地下水流については、地下水移行シナリオで扱えるが、特に広域的な地下水流についても十分に検討する必要がある。侵蝕については、特に難透水層の欠損等が生じた時に、地下水移行シナリオに影響を与える可能性がある。

固結度の低い堆積岩では、埋没により圧力や温度が高くなると圧密・続成作用がおき、物性が変化し、水やガスの分離が生じる。このような変化はきわめてゆるやかではあるが、軟質の堆積岩の場合は検討が必要である。

(5) 地殻変動が激しいことに対するシナリオ：

地域的に地殻変動の速さはかなりの違いがあるが、一般的傾向として、大陸諸国に比較して変動が大きいことは否定できない。このため、地盤隆起・沈

降シナリオ、岩盤変形シナリオ、岩盤応力変動シナリオについて検討する必要がある。地盤隆起・沈降は海面に対する相対的变化が問題なので、地殻変動によるものと、海水準の変動による場合とがある。海水準に比較して、地盤が隆起すれば、侵蝕が加速されることになる。このため、地下水流に変化がおきる可能性がある。地盤隆起シナリオは侵蝕シナリオにほぼ帰着する。隆起がきわめて大きいと、処分場が直接露出することも考えられているが、深地質処分では、直接露出に至るためには、きわめて長年月を要することは明らかである。

地盤沈降は、やはり地下水流系に影響する。地盤隆起・沈降が一樣に生じず、地層の変形がある場合には岩盤変形シナリオになる。処分場掘削のような人為的理由によって岩盤変形が生じる可能性もある。岩盤変形によって、地層の形が変わったり、割れ目ゾーンが生じると、地下水流に影響を与える。

岩盤応力変動の原因としては、テクトニックな応力変動（プレートの動きの変化や造山・造陸運動のため）や、浸蝕による荷重除去、氷河荷重、人為的原因がある。氷河荷重の影響は日本ではあまり考えなくてもよい。処分場建設そのものが岩盤応力変化の原因になりうる。

(6) 岩盤は断層や割れ目が多いことに対応するシナリオ：

地殻変動が激しいために、割れ目や断層の密度が高い傾向がある。通常、割れ目沿いに透水性が高いが、日本の断層は粘土化されているケースが多く、この場合はむしろ難透水性になる。地下深部の断層・割れ目の性状については、今後解明が必要なことが多い。

割れ目系岩盤地下水移行シナリオが、特に結晶質岩盤の場合に重要である。地下水移行に関して孔隙媒体中の浸透流についてはかなりの精度でモデル化が可能になっているが、割れ目中の地下水流についてはまだ十分な解明ができていない。それは、地下深部における割れ目や断層の状態が解明されていないためと、割れ目内の流れが不規則なチャンネル流であるためにモデル化の方法が確立されていないためである。

(7) 活断層が多いことに対するシナリオ：

断層変位シナリオ、断層形成シナリオの検討が必要である。断層変位シナリオとは、断層のずれによ

って地層のくいちがいが生じて、地下水流に影響を与えたり、あるいは、処分施設を变形させるような場合である。したがって、岩盤変形シナリオに似ている。断層形成シナリオとは、新しい断層が生じたり、断層が成長したり、古い断層が開口したりする現象である。確率は小さいが地下水移行への影響が大きい。

(8) 地震が多いことに対するシナリオ：

地質処分施設は地震には十分耐久性があるが、地震の多い日本では地震シナリオについても、検討する必要がある。地震の影響は、処分場が操業中で空洞が存在している場合と、空洞を完全に充填した後とでは異なる。操業中は、通常の地下空洞の場合と基本的には同じであるが、地下における地震動の伝播特性の解明が重要である。空洞を充填した後に、地震によって処分施設の破壊が生じる可能性は小さいが、地下の処分場に強い地震動が加わった時に、工学バリアや天然バリアにどのような影響があるかについて詳細な検討が必要である。特に、地震動によって、岩盤中に割れ目が生じた場合の地下水の移行に対する影響を調べる必要がある。

(9) 火山・温泉・地熱活動があることに対するシナリオ：

火山活動やマグマの活動が直接的に処分場に影響する可能性はきわめて小さいが、新しい火成岩の熱等による温泉・地熱活動の影響は、間接的ではあるが、広い範囲に及ぶので、注意する必要がある。

大規模噴火によって、火砕流等による侵蝕や降灰による地表の荒廃のために急速侵蝕がおきることがある。この場合は大規模噴火シナリオは侵蝕シナリオに帰着する。

マグマが処分場に直接貫入すれば、処分場が破壊され、その結果、放射性核種が地下水へ急速に浸出されるのが、マグマ貫入シナリオである。処分場へ貫入したマグマが、さらに、地表まで到達して、噴出すれば、放射性核種が直接放出され、マグマ貫入噴出シナリオとなる。処分場へのマグマの直接貫入は、このように著しい効果をもたらすが、その発生確率はごく小さいであろう。しかし、火山活動の可能性のあるサイトでは検討の必要がある。

マグマが処分場に直接貫入しなくても、近くへ貫入すれば、地下水へ影響を与える。また、ドームやカルデラやグラバーン等の構造を造り、断層形成や岩

盤変形による影響を与える可能性についても検討の必要がある。

現在あるいは過去の火山・潜火山活動の間接的な影響として、熱水や温泉水の侵入がある。熱水や温泉水は、温度を上げる効果の他に、その化学的性状によっては、浸出速度を速める可能性もあるので、熱水シナリオについて多角的な検討の必要がある。

(10) 地質が複雑で、大きな均質な岩体が見出し難いことに対するシナリオ：

処分場母岩として必要な体積はあまり大きくないが、地質が複雑なことは、処分場の設計を難しくする。この対策としては、精密な非破壊的三次元地質調査法の開発が重要になる。特に、断層や岩脈、あるいは粘土岩中の砂質層のはさみなどが、地下水の通路になりやすい。逆に、断層粘土帯が地下水の流れをさえぎることもある。

シナリオとしては未検出の欠陥が、性能評価にどの程度の影響を与えるかを調べる未検出欠陥シナリオの検討が望ましい。

(11) 岩盤の風化・変質が著しいことに対するシナリオ：

気候・熱水・地殻変動の影響のために、風化・変質の進んでいる岩盤は、日本に広く分布している。ただし、風化・変質された岩盤は収着性に秀れていることもあり、地質処分に適さないとは必ずしも言えない。しかし、風化・変質岩は不均質であることが多く、性状が複雑である。風化・変質岩の特性の研究と共に、処分後の岩盤の風化・変質の影響を調べる風化・変質シナリオの検討が望ましい。

これらのシナリオは、定性的な検討の必要があるものを列挙したもので、地域や母岩の性質によって、重要度が大幅に異なり、処分サイトが限定されてくれば、いくつかのシナリオは無視しうるのであろう。他方、いくつかのシナリオについては詳細な定量的評価を加える必要がでてくるであろう。

日本では特に地殻変動に関連するシナリオを重視する必要があり、地質処分の安全性を確認するためには、地殻変動の未来予測が日本にとって重要な課題であると考えられる。それに続いて、過去の地殻変動で生じた大小の割れ目・断層の評価が重要で、火山・地熱活動による熱水の間接的影響にも注意しなければならない。

6. 我が国での地質処分の可能性

日本列島の中でも、場所によって自然環境はかなり異なる。個々のサイトの比較では、必ずしも我が国のサイトの方が他国より条件が悪いとは限らない。しかし、一般的な比較としては、我が国は自然環境でも社会環境でも、広い国土を持つ大陸諸国に比較して、厳しい条件にあるということは否定できない。したがって、諸外国以上に、我が国は地質処分の安全保障のために努力する必要がある。

我が国の地質環境は、大陸ではなく、島弧(弧状列島)に位置づけられている。一般に、島弧は大陸より地殻変動が激しく、地震・火山の活動もある。原子力発電を実施している国々のほとんどは大陸に位置し、我が国と同じ島弧に位置する原子力発電国は台湾くらいである。

したがって、島弧地域における地質処分の可能性を示すことは、我が国自身が実施しなければならない。もちろん、大陸諸国で開発された技術や調査結果もまったく活用できないわけではないが、我が国の環境に合わせた変更が必要である。

我が国での地質処分の可能性を示すためには、まず、基本シナリオである地下水移行シナリオについて、我が国の環境にあったモデルを構築し、そのモデルによっても十分に安全であることを示す必要がある。そのためには、我が国の深部地下水の状態を調査する必要がある。

日本における地質処分の安全性を論じる時に、一般の人々がもっとも懸念を持つのは地殻変動の問題である。地震・火山等のドラスティックな現象を見る機会の多い日本人が懸念を持つのはやむをえない。このような懸念に答えるためには、長期安全性の検証が重要である。

処分場の地質環境が数千年後あるいは数万年後にどう変動するか、あるいは変動の範囲はどの程度かを予測できるようにする必要がある。そのために

は、過去において日本列島の地質環境がどう変わったか、またどのような地殻変動を経験したかを知ることが重要である。その知識に基づき、未来予測のモデルを構築しなければならない。

地殻変動については数万年以上の予測も可能である。ただし、どの程度まで定量的な評価ができるかが重要である。例えば、数万年程度では数10メートル以上の隆起はありえないという程度のことは、たいてい地域でかなりの確信をもって言えるが、高レベル放射性廃棄物地質処分の長期安全性を十二分に確証するためには、予測精度と信頼度をもっと上げることが必要である。

文 献

- Kinugasa, Y. (1989) : Seismotectonic zonation based on the characteristics of active faults in Japan. USGS Open-File Report, 90-98, 15-17.
- 小出 仁 (1992) : 放射性廃棄物地層処分と地質長期未来予測. 地質ニュース, no.449, 51-54.
- 小出 仁 (1993) : CO₂の地中貯留, 概要と可能性. 地質ニュース, no.462, 6-12.
- 小出 仁 (1995) : 環境鉱山に関する提言. 地質ニュース, no.486, 40-44.
- Koide, H. (1995) : Geotechnical Challenges to Geological Hazards and Protection of Geoenvironment. The 8th International Congress for Rock Mechanics, Keynote Lecture.
- Koide, H., Takahashi, M., Tsukamoto, H. And Shindo, Y. (1994) : Self-trapping mechanisms of carbon dioxide in the aquifer disposal. Second International Conference on Carbon Dioxide Removal, Book of Abstracts, 50.
- 小出 仁, 山崎晴雄, 加藤碩一 (1979) : 地震と活断層の本. 国際地学協会, 123p.
- 高橋 学, 小出 仁 (1993) : 地震時における炭鉱内の震度について. 地質ニュース, no.472, 24-39.
- 武田精悦 (1996) : 地層処分における地質環境の安定性. 地質ニュース, no.499, 8-12

TSUKAMOTO Hitoshi and KOIDE Hitoshi (1996) : Geological disposal of radioactive waste and long-term stability of geological environment.

<受付: 1996年4月1日>