

深部地下構造の安定性について(要旨)

NPO シンクタンク京都自然史研究所
西村 進

1. はじめに

平成 25 年 3 月 27 日のこの集会で、福島第一原子力発電所の事故の後、活断層が問題になり、それを受けて、「活断層と安全基準」の話を演者の考えで話題提供した。

今回は「深部地下構造の安定性について」まとめてみたと思う。土木の「深部」は数 10m の深さが、高レベル放射性廃棄物地層処分が主な深部は 300~1,000m を考えている。そこで今回の話は 300~1,000m の深部の安定性について考えてみる。表土からの深さであるから、一部のトンネルや構造物も含まれる。

一般に「地層処分」は最終処分所の意味にとられているが、英文では **Geological Repositories** で、最初にこの問題を扱われたのが、原子力関係者で「地層処分」と訳された。これが災いして一般にいろんな制約を受けているのが現状である。「深部の堆積層、堆積岩、深成岩の貯蔵所」ととらえるべきである。いわゆる高レベル放射性廃棄物を生物への放射線障害を起こさない地下深所で数万年の間遮蔽し管理することが必要であることから考察された。高レベル放射性元素の半減期から数十万年の貯蔵を考えている。

数百m~千mの深度で、数万年~数十万年の年代安全に貯蔵する。この条件は、今までの土木・建築の問題では取り扱われなかった分野であり、一方、地質の研究の対象としては数十万年よりも古いものであって、一番弱い年代範囲の対象である。唯一火山活動がこの範囲の問題として取り扱われてきた。

しかし、現在では石油、シェールガス、メタンハイドレイド、地熱・温泉などではこの範囲であり、現在では一番興味を持たれてきている条件である。われわれがこの 20 数年ほど重点的に研究を続けてきてが、まだあいまいさを残している研究範囲である。

今回は完全ではないが、現在考えていることを議論したい。

2. 日本列島

日本列島の地下深部の安定性を論ずるためには、プレートテクトニクス・プルームテクトニクスの考えから日本列島の地質構造をみる必要がある。

日本列島は北米プレートとユーラシアプレートの上であり、太平洋プレートとフィリピン海プレートがもぐりこんでいる世界中でも有数の変動帯である。更にユーラシア大陸の縁から 18~14Ma の間に移動して、大陸との間に日本海が生まれた(石川, 1995)ことの影響も受け継いできている。地球上ではプレートの変動帯の激しい部分に位置する。しかし、放射性廃棄物を扱う迷惑施設は国単位が必要であって、特殊な取り決めがない以上国内

で始末しなければならない。

20 数年前までは、海外では高レベル放射性廃棄物は海洋投棄がなされていて、わが国でも、原子力環境整備センター（以下略して原環センター）が当時海洋投棄の調査研究のため設置されていた。京都大学原子炉実験所の桂山幸典教授に声をかけられ、高レベルの放射性廃棄物はどのように考えても地下深くに管理保管するいわゆる「地層処分」しか考えられない。その実施のための調査・研究をしなければ、原子力発電は進めてはならないのではないかと問いかけられ、桂山教授に連れられて原環センターに訪れた。原環センターでは「低レベル放射性廃棄物」を取り扱う機関であり、「高レベル」は原子力発電の開発する機関がかかるべきであると答えられた。それを無理に説き伏せて、表面は「低レベル」でその中で「中・高レベル」を取り扱うことで調査・研究を始めることになった。その矢先、桂山教授が病に倒れられ研究態勢を立て直し、平成3年度から平成11年度の9年間にわたり「低レベル放射性廃棄物処分可視画像化調査」（原子力環境整備センター，2000）として、地質調査所、他大学の研究者が加わり、演者は地質部門の主査として、三井金属鉱業(株)、鹿島建設(株)、清水建設(株)、住友金属鉱山(株)、応用地質(株)、(株)情報数理研究所、(株)大林組、(株)日環協、東電広告(株)の研究者を擁して、非常に活発に調査・研究を進めた。少し研究の仕方は異なるが、核燃料サイクル機構では「我が国における高レベル放射性の廃棄物地層処分の技術的信頼性」（核燃料サイクル開発機構，1999）の研究がなされていた。平成12年度からはこれらの研究は原子力発電環境整備機構（NUMO）が引き継がれほぼ10年経過したが、あまり進歩していない（NUMO, 2012）。

東北地方太平洋沖地震で福島第一原子力発電所の事故後、活断層のみに原因を押しつけ、何が一番問題であるかを考慮しない実情に警鐘を鳴らすほかないと考えている。

3. 地表の上昇・沈下の事象

地下深部の安定は地表の変動から考察すると図1に表わすように、現在の急激な変動の平面的な広がり考察すると、いちばん急激な事象は火山活動、地震断層活動、巨大崩壊・地滑り、河川の浸食・堆積となる。この中で、300m以深で問題になるのは、火成・地熱活動、活断層であろう。年代で問題になるのは、構造物が地表近くに上昇してくる場所はさけるべきであり、上下変動がないか沈降するところが望ましい。また断層により破壊する場所、地殻変動により変形する場所、断層などの緩み域を熱水や地下水が流動し、貯蔵しているものを溶かし出す場所を避ける必要がある。

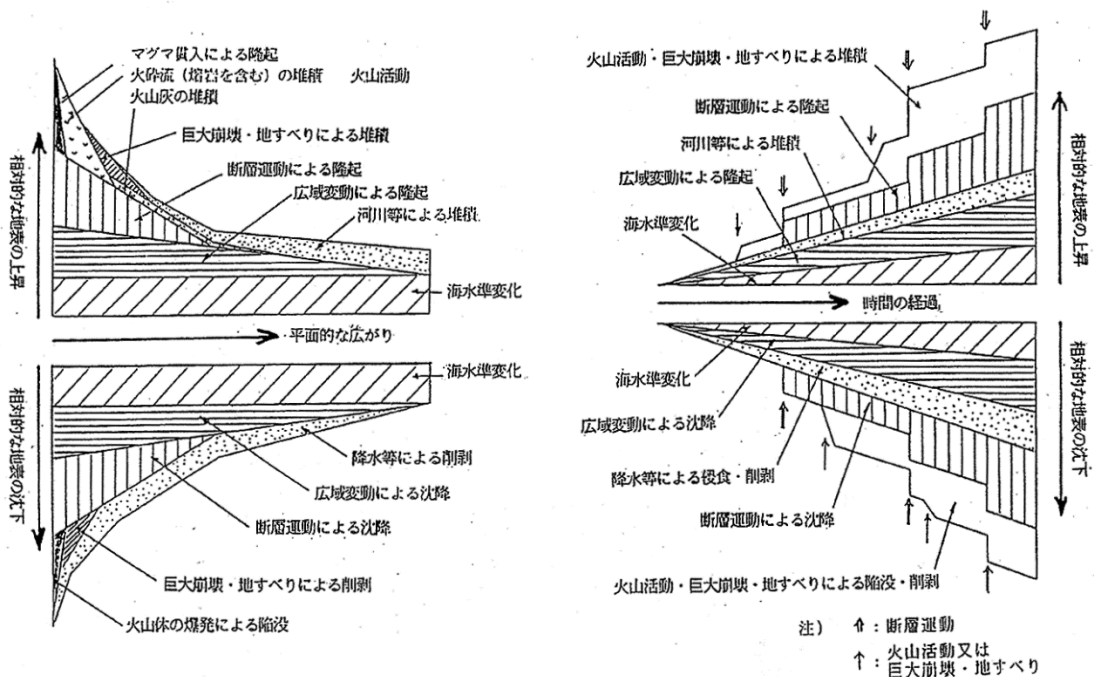


図1 地殻の変動の平面的な広がりや年代的な経過

4. プルームテクトニクスに関する変動

プルームの活動により、日本列島の地下深部に影響を与えているものは、日本海生成の時の地殻下部の変成作用、再溶融が考えられる。この現象は、18~14Ma に起こったと考えられる。再溶融した酸性岩質マグマが地殻下部の 800°C 程度の深さより深くに停滞している場合は、現在でも流動性をもち、時々上昇し岩脈・岩頸を作る。熱水の供給源や温泉の供給源になっている。水の超臨界流体や二酸化炭素の超臨界流体などの混合流体として上昇し、14km 深度より浅いところでは活断層に乗り移り、約 3,000m 深度で熱水と二酸化炭素の超臨界流体との混合物となり、1,000m 程度で超臨界二酸化炭素流体がマイクロバルブの炭酸ガスになり、より早く上昇して、地表近くの伏流水に希釈され温泉として地表面れる。その例が有馬温泉や紀伊半島や温泉津の高温の温泉である。また、若い酸性岩質の高温岩体（例えば、黒部川沿いや山陰帯の花崗岩地域）に伴う温泉がみられる。

5. 沈み込み帯の火山活動とそれに伴う熱水・温泉

太平洋プレートは日本海溝にて海洋底プレートが沈み込み、海嶺で生まれた橄欖岩質のプレートが 30~60 km 深度で蛇紋岩（橄欖岩質プレートが加水分解して出来た）が分解し、熱水・温泉源となる場合、更に約 100km 深度以下にもぐり込めば含水鉱物が脱水して、その上部のマントルを部分溶融しマグマを生じ上昇し、火山活動を起こす（図 2）。

フィリピン海プレートは南海トラフで沈み込むが若いプレートで温度が少し高く、沈み込む角度が浅く北方への沈み込みは約 60km 深度までしか震源分布が認められない（中島・

長谷川, 2001).

阿武単成火山群は安山岩質のマグマの活動で、フィリピン海プレートは西方向に 100km 程度もぐりこみ生じている。またそれより、九州南部の火山活動に続き、プレートの深度は 200 km よりも浅く、高アルカリソレイアイト岩や安山岩の火山活動をしている。

要するに、火山活動、熱水・温泉活動の場は、地下深部の利用には向かない部分であり、活用できない場になる。

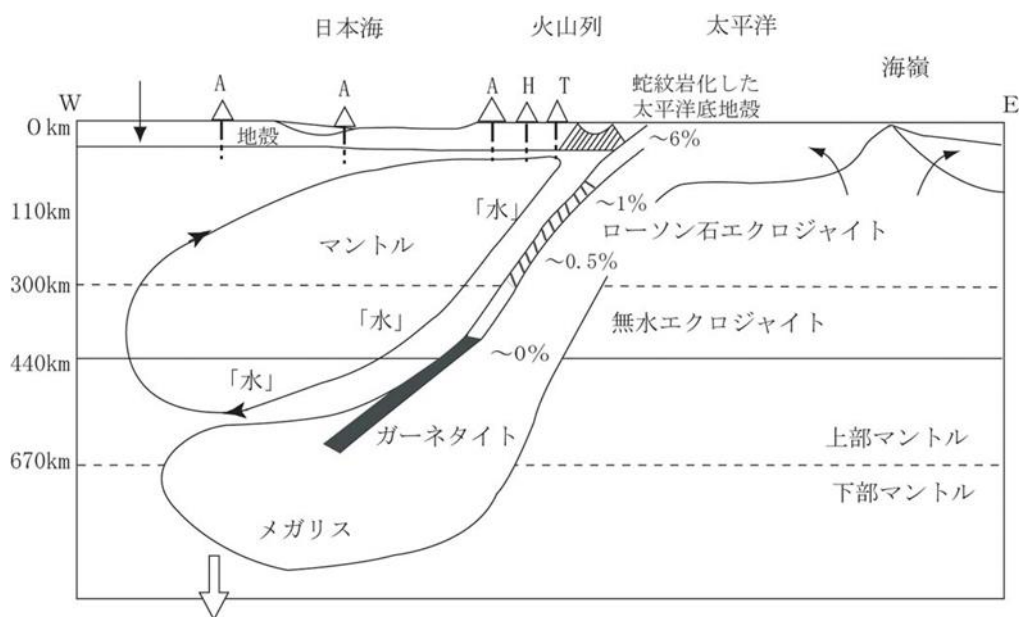


図 2 日本海溝に沈み込むスラブの脱水モデル—火山フロントより海溝側の熱水の生成, ソレイアイト火山系 (T), 高アルカリソレイアイト火山系 (H), アルカリ玄武岩系 (A) ならびに 670km 深度あたりに停滞するスラブから生じたメガリス (この部分ではガーネタイトの結晶中に含まれる水が脱水して後下部マントルに落ち込むときの変動をブルームテクトニクスと一例とされている; 西村, 2011).

6. 日本列島での安定域

日本列島は変動帯であるが、それはプレートの運動の結果生まれる。近畿地方のテクトニクスの研究により、六甲変動が始まるとき (約 60 万年前) に近畿地方の岩盤にかかる最大主応力の方向が南北方向から東西方向に変わっていると藤田 (1983) の指摘があるがそれから今日まで変化していない。将来も数 10 万年は変化しないと推定できる。その変動している部分で活断層とみなされる活動帯は地形の急変部や急変部に平行で線状 (リニアメントや褶曲軸) 構造のあるところで、その場は避ける必要がある。

前述のように、上下変動は殆どないか、少ない変動の広い場所の深部が安定であると結

論付けることが出来る。

日本列島で最も広く存在する時間面で変動の判る面は中位段丘（最終間氷期段丘面）である（図3）。その段丘面が長く広くたどれる場所がよいということになる。

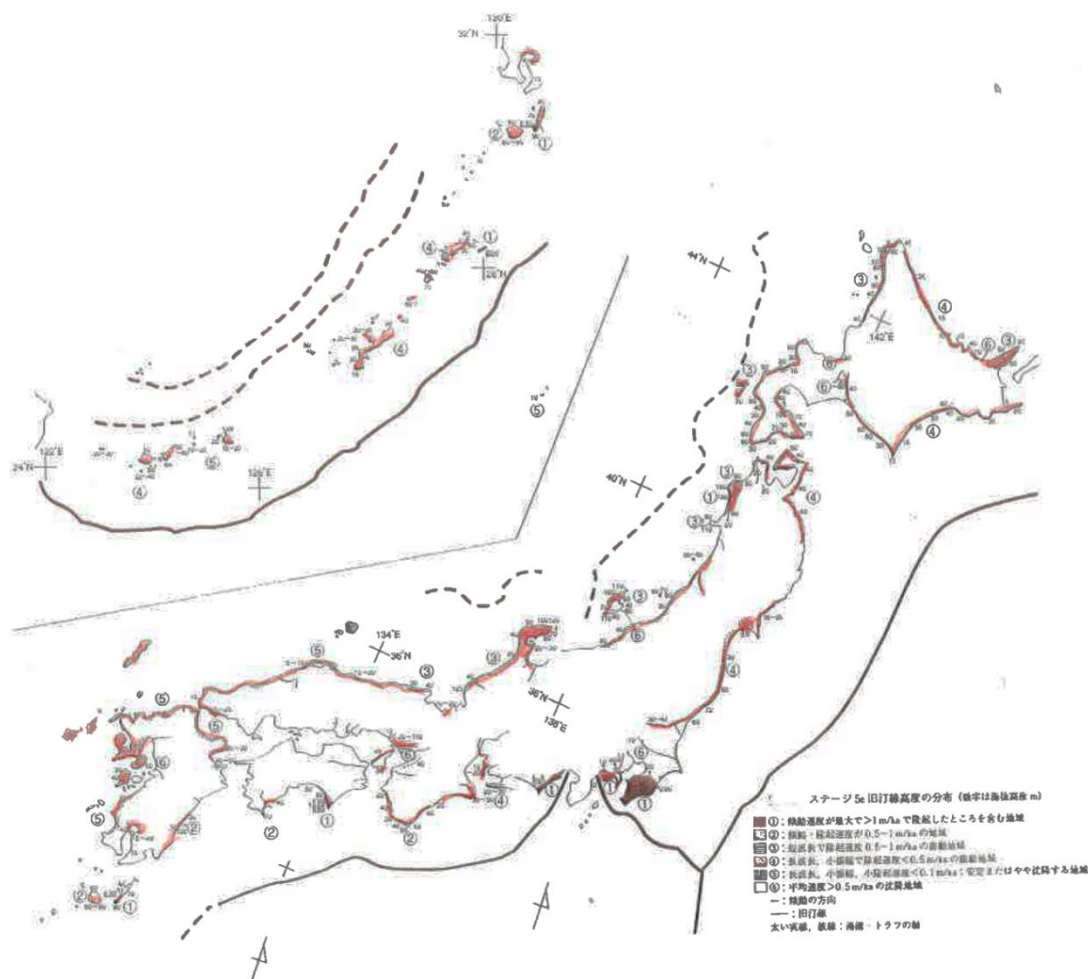


図3 日本弧周辺の中位段丘の分布とその高度分布（小池・町田，2001）。

7. 最適な地層

次に、どのような地質がよいかとのことになる。一般に硬岩で、断層・亀裂のない部分がよいと考えがちであるが、日本のような変動帯では、硬岩には亀裂・節理が多く熱水・地下水が流動しやすい。断層で囲まれた、応力が減衰してかかる場所で容積が充分とればよい。外国でそのような考えから、岩塩体がよいとの考えがあるが、日本には存在しない。

IGCP-355（代表西村，1993-1998）の1994年の会合をメキシコ国立大学でもち、エクスカージョンでカリフォルニア半島南端のLa Pazの郊外の珪藻土を採取した坑道が多く放置されていて、全体で均等に縮みはするが破壊されない状況を見た。当地はカリフォル

ニア湾にはプレート境界が走り、大きな断層が走り引張場であるのにこのような現象が観察される (IGCP-355, 1996)。

帰国後、以前温泉探査を何回かして、知っていた有馬層群鴨川層上部の流紋岩非溶結凝灰岩裂罅脈に沿う浅熱水変質作用を受け、カオリン化して生成した 250m の鉱体幅をもつその中に掘られた坑道が一本の坑木もせず、安定している (尾崎・松浦, 1988)。

これらの例は、予定の深度に粘弾性体の地層や岩脈があれば、弾性体の硬岩よりも格段に安全に貯蔵出来る。

2002～2007 年度「二酸化炭素炭層固定化技術開発」のモニタリング技術開発を分担し、夕張市南部の夕張炭田で炭層が約 1,000m 深度で到達する (二酸化炭素が超臨界になる) 場所に圧入井 (鉛直掘削) メタン生産井 (下部で斜孔掘削) を掘り、二酸化炭素圧入実験をした。モニタリングのために高精度傾斜計を幌内層の 12m 深渡 50m 深に設置して種々な観測をした。幌内層は全層均一に近い塊状泥岩で化石および泥灰質ノジュール、海緑石、黄鉄鉱粒、凝灰物質などを有する海成の古第三紀層で粘弾性体の性質を有することが解析された (特定非営利活動法人シンクタンク京都自然史研究所, 2008)。

圧入実験では、圧入の実験責任者は我々の進言をこぼみ、弾性体とし孔底圧が 15MPa で止めるように指示した。表向きの実験を終了し、われわれが自主的に孔底圧を上げて圧入したら、3Kg/min. しか入らなかったのが、12.5kg/min. の圧入が出来た。これは地層が粘弾性体であり、亀裂が出来ず変形する程度で済んだことを示す。すなわち石油や石炭をキ挾在する古第三紀の地層では、安全に貯蔵出来ることを示した。夕張炭田では数百m 深度の掘削がなされたことがあるので、構造物も作ることが出来ることを示したもので、今後の場所の選択の一つの指針が示されたものとみなせる。

8. まとめ

わが国で、地下 300～1,000m 深度に 10,000 年程度安定した場所を探すことは、注意深くその地層の安定性を吟味すれば可能である。何事も科学的に的確になされる必要があり、その理由を科学的に明確に示して、今後国策として取り組む必要がある。

参考文献

石川尚人 (1995) : 日本列島は新生代にどのような動きをしたか, 日本地質学会関西支部講演資料, 19-29.

藤田和夫(1983) : 日本の山地形成論, 蒼樹書房, 東京.

IGCP-355 "Neogene Evolution of Pacific Ocean Gate Way"(1996): Neogene Event of the Eastern Pacific and Central American Seaway, Kyoto, Japan.

核燃料サイクル機構 (1999) : わが国における高レベル放射性廃棄物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—, 核燃料サイクル開発機構, 東京.

原子力環境整備センター (2000) : 低レベル放射性廃棄物処分可視画像化調査報告書 (平成

- 3～11 年度検討野総括), 原子力環境整備センター, 東京.
- 小池一之・町田洋 (2001): 日本海生断丘アトラス, 東大出版, 東京.
- 中島淳一・長谷川昭 (2009): 地震波トモグラフィでみたスラブの沈み込みと島弧マグマ活動, 地震 2, 61 (特集号), S177-S186.
- 西村進 (2011): 近畿地方の高温泉とその地質構造, 温泉科学, 60, 481-491.
- NUMO(2012): TOPAZ Project Long-term Tectonic Hazard to Geological Repositories, Nuclear Waste Management Organization of Japan, 87p, Tokyo.
- 特定非営利活動法人シンクタンク京都自然史研究所 (2008): 二酸化炭素炭層固定化技術開発・モニタリング技術の検討, 自然と環境, 10, Supplement (1), (2),