

放射性廃棄物処分の安全規制と地球科学

— 処分場の立地基準への研究成果の橋渡し —

伊藤 一誠

放射性廃棄物処分事業の安全規制行政に対して、産総研は主に処分場立地の適性を評価するための調査・評価技術に関する研究を実施し、得られた知見を規制機関に受け渡すことによって技術的支援を行ってきた。規制機関では、高レベル放射性廃棄物処分に先立ち、低レベル放射性廃棄物の中で相対的に高い放射能レベルを持つ廃棄物の中深度処分における安全規制基準と審査ガイドの整備が行われている。ここでは、中深度処分の安全規制に対する産総研の研究成果の活用状況を紹介するとともに、今後整備される高レベル放射性廃棄物処分の規制に研究成果を活用するために、中深度処分と地層処分との安全確保における技術的課題の相違点、中深度処分の規制基準と資源エネルギー庁が公表した「科学的特性マップ」の地質特性分類における基準との比較等を行って、課題の抽出した事例を紹介する。

キーワード: 放射性廃棄物処分、安全規制、立地、許可基準規則、地質事象

Earth science in safety regulations of radioactive waste disposal

— Translation of scientific research to site selection criteria —

Kazumasa ITO

AIST has been supporting scientific aspects of the Nuclear Regulatory Authority (NRA), mainly in regard to the regulation of site selection for radioactive waste disposal. NRA is constructing regulation criteria and examination guides for the disposal of intermediate-level radioactive waste (ILW) at intermediate depth prior to the geological disposal of high-level radioactive wastes (HLW). This paper introduces some examples of utilizing AIST's R&D results for regulation of ILW disposal. This paper also presents examples of future tasks by analyzing the differences between the ILW and HLW disposal, and the differences between ILW regulation and criteria in the "Nationwide Map of Scientific Features for Geological Disposal" to categorize areas based on favorability for HLW disposal.

Keywords: Radioactive waste disposal, safety regulation, site selection, permission standards, geological event

1 はじめに

産総研は、2001年の産総研発足から当時の深部地質環境研究センターにおいて、高レベル放射性廃棄物の地下深部埋設処分（以下、地層処分と言う）の安全規制に対して、科学的知見の蓄積と規制機関への橋渡しを目的とした安全規制支援研究を開始した。地層処分の安全規制は、同2001年に設置された原子力安全・保安院の所掌施策であった。以降、規制機関の体制の変化等はあるものの、放射性廃棄物の処分に関する研究機関としての支援は活断層・火山研究部門において継続している。一方、地層処分事業を進めるために、資源エネルギー庁が主導している研究開発の一部は、地圏資源環境研究部門が実施している。

放射性廃棄物処分に関しては、2012年原子力規制委員会設置後、地層処分の規制基準策定よりも、今後廃炉が予定されている原子力発電所で生じる、長半減期核種に

よって汚染された炉内構造物の地下への埋設処分（以下、地層処分と区別し、中深度処分と言う）に対する安全規制が進められ、原子力規制委員会において許可基準規則、審査ガイド等の整備が行われている。

中深度処分は、地下への放射性廃棄物埋設という点では地層処分と共通している。したがって、産総研がこれまで実施してきた地層処分の安全規制支援研究の中で、火山、断層等、処分場の立地に関する成果が活用されることが期待されたが、結果として、断層活動に関する成果は直接活用されることはなかった。

一方、地層処分事業は、2000年の「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」（最終処分法）の成立とそれを受けた実施主体である原子力発電環境整備機構（NUMO）の設立後、2002年から全国の市町村を対象とした立地調査の第一段階である文献調査地区の公募を

産業技術総合研究所 地質調査総合センター 活断層・火山研究部門 〒305-8567 つくば市東 1-1-1 中央第7
Geological Survey of Japan Research Institute of Earthquake and Volcano Geology, AIST Tsukuba Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba
305-8567, Japan E-mail: kazumasa-ito@aist.go.jp

Original manuscript received September 4, 2017, Revisions received May 6, 2018, Accepted May 7, 2018

行ってきたが、実際に文献調査に着手できていない状況である。そのため、政府は特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針を転換し、立地に関しては科学的有望地を提示し、調査への協力を自治体に申し入れるという方針を打ち出した（2015年5月22日閣議決定）。そして地層処分への地質学的適否の観点での要件・基準を提示し、既存の全国レベルで得られる地質データに基づいて2017年7月28日に全国を対象として、地層処分を行う際に考慮すべき特性の抽出と、日本全国におけるそれらの分布を俯瞰するための科学的特性マップを公開した。

今後、産総研地質調査総合センターの安全規制支援研究は、規制機関である原子力規制委員会・原子力規制庁に対して、地層処分の許可基準規則及び審査ガイドに活用できる研究成果を橋渡しする必要がある。そのため、この論文では中深度処分への研究成果の活用の総括に加え、科学的特性マップを参照しつつ、中深度処分と地層処分における安全規制の共通点と相違点を考察することで、今後の地層処分の安全規制における研究課題及び研究成果の規制機関への橋渡しを円滑に行うための成果の発信に関する提案を行いたい。

2 放射性廃棄物埋設処分の分類と規制の関与

2.1 放射性廃棄物の分類と処分方法

原子力発電によって生じる廃棄物の処分は、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」（以下、炉規法と言う）において、「政令で定める放射性物質についての放射能濃度が人の健康に重大な影響を及ぼすおそ

れがあるものとして当該放射性物質の種類ごとに政令で定める基準」によって第一種（高レベル）、第二種（中・低レベル）放射性廃棄物埋設に分類されている。

高レベル放射性廃棄物は、主に使用済核燃料を再処理し、ウラン、プルトニウムを分離して残った核種をガラスとともに固化したもの（ガラス固化体）であり、中・低レベル放射性廃棄物は、原子力発電所の炉内構造物や燃料被覆管、制御棒等の放射化金属及びコンクリート構造物、あるいは再処理施設やMOX燃料加工施設から発生する放射性廃棄物のように、比較的放射能濃度が高いものから、建物の換気、洗濯廃液、使用済みのペーパータオル、古い作業衣や手袋等の放射能濃度が低いものまでが含まれる。

放射性廃棄物の処分方法は、地表近傍にトレンチやピット等を掘削して廃棄物を保管する浅地中処分、トンネル等の地下利用深度よりも深い深度である100 m程度の深度に坑道を掘削して処分する中深度処分、より大深度である深度300 m以深に処分する地層処分に分類される。ここで、地層処分に該当する廃棄物は、高レベル放射性廃棄物及び中・低レベルの中で、MOX燃料加工施設等で生じる長半減期の超ウラン元素を含む廃棄物である。中深度処分は、原子力発電所の炉内構造物等、中・低レベル放射性廃棄物の中でも比較的放射能濃度が高いものが対象となる等、放射性物質の半減期や濃度に応じた処分方法が適用される。図1に、放射性廃棄物ごとの処分深度を模式的に示す¹⁾。

2.2 廃棄物埋設事業における規制の関与

放射性廃棄物の処分事業は、処分場の立地、設計及び

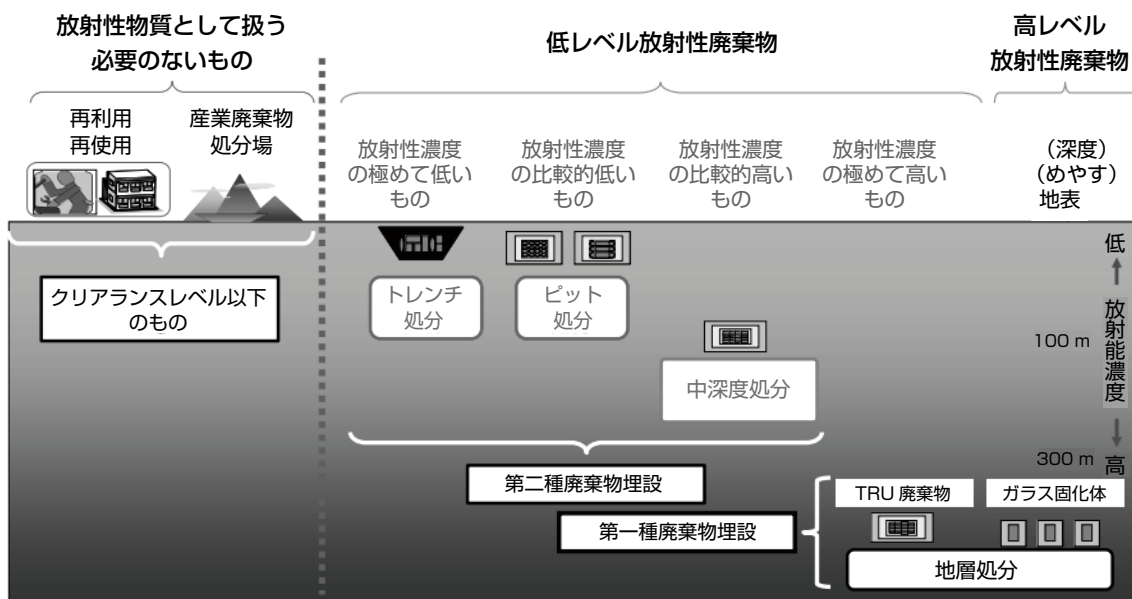


図1 放射性廃棄物の分類と処分概念
第一種、第二種は放射能レベルによって分類されている¹⁾。

将来的な被ばく線量を評価するための安全評価、地下埋設施設の建設、廃棄物の受入及び埋設、坑道の埋め戻し、保全、事業の廃止の段階によって構成される。図2に、原子力規制庁において検討されている中深度処分の各事業段階における規制の概要を示す^[2]。制度上、規制が直接関与する期間は、事業者の基本設計に対する事業許可の審査から開始され、埋設事業の終了である事業の廃止措置の終了確認によって終了する。この中深度処分の場合おおむね300～400年が想定され、廃止措置が終了した段階で、事業者は解散し規制期間が終了することが予定されている。

中深度処分の対象となる炉内構造物等の廃棄物及び地層処分における高レベル放射性廃棄物の放射能濃度の経時変化を図3に示す^[1]。両者とも規制期間終了時である数百年後には初期放射能濃度の1/1000程度に減衰する。しかし、放射能濃度が初期濃度の1/100万に減衰するの

に要する時間は、高レベル放射性廃棄物では1000万年程度、中深度処分対象の炉内構造物等の廃棄物においてもおおむね10万年程度を要する。したがって、中深度処分及び地層処分の規制基準においては、規制期間終了後も放射線障害(被ばく)が生じないことを保証するための規則が必要となる。それらの規則は、後述するような火山活動、断層活動等の影響による核種の漏洩を回避するための処分場の立地選定と、核種の閉じ込め機能と移行遅延機能を持つ処分容器や緩衝材等から構成される人工バリア、周辺岩盤に相当する天然バリアから構成される処分場の設計によって担保される必要がある。

原子力規制委員会・原子力規制庁は、中深度処分に関して、処分事業者が遵守しなければならない事項を項目ごとに示した許可基準規則、技術的要件を満足する内容の例を示す規則の解釈、審査官が事業者の調査・評価結果の妥当性を確認するために、技術的要件への適合性を確

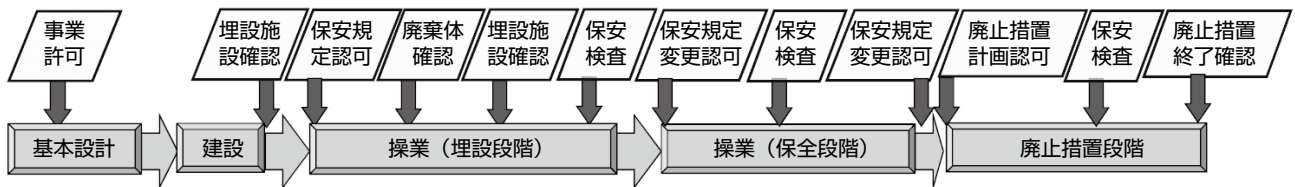


図2 放射性廃棄物処分事業における規制として講ずべき措置の例
廃止措置までの期間は300～400年程度を想定^[2]

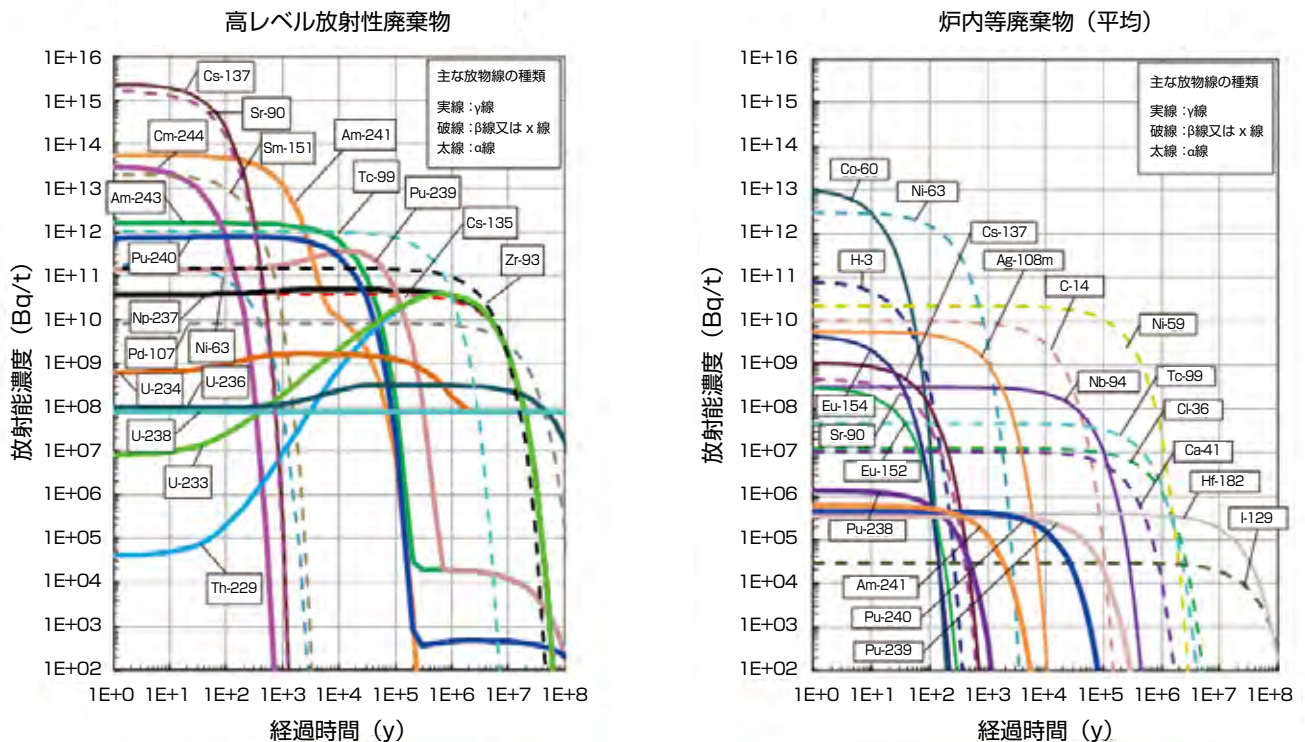


図3 原子力規制庁作成による放射性廃棄物の放射能濃度と時間の関係 ([1]より抜粋)

認するための具体的な調査・評価手法の例を示した審査ガイドの整備を行っている。例えば、許可基準規則骨子案では、処分場の立地に関しては、火山活動、断層活動、深度の確保、天然資源及びその他考慮すべき事象が規制の要求項目としてあげられ、一例として、火山活動に関しては「廃棄物埋設地は将来にわたって火山活動による地層の著しい変動が生ずるおそれのない区域に設置しなければならない」と規定されている。解釈では「将来」とは少なくとも10万年であること、「地層の著しい変動が生ずる恐れがない」とは、第四紀における活動履歴を評価することによって火道、岩脈等の記録が存在しないことが示されていることなどがある。今後少なくとも10万年間にわたって、火山活動が想定されないことを、事業者が証明すべきとされている^[3]。

また、審査ガイドにおいては、評価・調査の方法として、調査範囲として廃棄物埋設地及び施設から15 kmの範囲、調査方法としてデータベース等による文献調査、地形調査、地質調査を行うことに加え、将来にわたる火山活動の可能性が科学的根拠を持って否定できる例が示されている^[4]。

3 既往研究成果と中深度処分の安全規制

3.1 規制期間終了後に安全が確保されるべき期間の設定

前章に示したように、中深度処分によって埋設される廃棄物中の放射性物質の濃度は長期にわたり減衰しない一方、規制機関が定期的な評価等によって直接関与できる期間は、処分事業の廃止までの期間である300～400年程度である。また、日本においては、長期的には廃棄物は地下水に接触する可能性が高いため、溶出した核種は地下水流動によって長期間をかけ減衰しながら生物圏まで到達し、井戸の利用や農作物等さまざまな形で居住者が被ばくする。規制基準では、居住者の被ばく線量が長期にわたっても一定値以下となることが求められるが、その前提条件として、廃棄物埋設地への断層活動や火山活動の直撃による破壊、あるいは地盤の侵食による廃棄体の地表への急激な接近という地質事象が発生しない地域の選択が求められる。そのような地質事象が発生しないことを要求する期間として、許可基準規則骨子案では少なくとも10万年という期間を規定している。

この期間の設定に当たっては、埋設処分される廃棄物の放射能特性の変化と将来にわたる火山、断層活動の発生、あるいは隆起・侵食の傾向に関する予測可能性が担保される期間が重要となる。廃棄物の放射能特性は、図3に示したように約10万年で多くの核種が十分に減衰する。一方、地質事象の予測可能性としては、特に埋設深度の変

化に直接影響する侵食量の評価において、過去の海水準上昇時に百数十mという海面上昇が見られる場合、沿岸域では水平方向の側方侵食と堆積による地形変化が生じるため、次の海水準サイクルの海水準上昇時においてどのように侵食が広がるかを予測することは困難である^[5]が、海水準低下時の挙動は比較的予測可能であるため、想定される次の海水準上昇が開始するまでの時間である10万年という期間が設定された。

3.2 地質変動事象ごとの規制要求の概要

3.2.1 火山活動に関する規制要求

火山活動に関しては、今後10万年間におけるマグマの貫入、噴出による廃棄物埋設地の変形・破壊が生じないことを、埋設施設近傍約15 kmの範囲に第四紀（現在から約258万年前まで）に活動した火山が存在しないことを持つて確認することが要求されている^[3]。

産総研は、過去の火山活動の時空分布を分析することで、例えば東北日本における前弧域、背弧域の火山活動の特徴を示した^[5]。また、日本列島において、調査データと既往公表データをまとめた第四紀火山岩体及び貫入岩体のデータベース^[6]を公開した。中深度処分の審査ガイドにおいても、立地調査の文献調査段階において、これらの成果を活用した調査が行われていることを確認することが明記されている。

3.2.2 断層活動に関する規制要求

発電用原子炉の審査においては、将来活動する可能性のある断層の定義は、「後期更新世以降（約12～13万年前以降）の活動が否定できないものとする。」とされている^[7]。一方、中深度処分においては、3.1節で示したように、原則40年間の稼働期間が前提となる発電用原子炉と異なり、将来10万年間の安全を確保する必要がある。

過去の地震の例を見た場合、第四紀において明瞭な活動の記録が残されていない断層の活動によって生じた2003年宮城県北部地震のような例が存在し^[8]、最新の活動履歴のみから将来の活動可能性の評価を行うことは将来予測の点で不確実性が大きいと判断された。したがって、中深度処分の審査ガイドにおいては、発電用原子炉と異なり、文献調査あるいは現地調査において存在が確認された断層は、その活動履歴に関わらず将来活動する可能性があるものと考え、処分坑道の中で廃棄物を埋設する部分（廃棄物埋設地）を断層及び周辺の影響範囲の外に設置することを要求している。ただし、考慮すべき断層長さの下限として、1回の活動によるずれが生じた場合でも工学的対策で安全が確保できるという前提で、長さ5 km以上の断層を対象としている。

また、廃棄物埋設地が長さ5 km以上の断層の影響範

図に設置されていない場合、すなわち前段の基準に適合している場合においても、「廃棄物埋設地近傍に断層が存在する場合には、当該断層の形状、規模及び活動度を考慮し、廃棄物埋設地への影響を勘案した上で、当該断層の伸長の可能性を評価すること」とされているが、現状の審査ガイド骨子案においては具体的な評価方法が明示されていない。

産総研は、規制支援研究として主に低活動性断層の再活動可能性評価に関する研究として、花崗岩地域を対象とした断層ガウジ(断層粘土と破砕物からなる破砕帯)の鉱物・化学特性による評価^[9]、断層面の三次元的形状と断層面に作用する応力による力学的指標(Slip Tendency^{用語1})を用いて断層の動きやすさを評価する手法の開発^[10]を行ってきた。産総研は、この力学的指標を用いた評価手法を、東北、中部、近畿地方等の異なるテクトニックブロックに適用している^[11]。その結果、図4に例を示すように、東北地方においては第四紀における活動履歴が確認されている断層は、多くの場合 Slip Tendency によって有意に抽出することが可能であることが示された。しかし、中部日本や近畿地方においては、第四紀における活動履歴が認められ

ていない断層においても Slip Tendency が大小広く分布している結果となっている。その原因としては、断層の摩擦係数や断層面内の間隙水圧の影響、第四紀の活動履歴が存在するにも関わらず活動間隔が長いために、地形学・地質学的手法では正確に評価できていない可能性などが考えられるが、その上で、活動履歴が認められていない断層に関しても、現在の地殻応力状態によって将来活動する可能性があるものが存在すると結論づけられている。このような解析は、断層の三次元的形状等の調査結果に加え、微小地震等の観測結果によるその場に作用する地殻応力の解析結果があつて初めて可能なものであり、両者を備え、融合できる産総研地質調査総合センターの代表的な研究成果と言える。

しかし、審査ガイドにおいて、廃棄物埋設地の設置を避けるべき断層に関しては、前述したように断層の活動履歴ではなく長さを要件としたことによって、その要件に産総研の成果が直接反映されるまでは至らなかった。これには、前述したような断層活動に関する保守的な判断に加え、力学的指標による評価の適用例がまだ十分でないことや、境界条件となる応力場や入力パラメータ等の設定に関して不確実性が残存していることが影響していると考えられる。

3.2.3 隆起・侵食

中深度処分や地層処分のような地下への放射性廃棄物の処分において、埋設深度の減少は、廃棄体の地表への露出に至らないまでも、トンネル等の地下空間利用あるいは井戸等のボーリング掘削といういわゆる人間侵入による被ばくの原因となり得る。そのため、中深度処分の許可基準規則骨子案では、人間侵入の防止という観点から、廃棄物埋設地の位置に関する基準に、将来的な侵食量に関する要求が設定されている。

許可基準規則骨子案においては、深度に関する要求として、現在のトンネル等による地下利用の実績から、将来少なくとも10万年間にわたり、廃棄物埋設地の深度として、70メートルが確保されることを要求している。したがって、調査・評価手法としては、将来10万年間における侵食量あるいは侵食の要因となり得る隆起量に関して、過去の外挿という観点から過去数十万年間における侵食量あるいは隆起量の標準的な調査・評価手法を示す必要がある。審査ガイドでは、過去の侵食によって生じる指標地形面の形成年代の評価、あるいは必要に応じた地球化学的調査を行うことが調査・評価手法として示されている。

産総研においては、海岸段丘等の指標地形面の編年を行う際にも適用可能な年代測定手法として、カリ長石を用いた光ルミネッセンス法^[12]による浅海堆積物の堆積年代の測定と、詳細な堆積相解析による海面指標の認定^[5]に基

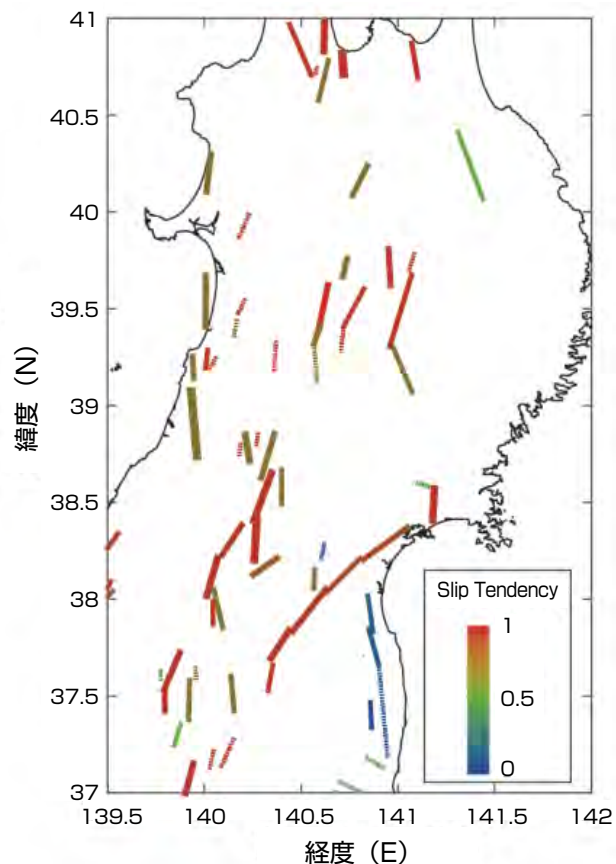


図4 東北地方の活断層に対する力学的指標による活動度評価結果、地域応力場は東北地方太平洋沖地震前の地震データから算出 ([10]を一部改変)

づく過去数十万年間の隆起速度評価の高精度化を進めている。一方、地域的な侵食速度を数十万年の時間スケールにおいて直接的に評価する手法として、地表近傍における岩石の宇宙線への暴露によって、岩石中に生成された核種の深度分布を用いて評価する手法の研究を行ってきた^[13]。

前者に関して、指標地形面の編年では、段丘構成物から年代が既知の広域テフラ^{用語2}を検出した上で、地形面が形成された海水準変動ステージを間接的に推定する方法が一般的であるが、複数回の海水準変動サイクルを経た古い地形面では、年代指標となるテフラが乏しい場合が多いという問題が存在した。産総研が進めている研究は、そのような地形面への適用においても、堆積物の堆積年代を直接評価することによって地形面の形成年代を評価する手法である。一般的な石英粒子を用いたルミネッセンス法は測定限界として約10万年前^[5]であり、将来少なくとも10万年以上の隆起・侵食の評価を行うためには十分な時間の評価が困難であった。一方、カリ長石粒子を用いたルミネッセンス法を適用することで、適用限界を数十万年前まで拡大することが可能となった。将来10万年の予測を過去の外挿から精度良く行うためには、少なくとも過去数十万年までの地形面の編年と隆起速度を高精度で評価することが必要であり、これによって、将来10万年の予測の確度が向上するため、特にテフラによる編年が困難な地域においても、実際の処分場立地選定における手法の適切性の判断の科学的根拠となり得る成果が得られている。

後者に関して宇宙線核種は、海水準変動とは独立した評価手法であり、侵食速度を直接評価できる手法であること、明瞭な指標地形面が認められない場合においても適用可能な手法として、審査ガイド骨子案において、事業者から提出される申請の妥当性を確認する上での適用されるべき調査・評価手法の例として示されている。ただし、放射性廃棄物処分への適用に当たっては、個々の侵食量評価手法が適用可能な空間スケールの検討等、今後解決すべき課題が多い。また、現状の侵食量評価手法では評価が困難な、海水準変動に伴う沿岸部の側方侵食や河川侵食による将来10万年間における水平方向の侵食量の予測手法に関する知見の蓄積が必要となる。

3.2.4 その他地質事象等

審査ガイド骨子案においては、以上の地質事象の他に、大規模マスマーブメント^{用語3}、泥火山^{用語4}等の事象が、立地の排除要件となり得る事象として示されている。また、排除要件として扱わないが、立地地点の状況を勘案して影響評価を行う事象として、熱水活動・深部流体、気候変動・海水準変動があげられ、それ以外に熱 (T)、水理 (H)、力学 (M)、地球化学 (C) のいわゆる THMC 特性が個別

評価の対象として示されている。

それらの個別要因に対して、産総研は例えば大規模マスマーブメントデータベース^[14]、泥火山データベース^[15]を公開し、審査において用いられる知見の整理を行っている。熱水活動・深部流体に関しては、日本列島におけるスラブ起源水上昇地域をデータベース化するとともに、日本列島における深部流体の起源及び化学的特性の分類を行っている^[16]。今後は、単に現状における深部流体上昇の有無のみではなく、将来的な深部流体上昇の可能性、その際の想定される化学特性等の評価を行うための手法開発が必要である。また、処分深度が比較的浅いため、周辺地下水が酸化的環境となり、核種の地下水への溶解の促進や、ベントナイト等の人工バリアの核種隔離性能あるいは遅延性能の低下を引き起こす可能性への配慮が必要となる。

一方、THMC 特性に関して処分場の地下施設建設による人為的擾乱が発生する前の、いわゆるベースライン調査における物理探査やボーリング調査を用いた手法開発と技術的取りまとめを実施しており^[5]、特に水理特性に関しては、異常間隙水圧と地下水流動、物質移行への影響の評価手法に関する詳細な検討を行っている^[17]。それらの地下環境のベースライン評価と長期変動予測の中で、安全評価上特に問題となり得る水理、地球化学特性とそれらの長期変動予測に関する評価手法に関する研究を進め、今後整備及び改訂が進められる調査、モニタリングに関する審査ガイドに反映されるよう、成果の取りまとめを行っていく必要がある。

4 地層処分の規制への成果の反映法

4.1 中深度処分安全規制との共通点と相違点

地層処分に係る規制の考え方は、高レベル放射性廃棄物に含まれる長半減期核種の濃度が中深度処分と比較して数桁高いという特徴を有する。地層処分における具体的な要求深度や評価期間については中深度処分と異なると考えられるため、さらなる技術的な検討が必要である。しかし、例えば長期間にわたって公衆と生活環境を防護するための根幹的な対策として、事業者に離隔と閉じ込めといった設計上の対策を要求する考え方などは中深度処分と共通するものと考えられている^[1]。ここでは、地層処分と中深度処分の具体的な技術的課題の相違点を明らかにすることで、地層処分の安全規制の技術的要件と、そこへ研究成果を反映させるための課題を分析する。

資源エネルギー庁が公開した「科学的特性マップ」^[18]は、地層処分を行う場所を選ぶ際にどのような科学的特性を考慮する必要はあるのか、それらは日本全国にどのように分布しているかということを大まかに俯瞰するためにマップの

表1 科学的特性マップと中深度処分規制基準における地質事象ごとの要件と基準の比較

| 前提条件及び評価項目 | 科学的特性マップにおける好ましくない範囲の要件 (地層処分の観点からの特性の分類) | 中深度処分の許可基準規則・審査ガイド (原子力規制委員会) |
|--------------|--|---|
| 目的及び利用する段階 | 事業者の公式な処分場立地の前段階において、国民理解を深めるための対話活動 | 事業者の事業許可申請に対する安全審査 |
| 基となるデータ | 以下の条件を満たす文献データ 1) 品質が確立され(信頼性の観点) 2) 全国規模で体系的に整備されるなどにより地域間のデータが客観的に比較可能とし(地域間の公平性確保の観点) 3) 現時点で一般的に入手可能である(透明性・検証可能性の観点) | 事業者が実際に立地調査を実施した後の調査データ及び文献データ |
| 対象とする時間スケール | 天然バリアの遅延特性が維持される期間として数万年以上、隆起・侵食では10万年 | 少なくとも10万年 |
| 火山・火成活動 | ・ 第四紀火山の中心から15 km ・ 第四紀の火山活動範囲が15 kmを超えるカルデラの範囲 | ・ 第四紀における火道、岩脈等の記録のある地域 ・ 第四紀火山活動の時空分布から、少なくとも今後10万年間にわたって火山活動が生じる可能性がある地域 |
| 断層活動 | ・ 活断層に、活動セグメント長あるいは起震断層長の1/100程度の幅を持たせた範囲 | ・ 地表面に投影した長さ5 kmの断層及び力学的影響が及ぶ範囲(当該断層からの距離が断層長さの最大1/100まで) |
| 隆起・侵食 | ・ 将来10万年間で隆起と海水準低下による侵食量が300 mを超える地域(処分場の地表への接近の観点から) | ・ 将来10万年間においても深度70 mを確保 ・ 海水準変動による側方侵食を考慮(トンネル等の地下利用深度の観点から) |
| 地熱活動 | ・ 処分深度において緩衝材温度が100℃未満を確保できない地温勾配 | ・ 発電エネルギー資源として利用可能な地熱資源の存在する地域 ・ 熱特性に関しては排除要件としないが、立地地点の状況を勘案して影響を評価 |
| 火山性熱水活動・深部流体 | ・ 地下水の特性としてpH4.8未満あるいは炭酸化学種濃度0.5 mol/L以上を示す範囲 | ・ 排除要件としないが、立地地点の状況を勘案して影響を評価 |
| 未固結堆積物 | ・ 深度300 m以深まで更新世中期以降の地層が分布する範囲 | ・ 排除要件としないが、立地地点の状況を勘案して影響を評価 |
| 火砕流等 | ・ 完新世の火砕流堆積物・火山岩・火山岩屑の分布範囲 | ・ 地表施設に関しては、完新世の火砕流堆積物等の分布範囲 ・ 排除しないまでも、実際の地質環境調査において、処分システムの性能を評価する上で重要となる事項 |
| 鉱物資源等 | ・ 鉱業法で定められる鉱物のうち、全国規模で整備された文献データにおいて、技術的に採掘が可能な鉱量の大きな鉱物資源の存在が示されている範囲 | ・ 天然資源が有意に存在することが確認されていない区域に設置 ・ 天然資源とは、現在、すでに社会的に利用されている資源又は将来的にその利用が有望視されている資源 |

形で示したものである。その中で、例えば火山・火成活動、断層活動等の各項目に対し、好ましくない範囲の要件、基準を提示している^[18]。科学的特性マップは、処分事業者の公式な立地選定に先立つ議論として、既存の全国スケールで得られるデータから地質学的特性分布を俯瞰的に示したものである。一方、規制における基準は、事業者が処分場の立地のための地質学的調査を行い、処分場の位置を決定した後の審査を行う上での基準であるため、両者の目的が大きく異なる。そのため、両者の基準を直接比較し、個別要件ごとの相違点を単純に議論することは意味を持たないが、地層処分を行う際に考慮すべき要件と、中深度処分の安全規制上の地質学的条件を比較することで、今後、地層処分における規制基準の検討に必要な技術的課題の抽出を行う際の参考としては利用可能であろう。

ここでは、科学的特性マップにおける要件・基準と中深度処分の規制基準を表1において比較することで、今後整

備されるべき地層処分の規制基準の設定において必要とされる研究課題に関する議論のベースとする。ただし、繰り返しとなるが、両者は対象廃棄物が異なると同時に、科学的特性マップは立地選定の立場で示されたものであり、現状において全国レベルで入手可能なデータから判断されているのに対し、規制基準は調査等が終了して選定された破棄物埋設地の立地の適否を判断するためのものであるということから、要件・基準を利用する段階と中心となる視点の相違に注意が必要である。

対象とする時間スケールに関しては、科学的特性マップ整備の議論を取りまとめた報告書^[19]において、「処分場スケールの地質環境は、人工バリアの機能が所定の期間維持されるのに適した設置環境としての特性を有すること、天然バリアが放射性物質の溶解、移行を抑制するのに適した特性を有すること、さらには、それらの特性が数万年以上の長期間の時間スケールにおいて変遷する中で許容で

きる変動範囲内にとどまることが求められる」と示されており、最低限数万年間以上は天然バリアとなる岩盤の遅延特性に大きな変動がないことがあげられている。科学的特性マップでは、考慮すべき科学的特性とその分布を俯瞰的に見るという目的から、時間スケールに関する明確な議論の結果は示されていないものの、隆起・侵食において10万年間の隆起量300 mが基準となっていることから、対象とする時間スケールとしては10万年が念頭にあるものと考えられる。一方、中深度処分においては、3.1節に示したように、主に侵食による深度減少の予測可能性と放射能濃度の減衰の観点から、10万年間を対象としている。地層処分と中深度処分の廃棄物の特徴を考慮すると、後述するように地層処分においても、少なくとも中深度と同等あるいはそれ以上の時間スケールを対象とすべきであろう。

表1中の個別自然事象に着目すると、火山・火成活動及び鉱物資源に関しては、両者ではほぼ共通する基準が設けられている。一方、断層活動は、科学的特性マップでは「今まで繰り返し活動し、将来も活動する可能性が高く、変位の規模が大きい断層は回避する必要がある^[18]」という前提の下で、活断層とその影響範囲として破碎帯幅（両側で長さの1/100）を好ましくない範囲としているのに対し、中深度処分では長さ5 km以上の断層と、現地調査で想定される力学的影響範囲（最大断層面からの片側の距離が長さの1/100）を回避する要件としている。対象とする断層に関する相違点は、科学的特性マップの基準は、現段階において全国スケールで得られる活断層のデータベースに基づくこと、一方中深度処分の基準は、実際に現地調査が実施され周辺地域までを含めた断層の三次元構造がある程度把握できた段階で、存在が確認された一定長さ以上の断層は、将来10万年間に活動する可能性があるという考え方に基づく。断層活動の影響範囲に関しては、科学的特性マップでは、地層処分の観点から好ましくない基準として、データベース上の断層長さから破碎帯の幅を想定しているのに対し、中深度処分では、破碎帯に加えて、周辺の損傷領域までを調査によって想定すること、その際に想定した最大幅として片側で断層長さの1/100とするという考え方をういたことで相違が生じている。

隆起・侵食に関しては、処分対象深度の相違によって基準となる侵食量の値が異なっている。科学的特性マップは、深度300 m以深に廃棄物を埋設する地層処分において、将来10万年間に隆起と海水準低下による侵食量が300 mを超える可能性が高い地域を、好ましくない範囲の基準としているのに対し、中深度では、3.2.3に示したように将来10万年間において一般的な地下利用の深度以上の深度を確保することを要求したものであり、基本的には

将来において処分場、廃棄物が地表へ接近しないことを要件としている点では共通である。

その他の項目として、地熱活動、熱水活動・深部流体、未固結堆積物及び火砕流等に関しては、科学的特性マップでは具体的な基準が提示されているが、中深度処分においては排除要件とせず、個別の地点の特性として影響評価を行う項目とされている。ただし、特に熱水活動・深部流体に関しては、処分深度における現状の水質や将来的な活動の評価手法や、安全評価を行う際の地球化学特性の設定方法という問題が残されている。

4.2 地層処分の安全規制において考慮すべき要件

規制機関において中深度処分の規制基準及びガイドが整備された後は、1章で示した事業の動向や社会的要請から、地層処分における規制基準等の整備が行われる可能性が高い。中深度処分と地層処分において考慮すべき地質事象は類似しているため、地層処分の規制基準が、中深度処分の基準を参考にして整備される場合においても、以下の項目に留意する必要があると考えられる。

4.2.1 対象とする時間スケール

高レベル放射性廃棄物は、中深度処分対象廃棄物と比較して放射能濃度の減衰には長期間を要するため、規制基準において対象とする時間スケールは少なくとも中深度処分と同等、あるいはより長期間に設定する必要があると思われる。一例として、スイスの規制機関である連邦原子力安全検査局(ENSI)は、「地層処分場の設計原則とセーフティケースに関する要件(ENSI-G03)」において、少なくとも100万年までの間は防護基準が遵守されることの立証を求めている。日本列島においては、立地基準に関連する地球科学的事象の予測可能性についても地域的特性が存在するため、地域、事象ごとに一定の確度で予測可能な期間を明示するとともに、不確実性が増大する将来においても安全を評価するための方法論を提示する必要がある。100万年スケールの地質変動事象を検討する場合は、日本列島スケールの地質現象の根本的な駆動力であるプレート運動の継続性と将来変遷にまで検討範囲を広げる必要が生じる。この課題に対する産総研の既往の研究成果の例としては、日本列島周辺のプレート運動と地殻変動の変遷と将来予測に関する成果があげられる^[20]。ここでは、過去2,500万年のプレート運動と地殻変動の再現を行うことで、将来のプレート運動の予測可能性の評価を行い、プレート運動による地殻変動が今後数十年程度で転換する可能性を示す積極的証拠はなく、少なくとも今後10万年程度は現在の枠組みが継続するということが示されている。プレート運動とそれに伴う地殻変動は、規制基準においても考慮すべき自然事象の根本的な要因となるものであるた

め、今後は、そのような将来予測の前提条件下で、処分場に影響を及ぼす自然事象に関する予測可能期間や長期にわたる不確実性の幅を示すことが必要となる。

4.2.2 埋設深度の影響

中深度処分の想定処分深度が約 100 m であるのに対し、地層処分では、最終処分法において、「地下三百メートル以上の政令で定める深さの地層」に処分するものと規定されている。深度 100 m 程度における地下水流動は、多くの場合天水を起源とした水の循環であるのに対し、深度が増加した場合、堆積岩地域においては 3.2.4 項で述べたような異常間隙水圧が発生し、単純な天水の循環が及んでいない場合が多い。異常間隙水圧の成因によっては、地下水流動や核種の移行において従来の数値解析モデルが単純には適用できない場合が存在する。異常間隙水圧が観測された際のその成因の評価、その場合の地下水流動及び物質移行への影響に関しては、今後も知見の整備を進め、審査ガイド等に反映させる必要がある。

また、深度が増加することによって、熱や化学場が地下水流に与える影響が顕著に出ない場合であれば、地表と比較すると動水勾配が比較的小さく、透水係数も小さい傾向があるため、地下水の流速は遅くなる傾向にある^[19]。中深度処分においても、審査ガイドで地下水流動解析結果の検証と核種移行経路の設定において、水頭、水質、地下水年代等の情報及び解析的な検討を用いて説明することを要求している。地表から涵養された地下水が地層処分の対象深度に到達するには、中深度処分と比較して長時間を要することに加え、処分深度の地下水は、天水に加え海水や深部流体等の複数の起源を持つ水が混合している可能性があることから、複数の同位体を用いた地下水年代評価や、隆起・侵食や海水準変化による地下環境の変化の結果としての地下水年代と数値解析の結果を有機的に結合させる手法の構築が急務と言える。

5 安全規制機関への橋渡しに向けて

研究機関の研究成果を規制の許可基準規則やガイド等へ反映させることは、一義的には規制機関側の役割であろう。一方、処分場の立地に関する許可基準規則及び審査ガイドの整備を行うためには、地質学、地形学、地震学、火山学、第四紀学、水文学、地球化学等の幅広い分野の知見が必要となる。規制機関はそれらの分野の最新の研究成果を収集、整理した上で、許可基準規則や審査ガイドを策定しなければならない。そのために、日本における地球科学の主導的な研究機関である産総研地質調査総合センターは、規制機関のニーズを反映した形での成果の橋渡しによる科学的な面での支援を行う必要があり、それは

規制機関の将来的な専門性の向上にも有効である。ここでは、今後整備されるべき地層処分の規制に対して、研究機関として行うべき課題と、橋渡しの方法に関して考察してまとめとする。

規制における許可基準規則及び審査ガイドは、中深度処分を例とすると、審査・評価項目（審査及び安全評価の対象とする地質事象や地質環境）、審査基準（事象ごとに評価の対象とする期間、排除の基準）及び適合性を実証するために実施すべき調査・評価手法の例から構成される。ここでは中深度処分の許可基準規則、審査ガイドに追加すべき検討項目を抽出する。

審査・評価項目に関しては、4章で述べたように、地層処分と中深度処分との相違点から、地層処分特有の課題をより詳細に抽出し、中深度処分の規制基準において考慮すべき地質事象に関して、その評価手法を提示する必要がある。一例としては、科学的特性マップに示されている熱水活動・深部流体が該当する。立地における排除要件とするか否かの最終的な判断は規制機関が行うとしても、産総研は、将来 10 万年を超える長期間を対象とした具体的な基準が設定可能であるか、あるいは立地調査段階で具体的な調査・評価が可能であるかという課題に対して検討を進める必要がある。

審査基準に関しては、規制機関が評価期間の設定を行う上で、第一には 4.2.1 項に示したように地質事象の発生に対して評価可能な期間の理解が重要である。次に、それぞれの事象に関する評価可能期間における発生可能性の議論として、過去の活動の時空分布の評価によって、将来における事象を評価することとなる。産総研の研究成果の中で、例えば 3.2.1 項に示した火山活動に関するデータベース等、過去に発生した事象の時空分布を評価可能な例も存在する。しかし、長期予測を行う上では過去に発生した事象の単なる将来への外挿のみではなく、対象地域の構造発達史や事象の発生メカニズムを理解した評価を行う必要がある^[21]。そのために、産総研としては、4.2.1 項で示した日本列島スケールの地殻変動の将来予測を基とした上で、それぞれの自然事象を対象とした長期予測手法を提示する必要がある。その上で、規制機関は、評価すべき期間と最低限排除すべき基準（例えば、侵食の影響を考慮しても評価期間内に確保すべき深度等）、不確実性が增大する長期間における判断指標等を提示することとなる。

例えば、地層処分における断層活動の基準は、過去の履歴から将来 10 万年間の評価が可能な地域があると考えられている火山活動^[6]等と異なり、活動履歴や活動可能性評価ではなく中深度処分と同様に断層の長さのみを対象としたものになる可能性が高い。その際に、産総研が進め

ている力学的指標による断層活動性評価手法は、基準策定には直接活用することは困難となる。しかし、中深度処分の審査ガイドと同様に、廃棄物埋設地周辺の断層の活動による影響を評価するという基準を設ける場合には、周辺断層の活動性や伸長、複数の断層の連結の可能性の評価を行う必要がある。現状、産総研のみならず世界的に見てもそのような研究が行われた事例は少なく、今後、規制機関の支援を行う上で重要な課題となる。したがって、現状までの力学的手法による活動性評価を発展させ、断層活動性と断層の伸長の関連性の評価や、断層活動をもたらす応力場の変動に関する検討を行い、周辺断層の影響に関する基準や評価の方法論を審査ガイド等へ反映させるための成果を発信すべきである。

調査・評価手法に関しては、3章に例を示したように、現状の中深度処分でも産総研のいくつかの成果は審査ガイドに活用されている。中深度処分と比較して地層処分において特に重要となる課題は、より深部の流速が小さな場における地下水流動の評価である。特に、隆起・侵食、海水準変動、断層活動等の要因が、地下深部の水頭、水質や地下水年代の調査結果に与える影響を、今まで産総研で実施してきた水文学的調査研究結果から抽出・整理し、それぞれの水理地質構造に応じた調査、評価上の留意点を示すことで、立地調査や将来的な地下水モニタリング等の審査ガイドに反映させていく必要がある。

中深度処分が対象ではあるが、具体的な規制基準の検討が開始された以降、断層活動に関して提示された規制基準と産総研の研究課題設定の相違点を例としても、産総研の研究成果の規制機関への橋渡しは十分とは言えない。これは、規制機関の体制の変化によって、一時的に放射性廃棄物処分の規制上の優先度が不明確となったこと、そのために規制機関と産総研の間での情報交換が不十分となり、迅速な規制基準の整備への対応が困難となったことが主な原因であろう。例えば、中深度処分の位置の基準に関しては、規制機関における外部専門家との本格的な議論の開始から許可基準規則骨子案の公表までの期間はほぼ3か月程度と、比較的短期間で方向性が決まっているため、年度単位の研究プロジェクトの中では対応が困難である。産総研の研究成果の橋渡しのためには、研究成果を利用する規制機関との定期的なコミュニケーションによって、基準やガイドの整備のニーズに合致した科学的知見の受け渡しや新たな研究課題の提案という段階を踏む必要性を痛感している。また、そのような情報交換によって、規制機関に所属する地質学を専門としない技術者の人材育成にも寄与できるものと考えられる。

今後、規制機関との議論の土台として、産総研研究成果

も含めた現状の最新科学技術をまとめた技術資料の定期的発信や、調査データを可視化したデータベースの継続的整備のように、規制機関が利用しやすい形での発信を行っていききたい。また、個人的には、産総研の科学的研究成果を、規制基準等の整備や審査の判断に活用するための知見へと再構築する役割を果たし、規制機関の方針の転換に柔軟に対処した課題設定や提案を行うために尽力したいと考えている。

用語の説明

用語1: Slip Tendency: 断層周辺の応力状態と断層の走向・傾斜、間隙水圧から計算される断層面上の作用するせん断応力と法線応力の比で計算される指標^[22]。一般的に摩擦係数で規格化され、0~1の値で示される。Slip Tendencyの値が大きい程、現在の応力状態で活動しやすい断層という評価となる。

用語2: テフラ: 火山噴火の際に火口から放出され、空中を飛行して地表に堆積した火山砕屑物の総称。巨大噴火の際のテフラは供給源から数百~数千km以上隔たった地域においても独立した地層として認められるため、地形面の対比や編年に利用される^[23]。

用語3: マスムーブメント: 地すべりや山体崩壊等、斜面を構成する岩体が重力によって下方へ移動する現象で、斜面上での岩体に対するせん断力がせん断抵抗力を上回ったときに発生する。大規模なものは、移動土塊の体積数10 km³、移動距離数10 km、すべり面の深度数100 m に達することが知られている^[5]。

用語4: 泥火山: 泥火山は、異常に高い間隙水圧を持つ地下の泥が上位の地層を押し上げてドーム状に上昇し、地下水（温泉水）、（可燃性）ガス、時には石油とともに地表に噴出して、火山に類似した地形を生じたものである。泥火山による堆積（凸型）地形や陥没（凹型）地形は、最大で高さ数百m、直径数km に及ぶこともある^[5]。

参考文献

- [1] 原子力規制委員会: 第27回廃炉等に伴う放射性廃棄物の規制に関する検討チーム会合参考資料27-2-2炉内等廃棄物の埋設に係る規制の考え方について(改訂案) (2017), http://www.nsr.go.jp/disclosure/committee/yuushikisya/hairo_kisei/00000028.html, 閲覧日2007-11-06.
- [2] 原子力規制委員会: 第1回廃炉等に伴う放射性廃棄物の規制に関する検討チーム会合資料1-1第二種廃棄物埋設に係る規制制度の概要 (2015), http://www.nsr.go.jp/disclosure/committee/yuushikisya/hairo_kisei/20150126.html, 閲覧日2017-08-16.
- [3] 原子力規制委員会: 第27回原子力規制委員会臨時会議 資料3 第二種廃棄物埋設に係る規制基準等の骨子案 (2017), <http://www.nsr.go.jp/disclosure/committee/kisei/00000258.html>, 閲覧日2017-09-22.
- [4] 原子力規制委員会: 第27回原子力規制委員会臨時会議 資

- 料4 中深度処分における廃棄物埋設地の位置に係る審査ガイドの骨子案 (2017), <http://www.nsr.go.jp/disclosure/committee/kisei/00000258.html>, 閲覧日2017-09-22.
- [5] 深部地質環境研究コア編: 概要調査の調査・評価項目に関する技術資料—立地要件への適合性とその根拠となる調査結果の妥当性, *地質調査総合センター研究資料集*, 560, (2011).
- [6] 西来邦章, 伊藤順一, 上野龍之(編): 第四紀火山岩体・貫入岩体データベース, *地質調査総合センター速報*, 60, 地質調査総合センター (2012).
- [7] 原子力規制委員会: 敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド (2013), https://www.nsr.go.jp/disclosure/committee/kettei/02/kisei_naiki.html, 閲覧日2017-08-16.
- [8] N. Kato, H. Sato, T. Imaizumi, Y. Ikeda, S. Okada, K. Kagohara, K. Kawanaka and K. Kasahara: Seismic reflection profiling across the source fault of the 2003 Northern Miyagi earthquake (Mj 6.4), NE Japan: basin inversion of Miocene back-arc rift, *Earth Planets Space*, 56, 1369–1374 (2004).
- [9] 間中光雄, 福土圭介, 宮下由香里, 伊藤順一, 渡部芳夫, 小林健太, 亀井淳志: 2000年鳥取県西部地震の余震域と非余震域に分布する断層ガウジの比較, *地質学雑誌*, 118 (8), 459–475 (2012).
- [10] A. Miyakawa and M. Otsubo: Applicability of slip tendency for understanding long-term fault activity: A case study of active faults in northeastern Japan, *Journal of JSCE*, 3, 105–114 (2015).
- [11] A. Miyakawa and M. Otsubo: Evolution of crustal deformation in the northeast-central Japanese island arc: Insights from fault activity, *Island Arc*, 26 (2), e12179 (2017).
- [12] K. Ito, T. Tamura, T. Kudo and S. Tsukamoto: Optically stimulated luminescence dating of Late Pleistocene tephric loess intercalated with Towada tephra layers in northeastern Japan, *Quaternary International*, 456, 154–162 (2017).
- [13] 城谷和代: 地質環境の長期安定性評価手法開発にむけた宇宙線生成核種の利用, *地形*, 35 (2), 187–197 (2014).
- [14] 塚本齊: 日本の大規模マスマーブメントデータベース, *地質調査総合センター研究資料集*, 543, 地質調査総合センター (2011).
- [15] 高橋正明, 切田司, 大丸純, 風早康平: 日本及び周辺地域の泥火山データベース, *地質調査総合センター研究資料集*, 540, CD-ROM1枚, 地質調査総合センター (2011).
- [16] 風早康平, 高橋正明, 切田司, 内藤一樹, 渡部芳夫: 日本列島におけるスラブ起源水の上昇地域の分布図, *地質調査総合センター研究資料集*, 616, 地質調査総合センター (2015).
- [17] 竹田幹郎, 間中光雄, 平塚剛, 三好悟, 徳永朋祥, 伊藤一誠: 堆積岩地域における化学的浸透現象の地下水流動への影響, *地学雑誌*, 122 (1), 192–213 (2013).
- [18] 経済産業省資源エネルギー庁: 「科学的特性マップ」公表用サイト (2017), http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/rw/kagakutekitokuseimap/, 閲覧日2017-08-16.
- [19] 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会 地層処分技術WG: 地層処分に関する地域の科学的な特性の提示に係る要件・基準の検討結果(地層処分技術WGとりまとめ) (2017), <http://www.meti.go.jp/report/whitepaper/data/20170417001.html>, 閲覧日2017-09-22.
- [20] 高橋雅紀: プレート運動からみた日本列島の地殻変動, 第23回地質調査総合センターシンポジウム「日本列島の長期的地質変動の予測に向けた取り組みと今後の課題-数十万年の過去を解明し, 将来を予測する技術・知見・モデル-」, *地質調査総合センター研究資料集*, 610, 14–15, 地質調査総合センター (2015).
- [21] 山元孝広: 地質学から見た高レベル放射性廃棄物処分の

安全性評価—事象のシナリオに基づく長期予測の方法論—, *Synthesiology*, 4 (4), 200–208 (2011).

- [22] A. Morris, D.A. Ferrill and D.B. Henderson: Slip-tendency analysis and fault reactivation, *Geology*, 24 (3), 275–278 (1996).
- [23] 地学団体研究会編: 新版地学事典, 平凡社 (1996).

執筆者略歴

伊藤 一誠 (いとう かずまさ)

1988年3月東京大学大学院工学系研究科資源開発工学専攻修士課程修了。応用地質株式会社入社。2001年博士(工学)取得。同年米国ローレンス・バークレー国立研究所を経て2005年10月産総研深部地質環境研究センター入所。現在、活断層・火山研究部門水文地質環境研究グループ長。2011年原子力安全基盤機構、2015-2017年原子力規制庁技術基盤グループ主任技術研究調査官。水理地質学が専門。放射性廃棄物処分の規制支援として、地下の水理環境の調査、評価に関する研究を担当している。



査読者との議論

議論1 全体について

コメント (栗本 史雄: 産業技術総合研究所, 渡部 芳夫: 産業技術総合研究所)

この論文は、中深度処分の規制に関する産総研の研究成果の活用事例を述べ、今後の高レベル放射性廃棄物処分への利用を見据えた課題をまとめています。その内容は、研究開発の成果を社会に生かすための動向・分析を目標とする「論説」に適合しており、シンセシオロジーにふさわしいと判断します。また、2017年7月に公開された資源エネルギー庁「科学的特性マップ」との比較も行われており、意義があると考えます。

議論2 規制基準の扱いについて

コメント (渡部 芳夫)

国の安全規制で先行して整備が進んでいる「中深度処分」規制を概説し、「地層処分」についてこれと比較する際に、資源エネルギー庁が公表した「科学的特性マップ」での要件・基準は、規制そのものの議論においては「地層処分」で同一に扱う事ができない事を十分に読者に伝える事が肝要です。原子力の安全研究を行っている産総研としては、正確で丁寧な記述に努めて下さい。この論説のオリジナルな成果が読者にスムーズに誤解なく理解されるよう、記述の構造や語句・概念等の平易さに努めるなどの配慮が肝要です。

回答 (伊藤 一誠)

ここで比較している両者は、利用される目的や段階、考慮の基となるデータの量や質も大きく異なるものであり、単純には比較できないものであることを明確にするため、両者の目的と利用段階、基となるデータ比較に関する記載を追加するとともに、両者が単純には比較できないものであるが、課題抽出のためにあえて比較するという説明を追加しました。

議論3 産総研の研究成果

コメント (栗本 史雄)

中深度処分の規制に関する産総研の研究成果の活用事例を述べ、今後の高レベル放射性廃棄物処分への利用を見据えた課題を簡潔にまとめています。[3.2.2 活断層に関する規制要求]は産総研成果の活用に至らなかった事例を示しており、今後の研究にとって重要であり、この論文のポイントになると思います。力学的指標に

よる活動可能性評価等の適用事例の拡充、パラメータの合理的設定法の確立が必要と記述されていますが、これに関する具体的な研究の進捗、産総研としての貢献や立ち位置（強味）を強調していただきたいと思います。「3.2.3 隆起・浸食」についても同様です。

回答（伊藤 一誠）

断層活動に関しては、産総研で実施されている断層再活動性評価に関する最新の論文の引用を追加した上で、力学的指標としてのSlip Tendencyが廃棄物埋設地周辺に存在する断層の活動性評価における第一段階の評価手法として有効であることを追記しました。また、今後、具体的な調査・評価手法として認知されるために進めるべき研究課題を具体的に追記しました。隆起・侵食に関しても、産総研における研究の進捗に関しての追記を行うとともに、現在の許可基準規則や審査ガイドにおいて要求されているが、具体的な評価手法に関して十分に検討が行われてない水平方向の侵食に関する課題を追記しました。

議論4 研究の橋渡し

コメント（栗本 史雄）

「3.2.2 活断層に関する規制要求」および「3.2.3 隆起・浸食」に関する既存の研究成果の具体的な説明や産総研成果の学術レベル等への言及に基づいて、産総研の優位性や立場を強調し、その上で国の基準として審査ガイドへの提案に向けた方策・計画や今後の研究方針を述べていただきたいと思います。

回答（伊藤 一誠）

3章で産総研が現在進めている研究について、放射性廃棄物処分の観点からの優位性を追加しました。その上で、5章において、特に断層活動に関して、地層処分の基準にも引き継がれると思われる中深度処分の基準適合性の審査ガイドへの橋渡しに向けた研究方針に関する記述を追加しました。