

## 高レベル放射性廃棄物の深層隔離に関する地質学的研究 —経緯と概要—

小出 仁\* 松久幸敬\*\* 坂巻幸雄\*\*\*

KOIDE, Hitoshi, MATSUHISA, Yukihiro and SAKAMAKI, Yukio (1991) Geologic disposal of high-level radioactive waste —studies in the Geological Survey of Japan during 1985-1989—. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 42 (5), p. 233-234.

高レベル放射性廃棄物は、少量かつ長寿命であることが特徴である。将来の原子力発電の発展によって、その量が相対的に増加しても、絶対量としてはなお少量にとどまる。しかし、少量とはいえ、長寿命の潜在的有害性を持つ廃棄物が既に存在していれば、将来の発生量に関わりなく、それにたいして何らかの対策が必要である。高レベル放射性廃棄物対策は、既に原子力発電論争を超越した課題になっている。

高レベル放射性廃棄物は数千年-10万年以上にわたる超長期間、人間環境から隔離しなければならない。このため、地下深部に処分する方法が考えられている。高レベル放射性廃棄物の地層処分は、天然バリアすなわち地殻を構成する岩石の長期的隔離効果を利用するため、地球科学の広い分野にまたがる総合的研究を必要とする。

原子力委員会放射性廃棄物対策専門部会の中間報告(昭和59年8月)により示された、高レベル放射性廃棄物処理処分に係る国の研究開発計画の中で、地質調査所の課題とされた「核種移行に関する研究」と「岩体強度と割れ目透水性に関する研究」の両課題に対応すべく、昭和60年度より5年計画で「高レベル放射性廃棄物の深層隔離に関する地質学的研究」が地質調査所で開始された。研究は当初、室内実験を中心としての2サブグループでスタートした。さらに、昭和60年8月に、原子力委員会放射性廃棄物安全規制専門部会が決定した高レベル放射性廃棄物等安全研究年次計画(昭和61年度-昭和65年度)においては、地質調査所に新たに「地層処分に係る水-岩石相互作用に関する研究」と「天然バリア中のウランの挙動研究」の両課題が課せられた。これに対応するため、昭和61年度から新たにフィールド研究主体の1サブグループを立て、ナチュラル・アナログ研究を強化した。

地下深部の岩石中には、量の違いはあるが、ほとんど常に多少の水が存在する。このため、廃棄物中の放射性核種が浸出して、地下水によって人間環境に長期間運び

出されなことを確かめることが最重要課題になる。地下水環境下の核種の移行の速さは、廃棄物固化体からの放射性核種浸出、岩盤中の地下水の流動速度、地下水中の放射性核種の岩石への吸着による遅延効果によって決まる。地下の岩石と水と廃棄物の相互作用を解明するため、第1サブグループは主に室内熱水反応実験によって化学的水-岩石相互作用を研究し、第2サブグループではナチュラル・アナログを念頭に置きつつ天然の岩石における水・岩石相互作用を研究した。第3サブグループは、力学的な水-岩石相互作用を三軸岩石変形実験によって研究した。地質調査所月報の月号及び次号は、以上のように進められた研究による成果をおさめるものである。

高レベル放射性廃棄物中の長寿命放射性核種(特に超ウラン元素とテクネチウム)の溶存形態や溶解度は、水溶液のpHとEhに大きく依存する。従って、水-岩石反応が地下水のpH、Ehをどのようにコントロールするかを知ることが、核種移行速度の見積りに際して基本的に重要である。空気で飽和した天水が地表から地下深部に浸透していく過程で、pHは珪酸塩鉱物(例えば長石類)の加水分解により、Ehは二価の鉄を含む造岩鉱物(例えば黒雲母、緑泥石、輝石、磁鉄鉱)や硫化鉱物の酸化作用によって主としてコントロールされ、中性から弱アルカリ性のpHと、磁鉄鉱-赤鉄鉱平衡境界付近のEhへと向かう。このようなpH-Eh環境では、多くの長寿命放射性核種の溶解度はミニマムとなり、核種移行速度が遅くなる。上記の鉱物を多量に含み、新鮮でしかも透水性の高い岩体ほど、pH・Ehのコントロール効果が大きくなるはずである。しかし現実には、常温から高くとも40-50°C程度の温度条件下では一般に酸化還元反応速度が遅いので、反応速度と水の平均滞在時間の動的なバランスによってEhは大きくばらつく結果となる。こうした結果が現実にとどの程度pH・Ehをコントロールするかを見

\*環境地質部  
\*\*鉱物資源部  
\*\*\*地質標本館

Keywords: geologic disposal, high-level radioactive waste, review, water rock interaction, natural analogue, hydrogeology, geochemistry

積するためには、水/岩石比・岩石の有効表面積・反応時間・水質を変数として、系統的な反応実験を実施することが必要であり、実用的な判断基準を得るためきわめて有効な手段であると考えられる。低い温度条件と有限の実験時間という制約の故に、厳密には平衡論的でも速度論的でもないアプローチをとらざるをえないが、実用的には十分な意味を持つ。実験の結果にもとづいて、個々の岩種・岩体のpH・Eh緩衝能力が評価され、天然バリアとしての性能が総合的に検討されたうえで、サイトが選定され、その岩体中に設営される工学バリアの詳細設計が行われることが必要である。我々は、放射性廃棄物地層処分問題への水-岩石反応実験によるアプローチの一つの意義をこのように認識して、実験方法の開発を進めてきた。

高レベル放射性廃棄物の地層処分を想定するに当たって、地質学的・地球化学的観点から最重要課題の一つと目されているのは、放射性核種の岩体内・地層内における挙動特性を明らかにすることである。この場合、放射性核種を直接自然環境下に放出するような実験は通常許されないし、かりにそれが可能であったとしても、地質学的なタイムスケールで考慮すべき核種の挙動を、相対的には瞬時と言ってもよい数年間の実験で近似することは、本質的には困難である。このため、天然に産する核種について、野外におけるその地球化学的挙動を地層処分を念頭において直接把握・解析することが、実験的研究手法の開発と併せて重要な目標となる。

以上の目的に関して利用可能な天然核種(ナチュラル・アナログ)としては、当面、ウラン(酸化環境下で岩石中から水系への移行速度大、水系に乗っての運搬速度・運搬距離大)、トリウム(上記の逆)、希土類元素(超ウラン元素を含むアクチノイドの相似核種、一般に移動性には乏しい)を選定した。これらの元素は、天然では鉱床に濃集すると共に、通常の岩石にも微量元素として含まれてくる。したがってこれら核種の、野外条件下での水文地質学的・地球化学的特性ならびに挙動を観察・解析することを通して、地層処分における核種移行の地質学的問題の解決に資することができると考えられる。モデルフィールドとしては、岐阜県東濃地域の、花崗岩を基盤とする中新統堆積岩中のウラン濃集帯を中心に、その周辺地帯や対比地域を含めてデータの収集と解析を継続し、水系モデルの精密化を図った。

特に、基盤花崗岩の風化に伴う微量成分の挙動を追跡する目的で、同一露頭から採集した、新鮮な基盤花崗岩から砂質風化殻に至る一連の試料について、室内実験を

継続実施した。さらに、鉱床が一旦形成された後のウランの移動によって、鉱床が変形・破壊されていく過程を具体的に明らかにするため、主鉱床周辺に分布するスポット状のウラン濃集帯露頭部の試料について鉱物の粒度分析と組成解析を行い、対比として選んだ新潟県東部・中東地区のウラン濃集帯の既収集試料と併せて解析した。

併せて、ウランに関しては不毛であるが、標準的な産炭地の堆積層の一つで性状がよく分かっている、北海道石狩層群の砂岩-泥岩の微細構造を観察し、物質溶脱の際の地下水の通路となる微細な空隙の配列形態と、水-岩石相互作用による変質鉱物の生成との関連を確かめ、考察を行った。

力学的水・岩石相互作用については、花崗岩を主な対象岩石として、難透水性岩石の透水性に及ぼす種々の応力の影響を検討し、また、強度が小さくしかも透水性の大きい砂岩を対象として実験的研究を実施した。三軸圧縮試験とトランジェント・パルス法を組み合わせた方法により、所定の大きさの封圧、間隙水圧、軸圧の下で透水係数の測定を行い、静水圧下における変形・透水特性を調べた。なお、透水性に及ぼす破壊の影響を明らかにする一助として、供試体を試験途中で破壊させることも試みた。

移動性が大きい核種が地下水で飽和された透水層中にあるという、最もクリティカルな状況でも、ウランの場合、還元環境下にあっては移動がほぼ完全に抑制されていることから明らかなように、適切な地質環境が必要にして十分な期間、安定的に維持される限り、放射性廃棄物の地層処分が技術として成り立ち得る可能性があることを、研究結果は強く示唆している。ただし、本研究の規模はあくまでも第一近似を与える程度に過ぎず、引き続き野外での観察および室内実験の精度を向上させ、将来想定される各種の工学的試験へ向けての安全性を、さらに多角的に検証する必要がある。

グループ員の研究成果については、本号及び次号に報告する他、地質ニュースにも関連特集を掲載するので、興味のある方は御一読いただきたい。なお、地質ニュースおよび地質調査所月報の今回の特集に掲載した報告は、著者あるいは著者達の現研究段階における研究者個々の成果を記述したものである。また、研究はまだ初期段階であることに御留意いただきたい。

(受付：1991年3月6日；受理：1991年3月14日)