

深部地質環境研究センターの地層処分研究 -背景と第1期中期計画-

笹田 政 克¹⁾

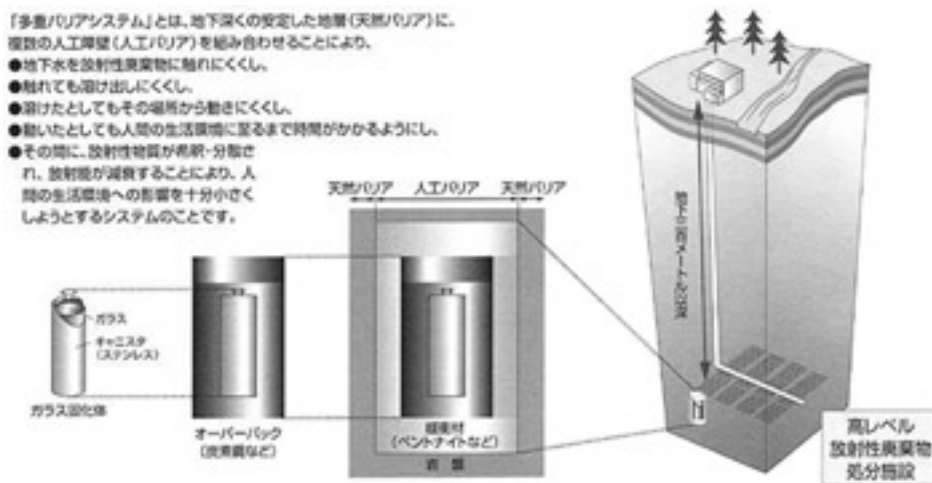
1. はじめに

わが国では電力の約3割が原子力発電により賄われており, その結果生じる使用済み核燃料は, 有用資源であるウラン, プルトニウムを分離回収した後に, 廃液を高レベル放射性廃棄物ガラス固化体(特定放射性廃棄物)として, 地層処分することを基本方針にしている. ガラス固化体とされた高レベル放射性廃棄物は, 金属製の容器(オーバーパック)に密封され, 地下300m以深の地層中に埋設される. 容器から放射性核種が漏出して周囲に拡散しにくいように, 容器と地層との間には粘土を主成分とする緩衝剤が充填される. このような人工的に放射性核種の動きを抑制するシステムを人工バリアと呼び, それを取り囲み放射性核種を生物圏から隔離する機能をもつ安定した地層を天然バリアと呼んでいる. 地層処分システムはこの人工バ

リア及び天然バリアからなる多重バリアにより, 長期間にわたり安全が確保できるように設計される(第1図).

1976年に原子力委員会において, 高レベル放射性廃棄物に関しては地層処分に重点をおくとする基本方針が出されて以来, 長年にわたり行われてきた地層処分研究の成果と技術的到達点は, 2000年レポートと呼ばれる「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」(核燃料サイクル開発機構, 1999)にまとめられている.

翌2000年には特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律が制定され, 地層処分の実施機関である原子力発電環境整備機構(NUMO)が設立された. 高レベル放射性廃棄物の地層処分は, いよいよ事業としての実施段階に入ったといえる. そして, この地層処分事業にかかる安全規制は, 2001年に設立された原子力安全・保安院が規制



第1図 地層処分の概念(資源エネルギー庁2003年発行のパンフレット「高レベル放射性廃棄物の処分について」).

1) 産総研 深部地質環境研究センター

キーワード: 高レベル放射性廃棄物, 地層処分, データベース, 地震, 火山, 熱水, 天然バリア

当局として、内閣府にある原子力安全委員会とともに行うことになっている。

さて、高レベル放射性廃棄物には長寿命の核種が含まれているため、地層処分においては十分に長い期間安定な地層に廃棄物を埋設する必要がある。通常の原子力施設では、実験による検証という経験的な手法により安全性が確認されるが、たとえば将来10万年にわたる長期間に高レベル放射性廃棄物処分場が安全であるかどうかは、通常の工学的手法だけでは判断できず、長期間にわたる地球の変化を研究の対象としてきた地質学の領域での判断に負うところが大きい。処分場が将来にわたり火山活動や断層運動の影響を受けないか、また、過度な浸食により埋設物が露出するようなことはないか、将来に起こる可能性のあるこのような地質現象の影響を評価するには、過去の地質現象の法則性の理解と、現在の地球内部で起きているダイナミックな現象についての理解に基づく安全評価モデルが必要である。また、放射性核種が人工バリアから漏洩した場合の、地層中での長期にわたる核種移行過程については、将来に起きる可能性のある地質現象の影響をも考慮にいたれたモデルで、評価する必要があるであろう。このように地層処分システムの安全評価を行うには、地質学の役割が極めて大きい。

2001年に設立された深部地質環境研究センターでは、国の安全規制を技術的に支援する立場から、高レベル放射性廃棄物地層処分の安全評価に必要な地質学的課題についての研究を行っている。小文においては、地質調査所時代からの地層処分研究の流れを振り返るところから始め、現在行っている深部地質環境研究センターの研究について、地層処分事業の実施と安全規制という枠組みの中で述べていきたい。

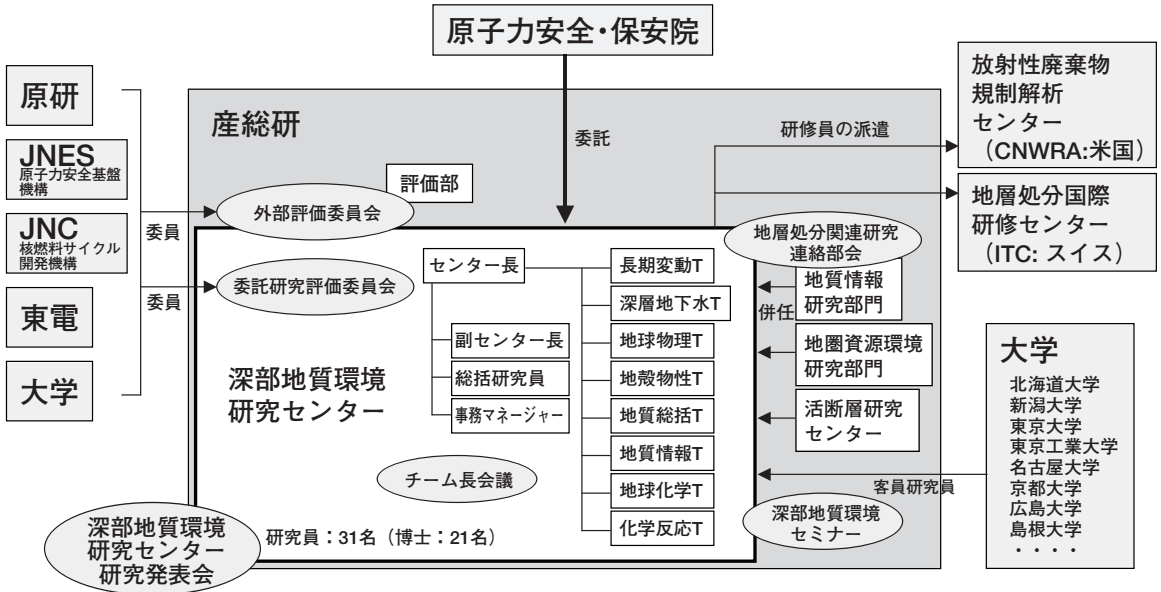
2. 旧地質調査所での地層処分研究

2001年に産業技術総合研究所(産総研)が設立される以前、旧地質調査所においては旧科学技術庁予算による高レベル放射性廃棄物安全研究と、資源エネルギー庁の解析・評価費による研究が実施されていた。原子力委員会により地層処分の研究開発計画として、①有効な地層の選定、②処分

予定地の選定、③処分予定地における処分技術の実証、④処分場の建設・操業の4段階が示された1985年に、旧地質調査所は専門的な見地から貢献することが求められ、原子力平和利用技術の研究として「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」を開始した。この研究を含めこれ以降の原子力平和利用技術の研究(旧科学技術庁予算)での高レベル放射性廃棄物の研究は、原子力安全委員会放射性廃棄物安全規制専門部会による高レベル放射性廃棄物等安全研究年次計画の中で位置付けられ、他の研究機関との分担、協力の下で実施された。

これらの研究のうち「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」(1985-1989)、「高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する岩盤中の核種移行現象の実証的研究」(1990-1995)、「高レベル放射性廃棄物の地層処分に係わる地層物質による地下水質変化に関する地球化学的研究」(1996-2000)では、天然バリアの水-岩石反応、透水性、地下水質及びナチュラルアナログの研究が実施され、また「高レベル放射性廃棄物処分施設安全性評価のための地質環境の長期安定に関する研究」(1988-1992)、「高レベル放射性廃棄物地層処分に関する地殻変動及び低確率天然事象の研究」(1994-2000)では、地層の長期安定性評価のための地殻変動、巨大噴火の研究が行われた。さらに、「高レベル放射性廃棄物地層処分のための地質環境の特性の広域基盤情報の整備」(1998-2002, 2001年以降は産総研地圏資源環境研究部門で実施)では、沿岸地域における塩水-淡水境界についての研究が実施された。

一方、資源エネルギー庁からの解析・評価費では、原子力環境整備センターにおける事業との関連で「放射性廃棄物処分高度化システム確証試験に伴う解析・評価」(1994-1998)が実施されていたが、1998年から3年間は、地層処分の事業化を間近に控え、「放射性廃棄物地層処分事業化調査に伴う地層処分システムの解析・評価」の研究が、予算規模を大幅に増額して実施された。この研究は、広域的な地質特性及び地質変動の時空分布、変化等の実例を把握して、地層処分事業が実施された時に、実施主体によるサイト選定に対して、国による確認に必要な地質のデータ及び知見の整備



第2図 深部地質環境研究センターの組織体制と外部機関との関係。

を行うものであった。

3. 産総研の研究センターとしての出発

わが国の場合、高レベル放射性廃棄物地層処分における国の役割は、事業の監督(資源エネルギー庁)及び安全規制(原子力安全・保安院)にある。産総研の発足に伴い設立された深部地質環境研究センターは、研究予算面では旧地質調査所時代の資源エネルギー庁からの解析・評価費を引き継ぐ形で、原子力安全・保安院からの委託費を受けることになった。従って、現在の深部地質環境研究センターにおける研究の目的は、国による安全規制を技術的に支援することにある。ただし、研究成果はすべて公開されるので、深部地質環境研究センターの一次成果物が、地層処分に関連する諸機関で活用されることは、なんら妨げられないし、また、多くの機関で活用されるような研究成果を生み出す研究センターになっていきたいと願っている次第でもある。

さて、深部地質環境研究センターは35名の研究者で発足している。工業技術院時代の研究所との関係でみると、地質調査所から地質学、鉱物学、地球物理学、地球化学、水文学、地質工学の研究者

が、資源環境技術総合研究所から資源工学、名古屋工業技術研究所から鉱物学の研究者が参加している。当初、研究者は専門別に9つのチームに編成された。その後2回ほど組織の見直しを行い、現在は第2図に示すように8チーム編成となっている。

産総研では研究ユニットは研究センター、研究部門、ラボ等からなる。研究センターが社会ニーズの高い特定の課題を担当し、トップダウンマネジメントにより運営されるのに対し、研究部門は広い研究領域をカバーしボトムアップを基調に運営されている。産総研発足当初、地質分野は深部地質環境と活断層の2つの研究センターと、地球科学情報、地圏資源環境、海洋資源環境の3つの研究部門からなり、これに地質調査情報部、国際地質協力室、地質標本館等を加えたものが、地質調査総合センター(旧地質調査所の研究範囲をカバー)を構成していた。組織の見直しが頻繁に行われている産総研では、現在の地質調査総合センターのユニット構成は、地質情報研究部門、地圏資源環境研究部門、活断層研究センター、地質調査情報センター、地質標本館及び当センターと、発足当初と異なっているが、深部地質環境研究センターは当初から、これらの地質分野のユニットの協力を得ながら、研究活動を進めてきている(第2図)。

4. 地層処分の事業展開

2000年に設立された地層処分の実施主体である原子力環境整備機構(NUMO)は、電力会社の出資により作られた認可法人で、経済産業大臣の監督の下で地層処分事業を実施している。処分事業は文献調査から始まり、概要調査、精密調査へと進み、最終処分施設建設地の選定が行われる。処分場の事業許可申請が出された時点で、国は安全審査を行い、事業許可の判断をする。そして認可が下りると、処分場の建設が行われ、さらに安全審査を経て廃棄物を地中に運び入れる操業に至る。最終的には処分場は閉鎖され、その後極めて長期間にわたる受動的な管理にゆだねられることになる。現在作られているタイムテーブルでは、最終処分場の建設は2030年代の後半とされており、さらにそれから50年にわたり操業が行われる。地層処分はこのように世代を越える長期にわたる事業であるので、意思決定についても段階的に行うことが必要であるといわれており、世代間に不公平が生じないように今後の事業展開がなされるものと思われる。

2002年12月にNUMOは、市町村を対象に「高レベル放射性廃棄物の最終処分施設の設置可能性を調査する区域」の公募を開始した。この原稿を執筆している2004年5月の時点では、応募はまだ見られないようであるが、いくつかの自治体で検討が行われていると新聞は伝えている。

地層処分事業の最初に行われる文献調査は、文献資料により地震等の自然現象による地層の著しい変動の記録がなく、かつ将来にわたってそれらが生ずるおそれが少ないと見込まれること等を確認する調査であり、応募地区及びその周辺地域を対象にして行われる。この文献調査の結果に基づき、概要調査地区が選定される。概要調査では、ボーリング調査、地表踏査、物理探査等が実施され、これらの調査により地層が長期間にわたって安定していること、坑道の掘削に支障がないこと、地下水流等が地下施設に悪影響を及ぼすおそれが少ないと見込まれること等が確認され、精密調査地区が選定される。精密調査では、地上からの詳細な調査に加えて、地下の調査施設での測定・試験が実施される。これらの調査により地層の物理

的・化学的性質等が最終処分施設の設置に適していること等が確認され、最終処分施設建設地が選定される。これらの調査の枠組みについては特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律に述べられている。

しかし、この法律には安全規制についての記述がなく、安全の確保に関する法律は別途定めることとされている。この安全規制についての法律を作成するのが、原子力安全・保安院である。

5. 安全規制への研究支援

原子力安全・保安院が設立される以前からの組織である原子力安全委員会においては、2000年に高レベル放射性廃棄物の安全規制についての基本的な考えをまとめており(原子力安全委員会、2000)、さらに概要調査地区選定段階で考慮すべき内容を、環境要件としてとりまとめている(原子力安全委員会、2002)。

原子力安全・保安院においては、2002年3月から総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会廃棄物安全小委員会の中で、放射性廃棄物の安全規制について法制面及び技術面からの検討を開始した。そして1年後の2003年7月に「高レベル放射性廃棄物処分の安全規制に係る基盤確保に向けて」の報告書をまとめており(総合資源エネルギー調査会、2003)、この中で統一的な安全評価の考え方を述べるとともに、安全規制に必要な研究課題及び支援研究体制について記述している。

この報告書において安全評価事項を特定するにあたっては、経済協力開発機構原子力機関(OECD/NEA)において作成された国際FEPリスト(Feature:特徴, Event:出来事, Process:プロセス)を用いている。FEP間の起因関係を解析することにより、1つの出来事がプロセスを経て次の出来事を惹起し、それがさらに次のプロセス、出来事を誘発するという一連のメカニズムを捉えることができる。このような相関関係について、報告書では①「放射性核種の地下水による移行の相関関係図」、②「将来の人間の行為(能動的)の相関関係図」、③「地質及び気候関連事象の相関関係図」のそれぞれにおいてFEPの関連付けがなされている。これらのうち①は処分システム領域からの放射性物

第1表 地層処分の重要研究分野 (廃棄物安全小委員会報告書に基づく)。重要度区分ABCに関しては本文10.及び11.を参照。

| 安全評価事項 | 区分 | 研究分野 | 重点研究テーマ |
|---------------------|-----------------|-----------------------|---------------|
| 地質及び気候関連事象 | B | 火山噴火・貫入 | 巨大火山の噴火 |
| | | | 新規火山 |
| | C | 熱水活動による水文地質学的変化 | 構造運動から生じる熱水活動 |
| | A | 地震動・地震断層 | 活断層沿い以外の断層 |
| | | | 新規火山による地震 |
| | C | 地震・地質構造の変形による水文地質学的変化 | |
| | 浸食と堆積 | | |
| C | 気候変動による水文地質学的変化 | | |
| 将来の人間の行為 | | 社会的背景 | |
| | B | 人間活動 | 人間活動分野全体 |
| | | 気候変化に伴う水資源の取扱 | |
| 放射性核種の地下水による移行の地下環境 | | 人工バリア領域 | |
| | A | 母岩領域 | モデル化 |
| | | | パラメータデータ取得 |
| | | 化学・核種移行領域 | |
| | C | 全領域 | モデル化 |
| パラメータデータ取得 | | | |
| | | | |
| 地表環境 | | 物質移行に係る領域 | |
| | | 被ばく評価に係る領域 | |
| | | 全領域 | |

質の移行プロセスそのものを表現しているのに対し、②及び③は処分システム領域に対する外乱を表現する性格が強い。なお、③「地質及び気候関連事象の相関関係図」の作成にあたっては、深部地質環境センターが原子力安全・保安院に技術情報の提供を行った(山元・小玉, 2004)。

規制機関が安全規制を行うには、安全評価事項についての科学的知見の集積を図ることが前提となる。そこで、報告書においては特に科学的知見の集積が必要な研究分野を「重要研究分野」(第1表でABC区分のされている研究分野)として選定し、さらに当面特に研究を促進すべき範囲を「重点研究テーマ」として特定している(第1表)。

廃棄物安全小委員会の報告書では、また安全規制を支援する研究の独立性についての見解を述べている。報告書においては、わが国では研究者等の人的資源に制約があることから、支援研究機関が実施機関との契約関係を持つことまで禁止するのは適切でないが、支援研究機関の内部からは勿

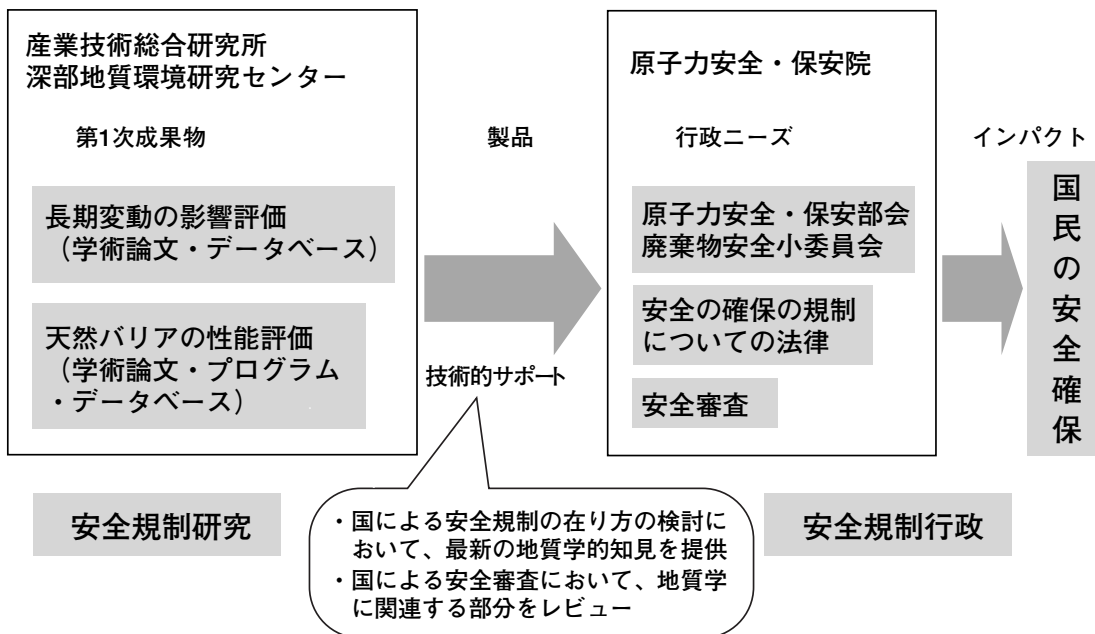
論、外部から見ても明白に把握しうる形で、実施機関側からの業務を実施する部門と、安全規制の支援研究を行う部門を分離することが必要であると述べている。なお、米国、フランス、スウェーデンでは支援研究機関は実施機関との間に契約関係をもたないこととされており、また、フィンランド、ドイツでは実施機関側と契約関係を持つことは認められるが支援研究機関の内部において研究者の分離や研究部門を分離する等の措置を講じている。

原子力安全・保安院からの委託により安全規制の支援研究を行っている深部地質環境研究センターは、安全規制支援研究の独立性を確保する観点から、実施機関であるNUMOからの委託研究を行わないことを基本方針としている。

6. 本格研究の視点

廃棄物安全小委員会において重要研究分野や支援研究体制についての審議が行われていた

製品は安全規制行政への技術的サポート



第3図 深部地質環境研究センターの本格研究。

2002年から2003年にかけて、産総研では吉川弘之理事長のリーダーシップによる本格研究の議論が盛んに行われており、それぞれの研究ユニットにおいて、この本格研究という理念のもとで研究を実施するよう求められた。本格研究とは、知的好奇心により動機付けられ、未知の現象を探索し理論や法則を導き出す第1種基礎研究と、社会ニーズを意識して既存の法則や理論を統合し、社会に役立つ普遍的な知見を導き出す第2種基礎研究、さらには実用化にいたる開発からなるシナリオに基づく連続的な研究のことをいい、この過程で作られる社会に役立つものを「製品」と呼んでいる。

深部地質環境研究センターの場合は、原子力安全・保安院に対して、地層処分事業の安全規制に必要な技術情報を提供し、技術的サポートを行うことが「製品」となる(第3図)。深部地質環境研究センターにおける本格研究では、この「製品」に向けて第1種及び第2種基礎研究を、相互に関連付けながら配置し、研究を推進している。地質現象を対象にして実施している第1種基礎研究と、これまでに得られている地質学的知見とを統合して、規制当局が利用できるような形の技術情報にまとめ

ていく第2種基礎研究が、本格研究という視点から見た当センターの研究実態である。

7. 第1期中期計画

産総研は独立行政法人であるので、主務大臣である経済産業大臣から与えられる中期目標に対して中期計画を作成し、その達成度で評価されるシステムとなっている。深部地質環境研究センターでは平成13年のセンター発足にあたり、それまでにわが国に行われてきた地層処分研究をレビューし、地層処分が必要とされる研究内容を長期的視点の下で整理し、当面の研究を第1期中期計画(2001-2004年)としてまとめた。

(第1期中期目標)

深部地質環境の調査・研究

地層処分システムの安全性評価に関する国の施策に資すために、評価手法・基準に関する地質の知見・データを整備し、評価モデルを構築するとともに、地質特性長期変化のメカニズム等の技術資料の整備を図る。また、地質環境図

類の作成などによって深部地質の情報を社会に提供する。
(第1期中期計画)

深部地質環境の調査・研究

- ・地層処分システムに係る地球科学的知見・データの取りまとめと分析を行い、安全性評価のための論理モデルを構築するとともに、地下水流動モデルや長期的な物質の挙動のナチュラルアナログ等の研究を行う。
- ・東北部の列島横断地帯及び地質項目毎の代表的地域において、総合的な広域地質調査・解析を実施するとともに、長期変化プロセスとメカニズムの抽出・検証、及び定量的な影響評価解析・予測手法等の研究を行い、技術資料等を整備する。
- ・既存公表資料を対象とした地質の隔離性に関する全国データベースシステム、及び地質構造解析システム等のデータ処理システムを構築する。
- ・深部地質の災害や環境保全に関する要素や指標を抽出し、それらの地域分布に関する各種の地質環境図類を作成し、分かり易い形での情報発信を行う。

8. 重点研究課題

上述の第1期中期計画に従い、深部地質環境研究センターでは、地層処分の課題を中心に研究を進めてきている。この研究の進捗状況に関して、産総研では評価部による成果ヒアリングが毎年行われており、大学、研究機関、民間企業等からの外部評価委員及び産総研の内部評価委員に、有益な助言をいただいている(第2図)。成果ヒアリングの議論は、研究ユニットの運営にフィードバックされる形になっており、年度ごとの評価結果を参考にして、当センターでは研究計画及び研究体制の見直しを行ってきている。また、前述の原子力安全・保安院における廃棄物安全小委員会で審議された研究の重点化の視点、及び産総研の本格研究の視点からも研究課題についての見直しを行っている。これらの見直しを経て、産総研発足時に作成された中期計画は、3年を経過した現在、以下のタイトルの4つの重点研究課題にまとめられている。

- ①地層処分にかかる地質データベースに関する研究
- ②地層処分にかかる地質現象の長期変動に関する研究

③地層処分にかかる天然バリアの性能評価に関する研究

④深部地質環境の研究

これらのうち①から③までは、原子力安全・保安院からの委託費を中心にした研究予算で実施されており、④は産総研の運営交付金により賄われている。④は地質環境図の作成や災害時の緊急調査等をその内容としており、地層処分には直接関係しないので、ここでは内容の紹介を省略する。

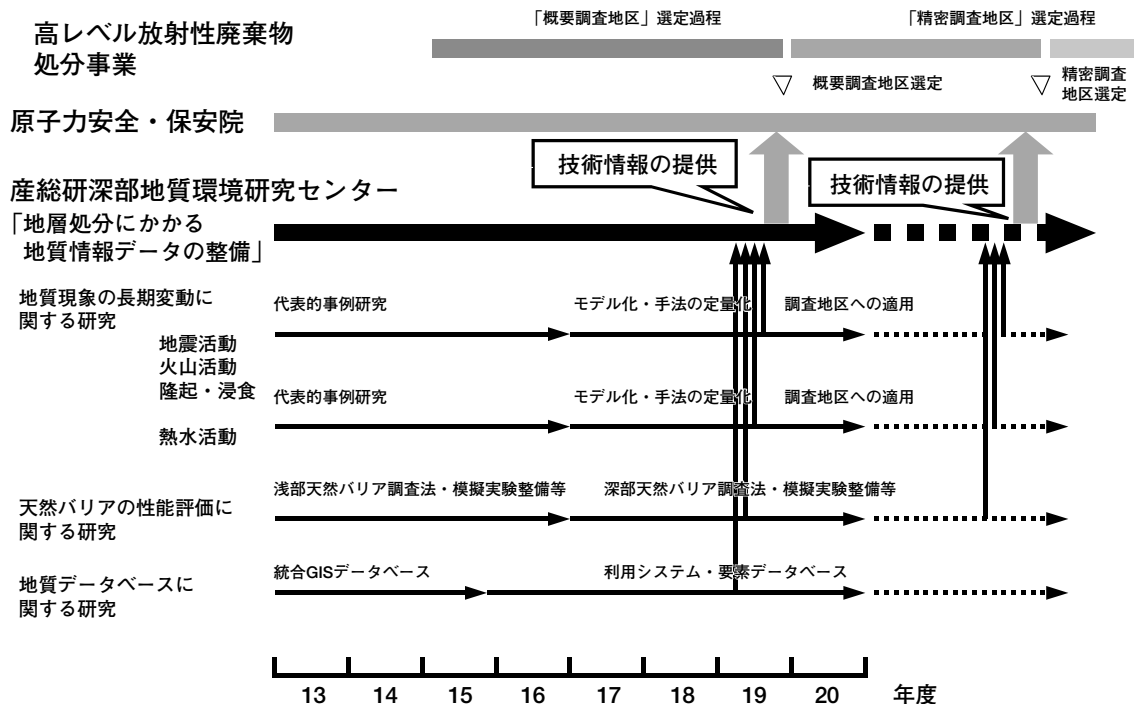
委託費による研究のうち、①データベースの研究は、全国をカバーする統合GISデータベース及び要素データベースを構築することを、②の長期変動の研究は、地震、火山、隆起・浸食、熱水活動等の地質現象の長期予測及び影響評価を、そして③の天然バリアの研究は、長期的に見た地質環境の隔離性能評価を、それぞれ目標としている。また、中期的な視点から見たこれらの研究の流れは、第4図のように整理される。以下にこれら3つの重点研究課題のそれぞれの内容について、地層処分事業における安全規制と関連付けながら述べていく。

9. 地質データベースの研究

地層処分事業では最初に文献調査が行われ、既存の文献資料から対象地域の地層の変動記録等が調査され、その結果に基づき概要調査地区が選定される。原子力安全・保安院による安全規制を支援する深部地質環境研究センターでは、概要調査地区選定過程において文献調査の結果についての確認が求められたときに備えて、地質データベースを整備してきている(渡部ほか、本特集号口絵)。

地質データベースは地質調査所時代の1999年に、資源エネルギー庁予算によりその構築が開始されたもので、2001年に産総研になると、原子力安全・保安院からの委託費の中で、深部地質環境研究センターのプロジェクトの一部として継承してきた。2003年段階でデータの格納は概ね完了しており、現在利用に向けての準備に入っている(第4図)。

地層処分の安全評価に用いる地質データベースには、それぞれの情報の網羅性ととともに、それぞれの情報の精度や品質管理が求められる。これらの要求を同時に満たしたシステムを構築し、地質情報



第4図 委託研究「地層処分にかかる地質情報データの整備」ロードマップ。

の精度や定義等が客観的に参照できる条件を考慮して、この地質データベースにおいては最も規格化が進んでいる地質調査総合センター(旧地質調査所)発行物を対象として数値化、集約し、統合GISデータベースを構築するとともに、これとリンクする形でいくつかの要素データベースを作成している。

統合GISデータベースには、地質調査総合センター発行の地質図類として、50万分の1地質図、50万分の1活構造図、20万分の1地質編集図、7.5万分の1地質図、5万分の1地質図、海洋地質図、鉱物資源図、火山地質図、日本水理地質図、日本油田・ガス田図、日本炭田図、地質環境アトラス、活断層ストリップマップ、200万分の1地質編集図、特殊地質図、特殊地質図、空中磁気図、地熱地域等重力線図が、2004年1月1日発行のものまで1,306点が、GIS地図データと統合されて格納を完了している(渡部ほか、本特集号口絵)。

一方、要素データベースは、沿岸域音波探査DB、温泉DB、岩盤物性DB、地球化学DB、火山長期変動DB、断層長期変動DB、資源探査情報DB、年代層序DBからなり、これらのうち一部はまだデータの入力作業が継続中である。なお、統合GIS

データベース、要素データベースとともに、新しいデータが利用可能な状態になった場合は、それらを取り込み、常に最新の状態に更新しておく必要がある。その作業は今後も継続して行う予定である。

この地質データベースは、地層処分手業における文献調査結果の確認に、十分対応できる仕様になっている。活断層、第四紀火山、未固結堆積物、鉱物資源に関する基本的な地質情報が、基盤GISデータベースに格納されているほか、要素データベースにおいても、たとえば火山長期変動DBには308の第四紀火山につき、位置データ及び8,543編の付帯論文が格納されており、また、断層長期変動DBには活断層・活構造全般について2,529編の文献及びネオテクトニクスについての2,843編の文献が格納されている。

なお、この地質データベースには、もう一つの機能として深部地質環境研究センターの研究へのサポートがある。地層処分には地質学の広い分野が関係しているので、研究を進めていく上で、これまでに公表されている図面類を電子ファイルとして、研究者が使いやすい状態にしておくことが必要であるととも、当センターでの研究の蓄積を将来の

研究に活用できる形にしておくことは大切なことである。文献調査以降においても、概要調査及び精密調査に関連して、規制機関を支援するために行う地質関連の研究をサポートする機能をもたせていくことは必要である。このデータベースは今後とも規制側の研究を支援する基盤的な役割を果たしていくものと考えている。

10. 地質現象の長期変動の研究

はじめに述べたように、地層処分システムの安全評価を行うには、地質学の役割が極めて大きい。地層処分場の立地選定にあたって、まずもって避けなければならないのは火山噴火を伴うマグマの直撃であり、地震断層の出現によるサイトの破壊である。このような破壊的事象とともに過度の浸食による埋設された高レベル放射性廃棄物の露出も、これらと同程度に危険な現象である。また、これらに関連して立地選定で問題となるもう一つのことは、地下水変動を通しての断層、火山、隆起・浸食、熱水活動の処分場への影響である。地質現象の長期変動の研究では、これら断層、火山、隆起・浸食、熱水の将来にわたる活動の影響評価に取り組んでいる。これまでのところ、地質現象の長期変動について事例研究の成果が蓄積されつつあり、今後はモデル化と手法の定量化に向けての研究を行い、規制当局である原子力安全・保安院が処分事業に節目ごとに関与するという仮定のもとで、安全規制に必要な技術情報の整備を行う予定である(第4図)。

地質現象の長期変動は、廃棄物安全小委員会の報告書では、処分システムに影響を与える「地質及び気候関連事象」として扱っており、この報告書では前述したように、「地質及び気候関連事象」の研究について、それらのプライオリティ付けにあたる重要研究分野の指定を行っている(第1表)。重要研究分野としてはまず、「地震動・地震断層」の研究を、立地選定においてそれらによる影響を完全に排除できないことから、立地選定段階において最も重要な研究分野(早急に研究を推進すべきA区分)に位置づけている。また「火山噴火・貫入」についての研究は、立地選定において排除できる可能性は高いが、排除できなかった場合の影響が

大きいため、立地選定で排除できるよう知見を蓄えておく必要があるという理由で、当面研究を推進すべきB区分としている。さらに、「熱水活動による水文地質学的変化」及び「地震・地質構造の変形による水文地質学的変化」を、中長期的に研究を推進すべきC区分としている。

深部地質環境研究センターでは、廃棄物安全小委員会の報告書を踏まえて、地質現象の長期変動の研究テーマとしては、2004年度には、「活断層周辺の地下地質及び地下水流動系の研究」「低活動度断層の研究」「岩石破壊、変形メカニズムの検証と定量化に関する研究」「水飽和状態における岩石の変形・破壊プロセスとメカニズムの解明」「東北日本複成火山の時空分布と成因の研究」「西南日本の単成火山の時空分布と成因の研究」「地下水流動系の研究」「熱水活動の研究」「変質の類型と地質変動要因に関する研究」「複成火山におけるマグマ輸送蓄積、熱拡散過程の研究」「隆起・沈降の空間分布に関する研究」「岩石の風化に関する研究」を実施している。

誌面の制約もあり、ここでこれらの研究すべてについて内容の紹介を行うことができないので、ここでは「低活動度断層の研究」と「熱水活動の研究」(深部流体の研究)の2つのテーマについて紹介する。

地層処分事業では、文献調査により既に認知されている活断層の分布域は候補地から外される。しかし、そのようにして選定された候補地が長期的に安定であると判断できるかという点必ずしもそうではない。活断層については、対象地域で十分な調査が行われておらず、論文や調査報告がないケースもありうる。たとえば2000年に鳥取県西部で起きたM7.3の地震は、これまで活断層が認知されていなかった地域に起こった地震で、地表6kmの範囲で断層が出現している(小林・杉山、本特集号)。活断層研究センター及び新潟大学の協力を得て、地震の後に行ったトレンチ調査では、地震で地表に現れたこの断層は実は過去に2回以上左横ずれの運動をしていたことが明らかとなった。このように活動度が低いために、まだ活断層と認知されていない断層は、このほかにも多数ある可能性があるため、現在は低活動度断層の存在を把握するための調査法等について研究を進めている。な

お、廃棄物安全小委員会の報告書の中では、この低活動度断層に関して「活断層沿い以外の断層」という名称で、原因となる事象の発生場所や影響の範囲についての知見がいまだ不十分であり、立地選定で排除するためには、研究を特に促進する必要があるとして、重点研究テーマに特定している。

プレートが収斂する境界に位置するわが国は、地震、火山、隆起・沈降の他にも、顕著な地質現象が見られる。その中で、近年注目されているものにスラブ起源の流体の上昇がある。泉質が極めて高塩濃度の食塩泉である兵庫県の有馬温泉は、周辺に火山がないことから以前より注目されていたが、最近の深部地質環境研究センターでの研究により、この温泉が沈み込むフィリピン海プレートから脱水された流体によりもたらされたものであることが明らかになるとともに、同様のメカニズムで形成されている温泉が紀伊半島から中部地方にかけての広い範囲に存在することがわかってきた。処分場の地下水の泉質及び流動を評価する際に、深部流体は場所によっては無視できない存在であるといえる。なお、廃棄物安全小委員会の報告書の中では、この深部流体に関して「構造運動から生じる熱水活動」という名称で、場所、影響の範囲がほとんど不明であるので、研究を特に促進する必要がある重点研究テーマとしている。

11. 天然バリアの性能評価の研究

天然バリアとはガラス固化体、オーバーパック等からなる人工バリアを取り囲む地質環境のことで、この地質環境が放射性核種を生物圏から隔離する機能（バリア性能）を有することから、天然バリアと呼ばれている（第1図参照）。天然バリアの研究は、地層処分事業の精密調査地区選定段階から、最終処分施設建設地選定段階、さらには建設申請時の安全審査における安全規制を支援する息の長い研究である。深部地質環境研究センターで研究される天然バリアの性能評価モデルは、いずれかの時点で、他の研究機関により研究されている人工バリア及び地表環境での核種移行評価モデルに接続され、最終的には被ばく線量評価を行うことにより、安全審査に貢献することになる。

また、当センターでの天然バリアの研究は処分事業のそれぞれの段階で、候補地の地質環境の調査及び評価に関連して、安全評価に役立つ技術情報にすることができるものと考えている。なお、当面は、地下施設を建設する前の深部地質環境の特性を評価する手法を整備し、天然バリアの特性調査についての技術情報を取りまとめる予定である（第4図）。

天然バリアの性能評価については、廃棄物安全小委員会の報告書では、「放射性核種の地下水による移行」の中の「母岩領域」として扱っており、プライオリティ付けでは、「立地地点によって母岩の母岩性能が確定するという性格を有していることから、立地選定段階において最も重要とされる研究分野である」として、早急に研究を推進すべきA区分の重要研究分野に指定している。また、重要研究テーマとして、「モデル化」及び「パラメータデータの取得」をあげ、「母岩領域における各FEPの相関関係が核種移行に与える影響を十分定量的に把握するにいたってならず、まずモデル化を進めるとともに、パラメータとして入力すべきデータの取得を進める必要がある」としている（第1表）。

深部地質環境研究センターでは、この安全小委員会での報告書を踏まえて、現在、①核種移行解析のための三次元地質モデル作成手法の整備、②核種移行解析に必要な物理・化学的知見の整備、③核種移行の数値解析手法の整備についての研究を実施している。以下にそれらの概要を述べる。

①核種移行解析のための三次元地質モデル作成手法の整備：母岩中における放射性核種の移行を予測するには、母岩の性質を知る必要がある。また地下水の流れや母岩と地下水との化学反応が重要となることは言うまでもないが、母岩中の地下水の流れは花崗岩と堆積岩とで機構が異なり、花崗岩では地下水が裂隙系を流れるが、堆積層では地下水が高透水性の層を選択的に流れている。これに伴い化学反応の機構も異なり、花崗岩では裂隙系の表面にある変質鉱物との反応が重要となり、堆積岩では高透水性の地層の鉱物と地下水との反応が重要となる。深部地質環境研究センターでは、阿武隈高地を花崗岩のモデル調査地域にして、また、小規模なウラン濃集部が確認されている新潟

県東部金丸地域を堆積岩のモデル調査地域に選定して研究を実施している。2004年度の研究テーマは、「三次元地質モデルの研究」「結晶質岩分布地域の地下地質及び地下水流動系の検証」である。

②核種移行解析に必要な物理・化学的知見の整備：物理的側面からの研究としては岩石の透水係数に関する研究を実施しており、ここでは岩石・岩盤の透水係数の測定法の開発、外界からの熱や物質の流入が地質特性に与える影響の解明、さらに岩石物性の不連続的変化の実験的研究を行っている。一方、化学的側面からの研究としては、岩石と地下水との化学反応に関する研究を実施しており、ここでは非晶質やコロイドの生成条件の解明、鉄鉱物の溶解反応等について研究している。2004年度の研究テーマは、「流体移動特性等の地層物性とその変化予測手法の研究」「地層特性空間分布変化の評価に関する研究」「核種溶解・沈着の変化予測手法に関するナチュラルアナログの研究」「鉄鉱物の溶解反応の素過程と溶解速度の研究」「非晶質とコロイドの生成条件の研究」である。

③核種移行の数値解析手法の整備：天然バリアの性能評価に向けて3次元連成解析コードを完成させる息の長い研究であり、核種移行評価を行うことを最終目標としている。2004年度の第1期中期計画終了までには並列化有限要素法プラットフォームに地下水流動と温度用のモジュールをのせるとともに、地下水流動解析コードTough2を用いた解析を行う予定である。また、様々な熱力学データベースを比較して、化学反応計算に用いるデータベースの優劣を検討している。2004年度の研究テーマは、「地質環境の数値モデリングの研究」である。

12. おわりに

この原稿の執筆時期との関係で、来年度から始まる産総研第2期中期計画(2005-2009年)における深部地質環境研究センターの研究内容について、

この報告の中に具体的に盛り込むができなかった。まだ検討段階ではあるが、第2期には規制当局が必要と想定される概要調査の在り方及び精密調査地区選定のあり方に関する技術情報を整備することが、深部地質環境研究センターの中心的な課題となるものと考えている。この内容については、稿を改めて紹介できればと思っている。

地層処分は世代間にまたがる息の長い事業であり、それを技術的に支える研究も長期的視点を見失わない必要がある。深部地質環境研究センターは、国の安全規制を支援する目的のもとで研究を実施しているが、規制行政が将来何を必要とするかを、長期的な視点及び先行する諸外国の事例から、十分に検討しておくことが必要かと思われる。また、息の長い研究であるがゆえに、当センターでは、将来安全規制の支援研究をリードできる人材の育成が必要と考えており、スイスにある国際的な研修機関ITC (International Training Center) や米国の原子力規制委員会(NRC)を技術的に支援している放射線廃棄物規制解析センター(CNWRA)に、短期及び長期に研究者を派遣している。研究者の研修については、本特集号の月村によるCNWRAの記事、渡部ほかによるITCの記事を参照していただきたい。

文 献

- 原子力安全委員会(2000)：高レベル放射性廃棄物の処分に係る安全規制の基本的考え方について(第1次報告)。72p。
 原子力安全委員会(2002)：高レベル放射性廃棄物処分の概要調査地区選定段階において考慮すべき環境要件について。21p。
 核燃料サイクル開発機構(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-総論レポート。JNC TN1400 99-020。
 総合資源エネルギー調査会(2003)：総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会廃棄物安全小委員会報告書-高レベル放射性廃棄物処分の安全規制に係る基盤確保に向けて-。108p。
 山元孝広・小玉喜三郎(2004)：日本の地層処分で考慮すべき地質及び気候関連事象について、月刊地球, 26, 452-456。

SASADA Masakatsu (2004) : Studies on Geological Disposal of High-level Radioactive Wastes at the Research Center for Deep Geological Environments, AIST.

<受付：2004年8月4日>