

原環センター トピックス

RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT FUNDING AND RESEARCH CENTER TOPICS

2008.9.NO.87

目次

センターの活動状況	①
ナチュラルアナログの再評価 ―イベントナイトの長期健全性へのアプローチ―	④

センターの活動状況

I ニュース

公益法人制度改革が実施されます

本年7月に常務理事に就任しました古賀洋一です。前職は(財)九州電気保安協会です。保安協会は一般家庭や業務用ビルなどの受電設備等の電気の安全管理を行っています。原環センターにお世話になって3ヶ月が経ちますが、センターの業務とはかなり違う業務をやっていたことから、慣れるのに時間がかかっていますが、センターの、ひいてはこのトピックスの読者の皆さまのお役に立つように頑張りたいと思っていますので宜しくお願い申し上げます。

さて、本年12月1日に実施が迫っている公益法人制度改革に対する原環センターの考え方についてご紹介をしたいと思います。公益法人制度改革は、明治時代に公益法人制度が設立されて以来の抜本的な改革です。民間による公益活動の増進と従来の公益法人制度が抱える問題等を解決するという趣旨で実施されることとなっています。従来と違い一般社団法人・財団法人(一般法人)は登記だけで設立が出来ることとなり、そのうち、公益目的事業を主として行う法人については、内閣府が認定する公益社団法人・財団法人(公益法人)となる制度です。

一般法人と公益法人の大きな違いは、一言で言えば、税制面での違いだと思います。公益法人は従来どおりの税の優遇措置を継続的に受けられるとともに、寄附金に対する優遇措置等も拡大されます。一方、一般法人は基本的には税の優遇措置は受けられないこととなります。一見、公益法人の方が有利のように見えますが、公益法人になるためにはさまざまなハードルが設定されています。公益認定基準の厳格化や収支の相償といったハードルがあります。また、認定後もこれらの点を維持していかなければならないということもハードルの一つとなっています。

原環センターはどうするのかということですが、センターが実施する放射性廃棄物の処理・処分に関する調査研究事業や最終処分や再処理等に関する資金管理業務は公益性が高いと判断していること、資金管理業務に伴う多額の運用利息への課税は回避する必要があること等から公益法人を目指す必要があると考えており、早期に公益法人への認定申請を提出できるよう準備を行っているところです。



原環センターはISO9001:2000に準拠した品質マネジメントシステムを推進しています

原環センターでは、調査研究の品質レベルの向上を図るため、平成18年度にISO9001:2000に準拠した品質マネジメント規定、各種要領を定め、約1年間の試行を行いました。試行結果のレビューを経て、平成19年度から本格的に品質マネジメントシステムを導入しました。私どもは、この品質マネジメントシステムのもとに、調査研究業務を実施し、顧客要求事項を確実に満たした調査研究成果の提供と、顧客満足の向上を目指しています。

年度当初に「品質方針」と原環センターの「品質目標」や部門ごとの「品質目標」を定め、品質マネジメントシステムの運用を図っています。



品質方針を掲げた事務所

品質方針

原環センターは、原子力の利用発展にとって極めて重要な放射性廃棄物の安全かつ合理的な処理、処分を目指した調査研究に係る品質方針を次のとおり定める。

1. 顧客ニーズ及び社会的要請に十分応える調査研究を実施する。
2. 調査研究の質的向上・効率的実施に資するため、国内外関係機関との協力を図る。
3. 調査研究成果等の発信、普及及び共有に努める。
4. 品質レベルの向上を継続的に行う。

平成20年度 原環センター品質目標

1. 各種手続を円滑に実施し、調査研究の計画工程を確実に実行する。
2. 論文等の発表、委員会・ワークショップの開催、ユーザーに対する説明等を通じて、調査研究成果の普及と共有を目指すとともに、我が国の最終処分に関わる人材の育成に貢献する。
3. 調査研究の実施により得られた知見等に基づき、中長期的な観点から顧客及び社会にとって有用と考えられる調査研究テーマ等を積極的に提案する。
4. 品質マネジメントシステムを定着させ、より有効となるよう改善する。

Ⅱ 成果普及活動等の実施状況

平成20年度 第2回講演会「粘土と岩石の微視特性と巨視挙動」

高レベル放射性廃棄物処分で緩衝材として利用される予定であるベントナイト粘土は膨潤性や陽イオンの低拡散性等、特異な性質を有しています。また、スイスではカオリナイトを主成分とする泥岩中に地層処分が計画されており、その低拡散性が期待されています。一方、花崗岩は極めて堅固に見えるが、荷重を掛けるとクリープや応力緩和といった時間依存挙動を示します。

今回、こうした粘土や岩石の特性を微視的構造の方面から研究されている名古屋大学の市川 康明 准教授をお招きして、これらの地盤材料の巨視挙動が、微視特性から如何にして発現されるのかを中心に講演していただきました。

講演では、粘土や岩石の微視的構造のモデル解析と、透水、拡散、膨潤、力学等の諸特性の巨視的挙動を結び付ける最新の研究成果をご紹介いただきました。難しい内容であったにも拘わらず、参加者からは特に



ベントナイトの諸特性について活発な質問等がなされ、微視的特性から巨視的挙動を理解するための基本的知識を得ることができました。

開催日：平成20年6月27日
会場：原環センター
演題：粘土と岩石の微視特性と巨視挙動
講師：市川 康明 名古屋大学環境学研究科 准教授（都市環境学専攻）

平成20年度 第3回講演会「事業概況、研究成果等の報告」の実施

原環センターの事業活動をご理解いただくために、毎年度、当センターの事業概況、調査研究成果等の報告を行っております。今回、平成19年度に原環センターが実施してきた事業の概要と調査研究成果等について報告会を開催しました。

藤原企画部長から原環センターの平成19年度事業概況を報告したのち、田辺技術総括室長から調査研究の全体概要、稲垣CPM、大和田PMからそれぞれ「海外における地層処分の動向について」、「ヨウ素固化体の開発について」を報告しました。特にヨウ素固化体の開発の最新研究の成果に高い関心が寄せられました。



開催日：平成20年7月29日
会場：虎ノ門パストラル
演題：(1) 平成19年度事業の概要について（藤原 愛 企画部長）
(2) 調査研究について
1) 全体概要（田辺 博三 技術総括室長）
2) 調査研究の紹介
①海外における地層処分の動向について（稲垣 裕亮 技術情報調査プロジェクト CPM）
②ヨウ素固化体の開発について（大和田 仁 処分技術調査研究プロジェクト PM）

平成20年度 第4回講演会「長期安全確保に向けた技術開発の方向性」

地層処分システムの人工バリアには極めて長期間の性能が求められております。このような人工バリアに係る超長期現象を把握するためには、理論的評価によるアプローチ、実験的なアプローチ、ナチュラルアナログによるアプローチを総合することが必要とされています。

本講演では、東京工業大学 客員教授 北山一美氏をお招きし、合理的な処分システムを構築するための技術開発の方向性の提言等をお話し頂きました。

ナチュラルアナログ研究の方向性として、処分の安全性を一般の人々に直感的に理解してもらうためのナチュラルアナログ研究の現状から、天然現象を処分の安全性解析等に結び付ける専門家による研究の第二段階へ、さらに進めて一般の人達に「天然現象を科学／技術で説明できる」と直感的に理解してもらう第三段階へと進むべき、とのナチュラルアナログ研究の方向性が示され、参加者との間で興味深い質疑応答が交わされました。



開催日：平成20年9月12日
会場：原環センター
演題：長期安全確保に向けた技術開発の方向性
講師：北山 一美 東京工業大学 客員教授

ナチュラルアナログの再評価 ―ベントナイトの長期健全性へのアプローチ―

まえがき

私どもが原子力エネルギーを利用する上で考えて行かなくてはならない課題の一つに、高レベル放射性廃棄物(以下、HLWと云う)の管理(発生・処理・調整・輸送・貯蔵・処分)がある。

この管理の中で、取り分けそのバックエンド対策としては、HLWの放射能と発熱が時間経過と共に減衰することの性質を利用し、最終仕上げとして人間の直接介入に依存せず長期の安全性を確保できる地層処分を選択した。これは地層(地質環境:地層及び岩盤とそこに含有する地下水から構成されている)自身の本来具備している「閉じ込み性(隔離性・包蔵性)」と「物理的な深度(距離と時間)」を活用するというコンセプトである。

このHLWの安全性は多重バリアシステムの安全機能により確保されるものであるが、最後の砦(役割)として地質環境に委ねるということである。これが地層処分を選択した根拠の原点であり、地層処分の安全評価にとって、地質環境の長期安定性が重要な基盤となり、将来予測の科学的妥当性を担う重要な要となる。

HLW地層処分(以下、地層処分)の事業化に向けた安全対策の本質的な課題は、「長期」と「複雑(不均質性や不連続性)で開放系の地質環境の変化(進化)とその影響規模(範囲と程度)」についての取り扱いである。ここでの安全対策は、安定な地質環境にロバストな人工バリアで構成される多重バリアシステムで長期の安全機能を確保することである。

この安全機能は将来予測(性能評価)によって評価されることになるが、それは必ずしも安全性を言い当てるのではなく、確実なものも含めてある幅を持たせた間接的なものにならざるを得ない。また、この安全評価結果の科学的な妥当性の判断・評価については、潜在的に内在する不確実性の取り扱いが課題となってくる。

この地層処分の安全性に係わる「長期の問題」と「将来予測」に対して直接的で科学的な根拠を提供するアプローチの一つとしてナチュラルアナログ(研究)がある。

本稿ではナチュラルアナログ(研究)の現状を俯瞰し、その役割を再評価し、今後の進め方等について提言をし、合わせて、当センターが実施しているフィリピンにおけるナチュラルアナログ予察調査の概要を紹介する。

なお、本稿のフィリピンにおけるナチュラルアナログ予察調査は経済産業省からの委託事業「放射性廃棄物共通技術調査等(放射性廃棄物重要基礎技術研究調査)」の成果の一部である。

ナチュラルアナログ概念とその役割

ナチュラルアナログの概念は、「提案された地層処分場で予測される類似のプロセスあるいは材料に係

わる事象を対象とする」^[1]、「主要な対象は概念あるいは数学モデルの検証であり、地層処分システムが有する特定の性質ではない」^[2]、「対象が本来有する固有の物理化学的な特性より、それらを形作ってきた履歴(将来の予測に使えるようになっている)である」^[3]等として定義されている。

ここでのナチュラルアナログ(研究)は、地層処分システムに将来生起すると予測される現象とその現象による影響の場の規模(範囲と程度)を理解する上で、自然が行った壮大な総合実験の中で類似した天然類似現象を抽出・特定し、ある時間・空間での現象の存在・性状・様式等を観察し、現象の状態(過去・現在・将来)の理解・判断・評価を通して、将来予測とその解析結果等をサポートするものである。

また、制限・制御された室内実験、原位置試験データ、モデル化、そして、数学的解析による安全評価作業過程で両立しない解析結果が生じた場合は、室内実験条件の見直しや、モデル化および数学的解析条件であるパラメーターの組み合わせ、前提条件・境界条件等の再設定等を通じて確固たるものにするために、相互に反復しながらバランスのある相互補完的な関係が求められている。

特に、長期の課題に対するナチュラルアナログ(研究)は、自然が極めて長い時間をかけて生起した現象を解析することにより直接的に傍証する「証拠の化石」としてのデータや知見を提供することが役割であり、本質である^[4, 5, 6, 7]。そして、これらの結果は処分場サイトの選定や地層処分システムの長期性能および、民衆の合意形成を図る上での安全性を説明する論拠の一つとして活用されるものである。

これまでのナチュラルアナログ(研究)は、当初、地層処分概念の成立のための地層の隔離性や人工バリア材料の化学的耐久性に関する環境条件の確認等が主体であった。その後、安全評価のためのモデルの検証にとっての貢献度が厳しく評価されるようになった。それは、解析結果をサポートする科学的な妥当性を検証するという厳密な意味での役割が期待されたためである。

そして、安全評価は、室内実験データの蓄積、解析上のシナリオの厳密化と数学的解析の高度化のために、天然類似現象との関連性が希薄になり、その現象そのものを見失うようになってきた。

また、ナチュラルアナログ成果は、安全評価のための室内実験データ取得のための実験環境条件の設定や現実的なモデル化等に相互にフィードバックされることが少ないこともその理由となっている。さらに、総合的な安全評価のために活用されたナチュラルアナログ(研究)の事例研究が限定されていることも事実であった。

さて、モデル化に必要な物理学や化学の理論を導入する上で、例えば、物理学の理論の導入の手順を考えてみる。

一般論として、物理学の理論とは自然現象に関する膨大な観察・実験結果を出来る限り統一的に理解しようとする努力が生み出した理解の方式である。法則は自然現象に関する観察・実験から出発した帰納のトップに位置するものと云われている。理論は観察・実験の知見が広まれば帰納はさらに前進し、法則は時には修正・改変を受ける。理論は観察・実験に従属するもので優先するものではない。ましてや法則が自然現象を支配するものではない^[8]。

この考え方は、まさにナチュラルアナログ(研究)の本質と役割を考える上で極めて示唆的である。それは壮大な天然類似現象の中から、地層処分安全評価のために抽出・特定された現象を理解・評価するために観察の積み重ねを通して導かれるものである。

従って、性能評価(研究)にもそれなりの重みある室内実験データ、合理的なモデルと、高度化された数学的解析コードによる解析が求められる。そこには観察・実験を通して理論付けられたものであり、かつ最新の地球科学・関連工学分野等の知識や調査・評価技術を適切に導入し、段階的かつ柔軟なアプローチが求められる。

ナチュラルアナログの優位さ

地層処分の安全評価結果の信頼性を高める一つの手法として、ナチュラルアナログ研究成果が活用される。これは地層処分という処分方法を選択した根源的な特徴と云える。それはナチュラルアナログ自身、自然が十分に長い時間をかけて行った総合実験であるからである。

特に、オクロ天然原子炉の地質鉱床学的研究^[9, 10, 11, 12]や放射化学的研究^[13, 14]等の成果が、地層処分そのものについて自然が行った総合実験として地層による放射性核種の閉じ込め性を証明した「証拠の化石」としての具体例を示した。しかし、この研究は地層処分の安全評価全体に係わる合理的で組織的な研究が実施されなかった。

また、将来予測で取り扱う天然類似現象は、ある長い時間と広い空間で生起したいわば積分された現象であるために、その予測は平衡論的アプローチによる確率論的手法を、一方、室内実験によるアプローチは、制御されかつ短期間で現象の素過程における過渡的な反応である微分的な現象であるために速度論的アプローチによる決定論的手法で取り扱われる傾向にある。

従って、安全評価はその現象の性質・挙動等に応じて確率論的あるいは決定論的手法によって間接的な確認(検証)にならざるを得ないのである。しかし、そこではナチュラルアナログ(研究)が、唯一「現実性」と「時間枠」の間の不均衡への架け橋的な役割を担っているのである。

ナチュラルアナログ研究に求められる条件

ナチュラルアナログ研究は、地層処分の安全評価の論拠をサポートする上で完璧なものを目指す100%保証するような完璧知識型のアプローチは不向きである。ナチュラルアナログ研究の目的は、(1)地層処分システムの性能評価のための概念モデルの

構築、(2)安全評価モデルのインプットデータの提供、(3)安全評価モデル・コード・データベースの妥当性の確認等である^[1, 5]。

しかし、現時点では組織化されたナチュラルアナログ研究が実施されていないために、データ・知見不足による安全評価の確認に直接リンクするモデルおよびデータの不確実性の評価が不十分である。また、最近サイティング段階にある諸外国において、ナチュラルアナログ研究の位置付けが再考され、その見直しが図られてきている^[15]。それは、処分場施設の設計やその最適化という視点での地質環境の安定性、例えば、岩盤の健全性、地下水の還元環境・拡散支配の水理場および、深部地下水の停滞水の賦存状況等に係わる新たな発想でのナチュラルアナログ研究である。

また、最近ではセーフティーケース作成のための科学的な論拠のサポートデータ・知見としての提供や、広義のステークホルダーの意思決定プロセスに科学的・技術的な証拠(傍証)として提供する役割を担うようになってきている。

ナチュラルアナログ研究としての天然類似現象に求められる条件(環境条件)については、(1)地層処分システムで特定される現象(プロセス)に類似した地球化学的プロセスである、(2)対象とするプロセスが他のプロセスと明確に区別できる、(3)物理化学パラメーターが独立して測定(計測)できる、(4)初期条件、境界条件が解る、(5)現象の規模(範囲と程度)とタイムスケールが解る、(6)適切な自然法則を用いてプロセスが地球化学コード等によってモデル化されることが求められる等である^[1, 5, 6, 7, 15]。勿論、これらの条件を全て満足し得る天然類似現象の抽出・特定は限界があるために、どの地球化学的プロセスを対象にするかによって必要な条件の組み合わせが決まる。

つまり、「どのようなプロセスを含む現象で、主たるプロセスは何か、現象の生じている時空間スケールは、そして地球化学的コードによるモデル化は」等が適切に設定可能なことが必要である^[1, 6, 7, 15]。

従って、ナチュラルアナログ(研究)の抽出・特定については、天然類似現象の環境条件・プロセスとその影響規模および、時空間が設定できることが必要な条件となる。

ナチュラルアナログ研究に内在する不確実性

ナチュラルアナログ研究成果の科学的信頼性を高める上で避けられない課題として不確実性の取り扱いがある。それは、ナチュラルアナログそれ自身に潜在的に内在する不確実性や、将来予測に使用されるデータ、モデルと数学的解析に伴う不確実性がある。これらの不確実性については、洩れなく予測することが目的ではなく、その不確実性そのものの要因や性質とその意味を明確にして低減化を図ることが基本となる。

それは、最初に、重要な不確実性やリスク、またはそうでないものを選別し、豊富な経験(自信)と統合化された知識レベルにより、段階的かつ柔軟なアプローチが求められる。このようなアプローチは工学分野における従来のプロジェクトの進め方より、地下を対象とした研究開発プロジェクトとの類似点

が多い。

アメリカ国立学術会議は、「地層処分とは地中から鉱石を採鉱するのではなく、反対に鉱石を地中に戻すための鉱山を建設するような行為である。但し、ここで留意すべきことは岩盤の状況を事前に予測する技術が限られており、進捗に応じて常に新たな発見を伴うことから、鉱山開発は基本的には試行錯誤にもとづく行為である」と論じている。ただし、その相違として、地層処分は何万年の将来にわたって岩盤や地下水挙動等を合理的に予測することが求められていることを指摘している^[16]。

あるサイトの将来予測の基本概念となる地質構造モデル化については、サイトの依存性や複雑性等により、事前に行うことなく、問題が生じた時点で、そこに何があるのかをその都度明らかにするというアプローチが取られることが多い。それは地質環境の長期挙動に関する将来予測に伴う不確実性を極力を小さくすることではなく、様々な段階において地質環境の閉じ込め性の合理的な保証を如何にして得るかという視点に立って、自然より多くを学ぶことで習得する科学的な根拠にもとづいて不確実性を取り扱うことである。

一方、モデルは、公衆に不確実性やリスクについて説明する手段として不向きであるために、ナチュラルアナログ研究成果の方がはるかに有効な手段となり得る。しかし、将来予測に内在する不確実性は、厳密な意味において科学的に証明することには限界がある。

つまり、将来予測結果は、ある幅そのものに不確実性を残存させつつも安全性を十分に確認(保証)できるようになっていることである。換言すれば、予測できない重大事象が発生する可能性が十分に小さく、それらの事象がもたらす影響が限定されることが確認されていることである。

新たなナチュラルアナログ研究

当センターは、従来のナチュラルアナログ研究の基本概念を発展的に幅広に取り組み、新たな発想でのナチュラルアナログ研究のアプローチを設定した。

それは、セーフティーケース作成のための情報分析、重要項目の分類化とそれらの到達目標の設定である。さらに、地層処分の安全方策に関連した事項、サイティングに必要な調査研究課題やそれらの重要度および、地層処分システムの最適化を通して仕様設計への提言である。そのための研究対象となる天然類似現象の抽出・特定とその実施サイトを選定し、最適化を図ることとした。

また、地層処分に見られる長期間の閉じ込み過程の一部に相当するいわゆる部分試験であっても重要な情報が得られる現象や、地層処分システムの設置される地質環境変化に関する現象を取り上げ将来予測がサポートできればこれもナチュラルアナログ研究として取り扱うことにした。

これらの新たなアプローチによる具体的なナチュラルアナログ研究は、トップダウン方式を採用して、主要な研究テーマ・目標の設定、それらの実現可能性の評価と重要・優先課題の選定等にもとづいて(1)断層活動を含む地質・地質構造の長期安定性評価、

(2)深部地下水の安定性(特に地球化学的特性)評価、(3)人工バリアの核種保持性能の評価、(4)天然バリアの核種保持性能の評価、(5)沿岸域での気候変動(海水準変動)の評価(地圏と生物圏とのインターフェースを含む)、(6)ベントナイトとセメント材料の相互作用評価、(7)セメント材料による周辺岩盤への影響評価の7分野を設定した。

フィリピンにおけるナチュラルアナログ予察調査の概要

当センターは、高アルカリ地下水とベントナイトの相互作用によるベントナイトの長期健全性に関する調査のために、高アルカリ地下水とベントナイト層がジャストコンタクトするナチュラルアナログ概念(図-1、a)を構築した。その第1段階として我が国はじめ中国、韓国等を含む東南アジアを調査対象地域とした文献調査・評価を行い、フィリピンを選定した。その後、第2段階として平成18年度よりフィリピンにおける現地予察調査^[17, 18]を実施している。

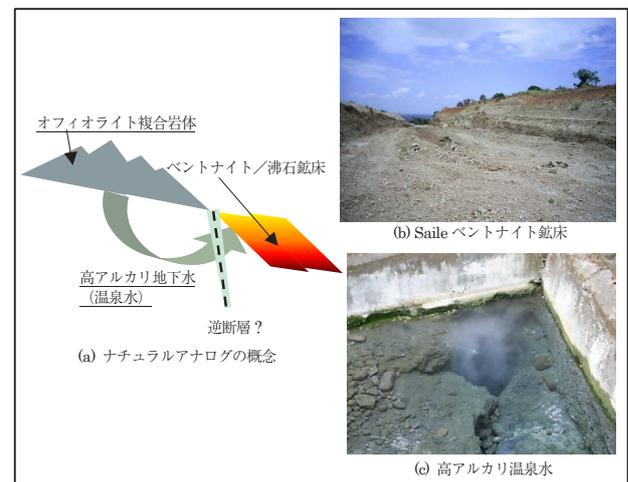


図-1 Mangatarem地区におけるナチュラルアナログ概念、Saileベントナイト鉱床および高アルカリ温泉水

ここでは、予察候補地の一つであるルソン島北西部に位置するMangatarem地区の予察調査の概要について紹介する。Mangatarem地区は、首都マニラ市より直線距離100 km程度でアクセスの便利な地区である(図-2)。地形的には海岸線から東方にオフオライト複合岩体の山塊(山岳地帯)、比較的平坦な丘陵地帯(稲作フィールド)と自然林地帯で構成されている。地質学的にはわが国の島弧系のテクトニクス場と酷似した変動帯を形成している。

本地区の一般地質は、図-3に示すように、古第三紀・始新世から漸新世に形成されたZambalesオフオライト複合岩体を基盤岩としてその上に整合関係で古第三紀・後期漸新世のAksitero層群(凝灰岩、凝灰岩質砂岩、泥岩、遠洋性石灰岩等)、そしてその上に不整合関係で新第三紀・中新世のMoriones層群(泥岩、砂岩、礫岩、火山性碎屑岩等)が累重している。また、断層系はNE系が卓越し、当地域の高アルカリ地下水(温泉水)の湧水分布に調和的である。

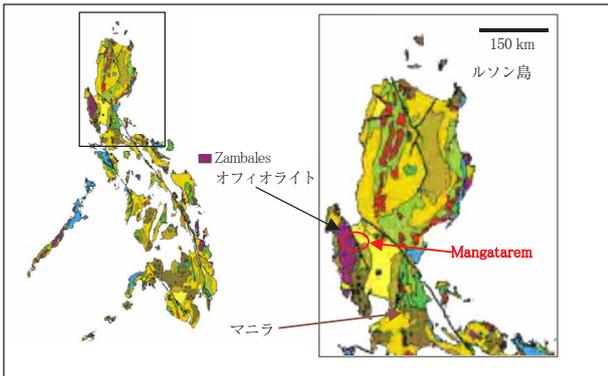


図-2 フィリピン国地質図とMangatarem地区位置図

高アルカリ地下水(pH11以上：温泉水、自然湧水)は、基盤岩であるオフィオライト複合岩体の断裂系に沿って湧出している。この高アルカリ地下水はオフィオライト複合岩体内での蛇紋岩化作用により生成され、同時に地下水を還元環境にし、メタン・水素ガスの発生そして、発熱反応に起因した温泉水を湧出させている。

ベントナイト層は、Aksitero層群の下位の凝灰岩(一部火山灰を含む)を原岩として形成され、ほぼ水平に胚胎しており、オフィオライト複合岩体に直接累重していることが推察される。また、当地区には採鉱中のSaileベントナイト鉱床があり、そのオープンピット露頭では、複数の断裂系と高アルカリ環境下で生成されたと推定される断裂充填変質鉱物が観察された。この事実は断裂系に沿って高アルカリ地下水の上昇を強く示唆したものと考えられる。また、鉱物学的分析の結果、ベントナイトの主成分鉱物はCa-ス멕タイト、沸石の主要構成鉱物はCa-モルデン沸石と斜プチロ沸石が同定された。

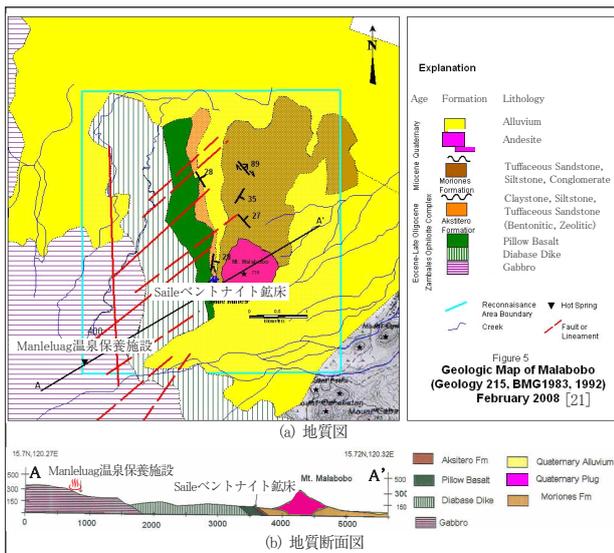


図-3 Mangatarem地区の地質図

地下水の流動系と地球化学的特性に関する概査結果から、図-4に示すように、当地域の概略的な広域地下水流動系は、このベントナイト胚胎層(不透水層)を境に上位の表層地下水流動系(中性、酸化環境

等)と下位の深層地下水流動系(高アルカリ性、還元環境等)に隔離された水理場が考えられる。また、高アルカリ地下水が地表水(河川水・沢水)との混和過程での化学的緩衝性による白色の化学的沈殿物(トラバーチン)の産状が数多く観察された。

ベントナイトの長期健全性の観点から、Ca-ス멕タイトの産状そのものが、恐らく高アルカリ・還元環境下でのアルカリ変質作用を受けたにも拘わらず長期にわたり安定に存在していることの証拠である。これはベントナイトの長期健全性が維持されていることを示唆するものである。

これらの予察調査から、当地区は、高アルカリ地下水がベントナイト層と直接コンタクトしている場所(露頭)の存在を強く示唆している。これは、ベントナイトと高アルカリ地下水との相互作用に着目したベントナイトの長期健全性に係わるナチュラルアナログ研究サイトとして好都合な環境条件を備えているものと考えられる。

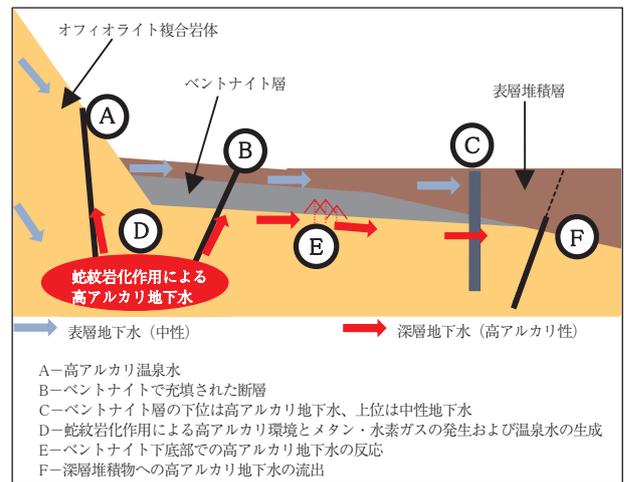


図-4 広域地下水流動系の概念モデル

結語

ナチュラルアナログ(研究)の役割と今後の進め方について

- (1)地層処分安全評価の確認(検証)のための一つのツールであるナチュラルアナログ(研究)は、自然が長い時間をかけて広い空間(地質環境)で行った総合実験結果として予測的に論述する証拠(データ、知見等)を提供するものである。
- (2)予測結果の信頼性の向上を図るためには、対象とするナチュラルアナログの環境条件が明確で、その現象と影響規模の把握のもと、整備された室内実験データ、適切なモデル、そして高度化された数学的解析が常に相互補完的な関係にあることが必要である。
- (3)室内実験は、対象とするナチュラルアナログの環境条件(雰囲気制御も含めて)に限りなく近似(模擬)された実験条件での成果が求められる。つまり、自然の総合実験と室内実験の双方がバランス良く連携(フィードバック)することにより、安全評価への科学的貢献に寄与し、信頼性の向上が図られる。現状では、実験系で得られたデータを実際の系に適用するには限界がある。さらに、長期挙動

の解析にどこまで有効かも曖昧であるが、ナチュラルアナログ(研究)により長期挙動の限界を補うことが出来る。また、ナチュラルアナログ研究から、実際の地層処分条件そのものの安全性を直接提示することができないが、安全性を担保する上での「自然からのヒント」がナチュラルアナログには隠されている。今後は、実験条件の制約をナチュラルアナログで補いながら、限られた条件での室内実験データを蓄積し、より合理的な予測解析を進めることが必要である^[19]。

- (4)処分場施設的设计・多重バリアシステムの最適化に反映できるような仕様設計の提供まで踏み込んだナチュラルアナログ(研究)として展開を図る。
- (5)ナチュラルアナログ(研究)によって取得・整理されたデータと統合された知見等にもとづき、セーフティーケース作成のための安全論拠の証拠として提供する。
- (6)広義のステークホルダーの意志決定プロセスのために透明性・中立性が担保された適切かつ整理された情報提供に寄与する。

最後に、地層(岩盤)が本来具備している「長期の閉じ込め性」と「物理的な深度」を選定根拠の原点とした地層処分概念のもと、多重バリアシステムの長期性能を評価するために、まずは、人工バリアシステムが長期に安全機能を発揮出来るよう設置環境の変化を適切に把握することが必要である。しかし、地層処分の安全性に係わる本質的な課題の一つとしての「長期」の取り扱いに関しては、最後には「地層に委ねる」という地層処分の基本概念に忠実にし、科学的な将来予測をより確かなものにするためには、「自然に学ぶ」^[20]という謙虚さをもつことがこれまで以上に求められていると思えてならない。

(山川 稔)

参考文献

- [1] Come, B. & Chapman, N.A. : Natural Analogue Working Group, First Meeting, Brussels, Nov. 1986, CEC, NST Report, EUR 10315, CEC, Luxembourg (1986)
- [2] McKinley, I.G. : Applying Natural Analogues in Predictive Performance Assessment unpub. Nagra International Report, Nagra, Wettingen, Switzerland (1989)
- [3] IAEA : Natural Analogues in Performance Assessments for the Disposal of Radioactive Waste, IAEA Technical Report, 304, Vienna (1989)
- [4] (財)エネルギー総合工学研究所：高レベル放射性廃棄物処分とはどういう問題か(1992)
- [5] Chapman, N.A. : The Geologist's Dilemma—Predicting the Future Behavior of Buried Waste, Proceedings of the Workshop on Waste Disposal and Geology, Scientific Perspective, The 29th International Geological Conference. 1-24 (1992)
- [6] 湯佐泰久：ナチュラルアナログ研究の進め方、放射性廃棄物研究, 2, 1 & 2, 85-92, (1996)
- [7] 吉田英一, 湯佐泰久：世界における天然類似現象(ナチュラルアナログ)研究の概要, 電気評論, 84, 12-17 (1999)
- [8] 天羽優子：心にのこる 1冊, 岩波, 科学, 77(12), 1334-1335 (2007)
- [9] 藤井勲：天然原子炉, 東大出版会 (1985)
- [10] 藤井勲：オクロ天然原子炉とその現状：日本原子力学会誌, 27(4), 28-48 (1985)
- [11] 藤井勲：20億年前の天然原子炉(オクロ鉱床)を訪ねて, 地質ニュース, 439, 30-39, (1991)
- [12] 山川稔：オクロ天然原子炉—最近の研究成果と高レベル放射性廃棄物地層処分にとっての意義, 日本原子力学会誌, 35, 978-984 (1993)
- [13] 日高洋：オクロ鉱床によるナチュラルアナログ研究の現状と展望, 地球化学, 28, 143-154 (1991)
- [14] 日高洋：20億年前の原子炉, 電気評論, 84, 18-22 (1999)
- [15] 佐藤努, 福士圭介：廃棄物処分のナチュラルアナログ研究—あまりアナログにこだわるな—資源地質, 53(2), 193-200 (2003)
- [16] National Research Council : Rethinking High level Radioactive Waste Disposal, National Academy Press, Washington, D.C. (1990)
- [17] Yamakawa, M. et.al : The potential in the Philippines for Studing Natural Analogues of the Interaction of Low-Alkali Cement Leachates and Bentonite Barriers in a Radioactive Waste Repository, 4th Japan-Korea Joint Workshop on Radioactive Waste Disposal 2008, 27-28 May, 2008, Hakone, Japan (in press)
- [18] Alexander, W.R. et.al. : Hyperalkaline Natural Analogue Potential in the Philippines, 2nd East Asia Forum on Radwaste Management Conference, 20-23 October, Tokyo, Japan (in press)
- [19] 田中知他：放射性廃棄物処分システムにおけるセメントに期待される役割(2), 一材料設計の観点から—, 日本原子力学会誌, 42(3) 178-190 (2000)
- [20] 湯佐泰久：自然から学ぶ放射性廃棄物処分の知恵—地質学の役割, 日本地質学会, 明日を拓く地質学—, 82-112, (2001)
- [21] Tamayo, Tr. et.al. : Subduction-related Magmatic Imprint of most Philippines Ophiolites, Implication on the early Geodynamic Evolution of the Philippines Archipelago, Bull. De la Societe Geologique de France, 175, 443-460 (2004)

編集発行

財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター (略称：原環センター)

〒104-0052 東京都中央区月島1丁目15番7号 (パシフィックマークス月島8階)

TEL 03-3534-4511 (代表) FAX 03-3534-4567

ホームページ <http://www.rwmc.or.jp/>