

スイスITCにおける廃棄物地下貯蔵・処分技術研修

渡部 芳夫¹⁾・月村 勝宏¹⁾・張 銘¹⁾・関 陽児¹⁾・鈴木 正哉¹⁾・内藤 一樹¹⁾

1. はじめに

ITCはスイス・インナーキルヒェンに本拠を置く放射性廃棄物の処分に関連する技術研修を国際的に行うために設置された協会で、正式名称をInternational Training Centerとといいます。昨年春に実質的な活動を開始しましたが、半年後の昨秋から早々と国際研修コースやワークショップが開設され、ヨーロッパを始め、我が国などアジア諸国からの参加があります。ITC会員として機関登録しているのは、これまでヨーロッパ諸国に日米を加えた13カ国です^{末尾注}。当深部地質環境研究センターからも、それぞれのコースやワークショップに参加し、処分技術の最先端や処分行政の実例などに理解を深めるとともに、各国の研究者との連携を目指しています。ここでは、我が国の廃棄物処分、特に地層処分の安全評価研究への関わりの深い、ITCの研修コースの概要を報告します。

ITCの実施する研修事業は、School of Underground Waste Storage and Disposalと総称されています。それぞれの研修コースでは、廃棄物の地下処分に関連するあらゆる内容についての理論と技術の研修が行われることになっていますが、理学や工学的な内容だけでなく、政策判断やコミュニケーションなど、処分行政に関わる部分も含まれているのが特徴で、実際に行政機関等からの参加者も見受けられます。コースによっては、スイスやベルギーなどの実際の地下実験施設の見学・実習が含まれています。

それでは、これまで実施された3つのコースについてご紹介します。また、今後の予定もある程度ご紹介しますので、ご興味のある読者の皆さんのご参考になれば幸いです。

2. 第1回：The Fundamentals of Geological Disposal & the Theory and Practice of Underground Rock Facilities 【2003年10月20日～11月7日、マイリンゲン】

この第1回のコースは、各国の廃棄物処分計画に関わっている処分実施機関、規制機関、そして支援研究機関の参加者を対象にしたもので、廃棄物地層処分にかかる国際的な現状説明と問題点の提起が主要な目的でした。開講場所はスイスのマイリンゲンというきれいな街で、古いホテルをほぼ借り切って行われました。参加者はヨーロッパを中心とした18カ国から合計29名、日本からは当センターからの参加2名を加えて、合計6名が参加しました。なお、このコースの内容については、一緒に参加された藤原さんらが詳しく報告されていますので(藤原ほか, 2004)、ぜひそちらもご参照ください。

3週にわたるコースは1週間ごとに「地層処分の基礎」、「地下実験施設の考え方と理論」、そして「地下実験施設での実習」という内容でした。残念ながら3週目の地下実習には参加できませんでしたが、2週目の研修の際にスイスのGrimselとMt Terri実験施設の見学ができました。

第1週は合計16のセッションからなり、廃棄物地層処分の概念から安全評価、審査・規制の概念や計画立案実施に関わる問題点など、政府・実施機関の立場での講義と、施設建設に至るまでに必要な立地選定段階までの天然バリア性能調査など、主として地球科学的調査研究にかかる整理が行われました。スイス(ITC)をはじめとし、スウェーデン(SKB:スウェーデン原子燃料廃棄物管理機関)、英国(元BGS:英国地質調査所)などの放射性廃棄物処分先進国からの、第一線の研究者らが講師

1) 産総研 深部地質環境研究センター

キーワード: ITC, 廃棄物地下貯蔵, 地層処分, Grimsel, Mt Terri



第1図

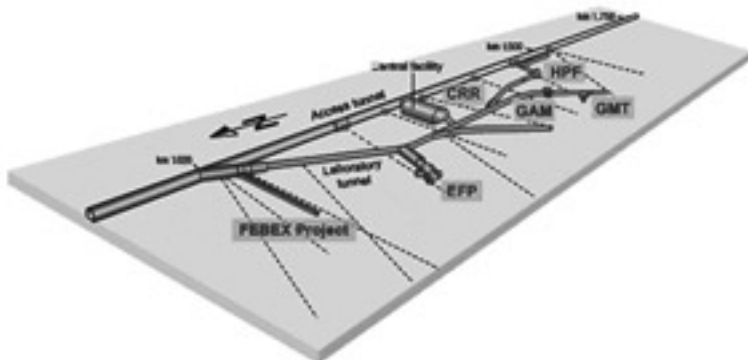
Grimsel地下実験施設が位置する、スイスアルプス南部のGrimsel峠の北からの遠望。谷の奥に位置する氷河湖の手前が峠の位置で、ここから地元電力会社の地下トンネルが南に貫通している。Grimsel地下試験施設は、この地下トンネルの途中から脇に掘り抜いた試験坑を中心に構成されている。標高1700 m以上の高地に位置するため、12月から4月までは降雪で道路が閉鎖され、実験施設へは電力会社のロープウェイと地下トンネルを乗り継がないとアクセスできない。

を務め、非常に中身の濃い週でした。我々支援研究の立場では実際に責任を負うことが予想されない、施策に関わる内容などについては、参加メンバーとの討論などを通じてそれぞれの立場や専門を超えた議論ができて有意義なものでした。実際に日本の地質研究者がアルバニアやエストニアなどの政府行政官と議論できるチャンスなどはそうはないでしょう。

第2週は、より技術的、地球科学的な内容の講義と実習が11セッション、これに加えてGrimselとMt Terri地下実験施設の見学が行われました。講義のほとんども、これら2施設で実施されてきた国際共同研究プロジェクトの成果を中心にされており、より地層処分の研究現場に近い受講者が想定されていると感じました。ここで紹介された研究プロジェクトは、それぞれ長い研究準備段階を経て実施された、あるいは現在実施中のもので、それぞれの地下実験施設プロジェクトは、提案各国の処分計画段階に応じた内容と目的を持ったものです。

スイスを始めとし、ドイツ、スペイン、そして日本からの提案によりNagra（スイス放射性廃棄物管理協同組合）と核燃料サイクル機構等が共同実施している「Gas Migration Test」プロジェクトも含まれていました。我が国の支援研究においても、地下実験施設を利用した研究開発は不可欠だと思いますので、国内施設と同時にこのような国際共同研究も利用することで、それぞれのテーマに最適な施設を選択することも重要だと感じます。

スイスの地下実験施設は、アルプスの麓から花崗岩の山体を貫通するトンネルであるGrimselと、ジュラ系の堆積岩の褶曲山地を抜ける道路トンネルに沿って掘られたMt Terriの2カ所を、処分実施機関であるNagraが所有しています。地下実験施設の用地選定は、スイス国内の代表的地質体の選定をもとに、長い検討期間を経て行われました。この結果、亀裂性の花崗岩岩盤と、多孔質堆積岩という水理学的特徴、南部のアルプス山麓と北部の平野部という地形学・地政学的特徴の両者について、



第2図

Grimsel試験坑道の平面鳥瞰図（NAGRA, 2004）。Grimsel峠南側の氷河湖ダムからの地下水路トンネルの一部から測道として掘削したもの。試験孔のエリアがプロジェクトごとに割り振られており、実スケール人工バリア評価（FEBEX）、日本の参加するGas Migration Test（GMT）、コロイド評価と実際の放射性同位体の注入実験を行ったColloid and Radionuclide Retardation（CRR）、Hyperalkaline Plume in Fractured Rock（HPF）、Conclusions of the Tunnel Nearfield（CTN）などが実施されてきた。



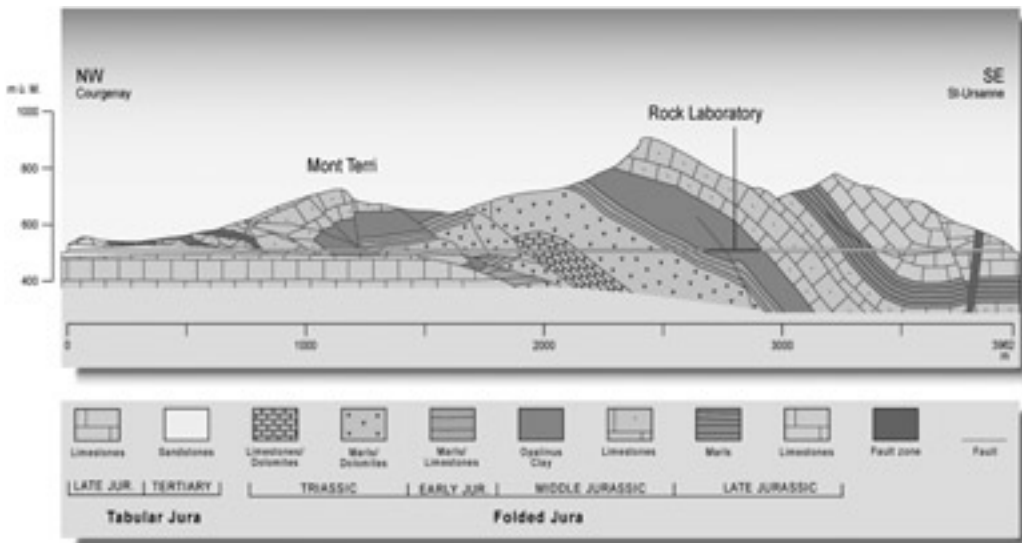
第3図

Grimsel試験坑におけるFEBEXプロジェクトの試験坑の様子。実スケール人工バリア試験に用いたキャニスターの搬入・搬出トレーラのレールが敷かれている。現在はPhase1の実験が終了し、埋設されていたキャニスターとベントナイトブロックが掘り出されて解析されている。

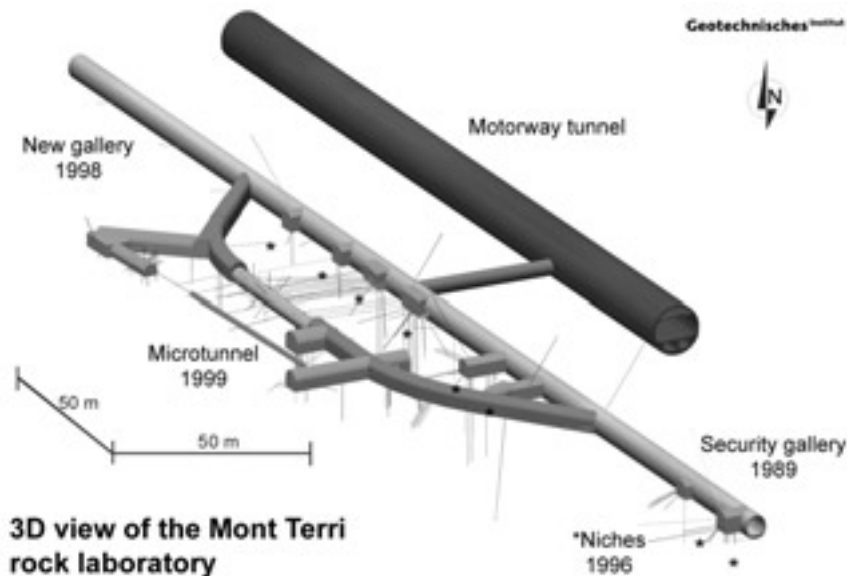
代表的な地域が選定された形になり、非常に理想的な選定が行われたと感じました。施設完成はGrimselが先立ちますので、多くの実験・研究はGrimselの花崗岩岩盤を対象に行われてきました(第1図)。試験施設自体は、標高1,730mの地下450m程度を貫通する直径4m弱、総延長1kmの実験トンネルと、中央部分に位置した生活空間部分からなりますが(第2図)、この施設自体は、KWOという地元の電力会社のトンネルの測道に相当するものです。1983年に完成したこの試験坑道は、プロジェクトごとにエリアが割り振られる形で運営されており、見取り図では、たとえばスペインの実スケール

人工バリア評価(FEBEX)プロジェクト(第3図)、日本の参加するGas Migration Test(GMT)プロジェクト、コロイド評価と実際の放射性同位体の注入実験を行ったColloid and Radionuclide Retardation(CRR)プロジェクトなどが見取れます。

一方のMt Terri試験サイトは、Mt Terriを抜けるハイウエーの脇に掘られた整備・脱出用トンネルからさらに側方に掘削された実験坑道です。Mt Terri山自体は、スイス南西部から延長するアルプス造山運動で褶曲したジュラ系が、東に向かって徐々に平滑になりドイツ国境に向かって広がる平野部の構造的境界に位置します。第4図にあるよう



第4図 Mt Terri地下実験施設の位置図。Nagra-Mt Terriプロジェクトのホームページより引用。原図はMichael Freivoegelによる。アルプス造山運動によりジュラ系の堆積物は南東から北西に倒れ込んだ複背斜構造をなしているが、これを貫く高速道路トンネルの南東側入り口から1km程度のところから実験トンネルが脇に掘られている。実験対象の地層は、Opalinus Clayと呼ばれる炭酸塩を含んだ粘土層である。



第5図
Mt Terri地下実験施設の概略図。Nagra-Mt Terriプロジェクトのホームページより引用。高速道路トンネルに併走している点検・緊急脱出用のトンネルから、実験トンネルがさらに掘られている。

に、北に倒れた複背斜構造をトンネルは貫いていますが、その南翼部の Opalinus Clay という炭酸塩を含む粘土層が実験対象となっています。この粘土層は吸水性に富み、亀裂などが生じても地下水などの水分を吸収して膨張し、透水性は直ちに低下する特徴を持っています。これは地層処分の母岩としては理想的な性質であり、たとえ亀裂が将来生じても、地下水により移動する放射性物質の移動が著しく妨げられることとなります。第5図に示すように、Mt Terriでも試験トンネルに向かった整備・脱出トンネルからの試験ボーリングが多数行われています。ところが、ここでは母岩が板状にはがれやすい粘土岩であるために、試験坑の掘削だけでなく実験用の解放面の方向にかなり神経を使わなければならないようで、空間的自由度を増やすために第2試験坑の掘削が進んでいました(第5図で Microtunnel 1999 と表記されている部分)。

残念ながら当センターからは第3週の地下施設実習には参加しなかったのですが、第2週のこれら2地下試験施設の見学は、事前に十分なサイトでの試験プロジェクトの講義を受けていたこと、サイトでの説明や討議も現場の研究者と行えたことなどから、非常に有意義なものでした。実際にここでの議論からアイデアを得て、本邦での実務に適用できそうなものもありますので、まさに第1回研修のハイライトではなかったかと思えます。

3. 第2回：Geochemical Modelling of Natural and Contaminated Groundwaters 【2004年3月15日～19日：ベルン大学】

第2回はITCとベルン大学地質科学教室の共催による地下水化学の研修で、究極的な目的は廃棄物地層処分における長期地下水変動の評価ですが、手法や研究対象は自然環境下での地下水汚染物質の挙動を対象とする場合も多く、その点では、講義・研修の内容は鉱物・水反応の基礎から自然環境管理まで多岐にわたりました。ヨーロッパを中心に合計15名の参加がありました(当センターからは3名が参加しました)が、ベルン大学をはじめとする大学院生の単位にもなるということで、同時に参加した大学院の学生さんにまじって、研修メンバーが必死に講義について行くという環境でした。

地下水中での地化学反応をモデル化する一連の作業が研修対象でしたが、それだけに止まらず、岩石や土壌中での地下水による元素の移動まで考慮することになりました。さらに長期間にわたる元素移動のモデル評価を行うには、過去の地下水の流れを復元する手法も必要となります。研修では、著名な地下水化学研究者の Urs Mäder 教授が直々に話をされ、我々参加者はそれぞれの手元のパソコンでモデル計算を進めながら講義について



第6図 ベルン大学における研修の様子。参加者は各自のPCで実際にモデル計算を行いながら研修は進んだ。

行くという、かなり集中力のいるコースとなりました(第6図)。

コースの地下水化学モデリングで扱われた内容は、熱力学、水理学、同位体化学、地下水の混合と反応などですが、アメリカ地質調査所(USGS)が開発頒布しているPHREEQCプログラムを実際に使用しながらの研修となりました。地下水中でのイオン種や飽和度の計算ができるものとして広く使われているソフトですが(Parkhurst and Charlton, 2003)、実際の用途は広く、今回も水、水溶液、鉱物、ガスなどでのイオン交換から表面吸着までに及びました。実は事前の参加条件には、大学卒業程度の無機地球化学、鉱物化学、水理化学、熱力学、コンピューター操作経験・・・などとかなりハードが高く設定されていて、参加者は飛行機の中でも昔の教科書の復習に励んで臨んだのですが、実際に地質や工学の専門家にはそうとう厳しい内容でした。終了時には、地下浅いところの地下水中で起こる化学現象をモデル化し、それを一通りのPHREEQCの操作によりシミュレーション計算する流れについて、それなりの理解を得ることができたと思います。地質や工学を専門にしている時には、地層処分の最終的な安全評価に欠かせない地下水化学とそのモデル化の詳細に触れる機会がそれほど多くありません。最先端の研究者によるマンツーマンに近いこのような研修は、かなり専門的ではありますが、貴重なものだったと思います。

4. 第3回：Workshop on Case Studies of Subsurface Radionuclide Migration

【2004年5月5日～7日、マイリンゲン】

ゴールデンウィークの後半にかかって開催された第3回は、放射性元素の浅部地下移動に関するワークショップでした。実質的に2日間に合計12件の講演が行われました。最終日にはGrimsel地下実験施設への見学が計画されていましたが、残念ながら時期遅れの猛吹雪により峠に近寄ることができず、これは中止となってしまいました。参加者は35名、当センターからは2名が参加しました。今回もヨーロッパ地域からの参加が大多数を占めました。

今回のワークショップは、岩盤や土壌とそこに含まれる地層水の中での放射性元素の移動を物理的・化学的に評価した事例研究と、これに関連する汚染浄化について、比較的バラエティーに富んだ講演内容でした。廃棄物地層処分だけでなく、低レベルや環境汚染といった分野への適用が予想される演題だったのですが、実際に、各国からの汚染地域の実状が数多く報告されることとなりました。最大の話題はまだ記憶に新しいウクライナのチェルノブイリからのもので、ロシア・ウクライナ・スイスの汚染浄化共同プロジェクトの成果が報告されました。チェルノブイリの汚染地域の水理地質化学的状況の報告や、放射性元素の吸着剤による浄化技術、土壌・植生による放射性元素移動などに続いて、大規模原子力施設での安全管理や安全評価手法、そしてチェルノブイリへの廃棄物処分施設建設案などまで報告されました。これらの内容はロシアや東ヨーロッパ諸国での成果を中心としています。処分施設建設計画と同時に現行の原子力施設の安全管理や汚染浄化も大きなテーマとなっているお国柄と感じました。

これに続き、後半は放射性元素や重金属類などのいわゆる環境中の化学汚染物質質量や地表に近い地中での移動についての講演が、ドイツ・スイス・ハンガリー・キルギスタン・ベルギーなどでの事例研究について行われました。長期的な安全評価に欠かせないのが現状の自然バックグラウンド量の把握で、これはいわゆるベースラインモニタリングとして重要なものです。現状の評価で問題となるのが、

鉱山開発や工業・原子力事業などによるいわゆる人工的環境汚染量で、自然バックグラウンド量が長期間にわたって比較的安定した変動しかもたらさないのに比べて、前者は社会活動に応じて著しく変動します。今回のワークショップは、自然科学の領域からこれらの評価に必要な社会学や経済学などに少し近寄ったところでの切り口の必要性を明らかにしてくれたものと言えます。

5. ITCで予定されている今後の研修

ITCでは、今後の研修やワークショップの内容についてのアンケートを会員機関に行っています。基本的に参加メンバーの多くはヨーロッパ諸国が多いため、それぞれの放射性廃棄物処分計画の状況は異なっています。処分の実施や規制を担当する政府機関からの要望と研究者レベルからのそれとは異なっていますが、どうやら両者のバランスをとった内容でプランニングが進められているようです。既にホームページ (<http://www.itc-school.org>) で公開されているように、11月に「Fundamentals of Geological Disposal」というセッションが予定されています。これは昨年の第1回の研修の第1週の内容をアップデートしたものとことです。

これに続き、同じ11月に「深部地下処分施設の立地選定 (Siting of Deep Geological Repositories)」というコースがチェコで予定されています。廃棄物処分の立地選定のアプローチと基準については、これまで世界共通の正解というものはなかったように感じられますが、ここでは成功例や失敗例からの教訓をもとに、立地選定プロセスで欠かすことができない技術的そして社会的な観点を明らかにするとのことです。

このほか、「処分実施における判断と地権者の関わり (Decision Making and Stakeholder Involvement in Repository Development)」というコースは、処分候補地を含む地域地権者 (住民も含みます) の役割と義務について焦点を絞ったものになりそうです。これまでの各国での経験から、地権者、市民、あるいは国民全般と行政・実施機関とのコミュニケーションの重要さは繰り返して指摘されていますが、研修では専門家と種々のレベルの

市民とで想定される対話のシミュレーションも予定されるそうです。

ここまでは、行政レベルを対象とする研修予定が続きましたが、来年の春にはGrimsel地下実験施設を舞台に、「地下岩石実験施設の概要と亀裂性岩盤での物質移行と遅延効果 (Concepts of Underground Rock Facilities and Transport and Retardation Processes in Fractured Media)」というコースが準備されています。先にご紹介した通り、Grimselは花崗岩岩盤の地下実験施設ですが、国際共同研究プロジェクトも数多く実施されており、最も整備された国際共同利用施設の一つという地位を固めています。我が国の地下実験施設の建設も進み、共同研究の進展がみられ始めようとするところですが、亀裂性媒体の物質移行に焦点を絞って実際の現場試験とモデルまで研修で用意されているこのコースは、日本での支援研究にも資するところが大きいでしょう。

謝辞：ITCのCourse Directorの佐久間氏には、研修参加の際にお世話になっただけでなく、今後のITC研修計画などの情報を教えていただきました。

注) ベルギー、チェコ、フィンランド、ドイツ、ハンガリー、イタリア、スロヴェニア、スペイン、スウェーデン、スイス、英国、米国、それに日本がメンバー国となっており、日本の登録機関は原子力環境整備促進・資金管理センター、産総研深部地質環境研究センター、核燃料サイクル機構、エネルギー総合工学研究所、アイイーエー、日本原燃、電力中央研究所、清水建設、大成建設、間組、大林組、日揮、鹿島建設、日本原子力研究所、名古屋大学、埼玉大学等。

参考文献

- 藤原ほか (2004) : ITC地下廃棄物貯蔵・処分研修センターへの参加報告, 日本原子力学会誌, 46, 48-49
 NAGRA (2004) : Grimsel Test Site, http://www.grimsel.com/general/location_v.htm.
 Parkhurst, D. and Charlton, S. (2003) : Reaction-Transport Modeling In Ground-Water Systems. http://www.brr.cr.usgs.gov/projects/GWC_coupled/phreeqc/

WATANABE Yoshio, TSUKIMURA Katsuhiko, ZHANG Ming, SEKI Yoji, SUZUKI Masaya and NAITO Kazuki (2004) : ITC: School of Underground Waste Storage and Disposal.

< 受付：2004年7月5日 >