

高レベル放射性廃棄物の最終処分地選定に 関わる地質環境調査の社会技術的アプローチ

SOCIO-TECHNOLOGICAL APPROACH FOR SITE INVESTIGATION PROCESS
ON HLW REPOSITORY DEVELOPMENT PROGRAM

坪谷隆夫¹・安藤賢一²・山本修一³・佐藤晶子⁴

¹学士（理学）（財）原子力環境整備促進・資金管理センター（E-mail:tsuboya@rwmc.or.jp）

²博士（工学）（株）大林組 東京本社 土木技術本部技術第四部（E-mail:ando.kenichi@obayashi.co.jp）

³博士（工学）（株）大林組 東京本社 土木技術本部技術第四部（E-mail:yamamoto.shuichi@obayashi.co.jp）

⁴学士（農学）（株）大林組 東京本社 土木技術本部技術第四部（E-mail:sato.shoko@obayashi.co.jp）

高レベル放射性廃棄物の最終処分施設の建設は、わが国においても重要な政策課題となっている。しかし、施設を建設する立地点の選定は極めて重要な社会意思決定が求められるものと認識されている。立地点調査の中核となる地質環境調査とその結果もたらされる地質環境情報は、高レベル放射性廃棄物の最終処分施設計画の中でもとりわけ「情報の非対称性」が著しく、施設計画の社会意思決定を困難にしている要因の一つではないかと考えられる。ここでは、地質環境調査の有する情報の非対称性に着眼して、地質環境調査に関わる情報を社会と共有し、共同で意思決定をおこなうためのツールとして、「ITベース・調査システムフロー」を開発した。「ITベース・調査システムフロー」は、地点選定における調査から評価に至るプロセスと関連する技術情報を透明性および追跡性を確保し、かつ、視覚的に分かりやすく表現することを試みるもので、高レベル放射性廃棄物の最終処分施設計画における情報の非対称性の緩和に役立つものと考えられる。

キーワード：情報可視化，意思決定，合意形成，ITベース・調査システムフロー，情報の非対称性，高レベル放射性廃棄物，処分場開発

1. 事業の特性と課題

現在、原子力発電はわが国の電力のおよそ3割以上を生み出しており、エネルギー確保の上で重要な役割を担っている。その一方で、原子力発電所で使用した燃料から、有用な資源となるウランやプルトニウムを分離回収した後、放射能の強い放射性物質を含んだ高レベル放射性廃棄物が発生している。高レベル放射性廃棄物は、寿命は短いが高放射能の濃度が高い放射性物質と放射能の濃度は低いが寿命が長い放射性物質を含んでいる。原子力発電によって生み出される電気の恩恵を享受するためには、発電の過程で発生する高レベル放射性廃棄物を少なくとも数千年の長期にわたって安全に管理することが求められる。すなわち、長期的な安全管理に当たっては、高レベル放射性廃棄物が不適切な方策によって管理されるに伴う現世代から将来世代にわたる放射線被曝のリスクを現在可能な最善の技術によって出来るだけ回避することが重要である。

高レベル放射性廃棄物は、物理的・化学的に安定な固体、例えば、黒曜石のようにガラスの形状などとして管理することが重要である。核兵器保有国などで高レベル

放射性廃棄物が発生し始めた1950年代から米国を始めとする各国の専門家は、このような安定な形状にした高レベル放射性廃棄物の南極氷床下や宇宙などへの最終処分についても検討してきたが、地下深部の地層中が最も適切な場所であり、「地層処分」が確実な対策であることが世界共通の認識となっている¹⁾。高レベル放射性廃棄物の地層処分は、将来世代に施設の建て替えやテロ行為の防止など過度な負担を求めることなしに放射性廃棄物を物理的に生活環境から隔離し、その中の放射能やそれからの放射線が将来にわたって人間とその生活環境に影響を及ぼさないようにすることを基本とする技術である²⁾。

高レベル放射性廃棄物は、先に述べた短寿命で高放射能の放射性物質に起因する発熱を冷却するため30 - 50年程度地上などの施設内において安全な保管管理が必要である。今までは、このような技術的（冷却期間が必要であるという）理由から地層処分の実施に対する時間稼ぎが可能であったが、わが国においても、また、欧米諸国においても保管量の増大などを背景に高レベル放射性廃棄物の地層処分の実施に向けた計画（最終処分場開発計画）の遂行がエネルギー政策や環境政策における

最重要課題の一つとなっている。

わが国においては、今までに技術に関わる基本的な検討³⁾に加えて社会的・経済的な側面からの検討⁴⁾が進められてきた。それらの検討結果を基礎として、高レベル放射性廃棄物を深度 300m 以深の地下に処分（地層処分）することとしてその基本的な制度を定めた「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」（平成 12 年 6 月公布）（以下「最終処分法」という）が制定され、現在この法律に基づいて実施に向けた準備が進められている。Fig.1 に最終処分施設のイメージを示す⁵⁾。地層処分は温度、圧力、化学的性質が安定した深部地下にガラス、金属材料、粘土材料などを用いて人工的な多重のバリアを作り、地層という天然のバリアと一体化して放射性物質を長期にわたって生物圏から隔離することで安全を確保する概念である。したがって、放射性物質の移動を支配する地下水の動きやその化学的特性および地質構造などが適切に評価されることが前提であり、そのための地質環境調査が安全の出発点といえる。

高レベル放射性廃棄物の特徴を踏まえ、高レベル放射性廃棄物処分の安全性は、長期的な観点から安全性に影響が及ぶおそれのある因子に配慮しつつ、処分地の選定や工学的な対策による安全確保のための対策を講じるとともに安全評価等の安全確認によって確保される。この「安全評価」については、適切なシナリオを仮定し、一般公衆が放射性物質から受けると想定される線量を評価し、定められた放射線防護レベルを超えることがないことを確認することが基本であるとされている⁶⁾。

このような安全確保の観点から極めて重要な最終処分地選定の手順としては、複数の候補地を募り、最終処分法によって文献調査に基づく概要調査地区選定段階、地表から調査する精密調査地区選定段階、地下に調査施設を作る最終処分施設建設地選定段階を経て、実際の処分地を決定し、処分場の建設へと段階を踏んで進めることとなっている。これらの調査においては、地表からのボーリング調査や物理探査、地下調査施設を用いた調査などにより、地表から地下深部までの岩盤および地下水の性質などを体系的に調べ、高レベル放射性廃棄物の処分地としての地質環境を理解するとともに、処分施設の設計や処分場の安全性の事前評価に必要な情報を取得する。

この安全評価の中では、多岐にわたる科学・技術分野において高度な検討が要求され、評価対象とする期間も超長期（数万年以上）にわたる。

地層処分技術は、地質環境の空間的な不均質性や時間的な地質環境の変化などによる不確実性（Variability）が不可避的に伴うことに対してどのように応えるのが中心的な課題であると言っていい。一方で、最終処分地の選定など地層処分計画の実施段階においては、数値解析による安全評価や処分地選定における地質環境の理解に

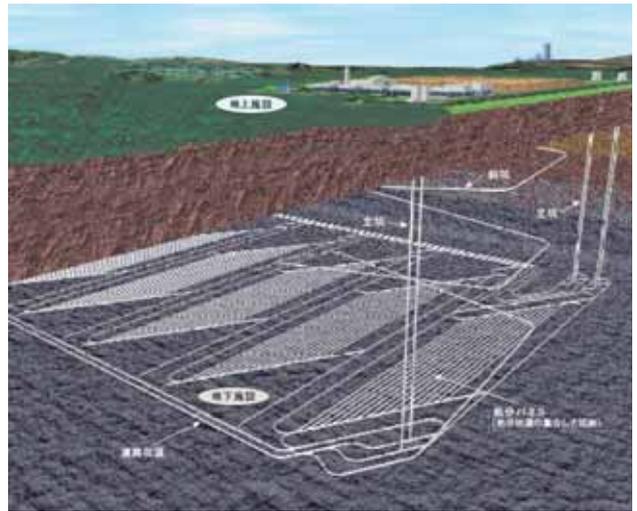


Fig.1 最終処分施設のイメージ図⁵⁾

対する科学的・技術的な信頼性への疑問、さらには世界的にも米国の岩塩層内地層処分の例だけで国内では前例を見ない計画であり、かつ、放射能、地下深部、地下水などという目に見えない生活の安全に関わると考えられることへの不安、孫あるいはそれ以上の世代に対する現世代での意思決定への躊躇など、社会的な命題に応える必要がある。言い換えれば、地層処分技術の社会への実装段階における最重要課題は、高レベル放射性廃棄物の地層処分技術を社会技術ととらえ、社会が地層処分の実施に向けて意思決定が出来る地層処分技術を整備することではないかと考えられる。

また、先に述べたように、最終処分法は複数の候補地から透明性を持って段階的に最終処分地を絞り込む処分地選定プロセスや、処分地選定や処分場の操業などを担う実施主体の設立、将来の最終処分に所要の費用の積み立てなどを法制化している。社会が地層処分の実施に向けた意思決定をするうえで、地層処分技術の整備と相まってこのような制度の整備と適切な運用が必要であると考えられる。

地層処分計画は、数十年にわたる段階的な処分地選定や40 - 50年程度にわたる地下施設の建設と高レベル放射性廃棄物の搬入、地下施設の閉鎖など100年以上にわたる事業である。このような長期事業に関して、先進的に計画を進めているスウェーデンなどにおいては「段階的な処分施設建設・廃棄物搬入」を中心とした「段階的処分場開発計画」を打ち出している⁷⁾。

このような方策は、長期間にわたる建設・操業などにこれからの技術進歩を柔軟に取り入れられる側面とともに実施主体を中心とする関係機関と国民・地域社会との対話の結果得られた社会技術の側面からも積極的に評価できるものと考えられよう。

そこで、本稿では、Fig.2 に示すような多岐にわたる

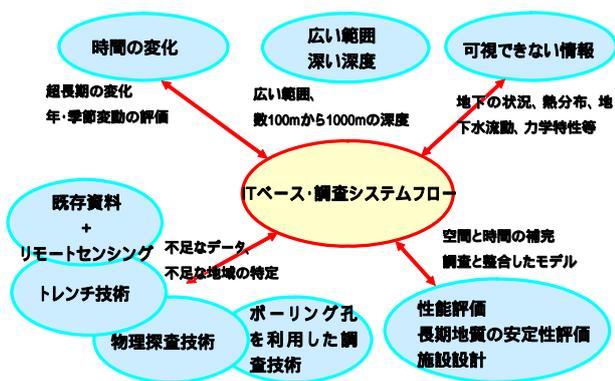


Fig.2 ITベース・調査システムフローの役割

複雑で高度な検討が要求される高レベル放射性廃棄物の処分事業を対象に社会技術の役割を示し、地層処分の安全確保の観点から極めて重要とされている処分地の選定手法として提案している「ITベース・調査システムフロー」について報告し、その有用性と課題について検討した。

2. 社会への実装に向けた社会技術の必要性

本論では、国民レベルおよび地層処分施設の候補地における(なろうとする)地域社会、大都市圏など電力消費地域、もしくは利害関係者(いわゆる「ステークホルダー」)を高レベル放射性廃棄物の地層処分に関係する「社会」と考えている。

地層処分は、第1節で述べたように、高レベル放射性廃棄物の特徴を踏まえた技術であるが、それを社会に実装するためには社会技術として整備していく必要がある。

そのためには、国(政策および安全規制当局)、実施主体などは高レベル放射性廃棄物の発生の由来や特徴、地質環境の特徴や安全評価など地層処分の考え方や仕組みなどに関する社会的な認知レベルやリテラシーの向上に努めることが重要である。

地層処分のように社会的な意思決定が難しいと考えられる計画においては、社会と国、実施主体などが、「地層処分は将来世代に過度な負担を求めることなしに放射性廃棄物を物理的に生活環境から隔離し、その中の放射能やそれからの放射線が将来にわたって人間とその生活環境に影響を及ぼさないようにする信頼性の高い技術であり、また、社会が安心できる技術オプションが積極的に開発導入される」との認識を共有していくことが重要であると考えられる。

2.1. 社会からの観点

社会の地層処分に対する認知レベルは高くない。2003年に実施された全国レベルの調査によれば、地層処分という方法を「全く知らない」および「あまり知らな

い」人が59%であった。また、地層処分に「どちらかといえば反対」および「反対」は47%で、「わからない」と答えた人は38%に上る⁸⁾。先に述べたように、高レベル放射性廃棄物の地層処分についての社会的認知度を社会技術的に練られた適切かつ有効な方法によって高めていくことがまずもって肝要である。しかし、そのようにして社会が「総論賛成」となっても、高レベル放射性廃棄物処分施設の立地は典型的な「各論反対」事例であるのではないかと考えられる。例えば、社会が放射性廃棄物を適正に処分することは健康で快適な生活を送るために不可欠であると認識し、そのための処分施設も建設されなければならないと考えても、わが国における廃棄物関連施設など社会的な摩擦を起こすプロジェクトは、ひとたび廃棄物処分施設の立地が計画されると、施設の建設・操業・閉鎖から将来にわたり発生するかもしれない様々な悪影響を予想し、往々にして、「その場所での」建設に反対する運動、NIMBY(裏庭にはだめ)シンドロームが起こることが想定される⁹⁾。

高レベル放射性廃棄物の地層処分計画は、エネルギーの安全保障の観点から極めて公共性が高い施設の立地である。国民レベルで地層処分計画の認知レベルを高めていくとともに地域社会にあってはこのような公共施設を全国民を代表して立地していく「誇り」が醸成されることが望まれる。そのためには、社会が期待する様々な条件が満足されなければならない。まず、廃棄物処分施設が敬遠される根本的な理由はその施設が稼動することによって生じる(かもしれない)健康・生活環境・社会環境・自然環境への悪影響に対する懸念である。これが「迷惑施設」とされる所以であるが、社会意思決定のためにはそれらの悪影響の可能性を何らかの形で相殺しなければならない。

そのような拒否反応を緩和する対策のひとつは、排出責任の自覚である。当然、処分施設の持つ様々なリスクはそこで処分される廃棄物に原因があり、その廃棄物は人間活動の副産物として排出される。社会に排出責任の認知があれば、ある程度の不利益はやむを得ないと考える余地が生まれる。

しかし、自分の排出責任だけでは、処分施設のリスクとバランスをとることが難しい。

特に、高レベル放射性廃棄物という「ゴミ問題」は、各世帯が自分が使用した電力に相応する放射性のごみを処分するわけではなく全国的に集中処分が考えられるので、処分施設からの社会的な影響が及ぶ地域が著しく限定される。その不公平感に対して、地域社会が、地層処分計画に関わる潜在的なリスクに見合うと考えられる「利益」が得られることによって、そのバランスをとることも必要になる。この利益には、交付金制度のような仕組みが重要である。さらに、高レベル放射性廃棄物の

地層処分計画が高度な知識を要求し、かつ、長期にわたる事業であるので、世代を超えた地層処分技術の継承のために優秀な人材や「知」の供給源を確保する必要があり、そのため処分技術の専門家を養成する機能を兼ね備えた大学などの設置を視野に入れることが出来る。

また、国、実施主体などが実施する情報提供やコミュニケーションの場などを通じて地層処分計画に関わる正確な情報を取得するとともに技術オプションや安心できる仕組みなどを共同で検討していくことも重要ではないかと考えられる。

2.2. 実施側からの観点

前述したように地層処分においては、将来の極めて長い期間にわたって安全性を評価するため、廃棄物を埋設しようとする地質環境を適切に理解することが重要である。そのために地質環境調査は、最終処分地の選定において技術的に極めて重要な役割を有している。地質環境調査は、多岐にわたる調査技術と多くの解析モデルを合理的に組合わせて実施され、長期にわたる時間と、高度で多くの分野の専門家の参画を要する。

しかし、地表から地下深部までの岩盤および地下水の性質などを中心とする地質環境の理解とは、合理的な調査結果から地質環境を推定し、科学的に蓋然性が高いと考えられる場を探求する行為と違ってよい。そこには、様々な専門家の知識とそれに基づく判断が存在する。よって地質環境を適切に理解するには、調査の専門家だけではなく解析、評価を行う一連の専門家がそれぞれの立場からの専門的判断を互いにすり合わせていく必要がある。また、調査の側は、採取するデータが何に用いられるかを理解し、目的に合った調査計画を立てるとともに、解析する側に調査の前提条件や調査時に起こった事象など、彼らの判断に必要となる情報を的確に受け渡すことも重要となる。

また実施主体は、自らが行った調査・解析・評価といった行為における過程と結果について、社会にわかりやすく発信する責任を有する。高レベル放射性廃棄物の地層処分計画は、地質環境調査だけに限らず、その技術情報が第1節および第2節で述べたように埋設しようとする廃棄物の特徴、安全評価など多岐にわたり膨大であるうえ、安全評価や地質環境調査など事業の進展に伴い累積更新されていくという特徴を有する。従って、地層処分に関わる技術情報は、実施主体を始め国などに集中的に集積され、そのままでは多くのステークホルダーにとっては情報の内容や更新の経緯などに接することが難しい、典型的な「情報の非対称性」¹⁰⁾(複数の当事者間で、保持する情報量に著しい格差がある状態などを指す)を有するプロジェクトであるといえる。今後も地層処分について社会の意思決定を困難にしていくとすれば、その

重要な原因の一つにこの情報の非対称性があるのではないかと考えられる。

そこで、実施する側からの観点としては、高レベル放射性廃棄物の地層処分に関わる技術情報は、様々な専門家が「全体像と相互関係の把握」ができること、個々の意思決定プロセスを残し、追跡できる「トレーサビリティ」が確保されていること、社会から見て何を実施しているのかが分かる「透明性」を確保し、社会にわかりやすく伝えるための「説明責任」を果たすことなどを念頭に置いた社会技術として整備していくことが、この情報の非対称性を緩和するために不可欠ではないかと考えられる。

3. その社会技術を構成する科学技術的ツールに求められる機能

第2節で述べたように、社会を対象とした「意思疎通経路の確保」、「情報の公開」、「共同の意思決定」を実現する科学技術的ツールに求められる機能を以下に示す。

- ・ 意思疎通経路の確保：インタラクティブなホームページ。一方通行で無い、参加性の高いインターネットによるバーチャルコミュニティの構築
- ・ 情報の公開・共有：インターネット、ホームページからの地質環境調査データベースのリンク、データのダウンロード
- ・ 共同の意思決定：意思疎通経路の確保と情報の公開・共有を前提にした参加性および中立性の高いコミュニケーションの場の設定

また、実施側の立場からは、「全体像と相互関係の把握」、「トレーサビリティ」や「透明性」を確保し、「説明責任」を果たすためにツールに求められる機能として、以下の技術が考えられる。

- ・ 全体像と相互関係の把握：単純な視覚による把握可能な枠組みとその可視化技術
- ・ トレーサビリティ：情報間のリンクと個別情報の背景に存在する過程や判断の記録
- ・ 透明性：関連する意思決定の記録へのリンク。知識レベルの一括管理と表示
- ・ 説明の分かりやすさ：可視化技術と知りたいレベルに応じた表示レベル

4. IT ベース・調査システムフローの概要

ここでは、高レベル放射性廃棄物の地層処分技術を社会技術として整備するため、「地層処分の長期安全性を

提示する安全評価」と並んで情報の非対称性が著しいと考えられる「処分地選定に関わる地質環境調査」を対象として、社会技術を構成する科学技術的ツールの開発を試みた。

4.1. 調査システムフロー（第一次案）の概要

地質環境調査で収集した情報は、個々の検討（地質環境の長期安定性の評価、施設設計、性能評価）に用いられる。筆者らは、まず、個々の検討項目に関して、評価項目および評価に必要な調査技術についての考え方を整理し、評価に必要な情報と調査技術の連関を示すデータフローダイアグラムを Fig.3 のように構築した^{(11),(12)}。個別の調査手法に基づく取得データと情報の適用（評価）との連関がデータの解釈、モデル化、概念化等を含めた一連の調査フローとして図の右から左に向けて示されており、地点選定段階に適用される調査手法と検討項目の関係について客観的に把握することが可能となった。

また、調査段階の進捗、個別検討・評価の進展、地質環境調査の進展・展開の3つの時間的要因（時系列）を考慮した調査の流れを調査段階ごとの具体的な調査計画

例とともに表現した（これとデータフローダイアグラムを合わせて調査システムフロー第一次案とよぶ）。これを Fig.4 に示す。

調査システムフローを用いることにより、地点選定段階における地質環境特性調査における技術の流れ、データの流れ、時間の流れといった多方面から視覚的に過程と結果をとらえることが可能となった。しかし、これらは紙をベースにした場合、膨大な情報量となり、実用的でなくなる。そこで、実際の調査段階での適用を考慮し、IT化を行った。その内容を次節以降で報告する。

4.2. IT化の主な内容

本研究では、放射性廃棄物処分における処分地選定段階における調査を事例として、社会技術を構成する科学技術的ツールに求められる意思疎通経路の確保、情報の公開・共有と言った機能を有するシステム：IT ベース・調査システムフロー（IT based SIFD, Site Investigation Flow Diagram）の構築を行った。

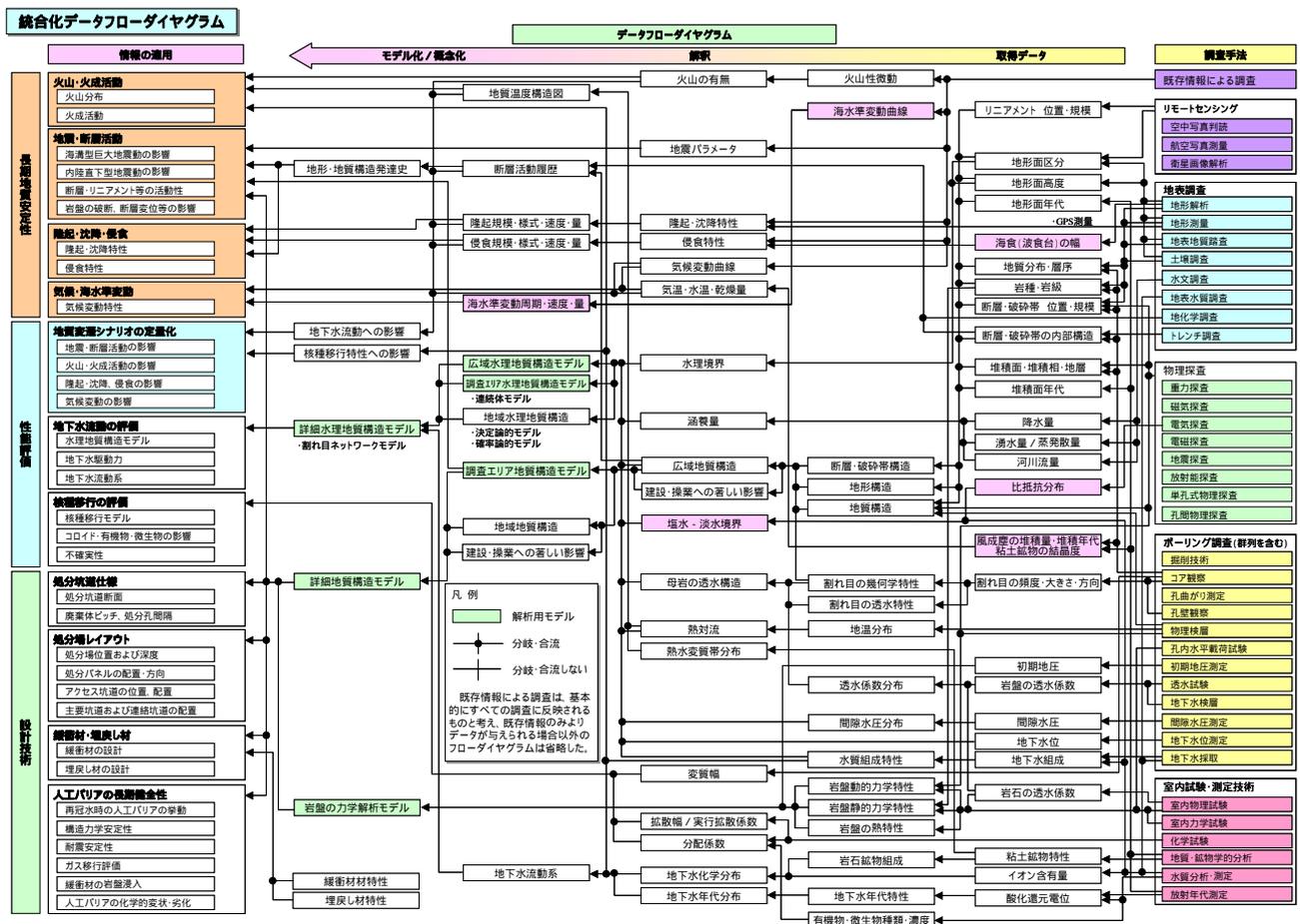


Fig.3 統合化データフローダイアグラム

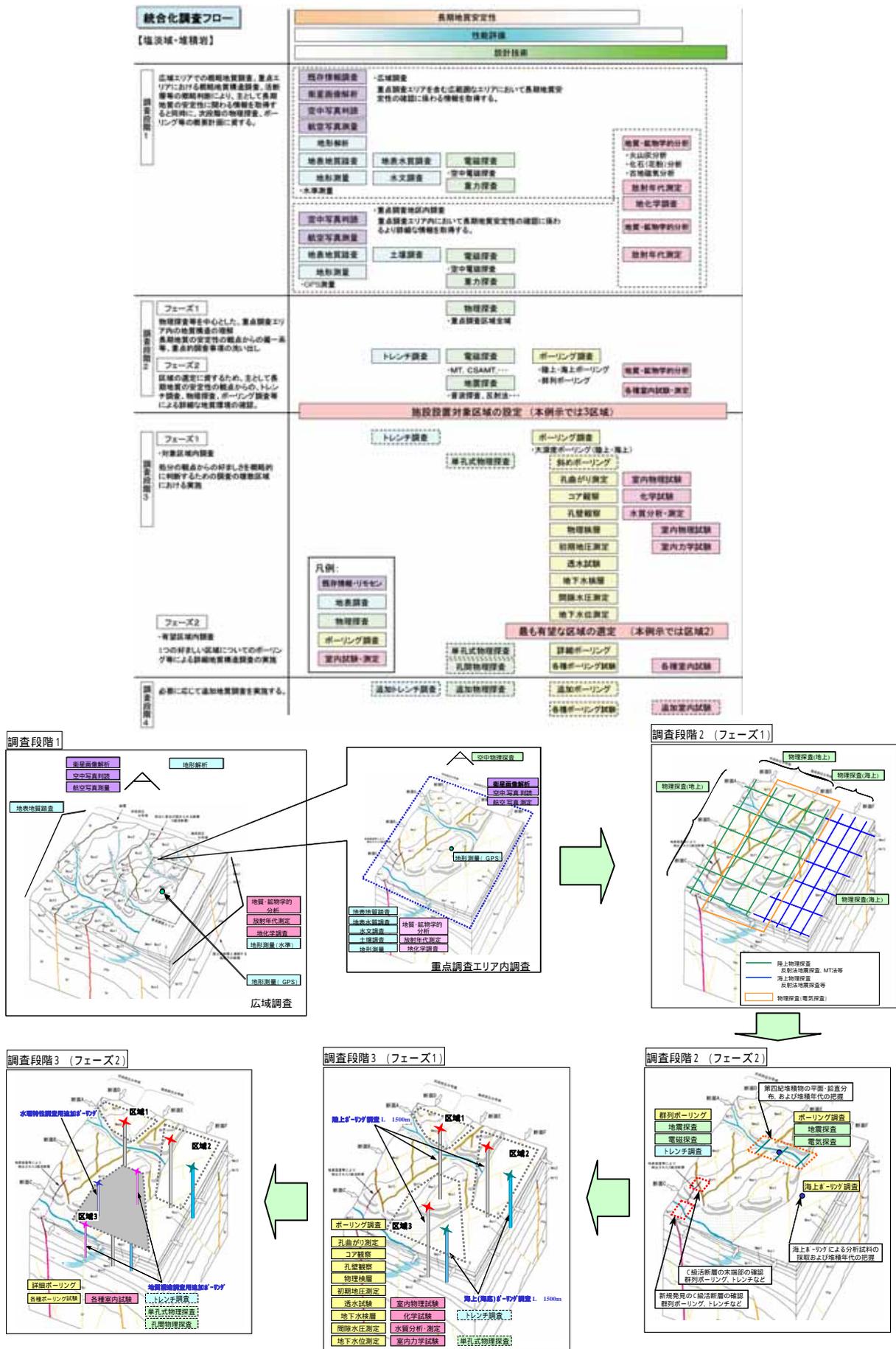


Fig4 調査システムフロー第一次案 (塩淡水・堆積岩環境)

IT ベース・調査システムフローは、以下の2項目から構成され、それぞれが IT により有機的につながっている。

- ・ 技術情報データベース：データフローダイアグラムの各項目において、適用されている手法、手法の概要、調査で取得した生データ、取得時期等の詳細情報等が各項目と関連付けて格納されている。
- ・ データフローダイアグラム：調査項目～解釈～モデル～概念～評価の一連の流れが関連図として示されている。関連図上では、情報を得たい利用者が項目をクリックすることにより各項目のつながりを表示する機能を有し、さらに技術情報データベースに格納されている作業の進捗状況、データ取得状況の表示機能を有する。

4.3. 必要な環境

情報の発信・共有を行う上で、インターネットを利用することから、インターネットに接続したコンピュータが必要である。近年、コンピュータの処理速度および記憶容量の革新を通じて急速にネット社会前提としているため、IT ベース・調査システムフローを利用する社会と事業側に必要となるソフトウェア環境は以下の通りである。

- ・ Internet Explorer6.0 (SP1)
- ・ Adobe SVG Viewer 3.01
- ・ Adobe Acrobat Reader5.0 または 5.1

いずれも一般のパソコンに標準装備されたものが無償で入手できるものである。基本的に複雑かつ高価な環境は、情報共有の妨げとなることから避け、ユーザー側への負荷を最小限とする環境を求めている。

4.4. データフローダイアグラムの可視化

これまで述べたように、地質環境調査に関する理解の増進のためには、全体を容易に確認できるシステムの可視化が必要である。本研究では、Fig.3 に示したデータフローダイアグラムをグラフィックスソフトで描画し、Web 向けに開発された画像データフォーマットの一種である SVG(Scalable Vector Graphics)を用いて可視化した。SVG は、2次元グラフィックを XML 形式で記述するための規格であり、プラグインを用いて Web ブラウザで見ることが可能となる。Fig.5 に Internet explorer でデータフローダイアグラムを表示した状況を示す。その地点が地質環境的に最終処分地に適合するかどうかを評価するという目的に対して、個々の調査、データの収集、解釈、モデル化、解析といった段階を経て、最終的に評価に至るまでのフローが画面上で示されている。

調査で収集した個々の情報は、様々な用途に使用され

ることから、項目と項目を結ぶ矢印は入り組んだものになっており見づらい。SVG では、図形やテキストなどのオブジェクトをグループ化することができるため、この機能を用いて、マウスで選択することで項目と項目のリンクを浮き出させることが可能なシステムとした。(Fig.5の赤い線)。

これにより、ある項目がどの情報を用いて検討・評価されるか、あるいはその項目からのアウトプットが次に何に用いられるかといった相互関係を視覚的、感覚的に理解することが可能となった。また、視覚化によって、調査システムフローダイアグラムの網羅性、整合性を容易に確認することもできるようになった。

4.5. 技術情報データベースとのリンクとトレーサビリティ確保

調査システムフローの各項目で実施される調査や解析などは、専門家でなければ内容までは理解できない。そこで、項目ごとにその内容をイメージしやすいように、調査や評価の技術説明資料やモデル等のアウトプット例を準備し、対応する項目からリンクさせた。その表示例を Fig.6 に示す。

また、地質環境調査における調査からの生データやデータセット、地質環境モデル図や評価結果など、各項目の成果も入手できるようにリンク機能をもたせた。Fig.5の画面上である項目をクリックすると、その項目からのアウトプットの情報の一覧が Fig.7 の画面のように表れる。

地質環境調査における一連の作業のトレーサビリティを確保するために重要なこととして、情報のバージョン管理が挙げられる。調査の進展に合わせて情報が更新されていくことから、その更新内容とともに、更新されたプロセスなどの関連する項目からの成果も随時更新されていくことになり、バージョンの管理を徹底するとともに、過去のバージョンの情報も一覧として参照できるようにした。また、その項目は、関連する他の項目からの成果を用いていることから、どの項目のどのバージョンの成果を使ったものであるかが明確に分かるように表示することとした。

4.6. 進捗状況や信頼性の表示

地域住民などへ地質環境調査の進捗状況を分かりやすく知らせる手段として、データフローダイアグラムを用いて進捗状況を視覚的に表す機能を付け加えた。進捗度の表示方法として、調査の実施側が項目ごとに進捗度をパーセンテージで入力し、この値が大きい項目ほど、フローにおいて濃い色として表示されるようにした。その表示のイメージを Fig.8 に示す。

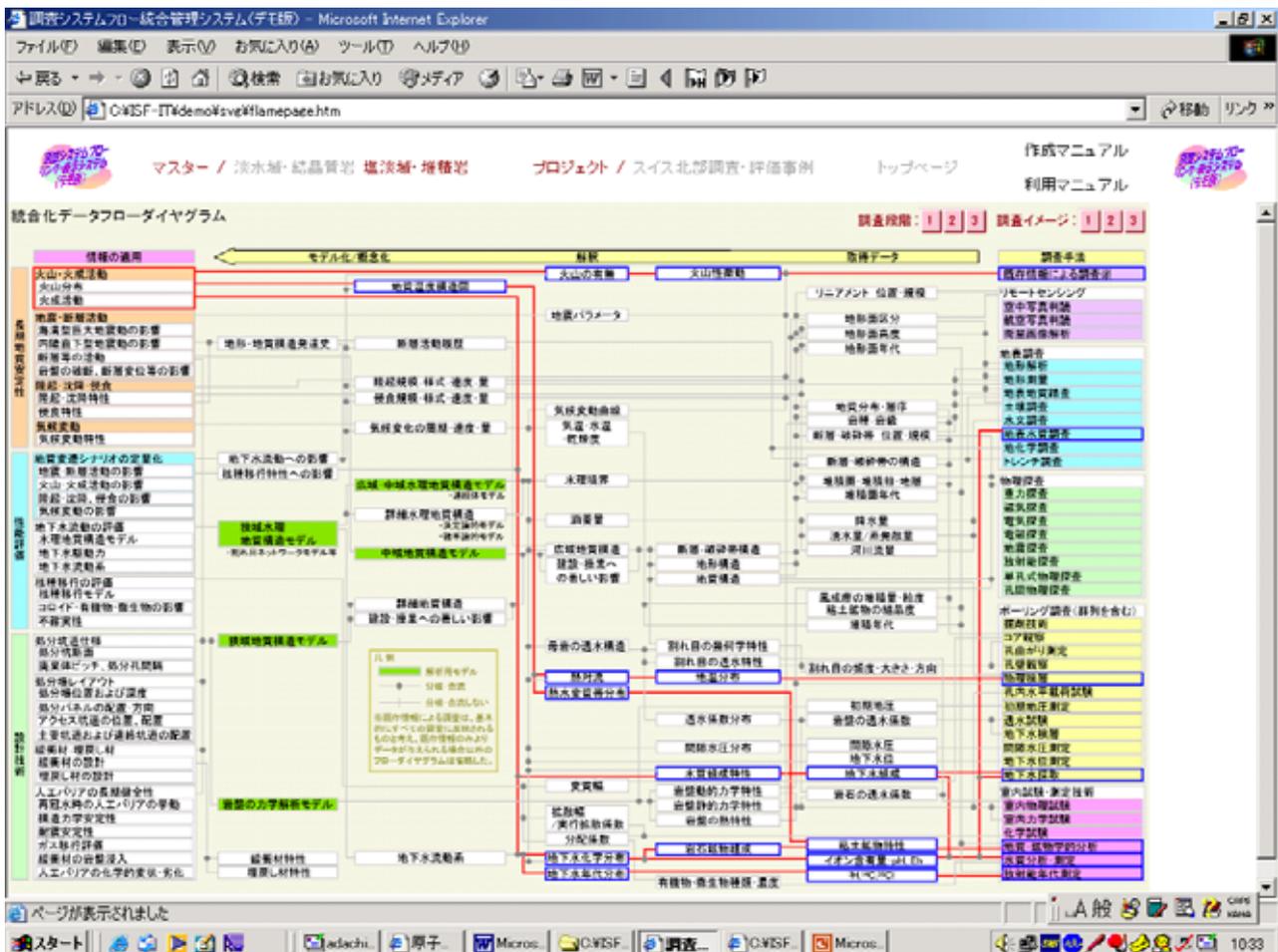


Fig.5 データフローダイアグラムの可視化

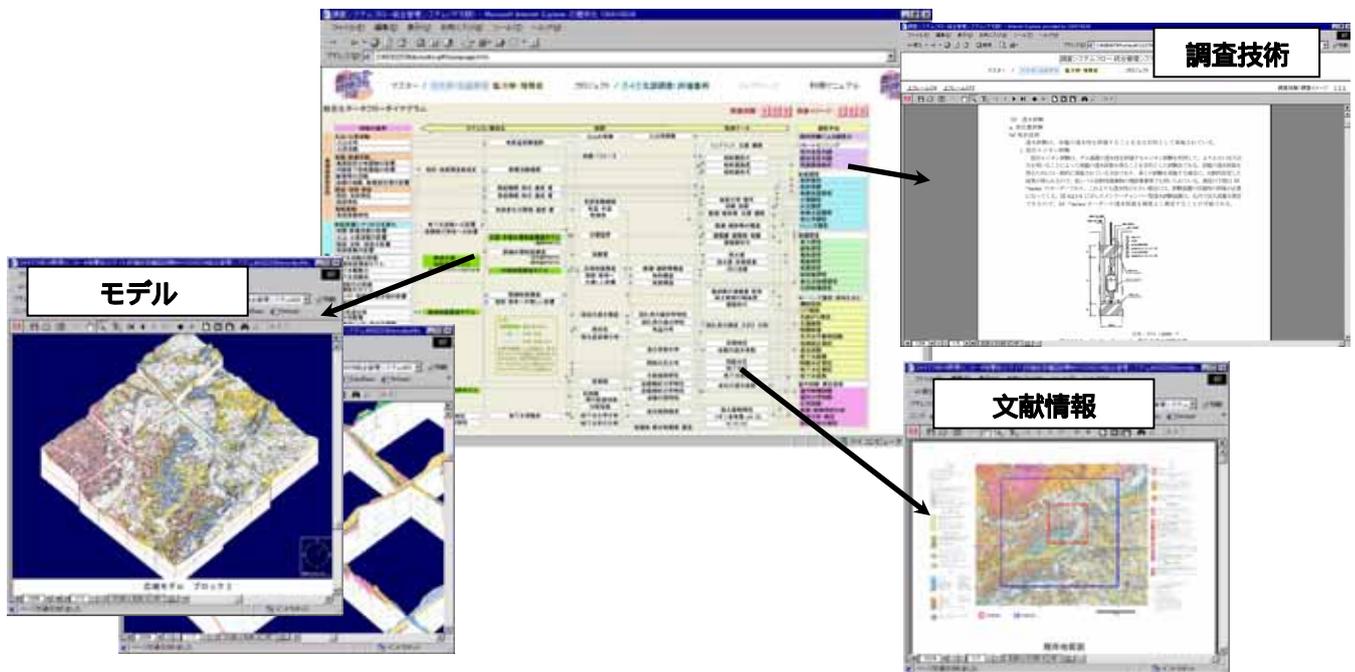


Fig.6 個々の技術説明資料へのリンク



Fig.7 項目間のデータのリンク表示



Fig.8 進捗度の色分け表示のイメージ

実施側の観点からは、情報が更新された場合、関連する項目にすみやかに反映されることが効率的である。そこで、進捗度の表示 (Fig.9) と同様に、項目の更新状況が濃淡により容易に分かる表示機能を付与した。これによって、各項目において、最後にいつ更新したかを視覚的にも知ることができ、更新状況を把握しどの項目を今後実施すべきか、どの項目が最近検討されたかなど把握することができる。

地質環境の把握には、先に述べたように地質環境の空間的な不均質性や時間的な地質環境の変化などによる不確実性 (Variability) が存在する。調査自体にも、誤差や他の事象の影響などに加えて調査からの情報を用いて実施される解釈、モデル化といった人の判断を伴う作業でも不確実性 (Ignorance) が生まれる¹³⁾。そこで、本システムでは不確実性を信頼度として取り扱い、項目ごとの信頼度も濃淡で表示する機能を付加することで、どこに問題があるか、どの調査に重点を置くべきかなどを容易に把握できるようにした。信頼度の情報は、関連する

次の項目の作業を行う人に対してのインプットともなる。なお、不確実性の定量的評価として、個々の不確実性については、個別の調査・評価における固有の不確実性の定量化を行い、個々の不確実性を積み上げる事で生まれる評価の不確実性については、例えばフローにおけるツリー構造を従来から提案されている多変量解析手法と組み合わせることで、不確実性を数値化する方法が考えられる。

4.7 ユーザ管理

本システムを Web に公開することを想定し、管理者および技術情報の登録者、社会からの情報発信者にユーザ分類を行っている。これは、システムおよびデータのセキュリティやシステム保護の観点から必要となるもので、ユーザに対応したログイン機能 (ユーザ名とパスワードを入力するログイン画面) を持たせている。

一般の利用者に対してはこのログイン画面は表示せずに、情報の閲覧は可能とするが、チャット、コメント欄等の相互やり取り部分以外の変更追加等の機能については、入り口で制限を設ける。また、調査の実施者に対しては、システムへの入力を可能とする一方、システム管理者や承認者など特別な権限を有するユーザも設定した。

5. ITベース・調査システムフローの活用方法と組み合わせるべき社会技術

以上で述べたように、IT ベース・調査システムフローは、処分地選定調査の「ロードマップ」としての役割を果たせるように、ある判断に至るまでに考慮された事象とその因果関係を視覚的に示し、社会にわかりやすく説明することができる技術を目指している。ここでは高レベル放射性廃棄物の最終処分場の地点選定を対象としたが、この技術は他の分野へも適用できるものと考えている。

一般の廃棄物処理施設などの「迷惑施設」といわれるものへの適用は当然であるが、例えば防災対策工事など、社会に望まれているものの予算上すべてを実施できない場合、優先順位のある防災対策を施す対象の選定の過程について情報共有するツールとして用いることができる。

これを拡大することで、地震時の対応等、多方面の分野が複雑に入り組んだ対応を求められる場合にその流れを整理し、意思決定を行う上で、有用であると考えられる。

また、フローを構築するという行為そのものは、非常に複雑化した社会環境やビジネス環境において、ある青写真に向けてどのようなシナリオを描いて行動すべき

かを検討する場合にも適用できる。例えば、枯渇化する財政をどのように使うことが有効であるか、高齢化やデフレ、経済活動の減速など因果関係のある考慮すべき事象を明らかに示し、財政の配分のケーススタディに用いることもできると考えられる。

組み合わせるべき社会技術として、例えば社会における信頼度を定量化する技術により、より定量的な信頼度表示が可能となる。さらに、バーチャルリアリティ技術と組み合わせることにより、いながらにして調査を仮想体験することが可能となり、より高いレベルでの情報共有、意思疎通を実現できると思われる。

6. ITベース・調査システムフローの社会技術要素としての評価と今後の課題

地層処分計画のように情報の非対称性が大きいプロジェクトの社会意思決定の過程を概略化すれば、まず、国、実施主体と社会との信頼感が形成されたのち、正確かつ十分な情報の提供・共有を行ったうえでの共同の意思決定と進んでいくといえる。社会が意思決定を進めるには、参加性および中立性の高い場を設定し、専門家ではないステークホルダーが計画段階の諸事項について判断を下せるだけの十分な情報の共有を前提に、社会意思決定に反映させる仕組みを制度化することが望まれる。そうすることによって、その決定プロセスに対する社会的信頼が生まれ、その結果についても尊重される可能性が高い。

それに対して、本研究では、概要調査において用いることが想定される技術を対象として、評価に必要な情報と調査技術の連関を整理した調査システムフローを構築・整備した。社会技術要素としての有効性については、以下のように整理できると考えている。

- ・ プロセスと情報が統合された調査システムフローのIT化を行い、データベースも含め全体像を可視可能なシステムとした。その結果、社会と実施側の間の知識のギャップを埋める共通言語として、調査システムフローを用いることができる。
- ・ 調査システムフローは、地質環境調査からのアウトプットを公開し、社会とともに意思決定を行うための土台（共通のプラットフォーム）を提供する。
- ・ 全体のフローの中での各項目の位置づけを視覚的に認識できると同時に、各評価データの流れをストレス無くスムーズにトレースすることが可能となる。
- ・ 情報の持つ信頼性、求められるデータの質および量等について視覚的に理解可能となり、社会に対

して問題のある箇所を明確にすることができるとともに、問題に対する取り組みの方策や状況を示すこともできる。

- ・ 複数の候補地から最終処分場選定にいたる過程において、調査から評価の実際のデータの流れや定量的評価結果を明示することのできるシステムとなっている。
- ・ 調査システムフローは、現地で調査を行う専門家と処分場の性能を評価する専門家間の共通言語として用いることもでき、さらには広く一般に透明性のある調査・評価を提示するコミュニケーションツールとしての可能性を有している。

今後の課題は社会技術として本システムの社会への実装に向けた情報の一般化（専門に対する一般）、社会と実施側の共通認識を醸成する技術の高度化および要素技術としての調査～評価のプロセスの高度化の大きく3つあると考えている。

最初の課題は、今回試構築した本システムにおいては提供する情報がまだ専門的であるため、一般を対象とする共通プラットフォーム用には現在のコンテンツを理解されやすい用語や表現に「翻訳」するとともに、より対話型のシステムに改善することが必要である。

次に、社会と実施主体などの共通認識の醸成に寄与する技術としての課題は、意思疎通経路の確保とそれを基にした共同の意思決定である。これについては、意思疎通経路の確保と情報の公開・共有を可能にするシステムの提供と、それを前提にした参加性および中立性の高い場（バーチャルな領域を含む）の設定についての検討が必要である。これには、中立的で社会から信頼の得られるグループの参加・運営を含めた検討も重要となる。

最後に、地質環境調査は概要調査地区選定段階（文献調査）、精密調査地区選定段階（地上からの調査）、最終処分施設建設地選定段階（地下施設からの調査）の3段階で実施され、前の段階と次の段階との情報の連携が取られるべきであるが、現在のシステムでは、ある段階しか取り扱えない。よって、段階ごとの変遷がたどれるような仕組みを加える必要がある。さらに、前述したように、調査システムフローによって不確実性を内在する地質環境情報を蓋然性が高いと判断される知見によって可視化することはできるが、信頼性に影響を与える要因は様々であり、それらをどのように取り扱い、信頼度として定量的に示す方法の検討が必要である。

今までに、国民レベルおよび最終処分候補地となる地域社会レベルが意思決定を進めるためには、社会が意思決定プロセスに対して信頼性や安心感を持つことが基本的に重要であることを述べてきた。さらに、国、実施主体などが社会から信頼される存在であることはもとよ

り、典型的な情報の非対称性を有する地層処分計画であることに十分留意して透明性と追跡性を備えた技術情報を整備していくことが必要であるにも言及した。

IT ベース・調査システムフローの開発は、国内外における地層処分計画において、初めて社会技術の観点から本格的に取り組んでいる技術開発であると考えている。これからも多くの地層処分に関わる技術開発が透明性、追跡性、および説明責任を念頭に置いた社会技術の観点から実施されることが望まれる。

参考文献

- 1) 経済産業省資源エネルギー庁(2006) 『高レベル放射性廃棄物の処分の安全性について考えてみませんか』,10
- 2) National Research Council/ US-National Academy of Science (2001) 「Disposition of High-Level Waste and Spent Nuclear Fuel - The Continuing Societal and Technical Challenge」
- 3) 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)』, JNC-TN140099-023.
- 4) 原子力委員会(1998(平成 10 年)5 月) 『高レベル放射性廃棄物処分に向けての基本的考え方について』
- 5) 原子力発電環境整備機構(2004) 『高レベル放射性廃棄物地層処分の技術と安全性』, NUMO-TR-04-01,4-46.
- 6) 原子力安全委員会(2000(平成 12 年 11 月)) 『高レベル放射性廃棄物の処分に係る安全規制の基本的な考え方について(第1次報告)』,3-5.
- 7) 原子力環境整備促進・資金管理センター(監修 経済産

業省資源エネルギー庁)(2004) 「諸外国における高レベル放射性廃棄物の処分について」

- 8) 坪谷隆夫(1996) 「超深地層研究所計画-公表から協定締結に至る・・・経過と教訓」 『エネルギーフォーラム』(電力新報社),10月号,66-69.
- 9) 堀井秀之(2006) 「安全安心のための社会技術」
- 10) 日本原子力産業会議(2004) 「原子力年鑑 2005」
- 11) 藤原愛, 安藤賢一, 安達哲也ほか(2002) 「地点選定段階における地質環境調査システムフローの構築」 『第 57 回年次学術講演会講演集』, 土木学会,389-390.
- 12) K. Yoshimura, K. Ando, T. Adachi, A. Fujiwara, J. Ohuchi and T. Tsuboya(2003) 「Development of the Site Investigation Flow Diagram in Geological Disposal」 『Proceedings of the 10th International High-Level Radioactive Waste Management Conference』,76-82.
- 13) 柳沢孝一ら(2004) 「地質環境特性評価の不確実性解析手法に関する検討」 『原子力バックエンド研究』,10 No.1-2, 5-20.

謝辞

本研究は、経済産業省からの委託による「地層処分技術調査等」の成果の一部を基に実施した。

本研究を進めるにあたり、東京大学大学院工学系研究科堀井秀之教授に有益なご助言やご指導を賜った。ここに記して感謝の意を表します。

SOCIO-TECHNOLOGICAL APPROACH FOR SITE INVESTIGATION PROCESS ON HLW REPOSITORY DEVELOPMENT PROGRAM

Takao TSUBOYA¹ · Kenichi ANDO² · Shuichi YAMAMOTO³ · Shoko SATO⁴

¹ B.A.(Science)Radioactive Waste Management Founding and Research Center (E-mail:tsuboya@rwmc.or.jp)

² Ph.D. (Engineering) Obayashi Corporation (E-mail:ando.kenichi@obayashi.co.jp)

³ Dr. (Engineering) Obayashi Corporation (E-mail:yamamoto.shuichi@obayashi.co.jp)

⁴ B.A.(Agriculture) Obayashi Corporation (E-mail:sato.shoko@obayashi.co.jp)

In siting a repository for high level radioactive wastes it is essential for consensus building to give a simple explanation as to why the area has been selected as a suitable site. However asymmetry of information exists between society and experts because various types of investigation/analysis or assessment are implemented and a wide variety of advanced consideration of issues concerning science and technology are required. This paper shows 'IT-based Site Investigation Flow Diagram' developed as a means for information sharing and collective decision making between society and experts. This tool is considered as a very effective social technology which can enhance the transparency and traceability of decision-making process and relative technology during siting stage, and describe the process easily to society by visual expression.

Key words: Information Visualisation, Decision-making process, Consensus building, IT-based Site Investigation Flow Diagram, Information asymmetry, HLW, Repository development program