



地下水流動を説明するための
調査システムフローの評価
—RWMC と NDA の共同研究報告書—

2010 年 2 月

公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター

Nuclear Decommissioning Authority

まえがき

本報告書は、平成 16 年度から 18 年度にかけて、公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター（RWMC）が経済産業省の委託事業「地質環境評価技術高度化調査」で実施した研究内容に基づいて、RWMC と英国 Nirex 社（現：原子力廃止措置機関、Nuclear Decommissioning Authority、NDA）が、包括協力協定の下において共同で実施した「地下水流動を説明するための調査システムフローの評価」に関する共同研究報告書「An Evaluation of Site Investigation Flow Diagrams for Representing Groundwater Flow – A Joint Report by RWMC and NDA」の日本語版である。本報告書は、「平成 21 年度地質調査技術動向調査」において、RWMC の地質環境調査専門技術グループが作成したものである。

なお、本報告書には、別途 NDA が作成する英文の共同報告書「An Evaluation of Site Investigation Flow Diagrams for Representing Groundwater Flow – A Joint Report by RWMC and NDA」と整合させるため、同書に記載されたものと同じ図表類を使用している。

平成 22 年 2 月

公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター
地質環境調査専門技術グループ

研究概要

2001 年(平成 13 年)にスイスの放射性廃棄物管理協同組合(以後、NAGRA と略記)と日本の原子力環境整備促進・資金管理センター(以後、RWMC と略記)は、放射性廃棄物処分場の建設候補地選定に関する地質環境の特性調査に必要な種々の調査を視覚的に表示するコンセプトの研究開発に着手した。表示される調査には、現地データの収集、データ処理、解釈、モデル化、各種情報の統合から、情報の最終的な反映先までが含まれている。地質環境特性調査とそれらの相互関連性を視覚的に表示したシステムには、「調査システムフロー (Site Investigation Flow Diagram、SIFD)」という名称を付けた。

2001 年に SIFD のコンセプトを初めて考案して以来、RWMC は SIFD の使用法について研究を進めてきた。そして 2004 年後半に、SIFD の発展的な開発を目指し、関係する様々な側面を検討するために、RWMC と Nirex は SIFD の共同研究に関する協定を締結した。2007 年 4 月、Nirex の活動は原子力廃止措置機関(Nuclear Decommissioning Authority(NDA))に引き継がれ、それ以来 NDA は RWMC とともにこの共同研究を実施してきた。

RWMC と Nirex (NDA) はこの共同研究で、Nirex が 1989 年から 1997 年までに、英国の中レベル放射性廃棄物の処分場候補地として、英国北西部のセラフィールドサイト実施した調査から得た情報に基づいて、当該地区の地下水流動を理解するために必要な様々な地質調査を表すフローダイヤグラムを、それぞれ独自に作成した。セラフィールドサイトは海岸に近接しているため、地下水流動の駆動力は、地形と関連した重力と地下深部の地下水の塩分濃度および温度の違いに係る地下水の密度の違いによって決まる。

最終的なフローダイヤグラムの作成に先立ち、RWMC と Nirex は一連の評価基準について検討し、合意に至った。両機関はこれらの評価基準をフローダイヤグラムの評価の基盤として使用しつつ、RWMC は Nirex が作成したフローダイヤグラムを、そして Nirex は RWMC が作成したフローダイヤグラムを相互に評価した。

本報告書では SIFD のコンセプトを紹介し、RWMC と Nirex が実施した評価プロジェクトの基盤について説明する。そして評価結果について考察した内容を記す。

本共同研究は成功裏に終了し、特に、処分場候補地の地質環境特性調査における情報の流れを示す SIFD が極めて有効であることを実証することができた。またフローダイヤグラムにより、複雑な各種情報の流れを説明するためにウェブベースのシステムを適用した利点についても示すことができた。そして、SIFD のさらなる開発に向け、将来、両機関において協力可能な分野についても明確にすることができた。

EXECUTIVE SUMMARY

Studies were initiated in 2001 by Nagra (Switzerland) and RWMC (Japan) to develop a concept for visually presenting the various activities required to characterise a potential site for the development of a radioactive waste repository. The activities represented included data acquisition, processing, interpretation, modelling and integration through to the end use of the information. The visual representation of the characterisation activities and the manner in which they are linked was given the title of a “*Site Investigation Flow Diagram*”, often abbreviated to “*SIFD*”.

Since the initial development of the SIFD concept in 2001, RWMC continued research into the use of the flow diagrams. In late 2004, a bi-lateral collaboration between Nirex and RWMC was established to explore aspects related to further development of Site Investigation Flow Diagrams. In April 2007, the activities of Nirex were taken over by the Nuclear Decommissioning Authority (NDA) and the NDA has continued the collaboration project with RWMC.

The collaboration project has involved RWMC and Nirex independently developing a flow diagram to represent the various activities required to gain an understanding of groundwater flow at the Sellafield site in north-west England based on information generated by investigations carried out by Nirex during the period 1989 to 1997. The Sellafield site is located close to the coast and groundwater flow is driven by a combination of gravity heads (related to the topography) and density variations (related to variations in salinity and temperature of the groundwater with depth).

A series of evaluation criteria were agreed between RWMC and Nirex in advance of the finalisation of the flow diagrams. These criteria were used as the basis for evaluation of the flow diagrams; RWMC evaluated the flow diagram prepared by Nirex and vice versa.

This report describes the concept of Site Investigation Flow Diagrams and explains the basis of the evaluation project undertaken by RWMC and Nirex. The results of the evaluation are presented and discussed.

The evaluation project has been judged to have been successful. In particular, the project has further demonstrated the value of Site Investigation Flow Diagrams for representing information flow during the characterisation of a potential repository site. The benefits of using a web-based electronic system for presenting the diagrams and representing the information flow have clearly been demonstrated.

Possible areas for future collaboration on further development of Site Investigation Flow Diagrams have been identified.

目次

1. 序論	1
1.1. 背景	1
1.2. 共同研究の範囲	5
1.3. 本報告書の構成	5
2. 調査システムフロー（SIFD）	6
2.1. 開発のコンセプト	6
2.2. ドライランのコンセプト	9
3. セラフィールドの地下水流動	10
3.1. 概要	10
3.2. サイトの位置と調査範囲	11
3.3. 地質学的構造	14
3.4. 地下水流動	17
4. 評価の方法	20
4.1. 評価方法の概要	20
4.2. 評価基準	20
4.2.1. 評価基準の概要	20
4.2.2. フローダイアグラムの概念モデルに関する基準	20
4.2.3. フローダイアグラム作成で適用されたシステムに関する基準	21
4.2.4. その他	21
5. 評価結果	22
5.1. 概論	22
5.2. 目標と目的	22
5.3. 詳細度	23
5.4. 特徴、事象、プロセス	25
5.5. 活動ボックス	28
5.6. 活動ボックス間の連関	29
5.7. 追加機能	29
5.8. フローダイアグラムを作成するために必要な活動	31
5.9. その他の問題	32
6. 考察	32
6.1. 概論	32
6.2. 統合化データフローダイアグラムの採用	32
6.3. 活動の提示	33
6.4. さらなる開発の機会	34

7. 結論	35
参考文献	

付録 1

RWMC のウェブベース SIFD の概要と追加機能

付録 2

セラフィールドサイトの地下水流動に関するデータフローダイアグラム

1. 序論

1.1. 背景

地質環境特性の調査を実施するに当たり、処分場候補地の地質環境特性に関する必要な情報を定義することが不可欠である。どのような情報が必要か、それをどのように入手するか、またそれをどのように利用するかを明確に理解することで、候補地の調査を合理的に計画し、実施することが可能となる。

2001 年に NAGRA と RWMC は、候補地の地質環境特性調査に必要な種々の活動（データ収集、処理、解釈、モデル化、統合）と、現地でのデータの取得から情報の最終的な反映先までの情報の流れを表すために、各段階の作業がどのように関連しているかを視覚的に表示するコンセプトの研究開発に着手した。データの様々な項目、解釈、情報の利用とそれらの活動の関連性を示す視覚表示システムは、「調査システムフロー」という名称を付け、これを SIFD（Site Investigation Flow Diagram）¹と省略して示した。

2001 年に RWMC が SIFD の開発に着手した時点では、調査の情報に関する要求事項、測定技術、情報の流れを総合的に理解する手法は、日本を含めて諸外国でもまだ一般的に示されていなかった。このコンセプトは地質環境データの統合手法（geosynthesis）と呼ばれる。

はじめに、RWMC は、日本国内の地質調査に関係する事例として、野外調査と室内試験を対象にして、既存文献のレビューを通じた情報収集を行い、SIFD のコンセプトを検討してきた。次に、既存文献から、各種調査によって取得できる情報の範囲を定義した。並行して 2000 年に核燃料サイクル開発機構（JNC）が実施した作業[1]に基づいて、処分場の安全評価に必要な情報をリストアップし、地質環境調査により取得すべきデータに着目して、安全評価に必要な各情報項目を取得するために、一般的にどのようなデータ評価プロセスを適用するか検討を行った。この検討で、安全評価のために必要とされる個々の情報と多種多様な地質環境調査技術との間の情報の流れを示す多数の個別のデータフローダイアグラムを作成した。そして、これら多数に存在する「個別データフローダイアグラム」を重ね合わせた「統合化データフローダイアグラム」を作成した。その後見直し作業として、重複する項目を削除し、項目間に矛盾を削除しつつ、データフローダイアグラムの改良を進めてきた。その結果、処分場の長期地質安定性、性能評価、設計技術の 3 つの最重要項目に対処する紙ベースのデータフローダイアグラム（SIFD）が完成した。

SIFD の開発の段階では、適用したほとんどの地質環境調査は日本国内の文献に基づいていた。そこで、RWMC は諸外国の放射性廃棄物処分関連機関が実施した放射性廃棄物処分場に関する実際のサイト特性調査プログラムに対してこの SIFD を試行することにした。

¹ SIFD：全体および詳細統合化データフローダイアグラム、その下の個別データフローダイアグラムを含むシステムの名称。後述するデータ管理ツールやデータベース等を含む。

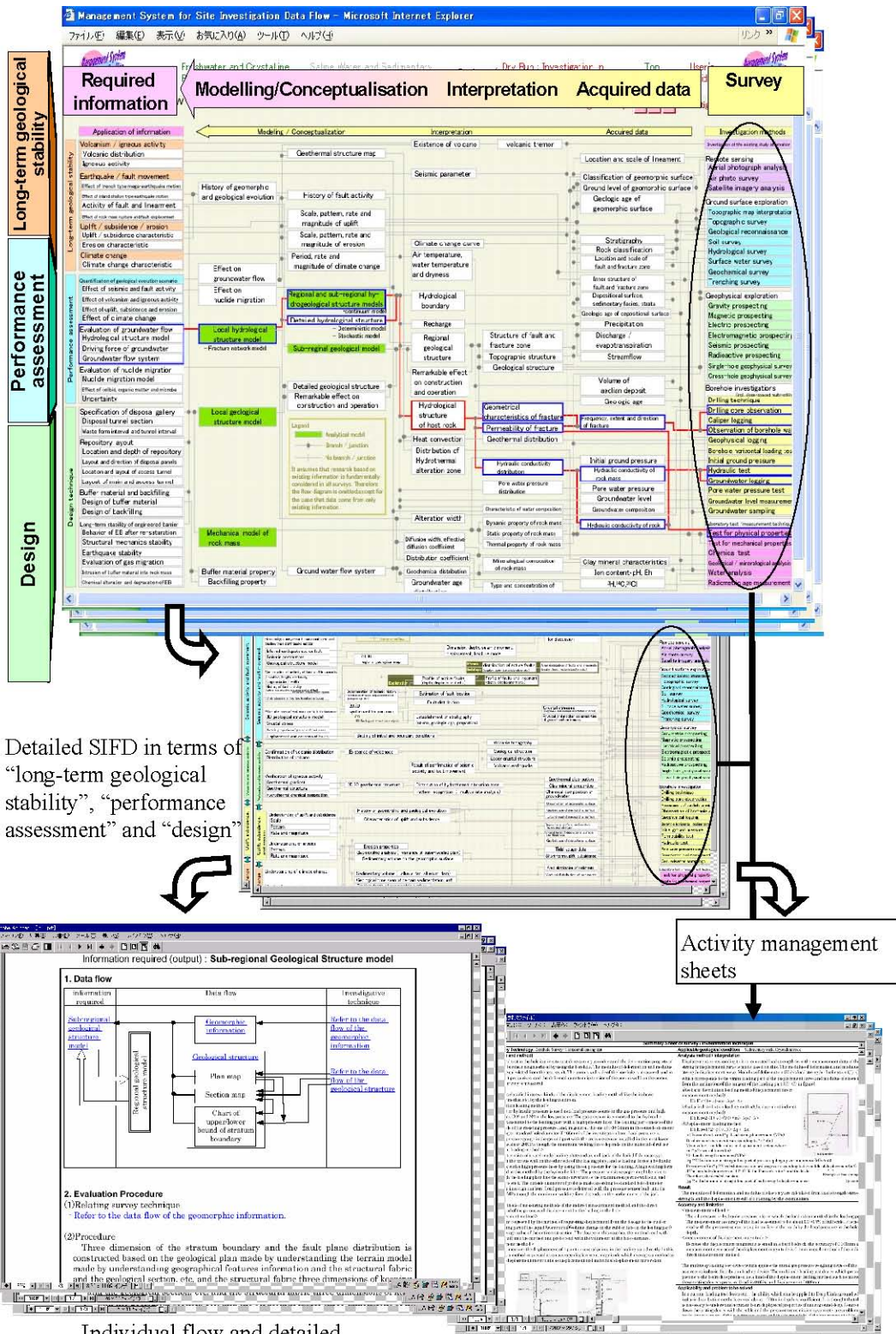
諸外国のサイト特性調査プログラムの結果に対して SIFD 内のデータフローダイアグラムに沿って調査を机上で試行することを「ドライラン」と呼び、データフローダイアグラムに示された項目とそれらの相互関係が適切かどうか、またはデータフローダイアグラムをさらに改善することが可能かどうかを判断することを目的とした。

2001 年に最初に SIFD のコンセプトが開発されてから、RWMC はこのコンセプトと、サイト調査プロセスを表すためのデータフローダイアグラムの利用、さらに関連する情報の流れについての研究を進めてきた。当初、各種のデータフローダイアグラムは紙ベースの図面であったが、個々の調査技術による情報が複雑に関係する情報の流れを、データフローダイアグラムによって流れを強調させるためには、紙ベースの図面では実践的でないことが明らかになった。この問題点を解決する方法として、RWMC は情報の流れをわかりやすく伝えるために、ウェブのブラウザで各種データフローダイアグラムが見られるようにコンピュータベースの SIFD を開発するとともに、調査プロジェクトの情報管理に適用するためのシステムも併せて開発した。そして、このコンピュータベースの SIFD をウェブベース SIFD と呼称した。

RWMC が開発したウェブベース SIFD には以下の要素を含む（図 1）。

- ・ サイト特性調査に関する全ての重要な調査活動と調査結果に関して、総合的に全体を俯瞰できる統合化データフローダイアグラム
- ・ 長期的な地質安定性、予備的な性能評価および処分場設計を中心としたより詳細な統合化データフローダイアグラム
- ・ 統合化データフローを追跡することで、任意に選定した調査活動からの情報の流れの関連づけ、またその調査活動への関連づけを浮き彫りにできるようにしたハイライト機能
- ・ ウェブベース SIFD 内のハイパーリンクページとして提示される調査技術に関する技術情報
- ・ 各種データフローダイアグラムとともに表示される個々の活動の進捗状況を追跡し、更新するためのプロジェクト管理ツールとして使用できる作業管理シート

これら RWMC による SIFD の開発は、既に一連の論文として公表されている[2,3,4,5]。



Detailed SIFD in terms of “long-term geological stability”, “performance assessment” and “design”

Activity management sheets

Individual flow and detailed explanation of the flow

Technical information on survey techniques

図 1 RWMC が開発したウェブベース SIFD の内容と構造

日本国内では処分場候補地が未定であることから、RWMC は、開発してきた SIFD の適用性を確認するために、国内および海外の地層処分関連機関が実施したサイト特性調査の

手法および調査結果を利用した試行方法を検討した。具体的には、サイト特性調査結果をデータフローダイアグラムに適宜当てはめることで、様々な地質環境で実施された調査に関する情報の流れを示し、開発した SIFD の信頼性を高めることができると考えた。このプロセスを架空のサイト特性調査という意味で「ドライラン」と呼ぶことにした。「ドライラン」には、日本の瑞浪の超深地層研究所と幌延の深地層研究所の調査結果、NAGRA が実施したスイス北部での調査結果、さらにスウェーデンの Äspö の硬岩研究所周辺の調査結果を利用した。

2004 年後半、SIFD をさらに発展させるために必要な様々な側面を検討する目的で、Nirex と RWMC は共同研究協定を締結した。Nirex の作業は 2007 年 4 月に Nuclear Decommissioning Authority (NDA) に引き継がれ、それ以来 NDA は RWMC とともにこの共同研究を実施してきた。

なお、本報告書では、本研究の目的に照らして、2007 年 4 月以前に英国側の機関が実施した作業は Nirex が実施した作業と記載し、2007 年 4 月以降の作業は、この共同報告書への参加も含めて、NDA が実施した作業と記載する。

当初、Nirex と RWMC はこの共同研究プログラムに際し、お互いに異なる目的を持っていた。RWMC の主な目的は、英国北西部のセラフィールドで Nirex が取得したサイト特性調査データを利用した「ドライラン」の研究を進めることであった。セラフィールドサイトは沿岸域に立地し、ここでの地下水流動は地形の起伏（重力）の影響と、地熱および密度差によって生じる水頭変化の相乗効果によって駆動されていると考えられた。「ドライラン」では、セラフィールド地域の地下水流動に関する調査・評価の過程を対象としていた。密度差による水頭圧変化は、サイトの地下水中の塩分濃度の著しい変化によって生じていると考えられていた。RWMC は、当該地域の地下水流動の理解を最重要項目と捉え、これに関する情報の流れを評価することとした。

Nirex はこれまでに SIFD を使用した経験がなかった。そのため、共同研究では、RWMC の研究目的と異なり、以下に示す目的に利用することとした。

- ・ サイト特性調査プログラムにおける情報の流れを提示し、これをフローダイアグラム²で説明するとともに、データの取得、解釈および情報の最終的利用の間の相互関連性を表すために SIFD をどのように利用できるか、その可能性をより良く理解する。
- ・ RWMC のデータフローダイアグラムの作成手法と関連するソフトウェアパッケージの有効性を評価する。
- ・ Nirex 97 で実施した性能評価[6]の一環として、セラフィールドの地下水流動モデルを作成するために、Nirex が実際に使用したプロセスを表すフローダイアグラムの作成を通じて、上記の 2 項目の目的を達成する。
- ・ セラフィールドの地下水流動に関する SIFD を通じて、RWMC が独自に作成したセラ

² フローダイアグラム：RWMC の既存のデータフローダイアグラムと区別するために、RWMC と Nirex がセラフィールドの地質調査で取得し、解釈した情報の流れを示すダイアグラムを指す。

フィールドの地下水流動に関する SIFD モデルを評価する客観的な評価基盤を提供する。

RWMC と Nirex が、共同研究においてそれぞれ異なる目的を達成するために実施した方法については次の 1.2 章で説明する。

1.2. 共同研究の範囲

RWMC と Nirex の共同研究は、次に示す一連の段階に沿って実施された。

- ・ 第 1 段階では、RWMC と Nirex は双方の情報を交換し、共同研究の範囲を決定するため両機関の間で打ち合わせを行った。Nirex は、RWMC が「ドライラン」を計画できるようにセラフィールドで実施してきたサイト特性調査に関する情報を提供した。RWMC は、包括的な SIFD を開発するために実施した研究に関する情報と、データフローダイアグラムを作成するために開発したソフトウェア、ならびに SIFD の機能に関する情報を提供した。
- ・ 第 2 段階では、まず RWMC が、セラフィールドの地下水流動に関するデータフローダイアグラムを作成し、双方でその評価方法を定義した。RWMC と Nirex は、セラフィールドの広域地下水流動に関するデータフローダイアグラムをそれぞれ独自に開発することで合意した。次にこれらのデータフローダイアグラムについて、双方の合意に基づいた基準に照らして評価し、RWMC は Nirex が作成したフローダイアグラムを、また Nirex は RWMC が作成したデータフローダイアグラムを評価することとした。さらにこれらの研究結果を共同報告書の形で示すこととした。
- ・ 第 3 段階では、RWMC と Nirex が、セラフィールドの地下水流動に関する 2 種類のデータフローダイアグラムをそれぞれ開発した。
- ・ 第 4 段階では、それぞれ開発された 2 種類のデータフローダイアグラムを予め決定した基準に照らして評価した。
- ・ 第 5 段階は、研究結果の報告を行った。2006 年 12 月にスイスで NAGRA と RWMC が共同開催した SIFD の評価に関する国際ワークショップで、中間結果が報告を行った。そしてこの研究の最終結果が本報告書である。

1.3. 本報告書の構成

本報告書は、英国のセラフィールドの地下水流動に関する調査・評価を表す SIFD を用いて、放射性廃棄物の地層処分場候補地のサイト特性調査に関する情報の流れを示すために、RWMC と Nirex/NDA が実施した共同研究結果を報告する目的で作成した。

第 1 章（本セクション）では、共同研究の背景情報を示す。

第 2 章では、SIFD の使用コンセプトと RWMC が統合化データフローダイアグラムで試

行した「ドライラン」の方法について示す。

第3章では、セラフィールドのサイト特性について説明し、当該地区の地下水流動のパターンを決定した各要素が、統合化データフローダイヤグラムによって示された地下水流動パターンの作成方法にどのような影響を及ぼしたかについて考察する。

第4章では、RWMC と Nirex がそれぞれ作成したデータフローダイヤグラムの評価に使用したプロセスの根拠を説明する。評価プロセスを総合的な観点から説明し、データフローダイヤグラムの作成前に規定した詳細基準についても記載し、考察する。

第5章では、評価プロセスの結果を記載する。結果の考察では、具体的な評価基準と、RWMC と Nirex 間の議論によって提案された一般的なコメントを含む。

第6章では、共同研究から得た教訓を考察し、第7章でいくつかの総合的な結論を示す。

なお、RWMC が研究しているウェブベースの SIFD システムの最新の機能性については本報告書の付録1に記載する。また、RWMC と Nirex が作成したデータフローダイヤグラムを本報告書の付録2に記載する。(なお、本書には、データフローダイヤグラムの理解を進めるために、参考資料として前出図1の上部に示した全体的な統合化データフローダイヤグラムの日本語版を添付した。)

2. 調査システムフロー (SIFD)

2.1. 開発のコンセプト

放射性廃棄物処分場候補地の調査を計画するためには、調査で収集する必要のある情報の性質を明確に理解しておかなければならない。サイト特性調査要件に関しては、国際原子力機関 (IAEA) が発行している指針など、国際的指針が存在する。最も高いレベルの情報への要件は次のように定義される[7]。

「地層処分施設のサイトにおいては、過去の変遷と安全性が関係する期間において将来起こりうる自然の変化を含むサイト特性の一般的な理解と、サイトおよび施設に関連する特徴、事象、プロセス (FEP) が安全に及ぼす影響に関するサイトに特有な特性の理解の両方を裏付けるのに十分な詳細さで特性調査を行わなければならない。

安全評価の際に使用される概念的な説明の根拠となり得る地層処分システムの説得力のある科学的な説明を提示するためには、サイトとそれに関連する地質を総合的に理解する必要がある。特に、安全に影響を及ぼし、セーフティケースとその裏付けとなる安全評価で扱われるサイトに関係する FEP が焦点となる。とりわけ、十分な地質安定性と、安全に寄与する特徴やプロセスの存在を実証するとと

もに、他の FEP がセーフティケースの内容を弱めないことを実証しなければならない。」

上述のとおり、地質環境の安定性とセーフティケースに関係するサイト特性を明らかにしておく必要があるとともに、長期にわたるセーフティケースの信頼性を低下させないだけでなく、処分場を安全かつ経済的に建設し、操業することができる方法で、処分場を設計、建設できる地質環境に関する情報を提供しなければならない。

従って、サイト特性調査における重要な調査要件は次のように定義される：

- ・ 長期地質安定性
- ・ 性能評価
- ・ 施設設計

これらの調査要件は、要求される情報ごとに分類されている。RWMC は日本の処分場候補地に関して長期地質安定性評価に寄与する必須情報として、具体的に以下の項目を挙げた。

- ・ 火山活動／火成活動
- ・ 地震／断層活動
- ・ 隆起／沈降／浸食
- ・ 気候変動

上記に示した具体的な項目に対する要件をさらに細分化し、下位の詳細な要求条件に再分類した。その結果、地震活動と断層活動は以下に示す 4 項目が必要情報と設定した。

- ・ 海溝型の大規模地震動による影響
- ・ 内陸型で震源地の浅い地震動による影響
- ・ 断層とリニアメントの活動
- ・ 岩盤構造と断層変位による影響

処分場候補地の調査で明らかにしておく情報の要件を決定した後、次にそれらの要件をどのように明らかにしていくかが課題となる。上述した情報の要件は、サイト調査の一部で実施するような単純な測定だけでは満足できないことは明らかである。多種多様な調査手法を駆使しつつ一連の測定を実施し、その測定データの解析および解釈が、概念モデルや数値モデルの構築につながり、最終的に、特定された情報要件を満たす情報と理解に反映する様々なデータセットの統合へとつながる。これを単純に示すと、これらのプロセスは図 2 に示すような線状のデータフローダイアグラムとして表すことができる。



図 2 単純なデータフローダイアグラム

調査の計画と実施は、実際には図 2 に示した単純な線状のデータフローダイアグラムよりもはるかに複雑である。例えば、データをそろえるために多数の調査手法を使用する場合がある。また、1 つのモデルを作るため、複数のモデルに多数のデータセットをインプットする必要がある、さらに得られたモデルを修正し、検証するために、さらなるデータセットが必要となる場合もある。様々な高次情報への要件や二次、三次の情報への要件を満たすのに、様々な情報が寄与する場合もある。従って、SIFD には図 2 に示すような単純な線状のデータフローダイアグラムではなく、図 1 の上部に示したように、情報の流れを表す各種の活動間の、多重の分岐・結合部を持つ、統合的なデータフローダイアグラムが含まれる。

個々のデータフローダイアグラムが複雑になり過ぎて、情報の伝達ツールとしての価値が低下しないように、RWMC は開発段階の経験に基づき、個々のデータフローダイアグラムに盛り込む詳細さと複雑さは、A3 サイズの用紙に印刷した場合に、ダイアグラム中のボックス内の各項目が判読可能かつ理解可能な程度にすることとした。また、RWMC は、個々のデータフローダイアグラムの複雑さを同様に制限することで、ウェブベースのデータフローダイアグラムをコンピューターのモニター上で閲覧する際も判読可能になるようにしている。さらに詳細に示す必要がある場合は、ウェブベースのシステム上のハイパーリンクを使って、全体的なデータフローダイアグラムの中から、詳細なデータフローダイアグラムをリンクさせて表示することができる。

ウェブベースのシステムには、ハイパーリンクさせたデータフローダイアグラムを盛り込むことができるほか、その他の情報項目をハイパーリンクさせることも可能である。RWMC は、すでに、(図 1 に示すとおり) 調査技術に関する技術情報をリンクさせており、以下で考察するとおり他の情報（たとえば、調査で得たデータ、プロジェクト管理情報の記録作成の進捗状況など）をリンクできるように検討を進めている。

ウェブベースの SIFD をさらに使いやすくするため、RWMC は、図 1 の上部に示すように、データフローダイアグラム全体を通じて、個々の経路を強調する機能を加えている。ここでは、選定したボックスは赤で、リンクしたボックスは青で示され、また前後へのリンクは赤線でそれぞれ強調して表示している。

ユーザーが、データフローダイアグラムを閲覧する際に、データフローダイアグラム全体を通じて様々な経路を双方向で検討できる点は、ウェブベースのシステムの方が、紙ベースよりも使いやすい。

RWMC は、2001 年から 6 年間にわたって SIFD の適用法を検討してきた。この間、日本

国内において処分場候補地の概要調査に適用可能な、サイト特性調査の手順とそれに関連したデータの流れを表すシステムを開発してきた。これを統合化データフローダイアグラムと呼んでいる。統合化データフローダイアグラムをさらに向上させるために、「ドライラン」による試行がどのようなプロセスを経て利用されてきたかについては、次の 2.2 章で説明する。

統合化データフローダイアグラムを作成したことで、調査によって得たデータへのアクセス、調査の進捗の確認、データの追跡性と透明性を確保することを目的として、複雑で多様なシステムの中核として、統合化データフローダイアグラムを使用できる。RWMC が検討してきたウェブベースの SIFD の機能については本報告書の付録 1 で詳細に説明する。

NDA が英国での地質環境調査に関し、SIFD の機能の確認および強化に対して、NDA が英国内で実施した地質環境調査についてどの程度まで情報を適用するか、またどれが適切か、本報告書の 4 章および 5 章で評価結果の一部として示す。

2.2. ドライランのコンセプト

現在、日本国内には高レベル廃棄物を処分するための自発的なサイトや推奨されるサイト環境は存在しない。そのため、日本の高レベル廃棄物処分場の立地に向けた概要調査のデータフローダイアグラムが適用可能かどうかの確認には、RWMC は様々な海外の調査プログラムから得た既存のデータセットをデータフローダイアグラムに適用することが必要である。そこで、これらを利用した検討を「ドライラン」と呼び、これを実施することとした。

ドライランのプロセスは、過去のサイト調査データセットの収集と、データセットを用いたフローの評価に区分できる。将来、日本国内の処分場候補地で実施する地質環境調査に関係する諸問題について、ドライランのプロセスにおける SIFD およびデータフローダイアグラムの役割を通じた結論を導くために、一連のデータセットに基づいて解釈やモデル化を行う。特に以下の各項について結論を導く必要がある。

- ・ モデルのデータセットに基づく解釈とモデル化の検討結果を根拠として、各種データフローダイアグラムの修正が必要かどうか。
- ・ サイト調査手法が地質環境によってどの程度影響を受けるか。

RWMC はそれぞれ異なる地質環境を想定した 3 種類のドライランを実施した。この中で、SIFD の試行という観点で、ドライランによる検討内容を絞り込んだ。それぞれの地質環境と検討内容を以下に示す。

- 幌延、日本（堆積岩で塩水／淡水の境界面がある）
 - 坑道への地下水侵入を評価するための水理地質学モデル
 - 坑道の力学的安定性

- シンプバープ、スウェーデン（結晶質岩で淡水系地下水）
 - 代替モデルによる水理地質モデル検討
 - 割れ目の透水係数に関する不確実性の扱い
- セラフィールド、英国（沿岸域で塩水系地下水）
 - 水理環境の長期変遷に関するシミュレーション
 - 調査システムフローでの地球化学情報の取り扱い

英国のセラフィールドのデータによるドライランが、本報告書の適用性評価の背景となっているが、セラフィールド以外は対象外である。セラフィールドの地下水流動に関するデータフローダイアグラムは、RWMC のドライラン研究の一環として作成されたものであり、RWMC が作成した統合化データフローダイアグラムに基づいている。

ドライランの検討のうち、データの一部を利用したシミュレーション結果と、実際に調査で得られた結果の解釈には、違いがある可能性が高いことを認識しておく必要がある。これらの違いは例えば次のような理由から生じる。

- ・ ドライランの主要目的は、SIFD が概要調査段階で、日本の処分場候補地の特性調査に適用することが可能かどうかを机上で試行して評価することである（概要調査の実施）。
- ・ ドライランはサイト特性調査では、ある特定した側面に焦点を当てており、調査で得られた全てのデータセットを考慮しているわけではない。
- ・ 上記のように、調査データのサブセットに基づいているので、独立して作業する複数の個人および組織からは、共通した単一の解釈が生まれる可能性は低い。

3. セラフィールドの地下水流動

3.1. 概要

本章では、英国のセラフィールドで実施された調査の概要と、当該地域の地下水系について Nirex が表した結論の概要について記載する。Nirex は 1989 年から 1997 年までフィールド調査を実施し、ここで示した解釈結果は、セラフィールドサイトでの調査が終了した 1997 年までに作成されたものである。

調査に関する情報と地下水流動に関する結論は、RWMC と Nirex がそれぞれ別個に作成し、本報告書に示す評価研究の基盤となるフローダイアグラムについて報告をする観点から説明する。なお、2.2 章で述べたとおり、RWMC が実施中のドライラン演習を基にして導いた地下水流動に関する検討結果は、Nirex がセラフィールド全体に対する詳細な評価から導いた結果とは異なる可能性があることを認識する必要がある。

セラフィールドの調査概要は、以下の 3 つの項目に沿って説明する。

- ・ サイトの位置と調査範囲
- ・ 地質構造
- ・ 地下水流動

3.2. サイトの位置と調査範囲

セラフィールドサイトは英国北部カンブリア地方にある湖水地方西端に位置する(図 3)。調査スケールにより、地質情報に要求する条件が異なるので、地質データの収集と解釈には調査エリアの範囲を段階的に設定するアプローチを採用した。まず、図 3 に示すように 3 種類の区域を設定し、それらは順番に小さくなるように定義した。

最も外側に位置し、主要な地質学的特徴が処分場と何らかの関係を持つ可能性がある「**Rigion (広域)**」、次に、処分場に直接関係する地質学的特徴を持つ区域である「**District (地区)**」、そして南北 6.5 km、東西 8 km の範囲で、処分場を直接取り巻く区域である「**Site (サイト)**」である。枠組みを作るために、広範囲の地域では幅広い一般的な地質学的情報が必要となる。一方、処分場候補地に近づくほど、より詳細な情報が必要となる。Nirex は「**地区**」内で、各種の地球物理学(物理探査)、地質、水理地質に関する調査を実施した。調査では調査地区の地表水と地下水の集水域も含まれ、その中に処分場候補地も含まれる。なお、調査の一環として実施された深層ボーリングはすべて「**サイト**」区域内に位置する。



図 3 セラフィールドの研究対象位置図

セラフィールドの特性調査では以下に示す項目を実施した。

- ・ 陸上、海上、空中、ボーリング孔内での物理探査
- ・ 広域の水理地質調査、地質図作成、第四紀の堆積物の特性調査
- ・ 合計 16 カ所(図 4)、総掘削長 25,808 メートルにわたる 28 本の深層ボーリング（深度 150 メートル以上）。最深のボーリング（Borehole 3）は深度 1,950 メートル、ほぼ全てのボーリングでの連続した岩石コア取得
- ・ 岩石コアの写真撮影、地質層序分布の記録、室内試験における一般的な特性調査と専門家による特性調査のためサンプリング

- ・ 地下水の水圧、岩石の透水係数、岩石中の地下水流動を定義する関連するパラメータを決定するため、ボーリング孔内で水理試験
- ・ 地下水分析および掘削泥水による汚染の影響を補正するため、ボーリング孔内から地下水サンプリングから掘削泥水添加された地下水中のトレーサ分析
- ・ 22カ所のボーリング孔内に、長期的に地下水圧のモニタリングのためのするため計器設置
- ・ 自然地震と AE モニタリング
- ・ 地表とボーリング孔内の両方におけるフラクチャの特性調査
- ・ 岩石の力学的挙動を決定するための岩盤工学調査
- ・ 調査結果の総合解釈（一連の数値モデルの設定）

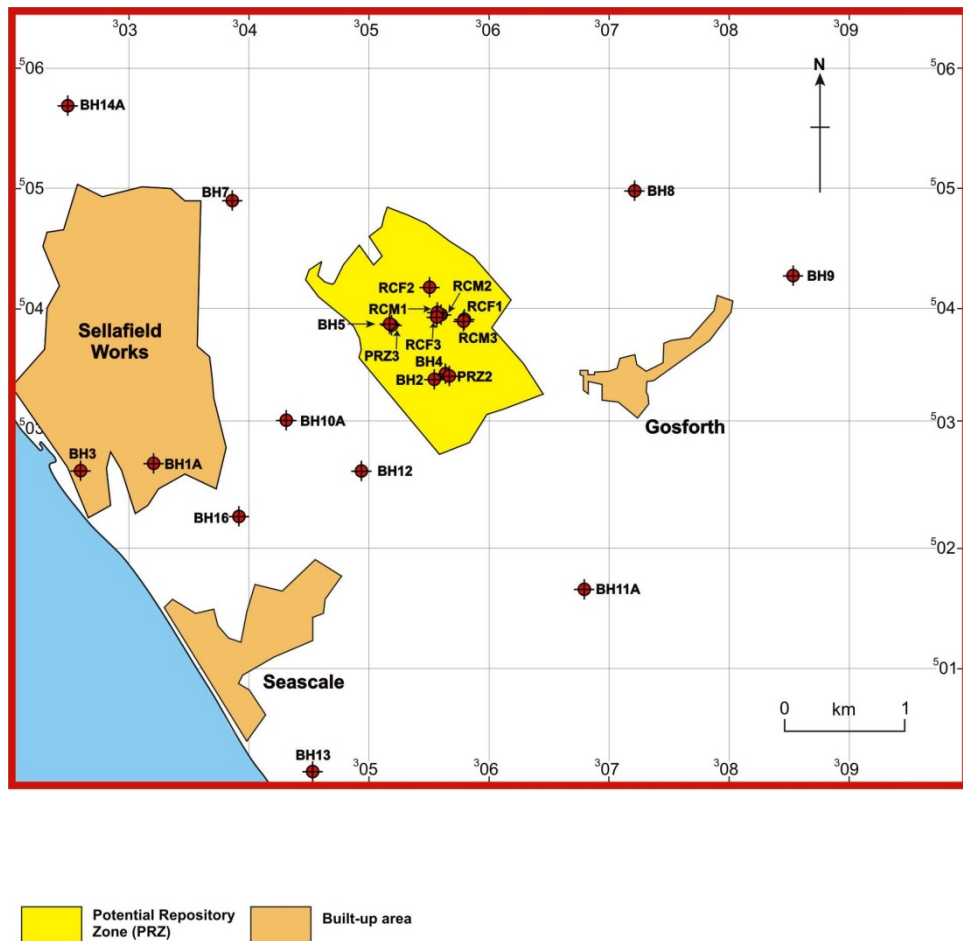


図 4 セラフィールドの「サイトスケール」内の深層ボーリング配置図

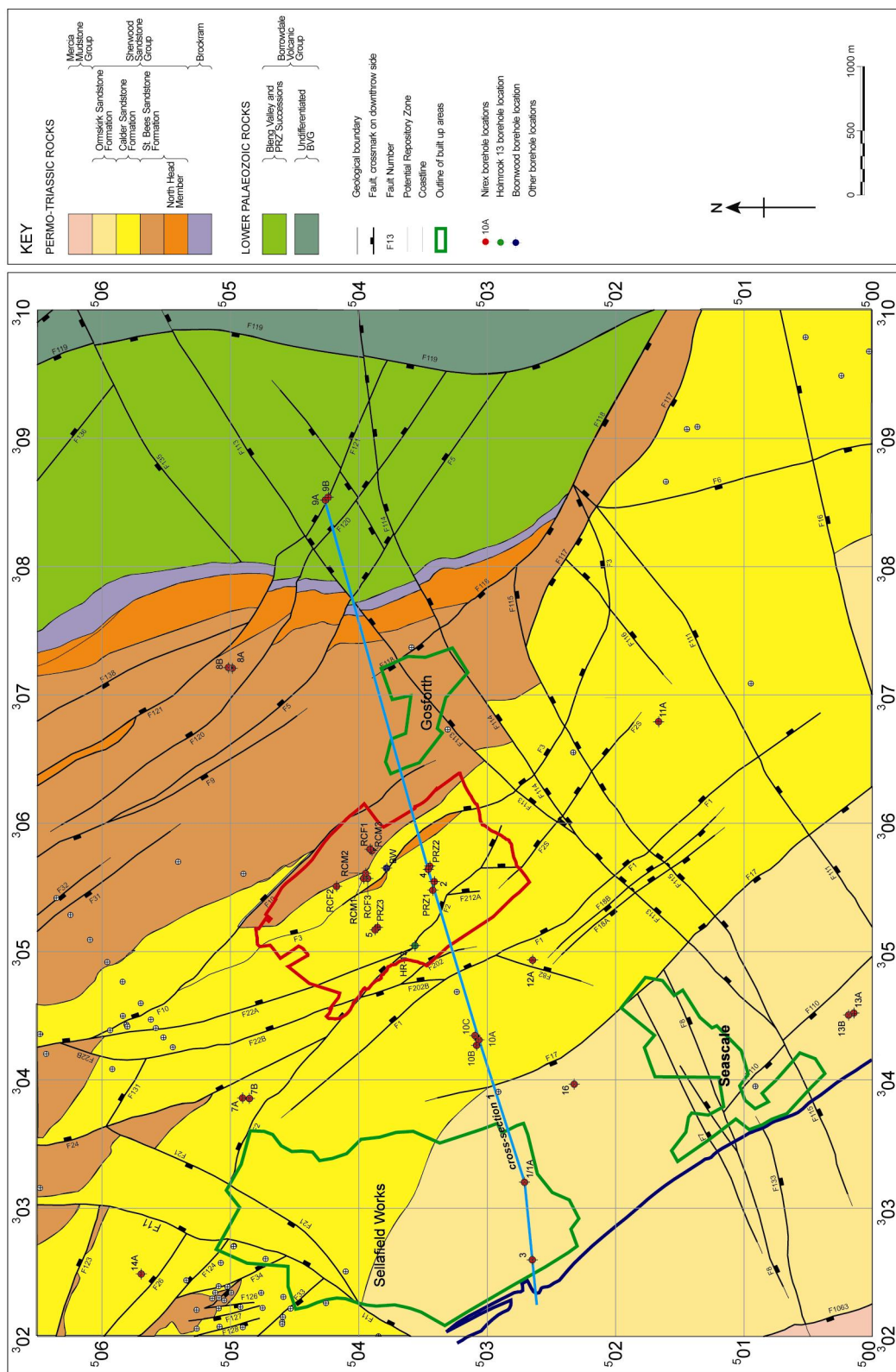
3.3. 地質学的構造

セラフィールド地域は基盤岩が分布する湖水地方山塊の西端と、基盤岩に隣接し、主に海域に分布する東アイリッシュ海堆積盆地の間の移行帯に位置する[8]。主な地質構造要素には、東北東のトレンドを示す **Seascale/Gosforth** 断層帯、西から北西トレンドを示し、湖水地方の境界に位置する **Fleming Hall** 断層帯などが含まれる（図 5 および図 6）。これらの断層は堆積盆地の形成に影響しており、**Fleming Hall** 断層帯は局所的に石炭紀の石灰岩の東端を形成している。一方、湖水地方の境界をなす断層帯は東アイリッシュ海盆地の東側の境界を形成している。よって、湖水地方山塊の高地は、低地にある古生代の火成岩（主に火山岩）および変成岩の基底の内座層として形成される。そしてこの内座層から石炭紀と二畳系－三畳系の堆積岩が傾斜不整合で覆っている。

セラフィールドの処分場候補地の母岩はオルドビス紀の **Borrowdale** 火山岩群（BVG）に属す。この BVG は溶結凝灰岩で、層厚は 1 km 以上を示す。処分場候補地一帯では、BVG の上面は深度約 500 メートルで、層厚 70 m の二畳紀の礫岩である **Brockram** 層の直下に存在する。そして **Brockram** 層は **Sherwood** 砂岩層群から成る三畳紀前期の砂岩に覆われている。この砂岩層群は 3 層から成り、その最下層は **Calder** 層と **Ormskirk** 層に覆われた **St Bees** 砂岩層（図 6）である。**St Bees** 砂岩層の基底の 80 m 部分は **North Head Member** と呼ばれ、砂岩層の間に挟まれた薄い泥岩とシルト岩層が多く現れるため上位の砂岩と区別されている。

基底の火山岩の上面は南西に傾斜しており、海岸では地表下約 1,600m に位置する。この部分は、三畳紀の **Sherwood** 砂岩層群に貫入する前に、主に石灰岩から成る石炭紀の地層、二畳紀の **Brockram** 層、**St Bees** 蒸発残留岩（主に白雲岩と無水石膏から成る）と **St Bees** 頁岩（細粒砂岩、泥岩、シルト岩）によって連続的に不整合で覆われた。西カンブリア地方で見られる第四紀以前の層序を図 7 に示す。

第四紀の堆積物は海域では厚さ 180m、陸域では厚さ 100m の範囲で堆積している。また、海岸付近と、基準海水準より約 50m 上昇した海岸平野からの内陸部に母岩の露頭部がある。海域、陸域とも、母岩を直接覆う最下層の堆積物は、ほとんど最終氷期に関する陸地性の堆積物である。これらは氷河性の氷礫土と氷河構造の砂と砂れきから成り、不均質である。これらの堆積物は、海域では氷河性の海成層を覆い、また陸上では地表のアウトウォッシュ、氷河周辺の湖の堆積物、氷河期後のピートと沖積堆積物で覆われている。



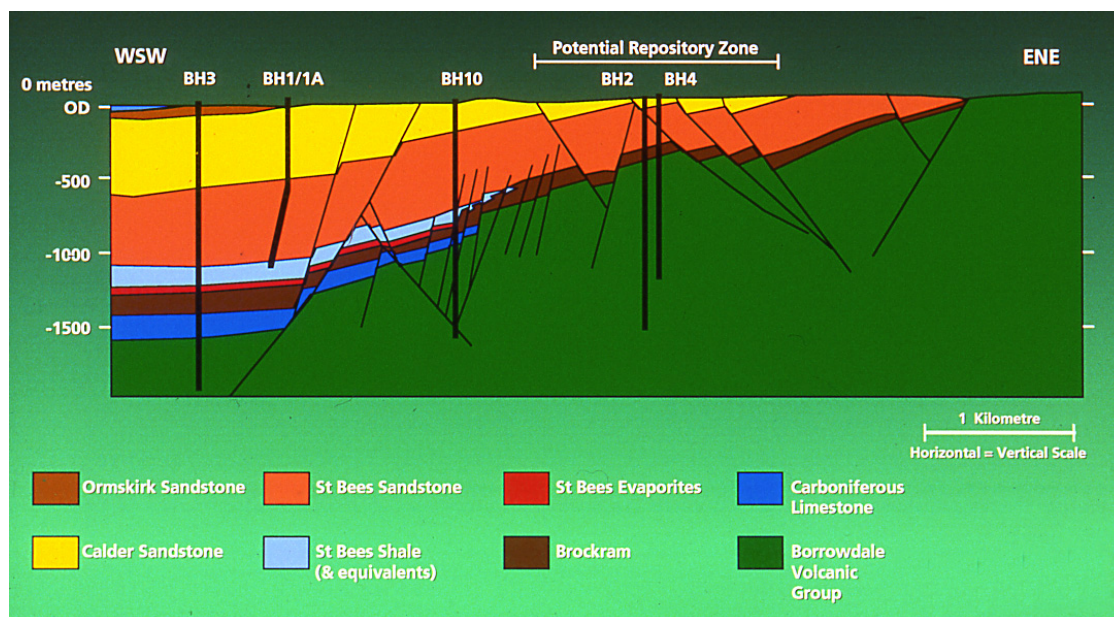


図 6 地質構造断面図

Triassic	Mercia Mudstone Group		
	Sherwood Sandstone Group	Ormskirk Sandstone Formation	
		Calder Sandstone Formation	
		St Bees Sandstone Formation North Head Member	
Permian	Cumbrian Coast Group	St Bees Shale Formation	Moss Side Member
		St Bees Evaporite Formation	
	Appleby Group	Brockram	

Carboniferous (Dinantian)	Chief Limestone Group	Urswick Limestone	
		Frizington Limestone	
		Martin Limestone	

Ordovician	Borrowdale Volcanic Group	Fleming Hall Formation	Longlands Farm Member	
			Sides Farm Member	
			Town End Farm Member	
		Brown Bank Formation	Seascale Hall Member	
		Bleawath Formation		
		Broom Farm Formation		
		Moorside Farm Formation		

図 7 セラフィールドエリアの第四紀以前の地質分布

3.4. 地下水流動

セラフィールドの地下水流動システムに関する Nirex の知見については、地層処分場閉鎖後の性能評価に関する部分として Nirex97 に記載している[6]。Nirex が作成したフローダイヤグラムの情報基盤である Nirex97 に記載されている主な情報は、RWMC に提供した技術情報として、評価プロセスの一部として要約されている[9]。

Nirex は、地下水流動のシステムに関して以下の知見を有する。すなわち、地下水流動は、圧力勾配と重力の相乗効果に基づいており、主としてマトリックスとフラクチャ中の移行によって構成されているが、それぞれ水理地質ユニットや影響範囲が異なるため、岩盤を通過する地下水のフラックスは駆動力に比例している。

図 8 は地下水流動の概念モデルを使って、セラフィールドの地下水流動システムについて概略的に表現したものである。ここで示された地下水流動システムの駆動力は重力および地下水の密度変化である。地下水の密度変化はサイト内の地熱分布と地下水中の塩分濃度が大幅に異なるために生じる。従ってセラフィールドでは、地下水流動と塩水の移動および地熱の移動との組み合わせが非常に重要となる。

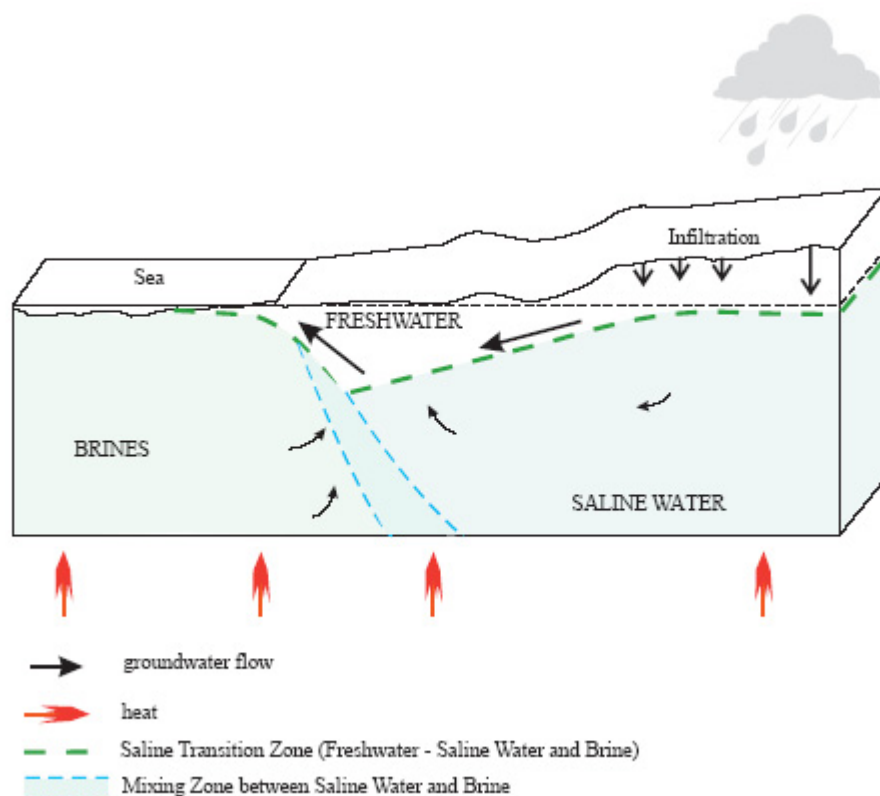


図 8 セラフィールドエリアの地下水流動概念モデル

地下水面の位置は、地表付近では浸透率とその不均質性の程度によって決まる。淡水系地下水はセラフィールドの動的な水理体系を支配する地表付近の岩石中で発達している。セラフィールドの現状の地下水面について、内陸の丘陵地など岩石が比較的浸透性が良くない領域では地表付近に存在し、第四紀の堆積物のように、比較的浸透性が高い砂岩に覆われている領域では地表よりやや深い位置に存在する。第四紀層中には小規模なトラップされた地下水も存在する。海域では、海水の水圧が海底下の地下水流動システム内に存在する塩淡境界面を制御している。セラフィールドの地下水系は流動的で、過去の様々な事象や条件の変化に応じて変動してきた。

セラフィールドの地下水系中において、主な地下水流動について、サイトの東側にある湖水地方の高地では、地形が徐々に高度を増すのに関連して地下水面が上昇するため、重力によって南東から北西へと流れる。また、地下深部の地下水流動は、流体の密度の違いに応じて重力によって駆動される。全体的な地下水流動パターンはこのような地下水密度の変化を反映している。

海盆内部にある **Mercia** 泥岩群において塩分濃度の高い地下水が観察されるのは、セラフィールドの西部で東アイリッシュ海盆が深くなるためであり、これは海盆が地下深部の地下水流動に影響を与えていることが原因であると考えられる。地下水の密度差によって海盆から塩分濃度の高い海水がゆっくりと流れ出るためである。一方、サイトの東側から流れる比較的密度の低い塩分を含む地下水は、サイトの西側からの塩水と混合し、現在地下深部で観察される塩分濃度の変化をもたらしているものと推測される。内陸部からの地下水は、これよりも密度の高い塩水との混合領域に達することで、上向きに流れるものと予測される。

この地域には、第四紀、二畳紀－三畳紀の堆積岩、基底部を形成する **Borrowdale** 火山群のからなる 3 種類の主要な水理地質ユニットが存在する。第四紀を通過する地下水流は未固結堆積物の変化によって影響を受ける。このように水理特性が異なるいくつかの水理地質領域が形成されている。第四紀については、氷河期に堆積した厚い粘土層が存在する領域を除き、堆積物の性質から地下水涵養を制限している可能性は低い。このような領域で不透水層が存在すると、自由表面への排出も制限される可能性があり、被圧状態が優勢となる可能性がある。

二畳紀から三畳紀の砂岩で構成される水理地質ユニットを通過する地下水流動の特性は、堆積物の構造と岩相分布に大きく影響を受けている。そして堆積物の構造と岩相分布に加えて、風化作用、続成作用（鉱物の変質、沈殿、溶解）による影響、応力状態の変化、断層分布等が、各ユニットの水理地質特性、特に亀裂部分からの全体的な地下水流動へと相対的に影響が変化する。

基盤岩内部の地下水流動は、大規模な割れ目の中で小規模割れ目群を形成する亀裂ネットワーク内を通過する。このような潜在的な地下水流動は、地質学的には新しく開口した間隙中に方解石が晶出したことが証拠となり、ボーリング調査によってその特徴が確認で

きる。このような特徴がボーリングで確認されると、それらは「潜在的流動徴候 (*Potentially Flowing Features*)」であると認識される。このようなボーリングによる潜在的流動徴候の観察結果によって、基盤岩中の潜在的流動ネットワークを説明してきた。地下水流動はこれらの亀裂内の流動ネットワークを通じて生じる。さらに、潜在的流動徴候はボーリング調査では密集して分布することも観察されていることから、これらが集合体を形成できることも示している。ただし、これら小規模割れ目群が、それ自体で結合したネットワークを形成するかどうかは不明である。また、小規模割れ目群の存在は、より大規模な地下水流動のフレームワークの存在を示すものと考えられている。小規模割れ目群が発生するためには、多くの地質学的な影響が働いており、小規模割れ目群と断層破碎帯とは部分的に相関している。基盤岩は断層を挟んで互いに異なる岩石ユニットが近接することから、基盤岩内部で隣接する岩石ユニットは水理学的な特性が異なるものと考えられている。

断層活動は、断層に接する岩石の破碎特性を変化させるとともに、断層を挟んで特性の異なるユニットが隣接するために、地下水流動システムに影響を与える。断層破碎帯は断層の不連続性と関係するが、一方で、破碎領域内で変化した岩石特性は異なる規模で様々な不均一性を示し、破碎された方向も異なるため、図 9 に示すように、断層自体の透水性は断層を含まない周囲の岩石よりも透水性が高いのか、あるいは低いのか判断することは難しい。なお、図 9 の凡例で示した「BVG」は、セラフィールドの基盤岩を構成する Borrowdale 火山岩群の略を示している。

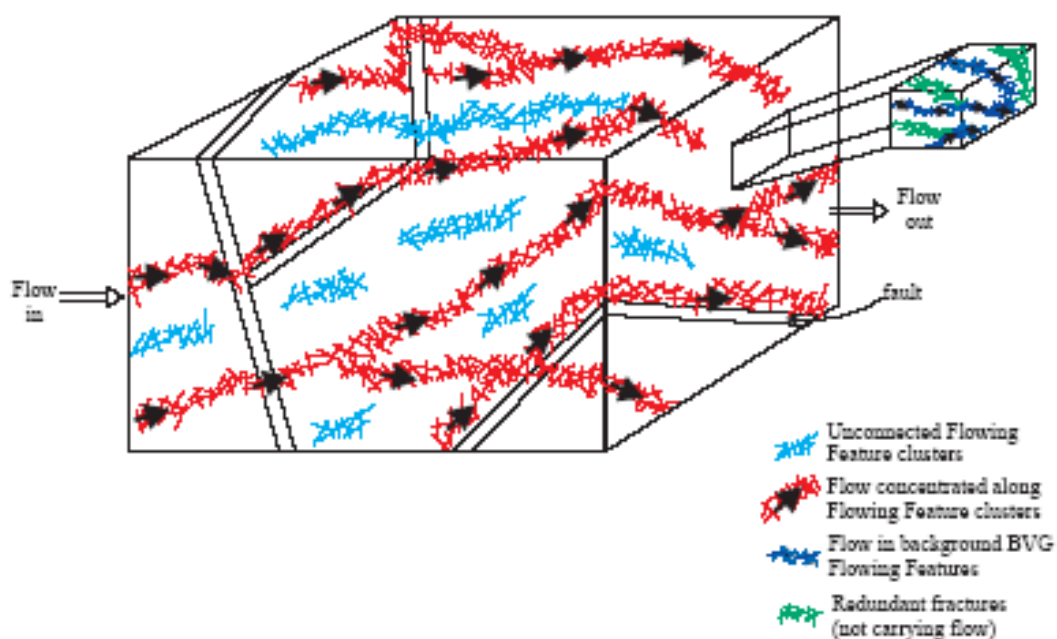


図 9 セラフィールドの基盤岩内における地下水流動の概念モデル

4. 評価の方法

4.1. 評価方法の概要

RWMC と Nirex の共同プロジェクトでは、それぞれの組織が作成したサイト調査フローモデルを体系的に評価することがキーポイントである。そこで、初めに RWMC と Nirex はセラフィールド地域の地下水流動の調査のフローダイアグラムをそれぞれ個別に作成することとし、次にそれぞれのフローダイアグラムを両者で合意した基準に照らして、RWMC は Nirex の作成したフローダイアグラムを、また Nirex は RWMC の作成したフローダイアグラムをお互いに評価することとした。

フローダイアグラムの評価基準は、あらかじめ RWMC と Nirex によって、見直し作業を行い、評価基準リストを承認する手続きを通じて設定された。評価基準を 4.2 章に記載する。またこれらの基準を用いたフローダイアグラムの評価については 5 章に記載する。

4.2. 評価基準

4.2.1. 評価基準の概要

地下水流動の調査に関するフローダイアグラムを評価する規定および基準は、次の 3 項目に分割されている。

- ・ フローダイアグラムを作成するための概念モデルに関する基準
- ・ 概念モデルをフローダイアグラムに変換する際に使用するシステム（ソフトウェアを含む）に関する基準
- ・ 上記の基準には含まれないその他のコメント

これらの基準について 4.2.2 章から 4.2.4 章で説明する。

4.2.2. フローダイアグラムの概念モデルに関する基準

ねらいと目的

フローダイアグラムの概念モデルが、設定された目標と目的を満たしているか？ また、両機関が作成したフローダイアグラムの概念モデルの目標と目的が十分類似しており、互換性について期待できるか？

詳細度について

2 つのモデルの詳細度は同程度か。また、同程度でない場合の 2 つのモデルの相違点は

何か、詳細に評価する。

想定した特性、事象、プロセス（FEP）の包括性について

フローダイアグラムの概念モデルに明示的あるいは暗示的に含まれている特性、事象、プロセス（FEP）を評価する。また、2つのモデルに含まれるFEPに大きな相違があるか確認する。

活動内容について

フローダイアグラムの概念モデルで、情報の流れに沿って実施する活動内容を評価する。具体的には、この情報の流れの中で、活動ステップの欠落または不要な活動ステップがあるか、また、フローダイアグラムに含まれている活動ステップおよび活動内容と含まれていないものとの相違はどの程度重要か？

活動の連結について

2つのフローダイアグラムにおいて、活動は同じ論理的方法、手順で結合されているか。異なる場合は、両者のモデル化と解釈の違いは何か？

4.2.3. フローダイアグラム作成で適用されたシステムに関する基準

追加された機能性について

2つのフローダイアグラムに共通した主な機能は何か？

一方のフローダイアグラムで実証されているが、もう一方はまだ実証されていないモデル化ツールにおいて、追加された機能性は何か？（例えば信頼性レベル、調査の完了までの進捗など）

フローダイアグラムに機能性を追加する利点は何か？

フローダイアグラムの有効性を高める上で、この追加機能はどの程度重要か？

フローダイアグラムの構築に必要な作業量

技術的作業（思考）と機械的作業（作図）の両面を考えた場合、フローダイアグラムを作成するにはどの程度の作業量が必要か？

図面の作成に従事する技術者はフローダイアグラムの概念モデルに関与しているか？

フローダイアグラムの概念モデルの作成に費やした作業日数はどの程度の作業量か？

4.2.4. その他

フローダイアグラムの評価に関係すると思われるその他の意見はこの表題の下に記載

する。

5. 評価結果

5.1. 概論

ここではフローダイヤグラムの評価結果について説明する。ここで説明する総合評価結果は、前章で示したフローダイヤグラム評価基準を基に導き出したものである。すなわち、Nirex が作成したダイヤグラムの RWMC が、また RWMC が作成したダイヤグラムの Nirex が評価し、評価上問題点があればそれを解決するため、RWMC と Nirex が合同で検討したもので、評価結果については以下に示す総合評価にまとめている。なお、RWMC と Nirex が作成したフローダイヤグラムは本報告書の付録 2 に記載する。

5.2. 目標と目的

今回の共同研究では、RWMC と Nirex はそれぞれ異なる目的を持っていることがあらかじめ認識されていた。RWMC は SIFD の研究を 6 年以上実施している。従って、統合化データフローダイヤグラムの役割に対する RWMC の理解は非常に成熟しており、RWMC にとって、Nirex との共同研究は、彼らが開発した統合化データフローダイヤグラムをドライランによって試行することが目的であった。このような背景から、セラフィールドの地下水流動に関して、RWMC がフローダイヤグラムを作成する目的は次の 2 点で示される。

- ・ これまでに実施したドライランのプロセスを、地下水の塩分濃度が異なる沿岸地域まで拡大する。
- ・ Nirex との共同研究を通じて、統合化データフローダイヤグラムが地下水流動の調査手法と評価手法の関連性を明示的に表現できることの有効性を客観的に評価する手法を創出する。

これとは対照的に Nirex は RWMC との共同研究を通じて、初めて SIFD を理解したところであり、彼らの目的は RWMC の目的とは若干異なっていた。Nirex が、セラフィールドの地下水流動に関するフローダイヤグラムを作成する上での目的は次のようにまとめられる。

- ・ サイト特性調査における情報の流れを提示し、それらを説明する潜在的な手法として、SIFD の適用方法をより深く理解し、データ取得、情報の解釈と最終的な反映先との間の関連性をフローダイヤグラムで表現する。
- ・ フローダイヤグラムを作成する上での RWMC の手法で適用されたソフトウェアパッケージの有効性を評価する。

- ・ Nirex97 による性能評価[6]の一環として、セラフィールドの地下水流動モデル構築時に Nirex が実際に使用したプロセスを表現するためにフローダイアグラムを作成し、それを通じて上記 2 つの目的を達成する。
- ・ セラフィールドの地下水流動に関するフローダイアグラムの作成を通じて、RWMC の統合化データフローダイアグラムに対する客観的な評価基盤を提供する。

上記のように、それぞれの目的は異なるが、両機関はその目的を満足したという点で合意した。さらに目的は異なるが、作成されたフローダイアグラムには互換性があるものと考えるのが妥当であるという点でも合意した。

5.3. 詳細度

セラフィールドの地下水流動の理解を表現する 2 種類の異なるフローダイアグラムの詳細度が同程度かどうかを判断するため、以下の 2 つの課題を設定した。

- ・ 各フローダイアグラムに表示された活動ボックスの数を比較する。
- ・ 表示されたプロセスに関してフローダイアグラムを比較する。

比較した結果、RWMC と Nirex が作成したフローダイアグラムの詳細度は、提示された活動ボックスの数で言えばほぼ同等であることが解った。Nirex のダイアグラムには 81 個の活動ボックスがあり、RWMC のダイアグラムには 105 個の活動ボックスがあった。詳細度に関する主な相違点は以下の 2 項目と考えられる。

- ・ RWMC のフローダイアグラムには 38 個の活動ボックスがあるのに対し、Nirex のフローダイアグラムには 25 個しかない。2 つのダイアグラムの活動ボックス数の差が、両者の相違の半分以上を占める。この点では、RWMC のダイアグラムの方が Nirex のダイアグラムよりも活動ボックスの詳細分類が細かいと言える。
- ・ RWMC のフローダイアグラムでは地下水のサンプルの分析について、地球化学的分析に関する合計 9 個の活動ボックスを表示しているが、Nirex のフローダイアグラムはここまで詳しく分類していない。

フローダイアグラムの表示方法で、フローの見やすさを維持しつつ、A3 用紙 1 枚に表示可能な情報量に制限しようとするれば、現実的に 1 枚のフローダイアグラムに表示できる詳細度と情報には自ずと限りがある。1 枚に表示可能な量に情報を制限することは、ある意味で独断的であるが、逆に、フローダイアグラムをまとめて示すことで、情報の流れについて明確にかつ簡潔に理解できるように表示できることも確かである。1 つのフローダイアグラムに提示できる詳細情報を、制限しないまま作成されたフローダイアグラムは複雑すぎて、重要な情報に関する流れの理解を阻んでしまう恐れがある。Nirex が当初実施し

た試みでは、1つのフローダイアグラムに約250種類の活動が含まれており、その結果、作成されたフローダイアグラムは複雑すぎて主要な情報の流れの要素を表現することができなかった。

フローダイアグラムの詳細度を評価するにあたり、フローダイアグラム中で選定されたフローの「エンドポイント」、すなわち、全体的な情報の流れを表示するフローダイアグラムの範囲について評価することとした。RWMCのフローダイアグラムは、彼らが作成した統合化データフローダイアグラムに基づいており、フローダイアグラムは地下水流動と「核種移行」に直結する活動の並び（ダイアグラムの左端のゴール（ここでは各種移行）に直結する活動ボックスー付録2参照）は以下のようなタイトルによってグループ化されている。

- ・ 地下水流動
 - 水理地質構造のモデル化
 - 地形／地質構造
 - 断層および破碎帯の水理地質学的構造
 - 母岩の水理地質構造と上部の被覆堆積物
 - 地下水の駆動力
 - 潜在的な流動
 - 熱対流の影響
 - 地下水流動システム
 - 地下水流動システム
- ・ 核種移行
 - 核種移動
 - 地下水の流速

これとは対照的に、Nirexのフローダイアグラムには、処分場の性能評価の実施に適した地下水流動モデル構築を表す反映先（エンドポイント）が1つあるだけであった。地質学および地形学的な構造、地下水駆動力、水理地質学的ユニット、地下水流動システムの規定などの課題に関係する調査・評価活動はフローダイアグラムには明示的に表されているが、いわゆる「エンドポイント」ではなかった。

RWMCとNirexのフローダイアグラムの構築手法については5.5章でさらに考察することとする。ここでは、フローで表示された活動内容やエンドポイントの選定などに関する問題ではなく、フローの「詳細度」に関する評価だけを考察した。その結果、RWMCとNirexがそれぞれ個別に作成したフローダイアグラムの詳細度はほぼ同様であることが解った。

5.4. 特徴、事象、プロセス

ここでは、地下水流動に影響すると考えられる特徴、事象、プロセス（FEP）がフローダイアグラムに盛り込まれているかどうか確認することを目的とした。地下水流動システムに関する Nirex の知見に基づき、RWMC のフローダイアグラムにこの知見がどの程度反映されているか評価した。

RWMC のフローダイアグラムを評価した結果、Nirex の地下水流動システムに関する概念とフローダイアグラムに示された情報が良く一致しており、次に挙げる課題について明示されていた。

- ・ 地下水流動は地形と地下水の密度の変化の相乗効果によって駆動力を得る。ここでいう密度の変化は、塩分濃度と温度の変化によって生じる。
- ・ 地下水の水質の変化は、地下水流動システムの状態をよく表している。

RWMC のフローダイアグラムと Nirex のダイアグラムでは、破碎帯内部の地下水流動に関する評価方法が異なる。先に述べたように、また図 9 に示すとおり、基盤岩中の地下水流動を制御するのは、亀裂ネットワーク内の小規模割れ目群の分布状況であると考えられる。従ってサイト調査の地質構造解析で特定された断層は、決定論的に地下水流動モデルに位置づけたような特徴を表していない可能性がある。さらに、この小規模割れ目群は既知の断層とは関係なく分布している可能性がある。

RWMC によるセラフィールドの地下水流動評価は、Nirex の地下水流モデル作成手法と同様の方法を採用したため、当然、基盤岩中では、既知の断層が地下水流動に支配的に影響するものと表されている。図 10 に示すように、Nirex の基盤岩中における地下水流動モデルには、推定される断層の影響を明確に示している[10]。

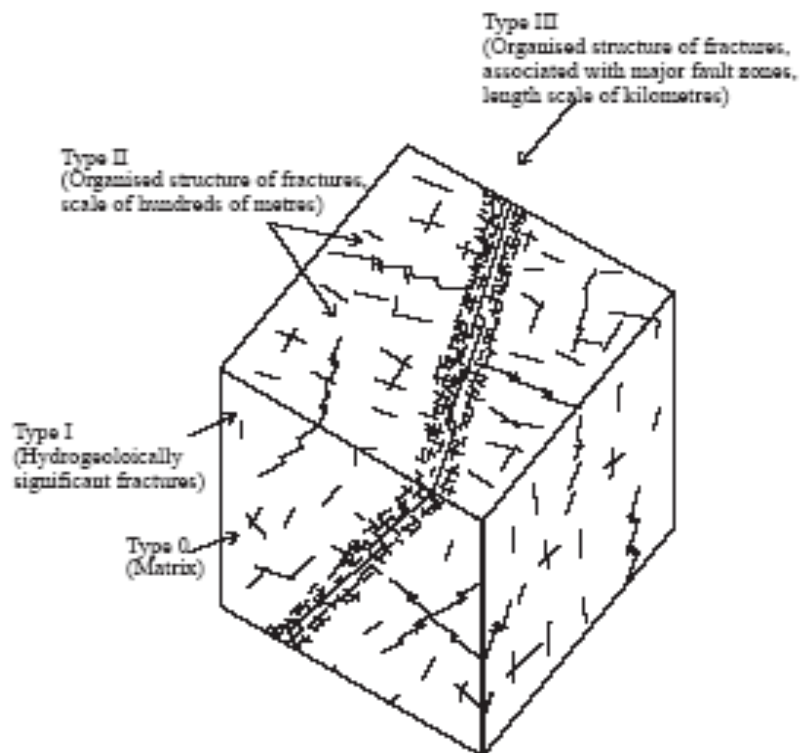


図 10 Nirex 95 の性能評価研究における基盤岩内の地下水流動概念モデル

主要な断層の分布に基づいた地下水流動概念モデルで、サイト調査で測定された地下水圧と塩分濃度の分布が適切に表わせないことが判明したため、Nirex は追加調査と、調査と併せて地下水の分析を行った。その結果、図 9 に示した概念モデルを修正することとなった。

RWMC は、統合化データフローダイアグラムに関する今回のドライランの対象範囲において、Nirex が当初実施した考え方と同様に、断層が地下水流動に支配的に影響すると考えた。しかし、当初の Nirex の地下水流動モデルに基づいた予測とサイトで実測された水理的特徴の相違点を検討するためには、Nirex による概念モデルを修正する必要があった。実際のサイト調査が段階的に実施されることを考えれば、このような概念モデルの修正は当然実施され得るものである。ここでも概念モデルに基づいた仮説を確認するために追加調査を計画し、新たに収集した情報に基づいてサイトを理解して、最終的に概念モデルを修正した。

岩盤中の破碎帯内を通過する地下水流動を調査すると、地下水流動は、主として大きな亀裂集団の中の小規模割れ目群を流れるように示されることが多い。従って、性能評価で適用される地下水流モデルでは、この小規模割れ目群を適切に表現するために、流れを制御する小規模割れ目群の特徴を規定することに注意を払う必要がある。この水理地質学的

に重要な小規模割れ目群の生成と確認に至るには、様々なプロセスの組み合わせが存在する。

割れ目が形成された時期（例えば、鉱物の晶出の違いで示される）および、既存の応力場（連成応力と水理的なプロセス）に関連した割れ目の向きで示される 2 種類のプロセスが、このような水理地質学的に影響が大きい小規模割れ目群の制御、あるいは形成に関わっている。さらに将来的な地下の状況変化が、地下水流動を制御する小規模割れ目群を変化させる可能性についても課題が浮上してくる。すなわち、既存の応力場に強く影響されていることが明らかな小規模割れ目群が、将来のある時点で、原位置の応力場の変化に対応して、地下水流動を変化させる可能性があることを示したものである。

これは、調査が進むにつれ処分場サイトの概念モデルは変化するので、それをフローダイアグラムに適応させることが重要であることを意味している。この評価研究では以下に示す 2 種類の異なるアプローチ方法を検討した。

- ・ 統合化データフローダイアグラムにあらゆる範囲で考え得る FEP を示し、調査が進展した場合でもフローダイアグラムの修正は最小限に限定できるようにする。
- ・ 調査の進捗に関連してサイトの概念的理解が変化するのに対応して、フローダイアグラムを逐次修正する。

RWMC は、日本における地層処分の概要調査段階を対象にした SIFD の開発と統合化データフローダイアグラムのドライランプロセスを通じた研究結果を踏まえて、前者の手法を採用した。NDA（Nirex の後継組織）は英国の処分場候補地の調査に関連して、SIFD を使用する際にどの手法が最適であるか、未だ結論を得ていない。

調査の進捗に併せて、概念モデルを逐次修正することは、必然的に SIFD も修正することを表している。しかしこのことは、SIFD が有する、調査によって得られたデータと概念モデルとのインターフェイスの機能のほかに、必要に応じて調査の進捗状況を確認できるという別の機能に制限を課すことを示す。この問題については、5.7 章、6 章および 7 章で検討する。

FEP に関する総合的判断は次のとおりである。

- ・ RWMC と Nirex が地下水流動に関係があると特定し、フローダイアグラムに表した FEP には多くの類似点がある。
- ・ Nirex が認識した FEP が RWMC のフローダイアグラムに明示されていない点については、今回の評価の試行の中で、これらの相違が生じた妥当な理由があると考えられる。

5.5. 活動ボックス

ここでは、フローダイアグラムで示された活動ボックスについて検討する。なお、検討の一部として、フローの詳細度と FEP の扱いについては、5.3 章および 5.4 章で既に説明している。よって、ここでは、特に情報の流れを表す際の活動ボックスの使用方法に関するものを示す。両機関のフローダイアグラムを評価した結果、活動を表現する方法に関し以下に示すことが明らかになった。

- ・ RWMC と Nirex がそれぞれ独自に作成したフローダイアグラムは、両者とも、調査技術を右側に示し、一次データから解釈へと進むにつれて左側に移動する。そして、フローダイアグラムの左端に最終的に使用する解釈されたデータを記載する手法を採用している。
- ・ 各種活動の詳細度には、いくつかの相違が見られた。例えば、RWMC のフローダイアグラムではボーリング孔内の「水理試験」については、1 つの活動が示されているのみであるが、Nirex のフローダイアグラムでは、水理試験に 6 種類の方法を挙げている。対照的に、RWMC は岩石と地下水のサンプルについては、色々な室内試験を行うこととして、都合 8 個の活動ボックスを設定しているが、Nirex は 2 個のボックスしか設定していない。フローダイアグラム内の個々の活動の詳細度は、ある意味で主観的に決定されており、各種の調査活動に対して、フローダイアグラムを作成した担当者が持つ相対な重要性の判断が反映されている傾向が見られる。
- ・ 活動ボックス内に活動内容を記載するために、個々のボックス内で利用できるスペースは限られている。そのため活動の表題がやや曖昧となり、フローダイアグラムの作成に密接に関わっていない人には理解するのが難しい。そのため、フローダイアグラムのユーザーに個々の活動に関する詳細情報を提供する機会がない場合、フローダイアグラムは、個々の活動に関する知見の伝達を支援する手段として適用される機会が限定される可能性がある。これを解決するには、個々の活動に関する追加情報提供をコンピュータベースまたはウェブベースのフローダイアグラム作成システムを通じて行うことで、各種活動に関する追加情報を円滑に提供することができるようになると考えられている。
- ・ 上記のように、RWMC と Nirex が採用した活動ボックスには、いくつかの相違が見られた。RWMC は、フローダイアグラムは「データの流れ」を表すものと考えており、そのため、活動ボックスはデータまたはデータ群を提示するものと考えている。対照的に、Nirex は、「情報の流れ」を表す手法を採用したため、一部の活動ボックスには、処分場サイトの特徴に関する一定の理解を得るために対処すべきプロセスや問題を記述している。

以上のように、各種活動をフローダイアグラムで表示する方法について評価したところ、以下に挙げる点について、RWMC と NDA が今後さらに検討する必要があることが解った。

- ・ 各種活動に割り当ての適切な詳細度の検討
- ・ 各種活動をデータ（またはデータ群）のみ表すために使用する場合と、プロセスや問題点を表す活動を盛り込むことで情報の流れにも対応できるように活動を使用する場合の相対的な利点に関する検討

5.6. 活動ボックス間の連関

ここでは、各種活動(ボックス)が論理的に関連づけられているか、また RWMC と Nirex がそれぞれ作成したフローダイアグラムが表す論理が類似しているか評価することを目的とした。評価の結果、各種活動は論理的に関連づけられていると評価した。ただし、一部活動にはダイアグラムの相違から、ボックス間の連関にはいくつかの相違が見られたが、論理的には整合がとれていることを確認した。

5.3 章で示したように、2 つのフローダイアグラムは最終の反映先が異なる。そのため、各種活動の連関も異なるが、これは RWMC と Nirex が採用したフローダイアグラムの作成手法の相違に関係するものと判断した。

評価の結果、2 つのフローダイアグラムはいずれも、活動ボックス間の連結線（ボックス間の連関を示す）が分岐、結合、交差し、相互が複雑に関連しているため、紙ベースのダイアグラムでは連関の経路を評価することは事実上不可能であることが指摘された。そのため、このような複雑なフローダイアグラムの経路を認識、理解するには、関連する個々の経路を強調できるコンピュータベースのフローダイアグラムの作成が必要であることが解った。

フローダイアグラム内で連結線が分岐、結合、交差するため、ダイアグラム上に大量の線が引かれ、時には、連結線がどこで結合するのか、あるいは交差するだけなのか即座にわからない場合が生じる恐れがある。そのため、ダイアグラム内で連結線が結合または分岐する場所全てに黒丸で示したノードを示せば、少なくとも、別の連結線がそれらの線上で交差する場合と区別することができ、連結線の明確さは向上すると結論した。また、フローダイアグラム全体の中で特定の経路の重要性を強調するため、重要度または優先順位の観点から連結線を分類できるように、線の色または太さを変える方法も提案された。これについては 6 章でさらに考察する。

5.7. 追加機能

今回の評価の一環として、2 種類のフローダイアグラムが作成された。当初、2 種類の

フローダイアグラムの作成には、RWMC のソフトウェアパッケージが用いられた。Nirex は活動ボックスにハイパーリンクを付け、連関の経路を強調できるこのソフトウェアを使用した。また、RWMC が改良したソフトウェアでは、上記の機能に加え、以下の機能も持っていた。

- ・ フローダイアグラムの修正等をトレースできる各種活動の管理機能
- ・ 進捗状況をパーセンテージで表すことによる活動の達成度表示機能
- ・ 信頼性をパーセンテージで表すことによる情報の信頼度表示機能

RWMC の開発の狙いは、現地調査で得られた全てのデータとその裏付け情報、これに関連する全ての解釈結果、モデル化、そして結果の反映先を SIFD に関連づけられるように、SIFD がトップレベルのインターフェイスを形成することであった（図 11 および付録 1）。

RWMC が開発した SIFD は、これまでの SIFD の開発研究に引き続き、ドライランによって統合化データフローダイアグラムを試行して、個別のデータフローダイアグラムの成立性を確認してあるので、高度に成熟した状態に達していると考えられる。RWMC によれば、日本の地層処分サイトにおける概要調査に関して、SIFD のデータフローダイアグラムが大幅に変更される可能性は低いと考えられる。よって、SIFD が図 11 に示すウェブベースの SIFD の基盤を成すものと考えている。

一方、Nirex が開発したフローダイアグラムは、セラフィールドという 1 つの地質環境中の地下水流動の評価だけを対象にしている。加えて、英国の地層処分場で想定される地質環境は日本に存在する地質環境とは大きく異なる。例えば、地震、火山、活断層に関連するリスクは日本より英国の方がはるかに低い、一方で、氷河作用に係る長期的安定性に対する影響は日本より英国の方がはるかに大きい。英国では、地下水移行が拡散場で支配される泥岩から、小規模割れ目を通じて移行する結晶質岩、さらに両者を組み合わせた状況を示す地質環境まで、多岐にわたる地質環境を想定しなければならない。また、英国内での SIFD の適用に関する研究は、まだ初期段階にあることを考えると、英国と日本における SIFD システムの機能性に関する要求条件が異なることは明らかである。

英国では、英国内サイトの異なる地質環境および調査の各段階に合わせたフローダイアグラムを別途開発できるように、フローダイアグラムの作成と編集が円滑化できるシステムの開発に重点を置くべきと考える。すなわち、既存の SIFD の使用方法に関する検討ではなく、データ管理システムと調査の進捗を監視するシステムの開発戦略に係る研究を独自に進める必要がある。

以上の評価結果から、今後、日本と英国において SIFD を用いた研究を進めるに当たり、SIFD の適用方法についてはかなり異なってくる可能性がある。この相違は両国の放射性廃棄物処分のプログラムにおける特定のニーズと開発段階を反映しているものと考えられ、両国の状況を勘案すると、両手法ともそれぞれ適切であると結論づけられる。

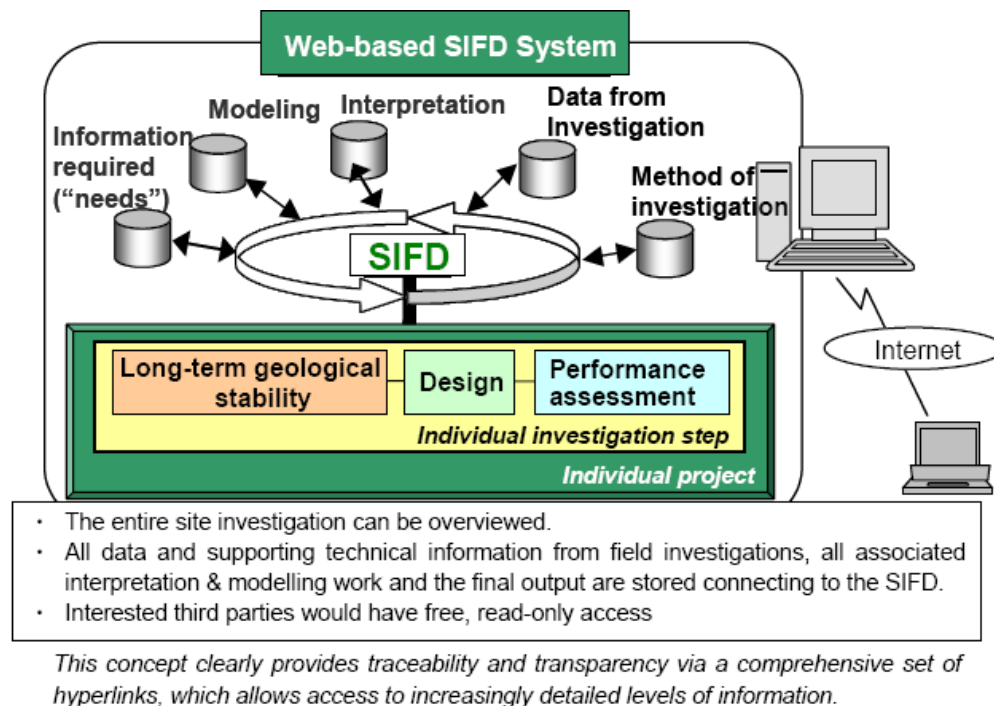


図 11 RWMC によるウェブベース SIFD のコンセプト

5.8. フローダイアグラムを作成するために必要な活動

日本と英国では、それぞれ SIFD に対する研究の深さが異なるため、これまで両者はあまり関係していなかった。RWMC が作成した SIFD は、既に相当成熟していた。そのため、RWMC の活動は、共同研究では統合化データフローダイアグラムをドライランで試行した結果の解釈に関する検討に向けられていたので、フローダイアグラムの修正にはほとんど時間を費やしていない。対照的に、Nirex が実施した作業は、数年前に完了した解釈とモデル化の研究に基づいたフローダイアグラムの製作に焦点が当てられたため、全ての活動は地下水流動に対して既に Nirex が持っている知見をフローダイアグラムに反映させることと費やされた。

今回の評価研究では、フローダイアグラムの作成に必要な作業量について、適切な定量的情報はほとんど提供できなかった。つまり、今回の研究では処分場候補地の地下環境の概念的理解を深める作業が、実際にフローダイアグラムを作成するに当たって必要な作業の大半を占めることが浮き彫りと成った。ただし、今回の評価研究によって、フローダイアグラムを合理的かつ円滑に作成する方法も確認できた。これらについては次の 6 章で考察する。

5.9. その他の問題

RWMC と Nirex が実施した今回の評価では、フローダイアグラムのさらなる開発と強化の機会についても検討した。これらについては次の 6 章で考察する。

6. 考察

6.1. 概論

本報告書の 5 章で、RWMC と Nirex がセラフィールドの地下水流動を把握するために作成したフローダイアグラムの評価内容について説明した。全体的な評価の結果、個別に作成された 2 つのフローダイアグラムには非常に多くの類似点があることが確認された。また同時に、以下に挙げる項目について RWMC と Nirex が採用した手法にいくつかの相違点があることも明らかになった。

- ・ 統合化データフローダイアグラムの採用可能性
- ・ フローダイアグラムに表された作業内容の種類

SIFD のコンセプトをさらに発展させる機会の有無も、評価の一部とみなされた。これらの論点については以下で考察する。

6.2. 統合化データフローダイアグラムの採用

RWMC がこれまで実施してきた SIFD に関する研究成果と、「ドライラン」の実施を含む共同研究によって、本報告書では、処分場候補地の地質環境調査の計画と調査実施に関する情報の流れを説明、伝達する上で、この種のフローダイアグラムが有効であることが明確に実証している。RWMC が開発し、「ドライラン」を通じて確証した統合化データフローダイアグラムは、高度に洗練された状態に達しており、さらに、ドライランの試行によって十分ロバストであることが実証された。そこで RWMC は、これらの研究結果を踏まえて、統合化データフローダイアグラムに必要な修正はごくわずかであり、日本の概要調査区域における地質環境調査に関する情報の流れを表すために、SIFD がその基盤となり得ると考えている。

RWMC は、これまでの SIFD の改良に関する検討結果に基づいて、現地調査で得られた全データとその裏付けとなる技術情報をそれぞれ対応させるために、SIFD を通じてお互いリンクさせて保管する、ウェブベースの SIFD システムの開発研究を積極的に進めている。この統合システム（図 11）には関連する解釈の結果とモデル化研究、さらにサイト評価に

使用する最終的成果（結果）を含むデータファイルが保存される。さらにこのコンセプトは、サイト評価に使用する基礎情報に関する更新履歴の記録と、各活動ボックスで示した調査の遂行に向けた進捗管理監視にも対応している。

Nirex/NDA は、英国内の地層処分場候補地の調査に関する情報の流れを表現し、説明するために SIFD を使用する可能性について、その検討と評価に関する研究はまだ初歩の段階にあることを示している。今回 Nirex/NDA は、情報の流れの調査だけに研究の焦点を向けていたため、データ管理や進捗管理などの問題については、今回の研究の範囲外としていた。将来のある段階で、英国内の処分場候補地の調査と評価に、SIFD に基づく統合システムの開発を検討することは実現可能であり、かつ望ましいことである。しかし現時点では、英国に適用可能な総合的調査プロセスを表現できる成熟したフローダイアグラムは、まだ存在しない。本論で報告した研究は、セラフィールドで代表される特定の地質環境中の地下水流動の考察に限定されている。

RWMC が日本国内の処分場候補地の概要調査のために開発した統合化データフローダイアグラム、そして、英国内の処分場候補地において、主に地上からの調査に適用可能な統合化データフローダイアグラムにはいくつかの類似点があるが、一方で RWMC の統合化データフローダイアグラムを英国内のサイト調査に直接採用するには、その可能性を制限する基本的ないくつかの相違点も存在する。英国と日本の調査における具体的な相違点は、対応する地質環境と適用されるセーフティケースの違いに関係している。

長期的な地質安定性に関する RWMC の SIFD は、火山活動と地震、これらに支配的なプロセスの重要性を強調しているが、氷河作用の影響は考慮されていない。対照的に、英国は日本よりも地質学的にはるかに安定しているため、地震と火山活動はほとんど無関係であるが、氷河作用の影響は非常に重要である。これらの相違は、英国内の処分場候補地に関して作成される可能性のあるセーフティケースに反映される見込みが高く、英国で 사용되는統合化データフローダイアグラムにも反映する必要がある。

6.3. 活動の提示

5章で示した評価の結果、RWMC と Nirex/NDA がそれぞれフローダイアグラムの中で各活動を表現する際に採用した手法の相違点が明らかとなった。RWMC は、フローダイアグラムの中で全ての活動で生じたデータあるいはデータ群の流れを示すフローダイアグラムを採用した。対照的に、Nirex/NDA は、ある種の活動の中で特定のデータセットによる解釈、および解釈によって作成したモデルあるいはコンセプトを開発するプロセスに関連する情報の流れを示すフローダイアグラムを採用した。採用した手法の違いに見られる相違点が根本的なものか、あるいは単に RWMC と Nirex/NDA が作成したフローダイアグラムの成熟度の相違によるものかは、現時点では不明である。これらの問題を掘り下げるにはさらに調査が必要である。

6.4. さらなる開発の機会

現状の調査システムフローでは、処分場候補地の調査に関するデータ／情報の流れを静的に表現している。これは、RWMC や RWMC と Nirex/NDA の共同研究で実施したデータおよび情報の流れに関する知見の提示および説明について、この種のフローダイアグラムが過去の情報に対して有効であることを示したからである。しかし、RWMC と Nirex/NDA とで議論した結果、処分場候補地の調査は静的でもなく、また調査開始前に全ての調査を定義することはできないことが指摘された。具体的な問題点は次のとおりである。

- ・ 調査は一連の段階を追って実施され、各段階でデータ取得の際に使用される技術が異なる場合が多い。
- ・ 調査が進むにつれて代替の概念モデルが作成され、これはさらなる調査によりさらに検証される。
- ・ 調査の後半段階では、これまでの調査で明らかになった課題や不確実性に対して、サイトのセーフティケースの構築に関連する方向で調査が実施される傾向がある。
- ・ 一般にサイト内では、様々なスケールで地質調査が実施されることが多い。ただし、広域の地下水流動を把握するための地質調査は、狭いスケールを対象にした地質学的特徴や処分場の人工的な構成要素の特徴を対象とした調査よりもはるかに広範に及ぶことが考えられる。
- ・ 重要な課題や不確実性に関する調査は様々な技術を用いて行われる。そのうちの一部は重要な情報源となり、他は重要な情報源の信頼性を高める補足情報になる。
- ・ 調査開始時では、サイトの特徴を適切に把握するために必要な調査範囲は不明である。これまでの経験から、一般的に、適切な調査範囲はサイト調査の進展に連動して変化するとと言える。

これらの変動要素をフローダイアグラムに表現する方法として考えられるアイデアを以下に示す。

- ・ 連結線に強弱をつけて異なる連結線を使用し、データ源と調査技術に優先順位を付ける。
- ・ 調査の各段階で適用する様々な技術と情報の流れを示すためのフローダイアグラムを作成する。

地質調査の計画と調査の実施において、様々な変動要素をフローダイアグラムに表現できるように機能を拡張するためには、今後の更なる検討が必要である。今後 RWMC と NDA (Nirex の後継組織) が SIFD に関してさらに協力していくことが可能な分野は次の各項で

ある。

- ・ 調査の結果を保存するデータ管理システムに関する要求条件の検討
- ・ 泥岩サイトなど他の地質環境への対応など、SIFD の使用方法の拡大
- ・ SIFD 内の調査の変動要素を表現する手法に関する詳細な検討

7. 結論

これまで説明した評価プロジェクトは、RWMC が実施している研究プロジェクトの一部であり、同時に、RWMC と Nirex/NDA で締結した相互協力協定のもとで両機関が実施した共同研究の一部でもある。地層処分場候補地の調査の過程での情報の流れを表現し、説明する手段として、SIFD は、共同研究を開始した時点で十分に利用価値があるものと認識されていた。今回の共同研究においては、この SIFD の利用価値を改めて確認したものである。

共同研究を始めたきっかけは、RWMC と Nirex/NDA が英国のセラフィールドの地下水流動を表現できるように、それぞれ独自にフローダイヤグラムを作成することであった。そして両機関で予め合意した一連の基準に照らして、それぞれに作成されたフローダイヤグラムを評価した。評価に当たり、RWMC は Nirex/NDA が作成したフローダイヤグラムを、Nirex/NDA は RWMC の作成したフローダイヤグラムをそれぞれ評価した。各フローダイヤグラムを作成した機関がそれぞれ評価内容を検討し、評価結果に疑問が生じた場合は、合同で議論を行い、そして課題を解決してきた。この共同報告書はこれらの研究結果を報告する目的で作成された。

両機関はこの共同研究が成功裏に行われたものと認識している。SIFD の役割については、重要で新たな見識が得られた。RWMC と NDA による共同研究の継続には大きな利点が見込まれる。

評価プロジェクトの結論を以下にまとめる。

- ・ 評価プロジェクトに関する RWMC と Nirex/NDA の目的および目標は異なっていたが、各機関はそれぞれ独自に設定した目的を達成した。
- ・ 当初両機関が掲げた目的と目標では、作成されるフローダイヤグラムには互換性があるものと予測された。ただし、2 つのフローダイヤグラムが表示する詳細度にはいくつか相違があることが予測されていた。
- ・ 実際に作成した RWMC と Nirex/NDA フローダイヤグラムの詳細度は類似していた。
- ・ 活動ボックスの数が、およそ 80 個から 100 個の程度の詳細度で表現されたフローダイヤグラムは、サイトの重要な調査内容の理解を妨げる程の複雑なダイヤグラムにはならず、情報の流れの重要な側面を表現するのには十分であったと考えられる。

- ・ RWMC と Nirex/NDA が作成したフローダイアグラムにはいくつかの相違が存在した。特に、フローダイアグラムの終点の設定が異なり、一部の活動ボックスの表示内容にも相違点があった。RWMC は全ての活動ボックスをデータまたはデータ群の流れを表現する方法に限定した。一方、Nirex/NDA は解釈やモデル化などのプロセスを表現したいくつかの活動ボックスを盛り込んだ。
- ・ RWMC と Nirex/NDA が作成したフローダイアグラム上に表現された特徴、事象、プロセスは概ね一致していた。相違点が認められた項目については、評価プロジェクト内で、なぜそのような相違が生じたかについて議論し、その相違には十分な理由があるものと結論付けた。
- ・ 評価では、主として、紙ベースのフローダイアグラムを用いたため、各種活動内容を説明するためファイルがハイパーリンクされていなかった、また、紙ベースではダイアグラム全体を通じて活動を強調する経路を表示する機能がなかったため、調査活動の中で詳細な検討が行われた内容を十分理解することが難しかった。理解の裏付けとなるファイルがハイパーリンクされているウェブベースのシステムを利用することは、今後フローダイアグラムを使って活動を説明する上で明確に利点となる。
- ・ フローダイアグラム上の活動ボックスや連結線を表示する方法にはいくつか一致しない部分が存在した。ただしこれらの問題もウェブベースのシステムを採用すれば改善されるものと期待される。

RWMC と Nirex/NDA が今後の共同作業を通じて対処すべき問題点には以下の各項が含まれる。

- ・ 調査の結果を保存するデータ管理システムに関する要求条件の検討
- ・ 泥岩サイトなど他の地質環境への対応など、SIFD の使用方法の拡大
- ・ SIFD 内の調査の変動要素を表現する手法に関する詳細な検討

参考文献

1. JNC, Second Progress Report on Research and Development for the Geological Disposal of HLW in Japan , JNC TN1410 2000-002, April 2000.
2. Yoshimura K., Ando K., Adachi T., Fujiwara A., Ohuchi J., Tsuboya T., *Development of the Site Investigation Flow Diagram in Geological Disposal*, 10th International High-Level Radioactive Waste Management Conference, Proceedings, 2003, pp 76-82
3. Yoshimura K., Yamamoto S., Sato S., Ando K., Ohuchi J., Tsuboya T.. *Development of the web-based site investigation flow diagram for HLW repository development*, Proceeding of the 11th International High-Level Radioactive Waste Management Conference, 2006, pp 1255-1262
4. Yamamoto S., Yoshimura K., Ando K., Ohuchi J., Tsuboya T.. *Development of the web-based site investigation flow diagram in repository development program*, Proceedings of 2005 International Symposium on Radiation Safety Management, 2005, pp 414-424
5. Miyoshi S., Yoshimura K., Yamamoto S., Aoki K., Tsuboya T.. *Study on Information Management System for Site Characterization of Radioactive Waste Disposal Based on Site Investigation Flow Diagram*, Proceeding of 2007 International Symposium on Radiation Safety Management, 2007, pp 523-533.
6. UK Nirex Ltd, Nirex 97: An Assessment of the Post-Closure Performance of a Deep Waste Repository at Sellafield. Nirex Science Report S/97/012, 1997.
7. IAEA, *Geological Disposal of Radioactive Waste*. Draft Safety Requirement No. WS-R-4, Ref. DS154, April 2005, IAEA, Vienna.
8. UK Nirex Ltd, Sellafield Geological and Hydrogeological Investigations: The hydrogeology of the Sellafield area: 1997 update. Nirex Science Report S/97/008, December 1997.
9. Chaplow, R., Site Investigation Flow Diagram of Groundwater Flow for Evaluation by RWMC. Nirex Technical Note, Document No. 506727v2, June 2006.
10. UK Nirex Ltd, Nirex 95: Preliminary Analysis of the Groundwater Pathway for a Deep Repository at Sellafield. Nirex Science Report S/95/012 (3 volumes).

付録 1

RWMC のウェブベース SIFD の概要と追加機能

1. 序文

この付録では、以下に挙げる項目を中心にして、ウェブベースの SIFD について説明する。

- ・ システムの基本コンセプト
- ・ 構成要素
- ・ 主要機能
- ・ 新たに追加された機能

2. ウェブベースの SIFD の基本コンセプト

SIFD のコンセプトでは、サイトの特性調査プロセスとそれに関連するデータの流れの視覚的表現を重視している。しかしデータの量が莫大な上、取扱プロセスが複雑なことから、紙ベースの SIFD は非現実的で、情報伝達には向かないことが判明した。そのため、情報伝達とプロジェクト管理の両面で利用の円滑化を図れるウェブベースの SIFD のプロトタイプを開発した。

ウェブベースの SIFD システムのコンセプトを図 1 に示す。このシステムは、現地調査で取得した全てのデータと技術情報を、それぞれ対応する SIFD にリンクさせて保管できるとともに、関連する全ての解釈とモデル化作業、さらにサイト評価で使用する最終的なアウトプット（「ニーズ」）のデータも入れられる。またこのシステムは調査の進展に沿って日々更新される進捗状況について、その概要を提供するので、サイト特性調査チームは日常的にシステムを利用することができる。また、第三者でも調査に関心があれば、自由に呼び出して、システムにアクセスすることができることから、主要なステークホルダーとの情報伝達プロセスに対話形式を盛り込んだ掲示板により、お互いの討論にも利用できる可能性がある。このコンセプトは、ハイパーリンクを通じて、情報の追跡性と透明性を確実に提供し、その結果さらに詳細な情報へのアクセスも可能にするものである。

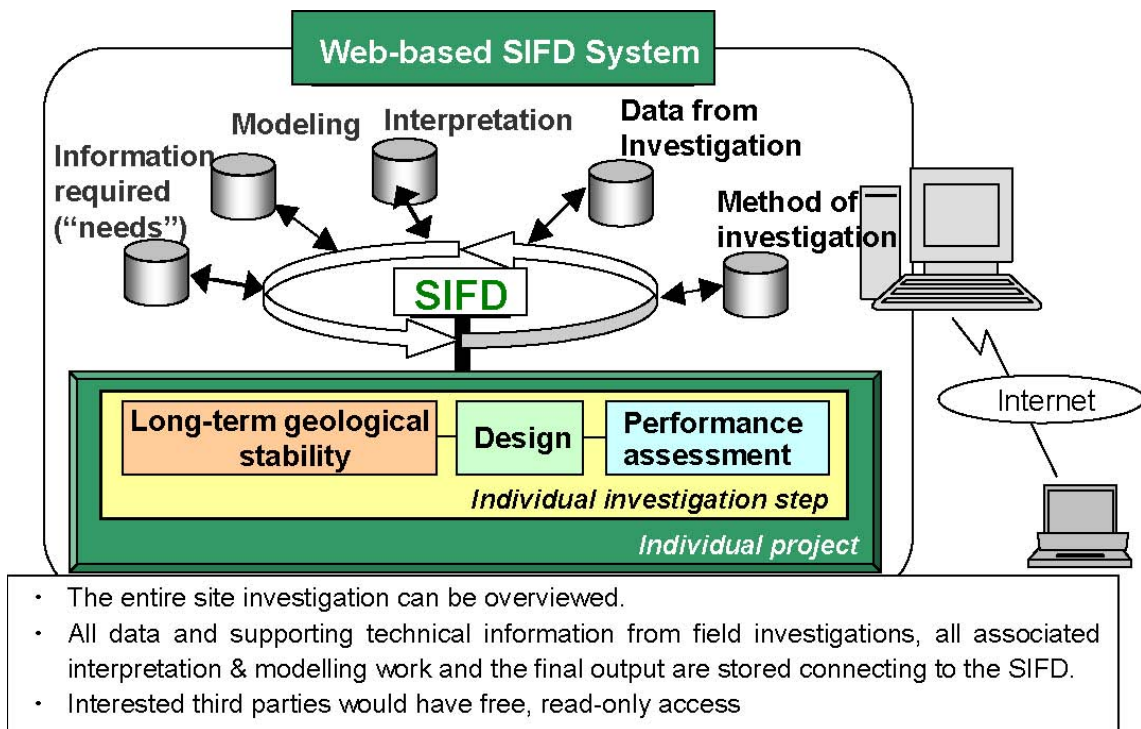


図 12 ウェブベース SIFD のコンセプト

3. 構成要素

ウェブベースの SIFD のプロトタイプには以下の要素が含まれる（図 2 参照）。

- Synthesized SIFD：サイト特性調査作業で得られた全ての重要情報を包括的に全体像を示す。
- 詳細な SIFD：長期的な地質安定性、予備的性能評価、処分場設計に焦点を当てる。
- 個々のフロー経路の追跡：特定の基本情報を個々のニーズへと変換させるフロー（評価手順）を詳細に説明する。
- 現在利用可能な調査技術に関する技術情報：サイト特性調査チームが利用できるツール一式の知識基盤を提供する（概要、適用可能性、手順／方法、制限、適用例など）。
- データベースの例としてのドライランの結果を提示する。（次のセクションで説明する。）
- 統合化データフローダイアグラムの中で個々のアイテムの進捗を追跡し、更新するための活動管理シート（この機能は、使用済みのデータとその結果実施された評価のバージョン、サイト特性調査の進捗と情報の更新状況を管理できるように新たに追加された）。

4. 主要機能

図 2 に示すとおり、Synthesized SIFD では全体的なサイト調査の概要を調べることができる。一方、詳細な SIFD と個々のフロー内の評価手順はダイアグラムの適切な部分を追跡すれば（マウスをクリックすれば）すぐにアクセスすることが可能である。現在利用可能な調査技術能力などの支援技術情報もマウスをクリックするだけでアクセス可能である。

このソフトウェアの便利な機能は、SIFD 内のいずれかのボックスをシフト&クリックすると特定のフローを抽出できる点である。図 3 に示すとおり、クリックしたボックスに結合されている全てのフローが強調表示される（SIFD の赤い太線）。SIFD の全ての結合ネットワークは非常に複雑であるが、この機能により特定のサブトピックに関する情報の流れを視覚化することが可能になる。ハイパーリンクを起動させれば、図の左下側のフレームに示されるとおり、情報の流れのこの部分に関係する分析の全ての技術的詳細も直接調べることができる。

サイト調査の進展とともに、SIFD は、生データ、解釈、モデル化により継続的に更新される。初期段階では、解釈は予備的なものかもしれないが、サイトの理解が進むにつれ、それらは進化していく。情報が更新される間も透明性を高めるため、過去のバージョンをファイルに保管し、ソフトウェアからすぐにアクセスすることが可能である。プロセスボックスへのハイパーリンクも、「活動管理シート」（図 3 参照）を使って上流の使用済み情報のバージョンを示すことができる。またこれにより品質チェックと進捗評価が記録可能になる。しかし、この種の記録は静的であり、実施者の重要なツールである時空間の変動に対応した品質管理や要求条件（あるいは変更）の管理システムの補足手段である点を強調すべきである。個々のプロセスの進捗評価に基づき、図 4 に示す色分けしたボックスによって、Synthesized SIFD のレベルでサイト特性調査の総合的進捗状況の全体像を見ることができる。前述したとおり、この機能は、ログインアクセス管理機能とともに従来のシステムに新たに追加されたものである。詳細機能については次のセクションで説明する。

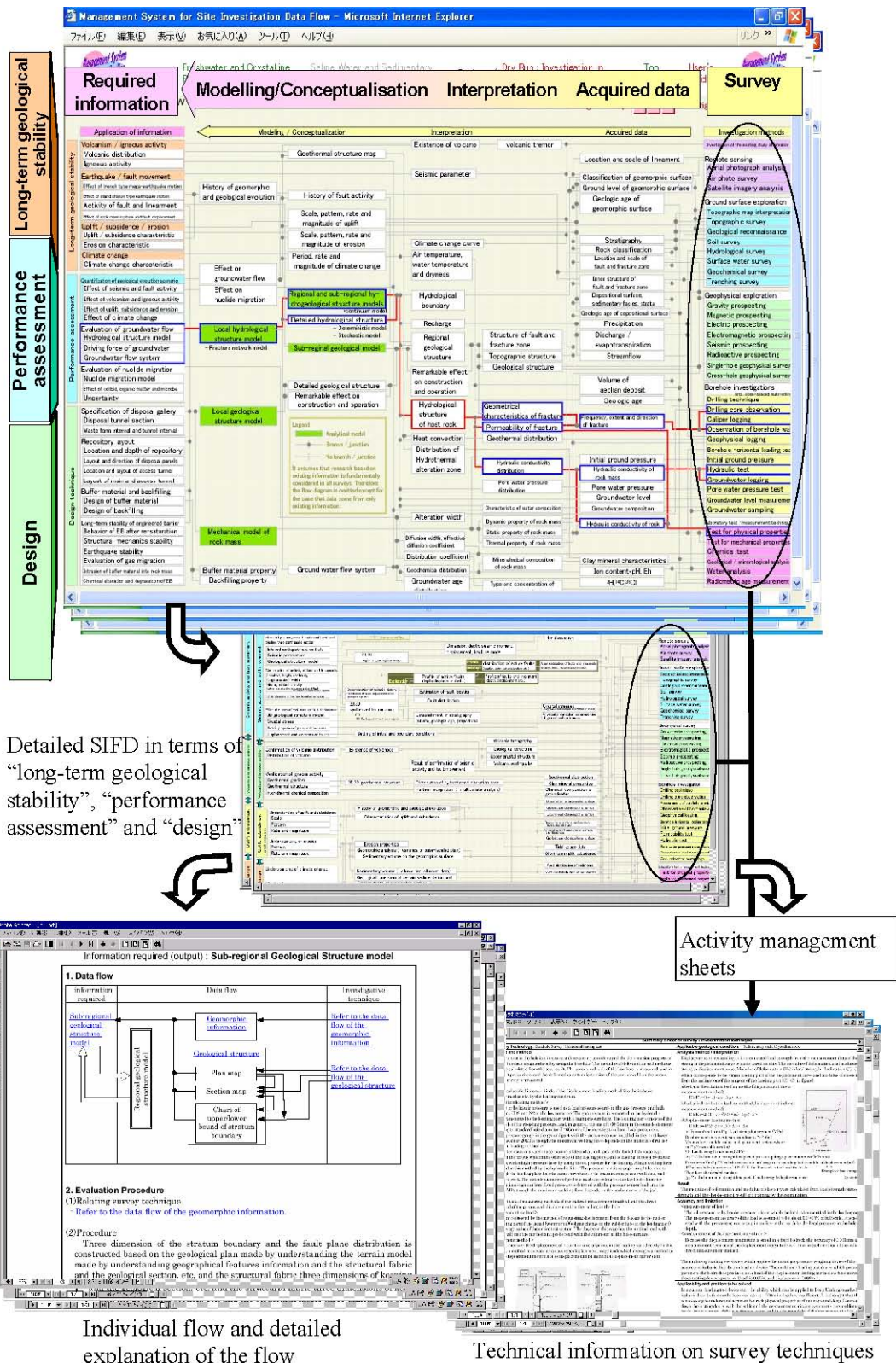


図2 ウェブベース SIFD の内容と構造

Investigation-Analysis Data - Microsoft Internet Explorer の提供元:

ファイル(F) 編集(E) 表示(V) お気に入り(A) ツール(T) ヘルプ(H)

Site Investigation Flow Diagram

Investigation-Analysis Data

Close

Investigation-Analysis ID: Investigation-Analysis Name:

[data list]

Date of Input	Date of approval	Data	Progress	Reliability
2004/07/29	2003/07/24	Air temperature, water temperature and dryness 01	31	39

1 data have been registered.

Trace data used for

Date of Input	Date of approval	Item	Data	Progress	Reliability
2004/07/28	2003/11/29	Geologic age	Geologic age 01	80	80

Date of Input	Date of approval	Item	Data	Progress	Reliability
2003/07/21	2003/07/24	Geological / mineralogical analysis 地質鉱物学的分析01		88	88

Date of Input	Date of approval	Item	Data	Progress	Reliability
2003/05/20	2003/05/28	Radiometric age measurement 放射能年代測定01		82	90

Date of Input	Date of approval	Item	Data	Progress	Reliability
2003/05/25	2003/05/25	Volume of aeolian deposit 風成塵の堆積量・粒度 粘土鉱物の結晶度01	71	77	

Date of Input	Date of approval	Item	Data	Progress	Reliability
2004/07/29	2004/03/17	Drilling core observation	Drilling core observation 01_BOE	96	96

Date of Input	Date of approval	Item	Data	Progress	Reliability
2003/07/21	2003/07/24	Geological / mineralogical analysis 地質鉱物学的分析01		88	88

Date of Input	Date of approval	Item	Data	Progress	Reliability
2003/05/20	2003/05/28	Radiometric age measurement 放射能年代測定01		82	90

図 3 活動管理シートの例

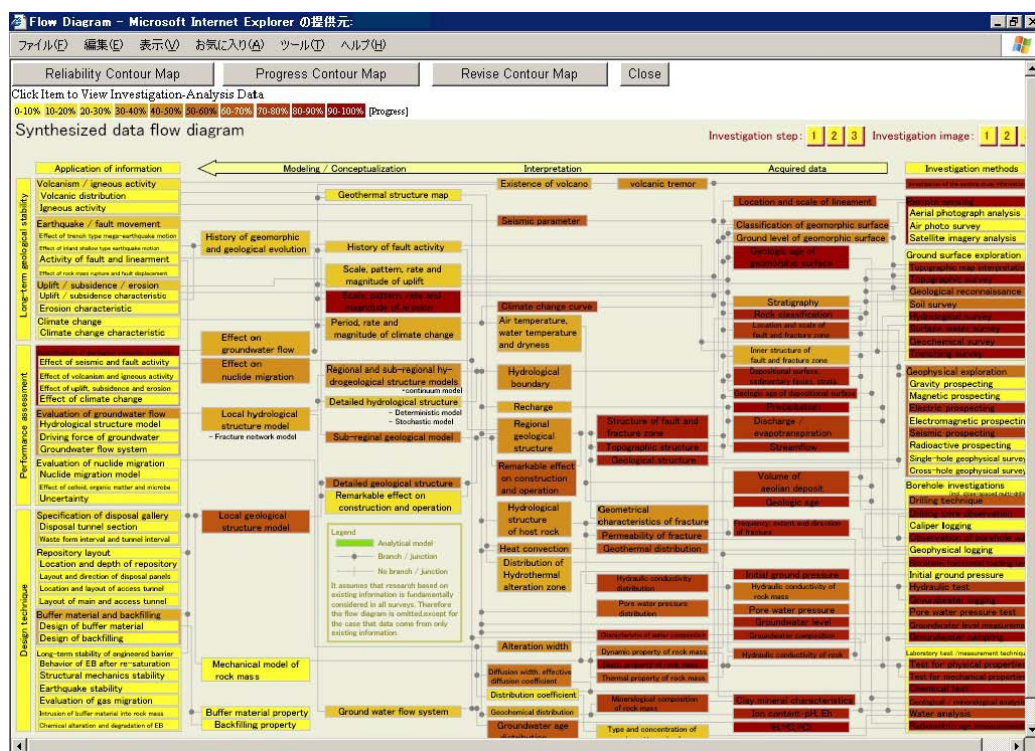


図 4 サイト調査の進捗状況を可視化した例（色づけの定義：色の濃いトピックが調査が進んだことを示す）

5. その他の機能

図 5 は **Login** スクリーンのインターフェースを示す。以下に挙げるような複数のアクセス許可レベルが考慮されている。

- ・ ウェブベースの SIFD システムの閲覧のみ許可されている一般ユーザー。
- ・ システムに新情報を編集／追加することが許可されているサイト調査マネージャー。
- ・ システムの運営管理者。
- ・ 品質保証マネージャー。

運営管理者が各ユーザーにユーザー名と対応するパスワードを発行し、システムに登録する。各ユーザーのアクセス許可レベルもシステム運営管理者が登録する。

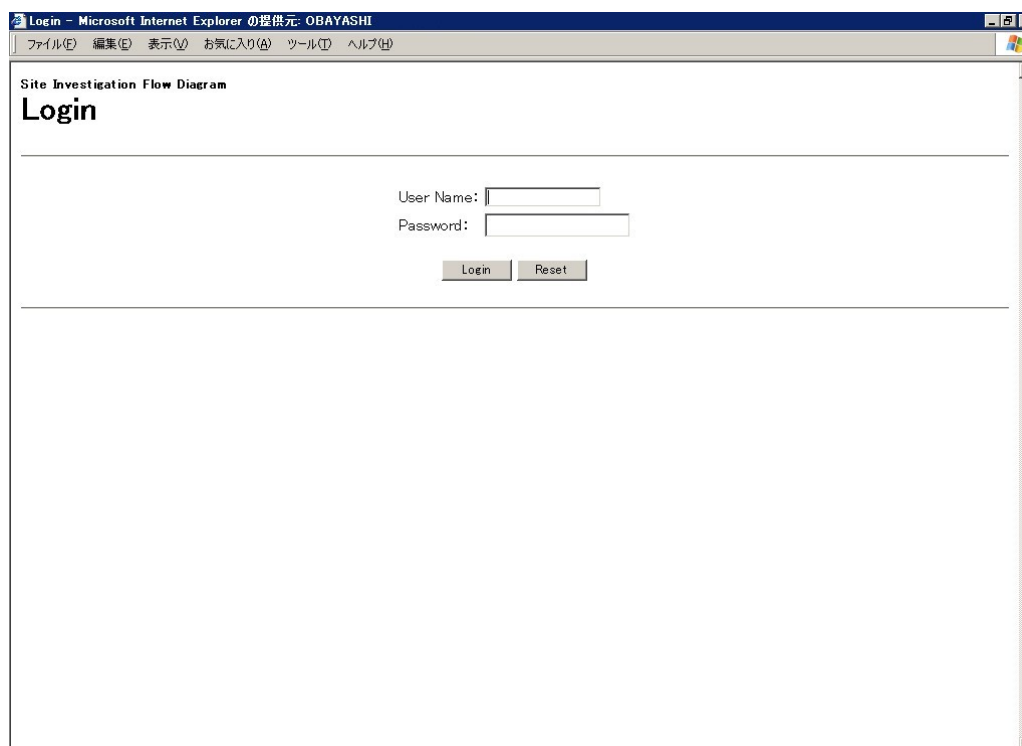


図 5 Login 画面

本報告書では、主にサイト調査マネージャーが使用するためのシステムの機能とスクリーンのインターフェースについて記載してきた。前述したように、マネージャーはサイト調査情報を編集／追加／削除することができる。図 6 は、サイト調査区域のリストに対するインターフェースを示す。この画面はログイン後すぐに現れる。このウェブベースの SIFD システムは、全てのサイト調査区域の情報を管理する。ユーザーは所定のリストを基に、

閲覧／修正したい区域を選択することができる。

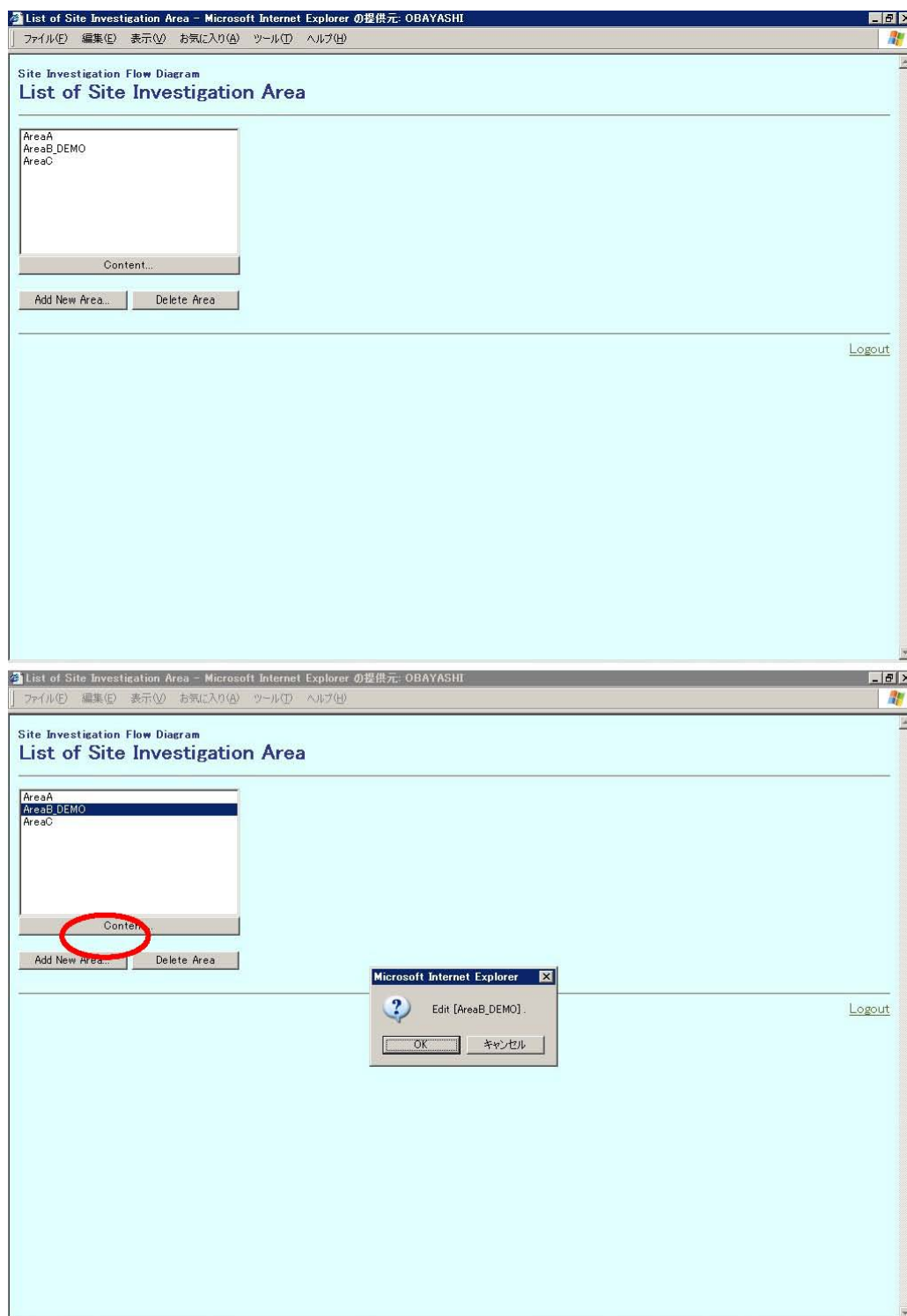


図 6 サイト調査エリアのリスト

サイト調査区域のリストに続いているのは、図 7 に示す**サイト調査区域の Edit インターフェース**である。この画面には、調査中の登録区域に関する基本情報と、対応するフローダイアグラムのリストが表示される。ユーザーは提示された情報の閲覧だけを行うこともできるが、ユーザーレベル次第では内容の修正も可能である（図 7）。ユーザーがフローダイアグラムを修正したい場合は、リストから該当するアイテムを選び、適切なコマンドボタンをクリックする（図 8）。

また、ユーザーが特定のフローダイアグラムの細部を閲覧したい場合は、**Visualize Items Linkage** のコマンドボタンをクリックする（図 9）。

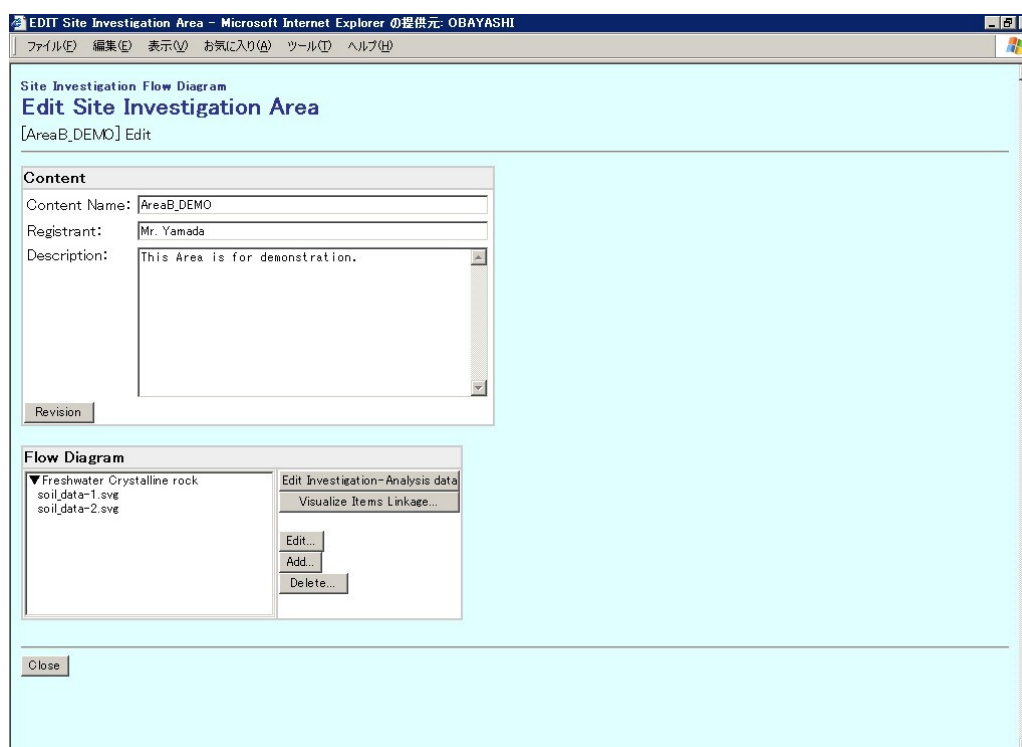


図 7 edit/entry スクリーン(1)

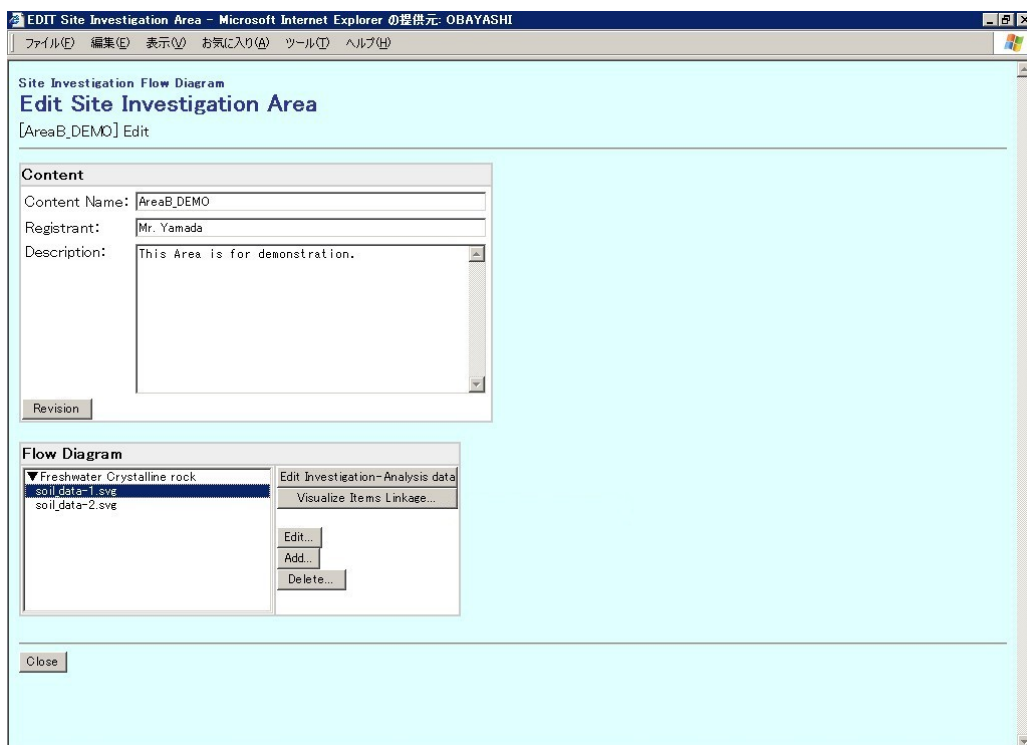


図 8 edit/entry スクリーン(2)

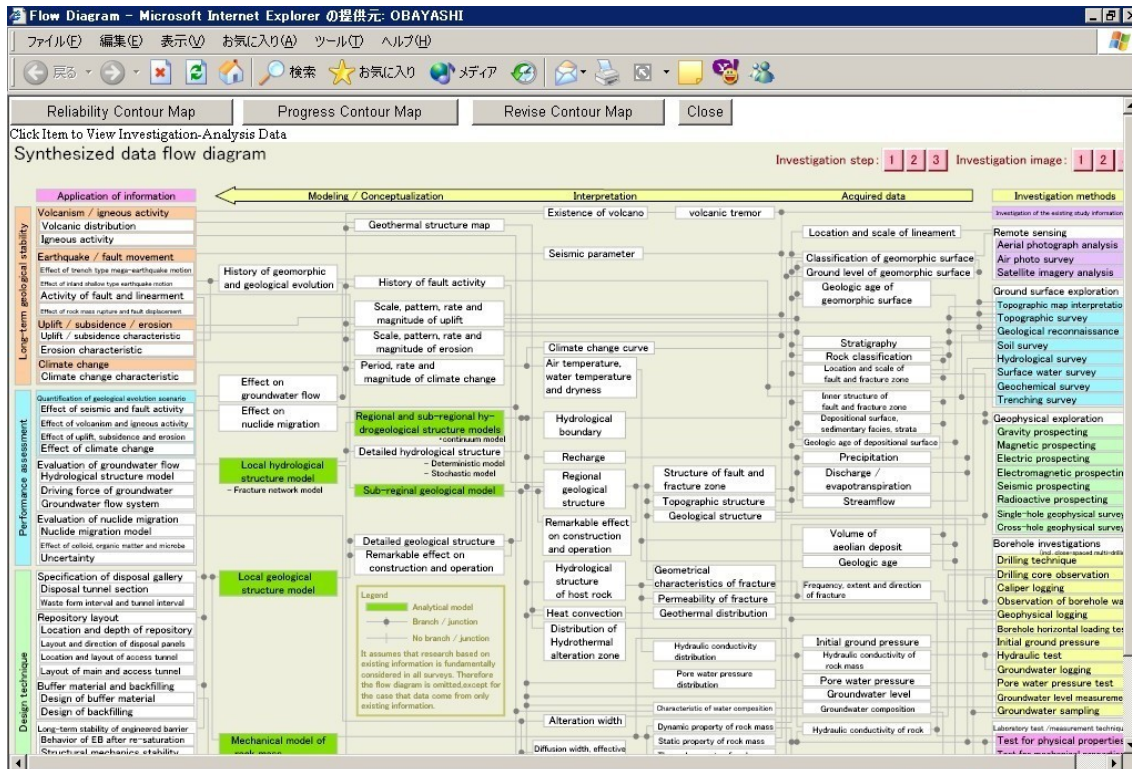


図 9 統合化データフローダイアグラムの例

図 9 に示す統合化データフローダイヤグラムのインターフェースの左上の領域上には 3 つのコマンドボタンがあり、これらはサイト調査の信頼性、進捗、更新に対応している。例えば、ユーザーが **Reliability Contour Map** ボタンをクリックすると、小さなスイッチボックスが現れる。ユーザーは指定した評価データの信頼性データを一覧するため特定の日付を選択する（図 10）。図 11 に色付けしたフローダイヤグラムの信頼性データの表示例を示す。この色付けされたマップは、色の濃さで信頼度を対比させて示す。信頼性が高いほど濃い色で、また信頼性が低いほど薄い色で表示される。信頼性データは、以下で説明するとおり、パーセンテージの形で示されるか、またはここで入力する。図 12 に示すとおり、サイト調査の進捗も同様の方法で視覚化することができる。

図 13 には活動（ボックス）で、サイト調査の最新情報に関する更新の状況を示す。色が濃くなるほど対象となる情報が最近更新されたことを意味する。ユーザーは、（複数、あるいは 1 個の）活動が最近更新された、あるいは更新の必要があるかどうかについての情報を得られる。このように、これらの視覚化機能はサイト調査を管理する上で非常に有効である。



図 10 データ評価の日付入力画面

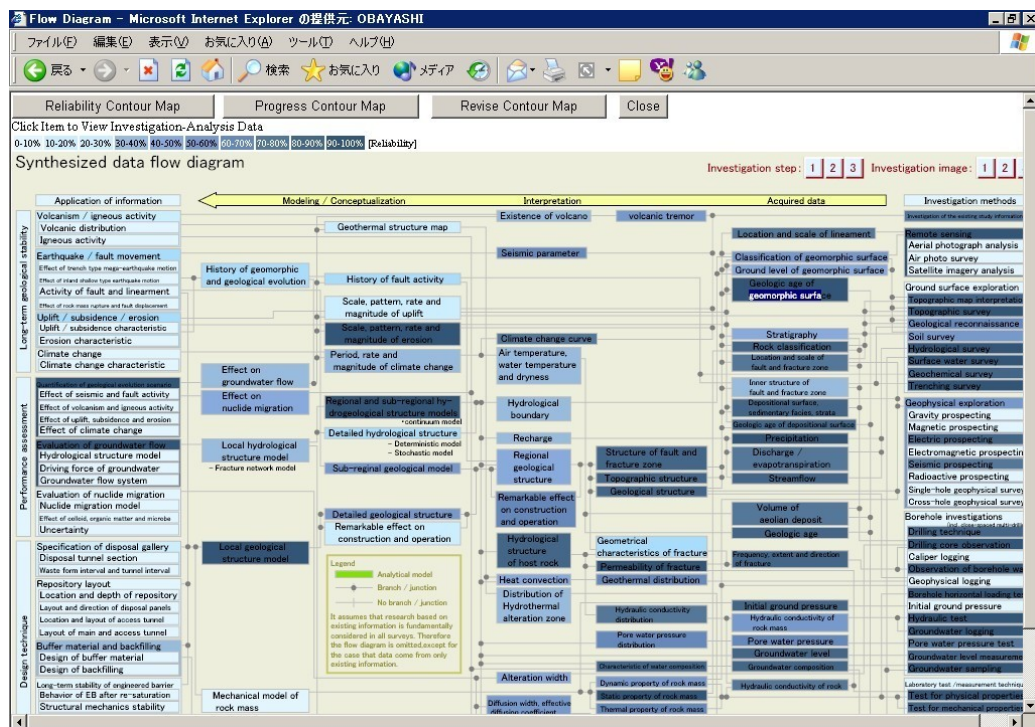


図 11 信頼性の状況を可視化した例（カラーマップ表示）

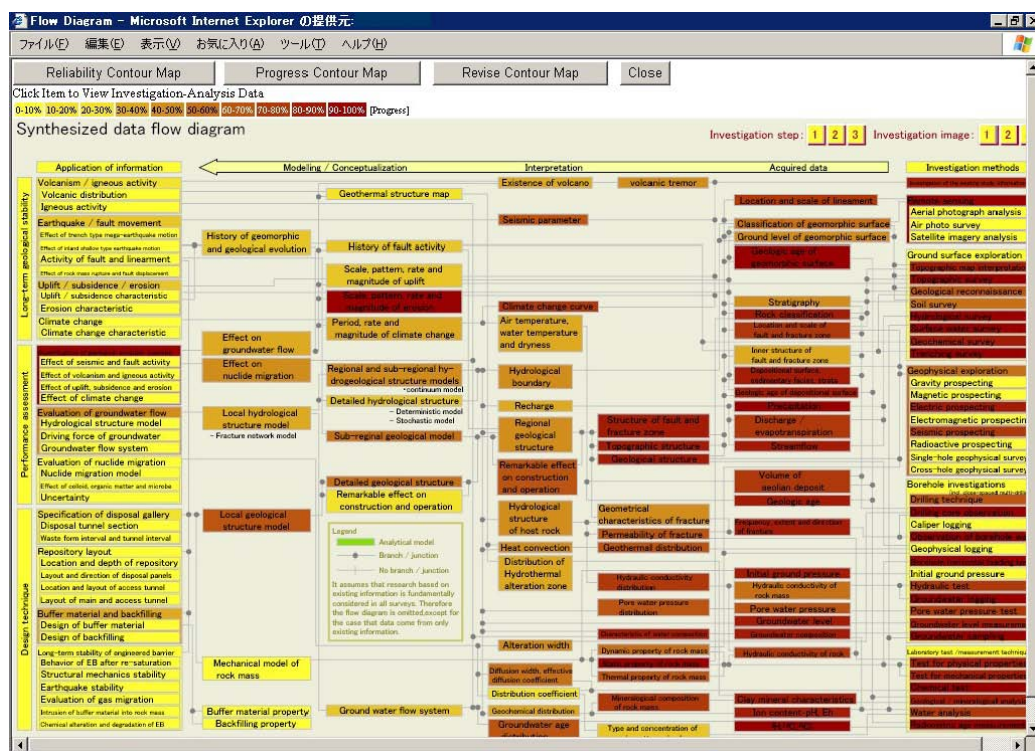


図 12 調査の進捗を可視化した例

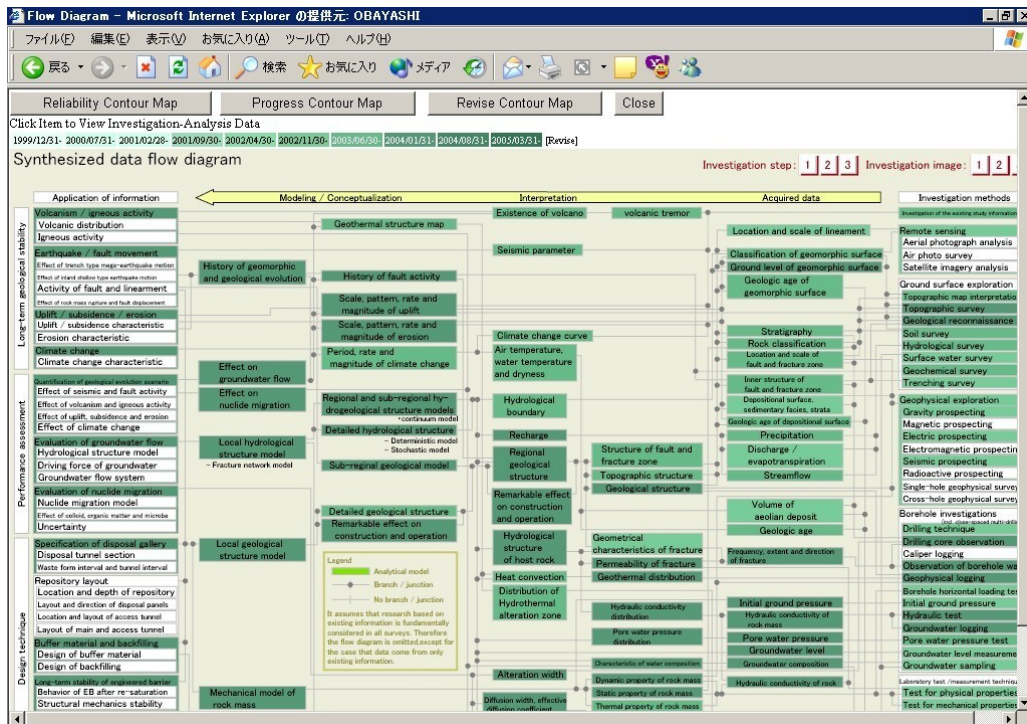


図 13 データ更新を可視化した例

サイト調査の進捗に合わせて更新されたデータのバージョンは、一連の活動の追跡性を保証するため適切に管理される必要がある。ウェブベースの SIFD 内の全てのボックスには、それよりも上流側のボックスに、これまでに使用されたバージョンに関する情報が保管されている。SIFD のいずれかのボックスをクリックすると、**Investigation-Analysis Data** のインターフェース上に活動（ボックス）のアウトプットデータのリストを表示することができる（図 14）。スクリーン上で **Trace** をクリックすると、図 15 に示すとおり、使用されたアウトプットデータのバージョンが階層的に現れる。このように階層的に視覚化することで、このデータの履歴を簡単に追跡することが可能となる。

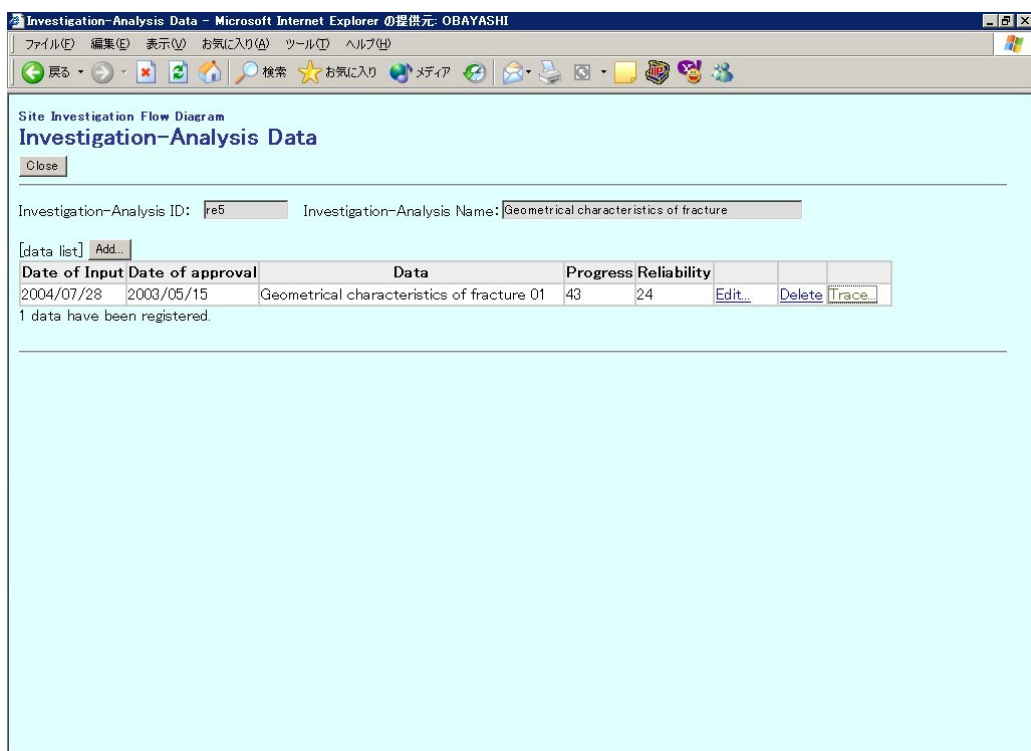


図 14 アウトプットデータのリスト

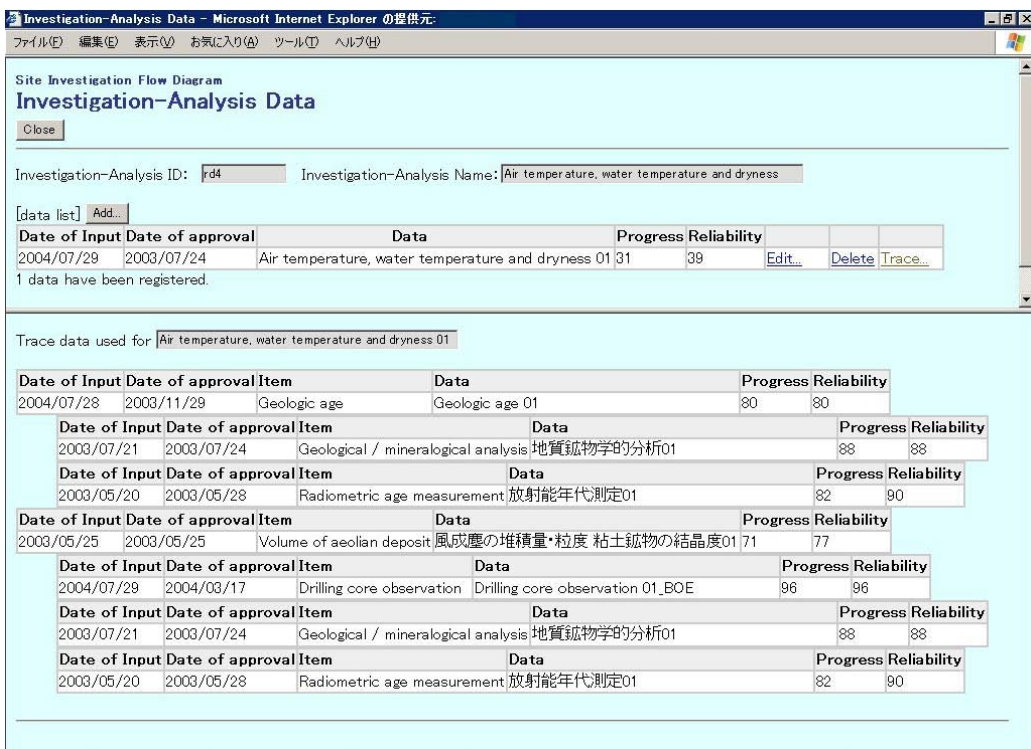


図 15 アウトプットデータの追跡性

図 16 は進捗管理と SIFD のボックスの更新を行うためのシートである。ユーザーは信頼性と進捗状況を表すパーセンテージを入力し、このアウトプットデータのために使用した「上流側」のデータに関する情報など、ボックスに対応するアウトプットデータを登録することができる。

調査項目詳細データ - Microsoft Internet Explorer の提供元: OBAYASHI

ファイル(E) 編集(E) 表示(V) お気に入り(A) ツール(T) ヘルプ(H)

戻る 進む 印刷 検索 お気に入り メディア

Site Investigation Flow Diagram
Edit Investigation-Analysis Data

Investigation-Analysis ID: re5
Investigation-Analysis Name: Geometrical characteristics of fracture

Date of Input:	2006/02/20
Date of Last Revision:	2004/07/28
Data:	Geometrical characteristics of fracture 01
Registrant:	Tanaka Ichiro
Reliability(0-100):	24%
Progress(0-100):	43%
Date of Approval:	2003/05/15
Approver:	Yamada Taro
Date file:	Open
Data used for this investigation-analysis:	Frequency, extent and direction of fracture/Frequency, extent and di Select...
Description:	

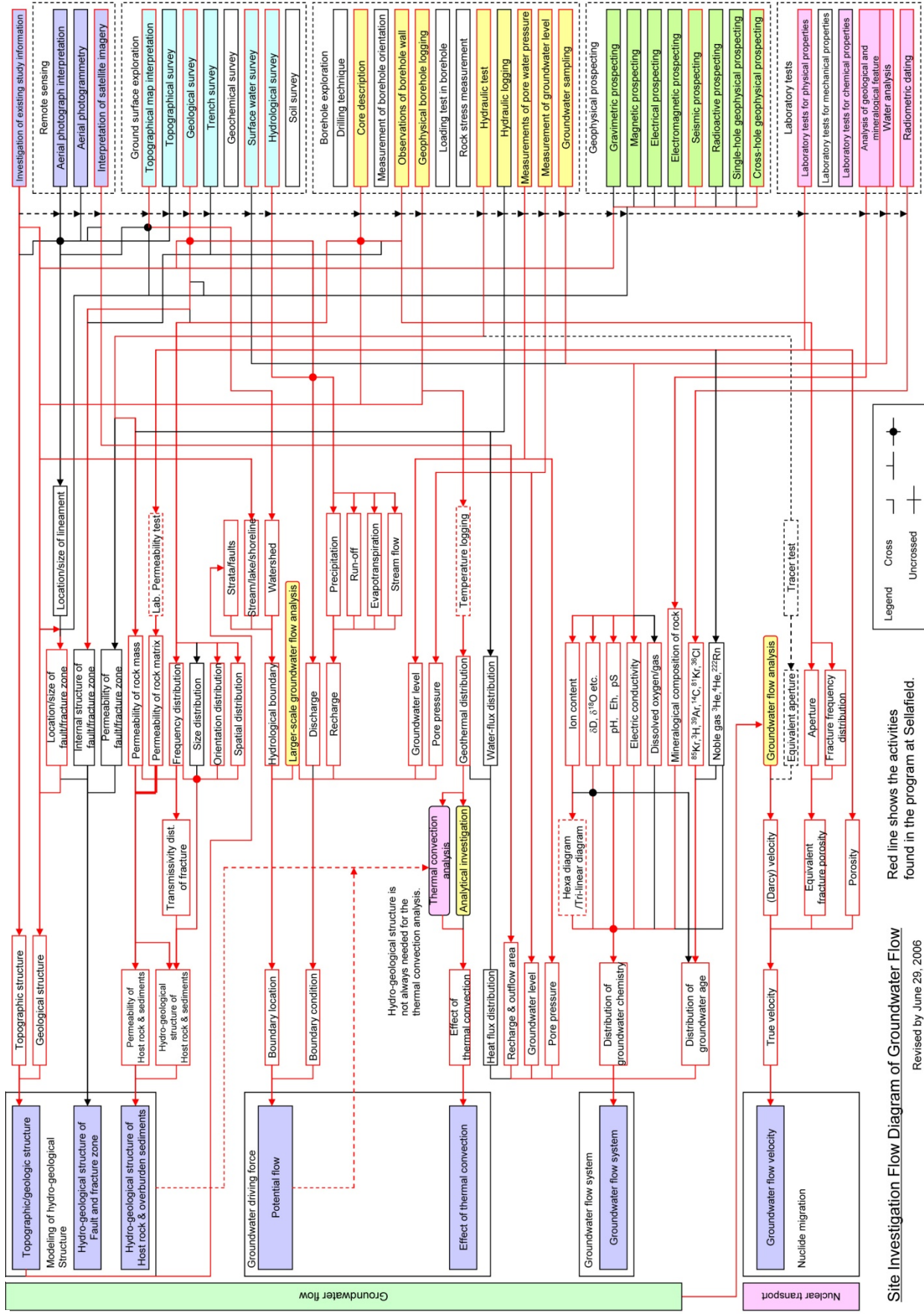
Modify Cancel

図 16 SIFD の改良と個別ボックス更新の管理シート

付録 2

セラフィールドサイトの地下水流動に関する
データフローダイアグラム

RWMC が作成したデータフローダイアグラム



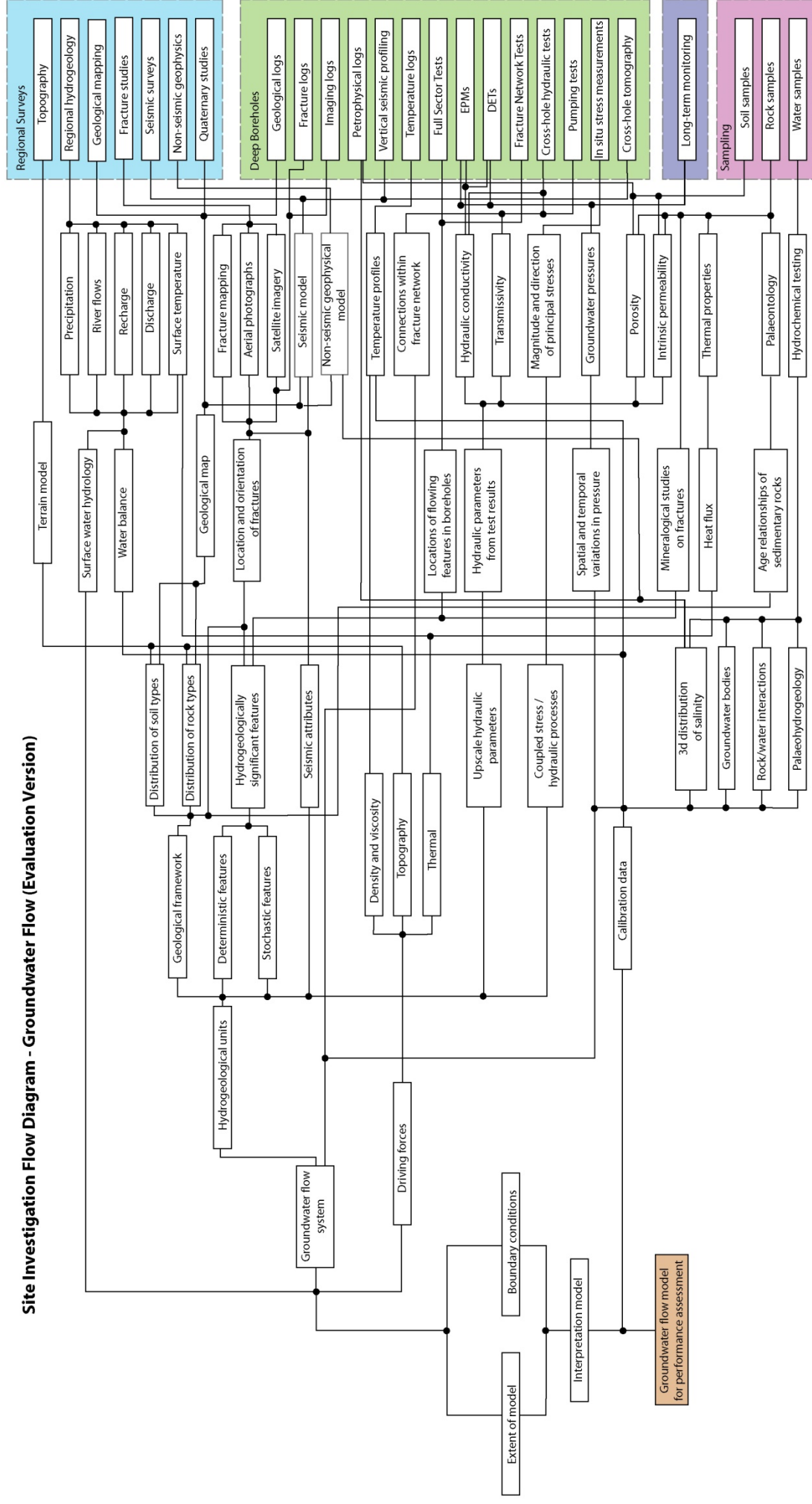
Site Investigation Flow Diagram of Groundwater Flow

Red line shows the activities found in the program at Sellafield.

Revised by June 29, 2006

Nirex が作成したデータフローダイヤグラム

Site Investigation Flow Diagram - Groundwater Flow (Evaluation Version)

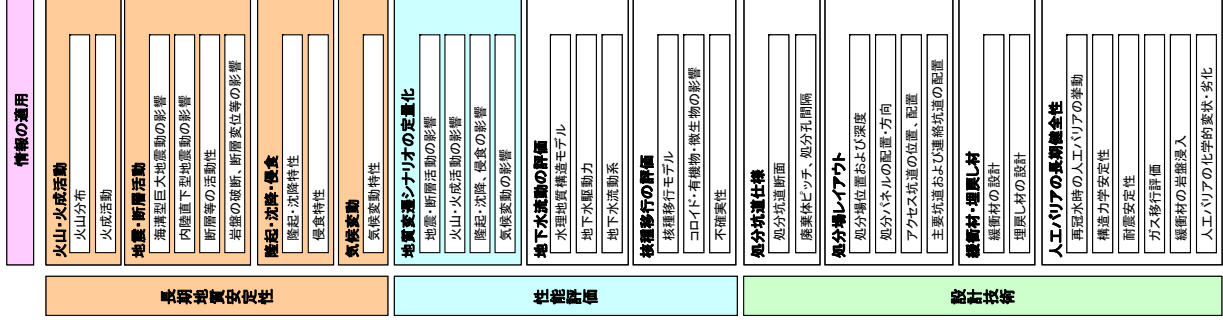


参考資料

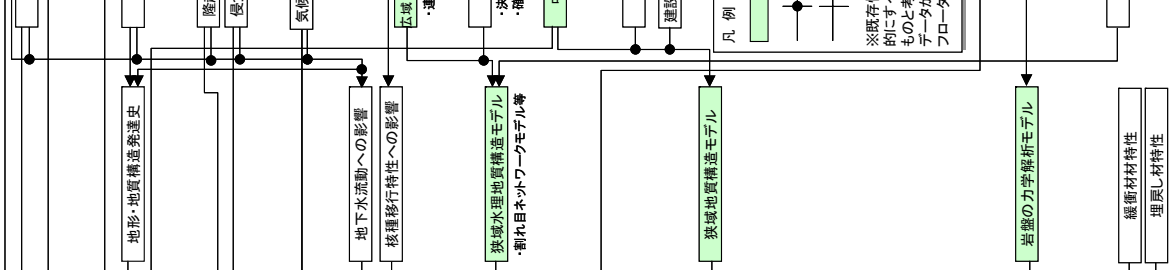
統合化データフローダイアグラム（日本語版）

（平成 18 年度経済産業省委託事業「地質環境評価技術高度化調査」報告書より引用）

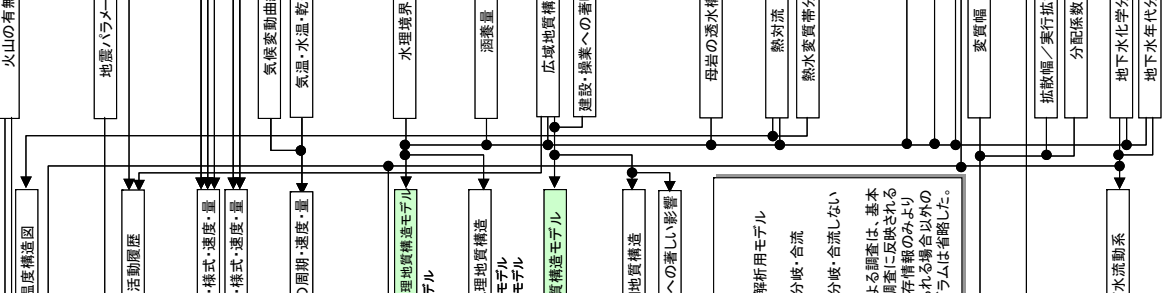
統合化データフローダイアグラム



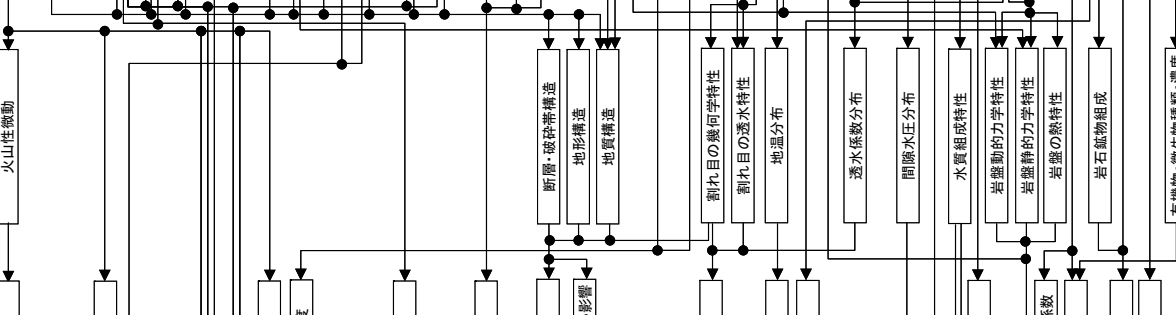
モデル化/概念化



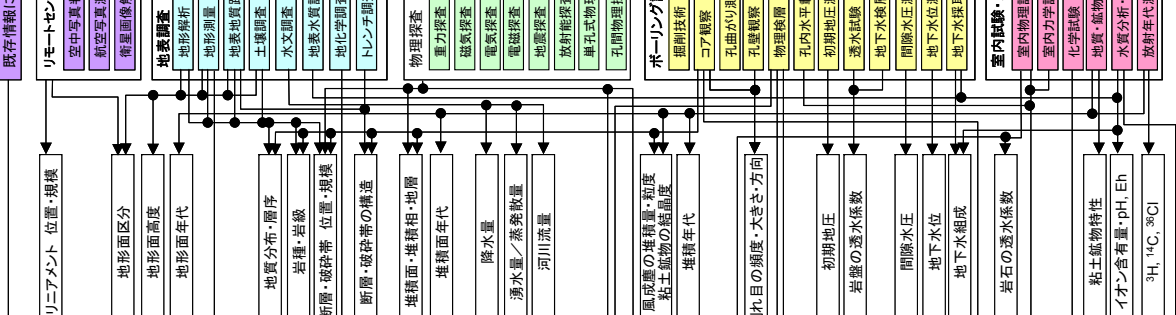
データフローダイアグラム



取得データ

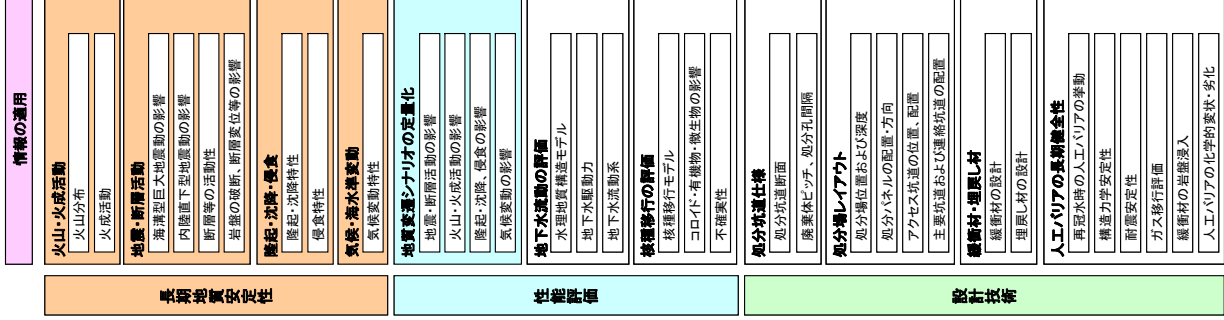


調査手法

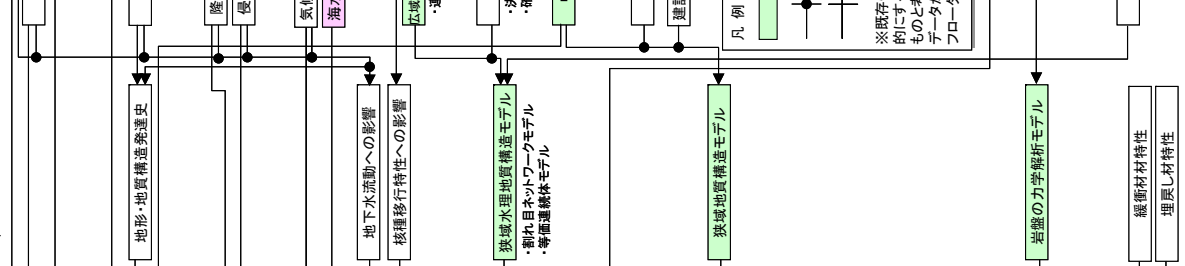


統合化データフローダイアグラム（淡水域（陸域）・結晶質岩）

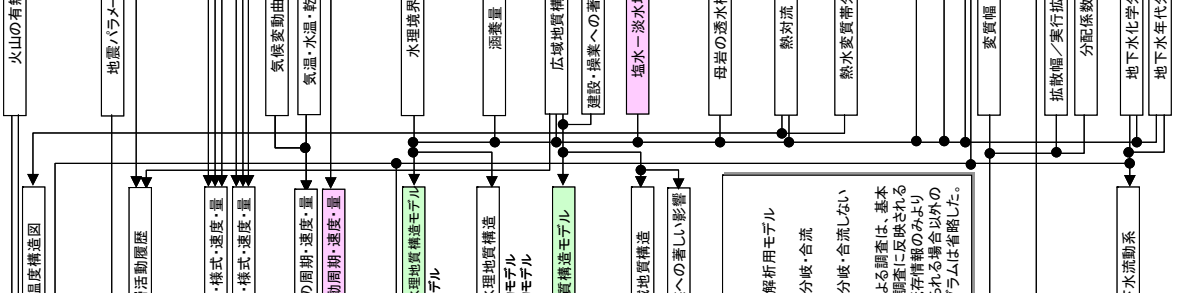
統合化データフローダイアグラム



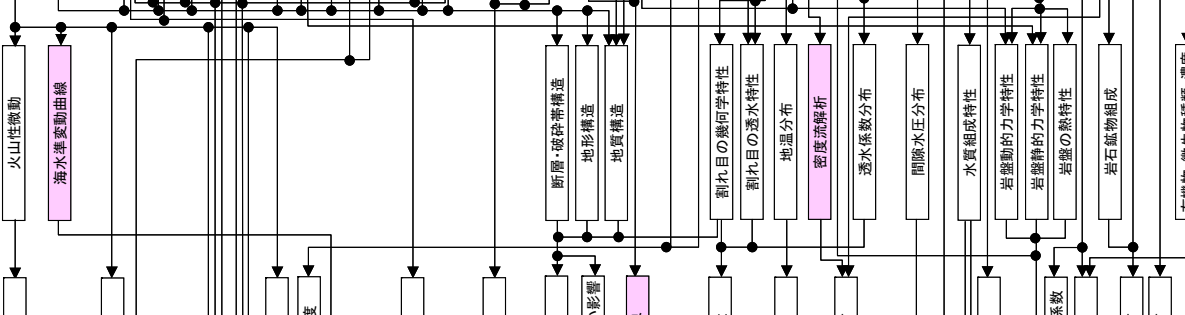
モデル化/概念化



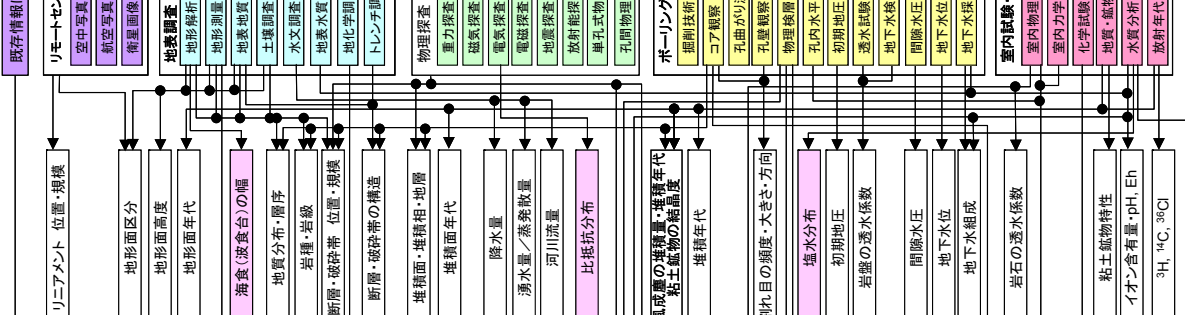
解釈



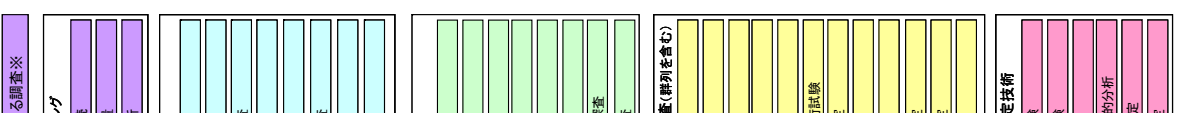
データフローダイアグラム



取得データ



調査手法



全体的な統合化データフローダイアグラム（塩・淡水域（沿岸域）・堆積岩）

公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター（原環センター）
Radioactive Waste Management Funding and Research Center (RWMC)

〒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

電話 (03) 3534-4511(代) FAX (03) 3534-4567

ホームページアドレス：<http://www.rwmc.or.jp>

本書の転載などの問い合わせは（公財）原子力環境整備促進・資金管理センター企画部まで
お願いいたします。