



JP0750177

表層での水理・物質移行を考慮した生物圏における 評価に関する検討

Hydraulic and Migration Study of the Shallow Accessible Groundwater
in Biosphere Modeling for HLW Disposal

稻垣 学, 加藤 智子, 吉田 英爾*, 小山田 潔*,
深谷 友紀子*, 鈴木 祐二*, 大井 貴夫

Manabu INAGAKI, Tomoko KATO, Hideji YOSHIDA*, Kiyoshi OYAMADA*,
Yukiko FUKAYA*, Yuji SUZUKI* and Takao OHI

地層処分研究開発部門
システム性能研究グループ

Performance Assessment Research Group
Geological Isolation Research and Development Directorate

March 2007

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

JAEA-Research

本レポートは日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp/index.shtml>)
より発信されています。このほか財団法人原子力弘済会資料センター*では実費による複写頒布を行つ
ております。

〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4
日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920

* 〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4 日本原子力研究開発機構内

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,
Japan Atomic Energy Agency
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5901

表層での水理・物質移行を考慮した生物圏における評価に関する検討

日本原子力研究開発機構

地層処分研究開発部門 地層処分基盤研究開発ユニット

稻垣 学^{*}, 加藤 智子, 吉田 英爾^{*1}, 小山田 潔^{*1},
深谷 友紀子^{*2}, 鈴木 祐二^{*3}, 大井 貴夫

(2007年1月24日受理)

高レベル放射性廃棄物地層処分の性能評価では、処分事業が立地の段階を迎えていた。そのためこれまでのジェネリックな地質環境での評価から得られた成果の実地層への適用性の検討が第2次取りまとめ以降進められている。生物圏評価においても、被ばく経路の特定や環境中の核種濃度の推定方法に対して、具体的な地質環境の反映が必要となる。

本研究では、特定された地質環境において生物圏における核種の挙動評価と被ばく経路を特定するための検討を進める端緒として、①生物圏における諸外国の評価に関する文献調査、②地下深部から地下水により運ばれる放射性核種の利水環境への放出地点の推定手法の検討、③利水環境での核種の希釈・分散効果を評価するための水収支の推定に必要となるデータの検討、を実施した。①については、国際協力等で進められている概念モデルの構築やその適用例について文献調査を行った。②については、わが国の地質環境の特徴を様式化し、地表環境への核種の放出地点の推定に係る考え方を、地層の調査段階毎に試行した。③については、実地層に対する既存評価を参考に、これを評価するために必要となるデータについて、データの種類や各調査段階で得られるデータの不確実性の観点から整理を行った。

核燃料サイクル工学研究所（駐在）：〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33

※ 技術開発協力員

*1 日揮株式会社

*2 日本エヌ・ユー・エス株式会社

*3 株式会社 NESI

Hydraulic and Migration Study of the Shallow Accessible Groundwater
in Biosphere Modeling for HLW Disposal

Manabu INAGAKI[※], Tomoko KATO, Hideji YOSHIDA^{*1}, Kiyoshi OYAMADA^{*1},
Yukiko FUKAYA^{*2}, Yuji SUZUKI^{*3} and Takao OHI

Geological Isolation Research Unit
Geological Isolation Research and Development Directorate
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received January 24, 2007)

The project of high-level radioactive waste disposal is in activity for the site selection of HLW disposal facility and the performance assessment should be more site-specific rather than site-generic, where the applicability of the achievement of site-generic study such as second progress report (H12) to the site specific is to be clarified. In the same way, it is necessary for biosphere assessment to incorporate the site specific condition to the model. The exposure pathway or concentration of the radio nuclides should be determined according to the site specific geological condition, for example. As a result of this study,

In this paper, following topics have been selected to start the study to reflect specific geological condition to the biosphere modeling.

- (i) The literature survey of international and national approaches and issues relating to the treatment of GBIs within biosphere assessments
- (ii) To develop methodology to estimate the release point of the deep groundwater to the shallow accessible groundwater.
- (iii) To prepare information to estimate water balance this is, in turn, necessary to assess the dilution and/or dispersion of the radionuclides in the shallow accessible groundwater body.

About the fist issue, foreign countries' and international conceptual model studies and their applications have been investigated and summarized throw the literature survey. Concerning the second item, typical geological models have been developed, on which the release point of the deep groundwater to the shallow accessible groundwater were estimated. This trial has been carried out by using the hypothetical information that is gathered by staged site characterization activity to the developed model and key issues that may change estimated release point have been discussed. Concerning the third point, the availability of the site specific geological and hydro-geological data have been examined based on the list of the necessary data that have been utilized by the existing shallow groundwater flow analysis.

Keywords: HLW Geological Disposal, Groundwater, Biosphere, Surface Water

※ Cooperative staff

*1 JGC Corporation

*2 Japan NUS Co., LTD.

*3 NESI Incorporated

目 次

1.はじめに.....	1
2.諸外国における GBI の設定に関する検討状況.....	2
2.1 国際協力研究プロジェクト BIOMASS	2
2.2 国際協力研究プロジェクト BioMoSA.....	4
2.3 国際協力研究プロジェクト BIOPROTA	4
2.4 スウェーデン	6
2.5 ベルギー	8
2.6 米国.....	9
2.7 スイス.....	10
2.8 まとめ.....	11
3.流入域の体系化と具体化に関する検討.....	12
3.1 検討の範囲と到達目標.....	12
3.2 仮想的な環境パターンに基づく流入域に関する検討	14
3.3 実際の環境条件に基づく表層水理に関する検討	35
3.4 物質流入域選定手法の具体化と体系化に関わる課題の整理と解決のための具体策の検討	76
4.おわりに.....	78
略語表.....	79
参考文献.....	80

Contents

1. Introduction	1
2. International and national approaches and issues relating to the treatment of GBIs within biosphere assessments.....	2
2.1 BIOMASS	2
2.2 BioMoSA.....	4
2.3 BIOPROTA	4
2.4 Sweden.....	6
2.5 Belgium	8
2.6 United States.....	9
2.7 Switzerland.....	10
2.8 Conclusion.....	11
3. Systematize and embodiment of geosphere-biosphere interface zone	12
3.1 Goal and scope.....	12
3.2 Methodology to estimate the release point of the deep groundwater	14
3.3 The dilution and dispersion of the radionuclides in the shallow accessible groundwater body	35
3.4 Assignment for a hydraulic Study of the shallow accessible groundwater.....	76
4. Conclusion.....	78
Table of Abbreviation	79
References	80

This is a blank page.

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物地層処分の性能評価では、処分事業がサイト選定の段階を迎つつある。そのためこれまでのジェネリックな地質環境での評価から得られた成果の実地層への適用性の検討が第2次取りまとめ以降進められている。生物圏評価においても、被ばく経路の特定や環境中の核種濃度の推定方法に対して、具体的な地質環境の反映が必要となる。

放射性廃棄物地層処分の生物圏での評価の方法のひとつとして、地表付近を複数のそれぞれ均質な領域で近似するモデル（コンパートメントモデル）や保守的な仮定に基づくパラメータ値を用いた評価が行われている。例えば、第2次取りまとめ（核燃料サイクル開発機構、1999）の生物圏評価においては、保守的に簡略化された浅地中内の任意のコンパートメントに処分場から移行した核種の全量が流入することを想定し、その地点で放射線学的影響を評価するためのモデル構築が行われた。これは、第2次取りまとめが場所を特定しないジェネリックな評価を目的としたためである。この場合、利水可能な環境における核種の濃度評価は、概念的に設定されたボックスモデル等の集中型のモデルに対し、保守的なパラメータ値を適用して表層水理に関連する現象を簡略化した評価となっている。そのため、その場の特徴や条件が反映されたものではなく、概念的に想定された幅広い条件での平均的な帶水層や井戸の希釈効果が適用されるために、希釈水量などのパラメータ値の不確実性の幅は大きく、これがそのまま線量評価に反映される結果となっている。

他方、現実に生じている地下水汚染の評価では、地下水中の汚染物質の濃度を的確に評価するために、表層の土壤や河川を含む地形や層序の情報を用いシミュレーションが行われている（例えば、環境省、2005）。これらのシミュレーションでは、評価地域における表層の水理条件や利水条件、気候等が考慮され現実的な汚染物質の地下水中の濃度が推定される。場所が特定されることにより、放射性廃棄物地層処分の性能評価においても現実的な環境条件を踏まえた評価が可能となる。

しかしながら、場所が特定される場合においても地質条件の調査密度に対する空間サイズの大きさに起因する不確実性や評価の時間スケールが地形や地質の変動に影響を及ぼしうるほど長いことに起因する不確実性を勘案する必要がある。

空間的なスケールに対する不確実性は、「処分場から移行した核種が利水可能な表層のどの位置に流入するのか」という不確実性と、評価すべき区域の地質環境や利水環境などのデータの有無やその精度に対する不確実性とに分けることができる。これらは、いずれも、処分場の選定における文献調査や概要調査で得られるデータの量と質に依存する。

これらの不確実性に関して、前者に対しては、わが国の特徴的な地質環境を複数想定することにより、処分場から利水可能な浅層への移行位置を特定するために必要となる情報の整理を行うこととした。また、後者については、表層での水理解析が実施された事例において必要とされたデータを収集・整理するとともに、幌延地区を例としてこのように整理された情報を用いることにより表層水理をどの程度再現可能かを確認することにより、必要となるデータについて検討を行った。以下に検討を実施した項目をまとめる。

- ① 諸外国における GBI の取り扱いに関する文献調査
- ② 流入域の分類・様式化を目的とした、広域水理を考慮した流入域のパターン化に関する検討
- ③ 利水環境での核種の希釈・分散効果を評価するための水收支の推定に必要となるデータの検討

なお、表層水理に関する現象の理解やその解析結果は、特定された地質環境に対する概念的なモデルに適用するデータの信頼性を向上こととなる。また、現実的な評価結果を提示することによる「地域への説明性」を向上させる効果も見込まれる。

時間的なスケールに起因する不確実性についても、「現状」の理解が前提となるものと考えられ、これについては、別途、研究が進められている成果と合わせ、今後検討することとした。

2. 諸外国における GBI の設定に関する検討状況

諸外国において具体的な地表環境を対象とした生物圏評価を行っている例（そのための方法論の検討や仮想的条件下での演習の実施を含む）について、Geosphere-biosphere interface（以下「GBI」という）の設定に関する検討（核種流入域の決め方）、地表環境での核種移行モデルの設定方法、被ばく経路の考え方を中心に調査した。調査の対象としたのは、以下の共同研究プロジェクトや諸外国での検討例である。

- BIOMASS
- BioMoSA
- BIOPROTA
- スウェーデン（スウェーデン核燃料・廃棄物管理会社による報告書 SR-97 (SKB, 1999) およびスウェーデン放射線防護機関による検討）
- ベルギー（放射性廃棄物・核物質管理庁による報告書 SAFIR2）
- 米国（エネルギー省による Yuccca Mountain プロジェクト）
- スイス（放射性廃棄物管理協同組合による報告書）

2.1 国際協力研究プロジェクト BIOMASS

BIOMASS (BIOsphere Modelling and ASSessment) プロジェクトは、1996年から2000年にかけて、IAEA によって主催された環境中の核種移行評価を行うためのモデル構築手法等に関する国際共同プロジェクトである。BIOMASS Theme 1 では、地層処分安全評価のための生物圏評価手法について議論され、レファレンスバイオスフィアの考え方方が提唱された。この考え方では、生物圏評価モデルを構築するための第一段階として、生物圏評価の前提条件 (Assessment Context) を設定することが提案されている。その際に考慮すべき項目のひとつとして、GBI が挙げられている。BIOMASS では、GBI の取扱いについて以下のように述べている。

「生物圏モデルの構成及びモデル化要件は、評価対象核種および地質環境と生物圏のインターフェイス (GBI) によって決まるものである。生物圏評価においては、地質環境モデルまたは生物圏モデルに関連するすべてのプロセスが包含されていることが重要であり、評価において特定のプロセスが考慮されていることを認識することはもちろん、GBI を明確に定義することが必要である。・・・ GBI は、ガス状、水性、陸上あるいは貫入井戸の場合等が考えられるが、これらは、生物圏モデルの作成者と地質環境／人工バリアシステムに関するモデルの作成者とのやりとりによって決定される。さらに、サイトは時間の経過とともに変化するものであるので、性能評価における地質環境や生物圏のモデル化と同様に、GBI もまた、時間に依存したものとなる可能性がある。考慮すべき核種及び GBI は、ある程度、これまでの解析結果や補足的なモデルに基づいて決定することが可能である (IAEA, 2003).」

評価の前提条件を設定した後、国際共同研究 BIOMOVS II で作成された生物圏国際 FEP リスト (BIOMOVS II, 1996) や国際放射線防護委員会 (ICRP) などの地層処分に関する原理原則を参照しながら、将来の人間生活や様式を仮定し、前提条件との整合をとりながら、生物圏評価モデルを構築する。

レファレンスバイオスフィアの構築アプローチは、以下のように表現されており (IAEA, 2003)，生物圏評価の前提条件や地層処分に関する原則などと整合をとりながら、モデルを作成することが提唱されている。このアプローチは、GBI の検討にも有用となるアプローチであると考えられる。

- A. 評価条件の設定
- B. 生物圏システムの同定と正当化
- C. 生物圏システムの記述
- D. 潜在的被ばくグループの考慮
- E. モデルの開発

F. 解析

BIOMASS では、表 2-1 に示すような GBI を設定した Example Reference Biosphere (レファレンスバイオスフィア) の考え方に基づいて作成された生物圏評価モデルの例、以下、「ERB」という) を構築した。ERB1A および ERB 2A では、地質環境中核種移行モデルを用いて算出される井戸水中の核種濃度が生物圏評価のソースタームとして与えられた。一方、ERB 1B では、浅部地下水流动解析に基づいて算出された地下深部から帶水層への核種移行率がソースタームとして与えられた。ERB 1B では、サイト固有の情報に基づく地下水流动解析を実施する必要があることから、ERB 1B の結果をジェネリックな評価に適用するためには、解釈が必要となる。また、ERB3 では、Harwell (英國南部) と Äspö (スウェーデン) において取得された地表環境に関する情報をもとにして、汚染帶水層に掘削した農業灌漑用井戸を想定した ERB 2A に相当した生物圏システムが想定されているものの、サイトスペシフィックな評価を前提としたものではなく、あくまで一般的な例として示されたものである。

表 2-1 BIOMASS においてそれぞれの ERB で設定された GBI に関する記述 (IAEA, 2003)

ERB	地表環境条件	GBI に関する記述
ERB 1A		汚染帶水層に掘削した飲料水用井戸を想定した。井戸の揚水量は、家庭での利用に整合した量を仮定した。井戸水中の核種濃度（崩壊によって生成される短寿命娘核種を含む）は、地質環境中核種移行モデルを用いて算出されるものと仮定し、各核種で定常濃度に達していると仮定している。
ERB 1B	・時間的変遷を考慮しない ・温暖気候を仮定	地質環境から帶水層への核種の放出を仮定した。地下深部から帶水層への核種（短寿命娘核種を含む）の放出割合は、地質環境中核種移行モデルを用いて算出されるものと仮定した。帶水層への核種の移行率は、各核種で定常状態を仮定した。
ERB 2A		汚染帶水層に掘削した農業灌漑用井戸を想定した。井戸の揚水量は、家庭での利用および農業での利用に整合した量を仮定した。井戸水中の核種濃度（崩壊によって生成される短寿命娘核種を含む）は、ERB 1A と同様に、地質環境中核種移行モデルを用いて算出されるものと仮定した。
ERB 2B		汚染された地下水が帶水層に“自然”放出された後、地表環境に流入することを仮定した。生物圏での環境構成要素（レセプタ）としては、泉、小川／河川、湖、湿地、表層および下部土壤（農耕地、牧草地）を考慮した。河川集水域の土壤および堆積物と接する汚染帶水層を GBI として仮定した。集水域の大きさは、河川や湖の大きさと整合するように選択することとした。
ERB 3	・時間的変遷を考慮	ソースタームに関して、システム特有 (system-specific) の情報がない場合、地下水中的核種濃度は定常状態であることを仮定した。生物圏システムの変遷に伴って、GBI も時間とともに変遷する可能性がある。同時に、地下水流动解析の結果から明らかにされる地表環境に放出された地下水中的核種濃度も時間とともに変化する可能性がある。

2.2 国際協力研究プロジェクト BioMoSA

BioMoSA (Biosphere Models for the Safety Assessment of radioactive waste disposal) プロジェクトは、2001年に開始されたEUの共同研究プロジェクトである。ここでは、IAEAのBIOMASSプロジェクトで開発したレファレンスバイオスフィアの考え方をEUの5つの典型的なサイトに適用し、サイト特有な生物圏評価モデルを構築するとともに、モデルから得られた結果を比較し、その差異を定量的に把握して、生物圏評価モデルの信頼性向上に寄与することを目的としている。また同時に、サイトの特性に依存しない生物圏評価モデル (generic model) についても、レファレンスバイオスフィアの考え方に基づいて構築している。この generic model では、5つのサイトに関連するすべてのプロセスを考慮することとし、適用されるサイトの条件に応じて、核種移行プロセスや被ばく経路を適宜スイッチオフ（一時的に削除）できるようにしている (Pinedo *et al.*, 2003)。

GBIについては、サイト固有の条件として以下のように設定されている（設定方法の詳細については不明）。

- ・ハンガリー：井戸、湖、下部土壤、河川
- ・スペイン：湖、河川、下部土壤
- ・ドイツ：井戸、下部土壤
- ・ベルギー：井戸、河川
- ・スウェーデン：沿岸海域水、井戸、湖、下部土壤
- ・generic model：海洋、表層水、井戸、堆積層、地表面傍土壤

各国のモデルに基づく結果を比較したところ、井戸を GBIとした場合の結果は各国でほとんど同じであった。これに対して、井戸以外の GBI を考慮した場合の結果は異なり、サイトの特徴を反映する結果となった。この結果から、井戸を GBIとした場合には、他の地表環境構成要素を GBIとした場合よりもサイト依存性が小さいことが示唆された。しかしながら、BioMoSAでの結果比較は、すべてのサイトについて GBIである地表環境構成要素中の核種濃度が規格化されている（同一の濃度に設定されている）ことに留意する必要がある。したがって、実際のサイトにおける評価を行う場合には、井戸を GBIとした場合にも、核種を含む地下水と含まない地下水の混合による希釈効果をサイト固有の情報に基づき設定し、サイトごとに変化する GBIとしての緯度の特性を考慮する必要がある。以上のことから、サイト固有の条件に基づく GBI の特徴を考慮した評価を行う際の視点として、データの質や適切さを十分に考慮し、サイトに依存するデータと依存しないデータを使い分け、ならびにサイト特性調査への要求事項に対するガイドライン構築の重要性が指摘されている。

2.3 国際協力研究プロジェクト BIOPROTA

BIOPROTA (副題 : Key Issue in Biosphere Aspect of Assessment of the long-term Impact of Contaminant Release Associated with Radioactive Waste Management) プロジェクトは2002年にフランスの放射性廃棄物管理機関（以下、「ANDRA」という）によって開始された共同研究プロジェクトであり、現在、3つのテーマ（評価において支配的な核種のデータベース作成；地表環境での物質移行のモデル化とその比較；実環境でのモニタリング活動に関する検討、サイト特有な評価における生物圏を特徴付けるための指針の作成や超長期にわたる生物圏評価をサポートするための調査方法の検討）を掲げて検討が進められている。テーマの下に置かれるタスクのひとつとして、これまで地質環境と生物圏とのインターフェイスとして考慮していた GBI を Geosphere-biosphere interface zone (以下「GBIZ」という)²⁻²⁾と改め、実環境下における GBIZ での

²⁻²⁾ 実際の地質環境から生物圏への核種の移行は、複数の物理的、化学的、生物学的プロセスを伴い、非常に複雑である。このため、GBIを2次元的な面としてとらえるのではなく、地質環境と生物圏の共通領域とし、そこで生じるプロセスをより現実的に（地質環境から地表環境に至るプロセスが連続的に生じるものとして）モデル化する考え方が提唱されており、その領域を GBIZ と呼ぶ (BIOPROTA, 2005)。

核種移行（例えば、BIOMASSで検討された Example reference biospheres で重要とされた希釈効果の取扱いなど）をモデル化するための指針を作成することを目的としたタスクが設置されている（Leclerc-Cessac and Smith, 2003）。

また、Maul et al. (1999)では、核種移行の時間スケール（地圏を通過する移行時間、帯水層を通過する移行時間、生物圏で平衡に達するまでの時間）と GBI について表 2-2 に示すように整理している。

一方、BIOPROTA (2005) では、天然バリア中核種移行モデルによって提供される核種移行率（空間的分布に関する情報なしの場合、1 ないし 2 次元的な空間的分布情報ありの場合）や、2 ないしは 3 次元的な空間的分布情報を含む GBI における核種濃度の概算に関する定義を明確にするために、以下の 4 つの項目を整理している。

(1) ソーススターの定義

天然バリア中核種移行解析と生物圏評価解析とでは、崩壊系列における放射性核種間の永続平衡について異なる仮定が採用される可能性がある。天然バリア中核種移行解析では短半減期の核種の移行解析は行わず、例えば、Ra-228 はその親核種である Th-232 との永続平衡を仮定した濃度で存在するとされる。一方、生物圏評価では一般にこれら 2 つの核種を個別に取り扱う。この場合、生物圏に流入する Ra-228 の核種移行率は、Th-232 の永続平衡を仮定して算出されるが、GBI における親核種と娘核種の移動度が異なる場合には、永続平衡の仮定が常に成立するとは限らないことに注意する必要がある。

処分場に由来する放射線量は、天然バリア中核種移行解析の結果（核種移行率）に生物圏評価解析の結果（天然バリアからの核種移行率を人間が受ける放射線量に換算する係数である「線量への換算係数」）を乗じて求められる。線量への換算係数は、生物圏における放射性核種濃度の定常状態到達時間が、生物圏に流入する核種移行率のピークの継続時間よりも十分に短い場合にのみ用いられるものである。生物圏における滞留時間（ターンオーバ時間）が一般的に短いとされる表層水に対しては成立するものの、核種濃度が平衡に達するまで数千年を要するような土壤および堆積物への放出に対しては成立しない可能性があることに留意する必要がある。

(2) 移行プロセス

GBI で想定されるさまざまな核種移行のプロセスは、地下水の放出までを含む集水域に展開される水理および浅層の水理地質システムの特定によって定義されるものであり、サイト依存性が極めて高い現象である。しかしながら、実際の評価にあたっては、移行率や遅延の程度をパラメータ化する際の不確実性（パラメータの不確実性）に加えて、プロセスの重要性やプロセス間の相互作用に関する不確実性（モデルの不確実性）に遭遇することとなる。このうちモデルの不確実性への対応として、三木ほか (2002) で指摘されているように、FEP のスクリーニングを実施することによりシステムの描写や概念モデルの開発に関連する不確実性を低減できる可能性がある。

(3) 希釈／濃縮

GBI で生じる希釈／濃縮の程度によって生物圏評価結果は大きく変化する。具体的にいえば、このことは、算出された天然バリアからの核種移行率に基づいて、その放出域における生物圏のさまざまな受容体中の核種濃度を導出することを意味する。これらの問題はサイト特有のものであり、GBI の特性が重要な役割を果たしている。さらに、地下深部の水理システムの特徴や放出が想定される地表水媒体の特徴（例えば、地表水の体積）も、GBI や核種の放出が生じる生物圏システムのある部分における希釈の程度を特定する際に重要な役割を果たすことになる。

(4) 環境変化

環境変化は、地表における水収支や水理地質学的特性（涵養および排水域）、生物圏の受容体に影響を与える可能性がある。環境変化に関しては、PADAMOT や BIOCLIM においても検討されている（EC, 2003; BIOCLIM, 2004）。

さらに、Hooker et al. (2002)において、GBIZ²⁻³⁾での移行プロセスで考慮すべき FEP のスクリーニングのために FEP リストの利用を提案しており、BIOPROTA (2005)には包括的な GBIZ FEP リストが掲載されている。この FEP リストは、OECD/NEA の国際 FEP リスト (OECD/NEA, 2000) に対応付けて整理されている。

表 2-2 核種移行の時間スケールと GBI (Maul et al., 1999)

移行時間の場合分けと定義	推奨されるアプローチ
地圏からの核種放出の時間スケールが、帶水層での移行の時間スケールよりもはるかに長く（その結果、生物圏への核種放出率は時間に対して事実上一定となり）、生物圏が平衡に達するまでの時間スケールも帶水層での移行の時間スケールよりもはるかに長い場合	地圏から放出された核種が帶水層に入る場所を GBI とし、帶水層での希釈は生物圏に核種が放出される前の段階におけるプロセスとしてこれを評価する
地圏からの核種放出は時間に対して実質的に一定と見なせる程度の大きな時間スケールで変化するものの、帶水層の通過に要する時間は生物圏での核種移行が平衡に達する時間スケールと同程度である場合	一案として GBI を帶水層の底部とすることが考えられる。ただしこの場合は、例えば帶水層を 1 つのコンパートメントとして表現することにより、生物圏モデルに明示的に取り込むことが必要である
帶水層の通過に要する時間スケールが地圏からの核種放出ならびに生物圏が平衡に達するための時間スケールと同程度である場合	帶水層のうち、核種の移行に時間を要する下部の領域を地圏における核種移行モデルに組み込み、帶水層の上部領域を GBI とする。帶水層の上部領域の通過に要する時間は地圏からの核種放出の時間スケールと比較して短くなることから、この領域は上記と同様に生物圏の一部としてモデル化する

2.4 スウェーデン

スウェーデン核燃料・廃棄物管理会社（以下、「SKB」という）が作成した SR-97 (SKB, 1999) では、使用済核燃料またはその他の放射性廃棄物の深地層処分場から放出される放射性核種によって最も影響を受ける個人の年間線量を提示するための基盤を与えることを主要な目的として、生物圏に地下水が流入する領域の特定や地下水流入地点での生態系に対する概念モデルの構築などに関する検討が行われている。生態系特有の線量への換算係数 (Ecosystem-specific Dose Conversion Factors ; 以下、「EDF」という) を導出するために、生物圏を、帶水層を通過した後の核種が流入する地表環境の構成要素（以下、「レセプタ」という）や土地利用、決定グループの観点から見て均一な小さい領域（以下、「モジュール」という）に分割し、この領域を地質環境からの核種移行率を線量に変換するための EDF を算出する際に設定する標準的な生物圏として取り扱うこととした。なお、モジュールごとに GBI を設定し、モジュール間の相互作用はないと仮定した (Bergström et al., 1999; Nordlinder et al., 1999)。

一方、生物圏に地下水が流入する領域を特定するために、3箇所の仮想的な処分サイトに対して、地下水流动解析および生物圏に関する詳細な調査を行うことにより GBI を設定している。3次元有限差分法による地下水流动解析およびパーティクルトラッキングによる核種放出点の評価によって、モジュールごとの放出割合を算出した。この結果に基づいて、Reasonable case では、それぞれの仮想的なサイトに対する解析結果のうち、最も放出割合が大きかったところを GBI とした場合と、井戸を GBI とした場合を比較し、いずれの地点でも、保守性を考慮したうえで、線量が最も高くなると予測されている泥炭湿地モジュールに 100%核種が流入することを想定している。

また、モジュールごとに考慮した被ばく経路を表 2-3 に示す。

²⁻³⁾ Hooker et al. (2002)では、Geosphere-Biosphere Transition Zone (GBTZ)という語が用いられているが、GBIZ と同義である。

表 2-3 SR-97においてモジュールごとに考慮した被ばく経路

モジュール 被ばく経路		井戸	泥炭湿地	湖	小川	農耕地	沿岸海域
経口摂取	水	○	-	○	○	-	-
	ミルク／肉	○ ^{*1}	○	○ ^{*2}	○ ^{*2}	○	○ ^{*3}
	根菜／野菜	○ ^{*6}	○	○ ^{*6}	○ ^{*6}	○	-
	土壤	○ ^{*4}	-				
	穀物	×	○	○ ^{*6}	○ ^{*6}	○	-
	魚	-	-	○	○	-	○
	甲殻類	-	-	○	○	-	-
	藻類	-	-	-	-	-	○
地面からの外部被ばく		○	○	○	○	○	-
吸入摂取	ダスト	○	○	○	○	○	-
	ガス	-	○ ^{*5}	-	-	-	-

○：EDFに含まれている

×：モジュールにおいては考慮されうるが、EDFには含まれていない

-：被ばく経路がモジュールに含まれない

*1：家畜が水を摂取することによって汚染される

*2：家畜が水や灌漑された飼料、水生植物を摂取することによって汚染される

*3：家畜が水や水生植物を摂取することによって汚染される

*4：例えば、十分に野菜を洗わないことによって土壤を摂取することが考えられる

*5：ろ過装置なし

*6：灌漑

スウェーデン放射線防護機関（以下、「SSI」という）による検討（Wörman, 2003）では、地質学・水理学・生態学的状態に対して、GBIにおけるプロセスがどれくらい重要な影響を与えるか、人間が受ける被ばく線量にどれくらい重要であるかを調べるために、分水界／広域スケールにおける地下での水理と表層水理とのカップリングに関するモデル化が例示されている。カップリングに用いたのは、地下水中に放出された核種が陸域の集水域系から湾または湖に流れていくという仮定である。なお、水理学的に以下の2つの移行経路がある。

- ・移行経路1：第四紀堆積層（移行経路1のGBI）を通って地表水理系へと進み、河川を経て湖あるいは湾へと移行する。
- ・移行経路2：母岩を通じて直接湖（あるいは湾）堆積層（移行経路2のGBI）へと移行する。

なお、これらの場合、処分場は湖（あるいは湾）から約5km内陸の深さ240～440mの位置に存在し、母岩上部には厚さ20mの第四紀堆積層があると仮定している。

生態系モデルに関しては、沿岸生態系モデルをベースとしたもの（Bergström, 1999；以下「ケース1」という）とBIOMASS ERB 2B（IAEA, 2003；以下「ケース2」という）の2種類のモデルを用いている。ケース1では、湾の海底下にある第四紀堆積層を通過して、地表環境へ地下水がろ過され、放出される。一方、ケース2では、湖にある堆積層と集水域系に沿って表層堆積層へと地下水が放出される。地表面には、耕作地、牧草地、湿地、河川、湖があると想定されている。

水理学的なシミュレーションの結果、仮想的な処分場から放出された核種の19%が、第四紀堆積層を通じて地下水、さらには湖や湾へと移行する経路（移行経路1）を通じて移行していることがわかった。残りの81%は湖あるいは湾堆積物へ移行するより深い経路（移行経路2）を通ることがわかった。また、GBIを考慮した場合としない場合との被ばく線量の比較の結果、ケース1ではGBIを無視した場合のほうが、GBIを考慮した場合よりも約6倍線量が高くなつた。また、ケース2ではGBIを考慮した場合の線量がわずかに高くなつた。これは生態系と表層水理の陸域での相互作用によるものである。これらの結果から、GBIが追加のバリアとして機能することが示唆された。今後のスウェーデンにおける生物圏評価では、地下水流动解析の結果等を用いてGBIにおける物質移行をより現実的に評価する方向にシフトした検討が始まっている。

一方、Wörman (2006) の検討では、Forsmark サイトの環境条件を用いて、パーティクルトラッキング法により、処分場深度別に核種放出域を推定した。処分場深度を 500m あるいは 1,000m と仮定した場合の地表環境への核種の放出割合は、海洋が 40~50%，小川が 20~30%，湿地が 10% 程度であった。また、処分場深度を 1,000 ないしは 2,000m と仮定した場合と比較して、処分場深度を 100m と仮定した場合のほうが、核種が地表環境に均一に広がることが確認された。処分場が深くなるほど、放出点が主要な小川やくぼみ部分に集中し、陸域における核種の滞留時間が減少すると結論付けている。

2.5 ベルギー

ベルギーの放射性廃棄物・核物質管理庁（以下、「ONDRAF/NIRAS」という）によって発行された SAFIR2 (ONDRAF/NIRAS, 2001) では、1990 年から 2000 年の間に実施された高レベル放射性廃棄物や長寿命核種を含む廃棄物（カテゴリ B&C）の最終処分の安全評価および実現可能性について、科学的および技術的調査の現状が記されている。SAFIR2 の安全評価では、レファレンスサイトを Mol-Dessel、代替サイトを Doel として、それぞれの場所に処分場を建設した場合の放射線影響を評価している。

それぞれのサイトにおける GBI に関しては、水頭分布やパーティクルトラッキングの解析結果に関する情報に基づいて、局所水理モデルを用いて水の移行経路と地表への流入点を確認することによって特定している。

処分場から放出された核種は、帶水層中にある地下水によって運ばれることで地表環境に到達する。地表環境の状態や人間の生活習慣が変動しないと仮定したシナリオ (normal evolution scenario) では、GBI (本文ではレセプタ) として、

- ・井戸：処分場境界にある帶水層に掘削される井戸
- ・小川：水理解析の結果、Witte Nete, Dessel Nete, Hooibek, Daelemansloop, Breiloop を考慮、Witte Nete および Dessel Nete は核種の流入地点として特に重要
- ・河川：Kleine Nete
- ・土壤：Kleine Nete 南方、地下水による土壤への灌漑を行うことと、植物の根が汚染帶水層に達していることを想定

を想定している。

それぞれの核種流入域に対するモデルでは、

- ・汚染された食物または水の摂取
- ・汚染された空気の吸入
- ・汚染された土壤、水または堆積物から受ける外部被ばく

を被ばくモードとして想定している。

上記の被ばくモードに基づき、核種流入域ごとに考慮した被ばくに関わる地表水および土壤の利用形態を表 2-4 に示す。

表 2-4 SAFIR2において核種流入域ごとに考慮した被ばくに関わる地表水および土壤の利用形態

核種流入域 利用形態	井戸	小川		河川 (Kleine Nete)	土壤
		Witte Nete	Desselse Nete		
飲料水採取	×	×	○	×	○
田畠の灌漑	×	×	×	×	○
牧草地の灌漑	×	×	×	×	○
牛の水飲み場	×	×	×	×	○
漁業	○	×	○	×	○
余暇利用	○	×	○	×	○
作物の生育	○	○	○	○	×
牛の放牧	○	○	○	○	×

2.6 米国

米国エネルギー省（以下、「DOE」という）が実施した Yucca Mountain プロジェクトにおける生物圏評価では、

- ・汚染地下水利用シナリオ
- ・破壊的火山事象シナリオ

の2つのシナリオが検討されている(DOE, 1998a, 1998b)。汚染地下水利用シナリオでは、GBIとして地下水供給源（具体的には、処分場から南方 20km の地点にある Amargosa Valley 共同体にある井戸）を挙げている。

処分場から放出された核種は、不飽和域を通過して、下方にある地下水面へと移行していくと考えられているため、処分場性能の全体的な評価を行う際には、飽和域を通過する核種の移行および地下水流動を理解することが重要であるとしている。これらを理解するためのサイト特性調査については、地表からの調査としては、試錐孔の掘削による深部地層の確認、地下水深度の測定、水文調査、地表から岩盤への地下水量の観測等が行われている。

「Yucca Mountain 科学技術レポート (S&ER)」(DOE, 2002)においては、サイト環境や地下水流動状況の把握に関する実施された調査結果が詳細に記載されている。地下水流動状況の把握では、3次元地下水流動モデル（サイトスケール、広域スケールの2種類）において飽和層での移行に重要な特性およびプロセス（亀裂媒体あるいは多孔質媒体での移行プロセス）を考慮し、水理データや地下水化学データに基づいて地下水流動方向を把握するとともに、サイトスケールでの飽和帶地下水流動・核種移行モデルを構築して、パーティクルトラッキング法により核種流入域を把握した。その結果、合理的な最大被ばく地点として、Amargosa Valley を選定し、井戸水飲用シナリオを仮定した。

Yucca Mountain プロジェクトにおける GBI 設定の流れを図 2-1 に整理した。Yucca Mountain サイトは、天然の地下水湧水域がないことから、わが国の典型的な環境とは異なっており、GBI 設定手法の視点からは参考とすべき情報は少ないものの、GBI 設定にいたる種々の調査手法や項目については参考になると考えられる（小山田、池田, 2004）。

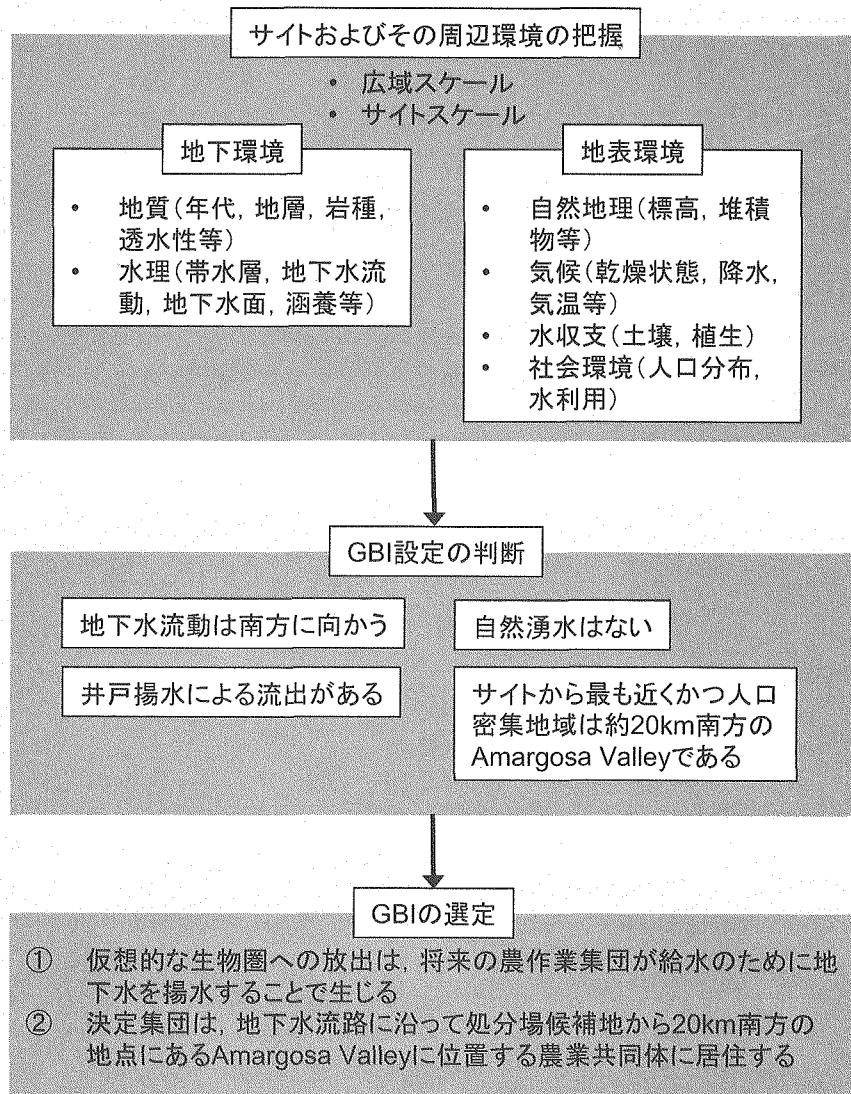


図 2-1 Yucca Mountain プロジェクトにおける GBI 設定の流れ (DOE, 2002)

2.7 スイス

スイス放射性廃棄物管理協同組合（以下、「Nagra」という）では、オパリナス粘土の地質環境を対象として検討が進められている処分場に関する評価（以下、「EN2002」という）として、対象地域における地質・水理構造および特性に関して得られている包括的かつ詳細な地質調査情報（例えば、地質学、気候、地形、水理および土壤）に基づいて、サイト候補地を含む広域および狭域スケールでの多くの現地調査結果に基づく検討から、GBI を設定している（Nagra, 2002）。このことは、サイトが特定されている場合、十分な現地調査により GBI の把握が可能であることを示している。

現在の地形および現在の気候状態での Rhine 川とその支流の年間流量の概要は、地質環境調査の結果から把握されており、地下水が放出される場所として以下を考えている。

- Malm 帯水層において水平方向の移動 (lateral transport) がある場合は、Rhine 川の下の Rhine 渓谷
- Wedelsandstein において水平方向の移動 (lateral transport) がある場合には、Rhine 渓谷のさらに下流
- Sandsteinkeuper において水平方向の移動 (lateral transport) がある場合には、Klettgau 帯水層
- Muschelkalk 帯水層において水平方向の移動 (lateral transport) がある場合には、Aare 川と

Rhine 川の合流点付近

地下水放出は、主として、河川あるいは渓谷底部の第四紀砂礫層に生じるとされている。不透水性の湖沼堆積物に満たされた渓谷や、その上部の層への放出はほとんど生じないものの、いくつかの場所では、渓谷側にある湧水域に地下水が放出される場合もあることがわかっている。対象領域では、このような湧水域はすべて、Rhine 渓谷の北側にあり、Rhine 渓谷の底の地下水放出点よりも高い位置であることから、Malm 帯水層からの地下水によって移行した核種の、Rhine 渓谷側に位置する湧水域への放出は、ほとんど起こらないと結論付けている。

2.8 まとめ

諸外国および国際協力における GBI 設定のための検討状況について調査した結果、既往の生物圏評価では対象としなかった表層（例えば、帯水層等）での水の移行を考慮することにより、希釈や収着による遅延効果が期待でき、評価結果に少なからず影響を与えることがわかった。例えば、SR-97 では、仮想的なサイトを対象とし、サイト特有の情報に基づく評価が実施された。また、今後サイト特有の情報に関して詳細な調査が実施されるようになった場合に、得られた情報やデータが評価に反映できる可能性が示された (SKB, 1999)。一方、SSIを中心として、地質環境から生物圏への核種移行経路や滞留時間が第四紀堆積層の存在によってどのように変化するかについて検討が開始されている (Wörman, 2003)。また、スイス EN2002 では、対象地域における地質・水理構造および特性に関して得られている包括的かつ詳細な地質調査情報に基づいて、地下水の流れを把握し、GBI が設定された (Nagra, 2002)。さらに、Yucca Mountain プロジェクトでは、地質環境特性の把握により天然の地下水湧水域がないことが判明したため、将来の人間活動による地下水揚水のみが GBI の可能性となることが示された (DOE, 2002)。

さらに、諸外国における検討は、特定サイト（処分場候補地等）の環境条件を考慮した評価を実施している点でわが国よりも先行していることがわかった。欧米とわが国では表層の水理・地質構造が異なることから、欧米での手法をわが国における GBI 設定にそのまま適用することは困難であると言われている。しかしながら、SR-97 (SKB, 1999) やスイス EN2002 (Nagra, 2002) で検討された GBI 設定のために利用したデータの一覧等はわが国における GBI 設定に関わる地質調査項目の検討に反映することが可能である。また、Yucca Mountain プロジェクト (DOE, 2002) で検討された地形や土地利用の情報に基づく環境把握による GBI 設定の流れについても、わが国での GBI 設定フローを検討するうえで非常に参考になる。

3. 流入域の体系化と具体化に関する検討

3.1 検討の範囲と到達目標

生物圏及びその近傍を成す表層水理環境は、地層処分の処分深度（300m 以深）と比較して将来の変化に起因する不確実性が大きいものと考えられ、この様な不確実性への対応は、個別のサイト条件を反映させた生物圏評価よりは、むしろ変化に幅を持たせた評価の様式化・一般化により対応することがより適切と考えられる。しかしながら、評価結果の不確実性を減らし、より現実的な評価を行うためには、表層での環境条件を可能な限り評価に反映することが必要となる。評価すべき地表の表層水理環境の将来での変遷については、別途研究が進められている隆起侵食や地形変化に関する結果を反映させる必要があるが、地質環境を分類し一般化することにより、これを生物圏評価に反映することが望ましいものと考えられる。

この 2 つの方向性を同時に満たすために、多様な環境条件が表層での希釈分散に影響を与えることを想定し、わが国の特徴的な地質／地形条件において核種の流入域を一般的なパターンとして、環境条件の相違に対応することとする。次に、表層での希釈分散効果や遅延効果を生物圏評価に取り込むためには、地表環境での水理物質移行についての検討を試行することとする。

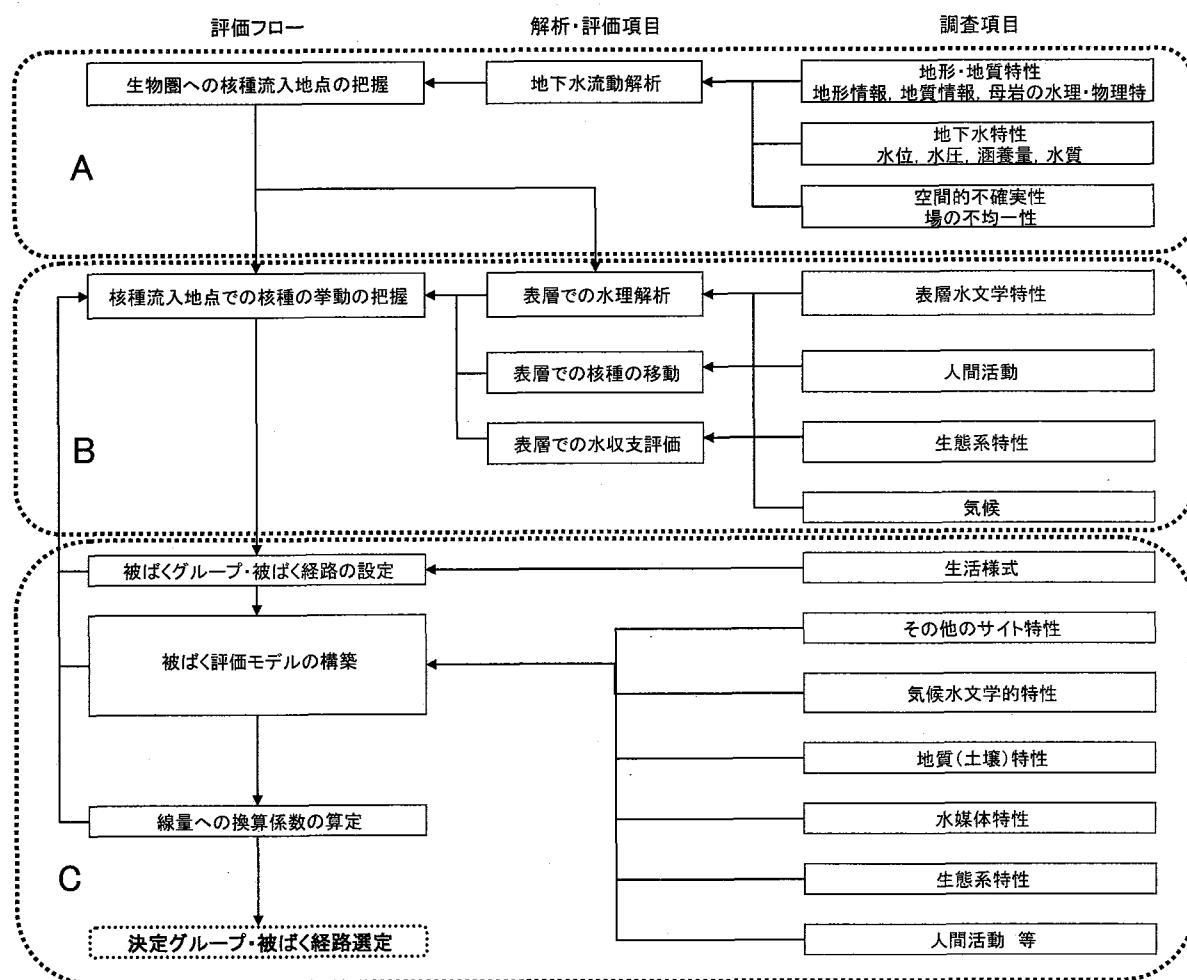
以上の前提に基づき、特に処分場からの核種の流入域の設定を中心に評価の進め方を予備的に取りまとめたものを図 3-1 に示す（三木ほか、2002）。安全評価において処分場からの核種の流入域は最終的に性能評価上の重要度に基づいて（すなわち被ばく量が最大となる経路が含まれるように）決定される必要がある。一方、その候補は基本的に地下水流动解析をはじめとする処分場から表層までの、及び、表層での水理場の理解にもとづいて設定される。したがって、核種の流入域での移行や希釈／分散の効果を生物圏評価に取り込むために、図 3-1 の A で囲われた部分、すなわち流入域の候補の設定を行い、これを前提として、B で囲われた部分の検討が必要となる。本研究の目標としては、A 及び B を具体化するために必要となる情報やその不確実性について整理することにある。C については、文献調査からも判るように、検討が進められており、これに表層水理での評価結果を反映させていくことが今後の検討項目となる。

2. での調査においては、SSI を中心として、地質環境から生物圏への核種移行経路や滞留時間が第四紀堆積層の存在によってどのように変化するかについて検討が開始されつつあり、地表環境を含めた現実的な検討が進められている。

そのため、本研究では次の 2 つの項目で環境条件を用意し検討を進めることとした。

- ① わが国の環境条件、特に地質環境条件を一般化して構築された仮想的な環境パターンとして設定する（3.2 節）
- ② 水理学的な知見、特にいわゆる浅部の地下水流动に関する情報が既往の研究を通じて整理されている地点のデータを用い検討する（3.3 節）

②の具体的な地点を活用した検討のみでは、わが国に一般的に存在する環境条件の幅に対して検討の対象に偏りが生じる可能性が高いことを踏まえつつ、GBI 候補の設定に必要な情報を一般的に設定することになる。他方、そのような一般化の結果として、例えば表層の水理場を地下水流动解析で定量評価するためには十分な情報を準備することが困難となる。したがって、①の仮想的な場を利用した検討では、主として地下水の流动経路が文献調査、概要調査及び精密調査の各段階の調査結果の反映によりどのように変化するのか、更に、その結果が GBI 候補の設定に及ぼす影響がどのように変化するのかの検討に焦点を当てることにする。一方②、すなわち実際のサイトデータを利用した検討では、広くわが国に一般的に適用される議論を踏まえつつ、個別具体的なサイト情報により GBI 候補の特徴、特に GBI 候補において合理的に見込むことができる地下水の流量（すなわち GBI 候補における希釈量）の算定を行うために必要な情報について整理を行うこととする。



三木ほか (2002) 予備的 GBI 設定フローについて、B 部分を詳細化

図 3-1 生物圏評価における一般的な安全評価に対する検討フロー
(三木ほか, 2002 : 一部変更)

3.2 仮想的な環境パターンに基づく流入域に関する検討

1) 仮想的な環境パターンの設定及び検討の進め方

平成17年度取りまとめ（核燃料サイクル開発機構, 2005）でも述べているように、ここではわが国の地表環境の一般的な特徴の整理結果に基づき、複数の仮想的な環境パターンを設定した。環境パターンとしては、表層部分、すなわち、帯水層部分の多様性もあるが、ここでは、母岩から利水環境へ流入地点（GBI）の評価を目的とすることから、各地形条件に応じた仮定を行った。これに基づく仮想的な地表環境を仮定し、その環境で想定しうる GBI の候補の抽出を試みるとともに、GBI を絞り込むために有効な考え方や調査との関係などを検討する。

岩種として結晶質岩および堆積岩を基盤岩とする2つの地質構造モデルを基点として、わが国的一般的な地表環境（地形、水文、人間活動など）の調査を踏まえて、地表環境を特徴づける事項の整理を行い、それらを組み合わせた3つの仮想的な環境パターンを設定した。これらの環境パターンは原子力発電環境整備機構が示した地質環境の特徴（原子力発電環境整備機構, 2004）ともほぼ整合するものである（表 3-1 参照）。

図 3-2 及び図 3-3 に検討に際して想定した結晶質岩及び堆積岩を基盤岩とする大局的な地質構造モデルと、同モデル中に設定された3つの環境パターンの位置関係を示す。

表 3-2 に設定された3つの環境パターンの概要をまとめる。

なおこれらの検討にあたっては、各環境パターンに対してそれぞれ図 3-2 及び図 3-3 に示す位置に処分場が建設されるものと想定した。

表 3-1 地質環境の特徴と設定した仮想的な環境パターンとの対応

	原環機構が示した地質環境の特徴	
	地域*	岩種
環境パターン I	内陸部丘陵、内陸部平野、沿岸部平野	結晶質岩
環境パターン II	内陸部山地、内陸部丘陵	堆積岩
環境パターン III	沿岸部丘陵、沿岸部平野	堆積岩

*: 上記環境パターンは、原環機構が示した地質環境の特徴（原子力発電環境整備機構, 2004）のうち、結晶質岩の内陸部山地、沿岸部山地、沿岸部丘陵、および堆積岩の内陸部平野、沿岸部山地には直接的には対応していないが、上記3つのパターンである程度類推できると考える。

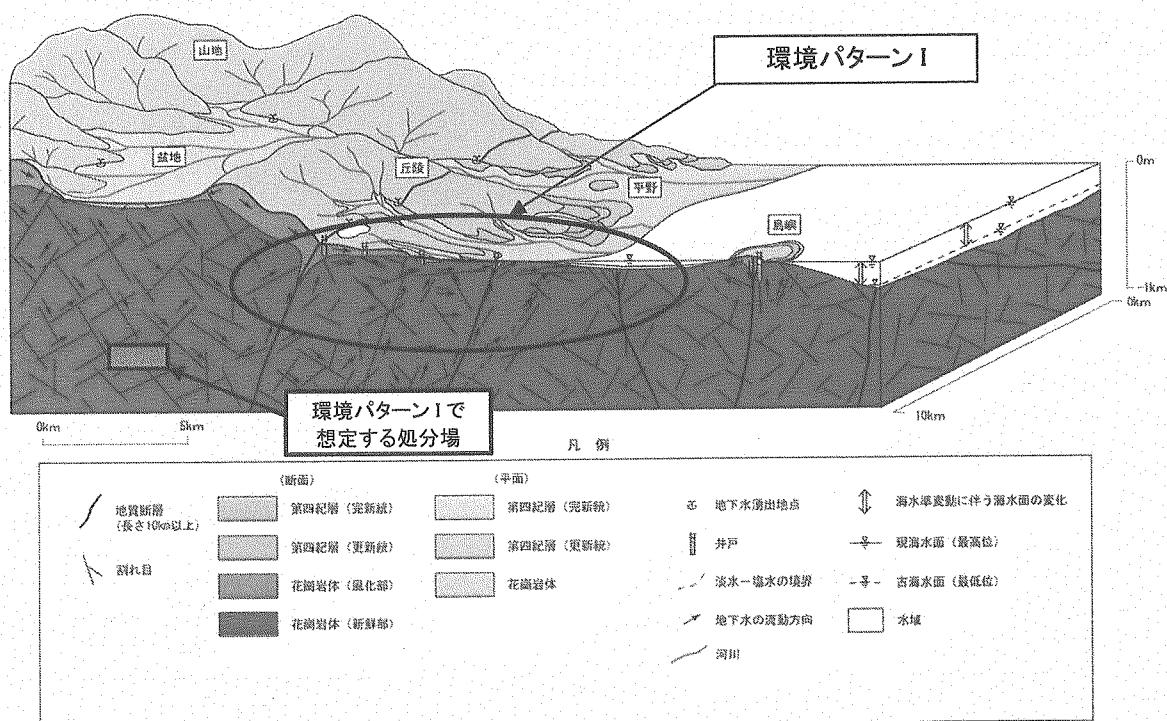


図 3-2 結晶質岩系（花崗岩）モデルの全体図

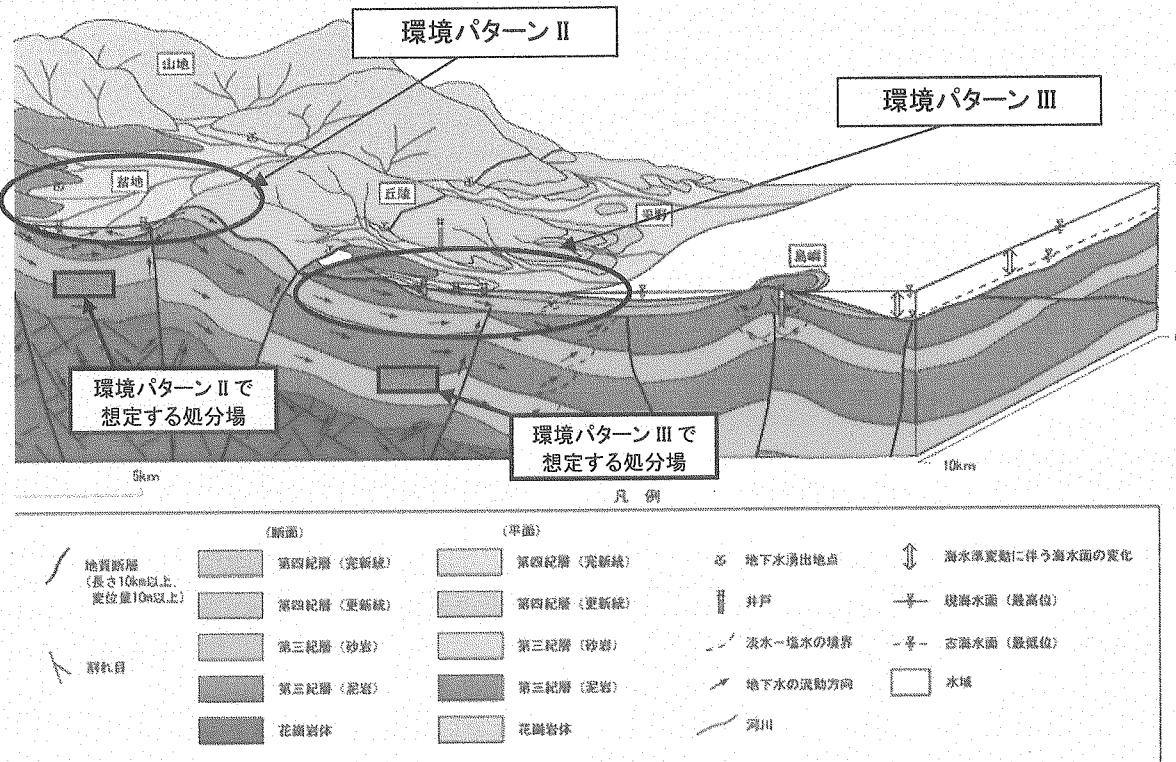


図 3-3 堆積岩系モデルの全体図

This is a blank page.

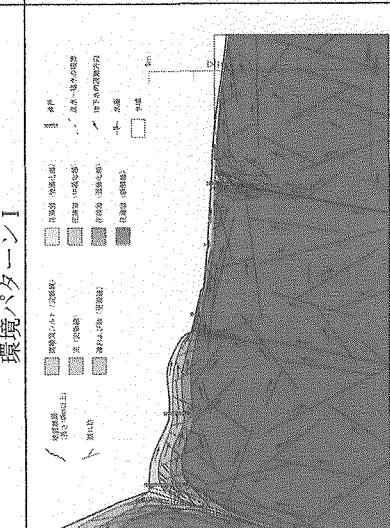
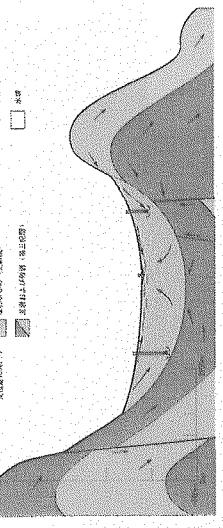
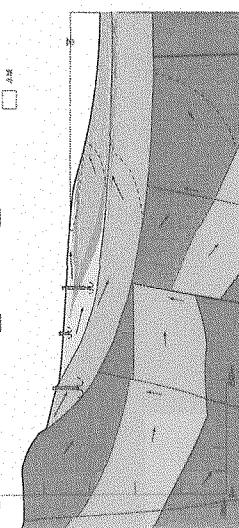
表 3-2 設定した環境パターンの概要 (1)

環境パターン	環境パターン I	環境パターン II	環境パターン III
サイト分類	結晶質岩系(花崗岩) サイト	堆積岩系(砂岩・泥岩互層の泥岩部) サイト	堆積岩系(砂岩・泥岩互層の泥岩部) サイト
地理条件	丘陵～沿岸低地	山間部の盆地	丘陵～沿岸低地
地質条件に対する想定	<p>・ 基盤は花崗岩からなる。山地及び丘陵では花崗岩が地表に露出する。沿岸平野部では花崗岩の上部を第四紀堆積物が薄く覆う。</p> <p>・ 大規模な断層の周辺の花崗岩には深部に及ぶ風化帯が発達している。風化帶は、粘土状～砂状を呈する強風化部、ザラメ状～小礫状を呈する中風化部、岩芯～岩塊状を呈する弱風化部に分類される。この風化帶は常に風化にさらされる丘陵の尾根部で厚く、数十～100m程度に及ぶ。一方、台地から平野部にかけての地域は、侵食、堆積が繰り返される地域であり、弱風化部を第四紀堆積物が覆っている。</p>	<p>・ 砂岩及び泥岩の互層からなる。互層部の層厚は800m程度で、山地及び丘陵では地表に露出する。互層の下位には花崗岩が分布する。</p> <p>・ 互層の上位に第四紀の盆地床堆積物が分布する。</p> <p>・ 盆地部の地表地質を構成する盆地床堆積物の層厚は150m程度で、主に河成及び扇状地性の砂及び礫から構成され、不均質な層相を呈する。最上部はチャネル状の礫を含む腐殖質砂及びシルトからなる氾濫原堆積物と盆地縁辺部の扇状地性砂礫とが指交する。</p>	<p>・ 砂岩及び泥岩の互層からなる。互層部の層厚は800m程度で、山地及び丘陵では地表に露出する。互層の下位には花崗岩が分布する。</p> <p>・ 沿岸平野部の地表地質を構成する第四紀堆積物の層厚は200m程度で、主に未固結で高透水性の砂及び礫からなる。</p> <p>・ この第四紀堆積物は、さらに層厚100数十m程度の更新統と数10m程度の完新統とに二分できる。更新統は主に河成の砂及び礫から構成され、盆地で地表に露出する。完新統は、下部は海進期の砂質堆積物、中部は泥質堆積物、上部は停滞期の砂質堆積物からなる。中部の泥質堆積物は厚いところで数10mと発達が著しいが、内陸側では消滅し、側方への層相変化が著しい。</p>

概念図

This is a blank page.

表 3-2 設定した環境パターンの概要 (2)

環境パターン	環境パターン I	環境パターン II	環境パターン III
概念図	 <p>花崗岩新鮮部では、地下水は花崗岩中の亀裂中を流れる（移流移行）。</p> <p>花崗岩風化部では、亀裂中の移流移行とマトリクス中の移流移行が混在し、風化の程度・状況に応じてはマトリクス中の流れが優勢になる。</p> <p>地下水の流れは、花崗岩中に発達した大規模な断層をはじめとする亀裂に規制されるが、全局的には地形的に高い山側から沿岸部へと流動する傾向にある。</p> <p>台地部の花崗岩風化部および平野部の花崗岩風化部とそれを覆う第四紀未固結層はともに不圧帶水層である。</p> <p>水理条件に関する想定</p>	 <p>互層を構成する泥岩層は低透水性で、物質の移行は拡散が支配的である。また、互層を構成する砂岩層では、地下水は主にマトリクス中を流れれる。その他、地下水は互層中の断層部を流れれる。</p> <p>第四紀堆積物を構成する砂および礫（レキ）は高透水性で、特に主に河成の砂および礫（レキ）から構成される更新統は、丘陵周辺に発達する台地を涵養域として良好な帶水層を形成する。</p> <p>一方、完新統中部の泥質堆積物は難透水性を示し、物質の移行は拡散が支配的である。</p> <p>第四紀堆積物および堆積岩中には塩淡境界が形成される。</p>	 <p>互層を構成する泥岩層は低透水性で、物質の移行は拡散が支配的である。また、互層を構成する砂岩層では、地下水は主にマトリクス中を流れれる。その他、地下水は互層中の断層部を流れれる。</p> <p>第四紀堆積物を構成する砂および礫（レキ）は高透水性で、特に主に河成の砂および礫（レキ）から構成される更新統は、丘陵周辺に発達する台地を涵養域として良好な帶水層を形成する。</p> <p>一方、完新統中部の泥質堆積物は難透水性を示し、物質の移行は拡散が支配的である。</p> <p>第四紀堆積物および堆積岩中の地下水は、大局的には地形的に高い山側から沿岸部へと流動する傾向にある。</p>

This is a blank page.

2) 環境パターンI（結晶質岩を基盤とする沿岸低地）での流入域の検討

海岸近傍の丘陵から沿岸低地にかけての基盤上限付近から第四紀層までのモデル化した環境パターンIに関する地下水流动及び核種流入域の候補の検討結果を表3-3にまとめた。表3-3では、環境パターンIに対して文献調査、概要調査及び精密調査の各調査段階において想定される現地調査の結果と主な不確実性を整理し、ここから導かれる地下水の流动経路と対応する核種流入域の候補を検討、整理した。

表3-3に示されているように、環境パターンIでは文献調査段階から精密調査段階に調査が進展するにしたがい、以下の事項に起因して水理解析の結果が変更され、核種流入域の選定についても影響を及ぼすことが示された。以下、主要な不確実性についてまとめる。

(1) 花崗岩中の未検出断層の存在

花崗岩中の未検出断層の存在については、想定として概要調査段階の現地調査によってその存在が確認されることとした。具体的には、ボーリング調査やリモートセンシングに代表される地形・地質調査によって、その存在とおおよその特徴が把握される想定とした。大規模な断層は直接ボーリング孔が断层面と交差することが無くとも、ボーリング孔のデータによって校正されたリモートセンシングの結果によって、比較的精度良くその位置、走向、傾斜等が把握されるものと期待されることから、概要調査によってその存在等が把握されるものと考えられる。なお、ここでは未検出断層の水理特性についても併せて把握されることを期待しているが、このことは、暗にボーリング孔が断层面と交差することによって、断层面で各種の水理試験が実施され、断層の水理特性が把握することを想定している。

また、広域流动系による核種の移動を想定する場合、流出域までの距離は概要調査で想定する調査スケールに比較しきくなることが考えられる。そのためにも文献調査段階での既存断層の評価や断層の存在に対する不確実性の取り扱いが重要となる。

(2) 花崗岩中の亀裂の連続性

花崗岩中の亀裂の連続性については、精密調査を通じてその連続性が高いことが確認されている想定をした。亀裂の連続性を確認するためにはリモートセンシング等の間接的な手法のみでは不十分であり、孔間試験に代表される複数のボーリング孔を利用した水理試験の実施が必要となる。そこで、今回の検討でもボーリング孔の本数が増加するとともに地下研究施設が建設される精密調査段階において、亀裂の連続性が高いことが確認されるものと想定した。

(3) 塩淡境界の位置

本検討では、塩淡境界の位置は概要調査によって沖合にあることが確認されるものとした。塩淡境界の位置を確認するためには、ボーリング孔を用いた水質試験により塩分濃度を直接的に測定することに加え、現地踏査やリモートセンシングによる湧水位置の確認や海水の水温や塩分の調査（海洋調査、海洋計測）の結果を総合的に判断することが求められる。

(4) 花崗岩風化部並びに第四紀層の水理地質特性

花崗岩風化部並びに第四紀層の水理地質特性とは、ここでは河川による集水、井戸周囲の地下水流動経路等を含む第四紀層内の地下水流动全般を指しており、その理解のためには地形・地質調査、地下水位調査、地下水流动調査、水文調査、地下水涵養量調査の各調査結果を総合的に反映させた地下水流动解析の実施が重要な役割を果たしている。また、解析結果の妥当性を判断するために、水質調査の結果が利用されることとなる。さらに、井戸による用水や耕作地での灌漑等が顕著である場合には、それぞれ地下水利用実態調査や土地利用調査の結果を適切に地下水流动解析に反映する必要がある。

流入域は、概要調査が実施される区域とは異なる可能性があることから、調査段階の進展に伴う情報量の増加については、現状、不明確である。また、未検出断層の存在が不明確な段階では流入域となる可能性は広範囲なものとなる。そのため、文献調査段階において利用可能な情報や井戸等の設備に関する情報を広範囲において収集する必要があり、現地調査が可能となる段階までに、既存井戸を用いた水位や水質取得のための準備が必要となる。

This is a blank page.

表 3-3 環境パターンⅠに対する地下水流动及び流入域の候補の検討結果（1）

文献調査段階	概要調査段階	精密調査段階
各段階での場の理解の概要	<p>合地部山側の大規模断層については、断層が地表に露出しており、文献調査段階での走向や傾斜を含めて概要が把握されているものと考えられる。一方、平野部の第四紀層下に伏在している断層については、地表から確認できることから文献調査では確認できない。</p> <p>合地部においては花崗岩の強、中、弱の風化部が存在することと、平野部においては花崗岩の弱風化部が第四紀層に覆われていることが理解されている。また、水理解析の結果が向上し以下の事項が確認される。</p> <ul style="list-style-type: none"> - 地下水は主として自由地下水であり、地下水がおおよそ5~10mに位置する。 - 平野を横断する河川により、それより上流から地下水は集水され、河川より海側の領域へは直接地下水が流动していない。 	<p>物理探査、水文調査、気象観測及びボーリング調査により、地下深部から浅部に至る大局部的な地質分布や地質構造、各地層や岩体の水理学的な物性（例えば透水係数）が明らかになる。</p> <p>平野に伏在する断層の存在が確認され、他の断層も含めて水理学的な性質の概略が把握される。また、塩淡境界の概略的な位置が把握される（沖合）。</p> <p>花崗岩の強、中、弱の各風化部と第四紀層のおおよその分布と特性が把握される。また、水理解析の結果が向上し以下の事項が確認される。</p> <ul style="list-style-type: none"> - 地下水は主として自由地下水であり、地下水がおおよそ5~10mに位置する。 - 平野と台地の境界部の地下に存在する亀裂は、処分場近傍まで良好な連続性を持つており、地下深部の地下水はこの亀裂の連結を通じて③の井戸の近傍に湧出する。 - 地下深部から湧出した地下水は、井戸③の領域を通過することなく河川に至る。
文献調査段階	概要調査段階	精密調査段階

This is a blank page.

表 3-3 環境パターン1に対する地下水流动及び流入域の候補の検討結果（2）

	文献調査段階	概要調査段階		精密調査段階
		流入域の候補となる地域が概要調査区域と異なる可能性	流入域の候補となる地域が概要調査区域となる可能性	
主な不確実性	<ul style="list-style-type: none"> 塩淡境界の位置。結果として塩淡境界の位置を複数ケース想定する（内陸に塩淡境界が存在するケースと海側に塩淡境界が存在するケース）。 後背地形の影響。処分場の影響による地盤の連続性は不明であると想定されることから、地下深部からの地下水の湧出部位には不確実性が残る（経路 1-1-b : 濃い緑色矢印）。 断層の特性 	<ul style="list-style-type: none"> 花崗岩体内の規模の小さい亀裂の連続性や透水係数等の空間分布。 後背地形の影響、処分場深度の影響（流入域の候補となる地域が概要調査区域となる可能性） 	<ul style="list-style-type: none"> 地表付近まで湧出し、花崗岩風化部、第四紀層を経由して平野部の河川に流入する経路。花崗岩風化部における地下水流动がより良く把握されることにより、この地下水は井戸③を平面的に回避して河川に至ることが確認された（経路 1-3-a : 濃い青色矢印）。 処分場からの地下水が台地山側の断層を経由して地表付近まで湧出し、花崗岩風化部、第四紀層を経由して平野部の河川に流入する経路。なお、概要調査によって、地下から湧出した地下水は、花崗岩風化部の中でも弱風化部を選択的に流れることが確認された（経路 1-2-a : 濃い青色矢印）。 処分場からの地下水が処分場の直上にほぼ垂直に湧出する経路。その後、経路 1-2-a と同様の経路を辿る。地下深部の亀裂の連続性は不明であると想定されることから、概要調査を経た段階においても地下深部からの地下水の湧出部位には不確実性が残っている（経路 1-2-b : 濃い緑色矢印）。 処分場からの地下水が塩淡境界に沿う形で冲合の海底下に湧出する（経路 1-2-c : ピンク色矢印）。 塩淡境界を内陸側に設定した場合に、処分場からの地下水が塩淡境界に沿う形で平野の下部に湧出する経路。湧出した地下水は花崗岩の弱風化部あるいは第四紀層内を流動して海岸近くの海底下に流入する（経路 1-1-c : 水色矢印）。 塩淡境界を海側に設定した場合に、処分場からの地下水が塩淡境界に沿う形で冲合の海底下に湧出する（経路 1-1-d : ピンク色矢印）。 	<ul style="list-style-type: none"> 処分場からの地下水が台地山側の断層を経由して地表付近まで湧出し、花崗岩風化部、第四紀層を経由して平野部の河川に流入する経路。花崗岩風化部における地下水流动がより良く把握されることにより、この地下水は井戸③を平面的に回避して河川に至ることが確認された（経路 1-3-a : 濃い青色矢印）。 処分場からの地下水が連続性の良い亀裂群を介して処分場の直上にほぼ垂直に湧出し、主として花崗岩風化部を経て河川に至る経路。（経路 1-3-b : 濃い緑色矢印）。 未検出断層からわき出した地下水が、花崗岩弱風化部を経由して、冲合の海底下から流入する経路（経路 1-3-c : オレンジ色矢印）。
GBI の候補	<ul style="list-style-type: none"> 井戸 (1)～(4) 河川及び海洋（経路 1-1-a） 井戸 (3), (4) 河川及び海洋（経路 1-1-b） 井戸 (4) 及び海洋（経路 1-1-c） 海洋（経路 1-1-d） 	<ul style="list-style-type: none"> 井戸 (1), (2) 及び河川（経路 1-3-a） 井戸 (3) 及び河川（経路 1-3-b） 海洋（経路 1-2-c） 井戸 (4) 及び海洋（経路 1-1-d） 	<ul style="list-style-type: none"> 井戸 (1), (2) 及び河川（経路 1-3-a） 井戸 (3) 及び河川（経路 1-3-b） 井戸 (4) 及び海洋（経路 1-1-c） 	

3) 環境パターンII（堆積岩を基盤とする内陸盆地）での流入域の検討

山間部の盆地周辺の基盤上限付近から第四紀層までのモデル化した環境パターンIIに関する検討結果を表3-4にまとめる。環境パターンIと同様、表は、環境パターンIIに対して文献調査、概要調査及び精密調査の各調査段階において想定される現地調査の結果と主な不確実性を整理し、さらにここから導かれる地下水の流動経路と対応する核種流入域の候補を検討、整理した結果である。表に示されているように、環境パターンIIでは文献調査段階から精密調査段階に調査が進展するにしたがい、以下の事項に起因して水理解析の結果が変更され、核種流入域の設定についても影響を及ぼすことが示された。以下、主要な不確実性についてまとめる。

(1) 広域地下水水流動系と処分場との位置関係

本項目は、盆地内の地下深部を含む全体的な地下水の流動状況と処分場位置の関係の重要性を述べたものである。これを把握するためには、当該領域で精度の高い地下水水流動解析を実施する必要があり、そのためには、地形・地質調査、地下水位調査、地下水水流動調査、水文調査、地下水涵養量調査の各調査結果を総合的に反映させた地下水水流動解析を実施する必要がある。また、解析結果の妥当性を判断するために、水質調査の結果が利用されることが考えられる。さらに、井戸による利水や耕作地での灌漑等が顕著である場合には、それぞれ地下水利用実態調査や土地利用調査の結果を適切に地下水水流動解析に反映させる必要がある。

(2) 第三紀層内の未検出断層

第三紀層内の未検出断層は、前項で述べた広域地下水水流動系の把握の一部を構成する要素であり、核種流入域の設定の観点から特に重要度の高い項目である。未検出断層の把握については、環境パターンIの花崗岩内の未検出断層に関する部分でも述べたように、ボーリング調査やリモートセンシングに代表される地形・地質調査によって、その存在とおおよその特徴が把握されることを想定した。大規模な断層は直接ボーリング孔が断層面と交差することが無くとも、ボーリング孔のデータによって校正されたリモートセンシングの結果によって、比較的精度良くその位置、走向、傾斜等が把握されるものと期待され、ここでも概要調査によってその存在が把握されることとした。

なお、ここでは未検出断層の存在に加えて水理特性についても併せて把握されることを期待しているが、このことは、暗にボーリング孔が断層面と交差することによって、断層面で各種の水理試験が実施され、断層の水理特性が把握されることを想定している。

(3) 第三紀層内の亀裂の連続性

泥岩中の亀裂の連続性については、環境パターンIにおける花崗岩内の亀裂と同様に精密調査を通じてその連続性が高いことが確認されることを想定した。既に述べたように、亀裂の連続性を確認するためにはリモートセンシング等の間接的な手法のみでは不十分であり、孔間試験に代表される複数のボーリング孔を利用した水理試験の実施が必要となる。そこで、環境パターンIIにおいてもボーリング孔の本数が増加する地下研究施設が建設される精密調査段階において、亀裂の連続性が高いことが確認されるものと想定した。

なお、核種流入域の設定には直接的な影響を与えないものの、生物圏評価の現実性を確保する観点からは盆地内の流入域内での物質移行の挙動を推定するために第四紀堆積物内における被圧及び不圧帶水層内の地下水水流動を把握することは重要である。このためには、広域の地下水水流動の把握と同様に、地形・地質調査、地下水位調査、地下水水流動調査、水文調査、地下水涵養量調査の各調査結果を総合的に反映させた地下水水流動解析を実施する必要がある。また、解析結果の妥当性を判断するために、水質調査の結果が利用されることが考えられる。さらに、井戸による用水や耕作地での灌漑等が顕著である場合には、それぞれ地下水利用実態調査や土地利用調査の結果を適切に地下水水流動解析に反映される必要があるが、特に浅部の地下水水流動の把握という観点からは、地下水位及び間隙水圧の測定による地下水の賦存状況の把握が重要となる。

表 3-4 環境パターン II に対する地下水流动及び流入域の検討結果（1）

各段階での場の理解の概要	文献調査段階	概要調査段階	精密調査段階
<ul style="list-style-type: none"> 山地側に露頭している大規模断層は走向や傾斜を含めて概要が把握されているが、盆地内の未検出断層は見落とされている。地質図から第四紀層の下部には高透水性の砂岩と低透水性の泥岩が互層を成していることがわかつていいが、各層の深度や広がりについては概略が把握されているに過ぎない。水理学的にも代表的な値が推定されている。 浅部については、地下水の流向等は概ね把握されている。井戸の情報から地下水位や盆地中央部における被圧地下水の存在等は把握されている。ただし、具体的な涵養域と流入域の対応関係や、被圧地下水の賦存状況等については不確実性が残っていると推察される。 	<p>盆地の部分が不確実な点を示す。また、各段階で既に確認された事項が記載されている。</p>	<p>盆地の部分が不確実な点を示す。また、各段階で既に確認された事項が記載されている。</p>	<p>盆地の部分が不確実な点を示す。また、既に確認されている事項が記載されている。</p>

This is a blank page.

表 3-4 環境パターン II に対する地下水水流動及び流入域の検討結果（2）

	文献調査段階	概要調査段階	精密調査段階
主な不確実性	<ul style="list-style-type: none"> ・ 大局的な地下水流動系(盆地内への涵養が沿岸低地への流動か), 後背地形の影響, 処分深度の影響 ・ 盆地内の涵養域と流入域の対応関係や, 被圧地下水の賦存状況 ・ 処分場からの地下水は, 盆地ではなく海側の低地に流入する。詳細な経路等は不明である(経路 2-1-b : オレンジ色の矢印)。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 泥岩内の亀裂の連続性(十分な精度で記述するには至っていない) ・ 透水係数等の空間分布 ・ 後背地形の影響, 処分深度の影響 	<ul style="list-style-type: none"> (流入域の候補となる地域が概要調査区域と異なる可能性)
想定した地下水水流動経路	<ul style="list-style-type: none"> ・ 処分場からの地下水が, 盆地内の第四紀堆積物の下層へ湧出し, その後第四紀堆積物中を流動して河川に至る。第四紀堆積物への流入経路及び堆積物中ににおける流動経路は概略が把握される(経路 2-2-a : 濃い青色矢印)。 ・ 処分場からの地下水が, 盆地外の海側の低地に至る。詳細な経路等には不明な点が残るが, 地下水流自体の存在は確認される(経路 2-2-b : オレンジ色の矢印)。 ・ 処分場からの地下水が, 未検出断層を経由して地下深部から湧出し, その後第四紀堆積物中を流動して河川に至る。第四紀堆積物への流入経路及び堆積物中ににおける流動経路は概略が把握される(経路 2-2-c : 緑色の矢印)。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 処分場からの地下水が, 盆地縁辺の丘陵寄りの第四紀堆積物の下層へ湧出し, その後第四紀堆積物中を流動して河川に至る。第四紀堆積物への流入経路及び堆積物中ににおける流動経路も精度良く把握されている(経路 2-3-a : 濃い青色矢印)。 ・ 処分場からの地下水は, 盆地の外側の沿岸低地に至る。詳細な経路等には地層の不均質性に応じた幅が存在するが, 地下水流自体の存在は明確に確認される(経路 2-3-b : オレンジ色の矢印)。 ・ 処分場からの地下水が, 未検出断層を経由して地下深部から湧出し, その後第四紀堆積物中を流動して河川に至る。第四紀堆積物への流入経路及び堆積物中ににおける流動経路も精度良く把握されている(経路 2-3-c : 緑色の矢印)。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 処分場からの地下水が, 盆地縁辺の丘陵寄りの第四紀堆積物の下層へ湧出し, その後第四紀堆積物中を流動して河川に至る。第四紀堆積物への流入経路及び堆積物中ににおける流動経路も精度良く把握されている(経路 2-3-a) ・ 環境ペーン III における井戸 (②, ③) 及び海洋 (経路 2-3-b) ・ 井戸 (②) 及び河川 (経路 2-3-c)
GBI の候補	<ul style="list-style-type: none"> ・ 井戸 (①, ②) 河川 (経路 2-1-a) ・ 環境パターン III における井戸 (①～③) 及び海洋 (経路 2-1-b) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 井戸 (①) 及び河川 (経路 2-2-a) ・ 環境ペーン III における井戸 (②, ③) 及び海洋 (経路 2-2-b) ・ 井戸 (②) 及び河川 (経路 2-2-c) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 河川 (経路 2-3-a) ・ 環境ペーン III における井戸 (②, ③) 及び海洋 (経路 2-3-b) ・ 井戸 (②) 及び河川 (経路 2-3-c)

4) 環境パターン III（堆積岩を基盤とする沿岸低地）での流入域の検討

海岸近傍の丘陵から沿岸低地に掛けての基盤上限付近から第四紀層までのモデル化した環境パターン III に関する検討結果を表 3-5 にまとめる。表では文献調査、概要調査及び精密調査の各調査段階において想定される現地調査の結果と主な不確実性を整理し、さらにここから導かれる地下水の流動経路と対応する核種流入域の候補を検討、整理した。

表に示されているように、環境パターン III については文献調査段階から精密調査段階に調査が進展に対応し、以下の事項に起因して水理解析の結果が変更され、核種流入域候補の設定についても影響を及ぼすことが示された。以下、表内にまとめられた不確実性について、主要なものについてまとめた。

(1) 第三紀層内の未検出断層

第三紀層内の未検出断層は、前述のようにボーリング調査やリモートセンシングに代表される地形・地質調査によって、その存在とおよその特徴が把握されることを想定した。大規模な断層は直接ボーリング孔が断层面と交差することが無くとも、ボーリング孔のデータによって校正されたリモートセンシングの結果によって、比較的精度良くその位置、走向、傾斜等が把握されるものと期待され、ここでも概要調査によってその存在が把握されている。なお、ここでは未検出断層の水理特性についても併せて把握されることを期待しているが、このことは、暗にボーリング孔が断层面と交差することによって、断层面で各種の水理試験が実施され、断層の水理特性が把握することを想定している。

また、広域流動系による核種の移動を想定し場合、流出域までの距離は概要調査で想定する調査スケールに比較しきくなることが考えられる。そのためにも文献調査段階での既存断層の評価や断層の存在に対する不確実性の取り扱いが重要となる。

(2) 海底下の水理・地質構造（未検出断層を含む）

海底下の水理・地質構造の把握については、適用可能な地形・地質調査の一部に制限があることもあり、精密調査段階においてその状況が把握される想定を行った。したがってその水理・地質構造を理解するためには地下水流動解析の実施と（淡水の湧水点や間隙水圧分布を用いた）キャリブレーションを通じた間接的な把握の重要性が相対的に高まる可能性がある。

(3) 塩淡境界の位置

塩淡境界の位置は概要調査によって沖合にあることが確認されることを想定した。塩淡境界の位置を確認するためには、ボーリング孔を用いた水質試験により塩分濃度を直接的に測定することに加え、現地踏査やリモートセンシングによる湧水位置の確認や海水の水温や塩分の調査（海洋調査、海洋計測）の結果を総合的に判断することが求められる。

(4) 第四紀層内の地下水流動経路

第四紀層の水理地質特性とは、ここでは河川による集水、井戸周囲の地下水流動経路等を含む第四紀層内の地下水流動全般を指しており、その理解のためには地形・地質調査、地下水位調査、地下水流動調査、水文調査、地下水涵養量調査の各調査結果を総合的に反映させた地下水流動解析の実施が重要な役割を果たしている。また、解析結果の妥当性を判断するために、水質調査の結果が利用されることが考えられる。さらに、井戸による用水や耕作地での灌漑等が顕著である場合には、それぞれ地下水利用実態調査や土地利用調査の結果を適切に地下水流動解析に反映される必要がある。

表 3-5 環境パターンIIIに対する地下水流动及び流入域の検討結果(1)

文献調査段階	概要調査段階	精密調査段階
<p>各段階での場の理解の概要</p> <p>想定される現地調査結果</p>	<p>第四紀層下の未検出断層の位置や特性を把握されておらず、また高透水性の砂岩と低透水性の泥岩が互層を成していることがわかつているが、各層の深度や広がりについては概略的に把握されている。</p> <p>浅部については、一般的な知見として第四紀層の下部は更新統が広がり、上部には泥、シルト、砂、礫等の堆積物から構成される完新統が堆積していると理解されている。</p> <p>沿岸低地内では、地下水は大局的に標高の高い山側から海岸部に向かって流れていることが把握されているがその詳細は不明である。なお、水理学的情報としては、第三紀層を構成する砂岩や泥岩、あるいは第四紀層で代表的な値が推定されている。</p> <p>物理探査、水文調査、気象観測及びボーリング調査により、未検出断層の存在を含む地質構造や各地層、岩体の水理特性（例えば透水係数）や隙隙水圧分布、水収支が明らかになる。</p> <p>泥岩と砂岩の水理特性並びに各層の層厚や広がりも概ね把握され、広域の水理解析の精度が向上するとの期待される。</p> <p>第四紀堆積物の更新統、完新統の層序や広がりの概略が把握される。また浸透量や流入量等の測定値によって水理解析の精度が向上する。また塩淡水境界のおおよその位置として比較的の冲合に存在することが確認されることから、以下の事項が確認されるものと想定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> - 伏在する2つの断層の存在が確認され、高透水性の断層であることが把握される。 - 塩淡水境界は、比較的の冲合に存在し、特に第三紀層内では第四紀層内の塩淡水境界よりもさらに沖合に同境界が存在する。 - 海底下にも断層が存在する。 	<p>第四紀層下部に至る地質、水理地質条件が詳細に把握される。</p> <p>地下研究施設の建設や調査の密度の増大により、地下深部に至る地質、水理地質条件が詳細に把握される。</p> <p>第四紀層内の水理地質造について理解が深まり、一定の不確実性が残っているものの、評価上重要な水理学的特性は把握されているものと推定される。</p> <p>また、概要調査段階では情報が不足していた海底下、地下架橋の水理情報についても調査の進展によって理解が深まり、以下の事項が確認される。</p> <ul style="list-style-type: none"> - 海底下の第四紀層の下位に伏在する断層がこの領域の第三紀層内における主要な地下水の流動経路となっている。 - 第四紀層の塩淡水境界では、全般的に地下水流速は極めて小さいものの、塩淡水境界の近傍には比較的速度の大きい上升流が存在する。

This is a blank page.

表 3-5 環境パターン III に対する地下水流动及び流入域の検討結果（2）

文献調査段階	概要調査段階	精密調査段階		
		第三紀層及び第四紀層中のどの部分を地下水が流动するかについては、依然として不確実性が残っている（経路 3-3-a : 茶色矢印）。	第三紀層及び第四紀層中のどの部分を地下水が流动するかについては、大きな不確実性が残っている（経路 3-2-a : 茶色矢印、経路 3-2-c : 緑色矢印）。	第三紀層及び第四紀層中のどの部分を地下水が流动するかについては、依然として不確実性が残っている（経路 3-3-b : 赤色矢印）。
主な不確実性	<ul style="list-style-type: none"> 第四紀層の地質の堆積構造(特に側方向への層相変化) 第三紀層及び第四紀層中のどの部分を地下水が流动するかについては、大きな不確実性が残っている（経路 3-1-a : 青色矢印、経路 3-1-b : 赤色矢印、経路 3-1-c : 緑色矢印）。 塩淡境界の位置。結果として塩淡境界の位置を複数ケース想定する（内陸に塩淡境界が存在するケースと海側に塩淡境界が存在するケース）。 	<ul style="list-style-type: none"> 海底下における第三紀層や第四紀層の地質構造の詳細 第三紀層及び第四紀層中のどの部分を地下水が流动するかについては、大きな不確実性が残っている（経路 3-2-a : 茶色矢印、経路 3-2-c : 緑色矢印）。 	<ul style="list-style-type: none"> 处分場からの地下水が第三紀層内の山地側の断層を上昇し、第四紀層内では大局部的な地形に従い、山側から海側に向かって流动する。塩淡境界が沖合に位置することを想定し、地下水は最終的に海岸線近くの海底下から湧出するものとする。 处分場からの地下水が沿岸低地下部を上昇し、第四紀層内では大局部的な地形に従い、山側から海側に向かって流动する。ここでは塩淡境界が内陸側に位置することを想定し、地下水は最終的に沖合の海底下から湧出する。 处分場からの地下水が第三紀層内の断層を上昇し、第四紀層内では沖合に存在が確認された塩淡境界に沿って上昇する。地下水は最終的に沖合の海底下から湧出する（経路 3-2-b : 赤色矢印）。 塩淡境界の位置の関係から、第三紀層内を流动した地下水の一部は第四紀層の塩水領域に放出される可能性がある。第四紀層は塩水環境で地下水の流速は小さいものと想定される。 	<ul style="list-style-type: none"> 处分場からの地下水が第三紀層内の山地側の断層を上昇し、第四紀層内では大局部的な地形に従い、山側から海側に向かって流动する。塩淡境界付近では完新統内のシルトや泥質層により地下水は被圧している。塩淡境界が冲合に位置することが確認されたことから、地下水は最終的に沖合の海底下から湧出する。 处分場からの地下水が第三紀層内の海岸線より断層を上昇し、第四紀層内では沖合に存在が確認された塩淡境界に沿って上昇する。地下水は最終的に沖合の海底下から湧出する（経路 3-3-b : 赤色矢印）。 海底下の第三紀層内では、地下水は主として海岸線付近に伏在する断層を流动し第四紀層に至る。第四紀層内では、塩淡境界淡水側の上昇流によつて冲合の海底下から湧水する（経路 3-3-c : 緑色矢印）。
GBI の候補	想定した地下水流动経路	<ul style="list-style-type: none"> 井戸 (①～③) 及び海洋 (経路 3-1-a) 井戸 (①～③) 及び海洋 (経路 3-1-b) 海洋 (経路 3-1-c) 	<ul style="list-style-type: none"> 井戸 (②, ③) 及び海洋 (経路 3-2-a) 海洋 (経路 3-2-b) 海洋 (経路 3-2-c) 	<ul style="list-style-type: none"> 井戸 (②, ③) 及び海洋 (経路 3-3-a) 海洋 (経路 3-3-b) 海洋 (経路 3-3-c)

5) 仮想的な環境パターンに基づく流入域の検討のまとめ

我が国で一般に存在する水理地質特性を想定し、水理、特に地下水の流動系の観点から流入域(GBI)の設定に影響を与える要因として、未検出断層や亀裂の連続性に代表される地下深部の水理特性、塩淡境界の位置、花崗岩風化部や第四紀層内の水理地質特性の重要性を例示した。

環境パターンI～IIIいずれの設定においても、未検出断層に位置及びその性状の特定が流入域(GBI)の特定の不確実性に強く影響を与えるものと考えられる。環境パターンIの花崗岩を母岩とする場合には、断層以外の地下水流动経路となる亀裂の連続性が評価を不確実にしているものと推定された。これは、調査段階の進展に伴い精度は向上するものと仮定したが、調査範囲が現制度上では定まっていないことから、調査段階による精度向上そのものに対する不確実性も残るものと考えられる。

環境パターンI、IIIでは、塩淡境界の存在と位置が流入域(GBI)の特定の不確実性に影響を与える。地下深部の塩淡境界の位置は、概要調査段階で確定されるものと仮定したが、海岸や海域での調査範囲が現制度上では定まっていないことから、調査段階の進展による調査精度の進展についても留意する必要が生じる。

環境パターンII及びIIIの堆積岩のケースでは、第三紀層の伏在断層の検出が課題となった。また、層序によっては第三紀層も帶水層を形成する可能性があることから各層の透水性の確認が重要な課題となる。これらは、遮水層の存在等、詳細な情報が広範囲に必要となることから、精密調査段階においても、不確実性が残る可能性がある。

環境パターンI～III、特に環境パターンIIの盆地型の地形の場合には、処分場が広域流动系に位置するか、または局所的流动系に位置するか、流入域の特定に不確実性が生じる。これは、処分場の深度によっても異なることから処分場の深度が検討途中と考えられる概要調査段階では、いずれの可能性についても考慮する必要がある。核種移行経路が広域流动系に依存する場合には、対象とする流入域の特定には後背地形の影響を勘案する必要がある。

一方、井戸利用などの帶水層での利水条件を考慮することを前提とする場合、地形や第四紀層の層序のあり方によっては、表層水理の検討により井戸への核種の流入を考慮しなくとも良い可能性も示された（環境パターンIの井戸③のケース）。しかしながら、この様な表層水理の検討に基づく核種流入域の候補の絞り込みを行う際には、浅部に限らず水理解析の結果には常に一定の不確実性が伴うこと、季節の変動要因等の影響が、特に浅部の水理には顕著となる可能性があること、また、将来的な変動の影響による不確実性も指摘されること等を考慮する必要があり、慎重な議論が必要である。

3.3 実際の環境条件に基づく表層水理に関する検討

流入域の選定に関する検討フロー(図 3-1, B)にも示されているように、流入域での物質移行挙動の把握、特に核種流入域で期待される希釈量の推定には浅部地下水流动解析あるいは水收支解析を行うことがきわめて有益である。しかしながら、浅部の地質・地質構造は一般に複雑であり、解析に伴う不確実性も大きい。また解析に必要となるデータを、文献調査や概要調査によって全て収集することは困難であると推察される。

そこでここでは、既往の地下水流动解析により水理構造や水收支が詳細に把握されている地点(富山県庄川扇状地)を対象に、現地調査の進展により核種流入域の選定、特に核種流入域に期待される希釈効果がどのように見積もられ、また変化していく可能性があるのかを検討する。また、深地層研究所計画が進められている幌延地域を対象に、同計画の一環として整理されているサイト情報や、当該地域の公開情報にもとづいて核種流入域の選定を試行し、核種流入域の選定に必要となる各種の解析との関連を検討し、課題を抽出する。

1) 既存地下水流动解析が存在する場を対象とした表層水理に関する試行

(1) 検討対象と場の概要

わが国では地下水利用の地下水位への影響評価等の観点から、浅部の地下水流动系を対象とする地下水流动解析や水收支解析が既に多数実施されている。ここでは、この様な検討例から富山県砺波平野の庄川扇状地を対象に、検討を進める。この庄川扇状地の浅層地下水については、国土交通省北陸地方整備局富山河川国道事務所が、学識者で構成される庄川扇状地水環境検討委員会を設立し、平成13年度から平成14年度にかけて、庄川扇状地全体の地下水モニタリングを行うとともに、浅層の地下水流动解析等を実施することにより地下水流动機構の解明と保全・適正利用について報告している(庄川扇状地水環境検討委員会, 2003)。その地下水流动系や詳細に理解されている庄川扇状地の地質を図3-4に示す。また、既存井戸による観測等により推定されている地下水位の分布(2001年秋の分布)を図3-5に示す。これらの情報にもとづいて実施された水收支解析の結果を図3-6に示す。図3-6の結果から、庄川扇状地水環境検討委員会は庄川扇状地の地下水の全流量を次式にもとづき $36 \text{ m}^3/\text{s}$ ($1.1 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{y}$) と見積もっている。

$$\begin{aligned}\text{全流量} &= \text{地下水涵養量 (30.8)} + \text{庄川からの覆没量 (小矢部川方向: 5.4)} \\ &= 36.2 \text{ m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

なお、同式中の地下水涵養量(30.8)は、水田灌漑量(27.8) + 降水量(30.7) - 蒸発散量(8.5) - 表面・中間流出量(18.5)により算出したものである。

This is a blank page.

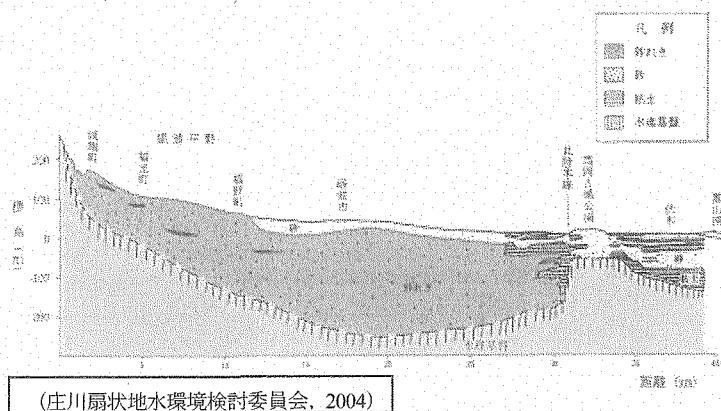
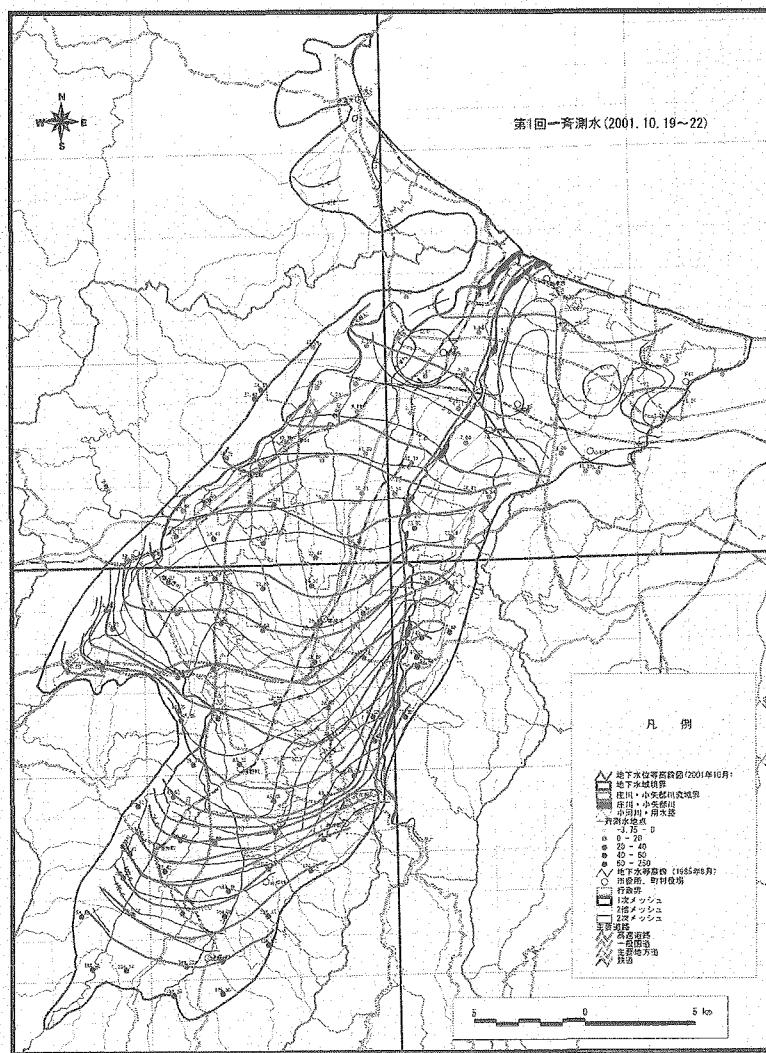


図 3-4 庄川扇状地域の概略地質断面図

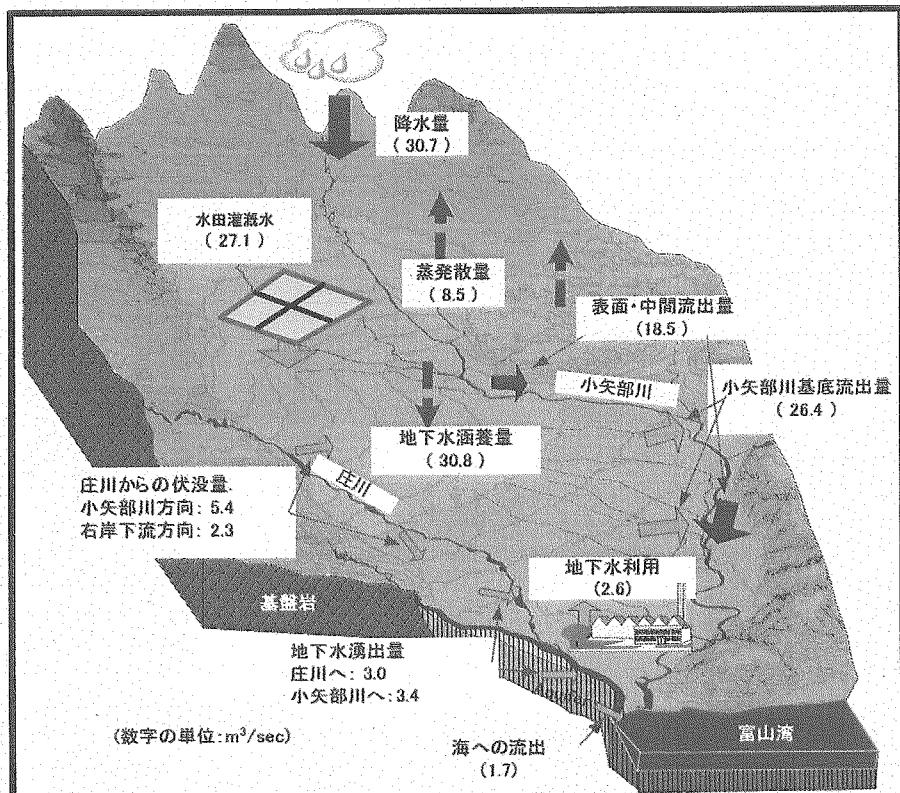


調査は2001～2002年において実施された。図は、2001年秋の測定結果に基づくものである。

(庄川扇状地水環境検討委員会, 2004)

図 3-5 庄川扇状地域の地下水水面高の分布

This is a blank page.



(庄川扇状地水環境検討委員会, 2004)

図 3-6 地下水流動解析により導出した水文循環の概念図及び
流域全体水収支 (年平均)

(2) 文献調査段階に対応した表層での流量把握の試行

次に、この庄川扇状地を対象に、文献調査段階と概要調査段階で取得される想定される情報を仮定し、そこからどのような結論が導きうるかを検討する。またその結果を、上述の解析から導出された水収支量と比較してその妥当性を検討する。

まず庄川扇状地の帶水層全体としての鉛直方向の分布はおおよそ図 3-4 に示した通りであり、ここから、文献調査の結果として帶水層となりうる地層の層厚を平均的に 100 から 200m と見積もることとが可能であると想定する。この様な帶水層となりうる地層の分布等については、既存情報として多くの地域で情報が存在することから、既存情報として、当該サイトの代表的な地層の層厚（今回は 100m～200m）が存在するものと仮定した。

次に、これら帶水層となりうる地層は沖積砂層、沖積礫層及び洪積礫層から構成されているがその透水係数を砂岩及び礫岩の代表的な透水係数の範囲として $1 \times 10^{-1} \text{ m/s}$ から $1 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ の範囲で代表させることとする。なお、既存情報にもとづく評価を想定した場合、当該地層の透水係数が不明であることは十分に考えられることから、この段階での評価としてこの様な範囲を設定することは、むしろ現実的な対応であると考えられる。

次に、地下水の流動方向と動水勾配について検討する。庄川扇状地においては、地下水の利用が盛んであることもあり図 3-5 に示したように既存の井戸を用いて地下水表面の標高分布が高い精度で確認されている。すなわち庄川扇状地では地下水は庄川から北西の小矢部川及び北部の湾（富山湾）に向かって流下している（大部分は小矢部川に再湧出する）ことが地下水位分布からも確認される。この様な地下水流動状況、特に地下水の流線については地下水流動解析を行うことにより詳細に把握さ

This is a blank page.

れることとなるが図 3-5に示す地下水水面の標高分布からも地下水流動に関する概要を把握することが可能である。また図 3-5のような地下水水面の標高分布については既存情報として、精度の問題はあるものの、わが国の多くの地域で利用可能な状態で整理されている可能性がある。そこで、ここでは図 3-5を判読した結果として、庄川扇状地の帶水層は大局的に南から北へ流動しており、動水勾配については南北方向の扇状地の広がりと同程度である 10km、この両端における地下水のヘッド差を約 40m と見積もり、 $40(m) / 10 \times 10^3(m) = 0.004$ (0.4%) の動水勾配が存在するものと仮定する。また地下水の流動方向が南北（南から北）であることに対応し、この地域の地質構造を判読した結果として、流線と直角方向の帶水層の広がり（帶水層の断面の幅）を 5km と見積もることとする。

以上の想定にもとづいて、庄川扇状地の帶水層の流量を算出すると、帶水層を内蔵する地層の透水係数の不確実性および地質構造（地層の層厚）の不確実性に対応して $0.2\text{m}^3/\text{s}$ から $400\text{ m}^3/\text{s}$ の範囲に分布するという結果を得る（年間の流量に換算すると $6.3 \times 10^6\text{m}^3/\text{y}$ から $1.3 \times 10^{10}\text{m}^3/\text{y}$ となる）。これを、水収支解析により算出された帶水層全体の流量 ($1.1 \times 10^9\text{m}^3/\text{y}$) と比較すると、推定された値の幅はこの範囲を十分に包含するものとなっている。

以上の結果から今回適用した推算法は、少なくとも庄川扇状地について第 1 次の推定として有効であるものと理解される。ここまで検討内容を表 3-6 にまとめる。なお、具体的な核種流入域の候補としては、この扇状地の下部から深部地下水の湧水があるものと仮定して、前述の浅部における地下水位の分布（すなわち流動方向）から、扇状地内の井戸、河川（小矢部川）及び海洋（富山湾）と判断される。

表 3-6 文献調査段階を想定した帶水層の流量推算のまとめ

項目	設定内容及び評価結果	備考
層厚	100m～200m	
層の横方向の広がり	5km	
地下水の流動方向	南から北	
動水勾配	0.4%	10km で 40m の水頭差
透水係数	$1 \times 10^{-1}\text{m/s} \sim 1 \times 10^{-4}\text{m/s}$	
帶水層の流量	$0.2\text{m}^3/\text{s} \sim 400\text{ m}^3/\text{s}$ ($6.3 \times 10^6\text{m}^3/\text{y} \sim 1.3 \times 10^{10}\text{m}^3/\text{y}$)	

(3) 概要調査段階に対応した流量把握の試行

前項と同様に、庄川扇状地を対象に、概要調査で明らかになると想定される調査結果を前記検討の精度向上にどのように活用できるかを検討する。ここでは、概要調査調査（特に物理探査）の結果として浅部の地下構造、特に帶水層を内蔵する地層の層厚が高い精度で把握されるものと期待する。また、少数ではあるがボーリング孔が掘削されることにより、帶水層を内蔵する地層の透水係数が実測されると想定する。すなわち既存情報にもとづく評価において不確実性の原因であった層厚と透水係数について、推定の精度が大幅に向ふことが期待される。ここでは、地層の層厚として 150m、透水係数として $1 \times 10^{-2} \text{ m/s}$ から $1 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ の範囲が特定されたものとする。この様な想定に基づけば、概要調査段階において概算される表層地下水（帶水層）の流量は $3 \text{ m}^3/\text{s}$ から $30 \text{ m}^3/\text{s}$ の範囲に分布するとの結果を得る（年間の流量に換算すると $9.5 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{y}$ から $9.5 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{y}$ である）。

これを、再び地下水水流動解析により算出された庄川扇状地の地下水の全流量 $36 \text{ m}^3/\text{s}$ ($1.1 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{y}$) と比較すると、概要調査段階として推定した流量はこの範囲を若干外れるものの、文献調査段階を想定して推算した値 ($0.2 \text{ m}^3/\text{s}$ から $400 \text{ m}^3/\text{s}$ または $6.3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{y}$ から $1.3 \times 10^{10} \text{ m}^3/\text{y}$) と比較して不確実性の幅が大幅に減少していることを考慮すると、この段階の評価結果として庄川扇状地の浅層地下水の流量を十分な精度で推定しているものと理解される。以上の検討結果を表 3-7 にまとめる。なお、具体的な核種流入域に関する概要調査段階における推定結果は、この扇状地の下部から深部地下水の湧水があるものと仮定して、前述の浅部における地下水の流線から、扇状地内の井戸、河川（小矢部川）及び海洋（富山湾）と判断され、文献調査段階と同一の結果となる。

表 3-7 概要調査段階を想定した帶水層の流量推算のまとめ

項目	設定内容及び評価結果	備考
層厚	150m	
層の横方向の広がり	5km	
地下水の流動方向	南から北	
動水勾配	0.4%	10km で 40m の水頭差
透水係数	$1 \times 10^{-2} \text{ m/s} \sim 1 \times 10^{-3} \text{ m/s}$	
帶水層の流量	$3 \text{ m}^3/\text{s} \sim 30 \text{ m}^3/\text{s}$ ($9.5 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{y}$ から $9.5 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{y}$)	

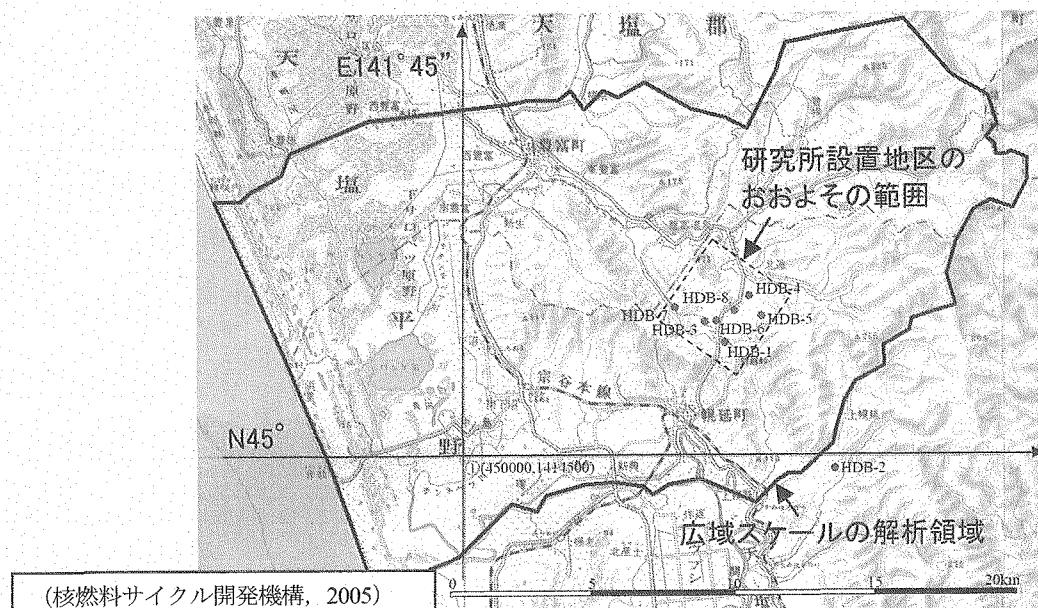
2) 幌延深地層科学研究所センター周辺でのサイトデータにもとづく表層水理把握の試行

前項での具体的なサイト情報を反映した流量把握の試行に引き続き、ここではより包括的に地下水流动場の理解が進められている幌延地域を対象に流入域の想定を行い表層水理把握に資する情報の整理を行う。

(1) 大局的な流入域の整理

幌延深地層研究所計画として研究所の建設が進められている幌延地域では、これまでに複数の試錐をはじめとする現地調査と地下水流动解析等を通じた場の解析が進められており、多くの知見が集積されつつある。図 3-7 に研究所設置地区及びその周辺の地形図を、図 3-8 に現段階における当該地域の地下水流动の概念図を示す。また図 3-9 に、地下水流动解析にもとづいて作成された計画地の標高-400m, -200m, 0m を基点とする流跡線を、図 3-10 には研究施設近傍における全水頭分布を示す。これらの情報から、深地層研究所計画で想定している標高-400m付近を通過した地下水及びその溶存物質は、層序にしたがって一端下降し、その後天塩川の近傍からサロベツ湿原を含む領域へ上昇するものと予想される。すなわち、物質移行の起点を研究所設置場所の地下約 500m と想定することにより、大局的には天塩川の近傍からサロベツ湿原を生物圏への流入域として検討することが合理的であると判断される。しかしながら、より浅い部分では、清水川またはベンケエベコロベツ川に流入域を持つローカルな流动系に支配される可能性も示唆されている。したがって、処分場の深度や位置によっては処分場を通過する地下水の流入域は一通りではなく、複数の核種流入域の候補を選択し、これを評価することが重要となる。特に、文献調査段階では、処分場の位置や深度が決定されていないため、可能性のある核種流入域に関してリストアップするとともに、各流入域について、検討を進めることが必要と考えられる。

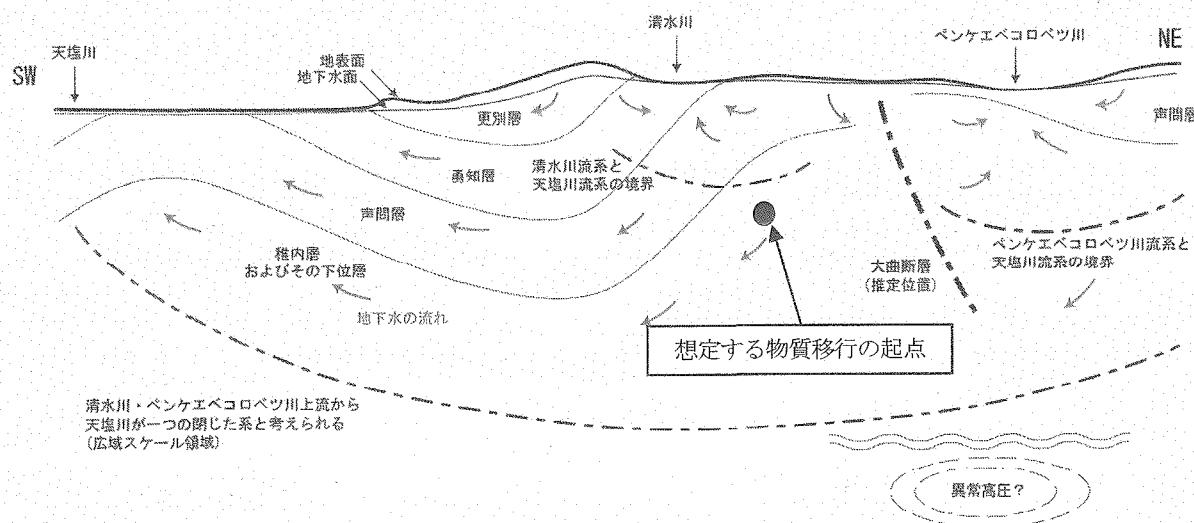
ここでは、物質移行の起点が広域流动系に属するものと仮定し、天塩川の近傍からサロベツ湿原を核種流入域候補と仮定し、検討を進めることとした。



(国土地理院発行の 20 万分の 1 地勢図（天塩、枝幸）に加筆)

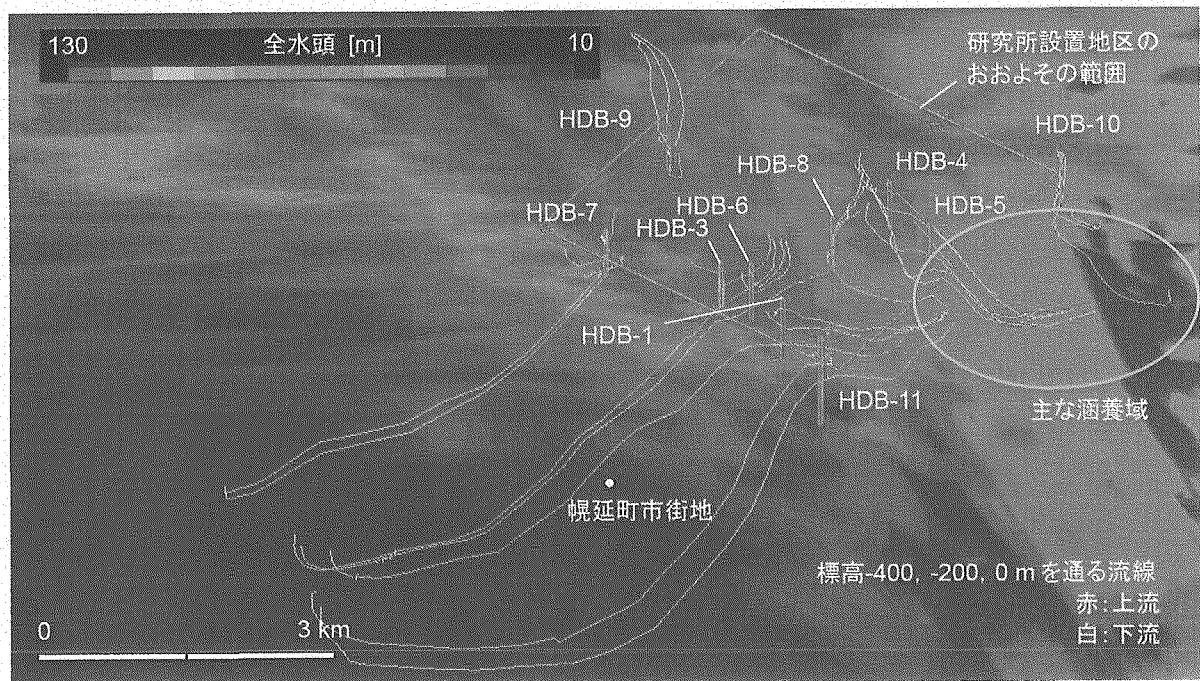
図 3-7 研究所設置地区とボーリング調査位置図および広域スケールの解析領域

This is a blank page.



(核燃料サイクル開発機構, 2005: 物質移行起点部分に関する追加を行った。異常高圧部分は、HDB-2孔において確認されて、既存情報の調査が実施されている。)

図 3-8 研究所設置地区周辺の地下水流动の概念図 (北東一南西方向 10km 程度)



(核燃料サイクル開発機構, 2005)

各ボーリング孔からの物質移行の起点は、上端から標高 0, -200, -400m である。

図 3-9 研究所設置地区内の各調査孔からの流線

This is a blank page.

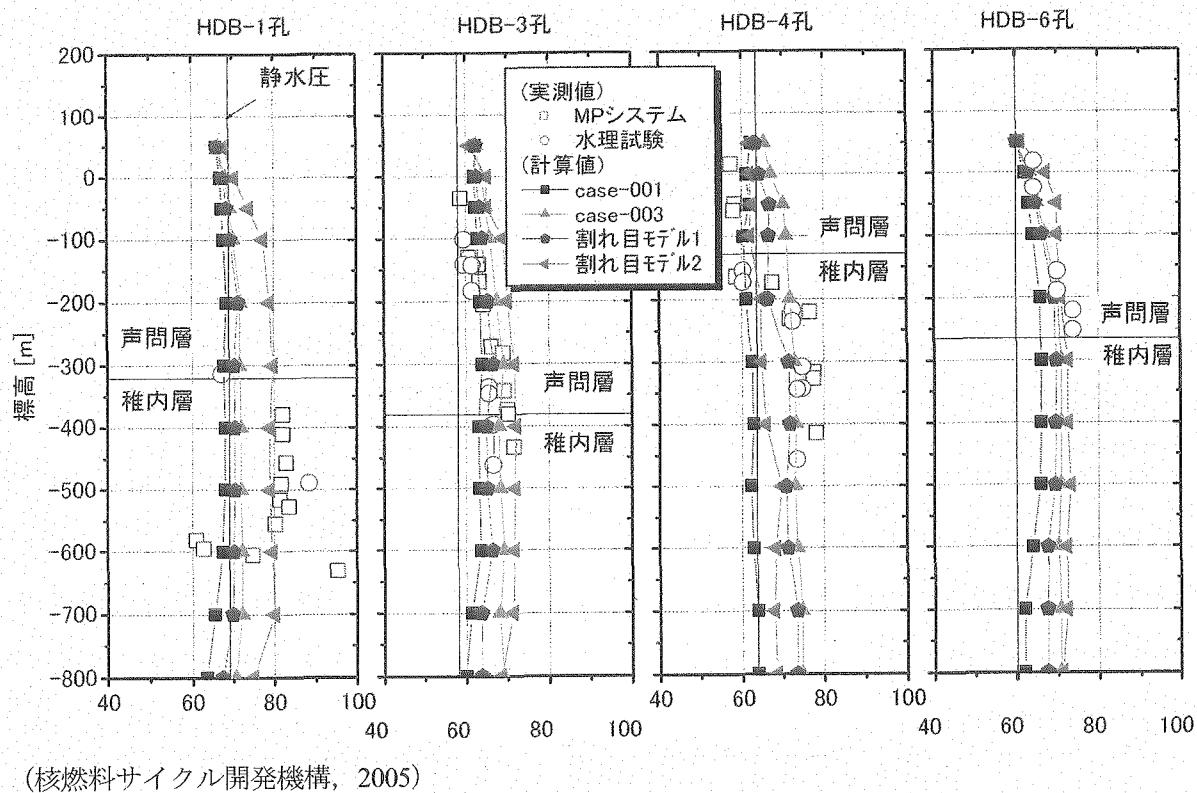


図 3-10 研究所用地 (HDB-1, 3, 4, 6 孔) での全水頭分布

(2) 浅部地質環境条件を考慮した表層水理把握のための情報の整理

大局的な地下水の湧水点と判断された天塩川流域からサロベツ湿原浅部の地下水については、環境保全の観点から幌延地圏環境研究所が検討を進めており、既存情報および追加調査によって、地下水調査と地下地質構造調査が行われている（幌延地圏環境研究所, 2006）。それらの結果を整理し、後述の水収支解析で用いられたデータと比較を行った。

研究所設置区域では、ボーリング調査が実施され透水試験などにより水理に関するデータが取得されているものの、天塩川流域からサロベツ湿原に関するデータは、いわゆる文献調査データに依存することとなる。このことは、地層区分における調査段階の進展においても同様に、調査区域と表層水理における評価区域が異なる可能性を示唆するものである。そのため、文献調査段階における情報の収集や収集した情報の評価方法が生物圏評価においては重要となるものと考えられる。

a) 浅部地層の地質構造

評価対象とする下サロベツ地区の層序については、周辺地質調査（露頭調査）や北海道開発局や幌延町が実施した既存地盤ボーリングデータ及び井戸資料の収集、電気探査（垂直探査）を実施し、データを解析することにより、その特性を明らかにしている。調査位置及び既存の井戸、ボーリング孔の位置を図 3-11、図 3-12 に示す。この地域では、既存文献の収集及び地表からの調査により、層序の概略的な把握が可能であった。ただし、情報の少ない海岸付近については層序の判断に不確実性が大きく、また、全域的に水理特性の把握に不可欠となる各層の透水性について情報が乏しく、揚水による井戸水位の変化などの傍証や、類似する岩種のデータを適用することが必要となる。幌延地

This is a blank page.

圏環境研究所の検討では、帶水層を形成する層に対する調査ボーリングが望ましいことが述べられている。

b) 利水

利水に関しては、供給源としての水道および井戸の区分、使用用途としての、生活用水、農業用水（酪農含む）、工業用水の区分がある。図 3-1-3 の地下水位センター図に井戸の位置が表示されている。井戸データに関しては、「全国地下水資料台帳」があり、この資料には水位、揚水量、使用目的、井戸孔深度等の情報も記載されているが、一部のデータは古いものが含まれている。今後、個別の井戸の場所、揚水量、使用目的等に関するデータがあることから地下水利用の実態をまとめることは可能である。ただし、井戸を利用した地下水位の設定のためには、一斉観測が必要であることから、地下水位面の作成にこれらのデータを使用する場合には、現状では誤差を含むデータセットとなる。

c) 地下水位

図 3-1-3 に幌延地圏環境研究所が取りまとめた地下水位センター・マップ（井戸の平衡水位のセンター・マップ）を示す。なお、季節変動としての灌漑期の地下水位上昇に関しては局的に特性が異なることが考えられるため、同一の井戸で季節的な変動を調査する必要があるが、データが不足している現段階では、季節変動のある一定値に固定することも考える。

d) 水温

図 3-1-4 に幌延地圏環境研究所が取りまとめた水温のセンター・マップ（自噴地下水の水温のセンター・マップ）を示す。同図に傾向が示されているように相対的に北側の井戸で水温が低く、南側で高い傾向を示している。なお、南側の高水温を示す地域は勇知層及び声問層が浅く分布しており、北側と比較して深部からのヒートフローが大きいと考えられる。

e) 水質

図 3-1-5 に幌延地圏環境研究所が取りまとめた比抵抗分布図を示す。同図に示されているように比抵抗は全体として丘陵地帯から西側の湿原に向かって小さくなる傾向があり、丘陵地帯で涵養された地下水が西側へと向かう地下水流動を反映していると考えられる。図 3-1-4 の水温分布との関連から、南下沼地区の高温高濃度地下水の分布地域では、深部からの地下水の上昇流が存在する可能性が示唆される。

図 3-1-6 には幌延地圏環境研究所が取りまとめた主要イオン濃度が示されている。各井戸の Na, Mg, Cl および重炭酸イオンの濃度分布から考えて、湿原部分から当該地区西寄りおよび南寄りに分布する海水起源もしくは汽水起源の地下水と、東側の丘陵からの降水系地下水に起源を有する 2 種の地下水の存在が考えられる。

This is a blank page.

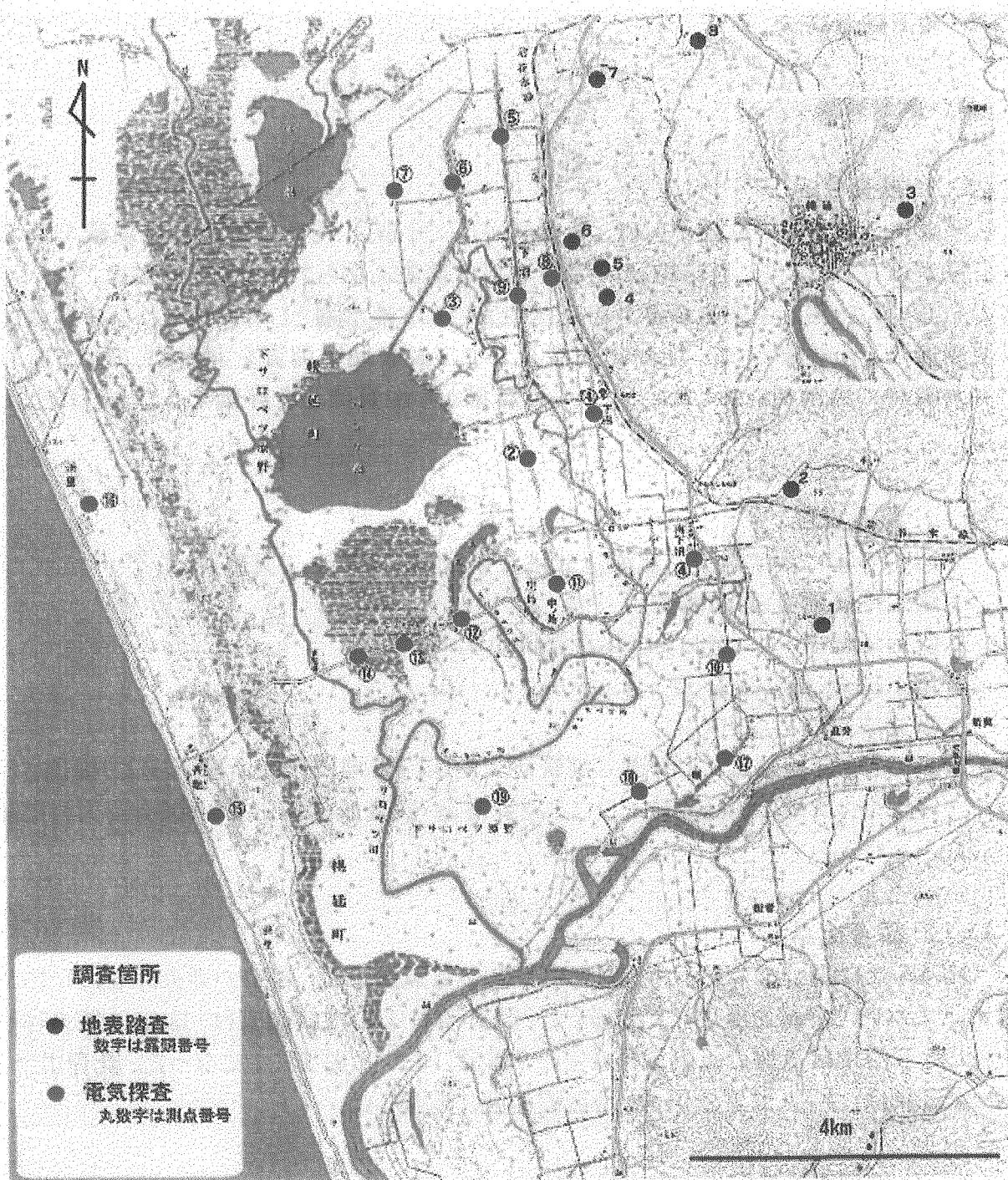


図 4.5-1 地下構造調査地点

図 3-1-1 地下構造調査地点 (幌延地圏環境研究所, 2006)

This is a blank page.

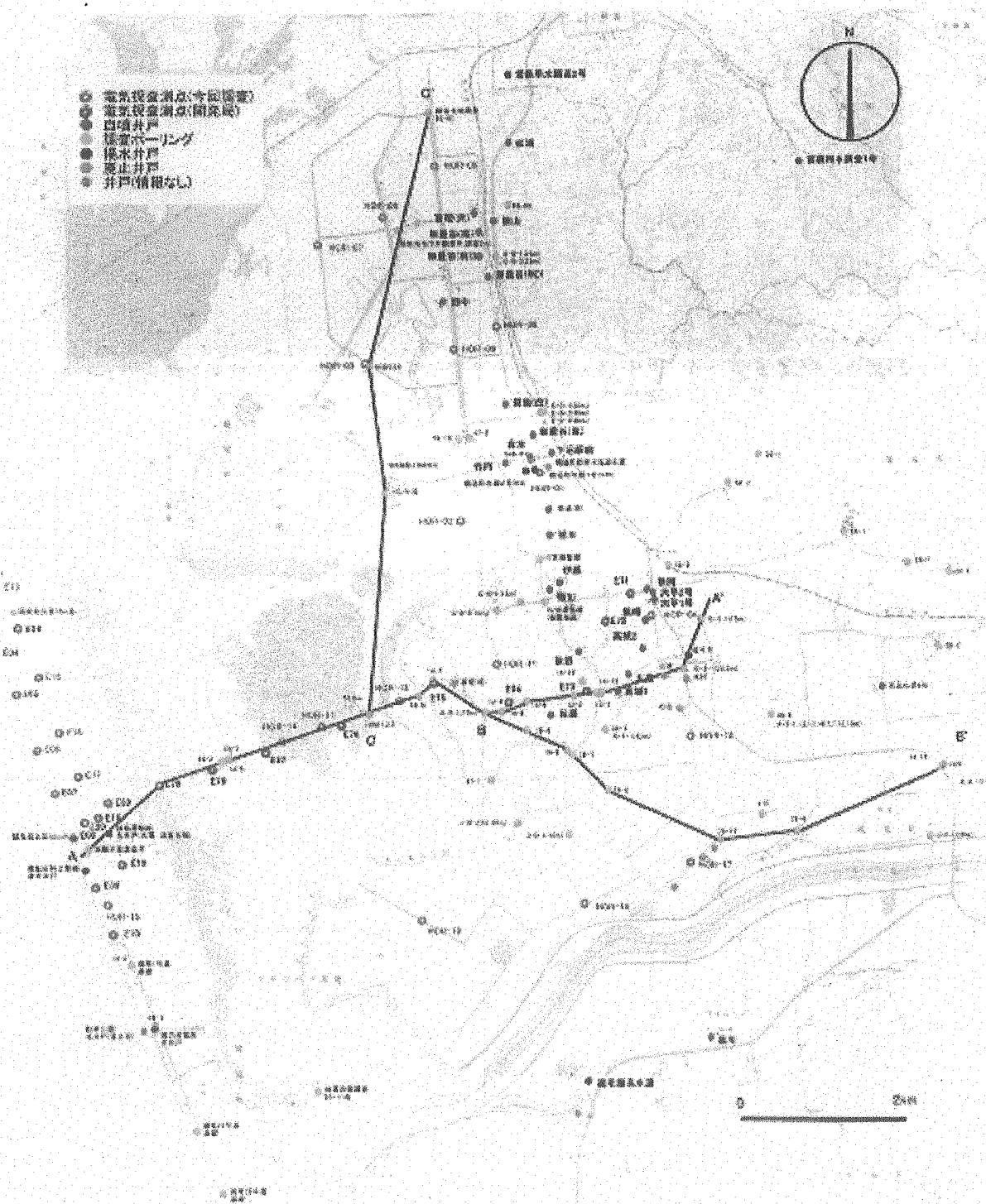


図 3-1-2 既存の井戸、ボーリング地点 (幌延地圏環境研究所, 2006)

This is a blank page.

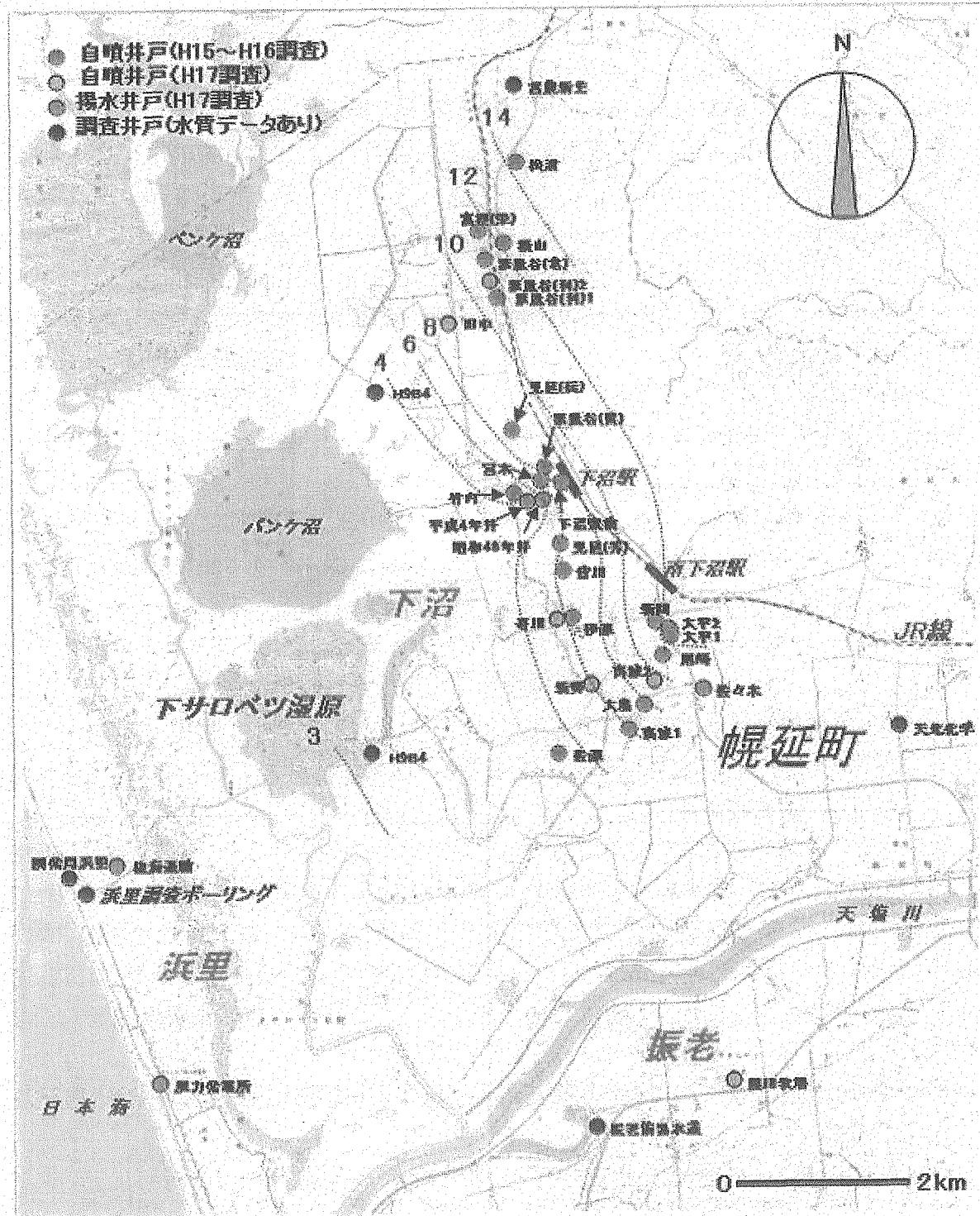


図 4.2-4 各井戸における平衡水位のコンターマップ(数字は標高+meter)

(幌延地圏環境研究所, 2006)

図 3-1-3 各位戸における平衡水位のコンターマップ (数字は標高+meter)

This is a blank page.

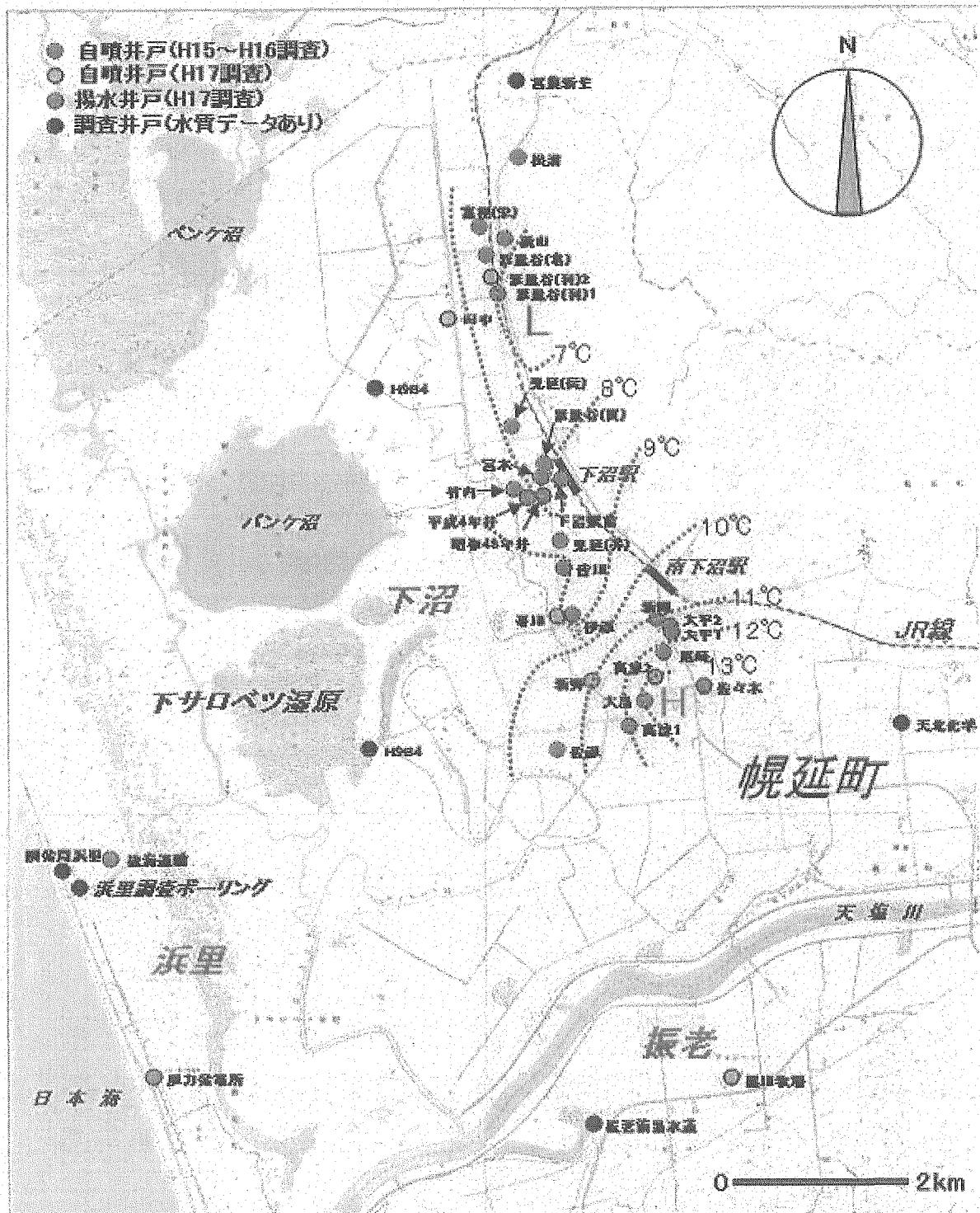


図 4.2-2 自噴地下水の水温のコンターマップ
(幌延地圈環境研究所, 2006)

図 3-14 自噴地下水水温のコンターマップ

This is a blank page.

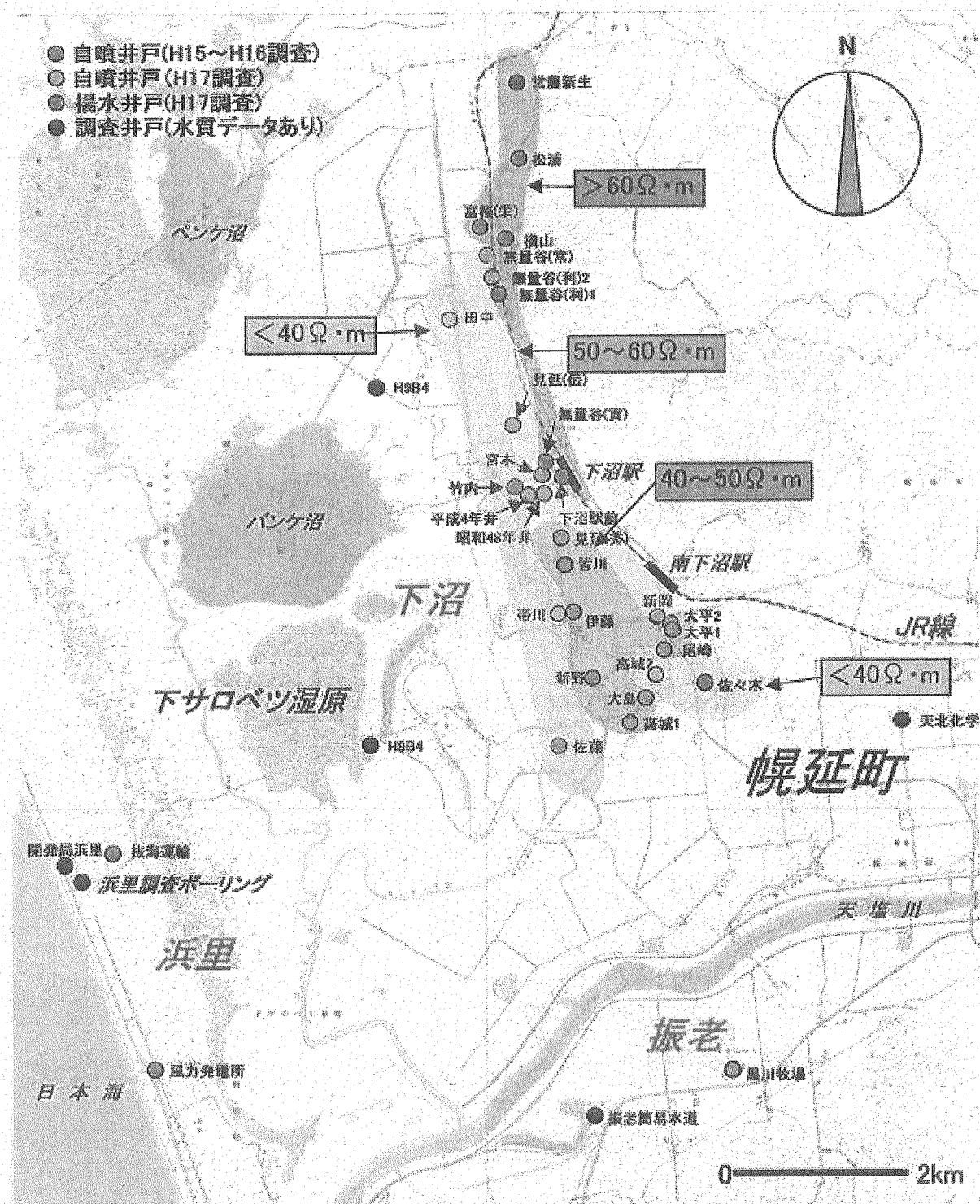


図 4.2-3 自噴地下水の比抵抗分布図(比抵抗:25℃換算値)

(幌延地圏環境研究所, 2006)

図 3-1-5 自噴地下水の比抵抗分布図(比抵抗:25℃換算値)

This is a blank page.

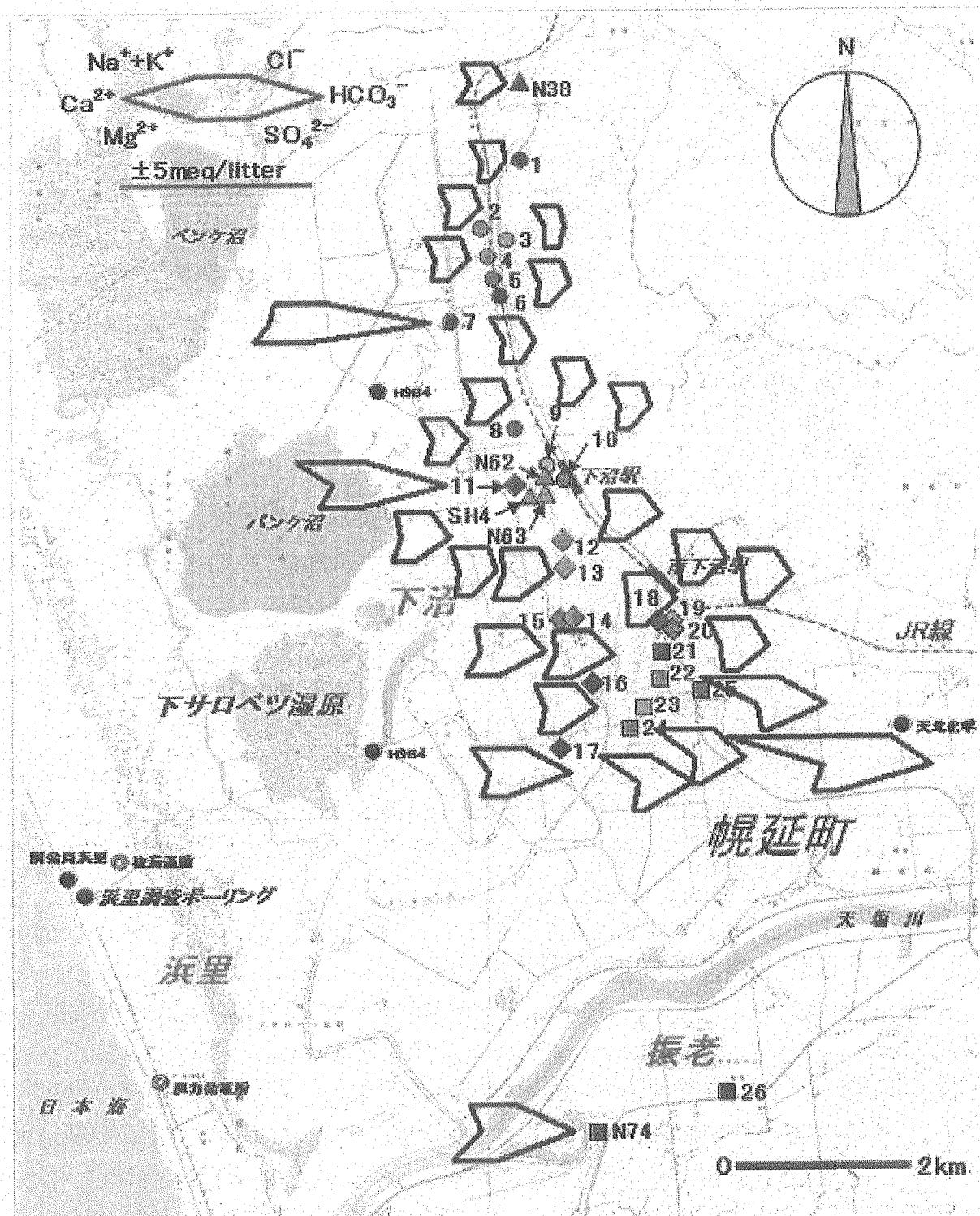


図 4.2-8 井戸地下水のシュテイフ・パターン

(幌延地圈環境研究所, 2006)

図 3-1-6 井戸地下水のシュテイフ・パターン

This is a blank page.

(3) 幌延地区における流入域の設定

幌延深地層研究所計画の研究所建設地、深度約 500m を基点とする物質移行に関する情報をまとめると、大局的な地下水流动解析の結果等から天塩川からサロベツ湿原にかけての領域が流入域の第 1 の候補となると判断される。これは、サロベツ湿原の水温分布や比抵抗分布のデータとも整合的である。また、塩淡境界の位置によっては直接海洋に放出する可能性も指摘される。

本研究では、サロベツ湿原近傍を想定する基点からの物質移行における流入域であると想定し検討を進めるものとした。天塩川への流入や海洋への流入に関しても可能性は否定できないことから、それぞれ(4)以降の検討が別途必要となり、安全評価に用いられる GBI は、これらを比較し選択、または、組み合わせられることとなる。

(4) 流入域での表層水理に関する検討

流入域がサロベツ湿原近傍であると仮定すると、生物圏における線量の算定には、丘陵地帯からサロベツ湿原へ流动している浅層の流动環境を把握し、帶水層による移流及び希釈の効果を考慮することが必要となる。ただし移流や分散における希釈効果を定性的に判断することは困難であり、設定された流入域の既存データに基づき定量的な検討を実施することとなる。具体的には、生物圏評価で用いる希釈水量に反映させるための浅層での流量の把握（水收支）と、浅層での流量の不確実性の範囲を絞り込むための 3 次元の土壤や地質構造を反映させた解析・評価が必要となる。

a) 水收支解析に必要なデータの整理

浅部の地下水流动に起因する希釈効果への影響を把握するためには、地下水流动解析等により着目する領域の水收支を明らかにすることが重要である。ここでは上記の幌延地圏環境研究所の報告書に加えて、その他の既存の情報収集の可能性も考慮しつつ、幌延地域（特に丘陵地帯からサロベツ湿原を含む領域）について水收支を解明する立場から情報の過不足を検討し、概要調査や精密調査において流入域での表層水理を把握する立場から収集すべき情報の項目を予備的に整理することとする。

浅層水理解析モデルにおいては地下水水位の誤差や、浅層の透水特性の不均質性が結果に大きな影響を与える。そのため、浅層水理を検討する上で表土や浅層部の被覆層の分布・厚さ・構造を 3 次元的に知る必要がある。また、それらの各領域における透水特性や比貯留率やその空間分布を知ることが重要となる。地下水位については、既存井戸を用い実測が可能であると考えられる。表層水理評価のための概念モデル作成の一般論として、文献調査段階における土木工事関連地質調査資料等の特定地点のデータの集積に加えて、表土や被覆層の 3 次元的分布について精度を向上するための物理探査やボーリング調査のデータにより帶水層の層序をモデル化することが重要である。

吉谷ほか (2001) の茨城県谷田川流域における水循環の検討例では、水收支解析モデルに関して以下の手順および範囲で構築及び解析を行なっている。

- ① 標高分布図による地形の把握
- ② 標高分布図及び河川流域図による流域範囲の特定
- ③ 地質情報による深度 100m 程度までの地質層序の整理
- ④ 複数の主要帶水層の特定及びそれらの用途の概略的な整理
- ⑤ 人口及び土地利用形態の整理
- ⑥ 井戸利用状況・地下水利用状況の整理
- ⑦ 地下水位・水質（水質は利用用途の特定に有効）
- ⑧ 地下水位等高線作成、水位の季節変動、経年変化の把握
- ⑨ 地下水水質分布作成、水質の季節変動、経年変化の把握

This is a blank page.

この解析を実施するためには現地調査に基づく情報も必要であったことから、概要調査段階の調査内容までに相当すると考えられる（現地調査の対象となった調査項目は⑦に相当し、地下水位の一斉観測、地下水水質の現地観測、地下水水質の分析であった）。参考までに解析結果のまとめとしての水収支（吉谷ほか、2001）を図 3-1-7 に示す。図には記載されていないが、解析結果によれば、不圧

（第一）帶水層の地下水位の測定結果は、実測結果と同様に、ほぼ地下水に沿って流れていることが分かった。計算結果と実測結果は同様の傾向を示すが、ある時点の「点」データである実測値とメッシュの平均値である計算結果の相違からそれらは完全には一致しないとしている（吉谷ほか、2001）。

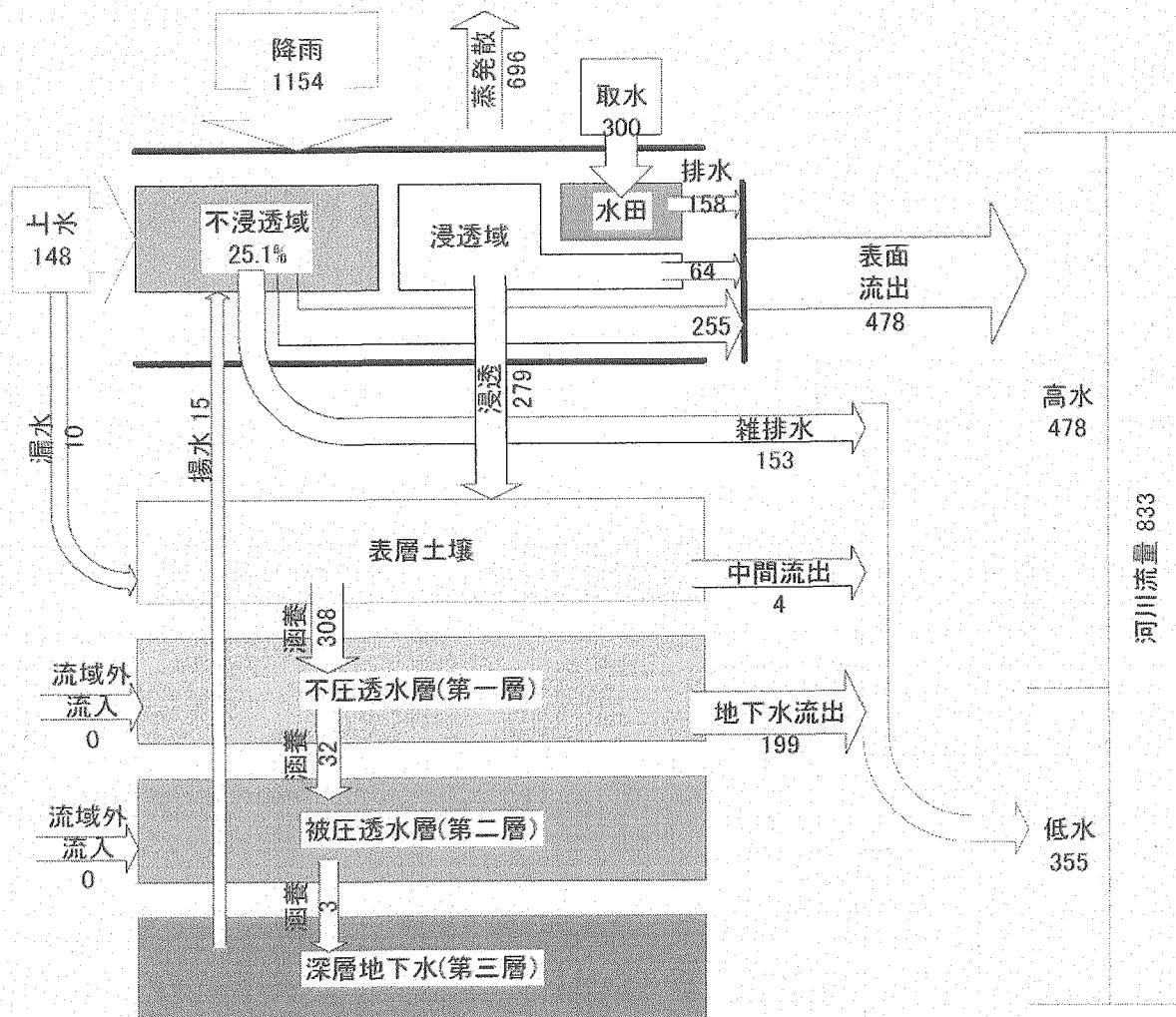


図 3-1-7 解析結果に基づく水収支

この吉谷らの解析に基づいて解析に必要な入力情報を表 3-8 にまとめた。すなわち、同表に示された項目に対し情報を埋めていくことと、河川や湖沼及び沿岸部の幌延地区の特徴を踏まえ必要な項目を追加していくことが必要となる。参考までに吉谷らが使用した情報の出典を表 3-9 に示す。

This is a blank page.

表 3-8 計算条件の設定結果一覧

分類	説明	
気象条件	降雨、風向・風速、日照時間、気温、湿度	1998～2000年、アメダス地点下妻、長峰の観測データを利用する。過去、将来には現在のデータを用いる。湿度には筑波大学陸域環境研究センター圃場データを用いる。
地表面条件	土地利用	1976年調査国土数値情報データ（過去） 1994年調査細密数値情報（現在） 常磐新線沿線開発上地利用計画（将来）
	地表面標高	「数値地図」より50m メッシュ地表面標高データを作成し、100m メッシュの平均標高を算出。過去、将来には現在のデータを用いる。
	不浸透面積率	土地利用毎に設定
	浸透域窪地貯留	土地利用毎に設定
	不浸透域窪地貯留	一般的な値として2mm とする。
表層土壤	厚さ	2m と仮定
	水分保持特性 (pF曲線)	他流域における実測値を参考、表層地質図分類毎に設定。
	不飽和透水係数	同上
河川	河川位置	地形図(1/25,000)に示されている河川。 過去、将来は現在のデータを用いる。
	河床高	地表面標高から、河床深さを差し引いた値を用いる。河川改修前及び河川改修後について整理。
	河川断面	各河川における河川改修前及び改修後の横断図を用いる。
	河床材料・厚さ	地質断面図により各河川の河床材料及び厚さのデータを抽出する。 過去、現在及び将来に同じデータを用いる。
	粗度係数	一律に0.03を与える。
第1帶水層 (不圧)	帶水層厚さ	メッシュ毎に帶水層の厚さを与える。 過去、現在及び将来に同じデータを用いる。
	飽和透水係数	主要な帶水層の透水係数測定結果を参考に、 $5.0 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ とする。
	貯留係数	0.05とした。ただし、地下水水面が地表面に達する場合には、土壌水分量と飽和水分量の差とする。
第2帶水層 (被圧)	帶水層厚さ	メッシュ毎に帶水層の厚さを与える。 過去、現在及び将来に同じデータを用いる。
	飽和透水係数	主要な帶水層の透水係数測定結果を参考に、 $4.0 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ とする。
	貯留係数	0.05とする。
第3帶水層 (被圧)	帶水層厚さ	メッシュ毎に帶水層の厚さを与える。 過去、現在及び将来に同じデータを用いる。
	飽和透水係数	主要な帶水層の透水係数測定結果を参考に、 $3.0 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ とする。
	貯留係数	0.05とする。

(吉谷ほか, 2001)

地下水流向は、各帶水層において地下水位観測結果による解析検証が実施され、概ね、観測結果と一致していることを確認している。

表 3-9 調査情報の出典一覧

分類	期間			資料・データ
	過去	現在	将来	
地形		○		数値地図 50m メッシュ (標高)
土地利用	○	○	○	国土数値情報 (1976年、1/10 細分区画土地利用) 細密数値情報 (1994年、10m メッシュ) 都市計画図 (茨城県・都市基盤整備公団)
地質	○	○		筑波研究学園都市地盤図 (財団法人建築保全センター) 筑波研究学園都市及び周辺地域の環境地質図 (地質調査所) 水海道 IC～つくば IC 地質調査データ (国土交通省) 牛久沼地質データ (TRABIS 文献情報)
河川諸元		○	○	河川横断図・縦断図 (茨城県)
社会情報 (人口)		○	○	地域メッシュ統計 (1995年国勢調査) 都市計画図 (茨城県・都市基盤整備公団)
気象条件		○ ○		アメダスデータ (1998～2000年) 筑波大学陸域環境研究センター圃場データ (1998～2000年)
河川流量		○		低水観測成果 (茨城県、1999年から月3回)
地下水位	○	○ ○ ○		筑波大学 1970 年代井戸調査結果 土木研究所井戸観測データ (一斉測水、1999年～) 都市基盤整備公団 (浅層、連続、1999年～) 茨城県 (深層、連続、1998年～)
都市用水		○ ○		上水道給水域、実績配水量 (筑南水道企業団) 簡易水道給水域、計画給水量 (茨城県)
農業用水		○		流域外 (小貝川) 導水実績 (国土交通省) 河川取水 (計画取水量) (土地改良区)
工業用水		○		工業用水・排水データ (取水源、計画取水量、排水先、計画排水量) (茨城県)
都市排水		○		下水道計画一般図 (つくば市)

(吉谷ほか, 2001)

b) 必要データの充足性の検討

表層水理のデータの充足度の確認は、表層における希釈・分散効果の検討において極めて重要である。ここでは、既存の研究計画において上記のデータがどの程度充足されるかを確認するために、深地層での研究計画が進められている幌延地区を例に、表 3-8 に示された一連のデータの充足性を検討する。なお、地下構造に関する情報としては、幌延地圏環境研究所報告書 (幌延地圏環境研究所, 2006) 及び岡ほか (2006) の文献情報を想定した。

(a) 気象条件

降雨、風向・風速、日照時間および気温等の気象データに関しては、豊富および天塩の気象観測地点のデータを利用することが可能である。これらのデータから水循環の基本的パラメータとしての降雨量を設定することができる。また後で述べる土地利用形態とその面積比率を降雨、気温、湿度データと合わせて検討することにより、蒸発散量を設定できる。

(b) 土地利用

幌延地区の土地利用図が利用可能である。土地利用および概略の植生データ（牧草、湿原、樹林）から前記の蒸発散量を求めることができる。また住宅・工場・道路の分布から、不浸透区域の分布および面積率や蒸発量の変化を求めることが可能である。

(c) 地表面標高

地形図から判読される。

(d) 不浸透域窪地貯留

浸透のない地表面部分の貯留厚みとして、一般的な値を吉谷らの文献（2001）にならい、2mmとすることが考えられる。なお、たとえば、藤田（2005）によると、農地50mm、道路2mm、そのほか6mmという設定が行われている例もある。

(e) 表層土壤厚さ

土壤厚さの分布を代表値として設定することは容易ではない。吉谷らの文献（2001）では、土壤厚さを2mと仮定している。幌延地区の浅部ボーリングデータに基づき、データ密度が高い区域については、その区域の平均値を用いることとし、他の部分については、全ボーリングデータの有効性を仮定して平均値を代表値として設定する方法もある。

(f) 水分保持特性、不飽和透水係数

これまでに収集した範囲では、水分保持特性・不飽和透水係数に関するデータがないため、他の農業・土木で取得されている可能性があるこれらのデータを収集する。幌延地区のデータが直ちに取得できない場合には、沖積層が続いている豊富町もしくは天塩町のデータを参照する方法も考えられる。浅部の水収支、流動を解析する上でこれらのデータは重要性が高く、公開文献もしくは閲覧可能な文献の収集により代表地を設定する。また複数のデータが取得された場合には、表土の厚み、粒度、圧縮特性等を勘案して可能な範囲でのパラメータ値の区分けを行なう。

(g) 河川に関するパラメータ

河川の位置は地形図のデータを利用する。幌延地区の詳細地形図（縮尺：2万5千分の1）に記載されている河川をモデル化する。河床高については、地表面標高から河床深さを減じた値を設定する。河川断面については河川改修工事の際の横断図のポイントデータを使用する。河川堆積層については地質断面図を利用する。これらのデータについては、地元の開発局が所有している可能性が高いため、閲覧可能な範囲でそれらのデータの取得を図る。

(h) 帯水層に関するパラメータ

図3-12に示す井戸の平衡水位のデータ（幌延地圏環境研究所、2006）からは、いずれの自噴井戸地点においても地下水位は地下4~15mの範囲にある。一方各井戸のストレーナー深度（地下水の湧出深度）については自噴井戸の調査データ（幌延地圏環境研究所、2006）から27~85mの範囲にあるものと考えられる。また、これらの井戸孔における比湧出量(m³/s)および透水係数(m/s)も取得されている。

また、近年の文献（岡他、2006）から幌延の浅部地質断構造として（図3-18及び図3-19参照）D-D'およびE-E'断面図）、平衡水位レベルおよびストレーナー深度レベルの堆積層は、沖積層、更別層、勇知層の3種類が考えられる。平衡水位レベルの不圧帶水層としての可能性に関しては、これらの地層の透水性を考慮して、このレベルを第一帶水層とし、ストレーナー深度レベルを第二帶水

層とすることが考えられる。これらと、図 3-20 に示す電気探査観測点等の幌延地圏環境研究所のデータ（幌延地圏環境研究所, 2006）を合わせ、総合的に判断することにより、概略的な地質構造の 3 次元的な把握は可能となる。パンケ沼等の湖沼に関しては既存情報が少なく別途情報の入手が必要となる。また、この地域が国立公園であることから、調査に関する制限事項について確認する必要がある。

c) 主要データのうち追加取得が必要なもの

前項のデータの充足度の検討結果から、表層土から不飽和層にかけての水分保持特性・不飽和透水係数に関するデータおよびこれらの層の厚み分布に関するデータの取得及び設定が最も重要と考えられる。

浅部飽和層の透水係数データに関しては井戸のデータが存在することから、それらのデータを利用することが可能であれば、それらのデータ密度の拡充を図ることが望ましい。飽和層の比貯留率のデータもモデルの精度を高めるために追加取得が必要な重要なデータである。河川に関するパラメータは、閲覧可能な範囲で設定するが、一方でパラメータの感度を考慮して、追加取得の重要性を判断することも考えられる。また、対象とする地域が沿岸部及び湿地帯であることから、海底下や湖沼の堆積物の種類や特性の情報が必要となる。

上述のデータの充足には、ボーリング調査を含む浅層部の地表からの調査が必要となるものと考えられる。調査すべき区域は広範囲に広がっていることから、文献調査により得られるデータに基づき調査計画を立案することが重要となり、文献調査の段階でデータの過不足を判断する必要がある。表 3-10 に表層水理解析を実施するための既存データの整理結果をまとめる。

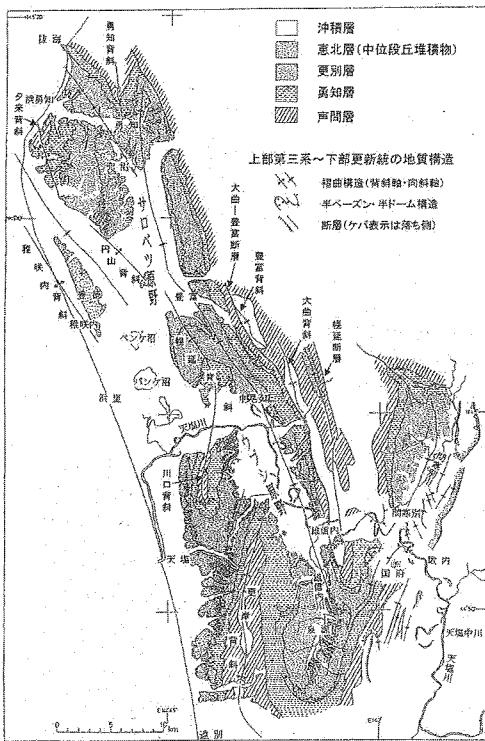


Fig.3 Geologic map of the Teshio plain and its adjacent areas

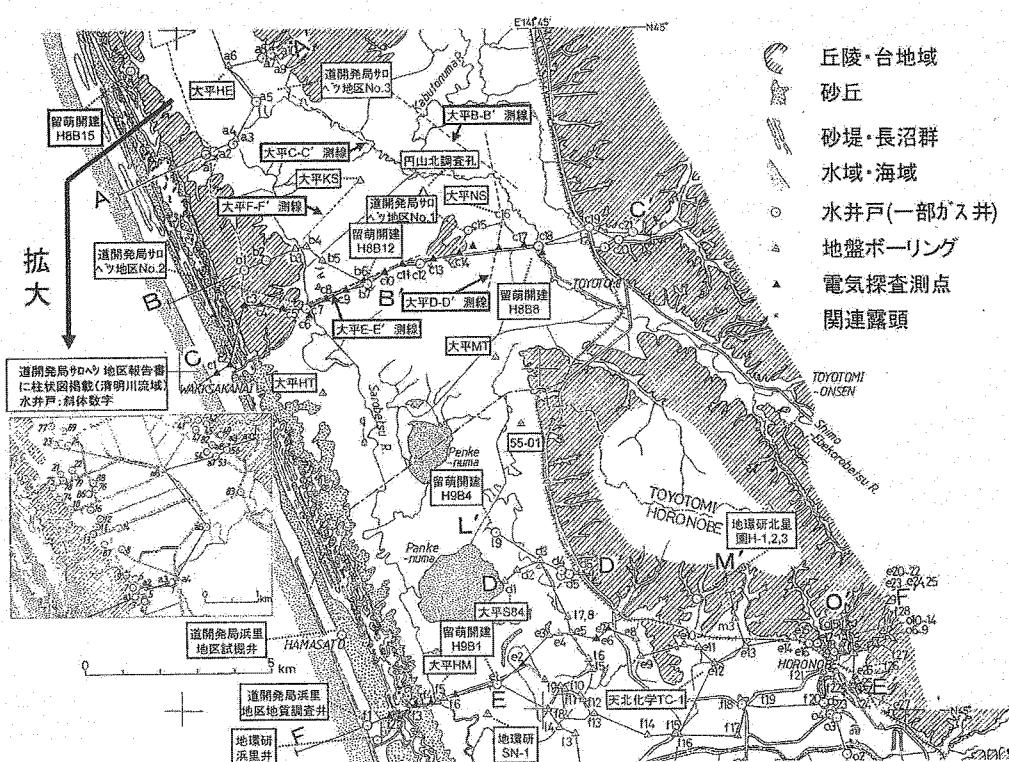
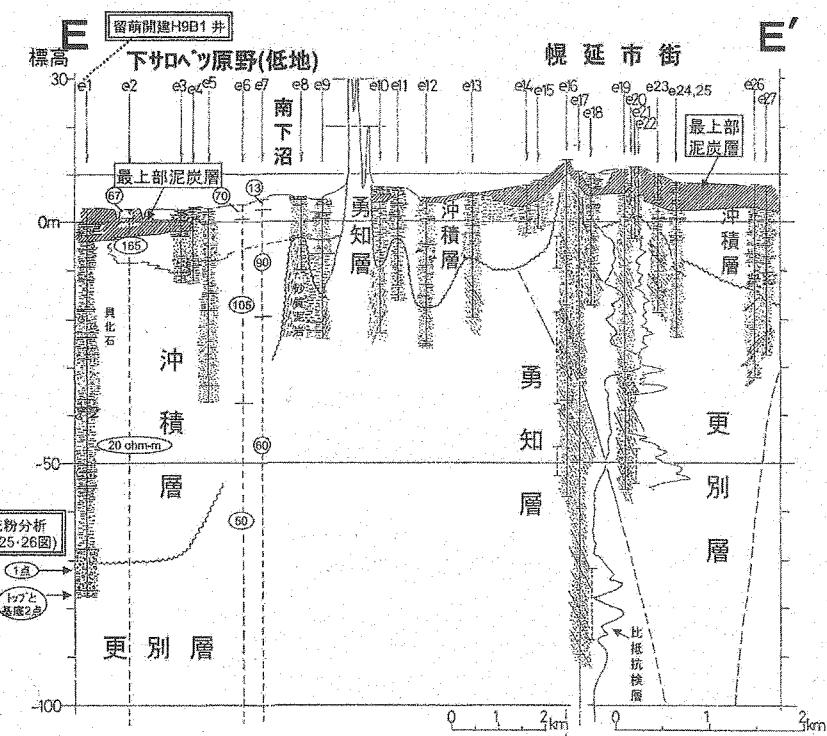
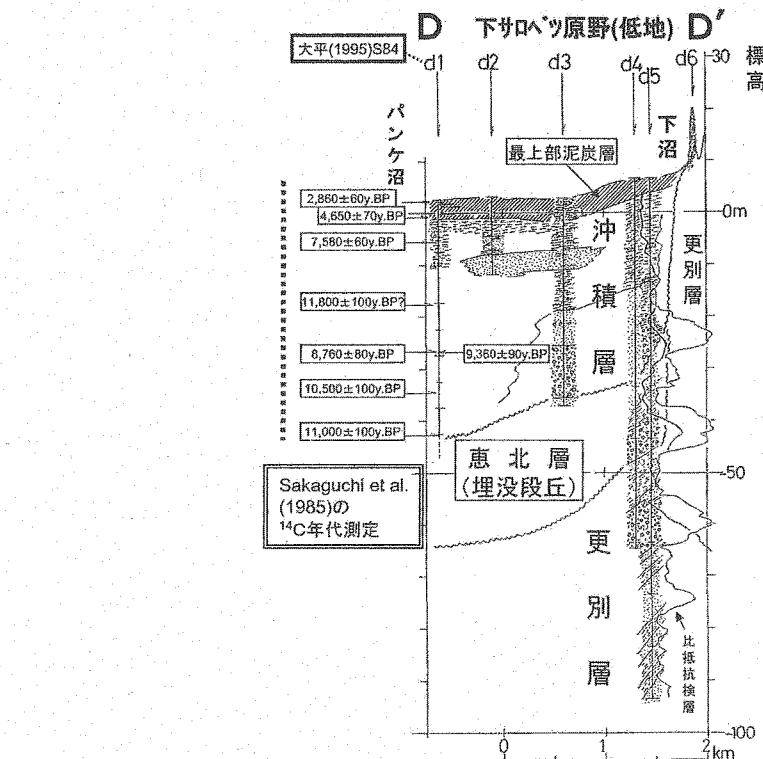


図 3-18 幌延地区調査地点 (岡ほか, 2006)



第24図 E-E'断面(幌延町パンケ沼南方～南下沼～幌延市街南部)

Fig. 24 E-E' profile (southern area of Pank lake~Minami-shimomuna ~ southwestern part of Horonobe town area)

図 3-19 幌延地区海岸部の断面構造 (岡ほか, 2006)

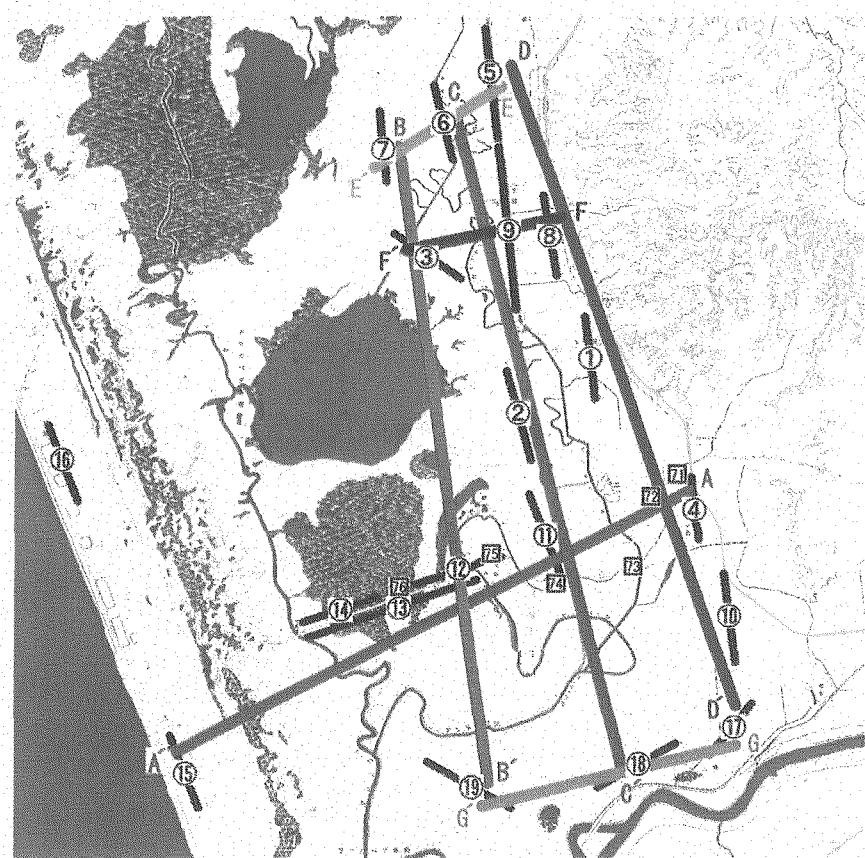


図 4.5-6 電気探査観測点分布図

丸数字1～19が今年度観測点、四角内71～76が営農用水対策調査による観測点、太線は断面測線をそれぞれ示す。

既存資料および各電気探査観測点分布に基づき A-A'～G-G'の断面において地質構造図が作成されている（詳細地質構造図については、幌延地圏環境研究所, 2006 参照）。

図 3-20 幌延地区海岸部の断面構造把握のための電気探査観測点（幌延地圏環境研究所, 2006）

This is a blank page.

表 3-10 幌延地区でのデータの適用性のまとめ

分類		幌延地区で適用可能と想定されるデータ
気象条件	降雨、風向・風速、日照時間、気温、湿度	豊富および天塩の気象観測地点のデータを利用することが可能である。降雨量に基づき、評価対象とする流域での涵養量を推定する必要がある。
地表面条件	土地利用	幌延地区的土地利用図が利用可能である。土地利用および概略の植生データ（牧草、湿原、樹林）から前記の蒸発散量を求めることが必要となる。また住宅・工場・道路の分布から、不浸透区域の分布および面積率や蒸発量の変化を求めることが必要である。
	地表面標高	「数値地図」の適用が可能である。
	不浸透面積率	土地利用図や文献値から判断する必要がある。
	浸透域窪地貯留	浸透のない地表面部分の貯留厚みとして、一般的な値を吉谷らの文献（2001）にならい、2mm とすることが考えられる。なお、たとえば、藤田ほか（2005）によると、農地 50mm、道路 2mm、そのほか 6mm という設定が行われている例もある。
表層土壤	厚さ	幌延地区的浅部ボーリングデータ、電気探査結果に基づき検討することが可能。
	水分保持特性 (pF 曲線)	他の農業・土木で取得されている可能性があるこれらのデータを収集する必要がある。
	不飽和透水係数	
河川	河川位置	地形図のデータを利用する。幌延地区的詳細地形図（縮尺：2万5千分の1）に記載されている河川のモデル化で対応可能である。
	河床高	河床高については、地表面標高から河床深さを減じた値を用いることにより対応可能である。
	河川断面	河川断面については河川改修工事の際の横断図が利用可能と考えられ、データ入手が必要である。
	河床材料・厚さ	河川堆積層については地質断面図を利用する。これらのデータについては、地元の開発局が所有している可能性が高いため、閲覧可能な範囲でそれらのデータの取得を図ることが必要となる。
	粗度係数	
湖沼	湖沼位置、体積	「数値地図」の適用が可能である。
	湖沼下堆積物特性	周辺地質構造からの推定が可能である。データ入手が必要である。
海	海岸線位置	「数値地図」の適用が可能である。
	海底堆積層	周辺地質構造からの推定が可能である。データ入手が必要である。
帶水層 (不圧) (被圧)	帶水層厚さ	幌延町及び北海道開発局が実施した地盤ボーリング資料より地下地質断面図の作成が可能。電気探査による層序に関するデータのコンパイルにより 3 次元分布の推定が可能。ただし、電気探査法は、塩水濃度が高い場合誤差が大きく、沿岸部では、既存ボーリングデータを用いる。また、岡ら（2006）の文献情報を用いることが可能である。 不圧、被圧の区分は井戸の水位データを用いることにより推定が可能である。
	飽和透水係数	新たに取得が必要。概要調査区域（研究所近傍でのボーリング調査データの適用性を検討するとともに、同質の地質条件からの類推も必要となる。
	貯留係数	

ハッチング部分に関しては、新たにデータ入手が必要となる項目

3.4 物質流入域選定手法の具体化と体系化に関する課題の整理と解決のための具体策の検討

本章では、図 3-1 に示したフロー、特に水理解析と物質流入域の設定の関係に着目し、仮想的な環境パターンと実際のサイト条件にもとづいて物質流入域の設定を試行した。その結果、地下水の流跡線が明らかとなれば、流線の達する領域に存在する主な地下水の利用形態や放出域を網羅的に想定することにより、物質流入域を比較的容易に抽出することが可能であった。他方、特に期待される希釈効果の推定については、流入域での詳細な浅層地下水流动解析の実施により、着目する領域の水収支を適切に見積もることが必要であった。ただしこの場合においても、地質構造、特に帶水層を胚胎する高透水性の地層の分布と地下水の流动方向を概略的に把握することにより、近似的に希釈の程度を推定できる可能性が示唆された。一方で今回の検討から主として物質流入域における希釈効果の評価に関連して以下の課題が明らかとなった。今後はこれらの課題解決のため、複数の事例検討から一般的な情報を抽出し、普遍的な生物圏評価フローとして取りまとめていくことが重要である。

【浅部における水収支の把握】

水収支を導出するためには多種多様な情報が高い密度で収集される必要がある。今後、各調査段階で収集可能な情報と必要な情報の突き合わせ、各段階で実施可能な解析の具体像を明らかにする必要がある。

【概略推算法の開発】

今回の検討では地質構造と透水係数及び地下水の流动方向により、GBI に期待される希釈効果を概略的に把握する可能性が示された。今後はさらに具体的な検討の事例を積み上げるとともに、その結果を一般化し、特に文献調査段階や概要調査段階における希釈効果の推定方法として確立していることが重要である。

【物質流入域候補のフローの具体化】

上記の課題に対する取り組みの成果を、フローとして取りまとめ一般化する。すなわち、図 3-1 のフローの A 及び B の部分を調査段階や適用可能な推定手法に基づいて区分し、さらにそれぞれの位置づけを明確化する。

【生物圏評価全体における物質流入域の選定の位置づけの明確化】

図 3-1 に示されているように、本来 GBI の設定は被ばく評価において適切な保守性や安全裕度が確保されるように設定する必要がある。すなわち現段階での検討は GBI の候補の抽出を対象に進められており、これを生物圏評価の他の分と適切に関係づけることが必要となる。

【調査データとの対応】

希釈や分散効果を評価する地点は、概要調査や精密調査で調査が計画される地点から離れた場所に位置する可能性もある。そのため、情報の更新は文献調査レベルで留まる可能性があることから既存情報のコンパイル方法や井戸等の既存施設における調査に関する計画について今後検討する必要がある。

【将来変化への対応】

生物圏評価の時間的な不確実性は地層処分の性能評価の他の部分と比較して相対的に大きなものであるという認識は広く共有されており、また諸外国の生物圏評価では、気候変動をはじめとする生物圏評価に関連する将来的な変動を顧むに評価に組み入れる方向にある。すなわち生物圏への物質流入

域の設定及び流入域での希釈・分散においても将来変動への対応を図ることが重要である。その際、サイト現状を極力評価に組み入れる努力と、これと平行して様式化された生物圏評価を行うことの意義は矛盾しないことに留意すべきである。

4. おわりに

諸外国における生物圏評価に関する検討は、特定サイトの環境条件を考慮した評価を実施している点でわが国よりも先行している。欧米とわが国では表層の水理・地質構造が異なることから、欧米での手法をわが国におけるGBI設定にそのまま適用することは困難であると考えられる。しかしながら、SR-97 (SKB, 1999) やスイス EN2002 (Nagra, 2002) で検討された GBI 設定のために利用したデータの一覧等はわが国における GBI 設定に関わる地質調査項目の検討に反映することが可能である。また、Yucca Mountain プロジェクト (DOE, 2002) で検討された地形や土地利用情報に基づく環境把握による GBI 設定の流れについても、わが国での GBI 設定フローを検討するうえで非常に参考になる。

わが国の特徴的な地質条件を踏まえた検討では、深部地下の水理評価において大局的な地下水流动系を捉えることが必要であり、未確認断層の存在や後背山地による不確実性影響を踏まえることが重要であることが示された。このことは、深部ボーリングなどで得られた情報から、処分が想定される深度において大局的な流动系を判断することが必要であるものと示唆される。深部地下の調査は、その調査範囲が限られる可能性があることから、母岩の透水性や動水勾配の情報のみならず地下水化学の調査結果などの傍証から、総合的に大局的な流动系を判断する必要があるものと考えられる。

既存の調査データに基づき表層水理を評価するための試行では、利水環境や井戸情報、浅部ボーリングデータなどの必要となるデータは、庄川や幌延地区を対象とした文献調査段階においては地下深部のデータに比較して、データの入手が容易な可能性が示唆された。ただし、浅部ボーリングデータは、その使用目的が道路工事や建物の建設であることが多く、透水性に関するデータについては、再評価または再取得が必要であると考えられる。また、井戸の水位調査に関しては、一定の期間で一斉調査が必要であり調査計画に反映させていくことが必要である。また、概要調査区域や精密調査区域の空間的範囲が想定される核種の流入域と異なる可能性があることから、帶水層を形成する可能性の高い第四紀層に関する一般的な知見や沖積層など類似地層のもつ特性を調査結果に反映させ不確実性を減らすことが重要となる。

今後、表層での水理・物質移行に関して 3.2 節での試行を具体的に実施することにより、必要とされるデータの精度や観測データを評価することにより得られる解析条件の不確実性を検討し、生物圏の評価に用いるパラメータの変動範囲を検討することとする。これにより、生物圏評価で重要な希釈水量などの安全評価で用いるパラメータ値の設定に対する考え方をまとめていくものとする。また、複数の事例検討を実施することにより様式化を行い、普遍的な生物圏評価フローとして取りまとめていくこととする。

略語表

略語	名称
BIOMASS	<u>BIO</u> sphere <u>M</u> odelling and <u>A</u> SSessment (IAEA における国際協力プロジェクト)
BIOCLIM	Modelling Sequential Biosphere Systems under Climate Change for Radioactive Waste Disposal (ANDRA: フランスの放射性廃棄物管理機関がホストの国際協力プロジェクト)
BioMoSA	<u>B</u> iosphere <u>M</u> odels for the <u>S</u> afety <u>A</u> sessment of radioactive waste disposal (EU における国際協力プロジェクト)
BIOPROTA	副題: International Collaboration on Key Technical Issues in Biosphere Aspects of Long-Term Radiological Assessment. (ANDRA: フランスの放射性廃棄物管理機関がホストの国際協力プロジェクト)
EBR	Example Reference Biosphere
EDF	Ecosystem-specific Dose Conversion Factors
GBI	Geosphere-biosphere interface
GBIZ	Geosphere-biosphere interface zone
GBTZ	Geosphere-Biosphere Transition Zone
PADAMOT	Palaeohydrogeological Data Analysis and Model Testing. EU における水理・地下水化学に関する共同プロジェクト

参考文献

- 1) Bergström, U. et al.: "Models for dose assessments, Modules for various biosphere types", TR-99-14, 1999.
- 2) BIOCLIM: "Modelling sequential biosphere systems under climate change for radioactive waste disposal. Deliverable D10-12: Development and application of a methodology for taking climate driven environmental change into account in performance assessments", EC Contract FIKW-CT-2000-00024, A project within the EC 5th Framework Programme, Reports available at <http://www.andra.fr/bioclim/>, 2004 (参照日 : 2006.11.1).
- 3) BIOMOVS II: "Development of a Reference Biosphere Methodology for radioactive waste disposal", BIOMOVS II Technical Report No.6, Swedish Radiation Protection Institute, Stockholm, Sweden, 1996.
- 4) BIOPROTA: "Key issues in biosphere aspects of assessment of the long-term impact of contaminant releases associated with radioactive waste management, Theme2: Task7: Modelling processes in the geosphere biosphere interface zone", Reports available at <http://www.bioprotacom/>, 2005 (参照日 : 2006.11.1).
- 5) DOE: "Viability assessment of a repository at Yucca Mountain Volume 1: Introduction and site characteristics", DOE/RW-0508/V1, 1998a.
- 6) DOE: "Viability assessment of a repository at Yucca Mountain Volume 3: Total system performance assessment", DOE/RW-0508/V3, 1998b.
- 7) DOE: "Yucca Mountain science and engineering report: technical information supporting site recommendation consideration", Revision 1, DOE/RW-0539-1, 2002.
- 8) EC: "Nuclear fission and radiation protection projects selected for funding 1999-2002", Vth Framework Programme of the European Atomic Energy Community (EURATOM) for Research and Training in the Field of Nuclear Energy (1998-2002), Annex II, EUR 20617, Luxembourg, 2003.
- 9) 藤田 士郎, 宮崎 誠, 谷岡 康, 飯田 進史, 島田 立季, 五十嵐 孝浩, 山本 智昭: リアルタイム浸水情報提供システムの構築と運用, 河川技術論文集, 第11巻, 2005.
- 10) 吉谷純一, 木内豪, 戸嶋光映: 茨城県谷田川流域における水循環に関する研究(1)－地下水の実態調査と水循環の数値解析－, 土木研究所資料, 第3782号, 2001.
- 11) Hooker P, Miller W and Robinson P: "Natural system information for use in testing geosphere-biosphere interface models", CIEM-6148B-4, V1.0, EnviroSci-QuantiSci, 2002.
- 12) 幌延地圏環境研究所: 平成17年度 地圏環境研究事業 研究成果報告書, 2006.
- 13) 核燃料サイクル開発機構: 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次取りまとめ一分冊3 地層処分システムの安全評価, JNC TN1400 99-023, 1999.
- 14) 核燃料サイクル開発機構: 高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する知識基盤の構築, 分冊1 深地層の化学的研究, JNC TN1400 2005-14, 2005.
- 15) 環境省: 「茨城県神栖町における汚染メカニズム解明のための調査 中間報告書」, 2005.
- 16) IAEA: "Reference Biospheres" for solid radioactive waste disposal, Report of BIOMASS Theme 1 of the BIOSphere Modelling and ASsessment (BIOMASS) Programme, Part of the IAEA Co-ordinated Research Project on Biosphere Modelling and Assessment (BIOMASS), IAEA-BIOMASS-6, 2003.
- 17) Leclerc-Cessac, E. and Smith, G. M.: "BIOPROTA: International collaboration on key technical issues in biosphere aspects of long-term radiological assessment," Proceedings on the 10th International High-Level Radioactive Waste Management Conference (IHLRWM 2003), Las Vegas, NV, March 30-April 2, 2003.
- 18) Maul P R, McLeod R and Smith G M: "Representation of aquifers in performance assessments for deep geological disposal", CIEM-6148A-1, Version 3.0, Report for Ciemat, 1999.
- 19) 三木崇史, 吉田英爾, 池田孝夫: "地層処分安全評価における生物圏評価手法の高度化に関する検討(II)", 核燃料サイクル開発機構 研究委託報告書, JNC TJ8400 2002-009, 2002.

- 20) Nagra: "Project Opalinus clay - Safety report - Demonstration of disposal feasibility for spent fuel, vitrified high-level waste and long-lived intermediate-level waste (Entsorgungsnachweis)", NTB-02-05, 2002.
- 21) Nordlinder, S. et al.: "Ecosystem specific dose conversion factors for Aberg, Beberg and Ceberg", TR-99-15, 1999.
- 22) OECD/NEA: "Features, events and processes (FEPs) for geologic disposal of radioactive waste: an international database", OECD/Nuclear Energy Agency, Paris, 2000.
- 23) ONDRAF/NIRAS: "SAFIR2: Safety assessment and feasibility interim report 2", NIROND 2001-06E, 2001.
- 24) 小山田潔, 池田孝夫 : “地層処分安全評価における生物圏評価手法の高度化に関する検討(IV)”, 核燃料サイクル開発機構 業務委託報告書, JNC TJ8400 2004-006, 2004.
- 25) 岡 孝雄、五十嵐 八枝子、林 雅彦 : “ボーリングデータ解析および花粉分析による天塩平野の沖積層の研究”, 北海道立地質研究所報告 第77号, 2006.
- 26) Pinedo, P. et al.: "Preliminary results from the EC project: assessment biospheres and dose variability for European sites: 'BioMoSA' Reference Biosphere investigation," Proceedings on the 10th International High-Level Radioactive Waste Management Conference (IHLRWM 2003), Las Vegas, NV, March 30-April 2, 2003.
- 27) SKB: "Deep repository for spent nuclear fuel, SR97 - Post-closure safety, Main report summary", TR-99-06, 1999.
- 28) 庄川扇状地水環境検討委員会 : “流域における健全な水循環系の構築に向けて 総括報告書概要版”, 2004.
- 29) Wörman, A.: Exchange processes at geosphere-biosphere interface – Current SKB approach and example of coupled hydrological-ecological approach, SSI rapport 2003:14, 2003.
- 30) Wörman, A., Marklund, L., Xu, S. and Dverstorp, .: " Impact of repository depth on residence times for leaking radionuclides in land-based surface water", Proceedings on Proceedings on the 11th International High-Level Radioactive Waste Management Conference (IHLRWM 2006), Las Vegas, NV, B-1, 2006.

This is a blank page.

国際単位系 (SI)

表1. SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m^2
体積	立方メートル	m^3
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s^2
密度(質量密度)	キログラム毎立方メートル	kg/m^3
質量体積(比体積)	立方メートル毎キログラム	m^3/kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m^2
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
(物質量)濃度	モル毎立方メートル	mol/m^3
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m^2
屈折率(数の)	1	1

表5. SI 接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10^{24}	ヨタ	Y	10^{-1}	デシ	d
10^{21}	ゼタ	Z	10^{-2}	センチ	c
10^{18}	エクサ	E	10^{-3}	ミリ	m
10^{15}	ペタ	P	10^{-6}	マイクロ	μ
10^{12}	テラ	T	10^{-9}	ナノ	n
10^9	ガガ	G	10^{-12}	ピコ	p
10^6	メガ	M	10^{-15}	フェムト	f
10^3	キロ	k	10^{-18}	アト	a
10^2	ヘクト	h	10^{-21}	ゼット	z
10^1	デカ	da	10^{-24}	ヨクト	y

表3. 固有の名称とその独自の記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	他のSI単位による表し方
平面角	ラジアン ^(a)	rad	$m \cdot m^{-1} = 1^{(b)}$
立体角	ステラジアン ^(a)	sr ^(c)	$m^2 \cdot m^{-2} = 1^{(b)}$
周波数	ヘルツ	Hz	s ⁻¹
压力	ニュートン	N	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
エネルギー、仕事、熱量	ジユール	J	$m^1 \cdot kg \cdot s^{-2}$
工率、放熱	ワット	W	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
電荷、電気量	クーロン	C	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
電位差(電圧)、起電力	ボルト	V	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
静電容量	アンドロード	F	$m^2 \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
電気抵抗	オーム	Ω	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
コンダクタンス	シemens	S	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
磁束密度	テスラ	T	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
インダクタンス	ヘンリイ	H	Wb/m^2
光度	セルシウス度	°C	Wb/A
(放射性核種の)放射能吸収線量、質量エネルギー一分与、カーマ	ベクレル	Bq	$m^2 \cdot s^{-2}$
線量当量、周辺線量当量、方向性線量当量、個人線量当量、組織線量当量	シーベルト	Sv	J/kg

(a) ラジアン及びステラジアンの使用は、同じ次元であっても異なる性質をもった量を区別するときの組立単位の表し方として利点がある。組立単位を形作るときのいくつかの用例は表4に示されている。

(b) 実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号“1”は明示されない。

(c) 測光学では、ステラジアンの名称と記号srを単位の表し方の中にそのまま維持している。

(d) この単位は、例としてミリセルシウス度m°CのようにSI接頭語を伴って用いても良い。

表4. 単位の中に固有の名称とその独自の記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘着力	バーカル	Pa · s	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-1}$
表面張力	ニュートンメートル	N · m	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	$m \cdot m^{-1} \cdot s^{-1} = s^{-1}$
角加速度	ラジアン毎平方秒	rad/s ²	$m \cdot m^{-1} \cdot s^{-2} = s^{-2}$
熱流密度、放射照度	ワット毎平方米	W/m ²	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
熱容量、エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
質量熱容量(比熱容量)	ジュール毎キログラム	J/(kg · K)	$m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
質量エネルギー	エントロピー	J/K	$m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
質量エネルギー(比エネルギー)	ジュール毎キログラム	J/kg	$m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m · K)	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot K^{-1}$
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m ³	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
体積電荷	クーロン毎立方メートル	C/m ³	$m^{-3} \cdot s \cdot A$
電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	$m^{-2} \cdot s \cdot A$
誘電率	ファラード毎メートル	F/m	$m^{-3} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	$m \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot mol^{-1}$
モルエンタルピー	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol · K)	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$
モル熱容量	ビン	C/kg	$kg^{-1} \cdot s \cdot A$
照射線量(X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	$kg^{-1} \cdot s \cdot A$
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	$m^2 \cdot s^{-3}$
放射強度	ワット每ステラジアン	W/sr	$m^4 \cdot m^{-2} \cdot kg \cdot s^{-3} = m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
放射輝度	ワット每平方メートル	W/(m ² · sr)	$m^2 \cdot m^{-2} \cdot kg \cdot s^{-3}$

表6. 国際単位系と併用されるが国際単位系に属さない単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	'	1'=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	"	1"=(1/60)'=(π/648000) rad
リットル	L	1L=1 dm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1t=10 ³ kg
ネーパ	Np	1Np=1
ベル	B	1B=(1/2)ln10(Np)

表7. 国際単位系と併用されこれに属さない単位でSI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
電子ボルト	eV	1eV=1.60217733(49)×10 ⁻¹⁹ J
統一原子質量単位	u	1u=1.6605402(10)×10 ⁻²⁷ kg
天文単位	ua	1ua=1.49597870691(30)×10 ¹¹ m

表8. 国際単位系に属さないが国際単位系と併用される他の単位

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
海里	里	1海里=1852m
ノット	ト	1ノット=1海里毎時=(1852/3600)m/s
アール	a	1a=1 dm ² =10 ⁻² m ²
ヘクタール	ha	1ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²
バル	bar	1 bar=0.1MPa=100kPa=1000hPa=10 ⁵ Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1nm=10 ⁻¹⁰ m
バーン	b	1 b=100fm ² =10 ⁻²⁸ m ²

表9. 固有の名称を含むCGS組立単位

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
エルグ	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダイナ	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ボルト	P	1 P=1 dyn · s/cm ² =0.1Pa · s
ストークス	St	1 St=1cm ² /s=10 ⁻⁴ m ² /s
ガウス	G	1 G=10 ⁻⁴ T
エルステッド	Oe	1 Oe=(1000/4π)A/m
マクスウェル	Mx	1 Mx=10 ⁻⁶ Wb
スチル	sb	1 sb=1cd/cm ² =10 ⁴ cd/m ²
ホルト	ph	1 ph=10 ⁴ lx
ガル	Gal	1 Gal=1cm/s ² =10 ⁻² m/s ²

表10. 国際単位に属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
キュリ	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
レンタゲン	R	1 R=2.58×10 ⁻³ C/kg
ラド	rad	1 rad=1eGy=10 ⁻² Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
X線単位	X unit	1 X unit=1.002×10 ⁻⁴ nm
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
ジヤンスキー	Jy	1 Jy=10 ⁻²⁶ W · m ² · Hz ⁻¹
フエルミ	fermi	1 fermi=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット	Torr	1 metric carat=200 mg=2×10 ⁻⁴ kg
ト標準大気圧	atm	1 Torr=(101 325/760) Pa
力口リ	cal	1 atm=101 325 Pa
ミクロ	μ	1 μ=1pm=10 ⁻⁶ m