

生物圏評価データの重要度に関する検討

(研究報告)

2005 年 8 月

核燃料サイクル開発機構
原子力発電環境整備機構

本資料は、原子力発電環境整備機構と核燃料サイクル開発機構が発行する報告書です。本資料の入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、核燃料サイクル開発機構技術展開部技術協力課¹⁾、もしくは原子力発電環境整備機構技術部²⁾あてお申し越し下さい。

1) 〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松 4 番地 49

2) 〒108-0014 東京都港区芝 4 丁目 1 番地 23 号 三田 NN ビル 2 階

This report is issued by Nuclear Waste Management Organization of Japan (NUMO) and Japan Nuclear Cycle Development Institute (JNC).

Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to Technical Cooperation Section, Technical Management Division, JNC¹⁾, or Science and Technology Department, NUMO²⁾.

1) 4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1184, Japan

2) (Mita NN Bldg.) 1-23, Shiba 4-chome, Minato-ku, Tokyo 108-0014 Japan

© Japan Nuclear Cycle Development Institute, 2005

© Nuclear Waste Management Organization of Japan, 2005

2005年8月

生物圏評価データの重要度に関する検討 (研究報告)

加藤智子¹⁾ 鈴木祐二²⁾ 牧野仁史¹⁾ 内田雅大¹⁾ 宮本陽一¹⁾ 内藤守正³⁾

若杉圭一郎⁴⁾ 奥山茂^{4)*} 浦上 学⁴⁾ 石黒勝彦⁴⁾ 北山一美⁴⁾

要 旨

生物圏評価は、地表に流入する放射性核種の移行率を人間への影響の尺度（例えば、放射線量）に変換するものとして安全評価の重要な要素の一つとして位置付けられる。一般に生物圏評価では数多くのデータを取り扱い、その多くは評価対象となるサイトの特徴に関連する。このため、限られた資源を有効に活用し、効率的に生物圏評価を行うには、対象とするパラメータを絞って検討を進めることが合理的である。以上のことから、サイクル機構および原環機構は、協力協定に基づき、今後の生物圏評価データベースの整備における方向性や優先度を明らかにすることを目的として、双方のこれまで蓄積している知見を活用し、共同で検討していくための場として「生物圏評価データに関する検討会」を設置した。

本検討会では、今後選定される特定のサイト（概要調査地区など）の安全評価に向けて整備していく必要のあるパラメータを明らかにするとともに、その優先度を評価するための方法論について検討した。その結果、これまでの評価事例にみられる線量に寄与する重要な核種移行プロセスや移行経路を基に今後新たにデータや情報の取得が必要となるパラメータを特定する作業フローを構築した。

-
- 1) 核燃料サイクル開発機構 東海事業所 環境保全・研究開発センター 処分研究部
 - 2) 株式会社 NESI
 - 3) 核燃料サイクル開発機構 経営企画本部 バックエンド推進部
 - 4) 原子力発電環境整備機構 技術部
- * 現 東京電力 福島第一原子力発電所

August, 2005

Study on Classification of Biosphere Assessment Data

(Research Document)

Tomoko KATO¹⁾, Yuji SUZUKI²⁾, Hitoshi MAKINO¹⁾,
Masahiro UCHIDA¹⁾, Yoichi MIYAMOTO¹⁾, Morimasa NAITO³⁾

Keiichiro WAKASUGI⁴⁾, Shigeru OKUYAMA^{4)*}, Manabu URAGAMI⁴⁾,
Katsuhiko ISHIGURO⁴⁾, Kazumi KITAYAMA⁴⁾

Abstract

Biosphere assessment is regarded as a tool to convert calculated radionuclide released rates from geosphere to the surface environment into an indicator representing an impact on human beings, such as radiation dose. In general, a number of data are handled in the biosphere assessment, and many of them are dependent on the features of specific site. It is therefore reasonable to specify and examine the critical parameters in order to carry out biosphere assessment effectively using limited resources. JNC and NUMO organized the "Technical Commission on Biosphere Assessment Data" based on their Cooperative Agreement. The Commission is aiming to provide future directions for database development for biosphere assessment by maximizing use of expertise in both organizations.

In the Commission, discussion was focused on development of the method to identify and prioritize parameters which are critical for the site-specific performance assessment in terms of dose. As a result, a workflow was developed to specify parameters which should be obtained in future stage taking account of key issues, processes and pathways identified in the previous assessments.

-
- 1) Waste Isolation Research Division, Waste Management and Fuel Cycle Research Center, Tokai Works, Japan Nuclear Cycle Development Institute
 - 2) NESI Incorporated.
 - 3) Nuclear Cycle Backend Division, Headquarter, Japan Nuclear Cycle Development Institute
 - 4) Science and Technology Department, Nuclear Waste Management Organization of Japan
- * Present position: Fukushima Daiichi Nuclear Power Station, Tokyo Electric Power Company

目 次

| | |
|---|---|
| 1. はじめに | 1 |
| 2. 生物圏評価データの重要度に関する検討 | 2 |
| 2.1 線量評価上重要な事項，プロセス，被ばく経路の特定 | 3 |
| 2.2 KIPPs に基づくデータの重要度の把握 | 5 |
| 2.2.1 データのサイト依存性..... | 5 |
| 2.2.2 データ出典のタイプ分類と情報 / データ取得が今後必要なパラメータの特定..... | 5 |
| 2.3 今後のデータ取得に向けた優先度の抽出 | 6 |
| 3. おわりに | 7 |
| 参考文献 | 8 |

目 次

| | |
|---------------------------------------|---|
| 図 2-1 生物圏評価データの重要度を把握するための作業フロー | 2 |
|---------------------------------------|---|

1. はじめに

地層処分の安全評価は、従来の工学システムが対象とする時間スケールをはるかに超える極めて長い時間を対象とするため、地層処分システムの将来の挙動を描いたシナリオとそれに基づき設定されるモデル、データを用いて行われる。安全評価の結果は、地層処分による人間への影響を評価するために適切な指標を用いて示される。このため、人間の生活環境における核種移行プロセスとこれによる被ばくの形態についてモデル化を行い人間への影響を推定するという生物圏評価が必要となる。生物圏評価は、地表に流入する放射性核種の移行率を人間への影響の尺度（例えば、放射線量）に変換するものとして安全評価の重要な要素の一つとして位置付けられる。一般に生物圏評価では数多くのデータを取り扱い、その多くは評価対象となるサイトの特徴に基づくものとなる。

わが国の地層処分計画は、2000年（平成12年）6月の「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」（平成12年法律第117号）の公布をもって事業の段階へと移行し、現在法律に沿って「高レベル放射性廃棄物の最終処分施設の設置可能性を調査する区域」の公募が全国の市町村に対して行われているところである（原子力発電環境整備機構, 2002）。今後特定のサイトが明らかになれば、その環境条件に基づく具体的な処分場概念に応じた生物圏評価が必要となる。このような背景の下、核燃料サイクル開発機構（以下、サイクル機構）では、地層処分の生物圏評価に関する基盤技術の確立に向けた研究開発が進められている。また原子力発電環境整備機構（以下、原環機構）では、応募がなされた場合、概要調査地区選定に向けた立地点における生物圏評価データベースの整備や概要調査に向けたデータ取得計画の策定が必要となる。

上記の観点からサイクル機構と原環機構の双方は、2004年（平成16年）2月25日に開催したサイクル機構と原環機構との「特定放射性廃棄物の地層処分技術に関する協力協定」（以下、「協力協定」）運営会議において、今後の生物圏評価データベースの整備における方向性や優先度を明らかにするために、双方のこれまで蓄積している知見を活用し、共同で検討していくための場として「生物圏評価データに関する検討会」を、協力協定第4条(3)に基づいて設置した。

本検討会では、今後選定される特定のサイト（概要調査地区など）を対象とした性能評価に向けて生物圏評価で整備していく必要のあるデータやその優先度を「サイト依存性」や「評価結果に対する重要度」など複数の視点で整理するための方法論の検討に焦点があてられ、本報告書はその成果を取りまとめたものである。

2. 生物圏評価データの重要度に関する検討

本検討において策定した、生物圏評価データの重要度を特定するための作業フローを図 2-1 に示す。以下に、その具体的な内容を示す。

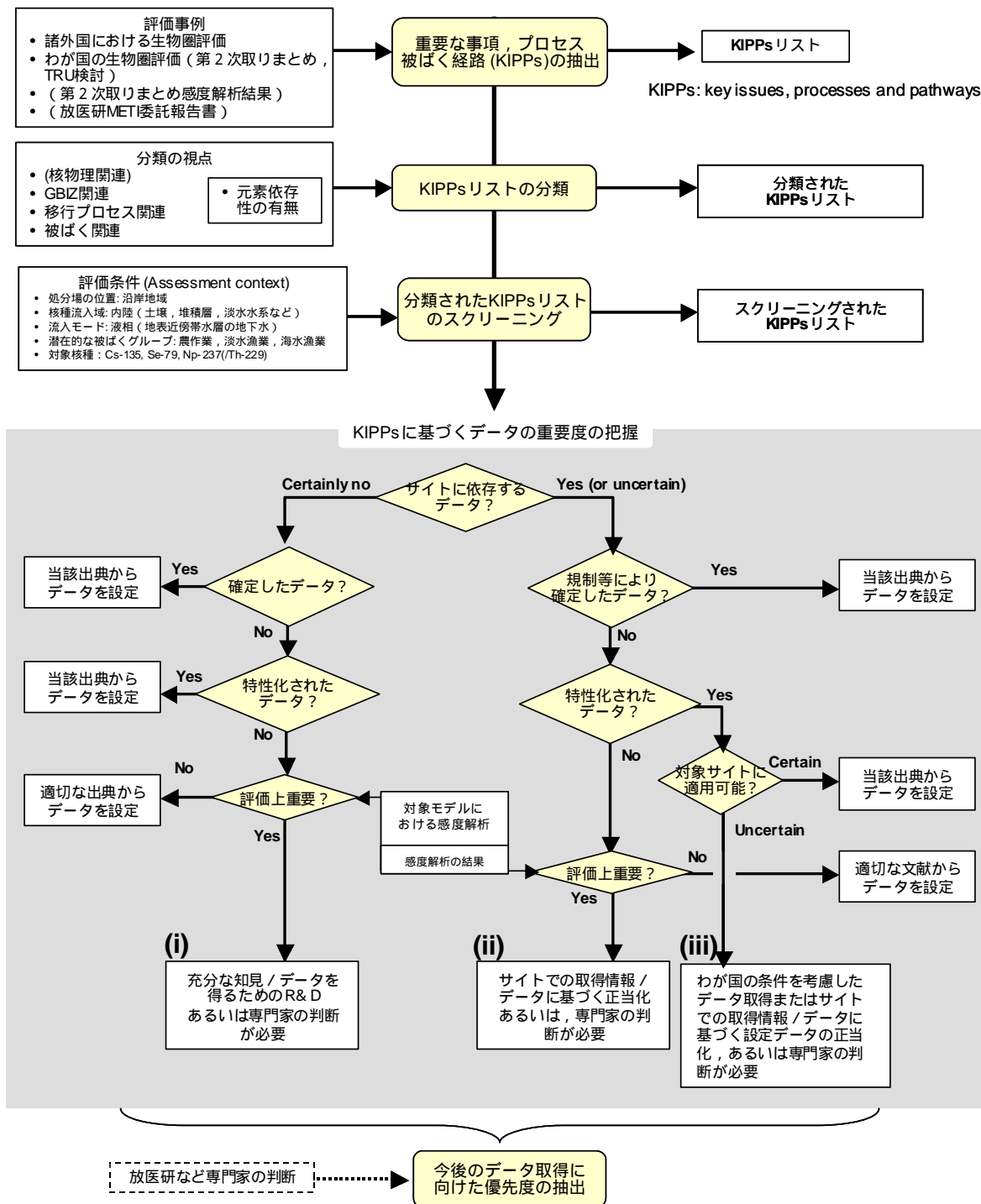


図 2-1 生物圏評価データの重要度を特定するための作業フロー

2.1 線量評価上重要な事項，プロセス，被ばく経路の特定

図 2-1 において，最初のステップは線量評価上重要な事項，移行プロセスや被ばく経路（KIPPs: Key Information, Processes and Pathways）を特定することである。生物圏評価モデルは基本的に対象となるサイトの特徴に基づくものであるが，対象となるサイトは現在特定されていない。このため現時点では，できるかぎり幅広い条件のサイトに対して適用できるように，第 2 次取りまとめ（サイクル機構，1999）など多くの国内外の生物圏評価の事例を基に線量に寄与する KIPPs を抽出しリスト化を行う（以下，KIPPs リスト）ことが有益である。これにより，様々なサイトが今後明らかになった場合でも，KIPPs のぬけ落ちを最小限にすることができる。KIPPs の抽出にあたっては，重要なプロセスや移行経路の情報に加え，対象としているシナリオの種類や気候状態，さらに重要核種などについても付記しておくことが有益である。

次に抽出されたリストについて以下の属性による分類を行う。これら属性は生物圏評価モデルの構成要素に相当し，後述する個々の検討を行ううえで有益となる。

- (1) 核物理に関連するもの
- (2) 生物圏と地質環境とのインターフェイス領域（GBIZ¹）に関連するもの
- (3) 移行プロセスに関連するもの
- (4) 被ばくに関連するもの

以下，上記で分類した各属性について説明する。

(1) 核物理に関連する KIPPs リスト

放射性核種の核物理学に関する基本的なデータ（放射性核種の崩壊系列や半減期，エネルギー放出量）については，これまでかなりの知見が体系的に集積され，国際的にコンセンサスが得られた形で公表されていることから，該当する文献から必要なデータを選択し文書化することは容易である。このため核物理学に関するデータは KIPPs リストから除外することが可能といえる。

しかしながら，注意すべきことは，生物圏評価に用いるデータは，安全評価で対象とする他のサブシステム（たとえば人工バリア）で用いるものとの整合性である。例えば，国際放射線防護委員会（ICRP）では，線量係数（ICRP Publ. 38：ICRP，1983）を計算するために核物理データを使用しているが，これらは一般にガラス固化体のインベントリ計算で用いられる核物理データと異なることが多い。このように異なるデータの使用は十分に認識し正当化を図るか，あるいは調整すべきものと言える。また，Se-79 の半減期についてこれまでの値とは異なる報告（Chunsheng, 1997）があったように，すでに確立しているデータとされていても，今後新たな知見が生み出され不整合が生じる可能性もある。

(2) GBIZ に関連する KIPPs リスト

GBIZ に関する KIPPs リストは，放射性核種の移行の観点から地質環境と生物圏との接続

¹ 第 2 次取りまとめでは，放射性核種が地下水により地下から生物圏に流入すると想定される場所は，地質環境と生物圏のインターフェイスとして，GBI(Geosphere-Biosphere Interface)と定義されているが，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モデル化する考え方が提唱されており，その領域を GBIZ(Geosphere-Biosphere Interface Zone)と呼ぶ。

のモデル化に不可欠なものであり、一般に以下のように定義することができる。

- 地質環境から生物圏への移行モード（液体，固体，気体）
- 地質環境から生物圏への移行形態（例えば，移流，拡散）
- GBIZ の時間的・空間的表現（例えば，核種の流入が起こる場所，流入時期，移行率）
- 生物圏のシステム要素を構成する媒体（例えば，水，固体／堆積物，大気）とその特性（物理・化学特性，侵食速度）
- 移行が生じる領域の面積と深さ

生物圏評価モデルにおける GBIZ の空間的な大きさは地質環境モデルに大きく依存する。また，GBIZ はモデルで対象とする移行経路や移行プロセスに大きく影響することから非常に重要なものに位置付けられる。

(3) 移行プロセスに関連する KIPPs リスト

放射性核種の移行（蓄積を含む）プロセスに関する KIPPs は，システムを構成する各媒体中の移行に関するものであり，例えば，放射性核種の収着，ある媒体（例えば，土壌や堆積物）から他の媒体（例えば，植物，畜産物）への移行係数や移行率などが挙げられる。

(4) 被ばくに関連する KIPPs リスト

生物圏評価のアウトプットとなる主要な指標は，種々の潜在的な被ばくグループの平均的な構成員に対する年実効線量を想定している。KIPPs としては，例えば，潜在被ばくグループの活動（例えば，農業，入浴），食習慣，吸入・摂取による線量換算係数（Sv/Bq），外部被ばくによる線量換算係数（Sv/h / (Bq/m³)）等が該当する。

次に，分類された KIPPs リストについて，今後サイトが特定された場合，そのサイトに応じた検討が可能となるよう，安全評価の評価条件（Assessment context）に基づく KIPPs のスクリーニングが有益となる。これにより，明らかに関連性のない KIPPs を排除することができる。現時点のように対象となるサイトが特定されていない場合には，第 2 次取りまとめのレファレンスケースの評価条件を参考に以下のように設定することができる。

- ・ 処分場の位置: 沿岸地域
- ・ 核種流入域: 内陸（土壌，堆積層，淡水水系など）
- ・ 流入モード: 液相（地表近傍帯水層の地下水）
- ・ 潜在的な被ばくグループ: 農作業，淡水漁業，海水漁業

また，核種／元素に依存するプロセスについては，第 2 次取りまとめのレファレンスケースの結果を基に Cs-135, Se-79, Np-237/(Th-229) に対象を絞って検討していくことも可能である。

2.2 KIPPsに基づくデータの重要度の把握

ここでは、2.1の作業を経て残ったKIPPsに対応するパラメータに焦点をあて、その重要度を把握するための手順を示す。

2.2.1 データのサイト依存性

ここでの作業は、2.1で抽出されたKIPPsを対象に、それを表現する数学モデルから特定される個々のパラメータに焦点をあて、それぞれが図2-1に示すようにサイトに依存する性質のものかどうかの検討を行うことである。これは、対象となるパラメータのデータ設定あるいはその正当化を行ううえで、今後サイトで得られる情報やデータを必要とするかどうかを意味する。たとえば、対象となるプロセスのメカニズムが十分に特性化されていても、サイトの環境条件に依存する可能性のあるパラメータはサイトで得られる情報やデータの必要性の有無が明確に判断できないため、ここではサイトに依存するものとして取扱う。

2.2.2 データ出典のタイプ分類と情報/データ取得が今後必要なパラメータの特定

2.2.1で述べたサイトに依存性するデータ、およびサイトに依存しないデータのそれぞれについて、その出典が「確定的なデータ (Prescribed data)」か、あるいは「十分に特性化されたデータ (Well-characterised data)」か、の確認を行う。これらに該当しない場合は「特性化が充分ではないデータ (Poorly characterised data)」となり、次のステップに進む。これらの分類は、国際原子力機関 (IAEA) の BIOMASS に示されたデータ設定手順 (IAEA, 2003) に基づく。なお、このような確認を行うには、第2次取りまとめの生物圏評価で整備されたデータベースを出発点とすることが合理的である。

(a) 確定的なデータ (Prescribed data)

確定的なデータとは、たとえば国際放射線防護委員会 (ICRP) の勧告など国際的にコンセンサスの得られたものや、厳密な実験結果に基づく追跡性が明白なもの、あるいは規制基準や評価条件によって規定されるものをいう。確定的なデータの例としては、放射性核種の崩壊系列や半減期、ICRPによる線量換算係数といったものが挙げられる。したがって、確定的なデータの出典が存在するパラメータについては、サイトへの依存性の有無にかかわらず、その出典あるいは指定された規制基準類からデータを設定することになる。

(b) 十分に特性化されたデータ (Well-characterised data)

十分に特性化されたデータとは、一般に、適切な取得方法と十分な品質保証に基づきデータの品質の信頼性が確保され、適切なレビューによってその妥当性が専門家間で確認されているものをいう。サイトに依存しないパラメータであれば、その出典からデータを設定することが可能となる。しかし、サイトに依存するパラメータの場合、IAEAの Technical Report No.364 (現在、IAEAのEMRASプロジェクトにおいて改訂作業中) のように国際的に十分に特性化されたデータと認識されているものであっても、特定のサイトに対して適用する場合には、その正当性を示しておくことが重要となる。このため、正当性が明白に示すことが困難なパラメータについては、わが国の条件を考慮したデータ取得または今後サイトで取得される情報/データに基づく設定データの正当化、あるいは専門家による判断を必要とするものとして位置付けられる。このような観点から、たとえば放射線医学総合研究所による検討が現在進められている (放射線医学総合研究所, 2004)。

(c) 十分に特性化されていないデータ (Poorly characterised data)

上記 2 つのタイプに分類されないデータは、すべて十分に特性化されていないデータとして取扱うことになるため、検討すべきパラメータ数を絞って行うことが重要である。そのため、線量結果に寄与する評価上重要なパラメータに絞って検討していくことが合理的であることから、対象となるモデルのパラメータの感度解析が有益となる。このような感度解析として、これまで第 2 次取りまとめの生物圏評価モデルを対象とした検討事例がある (Kato et al., 2004)。

感度解析の結果、評価上重要ではないと判断されるパラメータについては、サイトへの依存性にかかわらず、基本的に適切な出典からデータを設定することができる。一方、評価上重要となるパラメータについては、データ設定の正当性を示す必要があり、サイトに依存しないパラメータであれば、今後十分な知見 (情報 / データ取得) を得るための実験などの研究開発に基づくデータ設定の正当化、あるいは専門家による判断が必要なものと位置付けられる。また、サイトに依存するパラメータであれば、わが国の条件を考慮したデータ取得または今後サイトで取得される情報 / データに基づくデータ設定の正当化、あるいは専門家の判断が必要なものと位置付けられる。

2.3 今後のデータ取得に向けた優先度の抽出

2.2 の作業を通じて以下のカテゴリーに分類されるデータは、今後のデータ取得に向けた優先度について検討する必要がある。

- サイトに依存せず、かつ十分に特性化はなされていないが、評価上は重要と判断されるデータ (図 2-1 中(i))
- サイトに依存し、十分に特性化はなされていないが、評価上は重要と判断されるデータ (図 2-1 中(ii))
- サイトに依存し、十分に特性化されているが、実際にサイトに適用するにあたっては、正当化が必要なデータ (図 2-1 中(iii))

今後 R&D あるいはわが国の条件や特定のサイトで取得される情報 / データが必要と特定されたパラメータについて、その取得方法を勘案しながら、優先度の検討を行うことが受容である。検討にあたっては、データ取得方法の実用性とその取得経験が重要であることから、必要に応じ専門家の意見を聴取する。これは、上記作業を通じて重要と位置付けられても、原理的に直接測定ができないパラメータに対しては、間接的にデータを導出するための検討が必要であることによる。

3. おわりに

サイクル機構および原環機構は、協力協定に基づき、今後選定される特定のサイト（概要調査地区など）において実施される生物圏評価に向けて整備していく必要のあるデータやその優先度を明らかにすることを目的に、「生物圏評価データに関する検討会」を設置し、今後選定される特定のサイト（概要調査地区など）の性能評価に向けて優先的に整備していく必要のあるデータを評価するための方法論について検討した。その結果、これまでの評価事例にみられる KIPPs を基に今後新たにデータや情報の取得が必要となるパラメータを特定する作業フローを構築した。

今後は、このフローを用いて具体的にデータの重要度を把握していくことが重要となる。以上の作業を通じて、今後の生物圏評価の研究開発の方向性や取得すべきデータの優先度を特定し、サイトでのデータ取得計画や研究開発計画に反映していくことが肝要となる。

参考文献

BIOPROTA : “THEME 2: Task 7: Modelling Processes in the Geosphere Biosphere Interface Zone”, Key Issues in Biosphere Aspects of Assessment of the Long-term Impact of Contaminant Releases Associated with Radioactive Waste Management (2005) (<http://www.bioprota.com/> - Publications)

Chunsheng, L., Jingru, G. and Daming, L. : “A procedure for the separation of ^{79}Se from fission products and application to the determination of the ^{79}Se half-life”, J. Radioanalyt. Nucl. Chem., 220, 69-71 (1997)

原子力発電環境整備機構 : “高レベル放射性廃棄物の最終処分施設の設置可能性を調査する区域の公募関係資料” (2002)

放射線医学総合研究所 : “平成 15 年度放射性廃棄物共通技術調査等 放射性核種生物圏移行パラメータ調査”(2004)

IAEA : “Generic models and parameters for assessing the environmental transfer of radionuclides from routine releases”, Safety Series No.57 (1982)

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, International Atomic Energy Agency, Vienna (2003)

ICRP: Radionuclide Transformations, Energy and Intensity of Emissions, ICRP Publication 38, Ann. ICRP 11-13 (1983)

Kato, T., Suzuki, Y., Makino, H. and Uchida M. : “Biosphere Assessment for High-level Radioactive Waste Disposal : Modelling Experiences and Discussion on Key Parameters by Sensitivity Analysis in JNC”, Proceedings of the International Symposium on Radioecology and Environmental Dosimetry, pp.465-472 (2004)