JAEA-Data/Code
2011-008

低レベル放射性廃棄物処分に対する濃度上限値評価コードGSA-GCL第2版の開発

（受託研究）

Development of GSA-GCL Code Version 2 to Evaluate Radioactivity Concentration Limit for Low Level Radioactive Waste Disposal

(Contract Research)

武田 聖司　澤口 拓磨　佐々木 利久　木村 英雄

Seiji TAKEDA, Takuma SAWAGUCHI, Toshihisa SASAKI and Hideo KIMURA

安全研究センター
サイクル施設等安全研究ユニット

Fuel Cycle Safety Research Unit
Nuclear Safety Research Center

August 2011

Japan Atomic Energy Agency　日本原子力研究開発機構

JAEA-Data/Code

本レポートは独立行政法人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）
より発信されています。

独立行政法人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
〒319-1195　茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

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 +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2011

JAEA-Data/Code 2011-008

低レベル放射性廃棄物処分に対する濃度上限値評価コード GSA-GCL 第 2 版の開発
（受託研究）

日本原子力研究開発機構　安全研究センター　サイクル施設等安全研究ユニット
武田　聖司、澤口　拓磨、佐々木　利久*、木村　英雄

（2011 年 5 月 17 日受理）

長寿命核種を有意に含んでいる TRU 廃棄物およびウラン廃棄物の将来の処分に備え、浅地中のトレンチ処分、コンクリートピット処分、余裕深度処分の各埋設処分方式に最終的な処分可能な当該廃棄物の範囲を明確化するための濃度上限値の制度化が必要である。原子力機構では、当該廃棄物を対象に、これらの 3 種類の埋設処分方式に対応した濃度上限値算出のための評価コード GSA-GCL 第 2 版（GSA-GCL2）の開発を行った。本コードでは、原子炉廃棄物の余裕深度処分に対する濃度上限値を算出するための GSA-GCL をベースに、主に以下の 4 点についてモデル整備や機能拡張を行った。1) 浅地中処分における跡地利用に伴うシナリオの線量評価モデルの整備、2) ウラン系列の子孫核種であるラドンガスの発生から吸入被ばく線量までの一連の評価モデルの整備、3) 余裕深度処の隆起・侵食による処分場跡地で発生する人間侵入シナリオの評価モデルの整備、4) モンテカルロ法を用いた各モデルのパラメータの不確実性の影響評価を可能とする機能拡張。

本報告書は、整備した GSA-GCL2 のモデル構成、具体的な解析機能、各評価モデルを使用する際に必要な入出力マニュアル、入出力ファイル仕様、各モデルの検証計算の結果を取りまとめたものである。

本コードは、原子力安全委員会「低レベル放射性固体廃棄物の埋設処分に係る放射能濃度上限値について」（平成 19 年 5 月）において、TRU 廃棄物の 3 種類の埋設処分方式に対する濃度上限値の算出のために活用された。また、濃度上限値の制度化により TRU 廃棄物の範囲が明確化され、高レベル放射性廃棄物に TRU 廃棄物を加えた最終処分の実施に向けた法制度（特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律）の改正（平成 19 年 6 月）に貢献した。

本研究は、経済産業省原子力安全・保安院からの受託研究「平成 18 年度放射性廃棄物処分の長期的評価手法の調査」として実施した。

原子力科学研究所（駐在）：〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4
※　株式会社ビィジブルインフォメーションセンター

JAEA-Data/Code 2011-008

Development of GSA-GCL Code Version 2 to Evaluate Radioactivity Concentration Limit for Low Level Radioactive Waste Disposal
(Contract Research)

Seiji TAKEDA, Takuma SAWAGUCHI, Toshihisa SASAKI* and Hideo KIMURA

Fuel Cycle Safety Research Unit
Nuclear Safety Research Center
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received May 17, 2011)

The upper bound of radioactivity concentration during disposal means the maximum concentration of radionuclides of waste repository allowable in a license application for that repository. For transuranium (TRU) and uranium wastes, it is nessessary to amend the law to set the upper bound of radioactivity concentration for three concepts to dispose of low-level waste categories: near surface disposal without an artificial barrier (trench disposal), near surface disposal with an artificial barrier (concrete vault disposal), and intermediate depth disposal. We developed an assessment code (GSA-GCL ver.2) to derive the upper bound of radioactivity concentration for TRU and uranium wastes, according to geological and artificial barrier features in three disposal concepts.

We conduct a model development: the dose estimation model for the exposure pathways of a site-reuse scenario, the inharation model of radon gas emanated from the wastes and the model of human intrusion scenario owing to progress of uplift and denudation. The code supports to estimate the effect of parameter uncertainty to radiological exposure based on the Monte Calro technique.

This document summaries descriptions of the capabilities and structure of GSA-GCL ver.2 code, mathematical models, user information for execution of the code system (users' manual), input and output file system and the result of verification for the models in this code .We provide the evaluated result of the upper bounds of radioactivity concentration for radionuclides in TRU wastes, which reflects to the regulation report on the result for three concepts to dispose of low-level waste categories, reviewed by Nuclear Safety Commission of Japan in May 2007. In addition, according to the revised law of the upper bounds of radioactivity concentration, Designated Radioactive Waste Final Disposal Act was amended in June 2007 for the progress of final disposal of TRU wastes as well as high level radioactive wastes.

Keywords:
Upper Bound of Radioactivity Concentration, Trench Disposal, Concrete Vault Disposal, Intermediate Depth Disposal, Transuranium Waste, Uranium Waste, GSA-GCL, Safety Assessment

---

This study is regulatory support research funded by the Nuclear and Industrial Safety Agency (NISA), Ministry of Economy, Trade and Industry (METI).
＊Visible Information Center, Inc.

目　次

1.　はじめに ……1
2.　評価モデル……2
2.1　評価モデルの概要 ……2
2.2　ソースタームモデル ……4
2.2.1　地下水移行評価用ソースタームモデル ……4
2.2.2　簡易核種浸出モデル ……7
2.2.3　跡地利用評価用ソースタームモデル ……8
2.3　天然バリアモデル……11
2.3.1　多孔質媒体近似モデル ……11
2.3.2　亀裂性媒体近似モデル ……12
2.4　生物圏モデル……15
2.4.1　地下水移行シナリオ線量評価モデル ……15
2.4.2　跡地利用シナリオ線量評価モデル ……45
3.　評価コード……50
3.1　評価コードの概要 …… 50
3.2　入力ファイル仕様 …… 60
3.2.1　実行制御モジュール（MASTER） …… 60
3.2.2　サブモデルに関するモジュール…… 62
3.2.3　パラメータサンプリングに関するモジュール（LHS） …… 63
3.2.4　統計解析に関するモジュール …… 65
3.3　ライブラリファイル仕様 …… 65
4.　実行手順 ……79
5.　おわりに ……80

謝辞 ……81
参考文献 ……82

Appendix-1　MASTER モジュールにおけるコマンド一覧 ……83
Appendix 2　ソースタームモデルに関する入力ファイル仕様……88
Appendix-3　天然バリアモデルに関する入力ファイル仕様……97
Appendix-4　生物圏モデルに関する入力ファイル仕様…… 109
Appendix-5　各サブモデルにおけるパラメータの定義文字列…… 129
Appendix-6　生物圏モデルにおける出力項目…… 142
Appendix-7　サブモデルに関する検証計算…… 145

Contents

1. Introduction ····· 1
2. Assessment Model ····· 2
2.1 Outline of Assessment Model ····· 2
2.2 Source Term Model ····· 4
2.2.1 Source Term Model for Grondwater Migration Scenario ····· 4
2.2.2 Simple Model of Radionuclide Release ····· 7
2.2.3 Source Term Model for Site-reuse Scenario ····· 8
2.3 Geosphere Model ····· 11
2.3.1 Pours Medium Model ····· 11
2.3.2 Fracture Medium Model ····· 12
2.4 Biosphere Model ····· 15
2.4.1 Dose Evaluation Model for Grondwater Migration Scenario ····· 15
2.4.2 Dose Evaluation Model for Site-reuse Scenario ····· 45
3. Computer Code ····· 50
3.1 Outline of Code ····· 50
3.2 Specification of Input Files ····· 60
3.2.1 Module to Controal Execution (MASTER) ····· 60
3.2.2 Module on Sub-models ····· 62
3.2.3 Module on Parameter Sampling ····· 63
3.2.4 Module on Statistical Analysis ····· 65
3.3 Specification of Library File ····· 65
4. Methods of Excution ····· 79
5. Concluding Remarks ····· 80
Acknowledgments ····· 81
References ····· 82

Appendix-1 Specification of Master Module ····· 83
Appendix-2 Specification of Input Files on Source Term Model ····· 88
Appendix-3 Specification of Input Files on Geosphere Model ····· 97
Appendix-4 Specification of Input Files on Biosphere Model ····· 109
Appendix-5 Character List of Parameter Definition on Sub-Models ····· 129
Appendix-6 Label List of Output in Biosphere Model ····· 142
Appendix-7 Result of Verification for models ····· 145

1. はじめに

原子力安全委員会「低レベル放射性固体廃棄物の陸地処分の安全規制に関する基準値（第 3 次中間報告）」報告書[1]によると、「濃度上限値」とは、管理型処分による廃棄物埋設事業の許可申請が可能な低レベル放射性廃棄物の範囲を明確化することを意図して定められたものであり、廃棄物埋設事業の許可申請を行うことができる当該廃棄物に含まれる放射性核種濃度の最大値のことである。

原子力安全委員会では、これまでに、原子炉施設の運転および解体に伴い発生する放射性廃棄物（以下、「原子炉廃棄物」と記す）を対象に、発生する廃棄物の性状、および 3 種類の埋設処分方式別に濃度上限値が導出されている[1, 2, 3]。3 種類の埋設処分方式とは、①人工構築物を設置しない廃棄物埋設施設に浅地中処分する方法の「トレンチ処分」、②浅地中にコンクリートピットなどの人工構築物を設置して埋設する方法の「コンクリートピット処分」、および③一般的であると考えられる地下利用に対して十分余裕を持った深度（例えば、50～100m 程度）や放射性核種の移行抑制機能の高い地中へ人工構築物を設置した埋設施設への処分の「余裕深度処分」である。

日本原子力研究所（1999）では、原子炉廃棄物の余裕深度処分に対する濃度上限値を算出するためのコードとして GSA-GCL[4]を開発するとともに、GSA-GCL により算出した当該廃棄物の濃度上限値を原子力安全委員会に提供し[1]、その基準値の審議および法令化の整備に貢献した。

しかしながら、再処理施設、MOX 燃料施設などから発生する TRU 核種を含む放射性廃棄物（以下、「TRU 廃棄物」と記す）およびウラン廃棄物に対しては、上述の 3 種類の埋設処分方式に応じた濃度上限値については、基準値としての整備が進められていない状況であった。

そこで、日本原子力研究開発機構　安全研究センターでは、長寿命核種を有意に含んでいる TRU 廃棄物およびウラン廃棄物の将来の処分に備え、浅地中のトレンチ処分やコンクリートピット処分などの各埋設処分方式に最終的な処分可能な当該廃棄物の範囲を明確化するための濃度上限値検討の必要性を認識し、経済産業省　原子力安全・保安院からの受託研究「放射性廃棄物処分の長期的評価手法の調査」において、当該廃棄物を対象に 3 種類の埋設処分方式に対応した濃度上限値算出のための評価コード GSA-GCL 第２版（GSA-GCL ver.2.0、以下「GSA-GCL2」）の整備を進めてきた。

3 種類の埋設処分方式に対応した濃度上限値算出のための評価コード GSA-GCL2 は、これまでの GSA-GCL に以下の 4 つの拡張を加えている。

① 「トレンチ処分」、「コンクリートピット処分」、「余裕深度処分」の 3 種類の埋設処分方式に対する人工バリア構成の違いに対応した「ソースタームモデル（処分場からの核種漏洩フラックスを評価）」を拡張するとともに、トレンチ処分とコンクリートピット処分において、評価対象のシナリオである処分場の跡地利用に伴うシナリオの線量評価に関する新たなモデルを整備した。

② ウラン系列の子孫核種であるラドンガスの発生から吸入に伴う被ばく線量の評価までの一連の評価モデル（汚染土壌からのラドン散逸率評価モデル、屋外／屋内のラドン濃度評価モデル、ラドンガス吸入による内部被ばくモデル）を整備した。

③ 余裕深度処分を対象とした評価において、長期的評価の観点から、隆起・侵食の天然事象によって処分場と地表面との相対的な位置関係が時間的に変化することに伴い、処分場跡地における人間侵入のシナリオが発生することに対する影響評価を可能とした。

④　一連の核種移行や線量評価に関する数学モデルを構成する評価パラメータには、様々な要因による数値のばらつきが考えられ、そうしたばらつきを確率密度関数で表現し、モンテカルロ法を用いた各モデルのパラメータ不確実性の影響を評価可能とした。

なお、1 次版の GSA-GCL [(4)]に装備していた様々なモデルや解析機能（ソースタームモデルにおける地下水への核種の溶出を規定する分配平衡モデルや溶解度律速モデル、人工バリア材の長期劣化によるパラメータの時間変動機能など）は、GSA-GCL2 においても利用可能である。

本報告書は、上記①～④に関するモデル整備や解析機能の拡張を進めた GSA-GCL2 のモデル構成、具体的な解析機能、各評価モデルを使用する際に必要な入出力マニュアル、入出力例、各モデルの検証計算の結果などを取りまとめたものである。

2.　評価モデル

2.1　評価モデルの概要

「トレンチ処分」、「コンクリートピット処分」、「余裕深度処分」の 3 種類の埋設処分方式において評価対象と考えられる評価シナリオのうち、GSA-GCL2 で対象とするシナリオは、「地下水移行シナリオ」と「跡地利用シナリオ」の 2 種類である。「地下水移行シナリオ」は、廃棄物層から溶出した放射性核種が人工バリア材および天然バリア中を地下水により移行し、人間の生活環境である生物圏に到達することによる被ばくを想定したシナリオである。また、「跡地利用シナリオ」は、処分場跡地において、地中の廃棄物の存在を認知せずに宅地開発などの建設行為やその後の居住による被ばくを想定したシナリオである。

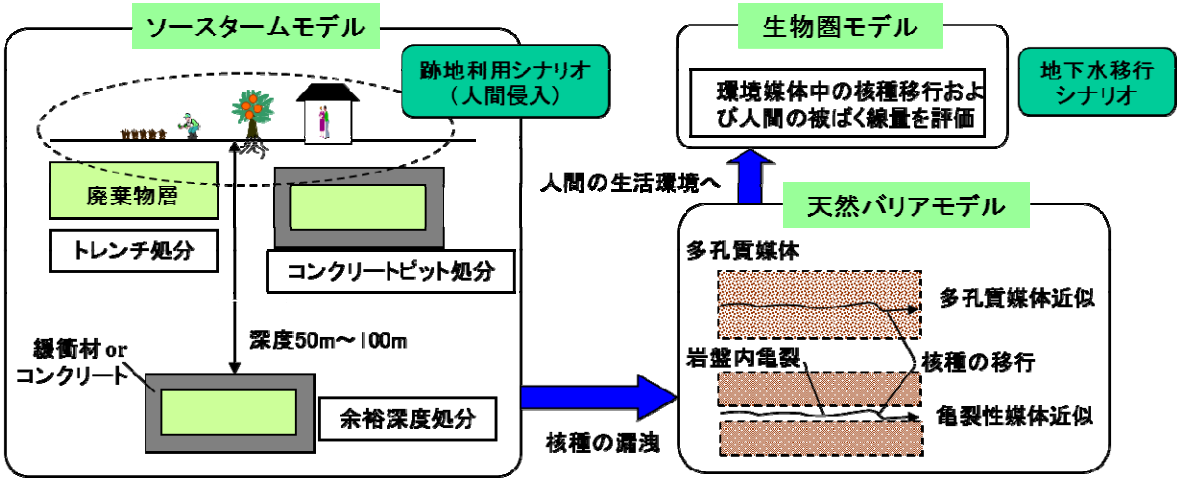


Fig.2-1　GSA-GCL2 における主要モデルの構成

「地下水移行シナリオ」と「跡地利用シナリオ」の 2 種類のシナリオに関する線量を評価するための主要モデルは、Fig.2-1 に示すようにソースタームモデル、天然バリアモデル、生物圏モデルの 3 つである。GSA-GCL2 における各主要モデルには、いくつかのサブモデルを用意しており、各サブモデルの概要一覧を Table2-1 に示す。また、「地下水移行シナリオ」と「跡地利用シナリオ」の評価において使用する Table2-1 に示した各サブモデルの関係を Fig.2-2 に示した。これらの各サブモデルの詳細について、次節以降に記載した。

Table2-1　GSA-GCL2 における各評価モデルの概要一覧

評価モデル		モデル概要	対象シナリオ
ソースタームモデル	地下水移行評価用ソースタームモデル	処分施設を廃棄物層と緩衝材等の人工バリア材部分の2つのコンパートメントとして表現し、崩壊系列、移流、収着、拡散等を考慮した非定常的な施設内の核種量の変化を動的コンパートメントにより解析し、処分施設からの核種移行フラックスを計算する。	地下水移行
	簡易核種浸出モデル	処分施設を単一のコンパートメントとして表現し、処分施設としての核種浸出能を表すパラメータと施設浸透水量から処分施設からの核種移行フラックスを計算する。埋設処分濃度上限値評価に使用されたモデルである。	地下水移行
	跡地利用評価用ソースタームモデル	処分施設を単一のコンパートメントとして表現し、処分施設内に残存する核種濃度を計算する。地下水の浸透、収着、物理崩壊の現象を考慮可能であり、また、余裕深度処分において隆起・侵食により処分深度が相対的に浅くなることにより発生の可能性が想定される跡地利用シナリオの評価にも対応可能である。	跡地利用
天然バリアモデル	多孔質媒体近似モデル	核種移行経路にあたる天然バリアの地質媒体を1次元の多孔質として近似し、移流−分散、平衡吸着による遅延および崩壊連鎖を考慮した1次元移流分散方程式により天然バリアからの核種移行フラックスを計算する。	地下水移行
	亀裂性媒体近似モデル	核種移行経路にあたる天然バリアの地質媒体を1次元の亀裂性媒体（平行平板亀裂または円形亀裂）として近似し、崩壊連鎖、平衡吸着による遅延、亀裂から岩石マトリックスへの拡散を考慮した亀裂中および岩石マトリックス中に対する核種輸送方程式により核種移行フラックスを計算する。	地下水移行
生物圏モデル	地下水移行シナリオ線量評価モデル	処分施設の周辺の地質媒体（天然バリア）中を移行した放射性核種の表面水系（河川、井戸、湖沼、海洋など）への流入および様々な環境媒体へ移行するシナリオを想定し、環境媒体中の核種濃度を計算する。さらに、各環境媒体から最終的に人間に与える線量を計算する。	地下水移行
	跡地利用シナリオ線量評価モデル	処分場跡地において、地中の廃棄物の存在を認知せずに宅地開発等の建設行為やその後の居住等のシナリオを想定し、処分場跡地での汚染した土壌中の核種濃度と人間に与える線量を計算する。	跡地利用

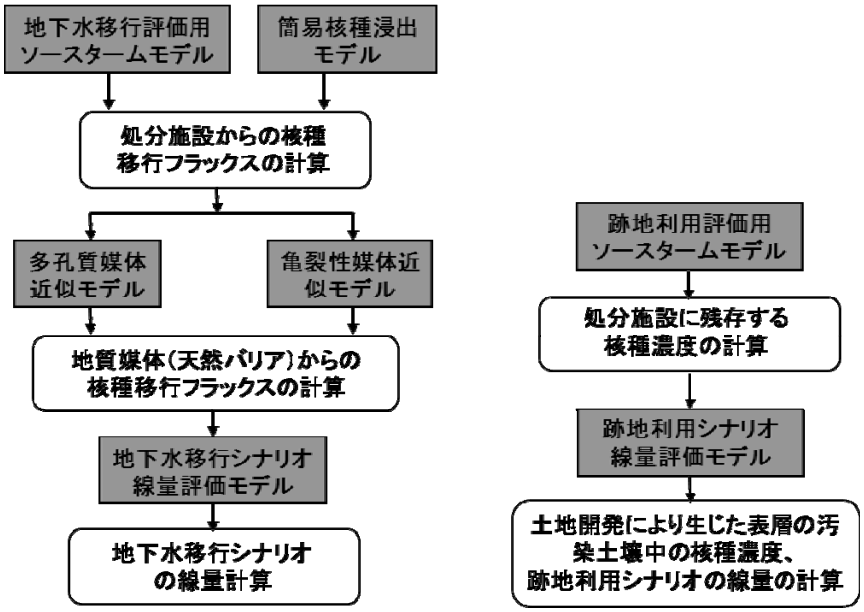


Fig.2-2　地下水移行シナリオおよび跡地利用シナリオの評価における各サブモデルの関係

2.2　ソースタームモデル

ソースタームモデルは、Table2-1 に示すように、3 種類のサブモデル「地下水移行評価用ソースタームモデル」、「簡易核種浸出モデル」、「跡地利用評価用ソースタームモデル」がある。「地下水移行評価用ソースタームモデル」は、オリジナルコードである GSA-GCL の中で既に整備されているモデルである。「簡易核種浸出モデル」と「跡地利用評価用ソースタームモデル」は、TRU 廃棄物およびウラン廃棄物の各埋設処分方法に対する濃度上限値の算出のために、GSA-GCL2 に新たに導入したサブモデルである。各サブモデルの詳細について以下に述べる。

2.2.1　地下水移行評価用ソースタームモデル

地下水移行評価用ソースタームモデルでは、廃棄物処分施設からの核種漏洩の評価のためのモデルとして、Fig.2-3 に示すような廃棄体層（廃棄物固化体、充填材、構造材などを含む）、緩衝材および周辺地層から構成されるコンパートメントモデルを採用する。すなわち、廃棄体層、緩衝材、周辺地層をそれぞれ 1 つのコンパートメントと考え、その中での核種濃度および物性値は一定とし、その上で、各コンパートメント間の移流、拡散および崩壊による物質収支を考える。ただし、周辺地層のコンパートメントは、拡散による核種のフラックス（濃度勾配）が最大となるように保守的に核種濃度 0 を仮定している。

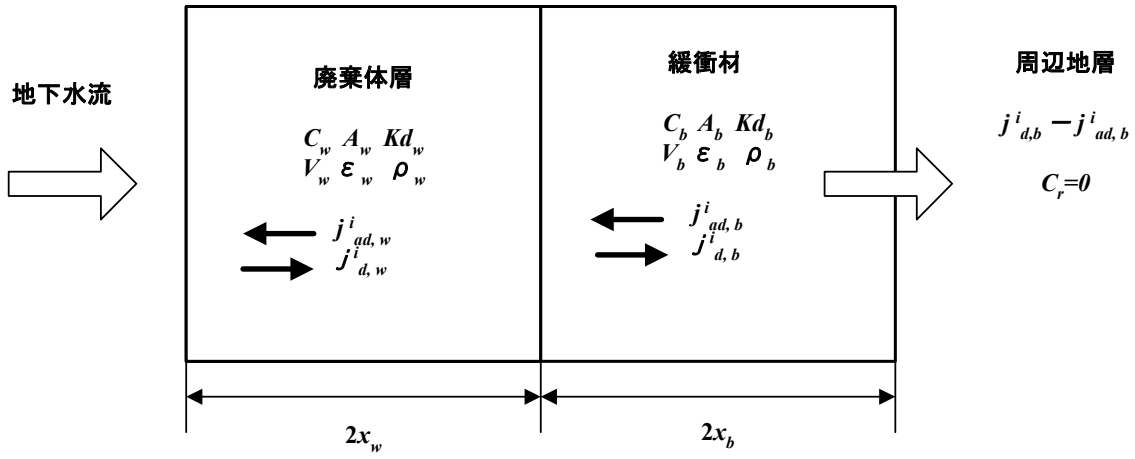


Fig.2-3　地下水移行評価用ソースタームモデルの概念図

廃棄体層および緩衝材のコンパートメントにおける物質収支は、移流、拡散および崩壊を考慮すると、次式のように表される。

[廃棄体]

$$\frac{dA_w^i(t)}{dt} = -j_{d,w}^i(t) + j_{ad,w}^i(t) - \lambda^i A_w^i(t) + \lambda^{i-1} A_w^{i-1}(t) \tag{2.1}$$

[緩衝材]

$$\frac{dA_b^i(t)}{dt} = j_{d,w}^i(t) - j_{ad,w}^i(t) - j_{d,b}^i(t) + j_{ad,b}^i(t) - \lambda^i A_b^i(t) + \lambda^{i-1} A_b^{i-1}(t) \tag{2.2}$$

ここで、$A_k^i(t)$　：コンパートメント k における核種 i の総量 (atom)

$j_{ad,k}^i(t)$　：コンパートメント k における移流によるフラックス (atom/y)

$j_{d,k}^i(t)$　：コンパートメント k における拡散によるフラックス (atom/y)

λ^i　：核種の崩壊定数 (1/y)

コンパートメント内の核種の総量と核種濃度は、次式で関係づける。

$$C_k^i(t) = \frac{A_k^i(t)}{\varepsilon_k V_k R_k^i} \tag{2.3}$$

ここで、C_k^i　：コンパートメント k における核種 i の水中濃度 (atom/m^3)

V_k　：コンパートメント k の体積 (m^3)

ε_k　：コンパートメント k の間隙率 (-)

R_k^i　：コンパートメント k における核種 i の遅延係数 (-)

$$R_k^i = 1 + \frac{1-\varepsilon_k}{\varepsilon_k}\rho_k Kd_k^i \tag{2.4}$$

ρ_k　：コンパートメント k の真密度 (kg/m^3)

Kd_k^i　：コンパートメント k における核種 i の分配係数 (m^3/kg)

コンパートメント k における核種 i の移流および拡散によるフラックスは、次式で与えられるものとする。

$$j_{ad,k}^{i}(t) = \varepsilon_k v_k S_k C_k^i(t) \tag{2.5}$$

$$j_{d,k}^{i}(t) = De_k^i S_k \left[\frac{\Delta C_k^i(t)}{\Delta x} \right] \tag{2.6}$$

ここで、S_k　：コンパートメント k の断面積 (m^2)

v_k　：コンパートメント k の実流速 (m/y)

De_k^i　：コンパートメント k における核種 i の実効拡散係数 (m^2/y)

これらの式を基に、フラックスの連続性を考慮すると、式(2.1)および式(2.2)は以下のように書き換えられる。

$$\frac{dA_w^i(t)}{dt} = -J_w^i(t) - \lambda^i A_w^i(t) + b_{wb}^i A_b^i(t) + \lambda^{i-1} A_w^{i-1}(t) \tag{2.7}$$

$$\frac{dA_b^i(t)}{dt} = J_w^i(t) - \lambda^i A_b^i(t) - b_{bb}^i A_b^i(t) + \lambda^{i-1} A_b^{i-1}(t) \tag{2.8}$$

ここで、

$$J_w^i(t) \equiv \left\{ \frac{De_{wb}^i S_{wb}}{x_{wb}} - \varepsilon_w v_w S_w \right\} C_w^i(t) = \left\{ \frac{De_{wb}^i S_{wb}}{x_{wb}} - \varepsilon_w v_w S_w \right\} \frac{A_w^i(t)}{\varepsilon_w V_w R_w^i} \tag{2.9}$$

$$b_{wb}^i \equiv \frac{De_{wb}^i S_{wb}}{x_{wb}} \cdot \frac{1}{\varepsilon_b V_b R_b^i} \tag{2.10}$$

$$b_{bb}^i \equiv \frac{De_b^i S_b}{\varepsilon_b V_b R_b^i x_b} - \frac{u_b S_b}{R_b^i V_b} + \frac{De_{wb}^i S_{wb}}{x_{wb}} \cdot \frac{1}{\varepsilon_b V_b R_b^i} \tag{2.11}$$

$$\frac{De_{wb}^i S_{wb}}{x_{wb}} \equiv \frac{De_b^i S_b De_w^i S_w}{De_b^i S_b x_w + De_w^i S_w x_b} \tag{2.12}$$

廃棄体層および緩衝材の間隙水中の評価対象となる核種濃度が、その核種の元素の溶解度と比較して低いと考えられる場合には、核種の漏洩は分配平衡に基づいて起こると仮定することができる。トレンチ処分やピット処分などが、これに該当する。この場合、適切な初期条件を設定すれば、式(2.7)および(2.8)に基づいて、廃棄体層および緩衝材の核種総量 A_w^i および A_b^i を求めることができ、最終的に緩衝材からの漏洩フラックスを算出することができる。本解析コードでは、これらの常微分方程式の解法として、数値逆ラプラス変換法の一つである FILT（Fast Inverse Laplace Transform）法[(6)]を採用している。

一方、分配平衡に基づく核種の漏洩の場合とは逆に、廃棄体中に含まれる核種のインベントリ

量が多く、また、還元性雰囲気の処分環境により元素の溶解度が相対的に低いような条件において、廃棄体層および緩衝材の間隙水中核種濃度が、その溶解度と比較して高い場合に、核種の漏洩は溶解度に律速されると仮定することができる。低レベル放射性廃棄物の埋設処分方式のうち、比較的濃度レベルの高く、還元性の処分環境が考えられる余裕深度処分が、これに該当すると考えられる。この場合、式(2.7)および(2.8)は次式のように書き換えられる。

$$\frac{dA_w^i(t)}{dt} = -\left\{\frac{D_{wb}^i S_{wb}}{x_{wb}} - \varepsilon_w u_w S_w\right\} C_0^i(t) - \lambda^i A_w^i(t) + b_{wb}^i A_b^i(t) + \lambda^{i-1} A_w^{i-1}(t) \tag{2.13}$$

$$\frac{dA_b^i(t)}{dt} = \left\{\frac{D_{wb}^i S_{wb}}{x_{wb}} - \varepsilon_w u_w S_w\right\} C_0^i(t) - \lambda^i A_b^i(t) - b_{bb}^i A_b^i(t) + \lambda^{i-1} A_b^{i-1}(t) \tag{2.14}$$

ここで、C_0^i は核種 i の溶解度（atom/m^3）であり、廃棄体層中に同位体が存在する場合、その元素 e の全核種量に対する核種 i の存在比によって元素 e の溶解度 C_0^e（atom/m^3）が分配されるので、C_0^i は次式により表される。

$$C_0^i(t) = \frac{A_w^i(t-1)}{A_w^e(t-1)} C_0^e(t) \tag{2.15}$$

式(2.13)および(2.14)の場合も、分配平衡の場合と同様に、逆ラプラス変換法を用いてこれらの常微分方程式の解を求め、緩衝材からの漏洩フラックスを算出している。

なお、地下水移行評価用ソースタームモデルに関しては、GSA-GCL のコードマニュアル[(4)]に記載したソースタームモデルより大きな変更はなく、その他の数学モデルの詳細については文献(4)に記載している。

2.2.2　簡易核種浸出モデル

「簡易核種浸出モデル」とは、処分施設に対するバリア機能を簡易なパラメータにより代表させ処分施設からの核種のフラックスを推定するモデルであり、本コードでは処分施設からの核種の漏洩率を表現するモデルとして、以下の 2 種類のモデルを備えている。

① 放出係数モデル : 放射性核種の廃棄体から間隙水中への浸出量の比を表すパラメータ（放出係数）と施設内の浸透水量により処分施設からの核種のフラックスを推定するモデルである[1]。

② 分配係数モデル : 処分施設内を移行する放射性核種の間隙水中の核種濃度が、処分施設の構成材料の収着に依存するとし、その収着の程度を表すパラメータ（分配係数）と施設内の浸透水量により処分施設からの核種のフラックスを推定するモデル。

簡易核種浸出モデルでは、処分施設を均一な濃度分布である 1 つのコンパートメントと仮定し、

[1]原子力安全委員会により平成 19 年 5 月に取りまとめられた低レベル放射性固体廃棄物の埋設処分に係る濃度上限値評価の際に使用されたモデルである[(5)]。

崩壊系列を考慮した非定常的な処分施設内の核種量の変化を動的コンパートメントモデルにより解析する。動的コンパートメントモデルは、以下の常微分方程式により記述される。常微分方程式の解法として、数値逆ラプラス変換法の一つである FILT 法[6]を使用している。

$$\frac{d}{dt}A_d^i(t) = -(\eta^i + \lambda^i)\cdot A_d^i(t) + \lambda^{i-1}\cdot A_d^{i-1}(t) \tag{2.16}$$

ここで、

$A_d^i(t)$ ：処分施設内の核種 i の総量 (atom)

λ^i ：核種 i の崩壊定数 (1/y)

η^i ：核種 i の処分施設からの漏洩率 (1/y)

である。

処分施設からの漏洩率 η^i は、IAEA 技術文書 IAEA-TECDOC-401[7]における放出係数モデルを使用すると、式(2-17)により求められる。また、IAEA-TECDOC-1380[8]における分配係数モデルを使用する場合には、式(2-18)に示す放出係数と分配係数との関係式を基に、処分施設からの漏洩率を求める。

$$\eta^i = \frac{P}{H_w}\cdot R_c^i \tag{2.17}$$

$$R_c^i = \frac{1}{\varepsilon_w\cdot\left(1+\frac{1-\varepsilon_w}{\varepsilon_w}\cdot\rho_w\cdot Kd_w^i\right)} \tag{2.18}$$

ここで、

η^i ：核種 i の処分施設からの漏洩率 (1/y)

P ：処分施設の浸透水量 (m/y)

H_w ：処分施設の厚さ (m)

R_c^i ：核種 i の放出係数 (-)

ε_w ：処分施設の間隙率 (-)

ρ_w ：処分施設の真密度 (kg/m^3)

Kd_w^i ：処分施設の核種 i の分配係数 (m^3/ kg)

である。

処分施設からの漏洩量である核種フラックス J^i については、次式により表される。

$$J^i(t) = \eta^i\cdot A_d^i(t) \tag{2.19}$$

2.2.3 跡地利用評価用ソースタームモデル

跡地利用評価用ソースタームモデルでは、処分施設を単一のコンパートメントとして表現し、処分施設内に残存する核種濃度を計算する。その際、地下水の浸透、収着、物理崩壊の現象を考慮し、処分施設内の核種量は、上述の式(2-16)～(2-18)に示した簡易核種流出モデルによって計算されるものとする。なお、保守的に処分施設からの核種の漏洩を考慮しない場合は漏洩率 η^i をゼロとして処分施設内の核種量 $A_d^i(t)$ を計算する。処分施設の核種濃度 $C_d^i(t)$ は、以下の式で表され

る。

$$C_d^i(t) = \frac{A_d^i(t)}{W \cdot \rho_w \cdot (1-\varepsilon_w)} \cdot D_w \tag{2.20}$$

$$D_w = \frac{W}{L_w \cdot W_w \cdot H_w} \tag{2.21}$$

$$C_w^i = \frac{A_d^i(0)}{W \cdot \rho_w \cdot (1-\varepsilon_w)} \tag{2.22}$$

ここで、

$C_d^i(t)$ ：処分施設内の核種 i 濃度 (atom/g)
D_w ：放射性廃棄物の処分総量の処分施設容量に対する割合（＝充填割合）(-)
W ：処分される放射性廃棄物の総量 (m^3)
L_w ：処分施設の長さ (m)
W_w ：処分施設の幅 (m)
H_w ：処分施設の厚さ (m)
C_w^i ：処分される放射性廃棄物中の核種 i 濃度 (atom/g)

である。

ただし、式(2-18)は、跡地利用評価用ソースタームモデルでは、水分飽和度を考慮することを可能とした以下の式とする。

$$R_c^i = \frac{1}{\varepsilon_w \cdot \left(\theta_w + \frac{1-\varepsilon_w}{\varepsilon_w} \cdot \rho_w \cdot Kd_w^i \right)} \tag{2.23}$$

ここで、

θ_w ：処分施設の含水率 (-)

本モデルにおいても、簡易核種浸出モデルと同様に、処分施設からの核種の漏洩率を表現するモデルとして「放出係数モデル」と「分配係数モデル」の 2 種類を選択できる。また、跡地利用評価用ソースタームモデルのインベントリとしては、処分される放射性廃棄物中の核種濃度 C_w^i（初期濃度）を入力する（3.2 入力ファイル仕様を参照）。

また、余裕深度処分を対象とした評価において、長期的評価の観点から、隆起・侵食の天然事象によって処分場と地表面との相対的な位置関係が時間的に変化することに伴い、処分場跡地における人間侵入のシナリオが発生することに対する影響評価を可能とした。なお、処分施設から漏洩した核種の地下水による移行を想定したシナリオにおいて、隆起・侵食により移行経路の変化やその地下水流速の変化が考えられるものの、こうしたシナリオに対する解析機能を本コードでは備えていない。

跡地利用シナリオにおける隆起・侵食の現象のモデル化の概念図を Fig.2-4 に示す。処分サイトにおける隆起の地殻変動の傾向は、十万年オーダーに亘って変化せず、また、隆起・侵食の速度

は一定であるものとする。隆起・侵食に伴い処分場跡地における以下の現象をモデル化する。

- 一定速度の隆起・侵食作用によって地表面に対する処分施設の相対位置が上昇し、処分深度（＝覆土厚さ）が減少する。
- 処分深度（＝覆土厚さ）が減少し、やがて処分施設が露呈する場合が生じる。
- 露呈後も侵食作用が継続し、処分施設の厚さが時間とともに減少する。
- 地表面付近にまで処分深度（＝覆土厚さ）が減少した後に、処分施設の跡地における人間侵入による被ばく（土地開発や居住行為）が発生する。

また、処分施設内の核種濃度の経時変化は、前述の式(2.16)により求める。その際には、隆起・侵食の進行に伴う処分施設の基本特性（間隙率、密度、施設浸透水量、処分施設内の分配係数、放出係数）の変化を考慮することができる。これらの基本特性を表すパラメータは、ある処分深度まで減少した時間以降に、その値を階段関数的に変化させるようにモデル化した。

隆起・侵食により時間変化する処分深度（＝覆土厚さ）H_c および処分施設の厚さ H_w は、以下の式により表される。

$$H_c(t) = \begin{cases} H_c(0) - v \cdot t & H_c(0) \geq v \cdot t \text{の場合} \\ 0 & H_c(0) \leq v \cdot t \text{の場合} \end{cases} \tag{2.24}$$

$$H_w(t) = \begin{cases} H_w(0) & H_c(0) \geq v \cdot t \text{の場合} \\ H_w(0) - v \cdot t + H_c(0) & H_c(0) + H_w(0) \geq v \cdot t \geq H_c(0) \text{の場合} \\ 0 & v \cdot t \geq H_c(0) + H_w(0) \text{の場合} \end{cases} \tag{2.25}$$

ここで、

$H_c(t)$　：時間 t における覆土厚さ (m)
$H_c(0)$　：埋設時（$t = 0$）における覆土厚さ (m)
v　：隆起・侵食速度 (m/y)
$H_w(t)$　：時間 t における処分施設の厚さ (m)
$H_w(0)$　：埋設時（$t = 0$）における処分施設厚さ (m)

である。

隆起・侵食現象に対する解析では、これらの式により求められる時間変化する $H_c(t)$および $H_w(t)$ を用いて、前述の跡地利用シナリオにおけるソースタームモデルにより、処分施設内の核種濃度を計算する。

また、地表面付近にまで処分深度（＝覆土厚さ）が減少した後の処分施設の跡地における人間侵入による被ばく線量（土地開発や居住行為）は、後述する「跡地利用シナリオ線量評価モデル」により求める。

なお、GSA-GCL2 に格納しているソースタームモデルにおける主なサブモデルに対する検証計算の結果を Appendix-7 に示した。

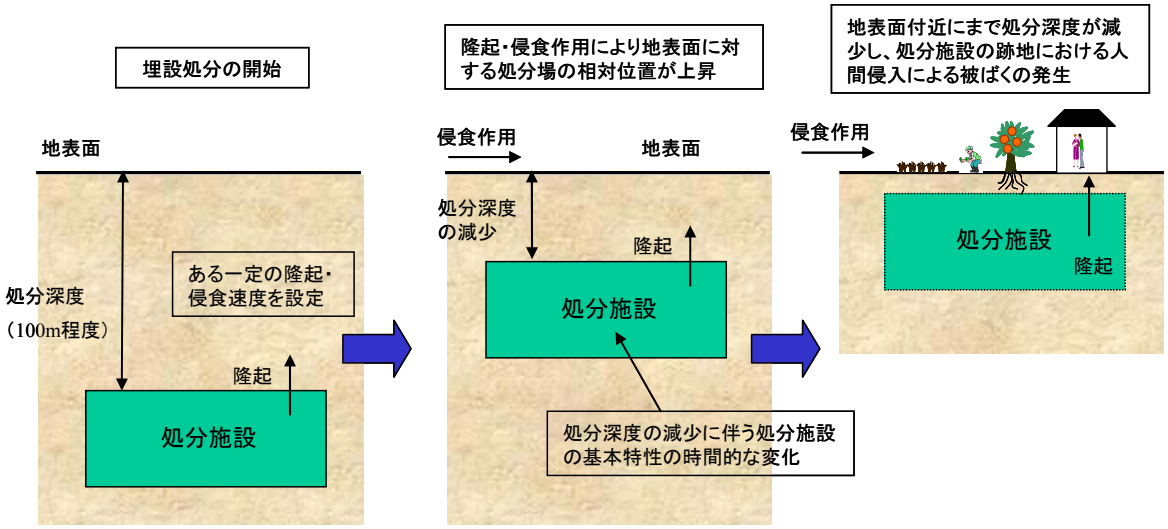


Fig.2-4　跡地利用シナリオにおける隆起・侵食現象のモデル化

2.3　天然バリアモデル

処分施設から漏洩した放射性核種は、天然バリアである地層を移行し、人間の生活環境である生物圏に到達する。天然バリアモデルは、この地層中における核種移行を解析するモデルである。本コードでは、地層媒体として、堆積岩などで想定される多孔質媒体および結晶質岩などで想定される亀裂性媒体を対象に評価モデルを構築しており、評価対象により適宜モデルを使い分けることが可能となっている。天然バリアモデルは、処分施設から生物圏に至る保守的な一次元的な移行経路に沿って核種移行解析を行う。

また、GSA-GCL2 における天然バリアモデルは、GSA-GCL のコードマニュアル[4]に記載した天然バリアモデルと特に変更はなく、以下モデルの概要を記述する。

2.3.1　多孔質媒体近似モデル

堆積岩層のような亀裂の少ない地層、あるいは亀裂帯のように亀裂頻度が極めて高い地層中における核種移行は、多孔質媒体モデルで近似できるといわれている[9]。一次元媒体における核種移行は、移流・分散、崩壊連鎖および平衡吸着による遅延を考慮すると次式で記述される。

$$\frac{\partial(\varepsilon R^i C^i)}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}(uC^i - D_u^i \frac{\partial C^i}{\partial x}) - \lambda^i \varepsilon R^i C^i + \lambda^{i-1} \varepsilon R^{i-1} C^{i-1} + Q^i \tag{2.26}$$

ここで、

ε　：多孔質媒体の間隙率(-)

R^i　：核種 i の遅延係数(-)

C^i　：核種 i の間隙水中の濃度(atom/m^3)

u　：ダルシー流速(m/y)

D_u^i　：核種 i の分散係数(m^2/y)

$$D_u^i = \alpha_L u + \varepsilon D_0^i$$

α_L　　：分散長 [m]

D_0^i　　：核種 i の間隙中の拡散係数 [m^2/y]

Q^i　　：核種 i のソースターム(atom/m^{3}y)

均質な一次元媒体に対しては、式(2-26)の輸送方程式は次式のように簡単化され、容易に解析解を得ることができる[9]。

$$\varepsilon R^i \frac{\partial C^i}{\partial t} = D_u^i \frac{\partial^2 C^i}{\partial x^2} - u\frac{\partial C^i}{\partial x} - \lambda^i \varepsilon R^i C^i + \lambda^{i-1}\varepsilon R^{i-1} C^{i-1} + Q^i \tag{2.27}$$

本コードでは、均質媒体の一次元核種輸送方程式の解法として、解析解（4 つまでの崩壊連鎖）、数値逆ラプラス変換法の FILT 法（任意数の崩壊連鎖）による解析解、逆ラプラス変換有限要素法(LTG)[10]および差分解を採用している。境界条件は、以下の 3 タイプが知られており、

$$C^i = \overline{C}^i \qquad on\ \Gamma_1 \text{（ディリクレ型）} \tag{2.28}$$

$$q^i = -D\frac{\partial \overline{C}^i}{\partial x} \qquad on\ \Gamma_2 \text{（ノイマン型）} \tag{2.29}$$

$$q^i = u\overline{C^i} - D\frac{\partial \overline{C}^i}{\partial x} \qquad on\ \Gamma_3 \text{（コーシー型）} \tag{2.30}$$

解析解（４つまでの崩壊連鎖）では、無限遠ゼロの下流側境界条件、上流側境界条件としてディリクレ型とノイマン型が設定可能である。FILT 法による解析解では、無限遠ゼロの下流側境界条件、ノイマン型の上流側境界条件である。また、LTG 法による数値解および差分解に対しては、ディリクレ型およびコーシー型を上流側および下流側の境界条件として設定することができる。

2.3.2　亀裂性媒体近似モデル

結晶質岩のような亀裂性媒体では、連結した亀裂ネットワーク中を放射性核種が移行し、亀裂帯に経由して、最終的には生物圏に達すると考えられる。このような亀裂ネットワーク中の移行経路は複数と考えられるが、ここではその中でももっとも核種フラックスが大きい経路のみを一次元的に解くこととする。その概念図を Fig.2-5 に示す。

本モデルは、亀裂の形状として Fig.2-5 に示すように、平行平板と円形の 2 つを想定し、一連の亀裂を通して形状は同一であるとする。亀裂中では、地下水の流れに沿って移流・分散が起こるとともに、亀裂から岩石マトリックスへの拡散が起こるため、核種の移行が遅延される。その拡散距離(亀裂に垂直な方向)は、解析対象となる亀裂以外にも別の亀裂が存在するため、有限であると考えるのが保守的である（Fig.2-6 参照）。

亀裂中および岩石マトリックス中の核種輸送方程式は、崩壊連鎖および平衡吸着による遅延を考慮すると次式で与えられる。

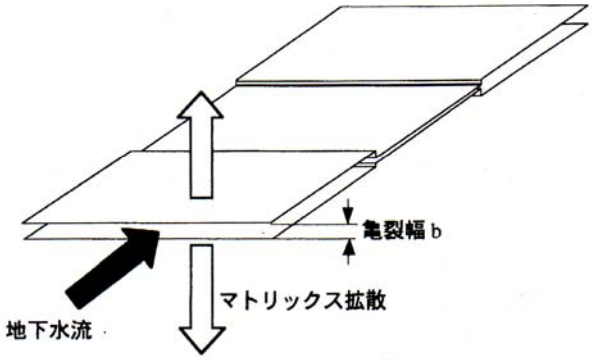
【亀裂中】

$$R_f^i \frac{\partial C_f^i}{\partial t} = D_f^i \frac{\partial^2 C_f^i}{\partial x^2} - v_f \frac{\partial C_f^i}{\partial x} + \Gamma - \lambda^i R_f^i C_f^i + \lambda^{i-1} R_f^{i-1} C_f^{i-1} \tag{2.31}$$

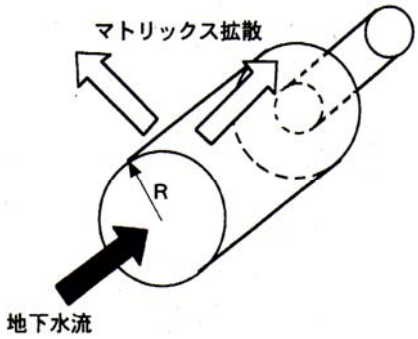
【平行平板亀裂の岩石マトリックス】

$$R_p^i \frac{\partial C_p^i}{\partial t} = D_p^i \frac{\partial^2 C_p^i}{\partial z^2} - \lambda^i R_p^i C_p^i + \lambda^{i-1} R_p^{i-1} C_p^{i-1} \tag{2.32}$$

$$\Gamma = \frac{2\varepsilon_p D_p^i}{b} \frac{\partial C_p^i}{\partial z}\bigg|_{z=0} \tag{2.33}$$



平行平板亀裂の場合



円形亀裂の場合

Fig.2-5　一次元亀裂ネットワークの概念

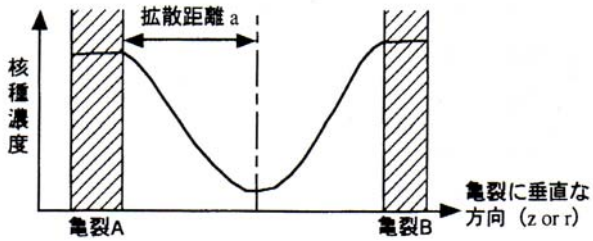


Fig.2-6　拡散距離の概念

【円形亀裂の岩石マトリックス】

$$R_p^i \frac{\partial C_p^i}{\partial t} = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left\{ D_p^i r \frac{\partial C_p^i}{\partial r} \right\} - \lambda^i R_p^i C_p^i + \lambda^{i-1} R_p^{i-1} C_p^{i-1} \tag{2.34}$$

$$\Gamma = \frac{2\varepsilon_p D_p^i}{R} \frac{\partial C_p^i}{\partial r}\bigg|_{r=R} \tag{2.35}$$

ここで、

R_f^i ：核種 i の亀裂中における遅延係数(-)

C_f^i ：核種 i の亀裂中濃度(atom/m^3)

D_f^i ：核種 i の亀裂中における分散係数(m^2/y)

v_f ：亀裂中の地下水実流速(m/y)

R_f^i ：核種 i の岩石マトリックスにおける遅延係数(-)

C_p^i ：核種 i の岩石マトリックス間隙水中濃度(atom/m^3)

D_p^i ：核種 i の岩石マトリックスにおける拡散係数(m^2/y)

ε_p ：岩石マトリックス中の間隙率(-)

b ：平行平板亀裂の幅(m)

R ：円形亀裂の幅(m)

これらの方程式に対して、以下の初期条件および境界条件を考慮する。

$$C_f^i\big|_{t=0} = 0 \tag{2.36}$$

$$C_p^i\big|_{t=0} = 0 \tag{2.37}$$

$$C_f^i = \overline{C}_f^i \qquad on\ B^1 \text{（ディリクレ型）} \tag{2.38}$$

$$q_{n3}^i = v_f C_f^i - D_f^i \frac{\partial C_f^i}{\partial x} \qquad on\ B^3 \text{（コーシー型）} \tag{2.39}$$

$$C_p^i = C_f^i \qquad at\ z = 0 \text{ (平行平板亀裂)} \quad r = R \text{ (円形亀裂)} \tag{2.40}$$

$$\frac{\partial C_p^i}{\partial z} = 0 \qquad at\ z = a \text{ (平行平板亀裂)} \tag{2.41}$$

$$\frac{\partial C_p^i}{\partial r} = 0 \qquad at\ r = R+a \text{ (円形亀裂)} \tag{2.42}$$

ここで、a はマトリックス拡散深さ(m)である。本コードでは、数値分散による誤差を低減するため、以上の基礎方程式の解法として逆ラプラス変換有限要素法(LTG)[10]を用いている。

なお、GSA-GCL2 に格納している天然バリアモデルにおける主なサブモデルに対する検証計算の結果を Appendix-7 に示した。

2.4　生物圏モデル

地下水移行シナリオ解析で使用される生物圏モデルでは、処分施設から漏出した放射性核種が直接あるいは天然バリアを通って表面水系に流入し、様々な環境媒体を経由して、最終的には人間に被ばくをもたらす一連の被ばく経路の線量評価を行う。

一方、跡地利用シナリオ解析で使用される生物圏モデルでは、処分場跡地土壌中の核種によってもたらされる一連の被ばく経路の線量評価を行う。

なお、各モデル中に使用している時間 t は、処分後の経過時間を表すものとする。

2.4.1　地下水移行シナリオ線量評価モデル

地下水移行シナリオの生物圏モデルでは、Fig.2-7 に示す複数の環境媒体間の核種移行を評価し、その環境媒体中の核種濃度に基づき、Fig.2-8 に示す経路に関して、必要に応じて被ばく線源となる物質中の核種濃度を評価し、最終的に被ばく線量の評価を行う。

環境媒体中の核種移行の評価では、下記に示す環境媒体中の核種濃度を求める。

① 表面水系

井戸水、上流河川、湖沼、下流河川、沿岸海洋

② 堆積土壌

上流河床、湖底、下流河床

③ 浚渫土壌

上流河床浚渫土壌、湖底浚渫土壌、下流河床浚渫土壌

④ 農耕土壌

水田、畑地、牧草地

⑤ 海岸

⑥ 深部土壌

これらの環境媒体のうち、11 個の環境媒体（上流河川、湖沼、下流河川、沿岸海洋、上流河床、湖底、沿岸海底、水田、畑地、牧草地、深部土壌）をコンパートメントとして表現し環境媒体間の物質収支を考慮した連立微分方程式により核種濃度を評価し、それ以外の環境媒体（井戸水、上流河床浚渫土壌、湖底浚渫土壌、沿岸海底浚渫土壌、海岸）を上流側の環境媒体における核種濃度から地下水の流入や分配平衡、混合による希釈などにより核種濃度を評価する（Fig.2-7）。ただし、農耕土壌に関してはコンパートメントモデルと分配平衡モデルのどちらかを選択することができ、さらに分配平衡モデルの場合は、上流側の環境媒体として上流河川か井戸水を選択することができる。こうして求めた核種濃度のうち、井戸水、上流河川、湖沼、下流河川、沿岸海洋、水田、畑地、牧草地、上流河床浚渫土壌、湖底浚渫土壌、沿岸海底浚渫土壌、海岸中の核種濃度を、被ばく線源となる物質中の核種濃度の評価および被ばく線量の評価で使用する。なお、ここでは、浚渫土壌、農耕土壌、海岸をまとめて汚染土壌と呼ぶ。

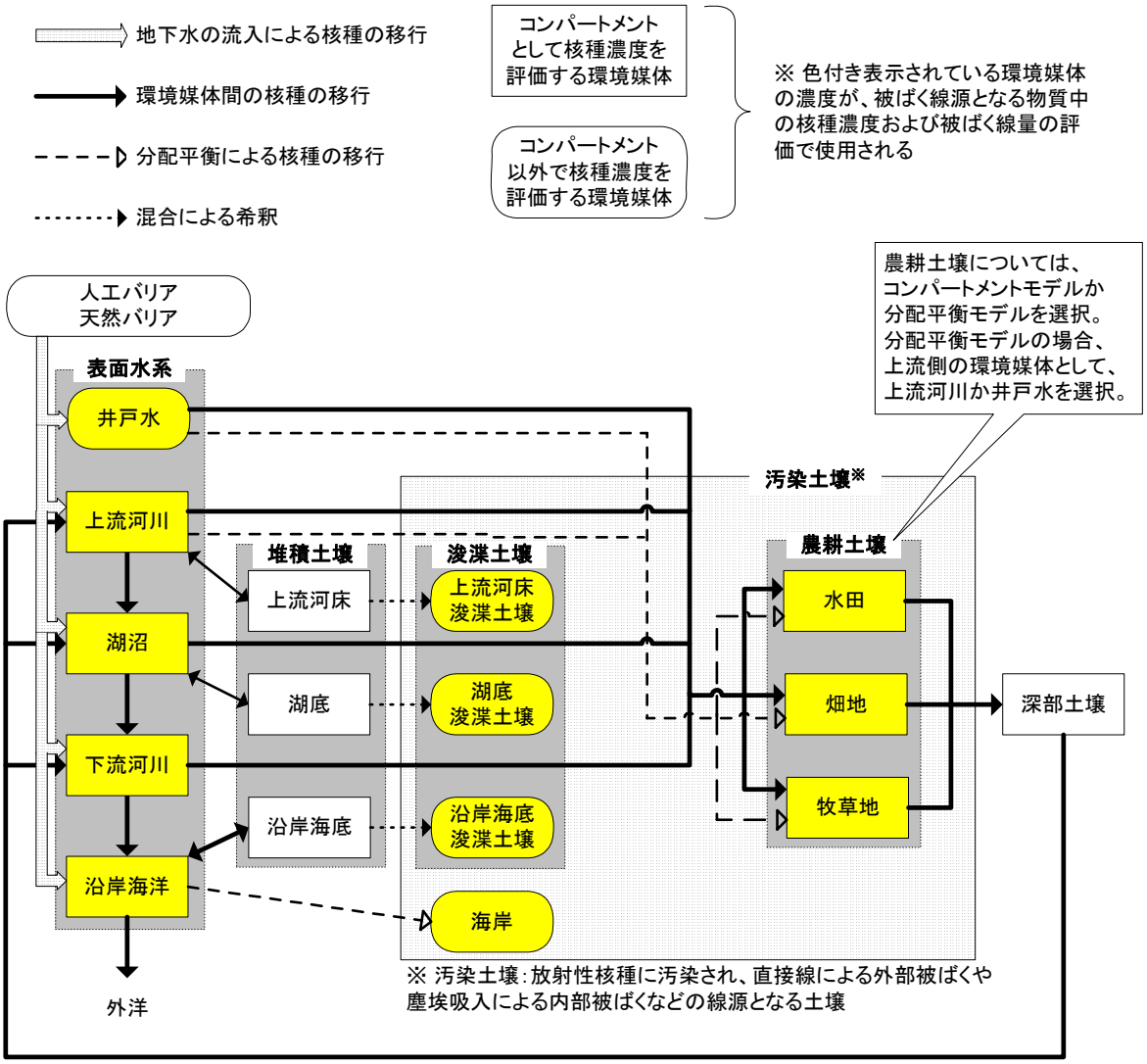


Fig.2-7　環境媒体中の核種移行

被ばく線源となる物質中の核種濃度の評価では、環境媒体中の核種濃度に基づいて、人間の直接の飲料水および農作物の灌漑水や家畜の飼育水に使用される灌漑水中の核種濃度、農作物中の核種の濃度、畜産物中の核種濃度、水産物中の核種濃度およびラドン濃度の評価を行う。

被ばく線量の評価では、環境媒体中の核種濃度および被ばく線源となる物質中の核種濃度に基づいて、各被ばく経路に対する線量評価を行う。評価を行う被ばく経路は、以下の通りである。

① 汚染土壌からの直接線による外部被ばく
② 汚染土壌からの粉塵の吸入による内部被ばく
③ 飲料水摂取による内部被ばく
④ 農作物摂取による内部被ばく
⑤ 畜産物摂取による内部被ばく（飼料経由および飼育水経由）
⑥ 水産物摂取による内部被ばく
⑦ 土壌および生活水から散逸するラドンガスの吸入による内部被ばく

⑧　水面作業における外部被ばく
⑨　遊泳における外部被ばく
⑩　漁網からの直接線による外部被ばく
⑪　塩摂取による内部被ばく
⑫　風送塩吸入による内部被ばく

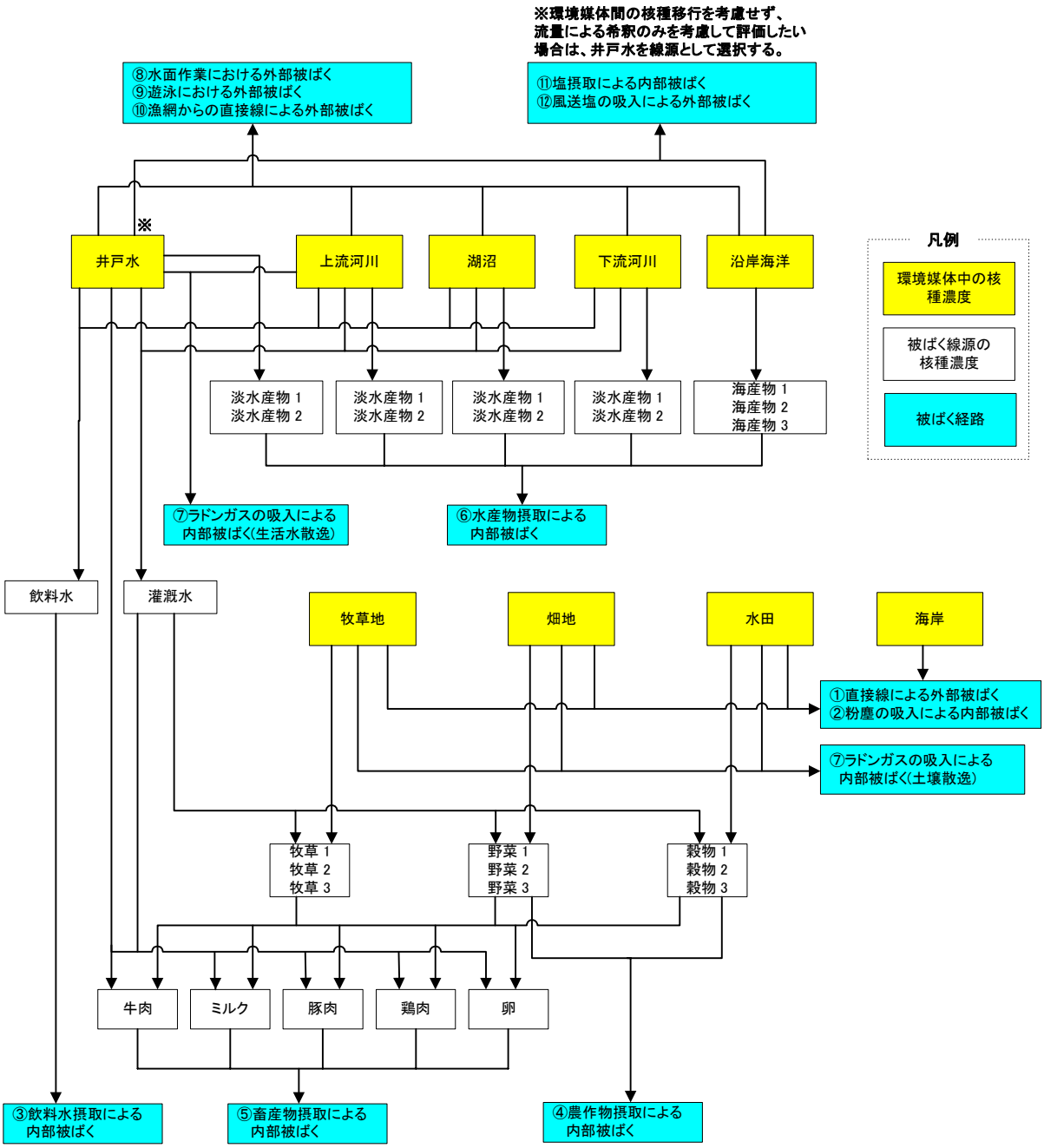


Fig.2-8　評価対象となる被ばく経路（1/2）

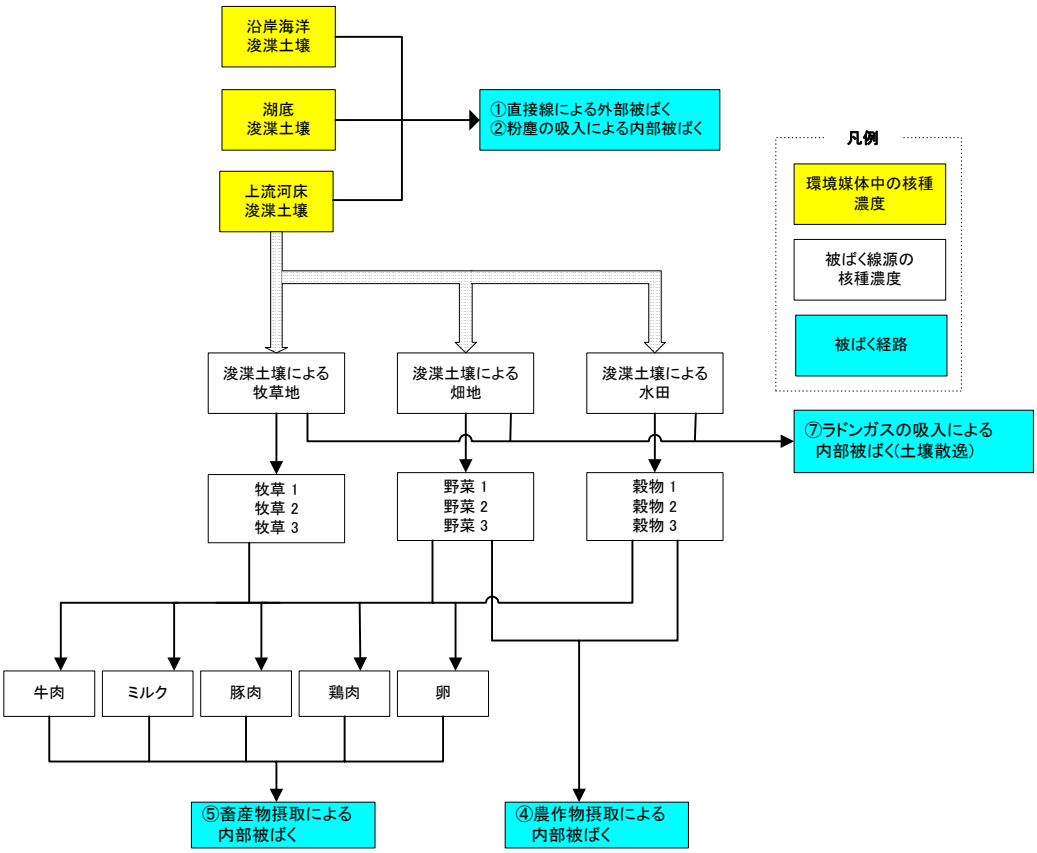


Fig.2-8　評価対象となる被ばく経路（2/2）

また、上流河床、湖底、沿岸海底の浚渫土壌に起因した被ばく経路の線量評価を行うことができる（Fig.2-8 の(2/2)）。上流河床の浚渫土壌については、①汚染土壌からの直接線による外部被ばく、②汚染土壌からの粉塵の吸入による内部被ばく、④農作物摂取による内部被ばく、⑤畜産物摂取による内部被ばく、⑦土壌および生活水から散逸するラドンガスの吸入による内部被ばくを評価する。湖底および沿岸海底の浚渫土壌については、①汚染土壌からの直接線による外部被ばく、②汚染土壌からの粉塵の吸入による内部被ばくを評価する。

（1）環境媒体中の核種移行の評価

各環境媒体中の核種 i の濃度は、次式により求める。なお、各パラメータの説明はまとめて後述した。また、核種濃度の単位に関して、環境媒体が水の場合 Bq/m^3、土壌の場合 Bq/kg となる。なお、以下で使用する添え字はそれぞれ次の環境媒体を表す。

表面水系（*a*）

w：井戸水、*ur*：上流河川、*l*：湖沼、*dr*：下流河川、*e*：沿岸海洋

農耕土壌（*s*）

*s*1：水田、*s*2：畑地、*s*3：牧草地

堆積土壌（*se*）

*se*1：上流河床、*se*2：湖底、*se*3：沿岸海底

浚渫土壌（*ds*）

*ds*1：上流河床、*ds*2：湖底、*ds*3：沿岸海底

その他

b：バリア材、*d*：深部土壌、*sc*：海岸、*o*：外洋

1) 表面水系（井戸水、上流河川、湖沼、下流河川、沿岸海洋）[濃度単位：Bq/m^3]

井戸水中の核種濃度は、人工バリアあるいは天然バリアからの核種移行フラックス $B^i_{b,w}(t)$ と井戸水への地下水流入量 $q_{b,w}$ により、次式に示されるように直ちに求められる。

$$C^i_w(t) = \frac{B^i_{b,w}(t)}{q_{b,w}} \tag{2.43}$$

また、井戸水以外の表面水系の核種濃度は、環境媒体をコンパートメントとして表現し、関連する残りのコンパートメントとの物質収支を考慮して、1 階の常微分方程式を連立させて解くことにより求める。

$$\begin{aligned}\frac{dC^i_{ur}(t)}{dt} = \frac{1}{V_{ur}} \cdot \Big\{ &-\left(k_{ur,s1} + k_{ur,s2} + k_{ur,s3} + k_{ur,l} + k^i_{ur,se1} + \lambda^i\right) \cdot A^i_{ur}(t) \\ &+ k^i_{d,ur} \cdot A^i_d(t) + k^i_{se1,ur}(t) \cdot A^i_{se1}(t) + B^i_{b,ur}(t) + \lambda^i \cdot A^{i-1}_{ur}(t) \Big\}\end{aligned} \tag{2.44}$$

$$\begin{aligned}\frac{dC^i_l(t)}{dt} = \frac{1}{V_l} \cdot \Big\{ &-\left(k_{l,s1} + k_{l,s2} + k_{l,s3} + k_{l,rd} + k^i_{l,se2} + \lambda^i\right) \cdot A^i_l(t) \\ &+ k_{ru,l} \cdot A^i_{ru}(t) + k^i_{d,l} \cdot A^i_d(t) + k^i_{se2,l} \cdot A^i_{se2}(t) + B^i_{b,l}(t) + \lambda^i \cdot A^{i-1}_l(t) \Big\}\end{aligned} \tag{2.45}$$

$$\begin{aligned}\frac{dC^i_{dr}(t)}{dt} = \frac{1}{V_{dr}} \cdot \Big\{ &-\left(k_{dr,s1} + k_{dr,s2} + k_{dr,s3} + k_{dr,e} + \lambda^i\right) \cdot A^i_{dr}(t) \\ &+ k_{l,dr} \cdot A^i_l(t) + k^i_{d,dr} \cdot A^i_d(t) + B^i_{b,dr}(t) + \lambda^i \cdot A^{i-1}_{dr}(t) \Big\}\end{aligned} \tag{2.46}$$

$$\begin{aligned}\frac{dC^i_e(t)}{dt} = \frac{1}{V_e} \cdot \Big\{ &-\left(k_{e,o} + k^i_{e,se3} + \lambda^i\right) \cdot A^i_e(t) \\ &+ k_{dr,e} \cdot A^i_{dr}(t) + k^i_{se3,e} \cdot A^i_{se3}(t) + B^i_{b,e} + \lambda^i \cdot A^{i-1}_e(t) \Big\}\end{aligned} \tag{2.47}$$

2) 農耕土壌（水田、畑地、牧草地）[濃度単位：Bq/kg]

農耕土壌に関しては、コンパートメントモデルと分配平衡モデルのいずれかを選択する。また、分配平衡モデルの場合は、上流側の環境媒体として、上流河川か井戸水を選択する。

【コンパートメントモデルにより算出する場合】

$$\frac{dC_{s1}^{i}(t)}{dt}=\frac{1}{M_{s1}}\cdot\left\{-\left(k_{s1,d}^{i}+\lambda^{i}\right)\cdot A_{s1}^{i}(t)\right.$$
$$\left.+k_{ur,s1}\cdot A_{ur}^{i}(t)+k_{l,s1}\cdot A_{l}^{i}(t)+k_{dr,s1}\cdot A_{dr}^{i}(t)+B_{w,s1}^{i}(t)+\lambda^{i}\cdot A_{s1}^{i-1}(t)\right\} \tag{2.48}$$

$$\frac{dC_{s2}^{i}(t)}{dt}=\frac{1}{M_{s2}}\cdot\left\{-\left(k_{s2,d}^{i}+\lambda^{i}\right)\cdot A_{s2}^{i}(t)\right.$$
$$\left.+k_{ur,s2}\cdot A_{ur}^{i}(t)+k_{l,s2}\cdot A_{l}^{i}(t)+k_{dr,s2}\cdot A_{dr}^{i}(t)+B_{w,s2}^{i}+\lambda^{i}\cdot A_{s2}^{i-1}(t)\right\} \tag{2.49}$$

$$\frac{dC_{s3}^{i}(t)}{dt}=\frac{1}{M_{s3}}\cdot\left\{-\left(k_{s3,d}^{i}+\lambda^{i}\right)\cdot A_{s3}^{i}(t)\right.$$
$$\left.+k_{ur,s3}\cdot A_{ur}^{i}(t)+k_{l,s3}\cdot A_{l}^{i}(t)+k_{dr,s3}\cdot A_{dr}^{i}(t)+B_{w,s3}^{i}+\lambda^{i}\cdot A_{s3}^{i-1}(t)\right\} \tag{2.50}$$

【上流河川中の濃度から分配平衡モデルにより算出する場合】

$$C_{s1}^{i}(t)=Kd_{s1}^{i}\cdot C_{ur}^{i}(t) \tag{2.48'}$$

$$C_{s2}^{i}(t)=Kd_{s2}^{i}\cdot C_{ur}^{i}(t) \tag{2.49'}$$

$$C_{s3}^{i}(t)=Kd_{s3}^{i}\cdot C_{ur}^{i}(t) \tag{2.50'}$$

【井戸水中の濃度から分配平衡モデルにより算出する場合】

$$C_{s1}^{i}(t)=Kd_{s1}^{i}\cdot C_{w}^{i}(t) \tag{2.48''}$$

$$C_{s2}^{i}(t)=Kd_{s2}^{i}\cdot C_{w}^{i}(t) \tag{2.49''}$$

$$C_{s3}^{i}(t)=Kd_{s3}^{i}\cdot C_{w}^{i}(t) \tag{2.50''}$$

3) 深部土壌 [濃度単位：Bq/kg]

深部土壌中の核種濃度は、環境媒体をコンパートメントとして仮定し、関連する残りのコンパートメントとの物質収支を考慮して、1 階の常微分方程式を連立させて解くことにより求める。

$$\frac{dC_{d}^{i}(t)}{dt}=\frac{1}{M_{d}}\cdot\left\{-\left(k_{d,ru}^{i}+k_{d,l}^{i}+k_{d,rd}^{i}+\lambda^{i}\right)\cdot A_{d}^{i}(t)\right.$$
$$\left.+k_{s1,d}^{i}\cdot A_{s1}^{i}(t)+k_{s2,d}^{i}\cdot A_{s2}^{i}(t)+k_{s3,d}^{i}\cdot A_{s3}^{i}(t)+\lambda^{i}\cdot A_{d}^{i-1}(t)\right\} \tag{2.51}$$

4) 堆積土壌（上流河床、湖底、沿岸海底）[濃度単位：Bq/kg]

堆積土壌中の核種濃度は、環境媒体をコンパートメントとして仮定し、関連する残りのコンパートメントとの物質収支を考慮して、1 階の常微分方程式を連立させて解くことにより求める。堆積土壌中の核種濃度は、浚渫土壌中の核種濃度を算出するのに使用され、被ばく線量評価には直接利用されない。

$$\frac{dC_{se1}^{i}(t)}{dt} = \frac{1}{M_{se1}} \cdot \left\{ -\left(k_{se1,l}^{i} + \lambda^{i}\right) \cdot A_{se1}^{i}(t) + k_{ur,se1}^{i} \cdot A_{l}^{i}(t) + \lambda^{i} \cdot A_{se1}^{i-1}(t) \right\} \tag{2.52}$$

$$\frac{dC_{se2}^{i}(t)}{dt} = \frac{1}{M_{se2}} \cdot \left\{ -\left(k_{se2,l}^{i} + \lambda^{i}\right) \cdot A_{se2}^{i}(t) + k_{l,se2}^{i} \cdot A_{l}^{i}(t) + \lambda^{i} \cdot A_{se2}^{i-1}(t) \right\} \tag{2.53}$$

$$\frac{dC_{se3}^{i}(t)}{dt} = \frac{1}{M_{se3}} \cdot \left\{ -\left(k_{se3,e}^{i} + \lambda^{i}\right) \cdot A_{se3}^{i}(t) + k_{e,se3}^{i} \cdot A_{e}^{i}(t) + \lambda^{i} \cdot A_{se3}^{i-1}(t) \right\} \tag{2.54}$$

5) 浚渫土壌（上流河床、湖底、沿岸海底）[濃度単位：Bq/kg]

浚渫土壌の核種濃度は、非汚染土壌との混合による希釈を考慮して、堆積土壌の核種濃度から直ちに求められる。

$$C_{ds1}^{i}(t) = C_{se1}^{i}(t) \cdot MX_{ds1} \cdot D_{ds1}^{i} \tag{2.55}$$

$$C_{ds2}^{i}(t) = C_{se2}^{i}(t) \cdot MX_{ds2} \cdot D_{ds2}^{i} \tag{2.56}$$

$$C_{ds3}^{i}(t) = C_{se3}^{i}(t) \cdot MX_{ds3} \cdot D_{ds3}^{i} \tag{2.57}$$

6) 海岸 [濃度単位：Bq/kg]

海岸の核種濃度は、沿岸海洋の核種濃度から分配平衡モデルにより直ちに求められる。

$$C_{sc}^{i}(t) = Kd_{sc}^{i} \cdot C_{e}^{i}(t) \tag{2.58}$$

ここで、

$C_{x}^{i}(t)$ ：環境媒体 x 中の核種 i 濃度 (Bq/m^3 or Bq/kg)

$B_{b,x}^{i}(t)$ ：人工バリアあるいは天然バリアから環境媒体 x（井戸水、上流河川、湖沼、下流河川、沿岸海洋）への核種 i の移行フラックス (Bq/y)

$q_{x,y}$ ：環境媒体 x から y への地下水流入量 (m^3/y)

V_{x} ：環境媒体 x の容量 (m^3)

$k_{x,y}^{i}$ ：環境媒体 x から y への移行係数 (1/y)（詳細は 0 で後述）

λ^i ：核種 i の崩壊定数 (1/y)

$A_x^i(t)$ ：環境媒体 x 中の核種 i の核種量 (Bq)

M_x ：環境媒体 x（農耕土壌 s、深部土壌 se、堆積土壌 ds）の質量 (kg)

$$M_x = S_x \cdot d_x \cdot \rho_x \cdot (1-\varepsilon_s)$$

d_x ：環境媒体 x の有効深さ (m)

ρ_x ：環境媒体 x の真密度 (kg/m^3)

ε_x ：環境媒体 x の間隙率(-)

$B_{w,s}^i(t)$ ：井戸水 w から農耕土壌 s への核種 i の移行フラックス (Bq/y)

$$B_{w,s}^i(t) = C_w^i(t) \cdot ir_w \cdot v_s \cdot S_s$$

irw ：井戸水 w からの灌漑水量の比 (-)

vs ：農耕土壌 s の単位面積あたりの灌漑水量 (m^3/m^2・y)

Ss ：農耕土壌 s の農耕地面積 (m^2)

Kd_x^i ：環境媒体 x に対する核種 i の分配係数 (m^3/kg) (入力単位：ml/g)

MX_x ：環境媒体 x における非汚染土壌の混合割合 (-)

D_x^i ：環境媒体 x における核種 i の土壌の再利用に伴う除去割合 (-)

である。

7) コンパートメントモデルにおける移行係数

上記の式(2.44)から(2.54)で表される環境媒体はコンパートメントモデルであり、それら 1 階の連立常微分方程式に関して、逆ラプラス変換法により、環境媒体間の核種移行を評価することができる。式(2.44)から(2.54)の支配方程式に含まれる移行係数は次式で定義される。

【表面水系 a_1（上流河川、湖沼、下流河川、沿岸海洋）から表面水系 a_2（湖沼、下流河川、沿岸海洋、海洋）への移行係数】

$$k_{a1,a2} = \frac{q_{a1,a2}}{V_{a1}} \tag{2.59}$$

ここで、

$q_{a1,a2}$ ：表面水系 a_1 から表面水系 a_2 への移行水量 (m^3/y)

V_{a1} ：表面水系 a_1 の容量 (m^3)

【表面水系 a（上流河川、湖沼、下流河川）から農耕土壌 s（水田、畑地、牧草地）への移行係数】

$$k_{a,c} = \frac{ir_a \cdot v_s \cdot S_s}{V_a} \tag{2.60}$$

ここで、

ir_a ：表面水系 a からの灌漑水量の比 (-)

v_s ：農耕土壌 s の単位面積あたりの灌漑水量 (m^3/m^2・y)

S_s ：農耕土壌 s の農耕地面積 (m^2)

V_a ：表面水系 a の容量 (m^3)

【表面水系 a（上流河川、湖沼、沿岸海洋）から堆積土壌 se（上流河床、湖底、沿岸海底）への移行係数[11]】

$$k_{a,se}^{i} = \frac{D_{se}^{i}}{d_{se} \cdot d_{a} \cdot (\theta_{a} + C_{a} \cdot Kd_{a}^{i})} + \frac{v_{a} \cdot C_{a} \cdot Kd_{a}^{i}}{d_{a} \cdot (\theta_{a} + C_{a} \cdot Kd_{a}^{i})} \tag{2.61}$$

ここで、

D_{se}^{i} ：堆積土壌 se 中における核種 i の拡散係数 (m^2/y) (入力単位：cm^2/s)

d_{se} ：堆積土壌 se の有効深さ (m)

d_{a} ：表面水系 a の平均深さ (m)

θ_{a} ：表面水系 a の含水率 (-)

C_{a} ：表面水系 a 水中の懸濁物質の濃度 (kg/m^3)

Kd_{a}^{i} ：表面水系 a 水中の懸濁物質に対する核種 i の分配係数 (m^3/kg) (入力単位：ml/g)

v_{a} ：表面水系 a 水中の懸濁物質の沈降速度 (m/y)

$$v_{a} = v_{a}' \cdot \frac{V_{a}}{S_{a}} \cdot \frac{1}{d_{se} \cdot \rho_{se} \cdot (1 - \varepsilon_{se})}$$

v_{a}' ：表面水系 a 水中の懸濁物質の単位面積あたりの沈降速度 ($kg/y/m^2$)

V_{a} ：表面水系 a の容量 (m^3)

S_{a} ：表面水系 a の面積 (m^2)

ρ_{se} ：堆積土壌 se の真密度 (kg/m^3)

ε_{se} ：堆積土壌 se の間隙率 (-)

【堆積土壌 se（上流河床、湖底、沿岸海底）から表面水系 a（上流河川、湖沼、沿岸海洋）への移行係数】

$$k_{se,a}^{i} = \frac{D_{se}^{i}}{(d_{se})^{2} \cdot \left(\varepsilon_{se} \cdot \theta_{se} + \rho_{se} \cdot (1 - \varepsilon_{se}) \cdot Kd_{se}^{i}\right)} \tag{2.62}$$

ここで、

D_{se}^{i} ：堆積土壌 se 中における核種 i の拡散係数 (m^2/y) (入力単位：cm^2/s)

d_{se} ：堆積土壌 se の有効深さ (m)

ε_{se} ：堆積土壌 se の間隙率 (-)

θ_{se} ：堆積土壌 se の含水率 (-)

ρ_{se} ：堆積土壌 se の真密度(kg/m^3)

Kd_{se}^{i} ：堆積土壌 se に対する核種 i の分配係数 (m^3/kg) (入力単位：ml/g)

【農耕土壌 s（水田、畑地、牧草地）から深部土壌 d[12]への移行係数】

$$k_{s,d}^{i} = \frac{J_{s}}{d_{s} \cdot \left(\varepsilon_{s} \cdot \theta_{s} + \rho_{s} \cdot (1 - \varepsilon_{s}) \cdot Kd_{s}^{i}\right)} \tag{2.63}$$

ここで、

J_s ：農耕土壌 s の浸透水量 (m/y)

$$J_s = (R - E) \cdot (1 - P) + v_s$$

R ：降水量 (m/y) (入力単位：mm/y)

E ：蒸発散量 (m/y) (入力単位：mm/y)

P ：表面流出係数 (-)

v_S ：農耕土壌 s の単位面積あたりの灌漑水量 ($m^3/m^2 \cdot y$)

d_S ：農耕土壌 s の有効深さ (m)

ε_S ：農耕土壌 s の間隙率 (-)

θ_s ：農耕土壌 s の含水率 (-)

ρ_s ：農耕土壌 s の真密度 (kg/m^3)

Kd_s^i ：農耕土壌 s に対する核種 i の分配係数 (m^3/kg) (入力単位：ml/g)

【深部土壌 d から表面水系 a（上流河川、湖沼、下流河川）への移行係数】

$$k_{d,a}^i = \frac{J_d}{d_d \cdot \left(\varepsilon_d \cdot \theta_d + \rho_d \cdot (1 - \varepsilon_d) \cdot Kd_d^i\right)} \cdot \frac{q_{d,a}}{\sum_{a=1}^{3} q_{d,a}} \tag{2.64}$$

ここで、

J_d ：深部土壌 d の浸透水量 (m/y)

$$J_d = (R - E) \cdot (1 - P) + \frac{\sum_{s=1}^{3} v_s \cdot S_s}{\sum_{s=1}^{3} S_s}$$

R ：降水量 (m/y) (入力単位：mm/y)

E ：蒸発散量 (m/y) (入力単位：mm/y)

P ：表面流出係数 (-)

v_s ：農耕土壌 s の単位面積あたりの灌漑水量 ($m^3/m^2 \cdot y$)

S_s ：農耕土壌 s の農耕地面積 (m^2)

d_d ：深部土壌 d の有効深さ (m)

ε_d ：深部土壌 d の間隙率 (-)

θ_d ：深部土壌 d の含水率 (-)

ρ_d ：深部土壌 d の真密度 (kg/m^3)

Kd_d^i ：深部土壌 d に対する核種 i の分配係数 (ml/g)

$q_{d,a}$ ：深部土壌 d から表面水系 a への移行水量 (m^3/y)

（２）被ばく線源となる物質中の核種濃度の評価

被ばく線量の評価を行うためには、必要に応じて、直接の被ばく線源となる物質中の核種濃度を予め評価しておく必要がある。そこで、被ばく線源となる物質中の核種濃度の求め方を以下に示す。

1) 飲料水および灌漑水中の核種濃度

飲料水および灌漑水は、淡水の表面水系（井戸水、上流河川、湖沼、下流河川）から取水される飲料水量および灌漑水量をそれぞれ混合して使用するものとし、次式により求める。

$$C_{ir}^{i}(t) = \frac{\sum_{a=1}^{4} ir_a \cdot C_a^i(t)}{\sum_{a=1}^{4} ir_a} \quad \text{（灌漑水）} \tag{2.65}$$

$$C_{dr}^{i}(t) = m_{dr} \cdot \frac{\sum_{a=1}^{4} dr_a \cdot (1-E^i) \cdot C_a^i(t)}{\sum_{a-1}^{4} dr_a} \quad \text{（飲料水）} \tag{2.66}$$

ここで、

$C_{ir}^{i}(t)$ ：灌漑水中の核種 i 濃度(Bq/m^3)

ir_a ：淡水の表面水系 a（井戸水、上流河川、湖沼、下流河川）からの灌漑水量の比 (-)

$C_a^i(t)$ ：淡水の表面水系 a（井戸水、上流河川、湖沼、下流河川）中の核種 i 濃度 (Bq/m^3)

$C_{dr}^{i}(t)$ ：飲料水中の核種 i 濃度(Bq/m^3)

m_{dr} ：飲料水の市場係数 (-)

dr_a ：淡水の表面水系 a（井戸水、上流河川、湖沼、下流河川）からの飲料水量の比 (-)

E^i ：飲料水の浄化装置による核種 i の除去割合 (-)

2) 農作物中の核種濃度

農作物（水田の穀物、畑地の野菜、牧草地の牧草の各 3 種類）は、農耕土壌からの経根吸収と灌漑水中の核種の沈着により汚染される。なお、沈着に関しては、降雨などにより核種が除去されることを想定し、各農作物中の核種濃度は次式により求める。

$$C_c^i(t) = m_c \cdot \left\{ F_{s,c}^i \cdot r_s \cdot C_s^i(t) + \frac{F_{ir}^i \cdot F_{d,c}^i \cdot v_s \cdot C_{ir}^i(t) \cdot \left[1 - \exp\left\{-\left(\lambda^i + \lambda_w\right) \cdot T_{ir_c}\right\}\right]}{T_{gr_c} \cdot H_c \cdot \left(\lambda^i + \lambda_w\right)} \right\} \tag{2.67}$$

ここで、

$C_c^i(t)$ ：農作物 c の可食部中の核種 i 濃度 (Bq/kg)

m_c ：農作物 c の市場係数 (-)

$F_{s,c}^i$ ：土壌から農作物 c の可食部への核種 i の移行割合 (-)

r_s ：農耕土壌 s の残留係数 (-)

$C_s^i(t)$ ：農耕土壌 s 中の核種 i 濃度 (Bq/kg)
F_{ir}^i ：灌漑水から農作物への核種 i の沈着割合 (-)
$F_{d,c}^i$ ：核種の沈着部位から農作物 c の可食部への核種 i の移行割合 (-)
v_s ：農耕土壌 s の単位面積あたりの灌漑水量 ($m^3/m^2 \cdot y$)
$C_{ir}^i(t)$ ：灌漑水中の核種 i 濃度 (Bq/m^3)
λ^i ：核種 i の崩壊定数 (1/d)
λ_w ：降雨による除去係数 (1/d)
T_{ir_c} ：農作物 c の灌漑期間 (d)
T_{gr_c} ：農作物 c の生育期間 (d/y)
H_c ：農作物 c の栽培密度 (kg/m^2)

3) 畜産物中の核種濃度

畜産物（牛肉、ミルク、豚肉、鶏肉、卵）は、各畜産物に対応する家畜（肉牛、乳牛、豚、鶏）が飼料（穀類、野菜、牧草の各 3 種類）ならびに井戸水および灌漑水からの飼育水を摂取することにより、核種で汚染される。飼料経由および飼育水経由による各畜産物中の核種濃度はそれぞれ次式により求める。

$$C_{an_c}^i(t) = m_{an} \cdot F_{an}^i \cdot \left[\left(\sum_{r=1}^{3} r_{ls,r} \cdot C_r^i(t) + \sum_{v=1}^{3} r_{ls,v} \cdot C_v^i(t) + \sum_{f=1}^{3} r_{ls,f} \cdot C_f^i(t) \right) \cdot I_{ls} \right] \quad \text{（飼料経由）} \quad (2.68)$$

$$C_{an_w}^i(t) = m_{an} \cdot F_{an}^i \cdot \left[\left\{ (1 - r_{ir}) \cdot C_w^i(t) + r_{ir} \cdot C_{ir}^i(t) \right\} \cdot Q_{ls} \right] \quad \text{（飼育水経由）} \quad (2.69)$$

ここで、

$C_{an_c}^i(t)$ ：飼料経由による畜産物 an 中の核種 i 濃度 (Bq/kg) (ミルク Bq/l)
m_{an} ：畜産物 an の市場係数 (-)
F_{an}^i ：畜産物 an への核種 i の移行係数 (d/kg) (ミルク d/l)
$r_{ls,r}$ ：家畜 ls の穀類 r の飼料割合 (-)
$C_r^i(t)$ ：穀類 r 中の核種 i 濃度 (Bq/kg)
$r_{ls,v}$ ：家畜 ls の野菜 v の飼料割合 (-)
$C_v^i(t)$ ：野菜 v 中の核種 i 濃度 (Bq/kg)
$r_{ls,f}$ ：家畜 ls の牧草 f の飼料割合 (-)
$C_f^i(t)$ ：牧草 f 中の核種 i 濃度 (Bq/kg)
I_{ls} ：家畜 ls の飼料摂取量 (kg/d) (入力単位：kg/y)
$C_{an_w}^i(t)$ ：飼育水経由による畜産物 an 中の核種 i 濃度 (Bq/kg) (ミルク Bq/l)
r_{ir} ：灌漑水の摂取割合 (-)

$$r_{ir} = \frac{Q_{ir}}{Q_w + Q_{ir}}$$

Q_w ：井戸水の摂取量 (m^3/y)
Q_{ir} ：灌漑水の摂取量 (m^3/y)
$C_w^i(t)$ ：井戸水中の核種 *i* 濃度 (Bq/kg)
$C_{ir}^i(t)$ ：灌漑水中の核種 *i* 濃度 (Bq/kg)
Q_{ls} ：家畜 *ls* の飼育水摂取量 (m^3/d) (入力単位：m^3/y)

4) 水産物中の核種濃度

淡水の表面水系（井戸水、上流河川、湖沼、下流河川）に生育する淡水産物中の核種濃度および沿岸海洋に生育する海産物中の核種濃度は、濃縮係数と環境媒体中の核種濃度により計算される。

$$C_{fp,a}^i(t) = m_f \cdot F_{fp}^i \cdot C_a^i(t) \quad \text{（淡水産物）} \tag{2.70}$$

$$C_{sp,e}^i(t) = m_s \cdot F_{sp}^i \cdot C_e^i(t) \quad \text{（海産物）} \tag{2.71}$$

ここで、

$C_{fp,a}^i(t)$ ：淡水表面水系 *a*（井戸水、上流河川、湖沼、下流河川）に生育する淡水産物 *fp* 中の核種 *i* 濃度 (Bq/kg)
m_f ：淡水産物の市場係数 (-)
F_{fp}^i ：淡水産物 *fp* の核種 *i* の濃縮係数 (m^3/kg) (入力単位：l/kg)
$C_a^i(t)$ ：淡水の表面水系 *a*（井戸水、上流河川、湖沼、下流河川）中の核種 *i* 濃度 (Bq/m^3)
$C_{sp,e}^i(t)$ ：沿岸海洋 *e* に生育する海産物 *sp* 中の核種 *i* 濃度 (Bq/kg)
m_s ：海産物の市場係数 (-)
F_{sp}^i ：海産物 *sp* の核種 *i* の濃縮係数 (m^3/kg) (入力単位：l/kg)
$C_e^i(t)$ ：沿岸海洋 *e* 中の核種 *i* 濃度 (Bq/m^3)

5) 上流河床浚渫土壌における農作物中の核種濃度

上流河床浚渫土壌の利用に対する農作物中の核種濃度については、汚染土壌からの核種の経根吸収のみを考慮し、灌漑水による核種の沈着は考慮しない。農耕土壌中の核種濃度として、上流河床浚渫土壌中の核種濃度を用いる。

$$C_{c_ds1}^i(t) = m_c \cdot F_c^i \cdot C_{ds1}^i(t) \tag{2.72}$$

ここで、

$C_{c_ds1}^i(t)$ ：上流河床浚渫土壌における農作物 *c* の可食部中の核種 *i* 濃度 (Bq/kg)
m_c ：農作物 *c* の市場係数 (-)

F_c^i ：土壌から農作物 c の可食部への核種 i の移行係数 (-)

$C_{ds1}^i(t)$ ：上流河川浚渫土壌中の核種 i 濃度 (Bq/kg)

6) 上流河床浚渫土壌における畜産物中の核種濃度

上流河床浚渫土壌の利用に対する畜産物（牛肉、ミルク、豚肉、鶏肉、卵）中の核種濃度は、各畜産物に対応する家畜（肉牛、乳牛、豚、鶏）が飼料（穀類、野菜、牧草の各 3 種類）を摂取することにより、核種で汚染されることを考慮して、飼料経由による畜産物中の核種濃度についてのみ求める。

$$C_{an_c_ds1}^i(t) = m_{an} \cdot F_{an}^i \cdot \left(\sum_{r=1}^{3} r_{ls,r} \cdot C_{r_ds1}^i(t) + \sum_{v=1}^{3} r_{ls,v} \cdot C_{v_ds1}^i(t) + \sum_{f=1}^{3} r_{ls,f} \cdot C_{f_ds1}^i(t) \right) \cdot I_{ls}$$

（飼料経由） (2.73)

ここで、

$C_{an_c_ds1}^i(t)$ ：上流河床浚渫土壌における飼料経由による畜産物 an 中の核種 i 濃度 (Bq/kg あるいは Bq/l)

m_{an} ：畜産物 an の市場係数 (-)

F_{an}^i ：畜産物 an への核種 i の移行係数 (d/kg あるいは d/l)

$r_{ls,r}$ ：家畜 ls の穀類 r の飼料割合 (-)

$C_r^i(t)$ ：穀類 r 中の核種 i 濃度 (Bq/kg)

$r_{ls,v}$ ：家畜 ls の野菜 v の飼料割合 (-)

$C_v^i(t)$ ：野菜 v 中の核種 i 濃度 (Bq/kg)

$r_{ls,f}$ ：家畜 ls の牧草 f の飼料割合 (-)

$C_f^i(t)$ ：牧草 f 中の核種 i 濃度 (Bq/kg)

I_{ls} ：家畜 ls の飼料摂取量 (kg/d) (入力単位：kg/y)

7) ラドンガス濃度

対象廃棄物に含まれる U-238 および U-234 から、気体状の子孫核種であるラドン（^{222}Rn）が生成され、ラドンガスを吸入することによる内部被ばくが生じる可能性が考えられる。ラドンガス移行評価モデルは、対象廃棄物のウランを起源とし、土壌から大気中へのラドンガスの散逸率、屋外大気中ラドン濃度、床下空間ラドン濃度、および屋内空間ラドン濃度の各評価モデルより構成されている。ラドンガス移行評価モデルにより求められた屋外および屋内のラドン濃度から、さらに、被ばく線量評価モデルによって、建設作業者、居住者等を対象としたラドンガス吸入による被ばく線量を計算することができる。ラドンガス移行評価モデルの構成を Fig.2-9 に示す。以下に、ラドンガス移行評価モデルの各評価モデルを示す。

なお、ここでは汚染土壌として、海岸を除く、農耕土壌（水田、畑地、牧草地）および上流河川浚渫土壌の利用による農耕土壌（水田、畑地、牧草地）を想定している。

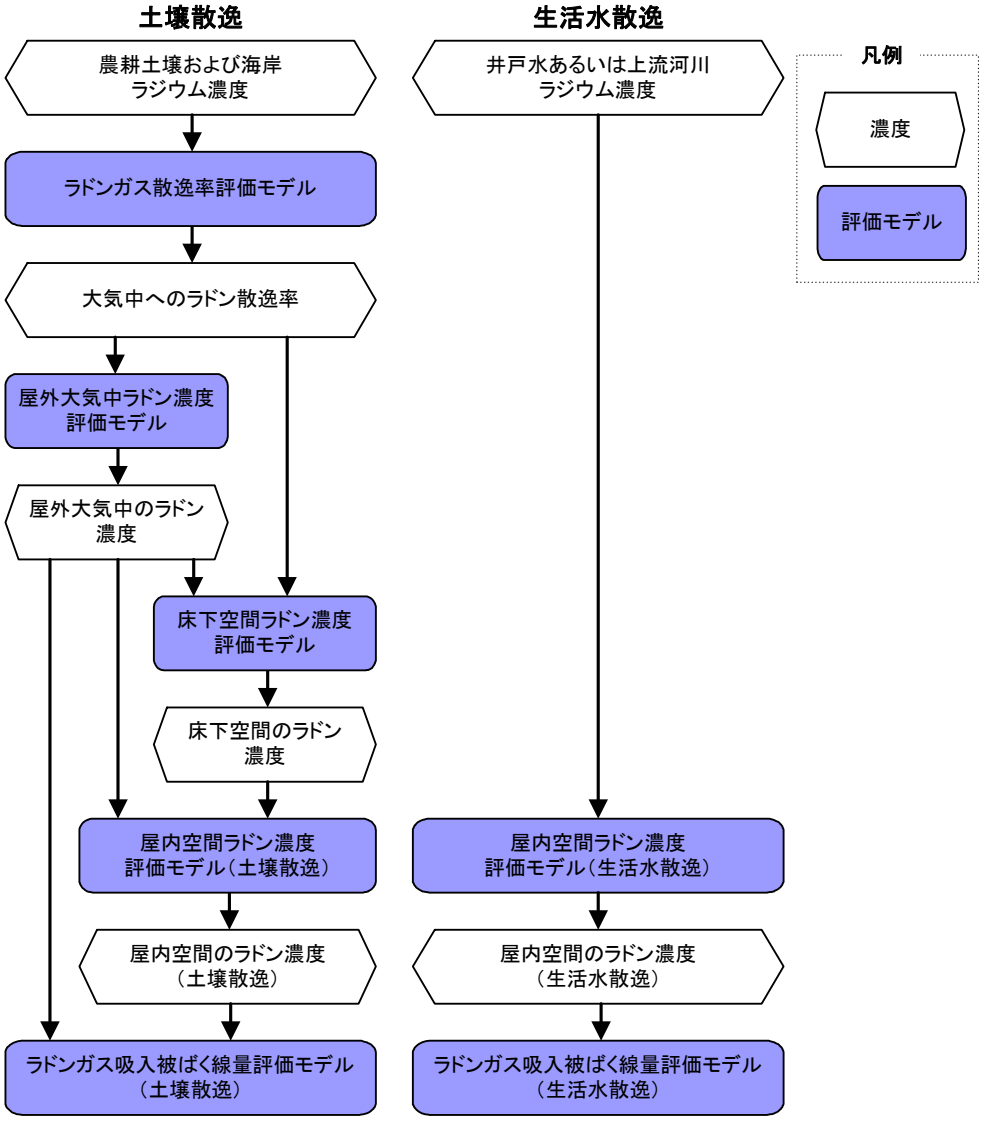


Fig.2-9　ラドンガス移行に関する評価モデル構成

【土壌から大気中へのラドンガス散逸率評価モデル】

ラドン（^{222}Rn）は、ウランの子孫核種であるラジウム（^{226}Ra）の壊変により発生する。ラジウムから発生したラドンガスは土壌粒子から拡散により土壌空気（空隙）中に入り込む。その土壌空気中のラドンガスは、さらに土壌空気中を拡散によって移動し、放射性崩壊を伴って一部が地表面から大気中に散逸する。ラドンガス散逸率評価モデルは、Fig.2-10 の概念図に示すように、汚染土壌からのラドンガスの発生から、地表面から大気中に放出されるラドンガス散逸量を評価するためのモデルである。

地下水移行シナリオでは、放射性核種を含む井戸水や河川水を灌漑するため、農耕土壌が汚染される。汚染土壌から大気中へのラドンガス散逸率は、「UNSCEAR 2000」に報告されている以下の式で表される[13]。

$$J_{cs}^{Rn}(t) = C_{cs}^{Ra}(t) \cdot AT_{cs} \cdot \rho_{cs} \cdot F_{cs} \cdot \lambda^{Rn} \cdot \sqrt{\frac{D_{cs}^{Rn}}{\lambda^{Rn}}} \cdot \tanh \frac{X_{cs}}{\sqrt{\frac{D_{cs}^{Rn}}{\lambda^{Rn}}}} \tag{2.74}$$

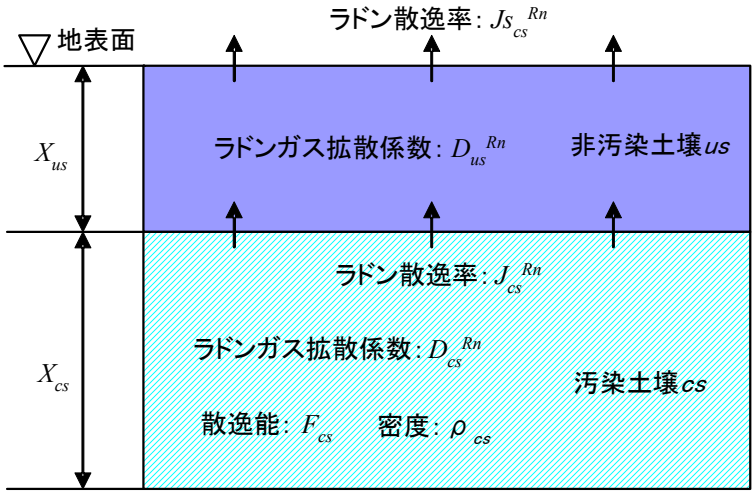


Fig.2-10　ラドンガス散逸率評価モデル概念図

ここで、

$J_{cs}^{Rn}(t)$　：汚染土壌 cs から非汚染土壌へのラドンガス散逸率 (Bq/m^2/s)
$C_{cs}^{Rn}(t)$　：汚染土壌 cs 中のラジウム濃度 (Bq/kg)
AT_{cs}　：汚染土壌 cs における希釈率 (-)
ρ_{cs}　：汚染土壌 cs のみかけの密度（kg/m^3）
F_{cs}　：汚染土壌 cs の散逸能 (-)
λ^{Rn}　：ラドンの崩壊定数 (s^{-1})
D_{cs}^{Rn}　：汚染土壌 cs 中のラドンガスの拡散係数 (m^2/s)
X_{cs}　：汚染土壌 cs の厚さ (m)

である。散逸能は、汚染土壌中のラジウムの崩壊によって生成したラドンが空隙中に放出される割合を表すパラメータである。

また、汚染土壌の上に覆土等の非汚染土壌を想定した場合、非汚染土壌を透過した後の大気中へのラドン散逸率は以下の式で表される。

$$Js_{cs}^{Rn}(t) = J_{cs}^{Rn}(t) \cdot \exp\left(-\frac{X_{us}}{\sqrt{\frac{D_{us}^{Rn}}{\lambda^{Rn}}}}\right) \tag{2.75}$$

ここで、

$Js_{cs}^{Rn}(t)$　：汚染土壌 cs から大気中へのラドン散逸率 (Bq/m^2/s)

$J_{cs}^{Rn}(t)$ ：汚染土壌 *cs* から非汚染土壌へのラドンガス散逸率 (Bq/m^2/s)
X_{us} ：非汚染土壌 *us* の厚さ (m)
D_{us}^{Rn} ：非汚染土壌 *us* 中のラドンガスの拡散係数 (m^2/s)
λ^{Rn} ：ラドンの崩壊定数（s^{-1}）

である。非汚染土壌を想定しない場合は、$Js_{cs}^{Rn}(t) = J_{cs}^{Rn}(t)$ となる。

なお、後述する跡地利用シナリオにおけるラドンガス散逸率評価モデルでは、ラドンガスの線源として Fig.2-10 に示した汚染土壌（跡地利用シナリオでは処分施設）の他に、処分施設と非汚染土壌である覆土の混合した混合層も考慮することができ、計２つの線源が存在する場合のラドンガス散逸率も評価可能である（散逸 2 層モデル）。これは、例えば、処分場跡地において、建設等による掘削が行われ、処分施設の一部が非汚染土壌の覆土と混合し、処分施設との混合土層からもラドンガスが発生する場合に対応している。また、建設等の掘削が行われた後に、客土等の非汚染層で覆われるケースが考えられることから、本コードにおいて、非汚染土壌は客土も含めて最大 4 層まで考慮できる。

【土壌から屋外大気中に散逸するラドン濃度評価モデル】

地表面から散逸したラドンガスは、様々な気象条件に影響されながら大気中に拡散する。現在、大気汚染の環境評価では、大気中の物質の輸送モデルとして拡散モデルが広く使用されている。拡散モデルとして一般的なものは、面源を対象としたボックスモデル、点源を対象としたパフモデル、プルームモデル等である[(14), (15), (16)]。本コードシステムでは、ボックスモデルとパフモデルによる評価が可能である。ボックスモデルでは、決定論および確率論的解析が可能であるが、パフモデルでは、確率論的手法による解析機能を備えていない。

ボックスモデル

「ボックスモデル」とは、ある対象領域を有限の空間（ボックス）とし、ボックス内の対象物質の収支を計算するモデルである。この時、ボックスの中では濃度が一様であると考えて、濃度を算出する。Fig.2-11 に示すように、汚染土壌直上において、ある評価高さを仮定した場合、このボックス領域内におけるラドン放射能の収支は、地表面からの散逸、ラドンの崩壊、大気による交換を想定し、以下の式で表される。

$$\frac{\partial Co_{cs}^{Rn}(t)}{\partial t} = \frac{Js_{cs}^{Rn}(t)}{H} - \left(\lambda^{Rn} + \frac{U}{a}\right) \cdot Co_{cs}^{Rn}(t) \tag{2.76}$$

ここで、

$Co_{cs}^{Rn}(t)$ ：汚染土壌 *cs* から屋外大気中に散逸するラドン濃度 (Bq/m^3)
$Js_{cs}^{Rn}(t)$ ：汚染土壌 *cs* から大気中へのラドン散逸率 (Bq/m^2/s)
H ：評価高さ (m)
λ^{Rn} ：ラドンの崩壊定数（s^{-1}）
U ：風速 (m/s)
a ：発生源長さ（風向方向）(m)

である。

$U/a=\lambda_U$とおき、$t=0$で$Co_{cs}^{Rn}=0$として、式(2.76)を解くと、時刻tにおける屋外大気中ラドン濃度Co_{cs}^{Rn}は、以下のように表される。

$$Co_{cs}^{Rn}(t)=\frac{Js_{cs}^{Rn}(t)\cdot\left[1-\exp\left\{-\left(\lambda^{Rn}+\lambda_U\right)\cdot t\right\}\right]}{H\cdot\left(\lambda^{Rn}+\lambda_U\right)} \tag{2.77}$$

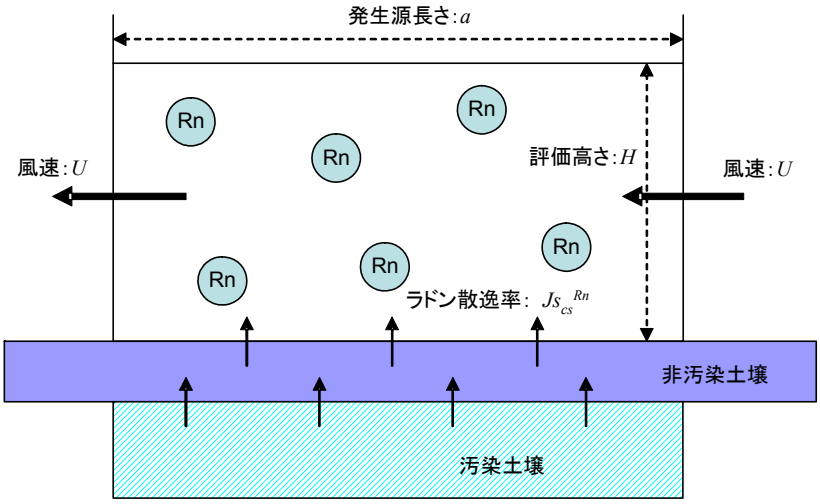


Fig.2-11　屋外大気中ラドン濃度評価モデル概念図（ボックスモデル）

<u>パフモデル</u>

「パフモデル」では、汚染土壌から散逸したラドンガスの、評価地点Aの点における評価時刻tの大気中濃度は以下の式で求める。

$$\chi_A(t)=\sum_{IP=1}^{NPF}\chi_{A,IP}(t) \tag{2.78}$$

$$\chi_{A,IP}(t)=\sum_B\chi_{A,B,IP}(t)=\sum_B\left\{C_{IP,A,B}(t)\times Q_{IP,B}(t)\right\} \tag{2.79}$$

$$\begin{aligned}C_{IP,A,B}(t)=&\frac{1}{(2\pi)^{3/2}\sigma_{x,IP}(t)\sigma_{y,IP}(t)\sigma_{z,IP}(t)}\\&\times\exp\left(-\frac{(x-Ut)^2}{2\sigma_{x,IP}{}^2(t)}\right)\cdot\exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_{y,IP}{}^2(t)}\right)\cdot\left\{\exp\left(-\frac{(z-He)^2}{2\sigma_{z,IP}{}^2(t)}\right)+\exp\left(-\frac{(z+He)^2}{2\sigma_{z,IP}{}^2(t)}\right)\right\}\end{aligned} \tag{2.80}$$

$$Q_{IP,B}(t)=J_B^{Rn}\cdot\exp\left(-\lambda^{Rn}t_{IP}\right) \tag{2.81}$$

ここで、

A　　：評価地点

B ：ラドンガスが散逸する汚染土壌のメッシュ点
t ：評価時刻 (s)
IP ：パフの ID (-)
NPF ：評価時刻 t までに発生したパフ数 (-)
(x, y, z) ：メッシュ点 B と評価地点 A との相対位置 (m)
U ：風速 (m/s)
He ：有効放出高さ (m)
λ^{Rn} ：ラドンガスの崩壊定数 (s^{-1})
t_{IP} ：パフ IP の移流時間 (s) （放出時刻から評価時刻までの時間）
$\chi_A(t)$ ：評価地点 A における屋外ラドンガス濃度 (Bq/m^3)
$C_{IP,A,B}(t)$ ：評価地点 A におけるパフ IP の相対濃度 ($Bq/m^3/Bq$)
$Q_{IP,B}(t)$ ：メッシュ点 B において散逸したラドンガスのパフ IP の核種量 (Bq)
J_B^{Rn} ：メッシュ点 B において散逸したラドンガスのパフ 1 つ当たりの散逸量(Bq)
$\sigma_{x,IP}(t)$ ：パフ IP の移流時間 t_{IP} における水平 x 方向の拡散パラメータ(m)
$\sigma_{y,IP}(t)$ ：パフ IP の移流時間 t_{IP} における水平 y 方向の拡散パラメータ(m)
$\sigma_{z,IP}(t)$ ：パフ IP の移流時間 t_{IP} における鉛直方向の拡散パラメータ(m)

である。

水平方向の拡散パラメータ σ_y（水平方向へは同様に拡散するとして $\sigma_x = \sigma_y$ とする）、鉛直方向の拡散パラメータ σ_z は、ターナーによる近似式により計算した拡散パラメータを使用する。拡散パラメータの算出は、パフの移流時間が秒単位を基にした式と、時間単位を基にした式が選択可能である。秒単位による拡散パラメータの基本式を以下に示す。

$$\sigma(t) = a \cdot t^b \tag{2.82}$$

ここで、

$\sigma(t)$ ：放出開始から t 時間後の水平方向または垂直方向の拡散パラメータ (m)
t ：放出開始からの移流時間 (s)
a, b ：係数

である。式(2.82)の係数と移流時間との関係を Table2-2 に示す。

また、時間単位を基にした拡散パラメータの近似式は、以下のように与えられる。

$$\log \sigma_y = a + b \log T \tag{2.83}$$

$$\log \sigma_z = a + b \log T + c(\log T)^2 \tag{2.84}$$

ここで、

σ_y ：放出開始から t 時間後の水平方向の拡散パラメータ (m)
σ_z ：放出開始から t 時間後の垂直方向の拡散パラメータ (m)
T ：放出開始からの移流時間 (h)
a, b, c ：係数

である。式(2.83)および式(2.84)における各係数を Table2-3 に示す。なお、Table2-2 および Table2-3 に示した各係数は、コード内に用意されている。

また、ラドンガスは地表面から散逸するために、煙突実体高は 0 m であり、また浮力（ガス温度は気温に等しいと考えられる）、運動量による上昇はないと考えられるので、有効煙突高 He=0m とする。

さらに、汚染土壌長さを L_w (m)、幅を W_w (m)とし、汚染土壌の中心を原点にとり、長さを x 方向、幅を y 方向に取る。L_w, W_w をそれぞれ n_a, n_b 分割したメッシュを作ると、この要素 1 つの面積は $\frac{L_w \cdot W_w}{n_a \cdot n_b}$ (m^2)であり、1 つの要素からの単位時間あたりのラドンガス散逸量 J_A^{Rn} (Bq/s)は、単位時間・単位面積当たりの地表面からのラドン散逸率 J^{Rn} (Bq/m^2/s)を用いて、

$$J_A^{Rn} = Js_{cs}^{Rn} \cdot \frac{L_w \cdot W_w}{n_a \cdot n_b} \tag{2.85}$$

となる。次に、1 つの要素からのパフの放出間隔を δt とすると、1 つのパフに対するラドンガス散逸量 J_B^{Rn} (Bq)は

$$J_B^{Rn} = Js_{cs}^{Rn} \cdot \frac{L_w \cdot W_w}{n_a \cdot n_b} \cdot \delta t \tag{2.86}$$

となる。この量が各要素の中心から散逸するとする。ここでは、ラドンの地表面からの散逸率 $Js_{cs}^{Rn}(t)$ については時間変化しないものとしている。これは、評価対象であるラドン 222 の親核種であるラジウム 226 の半減期が 1.6x10^3 年と、ラドン 222 の半減期 3.8 日に比べ非常に長いために、大気拡散および崩壊によるラドンの減衰に対して常に一定の生成がなされていると仮定できるためである。したがって、このモデルにおいては 1 つのパフに対するラドンガス散逸量 J_B^{Rn} (Bq)は一定であると仮定している。

Table2-2　ターナー図の近似式（秒単位式）の係数

σ (t)	大気安定度	a	b	移流時間 t [s]
σ_y	1	1.92091	0.884785	0 ～ ∞
	2	1.42501	0.890339	0 ～ ∞
	3	1.01538	0.896354	0 ～ ∞
	4	0.682404	0.886706	0 ～ ∞
	5, 6, 7	0.610032	0.885474	0 ～ ∞
σ_z	1	0.228205 0.049064 0.0172578	1.16593 1.41327 1.55074	0 ～ 500 500 ～ 2000 2000 ～ ∞
	2	0.360763 0.192024	1.01128 1.10256	0 ～ 1000 1000 ～ ∞
	3	0.426406	0.912511	0 ～ ∞
	4	0.446905 1.30023	0.855756 0.701154	0 ～ 1000 1000 ～ ∞
	5	0.523275 1.40800 4.09832	0.774220 0.630929 0.497485	0 ～ 1000 1000 ～ 3000 3000 ～ ∞
	6	0.64000 1.02400 4.65031	0.698970 0.630929 0.441928	0 ～ 1000 1000 ～ 3000 3000 ～ ∞
	7	0.773470 1.74808 7.28360	0.620945 0.502905 0.324659	0 ～ 1000 1000 ～ 3000 3000 ～ ∞

ここで、1 = 強不安定（A）、2 = 並不安定（B）、3 = 弱不安定（C）、4 = 中立（D）、5 = 安定（E）、6 = 強安定（F）、7 = 強強安定（G）

Table2-3　ターナー図の近似式（時間単位式）の係数

拡散パラメータ	σ_y		σ_z		
大気安定度	a	b	a	b	c
強不安定（A）	3.44	0.89	3.75	1.59	0.18
並不安定（B）	3.33	0.89	3.19	1.08	0.02
弱不安定（C）	3.20	0.89	2.88	0.91	-0.00
中立（D）	3.01	0.89	2.62	0.69	-0.08
安定（E、F、G）	2.94	0.89	2.38	0.51	-0.16

【土壌から床下空間に散逸するラドン濃度評価モデル】

汚染土壌の敷地内に居住することを仮定すると、Fig.2-12 に示すように、地表面より散逸したラドンの一部は、住居の床下空間に放出される。また、我が国の住居には除湿等の目的で床下に換気孔が設けられているため、床下換気による屋外大気中ラドンの侵入、および除去が考えられる。これらの床下空間におけるラドンガスの収支について、式(2.76)と同様のボックスモデルを適用すると、床下空間ラドン濃度は、以下の式で表される。

$$Cc_{cs}^{Rn}(t) = \frac{Js_{cs}^{Rn}(t)\cdot\left[1-\exp\left\{-\left(\lambda^{Rn}+\lambda_c\right)\cdot t\right\}\right]}{h_c\cdot\left(\lambda^{Rn}+\lambda_c\right)} + \frac{Co_{cs}^{Rn}(t)\cdot\lambda_c}{\lambda^{Rn}+\lambda_c} \tag{2.87}$$

ここで、

$Cc_{cs}^{Rn}(t)$ ：汚染土壌 cs から床下空間に散逸する床下空間ラドン濃度 (Bq/m^3)

$Js_{cs}^{Rn}(t)$ ：汚染土壌 cs から大気中へのラドン散逸率 (Bq/m^2/s)

λ^{Rn} ：ラドンの崩壊定数（s^{-1}）

λ_c ：床下空間換気率 (s^{-1})

h_c ：床下空間高さ (m)

$Co_{cs}^{Rn}(t)$ ：汚染土壌 cs から屋外大気中に散逸するラドン濃度 (Bq/m^3)

である。

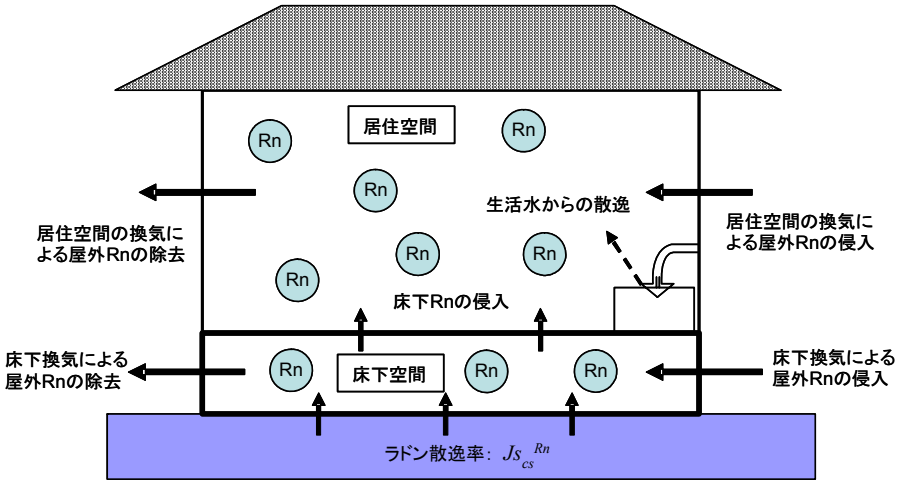


Fig.2-12　ラドンガスの屋内空間への侵入経路概念図

【土壌から居住空間内に散逸するラドン濃度評価モデル（土壌散逸）】

汚染土壌中の核種を起源とするラドンの居住空間への侵入経路としては、Fig.2-12 に示すように、床下空間のラドンの侵入や、換気による屋外大気中ラドンの侵入および生活水中ラドンの散逸 [(16), (17)]が考えられる。

ここでは、床下空間からのラドンの侵入と換気による屋外大気中ラドンの侵入を考慮して、ラドンガスは床下から屋内に侵入率 I で侵入すると仮定すると、土壌から居住空間内に散逸するラドン濃度は以下の式で表される。

$$Ci_{cs}^{Rn}(t) = \frac{Cc_{cs}^{Rn}(t)\cdot I\cdot h_c}{h_{in}\cdot\left(\lambda^{Rn}+\lambda_{in}\right)} + \frac{Co_{cs}^{Rn}(t)\cdot\lambda_{in}}{\lambda^{Rn}+\lambda_{in}} \tag{2.88}$$

ここで、

$Ci_{cs}^{Rn}(t)$ ：汚染土壌 cs から居住空間内に散逸するラドン濃度 (Bq/m^3)

$Cc_{cs}^{Rn}(t)$ ：汚染土壌 cs から床下空間に散逸するラドン濃度 (Bq/m^3)

I ：床下空間から屋内へのラドン侵入率 (s^{-1})

h_c ：床下空間高さ (m)

h_{in} ：屋内空間高さ (m)

λ^{Rn} ：ラドンの崩壊定数（s^{-1}）

λ_{in} ：屋内換気率 (s^{-1})

$Co_{cs}^{Rn}(t)$ ：汚染土壌 cs から屋外大気中に散逸するラドン濃度 (Bq/m^3)

である。

【生活水から居住空間内に散逸するラドンガス濃度（生活水散逸）】

ラジウムを含む地下水を生活水として使用した場合、そのラジウムの崩壊により生成するラドンガスが住居内に散逸することが考えられる。

ここでは、Fig.2-12 に示すラドンの居住空間への侵入経路として、井戸水あるいは上流河川を起源とする生活水からのラドン散逸を考慮すると、生活水から住居内に散逸するラドンガスの濃度は以下の式で表される。

$$Ci_w^{Rn}(t) = \frac{C_a^{Rn}(t) \cdot Q_w \cdot G}{V \cdot \left(\lambda^{Rn} + \lambda_{in}\right)} \tag{2.89}$$

ここで、

$Ci_w^{Rn}(t)$ ：生活水から居住空間内に散逸するラドンガス濃度 (Bq/m^3)

$C_a^{Rn}(t)$ ：生活水（井戸水あるいは上流河川）中のラドン濃度 (Bq/m^3)

Q_w ：生活用水の使用量 (m^3/s) (入力単位：m^3/h)

G ：ガス化率 (-)

V ：居住空間体積 (m^3)

λ^{Rn} ：ラドンの崩壊定数（s^{-1}）

λ_{in} ：屋内換気率 (s^{-1})

である。

（３）被ばく線量の評価

地下水移行シナリオの解析で使用される生物圏モデルでは、前述した被ばく線源となる物質中の核種濃度に基づき被ばく線量評価を行う。

地下水移行シナリオ線量評価モデルで計算が可能な被ばく経路は以下の 12 経路である。

① 汚染土壌からの直接線による外部被ばく

② 汚染土壌からの粉塵の吸入による内部被ばく

③ 飲料水摂取による内部被ばく

④ 農作物摂取による内部被ばく

⑤ 畜産物摂取による内部被ばく（飼料経由および飼育水経由）

⑥　水産物摂取による内部被ばく
⑦　土壌および生活水から散逸するラドンガスの吸入よる内部被ばく
⑧　水面作業（漁業）における外部被ばく
⑨　遊泳における外部被ばく
⑩　漁網からの直接線による外部被ばく
⑪　塩摂取による内部被ばく
⑫　風送塩吸入による内部被ばく

これらの 12 経路に対する線量評価モデルを以下に示す。

1) 汚染土壌からの直接線による外部被ばく

農耕土壌（水田、畑地、牧草地）、海岸、浚渫土壌（上流河床、湖底、沿岸海底）といった汚染土壌からの直接線による外部被ばく線量は、汚染土壌中の核種の濃度、遮へい係数および外部被ばく線量換算係数により次のように求める。

$$D^{i}_{ext,cs}(t) = DC^{i}_{ext} \cdot C^{i}_{cs}(t) \cdot \gamma^{i}_{cs} \cdot T_{cs} \tag{2.90}$$

ここで、

$D^{i}_{ext,cs}(t)$ ：汚染土壌 cs からの直接線による核種 i の外部被ばく線量 (μ Sv/y)

DC^{i}_{ext} ：汚染土壌 cs からの直接線による核種 i の外部被ばく線量係数 (μ Sv/h per Bq/kg) (入力単位： μ Sv/h per Bq/g)

$C^{i}_{cs}(t)$ ：汚染土壌 cs 中の核種 i 濃度 (Bq/kg)

γ^{i}_{cs} ：汚染土壌 cs における核種 i の遮へい係数 (-)

T_{cs} ：汚染土壌 cs における年間作業時間 (h/y)

2) 汚染土壌からの粉塵の吸入による内部被ばく

農耕土壌（水田、畑地、牧草地）、海岸、浚渫土壌（上流河床、湖底、沿岸海底）といった汚染土壌の粉塵の吸入による内部被ばく線量は、呼吸により吸入される空気中の核種の濃度と吸入摂取による内部被ばく線量換算係数により求める。空気中の核種濃度は、マスローディング法によって評価する。

$$D^{i}_{inh,cs}(t) = DC^{i}_{inh} \cdot Cd_{cs} \cdot C^{i}_{cs}(t) \cdot Ve_{cs} \cdot T_{cs} \tag{2.91}$$

ここで、

$D^{i}_{inh,cs}(t)$ ：汚染土壌 cs の粉塵吸入摂取による核種 i の内部被ばく線量 (μ Sv/y)

DC^{i}_{inh} ：吸入摂取による核種 i の内部被ばく線量換算係数 (μ Sv/Bq) (入力単位：Sv/Bq)

Cd_{cs} ：汚染土壌 cs における空気中ダスト濃度 (kg/m^3) (入力単位：g/m^3)

$C^{i}_{cs}(t)$ ：汚染土壌 cs 中の核種 i 濃度 (Bq/kg)

Ve_{cs} ：汚染土壌 cs における呼吸量 (m^3/h)

T_{cs} ：汚染土壌 cs における年間作業時間 (h/y)

3) 飲料水摂取による内部被ばく

$$D^i_{ing,dr}(t) = DC^i_{ing} \cdot C^i_{dr}(t) \cdot Q_{dr} \tag{2.92}$$

ここで、

$D^i_{ing,dr}(t)$ ：飲料水摂取による核種 i の内部被ばく線量 (μ Sv/y)

DC^i_{ing} ：経口摂取による核種 i の内部被ばく線量換算係数 (μ Sv/Bq)
(入力単位：Sv/Bq)

$C^i_{dr}(t)$ ：飲料水中の核種 i 濃度 (Bq/m^3)

Q_{dr} ：飲料水の摂取量 (m^3/y)

4) 農作物摂取による内部被ばく

農作物（水田の穀物、畑地の野菜の各 3 種類）の摂取による内部被ばく線量は、次式により求める。また、上流河床浚渫土壌の利用における農作物の摂取による内部被ばく線量の場合は、$C^i_c(t)$ の代わりに $C^i_{c_ds1}(t)$ を用いる。

$$D^i_{ing,c}(t) = DC^i_{ing} \cdot C^i_c(t) \cdot Q_c \tag{2.93}$$

ここで、

$D^i_{ing,c}(t)$ ：農作物 c の摂取による核種 i の内部被ばく線量 (μ Sv/y)

DC^i_{ing} ：経口摂取による核種 i の内部被ばく線量換算係数 (μ Sv/Bq)
(入力単位：Sv/Bq)

$C^i_c(t)$ ：農作物 c（水田の穀物 3 種類、畑地の野菜 3 種類）中の核種 i の核種濃度 (Bq/kg)

Q_c ：農作物 c の摂取量 (kg/y)

5) 畜産物摂取による内部被ばく（飼料経由および飼育水経由）

飼料経由および飼育水経由による畜産物（牛肉、ミルク、豚肉、鶏肉、卵）の摂取による内部被ばく線量は、次式により求める。また、上流河床浚渫土壌の利用における畜産物の摂取による内部被ばく線量の場合は、飼料経由によるもののみを求め、$C^i_{an_c}(t)$ の代わりに $C^i_{an_c_ds1}(t)$ を用いる。

$$D^i_{ing,an_c}(t) = DC^i_{ing} \cdot C^i_{an_c}(t) \cdot Q_{an} \quad \text{（飼料経由）} \tag{2.94}$$

$$D^{i}_{ing,an_w}(t) = DC^{i}_{ing} \cdot C^{i}_{an_w}(t) \cdot Q_{an} \quad \text{（飼育水経由）} \tag{2.95}$$

ここで、

$D^{i}_{ing,an_c}(t)$ ：畜産物 *an*（飼料経由）の摂取による核種 *i* の内部被ばく線量 (μSv/y)

DC^{i}_{ing} ：経口摂取による核種 *i* の内部被ばく線量換算係数 (μSv/Bq)
(入力単位：Sv/Bq)

$C^{i}_{an_c}(t)$ ：飼料経由による畜産物 *an*（牛肉、ミルク、豚肉、鶏肉、卵）中の核種 *i* 濃度 (Bq/kg) (ミルク：Bq/l)

Q_{an} ：畜産物 *an* の摂取量 (kg/y) (ミルク：$m^3/y \times 10^3 \rightarrow l/y$)

$D^{i}_{ing,an_w}(t)$ ：畜産物 *an*（飼育水経由）の摂取による核種 *i* の内部被ばく線量 (μSv/y)

$C^{i}_{an_w}(t)$ ：飼育水経由による畜産物 *an*（牛肉、ミルク、豚肉、鶏肉、卵）中の核種 *i* 濃度 (Bq/kg) (ミルク Bq/l)

6) 水産物摂取による内部被ばく

$$D^{i}_{ing,fp,a}(t) = DC^{i}_{ing} \cdot C^{i}_{fp,a}(t) \cdot Q_{fp} \quad \text{（淡水産物）} \tag{2.96}$$

$$D^{i}_{ing,sp,e}(t) = DC^{i}_{ing} \cdot C^{i}_{sp,e}(t) \cdot Q_{sp} \quad \text{（海産物）} \tag{2.97}$$

ここで、

$D^{i}_{ing,fp,a}(t)$ ：淡水表面水系 *a*（井戸水、上流河川、湖沼、下流河川）に生育する淡水産物 *fp*（魚類、軟体動物）の摂取による核種 *i* の内部被ばく線量 (μSv/y)

DC^{i}_{ing} ：経口摂取による核種 *i* の内部被ばく線量換算係数 (μSv/Bq)
(入力単位：Sv/Bq)

$C^{i}_{fp,a}(t)$ ：淡水表面水系 *a*（井戸水、上流河川、湖沼、下流河川）に生育する淡水産物 *fp*（魚類、軟体動物）中の核種 *i* 濃度 (Bq/kg)

Q_{fp} ：淡水産物 *fp* の摂取量 (kg/y)

$D^{i}_{ing,sp,e}(t)$ ：沿岸海洋 *e* に生育する海産物 *sp*（魚類、軟体動物、藻類）の摂取による核種 *i* の内部被ばく線量 (μSv/y)

$C^{i}_{s,e}(t)$ ：沿岸海洋 *e* に生育する海産物 *sp*（魚類、軟体動物、藻類）中の核種 *i* 濃度 (Bq/kg)

Q_{sp} ：海産物 *sp* の摂取量 (kg/y)

7) 土壌および生活水から散逸するラドンガスの吸入よる内部被ばく

汚染土壌（農耕土壌および上流河川浚渫土壌による農耕土壌）における農耕・牧畜作業者および居住者（土壌散逸）と生活水を利用する居住者（生活水散逸）に対して、各線源から発生するラドンガスの吸入による被ばくが考えられる。

ラドンガス吸入による内部被ばく線量は、通常その子孫核種濃度（平衡等価ラドン濃度）によって評価され、平衡等価ラドン濃度は、ラドン濃度に平衡ファクタを乗じることによって求めら

れる。土壌散逸および生活水散逸に起因するラドンの吸入による内部被ばく線量は、屋内および屋外ラドン濃度から、それぞれ以下の式で表される[18), (19), (20)]。

$$D_{inh,cs}^{Rn}(t) = \left\{R_{cs} \cdot Co_{cs}^{Rn}(t) \cdot Fo + \left(1 - R_{cs}\right) \cdot Ci_{cs}^{Rn} \cdot Fi\right\} \cdot DC_{inh}^{Rn} \cdot T_{cs} \quad \text{（土壌散逸）} \tag{2.98}$$

$$D_{inh,w}^{Rn}(t) = \left(1 - R_w\right) \cdot Ci_w^{Rn}(t) \cdot Fi \cdot DC_{inh}^{Rn} \cdot T_w \quad \text{（生活水散逸）} \tag{2.99}$$

ここで、

$D_{inh,cs}^{Rn}(t)$ ：汚染土壌 cs の土壌散逸に起因するラドンの吸入による内部被ばく線量（μSv/y)

R_{cs} ：汚染土壌 cs における屋外居住係数（屋外にいる割合） (-)

$Co_{cs}^{Rn}(t)$ ：汚染土壌 cs から屋外大気中に散逸するラドン濃度 (Bq/m^3)

Fo ：屋外平衡ファクタ (-)

$Ci_{cs}^{Rn}(t)$ ：汚染土壌 cs から居住空間内に散逸するラドン濃度 (Bq/m^3)

Fi ：屋内平衡ファクタ (-)

DC_{inh}^{Rn} ：ラドンガス吸入による内部被ばく線量換算係数（μSv/h per Bq/m^3)
(入力単位：Sv/h per Bq/m^3)

T_{cs} ：汚染土壌 cs におけるにおける年間被ばく時間 (h/y)

$D_{inh,w}^{Rn}(t)$ ：生活水散逸に起因するラドンの吸入による内部被ばく線量（μSv/y)

R_w ：屋外居住係数（汚染土壌 cs のいずれかから選択） (-)

$Ci_w^{Rn}(t)$ ：生活水から居住空間内に散逸するラドンガス濃度 (Bq/m^3)

T_w ：年間被ばく時間（汚染土壌 cs のいずれかから選択） (h/y)

である。

8) 水面作業における外部被ばく

表面水系（井戸水、上流河川、湖沼、下流河川、沿岸海洋）の水面上で漁業等を行う作業者は、水中に分布する核種の直接γ線から外部被ばくを受ける。外部被ばくに寄与する放射線源の範囲は水平方向で数十 m、鉛直方向では水の遮へいにより 1m 程度までと考えられるので、放射性核種の濃度分布は、水面上 1～2m の被ばく点に対しては、一様と考えることができる。従って、被ばく線量は次式で計算する。

$$D_{ext_sur,a}^{i}(t) = \left\{DC_{sur}^{i} \cdot \mu_{air} \cdot EG^{i} \int_{-\infty}^{0}\int_{0}^{\infty}\int_{0}^{2\pi} \frac{B \cdot e^{-(\mu_1 \cdot r_1 + \mu_2 \cdot r_2)}}{4\pi r^2} \cdot C_a^i(t) \cdot f(z) \cdot \rho d\theta d\rho dz\right\} \cdot T_{sur} \cdot \frac{1 - \exp\left(-\lambda^i t_{sur}\right)}{\lambda^i t_{sur}} \tag{2.100}$$

ここで、

$D^{i}_{ext_sur,a}(t)$ ：表面水系 a の水面からの直接線による核種 i の外部被ばく線量 (μSv/y)

DC^{i}_{sur} ：水面からの直接線による核種 i の線量換算係数 (dis･m^3･μSv per MeV･Bq･d) (入力単位：dis･m^3･Sv per MeV･Bq･d)

μ_{air} ：空気のエネルギー吸収係数 (m^3/kg)

EG^{i} ：核種 i のγ線実効エネルギー (MeV/dis)

B ：空気、水の 2 層のビルドアップ係数 (-)

μ_1, μ_2 ：空気および水のγ線減弱係数 (1/m)

$C^{i}_{a}(t)$ ：表面水系 a 中の核種 i 濃度 (Bq/m^3)

$f(z)$ ：放射性核種の河川水（海水）中鉛直分布 (-)、$f(z) = 1$

T_{sur} ：水面上での年間被ばく時間 (d/y) (入力単位：h/y)

t_{sur} ：水面上における被ばくの減衰期間 (y)

である。

また、$r_1, r_2, r, \rho, \theta, z$ は、Fig.2-13 に示す通りである。

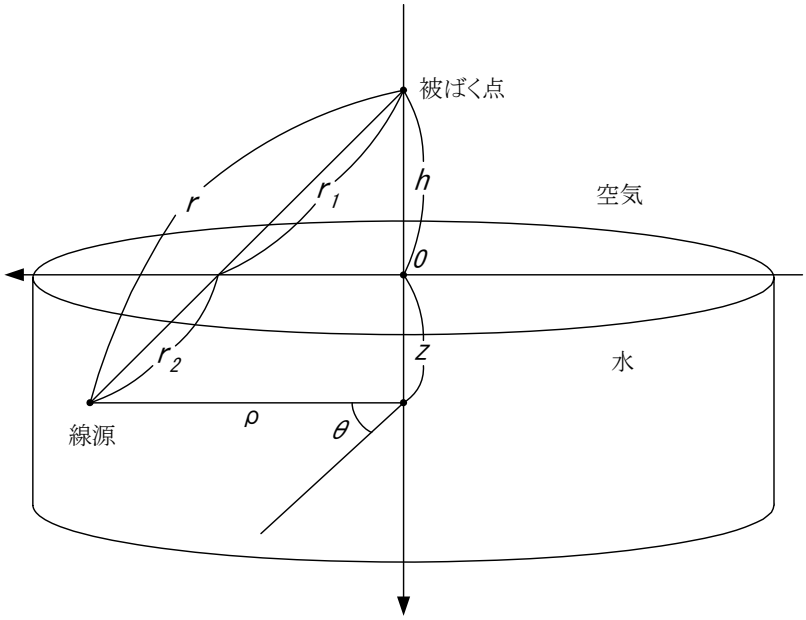


Fig.2-13　水面作業における外部被ばくの計算体系

9) 遊泳における外部被ばく

表面水系（井戸水、上流河川、湖沼、下流河川、沿岸海洋）中での遊泳の状態を考えると身体周辺の水中放射性核種の濃度は、一様と見ることができ、線量はいわゆるサブマージョンモデルを用いて求めることができる。従って、遊泳時の外部被ばく線量は次式で表される。

$$D^{i}_{ext_sub,a}(t) = DC^{i}_{sub} \cdot EG^{i} \cdot C^{i}_{a}(t) \cdot T_{sub} \cdot \frac{1-\exp\left(-\lambda^{i} t_{sub}\right)}{\lambda^{i} t_{sub}} \tag{2.101}$$

ここで、

$D^{i}_{ext_sub,a}(t)$ ：表面水系 a へのサブマージョンによる核種 i の外部被ばく線量 (μSv/y)

DC^{i}_{sub} ：サブマージョンによる核種 i の線量換算係数 (dis･m^3･μSv per MeV･Bq･d) (入力単位：dis･m^3･Sv per MeV･Bq･d)

EG^{i} ：核種 i のγ線実効エネルギー (MeV/dis)

$C^{i}_{a}(t)$ ：表面水系 a 中の核種 i 濃度 (Bq/m^3)

T_{sub} ：遊泳にかかる年間被ばく時間 (d/y) (入力単位：h/y)

t_{sub} ：遊泳における被ばくの減衰期間 (y)

である。

10) 漁網からの直接線による外部被ばく

漁業終了後船上に積載した核種を含む漁網からの直接γ線による外部被ばく線量は以下の式で計算する。

$$D^{i}_{ext_net,a}(t)=\left\{DC^{i}_{net}\cdot\mu_{air}\cdot EG^{i}\int_{-z_0}^{0}\int_{0}^{R}\int_{0}^{2\pi}\frac{B\cdot e^{-(\mu_1\cdot r_1+\mu_2\cdot r_2)}}{4\pi r^2}\cdot\rho_{net}\cdot FC^{i}_{a,net}\cdot C^{i}_{a}(t)\cdot\rho d\theta d\rho dz\right\}\cdot T_{net}\cdot\frac{1-\exp\left(-\lambda^{i}t_{net}\right)}{\lambda^{i}t_{net}} \quad (2.102)$$

ここで、

$D^{i}_{ext_net,a}(t)$:表面水系 a で使用した漁網からの直接線による核種 i の外部被ばく線量 (μSv/y)

DC^{i}_{net} ：漁網からの直接線による線量換算係数 (dis･m^3･μSv per MeV･Bq･d) (入力単位：dis･m^3･Sv per MeV･Bq･d)

μ_{air} ：空気のエネルギー吸収係数 (m^3/kg)

EG^{i} ：核種 i のγ線実効エネルギー (MeV/dis)

B ：空気、水の 2 層のビルドアップ係数 (-)

μ_1, μ_2 ：空気および水のγ線減弱係数 (1/m)

ρ_{net} ：漁網の密度 (kg/m^3)

$FC^{i}_{a,net}$ ：表面水系 a の水から漁網への核種 i の移行比 (Bq/kg per Bq/m^3)

$C^{i}_{a}(t)$ ：表面水系 a 中の核種 i 濃度 (Bq/m^3)

Z_0 ：漁網の厚さ (m)

R ：漁網の実効半径 (m)

T_{net} ：漁網操作にかかる年間被ばく時間 (d/y) (入力単位：h/y)

t_{net} ：漁網操作にかかる被ばくの減衰期間 (y)

である。

なお、$Z_0, R, r, r_1, r_2, d, \rho, \theta$ および z については、Fig.2-14 に示す通りである。

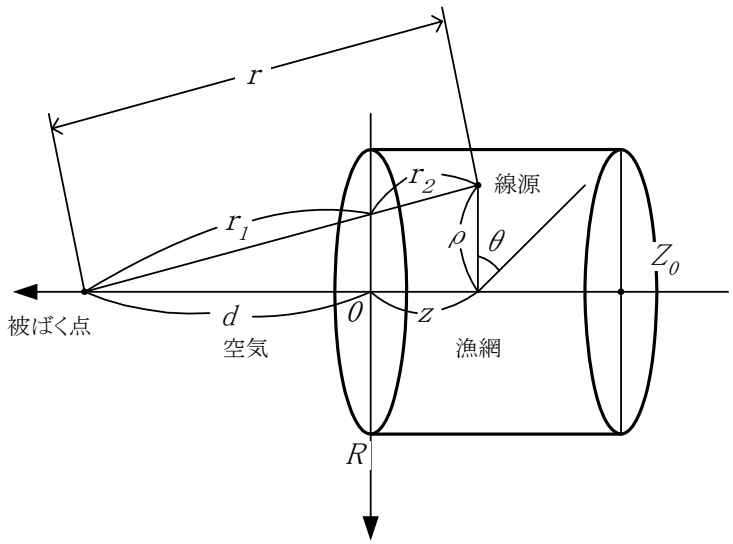


Fig.2-14　漁網からのγ線による外部被ばくの計算体系

11) 塩摂取による内部被ばく

放射性核種が移行した沿岸海洋の海水を用いて製造した食塩を経口摂取することによる内部被ばく線量は次の式により計算する。また、環境媒体間の核種移行を考慮せず、流量による希釈のみを考慮して評価したい場合は、井戸水を海水とみなして計算することができる。なお、海水中に含まれている放射性核種は全て食塩（塩化ナトリウム）中に移行するものとする。

$$D^{i}_{inh_sal,a}(t) = C^{i}_{a}(t) / C_{Na} \cdot Q_{Na} \cdot DC^{i}_{ing} \cdot \frac{1-\exp\left(-\lambda^{i} t_{sal}\right)}{\lambda^{i} t_{sal}} \tag{2.103}$$

ここで、

$D^{i}_{inh_sal,a}(t)$ ：塩摂取による核種 i の内部被ばく線量（μSv/y）

$C^{i}_{a}(t)$ ：海水（井戸水、沿岸海洋）中の核種 i 濃度 (Bq/m^3)

C_{Na} ：海水中の塩化ナトリウム濃度 (kg/m^3)

Q_{Na} ：食塩の年間摂取量 (kg/y)

DC^{i}_{ing} ：経口摂取による核種 i の内部被ばく線量換算係数（μSv/Bq）
(入力単位：Sv/Bq)

t_{sal} ：塩摂取にかかる被ばくの減衰期間 (y)

である。

12) 風送塩吸入による内部被ばく

海岸付近に居住するものが、沿岸海洋から飛来してきた放射性核種を含む海水飛沫（風送塩）を吸入摂取することによる内部被ばく線量は、次の式で計算する。また、環境媒体間の核種移行を考慮せず、流量による希釈のみを考慮して評価したい場合は、井戸水を海水とみなして計算することができる。

$$D^{i}_{inh_win,a}(t) = C^{i}_{a}(t) \cdot f_{MW} \cdot B \cdot T \cdot DC^{i}_{inh} \cdot \frac{1-\exp\left(-\lambda^{i} t_{win}\right)}{\lambda^{i} t_{win}} \tag{2.104}$$

ここで、

$D^{i}_{inh_win,a}(t)$ ：風送塩吸入による核種 i の内部被ばく線量 (μSv/y)

$C^{i}_{a}(t)$ ：海水（井戸水、沿岸海洋）中の核種 i 濃度 (Bq/m^3)

f_{MW} ：空気中に含まれる海水の量 (m^3-water/m^3-air)

B ：海岸付近の居住者の呼吸量 (m^3/h)

T ：海岸付近の居住者の年間居住時間 (h/y)

DC^{i}_{inh} ：吸入摂取による核種 i の内部被ばく線量換算係数 (μSv/Bq)
(入力単位：Sv/Bq)

t_{win} ：風送塩吸入にかかる被ばくの減衰期間 (y)

である。

2.4.2 跡地利用シナリオ線量評価モデル

跡地利用シナリオの解析で使用される生物圏モデルでは、処分場跡地土壌中の核種濃度に基づき被ばく線量評価を行う。

跡地利用シナリオ線量評価モデルで計算が可能な被ばく経路は以下の 7 経路である。

① 跡地からの直接線による外部被ばく
② 跡地からの粉塵の吸入による内部被ばく
③ 農作物摂取による内部被ばく
④ 畜産物摂取による内部被ばく
⑤ ラドンガスの吸入による内部被ばく（散逸 2 層モデル）
⑥ トリチウムの吸入による内部被ばく
⑦ 皮膚に堆積したダストによる皮膚被ばく

このうち、2.①跡地からの直接線による外部被ばく、②跡地からの粉塵の吸入による内部被ばく、③農作物摂取による内部被ばく、④畜産物摂取による内部被ばく、⑤ラドンガスの吸入による内部被ばく（散逸 2 層モデル）の評価モデルについては、汚染土壌を起源とする経路のみを評価することならびに線源となる核種濃度が異なること以外は、2.4.1 項で示したものと基本的に同様である。

跡地利用シナリオにおいて線源となる汚染土壌は、処分施設と、建設・農耕作業時の掘削等により処分施設と覆土が混合された場合の混合層である。処分施設内の核種濃度 $C^{i}_{d}(t)$ はソースタームモデルで求めた値であり、混合層の核種濃度 $C^{i}_{m}(t)$ は処分施設内の核種濃度 $C^{i}_{d}(t)$ に混合割合を乗じた以下の式により求める。

$$C_m^i(t) = C_d^i(t) \cdot MX(t) \tag{2.105}$$

混合割合としては、任意の値あるいは下記の式により求めた値を使用することができる。

$$MX(t) = \begin{cases} 0 & (H_d < H_c(t)\text{の場合}) \\ \dfrac{H_d - H_c(t)}{H_d} & (H_c(t) \le H_d < H_c(t) + H_w(t)\text{の場合}) \\ \dfrac{H_w(t)}{H_d} & (H_c(t) + H_W(t) < H_d\text{の場合}) \end{cases} \tag{2.106}$$

ここで、

$MX(t)$ ：混合割合 (Bq/g)

$C_d^i(t)$ ：処分施設内の核種 i 濃度 (Bq/g)

$H_w(t)$ ：処分施設厚さ (m)

$H_c(t)$ ：覆土厚さ (m)

H_d ：掘削深さ (m)

である。上式は掘削深さが処分施設に達しない場合、処分施設に達するが処分施設を貫通しない場合、処分施設を貫通する場合によって場合分けされている。なお、処分施設の厚さおよび覆土厚さの時間変化は、「2.2.3　跡地利用評価用ソースタームモデル」における式(2.23)および(2.24)と同様である。

処分施設と混合層のどちらが線源となるかは、被ばく経路ごとに異なる。各被ばく経路に対する線源の考え方の一覧を、Table2-4 に示す。

2.①跡地からの直接線による外部被ばくと⑤ラドンガスの吸入による内部被ばく（散逸 2 層モデル）については、条件 1：掘削土壌の埋め戻しの有無、条件 2：掘削深さと処分施設の関係、条件 3：客土の有無によって線源が異なり、それに対応して透過厚さも異なる。直接線による外部被ばくおよびラドンガス吸入による内部被ばくに対する線源と透過厚さに関するオプションの一覧を Table2-5 に示す。これに関連して、直接線による外部被ばくについては、客土および掘削深さにより透過厚さが異なるため、任意の透過厚さに対応する線量換算係数を、ライブラリファイルにおいて整備されている複数の客土厚さに対する値[21]から Akima の補間法[22), (23]により内挿して求めることができる（透過厚さに依存せず、固定値を使用することも可能）。なお、客土厚さの条件の違いに対応した外部被ばく線量換算係数のライブラリファイルについては、「3.3　ライブラリファイル仕様」の中で述べている。

直接線による外部被ばくにおける線量計算の考え方を Table2-6 に示す。また、跡地利用シナリオにおけるラドンガス散逸率評価モデルでは、2.4.1 項の 7）で前述したように、処分施設と混合層を線源（散逸 2 層モデル）として評価可能であることに加えて、非汚染土壌を客土も含めて最大 4 層まで考慮することができる。

農作物摂取および畜産物摂取による内部被ばくについては、農作物の根が処分施設と混合層の

どちらに到達しているかを考慮して、線源を処分施設と混合層から任意に選択することができる。

ここでは、⑥トリチウムの吸入による内部被ばく、2.⑦皮膚に堆積したダストによる皮膚被ばくの評価モデルについて以下に示す。

Table2-4　各被ばく経路に対する線源の考え方

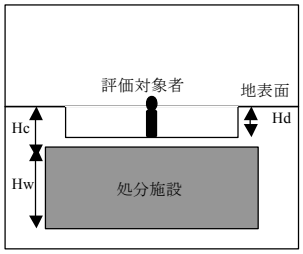
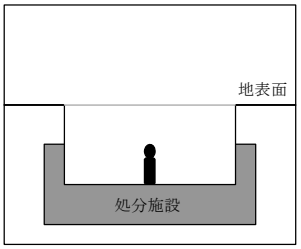
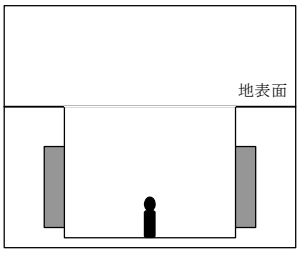
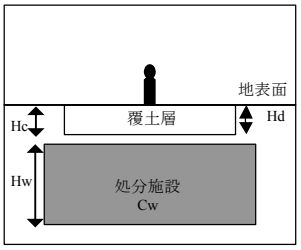
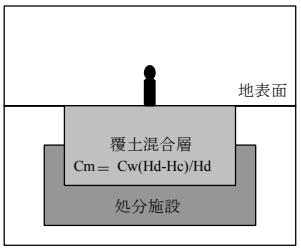
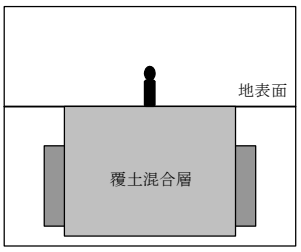
被ばく経路	線源土壌の考え方
①直接線による外部被ばく	オプションにより処分施設、混合層から選択
②粉塵の吸入による内部被ばく	混合層固定
③農作物摂取による内部被ばく	処分施設、混合層から任意に選択
④畜産物摂取による内部被ばく	処分施設、混合層から任意に選択
⑤ラドンガスの吸入による内部被ばく	オプションにより処分施設、混合層から選択
⑥トリチウム吸入による内部被ばく	全量が対象
⑦皮膚に堆積したダストによる皮膚被ばく	混合層固定

Table2-5　直接線による外部被ばくおよびラドンガスの吸入による内部被ばくに対する線源と透過厚さに関するオプション

条件1: 掘削土壌の埋め戻しの有無	条件2: 掘削深さと処分施設の関係	条件3: 客土の有無	直接線による外部被ばく		ラドンガスの吸入による内部被ばく	
			線源となる濃度	透過厚さ	線源となる濃度	透過厚さ
埋め戻しなし	掘削が処分施設に到達しない	客土なし	Cd	Hc−Hd	Cd	Hc−Hd
		客土あり		Hc−Hd+Hf		Hc−Hd+Hf
	掘削が処分施設の途中まで到達する	客土なし	Cd	0	Cd	0
		客土あり		Hf		Hf
	掘削が処分施設の下まで到達する	客土なし	−	−	−	−
		客土あり				
埋め戻しあり	掘削が処分施設に到達しない	客土なし	Cd	Hc	Cd	Hc
		客土あり		Hc+Hf		Hc+Hf
	掘削が処分施設の途中まで到達する	客土なし	Cm Cd	0 Hd+Hf	Cm Cd	0 Hd+Hf
		客土あり		Hf Hd+Hf		Hf Hd+Hf
	掘削が処分施設の下まで到達する	客土なし	Cm	0	Cm	0
		客土あり		Hf		Hf

Cd:処分施設内の核種濃度、Cm:処分施設と覆土の混合層の濃度(Cm＝Cd×(Hd−Hc)/Hd)
Hc:混合層の厚さ、Hd:掘削深さ、Hf:客土層の厚さ

Table2-6　直接線による外部被ばくにおける線量計算の考え方

掘削土壌の埋め戻しの有無	掘削深さと処分施設との関係	模式図	外部被ばく経路の計算方法（※）
埋め戻しなし	掘削が処分施設に到達しない		処分施設を線源とし、線量換算係数は残された覆土厚さに対する値をライブラリファイルから内挿することもできる。
	掘削が処分施設の途中まで到達する		処分施設を線源とし、線量換算係数はライブラリファイルから内挿することもできるが、その場合は覆土厚さ０の値となる。
	掘削が処分施設の下まで到達する		処分施設の濃度を 0 として、外部被ばく線量も０となる。
埋め戻しあり	掘削が処分施設に到達しない		処分施設を線源とし、線量換算係数は、覆土層の厚さに対する値をライブラリファイルから内挿することもできる。
	掘削が処分施設の途中まで到達する		処分施設および覆土混合層の２層を線源とし、線量換算係数は、それぞれの地表面までの距離に対する値をライブラリファイルから内挿することもできる。
	掘削が処分施設の下まで到達する		処分施設の濃度を 0 として、覆土混合層を線源とする外部被ばく線量が計算される。

（※）客土が存在する場合は、線源と地表面との距離に客土を含めた値に対してライブラリファイルから内挿する。

（1）トリチウムの吸入による内部被ばく

トリチウムの吸入による内部被ばく経路に関して、空気中のトリチウム濃度は以下の式で表される。

$$C_{air}^{T}(t) = \frac{C_m^i(t) \cdot W \cdot \rho_w(t) \cdot D_T}{H_e \cdot L_e \cdot U_w} \tag{2.107}$$

ここで、

$C_{air}^{T}(t)$ ：空気中のトリチウム濃度 (Bq/m^3)
$C_m^i(t)$ ：混合層の核種 i 濃度 (Bq/g)
W ：廃棄物の総量 (m^3)
$\rho_w(t)$ ：処分施設のみかけの密度 (g/m^3) (入力単位：kg/m^3)
D_T ：処分施設からの平均飛散率 (s^{-1})
H_e ：有効高さ (m)
L_e ：断面方向長さ (m)
U_w ：風速 (m/s)

最終的に、トリチウムの吸入による内部被ばく線量は、以下の式で表される。

$$D_{inh}^{T}(t) = C_{air}^{T}(t) \cdot Ve_T \cdot T_T \cdot DC_{inh}^{T} \tag{2.108}$$

$D_{inh}^{T}(t)$ ：トリチウムの吸入による内部被ばく線量 (Sv/y)
$C_{air}^{T}(t)$ ：空気中のトリチウム濃度(Bq/m^3)
Ve_T ：トリチウムを吸入する者の呼吸量 (m^3/h) (入力単位：m^3/y)
T_T ：トリチウム吸入にかかる年間被ばく時間 (h/y)
DC_{inh}^{T} ：トリチウムの吸入内部被ばく線量換算係数 (Sv/Bq)

（2）皮膚に堆積したダストによる皮膚被ばく

皮膚に堆積したダストによる皮膚の等価線量は、以下の式で表される。

$$D_{skin}^{i}(t) = C_m^i(t) \cdot D_{skin} \cdot f_{skin} \cdot L_{dust} \cdot \rho_{dust} \cdot T_{skin} \cdot DC_{skin}^{i} \tag{2.109}$$

ここで、

$D_{skin}^{i}(t)$ ：年間皮膚等価線量 (Sv/y)
$C_m^i(t)$ ：混合層の核種 i 濃度 (Bq/g)
D_{skin} ：皮膚被ばく経路における希釈係数 (-)
F_{skin} ：皮膚被ばく経路における濃縮係数 (-)
L_{dust} ：皮膚に堆積したダストの厚さ (cm)
ρ_{dust} ：皮膚に堆積したダストのみかけの密度 (g/cm^3)
T_{skin} ：皮膚被ばくにかかる年間被ばく時間 (h/y)
DC_{skin}^{i} ：皮膚の等価線量への換算係数 (Sv/h per Bq/cm^2)

なお、いずれの被ばく経路も、以下に示す被ばく期間中の減衰項を考慮することができる。

$$\frac{1 - \exp\left(-\lambda^i \cdot t_r\right)}{\lambda^i \cdot t_r} \tag{2.110}$$

ここで、

λ^{i}　　：核種 i の崩壊定数（1/y）

t_r　　：被ばく経路 r における被ばく期間中の減衰期間（y）

3.　評価コード

本章では、TRU 廃棄物およびウラン廃棄物を対象に 3 種類の埋設処分方式に対応した濃度上限値算出のための評価コード GSA-GCL 第 2 版における各サブモデルの計算を実行するためのモジュール構成、入力ファイルの仕様、実行方法などについて記述する。

3.1　評価コードの概要

GSA-GCL2 における「地下水移行シナリオ」と「跡地利用シナリオ」の 2 種類の評価シナリオの解析のためのモジュールと入力・出力との関係を示した概念図を、それぞれ Fig.3-1 および Fig.3-2 に示す。各図のモジュールとは、Table3-1 に示した実行機能を持つ独立したプログラム単位のことであり、ユーザーは、これらのモジュールを選択・組み合わせて使用することにより、解析の目的に応じた計算結果を得ることが可能である。GSA-GCL2 は、Table3-1 に示すように 12 のモジュールにより構成され、そのうち 2 章において述べた「ソースタームモデル」、「天然バリアモデル」および「生物圏モデル」の各解析を行うモジュールは 10 個である。

Table3-1　GSA-GCL2 におけるモジュール一覧

モジュール名称	GSAGCL2コード内での主なモジュールの役割	モデルとの関係
MASTER	以下のソースタームモデル、天然バリアモデル、生物圏モデルに関する全体の計算実行の制御（各モジュールの呼び出し）、各モジュール間での入出力やライブラリファイルに関する制御を行う	—
CMMAIN	「地下水移行評価用ソースタームモデル」による計算	ソースタームモデル
CFMAIN	「簡易核種浸出モデル」による計算	ソースタームモデル
SRCD	「跡地利用評価用ソースタームモデル」による計算	ソースタームモデル
MAINNB	「多孔質媒体近似モデル（解析解）」による計算	天然バリアモデル
DFMAIN	「多孔質媒体近似モデル（差分解）」による計算	天然バリアモデル
PMAIN	「多孔質媒体近似モデル（FILT法）」による計算	天然バリアモデル
MAINLTG	「亀裂性媒体近似モデル（LTG法）」による計算	天然バリアモデル
CMWS	「地下水移行シナリオ線量評価モデル」による計算	生物圏モデル
DOSE	「跡地利用シナリオ線量評価モデル」による計算	生物圏モデル
LHS	各パラメータのばらつきを確率密度関数により与え、Latin Hypercube Sampling法を用いて解析用のデータセットを作成する	—
SPOP	LHSによりサンプリングされたデータセットに対する地下水移行による核種フラックスや線量の解析結果を統計処理する	—

また、MASTER モジュールは、これらの 10 個の各モジュールへの実行に必要な情報の提供、各モジュールの計算実行や確率論的な計算実行の制御、ライブラリファイルに関する制御を行う（以下、「実行制御モジュール」）。その他に、各パラメータのばらつきを確率密度関数により与え、Latin Hypercube Sampling 法（以下、LHS）を用いて解析用のパラメータセットを作成する LHS モジュール[24]と、LHS によりサンプリングされたパラメータセットに対する地下水移行による核種フラックスや線量の解析結果を統計処理する SPOP モジュール[25]がある。

Table3-1 に示した 12 個のモジュールの入出力ファイルおよびライブラリファイルの情報については、Table3-2～Table3-14 に示す。

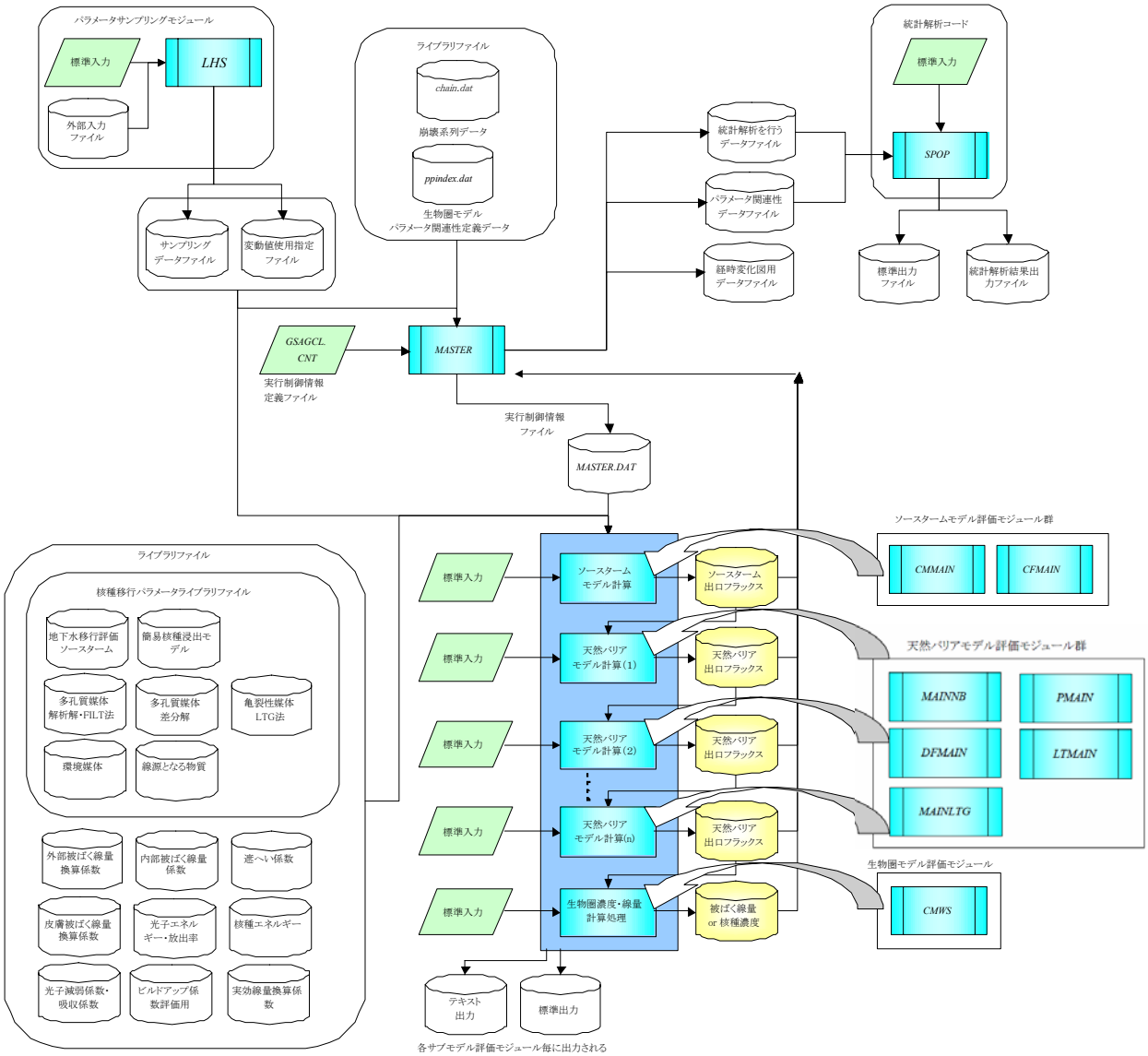


Fig.3-1　GSA-GCL2 におけるモジュールと入出力との関係（地下水移行シナリオ）

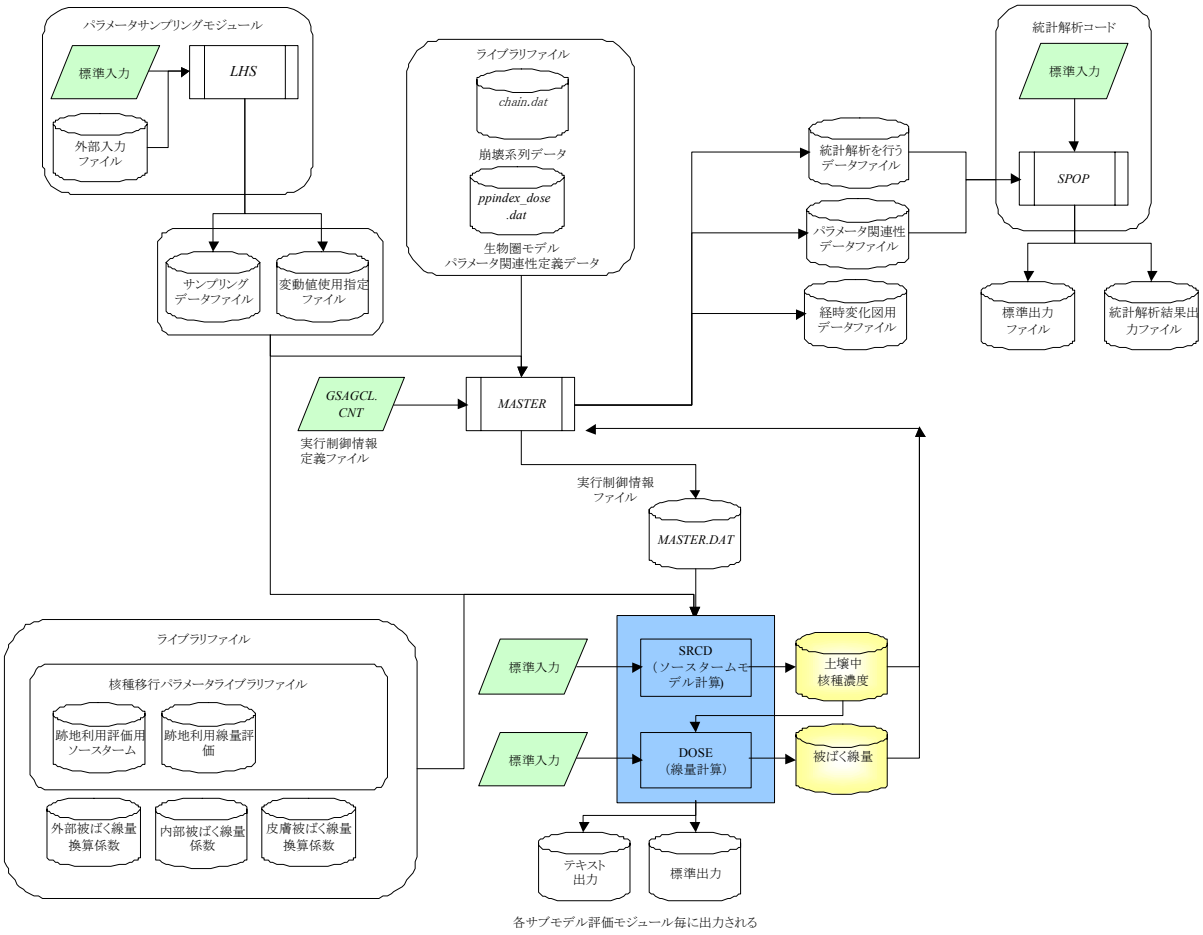


Fig.3-2　GSA-GCL2 におけるモジュールと入出力との関係（跡地利用シナリオ）

Table3-2　MASTER モジュール（実行制御モジュール）の入出力ファイル一覧

No.	ファイルの種類	格納サブフォルダ	ファイル名例	内容
1	入力ファイル	dat¥case¥gsagcl（case は任意）	gsagcl.cnt	実行制御情報定義ファイル（必須）
2		インストールフォルダ	master.ini（ファイル名は固定・編集不可）	コード実行のための環境設定ファイル
3		インストールフォルダ	master.dat（ファイル名は固定・編集不可）	コード実行のための補助ファイル（コードにより自動的に作成される）
4		dat¥case¥lhs*1	lhs.dat*2	サンプリングパラメータデータファイル（確率論的解析を行う場合は必須）
5		dat¥case¥lhs*1	lhs.prm*2	サンプリングパラメータ指定ファイル（確率論的解析を行う場合は必須）
6	ライブラリファイル	lib*1	chain.dat（ファイル名は固定）	AUTOCHAIN コマンドで崩壊系列を自動的に生成するための核種崩壊データライブラリファイル（AUTOCHAIN コマンドを使用する場合は必須）
7		lib*1	ppindex.dat（ファイル名は固定・編集不可）	地下水移行シナリオ線量評価モデルパラメータ関連性データ
8		lib*1	ppindex_dose.dat（ファイル名は固定・編集不可）	跡地利用シナリオ線量評価モデルパラメータ関連性データ
9	出力ファイル	dat¥case¥gsagcl（case は任意）	gsagcl.out	標準出力ファイル（ダミー）
10	SPOP モジュール関連ファイル*3	dat¥case¥gsagcl*1	*-forspop-??.flx *-forspop-??.dat	MASTER モジュールの POST コマンドにより作成する SPOP 用データ入力ファイル（統計解析する変動パラメータ値と移行フラックスあるいは線量）
11		dat¥case¥gsagcl*1	*-post-??.flx *-post-??.dat	MASTER モジュールの POST コマンドにより作成する変動パラメータに関する情報の出力ファイル（特に使用しない）

*1：DIR コマンドで指定したパス

*2：PROB コマンドで指定したファイル名

*3：SPOP モジュール関連ファイルのファイル名は、*が解析対象となる任意のファイル名（拡張子除く）、??が解析対象ファイル内での核種記載順の二桁の連番となり、核種数（線量の場合は、最後に合計線量が追加されるため、核種数＋1）分作成される。また、出力結果が核種の移行フラックスの場合に拡張子は“.flx”となり、

線量の場合に“.dat”となる。

Table3-3　CMMAIN モジュール（地下水移行評価用ソースタームモデル）の入出力ファイル一覧

No.	ファイルの種類	格納サブフォルダ	ファイル名例	内容
1	入力ファイル	dat¥case¥gsagcl*1	cmmain.inp	地下水移行評価用ソースタームモデル用標準入力ファイル（必須）
2	ライブラリファイル	lib*1	migcm.dat	地下水移行評価用ソースタームモデル用核種移行関連パラメータライブラリファイル（ライブラリファイルを使用する場合は必須）
3	出力ファイル（出力の有無は任意）	dat¥case¥gsagcl*1	cmmain.out	標準出力ファイル
4		dat¥case¥gsagcl*1	cmmain.txt	テキスト出力ファイル
5		dat¥case¥gsagcl*1	cmmain.bin	バイナリ出力ファイル（下流側のサブモデルの入力フラックスとして使用するため、接続計算を行う場合は必須。また、確率論的解析結果の統計的解析を行う場合は必須。）
6		dat¥case¥gsagcl*1	cmmain.bin_	確率論的解析のための補助ファイル（確率論的解析の場合は自動的に作成される）

*1：DIR コマンドで指定したパス

Table3-4　CFMAIN モジュール（簡易核種浸出モデル）の入出力ファイル一覧

No.	ファイルの種類	格納サブフォルダ	ファイル名例	内容
1	入力ファイル	dat¥case¥gsagcl*1	cfmain.inp	簡易核種浸出モデル用標準入力ファイル（必須）
2	ライブラリファイル	lib*1	migcf.dat	簡易核種浸出モデル用核種移行関連パラメータライブラリファイル（ライブラリファイルを使用する場合は必須）
3	出力ファイル（出力の有無は任意）	dat¥case¥gsagcl*1	cfmain.out	標準出力ファイル
4		dat¥case¥gsagcl*1	cfmain.txt	テキスト出力ファイル
5		dat¥case¥gsagcl*1	cfmain.bin	バイナリ出力ファイル（下流側のサブモデルの入力フラックスとして使用するため、接続計算を行う場合は必須。また、確率論的解析結果の統計的解析を行う場合は必須。）
6		dat¥case¥gsagcl*1	cfmain.bin_	確率論的解析のための補助ファイル（確率論的解析の場合は自動的に作成される）

*1：DIR コマンドで指定したパス

Table3-5　SRCD モジュール（跡地利用評価用ソースタームモデル）の入出力ファイル一覧

No.	ファイルの種類	格納サブフォルダ	ファイル名例	内容
1	入力ファイル	dat¥case¥gsagcl*1	srcd.inp	跡地利用評価用ソースタームモデル用標準入力ファイル（必須）
2	ライブラリファイル	lib*1	kdrc.dat	跡地利用評価用ソースタームモデル用核種移行関連パラメータライブラリファイル（ライブラリファイルを使用する場合は必須）
3	出力ファイル（出力の有無は任意）	dat¥case¥gsagcl*1	srcd.out	標準出力ファイル
4		dat¥case¥gsagcl*1	srcd.txt	テキスト出力ファイル
5		dat¥case¥gsagcl*1	srcd.bin	バイナリ出力ファイル（下流側のサブモデルの入力フラックスとして使用するため、接続計算を行う場合は必須。また、確率論的解析結果の統計的解析を行う場合は必須。）
6		dat¥case¥gsagcl*1	srcd.bin_	確率論的解析のための補助ファイル（確率論的解析の場合は自動的に作成される）

*1：DIR コマンドで指定したパス

Table3-6　MAINNB モジュール（多孔質媒体近似モデル（解析解））の入出力ファイル一覧

No.	ファイルの種類	格納サブフォルダ	ファイル名例	内容
1	入力ファイル	dat¥case¥gsagcl*1	mainnb.inp	多孔質媒体近似モデル（解析解）用標準入力ファイル（必須）
2	ライブラリファイル	lib*1	mignbfilt.dat	多孔質媒体近似モデル（解析解）および多孔質媒体近似モデル（FILT 法）用核種移行関連パラメータライブラリファイル（ライブラリファイルを使用する場合は必須）
3	出力ファイル（出力の有無は任意）	dat¥case¥gsagcl*1	mainnb.out	標準出力ファイル
4		dat¥case¥gsagcl*1	mainnb.txt	テキスト出力ファイル
5		dat¥case¥gsagcl*1	mainnb.bin	バイナリ出力ファイル（下流側のサブモデルの入力フラックスとして使用するため、接続計算を行う場合は必須。また、確率論的解析結果の統計的解析を行う場合は必須。）
6		dat¥case¥gsagcl*1	mainnb.bin_	確率論的解析のための補助ファイル（確率論的解析の場合は自動的に作成される）

*1：DIR コマンドで指定したパス

Table3-7　DFMAIN モジュール（多孔質媒体近似モデル（差分解））の入出力ファイル一覧

No.	ファイルの種類	格納サブフォルダ	ファイル名例	内容
1	入力ファイル	dat¥case¥gsagcl*1	dfmain.inp	多孔質媒体近似モデル（差分解）用標準入力ファイル（必須）
2	ライブラリファイル	lib*1	migdflt.dat	多孔質媒体近似モデル（差分解）用核種移行関連パラメータライブラリファイル（ライブラリファイルを使用する場合は必須）
3	出力ファイル（出力の有無は任意）	dat¥case¥gsagcl*1	dfmain.out	標準出力ファイル
4		dat¥case¥gsagcl*1	dfmain.txt	テキスト出力ファイル
5		dat¥case¥gsagcl*1	dfmain.bin	バイナリ出力ファイル（下流側のサブモデルの入力フラックスとして使用するため、接続計算を行う場合は必須。また、確率論的解析結果の統計的解析を行う場合は必須。）
6		dat¥case¥gsagcl*1	dfmain.bin_	確率論的解析のための補助ファイル（確率論的解析の場合は自動的に作成される）

*1：DIR コマンドで指定したパス

Table3-8　PMAIN モジュール（多孔質媒体近似モデル（FILT 法））の入出力ファイル一覧

No.	ファイルの種類	格納サブフォルダ	ファイル名例	内容
1	入力ファイル	dat¥case¥gsagcl*1	pmain.inp	多孔質媒体近似モデル（FILT 法）用標準入力ファイル（必須）
2	ライブラリファイル	lib*1	mignbfilt.dat	多孔質媒体近似モデル（解析解）および多孔質媒体近似モデル（FILT 法）用核種移行関連パラメータライブラリファイル（ライブラリファイルを使用する場合は必須）
3	出力ファイル（出力の有無は任意）	dat¥case¥gsagcl*1	pmain.out	標準出力ファイル
4		dat¥case¥gsagcl*1	pmain.txt	テキスト出力ファイル
5		dat¥case¥gsagcl*1	pmain.bin	バイナリ出力ファイル（下流側のサブモデルの入力フラックスとして使用するため、接続計算を行う場合は必須。また、確率論的解析結果の統計的解析を行う場合は必須。）
6		dat¥case¥gsagcl*1	pmain.bin_	確率論的解析のための補助ファイル（確率論的解析の場合は自動的に作成される）

*1：DIR コマンドで指定したパス

Table3-9　LTMAIN モジュール（多孔質媒体近似モデル（LTG 法））の入出力ファイル一覧

No.	ファイルの種類	格納サブフォルダ	ファイル名例	内容
1	入力ファイル	dat¥case¥gsagcl*1	ltmain.inp	多孔質媒体近似モデル（LTG 法）用標準入力ファイル（必須）
2	ライブラリファイル	lib*1	migdflt.dat	多孔質媒体近似モデル（LTG 法）用核種移行関連パラメータライブラリファイル（ライブラリファイルを使用する場合は必須）
3	出力ファイル（出力の有無は任意）	dat¥case¥gsagcl*1	ltmain.out	標準出力ファイル
4		dat¥case¥gsagcl*1	ltmain.txt	テキスト出力ファイル
5		dat¥case¥gsagcl*1	ltmain.bin	バイナリ出力ファイル（下流側のサブモデルの入力フラックスとして使用するため、接続計算を行う場合は必須。また、確率論的解析結果の統計的解析を行う場合は必須。）
6		dat¥case¥gsagcl*1	ltmain.bin_	確率論的解析のための補助ファイル（確率論的解析の場合は自動的に作成される）

*1：DIR コマンドで指定したパス

Table3-10　MAINLTG モジュール（亀裂性媒体近似モデル（LTG 法））の入出力ファイル一覧

No.	ファイルの種類	格納サブフォルダ	ファイル名例	内容
1	入力ファイル	dat¥case¥gsagcl*1	mainltg.inp	亀裂性媒体近似モデル（LTG 法）用標準入力ファイル（必須）
2	ライブラリファイル	lib*1	migcrack.dat	亀裂性媒体近似モデル（LTG 法）用核種移行関連パラメータライブラリファイル（ライブラリファイルを使用する場合は必須）
3	出力ファイル（出力の有無は任意）	dat¥case¥gsagcl*1	mainltg.out	標準出力ファイル
4		dat¥case¥gsagcl*1	mainltg.txt	テキスト出力ファイル
5		dat¥case¥gsagcl*1	mainltg.bin	バイナリ出力ファイル（下流側のサブモデルの入力フラックスとして使用するため、接続計算を行う場合は必須。また、確率論的解析結果の統計的解析を行う場合は必須。）
6		dat¥case¥gsagcl*1	mainltg.bin_	確率論的解析のための補助ファイル（確率論的解析の場合は自動的に作成される）

*1：DIR コマンドで指定したパス

Table3-11　DOSE モジュール（跡地利用シナリオ線量評価モデル）の入出力ファイル一覧

No.	ファイルの種類	格納サブフォルダ	ファイル名例	内容
1	入力ファイル	dat¥case¥gsagcl*1	dose.inp	跡地利用シナリオ線量評価モデル用標準入力ファイル（必須）
2	ライブラリファイル	lib*1	exdose.dat	外部被ばく線量換算係数ライブラリファイル（ライブラリファイルを使用する場合は必須）
3		lib*1	indose.dat	内部被ばく線量換算係数ライブラリファイル（ライブラリファイルを使用する場合は必須）
4		lib*1	trans.dat	跡地利用シナリオ線量評価モデル用核種移行パラメータライブラリファイル（ライブラリファイルを使用する場合は必須）
5		lib*1	dcfskin.dat	皮膚の等価線量換算係数ライブラリファイル
6	出力ファイル（出力の有無は任意）	dat¥case¥gsagcl*1	dose.out	標準出力ファイル
7		dat¥case¥gsagcl*1	dose.txt	テキスト出力ファイル
8		dat¥case¥gsagcl*1	dose.bin	バイナリ出力ファイル（確率論的解析結果の統計的解析を行う場合は必須。）
9		dat¥case¥gsagcl*1	dose.bin_	確率論的解析のための補助ファイル（確率論的解析の場合は自動的に作成される）

*1：DIR コマンドで指定したパス

Table3-12　CMWS モジュール（地下水移行シナリオ線量評価モデル）の入出力ファイル一覧

No.	ファイルの種類	格納サブフォルダ	ファイル名例	内容
1	入力ファイル	dat¥case¥gsagcl*1	cmws.inp	地下水移行シナリオ線量評価モデル用標準入力ファイル（必須）
2	ライブラリファイル	lib*1	migcmws.dat	地下水移行シナリオ線量評価モデル用の核種移行関連パラメータ（環境媒体）ライブラリファイル（ライブラリファイルを使用する場合は必須）
3		lib*1	transcmws.dat	地下水移行シナリオ線量評価モデル用核種移行関連パラメータ（線源となる物質）ライブラリファイル（ライブラリファイルを使用する場合は必須）
4		lib*1	exdose.dat	外部被ばく線量換算係数ライブラリファイル（ライブラリファイルを使用する場合は必須）
5		lib*1	indose.dat	内部被ばく線量換算係数ライブラリファイル（ライブラリファイルを使用する場合は必須）
6		lib*1	shldf.dat	遮へい係数ライブラリファイル（ライブラリファイルを使用する場合は必須）
7		lib*1	attmat.dat（ファイル名は固定）	光子減弱係数・吸収係数ライブラリファイル（card90 の ATTENFLAG=1 の場合は必須）
8		lib*1	bfset.dat（ファイル名は固定）	ビルドアップ係数評価用パラメータライブラリファイル（card90 の BFFFLAG=1 の場合は必須）
9		lib*1	dosecon2.lib（ファイル名は固定）	実効線量換算係数ライブラリファイル（card90 の BFFFLAG=1 の場合は必須）
10		lib*1	rev_ic38.yld（ファイル名は固定）	光子エネルギー・放出率ライブラリファイル（card90 の MEANFLAG=0or1 の場合は必須）
11		lib*1	hlterg93.dat（ファイル名は固定）	核種エネルギーライブラリファイル（card90 の MEANFLAG=2 の場合は必須）
12	出力ファイル（出力の有無は任意）	dat¥case¥gsagcl*1	cmws.out	標準出力ファイル
13		dat¥case¥gsagcl*1	cmws.txt	テキスト出力ファイル
14		dat¥case¥gsagcl*1	cmws.bin	バイナリ出力ファイル（確率論的解析結果の統計的解析を行う場合は必須。）
15		dat¥case¥gsagcl*1	cmws.bin_	確率論的解析のための補助ファイル（確率論的解析の場合は自動的に作成される）

*1：DIR コマンドで指定したパス

Table3-13　LHS モジュール（パラメータサンプリングモジュール）の入出力ファイル一覧

No.	ファイルの種類	格納サブフォルダ	ファイル名例	内容
1	入力ファイル	dat¥case¥lhs（case は任意）	lhs.inp	LHS 用標準入力ファイル（必須）
2		dat¥case¥lhs（case は任意）	obs.inp	LHS 用外部入力ファイル（任意）
3	出力ファイル	dat¥case¥lhs（case は任意）	lhs.dat	サンプリングパラメータデータファイル
4		dat¥case¥lhs（case は任意）	lhs.prm	サンプリングパラメータ指定ファイル

Table3-14　SPOP モジュール（統計解析モジュール）の入出力ファイル一覧

No.	ファイルの種類	格納サブフォルダ	ファイル名例	内容
1	入力ファイル	dat¥case¥spop（case は任意）	spop.inp（ファイル名は固定）	SPOP 用標準入力ファイル（必須）
2		dat¥case¥gsagcl（case は任意）	*-forspop-??.flx *-forspop-??.dat	SPOP 用データ入力ファイル（必須）
3	出力ファイル	dat¥case¥spop（case は任意）	spop_*-forspop-??.flx spop_*-forspop-??.dat	標準出力ファイル
4		dat¥case¥spop（case は任意）	stat_*-forspop-??.flx stat_*-forspop-??.dat	統計解析結果出力ファイル

3.2　入力ファイル仕様

MASTER モジュールの実行制御情報の入力、各サブモデルにおける標準入力、パラメータサンプリングに関する LHS モジュールおよび統計処理のための SPOP モジュールにおける入力の仕様について以下に示す。

3.2.1　実行制御モジュール（MASTER）

実行制御モジュール MASTER が担っている主な機能を以下に記述する。

- 実行制御情報定義ファイル GSAGCL.CNT を読み込み、全てのサブモデルの計算実行を制御する。
- ファイル環境や実行制御情報（決定論的解析・確率論的解析の選択、確率論的解析のサンプル数）を基に、自動的に実行制御情報ファイル MASTER.DAT を作成し、その情報を各サブモデルに対するモジュールへの入力として与える。
- GSAGCL.CNT において指定された最上位核種および半減期と、崩壊系列データライブラリ

ファイルから、崩壊系列データを自動作成する。

- 崩壊系列データに基づき、核種移行解析の対象外となった子孫核種の各線量換算係数を、その親核種の線量換算係数に合算する。
- 核種移行解析の対象となった核種に対応する核種・元素依存パラメータを指定されたライブラリファイルから読み込み、その情報を各サブモデルに対するモジュールの入力ファイとして作成する。
- 各サブモデルの出力であるバイナリファイルから、確率論的解析より得られる核種移行フラックスや線量の最大値およびその出現時間を取得し、統計解析のための SPOP モジュールへの入力ファイルを作成する。
- さらに、確率論的解析に使用したパラメータの確率密度関数に関する情報をパラメータサンプリングのモジュールの出力ファイルから抽出し、統計解析のための SPOP モジュールへの入力ファイルを作成する。

こうした必要な解析機能を実行するために、MASTER モジュールでは入力としての実行制御情報定義ファイル GSAGCL.CNT において、17 種類の本コード専用のコマンドと、各コマンドに必要とされる情報（引数）を入力する。コマンドは 2 種類に大別され、1 つは各サブモデルのモジュールによる計算を実行するためのコマンドであり、もう 1 つは各サブモデルのモジュールに関する入出力ファイル作成の前処理・後処理を制御するコマンドである。

GSA-GCL2 に専用のコマンドとその各機能の一覧を Table3-15 に示す。また、各サブモデルによる具体的な決定論的解析および確率論的解析の実行のための入力について、次項にて述べる。

なお、個々のコマンドに必要とされる情報（引数）については、Appendix-1 に記述した。

Table3-15　GSA-GCL2 に専用のコマンドとその各機能の一覧

No	コマンド名		機能の概要	入力規則
1	パスの設定	DIR	No.5～14のサブモデルのコマンド実行時に使用する入出力ファイルやライブラリファイル、確率論的解析用データファイルのパスを指定する。	必須である。コマンド入力の最初に必要である。
2	評価対象核種に関する前処理	AUTOCHAIN	評価対象となる核種を指定し、その核種を親核種として、崩壊系列データファイルのライブラリの情報を基に、ある半減期以上の核種を子孫核種とする崩壊系列を自動的に生成する。崩壊系列は4系列まで取り扱うことができる。	子孫核種とする崩壊系列を自動的に生成する場合に使用する。使用する場合はDIRコマンドの後に設定する。
3	確率論的解析の設定	PROB	確率論的解析を行う場合に設定する。本コマンドを設定しない場合は決定論的解析を行う。	確率論的解析を行う場合は必須である。本コマンドは、サブモデルのコマンド入力（No.5～14）の前に必要である。
4	入力フラックスの指定	RESTART	天然バリア以降のサブモデルに対して、入力フラックスとして使用するバイナリファイルを指定する。本コマンドを設定しない場合は直前のサブモデルの結果を入力フラックスとして使用する。	既に計算済みのソースタームあるいは天然バリアの解析結果を入力フラックスとして使用する場合に設定する。本コマンドは、その入力フラックスを使用する天然バリアのサブモデルのコマンド入力の前に必要である。
5	ソースタームモデルの計算	CMMAIN	地下水移行評価用ソースタームモデルの計算の実行	対象核種や解析条件を変えたケースに応じた計算の場合、並列的に複数のサブモデルを設定する。コマンドNo.3移行に適宜設定する。
6		CFMAIN	簡易核種浸出モデルの計算の実行	
7		SRCD	跡地利用評価用ソースタームモデルの計算の実行	
8	天然バリアモデルの計算	MAINNB	多孔質媒体近似モデル（解析解）の計算の実行	基本的にソースタームモデルの後に入力する。また、核種移行経路にあたる地質媒体の条件が異なる計算の場合などは、複数の天然バリアのサブモデルを設定する。RESTARTを設定しない場合に、直前に設定したサブモデルの結果が入力フラックスとして使用される。コマンドNo.7以降に適宜設定する。
9		DFMAIN	多孔質媒体近似モデル（差分解）の計算の実行	
10		PMAIN	多孔質媒体近似モデル（FILT法）の計算の実行	
11		LTMAIN	多孔質媒体近似モデル（LTG法）の計算の実行	
12		MAINLTG	亀裂性媒体近似モデル（LTG法）の計算の実行	
13	生物圏モデルの計算	CMWS	地下水移行シナリオ線量評価モデルの計算の実行	基本的に天然バリアモデルの後に入力する。また、ソースタームモデルの計算結果を直接、生物圏モデルの入力フラックスとして使用することもできる。RESTARTを設定しない場合に、直前に設定したサブモデルの結果が入力フラックスとして使用される。コマンドNo.7あるいはNo.11以降に適宜設定する。
14		DOSE	跡地利用シナリオ線量評価モデルの計算の実行	
15	出力ファイルの編集	MERGE	各サブモデルによって計算された複数の結果（核種移行フラックスや線量）をそれぞれ合計したい場合に、本コマンドにより、これらの出力ファイルを1つに統合した新たな出力ファイルを作成する。この際、同一核種の解析結果は合計処理される。	ソースタームモデルや天然バリアモデルによって計算された複数の核種移行フラックスの結果を統合して、それ以降の核種移行や線量の計算に用いる場合に設定する。コマンドNo.7あるいはNo.11、コマンドNo.13以降に適宜設定する。
16	確率論的解析の計算結果の後処理	POST	確率論的解析の出力ファイルから、統計処理のためのモジュール（SPOP）の入力ファイルを作成する。	前にPROBコマンドの設定が必須である。コマンドNo.7あるいはNo.11、コマンドNo.13以降に適宜設定する。
17	入力情報終端の指定	EXIT	入力情報の終端を指定する。	必須である。コマンド入力の最後に必要である。

3.2.2　サブモデルに関するモジュール

「ソースタームモデル」、「天然バリアモデル」および「生物圏モデル」の各解析を行うモジュールは、以下の 9 つである。

- ソースタームモデルに関するモジュール：CMMAIN、CFMAIN、SRCD
- 天然バリアに関するモジュール：MAINNB、DFMAIN、PMAIN、LTMAIN、MAINLTG

● 生物圏に関するモジュール：CMWS、DOSE

実行制御モジュール MASTER がこれらの各サブモデルのモジュール用に出力した実行制御情報ファイル MASTER.DAT を読み込む。さらに、そこに記述された標準入力ファイルを基に各モジュールが計算を行う。また、確率論的解析の場合には、LHS モジュールによるパラメータサンプリングに関する情報も MASTER.DAT に格納される。なお、MASTER.DAT の情報は、MASTE モジュールの実行時に自動的に作成される。

各サブモデルのモジュールに対する標準入力ファイルの具体的な仕様は、以下のように各 Appendix に記載した。

● ソースタームモデルに関するモジュールの入力仕様：Appendix-2
● 天然バリアに関するモジュールの入力仕様：Appendix-3
● 生物圏に関するモジュールの入力仕様：Appendix-4

3.2.3 パラメータサンプリングに関するモジュール（LHS）

パラメータサンプリングに関するモジュール（LHS モジュール）では、各パラメータのばらつきを確率密度関数により与え、Latin Hypercube Sampling 法を用いて解析用のデータセットを作成する。LHS モジュールの入力ファイルには、標準入力ファイルとしての LHS.INP とデータセットの外部入力からパラメータのばらつきを直接入力するための OBS.INP の 2 種類がある。以下、LHS.INP と OBS.INP の入力仕様について述べる。

（1）標準入力ファイル（LHS.INP）

LHS モジュールの標準入力ファイルである LHS.INP は、ヘッダ部分と各パラメータの確率密度関数に関する設定部分に大別される。LHS.INP の入力仕様を Table3-16 に示す。入力ファイルは、ある特定のキーワード（Table3-15 参照）の後に、必要な項目を入力する仕様であり、ヘッダ部分は Table3-3 のキーワードの No.1～6 までである。ヘッダ部分では、キーワード入力後、それぞれ定められた文字列の後に空白をおいて、その後に入力情報を並べることにより、それらを認識する。

ヘッダ部分の入力以降に各パラメータの確率密度関数に関する設定を行う。各パラメータの設定では、分布型のキーワードの入力以降に、パラメータの変動を想定するパラメータ名称を「パラメータラベル」として入力し、これは LHS モジュール内におけるユーザーの出力情報の判別のためであり、基本的に自由な文字列を定義できる。

さらに、個々のパラメータラベルに対し、ソースタームモデル、天然バリアモデル、生物圏モデルの各サブモデルの中で使用するパラメータとの関連付けをするため、「定義文字列」と呼ぶパラメータの識別のための文字列を入力する。「定義文字列」は、各モジュール単位で個々のパラメータに対し定義しており、それらの一覧は Appendix-5 に示した。パラメータラベルと定義文字列を組み合わせることで、モジュール間で共通なパラメータに対し同一の設定をすることが可能になる。さらに、以下に示すように、次の行において個々の確率密度関数における変動幅の最小値および最大値を入力する。

（分布型のキーワード）	（パラメータラベル）	（定義文字列）
（最小値）	（最大値）	

（２）外部入力ファイル（OBS.INP）

OBS.INP は、任意のパラメータについて、あらかじめそのばらつきを推定したパラメータセットを外部入力として読み込み、確率論的解析に使用する際の入力ファイルである。OBS.INP の入力仕様を Table3-17 に示す。OBS.INP を使用する際には、標準入力ファイルである LHS.INP において設定したパラメータラベル名と同一のものを使用する必要がある。このとき、LHS.INP の同じパラメータラベルの確率密度関数の設定は無視され、OBS.INP の入力が置き換わる。

Table3-16　LHS コードの標準入力ファイル LHS.INP の入力仕様

No.	キーワード	内容	形式	備考
1	TITLE	LHS.DAT、LHS.OUTおよびLHS.PRMに出力されるタイトル	文字列	
2	RANDOM SEED	乱数発生用シード	整数	動作環境における整数型の範囲内
3	NOBS	パラメータのサンプリング数	整数	最大5000セット
4	OUTPUT	LHS.OUTに出力されるデータ情報の種類を設定する（複数選択可）	文字列	キーワードの後に、以下の文字列を入力 CORR： 相関係数 HIST： ヒストグラム DATA： 各パラメータのサンプリングされたデータ
5	NEGTOZERO	変動幅に負の値を入力した場合に、負の値を0値としての処理を実行する	整数	0値としての処理を実行するパラメータの数の後、該当するパラメータ番号（*1）をパラメータ数だけ記述する
6	CORRELATION MATRIX	パラメータ間の順位相関係数を設定する	整数および実数	順位相関を設定するペアのパラメータ番号の数の後に、その数分のペアのパラメータ番号と相関係数を記述する
各パラメータの確率密度関数の設定では、以下のキーワードから分布型を選択して設定する（*2）				
7	NORMAL	正規分布サンプルを生成	文字列および実数	キーワードの後に、変動を想定するパラメータに対しユーザー定義のパラメータラベル（*3）を入力し、さらに、各モジュールで使用するパラメータとの関連性を表す定義文字列を入力する。次の行に変動幅の最小値および最大値を以下のように入力する 正規・対数正規分布：0.1と99.9のパーセントタイル値 一様・対数一様分布：最小値と最大値
8	LOGNORMAL	対数正規分布サンプルを生成		
9	UNIFORM	一様分布サンプルを生成		
10	LOGUNIFORM	対数一様分布サンプルを生成		

(*1)パラメータ番号とは、LHS.INP 内のパラメータラベルの設定順を表す

(*2)上記キーワードは解析において使用される主な分布型を示した。その他の分布型に対するキーワードおよびその設定方法は参考文献(24)を参照

(*3)パラメータラベルは、最大 10 文字までで、半角のアンパサンド（「&」）を含んではならない

Table3-17　OBS.INP の入力仕様

カード番号	入力内容	設定に関する備考
1	外部入力の有無に関するオプション	=0：有効としない =1：有効とする
2	外部入力するパラメータラベル（Card5）のうち、パラメータセットの並びの関係を保存する（グループ化する）パラメータラベルの数と、そのグループ化対象のパラメータが最初にあらわれる順番を設定	「GROUP」という文字列の入力後、グループ化するパラメータラベルの数、そのグループ化対象のパラメータ番号の最初の番号（Card5 の設定において、グループ化対象のパラメータが最初にあらわれる順番）を設定する(*)
3	パラメータのサンプリング数	標準入力ファイル LHS.INP において設定したパラメータのサンプリング数と同一でなければならない
4	外部入力するパラメータラベルの数	
5	外部入力するパラメータラベル名の入力	標準入力ファイル LHS.INP において設定したパラメータラベル名と同一でなければならない
6	各パラメータラベルに対するパラメータの値	パラメータの値をサンプリング数（Card3）分の行数で入力する

(*)グループ化対象のパラメータラベルは、Card5 において連続した入力でなければならない

3.2.4　統計解析に関するモジュール

統計解析のためのモジュール（SPOP モジュール）は、各サブモデルによる計算された核種移行フラックスや線量の結果から、累積分布関数（CDF：Cumulative Distribution Function）や補累積分布関数（CCDF：Complementary Cumulative Distribution Function）を作成する。また、パラメータの変動がこれらの解析結果に与える影響を評価するため、標準順位回帰係数、偏順位相関係数などのパラメータと解析結果の間の相関係数を算出する。なお、これらの係数は、任意の評価結果の合計についても評価することができる。SPOP モジュールの標準入力ファイルの仕様を Table3-18 に示す。

Table3-18　統計解析のための SPOP モジュールの標準入力ファイル仕様

カード番号	入力変数	単位	内容
1	N_OUT	―	統計解析出力数 統計解析を行う出力ケースの数を入力する
2	N_PATH(I), I=1, N_OUT	―	合計経路数 各出力ケースにおいて、合計する被ばく経路の数を入力する（N_OUT個入力する）
3	N_OUT行繰り返す		
	I_PATH(J), J=1, N_PATH(I)	―	経路番号 核種出力ケースにおいて加算する経路番号を、各出力ケースにおいてN_PATH個入力する（この入力はN_OUT個繰り返す）

3.3　ライブラリファイル仕様

GSA-GCL2 では、核種の半減期や分岐比、線量換算係数、緩衝材中の分配係数、農作物への移行係数など、核種および元素に依存したパラメータについては、データ管理の利便性を鑑み、データライブラリ形式を導入した。また、これらの核種および元素に依存するパラメータをライブラリファイルに保存することにより、各サブモデルのモジュールによる解析において、その解析対象の核種や元素に依存したパラメータの情報をライブラリファイルから自動的に取得する仕様

となっている。GSA-GCL2 において利用可能なライブラリファイルは 19 であり、各ファイルの仕様を以下の Table3-19～Table3-37 に示す。

●核種崩壊データライブラリファイル …… Table3-19
●核種移行パラメータライブラリファイル（地下水移行評価用ソースタームモデル）Table3-20
●核種移行パラメータライブラリファイル（簡易核種浸出モデル）…… Table3-21
●核種移行パラメータライブラリファイル（跡地利用評価用ソースタームモデル）… Table3-22
●核種移行パラメータライブラリファイル（多孔質媒体近似モデル-解析解・FILT 法)Table3-23
●核種移行パラメータライブラリファイル（多孔質媒体近似モデル-差分解・LTG 法）…… Table3-24
●核種移行パラメータライブラリファイル（亀裂性媒体近似モデル-LTG 法）…… Table3-25
●核種移行パラメータ（環境媒体）ライブラリファイル（地下水移行シナリオ線量評価モデル）…… Table3-26
●核種移行パラメータ（線源となる物質）ライブラリファイル（地下水移行シナリオ線量評価モデル）…… Table3-27
●核種移行パラメータライブラリファイル（跡地利用シナリオ線量評価モデル）…… Table3-28
●外部被ばく線量換算係数ライブラリファイル…… Table3-29
●内部被ばく線量換算係数ライブラリファイル…… Table3-30
●遮へい係数ライブラリファイル…… Table3-31
●皮膚被ばく線量換算係数ライブラリファイル…… Table3-32
●光子エネルギー・放出率ライブラリファイル…… Table3-33
●核種エネルギーライブラリファイル …… Table3-34
●光子減弱係数・吸収係数ライブラリファイル…… Table3-35
●ビルドアップ係数評価用パラメータライブラリファイル …… Table3-36
●実効線量換算係数ライブラリファイル …… Table3-37

Table3-19　核種崩壊データライブラリファイル仕様

カード番号	入力変数	単位	内容
必要な**核種**数分 Card 1 を繰り返す			
1	FORMAT(A5,A1,F10.3,1X,A2,3X,A2,F10.3,2X,I3,A2,1X,I1)		
	NUCL	−	核種の質量数(核子数)と元素名
	NMPI	−	状態(核異性体の場合 'M' 、それ以外はブランク)
	HLFI	HUNIで設定	核種の半減期
	HUNI	−	核種の半減期の単位(NS, US, MS, S, M, H, D, Y)
	RADI	−	ダミー
	RATI	−	分岐比
	NZDI	−	NUCLの生成核種の質量数
	NADI	−	NUCLの生成核種の元素名
			(NADI、NZDI)は安定核種。準安定核種の場合には、Card 2に記述する。
	IM	−	(NADI、NZDI)以外の生成核種への分岐数
IM≠0のとき(生成核種が複数あるとき)Card 2を入力する			
2	IM回入力する		
	FORMAT(E10.3,4X,E10.3,2X,A2)		
	RATJ	−	(NADI、NZDI)以外の生成核種への分岐比
	HLFJ	HUNJで設定	(NADI、NZDI)以外の生成核種の半減期
	HUNJ	−	半減期HLFJの単位(NS, US, MS, S, M, H, D, Y)

Table3-20　核種移行パラメータライブラリファイル
(地下水移行評価用ソースタームモデル) 仕様

カード番号	入力変数	単位	内容
1	TITLE	−	ライブラリのタイトル
2	NKD	−	パラメータの項目(列)数＝6
3	必要な**元素**数分 Card 3 を繰り返す FORMAT (A2, 3X, 20E10.2)		
	NNN	−	元素記号
	AKD(I) I=1, NKD	IUNIT (*1)	廃棄体層の溶解度限度初期値
		IUNIT (*1)	バッファ層の溶解度限度初期値
		m^2/y	廃棄体層の拡散係数初期値
		m^2/y	バッファ層の拡散係数初期値
		m^3/kg or ー(*2)	廃棄体層の分配係数または遅延係数初期値
		m^3/kg or ー(*2)	バッファ層の分配係数または遅延係数初期値

*1:標準入力ファイルのCard 2、IUNITで決定される。

*2:標準入力ファイルのCard 2、IKDRTで決定される。

Table3-21　核種移行パラメータライブラリファイル
（簡易核種浸出モデル）仕様

カード番号	入力変数	単位	内容
1	TITLE	－	ライブラリのタイトル
2	NKD	－	パラメータの項目（列）数＝1
3	必要な**元素**数分 Card 3 を繰り返す FORMAT (A2, 3X, 20E10.2)		
	NNN	－	元素記号
	AKD(I) I=1, NKD	IUNIT (*1)	分配係数、放出係数もしくは浸出率

*1：標準入力ファイルのCard 2、iunitで決定される。

Table3-22　核種移行パラメータライブラリファイル
（跡地利用評価用ソースタームモデル）仕様

カード番号	入力変数	単位	内容
1	TITLE	－	ライブラリのタイトル
2	NKD	－	パラメータの項目（列）数（最大20）
3	必要な**元素**数分 Card 3 を繰り返す FORMAT (A2, 3X, 20E10.2)		
	NNN	－	元素記号
	KD or RC(I) I=1, NKD	(*1)	分配係数または放出係数

*1：分配係数の場合の単位は [ml/g]、放出係数の場合の単位は無次元

Table3-23　核種移行パラメータライブラリファイル
（多孔質媒体近似モデル-解析解・FILT 法）仕様

カード番号	入力変数	単位	内容
1	TITLE	－	ライブラリのタイトル
2	NKD	－	パラメータの項目（列）数＝1
3	必要な**元素**数分 Card 3 を繰り返す FORMAT (A2, 3X, 20E10.2)		
	NNN	－	元素記号
	AKD(I) I=1, NKD	m^3/kg or －	分配係数または遅延係数 (*1)

*1：解析解の場合、標準入力ファイルCard 10-aのret1_inputで、FILT法の場合、標準入力ファイルCard 2のIKDRTで決定される。

Table3-24　核種移行パラメータライブラリファイル
（多孔質媒体近似モデル-差分解・LTG 法）仕様

カード番号	入力変数	単位	内容
1	TITLE	－	ライブラリのタイトル
2	NKD	－	パラメータの項目（列）数＝2
3	必要な**元素**数分 Card 3 を繰り返す FORMAT (A2, 3X, 20E10.2)		
	NNN	－	元素記号
	AKD(I) I=1, NKD	m^2/y or m	各領域内における拡散係数または分散長（*1）
		－ or m^3/kg	各領域内における遅延係数または分配係数（*2）

*1：標準入力ファイルCard16のflag_difで決定される。

*2：標準入力ファイルCard17のflag_retで決定される。

Table3-25　核種移行パラメータライブラリファイル
（亀裂性媒体近似モデル-LTG 法）仕様

カード番号	入力変数	単位	内容
1	TITLE	－	ライブラリのタイトル
2	NKD	－	パラメータの項目（列）数＝4
3	必要な**元素**数分 Card 3 を繰り返す FORMAT (A2, 3X, 20E10.2)		
	NNN	－	元素記号
	AKD(I) I=1, NKD	m^2/y or m or －	亀裂領域内の実効拡散係数または分散長またはペクレ数(*1)
		－	亀裂領域内の遅延係数
		m^2/y	マトリックス領域中の間隙水中拡散係数または実効拡散係数(*2)
		m^3/kg or －	マトリックス領域中の遅延係数または分配係数（*3）

*1：標準入力ファイルCard13のflag_diffで決定される。

*2：標準入力ファイルCard17のflag_dpで決定される。

*3：標準入力ファイルCard18のflag_retpで決定される。

Table3-26　核種移行パラメータ（環境媒体）ライブラリファイル
（地下水移行シナリオ線量評価モデル）仕様

カード番号	入力変数	単位	内容
1	TITLE	－	ライブラリのタイトル
2	NKD	－	パラメータの項目（列）数＝20
3	必要な**元素**数分 Card 3 を繰り返す FORMAT (A2, 3X, 20E10.2)		
	NNN	－	元素記号
	AKD(I) I=1, NKD	ml/g	上流河川中の懸濁物質に対する分配係数
		ml/g	上流河床堆積土壌に対する分配係数
		cm^2/s	上流河川水中における核種の拡散係数
		cm^2/s	上流河床堆積土壌における核種の拡散係数
		ml/g	湖沼中の懸濁物質に対する分配係数
		ml/g	湖底堆積土壌に対する分配係数
		cm^2/s	湖沼水中における核種の拡散係数
		cm^2/s	湖底堆積土壌における核種の拡散係数
		ml/g	沿岸海洋中の懸濁物質に対する分配係数
		ml/g	沿岸海底堆積土壌に対する分配係数
		cm^2/s	沿岸海洋水中における核種の拡散係数
		cm^2/s	沿岸海底堆積土壌における核種の拡散係数
		ml/g	水田土壌の分配係数
		ml/g	畑地土壌の分配係数
		ml/g	牧草地土壌の分配係数
		ml/g	深部土壌の分配係数
		ml/g	海岸砂の分配係数
		－	湖底土壌の再利用に伴う核種の除去割合
		－	沿岸海底土壌の再利用に伴う核種の除去割合
		－	上流河床土壌の再利用に伴う核種の除去割合

Table3-27　核種移行パラメータ（線源となる物質）ライブラリファイル
（地下水移行シナリオ線量評価モデル）仕様（1/2）

カード番号	入力変数	単位	内容
1～2	タイトル（コメント行として処理）		
3	NTR	－	パラメータの項目（列）数（通常45）
4	必要な**元素**数分 Card 4 を繰り返す（最大120） FORMAT (A2, 3X,44E10.2)		
	FRIL	－	元素記号
	FT(1)	m/d	核種の沈着速度（田）
	FT(2)	m/d	核種の沈着速度（畑地）
	FT(3)	m/d	核種の沈着速度（牧草地）
	FT(4)	1/d or d	降雨による核種nの除去速度または除去半減期（田）
	FT(5)	1/d or d	降雨による核種nの除去速度または除去半減期（畑地）
	FT(6)	1/d or d	降雨による核種nの除去速度または除去半減期（牧草地）
	FT(7)	－	灌漑水から穀物1への沈着割合
	FT(8)	－	灌漑水から穀物2への沈着割合
	FT(9)	－	灌漑水から穀物3への沈着割合
	FT(10)	－	灌漑水から野菜1への沈着割合
	FT(11)	－	灌漑水から野菜2への沈着割合
	FT(12)	－	灌漑水から野菜3への沈着割合
	FT(13)	－	灌漑水から牧草1への沈着割合
	FT(14)	－	灌漑水から牧草2への沈着割合
	FT(15)	－	灌漑水から牧草3への沈着割合
	FT(16)	－	核種の沈着部位から穀物1の可食部への移行割合
	FT(17)	－	核種の沈着部位から穀物2の可食部への移行割合
	FT(18)	－	核種の沈着部位から穀物3の可食部への移行割合
	FT(19)	－	核種の沈着部位から野菜1の可食部への移行割合
	FT(20)	－	核種の沈着部位から野菜2の可食部への移行割合
	FT(21)	－	核種の沈着部位から野菜3の可食部への移行割合
	FT(22)	－	核種の沈着部位から牧草1の可食部への移行割合
	FT(23)	－	核種の沈着部位から牧草2の可食部への移行割合
	FT(24)	－	核種の沈着部位から牧草3の可食部への移行割合
	FT(25)	－	土壌から穀物1可食部への移行係数
	FT(26)	－	土壌から穀物2可食部への移行係数
	FT(27)	－	土壌から穀物3可食部への移行係数
	FT(28)	－	土壌から野菜1可食部への移行係数
	FT(29)	－	土壌から野菜2可食部への移行係数
	FT(30)	－	土壌から野菜3可食部への移行係数
	FT(31)	－	土壌から牧草1可食部への移行係数
	FT(32)	－	土壌から牧草2可食部への移行係数
	FT(33)	－	土壌から牧草3可食部への移行係数

（つづく）

Table3-27　核種移行パラメータ（線源となる物質）ライブラリファイル
（地下水移行シナリオ線量評価モデル）仕様（2/2）

カード番号	入力変数	単位	内容
4	FT(34)	d/kg	牛肉への移行係数
（つづき）	FT(35)	d/kg	豚肉への移行係数
	FT(36)	d/kg	鶏肉への移行係数
	FT(37)	d/kg	卵への移行係数
	FT(38)	d/L	ミルクへの移行係数
	FT(39)	L/kg	淡水産物1（魚類）の濃縮係数
	FT(40)	L/kg	淡水産物2（軟体動物）の濃縮係数
	FT(41)	L/kg	海産物1（魚類）の濃縮係数
	FT(42)	L/kg	海産物2（軟体動物）の濃縮係数
	FT(43)	L/kg	海産物3（藻類）の濃縮係数
	FT(44)	－	飲料水の浄化装置による核種の除去割合
	FT(45)	Bq/kg per Bq/m3	漁網への移行割合

Table3-28　核種移行パラメータライブラリファイル（跡地利用シナリオ線量評価モデル）
仕様

カード番号	入力変数	単位	内容
1～2	タイトル（コメント行として処理）		
3	NFT	－	移行係数の項目（列）数（最大20）
4	必要な**元素**数分 Card 4 を繰り返す FORMAT (A2,20E9.2)		
	NAF	－	元素記号
	FT(I) I=1, NFT	(*1)	移行係数

*1：標準入力ファイルにおいて数値を引用する評価項目（摂取物）によって異なる。標準入力ファイルでカード入力する場合の単位を参照。

Table3-29　外部被ばく線量換算係数ライブラリファイル仕様

カード番号	入力変数	単位	内容
1	タイトル（コメント行として処理）		
2	NFERT	ー	客土厚さ条件数（最大10） （跡地利用生物圏モデルの場合有効。水系生物圏モデルの場合はダミーとなる）
3	HFERT(I), I=1,NFERT	m	客土厚さ （跡地利用生物圏モデルの場合有効。水系生物圏モデルの場合はダミーとなる）
4	必要な**核種**数分 Card 4 を繰り返す（跡地利用生物圏モデルの場合、最大200） FORMAT（A2,I3,A1,10e11.3）		
	NNN	ー	核種の元素記号
	NNA	ー	核種の質量数
	NNM	ー	核異性体の場合Mを入力、それ以外はブランク
	DCFEXT(I), I=1,NFERT	μSv/h per Bq/g	外部被ばく線量換算係数 水系生物圏モデルの場合は1列目のデータが使用される。 跡地利用生物圏モデルの場合は、標準入力で指定した列、もしくは客土厚さに対して内挿された値が使用される

Table3-30　内部被ばく線量換算係数ライブラリファイル仕様

カード番号	入力変数	単位	内容
1	タイトル（コメント行として処理）		
2	必要な**核種**数分 Card 2 を繰り返す FORMAT(A2, I3, A1, 2(2X, E8.2))		
	NNN	−	核種の元素記号
	NNA	−	核種の質量数
	NNM	−	核異性体の場合Mを入力、それ以外はブランク
	DCFING	Sv/Bq	経口摂取内部被ばく線量換算係数
	DCFINH	Sv/Bq	吸入摂取内部被ばく線量換算係数

Table3-31　皮膚の等価線量換算係数ライブラリファイル仕様

カード番号	入力変数	単位	内容
1	NDCF	データの列数（最大5）	
2	必要な**核種**数分 Card 2 を繰り返す FORMAT(A2,I3,A1,5E11.3)		
	NAF	−	核種の元素記号
	NZF	−	核種の質量数
	NMF	−	核異性体の場合Mを入力、それ以外はブランク
	DCF(I),I=1, NDCF	Sv/h per Bq/cm^2	皮膚の等価線量への換算係数

Table3-32　遮へい係数ライブラリファイル仕様

カード番号	入力変数	単位	内容
1	タイトル（コメント行として処理）		
2	必要な核種数分 Card 2 を繰り返す（最大50） FORMAT(A2, I3, A1, 1PE11.3)		
	NNN	－	核種の元素記号
	NNA	－	核種の質量数
	NNM	－	核異性体の場合Mを入力、それ以外はブランク
	DCFEXT(I), I=1, 7	－	水田における遮へい係数
			畑地における遮へい係数
			牧草地における遮へい係数
			海岸における遮へい係数
			上流河床浚渫土壌における遮へい係数
			湖底浚渫土壌における遮へい係数
			沿岸海底浚渫土壌における遮へい係数

Table3-33　光子エネルギー・放出率ライブラリファイル仕様

カード番号	入力変数	単位	内容
1	TITLE1 (A80)	―	ライブラリのタイトル
2	TITLE2 (A80)	―	ライブラリのタイトル
3	TITLE3 (A80)	―	ライブラリのタイトル
4	N	―	収録核種数
Card5, 6, 7 をセットで N 回繰り返す（N 核種についてのデータ）			
5	FORMAT (A10,I4,A12,1PE13.5,F6.3,A2,A35)		
	NUCL	―	核種名
	ATOM	―	原子番号
	DECTYPE	―	崩壊形式
	SHLT	s	半減期（秒単位）
	HLT	―	半減期
	HUNIT	―	半減期 HLT の単位
	DUM	―	ダミー
6	NPH	―	核種の放出光子数（FORMAT (I4)）
7	NPH 回繰り返す FORMAT (1PE10.3,1X,1PE10.3,2X,A25)		
	PENE	keV	放出光子エネルギー
	PRAT	$(Bq\ s)^{-1}$	放出率
	PTYPE	―	放出光子の種別（γ線、X 線、消滅線など）

※ 現在整備されているライブラリファイル（rev_ic38.yld）は、以下の文献を基に編集したものである

・ 遠藤章, 山口恭弘, “Compilation of nuclear decay data used for dose calculation; Revised data for radionuclides listed in ICRP Publication 38”, JAERI-Data/Code 2001-004

Table3-34　核種エネルギーライブラリファイル仕様

カード番号	入力変数	単位	内容
1	TITLE1 (A80)	―	ライブラリのタイトル
2	TITLE2 (A80)	―	ライブラリのタイトル
3	TITLE3 (A80)	―	ライブラリのタイトル
4	1460 回繰り返す（1460 核種についてのデータ） FORMAT (A8, E10.0, A2, 5E10.0)		
	NUCL	―	核種名
	HLT	―	半減期
	HUNIT	―	半減期の単位
	GEFF	keV	γ線実効エネルギー
	GAVE	keV	γ線平均エネルギー
	BEFF	keV	β線実効エネルギー
	BAVE	keV	β線平均エネルギー
	BMAX	keV	β線最大エネルギー

※ 現在整備されているライブラリファイル（hlterg93.dat）は、以下の文献を基に編集したものである

・ “Evaluated nuclear structure data file : A manual for preparation of data set” Version 1.81, ORNL-5054/RI(1978)

・ “JNDC FP decay and yield data”, JAERI-M 9715(1981)

ただし、β線最大エネルギーは、ENSDF92 から編集

Table3-35　光子減弱係数・吸収係数ライブラリファイル仕様

カード番号	入力変数	単位	内容
1	TITLE1 (A80)	―	ライブラリのタイトル
2	TITLE2 (A80)	―	ライブラリのタイトル
3	TITLE3 (A80)	―	ライブラリのタイトル
4	N1	―	質量減弱係数のエネルギー点の個数
	N2	―	エネルギー吸収係数のエネルギー点の個数
5	E(1:N1)	MeV	エネルギー点の値 FORMAT (8E9.3)
以下 5 回繰り返す（空気の質量減弱係数、土壌の質量減弱係数、空気のエネルギー吸収係数、水の質量減弱係数、Al の質量減弱係数の順）			
6-1	TITLE	―	タイトル
6-2	V(1:N1) または V(1:N2)	cm^2/g	質量減弱係数またはエネルギー吸収係数の値 FORMAT (8E9.3)

※ 現在整備されているライブラリファイル（attmat.dat）は、以下の文献を基に編集したものである

・ US-NRC, “New Gamma-Ray Buildup Factor for Point Kernel Calculations : ANS-6.4.3 Standard Reference data”, NUREG/CR-5740, ORNL/RSIC-49/R1(1991)、表 1a、表 2

Table3-36　ビルドアップ係数評価用パラメータライブラリファイル仕様

カード番号	入力変数	単位	内容
1 から 4 を繰り返す（EOF まで）			
1	空白行		
2	TITLE	―	タイトル（媒質およびビルドアップ種別） Element Response : G-P エネルギー吸収ビルドアップファクターの係数 Air Response : G-P 照射ビルドアップファクターの係数
3	空白行		
以下 25 回繰り返す FORMAT (F10.3,4F7.3,F10.5,F6.2,A,F5.1,F7.3,A)			
4	E	MeV	エネルギー点
	B	―	パラメータ b（1mfp でのビルドアップファクター）
	C	―	フィッティングパラメータ c
	A	―	フィッティングパラメータ a
	XK	―	フィッティングパラメータ Xk
	D	―	フィッティングパラメータ d
	DUM	%	Max.Dev（最大誤差）
	DUM	―	‘%’
	DUM	―	Xmax（最大誤差を示した mfp）
	DUM	%	St.Dev.（標準偏差）
	DUM	―	‘%’

※ 現在整備されているライブラリファイル（bfset.dat）は、以下の文献を基に編集したものである

・ US-NRC, “New Gamma-Ray Buildup Factor for Point Kernel Calculations : ANS-6.4.3 Standard Reference data”, NUREG/CR-5740, ORNL/RSIC-49/R1(1991)

Table3-37　実効線量換算係数パラメータライブラリファイル仕様

カード番号	入力変数	単位	内容
1	TITLE1 (A80)	―	DATA1 のタイトル
2	コメント行		
3	NADOS	―	DATA1 のエネルギー点の個数 (I5)(=25)
4	コメント行		
5	NADOS 回繰り返す FORMAT (6F10.0)		
	FEADOS	MeV	エネルギー点の値
	C0DOS(2)	Sv/Gy	E/Ka(ICRP74 の表 A17)
	C0DOS(1)	Sv/Gy	H*(10)/Ka(ICRP74 の表 A21)
		Sv/Gy	H*(10)/Ka(ICRP51)
		$pGycm^2$	Ka/Φ(ICRP74 の表 A1)
		$pGycm^2$	Ka/Φ(ICRP74 の表 A21)
6		―	DATA2
7	NMAT	―	媒質数 FORMAT (I5) (=7)
8	NBDOS	―	DATA2 のエネルギー点の個数 (I5) (=24)
以下 NMAT(=7)回繰り返す(順に、C、Al、Fe、Pb、水、普通コンクリート、空気)			
9-1	MAT	―	媒質名
9-2	コメント行		
9-3	FORMAT (5F10.0)		
	FEBDOS	MeV	エネルギー点の値
	D0DOS(2)	―	E(AP)
	D0DOS(1)	―	H*(10)74
		―	H*(10)51
		―	Gray

※ 現在整備されているライブラリファイル(dosecon2.lib)は、以下の文献の値を基に QAD-CGGP2 コードにより計算した値である。

・ 空気カーマから実効線量への換算係数:ICRP Pub.74

・ Fx 値:ICRP Pub.60

4. 実行手順

Windows 環境において、GSA-GCL2 内の各サブモデルによる計算モジュール、パラメータセットを作成する LHS モジュールと、解析結果を統計処理する SPOP モジュールを実行するための付属のバッチファイルがある。以下に各モジュールに対するバッチファイルによる実行手順を示す。

GSA-GCL2 内の各サブモデルのモジュールを実行する場合には、付属のバッチファイル MAS.BAT を使用する。MAS.BAT を使用する場合のデフォルトのフォルダ環境を Fig.4-1 に示す。

MAS.BAT は、Fig.4-1 に示した「実行形式ファイル格納フォルダ」（".¥gsagcl2¥bin"）へのパスの定義、MASTER モジュールの起動などを行う。

まず、計算実行の準備として、Fig.4-1 に示したフォルダ環境を作成し、3 章に述べたファイル仕様に基づき、計算の内容に応じて必要なファイル（実行制御情報定義ファイル、各モジュールの標準入力ファイル）と各種のライブラリファイルを作成する。

次に、MS-DOS プロンプトを起動し、CD コマンドを使用して、カレントフォルダ（実行フォルダ）を本コードにインストールしたフォルダ（".¥gsagcl2"）とする。コマンドプロンプトから、バッチファイルを実行するために、以下のようなコマンドを入力する。

```
MAS□[dir]□[name]
```

ここで、[dir]は、dat フォルダ内にある計算ケース別のフォルダ名（Fig.4.1 の「case1」や「case2」）である。また、[name]は、Fig.4-1 の"gsagcl2¥dat¥[dir]¥gsagcl"フォルダにおいてユーザーが作成した"[name].cnt"という実行制御情報定義ファイルから拡張子を除いたものである。上記のコマンド入力により、"gsagcl2¥dat¥[dir]¥gsagcl"フォルダにある"[name].cnt"の実行制御情報定義ファイルがカレントフォルダ（".¥gsagcl2"）へ「GSAGCL.CNT」としてコピーされ、計算に使用される。

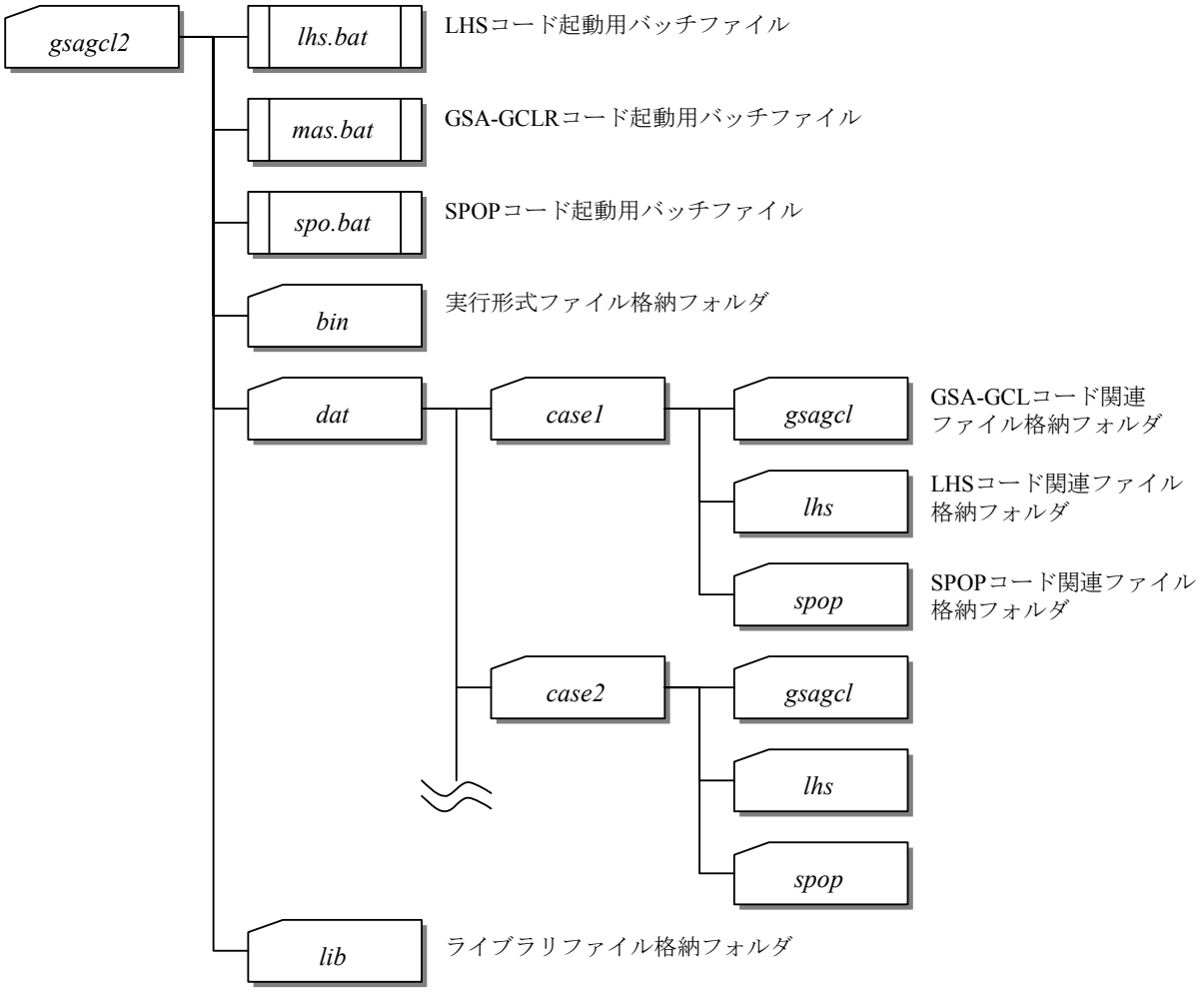


Fig.4-1　GSA-GCL2 のデフォルトのフォルダ環境例

5.　おわりに

再処理施設、MOX 燃料施設などから発生する TRU 廃棄物およびウラン廃棄物の今後の処分事業に備え、浅地中のトレンチ処分、コンクリートピット処分、および余裕深度処分の 3 種類の埋設処分方式に処分可能な当該廃棄物の範囲を明確化するための濃度上限値を基準値として策定する必要がある。そこで、日本原子力研究開発機構　安全研究センターでは、TRU 廃棄物およびウラン廃棄物を対象とした埋設処分方式別の濃度上限値を算出し、規制値の策定のための情報を提供することを目的に、原子炉廃棄物の余裕深度処分に対する濃度上限値の算出のために使用された実績のある評価コード GSA-GCL をベースとして、TRU 廃棄物およびウラン廃棄物を対象に 3 種類の埋設処分方式に対応した濃度上限値算出のための評価コード GSA-GCL 第 2 版（GSA-GCL2）の整備を行った。

GSA-GCL2 では、以下に示す主な 4 つの拡張を行った。

① 「トレンチ処分」、「コンクリートピット処分」、「余裕深度処分」の 3 種類の埋設処分方式に対する人工バリア構成の違いに対応した「ソースタームモデル（処分場からの核種漏洩フラックスを評価）」を拡張するとともに、トレンチ処分とコンクリートピット処分に

おいて、評価対象のシナリオである処分場の跡地利用に伴うシナリオの線量評価に関する新たなモデルを整備した。

② ウラン系列の子孫核種であるラドンガスの発生から吸入に伴う被ばく線量の評価までの一連の評価モデル（汚染土壌からのラドン散逸率評価モデル、屋外／屋内のラドン濃度評価モデル、ラドンガス吸入による内部被ばくモデル）を整備した。

③ 余裕深度処分を対象とした評価において、長期的評価の観点から、隆起・侵食の天然事象によって処分場と地表面との相対的な位置関係が時間的に変化することに伴い、処分場跡地における人間侵入のシナリオが発生することに対する影響評価を可能とした。

④ 一連の核種移行や線量評価に関する数学モデルを構成する評価パラメータには、様々な要因による数値のばらつきが考えられ、そうしたばらつきを確率密度関数で表現し、モンテカルロ法を用いた各モデルのパラメータ不確実性の影響を評価可能とした。

本コードは、原子力安全委員会「低レベル放射性固体廃棄物の埋設処分に係る放射能濃度上限値について」（平成 19 年 5 月）において、TRU 廃棄物の 3 種類の埋設処分方式に対する濃度上限値の算出のために活用された。また、濃度上限値の制度化により TRU 廃棄物の範囲が明確化され、高レベル放射性廃棄物に TRU 廃棄物を加えた最終処分の実施に向けた法制度（特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律）の改正（平成 19 年 6 月）に貢献した。

また、将来の TRU 廃棄物やウラン廃棄物などの処分の事業申請に対する安全審査を考えた場合、本コードは、人工バリア材の構成の違い、バリア材に求めるバリア性能の違い、天然バリアである地質媒体のバリエーション（堆積岩、結晶質岩）など、事業者が採用する処分コンセプトに応じて適宜サブモデルを選択した核種移行および線量の解析を行うことが可能であり、また、当該廃棄物に特徴的なラドンの吸入被ばくを評価可能としており、規制側が妥当性を検討する際のクロスチェックのための手法として活用できると考えられる。さらに、安全審査では評価モデルに使用されるパラメータの不確実性が安全性へ与える影響の確認も重要であり、本コードのモンテカルロ法による解析機能によって、こうしたパラメータ不確実性の影響評価が可能と考えられる。

謝辞

本コードの作成にあたり、ご助力をいただいた（株）ヴィジブルインフォメーションセンターの菅野光大氏、西村優基氏に感謝いたします。

参考文献

(1) 原子力安全委員会、「低レベル放射性固体廃棄物の陸地処分の安全規制に関する基準値について（第３次中間報告）」、平成 12 年 9 月 14 日
(2) 原子力安全委員会、「低レベル放射性固体廃棄物の陸地処分の安全規制に関する基準値について（中間報告）」、昭和 62 年 2 月 26 日
(3) 原子力安全委員会、「低レベル放射性固体廃棄物の陸地処分の安全規制に関する基準値について（第２次中間報告）」、平成４年 6 月 18 日
(4) 木村英雄、武田聖司、高橋知之、「埋設濃度上限値を上回る放射性廃棄物の総合安全評価コード：GSA-GCL 計算コードユーザーズマニュアル」、JAERI-Data/Code 99-033、1999.
(5) 原子力安全委員会、「低レベル放射性固体廃棄物の埋設処分に係る放射能濃度上限値について」、平成 19 年 5 月 21 日
(6) Hosono, T., Numerical inversion of Laplace transform and some applications to wave optics, International U.R.S.I.-Symposium 1980 on Electromagnetic Waves, Munich, 1980.
(7) IAEA, “Exemption of Radiation Sources and Practices from Regulatory Control”, IAEA-TECDOC-401, 1987.
(8) IAEA, “Derivation of Activity Limits for the Disposal of Radioactive Waste in Near Surface Disposal Facilities”, IAEA-TECDOC-1380, 2003.
(9) Shapiro, A.M., Transport Equations for Fractured Porous Media, Advances in Transport Phenomena in Porous Media, edited by J. Bear and M.Y. Corapcioglu, Martinus Nijhoff Publishers, pp. 405-471, 1987.
(10) Sudicky, E. A., The Laplace Transform Galerkin Technique : A Time-Continuous Finite Element Theory and Application to Mass Transport in Groundwater, Water Resources Res., Vol. 25, No.8, pp.1833-1846, 1989.
(11) BIOMOVS, Technical Report 5, Long Term Evolution of a Contaminated Lake, 1989.
(12) Coughtrey, P.J. and Thorne, M.C., Radionuclide Distribution and Tranport in Terrestrial and Aquatic Ecosystems, Vol. 1, A.A. Balkema, Roterdom, 1983.
(13) UNSCEAR, “2000 Report；Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation”, 2000.
(14) 礒野謙治編、「大気汚染物質の動態」、東京大学出版会、1979.
(15) 藤波直人、「簡易混合層モデルを用いた大気中ラドン娘核種濃度の日変化解析」、続　大気中のラドン族と環境放射能、ラドン族調査研究委員会、1990.
(16) 西川嗣男、青木正義、岡部茂、「大気中ラドン娘核種濃度の日変化と気温の逆転層との関係」、続　大気中のラドン族と環境放射能、ラドン族調査研究委員会、1990.
(17) E. P. Lawrenc, R. B.Wanty, and P. Nyberg, “Contribution of 222Rn in Domestic Water Supplies to 222Rn Indoor Air in Colorado Homes”, Health Physics, Vol.62, 2, pp171-177, 1992.
(18) UNSCEAR, “1982 Report；Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation”, 1982.
(19) UNSCEAR, “1988 Report；Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation”, 1988.
(20) UNSCEAR, “1993 Report；Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation”, 1993.
(21) 佐々木利久、渡邊正敏、武田聖司、澤口拓磨、落合透、木村英雄、「埋設処分における濃度上限値評価のための外部被ばく線量換算係数」JAEA-Data/Code 2008-003、2008.
(22) Akima, A., “A New Method of Interpolation and Smooth Curve Fitting Based on Local Procedures”, J. ACM, 17, 4, 1970.
(23) Akima, A., “Algorithm 433, Interpolation and Smooth Curve Fitting Based on Local Procedures”, Comm. ACM, 15, 914, 1972.
(24) R. L. Iman and M. J. Shortencarier, “A FORTRAN 77 Program and User’s Guide for the Generation of Latin Hypercube and Randam Samples for Use with Computer Models”, NUREG/CR-3624, 1984.
(25) A. Saltelli and T. Homma, “LISA PACKAGE USER GUIDE Part III, SPOP (Statistical POst Processor) Uncertainty and Sensitivity Analysis for Model Output. Program Description and User Guid”, EUR 13924 EN, 1992.

Appendix-1　MASTER モジュールにおけるコマンド一覧

GSA-GCL2 におけるコマンドは 2 種類に大別され、1 つは各サブモデルのモジュールに関する入出力ファイル作成の前処理・後処理を制御するコマンドであり、もう 1 つは各サブモデルのモジュールによる計算を実行するためのコマンドである。ここでは、前者に関する 7 種類の各コマンドの入力仕様と後者のコマンド実行の入力仕様について記述する。

（1）DIR コマンド

DIR コマンドは、ソースタームモデル、天然バリアモデル、生物圏モデルの各サブモデルのコマンド実行時に使用する入出力ファイルやライブラリファイル、確率論的解析用データファイルのパスを指定する。DIR コマンドで必要な入力仕様を TableA1-1 に示す。DIR コマンドでは、TableA1-1 に示すような 3 種類のパスが必要である。ここでいうパスとは、実行フォルダ（4. 実行手順を参照）を起点とし、ソースタームモデル、天然バリアモデル、生物圏モデルの各サブモデルのコマンド実行時に使用する入出力ファイルやライブラリファイル、確率論的解析用データファイルが格納されているそれぞれのフォルダまでを示したものである。

パスの入力は、フォルダ名の後ろに円マーク‘¥’を入れてフォルダ間の区切りとし、60 文字以内とする。なお、パスは引用符‘で囲み、空白により 3 種類のパスの区切りとする。GSA-GCL2 内部では、パスを付けたファイル名（拡張子を含む）で扱われるため、パスとファイル名（拡張子までを含む）合わせて 120 文字以内とする。

TableA1-1　DIR コマンドの入力仕様

Entry	内容
Incmnd	DIR
dir_dat	ソースタームモデル、天然バリアモデル、生物圏モデルの各サブモデルのコマンド実行時に使用する入出力ファイルのパス
dir_lib	ライブラリファイルのパス
dir_lhs	確率論的解析用データファイルのパス

（2）AUTOCHAIN コマンド

AUTOCHAIN コマンドは、評価対象となる核種を指定し、その核種を親核種として、崩壊系列データファイルのライブラリの情報を基に、ある半減期以上の核種を子孫核種とする崩壊系列を自動的に生成する。また、崩壊系列は 4 系列まで入力することができる。

AUTOCHAIN コマンドの入力仕様を TableA1-2 に示す。なお、AUTOCHAIN を使用する場合、各サブモデルのモジュールによる計算を実行するためのコマンドの入力情報（引数）の最後に、ライブラリファイル名の入力が必要となる。

TableA1-2　AUTOCHAIN コマンドの入力仕様

Entry	内容
incmnd	AUTOCHAIN
nchain	崩壊系列数（4 系列まで入力可能）
iuni	評価対象核種を選別する半減期フラグ ＝-1：10年以上　＝0：1年以上 ＝1：100日以上　＝2：10日以上 ＝3：1日以上　＝4：10時間以上 ＝5：1時間以上
nametop(i)i=1,nchain	最上位核種名（6文字まで、ライブラリファイル内の核種名）

（3）PROB コマンド

確率論的解析を行う場合に TableA1-3 に示した入力仕様を基に設定する。決定論的解析を行う場合には、PROB コマンドを設定しない。

TableA1-3　PROB コマンドで必要な入力情報

Entry	内容
incmnd	PROB
fnlhs	サンプリングデータファイル名（拡張子を含む）（*1）
fnprm	変動値使用指定ファイル名（拡張子を含む）（*1）
is	計算を開始するサンプル番号（*2）
ie	計算を終了するサンプル番号（*2）

*1：DIR コマンドの変数 dir_lhs で入力したパスが付けられて使用され、パスを含めて 120 文字以内が有効である。LHS モジュールによって出力されるファイルである。

*2：LHS モジュールにより生成したサンプル番号のうち、確率論的解析として is と ie で指定した範囲のサンプル番号のみ計算を行う。

（4）RESTART コマンド

RESTART コマンドは、天然バリア以降のサブモデルに対して、入力フラックスとして使用するバイナリファイルを指定する。本コマンドを設定しない場合は直前のサブモデルの結果を入力フラックスとして使用する。

RESTART コマンドの入力仕様を TableA1-4 に示す。RESTART コマンドは、既に計算済みのソースタームモデルあるいは天然バリアモデルによる計算結果を次の計算の入力フラックスとして使用する場合に設定する。また、「地下水移行評価用ソースタームモデル」（CMMAIN モジュール）を用いた複数崩壊系列の計算を行う場合、CMMAIN モジュールでは同時に複数の崩壊系列の計算が可能であるが、天然バリアモデルでは単独の崩壊系列に対する計算であるため、TableA1-4 の「ichain」において、天然バリアモデルで対象とする 1 つの崩壊系列を指定する。さらに、天然バリアのサブモデル実行に関するコマンドを崩壊系列の数だけ設定し、複数の崩壊系列の計算を実行できる。

TableA1-4　RESTART コマンドの入力仕様

Entry	内容
incmnd	RESTART
fn_preprcs	上流側の計算結果バイナリファイル名（拡張子を除く）（*1）
ichain	崩壊系列番号。fn_preprcsで指定したデータに複数の崩壊系列のデータがある場合、計算に使用する系列の番号を指定する。（*2）
id_nb_area	天然バリア領域番号。fn_preprcsで指定したファイルが天然バリアモデルのモジュール接続計算の何回目の計算よるものかを定義する番号。ソースタームモデルの結果の計算場合には0とする。

*1：DIR コマンドの変数 dir_dat で入力したパスと拡張子 '.bin' が付けられて使用され、パスと拡張子を含めて 120 文字以内が有効である。

*2：「地下水移行評価用ソースタームモデル」（CMMAIN モジュール）の場合、標準入力ファイルにおける系列の番号を指定する。それ以外のサブモデルでは、「1」を入力する。

（5）MERGE コマンド

MERGE コマンドは、各サブモデルによって計算された複数の結果（核種移行フラックスや線量）をそれぞれ合計したい場合に、本コマンドによりこれらの出力ファイルを 1 つに統合した新たな出力ファイル（バイナリ形式ファイル）を作成する。この際、同一核種の解析結果は合計処理される。MERGE コマンドの入力仕様を TableA1-5 に示す。TableA1-5 に示した「fact」では、ある単位スケールでの人工バリアからの結果を処分場全体に拡張するなどの場合に、核種移行フラックスと線量の結果を一律に乗ぜられる無次元の係数を設定することができる。

TableA1-5　MERGE コマンドの入力情報

Entry	内容
incmnd	MERGE
fn_new	統合処理結果を格納するファイル名（拡張子を除く）（*1）
n_merge	絶対値が統合処理を行うファイルの数（2から4つのファイルまで）。核種移行フラックスの合計の場合は、正の値を入力し、被ばく線量の合計の場合は負の値を入力する。
ismpl_out	確率論的解析の際に、統合処理結果を標準出力ファイル（gsagcl.out）に出力するサンプル番号（決定論的解析の場合は、常に出力される）
(fn_mertge(i), fact(i),i=1, | n_merge |	
fn_merge	統合処理を行うファイル名（拡張子を除く）（*1）
fact	fn_mergeで指定した核種移行フラックスと線量の計算結果に対して乗ぜられる係数

*1：DIR コマンドの変数 dir_dat で入力したパスと拡張子 '.bin' が付けられて使用され、パスと拡張子を含めて 120 文字以内が有効である。

（6）POST コマンド

POST コマンドは、確率論的解析による出力ファイルから、統計処理のためのモジュール（SPOP）の入力ファイルを作成する。POST コマンドの入力仕様を TableA1-6 に示す。

TableA1-6　POST コマンドの入力仕様

Entry	内容
incmnd	POST
fnstat	計算結果バイナリファイル名（拡張子を除く）（*1）
itype	fnstatで指定した各モジュールの計算結果の種類 ＝1：フラックスもしくは跡地利用シナリオソースタームモデルの土壌中核種濃度 ＝2：地下水移行シナリオの生物圏モデルにおける環境媒体中濃度 ＝3：地下水移行シナリオの被ばく線量 ＝4：跡地利用シナリオの被ばく線量
fnfsp	統計解析用データ出力ファイル名（拡張子を除く）（*2）
fntim	経時変化用データ出力ファイル名（拡張子を除く）（*3）
pflag	フラックス、濃度あるいは被ばく線量の最大値出現時間の算出方法選択フラグ ＝0：対数平均による算出（ある時間範囲で最大値が一定であるとみなし、その時間範囲の対数平均を最大値の出現時間とする） ＝1：ピーク直前の時間を算出
rpeak	最大値出現時間の算出用差分値。pflag=0の場合に有効で、最大値×(1−rpeak)以上であれば一定であるとみなして最大値が一定であるとみなす時間範囲を求める。

*1：DIR コマンドの変数 dir_dat で入力したパスと拡張子 ‘.bin’ が付けられて使用され、パスと拡張子を含めて 120 文字以内が有効である。

*2：DIR コマンドの変数 dir_dat で入力したパスと fnfsp で入力したファイル名の後ろにハイフン’－’と崩壊系列の上位核種からの序列番号を 2 桁の数値（01, 02, 03,…）として付け、さらに itype に対応した拡張子（=1：‘.flx’、=2：‘.con’、=3：‘.dat’、=4：‘.dat’）を付けて使用され、全てを含めて 120 文字以内が有効である。

*3：DIR コマンドの変数 dir_dat で入力したパスと fntim で入力したファイル名の後ろにハイフン’－’と崩壊系列の上位核種からの序列番号を 2 桁の数値（01, 02, 03,…）として付け、さらに itype に対応した拡張子（=1：’.ftm’、=2：’.ctm’、=3：’.tim’、=4：’.tim’）を付けて使用され、全てを含めて 120 文字以内が有効である。

（7）EXIT コマンド

EXIT コマンドは、実行制御情報の終わりを意味する。EXIT コマンドのみを入力し、１つの実行制御情報ファイルには必ず必要となる。

（8）各サブモデルのモジュールによる計算を実行するためのコマンド

各サブモデルのモジュールによる計算を実行するためのコマンドは、CMMAIN、CFMAIN、SRCD、MAINNB、DFMAIN、PMAIN、LTMAIN、MAINLTG、CMWS、DOSE の 10 種類（Table3-15 GSA-GCL2 に専用のコマンドとその各機能の一覧を参照）である。各サブモデルのモジュールによる計算を実行する。各サブモデルのモジュールによる計算を実行するためのコマンドの入力仕様を TableA1-7 に示す。

TableA1-7　各サブモデルのモジュールによる計算を実行するためのコマンドの入力仕様

Entry	内容
incmnd	CMMAIN、CFMAIN、SRCD、MAINNB、DFMAIN、PMAIN、LTMAIN、MAINLTG、CMWS、DOSEの10種類（Table3-15参照）
ソースタームモデル、天然バリアモデルおよび跡地利用シナリオ用の生物圏モデルの場合	
fn_inp	標準入力データのファイル名（拡張子を含む）（*1）
fn_out	計算結果出力の出力ファイル名（拡張子を除く）（*2）
fn_lib	核種移行パラメータライブラリファイル名（拡張子を含む）（*3）
地下水移行シナリオ用の生物圏モデルの場合	
fn_inp	標準入力データのファイル名（拡張子を含む）（*1）
fn_out	計算結果出力の出力ファイル名（拡張子を除く）（*4）
fn_dose	被ばく線量計算結果のバイナリファイル名（拡張子を除く）（*5）
indoseonly	=0：環境媒体中の核種濃度の計算と被ばく線量の計算を行う =1：被ばく線量の計算のみを行う
fn_lib(1)	核種移行パラメータ（環境媒体）ライブラリファイル名（拡張子を含む）（*3）
fn_lib(2)	内部被ばく線量換算係数ファイル名（拡張子を含む）（*3）
fn_lib(3)	外部被ばく線量換算係数ファイル名（拡張子を含む）（*3）
fn_lib(4)	核種移行パラメータ（線源となる物質）パラメータライブラリファイル名（拡張子を含む）（*3）
fn_lib(5)	遮へい係数ライブラリファイル名（拡張子を含む）（*3）

*1：DIRコマンドの変数 dir_dat で入力したパスが付けられて使用され、パスを含めて 120 文字以内が有効である。

*2：DIRコマンドの変数 dir_dat で入力したパスと拡張子（標準出力ファイルが ‘.out’、経時変化用データ出力ファイルが ‘.txt’、計算結果のバイナリファイルが ‘.bin’）を付けて使用され、パスと拡張子を含めて 120 文字以内が有効である。

*3：DIR コマンドの変数 dir_lib で入力したパスを付けて使用され、パスを含めて 120 文字以内が有効である。なお、ライブラリファイルは、AUTOCHAIN コマンドを使用する場合に必要である。

*4：DIRコマンドの変数 dir_dat で入力したパスと拡張子（標準出力ファイルが ‘.out’、経時変化用データ出力ファイルが ‘.txt’、環境媒体中の核種濃度の計算結果のバイナリファイルが ‘.bin’）を付けて使用され、パスと拡張子を含めて 120 文字以内が有効である。

*5：DIR コマンドの変数 dir_dat で入力したパスと拡張子 ‘.bin’ を付けて使用され、パスと拡張子を含めて 120 文字以内が有効である。

Appendix-2　ソースタームモデルに関する入力ファイル仕様

ソースタームモデルに関するモジュールとして、CMMAIN（「地下水移行評価用ソースタームモデル」による計算）、CFMAIN（「簡易核種浸出モデル」による計算）、SRCD（「跡地利用評価用ソースタームモデル」による計算）の３種類があり、以下の TableA2-1～TableA2-3 に各モジュールの入力ファイル仕様について記述する。

TableA2-1 CMMAIN モジュール（地下水移行評価用ソースタームモデル）の入力ファイル仕様(1/3)

Card	入力変数	単位	内容
1	TITLE	―	ジョブタイトル
2	NNUC	―	核種数[最大 50 核種]（最大元素数は 20） ＞0：核種数 ＜0：核種・元素依存パラメータをライブラリから取得する。また、AUTOCHAIN コマンドを設定する必要がある（Appendix-1 参照）
	IUNIT	―	単位フラグ　IUNIT = I3×100+I2×10+I1 I1 出力フラックス（0:atom/y,1:Bq/y,2:Ci/y,3:g/y,4:mol/y） I2 対象核種の元素の溶解度（0:atom/kl,1:Bq/kl,2:Ci/kl,3:g/kl,4:mol/kl） I3 初期量（0:atom, 1:Bq, 2:Ci, 3:g, 4:mol, 5:Bq/g）
	ITIM	―	出力時間刻みデータ数（1 ≦ITIM≦ 10）：Card3 における出力する時間刻みを変える時刻の数
	IPRINT	―	印刷フラグ =0： 印刷なし　>0： 入力データと結果　<0： 入力データ
	IFILF	―	テキスト出力ファイル =0： 出力なし　>0： 出力あり
	IFILB	―	バイナリ出力ファイル =0： 出力なし　>0： 出力あり
	IIPT	―	入力フラグ（1 を入力）
	IKBN	―	初期区分点数（パラメータが時間変化する点数）
	ISIZEW	―	処分施設の長さ（処分施設下端までの移行距離）に関する入力選択フラグ ＝0：設定しない（Card 16 を入力しない、多孔質媒体近似モデル（FILT 法）で、天然バリアの移行距離として処分施設の長さの半分を加えない） ＝1：Card 16 の入力から処分施設の長さを計算する（多孔質媒体近似モデル（FILT 法）で、天然バリアの移行距離として処分施設の長さの半分を加えて評価する場合に必要となる） ※IUNIT の I3 が 5（濃度入力）の場合、Card 16 で入力する廃棄物量から廃棄体の核種量を求めるため、ISIZEW は必ず 1 とする
	FLAG_BUF	―	緩衝材体積の入力方法選択フラグ ＝0：緩衝材体積を Card 15 で入力する ＝1：緩衝材からの核種の漏洩面積が、廃棄体からの核種の漏洩面積と同じになるよう、緩衝材体積をプログラム内部で計算する（計算方法は Card 16 参照）
	IKDRT	―	分配係数／遅延係数入力選択フラグ ＝0：分配係数を入力（Card 12A） ＝1：遅延係数を入力（Card 12B）
	FLAG_BVEL	―	廃棄体・緩衝材中の流速入力方法選択フラグ ＝0：実流速を入力（Card 19A） ＝1：ダルシー流速で入力（Card 19B） ＝2：透水係数および動水勾配で入力（Card 19C および 19D）
3	TIM(I),I=1,ITIM	y	出力する時刻刻みを変える時刻
4	IDL(I),I=1,ITIM	―	時刻 TIM(I－1)～TIM(I)の間の時間刻み（最大出力数は 10000）
5	CTIME	y	処分場の閉鎖時間から核種漏洩の開始までの時間
Card 6 および 7 は、NNUC＞0 のとき入力			
6	NCHAIN	―	計算対象とする崩壊系列数
7	NNUCCH(K) K=1,NCHAIN	―	系列 K に含まれる核種の数
8	IKBN>0 のとき、IKBN 回繰り返し（K=1,IKBN）		
	ATIM(K)	y	パラメータ変化時間

TableA2-1 CMMAIN モジュール（地下水移行評価用ソースタームモデル）の入力ファイル仕様(2/3)

Card	入力変数	単位	内容
NUCL＞0 のとき、Card 9～12 は NUCL 回繰り返す。(I=1,NUCL)			
9	NUCNAM(I)	―	核種名（A6、引用符'を使用）
	NNA(I)	―	質量数
	HLIFE(I)	y	半減期
	AMMASS(I)	(IUNIT)	初期量
10	ALIM(I,K,J), J=0,1	(IUNIT)	対象核種の元素の溶解度。J＝0 は廃棄体、J＝1 は緩衝材中の元素の溶解度。このカードは IKBN+1 回（K=0～IKBN）繰り返す。
11	AD(I,K,J), J=0,1	m^2/y	実効拡散係数。J＝0 は廃棄体、J＝1 は緩衝材の実効拡散係数。実効拡散係数は一箇所 0 であれば全ての領域で 0 となる。 このカードは IKBN+1 回（K=0～IKBN）繰り返す。
12A	AKD(I,K,J), J=0, 1	m^3/kg	分配係数。J＝0 は廃棄体、J＝1 は緩衝材の分配係数。IKDRT＝0 のとき入力。このカードは IKBN+1 回（K=0～IKBN）繰り返す。
12B	AKD (I,K,J), J=0, 1	―	遅延係数。J＝0 は廃棄体、J＝1 は緩衝材の遅延係数。IKDRT＝1 のとき入力。このカードは IKBN+1 回（K=0～IKBN）繰り返す。
NUCL＜0 のとき、Card 13 のみを次の通り入力する。			
13	IFQ	―	分配係数。J＝0 は廃棄体、J＝1 は緩衝材の分配係数。IKDRT＝0 のとき入力。このカードは IKBN+1 回（K=0～IKBN）繰り返す。
	QINI	(IUNIT)	初期量または初期濃度。Card2 の IUNIT の I3= 5 の場合、最上位核種のみの初期濃度、それ以外の時は、全核種の初期量を設定する。
14	XLEN(J), J=0, 1	m	人工バリア構成材の長さ（人工バリア構成材における核種移行の距離）。J＝0 は廃棄体、J＝1 は緩衝材の長さ。
15	VOL(J), J=0, 1	kl	人工バリア構成材の体積。J＝0 は廃棄体、J＝1 は緩衝材の体積。なお、FLAG_BUF が 1 の場合、緩衝材の体積は、以下の式で計算した値とする VOL(1)＝XLEN(1)×VOL(0)÷XLEN(0)
Card 16 は、ISIZEW が 1 のとき入力			
16	FLAG_WAS	―	処分施設の長さ（処分施設下端までの移行距離）に関する計算方法の選択フラグ ＝0：廃棄体の体積と長さから算出 $XWID＝[VOL(0)／XLEN(0)]^{0.5}$ ＝1：廃棄物量、廃棄物埋設効率、廃棄体層の長さから算出 $XWID＝[VOLW／WPVP／XLEN(0)]^{0.5}$
	VOLW	m^3	廃棄物量
	WPVP	―	廃棄物埋設効率
17	RHO(J), J=0, 1	kg/kl	人工バリア構成材の真密度。J=0 は廃棄体、J＝1 は緩衝材の真密度。
18	ESP(K,J), J=0, 1	―	人工バリア構成材の間隙率（←式 2.3 および式 2.4 で使用される）。J＝0 は廃棄体、J＝1 は緩衝材の間隙率。 このカードは IKBN+1 回（K=0～IKBN）繰り返す。

（つづく）

TableA2-1 CMMAIN モジュール（地下水移行評価用ソースタームモデル）の入力ファイル仕様(3/3)

Card	入力変数	単位	内容
19A	VEL(K,J), J=0, 1	m/y	人工バリア構成材の実流速。J＝0 は廃棄体、J＝0 は緩衝材の実流速。FLAG_BVEL＝0 のとき入力。このカードは IKBN+1 回（K=0～IKBN）繰り返す。
19B	VEL(K,J), J=0, 1	m/y	人工バリア構成材のダルシー流速。J＝0 は廃棄体、J＝0 は緩衝材のダルシー流速。FLAG_BVEL＝1 のとき入力。このカードは IKBN+1 回（K=0～IKBN）繰り返す。
19C	VEL(K,J), J=0, 1	m/y	人工バリア構成材の透水係数。J＝0 は廃棄体、J＝0 は緩衝材の透水係数。FLAG_BVEL＝2 のとき入力。このカードは IKBN+1 回（K=0～IKBN）繰り返す。
19D	HYG(K,J), J=0, 1	－	人工バリア構成材中の動水勾配。J＝0 は廃棄体、J＝0 は緩衝材の動水勾配。FLAG_BVEL＝2 のとき入力。このカードは IKBN+1 回（K=0～IKBN）繰り返す。
20	FIL_A	－	FILT 法の A パラメータ（5）
	FIL_B	－	FILT 法の B パラメータ（0）
	FIL_NP	－	FILT 法の NP パラメータ（50）
	FIL_K1	－	FILT 法の K1パラメータ（80）
	FIL_K2	－	FILT 法の K2パラメータ（0）

（注）Card20 の FILT 法のパラメータは、逆ラプラス変換の数値積分の精度に関する係数であり、括弧内が推奨値である。なお、変更する場合には、A パラメータは 5～12 の範囲、NP パラメータと K1パラメータは 20 以上で設定すれば、結果に対し十分な計算精度が期待できる。

TableA2-2　CFMAIN モジュール（簡易核種浸出モデル）の入力ファイル仕様

Card	入力変数	単位	内容
1	TITLE	―	ジョブタイトル
2	NUCL	―	核種数[最大 10 核種] ＞0：核種数 ＜0：核種・元素依存パラメータをライブラリから取得する。また、AUTOCHAIN コマンドを設定する必要がある（Appendix-1 参照）
	IUNIT	―	単位フラグ IUNIT= I2x10 + I1 I1：出力フラックス（0:atom/y, 1:Bq/y, 2:Ci/y, 3:g/y, 4:mol/y） I2：初期量（0:atom, 1:Bq, 2:Ci, 3:g, 4:mol）
	ITIM	―	出力時間刻みデータ数（最大個数 9）：Card3 で設定する出力する時間刻みを変える時刻の数
	IPRINT	―	印刷フラグ =0： 印刷なし >0： 入力データと結果 <0： 入力データ
	IFILF	―	テキスト出力ファイル =0： 出力なし >0： 出力あり
	IFILB	―	バイナリ出力ファイル =0： 出力なし >0： 出力あり
	IIPT	―	入力フラグ（1 を入力）
	MODE	―	0： 解析解, 1： 数値逆ラプラス変換解
	IREL	―	簡易核種浸出モデルの選択フラグ（本文中の式(2-17)および式(2-18)参照） 0： 処分施設からの核種の漏洩率を入力（Card7-1 を入力） 1： 分配係数を入力（Card7-2、8-1 を入力） 2： 放出係数を入力（Card7-3、8-2 を入力）
3	TIM(I),I=1,ITIM	y	出力する時間刻みを変える時刻
4	IDL(I),I=1,ITIM	―	時刻 TIM(I-1) ～ TIM(I) の間の時間刻み
NUCL＞0 のとき、Card 6, 7 は NUCL 回繰り返す（I=1, NUCL）			
6-1	NUCNAM(I)	―	核種名（A6、引用符’を使用）
	NNA	―	質量数
	HLIFE	y	半減期
	QIN(I)	(IUNIT)	初期量
7-1（IREL=0）	RELEASE(I)	1/y	処分施設からの核種の漏洩率
7-2（IREL=1）	AKD(I)	ml/g	分配係数
7-3（IREL=2）	RC(I)	―	放出係数
NUCL＜0 のとき、Card 6-2 を入力する（Card 7 は入力しない）。			
6-2	IFQ	―	初期インベントリ量オプション =0：最上位核種に QINI を設定、他の核種は 0 とする。 =1：全核種に QINI を設定する。
	QINI	(IUNIT)	初期インベントリ量
8-1 （IREL=1）	HW	m	処分施設の厚さ
	PW	m/y	処分施設の浸透水量
	EPS	―	処分施設の間隙率
	RHO	g/cm^3	処分施設の嵩密度
8-2 （IREL=2）	HW	m	処分施設の厚さ
	PW	m/y	処分施設の浸透水量
9	FLT_A	―	FILT 法の A パラメータ（5）
	FLT_B	―	FILT 法の B パラメータ（0）
	FLT_NP	―	FILT 法の NP パラメータ（50）
	FLT_K1	―	FILT 法の K1パラメータ（80）
	FLT_K2	―	FILT 法の K2パラメータ（0）

（注）Card9 の FILT 法のパラメータは、逆ラプラス変換の数値積分の精度に関する係数であり、括弧内が推奨値である。なお、変更する場合には、A パラメータは 5～12 の範囲、NP パラメータと K1パラメータは 20 以上で設定すれば、結果に対し十分な計算精度が期待できる。

TableA2-3　SRCD モジュール（跡地利用評価用ソースタームモデル）の入力ファイル仕様(1/4)

カード番号	入力変数	単位	内容
1	MODEL	―	計算方法選択フラグ ＝0：ラプラス変換法 ＝1：差分法（ルンゲ＝クッタ法）
	IOP	―	出力項目選択フラグ ＝0：処分施設中の核種濃度(Bq/g) ＝1：核種の処分施設からの漏洩フラックス（Bq/y）
	IFIC	―	初期条件設定フラグ NNUC＞0のとき ＝0：全核種を同一の初期濃度とする ＞0：核種毎に濃度をカード入力する場合で、Card 8で入力する核種数を入力する NNUC＜0のとき ＝0：最上位核種のみCard 9の初期濃度を設定 ＞0：全核種にCard 9の初期濃度を設定
	IFOU	―	核種漏洩の条件設定フラグ ＜0：核種の処分施設からの漏洩を考慮しない場合 ≧0：核種の処分施設からの漏洩を考慮する場合 ただし、 ＝0：核種の漏洩率を算出するための分配係数または放出係数を、全てライブラリから入力する ＞0：分配係数または放出係数の一部あるいは全部をカード入力する場合で、Card 17で入力する元素数を入力する
	ITIM	―	出力時間刻みデータ数（1≦ITIM≦10）
	NNUC	―	核種数[最大50核種] ＞0：核種数（Card 2を入力） ＜0：実行制御モジュールMASTERから接続（Card 2は入力しない）。AUTOCHAINコマンドを設定する必要がある（Appendix-1参照）
	NCWV	―	浸透水量、処分施設の密度、処分施設の間隙率、分配係数（あるいは放出係数）の変化条件の設定 NCWV＞0：変化する深度数を入力 NCWV＜0：変化する時間数を入力
	NCVR	―	隆起侵食速度の変化条件の設定 NCVR＞0：変化する深度数を入力 NCVR＜0：変化する時間数を入力
Card 2 は、NNUC＞0のときNNUC回繰り返して入力する			
2	NUCN	―	崩壊系列の核種名（A6、引用符’を使用）
	HLT	y	半減期
	BRANCH	―	次の核種への分岐比

（つづく）

TableA2-3　SRCD モジュール（跡地利用評価用ソースタームモデル）の入力ファイル仕様(2/4)

カード番号	入力変数	単位	内容
3	Card 3はラプラス変換法の場合に入力（MODEL＝0の時）		
	LPPR1	―	FILT 法の A パラメータ（9）
	LPPR2	―	FILT 法の B パラメータ（0）
	LPPR3	―	FILT 法の K1パラメータ（20）
	LPPR4	―	FILT 法の K2パラメータ（0）
	LPPR5	―	FILT 法の NP パラメータ（20）
4	Card 4は差分法の場合に入力（MODEL=1の時）		
	TSTEP	y	差分法における計算時間の刻み幅
	NX	―	時間刻みTSTEPの分割数 計算する時間刻み幅は（TSTEP/NX）となる。この刻み幅は移行速度の最大値の逆数より小さくなくてはならない。 ファイル入力値の補間等パラメータの設定はTSTEP毎になされるため、時間刻み幅（TSTEP/NX）の値が同じ場合、TSTEPの値が大きいほうが計算時間が短くなる。
5	TIM(I) I=1, ITIM	y	出力する時間刻みを変える時刻（TIM(I-1)＜TIM(I)）
6	IDL(I) I=1, ITIM	―	時刻TIM(I-1) ～TIM(I)の間の時間刻み （0＜IDL(I), sum(IDL(I))＜1600）
7	DIL	―	初期核種濃度の希釈率 希釈されない場合が1.0（0.0＜DIL≦1.0）
8	Card 8は核種毎に濃度を設定する場合（NNUC＞0かつIFIC＞0）に入力		
	NIC(I) I=1, IFIC	―	初期濃度を設定する核種名（A6、引用符’を使用）
9	NNUC＞0 CIC(I) I=1, IFIC+1 NNUC＜0 CIC(1)	Bq/g	核種 NIC(I) の初期濃度 NNUC＞0のとき、CIC(IFIC+1) には、Card 8で指定した核種以外の核種の濃度を入力する（IFIC＝0かつNNUC＞0のときは全核種） NNUC＜0のとき、IFIC＝0のときは最上位核種のみの初期濃度、IFIC＞0のときは全核種の初期濃度
10	FKDRC	―	分配係数／放出係数モデル選択フラグ ＞0：分配係数モデルで計算 ＜0：放出係数モデルで計算
	RHO_W(0)	kg/m^3	処分施設の密度初期値 ＜0：絶対値を真密度で入力する ＞0：嵩密度で入力する
	EPS_W(0)	―	処分施設の間隙率初期値（分配係数モデルの場合有効）
	DNO(0)	―	分配係数／放出係数初期値のライブラリファイル中の列番号
	TH_W	―	処分施設内の含水率（分配係数モデルの場合有効）

（注）Card3 の FILT 法のパラメータは、逆ラプラス変換の数値積分の精度に関する係数であり、括弧内が推奨値である。なお、変更する場合には、A パラメータは 5～12 の範囲、NP パラメータと K1 パラメータは 20 以上で設定すれば、結果に対し十分な計算精度が期待できる。

（つづく）

TableA2-3　SRCD モジュール（跡地利用評価用ソースタームモデル）の入力ファイル仕様(3/4)

カード番号	入力変数	単位	内容
11	FLAGDEP	―	Card 11で入力するパラメータの内、処分施設に係るパラメータ間の整合性を図るため、計算値とするパラメータの選択 ＝0：EFFDEP＝W／(W_W*L_W*H_W) ＝1：L_W＝W／(EFFDEP*W_W*H_W) ＝2：W_W＝W／(EFFDEP*L_W*H_W) ＝3：H_W＝W／(EFFDEP*L_W*W_W) ＝4：L_W＝W_W＝SQRT(W／(EFFDEP*H_W)) 以下の入力値は上式の左辺にある場合ダミー値となる。ただし、FLAGDEP＝0の場合、EFFDEPの入力値は上限値で、計算値が上限値を超えた時は入力値とする。
	EFFDEP	―	廃棄物埋設効率
	W	m^3	廃棄物の総量
	W_W	m	処分施設の幅
	L_W	m	処分施設の長さ
	H_W	m	処分施設の厚さ
12	CTIME	y	処分場の閉鎖時間から核種漏洩の開始までの時間
13	T_C	m	覆土厚さ（地表面から処分場上面までの厚さ）
14	FILT法（MODEL＝0）の場合、以下のように入力		
	V(0)	m/y	隆起侵食速度初期値
	DTH	m	処分施設の厚さが変化する時間を設定するための分割厚さ （隆起侵食によって処分施設の厚さが変化することにより支配方程式における処分施設からの流出項が連続的に変化する。FILT法ではこのような連続的なパラメータの変化を階段関数的に近似することにより計算する。処分施設の厚さをこの分割厚さで分割した各地点が地表面に現れる時間を隆起侵食速度から求め、その時間において処分施設の厚さおよび処分施設からの流出項を再設定する。）
	差分法（MODEL＝1）の場合、以下のように入力		
	V(0)	m/y	隆起侵食速度初期値
15	Card 15は、|NCVR|行入力する（I=1、|NCVR|）		
	TCVR(I) または TIMCVR(I)	m または y	NCVR＞0：隆起侵食速度が変化する処分施設底面の深度（TCVR)を入力 NCVR＜0：隆起侵食速度が変化する時間（TIMCVR)を入力
	V(I)	m/y	変化後の隆起侵食速度
16	FD(I), I=1, 5	―	初期濃度に乗ぜられる汎用無次元係数
17	Card 17 は核種の流出を考慮する場合（IFOU≧0）入力		
	P(0)	m/y	浸透水量（初期値）

（つづく）

TableA2-3　SRCD モジュール（跡地利用評価用ソースタームモデル）の入力ファイル仕様(4/4)

カード番号	入力変数	単位	内容
18	Card 18は、|NCWV|行入力する（I＝1, |NCWV|）		
	TC(I)または TIMC（I）	mまたは y	NCWV＞0：浸透水量等が変化する深度（TC）を入力 NCWV＜0：浸透水量等が変化する時間（TIMC）を入力
	P(I)	m/y	処分施設底面がTC(I)より浅い深度またはTIMC以降の浸透水量
	RHO_W(I)	kg/m^3	処分施設底面がTC(I)より浅い深度またはTIMC以降の処分施設の密度
	EPS_W(I)	―	処分施設底面がTC(I)より浅い深度またはTIMC以降の処分施設の間隙率（分配係数モデルの場合有効）
	DNO(I)	―	処分施設底面がTC(I)より浅い深度またはTIMC以降の、分配係数(または放出係数)の跡地利用評価用ソースタームモデルの核種移行ライブラリファイル（Table 3-21参照）中におけるパラメータの項目番号
Card 19 は、IFOU≧0の場合入力			
19	FNKDRC	―	分配係数または放出係数ライブラリファイル名
Card 20 ～22 は、分配係数または放出係数をカード入力する場合（IFOU＞0）に入力			
20	NOU(I) I=1, IFOU	―	分配係数または放出係数を設定する元素名　（A2; ‘##’）
21	KD(I) I=1, IFOU+1	ml/g	分配係数（FKDRC＞0のとき入力） KD(IFOU+1)には、Card 20で指定した元素以外の分配係数を入力 KD(I)＜0とした場合には、元素NOU(I)の分配係数はライブラリから読み込む
22	RC(I) I=1, IFOU+1	―	放出係数（FKDRC＜0のとき入力） RC(IFOU+1)には、Card 20で指定した元素以外の放出係数を入力 RC(I)＜0とした場合には、元素NOU(I)の放出係数はライブラリから読み込む
Card 23 は、IOP=1かつIFOU≧0の場合入力する			
23	AREA	m^2	核種漏洩面の面積 AREA＜0とした場合、Card 11のL_W（廃棄物層長さ）およびW_Wから以下の式で計算する。 AREA＝L_W×W_W

Appendix-3　天然バリアモデルに関する入力ファイル仕様

天然バリアモデルに関するモジュールとして、MAINNB（「多孔質媒体近似モデル（解析解）」による計算）、DFMAIN（「多孔質媒体近似モデル（差分解）」による計算）、PMAIN（「多孔質媒体近似モデル（FILT 法）」による計算）、LTMAIN（多孔質媒体近似モデル（LTG 法））による計算）、「MAINLTG（「亀裂性媒体近似モデル（LTG 法）」による計算）の 5 種類があり、以下の TableA3-1～TableA3-5 に各モジュールの入力ファイル仕様について記述する。

TableA3-1　MAINNB モジュール（多孔質媒体近似モデル（解析解））の入力ファイル仕様(1/2)

Card	入力変数	単位	内容
1	TITLE	―	ジョブのタイトル
2	NUCL	―	核種数[最大 4 核種]（上流側の計算の設定方法と同じとする） ＞0：核種数 ＜0：核種・元素依存パラメータをライブラリから取得する。また、AUTOCHAIN コマンドを設定する必要がある（Appendix-1 参照）。
	IUNIT	―	単位フラグ　　iunit = i2×10 + i1 i1： 出力フラックス（0: atom/y, 1: Bq/y, 2: Ci/y, 3: g/y, 4: mol/y） i2： 入力フラックス（0: atom/y, 1: Bq/y, 2: Ci/y, 3: g/y, 4: mol/y）
	ITIM	―	出力時間刻みデータ数（最大個数 9）：Card3 で設定する出力する時間刻みを変える時刻の数
	IPRINT	―	印刷フラグ =0： 印刷なし >0： 入力データと結果 <0： 入力データ
	IFILF	―	テキスト出力ファイル =0： 出力なし >0： 出力あり
	IFILB	―	バイナリ出力ファイル =0： 出力なし >0： 出力あり
	IIPT	―	フラックスの入力方法選択フラグ =0： 上流側の計算結果バイナリファイルから読み込む =1： カード入力（Card 10～15）
	IFP	―	0 を入力
	FACT	―	入力ソース強度の換算係数
3	TIM(I),I=1,ITIM	y	出力する時間刻みを変える時刻
4	IDL(I),I=1,ITIM	―	時刻 tim(i-1) ～ tim(i) の間の時間刻み数

（つづく）

TableA3-1　MAINNB モジュール（多孔質媒体近似モデル（解析解））の入力ファイル仕様(2/2)

Card	入力変数	単位	内容
5	RET1_INPUT	―	遅延係数・分配係数入力指定フラグ。 =.true.： 遅延係数、=.false.： 分配係数
	DIF1_INPUT	―	拡散係数・分散長入力指定フラグ。 =.true.： 拡散係数、=.false.： 分散長
6	IBC(I)	―	1 を入力
7	RR(I)	m	天然バリアの移行距離
	VV(I)	m/y	天然バリア中の実流速
	DZ(I)	m or m^2/y	天然バリア中の分散長[m] または実効拡散係数[m^2/y]
8	RETA(I),I=1, NCUL	－ or m^3/kg	天然バリア中における核種の遅延係数[－] または分配係数[m^3/kg]
9	EPS1DIM	―	天然バリアの間隙率
	RHO1DIM	kg/m^3	天然バリアの真密度
カード 10 から 15 はカード入力（IIPT＝1）の場合に入力する。 カード 11 は inuc=0 の場合にのみ入力する。カード 12 は icn(i)=0 と指定した数だけ繰り返す。 カード 13 は NUCL 回繰り返す。カード 15 は ITSS 回（J=1,ITSS）繰り返す。			
10	NUCN	―	ソースタームの計算と異なる崩壊系列で計算を行いたい場合にゼロを指定する。通常は 1 とする。
11	ICN(I), I=1,NUCL	―	第 i 核種の核種番号（上流側の計算で定義された番号） =0： 新たに核種設定する場合
12	NUCNN	―	核種名（A6、引用符’を使用）
	NNA	―	質量数
	HLIFE	y	核種の半減期
13	NUCN	―	核種番号
	NNA	―	質量数
	HLIFE	y	核種の半減期
14	ITSS	―	境界条件の設定時間数
15	TSOU(J)	y	フラックスが変化する時間
	CSOU(I,J), I=1,NUCL	(IUNIT)	時刻 TSOU(J)のフラックス

TableA3-2　DFMAIN モジュール（多孔質媒体近似モデル（差分解））の入力ファイル仕様(1/2)

Card	入力変数	単位	内容
1	TITLE	―	ジョブのタイトル
2	NUCLI	―	核種数[最大 8 核種]（上流側の計算の設定方法と同じとする） ＞0：核種数 ＜0：核種・元素依存パラメータをライブラリから取得する。また、AUTOCHAIN コマンドを設定する必要がある（Appendix-1 参照）
	IUNIT	―	単位フラグ　　IUNIT = I2×10 + I1 I1： 出力フラックス（0: atom/y, 1: Bq/y, 2: Ci/y, 3: g/y, 4: mol/y） I2： 入力フラックス（0: atom/y, 1: Bq/y, 2: Ci/y, 3: g/y, 4: mol/y）
	ITIM	―	出力時間刻みデータ数（最大個数 9）：Card3 で設定する出力する時間刻みを変える時刻の数
	IPRINT	―	印刷フラグ =0： 印刷なし >0： 入力データと結果 <0： 入力データ
	IFILF	―	テキスト出力ファイル =0： 出力なし >0： 出力あり
3	TIM(I), I=1,ITIM	y	出力する時間刻みを変える時刻
4	IDL(I), I=1,ITIM	―	時刻 TIM(I-1) ～ TIM(I) の間の時間刻み数
5	NPIPI	―	天然バリアにおける核種の移行を想定する経路数
	IBL	―	1 を入力

（つづく）

TableA3-2　DFMAIN モジュール（多孔質媒体近似モデル（差分解））の入力ファイル仕様(2/2)

Card	入力変数	単位	内容
カード 6 から 15 は NPIPI 回繰り返す。			
6	ITIMV	―	ダルシ-流速および移行距離が変化する回数
7	TIMV(J), J=1,ITIMV	y	ダルシー流速および移行距離が変化する時刻
8	ITIMV+1 回繰り返す（J=0,ITIMV）		
	RR(J)	m	天然バリアの移行距離
	TVD(J)	m/y	天然バリア中のダルシー流速
9	NREG	―	天然バリアにおいて多孔質近似によりモデル化する領域数
	INTER	―	上流側境界条件。核種データから評価時刻の濃度を得る方法の指定 =0：直線内挿 =1：直前の値 =2：直後の値
	IBR	―	下流側境界条件 =0：濃度ゼロ =1：濃度勾配ゼロ
10	DDD	y	＞0：時間刻み ＝0：出力時間誤差=0.5 ＜0：出力時間誤差=|DDD|
	BETA	―	≦0：BETA=1.0 ＞0：BETA の値
	LDMOD(I), I=1,NUCLI	―	崩壊定数λの補正 ＞0：補正する → λ'=[exp(λ×⊿t)－1]÷⊿t ≦0：補正しない
11	RLENG(N)	m	領域の大きさ
	MESH(N)	―	領域のメッシュ数
12-1	flag_dif	―	実効拡散係数計算法の選択 =1
	DIF(N,I), I=1,NUCLI	m^2/y	各領域の実効拡散係数
12-2	flag_dif	―	実効拡散係数計算法の選択 =2
	DIF(N,I), I=1,NUCLI	m	各領域の分散長
13-1	flag_ret	―	遅延係数計算法の選択 =1
	RET(N,I), I=1,NUCLI	―	各領域の遅延係数
13-2	flag_ret	―	遅延係数計算法の選択 =2
	RET(N,I), I=1,NUCLI	m^3/kg	各領域の分配係数
14	PHI(N), N=1,NREG	―	各領域の間隙率
15	RHO(N), N=1,NREG	kg/m^3	各領域の真密度

TableA3-3　PMAIN モジュール（多孔質媒体近似モデル（FILT 法））の入力ファイル仕様(1/2)

Card	入力変数	単位	内容
1	TITLE	―	ジョブのタイトル
2	NUCL	―	核種数[最大 10 核種]（上流側の計算の設定方法と同じとする） ＞0：核種数 ＜0：核種・元素依存パラメータをライブラリから取得する。また、AUTOCHAIN コマンドを設定する必要がある（Appendix-1 参照）
	IUNIT	―	単位フラグ　IUNIT= I2x10 + I1 I1：出力フラックス（0:atom/y, 1:Bq/y, 2:Ci/y, 3:g/y, 4:mol/y） I2：入力フラックス（0:atom/y, 1:Bq/y, 2:Ci/y, 3:g/y, 4:mol/y）
	ITIM	―	出力時間刻みデータ数（最大個数 10）：Card3 で設定する出力する時間刻みを変える時刻の数
	IPRINT	―	印刷フラグ =0：印刷なし >0：入力データと結果 <0：入力データ
	IFILF	―	テキスト出力ファイル =0：出力なし >0：出力あり
	IFILB	―	バイナリ出力ファイル =0：出力なし >0：出力あり
	IIPT	―	フラックスの入力方法選択フラグ =0：上流側の計算結果バイナリファイルから読み込む =1：カード入力（Card 10 から 12）
	FACT	―	入力ソース強度の換算係数
	IKDRT	―	分配係数又は遅延係数選択フラグ (0：分配係数，1：遅延係数)
	IDFL	―	実効拡散係数又は分散長選択フラグ (0：実効拡散係数，1：分散長)
	FLAG_VEL	―	実流速又はダルシー流速選択フラグ (0：実流速，1：ダルシー流速)
3	TIM(I)I=1,ITIM	y	時間刻みを変える時刻
4	IDL(I)I=1,ITIM	―	時刻 TIM(I-1) ～ TIM(I) の間の時間刻み数
5	LPPR1	―	FILT 法のパラメータ A の値（5）
	LPPR2	―	FILT 法のパラメータ B の値（0）
	LPPR3	―	FILT 法のパラメータ NP の値（50）
	LPPR4	―	FILT 法のパラメータ K1 の値（80）
	LPPR5	―	FILT 法のパラメータ K2 の値（0）
6-1	NPIP	―	天然バリアにおける核種の移行を想定する経路数（最大個数 10） NPIP ＞ 0 のとき、各経路は同じ条件の地層を並列で移行する
6-2	MNPIP(I), I = 1, NPIP	―	各経路における分割経路の数（最大個数 100）

（注）Card5 の FILT 法のパラメータは、逆ラプラス変換の数値積分の精度に関する係数であり、括弧内が推奨値である。なお、変更する場合には、A パラメータは 5～12 の範囲、NP パラメータと K1 パラメータは 20 以上で設定すれば、結果に対し十分な計算精度が期待できる。

（つづく）

TableA3-3　PMAIN モジュール（多孔質媒体近似モデル（FILT 法））の入力ファイル仕様(2/2)

Card	入力変数	単位	内容
カード 7、8 は∑MNPIP(K) 回繰り返す。((I = 1, MNPIP(K)), K = 1, NPIP) NPIP < 0 のとき、2 × ∑MNPIP(K) 回繰り返す。(((J=1,2), I = 1, MNPIP(K)), K = 1, NPIP) （入口側、出口側の順に入力し、これを∑MNPIP(K) 回繰り返す。）			
7	RR(I)	m	天然バリアの移行距離
	(FLAG_VEL=0)のとき実流速を、(FLAG_VEL=1)のときダルシー流速を入力する。		
	VV(I)	m/y	天然バリア中の実流速
	DV(I)	m/y	天然バリア中のダルシー流速
	(IDFL=0)のとき実効拡散係数を、(IDFL=1)のとき分散長を入力する。		
	DDZ(I)	m^2/y	天然バリア中の実効拡散係数
	DZ(I)	m	天然バリア中の分散長
	FLAG_RR	―	天然バリアの移行距離に処分施設の長さを考慮するフラグ ＝0：処分施設の長さを考慮しない ＝1：天然バリアの移行距離にカード 9 で入力する処分施設の長さの半分を加える。 ＝2：天然バリアの移行距離にソースタームモデルで計算した処分施設の長さの半分を加える（確率論的解析時のみ有効）。
8-1	(IKDRT=0)のとき分配係数を、(IKDRT=1)のとき遅延係数を入力する。		
	AKD(J,I)J=1,NUCL	m^3/kg	天然バリア中における核種の分配係数
	RF(J,I)J=1,NUCL	―	天然バリア中における核種の遅延係数
8-2	(IKDRT=0)のとき天然バリアの真密度および間隙率を入力する。		
	RHO(I)	kg/m^3	天然バリアの真密度
	EPS(I)	―	天然バリアの間隙率
カード 9 は、直前の FLAG_RR が 1 の場合に入力する			
9	XWID	m	処分施設の長さ
カード 10～12 は、カード入力（IIPT=1）のとき入力			
10	NUCL 回繰り返す（I=1, NUCL）		
	NUCN(I)	―	核種名（A6、引用符’を使用）
	NNA(I)	―	質量数
	HLIFE(I)	y	半減期
11	ITSS	―	境界条件の設定時間数
カード 12 は ITSS 回繰り返す（J=1, ITSS）			
12-1	TSOU(J)	y	フラックスが変化する時間
12-2	NPIP 回繰り返す（K=1, NPIP）		
	CSOU(I,J,K) I=1, NUCL	(IUNIT)	時刻 TSOU(J)におけるフラックス

TableA3-4　LTMAIN モジュール（多孔質媒体近似モデル（LTG 法））の入力ファイル仕様(1/2)

Card	入力変数	単位	内容
1	TITLE	－	ジョブのタイトル
2	NUCLI	－	核種数
	IUNIT	－	単位フラグ　　IUNIT = I2×10 + I1 I1 : 出力（0: atom/y, 1: Bq/y, 2: Ci/y, 3: g/y, 4: mol/y, 5: atom/m^3, 6: Bq/m^3, 7: Ci/m^3, 8: g/m^3, 9: mol/m^3） I2 : 入力（0: atom/y, 1: Bq/y, 2: Ci/y, 3: g/y, 4: mol/y, 5: atom/m^3, 6: Bq/m^3, 7: Ci/m^3, 8: g/m^3, 9: mol/m^3）
	ITIM	－	出力の時間データ数
	IPRINT	－	印刷フラグ =0 : 印刷なし >0 : 入力データと結果 <0 : 入力データ
	IFILF	－	テキスト出力ファイル =0 : 出力なし >0 : 出力あり
3	TIM(I),I=1,ITIM	y	時間刻みを変える時刻
4	IDL(I),I=1,ITIM	－	時刻 TIM(I-1) ～ TIM(I) の間の時間刻み数
5	NPIPI	－	1 次元パイプの数
	IBL	－	上流側境界条件 =0 : 濃度境界 =1 : フラックス境界
6	FILTA	－	FILT 法パラメータ A
	FILTB	－	FILT 法パラメータ B
	FILTNP	－	FILT 法パラメータ NP
	FILTK1	－	FILT 法パラメータ K1
	FILTK2	－	FILT 法パラメータ K2

（つづく）

TableA3-4　LTMAIN モジュール（多孔質媒体近似モデル（LTG 法））の入力ファイル仕様(2/2)

Card	入力変数	単位	内容
カード 7 から 15 は NPIP 回繰り返す。			
7	ITIMV	－	地下水流速が変化する回数
	ITIMO	－	移行距離が変化する回数
8	TIMV(I),I=1,ITIMV	y	地下水流速が変化する時刻
9	VV(I),I=1,ITIMV	m/y	時刻 TIMV(I-1) ～ TIMV(I) の間の地下水流速（Darcy 流速）
10	TIMO(I),I=1,ITIMO	y	移行距離が変化する時刻
11	XOUT(I),I=0,ITIMO	m	時刻 TIMO(I) の移行距離。 I=0 は時刻ゼロの移行距離
12	NREG	－	亀裂内の領域数
	INTER	－	上流側境界条件。核種データから評価時刻の濃度を得る方法の指定 =0：直前の値、=1：直後の値
	IBR	－	下流側境界条件 =0：濃度ゼロ、=1：濃度勾配ゼロ
	ITYPE(J)	－	領域の形状 =0：長方形、=1：円形
	HEIGHT(J)	依存	領域の断面積（長方形）[m^2]、または半径（円形）[m]
カード 13 から 15 は NREG 回繰り返す（J=1,NREG）。 カード 14 および 15 は flag_dif および flag_ret の値に応じていずれかを指定する。			
13	RR(J)	m	領域の大きさ
	AMS(J)		領域のメッシュ数
	POROS(J)	－	領域の間隙率
	RHO(J)	kg/m^3	領域の密度
14-1	flag_dif	－	拡散係数計算法の選択 =1
	DF(I,J),I=1,NUCL	m^2/y	領域の拡散係数
14-2	flag_dif	－	拡散係数計算法の選択 =2
	DF(I,J),I=1,NUCL	m	領域の分散長
15-1	flag_ret	－	遅延係数計算法の選択 =1
	RF(I,J),I=1,NUCL	－	領域の遅延係数
15-2	flag_ret	－	遅延係数計算法の選択 =2
	RF(I,J),I=1,NUCL	m^3/kg	領域の分配係数

（※）断面積は入力フラックスから濃度に変換する際に用いる。フラックス入力－フラックス出力の場合、単位面積入力とする。カード 8、10 について、移行距離が変化する時刻の最大値はカード 3 における時刻の最大値以上に設定しなければならない。

TableA3-5　MAINLTG モジュール（亀裂性媒体近似モデル（LTG 法））の入力ファイル仕様(1/4)

Card	入力変数	単位	内容
1	TITLE	―	ジョブのタイトル
2	NUCLI	―	核種数[最大 8 核種]（上流側の計算の設定方法と同じとする） ＞0：核種数 ＜0：核種・元素依存パラメータをライブラリから取得する。また、AUTOCHAIN コマンドを設定する必要がある（Appendix-1 参照）
	IUNIT	―	単位フラグ　　IUNIT = i2×10 + i1 i1： 出力フラックス（0: atom/y, 1: Bq/y, 2: Ci/y, 3: g/y, 4: mol/y） i2： 入力フラックス（0: atom/y, 1: Bq/y, 2: Ci/y, 3: g/y, 4: mol/y）
	ITIM	―	出力時間刻みデータ数（最大個数 10）：Card3 で設定する出力する時間刻みを変える時刻の数
	IPRINT	―	印刷フラグ =0： 印刷なし >0： 入力データと結果 <0： 入力データ
	IFILF	―	テキスト出力ファイル =0： 出力なし >0： 出力あり
	IFILB	―	バイナリ出力ファイル =0： 出力なし >0： 出力あり
	IIPT	―	0 を入力
	FACT	―	入力ソース強度の換算係数
3	TIM(I),I=1,ITIM	y	時間刻みを変える時刻
4	IDL(I),I=1,ITIM	―	時刻 TIM(I-1) ～ TIM(I) の間の時間刻み数
5	NPIP	―	天然バリアにおける核種の移行を想定する経路数
6	LPPR1	―	FILT 法の A パラメータ（8）
	LPPR2	―	FILT 法の B パラメータ（0）
	LPPR3	―	FILT 法の NP パラメータ（30）
	LPPR4	―	FILT 法の K1 パラメータ（30）
	LPPR5	―	FILT 法の K2 パラメータ（0）

（注）Card6 の FILT 法のパラメータは、逆ラプラス変換の数値積分の精度に関する係数であり、括弧内が推奨値である。なお、変更する場合には、A パラメータは 5～12 の範囲、NP パラメータと K1 パラメータは 20 以上で設定すれば、結果に対し十分な計算精度が期待できる。

（つづく）

TableA3-5　MAINLTG モジュール（亀裂性媒体近似モデル（LTG 法））の入力ファイル仕様(2/4)

Card	入力変数	単位	内容
カード 7 から 19 は移行経路数（NPIP 回）繰り返す。 カード 8 は亀裂内流速計算法の選択（FLAG_V）の値に応じていずれかを指定する。			
7	PLEN	m	天然バリアの移行距離
8-1	FLAG_V	―	亀裂内流速計算法の選択 = 1
	V	m/y	亀裂の最初の領域の流速
8-2	FLAG_V	―	亀裂内流速計算法の選択 = 2 亀裂内の流速は次式により求める V＝T÷B2×I
	B2	m	亀裂開口幅 2b
	I	―	動水勾配
	T	m^2/s	透水量係数
8-3	FLAG_V	―	亀裂内流速計算法の選択 = 3 亀裂内の流速は次式により求める V＝T÷B2×I、なお、B2＝C×√T
	I	―	動水勾配
	T	m^2/s	透水量係数
	C	$\sqrt{(s)}$	係数 C
9	NREG	―	天然バリアにおいて亀裂性近似によりモデル化する領域数
	INTER	―	内側境界条件。核種データから評価時刻の濃度を得る方法の指定。 =0： 直線内挿 =1： 直前の値 =2： 直後の値
	IBR	―	外側境界条件 =0： 濃度ゼロ =1： 濃度勾配ゼロ

（つづく）

TableA3-5　MAINLTG モジュール（亀裂性媒体近似モデル（LTG 法））の入力ファイル仕様(3/4)

Card	入力変数	単位	内容
カード 10 から 18 は亀裂内の領域数（NREG 回）繰り返す。 カード 10 は FLAG_V=1 の場合に有効となる。FLAG_V=2 または 3 の場合はダミー。 カード 13 は亀裂領域内の実効拡散係数計算法の選択（FLAG_DIFF）の値に応じていずれかを指定する。			
10	ITYPE	―	領域内亀裂の形状 =0： 長方形亀裂 =1： 円形亀裂
	HEIGHT	m	亀裂開口幅（円形の場合は亀裂半径）
11	FFFF	%	マトリックス拡散寄与面積率 0.0＜ FFFF ≦100.0 でなければならない。
12	RR	（右記の入力により異なる）	領域の大きさの指定 ＜0： 移行距離（PLEN）×|RR| ＝0： 移行距離（PLEN） ＞0： 領域の大きさを入力［m］
	IFRG	―	領域のメッシュに関するフラグ ＜0： 自動設定 ＝0： メッシュ数指定 ＞0： メッシュサイズ指定
	AMS	―	領域のメッシュに関するパラメータ （メッシュサイズ指定の時）AMS がメッシュサイズ （メッシュ数指定の時）AMS がメッシュ数（小数点以下切り捨て） （自動設定の時） ＞0：epsx=AMS ≦0：epsx=0.5 $\frac{v_f \Delta x}{2D_f} = epsx$
13-1	FLAG_DIFF	―	亀裂領域内の分散係数計算法の選択 = 1
	DF(L), L=1,NUCLI	m^2/y	亀裂領域内の分散係数
13-2	FLAG_DIFF	―	亀裂領域内の分散係数計算法の選択 = 2 （DF(L)=V×DF2(L)+ D0）
	D0	m^2/y	自由水中の分子拡散係数
	DF2(L), L=1,NUCLI	m	亀裂領域内の分散長
13-3	FLAG_DIFF	―	亀裂領域内の分散係数計算法の選択 = 3 （DF(L)=V×DF2(L)+ D0、ただし、DF2(L)＝PLEN/PEC(L)）
	D0	m^2/y	自由水中の分子拡散係数
	PEC(L), L=1,NUCLI	―	ペクレ数
14	RF(L), L=1,NUCLI	―	亀裂領域内の遅延係数
15	NREGP	―	マトリックス領域（亀裂領域内におけるマトリックス拡散深さ方向の領域）の数
	EP	―	最初のマトリックス領域の間隙率
	RHOP	kg/m^3	最初のマトリックス領域の真密度

（つづく）

TableA3-5　MAINLTG モジュール（亀裂性媒体近似モデル（LTG 法））の入力ファイル仕様(4/4)

Card	入力変数	単位	内容
カード 16 から 18 は各亀裂についてマトリックス領域数（NREGP 回）繰り返す。 カード 18 はマトリックス領域中の遅延係数計算法の選択（FLAG_RETP）の値に応じていずれかを指定する。			
16	RRP	m	マトリックス領域の厚さ（マトリックス拡散深さ）
	IFRGP	―	マトリックス領域のメッシュに関するフラグ ＝0： メッシュ数指定 ＞0： メッシュサイズ指定
	AMSP	（右記の入力により異なる）	マトリックス領域のメッシュに関するパラメータ （メッシュサイズ指定の時）AMSP がメッシュサイズ [m] （メッシュ数指定の時）AMSP がメッシュ数（小数点以下切り捨て）
17-1	FLAG_DP	―	マトリックス領域中の拡散係数計算法の選択 flag_dp=1： 間隙水中の拡散係数入力
	DP1(L), L=1,NUCLI	m^2/y	マトリックス領域中の間隙水中の拡散係数
17-2	FLAG_DP	―	マトリックス領域中の拡散係数計算法の選択 flag_dp=2： 実効拡散係数入力
	DP2(L), L=1,NUCLI	m^2/y	マトリックス領域中の実効拡散係数
18-1	FLAG_RETP	―	マトリックス領域中の遅延係数計算法の選択 flag_retp = 1： 遅延係数入力
	RP1(L), L=1,NUCLI	―	マトリックス領域中の遅延係数
18-2	FLAG_RETP	―	マトリックス領域中の遅延係数計算法の選択 flag_retp = 2： 分配係数入力
	RP2(L), L=1,NUCLI	m^3/kg	マトリックス領域中の分配係数
19	IDBG	―	亀裂中の濃度分布の出力（=0： 出力しない、=1: 出力する）
	IDBGP	―	マトリックス中の濃度分布の出力。 （=0： 出力しない、≧1: 出力する[メッシュ番号を入力する]）
	IDBGT	―	出力する時間ステップ間隔（IDBGT 毎に 1 回出力する）

Appendix-4　生物圏モデルに関する入力ファイル仕様

生物圏モデルに関するモジュールとして、CMWS（「地下水移行シナリオ線量評価モデル」による計算）、DOSE（「跡地利用シナリオ線量評価モデル」による計算）の 2 種類があり、以下の TableA4-1、TableA4-2 に各モジュールの入力ファイル仕様について記述する。

TableA4-1　CMWS モジュール（地下水移行シナリオ線量評価モデル）の入力ファイル仕様(1/13)

Card	入力変数	単位	内容
1	JPLOT	―	確率論的解析のときに入力値確認用の情報を出力するサンプル番号を指定する。
	INCOME	―	生物圏モデルへの入力フラックスの入力方法の指定。 ＝0： 人工バリアあるいは天然バリアモデルの出力結果 ≠0：Card 入力（Card4～9）
	NUCL	―	＞0： 核種数（最大個数 10） ＜0： 核種・元素依存パラメータをライブラリから入力 INCOME=0 の場合、天然バリアと同じ核種を計算する。
	ITMAX	―	出力時間刻みを変える時刻（最大個数 7）
2	この Card は、ITMAX 回繰り返す（I=1, ITMAX）		
	DSTEP(I)	―	時刻 TSTEP(I-1) から TSTEP(I) の間の時間刻み数
	TSTEP(I)	y	時間刻みを変える時刻
	LPSTEP(I)	―	プリンタ出力の間隔。出力総数 ：DSTEP(I) x LPSTEP(I)
	IFSTEP(I)	―	ファイル出力の間隔。出力総数 ：DSTEP(I) x IFSTEP(I)
3	LPCMP	―	コンパートメントの濃度またはインベントリの印刷フラグ（ログファイルへの出力）（=0： 印刷無し、≠0： 印刷）
	IFCMP	―	コンパートメントの濃度またはインベントリのファイル出力フラグ（=0 ： 出力無し、≠0： 出力）
	LPDI	―	経路毎の個人被ばく線量の印刷フラグ（ログファイルへの出力） （=0： 印刷無し、≠0： 印刷）
	IFDI	―	経路毎の個人被ばく線量のファイル出力フラグ （=0： 出力無し、≠0： 出力）確率論的解析の場合≠0 とすること。
	LPDC	―	常に 1 を入力
	IFDC	―	常に 1 を入力
	FLAG_WE	―	Card41 における核種の風雨による除去速度又は除去半減期の入力方法を選択するためのフラグ = 0： 除去速度を入力する = 1： 除去半減期を入力する
	FL_RADON	―	ラドンガスの吸入による内部被ばく経路の選択フラグ = 0： 評価しない = 1： 評価する
	FL_SEA	―	河川水面活動および河川岸活動、漁網に関する以下の 5 経路の選択フラグ ・水面作業における外部被ばく ・遊泳における外部被ばく ・河川岸（海岸）土壌からの直接線による外部被ばく ・漁網からの直接線による外部被ばく ・河川岸（海岸）土壌の再浮遊砂の吸入による内部被ばく = 0： 評価しない = 1： 評価する
	FL_SALT	―	塩に関する 2 つの被ばく経路の選択フラグ = 0： 評価しない = 1： 評価する

（つづく）

TableA4-1　CMWS モジュール（地下水移行シナリオ線量評価モデル）の入力ファイル仕様(2/13)

Card	入力変数	単位	内容
4	Card4 は、Card 入力（INCOME≠0）の場合、または NUCL が天然バリアモデルの核種数より多い場合（天然バリアモデルで考慮しない短半減期核種について、生態圏モデルでは考慮する場合）に入力（核種名を崩壊系列順に入力（降順））。つまり、NUCL（Card1）が天然バリアモデルの核種数に等しく、Card 入力（Card5～9）を行わない場合には入力をしない。 NUCL 回繰り返す（I = 1, NUCL）。		
	NUCLIDE(I) I=1, NUCL		NUCLIDE(I) I=1, NUCL
Card5～9 は、Card 入力（INCOME≠0）の場合に入力。 ※ 入力フラックスを Card 入力する場合、直接フラックスで与えるか、濃度を与えるかを選択することができる。ただし、濃度で与えた場合、フラックスへ変換するために流入量を定義する必要がある。			
5	TRELI(0)	y	井戸水への放出開始時間
	TENDI(0)	y	井戸水への放出終了時間
	CONCI(I,0) I=1, NUCL	Bq/y or Bq/m^3	核種のフラックス［Bq/y］または 地下水中核種濃度［Bq/m^3］
	FLUXI (I,0) I=1, NUCL	m^3/y	井戸水への地下水流入量［m^3/y］。 ＜ 0 : CONCI が核種フラックス[Bq/y]の場合に、濃度へ単位変換するのに使用される。 ≧ 0 : CONCI が核種濃度[Bq/ m^3]の場合にダミー入力が必要。
6	TRELI(1)	y	上流河川への放出開始時間
	TENDI(1)	y	上流河川への放出終了時間
	CONCI (I,1) I=1, NUCL	Bq/y or Bq/m^3	核種のフラックス［Bq/y］または 地下水中核種濃度［Bq/m^3］
	FLUXI(I,1) I=1, NUCL	m^3/y	上流河川への地下水流入量［m^3/y］。 入力方法は Card5 と同様
7	TRELI(2)	y	湖沼への放出開始時間
	TENDI(2)	y	湖沼への放出終了時間
	CONCI(I,2) I=1, NUCL	Bq/y or Bq/m^3	核種のフラックス［Bq/y］または 地下水中核種濃度［Bq/m^3］
	FLUXI(I,2) I=1, NUCL	m^3/y	湖沼への地下水流入量［m^3/y］。 入力方法は Card5 と同様
8	TRELI(3)	y	下流河川への放出開始時間
	TENDI(3)	y	下流河川への放出終了時間
	CONCI(I,3) I=1, NUCL	Bq/y or Bq/m^3	核種のフラックス［Bq/y］または 地下水中核種濃度［Bq/m^3］
	FLUXI(I,3) I=1, NUCL	m^3/y	下流河川への地下水流入量［m^3/y］。 入力方法は Card5 と同様
9	TRELI(4)	y	沿岸海洋への放出開始時間
	TENDI(4)	y	沿岸海洋への放出終了時間
	CONCI(I,4) I=1, NUCL	Bq/y or Bq/m^3	核種のフラックス［Bq/y］または 地下水中核種濃度［Bq/m^3］
	FLUXI(I,4) I=1, NUCL	m^3/y	沿岸海洋への地下水流入量［m^3/y］。 入力方法は Card5 と同様

（つづく）

TableA4-1　CMWS モジュール（地下水移行シナリオ線量評価モデル）の入力ファイル仕様(3/13)

Card	入力変数	単位	内容
Card 10～15 は INCOME=0 のとき使用する			
10	NPIP(0)	―	井戸水に結合する天然バリア移行経路の数
	NPIP(1)	―	上流河川に結合する天然バリア移行経路の数
	NPIP(2)	―	湖沼に結合する天然バリア移行経路の数
	NPIP(3)	―	下流河川に結合する天然バリア移行経路の数
	NPIP(4)	―	沿岸海洋に結合する天然バリア移行経路の数
11	NNPIPS(I,0) I=1, NPIP(0)	―	井戸水に流入する移行経路番号（NPIP(0)＝0 の場合、ダミー行を入力）
12	NNPIPS(I,1) I=1, NPIP(1)	―	上流河川に流入する移行経路番号（NPIP(1)＝0 の場合、ダミー行を入力）
13	NNPIPS(I,2) I=1, NPIP(2)	―	湖沼に流入する移行経路番号（NPIP(2)＝0 の場合、ダミー行を入力）
14	NNPIPS(I,3) I=1, NPIP(3)	―	下流河川に流入する移行経路番号（NPIP(3)＝0 の場合、ダミー行を入力）
15	NNPIPS(I,4) I=1, NPIP(4)	―	沿岸海洋に流入する移行経路番号（NPIP(4)＝0 の場合、ダミー行を入力）
16	PPI1IW	―	全灌漑水量に対する井戸水からの灌漑水量の比
	PPR1IW	―	全灌漑水量に対する上流河川からの灌漑水量の比
	PPR2IW	―	全灌漑水量に対する下流河川からの灌漑水量の比
	PPLKIW	―	全灌漑水量に対する湖沼からの灌漑水量の比
17	PPI1DW	―	全飲料水量に対する井戸水からの飲料水量の比
	PPR1DW	―	全飲料水量に対する上流河川からの飲料水量の比
	PPR2DW	―	全飲料水量に対する下流河川からの飲料水量の比
	PPLKDW	―	全飲料水量に対する湖沼からの飲料水量の比
18	WFI1UG	m^3/y	井戸水への地下水流入量
19	WFI2R1	m^3/y	上流河川への地下水流入量
	WFFWR1	m^3	上流河川の容量
	WFR1LK	m^3/y	上流河川から湖沼への移行水量
20	ARR1	m^2	上流河川の面積
	DHR1	m	上流河川の平均深さ
	DPSEDR1	m	上流河床堆積土壌の有効深さ
	RHOR1	kg/m^3	上流河床堆積土壌の真密度
	POROR1	―	上流河床堆積土壌の間隙率
	HYDR1	―	上流河川の含水率
	HYDSSR1	―	上流河床堆積土壌の含水率
21	AR1SS	kg/m^3	上流河川水中の懸濁物質の濃度
	RTR1SS	$kg/y/m^2$	上流河川水中の単位面積あたりの沈殿速度
22	NUCL＞0 のとき、この Card は、NUCL 回繰り返す（I=1, NUCL）		
	AKDR1(I)	ml/g	上流河川中の懸濁物質に対する分配係数
	AKDSDR1(I)	ml/g	上流河床堆積土壌に対する分配係数
	dummy	―	ダミー
	DFSEDR1(I)	cm^2/s	上流河床堆積土壌における核種の拡散係数

（つづく）

TableA4-1　CMWS モジュール（地下水移行シナリオ線量評価モデル）の入力ファイル仕様(4/13)

Card	入力変数	単位	内容
23	WFI3LK	m^3/y	湖沼への地下水流入量
	WFFWLK	m^3	湖沼の容量
	WFLKR2	m^3/y	湖沼から下流河川への移行水量
24	ARLK	m^2	湖沼の面積
	DHLK	m	湖沼の平均深さ
	DPSED1	m	湖底堆積土壌の有効深さ
	RHOLK	kg/m^3	湖底堆積土壌の真密度
	POROLK	―	湖底堆積土壌の間隙率
	HYDLK	―	湖沼の含水率
	HYDSSLK	―	湖底堆積土壌の含水率
25	ALKSS	kg/m^3	湖沼水中の懸濁物質の濃度
	RTLKSS	$kg/y\ m^2$	湖沼水中の単位面積あたりの沈殿速度
26	NUCL＞0 のとき、この Card は、NUCL 回繰り返す（I=1, NUCL）		
	AKDLK(I)	ml/g	湖沼中の懸濁物質に対する分配係数
	AKDSD1(I)	ml/g	湖底堆積土壌に対する分配係数
	dummy	―	ダミー
	DFSED1(I)	m^2/y	湖底堆積土壌における核種の拡散係数
27	WFI4R2	m^3/y	下流河川への地下水流入量
	WFFWR2	m^3	下流河川の容量
	WFR2S1	m^3/y	下流河川から沿岸海洋への移行水量
28	WFI5S1	m^3/y	沿岸海洋への地下水流入量
	WFFWS1	m^3	沿岸海洋の容量
	WFS1S2	m^3/y	沿岸海洋から外洋への移行水量
29	ARS1	m^2	沿岸海洋の面積
	DHS1	m	沿岸海洋の平均深さ
	DPSED2	m	沿岸海底堆積土壌の有効深さ
	RHOS1	kg/m^3	沿岸海底堆積土壌の真密度
	POROS1	―	沿岸海底堆積土壌の間隙率
	HYDS1	―	沿岸海洋の含水率
	HYDSSS1	―	沿岸海底堆積土壌の含水率
30	AS1SS	kg/m^3	沿岸海洋水中の懸濁物質の濃度
	RTS1SS	$kg/y\ m^2$	沿岸海洋水中の単位面積あたりの沈殿速度
31	NUCL＞0 のとき、この Card は、NUCL 回繰り返す（I=1, NUCL）		
	AKDS1(I)	ml/g	沿岸海洋中の懸濁物質に対する分配係数
	AKDSD2(I)	ml/g	沿岸海底堆積土壌に対する分配係数
	dummy	―	ダミー
	DFSED2(I)	m^2/y	沿岸海底堆積土壌における核種の拡散係数

（つづく）

TableA4-1　CMWS モジュール（地下水移行シナリオ線量評価モデル）の入力ファイル仕様(5/13)

Card	入力変数	単位	内容
32	この Card は、3 回繰り返す（I=1： 水田、I=2： 畑地、I=3： 牧草地）		
	RHOAS(I)	kg/m^3	農耕土壌の真密度
	POROAS(I)	―	農耕土壌の間隙率
	DEPAS(I)	m	農耕地の有効深さ
	AREAS(I)	m^2	農耕地面積
	HYDAS(I)	―	農耕土壌の含水率
	SRECAS(I)	―	農耕土壌の残留係数
	FLAGAS(I)	―	土壌中濃度の算出方法選択フラグ = 0： 土壌コンパートメントモデルにより土壌中濃度を計算 = 1： 土壌中濃度を、上流河川水中の核種濃度と分配平衡にあるとして、土壌の分配係数（Card 36）から計算 = 2： 土壌中濃度を、井戸水中の核種濃度と分配平衡にあるとして、土壌の分配係数（Card 36）から計算
33	NUCL＞0 のときこの Card は、NUCL 回繰り返す（I=1, NUCL）		
	AKAS1(I)	ml/g	水田土壌の分配係数
	AKAS2(I)	ml/g	畑地土壌の分配係数
	AKAS3(I)	ml/g	牧草地土壌の分配係数
	AKAS4(I)	ml/g	深部土壌の分配係数
	AKAS5(I)	ml/g	海岸砂の分配係数
34	PRAIN	mm/y	降水量
	PEVAP	mm/y	蒸発散量
	PPRUN	―	表面流出係数
Card 35 および 36 は、セットで 3 回繰り返す（I=1：湖底、I=2：沿岸海底、I=3：上流河床）			
35	RDREDG(I)	―	非汚染土壌の混合割合
36	NUCL＞0 のとき入力		
	REMDREDG(I,N) N = 1, NUCL	―	土壌の再利用に伴う核種の除去割合
37	RHODS	kg/m^3	深部土壌の真密度
	PORODS	―	深部土壌の間隙率
	DEPDS	m	深部土壌の有効深さ
	SWSRDS	―	深部土壌の含水率
38	NUCL＞0 のとき入力		
	PD(I) I = 1, NUCL	y	核種の半減期
39	PIPT	m^3/m^2･y	水田の単位面積あたりの灌漑水量
	PICR	m^3/m^2･y	畑地の単位面積あたりの灌漑水量
	PIVT	m^3/m^2･y	牧草地の単位面積あたりの灌漑水量
40	この Card は、3 回繰り返す（J = 1, 3）		
	PDPT(J)	kg/m^2	水田における農作物 J（穀物 1～3）の栽培密度
	PDCR(J)	kg/m^2	畑地における農作物 J（野菜 1～3）の栽培密度
	PDVT(J)	kg/m^2	牧草地における農作物 J（牧草 1～3）の栽培密度

（つづく）

TableA4-1　CMWS モジュール（地下水移行シナリオ線量評価モデル）の入力ファイル仕様(6/13)

Card	入力変数	単位	内容
NUCL＞0 のとき、Card 41～44 は、NUCL 回繰り返す（I = 1, NUCL）			
41	この Card は、3 回繰り返す（J=1：穀物、J=2：野菜、J=3：牧草）		
	dummy	―	ダミー
	（FLAG_WE=0）のとき除去速度を、（FLAG_WE=1）のとき除去半減期を入力する		
	WEATH(I,J)	1/day	降雨による核種の除去速度
	WEATH2(I,J)	day	降雨による核種の除去半減期
42	この Card は、3 回繰り返す（J=1, 3）		
	PPPT(I,J)	―	灌漑水から穀物 J への沈着割合
	PPCR(I,J)	―	灌漑水から野菜 J への沈着割合
	PPVT(I,J)	―	灌漑水から牧草 J への沈着割合
43	この Card は、3 回繰り返す（K=1：穀物、K=2：野菜、K=3：牧草）		
	TRNSL (I, J＋(K−1)*3), J = 1, 3	―	核種の沈着部位から穀物（野菜、牧草）J の可食部への移行割合
44	この Card は、3 回繰り返す（J=1, 3）		
	CFPT(I, J)	―	土壌から穀物可食部への移行割合
	CFCR(I, J)	―	土壌から野菜可食部への移行割合
	CFVT(I, J)	―	土壌から牧草可食部への移行割合
45	この Card は、3 回繰り返す（I=1： 水田、J = 1, 3）		
	GRWTH(I,J)	day	穀物の灌漑期間
	GRWTH2(I,J)	day/y	穀物の生育期間
	dummy	―	ダミー
	この Card は、3 回繰り返す（I=2： 畑地、J = 1, 3）		
	GRWTH(I,J)	day	野菜の灌漑期間
	GRWTH2(I,J)	day/y	野菜の生育期間
	CNSUM(I,J)	day	野菜の生産から消費までの期間（ダミー）
	この Card は、3 回繰り返す（I=3： 牧草地、J = 1, 3）		
	GRWTH(I,J)	day	牧草の灌漑期間
	GRWTH2(I,J)	day/y	牧草の生育期間
	CNSUM(I,J)	day	牧草の生産から消費までの期間（ダミー）
46	WFIWCD	m^3/y	家畜の井戸水摂取量
	WFTWCD	m^3/y	家畜の灌漑水摂取量
47	NUCL＞0 のときこの Card は、NUCL 回繰り返す（I=1, NUCL）		
	FFBEEF(I)	day/kg	牛肉への移行係数
	FFPORK(I)	day/kg	豚肉への移行係数
	FFPOTY(I)	day/kg	鶏肉への移行係数
	FFEG(I)	day/kg	卵への移行係数
	FFMK(I)	day/liter	ミルクへの移行係数
48	RFBEEF	kg/y	肉牛の飼料摂取量
	RFPORK	kg/y	豚の飼料摂取量
	RFEG	kg/y	鶏の飼料摂取量
	RFMK	kg/y	乳牛の飼料摂取量
49	PIBEEF	m^3/y	肉牛の飼育水摂取量
	PIPORK	m^3/y	豚の飼育水摂取量
	PIEG	m^3/y	鶏の飼育水摂取量
	PIMK	m^3/y	乳牛の飼育水摂取量

（つづく）

TableA4-1　CMWS モジュール（地下水移行シナリオ線量評価モデル）の入力ファイル仕様(7/13)

Card	入力変数	単位	内容
50	RDBEEF(I) I = 1, 9	―	肉牛の飼料割合（I=1,3： 穀物、I=4,6： 野菜、I=7,9： 牧草）
51	RDPORK(I) I = 1, 9	―	豚の飼料割合（I=1,3： 穀物、I=4,6： 野菜、I=7,9： 牧草）
52	RDEG(I) I = 1, 9	―	鶏の飼料割合（I=1,3： 穀物、I=4,6： 野菜、I=7,9： 牧草）
53	RDMK(I) I = 1, 9	―	乳牛の飼料割合（I=1,3： 穀物、I=4,6： 野菜、I=7,9： 牧草）
54	NUCL＞0 のときこの Card は、NUCL 回繰り返す（I=1, NUCL）		
	TFFW(I, 1)	liter/kg	淡水産物 1（魚類）の濃縮係数
	TFFW(I, 2)	liter/kg	淡水産物 2（軟体動物）の濃縮係数
	TFSW(I, 1)	liter/kg	海産物 1（魚類）の濃縮係数
	TFSW(I, 2)	liter/kg	海産物 2（軟体動物）の濃縮係数
	TFSW(I, 3)	liter/kg	海産物 3（藻類）の濃縮係数
55	NUCL＞0 のときこの Card は、NUCL 回繰り返す（I=1, NUCL）		
	RMTW(I) I = 1, NUCL	―	飲料水の浄化装置による核種の除去割合
56	JHTW	m^3/y	飲料水の摂取量
	JHBEEF	kg/y	牛肉の摂取量
	JHPORK	kg/y	豚肉の摂取量
	JHPOTY	kg/y	鶏肉の摂取量
	JHEG	kg/y	卵の摂取量
	JHMK	m^3/y	ミルクの摂取量
57	JHCR(J), J = 1, 3	kg/y	穀物の摂取量（J： マテリアル番号）
58	JHVT(J), J = 1, 3	kg/y	野菜の摂取量（J： マテリアル番号）
59	このカードは、4 回繰り返す（I=1: 上流河川、I=2: 湖沼、I=3:下流河川、I=4:井戸水生育水）		
	JHFPFISH(I)	kg/y	淡水産物 1（魚類）の摂取量
	JHFPMOL(I)	kg/y	淡水産物 2（軟体動物）の摂取量
60	JHFSFISH	kg/y	海産物 1（魚類）の摂取量
	JHFSMOL	kg/y	海産物 2（軟体動物）の摂取量
	JHFSWEED	kg/y	海産物 3（藻類）の摂取量
61	PWTW(I) I = 1, 3	m^3/y	深部土壌から、1:上流河川、2:湖沼、3:下流河川への移行水量
62	FMSLD(I), I=1,7	g/m^3	空気中ダスト濃度 （I=1：水田、I=2：畑地、I=3：牧草地、I=4：海岸、I=5：上流河床浚渫土壌、I=6：湖底浚渫土壌、I=7：沿岸海底浚渫土壌）
63	VENT(I), I=1, 7	m^3/h	呼吸量 （I=1：水田、I=2：畑地、I=3：牧草地、I=4：海岸、I=5：上流河床浚渫土壌、I=6：湖底浚渫土壌、I=7：沿岸海底浚渫土壌）
64	WORKH(I), I=1, 7	h/y	年間作業時間 （I=1：水田、I=2：畑地、I=3：牧草地、I=4：海岸、I=5：上流河床浚渫土壌、I=6：湖底浚渫土壌、I=7：沿岸海底浚渫土壌）
65	NUCL＞0 のとき、NUCL 回繰り返す（N=1, NUCL）		
	SHLDF(I,N), I=1, 7	―	遮へい係数 （I=1：水田、I=2：畑地、I=3：牧草地、I=4：海岸、I=5：上流河床浚渫土壌、I=6：湖底浚渫土壌、I=7：沿岸海底浚渫土壌）

（つづく）

TableA4-1　CMWS モジュール（地下水移行シナリオ線量評価モデル）の入力ファイル仕様(8/13)

Card	入力変数	単位	内容
67	SFTW	―	飲料水の市場係数
	SFFP	―	淡水産物の市場係数
	SFFS	―	海産物の市場係数
68	SFBEEF	―	牛肉の市場係数
	SFPORK	―	豚肉の市場係数
	SFPOTY	―	鶏肉の市場係数
	SFEG	―	卵の市場係数
	SFMK	―	ミルクの市場係数
	FLAG_MCC	―	畜産物市場係数の同一化フラグ ＝0： 各食品の市場係数を独立に設定 ＝1： 各食品を牛肉の市場係数と同じ値に設定
69	SFCR(J),J = 1, 3	―	穀物の市場係数（J： マテリアル番号）
	SFVT(J),J = 1, 3	―	野菜の市場係数（J： マテリアル番号）
	FLAG_MCV		農作物市場係数の同一化フラグ ＝0： 各食品の市場係数を独立に設定 ＝1： 各食品を米の市場係数と同じ値に設定
70	GURFP	―	淡水産物の井戸水利用率
Card 71～85 は、ラドンガス吸入被ばくを評価する場合（FL_RADON=1）に入力する。			
71	NAME_RN	―	汚染土壌中ラジウム濃度および生活水中ラドン濃度として使用する核種の名前（入力（A5）：'#####'）
72	FRAC(I), I=1, 7	―	汚染土壌における希釈率（I=1：水田、I=2：畑地、I=3：牧草地、I=4：海岸、I=5：上流河床浚渫土壌、I=6：湖底浚渫土壌、I=7：沿岸海底浚渫土壌）**（I=4：海岸の入力値は海岸土壌からのラドンガス吸入を評価していないため、ダミー、以下の Card も同様）**
73	FRAG(I), I=1, 7	―	散逸能（I=1：水田、I=2：畑地、I=3：牧草地、I=4：海岸、I=5：上流河床浚渫土壌、I=6：湖底浚渫土壌、I=7：沿岸海底浚渫土壌）
74	DIFFC(I), I=1, 7	m^2/s	汚染土壌中の実効拡散係数（I=1：水田、I=2：畑地、I=3：牧草地、I=4：海岸、I=5：上流河床浚渫土壌、I=6：湖底浚渫土壌、I=7：沿岸海底浚渫土壌）
75	DIFFNC(I), I=1, 7	m^2/s	非汚染土壌中の実効拡散係数（I=1：水田、I=2：畑地、I=3：牧草地、I=4：海岸、I=5、上流河床浚渫土壌、I=6：湖底浚渫土壌、I=7：沿岸海底浚渫土壌）
76	THICK_C(I), I=1, 7	m	汚染土壌の厚さ（I=1：水田、I=2：畑地、I=3：牧草地、I=4：海岸、I=5、上流河床浚渫土壌、I=6：湖底浚渫土壌、I=7：沿岸海底浚渫土壌）
77	THICK_NC(I), I=1, 7	m	非汚染土壌の厚さ（I=1：水田、I=2：畑地、I=3：牧草地、I=4：海岸、I=5、上流河床浚渫土壌、I=6：湖底浚渫土壌、I=7：沿岸海底浚渫土壌）
78	VENTFLR	s^{-1}	床下空間換気率
	HFLR	m	床下空間高さ
	RINVFLR	s^{-1}	床下空間から屋内へのラドン侵入率
	HIN	m	屋内空間高さ
	VENTIN	s^{-1}	屋内換気率
79	ID_WATER	―	生活水の取水元の選択フラグ（＝0： 井戸水、＝1： 上流河川）
	LIFEWTR	m^3/h	生活水の使用率
	GASIFIC	―	ガス化率
	VOLUME	m^3	居住空間体積
	IFLAG_LW	―	生活水から散逸するラドンガスによる被ばく線量の算出に使用する居住係数、年間被ばく時間の選択フラグ（選択した土壌に関する Card 83 の居住係数、Card 84 の年間被ばく時間を用いる） （=1：水田、=2：畑地、=3：牧草地、=4：海岸、=5、上流河床浚渫土壌、=6：湖底浚渫土壌、=7：沿岸海底浚渫土壌）

（つづく）

TableA4-1　CMWS モジュール（地下水移行シナリオ線量評価モデル）の入力ファイル仕様(9/13)

Card	入力変数	単位	内容
80	MODEL_OUT	―	屋外ラドンガス濃度を求めるモデル選択フラグ = 0 : ボックスモデル = 1 : パフモデル
	HEVAL	m	評価高さ ボックスモデル ： 評価領域の最大高さ パフモデル　　： 鉛直方向の評価位置
	WIND	m/s	風速
	LENSOIL	m	風向方向の土壌長さ
81	Card81 は、パフモデル（MODEL_OUT =1）のとき入力する		
	WIDTH_SOIL	m	風向方向に垂直な方向の土壌幅
	NUM_LEN	―	風向方向土壌長さのメッシュ分割数
	NUM_WIDTH	―	風向鉛直方向土壌幅のメッシュ分割数
	INDEX_TUR	―	ターナーの拡散パラメータ算出式の選択フラグ = 0 : 秒単位式 = 1 : 時間単位式
	ISTAB	―	ターナーの大気安定度 = 1 : 強不安定、 = 2 : 不安定、 = 3 : やや不安定 = 4 : 中立、 = 5 : やや安定、 = 6 : 安定、 = 7 : 強安定
	X_MIN	m	評価地点の範囲の最小下流地点
	X_MAX	m	評価地点の範囲の最大下流地点
	NUM_X	―	評価地点の範囲の分割数 X_MIN, X_MAX の範囲を NUM_X 分割した NUM_X+1 点を評価地点として、この地点での最大濃度を屋外ラドン濃度とする。= 0 ： のとき、X_MIN = X_MAX でなければならない。
	PUFF_INT	s	パフの放出時間間隔
	NUM_ERR	―	パフモデルの計算打ち切り幅の設定 = 0 : 10^{-2},　= 1 : 10^{-3},　= 2 : 10^{-4},　= 3 : 10^{-5}
82	EQUILIN	―	屋内の平衡ファクター
	EQUILOUT	―	屋外の平衡ファクター
	CONV	Sv m^3 /Bq/ h	ラドンガス吸入に関する線量換算係数
	DECAY	s^{-1}	Rn-222 の崩壊定数
83	RESIDOUT(I), I=1, 7	―	屋外居住係数（屋内居住係数 = 1.0 ― RESIDOUT） （I=1：水田、I=2：畑地、I=3：牧草地、I=4：海岸、I=5：上流河床浚渫土壌、I=6：湖底浚渫土壌、I=7：沿岸海底浚渫土壌）
84	TIMERN(I), I=1, 7	h/y	年間被ばく時間 （I=1：水田、I=2：畑地、I=3：牧草地、I=4：海岸、I=5：上流河床浚渫土壌、I=6：湖底浚渫土壌、I=7：沿岸海底浚渫土壌）
85	URRADONRHO(I), I=1,3	kg/m^3	浚渫土壌の真密度 （I=1：上流河床浚渫土壌、I=2：湖底浚渫土壌、I=3：沿岸海底浚渫土壌）
86	NUCL＞0 のときこの Card は、NUCL 回繰り返す（I=1, NUCL）		
	DFIG(I)	Sv/Bq	経口摂取による内部被ばく線量換算係数
	DFIH(I)	Sv/Bq	吸入摂取による内部被ばく線量換算係数
	DFAS(I)	μSv/h per Bq/g	外部被ばく線量換算係数
87	PRMNFUN	―	グリーン関数パラメータ 1（通常 0）
	PRMNSIG	―	グリーン関数パラメータ 2（通常 6）
	PRMNMAX	―	グリーン関数パラメータ 3（通常 6）
	PRMEPS	―	グリーン関数パラメータ 4（通常 1.0E-10）

（つづく）

TableA4-1　CMWS モジュール（地下水移行シナリオ線量評価モデル）の入力ファイル仕様(10/13)

Card	入力変数	単位	内容
Card 88～105 は、表面水系における作業に関する 5 経路を評価するときに入力 1 水面作業における外部被ばく---------- ISELSEA124(1) 2 遊泳における外部被ばく---------- ISELSEA124(2) 3 河川岸（海岸）土壌からの直接線による外部被ばく---------- ISELSEA35 4 漁網からの直接線による外部被ばく---------- ISELSEA124(3) 5 河川岸（海岸）土壌の再浮遊砂吸入による内部被ばく------ ISELSEA35			
88	ATTENFLAG	―	光子の質量減弱係数およびエネルギー吸収係数の算出方法設定フラグ =0 : NBS に基づく方法 =1 : NUREG/CR-5740 に基づく方法（ATTMAT.DAT を使用）
	BFFLAG	―	ビルドアップファクターの算出方法設定フラグ =0 : 指針集に基づく方法 =1 : G-P 法（BFSET.DAT と DOSECON2.LIB を使用）
	MEANFLAG	―	平均エネルギー設定フラグ =0 : 0.5 [MeV] 一定値（実効エネルギーは JAERI-Data/Code 2001-004 からの計算値）（REV_IC38.YLD を使用） =1 : JAERI-Data/Code 2001-004 からの計算値（REV_IC38.YLD を使用） =2 : ORNL-5054/R1 の値（HLTERG93.DAT を使用）
89	ISELSEA124(I), I=1,3	―	線源濃度選択 1: 井戸水、2: 上流河川、3: 湖沼、4: 下流河川、5: 沿岸海洋
90	ISELSEA35	―	線源濃度選択 1: 水田、2: 畑地、3: 牧草地、4: 海岸
91	TOSEAG(I), I=1,5	h/y	年間実作業時間（年間被ばく時間） (I=1:水面作業、I=2:遊泳、I=3: 河川岸土壌(直接線)、I=4:漁網、 I=5:河川岸土壌(再浮遊砂吸入))
92	TI_SEA(I), I=1,5	y	被ばくの減衰期間（＝0 とした場合、減衰を考慮しない） (I=1:水面作業、I=2:遊泳、I=3: 河川岸土壌(直接線)、I=4:漁網、 I=5:河川岸土壌(再浮遊砂吸入))
Card 93～98 は、各パラメータについて（I=1: 河川域上、I=2:河川岸(上層)、I=3: 河川岸(下層)、I=4:漁網操作）について入力する			
93	ALPHA(I),I=1,4	cm^{-1}	浸透係数
94	FDEP(I) ,I=1,4	cm	鉛直方向の核種分布の中心
95	DEP1(I) ,I=1,4	cm	深さ Z に関する積分範囲（下限）
96	DEP2(I) ,I=1,4	cm	深さ Z に関する積分範囲（上限） （下限値と同じ値にしたとき、半無限積分になる）
97	RDIRC1(I) ,I=1,4	cm	半径 ρ に関する積分範囲（下限）
98	RDIRC2(I) ,I=1,4	cm	半径 ρ に関する積分範囲（上限） （下限値と同じ値にしたとき、半無限積分になる）
99	HDIS(I) ,I=1,3	cm	線源表面から被ばく点までの距離（直接線外部被ばく計算） (I=1:河川水面、I=2:河川岸砂面、I=3:漁網)
100	RHO(1)	g/cm^3	空気の密度
	RHO(2)	g/cm^3	水の密度
	RHO(4)	g/cm^3	漁網の密度
101	NNET	―	漁網への移行割合を Card 102 および 103 から入力する場合の元素数
Card 102 および Card 103 は、NNET＞0 の場合に入力する			
102	ELEM_NET(I) I=1,|NNET|	―	漁網への移行割合をカード入力する元素名（'(A2)'）
103	TF_NET(I) I=1,|NNET+1|	Bq/kg per Bq/m^3	漁網への移行割合 （Card 102 で指定しない元素には、TF_NET(|NNET+1|)が使用される）
104	SHOREDUST	g/m^3	河川岸（海岸）作業時の空気中ダスト濃度
	SHOREVOLA	m^3/h	河川岸（海岸）作業者の呼吸量
105	RHO_SHORE	g/cm^3	河川岸（海岸）土壌の真密度

（つづく）

TableA4-1　CMWS モジュール（地下水移行シナリオ線量評価モデル）の入力ファイル仕様(11/13)

Card	入力変数	単位	内容
Card 106～109 は、塩に関する 2 経路を評価するときに入力 1 塩摂取による内部被ばく 2 風送塩吸入による内部被ばく			
106	ISELSALT	―	被ばく線源選択 1: 井戸水、2: 沿岸海洋
107	ANACL	kg/m^3	海水中の塩化ナトリウム濃度
	DIETNACL	kg/y	食塩の年間摂取量
108	WATERAIR	m^3-water pre m^3-air	空気中に含まれる海水の量
	VOLANACL	m^3/h	海岸付近の居住者の呼吸量
	TIMENACL	h/y	海岸付近の居住者の年間居住時間
109	TI_SALT(I), I=1,2	y	被ばくの減衰期間（＝0 とした場合、減衰を考慮しない） (I=1: 塩摂取、I=2: 風送塩吸入)
Card110-111 は、FLAG_SEA=1 かつ NUCL＞0 のとき NUCL 回繰り返す(I=1,NUCL)			
110	NUCDAU(I)	―	対象核種の子孫核種数
111	NUCDAU(I)＞0 のとき、NUCDAU(I) 回繰り返す		
	NUCNDAU(I, J)	―	対象核種の子孫核種名（A6、引用符’を使用）
	RATDAU(I, J)		子孫核種の分岐比

（つづく）

TableA4-1　CMWS モジュール（地下水移行シナリオ線量評価モデル）の入力ファイル仕様(12/13)

Card	入力変数	単位	内容
112	被ばく経路ごとに出力したい項目の出力フラグ番号を続けて入力する。		
	OUTFLAG(1)	ー	外部被ばく線量の出力フラグ－0 : 出力なし、1 : 水田、畑地、牧草地、海岸、上流河床浚渫土壌、湖底浚渫土壌、沿岸海底浚渫土壌の合計、2 : 水田、3 : 畑地、4 : 牧草地、5 : 海岸、6 : 上流河床浚渫土壌、7 : 湖底浚渫土壌、8 : 沿岸海底浚渫土壌
	OUTFLAG(2)	ー	吸入被ばく線量の出力フラグ－0 : 出力なし、1 : 水田、畑地、牧草地、海岸、上流河床浚渫土壌、湖底浚渫土壌、沿岸海底浚渫土壌の合計、2 : 水田、3 : 畑地、4 : 牧草地、5 : 海岸、6 : 上流河床浚渫土壌、7 : 湖底浚渫土壌、8 : 沿岸海底浚渫土壌
	OUTFLAG(3)	ー	飲料水摂取による被ばく線量の出力フラグ 0 : 出力なし、1 : 飲料水
	OUTFLAG(4)	ー	農作物摂取による被ばく線量の出力フラグ 0 : 出力なし、1 :(穀物・野菜の合計)、2 :(穀物の合計)、 3 :(野菜の合計)、4 : 穀物 1、5 : 穀物 2、6 : 穀物 3、 7 : 野菜 1、8 : 野菜 2、9 : 野菜 3
	OUTFLAG(5)	ー	畜産物摂取(飼料経由)による被ばく線量の出力フラグ 0 : 出力なし、1 :(卵・ミルク・牛肉・豚肉・鶏肉の合計)、 2 : 卵、3 : ミルク、4 : 牛肉、5 : 豚肉、6 : 鶏肉
	OUTFLAG(6)	ー	畜産物摂取(飼育水経由)による被ばく線量の出力フラグ 0 : 出力なし、1 :(卵・ミルク・牛肉・豚肉・鶏肉の合計)、 2 : 卵、3 : ミルク、4 : 牛肉、5 : 豚肉、6 : 鶏肉
	OUTFLAG(7)	ー	畜産物摂取(飼料経由+飼育水経由)による被ばく線量の出力フラグ 0 : 出力なし、1 :(卵・ミルク・牛肉・豚肉・鶏肉の合計)、 2 : 卵、3 : ミルク、4 : 牛肉、5 : 豚肉、6 : 鶏肉
	OUTFLAG(8)	ー	淡水産物摂取(井戸水生育水)による被ばく線量の出力フラグ 0 : 出力なし、1 :(魚類・軟体動物の合計)、2 : 魚類、3 : 軟体動物
	OUTFLAG(9)	ー	淡水産物摂取(上流河川)による被ばく線量の出力フラグ 0 : 出力なし、1 :(魚類・軟体動物の合計)、2 : 魚類、3 : 軟体動物
	OUTFLAG(10)	ー	淡水産物摂取(湖沼)による被ばく線量の出力フラグ 0 : 出力なし、1 :(魚類・軟体動物の合計)、2 : 魚類、3 : 軟体動物
	OUTFLAG(11)	ー	淡水産物摂取(下流河川)による被ばく線量の出力フラグ 0 : 出力なし、1 :(魚類・軟体動物の合計)、2 : 魚類、3 : 軟体動物
	OUTFLAG(12)	ー	海洋水産物摂取による被ばく線量の出力フラグ 0 : 出力なし、1 :(魚類・軟体動物・海草の合計)、 2 : 魚類、3 : 軟体動物、4 : 海草
	OUTFLAG(13)	ー	ラドンガス吸入による被ばく線量の出力フラグ 0 : 出力なし、1 :(水田、畑地、牧草地、生活水の合計)、 2 :(水田、畑地、牧草地の合計)、3 : 水田、4 : 畑地、5 : 牧草地、 6 : 生活水
	OUTFLAG(14)	ー	上流河床浚渫土壌における農作物摂取による被ばく線量の出力フラグ－0 : 出力なし、1 :(穀物・野菜の合計)、2 :(穀物の合計)、3 :(野菜の合計)、4 : 穀物1、5 : 穀物 2、6 : 穀物 3、7 : 野菜 1、8 : 野菜 2、9 : 野菜 3
	OUTFLAG(15)	ー	上流河床浚渫土壌における畜産物摂取(飼料経由)による被ばく線量の出力フラグ－0 : 出力なし、1 : (卵・ミルク・牛肉・豚肉・鶏肉の合計)、2 : 卵、3 : ミルク、4 : 牛肉、5 : 豚肉、6 : 鶏肉
	OUTFLAG(16)	ー	上流河床浚渫土壌におけるラドンガス吸入被ばく線量の出力フラグ 0 : 出力なし、2 : (水田、畑地、牧草地の合計) 3 : 水田、4 : 畑地、5 : 牧草地

（つづく）

TableA4-1　CMWS モジュール（地下水移行シナリオ線量評価モデル）の入力ファイル仕様(13/13)

Card	入力変数	単位	内容
112 （続き）	OUTFLAG(17)	―	河川水面活動および河川岸活動、漁網に関する 5 経路の出力フラグ 0 : 出力なし、1 :（水面作業、遊泳、河川岸土壌(直接線)、漁網、河川岸土壌(再浮遊砂吸入)の合計）2 : 水面作業、3: 遊泳、4 : 河川岸土壌(直接線)、5: 漁網、6: 河川岸土壌(再浮遊砂吸入）
	OUTFLAG(18)	―	海洋の塩に関する 2 経路の出力フラグ 0 : 出力なし、1 :（塩摂取、風送塩吸入の合計）:2 塩摂取、3: 風送塩吸入
113	NUMSFL	―	各被ばく経路の出力フラグで設定した出力項目の線量を被ばく経路間で合計処理する回数（NUMSFL 数分の合計線量を出力する）
114	IDSFL(I), I=1, NUMSFL	―	各合計処理の対象とする被ばく経路数
115	Card 115 は NUMSFL 回繰り返す（I=1, NUMSFL）。		
	ISUMFLAG(I,J), J=1, IDSFL(I)	―	合計処理したい被ばく線量の番号 線量の番号は、Card 112 の 「(OUTFLAG 配列要素番号)×10 + (OUTFLAG の項目番号)」 とする。

TableA4-2　DOSE モジュール（跡地利用シナリオ線量評価モデル）の入力ファイル仕様(1/7)

カード番号	入力変数	単位	内容
1	INO	―	線量を計算する被ばく経路数
	NNUC	―	評価核種数（NNUC＜0のときは、上流側モデルの計算結果に従う）
	NTIME	―	出力時間刻みデータ数（NNUC＜0のときは、上流側モデルの計算結果に従う）
	IFILF	―	確率論的の場合のテキスト出力および入力情報出力フラグ IFILFで設定したサンプル番号の計算結果および入力情報を出力
2	IOP(I) I = 1, INO	―	出力する項目の選択フラグ ＝1：直接線による外部被ばく ＝2：粉塵の吸入による内部被ばく ＝3：トリチウムの吸入による内部被ばく ＝4：農作物摂取による内部被ばく ＝5：畜産物摂取による内部被ばく ＝6：ラドンガスの吸入による内部被ばく ＝7：皮膚に堆積したダストによる皮膚被ばく
3	T_W0	m	処分施設厚さ（初期）
	T_C0	m	覆土層厚さ（初期）
	T_U	m	掘削深さ
	T_F	m	客土厚さ
	V(0)	m/y	隆起・侵食速度（初期値）
	DIL	―	掘削による混合割合（Card3のFLAGDIL参照）
	FLAGDIL	―	掘削による混合割合選択フラグ ＝0：Card3のDILを使用 ＝1：T_W0、T_C0、T_UおよびVより計算される評価時点（出力時間）に対する値を使用（「2.4.2　跡地利用シナリオ線量評価モデル」の2-106式参照）
	FLAGBACK	―	埋め戻し選択フラグ ＝0：掘削混合土を埋め戻さない（処分施設のみが線源候補となる） ＝1：掘削混合土を埋め戻す（処分施設および混合層が線源候補となる）
	NCVR	m	隆起・侵食速度の変化条件の設定 NCVR＞0：変化する深度数を入力 NCVR＜0：変化する時間数を入力
Card 4からCard 6は、モデルの整合性を図るため、SRCDモジュール（跡地利用評価用ソースタームモデル）と同一の設定にする必要がある。			
4	Card 4は、|NCVR|行入力する（I=1、|NCVR|）		
	TCVR(I) または TIMCVR(I)	m または y	NCVR≧0：隆起・侵食速度が変化する処分施設底面の深度（TCVR）を入力 NCVR＜0：隆起・侵食速度が変化する時間（TIMCVR）を入力
	V(I)	m/y	変化後の隆起・侵食速度

（つづく）

TableA4-2　DOSE モジュール（跡地利用シナリオ線量評価モデル）の入力ファイル仕様(2/7)

カード番号	入力変数	単位	内容
5	FLAGDEP	―	Card 5で入力するパラメータの内、処分施設に係るパラメータ間の整合性を図るため、計算値とするパラメータの選択 ＝0：T_W0, L_W, W_Wをそのまま使用 ＝1：L_W＝W／(EFFDEP*W_W*T_W0) ＝2：W_W＝W／(EFFDEP*L_W*T_W0) ＝3：T_W0＝W／(EFFDEP*L_W*W_W) ＝4：L_W＝W_W＝SQRT(W／(EFFDEP*T_W0)) 以下の入力値は上式の左辺にある場合ダミー値となる。ただし、FLAGDEP＝0の場合、EFFDEPの入力値は上限値で、計算値が上限値を超えた時は入力値とする。
	EFFDEP	―	廃棄物埋設効率
	W	m^3	廃棄物の総量
	L_W	m	処分施設の長さ（処分施設下端までの移行距離）
	W_W	m	処分施設の幅（地下水流方向に対する垂直方法の長さ）
	RHO_W(0)	kg/m^3	処分施設の密度初期値
	NC_RHO	―	処分施設の密度の変化条件の設定 NC_RHO＞0：変化する深度数を入力 NC_RHO＜0：変化する時間数を入力
6	Card 6は、| NC_RHO |行入力する（I＝1, | NC_RHO |）		
	TC(I)または TIMC（I）	m または y	NC_RHO＞0：処分施設の密度が変化する深度（TC）を入力 NC_RHO＜0：浸透水量等が変化する時間（TIMC）を入力
	RHO_W(I)	kg/m^3	変化後の処分施設の密度
Card 7は、NNUC＞0のとき、NNUC回繰り返して入力する			
7	NUCN	―	核種名（A6）
	HLF	y	半減期
	NDAU	―	線量換算係数を足し合わせて影響を考慮する子孫核種数
Card 8は、NDAU＞0のとき入力する（DNUCN, BRANCH(I), I＝1, NDAU）			
8	DNUCN	―	核種名（A6）
	BRANCH	―	分岐比
Card 9は、NNUC＞0の場合に、NTIME回繰り返して入力する			
9	TM	y	評価時点
	CC(I), I＝1, NNUC	Bq/g	評価時点における処分施設の土壌中核種濃度
10	FNDCFEXT	―	外部被ばく線量換算係数ライブラリファイル名 （NNUC＞0で、外部被ばく経路を評価する（IOPに1がある）場合入力する）
11	FNDCFINT	―	内部被ばく線量換算係数ライブラリファイル名 （NNUC＞0で、内部被ばく経路を評価する（IOPに2, 3, 4 ,5がある）場合入力する）
12	FNTRANS	―	跡地利用シナリオ線量評価モデル用核種移行パラメータライブラリファイル名 （NNUC＞0で、経口摂取被ばく経路を評価する（IOPに4, 5がある）場合入力する）
13	FNDCFSKIN	―	皮膚被ばく線量換算係数ライブラリファイル名 （NNUC＞0で、皮膚被ばく経路を評価する（IOPに7がある）場合入力する）

TableA4-2　DOSE モジュール（跡地利用シナリオ線量評価モデル）の入力ファイル仕様(3/7)

カード番号	入力変数	単位	内容
Card 14 以降は、Card 2のIOPの並びに対応した各入力項目を順次入力する			
Card 14 ～ 15 は外部被ばく(IOP=1)のとき入力			
14	IMD	―	被ばく条件数
	T	h/y	年間被ばく時間
	DCFFLAG	―	外部被ばく線量換算係数の選択フラグ ＞0:外部被ばく線量換算係数ライブラリファイル内のDCFFLAG番目の値を使用する。 ＝0:外部被ばく線量換算係数ライブラリファイルを基に、線源土壌と地表面との間にある土壌の厚さに対応する値をAkimaの補間法により内挿する。
	RADCF	μSv/h per Bq/g	Ra-226の外部被ばく線量換算係数の入力または設定フラグ 決定論的解析の場合　≧0.0:入力値を使用 ＜0.0:ファイルの値を使用 確率論的解析の場合　≧0.0:入力値を使用(一定値) ＜0.0:サンプリングパラメータデータファイルの値
	T_I	y	被ばく期間中の減衰期間(＝0とした場合、減衰を考慮しない)
15	Card 15 はIMD回入力		
	TFAC	―	当該条件下の時間的存在率 常に存在するとした場合が 1.0
	SFAC	―	当該条件下の遮へい率(遮へい係数＝1.0-遮へい率) 完全に遮へいされた場合が 1.0
Card 16 ～ 17 はダストの吸入(IOP=2)のとき入力			
16	IMD	―	吸入条件数
	B	m^3/y	呼吸量
	F	g/m^3	空気中ダスト濃度
	T	h/y	年間被ばく時間
	T_I	y	被ばく期間中の減衰期間(＝0とした場合、減衰を考慮しない)
17	Card 17 はIMD回入力		
	TFAC	―	当該条件下の時間的存在率 常に存在するとした場合が 1.0
	CFAC	―	当該条件下でのダスト除去率 完全にダストが除去された場合が1.0
Card 18 はトリチウムの吸入(IOP=3)のとき入力			
18	DT	s^{-1}	処分施設からの平均飛散率
	HE	m	有効高さ
	LE	m	断面方向長さ LE＝0のときは、Card 5の処分施設長さ(LENW)を使用する LE＜0のときは、Card 5の処分施設長さ(LENW)および幅(WIDW)から次式で計算する $LE = 2 * (WIDW * LENW / \pi)^{0.5}$
	U	m/s	風速
	B	m^3/y	呼吸量
	T	h/y	年間被ばく時間
	T_I	y	被ばく期間中の減衰期間(＝0とした場合、減衰を考慮しない)

(つづく)

TableA4-2　DOSE モジュール（跡地利用シナリオ線量評価モデル）の入力ファイル仕様(4/7)

カード番号	入力変数	単位	内容
Card 19～21 は、農作物摂取（IOP＝4）のとき入力			
19	IFFF	―	土壌から農作物への移行係数設定フラグ ＞0：全元素で移行係数を跡地利用シナリオ線量評価モデル用核種移行パラメータライブラリファイルから入力する場合で、ファイル内の移行係数番号を入力する ≦0：移行係数をカード入力する場合で、|IFFF|が Card 20で入力する元素数となる
	F_R	―	根からの吸収割合
	IU	―	Qの入力単位 ＝0：kg/y、＝1：g/d
	Q	（IUで設定）	農作物の摂取量 0.0の場合は農作物中核種濃度(Bq/kg)が出力される
	G	―	農作物の市場係数
	T_V	d	農作物の輸送時間
	T_I	y	被ばく期間中の減衰期間（＝0とした場合、減衰を考慮しない）
	FLAG_R	―	線源土壌選択オプション FLAG_R＝-1のとき、混合層を線源とする FLAG_R＝-2のとき、処分施設を線源とする FLAG_R＝-3のとき、混合層が存在する場合混合層を、存在しない場合処分施設を線源とする
20	Card 20 は IFFF＜0 のとき入力		
	NFF(I) I＝1, |IFFF|	―	元素名　(A2; '##')
21	Card 21 は IFFF≦0 のとき入力		
	T(I) I＝1, |IFFF|+1	―	元素 NFF(I) の土壌から農作物への移行係数 T(|IFFF|+1) には、Card 20で指定した元素以外の元素（IFFF＝0 のときは全元素）の移行係数を入力する T(I)＜0 の場合はファイル内の |T(I)|番目の値を用いる

（つづく）

TableA4-2　DOSE モジュール（跡地利用シナリオ線量評価モデル）の入力ファイル仕様(5/7)

カード番号	入力変数	単位	内容
Card 22 ～ 27 は畜産物摂取(IOP＝5)のとき入力			
22	IFFF	―	土壌から飼料への移行係数設定フラグ ＞0:全元素の移行係数を跡地利用シナリオ線量評価モデル用核種移行パラメータライブラリファイルから入力する場合で、ファイル内の移行係数番号を入力する。 ≦0:移行係数をカード入力する場合で、|IFFF|がCard 23で入力する元素数となる。
	F_R	―	根からの吸収割合
	IU	―	Q_Fの入力単位 ＝ 0:kg/y、＝ 1:kg/d
	Q_F	(IUで設定)	家畜の飼料摂取量 0.0の場合は農作物中核種濃度(Bq/kg)が出力される
	M_F	―	飼料の混合割合
	TPRI	d	飼料の輸送時間
	FLAG_R	―	線源土壌選択オプション FLAG_R＝-1のとき、混合層を線源とする FLAG_R＝-2のとき、処分施設を線源とする FLAG_R＝-3のとき、混合層が存在する場合混合層を、存在しない場合処分施設を線源とする
23	Card 23 は IFFF＜0 のとき入力		
	NFF(I) I＝1,|IFFF|	―	元素名(A2):'##'
24	Card 24 は(IFFF≦0)のとき入力		
	T(I) I＝1, |IFFF|+1	―	元素NFF(I)の土壌から飼料への移行係数 T(|IFFF|+1)には、Card 23で指定した元素以外の元素(IFFF＝0の時は全核種)の移行係数を入力する T(I)＜0の場合はファイル内の|T(I)|番目の値を用いる
25	IFTF	―	飼料から畜産物への移行係数設定フラグ ＞0:全元素の移行係数を跡地利用シナリオ線量評価モデル用核種移行パラメータライブラリファイルから入力する場合で、ファイル内の移行係数番号を入力する。 ≦0:移行係数のカード入力の場合、|IFTF|がCard 26で入力する元素数となる。
	IU	―	Q_Nの入力単位 ＝0:kg/y または L/y、＝1:g/d または ml/g
	Q_N	(IUで設定)	畜産物の摂取量
	G_N	―	畜産物の市場係数
	T_FN	d	畜産物の輸送時間
	T_I	y	被ばく期間中の減衰期間(＝0とした場合、減衰を考慮しない)
26	Card 26 は(IFTF＜0)のとき入力		
	NFF(I) I＝1,|IFTF|	―	元素名(A2):'##'
27	Card 27 は(IFTF≦0)のとき入力		
	TN(I) I＝1,|IFTF|+1	d/kg または d/L	元素NFF(I)の飼料から畜産物への移行係数 TN(|IFFF|+1)には、Card 26で指定した元素以外の元素(IFFF＝0の時は全核種)の移行係数を入力する TN(I)＜0の場合はファイル内の|TN(I)|番目の値を用いる

（つづく）

TableA4-2　DOSE モジュール（跡地利用シナリオ線量評価モデル）の入力ファイル仕様(6/7)

カード番号	入力変数	単位	内容
Card 28 ～ 33 はラドンガスによる被ばく(IOP＝6)のとき入力			
28	NAMCRA	―	土壌中ラジウム濃度と同等(放射平衡)なものとして使用する核種名(入力(A5):'#####')
	NLAYER	―	客土の上にさらに考慮する非汚染土壌の層数(0～3 層)
	F_W	―	混合割合(当経路のみに有効な希釈係数)
	F	―	散逸能
	RHO_W	kg/m^3	処分施設の密度 RHO_W＜0 のときは、Card 5 および 6 から求められる評価時点の RHOW を使用する
	D_W	m^2/s	処分施設の実効拡散係数
	RHO_C	kg/m^3	覆土層(混合層)の密度
	D_C	m^2/s	覆土層(混合層)の実効拡散係数
	D_F	m^2/s	客土層の実効拡散係数(現在ダミー)
Card 29 は、NLAYER＞0 のときに NLAYER 回入力する			
29	T_G(I)	m	客土の上に更に考慮する非汚染土壌の厚さ
	D_G(I)	m^2/s	客土の上に更に考慮する非汚染土壌の実効拡散係数
30	LAMD_C	s^{-1}	床下空間換気率
	H_C	m	床下空間高さ
	I	s^{-1}	床下空間から屋内へのラドン侵入率
	H_IN	m	屋内空間高さ
	LAMD_IN	s^{-1}	屋内換気率
31	MODEL_OUT	―	屋外ラドンガス濃度モデル選択フラグ ＝0:ボックスモデル ＝1:パフモデル1 単位放出率1.0 (Bq/s)に対する屋外ラドン濃度を1度だけ計算し、この値から各計算時間の放出率に対する屋外ラドン濃度を計算する ＝2:パフモデル2 各計算時間毎にパフモデルによる屋外ラドン濃度を計算する
	H	m	評価高さ ボックスモデルの場合は、評価領域の最大高さ パフモデルの場合は、濃度算出地点の高さ
	U	m/s	風速
	A	m	断面方向長さ(発生源長さ) ＞0.0:入力値を使用 ＜0.0:Card 5のLEN_Wを使用 ＝0.0:Card 5のLEN_WおよびWID_Wより次式で計算(パフモデルの場合、使用不可) $A＝2＊(LEN_W*WID_W／\pi)^{0.5}$

（つづく）

TableA4-2　DOSE モジュール（跡地利用シナリオ線量評価モデル）の入力ファイル仕様(7/7)

カード番号	入力変数	単位	内容
32	Card 32 はパフモデル（MODEL_OUT＝1 or 2）のとき入力する		
	FAC_WIDTH	m	パフモデルにおける処分場幅 ＜0.0：Card 5のWID_Wを使用
	NUM_LEN	―	断面方向長さ分割数
	NUM_WIDTH	―	処分場幅分割数
	INDEX_TUR	―	ターナーの拡散パラメータ算出式の選択フラグ ＝ 0：秒単位式、＝1：時間単位式
	ISTAB	―	大気安定度（ターナーの大気安定度（1～7）） ＝1：（A）強不安定、　＝2：（B）不安定 ＝3：（C）やや不安定、＝4：（D）中立 ＝5：（E）やや安定、　＝6：（F）安定 ＝7：（G）強安定
	X_MIN	m	評価地点の範囲の最小下流地点
	X_MAX	m	評価地点の範囲の最大下流地点
	NUM_X	―	評価地点の範囲の分割数 X_MIN～X_MAX の範囲をNUM_Xに分割したNUM_X+1点を評価地点とし、最大地点の濃度を被ばく評価用の屋外ラドン濃度とする。NUM_X＝0のとき、X_MIN＝X_MAXでなければならない。
	PUFF_INT	s	パフの放出時間間隔
	NUM_ERR	―	パフモデルの計算打ち切り幅の設定 ＝0：10^{-2}、＝1：10^{-3}、＝2：10^{-4}、＝3：10^{-5}
33	FI	―	屋内の平衡ファクタ
	FO	―	屋外の平衡ファクタ
	RR	―	屋外の居住係数（屋内の居住係数は1.0−RR）
	T	h/y	年間被ばく時間
	K	Sv per（Bq･h･m^{-3}）	線量換算係数
	T_I	y	被ばく期間中の減衰期間（＝0とした場合、減衰を考慮しない）
Card 34 は、皮膚被ばく線量（IOP＝7）を評価するときに入力			
34	F_D	―	皮膚に堆積するダストの希釈係数
	F_C	―	皮膚に堆積するダストの濃縮係数
	L_DUST	cm	皮膚に堆積したダストの厚さ
	RHO_DUST	g/cm^3	皮膚に堆積したダストの密度
	T_E	h/y	年間被ばく時間
	T_I	y	被ばく期間中の減衰期間（＝0とした場合、減衰を考慮しない）
	IDCF_SKIN	―	皮膚被ばく線量換算係数の選択フラグ ファイル内のIDCF_SKIN番目の値を使用する

Appendix-5　各サブモデルにおけるパラメータの定義文字列

LHS モジュールの標準入力ファイルである LHS.INP では、LHS モジュール内におけるユーザーの出力情報の判別のために、パラメータの変動を想定するパラメータ名称を「パラメータラベル」として入力する。さらに、個々のパラメータラベルに対し、ソースタームモデル、天然バリアモデル、生物圏モデルの各サブモデルの中で使用するパラメータとの関連付けをするため、「定義文字列」と呼ぶパラメータの識別のための文字列を入力する。

「定義文字列」は、各モジュール単位で個々のパラメータに対し定義しており、それらの一覧について、以下の TableA5-1～TableA5-9 に整理した。

定義文字列の入力では、各要素を半角のコロン「:」で接続し、空白の入らない一続きの以下の文字列を作成する。

name:ichain:id_var[:arg1[:arg2[:arg3[:arg4]]]][:c_arg]

ここで、

name　　：モジュール名

ichain　　：同一のモジュールを連続実行する場合のその順番

id_var　　：各サブモデルにおけるパラメータの変数番号（TableA5-1～TableA5-9 を参照）

arg1～arg4　　：各パラメータの整数型引数（オプション）

c_arg　　：各パラメータの文字型引数（オプション）

である。arg1～arg4 の各パラメータの整数型引数とは、そのパラメータが対象とする種類数や領域などの違いによる細分化を識別するための引数であり、c_arg の各パラメータの文字型引数とは、元素や核種の違いによる細分化を識別するためのものである。

また、定義文字列の機能として、複数の定義文字列を、前後に空白のある半角のアンパサンド「&」により連結して定義することにより、異なるパラメータに対して同一の LHS モジュールにより作成されたパラメータセットの出力結果を適用することが可能である。さらに、ichain および arg1～arg4 において、数値の代わりに半角のシャープ「#」を設定することにより、#の部分の入力が必要な全てのパラメータに対して同一の LHS モジュールにより作成されたパラメータセットの出力結果が適用される。一方、文字型引数の c_arg では、半角のアットマーク「@」により同様の機能を設定できる。その際には、各モジュールにおいて設定した元素や核種の文字情報と同一でなければならない。

TableA5-1　地下水移行評価用ソースタームモデル（CMMAIN モジュール）の定義文字列の例

No.	定義文字列の例	内容	単位	引数1	引数2	文字型引数
1	cmmain:1:1	処分場の閉鎖時間から核種漏洩の開始までの時間	y			
2	cmmain:1:2:1	パラメータ変化時間（*3）	y	時間区分番号		
3	cmmain:1:3:U234	初期量（初期インベントリ）	(iunit)			核種名
4	cmmain:1:4:1:U	廃棄体中の元素の溶解度（*1）	―	時間区分番号		元素名
5	cmmain:1:5:1:U	緩衝材中の元素の溶解度（*1）	―			
6	cmmain:1:6:1:U	廃棄体中の実効拡散係数（*1）	m^2/y			
7	cmmain:1:7:1:1:U	緩衝材中の実効拡散係数（*1）	m^2/y		1を入力	
8	cmmain:1:8:1:U	廃棄体中の分配係数（*1）	kl/kg			
9	cmmain:1:9:1:1:U	緩衝材中の分配係数（*1）	kl/kg		1を入力	
10	cmmain:1:10:1	人工バリア構成材の長さ	m	構成材番号（*2）		
11	cmmain:1:11:1	人工バリア構成材の体積	kl			
12	cmmain:1:12:1	人工バリア構成材の真密度	kg/kl			
13	cmmain:1:13:1:1	人工バリア構成材の間隙率（*1）	―	時間区分番号	構成材番号（*2）	
14	cmmain:1:14:1	流速入力方法の選択フラグにより、廃棄体中の実流速、またはダルシー流速、または透水係数（*1）	m/y			
15	cmmain:1:15:1:1	流速入力方法の選択フラグにより、緩衝材中の実流速、またはダルシー流速、または透水係数（*1）	m/y		1を入力	
16	cmmain:1:23	廃棄物量	m^3			
17	cmmain:1:24	廃棄物埋設効率	―			
18	cmmain:1:36:1	廃棄体中の動水勾配（*1）	―	時間区分番号		
19	cmmain:1:37:1:1	緩衝材中の動水勾配（*1）	―		1を入力	

(*1) 時間区分番号が0のときは各項目の初期値を、時間区分番号が1以上のときはその時間区分における初期値に対する変化比を設定する。

(*2) 0が廃棄体、1が緩衝材を示す。

(*3) 1つ前の時間区分からの時間増分（時間区分番号が1のときは0年からの増分）

TableA5-2　簡易核種浸出モデル（CFMAIN モジュール）の定義文字列の例

No.	定義文字列の例	内容	単位	文字型引数
1	cfmain:1:1:U234	初期量（初期インベントリ）	(iunit)	核種名
2	cfmain:1:2:U	処分施設からの核種の漏洩率	y^{-1}	元素名
3	cfmain:1:3:U	分配係数	ml/g	元素名
4	cfmain:1:4:U	放出係数	―	元素名
5	cfmain:1:5	処分施設の厚さ	m	
6	cfmain:1:6	処分施設の浸透水量	m/y	
7	cfmain:1:7	処分施設の間隙率	―	
8	cfmain:1:8	処分施設の嵩密度	g/cm^3	

TableA5-3　跡地利用評価用ソースタームモデル（SRCDモジュール）の定義文字列の例

No.	定義文字列の例	内容	単位	引数1	文字型引数
1	srcd:1:1:0	処分施設の密度	kg/m^3	変化番号(*)	
2	srcd:1:2:0	処分施設の間隙率	―	変化番号(*)	
3	srcd:1:3	処分施設の含水率	m		
4	srcd:1:4	廃棄物埋設効率	―		
5	srcd:1:5	廃棄物の総量	m^3		
6	srcd:1:6	処分施設の幅（処分場幅）	m		
7	srcd:1:7	処分施設の長さ（処分場長さ）	m		
8	srcd:1:8	処分施設の厚さ	m		
9	srcd:1:9	処分施設の閉鎖時間から核種漏洩の開始までの期間	y		
10	srcd:1:10	覆土厚さ（地表面から処分場上面までの厚さ）	m		
11	srcd:1:11:0	隆起浸食速度	m/y	変化番号(*)	
12	srcd:1:12:1	初期濃度に乗ぜられる汎用無次元係数	―	係数番号	
13	srcd:1:13:1	浸透水量	m/y	変化番号(*)	
14	srcd:1:14	核種漏洩面の面積	m^2		
15	srcd:1:15:0:U	分配係数	ml/g	変化番号(*)	元素名
16	srcd:1:16:0:U	放出係数	―	変化番号(*)	元素名
17	srcd:1:17	ダミー	―		
18	srcd:1:18:1	浸透水量、分配係数、放出係数、処分施設の密度、処分施設の間隙率が変化する深度	m	変化番号	
19	srcd:1:19:1	浸透水量、分配係数、放出係数、処分施設の密度、処分施設の間隙率が変化する時間	y	変化番号	
20	srcd:1:20:1	隆起浸食速度の変化する深度	m	変化番号	
21	srcd:1:21:1	隆起浸食速度の変化する時間	y	変化番号	

(*) 変化番号に 0 を設定すると初期値に対して変動値を設定する

TableA5-4　多孔質媒体近似モデル・解析解（MAINNB モジュール）の定義文字列の例

No.	定義文字列の例	内容	単位	引数1	文字型引数
1	mainnb:1:1:1	天然バリアの移行距離	m	移行経路番号	
2	mainnb:1:2:1	天然バリア中の実流速	m/y		
3	mainnb:1:3:1	天然バリア中の分散長	m		
4	mainnb:1:4:1	天然バリア中の実効拡散係数	m		
5	mainnb:1:5:1:U	天然バリア中における遅延係数	−		元素名
6	mainnb:1:6:1:U	天然バリア中における分配係数	m^3/kg		
7	mainnb:1:7	天然バリアの間隙率	−		
8	mainnb:1:8	天然バリアの真密度	kg/m^3		

TableA5-5　多孔質媒体近似モデル・差分解（DFMAIN モジュール）の定義文字列の例

No.	定義文字列の例	内容	単位	引数1	引数2	文字型引数
1	dfmain:1:1:1:1	地下水流速および移行距離が変化する時刻の時間増分	y	移行経路番号	時間区分番号	
2	dfmain:1:2:1:1	天然バリアの移行距離	m			
3	dfmain:1:3:1:1	天然バリア中のダルシー流速	m/y			
4	dfmain:1:4:1:1	天然バリア領域の大きさ	m		天然バリア領域番号	
5	dfmain:1:5:1:1:U	天然バリア領域の実効拡散係数	m^2/y			元素名
6	dfmain:1:6:1:1:U	天然バリア領域の分散長	m			
7	dfmain:1:7:1:1:U	天然バリア領域の遅延係数	－			
8	dfmain:1:8:1:1:U	天然バリア領域の分配係数	m^3/kg			
9	dfmain:1:9:1:1	天然バリア領域の間隙率	－			
10	dfmain:1:10:1:1	天然バリア領域の真密度	kg/m^3			

TableA5-6　多孔質媒体近似モデル・FILT 法（PMAIN モジュール）の定義文字列の例

No.	定義文字列の例	内容	単位	引数1	引数2	引数3	文字型引数
1	pmain:1:1:1:1:1	天然バリアの移行距離	m	層番号	移行経路番号	分割経路番号	
2	pmain:1:2:1:1:1	天然バリア中の実流速	m/y				
3	pmain:1:3:1:1:1	天然バリア中のダルシー流速	m/y				
4	pmain:1:4:1:1:1	天然バリア中の分散長	m				
5	pmain:1:5:1:1:1	天然バリア中の実効拡散係数	m^2/y				
6	pmain:1:6:1:1:1:U	天然バリア中における遅延係数	―				元素名
7	pmain:1:7:1:1:1:U	天然バリア中における分配係数	m^3/kg				
8	pmain:1:8:1:1:1	天然バリアの間隙率	―				
9	pmain:1:9:1:1:1	天然バリアの真密度	kg/m^3				
10	pmain:1:10	処分施設の長さ(処分施設下端までの移行距離)	m				

TableA5-7　亀裂性媒体近似モデル・LTG 法（MAINLTG モジュール）の定義文字列の例

<table>
<tr><th>No.</th><th>定義文字列の例</th><th>内容</th><th>単位</th><th>引数1</th><th>引数2</th><th>引数3</th><th>文字型引数</th></tr>
<tr><td>1</td><td>mainltg:1:1:1:1:U</td><td>亀裂領域内の遅延係数</td><td>－</td><td rowspan="19">移行経路番号</td><td rowspan="5">亀裂領域番号</td><td></td><td rowspan="5">元素名</td></tr>
<tr><td>2</td><td>mainltg:1:2:1:1:1:U</td><td>マトリックス領域中の遅延係数</td><td>－</td><td rowspan="2">ﾏﾄﾘｯｸｽ領域番号</td></tr>
<tr><td>3</td><td>mainltg:1:3:1:1:1:U</td><td>マトリックス領域中の分配係数</td><td>m^3/kg</td></tr>
<tr><td>4</td><td>mainltg:1:4:1:1:U</td><td>亀裂領域内の分散係数</td><td>m^2/y</td><td></td></tr>
<tr><td>5</td><td>mainltg:1:5:1:1:U</td><td>亀裂領域内の分散長</td><td>m</td><td></td></tr>
<tr><td>6</td><td>mainltg:1:6:1</td><td>亀裂内の最初の領域の流速</td><td>m/y</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>7</td><td>mainltg:1:7:1:1</td><td>マトリックス領域の間隙率</td><td>－</td><td rowspan="7">亀裂領域番号</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>8</td><td>mainltg:1:8:1:1</td><td>マトリックス領域の真密度</td><td>kg/m^3</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>9</td><td>mainltg:1:9:1:1:1:U</td><td>間隙水中の拡散係数</td><td>m^2/y</td><td rowspan="2">ﾏﾄﾘｯｸｽ領域番号</td><td rowspan="2">元素名</td></tr>
<tr><td>10</td><td>mainltg:1:10:1:1:1:U</td><td>マトリックス領域の実効拡散係数</td><td>m^2/y</td></tr>
<tr><td>11</td><td>mainltg:1:11:1:1</td><td>亀裂開口幅</td><td>m</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>12</td><td>mainltg:1:12:1:1</td><td>亀裂半径</td><td>m</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>13</td><td>mainltg:1:13:1:1</td><td>マトリックス拡散寄与面積率</td><td>%</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>14</td><td>mainltg:1:14:1:1:1</td><td>マトリックス領域の厚さ</td><td>m</td><td>ﾏﾄﾘｯｸｽ領域番号</td><td></td></tr>
<tr><td>15</td><td>mainltg:1:15:1</td><td>天然バリアの移行距離</td><td>m</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>16</td><td>mainltg:1:16:1</td><td>透水量係数</td><td>m^2/s</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>17</td><td>mainltg:1:17:1</td><td>動水勾配</td><td>－</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>18</td><td>mainltg:1:18:1</td><td>係数C（TableA3-4参照）</td><td>$s^{1/2}$</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>19</td><td>mainltg:1:19:1:1:U</td><td>ペクレ数</td><td>－</td><td>亀裂領域番号</td><td></td><td>元素名</td></tr>
</table>

TableA5-8　地下水移行シナリオ線量評価モデル（CMWS モジュール）の定義文字列の例（1/5）

No.	定義文字列の例	内容	単位	引数1	引数2	文字型引数
1	cmws:1:1	全灌漑水量に対する井戸水からの灌漑水量の比	−			
2	cmws:1:2	全灌漑水量に対する上流河川からの灌漑水量の比	−			
3	cmws:1:3	全灌漑水量に対する下流河川からの灌漑水量の比	−			
4	cmws:1:4	全灌漑水量に対する湖沼からの灌漑水量の比	−			
5	cmws:1:5	全飲料水量に対する井戸水からの飲料水量の比	−			
6	cmws:1:6	全飲料水量に対する上流河川からの飲料水量の比	−			
7	cmws:1:7	全飲料水量に対する下流河川からの飲料水量の比	−			
8	cmws:1:8	全飲料水量に対する湖沼からの飲料水量の比	−			
9	cmws:1:9	井戸水への地下水流入量	m^3/y			
10	cmws:1:10	上流河川への地下水流入量	m^3/y			
11	cmws:1:11	上流河川の容量	m^3			
12	cmws:1:12	上流河川から湖沼への移行水量	m^3/y			
13	cmws:1:13	上流河川の面積	m^2			
14	cmws:1:14	上流河川の平均深さ	m			
15	cmws:1:15	上流河床堆積土壌の有効深さ	m			
16	cmws:1:16	上流河床堆積土壌の真密度	kg/m^3			
17	cmws:1:17	上流河床堆積土壌の間隙率	−			
18	cmws:1:18	上流河川の含水率	−			
19	cmws:1:19	上流河床堆積土壌の含水率	−			
20	cmws:1:20	上流河川水中の懸濁物質の濃度	kg/m^3			
21	cmws:1:21	上流河川水中の単位面積あたりの沈殿速度	$kg/y/m^2$			
22	cmws:1:22:U	上流河川中の懸濁物質に対する分配係数	ml/g			元素名
23	cmws:1:23:U	上流河床堆積土壌に対する分配係数	ml/g			
24	cmws:1:24:U	ダミー	−			
25	cmws:1:25:U	上流河床堆積土壌における核種の拡散係数	cm^2/s			
26	cmws:1:26	湖沼への地下水流入量	m^3/y			
27	cmws:1:27	湖沼の容量	m^3			
28	cmws:1:28	湖沼から下流河川への移行水量	m^3/y			
29	cmws:1:29	湖沼の面積	m^2			
30	cmws:1:30	湖沼の平均深さ	m			
31	cmws:1:31	湖底堆積土壌の有効深さ	m			
32	cmws:1:32	湖底堆積土壌の真密度	kg/m^3			
33	cmws:1:33	湖底堆積土壌の間隙率	−			
34	cmws:1:34	湖沼の含水率	−			
35	cmws:1:35	湖底堆積土壌の含水率	−			
36	cmws:1:36	湖沼水中の懸濁物質の濃度	kg/m^3			
37	cmws:1:37	湖沼水中の単位面積あたりの沈殿速度	$kg/y/m^2$			
38	cmws:1:38:U	湖沼中の懸濁物質に対する分配係数	ml/g			元素名
39	cmws:1:39:U	湖底堆積土壌に対する分配係数	ml/g			
40	cmws:1:40:U	ダミー	−			
41	cmws:1:41:U	湖底堆積土壌中における核種の拡散係数	cm^2/s			
42	cmws:1:42	下流河川への地下水流入量	m^3/y			
43	cmws:1:43	下流河川の容量	m^3			
44	cmws:1:44	下流河川から沿岸海洋への移行水量	m^3/y			

（つづく）

TableA5-8　地下水移行シナリオ線量評価モデル（CMWSモジュール）の定義文字列の（2/5）

No.	定義文字列の例	内容	単位	引数1	引数2	文字型引数
45	cmws:1:45	沿岸海洋への地下水流入量	m^3/y			
46	cmws:1:46	沿岸海洋の容量	m^3			
47	cmws:1:47	沿岸海洋から外洋への移行水量	m^3/y			
48	cmws:1:48	沿岸海洋の面積	m^2			
49	cmws:1:49	沿岸海洋の平均深さ	m			
50	cmws:1:50	沿岸海底堆積土壌の有効深さ	m			
51	cmws:1:51	沿岸海底堆積土壌の真密度	kg/m^3			
52	cmws:1:52	沿岸海底堆積土壌の間隙率	−			
53	cmws:1:53	沿岸海洋の含水率	−			
54	cmws:1:54	沿岸海底堆積土壌の含水率	−			
55	cmws:1:55	沿岸海洋水中の懸濁物質の濃度	kg/m^3			
56	cmws:1:56	沿岸海洋水中の単位面積あたりの沈殿速度	$kg/y/m^2$			
57	cmws:1:57:U	沿岸海洋中の懸濁物質に対する分配係数	ml/g			元素名
58	cmws:1:58:U	沿岸海底堆積土壌に対する分配係数	ml/g			
59	cmws:1:59:U	ダミー	−			
60	cmws:1:60:U	沿岸海底堆積土壌中における核種の拡散係数	cm^2/s			
61	cmws:1:61:1	農耕土壌の真密度	kg/m^3	農耕土壌番号		
62	cmws:1:62:1	農耕土壌の間隙率	−			
63	cmws:1:63:1	農耕地の有効深さ	m			
64	cmws:1:64:1	農耕地面積	m^2			
65	cmws:1:65:1	農耕土壌の含水率	ml/g			
66	cmws:1:66:1	農耕土壌の残留係数	−			
67	cmws:1:67:U	水田土壌の分配係数	ml/g			元素名
68	cmws:1:68:U	畑地土壌の分配係数	ml/g			
69	cmws:1:69:U	牧草地土壌の分配係数	ml/g			
70	cmws:1:70:U	深部土壌の分配係数	ml/g			
71	cmws:1:71:U	海岸砂の分配係数	ml/g			
72	cmws:1:72	降水量	mm/y			
73	cmws:1:73	蒸発散量	mm/y			
74	cmws:1:74	表面流出係数	−			
75	cmws:1:75:1	非汚染土壌の混合割合	−	浚渫土壌番号		
76	cmws:1:76:1:U	土壌の再利用に伴う核種nの除去割合	−			元素名
77	cmws:1:77	深部土壌の真密度	kg/m^3			
78	cmws:1:78	深部土壌の間隙率	−			
79	cmws:1:79	深部土壌の有効深さ	m			
80	cmws:1:80	深部土壌の含水率	−			
81	cmws:1:81	水田の単位面積あたりの灌漑水量	$m^3/m^2 \cdot y$			
82	cmws:1:82	畑地の単位面積あたりの灌漑水量	$m^3/m^2 \cdot y$			
83	cmws:1:83	牧草地の単位面積あたりの灌漑水量	$m^3/m^2 \cdot y$			

（つづく）

TableA5-8　地下水移行シナリオ線量評価モデル（CMWS モジュール）の定義文字列の例（3/5）

No.	定義文字列の例	内容	単位	引数1	引数2	文字型引数
84	cmws:1:84:1	水田における農作物J(穀物1から3)の栽培密度	kg/m^2	農作物番号		
85	cmws:1:85:1	畑地における農作物J(野菜1から3)の栽培密度	kg/m^2			
86	cmws:1:86:1	牧草地における農作物J(牧草1から3)の栽培密度	kg/m^2			
87	cmws:1:87:1:U	核種の沈着速度	m/d	農耕土壌番号		元素名
88	cmws:1:88:1:U	降雨による核種nの除去速度	d^{-1}			
89	cmws:1:89:1:U	降雨による核種nの除去半減期	d			
90	cmws:1:90:1:U	灌漑水から穀物への沈着割合	−	農作物番号		
91	cmws:1:91:1:U	灌漑水から野菜への沈着割合	−			
92	cmws:1:92:1:U	灌漑水から牧草への沈着割合	−			
93	cmws:1:93:1:U	核種の沈着部位から農作物可食部への移行割合	−	土壌＆農作物番号		
94	cmws:1:94:1:U	土壌から穀物可食部への移行割合	−	農作物番号		
95	cmws:1:95:1:U	土壌から野菜可食部への移行割合	−			
96	cmws:1:96:1:U	土壌から牧草可食部への移行割合	−			
97	cmws:1:97:1:1	穀物(野菜、牧草)の灌漑期間	d	農耕土壌番号	農作物番号	
98	cmws:1:98:1:1	穀物(野菜、牧草)の生育期間	d/y			
99	cmws:1:99:1:1	生産から消費までの期間(ダミー)	d			
100	cmws:1:100	家畜の井戸水摂取量	m^3/y			
101	cmws:1:101	家畜の灌漑水摂取量	m^3/y			
102	cmws:1:102:U	牛肉への移行係数	d/kg			元素名
103	cmws:1:103:U	豚肉への移行係数	d/kg			
104	cmws:1:104:U	鶏肉への移行係数	d/kg			
105	cmws:1:105:U	卵への移行係数	d/kg			
106	cmws:1:106:U	ミルクへの移行係数	d/L			
107	cmws:1:107	肉牛の飼料摂取量	kg/y			
108	cmws:1:108	豚の飼料摂取量	kg/y			
109	cmws:1:109	鶏の飼料摂取量	kg/y			
110	cmws:1:110	乳牛の飼料摂取量	kg/y			
111	cmws:1:111	肉牛の飼育水摂取量	m^3/y			
112	cmws:1:112	豚の飼育水摂取量	m^3/y			
113	cmws:1:113	鶏の飼育水摂取量	m^3/y			
114	cmws:1:114	乳牛の飼育水摂取量	m^3/y			
115	cmws:1:115:1	肉牛の飼料割合	−	土壌＆農作物番号		
116	cmws:1:116:1	豚の飼料割合	−			
117	cmws:1:117:1	鶏の飼料割合	−			
118	cmws:1:118:1	乳牛の飼料割合	−			
119	cmws:1:119:U	淡水産物1(魚類)の濃縮係数	L/kg			元素名
120	cmws:1:120:U	淡水産物2(軟体動物)の濃縮係数	L/kg			
121	cmws:1:121:U	海産物1(魚類)の濃縮係数	L/kg			
122	cmws:1:122:U	海産物2(軟体動物)の濃縮係数	L/kg			
123	cmws:1:123:U	海産物3(藻類)の濃縮係数	L/kg			
124	cmws:1:124:U	飲料水の浄化装置による核種の除去割合	−			
125	cmws:1:125	飲料水の摂取量	m^3/y			

（つづく）

TableA5-8　地下水移行シナリオ線量評価モデル（CMWS モジュール）の定義文字列の例（4/5）

No.	定義文字列の例	内容	単位	引数1	引数2	文字型引数
126	cmws:1:126	牛肉の摂取量	kg/y			
127	cmws:1:127	豚肉の摂取量	kg/y			
128	cmws:1:128	鶏肉の摂取量	kg/y			
129	cmws:1:129	卵の摂取量	kg/y			
130	cmws:1:130	ミルクの摂取量	m^3/y			
131	cmws:1:131:1	穀物の摂取量	kg/y	農作物番号		
132	cmws:1:132:1	野菜の摂取量	kg/y			
133	cmws:1:133:1	淡水産物1(魚類)の摂取量	kg/y	生育水番号		
134	cmws:1:134:1	淡水産物2(軟体動物)の摂取量	kg/y			
135	cmws:1:135	海産物1(魚類)の摂取量	kg/y			
136	cmws:1:136	海産物2(軟体動物)の摂取量	kg/y			
137	cmws:1:137	海産物3(藻類)の摂取量	kg/y			
138	cmws:1:138:1	深部土壌から表面水系(1:上流河川、2:湖沼、3:下流河川)への移行水量	m^3/y	表面水系番号		
139	cmws:1:139:1	空気中ダスト濃度	g/m^3	線源土壌番号		
140	cmws:1:140:1	呼吸量	m^3/h			
141	cmws:1:141:1	年間作業時間	h/y			
142	cmws:1:142:1:U234	遮へい係数	−			核種名
143	cmws:1:143	飲料水の市場係数	−			
144	cmws:1:144	淡水産物の市場係数	−			
145	cmws:1:145	海産物の市場係数	−			
146	cmws:1:146	牛肉の市場係数	−			
147	cmws:1:147	豚肉の市場係数	−			
148	cmws:1:148	鶏肉の市場係数	−			
149	cmws:1:149	卵の市場係数	−			
150	cmws:1:150	ミルクの市場係数	−			
151	cmws:1:151:1	穀物の市場係数	−	農作物番号		
152	cmws:1:152:1	野菜の市場係数	−			
153	cmws:1:153	淡水産物の井戸水利用率	−			
154	cmws:1:154:1	汚染土壌における希釈率	−	線源土壌番号		
155	cmws:1:155:1	散逸能	−			
156	cmws:1:156:1	汚染土壌中の実効拡散係数	m^2/s			
157	cmws:1:157:1	非汚染土壌中の実効拡散係数	m^2/s			
158	cmws:1:158:1	汚染土壌の厚さ	m			
159	cmws:1:159:1	非汚染土壌の厚さ	m			
160	cmws:1:160	床下空間換気率	s^{-1}			
161	cmws:1:161	床下空間高さ	m			
162	cmws:1:162	床下空間から屋内へのラドン侵入率	s^{-1}			
163	cmws:1:163	屋内空間高さ	m			
164	cmws:1:164	屋内換気率	s^{-1}			
165	cmws:1:165	生活水の使用率	m^3/h			
166	cmws:1:166	ガス化率	−			
167	cmws:1:167	居住空間体積	m^3			
168	cmws:1:168	(屋外ラドンガス濃度の)評価高さ	m			
169	cmws:1:169	風速	m/s			
170	cmws:1:170	風向方向の土壌長さ	m			

（つづく）

TableA5-8　地下水移行シナリオ線量評価モデル（CMWSモジュール）の定義文字列の例（5/5）

No.	定義文字列の例	内容	単位	引数1	引数2	文字型引数
171	cmws:1:171	屋内の平衡ファクター	−			
172	cmws:1:172	屋外の平衡ファクター	−			
173	cmws:1:173:1	屋外居住係数	−	線源土壌番号		
174	cmws:1:174:1	年間被ばく時間	h/y			
175	cmws:1:175:1	浚渫土壌の真密度	Kg/m^3			
176	cmws:1:176:U234	経口摂取による内部被ばく線量換算係数	Sv/Bq			核種名
177	cmws:1:177:U234	吸入摂取による内部被ばく線量換算係数	Sv/Bq			
178	cmws:1:178:U234	外部被ばく線量換算係数	μSv/h per Bq/g			
189	cmws:1:179:1	年間実作業時間(年間被ばく時間) 1:水面作業、2:遊泳 3:河川岸土壌(直接線)、4:漁網 5:河川岸土壌(再浮遊砂吸入)	h/y	経路番号		
180	cmws:1:180:1	被ばくの減衰期間 1:水面作業、2:遊泳 3:河川岸土壌(直接線)、4:漁網 5:河川岸土壌(再浮遊砂吸入)	y	経路番号		
181	cmws:1:181:1	線源表面から被ばく点までの距離 1:水面作業、2:河川岸土壌(直接線) 3:漁網	cm	経路番号		
182	cmws:1:182:4	漁網の密度	g/cm^3	経路番号4		
183	cmws:1:183:U	(表面水系から)漁網への移行割合	Bq/kg per Bq/m^3			元素名
184	cmws:1:184	河川岸(海岸)作業時の空気中ダスト濃度	g/cm^3			
185	cmws:1:185	河川岸(海岸)作業者の呼吸量	M^3/y			
186	cmws:1:186	河川岸(海岸)土壌の真密度	g/cm^3			
187	cmws:1:187	海水中の塩化ナトリウム濃度	Kg/m^3			
188	cmws:1:188	食塩の年間摂取量	kg/y			
189	cmws:1:189	空気中に含まれる海水の量	m^3−water/ m^3−air			
190	cmws:1:190	海岸付近の居住者の呼吸量	m^3/h			
191	cmws:1:191	海岸付近の居住者の年間居住時間	h/y			
192	cmws:1:192:1	被ばくの減衰期間 1:塩摂取、2:送風塩	y	経路番号		

TableA5-9　跡地利用シナリオ線量評価モデル（DOSE モジュール）の定義文字列の例（1/3）

No.	定義文字列の例	内容	単位	引数1	文字型引数
1	dose:1:1	処分施設厚さ(初期)	m		
2	dose:1:2	覆土層厚さ(初期)	m		
3	dose:1:3	掘削深さ	m		
4	dose:1:4	客土厚さ	m		
5	dose:1:5:0	隆起・侵食速度	m/y	変化番号(*)	
6	dose:1:6	掘削による混合割合	―		
7	dose:1:7	廃棄物埋設効率	―		
8	dose:1:8	廃棄物の総量	m^3		
9	dose:1:9	処分施設の長さ	m		
10	dose:1:10	処分施設の幅	m		
11	dose:1:11:0	処分施設の密度	kg/m^3	変化番号(*)	
12	dose:1:12	年間被ばく時間(外部被ばく経路)	h/y		
13	dose:1:13	ラドンの散逸を考慮したRa-226の外部被ばく線量換算係数(外部被ばく経路)	μSv/h per Bq/g		
14	dose:1:14	被ばく期間中の減衰期間(外部被ばく経路)	y		
15	dose:1:15:1	当該条件下の時間的存在率(外部被ばく経路)	―	条件番号	
16	dose:1:16:1	当該条件下の遮へい率(外部被ばく経路)	―	条件番号	
17	dose:1:17	呼吸量(ダスト吸入経路)	m^3/y		
18	dose:1:18	空気中ダスト濃度(ダスト吸入経路)	g/m^3		
19	dose:1:19	年間被ばく時間(ダスト吸入経路)	h/y		
20	dose:1:20	被ばく期間中の減衰期間(ダスト吸入経路)	y		
21	dose:1:21:1	当該条件下の時間的存在率(ダスト吸入経路)	―	条件番号	
22	dose:1:22:1	当該条件下でのダスト除去率(ダスト吸入経路)	―	条件番号	
23	dose:1:23	処分施設からの平均飛散率(トリチウム吸入経路)	s^{-1}		
24	dose:1:24	有効高さ(トリチウム吸入経路)	m		
25	dose:1:25	断面方向長さ(トリチウム吸入経路)	m		
26	dose:1:26	風速(トリチウム吸入経路)	m s		
27	dose:1:27	呼吸量(トリチウム吸入経路)	m^3/y		
28	dose:1:28	年間被ばく時間(トリチウム吸入経路)	m^3		
29	dose:1:29	被ばく期間中の減衰期間(トリチウム吸入経路)	m^3/y		
30	dose:1:30:1	根からの吸収割合(農作物摂取経路)	―	農作物番号	
31	dose:1:31:1	農作物の摂取量(農作物摂取経路)	(IUで設定)	農作物番号	
32	dose:1:32:1	農作物の市場係数(農作物摂取経路)	―	農作物番号	
33	dose:1:33:1	農作物の輸送時間(農作物摂取経路)	d	農作物番号	
34	dose:1:34:1	被ばく期間中の減衰期間(農作物摂取経路)	y	農作物番号	
35	dose:1:35:1	(未定義)			
36	dose:1:36:1:U	土壌から農作物への移行係数(農作物摂取経路)	―	農作物番号	元素名

(*) 変化番号に 0 を設定すると初期値に対して変動値を設定する

(つづく)

TableA5-9　跡地利用シナリオ線量評価モデル（DOSE モジュール）の定義文字列の例（2/3）

No.	定義文字列の例	内容	単位	引数1	文字型引数
37	dose:1:37:1	根からの吸収割合（畜産物摂取経路）	―	畜産物番号	
38	dose:1:38:1	家畜の飼料摂取量（畜産物摂取経路）	（IUで設定）	畜産物番号	
39	dose:1:39:1	飼料の混合割合（畜産物摂取経路）	―	畜産物番号	
40	dose:1:40:1	飼料の輸送時間（畜産物摂取経路）	d	畜産物番号	
41	dose:1:41:1	（未定義）			
42	dose:1:42:1:U	土壌から飼料への移行係数（畜産物摂取経路）	―	畜産物番号	元素名
43	dose:1:43:1	畜産物の摂取量（畜産物摂取経路）	（IUで設定）	畜産物番号	
44	dose:1:44:1	畜産物の市場係数（畜産物摂取経路）	―	畜産物番号	
45	dose:1:45:1	畜産物の輸送時間（畜産物摂取経路）	d	畜産物番号	
46	dose:1:46:1	被ばく期間中の減衰期間（畜産物摂取経路）	y	畜産物番号	
47	dose:1:47:1:U	飼料から畜産物への移行係数（畜産物摂取経路）	d/kg または d/L	畜産物番号	元素名
48	dose:1:48	混合割合（ラドンガス吸入経路）	kg/m^3		
49	dose:1:49	散逸能（ラドンガス吸入経路）	―		
50	dose:1:50	処分施設の密度（ラドンガス吸入経路）	―		
51	dose:1:51	処分施設の実効拡散係数（ラドンガス吸入経路）	m^2/s		
52	dose:1:52	覆土層（混合層）の密度（ラドンガス吸入経路）	kg/m^3		
53	dose:1:53	覆土層（混合層）の実効拡散係数 （ラドンガス吸入経路）	m^2/s		
54	dose:1:54	客土層の実効拡散係数（現在ダミー） （ラドンガス吸入経路）	m^2/s		
55	dose:1:55	客土の上に更に考慮する非汚染土壌の厚さ （ラドンガス吸入経路）	m	層番号	
56	dose:1:56	客土の上に更に考慮する非汚染土壌の実効拡散係数 （ラドンガス吸入経路）	m^2/s	層番号	
57	dose:1:57	床下空間換気率（ラドンガス吸入経路）	s^{-1}		
58	dose:1:58	床下空間高さ（ラドンガス吸入経路）	m		
59	dose:1:59	床下空間から屋内へのラドン侵入率 （ラドンガス吸入経路）	s^{-1}		
60	dose:1:60	屋内空間高さ（ラドンガス吸入経路）	m		
61	dose:1:61	屋内換気率（ラドンガス吸入経路）	s^{-1}		
62	dose:1:62	評価高さ（ラドンガス吸入経路）	m		
63	dose:1:63	風速（ラドンガス吸入経路）	m/s		
64	dose:1:64	断面方向長さ（ラドンガス吸入経路）	m		
65	dose:1:65	パフモデルにおける処分場幅（ラドンガス吸入経路）	m		
66	dose:1:66	屋内の平衡ファクタ（ラドンガス吸入経路）	―		
67	dose:1:67	屋外の平衡ファクタ（ラドンガス吸入経路）	―		
68	dose:1:68	屋外の居住係数（ラドンガス吸入経路）	―		
69	dose:1:69	年間被ばく時間（ラドンガス吸入経路）	h/y		
70	dose:1:70	被ばく期間中の減衰期間（ラドンガス吸入経路）	y		

（つづく）

TableA5-9　跡地利用シナリオ線量評価モデル（DOSE モジュール）の定義文字列の例（3/3）

No.	定義文字列の例	内容	単位	引数1	文字型引数
71	dose:1:71	皮膚に堆積するダストの希釈係数（皮膚被ばく経路）	―		
72	dose:1:72	皮膚に堆積するダストの濃縮係数（皮膚被ばく経路）	―		
73	dose:1:73	皮膚に堆積したダストの厚さ（皮膚被ばく経路）	cm		
74	dose:1:74	皮膚に堆積したダストの密度（皮膚被ばく経路）	g/cm^3		
75	dose:1:75	年間被ばく時間（皮膚被ばく経路）	h/y		
76	dose:1:76	被ばく期間中の減衰期間（皮膚被ばく経路）	y		
77	dose:1:77:1	隆起・侵食速度が変化する深度	m	変化番号	
78	dose:1:78:1	隆起・侵食速度が変化する時間	y	変化番号	
79	dose:1:79:1	処分施設の密度が変化する深度	m	変化番号	
80	dose:1:80:1	処分施設の密度が変化する時間	y	変化番号	

Appendix-6　生物圏モデルにおける出力項目

生物圏モデルは被ばく経路ごとに出力項目（各被ばく経路に対する線量）が存在するため、統計処理コードに受け渡される統計処理用ファイルにおいて、出力された結果に応じて出力項目ラベルがつけられている。出力項目ラベルとその内容を TableA6-1 および TableA6-2 に示す。

TableA6-1　CMWS モジュール（地下水移行シナリオ線量評価モデル）の出力項目ラベル(1/3)

No.	Grp	ID	評価項目ラベル	内容
1	1	1	EXT	外部被ばく(水田・畑地・牧草地の合計)
2		2	EXTPD	外部被ばく(水田)
3		3	EXTFL	外部被ばく(畑地)
4		4	EXTGR	外部被ばく(牧草地)
5		5	EXTSH	外部被ばく(海岸)
6		6	EXTURB	外部被ばく(上流河床浚渫土壌)
7		7	EXTLKB	外部被ばく(湖底浚渫土壌)
8		8	EXTSEB	外部被ばく(沿岸海底浚渫土壌)
9	2	1	INH	吸入内部被ばく(水田・畑地・牧草地の合計)
10		2	INHPD	吸入内部被ばく(水田)
11		3	INHFL	吸入内部被ばく(畑地)
12		4	INHGR	吸入内部被ばく(牧草地)
13		5	INHSH	吸入内部被ばく(海岸)
14		6	INHURB	吸入内部被ばく(上流河床浚渫土壌)
15		7	INHLKB	吸入内部被ばく(湖底浚渫土壌)
16		8	INHSEB	吸入内部被ばく(沿岸海底浚渫土壌)
17	3	1	DRINK	飲料水摂取による内部被ばく
18	4	1	AGRI	農作物摂取による内部被ばく(穀物・野菜の合計)
19		2	RICE	穀物摂取による内部被ばく(穀物の合計)
20		3	VEG	野菜摂取による内部被ばく(野菜の合計)
21		4	RICE1	穀物1摂取による内部被ばく
22		5	RICE2	穀物2摂取による内部被ばく
23		6	RICE3	穀物3摂取による内部被ばく
24		7	VEG1	野菜1摂取による内部被ばく
25		8	VEG2	野菜2摂取による内部被ばく
26		9	VEG3	野菜3摂取による内部被ばく
27	5	1	STKFD	畜産物摂取による内部被ばく(飼料経由、全畜産物合計)
28		2	EGGFD	卵摂取による内部被ばく(飼料経由)
29		3	MILKFD	ミルク摂取による内部被ばく(飼料経由)
30		4	BEEFFD	牛肉摂取による内部被ばく(飼料経由)
31		5	PORKFD	豚肉摂取による内部被ばく(飼料経由)
32		6	POTYFD	鶏肉摂取による内部被ばく(飼料経由)
33	6	1	STKWT	畜産物摂取による内部被ばく(飼育水経由、全畜産物合計)
34		2	EGGWT	卵摂取による内部被ばく(飼育水経由)
35		3	MILKWT	ミルク摂取による内部被ばく(飼育水経由)
36		4	BEEFWT	牛肉摂取による内部被ばく(飼育水経由)
37		5	PORKWT	豚肉摂取による内部被ばく(飼育水経由)
38		6	POTYWT	鶏肉摂取による内部被ばく(飼育水経由)

（つづく）

TableA6-1　CMWS モジュール（地下水移行シナリオ線量評価モデル）の出力項目ラベル(2/3)

No.	Grp	ID	評価項目ラベル名	内容
39	7	1	STK	畜産物摂取による内部被ばく（飼料経由＋飼育水経由、全畜産物合計）
40		2	EGG	卵摂取による内部被ばく（飼料経由＋飼育水経由）
41		3	MILK	ミルク摂取による内部被ばく（飼料経由＋飼育水経由）
42		4	BEEF	牛肉摂取による内部被ばく（飼料経由＋飼育水経由）
43		5	PORK	豚肉摂取による内部被ばく（飼料経由＋飼育水経由）
44		6	POTY	鶏肉摂取による内部被ばく（飼料経由＋飼育水経由）
45	8	1	MARNWL	淡水産物摂取による内部被ばく（井戸水養殖、魚類・軟体動物の合計）
46		2	FISHWL	淡水産物1（魚類）摂取による内部被ばく（井戸水養殖）
47		3	MOLWL	淡水産物2（軟体動物）摂取による内部被ばく（井戸水養殖）
48	9	1	MARNUP	淡水産物摂取による内部被ばく（上流河川、魚類・軟体動物の合計）
49		2	FISHUP	淡水産物1（魚類）摂取による内部被ばく（上流河川）
50		3	MOLUP	淡水産物2（軟体動物）摂取による内部被ばく（上流河川）
51	10	1	MARNLK	淡水産物摂取による内部被ばく（湖沼、魚類・軟体動物の合計）
52		2	FISHLK	淡水産物1（魚類）摂取による内部被ばく（湖沼）
53		3	MOLLK	淡水産物2（軟体動物）摂取による内部被ばく（湖沼）
54	11	1	MARNDW	淡水産物摂取による内部被ばく（下流河川、魚類・軟体動物の合計）
55		2	FISHDW	淡水産物1（魚類）摂取による内部被ばく（下流河川）
56		3	MOLDW	淡水産物2（軟体動物）摂取による内部被ばく（下流河川）
57	12	1	MARNSEA	海産物摂取による内部被ばく（魚類・軟体動物・藻類の合計）
58		2	FISHSEA	海産物1（魚類）摂取による内部被ばく
59		3	MOLSEA	海産物2（軟体動物）摂取による内部被ばく
60		4	SEAWEED	海産物3（藻類）摂取による内部被ばく
61	13	1	RNSUM	ラドンガス吸入内部被ばく（水田・畑地・牧草地・生活水の合計）
62		2	RNSS	ラドンガス吸入内部被ばく（水田・畑地・牧草地の合計）
63		3	RNPD	ラドンガス吸入内部被ばく（水田）
64		4	RNFL	ラドンガス吸入内部被ばく（畑地）
65		5	RNGR	ラドンガス吸入内部被ばく（牧草地）
66		6	RNLWT	ラドンガス吸入内部被ばく（生活水）
67	14	1	AGRIUR	上流河床浚渫土壌における農作物摂取による内部被ばく（穀物・野菜の合計）
68		2	RICEUR	上流河床浚渫土壌における穀物摂取による内部被ばく（穀物の合計）
69		3	VEGUR	上流河床浚渫土壌における野菜摂取による内部被ばく（野菜の合計）
70		4	RICE1UR	上流河床浚渫土壌における穀物1摂取による内部被ばく
71		5	RICE2UR	上流河床浚渫土壌における穀物2摂取による内部被ばく
72		6	RICE3UR	上流河床浚渫土壌における穀物3摂取による内部被ばく
73		7	VEG1UR	上流河床浚渫土壌における野菜1摂取による内部被ばく
74		8	VEG2UR	上流河床浚渫土壌における野菜2摂取による内部被ばく
75		9	VEG3UR	上流河床浚渫土壌における野菜3摂取による内部被ばく
76	15	1	STKUR	上流河床浚渫土壌における畜産物摂取による内部被ばく（飼料経由、全畜産物合計）
77		2	EGGUR	上流河床浚渫土壌における卵摂取による内部被ばく（飼料経由）
78		3	MILKUR	上流河床浚渫土壌におけるミルク摂取による内部被ばく（飼料経由）
79		4	BEEFUR	上流河床浚渫土壌における牛肉摂取による内部被ばく（飼料経由）
80		5	PORKUR	上流河床浚渫土壌における豚肉摂取による内部被ばく（飼料経由）
81		6	POTYUR	上流河床浚渫土壌における鶏肉摂取による内部被ばく（飼料経由）

（つづく）

TableA6-1　CMWS モジュール（地下水移行シナリオ線量評価モデル）の出力項目ラベル(3/3)

No.	Grp	ID	評価項目ラベル名	内容
82	16	2	RNSSUR	上流河床浚渫土壌におけるラドンガス吸入内部被ばく（水田・畑地・牧草地の合計）
83		3	RNPDUR	上流河床浚渫土壌におけるラドンガス吸入内部被ばく（水田）
84		4	RNFLUR	上流河床浚渫土壌におけるラドンガス吸入内部被ばく（畑地）
85		5	RNGRUR	上流河床浚渫土壌におけるラドンガス吸入内部被ばく（牧草地）
86	17	1	SEASUM	河川水面活動および河川岸活動、漁網に関する5経路の合計
87		2	ONSEA	水面作業における外部被ばく線量
88		3	SWIM	遊泳における外部被ばく線量
89		4	ONSHORE	河川岸（海岸）土壌からの直接線による外部被ばく線量
90		5	FISHNET	魚網からの直接線による外部被ばく線量
91		6	SANDINH	河川岸（海岸）土壌の再浮遊砂の吸入による内部被ばく線量
92	18	1	SALTSUM	塩に関する2経路の合計
93		2	SALTING	塩摂取による内部被ばく線量
94		3	SALTINH	風送塩吸入による内部被ばく線量

TableA6-2　DOSE モジュール（跡地利用シナリオ線量評価モデル）の出力項目ラベル

No.	評価項目ラベル	内容
1	EXT	外部被ばく
2	DUST	粉塵の吸入による内部被ばく
3	H3_INH	トリチウムの吸入による内部被ばく
4	CROP_nn	農作物nnの摂取による内部被ばく
5	ANMP_nn	畜産物nnの摂取による内部被ばく
6	RADON	ラドンガスの吸入による内部被ばく
7	SKIN	皮膚に堆積したダストによる皮膚被ばく
9	TTLCROP	農作物摂取被ばく線量の合計
10	TTLANMP	畜産物摂取被ばく線量の合計
11	TOTAL	全評価経路の合計

(*) nn には二桁の農作物・畜産物番号が入る（標準入力ファイルの入力順）

Appendix-7　サブモデルに関する検証計算

GSA-GCL2 に格納しているソースタームモデルと天然バリアモデルにおける主なサブモデルに対する検証計算の結果を以下に示す。

1. ソースターム・コンパートメントモデル（CMMAIN）

1.1. 基本方程式

$$\frac{dA_w^i(t)}{dt} = -\frac{De_{wb}^i S_{wb}}{x_{wb}}\left(C_w^i(t) - C_b^i(t)\right) - \varepsilon_w v_w S_w C_w^i(t) - \lambda^i A_w^i(t) + \lambda^{i-1} A_w^{i-1}(t) \tag{1-1}$$

$$\frac{dA_b^i(t)}{dt} = \frac{De_{wb}^i S_{wb}}{x_{wb}}\left(C_w^i(t) - C_b^i(t)\right) + \varepsilon_w v_w S_w C_w^i(t) - \frac{De_b^i S_b}{x_b} C_b^i(t) - \varepsilon_b v_b S_b C_b^i(t) - \lambda^i A_b^i(t) + \lambda^{i-1} A_b^{i-1}(t) \tag{1-2}$$

ただし、

$$\frac{De_{wb}^i S_{wb}}{x_{wb}} = \frac{De_b^i S_b De_w^i S_w}{De_b^i S_b x_w + De_w^i S_w x_b} \tag{1-3}$$

$$C_k^i(t) = \frac{A_k^i(t)}{\varepsilon_k V_k R_k^i} \tag{1-4}$$

$$R_k^i = 1 + \frac{1-\varepsilon_k}{\varepsilon_k}\rho_k Kd_k^i \tag{1-5}$$

ここで、

$A_k^i(t)$　：時間 t におけるコンパートメント k 中の核種 i の核種量 [atom]

$C_k^i(t)$　：時間 t におけるコンパートメント k 中の核種 i の水中濃度 [atom/m^3]

ただし、$C_k^i(t)$ が溶解度限度 $C^{*i}{}_k(t)$ [atom/m^3]を上回る場合は、$C_k^i(t) = C^{*i}{}_k(t)$ となる。

De_k^i　：コンパートメント k における核種 i の実効拡散係数 [m^2/y]

S_k　：コンパートメント k の断面積 [m^2]

$$S_k = \frac{V_k}{L_k} = \frac{V_k}{2 \cdot x_k}$$

V_k　：コンパートメント k の体積 [m^3]

L_k　：コンパートメント k の厚さ [m]

ε_k　：コンパートメント k の間隙率 [-]

v_k　：コンパートメント k における実流速 [m/y]

λ^i　：核種 i の崩壊定数 [1/y]

R_k^i　：コンパートメント k における核種 i の遅延係数 [-]

ρ_k ：コンパートメント k の真密度 [kg/m^3]
Kd_k^i ：コンパートメント k における核種 i の分配係数 [m^3/kg]
λ^{i-1} ：親核種 *i-1* の崩壊定数 [1/y]
$A_k^{i-1}(t)$ ：時間 t におけるコンパートメント k 中の親核種 *i-1* の核種量 [atom]

1.2. 解析解

（1） 溶解度を考慮しない場合

溶解度を考慮しない場合は、基本方程式を整理した次の連立常微分方程式を解くことで、核種量を求めることができる。

$$\frac{dA_w^i(t)}{dt} = -a_w^i A_w^i(t) + b_w^i A_b^i(t) + \lambda^{i-1} A_w^{i-1}(t) \tag{1-6}$$

$$\frac{dA_b^i(t)}{dt} = a_b^i A_w^i(t) - b_b^i A_b^i(t) + \lambda^{i-1} A_b^{i-1}(t) \tag{1-7}$$

ただし、

$$a_w^i = \frac{De_{wb}^i S_{wb} / x_{wb} + \varepsilon_w \nu_w S_w}{\varepsilon_w V_w R_w^i} + \lambda^i \tag{1-8}$$

$$b_w^i = \frac{De_{wb}^i S_{wb} / x_{wb}}{\varepsilon_b V_b R_b^i} \tag{1-9}$$

$$a_b^i = \left(\frac{De_{wb}^i S_{wb} / x_{wb} + \varepsilon_w \nu_w S_w}{\varepsilon_w V_w R_w^i} \right) \tag{1-10}$$

$$b_b^i = \frac{De_{wb}^i S_{wb} / x_{wb} + De_b^i S_b / x_b + \varepsilon_b \nu_b S_b}{\varepsilon_b V_b R_b^i} + \lambda^i \tag{1-11}$$

式(1-6)および(1-7)の一般解は、それぞれ、次のようになる。

$$A_w^i(t) = c_1^i e^{m^i t} + c_2^i e^{n^i t} + \alpha e^{m^{i-1} t} + \beta e^{n^{i-1} t} \tag{1-12}$$

$$A_b^i(t) = \frac{\left(m^i + a_w^i\right)}{b_w^i} c_1^i e^{m^i t} + \frac{\left(n^i + a_w^i\right)}{b_w^i} c_2^i e^{n^i t} + \frac{\left\{\left(m^{i-1} + a_w^i\right)\alpha - \lambda^{i-1} c_1^{i-1}\right\}}{b_w^i} e^{m^{i-1} t} + \frac{\left\{\left(n^{i-1} + a_w^i\right)\beta - \lambda^{i-1} c_2^{i-1}\right\}}{b_w^i} e^{n^{i-1} t} \tag{1-13}$$

ただし、

$$\alpha = \frac{\lambda^{i-1}\left(m^{i-1} + b_b^i + b_w^i \dfrac{m^{i-1} + a_w^{i-1}}{b_w^{i-1}}\right)c_1^{i-1}}{\left(m^{i-1}\right)^2 + (a_w^i + b_b^i)m^{i-1} + (a_w^i b_b^i - a_b^i b_w^i)} \tag{1-14}$$

$$\beta = \frac{\lambda^{i-1}\left(n^{i-1} + b_b^i + b_w^i \dfrac{n^{i-1} + a_w^{i-1}}{b_w^{i-1}}\right)c_2^{i-1}}{\left(n^{i-1}\right)^2 + (a_w^i + b_b^i)n^{i-1} + (a_w^i b_b^i - a_b^i b_w^i)} \tag{1-15}$$

ここで、c_1^i および c_2^i は任意定数である。

任意定数 c_1^i および c_2^i を一意に決定するため、初期条件として、$A_w^i(0) = N^i$（N^i は定数）および $A_b^i(0) = 0$ が与えられたとすると、任意定数 c_1^i および c_2^i は、

$$c_1^i = \frac{\left(n^i + a_w^i\right)\left(N^i - \alpha - \beta\right) + \left(m^{i-1} + a_w^i\right)\alpha + \left(n^{i-1} + a_w^i\right)\beta - \lambda^{i-1}\left(c_1^{i-1} + c_2^{i-1}\right)}{\left(n^i - m^i\right)} \tag{1-16}$$

$$c_2^i = N^i - \alpha - \beta - c_1^i \tag{1-17}$$

となり、これらを一般解に代入すると、特解が得られる。

(2)　溶解度を考慮する場合（廃棄物層が溶解度律速の場合）

たとえば、廃棄物層が溶解度律速される場合を考え、簡単のため、同位元素が存在しない場合、つまり、溶解度は初期値のまま変化せず、定数となる場合を想定すると、基本方程式は次のようになる。

$$\frac{dA_w^i(t)}{dt} = -\frac{De_{wb}^i S_{wb}}{x_{wb}}\left(C^{*i}_w - C_b^i(t)\right) - \varepsilon_w \nu_w S_w C^{*i}_w - \lambda^i A_w^i(t) + \lambda^{i-1} A_w^{i-1}(t) \tag{1-18}$$

$$\begin{aligned}\frac{dA_b^i(t)}{dt} = {} & \frac{De_{wb}^i S_{wb}}{x_{wb}}\left(C^{*i}_w - C_b^i(t)\right) + \varepsilon_w \nu_w S_w C^{*i}_w(t) \\ & - \frac{De_b^i S_b}{x_b} C_b^i(t) - \varepsilon_b \nu_b S_b C_b^i(t) - \lambda^i A_b^i(t) + \lambda^{i-1} A_b^{i-1}(t)\end{aligned} \tag{1-19}$$

C^{*i}_k　　：コンパートメント k 中の核種 i の溶解度限度 [atom/m^3]

これを整理した次の連立常微分方程式を解くことで核種量を求めることができる。

$$\frac{dA_w^i(t)}{dt} = -a_w'^i C^{*i}_w + b_w^i A_b^i(t) - \lambda^i A_w^i(t) + \lambda^{i-1} A_w^{i-1}(t) \tag{1-20}$$

$$\frac{dA_b^i(t)}{dt} = a_b'^i C^{*i}{}_w - b_b^i A_b^i(t) + \lambda^{i-1} A_b^{i-1}(t) \tag{1-21}$$

ただし、

$$a_w'^i = De_{wb}^i S_{wb} / x_{wb} + \varepsilon_w \nu_w S_w \tag{1-22}$$

$$b_w^i = \frac{De_{wb}^i S_{wb} / x_{wb}}{\varepsilon_b V_b R_b^i} \tag{1-23}$$

$$a_b'^i = De_{wb}^i S_{wb} / x_{wb} + \varepsilon_w \nu_w S_w \tag{1-24}$$

$$b_b^i = \frac{De_{wb}^i S_{wb} / x_{wb} + De_b^i S_b / x_b + \varepsilon_b \nu_b S_b}{\varepsilon_b V_b R_b^i} + \lambda^i \tag{1-25}$$

式(1-20)および(1-21)の一般解は、それぞれ、次のようになる。

$$\begin{aligned} A_w^i(t) = {} & c_w^i e^{-\lambda^i t} - \frac{a_w'^i C^{*i}{}_w(0)}{\lambda^i} + \left(a_b'^i C^{*i}{}_w(0) - \lambda^{i-1} c_b^{i-1}\right) \frac{b_w^i}{b_b^i \lambda^i} - \frac{\left(a_w'^{i-1} C^{*i-1}{}_w(0) + b_w^{i-1} c_b^{i-1}\right)}{\lambda^i} \\ & + \frac{b_w^i c_b^i}{\lambda^i - b_b^i} e^{-b_b^i t} + \left(\frac{b_w^i}{b_b^i - b_b^{i-1}} + \frac{b_w^{i-1}}{\lambda^{i-1} - b_b^{i-1}}\right) \frac{\lambda^{i-1} c_b^{i-1}}{\lambda^i - b_b^{i-1}} e^{-b_b^{i-1} t} + \frac{\lambda^{i-1} c_w^{i-1}}{\lambda^i - \lambda^{i-1}} e^{-\lambda^{i-1} t} \end{aligned} \tag{1-26}$$

$$\begin{aligned} A_b^i(t) &= a_b^i(t) z_b^i(t) \\ &= c_b^i e^{-b_b^i t} + \frac{a_b'^i C^{*i}{}_w(0)}{b_b^i} - \frac{\lambda^{i-1} c_b^{i-1}}{b_b^i} + \frac{\lambda^{i-1} c_b^{i-1}}{b_b^i - b_b^{i-1}} e^{-b_b^{i-1} t} \end{aligned} \tag{1-27}$$

ここで、c_w^i および c_b^i は任意定数である。

任意定数 c_w^i および c_b^i を一意に決定するため、初期条件として、$A_w^i(0) = N^i$ および $A_b^i(0) = 0$ が与えられたとすると、任意定数 c_w^i および c_b^i は、

$$\begin{aligned} c_w^i = {} & N^i + \frac{a_w'^i C^{*i}{}_w(0)}{\lambda^i} - \left(a_b'^i C^{*i}{}_w(0) - \lambda^{i-1} c_b^{i-1}\right) \frac{b_w^i}{b_b^i \lambda^i} + \frac{\left(a_w'^{i-1} C^{*i-1}{}_w(0) + b_w^{i-1} c_b^{i-1}\right)}{\lambda^i} \\ & - \frac{b_w^i c_b^i}{\lambda^i - b_b^i} - \left(\frac{b_w^i}{b_b^i - b_b^{i-1}} + \frac{b_w^{i-1}}{\lambda^{i-1} - b_b^{i-1}}\right) \frac{\lambda^{i-1} c_b^{i-1}}{\lambda^i - b_b^{i-1}} - \frac{\lambda^{i-1} c_w^{i-1}}{\lambda^i - \lambda^{i-1}} \end{aligned} \tag{1-28}$$

$$c_b^i = -\frac{a_b'^i C^{*i}{}_w(0)}{b_b^i} + \frac{\lambda^{i-1} c_b^{i-1}}{b_b^i} - \frac{\lambda^{i-1} c_b^{i-1}}{b_b^i - b_b^{i-1}} \tag{1-29}$$

となり、これらを一般解に代入すると、特解が得られる。

1.3. 検証計算

(1) 溶解度を考慮しない場合

(ア) 計算条件

検証計算のための基本計算条件を表 1-1 に示す。2 核種からなる崩壊系列（核種 1→核種 2）を想定し、廃棄体に初期インベントリが与えられているものとした。また、核種 1 と核種 2 の半減期の組み合わせを変えた計算ケースを設定した。各計算ケースにおける核種の半減期を表 1-2 に示す。

表 1-1 基本計算条件

パラメータ		単位	廃棄体	緩衝材
初期インベントリ	核種 1	Bq	1E+10	-
	核種 2		1E+09	-
厚さ		m	0.5	1.0
体積		m^3	0.5	1.0
断面積		m^2	1.0	1.0
真密度		kg/m^3	2700	2700
間隙率		-	0.5	0.5
実流速		m/y	0.1	0.01
溶解度		mol/m^3	可溶	可溶
実効拡散係数		m^2/y	0.01	0.001
分配係数		m^3/kg	0.01	0.001

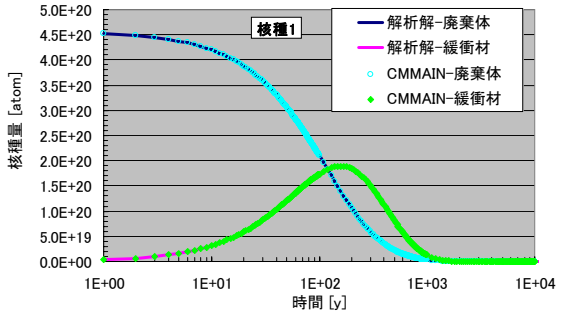
※核種 1 と核種 2 は、核種 1→核種 2 の崩壊系列

表 1-2 各計算ケースにおける核種の半減期

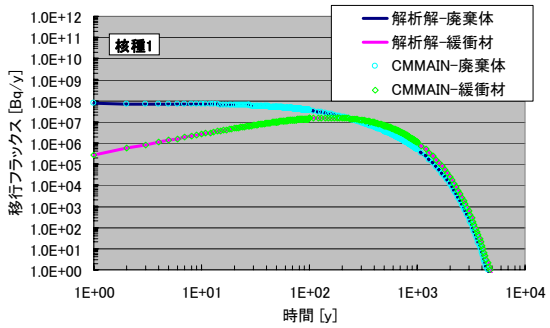
No.	半減期の大小関係	半減期 [y]	
		核種 1	核種 2
1	親＞子	1000	100
2	親＜子		10000

(イ) 計算結果

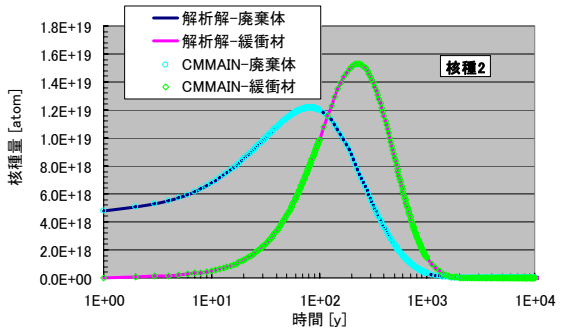
各計算ケースにおける解析解とサブモデルの計算結果の比較を図 1-1 および図 1-2 に示す。図には、各領域中の核種量（y 軸線形）と各領域からの移行フラックス（y 軸対数）を示した。図から、解析解とサブモデルの結果がよく一致していることが分かる。たとえば、子孫核種（核種 2）の核種量でみた場合、1000 年までの範囲での相対誤差（解析解とサブモデルの差の絶対値と解析解との比）は、いずれのケースでも 0.03%以下であった。



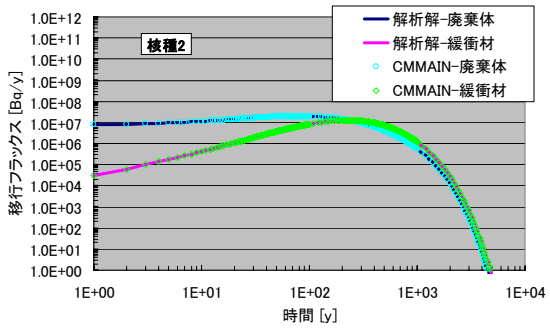
(a) 核種 1：核種量



(b) 核種 1：移行フラックス

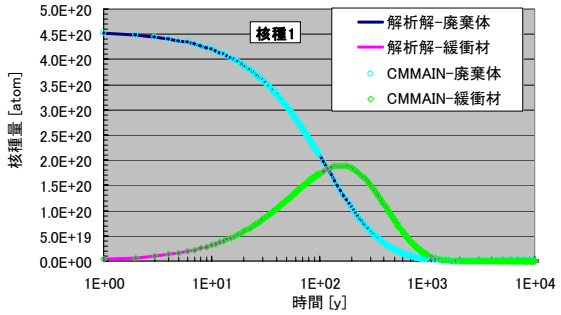


(c) 核種 2：核種量

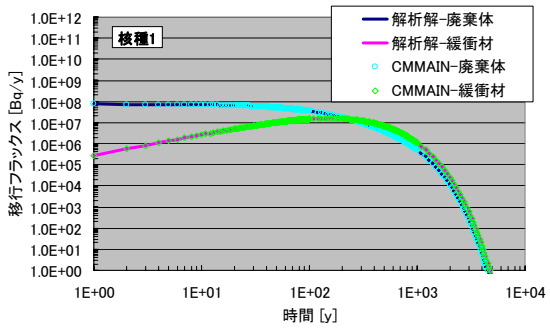


(d) 核種 2：移行フラックス

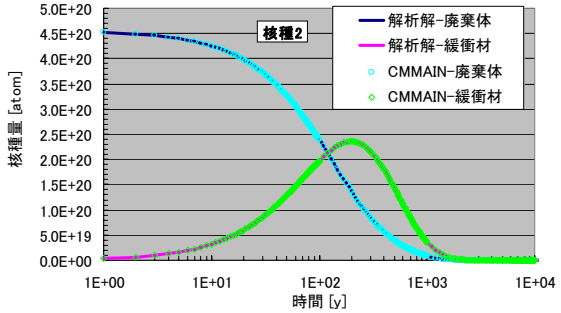
図 1-1　溶解度なしケース 1（親＞子）における解析解とサブモデル（CMMAIN）の比較



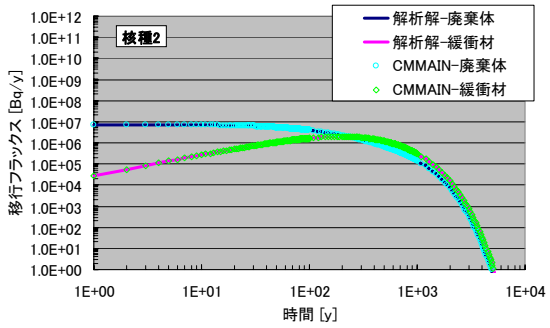
(a) 核種 1：核種量



(b) 核種 1：移行フラックス



(c) 核種 2：核種量



(d) 核種 2：移行フラックス

図 1-2　溶解度なしケース 2（親＜子）における解析解とサブモデル（CMMAIN）の比較

(2)　溶解度を考慮する場合（同位元素ではなく、かつ、$\lambda^{i} \neq \lambda^{i-1}$ の場合）

(ア) 計算条件

検証計算のための基本計算条件を表 1-3 に示す。2 核種からなる崩壊系列（核種 1→核種 2）を想定し、廃棄体に初期インベントリが与えられているものとした。各計算ケースにおける核種の半減期を表 1-4 に示す。

表 1-3　基本計算条件

パラメータ		単位	廃棄体	緩衝材
初期インベントリ	核種 1	Bq	1E+10	-
	核種 2		1E+09	-
厚さ		m	0.5	1.0
体積		m^3	0.5	1.0
断面積		m^2	1.0	1.0
真密度		kg/m^3	2700	2700
間隙率		-	0.5	0.5
実流速		m/y	0.1	0.01
溶解度	核種 1	mol/m^3	1.66E-2	可溶
	核種 2		1.66E-4	可溶
実効拡散係数		m^2/y	0.01	0.001
分配係数		m^3/kg	0.01	0.001

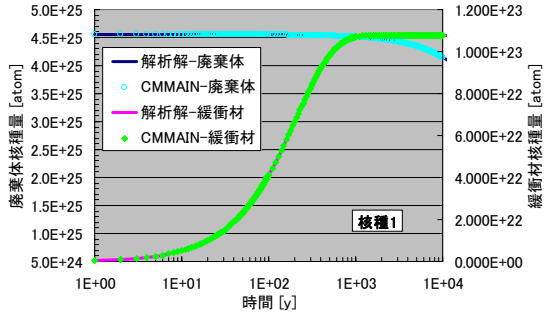
※核種 1 と核種 2 は、核種 1→核種 2 の崩壊系列

表 1-4　各計算ケースにおける核種の半減期

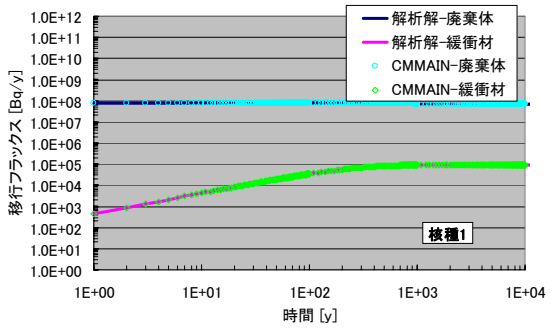
No.	半減期の大小関係	半減期 [y]	
		核種 1	核種 2
1	親＞子	1E+8	1E+7
2	親＜子		1E+9

(イ) 計算結果

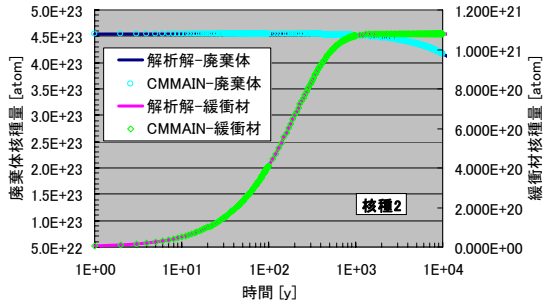
各計算ケースにおける解析解とサブモデルの計算結果の比較を図 1-3 および図 1-4 に示す。図には、各領域中の核種量（y 軸線形）と各領域からの移行フラックス（y 軸対数）を示した。図から、解析解とサブモデルの結果がよく一致していることが分かる。たとえば、子孫核種（核種 2）の核種量でみた場合、10000 年までの範囲での相対誤差（解析解とサブモデルの差の絶対値と解析解との比）は、いずれのケースでも 0.02%以下であった。



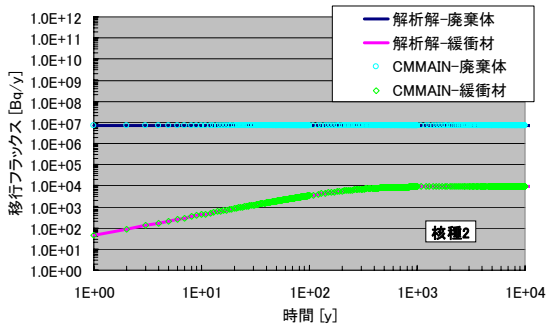
(a) 核種 1：核種量



(b) 核種 1：移行フラックス

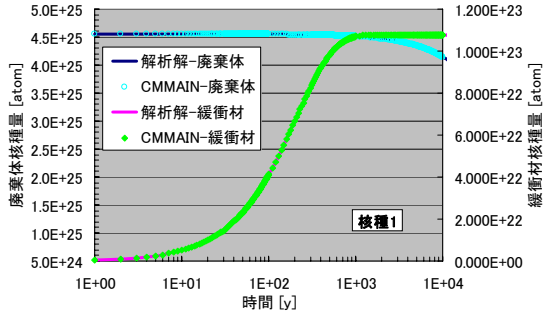


(c) 核種 2：核種量

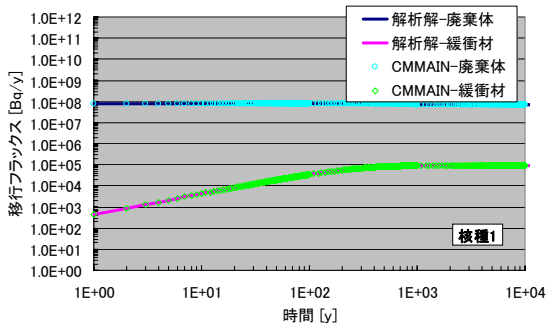


(d) 核種 2：移行フラックス

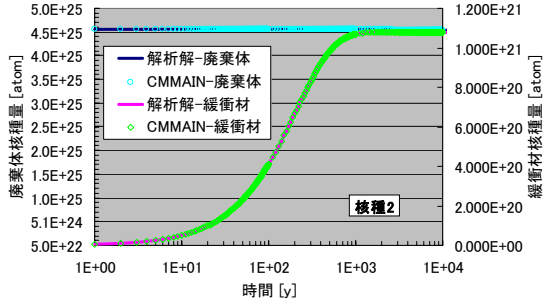
図 1-3　溶解度ありケース 1（親＞子）における解析解とサブモデル（CMMAIN）の比較



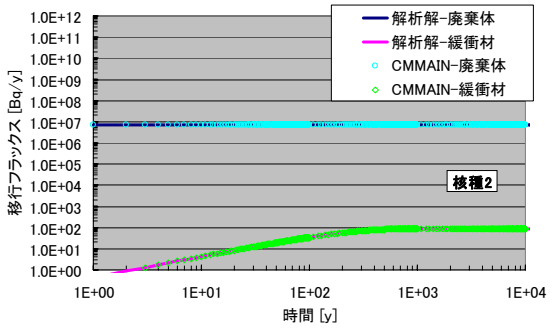
(a) 核種 1：核種量



(b) 核種 1：移行フラックス



(c) 核種 2：核種量



(d) 核種 2：移行フラックス

図 1-4　溶解度ありケース 2（親＜子）における解析解とサブモデル（CMMAIN）の比較

2. 多孔質媒体近似モデル

GSA-GCL2 では、以下の多孔質媒体近似モデルが使用可能である。

① MAINNB　　：多孔質媒体解析解モデル（最大 4 核種まで）
② PMAIN　　：多孔質媒体 FILT 法モデル（最大 10 核種まで）
③ DFMAIN　　：多孔質媒体差分解モデル（最大 10 核種まで）
④ LTMAIN　　：多孔質媒体 LTG 法モデル（最大 10 核種まで）

以下では、これらのサブモデルを対象に検証計算を行った。

2.1. 基本方程式

$$R^i \frac{\partial C^i(x,t)}{\partial t} = D^i \frac{\partial^2 C^i}{\partial x^2} - v \frac{\partial C^i}{\partial x} - R^i \lambda^i C^i + R^i \lambda^{i-1} C^{i-1} \tag{2-1}$$

$C^i(x,t)$　：時間 t かつ地点 x における核種 i の水中濃度 [atom /m^3]
R^i　：核種 i の遅延係数 [-]
$R^i = 1 + \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \rho Kd^i$
ε　：間隙率 [-]
ρ　：真密度 [kg/m^3]
Kd　：核種 i の分配係数 [m^3/kg]
D^i　：核種 i の分散係数 [m^2/y]
$D^i = \alpha_L v + D_0^i$
α_L　：分散長 [m]
D_0^i　：核種 i の間隙中の拡散係数 [m^2/y]
v　：実流速 [m/y]
λ^i　：核種 i の崩壊定数 [1/y]

両辺を遅延係数で除すと、次のように表すことができる。

$$\frac{\partial C^i(x,t)}{\partial t} = D'^i \frac{\partial^2 C^i}{\partial x^2} - v' \frac{\partial C^i}{\partial x} - \lambda^i C^i + \lambda^{i-1} C^{i-1} \tag{2-2}$$

$$v' = \frac{v}{R^i}$$

$$D'^i = \frac{D^i}{R^i}$$

2.2. 解析解

（1）　上流側境界条件が濃度境界条件の場合

(ア) 定常ソース

初期条件および境界条件を、

初期条件　　：$C^i(x,0)=0 \quad x \geq 0$　(2-3)

上流境界条件：$C^i(0,t)=U_0^i(t) \quad t \geq 0$　定常ソース　(2-4)

下流境界条件：$C^i(\infty,t)=0 \quad t \geq 0$　(2-5)

とおいて、放射性崩壊および生成を無視すると、1 次元の移流拡散方程式の解析解は次のようになる。

$$C^i(x,t)=\frac{1}{2}\left\{erfc\left(\frac{x-v't}{2\sqrt{D'^i t}}\right)+\exp\left(\frac{v'x}{D'^i}\right)\cdot erfc\left(\frac{x+v't}{2\sqrt{D'^i t}}\right)\right\} \tag{2-6}$$

(イ) パルスソース

初期条件および境界条件を、

初期条件　　：$C^i(x,0)=0 \quad x \geq 0$　(2-7)

上流境界条件：$C^i(0,t)=H_0^i\left[U_a^i(t)-U_b^i(t)\right] \quad t \geq 0$　パルスソース　(2-8)

$$U_a^i(t)=\begin{cases}0 & if \quad 0<t<a \\ 1 & if \quad t>a\end{cases}$$

$$U_b^i(t)=\begin{cases}0 & if \quad 0<t<b \\ 1 & if \quad t>b\end{cases}$$

ただし、$a<b$

下流境界条件：$C^i(\infty,t)=0 \quad t \geq 0$　(2-9)

とおいて、放射性崩壊および遅延係数を無視すると、1 次元の移流拡散方程式の解析解は次のようになる。

$$C^i(x,t)=\frac{1}{2}H_0^i\left\{\begin{array}{l}\left\{erfc\left(\frac{x-v'(t-a)}{2\sqrt{D'^i(t-a)}}\right)+\exp\left(\frac{v'x}{D'^i}\right)\cdot erfc\left(\frac{x+v'(t-a)}{2\sqrt{D'^i(t-a)}}\right)\right\}\cdot U_a^i(t) \\ -\left\{erfc\left(\frac{x-v'(t-b)}{2\sqrt{D'^i(t-b)}}\right)+\exp\left(\frac{v'x}{D'^i}\right)\cdot erfc\left(\frac{x+v'(t-b)}{2\sqrt{D'^i(t-b)}}\right)\right\}\cdot U_b^i(t)\end{array}\right\} \tag{2-10}$$

なお、上記の解析解の導出過程は齋藤・星（1997）に詳しい[(2)]。

(2)　上流側境界条件がフラックス境界条件の場合

(ア) 定常ソース

初期条件および境界条件を、

初期条件　：$C^i(x,0)=0 \quad x \geq 0$ (2-11)

上流境界条件：$C'^i(0,t)=\dfrac{dC^i(0,t)}{dx}=q_0^i(t) \quad t \geq 0$　定常ソース (2-12)

下流境界条件：$C^i(\infty,t)=0 \quad t \geq 0$ (2-13)

とおいて、放射性崩壊および生成を無視すると、1 次元の移流拡散方程式の解析解は次のようになる。

$$C^i(x,t)=\frac{1}{2}\left\{erfc\left(\frac{x-v't}{2\sqrt{D'^i t}}\right)-\exp\left(\frac{v'x}{D'^i}\right)\cdot erfc\left(\frac{x+v't}{2\sqrt{D'^i t}}\right)\right\} \tag{2-14}$$

(イ) パルスソース

初期条件および境界条件を、

初期条件　：$C^i(x,0)=0 \quad x \geq 0$ (2-15)

上流境界条件：$C'^i(0,t)=\dfrac{dC^i(0,t)}{dt}=H_0^i\left[U_a^i(t)-U_b^i(t)\right] \quad t \geq 0$　パルスソース (2-16)

$$U_a^i(t)=\begin{cases}0 & if \quad 0<t<a \\ 1 & if \quad t>a\end{cases}$$

$$U_b^i(t)=\begin{cases}0 & if \quad 0<t<b \\ 1 & if \quad t>b\end{cases}$$

ただし、$a<b$

下流境界条件：$C^i(\infty,t)=0 \quad t \geq 0$ (2-17)

とおいて、放射性崩壊および遅延係数を無視すると、1 次元の移流拡散方程式の解析解は次の

[2] 齋藤大作、星清、移流拡散方程式の解析解(1)、開発土木研究所月報 No.533、1997.

ようになる。

$$C^i(x,t)=\frac{1}{2}H_0^i\left\{\begin{array}{l}\left\{erfc\left(\frac{x-v'(t-a)}{2\sqrt{D'^i(t-a)}}\right)-\exp\left(\frac{v'x}{D'^i}\right)\cdot erfc\left(\frac{x+v'(t-a)}{2\sqrt{D'^i(t-a)}}\right)\right\}\cdot U_a^i(t)\\-\left\{erfc\left(\frac{x-v'(t-b)}{2\sqrt{D'^i(t-b)}}\right)-\exp\left(\frac{v'x}{D'^i}\right)\cdot erfc\left(\frac{x+v'(t-b)}{2\sqrt{D'^i(t-b)}}\right)\right\}\cdot U_b^i(t)\end{array}\right\} \tag{2-18}$$

2.3. 多孔質媒体解析解モデル（MAINNB）の検証計算

(1) 計算条件

パルスソースに対する基本計算条件を表 2-1 に示す。核種の半減期は減衰の効果を無視できるように 1E+99 年とした。

また、パルスソースのパターンとして、0＜t≦100 年（0-100 パターン）までの期間と、10＜t≦100 年（10-100 パターン）までの期間の 2 ケースからなる計算ケースを設定した。

表 2-1　基本計算条件（パルス入力）

パラメータ	単位	廃棄体
入力フラックス	Bq/y	1.0
核種の半減期	y	1E+99
移行距離	m	10
真密度	kg/m^3	2700
間隙率	-	0.5
実流速	m/y	0.1
分散長	m	1.0
分配係数	m^3/kg	0.0001

(2) 計算結果

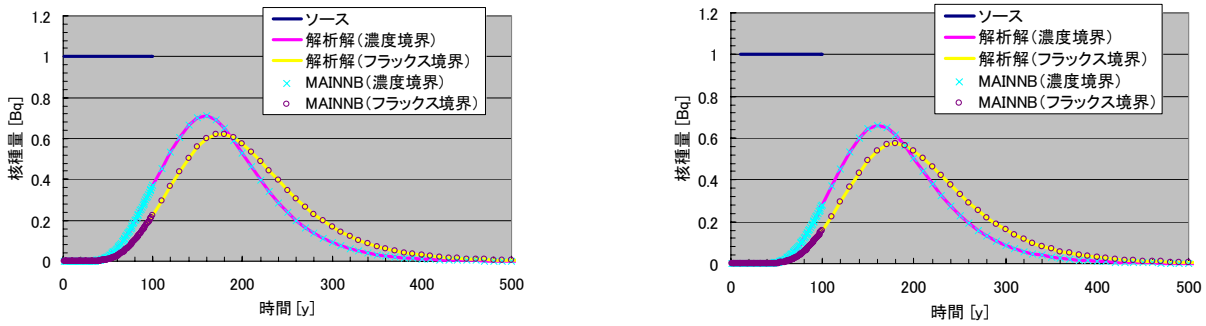
パルスソースに対する解析解[3]と多孔質媒体解析解モデル（MAINNB）の比較を図 2-1 に示す。図には、移行距離地点（10m）における核種量を、(a)0-100 パターンと(b)10-100 パターンのそれぞれについて示した。図から、0-100 パターンと 10-100 パターンともに、濃度境界条件およびフラックス境界条件の両方で、解析解と MAINNB がほぼ一致していることが分かる。

0-100 パターンの場合、核種量が 1E-5 Bq を超える範囲で比較した相対誤差（解析解と MAINNB の差の絶対値と解析解との比）は、濃度境界条件およびフラックス境界条件ともに、解析解と MAINNB の相対誤差（1E-5 Bq を超える範囲）は 0.004%であった。また、最大核種量は、濃度境界条件（0.71Bq）およびフラックス境界条件（0.62Bq）ともに、解析解と MAINNB で一致した。

10-100 パターンの場合も同様に、核種量が 1E-5 Bq を超える範囲で比較した相対誤差（解析

[3] ここでいう解析解とは、2.2 にて述べた解析解の式を EXCEL で計算したものを意味する。

解と MAINNB の差の絶対値と解析解との比）は、濃度境界条件およびフラックス境界条件ともに、解析解と MAINNB の相対誤差（1E-5 Bq を超える範囲）は 0.004%であった。また、最大核種量は、濃度境界条件（0.66Bq）およびフラックス境界条件（0.58Bq）ともに、解析解と MAINNB で一致した。



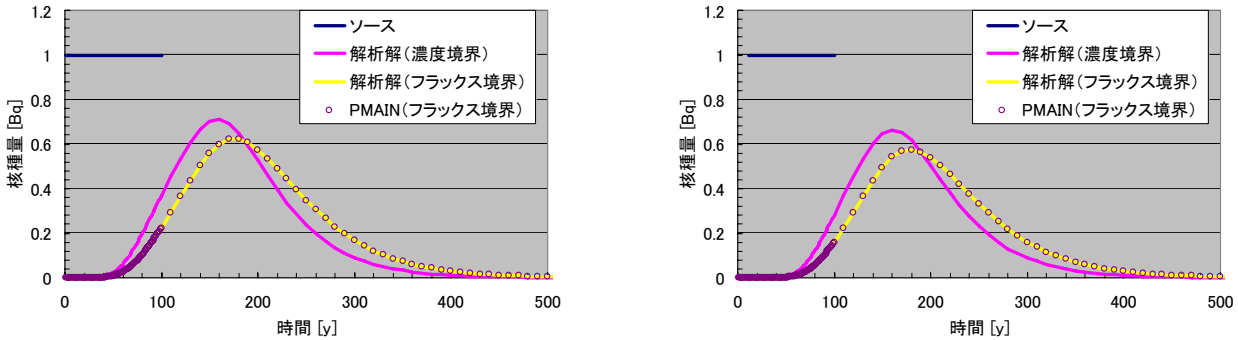
(a) 0-100 パターン　　(b) 10-100 パターン

図 2-1　パルスソースに対する解析解と多孔質媒体解析解モデル（MAINNB）の比較

2.4. 多孔質媒体 FILT 法モデル（PMAIN）の検証計算

多孔質媒体 FILT 法モデル（PMAIN）では、上流側境界条件としてフラックス境界条件のみに対応しているため、フラックス境界条件のみを対象として検証計算を行った。なお、計算条件は前述の多孔質媒体解析解モデル（MAINNB）と同一のものを使用した。

パルスソースに対する解析解と多孔質媒体 FILT 法モデル（PMAIN）の比較を図 2-2 に示す。図には、移行距離地点（10m）における核種量を示した。図から、フラックス境界条件において、解析解と PMAIN がよく一致していることが分かる。なお、PMAIN は解析解を FILT 法により解いているだけなので、多孔質媒体解析解モデル（MAINNB）とほぼ同様の精度が得られている。



(a) 0-100 パターン　　(c) 10-100 パターン

図 2-2　パルスソースに対する解析解と多孔質媒体 FILT 法モデル（PMAIN）の比較

2.5. 多孔質媒体差分解モデル（DFMAIN）の検証計算

多孔質媒体差分解モデル（DFMAIN）の検証計算のため、上記において検証済みの多孔質媒体解析解モデル（MAINNB）との比較を行った。

(1) 計算条件

パルスソースを用い、移流（実流速）と拡散（分散係数）の組み合わせに対するモデル間の比較を行った。パルスソースにおける計算条件を表 2-2 に示す。なお、ここでは単純に実流速と分散長の組み合わせの違いによる影響をモデル間で比較するため、収着なしとした。

表 2-2 パルスソースにおける計算条件

パラメータ		単位	廃棄体
入力フラックス	上流フラックス境界	Bq/y	1.0（0＜t ≦100 y）
核種の半減期		y	1E+99
移行距離		m	10
実流速		m/y	0.1
分散長 （分散係数）		m （m^2/y）	0.1, 1, 10 （0.01, 0.1, 1）
要素分割刻み幅*1		m	0.01
時間刻み幅*1		y	0.001
真密度		kg/m^3	2700
間隙率		-	1.0
分配係数		m^3/kg	0

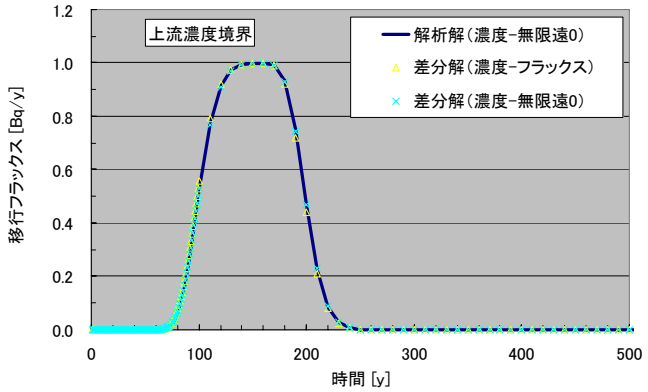
1: 差分解モデル（DFMAIN）のみ（本計算条件の場合、一番条件が厳しくなる実流速 0.1m/y、分散係数 0.01m^2/y のケースにおいて、局所ペクレ数（Pe=v⊿x/(2*D)）が 1 以下になる⊿x=0.2、この⊿x に対してクーラン数（Cr=v*⊿t/⊿x）が 1 以下になる⊿t=2 を十分に下回る刻みをそれぞれ設定している。）

(2) 計算結果

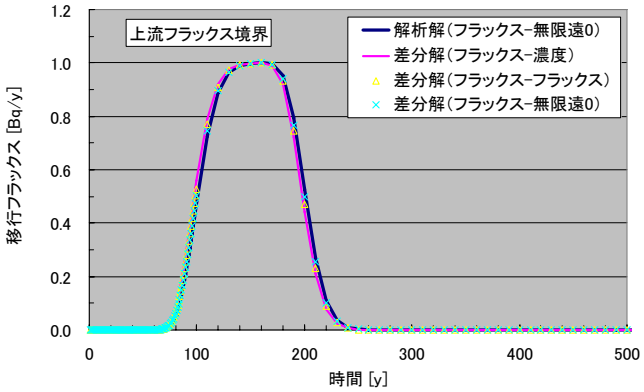
パルスソースに対する多孔質媒体解析解モデル（MAINNB）と多孔質媒体差分解モデル（DFMAIN）の比較を図 2-3 に示す。解析は、上流および下流のいくつかの異なる境界条件のケースを設定し、図中の凡例に示すような「解析解あるいは差分解（上流境界条件-下流境界条件）」のケースに対する解析を行った。境界条件のタイプとして、濃度は「濃度境界」、フラックスは「フラックス境界」、無限遠 0 は「無限遠の濃度がゼロ」を意味する。ただし、差分解の場合は無限遠 0 を近似するために、移行距離より十分に大きい有限の解析領域を設定した（解析領域を 100m として移行距離 10m 地点における移行フラックスを評価した）。

図から、上流濃度境界において、「解析解（濃度-無限遠 0）」と「差分解（濃度-無限遠 0）」はどの分散長の場合でもよく一致しているのに対して、「差分解（濃度-フラックス）」は分散長が大きくなるにつれてフラックスが大きくなっていることが分かる。一方、上流フラックス境界において、差分解はどの下流側境界条件に関しても、分散長が大きくなるにつれて、解析解

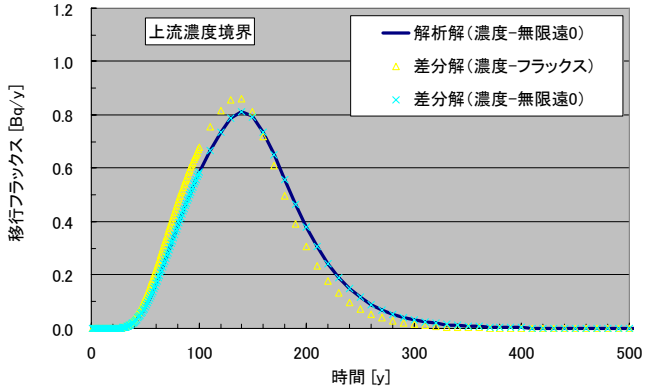
（フラックス-無限遠 0）よりフラックスが大きくなっており、その差は、「差分解（フラックス-無限遠 0)」、「差分解（フラックス-フラックス)」、「差分解（フラックス-濃度)」の順で大きくなっていることが分かる。



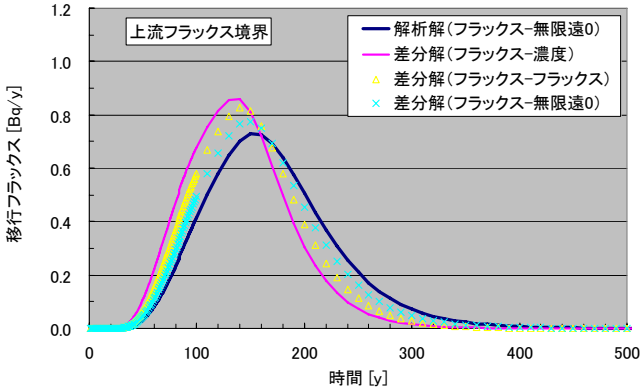
(a) 上流濃度境界：分散長 0.1 m



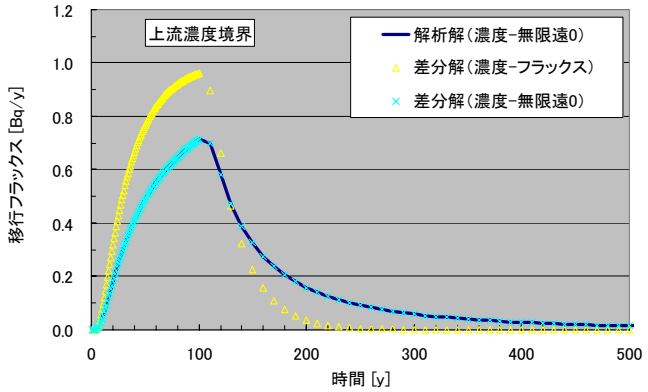
(b) 上流フラックス境界：分散長 0.1 m



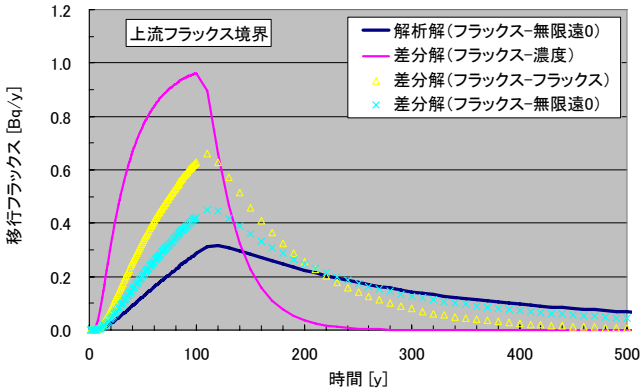
(c) 上流濃度境界：分散長 1 m



(d) 上流フラックス境界：分散長 1 m



(e) 上流濃度境界：分散長 10 m



(f) 上流フラックス境界：分散長 10 m

図 2-3　パルスソースに対する多孔質媒体解析解モデル（MAINNB）と多孔質媒体差分解モデル（DFMAIN）の比較（実流速 0.1m/y）

各計算ケースにおける各サブモデルの最大フラックスの比較したものを表 2-3 に示す。この表から、分散長が小さい（0.1m）場合や「差分解（濃度-無限遠 0)」の場合には、解析解と差分解は有効数字 2 桁の精度で一致しているのに対して、それ以外では分散長が大きくなるにつれて差分解の最大フラックスが解析解よりも大きくなっており、分散長 10m の「差分解（フラックス-濃度)」で解析解より約 3 倍程度大きくなっていることが分かる。

上流濃度境界では、「解析解（濃度-無限遠 0)」と「差分解（濃度-無限遠 0)」が良く一致したのに対し、上流フラックス境界では、「解析解（フラックス-無限遠 0)」と「差分解（フラックス-無限遠 0)」で大きい分散長の場合に差がみられた。これは、上流フラックス境界とした場合、差分解では有限の解析領域を対象としているのに対し、解析解では前提として距離 0 地点よりも上流側への拡散が考慮されるため、その分全体的に濃度が低下し、その結果、移行フラックスも低下している。

また、上流濃度境界と上流フラックス境界に共通して、下流境界条件が濃度境界やフラックス境界の場合に解析解と差がみられた。下流濃度境界に関しては、その定義から境界における濃度勾配が最大に見積もられ、移行フラックスを計算するときに拡散項が含まれるため、移行フラックスが大きくなる。一方、下流フラックス境界の場合は、その定義から境界における濃度勾配がゼロで、外側領域への拡散による移行がなく、下流境界付近の濃度が他の下流境界条件に比べて高くなるため、移行フラックスも大きくなる傾向を示す。

以上のように、多孔質媒体解析解と差分解の特徴から、上流および下流境界条件のタイプ、解析条件によっては移行フラックスの挙動が異なる場合がある。

表 2-3　各計算ケースにおける各サブモデルの最大フラックスの比較（解析解と差分解）

		最大フラックス [Bq/y]				①に対する比		
サブモデル→		解析解	差分解					
下流境界条件→		無限遠0	濃度境界	フラックス境界	無限遠0			
上流境界条件	分散長[m]	①	②	③	④	②	③	④
濃度	0.1	0.99954	−	0.99941	0.99937	−	1.00	1.00
	1	0.81329	−	0.85926	0.81275	−	1.06	1.00
	10	0.71379	−	0.96220	0.71400	−	1.35	1.00
フラックス	0.1	0.99941	0.99941	0.99941	0.99933	1.00	1.00	1.00
	1	0.73039	0.85926	0.82511	0.77620	1.18	1.13	1.06
	10	0.31548	0.96220	0.65985	0.45062	3.05	2.09	1.43

2.6. 多孔質媒体 LTG 法モデル（LTMAIN）の検証計算

多孔質媒体 LTG 法モデル（LTMAIN）の検証計算のため、上記において検証済みの多孔質媒体差分解モデル（DFMAIN）との比較を行った。

(1)　計算条件

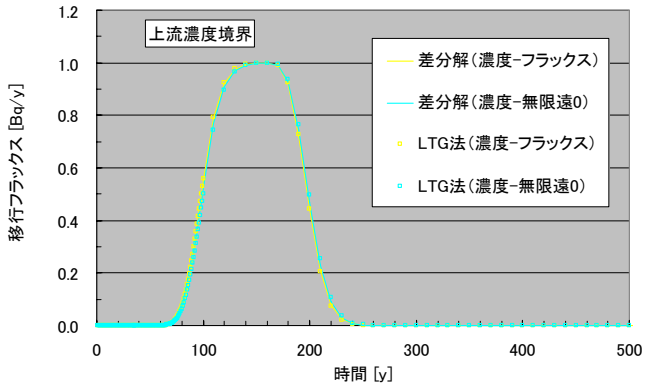
パルスソースを用い、移流（実流速）と拡散（分散係数）の組み合わせに対するモデル間の比較を行った。パルスソースにおける計算条件は、「2.5.多孔質媒体差分解モデル（DFMAIN）の検証計算」の表 2-2 と同様に設定した。ただし、LTG 法モデル（LTMAIN）では、分散長=0.1m

（移流支配）のケースにおいて、精度の良い結果を得るため、要素分割数を十分に設定しなければならないことから、全ケースに対して一律解析領域を 1000 分割した。なお、ここでは単純に実流速と分散長の組み合わせの違いによる影響をモデル間で比較するため､収着なしとした。

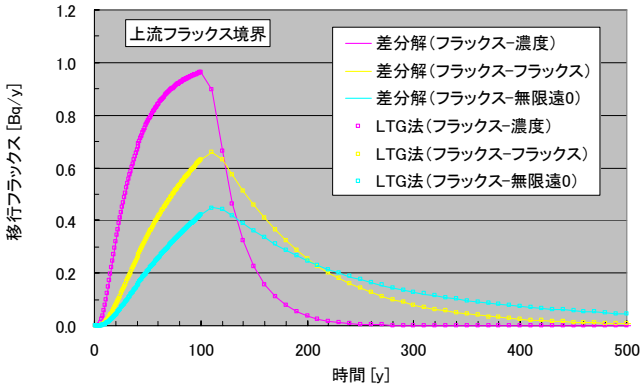
(2)　計算結果

パルスソースに対する多孔質媒体差分解モデル（DFMAIN）と多孔質媒体 LTG 法モデル（LTMAIN）の比較を図 2-4 に示す。解析は、上流および下流のいくつかの異なる境界条件のケースを設定し、図中の凡例に示すような「差分解（上流境界条件-下流境界条件）」あるいは「LTG 法（上流境界条件-下流境界条件）」のケースに対する解析を行った。境界条件のタイプとして、濃度は「濃度境界」、フラックスは「フラックス境界」、無限遠 0 は「無限遠の濃度がゼロ」を意味する。ただし、差分解および LTG 法の場合は無限遠 0 を近似するために、移行距離より十分に大きい有限の解析領域を設定した（解析領域を 100m として移行距離 10m 地点における移行フラックスを評価した）。この図から、各計算ケースにおいて、多孔質媒体差分解モデル（DFMAIN）と多孔質媒体 LTG 法モデル（LTMAIN）の結果がよく一致していることがわかる。

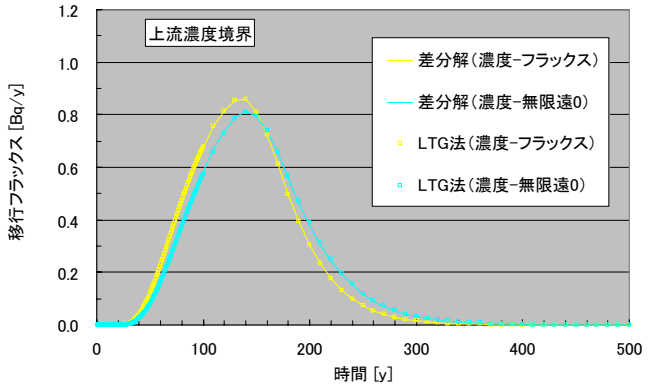
また、多孔質媒体差分解モデル（DFMAIN）と多孔質媒体 LTG 法モデル（LTMAIN）における最大フラックスの比較を表 2-4 に示す。この表から、両モデルが各計算ケースに対して、有効数字 2 桁程度でよく一致しており、両モデルが同等の計算機能を有し、適切に計算が行われていることを確認した。



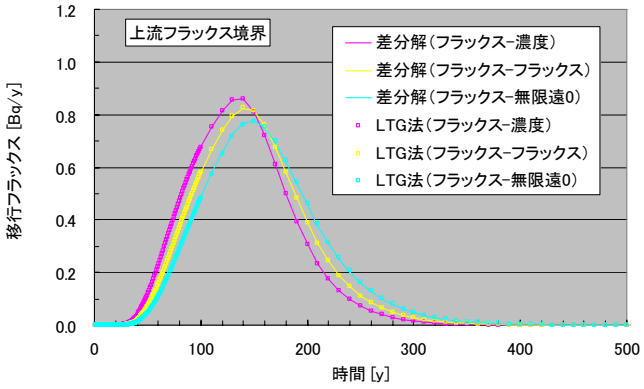
(a) 上流濃度境界：分散長 0.1 m



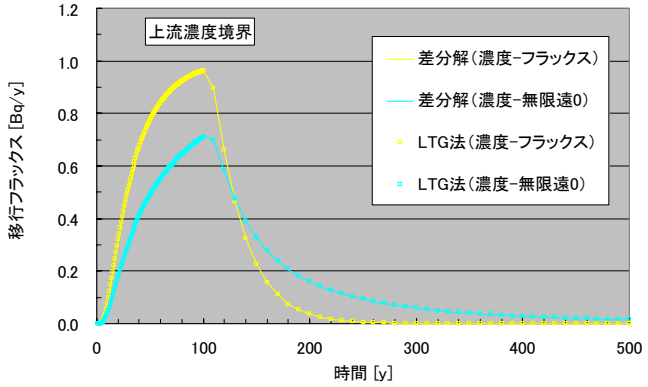
(b) 上流フラックス境界：分散長 0.1 m



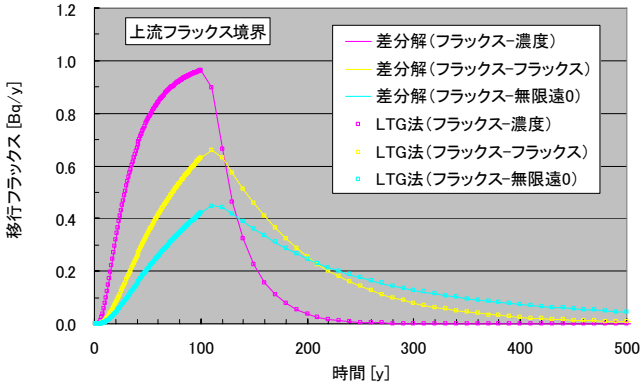
(c) 上流濃度境界：分散長 1 m



(d) 上流フラックス境界：分散長 1 m



(e) 上流濃度境界：分散長 10 m



(f) 上流フラックス境界：分散長 10 m

図 2-4　パルスソースに対する多孔質媒体差分解モデル（DFMAIN）と多孔質媒体 LTG 法モデル（LTMAIN）の比較（実流速 0.1m/y）

表 2-4　各計算ケースにおける各サブモデルの最大フラックスの比較（差分解と LTG 法）

		最大フラックス [Bq/y]						差分解／LTG法比		
サブモデル→		差分解			LTG法					
下流境界条件→		濃度境界	フラックス境界	無限遠0	濃度境界	フラックス境界	無限遠0			
上流境界条件	分散長[m]	①	②	③	④	⑤	⑥	①/④	②/⑤	③/⑥
濃度	0.1	－	0.99941	0.99937	－	0.99957	0.99924	－	1.00	1.00
	1	－	0.85926	0.81275	－	0.85992	0.81022	－	1.00	1.00
	10	－	0.96220	0.71400	－	0.96227	0.71029	－	1.00	1.01
フラックス	0.1	0.96220	0.65985	0.45062	0.96216	0.66005	0.44806	1.00	1.00	1.01
	1	0.85926	0.82511	0.77620	0.85986	0.82587	0.77510	1.00	1.00	1.00
	10	0.96220	0.65985	0.45062	0.96216	0.66005	0.44806	1.00	1.00	1.01

3. 亀裂性媒体近似モデル

3.1. 解析解[4]

（1）　分散係数=0 の場合

亀裂性媒体の基本方程式に対する解析解には、積分項が含まれており、解析的に解くことができないため、ここでは流れ方向の分散の効果が無視できる（D=0）場合を想定すると、解析解は次のように表すことができる。

【亀裂】

$$\frac{C^i(x,t)}{C_0{}^i} = 0 \qquad T' < 0 \tag{3-1}$$

$$\frac{C^i(x,t)}{C_0{}^i} = \frac{1}{2}\exp\left(-\frac{\lambda^i R^i x}{v}\right)\left[\exp\left(-\frac{\sqrt{\lambda^i}R^i x}{vA}\right)erfc\left(\frac{x}{2vAT'} - \sqrt{\lambda^i}T'\right)\right.$$
$$\left. + \exp\left(\frac{\sqrt{\lambda^i}R^i x}{vA}\right)erfc\left(\frac{x}{2vAT'} + \sqrt{\lambda^i}T'\right)\right] \qquad T' > 0 \tag{3-2}$$

ただし、

$$T' = \sqrt{t - \frac{R^i x}{v}} \qquad A = \frac{bR^i}{\varepsilon\sqrt{R_m{}^i D_m{}^i}}$$

（2）　定常解の場合

時間が十分に経過し、定常となった場合の解析解は次のようになる。

【亀裂】

[4] Tang, D. H., Frind, E. O. and Sudicky, E. A., Contaminant transport in Fractured Porous Media: Analytical Solution for a Single Fracture. *Water Resources Research*, **17**(3), pp.555-564, 1981. ; ただし、定常解に誤記があり、修正したものを使用した。

$$\frac{C^i(x,t)}{C_0^{\,i}} = \exp\left\{\left[\frac{\frac{D^i}{v} - \sqrt{\left(\frac{D^i}{v}\right)^2 + 4\frac{\psi}{D^i}}}{2}\right]x\right\} \tag{3-3}$$

ただし、

$$\psi = \lambda^i + \frac{\varepsilon\sqrt{D_m{}^i\lambda^i}}{b}$$

3.2. 亀裂性媒体 LTG 法（MAINLTG）の検証計算

（1） 亀裂内濃度分布の比較（Sudicky1990 との比較）

(ア) 計算条件

亀裂性媒体 LTG 法（MAINLTG）に関して、同様の LTG 法に関して検証を行っている Sudicky（1990）[5]を参考に検証計算を行った。Sudicky（1990）の“Verification problem 1”に示された計算条件を本計算コードで評価するため、表 3-1 のようにパラメータを設定した。上流境界条件は、第 1 種境界条件、$C=C_0$ で一定とした。なお、亀裂および岩石間トリックスにおける収着は考慮しないものとした。

表 3-1 Sudicky(1990)の“Verification problem 1”の計算条件を基に設定したパラメータ

パラメータ		単位	廃棄体
核種の半減期（崩壊定数）		d (1/d)	4500 (1.54E-4)
亀裂	移行距離 （要素分割刻み幅）	m	10 （0.5）
	亀裂開口幅	m	1E-4
	実流速	m/d	0.1
	分散長	m	0.5
	拡散係数	m^2/d	1.38E-4
	マトリックス 拡散寄与面積割合	%	100
岩石マトリックス	拡散深さ （要素分割刻み幅）	m	1.2 （0.024）
	間隙率	-	0.01
	拡散係数	m^2/d	1.38E-5

（MAINLTG 用に一部改変）

(イ) 計算結果

[5] Sudicky, E.A., The Laplace Transform Galerkin Technique for Efficient Time-Continuous Solution of Solute Transport in Double-Porosity Media. *Geoderma*, **46**, pp.209-232, 1990.

Sudicky（1990）における LTG（実線）と亀裂性媒体 LTG 法（MAINLTG：プロット）における濃度比空間分布の比較を図 3-1 に示す。なお、Sudicky（1990）における LTG（実線）の値は、グラフ読み取りソフト（Digital Curve Tracer 1.0）により数値化した。Sudicky（1990）における LTG（実線）には読み取り誤差が含まれているものの、Sudicky（1990）における LTG（実線）と MAINLTG（プロット）は比較的よく一致していることがわかる。

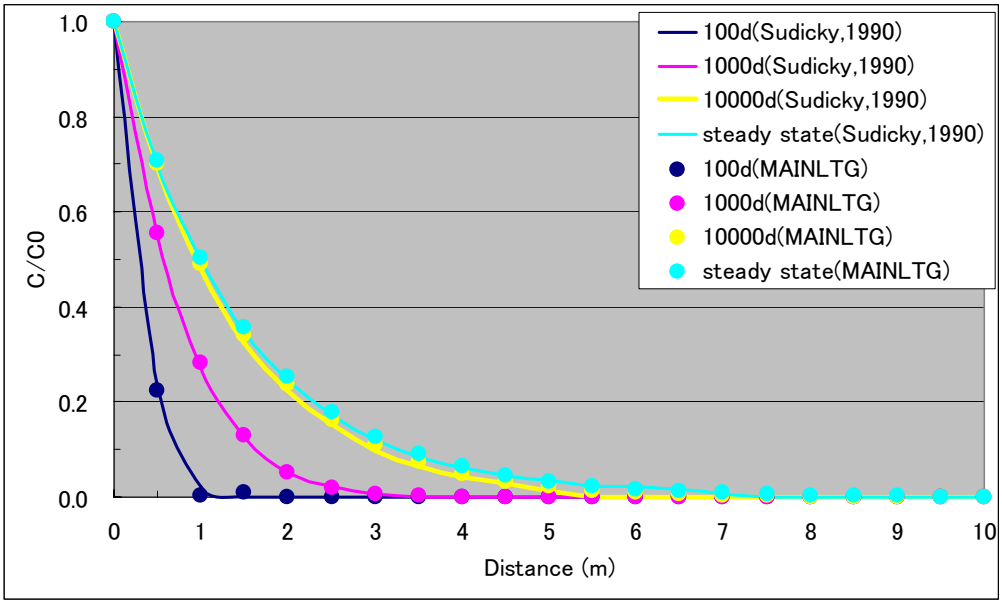


図 3-1　Sudicky（1990）における LTG（実線）と亀裂性媒体 LTG 法（MAINLTG：プロット）における濃度比空間分布の比較

(2)　亀裂内濃度分布の比較（Huyakorn1983 との比較）

(ア) 計算条件

亀裂性媒体 LTG 法（MAINLTG）に関して、Huyakorn et al.（1983）[6]で行われた条件に合わせて検証計算を行った。Huyakorn et al.（1983）に示された計算条件を本計算コードで評価するため、表 3-2 のようにパラメータを設定した。上流境界条件は、第 1 種境界条件、$C=C_0$ で一定とした。なお、亀裂および岩石間トリックスにおける収着は考慮しないものとした。

[6] Huyakorn, P., B. Lester, and J. Mercer, An Efficient Finite Element Technique for Modeling Transport in Fractured Porous Media 1. Single Species Transport, *Water Resources. Research*., **19**(3), 841-854. 1983.

表 3-2　Huyakorn et al.（1983）の計算条件を基に設定したパラメータ

パラメータ		単位	廃棄体
核種の半減期 （崩壊定数）		d (1/d)	4500 (1.54E-4)
亀裂	移行距離 （要素分割刻み幅）	m	10 （0.5）
	亀裂開口幅	m	1E-4
	実流速	m/d	0.1
	分散長	m	0.5
	拡散係数	m^2/d	1.38E-4
	マトリックス 拡散寄与面積割合	%	100
岩石マトリックス	拡散深さ （要素分割刻み幅）	m	1.2 （0.024）
	間隙率	-	0.01
	拡散係数	m^2/d	1.38E-5

（MAINLTG 用に一部改変）

(イ) 計算結果

亀裂部濃度分布に関して、Huyakorn et al.（1983）に示された解析値と亀裂性媒体 LTG 法（MAINLTG）の計算値を比較したものを表 3-3 に示す。値（C/C_0）が小さい地点では、解析値と MAINLTG の計算値の間に差がみられるものの、ある程度値が大きい場合は有効数字 2 桁以上の精度で解析値と MAINLTG の計算値が一致していることがわかる。

表 3-3　亀裂部濃度分布に関する解析値と亀裂性媒体 LTG 法（MAINLTG）の計算値の比較

距離m	解析値 C/C_0			MAINLTG C/C_0			MAINLTG/解析解		
	97days	995days	9991days	97days	995days	9991days	97days	995days	9991days
0.0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.00	1.00	1.00
0.1	0.7815	0.8941	0.9317	0.7834	0.8942	0.9317	1.00	1.00	1.00
0.3	0.4530	0.7072	0.8085	0.4521	0.7075	0.8084	1.00	1.00	1.00
0.6	0.1767	0.4848	0.6526	0.1682	0.4849	0.6525	0.95	1.00	1.00
1.0	0.0406	0.2797	0.4891	0.0317	0.2793	0.4890	0.78	1.00	1.00
1.5	0.0047	0.1309	0.3393	0.0019	0.1300	0.3391	0.41	0.99	1.00
2.2	−	0.0399	0.2010	0.0000	0.0389	0.2009	−	0.98	1.00
3.0	−	0.0087	0.1084	0.0000	0.0082	0.1083	−	0.94	1.00
4.0	−	0.0010	0.0485	0.0000	0.0009	0.0485	−	0.89	1.00
5.0	−	−	0.0209	0.0000	0.0001	0.0208	−	−	1.00
6.0	−	−	0.0086	0.0000	0.0000	0.0086	−	−	1.00

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	立法メートル	m^3
速さ，速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s^2
波数	毎メートル	m^{-1}
密度，質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m^3
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m^2
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
量濃度[a]，濃度	モル毎立方メートル	mol/m^3
質量濃度	キログラム毎立法メートル	kg/m^3
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m^2
屈折率[b]	（数字の）　1	1
比透磁率[b]	（数字の）　1	1

(a) 量濃度（amount concentration）は臨床化学の分野では物質濃度（substance concentration）ともよばれる。
(b) これらは無次元量あるいは次元１をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の１は通常は表記しない。

表３．固有の名称と記号で表される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	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン[b]	rad	1 [b]	m/m
立体角	ステラジアン[b]	sr[c]	1 [b]	m^2/m^2
周波数	ヘルツ[d]	Hz		s^{-1}
力	ニュートン	N		$m\ kg\ s^{-2}$
圧力，応力	パスカル	Pa	N/m^2	$m^{-1}\ kg\ s^{-2}$
エネルギー，仕事，熱量	ジュール	J	N m	$m^2\ kg\ s^{-2}$
仕事率，工率，放射束	ワット	W	J/s	$m^2\ kg\ s^{-3}$
電荷，電気量	クーロン	C		s A
電位差（電圧），起電力	ボルト	V	W/A	$m^2\ kg\ s^{-3}\ A^{-1}$
静電容量	ファラド	F	C/V	$m^{-2}\ kg^{-1}\ s^4\ A^2$
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	$m^2\ kg\ s^{-3}\ A^{-2}$
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V	$m^{-2}\ kg^{-1}\ s^3\ A^2$
磁束	ウエーバ	Wb	Vs	$m^2\ kg\ s^{-2}\ A^{-1}$
磁束密度	テスラ	T	Wb/m^2	$kg\ s^{-2}\ A^{-1}$
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	$m^2\ kg\ s^{-2}\ A^{-2}$
セルシウス温度	セルシウス度[e]	℃		K
光束	ルーメン	lm	cd sr[c]	cd
照度	ルクス	lx	lm/m^2	$m^{-2}\ cd$
放射性核種の放射能[f]	ベクレル[d]	Bq		s^{-1}
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg	$m^2\ s^{-2}$
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト[g]	Sv	J/kg	$m^2\ s^{-2}$
酸素活性	カタール	kat		$s^{-1}\ mol$

(a)SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。
(b)ラジアンとステラジアンは数字の１に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。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である数字の１は明示されない。
(c)測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
(d)ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
(e)セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
(f)放射性核種の放射能（activity referred to a radionuclide）は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
(g)単位シーベルト（PV,2002,70,205）についてはCIPM勧告2（CI-2002）を参照。

表４．単位の中に固有の名称と記号を含む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
粘度	パスカル秒	Pa s	$m^{-1}\ kg\ s^{-1}$
力のモーメント	ニュートンメートル	N m	$m^2\ kg\ s^{-2}$
表面張力	ニュートン毎メートル	N/m	$kg\ s^{-2}$
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	$m\ m^{-1}\ s^{-1}=s^{-1}$
角加速度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s^2	$m\ m^{-1}\ s^{-2}=s^{-2}$
熱流密度，放射照度	ワット毎平方メートル	W/m^2	$kg\ s^{-3}$
熱容量，エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	$m^2\ kg\ s^{-2}\ K^{-1}$
比熱容量，比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	$m^2\ s^{-2}\ K^{-1}$
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	$m^2\ s^{-2}$
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	$m\ kg\ s^{-3}\ K^{-1}$
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m^3	$m^{-1}\ kg\ s^{-2}$
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	$m\ kg\ s^{-3}\ A^{-1}$
電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m^3	$m^{-3}\ sA$
表面電荷	クーロン毎平方メートル	C/m^2	$m^{-2}\ sA$
電束密度，電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m^2	$m^{-2}\ sA$
誘電率	ファラド毎メートル	F/m	$m^{-3}\ kg^{-1}\ s^4\ A^2$
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	$m\ kg\ s^{-2}\ A^{-2}$
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	$m^2\ kg\ s^{-2}\ mol^{-1}$
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	$m^2\ kg\ s^{-2}\ K^{-1}\ mol^{-1}$
照射線量（X 線及びγ線）	クーロン毎キログラム	C/kg	$kg^{-1}\ sA$
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	$m^2\ s^{-3}$
放射強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	$m^4\ m^{-2}\ kg\ s^{-3}=m^2\ kg\ s^{-3}$
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	$W/(m^2\ sr)$	$m^2\ m^{-2}\ kg\ s^{-3}=kg\ s^{-3}$
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m^3	$m^{-3}\ s^{-1}\ mol$

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}	ギガ	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}	ゼプト	z
10^{1}	デカ	da	10^{-24}	ヨクト	y

表６．SIに属さないが、SIと併用される単位

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=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	’	1’=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	”	1”=(1/60)’=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	$1ha=1hm^2=10^4m^2$
リットル	L, l	$1L=11=1dm^3=10^3cm^3=10^{-3}m^3$
トン	t	$1t=10^3$ kg

表７．SIに属さないが、SIと併用される単位で、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 単位で表される数値
電子ボルト	eV	$1eV=1.602\ 176\ 53(14)\times10^{-19}J$
ダルトン	Da	$1Da=1.660\ 538\ 86(28)\times10^{-27}kg$
統一原子質量単位	u	1u=1 Da
天文単位	ua	$1ua=1.495\ 978\ 706\ 91(6)\times10^{11}m$

表８．SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
バール	bar	$1\ bar=0.1MPa=100kPa=10^5Pa$
水銀柱ミリメートル	mmHg	1mmHg=133.322Pa
オングストローム	Å	$1\ Å=0.1nm=100pm=10^{-10}m$
海里	M	1 M=1852m
バーン	b	$1\ b=100fm^2=(10^{-12}cm)2=10^{-28}m^2$
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的な関係は、対数量の定義に依存。
ベル	B	
デジベル	dB	

表９．固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
エルグ	erg	$1\ erg=10^{-7}\ J$
ダイン	dyn	$1\ dyn=10^{-5}N$
ポアズ	P	$1\ P=1\ dyn\ s\ cm^{-2}=0.1Pa\ s$
ストークス	St	$1\ St\ =1cm^2\ s^{-1}=10^{-4}m^2\ s^{-1}$
スチルブ	sb	$1\ sb\ =1cd\ cm^{-2}=10^4cd\ m^{-2}$
フォト	ph	$1\ ph=1cd\ sr\ cm^{-2}\ 10^4lx$
ガル	Gal	$1\ Gal\ =1cm\ s^{-2}=10^{-2}ms^{-2}$
マクスウェル	Mx	$1\ Mx = 1G\ cm^2=10^{-8}Wb$
ガウス	G	$1\ G\ =1Mx\ cm^{-2}\ =10^{-4}T$
エルステッド[c]	Oe	$1\ Oe \triangleq (10^3/4\pi)A\ m^{-1}$

(c) ３元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「 ≙ 」は対応関係を示すものである。

表10．SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位で表される数値
キュリー	Ci	$1\ Ci=3.7\times10^{10}Bq$
レントゲン	R	$1\ R = 2.58\times10^{-4}C/kg$
ラド	rad	$1\ rad=1cGy=10^{-2}Gy$
レム	rem	$1\ rem=1\ cSv=10^{-2}Sv$
ガンマ	γ	1 γ =1 nT=10-9T
フェルミ		1フェルミ=1 fm=10-15m
メートル系カラット		1メートル系カラット = 200 mg = 2×10-4kg
トル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
カロリー	cal	1cal=4.1858J（「15℃」カロリー），4.1868J（「IT」カロリー）4.184J（「熱化学」カロリー）
ミクロン	μ	$1\ \mu\ =1\mu m=10^{-6}m$

（第8版，2006年改訂）

この印刷物は再生紙を使用しています