

JAERI-Data/Code

99-033



JP9950417



埋設濃度上限値を上回る放射性廃棄物処分の  
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

1999年6月

木村英雄・武田聖司・高橋知之\*

日本原子力研究所  
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。  
入手の問い合わせは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越してください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1195, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1999

編集兼発行 日本原子力研究所

埋設濃度上限値を上回る放射性廃棄物処分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

日本原子力研究所東海研究所安全性試験研究センター燃料サイクル安全工学部  
木村 英雄・武田 聖司・高橋 知之\*

(1999年5月17日受理)

計算コードGSA-GCLは、埋設濃度上限値を上回る低レベル放射性廃棄物等の処分方策及び処分概念の安全性を検討する目的のために開発されたものである。本評価手法は、特定のサイトを前提とした評価コードではないが、地下水流解析コード等の詳細モデルの解析結果に基づき、処分施設から生態圏に至る移行経路を推定することで、ある程度サイト特性を反映させた解析も可能となっている。

GSA-GCLコードシステムは、地下水移行シナリオに基づくものであり、ソースタームモデル、天然バリアモデル、及び生態圏モデルの3モデルから構成されている。ソースタームモデルは、処分施設からの漏洩フラックス評価として、分配平衡モデルと溶解度律速モデルの2種類を適宜選択できる。天然バリアモデルでは、地層媒体として多孔質媒体及び亀裂性媒体の2種類を考慮することができる。3番目のモデルは、生態圏における核種移行及び人間の被ばく線量を解析するもので、動的コンパートメントモデル及び線量換算係数法に基づいている。本報告書は、本コードの数学モデル、コード構造及び使用法を記述したものである。

A Generic Safety Assessment Code for Geologic Disposal of Radioactive Waste  
Greater than Concentration Limit of Shallow Land Disposal  
: GSA-GCL Computer Code User's Manual

Hideo KIMURA, Seiji TAKEDA and Tomoyuki TAKAHASHI\*

Department of Fuel Cycle Safety Research  
Nuclear Safety Research Center  
Tokai Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received May 17, 1999)

The computer code system GSA-GCL (Generic Safety Assessment code for geologic disposal of radioactive waste Greater than Concentration Limit of shallow land disposal) was developed to evaluate the safety of disposal plan and concept of low-level radioactive wastes greater than concentration limit of shallow land disposal. This methodology is basically applied to the generic safety assessment, but can handle site-specific analyses taking account of evaluation of a migration pathway from a repository to the biosphere by using a groundwater flow code.

The GSA-GCL code is based on a groundwater migration scenario, and consists of three submodels; a source term model, a geosphere model and a biosphere model. The source term model evaluates radionuclide fluxes from a disposal facility which are calculated by a distribution equilibrium model or a solubility limit model. The geosphere model can estimate a transport of radionuclides in a porous equivalent medium and in a fractured medium. The third model assesses the transport of radionuclides in the biosphere and the resulting radiological consequences to the man, which is based on a dynamic compartment model and a dose factor method. This report describes mathematical models used, the structure of the code system, and user information and instructions for execution of the code.

Keywords: Safety Assessment, Geologic Disposal, Low-level Radioactive Waste, Computer Code, User's Manual, Source Term, Geosphere, Biosphere, Transport, Diffusion, Dispersion, Sorption, Decay Chain, Dose Calculation

---

\* Kyoto University

## 目 次

1. はじめに.....	1
2. 数学モデル.....	2
2.1 ソースタームモデル.....	2
2.2 天然バリアモデル.....	8
2.3 生態圏モデル.....	18
3. 計算コード.....	26
3.1 計算コードの構成.....	26
3.2 入力データ.....	28
4. テスト計算.....	46
4.1 ソースタームモデルの入力データ例及び計算結果.....	46
4.2 天然バリアモデルの入力データ例及び計算結果.....	47
4.3 生態圏モデルの入力データ例.....	51
参考文献.....	54

## Contents

1. Introduction.....	1
2. Mathematical Model.....	2
2.1 Source Term Model.....	2
2.2 Geosphere Model.....	8
2.3 Biosphere Model.....	18
3. Computer Code.....	26
3.1 Structure of Computer Code.....	26
3.2 Input Data.....	28
4. Test Calculation.....	46
4.1 Example Input Data of Source Term Model and Calculated Results.....	46
4.2 Example Input Data of Geosphere Model and Calculated Results.....	47
4.3 Example Input Data of Biosphere Model.....	51
References.....	54

This is a blank page.

## 1. はじめに

放射性廃棄物処分に係る安全性は、原子力発電を進める上で重要な課題の1つである。現在、原子力発電所から発生する埋設濃度上限値以下の低レベル放射性廃棄物は、下北の埋設施設への処分が実現し、処分計画が具体的に進展しているところである。しかしながら、埋設濃度上限値を上回る低レベル放射性廃棄物等については、比較的浅い地中への処分の見通しは立っていない。この埋設濃度上限値を上回る放射性廃棄物の処分方策としては、浅地層処分よりは若干深い地層（50m以深）への処分が検討されている[1,2]。この処分概念では、埋設深度を深くすることにより、天然バリアの隔離性能を向上させ、人間侵入も併せて抑制すること、また、人工バリアの高度化により核種漏洩を低下させることも想定している。したがって、このような処分施設の安全評価においては、これらの処分対策が反映できる評価手法が必要となる。このため、原研はGSA-GCL（Generic Safety Assessment code for geologic disposal of radioactive waste Greater than Concentration Limit of shallow land disposal）コードシステムを開発した。本報告書は、そのユーザーズマニュアルである。

GSA-GCLコードは、埋設濃度上限値を上回る放射性廃棄物の処分概念の安全性を一般的に検討するためのものであり、特定の処分サイトを前提にした評価コードではないが、地下水流解析コード等の詳細モデルの解析結果に基づき、処分施設から生態圏に至る移行経路を推定することで、ある程度サイト特性を反映させた解析も可能となっている。本評価手法は、地下水移行シナリオに基づくものであり、ソースタムモデル、天然バリアモデル、及び生態圏モデルの3モデルから構成されている。

ソースタムモデルは、処分施設からの放射性核種の漏洩フラックスを評価するものであり、放射性核種の地下水への溶出を規定するモデルとして、分配平衡モデルと溶解度律速モデルの2種類のモデルを適宜選択することができる。天然バリアモデルは、ソースタムモデルの出力結果である処分施設からの放射性核種漏洩フラックスを入力にして、処分施設から人間の生活圏である生態圏までの天然バリア（地層）中における核種移行を解析するものである。本コードシステムの地層媒体としては、多孔質媒体及び亀裂性媒体の2種類を考慮することが可能であり、処分施設から生態圏に至る1次元的な移行経路について、これらのモデルによる単一あるいは複合させた核種移行解析が可能となっている。生態圏モデルは、天然バリアモデルの出力結果である地下水中における放射性核種濃度、あるいは生態圏への放射性核種流出フラックスを入力にして、生態圏中の様々な環境媒体における核種移行解析、及びそれらの環境媒体を通しての一般公衆の被ばく線量の算定を行うものである。被ばく事象としては、食物摂取等に起因する内部被ばくの他に、汚染土壌等からの吸入被ばく及び外部被ばくを考慮している。さらに、本コードシステムは、崩壊連鎖が考慮されており、亀裂性媒体も評価可能であるため、再処理施設等から発生するTRU廃棄物などの他の放射性廃棄物処分に関する安全解析を行うことも可能である。

以下、第2章に本計算コードシステムで用いられているサブモデルの概要を、第3章に本計算コードの構成及び入力データ等を、第4章にテスト計算結果を示す。

## 2. 数学モデル

### 2.1 ソースタームモデル

廃棄物処分施設からの漏洩解析として、処分施設の具体的構造を反映させた2次元あるいは3次元の詳細な解析も考えられるが、計算時間が増大するので、天然バリア及び生態圏モデルの解析も同時に行うことを考えると現実的ではない。したがって、ここでは、簡略化した核種漏洩評価モデルとして、図-2.1.1に示すような廃棄体層（廃棄物固化体、充填材、構造材等を含む）、緩衝材層及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及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、拡散及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）が最大となるよう保守的に核種濃度0を仮定している。

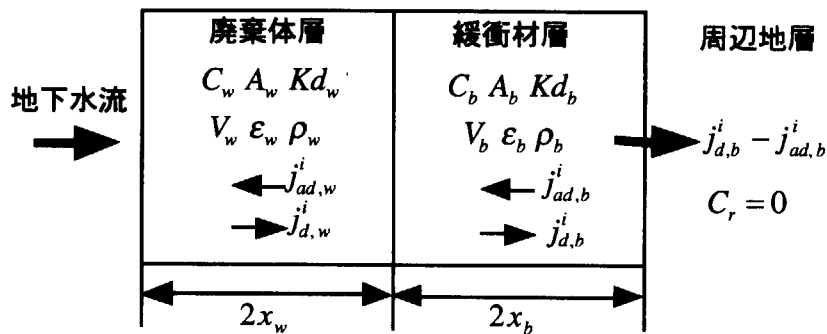


図-2.1.1 ソースタームコンパートメントモデルの概念図

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

廃棄体

$$\frac{dA_w^i}{dt} = -J_{d,w}^i + J_{ad,w}^i - \lambda_i A_w^i + \lambda_{i-1} A_w^{i-1} \quad (2.1-1)$$

緩衝材

$$\frac{dA_b^i}{dt} = J_{d,w}^i - J_{ad,w}^i - J_{d,b}^i + J_{ad,b}^i - \lambda_i A_b^i + \lambda_{i-1} A_b^{i-1} \quad (2.1-2)$$

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

$J_{ad,k}^i$  : 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)

$J_{d,k}^i$  : 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)



$\lambda_i$  : 核種  $i$  の崩壊定数 (1/y)

である。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。

$$C_k^i = \frac{A_k^i}{V_k \varepsilon_k R_k^i} \quad (2.1-3)$$

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<sup>3</sup>)

$V_k$  : コンパートメント  $k$  の体積 (m<sup>3</sup>)

$\varepsilon_k$  : 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 (-)

$$R_k^i = 1 + \frac{1 - \varepsilon_k}{\varepsilon_k} \rho_k K d_k^i \quad (2.1-4)$$

$\rho_k$  : コンパートメント  $k$  の真密度 (kg/m<sup>3</sup>)

$K d_k^i$  : コンパートメント  $k$  における核種  $i$  の分配係数 (m<sup>3</sup>/kg)

コンパートメント  $k$  における核種  $i$  の移流及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。

$$j_{ad,k}^i = S_k u_k \varepsilon_k C_k^i \quad (2.1-5)$$

$$j_{d,k}^i = D_k^i S_k \left[ \frac{\Delta C_k^i}{\Delta x} \right] \quad (2.1-6)$$

ここで、 $S_k$  : コンパートメント  $k$  の断面積 (m<sup>2</sup>)

$u_k$  : コンパートメント  $k$  の実流速 (m/y)

$D_k^i$  : コンパートメント  $k$  における核種  $i$  の見かけの拡散係数 (m<sup>2</sup>/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 (2.1-1) 及び (2.1-2) は以下のように書き換えられる。

$$\frac{dA_w^i}{dt} = -J_w^i - \lambda_i A_w^i + b_{wb}^i A_b^i + \lambda_{i-1} A_w^{i-1} \quad (2.1-7)$$

$$\frac{dA_b^i}{dt} = J_w^i - \lambda_i A_b^i - b_{bb}^i A_b^i + \lambda_{i-1} A_b^{i-1} \quad (2.1-8)$$

ここで、

$$J_w^i \equiv \left\{ \frac{D_0^i S_0}{x_0} - \varepsilon_w u_w S_w \right\} C_w^i = \left\{ \frac{D_0^i S_0}{x_0} - \varepsilon_w u_w S_w \right\} \frac{A_w^i}{V_w \varepsilon_w R_w^i} \quad (2.1-9)$$

$$b_{wb}^i \equiv \frac{D_0^i S_0}{x_0} \cdot \frac{1}{\varepsilon_b R_b^i V_b} \quad (2.1-10)$$

$$b_{bb}^i \equiv \frac{D_b^i S_b}{\varepsilon_b R_b^i x_b V_b} - \frac{u_b S_b}{R_b V_b} + \frac{D_0^i S_0}{x_0} \cdot \frac{1}{\varepsilon_b R_b^i V_b} \quad (2.1-11)$$

$$\frac{D_0^i S_0}{x_0} \equiv \frac{D_b^i S_b D_w^i S_w}{D_b^i S_b x_w + D_w^i S_w x_b} \quad (2.1-12)$$

### 分配平衡に基づく核種の漏洩

廃棄体及び緩衝材の間隙水中の評価対象となる放射性核種濃度が、その核種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。多くの低レベル廃棄物廃棄体が、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(2.1-7)及び(2.1-8)に基づいて、廃棄体及び緩衝材の核種総量 $A_w^i$ 及び $A_b^i$ 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[3]を採用している。

### 溶解度律速に基づく核種の漏洩

分配平衡に基づく核種の漏洩の場合とは逆に、廃棄物固化体に含まれる放射性核種のインベントリー量が多く、廃棄体及び緩衝材の間隙水中核種濃度が、その核種の溶解度と比較して高い場合には、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。高レベル廃棄物、TRU廃棄物等の廃棄体が、これに該当する。この場合、式(2.1-7)及び(2.1-8)は次式のように書き換えられる。

$$\frac{dA_w^i}{dt} = - \left\{ \frac{D_0^i S_0}{x_0} - \varepsilon_w u_w S_w \right\} C_0^i - \lambda_i A_w^i + b_{wb}^i A_b^i + \lambda_{i-1} A_w^{i-1} \quad (2.1-13)$$

$$\frac{dA_b^i}{dt} = \left\{ \frac{D_0^i S_0}{x_0} - \varepsilon_w u_w S_w \right\} C_0^i - \lambda_i A_b^i - b_{bb}^i A_b^i + \lambda_{i-1} A_b^{i-1} \quad (2.1-14)$$

ここで、 $C_0^i$ は核種 $i$ の溶解度 (mol/m<sup>3</sup>) である。式(2.1-13)及び(2.1-14)が成立するのは、間隙水中核種濃度がその核種の溶解度を上回る時間 $T$ (溶解度律速に基づく漏洩時間)の期間の

みである。それ以降、核種の漏洩は前述と同様に分配平衡に支配されることになる。この溶解度律即に基づく漏洩時間  $T$  は、次式で求めることができる。

$$A_w^i(T) = V_w \varepsilon_w R_w^i C_0 \quad (2.1-15)$$

この場合も、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。

### ウラン崩壊系列の溶解度律速モデル

U-238、U-234 の崩壊系列では、親核種と娘核種が同じ元素であるため、U-238 あるいは U-234 の濃度が高い場合、2つの核種の合計が溶解度で拘束されることになる。U-238 及び U-234 の支配方程式は、移流 - 拡散項を  $j$  と簡略化して記述すれば、以下のように表される。

$$\frac{dA_w^{U238}}{dt} = -j_w^{U238} - \lambda_{U238} A_w^{U238} \quad (2.1-16)$$

$$\frac{dA_b^{U238}}{dt} = -j_b^{U238} - \lambda_{U238} A_b^{U238} \quad (2.1-17)$$

$$\frac{dA_w^{U234}}{dt} = -j_w^{U234} - \lambda_{U234} A_w^{U234} + \lambda_{U238} A_w^{U238} \quad (2.1-18)$$

$$\frac{dA_b^{U234}}{dt} = -j_b^{U234} - \lambda_{U234} A_b^{U234} + \lambda_{U238} A_b^{U238} \quad (2.1-19)$$

各領域ごとに U-238 と U-234 の支配方程式の和を作り、 $A^U \equiv A^{U238} + A^{U234}$  と定義すると次式が得られる。

$$\frac{dA_w^U}{dt} = -j_w^U - \lambda_{U234} (A_w^U - A_w^{U238}) \quad (2.1-20)$$

$$\frac{dA_b^U}{dt} = -j_b^U - \lambda_{U234} (A_b^U - A_b^{U238}) \quad (2.1-21)$$

ここで、

$$j_k^U \equiv j_k^{U238} + j_k^{U234} \quad k = w, b \quad (2.1-22)$$

である。さらに、 $\theta_k \equiv A_k^{U238} / A_k^U$  と定義すると、次のように書ける。

$$\frac{dA_k^U}{dt} = -j_k^U - \lambda_{U234} (1 - \theta_k) A_k^U \quad (2.1-23)$$

また、 $\theta_k$  の支配方程式として、定義から次式が得られる。

$$\begin{aligned}\frac{d}{dt}\theta_k &= \frac{d}{dt}\left(\frac{A_k^{U238}}{A_k^U}\right) \\ &= \frac{\frac{d}{dt}A_k^{U238} \cdot A_k^U - A_k^{U238} \frac{d}{dt}A_k^U}{(A_k^U)^2}\end{aligned}\quad (2.1-24)$$

ここで、式 (2.1-16) ~ (2.1-21) を考慮し整理すると、最終的に $\theta_k$ に関する常微分方程式は以下ようになる。

$$\frac{d\theta_k}{dt} = -(\lambda_{U238} - \lambda_{U234})\theta_k - \lambda_{U234}\theta_k^2 \quad (2.1-25)$$

この式は、陽に核種量 $A$ に依存しないので、独立に解くことができる。ただし、緩衝材領域では、初期濃度0の場合には、 $t=0$ で0/0の不定形となり、厳密にはこの式は成立しないが、初期ウラン廃棄体中の成分比が廃棄体と同じであると仮定すれば、廃棄体と同じ解を得ることができる。式 (2.1-25) は、変数変換を行うと容易に解くことができる。初期値を

$$\theta_k(0) = \beta = A_k^{U238}(0)/A_k^U(0) \quad (2.1-26)$$

とすれば、解は以下ようになる。

$$\theta_k(t) = \frac{1}{\frac{\lambda_{U234}}{\lambda_{U234} - \lambda_{U238}} + \left(\frac{1}{\beta} - \frac{\lambda_{U234}}{\lambda_{U234} - \lambda_{U238}}\right) \cdot e^{-(\lambda_{U234} - \lambda_{U238})t}} \quad (2.1-27)$$

この解を式 (2.1-20) 及び (2.1-21) に代入し、全ウラン量に関する溶解度律速の条件で $A_k^U$ を求めればよい。しかしながら、式 (2.1-27) のラプラス変換形は、簡潔な形ではなく数値積分形となってしまったため、式 (2.1-20) 及び (2.1-21) は逆ラプラス変換法を用いず、1階線形微分方程式の一般解を用いて数値的に解くこととした。一方、ウランの娘核種に関しては、崩壊系列をサイクリックに解くために、ラプラス変換に係わる数値積分が加わるが、逆ラプラス変換法を採用している。

### 人工バリア材の劣化の考慮

本解析コードでは、コンクリート構造物は、埋設後比較的初期(数100年以内)に劣化すると想定して、そのバリア性能は考慮していない。一方、ベントナイト-砂混合層等の緩衝材に関しては、天然物質であるため、殆ど劣化しないと考えられる。しかしながら、ベントナイトも処分環境条件にも依存するが、変質することが想定される。このため、劣化に伴い透水性及び吸着特性が変化することを考慮しなければならない。本解析コードでは、人工バリア材の劣化をモデルパラメータ値の時間変化として表現し、モデル化している。時間変化を考慮するパ

ラメータは、地下水実流速及び分配係数であり、図-2.1.2に示すように階段関数的にパラメータ値は変化するものとしている。なお、時間変化の時間刻みは、簡単化のため各パラメータとも同一となっている。

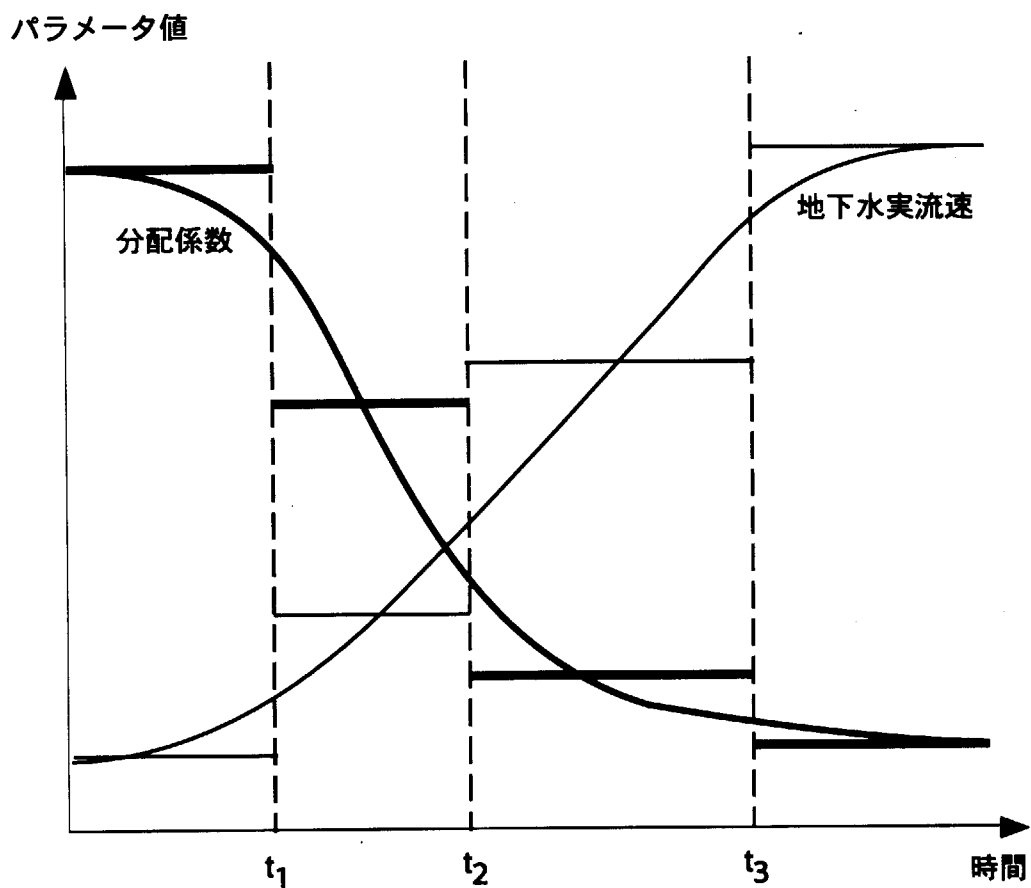


図-2.1.2 パラメータ値の時間変化の設定法 (例)

## 2.2 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態圏に到達する。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。本コードシステムでは、地層媒体として、堆積岩等で想定される多孔質媒体及び結晶質岩等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（図-2.2.1及び2.2.2参照）。

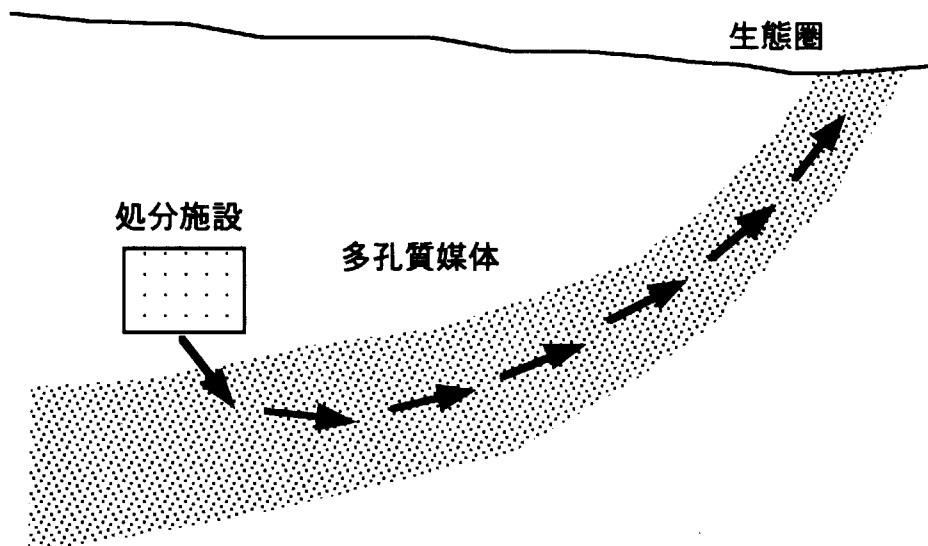


図-2.2.1 堆積岩層（多孔質媒体）への処分

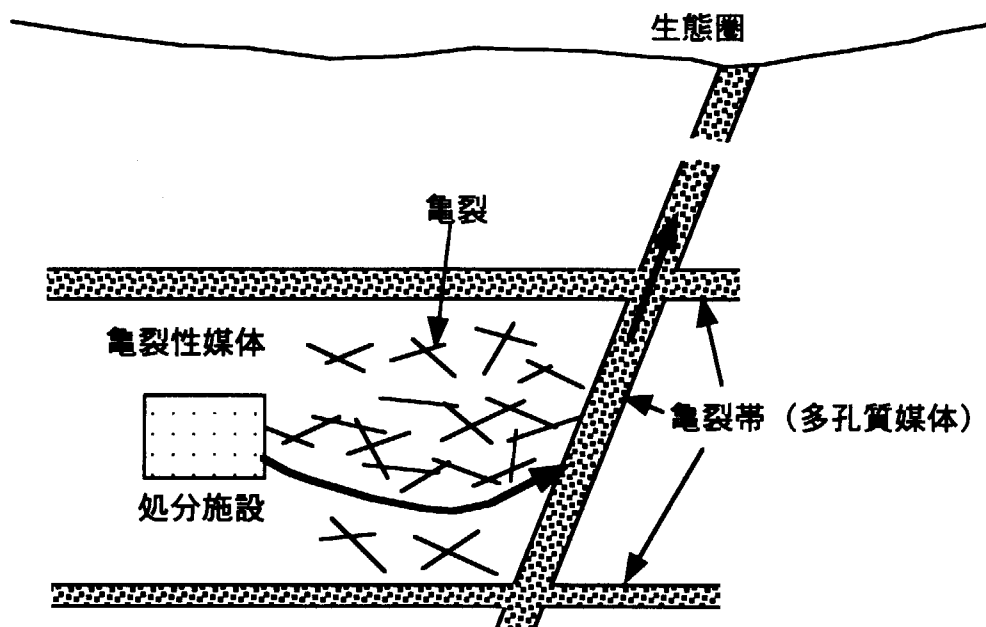


図-2.2.2 結晶質岩層（亀裂性媒体）への処分

天然バリアモデルは、図-2.2.1及び2.2.2に示すように、処分施設から生態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。なお、これらの移行経路は、処分サイトが特定されれば、2D-SEEP[4]、3D-SEEP[5]等のような地下水流解析コードによって同定することができる。

### 2.2.1 多孔質媒体モデル

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[6]。一次元媒体における核種移行は、移流・分散、崩壊連鎖及び平衡吸着による遅延を考慮すると次式で記述される。

$$\frac{\partial(\phi K_i C_i)}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} \left( u C_i - D \frac{\partial C_i}{\partial x} \right) - \lambda_i \phi K_i C_i + \lambda_{i-1} \phi K_{i-1} C_{i-1} + Q_i \quad (2.2-1)$$

- ここで、 $\phi$  : 多孔質媒体の間隙率 (-)  
 $K_i$  : 核種  $i$  の遅延係数 (-)  
 $C_i$  : 核種  $i$  の間隙水中の濃度 (atom/m<sup>3</sup> または Bq/m<sup>3</sup>)  
 $u$  : ダルシー流速 (m/y)  
 $D$  : 分散係数 (m<sup>2</sup>/y)  
 $Q_i$  : 核種  $i$  のソースターム (atom/m<sup>3</sup>y または Bq/m<sup>3</sup>y)。

均質な一次元媒体に対しては、式 (2.2-1) 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[6]。

$$\phi K_i \frac{\partial C_i}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C_i}{\partial x^2} - u \frac{\partial C_i}{\partial x} - \lambda_i \phi K_i C_i + \lambda_{i-1} \phi K_{i-1} C_{i-1} + Q_i \quad (2.2-2)$$

本コードシステムでは、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）及び数値逆ラプラス変換法の FILT 法（任意数の崩壊連鎖）を採用している。これは、計算精度及び計算時間を考慮して、適宜使い分けることを想定したためである。

多層からなる地層を評価対象にする場合は、式 (2.2-1) を以下の境界条件に基づく差分解を使用する。

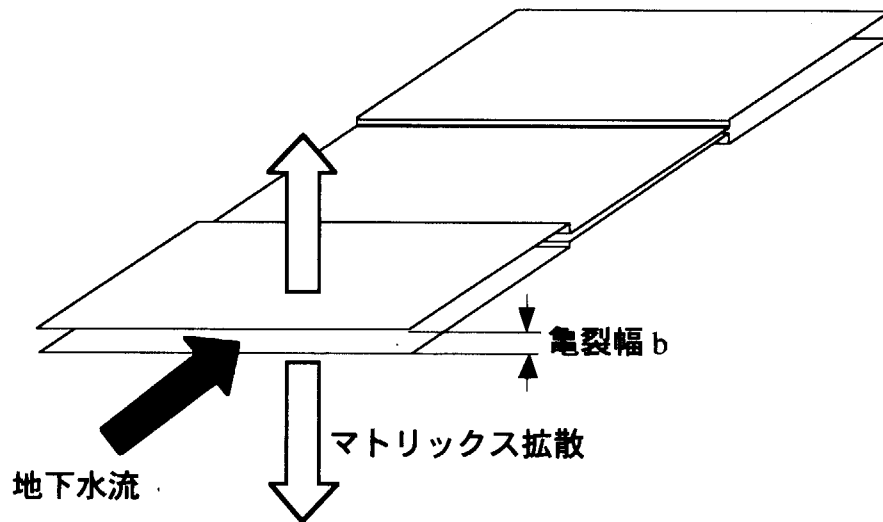
$$C_i = \bar{C}_i \quad \text{on } \Gamma_1 \quad (2.2-3)$$

$$q_i = -D \frac{\partial \bar{C}_i}{\partial x} \quad \text{on } \Gamma_2 \quad (2.2-4)$$

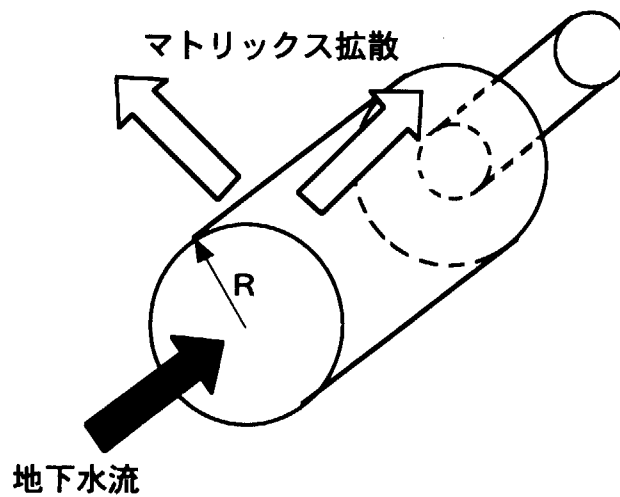
$$q_i = u \bar{C}_i - D \frac{\partial \bar{C}_i}{\partial x} \quad \text{on } \Gamma_3 \quad (2.2-5)$$

2.2.2 亀裂性媒体モデル

結晶質岩のような亀裂性媒体では、図-2.2.2に示すような連結した亀裂ネットワーク中を放射性核種が移行し、亀裂帯に經由して、最終的には生態圏に到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考えられるが、ここではその中で最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。その概念図を図-2.2.3に示す。



平行平板亀裂の場合



円形亀裂の場合

図-2.2.3 一次元亀裂ネットワークの概念

本モデルでは、亀裂の形状として図-2.2.3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（図-2.2.4 参照）。

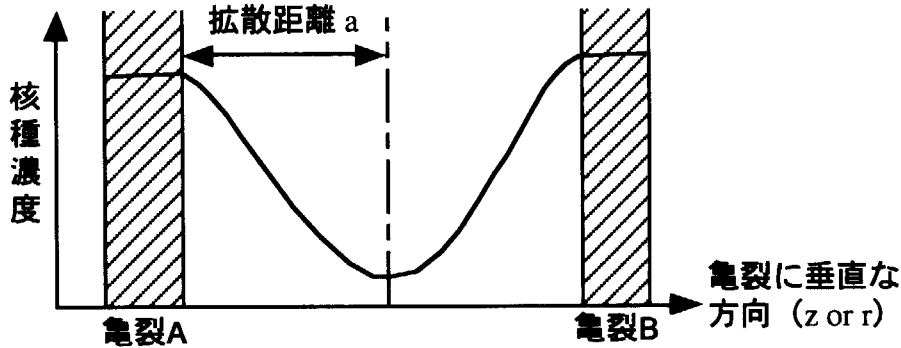


図-2.2.4 拡散距離の概念

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

【亀裂中】

$$R_f^i \frac{\partial C_f^i}{\partial t} = D_f^i \frac{\partial^2 C_f^i}{\partial x^2} - v_f \frac{\partial C_f^i}{\partial x} + \Gamma - \lambda_i R_f^i C_f^i + \lambda_{i-1} R_f^{i-1} C_f^{i-1} \quad (2.2-6)$$

【平行平板亀裂の岩石マトリックス】

$$R_p^i \frac{\partial C_p^i}{\partial t} = D_p^i \frac{\partial^2 C_p^i}{\partial z^2} - \lambda_i R_p^i C_p^i + \lambda_{i-1} R_p^{i-1} C_p^{i-1} \quad (2.2-7)$$

$$\Gamma = \frac{2\varepsilon_p D_p^i}{b} \left. \frac{\partial C_p^i}{\partial z} \right|_{z=0} \quad (2.2-8)$$

【円形亀裂の岩石マトリックス】

$$R_p^i \frac{\partial C_p^i}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left\{ D_p^i r \frac{\partial C_p^i}{\partial r} \right\} - \lambda_i R_p^i C_p^i + \lambda_{i-1} R_p^{i-1} C_p^{i-1} \quad (2.2-7)$$

$$\Gamma = \frac{2\varepsilon_p D_p^i}{R} \left. \frac{\partial C_p^i}{\partial r} \right|_{r=R} \quad (2.2-8)$$

- 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<sup>3</sup> または Bq/m<sup>3</sup>)  
 $D_f^i$  : 核種  $i$  の亀裂中における分散係数 (m<sup>2</sup>/y)  
 $v_f$  : 亀裂中の地下水実流速 (m/y)  
 $R_p^i$  : 核種  $i$  の岩石マトリックス中における遅延係数 (-)  
 $C_p^i$  : 核種  $i$  の岩石マトリックス間隙水中濃度 (atom/m<sup>3</sup> または Bq/m<sup>3</sup>)  
 $D_p^i$  : 核種  $i$  の岩石マトリックス中における拡散係数 (m<sup>2</sup>/y)  
 $\varepsilon_p$  : 岩石マトリックス中の間隙率 (-)  
 $b$  : 平行平板亀裂の幅 (m)  
 $R$  : 円形亀裂の半径 (m)。

これらの方程式に対して、以下の初期条件及び境界条件を考慮する。

$$C_f^i|_{t=0} = 0 \quad (2.2-9)$$

$$C_p^i|_{t=0} = 0 \quad (2.2-10)$$

$$C_f^i = \bar{C}_f^i \quad \text{on } B_1 \quad (2.2-11)$$

$$q_{n2}^i = -D_f^i \frac{\partial C_f^i}{\partial x} \quad \text{on } B_2 \quad (2.2-12)$$

$$q_{n3}^i = v_f C_f^i - D_f^i \frac{\partial C_f^i}{\partial x} \quad \text{on } B_3 \quad (2.2-13)$$

$$C_p^i = C_f^i \quad \text{at } z=0 \text{ (平行平板亀裂)} \quad r=R \text{ (円形亀裂)} \quad (2.2-14)$$

$$\frac{\partial C_p^i}{\partial z} = 0 \quad \text{at } z=a \text{ (平行平板亀裂)} \quad (2.2-15)$$

$$\frac{\partial C_p^i}{\partial r} = 0 \quad \text{at } r=R+a \text{ (円形亀裂)} \quad (2.2-16)$$

本コードシステムでは、数値分散による誤差を低減するため、以上の基礎方程式を逆ラプラス変換有限要素法 (LTG) [7] を用いて解くことにする。式 (2.2-6) にラプラス変換を行うと、次式が得られる。

$$R_f^i \tilde{C}_f^i = D_f^i \frac{\partial^2 \tilde{C}_f^i}{\partial x^2} - v_f \frac{\partial \tilde{C}_f^i}{\partial x} + \tilde{\Gamma} - \lambda_i R_f^i \tilde{C}_f^i + \lambda_{i-1} R_f^{i-1} \tilde{C}_f^{i-1} \quad (2.2-17)$$

ここで、

$$\tilde{C}_f^i \equiv \tilde{C}_f^i(x, s) = \int_0^\infty e^{-st} C_f^i(x, t) dt \quad (2.2-18)$$

境界条件に対しても、ラプラス変換を施す。

$$\tilde{C}_f^i = \tilde{\bar{C}}_f^i \quad \text{on } B_1 \quad (2.2-19)$$

$$\tilde{q}_{n2}^i = -D_f^i \frac{\partial \tilde{C}_f^i}{\partial x} \quad \text{on } B_2 \quad (2.2-20)$$

$$\tilde{q}_{n3}^i = v_f \tilde{C}_f^i - D_f^i \frac{\partial \tilde{C}_f^i}{\partial x} \quad \text{on } B_3 \quad (2.2-21)$$

次に、ラプラス変換を施した式に、以下のような重み関数 ( $N_K(x)$ 、 $W_K(x)$ 、 $H_K(x)$ ) を用いてガラーキン型有限要素法を適用する。

$$N_K(x) = \begin{cases} \frac{x - x_{K-1}}{L_K} & x_{K-1} < x \leq x_K \\ 1 - \frac{x - x_K}{L_{K+1}} & x_K < x \leq x_{K+1} \\ 0.0 & x \leq x_{K-1}, x > x_{K+1} \end{cases} \quad (2.2-22)$$

$$W_K(x) = \begin{cases} \frac{x - x_{K-1}}{L_K} + 3\phi_K \frac{x - x_{K-1}}{L_K} \left( 1 - \frac{x - x_{K-1}}{L_K} \right) & x_{K-1} < x \leq x_K \\ 1 - \frac{x - x_K}{L_{K+1}} - 3\phi_{K+1} \frac{x - x_K}{L_{K+1}} \left( 1 - \frac{x - x_K}{L_{K+1}} \right) & x_K < x \leq x_{K+1} \\ 0.0 & x \leq x_{K-1}, x > x_{K+1} \end{cases} \quad (2.2-23)$$

$$H_K(x) = \begin{cases} 1.0 & x_{K-1} < x \leq x_K \\ 0.0 & x \leq x_{K-1}, x > x_K \end{cases} \quad (2.2-24)$$

ここで、

$$\phi_K \equiv \coth\left(\frac{\varphi_K}{2}\right) - \frac{2}{\varphi_K} \quad (2.2-25)$$

$$\varphi_K \equiv \frac{v_K L_K}{D_K} \quad (2.2-26)$$

- $\phi_K$  : 要素Kの上流パラメータ (-)
- $\varphi_K$  : 要素Kの局所レイノルズ数 (-)
- $L_K$  : 要素Kの長さ (m)。

座標と有限要素は図-2.2.5のように設定する。

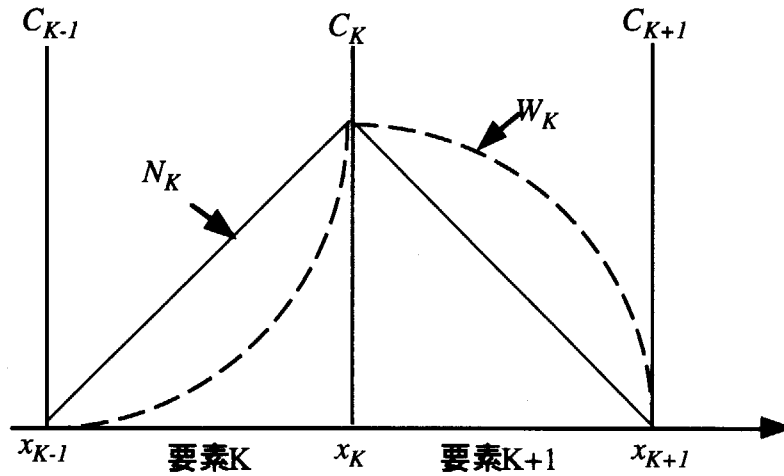


図-2.2.5 有限要素の設定

式 (2.2-17) に重み関数を掛けて、全空間で積分を行うと次式が得られる。

$$\int_x N_K s R_f^i \tilde{C}_f^i dx + \int_x N_K (\lambda_i R_f^i \tilde{C}_f^i - \tilde{\Gamma}) dx - \int_x N_K \lambda_{i-1} R_f^{i-1} \tilde{C}_f^{i-1} dx + \int_x \left( D_f^i \frac{dW_K}{dx} \frac{\partial \tilde{C}_f^i}{\partial x} - v_f \frac{dW_K}{dx} \tilde{C}_f^i \right) dx - (\tilde{q}_{n2}^i + v_f \tilde{C}_f^i) W_K \Big|_{x=B_2} - \tilde{q}_{n3}^i W_K \Big|_{x=B_3} = 0 \quad (2.2-27)$$

ここで、 $\tilde{C}_f^i$  及び  $\tilde{\Gamma}_K^i$  について以下のように近似する。

$$\tilde{C}_f^i(x, s) = \sum_{K=0}^N N_K(x) \tilde{C}_{f,K}^i(s) \quad (2.2-28)$$

$$\tilde{\Gamma}_K^i(x, s) = \sum_{K=0}^N H_K(x) \tilde{\Gamma}_K^i(s) \quad (2.2-29)$$

この近似は、ラプラス変換された濃度が連続な直線で近似されることを仮定し、境界項は要素ごとに一定であることを仮定している。式 (2.2-27) ~ (2.2-29) より次式が得られる。

$$\begin{aligned} & \left\{ f_{f_{K,K-1}}^i - e_{f_{K,K-1}}^i + (s + \lambda_i) d_{f_{K,K-1}}^i \right\} \tilde{C}_{f,K-1}^i + \left\{ f_{f_{K,K}}^i - e_{f_{K,K}}^i + (s + \lambda_i) d_{f_{K,K}}^i \right\} \tilde{C}_{f,K}^i \\ & + \left\{ f_{f_{K,K+1}}^i - e_{f_{K,K+1}}^i + (s + \lambda_i) d_{f_{K,K+1}}^i \right\} \tilde{C}_{f,K+1}^i = g_K \tilde{\Gamma}_K^i + g_{K+1} \tilde{\Gamma}_{K+1}^i + \tilde{Q}_{fK}^i - \text{Boundary} \end{aligned} \quad (2.2-30)$$

ここで、

$$f_{f_{K,j}}^i = \int_{x_0}^{x_N} D_f^i \frac{dW_K}{dx} \frac{dN_j}{dx} dx \quad (2.2-31)$$

$$e_{f_{K,j}}^i = \int_{x_0}^{x_N} v_f \frac{dW_K}{dx} N_j(x) dx \quad (2.2-32)$$

$$d_{f_{K,j}}^i = \int_{x_0}^{x_N} R_f^i N_K(x) N_j(x) dx \quad (2.2-33)$$

$$g_K = \int_{x_0}^{x_N} N_K(x) H_K(x) dx \quad (2.2-34)$$

$$\tilde{Q}_{fK}^i = \lambda_{i-1} (d_{f_{K,K-1}}^{i-1} \tilde{C}_{f,K-1}^{i-1} + d_{f_{K,K}}^{i-1} \tilde{C}_{f,K}^{i-1} + d_{f_{K,K+1}}^{i-1} \tilde{C}_{f,K+1}^{i-1}) \quad (2.2-35)$$

$$\text{Boundary} = \begin{cases} \tilde{q}_{n2,0}^i + v_{f,0} \tilde{C}_{f,0}^i & K=0 \text{ on } B_2 \\ -(\tilde{q}_{n2,N}^i + v_{f,N} \tilde{C}_{f,N}^i) & K=N \text{ on } B_2 \\ \tilde{q}_{n3,0}^i & K=0 \text{ on } B_3 \\ -\tilde{q}_{n3,N}^i & K=N \text{ on } B_3 \\ 0.0 & \end{cases} \quad (2.2-37)$$

同様に岩石マトリックス中の方程式は以下のようなになる。

$$\begin{aligned} & \left\{ f_{p_{K,K-1}}^i + (s + \lambda_i) d_{p_{K,K-1}}^i \right\} \tilde{C}_{p,K-1}^i + \left\{ f_{p_{K,K}}^i + (s + \lambda_i) d_{p_{K,K}}^i \right\} \tilde{C}_{p,K}^i \\ & + \left\{ f_{p_{K,K+1}}^i + (s + \lambda_i) d_{p_{K,K+1}}^i \right\} \tilde{C}_{p,K+1}^i = \tilde{Q}_{pK}^i - \text{Boundary} \end{aligned} \quad (2.2-38)$$

ここで、

【平行平板亀裂】

$$d_{pK,j}^i = \int_{z_0}^{z_N} R_p^i N_K(z) N_j(z) dz \quad (2.2-39)$$

$$f_{pK,j}^i = \int_{z_0}^{z_N} D_p^i \frac{dN_K}{dz} \frac{dN_j}{dz} dz \quad (2.2-40)$$

【円形亀裂】

$$d_{pK,j}^i = \int_{r_0}^{r_N} R_p^i N_K(r) N_j(r) r dr \quad (2.2-41)$$

$$f_{pK,j}^i = \int_{r_0}^{r_N} D_p^i \frac{dN_K}{dr} \frac{dN_j}{dr} r dr \quad (2.2-42)$$

また、境界項はその境界条件から次のように書くことができる。

$$Boundary = \begin{cases} F_p \tilde{\Gamma} & K = 0 \\ 0 & K \neq 0 \end{cases} \quad (2.2-43)$$

$$F_p \equiv \begin{cases} \frac{b}{2\varepsilon_p} & \text{(平行平板亀裂)} \\ \frac{R^2}{2\varepsilon_p} & \text{(円形亀裂)} \end{cases} \quad (2.2-44)$$

式 (2.2-38) は、 $\tilde{C}_{p,K}^i$  及び  $\tilde{\Gamma}$  を未知数とする三重対角方程式であり、各項の係数を  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 、 $\eta$  とすると以下のように書ける。

$$\begin{bmatrix} \beta_0 & \gamma_0 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ \alpha_1 & \beta_1 & \gamma_1 & 0 & \cdot & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & \cdot & \alpha_j & \beta_j & \gamma_j & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & \cdot & \cdot & \cdot & \alpha_{N-1} & \beta_{N-1} & \gamma_{N-1} \\ 0 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \alpha_N & \beta_N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{C}_{p,0}^i \\ \tilde{C}_{p,1}^i \\ \cdot \\ \tilde{C}_{p,j}^i \\ \cdot \\ \tilde{C}_{p,N-1}^i \\ \tilde{C}_{p,N}^i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \eta_0 - F_p \tilde{\Gamma} \\ \eta_1 \\ \cdot \\ \eta_j \\ \cdot \\ \eta_{N-1} \\ \eta_N \end{bmatrix} \quad (2.2-45)$$

ここで、

$$l_N = \beta_N \quad (2.2-46)$$

$$u_N = \eta_N \quad (2.2-47)$$

$$l_j = \beta_j - \alpha_{j+1} \frac{\gamma_j}{l_{j+1}} \quad (2.2-48)$$

$$u_j = \eta_j - \gamma_j \frac{u_{j+1}}{l_{j+1}} \quad (2.2-49)$$

$$\tilde{\Gamma} = \frac{\eta_0 - l_0 \tilde{C}_{p,0}^i}{F_p} \quad (2.2-50)$$

$$\tilde{C}_{p,0}^i = \frac{1}{2} (\tilde{C}_{f,K}^i + \tilde{C}_{f,K-1}^i) \quad (2.2-51)$$

式 (2.2-45) ~ (2.2-51) の  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 、 $\eta$ 、 $\tilde{C}_{p,K}^i$  及び  $\tilde{\Gamma}$  は複素数空間で与えられ、実部及び虚部に分解して、これらの方程式を解くことにより、岩石マトリックス中の核種濃度を計算することができる。さらに、これらの結果を基にして、式 (2.2-30) から亀裂中核種濃度を計算することができる。

### 2.3 生態圏モデル

生態圏モデルは、処分施設から漏出した放射性核種が、帯水層を通して表面水系（河川、湖沼、海洋など）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事象を解析する。本生態圏モデルでは、図-2.3.1に示すように、11個の環境媒体（コンパートメント）を想定して、環境中における核種移行解析及び被ばく線量評価を行う。

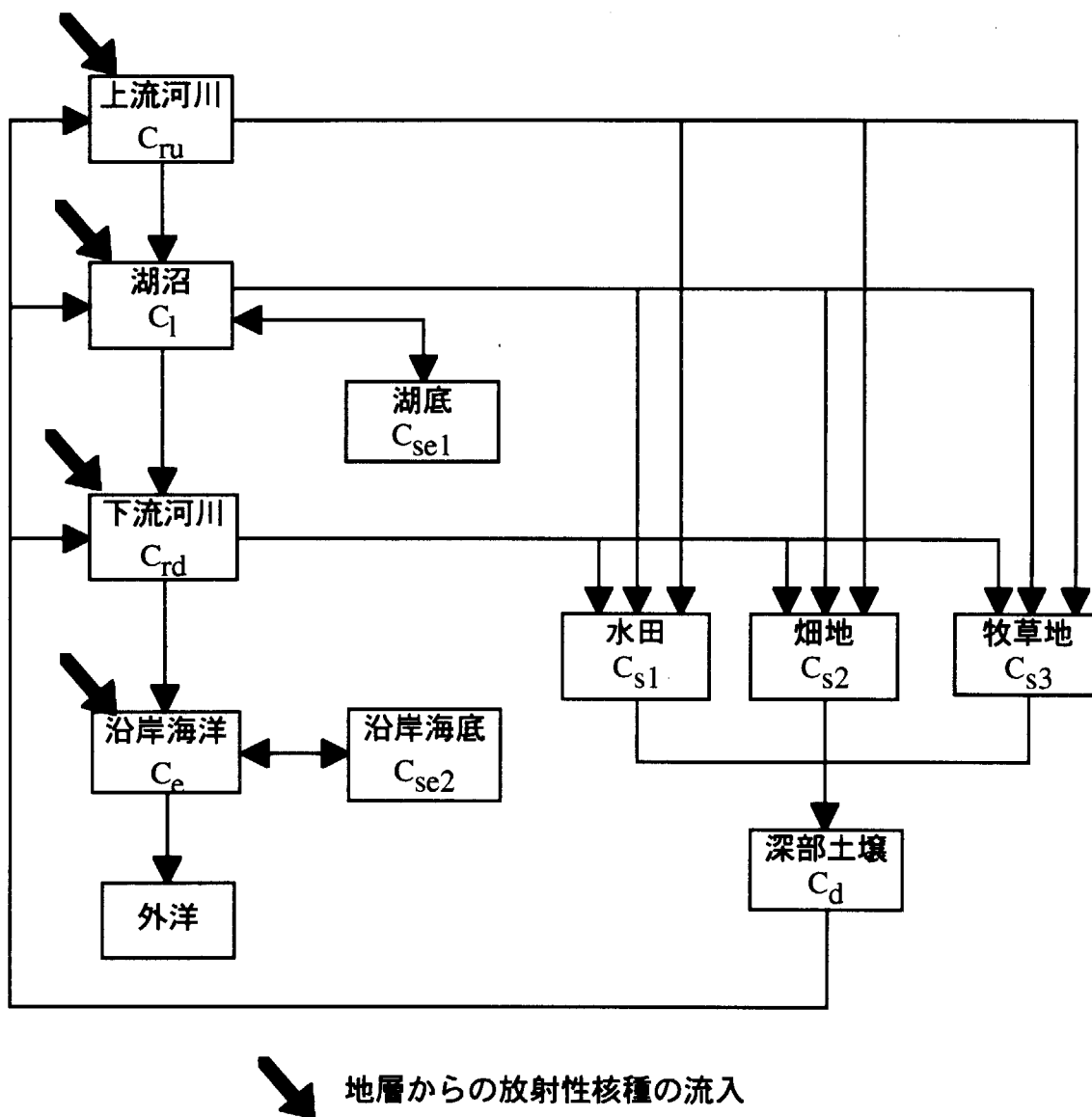


図-2.3.1 生態圏モデルのコンパートメント

#### 2.3.1 生態圏核種移行モデル

放射性核種 $i$ の各コンパートメントにおける支配方程式は、各コンパートメント間の流入・流出を考慮すると、次式のようなになる。



$$\frac{dC_{ru}^i}{dt} = -(k_{ru,s1}^i + k_{ru,s2}^i + k_{ru,s3}^i + k_{ru,l}^i + \lambda_i)C_{ru}^i + k_{d,ru}^i C_d^i + Q_{ru}^i + \lambda_{i-1} C_{ru}^{i-1} \quad (2.3-1)$$

$$\frac{dC_l^i}{dt} = -(k_{l,s1}^i + k_{l,s2}^i + k_{l,s3}^i + k_{l,rd}^i + \lambda_i)C_l^i + k_{ru,l}^i C_{ru}^i + k_{d,l}^i C_d^i + Q_l^i + \lambda_{i-1} C_l^{i-1} \quad (2.3-2)$$

$$\begin{aligned} \frac{dC_{rd}^i}{dt} = & -(k_{rd,s1}^i + k_{rd,s2}^i + k_{rd,s3}^i + k_{rd,e}^i + \lambda_i)C_{rd}^i + k_{l,rd}^i C_l^i \\ & + k_{d,rd}^i C_d^i + Q_{rd}^i + \lambda_{i-1} C_{rd}^{i-1} \end{aligned} \quad (2.3-3)$$

$$\frac{dC_e^i}{dt} = -(k_{e,o}^i + \lambda_i)C_e^i + k_{rd,e}^i C_{rd}^i + Q_e^i + \lambda_{i-1} C_e^{i-1} \quad (2.3-4)$$

$$\frac{dC_{s1}^i}{dt} = -(k_{s1,d}^i + \lambda_i)C_{s1}^i + k_{ru,s1}^i C_{ru}^i + k_{l,s1}^i C_l^i + k_{rd,s1}^i C_{rd}^i + Q_{s1}^i + \lambda_{i-1} C_{s1}^{i-1} \quad (2.3-5)$$

$$\frac{dC_{s2}^i}{dt} = -(k_{s2,d}^i + \lambda_i)C_{s2}^i + k_{ru,s2}^i C_{ru}^i + k_{l,s2}^i C_l^i + k_{rd,s2}^i C_{rd}^i + Q_{s2}^i + \lambda_{i-1} C_{s2}^{i-1} \quad (2.3-6)$$

$$\frac{dC_{s3}^i}{dt} = -(k_{s3,d}^i + \lambda_i)C_{s3}^i + k_{ru,s3}^i C_{ru}^i + k_{l,s3}^i C_l^i + k_{rd,s3}^i C_{rd}^i + Q_{s3}^i + \lambda_{i-1} C_{s3}^{i-1} \quad (2.3-7)$$

$$\frac{dC_d^i}{dt} = -(k_{d,ru}^i + k_{d,l}^i + k_{d,rd}^i + \lambda_i)C_d^i + k_{s1,d}^i C_{s1}^i + k_{s2,d}^i C_{s2}^i + k_{s3,d}^i C_{s3}^i + \lambda_{i-1} C_d^{i-1} \quad (2.3-8)$$

$$\frac{dC_{se1}^i}{dt} = -(k_{se1,l}^i + \lambda_i)C_{se1}^i + k_{l,se1}^i C_l^i + \lambda_{i-1} C_{se1}^{i-1} \quad (2.3-9)$$

$$\frac{dC_{se2}^i}{dt} = -(k_{se2,e}^i + \lambda_i)C_{se2}^i + k_{e,se2}^i C_e^i + \lambda_{i-1} C_{se2}^{i-1} \quad (2.3-10)$$

ここで、

$C_m^i$  : コンパートメント m の放射性核種 i の量 (atom)

$k_{x,y}^i$  : コンパートメント x から y への移行係数 (1/y)

$Q_m^i$  : コンパートメント m への地下水からの放射性核種移行量 (atom/y)

であり、コンパートメントを示す添え字の意味は図-2.3.1に示す通りである。各コンパートメント間の移行係数は次式で定義される。

【水系 a から水系 b】

$$k_{a,b} = \frac{\text{水系aから水系bへの年間流出量 (m}^3\text{/y)}}{\text{水系aの容積 (m}^3\text{)}} \quad (2.3-11)$$

【水系 a から農耕土壌 b】

$$k_{a,b} = \frac{\text{水系aから農耕土壌bへの灌漑水量 (m}^3\text{/y)}}{\text{水系aの容積 (m}^3\text{)}} \quad (2.3-12)$$

【農耕土壌から深部土壌[8]】

$$k_{s,d}^i = \frac{J}{L(1 + \rho Kd / \varepsilon)} \quad (2.3-13)$$

ここで、

- $J$  : 浸透水量 (m/y) = (降水量 - 蒸発散量) × 表面流出係数 + 灌漑水量
- $L$  : 土壌深さ (m)
- $\rho$  : 土壌密度 (kg/m<sup>3</sup>)
- $Kd$  : 土壌の分配係数 (m<sup>3</sup>/kg)
- $\varepsilon$  : 土壌の空隙率 (-)

【深部土壌から水系 a】

$$k_{d,a}^i = \frac{J_d}{L(1 + \rho Kd / \varepsilon)} \quad (2.3-14)$$

ここで、

- $J_d$  : 浸透水量 (m/y) = (降水量 - 蒸発散量) × 表面流出係数 + 平均灌漑水量  
平均灌漑水量は、各農耕土壌の面積で重み付けした灌漑水量である。

【水系から堆積物[9]】

$$k_{i,se}^i = \frac{D_p}{d_p h_w} + \frac{v_s C_p^i Kd_p^i}{h_w} \quad (2.3-15)$$

ここで、

- $D_p$  : 堆積物中における有効拡散係数 (m<sup>2</sup>/y)
- $d_p$  : 堆積物の深さ (m)

- $h_w$  : 水系の深さ (m)  
 $v_s$  : 懸濁物の沈降速度 (m/y)  
 $C_p^i$  : 懸濁物の濃度 (kg/m<sup>3</sup>)  
 $Kd_p^i$  : 懸濁物の分配係数 (m<sup>3</sup>/kg)

【堆積物から水系】

$$k_{se,l}^i = \frac{D_p}{d_p h_w Kd_s^i \rho_s} \quad (2.3-16)$$

ここで、

- $Kd_s^i$  : 堆積物の分配係数 (m<sup>3</sup>/kg)  
 $\rho_s$  : 堆積物の密度 (kg/m<sup>3</sup>)

式 (2.3-1) ~ (2.3-10) は、1 階の連立常微分方程式であり、逆ラプラス変換法を用いて容易に解くことができる。

### 2.3.2 被ばく線量評価モデル

本コードでは、図-2.3.2 に示すような経路に起因する被ばくを考慮する。この図において、網掛けブロックは、生態圏コードで評価される環境媒体中の放射性核種濃度であり、これらに基づいて、人間の被ばく線量が計算される。水産物、飲料水、灌漑水、農産物及び畜産物中の放射性核種濃度は、環境媒体中放射性核種濃度により以下のように計算される。

【水産物の放射性核種濃度】

水産物中の放射性核種濃度は、濃縮係数と各環境媒体中核種濃度により計算される。

$$C_s = F_s C_w \quad (2.3-17)$$

ここで、

- $C_s$  : 水産物中の放射性核種濃度 (Bq/kg)  
 $F_s$  : 水産物の濃縮係数 (m<sup>3</sup>/kg)  
 $C_w$  : 海水 (淡水) 中放射性核種濃度 (Bq/m<sup>3</sup>)

【飲料水・灌漑水の放射性核種濃度】

飲料水及び灌漑水 (家畜の飲用水) は、地下水を含む各水系からの飲料水量及び灌漑水量を混合して使用するものとし、次式で計算する。

$$C_x = \frac{C_g V_{x,g} + C_{ur} V_{x,ur} + C_l V_{x,l} + C_{dr} V_{x,dr}}{V_{x,g} + V_{x,ur} + V_{x,l} + V_{x,dr}} \quad (2.3-18)$$

ここで、

$C_x$  : 用途 x の水中放射性核種濃度 (Bq/m<sup>3</sup>)

$C_g$  : 地下水中放射性核種濃度 (Bq/m<sup>3</sup>)

$C_{ur}$  : 上流河川水中放射性核種濃度 (Bq/m<sup>3</sup>)

$C_l$  : 湖沼水中放射性核種濃度 (Bq/m<sup>3</sup>)

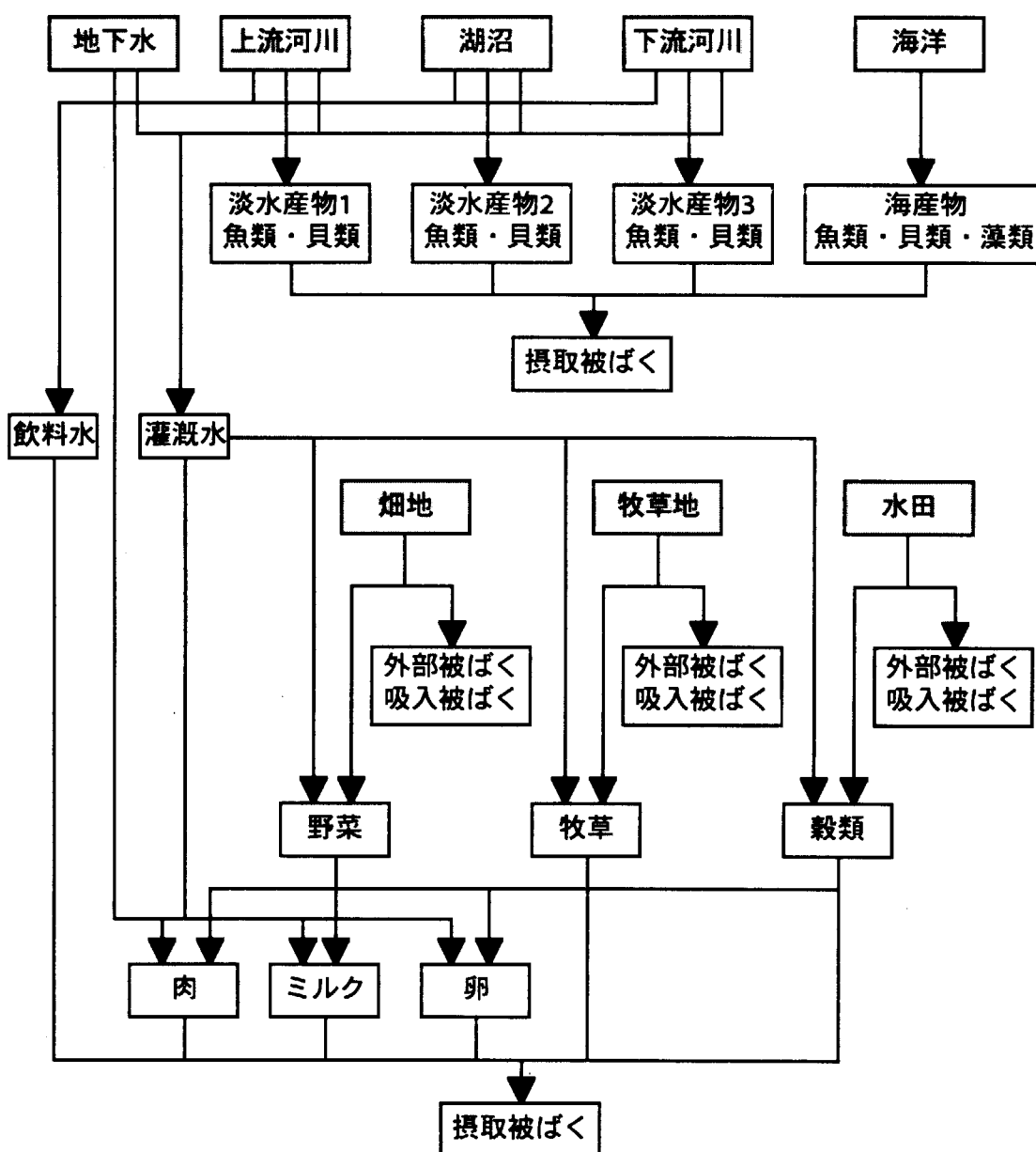


図-2.3.2 評価対象となる被ばく経路

- $C_{dr}$  : 下流河川水中放射性核種濃度 (Bq/m<sup>3</sup>)  
 $V_{x,g}$  : 地下水の用途 x へのための取水量 (m<sup>3</sup>)  
 $V_{x,ur}$  : 上流河川水の用途 x へのための取水量 (m<sup>3</sup>)  
 $V_{x,l}$  : 湖沼水の用途 x へのための取水量 (m<sup>3</sup>)  
 $V_{x,dr}$  : 下流河川水の用途 x へのための取水量 (m<sup>3</sup>)

#### 【農産物の放射性核種濃度】

農産物は、土壌からの経根吸収と灌漑水中の放射性核種の沈着により放射性核種で汚染される。なお、沈着においては、降雨などにより放射性核種が除去されることを想定する。

$$C_v = F_r C_s + \frac{F_d F_w Q_w C_w [1 - \exp(-\lambda_w T_w)]}{M_v \lambda_w} \quad (2.3-19)$$

ここで、

- $C_v$  : 農産物 v の可食部における放射性核種濃度 (Bq/kg)  
 $F_r$  : 放射性核種の土壌から可食部への移行係数 (-)  
 $C_s$  : 土壌 s 中の放射性核種濃度 (Bq/kg)  
 $F_d$  : 放射性核種の沈着部から可食部への移行係数 (-)  
 $F_w$  : 放射性核種の沈着割合 (-)  
 $Q_w$  : 灌漑水量 (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>・y)  
 $C_w$  : 灌漑水中の放射性核種濃度 (Bq/m<sup>3</sup>)  
 $\lambda_w$  : 降雨による除去速度 (1/day)  
 $T_w$  : 灌漑期間 (day)  
 $M_v$  : 農産物 v の栽培密度 (kg/m<sup>2</sup>)

#### 【畜産物の放射性核種濃度】

畜産物は、飼料としての牧草、野菜、穀類を摂取し、灌漑水及び地下水を飲用することにより、放射性核種で汚染される。畜産物は肉類、ミルク、卵の3種類を想定する。

$$C_a = F_a \cdot \frac{Q_f C_f + Q_r C_r + Q_v C_v + Q_{ww} C_{ww} + Q_{wa} C_{wa}}{365.25} \quad (2.3-20)$$

ここで、

- $C_a$  : 畜産物中の放射性核種濃度 (Bq/kg)  
 $F_a$  : 放射性核種の移行係数 (day/kg あるいは day/m<sup>3</sup>)

- $Q_f$  : 牧草の摂取量 (kg/y)  
 $C_f$  : 牧草中の放射性核種濃度 (Bq/kg)  
 $Q_r$  : 穀類の摂取量 (kg/y)  
 $C_r$  : 穀類中の放射性核種濃度 (Bq/kg)  
 $Q_v$  : 野菜の摂取量 (kg/y)  
 $C_v$  : 野菜中の放射性核種濃度 (Bq/kg)  
 $Q_{ww}$  : 地下水の摂取量 (m<sup>3</sup>/y)  
 $C_{ww}$  : 地下水中の放射性核種濃度 (Bq/m<sup>3</sup>)  
 $Q_{wa}$  : 灌漑水の摂取量 (m<sup>3</sup>/y)  
 $C_{wa}$  : 灌漑水中の放射性核種濃度 (Bq/m<sup>3</sup>)

食物摂取に伴う内部被ばくは、上記食物等中における放射性核種濃度に摂取量を乗じ、線量換算係数法を用いることによって算出される。なお、本評価においては、各食物の市場での非汚染物との混合による希釈、及び流通時間内での放射性核種の減衰は無視する。

【食物摂取に伴う内部被ばく】

$$D_{ing} = DCF_{ing} \sum_i C_{food,i} \cdot Q_i \quad (2.3-21)$$

ここで、

- $D_{ing}$  : 食物摂取に伴う内部被ばく線量 (Sv/y)  
 $DCF_{ing}$  : 摂取被ばく線量換算係数 (Sv/Bq)  
 $C_{food,i}$  : 食物*i*の放射性核種濃度 (Bq/kg あるいは Bq/m<sup>3</sup>)  
 $Q_i$  : 食物*i*の摂取量 (kg/y あるいは m<sup>3</sup>/y)

さらに、放射性核種で汚染された土壌で農作業等を行う場合、汚染土壌からの放射線による外部被ばく及び粉塵等の吸入による内部被ばくが発生する。これらは、次式で計算する。

【外部被ばく】

$$D_{ext} = DCF_{ext} \cdot C_s \cdot T_{ext} \quad (2.3-22)$$

ここで、

- $D_{ext}$  : 外部被ばく線量 (Sv/y)

- $DCF_{ext}$  : 外部被ばく線量換算係数 (Sv · kg/Bq · h)  
 $C_s$  : 土壌中の放射性核種濃度 (Bq/kg)  
 $T_{ext}$  : 年間作業時間 (h/y)

## 【吸入被ばく】

空気中の放射性核種濃度はマスローディング法によって評価する。

$$D_{inh} = DCF_{inh} \cdot F_{mass} \cdot C_s \cdot V_{ven} \cdot T_{inh} \quad (2.3-23)$$

ここで、

- $D_{inh}$  : 吸入被ばく線量 (Sv/y)  
 $DCF_{inh}$  : 吸入被ばく線量換算係数 (Sv · kg/Bq · h)  
 $F_{mass}$  : マスローディング係数 (kg/m<sup>3</sup>)  
 $V_{ven}$  : 呼吸率 (m<sup>3</sup>/h)  
 $T_{inh}$  : 年間作業時間 (h/y)

## 3. 計算コード

## 3.1 計算コードの構成

GSA-GCLコードの全体構成を図-3.1.1に示す。ソースタームモデル及び生態圏モデルは、それぞれ1つのサブモデルから成るが、天然バリアモデルは、4つのサブモデルで構成されており、適宜使い分けることが可能となっている。

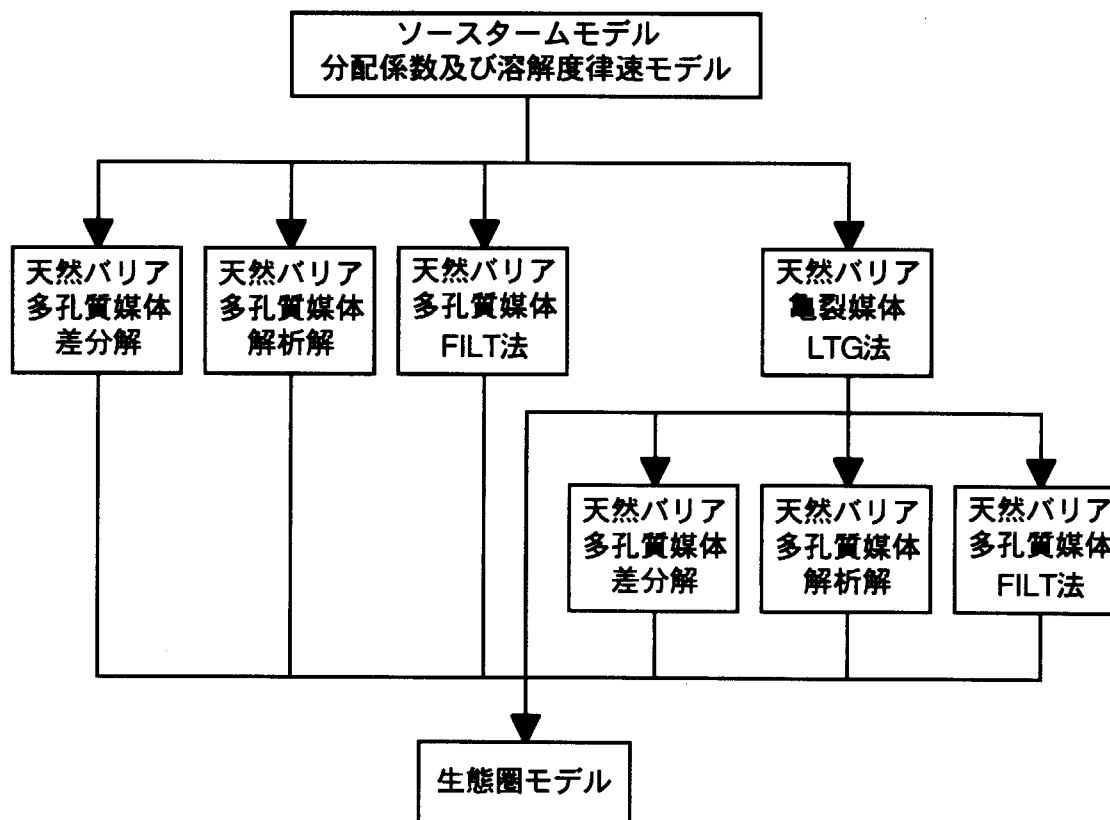


図-3.1.1 GSA-GCLコードの構成

これらのサブモデルの選択及び計算の実行は、ISYSデータによって制御される。ISYSデータは、以下のように設定する。

$$ISYS = I1 \times 1000 + I2 \times 100 + I3 \times 10 + I4$$

ここで、

I1：分配係数及び溶解度律速モデルによる計算の有無（0：実行しない、1：実行）

I2：天然バリア亀裂媒体モデルによる計算の有無（0：実行しない、1：実行）

I3：天然バリア多孔質媒体モデルによる計算の有無

（0：実行しない、1：解析解、2：差分解、3：FILT法）

I4：生態圏モデルによる計算の有無（0：実行しない、1：実行）



これらのサブモデルの制御フローは図-3.1.2に示す通りである。GSA-GCLコードが用いる入出力ファイルを表-3.1.1に示す。制御プログラムでは、ISYSデータに基づいて、ファイル番号11～14のデータを読み込み、ファイル番号10のワークファイルに出力する。そして、すべてのサブモデルは、ファイル番号10からデータを読み込み、計算を実行する。

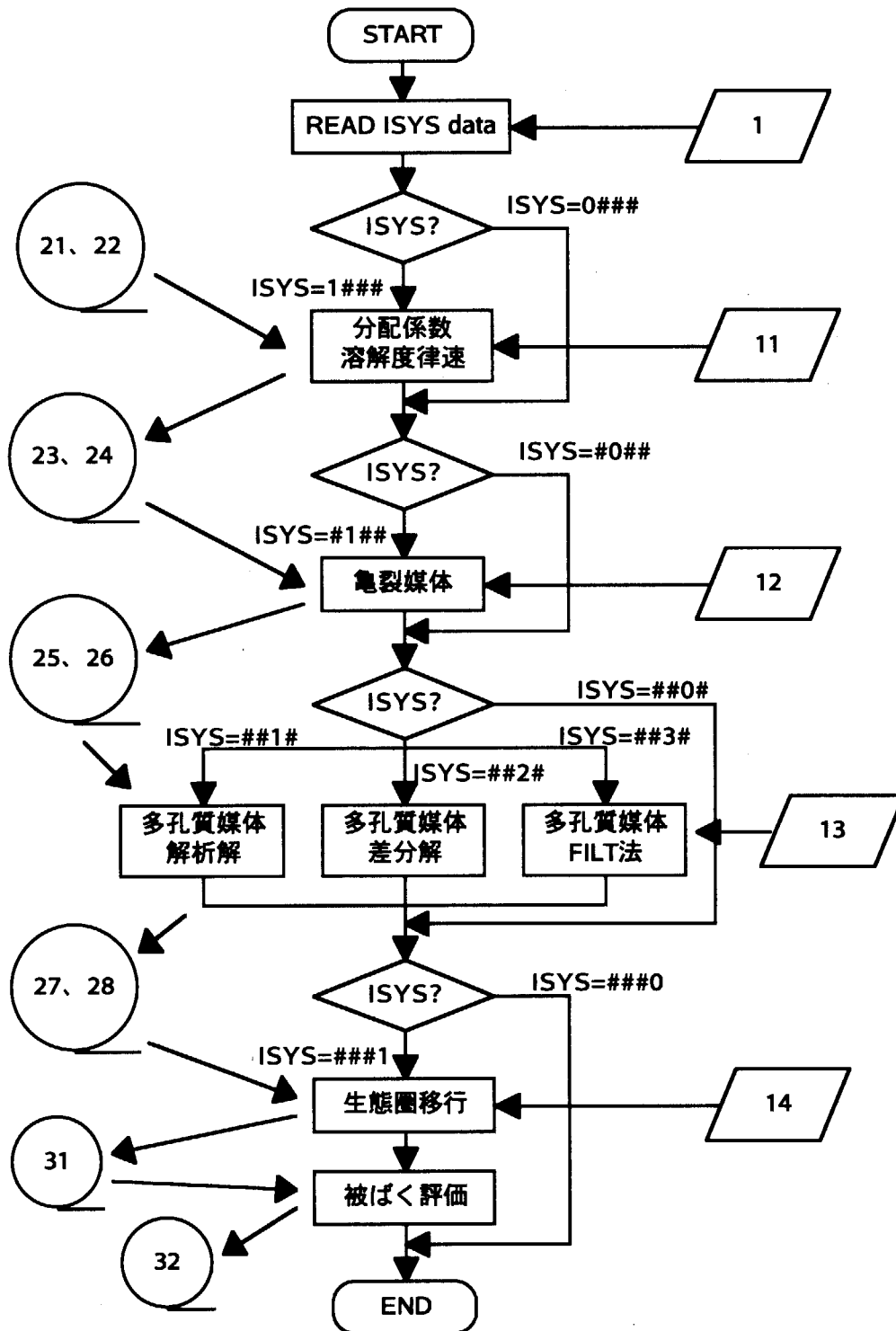


図-3.1.2 GSA-GCLコードの制御フロー

表-3.1.1 GSA-GCL コードの入出力ファイル

ファイル番号	ファイル内容
1	ISYSデータ
10	入力作業用ファイル
11	ソースタームモデル入力ファイル
12	天然バリア亀裂媒体モデル入力ファイル
13	天然バリア多孔質媒体モデル入力ファイル
14	生態圏モデル入力ファイル
23、24	ソースタームモデル出力ファイル (バイナリ、テキスト)
25、26	天然バリア亀裂媒体モデル出力ファイル (バイナリ、テキスト)
27、28	天然バリア多孔質媒体モデル出力ファイル (バイナリ、テキスト)
31	生態圏モデル作業ファイル
32	生態圏モデル出力ファイル

### 3.2 入力データ

表-3.21～3.2.6に、ソースタームモデル、天然バリアモデル（多孔質媒体解析解、多孔質媒体FILT法、多孔質媒体差分解、亀裂性媒体LTG法）、及び生態圏モデルの入力データを示す。

表-3.2.1 ソースタームモデルの入力データ (1/2)

カード	入力変数	内 容
1	TITLE	ジョブのタイトル
2	NUCL	核種数
	IUNIT	単位フラッグUNIT=I3x100 + I2x10 + I1 I1:出力 (0:atom/y, 1:Bq/y, 2:Ci/y, 3:g/y, 4:mol/y) I2:溶解度限度 (0:atom/m <sup>3</sup> , 1:Bq/m <sup>3</sup> , 2:Ci/m <sup>3</sup> , 3:g/m <sup>3</sup> , 4:mol/m <sup>3</sup> ) I3:入力 (0:atom, 1:Bq, 2:Ci, 3:g, 4:mol)
	ITIM	出力の時間データ数
	IPRINT	印刷フラッグ (0:印刷無し, 0>:入力データ及び結果, 0<:入力データのみ)
	IFILF	テキスト出力ファイル (0:無し, 0>:有り)
	IFILB	バイナリ出力ファイル (0:無し, 0>:有り)
	IPT	常に1を入力
	IKBN	分配係数を変化させる点数
3	TIM(I) I=1,ITIM	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
5	IKBN>0の場合、IKBN回繰り返す	
	ATIM(K) K=1,IKBN	分配係数を変化させる時間
カード6、7はNUCL回繰り返す (I=1,NUCL)		
6	NUCNAM(I)	核種名 (A5、引用符'を使用)
	NNA(I)	質量数
	HLIFE(I)	半減期 (年)
	AMASS(I)	初期インベントリー量
7	ALIM(I)	溶解度 (0<:分配係数モデルを使用)
	AD(I,1)	廃棄体中の拡散係数 (m <sup>2</sup> /y)
	AD(I,2)	バッファ中の拡散係数 (m <sup>2</sup> /y)
8	(IKBN+1)回繰り返す (K=0,IKBN)	
	AKD(I,K,1) I=1,NUCL	廃棄体中の分配係数 (m <sup>3</sup> /kg)。最初の値は分配係数の初期値、それ以降は初期値に対する割合。
9	(IKBN+1)回繰り返す (K=0,IKBN)	
	AKD(I,K,2) I=1,NUCL	バッファ中の分配係数 (m <sup>3</sup> /kg)。最初の値は分配係数の初期値、それ以降は初期値に対する割合。

表-3.2.1 ソースタームモデルの入力データ (2/2)

カード	入力変数	内 容
10		(IKBN+1)回繰り返す (K=0,IKBN)
	VEL(K,1)	廃棄体中の実流速 (m/y)。最初の値は実流速の初期値、それ以降は初期値に対する割合。
	VEL(K,2)	バフファ中の実流速 (m/y)。最初の値は実流速の初期値、それ以降は初期値に対する割合。
11	XLEN(1)	廃棄体層の長さ (m)
	VOL(1)	廃棄体層の体積 (m <sup>3</sup> )
	EPS(1)	廃棄体層の空隙率 (-)
	RHO(1)	廃棄体層の真密度 (kg/m <sup>3</sup> )
12	XLEN(2)	バフファ層の長さ (m)
	VOL(2)	バフファ層の体積 (m <sup>3</sup> )
	EPS(2)	バフファ層の空隙率 (-)
	RHO(2)	バフファ層の真密度 (kg/m <sup>3</sup> )
13	FLT_A	FILT法のAパラメータ (通常5.0)
	FLT_B	FILT法のBパラメータ (通常0)
	FLT_NP	FILT法のNPパラメータ (通常50)
	FLT_K1	FILT法のK1パラメータ (通常80)
	FLT_K2	FILT法のK2パラメータ (通常0)

表-3.2.2 天然バリアモデル（多孔質媒体解析解）の入力データ (1/2)

カード	変数名	内 容
1	TITLE	ジョブタイトル
2	NUCLI	核種数
	IUNIT	単位フラッグ IUNIT= I2x10 +I1 I1 : 出力 (0:atom/y, 1:Bq/y, 2:Ci/y, 3:g/y, 4:mol/y) I2 : 境界条件、カード入力 (0:atom/m <sup>3</sup> ,atom/y, 1:Bq/m <sup>3</sup> , Bq/y, 2:Ci/m <sup>3</sup> , Ci/y, 3:g/m <sup>3</sup> ,g/y,4:mol/m <sup>3</sup> ,mol/y)
	ITIM	出力時間きざみを変化させる数
	IPRINT	印刷フラッグ (0:印刷無し、>0:入力データ及び結果、 <0:入力データのみ)
	IFILF	テキスト出力ファイル (0:出力無し、>0:出力有り)
	IFILB	バイナリ出力ファイル (0:出力無し、>0:出力有り)
	IIPT	入力フラッグ (0:直前解析モデルのデータを使用、 1:カード入力)
	IFP	常に0とする
	FACT	入力ソース強度の換算係数
3	TIM(I) I=1,ITIM	時間きざみを変える時刻
4	IDL(I) I=1,ITIM	時刻TIM(I-1)からTIM(I)の間の時間きざみ数
5	IBC	境界条件 (0:濃度拘束、1:フラックス拘束)
6	RR	1次元天然バリアの移行距離 (m)
	VV	1次元天然バリア中の地下水実流速 (m/y)
	DZ	1次元天然バリア中の分散長 (m)
7	RETA(I) I=1,NUCLI	1次元天然バリア中における核種の遅延係数 (-)
カード8~10は、インコア処理 (IIPT=0) で、崩壊連鎖に新たな核種を追加したい場合に用いる。(それ以外の場合は省略する)		
8	INUC	直前解析モデルの崩壊連鎖に核種を追加する場合に0を指定する。(省略時にはINUC=1が入力される)
9	ICN(I) I=1,NUCLI	直前解析モデルにおけるI番目の核種番号を入力。 =0:新たに核種を追加する。 例) 1230 : 4番目に核種を追加 2300 : 3, 4番目に核種を追加
10	ICN(I)=0と指定した数だけ繰り返す。	
	NUCN	核種名 (A5、引用符'を使用)
	NNA	質量数
	HLIFE	半減期 (年)

表-3.2.2 天然バリアモデル（多孔質媒体解析解）の入力データ (2/2)

カード	変数名	内 容
カード11~13は、カード入力 (IIPT=1) の時のみ用いる		
11	NUCLI回繰り返す (I=1,NUCLI)	
	NUCN(I)	核種名 (A5、引用符' を使用)
	NNA(I)	質量数
	HLIFE(I)	半減期 (年)
12	ITSS	入口側核種濃度を変化させる時間きざみの数
カード13はITSS回繰り返す (J=1,ITSS)		
13-a	TSOU(J)	核種濃度が変化する時間
13-b	CSOU(I,J) I=1,NUCL	時刻TSOU(J)における核種濃度

表-3.2.3 天然バリアモデル（多孔質媒体 FILT 法）の入力データ (1/2)

カード	変数名	内 容
1	TITLE	ジョブタイトル
2	NUCL	核種数
	IUNIT	単位フラッグ IUNIT= I2x10 +I1 I1 : 出力 (0:atom/y, 1:Bq/y, 2:Ci/y, 3:g/y, 4:mol/y) I2 : 境界条件、カード入力 (0:atom/m <sup>3</sup> ,atom/y, 1:Bq/m <sup>3</sup> , Bq/y, 2:Ci/m <sup>3</sup> , Ci/y, 3:g/m <sup>3</sup> ,g/y,4:mol/m <sup>3</sup> ,mol/y)
	ITIM	出力時間きざみを変化させる数
	IPRINT	印刷フラッグ (0:印刷無し、>0:入力データ及び結果、 <0:入力データのみ)
	IFILF	テキスト出力ファイル (0:出力無し、>0:出力有り)
	IFILB	バイナリ出力ファイル (0:出力無し、>0:出力有り)
	IIPPT	入力フラッグ (0:直前解析モデルのデータを使用、 1:カード入力)
	FACT	入力ソース強度の換算係数
3	TIM(I) I=1,ITIM	時間きざみを変える時刻
4	IDL(I) I=1,ITIM	時刻TIM(I-1)からTIM(I)の間の時間きざみ数
5	LPPR1	FILT法のパラメータAの値 (通常5.0)
	LPPR2	FILT法のパラメータBの値 (通常0.0)
	LPPR3	FILT法のパラメータNPの値 (通常50)
	LPPR4	FILT法のパラメータK1の値 (通常80)
	LPPR5	FILT法のパラメータK2の値 (通常0)
6	NPIP	天然バリアにおける1次元移行経路の数
カード7、8はNPIP回繰り返す (I=1,NPIP)		
7	RR(I)	1次元天然バリアの移行距離 (m)
	VV(I)	1次元天然バリア中の地下水実流速 (m/y)
	DZ(I)	1次元天然バリア中の分散長 (m)
8	RETA(J,I) J=1,NUCL	1次元天然バリア中における核種の遅延係数 (-)

表 -3.2.3 天然バリアモデル (多孔質媒体 FILT 法) の入力データ (2/2)

カード	変数名	内 容
カード9~11は、カード入力 (IPT=1) の時のみ用いる		
9	NUCL回繰り返す (I=1,NUCL)	
	NUCN(I)	核種名 (A5、引用符' を使用)
	NNA(I)	質量数
	HLIFE(I)	半減期 (年)
10	ITSS	入口側核種濃度を変化させる時間きざみの数
カード11はITSS回繰り返す (J=1,ITSS)		
11-a	TSOU(J)	核種濃度が増える時間
11-b	NPIP回繰り返す (K=1,NPIP)	
	CSOU(I,J,K) I=1,NUCL	時刻TSOU(J)における核種濃度



表-3.2.4 天然バリアモデル（多孔質媒体差分解）の入力データ (1/2)

カード	変数名	内 容
1	TITLE	ジョブタイトル
2	NUCL	核種数
	IUNIT	単位フラッグ IUNIT= I2x10 +I1 I1出力 (0:atom/y, 1:Bq/y, 2:Ci/y, 3:g/y, 4:mol/y) I2境界条件 (カード入力) (0:atom/m <sup>3</sup> ,atom/y, 1:Bq/m <sup>3</sup> ,Bq/y, 2:Ci/m <sup>3</sup> ,Ci/y, 3:g/m <sup>3</sup> ,g/y, 4:mol/m <sup>3</sup> ,mol/y)
	ITIM	出力時間きざみを変化させる数
	IPRINT	印刷フラッグ (0:印刷無し、>0:入力データ及び結果、 <0:入力データのみ)
	IFILF	テキスト出力ファイル (0:出力無し、>0:出力有り)
	IFILB	バイナリ出力ファイル (0:出力無し、>0:出力有り)
	IIPT	入力フラッグ (0:直前解析モデルのデータを使用、 1:カード入力)
3	TIM(I) I=1,ITIM	時間きざみを変える時刻
4	IDL(I) I=1,ITIM	時刻TIM(I-1)からTIM(I)の間の時間きざみ数
5	NPIP	天然バリアにおける1次元移行経路の数
	IBC	入力側境界条件 =0:濃度 =1:フラックス
6	RR	1次元天然バリアの移行距離 (m)
	VV	1次元天然バリア中の地下水ダルシー流速 (m/y) 注) 領域が1つ (NREG=1) の場合、空隙率は1として 計算されるので、実流速を入力する。
	DDZ	1次元天然バリア中の分散係数 (m <sup>2</sup> /y)
7	RETA(I) I=1,NUCL	1次元天然バリア中における核種の遅延係数 (-)
カード8から10は、カード入力 (IIPT=1) の時のみ用いる		
8	NUCL回繰り返す (I=1,NUCL)	
	NCLIDE(I)	核種名 (A5、引用符'を使用)
	NNA(I)	質量数
	HLIFE(I)	半減期 (年)
9	ITSS	入口側核種濃度を変化させる時間きざみの数

表-3.2.4 天然バリアモデル (多孔質媒体差分解) の入力データ (2/2)

カード	変数名	内 容
10	ITSS回繰り返す (I=1,ITSS)	
	TIN(I)	核種濃度が変化する時間
	BVAL(K,I) K=1,NUCL	時刻TIN(I)における核種濃度あるいはフラックス
11	NREG	1次元移行経路内における領域分割数
	INTER	内側境界条件。直前解析モデル解析結果から濃度を得る方法の指定、=1:直前の値、=2:直後の値
	IBR	外側境界条件 =0:濃度0 =1:濃度勾配0
12	DDD	タイムステップ設定に関するフラッグ <0: EPST= DDD 、=0: EPST=0.5 (以上自動設定) >0: タイムステップ (年) EPST= $u^2 \Delta t / (2 \phi KiD)$
	BETA	崩壊連鎖の取り扱いに関するフラッグ <0: 近似式を使用 (BETA=1) =0: 近似式を使用しない >0: 近似式を使用 (BETAとして入力値)
	LDMOD(I) I=1,NUCLI	崩壊定数の補正に関するフラッグ =0: 補正をしない =1: 補正する $\lambda' \leftarrow [\exp(\lambda \Delta t) - 1] / \Delta t$
13	NREG回繰り返す (I=1,NREG)	
	RRR(I)	領域の大きさの指定 <0 移行距離 x  RRR  =0 移行距離と同じ >0 領域の大きさを入力 (m)
	IFRG(I)	領域のメッシュに関するフラッグ <0 自動設定 =0 メッシュ数を指定 >0 メッシュサイズを指定 (m)
	AMS(J,I) J=1,NUCLI	領域のメッシュに関するパラメータ IFRG=0 AMSがメッシュ数 IFRG>0 AMSがメッシュサイズ (m) IFRG<0 >0: EPSX=AMSが入力され下式により算出 ≤0: EPSX=0.5が入力され下式により算出 (メッシュサイズ) = $2 \times EPSX \times D_f / v_f$
カード14~16はNREG>1の場合にのみ入力する。		
14	PHI(ID) ID=1,NREG	各領域内の空隙率 (-)
カード15、16は、セットでNREG-1回繰り返す (IR=2,NREG)		
15	DIF(IR,N) N=1,NUCLI	各領域内における分散係数 (m <sup>2</sup> /y)
16	RET(IR,N) N=1,NUCLI	各領域内における遅延係数 (-)

表-3.2.5 天然バリアモデル（亀裂性媒体 LTG 法）の入力データ (1/2)

カード	変数名	内 容
1	TITLE	ジョブタイトル
2	NUCL	核種数
	IUNIT	単位フラッグ IUNIT= I2x10 +I1 I1: 出力 (0:atom/y, 1:Bq/y, 2:Ci/y, 3:g/y, 4:mol/y) I2: 境界条件 (カード入力) (0:atom/m <sup>3</sup> ,atom/y, 1:Bq/m <sup>3</sup> ,Bq/y, 2:Ci/m <sup>3</sup> ,Ci/y, 3:g/m <sup>3</sup> ,g/y, 4:mol/m <sup>3</sup> ,mol/y)
	ITIM	出力時間きざみを変化させる数
	IPRINT	印刷フラッグ (0:印刷無し、>0:入力データ及び結果、 <0:入力データのみ)
	IFILF	テキスト出力ファイル (0:出力無し、>0:出力有り)
	IFILB	バイナリ出力ファイル (0:出力無し、>0:出力有り)
	IIPT	入力フラッグ (0:直前解析モデルのデータを使用、 1:カード入力)
	FACT	入力ソース強度の換算係数
3	TIM(I) I=1,ITIM	時間きざみを変える時刻
4	IDL(I) I=1,ITIM	時刻TIM(I-1)からTIM(I)の間の時間きざみ数
5	NPIP	天然バリアにおける移行経路の数
6	LPPR1	FILT法のパラメータAの値 (通常5.0)
	LPPR2	FILT法のパラメータBの値 (通常0.0)
	LPPR3	FILT法のパラメータNPの値 (通常50)
	LPPR4	FILT法のパラメータK1の値 (通常80)
	LPPR5	FILT法のパラメータK2の値 (通常0)
カード7~9は、カード入力 (IIPT=1) の場合に入力する。		
7	NTSO	入口側核種濃度を変化させる時間きざみの数
8	NUCN	核種名 (A5、引用符'を使用)
	ALAMD	崩壊定数 (1/y)
カード9はNTSO回繰り返す (J=1,NTSO)		
9-a	TSOU(J)	核種濃度が変化する時間
9-b	NPIP回繰り返す (K=1,NPIP)	
	CSOU(I,J,K) I=1,NUCL	時刻TSOU(J)における核種濃度
カード10~20はNPIP回繰り返す		
10	V	亀裂の最初の領域の実流速 (m/y)
	PLEN	移行距離 (m)

表-3.2.5 天然バリアモデル（亀裂性媒体LTG法）の入力データ (2/2)

カード	変数名	内 容
11	NREG	亀裂内の領域数
	INTER	内側境界条件。直前解析モデル解析結果から濃度を得る方法の指定、=1：直前の値、=2：直後の値
	IBR	外側境界条件 =0：濃度0 =1：濃度勾配0
カード12～19はNREG回繰り返す (I=1,NREG)		
12	ITYPE(I)	領域内亀裂の形状 =0：長方形亀裂、 =1：円形亀裂
	HEIGHT(I)	亀裂開口幅（円形の場合は亀裂半径）(m)
13	RR(I)	領域の大きさの指定 <0 移行距離 x  RR  =0 移行距離と同じ >0 領域の大きさを入力 (m)
	IFRG(I)	領域のメッシュに関するフラッグ <0 自動設定 =0 メッシュ数を指定 >0 メッシュサイズを指定 (m)
	AMS(I)	領域のメッシュに関するパラメータ IFRG=0 AMSがメッシュ数 IFRG>0 AMSがメッシュサイズ (m) IFRG<0 >0：EPSX=AMSが入力され下式により算出 ≤0：EPSX=0.5が入力され下式により算出  (メッシュサイズ) = $2 \times \text{EPSX} \times D_f / v_f$
14	DF(L,I) L=1,NUCLI	亀裂領域内の実効拡散係数 (m <sup>2</sup> /y)
15	RF(L,I) L=1,NUCLI	亀裂領域内の遅延係数 (-)
16	NREGP(I)	領域内におけるマトリックス領域の数
	EP(I)	最初のマトリックス領域の空隙率 (-)
カード17～19は各亀裂・領域についてNREGP(I)回繰り返す (J=1,NREGP(I))		
17	RRP(J,I)	マトリックス領域の大きさ (m)
	IFRGP(J,I)	マトリックス領域のメッシュに関するフラッグ =0 メッシュ数指定 >0 メッシュサイズ指定
	AMSP(J,I)	マトリックス領域のメッシュに関するパラメータ IFRGP=0 AMSPがメッシュ数 IFRGP>0 AMSPがメッシュサイズ
18	DP(L,J,I) L=1,NUCLI	マトリックス領域中の実効拡散係数 (m <sup>2</sup> /y)
19	RP(L,J,I) L=1,NUCLI	マトリックス領域中の遅延係数 (-)
20	IDBG	亀裂中濃度分布の印刷フラッグ (0：印刷無し、>0：印刷)
	IDBGP	マトリックス中濃度分布の印刷フラッグ (0：印刷無し、>0：印刷、メッシュ番号の指定になる)
	IDBGT	印刷する時間ステップ間隔 (IDBGT毎に印刷)

表-3.2.6 生態圏モデルの入力データ (1/7)

カード	変数名	内 容
1	JPLOT	0を入力
	INCOME	生態圏モデルのソースタームの指定。 =0:天然バリアモデルの出力結果 ≠0:カード入力 (カード4~9)
	NUCL	核種数。INCOME<0及びNUCL<0の場合、天然バリアモデルと同じ核種を計算する。
	ITMAX	出力時間きざみを変化させる数
2	このカードは、ITMAX回繰り返す (I=1,ITMAX)	
	DSTEP(I)	時刻TSTEP(I-1)からTSTEP(I)の間の時間きざみ数
	TSTEP(I)	時間きざみを変える時刻
	LPSTEP(I)	プリンタ出力の間隔。出力総数: DSTEP(I)*LPSTEP(I)
	IFSTEP(I)	ファイル出力の間隔。出力総数: DSTEP(I)*IFSTEP(I)
3	LPCMP	コンパートメントの濃度またはインベントリーの印刷フラッグ (=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ーのファイル出力フラッグ (=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ッグ (=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ッグ (=0:出力無し、≠0:出力)
カード4~9は、カード入力 (INCOME≠0) の場合に入力		
4	NCLIDE(I) I=1,NUCL	核種名 (A5、引用符'を使用)
5	TRELI1	井戸水への放出開始時間
	TENDI1	井戸水への放出終了時間
	CONCI1(I) I=1,NUCL	核種のフラックス (Bq/y) または 地下水中核種濃度 (Bq/m <sup>3</sup> )
	FLUXI1(I) I=1,NUCL	汚染地下水の流量 (m <sup>3</sup> /y) 。FLUXI1(I)<0ならば、 CONCI1(I)は核種フラックスとなる。
6	TRELI2	上流河川への放出開始時間
	TENDI2	上流河川 への放出終了時間
	CONCI2(I) I=1,NUCL	核種のフラックス (Bq/y) または 地下水中核種濃度 (Bq/m <sup>3</sup> )
	FLUXI2(I) I=1,NUCL	汚染地下水の流量 (m <sup>3</sup> /y) 。FLUXI1(I)<0ならば、 CONCI1(I)は核種フラックスとなる。

表-3.2.6 生態圏モデルの入力データ (2/7)

カード	変数名	内 容
7	TRELI3	湖沼への放出開始時間
	TENDI3	湖沼への放出終了時間
	CONCI3(I) I=1,NUCL	核種のフラックス (Bq/y) または 地下水中核種濃度 (Bq/m <sup>3</sup> )
	FLUXI3(I) I=1,NUCL	汚染地下水の流量 (m <sup>3</sup> /y)。FLUXI1(I)<0ならば、 CONCI1(I)は核種フラックスとなる。
8	TRELI4	下流河川への放出開始時間
	TENDI4	下流河川 への放出終了時間
	CONCI4(I) I=1,NUCL	核種のフラックス (Bq/y) または 地下水中核種濃度 (Bq/m <sup>3</sup> )
	FLUXI4(I) I=1,NUCL	汚染地下水の流量 (m <sup>3</sup> /y)。FLUXI1(I)<0ならば、 CONCI1(I)は核種フラックスとなる。
9	TRELI3	近海への放出開始時間
	TENDI3	近海への放出終了時間
	CONCI3(I) I=1,NUCL	核種のフラックス (Bq/y) または 地下水中核種濃度 (Bq/m <sup>3</sup> )
	FLUXI3(I) I=1,NUCL	汚染地下水の流量 (m <sup>3</sup> /y)。FLUXI1(I)<0ならば、 CONCI1(I)は核種フラックスとなる。
カード10-1~10-3はINCORE=0かつINCOME=0の時使用する		
10-1	ITSO	入力データの時間数
	NPIP	入力データの天然バリア移行経路の数
10-2	このカードは、NUCL回繰り返す (I=1,NUCL)	
	NUCN(I)	核種名 (A5、引用符'を使用)
	HLIFE(I)	核種の半減期 (y)
10-3	このカードは、ITSO回またNPIP回繰り返す (J=1,ITSO), (K=1,NPIP)	
	TOUT(I)	核種フラックスが変化する時間
	COU(I,J,K) I=1,NUCL	核種のフラックス (Bq/y)
11-1	このカードは、INCOME=0の時使用する。	
	NPIP1	井戸水に結合する天然バリア移行経路の数
	NPIP2	上流河川に結合する天然バリア移行経路の数
	NPIP3	湖沼に結合する天然バリア移行経路の数
	NPIP4	下流河川に結合する天然バリア移行経路の数
	NPIP5	近海に結合する天然バリア移行経路の数

表-3.2.6 生態圏モデルの入力データ (3/7)

カード	変数名	内 容
11-2	NNPIPS(I) I=1,NPIP1	井戸水に流入する移行経路番号 (NPIP1>0の場合のみ)
11-3	NNPIPS(I) I=1,NPIP2	上流河川に流入する移行経路番号 (NPIP2>0の場合のみ)
11-4	NNPIPS(I) I=1,NPIP3	湖沼に流入する移行経路番号 (NPIP3>0の場合のみ)
11-5	NNPIPS(I) I=1,NPIP4	下流河川に流入する移行経路番号 (NPIP4>0の場合のみ)
11-6	NNPIPS(I) I=1,NPIP5	近海に流入する移行経路番号 (NPIP5>0の場合のみ)
12	PPI1IW	井戸からの灌漑水量の比
	PPR1IW	上流河川からの灌漑水量の比
	PPR2IW	下流河川からの灌漑水量の比
	PPLKIW	湖沼からの灌漑水量の比
13	PPI1DW	井戸からの飲料水量の比
	PPR1DW	上流河川からの飲料水量の比
	PPR2DW	下流河川からの飲料水量の比
	PPLKDW	湖沼からの飲料水量の比
14	WFI1UG	井戸のある帯水層の地下水流量 (m <sup>3</sup> /y)
15	WFI2R1	上流河川への汚染地下水の流入量 (m <sup>3</sup> /y)
	WFFWR1	上流河川の容量 (m <sup>3</sup> )
	WFR1LK	上流河川から湖沼への移行水量 (m <sup>3</sup> /y)
16	WFI3R1	湖沼への汚染地下水の流入量 (m <sup>3</sup> /y)
	WFFWLK	湖沼の容量 (m <sup>3</sup> )
	WFLKR2	湖沼から下流河川への移行水量 (m <sup>3</sup> /y)
17	ARLK	湖沼面積 (m <sup>2</sup> )
	DHLK	湖沼の平均深さ (m)
	DPSD1	湖沼堆積物の有効深さ (m)
	RHOLK	湖沼堆積物の密度 (<0:嵩密度、>0:真密度) (kg/m <sup>3</sup> )
	POROLK	湖沼堆積物の間隙率 (-)
18	ALKSS	湖沼中の粒子濃度 (kg/m <sup>3</sup> )
	RTLKSS	湖沼中の沈殿速度 (kg/y.m <sup>2</sup> )

表-3.2.6 生態圏モデルの入力データ (4/7)

カード	変数名	内 容
19	このカードは、NUCL回繰り返し (I=1,NUCL)	
	AKDLK(I)	粒子の分配係数 (ml/g)
	AKDSD1(I)	沈殿物の分配係数 (ml/g)
	DFLK(I)	水中における核種の拡散係数 (cm <sup>2</sup> /s)
	DFSED1(I)	沈殿物中における核種の拡散係数 (cm <sup>2</sup> /s)
20	WFI4R2	下流河川への汚染地下水の流入量 (m <sup>3</sup> /y)
	WFFWR2	下流河川の容量 (m <sup>3</sup> )
	WFR2S1	下流河川から近海への移行水量 (m <sup>3</sup> /y)
21	WFI5S1	近海への汚染地下水の流入量 (m <sup>3</sup> /y)
	WFFWS1	近海の容量 (m <sup>3</sup> )
	WFS1S2	近海から外洋への移行水量 (m <sup>3</sup> /y)
22	ARS1	近海面積 (m <sup>2</sup> )
	DHS1	近海の平均深さ (m)
	DPSED2	近海堆積物の有効深さ (m)
	RHOS1	近海堆積物の密度 (<0 : 嵩密度、>0 : 真密度) (kg/m <sup>3</sup> )
	POROS1	近海堆積物の間隙率 (-)
23	AS1SS	近海中の粒子濃度 (kg/m <sup>3</sup> )
	RTS1SS	近海中の沈殿速度 (kg/y.m <sup>2</sup> )
24	このカードは、NUCL回繰り返し (I=1,NUCL)	
	AKDS1(I)	粒子の分配係数 (ml/g)
	AKDSD2(I)	沈殿物の分配係数 (ml/g)
	DFS1(I)	水中における核種の拡散係数 (cm <sup>2</sup> /s)
	DFSED2(I)	沈殿物中における核種の拡散係数 (cm <sup>2</sup> /s)
25	このカードは、3回繰り返し (I=1 : 水田、I=2 : 畑、I=3 : 牧草地)	
	RHOAS(I)	農耕土壌の密度 (<0 : 嵩密度、>0 : 真密度) (kg/m <sup>3</sup> )
	POROAS(I)	農耕土壌の間隙率 (-)
	DEPAS(I)	農耕地の深さ (m)
	AREAS(I)	農耕地面積 (m <sup>2</sup> )



表 -3.2.6 生態圏モデルの入力データ (5/7)

カード	変数名	内 容
26	このカードは、NUCL回繰り返し (I=1,NUCL)	
	AKAS1(I)	水田土壌の分配係数 (ml/g)
	AKAS2(I)	畑土壌の分配係数 (ml/g)
	AKAS3(I)	牧草地土壌の分配係数 (ml/g)
	AKAS4(I)	深部土壌の分配係数 (ml/g)
27	PRAIN	降水量 (mm/y)
	PEVAP	蒸発散量 (mm/y)
	PPRUN	表面流出係数 (-)
28	RHODS	深部土壌の密度 (<0 : 嵩密度、>0 : 真密度) (kg/m <sup>3</sup> )
	PORODS	深部土壌の間隙率 (-)
	DEPDS	深部土壌の深さ (m)
29	PD(I) I=1,NUCL	核種の半減期 (y)
30	このカードは、NUCL回繰り返し (I=1,NUCL)	
	VDEP(I)	核種の沈着速度 (m/day)
	WEATH(I)	降雨による核種の除去速度 (1/day)
31	PDPT	穀物の栽培密度 (kg/m <sup>2</sup> )
	PDCR	野菜の栽培密度 (kg/m <sup>2</sup> )
	PDVT	牧草の栽培密度 (kg/m <sup>2</sup> )
32	PAPT	水田の割合 (-)
	PACR	畑の割合 (-)
	PAVT	牧草地の割合 (-)
33	PIPT	水田の灌漑水量 (m/y)
	PICR	畑の灌漑水量 (m/y)
	PIVT	牧草地の灌漑水量 (m/y)
34	このカードは、NUCL回繰り返し (I=1,NUCL)	
	PPPT(I)	灌漑水から穀物への沈着割合 (-)
	PPCR(I)	灌漑水から野菜への沈着割合 (-)
	PPVT(I)	灌漑水から牧草への沈着割合 (-)
35	このカードは、NUCL回繰り返し (I=1,NUCL)	
	TRNSL(I,1)	沈着した部位から穀物可食部への移行割合 (-)
	TRNSL(I,2)	沈着した部位から野菜可食部への移行割合 (-)
	TRNSL(I,3)	沈着した部位から牧草可食部への移行割合 (-)

表-3.2.6 生態圏モデルの入力データ (6/7)

カード	変数名	内 容
36	このカードは、NUCL回繰り返し (I=1,NUCL)	
	CFPT(I)	土壌から穀物可食部への移行割合 (-)
	CFCR(I)	土壌から野菜可食部への移行割合 (-)
	CFVT(I)	土壌から牧草可食部への移行割合 (-)
37	このカードは、3回繰り返し (I=1:水田、I=2:畑、I=3:牧草地)	
	GRWTH(I)	灌漑期間 (day)
	GRWTH2(I)	生育期間 (day/y)
	CNSUM(I)	生産から消費までの期間 (day)
38	WFIWCD	家畜の井戸水摂取量 (m <sup>3</sup> /y)
	WFTWCD	家畜の灌漑水摂取量 (m <sup>3</sup> /y)
39	このカードは、NUCL回繰り返し (I=1,NUCL)	
	FFMT(I)	肉への移行係数 (day/kg)
	FFEG(I)	卵への移行係数 (day/kg)
	FFMK(I)	ミルクへの移行係数 (day/kg)
40	RFMT	食肉用家畜の飼料摂取量 (kg/y)
	RFEG	鶏の飼料摂取量 (kg/y)
	RFMK	乳牛の飼料摂取量 (kg/y)
41	PIMT	食肉用家畜の飲用水摂取量 (kg/y)
	PIEG	鶏の飲用水摂取量 (kg/y)
	PIMK	乳牛の飲用水摂取量 (kg/y)
42-1	RDMT(I) I=1,3	食肉用家畜の飼料割合 (穀物、野菜、牧草) (-)
42-2	RDEG(I) I=1,3	鶏の飼料割合 (穀物、野菜、牧草) (-)
42-3	RDMK(I) I=1,3	乳牛の飼料割合 (穀物、野菜、牧草) (-)
43	このカードは、NUCL回繰り返し (I=1,NUCL)	
	TFFW(I,1)	淡水魚類の濃縮係数 (liter/kg)
	TFFW(I,2)	淡水軟体動物の濃縮係数 (liter/kg)
	TFSW(I,1)	海産魚類の濃縮係数 (liter/kg)
	TFSW(I,2)	海産軟体動物の濃縮係数 (liter/kg)
	TFSW(I,3)	海産藻類の濃縮係数 (liter/kg)
44	PDF1	上流河川における漁獲量 (kg/y)
	PDF2	下流河川における漁獲量 (kg/y)
	PDFL	湖沼における漁獲量 (kg/y)
	PDFS	近海における漁獲量 (kg/y)

表-3.2.6 生態圏モデルの入力データ (7/7)

カード	変数名	内 容
45	RMTW(I) I=1,NUCL	飲料水の浄化装置による核種の除去割合 (-)
46	JHTW	飲料水の摂取量 ( $m^3/y$ )
	JHFP	淡水産物の摂取量 (kg/y)
	JHFS	海産物の摂取量 (kg/y)
	JHCR	穀物の摂取量 (kg/y)
	JHVT	野菜の摂取量 (kg/y)
	JHMT	食肉の摂取量 (kg/y)
	JHEG	卵の摂取量 (kg/y)
	JHMK	ミルクの摂取量 ( $m^3/y$ )
47	PWTW(I) I=1,3	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 ( $m^3/y$ )
48	RTF1	上流河川における漁獲量のうち、魚類の割合 (-)
	RTF2	下流河川における漁獲量のうち、魚類の割合 (-)
	RTFL	湖沼における漁獲量のうち、魚類の割合 (-)
	RTFS	近海における漁獲量のうち、魚類の割合 (-)
	RTCS	近海における漁獲量のうち、軟体動物の割合 (-)
49	FMSLD(1)	水田におけるマスローディングファクター ( $kg/m^3$ )
	FMSLD(2)	畑におけるマスローディングファクター ( $kg/m^3$ )
	FMSLD(3)	牧草地におけるマスローディングファクター ( $kg/m^3$ )
50	VENT	呼吸率 ( $m^3/h$ )
	WORKH(1)	水田における作業時間 (h/y)
	WORKH(2)	畑における作業時間 (h/y)
	WORKH(3)	牧草地における作業時間 (h/y)
51	このカードは、NUCL回繰り返し (I=1,NUCL)	
	DFIG(I)	摂取による被ばく線量換算係数 (Sv/Bq)
	DFIH(I)	吸入による被ばく線量換算係数 (Sv/Bq)
	DFAS(I)	外部被ばく線量換算係数 (Sv・kg/Bq/h)
52	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 $1.0E-10$ )

## 4. テスト計算

## 4.1 ソースタームモデルの入力データ例及び計算結果

ソースタームモデルの入力データ例を表-4.1.1に示す。この例における放射性核種の溶出モデルは、分配平衡に基づくもので、核種はNp-237及びU-233である。解析結果を図-4.1.1に示す。

表-4.1.1 ソースタームモデルの入力データ例

```

*card1
--- Source Term Test Input ---
*card2
  2 141 6 1 1 0 1 1
*card3
  1.E3 1.E4 1.E5 1.E6 1.E7 1.E8
*card4
  20 36 36 36 36 36
*card5
  1.0E8
*card6
  'Np237' 237 2.14E6 5.0E11
*card7
  5.47E-6 0.019 1.6E-2
*card6
  'U233' 233 1.59E5 0.0E0
*card7
  9.95E-6 0.019 1.6E-2
*card8
  5.0 1.0
  1.0 1.0
*card9
  1.0 0.5
  1.0 1.0
*card10
  2.0E-7 1.0E-7
  1.0 1.0
*card11
  12.0 1728. 0.15 2500.
*card12
  1.0 144.0 0.33 2700.
*card13
  5.0 0.0 50 80 0
##EOF

```

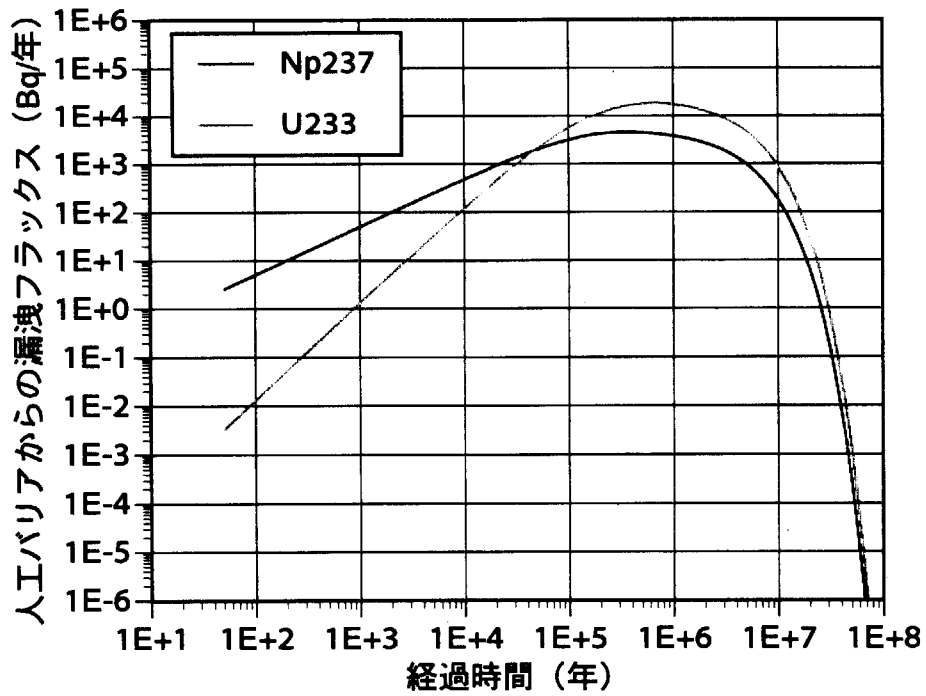


図-4.1.1 ソースタームモデルによる人工バリアからの核種漏洩フラックス

4.2 天然バリアモデルの入力データ例及び計算結果

天然バリアの多孔質媒体解析解モデル、多孔質媒体FILM法モデル及び多孔質媒体差分モデルの入力データ例を、それぞれ、表-4.2.1、表-4.2.2及び表-4.2.3に示す。

表-4.2.1 天然バリア多孔質媒体解析解モデルの入力データ例

```

*card1
---- Natural Barrier Test Input (Analytical solution) ----
*card2
  2 11 5 1 1 0 0 0 1.0
*card3
  1.E5 1.E6 1.E7 1.E8 1.E9
*card4
  40 9 18 18 18
*card5
  1
*card6
  100.0 0.3 3.0
*card7
  1.0E4 1.5E4
##EOF
    
```

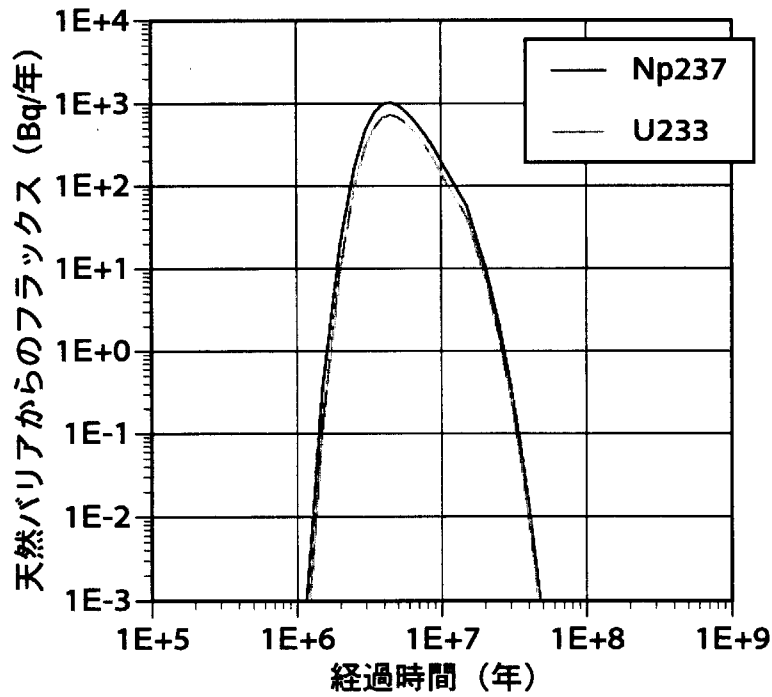


図-4.2.1 多孔質媒体 FILT 法モデルによる天然バリアからのフラックス

天然バリアモデルによる核種移行解析は、4.1のソースタームモデルの計算結果に基づいて実施した。天然バリア多孔質媒体 FILT 法モデルによる計算結果を図-4.2.1に示す。また、3つのモデルによる比較計算結果を図-4.2.2に示す。

表-4.2.2 天然バリア多孔質媒体 FILT 法モデルの入力データ例

```

*card1
--- Natural Barrier Test Input (FILT method) ---
*card2
  2 11 5 1 1 0 0 1.0
*card3
  1.E5 1.E6 1.E7 1.E8 1.E9
*card4
  40 9 18 18 18
*card5
  10.0 0.0 20 20 0
*card6
  1
*card7
  100.0 0.30 3.0
*card8
  1.0E4 1.5E4
##EOF
    
```

表-4.2.3 天然バリア多孔質媒体差分解モデルの入力データ例

```

*card1
---- Natural Barrier Test Input (difference method) ----
*card2
  2 11 5 1 1 0 0
*card3
  1.E5 1.E6 1.E7 1.E8 1.E9
*card4
  40 9 18 18 18
*card5
  1 1
*card6
  100.0 0.3 0.9
*card7
  1.0E4 1.5E4
*card11
  1 0 0
*card12
  -0.005 0 0 0
*card13
  0.0 0 100.0 100.0
##EOF
    
```

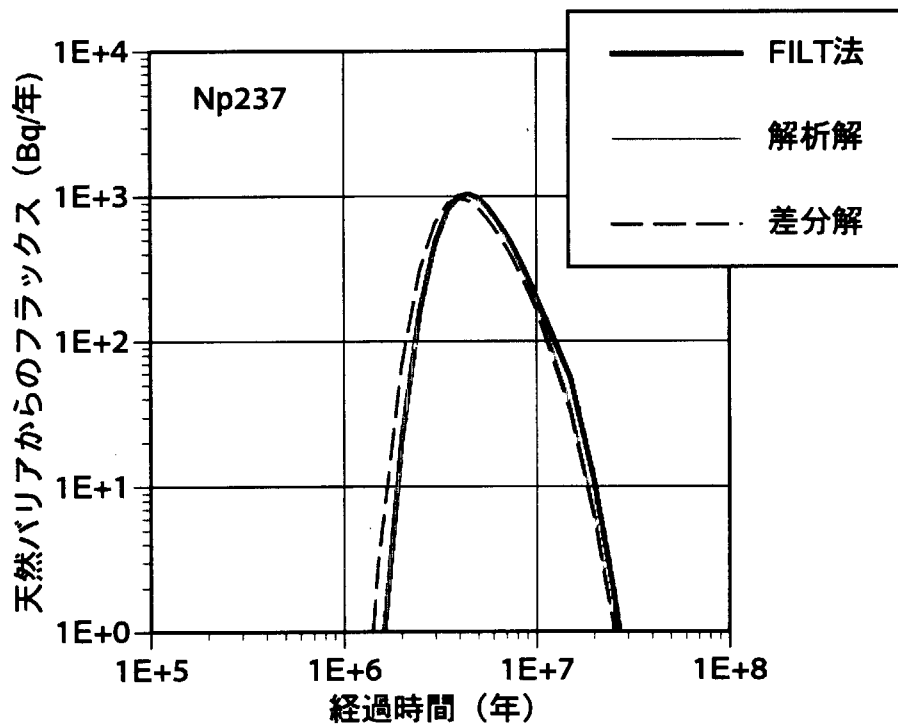


図-4.2.2 3種類の天然バリアモデル (FILT法、解析解、差分解) による比較計算結果

表-4.2.4 天然バリアの亀裂性媒体 LTG 法モデルの入力データ例

```

*card1
---- Natural Barrier Test Input (LTG method) ----
*card2
  2 11  5  1  1  0  0  1.0
*card3
  1.E5  1.E6  1.E7  1.E8  1.E9
*card4
  40  9  18  18  18
*card5
  1
*card6
  8.0  0.0  30  30  0
*card10
  0.30  10.0
*card11
  2  1  0
* NREG=1
*card12
  0  0.0010
*card13
  0  0  10.0
*card14
  0.158  0.158
*card15
  1.0e4  1.5e4
*card16
  1  0.02
*card17
  0.01  0  10.0
*card18
  0.000001  0.000001
*card19
  1.0  1.0
* NREG=2
*card12
  0  0.0010
*card13
  0  0  10.0
*card14
  0.158  0.158
*card15
  1.0e4  1.5e4
*card16
  1  0.02
*card17
  0.01  0  10.0
*card18
  0.000001  0.000001
*card19
  1.0  1.0
*card20
  1  20  1
##EOF

```



天然バリアの亀裂性媒体LTG法モデルの入力データ例を表-4.2.4に示す。また、その計算結果を図-4.2.3に示す。

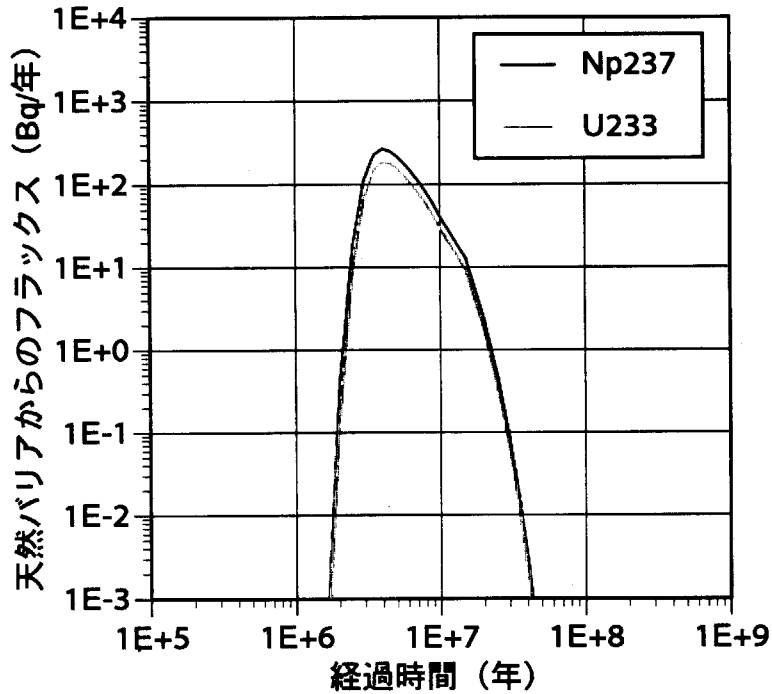


図-4.2.3 天然バリア亀裂性媒体LTG法モデルによる計算結果

4.3 生態圏モデルの入力データ例

生態圏モデルの入力データ例を表-4.3.1に示す。

表-4.3.1 生態圏モデルの入力データ

```

* CARD1  JPLOT, INCOME, NUCL, ITMAX
          0      0      2      3
* CARD2  DSTEP(I), TSTEP(I), LPSTEP(I), UFSTEP(I)
          5  1.0e6      1      1
          5  1.0e7      1      1
          5  1.0e8      1      1
* CARD3  LPCMP, IFCMP, LPDI, IFDI, LPDC, IFDC
          1      1      1      1
* CARD10-1  NP1P1 NP1P2 NP1P3 NP1P4 NP1P5
            1  1  0  0  0
* CARD10-2  NNPIPS1
            1
* CARD10-3  NNPIPS2
            1
* CARD10-4  NNPIPS3
            0
* CARD10-5  NNPIPS4
            0
    
```

```

* CARD10-6 NNPIPS5
  0
* CARD11 PPI1IW, PPR1IW, PPR2IW, PPLKIW
  0.5  0.5  0.0  0.0
* CARD12 PPI1DW, PPR1DW, PPR2DW, PPLKDW
  0.5  0.5  0.0  0.0
* CARD13 WFI1UG
  1000.
* CARD14 WFI2R1, WFFWR1, WFR1LK
  1.0E5  1.0e4  1.0e4
* CARD15 WFI3LK, WFFWLK, WFLKR2
  0.000  1.0e5  1.0e5
* CARD16 ARLK, DHLK, DPSED1, RHOLK, POROLK
  1.0e2  1.  1.0  1  0.4
* CARD17 ALKSS, RTLKSS
  0.0  1.0
**CARD18 AKDLK(I), AKDSD1(I), DFLK(I), DFSED1(I)
  0.0  1  0.0  0.0
  0.0  1  0.0  0.0
* CARD19 WFI4R2, WFFWR2, WFR2S1
  0.000  1.0e2  1.0e2
* CARD20 WFI5S1, WFFWS1, WFS1S2
  0.000  1.0e4  1.0e4
* CARD21 ARS1, DHS1, DPSED2, RHOS1, POROS1
  1.e2  1.0  1.0  1.0  0.4
* CARD22 AS1SS, RTS1SS
  0.0  1.0
**CARD23 AKDS1(I), AKDSD2(I), DFS(I), DFSED2(I)
  0.0  1  0.0  0.0
  0.0  1  0.0  0.0
* CARD24 RHOAS(I), POROAS(I), DEPAS(I), AREAS(I)
  1.0000  0.5000  0.1000  100.00
  1.0000  0.5000  0.1000  100.00
  1.0000  0.5000  0.1000  100.00
**CARD25 AKAS1(I), AKAS2(I), AKAS3(I), AKAS4(I)
  1.0  1.0  1.0  1.
  1.0  1.0  1.0  1.
* CARD26 PRAIN, PEVAP, PPRUN
  1.0E0  0.0000  0.0000
* CARD27 RHODS, PORODS, DEPDS
  1.0E0  0.5000  1.0000
**CARD28 PD(I)
  2.14E6  1.59E5
**CARD29 VDEP(I), WEATH(I)
  10.0000  0.05000
  10.0000  0.05000
* CARD30 PDPT, PDCR, PDVT
  1  1  1
* CARD31 PAPT, PACR, PAVT
  1  1  1
* CARD32 PIPT, PICR, PIVT
  100.  100.  100.

```

```

**CARD33 PPPT(I), PPCR(I), PPVT(I)
      1.0  1.0  1.0
      1.0  1.0  1.0
**CARD34 TRNSL(I,1), TRNSL(I,2), TRNSL(I,3)
      1.0  1.0  1.0
      1.0  1.0  1.0
**CARD35 CFPT(I), CFCR(I), CFVT(I)
      1.0  1.0  1.0
      1.0  1.0  1.0
* CARD36 GRWTH1(I), GRWTH2(2), CNSUM(I)
      10.0  365.25  0.
      10.0  365.25  0.
      10.0  365.25  0.
* CARD37 WFIWCD, WFTWCD
      1.0  0.0
**CARD38 FFMT(I), FFEG(I), FFMK(I)
      1.0  1.0  0.001
      1.0  1.0  0.001
* CARD39 RFMT, RFEG, EFMK
      2.  1.  1.
* CARD40 PIMT, PIEG, PIMK
      1.  1.  1.
* CARD41-1 RDMT
      1.0  0.0  0.0
* CARD41-2 RDEG
      0.0  1.0  0.0
* CARD41-3 RDMK
      0.0  0.5  0.2
* CARD42 TFFW(I,1), TFFW(I,2), TFSW(I,1), TFSW(I,2), TFSW(I,3)
      1.0  1.0  1.0  1.0  1.0
      1.0  1.0  1.0  1.0  1.0
* CARD43 PDF1, PDF2, PDFL, ODFS
      1.0  1.0  1.0  2.0
**CARD44 RMTW(I)
      0.0  0.0
* CARD45 JHTW, JHFP, JHFS, JHCR, JHVT, JHMT, JHEG, JHMK
      0.730  10.0  10.0  10.0  10.0  10.0  10.0  10.0
* CARD46 PWTW
      0.4  0.5  0.1
* CARD47 RTF1, RTF2, RTFL
      1.0  1.0  1.0  0.7  0.2
* CARD48 FMSLD(1), FMSLD(2), FMSLD(3)
      1.0  1.0  1.0
* CARD49 VENT, WORKH(1), WORKH(2), WORKH(3)
      1.0  1.0  1.0  1.0
**CARD50 DFIG(I), DFIH(I), DFAS(I)
      6.22e-8  3.24e-5  2.15e-6
      7.03e-8  3.51e-5  3.65e-10
* CARD51 NFUN NSIG NMAX EPS
      0  6  6  1.0E-10
##EOF

```

参考文献

- [1] 原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会：現行の政令濃度上限値を越える低レベル放射性廃棄物処分の基本的考え方について、(平成10年10月)。
- [2] 日本原子力研究所：平成7年度低レベル放射性廃棄物処分対策調査研究報告書、(平成8年3月)。
- [3] 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).
- [4] Kimura, H., The 2D-SEEP Computer Code User's Manual, JAERI-M 88-132, (1988).
- [5] Kimura, H. and Muraoka, S., The 3D-SEEP Computer Code User's Manual, JAERI-M 86-091, (1986).
- [6] 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).
- [7] 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).
- [8] Coughtrey, P.J. and Thorne, M.C., Radionuclide Distribution and Transport in Terrestrial and Aquatic Ecosystems, Vol. 1, A.A. Balkema, Rotterdam, (1983).
- [9] BIOMOV5, Technical Report 5, Long Term Evolution of a Contaminated Lake, (1989).

# 国際単位系 (SI) と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	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
物質質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表2 SIと併用される単位

名称	記号
分, 時, 日	min, h, d
度, 分, 秒	°, ', "
リットル	l, L
トン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

$1 \text{ eV} = 1.60218 \times 10^{-19} \text{ J}$   
 $1 \text{ u} = 1.66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
$10^{18}$	エクサ	E
$10^{15}$	ペタ	P
$10^{12}$	テラ	T
$10^9$	ギガ	G
$10^6$	メガ	M
$10^3$	キロ	k
$10^2$	ヘクト	h
$10^1$	デカ	da
$10^{-1}$	デシ	d
$10^{-2}$	センチ	c
$10^{-3}$	ミリ	m
$10^{-6}$	マイクロ	$\mu$
$10^{-9}$	ナノ	n
$10^{-12}$	ピコ	p
$10^{-15}$	フェムト	f
$10^{-18}$	アト	a

表3 固有の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	$\text{s}^{-1}$
力	ニュートン	N	$\text{m} \cdot \text{kg} / \text{s}^2$
圧力, 応力	パスカル	Pa	$\text{N} / \text{m}^2$
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	$\text{N} \cdot \text{m}$
工率, 放射束	ワット	W	J/s
電気量, 電荷	クーロン	C	A·s
電位, 電圧, 起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラド	F	C/V
電気抵抗	オーム	$\Omega$	V/A
コンダクタンス	ジーメンズ	S	A/V
磁束密度	ウェーバ	Wb	V·s
磁束密度	テスラ	T	$\text{Wb} / \text{m}^2$
インダクタンス	ヘンリー	H	$\text{Wb} / \text{A}$
セルシウス温度	セルシウス度	$^{\circ}\text{C}$	
光束	ルーメン	lm	$\text{cd} \cdot \text{sr}$
照射度	ルクス	lx	$\text{lm} / \text{m}^2$
放射線量	ベクレル	Bq	$\text{s}^{-1}$
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量等量	シーベルト	Sv	J/kg

表4 SIと共に暫定的に維持される単位

名称	記号
オングストローム	Å
バ - ン	b
バ - ル	bar
ガ - ル	Gal
キュリー	Ci
レントゲン	R
ラ - ド	rad
レ - ム	rem

$1 \text{ Å} = 0.1 \text{ nm} = 10^{-10} \text{ m}$   
 $1 \text{ b} = 100 \text{ fm}^2 = 10^{-28} \text{ m}^2$   
 $1 \text{ bar} = 0.1 \text{ MPa} = 10^5 \text{ Pa}$   
 $1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm} / \text{s}^2 = 10^{-2} \text{ m} / \text{s}^2$   
 $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$   
 $1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C} / \text{kg}$   
 $1 \text{ rad} = 1 \text{ cGy} = 10^{-2} \text{ Gy}$   
 $1 \text{ rem} = 1 \text{ cSv} = 10^{-2} \text{ Sv}$

(注)

- 表1-5は「国際単位系」第5版、国際度量衡局1985年刊行による。ただし、1 eV および1 uの値はCODATAの1986年推奨値によった。
- 表4には海里、ノット、アール、ヘクタールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- barは、JISでは流体の圧力を表わす場合に限り表2のカテゴリに分類されている。
- EC閣僚理事会指令ではbar, barnおよび「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリに入れていない。

## 換 算 表

力	N (=10 <sup>5</sup> dyn)	kgf	lbf
	1	0.101972	0.224809
	9.80665	1	2.20462
	4.44822	0.453592	1

粘 度  $1 \text{ Pa} \cdot \text{s} (\text{N} \cdot \text{s} / \text{m}^2) = 10 \text{ P (ポアズ)} (\text{g} / (\text{cm} \cdot \text{s}))$   
 動粘度  $1 \text{ m}^2 / \text{s} = 10^4 \text{ St (ストークス)} (\text{cm}^2 / \text{s})$

圧	MPa (=10 bar)	kgf/cm <sup>2</sup>	atm	mmHg (Torr)	lbf/in <sup>2</sup> (psi)
	1	10.1972	9.86923	$7.50062 \times 10^3$	145.038
力	0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233
	0.101325	1.03323	1	760	14.6959
	$1.33322 \times 10^{-4}$	$1.35951 \times 10^{-3}$	$1.31579 \times 10^{-3}$	1	$1.93368 \times 10^{-2}$
	$6.89476 \times 10^{-3}$	$7.03070 \times 10^{-2}$	$6.80460 \times 10^{-2}$	51.7149	1

エネルギー・仕事・熱量	J (=10 <sup>7</sup> erg)	kgf·m	kW·h	cal (計量法)	Btu	ft·lbf	eV
	1	0.101972	$2.77778 \times 10^{-7}$	0.238889	$9.47813 \times 10^{-4}$	0.737562	$6.24150 \times 10^{18}$
	9.80665	1	$2.72407 \times 10^{-6}$	2.34270	$9.29487 \times 10^{-3}$	7.23301	$6.12082 \times 10^{18}$
	$3.6 \times 10^6$	$3.67098 \times 10^5$	1	$8.59999 \times 10^5$	3412.13	$2.65522 \times 10^9$	$2.24694 \times 10^{25}$
	4.18605	0.426858	$1.16279 \times 10^{-6}$	1	$3.96759 \times 10^{-3}$	3.08747	$2.61272 \times 10^{19}$
	1055.06	107.586	$2.93072 \times 10^{-4}$	252.042	1	778.172	$6.58515 \times 10^{21}$
	1.35582	0.138255	$3.76616 \times 10^{-7}$	0.323890	$1.28506 \times 10^{-3}$	1	$8.46233 \times 10^{18}$
	$1.60218 \times 10^{19}$	$1.63377 \times 10^{20}$	$4.45050 \times 10^{26}$	$3.82743 \times 10^{20}$	$1.51857 \times 10^{22}$	$1.18171 \times 10^{19}$	1

$1 \text{ cal} = 4.18605 \text{ J (計量法)}$   
 $= 4.184 \text{ J (熱化学)}$   
 $= 4.1855 \text{ J (15}^{\circ}\text{C)}$   
 $= 4.1868 \text{ J (国際蒸気表)}$   
 仕事率 1 PS (仏馬力)  
 $= 75 \text{ kgf} \cdot \text{m} / \text{s}$   
 $= 735.499 \text{ W}$

放射能	Bq	Ci
	1	$2.70270 \times 10^{11}$
	$3.7 \times 10^{10}$	1

吸収線量	Gy	rad
	1	100
	0.01	1

照射線量	C/kg	R
	1	3876
	$2.58 \times 10^{-4}$	1

線量当量	Sv	rem
	1	100
	0.01	1

埋設濃度上限値を上回る放射性廃棄物処分の総合安全評価コード：G S A G C L 計算コードユーザーズマニュアル