

# 地層処分システム性能評価のための 概括的感度解析手法の高度化（Ⅲ）

（核燃料サイクル開発機構 研究委託内容報告書）

研究概要

1999年2月

**日揮株式会社**

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松4番49  
核燃料サイクル開発機構  
技術展開部 技術協力課

Inquires about copyright and reproduction should be addressed to :

Technical Cooperation Section,  
Technology Management Division, JNC  
4-49 Muramatsu, Naka-gun, Ibaraki 319-1194



核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

## 目次

1. はじめに	1
2. 探索型システム性能評価の方法論	1
3. ニアフィールド母岩中核種移行シャドウモデル	3
4. 感度分析手法	5
5. 統計的解析	8
5.1 解析計画	8
5.2 感度構造	9
6. 決定論的解析	12
6.1 解析計画	12
6.2 リファレンスケース	12
6.3 水理学的変動シナリオの例（海水準変動）	14
6.4 地球化学的変動シナリオの例（放射線分解による酸化還元フロント形成）	17

## 図リスト

- 図 2.1 探索型システム性能評価に於ける検討の流れ
  
- 図 3.1 ニアフィールド母岩中核種移行シャドウモデルの概念
- 図 3.2 ニアフィールド母岩中核種移行シャドウモデルの構成
  
- 図 4.1 非線形写像により出力空間の分布に粗密が生ずる機構
- 図 4.2 SASSIER を用いた解析の手順
  
- 図 5.1 ニアフィールド母岩中核種移行シャドウモデルを用いた統計的解析の流れ
  
- 図 6.2.1 チャンネル出口における核種フラックス（リファレンスケース）
- 図 6.3.1 海水準変動シナリオにおける動水勾配変動パターン
- 図 6.3.2 チャンネル入口部（1 m）における核種フラックス（海水準変動シナリオ）
- 図 6.3.3 チャンネル出口における核種フラックス（海水準変動シナリオ）
- 図 6.4.1 チャンネル入口部（0 m）における核種フラックス（放射線分解による酸化還元フロントシナリオ）
- 図 6.4.2 マトリクス内の核種総量（放射線分解による酸化還元フロントシナリオ）
- 図 6.4.3 チャンネル入口部（1 m）における核種フラックス（放射線分解による酸化還元フロントシナリオ）

## 1. はじめに

本研究では探索型システム性能評価の手法をニアフィールド母岩中核種移行に拡張し、統計的及び決定論的解析を実施することとする。

本報告書の構成は以下の通りである。

まず、2.において昨年度の検討の経緯に従った探索型システム性能評価の手順及びシャドウモデルに関する基本的概念をまとめることにより、その方法論の概要を説明する。また、引き続き3.及び4.においてニアフィールド母岩中核種移行シャドウモデル及び本研究で用いる感度解析手法を詳しく説明する。そして、5.にはニアフィールド母岩中核種移行シャドウモデルを用いた統計的解析の内容を記述することとし、同じく決定論的解析の内容及び結果は6.にまとめることとする

## 2. 探索型システム性能評価の方法論

探索型システム性能評価は、従来の言語ベースのシナリオ解析手法の限界に呼応し、これを補足するための有力なアプローチである。言語という離散的な表現媒体に代わって連続的な数値を用いることにより、探索型システム性能評価は「広さ」に於いても「きめ細かさ」に於いてもより網羅性の高い結果を得ることが可能となる。

探索型システム性能評価に於ける検討の流れを図 2.1 にまとめる。

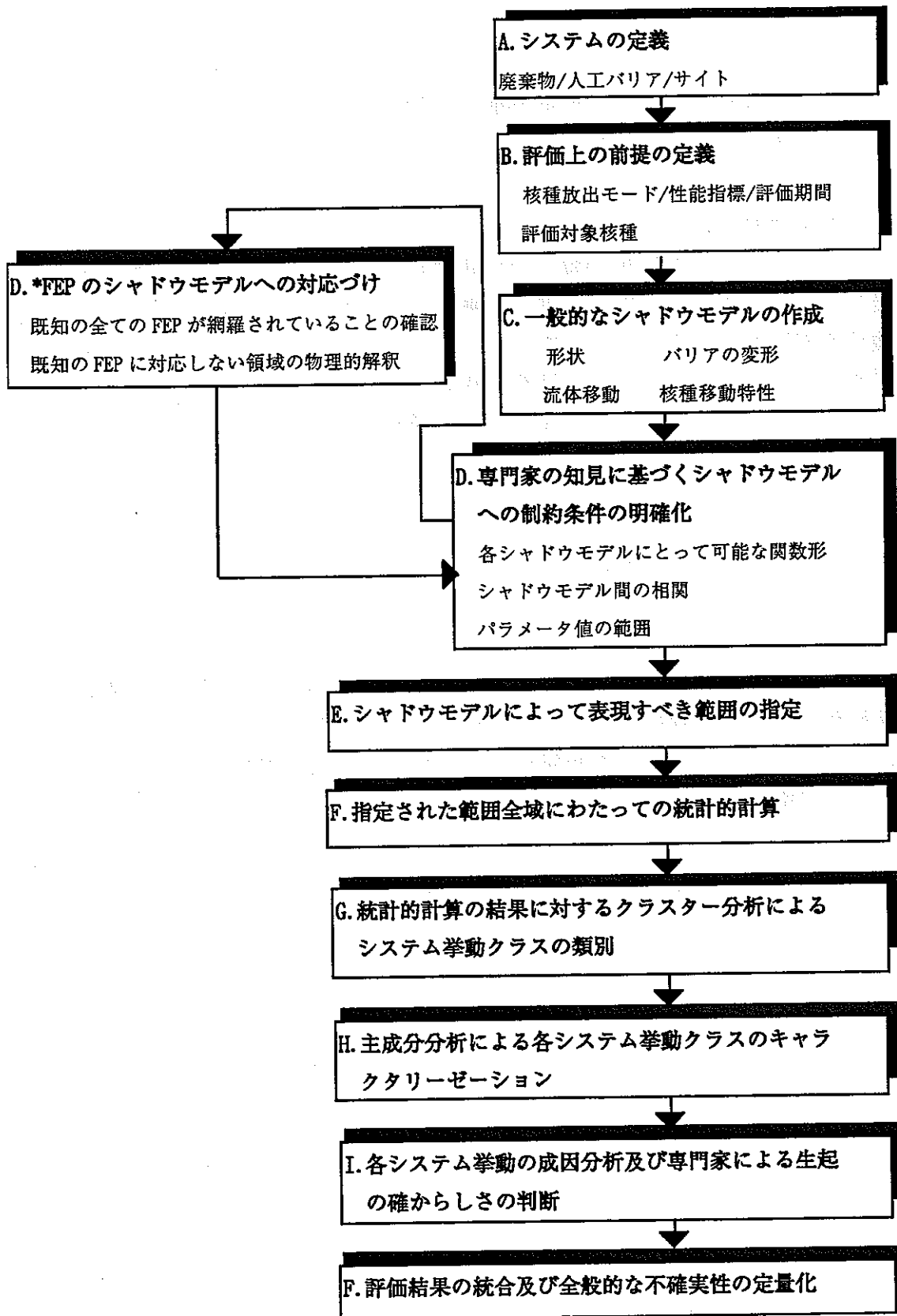


図 2.1 探索型システム性能評価に於ける検討の流れ

### 3. ニアフィールド母岩中核種移行シャドウモデル

昨年度プロトタイプの開発を行ったニアフィールド母岩中核種移行シャドウモデルの特徴は以下の通りである。

1. ニアフィールド母岩中の核種移行経路は、チャンネルネットワークとして表現される。
2. 各チャンネルには岩体マトリクスが隣接し、チャンネル部分では移流／分散が、マトリクス部では分子拡散が支配的な核種移行機構となる（二重空隙モデル）。
3. チャンネル及びマトリクス内を移行する放射性核種は、速い反応（瞬時平衡）あるいは遅い反応（速度論的取り扱い）によって化学的形態を変化させる。また、この結果、核種の平均的な移行特性（移流速度、拡散係数）が変化する。
4. 各チャンネル内の地下水流速及び流向は時間に依存して変化し得る。
5. 各チャンネル及びマトリクス内の地球化学条件は、標準的深部地下条件と地球化学異常（anomaly）の二つを想定し、時間及び位置に依存して変化し得る。
6. 地球化学条件変化のパターンとしては、全域で同時に変化する場合と、地球化学的フロントの伝播に従って時間／空間的に変化する場合を表現することができる。
7. 上記二つの地球化学条件に依存して、種々の化学形態間の核種の質量配分、さらには平均的な移行特性が変化する。

以上のニアフィールド母岩中核種移行シャドウモデルの特徴を概念的に図 3.1 にまとめる。また、人工バリア中核種移行シャドウモデルの場合と同様、ニアフィールド母岩中核種移行シャドウモデルを図 3.2 に示すシャドウサブモデルに区分して議論を行う。

上記のモデルを定式化した数学的モデルは、Tiger を基礎として作成した核種移行ソープである Shadow Tiger によって解法される。また、Shadow Tiger の入力ファイル、特に後述する統計的解析のための大規模のバッチファイルを作成するために、STEPPER というプリプロセッサを作成した。

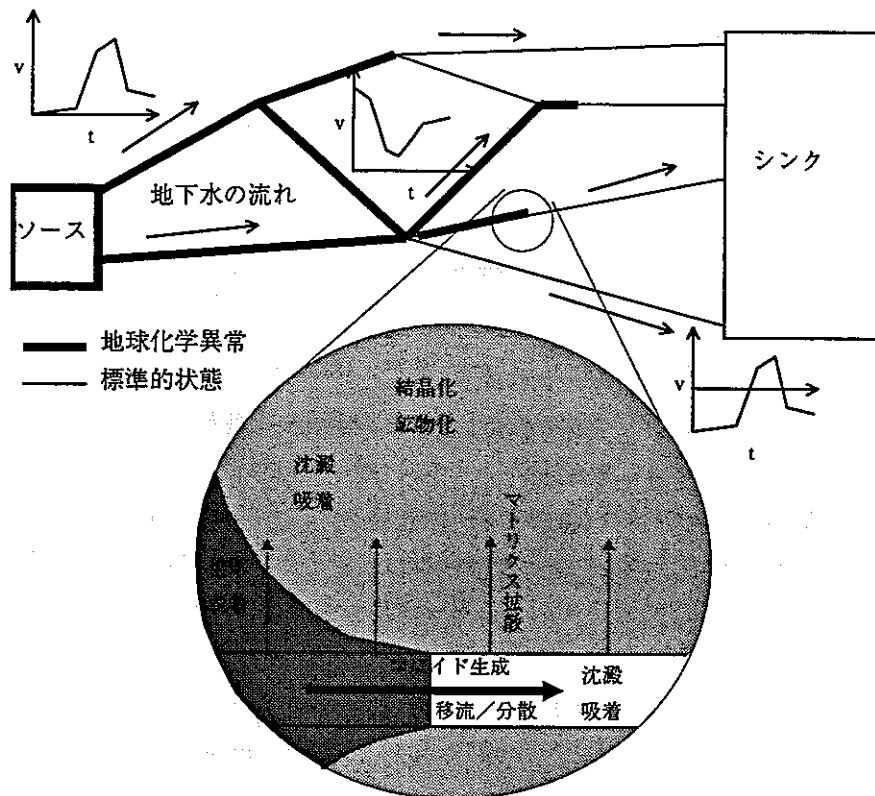


図 3.1 ニアフィールド母岩中核種移行シャドウモデルの概念

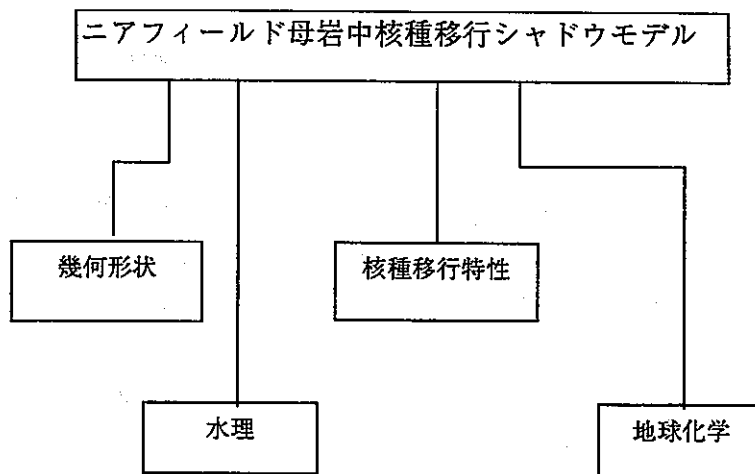


図 3.2 ニアフィールド母岩中核種移行シャドウモデルの構成



#### 4. 感度分析手法

シャドウモデルを用いた統計的解析は、 $m$  個の入力パラメータ群における統計的サンプルを、 $n$  個の出力へと対応付ける写像と見なすことができる。写像としての統計的解析の最大の特徴は、

- a) 入出力間の相関の非線形性
- b) 複数の感度構造の重なりあい

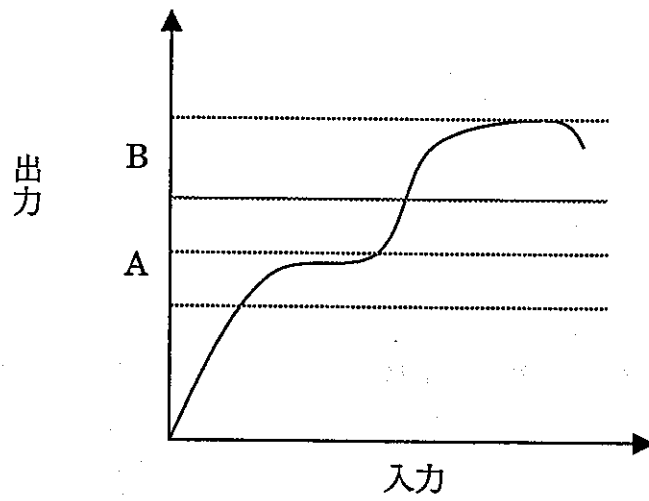
にある。上記のうち第一の点は、全域的サンプリングについての解析結果に対する感度分析によって明らかに感度を有すると考えられるパラメータをある代表点（最高放出率ケースあるいはリファレンスケース等）において固定し、他のパラメータを統計的に変動させた局所サンプリングを逐次行っていくことによって、上記の出力空間に織り込まれた感度構造を解きほぐしていくことが必要となる。

本研究の感度解析においては、主として極値に対してムービングバンド法による入力パラメータの重要度分析を、また、大多数のケースについてクラスター分析と組み合わせた局所線形回帰分析による感度解析を、それぞれ相互に補完的に用いることによって非線形写像の感度の全貌を調べることにする。

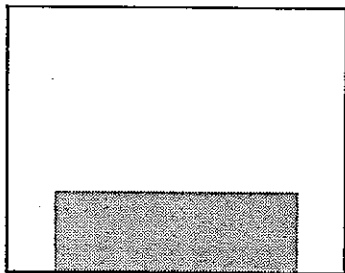
統計的にサンプリングされた計算ケースは、サンプル数が十分であれば、入力パラメータ空間において一様に分布するはずである。しかしながら、既に述べた様に入力空間から出力空間への写像が非線形であるために、出力空間においてはこれは必ずしも真ではない。この状況を、図 4.1 に概念的に示す。

一連の感度分析手法を一括して実施するために、市販の統計解析パッケージである SAS 上に SASSIER と呼ぶアプリケーションを作成した。SASSIER を適用する解析手順を図 4.2 に示す。

### 非線形写像の例



入力値の確率分布



出力値の確率分布

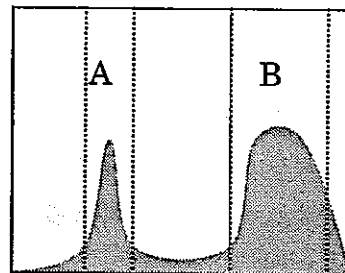


図 4.1 非線形写像により出力空間の分布に粗密が生ずる機構

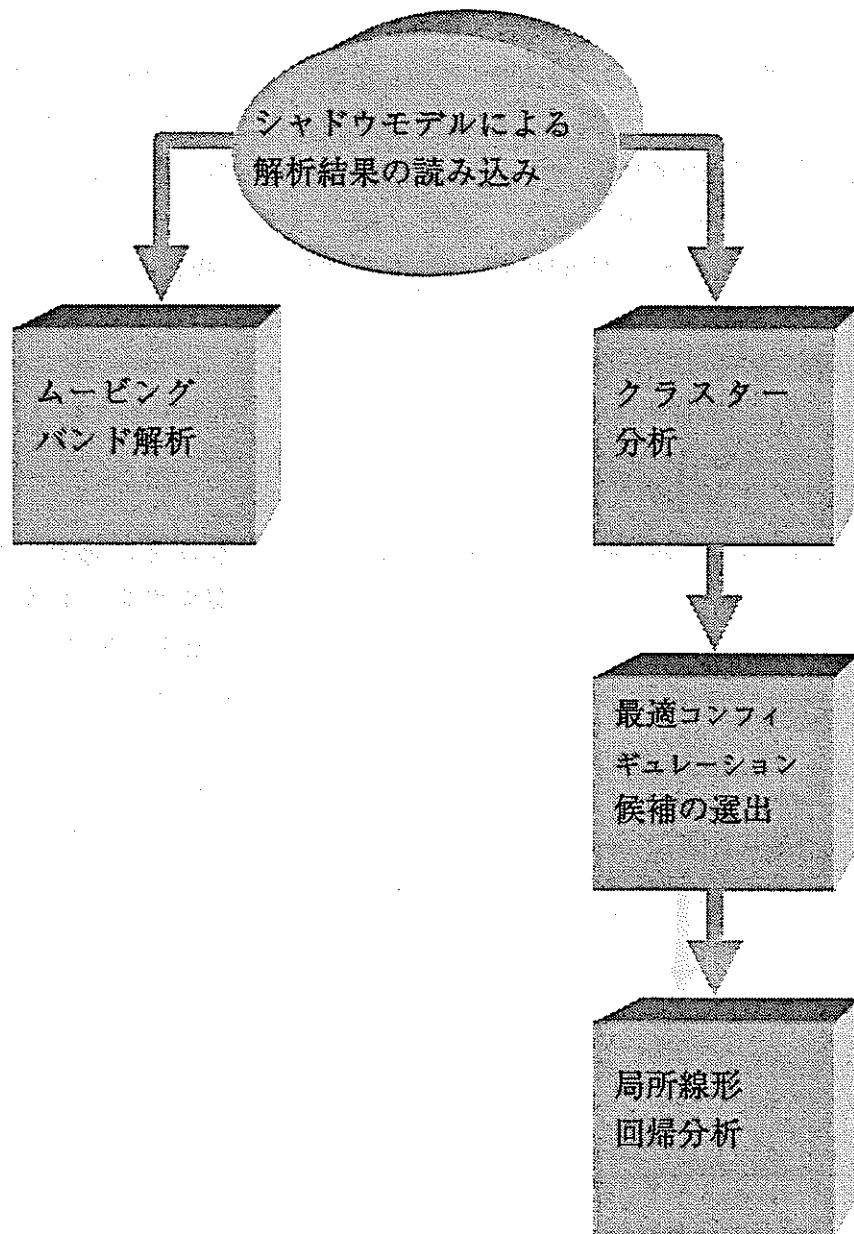


図 4.2 SASSIER を用いた解析の手順

## 5. 統計的解析

### 5.1 解析計画

今回の統計的解析は、二つのステージに分割して行うものとし、第一ステージでは単一のチャンネルのみを有する系を対象として水理及び地球化学的な環境変動と放射性核種の多様な化学反応と移行挙動とが組み合わされた場合の感度構造の定量化を行うものとする。また、第二ステージにおいては、第一ステージの結果として得られた感度構造に関する知見が、複数のチャンネルから成るネットワークを考えた場合の分岐／合流によってどの様に影響されるかに焦点を置いた解析を行うこととする。

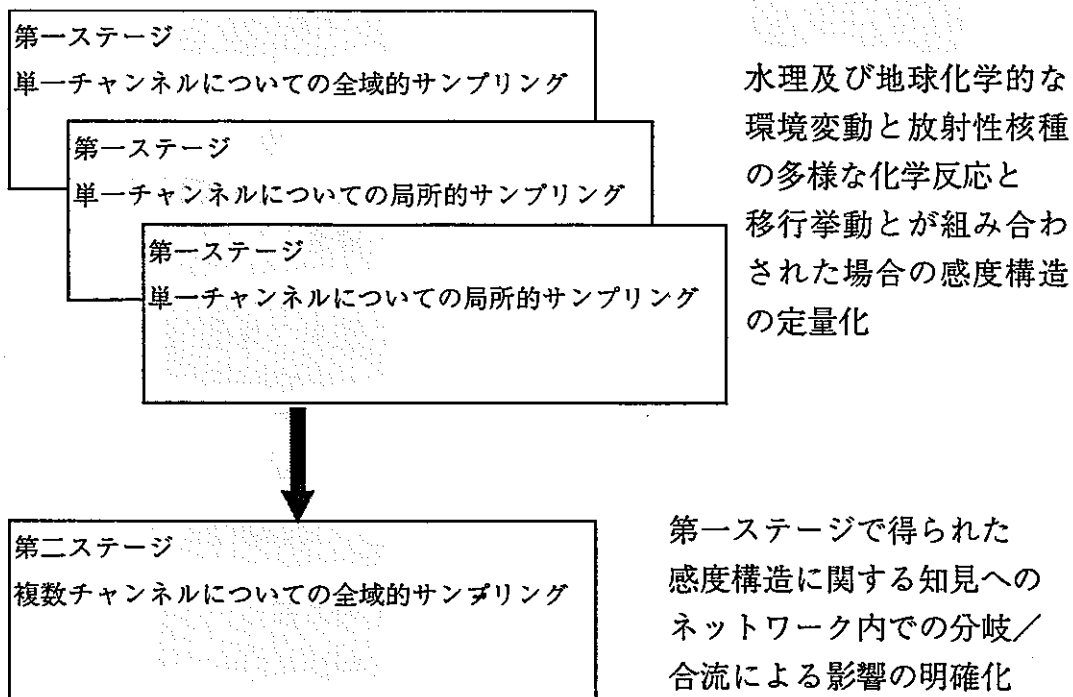


図 5.1 ニアフィールド母岩中核種移行シャドウモデルを用いた統計的解析の流れ

評価対象核種としては、人工バリア中核種移行解析との整合性を考え、 $\text{Np-237} \rightarrow \text{Th-229}$  を主要な解析対象とし、第1ステージの全域的解析については、 $\text{U-238} \rightarrow \text{Ra-226}$  についての解析を追加的に実施した。

解析の出力としては、対象核種毎の最大放出率とその出現時刻が最も優先順位が高いものと考えられる。

## 5.2 感度構造

### 5.2.1 全域的感度構造

ニアフィールド母岩中核種移行に関する種々の現象を幅広く見た場合の全域的な感度は、水理、及びマトリクス拡散による遅延効果に係るパラメータ群に支配されており、人工バリアについての本研究の成果と整合的であると共に、二重空隙モデルについてのこれまでの多数の解析結果に基づき培われた感度についての理解を裏付けるものとなっている。

全域的な解析の結果得られた、坑道 100 m 分に含まれる 40 廃棄体からの Np-237 の放出率は、 $1e-20$   $1e+20$  Bq/yr という 40 桁にも及ぶ変動幅を有しており、その感度構造は、 $1e10$  Bq/yr 程度を境界として、これよりも高放出率側と低放出率側とにおいてそれぞれ以下の様な特徴を有する。

#### (1) 高放出率側において支配的な感度を有するパラメータ

高放出率側において支配的な感度を有するパラメータは、以下の通りである。

- 1) 強い流れの開始時期 (負)
- 2) 強い流れの継続期間 (負)
- 3) 最小透水量係数 (正)
- 4) 最大透水量係数 (正)
- 5) 最小動水勾配 (負)
- 6) 最大動水勾配 (正)

これらは、いずれも水理に関するパラメータ群である（括弧内の正負は、最大核種放出率に対する感度に対応する）。このことは、極めて大きい核種放出率が、水理条件に依存して生起していることを示している。また、強い流れの継続期間が負の感度を有しているのは、このパラメータと最大動水勾配との間の相関によるものであり、最大放出率を極めて大きなものとするためには短期の非常に大きな動水勾配の存在が必要であることを示している。さらに、最小動水勾配の感度は、後述する様に低放出率側では正であり、このことは、極めて高い放出率のケースにおいては最小動水勾配がむしろ小さいことが必要であることを示している。これは、短期的な非常に強い流れに先立つ期間において、核種が系内に貯留されていることが必要条件であることを示唆している。他方、透水量係数変化の時間スケールに関するパラメータについては、顕著な感度が見いだされていない。これは、非常に大きい動水勾配が極く短期のうちに立ち

上がる可能性が考慮されているために、透水量係数の時間的挙動に関するより複雑な感度が顕在化していないものと考えられる。

## (2) 低放出率側において支配的な感度を有するパラメータ

低放出率側において支配的な感度を有するパラメータは、以下の通りである。

- 1) 最小透水量係数 (正)
- 2) 最大透水量係数 (正)
- 3) 有効亀裂表面積 (負)
- 4) マトリクス内遅延係数 (負)
- 5) 最小動水勾配 (正)
- 6) 最大動水勾配 (正)

これらのパラメータが支配的であることは、マトリクスへの核種の拡散及びそこでの閉じこめが有効な遅延機能を有するために、地下水の流動条件が緩慢でなければならないことを示している。換言すれば、核種の閉じこめは、過酷な水理条件においては有効な遅延効果をもたらさないということとなる。

### 5.2.2 リファレンスケース近傍の感度構造

上に挙げた全域的感度構造を支配するパラメータ群をリファレンスケースの近傍に固定した第二次解析においては、坑道 100 m 分に含まれる 40 廃棄体からの Np-237 の放出率は、 $1e-8$   $1e+6$  Bq/yr という 14 桁の変動幅を有している。この分布では、Np-237 に関して  $1e+3.5$  Bq/yr 程度の放出率 (これは人工バリアからの放出率に相当する) 近傍に明瞭な境界が見られる。以下に、この境界を挟んで上下それぞれの感度構造の特徴をまとめる。

#### (1) 境界より低放出率側において支配的な感度を有するパラメータ

上記の境界よりも低放出率側では、放出率の全域にわたって、

##### 1) 不動態化及び再溶解の反応速度

が支配的な感度を有している。このことは、水理学的な条件がリファレンスケースつまり一般的な深部地下環境に対応した好ましいものに保たれている場合、速度論的には遅いが熱力学的にはより安定な形態への化学的变化による核種の

閉じこめ効果が顕著なものとなる可能性を示している。また、

- 2) マトリクス内平均拡散係数の第二勾配
- 3) マトリクス内平均拡散係数の第一節点濃度

が高放出率側でそれぞれ正及び負の感度を有していることは、低濃度側の遅延係数がリファレンスケースの条件で固定された場合でも、高濃度側での遅延効果の低下が生じた場合には核種放出率が高くなり得ることを示している。

## (2) 境界より高放出率側において支配的な感度を有するパラメータ

前記の境界よりも高放出率側にある比較的少数のケースでは、

- 1) チャンネル横幅
- 2) 親核種平均拡散係数第二勾配
- 3) 親核種平均拡散係数第一節点濃度
- 4) 親核種平均移流速度第一節点濃度
- 5) 親核種平均移流速度第三節点濃度
- 6) 娘核種平均移流速度第一節点濃度
- 7) 娘核種平均移流速度第三節点濃度
- 8) 地球化学異常継続期間
- 9) 地球化学異常物質流入濃度

といったパラメータ群が全域的な平均値から有意に離れた数値を採っている。これらのうち、特に(1)の大多数のケースと異なる点は、チャンネル中の平均移流速度第一節点が低く、地球化学異常物質濃度が高くまた継続期間も長いことである。このことは、チャンネル中において遅延されている核種のマスが、地球化学異常の伝播に合わせて下流側へと移動している可能性を示唆するものである。また、マトリクス中の平均拡散係数に関する第二勾配が大きいことは、マトリクス内の遅延効果が高濃度側において相対的に低下することにつながり、結果的には、有意な量の核種をチャンネル中にとどめる役割を果たしているものと考えられる。この様な機構による核種放出率の増大は人工バリアに関する昨年度の研究においても見られたが、この機構による母岩中での最大放出率の増加分（核種流入フラックスと比して）は人工バリアにおける影響に比べれば相対的に小さい。

## 6. 決定論的解析

シャドウモデルを用いて、第二次とりまとめにおける性能評価計算のうちいくつかのケースについての解析を行い、同解析を支援することを目的とする。

### 6.1 解析計画

第二次取りまとめにおけるリファレンスケースを第一の解析ケースとして選定する。次に、第二次とりまとめにおいて検討の対象とされている各種の変動シナリオに関しては、リファレンスケースからのずれを一項目ずつ付加していくことを基本的な原則として、以下の諸解析ケースを対象として選ぶことが合理的であると考えられる。

- 1.水理学的変動のみを考慮したシナリオ
- 2.地球化学的変動のみを考慮したシナリオ

### 6.2 リファレンスケース

透水量係数に関する正規分布の平均値に対応した単一チャンネルを用いた解析を行った。

結果を図 6.2.1 に示す。



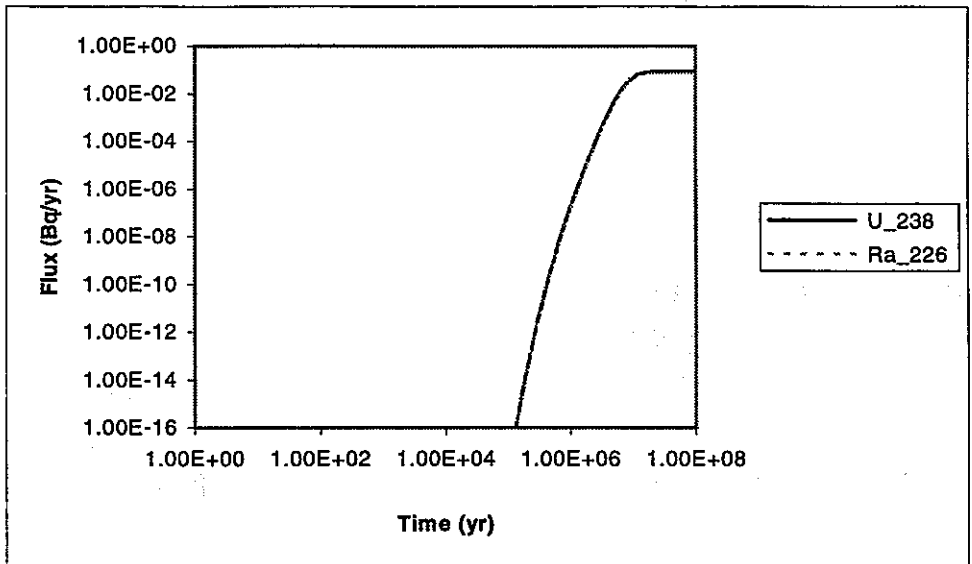
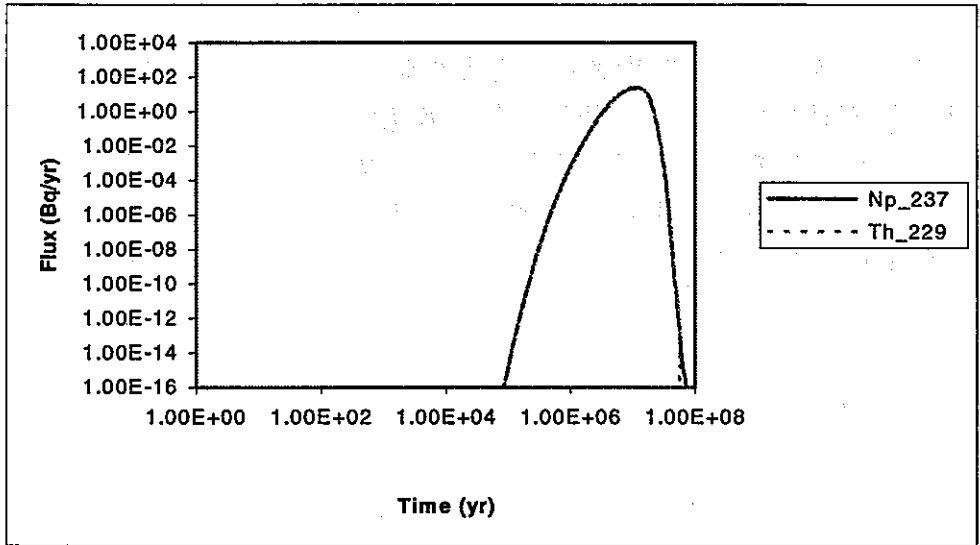


図 6.2.1 チャンネル出口における核種フラックス  
(リファレンスケース)

### 6.3 水理学的変動シナリオの例（海水準変動）

リファレンスケースにおいて時間的に一定と仮定している動水勾配 (=0.008) に対して、海水準変動を想定した時間的変化を考慮することとする。より具体的には、海水準変動の影響が最も顕著な例として、塩淡水境界が処分サイトを横切ることに伴い、平地環境（期間 I）から海底下（期間 II）そして再び平地（期間 III）に回帰する様な変動パターンを考える。図 6.3.1 に示す様に動水勾配の変動は所定の速度で連続的に生じるものとする。

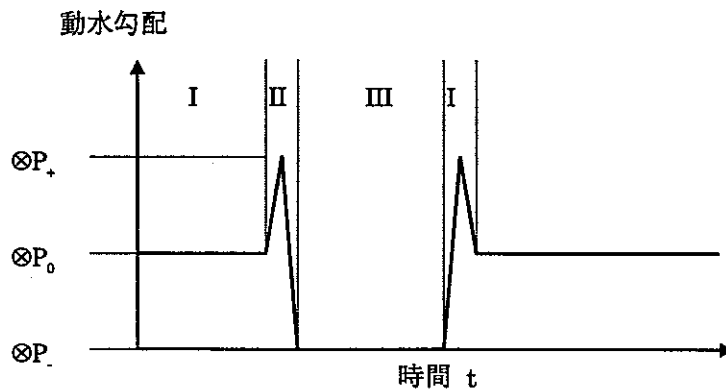


図 6.3.1 海水準変動シナリオにおける動水勾配変動パターン

解析結果を図 6.3.2 及び 6.3.3 にまとめる。

最大動水勾配 0.08、動水勾配変動期間  $1.0E4$  年を設定した解析ケースの結果からは、チャンネル入口での核種流入フラックスのピークと海水準変動の時期とを一致させているにもかかわらず、出口に於ける放出フラックスのピークは海水準変動の影響よりも遅れて到達していることがわかる。変動シナリオによる摂動の大きさは入口と出口部とで非線形な対応を示しており、核種の破過曲線との相対的な位置関係によって、最大核種放出率を若干増加させ得ると考えられる。これは、期間 I 及び III における地下水流量が、人工バリアから母岩に放出される核種放出率を増大させることに加えて、海水準変動が開始される以前にチャンネル及びマトリクスに貯えられていた核種が短期間の内に洗い流される効果が含まれるためと考えられる。

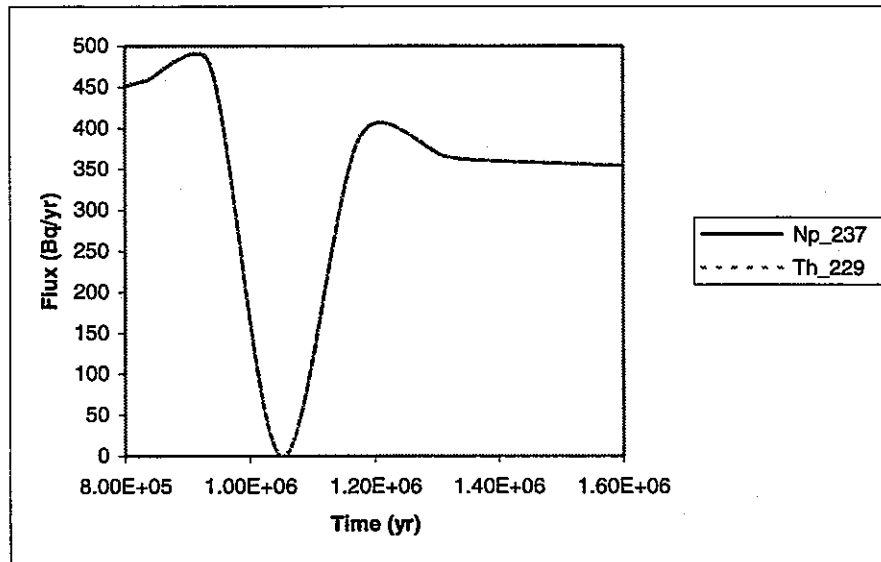
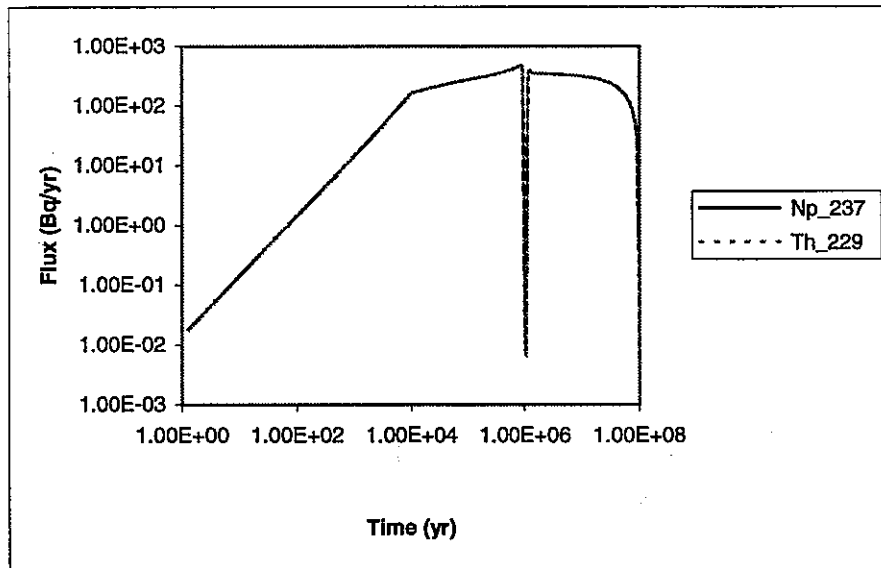


図 6.3.2 チャンネル入口部 (1m) における核種フラックス  
(海水準変動シナリオ)

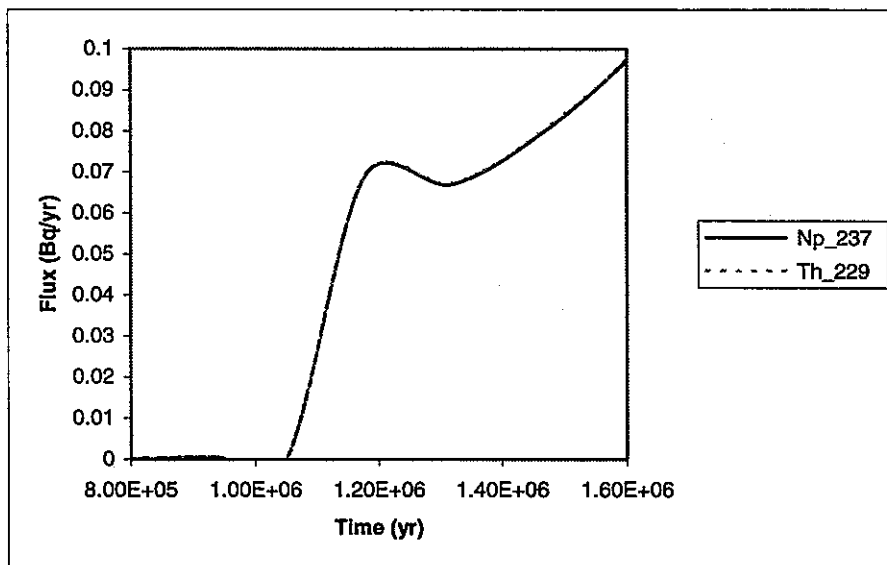
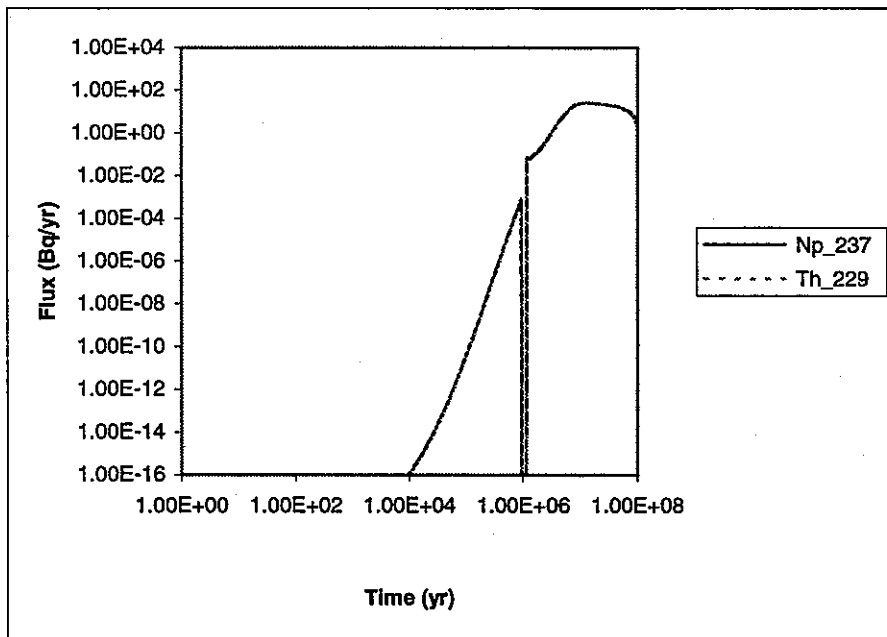


図 6.3.3 チャンネル出口における核種フラックス (海水準変動シナリオ)

#### 6.4 地球化学的変動シナリオの例（放射線分解による酸化還元フロント形成）

本シナリオでは、ニアフィールド母岩中のチャンネル最上流部のみから一定期間酸化剤が流入し、チャンネル及びマトリクスにおける反応によって消費されるものとする。

酸化剤濃度  $0.1\text{mol/m}^3$ 、マトリクス中鉄鉱物濃度  $1.0\text{E}3\text{mol/m}^2$ 、酸化剤流入継続期間を  $1.0\text{E}6$  年と設定した場合の解析結果を図 6.4.1～6.4.3 にまとめる。

地球化学異常の開始する時間（約 10 万年後）に人工バリアからの核種放出率は約 4 桁増大し、このため、人工バリア間に残存していたインベントリは比較的短期間（ガラス浸出期間程度）のうちに枯渇する（図 6.4.1 参照）。また、酸化還元フロントがチャンネルを横断する際に、マトリクス中に貯えられていた核種は速やかに放出されることとなる（図 6.4.2 の  $10^6$  年における鋭い落ち込み）。チャンネル入口から 1 m 地点に於ける核種フラックス（図 6.4.3）は、二つのピークを持つことが特徴である。ここで、第一のピークは人工バリアからの放出率の増加自体に対応しており、第二のピークは上流側のセルを酸化還元フロントが通過することにより沈澱していた核種が一気に流入することに対応している。この、第二のピークは、酸化還元フロントが伝播するのに伴って成長しながら移動する。チャンネル出口では、第二のピークが第一のピークの 10 倍程度となっている。

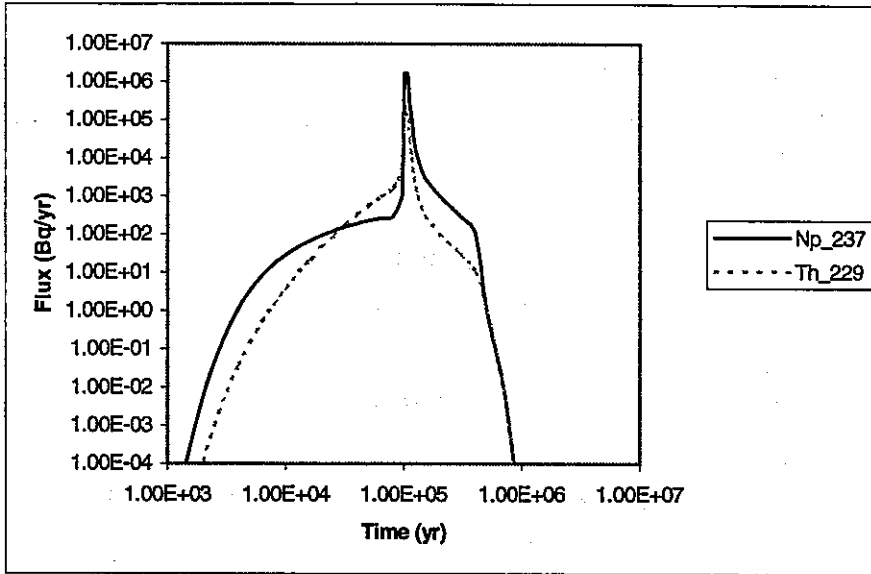


図 6.4.1 チャンネル入口部 (0 m) における核種フラックス  
(放射線分解による酸化還元フロントシナリオ)

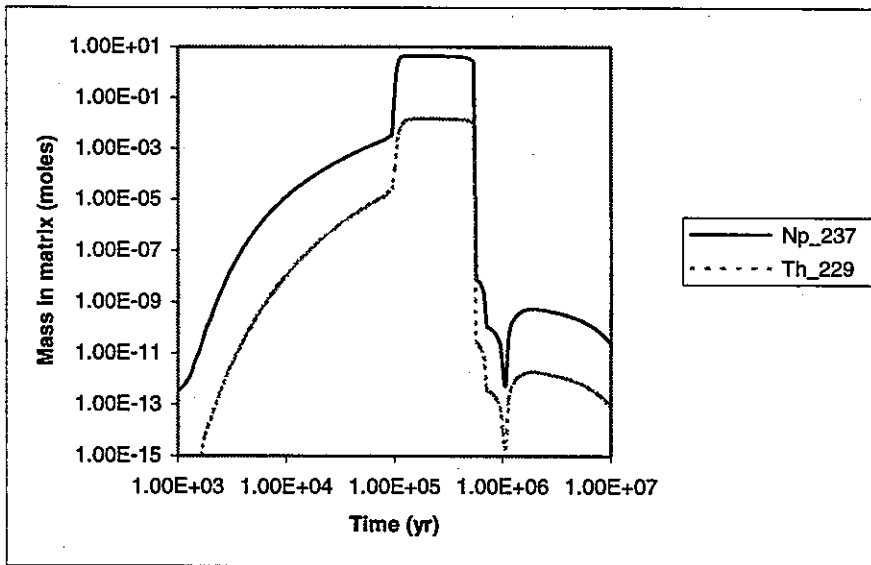


図 6.4.2 マトリクス内の核種総量  
(放射線分解による酸化還元フロントシナリオ)

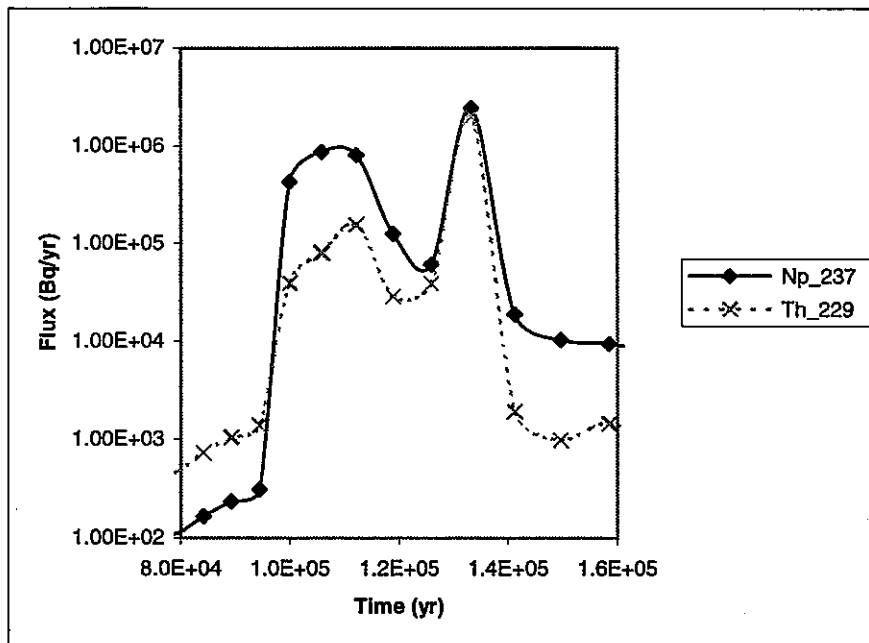
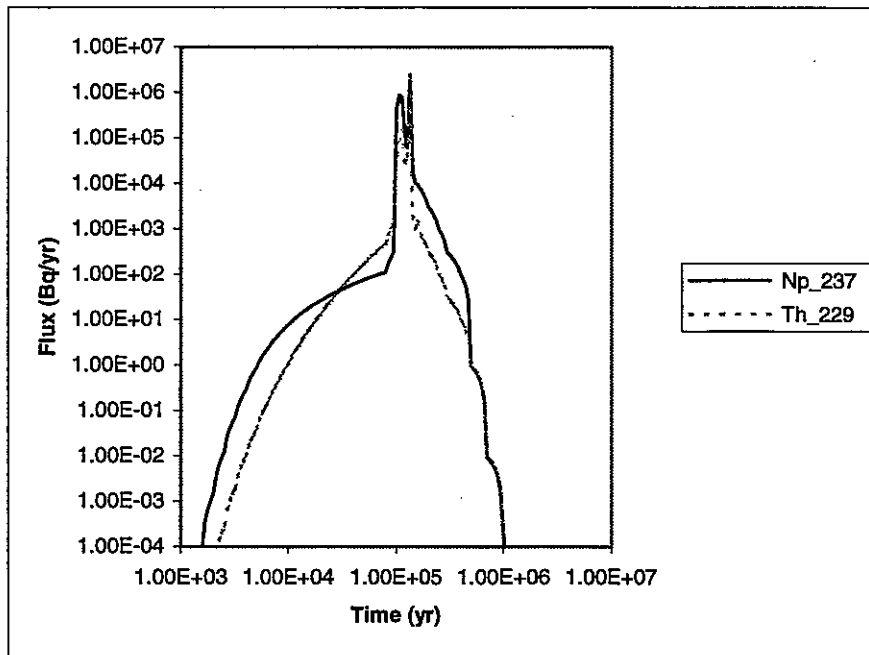


図 6.4.3 チャンネル入口部 (1 m) における核種フラックス  
(放射線分解による酸化還元フロントシナリオ)

## 1. Introduction

In this study, the procedure of Scenario Exploration Method is extended to the area of near-field host rock for nuclide transport, and the nuclide transport analyses are executed in a stochastic mode or a deterministic mode.

This report consists of the following sections.

First of all, in the section 2, the outline of Scenario Exploration Method is explained by summarizing the procedure of Scenario Exploration Method and the basic concepts as to the shadow model. In the next 3 and 4 section, the shadow model which solves the nuclide transport through near-field host rock and the methodology of sensitivity analysis used in this study are explained in detail. In the 5 section, the contents of stochastic analysis by the shadow model for nuclide transport through near-field host rock are mentioned. And in the 6 section, the contents and results of deterministic analysis of that are summarized.

## 2. Methodology of Scenario Exploration

Scenario Exploration Method is the main approach to respond to the limits of the scenario analysis method based on conventional language and to supplement these limits. By using continuous numerical values instead of the scattered expressive media as a language, Scenario Exploration Method can obtain more all-inclusive results in both "width" and "fineness".

The flowchart of this examination in Scenario Exploration Method is shown in Fig.2.1.



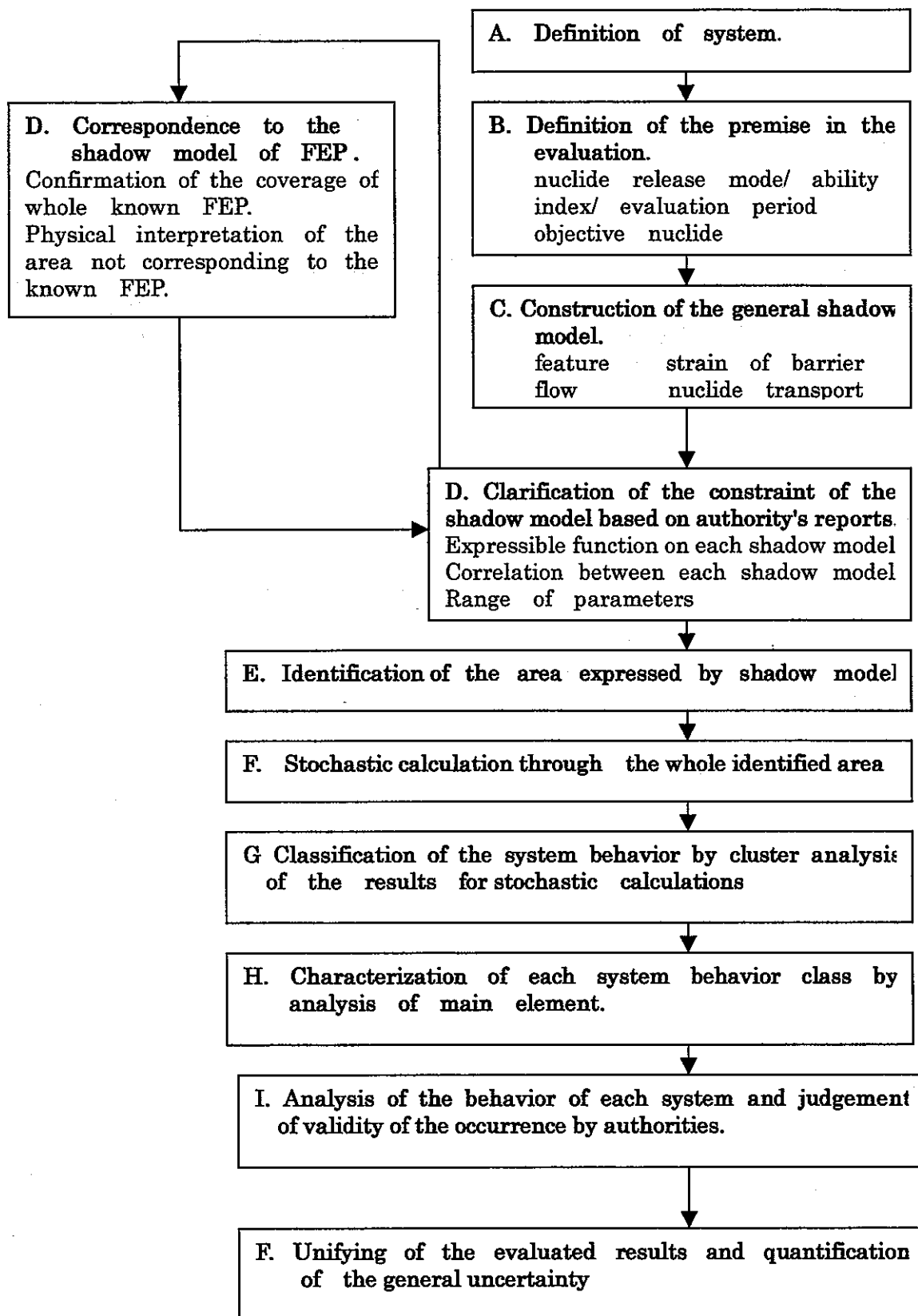


Fig.2.1 Flowchart of the examination in Scenario Exploration Method.

### 3. Shadow model for nuclide transport through near-field host rock.

The characteristics of the shadow model for nuclide transport through near-field host rock developed last year as a prototype model are as follows:

1. Path for nuclide through near-field host rock is explained as a channel network.
2. Each channel is adjacent to the corresponding rock matrix. In the channel, advection/dispersion are dominant mechanisms for nuclide transport. In the rock matrix, molecular diffusion is a dominant mechanism for nuclide transport( dual porosity model).
3. Chemical structure of radioactive nuclides transporting through the channel/matrix are changed due to whether its reaction is fast (instantaneous equilibrium) or slow (transfer rate is also considered). Consequently, the average transporting characteristics (flow rate, diffusivity) are changed.
4. Flow rate and direction of groundwater in each channel will be changed depending on time.
5. Geochemical conditions in each channel/matrix are assumed to that of standard deep underground or that of geochemical anomaly, and these conditions may be changed depending on time period and location.
6. Transition patterns of geochemical conditions can be expressed as the simultaneous fluctuation over the whole area and the periodic/local fluctuation by spread of geochemical front.
7. Depending on above two geochemical conditions, mass distribution of nuclide between various chemical structures and average transporting characteristics are changed.

Above characteristics of shadow model for nuclide transport through near-field host rock are shown in Fig.3.1.1 conceptually. And the shadow model is divided into the shadow sub-models shown in Fig.3.1.2 and is discussed as well as the shadow model for nuclide migration within engineering barrier.

Mathematical model formulating above model is solved by Shadow Tiger that is a nuclide migration solver based on Tiger. And preprocessor "STEPPER" is constructed to make out a large scale batch file for input file of Shadow Tiger, especially stochastic analysis mentioned later.

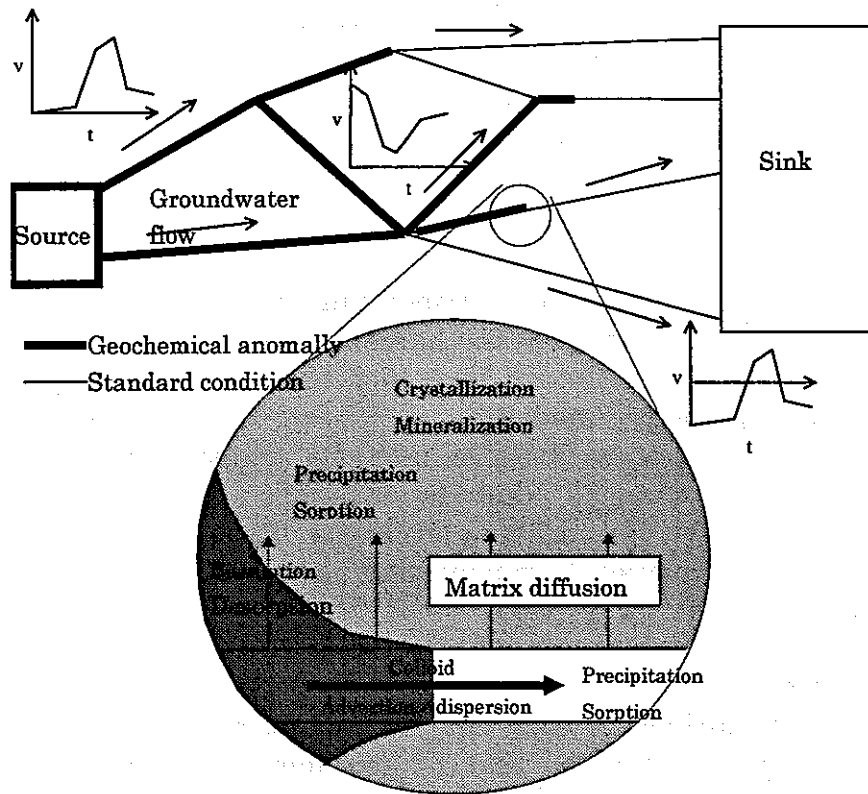


图 3.1

Fig.3.1.1 Concept of shadow model for nuclide transports through near-field host rock.

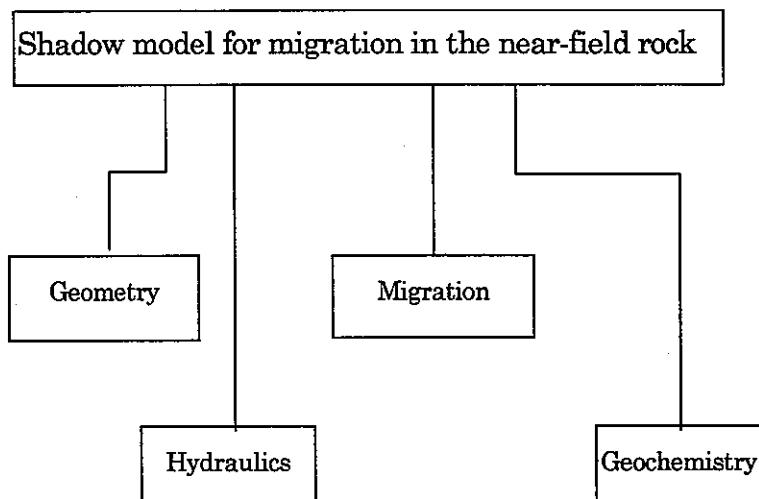


Fig.3.1.2 Component of shadow model for nuclide transports through near-field host rock.

#### 4. Method of sensitivity analysis

The stochastic analysis using shadow model is thought to be the transfer from stochastic samples of  $m$  input parameters to  $n$  outputs. The superiority of characteristics of this stochastic analysis as a transfer is as follows:

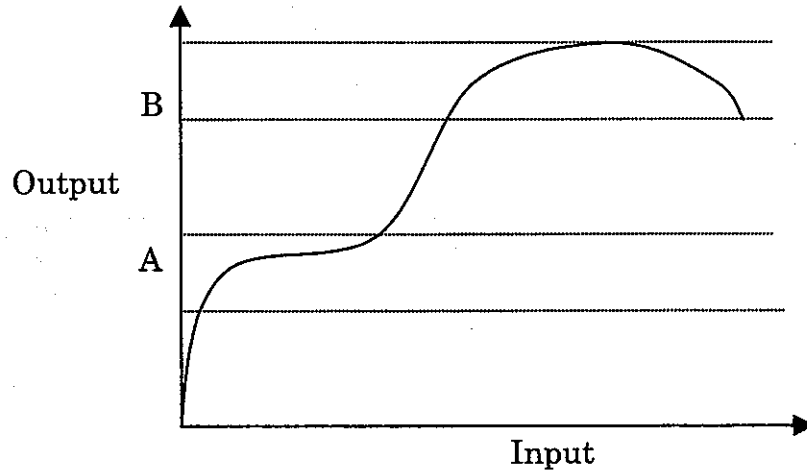
- a) Non-linearity of correlation between input and output
- b) Overlapping of many sensitive structures

By above first characteristics, it is required that the parameter proved to have obvious sensitivity from the sensitive analysis of the results as to the sampling over whole area is fixed at some representative value (the case of maximum release rate or reference case, etc.) while local samplings of which other parameters are varied stochastically are executed one by one, and that the sensitive structures included in the above output space should be made clear.

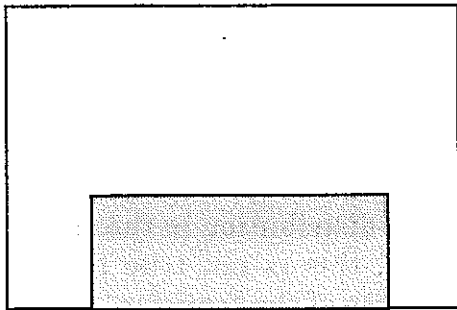
In the sensitive analysis of this study, importance level of input parameter is analyzed on main target of a local maximum or minimum point by moving band method, the sensitivity is analyzed for many cases by local linear regressive analysis combined with cluster analysis, and by using these analysis methods complementary the entire feature of sensitivity for this non-linear transfer is examined.

In the case of calculation in which samples are picked up stochastically, thorough number of samples should be give uniform distribution in the space of input parameter. However, as mentioned above, this is not true in the space of output parameter because of the non-linearity of the transfer. This state is shown conceptually in Fig.4.1.

### Example of non-linear transfer



Distribution of input parameter



Distribution of output parameter

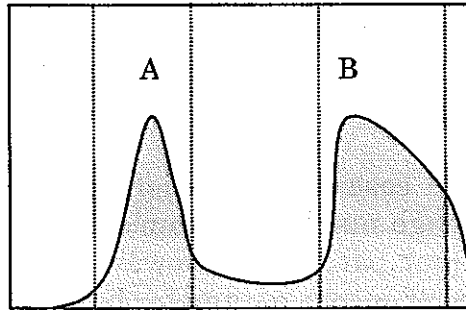


Fig.4.1 Mechanism of generating density distribution of output space by non-linear transfer.

To execute a series of the sensitive analysis procedure, the application called "SASSIER" is constructed on the commercial stochastic analysis package "SAS". The procedure of analysis using "SASSIER" is shown in Fig.4.2.

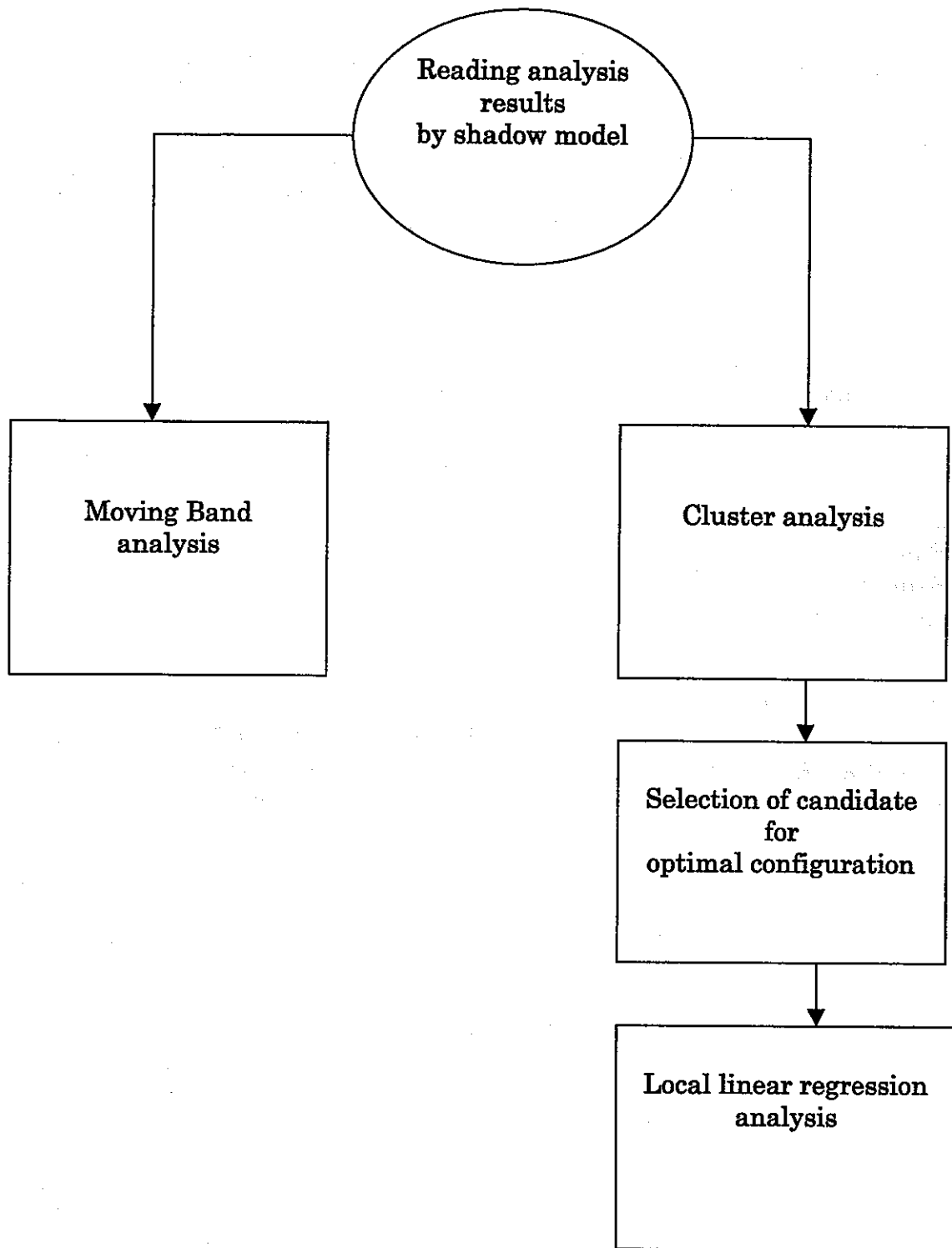


Fig.4.2 Procedure of analysis using SASSIER

## 5. Stochastic analysis

### 5.1 Plan for analysis

The procedure of this stochastic analysis is divided into two stages, and in the first stage, the sensitive structure in which environmental fluctuation of the hydraulic/geochemical conditions and various chemical reactions of nuclides with transport behavior are combined is quantified for the system having one channel. And in the second stage, analysis is executed focusing on how the knowledge of sensitive structure obtained from the first stage would be affected by considering the branch/join of network of many channels.

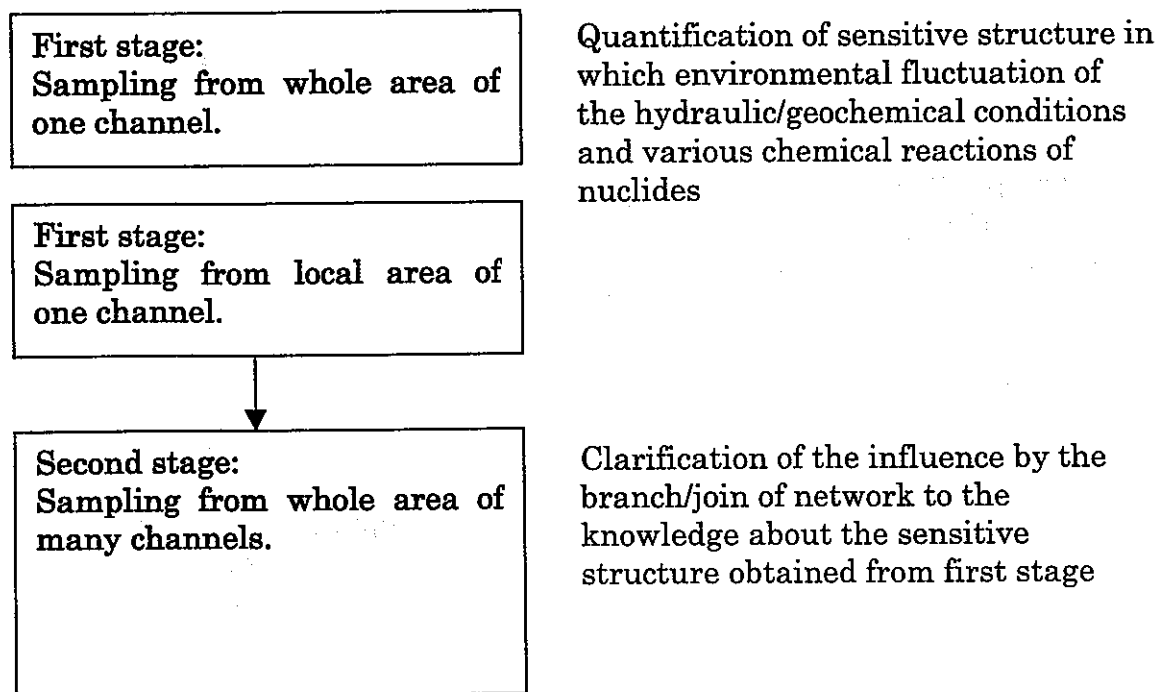


Fig.5.1 Flowchart of stochastic analysis using shadow model for nuclide transports through near-field host rock.

Considering adjustment with nuclide migration in engineering barrier,

$\text{Np-237} > \text{Th-229}$

is assumed to be nuclides to be estimated for this analysis, and analysis of

$\text{U-238} > \text{Ra-226}$

is executed additionally.

For output format of analysis, maximum release rate of each nuclide and its appearance period are thought to have highest order of priority.

## 5.2 Sensitivity Structure

### 5.2.1 Sensitivity Structure of the whole area

Sensitivity of the whole area relating the migration of nuclide through the near-field rock is governed by the hydraulic parameters and the retardation parameters by matrix diffusion. This is consistent with the results for the migration of nuclide through engineered barrier system. That is following the feature of sensitivity analyzed by the plenty number of calculation of double porosity model.

The release rate of Np from the 40 wastes in the gallery of 100m is around 40 orders from  $1E-20$  to  $1e+20$  [Bq/yr] by the analysis of whole area. Those sensitivity structure is divided by the criteria of  $1e+10$  [Bq/yr].

(1) Controlling parameters in the higher release rate region upper the criteria

Controlling parameters in the higher release rate region upper the criteria are as follows:

- Starting time of strong flow (negative)
- Duration of strong flow (negative)
- Minimum transmissivity (positive)
- Maximum transmissivity (positive)
- Minimum head gradient (negative)
- Maximum head gradient (positive)

These are the parameters relating hydraulics (“positive” or “negative” in the quotation corresponds to maximum release rate of nuclide.). This means the higher release rate of nuclide occurs depend on the hydraulic condition. Interval of strong flow shows the negative sensitivity because this parameter and maximum head gradient has co-relationship. For the very higher release rate, we need very large head gradient even If it duration is so short. The minimum head gradient shows positive sensitivity in the lower release rate region below the criteria. This means, before the very strong flow occurs, nuclide shall be stored in the system. On the other hand, parameters relating the time scale to change the transmissivity does not shows clear sensitivity. This means more complicated feature of sensitivity that relating the time scale of change for transmissivity is not explicitly revealed because the possibility that the very large head gradient may occur in a short time period is considered.

(2) Controlling parameters in the lower release rate region under the criteria



Controlling parameters in the lower release rate region under the criteria are as follows:

- Minimum transmissivity (positive)
- Maximum transmissivity (positive)
- Effective surface area of fracture (negative)
- Retardation factor In the matrix(negative)
- Minimum head gradient (positive)
- Maximum head gradient (positive)

From these controlling parameter, the flow condition of groundwater shall be modest to make effective retardation for diffusion and containment of nuclides through matrix. That is to say the containment of nuclides is not efficient retardation under the severe hydraulic condition.

### 5.2.2 Sensitivity Structure of the vicinity of reference case

Controlling parameters of the whole area above mentioned has fixed in the vicinity of reference case and calculated. The release rate of Np from the 40 wastes in the gallery of 100m is around 14 orders from  $1E-8$  to  $1e+6$  [Bq/yr] by the analysis in the vicinity of reference case area. Those sensitivity structure is divided by the criteria of  $1e+3.5$  [Bq/yr]. The feature of sensitivity for these two areas are mentioned in the following.

#### (1) Controlling parameters in the lower release rate region under the criteria

In the lower release rate region under the criteria, the following parameter is controlling through the region.

- kinetics of re-dissolution and immobilization reaction

This means, under the favorable hydraulic condition correspond to general underground condition such as assumed in the reference case, the possibility the effect of containment by the chemical thermodynamic transformation to more stable condition may be explicit even though it is slow kinetic process.

- the second gradient of average diffusion coefficient in the matrix
- the concentration of first joint of average diffusion coefficient in the matrix

#### (2) Controlling parameters in the higher release rate region over the criteria

The following parameters are taking the significant separate figures from the average figures in the higher release rate case.

- the channel width

- the second gradient of average diffusion coefficient of mother nuclides
- the concentration of first joint of average diffusion coefficient of mother nuclides
- the concentration of the first joint of average advection velocity of mother nuclides
- the concentration of the third joint of average advection velocity of mother nuclides
- the first gradient of average diffusion coefficient of daughter nuclides
- the third gradient of average diffusion coefficient of daughter nuclides
- the duration of chemical anomaly
- the intake-concentration of chemical anomaly

The apparent feature that is different from the cases in the lower release rate region under the criteria are as follows.

- The concentration of the first joint of average advection velocity is low.
- The concentration of chemical anomaly is high.
- The duration of chemical anomaly is long.

These features suggest the retarded mass of nuclides in the channel is moving downwards along with the propagation of chemical anomaly. The large second gradient of average diffusion coefficient in the matrix means the retarding effect in the matrix decrease relatively. In the end, This helps the significant amount of nuclides stay in the channel. This increase of release rate above mentioned mechanism was also observed in the analysis of engineered barrier system. The increase of release rate (increase of release rate compared to the initial nuclide flux of inflow) in the host rock by above mentioned mechanism was relatively insignificant compared to that in the engineered barrier system.

## 6. Deterministic analysis

The objective is to analyze for some cases among P.A. cases of the second collection by using shadow model, and to support this analysis.

### 6.1 Plan for analysis

Reference case of the second collection is selected as the first analysis case. Secondly, as to the various fluctuation scenarios thought to be examined in the second collection, the following analysis cases are reasonable to be selected by the basic principle that each varied term from the reference case is lined up one by one.

1. Scenario only considering hydraulic fluctuation
2. Scenario only considering geochemical fluctuation

### 6.2 Reference case

We analyze this case using one channel corresponding to the mean value of regular distribution for transmissivity.

Fig.6.2.1 shows the result.

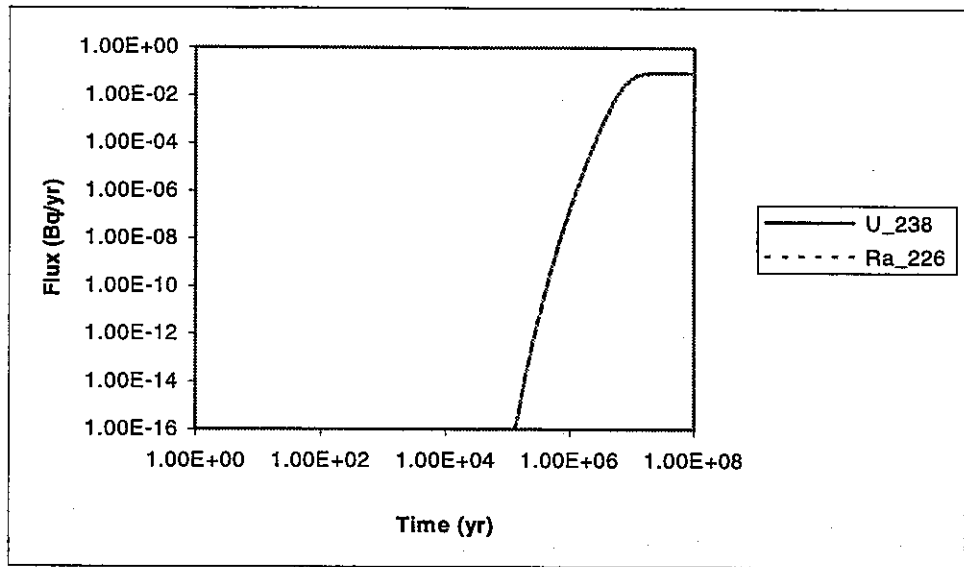
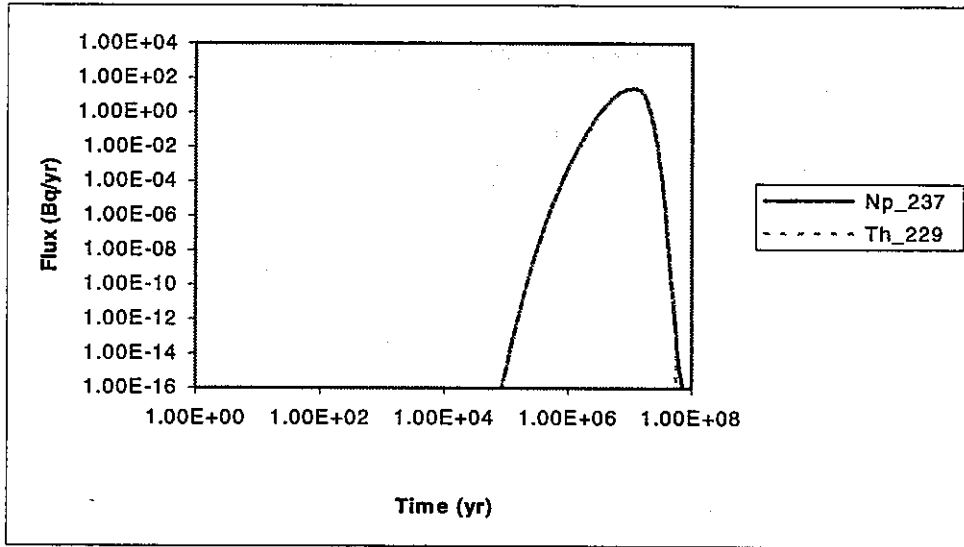


Fig.6.2.1 Flux of nuclides at exit of a channel (Reference case).

### 6.3 Example of hydraulic fluctuation scenario (the fluctuation of sea level)

We consider the periodic transient by change of sea level while in the reference case hydraulic gradient is assumed to be constant ( $=0.008$ ) over the whole period. To be more concrete, we consider such fluctuated pattern as that the surrounding of level ground(period I) will be converted to that under the bottom of sea(period II) and will be converted again to that of level ground(period V). As shown in Fig.6.3.1, the fluctuation of hydraulic gradient is assumed to occur continuously at a fixed velocity.

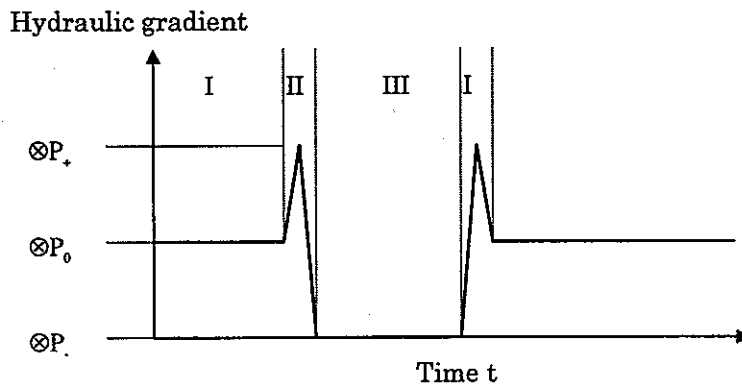


Fig.6.3.1 Fluctuated pattern of hydraulic gradient in the fluctuation scenario at sea level.

Fig.6.3.2 Fig.6.3.3 show these analysis results.

It is found that from the results of analysis case that the maximum hydraulic gradient is 0.08 and the fluctuated period for hydraulic gradient of  $1.0E4$  year, the peak of release flux at an output arrives later compared with the influence by the fluctuation of sea level in spite of fitting the peak of entering flux of nuclide with the period of fluctuation of sea level at an input of channel. The extent of vibration indicates non-linear correspondence from input to output, and is thought to let the maximum release rate of nuclide to be increased slightly depending on the mutual location with the breakthrough curve of nuclide. This implies that the nuclides remained in channel and matrix are washed in a short time till fluctuation of sea level will occur as well as the increase of release rate of nuclide from engineering barrier to host rock due to the flow rate at period of I and III.

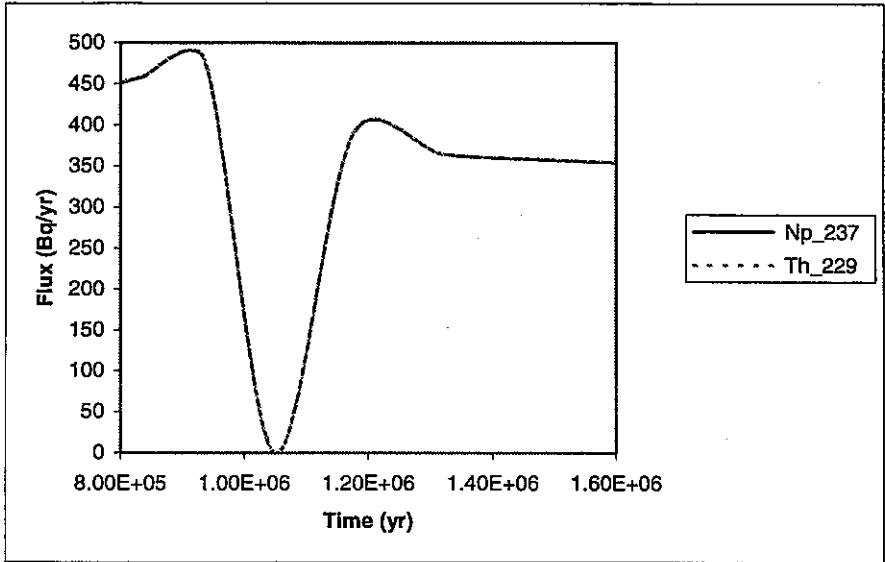
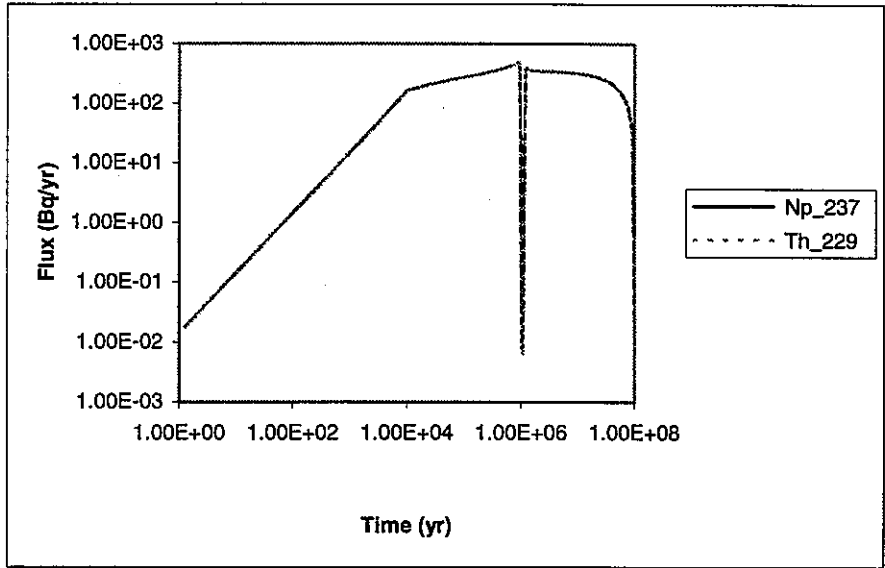


Fig.6.3.2 Flux of nuclides at 1m from the entrance of channel.  
(Fluctuation scenario at sea level)

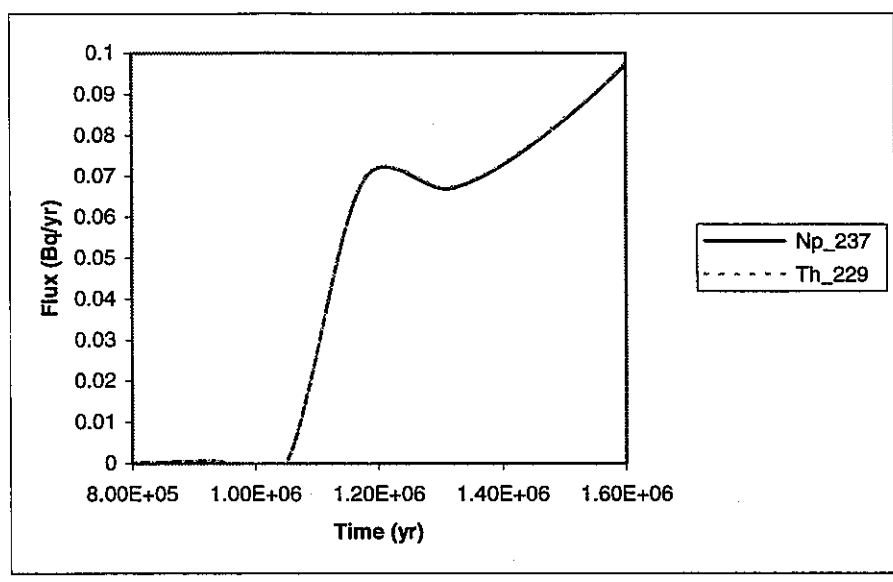
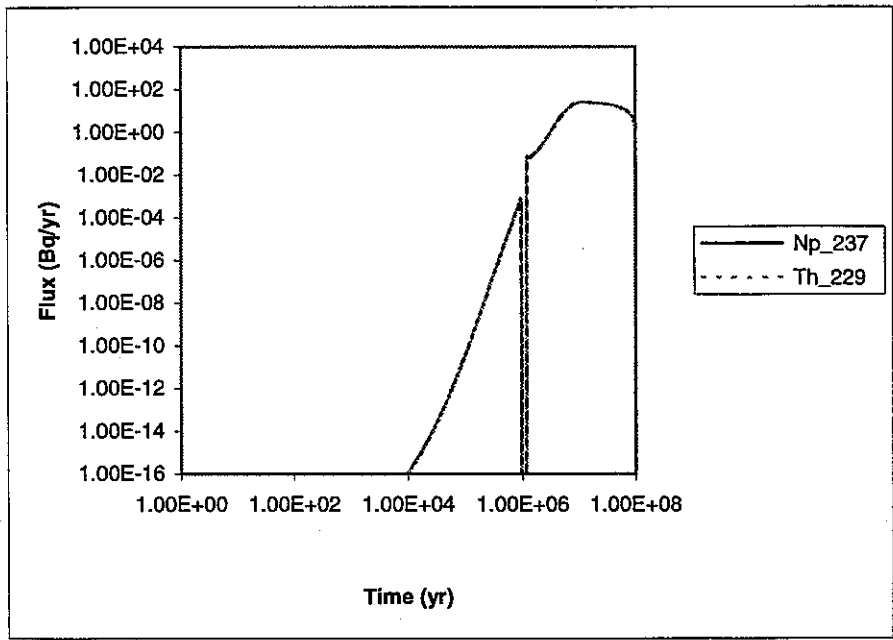


Fig.6.3.3 Flux of nuclides at exit of a channel  
(Fluctuation scenario at sea level)

#### 6.4 Example of geochemical fluctuation scenario

(Formation of oxidation/reduction front by radioactive decomposition)

In this scenario, we assume that an oxidizer enters from the upper reaches of channel in near-field host rock during a fixed period and to be consumed by the reactions within channel and matrix.

Fig.6.4.1~Fig.6.4.3 shows the analysis results that oxidizer concentration is  $0.1\text{mol/m}^3$ , Fe concentration in a matrix is  $1.0\text{E}3\text{mol/m}^3$ , and continuous period for the entrance of oxidizer is  $1.06\text{E}6$  year.

Release rate of nuclide from engineering barrier increases in a magnitude of four order at the period when geochemical anomaly occurs(after about 100,000 year). Therefore the inventories remained within engineering barrier are exhausted in a comparatively short period(corresponding to a period for exudation of glass).(refer to Fig.6.4.1 ) And in the crossing of oxidation/reduction front through a channel, the nuclide remained in a matrix should be released promptly(sharp drop at  $1\text{E}6$  year in Fig.6.4.2). Flux of nuclide at 1m from the entrance of a channel(Fig.6.4.3) has the characteristic which has two peaks. In this curve, the first peak is corresponding to the increase of release rate from engineering barrier, and the second peak is corresponding to the sudden pass of nuclide deposited at the cell of upper reaches by crossing of the oxidation/reduction front through the cell. This second peak migrates with growing accompanied with the transfer of oxidation/reduction front. At the exit of channel, the height of the second peak is ten times as tall as that of the first peak.



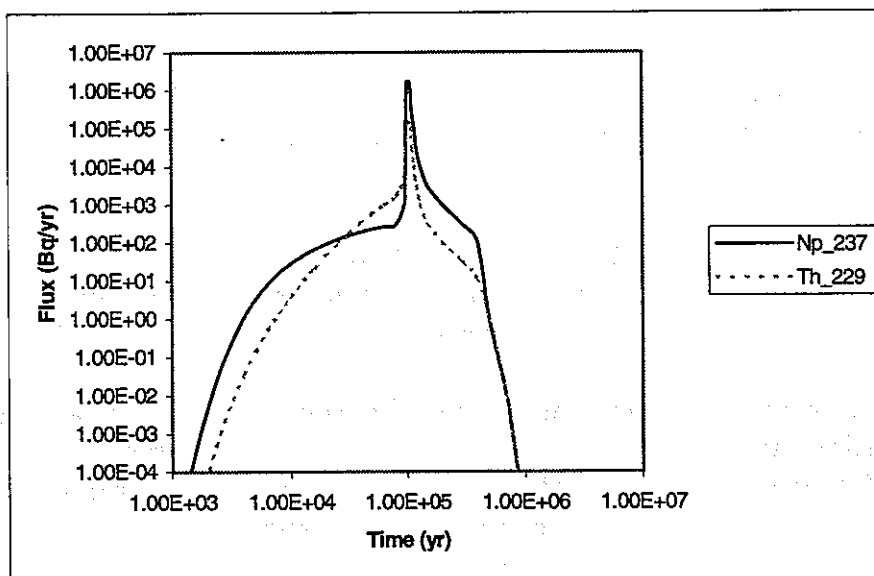


Fig.6.4.1 Flux of nuclide at entrance (0m) of a channel.  
(Scenario of oxidation/reduction front by radioactive decomposition)

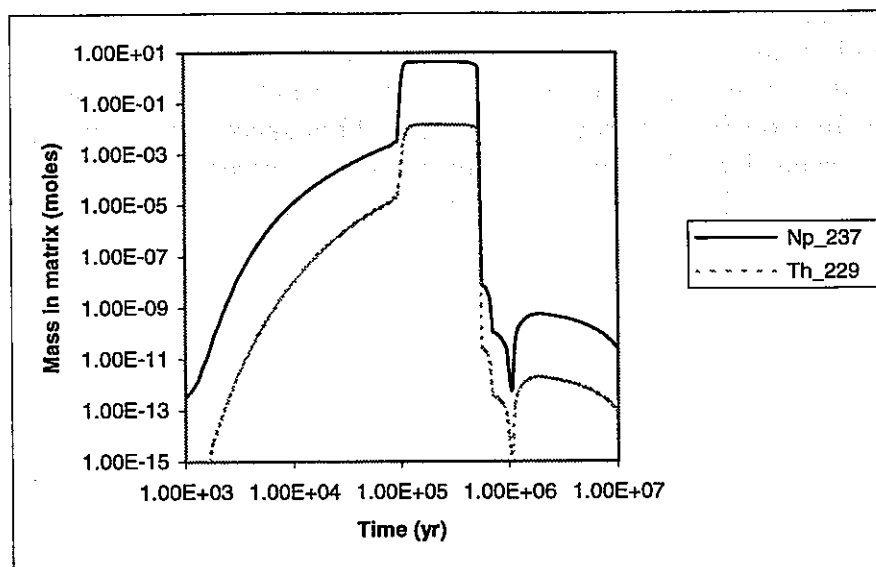


Fig.6.4.2 Total amount of nuclides in a matrix  
(Scenario of oxidation/reduction front by radioactive decomposition)

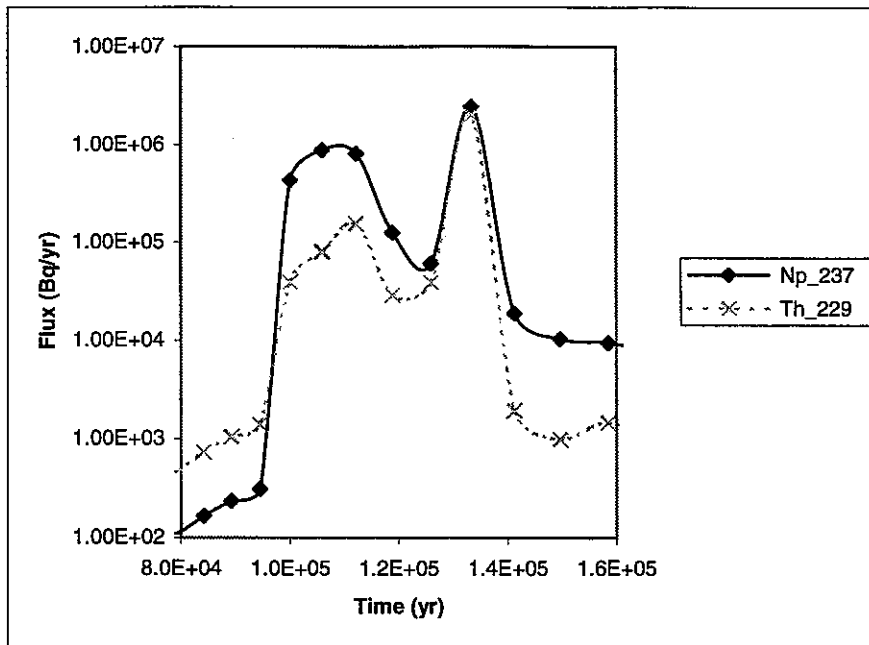
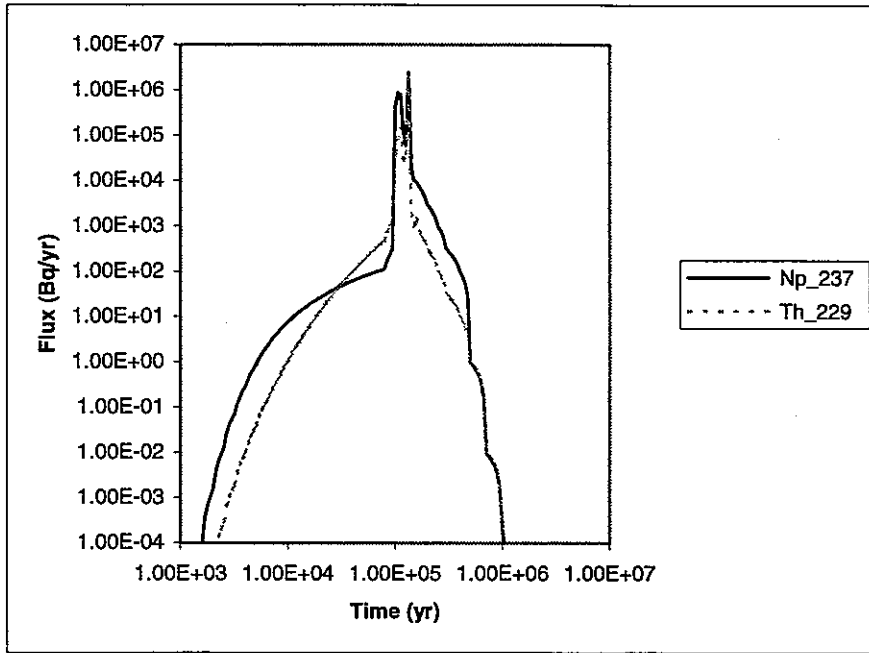


Fig.6.4.3 Flux of nuclides at entrance (1m) of a channel.  
 (Scenario of oxidation/reduction front by radioactive decomposition)