

# 生物圏における核種移行及び被ばく評価 のための解析手法の開発（Ⅲ）

（動力炉・核燃料開発事業団 委託研究概要）

1995年2月

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒107 東京都港区赤坂1-9-13

動力炉・核燃料開発事業団  
技術協力部 技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to: Technical Evaluation and Patent Office, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 9-13, 1-chome, Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

# 生物圏における核種移行及び被ばく評価 のための解析手法の開発（Ⅲ）

（動力炉・核燃料開発事業団 委託研究概要）

1995年2月

## 要 旨

高瀬 博康\*

生物圏は、核種移行に対するバリアとしての期待は小さいものの、地層処分された放射性廃棄物に起因して実際に人類への影響が生じる場であり、この意味での重要性は大きい。他方、生物圏は地上及びその近傍から成り、自然あるいは人間活動による種々の擾乱を最も被りやすい領域でもあるため、その将来予測に含まれる不確実性は決して小さいとは言えない。

このような状況にあって、上述した概念的な不確実性を低減する有効な方法となり得るものは、複数の代表的な生物圏モデルを同時に考えることによって将来の可能な条件変動の幅を網羅し、各モデルと対応して（決定論的な単一の計算ではなく）線量あるいはリスクの計算を行って結果の幅を明確にするというアプローチである。本研究の目的は、代表的生物圏モデルの概念を確立するとともに、数学的モデル、データセット及びソフトウェアといった関連する方法論を開発することである。また、代表的生物圏モデルの概念が多分にstyliseされたものであることから、この研究において、関連分野の国際的な動向と整合的な展開を図ることも必須の事項である。

本年度は、昨年度に引き続きBIOMOVES II における議論特に代表的生物圏についての国際的合意の形成過程を調査し、その過程を逐次まとめるものとし、昨年度提案した我が国における代表的生物圏モデル、関連するデータ及び数学的定式化の見直しをおこなった。また、この結果に基づき、

- (i) プロトタイプ生物圏評価コードの作成、
- (ii) 上記コードを用いた予備的被ばく評価、

---

\* 日揮株式会社 原子力・環境・エネルギー事業本部

を行った。

2000年

1月 1日 東京 10時 出発 11時 到着 12時 13時 14時 15時 16時 17時 18時 19時 20時 21時 22時 23時 24時

2月 1日 東京 10時 出発 11時 到着 12時 13時 14時 15時 16時 17時 18時 19時 20時 21時 22時 23時 24時

3月 1日 東京 10時 出発 11時 到着 12時 13時 14時 15時 16時 17時 18時 19時 20時 21時 22時 23時 24時

## SUMMARY

Hiroyasu Takase \*

The biosphere has a significant importance as it is the place where the exposure and other types of impact on the human being arise, although its functionality as a barrier is not being relied upon. On the other hand, predictions related to the future biosphere conditions inevitably includes relatively large amount of uncertainty since its components such as the surface environment and its vicinity are sensitive to the perturbations due to the natural phenomena and the human actions.

One possible approach to reduce the effect of this conceptual uncertainty is to consider a number of reference biospheres that can cover entire spectrum of the variability of the future conditions and calculate a range of resulting doses and risks instead of a single point estimation. The purpose of this study is to establish the concept of reference biospheres and to develop a relevant methodology including the mathematical models, data sets and the software. Also, because of the stylised nature of the concept of the reference biosphere, it is essential to make them consistent with the international trend of the subject.

In this fiscal year, survey of the discussions in BIOMOVES II meetings were continued and, based upon this result, the draft reference biosphere concepts were reviewed. Also a number of activities were undertaken in order to materialize the conceptual models of the reference biosphere. These include;

- (i) development of prototype biosphere code,

---

\* JGC Corporation, Nuclear and Advanced Technology Division

(ii) preliminary dose calculations using the prototype code.

## 1. 昨年度までの研究成果

### 1.1 代表的生物圏モデル

生物圏は、気候変動等の自然現象や人間活動による影響を受けやすい場であるため、将来にわたって諸条件が変動することが予想される。また、これらの変動要因の全てが現時点で予測可能なものではないために、将来の条件変動を詳細かつ現実的に追求することは必ずしも可能ではない。そこで、このような生物圏の将来についての不確実性を考慮した上で被ばく線量を算出するための方法論として、専門家の意見を集約することによって複数の代表的生物圏モデルを作成し、それぞれのモデルについて被ばく線量を試算して上記の不確実性を包含した場合の結果の幅を明らかにするというアプローチが BIOMOV5 II reference biosphere working groupにおいて議論されている。本研究では、この様な国際的な動向を検討した上で、まず、我が国において考慮すべき代表的な生物圏モデルの抽出を行った。

代表的生物圏モデルは以下の手順で作成される。

- ①生物圏受容体と呼ばれる複数のコンパートメントによって生物圏の枠組みを構成する
- ②各コンパートメント間での核種移行プロセスを定義し、地層からの核種放出があった場合に各コンパートメントにどのように配分されるかを表現するモデルを組み立てる
- ③各コンパートメントに配分された核種が人間に放射線学的な影響を及ぼす経路(被ばく経路)を同定し、被ばく線量を算出するためのモデルを作成する

本研究では、生物圏受容体として、

・井戸	・沿岸海域水
・河川水	・沿岸海域堆積層
・河川堆積層	・上部土壌
・湖沼水	・下部土壌
・湖沼堆積層	・建築物
・河口水	・大気
・河口堆積層	



を考え、これらの中で作用する移行プロセス、及び各コンパートメント中の核種に起因する被ばく経路を抽出して考え得る組合せを網羅することによってまず代表的生物圏についての概念モデルを作成することとした。抽出されたコンパートメント間の移行プロセスと被ばく経路のリストを表1—1及び表1—2に、また、これらの組合せとして作成した代表的生物圏の概念モデルの一例を図1—1に示す。

## 1.2 数学的モデルの定式化

1.1 に述べた概念モデルに対応して、各移行プロセス及び被ばく経路を定式化することによって数学的モデルを作成した。

### (1)コンパートメント間の移行プロセスの定式化

本研究では、各コンパートメントにおける核種濃度の収支を連立常微分方程式系として表現することにより数学的なモデルを作成する。ここで、各移行プロセスは当該コンパートメントからの核種の放出あるいは流入フラックスの形式で表現されることとなる。即ち、コンパートメント*i*における核種*j*の濃度  $M^j_i$  に関する微分方程式は、

$$d M^j_i / dt = \sum r^j_k M^j_k - \sum r^j_m M^j_m$$

但し、*r*:各移行プロセスに対応した移行速度定数

*k*:上流側コンパートメントの添字

*m*:下流側コンパートメントの添字

として表現されることとなる。*r* の具体例として、灌漑についての式を下に示す。

(例) (灌漑による核種移行速度係数) =  $A d (1 - \mu) / V$

但し、*A*:灌漑の行われる上部土壌コンパートメントの面積( $m^2$ )

*d*:灌漑水の浸透速度( $m/yr$ )

$\mu$ :農作物による灌漑水の吸収係数(-)

*V*:灌漑水を採取する淡水コンパートメントの容積( $m^3$ )

### (2) 被ばく経路の定式化

被ばく経路の定式化は、各経路に対応してコンパートメント中の単位核種濃度から被ばく線量を求める際の係数を表現することによって行う。具体例として、農作物摂

表1-1 コンパートメント間の移行プロセス

液 相	固 相	気 相
・灌漑	・生物擾乱	・海洋エアロゾル
・再チャージ	・浸食	・建築物から外部大気への
・地下水流	・浚渫	気体のロス
・洪水	・蛇行	
・融解水流	・再浮遊	
・河川水流	・正味の沈澱（堆積）	
・潮流	・グロスの沈澱（堆積）	
・海洋拡散	・Bed load	

表1-2 代表的生物圏における被ばく経路

コンパートメント	被ばく経路
井戸水	<ul style="list-style-type: none"> <li>・直接飲用</li> <li>・家庭内の水からのRn-222の発散（処分場起因のRa-226/Rn-222が存在する場合）</li> <li>・水からの外部照射（例：入浴時）</li> <li>・灌漑水又は飲料水により汚染された植物及び畜産物の摂取</li> </ul>
上部土壌層	<ul style="list-style-type: none"> <li>・土壌からの外部照射</li> <li>・浮遊土壌の吸入（例：農作業時に生ずるダストの吸入）</li> <li>・土壌の不用意な摂取</li> <li>・経根吸収及び土壌の付着により汚染された植物の摂取、並びに植物や土壌の摂取及び浮遊土壌の吸入により汚染された畜産物の摂取</li> </ul>
河川水及び湖沼水	<ul style="list-style-type: none"> <li>・淡水産物の摂取</li> <li>・直接飲用</li> <li>・家庭内の水からのRn-222の発散（処分場起因のRa-226/Rn-222が存在する場合）</li> <li>・水からの外部照射（例：入浴時）</li> <li>・灌漑水又は飲料水により汚染された植物及び畜産物の摂取</li> </ul>
河口水及び海水	<ul style="list-style-type: none"> <li>・魚類、甲殻類、軟体動物、海藻などの海産物の摂取</li> <li>・風及び波により発生する海洋エアロゾルの吸入</li> </ul>
地表水堆積層	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水際の堆積層表面からの外部照射</li> <li>・浮遊堆積物の吸入</li> <li>・堆積物の不用意な摂取（例：子供の遊び）</li> </ul>
建築物	<ul style="list-style-type: none"> <li>・気体の吸入</li> </ul>

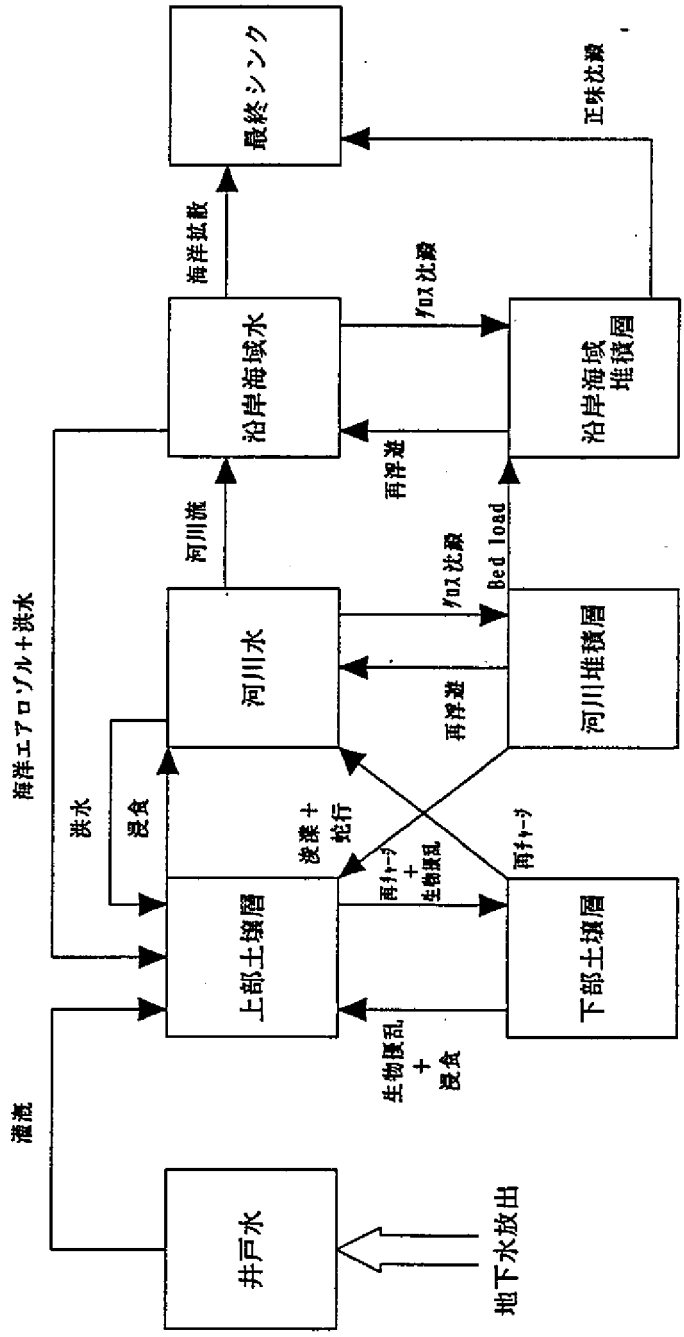


図1-1 代表的生物圏モデル (井戸への地下水放出、個人被ばく線量)

取の場合の式を以下に示す。

(例) (農作物摂取による個人被ばく線量) =  $ING \cdot D \cdot C$

但し、ING:農作物経口摂取率(kg/yr)

D:経口摂取に関する線量換算係数(Sv/Bq)

C:農作物中の放射性核種濃度(Bq/kg)

### 1.3 関連するデータの収集

1.2 に述べた数学モデルを用いて被ばく線量の計算を行うためには、関連するパラメータについての数値を定めることが必要である。そこで、1.2 の各式に対応して抽出された多くのパラメータについて、既存文献の調査によるデータセットを作成した。また、より具体的には、

- ①現在の我が国の気候条件、人間活動のレベルを基本ケースとしこの範囲内での各データの変動幅と標準値を設定する。
- ②将来技術レベルの気候変動、人間活動状況の変化については対応するデータの変動を個々に検討する。

という方法で調査結果の整理を行うこととした。

対象とするデータは、

- ・生物圏受容体に関するもの
- ・移行プロセスに関するもの
- ・被ばく経路に関するもの

の三種類に大別される。

## 2. 本年度の成果

### 2.1 昨年度までの成果の見直し

後述するBIOMOVS II等の国際的動向のうち、特にIAEAによる核種移行パラメータについてのハンドブック作成、及びカナダの生物圏評価報告書についてはパラメータ値の変更という具体的な動向が見られる。そこで、これらを中心として上述したデータセットの見直しを行った。改定されたデータセットの例を表2.1—1及び表2.2—2に示す。ここで、下線を施した箇所が改定されたパラメータである。

### 2.2 BIOMOVS II及びその他の国際的動向の調査と成果の取込み

#### 2.2.1 基準策定に係る動向

##### (1)国際原子力機関（IAEA）

国際原子力機関（IAEA）は放射性廃棄物処分基準を検討している国際放射性廃棄物管理諮問委員会（INWAC）の支援を継続している。

優先度高と見做されている問題には、線量（に基づく）基準かリスク（に基づく）基準かの選択、線量基準又はリスク基準以外の安全指標の使用、基準の適用に係るタイムスケール及びカットオフタイム、ならびに最適化がある。その他、性能評価要件に影響し得る問題として、モニタリング手法の検討も積極的に行われている。例えば、処分場を設置した場合でも生物圏媒体中の放射性核種の量及びフラックスが大きくは変わらないことの実証を可能とするため、生物圏媒体中の放射性核種の現在の量及びフラックスを測定するといったモニタリング戦略が考えられる。実際、天然のフラックスあるいは濃度との比較は、安全基準や安全指標の正当化のための根拠を与えるものとなろう。一方、地下の原位置でのモニタリングを行い、処分システムの推移が予測通りであることをチェックするといった戦略も考えられる。いずれにしても、性能評価はモニタリング戦略要件と整合した結果が得られるものとしなければならない。

現在までにINWACによって作成された文書はIAEA[1994]だけであるが、その中では、放射性廃棄物地層処分の受容性を判断するための異なる時間枠での安全指標の議論がなされ、モデルそしてモデル化上の仮定の不確かさに起因して評価結果には不確かさが生ずることから、（人間に対する）リスク及び線量の長期的な評価結果は安全指標の一部としてのみ捉えることができると結論されている。リスク及び線量は安全指標として最も

表2.1-1 生物圏における核種の分配係数 (m<sup>3</sup>/kg)

元素	砂質土壌層			淡水堆積層		
	標準値	Ref.	範囲	標準値	Ref.	範囲
Se	1.5E-1	[14][15]	3E-4 to 3E+0	1E-2	[4]	4E-3 to 5E+0
Tc	1.4E-4	[14]	0E+0 to 4E-1	1E-1	[9][8][11]	0E+0 to 2E-1
Pd	5.5E-2	[14][15]	0E+0 to 1E+0(1)	2E+0	[3]	4E-3 to 1E+1(8)
Sn	1.3E-1	[14][15]	1E-1 to 1E+3	1E+1	[5][6]	5E-3 to 5E+1
Cs	2.7E-1	[14][15]	2E-3 to 5E+1	2E+0	[4]	1E+0 to 3E+1
Pb	2.7E-1	[14][15]	3E-3 to 6E+1	1E+1	[5][6]	1E-2 to 1E+1
Po	1.5E-1	[14][15]	6E-3 to 7E+0	1E+1(3)		1E-2 to 1E+1(3)
Ra	4.9E-1	[14][15]	7E-3 to 1E+3	1E+0	[4]	5E-1 to 3E+1
Ac	4.5E-1	[14][15]	8E-1 to 1E+1	1E+2(4)	-	1E-2 to 1E+3(4)
Th	3.0E+0	[14][15]	8E-3 to 5E+3	5E+3	[5][9]	7E-1 to 5E+3
Pa	5.4E-1	[14][15]	6E-1 to 6E+0	5E+3	[9]	1E+0 to 5E+3
U	3.3E-2	[14][15]	5E-5 to 2E+1(2)	5E-2	[5][6]	5E-2 to 3E+0
Np	4.1E-3	[14]	1E-4 to 3E+0	5E-1	[5]	1E-2 to 5E+1(2)
Pu	5.4E-1	[14][15]	1E-2 to 3E+2	1E+2	[5][6]	1E-2 to 1E+2
Am	2.0E+0	[14][15]	1E-3 to 1E+3	1E+2	[8]	1E-2 to 1E+3

表2.2 - 2淡水産物への濃縮率 (1/kg)

元素	淡 水 魚				甲 殻 類			
	標準値	Ref.	範 囲	Ref.	標準値	Ref.	範 囲	Ref.
Se	2E+2	[5]	3E+1 to 3E+2	[5][11]	2E+3	[2]	1E+2 to 1E+4	[2]
Tc	2E+1(1)	-	2E+1 to 8E+1	[5][9][11]	5E+0(2)	-	5E-1 to 1E+2(3)	-
Pd	2E+1(7)	-	2E+0 to 2E+2(3)	-	5E+2(7)	-	5E+1 to 5E+3(3)	-
Sn	1E+3	[1][6]	1E+2 to 1E+4	[5][9][11]	1E+3(4)	-	1E+2 to 1E+4(4)	-
Cs	2E+3(1)	-	3E+1 to 1E+4	[5][9][10][11]	1E+3(2)	-	5E+1 to 1E+4(4)	-
Pb	3E+2	[5][9]	1E+2 to 3E+2	[5][9][11]	1E+2	[4]	1E+1 to 1E+3(1)	-
Po	5E+1	[5][9]	1E+1 to 5E+2	[5][9][11]	2E+4	[4]	2E+3 to 2E+5(1)	-
Ra	5E+1	[5][9]	1E+1 to 2E+2	[5][9][11]	3E+2	[4]	3E+1 to 3E+3(1)	-
Ac	8E+2(8)	-	5E+2 to 1E+3(6)	-	3E+3(8)	-	3E+2 to 3E+4(1)	-
Th	3E+1	[5]	3E+1 to 1E+4	[5][9][11]	5E+2	[4]	5E+1 to 5E+3(1)	-
Pa	1E+1	[5]	2E+0 to 1E+2	[5]	1E+2	[4]	1E+1 to 1E+3(1)	-
U	1E+1(1)	-	2E+0 to 5E+1(7)	[9][11]	1E+2(2)	-	1E+1 to 5E+3(4)	-
Np	1E+1(1)	-	1E+1 to 3E+3	[5][9][11]	4E+2	[1][4]	4E+1 to 4E+3(6)	-
Pu	4E+0(1)	-	4E-1 to 5E+2	[5][9][11]	1E+2(2)	-	1E+1 to 1E+3(6)	-
Am	8E+2	[6]	3E+1 to 1E+3	[6][9][11]	3E+3(2)	-	3E+2 to 3E+4(6)	-

(注釈)

1. 文献 [1] ~ [9] でおよその一致が得られた値。
2. 文献 [1]、[2]、[4] 及び [8] でおよその一致が得られた値。
3. データが無い場合、標準値の上下1オーダーの範囲を仮定。
4. データが無い場合、魚類に対する値に等しいと仮定。
5. 注3と同様。但し、値の範囲は文献 [6] による。
6. 文献 [1] ~ [8] における値の範囲の平均。
7. 文献 [2] の値と文献 [4] 及び [5] のNi及びAgに対する値の平均値に準拠。
8. Amに対する値と同じと仮定。



基本的なものと位置付けられてはいるが、安全評価はリスク、線量、環境中放射能濃度、生物圏でのフラックス、バリアを介したフラックスといった種々の安全指標を組合せて用いることにより最も有効に行うことが可能となる。処分後の異なる期間に対して、多かれ少なかれ異なる安全指標を適用することが考えられる。別章で述べる生物圏評価コードはこの種の安全指標の計算を可能とするものである。

厳密には I N W A C 刊行物ではないが、I N W A C のサブグループは H L W 管理の分野ではそれほど注目されていないもう一つの問題、即ち核保障措置（使用済燃料及びその他の廃棄物中の物質が未申告の又は平和利用以外の目的に転用されないことを保障するために取られる措置）に関する文書を作成している。

Linsley and Fattah[1994]は、サブグループが実施している地層処分場及び関連サイトへの保障措置適用のための要件／政策の検討内容について論じている。まだ解が得られていない基本的な問題は、処分時期と保障措置停止の整合性の問題、あるいは無期限の保障措置が必要か否かといった問題である。この困難な問題には、将来、より一層の関心が注がれる可能性がある。

H L W 処分基準そのものについては、I A E A は新しい勧告を何等示してはいない。しかしながら、放射線防護のための新たな基本安全原則（Basic Safety Standards ; BSS）の策定[Gonzalez, 1994] 作業は進められている。これら新原則の策定は経済協力開発機構／原子力機関（OECD/NEA）、世界保健機構（WHO）といった他の国際機関と共同で行われているが、欧州共同体委員会（CEC）は含まれていない。新原則が公布されれば、固体廃棄物処分といった問題に適用される2次的あるいは派生する原則も修正される可能性がある。

## (2)経済協力開発機構／原子力機関（OECD/NEA）

原子力機関（NEA）が発行した最新版の原子力廃棄物会報[NEA, 1994]では、国際的及び国毎の評価研究プログラムの進捗状況が、規制及び基準の策定に係る議論も含めて纏められている。

NEAは自ら、処分場への侵入も含む人間活動の検討を行うワーキンググループを有している。この種の人間活動は地圏から生物圏への長期間に亘る放射性物質放出に影響を及ぼし得るのみならず、侵入者に直接影響を及ぼす短期的放出をももたらし得るものである。NEAワーキンググループのドラフト報告書[NEA, 1993]では、この問題に関し、職業人被ばく防護の分野における高レベルかつ限定された放射線源からの被ばく計算に用いられている生物圏モデルや解析コードと類似のモデルあるいはコードが適用可能なことが指摘されている。例えば、別章で述べる生物圏評価コードはこの種の放出に適用可能である。人間侵入といった有りそうもないシナリオを解釈する際の問題は計算上の仮定を正当化することにある。ワーキンググループ報告書の最終版は1995年の早い時期に公表予定となっている。最終報告書がドラフト版とどう違っているかに注意しつつ、内容を検討することが重要である。

NEAはまた、処分場の性能評価のあらゆる面に関連するFEPについての国際的データベース開発のためのワーキンググループを設けている。作業計画には既存の国別のFEPリストの比較、ディスカッションそして国際的データベースの開発が含まれている。

### (3) 欧州共同体委員会 (CEC)

IAEAと同様、CECは1995年中に、ユーラトム条約の下で基本安全原則(BSS)の改訂版を発行する予定である。それらは、5年前に発行された国際放射線防護委員会(ICRP)勧告[ICRP, 1991a]をはじめとする、前版の発行以降なされた多くの変更事項を考慮したものとなるであろう。これらの新CEC原則からも、HLW処分に関する原則を検討する上での教訓を得ることができる。

CECは核分裂の分野に関する新5ヶ年計画を明らかにした。但し、HLW処分の基準あるいは生物圏問題に特に焦点を当てたテーマは含まれていない。

### (4) 国際放射線防護委員会 (ICRP)

国際放射線防護委員会(ICRP)は放射性廃棄物の安全性に関し、技術的側面よりも放射線防護の側面に直接的係りを有している。ICRPは、1977年にICRP 26[ICRP, 1977]において放射線防護に関する基本勧告を行い、1990年にはICRP 60[ICRP, 1991a]において

内容を大幅に改訂している。ICRPは、1985年にICRP 46[ICRP, 1985]において固体放射性廃棄物の処分に関する勧告を行ったが、これに上述した1990年勧告がどう影響するかの判断を依然として留保している。その重要要因の1つとして、単位線量当りのリスク見積の改訂が固体廃棄物処分に適用すべき線量限度にどう影響するかという問題がある。固体廃棄物処分に対する線量限度が1990年以前のレベルに保持されるならば、現在では同レベルの線量はより大きなリスクをもたらすと考えられていることから、原則は緩められることを意味している。ICRPによる権威ある改訂にもかかわらず、低線量によるリスクレベルに関する科学論争は、例えばNussbaum and Kohnlein[1994]に見られるように、今も続いている。

注目すべきことは、一般公衆に対する生物力学的移行に関する新規情報を反映した呼吸器モデルを開発するため、ドジメトリの分野において多くの作業が計画されている点である。一般公衆の単位摂取当りの線量値に関しては、残念ながら、新しい呼吸器モデル[ICRP, 1994]、一部核種に対する新しい生物力学的データ[ICRP, 1989]（その他の核種についてはレビュー中）及び新しい線量定義[ICRP, 1991a]を考慮した一貫性のあるデータセットはICRPにも他の権威ある機関にも存在しない。例えばICRP 61[ICRP, 1991b]は新しい線量定義を用いて職業人に対する年摂取限度（これは単位摂取当りの線量に密接に関連している）を示しているが、これはICRP 56 [ICRP, 1989] に示されている代謝に関するICRP自身の勧告を無視したものである。この理由は恐らく、ICRP 56 のデータが限られた核種に対するものだからと思われる。ICRP 61 の改訂版の公表は1994年に予定されていたが、現在は1995年に延長されている。英国の国立放射線防護庁（NRPB）はドジメトリ及び生物力学的データのモデル化に関するICRP勧告に基づき、1995年中に追加の評価結果を公表するかもしれない。しかしながら、単位摂取当りの線量値を設定するためには、データのレビューに5年間を要する[Clarke, 1993] と言われている。なお、このレビューにはドジメトリモデルにおいて人間の代謝特性を規定する標準人に対する仮定の改訂作業も含まれている。

このようなICRPの諸活動は、小児、幼児及び胎児の考慮ならびに“日本版標準人（a Japanese reference man）”概念の適用/改訂も含めて、我が国のHLW処分性能評価における決定集団の定義に関する仮定の選択に際して影響を及ぼし得るものである。決定集団の特性は対応するドジメトリ・データの利用可能性を考慮することなしに定められ

るべきものではない。首尾一貫しかつ完全な最新の勧告が ICRP から依然として出されていない現状では、我が国の HLW 評価に使用すべきドジメトリ・データを提言するのは困難である。暫定的なアプローチとしては、首尾一貫しかつ完全なデータとして現時点では最新のものといえる NRPB データ [NRPB, 1987] を用いるのが依然として最善と思われるが、これも 8 年前のものであり、当然ながら日本版標準人という概念は存在しない。従って、ドジメトリの仮定に存する不確かさやそれが線量評価に及ぼす影響については今後も注目し続ける必要がある。差し当たり、新しい代謝データはある種の被ばく環境下での線量見積を 1～2 オーダー変え得るものであることに注意すべきであろう。ドジメトリモデルのその他の変更は代謝データの変更と複合的に作用し、[ICRP, 1991a] の線量見積の変化巾をより大きくする方向に作用するか、逆に小さくする方向に作用する可能性がある。同時に、放射線リスク及びその遺伝（腫瘍抑制遺伝子 p53 の喪失がどれだけ発癌の放射線感受性を高めるかについては Kemp et al [1994] を参照されたい。）、年齢、性、サイズ等の相違による個々人の単一被ばく線量当りのリスクの変動に関する理解が高まるにつれて、HLW 処分への適用基準に関する国際的な勧告も改訂される可能性がある。

## (5) 北欧諸国

昨年度報告したように、北欧諸国の規制当局は、H L W基準に関するガイダンス文書の改訂版[Radiation Protection and Nuclear Safety Authorities in Denmark, Finland, Iceland, Norway and Sweden, 1993]を公表したが、その内容は1989年版とほとんど変わっていない。そこでは、ICRP 60の用語（例えば、線量限度あるいはリスク限度）を使用し、それらをICRP 46[ICRP, 1985]に従って想定（expected）及び仮想（unlikely）シナリオに適用している。線量限度は0.1mSv/y、またリスク限度は線量が0.1mSv/yとなる事象によるリスクである。個人が1ヶ所以上の処分場からの放出に曝され得ると考えれば、上記のいずれの制限値も更に低減する必要があるかもしれない。

超長期的な安全性を示す付加的指標として天然バックグラウンドフラックスとの比較を用いることについては、上述の改訂版はより厳密な解説及び正当化を行っている。処分場に起因する地圏から生物圏へのフラックスの制限値として、天然ウラン1tから燃料を製造し、それを原子炉で燃焼させた後の廃棄物に対して、次に示す値を提案している。

10 ～ 100kBq/y（長半減期の $\alpha$ 放射体について）

100 ～ 1000kBq/y（その他の長半減期放射性核種について）

改訂版公表の背景については昨年度報告済である。改訂版の公表以降、スウェーデン原子力発電検査庁（SKI）は天然フラックスに関する追加研究を行ってきた。結果は、放射性核種による地圏から生物圏への天然フラックスの大部分は地下水よりも浸食に関係するものであり、地圏/生物圏境界での放射性核種移行をモデル化する上で興味深い知見を示している。少なくともある程度は、潜在的なソースタームのメカニズムとして汚染された（地表近傍の）地圏からの浸食放出を考える際の参考となる。これまでに報告済の生物圏モデルでは、この種の放出が考慮可能となっている。

スウェーデン国立放射線防護研究所（SSI）の職員によれば、スウェーデンの新しいH L W処分の規制基準が1995年1月に公布されるとのことである。

## (6) スイス

スイスの原子力規制当局であるH S K及びK S Aは1993年末頃に放射性廃棄物処分に関

する防護目標の改訂ガイドライン[HSK/KSA, 1993]を公表した。詳細は昨年度報告済である。それ以降、新たな進展は見られない。

#### (7) 米国

昨年度報告したように、1992年エネルギー政策法では、環境保護庁（EPA）は全米科学アカデミー（NAS）に対してYucca MountainでのHLW処分の健康基準に係る勧告作成を諮問するよう要求している[Whipple, 1993]。新しい勧告では、現行基準のベースとなっているニアフィールドあるいは任意の地下境界からの放出限度に対してよりも、線量限度又はリスク限度に対して焦点が当てられる。いずれHLW処分基準の改訂版がEPAから、また関連基準の改訂版が原子力規制委員会（NRC）から発行されると思われる。NASの委員会は諸外国の事例も含めて代替案のヒアリングを行っている。報告書の提出は1994年末とされていたが、現状では1995年春以降になると見られている。

NAS報告書が公表されれば、HLW処分性能評価における生物圏関連について新たな関心が向けられることになろう。BIOMOVs IIの会合にはNRC及び米電力研究所（EPRI）の代表が参加している。

#### (8) カナダ

カナダでは規則の改訂は行われていないが、レビューパネルよりHLW処分の性能評価では人間以外に対する影響（non-human impacts）の検討を行う必要があるとの提案がなされ、その結果、カナダ原子力公社（AECL）の手によりenvironmental increments概念に基づく評価手順が開発されている。評価手順の説明はZach[1993]に、採用されたincrement値の解説はAmiro[1993]に記載されている。この考えの基本概念は、環境レベルのわずかな増加（increase）が著しい環境影響（破壊）をもたらすことはない、というものである。

1994年には、OECD/NEAの下で、HLW処分についてAECLが作成した環境影響声明書（EIS）の国際レビューを行うことが決定され、現在レビューが進められている。AECLの性能評価では生物圏について比較的詳細な考察がなされている。BIOTRAC報告書[Davis et al, 1993]に記載され、1994年に配布された声明書の当該部分にどのよう

な評価が加えられるか興味深い。

## 2.2.2 モデル開発に係る動向

上述した基準の策定は、生物圏モデルの検討と密接な関係を有している。1993年から1994年にかけて、生物圏のモデル化に関し、より一層の関心が向けられるようになった。現状では、これまで提案した概念モデルについて特別の変更を加える必要はないと考えられる。但し、人間以外の生物相に対する線量計算についての検討、またそれが不必要というのであれば不要であることを正当化するための検討を行う必要がある。例えば天然フラックスとの比較といったリスクあるいは線量以外の安全指標を用いる場合には、そうした別個の最終評価項目 (end points) の評価により力点を置く必要があろう。但し、我々が開発した評価コードにはそうした機能が既に組み込まれている。浸食放出メカニズムの評価にはより多くの力を注ぐ必要があるかもしれない。更に、天然のフラックスや放射能濃度との比較を行うのであれば、処分場から生物圏への放出モデルを改善し、基準策定において天然バックグラウンドとの比較を採用することの正当化のために、地圏/生物圏の移行プロセスについての理解を更に深める必要があろう。

基準の策定がモデル化にどのような影響を及ぼし得るかは別として、モデル化活動そのものにおいても進展が見られた。線量その他の最終評価項目 (end points) は処分による潜在的影響の指標あるいは例示 (イラストレーション) にすぎないが、これらのイラストレーションを合理的に可能な限り適切かつ技術的正当化が可能なものとするための作業は依然として必要である。(同様の表現は1994年の I N W A C 報告書 [IAEA, 1994] にも見られ、いまや十分に認知されていると言えよう。) 以下では、この分野における進捗状況について述べる。

### (1) BIOMOVs II の活動

BIOMOVs II の第5回全体ワークショップが1994年10月に開催された [BIOMOVs, 1994a] 。Reference Biosphere Working Group は代表的生物圏を記述するための手順、即ちモデルに含めるべき生物圏の特性、事象及びプロセス (F E P) を記述するための手順の検討を進めている。異なるサイトに異なる安全基準及びその他のファクターが適用されるのであれば、あらゆる状況に適用可能な代表的生物圏を定義することは不可能である。しかしな

がら、個々のケースにおいて代表的生物圏を導出するために同一の手順が用いられるのであれば、それらの事例から幾つかの参考情報を得ることが可能となる。例えば、サイト又は設計の異なる処分場に対する評価結果の比較が、特別な配慮をせずとも可能となる。そうした手順を概説した中間技術報告書[BIOMOVs, 1994b] が上記ワーキンググループから公表された。また、暫定的な生物圏 F E P データベースが作成され、フロッピーディスク（説明書付）で入手可能となっている。最も困難なプロセスは、長大な F E P。リストから放射性核種の移行及び蓄積に関する正当化された概念モデルを構築することにある。BIOMOVs II ではいわゆる“RES”手法が採用されている[BIOMOVs, 1994c]。1995年2月にマドリッドで開催予定の会合では、上記手法の繰返し試験が計画されている。

生物圏のモデル化に関し、BIOMOVs II 内で進められている上記以外の活動を以下に示す。

- ① 現実的データが得られるとの前提に立った生物圏モデルのサイト（スイスの Wellenberg がベース）への適用
- ② モデルの複雑さが土壤中での放射性核種の移行・蓄積モデルに及ぼす影響の検討
- ③ 生物圏への移行モデル及び重要媒体内での蓄積モデルの試験を目的としたナチュラルアナログデータ（天然ウランチェーン）の使用

ーモデル試験のためのデータは、当初よりスウェーデンの<sup>0</sup>sp<sup>6</sup> hard rock laboratory サイトから得ることになっていた。データは手に入ったが、地圏／生物圏境界での長期的な展開を追跡できたモデルはほとんど無かったようである。1995年現在の作業はデータの質の評価に限定されており、モデル試験のためのデータの使用は1995年以降となる可能性がある。

- ④ 土壤中での放射性核種の上方移行モデルの試験を目的とした浸漏計（lysimeter）を用いた実験データの使用

これらの研究には世界中から多くの評価グループが積極的に参画し続けている。1994年には、米国のNRCやEPRIとともに、フランスの原子力安全防護研究所（IPSN）と放射性廃棄物管理国家機関（ANDRA）が特別の関心を示した。

## (2) 英国での生物圏セミナー

英国では、廃棄物処分の許認可については農業・漁業・食物省（MAFF）及び女王陛下の汚染検査官（HMIP）が共同責任を有している。MAFFは食物連鎖の分野、従っ



て生物圏のモデル化に最も深く関わっている。従来、処分場の性能評価についてのMAFFの関心は限られたものであった。しかしながら、生物圏についてどのような分野の研究評価を行うのが効果的かを検討するために、HMIPとの合同セミナーを組織した。セミナーは1993年11月に開催され、(非公式の)議事録が1994年12月にリリースされた[Coughtrey, 1994]。

上記セミナーでの議論の中から主要点を抽出して昨年度報告したが、その妥当性は今も変わらないことから、一部補足も含めて以下に示す。

- ① 1000年に1度程度経験するであろう暴風雨のような高影響/低頻度の事象(生物圏内での放射性核種の再分布をもたらすような事象)のモデル化に際しての取り扱い。この問題の解は、評価基準のガイドラインにおいてリスクや線量がどう定義されるかに依存する。
  - ② 摂取時の化学形態及び廃棄物中の主要な放射性核種に対する人間の代謝及びドジメトリのモデル化に存する不確かさの取り扱い。これらのうちの幾つかは、これまでは放射線防護の観点からそれほど重要とは見なされず、詳細な放射線生態学的な研究は行われていない。
  - ③ 決定集団の定義及び特性に関する勧告の策定。これは規制上の優先度が高い。
  - ④ 生物圏モデルにおける代表的な仮定(コンパートメント間での放射性核種の移行は線形モデルで扱えるという仮定)の妥当性。
  - ⑤ 土壌中及び堆積層中の放射性核種に対して平衡分配係数を使用することの妥当性、土壌中及び食物中の濃度に対して同様の比率を適用することの妥当性。
  - ⑥ 放射性廃棄物の処分による放射線以外の影響評価の必要性。
  - ⑦ サイトでの将来の気候変動の影響の評価。例えば、現在より寒冷な気候となった場合の評価条件をどうすべきか。
  - ⑧ 海面変動をもたらすような気候変動に際しての蓄積放射性核種の再移行の可能性。
- これらの項目は全て、我が国のHLW処分の性能評価に関連性を有している。

### (3) カナダの性能評価

BIOTRAC と呼ばれる包括的生物圏モデルに関する報告書[Davis et al, 1993]が1994年初めに公表された。この報告書は生物圏モデルの重要部分について極めて詳細に記述してい

る。例えば、揮発性の放射性核種が土壌等の媒体から大気を介して人間へと向かう移行／被ばく経路の詳細記述は非常に有用である。但し、規制上の主たる問題が処分場閉鎖後1万年間の影響評価に限られていたため、評価された地表面の環境条件は現状レベルのものだけに限定されている。

#### (4) 人間侵入の評価

これまでに、地層処分における人間侵入問題について種々の評価がなされてきた。特に、Sandiaが廃棄物隔離パイロットプラント（WIPP）を対象に行った評価[Sania, 1991]、またInteraがスウェーデン放射線防護研究所（SSI）を対象に行った評価[Charles and McEwen, 1991]が有名である。前者は人間侵入による間接的な影響、即ちバリアシステムの変更に係る影響について評価し、後者は侵入者への直接的な影響について評価している。北欧の文書（2.5 節参照）によれば、いずれのタイプの影響についても、少なくとも定性的な評価は必要と思われる。しかしながら、Charles and McEwen[1991]等の影響評価はなすべきことを全て終えている訳ではない。モデル化に際しての経験は有用であるが、英国原子燃料会社（BNFL）とInteraによる概観ペーパー[Grimwood and Smith, 1989]では、その他の問題、特に確率の評価そして確率と影響の低減／緩和方法の評価についても言及すべきことが強調されている。

これまでの評価によれば、人間侵入による線量及びリスクは他の放出メカニズムよりも重要と考えられることから、これらの分野については更に検討する必要があるであろう。1995年早期に公表予定のNEAワーキンググループの報告書（2.2 節参照）から適切なガイダンスが提供される可能性がある。

## 2.3 解析コードの開発及び予備的被ばく評価

ここでは、2.～5.に述べた代表的生物圏についての概念モデル、数学モデル、及びデータベースを用いて実際に被ばく評価を行うために必要となる解析コード(AMBER)の開発と、このコードを用いて行った予備的評価の結果をまとめる。

### 2.3.1 解析コードの開発

AMBER は、複数のコンパートメントとコンパートメント間の核種移行経路として表現される生物圏モデルにおいて、ソース（地層からの核種放出）から供給される核種の各コンパートメント内での濃度の経時変化と、更にこれに起因して各被ばく経路から生ずる被ばく線量を算出するコードであり、グラフィカルユーザーインターフェイスと連立方程式ソルバーとから構成される。本節では、これら二つの主要構成要素の概要をまとめる。

#### (1) 機能の概要

AMBER は、グラフィカルユーザーインターフェイスを用いて図形的に入力・定義されるコンパートメントについて、各コンパートメントと移行経路に関するパラメータ値を設置し、ソースタームを与えることによって、その後の核種移行とこれに伴う被ばく線量とを算出することができる。この際、

- ・ 任意数のコンパートメント、移行経路、及びソースタームの図形処理
- ・ 任意数の核種の崩壊連鎖（分岐・合流を含む）の取扱い
- ・ 経時変化するパラメータ値及びソースタームの取扱い
- ・ 計算結果（各コンパートメント内の核種量、被ばく線量、及び他のユーザー定義のモニター量）経時変化の図形出力

を行うことが可能である。

#### (2) グラフィカルユーザーインターフェイス

AMBER のグラフィカルユーザーインターフェイスは、Windows 3.1（あるいはそれ以降のバージョン）上で稼動するものであり、以下のメニューバーを有している。

- ・ ファイル
- ・ 編集
- ・ 出力
- ・ ウィンドウ

これらのうちファイル及び編集は、計算ケースの保存、削除、プリントといった一般的なもの（詳細については付録参照）であり、ここでは出力とウィンドウについてその概要を述べる。

#### ① 出力メニュー

出力メニューは、

- ・ Calculate
- ・ Graph (Amount)
- ・ Graph (Dose)

を含み、Calculate オプションによって計算を開始し、Graph オプションによって計算結果をグラフ化する。

#### ② ウィンドウメニュー

ウィンドウメニューとしては、

- i) Biosphere Mode Window
- ii) Contaminants Window
- iii) Decays Window
- iv) Result Time Window

の4種類が含まれる。

- i) Biosphere Model Window

Biosphere Model Windowの例を図2.3.1-1に示す。ここでは、画面左上にあるTool Barを用いて、コンパートメント（四角）、移行経路（二つの四角にはさまれた矢印）、及びソース（一つの四角のみに連なる矢印）を組み合わせることで生物圏モデルを作成することができる。また、このウィンドウは、

- compartment edit dialogue box
- transfer edit dialogue box
- source edit dialogue box

を含んでおり、これらのdialogue boxを用いてそれぞれコンパートメント、移行経路、及びソースの名称とパラメータ値のテキスト入力を行うことができる。

#### ii) Contaminants Window

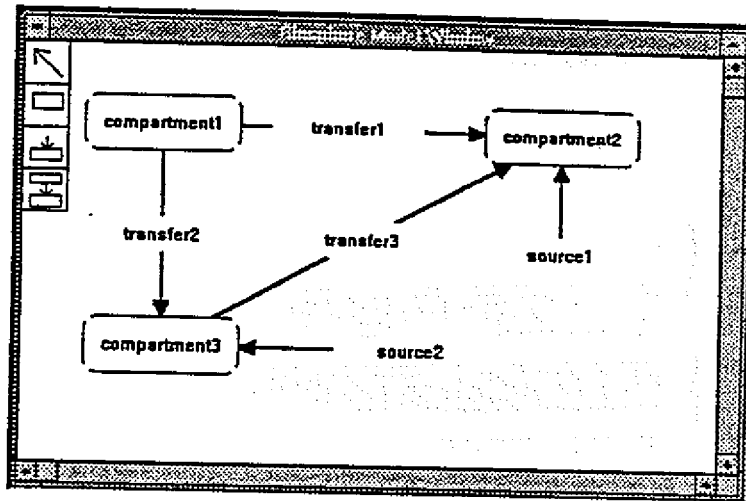
Contaminants Window の例を図2.3.1-2に示す。このウィンドウでは、解析対象とする核種の名称と属性（崩壊定数等）とをタイプ入力することができる。また、“Create Library”及び“Read Library”ボタンを用いてファイルの書き出しと読み込みが可能である。

#### iii) Decays Window

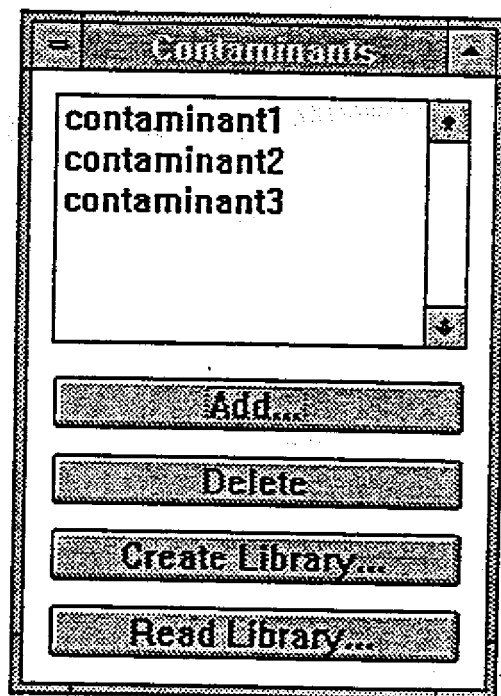
Decays Window は、②で選定された核種を崩壊連鎖として構成するものである。図2.3.1-3に示す様に、これは親→娘関係をリストとして入力することによって為される。因みに、この例で現れている“NULL”は、contaminants 2の娘が解析対象外であることを示している。

#### iv) Result Times Window

Result Times Window は、計算の開始時刻（必ずしも0でなくとも良い）と出力時刻とを指定するものである。例を図2.3.1-4に示す。



☒ 2.31-1. AMBER のBiosphere Model Window



☒ 2.3.1 - 2 AMBER のContaminant Window

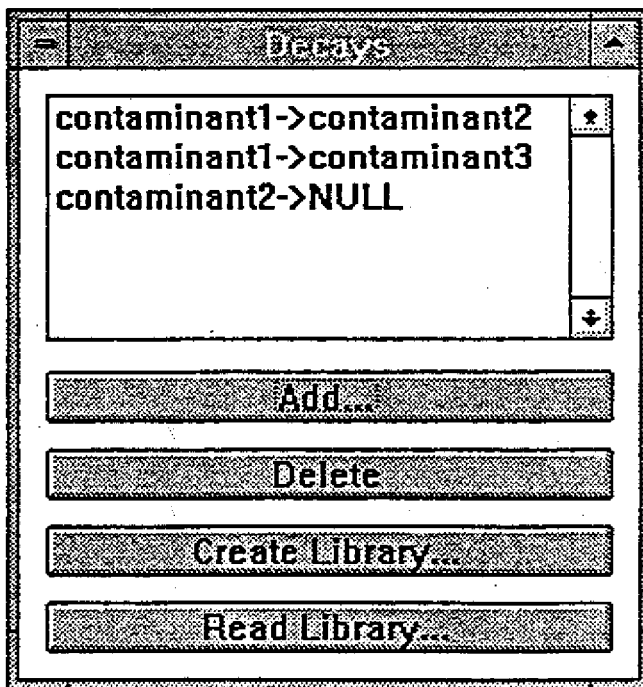


図 2.3.1 - 3 . AMBER のDecays Window



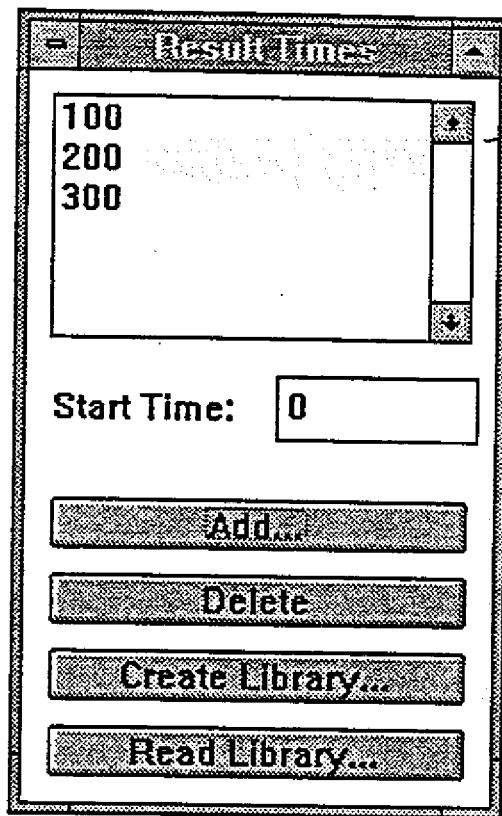


図 2.3.1-4 : AMBER の Result Times Window

### (3) ソーバー

1. に述べた数学モデルは、全て核種量に関して線型のものであるため、AMBER が解くべき問題は（一階の）線型常微分方程式系となる。そこで、現在のAMBER は、この方程式系をLaplace 変換して、この結果得られる代数方程式群を解くソーバーを有している。

この様に、ソーバーが解析的なものであるために計算速度が高く、また、タイムステップングを必要としないために出力時刻における結果を直接計算することができる。

### 2.3.2 予備的被ばく評価

2.3.1 に述べたAMBER コードを用い、コードの適用性の確認を主たる目的とした予備的解析を行った。結果を以下にまとめる。

#### (1) 生物圏モデル

本年度の予備的解析では、1. に述べた代表的生物圏モデルを用いて

- ・ 海洋環境モデル
- ・ 内陸環境モデル
- ・ 井戸水利用モデル

を構成し、これらについての核種移行及び被ばく計算を行った。

#### ① 海洋環境モデル

AMBER 上で作成された海洋環境モデルを図2.3.2 -1 に示す。このモデルは、コンパートメントとして、

- ・ 上部土壌 (Upper Soil)
- ・ 下部土壌 (Lower Soil)
- ・ 沿岸海洋水 (LMarine Wat)

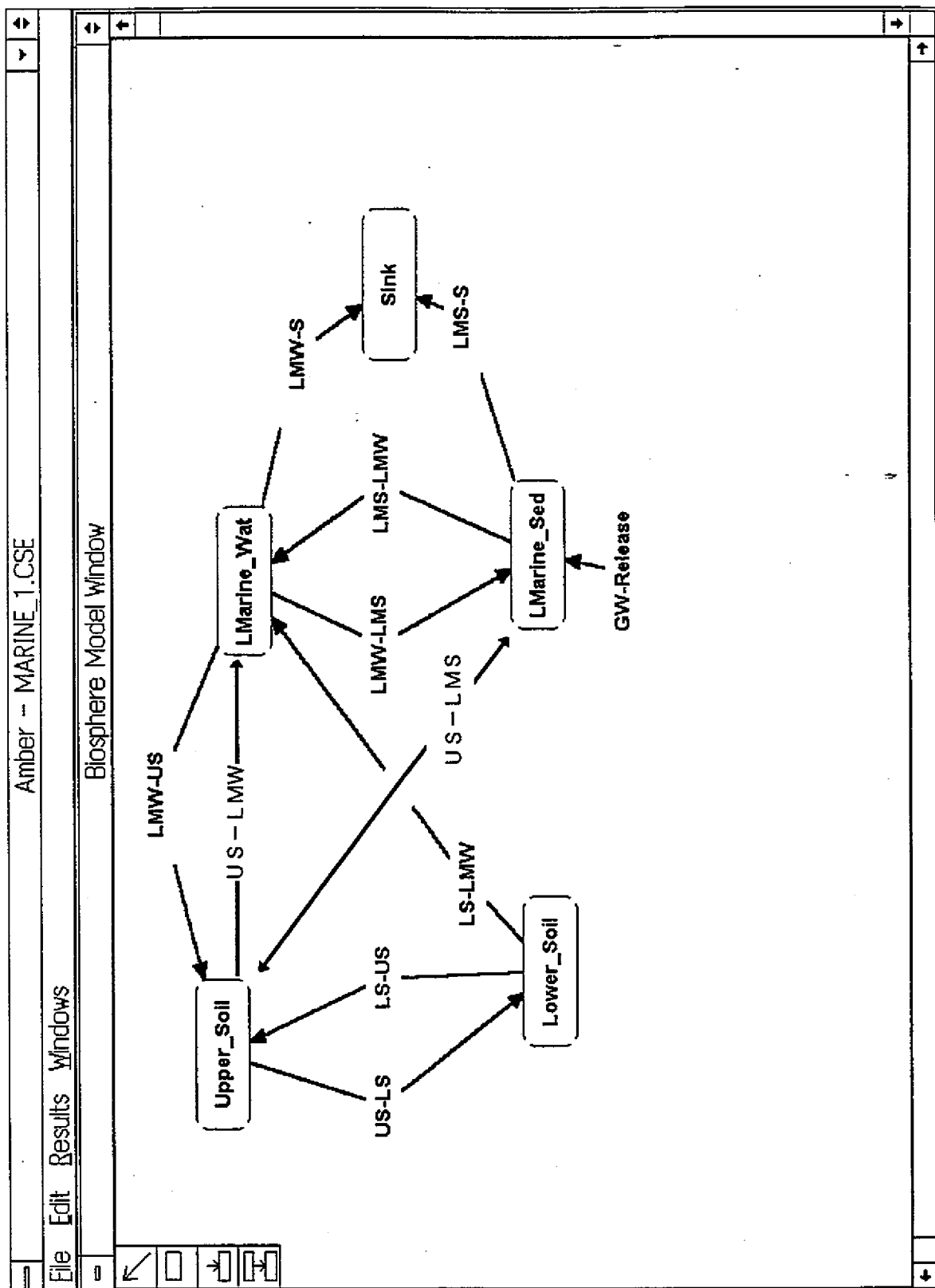


図 2.3.2-1 海洋環境モデル (AMBER)

- ・ 沿岸海洋堆積物 (LMarine Sed)

及びSinkを持つ。移行経路としては、

- ・ 地下水浸透+生物擾乱 (US-LS)
- ・ 生物擾乱+浸食 (LS-US)
- ・ 海洋エアロゾル+洪水 (LMW-US)
- ・ 地下水浸透 (LS-LMW)
- ・ グロスの沈澱 (LMW-LMS)
- ・ 再浮遊 (LMS-LMW)
- ・ 海洋拡散 (LMW-S)
- ・ 正味の沈澱 (LMS-S)
- ・ 浸食 (US-LMW)
- ・ 海水位変化 (US-LMS)

が考慮されており、沿岸の海洋底に放出された核種はこれらの経路を介してコンパートメントに移行, 配分されることとなる。

また、被ばく経路としては、各コンパートメントについて以下のものを考える。

#### 上部土壌

- ・ 土壌からの外部被ばく
- ・ 浮遊土壌の吸入
- ・ 土壌の不用意な摂取
- ・ 汚染された農作物の摂取
- ・ 汚染された畜産物の摂取

#### 沿岸海洋水

- ・ 海産物の摂取
- ・ エアロゾルの吸入

## 沿岸海洋堆積物

- ・ 表面堆積物による外部被ばく
- ・ 浮遊堆積物の吸入
- ・ 堆積物の不用意な摂取

AMBER は、各コンパートメント内の核種量に基づき、各経路からの被ばく線量を算出する。

## ② 内陸環境モデル

AMBER 上で作成した内陸環境モデルを図2.3.2-2 に示す。ここでは海洋環境モデルで考えたコンパートメントに加えて、

- ・ 河川水 (River Water)
- ・ 河川堆積物 (River Sediment)

がモデル化されている。また、これに対応して、

- ・ 灌漑+洪水 (RW-US)
- ・ 浚渫/蛇行 (RS-US)
- ・ ベッドロード輸送 (RS-LMS)
- ・ グロス沈殿 (RW-RS)
- ・ 再浮遊 (RS-RW)
- ・ 河川流 (RW-LMW)

という移行経路が考慮されている。このモデルでは、核種はまず下部土壤に放出され、その後、各コンパートメントに移行・配分されることとなる。

また被ばく経路としては、

## 河川水

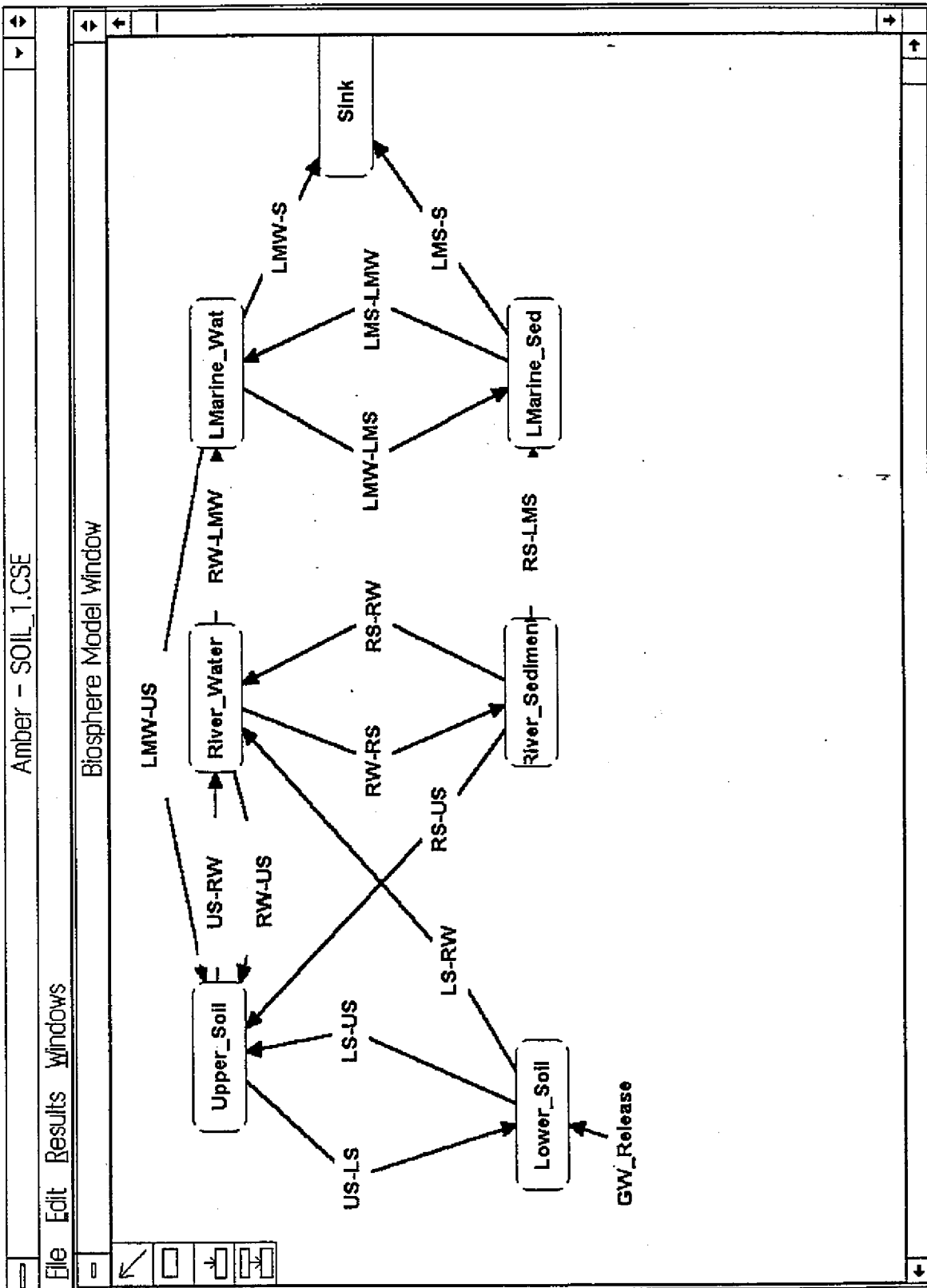


図 2.3.2 - 2 内陸環境モデル (AMBER)

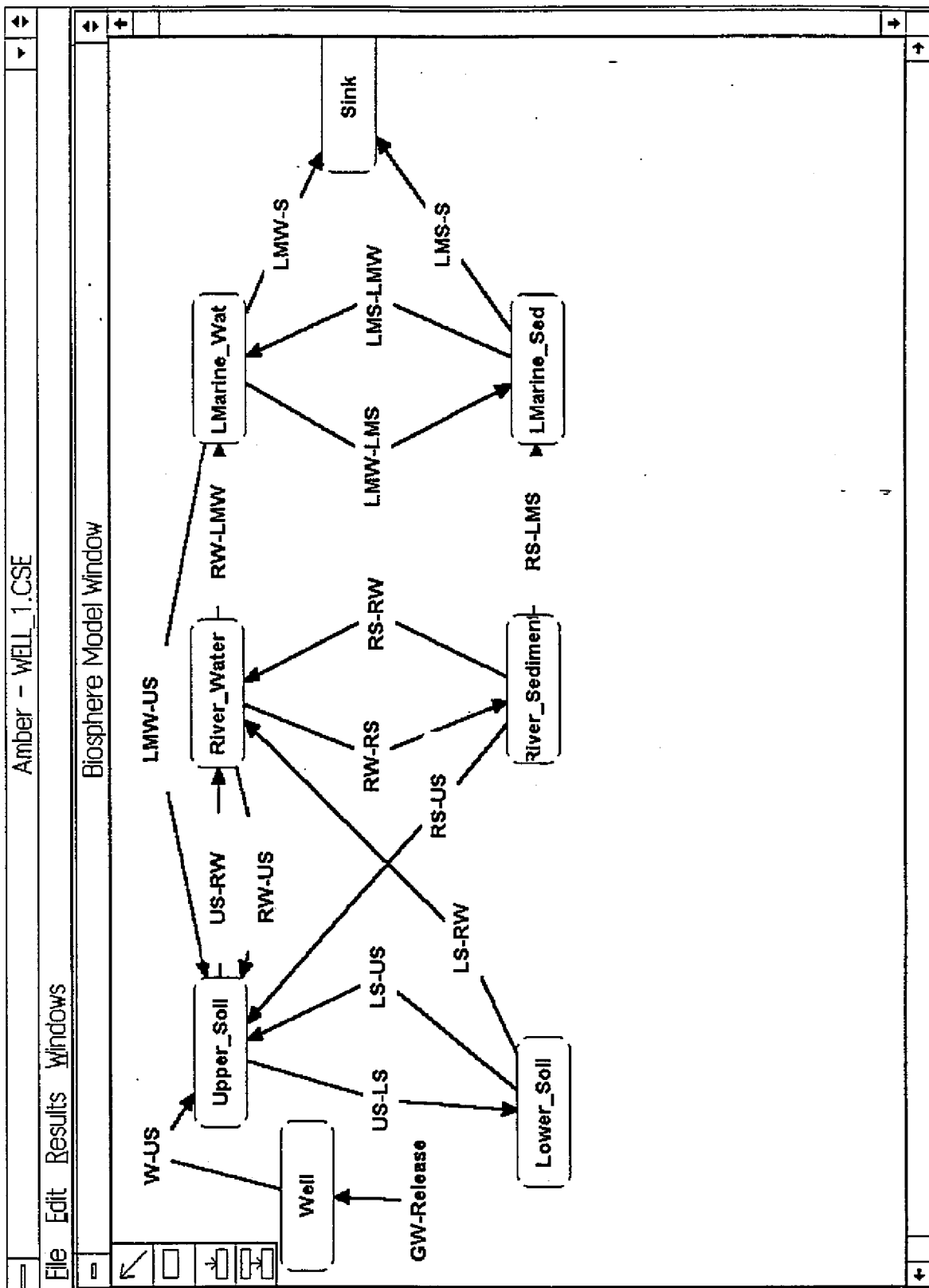


図 2.3.2 - 3 井戸水利用モデル (AMBER)

- ・直接飲用
- ・水中から建屋中へのRn-222の発散
- ・水からの外部被ばく
- ・汚染農畜産物の摂取
- ・淡水産物の摂取

#### 河川堆積物

- ・沿岸海洋堆積物と同様

### ③ 井戸水利用モデル

AMBER 上で作成した井戸水利用モデルを図2.3.2—3に示す。コンパートメント及び移行経路は(2)とほぼ同じであり、相異点は、井戸コンパートメントが付加され核種は下部土壌ではなくここに放出されること、及び、井戸から上部土壌への灌漑が移行経路として考慮されていることである。また、井戸水に関する被ばく経路は河川水に関するそれとほぼ同じである。

### (2) 解析対象核種及び天然バリアからの核種放出率

解析対象核種としては、平成3年度成果報告書において被ばく線量への寄与の大きかった以下の核種を考える。

- ・ Pd-107
- ・ U-235 → Pa-231 → Ac-227
- ・ U-238 → U-234 → Th-230 → Ra-226 → Pb-210 → Po-210

また、ソースタームとなる天然バリアからの核種放出率については、平成3年度成果報告書における計算結果(表4.5—4但し同報告書の対象外である娘核種については0)を用いることとし、放出期間は生物圏の過渡期間に比べて十分長いことから連続放出を仮定した。また、井戸水利用モデルについては移行距離10m、他のモデルについては1,000mに於ける放出率一定と仮定した。



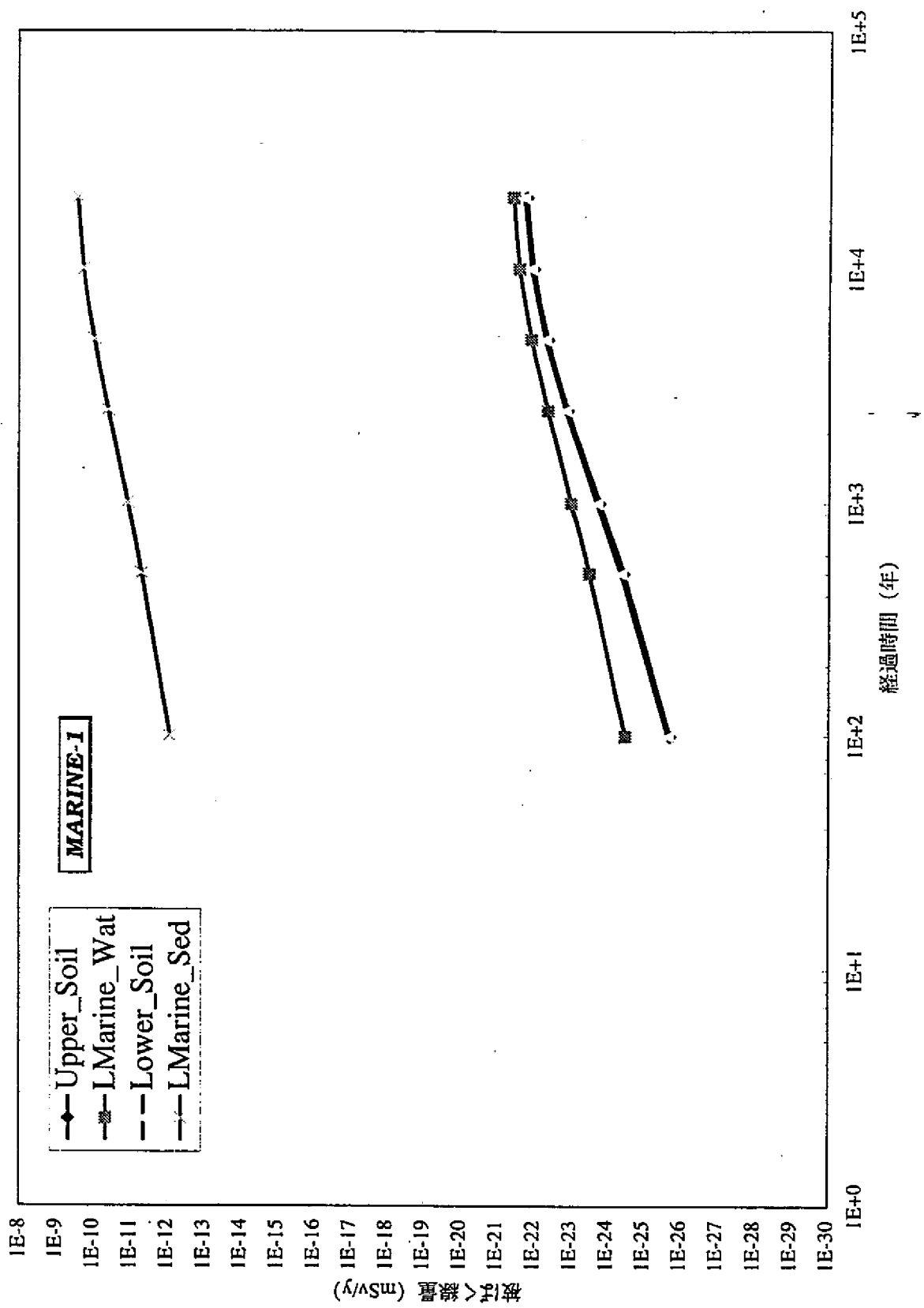


図 2.3.2-4 海洋環境モデルでの被ばく線量 (3/4)  
(核種グループ1)

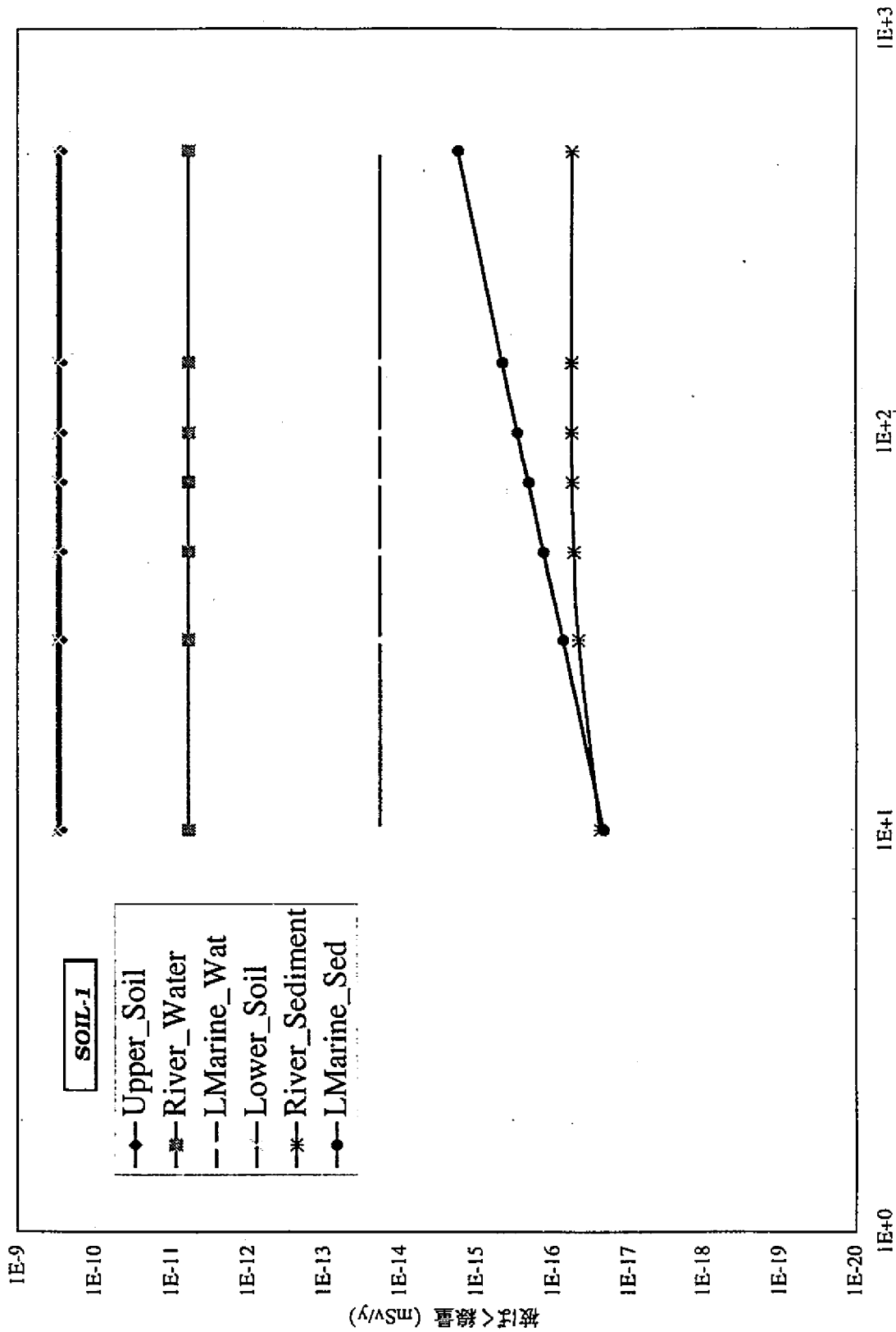


図 2.3.2-5 内陸環境モデルでの被ばく線量(5/6)  
(核種グループ1)

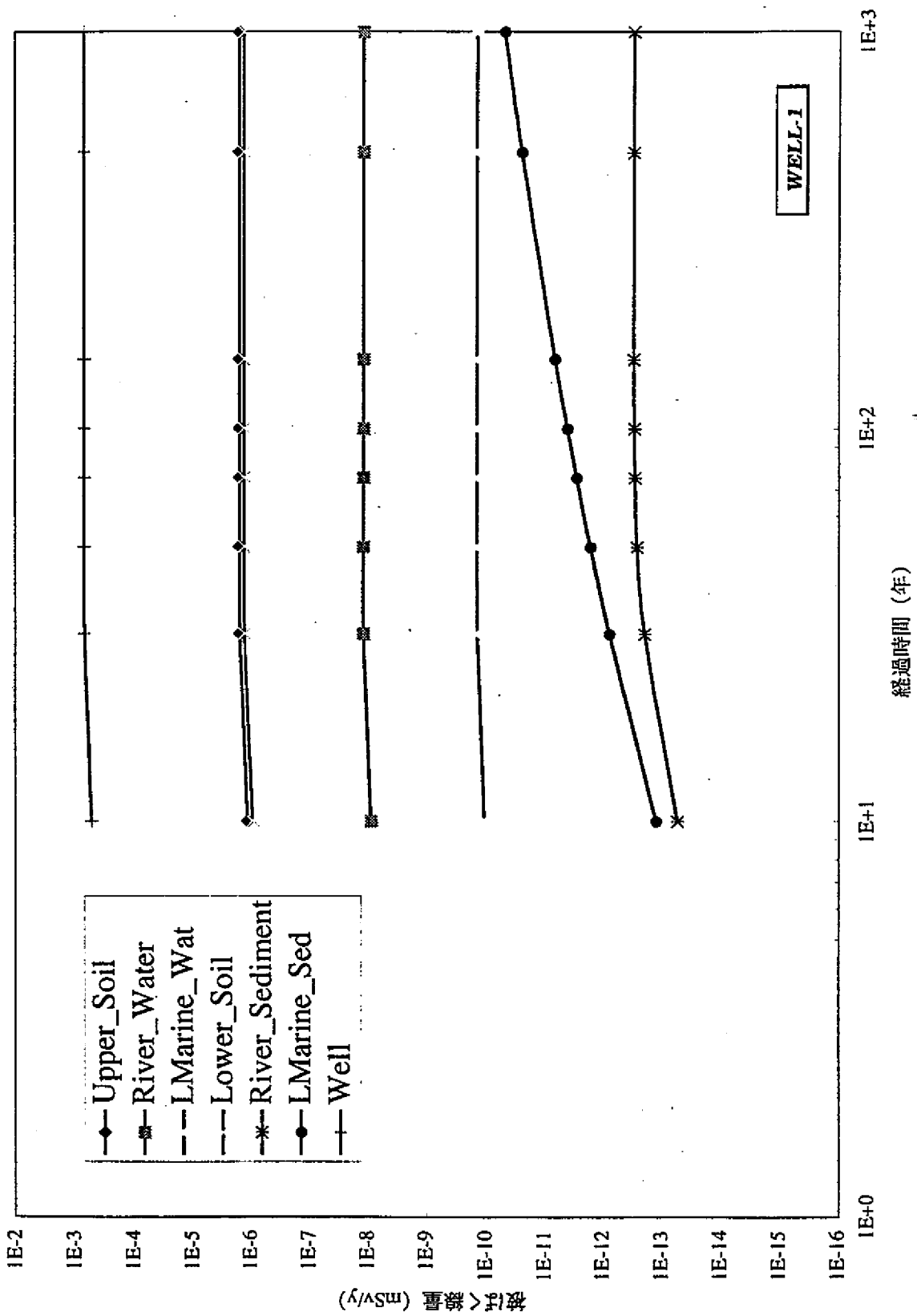


図 2.3.2-6 井戸水利用モデルでの被ばく線量(5/6)  
(核種グループ1)

### (3) 解析結果

上述した核種をグループ1 (Pd-107, U-235 系列) とグループ2 (U-238 系列) に区分してAMBER のファイルを作成し、各生物圏モデルについての移行・被ばく線量計算を行った。結果を図2.3.2-4～6 にまとめる。

平成3年度成果報告書に於いては、飲料水摂取に起因する被ばく線量が計算されている(図4.5-11)。この結果(希釈水量 $10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$  に於いて $2 \times 10^{-2} \text{ mSv}/\text{yr}$ )と本計算による井戸水モデルに於ける飲用による被ばく線量( $1.66 \times 10^{-3} \text{ mSv}/\text{yr}$ )及び平成3年度成果報告書に於ける $10^8 \text{ m}^3/\text{yr}$  オーダーの河川による希釈を考慮した場合の被ばく線量と本計算に於ける内陸環境モデルについての飲料水摂取による被ばく線量はほぼ整合的と考えられる。

予備解析結果に関して注意を要する点は、内陸環境モデルに於ける被ばくを支配しているが河川水の飲用ではなく、土壌における農作物及び畜産物の摂取( $2.8 \times 10^{-3} \text{ mSv}/\text{yr}$ )であるということである。

### (4) 感度解析の試算

ここでは、上述した各環境モデルのうち最も被ばく線量の高かった井戸水利用モデルにおいて、各コンパートメントのうち最も寄与の大きい井戸及び上部土壌層に関する移行パラメータを種々に変化させて計算を実行することにより、関連するパラメータの感度を検討することとした。感度解析のために抽出されたパラメータは、以下のものである。

(1)井戸容積  $V_{iw}$

(2)灌漑の行われる上部土壌層の面積  $A_{s1}$

(3)灌漑の行われる上部土壌層の容積  $V_{s1}$

(4)灌漑の行われる上部土壌層を通過する地下水流量  $G_{iw}$

#### (5)上部土壌に対する放射性核種の分配係数 $k_d$

これらのパラメータについて、今年度見直したデータセットに基づき、標準値を中心として表中の変動幅の範囲内で感度解析を行った。各計算ケースにおけるこれらのパラメータの設定値を表2.3.2—1にまとめる。また、各ケースにおいて算出された井戸及び上部土壌コンパートメントにおける最大被ばく線量をそれぞれ図2.3.2—7及び図2.3.2—8にまとめる。図から明らかなように、井戸における最大被ばく線量は井戸の容積と灌漑の行われる上部土壌層の面積の比にのみ依存し、この比とほぼ比例関係にある(最大被ばく線量の変動範囲として約5桁)。また、上部土壌における被ばく線量は、上部土壌を通過する地下水流量と、上部土壌容積×分配係数の比にのみ依存し、この比が標準値よりも小さい側ではほぼ線形な感度を示すが、標準値よりも大きい側では感度は鈍化して一定値へと漸近する。

以上の結果をまとめれば、標準値に基づき算出された最大被ばく線量を大きく上回る可能性として、大きな容量の井戸において小さい耕作面積に対する灌漑を行う様な交換頻度の小さい水利用が挙げられる。この可能性については、生物圏についてのより具体的な条件設定とこれに整合的な人間活動とを考えたより詳しい検討が必要と考えられる。

表2.3.2 一(1) 感度解析のためのケース設定

\* 下線は標準値

ケースNo.	$V_{rw}$ ( $m^3$ )	$A_{usi}$ ( $m^2$ )	$V_{sed}$ ( $m^3$ )	$G_r$ ( $m^3/yr$ )	kd ( $m^3/kg$ )
1	<u>2 E4</u>	<u>1 E4</u>	<u>3 E3</u>	<u>5 E5</u>	<u>標準値*</u>
2	2 E5	<u>1 E4</u>	<u>3 E3</u>	<u>5 E5</u>	<u>標準値*</u>
3	2 E6	<u>1 E4</u>	<u>3 E3</u>	<u>5 E5</u>	<u>標準値*</u>
4	2 E3	<u>1 E4</u>	<u>3 E3</u>	<u>5 E5</u>	<u>標準値*</u>
5	2 E2	<u>1 E4</u>	<u>3 E3</u>	<u>5 E5</u>	<u>標準値*</u>
6	<u>2 E4</u>	1 E5	<u>3 E3</u>	<u>5 E5</u>	<u>標準値*</u>
7	<u>2 E4</u>	1 E6	<u>3 E3</u>	<u>5 E5</u>	<u>標準値*</u>
8	<u>2 E4</u>	1 E3	<u>3 E3</u>	<u>5 E5</u>	<u>標準値*</u>
9	<u>2 E4</u>	1 E2	<u>3 E3</u>	<u>5 E5</u>	<u>標準値*</u>
10	<u>2 E4</u>	<u>1 E4</u>	3 E4	<u>5 E5</u>	<u>標準値*</u>
11	<u>2 E4</u>	<u>1 E4</u>	3 E2	<u>5 E5</u>	<u>標準値*</u>

\* 表4.4 一5(1)の各元素についての標準値

表2.3.2 -1(2) 感度解析のためのケース設定

\* 下線は標準値

ケースNo.	$V_{rw}$ ( $m^3$ )	$A_{usi}$ ( $m^2$ )	$V_{sed}$ ( $m^3$ )	$G_r$ ( $m^3/yr$ )	kd ( $m^3/kg$ )
12	<u>2 E4</u>	<u>1 E4</u>	<u>3 E3</u>	5 E6	<u>標準値*</u>
13	<u>2 E4</u>	<u>1 E4</u>	<u>3 E3</u>	5 E7	<u>標準値*</u>
14	<u>2 E4</u>	<u>1 E4</u>	<u>3 E3</u>	5 E4	<u>標準値*</u>
15	<u>2 E4</u>	<u>1 E4</u>	<u>3 E3</u>	5 E3	<u>標準値*</u>
16	<u>2 E4</u>	<u>1 E4</u>	<u>3 E3</u>	<u>5 E5</u>	標準値X10
17	<u>2 E4</u>	<u>1 E4</u>	<u>3 E3</u>	<u>5 E5</u>	( " ) X100
18	<u>2 E4</u>	<u>1 E4</u>	<u>3 E3</u>	<u>5 E5</u>	標準値X0.1
19	<u>2 E4</u>	<u>1 E4</u>	<u>3 E3</u>	<u>5 E5</u>	( " ) X0.01

\* 表4.4 -5(1)の各元素についての標準値

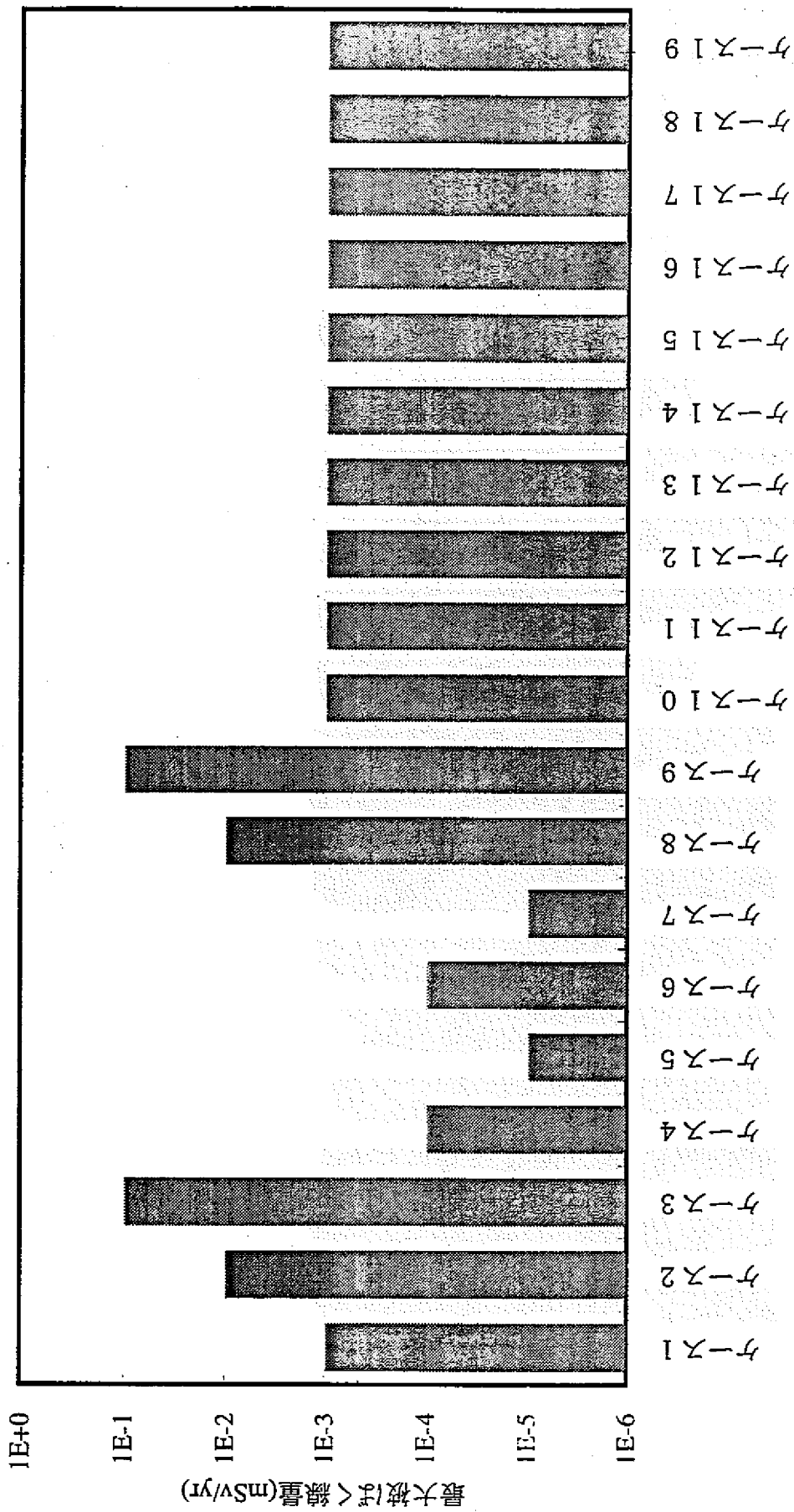


図2.3.2-7 感度解析の試算結果 (1:井戸における最大被ばく線量)



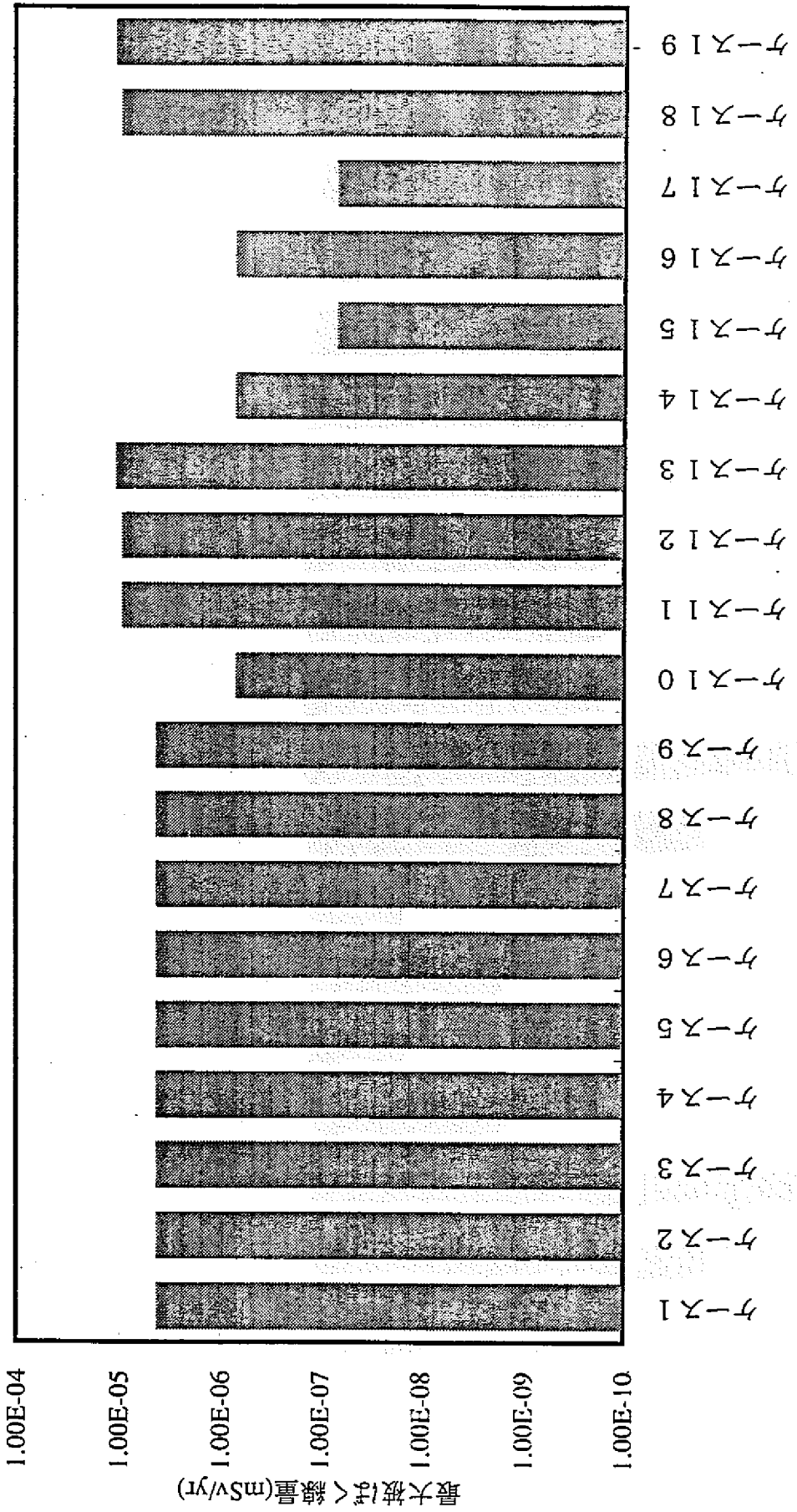


図2.3.2-8 感度解析の試算結果 (2: 上部土壌層における最大被ばく線量)

## 参考文献

- [1] 日揮(株)、生物圏における核種移行及び被ばく評価のための解析手法の開発Ⅱ  
(動力炉・核燃料開発事業団、委託研究報告書)、1994年2月。
- [2] 日揮(株)、生物圏における核種移行及び被ばく評価のための解析手法の開発Ⅰ  
(動力炉・核燃料開発事業団、委託研究報告書)、1993年2月。
- [3] Amiro B D (1993). Protection of the Environment from Nuclear Fuel Waste Radionuclides: a Framework Using Environmental Increments. The Science of the Total Environment, 128, pp.157-189.
- [4] Amiro B D and Zach R (1993). A Method to Assess Environmental Acceptability of Releases of Radionuclides from Nuclear Facilities. Environment International, Vol 19, pp.341-358.
- [5] BIOMOVS II (1994a). Progress Report No 5. Available from the BIOMOVS II Secretariat, Intera Information Technologies, Henley on Thames, UK.
- [6] BIOMOVS II (1994b). An Interim Report on Reference Biospheres for Radioactive Waste Disposal. BIOMOVS II Technical Report No2, published by the Swedish Radiation Protection Institute on behalf of the BIOMOVS II Steering Committee, Stockholm.
- [7] BIOMOVS II (1994c). Working report of a Reference Biospheres sub-group meeting to examine the Applicability of the 'RES' Methodology to Scenario Development in the Biosphere Component of Performance Assessment for Radioactive Waste Repositories, Langholmen, Stockholm. Available from the BIOMOVS II Secretariat, Intera, Henley, UK.
- [8] Charles D and McEwen T J (1991). Radiological Consequences of Drilling Intrusion into a Deep Repository for High Level Waste. Intera Information Technologies report for the Swedish Radiation Protection Institute, IE2446-1, Version2.
- [9] Clarke R H (1993). 1993 Meeting of ICRP. Radiological Protection Bulletin No148. NRPB Chilton.
- [10] Coughtrey P J (1994). Radioactive Waste Disposal Assessment: Overview of

Biosphere Processes and Models. HMIP/MAFF Seminar on Biosphere Issues in Radioactive Waste Disposal Assessment, 22-23 November 1993. Volumes 1 and 2. UK DoE Report TR-LGM-02.

- [11] Davis P A et al (1993). The Disposal of Canada's Nuclear Fuel Waste: The Biosphere Model, BIOTRAC, for Postclosure Assessment. AECL-10720, COG-93-10. AECL Whiteshell Laboratories, Pinawa.
- [12] Gonzales A (1994). Radiation Safety: New International Standards. IAEA Bulletin, No2, 1994, IAEA, Vienna.
- [13] Grimwood P and Smith G M (1989). Human Intrusion: Issues Concerning its Assessment. Proceedings of an NEA Workshop on Risks Associated with Human Intrusion at Radioactive Waste Disposal Sites, NEA/OECD, Paris.
- [14] HSK/KSA (1993). Protection Objectives for the Disposal of Radioactive Waste. Guideline for Swiss Nuclear Installations, HSK-R-21/e. Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate and Federal Commission for the Safety of Nuclear Installations. Villigen.
- [15] IAEA (1994). Safety Indicators in Different Time Frames for the Safety Assessment of Underground Radioactive Waste Repositories. First report of the INWAC Sub-group on Principles and Criteria for Radioactive Waste Disposal. IAEA-TECDOC-767, IAEA, Vienna.
- [16] ICRP (1977). Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 26. Pergamon Press, Oxford.
- [17] ICRP (1985). Radiation Protection Principles for Disposal of Solid Radioactive Waste. Annals of the ICRP, Volume 15, No4. ICRP Publication 46. Pergamon Press, Oxford.
- [18] ICRP (1989). Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 1. Annals of the ICRP, Volume 20, No2. ICRP Publication 56. Pergamon Press, Oxford.
- [19] ICRP (1991a). 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Annals of the ICRP, Volume 21, No1-3. ICRP Publication 60. Pergamon Press, Oxford, 1991.

- [20] ICRP (1991b). Annual Limits on Intake of Radionuclides by Workers Based on the 1990 Recommendations. Annals of the ICRP, Volume 21, No4. ICRP Publication 61. Pergamon Press, Oxford.
- [21] Kemp et al (1994). Nature Genetics, Vol 8, No66.
- [22] Linsley G S and Fattah A (1994). The Interface Between Nuclear Safe-guards and Radioactive Waste Disposal: Emerging Issues. IAEA Bulletin, No2, 1994. IAEA, Vienna.
- [23] Miller W M, Smith G M, Towler P A and Savage D (1994). Natural Element Mass Movement in the Vicinity of the <sup>90</sup>Sr Hard Rock Laboratory. Intera report for SKI, IG3427-2, Version 1.0.
- [24] NEA (1993). Assessment of Future Human Actions at Radioactive Waste Disposal Sites. Final draft report from an NEA working group, November, 1993, due for publication with minor revisions early in 1995. NEA, Paris.
- [25] NEA (1994). Update on Waste Management Policies and Programmes.
- [26] Nuclear Waste Bulletin No9, Paris.
- [27] Neal S L, Brice A A and Little R H (1995). User Guide to AMBER VO.1. Intera report for JGC, IE3250-9, Version 1.0.
- [28] NRPB (1987). Committed Doses to Selected Organs and Committed Effective Doses from Intakes of Radionuclides. NRPB-GS7. London, HMSO.
- [29] Nussbaum R H and K<sup>6</sup>hlein (1994). Inconsistencies and Open Questions Regarding Low Dose Health Effects of Ionising Radiation. Environmental Health Perspectives. Vol 102, No8, pp. 656-667.
- [30] Radiation Protection and Nuclear Safety Authorities in Denmark, Finland, Iceland, Norway and Sweden (1993). Disposal of High Level Waste, Consideration of Some Basic Criteria. SKI, Stockholm.
- [31] Sandia (1991). Preliminary Comparison with 40 CFR Part 191, Sub-part B for the Waste Isolation Pilot Plant, Volumes 1, 2 and 3. Sandia National Laboratory, Albuquerque.
- [32] Smith G M (1993). Presentations on Biosphere Modelling and Criteria Development to the US National Academy of Science Committee on the Technical

Bases for Yucca Mountain Standards. Washington DC, 16-17 December.

[33] Smith G M (1994). International Developments in Criteria and Biosphere Modelling for HLW Disposal. Intera Report for JGC, JE3250-4, Version2.0.

[34] Whipple C (1993). Repositories, Risk and Regulation. In Proceedings of the 4th Annual International High-Level Radioactive Waste Management Conference, Las Vegas.