

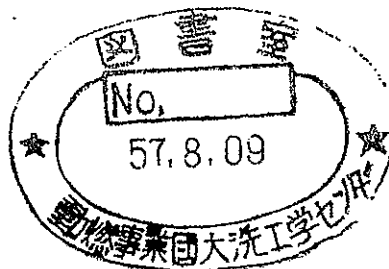
技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
<del>T</del>	J199 79-12
この資料は 図書室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です	
動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室	

~~配布限定~~

# 昭和53年度 高レベル廃棄物の地層処分に関する リスク解析手法の調査研究報告書

~~登録変更~~  
13年11月30日

本資料は 11 年 7 月 25 日付で  
登録区分変更する。 [技術展開部技術協力課]



昭和54年4月

財団法人 エネルギー総合工学研究所  
The Insitute of Applied Energy

本資料は、核燃料サイクル開発機構の開発業務を進めるために作成されたものです。したがって、その利用は限られた範囲としており、その取扱には十分な注意を払ってください。この資料の全部または一部を複写・複製・転載あるいは引用する場合、特別の許可を必要としますので、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49  
核燃料サイクル開発機構  
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:  
Technical Cooperation Section,  
Technology Management Division,  
Japan Nuclear Cycle Development Institute  
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184  
Japan

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



Z  
Z 199 79-12

配布限定

Z 199 79-12  
昭和54年4月28日

## 高レベル廃棄物の地層処分に関するリスク解析手法の調査研究 報告書

渡 辺 武 男 \*  
近 藤 駿 介 \*\*  
徳 下 善 孝 \*\*\*

### 抄 録

地下の花崗岩中に高レベル放射性廃棄物を処分することにもなりリスクを解析する予備的研究として、この可能性に関するフォールト ツリーが作成され、これから海、大気、その他への放射性物質放出経路が得られた。これらの放出経路が顕在化する可能性について予備的に検討するため、各種の障壁の破損率と、外乱となる火山・地震などの諸事象の発生頻度が推定された。解析の結果、10,000年までは、工学施設の信頼度がリスクを大きく支配していることが示され、地層の障壁としての健全性が数万年で失われるとすれば、工学系は地上におけると同様に信頼できるシステムとして設計されるべきことが理解された。また、火山・地震はその発生頻度が外国よりもかなり大きく、これに対する工学系の設計と岩体の健全性がわが国におけるこの処分方式の成否を支配するので、この方面の研究の必要性が指摘された。

なお、本研究は、動力炉・核燃料開発事業団からの受託研究である。

- 
- \* 金属鉱業事業団 顧問, 東京大学名誉教授
  - \*\* (財)エネルギー総合工学研究所 研究嘱託, 東京大学助教授
  - \*\*\* (財)エネルギー総合工学研究所 研究員

「高レベル廃棄物地層処分のリスク解析委員会」

名 簿

委員長 渡 辺 武 男 (東京大学名誉教授)

委員 木 村 敏 雄 (東京大学教授)

山 口 梅 太 郎 (東京大学教授)

井 上 頼 輝 (京都大学教授)

山 本 寛 (東京大学名誉教授)

近 藤 駿 介 (東京大学助教授)

(順不同)

「ワーキンググループ」

実施責任者 山 本 寛 ((財)エネルギー総合工学研究所 所長)

実施者 近 藤 駿 介 (同研究所 嘱託)

徳 下 善 孝 (同研究所 研究員)

協力者 黄 明 彰 (東京大学工学部)

川 上 誠 志 郎 (東京大学工学部)

小 坂 和 夫 (東京大学理学部)

# 目 次

1. 序 論 .....	1
1.1. はじめに .....	1
1.2. 目 的 .....	1
1.3. 研究方法 .....	2
1.4. 報告書の構成 .....	2
2. 各国における高レベル廃棄物処分に関するリスク解析の現状 .....	3
2.1. 米 国 .....	3
2.1.1. 環境保護庁（EPA） .....	3
2.1.2. エネルギー省（DOE） .....	9
2.1.3. 原子力規制委員会（NRC） .....	11
2.2. 欧州共同体（EC） .....	12
2.2.1. 共同研究センター（JRC） .....	13
2.2.2. 西ドイツ .....	18
2.2.3. イギリス .....	19
2.3. そ の 他 .....	19
2.4. 若干の検討 .....	24
3. リスク解析の方法論 .....	25
3.1. はじめに .....	25
3.2. リスク解析の目的 .....	26
3.3. リスク解析の手法（地中処分の場合） .....	27
3.3.1. リスク解析の内容 .....	27
3.3.2. 各タスクの内容（地中処分の場合） .....	28
3.3.3. フォールト ツリーとイベント ツリーについて .....	29
3.3.4. FMEA .....	38
3.3.5. 望ましくない事象（事故）へのシナリオの作成 .....	38
3.3.6. 各シナリオの発生確率の計算 .....	40

3.3.7.	各シナリオによる被害の計算（地中処分の場合）	42
3.4.	リスク解析作業の手順	42
3.5.	まとめ	43
4.	フォールトツリーの作成と評価	49
4.1.	はじめに	49
4.2.	本研究のアプローチ	50
4.3.	フォールトツリーの作成手順	51
4.4.	花崗岩体サイトの特徴	51
4.5.	地層モデル	54
4.6.	処分場モデル	60
4.7.	核種放出のシナリオと接触媒質	62
4.8.	核種輸送の経路ツリー	64
4.9.	核種放出の経路シナリオ	72
4.10.	経路発生ของフォールトツリーの作成と検討	77
4.10.1.	経路発生ของフォールトツリーの作成	77
4.10.2.	経路発生ของフォールトツリーの検討	81
4.11.	キャニスター破損のフォールトツリー	84
4.11.1.	キャニスター破損のフォールトツリー	84
4.11.2.	若干の検討	85
4.12.	まとめ	86
5.	入力データ	87
5.1.	入力データの定義	87
5.2.	経路発生をもたらす起因事象の発生頻度	87
5.2.1.	火山活動の発生頻度	89
5.2.2.	断層活動の発生頻度	94
5.2.3.	地震の発生頻度	99
5.2.4.	隕石衝撃の発生頻度	103
5.3.	経路の偶発破損確率	105

5. 4.	経路誘発確率 .....	106
5. 5.	外乱下の障壁破損確率の結合の割合について .....	110
6.	解析と検討 .....	120
6. 1.	はじめに .....	120
6. 2.	偶発放出確率について .....	121
6. 3.	起因事象による <u>かなりの放出経路の発生</u> .....	122
6. 3. 1.	火山噴火 .....	122
6. 3. 2.	火成活動 .....	123
6. 3. 3.	地震 .....	124
6. 3. 4.	断層活動 .....	125
6. 4.	各接触媒質への放出経路の発生頻度 .....	125
6. 4. 1.	伏流水 .....	126
6. 4. 2.	表層流 .....	127
6. 4. 3.	大気 .....	127
6. 4. 4.	海 .....	128
7.	結果の検討と今後の課題 .....	164
7. 1.	結果の検討 .....	164
7. 2.	今後の課題 .....	165
8.	参考文献 .....	167
付 録	.....	A 1
A	既往のフォールト ツリー .....	A 2
B	日本の地質特性について .....	A 31

## 図 表 目 次

### 2 章

表 2. 1.	地層処分に関するリスク解析一覧表 .....	5
図 2. 1.	研究の対象範囲と Zone の設定 .....	8
図 2. 2.	WISAP における作業の相互関係 .....	10
図 2. 3.	CECの放射性廃棄物管理研究計画 .....	15
図 2. 4.	JRCでの地層処分の長期安全性の解析 .....	16
図 2. 5.	岩塩床における重要な破損原因の相対的経時変化 .....	17
図 2. 6.	カナダの放射性廃棄物地層処分計画 .....	21
図 2. 7.	P.Bützer のリスク モデル .....	23

### 3 章

表 3. 1.	共通モード故障の原因のカテゴリー .....	45
表 3. 2.	共通原因故障における各種の原因の相対的寄与の大きさ .....	48
図 3. 1.	リスク解析のフローチャート .....	28
図 3. 2.	地中処分により人に害の発生するプロセスのイベント ツリー .....	30
図 3. 3.	地中処分により人に害の発生するプロセスのフォールト ツリー .....	30
図 3. 4.	フォールト ツリーに使われる論理ゲート .....	32
図 3. 5.	フォールト ツリーの作り方 .....	34
図 3. 6. a	原子炉給水系のリスク解析用概念図 .....	35
図 3. 6. b	補助給水供給不能を Top Event とするフォールト ツリー .....	35
図 3. 7.	イベント ツリーの例 .....	36
図 3. 8.	原子炉安全研究 (WASH-1400) におけるイベント ツリーの取扱い .....	37
図 3. 9.	FMEA のフォーマット .....	38



#### 4 章

表 4. 1.	花崗岩と岩塩の相違点	5 3
表 4. 2.	接触媒質ごとの放出経路	7 5
図 4. 1.	地層モデル	5 7
図 4. 2.	領域区分図	5 9
図 4. 3.	処分場概念図	6 1
図 4. 4.	核種移動のフロー	6 5
図 4. 5.	核種輸送の経路ツリー	6 6
図 4. 6.	核種輸送経路図	7 4
図 4. 7.	経路発生 of フォールト ツリー	7 9
図 4. 8.	合成されたフォールト ツリーの概念図	8 1
図 4. 9.	縮約フォールト ツリー	8 2
図 4. 1 0.	キャニスター破損のフォールト ツリー	8 6

#### 5 章

表 5. 1.	各地の有感地震の発生頻度 ( 回 / 年 )	1 0 1
表 5. 2.	各区域における起因事象の発生頻度	1 0 5
表 5. 3.	工学的障壁の事象に対する信頼度	1 0 7
表 5. 4.	火山噴火における入力データ参考値	1 1 2
表 5. 5.	火成活動における入力データ参考値	1 1 3
表 5. 6.	隕石 I ( 1,000 m 掘出 ) における入力データ参考値	1 1 4
表 5. 7.	隕石 II ( 600 m 掘出 ) における入力データ参考値	1 1 5
表 5. 8.	隕石 III ( 300 m 掘出 ) における入力データ参考値	1 1 6
表 5. 9.	断層活動における入力データ参考値 ( サイト直撃 )	1 1 7
表 5. 1 0.	断層活動における入力データ参考値	1 1 8
表 5. 1 1.	地震における入力データ参考値	1 1 9

表 6. 1.	接触媒質ごとの偶発放出確率	1 2 9
表 6. 2.	放出経路における経路存在確率 接触媒質:伏流水	1 3 1
表 6. 3.	放出経路における経路存在確率 接触媒質:滞水層	1 3 4
表 6. 4.	放出経路における経路存在確率 接触媒質:表層流	1 3 7
表 6. 5.	放出経路における経路存在確率 接触媒質:大気	1 4 0
表 6. 6.	放出経路における経路存在確率 接触媒質:海	1 4 9
表 6. 7.	参考ケースでの経路存在の最大確率(1/年) 接触媒質:伏流水	1 5 2
表 6. 8.	参考ケースでの経路存在の最大確率(1/年) 接触媒質:滞水層	1 5 3
表 6. 9.	参考ケースでの経路存在の最大確率(1/年) 接触媒質:表層流	1 5 4
表 6. 1 0.	参考ケースでの経路存在の最大確率(1/年) 接触媒質:大気	1 5 5
表 6. 1 1.	参考ケースでの経路存在の最大確率(1/年) 接触媒質:海	1 5 6
表 6. 1 2.	経路誘発確率の検討	1 6 2
表 6. 1 3.	感度解析	1 6 3
図 6. 1.	起因事象発生地点(ゾーン区分)と <u>伏流水(滞水層)</u> への核種放出 の1万年内での平均の存在確率(1/年)の上限	1 5 7
図 6. 2.	起因事象発生地点(ゾーン区分)と <u>表層流</u> への核種放出の1万年内 での平均の存在確率(1/年)の上限	1 5 8
図 6. 3.	起因事象発生地点(ゾーン区分)と <u>大気</u> への核種放出の1万年内で の平均の存在確率(1/年)の上限	1 5 9
図 6. 4.	起因事象発生地点(ゾーン区分)と <u>海</u> への核種放出の1万年内での 平均の存在確率(1/年)の上限	1 6 0
図 6. 5.	起因事象発生地点(ゾーン区分)と放出経路の処分後1万年間での 平均存在確率(1/年)	1 6 1

# 1. 序 論

## 1.1. はじめに

原子力の開発利用において、高レベル放射性廃棄物の管理は、最も重要な課題である。高レベル放射性廃棄物の管理は、適切な貯蔵と処分により、人間環境から必要な程度の隔離を確保するべく、放射性物質を封じ込めることをその方式の基本としている。この封じ込め的手段としては、深地層処分の他、海洋底処分などが考えられるが、これまでの各国の検討状況を見ると、深地層処分の方式がよく検討されている。

ところで、深地層処分方式の開発には

- (i) 適切な基準に合致したサイトを見出し、
- (ii) 処分場近傍の地質、地下水、その他の特性を詳細に測定し、
- (iii) こうした初期条件と、将来起りそうなあらゆる事象を考慮して、処分場とその近傍の挙動を検討し、

(iv) そうした挙動に基づき、この処分場設置に伴うリスクを計算する

その上で、これが受入れられるべきか否かを判断する、という作業が必要である。このような作業は、初めに粗く、広い代替案について実施し、次第に、限定的かつ精確な研究へと進んでいくのが一般的である。

わが国においては、安全の確保と原子力に対する国民の支持を得るべく、放射性廃棄物の処理処分などの全安全問題領域にわたって安全確保の技術開発を行うことが急務とされる。特に高レベル放射性廃棄物についてはその地層処分のための作業をこの10年間にを行うことが求められている。

そこで、本研究はその第一段階として、粗いモデルでよいから、高レベル放射性廃棄物の地層処分にともなうリスク発生のシナリオとその確率を解析して、今後の研究の足がかりを得ようとするものであり、動力炉・核燃料開発事業団の委託により（財）エネルギー総合工学研究所が、昭和53年8月より昭和54年4月にかけて実施したものである。

## 1.2. 目 的

高レベル廃棄物の地層処分の安全性について定量的なリスク解析を行うためには、地層の包蔵能力の損傷のシナリオとその発生頻度についての知識が必要である。包蔵能力の損

傷については、極めて稀な事象や、それらの相乗作用について検討し、合理的かつ包括的なシナリオを得る努力が必要であるが、これにはフォルト ツリー などの手法が有効とされている。

本研究は、この処分方式のリスク解析の方法論のうち主としてフォルト ツリー解析を用いる手法に注目して、これの実用性と実施上の課題について検討するものである。

具体的には、わが国で想定されている地層処分方式について包蔵能力の喪失に関するフォルト ツリーの原型を作製し、これを用いてリスク解析を行うために必要な作業およびデータを検討し、入手可能なデータの範囲で感度解析を行い、今後この方法を実用化していくために必要な研究開発課題をとりまとめるものである。

### 1.3. 研究方法

前節の目的を達成するためにつぎの手順にしたがい調査・研究を行う。

- (1) 米国・OECD諸国等の文献を調査・整理し、標題に対する基本的な考え方などを把握する。
- (2) 日本の地質特性を考慮し、リスク解析手続きの確立方策を研究する。
- (3) 地層の包蔵能力喪失に関するイベント ツリーの研究とそれに基づくフォルト ツリーの作成
- (4) 諸文献やこれまでの調査結果を基に、インプットとして必要なデータやその質について検討を加える。
- (5) (3)で作成されたフォルト ツリー及び(4)等で得られたデータを用いて感度解析を試行してみる。
- (6) (1)及び(3), (5)等の結果を基に、将来の実用化に必要な研究開発課題をとりまとめる。

また、この研究の実施のために、「高レベル廃棄物地層処分のリスク解析委員会」を設置し、ワーキング グループにより行われた上記作業について立案、評価、検討を行う。

### 1.4. 報告書の構成

本報告書は、全7章から成っており、第2章は前項の(1)、第3章は前項(2)のリスク解析の方法論、第4章は前項の(3)、第5章は前項(4)、第6章は前項 (5)の内容を含み、第7章に今後の課題がまとめられている。

## 2. 各国における高レベル廃棄物処分に関するリスク解析の現状

高レベル放射性廃棄物の地層処分に関するリスク解析は、米国・西ドイツ・フランス・イギリス・スウェーデンなどでその必要性が注目されており、特に米国においては、カーター大統領の指示により放射性廃棄物の処分に関する省庁間相互検討グループ（IRG: Interagency Review Group on Nuclear Waste Management）が設置され、全面的に廃棄物管理の問題の洗い直しがなされ、1978年10月に報告書(案)<sup>22)~27)</sup>が発表されたが、\* その中でリスク評価の必要性が強調されており、単なる一般的な検討に留まらず、実際のサイトについてリスクを研究することが必要と述べられている。

ここでは各国の主な研究例について紹介し、研究の現状について認識を深めるものとする。表2-1に各国において発表されている代表的な研究例の概要をとりまとめているが、以下この表の順番に従い各節において各国の現状について要約を述べる。

### 2.1. 米 国

米国では、環境保護庁（EPA）、エネルギー省（DOE）、原子力規制委員会（NRC）の三者によって、それぞれ種々の研究機関に委託してリスク解析（評価）の研究を行っている。

#### 2.1.1. 環境保護庁（EPA）

EPAは、高レベル放射性廃棄物の処分プロセスおよび処分後の公衆の健康と環境へのインパクトの評価をNew Mexico大学のS. E. Logan氏のグループに委託した。同氏の研究内容は以下の通りである。<sup>36)</sup>

（研究目的）

- (i) 地層（岩塩層を対象）内への放射性廃棄物の処分による公衆の健康と環境へのインパクトを評価するためのリスク評価手法を開発する。この手法を用いて各種モデル（核種放出のモデル、環境モデル）に基づき放射性核種の放出段階、環境中での濃縮段階、公衆の被曝段階の各段階における挙動を決定する。
- (ii) 評価において重要となる環境の要素（Receptor）を決定し、また最も重要な放射性核種を選択する。

---

\* 1979年3月に正式の報告書が発表された TID-29442 "Report to the President by the Interagency Review Group on Nuclear Waste Management"

表 2. 1 地層処分に関するリスク解析一覧表

国・研究機関・研究者	主要解析手法	処分場タイプ	主要放出シナリオ	解析モデル	クリティカル核種	備 考
1. 米 国 (1) EPA ○ S.E. Logan	Fault Tree	岩 塩 層	火山活動・火山移行 断層・隕石・侵食	拡散輸送モデル 放出モデル 環境・経済モデル	$^{14}\text{C}$ , $^{99}\text{Tc}$ $^{129}\text{I}$ , $^{237}\text{Np}$	EPA 520/6-78-005 <sup>36)</sup> (1978, 6)
(2) DOE (ERDA) ○ H.C. Claiborne F. Gera	Pathway Analysis	岩 塩 床	隕石・断層・人為(採掘)	水文学的輸送モデル 地質圏輸送モデル 生物圏輸送モデル	$^{90}\text{Sr}$ Heavy Nuclides (Pb, Pu, Am, etc)	ORNK-TM-4639 <sup>39)</sup> , (1974, 10)
○ H.C. Burkholder	Pathway Analysis	深 部 地 層	浸 出 (Leaching)	地下水による輸送モデル	$^{226}\text{Ra}$ , $^{237}\text{Np}$	
(3) NRC ○ M.S. Tierney	Probability Model	岩 塩 層	自己誘発事象 外因・人為	モンテカルロ シミュレーション		(in Progress)
(4) その他 ○ B.L. Cohen	Pathway Analysis	深 部 地 層	自然の地質学的プロセス	輸送モデル	$^{90}\text{Sr}$ , $^{226}\text{Ra}$	Review of Modern Physics Vol 49, No 1, 2, 1977 <sup>17)</sup> "High-Level Radioactive Waste from Light Water Reactors"
2. J.R.C. (Ispra) ○ G. Bertozzi F. Girardi	Fault Tree	岩 塩 床	断層・隕石・地下水	輸送モデル	$^{241}\text{Am}$ , $^{243}\text{Am}$	EUR-5902EN <sup>9)</sup>
3. 西 独 ○ R. Proske	Fault Tree	岩 塩 層	浸水・サイト崩壊	輸送モデル	$^{99}\text{Tc}$ , $^{137}\text{Cs}$ , $^{241}\text{Am}$	
4. 英 国 ○ M.D. Hill P.D. Grimwood	Pathway Analysis	深 部 地 層	突発的自然現象 地質学的プロセス 処分場による悪影響 人為作用	地下水による輸送の 数学モデル	$^{99}\text{Tc}$ $^{226}\text{Ra}$ $^{237}\text{Np}$	NRPB-R69 <sup>10)</sup> (1978, 2)
5. スウェーデン ○ Nuclear Fuel Safety Group	Probability Model	花 崗 岩 等	浸 水	拡散モデル	$^{99}\text{Tc}$ , $^{226}\text{Ra}$ $^{233}\text{U}$ , $^{237}\text{Np}$	
6. カ ナ ダ		花崗岩(ブルトン) 岩 塩 層				AECL-6314 <sup>42)</sup> 使用済燃料の処分が研究の中心である。
7. ス イ ス ○ P. Bützer	Pathway Method	深 部 地 層	浸 水	地下水による拡散の 数学モデル		

- (iii) 入力パラメータの不確定性を評価する。
- (iv) 各種の発生確率の低い、放出シナリオに関する検討を行う。

#### (研究内容)

研究のモデルサイトとしてNew Mexico 南東部の Los Medaños 地区が選ばれた。この地区はSalado 川流域の二畳紀(2億5千年前)の安定した岩塩床を有しており、エネルギー省(DOE)のWaste Isolation Pilot Plant(WIPP)計画が現在進められている。この地区を図2.1.に示すような領域に区分し、Receptorとして、大気、地表、地表水、地下水の4つを選び、放射性廃棄物の放出シナリオとその発生頻度をフォールト ツリーを用いて解析した。環境へのインパクトの計算には

- (i) 放出モデル(フォールト ツリー モデル)
- (ii) 環境モデル(核種の移動・蓄積および人間の放射線被曝のモデル)
- (iii) 経済的モデル

の3つのモデルとその各々の計算コード(AMRAW<sup>\*</sup>)が用いられた。このモデルと計算コードにより、前記目的の各項目について、検討が行われた。

検討の対象とした外乱事象(disturbance events)は、次の4つであり、採掘等の人為的な事象は含まれていない。

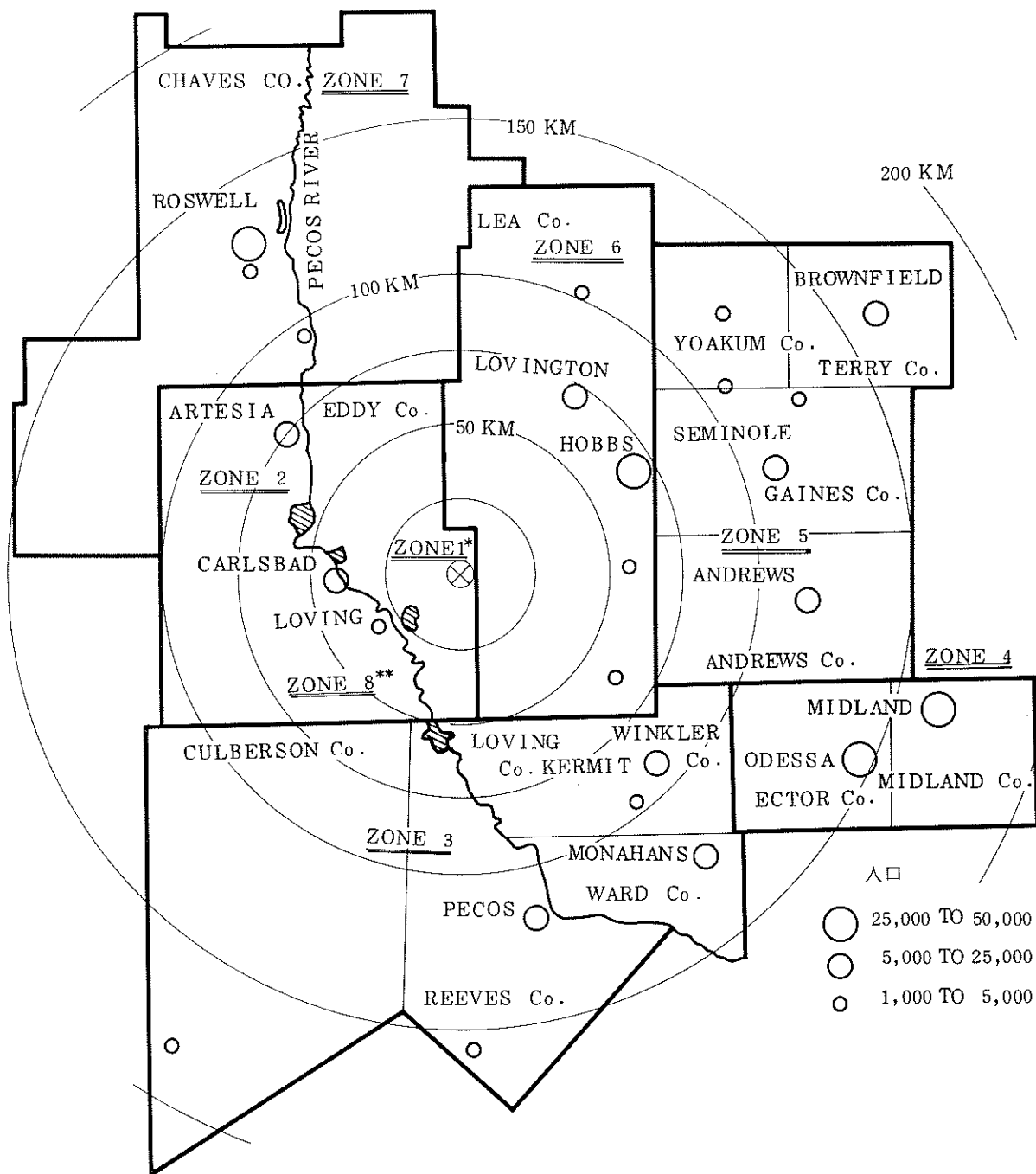
- (i) 巨大地震
- (ii) 火山噴火
- (iii) 隕石衝撃
- (iv) 表層部の侵蝕

#### (主要な研究成果)

- (i) 地下水への放出による被曝は、地下水の移動速度が遅いことと収着効果(Sorption effect)によって発生に時間がかかり、
- (iii) 約70万年後迄は、特定の限られた地区での線量率は火山の活動に支配され、それ以降では地下水による環境への放出が重要な因子となる。

---

\* AMRAW: Assessment Method for Radioactive Waste



\* Zone 1 is a 5 km radius area centered on the Los Medaños site.

\*\* Zone 8 is a 4 km corridor centered on the Pecos River in Eddy County

図 2.1 研究の対象範囲と Zone の設定<sup>36)</sup>



- (iii) 基本ケースでは、100万年間の累積線量が  $6.9 \times 10^5$  man-rem と計算された。
- (iv) 表層水が飲料水の大部分を占める（たとえば25%以上の）場合には、これが最も重要な要素となる。表層水の汚染は初期に大気が汚染される結果であることが多い。
- (v) 最も重要な放射性核種は、経過時間によって変るが、100年以降では線量のほとんどがアクチノイドとその娘核種およびテクネチウム-99によるものである。

### 2.1.2 エネルギー省 (DOE)

DOEの前身であるエネルギー研究開発局 (ERDA) は1976年2月に「軍用・商用核廃棄物管理に関する大規模プログラム」を開始し、これに基づいて、National Wastes Terminal Storage Program (NWT S 計画) が作られた。このNWT S 計画は、当初 Union Carbide Corporation の OWI (the Office of Waste Isolation) により運営されていたが、これは1978年6月に解散した。その後、この計画は Battele Columbus 研究所に引継がれ、ONWI (the Office of Nuclear Waste Isolation) が設立された。このNWT S 計画のうち、リスク解析は「廃棄物隔離の安全性評価プログラム (WISAP) 」において研究され、Battele Pacific Northwest Laboratories が担当している。<sup>30)</sup>

#### (研究目的)

WISAPの目的は、高レベル廃棄物の地層処分における長期安全性を評価するために必要なデータを収集し、理論の開発と実証を行うことである。そのために次の5つの作業 (Task) が設けられている。

- Task 1. …… 安全性評価の概念と理論
- Task 2. …… サイトの破損事象の解析
- Task 3. …… 放出放射能の把握
- Task 4. …… 輸送モデルの作成
- Task 5. …… 核種の輸送データの収集

それらの関係は図2.2のとうりである。

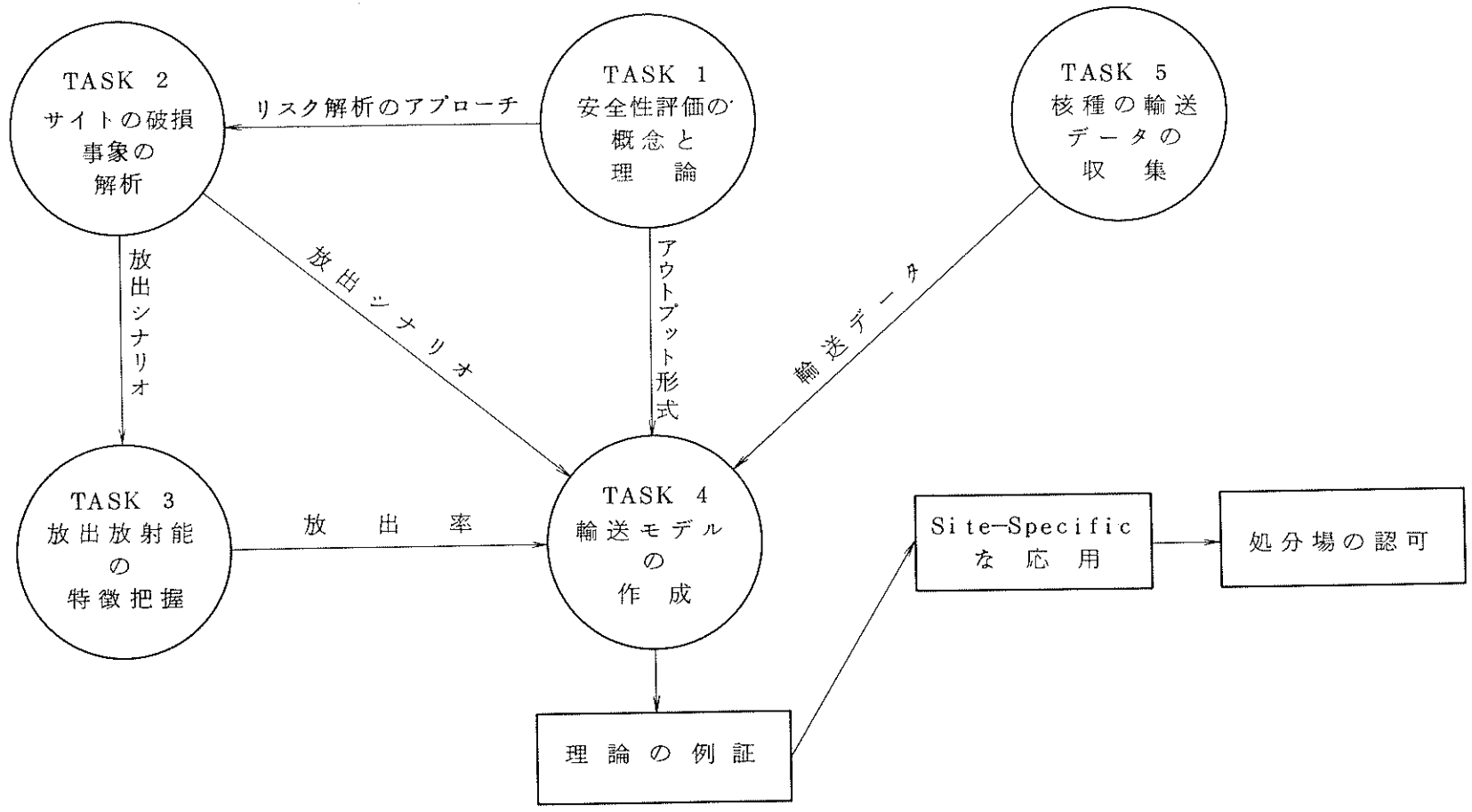


図 2.2 WISAP<sup>\*</sup>における作業の相互関係<sup>30)</sup>

(\*Waste Isolation Safety Assessment Program)

( 研究内容 )

(i) Task 1.

公衆へのリスクを示す方法として安全性評価の方法が適合するかどうかを評価するため、既に発表されている地層内隔離に関する安全性評価の概念と理論を整理し評価する。

(ii) Task 2.

サイトの破損をもたらす事象を同定し、それらの間の相互依存性を評価し、決定論的な解析と、あるいは、確率論的な解析の手法を開発する。又、サイトについて、独立事象と従属事象の両方の発生頻度を求め、サイトの候補地にその解析を適用してみる。

(iii) Task 3.

Task 2.にて同定された可能性のあるサイトの破損モードにおける放射能の放出率を決定する。

(iv) Task 4.

サイトから人間環境への輸送プロセスの一貫したモデリングを行い、候補サイトに適用してみる。

(v) Task 5.

放射性核種の地中内輸送を記述するのに必要な定量的データを収集・開発する。

( 主要な研究成果 )

この研究は現在進行中であり、未だ報告書は発表されていない。

2.1.3. 原子力規制委員会 (NRC)

NRCは、深部地層内へ、放射性廃棄物を処分することによる長期リスクの評価法の研究をSandia LaboratoriesのM.S.Tierneyのグループに委託している。この研究報告は、1977年7月に第一次案がレビューされることになっていたが、現在の所発表されていない模様である。

Tierneyによる解析は、サイトの破損によるリスクを表わす先験確率のデータおよび経験はほとんど存在しないという認識に基づいて始められている。リスク発生事象を「自己誘発事象による破壊」と「外因による破壊」および「サボタージュによる破壊」の3つに分

け、特に自己誘発事象による破壊については、廃棄物-岩体、掘削-岩体の相互作用をモンテカルロシミュレーションによって検討することにより、その破壊モードの頻度分布が解るであろうと考えている。

## 2.2. 欧州共同体 (EC)

欧州共同体委員会 (CEC) は放射性廃棄物管理の研究計画を立て、廃棄物処分問題の時機を得た解決を促進することを目的とし、各国 (イギリス・西ドイツ・フランス・イタリア・ベルギー・オランダ) と共同して研究を行っている<sup>6)</sup>。この作業は原子力産業側の必要性和廃棄物の放射能が危険なレベルにある期間人間と環境を確実に保護する必要性に基づいて進められている。現在、特に $\alpha$ 放射体を含む廃棄物の問題に取り組んでいる。この目的を達成するために、Ispraの共同研究センター (JRC) における研究に加えていくつかの委託研究も行っている。CECの放射性廃棄物管理研究計画の概要を図2.3に示す。JRCでは、理論的モデリング活動と、モデルの開発・立証に関する実験を行い、また一連の委託研究は、研究・科学・教育の一般理事会によって調整され最適化された放射性廃棄物管理の方策の開発を促進するようにしている。CECが現在これらの研究に使っている予算は約1500万\$ /年であり、その内訳はJRCに約600万\$ /年、委託研究に約860万\$ /年 (CECの分担は全体の40%) である。

研究は以下の3段階に分けられており、一部重複しながら危険度評価モデルの開発を目ざしている。

Phase 1 : 一般化されたモデルの開発

Phase 2 : 実験サイトにおけるモデルの適応性の確認

Phase 3 : 特定のサイトについてのモデルの開発

それぞれJRCが中心となって実施しているが、Phase 2 では加盟各国の国立研究所とも共同している。

研究のステップを図2.4に示す。Phase 1 では1974~1976年にかけて、第1のモデルで4つの障壁を考え、確率論的評価 (フォールトツリー解析) と決定論的評価 (経路解析) により検討を行っている。ここでの4つの障壁は次のとおりである。

○地質学的分離押し (Geological Segregation)

- 処理廃棄物の安定性 ( Stability of Waste Conditioning )
- 地球化学的保持 ( Geochemical Retention )
- 生物圏への分配 ( Biosphere Distribution )

このうち、地質学的分離押しにフォールト ツリー解析を用い、その他には経路解析を用いている。

JRCの参加国で実施されている各サイトでの各種の研究により、地質学および地球化学のデータが収集され、上記Phase 2のモデルの適応性の確認が促進されることが期待されている。

以下に、JRCでの研究概要を示す。

#### 2.2.1. 共同研究センター ( JRC )

JRCにおいては、G. Bertozzi、やEuratomのF. Girardiによって岩塩層処分を対象としてフォールト ツリー解析が行われている<sup>8),9)</sup>。また、ベルギーのBoom粘土層に対してのモデル化、Site - Specificなフォールト ツリーの開発が行われている。岩塩層については、付録A - 2.3に示すように、岩塩床 ( Bedded Salt ) と岩塩ドーム ( Salt Dome ) のそれぞれについてフォールト ツリーを作成している。

##### ( 研究目的 )

地層処分場からの放射性物質の放出モードと放出確率を調べ、人間環境へのアクチニド系の放射性核種のありそうな経路、および人間の被曝線量率を求めることである。

解析手法としてフォールト ツリーと " Barrier Approach " を用いて、定量的な評価を行うことを目的としている。

##### ( 研究内容 )

(i) Barrier Approachでは、次の4つを設定し、各障壁について定量的な評価を行う。

- 地質学的な分離押し
- 処理廃棄物の安定性
- 深部土壌中でのアクチニドの保持
- 環境における識別因子 ( 環境におけるアクチニドの動き )

- (ii) 廃棄物のインベントリーの評価
- (iii) 障壁破壊のパラメータの評価
- (iv) 人間の被曝線量の評価

(主要な研究結果)

図 2.5. に核種の放出事象のうち相対的に重要なものの経時変化が示される。これから次の事が結論される。

- (i) 処分場閉鎖後、約 1 万年迄は「人間の活動による発掘」が処分場の破損に最も重要な影響をもつ。
- (ii) 処分場閉鎖後、1 万年以降では、「断層活動」が処分場の安全性を損うであろう最も重要な事象である。

人間への被曝評価は、設定条件を悲観的にとったために、あまり意味のないものになったとしている。なお、この計算に用いたフォールト ツリーを付録 A-2 に示す。

		1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	
CEC 放射性廃 棄物管理 研究計画	共同研究 センター (JRC)	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">アクチニドの化学分離と核変換</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">地層処分の長期的危険度評価</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 5px;">高温冶金法による再処理</div>				<div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">アクチニドの化学分離と核変換</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">地層処分の長期的危険度評価</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 5px;">原子炉建造物の解体</div>				
		30人/年				50人/年 予算 6 Mua / year *				
	委託研究	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 10px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">放射性廃棄物の地層処分</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 5px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">高放射性廃棄物の処理</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 5px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">可燃性 (Combustible) Pu 廃棄物の処理</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 5px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">その他</div>								
		予算 8.6 Mua / year * (CEC分担 40%)								

図 2.3 CECの放射性廃棄物管理研究計画<sup>6)</sup>

\* Mua = Million of European Units of Accounts

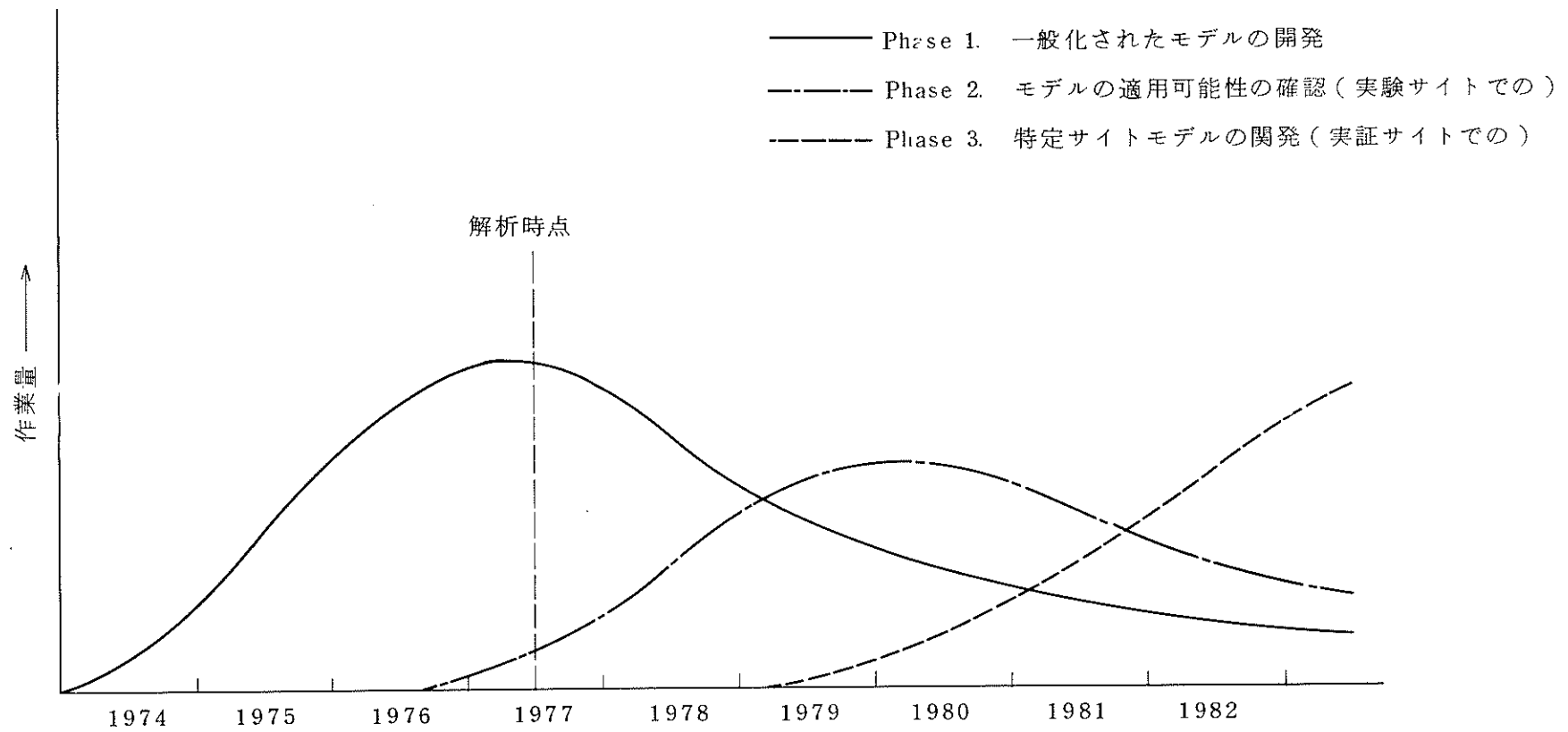


図 2.4 JRC での地層処分 の長期安全性の解析 (モデル研究と実験的立証)<sup>9)</sup>



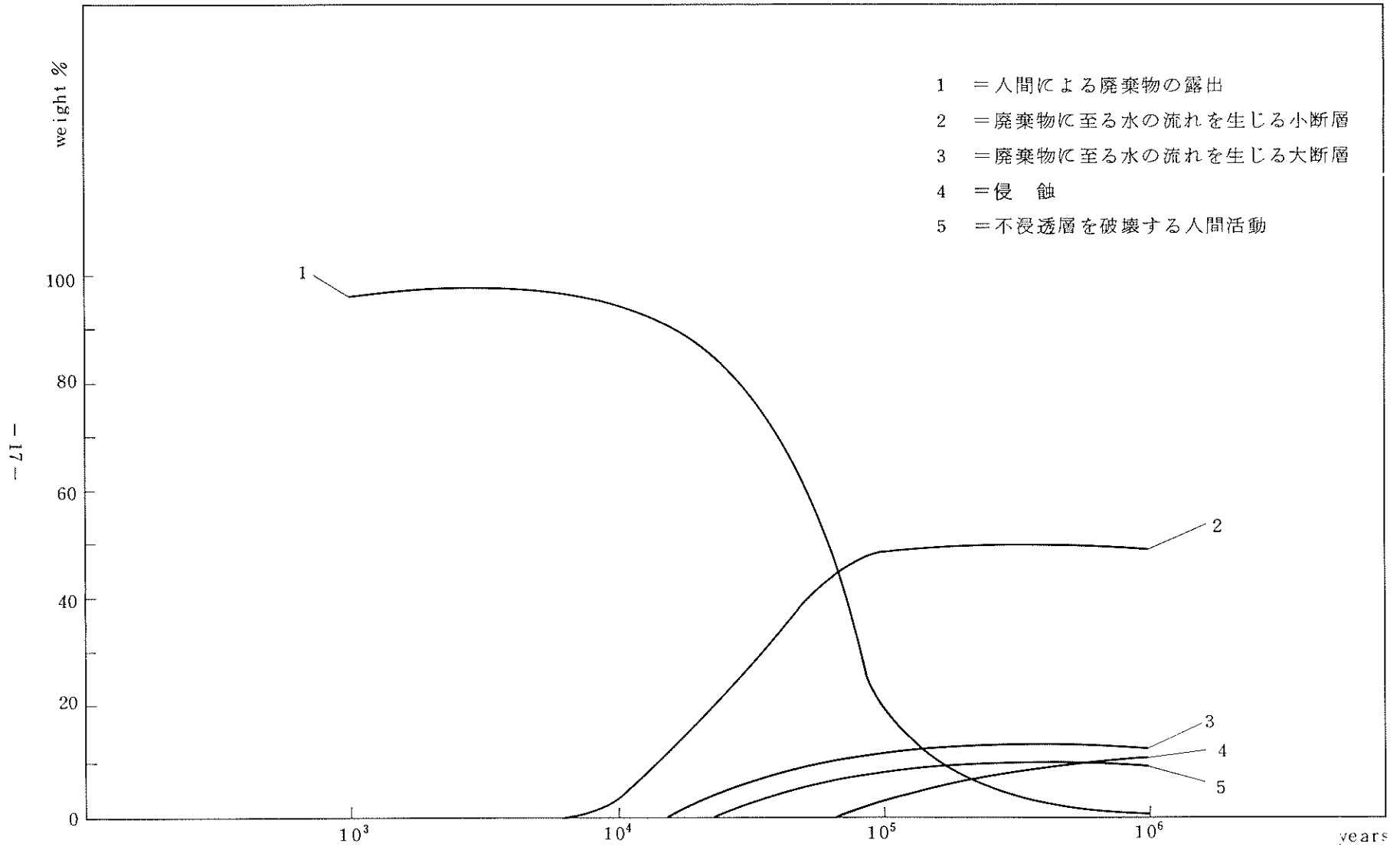


図 2.5 岩塩床における重要な破損原因の相対的経時変化<sup>9)</sup>

## 2.2.2. 西ドイツ

・西ドイツでは、放射線・環境研究所（GSF）のR. Proske\*のグループがリスク解析の方法論についての研究を行ってきた。<sup>6),11)~13)</sup>

### （研究目的）

対象とするシステム，特に貯蔵所の地質学のおよび鉱山システムに対するリスク解析手法の適合性をテストし，そのようなシステムのリスクについてのステートメントを得ることを目的としている。

### （研究内容）

リスク解析手法として，フォールト ツリーを用い，放射性廃棄物の処分期間を3段階に分け，それぞれにフォールト ツリーとモデルサイトでの放射性核種の放出モデルを開発している。

Phase 1： 使用段階

Phase 2： 1000年段階

Phase 3： 100万年段階

フォールト ツリーの基本事象の発生確率については，概算を行うにとどめている。確率計算には  $P = 1 - e^{-\lambda t}$  ( $\lambda$ : 故障率) という時間関数を用いており，また100万年段階では計算ができないと判断している。

放射性核種の放出モデルとしては，

- (1) 地下処分場の安定性を維持しながら内部に浸水する。
- (2) 地下処分場が崩壊して浸水する。

の2つのモデルを考え，岩塩ドームの境界迄の核種の放出量をリスクとして計算しようとしている。

---

\* 現在は，German Company for Reprocessing of Nuclear Fuel (DWK) に移籍し，核燃料サイクルセンター（NEZ）にて廃棄物の処理・処分のマネージメントを行っている。GSFにおいては，R. Wallmüller 等が方法論の研究を継続している。

### ( 主要な研究結果 )

研究報告は未発表の様式であり、現状報告が一部に発表されている。<sup>11)~13)</sup>そこでは次の事項が結論として述べられている。

岩塩層の処分場の安全性を向上させるためには、

- (1) 処分場の使用段階で、地中内作業をできるだけ少なくすること。
- (2) 使用段階で、水が浸入するのを防ぐために、シャフトにライニングを行うこと。
- (3) 使用後は坑道・シャフトをシールし再充填を行うこと。

### 2.2.3. イギリス

イギリスにおける地層処分の研究としては、イギリス放射線防護委員会 (NRPB) の P. D. Grimwood, M. D. Hill 等による研究が知られている。彼らは、リスク評価を行ううえで地層の包蔵能力喪失のメカニズムを4つに分類し、決定論的手法 ( Pathway Analysis ) を用いた。包蔵能力喪失のメカニズムの分類は、以下の4グループである。

Group 1 ……急速な自然現象

隕石, 火山

Group 2 ……地質学的自然現象とプロセス

地震・断層, 侵蝕, 気候変化, 隆起・沈降

Group 3 ……処分場に起因する地質学的現象とプロセス

熱影響, 放射線損傷, 機械的応力

Group 4 ……人間活動

核戦争, サボタージュ, 採掘, その他

これらの各事象と浸出によって放出される核種の地質内輸送モデルを用いて人間への被曝を検討している。

### 2.3. その他

#### 1) スウェーデン

スウェーデンは地層処分に關するリスク解析をそれほど熱心に行っておらず、むしろサイトモデルの検討、処分技術の開発、およびサイトの選定等、現実にこれを実現する方向での研究開発を急いでいる。1977年7月に米国の Lawrence Berkeley Labora-

tory と花崗岩体の挙動についての共同研究が開始され、基礎的なデータの収集に努めている<sup>38)</sup>。

スウェーデンで行われている各種研究（処分技術、キャニスターの構造、岩体の強度など）はスウェーデンが処分場として花崗岩体を対象としているので、われわれにとって今後是非とも必要とされるデータを与えてくれるものと思われる。

## 2) カナダ

カナダの地層処分は、岩塩層を対象としていたが、花崗岩（ブルトン）への処分に移行している。リスク解析の分析では、処分場からの環境への影響と安全性の評価手法の開発が行われている。

カナダの研究における放射性核種放出の起因事象は次の3つに分類されている。

- (i) 地質学的外乱事象……………隕石，氷河，噴火，地震
- (ii) 熱または放射線によってもたらされる構造変化……………熱・放射線による岩体の破損
- (iii) 人間による破損……………核戦争・サボタージュ

現在の所、検討結果についてはよく解っていない。なお、カナダの放射性廃棄物の地層処分に関する実証プログラムの概要を図 2.6 に示す。

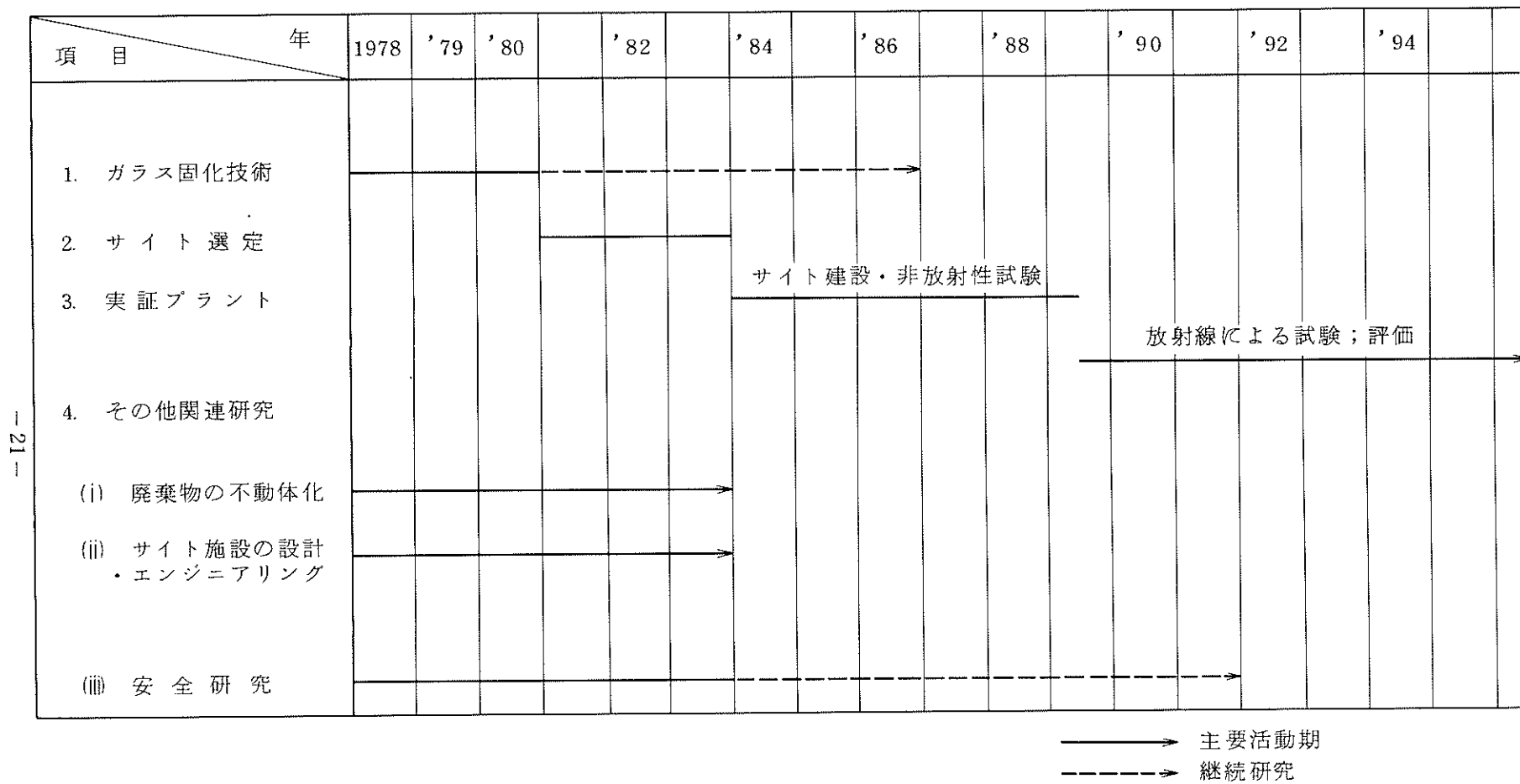


図 2.6 カナダの放射性廃棄物地層処分計画<sup>42)</sup>

### 3) ス イ ス

スイスでの地層処分のリスク解析の現状は情報が少なくよく解っていない。

リスク解析の研究例としては、Nuclear Safety Division の P. Bützer 氏と S. Chakraborty 氏が、地下水による拡散モデルを用いて解析を行っているものがある<sup>6)</sup>。この研究は、次のような目的で行われた。

すなわち、「廃棄物の浸出および地層を浸透する核種の移動（拡散）のパラメータを単純な数学モデルによって表わし、人間へのリスクを試算する。」彼らによって作成されたリスクモデルを図 2.7 に示す。

この研究の結果は、次のようにまとめられている。

#### ① 処分場の条件としては

- (i) 高い分配係数をもった地層。
- (ii) 地下水の流速が小さいこと。

の 2 つが考えられる。

② 流体力学の理論の有効性によって解析が限定されるので今後検討する必要がある。

③ 実際には、等方性が期待できない。また地下水の流れは地質構造によって選択的な経路がとられてしまうので、そうした非均質性について今後検討が必要である。

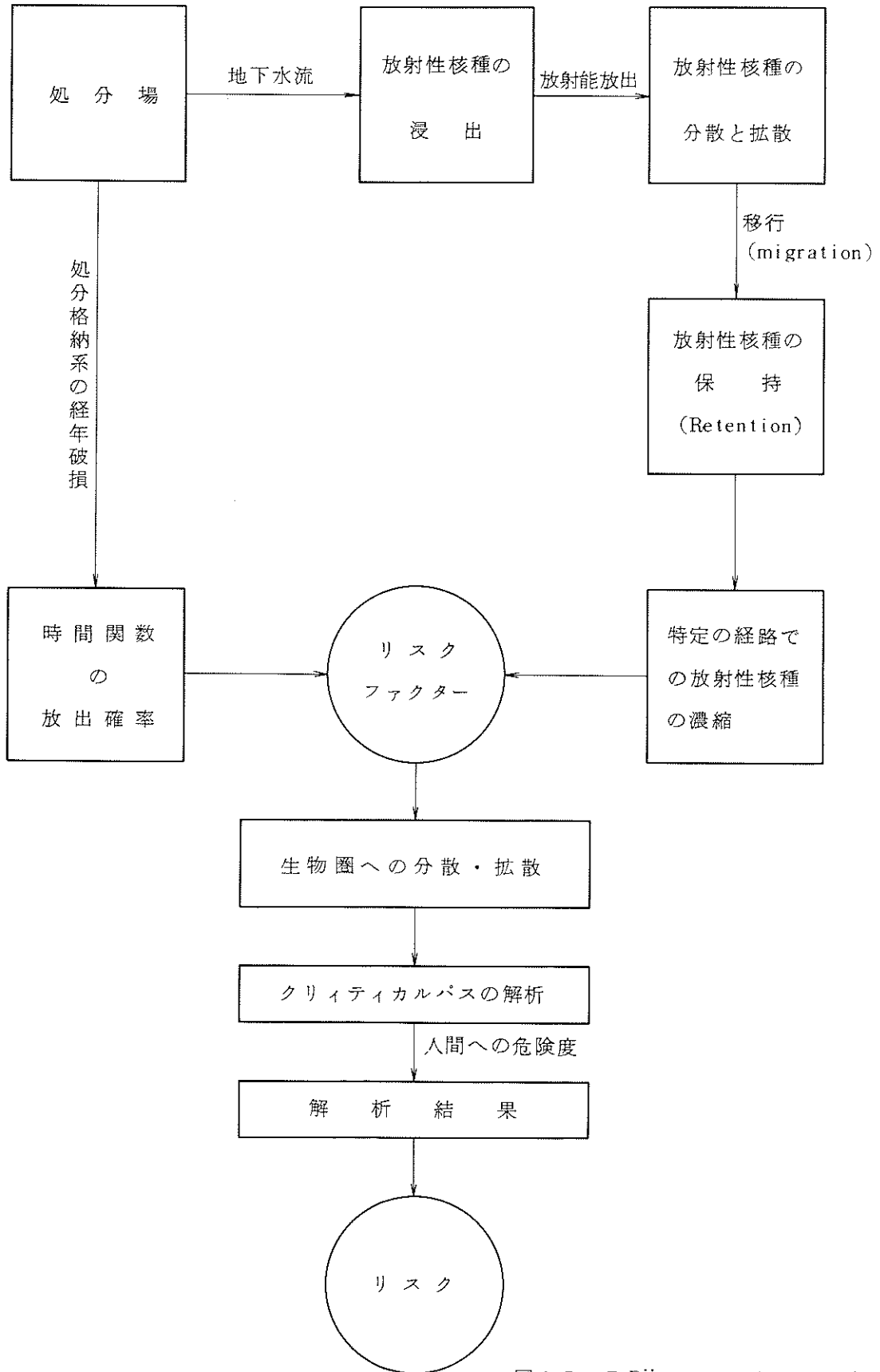


図 2.7 P.Bützerへのリスクモデル<sup>6)</sup>

## 2.4. 若干の検討

以上のレビューにより、次のことがわかる。

- (1) 各国とも、高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する研究開発の一環として、処分に伴うリスクの解析または、その方法の研究を行っている。
- (2) リスク解析を行うためには以下の4つの作業がある。
  - (i) 放射性物質放出の障壁を決め、
  - (ii) 障壁の破損の可能性を求め、
  - (iii) 障壁（破損の場合も含む）を通じて放射性物質が放出される経路を決めて、その経路による放出量を求め、
  - (iv) 人へのリスクを求めるこれら4つの課題のそれぞれに方法・手段を用意する必要がある。
- (3) 上記の4つの方法の開発要求のうち、どこに力点をおくかは、国によってちがうようである。
- (4) 現在のところ、各種の処分場の特性の違いがリスクにどのように反映されるかについて議論ができるまでには至っていない。
- (5) 研究は一般的に行うよりは、サイトを特定して行う方がよく、またそうしないとデータ、物理モデルの作成などの点で現実的になるのが遅れてしまうと考えられている。



### 3. リスク解析の方法論

#### 3.1 はじめに

「人間の活動にリスクを伴わないものはない」とはよく言われることであるが、それでは、「リスクとは何か」と問うと、その答は、あまり明確にならない。なぜなら、時代とともに、あるいは環境によって、人が、害を感じる対象は変化しているからである。しかし、われわれが、何らかの活動をしようとする場合、その妥当性を人の判断にゆだねるために、そのリスクを示さねばならない。そこで、リスクの構成要素を考えてみると、少なくとも、指定された害の大きさとその発生頻度の情報が必要であることがわかる。すなわち、リスクRは、次の式で表わされる。

$$R = f ( q_1 , q_2 , q_3 , \dots q_i , \dots ; P_1 , P_2 , P_3 \dots P_i , \dots )$$

ここで、例えば  $q_i$  ,  $P_i = i$  種の害の大きさ（例えば、火災による人身、財産の損失）とその発生頻度（例えば、毎年の火災の発生回数）

関数  $f$  の最も簡単な形は被害の期待値であり、次式で与えられる。

$$R = f ( q_1 , q_2 , \dots q_i , \dots ; P_1 , P_2 , \dots P_i , \dots ) = \sum_{i=1} P_i \times q_i$$

あるいは、

$$R = \sum_{i=1} R_i$$

但し、 $R_i = P_i \times q_i$

=  $i$  種の害のリスク（例えば、前述のように、毎年火災による人身、財産の損失）

ここで、 $P_i$  ,  $q_i$  を求めるには、すでに事故経験の多い活動の場合には経験的に、 $P_i$  ,  $q_i$  を求めることは、それほど困難ではないが、特に高レベル放射性廃棄物固化体の地中処分施設の場合には実際の経験が全くないので、積極的に対象システムの故障・異常の発生を仮定して、どんな事故がどの程度発生するかを検討することであり、このための方法論が、一般に、確率的な安全解析あるいはリスク解析（法）と呼ばれるものである。

ところで、もし、そうした方法で、上述の  $P_i$  ,  $q_i$  ( $i=1, 2, \dots$ ) が求められるとしたら、どんな利益があるか、まず、第一に考えられるのは、当初の目的にあるように、システムの安全性の判断である。これは、原子力分野でいえば許認可、規制業務に有力な情報を提

供することになる。つぎに考えられるのは、各設計方式の比較である。たとえば、放射性廃棄物の発生源としての各核燃料サイクル（例えば、ウラン・サイクル、プルトニウム・サイクル、トリウム・サイクル）の放射性廃棄物排出量の比較とか、放射性廃棄物の最終処分方式、例えば、陸地の地中処分方式、海洋底の地中処分方式、宇宙処分方式などの相互比較という研究にまで、そして1つのシステム設計の中の部分システムの設計代替案（例えば、キャニスタの設計案）の比較検討などに使えよう。

第3に、こうして設計を行ってみると、 $P_i$ なり $q_i$ の不確定性を支配する、あるいは大きさを支配する要素が、例えば感度解析を通じて明らかになろう。そうすると、どんな研究開発を行うことが、安全性向上に必要かつ有効か、ということが明らかになることになる。

本章は、こうしたリスク解析の方法論について述べたものである。

### 3.2 リスク解析の目的

作業を行なうには、何によらず、目的が必要であるが、特に、こうしたソフトの仕事においては、何のために解析・評価を行うかを明確に定義することが必要である。過去に行われた作業では、次のような目的が掲げられている。

例1. WASH-1400<sup>5)</sup>の場合

- a 原子炉事故による公衆のリスクの定量的評価を行う。
- b 保守的な解析ではなく、現実的な解析を行う。
- c 安全評価のための方法論を開発し、その限界を理解する。
- d 将来における安全性研究の方向性を定める。

例2. AIPA研究（GA-A13617）の場合

- a HTGRの安全研究開発計画に関するガイドを得る。

例3. BNWL-1900<sup>35)</sup>の場合

- a 各高レベル放射性廃棄物最終処分法の技術的実現可能性に関する研究を行う。
- b リスク解析を行うための方法論と安全性情報を求める。
- c 高レベル放射性廃棄物の最終処分における政治的、社会的及び環境的な影響を調査する。
- d 各最終処分方式の長所と短所を調べる。
- e 研究開発の方向性を定める。

この目的により、解析・評価の方針が変わってくるのは当然である。たとえば、(例1)の場合には、実用運転の段階にはいつている商業用軽水炉についての安全性研究であるので、リスク解析に際し、リスクの寄与が似ている初期事象のうちの一つを選んで、ていねいに解析し、他は簡単にファクターで考慮するというアプローチでもよいが、(例2)の場合には、まだ研究開発の段階にすぎない高温ガス炉(HTR)についての安全性研究であるので、可能性のある初期事象を、すべて選んで、等しいウェイトで解析していくという方針が必要になる。また、(例3)の場合には、使用期間中に実際のテストや実証を行うことのできない高レベル放射性廃棄物の最終処分についての安全性研究であるので、可能性のある初期事象をすべて選んで、等しいウェイトで解析していくばかりでなく、超長期にわたる不確定性の評価を重点におくべきであるという方針が重要である。

### 3.3 リスク解析の手法(地中処分の場合)

#### 3.3.1 リスク解析の内容

リスク解析では、対象システムについて、どのような事象が発生し、その結果、何が起りそれはどの程度の頻度のことなのかを知ることが必要である。その手順は、たとえば、図3.1に示される。そこには、

- (i) いかにか初期事象( initiating events )を定めるか、
- (ii) いかにか事故シーケンス(あるいは事故シナリオ)を定めるか、
- (iii) いかにか各事故シーケンスの発生頻度を算定するか、そして
- (iv) いかにか各事故シーケンスによる被害を計算するか、

の4つのタスクが存在する。これらのタスクは、それぞれ無限に詳しく行なうことが、原理的には考えられるが、実際には、発生することがそれ自体まれな、あるいは、どう考えても被害の起りそうもない初期事象やシナリオを無視していくことが作業進行上必要である。その作業を行うのに必要な判断の基礎となるものは、上記タスクに相互依存するものである。ここでは、それは自明とするが、特に必要と思われるところでは、その点を注意することとして、以下に、それぞれのタスクの重要点を概説する。

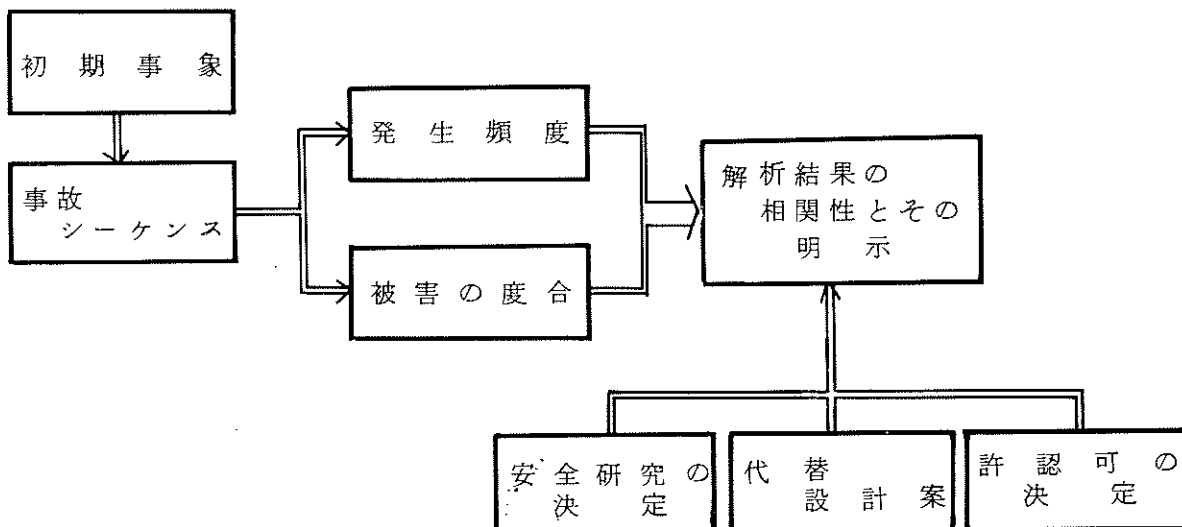


図 3.1 リスク解析のフロー・チャート

### 3.3.2 各タスクの内容（地中処分の場合）

#### (1) 初期事象の選定

- (i) 放射性核種発生源の同定
- (ii) 放射性核種の環境への輸送（放出）を阻止するあらゆる障壁（barriers）の性質の同定
- (iii) フォールトツリーの作成により、各輸送バリアの破壊モードを同定し、これを招く初期事象を選定する。

#### (2) 事故シーケンスの同定

- (i) 地中処分システムの分析
- (ii) 初期事象による地中処分システムの動的ふるまい（dynamic behavior）を想定し、検討する
- (iii) イベントツリー（またはフォールトツリー）の作成により、事故シーケンスの同定を行う

#### (3) 各事故シーケンスの発生頻度の算定

- (i) 各初期事象の確率モデルの作成
- (ii) (i)の確率モデルの不確定性の同定
- (iii) 各従属事象の発生確率についての検討

(v) イベント ツリー／フォールト ツリーの手法で、各事故シーケンスの発生確率を算定し、その不確定性を感度解析手法で同定する。

(4) 各事故シーケンスによる被害の計算

- (i) 地中処分システムの分析
- (ii) 放射性核種の地中における輸送モデルの作成
- (iii) 放射性核種の生物環境における輸送モデルの作成（気象モデルを含む）
- (iv) 放射性核種の人間への影響モデルの作成（人口動態モデルを含む）
- (v) 不確定性の評価

### 3.3.3 フォールト ツリーとイベント ツリーについて

1) 望ましくない事象（undesired event, Top event）とはリスク解析に際して、対象とする施設が害を及ぼすとして、その様子、つまり、当該施設に予想される望ましくない事象を選定する必要がある。これは1つのこともあり、複数のこともある。

例1. 原子力施設の場合

放射性物質の放出による公衆災害の発生

例2. 飛行機の安全評価の場合

運行中に人命が失われる, etc .

ところで、実際には、害の発生までに、いくつかのかなり独立したプロセスが存在することが多い。特に、高レベル放射性廃棄物固化体の地中処分施設にあっては、放射性核種が貯蔵施設から放出されること、これが地質障壁（geological barriers）を通過して地上に放出されること、人がそれによって害をうけること、の4つのプロセスである。つまり、イベント ツリーより表わせれば、図3.2となり、フォールト ツリーで表わせれば図3.3のようになる。

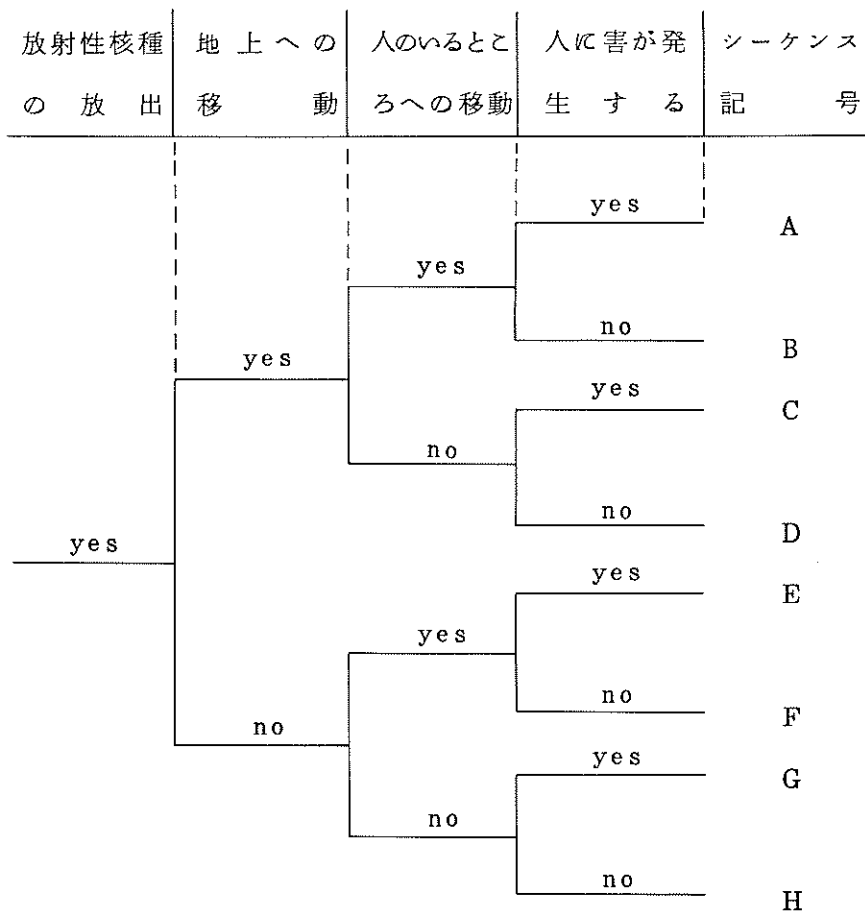


図 3.2 地中処分により人に害の発生するプロセスの イベント ツリー

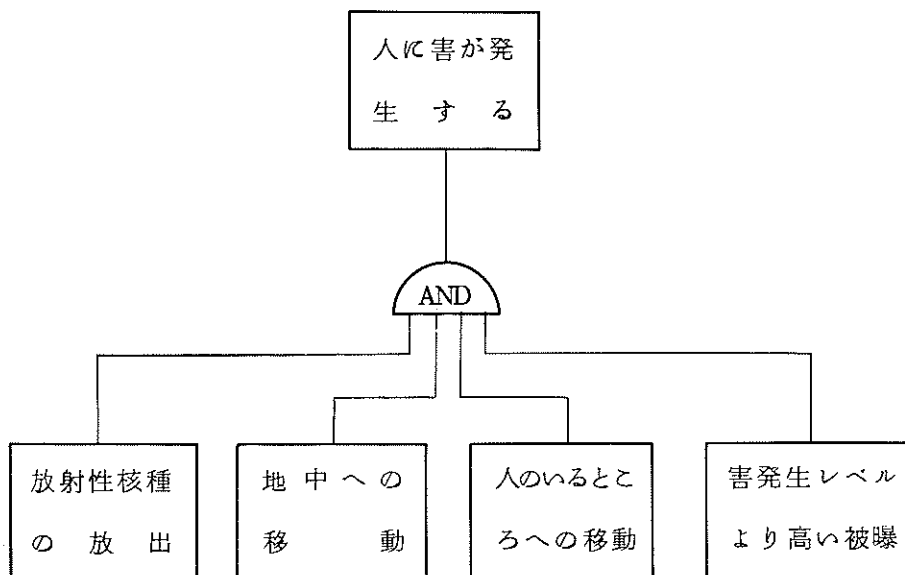


図 3.3 地中処分により人に害の発生するプロセスの フォールト ツリー

そこで、このように望ましくない事象を分析して、当該施設にかかわることとその外部のことを分離しておく必要がある。

ここで、上に示したフォールト ツリーとイベント ツリーについて説明しておく。これらの手法は、初期事象と望ましくない事象を結ぶ論理ツリーである。実際のシステムに起こることがらを記述する場合、一般には、その状態を表わす量も無数なら、その量のとり値も無数にあるのであるが、これを限られたシナリオにまとめたいとすれば、代表的な事象、あるいは状態を選定し、その組合せとして、望ましくない事象に至るシナリオをつくり出すことが考えられる。フォールト ツリーやイベント ツリーは、これを組織的に実行する手段である。

## 2) フォールト ツリーについて

フォールトツリーは、上に述べた論理ツリーの一種であり、つぎの手順に従ってつくられるものである。

(i) 望ましくない事象の定義

(ii) (i)に定義された望ましくない事象を発生させる直接のプロセス・原因事象を発見する。

(iii) (ii)に見出された原因事象の直接の原因となる事象を再び発見する。

(iv) このように順次に原因の追求を進めていくと、システム要素の故障が原因事象に現われてくる。システムの要素の故障は、それ自体のランダムな故障と使用条件や環境条件が、使用限界を越えてしまうことによる故障、そして、入力に故障している場合の3つの原因に分類される。

(v) それぞれの原因事象について、その発生確率が一般的に入手可能になったところで作業を打切る。こうした事象を基本事象 (basic events) という。

(vi) それぞれの上位事象と原因事象の関係は、以下のいずれかとする。

(a) 原因事象のどれか1つが発生すれば、上位事象が発生する。このとき、ORの論理ゲートを使用する。(図3.4(a)のように)

(b) いくつかの原因事象が同時に発生したときに、上位事象が発生する。このとき、ANDの論理ゲートを使用する。(図3.4(b)のように)

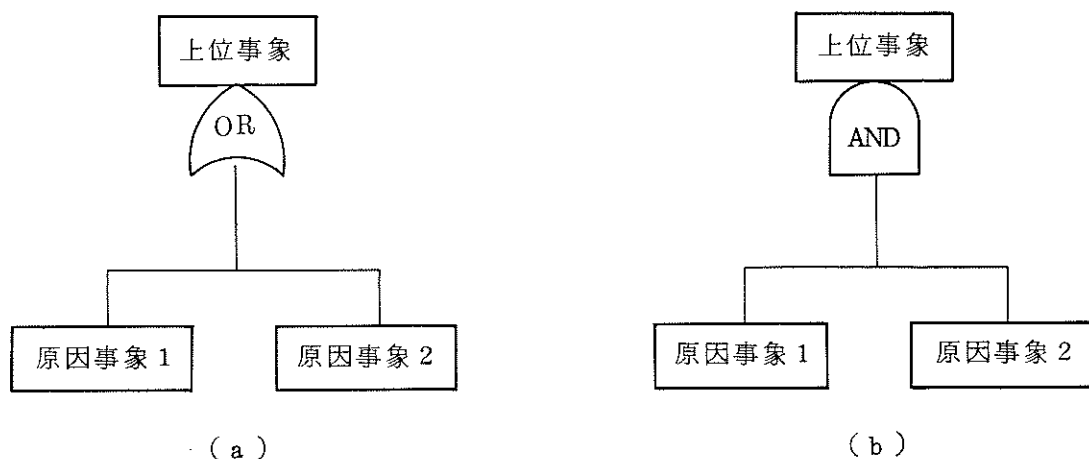


図 3.4 フォールト ツリーに使われる論理ゲート；

(a) OR ゲート (b) AND ゲート

以上の手順に従って作製されたフォールト ツリーは、図 3.5 のように示される。

フォールト ツリーは、これを作製していく段階で、いわば時間をさかのぼっていく方法であり、演繹的な手法ともいわれる。このため、発見的なアプローチ (heuristic approach) であり、作製者の技術的能力に依存するところが大きい。新しい故障原因の発見につながることもありうるが、そのためには、状況に対する広い認識をもって、細心の注意を払って展開していくことが肝要である。これが使われる目的は、次のようである。

- (i) 事象解析において、事故原因を追求して、事故シナリオを得る、あるいは、理解する。
- (ii) 設計などにおいて、必要なことが、全て考慮されていることを示すのによい、あるいは、どこが重要かを示すこともできる。
- (iii) 信頼度解析における解析モデルを入手する。

フォールト ツリーから望ましくない事象 (top or undesired event) の発生するシナリオを得るには、その最小切断集合 (minimum cut set) を求める必要がある。ここで、望ましくない事象を発生させることのできる基本事象の集合を切断集合といい、切断集合のうちその部分集合がもはや切断集合にならないものを最小切断集合という。最小切断集合を求めるには、いくつかの方法が提案されているが、基本的にはフォールト ツリーにブール代数を適用して多項式に展開していくことになる。これを図 3.6 について実施してみると、⊗



をAND,  $\oplus$ をORとして,

$$P_{AFDW} = P_{PF} \oplus P_{STF}$$

ところで  $P_{STF} = P_{T1} \otimes P_{T2} \otimes P_{T3}$

$$P_{PF} = P_{TPF} \otimes P_{EPF}$$

$$= P_{TPF} \otimes (P_{EP1} \otimes P_{EP2} \oplus P_{G1} \otimes P_{G2})$$

故に  $P_{AFDW} = (P_{T1} \otimes P_{T2} \otimes P_{T3}) \oplus (P_{TPF} \otimes P_{EP1} \otimes P_{EP2})$

$$\oplus (P_{TPF} \otimes P_{G1} \otimes P_{G2})$$

よって, 最小切断集合は

$$(T1, T2, T3), (TPF, EP1, EP2), (TPF, G1, G2)$$

の3つである。つまり, 望しくない事象の発生の仕方は, これら3通りの機器故障の組合せであることがわかる。

このように, シナリオが分離されると, それぞれのシナリオの発生頻度を求めることになるが, それは, もしそれぞれのイベントが独立ならば, それらの発生確率の積になることが自明である。すなわち,  $(T1, T2, T3)$ の発生確率は,  $P_{T1} \times P_{T2} \times P_{T3}$ ,

$$(TPF, EP1, EP2) \text{ は, } P_{TPF} \times P_{EP1} \times P_{EP2},$$

$$(TPF, G1, G2) \text{ は, } P_{TPF} \times P_{G1} \times P_{G2},$$

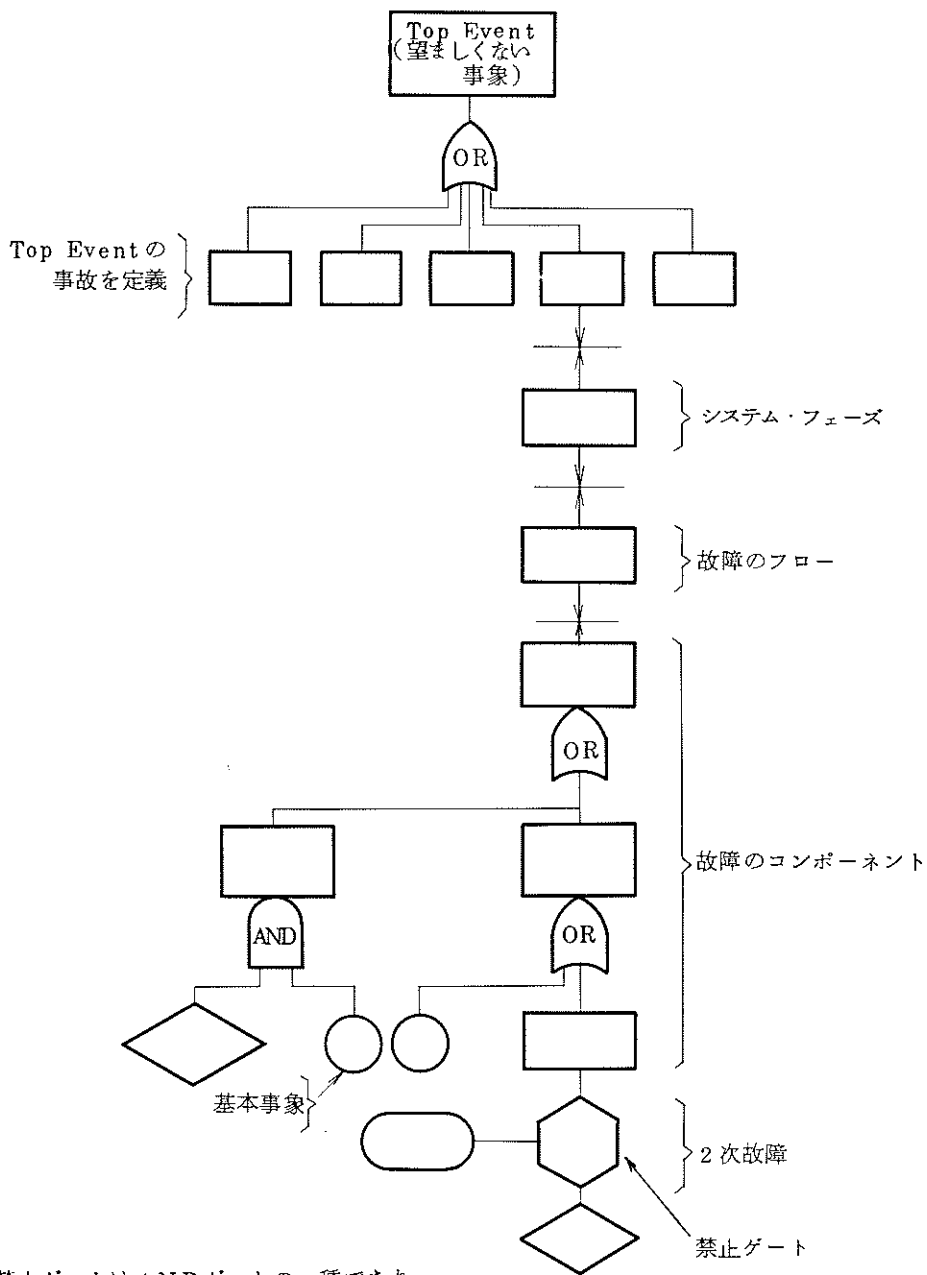
の発生確率である。そこでAFDWの発生確率は,

$$P_{AFDW} = (P_{T1} \times P_{T2} \times P_{T3}) + (P_{TPF} \times P_{G1} \times P_{G2}) + (P_{TPF} \times P_{EP1} \times P_{EP2}) - (P_{TPF} \times P_{G1} \times P_{G2} \times P_{EP1} \times P_{EP2}) \dots \dots \dots (3.1)$$

と計算すればよい。ここで, 各故障確率が小さければ, (3.1)式の最後の項は無視できる。

このような計算を行うための計算機コードには, PREP-KITT\*, MICSUP-TR EEL<sup>2)</sup>などがある。

\* Vesely W.E. and R.E.Narum, "Prep and Kitt: Computer Codes for the Automatic Evaluation of Fault Trees," Idaho Nuclear Corp., (1970)



注) 禁止ゲートはANDゲートの一種であり、  
ある条件を満たした時に通過できるゲートで  
ある。

1)  
図 3.5 フォールトツリーの作り方 (UCRL-51829より)

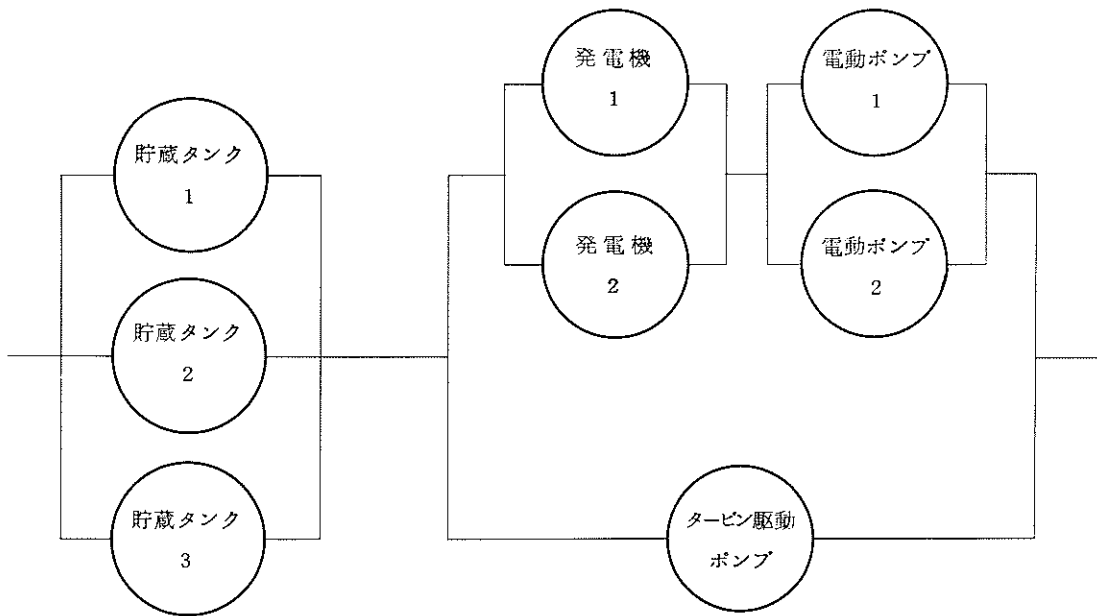


図 3.6 (a) 原子炉給水系のリスク解析用概念図

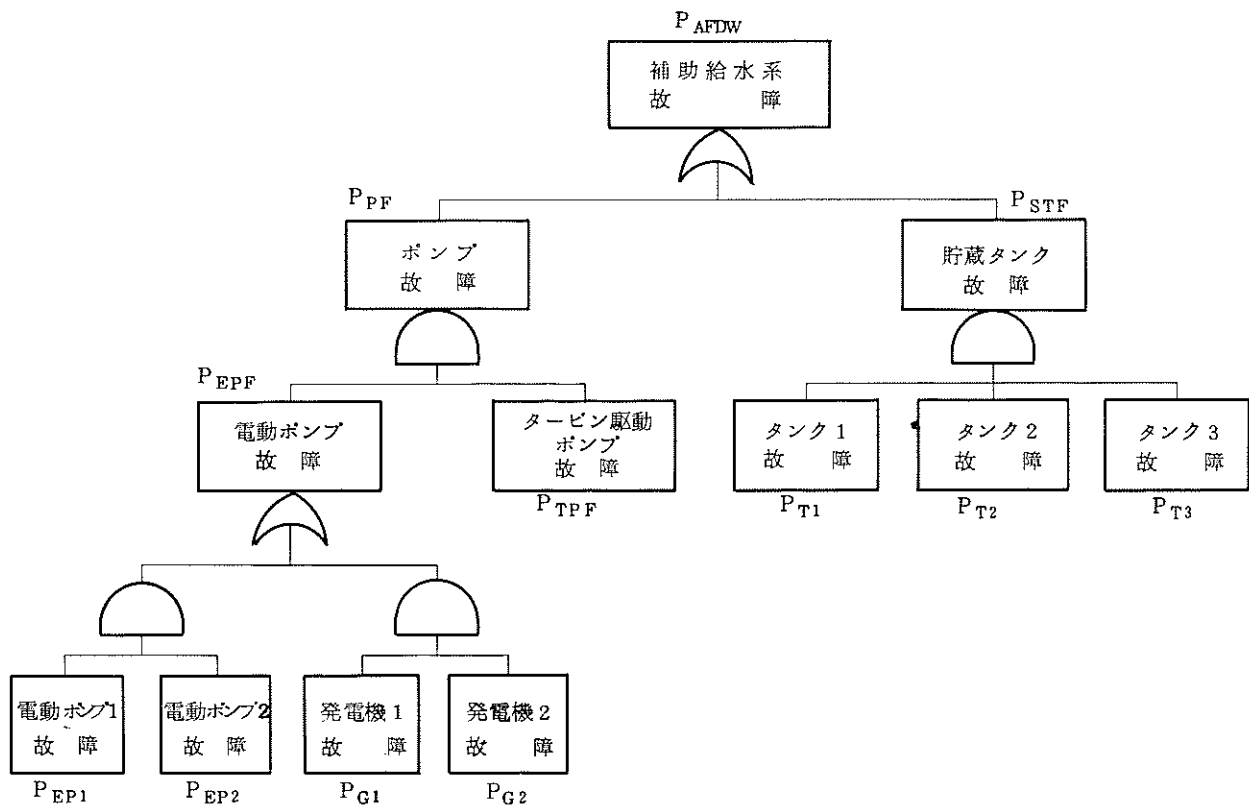


図 3.6 (b) 補助給水供給不能をTop Eventとするフォールトツリー

### 3) イベントツリーについて

イベントツリーは、最終事象に至るまでの手続、事象、決定などをイベントとし、これが発生するか否かの組合せを得る論理ツリーであり、帰納的な論理構造（原因から結果への推論法）をもつものである。たとえば、起因事象があり、そのうえで2つのイベントが考えられる場合には、図3.7のようなイベントツリーが考えられる。

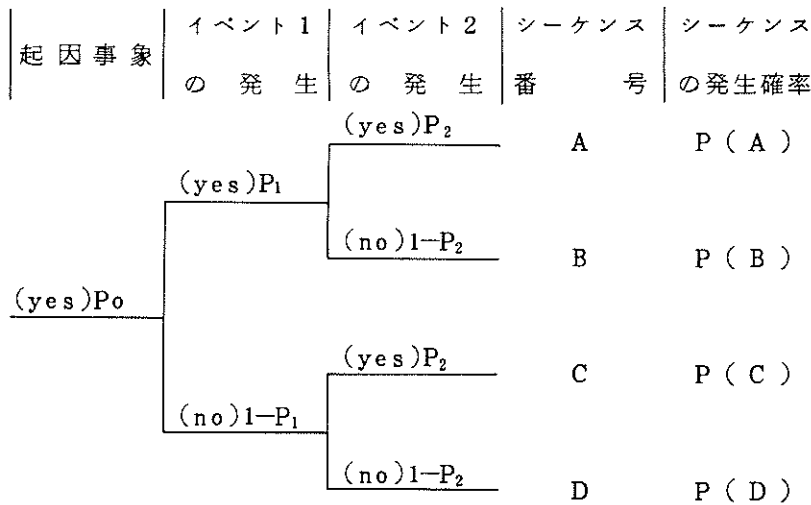


図3.7 イベントツリーの例

これから起因事象にかかわる事故シナリオとして、A、B、C、Dの4つが考えられる。そして、もしそれぞれのイベントの発生確率がわかれば、上の例では、たとえば、

$$P(\text{シーケンスA}) = P_0 \times P_1 \times P_2$$

$$P(\text{シーケンスC}) = P_0 \times (1 - P_1) \times P_2$$

と計算できることになる。

したがって、イベントは、時系列的に、かつ、その発生、不発生の前後関係が因果律に反しないように並べられることが重要である。また、何をどこまで細分してイベントとするかについても、解析者を悩ませるが、イベント数が10を起えると（ $2^{10} = 1024$ であるから）全体の見通しを欠くことになることが多い。

フォールトツリーと異なるところは、起因事象を定めなければならないこと、現実には起らない組合せ（シーケンス）がかなり含まれるので、それを考察により除いていく必要があること、などである。具体的な例として、RSS(WASH-1400)での実例を示す。図3.8では、16個のシーケンスのある基本ツリー（Basic Tree）が、結合関係の妥当性について検討されたあと、7つのシーケンスからなる縮約ツリー（Reduced Tree）になっている。

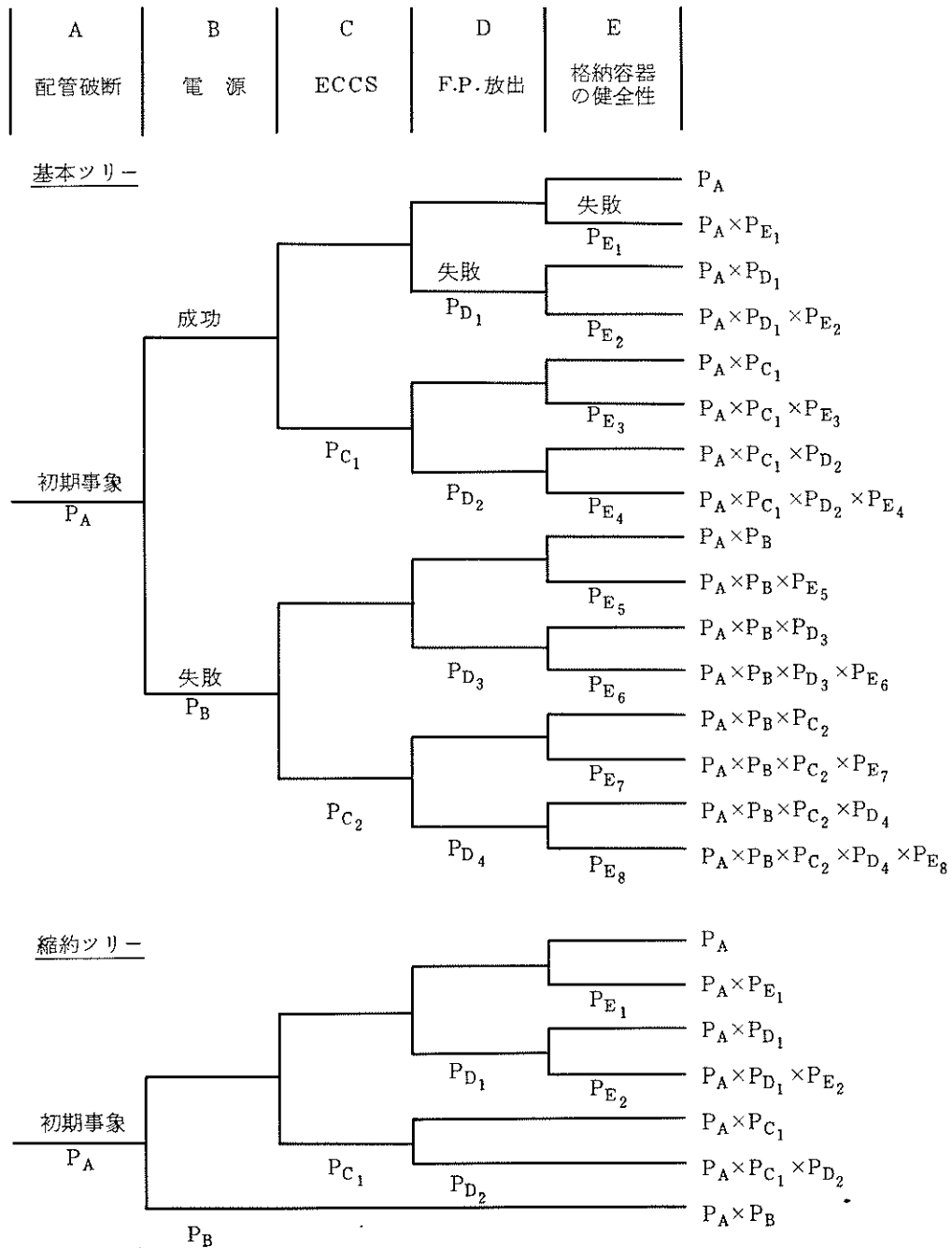


図 3.8 原子炉安全研究 (WASH-1400<sup>5)</sup>) におけるイベントツリーの取り扱い

### 3.3.4 FMEA

フォールト ツリー，イベント ツリーを作成するには，システムを構成する要素（部分）に，故障が発生する仕方，その影響についての知識が必要である。この知識を組織的に生成収集していくのが，FMEA（Failure Mode and Effect Analysis）である。これは，図 3.9 のような表を用意して，システム構成要素のすべてについて分析するものである。作業量は極めて大きい，システムの故障に関する辞典ともいえるべきものであり，新しい設計については，実施することが義務づけられるべきものであり，事実，米国の安全審査計画（Standard Review Plan）においては，随所に FMEA を審査すべきであることが述べられている。

この FMEA の目的は，次の諸点にある。

- (i) 設計の初期において，高い安全性を有する設計案を得るための情報を求める。
- (ii) 運転に影響を与えるあらゆる故障モードが考慮されていることを保証する。
- (iii) 故障モードとその影響の関係がリストされる。
- (iv) テスト，保守，計画の基本となる。
- (v) 設計変更を考察したり，故障が起ったときに，対策を考える基本となる情報が提供される。

装置，システム，コンポネント名 契約者，作成・検印年月日				ブロックダイアグラム				信頼性 勧告	
部 品 名	故 障 モ ー ド	発 生 原 因	発 生 の 影 響		検 出 方 法	致 命 度	備 考		
			影テ部 ム分 ヘシ 響のス	影テ全 ム体 ヘシ 響のス					

図 3.9 FMEA のフォーマット

### 3.3.5 望ましくない事象（事故）へのシナリオの作成

シナリオを作成するには，基本的にはあらゆる可能性を考察することが必要である。その

手順は次のような段階から成る。

- (i) 対象となるシステムについて、FMEAを実施する。
- (ii) 望ましくない事象へ至るシナリオをフォールト ツリー、イベント ツリー、あるいはその組合せで求める。
- (iii) 主要シナリオに整理する。

シナリオの作成について、いくつかの方法があるが、いくつかについて、留意すべき点を述べる。

#### (1) フォールト ツリーを利用する方法

フォールト ツリーは望ましくない事象から出発して、原因を追求していくことにより得られる論理ツリーで、その最小切断集合が top or undesired event の発生するシナリオになる。基本事象が数百というフォールト ツリーもつくられている。しかし、同一システムが、異なる時間に異なる機能で使われる場合には扱いにくい。

フォールト ツリーが大きくなればなるほど、実質的な寄与の少ない二次事象が、延々と展開されることになる。そこで、リスク解析の立場からは、ツリーの展開の段数を制限したり、ANDゲートへの入力事象の数の大きいものを制限したりすることも必要になる。こうした“縮約ツリー”をつくることは実際的であるが、一方、共通原因故障 (Common cause failure) の要素となるものを落とすおそれもあるので、充分大きな展開をしておいてから、縮約することが望ましい。

#### (2) イベント ツリーを利用する方法

イベント ツリーを利用するには、適切なイベントを選択して、その組合せとしてシナリオを得るのであるから、イベントの選択にあたっては、問題となるものをすべてカバーしていなければならない。また初期事象毎にイベント ツリーが得られることも忘れてはならない。イベントが10を越えると見通しがわるくなる。

ところで、イベント ツリーでは、機械的に展開すると、物理的には起り得ないイベントの組合せが発生する。そこでそうした組合せを除去すると、かなりコンパクトになることが多い。その理由は、3.3.3節の3)の最後の部分(つまり、図3.8の説明を中心とする部分)に説明されている。

#### (3) フォールト ツリーとイベント ツリーの組合せを利用する方法

望ましくない事象へ至るプロセスを、それを防止する機能の破損と理解すれば、防止

機能自体はそれほど多重ではないので、この段階のシナリオを得るには、イベントツリーが便利である。一方、機能を提供するのは機器（あるいはシステム）であり、その故障原因の追求には、フォールトツリーが便利である。そこで、これらを階層的に利用するのは、実際的かつ有効な方法であり、多くの研究で使われている。

### 3.3.6 各シナリオの発生確率の計算

イベントツリー、フォールトツリーから得られた望ましくない事象へ至る各種シナリオについて、発生確率、もたらされる被害、不確定性などを解析していく必要がある。

図3.7のイベントツリーの場合、シーケンスAの発生確率P(A)は、一般に（確率論的に）

$$P(A) = P_0 P_1 P_2 = P(0) \times P(1 | 0) \times P(2 | 0, 1)$$

となる。ここで、P(0)は起因事象の発生確率で、ブランチ確率P(1 | 0)は起因事象が起っているときに、イベント1の発生する確率、そしてP(2 | 0, 1)は、起因事象とイベント1が起っているときに、イベント2の発生する確率ということになる。

これらのブランチ確率を求めるには、フォールトツリーを利用する、と述べてきたが、この目的のためだけならば、いわゆる信頼度ブロックダイアグラムを用いても勿論よい。

ところで、こうした計算で注意しなければならないのは、共通モード故障と人のエラーである。また、計算に必要なデータ、結果の信頼度についても検討する必要がある。

#### 1) 共通モード故障について

イベントツリー、フォールトツリーの作成において、最も注意しなければならないのは、共通原因故障シナリオの発見である。今、システムAとBが、いろいろな動作要求CAi, CBjにさらされるものとする。A, Bがともに故障する確率は、要求が排他的でかつすべてをつくしているとすれば、

$$P(A B) = \sum_{i,j} P(A B | CAi, CBj) P(CAi, CBj) \dots\dots\dots (3.2)$$

一方、A, Bが故障する確率は、

$$P(A) = \sum_i P(A | CAi) P(CAi) \dots\dots\dots (3.3)$$

$$\text{と } P(B) = \sum_j P(B | CBj) P(CBj) \dots\dots\dots (3.4)$$

で与えられよう。ここで



$$P(A B) > P(A) P(B) \dots\dots\dots (3.5)$$

となる時、なんらかの共通要因があるといえよう。その条件は何か、この答えを出すために、以下の性質を考えておこう。

性質1. AとBの故障は、要求条件の点からも、統計的にも独立、即ち、

$$P(A B | C_{Ai}, C_{Bj}) = P(A | C_{Ai}) P(B | C_{Bj}) \dots\dots\dots (3.6)$$

がすべての*i*, *j*について成立する。

性質2. 要求条件*C<sub>Ai</sub>*と*C<sub>Bj</sub>*の発生が統計的にも独立、即ち、

$$P(C_{Ai}, C_{Bj}) = P(C_{Ai}) P(C_{Bj}) \dots\dots\dots (3.7)$$

がすべての*i*, *j*について成立する。

性質3. すべての*i*, *j*について

$$P(A) = P(A | C_{Ai}), P(B) = P(B | C_{Bj}) \dots\dots\dots (3.8)$$

性質1と性質2が成立すれば、

$$P(A B) = P(A) P(B) \dots\dots\dots (3.9)$$

となることは、(3.2)式に(3.6)式と(3.7)式を代入してみれば、ただちにわかる。これは性質3が成立していてもいなくてもよい。

つぎに、性質1が成立しないときには、明らかに(3.9)式は成立しない。また、性質2が成立しないときはどうか、このときは少なくとも1つの(*i*, *j*)対について

$$P(C_{Bj} | C_{Ai}) \neq P(C_{Bj}) \dots\dots\dots (3.10)$$

となるから、 $P(C_{Ai}, C_{Bj}) = P(C_{Ai}) P(C_{Bj} | C_{Ai})$ を(3.2)式に代入して、(3.9)式の成立しないことを知る。

この特例が、A, Bが同じ要求下にいつもある場合で、このときには、

$$i \neq j \text{ なら, } P(C_{Bj} | C_{Ai}) = 0$$

$$i = j \text{ なら, } P(C_{Bj} | C_{Ai}) = 1$$

となるが、このときには、(3.9)式が成立するのは、性質1, 3が成立するときのみということになる。

つまり、故障が全く環境の要求に依存せず(性質3を有する場合)、故障が故障を呼ばない(性質1を有する場合)ことが保証されない限り、関連のある要求(大部分の要求は、明らかに関連がある)にさらされる2つのシステム(機器)AとBの故障については、(3.9)式が成立しない。これは、共通要因故障と呼ばれる。この場合、正確な故障率

((3.2)式)を求めるには、RSS(WASH-1400)に対する批判からもわかるように、非常に困難であり、取り扱いには、深く注意しなければならない。

## 2) 共通モード故障の原因

共通モード故障の原因は、種々あり得る。それは設計によっても変わるし、運転、使用方法によっても変る。そこで、ここでは、単に一般的にどんなことが原因になるかについて述べた表を、表3.1として示しておくが、特定のシステムについて、すべて問題となるというものでもなく、これだけということもない。

過去の例を見たとき、どの分類に属する原因が大きく寄与しているか、については、表3.2に示した。設計エラーが極めて大きな寄与をなしていることに注意したい。

### 3.3.7 各シナリオによる被害の計算(地中処分の場合)

被害を計算するには、地中における放射性核種の輸送現象、その地上への放出プロセス、そして、人間のそれを取込むプロセスを理解し、モデル化する必要がある。これらは、すでに決定論的解析においても行われているところである。

ただし、決定論的解析と異なるところは、解析が評価型でなく、best-estimate型でなければならないこと、従って、この解析の不確定性も同時に明らかにしなければならないことである。

## 3.4 リスク解析作業の手順

リスク解析の作業は、上述の各種の方法を組合せて行なわれるので、種々のアプローチがありうる。

- (1) フォールト ツリーで事故シナリオを見出し、Simulation model で被害を計算する。
- (2) リスク発生防止の主要因を抽出し、これの破損、非破損についてのイベント ツリーをつくり、リスク発生シナリオを入手し、各分枝について、フォールト ツリーにより、その発生確率を求め、シナリオとその発生頻度を求め、一方、シミュレーションモデルで被害を計算する。

- (3) Stochastic Simulation model で放射性核種の放出による被害の期待値を計算する。
- このうち、実際的なのは、(1)と(2)である。(2)はRSS(WASH-1400) で使われた方法であるが、選別された要因間の相互作用についての検討(つまり、共通モード故障についての

検討)が欠落することのないように、注意しなければならない。

(2)について、詳しく述べると、次のようである。

(i) 予備的なフォールト ツリーの作成

これは、初期事象、主要因の範囲、種類を知るための予備的分析である。

(ii) 初期事象の同定

考えるべき初期事象の分類(地中処分の場合)

- ・ 短期, 中期, 長期, 超長期
- ・ 人為的, 自然的

(iii) 主要因の同定

システムアプローチによる主要因の同定

(iv) イベントツリーの作成

(v) 各イベントについてのフォールト ツリーの作成,あるいは, Top or undesired event について,フォールト ツリーの作成を行う。

(vi) イベント ツリーで得られたシーケンス群を主要シーケンスにとりまとめる。

(vii) 各シーケンスについて Simulation model で被害の規模を計算する。

(viii) 各シーケンスの発生確率とそれによる被害の規模に基づいて,そのリスクを同定する。

(ix) 原子力施設からあらゆる可能な放射性核種の放出事故による total risk を算定する。

(x) 各施設の潜在的リスクの相互比較を行い,それに基づいて安全評価を行う。

(3)の方法は、物理現象のモデル化という点では、一番忠実なアプローチであるが、入力データ、モデリング、実施、の各段階において困難なことが多い。しかし、この方法論に属するものでも、たとえば、response surface 法などは、決定論的解析の延長上にあり、ほどなく使われることになるかもしれない。

### 3.5 ま と め

以上の分析は、ほとんどRSS(WASH-1400)<sup>5)</sup>とその周辺(たとえば、H.W.Lewisを委員長とするリスク評価検討グループの見解)に基づくものである。これを地中処分に使う場合、次のような問題点が予想されるであろう。

(1) 手 法

具体的な問題にリスク解析の立場からアプローチするためのモデリング(フォールト

ツリー，イベント ツリー Simulation model ) の前例が乏しい。今のところ，超長期にわたる人的因子，自然災害（例えば，断層活動，火山活動，経年変化など），共通原因故障については，特に不十分である。

## (2) データ

地中処分施設，設計評価に用いる地質，自然現象や工学的施設設計評価のデータ・ベースは，今のところ不十分である。絶対評価を行わなければ，データの精度はそれほど厳しく要求されないが，データの精密化が不十分だと，trade-off 研究（あるいは工学的判断）はあいまいな答えとなり，一方分解能が不十分だと，共通要因故障を見逃すおそれがある。

## (3) 現象解析

地中処分は，現象の解析には広大な地層の核種輸送についてのモデリングが必要であるが，軽水炉の安全性研究のようには，たくさんの条件の下で，使用期間中に，実際のテストや実施を行うことができないこと，また地質調査のため，ボーリング等を行うことにより測定部の状態が変ってしまい，本来の地質学的データが得られず，正しく判断されないということ，などから，入力データのもつ不確定性を強く認識し，そのうえでモデリングを行い現象解析を行う必要がある。したがって，今後の方針としては，次のようなものが考えられる。

- (1) 地中処分のためのリスク解析を粗い作業でよいから順次，実施して，方法論の問題をつめながら，有効な方法論を必要なデータベースを整備確立していくこと。
- (2) 早期に地中処分の模擬プラントあるいはパイロットプラントを数ヶ所で建設し，広範にわたってモデルの検定データの収集に努めること。
- (3) 現象解析のモデルの精密化に努めるとともに，超長期にわたる不確定性の取扱い方法についても検討を行うこと。

表 3.1 共通モード故障の原因のカテゴリ

I. COMMON CAUSE FAILURES

A. Design Error

1. Intrasystem errors

- (a) Unforeseen single failure points in redundant systems
- (b) Electrical or mechanical dependence on a common element (IEEE 279 Type 1)
- (c) Lack of adequate physical separation between redundant units
- (d) Dependence on elements whose failure or abnormality causes need for protective action (IEEE 279 Types 2 and 3, common mode)
- (e) Common error due to erroneous predictions of system behavior

2. Intersystem errors

- (a) Unforeseen interdependence between systems
- (b) Lack of physical separation between systems
- (c) Common error due to erroneous predictions of plant behavior

B. Fabrication and Manufacturing Effect

1. Quality control variations

- (a) Materials (impurities, etc.)
- (b) Tolerances (incorrectly specified, sampling inadequate)
- (c) Specifications (misinterpretation, inability to measure, etc.)

2. Process errors

- (a) Manufacturing equipment failures
- (b) Incorrect manufacturing procedures

C. Storage, Shipping, and Installation Errors

1. Shipping events

表 3.1 (続)

- (a) Excessive vibrations
  - (b) Improper packaging, unpacking
  - (c) Excessive shocks and loadings (dropping, etc.)
2. Storage events
- (Same considerations as in I-E)
3. Installation errors
- (a) Misalignment
  - (b) Improper construction procedures
  - (c) Destructive testing (faulty test procedures which downgrade equipment)
- D. Human Errors (Plant Personnel)
- 1. Miscalibration errors
  - 2. Maintenance and repair errors
  - 3. Poor records and updated prints
  - 4. Improper operator action
    - (a) Spurious or inadvertent action
    - (b) Incorrect response to an event
- E. Environmental Variations
- 1. Normal environment
    - (a) Dust/dirt
    - (b) Temperature
    - (c) Moisture/humidity
    - (d) Vibration
    - (e) Radiation (fast neutron fluence)
    - (f) Fatigue
    - (g) Abnormal gaseous mixtures

表 3.1 ( 続 )

2. Extreme phenomena

- (a) Earthquake
- (b) Fire
- (c) Flood
- (d) Tornado, hurricane, tsunami

II. PROPAGATING FAILURES (CAUSAL)

A. Intrasystem

- 1. Failure directly resulting from failure of redundant unit
- 2. Failure caused by transient generated by failure of redundant unit

B. Intersystem

- 1. System failure directly resulting from failure of another system
- 2. System failure caused by transient generated by another system failure

C. Initiating Event/System Coupling

Event which destroys the protective sensors required to mitigate it (IEEE 279 Type 2)

表 3.2 共通原因故障における各種の原因の相対的寄与の大きさ

機 器 の 種 類	共通原因故障における各種の原因の相対的寄与の大きさ(%)				
	設 計 エ ラ ー	製 造 エ ラ ー	貯 蔵 , 輸 送 エ ラ ー	運 転 員 の エ ラ ー	環 境 上 の 原 因
ディーゼル発電機	50.0	0	16.7	16.7	16.7
原子炉停止系, 入力チャンネル	64.3	0	7.1	28.6	0
バルブ	33.3	0	0	16.7	50.0
圧力スイッチ	50.0	0	0	36.0	14.0
ポンプ	100.0	0	0	0	0
平均	53.7	0	4.9	26.8	14.6



## 4. フォールト ツリーの作成と評価

### 4.1 はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する安全性の研究は、

#### A 処分場使用中の安全性

- 地上施設からの輸送中のリスク
- 使用中の処分場におけるリスク

#### B 処分場埋設後の安全性

に大別される。それ以外に処分場建設中のリスクも考えられる。これは放射線リスクではないので含めないが、総合リスクの評価においては重要である。

本研究は、上の分類のうちBの部分を扱っている。

さて、処分後の安全性を検討するには、放射性物質が人間環境にどの程度、どのような頻度で出てくるかを知る必要がある。この要求に対して最も自然なアプローチは、処分場を含む地層内外（気・水圏を含む）の核種輸送を含む熱・水力・構造・物理、化学過程について数学モデルを作製し、断層・地震・火成活動などの外乱をも考慮して、問題となる期間のシミュレーションを実施することである。ところが、これは、最終的には、実施できるとしても、現在は、モデリングに必要な情報が入手できず、実施できない。

そこでつぎに考えられるのが、放射性物質移動についての代表的シナリオを発見し、その発生確率と、そのシナリオによる被害を計算していく方法である。これは、多くの国の研究で採用されているアプローチである。

このアプローチによる作業は、

- (i) 主要な放出シナリオの決定
- (ii) 各シナリオの発生頻度の解析
- (iii) 各シナリオによる放出量の計算

の3部から構成される。人によっては、(i)、(ii)の作業を総称して確率論的解析、(iii)を経路による解析、あるいは決定論的解析と呼ぶことがある。本研究は、この(i)、(ii)を実施することを目標にしている。

## 4.2 本研究のアプローチ

ところで上に述べた(i), (ii)の作業を実施するには、処分場の安全設計の思想を理解する必要がある。しかしながら、明確なものは勿論まだ用意されていないのでかりに、「地層処分は、深地層に処分場を設けることによって人の環境と処分場の間に放射性物質移動の障壁を(多重に)設けることを狙っているものである。」と理解して先へ進むことにする。

そこで、具体的に考えられている障壁を列挙すると、

- (i) 廃棄物の構造
- (ii) 廃棄物の格納系
- (iii) 地質学的隔離
- (iv) 地質学的保持

の4つが考えられる。

これらの障壁の喪失の組合せでシナリオを得るためには、イベント ツリー、あるいはフォールト ツリーを用いるのが便利である。

イベント ツリーを用いるときには、初期事象(起因事象)が必要である。通常考えられる起因事象は、外乱と一次破損(自然に生じる破損)である。

一方フォールト ツリーを用いてこれらの障壁破損の原因の追求、あるいは、その組合せとしてシナリオを入手するには、これらの障壁が明らかに独立に機能しないし、外乱に独立ではないので、共通要因故障、従属故障に気を配る必要がある。

各国の研究例では、フォールト ツリー解析を利用することが多いようであるが、これは、2つの理由による。1つは、岩塩層を処分地層として選ぶことを予定しているからである。この場合には、岩塩層の破損が卓越した破損モードであり、逆にこれが破損しなければ、経路は成立しない。そこで、この岩塩層の健全性喪失の確率が最も重要な量になる。このように望ましくない事象がきちんと定義できるときには、フォールト ツリーによる解析が便利である。第2の理由は、フォールト ツリーをかなり機械的に処理できるような汎用コードが用意されているからであろう。

本研究でいずれのアプローチを採用すべきかについて、若干の検討が本来は必要である。しかし、ここでは、特にこの検討を行わず、フォールト ツリーによるアプローチを試み、必要があればそれをイベント ツリーで解釈・整理してみることにした。

高レベル放射性廃棄物の地層処分に関するフォールト ツリーは今迄に4例<sup>\*</sup>あるが、それらは共に岩塩層を対象としたものである。日本においてこうした仕事をおこなうためには、処分サイトに選定する地層の検討をまずおこなわなければならない。日本には岩塩層はなく、利用可能と考えられる地層は、貫入火成岩（花崗岩）・石灰岩・粘土層などである。ここでは地層の厚さ・地下水の侵入・資源開発の可能性などを考えると、掘削上の難しさはあるが花崗岩が適していると判断して、貫入花崗岩体に処分場を設けた場合について検討を行なうこととした。

要約すれば、本研究では、以下、花崗岩体中処分の場合の放射性物質の人間環境への放出シナリオと、その発生頻度をフォールト ツリーを用いて求めるものとする。

#### 4.3 フォールト ツリーの作成手順

以下の手順でフォールト ツリーを作成する。

- (1) 花崗岩体と岩塩層のちがいを明確にし、重要度の高い初期事象を抽出する。
- (2) 上記(1)を考慮して、地質構造のモデルと、処分場のモデルの概念図を作成する。
- (3) 既往のレポートで、放射性核種の放出シナリオを調査し、そのシナリオが花崗岩体の場合に適合するか否かを検討する。
- (4) 地質構造のモデルを、人間環境への影響（リスク）を考察するうえで重要な区域に区分する。
- (5) 「処分された放射性核種を人間環境へ輸送するような経路が存在する」ことをTop Event とするフォールト ツリーを作成する。

#### 4.4 花崗岩体サイトの特徴

花崗岩と岩塩を比べると表4.1のような相違点がある。

特徴的な違いは、岩塩の場合にはディアピール（Diapir）によって岩塩層が上層に浮上するという現象があり、隔離能力喪失の観点からかなり重要な事象（primary event）とされる。この過程での処分場の破壊や処分場が移動したため他の事象（event）によって処分場が破壊される可能性がまず考えられる。また、このディアピールによって生じた岩塩ドームから石油・天然ガスがよく産出するため、資源開発による破壊も重要な事象と

---

\* 付録A：既往のフォールト ツリー参照

なる。これに対して、花崗岩体には岩塩層近傍ほど天然資源が豊富というわけではないと判断される。

第2に岩塩は可塑性が非常に高く、地震動による影響は殆んど無視できると考えられる。しかし、花崗岩では結晶性岩石のために地震時小さなクラックが発生することは十分に考えられる。

花崗岩のクラックの発生原因としては、機械的な応力の他に熱応力が考えられる。特に花崗岩は、各種造岩鉱物（カリ長石、斜長石、石英、雲母、角閃石など）を含み、それらの熱膨張率が異なるために500℃以上において岩体に小クラックを発生する恐れが高くなる。

一方、岩塩・花崗岩両方において重要と思われる地下水は、その存在と作用の仕方にちがいがあがる。すなわち、岩塩の場合は地下水が処分場に侵入することにより、岩塩そのものが溶融してしまい、処分場の健全性が損われるのに対して、花崗岩の場合には、破断面が存在する場合には地下水が侵入する可能性があるが、通常は不透水層と考えられ、地下水による大規模な処分場の破損はあまり考えられない。また地下水は岩塩層、花崗岩層に関わらず、処分場から漏れ出た放射性核種を人間環境まで輸送する輸送媒体となる。

処分場を実際に建設する場合を考えると、岩塩層は掘削し易いが、花崗岩の場合には発破等の作業が必要となり、建設に伴う岩体の損傷が十分に考えられる。

現実には、いずれの方式とも岩体の一部くり抜き、サイトを設けるので、埋戻すにしろ、岩体中に応力集中が生じる。したがって、いずれにしても、こうした状況での安定性、および、それへの外乱の影響について検討する必要がある。

---

(\*) 花崗岩体の熱による破壊は300℃以上で生じはじめ500℃以上で顕著になると考えられている。

表 4.1 花崗岩と岩塩の相違点<sup>(1)</sup>

	花 崗 岩	岩 塩 層 <sup>(2)</sup>
成 分	マグマの地下深所への貫入により発生	蒸発岩の一部
生 成 時 期	白亜紀および第三紀 (2000万年～1億年前) <sup>(3)</sup>	二疊紀 (2億3千年～2億8千年前)
資 源 の 有 無	可能性低い(貫入岩では他の地層との接触部に鉱床がありうる)	岩塩そのものが重要資源, 石油・天然ガスが共存することが多い
比 重	2.5～3 <sup>(4)</sup>	2.2 <sup>(5)</sup>
比 熱	0.19 cal/g・℃ <sup>(4)</sup>	
熱 伝 導 度	4～8×10 <sup>-3</sup> cal/sec・cm・℃ <sup>(6)</sup>	
硬 度	95(ショア硬度)	2 <sup>(5), (7)</sup>
可 塑 性	地震動に対しては弾性を示すが, 長期に亘る変動に対してのみ可塑性がある(褶曲)	可塑性は著しく, ディアピール(diapir)により, 岩体として移動することもあり, 岩塩ドームができる。
地下水の有無	上方の堆積層に有る。	岩塩層の上方, 下方に有る。
採掘の難易	難	易

(1) 表中の空欄はデータ不明

(2) 日本には岩塩層はなく, ヨーロッパ, 北アメリカのデータを参照

(3) 理科年表 昭和54年(地96頁) 中国底盤の値(K-Ar年齢)より

(4) 理化学辞典(第3版)

(5) 理科年表 昭和54年(地76頁)

(6) 地学事典

(7) 鉱物の硬度表示であり, 2はセッコウと同程度である。

## 4.5 地層モデル

日本の地下1000m近辺の地質構造についての情報は非常に少なく、鉱山やトンネル工事現場からの情報によって類推されたものが少なくない。したがって、現在入手しうる地質情報はかなり不確定性が高く、その不確定性の幅も不明である。

ところで、工業技術院地質調査所出版の地質図を参考に花崗岩地帯の地質構造を調べると大体次の3つの場合に分けられる。

- (i) 地表に露出した花崗質岩
- (ii) 古生界に貫入した花崗質岩
- (iii) 新生界におおわれた花崗質岩

一方、サイトの条件としては、たとえば次のような点が考えられる。

- ① 花崗岩体が十分大きく、十分な隔離距離を確保できること。
- ② サイトから海までの距離が十分あり、容易には海への放出が発生しないこと。
- ③ 火山が近傍にないこと。
- ④ 断層がサイトを通っていないこと。
- ⑤ サイト地表部の標高が高くなく、侵蝕をうけにくいこと。

これらの条件を満足する地点を発見する作業は別に行われるものとするが、ここではかりに、中国地方の地質構造を念頭に作業することにした\*。

その結果

- (a) 花崗岩は、古生界に貫入したものであり、その後露出していた花崗岩の上を新生界がおおかった。
- (b) サイトと海は約10km離れている。\*\*
- (c) 新生界には滞水層があり、被圧地下水となっており、海と接している。
- (d) 新生界の地質構造は整合状態である。

という仮定を設けるのは、それほどおかしくないと判断された。

次に、地層モデルの要素として、次の12を考えることにした。

- (i) 処分場近傍の花崗質岩(7a)
- (ii) 処分場から離れた海側の花崗質岩(7b)

---

\* ここで中国地方としたのは、単に5章での作業(初期事象の発生頻度の推定)を行うために決めただけのものであり、地質学的・工学的な根拠はない。

\*\* この数字は後の解析では意味をもたないので全く仮の値にすぎない。

- (iii) 処分場から離れた山側の花崗質岩 ( 7 c )
- (iv) 処分場上方の古生界 ( 8 )
- (v) 処分場から離れた海側の花崗質岩の上方にある新生界 ( 9 )
- (vi) 新生界中の伏流水 ( 1 0 )
- (vii) 新生界中の滞水層 ( 1 1 )
- (viii) 古生界, 新生界の地表部を流れる表層流 ( 1 2 )
- (ix) 新生界中の宙水 ( 1 3 )
- (x) 河 川 ( 1 4 )
- (xi) 大 気 ( 1 5 )
- (xii) 海 ( 1 6 )

以上から, 図 4. 1 の地層モデル図が作成された。図 4. 2 の領域区分図は, これを模式的に表わし, かつ仮に各部の大きさを表わす数字を入れたものである。

地層モデル図のうち, 地質学的区域 ( 区域番号 7 から 1 6 ) について以下に簡単な説明を加える。

(i) 花崗質岩 ( 区域番号 7 )

花崗質岩は露出部, 古生界・新生界におおわれた部分, そして海に接する部分の 4 つの領域から構成される。地層モデルでは処分場からの距離によって区分している。

すなわち, 処分場建設に伴って岩体が影響を受けるであろう範囲を半径 3 km ( 水平方向) とし, 一方, 処分場から離れた所では, 花崗岩が露出している側 ( 山側) と新生界におおわれた側 ( 海側) は地下水の浸透, 風化作用などかなり性格が異っていると考えられるので別に扱う。

要約すれば, 花崗質岩については図 4. 2 に示すように

- 7 a : 処分場近傍の花崗質岩 (  $r \leq 3 \text{ km}$  )
- 7 b : 処分場から離れた海側の花崗質岩 (  $r > 3 \text{ km}$  )
- 7 c : 処分場から離れた山側の花崗質岩 (  $r > 3 \text{ km}$  )

の 3 つの領域に区分する。

(ii) 古生界 ( 区域番号 8 )

古生界は, 褶曲等地殻変動を既に受けているものの代表として選定した。この地層の地質学的時代としては, 二疊紀, 石炭紀などであり地下水を含む可能性は小さい。

(iii) 新生界（区域番号9）

新生界としては、第三系・第四系が選ばれた。新生界は古生界よりも地下水を含み、また地下水の移動速度が早いと考えられ放射性核種輸送を考慮するうえで重要な地層となる。尚、新生界を検討する場合地層の整合・不整合が地下水移動の要因になるが、簡略化のために地層は整合であると仮定した。

新生界中の輸送経路の要素として、伏流水（10）、滞水層（11）、宙水（13）を含めた。

(iv) 伏流水（区域番号10）

山から海までの距離が短い日本においては、核種を輸送する重要な経路要素として伏流水が考えられる。伏流水はその殆んどが河川につながっていると考えられるが、滞水層への浸透による移動も考えた。

(v) 滞水層（区域番号11）

滞水層としては、山を源とし海につながったものを考え被圧地下水とした。滞水層は海への核種輸送経路として後述する河川に次いで重要な要素であり、人間の活動と密接に関わっている。

(vi) 表層流（区域番号12）

表層流として考えたものは、地表面を流れる流去水であり、地表に出てきた核種を河川、伏流水へと輸送するものである。

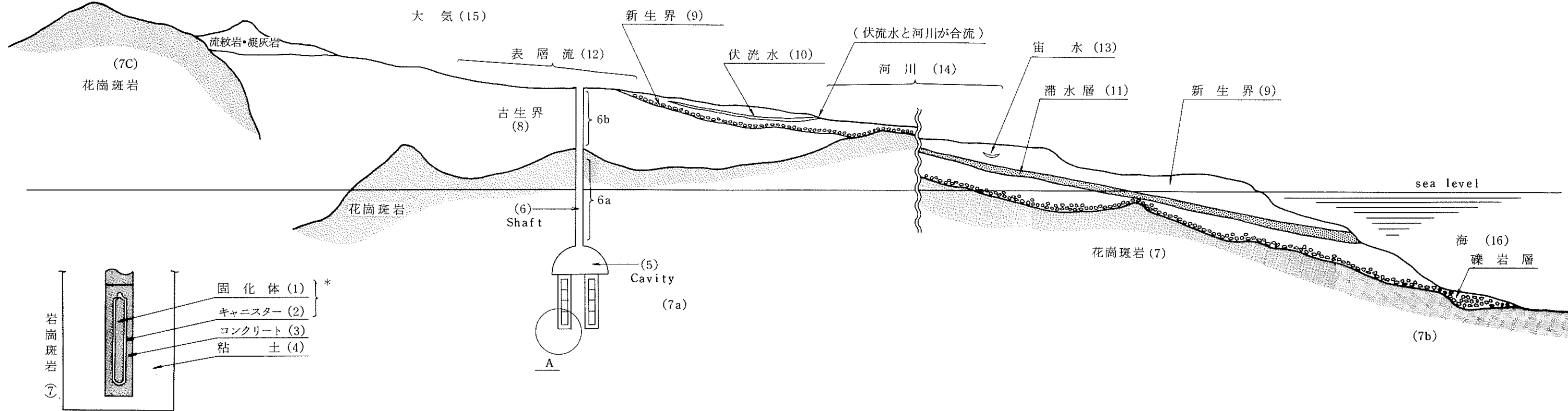
(vii) 河川（区域番号14）

河川は人間活動において飲料水、かんがい用水という重要な役割を為し、また海への輸送経路である。

(viii) その他

その他の区域として、宙水、大気、海がある。このうち、大気と海は人間環境そのものである。宙水は一般的に言う地下水であり、井戸等からの汲み上げによって放射性核種が大気に放出される場合を想定したものである。





A部詳細

図 4.1 地 層 モ デ ル

注) 1. 図中の番号は地質学的, 工学的障壁の要素番号  
 2. 図中\*部は解析上要素番号 "1" とした。

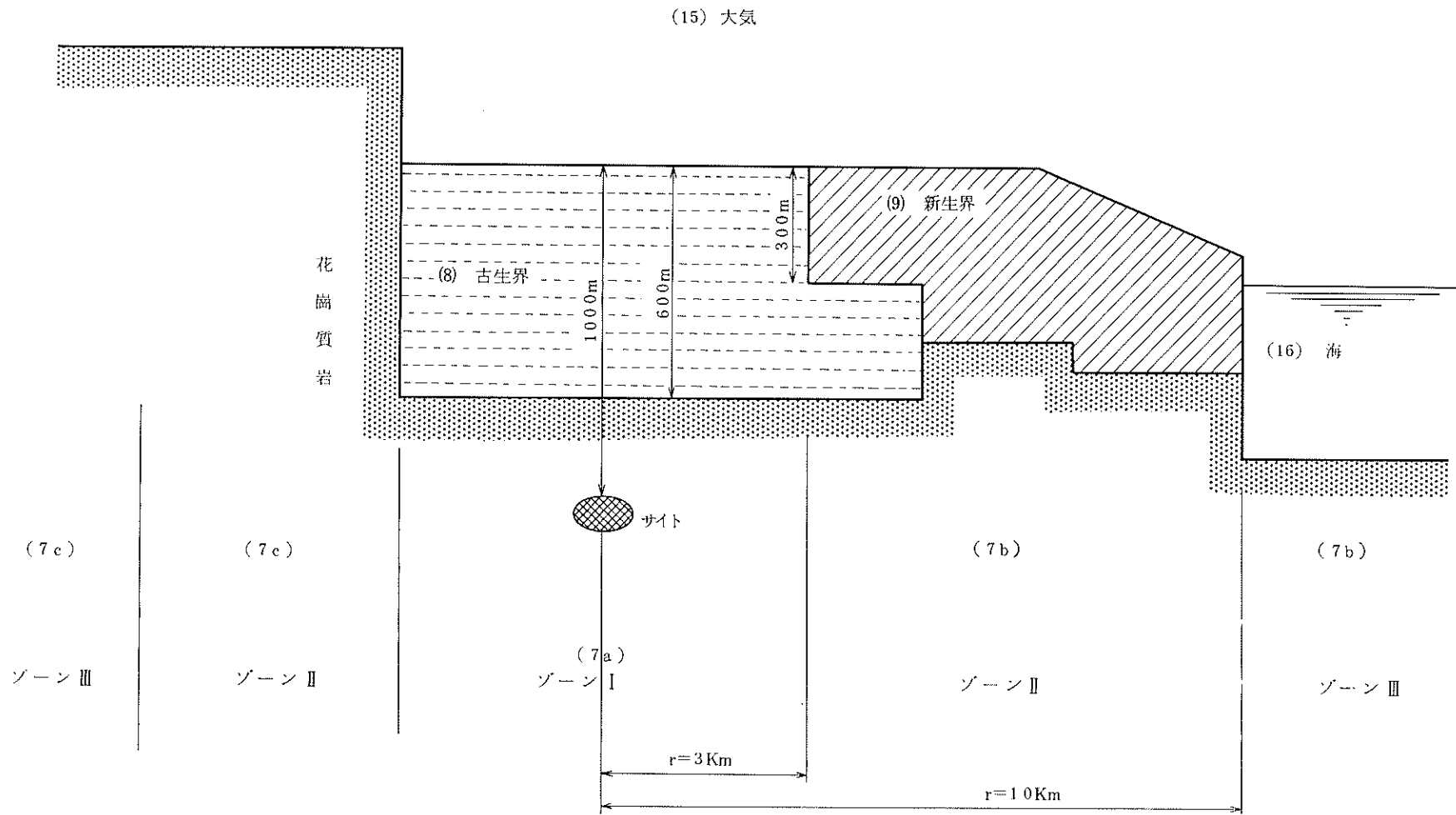


図 4.2 領域区分図

註) 図中の数字は解析の簡略化のために設けた、  
かりの値である。

## 4.6 処分場モデル

### (1) 処分場規模

処分場のモデルを作成するうえで重要な決定因子となるものは、その建設時点での深部地中における土木技術の予測である。

現在の土木技術において可能と思われる深部地中内構造物の規模は、地下発電所の空洞の規模、トンネル工事等の情報から類推して、

高さ：40 m，幅：40 m，奥行：200 m

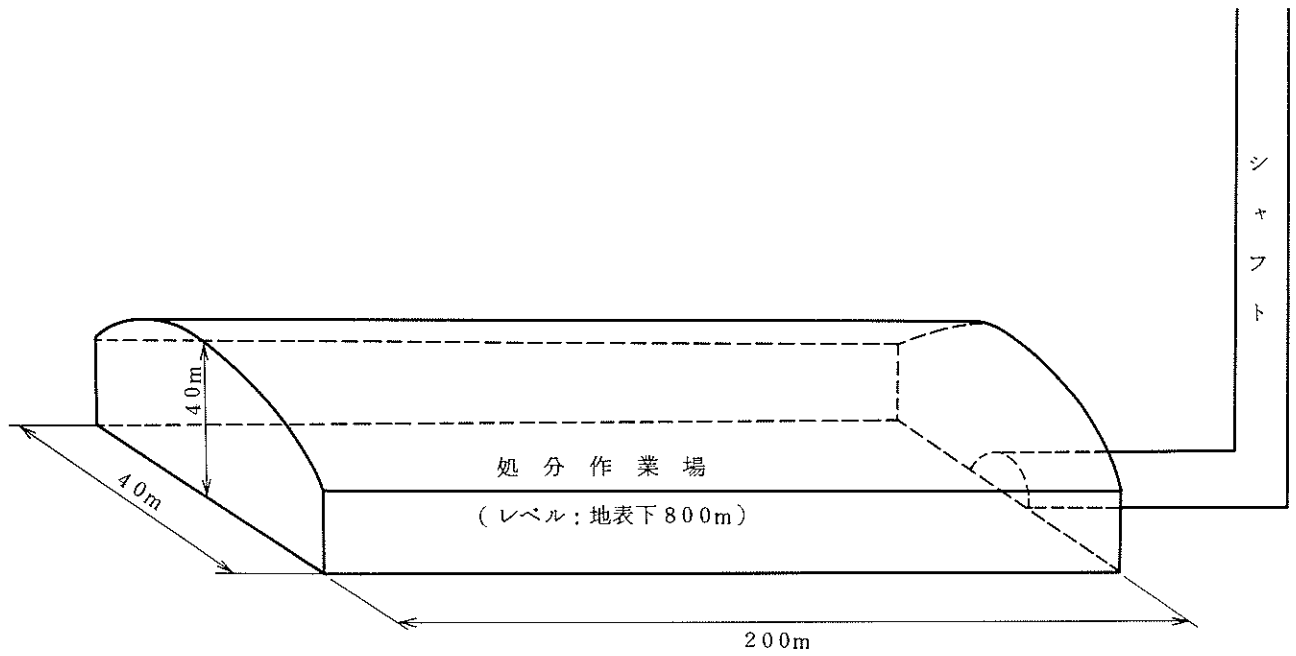
のカマボコ型の作業場（空洞）を考えた。概念図を図4.3に示す。

これだけの空間が必要かどうかは、穿孔方式、処分サイトの配置に依存するので、ここでは何とも言えない。この形状は後の解析には影響しないので、全くかりの値である。

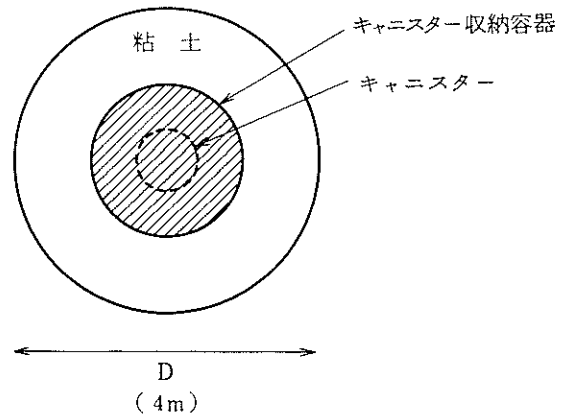
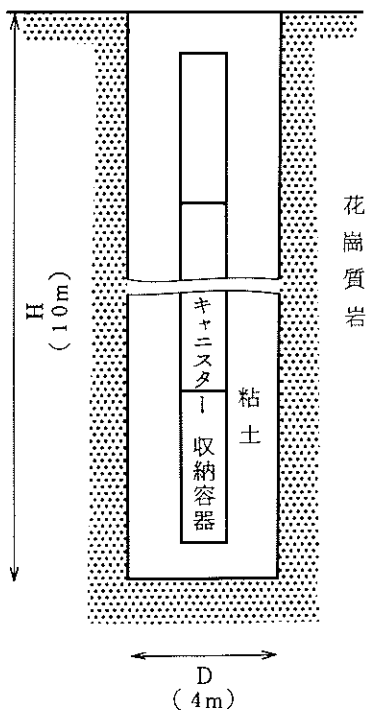
### (2) 処分方法

処分方法は、固化処理された高レベル放射性廃棄物をキャスターに充填し、キャニスターを保護容器（図4.3のキャニスター収納容器）に納めて、作業場下方の垂直坑（ボア・ホール）に埋設し、坑と容器の間に粘土を充填する。

処分場が一杯になったならば、作業場・シャフトはシール処置を行った後に埋戻しを行う。



( 処分用ボアホール図 )



注) 図中の数字は解析上意味がなく、かりの値である。

図 4.3 処分場概念図

#### 4.7 核種放出のシナリオと接触媒質

処分場から人間環境への放射性核種の放出のシナリオとしては、S. E. Logan が彼の報告書<sup>36)</sup>のなかでまとめている。それによると、リスク評価を行う場合には、2.1.1に記したように、火山活動と地下水が重要になる。また、J R CのG. Bertozziの報告<sup>9)</sup>では、人間による発掘と断層活動が重要とされている。

日本の場合には、予備的な検討から核種放出のシナリオを構成する上で次の事項が重要と思われる。<sup>\*</sup>

- ① 日本は山地と海が接近し、多雨気候の地であるため表層水、河川、滞水層といった水の流れを生じ、世界でも侵蝕率が高い地域である。
- ② 日本列島は環太平洋火山帯に属し、世界でも屈指の火山国であり、又地震国でもある。
- ③ 狭い国土に多くの人口を抱えており、地域開発の可能性が将来にわたって零といえる地域はないに等しい。

以上の3点から、フォールト ツリーを作成する際に

- ① 水の流れ
- ② 侵蝕作用
- ③ 火山の活動
- ④ 地震
- ⑤ 断層活動
- ⑥ 人間による発掘・露出

の6項目について検討すべきであることがわかる。特に「水の流れ」は、サイトへの影響とサイト外への核種移動の媒体としてその重要性は高く、重点的に研究すべき因子である。

ところで、人間が放射性物質に接するのは人間環境にある媒質が汚染されているときである。そこで、このような媒質を接触媒質という。

S. E. Logan は、その報告書<sup>36)</sup>のなかで接触媒質を Receptor と呼び、これに

- (i) 大気
- (ii) 地表

---

\* 付録B：「日本の地質特性について」 参照

(iii) 地表水

(iv) 地下水

の4つを選び、放射性核種が各媒質にまで輸送された場合について人間環境への経路を設定した。

本研究においてもこの接触媒質と同様な定義で、人間環境に核種が輸送される場合に重要である媒質を選び、接触媒質とした。それらは、

(i) 大 気

(ii) 海

(iii) 河 川

(iv) 伏流水

(v) 表層流

(vi) 滞水層

の6つであるが、その後の検討から、これらは

(i) 大 気

(ii) 海

(iii) 表層流

(iv) 滞水層（伏流水）

の4つに縮約され、結果的にLoganのReceptorと同じようになった。ちがう点は、地表、海である。雨が多い日本では、地表に降ってくる核種は表層流に含まれるものとして考えた方が人間への影響を考えるうえで都合が良いように思える。また、海については国土の四方を海に囲まれ、処分場と海の距離が高々100 kmしかない地形であること、沿岸漁業が盛んな点から無視できないものであると考えた。しかし海への輸送が有意なほどあるか、どうかについて検討したわけではなく、かりに海を問題となる媒質として、そこへ至る経路の発生（存在）を考察してみようという問題意識にあがっているものである。

#### 4.8 核種輸送の経路ツリー

前記、各節の条件設定と、図 4.1 の地層モデルから図 4.4 に示す放射性核種移動のフローチャートが作成された。このフローチャートでは、放射性核種の循環移動を考えていない。実際に放出量を計算する場合には、循環経路を考える必要がある。

しかし、ツリーを作成し解析を行うことを考えると、これを考慮しない方が計算の簡略化がはかれる。

循環経路において特に注意を必要とするのは地下水の流れである。地下水はその性格として地表水の浸透によって供給され、重力によって地中内を下降し（下降水）、また地表水の蒸発によって上昇力が与えられて地中内を上昇する（上昇水）。このため、地下水の動きが循環性をもっており、経路を解析するときに単純な経路を考えるべきではないことは明らかである。次にこのフローを念頭において接触媒質が汚染することを Top Event とするフォールト ツリーが作成された。これが図 4.5 に示される。この経路ツリーでは基本事象が円で表わされている。この基本事象は、 $A \rightarrow B$  の形式で表わされており「区域 A から区域 B への経路がある」と読む。ここで A, B は図 4.1 の地層モデルにある区域番号（例 8：古生界, 9：新生界）を示す。核種の輸送を考えるには、経路の発生と同時にある区域（A）が核種によって汚染されていなければならない。これからツリーの構成は、「区域 A が汚染」と「 $A \rightarrow B$ 」が AND ゲートで表わされ、両方が満たされて区域 B に核種が移動することになる。このような「区域 A が汚染」と「 $A \rightarrow B$ 」が順次組み合わされれば、処分区域から人間環境までの経路が得られる。

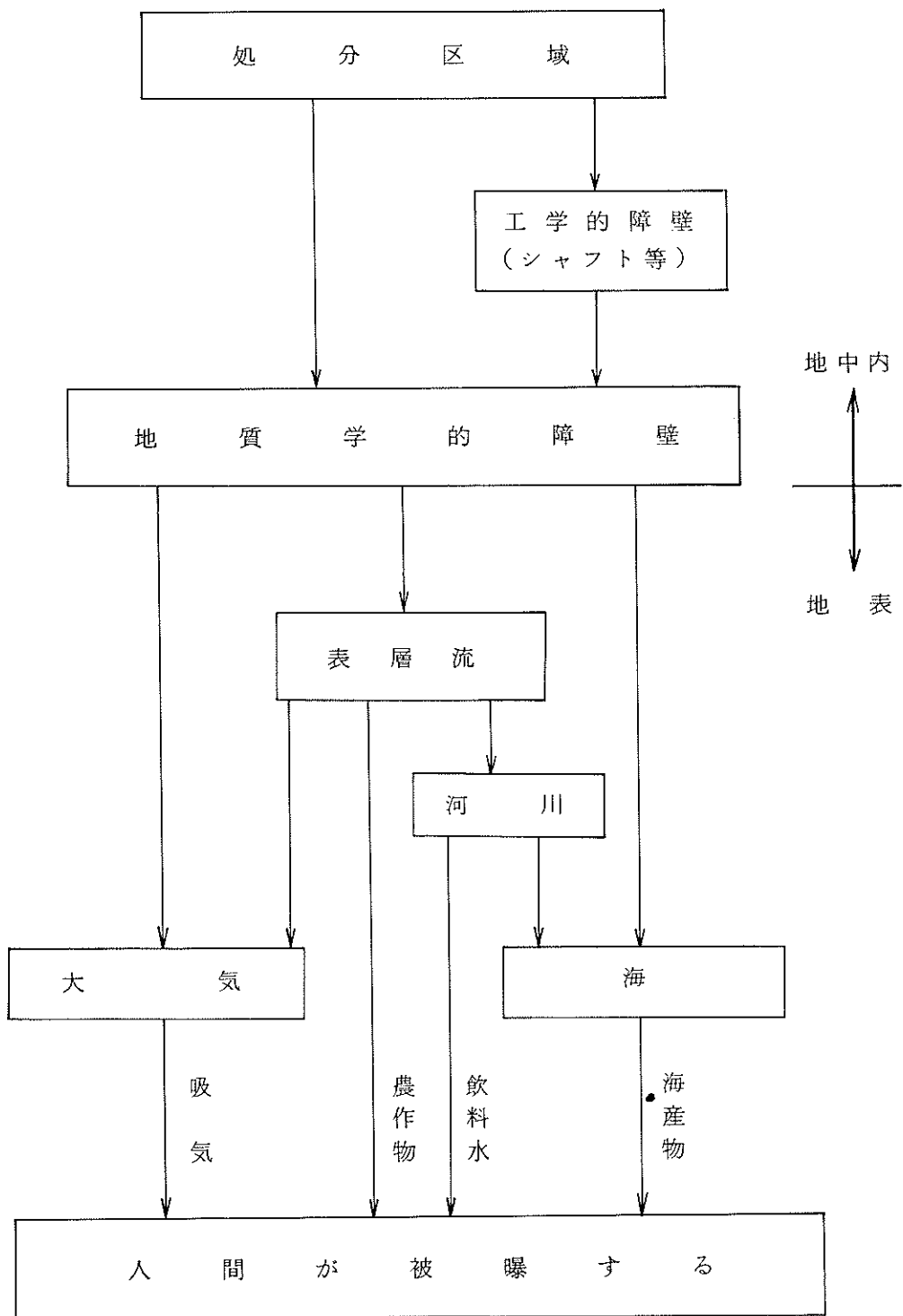


図 4.4 核種移動のフロー



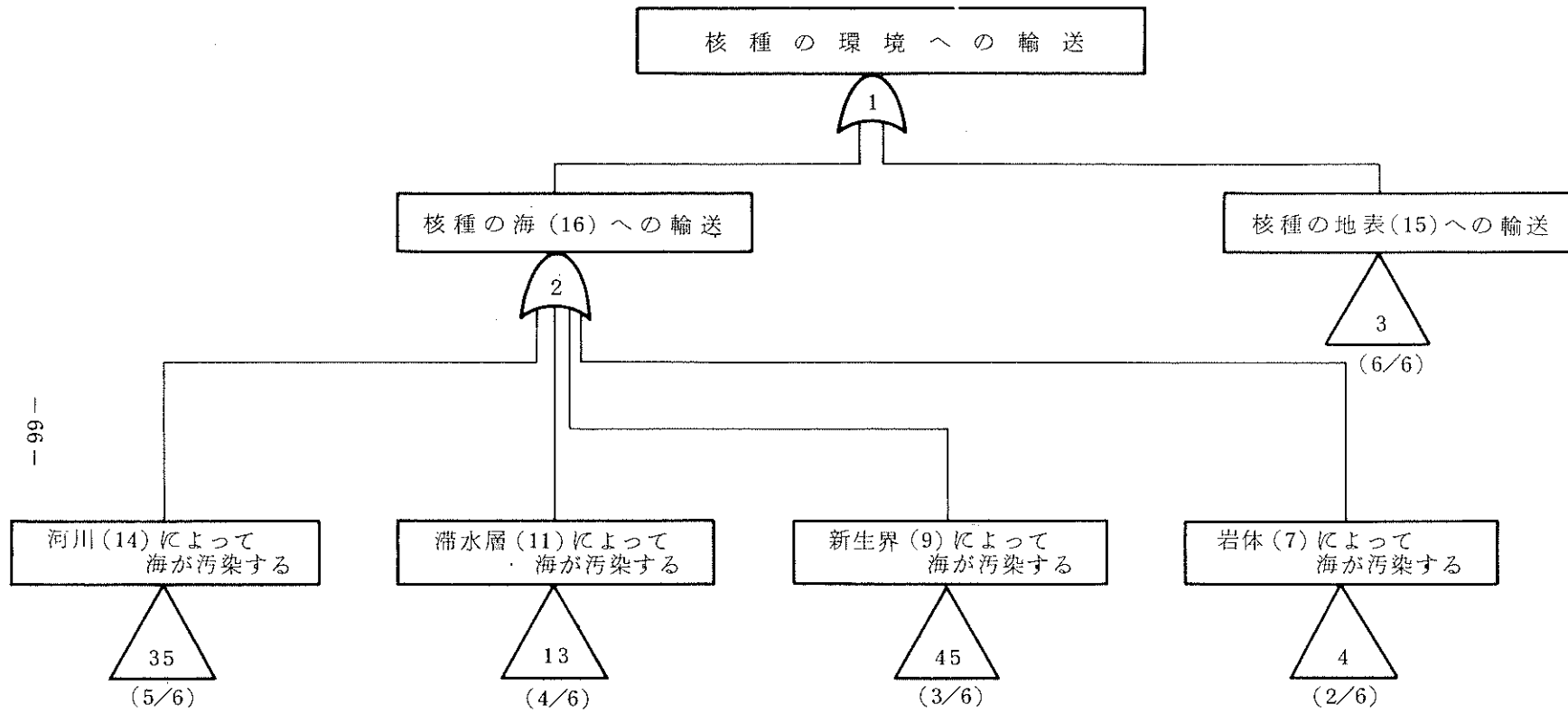


図 4.5 核種輸送の経路ツリー (1/6)

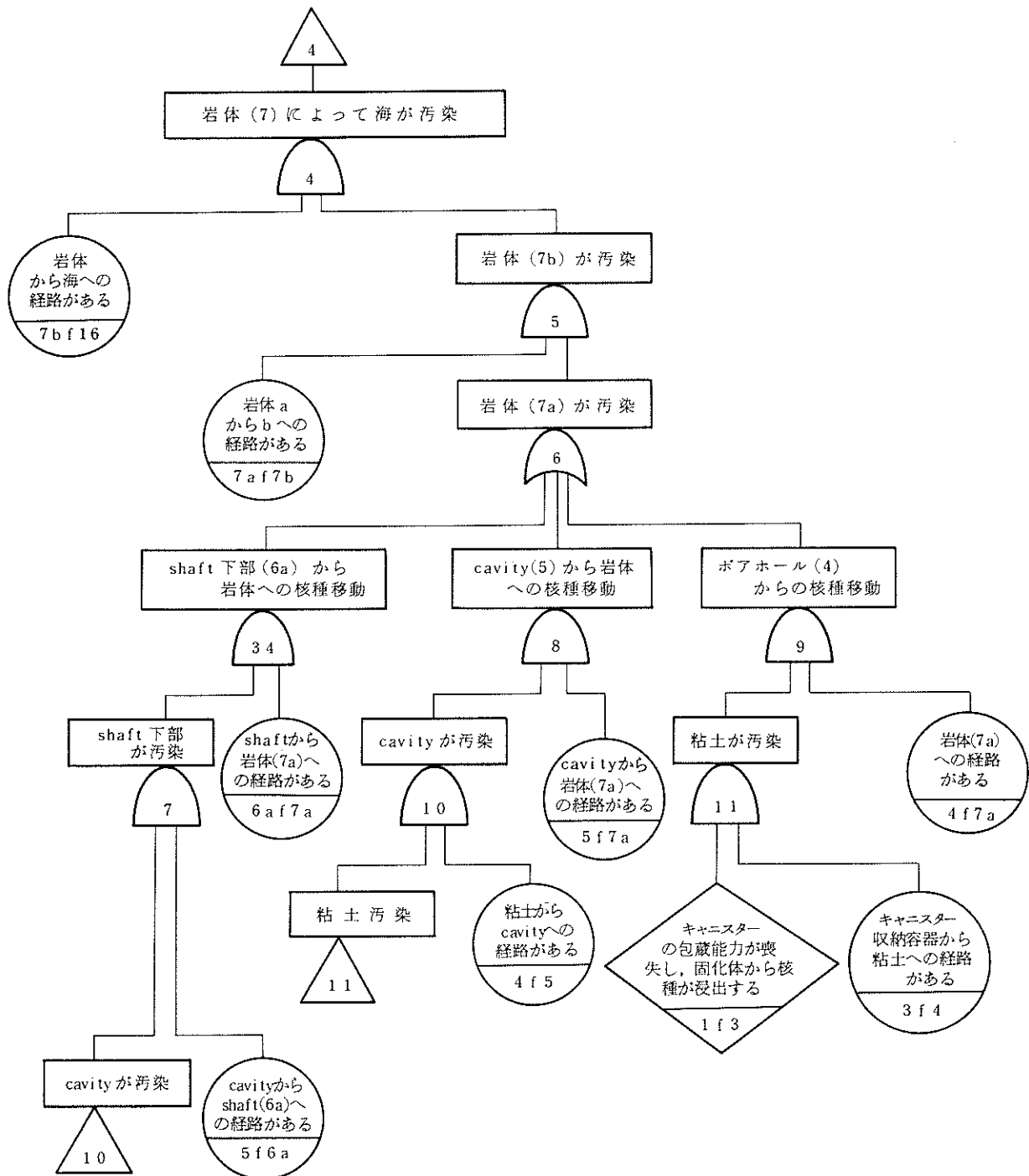


図 4.5 核種輸送の経路ツリー (2/6)

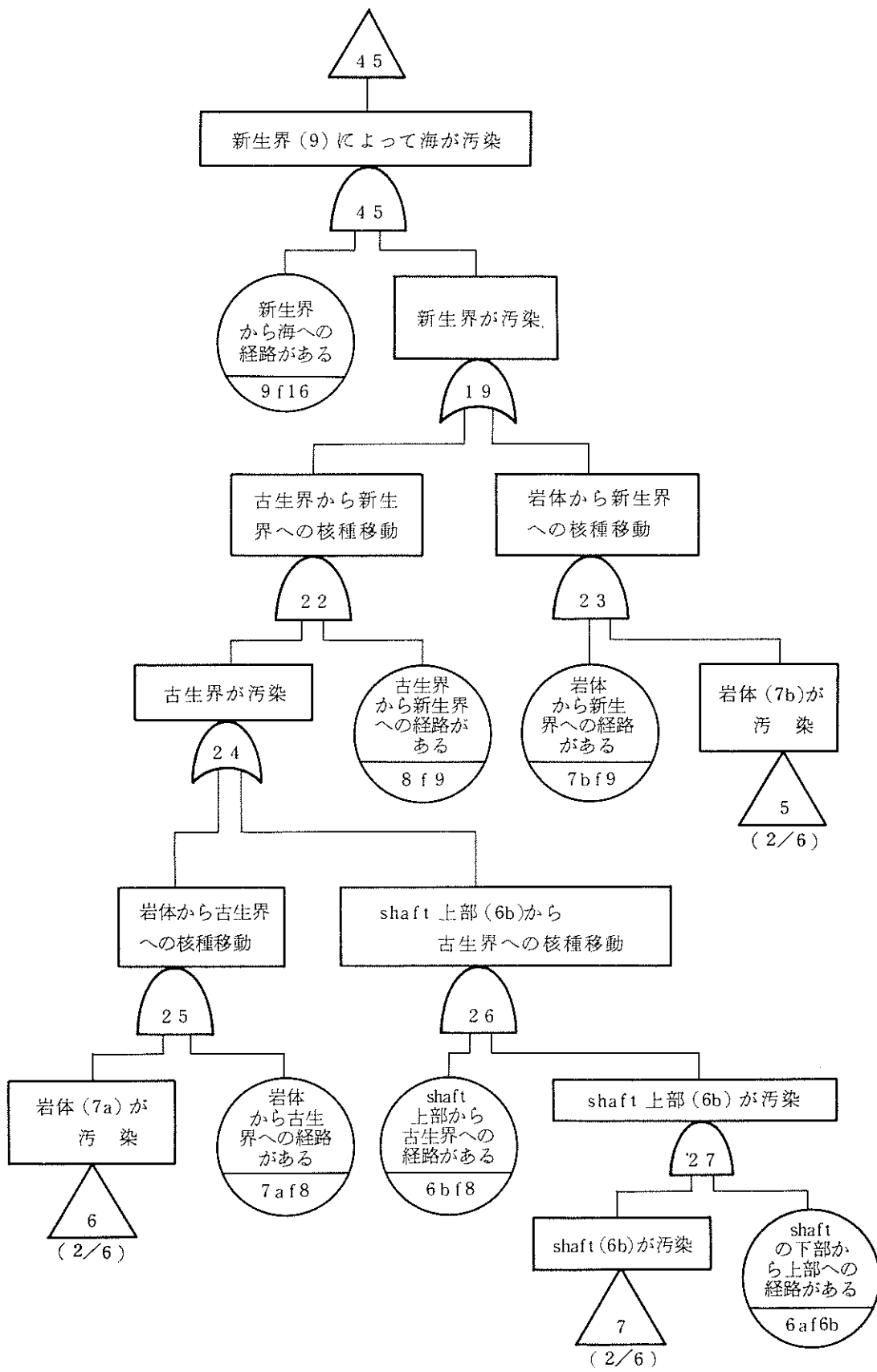


図 4.5 核種輸送の経路ツリー ( 3 / 6 )

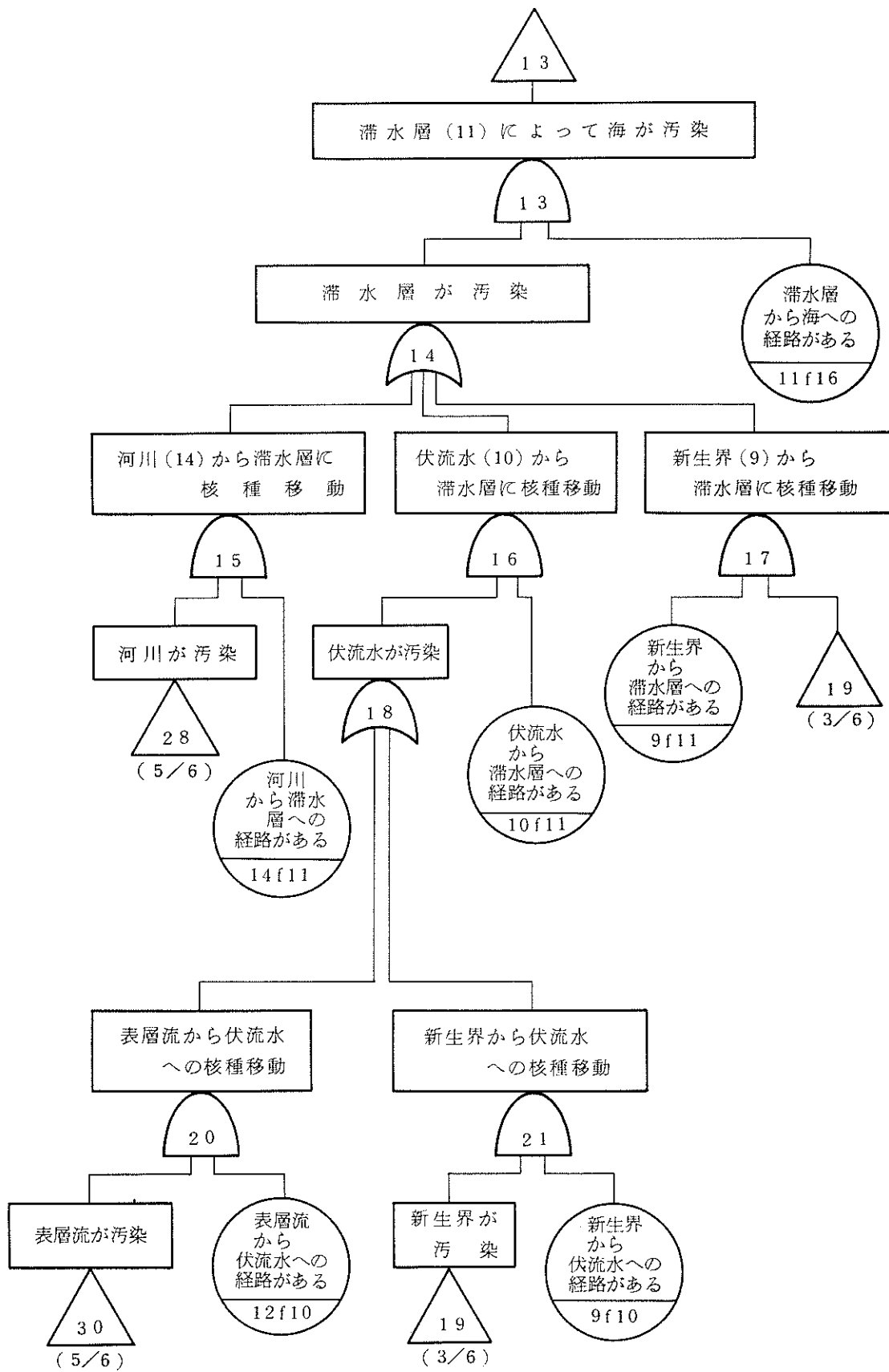


図 4.5 核種輸送の経路ツリー (4/6)

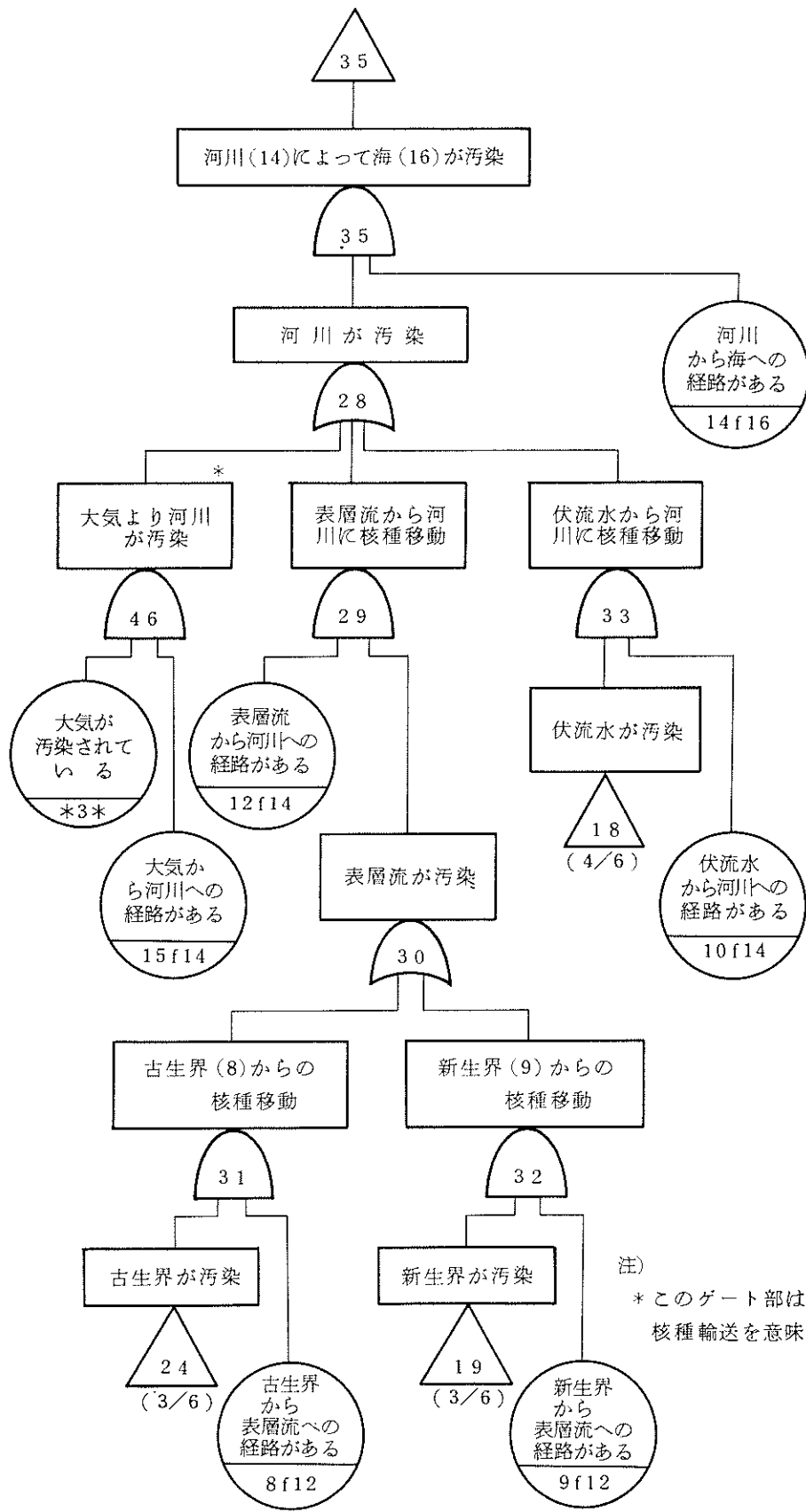


図 4.5 核種輸送の経路ツリー (5/6)

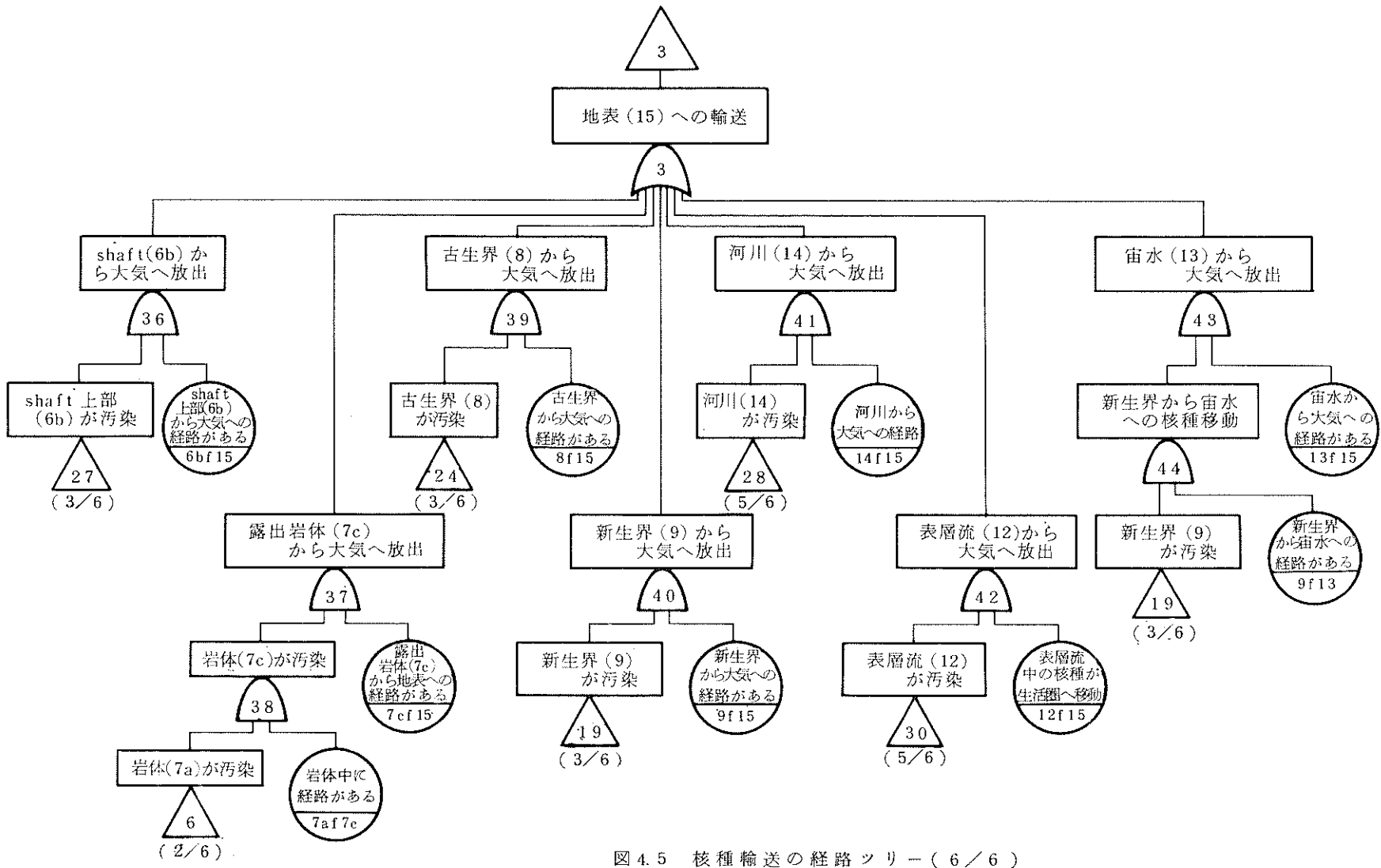


図 4.5 核種輸送の経路ツリー (6/6)

#### 4.9. 核種放出の経路シナリオ

- ① 前節で得られた、図 4.5 の「核種輸送の経路ツリー」から得られる人間環境，すなわち，接触媒質への核種放出経路を求める。

本章にて定義した接触媒質のうち河川については，伏流水と表層流につづく地質領域であり，人間が河川と接触する前に，伏流水・表層流と接触することになり，河川は人間と密接なつながりがあるとしても，人間との接触という面からは，伏流水・表層流と重なるために考察からはずした。

- ② 表 4.2 に，海・大気・表層流・滞水層・伏流水それぞれの接触媒質への核種の放出経路を示す。これは前出の図 4.5 のフォールト ツリーをコンピュータ コード (TREE and MICSUP)<sup>2)</sup> により処理して得られた。

- ③ これらの放出経路をみると，1つの最小の経路シナリオを基本として，迂回するものがほとんどである。たとえば，海への放出経路では，放出経路番号：1610 「キャニスター」⇒「キャニスター収納容器」⇒「粘土」⇒「サイト周辺の花崗岩体」⇒「海側の岩体」⇒「海」，すなわち，(1, 3, 4, 7 a, 7 b, 16)の経路シナリオが基本となり，図 4.6 に示すような各種経路要素が加わっていく。このようにしてみると，表 4.2 に示した放出経路のシナリオは，最小の経路シナリオのみを考えれば放出経路の発生(存在)確率の大きな経路が求まり，他のシナリオは意味がなくなる。しかしながら，経路(A fB)の障壁としての信頼度によっては必ずしも，最小の経路シナリオが最大の放出経路の発生(存在)確率をもたわすわけではなく<sup>\*</sup>，全シナリオについて検討をする必要がある。

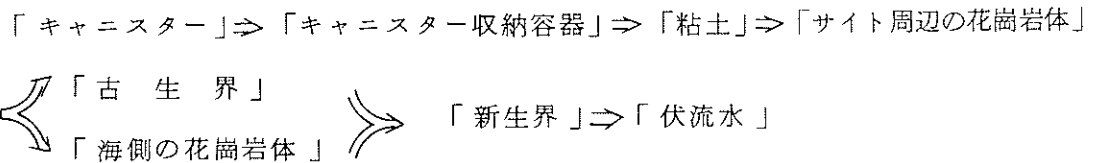
- ④ 上記のように，1つの最小の経路シナリオが基本となるため，経路発生(存在)確率を考える場合には，単に全経路シナリオの確率値を加えたのでは共通要素を含むために，正しく計算されない。

- ⑤ 以下に，各接触媒質における基本的な経路シナリオを示す。

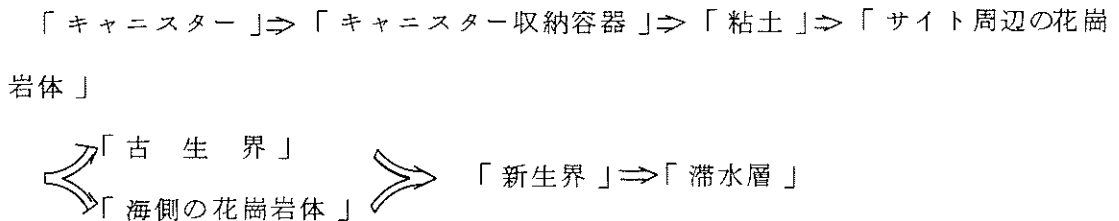
---

\* この点について後述の 6 章の表 6.2～表 6.6 参照

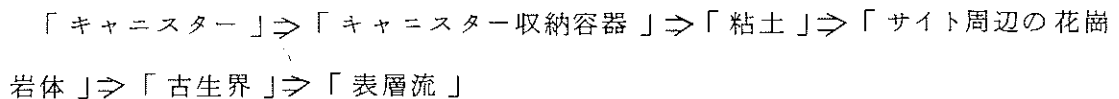
(i) 伏流水



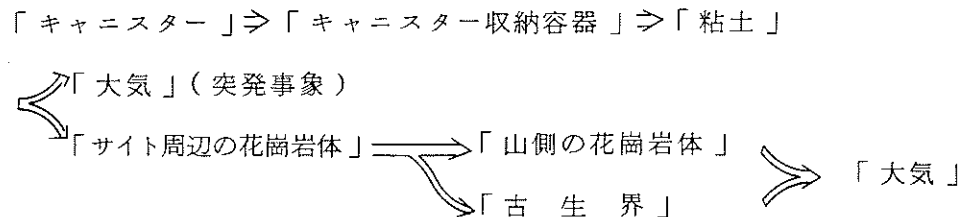
(ii) 滞水層



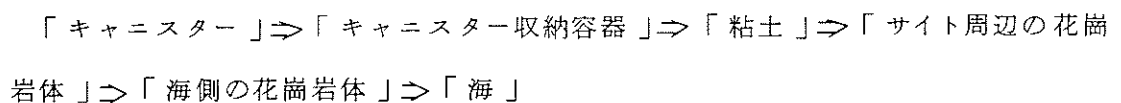
(iii) 表層流



(iv) 大気



(v) 海



⑥ 上記の各接触媒質への基本的な経路シナリオより、放出経路の発生(存在)に重要な位置をしめるものとして、

- (i) キャニスター (1)
- (ii) キャニスター収納容器 (3)
- (iii) 粘土 (4)
- (iv) サイト周辺の花崗岩体 (7a)

の4つがあげられ、次いで

- (v) 古生界 (8)
- (vi) 海側の花崗岩体 (7b)

の2つがあげられる。



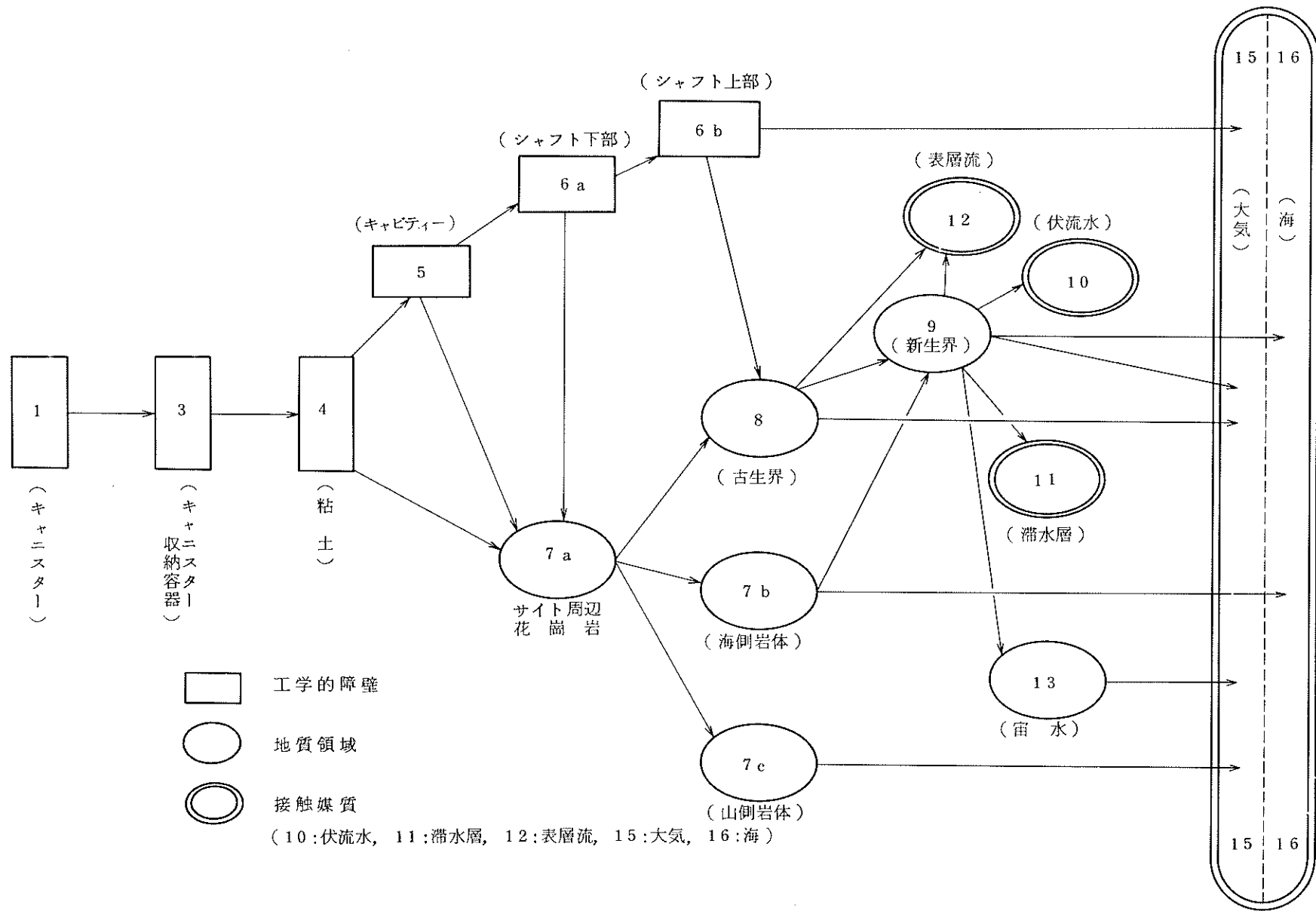


図 4.6 核種輸送経路図

表 4.2 接触媒質ごとの放出経路 (1/2)

番号	接触媒質	核 種 放 出 経 路														
1001	伏流水への	1	3	4	5	6a	6b	8	9	10						
1002	放出経路	1	3	4	5	6a	7a	8	9	10						
1003	(10)	1	3	4	5	6a	7a	7b	9	10						
1004		1	3	4	5		7a	7b	9	10						
1005		1	3	4	5		7a	8	9	10						
1006		1	3	4			7a	8	9	10						
1007		1	3	4			7a	7b	9	10						
1101	滞水層への	1	3	4	5	6a	6b	8	9	11						
1102	放出経路	1	3	4	5	6a	7a	8	9	11						
1103	(11)	1	3	4	5	6a	7a	7b	9	11						
1104		1	3	4	5		7a	7b	9	11						
1105		1	3	4	5		7a	8	9	11						
1106		1	3	4			7a	8	9	11						
1107		1	3	4			7a	7b	9	11						
1201	表層流への	1	3	4	5	6a	6b	8	9	12						
1202	放出経路	1	3	4	5	6a	7a	8	9	12						
1203	(12)	1	3	4	5	7a	7b		9	12						
1204		1	3	4	5	6a	7a	8		12						
1205		1	3	4	5	6a	6b	8		12						
1206		1	3	4	5	7a		8	9	12						
1207		1	3	4		7a	7b		9	12						
1208		1	3	4		7a		8	9	12						
1209		1	3	4		7a		8		12						

注) 経路要素

- 1 : キャニスター
- 3 : キャニスター収納容器
- 4 : 粘土
- 5 : キャビティ
- 6a : シャフト下部
- 6b : シャフト上部
- 7a : サイト周辺の花崗岩体
- 7b : 海側の花崗岩体
- 7c : 山側の花崗岩体
- 8 : 古生界
- 9 : 新生界
- 10 : 伏流水
- 11 : 滞水層
- 12 : 表層流
- 13 : 宙水
- 15 : 大気
- 16 : 海

表 4.2 接触媒質ごとの放出経路 (2/2)

番号	接触媒質	核 種 放 出 経 路															
1501	大気への	1	3	4	5	6a	6b	8	9	13	15						
1502	放出経路	1	3	4	5	6a	7a	7b	9	13	15						
1503		1	3	4	5	6a	7a	8	9	13	15						
1504		1	3	4	5	6a	6b	8	9		15						
1505		1	3	4	5	6a	7a	8	9		15						
1506		1	3	4	5	6a	7a	7b	9		15						
1507		1	3	4	5		7a	7b	9	13	15						
1508		1	3	4	5		7a	8	9	13	15						
1509		1	3	4	5	6a	6b	8			15						
1510		1	3	4	5	6a	7a	8			15						
1511		1	3	4	5		7a	7b	9		15						
1512		1	3	4	5		7a	8	9		15						
1513		1	3	4	5	6a	7a	7c			15						
1514		1	3	4			7a	7b	9	13	15						
1515		1	3	4			7a	8	9	13	15						
1516		1	3	4	5	6a	6b				15						
1517		1	3	4	5		7a	8			15						
1518		1	3	4	5		7a	7c			15						
1519		1	3	4			7a	7b	9		15						
1520		1	3	4			7a	8	9		15						
1521		1	3	4			7a	7c			15						
1522		1	3	4			7a	8			15						
1523	(突発事象)	(1	3	4)							15						
1601	海への	1	3	4	5	6a	6a	8	9	16							
1602	放出経路	1	3	4	5	6a	7a	8	9	16							
1603		1	3	4	5	6a	7a	7b	9	16							
1604		1	3	4	5		7a	8	9	16							
1605		1	3	4	5		7a	7b	9	16							
1606		1	3	4	5	6a	7a	7b		16							
1607		1	3	4			7a	8	9	16							
1608		1	3	4			7a	7b	9	16							
1609		1	3	4	5		7a	7b		16							
1610		1	3	4				7b		16							

注) 経路要素  
 1 : キャニスター  
 3 : キャニスター収  
 納容器  
 4 : 粘 土  
 5 : キャピィティ  
 6a : シャフト下部  
 6b : シャフト上部  
 7a : サイト周辺の花  
 崗岩体  
 7b : 海側の花崗岩体  
 7c : 山側の花崗岩体  
 8 : 古生界  
 9 : 新生界  
 10 : 伏流水  
 11 : 滞水層  
 12 : 表層流  
 13 : 宙 水  
 15 : 大 気  
 16 : 海

## 4.10 経路発生ของฟอร์ツツリーの作成と検討

### 4.10.1 経路発生ของฟอร์ツツリーの作成

ここでは、前節で作成された接触媒質への核種輸送の発生に関するฟอร์ツツリーの基本事象である「A f B」の発生原因をฟอร์ツツリーによって検討する。そうすると、この原因は以下の4つのグループに分けられることが解る。

グループ1：処分区域から放射性核種が直接環境へ放出されるような突発的かつ破局的な外乱事象

例：火山噴火，巨大隕石衝撃

グループ2：放射性核種が別の区域に移動しうるような経路を発生させる遅い地質学的な外乱事象

例：断層活動，地震，侵蝕

グループ3：放射性核種が別の区域に移動しうるような経路を発生させる人間の活動による地層の破壊

例：地下資源の採掘

グループ4：設計不良によって経路が発生する。

例：不可測欠陥

これらの関係を与えるฟอร์ツツリーは図4.7に示される。このฟอร์ツツリーはそれぞれのグループに属する原因が発生する確率と、これが欠陥をもたらす確率 $P(\sqrt{X_0})$ とのANDによりその障壁破損確率を求める形になっている。もう1つの考え方は、ある値以上の外乱が発生すると障壁は直ちに破壊するとして、そうした外乱の発生確率との確率の和として障壁破損確率とするものである。

また、隣接区域の破壊により誘発される破損は従属故障であり、その発生確率は隣接区域の破損の程度に依存する。

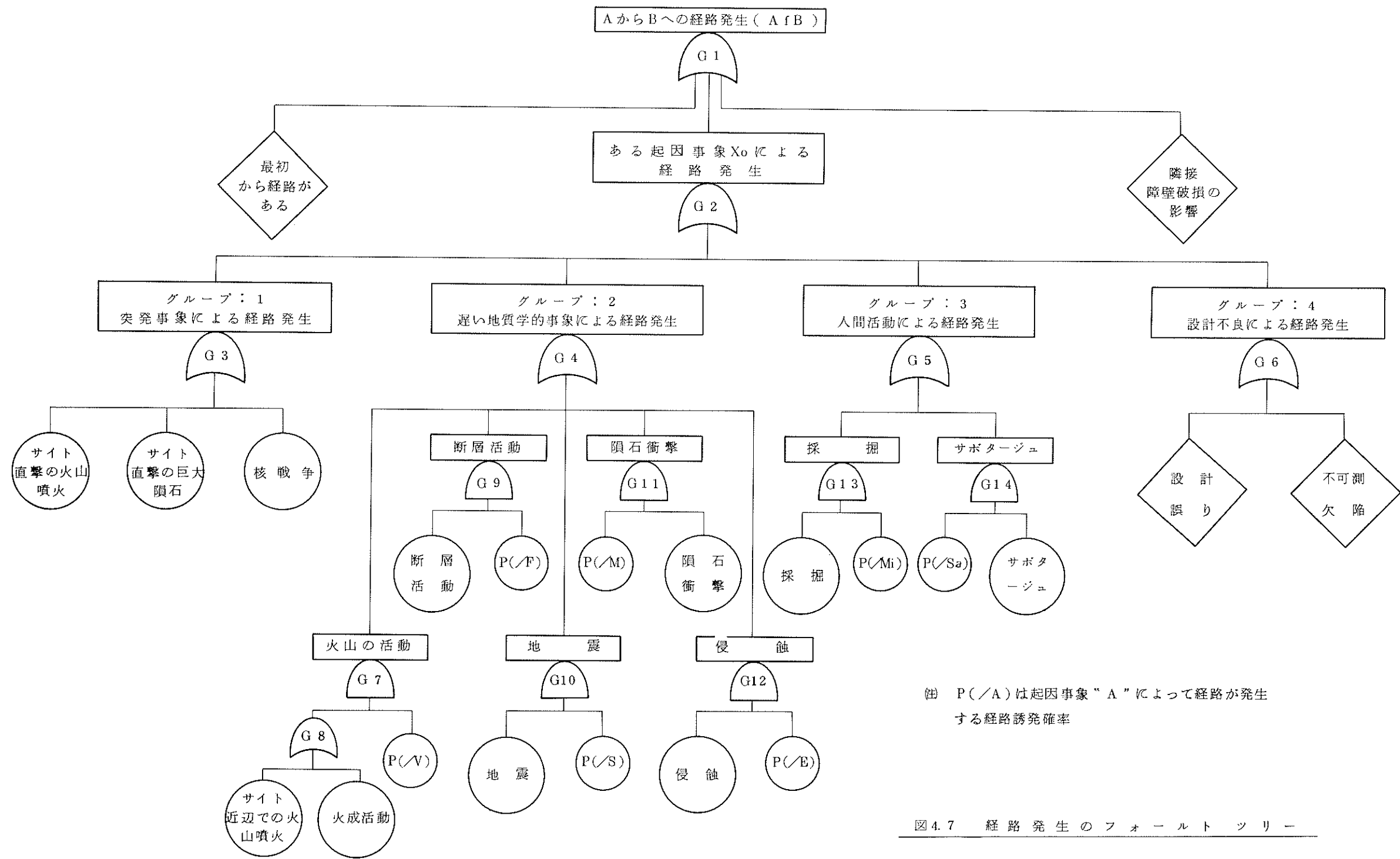


図4.7 経路発生 の フォールト ツリー

#### 4.10.2 経路発生 of フォールト ツリーの検討

経路発生 of フォールト ツリーとすでに得られた輸送経路 of 各シナリオを組合せると、概念的には図 4.8 のようなフォールト ツリーが得られる。この形 of フォールト ツリーには、ループが生じており取扱いが面倒になる。この原因は、いわゆる従属事象を考慮しているからである。

ところで、実際にはこのシナリオは個々の起因事象  $X_0$  に対して考察されるものである。そして従属関係はこの起因事象によって生じるものである。

したがって、 $P(A/B)^*$  は  $P(A/X_0)$  の成分と考えることができる。形式的には、 $P(A/B)P(B)$  の成分には、 $P(A/B)P_i(B)$  含まれるが、このときの  $P(A/B)$  は起因事象  $X_0$  の存在を仮定したときよりは、はるかに小さいので無視してよい。

以上により、図 4.8 のフォールト ツリーは、図 4.9 のように縮約される。

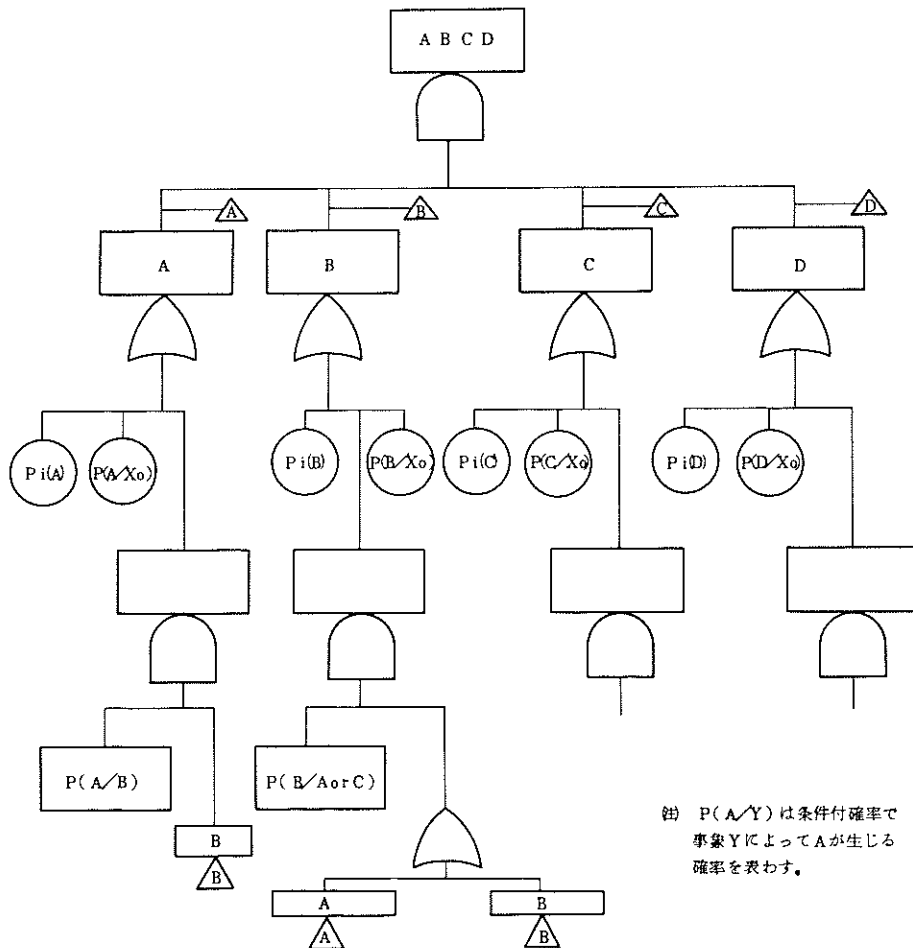


図 4.8 合成されたフォールト ツリーの概念図

\*  $P(U/V)$  :  $V$  によって  $U$  が生じる条件付確率

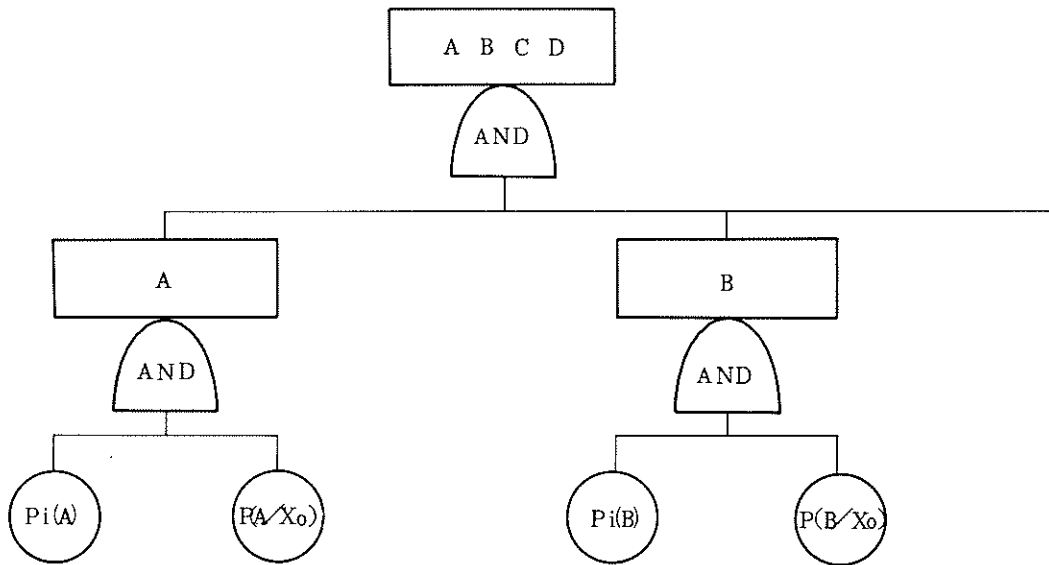


図 4.9 縮約フォートツリー

これから、このシナリオの発生頻度は、

$$\begin{aligned}
 & P(A, B, C, D/X_0) \\
 &= P(A, X_0) \otimes P(B, X_0) \otimes P(C, X_0) \otimes P(D, X_0) \\
 &= \{P_i(A) \oplus P(A/X_0)P(X_0)\} \otimes \{P_i(B) \oplus P(B/X_0)P(X_0)\} \otimes \dots \dots \dots (4.1)
 \end{aligned}$$

となる。ところでここで各確率の中味を考える必要がある。

まず、各障壁中に経路が存在する確率であるが、固有に存在しているものと、起因事象  $X_0$  によって誘発されたものとは、極めて共通的であると考えられる。

そうすると、

$$P_i(A) \oplus P(A/X_0)P(X_0) = \text{Max} \{P_i(A), P(A/X_0)P(X_0)\} \dots \dots \dots (4.2)$$

と扱うのが妥当である。

そこで、もし、上の例で  $P(A, B)$  が  $P(A/X_0)P(X_0) \otimes P(B/X_0)P(X_0)$  で与えられたとしたらどうであろうか。この場合 2 つの破損の結合の割合によって、 $P(A, B)$  は、

$$\begin{aligned}
 P(A/X_0)P(B/X_0)P(X_0) \leq P(A, B) \leq \text{Min} \{P(A/X_0), P(B/X_0)\}P(X_0) \\
 \dots \dots \dots (4.3)
 \end{aligned}$$

の範囲に存在し得る。

以上の考察より、外乱の存在下のシナリオを考える際、次のことに注意すべきことが知られる。

- ① 外乱下においても、前出の経路シナリオには変更はない。つまり経路ツリーより得られたシナリオは考えられる全てをつくしている。
- ② 障壁によっては、外乱の発生によってもそこに経路が存在している確率が変化しないことがある。たとえば、当初から経路が明らかに存在している場合とか、外乱が何ら影響をもたない場合である。
- ③ 障壁破損の組合せを考える際、外乱下においても各障壁の破損が独立と考えてよい場合がある。
- ④ 障壁破損の組合せを考える際、外乱下においては各障壁の破損が強く結合していることがある。

上記の②を主張できる条件は(4.2)式であるが、②、③については工学的判断が必要になり、それぞれの外乱下のシナリオについて個別的に検討する必要がある。



#### 4. 11 キャニスター破損のフォールト ツリー

前出の経路シナリオ(表4.2)に含まれている次の2つの経路,

- ① 高レベル廃棄物の固化体からキャニスター収納容器への経路が生じる……1 f 3
- ② キャニスター収納容器から, 垂直坑内の粘土への経路が生じる……3 f 4

の破損に関するものが全てのシナリオに含まれているので, リスク評価には最も重要な経路要素と言えるであろう。

この節では, 特に①の固化体から放射性核種が放出されることについて調べるために, 「キャニスターの破損」をTop Eventとするフォールト ツリーを作成し, これについて若干の検討を行う。

##### 4. 11.1 キャニスター破損のフォールト ツリー

キャニスターの破損をもたらす, 放射性核種を放出する起因事象としては, 前出の起因事象とほぼ同様のものが考えられるが, ここでは次のように分類した。

###### 1 群……熱的要素による破損

例: マグマ貫入

崩壊熱

###### 2 群……機械的要素による破損

例: 断層変位による破損

採掘による破損

###### 3 群……化学的要素による破損

例: 地下水による腐蝕

###### 4 群……設計誤りによる破損

例: 設計エラー

欠陥見逃し

これら各群から図4.10のような暫定的なフォールト ツリーが得られた。同図のフォールト ツリーは, 上記, 各群についてさらにツリーを作るべきものである。ここで破損の起因事象について考えると, 特定の初期事象のみで破損をもたらすケースの方が, 各種初期事象が重畳して破損に至るケース(複合事象による破損)よりも, 10,000年の期間でみた場合, 一般的にその頻度は高いと思われる。また, 複合事象

による破損を解明することはほとんど不可能に近く、ツリー構成上もループを生じる可能性が高い。実際に計算を行うとなれば、初期事象の分類が難しく、共通要因故障の取扱いの難しさのために、計算ができないことが十分考えられる。このような点を考えると、複合事象による破損を検討するのは、シナリオを抽出するにはよいが、実用面では適切とは言えない。

そこで、本節では、上記各群について特定の初期事象によってキャニスターが破損される場合を検討した。

#### 4.1 1.2. 若干の検討

##### 1) 熱的要素によるキャニスターの破損

- ① 熱的要素としては、火山の活動が主な起因事象と考えられる。
- ② 自己の崩壊熱による影響は、4群：設計誤りの範ちゅうに入るであろう。

##### 2) 機械的要素によるキャニスターの破損

- ① 機械的要素には、内生的なものと同様のものがあるが、前者は4群：「設計誤り」と同一である。
- ② 外生的な機械的要素は、図4.7で示した起因事象と同様のものが考えられる。  
このうち、火山噴火、巨大隕石はもし直撃されれば、防ぐことが不可能と思われ、前者はサイト選定において避け、後者はその影響が及ばない深部にサイトを設けることによってのみ避けることになろう。

その他、地質学的時間での起因事象はキャニスターのもつ信頼性の保証期間とも関わり、今後の問題となろう。

- ③ 外生的な起因事象には、自然現象の他に人為的な事象、採掘、サボタージュなどが考えられる。

##### 3) 化学的要素によるキャニスターの破損

化学的要素として考えられるものには、腐蝕・材料劣化などがあるが、前者は設計条件、サイトの健全性に支配され、後者はキャニスターの信頼性の保証期間とも関わる。

##### 4) 設計誤りによるキャニスターの破損

キャニスターの設計基準は、上記1)から3)に述べたような各種外乱を前提にし

て作成されなければならない。この場合、致命的な外乱の見落しをなくすこと、設計のマージンをどのように設定するか、製作とその保証を得る方法、などについて今後検討していくことが必要である。6章にて若干述べるが、設計条件について、信頼性をどこまでとるかが今後の課題として残るであろう。

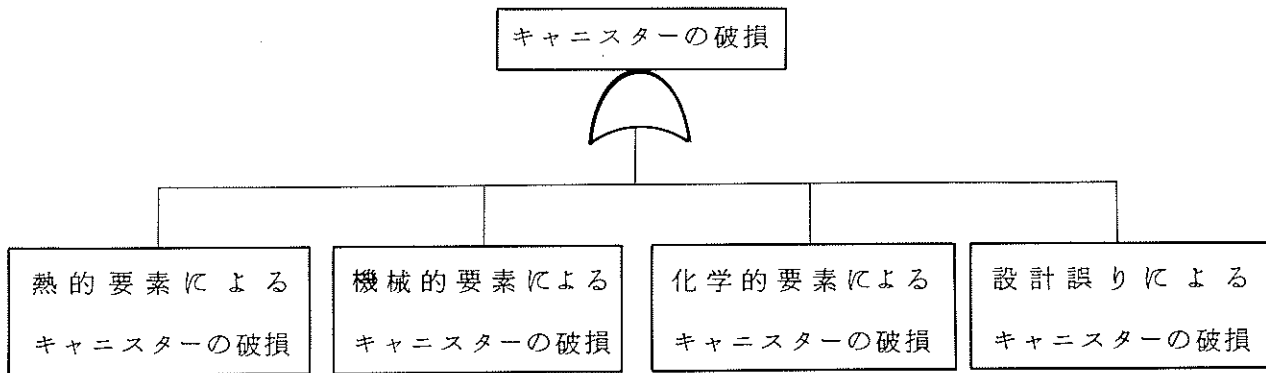


図 4.10 キャニスター破損のフォールト ツリー

#### 4.12. ま と め

本章ではサイトの概念が設定され、これから、経路ツリーを導き、経路のシナリオが得られた。つぎに、それぞれの経路要素の発生についてのフォールト ツリー、およびキャニスターの破損のフォールト ツリーが検討された。そして、簡単な考察を行い、これらの組合せにより、経路の存在確率を求める際の留意事項が求められた。

## 5. 入力データ

前章にて得られた各シナリオの発生頻度を計算するには、各種の入力データが必要となる。本章においては入力データの種類とその定義、および試算を行った。

### 5.1 入力データの定義

入力データの種類には、次の4つがある。

- ①  $P(X_0)$  = 経路を発生させる可能性のある基本事象 ( $X_0$ ) の発生頻度
- ②  $P(\wedge X_0)$  = 経路を発生させる可能性のある基本事象 ( $X_0$ ) によって、実際に経路が発生する確率：経路誘発確率。

これは基本事象 ( $X_0$ ) ごとに与えられるものである。

- ③  $P_i(\quad)$  = 区域間によっては最初から経路が存在する確率が零でないところがあるが、この自然に経路が存在している確率。ここで  $P_i$  は一般的には指数分布に従うものと近似できるが、初期故障が継続するような場合にはあてはまらない。

これらの値を求めていく際、考察の対象とする時間が問題となる。すなわち、たとえば指数分布に従うものは、当初は値が小さくても時間が十分たてば、確率値が1に近いであろうし、また値の信頼度も変わってくる。そこで、ここでは10,000年間の挙動を検討することとしている。そうすると、 $P(X_0)$  は10,000年の起因事象  $X_0$  の発生頻度、 $P_i(\quad)$  は10,000年の間で平均的に考えて、障壁に経路が存在している確率ということになる。

### 5.2 経路発生をもたらす起因事象の発生頻度

4章にて得られた経路発生ของフォールトツリーの基本事象は、地質学的事象と人為的事象に大別される。本研究においては、地質学的な事象に限定するが、そのなかでも次の4事象についてのみの発生頻度を求めた。

#### (1) 火山の活動

- ① 火山の噴火 ..... 発生頻度  $P(V)$
- ② 火成活動 ..... 発生頻度  $P(V_a)$

#### (2) 断層の活動 ..... 発生頻度 $P(F)$

(3) 地震の発生 ..... 発生頻度 P (S)

(4) 隕石衝撃 ..... 発生頻度 P (M)

これらの他に、付録 B に述べた起因事象が考えられるが、次のような理由により、本研究では検討対象から外した。<sup>\*</sup>

(i) 侵 蝕

日本は世界でも有数の侵蝕率が高い地区であるが、侵蝕率はサイトの存在する地表面の標高に支配されることからサイトの選定によって影響を無視することが可能となる。特に、本研究では検討の対象期間を処分完了後から 10,000 年後迄としており、その期間での侵蝕量は日本で知られている最大のもの（山岳地帯）をとっても 100 m 程度であり、十分無視することが可能である。

(ii) 褶曲運動

東北日本および上越のいくつかの地域では波長数 km の褶曲運動が第 4 紀にはいつて以来現在まで引続き起っていると推定され、地中内処分場への影響が十分考えられる。しかしながら、この現象は断層活動の一原因と考えられており、断層活動に含めて考えた。

(iii) 蒸気・熱水による作用

蒸気・熱水による作用、すなわち温泉水による作用であるが、これらは岩盤や工学的施設の力学的・化学的破損を生じる可能性があり十分考慮しなければならない。しかしながら、これは火成活動の一形態として考えることが可能である。

(iv) 氷河作用

日本の場合、氷河におおわれる可能性があるのは近畿以北（北緯 35° 以北）と考えられる。また今後 10,000 年で考えた場合、氷河期が訪れる確率は零と考えられる。したがって、本研究では、氷河作用は無視することができるであろう。

(v) 地すべり

地すべりには表層地すべりと深層地すべりの 2 種類がある。表層地すべりは起伏のない地点を選ぶことにより防ぐことが可能である。深層地すべりについてはその現象が未だ解明されていないが、表層地すべりも含め、花崗岩体上方の地層での現象であり、処分場への影響は無視することができる。しかしながら、経路発生シナリオでは、シャ

---

\* 付録 B 「日本の地質特性について」参照

フトを破損する事象として考えなければならないが、これは地すべりの挙動が解明されないことには、その発生頻度、影響度を知ることができず、本研究では対象外とした。

#### (VI) その他

その他に地質学的事象として傾動、地盤沈下、山はね等があるが、本研究では有意な事象とはならず検討の対象から外した。

### 5.2.1 火山活動の発生頻度

#### 1) 既往の報告書の計算例

##### (1) S.E. Logan の場合<sup>36)</sup>

米国中部デラウェア盆地を例に以下のように計算した。

##### ① デラウェア盆地の面積

$$3.1 \times 10^4 \text{ km}^2$$

##### ② 二畳紀(約 $2 \times 10^8$ 年前)以降の火山の活動

ゼ ロ

##### ③ 二畳紀以降のマグマ活動

$3 \times 10^7$  年前のランプロファイ岩脈が幾つかあるだけ

##### ④ 処分場の面積

$$10 \text{ km}^2$$

以上の条件より、幾つかのランプロファイ岩脈が貫入したことを1回の火山の活動として、デラウェア盆地での火山の活動の確率を、 $1/2 \times 10^8 = 5 \times 10^{-9}$  (1/年)、また、或る1つの噴火によって影響を受ける区域を処分場を含め  $50.3 \text{ km}^2$ \* として、

$$\frac{\text{影響範囲の面積}}{\text{デラウェア盆地全面積}} = \frac{50.3}{3.1 \times 10^4}$$

より、火山噴火の発生頻度  $P(V)$  を

$$\begin{aligned} P(V) &= (5 \times 10^{-9}) \times 50.3 / 3.1 \times 10^4 \\ &= 8.1 \times 10^{-12} \text{ (1/年)} \end{aligned}$$

---

\* 計算から影響区域を半径 4 km の範囲としている。

とした。また噴火に至らないものの発生頻度は、噴火の発生頻度の1/10程度と見積り

$$P(VA) = 8 \times 10^{-13} \quad (1/\text{年})$$

としている。

(2) H.C. Claiborne の場合<sup>39)</sup>

S.E. Logan の場合と同様、デラウェア盆地を例として検討しているが、火山噴火は隕石のようにランダムに発生するものでなく特定の区域に集中しており、地殻変動(巨大断層)によってマグマが上昇するということから巨大断層の発生確率よりも低いとしている。結論としては、処分場での火山活動の確率値には言及せず、巨大隕石の衝突の確率( $2 \times 10^{-13}$  /年)よりも小さいとしか述べていない。

(3) K.J. Schneider の場合<sup>35)</sup>

上記 Claiborne と同様、火山噴火の地域的偏在から、過去および将来にかけて火山活動のない地点を選べばよしと、他の事象に比較して重要でないとしている。

(4) P.D. Grimwood の場合<sup>10)</sup>

イギリスを例として考え、イギリスから一番近い火山でもアイスランドとイタリアの火山であるから、火山の噴火という事象は重要ではないとする。

更に一応の目安として、次の様に推定している。

全地球的規模での火山活動のテクトニクスを無視し、最近225年間で約10個の新火山が生じたことを時間的、空間時(地理的)にランダムな現象と仮定した上で、

$$\frac{10 \text{ (個)}}{225 \text{ (年)}} \times \frac{\text{英国の面積}}{\text{全地球の表面積}} = 5 \times 10^{-11} \quad (1/\text{年})$$

と計算し、実際にはイギリスは火山がない地域であることを考慮に入れて、イギリスの或る地点につくった処分場が火山噴火の影響を受ける確率を $10^{-12}$  (1/年)以下と推定している。

(5) G. Bertozzi の場合<sup>8),9)</sup>

マグマの噴出は大きな断層に沿って起こることが多く、かつ大きな断層があるからといって必ずマグマの噴出が起こるとは限らない。10万年間に大きな断層が処分場付近に発生する確率を $4 \times 10^{-6}$  とし、ある1つの大きな断層に沿ってマグマが噴出

する確率を  $10^{-3}$  と見積り、処分場が火山の噴火により影響を受ける確率を、10 万年の段階で

$$4 \times 10^{-6} \times 10^{-3} = 4 \times 10^{-9}$$

としている。

## 2) 既往の計算例の検討

以上の研究例は、それぞれ異った仕方で計算しているが、得られた値は大体同じで、

$$10^{-11} \sim 10^{-13} \quad (1/\text{年})$$

となっている。これらの研究例の特徴は次の3点にある。

- ① 現在の地球には、火山帯や火山を有さない安定地塊等相互に明瞭に異なる地帯があるが、それらの差異を意図的に無視している。
- ② ある1つの地域が数100万年以上にわたって同一のテクトニズム、火成活動の下にある確率は1ではない。このことを意図的に無視して2億年あるいは約200年という非常に長いあるいは短い時間間隔で割算し、それを将来のことに類推している。
- ③ 火山の噴出の仕方には、複成火山、単成火山群、割れ目噴火等、いくつかの相異なる様式があることを無視している。

欧米では、火山の発達していない区域内に処分場を選べば、上記①、②、③は皆推定した確率値を実際より大きい値とすることになり、従ってどんなに大きく見積っても、 $10^{-11} \sim 10^{-13} (1/\text{年})$ であるということになる。

一方島弧にあるわが国では、①、②、③は推定値を極端に小さくしてしまうか、あるいはほとんど無意味にしてしまう性質のものである。したがって、わが国では、①、②、③、それぞれにおける相異点を明確にして計算する必要がある。

## 3) 日本における計算例 …… 山陰地方を対象とする。

- ① 山陰地方の総面積 ……  $40 \text{ km} \times 400 \text{ km}$

噴出中心より3km以内にサイトがあれば破壊されるとし、噴出中心の位置はランダムに決まるとして、ある1つの火山の発生によりサイトが破壊される確率は；



$$\frac{\pi \times (3 \text{ km})^2}{40 \text{ km} \times 400 \text{ km}} \cong 1.7 \times 10^{-3}$$

- ② 山陰地方で最近180万年間に活動した火山の数は11ヶ。したがって今後100万年間に発生する火山の数の期待値は約6ヶ。これから今後100万年間に火山によりサイトが破壊される確率は

$$(1.7 \times 10^{-3}) \times 6 = 1.0 \times 10^{-2}$$

同様に、今後10万年、1万年間に破壊される確率は、順に

$$(1.7 \times 10^{-3}) \times 0.6 = 1.0 \times 10^{-3}$$

$$(1.7 \times 10^{-3}) \times 0.06 = 1.0 \times 10^{-4}$$

- ③ ②の計算で、今後1万年間に発生する火山の数の期待値を0.06としたが、この場合、信頼区間が広がり、従って、 $10^{-4}$ の信頼区間も相当に大きくなって精度の良い推定とは言えなくなる。

今後1万年以内の推定値は次の様にして求めることもできる。

- ④ 最近1,500年間に山陰地方では一つの火山も発生していない。任意の1,000年間の間を考えた時、その1,000年の間に火山活動があったかなかったかの二分法で考えるとすると、最近1,000年間では火山活動がなかったことになる。これを二項分布からの大きさ1のランダムサンプリングの結果と考えれば、“1,000年間に火山活動がある”という事象の90%信頼区間は0~10%。最大値を取って10%=0.1とすると、今後1,000年間に火山が発生する確率は0.1、従って、今後1,000年間に火山により破壊される確率は

$$(2 \times 10^{-3}) \times 0.1 \cong 10^{-4}$$

- ⑤ 今後100年間にサイトが火山により破壊される確率は、④と全く同様に考えて

$$10^{-4}$$

或いは、④の結果に基づいて

$$10^{-4} \div 10 = 10^{-5}$$

- ⑥ 今後1万年間にサイトが火山により破壊される確率は、④に基づいて

$$10^{-4} \times 10 = 10^{-3}$$

- ⑦ 以上の結果をまとめると：

1000年	1,000年	1万年	10万年	100万年
$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$
$10^{-4}$		$10^{-3}$		

すなわち  $10^{-7} \sim 10^{-8}$  (1/年) となる。

#### 4) データ比較

ここに得られた推定値  $\sim 10^{-8}$  (1/年) は欧米の値  $10^{-11} \sim 10^{-13}$  (1/年) の  $10^3 \sim 10^5$  倍となっている。

ここでは山陰地方の最近1,500年或いは180万年を計算の基礎とすることで、批評①, ②, ③に関しては、欧米の研究例に比して大巾に改善されている。しかし、それでも、時間的-空間的ランダム性を保証する地質データは今のところまだない。

例えば、山陰地方の約40km×400kmの範囲内で噴火中心の位置がランダムに分布するという仮定の下で計算を行ったが、実際の火山の分布は幾つかの区域内で多く、それら以外では少ないという傾向が見られる。従って山陰地方内でも火山の比較的少ない所に処分場を考えると、実際には  $2 \times 10^{-3}$  より小さい値となるであろう。又最近180万年間に活動した火山(11ヶ)の活動時期は、時間的、時代的にランダムに発生したとする地質学的根拠はなく、むしろ、180万年の間でも活動の活発な時期とそうでない時期があった可能性がある。従ってこの点について更に地質学的研究および既存データの整理が望まれる。

#### 5) 本研究で使用する火山噴火の発生頻度

2) の日本の計算例より、ゾーンI(半径3km)における火山噴火の発生頻度は、

$$P_I(V) = 10^{-8} \text{ (1/年)}$$

であり、ゾーンII, IIIでは、ゾーンIとの面積比からその発生頻度は、 $P_j(V) = (S/S_0) \times P_I(V)$ と表わされる。

すなわち、 $S_0 = 3^2 \pi$  からゾーンII(半径10km)では

$$\begin{aligned} P_{II}(V) &= (10^2 \pi / 3^2 \pi) \times P_I(V) \\ &= 10^{-7} \text{ (1/年)} \end{aligned}$$

同様にゾーンⅢ（半径30 km）では

$$P_{\text{III}}(V) \cong (30^2 \pi / 3^2 \pi) \times P_{\text{I}}(V) \\ \cong 10^{-6} \text{ (1/年)}$$

となる。

また、噴火に至らない火山の活動（マグマの貫入等）はその評価が難しく、未知な点が多い。しかし、火山の活動を考えるうえで噴火だけを考えたのでは十分とは言えない。この点については、S.E. Logan氏は、火成活動として、火山の噴火の発生頻度に比べ1桁高い値を与えて検討しており、本研究においてもこの方法を用いて、火成活動（噴火に至らない火山の活動）の発生頻度を求めた。

すなわち、

$$P_j(VA) = 10 P_j(V) \quad (j = \text{I, II, III})$$

となる。

## 5.2.2 断層活動の発生頻度

### 1) 既往の報告書の計算例と検討

#### (1) S.E. Logan の場合<sup>36)</sup>

デラウェア盆地について：

$$\begin{aligned} & \text{破断の線密度 } 0.2/\text{km} \times \text{処分場のさしわたし } 3 \text{ km} \\ & \times \frac{\text{活断層の総面積 } 2 \times 10^4 \text{ km}^2}{\text{古生代後期に活動した断層面の総面積 } 10^4 \text{ km}^2} \times \frac{1}{\text{第4紀の期間 } 160 \text{ 万年}} \\ & \times (\text{断層に沿って変位の生じる確率 } 0.2) = 1.5 \times 10^{-7} \text{ (1/年)} \end{aligned}$$

#### (2) H.C. Claiborne の場合<sup>39)</sup>

デラウェア盆地について：

30,000 km<sup>2</sup>の盆地内には長さ18 km と4 km の2つの断層があり、これが過去  $2 \times 10^8$  年間に生じた断層のすべてである。処分場の面積を8 km<sup>2</sup>として

$$\frac{(18+4) \text{ km} \times \sqrt{8} \text{ km}}{30,000 \text{ km}^2} \times \frac{1}{2 \times 10^8 \text{ (yr)}} = 2 \times 10^{-11} \text{ (1/年)}$$

(3) P.D. Grimwood の場合<sup>10)</sup>

$$\log_{10} L D^2 = 2.24 M - 4.99$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L, D : \text{断層の長さ} \text{と} \text{変位量} \\ M : \text{地震のマグニチュード} \\ D/L \sim 10^{-4} \end{array} \right.$$

なる経験式と地震の発生データとから断層変位が生ずる確率を求め、それに基づいて

$$10^{-5} \text{ (1/年)} \text{ と推定している。}$$

(4) G. Bertozzi の場合<sup>8),9)</sup>

小変位断層が処分場に発生する確率を  $10^{-11}$  (1/年)

とし、特大変位断層の確率をこれの  $1/100$  として  $10^{-13}$  (1/年)

と推定しているが、その根拠は示されていない。

(5) 検 討

以上の研究例は、推論の各ステップでの母集団というものが非常にあいまいになっていて、実際には何を計算しているのか不明となっている。また、推論の仕方もかなり大まかである。

2) 日本における計算例

[ 事例 I ] 中国地方 (面積  $62,500 \text{ km}^2$ )

中国地方に最近 180 万年間に活動した断層の数は約 50 ケ、それらの長さは  $10 \sim 50 \text{ km}$ 、平均で  $25 \text{ km}$  程度とする。

断層の発生が時間的・空間的にランダムと仮定すると、

① 今後 100 万年以内にサイトに断層が走る確率は、

$$\frac{50 \text{ ケ}}{180 \text{ 万年}} \times 100 \text{ 万年} \times \frac{0.2 \text{ km} \times (25 \text{ km} + 0.2 \text{ km})}{62,500 \text{ km}^2} \approx 2 \times 10^{-3}$$

(注) サイトの一边の長さを  $200 \text{ m}$  とする

② 今後 10 万年以内にサイトに断層が走る確率は

$$\frac{50 \text{ ケ}}{180 \text{ 万年}} \times 10 \text{ 万年} \times \frac{0.2 \times (25 + 0.2)}{62,500} \approx 2 \times 10^{-4}$$

③ 今後10万年以内にサイトに断層が走る確率は

$$\text{同様にして } 2 \times 10^{-5}$$

④ したがって、 $P_1 = 2 \times 10^{-9}$  (1/年)となる。

[事例Ⅱ] 若狭湾西部地域 (範囲: 50 km × 50 km)

断層の活動は地震の発生とほぼ対応しており、古文書などの記録により過去何年間での地震の発生回数から断層活動の頻度を求めてみる。

① 古文書によると若狭湾西部地域では過去1,300年間に22回の地震が確認される。これは、発生率にすると

$$\left. \begin{array}{l} 100 \text{年} \quad \text{— 約 } 2 \text{回} \\ 1,000 \text{年} \quad \text{— 約 } 20 \text{回} \\ 10,000 \text{年} \quad \text{— 約 } 200 \text{回} \end{array} \right\} P_2 = 2 \times 10^{-2} \text{ (1/年)}$$

② これらの地震に際して、20 kmの長さの断層が生じたとすると、地理的にランダムに発生した一つの断層がサイト(200 m × 200 m)を通る確率は

$$\frac{0.2 \text{ km} \times (20 + 0.2) \text{ km}}{50 \text{ km} \times 50 \text{ km}} = 1.6 \times 10^{-3}$$

③ この値から100年、1,000年、10,000年、における確率は、

$$100 \text{年間} \quad 2 \times 1.6 \times 10^{-3} = 3.2 \times 10^{-3}$$

$$1,000 \text{年間} \quad 20 \times 1.6 \times 10^{-3} = 3.2 \times 10^{-2}$$

$$10,000 \text{年間} \quad 200 \times 1.6 \times 10^{-3} = 3.2 \times 10^{-1}$$

すなわち、 $P_2(F) = 3.2 \times 10^{-5}$  (1/年)と推定される。

[事例Ⅲ] 中国地方の大型地震の発生から断層活動の発生頻度の類推

① 理科年表によると、西暦500年から現在迄の約1,500年間にM=6以上の大地震は中国地方に14ヶ発生している。

これから大地震の発生頻度は

$$P_3 = \frac{14}{1,500} = 10^{-2} \text{ (1/年)}$$

② これらの地震によって20 kmの長さの断層が生じたとすると、地理的にランダムに発生した一つの断層がサイト(200 m × 200 m)を通る確率は、中国地方の面積6,2500 km<sup>2</sup>より

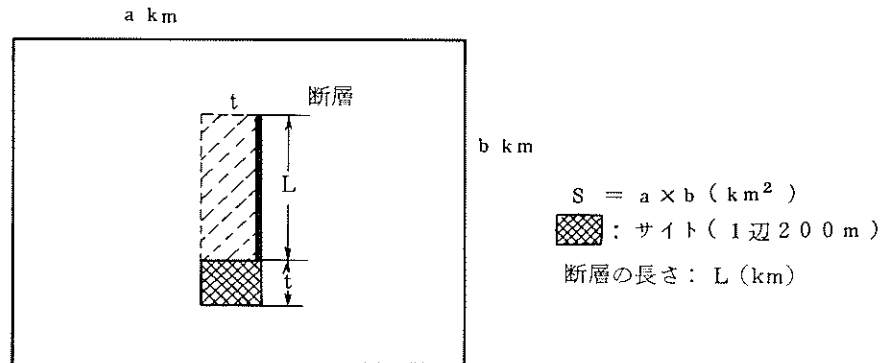
$$\frac{0.2 \text{ km} \times (20 + 0.2) \text{ km}}{62,500 \text{ km}^2} = 6.5 \times 10^{-5}$$

③ これから、サイトを通る断層活動の発生頻度は

$$10^{-2} \times 6.5 \times 10^{-5} = 6.5 \times 10^{-7} \quad (1/\text{年})$$

$$P_3(F) \doteq 10^{-6} \quad (1/\text{年})$$

(注)



$$\begin{aligned} \text{断層がサイトを通る確率} &= \frac{\text{断層がサイトを通る時の差しわたしの面積}}{\text{対象とする区域の全面積}} \\ &= t(L+t) / a \cdot b \end{aligned}$$

以上、3つの事例から日本の場合、サイトを通る断層の発生頻度は

$$P_1(F) = 2 \times 10^{-9} \quad (1/\text{年}) \doteq 10^{-9} \quad (1/\text{年})$$

$$P_2(F) = 3 \times 10^{-5} \quad (1/\text{年}) \doteq 10^{-5} \quad (1/\text{年})$$

$$P_3(F) = 7 \times 10^{-7} \quad (1/\text{年}) \doteq 10^{-6} \quad (1/\text{年})$$

が考えられる。

### 3) 比較・検討

欧米の研究の例でも、ここに示した日本の場合でも、どのようなデータに基づいて、どのようなモデルを考えるかによって、発生頻度の推定値は $10^4$ のファクターで変わることが2)の $P_1(F)$ ,  $P_2(F)$ ,  $P_3(F)$ からわかる。ここで計算した日本での事例について補足説明を行うと、

#### ① 事例 I

最近180万年間に活動した断層の数を50としたが、これらの中で現地で直接確認したものはわずかである。逆にここに掲げた約50の断層のほか最近180万年間に活動したことのある断層もあるかもしれない。従ってこの50という数字

は当該断層の数の大体のオーダーを示すものである。

② 事例Ⅱ

記録された22回の地震の中には、大きいものもあり、小さいものもある。更に、実際にはあったが、記録に残されていない地震もあり得る。これらの不確かさはあるが、一つの目安としてここに示した数を用いた。

③ 事例Ⅱ・Ⅲ

20 km という断層の長さは1回の地震で動き得る断層の最大級のものである。ここでは上限をとって20 km という値を用いており、実際の値は、事例Ⅱでは $10^{-5}$  (1/年), 事例Ⅲでは $10^{-6}$  (1/年), よりも小さくなるであろう。

4) 本研究での発生頻度について

断層活動の発生頻度は以上のように計算され、又、検討が加えられたが、断層の活動はかつて活動した断層の再活動が殆んどである。例えば、事例ⅠとⅡ、Ⅲを比較してみると、事例Ⅰの方が $10^{-3} \sim 10^{-4}$  小さい値となっている。この違いは地震を発生するような変位が1つの断層にそって数多くあったことを暗示していると思われる。このことから既存の断層から十分離れた地点にサイトを設定すれば前記の発生頻度は更に小さくなる。

この点につき更に調査・研究が必要であるが、本研究では事例Ⅰ、Ⅱ、Ⅲのうち事例Ⅰの計算方法により「断層がサイトを通る事象の発生頻度」を求め、以下のように定めた。

① サイト(200m×200m)を直接貫通する断層の発生頻度：

$$\text{事例Ⅰに同じ} \quad P = 10^{-9} \text{ (1/年)}$$

② ゾーンⅠ(r=3km)を貫通する断層の発生頻度：

$$P = \frac{1}{1.8 \times 10^6 \text{ (y)}} \times 50 \times \frac{3 \text{ km} \times (25 + 3) \text{ km}}{62,500 \text{ km}^2} = 3.7 \times 10^{-8} \text{ (1/年)}$$

③ ゾーンⅡ(r=3~10km)を貫通する断層の発生頻度：

$$P = \frac{1}{1.8 \times 10^6 \text{ (y)}} \times 50 \times \frac{10 \text{ km} \times (25 + 10) \text{ km}}{62,500 \text{ km}^2} = 1.6 \times 10^{-7} \text{ (1/年)}$$

④ ゾーンⅢ(r=10~30km)を貫通する断層の発生頻度：

$$P = \frac{1}{1.8 \times 10^6 \text{ (y)}} \times 50 \times \frac{30 \text{ km} \times (25 + 30) \text{ km}}{62,500 \text{ km}^2} = 7.3 \times 10^{-7} \text{ (1/年)}$$

### 5.2.3 地震の発生頻度

#### 1) 既報告書の計算例

外国の文献は見た限り，地震と断層を区別して検討せず，断層活動に含めている。

#### 2) 日本における計算例

- ① 5.2.2 断層活動の事例Ⅱ，Ⅲがそのまま検討対象となる。すなわち，

$$\text{事例Ⅱから} \quad P_2 = 2 \times 10^{-2} \quad (1/\text{年})$$

$$\text{事例Ⅲから} \quad P_3 = 10^{-2} \quad (1/\text{年})$$

$$\text{従って発生頻度} P \text{は} \quad P \approx 10^{-2} \quad (1/\text{年}) \text{となる。}$$

しかしながら，地震はその規模によって発生頻度に大きなバラツキがあり，又サイト，地震への影響も大きく変化する。

- ② 従って，地震を気象庁の震度階によって次の様に区分し，又，理科年表によりその発生頻度を求めた。

地震Ⅰ：震度Ⅵ以上（烈震および激震）

地震Ⅱ：Ⅴ（強震）

尚，震度Ⅳ以下は計算の都合上影響なしとみなし検討対象から除外した。

- ③ 理科年表（昭和52年版）にある有感地震表（地190～地237）に基づいて得られる各地の有感地震の発表頻度を表5.1に示す。ただし，最長の感測期間は1873年から1975年である。観測地域は114ヶ所，観測された最大震度はⅥである。

表5.1によると，全観測地域の平均発生頻度は

$$P_{\text{mean}}(\text{V}) = 3.39 \times 10^{-2} \quad (\text{回}/\text{年})$$

$$P_{\text{mean}}(\text{VI}) = 2.64 \times 10^{-3} \quad (\text{回}/\text{年}) \text{である。}$$

その最大発生頻度は

$$P_{\text{max}}(\text{V}) = 3.1 \times 10^{-1} \quad (\text{回}/\text{年}) \quad (\text{松代})$$

$$P_{\text{max}}(\text{VI}) = 1.1 \times 10^{-1} \quad (\text{回}/\text{年}) \quad (\text{豊田}) \text{である。}$$

また，地震の少ない中国地方をとってみると

$$P_{\text{mean}}(\text{V}) = 3.3 \times 10^{-3} \quad (\text{回}/\text{年})$$

$$P_{\text{mean}}(\text{VI}) = 4.9 \times 10^{-3} \quad (\text{回}/\text{年})$$



$$P_{\max}(V) = 2 \times 10^{-2} \quad (\text{回/年}) \quad (\text{岡山})$$

$$P_{\max}(VI) = 2.9 \times 10^{-2} \quad (\text{回/年}) \quad (\text{鳥取}) \text{である。}$$

ただし、岡山、鳥取の観測期間はそれぞれ、50年、34年間であり、データとしては不確実性が大きい。

- ④ 以上のデータは、観測期間が短いために不確実性が大きいですが、事例研究の参考データとして使用し、以下の様に中国地方での地震の発生頻度が考えられ、本研究では中間値（下線部）を発生頻度として設定した。

	発 生 頻 度		
	ローケース	中 間 値	ハイケース
震度VII*	$10^{-4}$ **	<u><math>5 \times 10^{-4}</math> **</u>	$10^{-3}$
震度VI	$10^{-3}$ **	<u><math>5 \times 10^{-3}</math></u>	$10^{-2}$
震度V	$10^{-2}$ **	<u><math>5 \times 10^{-2}</math></u>	$10^{-1}$

\* : 理科年表に掲げている最大震度VII以上の大地震  
(今後100万年を考慮して)

\*\* : 理科年表のデータからの予測値

表 5.1 各地の有感地震の発生頻度 (回/年)

地名	震度 V	震度 VI	地名	震度 V	震度 VI
函館	$0.97 \times 10^{-2}$	— *	宇都宮	$3.3 \times 10^{-2}$	—
札幌	—	—	津	$5.0 \times 10^{-2}$	$1.7 \times 10^{-2}$
和歌山	$0.97 \times 10^{-2}$	—	彦根	$5.35 \times 10^{-2}$	—
根室	$0.97 \times 10^{-2}$	—	奈良	$7.4 \times 10^{-2}$	—
大阪	—	—	広島	—	—
岐阜	$3.2 \times 10^{-2}$	—	秋田	$3.6 \times 10^{-2}$	—
寿都	—	—	福島	$1.25 \times 10^{-2}$	—
新潟	$1.0 \times 10^{-2}$	—	八丈島	$1.8 \times 10^{-2}$	$1.8 \times 10^{-2}$
巖原	—	—	大分	$3.6 \times 10^{-2}$	—
金沢	—	—	飯田	—	—
旭川	—	—	豊岡	$1.45 \times 10^{-2}$	$1.10 \times 10^{-2}$
山形	—	—	下関	—	—
松山	$1.14 \times 10^{-2}$	—	鹿児島	$1.85 \times 10^{-2}$	—
長崎	$1.14 \times 10^{-2}$	—	盛岡	$1.85 \times 10^{-2}$	—
網走	—	—	室蘭	—	—
京都	$5.88 \times 10^{-2}$	—	宮古	$3.7 \times 10^{-2}$	—
徳島	$5.88 \times 10^{-2}$	—	小名浜	$2.04 \times 10^{-2}$	—
佐賀	$9.4 \times 10^{-2}$	—	宇和島	$1.9 \times 10^{-2}$	—
浜田	—	—	雲仙岳	—	—
帯広	$3.5 \times 10^{-2}$	—	福江	—	—
甲府	$2.63 \times 10^{-2}$	$2.5 \times 10^{-2}$	浜松	$1.9 \times 10^{-2}$	—
水戸	$7.5 \times 10^{-2}$	—	青森	$1.9 \times 10^{-2}$	—
熊谷	$1.75 \times 10^{-2}$	$1.25 \times 10^{-2}$	仙台	$1.00 \times 10^{-2}$	—
前橋	$2.5 \times 10^{-2}$	—	柿岡	$6.0 \times 10^{-2}$	—
横浜	$6.25 \times 10^{-2}$	—	秩父	—	—
神戸	—	—	館山	$2.0 \times 10^{-2}$	—
石垣島	$6.3 \times 10^{-2}$	—	高田	—	—
石巻	$1.14 \times 10^{-2}$	$1.26 \times 10^{-2}$	福井	$6.0 \times 10^{-2}$	$2.0 \times 10^{-2}$
東京	$1.26 \times 10^{-2}$	$1.26 \times 10^{-2}$	松本	—	—
銚子	$6.32 \times 10^{-2}$	—	名古屋	$2.0 \times 10^{-2}$	—
福岡	—	—	岡山	$2.0 \times 10^{-2}$	—
熊本	—	—	宮崎	$1.00 \times 10^{-2}$	—
名瀬	—	—	浦河	$1.43 \times 10^{-2}$	—
釧路	$7.0 \times 10^{-2}$	—	軽井沢	—	—
潮岬	$1.4 \times 10^{-2}$	—	高知	$2.0 \times 10^{-2}$	—
長野	$5.0 \times 10^{-2}$	—	室戸岬	$2.0 \times 10^{-2}$	—
高山	—	—	輪島	—	—
洲本	$3.3 \times 10^{-2}$	—	三島	—	$2.17 \times 10^{-2}$

\* : —は観測期間内に起っていないことを示す

表 5.1 (続)

地名	震度 V	震度 VI	地名	震度 V	震度 VI
足摺	—*	—	米子	—	—
河口湖	—	—	西郷	—	—
御前崎	—	$2.17 \times 10^{-2}$	松江	—	—
阿蘇山	$2.3 \times 10^{-2}$	—	苦小牧	$2.94 \times 10^{-2}$	—
八戸	$2.3 \times 10^{-2}$	—	日田	$1.94 \times 10^{-2}$	—
酒田	$2.3 \times 10^{-2}$	—	留萌	—	—
屋久島	—	—	鳥取	—	$2.94 \times 10^{-2}$
稚内	—	—	舞鶴	—	—
森	—	—	種子島	—	—
網代	$2.6 \times 10^{-2}$	—	姫路	—	—
宮古島	—	—	松代	$3.10 \times 10^{-2}$	—
大島	—	—	那覇	—	—
阿久根	—	—	剣山	—	—
相川	$2.7 \times 10^{-2}$	—	広尾	$2.22 \times 10^{-2}$	—
石廊崎	$2.7 \times 10^{-2}$	—	延岡	$5.6 \times 10^{-2}$	—
静岡岡	—	—	大船渡	—	—
尾鷲	$5.6 \times 10^{-2}$	—	与名国島	—	—
白河	—	—	父島	—	—
敦賀	$5.7 \times 10^{-2}$	—	高松	$2.85 \times 10^{-2}$	—

\* : —は観測期間内に起っていないことを示す

#### 5.2.4 隕石衝撃の発生頻度

隕石衝撃としては次の3つを考えた。

隕石衝撃Ⅰ（巨大隕石）	： 1,000 m深さまで掘り出す大きさの隕石衝撃
隕石衝撃Ⅱ	： 600 m深さまで掘り出す大きさの隕石衝撃
隕石衝撃Ⅲ	： 300 m深さまで掘り出す大きさの隕石衝撃

##### 1) 既往の報告書の計算例

各種報告書はともに同じ方法で計算している。すなわち、地中、深さ300 m、600 mまで掘り出す隕石衝撃の発生頻度は

$$P_{300} (M) = 1 \times 10^{-13} \quad (1/\text{km}^2 \cdot \text{年})$$

$$P_{600} (M) = 2 \times 10^{-14} \quad (1/\text{km}^2 \cdot \text{年})$$

と示されている。ここで隕石衝撃によるクレータの深さと直径は1:3の関係があり、それぞれ、 $D_{300} = 900 (m)$ 、 $D_{600} = 1,800 (m)$ となる。

次にこの直径Dより大きいクレータの数N(1/km<sup>2</sup>・年)は、Hartmanの式：

$$N = \kappa D^{-2.4} \quad (\kappa: \text{経験値})$$

を用いて得られ、これから深さ800 mのクレータを生じる隕石衝撃の発生頻度 $P_{800}$ を求めた。

すなわち、

$$\frac{N_{800}}{N_{600}} = \left( \frac{D_{800}}{D_{600}} \right)^{-2.4} = \left( \frac{3 \times 800}{3 \times 600} \right)^{-2.4} = 0.501$$

$$N_{800} = 0.501 N_{600}$$

$$= 0.501 \times 2 \times 10^{-14}$$

$$P_{800} (M) \approx 1.0 \times 10^{-14} \quad (1/\text{km}^2 \cdot \text{年})$$

としている。

##### 2) 日本の計算例

隕石衝撃発生頻度は、上記の方法をそのまま利用することによって得られる。上記は深さ800 mのサイトを考えたが、本研究では1,000 mの深さであるからそれに応じて計算を行い、各ゾーンにおける発生頻度を求めた。

① 隕石衝撃Ⅰ（1,000 m掘出し）

$$\begin{aligned}
 P_{1000} &= \left( \frac{1000}{600} \right)^{-2.4} \times 2 \times 10^{-14} \\
 &= 0.59 \times 10^{-14} \quad (\text{km}^2 \cdot \text{y})^{-1} \\
 &= 6.0 \times 10^{-15} \quad (\text{km}^2 \cdot \text{y})^{-1}
 \end{aligned}$$

$$\text{ゾーンⅠ} : P_{\text{I}} = P_{1000} \times 3^2 \pi = 1.7 \times 10^{-13} \approx 2 \times 10^{-13}$$

$$\text{ゾーンⅡ} : P_{\text{II}} = P_{1000} \times 10^2 \pi = 1.9 \times 10^{-12} \approx 2 \times 10^{-12}$$

$$\text{ゾーンⅢ} : P_{\text{III}} = P_{1000} \times 30^2 \pi = 1.7 \times 10^{-11} \approx 2 \times 10^{-11}$$

② 隕石衝撃Ⅱ（600 m掘出し）

$$P_{600} = 2 \times 10^{-14} \quad (\text{km}^2 \cdot \text{y})^{-1} \text{ より}$$

$$\text{ゾーンⅠ} : P_{\text{I}} = P_{600} \times 3^2 \pi = 5.7 \times 10^{-13} \approx 6 \times 10^{-13}$$

$$\text{ゾーンⅡ} : P_{\text{II}} = P_{600} \times 10^2 \pi = 6.3 \times 10^{-12} \approx 6 \times 10^{-12}$$

$$\text{ゾーンⅢ} : P_{\text{III}} = P_{600} \times 30^2 \pi = 5.7 \times 10^{-11} \approx 6 \times 10^{-11}$$

③ 隕石衝撃Ⅲ（300 m掘出し）

$$P_{300} = 1 \times 10^{-13} \quad (\text{km}^2 \cdot \text{y})^{-1}$$

$$\text{ゾーンⅠ} : P_{\text{I}} = P_{300} \times 3^2 \pi = 2.8 \times 10^{-12} \approx 3 \times 10^{-12}$$

$$\text{ゾーンⅡ} : P_{\text{II}} = P_{300} \times 10^2 \pi = 3.14 \times 10^{-11} \approx 3 \times 10^{-11}$$

$$\text{ゾーンⅢ} : P_{\text{III}} = P_{300} \times 30^2 \pi = 2.8 \times 10^{-10} \approx 3 \times 10^{-10}$$

表 5.2 各区域における起因事象の発生頻度

単位： 1/年

事象	発生頻度		ゾーン I ( $r=0\sim 3$ km)	ゾーン II ( $r=3\sim 10$ km)	ゾーン III ( $r=10\sim 30$ km)
	区域	発生頻度			
火山噴火			$10^{-8}$	$10^{-7}$	$10^{-6}$
火成活動			$10^{-7}$	$10^{-6}$	$10^{-5}$
断層活動		サイト直撃 $10^{-9}$	$4 \times 10^{-8}$	$2 \times 10^{-7}$	$7 \times 10^{-7}$
地震	I (震度 VII)		$5 \times 10^{-4}*$		
	II (震度 VI)		$5 \times 10^{-3}*$		
	III (震度 V)		$5 \times 10^{-2}*$		
隕石 衝突	I (1000m)		$2 \times 10^{-13}$	$2 \times 10^{-12}$	$2 \times 10^{-11}$
	II (600m)		$6 \times 10^{-13}$	$6 \times 10^{-12}$	$6 \times 10^{-11}$
	III (300m)		$3 \times 10^{-12}$	$3 \times 10^{-11}$	$3 \times 10^{-10}$

注) \* 地震は、区域によらず、検討区域外からの地震波による影響を含めているため、他の発生頻度よりも高くなっている。

また誤差範囲はファクター10以上と考えられる。

### 5.3 経路の偶発破損確率 ( $P_i$ )

経路(AfB)によっては、起因事象( $X_0$ )によらず本来的に核種の移動経路となるものがある。地質学的障壁の場合には、10,000年の間の平均的な障壁の健全性に関して工学的判断を行い、 $P_i$ を定める。それぞれの値の意味は、次のとおりである。

$P_i = 1$  経路が自然に存在していることが確実

$P_i = 0.9$  経路が自然に存在していることがあり得る。

$P_i = 0.5$  経路が自然に存在しているかどうかははっきりしない。

$P_i = 0.3$  経路が自然に存在しているかもしれない。

$P_i = 0.1$  経路が自然に存在している可能性はほとんどない。

工学的障壁の経路が存在するとすれば、それはなんらかの欠陥によるものである。その存在確率は、劣化によるものと初期故障によるものである。ここで10,000年間の非信頼度としてこれを理解してみると、 $10^{-3}$  が下限であろう。一方、工学的障壁の破損を招く初期事象として最大のものは火山活動と予測される。その発生頻度より固有の信頼度を大きくとる必要はない。

これから

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{火山活動の発生頻度： } P(V) \sim 10^{-8} \text{ (1/年)} \\ P_i \text{ のうち支配的な経路： } 1f3, 3f4 \end{array} \right.$$

を使って、10,000年段階での障壁破損確率が次のように求められる。

$$P(1f3) \geq 10^{-4}$$

$$P(3f4) \geq 10^{-4}$$

したがって工学的障壁の  $P_i$  として  $P_i \geq 10^{-4}$  であればよいことがわかる。

また、核種が処分場から放出されるには処分場の外壁が破損されなければならない、それらは地質領域（花崗岩体など）と接しており、この間の障壁の信頼度も考慮されねばならない。

以上から、工学的施設同士の障壁の場合には、10,000年間で

$$P_i \geq 10^{-3} \text{ とし、}$$

工学的施設と地質領域の間の障壁の場合には、10,000年間で

$$P_i \geq 5 \times 10^{-3}$$

と定めた。

#### 5.4 経路誘発確率 $P(\text{ } / X_0)$

経路誘発確率  $P(\text{ } / X_0)$  は、その定義を5.1節に行い、また経路の存在確率との関係を4.10.2節で示したが、解析を行ううえでの値については、次のように定性的な検討によって定めた。

$P(\text{ } / X_0) = 1$  : 起因事象によって経路が必ず発生する。

$P(\text{ } / X_0) = 0.7$  : 起因事象によって経路を生じる度合いが高い。

$P(\text{ } / X_0) = 0.5$  : 起因事象によって経路が発生するかどうか明確でない。

$P(\text{/}x_0) = 0.3$  : 起因事象によって経路を生じる度合いが低い。

$P(\text{/}x_0) = 0.1$  : 起因事象によって経路を生じる度合いがかなり低い。

$P(\text{/}x_0) = 0.01$  : 起因事象によって経路は殆んど生じない。

処分場から放射性核種が移動する経路の発生可能性は経路発生原因となる初期事象( $X_0$ )とこのときの経路誘発確率  $P(\text{/}X_0)$  によって決まる。

以下に各起因事象における、工学的な要素と地質学的な要素を述べる。また経路誘発確率  $P(X_0)$  を決めるにあたっては、工学的障壁の起因事象に対する信頼度を表 5.3 のように決め、これに地質学的な考察を加え、さらに若干の予測を加味した。

表 5.3 工学的障壁の事象に対する信頼度 \* (10,000年段階)

\* 工学的な設計値 (%)

事象		信頼度 (%)	キャニスター	サイト構造物 (粘土 コンクリート)	キャピティ	シャフト
		障壁				
火山噴火	ゾーンⅠ	0	0	0	0	0
	ゾーンⅡ	50	50	50	50	50
	ゾーンⅢ	70	70	70	70	70
火成活動	ゾーンⅠ	0 ~ 10	0 ~ 10	0 ~ 10	0 ~ 10	0 ~ 10
	ゾーンⅡ	50	50	50	50	50
	ゾーンⅢ	90	90	90	90	90
隕石衝突	Ⅰ	ゾーンⅠ	0	0	0	0
		ゾーンⅡ	30	30	30	30
		ゾーンⅢ	50	50	50	50
	Ⅱ	ゾーンⅠ	30	30	30	30
		ゾーンⅡ	50	50	50	50
		ゾーンⅢ	70	70	70	70
	Ⅲ	ゾーンⅠ	70	70	70	70
		ゾーンⅡ	90	90	90	90
		ゾーンⅢ	95	95	95	95
地震	震度Ⅶ	90	90	90	90	
	震度Ⅵ	95	95	95	95	
	震度Ⅴ	99	99	99	99	
断層活動	サイト貫通	0 ~ 30	0 ~ 10	0 ~ 10	0 ~ 10	
	ゾーンⅠ	50	50	30	30	
	ゾーンⅡ	70	70	50	50	
	ゾーンⅢ	90	90	70	70	



## 1) 火山噴火

ゾーンⅠ内における火山噴火は、ゾーンⅠの面積（半径3 km内）から、噴火によって直接、大気中に放射性核種が放出されると考えた。そのため、経路誘発確率 $P(/X_0)$ は全て1となり、起因事象である火山噴火の発生頻度が、放射性核種の放出確率となる。

一方、ゾーンⅡ、およびⅢにおける火山噴火は、それによって処分場が被むるであろう破損確率と地質構造への影響度を知ることにより、放射性核種の放出確率が求められる。しかしながら、火山噴火による周辺構造物（地層、処分場）への影響の知見は乏しく、殆んど未知とも言え、精確な定量化は不可能である。この事は火山噴火に限らず、地質学的事象のほとんどについて言え、本研究の問題点でもある。このように不確実なものではあるが、 $P(/X_0)$ の設定値と表5.3の工学的な判断から表5.4のように $P(/X_0)$ の値を定めた。

## 2) 火成活動

一般にマグマの温度は1,000℃程度であり、花崗岩体は300℃以上の温度で破壊されはじめることから、火成活動の地点と近い領域ほどその影響は高いと思われる。これから、 $P(/X_0)$ を定めるうえで火成活動の地点との距離を主要なパラメータとして考えた。

すなわち、処分場の障壁破壊については、

ゾーンⅠでの火成活動 …… 破壊する。

ゾーンⅡでの火成活動 …… 破壊の発生度合は高いが工学的処置が期待できる。

ゾーンⅢでの火成活動 …… 破壊の発生度合はかなり低い。又、工学的処置が期待できる。

のように考えた。その他の障壁の破壊（地質領域間の経路の発生）についても同様に行った。しかし破損限界となる貫入状況についての定量的検討は行っていない。これらの $P(/X_0)$ の値を表5.5に示す。

## 3) 隕石衝撃

(1) 隕石衝撃Ⅰ …… 地下1,000m掘り出し。

ゾーンⅠでの隕石衝撃は、処分場から直接大気に放射性核種が放出されることであ

り、隕石衝撃の発生頻度によってその放出確率が得られる。

ゾーンⅡ、Ⅲにおいては、隕石衝撃は深さの3倍の直径の穴を生じることと、衝撃波の伝播による影響を考え、隕石落下地点からの距離によって $P(\text{ノ}X_0)$ を設定した。

すなわち、処分場の障壁破壊については、

ゾーンⅡでの隕石衝撃 …… 発生度合は高い

ゾーンⅢでの隕石衝撃 …… 不明確

とし、その他についても同様に距離をパラメータとして考え、表5.6のように $P(\text{ノ}X_0)$ を定めた。

(2) 隕石衝撃Ⅱ …… 地下600m掘り出し、

上記、隕石衝撃Ⅰと同様にし、表5.7のように $P(\text{ノ}X_0)$ を定めた。

(3) 隕石衝撃Ⅲ …… 地下300m掘り出し、

上記、隕石衝撃Ⅰと同様にし、表5.8のように $P(\text{ノ}X_0)$ を定めた。

#### 4) 断層活動

断層活動の発生頻度を求めるうえでは、断層の長さを20kmとしたが、 $P(\text{ノ}X_0)$ を求める場合には断層の長さは特に制限せずに検討した。

(1) 処分場を貫通する断層活動(直撃断層)

処分場を貫通する断層であるから、処分場の障壁は破壊され、処分場周辺の岩体への影響も高いと思われる。その他の地層障壁の破壊は経路の偶発破損確率 $P_i(\quad)$ を使用した。これから $P(\text{ノ}X_0)$ を表5.9のように定めた。

(2) ゾーンⅠ、Ⅱ、Ⅲでの断層

断層線の近辺では、地層障壁の破壊は高い発生度合で考えられるが、距離と共に急速に影響はなくなる。これから、ゾーンごとに段階的に $P(\text{ノ}X_0)$ を考え、表5.10のように設定した。

#### 5) 地震

地震による影響は震源の近傍では顕著であるが断層の発生を除くとその影響は地震波(弾性波)のそれであり、 $P(\text{ノ}X_0)$ はかなり小さな値となるであろう。そのため、処分場の障壁は震度Ⅶでも破壊の度合はかなり小さく( $P(\text{ノ}X_0)=0.1$ )震度Ⅴでは殆ん

ど破壊しない ( $P(\neg X_0) = 0.01$ ) と考えられる。

$P(\neg X_0)$  の推定では、震度ⅦとⅤの間である震度Ⅵの場合については、処分場障壁の破壊度合に 0.1 と 0.01 の中間値 0.05 を用いており、また、地層障壁の破壊は経路の偶発破損確率  $P_i(\quad)$  を用いた。

なお、キャニスターについて、断層活動と地震については破損しないのではないかという判断もあったが、参考ケースの値としては表 5.11 のように  $P(\neg X_0)$  の値を定めた。

## 5.5 外乱下の障壁破損確率の結合の度合について

経路発生確率を考えるうえで、ある起因事象  $X_0$  において多重障壁の個々の障壁を独立として取扱うことは問題がある。たとえば、1 f 3 と 3 f 4 の経路は巨大隕石のような大きな衝撃では、破壊は共通要因と見なすべきであり、また、地震のように工学的な処置により各障壁にクレジットをとれるものは独立障壁とすべきである。

以下に各起因事象  $X_0$  において共通要因となるものを述べ、表 5.4 から表 5.11 の“CMF”の欄に記号(アルファベット)にてそれらの組合せを示す。

### 1) 火山噴火

- ① ゾーンⅠを襲う火山の噴火はゾーンⅠ内の全ての障壁を破壊する共通の事象となる。
- ② ゾーンⅡを襲う火山噴火は、噴火に伴う熱・振動・圧力等の影響が大きく、サイト近傍の一部の障壁は火山噴火を共通要因として破壊される。またゾーンⅡ内の障壁の破壊も共通と考えられる。
- ③ ゾーンⅢを襲う火山噴火は、ゾーンⅢ内の障壁破壊が共通であり、サイト施設は工学的な処置により独立障壁と扱うことができる。

### 2) 火成活動

- ① ゾーンⅠ内での火成活動は、処分区域(1 f 3, 3 f 4, 4 f 5, ) とその隣接障壁(4 f 7 a, 5 f 7 a) が共通要因となる。
- ② ゾーンⅡ, Ⅲでは工学的施設によりクレジットがとれるものと考えられ、独立障壁と扱うことができる。

### 3) 隕石衝撃

- ① 隕石（衝撃）Ⅰ …… 1,000 mの深さまで掘り出す巨大隕石

隕石の落下点のゾーン内の全ての経路が隕石衝撃を共通要因として発生する。

- ② 隕石（衝撃）Ⅱ …… 600 mの深さまで掘り出す隕石

地下600 mより上層部の障壁破壊が全て共通であり、また、地下600 mより深層部では衝撃波の伝播だけであり工学的施設は十分クレジットがとれる。

- ③ 隕石（衝撃）Ⅲ …… 300 mの深さまで掘り出す隕石

隕石Ⅱと同様であり、深さの基準が300 mに変わるだけである。

### 4) 断層活動

断層活動では、1つの断層がサイトを通る場合には、断層の長さ（10～20 km）から考えてサイトおよびその周辺部の障壁破壊は共通と考えた。

### 5) 地震

地震によるサイト、地層等への影響は、地震の弾性波によるものであり、弾性波のエネルギーから類推して地殻変動（断層、地すべり等）を生じない場合には、その影響力は震源地に十分近い範囲を考えればよいと思われる。これから各障壁は独立障壁と考えた。

表 5.4 火山噴火における入力データ参考値

(10,000年後)

経路	ゾーンⅠ		ゾーンⅡ		ゾーンⅢ		経路の 偶発破損 確率 $P_i$
	$P(X_0)=10^{-4}$		$P(X_0)=10^{-3}$		$P(X_0)=10^{-2}$		
	$P(\sphericalangle X_0)$	CMF	$P(\sphericalangle X_0)$	CMF	$P(\sphericalangle X_0)$	CMF	
1f3			0.5		0.3		$10^{-3}$
3f4			0.5		0.3		$10^{-3}$
4f5			1	a	0.3		$10^{-3}$
4f7a			1	a	0.3		$5 \times 10^{-3}$
5f7a			1	a	0.3		$5 \times 10^{-3}$
7af7b			1	a	0.5		0.5
5f6a			1	a	0.3		$10^{-3}$
6af6b			0.7		0.5		$10^{-3}$
6af7a			0.7		0.5		$5 \times 10^{-3}$
6bf8			0.7		0.5		$5 \times 10^{-3}$
7af8			0.7		0.5		0.3
7bf9			1	b	0.5		0.3
8f9			1	b	0.7		0.5
9f10			1	b	0.7		0.5
9f11			1	b	0.7		0.5
8f12			1		0.5		0.5
9f12			1	b	0.5		0.5
7bf16			1	b	1	a	0.5
9f16			1	b	0.7		0.5
7af7c			1	a	0.5		0.5
7cf15			1	b	1	a	0.3
6bf15			0.7		0.5		$5 \times 10^{-3}$
8f15			0.7		0.5		0.3
9f15			1	b	0.5		0.3
9f13			1	b	0.5		0.5
13f15			1	b	0.5		0.5

表 5.5 火成活動における入力データ参考値

(10,000年後)

経路	ゾーンⅠ		ゾーンⅡ		ゾーンⅢ		経路の 偶発破損 確率 $P_i$
	$P(X_0)=10^{-3}$		$P(X_0)=10^{-2}$		$P(X_0)=10^{-1}$		
	$P(\setminus X_0)$	CMF	$P(\setminus X_0)$	CMF	$P(\setminus X_0)$	CMF	
1f3	1	a	0.5		0.1		$10^{-3}$
3f4	1	a	0.5		0.1		$10^{-3}$
4f5	1	a	0.5		0.1		$10^{-3}$
4f7a	1	a	0.5		0.1		$5 \times 10^{-3}$
5f7a	1	a	0.5		0.1		$5 \times 10^{-3}$
7af7b	0.5		0.7		0.5		0.5
5f6a	0.7		0.3		0.1		$10^{-3}$
6af6b	0.5		0.3		0.1		$10^{-3}$
6af7a	0.5		0.3		0.1		$5 \times 10^{-3}$
6bf8	0.5		0.3		0.1		$5 \times 10^{-3}$
7af8	0.7		0.5		0.3		0.3
7bf9	0.3		0.7		0.5		0.3
8f9	0.5		0.5		0.5		0.5
9f10	0.5		0.5		0.5		0.5
9f11	0.5		0.5		0.5		0.5
8f12	0.5		0.5		0.5		0.5
9f12	0.5		0.5		0.5		0.5
7bf16	0.5		0.7		0.7		0.5
9f16	0.5		0.7		0.5		0.5
7af7c	0.5		0.7		0.5		0.5
7cf15	0.3		0.5		0.5		0.3
6bf15	0.5		0.3		0.1		$5 \times 10^{-3}$
8f15	0.5		0.3		0.3		0.3
9f15	0.3		0.5		0.3		0.3
9f13	0.5		0.5		0.5		0.5
13f15	0.5		0.5		0.5		0.5

表 5.6 隕石 I (1,000 m掘出)における入力データ参考値

(10,000年後)

経路	ゾーンⅠ		ゾーンⅡ		ゾーンⅢ		経路の 偶発破損 確率 $P_i$
	$P(X_0)=2 \times 10^{-9}$		$P(X_0)=2 \times 10^{-8}$		$P(X_0)=2 \times 10^{-7}$		
	$P(\nearrow X_0)$	CMF	$P(\nearrow X_0)$	CMF	$P(\nearrow X_0)$	CMF	
1f3			0.7		0.5		$10^{-3}$
3f4			0.7		0.5		$10^{-3}$
4f5			0.7		0.5		$10^{-3}$
4f7a			0.7		0.5		$5 \times 10^{-3}$
5f7a			0.7		0.5		$5 \times 10^{-3}$
7af7b			1	a	0.7		0.5
5f6a			0.7		0.5		$10^{-3}$
6af6b			0.7		0.5		$10^{-3}$
6af7a			0.7		0.5		$5 \times 10^{-3}$
6bf8			0.7		0.5		$5 \times 10^{-3}$
7af8			0.7		0.5		0.3
7bf9			1	a	0.7		0.3
8f9			1	a	0.5		0.5
9f10			1	a	0.7		0.5
9f11			1	a	0.7		0.5
8f12			0.5		0.5		0.5
9f12			1	a	0.5		0.5
7bf16			1	a	1	a	0.5
9f16			1		0.7		0.5
7af7c			1	a	0.7		0.5
7cf15			1	a	1	a	0.3
6bf15			0.7		0.5		$5 \times 10^{-3}$
8f15			0.7		0.5		0.3
9f15			1	a	0.7		0.3
9f13			1	a	0.5		0.5
13f15			1	a	0.5		0.5

表 5.7 隕石Ⅱ（600m掘出）における入力データ参考値

（10,000年後）

経路	ゾーンⅠ		ゾーンⅡ		ゾーンⅢ		経路の 偶発破損 確率 $P_i$
	$P(X_0)=6 \times 10^{-9}$		$P(X_0)=6 \times 10^{-8}$		$P(X_0)=6 \times 10^{-7}$		
	$P(\nearrow X_0)$	CMF	$P(\nearrow X_0)$	CMF	$P(\nearrow X_0)$	CMF	
1f3	0.7		0.5		0.3		$10^{-3}$
3f4	0.7		0.5		0.3		$10^{-3}$
4f5	0.7		0.5		0.3		$10^{-3}$
4f7a	0.7		0.5		0.3		$5 \times 10^{-3}$
5f7a	0.7		0.5		0.3		$5 \times 10^{-3}$
7af7b	0.7		0.7		0.5		0.5
5f6a	0.7		0.5		0.3		$10^{-3}$
6af6b	1	a	0.5		0.3		$10^{-3}$
6af7a	0.7		0.5		0.3		$5 \times 10^{-3}$
6bf8	1	a	0.5		0.3		$5 \times 10^{-3}$
7af8	1	a	0.7		0.3		0.3
7bf9	0.7		1	a	0.5		0.3
8f9	1	a	1	a	0.5		0.5
9f10	0.5		1	a	0.5		0.5
9f11	0.5		1	a	0.5		0.5
8f12	1	a	0.5		0.5		0.5
9f12	0.5		1	a	0.5		0.5
7bf16	0.5		1		1	a	0.5
9f16	0.5		1	a	0.5		0.5
7af7c	0.7		0.7		0.5		0.5
7cf15	0.3		1	a	1	a	0.3
6bf15	1	a	0.3		0.3		$5 \times 10^{-3}$
8f15	1	a	0.5		0.3		0.3
9f15	0.5		1	a	0.7		0.3
9f13	0.5		1	a	0.5		0.5
13f15	0.5		1	a	0.5		0.5



表 5.8 隕石Ⅲ(300m掘出)における入力データ参考値

(10,000年後)

経路	ゾーンⅠ		ゾーンⅡ		ゾーンⅢ		経路の 偶発破損 確率 $P_i$
	$P(X_o)=3 \times 10^{-8}$		$P(X_o)=3 \times 10^{-7}$		$P(X_o)=3 \times 10^{-6}$		
	$P(\sphericalangle X_o)$	CMF	$P(\sphericalangle X_o)$	CMF	$P(\sphericalangle X_o)$	CMF	
1f3	0.3		0.1		0.1		$10^{-3}$
3f4	0.3		0.1		0.1		$10^{-3}$
4f5	0.3		0.1		0.1		$10^{-3}$
4f7a	0.3		0.1		0.1		$5 \times 10^{-3}$
5f7a	0.3		0.3		0.1		$5 \times 10^{-3}$
7af7b	0.5		0.5		0.5		0.5
5f6a	0.3		0.3		0.1		$10^{-3}$
6af6b	0.5		0.5		0.1		$10^{-3}$
6af7a	0.5		0.5		0.1		$5 \times 10^{-3}$
6bf8	0.5	a	0.5		0.1		$5 \times 10^{-3}$
7af8	0.5		0.5		0.3		0.3
7bf9	0.5		1	a	0.3		0.3
8f9	1	a	1	a	0.5		0.5
9f10	0.5		1	a	0.5		0.5
9f11	0.5		1	a	0.5		0.5
8f12	1	a	0.5		0.5		0.5
9f12	0.5		1	a	0.5		0.5
7bf16	0.5		0.5		0.5		0.5
9f16	0.5		1	a	0.5		0.5
7af7c	0.5		0.5		0.5		0.5
7cf15	0.3		1	a	1		0.3
6bf15	1	a	0.3		0.1		$5 \times 10^{-3}$
8f15	1	a	0.3		0.1		0.3
9f15	0.3		1	a	0.3		0.3
9f13	0.5		1	a	0.5		0.5
13f15	0.5		1	a	0.5		0.5

表 5.9 断層活動における入力データ参考値(サイト直撃)

(10,000年後)

経路	サイト直撃		P(Xo)=		P(Xo)=		経路の 偶発破損 確率 Pi
	P(Xo)=10 <sup>-5</sup>		P(Xo)=		P(Xo)=		
	P(/Xo)	CMF	P(/Xo)	CMF	P(/Xo)	CMF	
1f3	1	a					10 <sup>-3</sup>
3f4	1	a					10 <sup>-3</sup>
4f5	1	a					10 <sup>-3</sup>
4f7a	1	a					5×10 <sup>-3</sup>
5f7a	1	a					5×10 <sup>-3</sup>
7af7b	1	a					0.5
5f6a	0.7						10 <sup>-3</sup>
6af6b	0.5						10 <sup>-3</sup>
6af7a	0.5						5×10 <sup>-3</sup>
6bf8	0.5						5×10 <sup>-3</sup>
7af8	0.5						0.3
7bf9	0.5						0.3
8f9	0.5						0.5
9f10	0.5						0.5
9f11	0.5						0.5
8f12	0.5						0.5
9f12	0.5						0.5
7bf16	0.5						0.5
9f16	0.5						0.5
7af7c	1	a					0.5
7cf15	0.5						0.3
6bf15	0.5						5×10 <sup>-3</sup>
8f15	0.5						0.3
9f15	0.5						0.3
9f13	0.5						0.5
13f15	0.5						0.5

表 5.10 断層活動における入力データ参考値

(10,000年後)

経路	ゾーンⅠ		ゾーンⅡ		ゾーンⅢ		経路の 偶発破損 確率 $P_i$
	$P(X_0) = 4 \times 10^{-4}$		$P(X_0) = 2 \times 10^{-3}$		$P(X_0) = 7 \times 10^{-3}$		
	$P(\nearrow X_0)$	CMF	$P(\nearrow X_0)$	CMF	$P(\nearrow X_0)$	CMF	
1f3	0.5		0.3		0.1		$10^{-3}$
3f4	0.5		0.3		0.1		$10^{-3}$
4f5	0.7		0.5		0.3		$10^{-3}$
4f7a	0.7		0.5		0.3		$5 \times 10^{-3}$
5f7a	0.7		0.5		0.3		$5 \times 10^{-3}$
7af7b	1		1		0.5		0.5
5f6a	0.7		0.5		0.3		$10^{-3}$
6af6b	0.7		0.5		0.3		$10^{-3}$
6af7a	0.7		0.5		0.3		$5 \times 10^{-3}$
6bf8	0.7		0.5		0.3		$5 \times 10^{-3}$
7af8	0.7		0.7		0.3		0.3
7bf9	0.7		0.5		0.3		0.3
8f9	0.5		0.5		0.5		0.5
9f10	0.5		0.5		0.5		0.5
9f11	0.5		0.5		0.5		0.5
8f12	0.7		0.5		0.5		0.5
9f12	0.5		0.5		0.5		0.5
7bf16	0.5		0.7		0.5		0.5
9f10	0.5		0.7		0.5		0.5
7af7c	1		1		0.5		0.5
7cf15	0.3		0.5		0.5		0.3
6bf15	0.7		0.5		0.3		$5 \times 10^{-3}$
8f15	0.5		0.3		0.3		0.3
9f15	0.3		0.5		0.3		0.3
9f13	0.5		0.5		0.5		0.5
13f15	0.5		0.7		0.5		0.5

表 5.11 地震における入力データ参考値\*

(10,000年後)

経路	震度 VII		震度 VI		震度 V		経路の 偶発破損 確率 $P_i$
	$P(X_0)=5^{**}$		$P(X_0)=50^{**}$		$P(X_0)=500^{**}$		
	$P(/X_0)$	CMF	$P(/X_0)$	CMF	$P(/X_0)$	CMF	
1f3	0.1		0.05		0.01		$10^{-3}$
3f4	0.1		0.05		0.01		$10^{-3}$
4f5	0.1		0.05		0.01		$10^{-3}$
4f7a	0.1		0.05		0.01		$5 \times 10^{-3}$
5f7a	0.1		0.05		0.01		$5 \times 10^{-3}$
7af7b	0.5		0.5		0.5		0.5
5f6a	0.1		0.05		0.01		$10^{-3}$
6af6b	0.1		0.05		0.01		$10^{-3}$
6af7a	0.1		0.05		0.01		$5 \times 10^{-3}$
6bf8	0.1		0.05		0.01		$5 \times 10^{-3}$
7af8	0.3		0.3		0.3		0.3
7bf9	0.3		0.3		0.3		0.3
8f9	0.5		0.5		0.5		0.5
9f10	0.5		0.5		0.5		0.5
9f11	0.5		0.5		0.5		0.5
8f12	0.5		0.5		0.5		0.5
9f12	0.5		0.5		0.5		0.5
7bf16	0.5		0.5		0.5		0.5
9f16	0.5		0.5		0.5		0.5
7af7c	0.5		0.5		0.5		0.5
7cf15	0.3		0.3		0.3		0.3
6bf15	0.1		0.05		0.01		$5 \times 10^{-3}$
8f15	0.3		0.3		0.3		0.3
9f15	0.3		0.3		0.3		0.3
9f13	0.5		0.5		0.5		0.5
13f15	0.5		0.5		0.5		0.5

(注) \* 地震はゾーン区分によらず、震度階によって区別する。

\*\* 地震の発生頻度は、震度VII, VI, Vそれぞれで $5 \times 10^{-4}$  (1/年),  $5 \times 10^{-3}$  (1/年),  $5 \times 10^{-2}$  (1/年)とも表わされる。

## 6. 解析と検討

### 6.1 はじめに

本章では、4章において得られた各放出経路シナリオの存在確率を、5章において得られた10,000年程度の範囲で成立すると考えられる入力データに基づいて計算し、確率からみた主な放射性物質放出経路とその発生について検討し、主要パラメータと思われるものについては感度解析を試行し、その意味を明らかにすることに努めている。

ところで、4、5章では、各障壁について設計上障壁として期待できない確率 $P_i$ を定義した。そして、外乱にはこの値が変化すると、ともに障壁相互間に結合関係が生じるとした。そこで、この量から計算される各経路シナリオの存在確率は

$$P(E) \times P(G)$$

$P(E)$  : 工学施設が壊れている確率

$P(G)$  : 各地層障壁がかなりの放出の経路である確率

という内容をもつ。つまり、各シナリオによってわずかな放出がある確率を考えているのではなく、かなりの放出がある確率を考えていることは重要である。なぜなら、わずかの放出がある確率とすれば、それは1になるに決っているし、一方、ここで計算される確率は、この処分による大事故がそのシナリオで発生する頻度を与えるものであるからである。

外乱(起因事象)による放出の発生確率は、

$$P(x_0) \times P(E/x_0) \times P(G/x_0)$$

$P(x_0)$  : 外乱の発生頻度

$P(E/x_0)$  : 外乱下で工学施設が壊れている確率

$P(G/x_0)$  : 外乱下で地層障壁がかなりの放出の経路となる確率

と与えられる。したがって、外乱にいくつかの種類があれば、施設全体のかなりの放出がある確率は、各シナリオについて、

$$\sum_j P(E/X_j) \cdot P(G/X_j) \cdot P(X_j)$$

と与えられることになるのは当然である。

## 6.2 偶発放出確率について

ここでは各放出経路からのかなりの放出の偶発確率について検討する。使用データは、10,000年程度の範囲で妥当と考えられるものである。入力データでは、工学システムの偶発故障による経路生成がこの10,000年の間に $10^{-3}$ のチャンスでありうるとし、工学施設と地質領域の間についてはこれを $5 \times 10^{-3}$  ( $1/200$ )とした。これらの値を用いて各放出経路についてその可能性を計算したものが、表6.1に示されている。これから処分場から表層流へかなりの放出が偶然発生する確率が、10,000年間に $7.5 \times 10^{-9}$ という値をもつことがわかる。媒質ごとに見ると、表層流が主として問題となる接触媒質であり、ついで海、大気などである。

また、かなりの放出の発生頻度を小さくおさえているものは、主として工学システムであり、地層の障壁としての信頼度は90%程度となっている。この放出はいつ起るのかという疑問がわくが、ここでは10,000年間の劣化形の故障によるかなりの放出の回数を計算していると理解するのがよい。

この場合、各障壁に割当てられた確率は、10,000年間に劣化してかなりの放出経路となる確率である。

工学施設について、キャニスターが原子炉容器なみで設計されていれば故障率は $10^{-7}$ /年だから10,000年間で平均した大破損の可能性は約 $10^{-3}$ であり、他の地質事象については、かなりの放出の経路存在確率が大体 $10^{-4}$ /年のオーダーということ、あるいは10,000年後ではもうほとんど障壁としては、あてにしていけないという判断を反映している。

もう1つの問題は、一体どの程度の放出頻度であればよいかということである。原子力発電所の安全性の議論では $10^{-7}$ /年以下の重大事故は免責ということがある。しかし安全解析上、事故としても全く考えないレベルは $10^{-8}$ /年 ぐらいのところにある。<sup>\*</sup>参考ケースの数字からは、かなりの放出経路の存在確率が $10^{-13}$ /年 となって全く問題にならないレベルということになる。

そこで、これらの工学系の破損可能性を少し大きくして、工学系の破損可能性を $10^{-2}$ /10,000年、工学系—地質障壁のそれを $10^{-2}$ /10,000年としてみると、最大確率は表層流や海への経路に対するもので、 $1.5 \times 10^{-7}$ /10,000年、あるいは $1.5 \times 10^{-11}$ /年となる。さらに、10,000年以内に $5 \times 10^{-2}$ 回程度の故障率とすると、かなりの放

\* 以下、安全解析上、事故として考えないレベル(棄却レベル)を $10^{-8}$ /年とする。

出に至る経路の発生確率が  $2 \times 10^{-9}$  /年となる。

以上により、工学系の設計の一応の目安は、10,000 年内の地層処分地中で  $10^{-5}$  以下の偶発破損確率をもつこと、ということになる。

### 6.3 起因事象によるかなりの放出経路の発生

つぎに各種の起因事象の影響を分析する。各種の起因事象について各接触媒質への放出経路の存在（発生）確率を計算する。その結果は表 6.2 から表 6.6 に示される。各表において\*印のついている経路が当該起因事象によりもっとも発生しやすいものである。表 6.7 から表 6.11 はそれらのみをあつめたものであり、これを図示したものが図 6.1 から図 6.5 である。

これから第 1 に隕石による放出可能性は、極めて小さく、工学系の設計条件を考えられる最も厳しいものにした場合に相当することがわかる。第 2 には、地震の寄与が最大であること、第 3 には火山の噴火や火成活動の寄与がかなり大きいこと、である。

以下には、こうした数値の得られた理由を分析し、その特徴を述べる。

#### 6.3.1 火山噴火

ゾーン I, II, III の火山噴火の発生頻度はそれぞれ、 $10^{-8}$  /年,  $10^{-7}$  /年,  $10^{-6}$  /年と推定された。また、

工学系の破損確率 =	1	: ゾーン I の噴火
	0.5	: ゾーン II の噴火
	0.3	: ゾーン III の噴火

と、いずれにしても工学系はそれほど期待できないものとした。

このときには、放出経路の発生確率が、

ゾーン I の噴火により	$10^{-8}$ /年
ゾーン II の噴火により	$2.5 \times 10^{-8}$ /年
ゾーン III の噴火により	$1.4 \times 10^{-8}$ /年

となり、 $10^{-8}$  /年の棄却レベルを越えている。これから火山噴火については、その発生頻度と、処分地の相互作用、および工学系の設計のあり方について今後詳細に検討する必要があることが理解される。

また、現象面では、火山の噴火により障壁破損が発生するものか、どうかもよく分析する必要が痛感される。

②図 6.5 に示すように、各接触媒質への放出経路での経路の存在確率にはあまり差が見られない。火山噴火の発生地点で最も寄与が大きいのは、ゾーン II の場合である。

接触媒質によって異なる点は、ゾーン III の火山噴火であり、伏流水（滞水層）・表層流では棄却レベルより低い、大気・海では高い値を示している。

これから、サイトの近くでは、発生地点による差はないが、遠くなると大気・海への寄与が相対的に重要になってくる。

### 6.3.2 火成活動

① 火成活動は、その発生頻度が、

$$\text{ゾーン I : } 10^{-7} / \text{年}$$

$$\text{ゾーン II : } 10^{-6} / \text{年}$$

$$\text{ゾーン III : } 10^{-5} / \text{年}$$

と推定された。これに対して障壁の破損確率は、ゾーン I, II, への火成活動について噴火に対するのと同様、かなり大きくとっており、結局、経路発生頻度が  $10^{-8}$  /年を越えている。したがって、火山噴火の場合と同じような検討が今後必要であろう。

② ここで、一例として、ゾーン II の火成活動について、表 6.12 のように  $P( /VA)$  を変えてみると、 $P( /VA)$  の変化率に比べ、経路の存在確率の変化率は高くなっている。すなわち、ローケースでは、中間ケース（参考ケース）の 60% に設定（ $0.5 \rightarrow 0.3$ ）した場合、放出経路によっては  $1/9 \sim 1/45$  になり、最も大きな値でも、 $6.9 \times 10^{-9}$  /年（接触媒質：海の場合）となり、棄却レベル  $10^{-8}$  /年よりも低くなっている。各接触媒質への放出経路の代表的なものについての計算結果を表 6.13 に示す。

これから  $P( /VA)$  が、放出経路の発生確率を支配する重要な要素となることがわかる。

そこで、他の障壁の非信頼度が正しいとすれば、ゾーン II の火成活動において、工学施設が破損する確率を 30% 以下にするような設計が 1 つの目標と考えられる。



- ③ 図 6.5 で各接触媒質でのちがいが示された。これから、存在確率の接触媒質による差は小さく、同様なパターンを示していることがわかる。また、表層流はゾーン I の火成活動が他に比べ高くなっているが、これは他の接触媒質への経路シナリオと異なり海側の岩体を含むためである。前節 6.3.1 で述べたように岩体に信頼度をとらなかったことに起因すると思われる。

### 6.3.3 地 震

- ① 地震は、その発生頻度が、

震度 VII  $5 \times 10^{-4}$  /年

震度 VI  $5 \times 10^{-3}$  /年

震度 V  $5 \times 10^{-2}$  /年

を推定された。この場合に、地層や工学系の破損がどの程度かについては不明な点が多い。

参考ケースでは工学系について、震度 V, VI, VII について、それぞれ、経路誘発確率  $P$  ( /S ) を 0.01, 0.05, 0.1 としてみた。この結果、震度 V, VI, VII の地震により、 $7.5 \times 10^{-9}$  /年、 $1.6 \times 10^{-7}$  /年、 $7.5 \times 10^{-8}$  /年 という発生確率をもつ経路の存在することがわかった。

- ② 当然のことながら、震度 VI の地震に対して、工学系の経路誘発確率を 0.01 程度にとることができれば、放出経路の発生確率を  $1.3 \times 10^{-9}$  に減少させることができ、さらに小さな 0.001 の値を使うことができれば、 $10^{-12}$  のオーダーまで低下させることができる。(表 6.12, 表 6.13 参照)。しかし、前節、偶発放出確率のところでも述べたように、工学系として、10,000 年間の故障発生可能性を  $10^{-2}$  以下に設計することは、その実証が難しいとすれば、このあたりが 1 つの目安、つまり工学系については地震を定常設計にとり入れて扱うべきということが指摘できよう。

- ③ つぎに地層の障壁としての能力が地震により変化するかどうか、が問題である。ここでは、全ての地層障壁について、 $10^{-4} \sim 10^{-5}$  /年の破損確率を考慮しており、結果的には 10,000 年間の平均として、いわば地層は障壁としては、それほど期待できるわけではないとしている。したがって、地層がかなり地震によって損壊をうけるとしても、結果は大きくは変化しないと判断される。

- ④ 図 6.5 から、接触媒質の重要度が、伏流水（滞水層）、表層流、大気、海の順に高くなっており、また震度、接触媒質ごとの経路シナリオは、ほぼ同様なものであることがわかった。これから、今後、海への放出シナリオを考慮することが必要となるであろう。

#### 6.3.4 断層活動

- ① 断層活動の解析では、サイトを直接襲う確率が焦点である。ここでは、それが  $10^{-9}$ /年と推定されている。その他の場所については、

$$\text{ゾーン I} \quad 4 \times 10^{-8} / \text{年}$$

$$\text{ゾーン II} \quad 2 \times 10^{-7} / \text{年}$$

$$\text{ゾーン III} \quad 7 \times 10^{-7} / \text{年}$$

となっている。

この場合、工学的施設の破損率を、直撃の場合に 1、その他を 0.5～0.1 として計算するとゾーン II において、 $6.4 \times 10^{-9}$ /年の放出経路存在確率を示す以外は、 $10^{-9}$  程度かそれ以下の数値になっている。そこで、こうした仮定が成立する限りにおいては、断層活動を重大なリスク要因と考えないでもよいことがいえよう。直撃の場合について感度解析をしてみると、地層の障壁としての能力があまりあてにならないとしても、上の経路存在確率は 2～3 倍になる程度である。（表 6.13、ハイケース参照）。

- ② 図 6.5 から、各接触媒質への放出経路の存在確率は、同様なパターンを示すことがわかった。特に、断層活動で重要となるのは、ゾーン II で断層が活動した場合である。しかしながら上記①に述べたように、いずれの場合も棄却レベルより低いことからあまり有意とは言えない。今後、断層活動については、サイトを直撃し、直接地表への放出経路が形成される場合を考えるべきと思われる。

#### 6.4 各接触媒質への放出経路の発生頻度

各接触媒質への放出には、どのような外乱が支配的なのであろうか。これを調べるために参考ケースについて、外乱とその発生場所と放出の発生頻度の関係を図 6.1 から図 6.5 に示す。これら各図は、外乱（起因事象）ごとに、外乱の発生地点（例ゾーン I 内では 0～3 km の範囲）別にその時放出経路が存在している確率を、かなりの放出の経路の確率

値にて示している。このうち、偶発放出については、6.2節にて述べたように、参考ケースの場合をローケースとし、工学的障壁の偶発破損率を高くした( $5 \times 10^{-5}$ /年)場合をハイケースとして示した。

上記の各図と、表6.2から表6.11の各表について、以下にその特徴を述べる。

#### 6.4.1 伏流水

- ① 偶発放出経路の存在確率は、接触媒質中、最も低く、確率値から見た場合重要度の低い放出経路と言える。
- ② 放出経路存在確率からみた場合、外乱(起因事象)として重要なものは、火山噴火・火成活動・地震であり、これらは偶発放出のハイケースの値よりも高い経路存在確率を示している。

上記、3起因事象のうちで最も高い値を示すのは地震であるが、これについては、6.3.3節で述べたように、工学系の経路誘発確率によっては、経路存在確率は $10^{-12}$ のオーダーまで低下させることができる。一方、火山の噴火と火成活動は地震ほど工学系の障壁に期待できないとしても、経路存在確率は1桁程度しか低下せず、偶発放出のハイケースよりも依然高い経路存在確率を示し、ゾーンⅠ、Ⅱでは棄却レベルの $10^{-8}$ /年前後の値となり、最も重要な起因事象と言える。

- ③ 断層活動は最大のものであるが、棄却レベルに達しない。また、偶発放出のハイケースよりも高い値を示すが、その差はさほど大きくない。ゾーンⅡを襲う断層が断層活動では最も高い値であるが、これは、工学系の障壁にあまり期待していないためであり、サイトを直撃するものが低くなっているのは、その発生頻度が小さいことが理由である。

以上から、断層活動は無視し得る起因事象と言える。

- ④ 隕石による経路存在確率は、偶発放出のハイケースとローケースの間の値をとり、十分に無視し得る起因事象である。
- ⑤ 滞水層への核種の放出経路は、伏流水のそれと類似しており、最終放出領域(接触媒質)が異なるだけで、その他は全て一致し、入力データも伏流水と滞水層には変化がない。すなわち、放出経路存在確率については、伏流水と滞水層を区別して考慮する必要はなく、いずれか一方を検討すればよいことがわかる。しかしながら、実際の

サイトにおけるこれらの存在様式，および人間の生活圏におけるこれら接触媒質の役割は異なるので，具体的に，核種の放出濃度と人間との接触のしかたに関してそれぞれ検討する必要がある。

以上から，本章では，放出経路の存在確率の予備的検討であり，滞水層については，特に再掲しない。

#### 6.4.2 表層流

- ① 偶発放出経路の存在確率は，各種接触媒質中最も高く，ハイケースでは棄却レベルの $10^{-8}$ /年を起える $1.9 \times 10^{-8}$ /年の存在確率を示し，放出経路を考慮するうえで今後重要となるのであろう。特に，最も高い確率値をもつ放出経路シナリオは，「キャニスター」→「キャニスター収納容器」→「粘土」→「周辺岩体」→「古生界」→「表層流」であり，これはまた，各起因事象においても高い値を示し，確率値から見た重要な放出シナリオと言える。
- ② 外乱（起因事象）による放出経路存在確率のうち，重要なものは，ゾーンⅡの火山噴火とゾーンⅠ，Ⅱの火成活動である。地震については，6.4.1伏流水の項で述べたことが同様にあてはまるのでここでは再掲しない。
- ③ 隕石衝撃は，偶発放出のローケースよりも低い存在確率しか与えず，放出のシナリオとしては無視できる。

#### 6.4.3 大気

- ① 偶発放出経路の存在確率は，ハイケースでも棄却レベルより低く，偶発放出による大気への経路はあまり考慮しなくても良いと言える。  
つぎに，ローケースでみると，隕石衝撃がそれよりも上まわっており，仮に工学的障壁が $10^{-3}$ /10,000年あるいは $10^{-7}$ /年の信頼度がある場合には有意となるかもしれない。しかしながら，存在確率そのものが十分に低く，物理的には考える必要がない。
- ② 大気への放出経路の存在確率に偶発放出よりも大きな値を与える外乱（起因事象）は，火山，地震，断層である。このうち，地震については，前出（6.4.1，②項）の検討と同様であり，重要な外乱とは言えない。

特に、火山はいずれの場合にも経路存在確率は高い値を示し、火山の噴火とゾーンⅠ、Ⅱの火成活動は棄却レベルよりも高い値になっている。これから、大気への放出シナリオとしては、火山の活動が最も重要となる。

- ③ 大気への放出経路の場合、他の接触媒質と異なり、ゾーンⅠでの火山噴火、隕石Ⅰ（巨大隕石）による直接放出がある。これらは共に、外乱（起因事象）の発生頻度に支配されている。
- ④ 表 6.5 に示した、各外乱（起因事象）による放出シナリオを見ると、シナリオの種類は接触媒質中最も多い。また、表 6.10 に示すように大きな存在確率を与える経路シナリオ（かなりの放出経路）の種類も多く、代表的なシナリオを選ぶことは難しい。すなわち、大気の場合には、特定の経路シナリオによるのではなく、起因事象別に各経路シナリオを評価する必要がある。

#### 6.4.4 海

- ① 海への放出経路の存在確率は、上記、大気へのそれと同様なパターンを示し、また経路シナリオも、その種類が多く、大気とかなり似かよっている。
- ② 地震については、各接触媒質中、最も大きな放出経路の存在確率を示しており、地震による放出経路の存在は他の接触媒質と異なり注意する必要がある。すなわち、6.3.3節で述べたように工学的障壁にかなりの信頼度をとっても、震度Ⅵ、Ⅶでは $10^{-11}$ /年のオーダーとなり、棄却レベルの $10^{-8}$ /年より低いとしても、岩体に与える影響などを今後検討する必要があるであろう。

表 6.1 接触媒質ごとの偶発放出確率 (1/2)

番号	接 触 媒 質	核 種 放 出 経 路	偶発放出確率(1/年)
1001	伏流水 への 放出経路 (10)	1 3 4 5 6a 6b 8 9 10	$1.25 \times 10^{-22}$
1002		1 3 4 5 6a 7a 8 9 10	$3.75 \times 10^{-20}$
1003		1 3 4 5 6a 7a 7b 9 10	$3.75 \times 10^{-20}$
1004		1 3 4 5 7a 7b 9 10	$3.75 \times 10^{-17}$
1005		1 3 4 5 7a 8 9 10	$3.75 \times 10^{-17}$
1006		1 3 4 7a 8 9 10	$3.75 \times 10^{-14}$
1007		1 3 4 7a 7b 9 10	$3.75 \times 10^{-14}$
1101	滞水層への 放出経路 (11)	1 3 4 5 6a 6b 8 9 11	$1.25 \times 10^{-22}$
1102		1 3 4 5 6a 7a 8 9 11	$3.75 \times 10^{-20}$
1103		1 3 4 5 6a 7a 7b 9 11	$3.75 \times 10^{-20}$
1104		1 3 4 5 7a 7b 9 11	$3.75 \times 10^{-17}$
1105		1 3 4 5 7a 8 9 11	$3.75 \times 10^{-17}$
1106		1 3 4 7a 8 9 11	$3.75 \times 10^{-14}$
1107		1 3 4 7a 7b 9 11	$3.75 \times 10^{-14}$
1201	表層流への 放出経路 (12)	1 3 4 5 6a 6b 8 9 12	$1.25 \times 10^{-22}$
1202		1 3 4 5 6a 7a 8 9 12	$3.75 \times 10^{-20}$
1203		1 3 4 5 7a 7b 9 12	$3.75 \times 10^{-16}$
1204		1 3 4 5 6a 7a 8 12	$7.5 \times 10^{-20}$
1205		1 3 4 5 6a 6b 8 12	$2.5 \times 10^{-22}$
1206		1 3 4 5 7a 8 9 12	$3.75 \times 10^{-16}$
1207		1 3 4 7a 7b 9 12	$3.75 \times 10^{-13}$
1208		1 3 4 7a 8 9 12	$3.75 \times 10^{-13}$
1209		1 3 4 7a 8 12	$7.5 \times 10^{-13}$

注) 経路要素

- |                 |            |
|-----------------|------------|
| 1 : キャニスター      | 8 : 古 生 界  |
| 3 : キャニスター収納容器  | 9 : 新 生 界  |
| 4 : 粘 土         | 10 : 伏 流 水 |
| 5 : キャピィティ      | 11 : 滞 水 層 |
| 6a : シャフト下部     | 12 : 表 層 流 |
| 6b : シャフト上部     | 13 : 宙 水   |
| 7a : サイト周辺の花崗岩体 | 15 : 大 気   |
| 7b : 海側の花崗岩体    | 16 : 海     |
| 7c : 山側の花崗岩体    |            |

表 6.1 接触媒質ごとの偶発放出確率 (2/2)

番号	接触媒質	核種放出経路	偶発放出確率(1/年)
1501	大気への 放出経路  (15)	1 3 4 5 6a 6b 8 9 13 15	$6.25 \times 10^{-23}$
1502		1 3 4 5 6a 7a 7b 9 13 15	$1.9 \times 10^{-20}$
1503		1 3 4 5 6a 7a 8 9 13 15	$1.35 \times 10^{-21}$
1504		1 3 4 5 6a 6b 8 9 15	$7.5 \times 10^{-23}$
1505		1 3 4 5 6a 7a 8 9 15	$2.25 \times 10^{-20}$
1506		1 3 4 5 6a 7a 7b 9 15	$2.25 \times 10^{-20}$
1507		1 3 4 5 7a 7b 9 13 15	$1.1 \times 10^{-17}$
1508		1 3 4 5 7a 8 9 13 15	$1.1 \times 10^{-17}$
1509		1 3 4 5 6a 6b 8 15	$1.5 \times 10^{-22}$
1510		1 3 4 5 6a 7a 8 15	$4.5 \times 10^{-20}$
1511		1 3 4 5 7a 7b 9 15	$2.25 \times 10^{-17}$
1512		1 3 4 5 7a 8 9 15	$2.25 \times 10^{-17}$
1513		1 3 4 5 6a 7a 7c 15	$7.5 \times 10^{-20}$
1514		1 3 4 7a 7b 9 13 15	$1.1 \times 10^{-14}$
1515		1 3 4 7a 8 9 13 15	$1.9 \times 10^{-14}$
1516		1 3 4 5 6a 6b 15	$5.0 \times 10^{-22}$
1517		1 3 4 5 7a 8 15	$4.5 \times 10^{-17}$
1518		1 3 4 5 7a 7c 15	$7.5 \times 10^{-17}$
1519		1 3 4 7a 7b 9 15	$2.25 \times 10^{-14}$
1520		1 3 4 7a 8 9 15	$2.25 \times 10^{-14}$
1521		1 3 4 7a 7c 15	$7.5 \times 10^{-14}$
1522		1 3 4 7a 8 15	$4.5 \times 10^{-14}$
1523		(突発事象)	(1 3 4) → 15
1601	海への 放出経路  (16)	1 3 4 5 6a 6b 8 9 16	$1.25 \times 10^{-22}$
1602		1 3 4 5 6a 7a 8 9 16	$3.75 \times 10^{-20}$
1603		1 3 4 5 6a 7a 7b 9 16	$3.75 \times 10^{-16}$
1604		1 3 4 5 7a 8 9 16	$3.75 \times 10^{-17}$
1605		1 3 4 5 7a 7b 9 16	$3.75 \times 10^{-17}$
1606		1 3 4 5 6a 7a 7b 16	$1.25 \times 10^{-19}$
1607		1 3 4 7a 8 9 16	$3.75 \times 10^{-14}$
1608		1 3 4 7a 7b 9 16	$3.75 \times 10^{-14}$
1609		1 3 4 5 7a 7b 16	$1.25 \times 10^{-16}$
1610		1 3 4 7a 7b 16	$1.25 \times 10^{-13}$

表 6.2 放出経路における経路存在確率 (1/3)

接触媒質：伏流水(10)

放出経路 番号	火山噴火 ゾーン I	火成活動 ゾーン I	地震 震度 VII	断層活動 サイト直撃	断層活動 ゾーン I	隕石 II ゾーン I	隕石 III ゾーン I	P(xo)=	
									P(xo)=
1001 (125×10 <sup>-22</sup> )	P( /xo) P(E)		0.044 4.4×10 <sup>-9</sup>	2.5×10 <sup>-7</sup> 1.25×10 <sup>-10</sup>	0.044 4.4×10 <sup>-11</sup>	0.015 6.0×10 <sup>-10</sup>	0.12 7.2×10 <sup>-14</sup>	0.016 4.8×10 <sup>-14</sup>	
1002 (3.75×10 <sup>-20</sup> )	P( /xo) P(E)		0.061 6.1×10 <sup>-9</sup>	7.5×10 <sup>-7</sup> 3.75×10 <sup>-10</sup>	0.044 4.4×10 <sup>-11</sup>	0.015 6.0×10 <sup>-10</sup>	0.12 7.2×10 <sup>-14</sup>	0.022 6.6×10 <sup>-14</sup>	
1003 (3.75×10 <sup>-20</sup> )	P( /xo) P(E)		0.026 2.6×10 <sup>-9</sup>	7.5×10 <sup>-6</sup> 3.75×10 <sup>-9</sup>	0.088 8.8×10 <sup>-11</sup>	0.030 1.2×10 <sup>-9</sup>	0.059 3.54×10 <sup>-14</sup>	0.022 6.6×10 <sup>-14</sup>	
1004 (3.75×10 <sup>-17</sup> )	P( /xo) P(E)		0.075 7.5×10 <sup>-9</sup>	7.5×10 <sup>-6</sup> 3.75×10 <sup>-9</sup>	0.25 *2.5×10 <sup>-10</sup>	0.043 1.72×10 <sup>-9</sup>	0.059 3.54×10 <sup>-14</sup>	0.044 1.3×10 <sup>-13</sup>	
1005 (3.75×10 <sup>-17</sup> )	P( /xo) P(E)		0.175 *1.75×10 <sup>-8</sup>	7.5×10 <sup>-6</sup> 3.75×10 <sup>-9</sup>	0.25 *2.5×10 <sup>-10</sup>	0.021 8.4×10 <sup>-10</sup>	0.12 7.2×10 <sup>-14</sup>	0.044 1.3×10 <sup>-13</sup>	
1006 (3.75×10 <sup>-14</sup> )	P( /xo) P(E)		0.175 *1.75×10 <sup>-8</sup>	7.5×10 <sup>-5</sup> *3.75×10 <sup>-8</sup>	0.125 1.25×10 <sup>-10</sup>	3.1×10 <sup>-2</sup> 1.2×10 <sup>-9</sup>	0.17 *1.0×10 <sup>-13</sup>	0.073 *2.2×10 <sup>-13</sup>	
1007 (3.75×10 <sup>-14</sup> )	P( /xo) P(E)		0.075 7.5×10 <sup>-9</sup>	7.5×10 <sup>-5</sup> *3.75×10 <sup>-8</sup>	0.25 *2.5×10 <sup>-10</sup>	6.1×10 <sup>-2</sup> *2.4×10 <sup>-9</sup>	0.084 5.0×10 <sup>-14</sup>	0.036 1.1×10 <sup>-13</sup>	
	P( /xo) P(E)								
	P( /xo) P(E)								
	P( /xo) P(E)								

- 注) 1. \*印は各起回事象における最大の存在確率をとる経路シナリオ  
 2. 放出経路番号内の ( ) 内数値は偶発放出経路存在確率 (1/年)  
 3. P( /xo) : 経路誘発確率, P(E) : 放出経路存在確率 (1/年) : P(E) = P(xo) · P( /xo)



表 6.2 放出経路における経路存在確率 (2/3)

接触媒質：伏流水 (10)

放出経路番号		火山噴火 ゾーン II	火成活動 ゾーン II	地震 震度 VI	断層活動 ゾーン II	隕石 I ゾーン II	隕石 II ゾーン II	隕石 III ゾーン II	P(xo) =
		P(xo) = 10 <sup>-7</sup>	P(xo) = 10 <sup>-6</sup>	P(xo) = 5×10 <sup>-3</sup>	P(xo) = 2×10 <sup>-7</sup>	P(xo) = 2×10 <sup>-12</sup>	P(xo) = 6×10 <sup>-12</sup>	P(xo) = 3×10 <sup>-11</sup>	
1001 (1.25×10 <sup>-22</sup> )	P( /xo)	0.12	8.4×10 <sup>-4</sup>	3.9×10 <sup>-9</sup>	1.4×10 <sup>-3</sup>	0.12	0.016	7.5×10 <sup>-5</sup>	
	P(E)	1.2×10 <sup>-8</sup>	8.4×10 <sup>-10</sup>	1.95×10 <sup>-11</sup>	2.8×10 <sup>-10</sup>	2.4×10 <sup>-13</sup>	9.6×10 <sup>-14</sup>	2.25×10 <sup>-15</sup>	
1002 (3.75×10 <sup>-20</sup> )	P( /xo)	0.12	1.4×10 <sup>-3</sup>	2.3×10 <sup>-8</sup>	2.0×10 <sup>-3</sup>	0.12	0.022	7.5×10 <sup>-5</sup>	
	P(E)	1.2×10 <sup>-8</sup>	1.4×10 <sup>-9</sup>	1.15×10 <sup>-10</sup>	4.0×10 <sup>-10</sup>	2.4×10 <sup>-13</sup>	1.32×10 <sup>-13</sup>	2.25×10 <sup>-15</sup>	
1003 (3.75×10 <sup>-20</sup> )	P( /xo)	0.18	0.027	2.3×10 <sup>-8</sup>	5.6×10 <sup>-3</sup>	0.17	0.022	7.5×10 <sup>-5</sup>	
	P(E)	1.8×10 <sup>-8</sup>	2.7×10 <sup>-8</sup>	1.15×10 <sup>-10</sup>	1.12×10 <sup>-9</sup>	3.4×10 <sup>-13</sup>	1.32×10 <sup>-13</sup>	2.25×10 <sup>-15</sup>	
1004 (3.75×10 <sup>-17</sup> )	P( /xo)	0.25	0.015	7.5×10 <sup>-6</sup>	5.6×10 <sup>-3</sup>	0.24	0.044	1.5×10 <sup>-4</sup>	
	P(E)	*2.5×10 <sup>-8</sup>	1.5×10 <sup>-8</sup>	3.75×10 <sup>-8</sup>	1.12×10 <sup>-9</sup>	4.8×10 <sup>-13</sup>	2.64×10 <sup>-13</sup>	4.5×10 <sup>-15</sup>	
1005 (3.75×10 <sup>-17</sup> )	P( /xo)	0.175	7.8×10 <sup>-3</sup>	7.5×10 <sup>-6</sup>	3.9×10 <sup>-3</sup>	0.17	0.044	1.5×10 <sup>-4</sup>	
	P(E)	1.75×10 <sup>-8</sup>	7.8×10 <sup>-9</sup>	3.75×10 <sup>-8</sup>	7.8×10 <sup>-10</sup>	3.4×10 <sup>-13</sup>	2.64×10 <sup>-13</sup>	4.5×10 <sup>-15</sup>	
1006 (3.75×10 <sup>-14</sup> )	P( /xo)	0.175	0.016	9.4×10 <sup>-6</sup>	7.9×10 <sup>-3</sup>	0.24	0.088	5×10 <sup>-4</sup>	
	P(E)	1.75×10 <sup>-8</sup>	1.6×10 <sup>-8</sup>	*4.7×10 <sup>-8</sup>	1.58×10 <sup>-9</sup>	4.8×10 <sup>-13</sup>	*5.28×10 <sup>-13</sup>	*1.5×10 <sup>-14</sup>	
1007 (3.75×10 <sup>-14</sup> )	P( /xo)	0.25	0.031	9.4×10 <sup>-6</sup>	1.1×10 <sup>-2</sup>	0.34	0.088	5×10 <sup>-4</sup>	
	P(E)	*2.5×10 <sup>-8</sup>	*3.1×10 <sup>-8</sup>	*4.7×10 <sup>-8</sup>	*2.2×10 <sup>-9</sup>	*6.8×10 <sup>-13</sup>	*5.28×10 <sup>-13</sup>	*1.5×10 <sup>-14</sup>	
	P( /xo)								
	P(E)								
	P( /xo)								
	P(E)								
	P( /xo)								
	P(E)								

- 注) 1. \*印は各起因事象における最大の存在確率をとる経路シナリオ  
 2. 放出経路番号内の ( ) 内数値は偶発放出経路存在確率 (1/年)  
 3. P( /xo) : 経路誘発確率, P(E) : 放出経路存在確率 (1/年) : P(E) = P(xo) · P( /xo)

接触媒質：伏流水(10)

表 6.2 放出経路における経路存在確率 (3/3)

放出経路番号		火山噴火 ゾーン III	火成活動 ゾーン III	地震 震度 V	断層活動 ゾーン III	隕石 I ゾーン III	隕石 II ゾーン III	隕石 III ゾーン III	
		$P(x_0)=10^{-6}$	$P(x_0)=10^{-5}$	$P(x_0)=5 \times 10^{-2}$	$P(x_0)=7 \times 10^{-7}$	$P(x_0)=2 \times 10^{-11}$	$P(x_0)=6 \times 10^{-11}$	$P(x_0)=3 \times 10^{-10}$	$P(x_0)=$
1001 ( $1.25 \times 10^{-22}$ )	P( /x <sub>0</sub> )	$4.25 \times 10^{-4}$	$2.5 \times 10^{-7}$	$2.5 \times 10^{-13}$	$2.0 \times 10^{-5}$	$5.5 \times 10^{-3}$	$1.8 \times 10^{-4}$	$2.5 \times 10^{-7}$	
	P(E)	$4.25 \times 10^{-10}$	$2.5 \times 10^{-12}$	$1.25 \times 10^{-14}$	$1.4 \times 10^{-11}$	$1.1 \times 10^{-13}$	$1.08 \times 10^{-14}$	$7.5 \times 10^{-17}$	
1002 ( $3.75 \times 10^{-20}$ )	P( /x <sub>0</sub> )	$7.09 \times 10^{-4}$	$7.5 \times 10^{-7}$	$7.5 \times 10^{-12}$	$2.0 \times 10^{-5}$	$5.5 \times 10^{-3}$	$1.8 \times 10^{-4}$	$7.5 \times 10^{-7}$	
	P(E)	$7.09 \times 10^{-10}$	$7.5 \times 10^{-12}$	$3.75 \times 10^{-13}$	$1.4 \times 10^{-11}$	$1.1 \times 10^{-13}$	$1.08 \times 10^{-14}$	$2.25 \times 10^{-16}$	
1003 ( $3.75 \times 10^{-20}$ )	P( /x <sub>0</sub> )	$7.09 \times 10^{-4}$	$1.3 \times 10^{-7}$	$7.5 \times 10^{-12}$	$2.0 \times 10^{-5}$	0.011	$3.0 \times 10^{-4}$	$7.5 \times 10^{-7}$	
	P(E)	$7.09 \times 10^{-10}$	$1.3 \times 10^{-12}$	$3.75 \times 10^{-13}$	$1.4 \times 10^{-11}$	$2.2 \times 10^{-13}$	$1.8 \times 10^{-14}$	$2.25 \times 10^{-16}$	
1004 ( $3.75 \times 10^{-17}$ )	P( /x <sub>0</sub> )	$1.42 \times 10^{-3}$	$1.3 \times 10^{-6}$	$7.5 \times 10^{-10}$	$6.8 \times 10^{-5}$	0.021	$1.0 \times 10^{-3}$	$7.5 \times 10^{-6}$	
	P(E)	$1.42 \times 10^{-9}$	$1.3 \times 10^{-11}$	$3.75 \times 10^{-11}$	$4.76 \times 10^{-11}$	$4.2 \times 10^{-13}$	$6.0 \times 10^{-14}$	$2.25 \times 10^{-15}$	
1005 ( $3.75 \times 10^{-17}$ )	P( /x <sub>0</sub> )	$1.42 \times 10^{-3}$	$7.5 \times 10^{-5}$	$7.5 \times 10^{-10}$	$6.8 \times 10^{-5}$	0.011	$6.1 \times 10^{-4}$	$7.5 \times 10^{-6}$	
	P(E)	$1.42 \times 10^{-9}$	$7.5 \times 10^{-10}$	$3.75 \times 10^{-11}$	$4.76 \times 10^{-11}$	$2.2 \times 10^{-13}$	$3.66 \times 10^{-14}$	$2.25 \times 10^{-15}$	
1006 ( $3.75 \times 10^{-14}$ )	P( /x <sub>0</sub> )	$4.72 \times 10^{-3}$	$7.5 \times 10^{-5}$	$7.5 \times 10^{-8}$	$2.3 \times 10^{-4}$	0.022	$2.0 \times 10^{-3}$	$7.5 \times 10^{-5}$	
	P(E)	* $4.72 \times 10^{-9}$	$7.5 \times 10^{-10}$	* $3.75 \times 10^{-9}$	* $1.61 \times 10^{-10}$	$4.4 \times 10^{-13}$	$1.2 \times 10^{-13}$	* $2.25 \times 10^{-14}$	
1007 ( $3.75 \times 10^{-14}$ )	P( /x <sub>0</sub> )	$4.72 \times 10^{-3}$	$1.25 \times 10^{-4}$	$7.5 \times 10^{-8}$	$2.3 \times 10^{-4}$	0.043	$3.4 \times 10^{-3}$	$7.5 \times 10^{-5}$	
	P(E)	* $4.72 \times 10^{-9}$	* $1.25 \times 10^{-9}$	* $3.75 \times 10^{-9}$	* $1.61 \times 10^{-10}$	* $8.6 \times 10^{-13}$	* $2.04 \times 10^{-13}$	* $2.25 \times 10^{-14}$	
	P( /x <sub>0</sub> )								
	P(E)								
	P( /x <sub>0</sub> )								
	P(E)								
	P( /x <sub>0</sub> )								
	P(E)								

- 注) 1. \*印は各起因事象における最大の存在確率をとる経路シナリオ  
 2. 放出経路番号内の( )内数値は偶発放出経路存在確率(1/年)  
 3. P( /x<sub>0</sub>):経路誘発確率, P(E):放出経路存在確率(1/年):  $P(E) = P(x_0) \cdot P( /x_0)$

表 6.3 放出経路における経路存在確率 (1/3)

接触媒質：滯水層(11)

放出経路番号		火山噴火 ゾーン I	火成活動 ゾーン I	地震 震度 VII	断層活動 サイト直撃	断層活動 ゾーン I	隕石 II ゾーン I	隕石 III ゾーン I	
		$P(x_0) =$	$P(x_0) = 10^{-7}$	$P(x_0) = 5 \times 10^{-4}$	$P(x_0) = 10^{-9}$	$P(x_0) = 4 \times 10^{-8}$	$P(x_0) = 6 \times 10^{-13}$	$P(x_0) = 3 \times 10^{-12}$	$P(x_0) =$
1101 ( $1.25 \times 10^{-22}$ )	$P(\text{/}x_0)$ $P(E)$		0.044 $4.4 \times 10^{-9}$	$2.5 \times 10^{-7}$ $1.25 \times 10^{-10}$	0.044 $4.4 \times 10^{-11}$	0.015 $6.0 \times 10^{-10}$	0.12 $7.2 \times 10^{-14}$	0.016 $4.8 \times 10^{-14}$	
1102 ( $3.75 \times 10^{-20}$ )	$P(\text{/}x_0)$ $P(E)$		0.061 $6.1 \times 10^{-9}$	$7.5 \times 10^{-7}$ $3.75 \times 10^{-10}$	0.044 $4.4 \times 10^{-11}$	0.015 $6.0 \times 10^{-10}$	0.12 $7.2 \times 10^{-14}$	0.022 $6.5 \times 10^{-14}$	
1103 ( $3.75 \times 10^{-20}$ )	$P(\text{/}x_0)$ $P(E)$		0.026 $2.6 \times 10^{-9}$	$7.5 \times 10^{-6}$ $3.75 \times 10^{-9}$	0.088 $8.8 \times 10^{-11}$	0.030 $1.2 \times 10^{-9}$	0.059 $3.5 \times 10^{-14}$	0.022 $6.6 \times 10^{-14}$	
1104 ( $3.75 \times 10^{-17}$ )	$P(\text{/}x_0)$ $P(E)$		0.075 $7.5 \times 10^{-9}$	$7.5 \times 10^{-6}$ $3.75 \times 10^{-9}$	0.25 $* 2.5 \times 10^{-10}$	0.043 $1.7 \times 10^{-9}$	0.059 $3.5 \times 10^{-14}$	0.044 $1.3 \times 10^{-13}$	
1105 ( $3.75 \times 10^{-17}$ )	$P(\text{/}x_0)$ $P(E)$		0.175 $* 1.75 \times 10^{-8}$	$7.5 \times 10^{-6}$ $3.75 \times 10^{-9}$	0.25 $* 2.5 \times 10^{-10}$	0.021 $8.4 \times 10^{-10}$	0.12 $7.2 \times 10^{-14}$	0.044 $1.3 \times 10^{-13}$	
1106 ( $3.75 \times 10^{-14}$ )	$P(\text{/}x_0)$ $P(E)$		0.175 $* 1.75 \times 10^{-8}$	$7.5 \times 10^{-5}$ $* 3.75 \times 10^{-8}$	0.125 $1.25 \times 10^{-10}$	0.031 $1.2 \times 10^{-9}$	0.17 $* 1.0 \times 10^{-13}$	0.073 $* 2.2 \times 10^{-13}$	
1107 ( $3.75 \times 10^{-14}$ )	$P(\text{/}x_0)$ $P(E)$		0.075 $7.5 \times 10^{-9}$	$7.5 \times 10^{-5}$ $* 3.75 \times 10^{-8}$	0.25 $* 2.5 \times 10^{-9}$	0.061 $* 2.4 \times 10^{-9}$	0.084 $5.0 \times 10^{-14}$	0.036 $1.1 \times 10^{-13}$	
	$P(\text{/}x_0)$ $P(E)$								
	$P(\text{/}x_0)$ $P(E)$								
	$P(\text{/}x_0)$ $P(E)$								

- 注) 1. \*印は各起因事象における最大の存在確率をとる経路シナリオ  
 2. 放出経路番号内の ( ) 内数値は偶発放出経路存在確率 (1/年)  
 3.  $P(\text{/}x_0)$ : 経路誘発確率,  $P(E)$ : 放出経路存在確率 (1/年);  $P(E) = P(x_0) \cdot P(\text{/}x_0)$

表 6.3 放出経路における経路存在確率 (2/3)

接触媒質：滞水層(11)

放出経路 番号		火山噴火 ゾーン II	火成活動 ゾーン II	地震 震度 VI	断層活動 ゾーン II	隕石 I ゾーン II	隕石 II ゾーン II	隕石 III ゾーン II	P(xo) =
		P(xo) = 10 <sup>-7</sup>	P(xo) = 10 <sup>-6</sup>	P(xo) = 5×10 <sup>-3</sup>	P(xo) = 2×10 <sup>-7</sup>	P(xo) = 2×10 <sup>-12</sup>	P(xo) = 6×10 <sup>-12</sup>	P(xo) = 3×10 <sup>-11</sup>	
1101 (1.25×10 <sup>-22</sup> )	P( /xo)	0.12	8.4×10 <sup>-4</sup>	3.9×10 <sup>-9</sup>	1.4×10 <sup>-3</sup>	0.12	0.016	7.5×10 <sup>-5</sup>	
	P(E)	1.2×10 <sup>-8</sup>	8.4×10 <sup>-10</sup>	1.95×10 <sup>-11</sup>	2.8×10 <sup>-10</sup>	2.4×10 <sup>-13</sup>	9.6×10 <sup>-14</sup>	2.25×10 <sup>-15</sup>	
1102 (3.75×10 <sup>-20</sup> )	P( /xo)	0.18	1.4×10 <sup>-3</sup>	2.3×10 <sup>-8</sup>	2.0×10 <sup>-3</sup>	0.12	0.022	7.5×10 <sup>-5</sup>	
	P(E)	1.8×10 <sup>-8</sup>	1.4×10 <sup>-9</sup>	1.15×10 <sup>-10</sup>	4.0×10 <sup>-10</sup>	2.4×10 <sup>-13</sup>	1.32×10 <sup>-13</sup>	2.25×10 <sup>-15</sup>	
1103 (3.75×10 <sup>-20</sup> )	P( /xo)	0.18	0.027	2.3×10 <sup>-8</sup>	5.6×10 <sup>-3</sup>	0.17	0.022	7.5×10 <sup>-5</sup>	
	P(E)	1.8×10 <sup>-8</sup>	2.7×10 <sup>-8</sup>	1.15×10 <sup>-10</sup>	1.12×10 <sup>-9</sup>	3.4×10 <sup>-13</sup>	1.32×10 <sup>-13</sup>	2.25×10 <sup>-15</sup>	
1104 (3.75×10 <sup>-17</sup> )	P( /xo)	0.25	0.015	7.5×10 <sup>-6</sup>	5.6×10 <sup>-3</sup>	0.24	0.044	1.5×10 <sup>-4</sup>	
	P(E)	* 2.5×10 <sup>-8</sup>	1.5×10 <sup>-8</sup>	3.75×10 <sup>-8</sup>	1.12×10 <sup>-9</sup>	4.8×10 <sup>-13</sup>	2.64×10 <sup>-13</sup>	4.5×10 <sup>-15</sup>	
1105 (3.75×10 <sup>-17</sup> )	P( /xo)	0.18	7.8×10 <sup>-3</sup>	7.5×10 <sup>-6</sup>	3.9×10 <sup>-3</sup>	0.17	0.044	1.5×10 <sup>-4</sup>	
	P(E)	1.8×10 <sup>-8</sup>	7.8×10 <sup>-9</sup>	3.75×10 <sup>-8</sup>	7.8×10 <sup>-10</sup>	3.4×10 <sup>-13</sup>	2.64×10 <sup>-13</sup>	4.5×10 <sup>-15</sup>	
1106 (3.75×10 <sup>-14</sup> )	P( /xo)	0.18	0.016	9.4×10 <sup>-6</sup>	7.9×10 <sup>-3</sup>	0.24	0.088	5×10 <sup>-4</sup>	
	P(E)	1.8×10 <sup>-8</sup>	1.6×10 <sup>-8</sup>	* 4.7×10 <sup>-8</sup>	1.58×10 <sup>-9</sup>	4.8×10 <sup>-13</sup>	* 5.28×10 <sup>-13</sup>	* 1.5×10 <sup>-14</sup>	
1107 (3.75×10 <sup>-14</sup> )	P( /xo)	0.25	0.031	9.4×10 <sup>-6</sup>	1.1×10 <sup>-2</sup>	0.34	0.088	5×10 <sup>-4</sup>	
	P(E)	* 2.5×10 <sup>-8</sup>	* 3.1×10 <sup>-8</sup>	* 4.7×10 <sup>-8</sup>	* 2.2×10 <sup>-9</sup>	* 6.8×10 <sup>-13</sup>	* 5.28×10 <sup>-13</sup>	* 1.5×10 <sup>-14</sup>	
	P( /xo)								
	P(E)								
	P( /xo)								
	P(E)								

注) 1. \*印は各起回事象における最大の存在確率をとる経路シナリオ  
 2. 放出経路番号内の( )内数値は偶発放出経路存在確率(1/年)  
 3. P( /xo) : 経路誘発確率, P(E) : 放出経路存在確率(1/年) : P(E) = P(xo) · P( /xo)

表 6.3 放出経路における経路存在確率 (3/3)

接触媒質：滯水層 (11)

放出経路番号		火山噴火 ゾーン III	火成活動 ゾーン III	地震 震度 V	断層活動 ゾーン III	隕石 I ゾーン III	隕石 II ゾーン III	隕石 III ゾーン III	P(xo) =
		P(xo) = 10 <sup>-6</sup>	P(xo) = 10 <sup>-5</sup>	P(xo) = 5×10 <sup>-2</sup>	P(xo) = 7×10 <sup>-7</sup>	P(xo) = 2×10 <sup>-11</sup>	P(xo) = 6×10 <sup>-11</sup>	P(xo) = 3×10 <sup>-10</sup>	
1101 (1.25×10 <sup>-22</sup> )	P( /xo)	4.25×10 <sup>-4</sup>	2.5×10 <sup>-7</sup>	2.5×10 <sup>-13</sup>	2.0×10 <sup>-5</sup>	5.5×10 <sup>-3</sup>	1.8×10 <sup>-4</sup>	2.5×10 <sup>-7</sup>	
	P(E)	4.25×10 <sup>-10</sup>	2.5×10 <sup>-12</sup>	1.25×10 <sup>-14</sup>	1.4×10 <sup>-11</sup>	1.1×10 <sup>-13</sup>	1.08×10 <sup>-14</sup>	7.5×10 <sup>-17</sup>	
1102 (3.75×10 <sup>-20</sup> )	P( /xo)	7.09×10 <sup>-4</sup>	7.5×10 <sup>-7</sup>	7.5×10 <sup>-12</sup>	2.0×10 <sup>-5</sup>	5.5×10 <sup>-3</sup>	1.8×10 <sup>-4</sup>	7.5×10 <sup>-7</sup>	
	P(E)	7.09×10 <sup>-10</sup>	7.5×10 <sup>-12</sup>	3.75×10 <sup>-13</sup>	1.4×10 <sup>-11</sup>	1.1×10 <sup>-13</sup>	1.08×10 <sup>-14</sup>	2.25×10 <sup>-16</sup>	
1103 (3.75×10 <sup>-20</sup> )	P( /xo)	7.09×10 <sup>-4</sup>	1.3×10 <sup>-7</sup>	7.5×10 <sup>-12</sup>	2.0×10 <sup>-5</sup>	0.011	3.0×10 <sup>-4</sup>	7.5×10 <sup>-7</sup>	
	P(E)	7.09×10 <sup>-10</sup>	1.3×10 <sup>-12</sup>	3.75×10 <sup>-13</sup>	1.4×10 <sup>-11</sup>	2.2×10 <sup>-13</sup>	1.8×10 <sup>-14</sup>	2.25×10 <sup>-16</sup>	
1104 (3.75×10 <sup>-17</sup> )	P( /xo)	1.42×10 <sup>-3</sup>	1.3×10 <sup>-6</sup>	7.5×10 <sup>-10</sup>	6.8×10 <sup>-5</sup>	0.021	1.0×10 <sup>-3</sup>	7.5×10 <sup>-6</sup>	
	P(E)	1.42×10 <sup>-9</sup>	1.3×10 <sup>-11</sup>	3.75×10 <sup>-11</sup>	4.76×10 <sup>-11</sup>	4.2×10 <sup>-13</sup>	6.0×10 <sup>-14</sup>	2.25×10 <sup>-15</sup>	
1105 (3.75×10 <sup>-17</sup> )	P( /xo)	1.42×10 <sup>-3</sup>	7.5×10 <sup>-5</sup>	7.5×10 <sup>-10</sup>	6.8×10 <sup>-5</sup>	0.011	6.1×10 <sup>-4</sup>	7.5×10 <sup>-6</sup>	
	P(E)	1.42×10 <sup>-9</sup>	7.5×10 <sup>-10</sup>	3.75×10 <sup>-11</sup>	4.76×10 <sup>-11</sup>	2.2×10 <sup>-13</sup>	3.66×10 <sup>-14</sup>	2.25×10 <sup>-15</sup>	
1106 (3.75×10 <sup>-14</sup> )	P( /xo)	4.72×10 <sup>-3</sup>	7.5×10 <sup>-5</sup>	7.5×10 <sup>-8</sup>	2.25×10 <sup>-4</sup>	0.022	2.0×10 <sup>-3</sup>	7.5×10 <sup>-5</sup>	
	P(E)	*4.72×10 <sup>-9</sup>	7.5×10 <sup>-10</sup>	*3.75×10 <sup>-9</sup>	*1.58×10 <sup>-10</sup>	4.4×10 <sup>-13</sup>	1.2×10 <sup>-13</sup>	*2.25×10 <sup>-14</sup>	
1107 (3.75×10 <sup>-14</sup> )	P( /xo)	4.72×10 <sup>-3</sup>	1.25×10 <sup>-4</sup>	7.5×10 <sup>-8</sup>	2.25×10 <sup>-4</sup>	0.043	3.4×10 <sup>-3</sup>	7.5×10 <sup>-5</sup>	
	P(E)	*4.72×10 <sup>-9</sup>	*1.25×10 <sup>-9</sup>	*3.75×10 <sup>-9</sup>	*1.58×10 <sup>-10</sup>	*8.6×10 <sup>-13</sup>	*2.04×10 <sup>-13</sup>	*2.25×10 <sup>-14</sup>	
	P( /xo)								
	P(E)								
	P( /xo)								
	P(E)								
	P( /xo)								
	P(E)								

- 注) 1. \*印は各起因事象における最大の存在確率をとる経路シナリオ  
 2. 放出経路番号内の ( ) 内数値は偶発放出経路存在確率 (1/年)  
 3. P( /xo) : 経路誘発確率, P(E) : 放出経路存在確率 (1/年) : P(E) = P(xo) · P( /xo)

表 6.4 放出経路における経路存在確率 (1/3)

接触媒質：表層流(12)

放出経路番号		火山噴火 ゾーン I	火成活動 ゾーン I	地震 震度 VII	断層活動 サイト直撃	断層活動 ゾーン I	隕石 II ゾーン I	隕石 III ゾーン I	
		$P(x_0) =$	$P(x_0) = 10^{-7}$	$P(x_0) = 5 \times 10^{-4}$	$P(x_0) = 10^{-9}$	$P(x_0) = 4 \times 10^{-8}$	$P(x_0) = 6 \times 10^{-13}$	$P(x_0) = 3 \times 10^{-12}$	$P(x_0) =$
1201	$P(\text{ノ}x_0)$		0.043	$2.5 \times 10^{-7}$	0.044	0.015	0.12	$1.0 \times 10^{-3}$	
( $1.25 \times 10^{-22}$ )	$P(E)$		$4.3 \times 10^{-9}$	$1.25 \times 10^{-10}$	$4.4 \times 10^{-11}$	$6.0 \times 10^{-10}$	$7.2 \times 10^{-14}$	$3.0 \times 10^{-15}$	
1202	$P(\text{ノ}x_0)$		0.061	$7.5 \times 10^{-7}$	0.0875	0.015	0.12	$1.0 \times 10^{-3}$	
( $3.75 \times 10^{-20}$ )	$P(E)$		$6.1 \times 10^{-9}$	$3.75 \times 10^{-10}$	$8.75 \times 10^{-11}$	$6.0 \times 10^{-10}$	$7.2 \times 10^{-14}$	$3.0 \times 10^{-15}$	
1203	$P(\text{ノ}x_0)$		0.075	$7.5 \times 10^{-6}$	0.25	0.043	0.059	$1.0 \times 10^{-3}$	
( $3.75 \times 10^{-16}$ )	$P(E)$		$7.5 \times 10^{-9}$	$3.75 \times 10^{-9}$	$* 2.5 \times 10^{-10}$	$* 1.72 \times 10^{-9}$	$3.54 \times 10^{-14}$	$3.0 \times 10^{-15}$	
1204	$P(\text{ノ}x_0)$		0.12	$1.5 \times 10^{-6}$	0.0875	0.042	0.24	$2.0 \times 10^{-3}$	
( $7.5 \times 10^{-20}$ )	$P(E)$		$1.2 \times 10^{-8}$	$7.5 \times 10^{-10}$	$8.75 \times 10^{-11}$	$1.68 \times 10^{-9}$	$1.44 \times 10^{-13}$	$6.0 \times 10^{-15}$	
1205	$P(\text{ノ}x_0)$		0.0875	$5 \times 10^{-7}$	0.0875	0.042	0.24	$2.0 \times 10^{-3}$	
( $2.5 \times 10^{-22}$ )	$P(E)$		$8.75 \times 10^{-9}$	$2.5 \times 10^{-10}$	$8.75 \times 10^{-11}$	$1.68 \times 10^{-9}$	$1.44 \times 10^{-13}$	$6.0 \times 10^{-15}$	
1206	$P(\text{ノ}x_0)$		0.175	$7.5 \times 10^{-6}$	0.125	0.021	0.12	$2.0 \times 10^{-3}$	
( $3.75 \times 10^{-16}$ )	$P(E)$		$1.75 \times 10^{-8}$	$3.75 \times 10^{-9}$	$1.25 \times 10^{-10}$	$8.4 \times 10^{-10}$	$7.2 \times 10^{-14}$	$6.0 \times 10^{-15}$	
1207	$P(\text{ノ}x_0)$		0.075	$7.5 \times 10^{-5}$	0.25	0.044	0.084	$3.4 \times 10^{-3}$	
( $3.75 \times 10^{-13}$ )	$P(E)$		$7.5 \times 10^{-9}$	$3.75 \times 10^{-8}$	$2.5 \times 10^{-10}$	$1.7 \times 10^{-9}$	$5.04 \times 10^{-14}$	$1.02 \times 10^{-14}$	
1208	$P(\text{ノ}x_0)$		0.175	$7.5 \times 10^{-5}$	0.125	0.031	0.17	$6.8 \times 10^{-3}$	
( $3.75 \times 10^{-13}$ )	$P(E)$		$1.75 \times 10^{-8}$	$3.75 \times 10^{-8}$	$1.25 \times 10^{-10}$	$1.2 \times 10^{-9}$	$1.02 \times 10^{-13}$	$2.04 \times 10^{-14}$	
1209	$P(\text{ノ}x_0)$		0.35	$1.5 \times 10^{-4}$	0.25	0.086	0.34	0.014	
( $7.5 \times 10^{-13}$ )	$P(E)$		$* 3.5 \times 10^{-8}$	$* 7.5 \times 10^{-8}$	$* 2.5 \times 10^{-10}$	$* 3.4 \times 10^{-9}$	$* 2.04 \times 10^{-13}$	$* 4.2 \times 10^{-14}$	
	$P(\text{ノ}x_0)$								
	$P(E)$								

注) 1. \*印は各起因事象における最大の存在確率をとる経路シナリオ

2. 放出経路番号内の( )内数値は偶発放出経路存在確率 (1/年)

3.  $P(\text{ノ}x_0)$  : 経路誘発確率,  $P(E)$  : 放出経路存在確率 (1/年) ;  $P(E) = P(x_0) \cdot P(\text{ノ}x_0)$

表 6.4 放出経路における経路存在確率 (2/3)

接触媒質：表層流 (12)

放出経路 番号		火山噴火 ゾーン II	火成活動 ゾーン II	地震 震度 VI	断層活動 ゾーン II	隕石 I ゾーン II	隕石 II ゾーン II	隕石 III ゾーン II	P(xo) =
		P(xo)=10 <sup>-7</sup>	P(xo)=10 <sup>-6</sup>	P(xo)=5×10 <sup>-3</sup>	P(xo)=2×10 <sup>-7</sup>	P(xo)=2×10 <sup>-12</sup>	P(xo)=6×10 <sup>-12</sup>	P(xo)=3×10 <sup>-11</sup>	
1201 (1.25×10 <sup>-22</sup> )	P( /xo)	0.12	6.75×10 <sup>-3</sup>	3.9×10 <sup>-9</sup>	3.1×10 <sup>-3</sup>	0.12	0.016	7.5×10 <sup>-5</sup>	
	P(E)	1.2×10 <sup>-8</sup>	6.75×10 <sup>-9</sup>	1.95×10 <sup>-11</sup>	6.2×10 <sup>-10</sup>	2.4×10 <sup>-13</sup>	9.6×10 <sup>-14</sup>	2.25×10 <sup>-15</sup>	
1202 (3.75×10 <sup>-20</sup> )	P( /xo)	0.12	1.4×10 <sup>-3</sup>	2.3×10 <sup>-8</sup>	2.0×10 <sup>-3</sup>	0.12	0.022	7.5×10 <sup>-5</sup>	
	P(E)	1.2×10 <sup>-8</sup>	1.4×10 <sup>-9</sup>	1.15×10 <sup>-10</sup>	4.0×10 <sup>-10</sup>	2.4×10 <sup>-13</sup>	1.32×10 <sup>-13</sup>	2.25×10 <sup>-15</sup>	
1203 (3.75×10 <sup>-16</sup> )	P( /xo)	0.25	0.015	4.7×10 <sup>-7</sup>	5.6×10 <sup>-3</sup>	0.24	0.044	1.5×10 <sup>-4</sup>	
	P(E)	* 2.5×10 <sup>-8</sup>	1.5×10 <sup>-8</sup>	2.35×10 <sup>-9</sup>	1.12×10 <sup>-9</sup>	4.8×10 <sup>-13</sup>	2.64×10 <sup>-13</sup>	4.5×10 <sup>-15</sup>	
1204 (7.5×10 <sup>-20</sup> )	P( /xo)	0.12	2.8×10 <sup>-3</sup>	4.7×10 <sup>-8</sup>	3.9×10 <sup>-3</sup>	0.059	0.011	3.75×10 <sup>-5</sup>	
	P(E)	1.2×10 <sup>-8</sup>	2.8×10 <sup>-9</sup>	2.35×10 <sup>-10</sup>	7.8×10 <sup>-9</sup>	1.18×10 <sup>-13</sup>	6.6×10 <sup>-14</sup>	1.13×10 <sup>-15</sup>	
1205 (2.5×10 <sup>-22</sup> )	P( /xo)	0.12	1.7×10 <sup>-3</sup>	7.8×10 <sup>-9</sup>	2.8×10 <sup>-3</sup>	0.059	7.8×10 <sup>-3</sup>	3.75×10 <sup>-5</sup>	
	P(E)	1.2×10 <sup>-8</sup>	1.7×10 <sup>-9</sup>	3.9×10 <sup>-11</sup>	5.6×10 <sup>-10</sup>	1.18×10 <sup>-13</sup>	4.68×10 <sup>-14</sup>	1.13×10 <sup>-15</sup>	
1206 (3.75×10 <sup>-16</sup> )	P( /xo)	0.175	7.8×10 <sup>-3</sup>	4.7×10 <sup>-7</sup>	3.9×10 <sup>-3</sup>	0.17	0.044	1.5×10 <sup>-4</sup>	
	P(E)	1.75×10 <sup>-8</sup>	7.8×10 <sup>-9</sup>	2.35×10 <sup>-9</sup>	7.8×10 <sup>-10</sup>	3.4×10 <sup>-13</sup>	2.64×10 <sup>-13</sup>	4.5×10 <sup>-15</sup>	
1207 (3.75×10 <sup>-13</sup> )	P( /xo)	0.25	0.031	9.4×10 <sup>-6</sup>	0.011	0.34	0.088	5×10 <sup>-4</sup>	
	P(E)	* 2.5×10 <sup>-8</sup>	* 3.1×10 <sup>-8</sup>	4.7×10 <sup>-8</sup>	2.2×10 <sup>-9</sup>	* 6.8×10 <sup>-13</sup>	* 5.28×10 <sup>-13</sup>	* 1.5×10 <sup>-14</sup>	
1208 (3.75×10 <sup>-13</sup> )	P( /xo)	0.175	0.016	9.4×10 <sup>-6</sup>	7.9×10 <sup>-3</sup>	0.24	0.088	5×10 <sup>-4</sup>	
	P(E)	1.75×10 <sup>-8</sup>	1.6×10 <sup>-8</sup>	4.7×10 <sup>-8</sup>	1.58×10 <sup>-9</sup>	4.8×10 <sup>-13</sup>	* 5.28×10 <sup>-13</sup>	* 1.5×10 <sup>-14</sup>	
1209 (7.5×10 <sup>-13</sup> )	P( /xo)	0.175	0.031	1.9×10 <sup>-5</sup>	0.016	0.12	0.044	2.5×10 <sup>-4</sup>	
	P(E)	1.75×10 <sup>-8</sup>	* 3.1×10 <sup>-8</sup>	* 9.5×10 <sup>-8</sup>	* 3.2×10 <sup>-9</sup>	2.4×10 <sup>-13</sup>	2.64×10 <sup>-13</sup>	7.5×10 <sup>-15</sup>	
	P( /xo)								
	P(E)								

- 注) 1. \*印は各起回事象における最大の存在確率をとる経路シナリオ  
 2. 放出経路番号内の ( ) 内数値は偶発放出経路存在確率 (1/年)  
 3. P( /xo) : 経路誘発確率, P(E) : 放出経路存在確率 (1/年) : P(E) = P(xo) · P( /xo)

表 6.4 放出経路における経路存在確率 (3/3)

接触媒質：表層流 (12)

放出経路 番号		火山噴火 ゾーン III	火成活動 ゾーン III	地震 震度 V	断層活動 ゾーン III	隕石 I ゾーン III	隕石 II ゾーン III	隕石 III ゾーン III	P(xo) =
		P(xo)=10 <sup>-6</sup>	P(xo)=10 <sup>-5</sup>	P(xo)=5×10 <sup>-2</sup>	P(xo)=7×10 <sup>-7</sup>	P(xo)=2×10 <sup>-11</sup>	P(xo)=6×10 <sup>-11</sup>	P(xo)=3×10 <sup>-10</sup>	
1201 (1.25×10 <sup>-22</sup> )	P( /xo)	3.0×10 <sup>-4</sup>	2.5×10 <sup>-7</sup>	2.5×10 <sup>-13</sup>	2.0×10 <sup>-5</sup>	3.9×10 <sup>-3</sup>	1.8×10 <sup>-4</sup>	2.5×10 <sup>-7</sup>	
	P(E)	3.0×10 <sup>-10</sup>	2.5×10 <sup>-12</sup>	7.5×10 <sup>-15</sup>	1.4×10 <sup>-11</sup>	7.8×10 <sup>-14</sup>	1.08×10 <sup>-14</sup>	7.5×10 <sup>-17</sup>	
1202 (3.75×10 <sup>-20</sup> )	P( /xo)	5.1×10 <sup>-4</sup>	7.5×10 <sup>-7</sup>	7.5×10 <sup>-12</sup>	2.0×10 <sup>-5</sup>	3.9×10 <sup>-3</sup>	1.8×10 <sup>-4</sup>	7.5×10 <sup>-7</sup>	
	P(E)	5.1×10 <sup>-10</sup>	7.5×10 <sup>-12</sup>	3.7×10 <sup>-13</sup>	1.4×10 <sup>-11</sup>	7.8×10 <sup>-14</sup>	1.08×10 <sup>-14</sup>	2.25×10 <sup>-16</sup>	
1203 (3.75×10 <sup>-16</sup> )	P( /xo)	1.0×10 <sup>-3</sup>	1.25×10 <sup>-5</sup>	7.5×10 <sup>-10</sup>	6.75×10 <sup>-5</sup>	0.015	1.0×10 <sup>-3</sup>	7.5×10 <sup>-6</sup>	
	P(E)	1.0×10 <sup>-9</sup>	1.25×10 <sup>-10</sup>	3.75×10 <sup>-11</sup>	4.73×10 <sup>-11</sup>	3.0×10 <sup>-13</sup>	6.0×10 <sup>-14</sup>	2.25×10 <sup>-15</sup>	
1204 (7.5×10 <sup>-20</sup> )	P( /xo)	1.0×10 <sup>-3</sup>	1.5×10 <sup>-6</sup>	1.5×10 <sup>-11</sup>	4.05×10 <sup>-5</sup>	7.8×10 <sup>-3</sup>	3.6×10 <sup>-4</sup>	1.5×10 <sup>-6</sup>	
	P(E)	1.0×10 <sup>-9</sup>	1.5×10 <sup>-11</sup>	7.5×10 <sup>-13</sup>	2.84×10 <sup>-11</sup>	1.56×10 <sup>-13</sup>	2.16×10 <sup>-14</sup>	4.5×10 <sup>-16</sup>	
1205 (2.5×10 <sup>-22</sup> )	P( /xo)	6.1×10 <sup>-4</sup>	5.0×10 <sup>-7</sup>	5.0×10 <sup>-13</sup>	4.05×10 <sup>-5</sup>	7.8×10 <sup>-3</sup>	3.6×10 <sup>-4</sup>	5.0×10 <sup>-7</sup>	
	P(E)	6.1×10 <sup>-10</sup>	5.0×10 <sup>-12</sup>	2.5×10 <sup>-14</sup>	2.84×10 <sup>-11</sup>	1.56×10 <sup>-13</sup>	2.16×10 <sup>-14</sup>	1.5×10 <sup>-16</sup>	
1206 (3.75×10 <sup>-16</sup> )	P( /xo)	1.0×10 <sup>-3</sup>	7.5×10 <sup>-6</sup>	7.5×10 <sup>-10</sup>	6.75×10 <sup>-5</sup>	7.8×10 <sup>-3</sup>	6.1×10 <sup>-4</sup>	7.5×10 <sup>-6</sup>	
	P(E)	1.0×10 <sup>-9</sup>	7.5×10 <sup>-11</sup>	3.75×10 <sup>-11</sup>	4.73×10 <sup>-11</sup>	1.56×10 <sup>-13</sup>	3.66×10 <sup>-14</sup>	2.25×10 <sup>-15</sup>	
1207 (3.75×10 <sup>-13</sup> )	P( /xo)	3.4×10 <sup>-3</sup>	1.5×10 <sup>-4</sup>	7.5×10 <sup>-8</sup>	2.3×10 <sup>-4</sup>	0.031	3.4×10 <sup>-3</sup>	7.5×10 <sup>-5</sup>	
	P(E)	3.4×10 <sup>-9</sup>	* 1.5×10 <sup>-9</sup>	3.75×10 <sup>-9</sup>	1.61×10 <sup>-10</sup>	* 6.2×10 <sup>-13</sup>	2.04×10 <sup>-13</sup>	2.25×10 <sup>-14</sup>	
1208 (3.75×10 <sup>-13</sup> )	P( /xo)	3.4×10 <sup>-3</sup>	7.5×10 <sup>-5</sup>	7.5×10 <sup>-8</sup>	2.3×10 <sup>-4</sup>	0.016	2.0×10 <sup>-3</sup>	7.5×10 <sup>-5</sup>	
	P(E)	3.4×10 <sup>-9</sup>	7.5×10 <sup>-10</sup>	3.75×10 <sup>-9</sup>	1.61×10 <sup>-10</sup>	3.2×10 <sup>-13</sup>	1.2×10 <sup>-13</sup>	2.25×10 <sup>-14</sup>	
1209 (7.5×10 <sup>-13</sup> )	P( /xo)	6.8×10 <sup>-3</sup>	1.25×10 <sup>-4</sup>	1.5×10 <sup>-7</sup>	4.5×10 <sup>-4</sup>	0.031	4.1×10 <sup>-3</sup>	1.5×10 <sup>-4</sup>	
	P(E)	* 6.8×10 <sup>-9</sup>	1.25×10 <sup>-9</sup>	* 7.5×10 <sup>-9</sup>	* 3.15×10 <sup>-10</sup>	* 6.2×10 <sup>-13</sup>	* 2.46×10 <sup>-13</sup>	* 4.5×10 <sup>-14</sup>	
	P( /xo)								
	P(E)								

- 注) 1. \*印は各起回事象における最大の存在確率をとる経路シナリオ  
 2. 放出経路番号内の ( ) 内数値は偶発放出経路存在確率 (1/年)  
 3. P( /xo) : 経路誘発確率, P(E) : 放出経路存在確率 (1/年) : P(E) = P(xo) · P( /xo)



表 6.5 放出経路における経路存在確率 (1/3)

接触媒質：大気 (15)

放出経路 番号		火山噴火 ゾーン I	火成活動 ゾーン I	地震 震度 VII	断層活動 サイト直撃	断層活動 ゾーン I	隕石 II ゾーン I	隕石 III ゾーン I	隕石 I ゾーン I
		$P(x_0)=10^{-8}$	$P(x_0)=10^{-7}$	$P(x_0)=5 \times 10^{-4}$	$P(x_0)=10^{-9}$	$P(x_0)=4 \times 10^{-8}$	$P(x_0)=6 \times 10^{-13}$	$P(x_0)=3 \times 10^{-12}$	$P(x_0)=2 \times 10^{-13}$
1501 ( $6.25 \times 10^{-23}$ )	P( /x <sub>0</sub> )		$2.19 \times 10^{-2}$	$1.25 \times 10^{-7}$	$2.19 \times 10^{-2}$	$7.50 \times 10^{-3}$	$6.00 \times 10^{-2}$	$5.06 \times 10^{-4}$	
	P(E)		$2.2 \times 10^{-9}$	$6.3 \times 10^{-11}$	$2.2 \times 10^{-11}$	$3.0 \times 10^{-10}$	$3.6 \times 10^{-14}$	$1.5 \times 10^{-15}$	
1502 ( $1.9 \times 10^{-20}$ )	P( /x <sub>0</sub> )		$1.31 \times 10^{-2}$	$3.75 \times 10^{-7}$	$4.38 \times 10^{-2}$	$1.50 \times 10^{-2}$	$2.94 \times 10^{-2}$	$2.53 \times 10^{-4}$	
	P(E)		$1.3 \times 10^{-9}$	$1.9 \times 10^{-10}$	$4.4 \times 10^{-11}$	$6.0 \times 10^{-10}$	$1.8 \times 10^{-14}$	$7.6 \times 10^{-16}$	
1503 ( $1.35 \times 10^{-21}$ )	P( /x <sub>0</sub> )		$4.38 \times 10^{-2}$	$3.75 \times 10^{-7}$	$2.19 \times 10^{-2}$	$7.50 \times 10^{-3}$	$6.00 \times 10^{-2}$	$5.06 \times 10^{-4}$	
	P(E)		$4.4 \times 10^{-9}$	$1.9 \times 10^{-10}$	$2.2 \times 10^{-11}$	$3.0 \times 10^{-10}$	$3.6 \times 10^{-14}$	$1.5 \times 10^{-15}$	
1504 ( $7.5 \times 10^{-23}$ )	P( /x <sub>0</sub> )		$2.63 \times 10^{-2}$	$1.5 \times 10^{-7}$	$4.38 \times 10^{-2}$	$9.00 \times 10^{-3}$	$1.20 \times 10^{-1}$	$6.08 \times 10^{-4}$	
	P(E)		$2.6 \times 10^{-9}$	$7.5 \times 10^{-11}$	$4.4 \times 10^{-11}$	$3.6 \times 10^{-10}$	$7.2 \times 10^{-14}$	$1.8 \times 10^{-15}$	
1505 ( $2.25 \times 10^{-20}$ )	P( /x <sub>0</sub> )		$3.68 \times 10^{-2}$	$4.5 \times 10^{-7}$	$4.38 \times 10^{-2}$	$9.00 \times 10^{-3}$	$1.20 \times 10^{-1}$	$6.08 \times 10^{-4}$	
	P(E)		$3.7 \times 10^{-9}$	$2.3 \times 10^{-10}$	$4.4 \times 10^{-11}$	$3.6 \times 10^{-10}$	$7.2 \times 10^{-14}$	$1.8 \times 10^{-15}$	
1506 ( $2.25 \times 10^{-20}$ )	P( /x <sub>0</sub> )		$1.58 \times 10^{-2}$	$4.5 \times 10^{-7}$	$8.75 \times 10^{-2}$	$1.80 \times 10^{-2}$	$5.88 \times 10^{-2}$	$3.04 \times 10^{-4}$	
	P(E)		$1.6 \times 10^{-9}$	$2.3 \times 10^{-10}$	$8.8 \times 10^{-11}$	$7.2 \times 10^{-10}$	$3.5 \times 10^{-14}$	$9.1 \times 10^{-16}$	
1507 ( $1.1 \times 10^{-17}$ )	P( /x <sub>0</sub> )		$1.56 \times 10^{-2}$	$3.75 \times 10^{-6}$	$1.25 \times 10^{-1}$	$2.57 \times 10^{-2}$	$2.94 \times 10^{-2}$	$5.06 \times 10^{-4}$	
	P(E)		$1.6 \times 10^{-9}$	$1.9 \times 10^{-9}$	$1.3 \times 10^{-10}$	$1.0 \times 10^{-9}$	$1.8 \times 10^{-14}$	$1.5 \times 10^{-15}$	
1508 ( $1.1 \times 10^{-17}$ )	P( /x <sub>0</sub> )		$1.56 \times 10^{-2}$	$3.75 \times 10^{-6}$	$6.25 \times 10^{-2}$	$1.07 \times 10^{-2}$	$6.00 \times 10^{-2}$	$1.01 \times 10^{-3}$	
	P(E)		$1.6 \times 10^{-9}$	$1.9 \times 10^{-9}$	$6.3 \times 10^{-11}$	$4.3 \times 10^{-10}$	$3.6 \times 10^{-14}$	$3.0 \times 10^{-15}$	
	P( /x <sub>0</sub> )								
	P(E)								

- 注) 1. 本印は各起回事象における最大の存在確率をとる経路シナリオ  
 2. 放出経路番号内の ( ) 内数値は偶発放出経路存在確率 (1/年)  
 3. P( /x<sub>0</sub>) : 経路誘発確率, P(E) : 放出経路存在確率 (1/年) :  $P(E) = P(x_0) \cdot P( /x_0)$

表 6.5 放出経路における経路存在確率 (1/3 続)

接触媒質：大気(15)

放出経路 番号		火山噴火 ゾーン I	火成活動 ゾーン I	地震 震度 VII	断層活動 サイト直撃	断層活動 ゾーン I	隕石 II ゾーン I	隕石 III ゾーン I	隕石 I ゾーン I
		$P(x_0)=10^{-8}$	$P(x_0)=10^{-7}$	$P(x_0)=5 \times 10^{-4}$	$P(x_0)=10^{-9}$	$P(x_0)=4 \times 10^{-8}$	$P(x_0)=6 \times 10^{-13}$	$P(x_0)=3 \times 10^{-12}$	$P(x_0)=2 \times 10^{-13}$
1509 ( $1.5 \times 10^{-22}$ )	P( /x <sub>0</sub> )		$8.75 \times 10^{-2}$	$3.0 \times 10^{-7}$	$8.75 \times 10^{-2}$	$3.0 \times 10^{-2}$	$2.4 \times 10^{-1}$	$2.03 \times 10^{-3}$	
	P(E)		$8.8 \times 10^{-9}$	$1.5 \times 10^{-10}$	$8.8 \times 10^{-11}$	$1.2 \times 10^{-9}$	$1.4 \times 10^{-13}$	$6.1 \times 10^{-15}$	
1510 ( $4.5 \times 10^{-20}$ )	P( /x <sub>0</sub> )		$1.23 \times 10^{-1}$	$9.0 \times 10^{-7}$	$8.75 \times 10^{-2}$	$4.29 \times 10^{-2}$	$2.4 \times 10^{-1}$	$2.03 \times 10^{-3}$	
	P(E)		$1.2 \times 10^{-8}$	$4.5 \times 10^{-10}$	$8.8 \times 10^{-11}$	$1.7 \times 10^{-9}$	$1.4 \times 10^{-13}$	$6.1 \times 10^{-15}$	
1511 ( $2.25 \times 10^{-17}$ )	P( /x <sub>0</sub> )		$4.5 \times 10^{-2}$	$4.5 \times 10^{-6}$	$2.5 \times 10^{-1}$	$4.29 \times 10^{-2}$	$8.4 \times 10^{-2}$	$6.08 \times 10^{-4}$	
	P(E)		$4.5 \times 10^{-9}$	$2.3 \times 10^{-9}$	$2.5 \times 10^{-10}$	$1.7 \times 10^{-9}$	$5.0 \times 10^{-14}$	$1.8 \times 10^{-15}$	
1512 ( $2.25 \times 10^{-17}$ )	P( /x <sub>0</sub> )		$1.05 \times 10^{-1}$	$4.5 \times 10^{-6}$	$1.25 \times 10^{-1}$	$1.29 \times 10^{-2}$	$1.2 \times 10^{-1}$	$1.22 \times 10^{-3}$	
	P(E)		$1.1 \times 10^{-8}$	$2.3 \times 10^{-9}$	$1.3 \times 10^{-10}$	$5.2 \times 10^{-10}$	$7.2 \times 10^{-14}$	$3.7 \times 10^{-15}$	
1513 ( $7.5 \times 10^{-20}$ )	P( /x <sub>0</sub> )		$5.25 \times 10^{-2}$	$1.5 \times 10^{-6}$	$1.75 \times 10^{-1}$	$2.57 \times 10^{-2}$	$5.04 \times 10^{-2}$	$6.08 \times 10^{-4}$	
	P(E)		$5.3 \times 10^{-9}$	$7.5 \times 10^{-10}$	$1.8 \times 10^{-10}$	$1.0 \times 10^{-9}$	$3.0 \times 10^{-14}$	$1.8 \times 10^{-15}$	
1514 ( $1.1 \times 10^{-14}$ )	P( /x <sub>0</sub> )		$3.75 \times 10^{-2}$	$3.75 \times 10^{-5}$	$1.25 \times 10^{-1}$	$3.06 \times 10^{-2}$	$4.2 \times 10^{-2}$	$1.69 \times 10^{-3}$	
	P(E)		$3.8 \times 10^{-9}$	$1.9 \times 10^{-8}$	$1.3 \times 10^{-10}$	$1.2 \times 10^{-9}$	$2.5 \times 10^{-14}$	$5.1 \times 10^{-15}$	
1515 ( $1.9 \times 10^{-14}$ )	P( /x <sub>0</sub> )		$8.75 \times 10^{-2}$	$3.75 \times 10^{-5}$	$6.25 \times 10^{-2}$	$1.53 \times 10^{-2}$	$8.58 \times 10^{-2}$	$3.38 \times 10^{-3}$	
	P(E)		$8.8 \times 10^{-9}$	$1.9 \times 10^{-8}$	$6.3 \times 10^{-11}$	$6.1 \times 10^{-10}$	$5.1 \times 10^{-14}$	$1.0 \times 10^{-15}$	
1516 ( $5.0 \times 10^{-22}$ )	P( /x <sub>0</sub> )		$1.75 \times 10^{-1}$	$1.0 \times 10^{-6}$	$1.75 \times 10^{-1}$	$6.0 \times 10^{-2}$	$2.4 \times 10^{-1}$	$4.05 \times 10^{-3}$	
	P(E)		$1.8 \times 10^{-8}$	$5 \times 10^{-10}$	$1.8 \times 10^{-10}$	$* 2.4 \times 10^{-9}$	$1.4 \times 10^{-13}$	$1.2 \times 10^{-15}$	
	P( /x <sub>0</sub> )								
	P(E)								
	P( /x <sub>0</sub> )								
	P(E)								

- 注) 1. \*印は各起因事象における最大の存在確率をとる経路シナリオ  
 2. 放出経路番号内の( )内数値は偶発放出経路存在確率(1/年)  
 3. P( /x<sub>0</sub>) : 経路誘発確率, P(E) : 放出経路存在確率(1/年) :  $P(E) = P(x_0) \cdot P( /x_0)$

表 6.5 放出経路における経路存在確率 (1/3 続)

接触媒質：大気 (15)

放出経路番号		火山噴火	火成活動	地震	断層活動	断層活動	隕石 II	隕石 III	隕石 I
		ゾーン I	ゾーン I	震度 VII	サイト直撃	ゾーン I	ゾーン I	ゾーン I	ゾーン I
		$P(x_0)=10^{-8}$	$P(x_0)=10^{-7}$	$P(x_0)=5 \times 10^{-4}$	$P(x_0)=10^{-9}$	$P(x_0)=4 \times 10^{-8}$	$P(x_0)=6 \times 10^{-13}$	$P(x_0)=3 \times 10^{-12}$	$P(x_0)=2 \times 10^{-13}$
1517 ( $4.5 \times 10^{-17}$ )	$P(\text{ノ}x_0)$		0.35	$9.0 \times 10^{-6}$	0.25	0.043	0.24	$4.05 \times 10^{-3}$	
	$P(E)$		$* 3.5 \times 10^{-8}$	$4.5 \times 10^{-9}$	$2.5 \times 10^{-10}$	$1.7 \times 10^{-9}$	$1.4 \times 10^{-13}$	$1.2 \times 10^{-14}$	
1518 ( $7.5 \times 10^{-17}$ )	$P(\text{ノ}x_0)$		0.15	$1.5 \times 10^{-5}$	0.50	0.0525	0.050	$1.2 \times 10^{-3}$	
	$P(E)$		$1.5 \times 10^{-8}$	$7.5 \times 10^{-9}$	$* 5 \times 10^{-10}$	$2.1 \times 10^{-9}$	$3.0 \times 10^{-14}$	$3.6 \times 10^{-15}$	
1519 ( $2.25 \times 10^{-14}$ )	$P(\text{ノ}x_0)$		0.045	$4.5 \times 10^{-5}$	0.25	0.037	0.084	$2.0 \times 10^{-3}$	
	$P(E)$		$4.5 \times 10^{-9}$	$2.3 \times 10^{-8}$	$2.5 \times 10^{-10}$	$1.5 \times 10^{-9}$	$5.0 \times 10^{-14}$	$6.0 \times 10^{-15}$	
1520 ( $2.25 \times 10^{-14}$ )	$P(\text{ノ}x_0)$		0.063	$4.5 \times 10^{-5}$	0.125	0.018	0.17	$4.05 \times 10^{-3}$	
	$P(E)$		$6.3 \times 10^{-9}$	$2.3 \times 10^{-8}$	$1.25 \times 10^{-10}$	$7.2 \times 10^{-10}$	$1.0 \times 10^{-13}$	$1.2 \times 10^{-14}$	
1521 ( $7.5 \times 10^{-14}$ )	$P(\text{ノ}x_0)$		0.15	$1.5 \times 10^{-4}$	0.50	0.0525	0.072	$4.05 \times 10^{-3}$	
	$P(E)$		$1.5 \times 10^{-8}$	$* 7.5 \times 10^{-8}$	$* 5 \times 10^{-10}$	$2.1 \times 10^{-9}$	$4.3 \times 10^{-14}$	$1.2 \times 10^{-14}$	
1522 ( $4.5 \times 10^{-14}$ )	$P(\text{ノ}x_0)$		0.35	$9.0 \times 10^{-5}$	0.25	0.061	0.34	0.0135	
	$P(E)$		$* 3.5 \times 10^{-8}$	$4.5 \times 10^{-8}$	$2.5 \times 10^{-10}$	$* 2.4 \times 10^{-9}$	$* 2.0 \times 10^{-13}$	$* 4.1 \times 10^{-14}$	
1523 (処分場から大気への直接放出)	$P(\text{ノ}x_0)$	1							1
	$P(E)$	$10^{-8}$							$2 \times 10^{-13}$
	$P(\text{ノ}x_0)$								
	$P(E)$								
	$P(\text{ノ}x_0)$								
	$P(E)$								
	$P(\text{ノ}x_0)$								
	$P(E)$								

- 注) 1. \*印は各起回事象における最大の存在確率をとる経路シナリオ  
 2. 放出経路番号内の ( ) 内数値は偶発放出経路存在確率 (1/年)  
 3.  $P(\text{ノ}x_0)$ : 経路誘発確率,  $P(E)$ : 放出経路存在確率 (1/年):  $P(E) = P(x_0) \cdot P(\text{ノ}x_0)$

表 6.5 放出経路における経路存在確率 (2/3)

接触媒質：大気 (15)

放出経路 番号		火山噴火 ゾーン II	火成活動 ゾーン II	地震 震度 VI	断層活動 ゾーン II	隕石 I ゾーン II	隕石 II ゾーン II	隕石 III ゾーン II	P(xo) =
		P(xo) = 10 <sup>-7</sup>	P(xo) = 10 <sup>-6</sup>	P(xo) = 5×10 <sup>-3</sup>	P(xo) = 2×10 <sup>-7</sup>	P(xo) = 2×10 <sup>-12</sup>	P(xo) = 6×10 <sup>-12</sup>	P(xo) = 3×10 <sup>-11</sup>	
1501 (6.25×10 <sup>-23</sup> )	P( /xo)	1.23×10 <sup>-1</sup>	4.22×10 <sup>-4</sup>	1.95×10 <sup>-9</sup>	9.84×10 <sup>-4</sup>	1.18×10 <sup>-1</sup>	1.56×10 <sup>-2</sup>	7.5×10 <sup>-5</sup>	
	P(E)	1.2×10 <sup>-8</sup>	4.2×10 <sup>-10</sup>	9.8×10 <sup>-12</sup>	2.0×10 <sup>-10</sup>	2.4×10 <sup>-13</sup>	9.6×10 <sup>-14</sup>	2.3×10 <sup>-15</sup>	
1502 (1.9×10 <sup>-20</sup> )	P( /xo)	1.75×10 <sup>-1</sup>	1.38×10 <sup>-3</sup>	1.17×10 <sup>-8</sup>	1.97×10 <sup>-3</sup>	1.68×10 <sup>-1</sup>	2.19×10 <sup>-2</sup>	7.5×10 <sup>-5</sup>	
	P(E)	1.75×10 <sup>-8</sup>	1.4×10 <sup>-9</sup>	6×10 <sup>-11</sup>	4.0×10 <sup>-9</sup>	3.4×10 <sup>-13</sup>	1.3×10 <sup>-14</sup>	2.3×10 <sup>-15</sup>	
1503 (1.35×10 <sup>-21</sup> )	P( /xo)	1.23×10 <sup>-1</sup>	7.03×10 <sup>-4</sup>	1.17×10 <sup>-8</sup>	1.38×10 <sup>-3</sup>	1.18×10 <sup>-1</sup>	2.19×10 <sup>-2</sup>	7.5×10 <sup>-5</sup>	
	P(E)	1.2×10 <sup>-8</sup>	7.0×10 <sup>-10</sup>	6.0×10 <sup>-11</sup>	2.4×10 <sup>-10</sup>	2.4×10 <sup>-13</sup>	1.3×10 <sup>-14</sup>	2.3×10 <sup>-15</sup>	
1504 (7.5×10 <sup>-23</sup> )	P( /xo)	1.23×10 <sup>-1</sup>	2.81×10 <sup>-3</sup>	2.34×10 <sup>-9</sup>	1.41×10 <sup>-3</sup>	1.18×10 <sup>-1</sup>	1.56×10 <sup>-2</sup>	7.5×10 <sup>-5</sup>	
	P(E)	1.2×10 <sup>-8</sup>	2.8×10 <sup>-9</sup>	1.2×10 <sup>-11</sup>	2.8×10 <sup>-10</sup>	2.4×10 <sup>-13</sup>	9.6×10 <sup>-14</sup>	2.3×10 <sup>-15</sup>	
1505 (2.25×10 <sup>-16</sup> )	P( /xo)	1.23×10 <sup>-1</sup>	1.41×10 <sup>-3</sup>	1.41×10 <sup>-8</sup>	1.97×10 <sup>-3</sup>	1.18×10 <sup>-1</sup>	2.19×10 <sup>-2</sup>	7.5×10 <sup>-5</sup>	
	P(E)	1.2×10 <sup>-8</sup>	1.4×10 <sup>-9</sup>	7.0×10 <sup>-11</sup>	4.0×10 <sup>-10</sup>	2.4×10 <sup>-13</sup>	1.3×10 <sup>-14</sup>	2.3×10 <sup>-15</sup>	
1506 (2.25×10 <sup>-20</sup> )	P( /xo)	1.75×10 <sup>-1</sup>	2.76×10 <sup>-3</sup>	1.41×10 <sup>-8</sup>	2.81×10 <sup>-3</sup>	1.68×10 <sup>-1</sup>	2.19×10 <sup>-2</sup>	7.5×10 <sup>-5</sup>	
	P(E)	1.8×10 <sup>-8</sup>	2.8×10 <sup>-9</sup>	7.0×10 <sup>-11</sup>	5.6×10 <sup>-10</sup>	3.4×10 <sup>-13</sup>	1.3×10 <sup>-14</sup>	2.3×10 <sup>-15</sup>	
1507 (1.1×10 <sup>-17</sup> )	P( /xo)	2.5×10 <sup>-1</sup>	7.66×10 <sup>-3</sup>	2.34×10 <sup>-7</sup>	3.94×10 <sup>-3</sup>	2.40×10 <sup>-1</sup>	4.38×10 <sup>-2</sup>	1.5×10 <sup>-4</sup>	
	P(E)	* 2.5×10 <sup>-8</sup>	7.7×10 <sup>-9</sup>	1.2×10 <sup>-9</sup>	7.8×10 <sup>-10</sup>	4.8×10 <sup>-13</sup>	2.6×10 <sup>-13</sup>	4.5×10 <sup>-15</sup>	
1508 (1.1×10 <sup>-17</sup> )	P( /xo)	1.75×10 <sup>-1</sup>	3.91×10 <sup>-3</sup>	2.34×10 <sup>-7</sup>	2.76×10 <sup>-3</sup>	1.68×10 <sup>-1</sup>	4.38×10 <sup>-2</sup>	1.5×10 <sup>-4</sup>	
	P(E)	1.8×10 <sup>-8</sup>	3.9×10 <sup>-9</sup>	1.2×10 <sup>-9</sup>	5.6×10 <sup>-10</sup>	3.4×10 <sup>-13</sup>	2.6×10 <sup>-13</sup>	4.5×10 <sup>-15</sup>	
	P( /xo)								
	P(E)								
	P( /xo)								
	P(E)								

注) 1. \*印は各起因事象における最大の存在確率をとる経路シナリオ  
 2. 放出経路番号内の ( ) 内数値は偶発放出経路存在確率 (1/年)  
 3. P( /xo) : 経路誘発確率, P(E) : 放出経路存在確率 (1/年) : P(E) = P(xo) · P( /xo)

表 6.5 放出経路における経路存在確率(2/3 続)

接触媒質：大気(15)

放出経路 番号		火山噴火 ゾーン II	火成活動 ゾーン II	地震 震度 VI	断層活動 ゾーン II	隕石 I ゾーン II	隕石 II ゾーン II	隕石 III ゾーン II	P(xo) =
		P(xo)=10 <sup>-7</sup>	P(xo)=10 <sup>-6</sup>	P(xo)=5×10 <sup>-3</sup>	P(xo)=2×10 <sup>-7</sup>	P(xo)=2×10 <sup>-12</sup>	P(xo)=6×10 <sup>-12</sup>	P(xo)=3×10 <sup>-11</sup>	
1509 (1.5×10 <sup>-22</sup> )	P( /xo)	8.58×10 <sup>-2</sup>	1.01×10 <sup>-3</sup>	4.69×10 <sup>-9</sup>	1.69×10 <sup>-3</sup>	8.24×10 <sup>-2</sup>	7.81×10 <sup>-3</sup>	2.25×10 <sup>-5</sup>	
	P(E)	8.6×10 <sup>-9</sup>	1.0×10 <sup>-9</sup>	2.4×10 <sup>-11</sup>	3.4×10 <sup>-10</sup>	1.6×10 <sup>-13</sup>	4.7×10 <sup>-14</sup>	6.9×10 <sup>-16</sup>	
1510 (4.5×10 <sup>-20</sup> )	P( /xo)	8.58×10 <sup>-2</sup>	1.69×10 <sup>-3</sup>	2.81×10 <sup>-8</sup>	2.36×10 <sup>-3</sup>	8.24×10 <sup>-2</sup>	1.09×10 <sup>-2</sup>	2.25×10 <sup>-5</sup>	
	P(E)	8.6×10 <sup>-9</sup>	1.7×10 <sup>-9</sup>	1.4×10 <sup>-10</sup>	4.7×10 <sup>-10</sup>	1.6×10 <sup>-13</sup>	6.6×10 <sup>-14</sup>	6.9×10 <sup>-16</sup>	
1511 (2.25×10 <sup>-17</sup> )	P( /xo)	2.5×10 <sup>-1</sup>	1.53×10 <sup>-2</sup>	2.81×10 <sup>-7</sup>	5.63×10 <sup>-3</sup>	2.4×10 <sup>-1</sup>	4.38×10 <sup>-2</sup>	1.5×10 <sup>-4</sup>	
	P(E)	*2.5×10 <sup>-8</sup>	1.5×10 <sup>-8</sup>	1.4×10 <sup>-9</sup>	1.1×10 <sup>-9</sup>	4.8×10 <sup>-13</sup>	2.6×10 <sup>-13</sup>	4.5×10 <sup>-15</sup>	
1512 (2.25×10 <sup>-17</sup> )	P( /xo)	1.75×10 <sup>-1</sup>	7.81×10 <sup>-3</sup>	2.81×10 <sup>-7</sup>	3.94×10 <sup>-3</sup>	1.68×10 <sup>-1</sup>	4.38×10 <sup>-2</sup>	1.5×10 <sup>-4</sup>	
	P(E)	1.8×10 <sup>-8</sup>	7.8×10 <sup>-9</sup>	1.4×10 <sup>-9</sup>	7.9×10 <sup>-10</sup>	3.4×10 <sup>-13</sup>	2.6×10 <sup>-13</sup>	4.5×10 <sup>-15</sup>	
1513 (7.5×10 <sup>-20</sup> )	P( /xo)	1.75×10 <sup>-1</sup>	3.94×10 <sup>-3</sup>	4.69×10 <sup>-8</sup>	5.63×10 <sup>-3</sup>	1.68×10 <sup>-1</sup>	2.19×10 <sup>-2</sup>	7.5×10 <sup>-5</sup>	
	P(E)	1.8×10 <sup>-8</sup>	3.9×10 <sup>-9</sup>	2.4×10 <sup>-10</sup>	1.1×10 <sup>-9</sup>	3.4×10 <sup>-13</sup>	1.3×10 <sup>-13</sup>	2.3×10 <sup>-15</sup>	
1514 (1.1×10 <sup>-14</sup> )	P( /xo)	2.5×10 <sup>-1</sup>	1.53×10 <sup>-2</sup>	4.69×10 <sup>-6</sup>	7.88×10 <sup>-3</sup>	3.43×10 <sup>-1</sup>	8.75×10 <sup>-2</sup>	5.0×10 <sup>-4</sup>	
	P(E)	*2.5×10 <sup>-8</sup>	1.5×10 <sup>-8</sup>	2.4×10 <sup>-8</sup>	1.6×10 <sup>-9</sup>	*6.8×10 <sup>-13</sup>	*5.3×10 <sup>-13</sup>	1.5×10 <sup>-14</sup>	
1515 (1.9×10 <sup>-14</sup> )	P( /xo)	1.75×10 <sup>-1</sup>	7.81×10 <sup>-3</sup>	4.69×10 <sup>-6</sup>	5.51×10 <sup>-3</sup>	2.4×10 <sup>-1</sup>	8.75×10 <sup>-2</sup>	5.0×10 <sup>-4</sup>	
	P(E)	1.8×10 <sup>-8</sup>	7.8×10 <sup>-9</sup>	2.4×10 <sup>-8</sup>	1.1×10 <sup>-9</sup>	4.8×10 <sup>-13</sup>	*5.3×10 <sup>-13</sup>	*1.5×10 <sup>-14</sup>	
1516 (5.0×10 <sup>-22</sup> )	P( /xo)	1.23×10 <sup>-1</sup>	3.38×10 <sup>-3</sup>	1.56×10 <sup>-8</sup>	5.63×10 <sup>-3</sup>	1.18×10 <sup>-1</sup>	9.38×10 <sup>-3</sup>	4.5×10 <sup>-5</sup>	
	P(E)	1.2×10 <sup>-8</sup>	3.4×10 <sup>-9</sup>	8.0×10 <sup>-11</sup>	1.1×10 <sup>-10</sup>	2.4×10 <sup>-13</sup>	5.6×10 <sup>-14</sup>	1.4×10 <sup>-15</sup>	
	P( /xo)								
	P(E)								
	P( /xo)								
	P(E)								

- 注) 1. \*印は各起回事象における最大の存在確率をとる経路シナリオ  
 2. 放出経路番号内の( )内数値は偶発放出経路存在確率(1/年)  
 3. P( /xo) : 経路誘発確率, P(E) : 放出経路存在確率(1/年) : P(E) = P(xo) · P( /xo)

接触媒質：大気(15)

表 6.5 放出経路における経路存在確率(2/3 続)

放出経路 番 号		火山噴火	火成活動	地 震	断層活動	隕石 I	隕石 II	隕石 III	P(xo)=
		ゾーン II	ゾーン II	震度 VI	ゾーン II	ゾーン II	ゾーン II	ゾーン II	
		P(xo)=10 <sup>-7</sup>	P(xo)=10 <sup>-6</sup>	P(xo)=5×10 <sup>-3</sup>	P(xo)=2×10 <sup>-7</sup>	P(xo)=2×10 <sup>-12</sup>	P(xo)=6×10 <sup>-12</sup>	P(xo)=3×10 <sup>-11</sup>	
1517 (4.5×10 <sup>-17</sup> )	P( /xo)	0.13	9.4×10 <sup>-3</sup>	5.6×10 <sup>-7</sup>	4.7×10 <sup>-3</sup>	0.12	0.022	4.5×10 <sup>-5</sup>	
	P(E)	1.3×10 <sup>-8</sup>	9.4×10 <sup>-9</sup>	2.8×10 <sup>-9</sup>	9.4×10 <sup>-10</sup>	2.4×10 <sup>-13</sup>	1.3×10 <sup>-13</sup>	1.4×10 <sup>-15</sup>	
1518 (7.5×10 <sup>-17</sup> )	P( /xo)	0.25	0.022	9.4×10 <sup>-7</sup>	0.011	0.24	0.044	1.5×10 <sup>-4</sup>	
	P(E)	*2.5×10 <sup>-8</sup>	2.2×10 <sup>-8</sup>	4.7×10 <sup>-9</sup>	2.2×10 <sup>-9</sup>	4.8×10 <sup>-13</sup>	2.6×10 <sup>-13</sup>	4.5×10 <sup>-15</sup>	
1519 (2.25×10 <sup>-14</sup> )	P( /xo)	0.25	0.031	4.5×10 <sup>-8</sup>	0.011	0.34	0.0875	5.0×10 <sup>-4</sup>	
	P(E)	*2.5×10 <sup>-8</sup>	3.1×10 <sup>-8</sup>	2.3×10 <sup>-10</sup>	2.2×10 <sup>-9</sup>	*6.8×10 <sup>-13</sup>	*5.3×10 <sup>-13</sup>	*1.5×10 <sup>-14</sup>	
1520 (2.25×10 <sup>-14</sup> )	P( /xo)	0.175	0.016	5.6×10 <sup>-6</sup>	7.9×10 <sup>-3</sup>	0.24	0.0875	5.0×10 <sup>-4</sup>	
	P(E)	1.8×10 <sup>-8</sup>	1.6×10 <sup>-8</sup>	2.8×10 <sup>-8</sup>	1.6×10 <sup>-9</sup>	4.8×10 <sup>-13</sup>	*5.3×10 <sup>-13</sup>	*1.5×10 <sup>-14</sup>	
1521 (7.5×10 <sup>-14</sup> )	P( /xo)	0.25	0.044	1.9×10 <sup>-5</sup>	0.0225	0.34	0.0875	5.0×10 <sup>-4</sup>	
	P(E)	*2.5×10 <sup>-8</sup>	*4.4×10 <sup>-8</sup>	*9.5×10 <sup>-8</sup>	*4.5×10 <sup>-9</sup>	*6.8×10 <sup>-13</sup>	*5.3×10 <sup>-13</sup>	*1.5×10 <sup>-14</sup>	
1522 (4.5×10 <sup>-14</sup> )	P( /xo)	0.12	0.019	1.1×10 <sup>-5</sup>	9.45×10 <sup>-3</sup>	0.24	0.044	1.5×10 <sup>-4</sup>	
	P(E)	1.2×10 <sup>-8</sup>	1.9×10 <sup>-8</sup>	5.5×10 <sup>-8</sup>	1.9×10 <sup>-9</sup>	4.8×10 <sup>-13</sup>	2.6×10 <sup>-13</sup>	4.5×10 <sup>-15</sup>	
	P( /xo)								
	P(E)								
	P( /xo)								
	P(E)								
	P( /xo)								
	P(E)								

- 注) 1. \*印は各起因事象における最大の存在確率をとる経路シナリオ  
 2. 放出経路番号内の( )内数値は偶発放出経路存在確率(1/年)  
 3. P( /xo) : 経路誘発確率, P(E) : 放出経路存在確率(1/年) : P(E) = P(xo) · P( /xo)

表 6.5 放出経路における経路存在確率 (3/3)

接触媒質：大気 (15)

放出経路 番 号		火山噴火 ゾーン III	火成活動 ゾーン III	地 震 震 度 V	断層活動 ゾーン III	隕 石 I ゾーン III	隕 石 II ゾーン III	隕 石 III ゾーン III	
		$P(x_0)=10^{-6}$	$P(x_0)=10^{-5}$	$P(x_0)=5 \times 10^{-2}$	$P(x_0)=7 \times 10^{-7}$	$P(x_0)=2 \times 10^{-11}$	$P(x_0)=6 \times 10^{-11}$	$P(x_0)=3 \times 10^{-10}$	$P(x_0)=$
1501 ( $6.25 \times 10^{-23}$ )	P( /x <sub>0</sub> )	$1.52 \times 10^{-4}$	$1.25 \times 10^{-7}$	$1.25 \times 10^{-13}$	$1.01 \times 10^{-5}$	$1.95 \times 10^{-3}$	$9.11 \times 10^{-5}$	$1.25 \times 10^{-7}$	
	P(E)	$1.5 \times 10^{-10}$	$1.3 \times 10^{-12}$	$6.3 \times 10^{-14}$	$7.0 \times 10^{-12}$	$4.0 \times 10^{-14}$	$5.5 \times 10^{-15}$	$3.9 \times 10^{-17}$	
1502 ( $1.9 \times 10^{-20}$ )	P( /x <sub>0</sub> )	$2.53 \times 10^{-4}$	$6.25 \times 10^{-7}$	$3.75 \times 10^{-12}$	$1.01 \times 10^{-5}$	$3.83 \times 10^{-3}$	$1.52 \times 10^{-4}$	$3.75 \times 10^{-7}$	
	P(E)	$2.5 \times 10^{-10}$	$6.3 \times 10^{-12}$	$1.9 \times 10^{-13}$	$7.0 \times 10^{-12}$	$7.6 \times 10^{-14}$	$9.0 \times 10^{-14}$	$1.1 \times 10^{-16}$	
1503 ( $1.35 \times 10^{-21}$ )	P( /x <sub>0</sub> )	$2.53 \times 10^{-4}$	$3.75 \times 10^{-7}$	$3.75 \times 10^{-12}$	$1.01 \times 10^{-5}$	$1.95 \times 10^{-3}$	$9.11 \times 10^{-5}$	$3.75 \times 10^{-7}$	
	P(E)	$2.5 \times 10^{-10}$	$3.8 \times 10^{-12}$	$1.9 \times 10^{-13}$	$7.0 \times 10^{-12}$	$4.0 \times 10^{-14}$	$5.5 \times 10^{-15}$	$1.1 \times 10^{-16}$	
1504 ( $7.5 \times 10^{-23}$ )	P( /x <sub>0</sub> )	$3.04 \times 10^{-4}$	$1.50 \times 10^{-7}$	$1.5 \times 10^{-13}$	$1.22 \times 10^{-5}$	$5.47 \times 10^{-3}$	$2.55 \times 10^{-4}$	$1.5 \times 10^{-7}$	
	P(E)	$3.0 \times 10^{-10}$	$1.5 \times 10^{-12}$	$7.5 \times 10^{-14}$	$8.4 \times 10^{-12}$	$1.1 \times 10^{-13}$	$1.6 \times 10^{-14}$	$4.5 \times 10^{-17}$	
1505 ( $2.25 \times 10^{-20}$ )	P( /x <sub>0</sub> )	$5.06 \times 10^{-4}$	$4.5 \times 10^{-7}$	$4.5 \times 10^{-12}$	$1.22 \times 10^{-5}$	$5.47 \times 10^{-3}$	$2.55 \times 10^{-4}$	$4.5 \times 10^{-7}$	
	P(E)	$5.1 \times 10^{-10}$	$4.5 \times 10^{-12}$	$2.3 \times 10^{-13}$	$8.4 \times 10^{-12}$	$1.1 \times 10^{-13}$	$1.6 \times 10^{-14}$	$1.4 \times 10^{-16}$	
1506 ( $2.25 \times 10^{-20}$ )	P( /x <sub>0</sub> )	$5.06 \times 10^{-4}$	$7.5 \times 10^{-7}$	$4.5 \times 10^{-12}$	$1.22 \times 10^{-5}$	$1.07 \times 10^{-2}$	$4.25 \times 10^{-4}$	$4.5 \times 10^{-7}$	
	P(E)	$5.1 \times 10^{-10}$	$7.5 \times 10^{-12}$	$2.3 \times 10^{-13}$	$8.4 \times 10^{-12}$	$2.2 \times 10^{-13}$	$2.6 \times 10^{-14}$	$1.4 \times 10^{-16}$	
1507 ( $1.1 \times 10^{-17}$ )	P( /x <sub>0</sub> )	$5.06 \times 10^{-4}$	$6.25 \times 10^{-6}$	$3.75 \times 10^{-10}$	$3.38 \times 10^{-5}$	$7.66 \times 10^{-3}$	$5.06 \times 10^{-4}$	$3.75 \times 10^{-6}$	
	P(E)	$5.1 \times 10^{-10}$	$6.3 \times 10^{-11}$	$1.9 \times 10^{-11}$	$2.4 \times 10^{-11}$	$1.5 \times 10^{-13}$	$3.0 \times 10^{-14}$	$1.1 \times 10^{-15}$	
1508 ( $1.1 \times 10^{-17}$ )	P( /x <sub>0</sub> )	$5.06 \times 10^{-4}$	$3.75 \times 10^{-6}$	$3.75 \times 10^{-10}$	$3.38 \times 10^{-5}$	$3.91 \times 10^{-3}$	$5.06 \times 10^{-4}$	$3.75 \times 10^{-6}$	
	P(E)	$5.1 \times 10^{-10}$	$3.8 \times 10^{-11}$	$1.9 \times 10^{-11}$	$2.4 \times 10^{-11}$	$7.8 \times 10^{-14}$	$3.0 \times 10^{-14}$	$1.1 \times 10^{-15}$	
	P( /x <sub>0</sub> )								
	P(E)								
	P( /x <sub>0</sub> )								
	P(E)								

- 注) 1. \*印は各起因事象における最大の存在確率をとる経路シナリオ  
 2. 放出経路番号内の ( ) 内数値は偶発放出経路存在確率 (1/年)  
 3. P( /x<sub>0</sub>) : 経路誘発確率, P(E) : 放出経路存在確率 (1/年) ;  $P(E) = P(x_0) \cdot P( /x_0)$

接触媒質：大気(15)

表 6.5 放出経路における経路存在確率(3/3 続)

放出経路 番号		火山噴火 ゾーン III	火成活動 ゾーン III	地震 震度 V	断層活動 ゾーン III	隕石 I ゾーン III	隕石 II ゾーン III	隕石 III ゾーン III	P(xo) =
		P(xo)=10 <sup>-6</sup>	P(xo)=10 <sup>-5</sup>	P(xo)=5×10 <sup>-2</sup>	P(xo)=7×10 <sup>-7</sup>	P(xo)=2×10 <sup>-11</sup>	P(xo)=6×10 <sup>-11</sup>	P(xo)=3×10 <sup>-10</sup>	
1509 (1.5×10 <sup>-22</sup> )	P( /xo)	6.08×10 <sup>-4</sup>	3.0×10 <sup>-7</sup>	3.0×10 <sup>-13</sup>	2.43×10 <sup>-5</sup>	7.81×10 <sup>-3</sup>	2.19×10 <sup>-4</sup>	3.0×10 <sup>-7</sup>	
	P(E)	6.1×10 <sup>-10</sup>	3.0×10 <sup>-12</sup>	1.5×10 <sup>-14</sup>	1.7×10 <sup>-11</sup>	1.6×10 <sup>-13</sup>	1.3×10 <sup>-14</sup>	9×10 <sup>-17</sup>	
1510 (4.5×10 <sup>-20</sup> )	P( /xo)	1.01×10 <sup>-3</sup>	9.0×10 <sup>-7</sup>	9.0×10 <sup>-12</sup>	2.43×10 <sup>-5</sup>	7.81×10 <sup>-3</sup>	2.19×10 <sup>-4</sup>	9.0×10 <sup>-7</sup>	
	P(E)	1.0×10 <sup>-9</sup>	9.0×10 <sup>-12</sup>	4.5×10 <sup>-13</sup>	1.7×10 <sup>-11</sup>	1.6×10 <sup>-13</sup>	1.3×10 <sup>-14</sup>	2.7×10 <sup>-16</sup>	
1511 (2.25×10 <sup>-17</sup> )	P( /xo)	1.01×10 <sup>-3</sup>	7.5×10 <sup>-6</sup>	4.5×10 <sup>-10</sup>	4.05×10 <sup>-5</sup>	2.14×10 <sup>-2</sup>	1.42×10 <sup>-3</sup>	4.5×10 <sup>-6</sup>	
	P(E)	1.0×10 <sup>-9</sup>	7.5×10 <sup>-11</sup>	2.3×10 <sup>-11</sup>	3.9×10 <sup>-11</sup>	4.2×10 <sup>-13</sup>	8.4×10 <sup>-14</sup>	1.4×10 <sup>-15</sup>	
1512 (2.25×10 <sup>-17</sup> )	P( /xo)	1.01×10 <sup>-3</sup>	4.5×10 <sup>-6</sup>	4.5×10 <sup>-10</sup>	4.05×10 <sup>-5</sup>	1.09×10 <sup>-2</sup>	8.51×10 <sup>-4</sup>	4.5×10 <sup>-6</sup>	
	P(E)	1.0×10 <sup>-9</sup>	4.5×10 <sup>-11</sup>	2.3×10 <sup>-11</sup>	2.9×10 <sup>-11</sup>	2.2×10 <sup>-13</sup>	5.1×10 <sup>-14</sup>	1.4×10 <sup>-15</sup>	
1513 (7.5×10 <sup>-20</sup> )	P( /xo)	2.03×10 <sup>-3</sup>	1.5×10 <sup>-6</sup>	1.5×10 <sup>-11</sup>	6.75×10 <sup>-5</sup>	2.19×10 <sup>-2</sup>	1.22×10 <sup>-3</sup>	5.0×10 <sup>-6</sup>	
	P(E)	2.0×10 <sup>-9</sup>	2.5×10 <sup>-11</sup>	7.5×10 <sup>-12</sup>	4.8×10 <sup>-11</sup>	4.4×10 <sup>-13</sup>	7.2×10 <sup>-14</sup>	1.5×10 <sup>-15</sup>	
1514 (1.1×10 <sup>-14</sup> )	P( /xo)	1.69×10 <sup>-3</sup>	6.25×10 <sup>-5</sup>	3.75×10 <sup>-8</sup>	1.13×10 <sup>-4</sup>	7.66×10 <sup>-3</sup>	4.73×10 <sup>-3</sup>	3.75×10 <sup>-5</sup>	
	P(E)	1.7×10 <sup>-9</sup>	6.3×10 <sup>-10</sup>	1.9×10 <sup>-9</sup>	7.7×10 <sup>-11</sup>	1.5×10 <sup>-13</sup>	2.8×10 <sup>-13</sup>	1.1×10 <sup>-14</sup>	
1515 (1.9×10 <sup>-14</sup> )	P( /xo)	1.69×10 <sup>-3</sup>	3.75×10 <sup>-5</sup>	3.75×10 <sup>-8</sup>	1.13×10 <sup>-4</sup>	7.81×10 <sup>-3</sup>	2.84×10 <sup>-3</sup>	3.75×10 <sup>-5</sup>	
	P(E)	1.7×10 <sup>-9</sup>	3.8×10 <sup>-10</sup>	1.9×10 <sup>-9</sup>	7.7×10 <sup>-11</sup>	1.6×10 <sup>-13</sup>	1.7×10 <sup>-13</sup>	1.1×10 <sup>-14</sup>	
1516 (5.0×10 <sup>-22</sup> )	P( /xo)	1.22×10 <sup>-3</sup>	1.0×10 <sup>-6</sup>	1.0×10 <sup>-12</sup>	8.1×10 <sup>-5</sup>	1.56×10 <sup>-2</sup>	2.43×10 <sup>-4</sup>	1.0×10 <sup>-6</sup>	
	P(E)	1.2×10 <sup>-9</sup>	1.0×10 <sup>-11</sup>	5.0×10 <sup>-14</sup>	5.7×10 <sup>-11</sup>	3.2×10 <sup>-13</sup>	1.4×10 <sup>-14</sup>	3.0×10 <sup>-16</sup>	
	P( /xo)								
	P(E)								
	P( /xo)								
	P(E)								

注) 1. \*印は各起回事象における最大の存在確率をとる経路シナリオ  
 2. 放出経路番号内の( )内数値は偶発放出経路存在確率(1/年)  
 3. P( /xo) : 経路誘発確率, P(E) : 放出経路存在確率(1/年) : P(E) = P(xo) · P( /xo)



表 6.5 放出経路における経路存在確率 (3/3 続)

接触媒質：大気 (15)

放出経路 番号	火山噴火 ゾーン III P(xo)=10 <sup>-6</sup>	火成活動 ゾーン III P(xo)=10 <sup>-5</sup>	地震 震度 V P(xo)=5×10 <sup>-2</sup>	断層活動 ゾーン III P(xo)=7×10 <sup>-7</sup>	隕石 I ゾーン III P(xo)=2×10 <sup>-11</sup>	隕石 II ゾーン III P(xo)=6×10 <sup>-11</sup>	隕石 III ゾーン III P(xo)=3×10 <sup>-10</sup>	P(xo)=
1517 (4.5×10 <sup>-17</sup> )	2.0×10 <sup>-3</sup> 2×10 <sup>-9</sup>	9.0×10 <sup>-6</sup> 9.0×10 <sup>-11</sup>	9.0×10 <sup>-10</sup> 4.5×10 <sup>-11</sup>	8.1×10 <sup>-5</sup> 5.7×10 <sup>-11</sup>	0.016 3.2×10 <sup>-13</sup>	7.3×10 <sup>-4</sup> 4.4×10 <sup>-14</sup>	9.0×10 <sup>-6</sup> 2.7×10 <sup>-15</sup>	
1518 (7.5×10 <sup>-17</sup> )	4.05×10 <sup>-3</sup> 4.1×10 <sup>-9</sup>	2.5×10 <sup>-5</sup> 2.5×10 <sup>-10</sup>	1.5×10 <sup>-9</sup> 7.5×10 <sup>-11</sup>	2.25×10 <sup>-4</sup> 1.6×10 <sup>-10</sup>	0.044 8.8×10 <sup>-13</sup>	4.05×10 <sup>-3</sup> 2.5×10 <sup>-13</sup>	5.0×10 <sup>-5</sup> 1.5×10 <sup>-14</sup>	
1519 (2.25×10 <sup>-14</sup> )	3.4×10 <sup>-3</sup> 3.4×10 <sup>-9</sup>	7.5×10 <sup>-5</sup> 7.5×10 <sup>-10</sup>	4.5×10 <sup>-8</sup> 2.3×10 <sup>-9</sup>	1.35×10 <sup>-4</sup> 9.5×10 <sup>-11</sup>	0.043 8.6×10 <sup>-13</sup>	4.7×10 <sup>-3</sup> 2.8×10 <sup>-13</sup>	4.5×10 <sup>-5</sup> 1.4×10 <sup>-14</sup>	
1520 (2.25×10 <sup>-14</sup> )	3.4×10 <sup>-3</sup> 3.4×10 <sup>-9</sup>	4.5×10 <sup>-5</sup> 4.5×10 <sup>-10</sup>	4.5×10 <sup>-8</sup> 2.3×10 <sup>-9</sup>	1.35×10 <sup>-4</sup> 9.5×10 <sup>-11</sup>	0.022 4.4×10 <sup>-13</sup>	2.8×10 <sup>-3</sup> 1.7×10 <sup>-13</sup>	4.5×10 <sup>-5</sup> 1.4×10 <sup>-14</sup>	
1521 (7.5×10 <sup>-14</sup> )	0.0135 * 1.4×10 <sup>-8</sup>	2.5×10 <sup>-4</sup> * 2.5×10 <sup>-9</sup>	1.5×10 <sup>-7</sup> * 7.5×10 <sup>-9</sup>	7.5×10 <sup>-4</sup> * 5.3×10 <sup>-10</sup>	0.0875 * 1.8×10 <sup>-12</sup>	0.0135 * 8.4×10 <sup>-13</sup>	5.0×10 <sup>-4</sup> * 1.5×10 <sup>-13</sup>	
1522 (4.5×10 <sup>-14</sup> )	6.75×10 <sup>-3</sup> 6.8×10 <sup>-9</sup>	9.0×10 <sup>-5</sup> 9.0×10 <sup>-10</sup>	9.0×10 <sup>-8</sup> 4.5×10 <sup>-9</sup>	2.7×10 <sup>-4</sup> 1.9×10 <sup>-10</sup>	0.031 6.2×10 <sup>-13</sup>	2.4×10 <sup>-3</sup> 1.4×10 <sup>-13</sup>	9.0×10 <sup>-5</sup> 2.7×10 <sup>-14</sup>	
	P( /xo) P(E)							
	P( /xo) P(E)							
	P( /xo) P(E)							
	P( /xo) P(E)							

- 注) 1. \*印は各起回事象における最大の存在確率をとる経路シナリオ  
 2. 放出経路番号内の ( ) 内数値は偶発放出経路存在確率 (1/年)  
 3. P( /xo) : 経路誘発確率, P(E) : 放出経路存在確率 (1/年) : P(E) = P(xo) · P( /xo)

表 6.6 放出経路における経路存在確率 (1/3)

接触媒質：海 (16)

放出経路番号		火山噴火 ゾーン I	火成活動 ゾーン I	地震 震度 VII	断層活動 サイト直撃	断層活動 ゾーン I	隕石 II ゾーン I	隕石 III ゾーン I	
		$P(x_0)=$	$P(x_0)=10^{-7}$	$P(x_0)=5 \times 10^{-4}$	$P(x_0)=10^{-9}$	$P(x_0)=4 \times 10^{-8}$	$P(x_0)=6 \times 10^{-13}$	$P(x_0)=3 \times 10^{-12}$	$P(x_0)=$
1601 ( $1.25 \times 10^{-22}$ )	$P(\text{/}x_0)$ $P(E)$		0.044 $4.4 \times 10^{-9}$	$2.5 \times 10^{-7}$ $1.3 \times 10^{-10}$	0.044 $4.4 \times 10^{-11}$	0.015 $6 \times 10^{-10}$	0.029 $1.7 \times 10^{-14}$	$1.0 \times 10^{-3}$ $3 \times 10^{-15}$	
1602 ( $3.75 \times 10^{-20}$ )	$P(\text{/}x_0)$ $P(E)$		0.061 $6.1 \times 10^{-9}$	$7.5 \times 10^{-7}$ $3.8 \times 10^{-10}$	0.044 $4.4 \times 10^{-11}$	0.015 $6 \times 10^{-10}$	0.029 $1.7 \times 10^{-14}$	$1.0 \times 10^{-3}$ $3 \times 10^{-15}$	
1603 ( $3.75 \times 10^{-20}$ )	$P(\text{/}x_0)$ $P(E)$		0.026 $2.6 \times 10^{-9}$	$7.5 \times 10^{-7}$ $3.8 \times 10^{-10}$	0.088 $8.8 \times 10^{-11}$	0.030 $1.2 \times 10^{-9}$	0.014 $8.4 \times 10^{-15}$	$5.1 \times 10^{-4}$ $1.5 \times 10^{-15}$	
1604 ( $3.75 \times 10^{-17}$ )	$P(\text{/}x_0)$ $P(E)$		0.18 $1.8 \times 10^{-8}$	$7.5 \times 10^{-6}$ $3.8 \times 10^{-9}$	0.13 $1.3 \times 10^{-10}$	0.021 $8.4 \times 10^{-10}$	0.029 $1.7 \times 10^{-14}$	$2.0 \times 10^{-3}$ $6 \times 10^{-15}$	
1605 ( $3.75 \times 10^{-17}$ )	$P(\text{/}x_0)$ $P(E)$		0.075 $7.5 \times 10^{-9}$	$7.5 \times 10^{-6}$ $3.8 \times 10^{-9}$	0.25 $2.5 \times 10^{-10}$	0.043 $1.7 \times 10^{-9}$	0.059 $3.5 \times 10^{-14}$	$1.0 \times 10^{-3}$ $3 \times 10^{-15}$	
1606 ( $1.25 \times 10^{-19}$ )	$P(\text{/}x_0)$ $P(E)$		0.088 $8.8 \times 10^{-9}$	$2.5 \times 10^{-6}$ $1.3 \times 10^{-9}$	0.18 $1.8 \times 10^{-10}$	0.043 $1.7 \times 10^{-9}$	0.084 $5.0 \times 10^{-14}$	$1.0 \times 10^{-3}$ $3 \times 10^{-15}$	
1607 ( $3.75 \times 10^{-14}$ )	$P(\text{/}x_0)$ $P(E)$		0.18 $1.8 \times 10^{-9}$	$7.5 \times 10^{-5}$ $* 3.8 \times 10^{-8}$	0.13 $1.3 \times 10^{-10}$	0.031 $1.2 \times 10^{-9}$	0.17 $* 1.0 \times 10^{-13}$	$6.8 \times 10^{-3}$ $* 2.0 \times 10^{-14}$	
1608 ( $3.75 \times 10^{-14}$ )	$P(\text{/}x_0)$ $P(E)$		0.075 $7.5 \times 10^{-9}$	$7.5 \times 10^{-5}$ $* 3.8 \times 10^{-8}$	0.25 $2.5 \times 10^{-10}$	0.061 $2.4 \times 10^{-9}$	0.084 $5.0 \times 10^{-14}$	$3.4 \times 10^{-3}$ $1.0 \times 10^{-14}$	
1609 ( $1.25 \times 10^{-16}$ )	$P(\text{/}x_0)$ $P(E)$		0.25 $* 2.5 \times 10^{-8}$	$2.5 \times 10^{-5}$ $1.3 \times 10^{-8}$	0.5 $* 5 \times 10^{-10}$	0.061 $2.4 \times 10^{-9}$	0.084 $5.0 \times 10^{-14}$	$2.0 \times 10^{-3}$ $6 \times 10^{-15}$	
1610 ( $1.25 \times 10^{-13}$ )	$P(\text{/}x_0)$ $P(E)$		0.25 $* 2.5 \times 10^{-8}$	$2.5 \times 10^{-4}$ $1.3 \times 10^{-8}$	0.5 $* 5 \times 10^{-10}$	0.088 $* 3.5 \times 10^{-9}$	0.12 $7.2 \times 10^{-14}$	$6.8 \times 10^{-3}$ $* 2.0 \times 10^{-14}$	

- 注) 1. \*印は各起因事象における最大の存在確率をとる経路シナリオ  
 2. 放出経路番号内の( )内数値は偶発放出経路存在確率 (1/年)  
 3.  $P(\text{/}x_0)$ : 経路誘発確率,  $P(E)$ : 放出経路存在確率 (1/年);  $P(E) = P(x_0) \cdot P(\text{/}x_0)$

表 6.6 放出経路における経路存在確率 (2/3)

接触媒質：海 (16)

放出経路 番号		火山噴火 ゾーン II	火成活動 ゾーン II	地震 震度 VI	断層活動 ゾーン II	隕石 I ゾーン II	隕石 II ゾーン II	隕石 III ゾーン II	P(xo) =
		P(xo) = 10 <sup>-7</sup>	P(xo) = 10 <sup>-6</sup>	P(xo) = 5×10 <sup>-3</sup>	P(xo) = 2×10 <sup>-7</sup>	P(xo) = 2×10 <sup>-12</sup>	P(xo) = 6×10 <sup>-12</sup>	P(xo) = 3×10 <sup>-11</sup>	
1601 (1.25×10 <sup>-22</sup> )	P( /xo)	0.12	1.2×10 <sup>-3</sup>	3.9×10 <sup>-9</sup>	2.0×10 <sup>-3</sup>	0.12	0.016	7.5×10 <sup>-5</sup>	
	P(E)	1.2×10 <sup>-8</sup>	1.2×10 <sup>-9</sup>	2.0×10 <sup>-11</sup>	4×10 <sup>-10</sup>	2.4×10 <sup>-13</sup>	9.6×10 <sup>-14</sup>	2.3×10 <sup>-15</sup>	
1602 (3.75×10 <sup>-20</sup> )	P( /xo)	0.12	9.8×10 <sup>-4</sup>	2.3×10 <sup>-8</sup>	2.8×10 <sup>-3</sup>	0.12	0.022	7.5×10 <sup>-5</sup>	
	P(E)	1.2×10 <sup>-8</sup>	9.8×10 <sup>-10</sup>	1.2×10 <sup>-10</sup>	5.6×10 <sup>-10</sup>	2.4×10 <sup>-13</sup>	1.3×10 <sup>-13</sup>	2.3×10 <sup>-15</sup>	
1603 (3.75×10 <sup>-20</sup> )	P( /xo)	0.175	3.9×10 <sup>-3</sup>	2.3×10 <sup>-8</sup>	3.9×10 <sup>-3</sup>	0.17	0.022	7.5×10 <sup>-5</sup>	
	P(E)	1.8×10 <sup>-8</sup>	3.9×10 <sup>-9</sup>	1.2×10 <sup>-10</sup>	7.8×10 <sup>-10</sup>	3.4×10 <sup>-13</sup>	1.3×10 <sup>-13</sup>	2.3×10 <sup>-15</sup>	
1604 (3.75×10 <sup>-17</sup> )	P( /xo)	0.175	0.011	4.7×10 <sup>-7</sup>	5.5×10 <sup>-3</sup>	0.17	0.044	1.5×10 <sup>-4</sup>	
	P(E)	1.8×10 <sup>-8</sup>	1.1×10 <sup>-8</sup>	2.4×10 <sup>-9</sup>	1.1×10 <sup>-9</sup>	3.4×10 <sup>-13</sup>	2.6×10 <sup>-13</sup>	4.5×10 <sup>-15</sup>	
1605 (3.75×10 <sup>-17</sup> )	P( /xo)	0.25	0.021	4.7×10 <sup>-7</sup>	0.016	0.24	0.044	1.5×10 <sup>-4</sup>	
	P(E)	* 2.5×10 <sup>-8</sup>	2.1×10 <sup>-8</sup>	2.4×10 <sup>-9</sup>	3.2×10 <sup>-9</sup>	4.8×10 <sup>-13</sup>	2.6×10 <sup>-13</sup>	4.5×10 <sup>-15</sup>	
1606 (1.25×10 <sup>-19</sup> )	P( /xo)	0.175	5.5×10 <sup>-3</sup>	7.8×10 <sup>-8</sup>	7.9×10 <sup>-3</sup>	0.17	0.022	3.8×10 <sup>-5</sup>	
	P(E)	1.8×10 <sup>-8</sup>	5.5×10 <sup>-9</sup>	3.9×10 <sup>-10</sup>	1.6×10 <sup>-9</sup>	3.4×10 <sup>-13</sup>	1.3×10 <sup>-13</sup>	1.1×10 <sup>-15</sup>	
1607 (3.75×10 <sup>-14</sup> )	P( /xo)	0.175	0.022	9.3×10 <sup>-6</sup>	0.011	0.34	0.088	5×10 <sup>-4</sup>	
	P(E)	1.8×10 <sup>-8</sup>	2.2×10 <sup>-8</sup>	4.7×10 <sup>-8</sup>	2.2×10 <sup>-9</sup>	* 6.8×10 <sup>-13</sup>	* 5.3×10 <sup>-13</sup>	* 1.5×10 <sup>-14</sup>	
1608 (3.75×10 <sup>-14</sup> )	P( /xo)	0.25	0.043	9.3×10 <sup>-6</sup>	0.016	0.34	0.088	5×10 <sup>-4</sup>	
	P(E)	* 2.5×10 <sup>-8</sup>	4.3×10 <sup>-8</sup>	4.7×10 <sup>-8</sup>	3.2×10 <sup>-9</sup>	* 6.8×10 <sup>-13</sup>	* 5.3×10 <sup>-13</sup>	* 1.5×10 <sup>-14</sup>	
1609 (1.25×10 <sup>-16</sup> )	P( /xo)	0.25	0.031	1.6×10 <sup>-5</sup>	0.016	0.24	0.044	7.5×10 <sup>-5</sup>	
	P(E)	* 2.5×10 <sup>-8</sup>	3.1×10 <sup>-8</sup>	8×10 <sup>-8</sup>	3.2×10 <sup>-9</sup>	4.8×10 <sup>-13</sup>	2.6×10 <sup>-13</sup>	2.3×10 <sup>-15</sup>	
1610 (1.25×10 <sup>-13</sup> )	P( /xo)	0.25	0.061	3.1×10 <sup>-5</sup>	0.032	0.34	0.088	2.5×10 <sup>-4</sup>	
	P(E)	* 2.5×10 <sup>-8</sup>	6.1×10 <sup>-8</sup>	* 1.6×10 <sup>-7</sup>	* 6.4×10 <sup>-9</sup>	* 6.8×10 <sup>-13</sup>	* 5.3×10 <sup>-13</sup>	7.5×10 <sup>-15</sup>	

- 注) 1. \*印は各起回事象における最大の存在確率をとる経路シナリオ  
 2. 放出経路番号内の ( ) 内数値は偶発放出経路存在確率 (1/年)  
 3. P( /xo) : 経路誘発確率, P(E) : 放出経路存在確率 (1/年) ; P(E) = P(xo) · P( /xo)

表 6.6 放出経路における経路存在確率 (3/3)

接触媒質：海(16)

放出経路 番号		火山噴火 ゾーン III	火成活動 ゾーン III	地震 震度 V	断層活動 ゾーン III	隕石 I ゾーン III	隕石 II ゾーン III	隕石 III ゾーン III	P(xo) =
		P(xo) = 10 <sup>-6</sup>	P(xo) = 10 <sup>-5</sup>	P(xo) = 5×10 <sup>-2</sup>	P(xo) = 7×10 <sup>-7</sup>	P(xo) = 2×10 <sup>-11</sup>	P(xo) = 6×10 <sup>-11</sup>	P(xo) = 3×10 <sup>-10</sup>	
1601 (1.25×10 <sup>-22</sup> )	P( /xo)	4.3×10 <sup>-4</sup>	2.5×10 <sup>-7</sup>	2.5×10 <sup>-13</sup>	2.0×10 <sup>-5</sup>	5.5×10 <sup>-3</sup>	1.8×10 <sup>-4</sup>	2.5×10 <sup>-7</sup>	
	P(E)	4.3×10 <sup>-10</sup>	2.5×10 <sup>-12</sup>	1.3×10 <sup>-14</sup>	1.4×10 <sup>-11</sup>	1.1×10 <sup>-13</sup>	1.1×10 <sup>-14</sup>	7.5×10 <sup>-17</sup>	
1602 (3.75×10 <sup>-20</sup> )	P( /xo)	7.1×10 <sup>-4</sup>	7.5×10 <sup>-7</sup>	7.5×10 <sup>-12</sup>	2.0×10 <sup>-5</sup>	5.5×10 <sup>-3</sup>	1.8×10 <sup>-4</sup>	7.5×10 <sup>-7</sup>	
	P(E)	7.1×10 <sup>-10</sup>	7.5×10 <sup>-12</sup>	3.8×10 <sup>-13</sup>	1.4×10 <sup>-11</sup>	1.1×10 <sup>-13</sup>	1.1×10 <sup>-14</sup>	2.3×10 <sup>-16</sup>	
1603 (3.75×10 <sup>-20</sup> )	P( /xo)	7.1×10 <sup>-4</sup>	1.3×10 <sup>-6</sup>	7.5×10 <sup>-12</sup>	2.0×10 <sup>-5</sup>	0.011	3.0×10 <sup>-4</sup>	7.5×10 <sup>-7</sup>	
	P(E)	7.1×10 <sup>-10</sup>	1.3×10 <sup>-11</sup>	3.8×10 <sup>-13</sup>	1.4×10 <sup>-11</sup>	2.2×10 <sup>-13</sup>	1.8×10 <sup>-14</sup>	2.3×10 <sup>-16</sup>	
1604 (3.75×10 <sup>-17</sup> )	P( /xo)	1.4×10 <sup>-3</sup>	7.5×10 <sup>-6</sup>	7.5×10 <sup>-10</sup>	6.8×10 <sup>-5</sup>	0.010	6.1×10 <sup>-4</sup>	7.5×10 <sup>-6</sup>	
	P(E)	1.4×10 <sup>-9</sup>	7.5×10 <sup>-11</sup>	3.8×10 <sup>-11</sup>	4.8×10 <sup>-11</sup>	2.0×10 <sup>-13</sup>	3.7×10 <sup>-14</sup>	2.3×10 <sup>-16</sup>	
1605 (3.75×10 <sup>-17</sup> )	P( /xo)	1.4×10 <sup>-3</sup>	1.3×10 <sup>-5</sup>	7.5×10 <sup>-10</sup>	6.8×10 <sup>-5</sup>	0.011	1.0×10 <sup>-3</sup>	7.5×10 <sup>-6</sup>	
	P(E)	1.4×10 <sup>-9</sup>	1.3×10 <sup>-10</sup>	3.8×10 <sup>-11</sup>	4.8×10 <sup>-11</sup>	2.2×10 <sup>-13</sup>	6×10 <sup>-14</sup>	2.3×10 <sup>-16</sup>	
1606 (1.25×10 <sup>-19</sup> )	P( /xo)	2.0×10 <sup>-3</sup>	3.5×10 <sup>-5</sup>	2.5×10 <sup>-11</sup>	6.8×10 <sup>-5</sup>	0.022	1.2×10 <sup>-3</sup>	2.5×10 <sup>-6</sup>	
	P(E)	2.0×10 <sup>-9</sup>	3.5×10 <sup>-10</sup>	1.3×10 <sup>-12</sup>	4.8×10 <sup>-11</sup>	4.4×10 <sup>-13</sup>	7.2×10 <sup>-14</sup>	7.5×10 <sup>-16</sup>	
1607 (3.75×10 <sup>-14</sup> )	P( /xo)	3.3×10 <sup>-3</sup>	7.5×10 <sup>-5</sup>	7.5×10 <sup>-8</sup>	2.3×10 <sup>-4</sup>	0.022	2.0×10 <sup>-3</sup>	7.5×10 <sup>-5</sup>	
	P(E)	3.3×10 <sup>-9</sup>	7.5×10 <sup>-10</sup>	3.8×10 <sup>-9</sup>	1.6×10 <sup>-10</sup>	4.4×10 <sup>-13</sup>	1.2×10 <sup>-13</sup>	2.3×10 <sup>-15</sup>	
1608 (3.75×10 <sup>-14</sup> )	P( /xo)	3.3×10 <sup>-3</sup>	1.3×10 <sup>-4</sup>	7.5×10 <sup>-8</sup>	2.3×10 <sup>-4</sup>	0.043	3.4×10 <sup>-3</sup>	7.5×10 <sup>-5</sup>	
	P(E)	3.3×10 <sup>-9</sup>	1.3×10 <sup>-9</sup>	3.8×10 <sup>-9</sup>	1.6×10 <sup>-10</sup>	8.6×10 <sup>-13</sup>	2.0×10 <sup>-13</sup>	2.3×10 <sup>-15</sup>	
1609 (1.25×10 <sup>-16</sup> )	P( /xo)	4.1×10 <sup>-3</sup>	3.5×10 <sup>-5</sup>	2.5×10 <sup>-9</sup>	2.3×10 <sup>-4</sup>	0.044	4.1×10 <sup>-3</sup>	2.5×10 <sup>-5</sup>	
	P(E)	* 2.5×10 <sup>-8</sup>	3.5×10 <sup>-10</sup>	1.3×10 <sup>-10</sup>	1.6×10 <sup>-10</sup>	8.8×10 <sup>-13</sup>	2.5×10 <sup>-13</sup>	7.5×10 <sup>-15</sup>	
1610 (1.25×10 <sup>-13</sup> )	P( /xo)	1.4×10 <sup>-2</sup>	3.5×10 <sup>-4</sup>	2.5×10 <sup>-7</sup>	7.5×10 <sup>-4</sup>	0.088	0.014	2.5×10 <sup>-4</sup>	
	P(E)	* 2.5×10 <sup>-8</sup>	* 3.5×10 <sup>-9</sup>	* 1.3×10 <sup>-8</sup>	* 5.3×10 <sup>-10</sup>	* 1.8×10 <sup>-12</sup>	* 8.4×10 <sup>-13</sup>	* 7.5×10 <sup>-14</sup>	

- 注) 1. \*印は各起回事象における最大の存在確率をとる経路シナリオ  
 2. 放出経路番号内の ( ) 内数値は偶発放出経路存在確率 (1/年)  
 3. P( /xo) : 経路誘発確率, P(E) : 放出経路存在確率 (1/年) : P(E) = P(xo) · P( /xo)

表 6.7 参考ケースでの経路存在の最大確率

接触媒質：伏流水(10)

(10,000年段階)

起因事象		P(Xo)	核種放出経路		P(/Xo)	P(E)(1年)	起因事象		P(Xo)	核種放出経路		P(/Xo)	P(E)(1年)
火山噴火	Zone II	10 <sup>-7</sup>	1004	1 3 4 5 7a 7b 9 10	2.5×10 <sup>-1</sup>	2.5×10 <sup>-8</sup>	隕石 I	Zone II	2×10 <sup>-12</sup>	1007	1 3 4 7a 7b 9 10	3.4×10 <sup>-1</sup>	6.8×10 <sup>-13</sup>
			1007	1 3 4 7a 7b 9 10	//	//		Zone III	2×10 <sup>-11</sup>	1007	同上	4.3×10 <sup>-2</sup>	8.6×10 <sup>-13</sup>
	Zone III	10 <sup>-6</sup>	1006	1 3 4 7a 8 9 10	4.7×10 <sup>-3</sup>	4.7×10 <sup>-9</sup>	隕石 II	Zone I	6×10 <sup>-18</sup>	1006	1 3 4 7a 8 9 10	1.7×10 <sup>-1</sup>	1.0×10 <sup>-13</sup>
			1007	1 3 4 7a 7b 9 10	//	//		Zone II	6×10 <sup>-12</sup>	1006	1 3 4 7a 8 9 10	8.8×10 <sup>-2</sup>	5.3×10 <sup>-13</sup>
1007	1 3 4 7a 7b 9 10	//	//	Zone III	6×10 <sup>-11</sup>	1007		1 3 4 7a 7b 9 10	//	//			
火成活動	Zone I	10 <sup>-7</sup>	1005	1 3 4 5 7a 8 9 10	1.8×10 <sup>-1</sup>	1.8×10 <sup>-8</sup>	隕石 III	Zone I	3×10 <sup>-12</sup>	1006	1 3 4 7a 8 9 10	7.3×10 <sup>-2</sup>	2.2×10 <sup>-13</sup>
			1006	1 3 4 7a 8 9 10	//	//		Zone II	3×10 <sup>-11</sup>	1006	1 3 4 7a 8 9 10	5.0×10 <sup>-4</sup>	1.5×10 <sup>-14</sup>
	Zone II	10 <sup>-6</sup>	1007	1 3 4 7a 7b 9 10	3.1×10 <sup>-2</sup>	3.1×10 <sup>-8</sup>		Zone III	3×10 <sup>-10</sup>	1006	同上	7.5×10 <sup>-5</sup>	2.3×10 <sup>-14</sup>
地震	震度 VII	5×10 <sup>-4</sup>	1006	1 3 4 7a 8 9 10	7.5×10 <sup>-5</sup>	3.8×10 <sup>-8</sup>	偶発放出	/		1006	同上		3.75×10 <sup>-14</sup>
			1007	1 3 4 7a 7b 9 10	//	//				1007	同上		
	震度 VI	5×10 <sup>-3</sup>	1006	同上	9.4×10 <sup>-6</sup>	4.7×10 <sup>-8</sup>							
断層活動	サイト直撃	10 <sup>-9</sup>	1005	1 3 4 5 7a 8 9 10	2.5×10 <sup>-1</sup>	2.5×10 <sup>-10</sup>							
			1007	1 3 4 7a 7b 9 10	//	//							
	Zone I	4×10 <sup>-8</sup>	1007	1 3 4 7a 7b 9 10	6.1×10 <sup>-2</sup>	2.4×10 <sup>-9</sup>							
	Zone II	2×10 <sup>-7</sup>	1007	同上	1.1×10 <sup>-2</sup>	2.2×10 <sup>-9</sup>							
	Zone III	7×10 <sup>-7</sup>	1006	1 3 4 7a 8 9 10	2.3×10 <sup>-4</sup>	1.6×10 <sup>-10</sup>							
			1007	1 3 4 7a 7b 9 10	//	//							

表 6.8 参考ケースでの経路存在の最大確率

接触媒質；滞水層(11)

(10,000年段階)

起 因 事 象		P(Xo)	核 種 放 出 経 路		P( /Xo)	P(E)(1年)	起 因 事 象		P( Xo)	核 種 放 出 経 路		P( /Xo)	P(E)(1年)
火山噴火	Zone II	10 <sup>-7</sup>	1104	1 3 4 5 7a 7b 9 11	2.5×10 <sup>-1</sup>	2.5×10 <sup>-8</sup>	隕石 II	Zone I	6×10 <sup>-13</sup>	1106	1 3 4 7a 8 9 11	1.7×10 <sup>-1</sup>	1.0×10 <sup>-13</sup>
			1107	1 3 4 7a 7b 9 11	//	//		Zone II	6×10 <sup>-12</sup>	1106	1 3 4 7a 8 9 11	8.8×10 <sup>-2</sup>	5.3×10 <sup>-13</sup>
	Zone III	10 <sup>-6</sup>	1106	1 3 4 7a 8 9 11	4.7×10 <sup>-3</sup>	4.7×10 <sup>-9</sup>		Zone III	6×10 <sup>-11</sup>	1107	1 3 4 7a 7b 9 11	//	//
			1107	1 3 4 7a 7b 9 11	//	//							
火成活動	Zone I	10 <sup>-7</sup>	1105	1 3 4 5 7a 8 9 11	1.8×10 <sup>-1</sup>	1.8×10 <sup>-8</sup>	隕石 III	Zone I	3×10 <sup>-12</sup>	1106	1 3 4 7a 8 9 11	7.3×10 <sup>-2</sup>	2.2×10 <sup>-13</sup>
			1106	1 3 4 7a 8 9 11	//	//		Zone II	3×10 <sup>-11</sup>	1106	1 3 4 7a 8 9 11	5.0×10 <sup>-4</sup>	1.5×10 <sup>-14</sup>
	Zone II	10 <sup>-6</sup>	1107	1 3 4 7a 7b 9 11	3.1×10 <sup>-2</sup>	3.1×10 <sup>-8</sup>		Zone III	3×10 <sup>-10</sup>	1106	同 上	7.5×10 <sup>-6</sup>	2.3×10 <sup>-14</sup>
	Zone III	10 <sup>-5</sup>	1107	同 上	1.3×10 <sup>-4</sup>	1.3×10 <sup>-9</sup>			1107	同 上	//	//	
地 震	震度 VII	5×10 <sup>-4</sup>	1106	1 3 4 7a 8 9 11	7.5×10 <sup>-5</sup>	3.8×10 <sup>-8</sup>	偶発放出	/		1106	同 上		3.75×10 <sup>-14</sup>
			1107	1 3 4 7a 7b 9 11	//	//				1107	同 上		
	震度 VI	5×10 <sup>-3</sup>	1106	同 上	9.4×10 <sup>-6</sup>	4.7×10 <sup>-8</sup>							
			1107	同 上	//	//							
	震度 V	5×10 <sup>-2</sup>	1106	同 上	7.5×10 <sup>-8</sup>	3.8×10 <sup>-9</sup>							
			1107	同 上	//	//							
断層活動	サイト直撃	10 <sup>-9</sup>	1104	1 3 4 5 7a 7b 9 11	2.5×10 <sup>-1</sup>	2.5×10 <sup>-10</sup>							
			1105	1 3 4 5 7a 8 9 11	//	//							
			1107	1 3 4 7a 7b 9 11	//	//							
	Zone I	4×10 <sup>-8</sup>	1107	1 3 4 7a 7b 9 11	6.1×10 <sup>-2</sup>	2.4×10 <sup>-9</sup>							
	Zone II	2×10 <sup>-7</sup>	1107	同 上	1.1×10 <sup>-2</sup>	2.2×10 <sup>-9</sup>							
	Zone III	7×10 <sup>-7</sup>	1106	1 3 4 7a 8 9 11	2.3×10 <sup>-4</sup>	1.6×10 <sup>-10</sup>							
隕石 I	Zone II	2×10 <sup>-12</sup>	1107	1 3 4 7a 7b 9 11	3.4×10 <sup>-1</sup>	6.8×10 <sup>-13</sup>							
	Zone III	2×10 <sup>-11</sup>	1107	同 上	4.3×10 <sup>-2</sup>	8.6×10 <sup>-13</sup>							

表 6.9 参考ケースでの経路存在の最大確率

接触媒質：表層流(12)

(10,000年段階)

起 因 事 象		P(X <sub>0</sub> )	核 種 放 出 経 路		P(/X <sub>0</sub> )	P(E)(1/年)	起 因 事 象		P(X <sub>0</sub> )	核 種 放 出 経 路		P(/X <sub>0</sub> )	P(E)(1/年)
火山噴火	Zone II	10 <sup>-7</sup>	1203	1 3 4 5 7a 7b 9 12	2.5×10 <sup>-1</sup>	2.5×10 <sup>-8</sup>	隕石 III	Zone I	3×10 <sup>-12</sup>	1209	1 3 4 7a 8 12	1.4×10 <sup>-2</sup>	4.2×10 <sup>-14</sup>
			1207	1 3 4 7a 7b 9 12	//	//				Zone II	3×10 <sup>-11</sup>	1207	1 3 4 7a 7b 9 12
	Zone III	10 <sup>-6</sup>	1209	1 3 4 7a 8 12	6.8×10 <sup>-3</sup>	6.8×10 <sup>-9</sup>		1208	1 3 4 7a 8 9 12			//	//
火成活動	Zone I	10 <sup>-7</sup>	1209	1 3 4 7a 8 12	3.5×10 <sup>-1</sup>	3.5×10 <sup>-8</sup>	偶発放出	/		1209	同 上		7.5×10 <sup>-13</sup>
			Zone II	10 <sup>-6</sup>	1207	1 3 4 7a 7b 9 12							
	Zone III	10 <sup>-5</sup>	1209	1 3 4 7a 8 12	//	//							
地 震	震度 VII	5×10 <sup>-4</sup>	1209	1 3 4 7a 8 12	1.5×10 <sup>-4</sup>	7.5×10 <sup>-8</sup>							
	震度 VI	5×10 <sup>-3</sup>	1209	同 上	1.9×10 <sup>-5</sup>	9.5×10 <sup>-8</sup>							
	震度 V	5×10 <sup>-2</sup>	1209	同 上	1.5×10 <sup>-7</sup>	7.5×10 <sup>-9</sup>							
断層活動	サイト直撃	10 <sup>-9</sup>	1203	1 3 4 5 7a 7b 9 12	2.5×10 <sup>-1</sup>	2.5×10 <sup>-10</sup>							
			1207	1 3 4 7a 7b 9 12	//	//							
			1209	1 3 4 7a 8 12	//	//							
	Zone I	4×10 <sup>-8</sup>	1209	1 3 4 7a 8 12	8.6×10 <sup>-2</sup>	3.4×10 <sup>-9</sup>							
	Zone II	2×10 <sup>-7</sup>	1209	同 上	1.6×10 <sup>-2</sup>	3.2×10 <sup>-9</sup>							
Zone III	7×10 <sup>-7</sup>	1209	同 上	4.5×10 <sup>-4</sup>	3.2×10 <sup>-10</sup>								
隕石 I	Zone II	2×10 <sup>-12</sup>	1207	1 3 4 7a 7b 9 12	3.4×10 <sup>-1</sup>	6.8×10 <sup>-13</sup>							
			Zone III	2×10 <sup>-11</sup>	1207	1 3 4 7a 7b 9 12	3.1×10 <sup>-2</sup>	6.2×10 <sup>-13</sup>					
	Zone I	6×10 <sup>-13</sup>	1209	1 3 4 7a 8 12	//	//							
隕石 II	Zone I	6×10 <sup>-13</sup>	1209	1 3 4 7a 8 12	3.4×10 <sup>-1</sup>	2.0×10 <sup>-13</sup>							
			Zone II	6×10 <sup>-12</sup>	1207	1 3 4 7a 7b 9 12	8.8×10 <sup>-2</sup>	5.3×10 <sup>-13</sup>					
	Zone III	6×10 <sup>-11</sup>	1208	1 3 4 7a 8 9 12	//	//							
			1209	1 3 4 7a 8 12	4.1×10 <sup>-3</sup>	2.5×10 <sup>-13</sup>							

表 6.10 参考ケースでの経路存在の最大確率

接触媒質：大気(15)

(10,000年段階)

起 因 事 象		P(Xo)	核 種 放 出 経 路				P( /Xo)	P(E)(1/年)	起 因 事 象		P(Xo)	核 種 放 出 経 路				P( /Xo)	P(E)(1/年)
火山噴火	Zone II	10 <sup>-7</sup>	1507	1 3 4 5 7a 7b 9 13 15	25×10 <sup>-1</sup>	25×10 <sup>-8</sup>	隕石 I	Zone II	2×10 <sup>-12</sup>	1521	1 3 4 7a 7c	15	3.4×10 <sup>-1</sup>	6.8×10 <sup>-13</sup>			
			1511	1 3 4 5 7a 7b 9 15	//	//				Zone III	2×10 <sup>-11</sup>	1521	1 3 4 7a 7c	15	8.8×10 <sup>-2</sup>	1.8×10 <sup>-12</sup>	
			1514	1 3 4 7a 7b 9 13 15	//	//		Zone I	6×10 <sup>-13</sup>			1522	1 3 4 7a 8	15	3.4×10 <sup>-1</sup>	2.0×10 <sup>-13</sup>	
			1518	1 3 4 5 7a 7c	15	//				//	Zone II	6×10 <sup>-12</sup>	1514	1 3 4 7a 7b 9 13 15	8.8×10 <sup>-2</sup>	5.3×10 <sup>-13</sup>	
			1519	1 3 4 7a 7b 9	15	//				//			1515	1 3 4 7a 8 9 13 15	//	//	
			1521	1 3 4 7a 7c	15	//				//			1519	1 3 4 7a 7b 9	15	//	//
				//	//	1520	1 3 4 7a 8 9	15	//	//							
Zone III	10 <sup>-6</sup>	1521	1 3 4 7a 7c	15	1.4×10 <sup>-2</sup>	1.4×10 <sup>-8</sup>											
火成活動	Zone I	10 <sup>-7</sup>	1517	1 3 4 5 7a 8	15	3.5×10 <sup>-1</sup>	3.5×10 <sup>-8</sup>	Zone III	6×10 <sup>-11</sup>	1521	1 3 4 7a 7c	15	1.4×10 <sup>-2</sup>	8.4×10 <sup>-13</sup>			
			1522	1 3 4 7a 8	15	//	//			Zone I	3×10 <sup>-12</sup>	1522	1 3 4 7a 8	15	1.4×10 <sup>-2</sup>	4.2×10 <sup>-14</sup>	
	Zone II	10 <sup>-6</sup>	1521	1 3 4 7a 7c	15	4.4×10 <sup>-2</sup>	4.4×10 <sup>-8</sup>	Zone II	3×10 <sup>-11</sup>	1514	1 3 4 7a 7b 9 13 15	5 ×10 <sup>-4</sup>	1.5×10 <sup>-14</sup>				
Zone III	10 <sup>-5</sup>	1521	同 上		2.5×10 <sup>-4</sup>	2.5×10 <sup>-9</sup>			1515	1 3 4 7a 8 9 13 15	//	//					
地 震	震度 VII	5×10 <sup>-4</sup>	1521	同 上		1.5×10 <sup>-4</sup>	7.5×10 <sup>-8</sup>			1519	1 3 4 7a 7b 9	15	//	//			
	震度 VI	5×10 <sup>-3</sup>	1521	同 上		1.9×10 <sup>-5</sup>	9.5×10 <sup>-8</sup>			1520	1 3 4 7a 8 9	15	//	//			
	震度 V	5×10 <sup>-2</sup>	1521	同 上		1.5×10 <sup>-7</sup>	7.5×10 <sup>-9</sup>			1521	1 3 4 7a 7c	15	//	//			
断層活動	サイト直撃	10 <sup>-9</sup>	1518	1 3 4 5 7a 7c	15	5 ×10 <sup>-1</sup>	5 ×10 <sup>-10</sup>	Zone III	3×10 <sup>-10</sup>	1521	1 3 4 7a 7c	15	5 ×10 <sup>-4</sup>	1.5×10 <sup>-13</sup>			
			1521	1 3 4 7a 7c	15	//	//										
	Zone I	4×10 <sup>-8</sup>	1516	1 3 4 5 6a 6b	15	6.1×10 <sup>-1</sup>	2.4×10 <sup>-9</sup>	偶発放出	/	1521	1 3 4 7a 7c	15		7.5×10 <sup>-14</sup>			
			1522	1 3 4 7a 8	15	//	//	突発事象	隕石 I	2×10 <sup>-13</sup>	1523	( 1, 3, 4 ) → 15	1	2 ×10 <sup>-13</sup>			
Zone II	2×10 <sup>-7</sup>	1521	1 3 4 7a 7c	15	2.3×10 <sup>-2</sup>	4.6×10 <sup>-9</sup>			火山噴火	10 <sup>-8</sup>	1523	同 上		10 <sup>-8</sup>			
Zone III	7×10 <sup>-7</sup>	1521	1 3 4 7a 7c	15	7.5×10 <sup>-4</sup>	5.3×10 <sup>-10</sup>											
隕石 I	Zone II	2×10 <sup>-12</sup>	1514	1 3 4 7a 7b 9 13 15	3.4×10 <sup>-1</sup>	6.8×10 <sup>-13</sup>											
			1519	1 3 4 7a 7b 9	15	//	//										

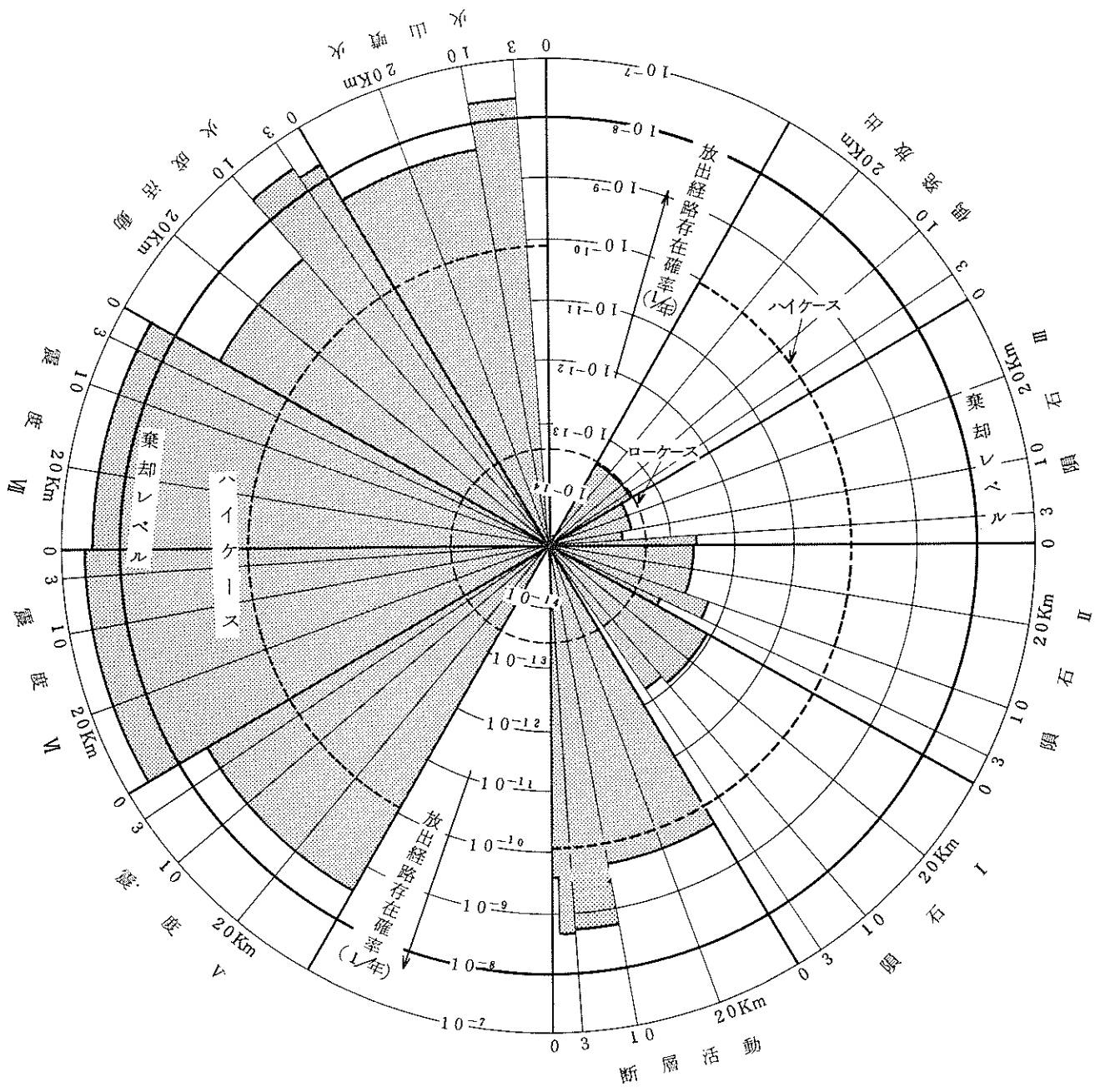


表 6.1 1 参考ケースでの経路存在の最大確率

接触媒質：海(16)

(10,000年段階)

起 因 事 象		P(Xo)	核 種 放 出 経 路				P( /Xo)	P(E)(1/年)	起 因 事 象		P(Xo)	核 種 放 出 経 路				P( /Xo)	P(E)(1/年)								
火山噴火	Zone II	10 <sup>-7</sup>	1605	1 3 4 5 7a 7b 9 16	2.5×10 <sup>-1</sup>	2.5×10 <sup>-8</sup>	隕石 I	Zone II	2×10 <sup>-12</sup>	1607	1 3 4 7a 8 9 16	3.4×10 <sup>-1</sup>	6.8×10 <sup>-13</sup>	1608	1 3 4 7a 7b 9 16	"	"	1610	1 3 4 7a 7b 16	"	"	1610	1 3 4 7a 7b 16	8.8×10 <sup>-2</sup>	1.8×10 <sup>-12</sup>
			1608	1 3 4 7a 7b 9 16																					
			1609	1 3 4 5 7a 7b 16																					
			1610	1 3 4 7a 7b 16																					
	Zone III	10 <sup>-6</sup>	1609	1 3 4 5 7a 7b 16	1.4×10 <sup>-2</sup>	1.4×10 <sup>-8</sup>		Zone II	Zone I	6×10 <sup>-13</sup>	1607	1 3 4 7a 8 9 16	1.7×10 <sup>-1</sup>	1.0×10 <sup>-13</sup>	1608	1 3 4 7a 7b 9 16	"	"	1610	1 3 4 7a 7b 16	8.8×10 <sup>-2</sup>	5.3×10 <sup>-13</sup>			
			1610	1 3 4 7a 7b 16																					
	火成活動	Zone I	10 <sup>-7</sup>	1609	同 上	2.5×10 <sup>-1</sup>		2.5×10 <sup>-8</sup>	Zone III	Zone I	3×10 <sup>-12</sup>	1607	1 3 4 7a 8 9 16	6.8×10 <sup>-3</sup>	2.0×10 <sup>-14</sup>	1608	1 3 4 7a 7b 9 16	"	"	1610	1 3 4 7a 7b 16	"	"		
				1610																					
Zone II		10 <sup>-6</sup>	1610	1 3 4 7a 7b 16	6.1×10 <sup>-2</sup>	6.1×10 <sup>-8</sup>	Zone II	6×10 <sup>-12</sup>				1607	1 3 4 7a 8 9 16			8.8×10 <sup>-2</sup>	5.3×10 <sup>-13</sup>								
Zone III	10 <sup>-5</sup>	1610	同 上	3.5×10 <sup>-4</sup>	3.5×10 <sup>-9</sup>	Zone III	Zone II	3×10 <sup>-11</sup>	1607	1 3 4 7a 8 9 16	5×10 <sup>-4</sup>	1.5×10 <sup>-14</sup>	1608	1 3 4 7a 7b 9 16	"	"									
地 震	震度 VII	5×10 <sup>-4</sup>	1610	同 上	2.5×10 <sup>-4</sup>				1.3×10 <sup>-7</sup>	Zone III	Zone III	3×10 <sup>-10</sup>	1610	1 3 4 7a 7b 16	2.5×10 <sup>-4</sup>	7.5×10 <sup>-14</sup>	偶発放出			1610	同 上	1.25×10 <sup>-13</sup>			
			震度 VI	5×10 <sup>-3</sup>	1610				同 上				3.1×10 <sup>-5</sup>	1.6×10 <sup>-7</sup>	Zone III	Zone III	3×10 <sup>-10</sup>	1610	同 上						
					震度 V	5×10 <sup>-2</sup>	1610	同 上	2.5×10 <sup>-7</sup>				1.3×10 <sup>-8</sup>	Zone III				Zone III	3×10 <sup>-10</sup>	1610	同 上				
断層活動	サイト直撃	10 <sup>-9</sup>	1609	1 3 4 5 7a 7b 16			5×10 <sup>-1</sup>	5×10 <sup>-10</sup>	Zone III	Zone III	3×10 <sup>-10</sup>	1610	1 3 4 7a 7b 16		2.5×10 <sup>-4</sup>	7.5×10 <sup>-14</sup>									
			1610	1 3 4 7a 7b 16	"	"																			
	Zone I	4×10 <sup>-8</sup>	1610	1 3 4 7a 7b 16	8.8×10 <sup>-2</sup>	3.5×10 <sup>-9</sup>																			
Zone II	2×10 <sup>-7</sup>	1610	同 上	3.2×10 <sup>-2</sup>	6.4×10 <sup>-9</sup>																				
Zone III	7×10 <sup>-7</sup>	1610	同 上	7.5×10 <sup>-4</sup>	5.3×10 <sup>-10</sup>																				



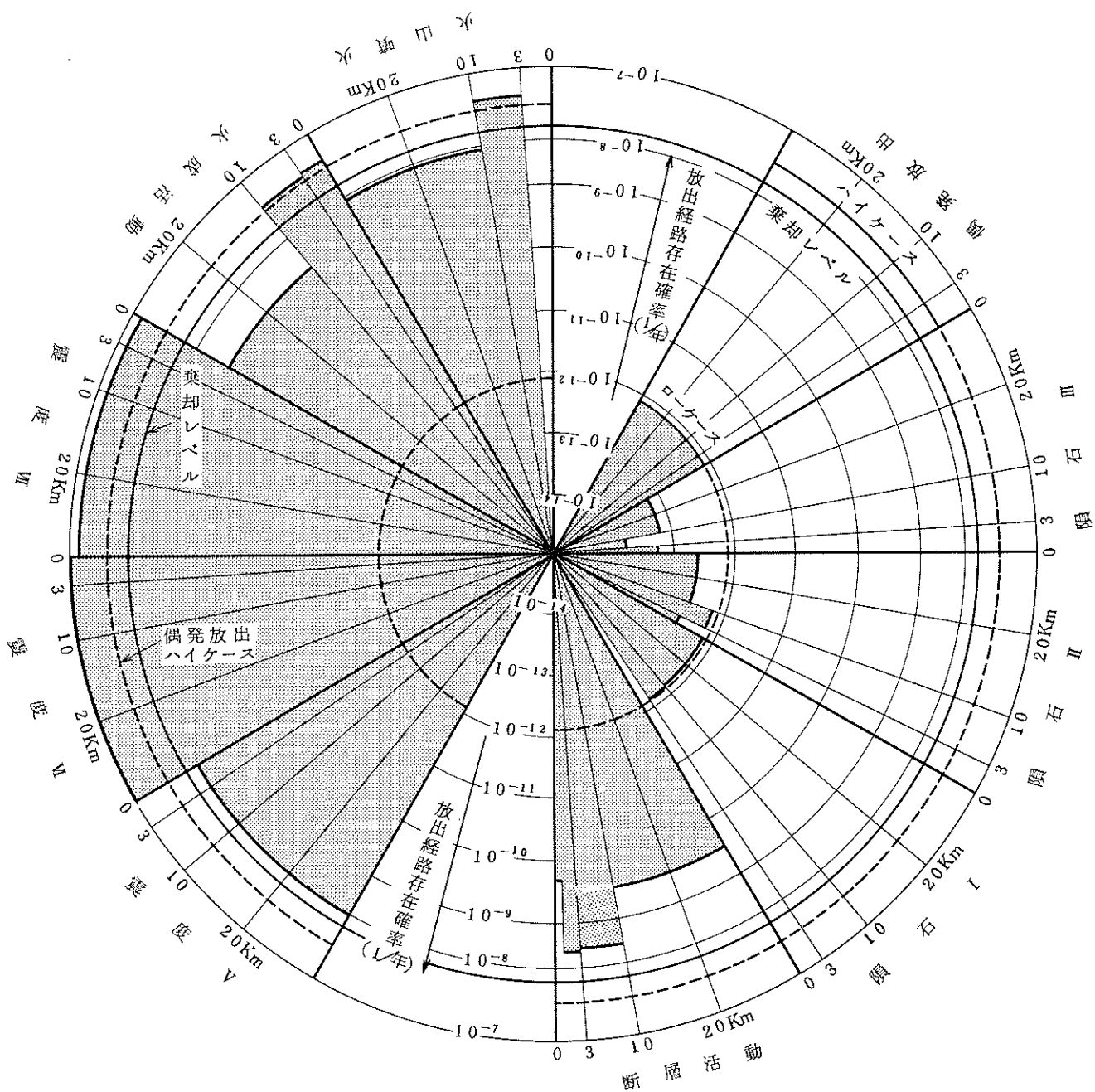
注1. ゾーン区分は

- 0 ~ 0.2Km: サイト
- 0 ~ 3 Km: ゾーン I
- 3 ~ 10Km: ゾーン II
- 10 ~ 30Km: ゾーン III

注2. 偶発放出の

- ローケースは参考ケースの値
- 工学的障壁……  $10^{-7}$  (1/年)
- ハイケースは
- 工学的障壁……  $5 \times 10^{-6}$  (1/年)

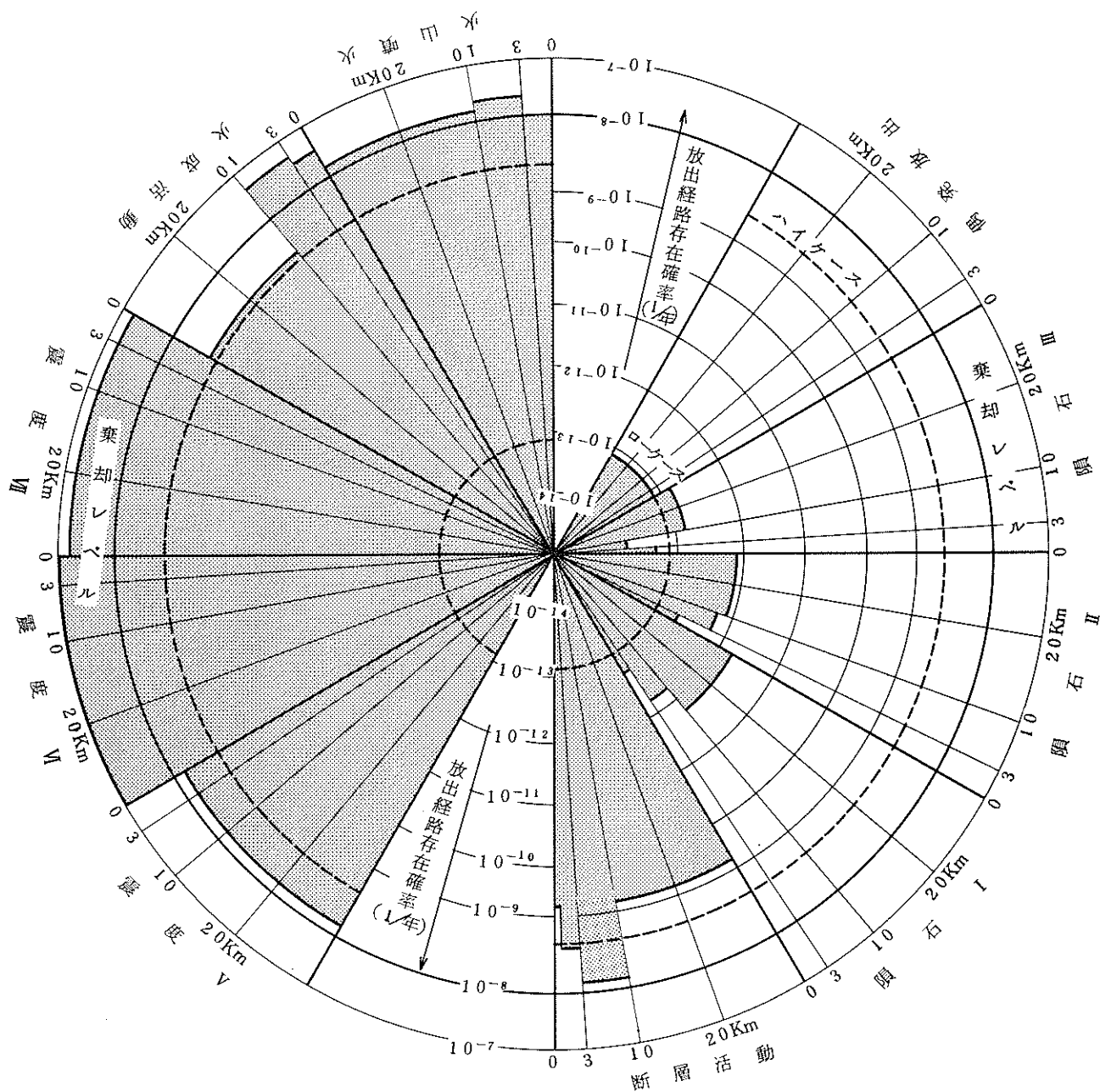
図 6.1 起因事象発生地点 (ゾーン区分) と伏流水 (滞水層) への核種放出経路の 1 万年以内での平均の存在確率 (1/年) の上限



注1. ゾーン区分: 0~0.2Km:サイト  
 0~3 Km:ゾーンI  
 3~10Km:ゾーンII  
 10~30Km:ゾーンIII

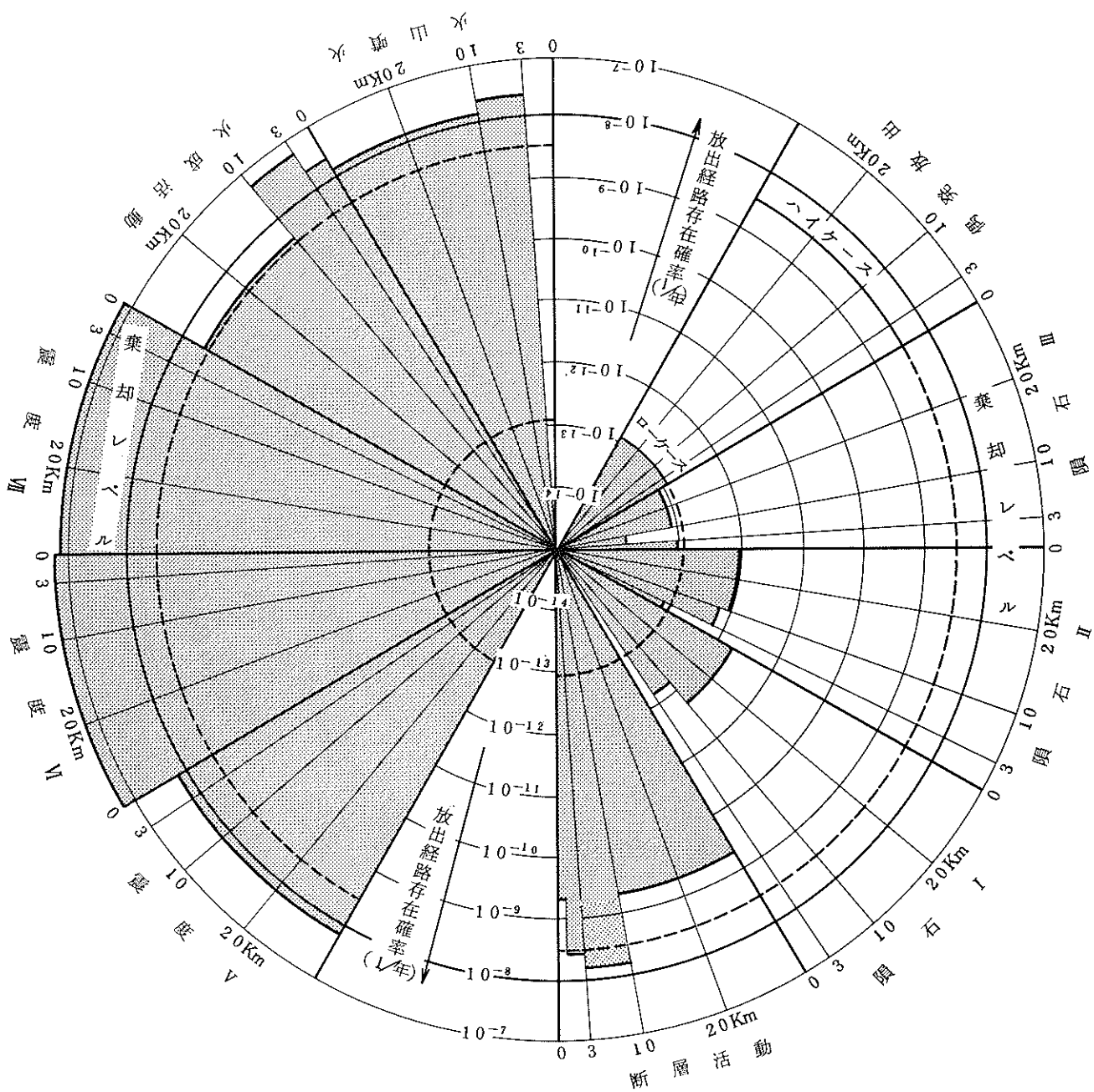
注2. 偶発放出について  
 {ローケース: 工学的障壁の経路の偶発存在確率... $10^{-7}$ (1/年)  
 ハイケース: 工学的障壁の経路の偶発存在確率... $5 \times 10^{-5}$ (1/年)  
 (尚, ローケースは参考ケースの値)

図 6.2 起因事象発生地点 (ゾーン区分) と表層流への核種放出経路の  
 1 万年内での平均の存在確率 (1/年) の上限



- 注1. ゾーン区分: 0~0.2Km: サイト  
 0~3 Km: ゾーンI  
 3~10Km: ゾーンII  
 10~30Km: ゾーンIII
- 注2. 偶発放出について工学的障壁の経路の  
 偶発存在確率 「ローケース:  $10^{-7}$ (1/年)  
 「ハイケース:  $5 \times 10^{-5}$ (1/年)  
 (尚, ローケースは参考ケースの値)

図 6.3 起因事象発生地点(ゾーン区分)と大気への核種放出経路の  
 1万年内での平均の存在確率の上限



- 注1) ゾーン区分: 0~0.2 Km : サイト  
 0~3 Km : ゾーン I  
 3~10 Km : ゾーン II  
 10~30 Km : ゾーン III
- 注2) 偶発放出について工学的障壁の  
 偶発存在確率 {ローケース:  $10^{-7}$  (1/年)  
 ハイケース:  $5 \times 10^{-5}$  (1/年)  
 (尚, ローケースは参考ケースの値である。)

図 6.4 起因事象発生日点(ゾーン区分)と海への核種放出経路の  
 1 万年内での平均の存在確率の上限

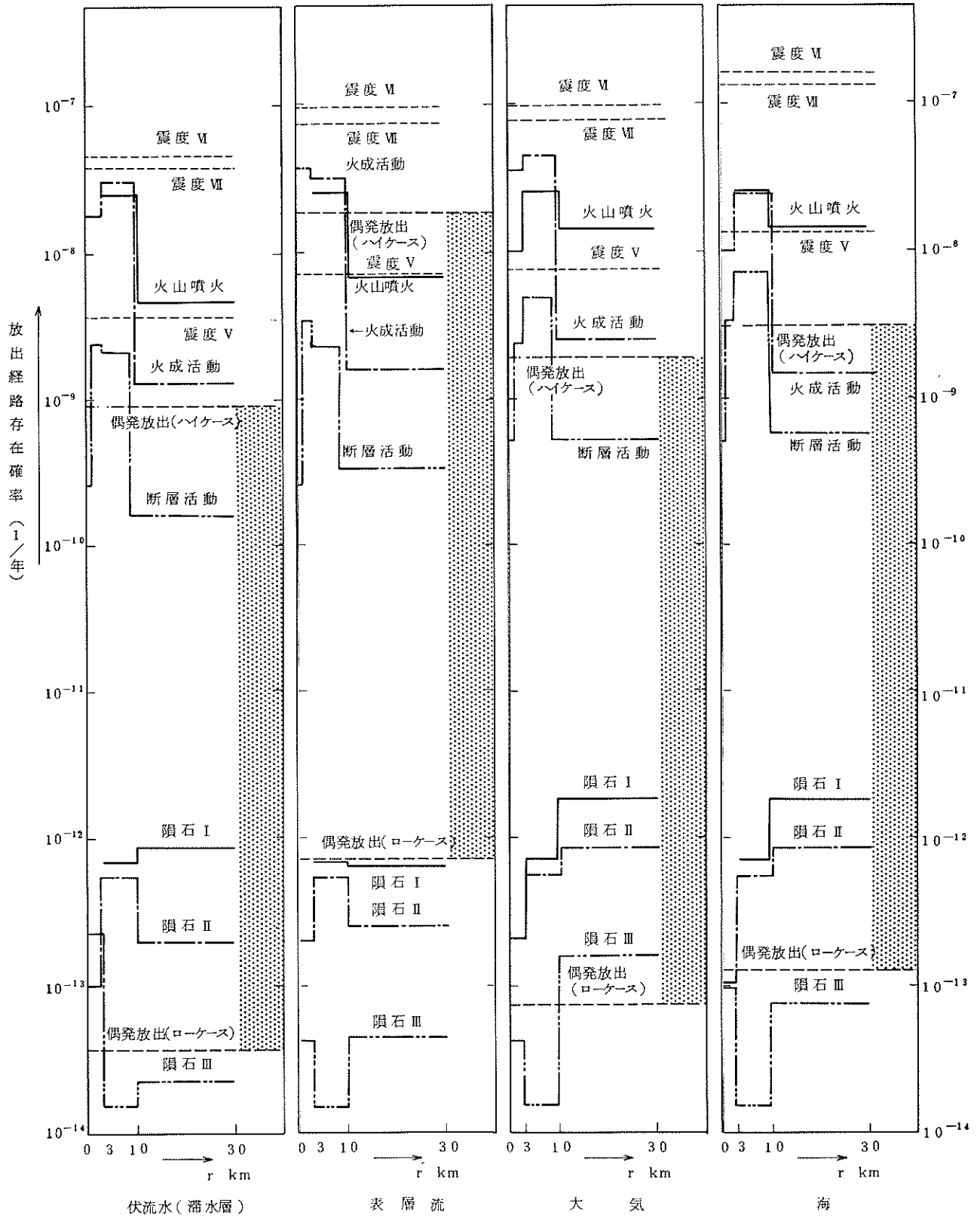


図 6.5 起因事象発生地点 (ゾーン区分) と放出経路の処分後  
 1 万年間での平均存在確率 (1/年) (図 6.1~4 をまとめたものである)

表 6.1 2. 経路誘発確率の検討

(処分後 10,000 年段階)

	火成活動 ゾーン II			地震 震度 VI			断層活動 処分場直撃			経路の偶発 存在確率
	ハイ	中間	ロー	ハイ	中間	ロー	ハイ	中間	ロー	Pi
1 f 3	0.7	0.5	0.3	0.05	0.01	→	1	1	0.01	$10^{-3}$
3 f 4	0.7	0.5	0.3	0.05	0.01	→	1	1	0.01	$10^{-3}$
4 f 5	0.7	0.5	0.3	0.05	0.01	→	1	1	0.1	$10^{-3}$
4 f 7 a	0.7	0.5	0.3	0.05	0.01	0.01	1	1	0.1	$5 \times 10^{-3}$
5 f 7 a	0.7	0.5	0.3	0.05	0.01	0.01	1	1	0.1	$5 \times 10^{-3}$
7 a f 7 b	1	0.7	0.5	→	→	→	1	1	0.7	0.5
5 f 6 a	0.5	0.3	0.1	0.05	0.01	→	1	0.7	0.5	$10^{-3}$
6 a f 6 b	0.5	0.3	0.1	0.05	0.01	→	0.7	0.5	0.3	$10^{-3}$
6 a f 7 a	0.5	0.3	0.1	0.05	0.01	0.01	0.7	0.5	0.3	$5 \times 10^{-3}$
6 b f 8	0.5	0.3	0.1	0.05	0.01	0.01	0.7	0.5	0.3	$5 \times 10^{-3}$
7 a f 8	0.7	0.5	0.3	→	→	→	0.7	0.5	→	0.3
7 b f 9	1	0.7	0.5	→	→	→	0.7	0.5	→	0.3
8 f 9	0.7	0.5	0.3	→	→	→	0.7	→	→	0.5
9 f 10	0.7	0.5	0.3	→	→	→	0.7	→	→	0.5
9 f 11	0.7	0.5	0.3	→	→	→	0.7	→	→	0.5
8 f 12	0.7	0.5	0.3	→	→	→	0.7	→	→	0.5
9 f 12	0.7	0.5	0.3	→	→	→	0.7	→	→	0.5
7 b f 16	1	0.7	0.5	→	→	→	0.7	→	→	0.5
9 f 16	1	0.7	0.5	→	→	→	0.7	→	→	0.5
7 a f 7 c	1	0.7	0.5	→	→	→	1	1	→	0.5
7 c f 15	0.7	0.5	0.3	→	→	→	0.7	0.5	→	0.3
6 b f 15	0.7	0.3	0.1	0.05	0.01	0.01	0.7	0.5	0.3	$5 \times 10^{-3}$
8 f 15	0.7	0.3	0.1	→	→	→	0.7	0.5	→	0.3
9 f 15	0.7	0.5	0.3	→	→	→	0.7	0.5	→	0.3
9 f 13	0.7	0.5	0.3	→	→	→	0.7	→	→	0.5
13 f 15	0.7	0.5	0.3	→	→	→	0.7	→	→	0.5

- (注) 1. → はPiの値をとることを示す。  
 2. 火成活動と断層活動の中間ケースは参考ケースの値  
 3. 地震のハイケースは参考ケースの値

表 6.13. 感 度 解 析

接触媒質	起因事象		火 成 活 動	地 震	断 層 活 動
	放出経路	経路発生確率	ゾ ー ン II P(X <sub>0</sub> ) = 10 <sup>-6</sup>	震 度 VI P(X <sub>0</sub> ) = 5 × 10 <sup>-3</sup>	処 分 場 直 撃 P(X <sub>0</sub> ) = 10 <sup>-9</sup>
伏流水 (滞水層)	1006 (1106)	H	1.2 × 10 <sup>-7</sup>	4.7 × 10 <sup>-9</sup>	3.4 × 10 <sup>-10</sup>
		M	1.6 × 10 <sup>-8</sup>	3.8 × 10 <sup>-11</sup>	1.3 × 10 <sup>-10</sup>
		L	7.3 × 10 <sup>-10</sup>	3.8 × 10 <sup>-13</sup>	7.5 × 10 <sup>-16</sup>
	1007 (1107)	H	3.4 × 10 <sup>-7</sup>	同上	4.9 × 10 <sup>-10</sup>
		M	3.1 × 10 <sup>-8</sup>	同上	2.5 × 10 <sup>-10</sup>
		L	2.0 × 10 <sup>-9</sup>	同上	1.1 × 10 <sup>-15</sup>
表層流	1207	H	8.4 × 10 <sup>-8</sup>	同上	同上
		M	3.1 × 10 <sup>-8</sup>	同上	同上
		L	2.0 × 10 <sup>-9</sup>	同上	同上
	1209	H	1.7 × 10 <sup>-7</sup>	9.5 × 10 <sup>-8</sup>	同上
		M	3.1 × 10 <sup>-8</sup>	7.5 × 10 <sup>-10</sup>	同上
		L	2.4 × 10 <sup>-9</sup>	7.5 × 10 <sup>-12</sup>	同上
大気	1521	H	2.4 × 10 <sup>-7</sup>	同上	7.0 × 10 <sup>-10</sup>
		M	4.4 × 10 <sup>-8</sup>	同上	5.0 × 10 <sup>-10</sup>
		L	4.1 × 10 <sup>-9</sup>	同上	1.5 × 10 <sup>-15</sup>
	1522	H	1.2 × 10 <sup>-7</sup>	5.5 × 10 <sup>-8</sup>	4.9 × 10 <sup>-10</sup>
		M	1.6 × 10 <sup>-8</sup>	4.5 × 10 <sup>-10</sup>	2.5 × 10 <sup>-10</sup>
		L	7.3 × 10 <sup>-10</sup>	4.5 × 10 <sup>-12</sup>	1.5 × 10 <sup>-15</sup>
海	1609	H	2.4 × 10 <sup>-7</sup>	8.0 × 10 <sup>-9</sup>	7.0 × 10 <sup>-10</sup>
		M	3.1 × 10 <sup>-8</sup>	1.3 × 10 <sup>-11</sup>	5.0 × 10 <sup>-10</sup>
		L	6.8 × 10 <sup>-10</sup>	1.3 × 10 <sup>-14</sup>	3.5 × 10 <sup>-16</sup>
	1610	H	3.4 × 10 <sup>-7</sup>	1.6 × 10 <sup>-7</sup>	同上
		M	6.1 × 10 <sup>-8</sup>	1.3 × 10 <sup>-9</sup>	同上
		L	6.8 × 10 <sup>-9</sup>	1.3 × 10 <sup>-11</sup>	同上

(注) H:ハイケース(地震は参考ケースの値)  
M:中間値(火成活動と断層活動は参考ケースの値)  
L:ローケース



## 7. 結果の検討と今後の課題

### 7.1 結果の検討

地下の花崗岩体中に高レベル放射性廃棄物を地層処分する場合に、放射性物質のかなりの放出が発生する可能性をフォールト ツリーにより検討した。地層処分は、工学系を含めた地層の放出に対する障壁という能力と、放射性物質の保持能力に依拠するものであるが、今回の解析はこの障壁にのみ注目して行われていること、サイト設計、地中の障壁の有効性、起因事象となる自然現象についての知見が著しく限られていることから、解析はまさに、予備的なものであると考えられるが、その前提で以下の諸点が指摘された。

(1) 地層の障壁能力の劣化による能力喪失の確率を、 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ /年とすれば、

10,000年間について かなりの放出の経路が偶然発生する確率は、主として工学系の設計に支配され、原子力施設並みの $10^{-6}$ /年程度の容器破損率を使えとすれば、その確率は $10^{-8}$ /年以下にできる。

(2) 外乱の発生時に、工学系、地層のそれぞれが劣化すると考えるとき、重要な外乱は火山活動、地震であり、断層活動はマージナルで、隕石衝撃はほぼ無視してよい。

ここで前2者の発生頻度は外国の場合よりかなり大きく、日本では日本なりの設計基準を用意していく必要があると理解される。

(3) 地震は、その発生頻度が極めて大きいので、もし工学系が、地震時に必ず破損するとすれば地層処分は成立しない。しかし、これまでの鉱山等の限られたデータでは、地震時、工学系が大規模に破損するのは稀であろう。解析の示す基本的な方向は、地震を工学系の定常設計の中で考慮すべし、ということで、これは現在の原子炉設計の practice とも一致する。

(4) 火山噴火は、これが直撃するとすれば、障壁のクレジットは全然とれない。そこで発生確率の小さい地点を見出すことが先決である。その目標は、10,000年以内で、 $10^{-8}$ /年以下の発生確率である。

直撃でない場合には、工学系の信頼度が問題になり、ある程度のクレジット(10%程度)のとれることが必要である。

(5) この解析においては、花崗岩体の障壁能力については、あまり期待していない(10,000年間で50%、つまり50-50をベースにしている)。これがもっと期

待できるものとするれば、結果に直接影響を与える。

- (6) 接触媒質の中では、海、大気、伏流水（滞水層）表層流、いずれについても、特にどの外乱による放出が卓越しているというわけではない。

## 7.2 今後の課題

### (1) フォールト ツリーについて

今回の解析では、フォールト ツリーの作製対象についての条件が明確にされていなかったため、全体的なものが作製され、大まかなシナリオを得るには好都合であったが、設計条件などの分析に使えるものではない。

そこで、一部、キャニスターについて、詳細分析のフォールト ツリーを作製したが、今後、岩体などに対象を限定して、フォールト ツリーによりその破損モードを分析していくことが必要である。

### (2) 全体のシナリオ作製について

今回、放出シナリオを得るのにフォールト ツリーを用いたが、結果をみると、外乱についてはイベント ツリーとしておいた方がわかりやすい。今後は、イベント ツリーとフォールト ツリーを有効に組み合わせて使うべきであろう。

### (3) 検討対象期間について

今回の解析は、10,000年間に限定して行われた。これは、今後100,000年、1,000,000年への範囲を広げる必要がある。現在の結果を100,000年間の様相とおきかえて読むには、特に工学系の信頼度の点で無理がある。また、侵蝕、その他10,000年以内にて考えられない外乱を生じる可能性を考慮しなければならない。

今後、外乱の範囲を広げるとともに、指数分布、その他の劣化モデルを導入して、時間の関数として、放出発生確率を検討する必要がある。

### (4) 核種の輸送現象について

解析を10,000年以上の年へ広げると、地層の保持能力が関心事となる。そこで、保持能力の検討、いかえれば、地中での核種の輸送現象についての簡単なモデルを並用して、リスクを検討する必要がある。

- (5) また、地層の障壁としての有効性については、 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ /年の破損率を考えているが、これをつめていくことが重要である。

(6) しかし、工学系の信頼度が、10,000年間については、卓越した重要性をもつので、その設計条件、安全評価基準についての検討を開始すべきである。

(7) この場合、不確定因子として大きいものは、火山、地震、断層などの巨大外乱下のサイトへの荷重条件であり、これについての検討が必要である。

- 特に、
- (i) 地震時の荷重条件
  - (ii) 隣接地域の火山活動による荷重条件
  - (iii) 断層活動時の荷重条件

の3条件が、この順序で重要である。

## 8. 参 考 文 献

1. UCRL-51829, Howard E. Lambert:  
Fault trees for decision making in systems analysis, Lawrence Livermore Laboratory, Oct. 9, 1975.
2. ORC 75-3, Pradip K. Pande, E. Spector and Purnendu Chatterjee:  
Computerized fault tree analysis: Treel and Micsup, Operations Research Center, University of California, Berkley, April 1975.
3. BNWL-1846, T.I. McSweeney and R.J. Hall:  
An assessment of the risk of transporting plutonium oxide and liquid plutonium nitrate by truck, Battelle Pacific Northwest Laboratories, August 1975.
4. BNWL-1959, T.H. Smith, P.J. Pelto, D.L. Stevens, G.D. Seybold, W.L. Purcell, L.V. Kimmel:  
A risk-based fault tree analysis method for identification, preliminary evaluation, and screening of potential accidental release sequences in nuclear fuel cycle operations, Battelle Pacific Northwest Laboratories, January 1976.
5. WASH-1400 (NUREG-75/014):  
Reactor safety study, An assessment of accident risks in U.S. Commercial Nuclear Power Plants, U.S. Nuclear Regulatory Commission, October 1975.

6. Risk analysis and geologic modelling in relation to the disposal of radioactive wastes into geological formations, Proceedings, the OECD Nuclear Energy Agency and the Commission of the European Communities, Italy, Ispra, May 23-27, 1977.
7. Nuclear Engineering International, Developments in nuclear waste management— 14 OECD countries embark upon or expand R & D programmes in final waste disposal, January 1978.
8. EUR 5901 EN, G. Bertozzi, M. D'Alessandro, F. Girardi:  
Nuclear science and technology, "Safety assessment of radioactive waste disposal into geological formations; a preliminary application of fault tree analysis to salt deposits" CEC Joint Research Centre.
9. EUR 5902 EN, F. Girardi, G. Bertozzi and M. D'Alessandro:  
Nuclear science and technology, "Long-term risk assessment of radioactive waste disposal in geological formations" Joint Research Centre, 1978.
10. NRPB-R69, M.D. Hill and P.D. Grimwood:  
Preliminary assessment of the radiological protection aspects of disposal of high-level waste in geologic formations, National Radiological Protection Board, January 1978.

11. R. Proske:

Developments in risk analysis of geologic repositories for radioactive wastes in the Federal Republic of Germany, Institut für Tieflagerung – Wissenschaftliche Abteilung.

12. Reinhard Wallmüller:

Projekt Sicherheitsstudien Entsorgung Freisetzungsbäume für ein Endlager – Betriebsphase –, Institut für Tieflagerung Wissenschaftliche Abteilung, Juni 1978.

13. Wolf Dieter Karnin:

Projekt Sicherheitsstudien Entsorgung Untersuchungen zur Erstellung von Freisetzungsmodellen für Radionuklide in Rahmen der Sicherheitsanalyse des Endlagers für hochaktive Abfälle, Institut für Tieflagerung Wissenschaftliche Abteilung, 14 Juni, 1978.

14. Bengt A. Akesson and Jonas H. Hök:

Rock cavern with clay barrier for disposal of nuclear wastes, Symposium on "Storage in Excavated Rock Caverns" in Stockholm, September 5-8, 1977.

15. A.E. Ringwood:

Safe disposal of high level nuclear reactor wastes: A new strategy, Australian National University Press, 1978.

16. Craig F. Smith and William E. Kastenberg:  
On risk assessment of high level radioactive waste disposal,  
Nuclear Engineering and Design 39, 1976.
17. Bernard L. Cohen:  
High-level radioactive waste from light-water reactors, Reviews of  
Modern Physics, Vol. 49, No. 1, January 1977.
18. Nuclear Engineering International, June 1978.
19. J.C. Malaro:  
High-level nuclear waste management in the United States; A Time  
for Decisions, Nuclear Safety, Vol. 19, No. 3, May-June 1978.
20. UCRL 13766, Julian L. Center, Bard S. Crawford, Benjamin Ross and  
Arthur A. Sutherland, Jr.:  
Analysis of nuclear waste management, the Analysis Sciences Corpo-  
ration, 31 October, 1976.
21. SAND78-0714C, J.E. Campbell, P.E. McGrath and M.C. Cullingford:  
Development of risk assessment methodology applicable to radio-  
active waste isolation.
22. TID-28817 (Draft):  
Report to the President by the Interagency Review Group on Nuclear  
Waste Management, Washington, D.C., October 1978.

23. TID-28818 (Draft):  
Subgroup Report on Alternative Technology Strategies for the Isolation of Nuclear Waste, the Interagency Review Group on Nuclear Waste Management, October 1978.
24. Report of the Subgroup on Federal Involvement of the Interagency Review Group on Nuclear Waste Management, (Draft).
25. Report of the Subgroup on DOE Waste-Special Issues of the Interagency Review Group on Nuclear Waste Management, (Draft).
26. Interagency Review Group Report on Transportation Issues (Draft), September 11, 1978.
27. Summary Report of Public and Small Group Meetings Sponsored by the Interagency Review Group on Nuclear Waste Management (Draft), July 14 - August 5, 1978.
28. UCID-17551, Dana Isherwood:  
Preliminary Report on Retardation Factors and Radionuclide Migration, Lawrence Livermore Laboratory, August 5, 1977.
29. NUREG-0300, W.P. Bishop, D.H. Frazier, I.R. Hoos, et al.:  
Proposed goals for radioactive waste management, Office of Nuclear Material Safety and Safeguards U.S. NRC, May 1978.



30. Y/OWI/TM-24, H.C. Claiborne:  
The United States Program for the Safety assessment of geologic disposal of commercial radioactive wastes, Workshop on Risk Analysis and Geologic Modelling, Ispra, Italy, May 23-27, 1977.
  
31. CIRC 779, J.D. Bredehoeft, A.W. England, D.B. Stewart, N.J. Trask and I.J. Winograd:  
Geologic Disposal of High-Level Radioactive Wastes — Earth-Science Perspectives, Geological Survey Circular 779, 1978.
  
32. NUREG-0353:  
Workshops for State Review of Site Suitability Criteria for High-Level Radioactive Waste Repositories, Discussion Group Reports.
  
33. NUREG-0354:  
Workshops for State Review of Site Suitability Criteria for High-Level Radioactive Waste Repositories, Analysis and Recommendations, Potomac Research Incorporated.
  
34. Y/OWI/SUB-77/14223, P.A. Witherspoon:  
Summery Review of Workshop on Movement of Fluids in Largely Impermeable Rocks, April 1977.
  
35. BNWL-1900, K.J. Schneider and A.M. Platt:  
High-level radioactive waste management alternatives, Battelle Pacific Northwest Laboratories, May 1974.

36. EPA 520/6-78-005, S.E. Logan et al.:  
Development and Application of a Risk Assessment Method for Radioactive Waste Management, July 1978.
37. Y/OW1/TM-36/1, Technical Support for GEIS:  
Radioactive Waste Isolation in Geologic Formations, Vol. 1 Executive Summary, Science Applications, Inc., April 1978.
38. LBL-7049/SAC-01/UC-70, P.A. Witherspoon and O. Degerman:  
Swedish-American Cooperation Program on Radioactive Waste Storage in Mined Caverns Program Summary, May 1978.
39. ORNL-TM-4639, H.C. Claiborne and Ferruccio Gera:  
Potential containment failure mechanisms and their consequences at a radioactive waste repository in bedded salt in New Mexico.
40. Report EP77-6, A.M. Aikin, J.M. Harrison and F.K. Hare:  
The Management of Canada's Nuclear Wastes, 31 August, 1977.
41. AECL-6173, S.R. Hatcher:  
Nuclear Power in Canada: Status and Prospects, Lecture to the Royal Swedish Academy of Engineering Sciences, 21 February, 1978.
42. AECL-6314, J. Boulton:  
Management of radioactive fuel wastes: The Canadian Disposal Program, Atomic Energy of Canada Research Company, October 1978.

43. 日本原子力産業会議, 原子力資料 No 100-1978
44. SJ614-78-01, 財団法人 原子力安全研究協会,  
高レベル放射性廃棄物処分法の選択のための調査研究成果報告書(受託研究), 1978年3月
45. 三菱金属株式会社 : 昭和51年度 高レベル固体廃棄物の地層処分に関する調査研究報告書, 昭和52年3月
46. 東京天文台編纂 理科年表 昭和五十二年 丸善株式会社
47. 東京天文台編纂 理科年表 昭和五十四年 丸善株式会社
48. 改訂新版 地学概論 下巻 14版 朝倉書店
49. 横山 鼎, 鈴鹿和央共著 土木地学 3版 コロナ社
50. 高橋彦治著 土木技術者のための地質学 第4刷 鹿島出版会
51. 岡田篤正・安藤雅孝: 日本の活断層と地震, 科学 Vol. 49,  
1979 No. 3 岩波書店
52. 地下構造物の設計と施工 昭和51年9月 土木学会
53. 岩波 理化学辞典 第3版第9刷 岩波書店
54. 新版 地学辞典(全3巻) 古今書院
55. 機械工学便覧 改訂第6版 日本機械学会編

# 付 録

付 録 A 既往のフォールト ツリー

付 録 B 日本の地質特性について

## 付録A 既往のフォールト ツリー

本研究で参考とした、各国で作成された、高レベル放射性廃棄物の地層処分に関するフォールト ツリーを以下に示す。

### A-1. 一般的な地層への処分におけるフォールト ツリー

BNWL-1900<sup>35)</sup>

“HIGH-LEVEL RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT ALTERNATIVES”

より引用。

### A-2. 処分場を岩塩床に設けた場合のフォールト ツリー

EUR-5902EN<sup>9)</sup>

“Long-term risk assessment of radioactive waste disposal in geological formation”

より引用。

### A-3. 処分場を岩塩ドームに設けた場合のフォールト ツリー

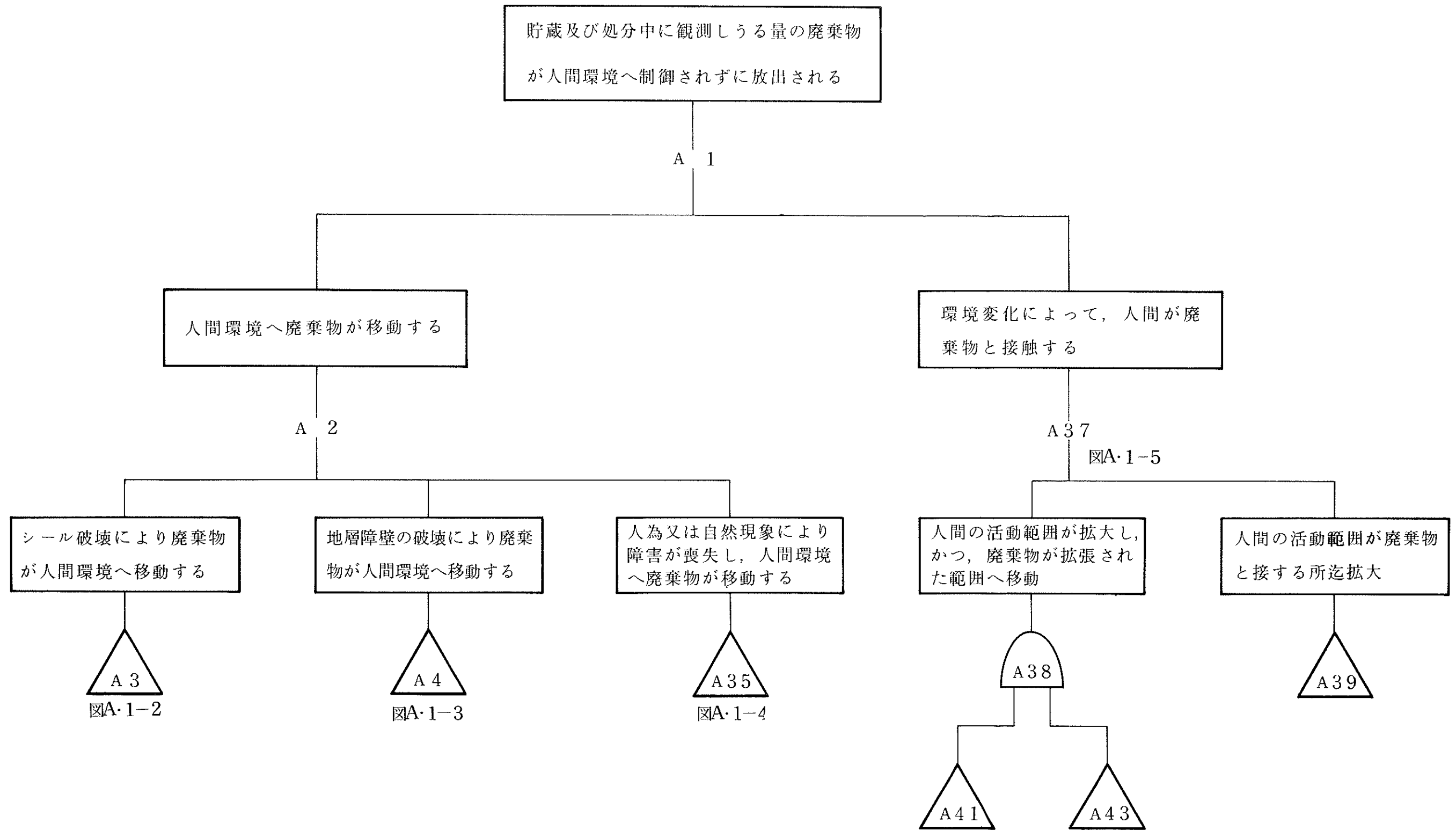
同 上

### A-4. 地質圏から環境モデルへの入力となる接触媒質（レセプター）への核種放出

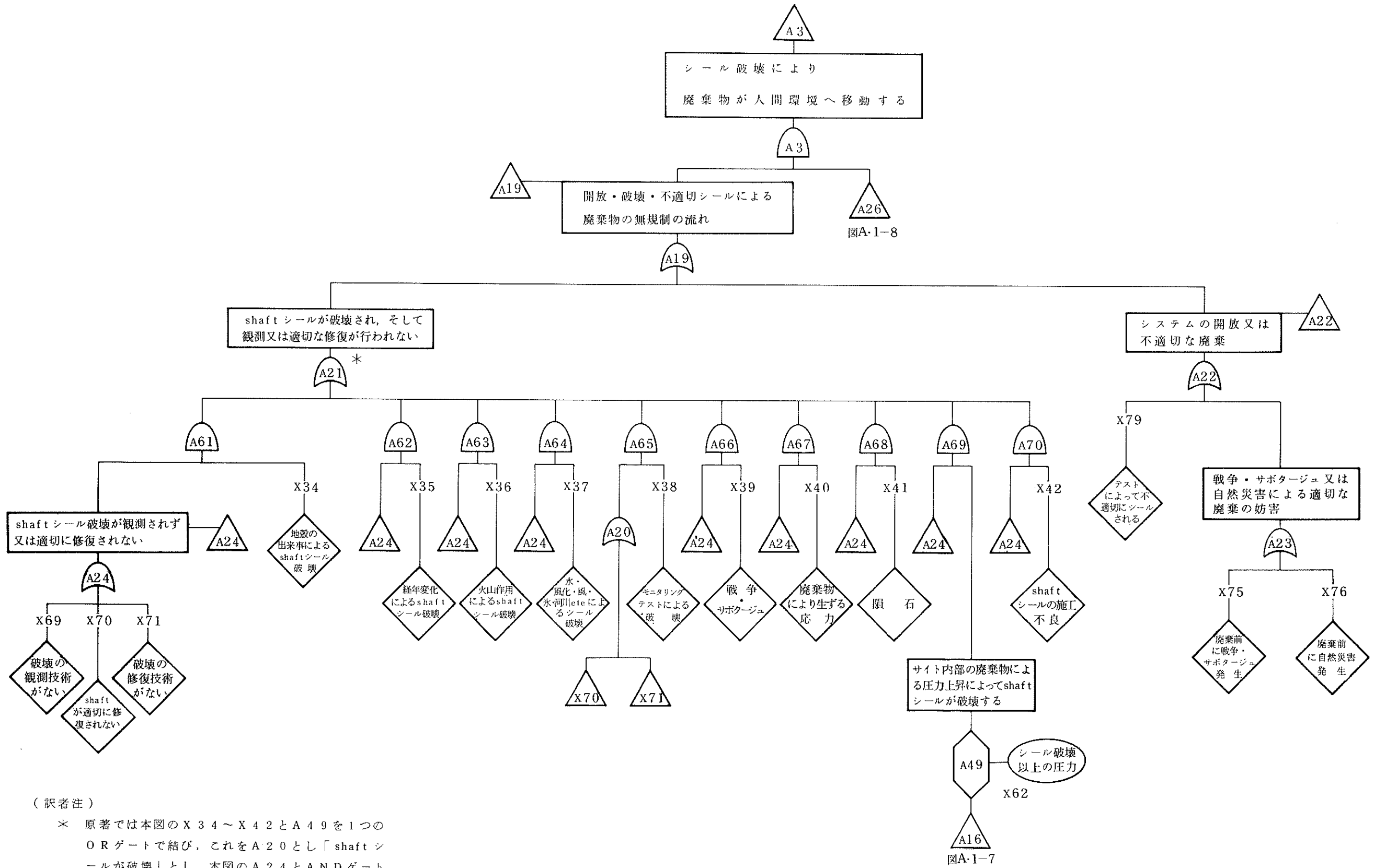
EPA 520/6-78-005<sup>36)</sup>

“Development and Application of a Risk Assessment Method for Radioactive Waste Management”

より引用。



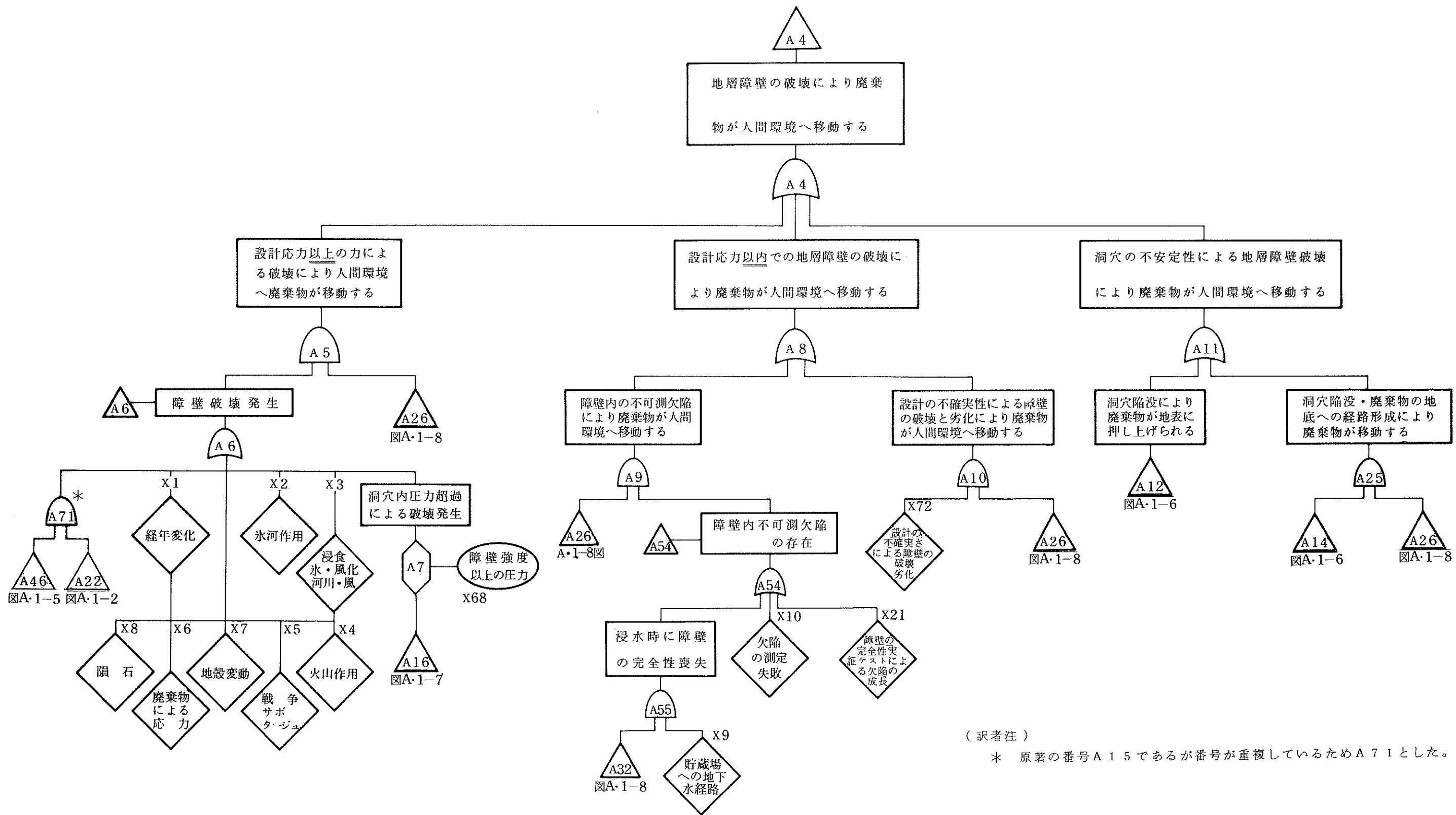
図A・1-1 一般的な地層への処分に於ける  
フォールト ツリー



(訳者注)

\* 原著では本図のX34~X42とA49を1つのORゲートで結び、これをA20とし「shaftシールドが破壊」とし、本図のA24とANDゲートで結びA21としている。従ってA61~A70は訳者にて番号をとった。

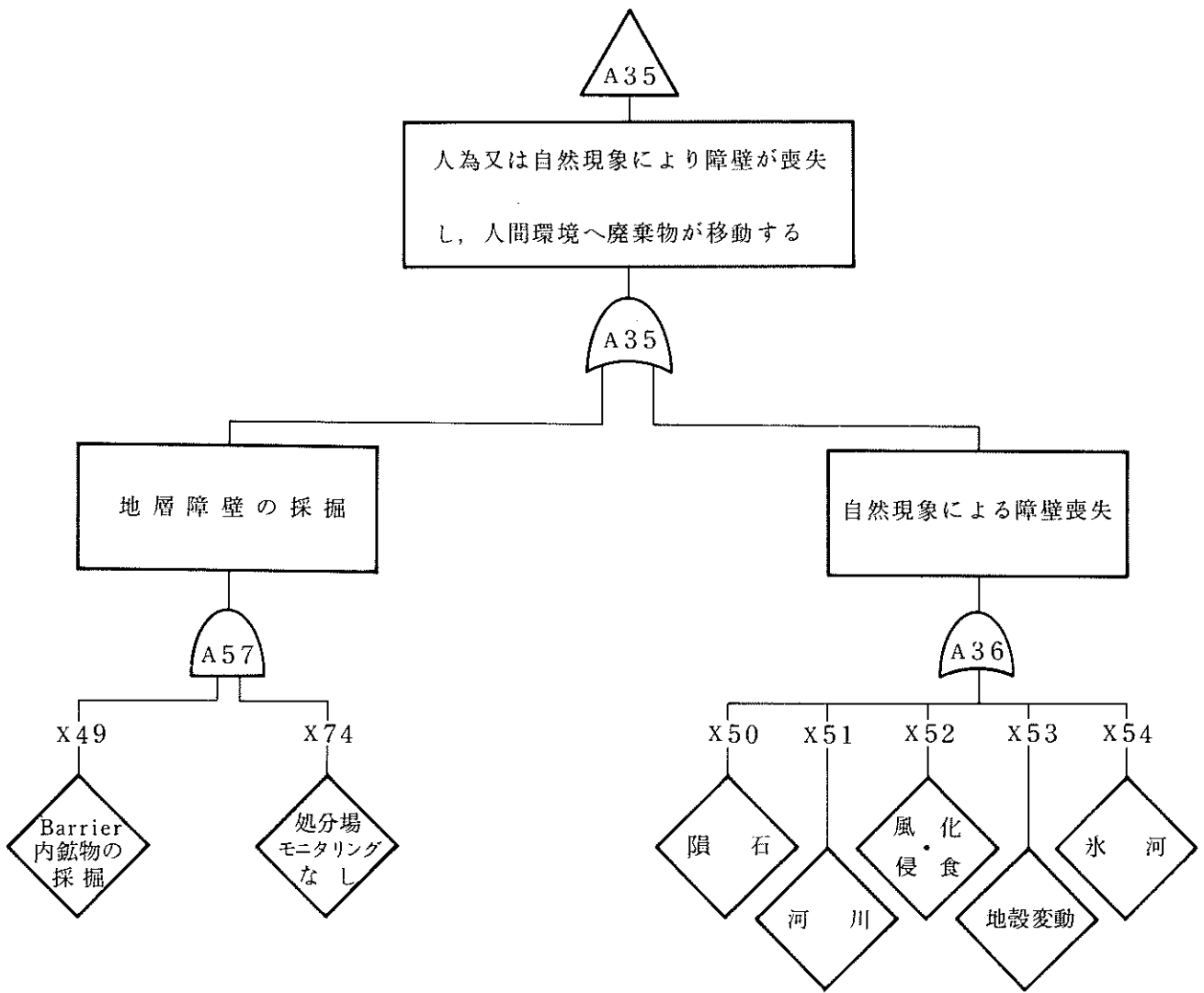
図A・1-2 シールド破壊による放出



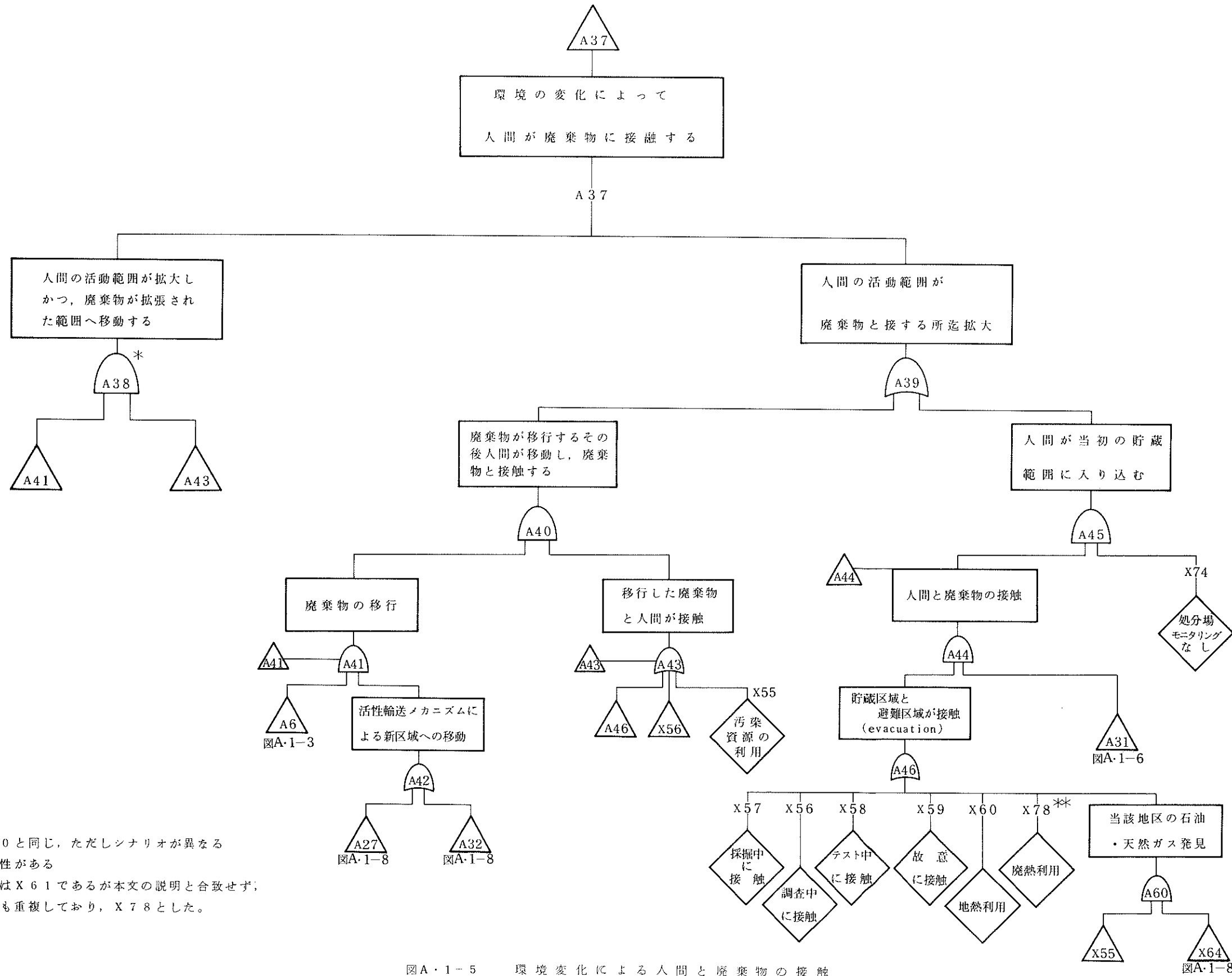
(訳者注)  
\* 原著の番号A15であるが番号が重複しているためA71とした。

図A・1-3 地層障壁の破壊による放出





図A・1-4 自然現象・人間の行為によって障壁が破損し、廃棄物が移動する



(訳者注)

\* A40と同じ、ただしシナリオが異なる可能性がある

\*\* 原著はX61であるが本文の説明と合致せず、番号も重複しており、X78とした。

図A・1-5 環境変化による人間と廃棄物の接触

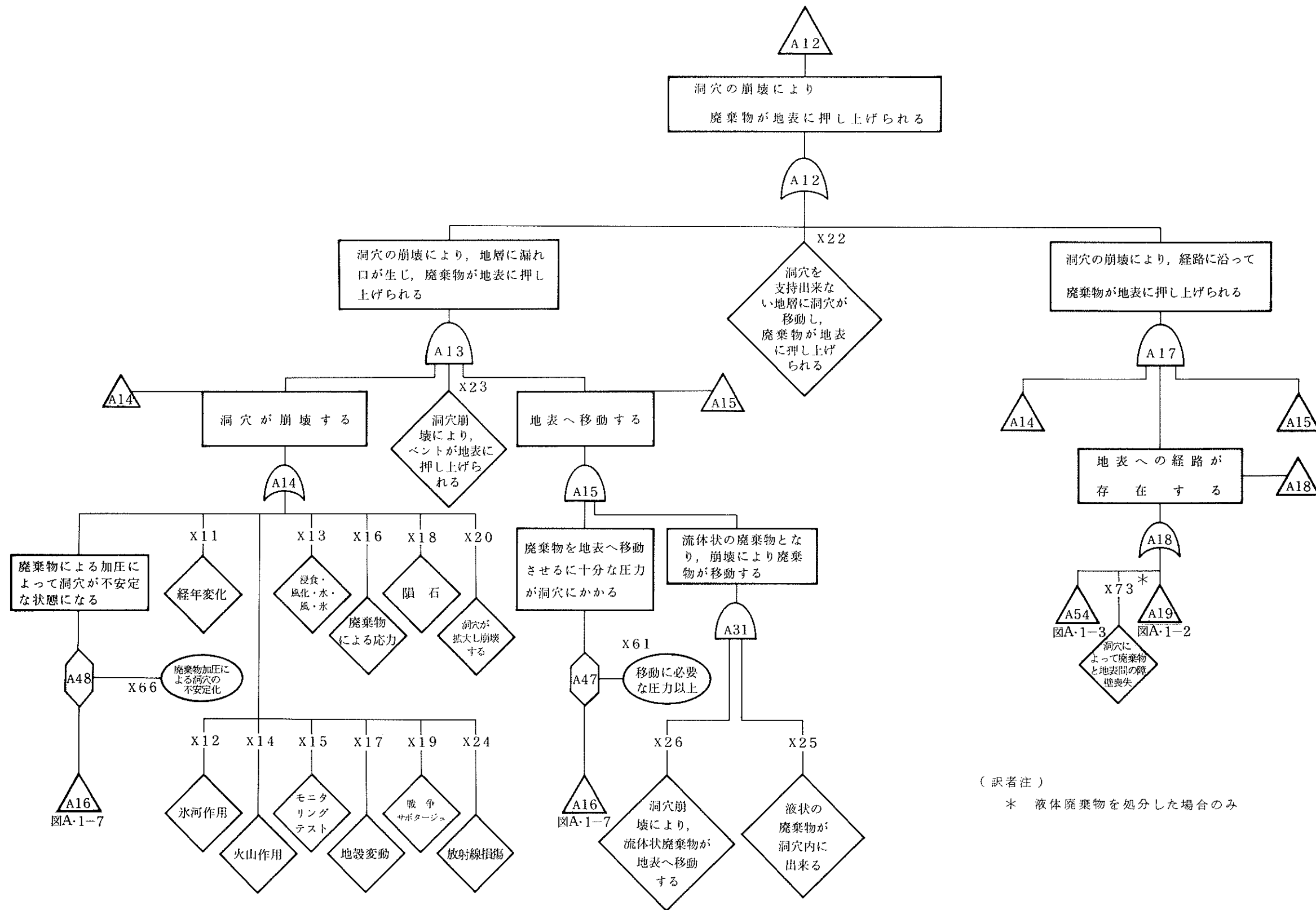
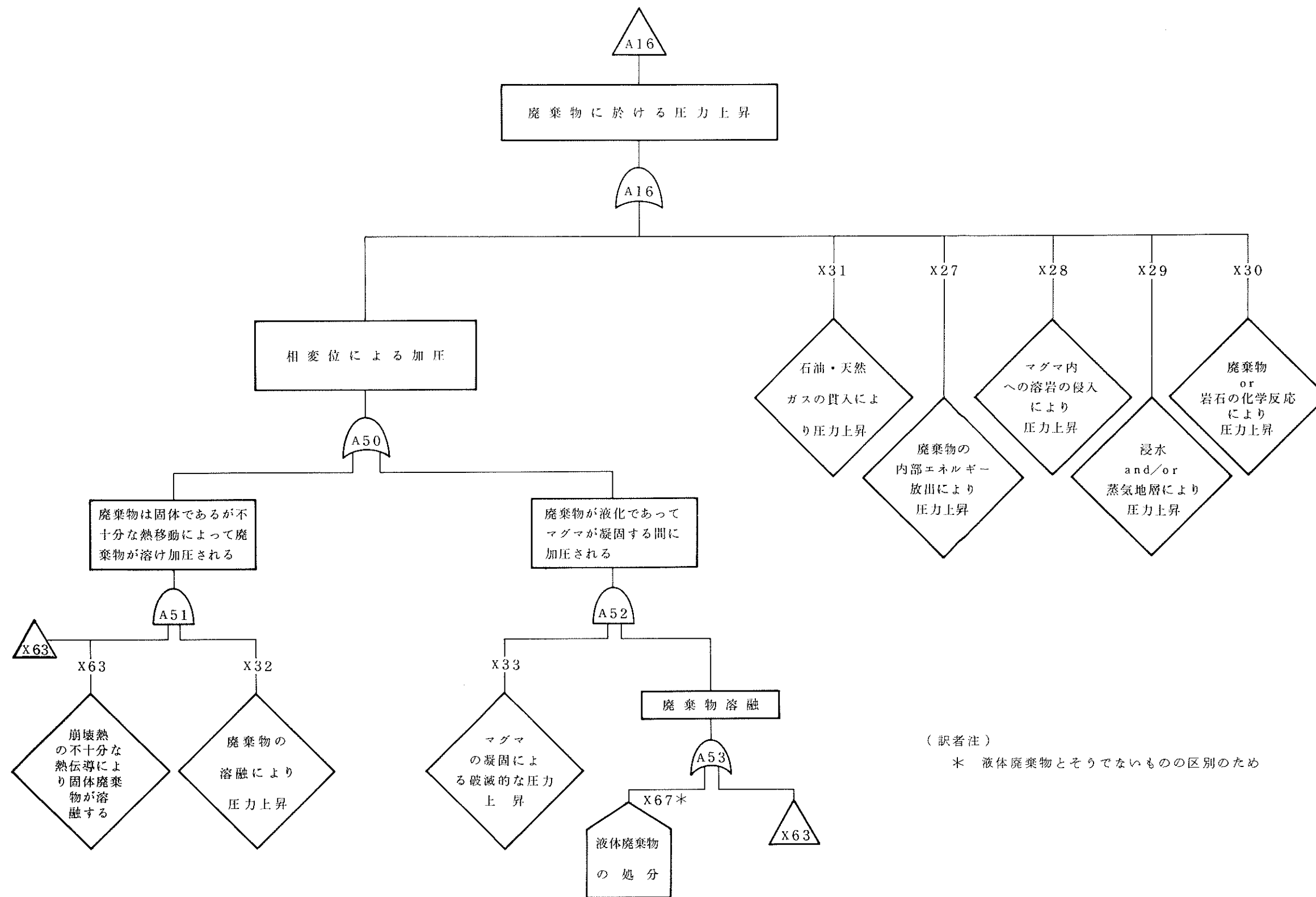


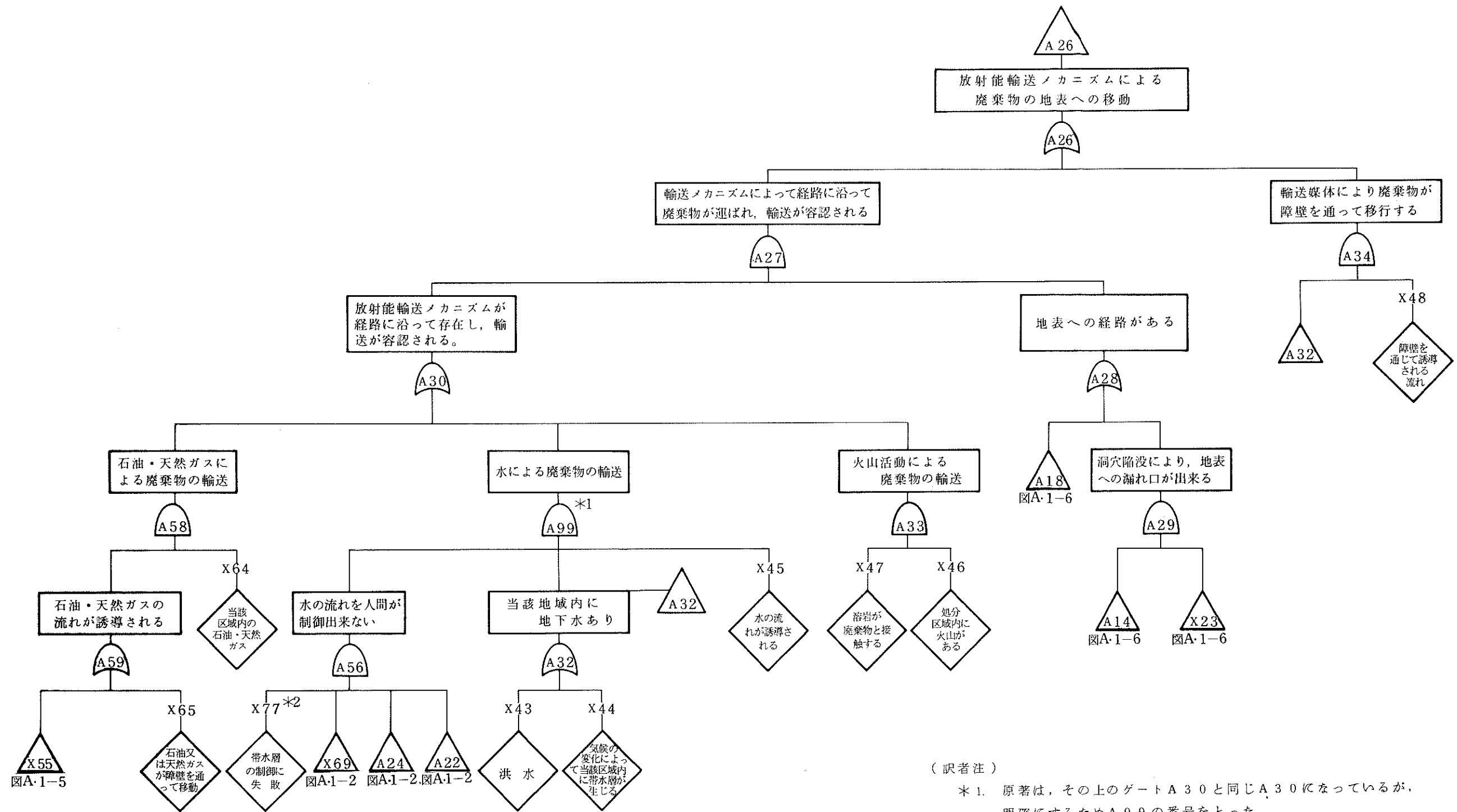
図 A・1-6 洞穴の崩壊

(訳者注)  
\* 液体廃棄物を処分した場合のみ



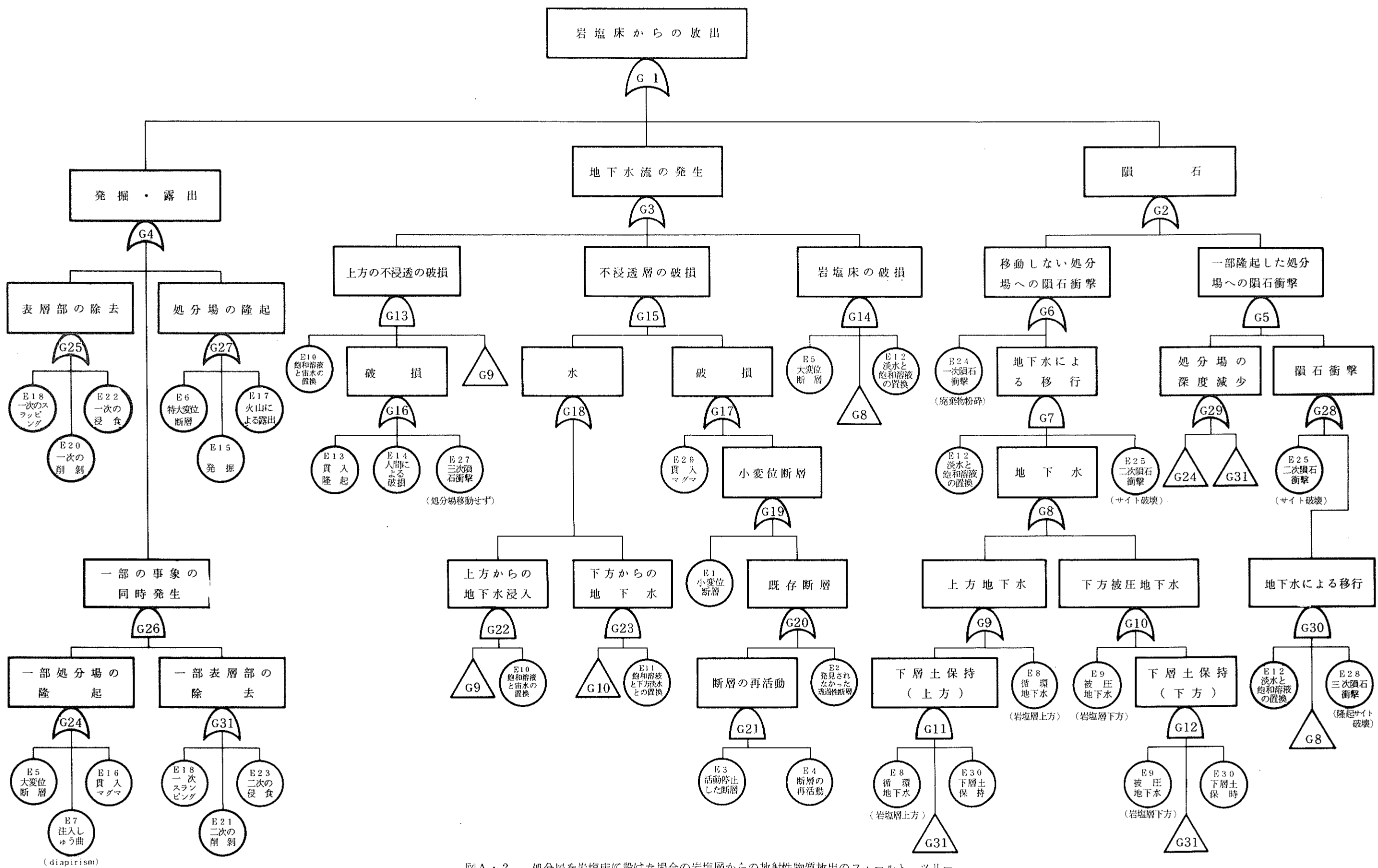
(訳者注)  
\* 液体廃棄物とそうでないものの区別のため

図A・1-7 廃棄物による圧力上昇



(訳者注)  
 \*1. 原著は、その上のゲートA30と同じA30になっているが、明確にするためA99の番号をとった。  
 \*2. 原著はX71であるが誤植と思われる。

図A・1-8 輸 送 メ カ ニ ズ ム



図A・2 処分場を岩塩床に設けた場合の岩塩層からの放射性物質放出のフォールト ツリー

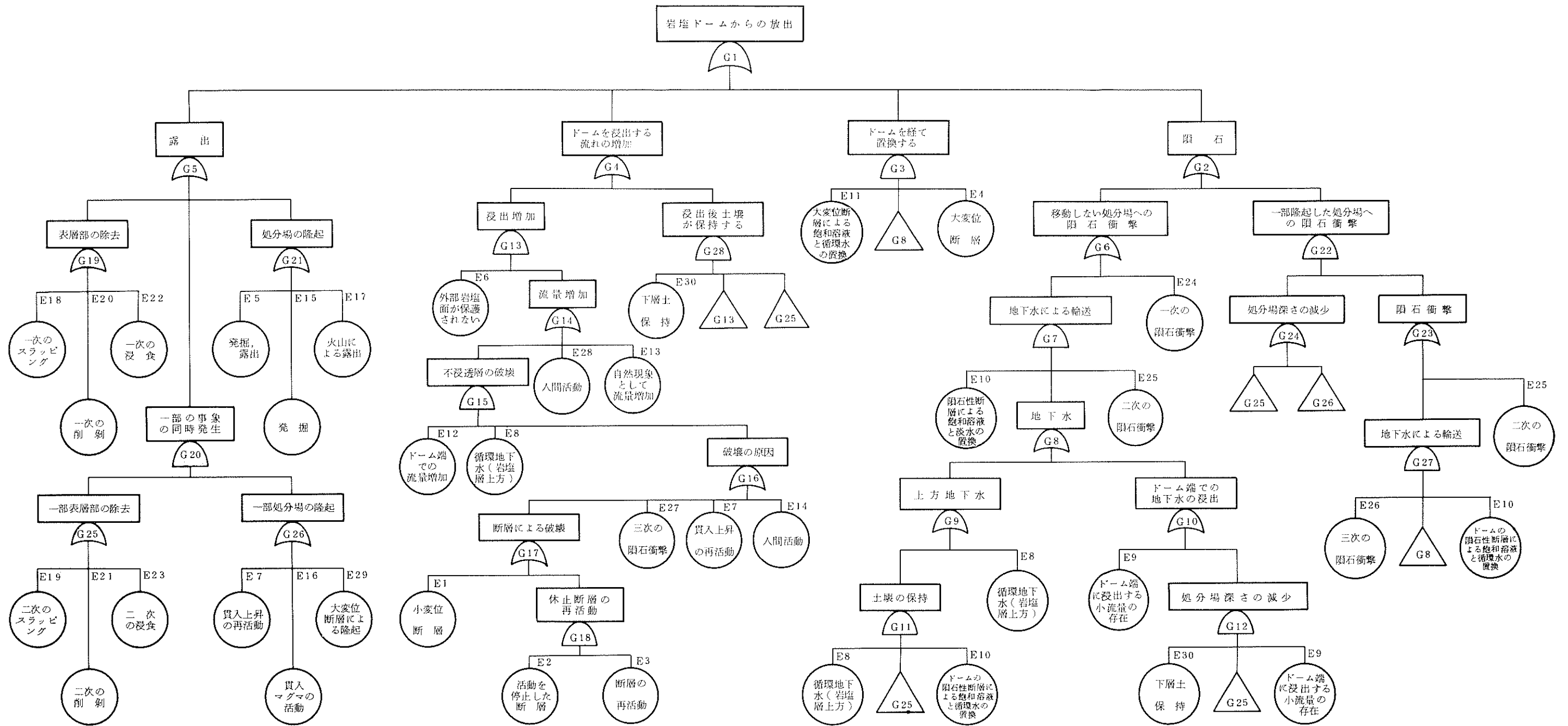


図 A・3 処分場を岩塩ドームに設けた場合の岩塩層からの放射性物質放出のフォールト ツリー

( A 2 3 )

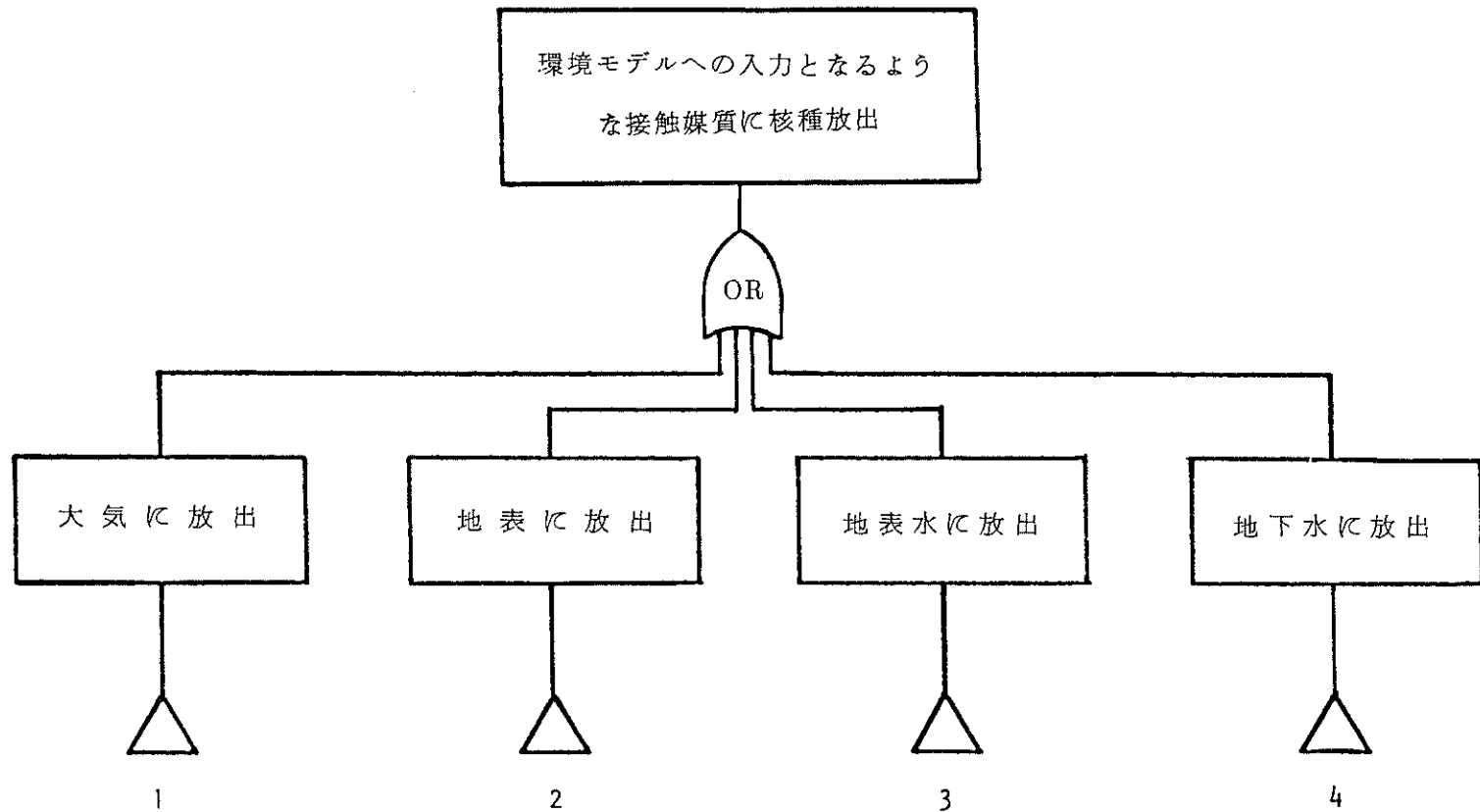
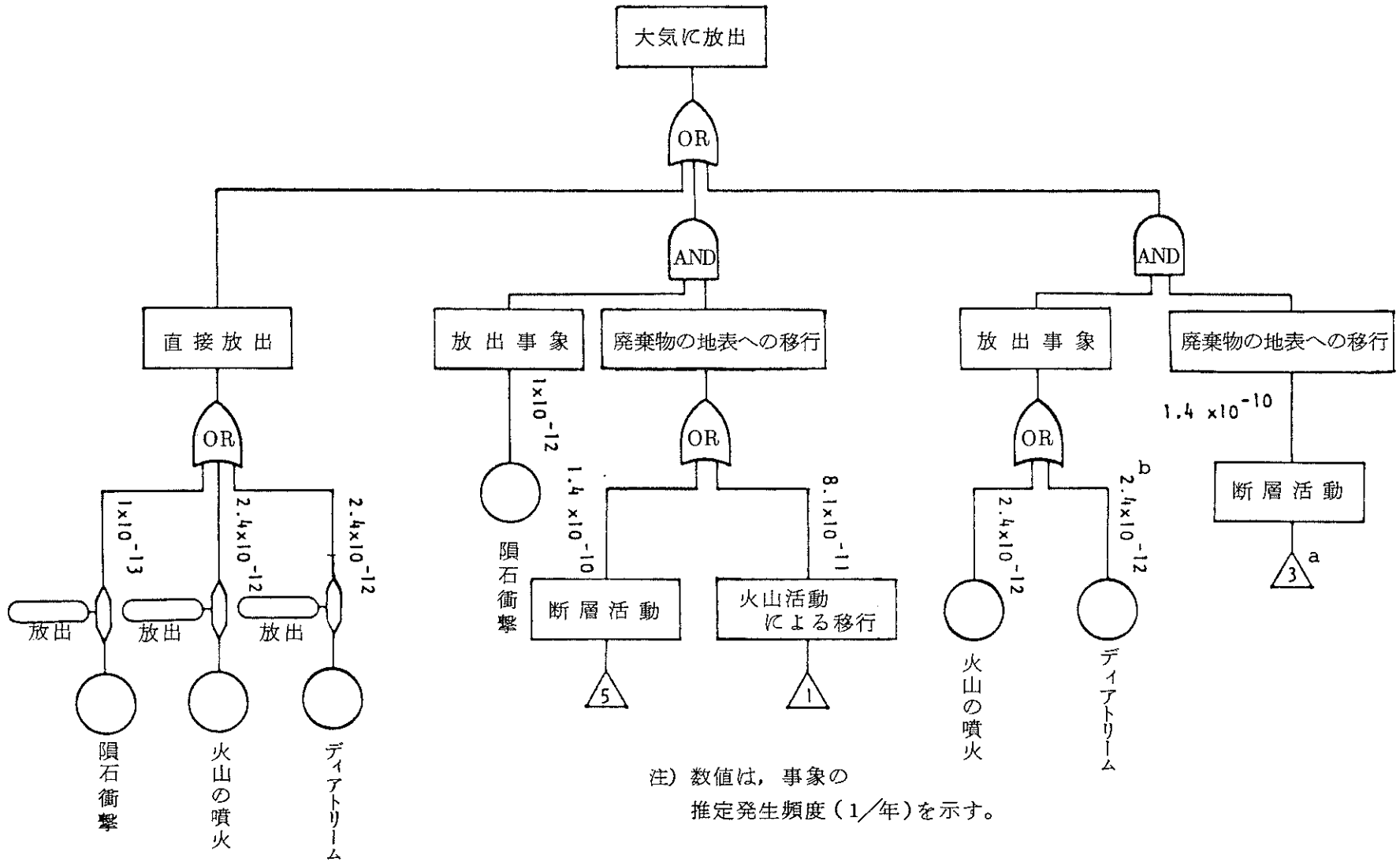


図 A-4 (1/8) 地質圏から環境モデルへの入力となる接触媒質<sup>\*</sup>(レセプター)への核種放出  
(注: 接触媒質は暫定的なものとする)



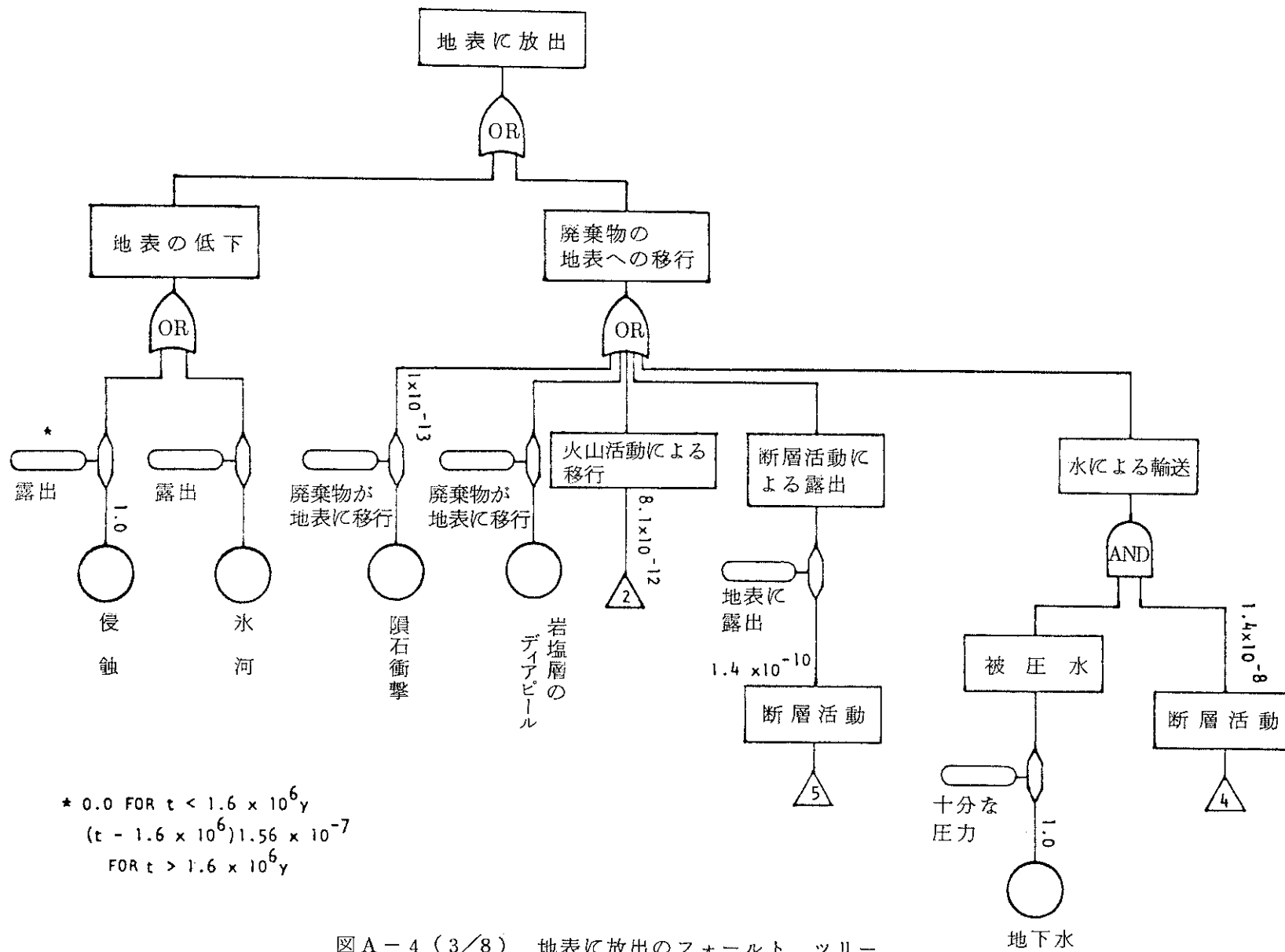
(A24)



注) 数値は、事象の  
推定発生頻度 (1/年) を示す。

図A-4 (2/8) 大気に放出のフォールト ツリー

( A 2 5 )



\*  $0.0$  FOR  $t < 1.6 \times 10^6 y$   
 $(t - 1.6 \times 10^6) 1.56 \times 10^{-7}$   
FOR  $t > 1.6 \times 10^6 y$

図 A-4 (3/8) 地表に放出のフォールト ツリー

( A 2 6 )

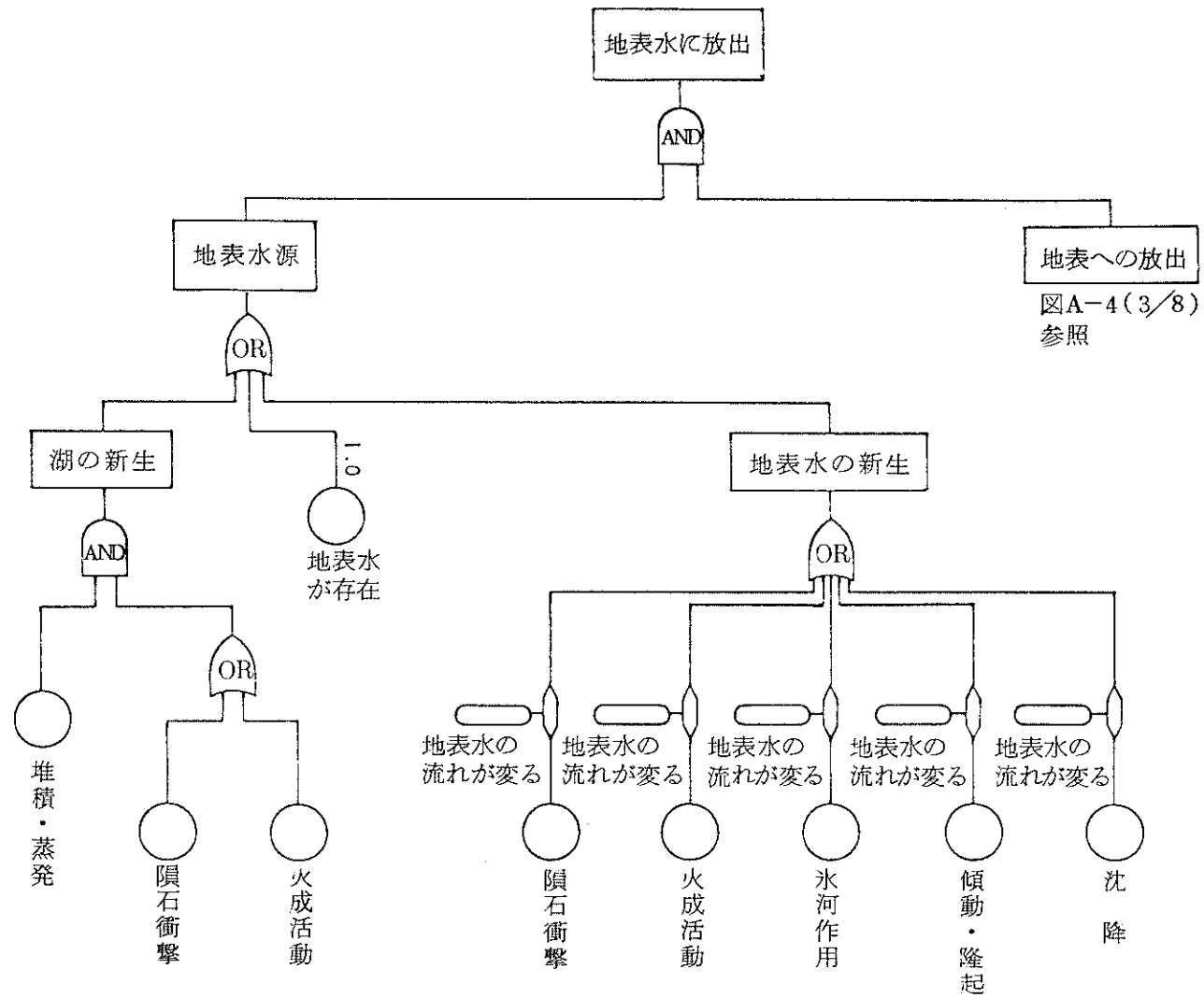


図 A - 4 ( 4 / 8 ) 地表水に放出のフォールト ツリー

(A 27)

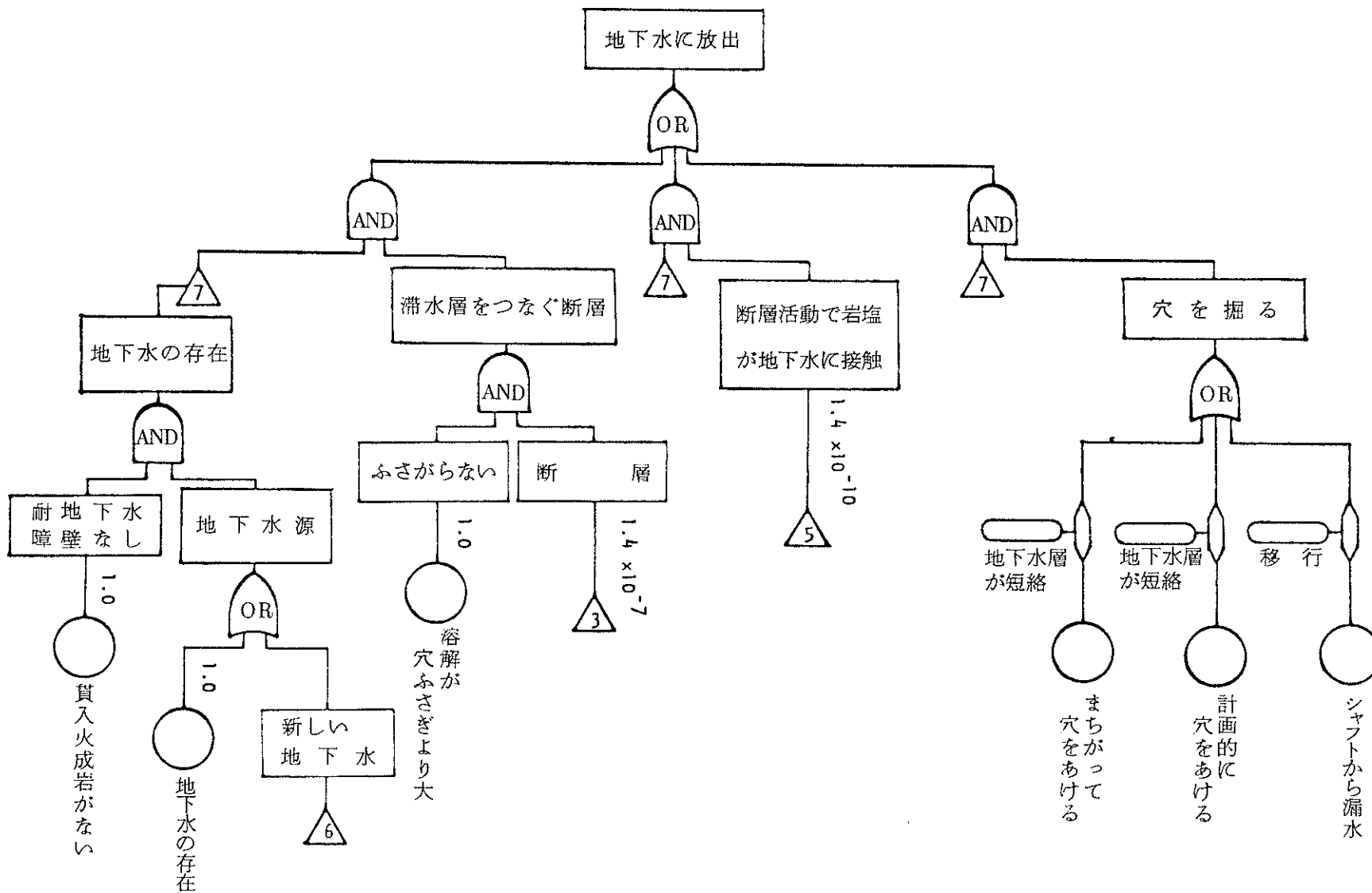


図 A-4 (5/8) 地下水に放出のフォールト ツリー

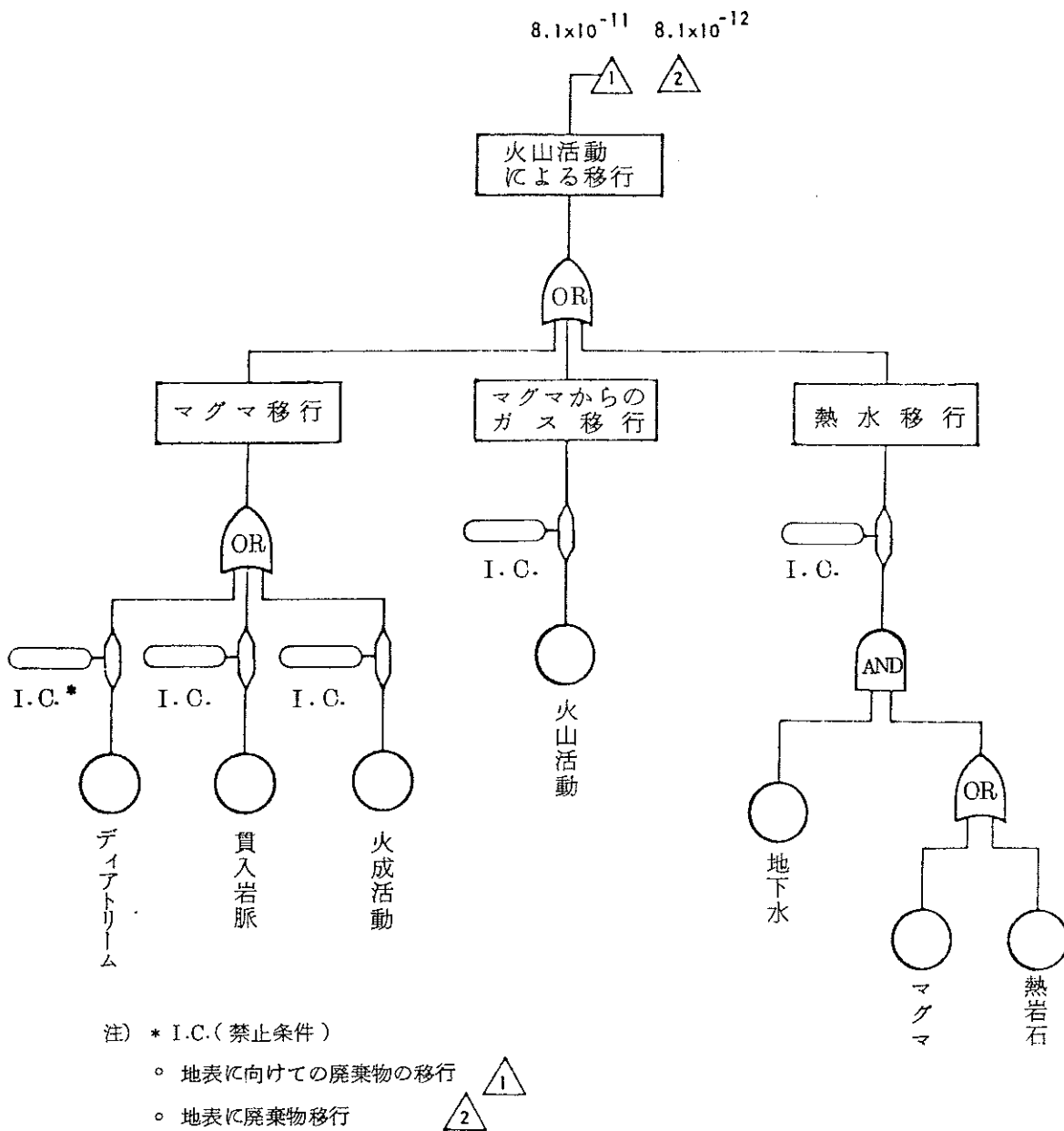
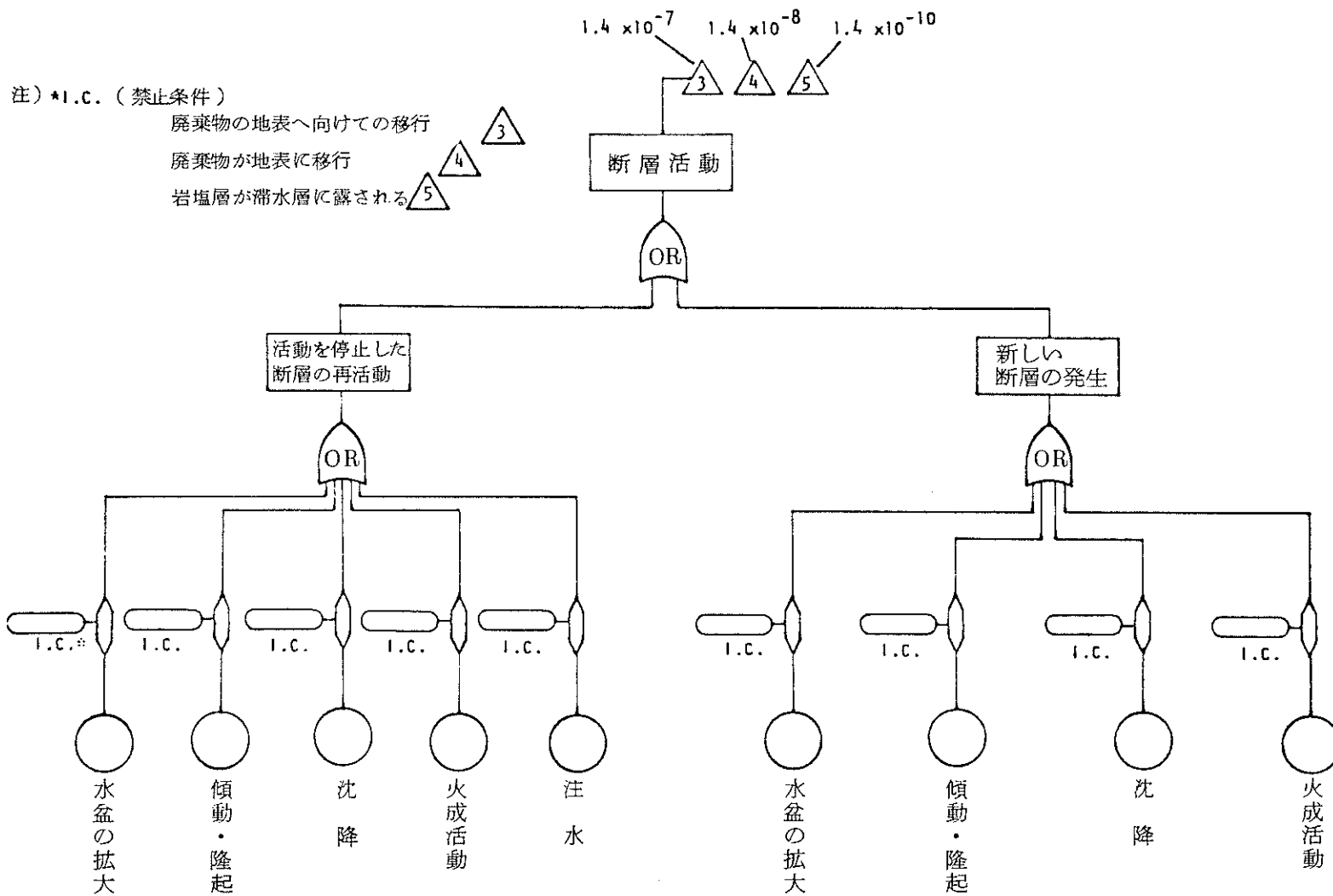
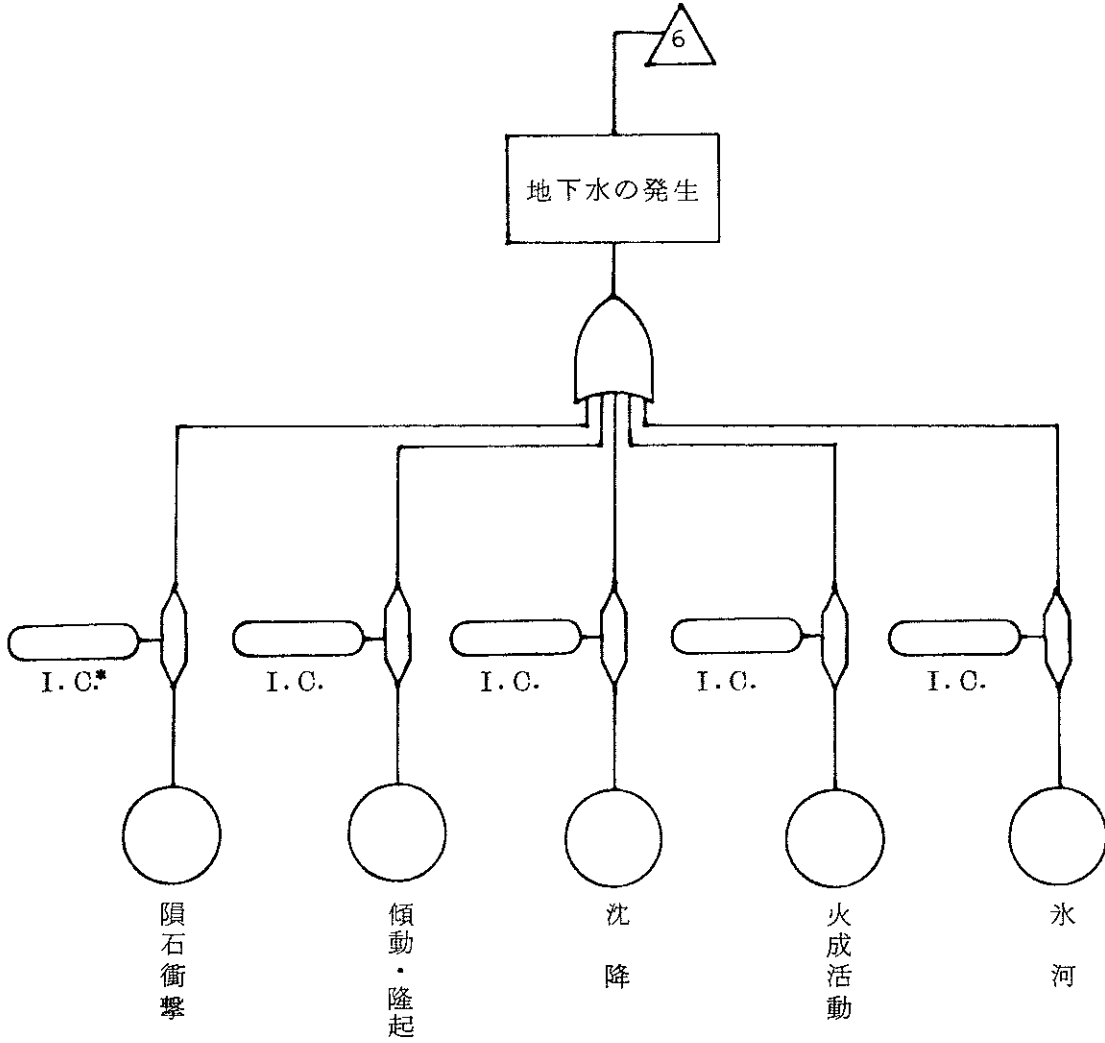


図 A-4 (6/8) 火山活動による移行におけるフォールトツリーの成分



( A 2 9 )

図 A-4 (7/8) 断層活動におけるフォールト ツリーの成分



注) \* サイト近傍に地下水あり

図A-4(8/8) 地下水の発生におけるフォールトツリーの成分

## 付録B 日本の地質特性について

本章では、高レベル放射性廃棄物の地層処分を行ううえで、考慮すべき地質学的特性について簡単な説明を行う。

### B.1. 概 略

日本列島は、世界でもめずらしい島弧<sup>\*</sup>が交差した地質構造を有し、プレート テクトニクスなどの影響によって、複雑な地殻変動を受け、概して不安定な構造となっている。また、世界でも有数の地震国であり、その成因については意見の分れる所であるが、プレート、活断層、などの影響と考えられ、すでに何らかの地殻変動を受けた地層がほとんどであろう。

高レベル放射性廃棄物の地層処分を実施するためには、上記の特徴から次のような自然現象を考えなければならないであろう。

- (1) 地 震
- (2) 活断層
- (3) 活褶曲
- (4) 傾 動
- (5) 隆起・沈降
- (6) 侵 蝕
- (7) 地すべり
- (8) 蒸気・熱水による作用
- (9) 火山活動
- (10) 気候変化
- (11) 氷河作用
- (12) そ の 他

---

\* 日本列島を構成する島弧については、東北日本マリアナ弧と西南日本-琉球弧が中央日本で合一したものと考えられる。



## B.2 各 論

前節で述べた自然現象について若干の検討を以下に示す。

### 1) 地 震

地震の発生の機構については、未だ十分に解明されていないが、次項の活断層とは深い関係があり、断層活動に伴ってほとんど地震が発生している。地震の発生によって地層が受ける影響は鉱山の状況などから類推して、かなり小さいのではないと思われるが、間接的な影響（地下水流の変化、<sup>\*</sup>など）が考えられ、発生頻度の高いことからその影響度の解明が必要となる。

### 2) 活 断 層

活断層は、第4紀（約200万年前）において活動している、または活動したことのある断層で、日本では、ほとんどが活断層の活動あるいは再活動と考えられる。活断層は、図B.1に示すように、日本全国に分布している。断層活動による地層への影響は、

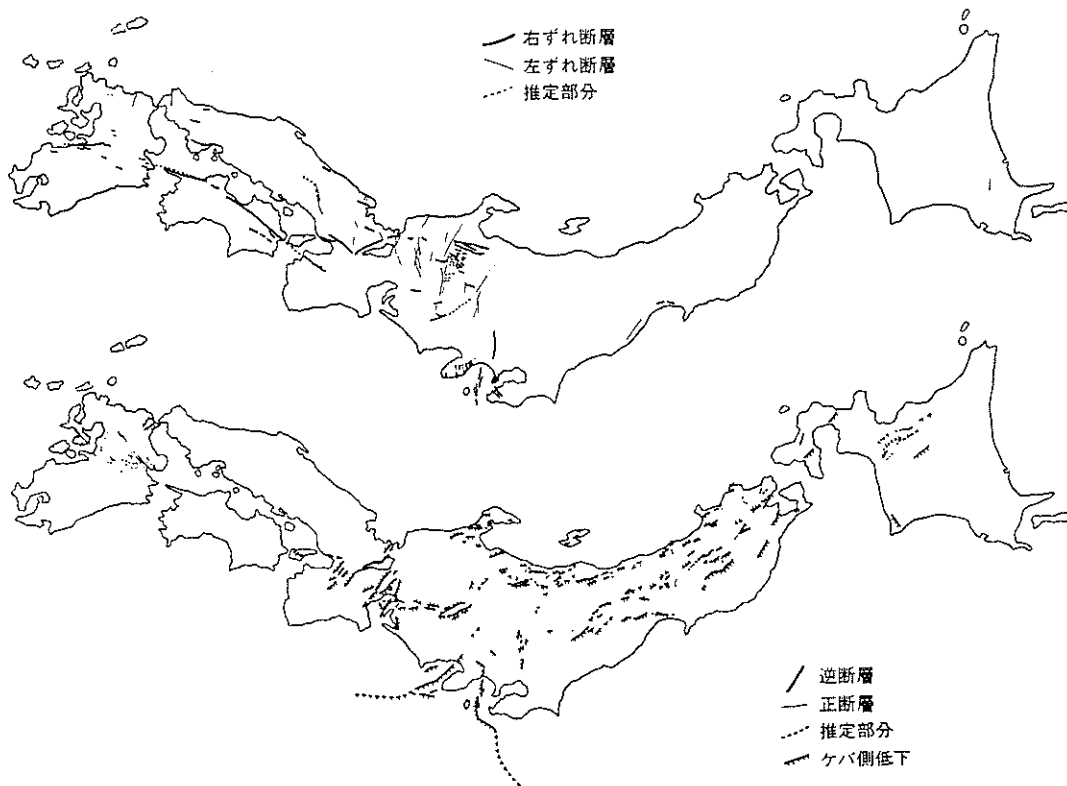


図 B.1 横ずれ活断層と縦ずれ活断層の分布（文献 51）より引用）

\* この点については、地下水による地震の発生が知られており、いずれが主因か不明である。

断層面の通り方に選択性があり、特定の地点について地質構造を詳細に把握することが必要である。地層処分に対する影響は、破断面を伝わってサイトに至る水の流れの発生（地下水流の変化）、サイト破損などが考えられる。

### 3) 活 褶 曲

東北日本、上越のいくつかの地域では、波長数 km の褶曲運動が第 4 紀にはいつて以来、現在まで引きつづいて起っていると推定されている。第 4 紀での褶曲の振幅増加は、だいたい数 10 cm と見られ、今後、数万年のオーダーでは無視できても、100 万年間の長期においては、その振幅はさらに大きくなり、地震・断層などを伴うことが考えられる。

### 4) 傾 動

日本には、傾動運動により生じた山地が少なくない（鈴鹿山脈・養老山脈 等）。関東地方では傾動運動が現世においてもあり、その速さは、 $10\sim 100\text{ cm}/1000\text{ 年}$ 、 $0.1\sim 1\text{ ‰}/1\text{ 万年}$ と言われている。この速さは、100 万年後にサイトが  $10^\circ$  傾く速さである。

### 5) 隆起・沈降

隆起・沈降は、褶曲・傾動などの結果生じる現象である。これらの現象によってサイトにおよぼされる影響としては、隆起の場合には侵蝕の促進、沈降の場合にはサイト上方での湖の発生などが考えられる。

### 6) 侵 蝕

日本での侵蝕速度は、山岳部で  $10\text{ m}/1000\text{ 年}$ 、平野部で  $1\text{ cm}/1000\text{ 年}$  という世界でも高い値をもつ。気候の変化（降雨量の増加・氷河期の海水面の低下）、また隆起などにより侵蝕速度は著しくなると思われる。100 万年という期間で考えた場合、山岳地帯では数 km の侵蝕量が予測されるが、平野部においてはほとんど無視することができるであろう。

### 7) 地すべり

地すべりは、表層部での現象であり、岩質、気候条件、地殻変動量などの要素によってその頻度・影響度にかかなりのちがいがある。地すべりが発生しやすい所は、傾斜面であり、平野部においてはほとんど無視される。また、地層処分においては表層部のみが問題となることから、全体としてはその影響は低いと思われる。

しかしながら、処分期間中での地すべりを考慮した場合、日本の岩質分布、気候条件、地形条件、などの情報の整理が望まれる。

#### 8) 蒸気・熱水による作用

日本は世界有数の地熱地帯であり、地下の蒸気、熱水などによる岩盤・工学施設（キャニスター、など）の力学的・化学的破損をもたらす可能性がある。これは、火山の活動と深い関係があり、サイト選定によって無視することができるであろう。

#### 9) 火山活動

日本列島は環太平洋火山帯に属し、世界有数の火山国であり、地層処分においてその影響度の高いことから最も重要な事象と考えられる。しかしながら、火山の分布は、火山帯前縁<sup>\*</sup>によって特徴づけられ、その地域に火山が集中し、その線よりも海岸側では火山が見られない。たとえば、東北地方の太平洋側は火山がない。そこで、地層処分を実施するには、このような火山帯前縁よりも太平洋側の地域を選択すべきである。

#### 10) 気候変化

気候変化は、今後1000年、1万年という地質学的に短い時間でも十分考えられる。気候の変化によって発生するであろう現象としては、前出の侵蝕、地すべり、の他に次項の氷河作用、さらに、岩体の風化などが考えられる。しかし、これらは表層部への影響であり、サイトへの寄与は十分無視できる。

#### 11) 氷河作用

氷河期が日本をおそうのは、今後数万年のオーダーではほとんどないと思われ、また北緯35°以南においては過去のデータから、100万年間を見ても氷河がおおうことはないと思われる。また、氷河期には海水面の後退が生じ、海岸線の侵蝕が考えられる。

#### 12) その他

自然現象ではないが、国土が狭く人口が多いわが国では、トンネル工事・採掘などによる地層の損傷も十分に考慮せねばならない。

---

\* 島弧または海岸山脈にそって火山帯の太平洋側の前縁