

# 概要調査地区選定上の 考慮事項の背景と技術的根拠

—「概要調査地区選定上の考慮事項」の説明資料—

2004年6月

原子力発電環境整備機構

2004年3月 初版発行

2004年6月 第2版発行

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

〒108-0014 東京都港区芝4丁目1番地23号 三田 NNビル2階  
原子力発電環境整備機構 技術部

電話 03-4513-1114 (技術部) FAX 03-4513-1599

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:

Science and Technology Department

Nuclear Waste Management Organization of Japan

Mita NN Bldg. 1-23, Shiba 4-chome, Minato-ku, Tokyo 108-0014 Japan

©原子力発電環境整備機構

(Nuclear Waste Management Organization of Japan) 2004

# 目 次

第1章 はじめに	1-1
1.1 本書の目的	1-1
1.2 本書の構成	1-1
第2章 概要調査地区の選定について	2-1
2.1 概要調査地区等の選定手順・選定実施方法，概要調査地区選定の位置付け	2-1
2.1.1 最終処分法に定められている概要調査地区等の選定手順	2-1
2.1.2 原環機構による概要調査地区等の選定の実施方法	2-4
2.1.3 概要調査地区選定の位置付け	2-8
2.2 文献調査の内容と対象範囲等の考え方及び概要調査地区の範囲の設定と補足的な調査	2-9
2.2.1 文献調査の内容，文献調査の対象範囲，文献収集の方法及び文献・資料の品質の 考え方	2-9
2.2.2 概要調査地区の範囲の設定と補足的な調査	2-16
2.3 概要調査の内容	2-19
2.4 第2章のまとめ	2-21
参考資料-1 最終処分法制定までのサイト選定プロセスの検討経緯	2-22
参考資料-2 証拠に基づく意思決定支援理論（ESL）の手法の概要	2-25
第2章 参考文献	2-27
第3章 日本の地質環境と将来予測	3-1
3.1 日本列島の地質概要	3-2
3.1.1 日本の地質分布と地質構造区分	3-2
3.1.2 日本列島の地層分布	3-5
3.1.3 3.1節の整理	3-13
3.2 日本列島の地質構造変遷	3-13
3.2.1 日本海拡大以降のプレートシステムの変遷	3-14
3.2.2 日本列島周辺のプレート運動の状況	3-40

3.2.3	3.2 節の整理	3-43
3.3	地震等の自然現象の発生の場と特徴	3-44
3.3.1	地震・断層活動	3-44
3.3.2	火山・火成活動	3-58
3.3.3	隆起・沈降, 侵食	3-78
3.3.4	気候変動・海水準変動	3-86
3.3.5	3.3 節の整理	3-91
3.4	将来予測の考え方	3-93
3.4.1	将来予測の基本的な考え方	3-93
3.4.2	日本列島周辺のプレートシステム・広域的な造構応力状態の変遷の具体的根拠	3-95
3.4.3	3.4 節の整理	3-104
3.5	第3章のまとめ	3-105
	第3章 参考文献	3-106
<b>第4章</b>	<b>考慮事項の設定と適用</b>	<b>4-1</b>
4.1	考慮事項設定の基本方針	4-1
4.2	考慮事項の分類	4-1
4.3	考慮事項の除外基準の設定の考え方	4-2
4.4	考慮事項の内容	4-3
4.4.1	法定要件に関する事項	4-8
4.4.2	付加的に評価する事項	4-9
4.5	考慮事項の適用とその手順及び段階別評価の考え方	4-10
4.5.1	考慮事項の適用とその手順	4-10
4.5.2	段階別評価の考え方	4-12
4.6	考慮事項の設定作業の流れ	4-13
4.7	第4章のまとめ	4-15
	第4章 参考文献	4-17

第5章 考慮事項各論 .....	5-1
5.1 法定要件に関する事項「地震」 .....	5-1
5.1.1 「地震」に関する設定の考え方 .....	5-1
5.1.2 「断層活動」に関する「全国一律に評価する事項」の内容とその設定根拠 .....	5-2
5.1.3 「断層活動」に関する「個別地区ごとに評価する事項」の内容とその設定根拠 .....	5-5
5.1.4 「断層活動」に関する精密調査地区選定段階以降の調査・評価の考え方 .....	5-20
5.1.5 「断層活動」が周辺岩盤に及ぼす力学的・水理学的影響について .....	5-20
5.1.6 「ゆれ」(地震動)について .....	5-20
5.1.7 「地質環境の変化」について .....	5-23
5.2 法定要件に関する事項「噴火」 .....	5-24
5.2.1 「噴火」に関する設定の考え方 .....	5-24
5.2.2 「火成活動」に関する「全国一律に評価する事項」の内容とその設定根拠 .....	5-25
5.2.3 「火成活動」に関する「個別地区ごとに評価する事項」の内容とその設定根拠 .....	5-32
5.2.4 「火成活動」に関する精密調査地区選定段階以降の調査・評価の考え方 .....	5-43
5.3 法定要件に関する事項「隆起・侵食」 .....	5-43
5.3.1 「隆起・侵食」に関する設定の考え方 .....	5-43
5.3.2 「隆起・侵食」に関する「個別地区ごとに評価する事項」の内容とその設定根拠 .....	5-44
5.3.3 「隆起・侵食」に関する精密調査地区選定段階以降の調査・評価の考え方 .....	5-52
5.4 法定要件に関する事項「第四紀の未固結堆積物」 .....	5-52
5.4.1 「第四紀の未固結堆積物」に関する設定の考え方 .....	5-52
5.4.2 「第四紀の未固結堆積物」に関する「個別地区ごとに評価する事項」の内容とそ の設定根拠 .....	5-53
5.4.3 「第四紀の未固結堆積物」に関する精密調査地区選定段階以降の調査・評価の考 え方 .....	5-55
5.5 法定要件に関する事項「鉱物資源」 .....	5-55
5.5.1 「鉱物資源」に関する設定の考え方 .....	5-55
5.5.2 「鉱物資源」に関する「個別地区ごとに評価する事項」の内容とその設定根拠 .....	5-55

5.5.3 「鉍物資源」に関する精密調査地区選定段階以降の調査・評価の考え方	5-60
5.6. 付加的に評価する事項	5-60
5.6.1 付加的に評価する事項の設定	5-60
5.6.2 付加的に評価する事項の考え方	5-62
5.6.3 付加的に評価する事項の調査・評価内容	5-62
5.6.4 付加的に評価する事項による評価	5-67
参考資料-3 地震動の弾性波動論	5-68
参考資料-4 多属性効用解析 (MAA) の概要	5-70
第5章 参考文献	5-71
用語集	用-1~18

## 目 次

### 第2章

図 2.1.2-1	概要調査地区等の選定過程	2-6
図 2.2.2-1	概要調査地区の範囲の概念図	2-17
図 2.2.2-2	概要調査地区の範囲の設定例 (1)	2-17
図 2.2.2-3	概要調査地区の範囲の設定例 (2)	2-18
図 2.2.2-4	概要調査地区の範囲の設定例 (3)	2-18

### 第3章

図 3.1.1-1	日本列島の地質分布	3-3
図 3.1.1-2	日本の地質構造区分 (A) 先新第三紀, (B) 新第三紀及び第四紀	3-4
図 3.1.2-1	日本列島の堆積岩分布	3-9
図 3.1.2-2	日本列島の火山岩分布	3-10
図 3.1.2-3	日本列島の深成岩分布	3-11
図 3.1.2-4	日本列島の変成岩分布	3-12
図 3.2.1-1	プレート配置図の作成フロー	3-15
図 3.2.1-2	日本列島周辺のプレート配置図 (30Ma 以前)	3-25
図 3.2.1-3	日本列島周辺のプレート配置図 (30Ma)	3-26
図 3.2.1-4	日本列島周辺のプレート配置図 (25Ma)	3-27
図 3.2.1-5	日本列島周辺のプレート配置図 (20Ma)	3-28
図 3.2.1-6	日本列島周辺のプレート配置図 (17Ma)	3-29
図 3.2.1-7	日本列島周辺のプレート配置図 (15~14Ma)	3-30
図 3.2.1-8	日本列島周辺のプレート配置図 (13~8Ma)	3-31
図 3.2.1-9	日本列島周辺のプレート配置図 (6Ma)	3-32
図 3.2.1-10	日本列島周辺のプレート配置図 (4Ma)	3-33
図 3.2.1-11	日本列島周辺のプレート配置図 (3Ma)	3-34

図 3.2.1-12	日本列島周辺のプレート配置図 (1.8Ma)	3-35
図 3.2.1-13	日本列島周辺のプレート配置図 (1Ma)	3-36
図 3.2.1-14	日本列島周辺のプレート配置図 (0.5Ma)	3-37
図 3.2.1-15	日本列島周辺のプレート配置図 (0.1Ma)	3-38
図 3.2.1-16	日本列島周辺のプレート配置図 (現在)	3-39
図 3.2.2-1	日本列島周辺のプレート運動	3-41
図 3.2.2-2	日本列島周辺のプレート境界	3-42
図 3.3.1-1	断層運動の様式による地震の分類と応力分布	3-45
図 3.3.1-2	断層モデルと断層パラメータ	3-46
図 3.3.1-3	現代の地震モデル	3-47
図 3.3.1-4	1995 年兵庫県南部地震におけるずれの伝播	3-48
図 3.3.1-5	日本列島及びその周辺で発生する地震のタイプ	3-48
図 3.3.1-6	200 万分の 1 日本列島活断層図	3-52
図 3.3.1-7	日本周辺海域の第四紀地質構造図	3-53
図 3.3.1-8	活断層区	3-54
図 3.3.1-9	日本列島の地体構造区分図	3-55
図 3.3.1-10	活断層の累積変位量と断層変位基準の年代との関係	3-57
図 3.3.1-11	活断層の活動間隔と平均変位速度の関係	3-58
図 3.3.2-1	日本の第四紀火山の分布	3-59
図 3.3.2-2	第四紀火山分布と深発地震面深度	3-60
図 3.3.2-3	東北日本における火山フロントから各火山までの距離及び噴出量	3-60
図 3.3.2-4	那須火山帯 (a) 及び鳥海火山帯 (b) の地形断面図と火山分布図 (c)	3-62
図 3.3.2-5	東北日本の第四紀火山の分布	3-62
図 3.3.2-6	地震波の P 波速度の異常を示すマントルトモグラフィ	3-63
図 3.3.2-7	マントル内の指状の高温領域と火山帯の分布	3-63
図 3.3.2-8	関東地方周辺地域における火山帯の分布	3-64
図 3.3.2-9	伊豆・マリアナ弧で認められるプレートの沈み込み角度と火山弧の幅の変化	3-64



図 3.3.2-10	日本列島における第四紀火山の時空分布	3-67
図 3.3.2-11	東北日本弧における各時代の火山フロント	3-68
図 3.3.2-12	西南日本に分布する独立単成火山群の噴出年代	3-68
図 3.3.2-13	仙岩地域における第四紀火山（噴火中心）の出現年代（活動開始年代）	3-69
図 3.3.2-14	マグマの生成条件	3-73
図 3.3.2-15	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 量及び Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O 量による玄武岩の分類	3-74
図 3.3.2-16	ダイヤモンド法によるかんらん岩の融解実験の結果形成された玄武岩マグマ の組成	3-75
図 3.3.2-17	東北日本における b 値と S 波速度のずれ	3-75
図 3.3.2-18	沈み込み帯におけるマグマ発生モデル	3-76
図 3.3.2-19	マントル物質中の水の結晶粒界連結角度増加による火山フロント形成のモデル	3-76
図 3.3.2-20	新生代・西南日本におけるテクトニック変遷史	3-77
図 3.3.3-1	日本列島海岸部における地殻変動区分	3-81
図 3.3.3-2	日本列島の変動のタイプ	3-82
図 3.3.3-3	基準高度分散量から計算した全国の侵食速度の分布	3-84
図 3.3.3-4	河川による下刻のプロセス	3-85
図 3.3.4-1	過去 70 万年間の酸素同位体比	3-87
図 3.3.4-2	グリーンランド氷床コア（GRIP）に記録された過去 15 万年間の酸素同位体 比の変動	3-87
図 3.3.4-3	過去 35 万年間の海水準変動曲線	3-88
図 3.3.4-4	天体力学計算によって求められた過去 80 万年の軌道要素の変動	3-90
図 3.3.4-5	10 万年周期の謎	3-90
図 3.4.2-1	日本列島の活断層，最大せん断ひずみ速度及び主要変動帯	3-103
<b>第 4 章</b>		
図 4.5.1-1	考慮事項の適用とその手順 [1]	4-10
図 4.5.1-2	考慮事項の適用とその手順 [2]	4-10

図 4.5.1-3	考慮事項の適用とその手順 [3]	4-11
図 4.5.1-4	考慮事項の適用とその手順 [4]	4-11
図 4.6-1	技術アドバイザー委員会の構成	4-13
図 4.6-2	概要調査地区選定上の考慮事項の作成の流れ	4-14
<b>第5章</b>		
図 5.1.3-1	断層岩の種類とその形成深度に関する概念図	5-10
図 5.1.3-2	断層の累積変位量と破碎帯の幅の関係	5-11
図 5.1.3-3	断層の破碎帯幅と長さの関係	5-11
図 5.1.3-4	地震断層周辺の地盤の隆起・沈降量	5-12
図 5.1.3-5	活断層帯のグループ化の例	5-12
図 5.1.3-6	主要活断層帯の分布	5-13
図 5.1.3-7	褶曲に伴う断層のタイプ	5-14
図 5.2.2-1	14Ma 以降の各時代における火山の分布（上）及び分布密度（下）	5-27
図 5.2.2-2	活火山周辺の側火山，側火口，岩脈等の分布範囲	5-28
図 5.2.2-3	活火山周辺に分布する噴火跡の分布幅と活動期間の関係	5-30
図 5.2.2-4	第四紀火山の中心と個別の火山体間の最大距離と頻度	5-31
図 5.2.3-1	島弧火山の深部構造	5-34
図 5.2.3-2	測地学的手法により推定されるマグマ溜りの位置	5-35
図 5.2.3-3	東北地方における地震波速度解析事例	5-35
図 5.2.3-4	地熱資源図に示された地熱資源賦存地域の例	5-38
図 5.3.2-1	全国の隆起・沈降量分布図	5-46
図 5.3.2-2	1/5 万地形図幅の過去 10 万年程度の隆起・沈降量頻度分布図	5-47
図 5.3.2-3	日本列島における地殻変動区分	5-48
図 5.5.2-1	日本の主要な金属鉱床分布	5-56
図 5.5.2-2	日本の主要な非金属鉱床分布	5-57
図 5.5.2-3	日本の炭田，油田，ガス田分布	5-58

## 表 目 次

### 第2章

表 2.1.2-1	高レベル放射性廃棄物の処分に係る安全基準・指針等に関するスケジュール	2-7
表 2.2.1-1	文献調査の項目・内容・対象範囲の目安	2-11
表 2.2.1-2	主な全国規模の文献・資料	2-13
表 2.2.1-3	文献・資料（火成活動の例）	2-14
表 2.3-1	概要調査段階における検討内容，調査項目及び評価に役立つ情報（例）	2-20
表 2.3-2	概要調査段階における調査手法（例）	2-21

### 第3章

表 3.1.2-1	日本列島を構成する各種岩石の分布面積	3-5
表 3.2.1-1	日本列島の形成に関する主要なイベント	3-16
表 3.2.1-2	日本列島周辺の構造イベント及び地質構造の変遷にかかわるイベントの時期 に関する文献（1/2）	3-18
表 3.2.1-3	日本列島周辺の構造イベント及び地質構造の変遷にかかわるイベントの時期 に関する文献（2/2）	3-19
表 3.3.1-1	活断層区とその中での断層の特徴	3-54
表 3.3.1-2	地体構造区別の断層数，断層長，地震数及び分布密度	3-56
表 3.3.1-3	起震断層の活動度，断層型及び地震の規模別頻度	3-56
表 3.3.1-4	平均変位速度による活断層の分類と断層変位地形の一般的特徴	3-57
表 3.3.2-1	島弧初生マグマの化学組成	3-73

### 第4章

表 4.2-1	考慮事項の分類	4-2
表 4.4-1	概要調査地区選定段階における最終処分法，環境要件及び考慮事項について （1/2）	4-6
表 4.4-2	概要調査地区選定段階における最終処分法，環境要件及び考慮事項について （2/2）	4-7

表 4.5.2-1	サイト選定における地質環境上の要件	4-12
-----------	-------------------	------

## 第5章

表 5.1.3-1	断層岩の分類	5-10
表 5.1.6-1	原子力施設にかかわる耐震設計の考え方	5-22
表 5.2.2-1	第四紀火山の位置を中心とする半径 15km の範囲を超えて第四紀個別火山体が分布する第四紀火山	5-31

図表の出所の表示は以下のとおり。

- 「出典：……」：原著の内容のとおり掲載した場合
- 「……を一部修正」：原著の記載内容の一部を、用語の統一などを目的に置き換えた場合
- 「……に一部加筆」：原著に記載のない字句等を付け加えた場合
- 「……を編集」：原著の記載内容を変えることなく、表の構成の変更、図のレイアウトの変更、原著本文の表形式化などを行った場合
- 「……を和訳」：原著に記載の外国語表現を和訳して置き換えた場合
- 「……を参考に作成」：原著の内容やデザインなどを参考にしつつ、原環機構の検討結果を加えて作成した場合
- 「写真提供：……」：写真の提供を受けた場合
- 「……に基づき作成」：第三者の情報に基づき原環機構が新たにまとめた場合
- 「原子力発電環境整備機構，……」：原環機構の既公表図表を用いた場合

# 第1章

## はじめに

## 第1章 はじめに

### 1.1 本書の目的

原子力発電環境整備機構（以下、「原環機構」という）は、2002年12月19日、概要調査地区の選定にあたり、全国の市町村を対象として「高レベル放射性廃棄物の最終処分施設の設置可能性を調査する区域」（以下、「応募区域」という）の公募を開始した。

公募にあたり、市町村に応募を検討いただくための資料として、「応募要領」、「処分場の概要」、「概要調査地区選定上の考慮事項」及び「地域共生への取り組み」を作成した。これらの公募関係資料のうち、「概要調査地区選定上の考慮事項」は、概要調査地区を選定するうえで考慮する事項とその評価の考え方等を示したものである。以下、公募関係資料としての「概要調査地区選定上の考慮事項」を「考慮事項」といい、その中で記載している各項目及びその内容については、考慮事項という。

本書は、「考慮事項」を取りまとめるにあたり、その背景となる考え方や判断の科学的・技術的根拠とした情報、データ及び関連資料を示すことによって、地球科学等の専門家に対する説明に有効な論拠を提示することを目的としている。

### 1.2 本書の構成

本書は、五つの章から構成されており、「考慮事項」との対比は下表のとおりである。

本書 （「考慮事項」の説明資料）	「考慮事項」
第1章 はじめに	——
第2章 概要調査地区の選定について	〈1〉はじめに 〈2〉概要調査地区とは
第3章 日本の地質環境と将来予測	——
第4章 考慮事項の設定と適用	〈3〉考慮事項の分類 〈4〉概要調査地区の選定手順と考慮事項の適用
第5章 考慮事項各論	〈5〉考慮事項の内容

各章の内容は、以下を主旨としている。

第2章は、考慮事項を設定するための背景情報であり、概要調査地区等の選定手順・選定実施方法及びその第1段階である概要調査地区選定の位置付けと実施される文献調査の内容・対象範囲、文献収集の方法、文献・資料の品質の考え方、概要調査地区の範囲の設定と補足的な調査、概要調査の概略の内容等を概説した。本章は、「考慮事項」の「〈1〉はじめに」及び「〈2〉概要調査地区とは」の解説と位置づけられる。

第3章は、「考慮事項」を検討する前提として、日本列島の地質学的特徴及び地震等の自然現象にかかわる将来予測の基本的考え方について述べ、専門家間で共有することを主目的として取りまとめた。

第4章は、考慮事項の設定と適用に関する科学的根拠に関する基本的な情報であり、その設定の際の基本方針及び選定要件や除外基準の内容を示した後、概要調査地区の選定段階での考慮事項の適用とその手順及び段階別評価の考え方について述べた。本章は、「考慮事項」の「〈3〉考慮事項の分類」及び「〈4〉概要調査地区の選定手順と考慮事項の適用」の解説と位置づけられる。

第5章では、考慮事項の各項目毎にその設定の考え方を示した後、各項目を具体的に記述するための定義を行ったうえでそれぞれの内容を解説した。さらに、各項目の設定根拠について、参照した文献から引用した部分を明示するとともに、文献調査の際に参照できる文献等を例示した。本章は、「考慮事項」の「〈5〉考慮事項の内容」の解説と位置づけられる。

なお、本書で用いている地球科学及び地層処分にかかわる専門的な用語については、巻末に「用語集」を設けて示した。

## 第2章

### 概要調査地区の選定について



## 第2章 概要調査地区の選定について

### 2.1 概要調査地区等の選定手順・選定実施方法、概要調査地区選定の位置付け

高レベル放射性廃棄物の最終処分事業は、「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」（以下、「最終処分法」という）に定められたところにしたがって、「概要調査地区、精密調査地区及び最終処分施設建設地（以下、「概要調査地区等」という）の選定」、「最終処分施設の建設」、「最終処分（最終処分施設の操業）」、「最終処分施設の閉鎖」、「閉鎖後管理」と順次進められる。

以下では、最終処分法に定められている概要調査地区等の選定手順を示すとともに、原環機構による概要調査地区等の選定の実施方法について述べる。また、最終処分施設建設地の選定プロセスの中での概要調査地区選定の位置付けを示す。

#### 2.1.1 最終処分法に定められている概要調査地区等の選定手順

最終処分法では、最終処分施設建設地の選定に関して、以下の3段階の過程を経ることを定めている。

- ① 概要調査地区の選定
- ② 精密調査地区の選定
- ③ 最終処分施設建設地の選定

最終処分法及び同施行規則をもとに、概要調査地区等の定義、各選定段階での調査事項及び選定要件を以下のように取りまとめた。なお、法令での関連条項を括弧内に示す。

##### ① 概要調査地区の選定

(概要調査地区の定義)：(最終処分法第2条第5項)

概要調査地区とは、精密調査地区を選定するため、文献その他の資料により将来にわたって地震、噴火、隆起、侵食その他の自然現象（以下、「地震等の自然現象」という）による地層の著しい変動の生ずるおそれが少ないと考えられる地域内において、最終処分を行おうとする地層及びその周辺の地層について、ボーリングの実施その他政令で定める方法により、これらの地層及びその地層内の地下水の状況その他の事項を調査する地区をいう。

(調査事項)：(最終処分法第6条第1項、(施行規則第4条))

概要調査地区の選定にあたっては、次に示す事項に関して、文献その他の資料による調査（以下、「文献調査」という）を行う。

- ・ 概要調査地区として選定しようとする地区及びその周辺の地域において過去に発生した地震等の自然現象に関する事項
- ・ 概要調査地区として選定しようとする地区及び地域内に活断層があるときは、その概要に関する事項
- ・ その他経済産業省令で定める事項（第四紀の未固結堆積物の存在状況の概要に関する事項、鉱物資源の存在状況の概要に関する事項）

(選定要件)：(最終処分法第6条第2項、(施行規則第5条第2項))

文献調査を行ったときは、その結果に基づき、当該文献調査の対象となった地区（以下、「文

献調査対象地区」という)のうち、次のいずれにも適合していると認めるものの中から概要調査地区を選定する。

- ・ 当該文献調査対象地区において、地震等の自然現象による地層の著しい変動の記録がないこと。
- ・ 当該文献調査対象地区において、将来にわたって、地震等の自然現象による地層の著しい変動が生ずるおそれが少ないと見込まれること。
- ・ その他経済産業省令で定める事項（最終処分を行おうとする地層が第四紀の未固結堆積物であるとの記録がないこと、最終処分を行おうとする地層においてその掘採が経済的に価値が高い鉱物資源の存在に関する記録がないこと）。

## ② 精密調査地区の選定

(精密調査地区の定義)：(最終処分法第2条第6項)

精密調査地区とは、最終処分施設建設地を選定するため、概要調査により最終処分を行おうとする地層が将来にわたって安定し、かつ、当該地層内で坑道の掘削に支障がないと考えられる概要調査地区内において、当該地層又はその周辺の地層内に必要な測定及び試験を行う施設で政令で定めるものを設けることにより、これらの地層の物理的及び化学的性質を調査する地区をいう。

(調査事項)：(最終処分法第7条第1項)

精密調査地区の選定にあたっては、次に示す事項に関して、概要調査を行う。

- ・ 当該概要調査地区内の最終処分を行おうとする地層及びその周辺の地層(以下、「対象地層等」という)における地震等の自然現象による対象地層等の変動に関する事項
- ・ 当該対象地層等を構成する岩石の種類及び性状に関する事項
- ・ 当該対象地層等内に活断層があるときは、その詳細に関する事項
- ・ 当該対象地層等内に破碎帯又は地下水の水流があるときは、その概要に関する事項
- ・ その他経済産業省令で定める事項

(選定要件)：(最終処分法第7条第2項)

概要調査を行ったときは、その結果に基づき、次のいずれにも適合していると認めるものの中から精密調査地区を選定する。

- ・ 当該対象地層等において、地震等の自然現象による地層の著しい変動が長期間生じていないこと。
- ・ 当該対象地層等が坑道の掘削に支障のないものであること。
- ・ 当該対象地層等内に活断層、破碎帯又は地下水の水流があるときは、これらが坑道その他の地下の施設(以下、「地下施設」という)に悪影響を及ぼすおそれが少ないと見込まれること。
- ・ その他経済産業省令で定める事項

## ③ 最終処分施設建設地の選定

(最終処分施設建設地の定義)：(最終処分法第2条第7項)

最終処分施設建設地とは、精密調査により当該地層の物理的及び化学的性質が最終処分施設

の設置に適していることが明らかになった精密調査地区内において、最終処分施設を建設しようとする地点をいう。

(調査事項)：(最終処分法第8条第1項)

最終処分施設建設地の選定にあたっては、次に示す事項に関して、精密調査を行う。

- ・ 当該精密調査地区内の最終処分を行おうとする地層（以下、「対象地層」という）を構成する岩石の強度その他の当該対象地層の物理的性質に関する事項
- ・ 当該対象地層内の水素イオン濃度その他の当該対象地層の化学的性質に関する事項
- ・ 当該対象地層内に地下水の水流があるときは、その詳細に関する事項
- ・ その他経済産業省令で定める事項

(選定要件)：(最終処分法第8条第2項)

精密調査を行ったときは、その結果に基づき、次のいずれにも適合していると認めるものの中から最終処分施設建設地を選定する。

- ・ 地下施設が当該対象地層内において異常な圧力を受けるおそれがないと見込まれることその他当該対象地層の物理的性質が最終処分施設の設置に適していることと見込まれること。
- ・ 地下施設が当該対象地層内において異常な腐食作用を受けるおそれがないと見込まれることその他当該対象地層の化学的性質が最終処分施設の設置に適していることと見込まれること。
- ・ 当該対象地層にある地下水又はその流水が地下施設の機能に支障を及ぼすおそれがないと見込まれること。
- ・ その他経済産業省令で定める事項

原環機構は、第1段階である概要調査地区の選定において、文献調査結果を報告書にまとめ（施行規則第5条）、公告・縦覧等を行い（施行規則第7条）、報告書の内容について地域住民等から意見が述べられた場合にはこれに配意して概要調査地区を選定し（施行規則第9条～第11条）、経済産業大臣に対して概要調査地区の選定に関する申請（実施計画）の変更申請（最終処分法第5条第1項）を行う。

概要調査地区の選定に伴う実施計画の変更承認にあたって、経済産業大臣は、最終処分計画を改定する。その際、関係都道府県知事及び市町村長の意見を聴き、これを十分に尊重し（最終処分法第4条第5項）、さらに原子力委員会の意見を聴いたうえで（最終処分法第4条第3項）、閣議決定を経て改定する（最終処分法第4条第4項）。以上の手続きを経て、経済産業大臣により承認が行われ、概要調査地区の選定が完了する。なお、第2段階の精密調査地区及び第3段階の最終処分施設建設地の選定についても同様の手順で進める。

なお、実施計画とは、原環機構が行う最終処分事業について具体的な内容を定めるものである。最終処分計画にしたがって原環機構が策定し、経済産業大臣の承認を受ける（最終処分法第5条第1項）。原環機構が、概要調査地区等を選定した際には、実施計画の変更（承認）が必要になる。

## 2.1.2 原環機構による概要調査地区等の選定の実施方法

原環機構は、平成13年10月29日、上記の最終処分法に基づく概要調査地区等の選定手順の基本的な考え方として、「特定放射性廃棄物処分の概要調査地区等の選定手順の基本的考え方について」（原子力発電環境整備機構，2001）を公表し、その中で、概要調査地区等の選定を法律に基づいて3段階で行うこと、各選定段階の時期及び概要調査地区選定にあたっては公募方式を採用することをそれぞれ示している。

なお、本章末の《参考資料-1》に示すように、原子力委員会高レベル放射性廃棄物処分懇談会による「高レベル放射性廃棄物処分に向けての基本的考え方について」（以下、「処分懇報告書」という）では、処分候補地の選定にあたって、公募方式もしくは申入方式による選定プロセスが示されている。

さらに、原環機構は、平成14年12月19日、概要調査地区の選定に際し、その候補となる区域を公募するために、「応募要領」（原子力発電環境整備機構，2002a）、「処分場の概要」（原子力発電環境整備機構，2002b）、「概要調査地区選定上の考慮事項」（原子力発電環境整備機構，2002c）、「地域共生への取組み」（原子力発電環境整備機構，2002d）を公表した。最終処分施設建設地は、以下のように段階的に選定される（図 2.1.2-1）。

### ① 第1段階：概要調査地区の選定

最終処分事業は、極めて公共性が高く、100年以上の長期にわたる事業であり、全国の市町村の自主的な判断による受け入れが重要と考え、概要調査地区の選定に際し、「高レベル放射性廃棄物の最終処分施設の設置可能性を調査する区域（応募区域）」を、全国の市町村から公募することとした。

原環機構は、応募区域が「応募要領」（原子力発電環境整備機構，2002a）に示された「応募いただいた区域の地質的な条件」により、文献調査の対象となることを確認したうえで、文献調査の開始を文書で連絡する。

文献調査の結果に基づき、地震等の自然現象による地層の著しい変動の記録がないこと、将来にわたってそれらが生ずるおそれが少ないと見込まれること等を確認し、これらを満足する応募区域及びその周辺の地域の中から概要調査地区を選定する。

概要調査地区の選定期間は、平成10年代後半を目途とする。

### ② 第2段階：精密調査地区の選定

精密調査地区の選定にあたっては、概要調査地区を対象として、ボーリング調査、地表踏査、物理探査等（概要調査）を実施する。

概要調査の結果に基づき、最終処分を行おうとする地層及びその周辺の地層が安定していること、坑道の掘削に支障がないこと、地下水の水流等が地下施設に悪影響を及ぼすおそれが少ないと見込まれること等を確認し、これらを満足する概要調査地区の中から精密調査地区を選定する。

精密調査地区の選定期間は、平成20年代前半を目途とする。

### ③ 第3段階：最終処分施設建設地の選定

最終処分施設建設地の選定にあたっては、精密調査地区を対象として、地上からの詳細な調査に加えて、地下の調査施設での測定・試験等（精密調査）を実施する。

精密調査の結果に基づき、最終処分を行おうとする地層の物理的・化学的性質等が最終処分施設の設置に適していると思込まれること、地下水又はその水流が地下施設の機能に障害を及ぼすおそれがないと思込まれること等を確認し、これらを満足する精密調査地区の中から最終処分施設建設地を選定する。

最終処分施設建設地の選定期間は、平成30年代後半を目途とする。

最終処分施設建設地を選定するまでの各段階では、原子力安全委員会において並行して検討・策定が進められる安全基準・指針等の検討状況（表 2.1.2-1；原子力安全委員会，2000）を踏まえ、あらかじめ原環機構として評価の基準を明確にしたうえで選定を行う。

なお、高レベル放射性廃棄物の最終処分事業を行うにあたっては、最終処分法以外の関連法令（例えば、自然環境の保護や開発行為にかかわる規制等）についても遵守する。

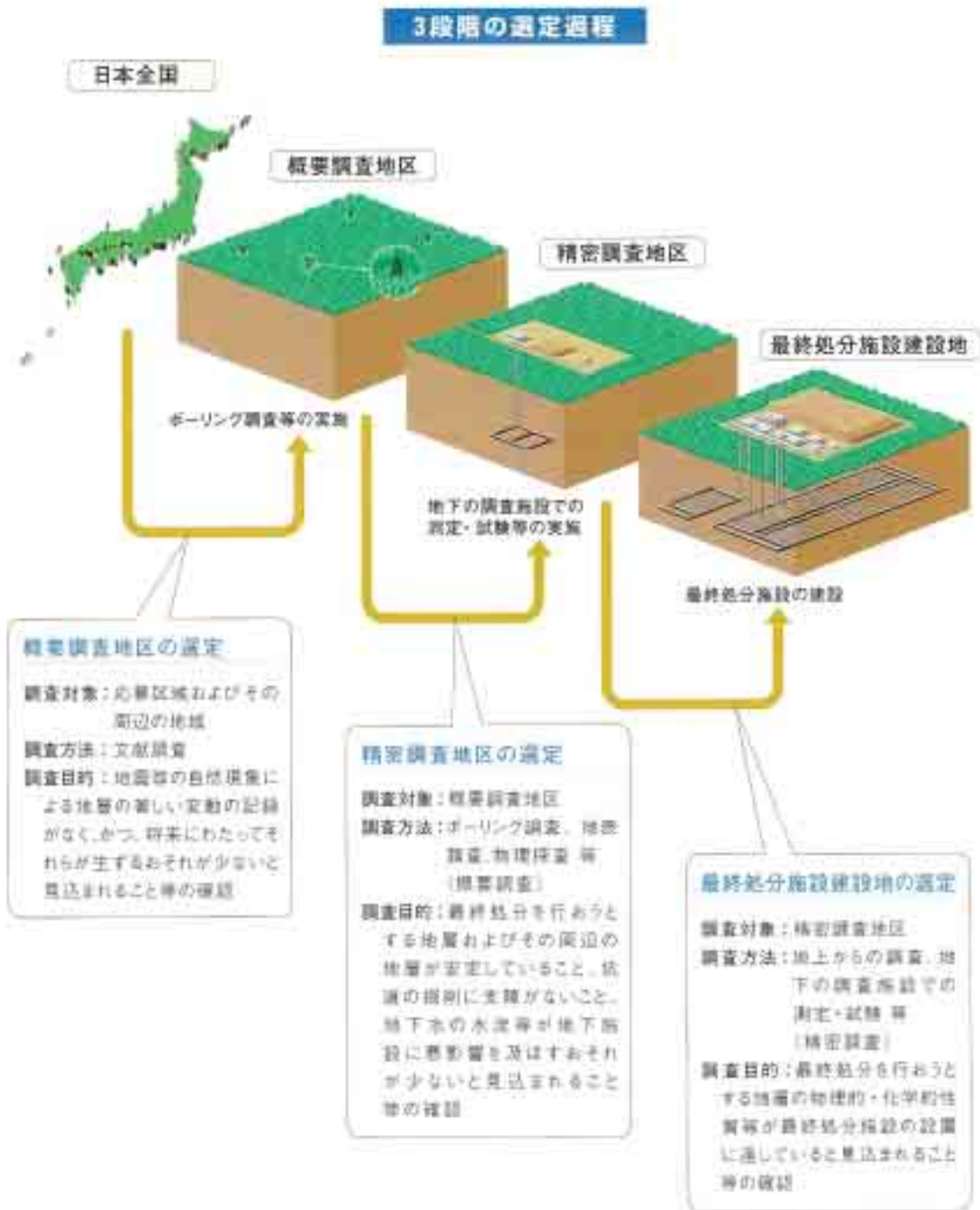
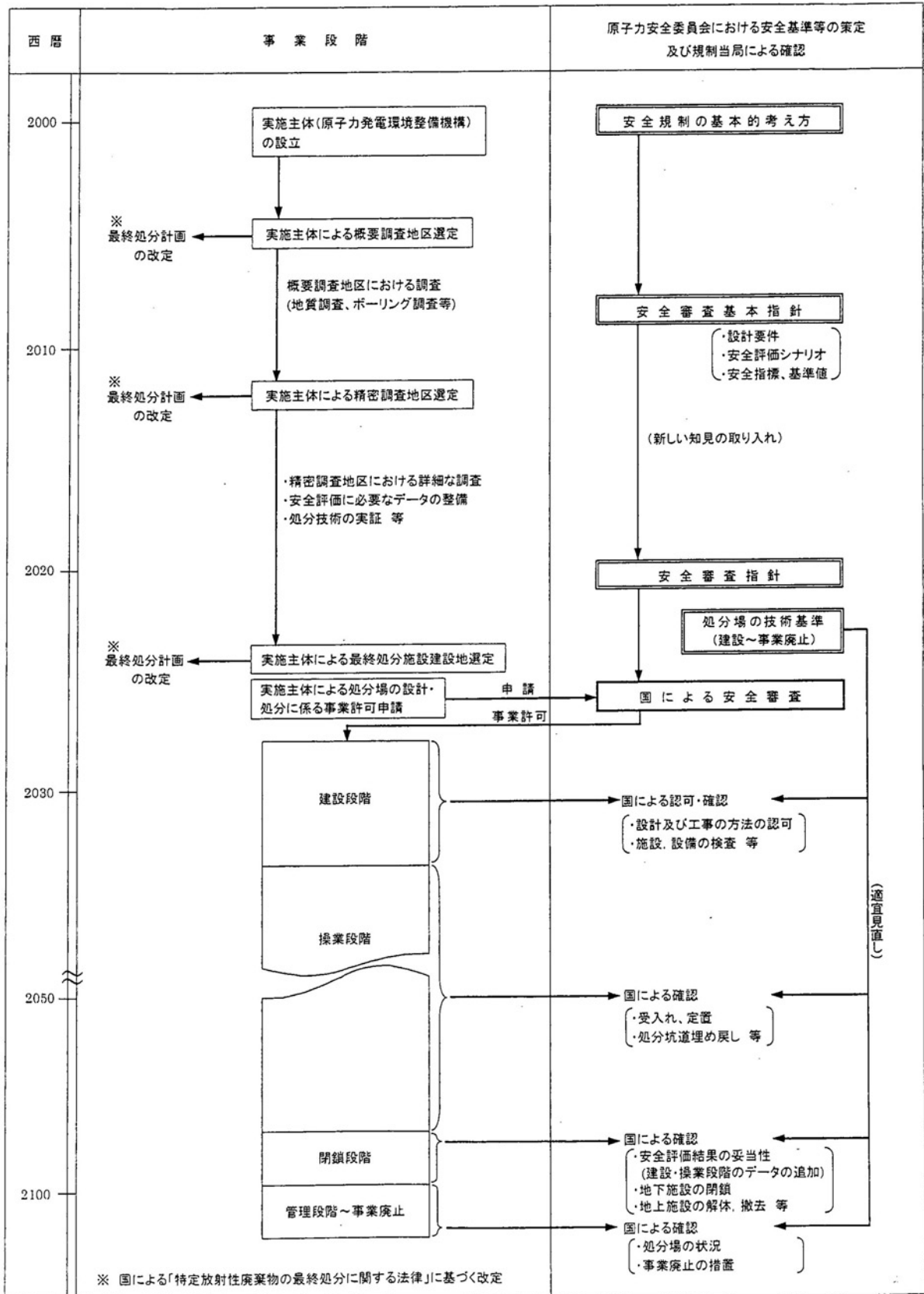


図 2.1.2-1 概要調査地区等の選定過程（原子力発電環境整備機構，2002c）

表 2.1.2-1 高レベル放射性廃棄物の処分に係る安全基準・指針等に関するスケジュール  
 (出典：原子力安全委員会, 2000)



### 2.1.3 概要調査地区選定の位置付け

概要調査地区の選定は、3段階の選定過程のうちの第1段階であり、この段階で実施される調査は、最終処分法に定められているように、文献その他の資料に基づく調査（文献調査）である。

原子力安全委員会の「高レベル放射性廃棄物処分の概要調査地区選定段階において考慮すべき環境要件について」（原子力安全委員会、2002；以下、「環境要件」という）では、概要調査地区選定段階において考慮すべき環境要件の考え方として、『実際に概要調査を行うまでもなく、明らかに処分地として不適切と考えられる環境要件を示す。その内容は、情報源が既存の文献などに限られたものであることを勘案し、国内の地質環境に対して一律に適用できると考えられる範囲に留める。また、概要調査あるいはそれ以降の調査の結果をもとに判断することが適切と考えられる事項や、処分施設的设计・施工との関連において検討されるべき事項は環境要件としない。』としている。

また、総合資源エネルギー調査会原子力部会高レベル放射性廃棄物処分専門委員会技術ワーキング・グループ（以下、「技術WG」という）の『「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」における処分地選定プロセス及び技術ワーキング・グループの当面の検討の進め方について(案)』では、概要調査地区の選定を、以下のように位置付けている。

『3段階の処分地選定プロセスの第1段階である「概要調査地区」の選定においては、

- ① 調査手法が文献その他の資料による調査に限られ、自ずと得られる情報には限界があること。また、地域により情報量に差があり、過去の痕跡がまだ確認されていない場合も考えられること。
- ② 文献では適否が不明確な事項については、概要調査以降で行われるボーリング、地表踏査、物理探査、トレンチ掘削等の調査により、過去の痕跡を確認し、地層の著しい変動が長期間生じていないことを確認することになっていること。
- ③ 概要調査以降の調査により、ある程度の変動の生じる可能性が確認されたとしても、その変動が処分システムに与える影響について評価を行い、工学的な対策を採ることによって対処できる可能性があり、いずれにせよ、最終的には、安全審査により処分の安全性が判断されること。

などを考慮し、「文献調査で分かる範囲で明らかに適性の劣るサイトを排除する」ことを目的として選定が行われる必要がある。』

なお、「わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第2次取りまとめ—」（核燃料サイクル開発機構、1999；以下、「第2次取りまとめ」という）では、文献調査について、『わが国においては、全国規模で詳細な地質図や各種の分布図が整備されており、主要な地層・岩体、活断層や構造線、火山・地熱・温泉、地下資源の分布などは、文献調査の段階で把握することが可能である。とくに、活断層、火山、地温勾配、隆起・沈降などの分布に関しては、最新の情報が包括的に整理された資料が出版されている。サイトによっては、既存の情報だけでは十分な検討を行うことが困難な場合も予想されるが、文献調査の段階では、その時点で得られる情報の限りにおいて、明らかに適性が劣ると判断されるサイトを除外することが重要である。』と位置付けている。

その他、「概要調査地区選定時に考慮すべき地質環境に関する基本的考え方」（土木学会原子力士



木委員会地下環境部会編，2001；以下，「地下環境部会報告書」という）では、『概要調査地区選定にあたっては，文献調査により，地層処分の場合として明らかに不適切な地域を除外することを主な目的とする。』とし，「高レベル放射性廃棄物地層処分の事業化技術」（電力中央研究所・電気事業連合会，1999；以下，「事業化報告書」という）では，各調査段階の調査の考え方として，処分候補地選定段階は、『基本的に処分候補地として，問題のある地域を除く作業と位置づける。』としている。

以上の背景に基づき，原環機構は，最終処分法を根拠に，原子力安全委員会の「環境要件」に基づき，概要調査地区の選定を「文献調査で分かる範囲で，最終処分施設建設地としての適性が明らかに劣る地域を含まないように，概要調査を行う地区を選定すること」と定義し，「考慮事項」を作成することとした。

## 2.2 文献調査の内容と対象範囲等の考え方及び概要調査地区の範囲の設定と補足的な調査

### 2.2.1 文献調査の内容，文献調査の対象範囲，文献収集の方法及び文献・資料の品質の考え方

文献調査においては，「考慮事項」に基づき，文献その他の資料（以下，「文献・資料」という）を収集して，それらから得られる情報（以下，「文献情報」という）を評価することによって文献調査の対象となった地区（以下，「文献調査対象地区」という）の中から概要調査地区を選定する。文献調査結果については，適宜，取りまとめて公表する。以下に，文献調査の内容と対象範囲，文献収集の方法及び文献・資料の品質について述べる。

#### (1) 文献調査の内容

文献調査は，概要調査地区を選定する際に実施される最終処分法に定められた調査手法である。文献調査は，2.1.1 で述べたように最終処分法及び同施行規則に定められている概要調査地区の選定要件（以下，「法定要件」という）に加えて，原環機構が独自に設定した事項について，公開された文献・資料を用いて調査し，評価するものである。考慮事項の設定にあたっては，法定要件に対する適格性を評価する考慮事項を「法定要件に関する事項」とし，原環機構が独自に付加した事項を「付加的に評価する事項」とした（詳細は第4章を参照）。

「法定要件に関する事項」及び「付加的に評価する事項」に関する文献調査の内容を以下に示す。

#### <法定要件に関する事項>

##### ① 地震に関する事項

活断層がある場所，活断層の幅及びその外側の変形帯に含まれる範囲，活断層の分岐等の発生の可能性が高い範囲，顕著な活動を継続している活褶曲や活撓曲の分布範囲等

##### ② 噴火に関する事項

第四紀火山の位置，第四紀火山の周辺で将来数万年にわたってマグマの地殻への貫入や地表への噴出が生じる可能性のある範囲，マグマによる著しい熱の影響，強酸性の熱水あるいは著しい熱水対流が存在する可能性のある範囲等

##### ③ 隆起，侵食に関する事項

過去10万年間における隆起及び侵食が著しいと判断される地域

##### ④ 第四紀の未固結堆積物に関する事項

#### 第四紀の未固結堆積物の分布状況

- ⑤ 鉱物資源に関する事項  
経済的に価値が高い鉱物資源の分布状況

#### <付加的に評価する事項>

- ① 地層の物性・性状に関する事項  
岩盤の強度、変形・割れ目・風化・変質の状況、地温勾配、岩体の形状・規模、隆起・侵食の速度、異常間隙水圧・膨張性地山・ガス突出・山はね・大出水の可能性
- ② 地下水の特性に関する事項  
地下水の流量・流速、水温、pH、酸化還元性
- ③ 地質環境の調査・評価に関する事項  
調査の範囲・規模・期間、調査技術・評価手法等の適用性、火成活動・断層活動等の地質環境の評価・モデル化の容易性、調査に対する土地利用等の制約
- ④ 建設・操業時における自然災害に関する事項  
地震・地すべり・洪水等の重大な自然災害が発生する可能性
- ⑤ 土地の確保に関する事項  
土地の確保の容易性
- ⑥ 輸送に関する事項  
利用可能な港湾または港湾候補地からの距離等の輸送の容易性

#### (2) 文献調査の対象範囲

概要調査地区の選定にあたっては、応募区域を全国の市町村から公募し、応募区域及びその周辺の地域を対象として文献調査を実施する。

文献調査を行う「周辺の地域」について、「技術WG」では、『概要調査地区として選定しようとする地区において地層処分の成立性を検討するうえで文献調査が必要となる周辺の地域。調査対象となる自然現象により異なる可能性がある。』としている。

文献調査は、前項(1)に述べたように、「法定要件に関する事項」及び「付加的に評価する事項」について実施される。文献調査の対象範囲（地域的な広がり）とは、文献調査の各項目について評価するために必要とされる調査対象範囲とする。この範囲は、文献調査の過程で変わる場合がある。最終的には、概要調査地区選定にかかわる評価が終了した段階で、概要調査地区の選定根拠として用いた文献情報が評価の対象とした範囲を包含して、文献調査対象地区とする。

文献調査の項目、内容及び対象範囲の目安を表 2.2.1-1 に示す。ここで示す文献調査対象範囲は目安であり、個別地区の地質環境に応じて変わるものである。なお、広域地質・地質構造に関する調査項目については、法定要件そのものに明示されている事項ではないが、複数の法定要件に関する事項を総合的に評価するために必要と考えられるため、文献調査の項目とした。

表 2.2.1-1 文献調査の項目・内容・対象範囲の目安

a. 概要調査地区選定に関する法定要件に対する適格性を評価する項目

項目	内容	対象範囲の目安
広域地質・地質構造	<ul style="list-style-type: none"> <li>・広域的な地質・地質構造</li> <li>・地質構造発達史</li> <li>・広域水理地質</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・応募区域及びその周辺の地質・地質構造により設定</li> </ul>
地震・断層活動	<ul style="list-style-type: none"> <li>・活断層の存在及び幅／変形帯の範囲</li> <li>・活断層の分岐／長さ方向の伸展等の可能性</li> <li>・活褶曲／活撓曲の存在及び範囲</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・応募区域境界から 10km 程度外側の範囲</li> </ul>
火山・火成活動	<ul style="list-style-type: none"> <li>・マグマの地殻への貫入／地表への噴出の記録及び将来の可能性</li> <li>・マグマによる著しい熱の影響／強酸性の熱水／著しい熱水対流の存在及び将来の可能性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・応募区域境界から数 10～100km 程度外側の範囲</li> </ul>
隆起・侵食	<ul style="list-style-type: none"> <li>・過去 10 万年間の隆起の総量</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・応募区域の中心から数 10km 程度の範囲</li> <li>・段丘の分布が乏しい場合には適宜範囲を拡大する。</li> </ul>
第四紀未固結堆積物	<ul style="list-style-type: none"> <li>・対象地層が第四紀の未固結堆積物である可能性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・応募区域内の最終処分を行おうとする地層</li> <li>・応募区域内の対象地層の情報がない場合には、周辺の同一地層を含める。</li> </ul>
鉱物資源	<ul style="list-style-type: none"> <li>・経済的に価値が高い鉱物資源の存在</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・応募区域内の最終処分を行おうとする地層</li> <li>・応募区域内の対象地層の情報がない場合には、周辺の同一地層を含める。</li> </ul>

b. 概要調査地区としての特性を総合的に評価し、必要に応じて相対比較を行う項目

項目	内容	対象範囲の目安
地層の物性・性状	<ul style="list-style-type: none"> <li>・岩盤の強度／変形特性／割れ目／風化／変質</li> <li>・岩盤の形状／規模</li> <li>・岩石の鉱物組成／化学組成</li> <li>・異常間隙水圧／膨張性地山／ガス突出／山はね／大出水の可能性</li> <li>・断層活動による岩盤への力学的／水理的影響</li> <li>・地温勾配</li> <li>・隆起／侵食速度</li> <li>・未固結堆積物の存在と施工性／安全性への影響ほか</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・応募区域内</li> <li>・情報がない場合には、周辺に拡大</li> </ul>
地下水の特性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地下水の流量／流速</li> <li>・水温</li> <li>・pH 値</li> <li>・酸化還元性</li> <li>・電気伝導度</li> <li>・地下水の地化学特性</li> <li>・地下水の形成プロセス／年代 ほか</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・涵養域及び流出域を考慮した応募区域を含む 100km<sup>2</sup> 程度の範囲</li> </ul>
地質環境の調査・評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査の範囲／規模／期間</li> <li>・調査技術／評価手法の適用性</li> <li>・火成活動／断層活動等の地質環境の評価／モデル化の容易性</li> <li>・現地調査の土地利用等の制限 ほか</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・他の項目に示された中から、該当する範囲を包括した範囲</li> </ul>
建設・操業時における自然災害	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地震／津波／地すべり／台風／洪水／土石流／火砕流等の自然災害の可能性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・応募区域及びその周辺の地域</li> </ul>
土地の確保	<ul style="list-style-type: none"> <li>・土地の利用状況／使用制限の有無／公有地の存在 ほか</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・応募区域及びその周辺の地域</li> </ul>
輸送	<ul style="list-style-type: none"> <li>・利用可能な港湾または港湾候補地からの距離等の輸送の容易性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・利用可能な港湾または港湾候補地と応募区域を含む地域</li> </ul>

### (3) 文献収集の方法

文献収集については、以下のような方法が考えられる。

#### (i) データベース検索による収集

- ① 図面検索：原環機構 GIS，日本地質図索引図データベース（産業技術総合研究所）等
- ② 文献検索：日本地質文献データベース（GEOLIS；産業技術総合研究所），科学技術文献速報（JICST；科学技術振興事業団）等
- ③ 刊行物・書誌検索：日本科学技術関係逐次刊行物総覧検索（国会図書館），日本全国書誌検索（国会図書館）等

等により検索を行い、参考文献も含めてそれらから文献情報の収集を行う方法。

#### (ii) 関係機関に対する提供依頼，聞き取り調査による収集

応募区域及びその周辺の地域に関し、上記の全国的なデータベース検索にかからない文献・資料、あるいは入手が当該地域に限定される文献・資料について、関係機関にそれらの存在を問い合わせ、存在する資料の提供を依頼する方法。

伝承等の記録になっていない情報については、聞き取り調査を実施し、文献情報として取りまとめる方法も考えられる。

対象となる文献・資料と問い合わせ先の例として、鉄道，道路，電力，ガス，水道，通信，港湾，ダム，鉱山，建築物等に関する調査・工事記録等については、所管官庁，都道府県，市町村はじめ関係諸機関が、歴史的な記録等については、教育委員会，博物館，寺社等が、また、学位論文，その他研究論文等については、大学，高専等の教育，研究機関等が、それぞれ想定される。

#### (iii) 一般からの提供による収集

文献・資料の収集を網羅的に行う観点から、広く一般の方々を対象とした文献・資料の提供依頼による収集を行う方法。

文献・資料の収集・整理にあたっては、応募区域及びその周辺の地域の事情に明るい機関や専門家の協力等を得ながら調査を進めていくことが重要である。

また、文献調査により収集した文献・資料は、文献対象としている範囲や文献の存在場所により、①全国規模の情報，②地域規模の情報，③地域限定の情報に区分される。一例として、主な全国規模の文献・資料及び火成活動に関する文献・資料を表 2.2.1-2～2.2.1-3 に示す。

表 2.2.1-2 主な全国規模の文献・資料

項目		文献・資料名	縮尺	著者・作成機関
地形	陸域	地勢図	1/20 万	国土地理院
	海域	大陸棚の海の基本図・海底地形図	1/100 万～20 万	海上保安庁水路部
地質	陸域	地質図	1/100 万～20 万	地質調査所／産業技術総合研究所
		土木地質図	1/20 万	建設省／国土交通省
		都道府県地質図	1/20 万等	都道府県
	海域	海洋地質図	1/20 万	地質調査所／産業技術総合研究所
		大陸棚の海の基本図・海底地質図	1/100 万～20 万	海上保安庁水路部
火山・火成 活動	火山の分布	日本の第四紀火山カタログ	1/300 万	第四紀火山カタログ委員会編 (1999)
		日本の新生代火山岩の分布と産状	1/300 万	地質調査所／産業技術総合研究所
	熱・熱水の影響	日本列島地温勾配図	1/300 万	矢野ほか (1994)
		地熱資源図	1/50 万	地質調査所／産業技術総合研究所
地震・断層 活動	活断層 (陸域)	活断層詳細デジタルマップ 付図 200 万分の1 日本列島活断層図	1/200 万	中田・今泉 編 (2002)
		[新編]日本の活断層—分布図と資料—	1/20 万縮小	活断層研究会編 (1991)
		活構造図	1/50 万	地質調査所／産業技術総合研究所
	活断層 (海域)	日本周辺海域の第四紀地質構造図	1/200 万	徳山ほか (2001)
		海洋地質図	1/20 万	地質調査所／産業技術総合研究所
	地震	新編日本被害地震総覧[増補改訂版 416-1995]	—	宇佐美 (1996)
隆起・沈 降, 侵食	隆起・沈降	日本の海成段丘アトラス	1/20 万, 5 万	小池・町田編 (2001)
	侵食	日本列島における侵食速度の分布	—	藤原ほか (1999)
地下資源		日本の主要な金属鉱床分布	—	地質調査所／産業技術総合研究所
		日本の主要な非金属鉱床分布	—	地質調査所／産業技術総合研究所
		日本の炭田, 油田, ガス田分布	—	地質調査所／産業技術総合研究所

表 2.2.1-3 文献・資料（火成活動の例）

情報 種別	文献・資料名（著者，作成機関，発行者等） <sup>(注)</sup>
全国 規模	1/100 万，1/50 万，1/20 万地質図（地質調査所／産業技術総合研究所）○ 日本の第四紀火山カタログ（第四紀火山カタログ委員会編）○ 日本の新生代火山岩の分布と産状（地質調査所／産業技術総合研究所）○ 日本の火山第2版（地質調査所／産業技術総合研究所）△ 日本列島地温勾配図（地質調査所／産業技術総合研究所）○ 1/500 万 HEAT FLOW MAP OF EAST AND SOUTHEAST ASIA（地質調査所／産業技術総合研究所）○ 1/200 万日本地熱資源賦存分布図（地質調査所／産業技術総合研究所）○ 1/200 万日本温泉放熱量分布図（地質調査所／産業技術総合研究所）○ 1/200 万日本の熱水変質帯分布図（地質調査所／産業技術総合研究所）○ 1/50 万地熱資源図（地質調査所／産業技術総合研究所）○
地域 規模	1/5 万地質図（地質調査所／産業技術総合研究所，地質研究所，北海道開発庁）○ 1/2.5 万～1/5 万火山地質図（地質調査所／産業技術総合研究所）○ 日本活火山総覧第2版（気象庁）○ 1/5 万～1/20 万地熱地域地質図（地質調査所／産業技術総合研究所）○ 日本温泉，鉱泉分布図及び一覧（地質調査所／産業技術総合研究所）○ 日本の主要地熱地域の地質と温泉・変質帯分布（地質調査所／産業技術総合研究所）○ 火山（日本火山学会）○ 地熱学会誌（日本地熱学会）○ 地質学雑誌（日本地質学会）○ 岩鉱（日本岩石鉱物鉱床学会）○ その他雑誌，出版物○／△ 平安遺文 CD-ROM 版（竹内編，1998）等各時代の遺文集△ 吾妻鏡・玉葉データベース（CD-ROM 版）（福田監修）等主要古文書△
地域 限定	各自治体火山ハザードマップ○ 各大学紀要○ 学生論文△ 地域の絵図／古文書△

（注）○：引用文献・資料として扱うもの，△：参考文献・資料として扱うもの

#### (4) 文献・資料の品質

原子力安全委員会の「環境要件」に示されているように、『概要調査地区選定は、文献調査をもとに行われることから、得られる情報には自ずと限界があり、地点により情報量に偏りがあるものと考えられる』（原子力安全委員会，2002）と同時に、過去の地殻変動の記録がまだ確認されていない場合もありうる。したがって、調査で利用する様々な文献・資料については、品質、信頼性を確認したうえで評価に用いる必要がある。

最終処分法に定められている概要調査地区選定にあたって実施される文献調査は、「技術WG」によれば、『文献その他の資料（記録文書，学術論文，空中写真，地質図等）による調査』とされている。

文献調査に用いる文献・資料は、

- ① 出版物（書籍，図幅，学会出版物等）
- ② 学術研究論文（学会誌，論文集，紀要，学生論文等）
- ③ 報告書・申請書（調査報告書，工事記録，官公庁への申請書等）
- ④ 古文書等

等があり，これらは次に示す観点からその品質が考慮される。

- ① 「引用文献・資料」は，上記の文献・資料のうち，考慮事項への適格性等の直接的な判断の根拠とするものであり，以下のものが挙げられる。
  - ・ 公的機関による出版物，公的機関の審査を経た申請書等，その品質が公的機関によって保証されているもの
  - ・ 公的機関でなくとも，引用頻度が高く，その品質が認知されている出版物
  - ・ 論文集，学会発表，紀要等で扱われ，学会，大学，研究機関等により品質・研究水準が高いと認められた学術研究論文
  - ・ その他，ボーリング，物理探査等の調査結果で，当該地域に関する情報が他にない場合，引用文献・資料に準じた扱いとする場合もある。
- ② 「参考文献・資料」は，上記の文献・資料のうち，参考とするが，考慮事項への適格性等の直接的な判断の根拠とはしないものであり，概要調査以降の調査で真偽を確認することも検討に入れるものである。

文献情報の評価にあたって，複数の文献により解釈が異なる等，専門家の意見を必要とする場合，原環機構は関連する分野の国内の専門家を含む作業会を設置し，それらの文献情報に関する検討を行い，判断することとする。また，文献の解釈においては専門家の主観的判断等に伴う不確実性が存在することが考えられ，この不確実性の存在を把握し，これをできるだけ定量化して扱うことも可能である。例えば，証拠に基づく意思決定支援理論（ESL：Evidential Support Logic）等を適切に用いることにより，文献調査結果の信頼性が高まると考えられる。ESLの概要を本章末の《参考資料-2》に示す。

## 2.2.2 概要調査地区の範囲の設定と補足的な調査

概要調査地区は、応募区域及びその周辺の地域を対象として実施する文献調査の結果に基づき、これらの範囲の中から選定される。また、概要調査地区は、文献調査後、次段階の概要調査を行う必要があると判断された地区であり、応募区域における地層処分の成立性を評価するために必要な情報（地質・地質構造、水理地質構造等）を取得することができるように設定するため、応募区域より広がる場合がある。ただし、概要調査地区のうち、応募区域の外側の部分については、概要調査等を実施することはあっても最終処分施設建設地として選定されることはない。

なお、精密調査地区選定段階においては、概要調査地区の特性をより詳細に評価するため、活断層、火成活動、隆起・侵食等に関し、概要調査地区の周辺においても補足的に現地調査を行うことが必要になる場合も考えられる。

活断層、火成活動、隆起・侵食等に関する補足調査の位置付けは、以下のとおりである。

- ① 活断層や第四紀火山等については、応募区域周辺にこれらが存在する場合、これらを含めないうちに概要調査地区を設定しているが、地質環境の長期安定性に影響を及ぼすおそれが残るため、その評価のために調査が必要となる場合がある。
- ② 隆起・侵食については、広域的な自然現象であるため、概要調査地区内において、それらの評価が可能な河成段丘や海成段丘等が分布しない場合、遠隔地に分布する河成段丘や海成段丘等における調査が必要となる場合がある。
- ③ 概要調査地区の評価にあたり、広域の地質・地質構造、地史等を把握するため、概要調査地区及びその周辺の広い範囲における調査が必要となる場合も考えられる。

原子力安全委員会の「環境要件」においても、『「概要調査地区選定段階において考慮すべき環境要件」を実際に考慮するにあたっては、選定段階では限られた情報に基づくため十分な評価が行えない場合も考えられる。その場合には、概要調査あるいはそれ以降の調査で、概要調査地区等において行われる、ボーリング、地表踏査、物理探査、トレンチの掘削、地下の測定及び試験を行う施設による詳細な調査に基づき再評価されることが必要である。また、それらの再評価を一層適切なものとするとの観点から、必要に応じ、調査地区のみならずその周辺においても調査が行われることが望ましい。』との見解が示されている。

図 2.2.2-1 に概要調査地区の範囲の概念図を示す（概要調査地区の範囲の設定手順については、第 4 章の 4.5.1 考慮事項の適用とその手順において述べる）。また、日本の地質環境を考慮し、①文献調査により概要調査地区の近傍に活断層が確認され、第四紀火山が存在しない場合、②文献調査により概要調査地区の近傍に活断層及び第四紀火山が確認されている場合、③文献調査により概要調査地区の近傍に活断層及び第四紀火山が確認されており、隆起量を評価できる地形面が遠隔地に分布する場合における概要調査地区の範囲の設定例を、それぞれ図 2.2.2-2～図 2.2.2-4 に示す。



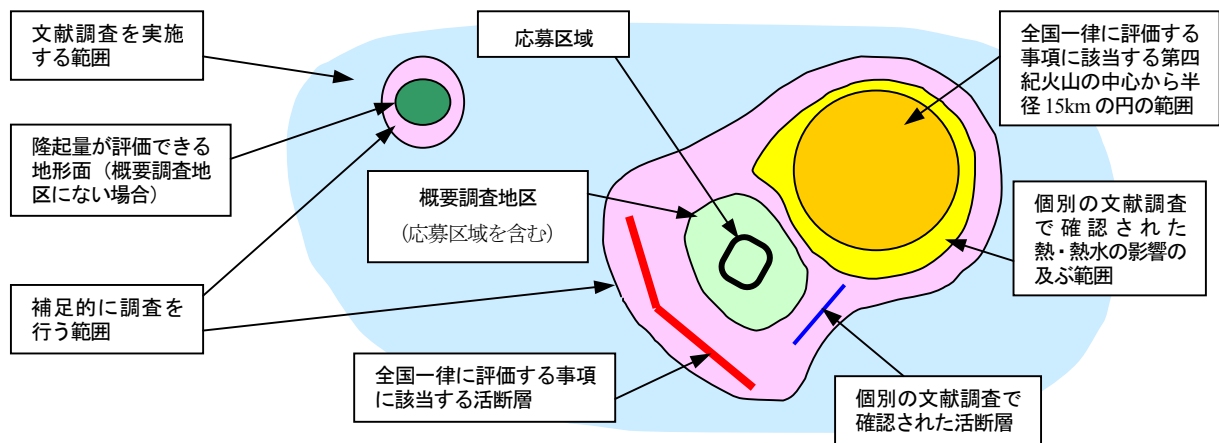


図 2.2.2-1 概要調査地区の範囲の概念図 (原子力発電環境整備機構, 2002c)

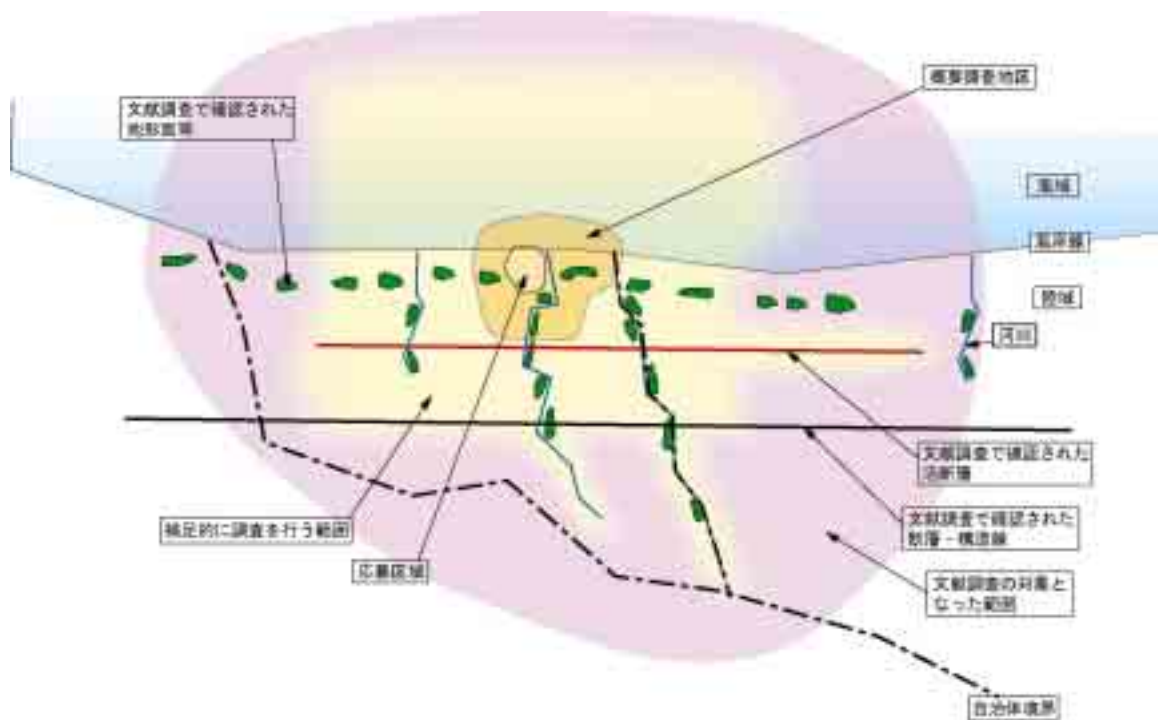


図 2.2.2-2 概要調査地区の範囲の設定例 (1)

(文献調査により概要調査地区の近傍に活断層が確認され、第四紀火山が存在しない場合)

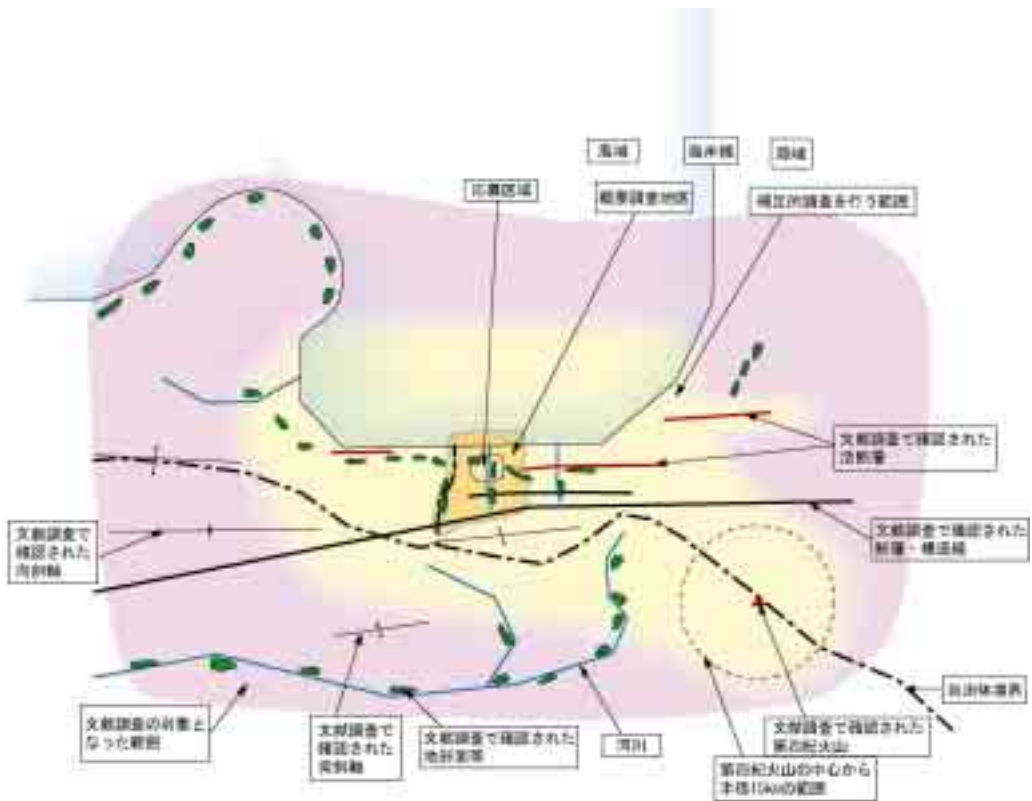


図 2.2.2-3 概要調査地区の範囲の設定例 (2)

(文献調査により概要調査地区の近傍に活断層及び第四紀火山が確認されている場合)

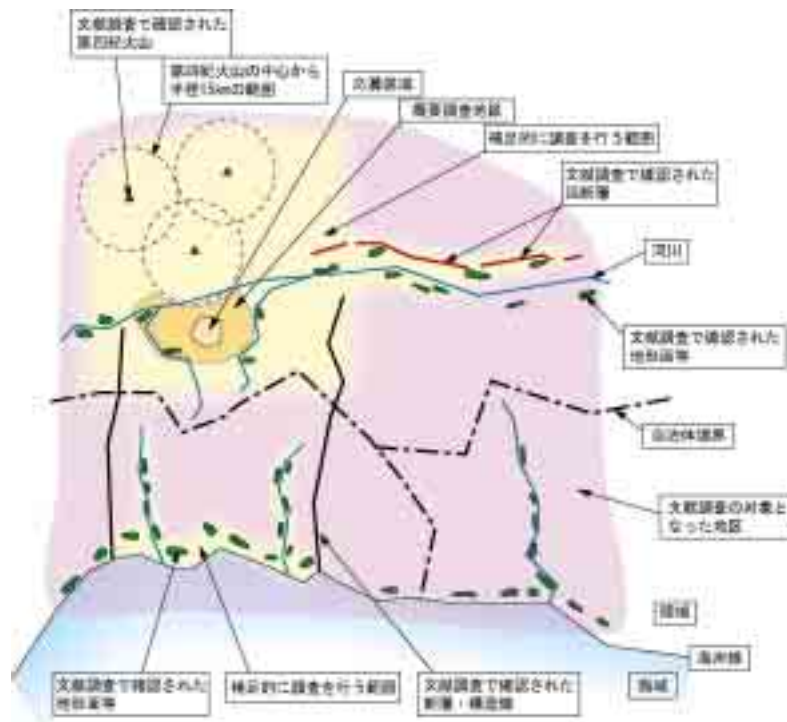


図 2.2.2-4 概要調査地区の範囲の設定例 (3)

(文献調査により概要調査地区の近傍に活断層及び第四紀火山が確認されており、隆起量を評価できる地形面が遠隔地に分布する場合)

## 2.3 概要調査の内容

概要調査は、精密調査地区選定段階において実施される調査であり、この結果に基づき、概要調査地区の中から精密調査地区が選定される。

概要調査によって、精密調査地区選定にかかわる「法定要件」への適格性の評価に加え、処分施設的设计、人工バリアの設置環境や天然バリアの特性等の観点から、精密調査地区として妥当性を総合的に評価するための情報を現地調査により取得する。その際には、文献調査結果に基づき概要調査地区を選定する際に行った評価・判断の妥当性を確認すること及び概要調査地区の選定にあたって、文献の品質、信頼性等の観点から明確な評価・判断ができなかった場合には、そのための情報を得ることも含まれる。

最終処分法及び同施行令をもとに、概要調査の方法、精密調査地区選定における調査事項及び選定要件を以下のように取りまとめた。なお、法令での関連条項を括弧内に示す。

### ① 概要調査の方法（最終処分法第2条第5項、（施行令第3条））

- ・ ボーリング
- ・ 地表踏査
- ・ 物理探査（空中、地上又は水上において行うものに限る）
- ・ トレンチの掘削

### ② 精密調査地区の選定

（調査事項）：（最終処分法第7条第1項）

精密調査地区の選定にあたっては、次に示す事項に関して、概要調査を行う。

- ・ 当該概要調査地区内の最終処分を行おうとする地層及びその周辺の地層（以下、「対象地層等」という）における地震等の自然現象による対象地層等の変動に関する事項
- ・ 当該対象地層等を構成する岩石の種類及び性状に関する事項
- ・ 当該対象地層等内に活断層があるときは、その詳細に関する事項
- ・ 当該対象地層等内に破砕帯又は地下水の水流があるときは、その概要に関する事項
- ・ その他経済産業省令で定める事項

（選定要件）：（最終処分法第7条第2項）

概要調査を行ったときは、その結果に基づき、次のいずれにも適合していると認めるものの中から精密調査地区を選定する。

- ・ 当該対象地層等において、地震等の自然現象による地層の著しい変動が長期間生じていないこと。
- ・ 当該対象地層等が坑道の掘削に支障のないものであること。
- ・ 当該対象地層等内に活断層、破砕帯又は地下水の水流があるときは、これらが坑道その他の地下の施設（以下、「地下施設」という）に悪影響を及ぼすおそれが少ないと見込まれること。
- ・ その他経済産業省令で定める事項

概要調査段階における検討内容，調査項目及び評価に役立つ情報の例を表 2.3-1 に示す。また，概要調査段階における調査手法の例を表 2.3-2 に示す。今後，概要調査の具体的内容及び精密調査地区選定の考え方を取りまとめていくとともに，文献調査の進展に併せ，個別地点ごとの情報に基づき検討を進めていく予定である。

表 2.3-1 概要調査段階における検討内容，調査項目及び評価に役立つ情報（例）

項目	検討内容	調査項目	評価に役立つ情報	
処分場の長期安定性	地質・地質構造	地質・地質構造の把握	地質・地質構造	
			地形	
			地質分布，層序	
			断層・破碎帯，不整合面等の分布	
	地震・断層活動	直接破壊回避の確認	活断層の伸展・拡大	地質・地質構造
				地史，地下の熱構造
		地震・断層活動が地質環境に及ぼす影響	地震・断層活動による力学的影響	分布（位置，長さ，幾何形状）
				性状（変位方向，センス）
				活動履歴
				破碎帯及び周辺岩盤の破碎の幅，破碎の程度等
	地震・断層活動による熱的影響	地震・断層活動による熱的影響	破碎帯及び周辺岩盤の熱履歴とその影響範囲等	
			地震・断層活動による水理学的影響	地震時の地下水流動変化，プロセスゾーンの水利特性等
			地震・断層活動による地球化学的影響	地震時の水質変化の有無，変化の程度と範囲，期間等
	火山・火成活動	直接噴出回避の確認	第四紀火山の分布・拡大	分布（火道・噴出物等の位置）
				火山の分類（単成／複成）
		火成活動が地質環境に及ぼす影響	火成活動による熱的影響	熱異常域の分布と程度，熱履歴
火成活動による水理学的影響				影響の範囲，程度（熱水対流の発生範囲，温泉分布等）
火成活動による地球化学的影響	火成活動による地球化学的影響	水質の変化の発生範囲，程度等		
		隆起・沈降特性の確認	隆起・沈降特性	隆起の様式・隆起速度分布
隆起・侵食	侵食特性の評価	侵食特性	沈降の様式・沈降速度分布	
			侵食の様式・侵食速度分布	
処分場の地質環境特性	地下水	地下水流動	水理特性分布（地質・地質構造の水理特性）	
			境界条件（塩淡水境界の位置等）	
			間隙水圧分布，地下水位分布等水理ポテンシャル分布	
	地下水の地化学特性	地下水の地化学特性	水質，溶存濃度，コロイド，有機物・微生物等	
			水温，pH，酸化・還元電位等	
			地下水年代	
	岩盤	物理化学特性	物理特性，力学特性，熱特性等	
			地圧，地温等（地下地質環境）	
分配係数，遅延・拡散係数等（地化学特性）	分配係数，遅延・拡散係数等（地化学特性）	分配係数，遅延・拡散係数等（地化学特性）		
			人間侵入	鉱物資源の採掘の可能性
その他（自然災害）	耐震設計	活断層	分布形態（位置，長さ，形状）	
			性状（変位方向，センス）	
			活動履歴	
	その他自然災害への対処	津波，地すべり，台風，洪水，土石流，火砕流等	地形・地理条件，地質分布，災害履歴等	

表 2.3-2 概要調査段階における調査手法（例）

項 目		項 目		
地表調査		ボーリング調査 (海上・陸上)	コア観察	
	地形測量 (深浅測量含む)		孔壁観察	
	地表地質踏査 (火山灰調査含む)		物理検層	
	地化学調査 (断裂調査)		孔内水平載荷試験	
	地表水質調査		初期地圧測定	
	水文調査		透水試験	
	土壌調査 (土壌断面作成)		地下水検層 (トレーサ試験, 流向・流速測定を含む)	
物理探査	(空中)	室内試験・測定	間隙水圧測定	
			磁気探査	地下水位測定
			電磁探査	地下水採取
			放射能探査	単孔式物理探査 (VSP等)
	(地上)		重力探査	孔間物理探査
			磁気探査	
			電磁探査	
			電気探査	室内物理試験 (室内透水試験含む)
			地震探査 (微小地震観測含む)	室内力学試験
	(海上)		放射能探査	化学試験 (イオン交換能, 吸着特性等)
			重力探査	地質・鉱物学的分析
			磁気探査	水質分析・測定
			電磁探査	放射年代測定
			電気探査	
			地震探査 (微小地震観測含む)	

## 2.4 第2章のまとめ

本章で述べた概要調査地区の選定に関する内容をまとめると、以下のとおりである。

- ・ 最終処分施設建設地の選定は、最終処分法に基づき、3段階の選定過程（概要調査地区の選定、精密調査地区の選定、最終処分施設建設地の選定）を経て行う。
- ・ 概要調査地区の選定にあたっては、応募区域を全国の市町村から公募する。
- ・ 概要調査地区は、応募区域及びその周辺の地域について実施する文献調査により、これらの範囲の中から、「考慮事項」に基づいて選定される。
- ・ 概要調査地区選定の目的は、文献調査で分かる範囲で、最終処分施設建設地としての適性が明らかに劣る地域を含まないように、概要調査を行う地区を選定することである。
- ・ 文献調査の対象範囲は、概要調査地区選定にかかわる評価が終了した段階で、概要調査地区の選定根拠として用いた文献情報が評価の対象とした範囲である。
- ・ 概要調査地区のうち、応募区域の外側の部分については、概要調査等を実施することはあっても最終処分施設建設地として選定されることはない。
- ・ 精密調査地区選定段階においては、概要調査地区の特性をより詳細に評価するため、活断層、火成活動、隆起・侵食等に関し、概要調査地区の周辺においても補足的に現地調査を行うことが必要になる場合も考えられる。

## 《参考資料－1》最終処分法制定までのサイト選定プロセスの検討経緯

サイト選定プロセスに関しては、最終処分法が制定されるまでの間に、原子力委員会、総合エネルギー調査会原子力部会等において、以下のような検討が行われている（参考表 1-1 を参照）。

### (1) 原子力委員会

「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画」（原子力委員会、1994）において、地層処分について概ね次の手順で進めることが示された。

- ① 実施主体は、地層処分の候補地として適切と思われる地点について予備的に調査を行い、処分予定地を選定し、国は、立地の円滑化を図る観点から必要な措置を講ずるため、その選定の結果を確認する。ただし、その地点を処分予定地とするにあたって、実施主体は地元はその趣旨を十分に説明し、その了承を得ておくものとする。
- ② 次に実施主体は、実際の処分地としての適性を判断するため、処分予定地において地下施設による所要のサイト特性調査と処分技術の実証を行う。
- ③ 実施主体は、処分地として適当と判断すれば、処分場の設計を行い、処分に係る事業の申請を行うが、国は、処分に係る事業を許可するにあたり、必要な法制度等の整備を図るとともに安全審査を行う。

引き続いて、原子力委員会に高レベル放射性廃棄物処分懇談会が設置され、「処分懇報告書」（原子力委員会高レベル放射性廃棄物処分懇談会、1998）が取りまとめられた。この報告書では、処分地選定プロセスの一案として、次の手順が示されている。

#### ① 処分候補地の選定

実施主体は、処分予定地選定に必要な予備的調査を行うため、処分候補地を選定する。このため、個別の処分候補地選定プロセスに入る前に、あらかじめ処分事業の全体構想、処分地の立地及び処分施設にかかる安全確保の基本的考え方、実施主体と国の地域共生方策などを作成し公表しておく。実施主体は、これに基づいて地元から誘致のあった地点の中から処分候補地を選定する（公募方式）とともに、処分候補地として適切であると判断する地点について地元申し入れること（申入方式）も考えておく必要がある。

#### ② 処分予定地の選定

実施主体は、処分候補地が選定された後これについて予備的調査を行い、この結果に基づいて適切と判断した場合には、処分予定地として選定する。処分予定地では詳細な調査（サイト特性調査）を行う。

#### ③ 処分地の選定

実施主体は、サイト特性調査の結果に基づき、適切と判断すれば処分地として選定する。処分地の選定後、実施主体は処分場の設計を行うとともに処分に係る事業申請を国に行い、国の安全審査が始まることとなる。

## (2) 総合エネルギー調査会原子力部会

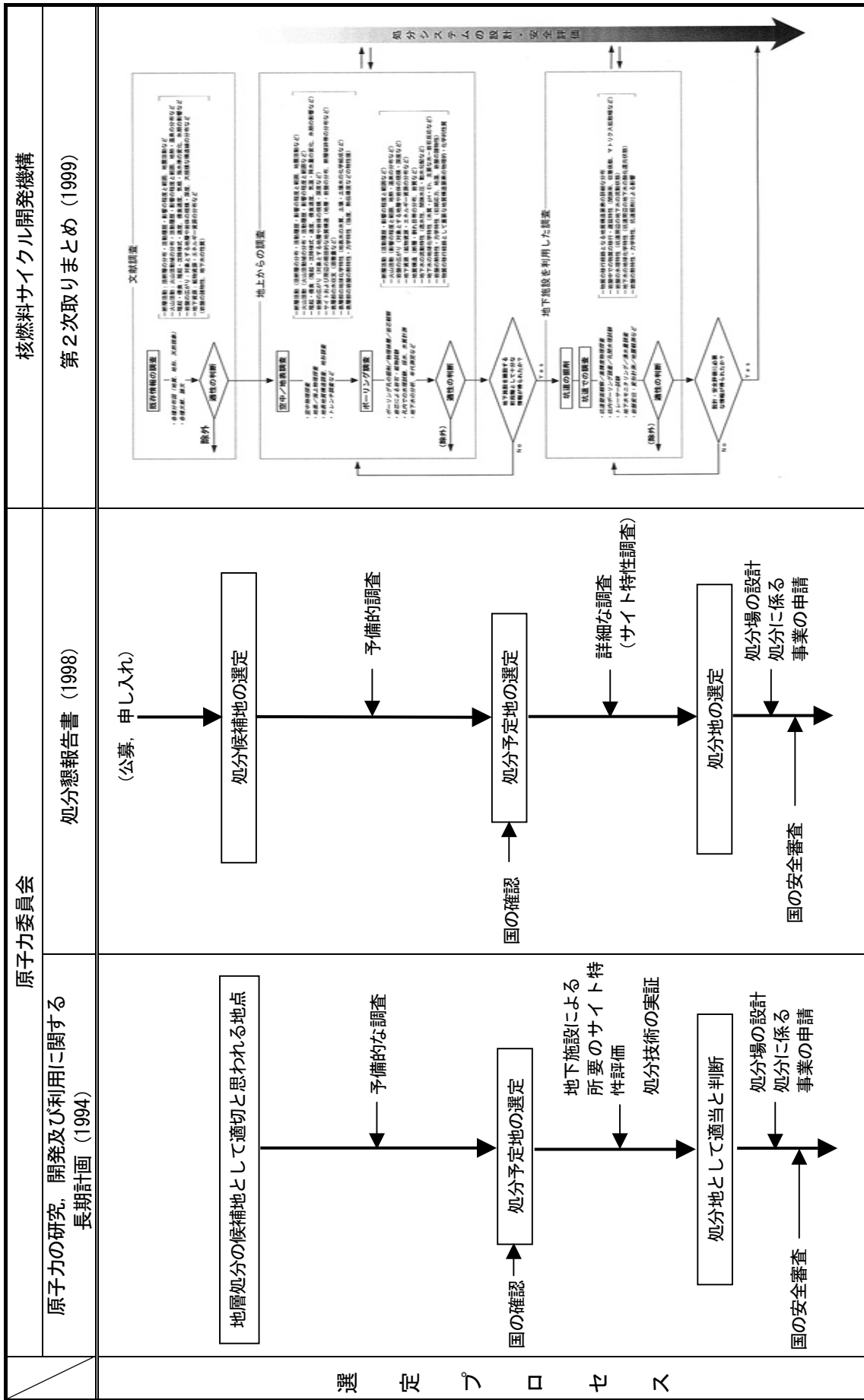
原子力委員会の「処分懇報告書」を受けて、通商産業大臣の諮問機関である総合エネルギー調査会原子力部会で、高レベル放射性廃棄物処分事業の制度化に向けた基本的な議論が行われ、「総合エネルギー調査会原子力部会中間報告－高レベル放射性廃棄物処分事業の制度化のあり方－」（総合エネルギー調査会原子力部会，1999）として取りまとめられた。この中で、処分費用を見積もるため、次の3段階のサイト選定プロセスが想定されている。

- ① 初期段階の立地活動等の対象となる立地調査地点
- ② 予備的な地質調査等の対象となる立地候補地点
- ③ 設計・建設に向けたサイト特性調査等の対象となる建設予定地点

## (3) 核燃料サイクル開発機構

「第2次取りまとめ」では、選定プロセスは「処分懇報告書」と同じく、処分候補地の選定から、処分予定地の選定、そして処分地の選定へと、段階的に進めていくことにしている。また、選定の各段階での地質環境の調査を、文献調査、地上からの調査及び地下施設を利用した調査に分けて、その内容を示している。文献調査は主に処分候補地の選定段階において、地上からの調査は処分予定地の選定段階から処分地の選定段階（サイト特性調査）にわたって、また、地下施設を利用した調査は、サイト特性調査の一環として実施されるものとしている。

参考表 1-1 処分地選定プロセス（原子力委員会及び核燃料サイクル開発機構）

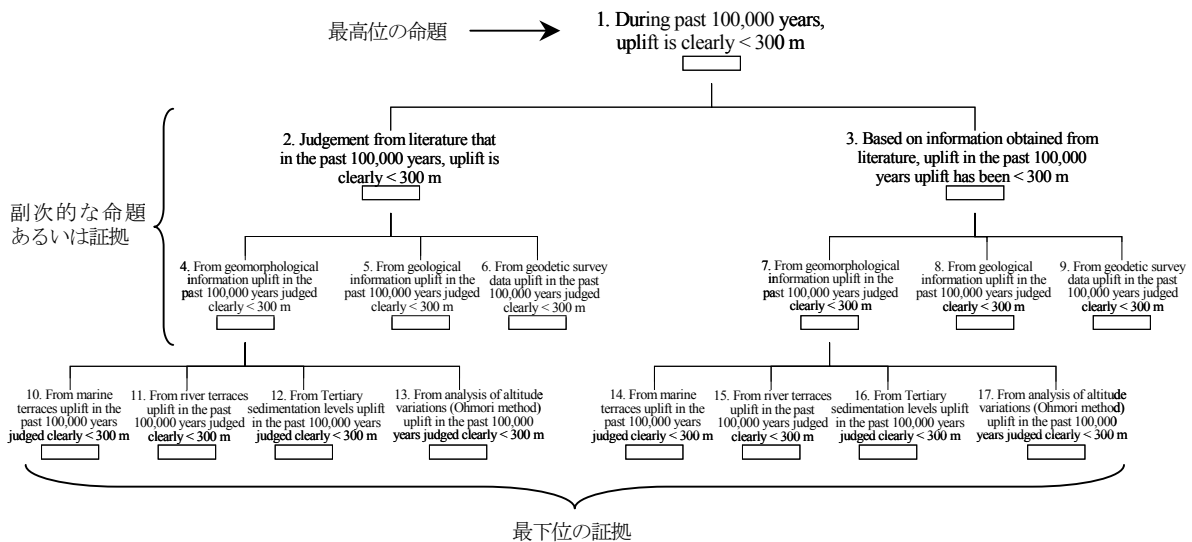




《参考資料-2》証拠に基づく意思決定支援理論 (ESL) の手法の概要

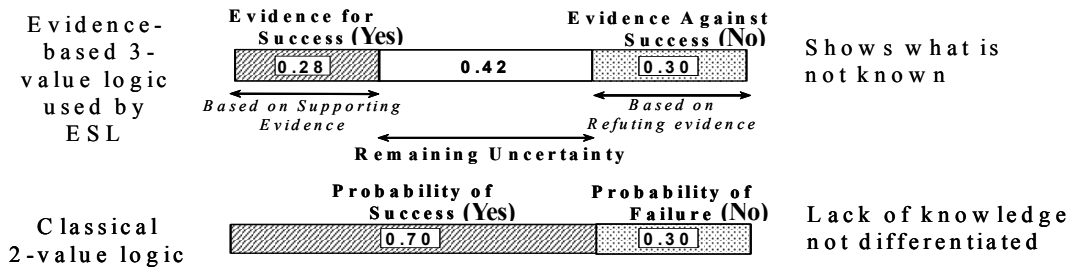
ESL (Evidential Support Logic) は、階層プロセスモデル (樹形図) を用いて判断の過程を整理・明確化し、区間確率により命題や証拠に伴う不確実性を把握し、これを定量化して扱うための手法である。

階層プロセスモデルは、最高位の命題、最下位の複数の証拠 (データや情報)、そして通常これらの間の副次的な命題を含む階層からなる (参考図 2-1)。このモデルの下位から上位に向かって証拠及び伴われる不確実性が伝播する。ESL では、区間確率を用いることにより、古典的確率論における Yes と No の確率だけでなく、知識不足に起因する不確実性を、証拠から明らかに Yes と判断される確率及び明らかに No と判断される確率を全体から差し引いた残りの部分として表現することができる (参考図 2-2)。ある命題の区間確率と不確実性は、参考図 2-3 に示す式で計算される。ESL における演算では、十分性 ( $w$ ) と重複性 ( $D$ ) というパラメータを設定する。十分性 ( $w_1$ ) 及び ( $w_2$ ) は、上位の命題が Yes あるいは No であることに対する証拠 1 及び証拠 2 の貢献度 (重み) を表す。重複性 ( $D_{12}$ ) は、証拠 1 及び証拠 2 の独立性を表す。これらのパラメータには、専門家により主観的に 0~1 の間の適当な数値が割り振られる。



参考図 2-1 ESL における階層プロセスモデルの例

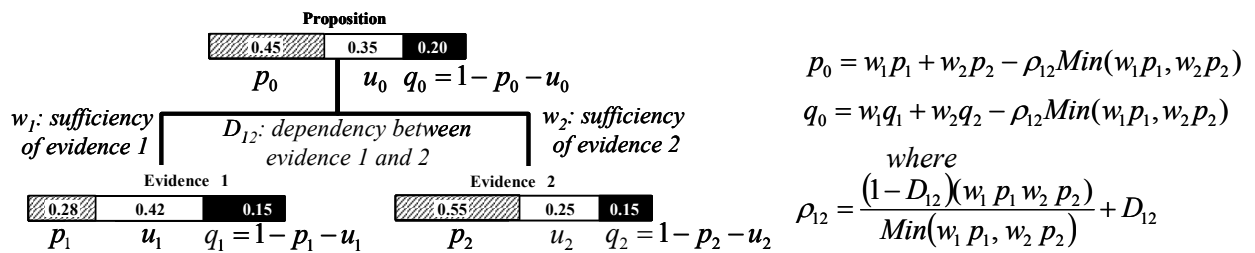
(Tsuchi et al., 2004 に一部加筆)



- 2-value logic leads to false assertions – e.g. lack of evidence that uplift has not occurred implies the evidence that uplift has occurred
- 3-value logic differentiates the “Remaining Uncertainty” from the “evidence for” and allows better analysis of how to tackle the remaining uncertainty.

参考図 2-2 ESL 及び古典的確率理論における表現の比較

(Tsuchi et al., 2004 に一部加筆)



参考図 2-3 ESL における演算方法

## 参考文献

- 電力中央研究所・電気事業連合会（1999）：高レベル放射性廃棄物地層処分の事業化技術。
- 土木学会原子力土木委員会地下環境部会編（2001）：概要調査地区選定時に考慮すべき地質環境に関する基本的考え方，土木学会。
- 原子力安全委員会（2000）：高レベル放射性廃棄物の処分に係る安全規制の基本的考え方について（第1次報告）。
- 原子力安全委員会（2002）：高レベル放射性廃棄物処分の概要調査地区選定段階において考慮すべき環境要件について。
- 原子力発電環境整備機構（2001）：特定放射性廃棄物処分の概要調査地区等の選定手順の基本的考え方について，官報，号外第238号，平成13年11月8日。
- 原子力発電環境整備機構（2002a）：応募要領，高レベル放射性廃棄物の最終処分施設の設置可能性を調査する区域の公募関係資料－1。
- 原子力発電環境整備機構（2002b）：処分場の概要，高レベル放射性廃棄物の最終処分施設の設置可能性を調査する区域の公募関係資料－2。
- 原子力発電環境整備機構（2002c）：概要調査地区選定上の考慮事項，高レベル放射性廃棄物の最終処分施設の設置可能性を調査する区域の公募関係資料－3。
- 原子力発電環境整備機構（2002d）：地域共生への取組み－地域と事業を結ぶために－，高レベル放射性廃棄物の最終処分施設の設置可能性を調査する区域の公募関係資料－4。
- 原子力委員会（1994）：原子力の研究，開発及び利用に関する長期計画，平成6年6月24日。
- 原子力委員会高レベル放射性廃棄物処分懇談会（1998）：高レベル放射性廃棄物処分に向けての基本的考え方について。
- 核燃料サイクル開発機構（1999）：わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性－地層処分研究開発第2次取りまとめ－。
- 総合エネルギー調査会原子力部会（1999）：高レベル放射性廃棄物処分事業の制度化のあり方，総合エネルギー調査会原子力部会中間報告。

総合資源エネルギー調査会原子力部会高レベル放射性廃棄物処分専門委員会技術ワーキング・グループ事務局（2002）：「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」における処分地選定プロセス及び技術ワーキング・グループの当面の検討の進め方について（案）。

特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律，平成12年6月7日，法律第117号。

特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律施行規則，平成12年9月1日，通商産業省令第151号。

Tsuchi, H., Seo, T., Metcalfe, R., Kawano, Takase, H., Bowden, R. A., Suyama, Y., Toida, M. and Furuichi, M. (2004) : Study on a decision making methodology with uncertainties in the selection process of preliminary investigation areas. MRS 2003 Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXVII June 15-18, 2003 Kalmar Sweden.

## 第3章

# 日本の地質環境と将来予測

### 第3章 日本の地質環境と将来予測

地層処分による長期的な安全性の確保を図るうえで地層の第一義的な役割は、廃棄物と人間の生活環境との間に長期にわたって十分な距離を確保することである。加えて、深部の地質環境が本来有する特性として、岩盤や地下水の性質が、人工バリアの健全性維持にとって好ましい設置環境を提供し、かつ、たとえ放射性核種が地下水と接触したとしてもその溶解を抑制し、さらに地質環境中に移行したとしても、核種の移行が十分に遅延し、分散・希釈されるという天然バリアとしての働きが十分な科学的根拠をもって期待できることである。これらの役割を果たすためには、処分場を設置する地質環境が長期にわたって十分に安定していること（「地質環境の長期安定性」）、岩盤とそこに含まれる地下水の物理的・化学的性質（「地質環境の特性」）が多重バリアシステムの性能にとって十分に適切であることが求められる。ここで、地質環境の「長期」とは、過去数十万年程度の地質学的記録を基に、将来10万年程度を想定しており（原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会、1997；以下、「専門部会報告書」という）、また、「安定」とは、まったく不変であることを意味しているのではなく、岩盤や地下水の性質がある程度変化することを考慮に入れても、地質環境が地層処分において期待される役割を果たすことができれば、その地質環境は十分に安定であるとみなすことができる（「第2次取りまとめ」）。

日本の地質環境の特徴としては、変動帯に位置する弧状列島からなり、様々な種類の地質や岩体が存在し、これらの構成が複雑であること、安定大陸に比べて火山・火成活動、地震・断層活動、隆起・沈降運動が活発に認められること、地下水の水位が高く、岩盤中に開口割れ目等が存在する場合、その空隙は地表付近まで地下水に満たされている所が多いこと等が挙げられる。これら自然現象は、プレートの配置やその相対運動が支配する日本列島のテクトニクスの場合において生起している現象であり、この場に大きな変化が生じなければ、これらの現象は、同様な様式で継続していくと考えられる。「変動帯」とはいえども、新たな地殻変動が起こるような場への変動は、100万年単位の長期にわたる現象である（「地下環境部会報告書」）こと、あるいは、テクトニクスの場合における地殻の応力状態は、数十万から数百万年という地質学的な時間の中で、一定の傾向を保ちつつ進行していき、10万年程度の中にその傾向が急激に変化するようなものではない（清水ほか、2001）ことから、地層処分において対象としている将来10万年程度の時間スケールは、このような地質学的な変動の時間スケールに比べて小さく、過去数百万年～数十万年程度の記録から、将来10万年程度の期間における自然現象の活動を地球科学的に検証することは可能であると考えられる。

高レベル放射性廃棄物の最終処分施設建設地の選定にあたっては、このような地層処分における「長期」と「安定性」の概念を考慮した地質環境の役割及び変動の時間スケール等、日本列島の地質環境の特徴を十分に把握したうえで、最終処分法に示された選定要件に基づき、3段階の選定過程の各段階において考慮すべき項目、評価の考え方等を設定していく必要がある。なお、3段階の選定過程の第1段階である概要調査地区選定の段階における法定要件への適格性については、主に、地震等の自然現象による地層の著しい変動の記録がないこと、地震等の自然現象による地層の著しい変動が生ずるおそれが少ないと見込まれること等の観点から評価が実施されることから、上記の自然現象にかかわる「地質環境の長期安定性」の評価が特に重要となる。

以上より、本章では、考慮事項を設定するうえで前提条件となる日本列島の地質環境の特徴について述べ、特に、「地質環境の長期安定性」の評価の観点から、日本の地質環境の将来予測にかかわ

る以下の諸事項について、取りまとめを行った。

「3.1 日本列島の地質概要」で、まず、日本に分布する地質について概観した。そのうえで、日本列島における地震等の自然現象に関する将来予測を行ううえでの基礎情報として、「3.2 日本列島の地質構造変遷」では、地質学的な変動の時間スケールにおける日本列島周辺のプレートの配置、運動様式の変遷について取りまとめ、「3.3 地震等の自然現象の発生の特徴」では、同様に地質環境の長期安定性に関連する主要な自然現象である「地震・断層活動」、「火山・火成活動」、「隆起・沈降、侵食」、「気候変動・海水準変動」の特徴について取りまとめを行った。また、「3.4 将来予測の考え方」では、それらを踏まえて地震等の自然現象の将来予測に関する基本的な考え方と、その根拠となる日本列島周辺のプレートシステム・広域的な造構応力状態の安定性の具体的な根拠を取りまとめた。

### 3.1 日本列島の地質概要

#### 3.1.1 日本の地質分布と地質構造区分

日本の地質は、古生代～新生代の様々な堆積岩（未固結の堆積物を含む）、火成岩（未固結の火山噴出物を含む）、変成岩からなり、大局的にみて弧状列島の伸びの方向とほぼ平行な帯状分布をしている（図 3.1.1-1）。このような帯状分布を構成する地質は、主に古生代～中生代～新生代古第三紀（以下、「先新第三紀」という）の地層群と、それらに貫入した火成岩類であり、それらが日本列島の骨格を形成している。一方、新生代新第三紀及び第四紀の地層群と火成岩類は、先新第三紀の地層群や火成岩類を被覆またはそれらに貫入しており、新第三紀以降のプレートシステムを反映した分布をしている。先新第三紀の地質構造区分、新第三紀及び第四紀の地質構造区分を図 3.1.1-2 に示す。

先新第三紀の地質構造は、顕著な構造線（断層）によって各帯が接しているという特徴を有している。加えて、各帯を横断する大断層すなわち糸魚川－静岡構造線が日本列島を大きく二つに区分している。糸魚川－静岡構造線の東北側を「東北日本」、西南側を「西南日本」と呼んでいる。また、西南日本は、中央構造線によりアジア大陸側の内帯と太平洋側の外帯に区分されている。西南日本外帯では帯状構造が顕著であり、日本海側から太平洋側に向かって、形成時期が新しい地層が分布している。一方、東北日本では、北海道の中軸部を別にして、帯状構造が西南日本ほど明瞭でない。

新第三紀の地質構造は、日本海側のグリーンタフ地域と太平洋側の新第三紀堆積盆地に大きく区別される。新第三紀以降の地質構造は、比較的単純で緩やかな褶曲と小規模な縦ずれ断層運動（東北日本）、横ずれ断層運動（西南日本）が主要な要素となっている。また、新第三紀の火成活動域は、現在の第四紀火山分布地域よりも広く、火山フロントは現在よりも海溝側に位置しており、時間の経過とともに火山フロントは背弧側に移動し、現在に至っている（大口ほか、1989；吉田ほか、1995等）。

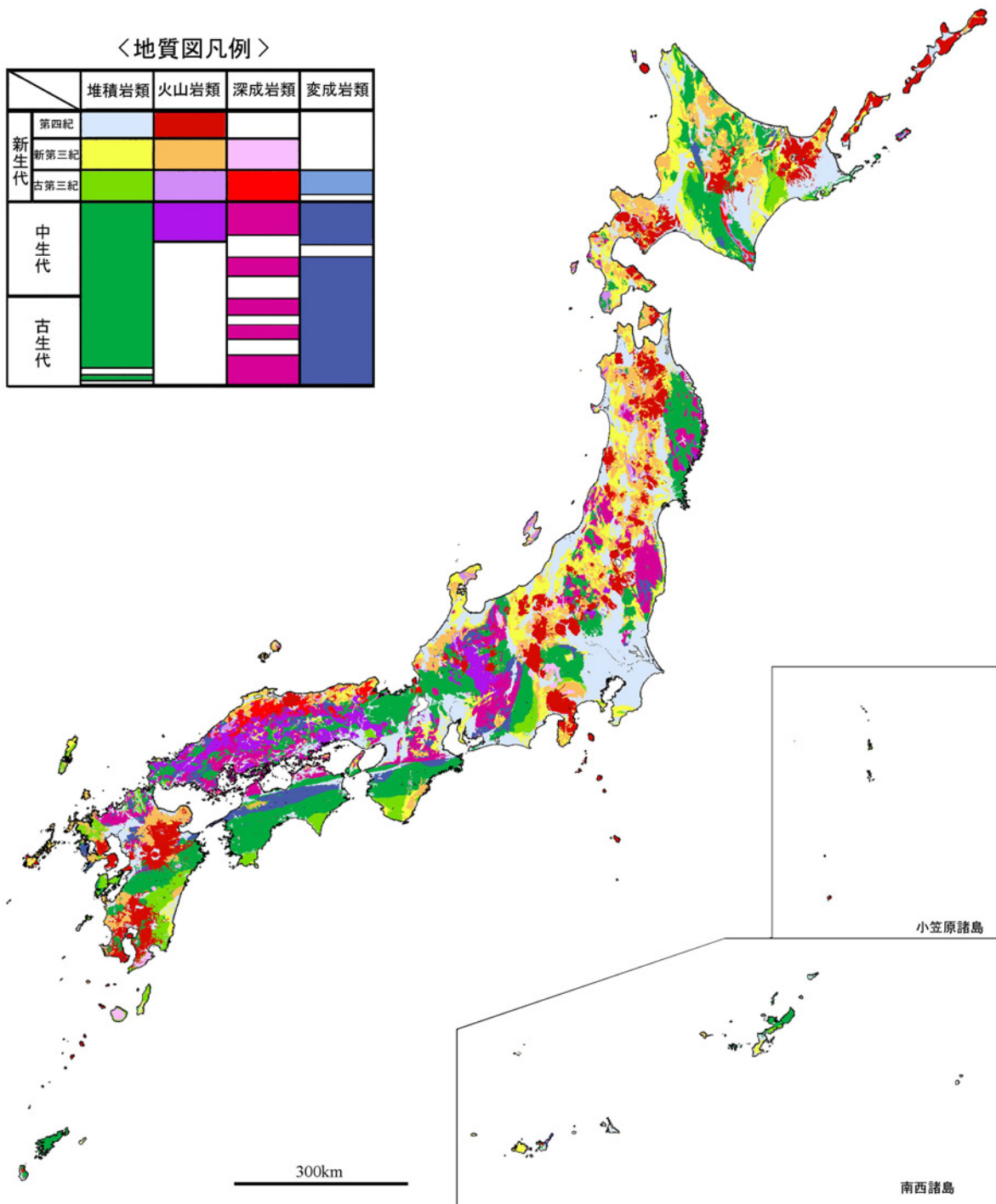
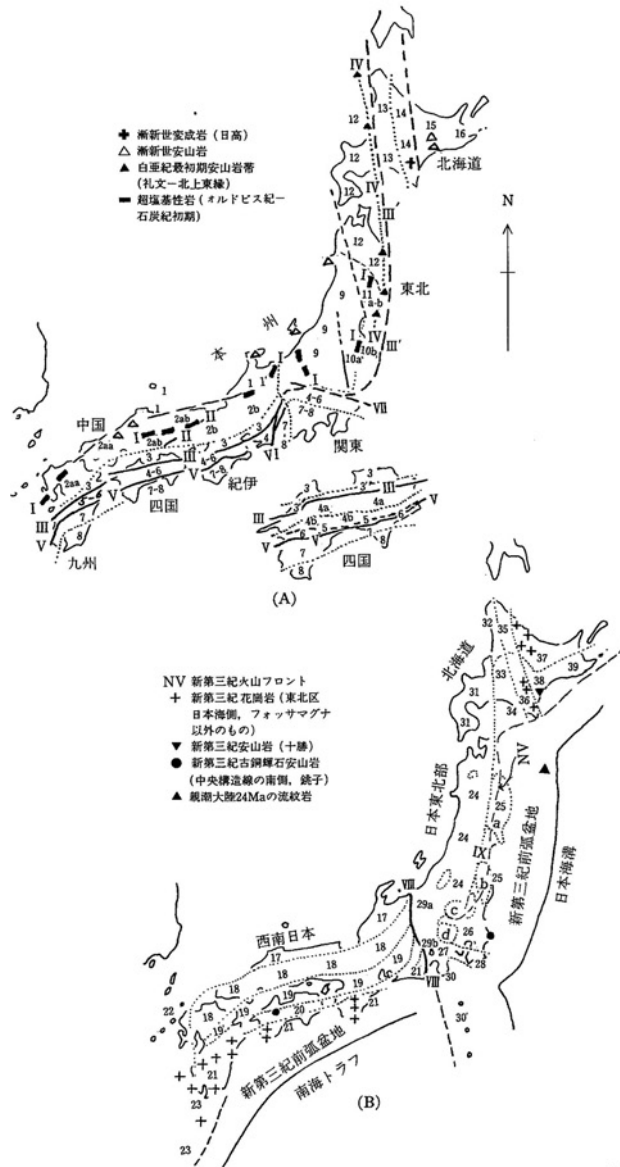


図 3.1.1-1 日本列島の地質分布  
 (地質調査所編, 1995 を編集, 承認番号: 第 75000-A-20040210-001 号)





赤石裂線 (VI)	北上山地 (11, 12)	空知-日高区 (14)	日高山脈(北海道南部 中軸山地) (36)
足尾マッシーフ(新第三紀) (c)	北上東縁-礼文安山岩帯 (IV)	丹沢 (27)	飛騨外縁地区 (1')
阿武隈(西部・中部) (10a)	北上マッシーフ(新第三紀) (a)	丹波-美濃 (2b)	飛騨帯 (1)
阿武隈(東部) (東部阿武隈) (10b)	北九州-中国区 (2a)	千島(西端部) (16, 39)	フォッサマグナ(南部) (29b)
阿武隈マッシーフ(新第三紀) (b)	北見地区 (37)	秩父帯 (4b)	フォッサマグナ(北部) (29a)
石狩地区 (33)	黒瀬川帯 (5)	中央構造線 (III)	仏像構造線 (V)
伊豆 (30)	小仏帯 (8)	中国-中部山地(新第三紀) (18)	別府-雲仙陥没帯 (19')
和泉層群堆積盆地 (3')	山陰-北陸区 (17)	天塩山地(北海道北部 中軸山地) (35)	北西部九州 (22)
永魚川-静岡線 (VIII)	三波川帯 (4a)	天北地区 (32)	北部北上 (12)
浦河地区 (34)	三宝山帯 (6)	東北区太平洋側(新第三紀) (25)	房総半島 (28)
神居古潭-空知区 (13)	七島 (30')	東北区日本海側(新第三紀) (24)	舞鶴帯 (11)
関東構造線 (VII)	四万十帯 (7)	東北日本海側区 (9)	御荷鉢帯 (4a)
関東山地(マッシーフ) (d)	初原の中央構造線(東北日本) (III')	十勝地区 (38)	美濃-丹波 (2b)
関東盆地 (26)	西南北海道 (12, 31)	南部北上(西部) (11a)	母体-長崎半島帯 (1)
外帯(南部) (新第三紀) (21)	瀬戸内区 (19)	南部北上(東部) (11b)	琉球弧 (23)
外帯(北部) (新第三紀) (20)	瀬戸川-中村帯(前弧盆地) (8)	仁頃帯 (15)	領家帯 (3)
			礼文-北上東縁安山岩帯 (IV)

図 3. 1. 1-2 日本の地質構造区分 (A) 先新第三紀, (B) 新第三紀及び第四紀 (出典: 木村ほか, 1993)

### 3.1.2 日本列島の地層分布

日本に分布する地層の地表付近での分布割合は、岩種別では堆積岩 56.10%、火成岩（火山岩、深成岩の総和）40.05%、変成岩 3.85%であり、時代別では先新第三紀 42.13%、新第三紀 25.42%、第四紀 32.45%である（村田・鹿野，1995）（表 3.1.2-1）。

前節（3.1.1）で述べたように日本の地質は、古第三紀以前の地層と新第三紀以降の地層とで地質構造区分が異なる。日本の地質を古生代～中生代、古第三紀、新第三紀、第四紀の四つの時代に区分し、時代ごとに堆積岩、火山岩、深成岩、変成岩に分けて図 3.1.2-1～図 3.1.2-4 に示す。

先新第三紀の地層は、岩種によらず十分に固結した硬岩（自然密度 2.6～2.7g/cm<sup>3</sup>）である（佐藤ほか，1992）。一方、新第三紀の地層は固結～準固結した硬岩（自然密度 2.2～2.6g/cm<sup>3</sup>）及び軟岩（自然密度 1.8～2.2g/cm<sup>3</sup>）であり、第四紀の地層は未固結～半固結の堆積岩及び未固結～固結の火山噴出物である（「地下環境部会報告書」）。以下に、時代別に主な地質の代表的岩種とその分布域について述べる。記述に際しては、「日本の地質」（木村ほか，1993）、「地下環境部会報告書」及び「理科年表読本コンピュータグラフィックス日本列島の地質」（日本列島の地質編集委員会編，1996）を参考とした。

表 3.1.2-1 日本列島を構成する各種岩石の分布面積（出典：村田・鹿野，1995）

岩種	地質時代*	面積 (km <sup>2</sup> )	比率 (%)
堆積岩	第四紀	80,228.16	21.36
	新第三紀	46,822.76	12.47
	古第三紀	7,122.90	1.90
	白亜紀	10,207.19	2.72
	ジュラ紀	757.06	0.20
	三畳紀	1,139.80	0.30
	古生代	3,571.21	0.96
第四紀－古生代		149,849.08	39.91
堆積岩を主とする付加コンプレックス	古第三紀－古生代	60,802.94 [異地性岩体：3,215.41]	16.19
火成岩を主とする付加コンプレックス	古第三紀－古生代	3,661.73	0.98
超苦鉄質火成岩類	先新第三紀	1,876.98	0.50
火山岩	第四紀	41,629.97	11.09
	新第三紀	44,685.16	11.90
	古第三紀	4,261.61	1.13
	白亜紀	15,092.42	4.02
	第四紀－白亜紀	105,669.16	28.13
深成岩	新第三紀	3,947.43	1.05
	古第三紀	5,339.90	1.42
	白亜紀	28,498.26	7.59
	先白亜紀	1,422.46	0.38
新第三紀－古生代		39,208.05	10.44
変成岩	先新第三紀	14,472.51 [低圧型：4,207.01] [高圧型：10,265.50]	3.85
合計		375,540.47	
堆積岩 (付加コンプレックスを含む)			56.10
火成岩 (付加コンプレックス及び超苦鉄質火成岩を含む)			40.05
変成岩			3.85

\*) 100万分の1日本地質図第3版には、新第三紀と古第三紀との境界にまたがる年代(PG.)の地質単位がある。ここではそれらの年代をより近い古第三紀とした。

### (1) 中・古生代の堆積岩

中・古生代の堆積岩は、デボン紀以前の堆積岩、石炭紀～ジュラ紀の堆積岩、白亜紀の堆積岩に大別される。なお、オルドビス紀の地層は分布が狭い範囲に限られるため省いている。

#### (i) シルルル紀～デボン紀の堆積岩

北上山地、飛騨外縁帯、黒瀬川帯にわずかに分布する。これらは、凝灰質砂岩、泥岩、石灰岩等からなる。

#### (ii) 石炭紀～ジュラ紀の堆積岩

北海道中軸部、北上山地、足尾山地、関東山地、丹波帯～美濃帯、秩父帯～三宝山帯等に分布する。これらは砂岩、泥岩（頁岩）、層状チャート、石灰岩、玄武岩質火山岩等からなる。これらの地層の大半は、整然と成層せず、様々な岩種が混在する地層すなわちメランジュ（オリストストローム等）である。部分的に比較的整然と成層した砂岩、泥岩（頁岩・スレート）、石灰岩、層状チャートが分布する。その中には層厚 500～1,000m に及ぶ厚い層も分布する。

#### (iii) 白亜紀の堆積岩

北海道の中軸部及び東部、北上山地北部の太平洋沿岸、和泉山脈～讃岐山脈、八代～天草～<sup>こしきじま</sup>甑島、西南日本外帯の<sup>しまんと</sup>四万十帯等に分布する。これらは主として砂岩、泥岩、砂泥互層からなり、中でもタービダイト（混濁流堆積物）相が卓越する。四万十帯の地層では、メランジュ（主にオリストストローム）が卓越する。そのほか、陸成～浅海相の礫岩・砂岩・泥岩の小分布が日本各地に散在する。

### (2) 中・古生代の火成岩

古生代の深成岩体は、一般に小貫入岩体として散在しており、花崗岩、閃緑岩、斑レイ岩、超塩基性岩（主に蛇紋岩）等からなる。火山岩としては堆積岩中に安山岩や玄武岩（各種溶岩及び凝灰岩）を産する。玄武岩類は、一般に小岩体（オリストリスを含む）が多いが、石灰岩の下位にある岩体や石炭紀～二畳紀の層状チャートに伴う岩体には、数百 m を越える厚い層もある。

中生代の火成岩のうち最も広く分布するのは白亜紀の花崗岩類である。これらは本州～九州北部に断続的に広い範囲に分布しており、日本列島主部の骨格をなす北上山地、阿武隈山地、朝日山地、西南日本領家帯等に分布している。複数の貫入岩体からなる複合岩体のうち大きなものでは、分布面積が 1,000～3,000km<sup>2</sup> に及ぶものも存在する。また、これらの花崗岩分布域に伴って、白亜紀の火山岩（流紋岩質～安山岩質、多くは溶結流紋岩）が、奥日光、中部地方（濃飛流紋岩類）、中国地方（高田流紋岩類）等に広く厚く分布している。

### (3) 中・古生代の変成岩

日本の変成岩の大部分は、中生代（三畳紀～白亜紀）に変成作用を被って生成したものである。一方、古生代、新生代の変成岩は散在して小地域に分布するのみであるが、北海道日高山脈の日高変成岩（古第三紀変成）はやや広く分布している。

中生代の変成岩は、高温型と高圧型の二つのタイプに大別される。高温型変成岩は、花崗岩分布

域に伴って分布し、阿武隈変成岩、飛驒変成岩、領家変成岩（西南日本）等である。高圧型変成岩は、神居古潭<sup>かむいこたん</sup>変成岩（北海道）、三郡変成岩（西南日本内帯）、三波川変成岩（西南日本外帯）等である。これら両タイプの変成岩の原岩は、飛驒変成岩を除いて、いずれも主に古生代後期～ジュラ紀の堆積岩と推定される。飛驒変成岩の源岩は主に古生代の堆積岩と推定されるが、一部に先カンブリア紀の堆積岩を含んでいる。

高温型変成岩は、一般に再結晶度が良く粗粒で、片麻状構造が発達するもの（片麻岩）が多い。岩種は原岩の組織を反映して多様であるが、主に砂岩・泥岩起源の石英・長石質の片麻岩、玄武岩質～安山岩質火山岩起源のマフィックな片麻岩からなる。高圧型変成岩は、一般に顕著な定向配列をなす細粒変成鉱物からなり、緻密な片理が発達する。岩種は原岩の組成を反映し多様であるが、主に砂質片岩、泥質片岩（黒色片岩）、緑色片岩（塩基性片岩）からなる。

#### (4) 古第三紀の堆積岩

古第三紀の堆積岩は、三つのグループに大別される。

- ① 日本の主要な炭田地域すなわち天北～石狩、釧路～根室、常磐、山口県西部～北九州及び天草～甌島等に分布し、陸成～浅海相の砂岩、泥岩、砂泥互層からなる。
- ② 神戸近傍、対馬に分布し、浅海相の砂岩、泥岩、砂泥互層からなり、流紋岩質凝灰岩を挟む。
- ③ 西南日本外帯の太平洋岸域に帯状に広く分布し（瀬戸川帯または広義の四万十帯）、その大部分は沖合相の砂岩、泥岩及びそれらの互層からなり、中でもタービダイト相が卓越する。これらの多くはメランジュ（主にオリストストローム）をなすが、地域的にメランジュをなさない厚い砂岩や泥岩（頁岩・スレート）も分布する。

#### (5) 古第三紀の火成岩

男鹿半島、北陸、山陰地方に古第三紀の花崗岩類及び流紋岩類の小岩体が散在する。

#### (6) 新第三紀の堆積岩（随伴する火山岩を含む）

新第三紀の堆積岩は、次の三つのグループに大別される。

##### (i) “グリーンタフ地域”の新第三紀の堆積岩

北海道西部～東北日本中・西部～フォッサマグナ地域～丹沢・御坂<sup>みさか</sup>地域～伊豆半島に広くまとまって分布し、主に砂岩、泥岩、砂泥互層及び玄武岩質～安山岩質～流紋岩質の火山岩（溶岩、火砕岩、凝灰岩等）からなる。これらの大部分は浅海～中深海に堆積または噴出したものである。

##### (ii) 西南日本に散在的に分布する新第三紀の堆積岩

北陸～山陰の日本海側沿岸に分布し、浅海相の砂岩、泥岩、砂泥互層及び安山岩質～流紋岩質火山岩（溶岩、火砕岩等）からなる。また、瑞浪盆地～瀬戸内地域並びに佐世保～五島列島に分布する新第三紀の堆積岩類は、主に湖成あるいは浅海成の砂泥互層、安山岩質～流紋岩質火山岩類からなる。

(iii) そのほかの新第三紀の堆積岩

北海道東部及び阿武隈～九州の太平洋沿岸に分布し、浅海相～沖合相の砂岩、泥岩、砂泥互層からなり、厚い砂岩及び泥岩を挟む。

(7) 新第三紀の火成岩

中新世 (16～13Ma) (Ma : 100 万年前) の花崗岩類が、丹沢山地～甲府盆地周辺、大峰山脈 (熊野酸性岩類等)、高知南部、祖母山そぼさん～尾鈴山おすずやま、甌島、大隈半島及び屋久島等に分布する。白亜紀の花崗岩類に比べ一般に節理が少ないのが特徴である。新第三紀の火山岩は、前述の新第三紀堆積岩に随伴して分布している。

(8) 第四紀の堆積岩と火山岩

第四紀の堆積岩 (未固結の堆積物を含む) は、主として沖積平野に分布する。

第四紀の火山岩 (未固結の火山噴出物を含む) は、現在の火山フロントより背弧側に分布しており、東北日本及び伊豆～小笠原弧には、多数の火山が点在している。西南日本では、東北日本に比べ火山の分布が少ない。

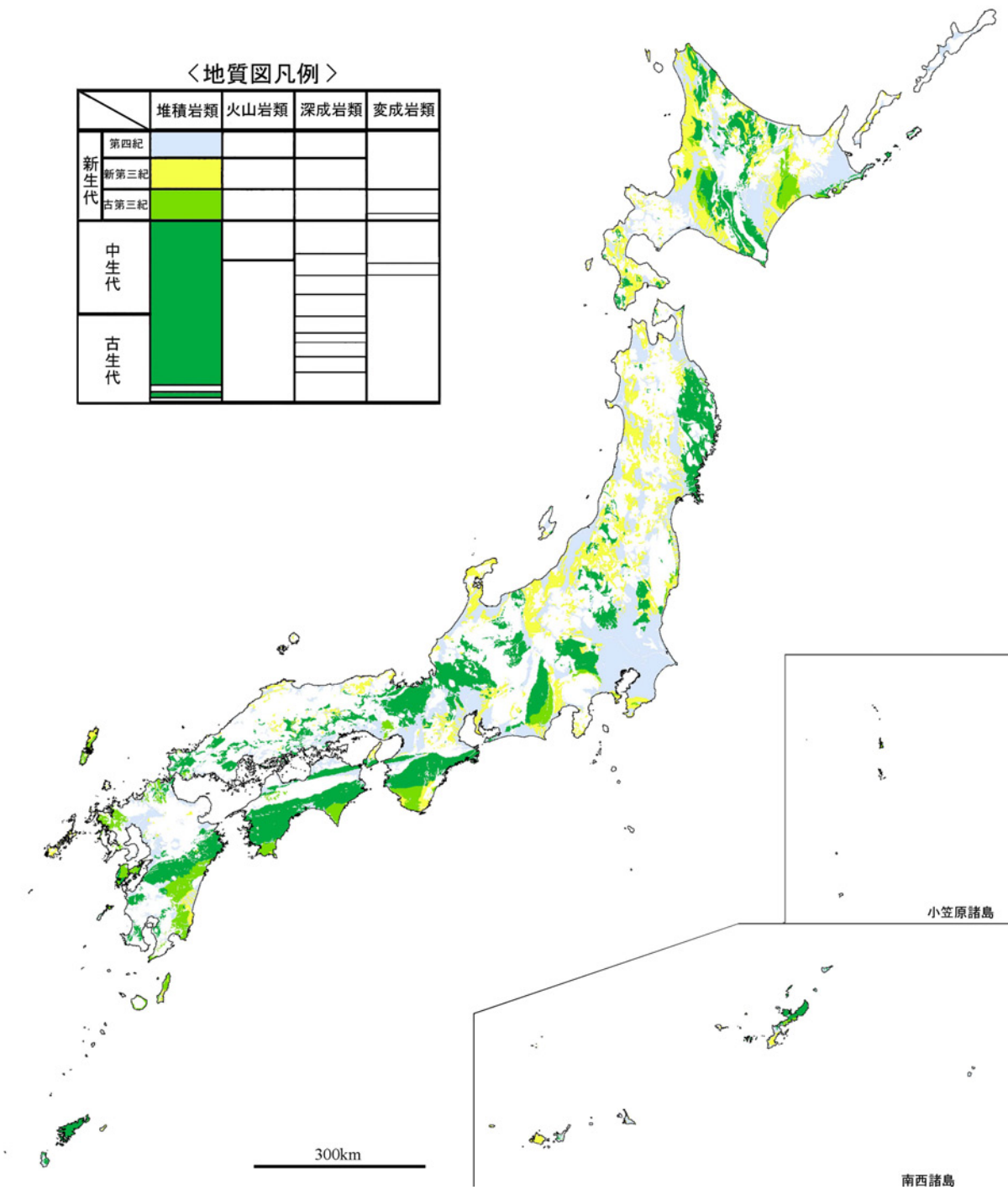


図 3.1.2-1 日本列島の堆積岩分布  
 (地質調査所編, 1995 を編集, 承認番号: 第 75000-A-20040210-001 号)

〈地質図凡例〉

		堆積岩類	火山岩類	深成岩類	変成岩類
新生代	第四紀		■		
	新第三紀		■		
	古第三紀		■		
中生代			■		
古生代					

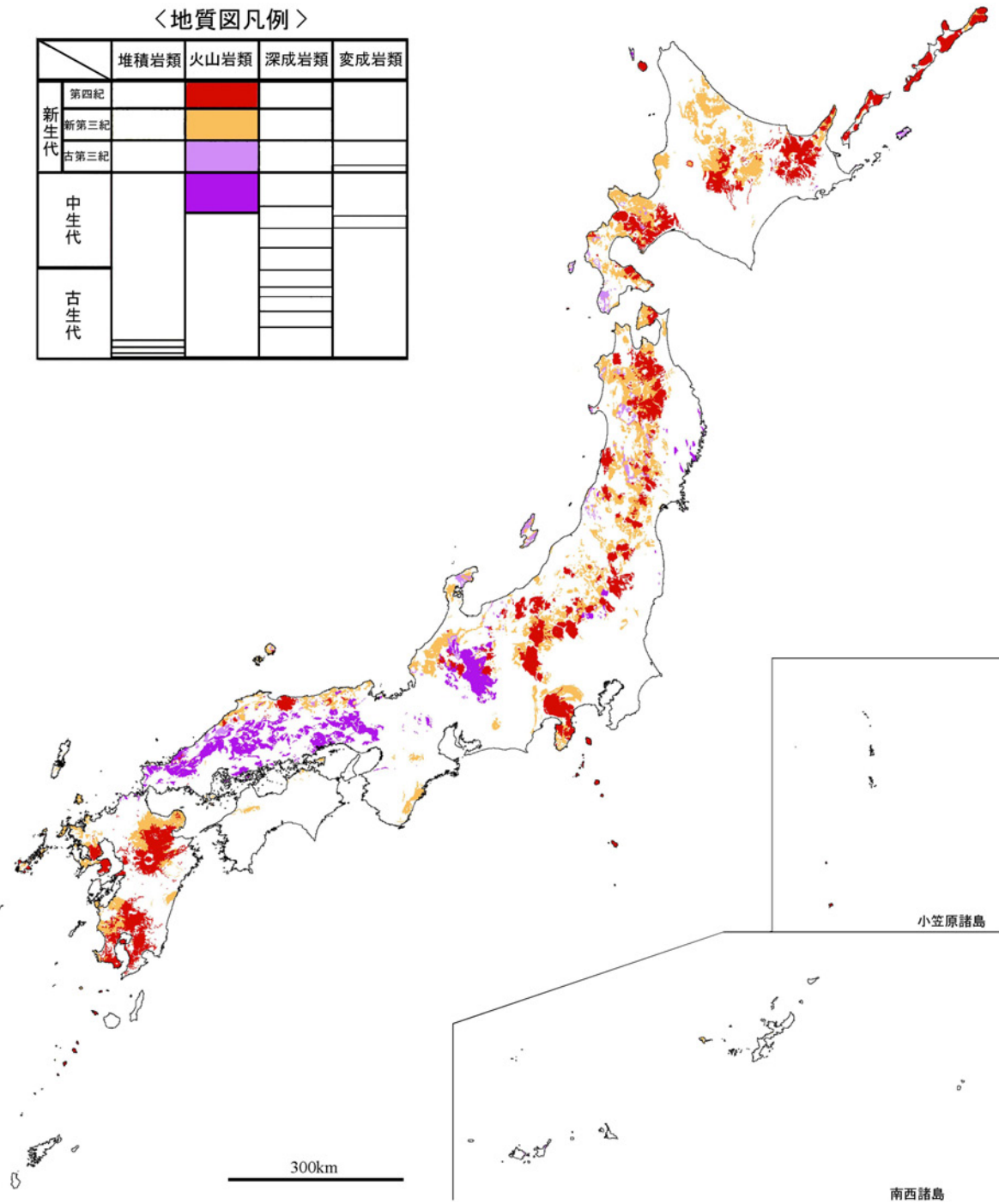


図 3.1.2-2 日本列島の火山岩分布  
 (地質調査所編, 1995 を編集, 承認番号 : 第 75000-A-20040210-001 号)

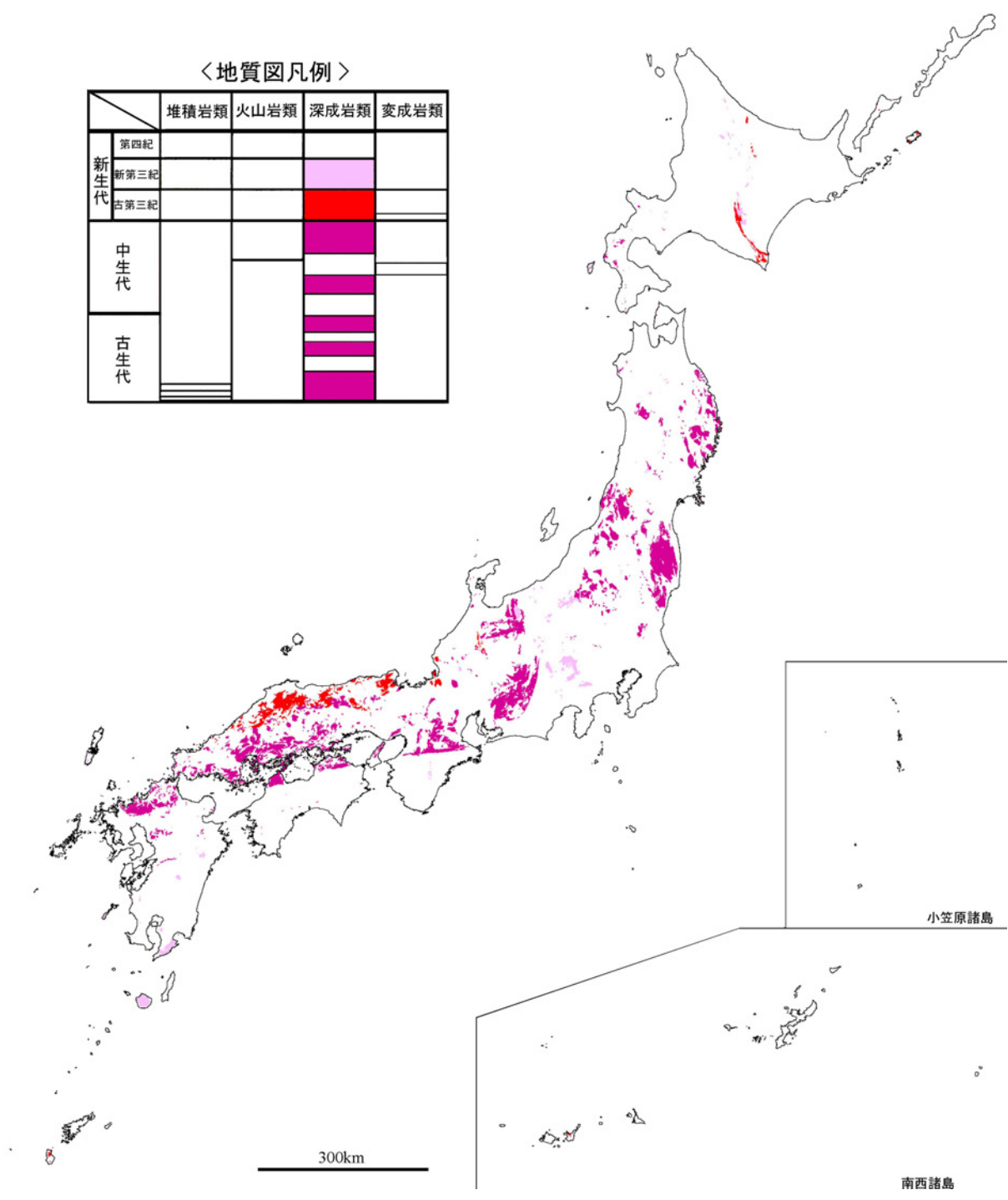


図 3.1.2-3 日本列島の深成岩分布  
 (地質調査所編, 1995 を編集, 承認番号: 第 75000-A-20040210-001 号)



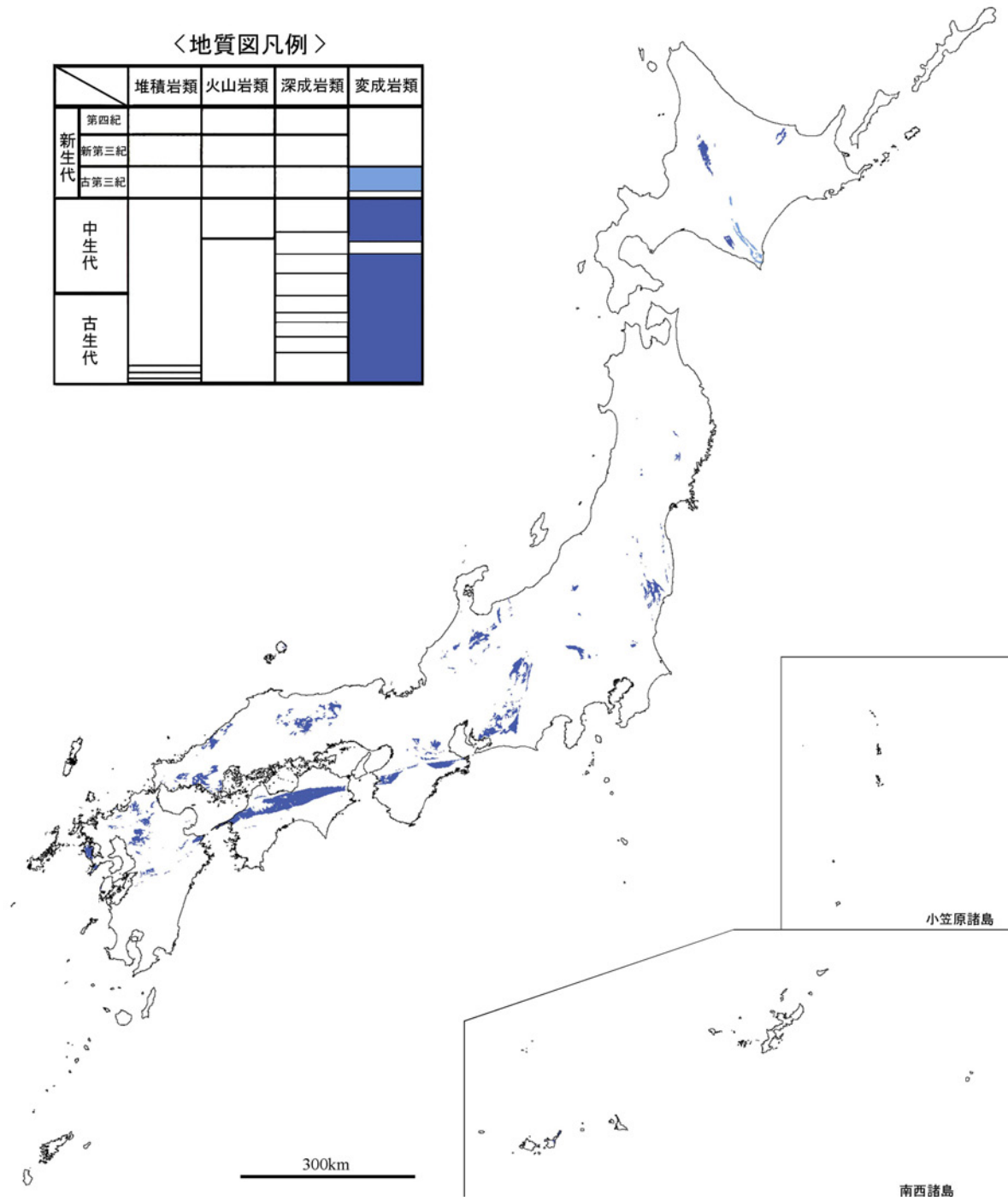


図 3.1.2-4 日本列島の変成岩分布  
 (地質調査所編, 1995 を編集, 承認番号: 第 75000-A-20040210-001 号)

### 3.1.3 3.1節の整理

本節では、地層処分の観点から地質環境条件を設定するうえでの前提となる情報として、日本列島の地質を、地層の時代、岩種に基づいて大きく八つに分類し（中・古生代の堆積岩、中・古生代の火成岩、中・古生代の変成岩、古第三紀の堆積岩、古第三紀の火成岩、新第三紀の堆積岩、新第三紀の火成岩、第四紀の堆積岩と火山岩）、その概要について述べた。

日本に分布する岩石の地表付近での分布割合は、岩種別では堆積岩 56.10%、火成岩 40.05%、変成岩 3.85%、時代別では先新第三紀 42.13%、新第三紀 25.42%、第四紀 32.45%である。

## 3.2 日本列島の地質構造変遷

地層処分の安全性を評価する期間については、地質環境の長期安定性、人間環境の長期的な変化及び放射性廃棄物の時間的な変化（放射能の減衰）との関係で検討していく必要があるとされているが、現在のところ具体的な数字は設定されていない。ただし、地質環境の長期安定の評価に関しては、「専門部会報告書」では、過去数十万年程度の地質学的記録をもとに、将来 10 万年程度の推論が可能であるとの目安を与えている。また、「技術 WG」では、最終処分法における「将来にわたって」の解釈を、『自然現象による地層の変動が予測できるといわれている、概ね数万年先の将来を想定』としている。

一方、「地下環境部会報告書」では、『現在のような島弧としての日本列島が形成されるに至るまでには、5 億年にわたる地殻変動史の中で、島弧形成の開始期は新しい。すなわち、少なくとも約 50Ma（古第三紀始新世）以前までは、日本列島は、シホテリアン山脈～朝鮮半島域と一体であった。この頃、この一体としての地域の中に帯状の沈降域が生じ始め（地殻の展張薄化）、そこが浅い海となって、徐々に拡大していった。この浅海を中軸として日本海が本格的に開き始めた時期、すなわちリソスフェアが開離し始めた時期は、約 33Ma（古第三紀漸新世）で、それ以降さらに開き続け、約 10Ma（新第三紀中新世）までにはほぼ現在の形の日本海ができあがった。』と記載されている。

地質学では、現在につながる日本列島の形成、地質構造の変遷について、日本列島の原形が日本海、四国海盆等の縁海とともに 30Ma 頃から 15～14Ma にかけて形成されたこと、それ以降プレートの沈み込みはほぼ定位置で継続していること、2Ma 前後には各プレートの運動方向がほぼ現在と同様になったこと等がわかっており、大局的に現在につながる日本列島のテクトニクスについては、30Ma 頃まで遡ることができると考えられ、地層処分において焦点としている期間よりも十分長い期間について情報を得ることができる。

したがって、本節では、日本列島における地震等の自然現象に関する将来予測の可能性を検討するうえで、日本列島周辺のプレートシステムの基本的な枠組みがいつ頃形成されたか、日本列島下に沈み込んでいる海洋プレートの運動方向や日本列島の地殻に作用する造構応力状態に関し、現在と同様の状況がいつ頃から継続しているかを明らかにすることが重要であると考え、日本列島周辺のプレートシステムに著しく大きな影響を及ぼしたと考えられる日本海の拡大開始・終了を含む、約 30Ma 以降現在までの日本列島周辺のプレートの配置、運動様式の変遷等について、以下に述べる。

### 3.2.1 日本海拡大以降のプレートシステムの変遷

日本列島周辺のプレートの配置・運動様式にかかわる地質構造の変遷については、図 3.2.1-1 のフローにしたがい、以下に示すプレートの配置・構造運動、火山フロント、古地殻応力場、海陸分布及び構造線に関連する既往の文献を収集・整理し、プレート配置図を作成した。(吉田・高橋, 2004)

- ① プレートの配置・構造運動…プレートの配置・運動，プレート境界の変遷及び地質構造の変遷にかかわるイベント（日本海，千島海盆及び四国海盆の拡大，千島弧及び伊豆－小笠原弧の衝突，日本海東縁の沈み込み等：表 3.2.1-1 参照）
- ② 火山フロント…火山活動，火山岩分布及び火山フロントの変遷
- ③ 古地殻応力場…鉞脈，岩脈等の分布及び三角測量，GPS 測量等の結果から得られた最大水平圧縮応力（ $\sigma_{Hmax}$ ）とその変遷
- ④ 海陸分布…海陸分布及び堆積環境の変遷
- ⑤ 構造線…日高主衝上断層，網走構造線，畑川構造線，棚倉構造線，糸魚川－静岡構造線，中央構造線，黒瀬川構造帯の活動履歴

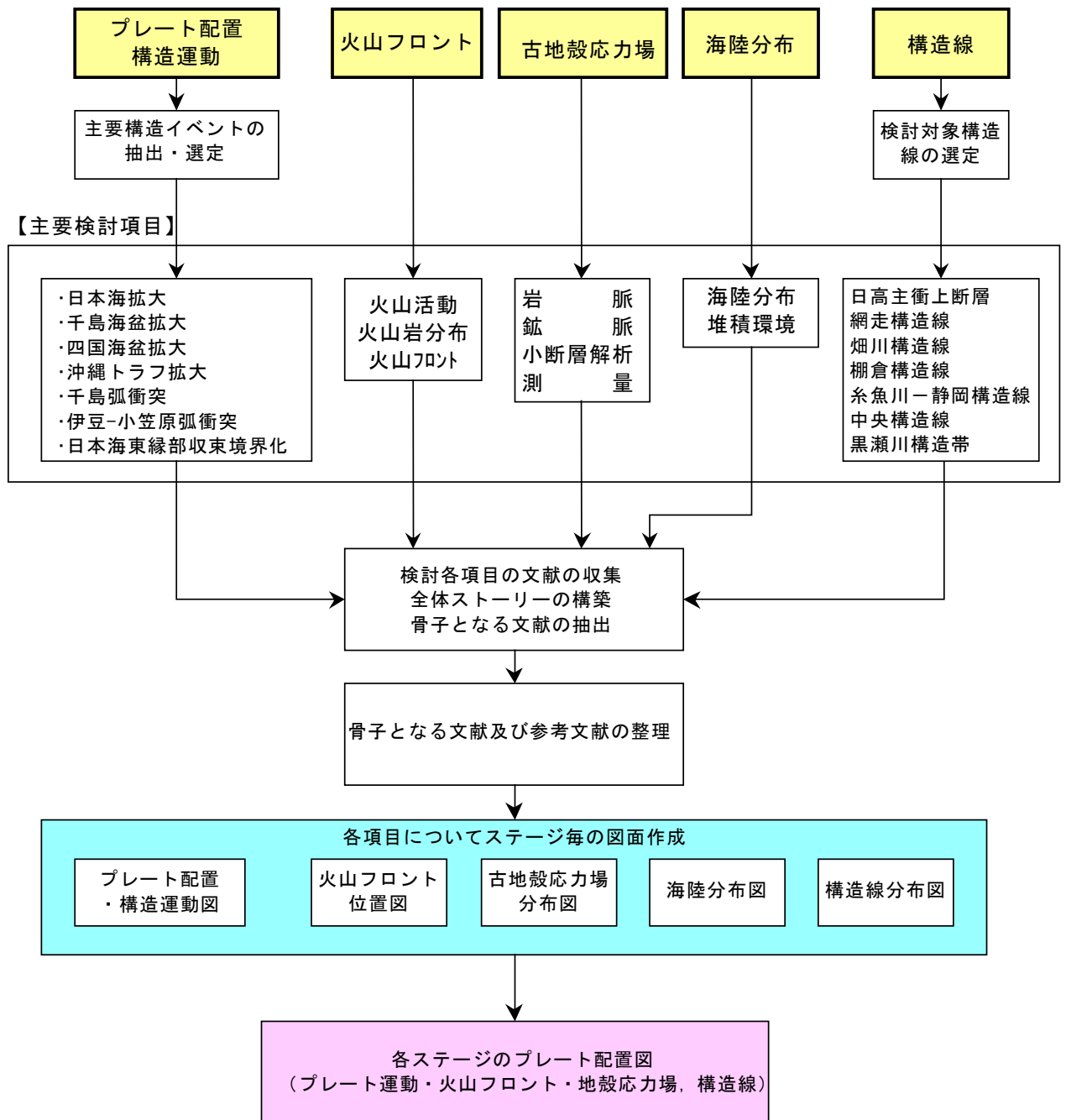
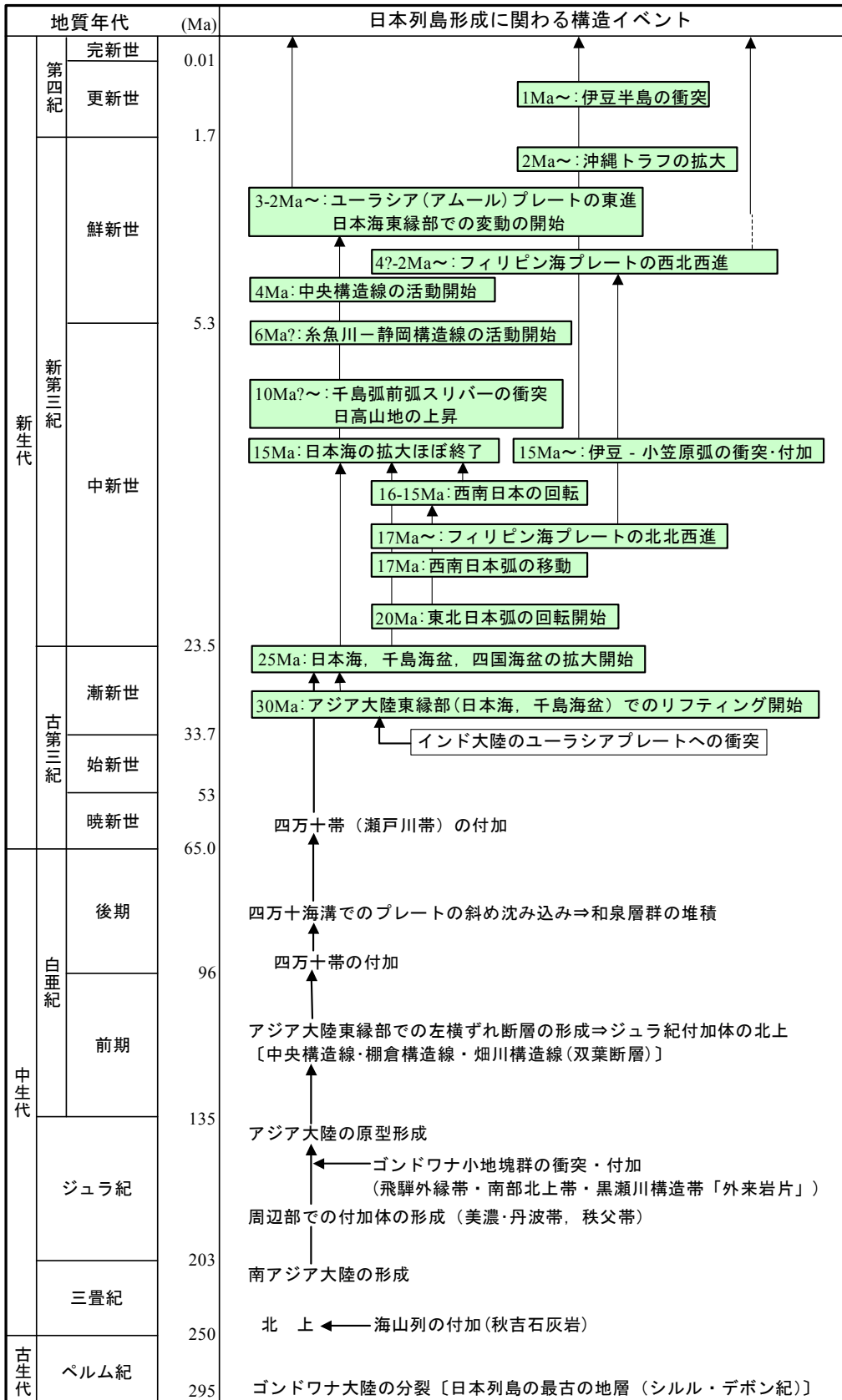


図 3.2.1-1 プレート配置図の作成フロー

表 3.2.1-1 日本列島の形成に関する主要なイベント



※地質年代：鮮新世-更新世境界については第四紀学会、その他は IUGS (2000) による

地質構造変遷の検討にあたっては、はじめに日本列島周辺の地質構造の変遷にかかわるイベントの年代、プレート運動様式の変遷及び各構造線の活動様式の変遷について記載された文献を抽出し、文献毎に記載されている各イベントの年代を表 3.2.1-2～3.2.1-3 に整理した。次に各文献を比較検討し、下記に示す骨子となる文献を抽出し（表 3.2.1-2～3.2.1-3 には着色して示す）、各項目にかかわる地質構造変遷の全体ストーリーを構成し、その他の文献を参照しつつ、地質構造変遷におけるイベントの時期を考慮して各時代のプレート配置図を作成した。

#### <プレート配置・構造運動>

- ・ 日本海拡大以前の日本列島の配置…日本海拡大前の日本列島の配置は、従来は古地磁気データによるものであったが（浜野・当舎, 1985 ; Otofujii et al., 1985 等）、古地磁気データは誤差も大きく、これのみからの精度よい復元は不可能であるとの見解（山北・大藤, 1999）があることから、日本列島と大陸との地質学的連続性についての十分な検討を行い、ロシア沿海州と日本列島の地質学的連続性を考慮した配置（山北・大藤, 1999 ; 2000）に基づき作成した。ただし、北海道については、日高山脈形成のテクトニクスを概観し、そこにみられる大陸地殻形成のテクトニックな背景を考察した配置（木村・楠, 1997）とし、東北日本については、東北日本の北部北上帯及びロシア沿海州のタウハ帯が、道南地域に連続する配置（山北・大藤, 1999 ; 2000）とした。
- ・ 日本列島周辺のプレート配置・構造運動…日本海及び日本列島の形成には諸説（新妻, 1985 ; 佐藤, 1992 ; Sato, 1994 ; Jolivet et al., 1994 ; Takahashi, 1994 ; 平, 2000 等）があるが、日本海の地質学的データ及び拡大メカニズムの詳細な検討に基づくプレート配置の変遷史（Jolivet et al., 1994）を基本とし、その他の文献を参照してプレート配置の変遷史を編纂した。プレートの運動に関しては、北海道・千島については日高山脈形成に関連した検討（木村・楠, 1997）、フィリピン海プレートについては伊豆－小笠原弧とマリアナ弧の縁海としての拡大メカニズムやその変遷に関する検討（Seno and Maruyama, 1984）を基本に、背弧リフト形成に関する検討（西村・湯浅, 1991 等）、太平洋プレートについては太平洋中のハワイ海嶺－天皇海山列の屈曲に基づく検討（Jackson et al., 1975 ; Cox and Engebreston, 1985）に基づいた。伊豆－小笠原弧の衝突・付加に関しては、古地磁気データに基づく中部日本の変形史に関する検討（Takahashi, 1994）に基づいた。

#### <火山フロント、古地殻応力場及び海陸分布>

- ・ 新生界の年代層序区分に関する検討、編纂地質図等を基に得られた古地理図（鹿野ほか, 1991）を基本とし、新規データや参考文献にないデータを追加した。

#### <構造線>

- ・ 現在における構造線を図示しているもの（日本列島の地質編集委員会編, 1996）、過去の構造線の位置を図示しているもの（Jolivet et al., 1994 ; 山北・大藤, 1999 ; 2000 等）に基づいた。

表 3.2.1-2 日本列島周辺の構造イベント及び地質構造の変遷にかかわるイベントの時期に関する文献(1/2)

地域・構造イベント	著者・文献・年代 (Ma)	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	備考							
日本海拡大	新業 (1985)																																							
	佐藤 (1992)																																							
	Sato (1994)																																							
	Jolivet et al. (1994)																																							
	Takahashi (1994)																																							
	平 (2000)																																							
	新業 (1985)																																							
	島田ほか (1985)																																							
	広田 (1989)																																							
	Otofuji et al. (1985)																																							
Otofuji et al. (1991)																																								
Takahashi (1994)																																								
平 (2000)																																								
活野・当倉 (1985)																																								
新業 (1985)																																								
Otofuji et al. (1985)																																								
佐藤・池田 (1999)																																								
平 (2000)																																								
丸山 (1984)																																								
前田 (1987)																																								
丸山 (1984)																																								
小松ほか (1990)																																								
Kimura and Tamaki (1986)																																								
木村 (1981), Kimura et al. (1983), 木村 (1993), 木村・熊 (1997)																																								
丸山 (1984)																																								
Kimura and Tamaki (1986)																																								
Jolivet et al. (1994)																																								
木村 (1981), Kimura et al. (1983), 木村 (1993)																																								
Kimura (1996)																																								
岡 (1997)																																								
池田ほか (1997)																																								
広瀬・中川 (1999)																																								
中村 (1983)																																								
溝野 (1986)																																								
木村ほか (1986)																																								
岡 (1987)																																								
丸山 (1984)																																								
Kimura (1996)																																								
岡 (1999)																																								
平 (2000)																																								
伊豆・小笠原・九州・パラオ諸島																																								

注) 着色したものは、本資料において各項目と等子とした文献及び構造史である。

表 3.2.1-3 日本列島周辺の構造イベント及び地質構造の変遷にかかわるイベントの時期に関する文献(2/2)

地域・構造イベント	著者・文献/年代 (Ma)	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	備考						
四国海盆拡大	Seno and Maruyama (1984)																																						
	上田ほか (1983)																																						
	湯淺 (1991)																																						
	西村・湯淺 (1991)																																						
	杉山 (1992)																																						
	吉田ほか (1993)																																						
	Takahashi (1994)																																						
	沖野ほか (1999)																																						
	藤日ほか (1999)																																						
	松田 (1989)																																						
伊豆・小笠原	Takahashi (1984)																																						
	Sato (1994)																																						
	平 (2000)																																						
伊豆半島	松田 (1989)																																						
	Takahashi (1994)																																						
	平 (2000)																																						
沖縄トラフ (狭瀬) 拡大	吉川 (1991)																																						
	木村 (1990)																																						
	木村ほか (1999)																																						
	上村ほか (1999)																																						
小笠原海盆拡大	上田ほか (1983)																																						
	藤田ほか (1999)																																						
	徳山ほか (1999)																																						
	石塚ほか (1999)																																						
水平洋プレート	Jackson et al. (1975)																																						
	増田 (1984)																																						
フィリピン海プレート	Cox and Englebretson (1985)																																						
	Seno and Maruyama (1984)																																						
	清水・飯谷 (1988)																																						
	西村 (1988)																																						
	杉山 (1991: 1992)																																						
	藤田 (1999)																																						
	西村・湯淺 (1991)																																						
日高半島上新層	Kimura et al. (1983)																																						
	木村 (1981)																																						
巖走構造線	生田ほか編 (1988)																																						
畑川構造線	Johvet et al. (1994)																																						
備前構造線	Kimura (1986)																																						
糸魚川-静岡構造線 (フォッサマグナ)	山下編 (1995)																																						
中央構造線	杉山 (1991)																																						
黒瀬川構造帯	Ichiikawa (1980)																																						
	(新版)地学事典)																																						

(注) 着色したものは、本資料において各項目と骨子とした文献及び構造史である。



## (1) 日本列島の地質構造の変遷

日本列島の地質構造の変遷について、各イベントのプレート配置図を以下に示す。

### ① 30Ma 以前；日本海拡大前の日本列島（図 3.2.1-2）

日本海拡大前（少なくとも 30Ma 以前）の状況は、日本列島は沿海州と連続しており（山北・大藤，1999；2000），北海道付近には大陸縁に平行して北北東から西南西に伸びた沈み込み境界（海溝）が分布する（Kimura and Tamaki, 1986）。沿海州のプルチザンスク断層が棚倉構造線へ、シホテアリン断層が畑川構造線（または双葉断層）へと接続している。足尾帯は美濃帯へ、上越帯は広義の飛騨外縁帯へと連続している。また、北海道からサハリン西部に分布する空知-蝦夷帯（空知層群，蝦夷層群分布域）が、沿海州のジュラブレフカ帯に隣接し、北部北上帯の北方延長部である渡島半島のジュラ紀コンプレックスは沿海州のタウハ帯に接続している。太平洋プレートは西北西へ（Jolivet et al., 1994）移動し、フィリピン海プレートは北北西へ移動していたが、沈み込み停止とともに西フィリピン海盆の拡大は停止する（Seno and Maruyama, 1984）。棚倉構造線（先第三紀；天野，1991），畑川構造線（白亜紀～古第三紀；生ほか編，1989）及び中央構造線（Ichikawa, 1980）は左ずれ変位を示していた。

なお、日本列島と大陸の連続性を示すため、地帯（特定の岩石・地層の組み合わせにより特徴付けられ、ひとまとまりの空間的範囲を占める地殻の一部分）を区分し、図 3.2.1-2 に示した。

### ② 30Ma；日本海及び千島海盆のリフト開始，古千島弧の右ずれ付加開始（図 3.2.1-3）

沿海州東方（Jolivet et al., 1994）及びサハリン東方においてリフティング〔伸張応力によって大陸プレート（リソスフェア）が引き伸ばされ、地表が沈降・陥没する現象（瀬野，1990a；瀬野，1990b；Tamaki et al., 1992）〕が始まり、古千島弧（日高帯を含む北海道中部及び東部）が北海道西部への右ずれ付加を開始する（木村・楠，1997）。フィリピン海プレートは 30Ma から 25Ma の間は沈み込みがなかった（西村・湯浅，1991）。

棚倉構造線及び畑川構造線は右ずれ変位（Jolivet et al., 1994），中央構造線の一部は左ずれ変位（Ichikawa, 1980）を示す。この時期、フィリピン海プレートの南部では、パレスベラ海盆が拡大を開始している（西村・湯浅，1991）。

東北日本の火成活動の分布は、40～30Ma の位置（沿海州付近）から 100～200km 海溝側に移動し、ほぼ現在の火山フロントと同じ場所に位置する。一方、西南日本は 40～30Ma の位置より 50～100km ほど海溝側に移動しているものの、その分布は富山湾から中国地方に連続し、東北日本とは連続しない。

日本海の拡大メカニズムについては、後期白亜紀にオーストラリアからホットリージョンがマンテル上昇流を伴って太平洋西部を北上し、次々と縁海を拡大しつつ、漸新世に日本付近に達し日本海盆を形成したとする考え（Miyashiro, 1986）がある。また、40Ma 前後に起こったインド亜大陸のユーラシアプレート衝突が、その後、アジア内に大規模なプレート内変形あるいはマイクロプレート化をもたらすと同時に、大陸の東縁部で横ずれ断層帯を形成し、日本海拡大の引き金となったとする考え（Kimura and Tamaki, 1986；Tamaki, 1988；Jolivet et al., 1994）

もある。

③ 25Ma ; 日本海, 千島海盆, 及び四国海盆の拡大開始 (図 3.2.1-4)

日本海, 千島海盆及び四国海盆が拡大を開始する。千島海盆の拡大に伴い, トランスフォーム断層が形成される (木村・楠, 1997)。このトランスフォーム断層は, 現在の網走構造線に対比される。また, 四国海盆の拡大によって, 古伊豆-小笠原弧が伊豆-小笠原弧と九州-パラオ海嶺に分断される (平, 2000)。フィリピン海プレートとユーラシアプレートの境界は, トランスフォーム境界から四国海盆の拡大開始に伴い西北西への沈み込み境界となったとする考え (西村・湯浅, 1991) と, 18Ma までトランスフォーム境界だとする考え (宇都, 1995) がある。

火成活動についてみると, 東北日本では 30Ma と比較して相対的に 50km ほど海溝側に移動し, 現在の海岸線近くに位置する。西南日本では, 近畿以東で火成活動の位置が大きく海溝側に移動するが, 依然として東北日本の活動域とは不連続となっている。

この頃の地殻応力場については, 佐渡島の岩脈のデータから拡大軸に平行な方向に圧縮, 拡大方向に伸張といった応力配置となる (鹿野ほか, 1991)。棚倉構造線及び畑川構造線は右ずれ変位を示し (Jolivet et al., 1994), 中央構造線は一部で左ずれ変位を示す (Ichikawa, 1980)。

④ 20Ma ; 東北日本弧の回転開始 (図 3.2.1-5)

日本海の拡大とともに東北日本が反時計回りに回転し始め, 東北日本西部, 西南日本にそって淡水域が広がる (Jolivet et al., 1994 ; 浜野・当舎, 1985 ; 新妻, 1985 ; 佐藤・池田, 1999)。古千島弧の北海道西部への右ずれ付加は継続していた (木村・楠, 1997)。

太平洋プレートとトランスフォーム断層による三重会合点は, 太平洋プレートの沈み込み位置の東進に伴い, 南西に移動する。Seno and Maruyama (1984), 西村・湯浅 (1991) によれば, フィリピン海プレートは北北西の運動が考えられているが, 四国中部のマントルノジュールを含んだランプロファイヤーの産出から, 24~18Ma までフィリピン海プレートと西南日本はトランスフォーム断層で接していたとする考え (宇都, 1995) もある。この間も四国海盆は引き続き拡大していたとされている。

火山活動域は, 相対的に東北日本, 西南日本ともに海溝側に移動している (鹿野ほか, 1991)。

地殻応力場は, 東北日本南部で海溝及び日本海の拡大軸に平行な最大圧縮軸が認められ, 拡大に伴う伸張応力, または棚倉構造線及び畑川構造線の右ずれ変位による伸張亀裂とされている。西南日本では, 現在の沿岸部に沿う最大圧縮軸が確認されている (鹿野ほか, 1991)。

⑤ 17Ma ; 東北日本・西南日本弧の移動及び回転 (図 3.2.1-6)

20Ma 前後から始まった東北日本の回転は 15Ma まで続いたが (浜野・当舎, 1985 ; 新妻, 1985), 主要な回転は 18Ma に終了したとされている (佐藤・池田, 1999 ; Takahashi et al., 1999)。

東北日本の回転後, 西南日本が時計回りに移動・回転した。西南日本の回転による拡大は急激に起こったとする考え (Otofuji et al., 1991) もあるが, ODP (Ocean Drilling Program : 国際

深海掘削計画)による結果を踏まえると、18Ma以降に顕著な火成活動はなく、拡大そのものは18Maまでに終了し、15Maにブロック回転を生じたもの(Jolivet et al., 1994; Tamaki et al., 1992)と判断される。

フィリピン海プレートでは、パレスベラ海盆の拡大停止に伴い、四国海盆の拡大方向が東西方向から北東-南西方向へ変化するとともに(沖野ほか, 1998)、北北西方向に移動を始める(西村・湯浅, 1991)。

畑川構造線及び棚倉構造線は右ずれ変位を示し(Jolivet et al., 1994)、東北日本は伸張応力場での地殻の薄化で沈降が生じ、大規模に海が浸入する。太平洋プレートの沈み込みの位置は現在の配置に近いものとなる(鹿野ほか, 1991)。この時代の西南日本・日本海側の火成活動は、日本海拡大に伴うマントル上昇流の影響であるとされている(宇都, 1995)。

⑥ 15~14Ma; 日本海, 千島海盆, 及び四国海盆の拡大終了, 伊豆弧の衝突開始(図 3.2.1-7)

日本海, 千島海盆及び四国海盆の拡大がほぼ終了するとともに, 日本列島はほぼ現在の位置に移動し, 現在の日本列島の基礎となる構造が形成された。

棚倉構造線は右ずれ変位を示しており(Jolivet et al., 1994), 伊豆弧が日本列島に衝突を開始する(Takahashi, 1994)。西南日本では若く熱いフィリピン海プレートが沈み込み, 火山フロントが前弧側に大きく移動する(鹿野ほか, 1991; 宇都, 1995)。

西南日本では北北西-南南東方向の圧縮応力場となり, 東北日本はほぼ東西方向の圧縮応力場となる(鹿野ほか, 1991; Takahashi, 1994)。

⑦ 13~8Ma; 日本海拡大後の静穏期・千島弧前弧スリバーの衝突・日高山地の上昇(図 3.2.1-8)

千島弧前弧スリバーが日高主衝上断層を境して衝突し(木村, 1981), 日高山地の上昇が始まる(宮坂, 1987)。12Ma頃よりフィリピン海プレートの移動停止に伴い, 四国海盆の拡大が停止する(宇都, 1995)。日本海の拡大は15Maにほぼ終了したとされるが, 遅くとも13Ma頃に完全に終了し, 現在と同様なプレート配置となる。東北日本の火山フロントは背弧側に後退し(鹿野ほか, 1991), 西南日本では散発的なアルカリ玄武岩類の活動がみられるのみとなる(宇都, 1995)。地殻応力場は, 北海道東部から中軸部で千島弧の西進による東北東-西南西方向の圧縮がみられ, 東北日本北部でも東北東-西南西方向の圧縮が卓越する。東北日本南部から西南日本では, 南北方向の圧縮が卓越する(鹿野ほか, 1991)。

⑧ 6Ma; 糸魚川-静岡構造線の発達(図 3.2.1-9)

千島弧前弧スリバーの衝突による日高山地の上昇は継続する(宮坂, 1987)。この頃フィリピン海プレートは, マリアナトラフの拡大開始に伴い, 北北西に移動を始める(宇都, 1995; Kamata and Kodama, 1999; Seno, 2000)。糸魚川-静岡構造線が活動を始める(山下編, 1995)。火山フロントは, 東北日本, 西南日本ともにやや海溝側に移動し, アルカリ岩の活動が東北日本では渡島半島の西方海域, 西南日本では若狭湾から中国地方の瀬戸内海沿岸, 島原半島を経て, 天草・甕島諸島へ連続する地域で認められる(鹿野ほか, 1991; 宇都, 1995)。アルカリ岩の活動が続く11~5Maの間, フィリピン海プレートは山陽地域の直下には存在しなかったとされている(宇都, 1995)。地殻応力場は, 糸魚川-静岡構造線以東では東西系の圧縮場とな

り、糸魚川―静岡構造線南部では、伊豆―小笠原弧の衝突付加により南北圧縮が顕著となる（鹿野ほか、1991；Takahashi, 1994）。

⑨ 4Ma；丹沢山地の衝突，中央構造線の活動開始（図 3.2.1-10）

北海道中軸部では，日高山地の隆起速度が急速に衰える（宮坂，1987）。伊豆―小笠原弧では，丹沢山地が日本列島に衝突付加する（Takahashi, 1994）。5～4.5Ma にフィリピン海プレートの移動方向が北北西方向から西北西方向に変化するのに伴い，中央構造線では東側から右ずれ変位の活動が始まったとする考えがある（杉山，1991；1992）。糸魚川―静岡構造線は，左ずれもしくは逆断層変位を示す（Jolivet et al., 1994）。太平洋プレートの西北西への運動は37Ma以降ほぼ一定であったが，5～2.5Ma にかけて運動方向が時計回りに数度以内で変化（北向きにしたことがハワイ海山列の並びより認められている。これについては，フィジー海台下に沈み込む太平洋プレートの部分的なデタッチメント（Cox and Engebretson, 1985）や，千島海溝への古い海嶺の沈み込みにより沈み込み速度が加速し，時計回りのトルクが増大したとする考え（Pollitz, 1986）がある。

⑩ 3Ma；日本海東縁部での変動開始（図 3.2.1-11）

中央構造線の右ずれ変位を示す領域が紀伊半島東部から西部へと西方に拡大する（杉山，1991）。日本海東縁部で，ユーラシア（アムール）プレートの東進に伴い変動が始まり（Okamura et al., 1995），陸域でも逆断層が形成され始める（Sato, 1994；栗田，1988）。

⑪ 1.8Ma；日高山地衝突帯の西方移動，沖縄トラフ・伊豆―小笠原背弧盆の拡大開始（図 3.2.1-12）

千島弧衝突による断層フロントが西方に移動を始める（池田ほか，1997）。2Ma 頃より沖縄トラフが拡大を始める（木村，1990；木村ほか，1999）。中央構造線の右ずれ変位がさらに西方に移動するとともに（杉山，1991；1992），畑川構造線の一部が左ずれ変位を示す。糸魚川―静岡構造線は，左ずれもしくは逆断層変位を示す。2Ma 前後より伊豆―小笠原弧での背弧海盆が拡大を開始しており，フィリピン海プレートの運動方向の北北西から西北西への変化をこれらのイベントから2Ma 前後とする考え（瀬野，1984；西村・湯浅，1991）がある。

⑫ 1Ma；伊豆半島の衝突，日本海東縁における沈み込み（衝突）開始（図 3.2.1-13）

伊豆―小笠原弧では，伊豆半島が日本列島に衝突する（松田，1989）。日本海東縁では，ユーラシアプレートが東北日本（北米プレート）に対して収束境界となり始める（中村，1983；小林，1983）が，沈み込み帯は形成されていない（栗田，1988）とされる。しかしながら，奥尻海嶺西方の日本海盆の東縁では，沈み込みが生じているという考えもある（平，2002）。現在もプレート境界の変形の一部は，十勝平野西縁，樺戸山地西縁等でも生じている（池田ほか，1997）。中央構造線の一部は右ずれ変位を示す（杉山，1991）。畑川構造線の一部は左ずれ変位を示す（生出ほか編，1989）。糸魚川―静岡構造線は，左ずれもしくは逆断層変位（丸山，1984）を示す。

5Ma 以降，西南日本の中国地域では火山活動域が日本海沿岸に移り，サブアルカリックな岩石がアルカリ玄武岩を伴って噴出しており，沈み込んだフィリピン海プレートが中国山地の地下まで到達し，火山フロントが形成され始めたことを示している（宇都，1995）。

⑬ 0.5Ma (図 3.2.1-14) 及び⑭ 0.1Ma (図 3.2.1-15)

日本海東縁における沈み込み（衝突）が継続する。中央構造線の一部の右ずれ変位及び畑川構造線の一部が左ずれ変位を示す。糸魚川－静岡構造線は、左ずれまたは逆断層変位を示す。

⑮ 現在；日本海東縁部での変動（図 3.2.1-16）

日本海東縁における沈み込み（衝突）及び中央構造線の一部の右ずれ変位が継続する。糸魚川－静岡構造線は、左ずれもしくは逆断層変位を示す。

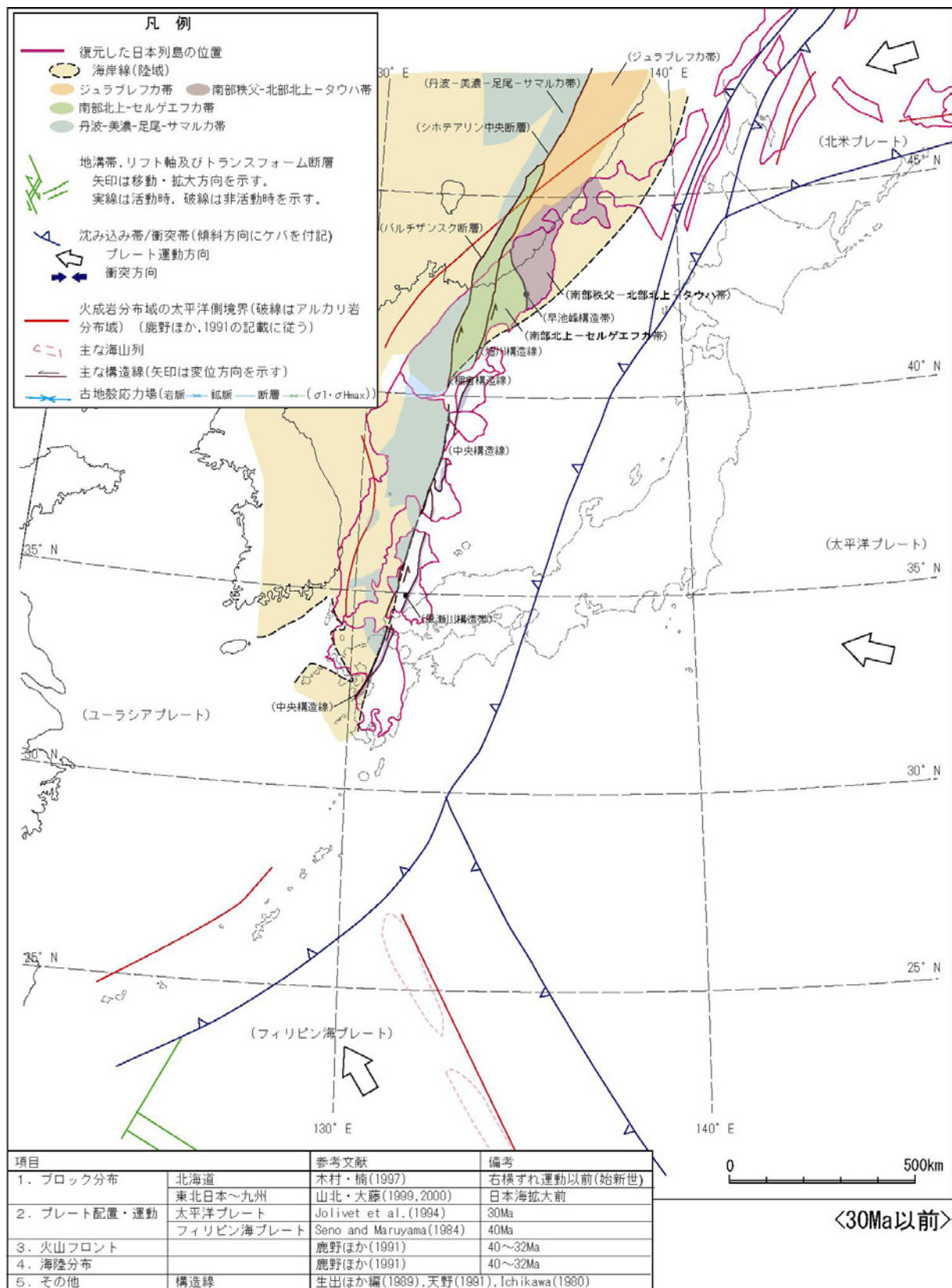


図 3.2.1-2 日本列島周辺のプレート配置図 (30Ma 以前)

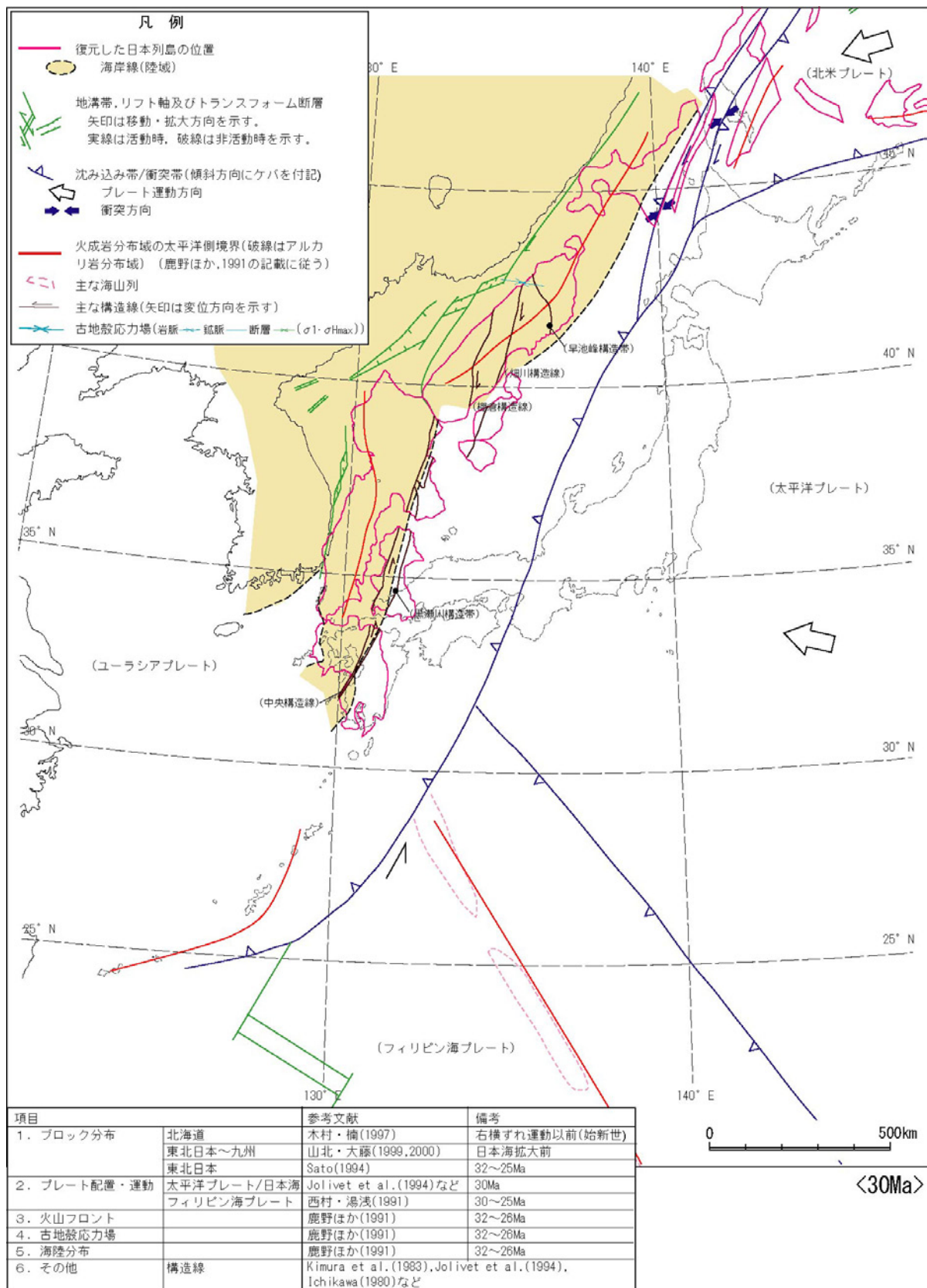


図 3.2.1-3 日本列島周辺のプレート配置図 (30Ma)

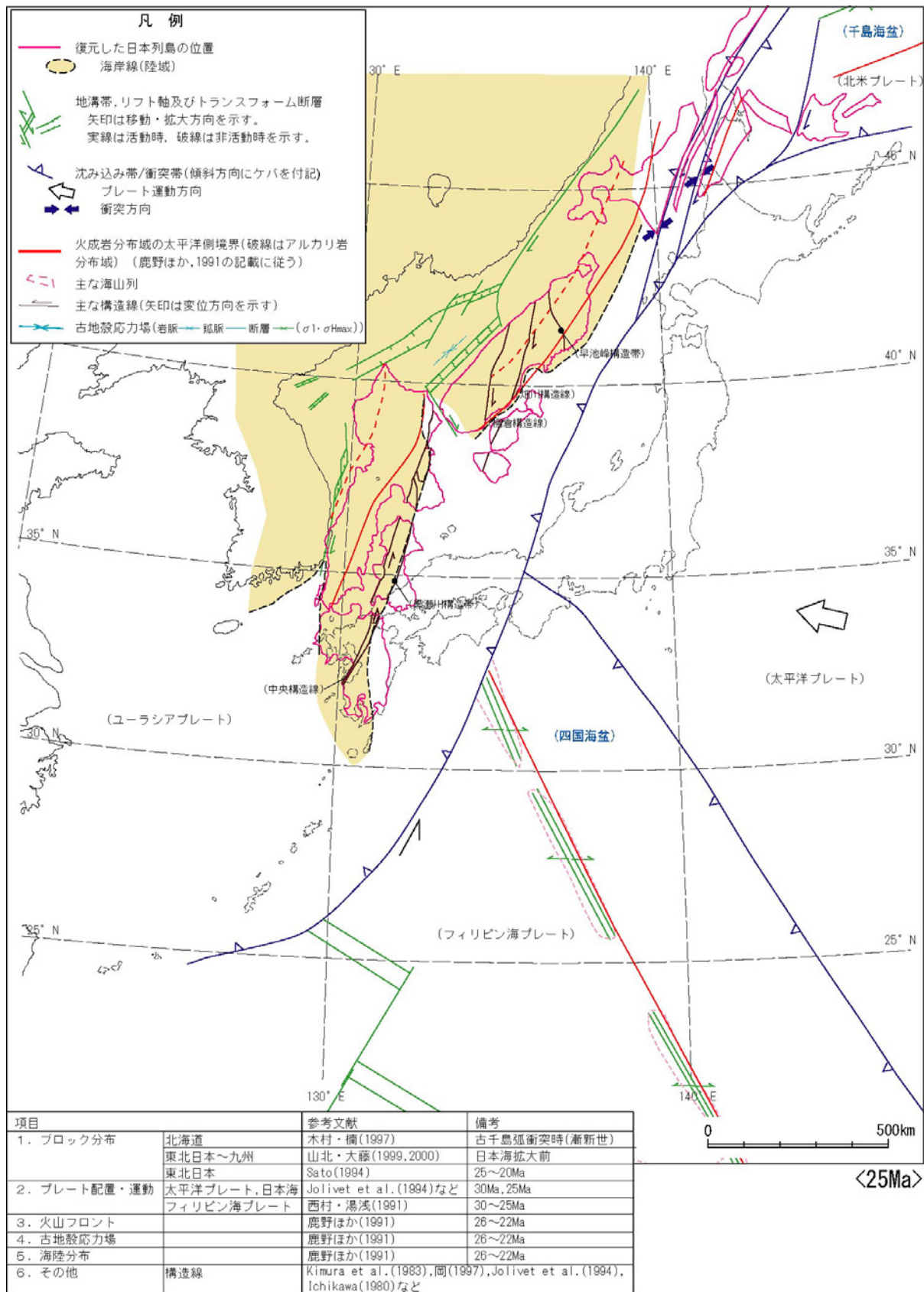


図 3.2.1-4 日本列島周辺のプレート配置図 (25Ma)



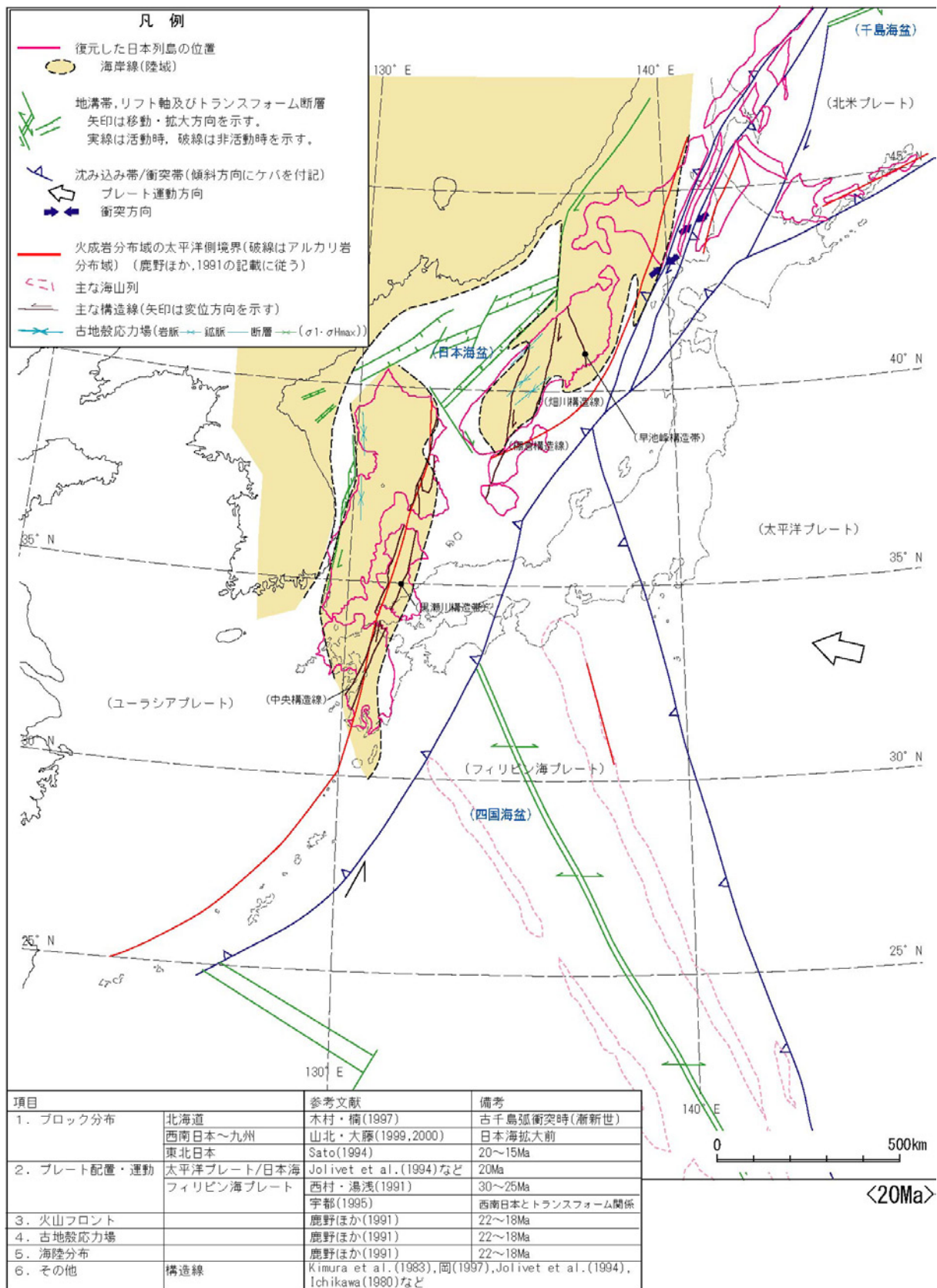


図 3.2.1-5 日本列島周辺のプレート配置図 (20Ma)

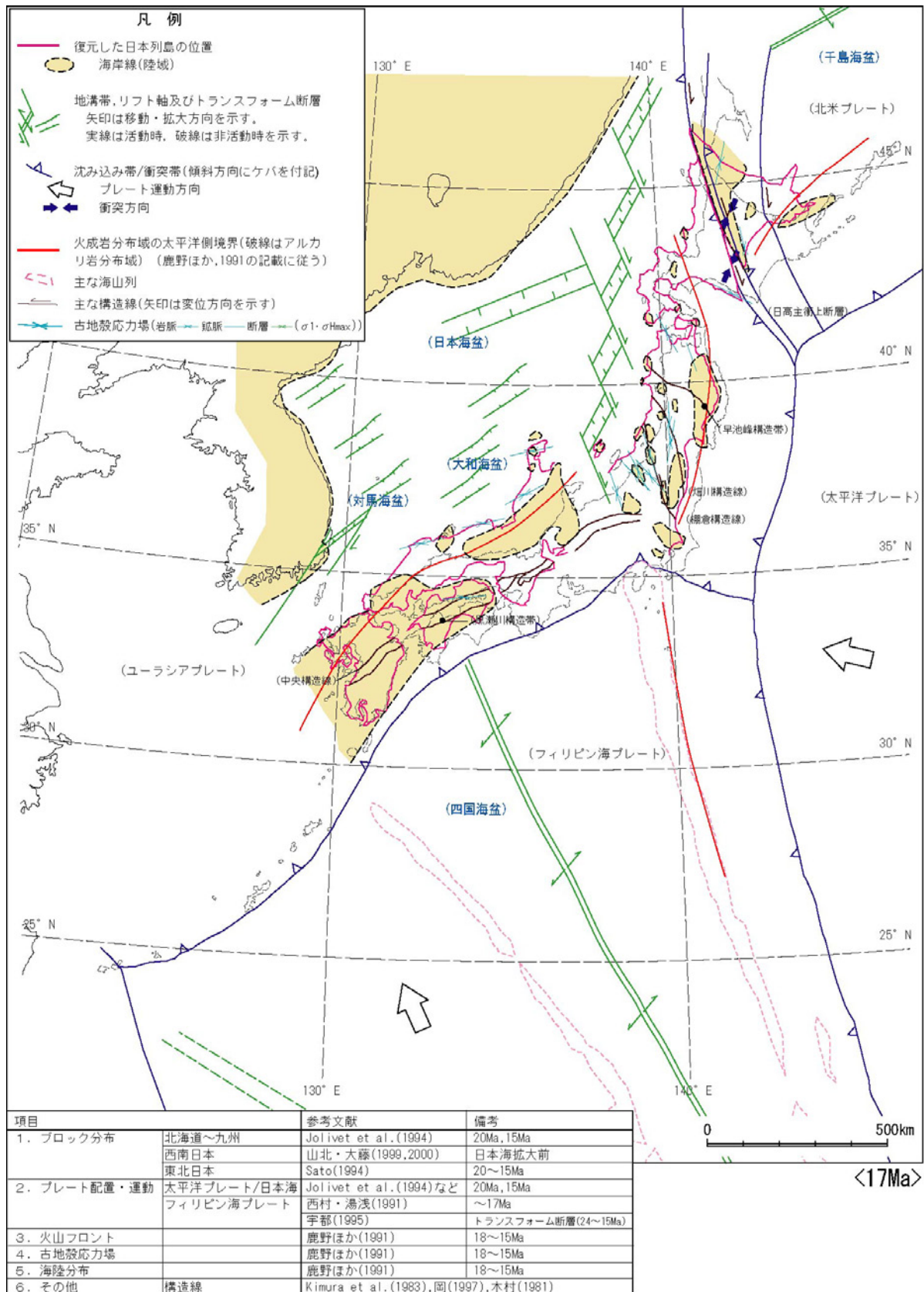


図 3.2.1-6 日本列島周辺のプレート配置図 (17Ma)

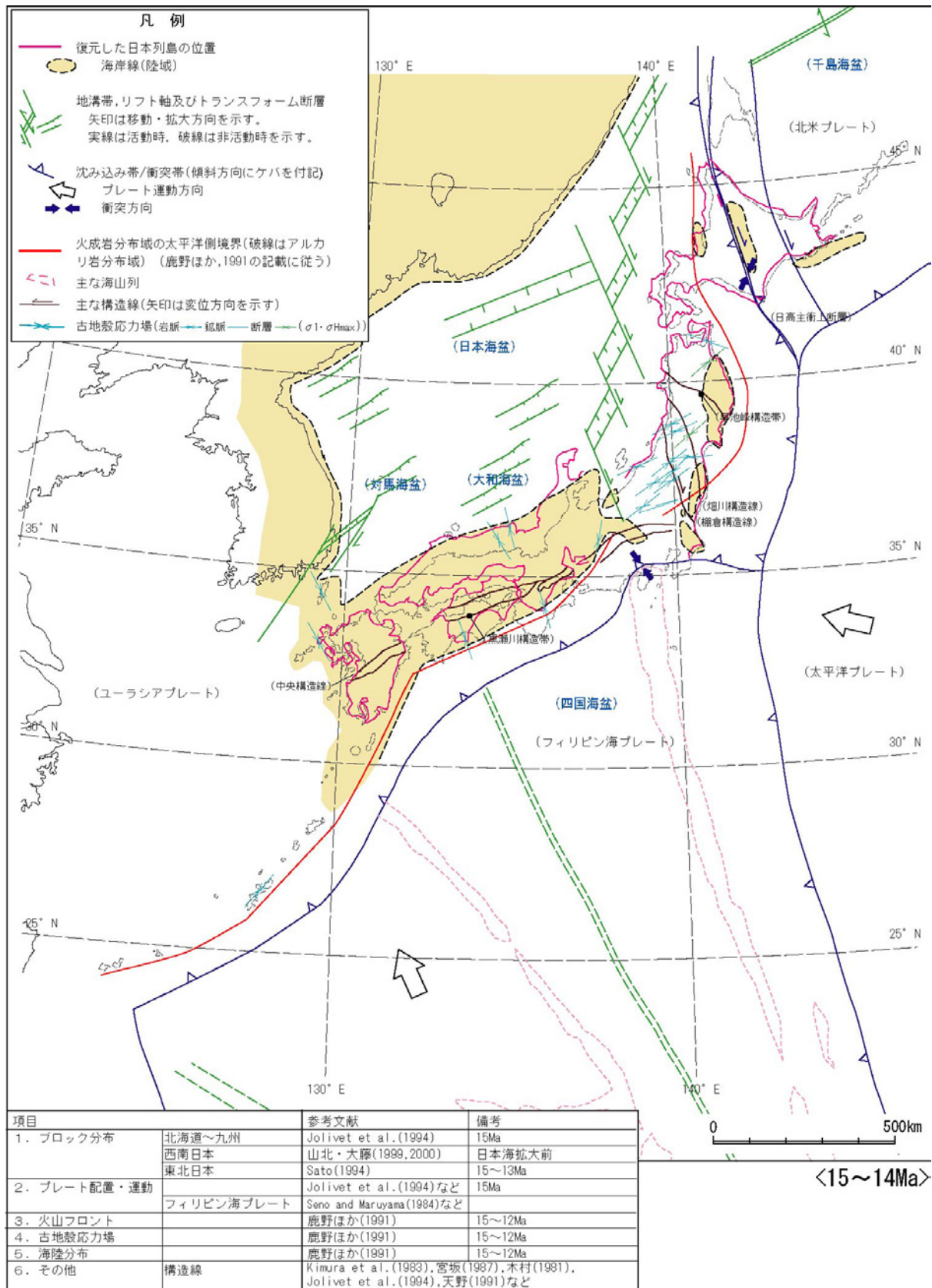


図 3. 2. 1-7 日本列島周辺のプレート配置図 (15~14Ma)

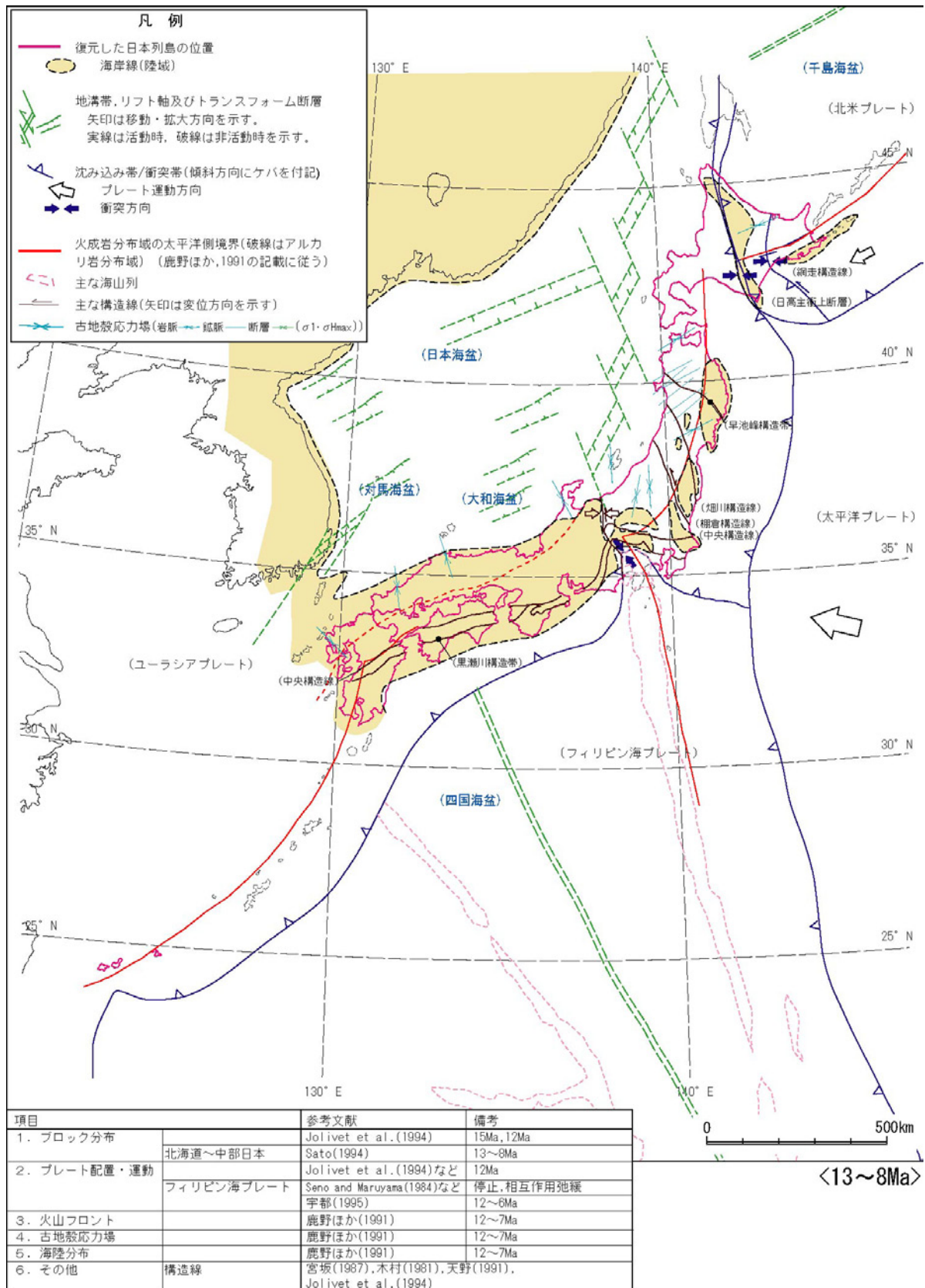


図 3.2.1-8 日本列島周辺のプレート配置図 (13~8Ma)

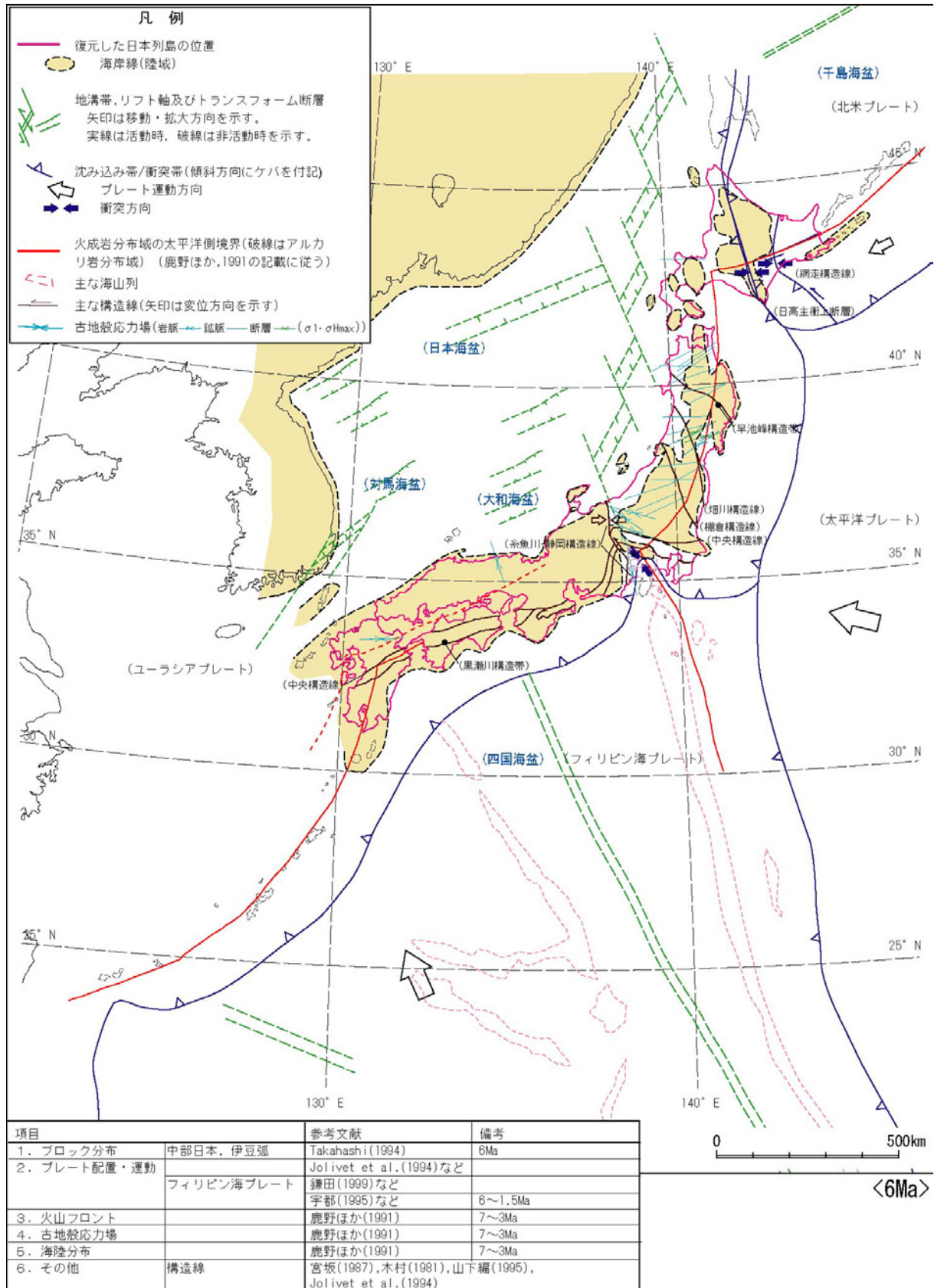


図 3.2.1-9 日本列島周辺のプレート配置図 (6Ma)

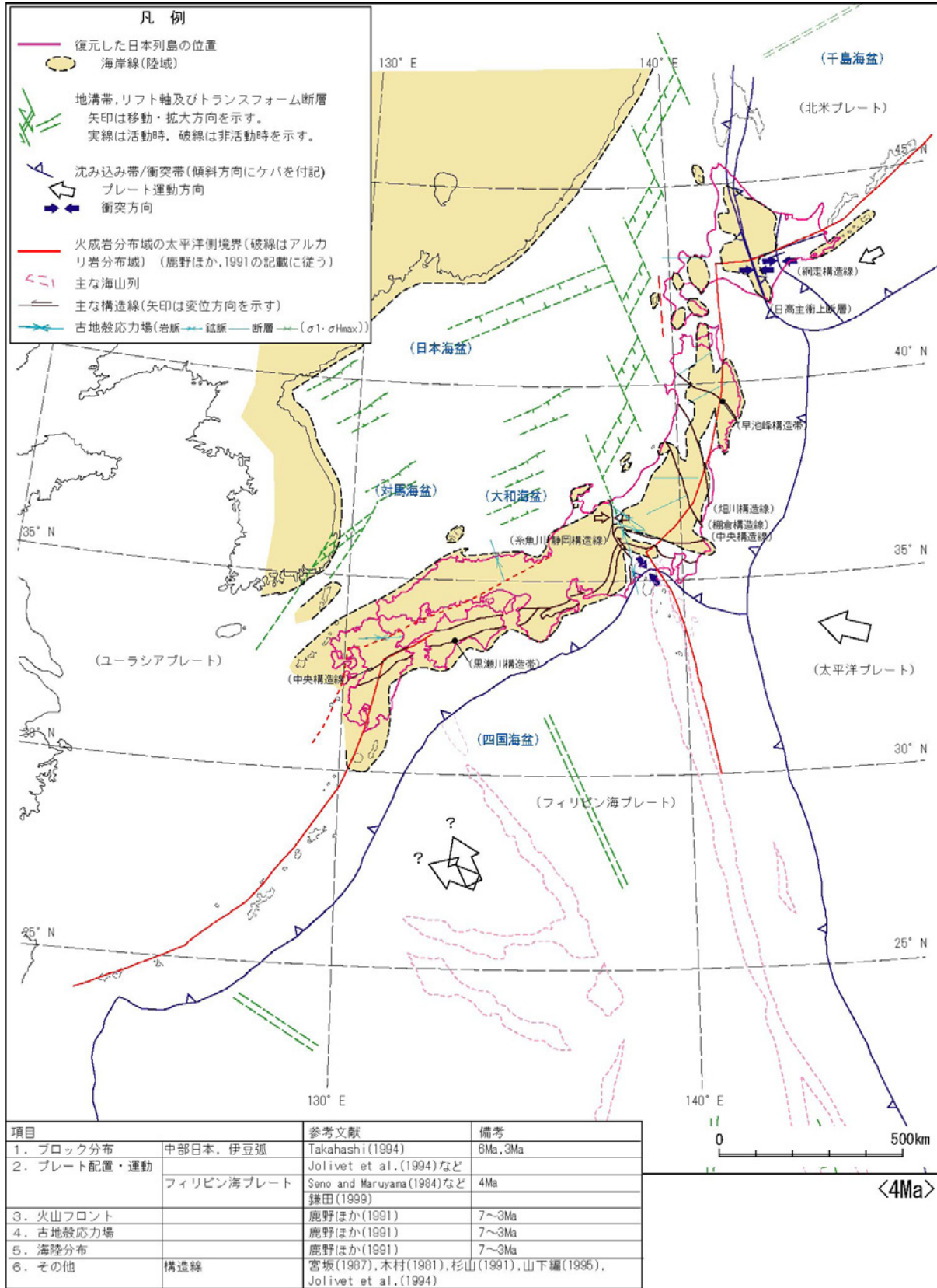


図 3.2.1-10 日本列島周辺のプレート配置図 (4Ma)

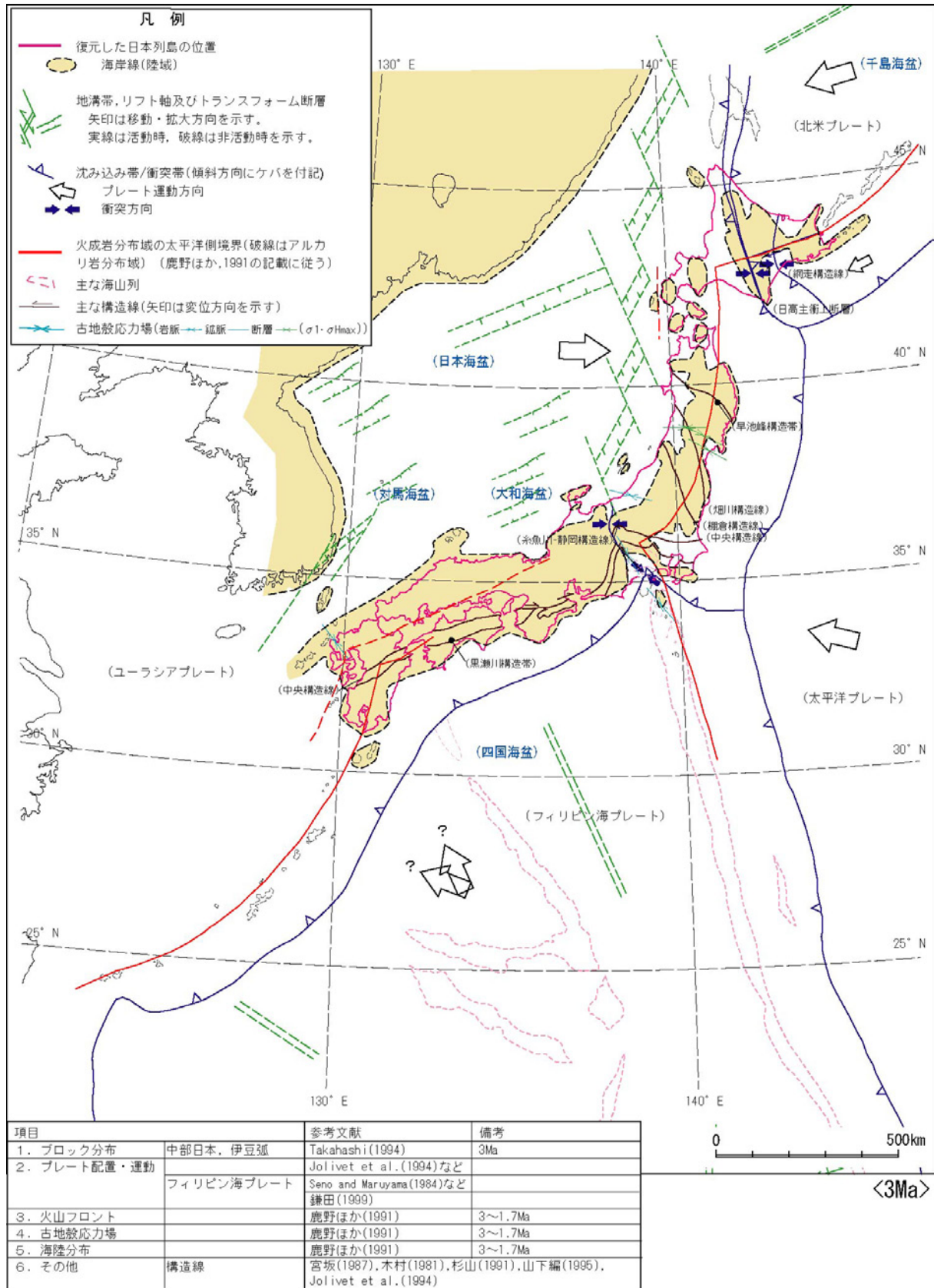


図 3.2.1-11 日本列島周辺のプレート配置図 (3Ma)

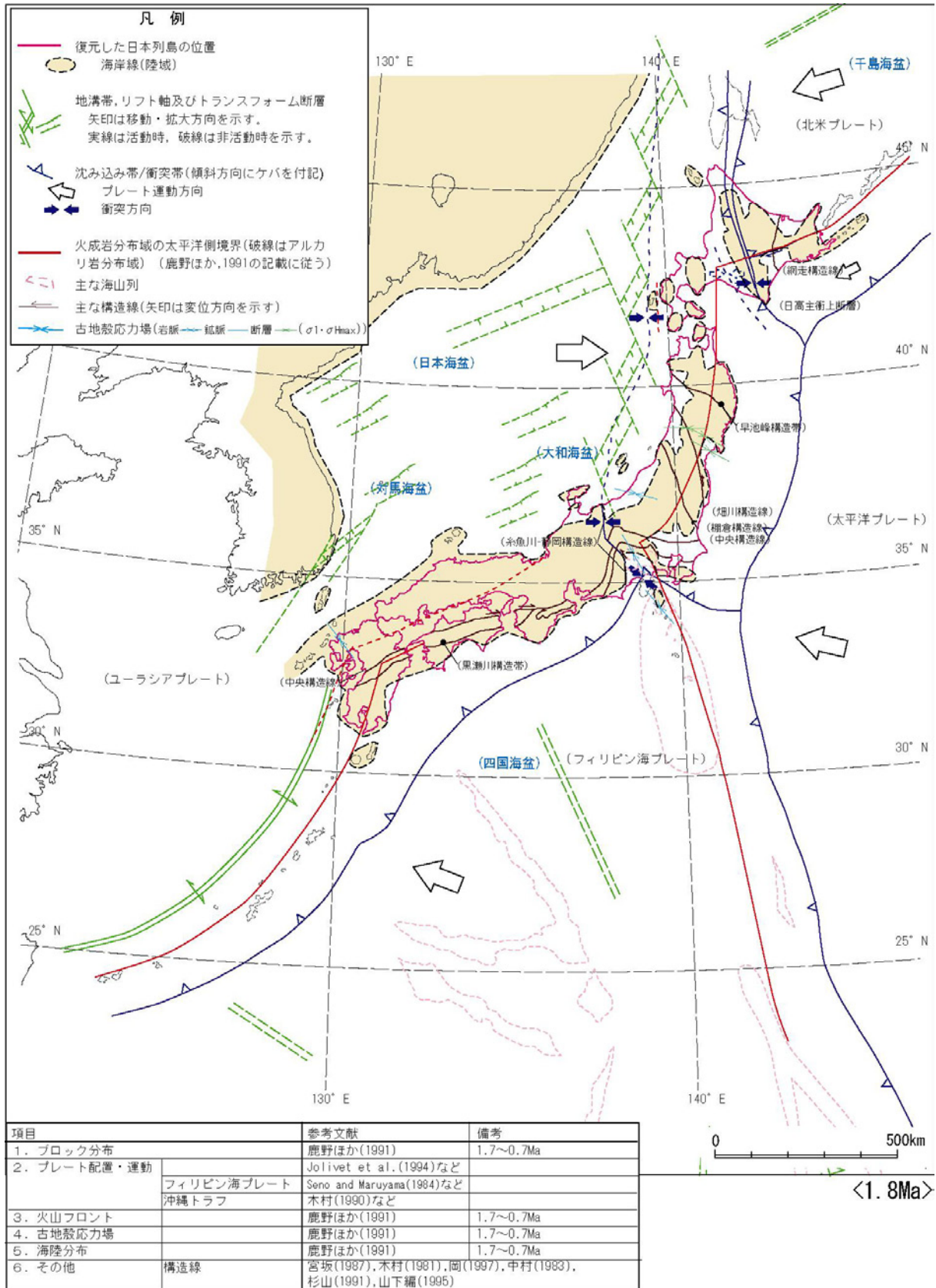


図 3.2.1-12 日本列島周辺のプレート配置図 (1.8Ma)



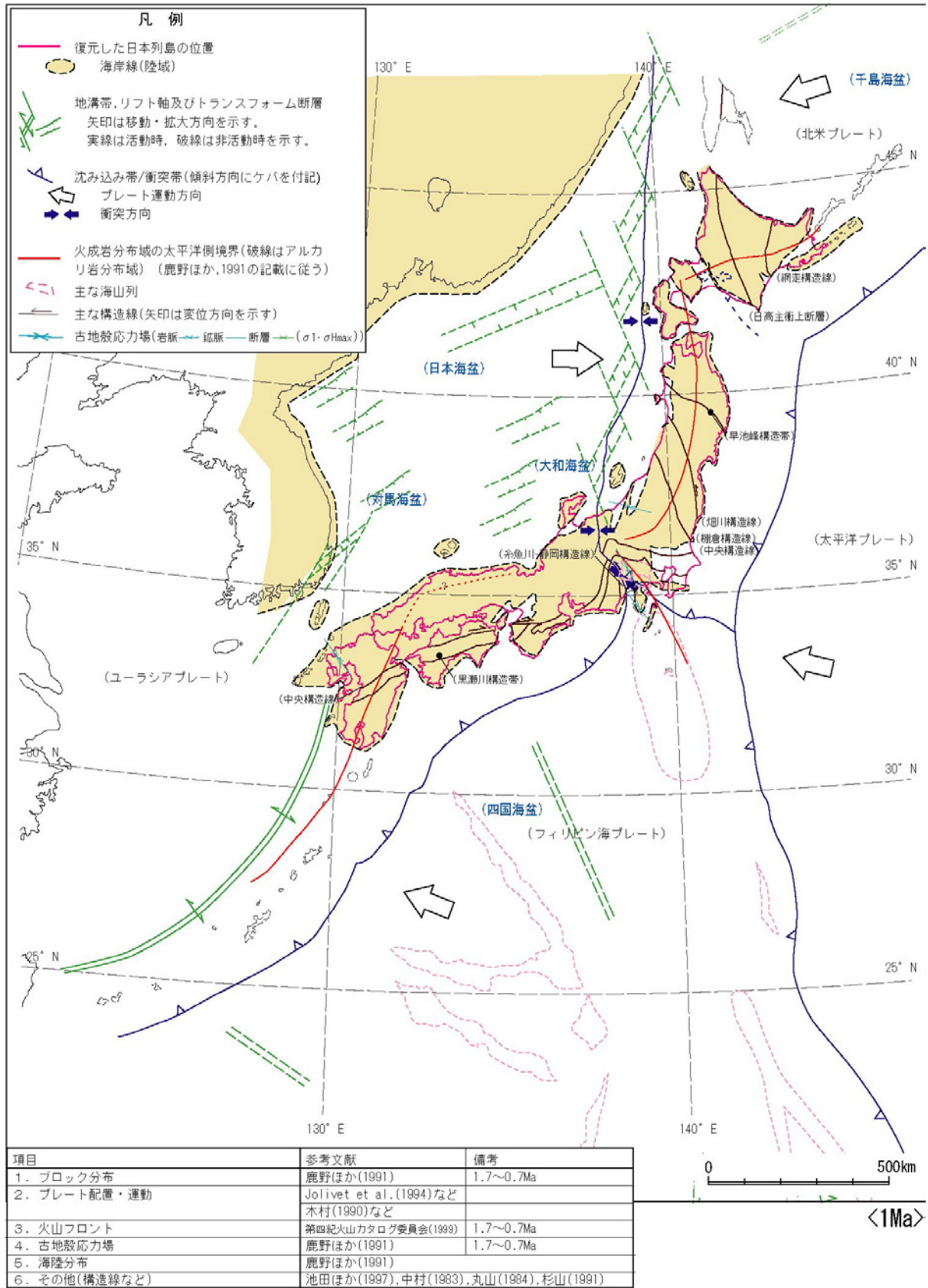


図 3. 2. 1-13 日本列島周辺のプレート配置図 (1Ma)

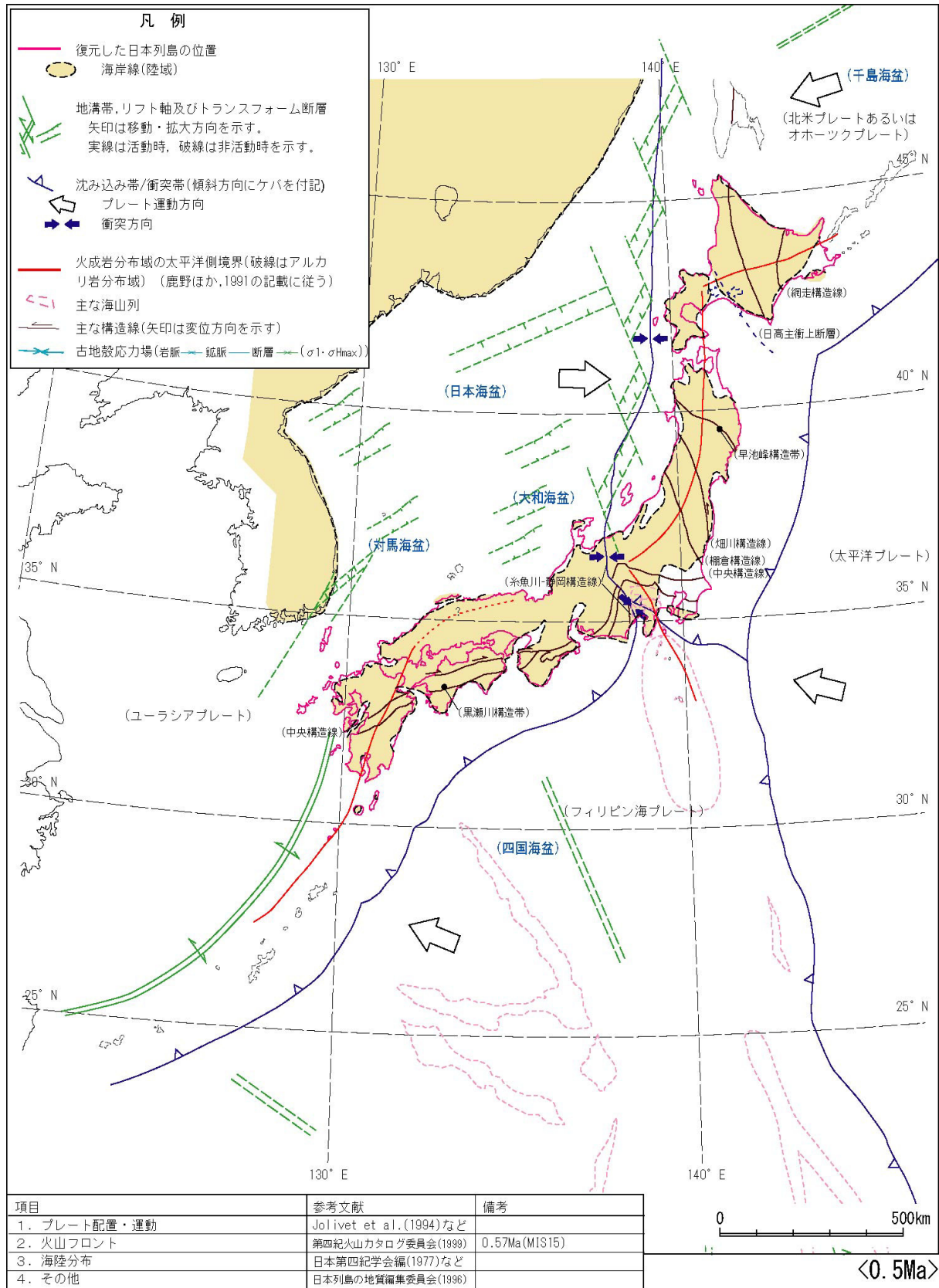


図 3.2.1-14 日本列島周辺のプレート配置図 (0.5Ma)

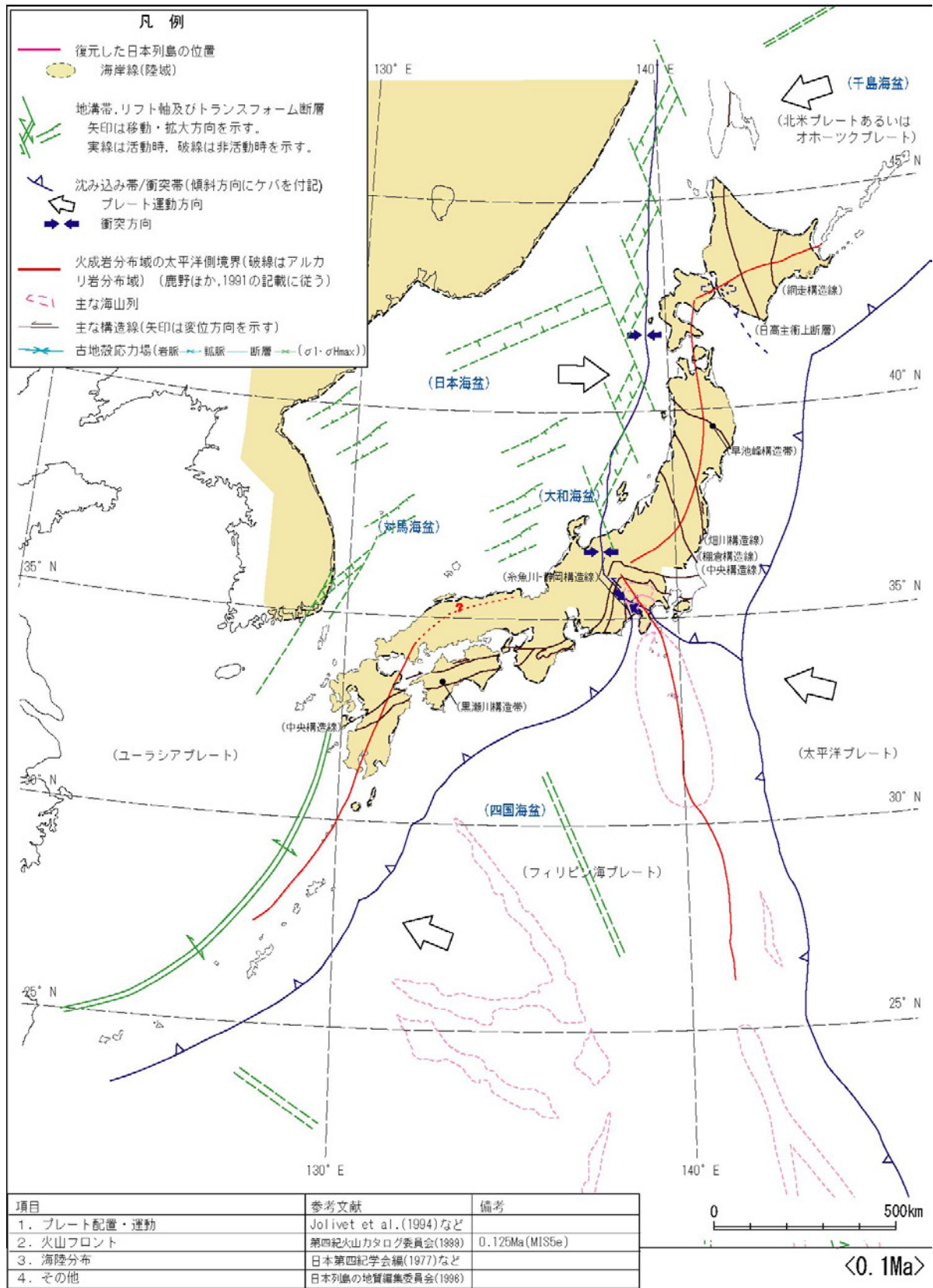


図 3.2.1-15 日本列島周辺のプレート配置図 (0.1Ma)

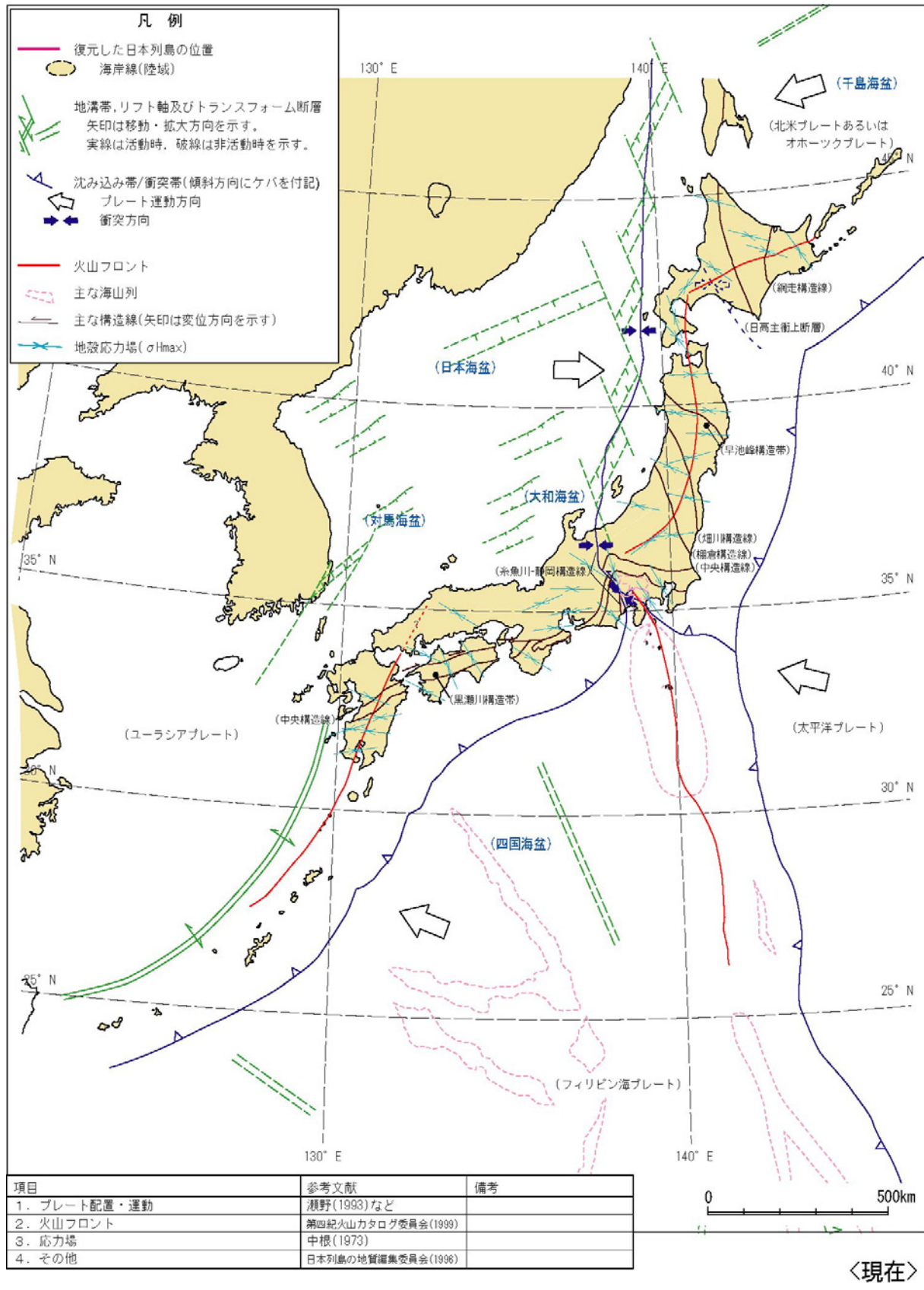


図 3.2.1-16 日本列島周辺のプレート配置図 (現在)

### 3.2.2 日本列島周辺のプレート運動の状況

前節(3.2.1)では、現在に至るまでのプレート運動にかかわる地質構造の変遷の概要を述べてきたが、本節では、日本列島周辺のプレートの配置・運動速度について述べる。

日本列島周辺は、太平洋プレート、フィリピン海プレート、北米プレート(あるいはオホーツクプレート)、ユーラシアプレート(あるいはアムールプレート)の四枚の主要なプレートから構成されている。

太平洋プレートは、8cm/年程度の速度で、西北西に移動し、千島弧、東北日本弧及び伊豆-小笠原弧の下に沈み込んでいる(Wei and Seno, 1998: 図 3.2.2-1)。太平洋プレートが沈み込む千島・カムチャッカ海溝、日本海溝及び伊豆-小笠原海溝は、いずれも6,000m以上の深さに達し、島弧には第四紀火山が分布している。これらの第四紀火山は海溝と平行に分布し、火山フロントを形成している。

フィリピン海プレートは、5cm/年程度の速度で北西に移動し(Wei and Seno, 1998: 図 3.2.2-1)、西南日本弧や琉球弧の下に沈み込んでいる。西南日本弧の火山フロントは、琉球海溝や南海トラフと平行に分布しているが、中部地方におけるフィリピン海プレートの沈み込みの深さは100kmより浅く、上部マントルを部分融解させるまでの深度に到達していないため、マグマが形成されておらず、第四紀火山が分布していない。

日本列島は、中国大陸から続くユーラシアプレート(あるいはアムールプレート)及びシベリア、カムチャッカから続く北米プレート(あるいはオホーツクプレート)に含まれる。ユーラシアプレートと北米プレートの境界は、従来、サハリンから北海道中軸部を経て襟裳岬沖の千島海溝と日本海溝の会合部に伸びるとされ、日本列島はユーラシアプレートに属すると考えられていた(図 3.2.2-2(a))。現在では、ユーラシアプレートと北米プレートの境界は、サハリンから日本海東縁を経て糸魚川-静岡構造線につながるという考え(中村, 1983; 小林, 1983: 図 3.2.2-2(b))が、日本海東縁の地震活動、第四紀の変動帯の存在から提唱された。その後、地震のスリップベクトルから、カムチャッカ半島・オホーツク海・北海道・東北日本は、北米プレートから独立したオホーツクプレートを形成するという考え(Seno et al., 1996: 図 3.2.2-2(c))、サハリンから北海道中軸部に伸びるプレート境界によってさらに東北日本プレートというマイクロプレートを形成するという考えもある(Seno et al., 1996: 図 3.2.2-2(d))。

地殻水平移動の結果や、地震のデータ等からプレート境界は佐渡島の東を通って、新潟市付近から信濃川と犀川<sup>さいがわ</sup>沿いに松本盆地を経由し、糸魚川-静岡構造線につながるという考えもある(多田ほか, 1997)。

この北米プレート(あるいはオホーツクプレート)の境界は、北海道中軸部から日本海東縁部に移動したとする考えがあり、その時期は2Maから0.5Maと諸説があり、最近では約3Maに始まったユーラシアプレート(あるいはアムールプレート)の東進によるものだとする考えもある。また、日本海東縁部には沈み込み境界となる断層帯は認められないので、プレート境界としない考えもある(岡村ほか, 1998)。日本海側の水平圧縮変動は、太平洋側の水平圧縮変動よりも激しく、海洋プレートの沈み込みによる圧縮だけでは説明できないため、大陸側からのプレート運動の影響を考慮する必要がある(ユーラシアプレートを固定すると西南西へ0.5cm/年程度: DeMets et al. (1994))

の NUVEL - I A モデルに基づく)。

琉球弧の背弧側に広がる沖縄トラフでは海盆が拡大しており, その北東側の延長の九州中部では, 例外的な水平伸張場となっている。

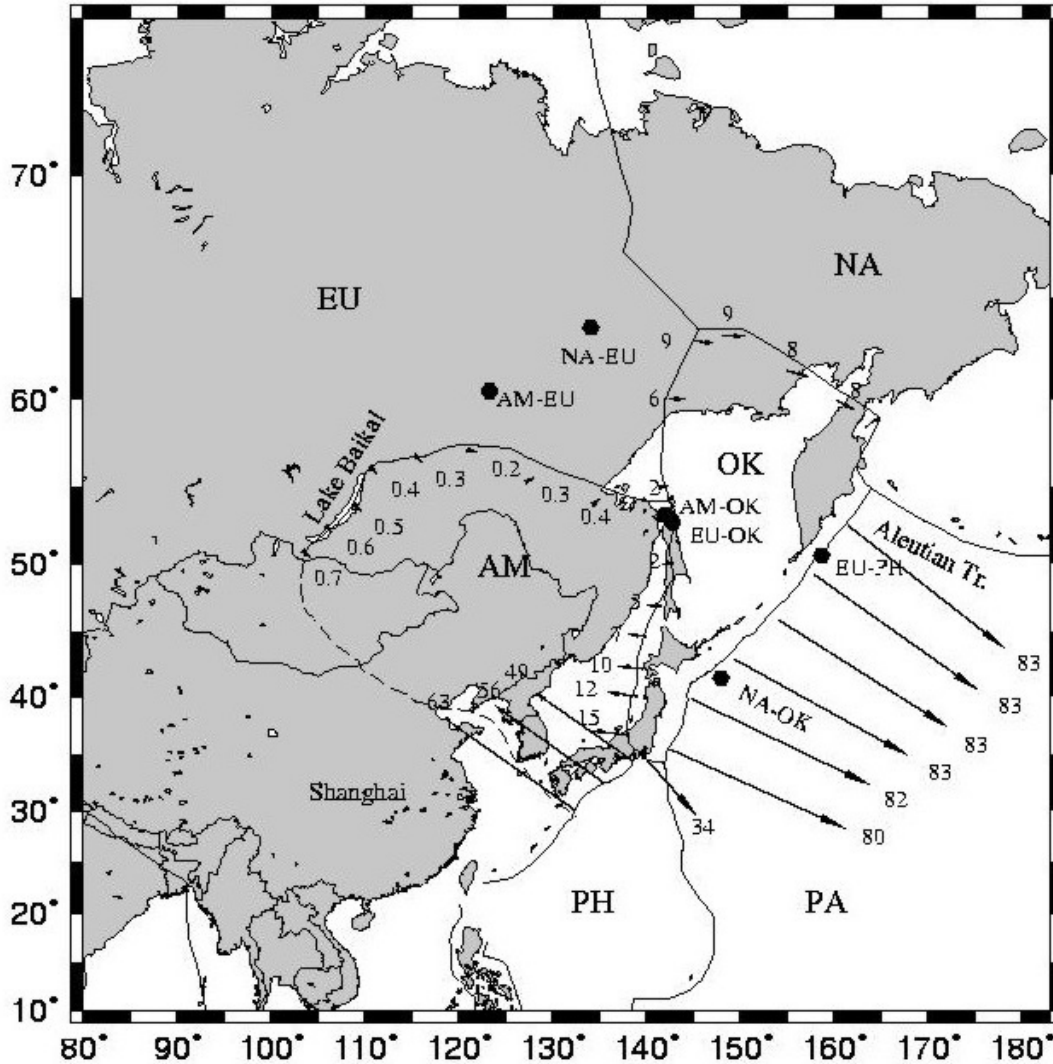


図 3.2.2-1 日本列島周辺のプレート運動 (出典: Wei and Seno, 1998)

EU: ユーラシアプレート, NA: 北米プレート, OK: オホーツクプレート, AM: アムールプレート, PA: 太平洋プレート, PH: フィリピン海プレート, ●: 各プレートの相対運動の回転極, →80: 各プレートの相対運動方向と速度 (mm/年), 相対運動の回転極, 方向及び速度については, 次の相対関係のものが示されている: ユーラシアプレートに対する北米プレートの相対運動 (NA-EU), ユーラシアプレートに対するアムールプレートの相対関係 (AM-EU), オホーツクプレートに対するアムールプレートの相対関係 (AM-OK), オホーツクプレートに対するユーラシアプレートの相対関係 (EU-OK), フィリピン海プレートに対するユーラシアプレートの相対関係 (EU-PH), オホーツクプレートに対する北米プレートの相対関係 (NA-OK), 太平洋プレートに対するオホーツクプレートの相対関係

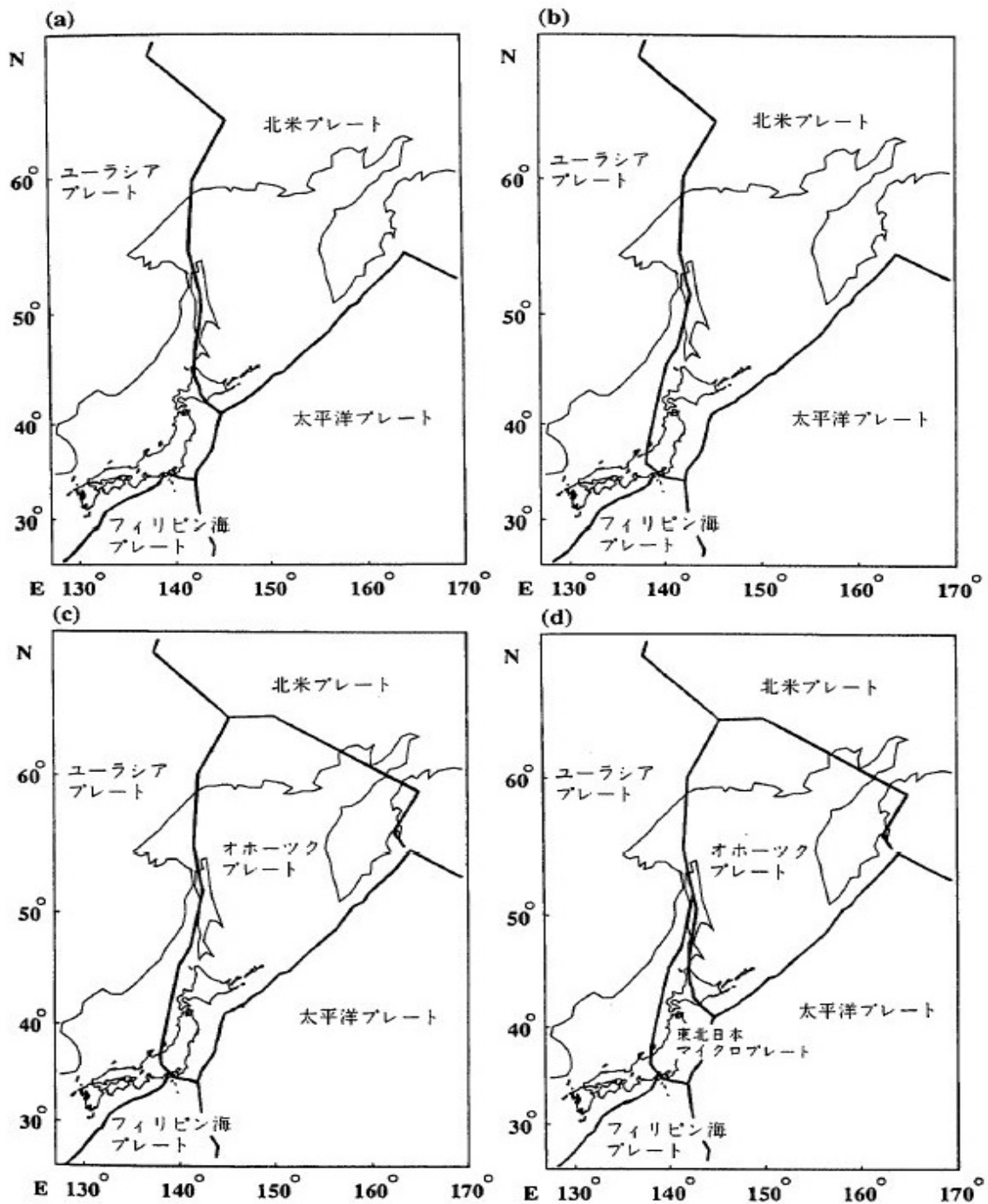


図 3.2.2-2 日本列島周辺のプレート境界 (出典：瀬野, 1995)

(a) ユーラシアプレートと北米プレートの境界が北海道中軸部を通るとする考え (Chapman and Solomon, 1976),  
 (b) ユーラシアプレートと北米プレートの境界が日本海東縁を通るとする考え (中村, 1983; 小林, 1983), (c)  
 オホーツク海・東北日本がオホーツクプレートをなすという考え (例えば, Seno et al., 1996), (d) 東北日  
 本がさらにマイクロプレートをなすという考え (例えば, Seno et al., 1996)

### 3.2.3 3.2節の整理

本節では、日本列島における地震等の自然現象に関する将来予測を行ううえでの前提となる情報として、日本列島周辺のプレートの配置、運動様式の変遷について取りまとめた。後の3.4節で具体的に述べるように、地震等の自然現象に関する将来予測の可能性を検討するうえで、日本列島周辺のプレートシステムの基本的な枠組みがいつ頃形成されたか、日本列島下に沈み込んでいる海洋プレートの運動方向や日本列島の地殻に作用する造構応力状態に関し、現在と同様の状況がどの程度過去から継続しているかを明らかにしておくことは重要であり、本節で述べた内容は、それに対し基本的な情報を与えるものである。

日本列島周辺のプレートシステムの基本的な枠組みが形成されたのは、日本列島の背弧海盆である日本海の拡大が終了した15~14Maに遡る。この日本海の拡大は、日本列島周辺のプレートシステムに著しく大きな影響をもたらした事象であると考えられることから、地質構造の変遷にあたっては、日本海の拡大の開始・終了を含む、約30Ma以降現在に至るまでを取り扱うこととした。

日本列島は、約30Ma以前は、アジア大陸東縁の沿海州と連続していたが、約30Ma以降、日本海及び千島海盆のリフティング〔伸張応力によって大陸プレート(リソスフェア)が引き伸ばされ、地表が沈降・陥没する現象(瀬野, 1990a; 瀬野, 1990b; Tamaki et al., 1992)]が開始された。その後、日本海、千島海盆、四国海盆等の背弧海盆の拡大、東北日本・西南日本の回転運動、15~14Maの背弧海盆の拡大終了を経て、さらに伊豆-小笠原弧の衝突、海洋プレート(特にフィリピン海プレート)の運動方向の変化、千島弧前弧の衝突、日本海東縁の収束境界化等を経て、現在に至っていることを明らかにした。

また、日本列島周辺は、太平洋プレート、フィリピン海プレート、北米プレート(あるいはオホーツクプレート)、ユーラシアプレート(あるいはアムールプレート)の四枚の主要なプレートから構成されており、このうち、太平洋プレートは、8cm/年程度の速度で、西北西に移動し、千島弧、東北日本弧及び伊豆-小笠原弧の下に沈み込んでいること、フィリピン海プレートは、5cm/年程度の速度で北西に移動し、西南日本弧や琉球弧の下に沈み込んでいること等を明らかにした。なお、北米プレート(あるいはオホーツクプレート)とユーラシアプレート(あるいはアムールプレート)の境界については諸説があるが、沈み込みの速度は上記二つのプレートと比べれば十分小さいと考えられ、地質環境の将来予測のもととなる日本列島のプレートシステムの安定性を論ずるうえで、支障はないと考えられる。

以上の日本列島の地質構造の変遷に関する情報・データを踏まえた日本列島周辺のプレートシステム・広域的な造構応力状態の変遷の具体的根拠については、3.4.2に取りまとめる。



### 3.3 地震等の自然現象の発生の場と特徴

日本列島は、太平洋の西縁の変動帯に位置しているため、地震・断層活動、火山・火成活動、隆起・沈降、侵食等の自然現象が活発である。高レベル放射性廃棄物の最終処分にあたっては、まず、安定な地質環境を選定したうえで、そこに適切な多重バリアシステムを構築することが安全確保の基本的な考え方である。そのため、安定な地質環境の選定にあたっては、自然現象の将来における活動の場、変動の規模、地質環境への影響等を検討・評価しておく必要がある。本節では、この評価・検討に必要となるこれまでの地球科学の分野における、過去から現在までの自然現象の活動履歴に関する情報を取りまとめ、これらをもとに各自然現象の規則性や傾向（周期性、継続性、地域性、変動範囲等）を示す。

地質環境の長期安定性に関連する重要な自然現象としては、「第2次取りまとめ」において、次の四つの現象が挙げられており、これらの自然現象に関する発生の場や特徴について述べる。

- ① 地震・断層活動
- ② 火山・火成活動
- ③ 隆起・沈降、侵食
- ④ 気候変動・海水準変動

#### 3.3.1 地震・断層活動

地震とは、地殻内に蓄積されたひずみエネルギーが岩盤の破壊強度を超えたとき、岩盤を構成する岩石の一部に破壊（断層活動）が生じ、ひずみエネルギーを一気に解放するとともに、そこから地震波（実体波、表面波等）が発生する現象であることが、地震波の観測、地表地震断層の出現等により明らかにされている（例えば、宇津，1984；加藤，1989等）。

ここでは、まず、地震の発生と特徴及び地震の震源分布と発生場所について述べ、次に、活断層の分布と活動特性について述べる。

##### (1) 地震

###### (i) 地震の発生と特徴

地震とは、上記に述べた現象であることから、地震が発生する場は、何らかの特徴によりひずみと応力が生じ、さらにそのひずみと応力が、断層クリープ、周辺域の塑性流動等によって解消されることなく時間とともに蓄積されるような場所でなければならない。このような要件を満たす場は、相対運動するプレート同士が互いに接する境界とその周辺地域、地溝帯、あるいは沈み込んだ海洋プレートの内部等に限定されている（大中・松浦，2002）。これらの異なるテクトニック環境下で発生する地震のタイプは、地震を発生させた断層（震源断層）周辺に働く広域地殻応力場の違いを反映し多様であり、断層運動の様式によって、次の三つに区分される（図 3.3.1-1）。

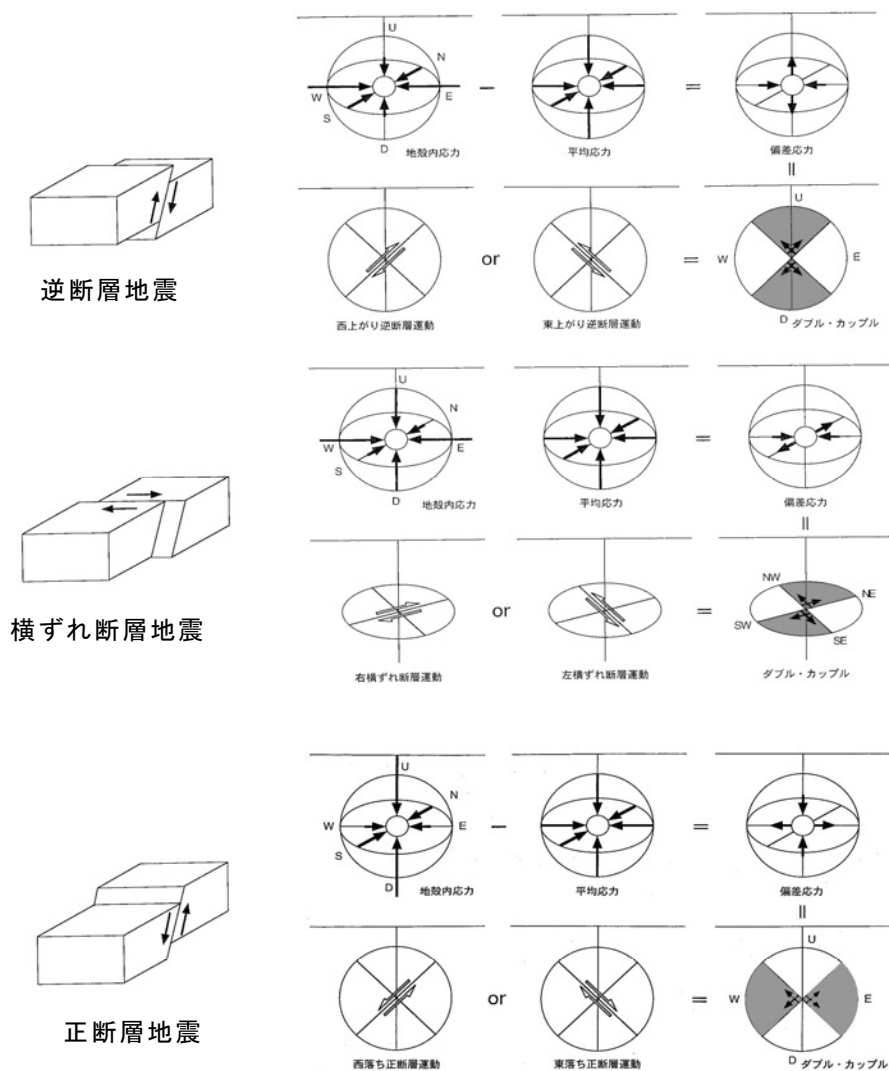


図 3.3.1-1 断層運動の様式による地震の分類と応力分布 (出典：大中・松浦，2002)

- ① 逆断層地震：鉛直応力が最小圧縮応力となる広域地殻応力場の地域で発生する地震のタイプ。震源断層の傾斜角により、高角逆断層地震と低角逆断層（衝上断層）地震に細分される。
- ② 横ずれ断層地震：鉛直応力が中間主応力となる広域地殻応力場の地域で発生する地震のタイプ。
- ③ 正断層地震：鉛直応力が最大圧縮応力となる広域地殻応力場の地域で発生する地震のタイプ。

地震の発震機構は、地震波の初動分布から求めることができる（佐藤編，1989）。地震波の初動の方向には、震源に向かう方向の動き（引き）、逆に震源から離れる方向の動き（押し）があり、この押し引きの分布は、震央を中心とする直交した二つの節線により四象現に区分され、二本の節線から二枚の節面の走向と傾斜角が推定される。さらに、余震分布、地震波の解析等によって、この二枚の節面的一方が震源断層に対応する。震源断層は、単純な平面で近似し、破壊速度も一定と仮定して簡略化した断層モデルを用いて表現され、震源断層の幾何学的形状や震源断層の運動に関する

過程（震源過程）の断層パラメータで表される。断層運動を記述する断層パラメータを図 3.3.1-2 及び次に示す。

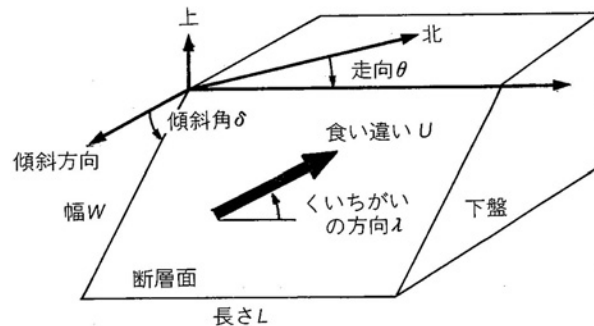


図 3.3.1-2 断層モデルと断層パラメータ（出典：佐藤編，1989）

（食い違いの矢印は，下盤に対する上盤の運動方向を示す。）

- ① 震源断層の走向 ( $\theta$ )
- ② 震源断層の傾斜角 ( $\delta$ )
- ③ 震源断層面上におけるずれ（くい違い）の方向 ( $\lambda$ )
- ④ 震源断層の長さ ( $L$ )
- ⑤ 震源断層の幅 ( $W$ )
- ⑥ 震源断層上のずれ（くい違い）の量 ( $U$ )
- ⑦ 震源断層上のずれの伝播速度 ( $V_{np}$ )
- ⑧ ずれの継続時間 ( $\tau$ )
- ⑨ 破壊の伝播様式
- ⑩ 媒質の剛性率 ( $\mu$ )
- ⑪ 地震モーメント ( $M_0$ )
- ⑫ 応力降下量 ( $\Delta \sigma$ )

震源断層を簡略化した断層モデルでは，⑥の震源断層上のずれの量が断層面全体での平均的なずれの量として設定され，断層面上で一定と仮定しているが，多くの場合，断層面上で一様ではなく，むしろかなり不均質である。また，ずれの広がり方やその速度についても，ずれの大きさの分布と同じように不均質であることが明らかになってきている（例えば，Yoshida et al., 1996）。

⑨の破壊の伝播様式は，断層面の走向または傾斜方向に平行して1方向のみ伝播する場合，断層面の走向または傾斜方向に平行して互いに逆向きの2方向に伝播する場合，断層面の走向または傾斜方向に斜交して1方向または多方向に伝播する場合，1点から放射状に伝播する場合の四つに分類される。

⑪の地震モーメントは，断層全体を点震源として見た際の地震の大きさを表しており， $M_0 = \mu ULW$  で求められる。

⑫の応力降下量は、断層破壊前後の震源断層面上における応力の解放量を表す。応力降下量は、転位論から次式で表されることが導かれている。

$$\Delta \sigma = c \mu \frac{U}{W} = c \frac{M_0}{SW}$$

S : 震源断層の面積 ( $S=LW$ )

c : 断層変位様式によって異なる定数、縦ずれ断層では  $c=4(\lambda+\mu)/\pi(\lambda+2\mu)$  (Starr, 1928), 横ずれ断層では  $c=2/\pi$  (Knopoff, 1958), 円形断層 (半径 W) では  $c=7\pi/16$  (Eshelby, 1957) とされている。  
 $\lambda$  はラメ定数。

地震波の解析や余震分布等から  $M_0$ ,  $L$ ,  $W$  を求めると、応力降下量を推定することができる。Kanamori and Anderson (1975) は、 $6 < M_s$  (表面波マグニチュード)  $< 8.5$  の浅発地震の震源パラメータを整理し、 $M_0 \propto S^{3/2}$  がよく成り立つとする経験則を示している。また、上記の式において  $W \propto S^{1/2}$  と考えると、 $M_0 \propto \Delta \sigma S^{3/2}$  となることから、応力降下量  $\Delta \sigma$  は、地震の規模によらず一定ということになる。実際に多くの大地震について推定された応力降下量は、海溝内側の浅発地震 (プレート境界地震) で 30bar 前後、内陸部の浅発地震 (プレート内地震) で 100bar 前後である (宇津, 1984)。

近年の地震波の観測や岩石実験等から、震源過程は概して複雑で、不連続的な破壊伝播と不均一な断層すべり分布を示すことが明らかにされている (久家, 2000 ; 菊池, 2003 等 : 図 3.3.1-3)。特に、大きなずれを起した領域はアスペリティ (asperity : Lay et al., 1982), ずれの伝播を妨げているような強固な領域はバリア (barrier : Aki, 1979) と呼ばれている。断層面上でのずれの伝播やその分布が地震波形に影響することから、観測された地震波形から震源断層面上で生じたずれの伝播やその分布、すべり速度の時空分布等が復元されている (例えば, Lay et al., 1982 ; 菊池, 1991 ; Ide and Takeo, 1997 : 図 3.3.1-4)

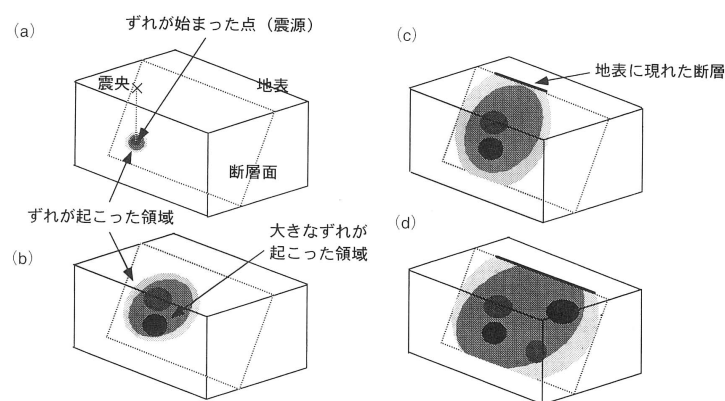


図 3.3.1-3 現代の地震モデル (出典 : 久家, 2000)

(a) から (d) へと時間が経過する。影塗り部分でずれが生じている。影が濃いほど、ずれの大きさが大きい。ずれの起こる領域は 2~3km/s 程度の高速で広がる。

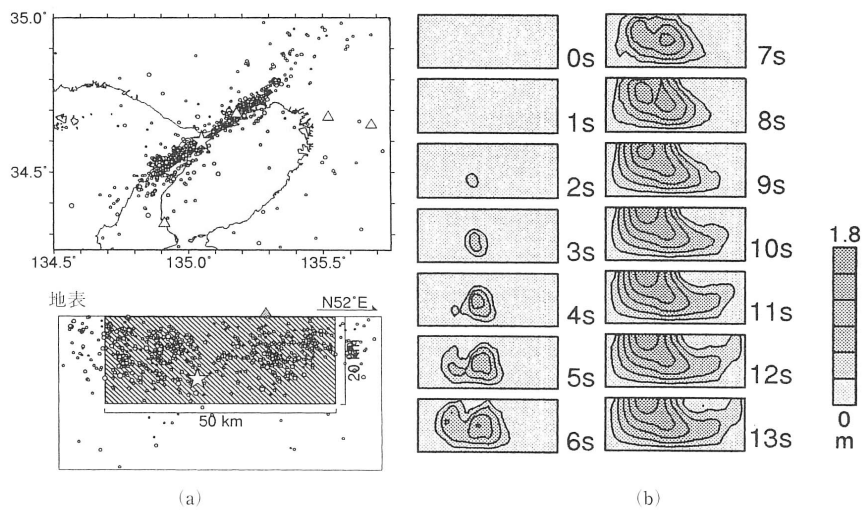


図 3.3.1-4 1995 年兵庫県南部地震におけるずれの伝播（出典：Ide and Takeo, 1997）  
 (a)は余震分布（上）と仮定している断面面，○：余震，☆：震源，△：観測点，上図の太線：断層位置，(b)は(a)の断面上を時間とともに広がるずれ，右横ずれの大きさを示す。

(ii) 地震の震源分布と発生場所

先にも述べた，収束型プレート境界にあたる日本列島及びその周辺では，プレート境界付近で地震発生頻度が高く，さらに陸側プレートの広範な領域でも活発な地震活動が生じている。

日本列島とその周辺で発生する地震は，その分布及び発生する場所のテクトニックな環境によりタイプ分けされており，相対運動するプレートの境界面で発生するプレート間地震とプレート内地震の二つのタイプに大別される。さらにプレート内地震は，陸側プレート内の地震（陸域の浅い地震）と海洋プレート内の地震（沈み込む海洋プレート内での地震，沈み込んだ海洋プレート内の地震）に細分される（図 3.3.1-5）。

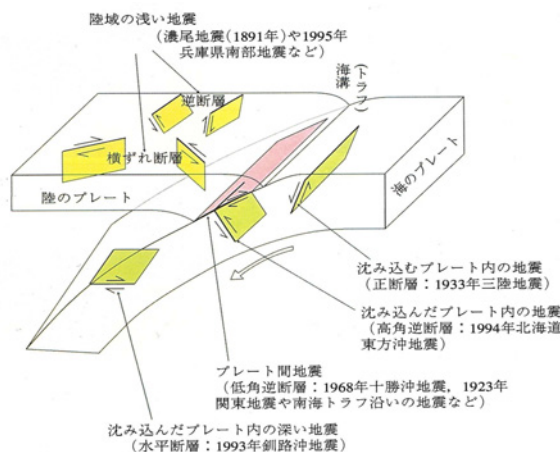


図 3.3.1-5 日本列島及びその周辺で発生する地震のタイプ（出典：総理府地震調査研究推進本部地震調査委員会編，1999）

太平洋プレートが沈み込む千島海溝、日本海溝、伊豆-小笠原海溝の付近では、マグニチュード (M) 7~8 程度の規模の大地震が発生することがある。このような大地震は、太平洋プレートの沈み込みに伴って北米プレート（あるいはオホーツクプレート）またはフィリピン海プレートの端が引きずり込まれ、それがプレート間のすべり抵抗を超えたときに、北米プレート（あるいはオホーツクプレート）またはフィリピン海プレートが跳ね上がるという低角逆断層運動により発生する。プレート境界でのずれがゆっくり生じると、それに伴う海底での地殻変動により津波が発生することがある。このような地震は、断層面でのずれがゆっくり生じるため、大きな地震動を伴わない（総理府地震調査研究推進本部地震調査委員会編，1999）。

フィリピン海プレートが沈み込む相模トラフ、駿河トラフ、南海トラフ、琉球海溝の付近では、しばしば M8 程度の巨大地震も発生している。南海トラフでは、東南海地震（1944 年，M7.9）あるいは南海地震（1946 年，M8.0）と同じタイプの大地震が過去約 1,300 年間に 90~262 年間隔で繰り返し発生していることが歴史資料から明らかにされている（寒川，1998）。また、フィリピン海プレートの沈み込みに伴っても、大きな地震動を伴わずに津波だけを引き起こすゆっくりとした低角逆断層による断層運動が発生することがある（総理府地震調査研究推進本部地震調査委員会編，1999）。

海洋プレートでは、沈み込み帯において別のプレートの下に沈み込み、それに伴っていくつかのタイプの地震が発生している。プレート境界より海洋側（沈み込む前）の海洋プレートでは、プレートの沈み込みによって下向きに曲げられるため、浅い部分では伸張応力が働いており、正断層型の地震が発生している。一方、深い部分では、圧縮応力が働いており、逆断層型の地震が発生している。伊豆半島はフィリピン海プレートの上に乗っているため、伊豆半島で発生する地震は海洋プレート内の地震となる。先に述べたように、沈み込む海洋プレートの浅い部分では正断層型の地震が発生することが一般的であるが、伊豆半島北部では、衝突が起きているため水平方向の応力が最大圧縮応力となっており、横ずれ断層型の地震が発生している（島崎・松田編，1994）。

また、沈み込んだ海洋プレート（スラブ）内でも、逆断層及び水平断層の断層活動による地震が発生している。これらの地震の発生深度は、他のプレート内地震の発生深度より非常に深く、東北日本陸域では、50~200km 程度である（総理府地震調査研究推進本部地震調査委員会編，1999）。

大陸プレート内で発生する地震は、日本列島の周辺に分布するプレート運動による広域地殻応力場を反映し、東北日本と西南日本で異なるタイプの地震が発生している。東北日本では、西に向かって沈み込む太平洋プレートにより東西方向に強い圧縮応力が働いており、南北走向で逆断層型の地震が発生している。一方、西南日本では、フィリピン海プレートが南海トラフに対して斜交する北西方向に沈み込んでいる（大中・松浦，2002）ため、東西方向の圧縮応力と北西-南東方向の圧縮応力が働いており、北東-南西走向または北西-南東走向の横ずれ型の地震も発生している。陸域では、20km 程度より深い岩盤は、温度が高いため脆性破壊を起こさず、塑性流動変形を起こすと考えられている。したがって、沈み込んだプレート上面に発生する地震を除き、陸域で発生する地震の大部分は、深度 20km 程度よりも浅いところで発生している。

## (2) 活断層の分布と活動特性

前項 (3.3.1(1)) に述べたように地震は、断層活動によって生じるものであり、震源断層が地表付

近にまで到達し、地表付近の地形・地質に変形・変位を与えているものも存在する。このような地震や変位を引き起こした断層は、最近の地質時代において間欠的に繰り返し活動しており、今後も活動すると考えられるため活断層と呼ばれている。特定の活断層で発生する最大規模の地震は、毎回ほぼ同じ大きさであり、断層ごとに固有であるとする考え方を固有地震モデル (Characteristic earthquake model : Schwartz and Coppersmith, 1984) といい、活断層から将来起こる地震の規模を推定するうえで基本的な考え方となっている。活断層については、これまでに蓄積された研究成果に基づき、クリープ性の活動を行っている活断層を除いて、次に示すような基本的な性質を有していると考えられている (杉山, 2001)。

- ① 活断層は、一つまたは複数の活動の単位 (活動セグメント) から構成される。
- ② 活断層及び活動セグメントの位置と規模は、数千 (~数万?) 年の期間では概ね安定している。
- ③ 活動セグメントは、単独あるいは他の活動セグメントや活断層と連動して、繰り返し活動する。
- ④ 個々の活動セグメントで繰り返される活動の間隔は、多くの場合、その平均的な値の半分~2 倍の範囲に入る。
- ⑤ 活動セグメント上の各点における毎回の活動による変位量は、多くの場合、その平均的な値の半分~2 倍の範囲に入る。

#### (i) 活断層の分布

日本列島及びその周辺の活断層の分布は、陸域については中田・今泉編 (2002) の「200 万分の 1 日本列島活断層図」(図 3.3.1-6) に示されており、海域については徳山ほか (2001) の「日本周辺海域の第四紀地質構造図」(図 3.3.1-7) に示されている。これらの分布図によると活断層の密集する地域と広い範囲で活断層が存在しない地域が認められる。

活断層研究会編 (1991) では、断層の密度、長さ、走向、断層のタイプ、水平最大応力方位等に基づき活断層区が設定され、各活断層区に分布する活断層の特性が整理されている (図 3.3.1-8, 表 3.3.1-1)。これによると活断層密度の小さい地域では断層の長さが短く、主要断層の活動度も C 級と低くなっている。一方、活断層密度の大きい地域では断層の長さが長く、主要断層の活動度も A 級と高くなっている。

また、松田・吉川 (2001) は、地体構造区毎に長さ 10km 以上の断層の数、分布密度等を示している (図 3.3.1-9, 表 3.3.1-2 及び表 3.3.1-3)。これによると、東北日本弧では断層数 52, 断層分布密度  $4.4/10^4\text{km}^2$  で、縦ずれの断層が約 90% を占めているのに対し、西南日本弧では断層数 148, 断層分布密度  $10.8/10^4\text{km}^2$  で、横ずれ成分を有する断層が 46% を占めている。また、島弧の外帯と内帯では断層の分布状況が対照的に異なっており、外帯では断層数 24, 断層分布密度  $2.5/10^4\text{km}^2$ , 内帯では断層数 212, 断層分布密度  $8.8/10^4\text{km}^2$  であり、内帯は外帯に比べ断層数で約 9 倍、断層分布密度では約 3.5 倍大きいことが示されている。

このように日本列島の活断層の分布には、偏在性が認められ、活断層のタイプや活動性には地域性が認められる。

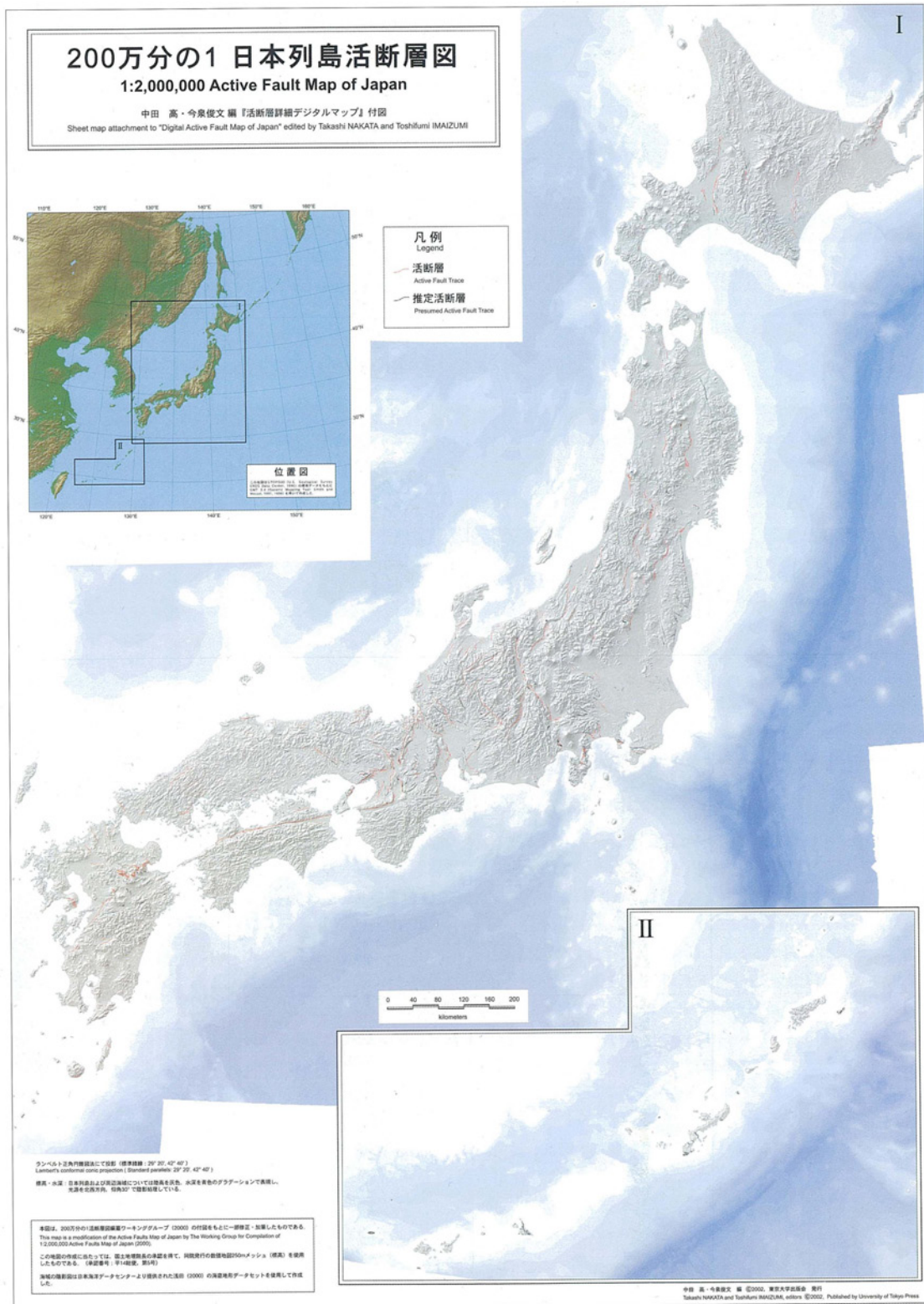
## (ii) 活断層の活動特性

日本列島に分布する主要な活断層は、図 3.3.1-10 に示されているように、第四紀初めまでは断層変位基準が古くなるほど変位量が大きくなり、変位の累積性が認められるが、より古い変位基準では、その形成年代にかかわらず変位量は一定になっている。このことから、これらの主要な活断層は、第四紀初めに活動を開始し、現在もその活動を継続していると考えられている。また、東北日本・日本海側の北由利断層系では 2.5Ma 頃 (栗田, 1988)、東北日本・脊梁山地の断層系では 1.0Ma 頃 (Awata and Kakimi, 1985 ; 栗田, 1988)、西南日本の主な逆断層 (養老断層系, 阿寺断層系等) では第四紀始め頃から活動を開始し (岡田, 1986)、これらの断層は現在もその活動が継続していると考えられる。しかしながら、紀伊半島・中央構造線沿いの<sup>しやうぶだに</sup>菖蒲谷断層 (寒川, 1977) のように、前～中期更新世には繰り返し活動したが、後期更新世以降には活動していない断層が存在するほか、西南日本の断層活動が現在と同様となったのは 0.5Ma 頃 (藤田, 1993)、伊豆半島北部の断層活動が現在と同様になったのは約 0.5Ma 以降 (Ito et al., 1989) とされている。

活断層の活動性は、活動の頻度 (活動間隔 (R) の逆数) と 1 回の活動に伴う平均的な変位量 (単位変位量 : D) の大きさによって評価できる (杉山, 2001)。活動の頻度と単位変位量は、活断層毎に異なっており、活断層の活動性を定量的に評価する基準として、活断層の活動頻度と単位変位量の積にあたる平均変位速度 ( $S=D/R$  : m/1,000 年または mm/年) が用いられている。したがって、活動頻度が高く (活動間隔が短く)、単位変位量が大きな活断層ほど、活動性が高いといえる。表 3.3.1-4 に平均変位速度による活断層の分類を示す。

日本列島に分布する活断層 (帯) のうち活動度及び確実度が高いものや地震防災的観点から重要性が高いと判断されているものは、地形・地質踏査、トレンチ調査等によって、その活動性が明らかにされている。Inoue et al. (2001) は、これらの活断層 (帯) のうち、地形・地質踏査、トレンチ調査等により活動性が評価された 87 の活断層 (帯) を対象に文献調査を行い、平均変位速度と活動間隔は反比例の関係にあること、活動間隔の短い断層ほど平均変位速度が大きくなることを明らかにしている (図 3.3.1-11)。また、これらの活断層 (帯) の活動間隔は、30,000 年以内である (Inoue et al., 2001) としているが、30,000 年を超える活動間隔をもつ活断層 (京都西山断層 : 活動間隔 10,000 ~ 36,000 年 京都市, 1998 ; 長尾断層 : 活動間隔 31,000 ~ 36,000 年 杉山ほか, 2001) やその可能性が指摘されている断層 (別府一万年山断層帯の一部 大分県, 2001) もある。

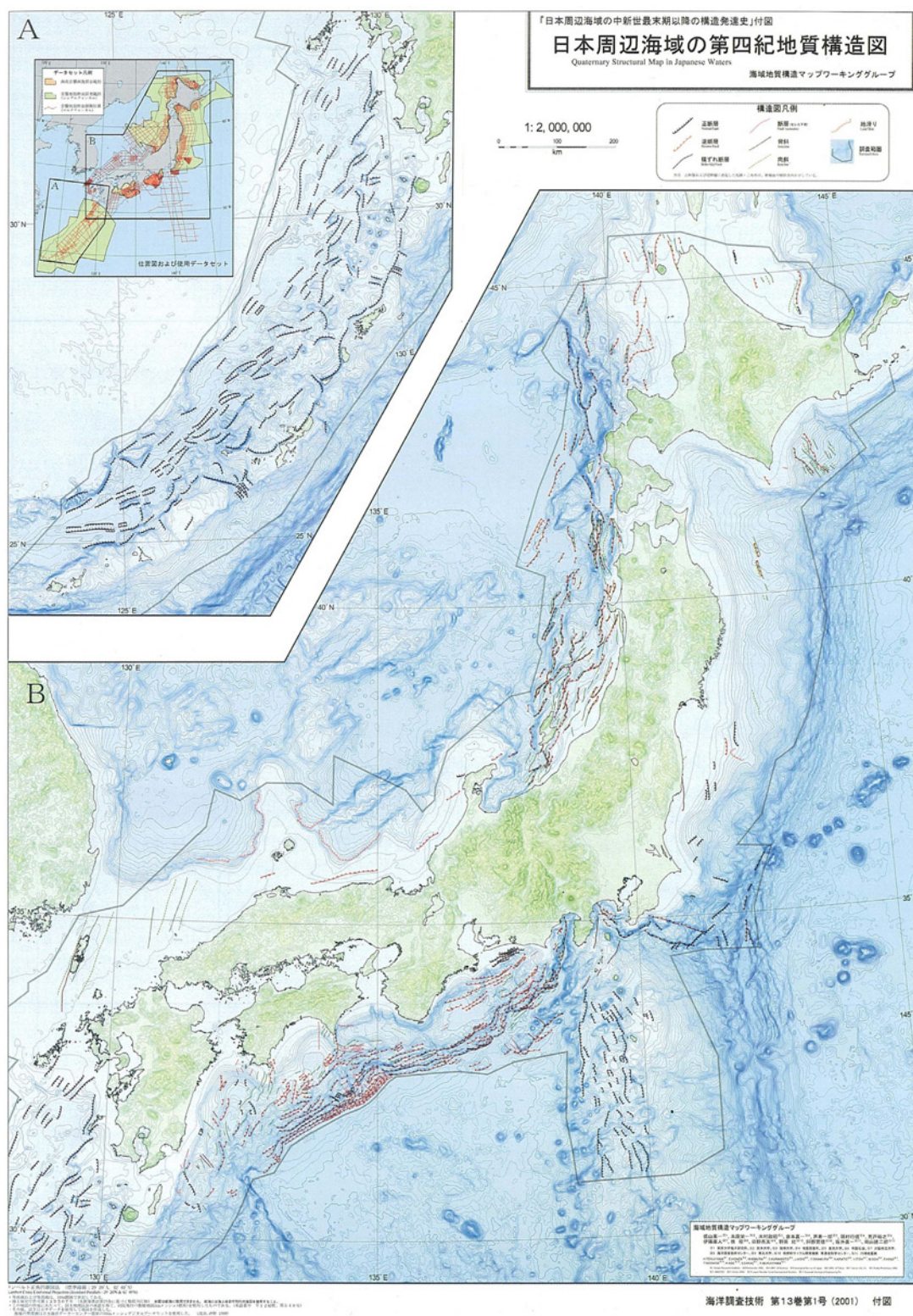




出典：中田高・今泉俊文編(2002)：「活断層詳細デジタルマップ」付図  
 200 万分の 1 日本列島活断層図，東京大学出版会

原図は縮尺 200 万分の 1 無断複製・転写を禁じます

図 3.3.1-6 200 万分の 1 日本列島活断層図 (出典：中田・今泉編，2002)



出典：徳山英一ほか(2001)：「日本周辺海域の中新世最末期以降の構造発達史」付図  
 日本周辺海域の第四紀地質構造図，「海洋調査技術」，第13巻第1号，海洋調査技術学会  
 海洋調査技術学会許諾第16002号

原図は縮尺200万分の1無断複製・転写を禁じます

図 3.3.1-7 日本周辺海域の第四紀地質構造図（出典：徳山ほか，2001）

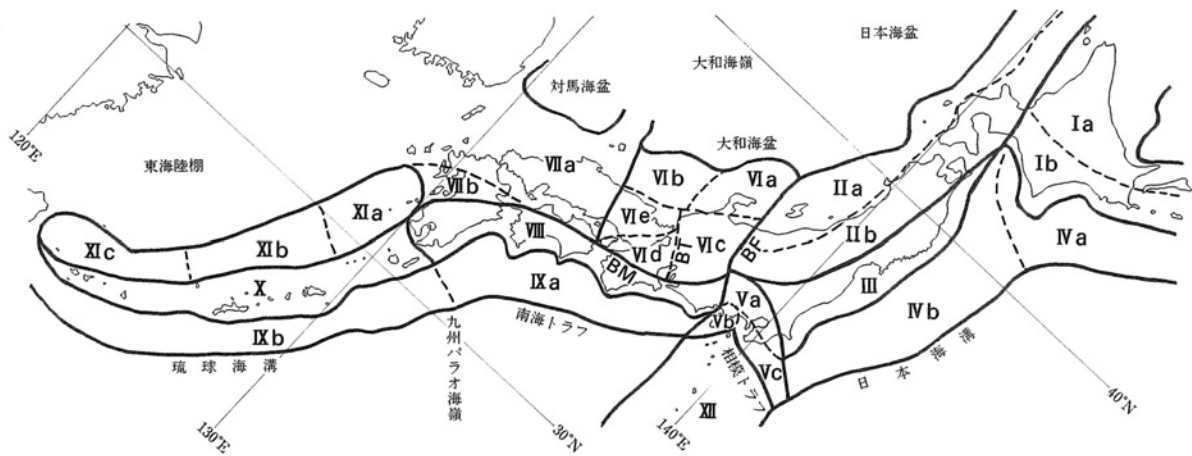


図 3.3.1-8 活断層区 (出典：活断層研究会編, 1991)

活断層区の名前は、表 3.3.1-1 に示す。

表 3.3.1-1 活断層区とその中の断層の特徴 (出典：活断層研究会編, 1991)

大区分	小区分	密度	主要断層の長さ*	主要断層の活動度	卓越する断層型**	備考
I 北海道主部	a 北海道主部内帯	小	小	C	逆?	
	b 北海道主部外帯	小	中	B	逆	
II 東北日本内帯	a 東北日本内帯大陸斜面	大	大	A?	逆	海底
	b 東北日本内帯陸上	中	中	B	逆	火山地帯
III 東北日本外帯		極小	中	B	逆・横	
IV 東日本太平洋斜面	a 北海道南岸沖	大	大	A?	逆・横?	海底
	b 三陸・常磐・鹿島沖	大	大	A?	逆	海底
V 伊豆小笠原弧先端部	a 関東山地周辺	中	小	B	逆・横	
	b 伊豆半島周辺	大	小	A・B	横	火山地域
	c 相模トラフ北縁	大	大	A	逆・横	主に海底
BF フォッサマグナ西縁地帯		大	小	A	横・逆	
	a 能登半島周辺	小	小	B・C	逆	陸と海底
	b 隠岐トラフ周辺	中	中	B?	逆?	海底
	c 中部山地	大	大	A	横・逆	
	BT 敦賀湾—伊勢湾縁地帯	大	中	A・B	横・逆	
VI 西南日本内帯東部	d 近畿三角地域	大	中	B・A	逆・横	
	e 近畿北西部	中	中	B	横・逆	
	a 中国・瀬戸内・北九州	小	小	B・C	横・逆	
	b 中九州火山地域	大	小	B	正	火山地域
BM 中央構造線地帯		大	大	A	横	
VIII 西南日本外帯		極小	小	B・C	逆・横	
IX 西日本太平洋斜面	a 南海トラフ陸側斜面	大	大	A	逆・横	海底
	b 琉球海溝陸側斜面	中?	大	A?	逆・横	海底
X 琉球弧		中・大	中	B・C	正	海底と陸
XI 沖縄トラフ	a 沖縄トラフ北東部	中	大	B?	正	海底
	b 沖縄トラフ中部	大	中	A?	正	海底
	c 沖縄トラフ南西部	大	大	A	正	海底
XII 伊豆小笠原弧北部						海底・西半は火山地域

\* 小：20 km 以下，中：20～50 km，大：50 km 以上，海底と陸上は元の資料がちがうが，付図による長さ。

\*\* 逆：逆断層，正：正断層，横：横ずれ断層。

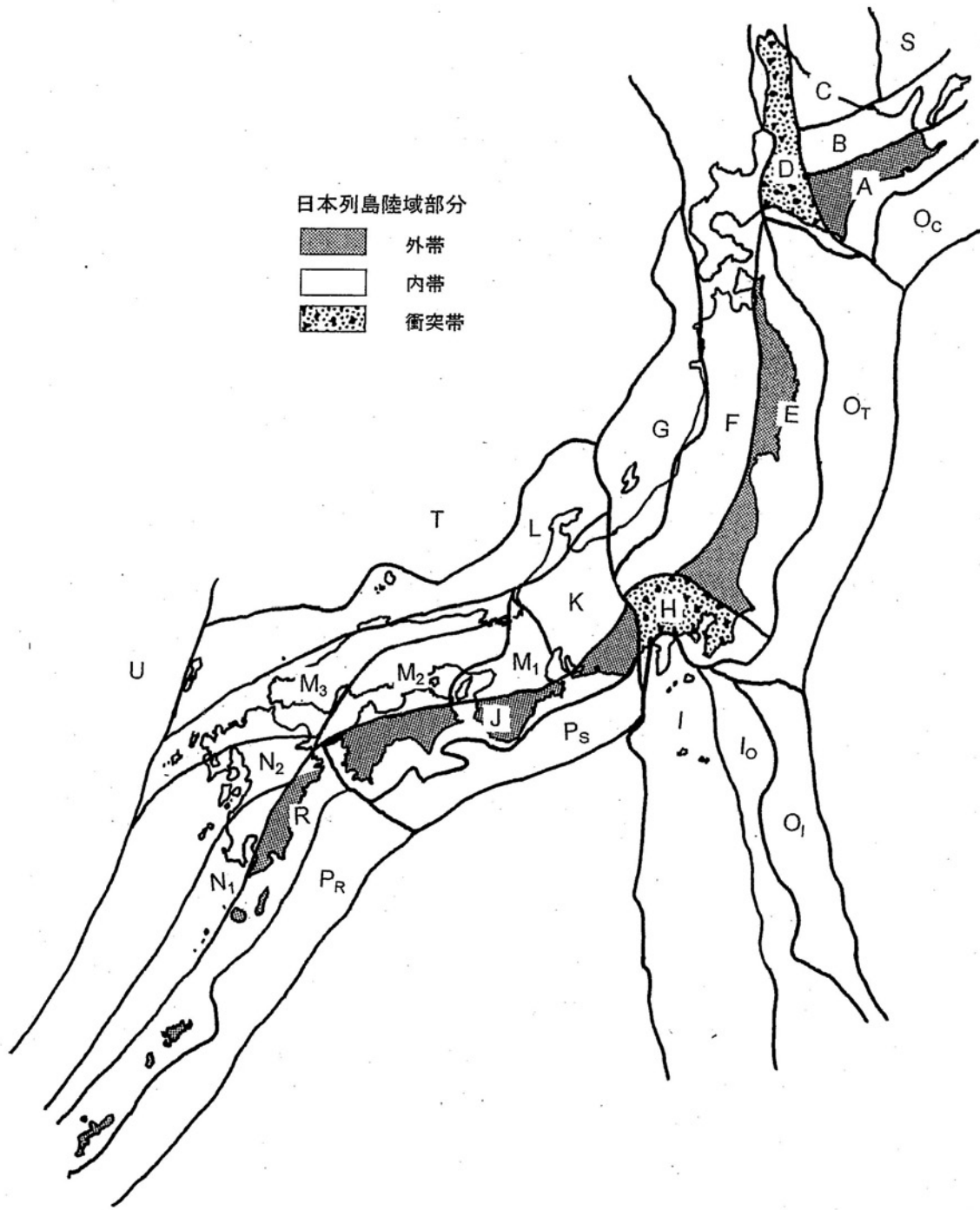


図 3.3.1-9 日本列島の地体構造区分図 (出典: 松田・吉川, 2001)

本地体構造区分図は、松田 (1990) の地震分帯図を一部修正加筆したもの。A: 根室帯, B: 大雪山-知床帯, C: 北見帯, D: 天塩-夕張衝突帯, E: 北上-阿武隈帯, F: 奥羽-道南帯, G: 日本海東縁帯, H: 南部フォッサマグナ衝突帯, I: 伊豆-硫黄島帯, I<sub>0</sub>: 小笠原帯, J: 赤石-四国帯, K: 美濃・飛騨帯, L: 能登-穴道帯, M<sub>1</sub>: 近畿三角帯, M<sub>2</sub>: 瀬戸内帯, M<sub>3</sub>: 山陰-北九州帯, N<sub>1</sub>: 霧島-トカラ帯, N<sub>2</sub>: 別府-沖縄トラフ帯, O<sub>C</sub>, O<sub>T</sub>, O<sub>1</sub>, P<sub>S</sub>, P<sub>R</sub>: 前弧海盆 (それぞれ千島弧, 東北日本弧, 伊豆・小笠原弧, 西南日本弧, 琉球弧の前弧海盆), R: 宮崎-沖縄島帯, S, T, U: 縁海 (S: オホーツク海, T: 日本海, U: 東シナ海)

表 3.3.1-2 地体構造区別の断層数, 断層長, 地震数及び分布密度 (出典: 松田・吉川, 2001)

島 弧	略号*	地体構造区	S 陸域面積 10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup>		F 断層数		L 断層長		E <sub>1</sub> 地震数** 1900以後		E <sub>2</sub> 地震数** 1900以前		F/S 断層数密度***		L/S 断層長密度***		E <sub>1</sub> /S 地震数密度***		E <sub>1</sub> /F 地震数/断層数	
千島弧	外帯 A	根室帯	1.69		2		104		1		0		1.2		61.5		0.6		0.5	
	内帯1 B	大雪山-知床帯	1.62		6		90		8		0		3.7		55.6		4.9		1.3	
	内帯2 C	北見帯	0.86	2.48	0	6	0	90	0	8	0	0	0.0	2.4	0.0	36.3	0.0	3.2	0.0	1.3
	衝突帯 D	天塩-夕張衝突帯	2.12		7		163		7		0		3.3		76.9		3.3		1.0	
東北日本弧	外帯 E	北上-阿武隈帯	3.34		6		189		3		4		1.8		56.6		0.9		0.5	
	内帯1 F	奥羽-道南帯	7.62		40		1036		29		32		5.2		136.0		3.8		0.7	
	内帯2 G	日本海東縁帯	0.98	8.60	6	46	188	1224	24	53	22	54	6.1	5.3	191.8	142.3	24.5	6.2	4.0	1.2
	衝突帯 H	南部フォッサマグナ衝突帯	1.96		20		443		18		24		10.2		226.0		9.2		0.9	
伊豆・小笠原弧	外帯 I <sub>0</sub>	小笠原帯	0.01		0		0		0		0		0.0		0.0		0.0		0.0	
	内帯 I	伊豆-硫黄島帯	0.26		3		56		20		10		11.5		215.4		76.9		6.7	
西南日本弧	外帯 J	赤石-四国帯	3.13		8		157		7		11		2.6		50.2		2.2		0.9	
	内帯1 K	美濃-飛騨帯	3.04		47		1605		19		22		15.5		528.0		6.3		0.4	
	内帯2 M <sub>1</sub>	近畿三角帯	1.21		45		1363		10		19		37.2		1126.4		8.3		0.2	
	内帯3 M <sub>2</sub>	瀬戸内帯	2.63	10.56	24	140	643	4124	7	76	9	71	9.1	13.3	244.5	390.5	2.7	7.2	0.3	0.5
	内帯4 M <sub>3</sub>	山陰-北九州帯	3.13		16		347		38		12		5.1		110.9		12.1		2.4	
	内帯5 L	能登-穴道帯	0.55		8		166		2		9		14.5		301.8		3.6		0.3	
琉球弧	外帯 R	宮崎-沖縄島帯	1.42		8		117		6		3		5.6		82.4		4.2		0.8	
	内帯1 N <sub>1</sub>	霧島-トカラ帯	0.82		4		55		15		2		4.9		67.1		18.3		3.8	
	内帯2 N <sub>2</sub>	別府-沖縄トラフ帯	1.25	2.07	13	17	372	427	16	31	16	18	10.4	8.2	297.6	206.3	12.8	15.0	1.2	1.8
	計(平均)		37.64		263		7094		230		195		(7.0)		(188.5)		(6.1)		(0.9)	
	外帯 計(平均)		9.59		24		567		17		18		(2.5)		(59.1)		(1.8)		(0.7)	
	内帯 計(平均)		23.97		212		5921		188		153		(8.8)		(247.0)		(7.8)		(0.9)	
	衝突帯 計(平均)		4.08		27		606		25		24		(6.6)		(148.5)		(6.1)		(0.9)	

\*松田(1990)による。ただし、I<sub>0</sub>, M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub>, R, N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub>は新設

\*\*地震は震央が陸域(沿岸海域15km以内を含む)でマグニチュード5以上のもの、1885年以後の地震は深さ20km以内のもの。(松田ほか, 2000の付表による)

\*\*\*面積10<sup>4</sup>km<sup>2</sup>あたりの数またはkm

表 3.3.1-3 起震断層の活動度, 断層型及び地震の規模別頻度 (出典: 松田・吉川, 2001)

島 弧	略号	地体構造区	F 断層数	起震断層(長さ10km以上)								1900年代陸域地震(M <sub>s</sub> ≥5, h≤20km)				
				活動度*				断層型**				E <sub>i</sub> 地震数	M			
				A	B	C	その他	縦(D)	左(L)	右(R)	不明		5≤M<6	6≤M<7	7≤M<8	8≤M
千島弧	外帯 A	根室帯	2	0	2	0	0	2	0	0	0	1	0	1	0	0
	内帯1 B	大雪山-知床帯	6	2	4	0	0	6	0	0	0	8	4	4	0	0
	内帯2 C	北見帯	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	衝突帯 D	天塩-夕張衝突帯	7	0	5	2	0	7	0	0	0	7	3	3	1	0
東北日本弧	外帯 E	北上-阿武隈帯	6	0	5	0	1	3	1	2	0	3	2	1	0	0
	内帯1 F	奥羽-道南帯	40	3	34	2	1	37	2	1	0	29	17	10	2	0
	内帯2 G	日本海東縁帯	6	2	4	0	0	5	1	0	0	24	16	8	0	0
	衝突帯 H	南部フォッサマグナ衝突帯	20	7	11	2	0	13	3	4	0	18	7	10	1	0
伊豆・小笠原弧	外帯 I <sub>0</sub>	小笠原帯	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	内帯 I	伊豆-硫黄島帯	3	1	1	0	1	1	1	1	0	20	12	6	2	0
西南日本弧	外帯 J	赤石-四国帯	8	0	3	1	4	5	0	3	0	7	4	3	0	0
	内帯1 K	美濃-飛騨帯	47	12	34	1	0	14	15	20	0	19	10	7	2	0
	内帯2 M <sub>1</sub>	近畿三角帯	45	3	32	9	1	29	4	11	1	10	6	3	1	0
	内帯3 M <sub>2</sub>	瀬戸内帯	24	4	9	5	6	14	2	8	0	7	7	0	0	0
	内帯4 M <sub>3</sub>	山陰-北九州帯	16	0	10	1	5	6	5	4	1	38	20	16	2	0
	内帯5 L	能登-穴道帯	8	0	6	2	0	6	0	2	0	2	0	2	0	0
琉球弧	外帯 R	宮崎-沖縄島帯	8	1	6	0	1	5	2	2	0	6	5	0	1	0
	内帯1 N <sub>1</sub>	霧島-トカラ帯	4	1	1	0	2	4	0	0	0	15	11	3	1	0
	内帯2 N <sub>2</sub>	別府-沖縄トラフ帯	13	2	5	4	2	8	0	5	0	16	10	6	0	0
	計		263	38	172	29	24	165	36	63	2	230	134	83	13	0
	(%)		100	14.4	65.4	11.0	9.1	62.0	13.5	23.7	0.8	100	58.3	36.1	5.7	0.0

\*活動度: 活動度A~Bは活動度Aに, 同様にB~CはBに含めた。活動度[B]は活動度Bに含めた。その他は不明または活動度D。

\*\*断層型: 付表(松田ほか, 2000)のDLはL, DRはR, DRLはRとLの双方に数えた。

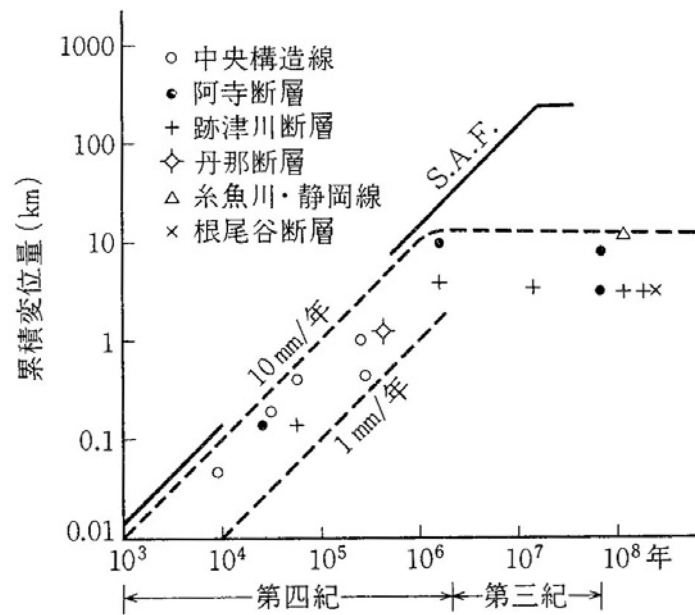


図 3.3.1-10 活断層の累積変位量と断層変位基準の年代との関係 (出典：松田，1992)

S. A. F. : サンアンドレアス断層

表 3.3.1-4 平均変位速度による活断層の分類と断層変位地形の一般的特徴

(出典：建設省国土地理院，1998)

区分	1000年間の平均変位速度 S	断層例	断層変位地形の一般的特徴
AA 級	$100\text{m} > S \geq 10\text{m}$	日本海溝沿いの断層 南海トラフ断層 相模湾断層 San Andreas 断層	Landsat 衛星画像や大地形に表現されているような大断層で、ほとんどの場合プレート境界に相当する。
A 級	$10\text{m} > S \geq 1\text{m}$	中央構造線 糸静線中央部 阿寺断層 丹那断層 跡津川断層	4万分の1空中写真の判読で地形線や地形面が切断されているのが良くわかり、変位の向きが確実に判定できる。断層変位地形はきわめて明瞭。
B 級	$1\text{m} > S \geq 0.1\text{m}$	立川断層 深谷断層 長町-利府断層	4万分の1空中写真の判読で、断層変位地形がどうか認定でき、条件がよければ変位の向きもわかる。断層変位地形はやや不明瞭。
C 級	$0.1\text{m} > S \geq 0.01\text{m}$	深溝断層 郷村断層 吉岡断層	2万分の1空中写真の判読で、断層変位地形がどうか認定できる程度。リニアメント(線状構造地形)は明瞭。
D 級	$0.01\text{m} > S \geq 0.001\text{m}$	—	第四紀に活動したことは確かであるが、断層変位地形は不明瞭ないし、ほとんどわからない。リニアメントもやや不明瞭。

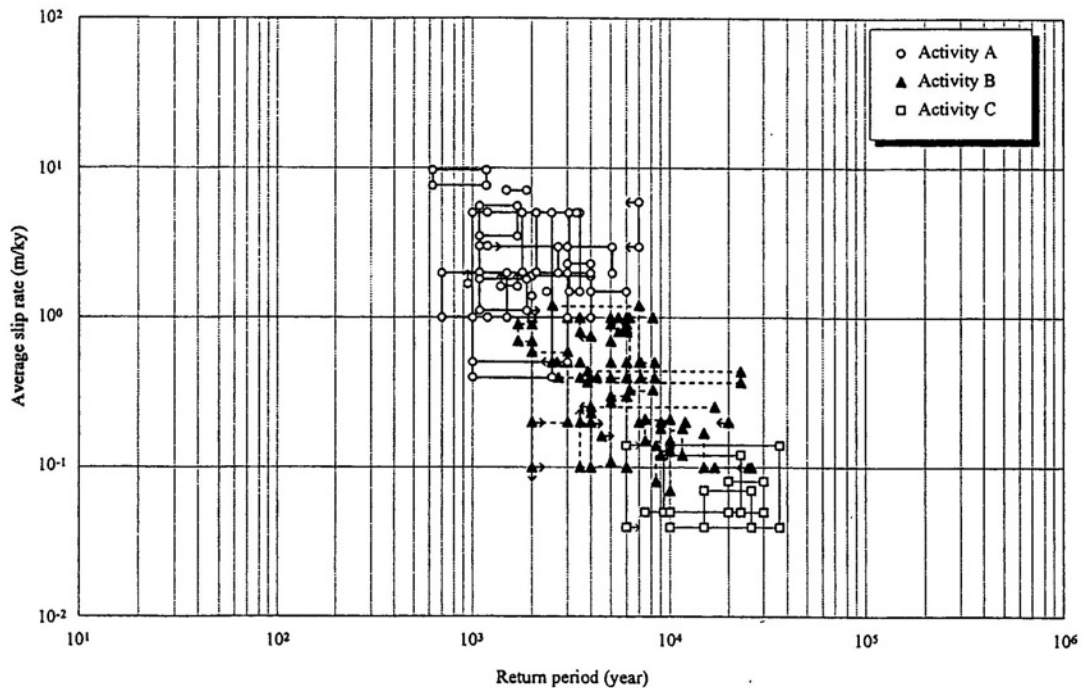


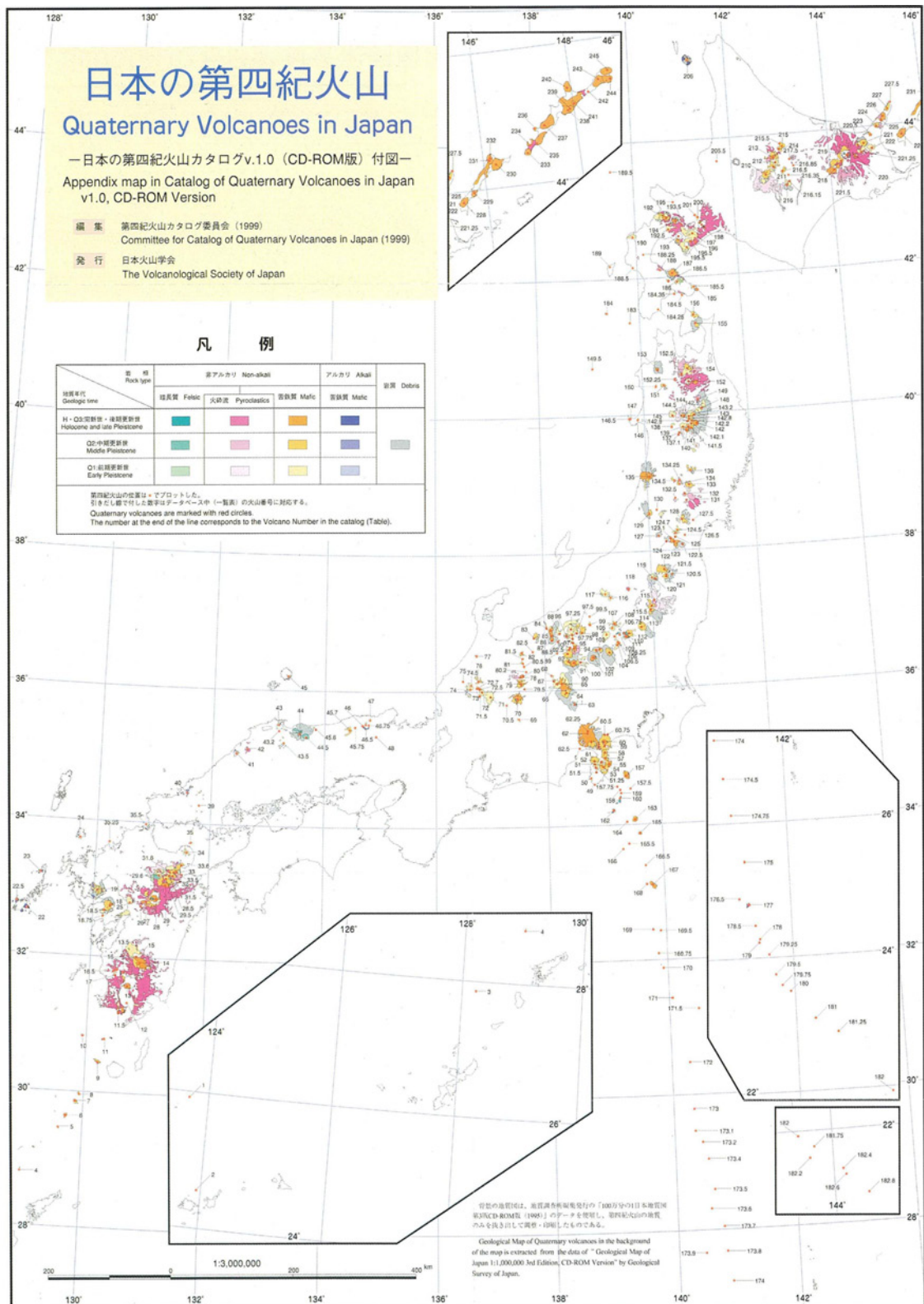
図 3.3.1-11 活断層の活動間隔と平均変位速度の関係 (出典 : Inoue et al., 2001)

### 3.3.2 火山・火成活動

#### (1) 第四紀火山の分布とその時空変化

地球上の火山は、ホットスポット火山を除けば、プレート境界である海嶺や沈み込み帯（海溝）の陸側付近に集中している。図 3.3.2-1 に示すように、日本列島及びその周辺地域は、後者の沈み込み帯に位置し、348 の第四紀火山が分布している（第四紀火山カタログ委員会編，1999；以下、「第四紀火山カタログ」という）。これらの火山は、千島、北海道、東北本州を経て伊豆諸島からマリアナに至る東日本火山帯と、山陰から九州を経て南西諸島に至る西日本火山帯の二つの帯状分布をなす（Sugimura, 1960）。

一般に島弧では、第四紀火山が海溝とほぼ平行に分布しており、第四紀火山が分布する領域の海溝側の境界を火山フロント（杉村，1958）という。第四紀火山の分布は、島弧の中軸部で最も密となり、大陸側に向かってまばらとなり、火山フロントは明瞭に認められ、その地理的位置は沈み込んだ海洋プレートの上面に相当する深発地震面の深度が 100~110km 程度のところにほぼ一致している（図 3.3.2-2）。火山フロントより海溝側にあたる前弧では、第四紀火山は認められない。図 3.3.2-3 に示すように、東北日本弧における第四紀火山の数及び噴出物量は、火山フロント近傍で最も多く、火山フロントから背弧側に向かうにつれ減少している（巽，1995）。



出典：第四紀火山カタログ委員会編(1999)：「日本の第四紀火山カタログ v.1.0 (CD-ROM版)」付図  
日本の第四紀火山，日本火山学会

原図は縮尺 300 万分の 1 無断複製・転写を禁じます

図 3.3.2-1 日本の第四紀火山の分布 (出典：第四紀火山カタログ委員会編，1999)



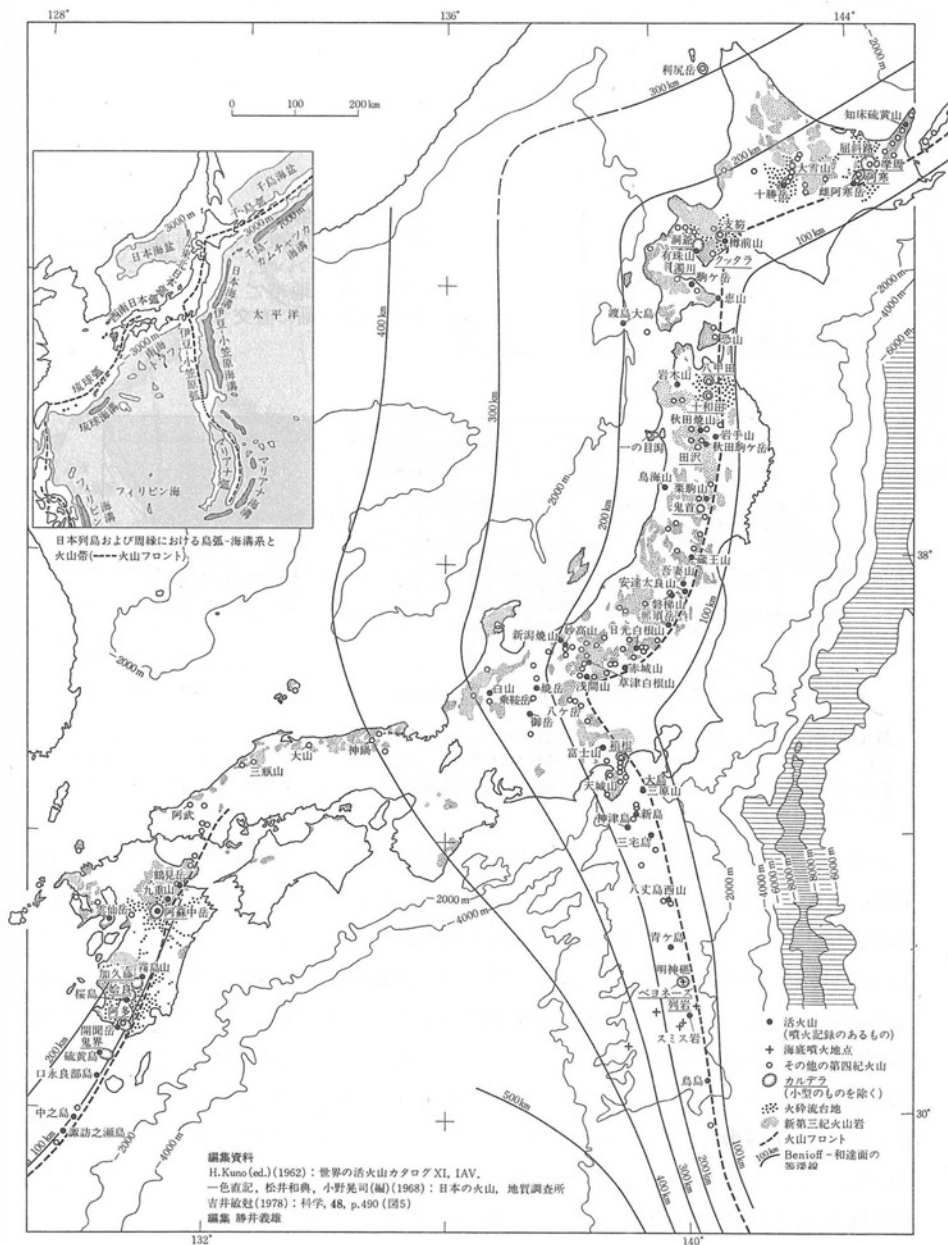


図 3.3.2-2 第四紀火山分布と深発地震面深度 (出典: 横山ほか編, 1979)

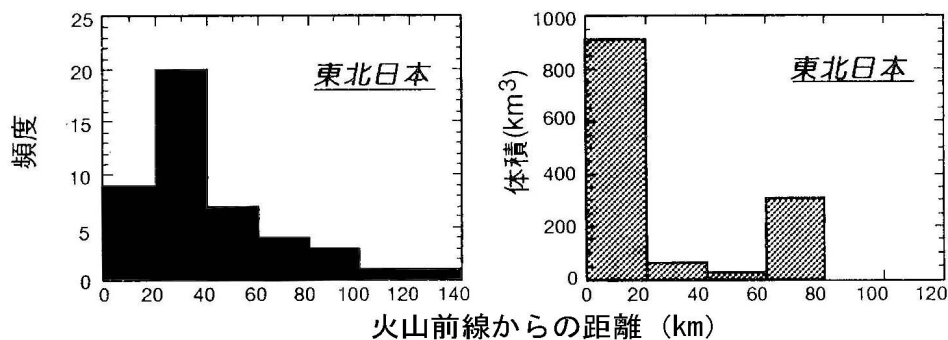


図 3.3.2-3 東北日本における火山フロントから各火山までの距離及び噴出量 (出典: 巽, 1995)

#### (i) 東日本火山帯の分布と特徴

東日本火山帯は、千島弧、東北日本弧、伊豆－小笠原弧の島弧－海溝系の伸張方向に対してほぼ平行に伸びており、火山フロントは、島弧会合部を除いて深発地震面の深度 100～110km 程度のところに位置している（図 3.3.2-1 及び図 3.3.2-2）。

北海道の第四紀火山は、千島弧の南西部に位置する北海道東部と東北日本弧の北方延長上にあたる北海道南西部に分布する。北海道東部の第四紀火山は、火山フロントから 60km 以内の範囲に分布しており、本州東北弧との会合部にあたる地域では、約 50km に及ぶ火山分布の空白域が存在している（中川ほか，1995）。

東北地方の第四紀火山は、火山フロントに沿う奥羽－脊梁山地とその西側（背弧側）に位置しており、地理的位置により二列の火山列（那須火山帯、鳥海火山帯）を形成している。また、各火山を構成する噴出物の化学組成の違いに着目すると、四列の火山列に区分される（中川ほか，1986）。東北日本弧の火山フロント付近に分布する第四紀火山のほとんどは、七つの火山地域（八甲田－十和田火山地域、仙岩火山地域、栗駒－鬼首火山地域、蔵王－舟形火山地域、磐梯－安達太良火山地域、会津火山地域、那須火山地域）に分布し、それぞれの火山地域は 60～100km の空白域を隔てて分布している（林ほか，1996）。また、火山フロントの背弧側の第四紀火山は、火山フロントに沿う火山の集中域の分布と同様に東北日本弧から北海道南西部にかけて 10 の火山の集中域に分布しており、それぞれの火山の集中域は数十～100km 程度の空白域を隔てて分布している（Tamura et al, 2002；図 3.3.2-4, 図 3.3.2-5）。これらの火山フロント沿いの火山の集中域とその背弧側の火山の集中域は、東西方向に配列しており、地震波のマントルトモグラフィーから得られる熱分布と対応している（Tamura et al, 2002；図 3.3.2-6, 図 3.3.2-7）。東北日本弧の背弧側には、複成火山だけでなく単成火山も分布している場合がある（例えば目黒火山）。これらの単成火山は、Tamura et al. (2002) によって示されている第四紀火山の集中域に一致している。

関東・甲信越地方は、東北日本弧と伊豆－小笠原弧の会合部にあたるため、火山フロントは著しく屈曲し、広範囲に第四紀火山が分布している。これらの第四紀火山は、関東北西方では日光火山群から浅間火山に至る火山フロント、その背後の尾瀬火山群（日光燧ヶ岳）から草津白根に至る火山列、さらにその背弧側の苗場火山から妙高火山に至る火山列による三つの火山列の配列が明瞭に認められる（高橋・小林編，1998a；図 3.3.2-8）。また、中部・甲信地方では、火山フロント側から順に八ヶ岳火山群から妙高火山に至る火山列、御岳火山から立山火山に至る火山列、白山火山から戸室火山に至る火山列が認められる（高橋，2000）。

富士火山以南では、伊豆－小笠原弧の伸張方向と平行に北北西－南南東方向に分布しており、火山帯の幅は南に向かうにしたがって狭くなり、最終的には一列に並ぶ火山島からなる。伊豆・小笠原－マリアナ弧の下に沈み込む海洋プレートの沈み込み角度は、南に向かうにつれ大きくなっており、沈み込む海洋プレートの角度と火山弧の幅は反比例の関係にあるとされている（Gill, 1981；巽，1995；図 3.3.2-9）。

東日本火山帯を構成する第四紀火山の化学組成は、火山フロントから西側に向かって  $K_2O$  含有量に富むマグマに変化しており（中川ほか，1986 等）、火山フロント付近ではソレアイト玄武岩マグマを初生マグマとする火山岩類、背弧側の日本海付近ではアルカリ玄武岩マグマを初生マグマとす

る火山岩類が分布している。また、その中間の地域では、ソライト玄武岩マグマとアルカリ玄武岩マグマの中間的な組成の玄武岩（高アルミナ玄武岩）マグマを初生マグマとする火山岩類が分布している（Kuno, 1966 ; Tatsumi et al., 1983 等）。

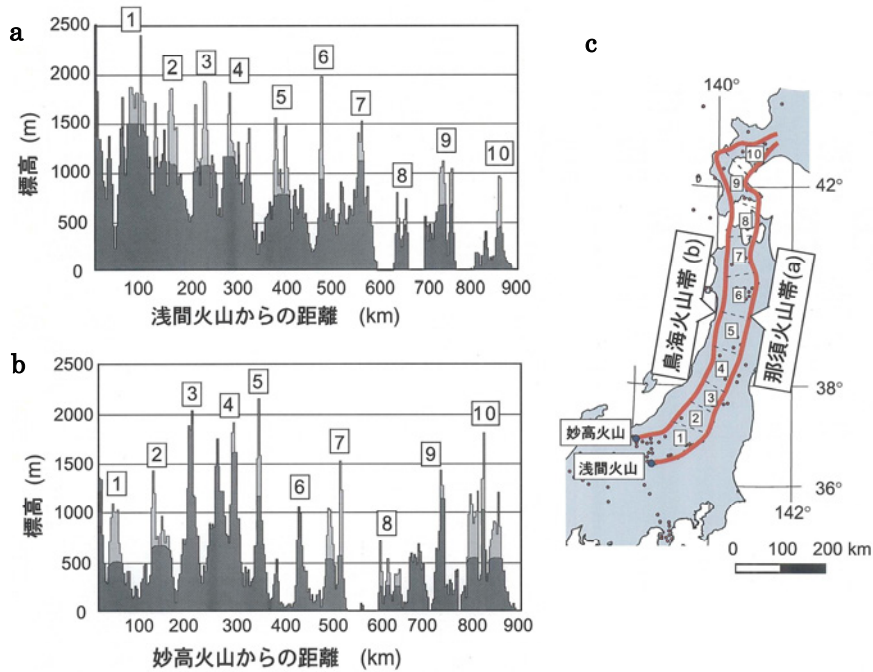


図 3.3.2-4 那須火山帯(a)及び鳥海火山帯(b)の地形断面図と火山分布図(c) (Tamura et al., 2002 を編集)

火山は地形的な高所に積み重なっており、火山の空白域は地形的に低く、那須火山帯と鳥海火山帯で同様な10回の地形的なうねりが認められる。a, b : 火山の基盤は黒、火山は灰で示されている。



図 3.3.2-5 東北日本の第四紀火山の分布 (出典 : Tamura et al., 2002)  
火山の集中域と空白域が交互に出現する。点線は沈み込む太平洋プレート表面の等深度線。

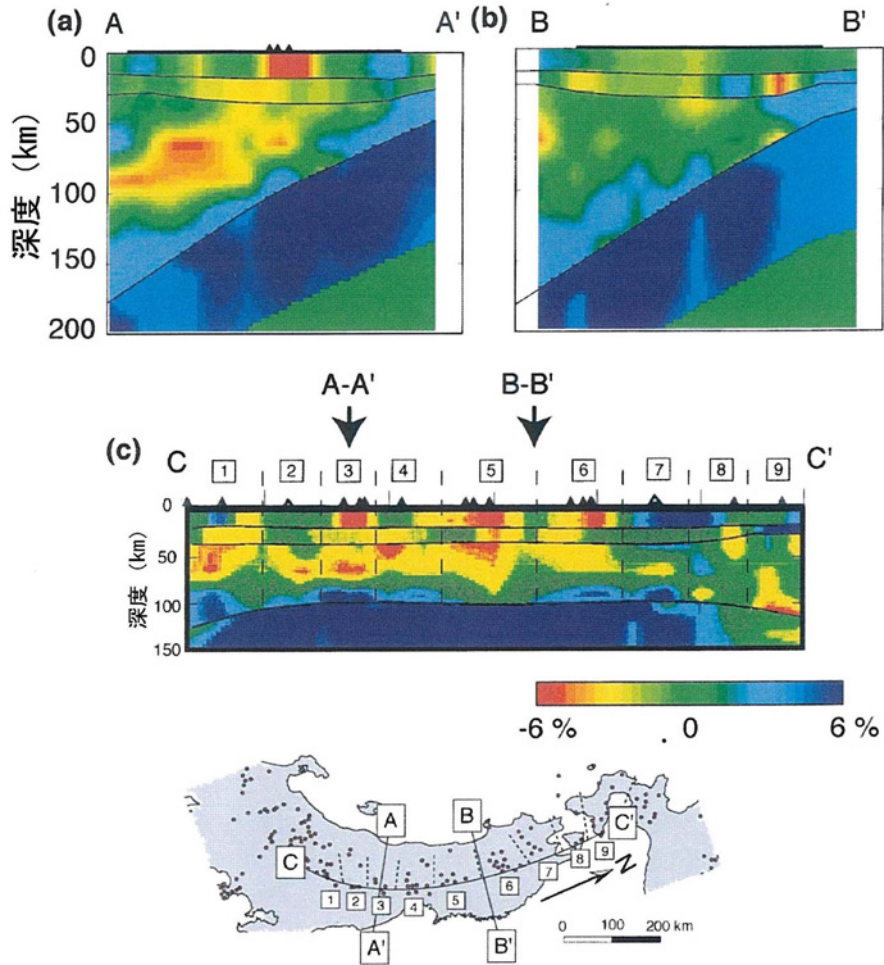


図 3.3.2-6 地震波のP波速度の異常を示すマントルトモグラフィー（出典：Tamura et al., 2002）  
 火山の集中域の下（50～150km）には高温マントルが存在する（A-A'）が、火山空白域の下のマントルには  
 熱異常が認められない（B-B'）。

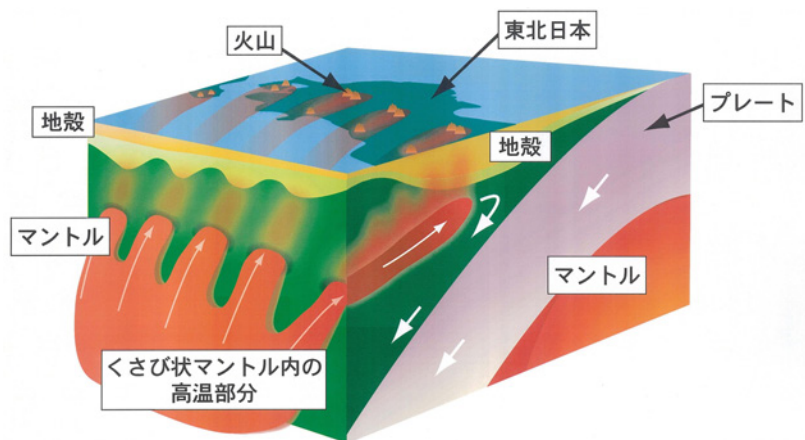


図 3.3.2-7 マントル内の指状の高温領域と火山帯の分布  
 （出典：海洋科学技術センター固体地球研究フロンティア研究システム, 2002）

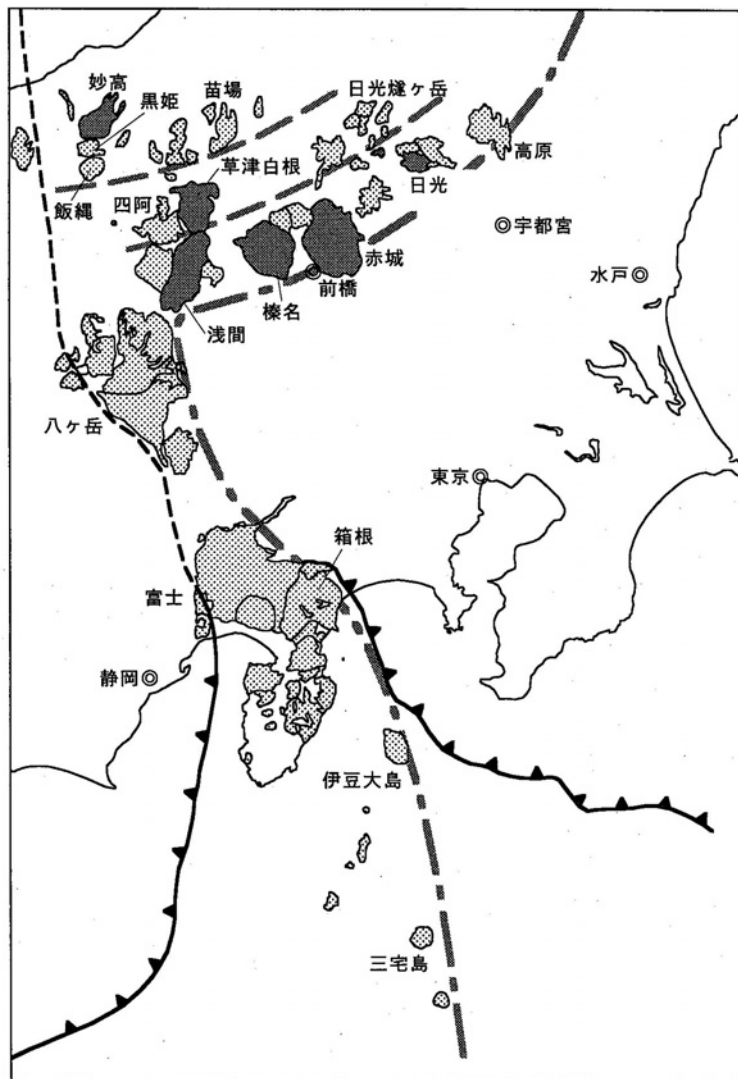


図 3.3.2-8 関東地方周辺地域における火山帯の分布 (出典: 高橋・小林編, 1998a)  
 一点鎖線: 火山フロント, 三角付実線: プレート沈み込み境界, 破線: 火山列の境界

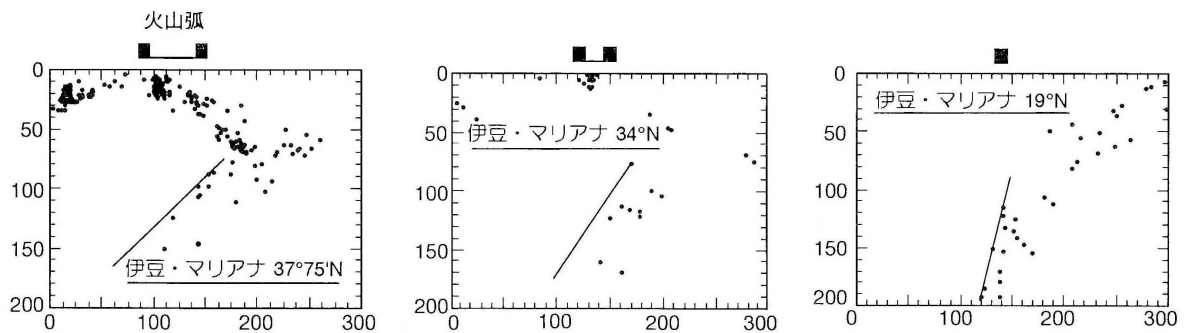


図 3.3.2-9 伊豆・マリアナ弧で認められるプレートの沈み込み角度と火山弧の幅の変化 (出典: 巽, 1995) 縦軸: 深度 (km), 横軸: 距離 (km), 黒点: 震源分布, 直線: 沈み込んだプレートの上限面

## (ii) 西日本火山帯の分布と特徴

西日本火山帯の第四紀火山は、西南日本弧、琉球弧の伸張方向に対してほぼ平行に分布している(図 3.3.2-1)。東日本火山帯と西日本火山帯の間には、約 150km に及ぶ火山分布の空白域が存在している。

西南日本弧の第四紀火山は、高アルミナ玄武岩マグマやアルカリ玄武岩マグマを初生マグマとする化学組成を有している。西南日本弧の日本海側では、アルカリ玄武岩の単成火山群が離散的に分布し(倉沢, 1963; 宇都・小屋口, 1987 等)、他の地域に比べ分布密度が低く、明瞭な火山フロントが認識されていない(図 3.3.2-2)。これらの単成火山群は、数十 km 四方の範囲内に点在する数個から数十個の極小規模の単成火山及びその残骸から構成されている。個々の単成火山群は、その火山群を構成する火山岩類の化学組成に関して類似し、その形成年代は 100~200 万年程度以内の差で一致しているが、近傍の独立単成火山群を構成する火山岩類の化学組成と系統的に異なり、活動時期が明確に異なる特徴を有している。この地域の深発地震面は、近畿で深さ約 70km、四国で約 40km 以浅までしか観測されていない(山崎・大井田, 1985; 石田, 1991 等)。また、中国地方北部において地震波速度構造等により沈み込みが確認されているフィリピン海プレートの分布深度は、約 80km 付近までであり、このプレートは、非震性スラブとして分布している(Nakanishi et al., 1981; 趙ほか, 1999 等)。この地域に分布する第四紀火山は、沈み込み帯に関連しない火山である可能性がある(Iwamori, 1992; 宇都, 1995)。

中部九州には、海溝側から九重火山、阿蘇火山、雲仙火山等の第四紀火山が東西方向の別府-島原地溝帯に分布している。南部九州から琉球弧に至る地域には、複数の第四紀火山が琉球海溝とほぼ平行な北東-南西方向に断続的に分布している。中部九州と南部九州の間には、約 100km の火山地域の空白域が認められる。これらの地域における火山フロントは、中部九州ではやや不明瞭であるが、国東半島北東方の姫島火山から九重火山、阿蘇火山、霧島火山を経てトカラ列島南端の硫黄島まで認められる(鎌田ほか, 1988 等)。硫黄島以南には、陸域に存在する第四紀火山は認められないが、火山フロントの延長上には地磁気異常を伴う海山や海丘が分布しており、第四紀火山である可能性がある(古川, 1991a)。中・南部九州及び琉球弧の下で観察された深発地震面の傾斜と最深部は、中部九州で 70 度、140km、南部九州で 50 度、170km(加茂ほか, 1990)、琉球弧で 40~50 度、200~300km(山中ほか, 1992)であるが、阿蘇火山、九重火山等からなる中部九州の火山フロントの直下までは沈み込んだスラブは到達していない。これらの地域の火山フロント付近に分布する第四紀火山の化学組成は、 $K_2O$ 、 $Na_2O$  等のアルカリ成分に乏しい組成を示している。

五島列島や壱岐等には、環日本海新生代アルカリ岩石区に属するアルカリ玄武岩からなる第四紀火山が分布している(松井, 1990)。

## (iii) 第四紀火山分布の時間的・空間的变化

「第 2 次取りまとめ」では、第四紀火山の分布に関して時間的・空間的变化を把握することを目的として、「第四紀火山カタログ」に収録されたデータに基づき、0~0.5Ma、0.5~1.0Ma、1.0~1.5Ma、1.5~2.0Ma の四つの時代に区分し、検討を行っている。これによれば、第四紀火山は、前項(3.3.2(1)(i)及び(ii))に述べたように、東日本火山帯と西日本火山帯の中で活動しており、火山フロントより海溝側では活動が認められないことが明らかになっている(図 3.3.2-10)。

梅田ほか(1999)は、東北日本弧の火山フロント付近に分布する第四紀火山に着目し、2.0Ma以降の火山フロントの移動について検討している。これによると、1.0~2.0Maの期間には、火山フロント付近に分布する各火山地域の噴出中心は、北東-南西、東北東-西南西方向に配列しており、0.6~1.0Ma頃を境に南北方向に配列が変化したことを明らかにしている。また、東北日本弧の火山フロントは、0.6~1.0Ma頃を境に10~20km程度、海溝側に移動していることを明らかにしている(図 3.3.2-11)。

なお、東北日本における新生代の火山フロントの時間的・空間的变化については、大口ほか(1989)、吉田ほか(1995)等によって検討がなされている。これらによると、中新世中期頃(背弧海盆拡大期)の火山フロントは、現在の火山フロントより海溝側に位置しており、火山フロントが数十km程度移動するのに、100万年程度の時間がかかっていると見積もられる。中新世後期~鮮新世以降(背弧海盆拡大停止以降)の火山フロントは、時間の経過とともに西側へ後退し、遅くとも10Ma頃までに現在の火山フロントの東約10kmに達したとされている。それ以降、現在までの火山フロントの位置は、現在の火山フロントから東方0~30kmの範囲を移動していたと判断されている。

一方、明瞭な火山フロントが認められない西南日本、特に中国地方の単成火山群は、前述したように、隣接する独立単成火山群同士で活動時期が明確に異なっており、東北日本のような明瞭な時間的・空間的な分布の規則性は認められない。ただし、これらの火山活動は、日本海の拡大終了後の12Maに開始し、山陰側で第四紀まで断続的に活動したが、山陽側では5Maに活動が停止し(宇都, 1995)、活動地域が山陰側に限定される傾向が認められる(図 3.3.2-12)。

第四紀火山が集中的に分布する地域内における火山活動の時間的・空間的变化は、仙岩地域(梅田ほか, 1998; 大場・梅田, 1999)及び肥薩地域(横瀬ほか, 1998)によって検討されている。仙岩地域では、東西50km、南北30kmの範囲に37の第四紀火山が分布している。これらの第四紀火山のうち、北東に分布する第四紀火山は、南西に分布する第四紀火山に比べ活動開始時期が新しく、活動域が南西から北東に移動している(梅田ほか, 1998; 大場・梅田, 1999; 図 3.3.2-13)。一方、南部九州の肥薩地域では、東西60km、南北30kmの範囲に20の第四紀火山が分布している。これらの第四紀火山は、第四紀初め頃には、その地域全域で活動していたが、西部地域での活動が早期に終了し、東部地域ほど活動期間が長いことが明らかにされている(横瀬ほか, 1998)。

以上のように、日本列島の第四紀火山の分布には、火山フロントが明瞭に認められる地域(千島弧、東北本州弧、伊豆-小笠原弧、琉球弧)と火山フロントが明瞭に認められない地域(西南日本背弧側)がある。火山フロントが明瞭に認められる地域では、第四紀火山の分布について偏在性が認められる。また、第四紀において生じた火山フロントの移動及び第四紀火山が集中的に分布する地域内における火山活動の時間的・空間的变化については、第四紀の期間を通して数十km程度で生じている場合があるが、100km程度に及ぶ顕著な移動は確認されない。火山フロントが明瞭に認められない地域については、活動時期に大まかな傾向が認められるが、火山フロントが明瞭に認められる地域のような時間的・空間的分布の規則性は捉えられていない。

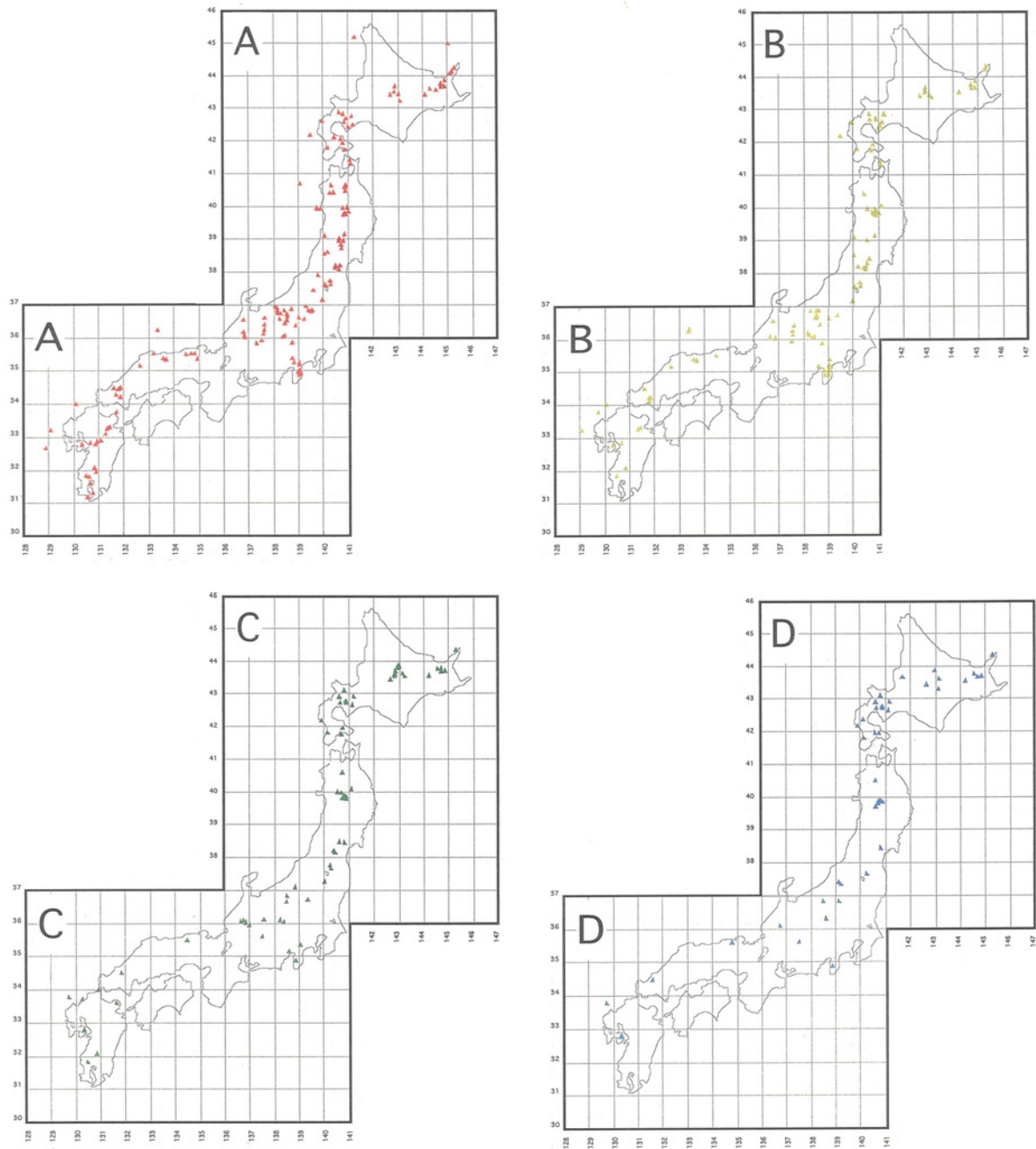


図 3.3.2-10 日本列島における第四紀火山の時空分布（核燃料サイクル開発機構，1999 を編集）  
 A : 0~0.5Ma に活動した火山，B : 0.5~1.0Ma に活動した火山，C : 1.0~1.5Ma に活動した火山，D : 1.5~2.0Ma に活動した火山



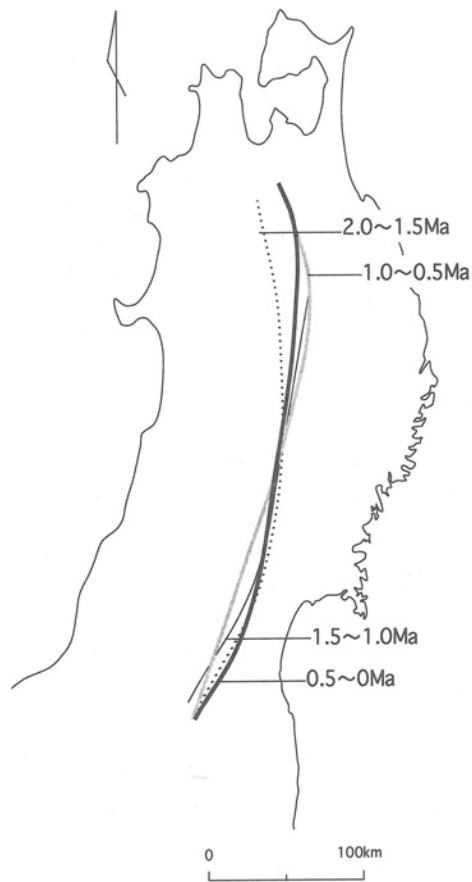


図 3.3.2-11 東北日本弧における各時代の火山フロント（出典：核燃料サイクル開発機構, 1999）

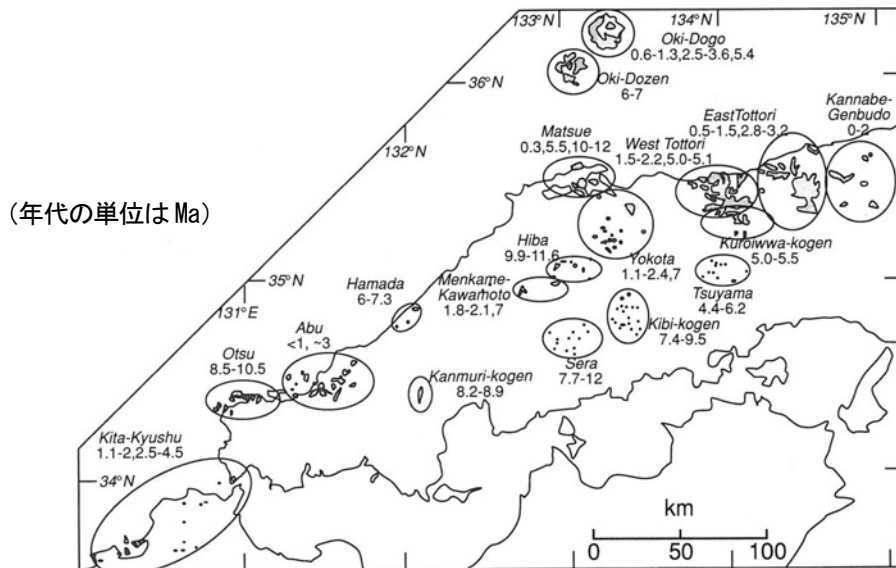


図 3.3.2-12 西南日本に分布する独立単成火山群の噴出年代（出典：宇都, 1995）

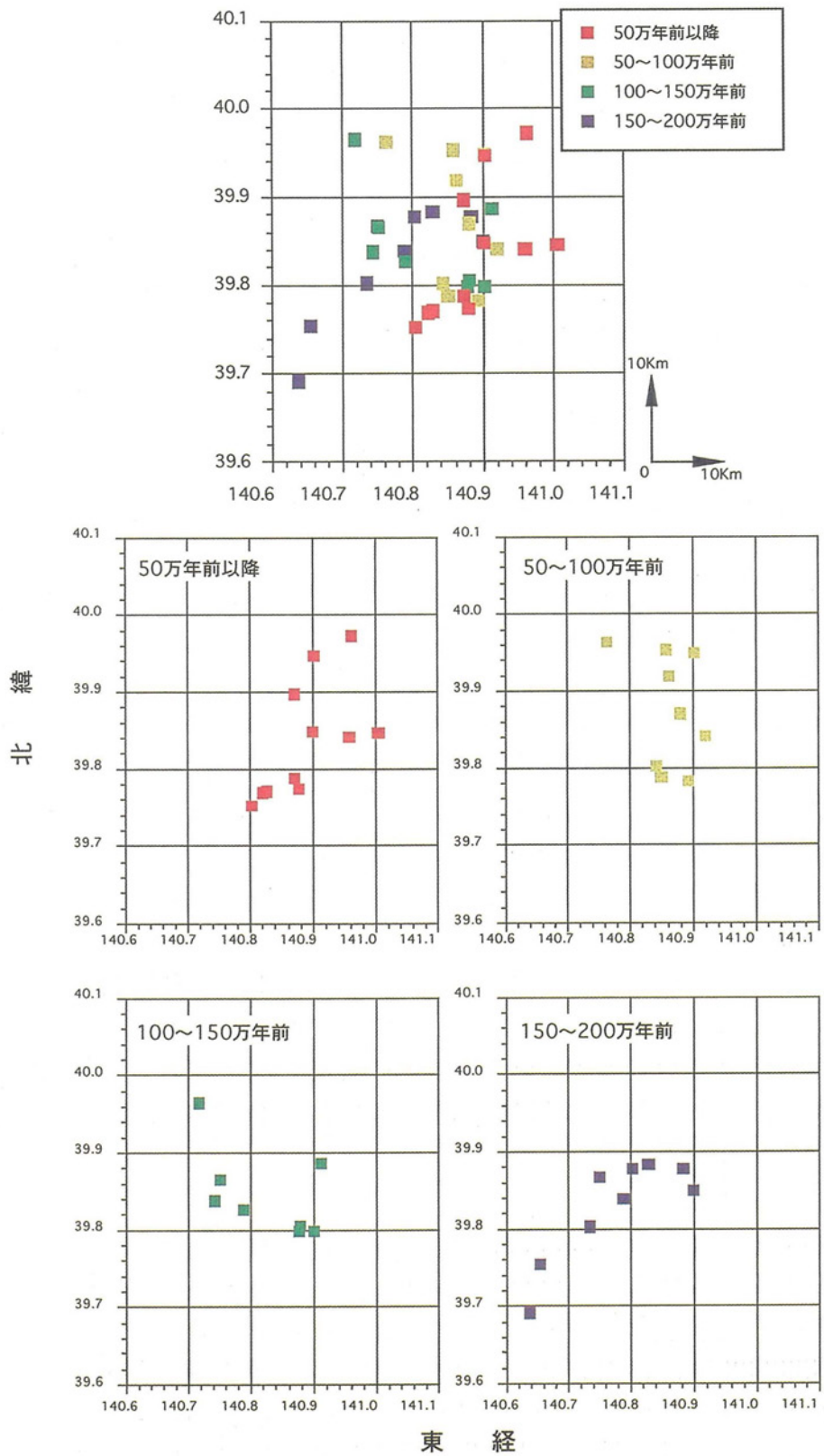


図 3.3.2-13 仙岩地域における第四紀火山（噴火中心）の出現年代（活動開始年代）  
（出典：梅田ほか，1998）

## (2) マグマの発生・上昇・噴出プロセスと特徴

ほとんどのマグマは、マントル物質（カンラン岩）の一部が融解することによって発生すると考えられており、マグマが生成される条件としては、①温度上昇、②圧力低下、③H<sub>2</sub>O、CO<sub>2</sub>等の岩石の融点を降下させる物質の添加、の三つが挙げられる（高橋，2000；高橋・小林編，1998b：図 3.3.2-14）。マントル物質の融解によって発生したマグマ（初生マグマ）の化学組成は、全岩 SiO<sub>2</sub>量 53.5wt%以下の玄武岩質マグマであり、地表に噴出するまでに結晶分化作用によって、安山岩質マグマやデイサイト質マグマへと変化する。代表的な島弧である日本の火山岩の初生マグマは、玄武岩の分布、カンラン岩の融解実験等によりソレイト玄武岩マグマ、高アルミナ玄武岩マグマ、アルカリ玄武岩マグマの三つの初生マグマであることが明らかにされている（Kuno, 1966；Tatsumi et al., 1983 等：表 3.3.2-1, 図 3.3.2-15）。これらの初生マグマは、プレートの拡大境界である中央海嶺のマグマ〔MORB (Mid-oceanic-Ridge Basalt)：中央海嶺玄武岩〕に比べ、イオン半径が大きい液相濃集元素〔LIL 元素 (Large-ion-lithophile elements)：Cs, Rb, K, Ba 等〕に富み、価数が大きくイオン半径が小さい液相濃集元素〔HFS 元素 (High-field-strength elements)：Nb, Zr, Ti 等〕に乏しい特徴をもつ（巽，1995；高橋，2000 等）。また、これらの玄武岩マグマには、少量の水が含まれていた（ソレイト玄武岩マグマ：約 0.3wt%，高アルミナ玄武岩マグマ：約 1.5wt%，アルカリ玄武岩マグマ：約 3.0wt%）ことが推定されている（Sakuyama, 1983 等）。

これらの島弧に特徴的な初生マグマが、マントル物質と無水条件のもとで平衡共存できる温度・圧力条件は、高温・高圧実験によりソレイト玄武岩マグマでは 1,320°C, 1.1GPa, 高アルミナ玄武岩マグマで 1,340°C, 1.5GPa, アルカリ玄武岩マグマで 1,360°C, 1.75GPa と求められている（Tatsumi et al., 1983）。一方、水に不飽和な条件下では、高アルミナ玄武岩マグマ（水を 1.5wt%含む）は 1,320°C, 1.7GPa, アルカリ玄武岩マグマ（水を 3wt%含む）は 1,320°C, 2.3GPa でマントル物質と平衡に共存する（高橋，2000）。また、無水条件下において、各圧力で部分融解度を変えた実験結果（図 3.3.2-16）によると、ソレイト玄武岩マグマに比べ、アルカリ玄武岩マグマの部分融解度が小さいことが示されている。これらの実験結果に基づき、島弧の玄武岩マグマの生成条件は、ソレイト玄武岩マグマは圧力 1.0~1.5GPa, 温度約 1,300°C程度、部分融解度 20wt%以上で、高アルミナ玄武岩マグマは圧力 1.7GPa 前後、温度約 1,300°C程度、部分融解度 10wt%以上で、アルカリ玄武岩マグマは圧力 1.5GPa 以上（あるいは 2.3GPa 程度）、温度 1,300°C程度、部分融解度 10wt%以下であると推定されている（高橋，2000）。このように島弧の初生マグマは、どの組成のマグマにおいても約 1,300°C程度の温度が必要となる。

島弧の下では、海洋プレートがマントル中に沈み込んでいるため、沈み込む海洋プレートに接する上盤側のマントル物質をマントル深部へと引きずり込み、その結果、マントルウェッジ（島弧地殻と沈み込む海洋プレートに挟まれた楔状の領域）内に物質の不足が生じ、それを補償するように深部の高温マントル物質が移動するようなマントルの対流が生じていると考えられる。このようなマントルの対流は、深部の高温マントル物質がマントルウェッジのコーナーに向かって斜めに上昇する流動を生じ（Furukawa, 1993）、高温マントル物質の流動に伴い、マントルウェッジ中の等温線もマントルウェッジのコーナーに向かって上昇させる（Davies and Stevenson, 1992）。このようなマントルウェッジ中の高温域の存在は、日本列島の下地震波トモグラフィーによっても示されている（弘瀬ほか，2002：図 3.3.2-17）。海洋プレートの沈み込みに伴うマントルの対流は、高温のマントル物質の断熱・減圧融解を生じ、マグマが発生すると考えられている（高橋，2000）。

島弧のマグマには、ホウ素や<sup>10</sup>Beのような特殊な元素の濃集のように、沈み込んだ海洋プレートから脱水した水がマグマの発生に関与したことを示す証拠があり、水を含む堆積物や海洋地殻が、海洋プレートと一体となり沈み込んでいるため、島弧の下のマントルウェッジに水が供給されていると考えられている（巽, 1995 ; Mibe et al., 1999 等）。海洋地殻中の水がマントルウェッジに供給され、マグマが発生するプロセスについては、次のようなモデルが示されている。

沈み込む海洋地殻を構成する岩石中の角閃石、緑泥石、金雲母等の含水鉱物は、海洋プレートの沈み込みに伴う温度・圧力の増加により脱水分解を生じ、海洋プレートの沈み込みに伴って一緒に引きずり込まれているマントルウェッジ最下部のカンラン岩に水を供給すると考えられている。こうして、マントルウェッジ最下部のカンラン岩中に供給された水は、カンラン岩中の角閃石、緑泥石、金雲母等の含水鉱物中に固定され、含水カンラン岩となり、海洋プレートの沈み込みに伴いさらに深部へと引きずり込まれる。含水カンラン岩中の角閃石や緑泥石は圧力約3.5GPa(深度約110km程度)で、金雲母は圧力約6GPa(深度約170km程度)で各々脱水分解を生じて、マントルウェッジ中に水が放出される。放出された水は、それよりも浅い部分に分布する高温のカンラン岩に供給され、加水融解によってマグマが発生するモデルが示されている（巽, 1995 : 図 3.3.2-18）。

一方、玄武岩組成、カンラン岩組成等の様々な化学組成のもとで含水鉱物の安定性が研究され、海洋プレートの沈み込みに伴って、一緒に引きずり込まれるマントルウェッジ最下部のカンラン岩中での角閃石は、3GPaを超える圧力条件下で不安定となることが明らかにされた。そのため、角閃石の脱水分解による水の放出は、火山フロントの直下に相当する圧力に到達する前に終了し、カンラン岩への水の添加がマグマの発生に寄与しないことが示されている。また、含水鉱物の分解によって放出された水のマントルウェッジ中での移動可能性に着目した研究により、カンラン岩中の含水鉱物が温度・圧力の増加に伴い不安定になって脱水分解すると、放出された水は直ちに鉱物の粒界を伝わり移動するのではなく、比較的低温・低圧下では結晶の粒界中にトラップされ、上方に移動しないこと、火山フロントの直下に相当する圧力になるとトラップされていた水は結晶粒界で連結・移動できるようになるとの考え方が示され、加水融解が生じ、マグマが発生するモデルが示されている（Mibe et al., 1999 : 図 3.3.2-19）。

前述したように東北日本弧では、火山フロントから背弧側に向かってソレアイト玄武岩マグマ、高アルミナ玄武岩マグマ、アルカリ玄武岩マグマが分布しており、火山フロントで最も部分融解度の大きなソレアイト玄武岩マグマが噴出している。部分融解度の大きなソレアイト玄武岩マグマと部分融解度の小さいアルカリ玄武岩マグマのそれぞれの水の量を比較すると、ソレアイト玄武岩は水に乏しいという証拠があるが、ソレアイト玄武岩が高アルミナ玄武岩やアルカリ玄武岩に比べ水に富んでいるという証拠はみいだされていない（高橋, 2000）。また、沈み込みに伴い引きずり込まれる含水鉱物は、約10GPa程度の高圧下まで安定であり、火山フロント直下のマントルウェッジに供給される水の量は少なく（丸山・磯崎, 1998 等）、大量の水の添加が部分融解度を増大させ、ソレアイト玄武岩マグマを生成したとは考えにくいとされている（高橋, 2000）。このように島弧の初生マグマの発生については、断熱・減圧融解と加水融解の二つの特徴が関与していると考えられるが、断熱・減圧融解が本質的な特徴であり（高橋, 2000 ; 藤井, 2002）、加水融解は、島弧のマグマに特徴的な化学組成を有することに関して重要な役割を果たしている（藤井, 2002）と考えられている。

沈み込みに関連する火山が分布する地域では、ソレイト玄武岩マグマや高アルミナ玄武岩マグマを初生マグマとする火山が分布している。マントルで発生した初生マグマは、周囲のマントルより密度が小さいため上昇し、地殻内において周囲の岩石の密度と等しくなる地点でマグマ溜りが形成される(高橋・高橋, 1995)。日本列島に分布する第四紀火山の多くは、複成火山(成層火山, カルデラ火山等)を形成しており、プレートの拡大域やホットスポット域で一般的にみられる溶岩原や楕状火山はみられない(守屋, 1998)。マグマ溜りから地表にいたる噴出経路は、その火山が位置する広域的・局所的な地殻応力場に支配されており、圧縮応力場に位置する地域では、中心火道からの噴火が卓越する火道安定型火山が形成され、引張応力場に位置する地域では、側火口や割れ目噴火を引き起こすような火道不安定型火山が形成されている(高橋, 1994; 1997)。

独立単成火山群は、一般に引張応力場においてよく発達するといわれており(Nakamura, 1977)、火道不安定型火山の極端な場合であると考えられている(高橋, 1994)。伊豆半島の東部に位置する東伊豆単成火山群についても、北西-南東方向に圧縮された伊豆半島の中で局所的な引張応力場が生じた結果形成された(小山, 1993)と考えられている。西南日本の中国地方から九州北部にいたる地域の下には、図 3.3.2-20 に示すように、沈み込むプレートが存在しておらず、プレートの沈み込みに関連しない火山活動が生じていたと考えられている(Iwamori, 1992; 宇都, 1995)。この地域の第四紀火山の直下には、沈み込んだ海洋プレートが存在しないことから、上述したような島弧のマグマ生成の特徴は生じないと考えられる。したがって、この地域のマグマ生成の特徴は、プレート拡大境界である中央海嶺、ホットスポット等のプレート内の火山直下で生じているマグマ生成機構(深部からマントル物質の湧き上がりに伴い断熱・減圧融解により、マグマが生成される)に似た特徴があると考えられている(Iwamori, 1992; 宇都, 1995 等)。深部からのマントル物質の湧き上がりに伴い断熱・減圧融解によって生成されたマグマは、アルカリ玄武岩マグマで、その化学組成はプレート内玄武岩の特徴に類似し、LIL 元素及び HFS 元素に富み、島弧の玄武岩マグマの化学組成とは異なっている。マグマの発生場所から地表までの噴出過程において、図 3.3.2-20 に示されているようにマグマ溜りを形成することなく、地表に噴出すると考えられているが、最近の研究において、単成火山群直下の中部地殻にマグマ溜りが存在する(角縁ほか, 2000)と考えられている。地表に噴出した玄武岩マグマは、数十 km 四方の範囲内に数個から数十個の極小規模の単成火山からなる単成火山群を形成している。

以上のように、日本列島における火成活動は、例外的なものも見られるものの、大局的には、日本列島周辺におけるプレートの配置やその運動等に関連して起こっており、日本列島のテクトニクス場において、自然現象の活動様式や変動速度等の変化は、数十万年～数百万年という地質学的な時間の中で、ある一定の傾向を保ちつつ進行していくものと考えられる。

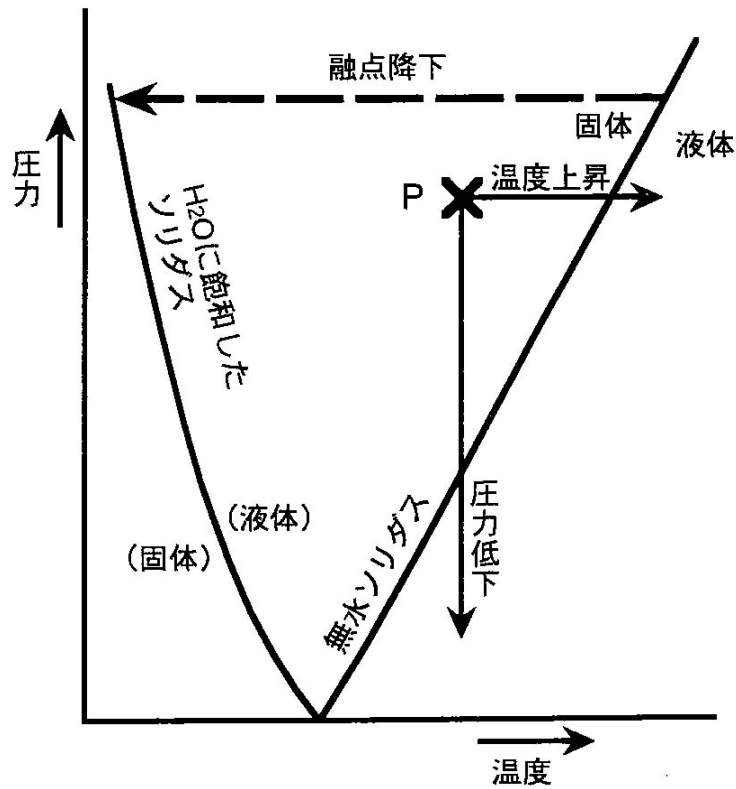


図 3.3.2-14 マグマの生成条件 (出典：高橋・小林編, 1998b)

表 3.3.2-1 島弧初生マグマの化学組成 (出典：藤井, 2002 ; 原図 Tatsumi et al., 1983)

	OTB	HAB	AOB
SiO <sub>2</sub>	49.71	49.39	49.11
TiO <sub>2</sub>	0.47	0.85	1.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.97	15.70	15.45
FeO*	10.57	9.76	9.42
MnO	0.14	0.15	0.13
MgO	13.03	12.05	11.59
CaO	9.00	9.43	9.66
Na <sub>2</sub> O	1.56	2.33	2.54
K <sub>2</sub> O	0.28	0.34	1.09

OTB：ソレライト玄武岩の初生マグマ，HAB：高アルミナ玄武岩の初生マグマ，AOB：アルカリ玄武岩の初生マグマ。

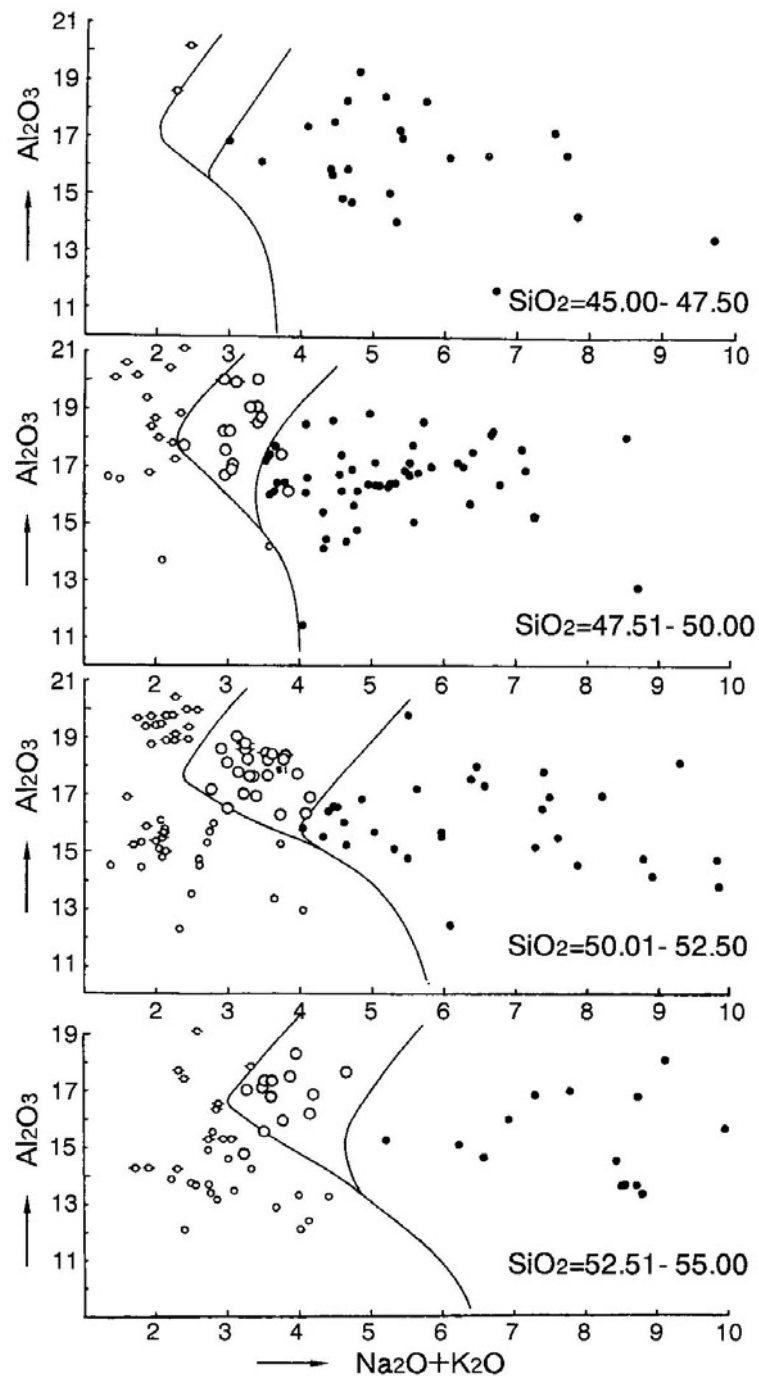


図 3.3.2-15 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 量及び Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O 量による玄武岩の分類 (出典：高橋, 2000；原図 Kuno, 1960)  
 主として日本列島第四紀玄武岩に基づく。小白丸：ソレイト玄武岩，大白丸：高アルミナ玄武岩，黒丸：アルカリ玄武岩。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> に富むひしゃく状の領域が高アルミナ玄武岩に相当する。

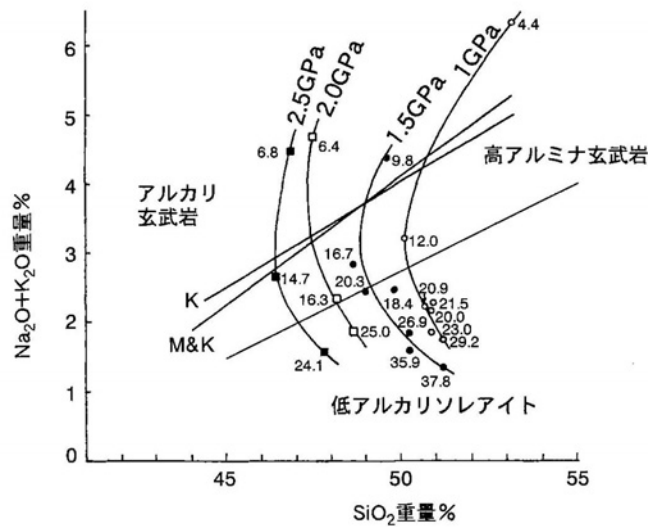


図 3.3.2-16 ダイヤモンド法によるかんらん岩の融解実験の結果形成された玄武岩マグマの組成 (出典：高橋，2000)

数字：部分融解度，K：Kuno (1966) によるアルカリ玄武岩と非アルカリ玄武岩の境界，M&K：Macdonald and Katsura (1964) によるアルカリ玄武岩と非アルカリ玄武岩の境界，高压になると  $\text{SiO}_2$  が減少し，部分融解度が上昇するとアルカリ ( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ) が減少する。

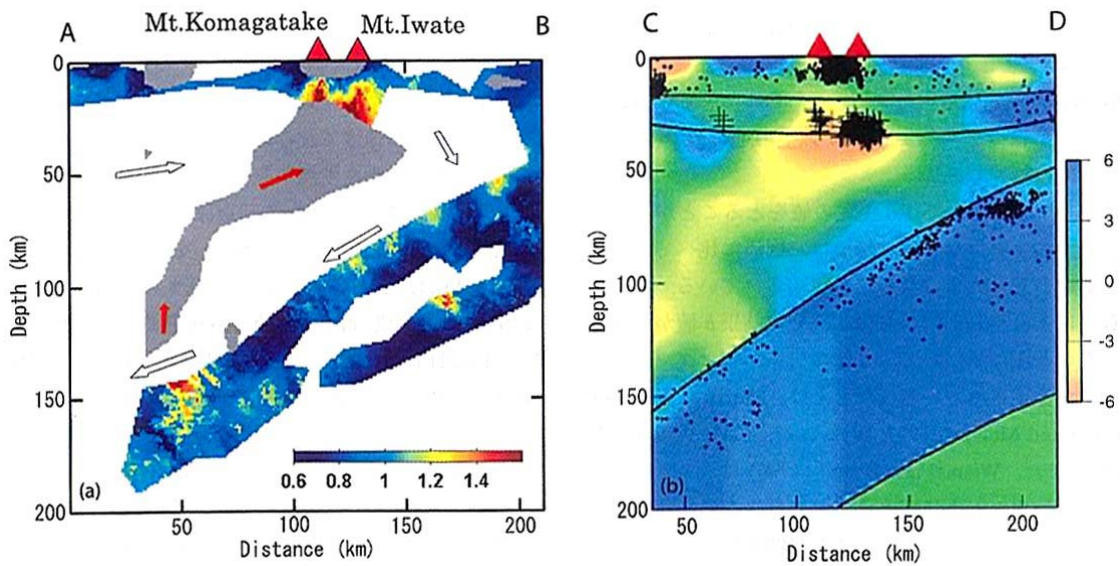


図 3.3.2-17 東北日本における b 値と S 波速度のずれ (出典：弘瀬ほか，2002)

(a) 北緯約  $39^\circ \sim 40^\circ$ ，東経  $139^\circ 30' \sim 142^\circ$  における b 値 (ゲーテンベルグ・リヒター式における定数) 分布断面，対象領域で 1981 年 1 月 1 日～2001 年 10 月 31 日に発生した  $M \geq 2.1$  の地震を b 値の計算に使用，赤三角：第四紀火山の位置，灰色の領域：S 波速度の各深度での平均値より 2% 遅い領域，白抜き矢印：マンテルウェッジ中で想定されるマンテル対流の方向，赤矢印：上昇するプルームの流れの方向，(b) 岩手山を中心とする S 波速度構造の東西断面，断面図中の色は S 波速度の各震度での平均値からのずれ (%) を示し，赤は 6% 遅い領域，青は 6% 速い領域を示す，黒点：解析に用いた震央位置，+印：低周波微小地震



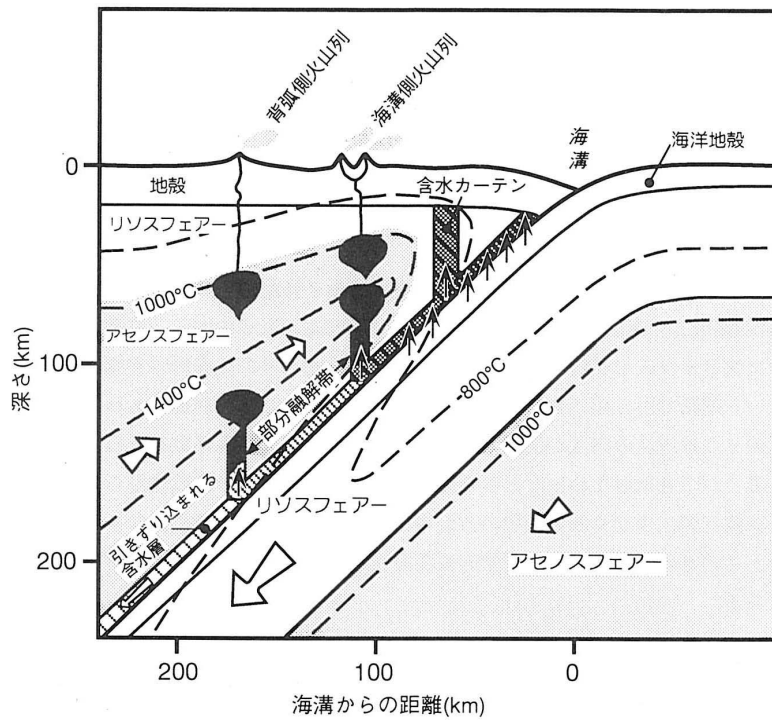


図 3.3.2-18 沈み込み帯におけるマグマ発生モデル (出典：巽, 1995)

黒矢印：水の移動, 白抜き矢印：物質の移動

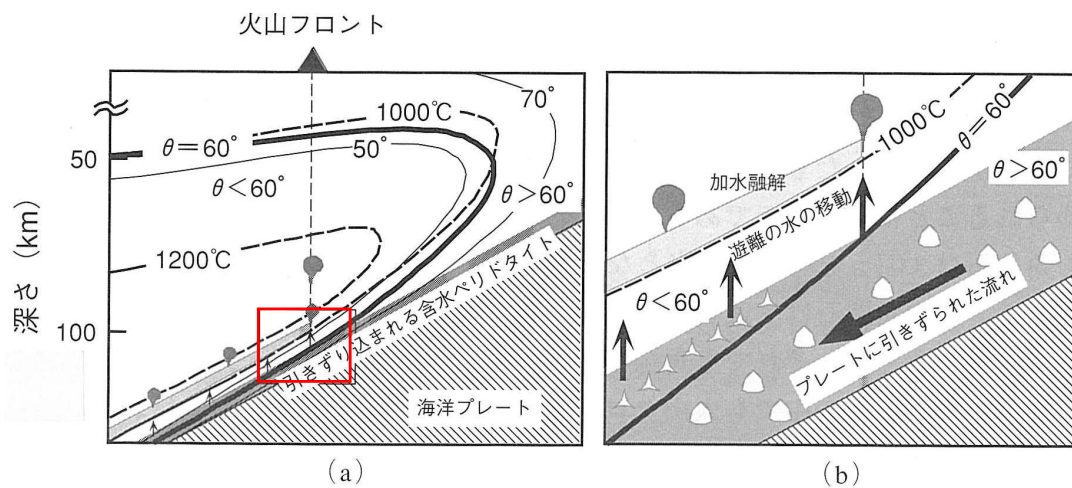


図 3.3.2-19 マントル物質中の水の結晶粒界連結角度増加による火山フロント形成のモデル

(出典：藤井, 2002 ; 原図 Mibe et al., 1999)

(a) 収束境界における結晶粒界の角度と温度分布モデル, (b) (a) 中の赤枠内の拡大図, 海洋プレートの沈み込みに伴い引きずり込まれる含水ペリドタイト中の結晶粒界に取り込まれた水は, 結晶粒界の角度が  $60^\circ$  以下になると放出・移動する。結晶粒界中の水が放出され始める深度は, 約 100km。結晶粒界外側に凸な三角形: 結晶粒界の角度が  $60^\circ$  以上の結晶粒界の幾何形状, 内側に凸な三角形: 結晶粒界の角度が  $60^\circ$  以下の結晶粒界の幾何形状

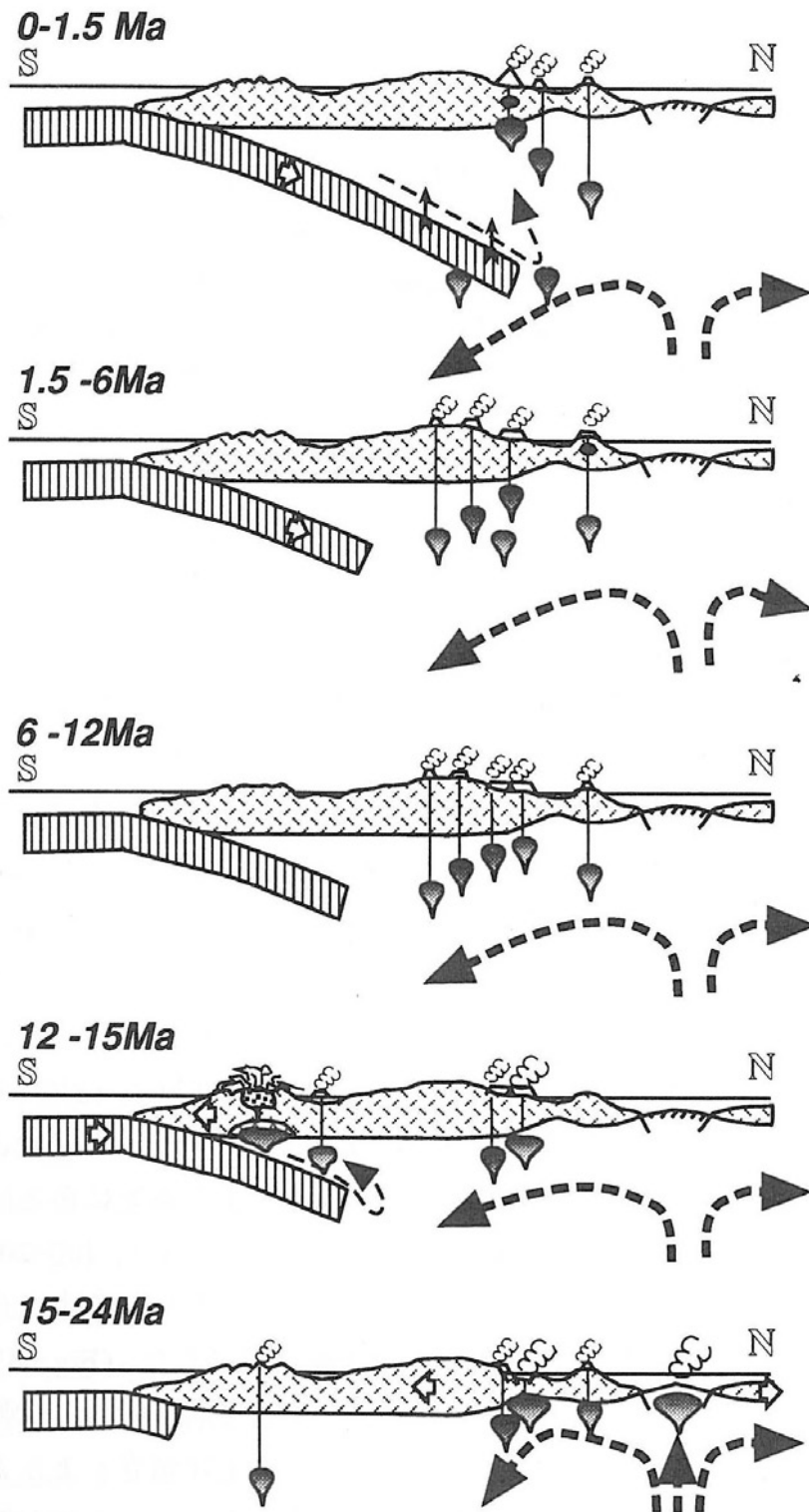


図 3.3.2-20 新生代・西南日本におけるテクトニック変遷史 (出典: 宇都, 1995)

### 3.3.3 隆起・沈降, 侵食

#### (1) 隆起・沈降

##### (i) 隆起・沈降の特徴と変動量の指標

地殻の隆起・沈降は、撓曲（褶曲を含む）、傾動、断層運動に伴う地塊運動、氷床の消長や海水準変動に伴うアイソスタティックな変動等によって生じる地殻の鉛直方向の変動である。

日本列島は、複数のプレートが収束する沈み込み帯に位置し、海洋プレート（太平洋プレート及びフィリピン海プレート）が、日本列島のある大陸プレート（ユーラシアプレート及び北米プレート）の下に沈み込んでいる。その結果、日本列島を構成する地殻には、海洋プレートが大陸プレートの下へ沈み込むことによってひずみが蓄積され、水平方向及び上下方向に変動し、局所的には断層及び褶曲等が生じている。隆起・沈降は、日本列島形成にかかわる広域的な地盤の変動だけでなく、断層及び褶曲等の活動に伴って発生する局所的な地盤の上下変動も含んでいる。

地質時代から現在に至るまでに日本列島が受けた地殻変動の痕跡は、地形あるいは地層の変形や変位、すなわち変動地形や地質構造として、様々な規模で地表や地下に残されている。

小規模で地域的な隆起を発生させる断層及び褶曲は、ごく狭い範囲を変位・変形させ、それぞれに特徴的な変動地形や地質構造として地表や地質に現れる。大規模で広域にわたって隆起・沈降を発生させる地殻変動は、海岸沿いや河川沿いに段丘地形を発達させるほか、沿岸地域の沈水地形や内陸盆地を形成する。その他、山地や平野等も、長期間にわたる隆起あるいは沈降の結果形成された大地形であると捉えられている。

地形学的手法を用いた検討は、特に隆起に関して有効であり、現在までに、山地高度や侵食小起伏面の高度に着目し、第四紀の隆起量を概算した例（例えば、Ohmori, 1987）のほか、段丘高度を用いて第四紀後期の隆起量を算出した例（例えば小池・町田編, 2001；吉山・柳田, 1995）が知られている。これらの事例のうち、山地高度や侵食小起伏面高度を用いた手法は、検討の基準とする地形の形成年代が明らかでなく、検討結果の精度がごく大雑把であるが、その評価可能な期間は100万年程度と長い。一方、段丘高度を用いた手法は、近年のテフクロロジー（火山灰層序学）、年代測定技術等の発達により、基準となる地形面のうち、十数万年前以降に形成された地形面の年代の誤差が、数千年程度と高精度に求められ、沿岸地域を中心に、第四紀後期以降の変動が明らかにされてきている。その評価可能な期間は、十数万年前以降（場所によっては数十万年前以降）現在までである。

地質学的な検討は、形成時の堆積環境と年代が推定できる堆積面、地層の層厚等を指標として、地層の堆積後及び堆積中の変動様式を解析する手法である。地層の堆積速度は場の条件により大きく異なること、一般に堆積層は側方への層相変化が著しく、同時代面の認定が難しいこと等から、地形学的手法に比べ、一般に時間や変動量の分解能が低いとされるが、より長期の変動量の履歴を推定できる利点があるとされる（「第2次取りまとめ」）。地質学的な検討に基づいて、盆地や平野における地質時代の沈降量を検討した事例としては、成瀬（1988a; 1989; 1990）、小池・町田編（2001）等がある。

その他、進行中の地殻変動は、GPS 測量、三角測量や検潮等のデータを用いた測地学的手法により、数年～数十年間のごく短期間の変動として捉えることが可能であり、壇原（1971）、加藤・津村

(1979)等の検討事例がある。しかし、測地学的手法により得られたごく短期の変動傾向は、上記の地形学的・地質学的な検討から得られた長期の平均的な変動傾向とは必ずしも一致しないことが明らかにされている。例えば、海岸段丘の分布から長期的には隆起する傾向にあると考えられる三陸海岸において、検潮データは沈降する傾向を示しているとされている（「第2次取りまとめ」）。

以上のように、隆起・沈降の速度や分布パターン（変動様式）を把握する手法は、各々検討対象とする事象に対応した評価可能な期間と空間分布をもっていることから、ある地域の隆起・沈降を検討する場合にはこれらの手法を相補的に用い、短期の変動をも踏まえたその地域の変動プロセスを把握することが重要である。

## (ii) 隆起量・沈降量の分布と変動様式、地域性

日本列島の海岸部の隆起・沈降に関しては、Ota and Omura (1992)、小池・町田編 (2001) が取りまとめている。

Ota and Omura (1992) は、最終間氷期最盛期（約 12.5 万年前：海洋酸素同位体ステージ (MIS) 5e に相当）に形成された海成段丘の旧汀線高度が示す鉛直方向の地殻変動様式から、次の四タイプの地域に分類している。

### ① 短波長の撓曲変形

海岸線に平行な波長 20~30km で活褶曲が発達する地域、北海道南部から東北日本の日本海側の低地帯

### ② 活断層（逆断層）で境される小傾動地塊

長さ 10~30km の断層で境された小規模な地塊が傾動している地域、能登半島、佐渡島、若狭湾周辺が相当する。

### ③ 長波長の緩慢な地殻変動

波長 100km 以上の非常に緩やかな曲隆を示す地域、東北日本の太平洋側

### ④ 海側から内陸へ向かう傾動変形を示す地震性地殻変動区

海岸に沿った幅 30~50km の帯状の地域が陸側へ傾動する特徴をもつ地域、関東以西のプレート境界に面した太平洋沿岸

小池・町田編 (2001) は、上記の分類を発展させ、沿岸部に分布する海成段丘のうち、最終間氷期（海洋酸素同位体ステージ (MIS) 5e, 5c, 5a に相当）に形成された海成段丘の旧汀線高度から過去十数万年前以降の平均変位速度を求め、その分布と変形の波長や振幅に基づき、さらに主な海岸平野の沈降速度の資料を加味して、日本列島の海岸地域を次のように分類している（図 3.3.3-1）。

① 傾動に伴う隆起速度が最大で、1m/千年以上の速度で隆起したところを含む地域；フィリピン海プレートの境界に近接した室戸半島、種子島、喜界島等の半島部や島、相模トラフ・駿河トラフに接する南関東や東海地方東部

② ①の地域より傾動に伴う隆起速度が 0.5~1m/千年とやや小さい地域；フィリピン海プレートの境界に平行する屋久島、徳之島、石垣島、宝島等の南西諸島の一部、紀伊半島南部、足摺

岬，宮崎平野等

- ③ 短波長で②と同程度の隆起速度（0.5～1m/千年）の曲動地域；日本海東縁に位置すると考えられるプレート境界に接する海岸（北海道稚内から東北日本の日本海側を通り佐渡島や北陸に至る沿岸）
- ④ 長波長，小振幅で隆起速度が 0.5m/千年以下の曲動地域（断層による局地的変位を受けていることもある）；オホーツク沿岸，北海道太平洋岸の海岸，下北半島・上北平野，磐城・常磐海岸
- ⑤ 長波長，小振幅で隆起速度が 0.1m/千年以下の安定，またはやや沈降傾向にある地域；山陰，北・西九州，伊豆半島，伊豆・小笠原諸島，沖縄島等の南西諸島の大部分
- ⑥ 沈降速度が 0.5m/千年より速い顕著な沈降地域；①や②の内陸側に補填的に接して発達する大型の平野や盆地（関東平野，大阪平野，熊本平野等に代表される。やや小型の石狩低地，秋田平野，庄内平野，新潟平野，富山平野等は，③の沈降部にあたる）

ここで，Ota and Omura（1992）により④の地震性地殻変動区に分類された地域（紀伊半島南部，足摺岬，室戸半島）は，小池・町田編（2001）の②に相当する地域に再区分されている。これらの地域は，地震間に測地的に観測される短期的な変動傾向と，地震時の変動量の分布あるいは地形に現れた数千～数万年間の長期的な隆起の傾向が一致しないことが従来から指摘されている。すなわち，地震間には岬部がゆっくり沈み，逆に内陸側が隆起し，地震時には岬側が急激に隆起し内陸部が沈降するといったシーソーのような地盤運動の様式（今村，1930；沢村，1951a；1951b；1953；1954）が地震発生ごとに生じ，100～1,000年程度の再来間隔で累積した結果，内陸方向へ傾動隆起したとされる（小池・町田編，2001等）。

一方，内陸部の山地・盆地も含む日本列島の地殻変動様式に関しては，地質構造，地形等から推定される変動のプロセスに基づき，貝塚ほか（1995）は，①褶曲断層山脈，②逆断層地塊，③横ずれ断層地塊，④曲隆山地の各タイプに区分した（図 3.3.3-2）。「第2次取りまとめ」では，貝塚ほか（1995）の区分に従い，複数の文献を基に各変動タイプの特徴を次のように取りまとめている。

- ① 褶曲断層山脈；主に褶曲と逆断層によって山地や盆地が形成されているタイプで，東北日本弧で典型的であり，島弧に平行な地形・地質構造の帯状配列がみられる。この帯状配列（北上川－阿武隈川低地帯，奥羽山脈，内陸盆地の低地帯，出羽丘陵，日本海岸の低地帯）は，鮮新世以降に形成され，波長は約 50km と一定している。
- ② 逆断層地塊；逆断層で限られ傾動している山地で，近畿三角地帯の山地や木曾山脈が代表的である。第四紀の隆起量が日本で最も大きい中部山岳地帯では，第四紀全体を通しての隆起量が最大で 1,500m 以上に達し（Ohmori, 1987 のモデル計算結果では，100 万年間の平均隆起速度は数 mm/年，最大 7mm/年），第三紀末から第四紀にかけて断層活動に伴う傾動地塊として，山地と山間盆地が形成されたと考えられている。
- ③ 横ずれ断層地塊；主に横ずれ断層で地殻の短縮変形が解消されている地域で，中部地方の北西部（飛騨高原，美濃高原等）と近畿地方の西部（丹波高地等）が相当する。これらは，準

平原であったものが隆起し、さらに断層によって分断されたと考えられており、美濃高原については更新世中期から断層によるブロック化が進んだとされる。

- ④ 曲隆山地；全体として緩やかな傾動を示す山塊で、東北日本では北上山地や阿武隈山地（第四紀における隆起量は 500m ないし 700m 程度）が、西南日本では中国地方の山地（第四紀における隆起量は最大でも 400m 程度）及び四国・九州と紀伊半島の山地（第四紀における隆起量は山地の中心部で 1,000m 以上）が相当する。

以上のように日本列島の海岸部及び内陸部の変動は、変動速度（隆起速度または沈降速度）、変動様式により海岸部では六つの変動地域、内陸部では四つの変動タイプに区分されており、それぞれの変動地域は、個々の丘陵や低地規模から共通の変動速度・様式をもつ複数の丘陵や低地が集まった地域または変動ブロックごとに評価できる。

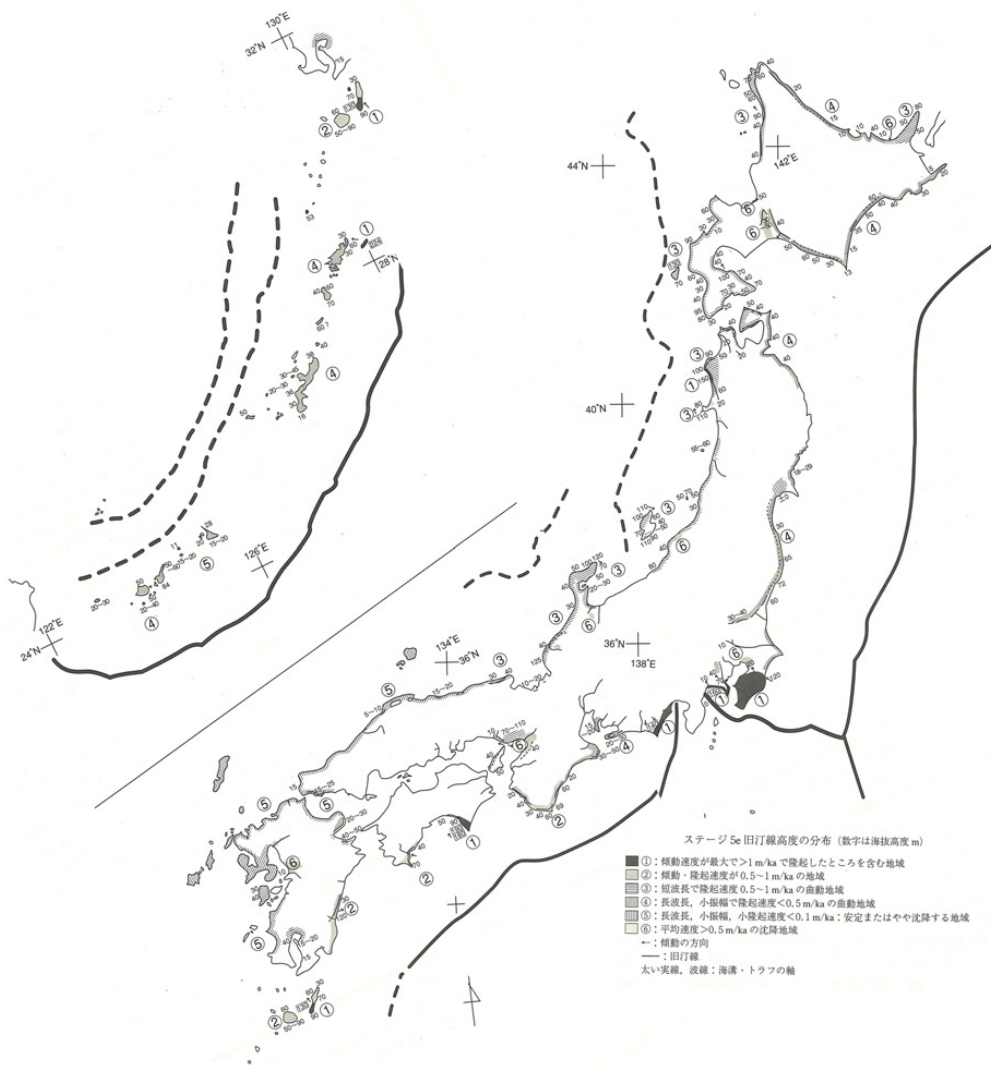
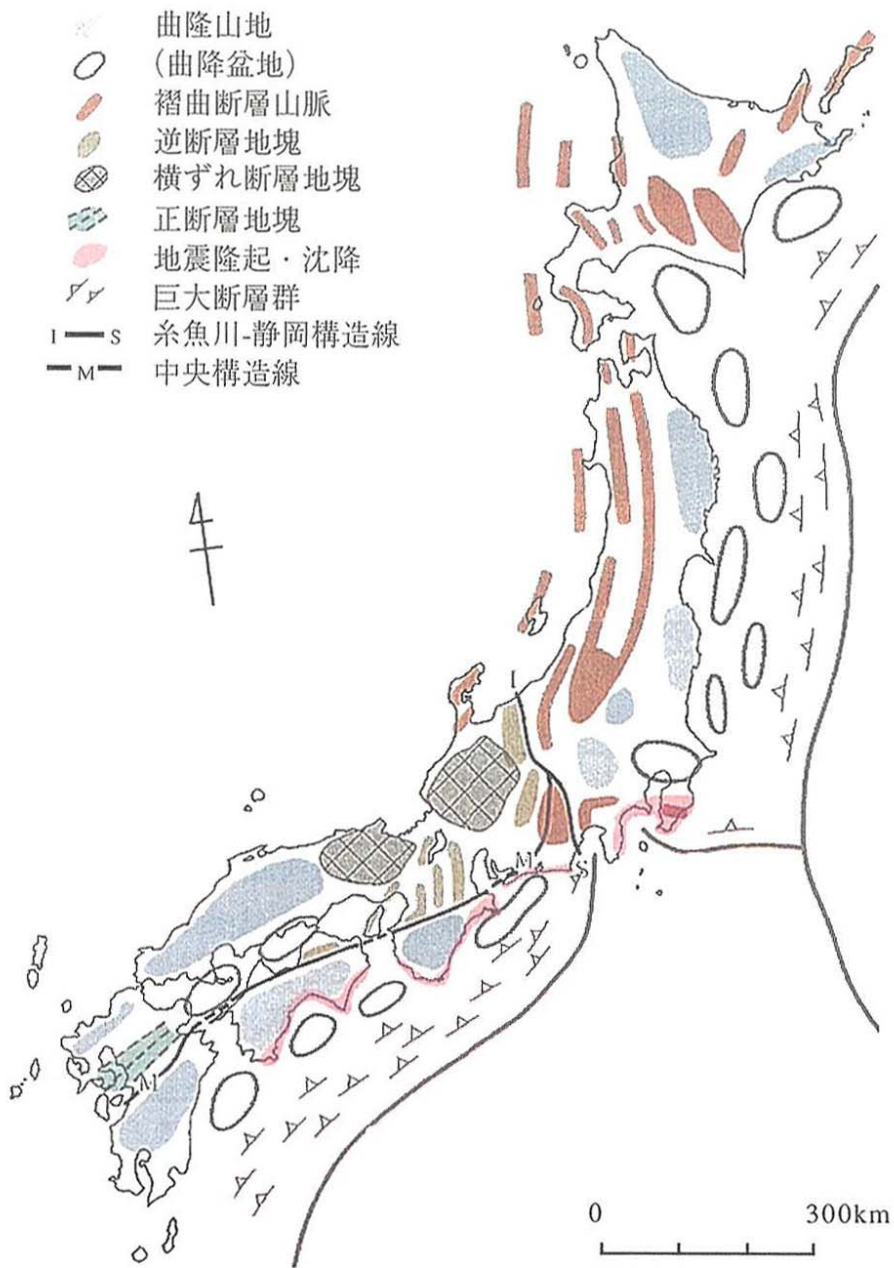


図 3.3.3-1 日本列島海岸部における地殻変動区分 (出典：小池・町田編, 2001)



(貝塚ほか (1995) に加筆)

図 3.3.3-2 日本列島の変動のタイプ (出典: 核燃料サイクル開発機構, 1999)

## (2) 侵食

### (i) 侵食の特徴と侵食速度の指標

陸上は、重力の影響や流水の作用を受けて、常に継続的に侵食が発生している場であるといえる。侵食により地表から削り取られた堆積物は、重力や河川の営力により地形的低所へ運搬され、安定した場所で堆積する。侵食作用により土地が削られると地表面は低下するが、低下がある一定の限界に達すれば侵食作用は止み、それより低所では堆積作用が発生する。この侵食の限界となる基準面は「侵食基準面」と呼ばれる。侵食は、営力と作用によって、雨食・河食・溶食・氷食・風食・海食に区分される。周囲を海に囲まれ、温暖多雨でかつ地形の起伏が大きい日本列島では、侵食の最大要因は河食（流域の地すべり等を含む）及び海食であるとされる一方で、氷期の山岳氷河による侵食は本州中部以北の高山のごく一部に限られている（「第2次取りまとめ」）。侵食基準面は、侵食の営力によって異なり、例えば河食の場合には海面、溶食の場合には地下水面、山岳氷河の場合には雪線、海食の場合には波食の及ぶ下限（この場合のみ海面下）が相当する（高山，1996）。

ある場所に作用する重力や流水等の侵食営力の強さは、その場所の侵食基準面からの比高に支配され、一般に地形的高所のほうが低所よりも強い。このことは、隆起による地盤の比高の増大、氷期・間氷期に対応した降水量の増減、あるいは海水準の上下変動等の地表環境変化が誘引となって侵食作用の大きさが変化することを意味し、隆起・沈降の発生に引き続いて、隆起の場では侵食が、沈降の場では堆積が発生する。また、侵食の場の下流側には、必ず堆積場が形成される。

「第2次取りまとめ」では、侵食の大きさを把握する場合の指標として、「面的侵食」と「線的侵食」の二つの捉え方を提案している。「面的侵食」とは、例えば流出土砂量から推定される河川流域全体の侵食速度のように、ある広がりをもつ地域全体の平均的な侵食を指す。また、「線的侵食」とは、河川の下刻のように流路が選択的に掘り下げられる侵食を指す。

面的侵食の速度は、例えばダム堆砂量のデータを基礎に、そのダムが集水する流域全体の平均侵食速度を近似する手法が提案されている（Yoshikawa, 1974 ; Ohmori, 1978 ; 宮崎・大西, 1994）。このようにして求められたダム流域の侵食速度は、1,000年あたり数十cmとされ、一般には山地の平均的な侵食速度として用いられている。また、ある程度の広がりをもつ範囲では、その範囲の平均的な侵食速度と地形起伏の強さとの間に強い相関があり、起伏が大きいほど侵食速度も大きくなることが経験的に知られている（Ohmori, 1978）。藤原ほか（1999）は、ダム流域の侵食量データと地質・降水量・起伏量等との関連を検討し、面的侵食速度は、降水量や地質よりも、むしろ基準高度分散量に支配されるとしている。

### (ii) 侵食速度の分布と侵食プロセス

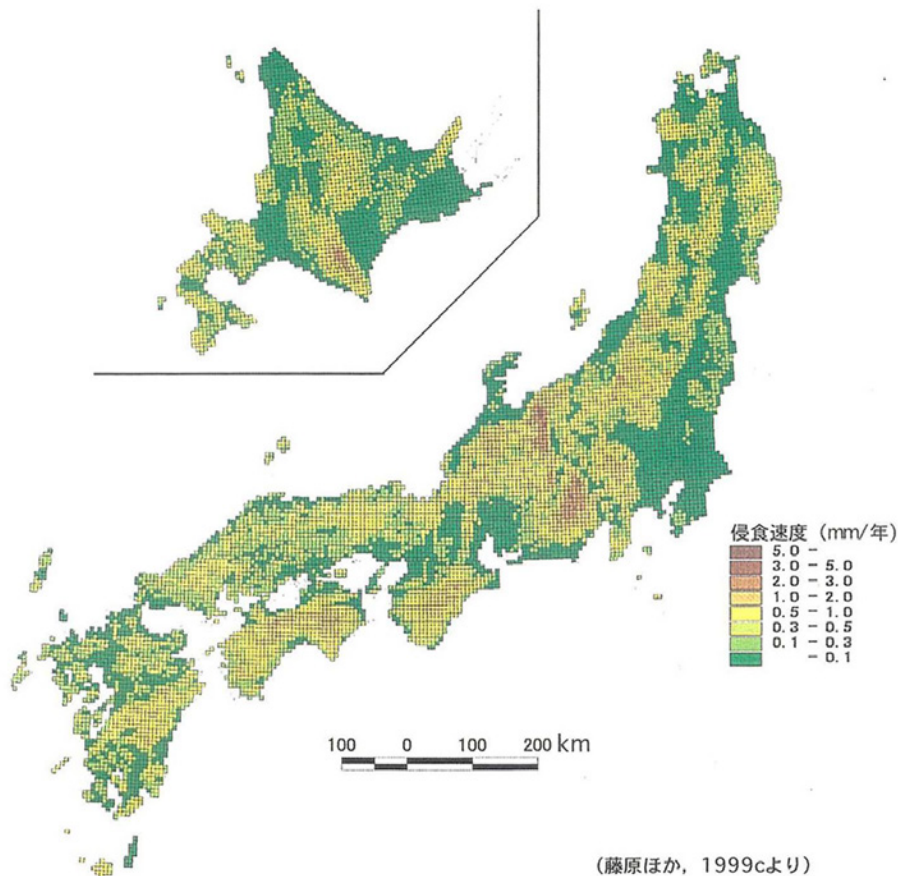
藤原ほか（1999）は、侵食速度のうち、ある領域の平均的な侵食量である面的侵食について、地形の起伏量（基準高度分散量）に基づき、日本列島における面的侵食速度の分布を取りまとめている（図 3.3.3-3）。これによると、日本全国における現在の面的侵食速度は、山地部では1mm/年を超える所もあるが、山地部以外では1mm/年以下と見積もられる。

一方、線的侵食に関しては、全国規模の侵食量の分布は得られていない。しかし、その侵食プロセスに関しては、気候や海水準の変動に対応して河床の侵食（下刻）と堆積が繰り返されながら、谷が深くなっていくとされている。この周期的な河床高度の変動は、氷期には周氷河作用により、



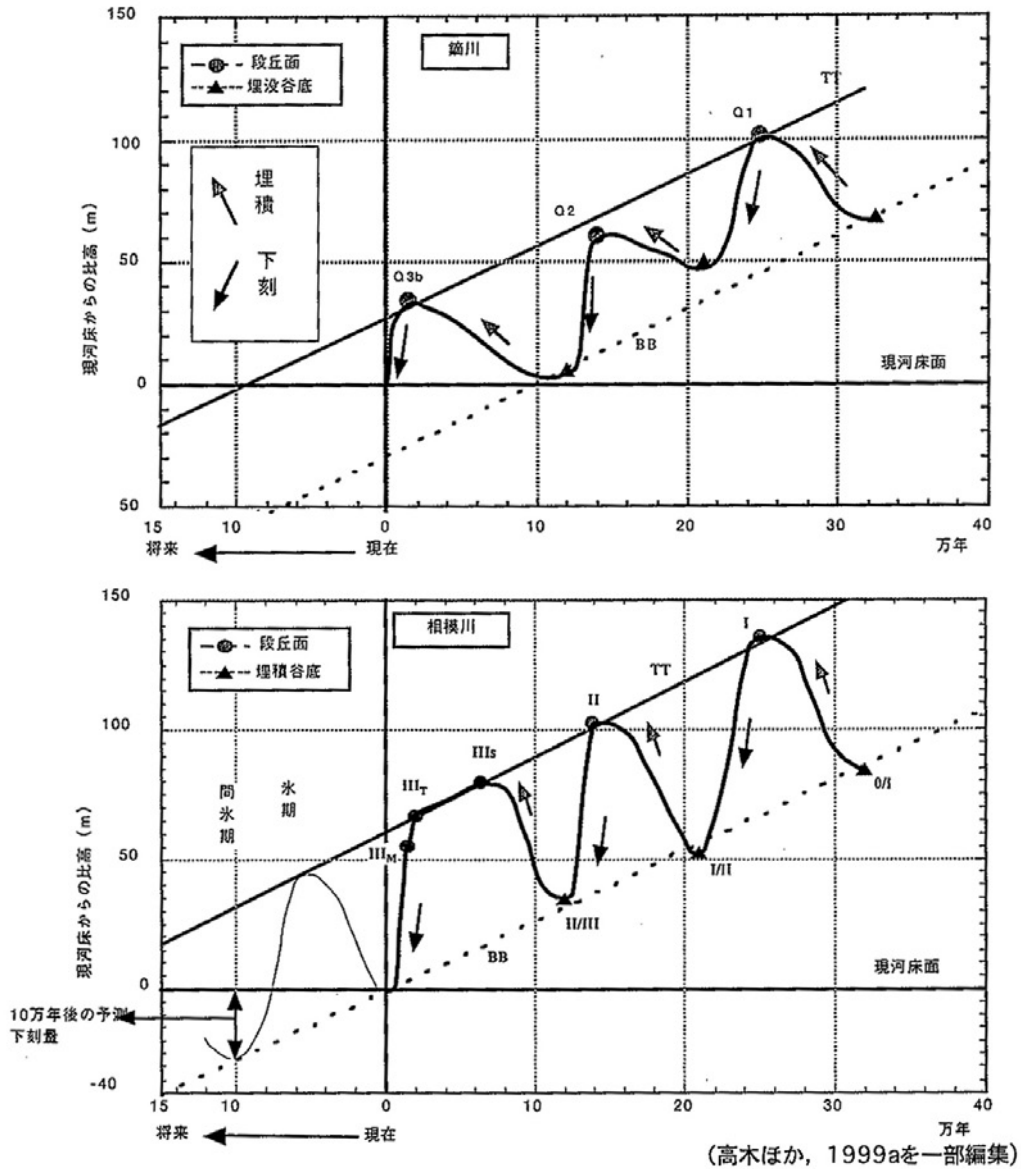
中流域で岩屑生産が増加するため堆積が卓越し、下流域で海水準の低下に伴い河川の下刻が卓越する一方、間氷期には逆に降水量が増大し、中流域における岩屑運搬作用が相対的に増大し、下流域では海水準の上昇に伴い堆積の場となる（例えば、貝塚，1969）。高木ほか（1999）は、このような河床高度の変遷について、いくつかの河川の事例を調査し、北関東のかぶらかわ 鏑川、南関東の相模川等では、間氷期の2～3万年間の下刻期と氷期の約7万年間の埋積期が繰り返したことを明らかにし、相模川の例では埋積期の河床上昇量は35～50m、侵食期の河床低下量は70～80mであるとした。また、下刻期ごとに河床の下刻量とその間の隆起量に追いついていることを示し、このような条件を満たしている河川では、長期的な下刻速度は隆起速度にほぼ等しいことを示した（図 3.3.3-4）。高木ほか（1999）は、相模川及び鏑川における長期的な下刻速度を、10 万年あたり 25～35m 程度としている。

これらのことから、線的侵食に関しては、ある時期急速な下刻が発生する可能性があるが、氷期・間氷期を通じた長い期間では埋積期が含まれるため、平均的な下刻速度は流域の隆起速度にほぼ相当する値になると考えられている。



ダム流域の侵食速度（ダム堆砂量から推定）と地形起伏の強さ（基準高度分散量）との関係式に基づき、国土地理院発行の「数値地図 50mメッシュ（標高）日本Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ」を基図として作成。侵食速度は6kmメッシュごとに表示。

図 3.3.3-3 基準高度分散量から計算した全国の侵食速度の分布  
（出典：核燃料サイクル開発機構，1999）



氷期には周氷河作用による岩屑生産の増加と水量の減少のために河床の埋積が進み、堆積段丘が形成される。間氷期には逆に河床の下刻が進む。間氷期の河床は次の氷期に埋積され、埋積谷底として保存される場合がある。河床は、氷期・間氷期に対応して規則的に埋積による上昇と下刻を繰り返しながら次第に低下してきた。段丘面どうしをつないだ線 (TT) の傾きは隆起速度、埋積谷底を結んだ線 (BB) の傾きは氷期・間氷期を通じた平均的な下刻速度を示す。TTとBBがほぼ平行であることから、隆起速度 $\approx$ 平均的な下刻速度という関係が見いだされ、この関係を将来に外挿すると次の間氷期までに下刻される量が推定できる。

図 3.3.3-4 河川による下刻のプロセス (出典：核燃料サイクル開発機構, 1999)

### 3.3.4 気候変動・海水準変動

#### (1) 第四紀後半の気候変動・海水準変動の特徴

第四紀は、北半球の高緯度地域において、広域に氷床（大陸氷河）が発達する時期（氷期）と大陸氷河が融解・消失する時期（間氷期）が周期的に繰り返される氷期-間氷期サイクルが認められる時代である。このような氷期-間氷期サイクルは、氷河末端のモレーン、河岸段丘等の地形に残された証拠や、海底・湖底堆積物のボーリングコア、氷床のボーリングコア等から取得された酸素同位体比等の古気候指標に関する研究の成果によって明らかにされている（例えば、小林・坂口 1982）。

図 3.3.4-1 に、いくつかの深海底コアの酸素同位体分析結果を統合した過去 70 万年間の  $\delta^{18}\text{O}$  の変化曲線を示す。過去 70 万年間の  $\delta^{18}\text{O}$  の変化は、Emiliani が区分した氷期・間氷期のステージ（偶数が氷期）と一致しており、その大局的な変化は、約 10 万年の周期性をもち、ほぼ同じ振幅で繰り返されている。氷期-間氷期サイクルをみると、鋸歯状の変化を示しており、氷期から間氷期への変化は急激で、逆に間氷期から氷期への変化は緩やかであることも示されている。また、約 10 万年周期の氷期-間氷期サイクルを細かくみると、約 2 万年周期の温暖化-寒冷化のサイクルも認められる。

過去約 8 万年間のグリーンランド氷床コアにおける酸素同位体比は、数百年～数千年周期で繰り返す突然かつ急激な変動を示しており（図 3.3.4-2）、この変動は Dansgaard-Oeschger cycle（以下、「D-O サイクル」という）と呼ばれている。D-O サイクルは、わずか数十年以内に起こる急激な温暖化、徐々に寒冷化しつつ数百年～数千年間継続する温暖期、数百年以内に起こる急激な寒冷化、数百年～数千年間継続する寒冷期の繰り返しであり、その振幅は酸素同位体比にして 5‰（約 10 万年周期の氷期-間氷期サイクルの振幅の約 1/2）である（多田，1998）。このような数百年～数千年周期の急激な変動は、カリフォルニア沖の堆積物（例えば、Behl and Kennett, 1996）、日本海の堆積物（例えば、多田，1997）等で確認され、全球的現象である可能性が指摘されている（多田，1998）。

第四紀の気候変動は、上述のとおり大陸氷河の拡大・縮小による変化として特徴付けられる。第四紀において、全球の水の総質量は一定とみなせることから、気候変動による大陸氷河の拡大・縮小は、氷床と海洋との分配を変化させたことになる。言い換えれば、氷床の総量の変動は、全球平均の海水準の変動とみなすことができ（増田・阿部，1996）、汎世界的な海水準変動は、数万年規模の長期の気候変動に伴って生じる現象であるといえる。

図 3.3.4-3 に示した海水準変動曲線は、深海底堆積物に含まれる有孔虫化石の酸素同位体や海岸段丘及び珊瑚礁の分布高度から推定されたものである。この図に示されているように、過去数十万年間の海水準は、現在の海水準に比べ +5m～-120m 程度であったと考えられている。

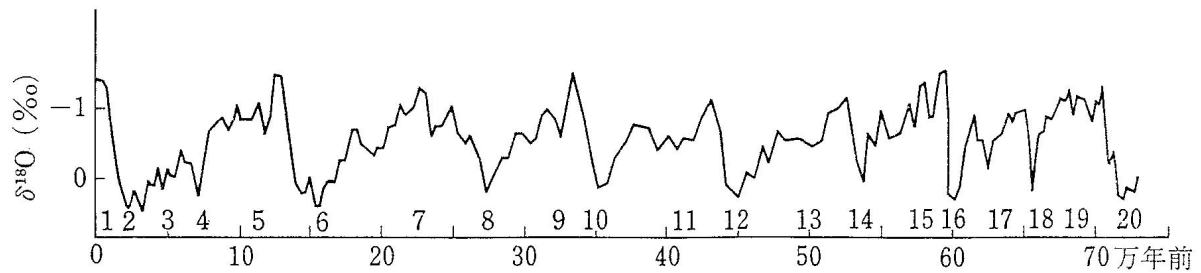


図 3.3.4-1 過去 70 万年間の酸素同位体比 (出典：成瀬, 1988b)

複数の深海底コアの  $\delta^{18}\text{O}$  分析結果を総合したもの。年代目盛りの上の 1~20 : Emiliani が区分した氷期・間氷期のステージ番号, 偶数が氷期を示す。これらは曲線の極少のあたりにある。

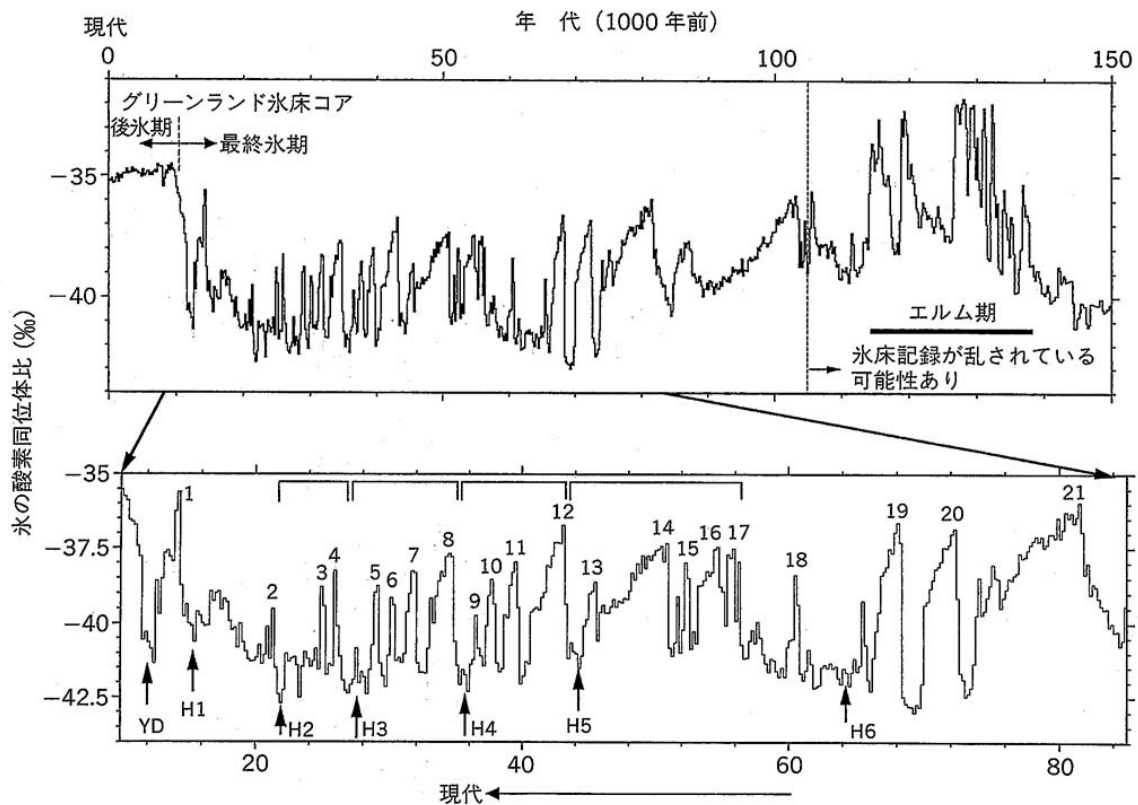


図 3.3.4-2 グリーンランド氷床コア (GRIP) に記録された過去 15 万年間の酸素同位体比の変動 (出典：多田, 1997)

酸素同位対比が大きいほど温度が高い (同位体分別効果が小さい)。1~21 : 亜間氷期 (D-0 サイクルの温暖期), H1~H6 : ハインリッヒ・イベントの時期, YD : 新ドリラス期 (氷期から後氷期に移り変わる時期に一時的に寒冷化した時期), ┌──┐ : ボンド・サイクル。

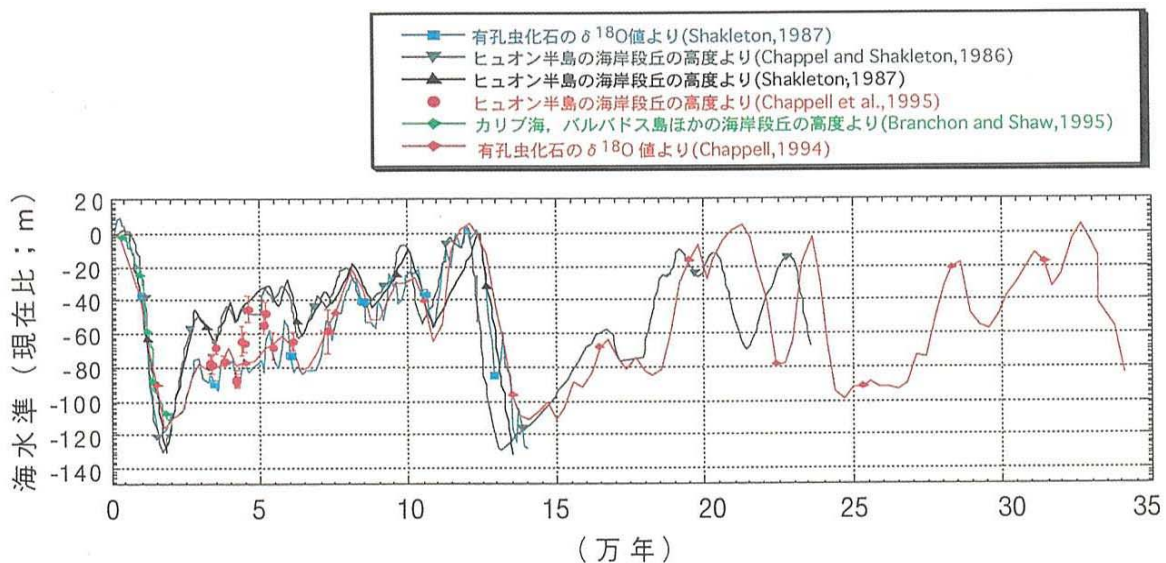


図 3.3.4-3 過去 35 万年間の海水準変動曲線 (出典: 核燃料サイクル開発機構, 1999)

## (2) 気候変動・海水準変動の特徴

前項 (3.3.4(1)) に述べたように、汎世界的な海水準変動は、数万年規模の長期の気候変動に伴う現象であることから、海水準変動の特徴は気候変動に求められると考えられる。

気候は、気候システム内部におけるゆっくりとした変動に対するエネルギーと物資の平衡 (時間平均) 的な分布として考えられることから、惑星の気候を決定している要因として、次の二つが挙げられる (住, 1996)。

- ① 惑星を外から規定している外部的な条件 (幾何学的な要因)
- ② 惑星の内部に要因がある内部的な条件 (力学的な条件)

外部的な条件とは、太陽系における太陽から惑星までの距離、惑星の形状、自転速度、自転軸の傾き等の幾何学的な要因のことであり、惑星の気候を検討する際にあらかじめ与えなければならない条件である。一方、内部的な条件とは、惑星の外部的な条件下で起きる惑星大気の運動及び惑星上でのサブシステム (大気、氷床、海洋等) 間の相互作用等を律する条件や法則のことである。

外部的な条件のうち太陽系における地球の位置を決める要因 (地球の軌道要素) は、他の天体の摂動により揺らぎ変化しているため、太陽から放出されるエネルギーが一定でも、地球に入射する太陽エネルギーの量 (日射量) は変化する。このような長い時間スケールにおける地球の軌道要素の変化を、ミランコビッチサイクル (Milankovitch cycle) という。日射量の変化をもたらす軌道要素は、公転軌道の離心率  $e$  (軌道の楕円が円からずれている度合)、近日点の黄径  $\omega$  (地球・太陽間の距離がどの季節に最も近くなるか)、地軸の傾き  $\epsilon$  である。これらの各軌道要素はほぼ周期的に変化しており、その代表的な周期は、 $e$  が 10 万年と 41 万年、 $\omega$  が 2.3 万年と 1.9 万年、 $\epsilon$  が 4.1 万年である (増田・阿部, 1996; 図 3.3.4-4)。

前項に述べた氷期－間氷期サイクルのような長い時間スケールの気候変動の周期帯は、地球の軌道要素の変化に伴う日射量の変化の周期帯と調和的である（図 3.3.4-5）。しかしながら、1.9～2.3 万年及び 4.1 万年の周期帯で酸素同位体比変動曲線と日射量変動曲線を比較すると、それぞれの周期帯で位相がわずかにずれており、さらに 10 万年の周期帯においては、日射量変動に比べ酸素同位体比の変動が卓越している（図 3.3.4-5）。歳差による日射量変動は、南北両半球で逆の位相になるが、氷期－間氷期の変動は南北両半球で同時に起こっている。これらのことから地球の軌道要素から計算される日射量変動だけでは、数万年～10 万年周期の氷期－間氷期サイクルを説明することができず、「第四紀の氷床変動の特徴的時間スケールである約 10 万年の周期は、ミランコビッチサイクルの一つである」と誤った認識がされ、大きな混乱が引き起こされている（熊澤ほか、2002）との見解もある。

気候変動を駆動する原因として考えられるその他の要因としては、次のものが挙げられる（阿部・千喜良、1999）。

- ① 地球に入る日射量に影響する太陽活動
- ② 温室効果に大きく影響する二酸化炭素量、水蒸気量、メタンガス等の大気組成
- ③ 大陸配置の変化
- ④ 大気、海洋、陸面、雪氷等のサブシステム同士の相互作用

①の太陽活動の変動としては、太陽黒点の約 11 年周期が有名であるが、約 2,300 年の顕著な周期があるといわれている（Damon and Sonett, 1991）。約 2,300 年周期の太陽活動の変動は、グリーンランド氷床の酸素同位体比の解析から求められる卓越周期 2,550 年（Dansgaard et al., 1984）と調和的であり、D-O サイクルの原因の一候補として考えられている（多田、1998）。

②の二酸化炭素、水蒸気量、メタンガス等の大気組成の変動は、大気、海洋、生物圏、地圏（地殻、マントル等）が関与する物質循環システムの構成要素（物質のリザーバー、各リザーバー間の単位時間あたりの物質輸送量）の変動として捉えることができる。物質循環のうち炭素循環に着目すると、火山活動等による地球内部からの二酸化炭素の放出は、大気中の二酸化炭素濃度を増加させ、有機炭素の埋没や炭酸塩の沈殿は、逆に大気中の二酸化炭素濃度を減少させる（田近、2002）。

③の大陸配置の変化は、地球表面を構成する複数のプレートの相対的な運動によって生じている。プレートの相対的な運動に伴う大陸の集合と分裂は、繰り返して生じており、ウィルソンサイクルと呼ばれている。ウィルソンサイクルでは、超大陸の形成、分裂、新しい海洋底の誕生、海洋底の拡大、大陸同士の衝突等が生じ、海底拡大速度、全地球規模の火成活動の変動、急激な造山運動が生じている。ウィルソンサイクルに伴う海底拡大速度、火成活動、造山運動、大陸移動と大陸配置の変化等は、②の大気中の二酸化炭素量等を変化させるほか、大気や海洋におけるエネルギーの流れ、大気－海洋－陸面間における物質循環を変化させ、④の気候サブシステム同士の相互作用に影響を及ぼしている可能性が高いと考えられている（田近、2002）。

④の気候サブシステム同士の相互作用として関与する物理過程として、1) 大気と海洋によるエネルギー輸送、2) 大気と海洋による水（蒸気）輸送、3) 気温の変化に伴う雪氷、植物、土壌等を経由したアルベド（太陽からの入射光に対する反射光の強さの比）の変化、4) 積雪とその氷床への発達、消耗（蒸発、融解、氷山分離）、5) 氷床の重さによるアセノスフェアの変形、6) 海洋の栄養塩

と生物活動の変化等がある（増田，1993）。

第四紀の気候変動は，海洋や大気の循環，氷床の拡大・縮小，大気中の温室効果物質（二酸化炭素，水蒸気等の量）の変化がかかわっており，様々な要素が同期し，変動する地球システムのフィードバック機構によって駆動されていると考えられている（例えば Abe-Ouchi, 1993 等）。

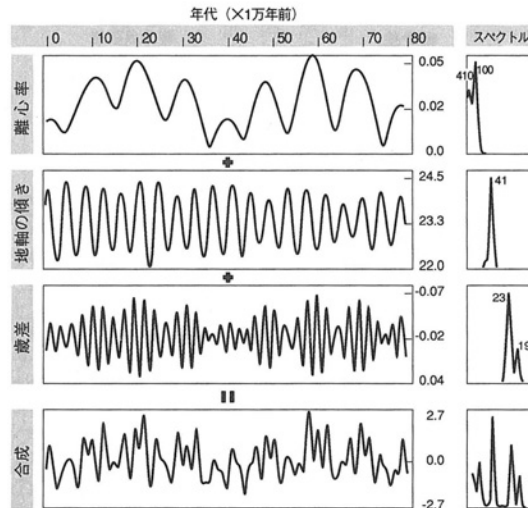


図 3.3.4-4 天体力学計算によって求められた過去 80 万年の軌道要素の変動

（出典：川上，1995；原図 Imbrie et al., 1984）

離心率の変化に伴う日射の変動には 10 万年周期と 41 万年周期が卓越している。地軸の傾斜角の変動には 4.1 万年の変動がある。日射に影響する歳差の因子には 2.3 万年と 1.9 万年周期の変動がある。

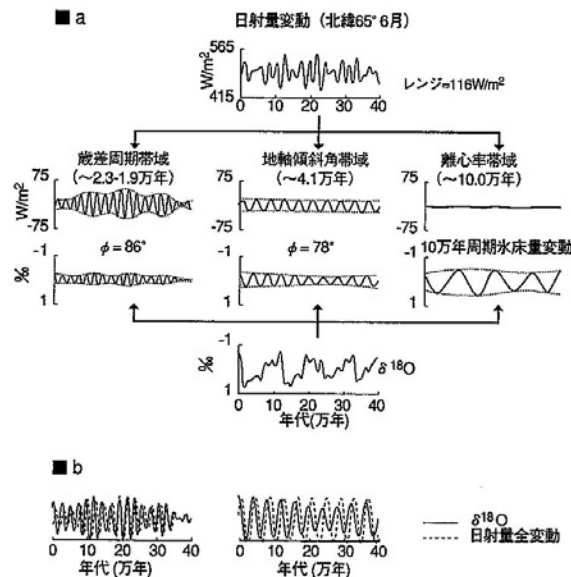


図 3.3.4-5 10 万年周期の謎（出典：川上，1995；原図 Imbrie et al., 1993）

(a) ミランコビッチ理論と深海底堆積物の酸素同位体比の変動曲線の各周期帯での比較。

(b) 歳差周期帯域，地軸傾斜角帯域において  $\delta^{18}\text{O}$  変動曲線と日射量変動曲線を重ねたもの。

### 3.3.5 3.3節の整理

本節では、日本列島における地質環境の長期安定性に関連する主要な自然現象である「地震・断層活動」、「火山・火成活動」、「隆起・沈降、侵食」、「気候変動・海水準変動」について、過去の変動の傾向を将来へ延長して予測する外挿法を行ううえでの前提となる情報として、これらの自然現象の特徴を取りまとめた。以下、これらの現象ごとに、記述内容を要約する。

#### (1) 地震・断層活動

地震の発生については、断層運動と密接な関係にあり、地下での震源断層を想定して、その幾何学的形状や運動の過程にかかわる断層パラメータにより取り扱うことができる。日本列島及びその周辺での地震の震源分布、発生場所は、海洋プレート／陸側プレート境界の地震、海洋プレート内の地震、陸側プレート内の地震の三種類に分けられる。このうち、陸側プレート内で発生する地震については、日本列島周辺に分布する海洋プレートの運動による広域地殻応力場を反映し、地域によって異なるタイプの地震が発生している。これらは、基本的には地殻が脆性的にふるまう深度20km程度よりも浅いところで生じている。

陸側プレート内で発生する地震では、震源断層が地表付近にまで到達し、地表付近で、地形面に対する変位や、地質に変位・変形を与えているものも存在する。このように、地震やそれに伴う変位を引き起こした断層は、最近の地質時代において間欠的に繰り返し活動しており、今後も活動すると考えられるため活断層と呼ばれている。活断層の分布には偏在性があり、活断層のタイプや活動性には地域ごとに異なる特徴が認められる。活断層の活動性は、平均変位速度、活動間隔等で評価でき、第四紀後期に、断層ごとにほぼ一定の変位の向きと速度で活動している。地形・地質調査、トレンチ調査等で活動性が明らかにされた主要な活断層は、概ね3万年以内の活動間隔をもち、活動間隔の短い断層ほど平均変位速度が大きい傾向がある。

#### (2) 火山・火成活動

日本列島の第四紀火山の分布については、千島弧、東北日本弧、伊豆－小笠原弧、琉球弧のように、火山フロントが明瞭に認められる地域と、西南日本背弧側のように、火山フロントが明瞭に認められない地域とでその特徴が異なる。火山フロントが明瞭に認められる地域では、第四紀火山の分布には偏在性・規則性があり、第四紀の間に活動の場の大きな移動は認められない（火山フロントの移動や、火山が集中的に分布する地域内での活動域の時間的・空間的变化は、数十 km 程度以内とされている）。一方、火山フロントが明瞭に認められない地域では、単成火山群が特徴的に分布しており、活動時期に大まかな傾向は認められるが、火山フロントが明瞭に認められる地域のような時間的・空間的分布の規則性は捉えられていない。

日本列島の第四紀火山におけるマグマの発生・上昇・噴出プロセスと特徴については、火山フロントが明瞭に認められる地域と、火山フロントが明瞭に認められない地域とで違いが認められる。火山フロントが明瞭に認められる地域では、海洋プレートの沈み込みを示す深発地震面が形成されており、沈み込みに伴うマンテルウェッジの対流による減圧融解、沈み込みに伴う含水カンラン岩からの脱水反応、加水融解等によりマグマが発生、上昇し、浅部でマグマ溜りを形成することにより複成火山（成層火山、カルデラ火山等）を主に形成する（また、これらは島弧に特有の化学組成を示す）。一方、火山フロントが明瞭に認められない地域では、沈み込む海洋プレートの存在が、第



四紀火山の直下までは確認されておらず、この地域に特徴的に認められる単成火山（群）は、沈み込みには直接関連しないマントル物質のわき上がりに伴いマグマが発生すると考えられている。

### (3) 隆起・沈降，侵食

過去十数万年前以降の隆起・沈降運動については、プレートの相対的な運動に起因し、山地、盆地、平野、海岸等の地域ごとに一定の速度と傾向で累積している。したがって、隆起・沈降の評価は、過去十数万年以上（場所によっては過去数十万以上）にわたる一定の変動傾向をもったブロック単位で考えることができる。これらのブロックの特性を踏まえた変動のプロセスを理解することが重要である。隆起・沈降の速度や分布パターン（変動様式）を把握する手法には、地質学的手法、地形学的手法、測地学的手法があり、これらは、取り扱う事象に対応した評価可能な期間と空間分布を有する。したがって、隆起・沈降の評価の際には、これらの評価可能な期間を十分に考慮し、検討の対象とする事象の時間スケールに合致した適切な手法を選択することが重要である。また、長期予測の信頼性向上のためには、他の手法も相補的に用い、短期の変動をも踏まえたその地域全体の変動プロセスを理解することが重要である。

侵食は、営力と作用によって、雨食・河食・溶食・氷食・風食・海食に区分されているが、日本列島では、侵食の最大要因は河食及び海食であり、侵食営力の強さは、地下水位面、海面等の侵食基準面からの比高に支配されている。侵食は、地域全体の平均的な削剥量としての捉え方（面的侵食）と、流路が選択的に掘り下げられる場合（線的侵食：主に河川の下刻）があり、氷期－間氷期を通じた河川の平均的な下刻速度は、その流域の隆起速度にほぼ相当することが知られている。

### (4) 気候変動・海水準変動

第四紀は、北半球の高緯度を広域に氷床が発達する氷期と、それが融解・消失する間氷期が周期的に繰り返された時代であった。第四紀後半の約 70 万年間の変動は、急激な温暖化と緩やかな寒冷化が一定の振幅・周期で繰り返し、大陸氷河の拡大・縮小に伴う海水準変動の振幅は、100m を超える（+5m～-120m 程度）。

第四紀の気候変動をもたらす要因としては、地球に入る日射量に影響する要素（太陽活動の変動、地球の軌道要素の変化等）、温室効果に大きく影響する二酸化炭素量、水蒸気量等の大気組成、大気・海洋・陸面・雪氷等のサブシステム同士の相互作用等がかかわっていると考えられる。

### 3.4 将来予測の考え方

#### 3.4.1 将来予測の基本的な考え方

前節(3.3節)に述べた地震等の自然現象に関して、将来における活動を予測的に評価する手法としては、「事業化報告書」において次の手法が示されている。

- ① 確率論による方法：対象となる事象の発生の可能性を数量的に見積もり発生確率を求める手法。アメリカ・Yucca Mountain サイトでは、火山噴火の将来予測に対して確率論的評価を実施している(NRC, 1995)。
- ② 外挿による方法：過去の変動の傾向を未来へ延長して予測する方法であり、将来においても現在の傾向が変わらないことが前提となる手法。隆起・沈降、侵食、断層活動等の将来予測に用いられる。
- ③ 類推による方法：対象とする事象と類似の事象を今までに取得されたデータからみだし、その類推から将来の変動を予測する手法。ナチュラルアナログ研究による将来予測がこれに含まれる。
- ④ モデルによる方法：現象のメカニズムを解釈するための概略モデルを構築し、数値解析により現象を把握あるいは予測する手法。例として、プレート運動や地下水挙動に関するモデリング及びシミュレーションがある。

「事業化報告書」では、これらの手法のうち、長期的な予測に関して現状で最も一般的な手法は、過去における変動を検討し、その中から普遍性、法則性をみいだすことにより過去の現象を将来へ外挿する方法であるとしている。日本列島においては、地質環境の長期安定性に関連する自然現象の活動が活発であることから、関連する情報や知見も豊富であり、地球科学分野に多くの研究成果が蓄積されている。このような地球科学の知見やそこで用いられている手法を活用することにより、現在の地質や地形に残された自然現象の活動履歴を追跡することができる。これにより過去から現在までの自然現象の活動の中に一定の傾向や規則性をみいだすことができれば、これに基づき外挿する方法により将来における自然現象の活動の可能性や変動の規模等を推測することができる。最も新しい地質時代である第四紀、特に最近数十万年程度については、自然現象の活動の痕跡が比較的良好に地層や地形に保存されていることから、その間の自然現象の活動履歴が把握・理解されている。

「専門部会報告書」では、地震等の自然現象について、次のような将来予測が示されている。

『天然現象の中には、地震・断層活動や火山・火成活動のように急激かつ局所的な現象と、隆起・沈降・侵食及び気候・海水準変動のように緩慢かつ広域的な現象があり、それぞれ地下深部の地質環境に影響を及ぼしている。前者については、場所によっては地質環境への影響は大きいものの、大きな変形を伴うような影響を及ぼす地域は比較的狭い範囲に限定されており、また過去数十万年の時間スケールで見れば、これらの現象が規則的に起こっていることから、今後10万年程度であれば、その規則性及び継続性から、それらの影響範囲を推論することができると考えられる。他方、後者は、地下水系などに広い範囲で影響を及ぼすが、緩慢かつ広域的であるから、過去数十万年程度について、広域にわたる比較的正確な地質学的な記録が残されている。それらの記録を基に、将来についても10万年程度であれば、その及ぼす影響の性質や大きさ、また影響の範囲の移動や拡大の速度などを推測することができると考えられる。』

「第2次取りまとめ」では、地震等の自然現象について、以下のような将来予測が示されている。

『わが国における地震・断層活動、火山・火成活動、隆起・沈降などの天然現象は、日本列島周辺におけるプレートの配置やその運動などに関連して起こっており、日本列島のテクトニクスの場合において、天然現象の活動様式や変動速度などの変化は、数十万年～数百万年という地質学的な時間の中で、ある一定に傾向を保ちつつ進行していくものと考えられる。これにしたがえば、将来10万年程度における天然現象の活動を評価するに際しては、過去数十万年程度における活動の様式や変動傾向が、同様に継続していくとみなすことが妥当と考えられる。その際、地域によるテクトニクスの特徴を十分に理解し、対象とする天然現象に応じて、地域ごとに評価の根拠となる具体的な情報や評価の結果にともなう不確実性を吟味していく必要がある。』

また、「地下環境部会報告書」では、地震等の自然現象について、以下のような将来予測が示されている。

『地質事象の将来予測を考える上では、過去数十万年程度の地質記録のデータは豊富であるといえる。また、「変動帯」といっても、新たな地殻変動が起こるような場に変遷するためには、Ma単位（100万年単位）の長期にわたる時間が必要である。したがって、今後も現在と同様な造構応力状態が続き、それが長期的にみて変化しないならば、外挿法により、専門部会報告書にもある通り、過去数十万年程度の地質学的記録を基に、将来10万年程度の推論は可能であると考えられる。』

以上のように、「専門部会報告書」、「第2次取りまとめ」及び「地下環境部会報告書」では、自然現象あるいは地質事象の将来予測について、外挿法により、過去数十万年程度の地質学的記録を基に、将来10万年程度の推論は可能であるとしている。なお、「技術WG」では、最終処分法の「将来にわたって」を、『自然現象による地層の変動が予測できるといわれている、概ね数万年先の将来を想定』としている。

なお、「第2次取りまとめ」では、地震・断層活動、火山・火成活動、隆起・沈降、気候変動・海水準変動について、各事象の過去における変動について検討し、その中から普遍性、規則性等を見だし、地質学的な情報の外挿により将来予測を行っている。ここでは、これらの将来予測のうち、東北日本弧における島弧規模の隆起・沈降の将来予測に関する検討事例を示す。この検討において、新第三紀末以降の変動履歴に関して検討を行い、次に示すことを明らかにし、変動のプロセス及び一連のプロセスの中で現在がどのフェーズにあるかを把握している。

- ① 地質構造の大きな特徴：南北に伸びる複背斜が隆起帯を、複向斜が沈降帯をなし、隆起帯前縁に逆断層が形成されること
- ② 地殻短縮率の分布：火山フロントより背弧側で大きく前弧側で小さいこと
- ③ 東西方向の水平圧縮力が強まった3.5Ma以降、島弧地殻が座屈褶曲を起こし、継続する圧縮の下で褶曲断層の成長によって地殻の短縮が進みつつある過程を示していると解釈されていること
- ④ 東北日本弧の隆起・沈降場の対極的な分布は、地殻構造（主に熱構造）に規制されていること
- ⑤ 上記の地質構造や地殻構造から推定される変動様式が、侵食小起伏面の高度分布から推定される第四紀における隆起量や、段丘の比高から推定される隆起速度、測地データから求めら

れる最大せん断ひずみの分布の特徴と調和的であること

さらに、以上のことからプレートの運動が大きく変化しない限り、地殻の座屈褶曲に規制された隆起・沈降場の分布は現在と大きく変化せず、褶曲と断層による山地の隆起と盆地の沈降が継続すると予測している。

### 3.4.2 日本列島周辺のプレートシステム・広域的な造構応力状態の変遷の具体的根拠

3.2節では約30Ma以降現在に至るまでの日本列島の地質構造変遷及び現在の日本列島周辺のプレートの配置・運動様式について検討した。ここでは、日本列島周辺のプレートシステムの基本的な枠組みの形成時期について整理するとともに、現在の広域的な造構応力状態のもととなっているプレート運動様式はいつ頃までさかのぼれるのか、現在の広域的な造構応力状態はどのような状況にあるのかについての検討を行う。また、その検討結果に基づき、地質環境の長期安定性に関連する自然現象の将来予測の前提条件となるこれら諸事象の変遷・継続性について検討する。

#### (1) 日本列島周辺のプレートシステムの基本的な枠組み

30Ma頃から生じたアジア大陸東縁部での背弧海盆の形成はほぼ15Maに終了し、15Maから14Maにかけて日本列島周辺のプレートシステムの基本的な枠組みが定まった。すなわち、日本海、千島海盆、四国海盆の拡大が終了し、北海道は一つとなり、日本列島はほぼ現在の位置に移動した。その後、プレートシステムの大きな変化はなく、ほぼ定常状態を保持していると考えられる。

##### ① 日本海（東北日本弧、西南日本弧の海盆）の形成時期

インドプレートのユーラシアプレートへの衝突に伴い、ユーラシアプレート東縁部で右横ずれの断層が形成された。さらに、伸張場でリフティングが生じ日本海が形成された(30~15Ma: 形成年代は、ODPによる火山岩の年代値データによる: Jolivet et al., 1994)。その際に、東北日本は反時計回りに、西南日本は時計回りに回転をした(古地磁気データによる: Otofujii et al., 1985)。なお、日本列島の折れ曲りは、日本海の大和海盆の拡大に伴って生じたと考えられる(Kimura and Tamaki, 1986; 丸山, 1984)。

##### ② 千島海盆（千島弧背後の海盆）の形成時期

インドプレートとユーラシアプレートの衝突は、後期始新世にユーラシア大陸に広範囲な変形をもたらした。千島海盆の拡大は、インドプレートとユーラシアプレートの衝突にかかわる二つのマイクロプレート（オホーツクプレートとアムールプレート）の動き（回転、陸側への後退等）に関連している可能性がある。千島海盆は、日本海と同時期に背弧海盆として形成された(30~15Ma)。それらの時代は、堆積物の層序・基盤深度、地殻熱流量等のデータを基に定められている。

##### ③ 四国海盆（伊豆-小笠原弧の背後の海盆）の形成時期

- ・ フィリピン海は、海溝の海側（東方）への後退（移動）に起因する背弧拡大により形成されたと考えられる。すなわち、伊豆-マリアナ海溝が東方に後退し、その背後に四国海盆（北）、パレスベラ海盆（南）が形成された(Seno and Maruyama, 1984)。
- ・ 34~30Maにパレスベラ海盆がリフティングを開始し、拡大期の初期となる。それと同時に伊豆-小笠原弧にもリフトが形成され、南部のリフトは30~25Maにわずかに拡大したが、

北部はこの時期に拡大しなかった。この後、拡大域は西に移動し、25～15Maの四国海盆の拡大期となる（それ以降については、5Ma以前からマリアナトラフが拡大を開始する。2Ma頃には伊豆-小笠原弧の北部で、フィリピン海盆プレートの北北西から西北西へのプレート運動の変化に伴いリフトが形成された：西村・湯浅，1991）。

- ・ 海底地形，地磁気異常，音波探査等のデータから，四国海盆拡大の過程を検討した（春日ほか，1999；Okino et al., 1998）結果は次のとおりである。

～30Ma：古九州・パラオ海盆のリフティング  
27～23Ma：四国海盆，パレスベラ海盆の東西方向への拡大  
23～19Ma：四国海盆-パレスベラ海盆が一体の海盆として拡大  
19～15Ma：北東-南東方向への拡大（拡大方向の45～60°反時計回りの回転），拡大軸のセグメント化  
15Ma：拡大終了

## (2) 日本列島周辺の海洋プレートの運動方向の変化

太平洋プレートの運動方向は少なくとも2.5Ma以降，フィリピン海プレートの運動方向は少なくとも1.5Ma以降，現在まで変化していないと考えられる。

### ① 太平洋プレートの運動方向の時代変化

- ・ 西北西方向の運動は，少なくとも15～0Ma（37～0Ma）の間ほぼ一定であったことが，地磁気異常の縞模様と海山列（ホットスポット）のデータより算定されている（丸山・瀬野，1985）。
- ・ 5～2.5Maにかけて運動方向が時計回りに，数度以内で（北向きに）変化したことが，ハワイ海山列の並びより認定されている（Cox and Engebretson, 1985；Pollitz, 1986）。
- ・ 現在と同様の運動は，2.5Ma以降継続している。

### ② フィリピン海プレートの運動方向の時代変化

- ・ 北北西方向の運動の継続期間は，四国海盆形成後のフィリピン海プレートの沈み込みに伴う火山活動（外帯及び瀬戸内）の時期等から17～10Ma（Seno and Maruyama, 1984），ないしは15～12Ma頃（宇都，1995）と推定されている。
- ・ 12Ma以降6Maまでは，西南日本の火山活動の主体は山陰-山陽の広い範囲に点在するアルカリ玄武岩活動へと推移し，この時期，フィリピン海プレートの沈み込みに伴う火山活動は認められないため，フィリピン海プレートの沈み込みは停止していたと推定される（宇都，1995）。
- ・ 6Ma頃以降は北西方向の運動（年間数cm程度）が継続する。南海トラフでの沈み込みは，IPOD（International Phase of Ocean Drilling：国際深海掘削計画，Leg31）の結果から，3Maより継続しており，沈み込んだフィリピン海プレートの長さは，約150～200km（塩野，1975）とされている。Seno（1977）によれば，この付近のプレート収縮速度は3.5～4.5cm/年で，沈み込みの継続時間は500万年程度とされている。琉球海溝における沈み込んだフィリピン海プレートの長さは300km以上，収縮速度は5.5～6.0cm/年程度，継続時間は500年以上（松原，1980）とされている。

- ・ 中部九州における地溝帯を伴う火山活動の開始時期は 6Ma とされており，大分ー熊本構造線の右横ずれ運動が関与した (Kamata and Kodama, 1999)。中央構造線の右横ずれ活動は 5～4Ma 頃に伊勢湾～三河湾付近で始まり，活動域は西へ移動した。中央構造線の活動時期は，外帯の掛川堆積盆及びその外縁隆起帯の形成時期 (約 4Ma) と概ね一致する。掛川堆積盆は遠州海盆として認められる構造单元に含まれ，その形成はフィリピン海プレートの右斜め沈み込みの開始と関連する (杉山, 1991)。
- ・ 2～1.5Ma 頃に起こった火山配列の変化，豊肥火山岩類の化学組成変化，溶岩から火砕流への活動様式の変化及び次に示す構造運動の変化から，フィリピン海プレートの運動方向が，現在と同じ西北西になったと考えられている (Kamata and Kodama, 1999)。
  - a. 中央構造線の右横ずれ運動の活発化
  - b. 中部九州の陥没盆地形成場の移動
  - c. 南九州の地殻の回転
  - d. 沖縄トラフ北縁部，鹿児島地溝でのリフティング
- ・ フィリピン海プレートの運動を引き起こす主要な力としては，「リッジ押し力」と「スラブ引き力」が考えられる (Seno, 2000)。フィリピン海プレートでは，四国海盆拡大後は 6Ma にマリアナトラフの拡大が生じ，2Ma には伊豆ー小笠原背弧盆が拡大を開始しており，フィリピン海プレートの西進は，伊豆ー小笠原背弧盆の拡大に伴うものと考えられる。また，豊肥火山岩類や両子山，姫島，中国地方西部の火成活動もマグマ形成から噴出までのタイムラグを考慮すると，フィリピン海プレートの西北西への運動方向変化は，2Ma 頃であるものと考えられる。

### (3) 日本列島周辺のプレート運動の変化

日本列島周辺のプレート運動の変化を見ると，日本海，千島海盆，四国海盆の拡大等は 15Ma 頃に終了した後，現在に至るまでプレート運動に大きな変化はなく，ほぼ定常状態に達しているものと判断される (Jolivet et al., 1994 ; Kimura and Tamaki, 1986 ; 春日ほか, 1999 ; Okino et al., 1998)。また，天皇海山列ーハワイ海山列の折れ曲がりにもみられるような太平洋プレートの運動の変化に要した時間については，従来最低 200 万年以上 (Clague and Dalrymple, 1987) とされていたが，最近の研究によれば 100 万年程度 (Tarduno and Cottrell, 2002) との見解が示されており，プレート運動の変化に要した時間としては，100 万年以上のオーダーであると考えられる。

### (4) 造構応力状態の安定性と地域性

造構応力状態には地域性はあるものの，各地域において，少なくとも過去数十万年以上 (地域によっては 100 万年以上) にわたって，各地での海成段丘の隆起で特徴付けられるように (小池・町田編, 2001)，東西方向の圧縮状態で特徴付けられる地殻変動が継続している (沖縄トラフの影響を受ける九州中部は除く)。したがって，過去数十万年以上にわたって，現在と同様の造構応力状態が継続していたと考えられる。このことは，造構応力の原因となるプレート運動が変化しなかったことに基づくと考えられる。

#### (i) 千島弧の造構応力状態

千島弧には，太平洋プレートが斜め方向に沈み込んでおり，このため前弧の一部 (前弧スリバー)

が西方に移動していると考えられている (Kimura, 1996)。この前弧スリバーは、西端で日高山脈に衝突しており、鮮新世以降、山脈の隆起を引き起こした。日高山脈の西縁、石狩平野東縁～樺戸山地東縁、天塩山地沿岸部は、衝上断層褶曲帯を形成し、地震活動をはじめとした地殻の変形が生じている。この変動は北米プレート (あるいはオホーツクプレート)、ユーラシアプレート (あるいはアムールプレート) の遷移的境界とする考えもある。

北海道の他の地域では、このような第四紀の変動は認められず、北海道北東部では中新世以降ほとんど変動が起こっていない (平, 2002)。

- ・ 千島弧の前弧が北海道中軸部に鮮新世～中期更新世 (5.3～0.5Ma) 頃に衝突し、それに伴って北米プレート (あるいはオホーツクプレート) とユーラシアプレート (あるいはアムールプレート) の境界が北海道中軸部から日本海東縁部に移動した (中村, 1983 : 小林, 1983)。
- ・ 千島弧に対し太平洋プレートの沈み込み方向が斜交するために、千島弧の前弧 (火山フロントより太平洋側) はスリバーとして西進し、その南西端で東北日本弧と衝突した。十勝平野・居辺断層の変位速度は、0.5Ma を境として減衰することから (千島弧前弧スリバーの衝突は継続しつつも)、この時期に、北米・ユーラシアプレート境界が北海道中軸部から日本海東縁へジャンプしたと推定されている (木村ほか, 1986)。
- ・ 日高山脈の地下構造と 1982 年浦河沖地震の逆断層運動から、東北日本弧北部が千島弧南西端に衝突し、沈み込んでいることが示唆されている。逆断層型のメカニズム解と地質構造は、石狩平野、樺戸・天塩山地に遷移的なプレート境界の存在を示している (森谷ほか, 1997)。
- ・ 地震のメカニズム解から求められた応力分布は、千島弧前弧スリバーの西進を示す。ユーラシアプレート (あるいはアムールプレート) と北米プレート (あるいはオホーツクプレート) の境界は、北海道北部から沿海州にまたがる可能性がある (森谷, 1999)。
- ・ 鉾脈から得られた広域地殻応力場は、北海道北東部では中期中新世後半から鮮新世まで、北海道南西部では後期中新世から現世まで、北西-南東方向から西北西-東南東方向の圧縮場を示す (渡辺, 1986)。
- ・ 北海道中央部では、中新世の中期～末期に東西圧縮の逆断層によって、中軸部の日高山脈で急激に隆起した。隆起速度は後期中新世に最大 2.8mm/年 (宮坂, 1987) に達するが、鮮新世以降 0.7mm/年となる。第四紀の逆断層運動は日高山脈の西側に移動し、第四紀の垂直変位量が 1～2km と大きな逆断層は、天塩地域の日本海沿岸から樺戸山地東縁～石狩低地東縁、日高沿岸に分布しており、活断層もこれらの地域に集中しており、現在も活動している (栗田ほか, 1997)。

## (ii) 東北日本弧の造構応力状態

東北日本弧の太平洋側では、太平洋プレートが日本海溝に沈み込んでいる。北海道西部から東北日本と日本海の間には、ユーラシアプレート (あるいはアムールプレート) と東北日本弧を含むプレートとの収束境界が存在すると考えられている。この収束境界は、日本海拡大時のリフト境界が、圧縮境界に転じたものであると推定されている (Okamura et al., 1995)。この境界は単一のプレート境界断層によって境されているのではなく、場所により、変形の幅が変化する複雑な境界

をなしていると推定されている。

東北日本全体では、約 30Ma から 15Ma の日本海拡大時の伸張応力場から弱い圧縮の時期を経て、約 3Ma 以降に背弧側から東西圧縮応力が始まり、1Ma 頃から奥羽山脈で変動が顕著となっている。

東北日本の変形は、大局的に海洋プレートの沈み込みにカップリングした上盤プレートの弾性的変形である。その変形の大部分はプレート境界地震で解消され、プレート上盤の歪は日本列島の長期的な変形に大きな寄与はしていないと推定される。東北日本前弧域では内部変形がほとんどなく、少なくとも第四紀を通じ、塑性的なひずみが集中し、蓄積されていない。

- 東北日本広域の地殻の短縮期に、逆断層が発達し、堆積盆が形成された。その開始時期は、3.5Ma (Sato, 1994), ないしは 2.5Ma (栗田, 1988) とされている。島弧に平行な逆断層が発達することから、最大主圧縮応力はほぼ水平で海溝と直交する (Sato, 1994)。
- 3Ma 前後から、プレート境界の日本海東縁部への移動を推測させる変動が認められる。後期中新世～鮮新世の主要な断層のほとんどは逆断層で、その走向方向は島弧の方向に一致しており、隆起帯と沈降帯の境界部に分布する傾向がある。それらの垂直変動量は、後期鮮新世(約 3.5Ma)～前期更新世の頃から明瞭に増加している。奥羽山地東縁の主要な断層は 1Ma あたりから変位量が増大し、第四紀後期では垂直変位量が 0.5m/千年～1.0m/千年となる (Awata and Kakimi, 1985)。
- 背弧側の日本海沿岸地域では、3.5Ma 前後に北由利断層系の北端部で逆断層活動が開始され、逆断層活動が同断層系の全域に及んだのは 2.5Ma 頃である。奥羽山脈では、更新世前期に広い地域で大規模な珪長質火砕流の噴出があったが、更新世中期以降は一部の地域を除いて安山岩質の成層火山体の活動に変化している。このような火山活動の変化からも、奥羽山脈付近では 1Ma 前後から、特に 0.5Ma 前から地殻歪速度が増大したことが示唆されている (栗田, 1988)。
- 中期更新世以降 (約 0.8Ma 以降)、中央日本内陸部は、広域に北西-南東系の最大主圧縮応力軸 (八ヶ岳火山列の岩脈群等) をもつ横ずれ断層型の地殻応力場にあった。現在の地殻応力場は、ほぼ 80 万年間持続している (竹内, 1999)。

### (iii) 伊豆-小笠原弧の造構応力状態

伊豆-小笠原弧はフィリピン海プレート上にあり、本州と衝突している。2Ma 以降背弧海盆の拡大が生じ、現在まで続いている。伊豆半島北部の断層活動は 0.5Ma 以降同じ活動が継続している。

- 伊豆-小笠原弧は、浮揚性のため、15Ma 以降本州島弧に衝突し続けている。伊豆-小笠原弧の地殻は、島弧付加体としていわゆる南部フォッサマグナを形成している。衝突帯から南方への影響のうち最大の変位が認められるのは、銭州衝上断層である。さらに、南方の明神礁西方から四国海盆東縁部まで東西走向の逆断層が存在する。衝突による南北圧縮応力は、銭州海嶺南側の主要衝上断層でほとんど解消されていると考えられている (森田ほか, 2000)。
- ODP leg126 site788 のドリルコアから鮮新世の軽石質礫層と礫岩が確認されており、リフティングは、0.275Ma より古く、2.35Ma より新しいと判断されている (Taylor et al., 1991)。



- ・ 2Ma 頃、伊豆－小笠原弧の北部では、フィリピン海プレートの北北西から西北西へのプレート運動の変化に伴い、リフトが形成されたと推定される（西村・湯浅，1991）。
- ・ 三宅島，新島，神津島周辺海域は，北西－南東方向の無数の開口割れ目型の断層（サイドスキャンソナーによる海底地形，シングルチャンネル地震探査による）が発達する北部伊豆－小笠原島弧の背弧リフト帯の特徴をもっており，さらに，伊豆衝突帯の影響によって北東－南西方向の衝上断層の発達した複合テクトニクス領域にある。この地域は2000年6月から火山活動及び地震活動が活発化しており，プレート運動に伴う「混在テクトニクス」によって活動が活発化しているものと考えられている（森田ほか，2000）。
- ・ 伊豆半島北部の断層活動は，約 0.5Ma 以降，現在と同様の活動が継続している（Ito et al., 1989）。

#### (iv) 西南日本弧の造構応力状態

糸魚川－静岡構造線より西側の中部日本から西南日本の島弧内には，横ずれ断層や逆断層が分布し，この島弧が東西圧縮の状態にあることを示している。最大せん断歪速度の大きい地帯は，北信越から跡津川断層系につながり，近畿三角地帯を経て中央構造線に続いている（新潟－神戸構造帯：Sagiya et al., 2000）。これを日本海東縁変動帯の連続とする考えもある（鷲谷，2002）。西南日本の太平洋側はフィリピン海プレートの斜め沈み込みによって西方へ移動し（南海スリバー），東西圧縮の地殻応力場となっている。

新潟から中部日本の変動は3～2Maに始まっており，近畿地方の堆積盆地形成の変遷から3Ma頃に地殻応力場が南北圧縮から東西圧縮へ変化している（竹村，1999）。中央構造線の運動はそれに沿った四国地域の堆積盆地の発達から3～2Maから活動が始まっている。

- ・ 山陰沖では，4.0Ma 以降現在まで，東西圧縮場のもとで南北隆起帯が形成されていることが火成活動の時期，堆積物の時代，地形変化から推定される（伊藤・荒戸，1999）。
- ・ 西南日本内帯の逆断層（南北方向）及び横ずれ断層（北東－南西方向，北北西－東南東方向）が，鮮新世中頃から始まったフィリピン海プレートの斜め沈み込みによる圧縮場で，形成されている（地域的に形成時期の差がある：岡田，1986）。
- ・ 中央構造線を含めた西南日本全体の断層活動は，東西の圧縮応力場で，中期更新世の約 0.5Ma あたりから，基盤褶曲は破断段階に入り，断層地塊化が進み現在に至っている（藤田，1993；寒川，1986）。
- ・ 海底地形及び音波探査プロファイルに基づく海底地質構造から，南北方向と島弧方向の波曲構造が確認された。南北方向の構造は，第四紀に始まった西南日本全域での東西圧縮場の下で形成され，現在も進行している（岡村，1990）。
- ・ 豊後水道から太平洋側の前弧域では，フィリピン海プレートの斜め沈み込みによりスリバーの西方移動を生じ，九州と衝突しているとする考え（Kimura，1996）と，そのまま琉球島弧へ連続する考えがある（平，2002）。

#### (v) 琉球弧の造構応力状態

中央構造線の西方延長部にあたる別府―島原構造線から沖縄トラフに続く地帯が、変動域をなしている。この地域では、南海スリバーの西方への移動により南北性の伸張応力が働いている。

別府―島原構造線及び沖縄トラフの形成は 6Ma 前後から始まっており、現在も継続している。中央構造線の活動は、6Ma のフィリピン海プレートの沈み込み再開に伴い右ずれ運動を開始し、さらに 2Ma 前後のフィリピン海プレートの西方への運動方向の変化を反映している。

- ・ 沖縄トラフは 6~4Ma 頃に原型が完成し、1.5Ma 頃に拡大を再開し、現在も引き続き拡大している。  
琉球弧の地質と地史からは、トラフの形成年代は中新世以降であり、島尻層群と琉球石灰岩の関係（石灰岩堆積に先立つ琉球弧域の隆起と沖縄トラフ域の沈降が必要）からは、トラフの形成が鮮新世と更新世の境界（2Ma）頃であったことを示唆する（古川，1991b）。  
沖縄トラフでは、北部から南部にかけて島尻層群から第四紀の地層まで断層が及んでいる。中新世末期以降にトラフの原型が形成された（陥没ステージ：南部 6~4Ma）。宮古島東方沖の堆積盆地に島尻層群が厚く堆積した後、鮮新世末期か更新世初期にさらに沈降を開始した（陥没ステージ：南部+北部 1.5~1Ma：木村ほか，1999）。
- ・ 約 2Ma 以降に、フィリピン海プレートの運動の変化により、沖縄トラフ北縁部と鹿児島地溝のリフティングが生じ、南九州の地殻がブロック化し、反時計回りに回転した（Kamata and Kodama, 1999）。

#### (vi) 日本列島全体の造構応力状態に関する知見

図 3.4.2-1 に大竹ほか編（2002）による活断層、最大せん断ひずみ速度及び主要変動境界を示す。この図には、日本列島とその周辺の活断層分布（活断層研究会編，1991）と GPS 観測より求められたひずみの大きい地帯（最大せん断ひずみが 0.07ppm/年より大きい地帯：地震予知総合研究振興会，1999 中の鷲谷原図に基づく）が示されている。また、この図には、太平洋プレートとフィリピン海プレートの沈み込み・衝突境界、さらに日高山脈における衝突境界も示してある。この図で灰色で示された部分は、日本海東縁から中部日本そして中央構造線へと続く変動帯であり、活動度 A を含む活断層区に相当している（活断層研究会編，1991）。この変動帯は、ユーラシアプレート内のマイクロプレートであるアムールプレートの東縁の境界をなしていると考えられる。東北日本及び西南日本の太平洋側における弾性的変形のひとつは、海洋プレートの沈み込みにカップリングして上盤プレートが変形する現象として考えられている（例えば Kato et al., 1998; Sagiya et al., 2000）。この変形の大部分は、GPS による変動速度が日本海側へ一定割合で減少することから、大局的には日本列島の弾性変形歪によることを示している。このため、日本列島の太平洋側における弾性的変形のひとつはプレート境界地震によって解消され、結果的に GPS で観測されるプレート沈み込みによる上盤のひずみは、日本列島の長期的な変形に大きく寄与していないと推定される（平，2002）。断層運動の繰り返しのような長期的な変動には、運動のパターンと速度の短期的なゆらぎが含まれている可能性があるため、GPS によって測定される短期的な変動とは、必ずしも同列に論じることができない。しかし、そうしたゆらぎが小さい場合には、両者は同一の傾向を示すはずであり、この図はこうした考え方に基づいて作られているものと考えられる。

千島弧では、太平洋プレートが斜めに沈み込んでいるため、前弧の一部（前弧スリバー）が西進していると考えられている（Kimura and Tamaki, 1986）。この運動により前弧スリバーの西端が、日高山脈と衝突し、山脈の隆起とその西縁に衝上断層褶曲帯を形成し地震活動も生じている。前弧スリバーをマイクロプレートと考えれば、日高山脈は小規模なプレート衝突帯に相当する。

北海道西部から東北日本と日本海の家陸境界では、ユーラシアプレート（あるいはアムールプレート）と東北日本弧を含むプレート（北米プレートあるいはオホーツクプレート）との収束境界が分布すると考えられる。この境界は単一の境界断層ではなく場所によって幅が変化している。

中部日本から西南日本にかけては横ずれ断層や逆断層が発達し、東西圧縮の状態にある。GPS データから得られる最大せん断ひずみ速度の大きい地帯は、信越、飛騨、福井から“近畿三角地帯”を経て中央構造線に連続する。

西南日本の太平洋側にはフィリピン海プレートが沈み込んでおり、プレート中の伊豆-小笠原弧の北端が本州と衝突している。衝突境界は相模トラフから富士川へと連続する。

西南日本の中央構造線より海溝側の地帯（西南日本外帯）は、フィリピン海プレートの斜め沈み込みによって千島弧と同様に西方へ移動している。この南海スリバーは九州へと続くが、琉球弧へ連続するとする考え（平, 2002）と衝突境界をなすとする考え（木村, 2002）がある。

北海道北西部から日本海東縁、中部・近畿日本から中央構造線さらに別府-島原地溝帯、沖縄トラフに続く地域がユーラシアプレート（あるいはアムールプレート）と南海スリバーあるいは北米プレート（あるいはオホーツクプレート）との境界部に相当し、この地域に見られる変動は東西圧縮で特徴付けられる。この変動は日本列島のほぼ全域で3Ma 前後に始まっており、太平洋プレート及びフィリピン海プレートの運動のみでは説明が難しいことから、ユーラシアプレート（あるいはアムールプレート）の東進によるものと説明されている（平, 2002）。なお、西南日本弧前弧の変形と南海スリバーの西進は、ユーラシアプレート（あるいはアムールプレート）の東進の影響が中央構造線の横ずれ運動でほぼ解消されているので、フィリピン海プレートの運動方向変化、伊豆衝突帯の影響と考えられる。

なお、以下の地域は、海底の拡大、小陸塊の衝突とそれに伴うプレート境界の移動等により、現在もテクトニクスが変化している可能性がある地域であることを念頭に、個別の事象について慎重に調査・検討が必要である。また、一般に安定であるといわれている地域においても、その造構応力やその影響等については、地域ごとに詳細に検討する必要がある。

- ・ プレート収束境界と考えられている日本海東縁の変動域
- ・ 北信越から近畿三角地帯に連なる変動域
- ・ 中央構造線沿いの変動域
- ・ 一部の伊豆半島、伊豆-小笠原弧背弧のリフト帯周辺
- ・ 沖縄トラフ周辺 等

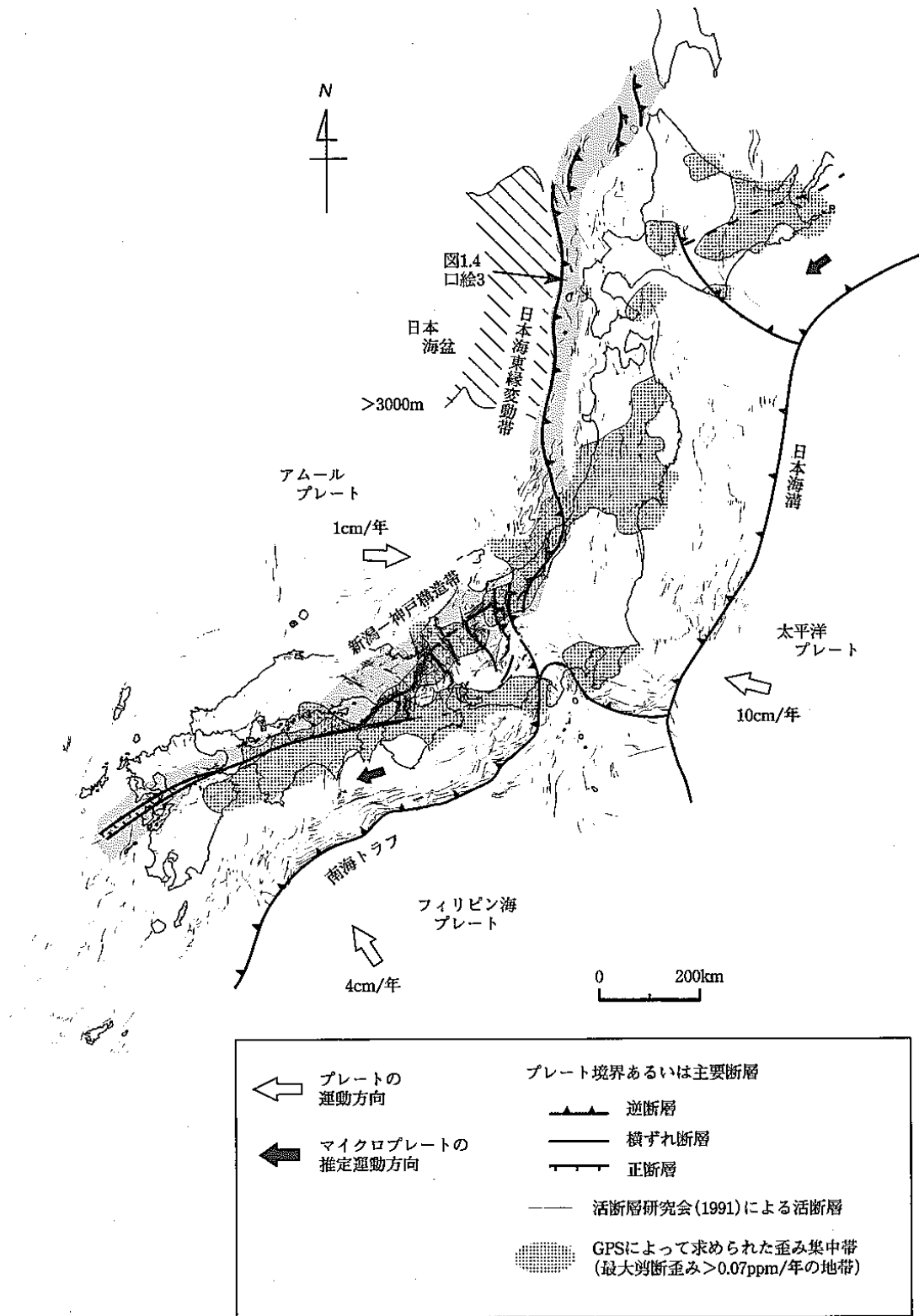


図 3.4.2-1 日本列島の活断層、最大せん断ひずみ速度及び主要変動帯 (出典：大竹ほか編, 2002)

活断層分布は、活断層研究会 (1991) に基づく。GPS より求められてひずみの大きい地帯は、地震予知総合研究振興会 (1999) の中の鷺谷原図に基づく。

### 3.4.3 3.4節の整理

本節では、地質環境の長期安定性に関連する自然現象の将来予測をするうえで、その基本的な考え方及び日本列島周辺のプレートシステム・広域的な造構応力状態の変遷について述べた。以下に、それらの記述内容を要約する。

- ① 地震等の自然現象に関し、将来における活動を予測する手法として、四つの手法（確率論による方法、外挿による方法、類推による方法、モデルによる方法）があるが、これらの手法のうち、長期的な予測に関しては、現状では過去の変動を検討し、その中から普遍性、法則性をみいだすことにより、過去の現象を将来へ外挿する方法が受け入れられている。
- ② 地震等の自然現象は、プレート配置やその運動等に関連して起こっており、日本列島周辺のプレートシステム及び広域的な造構応力状態については、次のことがわかっている。
  - ・ 日本列島周辺では、約 15Ma に背弧海盆の拡大が終了し、プレートシステムの基本的な枠組みが定まり、現在に至っている。
  - ・ 日本列島周辺の海洋プレートの運動方向は、太平洋プレートが約 2.5Ma 以降、フィリピン海プレートが約 1.5Ma 以降変化がなく、現在に至っている。
  - ・ プレート運動の変化（プレートの運動方向・運動速度、プレートの沈み込み角度等）をみると、日本海、千島海盆、四国海盆の拡大等は 15Ma 頃に終了した後、現在に至るまでプレート運動に大きな変化はなく、ほぼ定常状態に達している。
  - ・ プレートの運動の変化に要する時間は、100 年以上のオーダーであり、10 万年程度の短い期間で急激な変化は生じない。
  - ・ 現在の造構応力状態には地域性があるが、少なくとも過去数十万年以上にわたって、東西方向の圧縮状態で特徴付けられる地殻変動が継続している。
- ③ 以上に基つけば、日本列島を取り巻くプレート配置やプレート運動の方向と速度は、将来 10 万年程度は安定であると考えられ、たとえ変化があったとしても 10 万年程度では大きな変化がないことが予測され、今後 10 万年程度は現在と同様の造構応力状態が継続すると推定される。したがって、プレート運動に関連する地震等の自然現象については、外挿法により、過去数十万年程度の地質学的記録を基に、最終処分法で求められている将来数万年程度の予測が可能と考えられる。
- ④ なお、現在もテクトニクスが変化している可能性がある地域も存在するので、これらの地域については将来予測に関し、慎重な検討が必要である。

### 3.5 第3章のまとめ

本章では、地層処分の観点から必要となる日本列島の地質概要、地質学的な変動の時間スケールにおける日本列島の地質構造の変遷、地質環境の長期安定性に関連する主要な自然現象である、地震・断層活動、火山・火成活動、隆起・沈降、侵食等の特徴と、それらにかかわる将来予測の考え方について述べた。その内容は、以下のようにまとめられる。

- ① 日本列島の地質概要では、日本列島の地質を地層の時代、岩種に基づいて大きく八つに分類し（中・古生代の堆積岩、中・古生代の火成岩、中・古生代の変成岩、古第三紀の堆積岩、古第三紀の火成岩、新第三紀の堆積岩、新第三紀の火成岩、第四紀の堆積岩と火山岩）、それらの概要について述べた。また、日本に分布する岩石の地表付近での分布割合は、岩種別では堆積岩 56.10%、火成岩 40.05%、変成岩 3.85%、時代別では先新第三紀 42.13%、新第三紀 25.42%、第四紀 32.45%である。
- ② 日本列島における地質環境の長期安定性に関連する主要な自然現象である「地震・断層活動」、「火山・火成活動」、「隆起・沈降、侵食」、「気候変動・海水準変動」について、それらの特徴を取りまとめた結果、各自然現象の活動の中に一定の傾向や規則性をみいだすことができる。
- ③ 日本列島を取り巻くプレート配置やプレート運動の方向と速度は、将来 10 万年程度は安定であると考えられ、たとえ変化があったとしても 10 万年程度では大きな変化がないことが予測され、今後 10 万年程度は現在と同様の造構応力状態が継続すると推定される。したがって、プレート運動に関連する地震等の自然現象については、外挿法により、過去数十万年程度の地質学的記録を基に、最終処分法で求められている将来数万年程度の予測が可能と考えられる。

## 参考文献

- 阿部彩子・千喜良稔 (1999) : 過去 1 万年の気候はいかに変化したか, 科学, 69, 8, pp.697-705.
- Abe-Ouchi, A. (1993) : Ice sheet response to climate changes. A modelling approach., Züricher Geographische Schriften, 54.
- Aki, K. (1979) : Characterization of Barriers on an earthquake fault., J.Geophys.Res., 84, pp.6140-6148.
- 天野一男 (1991) : 棚倉断層に沿って発達する堆積盆, 構造地質, 36, pp.77-82.
- 栗田泰夫 (1988) : 東北日本弧中部内帯の短縮変動と太平洋プレートの運動, 月刊地球, 10, pp.586-591.
- 栗田泰夫・岡村行信・下川浩一 (1997) : 北海道・東北日本内帯のネオテクトニクスとプレート運動, 日本地震学会講演予稿集, 2, A29.
- Awata, Y. and Kakimi, T. (1985) : Quaternary Tectonics and Damaging Earthquakes in Northern Honshu, Japan, Earthq. Predict. Res., 3, pp.231-251.
- Behl, R.J. and Kennett, J.P. (1996) : Brief interstadial events in the Santa Barbara basin, NE Pacific, during the past 60 kyr., Nature, 379, pp.243-246.
- Chapman, M.E. and Solomon, S.C. (1976) : North American – Eurasian plate boundary in northeast Asia., J. Geophys.Res., 81, pp.921-930.
- 地質調査所編 (1995) : 100 万分の 1 日本地質図第 3 版 CD-ROM 版, 数値地質図 G-1, 地質調査所.
- Clague, D.A. and Dalrymple, G.B. (1987) : The Hawaiian-emperor volcanic chain, Part 1 Geologic evolution, USGS Prof. Pap., 1350, pp.5-54.
- Cox, A. and Engebretson, D. (1985) : Change in Motion of Pacific Plate at 5Mys BP., Nature, 313, pp.472-474.
- 第四紀火山カタログ委員会編 (1999) : 日本の第四紀火山カタログ v.1.0 (CD-ROM 版), 日本火山学会.
- 檀原 毅 (1971) : 日本における最近 70 年間の総括的上下変動, 測地学会, 17, pp.100-108.
- Damon, P.E. and Sonett, C.P. (1991) : Solar and terrestrial components of the atmospheric  $^{14}\text{C}$  variation spectrum, In Sonett, C.P., Giampapa, M.S. and Matthews, M.S. eds, The sun in time, The University of Arizona Press, Tucson, pp.360-388.

Dansgaard, W., Johnsen, S.J., Clausen, H.B., Dahl-Jensen, D., Gundestrup, N., Hammer, C.U. and Oeschger, H. (1984) : North Atlantic climatic oscillations revealed by deep Greenland ice cores, In Hansen, J.E. and Takahashi T. eds, Climate processes and climate sensitivity, American Geophysics Union, Washington, D.C., pp.288-298.

Davies, J.H. and Stevenson, D.J. (1992) : Physical model of source region of subduction zone volcanics., J. Geophys. Res., 97B, pp.2037-2070.

DeMets, C.R., Gordon, R.G., Argus, D. and Stein, S. (1994) : Current plate motion., Geophys. J. Inter., 101, pp.425-478.

土木学会原子力土木委員会地下環境部会編 (2001) : 概要調査地区選定時に考慮すべき地質環境に関する基本的考え方, 土木学会.

Eshelby, J.D. (1957) : The determination of the elastic field of an ellipsoidal inclusion, and related problems., Proc. Roy. Soc. Lond., A, 241, pp.376-396.

藤井敏嗣 (2002) : 地殻のつくり方, 川勝 均編, 地球ダイナミクスとトモグラフィー, 朝倉書店, pp.73-95.

藤田和夫 (1993) : 西南日本, とくに近畿トライアングルをめぐるネオテクトニクス, 日本の地質 100 年, 日本地質学会, pp.237-244.

藤原 治・三箇智二・大森博雄 (1999) : 日本列島における侵食速度の分布, サイクル機構技報, 5, pp.85-93.

古川雅英 (1991a) : 琉球弧のテクトニクスと西表島群発地震, 月刊地球, 13, pp.656-663.

古川雅英 (1991b) : 琉球弧と沖縄トラフの発達史, 地学雑誌, 100, pp.552-564.

Furukawa, Y. (1993) : Magmatic processes under arcs and formation of the volcanic front., J. Geophys. Res., 98B, pp.8309-8319.

原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会 (1997) : 高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発等の今後の進め方について.

Gill, J.B. (1981) : Orogenic Andesites and Plate Tectonics., Springer-Verlag.

浜野洋三・当舎利行 (1985) : 東北日本の運動と古地磁気学, 科学, 55, 8, pp.476-483.



林信太郎・梅田浩司・伴 雅雄・佐々木実・山本正継・大場 司・赤石和幸・大口建志 (1996) : 東北日本, 第四紀火山の時空分布 (1) - 背弧側への火山活動域の拡大 -, 1996 年日本火山学会講演予稿集, 2, pp.88.

広岡公夫 (1989) : 中新世の中・東日本の古地磁気, 月刊地球, 11, 9, pp.539-543.

弘瀬冬樹・中村綾子・中島淳一・長谷川 昭 (2002) : 東北日本弧下のマグマの供給源の分布 - b 値と S 波速度から推定される島弧走向方向の変化 -, 火山, 47, pp.475-480.

広瀬 亘・中川光弘 (1999) : 北海道中央部～東部の新第三紀火山活動 : 火山学的データ及び全岩化学組成からみた島弧火山活動の成立と変遷, 地質学雑誌, 105, 4, pp.247-265.

IUGS (2000) : International Stratigraphic Chart.

Ichikawa, K. (1980) : Geohistory of the median tectonic line of southwest Japan, *Memoirs of the geological society of Japan*, 28, pp.187-212.

Ide, S. and Takeo, M. (1997) : Determination of constitutive relations of fault slip based on seismic wave analysis., *J.Geophys.Res.*, 102, pp.27379-27391.

池田安隆・東郷正美・今泉俊文・佐藤比呂志・平川一臣 (1997) : 北海道の主要活断層の高精度マッピングとアクティブ・テクトニクスに関する新知見, 日本地震学会講演予稿集.

今村明恒 (1930) : 四国南部の急性的並に慢性的地形変動に就いて, 地震 I, 6, pp.535-540.

Imbrie, J., Boyle, E.A., Clemens, S.C., Duffy, A., Howard, W.R., Kukla, G., Kutzbach, J., Martinson, D.G., McIntire, A., Mix, A.C., Molfino, B., Morley, J.J., Peterson, L.C., Pisias, N.G., Prell, W.L., Raymo, M.E., Shackleton, N.J. and Togweiler, J.R. (1993) : On the structure and origin of major glaciation cycle. 2. The 100,000-year cycle., *Paleoceanography*, 8, pp.699-735.

Imbrie, J., Hays, J.D., Martinson, D.G., McIntire, A., Mix, A.C., Morley, J.J., Pisias, N.G., Prell, W.L. and Shackleton, N.J. (1984) : The orbital theory of Pleistocene climate: Support from a revised chronology of the marine  $18 \delta$  record., Berger A.L. et al. (eds.), *Milankovitch and Climate, Part I*, pp.269-305.

Inoue, D., Miyakoshi, K., Nakanishi, H. and Tanaka, T. (2001) : Return Period of Active Faults and Tectonics of Japan., *Proceedings of the 3rd Asian Symposium on Engineering Geology and Environment, Yogyakarta, Sept. 3-6, 2001*, pp.2237-2248.

石田瑞穂 (1991) : 日本列島の地震—地質工学と地震地体構造, 荻原尊礼編, 鹿島出版会, pp.57-85.

石塚 治・宇都浩三・湯浅真人・Alfred Hchstaedter (1999) : 伊豆小笠原弧背弧地域の火成活動史 リフティングに伴う火成活動の変化, 月刊地球 (号外), 23, pp.89-98.

伊藤谷生・狩野謙一・上杉 陽・小坂和夫 (1986) : 最近 100 万年間における足柄～大磯地域のテクトニクス変遷とプレート運動, 月刊地球, 8, 12, pp.D740-742.

伊藤康人・荒戸裕之 (1999) : 日本海南部における鮮新世以降の応力場変遷, 地質ニュース, 541, pp.25-31.

Ito, T., Kano, K., Uesugi, Y., Kosaka, K. and Chiba T. (1989) : Tectonic evolution along the northernmost border of the Philippine Sea plate since about 1 Ma, *Tectonophys.*, 160, pp.305-326.

Iwamori, H. (1992) : Degree of melting and source composition of Cenozoic basalts in Southwest Japan; evidence for mantle upwelling by flux melting., *J. Geophys. Res.*, B97, pp.10983-10955.

Jackson, E.D., Shaw, H.R. and Barger, K.E. (1975) : Calculated Geochronology and Stress Field Orientations along the Hawaiian Chain, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 26, pp.145-155.

地震予知総合研究振興会 (1999) : 日本海東縁部における地震発生ポテンシャル評価に関する総合的検討, 平成 10 年研究成果報告書.

Jolivet, L., Tamaki, K. and Fournier, M. (1994) : Japan Sea, Opening history and mechanism: A synthesis., *J. Geophys. Res.*, 99, pp.22237-22259.

海洋科学技術センター固体地球研究フロンティア研究システム (2002) : 火山帯の起源となるマントル内の指状の高温領域の存在について－火山帯成因「熱い指」－, 海洋科学技術センターニュース なつしま, No.199.

貝塚爽平 (1969) : 変化する地形－地殻変動と海面変化と気候変化の中で－, *科学*, 39, pp.11-19.

貝塚爽平・鎮西清高・小疇 尚・五百沢智也, 松田時彦・藤田和夫 (1995) : 新版日本の山, 岩波書店.

角縁 進・永尾隆志・長尾敬介 (2000) : 阿武単成火山群の K-Ar 年代とマグマ活動史, *岩石鉱物科学*, 29, 5, pp.191-198.

核燃料サイクル開発機構 (1999) : わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性－地層処分研究開発第 2 次取りまとめ－.

鎌田浩毅 (1999) : 西南日本弧と琉球弧の会合部に見られる 6Ma と 2Ma の広域テクトニクス転換の重要性, 月刊地球, 21, 10, pp.630-636.

鎌田浩毅・星住英夫・小屋口剛博 (1988) : 中部九州—中国地方西部の火山フロントの形成年代, 月刊地球, 10, 9, pp.568-574.

Kamata, K. and Kodama, K. (1999) : Volcanic history and tectonics of the Southwest Japan Arc, Island Arc, 8, 3, pp393-403.

加茂幸介・西 潔・井口正人・吉沢 保・寺石真弘・鍵山恒臣・山口 勝・高木章雄・角田寿喜・小野博尉・須藤靖明・松尾訓道・清水 洋 (1990) : 九州地域における震源の高精度決定—大学観測網における震源の検討—, 地震, 43, pp.543-545.

Kanamori, H. and Anderson, D.L. (1975) : Theoretical basis of some empirical relations in seismology., Bull. Seism. Soc. Am., 65, pp.1073-1095.

鹿野和彦・加藤碩一・柳沢幸夫・吉田史郎 (1991) : 日本の新生界層序と地史, 地質調査所報告, 274.

春日 茂・小原泰彦・沖野郷子 (1999) : 背弧海盆拡大の新しい視点, 月刊地球 (号外), 23, pp.123-132.

加藤碩一 (1989) : 地震と活断層の科学, 朝倉書店.

加藤照之・津村建四郎 (1979) : 潮位記録から推定される日本の垂直地殻変動, 地震研彙報, 54, pp.559-628.

Kato, T., El-Fiky, G.S., Oware, E.N. and Miyazaki, S. (1998) : Crustal strains in the Japanese islands as deduced from dense GPS array., Geophysical Research Letters, 25, 18, pp.3445-3448.

活断層研究会編 (1991) : 新編 日本の活断層—分布図と資料, 東京大学出版会.

川上紳一 (1995) : 地球システムの変動とその原因—気候を例として, 縞々学, 東京大学出版会, pp.63-124.

建設省国土地理院 (1998) : 空中写真判読による活断層の判読法—判読基準カード集—, 国土地理院技術資料, D・1-No.329.

菊地正幸 (1991) : 震源過程の微細構造, 地震, 44, pp.301-314.

菊地正幸 (2003) : リアルタイム地震学, 東京大学出版会.

- 木村 学 (1981) : 千島弧南西端付近のテクトニクスと造構応力場, 地質学雑誌, 87, pp.757-76.
- 木村 学 (1993) : 北海道の新生代テクトニクス, 日本の地質学 100 年, 日本地質学会, pp.220-225.
- 木村 学 (2002) : プレート収束帯のテクトニクス学, 東京大学出版会.
- 木村 学・木川栄一・玉木賢策 (1986) : アムールプレートと日本列島—50 万年以降のアジア大陸東部—, 月刊地球, 8, pp.716-724.
- 木村 学・楠 香織 (1997) : 日高造山運動と島弧会合部のテクトニクス, 地質学論集, 47, pp.295-235.
- 木村政昭 (1990) : 沖縄トラフの発生と形成, 地質学論集, 34, pp.77-88.
- 木村政昭・Wang Yugang・八木秀憲 (1999) : 琉球弧海域の海底地質構造及び発達史, 地質ニュース, 542, pp.24-38.
- 木村敏雄・速水 格・吉田鎮男 (1993) : 日本の地質, 東京大学出版会.
- Kimura, G and Tamaki, K. (1986) : Collision, rotation and back arc spreading: the case of the Okhotsk and Japan Seas., *Tectonics*, 5, pp.389-401.
- Kimura, G, Miyashita, S. and Miyasaka, S. (1983) : Collision Tectonics in Hokkaido and Sakhalin, *Accretion Tectonics in the Circum-Pacific Regions*, edited by Hashimoto, M. and Uyeda, S., pp.123-134.
- Kimura, G (1996) : Collision Orogeny at Arc-arc Junctions in the Japanese Islands, *Island Arc*, 5, pp.262-275.
- Knopoff, L. (1958) : Energy release in earthquakes., *Geophys. J.*, 1, pp.44-52.
- 小林国夫・坂口 豊 (1982) : 氷河時代, 岩波書店.
- 小林洋二 (1983) : プレート “沈み込み” の始まり, 月刊地球, 5, 9, pp.510-514.
- 小池一之・町田 洋編 (2001) : 日本の海成段丘アトラス, 東京大学出版会.
- 小松正幸・榊原正幸・福沢仁之・豊島剛志 (1990) : 千島海盆の拡大と日高変成帯の構造運動, 月刊地球, 12, 8, pp.501-506.
- 小山真人 (1993) : 伊豆半島の火山とテクトニクス, *科学*, 63, pp.312-321.
- 久家慶子 (2000) : 現代の地震観, 岡田恒夫・土岐憲三編, 地震防災の事典, 朝倉書店, pp.22-51.

熊澤峰夫・伊東孝士・吉田茂生編（2002）：全地球史解説，東京大学出版会。

Kuno, H. (1960) : High-alumina basalt, *J. Petrol.*, 1, pp.121-145.

Kuno, H. (1966) : Lateral variation of basalt magma type across continental margins and island arcs., *Bull. Volcanol.*, 29, pp.195-222.

倉沢 一 (1963) : 中国地方西部火山岩類の化学的性質 (大山火山帯), *地調月報*, 16, pp.217-226.

京都市 (1998) : 京都盆地-奈良盆地断層帯に関する調査, 科学技術庁, 第2回活断層調査成果報告会予稿集, pp.143-152.

Lay, T., Kanamori, H. and Ruff, L. (1982) : The asperity model and the nature of large subduction zone earthquake., *Earthquake Prediction Res.*, 1, pp.3-71.

Macdonald, G.A. and Katsura, T. (1964) : Chemical composition of Hawaiian lavas., *J. Petrol.*, 5, pp.82-133.

前田仁一郎 (1987) : 日高帯火成活動帯の形成と千島海盆の拡大及びユーラシア・北米プレートの衝突, *地団研専報*, 31, pp.459-474.

丸山茂徳 (1984) : 北米・ユーラシアプレート境界の歴史, *月刊地球*, 6, pp.29-37.

丸山茂徳・磯崎行雄 (1998) : 生命と地球の歴史, 岩波新書.

丸山茂徳・瀬野徹三 (1985) : 日本列島周辺のプレート相対運動と造山運動, *科学*, 55, pp.32-41.

増田富士雄 (1984) : プレート運動が支配する堆積盆の消長, *鉱山地質*, 34, 1, pp.1-20.

増田耕一 (1993) : 氷期・間氷期サイクルと地球の軌道要素, *気象研究ノート*, 177, pp.223-248.

増田耕一・阿部彩子 (1996) : 第四紀の気候変動, 岩波講座地球惑星科学 11 気候変動論, 岩波書店, pp.103-156.

松原幸夫 (1980) : 伊豆半島とフィリピン海プレート, *月刊地球*, 2, pp.157-163.

松田時彦 (1989) : 南部ファッサマグナ多重衝突説の意味, *月刊地球*, 11, 9, pp.522-525.

松田時彦 (1990) : 最大地震規模による日本列島の地震分帯図, *地震研究所彙報*, 65, pp.289-319.

松田時彦 (1992) : 動く大地を読む, 岩波書店.

松田時彦・吉川真季 (2001) : 陸域の  $M \geq 5$  地震と活断層の分布関係—断層と地震の分布関係—その2, 活断層研究, 20, pp.1-22.

松井和典 (1990) : 小値賀島及び肥前平島地域の地質, 地域地質研究報告 5 万分の 1 地質図幅, 地質調査所.

Mibe, K., Fujii, T. and Yasuda, A. (1999) : Control of the location of the volcanic front in island arcs by aqueous fluid connectivity in the mantle wedge., Nature, 401, pp.259-262.

宮坂省吾 (1987) : 衝突帯における山地形成—日高山脈の上昇史—, 松井兪教授記念論文集, pp.195-202.

Miyashiro A. (1986) : Hot Regions and the origin of marginal Basins in the Western Pacific, Tectonophysics, 122, 3/4, pp.195-216.

宮崎洋三・大西外明 (1994) : 貯水池堆砂量の経年変化と比堆砂量に関する考察, 土木学会論文集, 497, pp.81-90.

森田澄人・石塚治・Alfred Hochstaedter・石井輝秋・山本富士夫・徳山英一・平朝彦 (1999) : 北部伊豆・小笠原弧の火山及び構造の発達史, 月刊地球 (号外), 23, pp.79-88.

森田澄人・青池 寛・徳山英一・平 朝彦 (2000) : 伊豆・小笠原島弧北端部—複合テクトニクス領域と火山及び地震活動—, 月刊地球, 22, pp.813-821.

守屋以智雄 (1998) : 沈み込み帯の火山の多様性, マグマと地球, クバプロ, pp.68-81.

森谷武男 (1999) : 北海道とその周辺における地震のメカニズム解から推定される地殻内部応力場, 月刊地球, 21, 9, pp.557-564.

森谷武男・宮町宏樹・Oguz Ozel・Nurcan Ozel・岩崎貴哉・笠原 稔 (1997) : 日高山脈の地下構造と地震テクトニクス, 構造地質, 42, pp.15-30.

村田泰章・鹿野和彦 (1995) : 「100 万分の 1 日本地質図第 3 版 CD-ROM 版」から求めた日本列島を構成する岩石の分布面積, 地質ニュース, 493, pp.26-29.

NRC (1995) : Technical basis for Yucca Mountain standards, National Academy Press.

中川光弘・丸山裕則・船山 淳 (1995) : 北海道第四紀火山の分布と主成分化学組成の広域変化, 火山, 40, pp.13-32.

中川光弘・霜鳥 洋・吉田武義 (1986) : 青麻一恐火山列 : 東北日本弧火山フロント, 岩石鉱物鉱床学会誌, 81, 12, pp.471-478.

中村一明 (1983) : 日本海東縁新生海溝の可能性, 地震研究所彙報, 58, pp.711-722.

Nakamura, K. (1977) : Volcanoes as possible indicators of tectonic stress orientation-principle and proposal, J. Volcanol. Geotherm. Res., 2, pp.1-16.

Nakanishi, I., Suyehiro, K. and Yokota T. (1981) : Regional variations of amplitudes of ScSp phases observed in the Japanese Islands., Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, 67, 3, pp.615-634.

中田 高・今泉俊文編 (2002) : 「活断層詳細デジタルマップ」付図 200 万分の 1 日本列島活断層図, 東京大学出版会.

成瀬 洋 (1988a) : 日本の第四紀盆地の 1MaBP 以降の沈降量, 大阪経済大学教養部紀要, 6, pp.44-65.

成瀬 洋 (1988b) : 氷期と間氷期, 杉村 新・中村保夫・井田喜明編, 図説地球科学, 岩波書店, pp.118-125.

成瀬 洋 (1989) : 日本の第四紀盆地の盆地運動, 大阪経済大学教養部紀要, 7, pp.127-149.

成瀬 洋 (1990) : 日本の第四紀盆地の形成と変遷, 大阪経済大学教養部紀要, 8, pp.70-85.

日本列島の地質編集委員会編 (1996) : 理科年表読本コンピュータグラフィックス日本列島の地質, 丸善株式会社.

西村 昭・湯浅真人 (1991) : 伊豆・小笠原弧のスミスリフトー海洋性島弧における背弧リフト形成の一例, 地球科学, 45, pp.333-344.

新妻信明 (1985) : 変動している日本列島 新第三紀テクトニクスとプレート沈み込み, 科学, 55, 1, pp.53-61.

大場 司・梅田浩司 (1999) : 八幡平火山群の地質とマグマ組成の時間ー空間変化, 岩石鉱物鉱床学会誌, 94, pp.187-202.

大口健志・吉田武義・大上和良 (1989) : 東北本州弧における新生代火山活動域の変遷, 地質学論集, 新生代東北本州弧のジオテクトニクス, 32, pp.431-455.

Ohmori, H. (1978) : Relief structure of the Japanese mountains and their stages in geomorphic development., Bull. Dep. Geogr. Univ. Tokyo, 10, pp.31-85.

Ohmori, H. (1987) : Mean Quaternary uplift rates in the central Japanese mountains estimated by means of geomorphological analysis, Bull. Dept. Geogr. Univ. Tokyo, 19, pp.29-36.

大中康譽・松浦充宏 (2002) : 地震発生の物理学, 東京大学出版会.

生出慶司・中川久夫・蟹沢聡史編 (1989) : 構造発達史の概要と諸問題, 日本の地質 2 『東北地方』, 共立出版, pp.235-252.

大分県 (2001) : 別府一万山断層帯に関する調査, 文部科学省, 2001 年活断層調査成果及び堆積平野地下構造調査成果報告会予稿集, pp.205-214.

岡 孝雄 (1997) : 北海道とその周辺海域のネオテクトニクスに関する諸問題 付, 札幌付近での活断層の存在と地震発生についての考察, 加藤誠教授退官記念論文集, pp.427-429.

岡 孝雄 (1999) : 北海道付近のネオテクトニクス像 特にネオテクトニクスの地域区分と特徴, 月刊地球, 21, 9, pp.549-556.

岡田篤正 (1986) : 中部日本の活断層とプレート境界問題, 月刊地球, 8, 12, pp.756-762.

岡村行信・倉本真一・佐藤幹夫 (1998) : 日本海東縁海域の活構造及びその地震との関係, 地質調査所月報, 49, pp.1-18.

岡村行信 (1988) : 海山の沈み込みとフィリピン海プレートのかつての沈み込み方向, 月刊地球, 10, 10, pp.603-607.

岡村行信 (1990) : 四国沖の海底地質構造と西南日本外帯の第四紀地殻変動, 地質学雑誌, 96, pp.223-237.

Okamura, Y., Watanabe, M., Morijiri, R. and Satoh M. (1995) : Rifting and Basin inversion in the eastern margin of the Japan Sea., Island Arc, 4, pp.166-181.

沖野郷子・春日 茂・小原泰彦 (1998) : Aep006 パレスベラ (沖の鳥島) 海盆の形成過程, 地球惑星科学関連学会, 1998 年合同大会予稿集, pp.35.

Okino, K., Kasuga, S. and Ohara, Y. (1998) : A New Scenario of the Parece Vela Basin Genesis, Marine Geophysical Researches, 20, 1, pp.21-40.

Ota, Y. and Omura, A. (1992) : Late Quaternary Shorelines in the Japanese Islands., Ota, Y., Koike, K., Omura, A. and Miyauchi, T. eds, Last Interglacial Shoreline Map of Japan, 国土地図株式会社, pp.3-14.



大竹政和・平 朝彦・太田陽子編 (2002) : 日本海東縁の活断層と地震テクトニクス, 東京大学出版会.

Otofuji, Y., Itaya, T. and Masuda, T. (1991) : Rapid Rotation of Southwest Japan-Paleomagnetism and K-Ar Ages of Miocene Volcanic Rocks of Southwest Japan, *Geophys. Jour. int.*, 105, pp.397-405.

Otofuji, Y., Matsuda, T. and Noda, S. (1985) : Paleomagnetic Evidence for the Miocene Counter-clockwise Rotation of Northeast Japan-Rifting Process of the Japan Arc, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 75, pp.265-277.

Pollitz, F.F. (1986) : Pliocene change in Pacific-plate motion., *Nature*, 320, pp.738-741.

鷺谷 威 (2002) : 明治期以降のひずみ集中帯, 大竹政和・平 朝彦・太田陽子編, 日本海東縁の活断層と地震テクトニクス, 東京大学出版会, pp.133-150.

Sagiya, T., Miyazaki, S. and Tada, T. (2000) : Continuous GPS array and present-day crustal deformation of Japan., *Pur. Appl. Geophys.*, 157, pp.2302-2322.

Sakuyama, M. (1983) : Petrology of Arc Volcanic Rocks and Their Origin by Mantle Diapirs., *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 29, pp.413-415.

寒川 旭 (1977) : 紀ノ川中流域の地形発達と地殻運動, *地理学評論*, 52, pp.578-595.

寒川 旭 (1986) : 近畿中央部の新規地殻運動, *月刊地球*, 8, pp.752-755.

寒川 旭 (1998) : 考古遺跡にみる地震と液状化の歴史, *科学*, 68, pp.20-24.

佐藤比呂志 (1992) : 東北日本中部地域の後期新生代テクトニクス, *地質調査所月報*, 43, 1/2, pp.119-139.

佐藤比呂志・池田安隆 (1999) : 東北日本の主要断層モデル, *月刊地球*, 21, pp.569-575.

佐藤良輔編 (1989) : 日本の地震断層パラメーター・ハンドブック, 鹿島出版会.

佐藤稔紀・石丸恒存・杉原弘造・清水和彦 (1992) : 文献調査による我が国の岩石の物理的特性に関するデータの収集, PNC TN7410 92-018.

Sato, H. (1994) : The Relationship between Late Cenozoic Tectonic Events and Stress Field and Basin Development in Northeast Japan., *J. Geophys. Res.*, 99, pp.22261-22274.

沢村武雄 (1951a) : 南海大地震と地殻運動, 高知大学研究報告 (自然科学), 1, pp.20-33.

沢村武雄 (1951b) : 南海地震に伴った四国の地盤変動に対する一考察, 地学雑誌, 60, pp.190-194.

沢村武雄 (1953) : 西南日本外側地震帯の活動と四国及びその附近の地質, 地殻運動との関係, 高知大学学術研究報告, 2, 15.

沢村武雄 (1954) : 続, 西南日本外側地震帯の活動と四国及びその附近の地質, 地殻運動との関係. I. 南海スラストと南海大地震の初動分布について, 高知大学学術研究報告, 3, 19.

Schwartz, D.P., and Coppersmith, K.J. (1984) : Fault behavior and characteristic earthquake-Examples from the Wasatch and San Andreas Fault zone. J. Geophys. Res, 89, pp.5681-5698.

瀬野徹三 (1984) : 日本列島の成立, 現代思想, 12, pp.197-207.

瀬野徹三 (1986) : 日本の中期更新世—50 万年前に何が起こったのか?—, 月刊地球, 8, pp.708-715.

瀬野徹三 (1990a) : リフティングの原動力, 月刊地球, 12, 11, pp.648-653.

瀬野徹三 (1990b) : リフティングの原動力について, 地震学会講演予稿集, 2, pp.176.

瀬野徹三 (1995) : プレートテクトニクスの基礎, 朝倉書店.

Seno, T. and Maruyama, S. (1984) : Paleomagnetic Reconstruction and Origin of the Philippine Sea, Tectonophysics, 102, pp.53-84.

Seno, T., Sakurai, T. and Stein, S. (1996) : Can the Okhotsk plate be discriminated from the North American plate?, J. Geophys. Res., 101, B5, pp.11305-11315.

Seno, T. (1977) : The instantaneous rotation vector of the Philippine Sea plate relative to the Eurasian plate, Tectonophysics, 42, pp.209-226.

Seno, T. (2000) : Why the Philippine Sea plate moves as it does, J. Geol. Soc. Phil., 55, pp.105-117.

島崎邦彦・松田時彦 (1994) : 地震と断層, 東京大学出版会.

清水和彦・瀬尾俊弘・吉田英一 (2001) : 高レベル放射性廃棄物の地層処分と我が国の地質環境, 資源と素材, 117, 775-784.

清水 智・板谷徹丸 (1988) : 中部地方の鮮新世以降の火山活動からみたフィリピン海プレートの運動方向の変換時期, 月刊地球, 10, 9, pp.581-585.

塩野清治 (1975) : プレートの形—伊豆半島から九州まで—, 東海沖地震, pp.45-49, ([東海沖地震]に関する研究討論会).

総合資源エネルギー調査会原子力部会高レベル放射性廃棄物処分専門委員会技術ワーキング・グループ (2002) : 「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」における処分地選定プロセス及び技術ワーキング・グループの当面の検討の進め方について (案).

総理府地震調査研究推進本部地震調査委員会編 (1999) : 日本の地震活動—被害地震から見た地域別の特徴—<追補版>, 財団法人地震予知総合研究振興会.

Starr, A.T. (1928) : Slip in a crystal and rupture in a solid due to shear, Proc. Camb. Phil. Soc., 24, pp.489-500.

杉村 新 (1958) : “七島—東北日本—千島” 活動帯, 地球科学, 37, pp.34-39.

Sugimura, A. (1960) : Zonal arrangement of some geophysical and petrological features in Japan and its environs., J. Fac. Sci. Univ. Tokyo, Sec. 2, 12, pp.133-153.

杉山雄一 (1991) : 第二瀬戸内海の右横ずれ沈降盆地—大規模横ずれ断層の活動領域移動に伴う沈降盆地の変遷モデル—, 構造地質, 36, pp.99-108.

杉山雄一 (1992) : 西南日本前弧域の新生代テクトニクス—静岡地域のデータを中心にして, 地質調査所月報, 43, pp.91-112.

杉山雄一 (2001) : 活断層調査法, 加藤碩一・脇田浩二総編集, 地質学ハンドブック, pp.330-402.

杉山雄一・寒川 旭・田村栄治・露口耕治・藤川 聡・長谷川修一・伊藤 孝・興津昌宏 (2001) : 長尾断層 (香川県高松市南方) の活動履歴—三木町氷上宮下におけるトレンチ調査結果—, 活断層・古地震研究報告, pp.175-198.

住 明正 (1996) : 気候の形成, 岩波講座地球惑星科学 11 気候変動論, 岩波書店, pp.1-32.

多田隆治 (1997) : ダンスガード・サイクル, 月刊地球, 67, pp.597-605.

多田隆治 (1998) : 数百年—数千年スケールの急激な気候変動—Dansgaard-Oeschger Cycle に対する地球システムの応答—, 地学雑誌, 107, pp.218-233.

多田 堯・鷺谷 威・宮崎真一 (1997) : GPS でみた変動する日本列島, 科学, 67, 12, pp.917-924.

平 朝彦 (2000) : 日本海の形成と列島の成立, 日本列島の誕生 [第 19 刷], 岩波書店.

平 朝彦 (2002) : 日本海東縁の変動と日本列島のテクトニクス, 日本海東縁の活断層とテクトニクス, 東京大学出版会, pp.3-15.

田近英一 (2002) : ウィルソンサイクルと気候変動, 熊沢峰夫・伊藤孝士・吉田茂生編, 全地球史解説, 東京大学出版会, pp.286-291.

高木俊男・柳田 誠・藤原 治・小澤昭男 (1999) : 河岸段丘から推定した河床高度変化の歴史, 地学雑誌, 108, pp.203-215.

高橋栄一・高橋正樹 (1995) : 何が島弧火山の深部構造を決めるか, 科学, 65, 10, pp.638-647.

高橋正樹 (1994) : 複成火山の構造と地殻応力場. 1. 火道安定型・不安定型火山, 火山, 39, pp.191-206.

高橋正樹 (1997) : 日本列島第四紀島弧火山における地殻内浅部マグマ供給システムの構造, 火山, 42, pp.S175-S187.

高橋正樹 (2000) : 島弧・マグマ・テクトニクス, 東京大学出版会.

高橋正樹・小林哲夫編 (1998a) : 関東甲信越の火山 I, 築地書館.

高橋正樹・小林哲夫編 (1998b) : 北海道の火山, 築地書館.

Takahashi, M., Hoshi, H. and Yamamoto, T. (1999) : Miocene counterclockwise rotation of the Abukuma Mountains, Northeast Japan, Tectonophysics, 306, 1, pp.19-31.

Takahashi, M. (1994) : Miocene Lateral Bending of Central Japan -Intra-arc Deformation at Arc-arc Collision Zone-, Bull. Geol. Surv. Japan, 45, pp.477-495.

高山茂美 (1996) : 侵食基準面, 地学団体研究会編, 地学事典, 平凡社, pp.617.

竹村恵二 (1999) : 西南日本の鮮新世以降のテクトニクスー近畿地域の盆地形成と関連して, 月刊地球, 21, pp.649-652.

竹内 章 (1999) : 北信越地区における鮮新世以降の応力場とテクトニクスの変遷, 月刊地球, 21, pp.583-588.

Tamaki, K., Suyehiro, K., Allan, J., Ingle, J.C.Jr. and Pisciotto, K.A. (1992) : Tectonic Synthesis and Implications of Japan Sea ODP Drilling, Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, Part 2, Leg 127 Sites 794-797, Japan Sea, Leg 128 Sites 797, 798-799, Japan Sea, 127/128, 2, pp.1333-1348.

Tamaki, K. (1988) : Geological structure of the Japan Sea and its tectonic implications, *Bull. Geol. Surv. Japan*, 39, 5, pp.269-365.

Tamura, Y., Tatsumi, Y., Zhao, D., Kido, Y. and Shukuno, H. (2002) : Hot fingers in the mantle wedge: new insights into magma genesis in subduction zones., *Earth Planet. Sci. Lett.*, 197, pp.105-116.

Tarduno, J.A. and Cottrell, R.D. (2002) : Bends in hotspot tracks as recorders of mantle flow., *Cite abstracts as Eos Trans. AGU*, 83(47), Fall Meet. Suppl., Abstract T61C-11.

巽 好幸 (1995) : 沈み込み帯のマグマ学, 東京大学出版会.

Tatsumi, Y., Sakuyama, M., Fukuyama, H. and Kushiro, I. (1983) : Generation of arc basalt magmas and thermal structure of the mantle wedge in subduction zones., *J. Geophys. Res.*, 88B, pp.5815-5825.

Taylor, B., Klaus, A., Glenn, R.B., Moore, G.F., Okumura, Y., and Murakami, F. (1991) : Structural Development of Sumisu Rift, Izu-Bonin Arc, *J. Geophys. Res.*, 96, pp.16113-16129.

徳山英一・森田澄人・徐 垣・芦寿一郎・倉本真一 (1999) : 伊豆・小笠原弧北域及び伊豆衝突帯の構造発達史, *地質ニュース*, 543, pp.15-23.

徳山英一・本座英一・木村政昭・蔵本真一・芦寿一郎・岡村行信・荒戸裕之・伊東康人・徐 垣・日野亮太・野原 壯・阿部寛信・坂井眞一・向山健二郎 (2001) : 日本周辺海域の中新世最末期以降の地質構造発達史, *海洋調査技術*, 13, 1, pp.27-53.

鳥居雅之・林田 明・乙藤洋一郎 (1985) : 西南日本の回転と日本海の誕生, *科学*, 55, 1, pp.47-52.

上田誠也・玉木賢策・久城育夫 (1983) : フィリピン海東縁部のテクトニクス, *科学*, 53, pp.439-447.

梅田浩司・林信太郎・伴 雅雄・佐々木実・大場 司・赤石和幸 (1999), 東北日本, 火山フロント付近の 2.0Ma 以降の火山活動とテクトニクスの推移, *火山*, 44, pp.233-249.

梅田浩司・中司 昇・湯佐泰久 (1998) : 地質環境の長期安定性 : 火山活動について, 日本原子力学会 1998 年秋の大会, pp.829.

宇都浩三 (1995) : 火山と年代測定-K-Ar,  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  年代測定の現状と将来, *火山*, 40, pp.S27-S46.

宇都浩三・小屋口剛博 (1987) : 西南日本, 阿武単成火山群中のアルカリ玄武岩の K-Ar 年代, *火山*, 32, pp.263-267.

宇津徳治 (1984) : 地震学 第 2 版, 共立出版.

渡辺 寧 (1986) : 鈳脈の方向から推定された広域応力場—北海道における中期中新世以降の鈳脈の例—, 鈳山地質, 36, 3, pp.209-218.

Wei, D. and Seno, T. (1998) : Determination of the Amurian Plate motion., in: Mantle Dynamics and Plate Interactions in East Asia (ed. by Flower M. et al.) .Geodynam. Series, 27, pp.337-346.

山北 聡・大藤 茂 (1999) : 日本海形成前の日本とロシア沿海州との地質学的連続性, 富山大学環日本海地域研究センター研究年報, XXIV, pp.1-16.

山北 聡・大藤 茂 (2000) : 白亜紀左横すべり断層系としての中央構造線—黒瀬川断層系による日本列島先白亜紀地質体の再配列仮定の復元, 地質学論集, 56, pp.23-38.

山中佳子・宮武 隆・平原和朗 (1992) : 日本付近の3次元 S 波速度構造—沈み込むスラブの形状について—, 東京大学地震研究所彙報, 67, 3, pp.265-302.

山下 昇編 (1995) : 中期岩相 フォッサマグナの発生と発展, フォッサマグナ, 東海大学出版会, pp.57-96.

山崎文人・大井田徹 (1985) : 中部日本におけるフィリピン海プレート沈み込みの形状, 地震, 38, pp.193-201.

横瀬久芳・菊池 航・長尾敬介, 小玉一人 (1998) : 九州南西部矢筈岳火山岩類の K-Ar 年代, 岩石鈳物鈳床学会誌, 93, pp.151-161.

横山 泉・荒牧重雄・中村一明編 (1979) : 火山, 地球科学, 7, 岩波書店.

吉田武義・村田 守・山路 敦 (1993) : 石鎚コールドロンの形成と中新世テクトニクス, 地質学論集, 42, pp.297-349.

吉田武義・大口健志・阿部智彦 (1995) : 新生代東北本州弧の地殻・マントル構造とマグマ起源物質の変遷, 地質学論集, 44, pp.263-308.

吉田鎮男・高橋晋 (2004) : 日本近海の中新世以降のプレート運動史, 月刊地球, 26, 6, pp.349-355.

Yoshida, S., Koketsu, K., Shibasaki, B., Sagiya, T., Kato, T. and Yoshida, Y. (1996) : Joint Inversion of Near- and Far-field Waveforms and Geodetic Data for the Rupture Process of the 1995 Kobe Earthquake., J. Phys. Earth, 44, 5, pp.437-454.

Yoshikawa, T. (1974) : Denudation and tectonic movement in contemporary Japan., Bull. Dept. Geogr. Univ. Tokyo, 6, pp.1-14.

吉山 昭・柳田 誠 (1995) :河成地形面の比高分布からみた地殻変動, 地学雑誌, 104, pp.809-826.

湯浅真人 (1991) :伊豆・小笠原弧の地学現象にみられる南北対立はなぜ生じたか, 地学雑誌, 100, pp.458-463.

趙 大鵬・越智富美子・浅森浩一 (1999) :西南日本の深部構造と地震・火山との関係, 月刊地球, 21, pp.205-211.

## 第4章

### 考慮事項の設定と適用



## 第4章 考慮事項の設定と適用

### 4.1 考慮事項設定の基本方針

最終処分は、公共性が高く、長期にわたる事業であるという特徴から、事業に対する信頼なくしては円滑な推進はありえないと考える。信頼構築のためには、原環機構が行うサイト選定活動の基本方針として、「透明性」、「公平性」、「追跡性」、「柔軟性」の確保が不可欠である。

概要調査地区選定上の考慮事項の検討にあたっては、これらの方針に基づき、以下に示す事項を基本的な考え方とする。

- ① 最終処分法及び同施行規則に示された概要調査地区選定段階の選定要件に関する事項として、個々の選定要件に対する具体化を図るとともに、将来の精密調査地区や最終処分施設建設地の選定にあたって最終処分法に示される要件との関連も考慮して、項目の追加や評価の具体化を図る。
- ② 除外すべき要件だけでなく、除外されなかった地域を対象とし、その場所の特性について総合的な評価が行える要件も設定する。
- ③ 社会的、経済的な考慮事項は対象として設定するが、政治的な考慮事項は設定しない。
- ④ 情報量の不足により考慮事項の評価ができない場合には、次の段階での判断に委ねる。
- ⑤ 各考慮事項策定の科学的根拠を示すことのできる内容とする。
- ⑥ 考慮事項の設定にあたっては、国内外の有識者のレビューを受ける。
- ⑦ 原環機構は、国民に対する設定根拠及び判断の説明責任を負う。
- ⑧ 公募開始時に公表した「考慮事項」に基づいて、概要調査地区の選定理由を説明できるようにする。
- ⑨ 専門家ではない人にも誤解を与えることなく理解される内容とする。

### 4.2 考慮事項の分類

概要調査地区選定にあたっては、最終処分法及び同施行規則に示された法定要件に適合する場所を選定する必要がある。このため、法定要件に対する適格性を評価するうえで、法定要件の内容を具体化した事項を設定することとし、「法定要件に関する事項」とした。一方、概要調査地区選定に関する法定要件には該当しないものの、原環機構は、「安全性の確保の前提の下、経済性及び効率性にも留意して事業を行う必要がある。」という事業推進に関する方針（通商産業省、2000）を踏まえ、次段階以降の選定要件や建設・操業にあたって必要な事項を設定することとし、これを「付加的に評価する事項」とした。このうち、「法定要件に関する事項」については、「全国一律に評価する事項」と「個別地区ごとに評価する事項」に分けた。「全国一律に評価する事項」は、全国規模でデータが整備された情報に基づき、一律の基準により概要調査地区選定に関する法定要件への適格性が明確に判断される事項である。「個別地区ごとに評価する事項」は、個別の応募区域及びその周辺の地域を対象とする文献調査により、概要調査地区としての適格性を評価する事項である。使用する文献は、「法定要件に関する事項」のうちの「全国一律に評価する事項」に関しては、全国規模の文献とし、「個別地区ごとに評価する事項」及び「付加的に評価する事項」に関しては、応募区域及びその周辺の地域を対象とする全国規模及び地域規模の文献その他の資料とする（表 4.2-1 参照）。

表 4.2-1 考慮事項の分類

分類	法定要件に関する事項 (概要調査地区選定に関する法定要件 に対する適格性を評価する事項)		付加的に評価する事項 (法定要件に対する適格性が確認 された地区を対象に、概要調査地区 としての特性を総合的に評価し、必 要に応じて相対比較を行う事項)
	全国一律に評価する事項	個別地区ごとに評価する事項	
評価	全国一律の基準により、概 要調査地区としての適格 性を評価する。	個別の文献調査に基づき、概要調 査地区としての適格性を評価す る。	各事項を総合的に評価する。
情報	原環機構が指定する全国 規模の文献	応募区域及びその周辺の地域を対象とする全国規模及び地域規模の 文献その他の資料	

#### 4.3 考慮事項の除外基準の設定の考え方

##### (1) 除外基準の設定の基本方針

考慮事項の設定における評価尺度や基準の数値に関しては、次に示す事項を基本的な考え方とする。

- ① 各項目について、情報不足であることを理由に、除外する基準を設けない。
- ② 網羅的に抽出した考慮事項の項目は、法定要件との関係、評価の内容、情報の規模により分類されており、各々の分類ごとに基準の適用が異なることから、除外基準設定の考え方も個別に設ける。
- ③ 法定要件を細分化、具体化した考慮事項については、概要調査地区の適格性を判断するものであることから、可能な限り適格か否かを判断するための除外基準を設ける。

##### (2) 法定要件に関する事項

法定要件に関する事項のうち、全国一律に評価する事項については、全国的に適用できる除外基準を設定する。個別地区ごとに評価する事項については、各項目に関して、①全国的に適用できる除外基準、②地域が特定された時点での除外基準の設定方法を定める。

##### (3) 付加的に評価する事項

付加的に評価する事項については、法定要件に対する適格性が確認された地区を対象に、概要調査地区としての特性を総合的に評価し、必要に応じて相対比較を行う事項であり、個別の評価事項や総合評価に関する除外基準は設定しないこととする。

#### 4.4 考慮事項の内容

原環機構は、最終処分法及び同施行規則に示された「法定要件」を根拠に、「技術 WG」の見解を念頭に置き、原子力安全委員会の「環境要件」に基づき、「考慮事項」を作成している。

したがって、「考慮事項」の中で、法定要件に関する項目（地震、噴火、隆起・侵食、第四紀の未固結堆積物、鉱物資源）は、最終処分法及び同施行規則に記載されている項目と同じであり、その法令用語の解釈は「技術 WG」に従い、「考慮事項」の基本的考え方は、原子力安全委員会の「環境要件」と同じである。

地質環境の長期安定性に関連する主要な自然現象には、地震、噴火、隆起・侵食、気候変動・海水準変動があるが、地震、噴火、隆起・侵食については、原子力安全委員会の「環境要件」に示されているとおりに、処分施設及び廃棄物が直接破損することを避けること、あるいは、処分施設及び廃棄物が地表近くに接近することを避ける観点から、概要調査地区選定段階において考慮すべき事項とした。また、気候変動・海水準変動については、実際に概要調査を行うまでもなく、明らかに処分地として不適切と考えられる要件ではないことから、原子力安全委員会の「環境要件」に示されているとおりに、概要調査地区選定段階における考慮すべき事項としないこととした。

このうち、地震については、原子力安全委員会の「環境要件」では、『処分施設を合理的に配置することが困難となるような活断層の存在が、文献調査で明らかかな地域は、主に、処分施設及び廃棄物が直接破損することを避ける観点から、これを概要調査地区には含めない』としている。このため、考慮事項の設定にあたり、繰り返し活動し、変位の規模が大きいことが文献調査で認められる活断層、活褶曲、活撓曲等（以下、「活断層等」という）は、将来も活動する可能性があり、処分場に対する影響が明らかに大きく、最終処分施設を合理的に配置することが困難と判断し、これらがある場所は概要調査地区として含めないように選定することとした。また、第四紀の未固結堆積物及び鉱物資源の存在については、原子力安全委員会の「環境要件」に示されているとおりに、概要調査地区選定段階において考慮すべき事項とした。

「技術 WG」においては、『「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」における処分地選定プロセス及び技術ワーキング・グループの当面の検討の進め方について（案）』として、概要調査地区選定の目的及び法令用語の解釈が示されている。また、原子力安全委員会では、「環境要件」として、概要調査地区選定段階において考慮すべき環境要件が示されている。各々の内容について以下に示すとともに、最終処分法及び同施行規則の「法定要件」、原子力安全委員会の「環境要件」、原環機構の「考慮事項」の各項目について取りまとめたものを表 4.4-1～4.4-2 に示す。

「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」における処分地選定プロセス及び技術ワーキング・グループの当面の検討の進め方について（案）（総合資源エネルギー調査会原子力部会高レベル放射性廃棄物処分専門委員会技術ワーキング・グループ、2002）

##### ① 概要調査地区の選定の目的

3 段階の処分地選定プロセスの第 1 段階である「概要調査地区」の選定においては、

- ・ 調査手法が文献その他の資料による調査に限られ、自ずと得られる情報には限界があること。また、地域により情報量に差があり、過去の痕跡がいまだ確認されていない場合も考えられること。

- ・ 文献では適否が不明確な事項については、概要調査以降で行われるボーリング、地表踏査、物理探査、トレンチ掘削等の調査により、過去の痕跡を確認し、地層の著しい変動が長期間生じていないことを確認することになっていること。
- ・ 概要調査以降の調査により、ある程度の変動の生じる可能性が確認されたとしても、その変動が処分システムに与える影響について評価を行い、工学的な対策をとることによって対処できる可能性があり、いずれにせよ、最終的には、安全審査により処分の安全性が判断されること。

などを考慮し、「文献調査で分かる範囲で明らかに適性の劣るサイトを排除する」ことを目的として選定が行われる必要がある。

## ② 法令用語の解釈

概要調査地区選定にかかわる主な法令用語の解釈は、次のとおりである。

- ・ 「概要調査地区として選定しようとする地区」（法第6条第1項第1号）：概要調査地区として選定しようとする地区。概要調査地区として選定しようとする地区が未確定の場合は、概要調査地区として選定する可能性のある地区。
- ・ 「周辺の地域」（法第6条第1項第1号）：「概要調査地区として選定しようとする地区」において地層処分の成立性を検討するうえで文献調査が必要となる周辺の地域。調査対象となる自然現象により異なる可能性がある。
- ・ 「文献調査」（法第6条）：文献その他の資料（記録文書、学术论文、空中写真、地質図等）による調査
- ・ 「文献調査対象地区」（法第6条第2項）：文献調査の対象となった地区
- ・ 「将来にわたって」（法第2条第5項、法第6条第2項第2号）：自然現象による地層の変動が予測できるといわれている、概ね数万年先の将来を想定している。
- ・ 「地層の著しい変動」（法第6条第2項第1、2号）：最終処分施設の著しい変形、埋設した特定放射性廃棄物の地表付近への接近等をもたらす地層の変動をいう。なお、「周辺の地域」に火山・活断層などがあつたとしても、「概要調査地区として選定しようとする地区」において最終処分施設の著しい変形、埋設した特定放射性廃棄物の地表付近への接近等をもたらさない限りは、「地層の著しい変動」には該当しない。
- ・ 「地層の著しい変動の記録がないこと」（法第6条第2項第1号）：記録文書、学术论文、空中写真、地質図等について、地層の著しい変動の記録がないこと（概ね10万年前から現在までの間を想定）
- ・ 「鉱物」（規則第4条第1項第2号、第5条第2項第2号）：鉱業法（昭和25年法律第289号）第3条第1項における定義を準用。具体的には、金鉱、銀鉱、銅鉱、鉛鉱、そう鉛鉱、すず鉱、アンチモニー鉱、水銀鉱、亜鉛鉱、鉄鉱、硫化鉄鉱、クローム鉄鉱、マンガン鉱、タングステン鉱、モリブデン鉱、ひ鉱、ニッケル鉱、コバルト鉱、ウラン鉱、トリウム鉱、りん鉱、黒鉛、石炭、亜炭、石油、アスファルト、可燃性天然ガス、硫黄、石こう、重晶石、明ばん石、ほたる石、石綿、石灰石、ドロマイト、けい石、長石、ろう石、滑石、耐火粘土（ゼーゲルコーン番号三十一以上の耐火度を有するものに限る。）及び砂鉱（砂金、砂鉄、砂すずその他ちゆう積鉱床をなす金属鉱をいう。）をいう。

高レベル放射性廃棄物処分の概要調査地区選定段階において考慮すべき環境要件について(原子力安全委員会, 2002)

① 隆起・沈降・侵食

対象地域の隆起・侵食量から見て、処分場及びその周辺の地質環境に対し著しい変動をもたらすおそれがあることが、文献調査で明らかな地域は、主に、処分施設及び廃棄体が地表近くに接近することを避ける観点から、これを概要調査地区には含めない。

② 地震・断層活動

処分施設を合理的に配置することが困難となるような活断層の存在が、文献調査で明らかな地域は、主に、処分施設及び廃棄体が直接破損することを避ける観点から、これを概要調査地区には含めない。

③ 火山・火成活動

第四紀に活動したことのある火山の存在が、文献調査で明らかな地域は、主に、処分施設及び廃棄体が直接破損することを避ける観点から、これを概要調査地区には含めない。

④ 鉱物資源の賦存

経済的に重要な鉱物資源の鉱床等の存在が、文献調査で明らかな地域は、鉱物資源の探査・掘削活動に伴う放射線の影響等を避ける観点から、これを概要調査地区には含めない。

⑤ 岩盤の特性

想定される処分施設の深度において第四紀の未固結堆積層が広く分布することが、文献調査で明らかな地域は、処分施設的设计が過度に制約されること等を避ける観点から、これを概要調査地区には含めない。

⑥ 「環境要件」から除外した項目

その他、地質環境として考慮すべき項目としては、以下に示すように、気候変動・海水準変動、地下水の流動特性、地下水・岩石の地化学特性などが考えられるが、これらの処分の安全確保に関する処分場及びその周辺の地質環境への影響については、基本的に概要調査あるいはそれ以降の調査において明らかにされるべきものであり、“実際に概要調査を行うまでもなく、明らかに処分地として不適切と考えられる環境要件を示すこと”には適さず、概要調査地区選定段階での環境要件とはしない。

- a. 気候変動・海水準変動
- b. 地下水の流動特性
- c. 地下水・岩石の地化学特性
- d. その他（異常間隙水圧、膨張性地山、ガス突出、山はね、大湧水）

表 4.4-1 概要調査地区選定段階における最終処分法、環境要件及び考慮事項について(1/2)

項目	特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律及び施行規則(最終処分法、施行規則)	「高レベル放射性廃棄物処分の概要調査地区選定段階において考慮すべき環境要件について」(原子力安全委員会)	概要調査地区選定上の考慮事項		
			法定要件に関する事項 (概要調査地区の法定要件に対する適格性を判断する事項)	個別地区ごとに評価する事項	付加的に評価する事項 (法定要件に対する適格性が確認された地区を対象に、概要調査地区としての特性を総合的に評価し、必要に応じて相対比較を行う事項)
隆起・侵食	地震、噴火、隆起、侵食その他の自然現象(以下「地震等の自然現象」)による地層の著しい変動の記録がないこと	対象地域の隆起・侵食量からみて、処分場及びその周辺の地質環境に対し著しい変動をもたらすおそれがあることが、文献調査で明らかでない地域は、主に、処分施設及び廃棄体が地表近くに接近することを避ける観点から、これを概要調査地区には含まない。	全国一律に評価する事項	過去10万年間の隆起の総量が300mを超えていないことが明らかでない地域は含まれない。	隆起・侵食の速度が小さいあるいは継続的に沈降している地域であること。
地震・断層活動	将来にわたって、地震等の自然現象による地層の著しい変動が生ずるおそれがないと見込まれること	処分施設を合理的に配置することが困難となるような活断層の存在が、文献調査で明らかでない地域は、主に、処分施設及び廃棄体が直接破壊することを避ける観点から、これを概要調査地区には含まない。	全国一律に評価する事項	①全国一律に評価する事項で用いた以外の文献によつて認められる活断層がある場所 ②活断層の幅(断層破砕帯)及びその外側の変形帯に含まれる範囲 ③活断層の分岐等の発生の可能性が高い範囲 ④顕著な活動を継続している活褶曲や活撓曲の分布範囲	繰り返し活動し、変位の規模が大きい活断層等について、次の事項に該当すると明確に判断される場所、範囲は含まない。 ①全国一律に評価する事項で用いた以外の文献によつて認められる活断層がある場所 ②活断層の幅(断層破砕帯)及びその外側の変形帯に含まれる範囲 ③活断層の分岐等の発生の可能性が高い範囲 ④顕著な活動を継続している活褶曲や活撓曲の分布範囲
火山・火成活動	第四紀に活動したことのある火山の存在が、文献調査で明らかでない地域は、主に、処分施設及び廃棄体が直接破壊することを避ける観点から、これを概要調査地区には含まない。	第四紀に活動したことのある火山の存在が、文献調査で明らかでない地域は、主に、処分施設及び廃棄体が直接破壊することを避ける観点から、これを概要調査地区には含まない。	将来数万年にわたるマグマの活動範囲の拡がりの可能性を考慮し、第四紀火山の中心から半径15kmの円の範囲内にある地域は含まない。 ※第四紀火山の中心は第四紀火山カタログ委員会編(1999)による。	第四紀火山の中心から半径15kmの円の外側の地域でも、将来数万年にわたるマグマの地表への噴出が明確に判断される地域は含まない。 また、将来も含め、マグマによる著しい熱水、酸性の熱水、あるいは著しい熱水対流が存在すると明確に判断される地域は含まない。	—
気候変動・海水準変動	—	—	—	—	—
米河、地すべり	—	—	—	—	—
地層の物性・性状(岩盤の熱・力学特性)	最終処分を行うおとする地層が、第四紀の未固結堆積物であるとの記録がないこと	想定される処分施設の深度において第四紀の未固結堆積層が広く分布することが、文献調査で明らかでない地域は、処分施設の設計が過度に制約されること等を避ける観点から、これを概要調査地区には含まない。	最終処分を行うおとする地層が、第四紀の未固結堆積物である地域は含まない。	最終処分を行うおとする地層及びそれを被覆する地層において、岩盤の強度が低いこと、変形が小さいこと、割れ目、風化、変質が小さいこと、地温勾配が小さいこと	最終処分を行うおとする地層及びそれを被覆する地層において、岩盤の強度が低いこと、変形が小さいこと、割れ目、風化、変質が小さいこと、地温勾配が小さいこと
鉱物資源	最終処分を行うおとする地層において、その掘採が経済的に価値が高い鉱物資源の存在に関する記録がないこと	経済的に重要な鉱物資源の鉱床等の存在が、文献調査で明らかでない地域は、鉱物資源の掘採・掘削活動に伴う放射線の影響等を避ける観点から、これを概要調査地区には含まない。	最終処分を行うおとする地層において、その掘採が経済的に価値が高い鉱物資源が存在する地域は含まない。	最終処分を行うおとする地層において、その掘採が経済的に価値が高い鉱物資源が存在する地域は含まない。	—

表 4.4-2 概要調査地区選定段階における最終処分法、環境要件及び考慮事項について(2/2)

項目	特定放射性廃棄物の最終処分に關する法律及び同施行規則(最終処分法, 施行規則)	「高レベル放射性廃棄物処分の概要調査地区選定段階において考慮すべき環境要件について」(原子力安全委員会)	概要調査地区選定上の考慮事項		
			全国一律に評価する事項	法定要件に關する事項 (概要調査地区の法定要件に對する適格性を判断する事項)	
				個別地区ごとに評価する事項	付加的に評価する事項 (法定要件に對する適格性が確認された地区を対象に、概要調査地区としての特性を総合的に評価し、必要に応じて相対比較を行う事項)
岩体の形状・規模等	—	環境要件とはしない。	—	—	地下施設を収容し得る深さに良好な地層が広く分布すること
地下水流動特性	—	環境要件とはしない。	—	—	最終処分を行おうとする地層において、地下水の流量・流速が小さいこと
地下水の地化学特性	—	環境要件とはしない。	—	—	水温が高くないこと 地下水の酸性が著しくないこと アルカリ性が著しくないこと 最終処分を行おうとする地層や地下水が、広範囲に酸化されていないこと
脆弱性地山, ガス突出, 山はね, 大出水, 異常間隙水, 異常間隙水庄	—	環境要件とはしない。	—	—	異常間隙水庄, 脆弱性地山, ガス突出, 山はね, 大出水が発生する可能性が小さいこと
その他自然環境	—	—	—	—	建設・操業期間中の安全確保の観点から、地震、地すべり、洪水等の重大な自然災害が発生する可能性が小さいこと
地質環境の調査・評価	—	—	—	—	調査範囲・規模・費用が過大にならないこと 調査期間が長期にわたらないこと 調査技術, 評価手法等の適用が容易であること 火成活動, 断層活動等の地質環境の評価・モデル化が容易であること 土地利用の制限等の調査に對する制約が少ないこと
土地の確保	—	—	—	—	土地の確保が容易であること
輸送	—	—	—	—	利用可能な港湾または港湾候補地から応募区域までの距離が短い等、輸送が容易であること

#### 4.4.1 法定要件に関する事項

法定要件に関する事項では、最終処分法及び同施行規則に示された、①地震、②噴火、③隆起・侵食、④第四紀の未固結堆積物及び⑤鉱物資源を対象としている。4.2 で述べたように、これらの項目について、全国一律に評価する事項と個別地区ごとに評価する事項に分けて取り扱うこととした。

##### (1) 全国一律に評価する事項

全国一律に評価する事項は、全国規模でデータが整備された情報に基づき、一律の基準により概要調査地区選定に関する法定要件への適格性が明確に判断される事項である。全国規模で同じ品質でデータが整備されている、①地震、②噴火が対象となる。

###### ① 地震

陸域では空中写真判読等、海域では海上音波探査等に基づいて、全国的に調査された文献に示されている活断層が存在する場所を除外対象とする。

###### ② 噴火

将来数万年にわたるマグマの活動範囲の拡がりの可能性を考慮し、第四紀火山の中心から半径 15km の円の範囲内にある地域を除外対象とする。

##### (2) 個別地区ごとに評価する事項

個別地区ごとに評価する事項は、個別の応募区域及びその周辺の地域を対象として、全国規模でデータが整備された情報に加え、地域規模の文献その他の資料により、概要調査地区としての法定要件への適格性を評価する事項であり、①地震、②噴火、③隆起・侵食、④第四紀の未固結堆積物及び⑤鉱物資源が対象となる。

###### ① 地震

繰り返し活動し、変位の規模が大きい活断層等について、次の事項に該当すると明確に判断される場所、範囲を除外対象とする。

- ・ 全国一律に評価する事項で用いた以外の文献によって認められる活断層がある場所
- ・ 活断層の幅（断層破碎帯）及びその外側の変形帯に含まれる範囲
- ・ 活断層の分岐等（分岐、長さ方向の伸展等の発生）の可能性が高い範囲
- ・ 顕著な活動を継続している活褶曲や活撓曲の分布範囲

###### ② 噴火

第四紀火山の中心から半径 15km の円の外側の地域であっても、将来数万年にわたり、次の事項に該当すると考えられる場所、範囲を除外対象とする。

- ・ マグマの地殻への貫入や地表への噴出が明確に判断される地域
- ・ マグマによる著しい熱の影響、強酸性の熱水、あるいは著しい熱水対流が存在すると明確に判断される地域



③ 隆起・侵食

過去 10 万年間の隆起の総量が 300m を超えていることが明らかな地域を除外対象とする。

④ 第四紀の未固結堆積物

最終処分を行おうとする地層が、第四紀の未固結堆積物である地域を除外対象とする。

⑤ 鉱物資源

最終処分を行おうとする地層において、その採掘が経済的に価値が高い鉱物資源が存在する地域を除外対象とする。

#### 4.4.2 付加的に評価する事項

付加的に評価する事項は、概要調査地区選定に関する法定要件には該当しないものの、原環機構が概要調査地区の選定にあたって考慮すべきであると考えられる事項である。『原環機構は、安全性の確保の前提の下、経済性及び効率性にも留意して事業を行う必要がある。』という事業推進に関する方針（通商産業省、2000）を踏まえ、精密調査地区及び最終処分施設建設地の選定段階や建設・操業の段階等に関し、文献調査で可能な範囲で見通しを得ておくことが合理的と考えられる事項として、技術的及び社会的観点から設定した事項である。したがって、法定要件に対する適格性が確認された地区を対象に、概要調査地区としての特性に関して、以下に定める各事項を総合的に評価する。また、これらの事項により、必要に応じて複数の応募区域の相対比較を行い、概要調査地区選定に資することとする。

(1) 技術的な考慮事項

- ① 地層の物性・性状に関する事項
- ② 地下水の特性に関する事項
- ③ 地質環境の調査・評価に関する事項
- ④ 建設・操業時における自然災害に関する事項

(2) 社会的な考慮事項

- ① 土地の確保に関する事項
- ② 輸送に関する事項

#### 4.5 考慮事項の適用とその手順及び段階別評価の考え方

概要調査地区選定段階での考慮事項の適用とその手順及び概要調査地区選定段階以降の評価の考え方（段階別評価の考え方）を以下に示す。

##### 4.5.1 考慮事項の適用とその手順

考慮事項の適用とその手順は以下のとおりである。

###### (1) 「応募いただいた区域の地質的な条件」の事前確認 (㊸)

原環機構は、文献調査の開始に先立ち、応募区域が「応募要領」(原子力発電環境整備機構, 2002a)に示された「応募いただいた区域の地質的な条件」により、文献調査の対象となることを事前に確認する。この「応募いただいた区域の地質的な条件」には、活断層と火山に関する考慮事項の全国一律に評価する事項の考え方を適用した応募区域として避けるべき条件を示している。

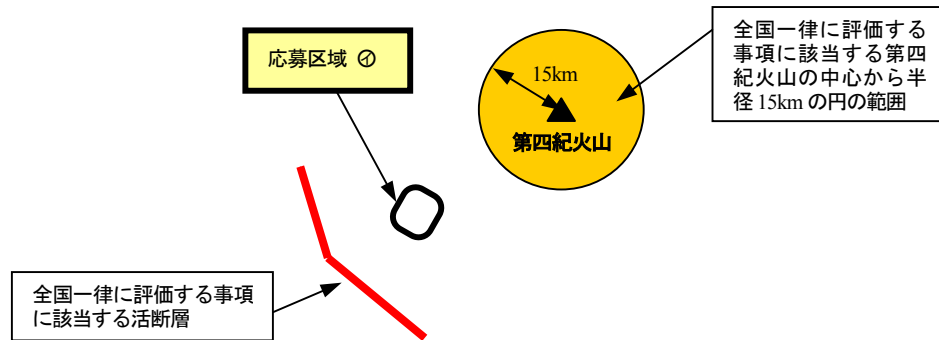


図 4.5.1-1 考慮事項の適用とその手順 [1]

###### (2) 文献調査の実施 (㊹)

① 応募区域及びその周辺地域の地質、地形等に関する文献を広く収集し、整理する。得られた文献情報に基づき、応募区域を評価するために必要となる概要調査地区を仮設定し、「全国一律に評価する事項」に該当する活断層、第四紀火山の中心から半径 15km の円の範囲との位置関係を確認する。（「全国一律に評価する事項」による適格性の評価）

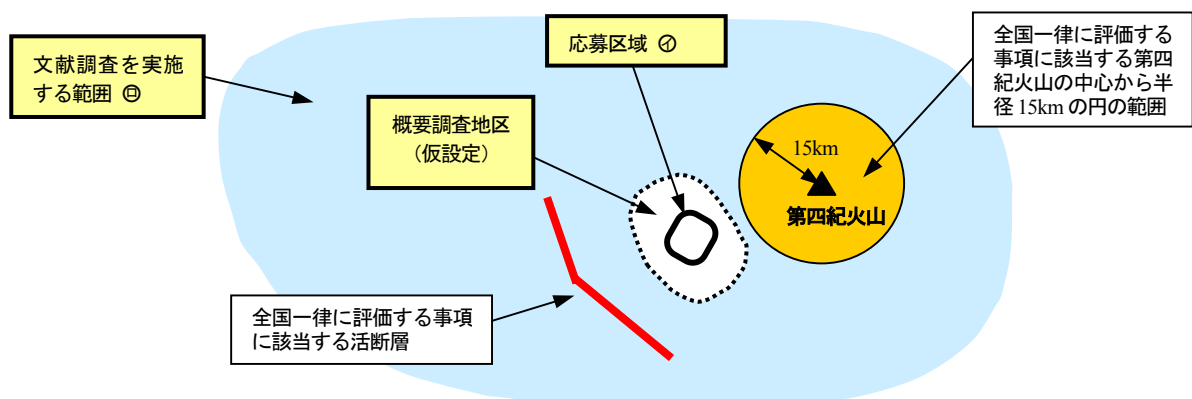


図 4.5.1-2 考慮事項の適用とその手順 [2]

- ② 応募区域及びその周辺地域の文献情報に基づき、全国的な情報には示されていない活断層、火山による熱・熱水の影響の及ぶ範囲等を検討し、仮設定された概要調査地区との位置関係を確認する。（「個別地区ごとに評価する事項」による適格性の評価）
- ③ 法定要件に対する適格性が確認された地区を対象に、概要調査地区としての特性を総合的に評価し、必要に応じて相対比較を行う。（「付加的に評価する事項」による総合的な評価）

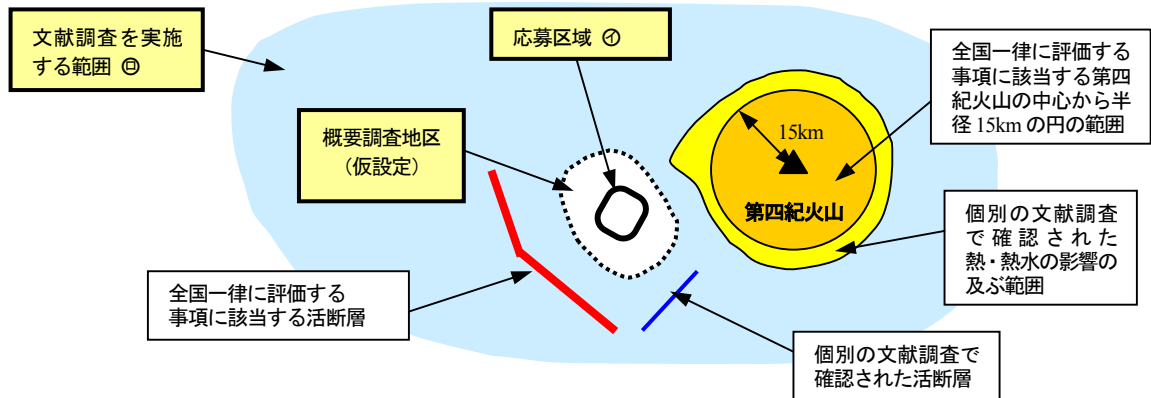


図 4.5.1-3 考慮事項の適用とその手順 [3]

(3) 概要調査地区の範囲の設定 (㊺)

文献調査結果に基づき、詳細な概要調査計画を策定し、法定要件を考慮した上で概要調査地区の範囲を最終的に設定する。

なお、概要調査地区は、応募区域より広がる可能性があるが、広がった部分は概要調査を行うにとどめ、原環機構が最終処分施設建設地とすることはない。

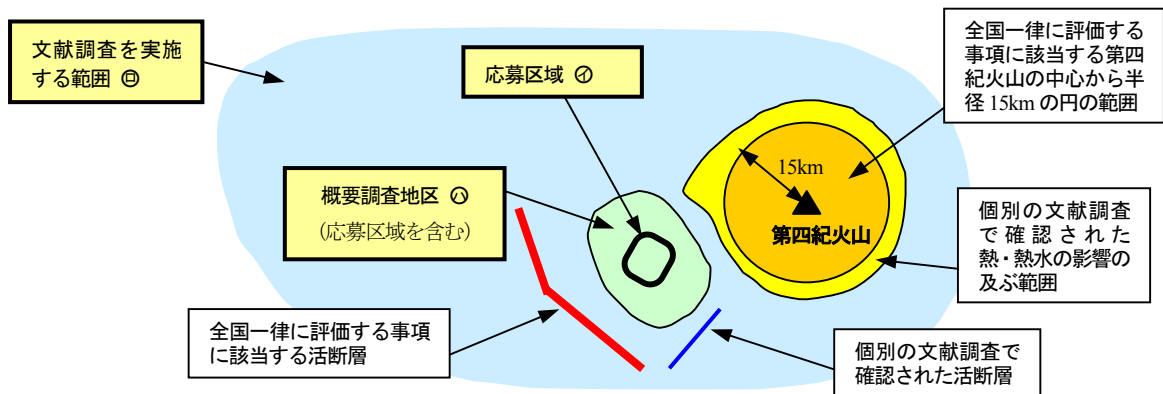


図 4.5.1-4 考慮事項の適用とその手順 [4]

(4) 概要調査地区選定の完了

文献調査に関する報告書を作成し、公告、縦覧、説明会の開催等を経て、地域住民の方々の意見に配慮しながら、概要調査地区の選定に関する申請を行う。

その後、関係市町村長及び関係都道府県知事の意見を踏まえ、経済産業大臣による承認が行われ、概要調査地区の選定が完了する。

#### 4.5.2 段階別評価の考え方

最終処分法によれば、最終処分施設建設地の選定は、2.1.1 で述べたように3段階の過程を経て調査・評価を行うこととされており、最終処分施設建設地としての適性は、各段階で行う調査により得られる情報に基づき、その情報により可能なレベルで段階的に絞り込まれていくことになる。

考慮事項の設定にあたっては、関連する項目を網羅的に抽出し、個別項目の内容を検討したうえで考慮事項とすべき項目を選定し、さらに、法定要件との関連性と評価の観点から分類したものである。次に、最終処分法に示された段階的選定の方針に基づき、概要調査地区選定段階における調査・評価の位置付けを明らかにしておくことが重要であると考えられる。

そのため、以下に示す観点で、検討項目の段階別の評価を検討しておく必要がある。

- ① 各選定段階で、どのような調査により、どういうレベルの情報が入手可能で、何がどこまで評価できるのか。
- ② 各考慮事項の項目について、適格性を最終的に判断する時期に違いが生じるが、最終処分施設建設地の選定（第3段階）が終了するまでに、すべての必要な評価が、安全審査に対応できるレベルで実施可能であるか。

なお、各考慮事項に関する精密調査地区選定段階以降の調査・評価にあたっては、概要調査地区の選定段階での文献調査による評価結果の確認も含めながら、地表からの調査、地下の調査施設における調査を実施していく。参考として、「第2次取りまとめ」に記載されているサイト選定における地質環境上の要件を表4.5.2-1に示す。

表 4.5.2-1 サイト選定における地質環境上の要件（出典：核燃料サイクル開発機構，1999）

サイト選定のプロセス		候補地の選定	予定地の選定	処分地の選定	着眼点
可否の要件	地質環境の長期安定性			.....	○断層活動 ○火山活動 ○隆起・侵食
	処分場の建設可能性			.....	○岩盤の規模、深度
	人間侵入			.....	○地下資源
考慮の条件	人工バリアの設置環境	.....			○地質構造 ○地下水の流動特性 ○地下水の地球化学特性
	天然バリア機能	.....			○岩盤の熱特性・力学特性 ○岩盤中の物質移動特性
主要な調査手段		文献調査	地上調査	地下調査	

#### 4.6 考慮事項の設定作業の流れ

考慮事項の設定にあたり、原環機構は、技術的な助言を受ける場として、図 4.6-1 に示すように、学識経験者で構成される技術アドバイザー国内委員会及び同国際委員会を設置した。概要調査地区選定上の考慮事項の作成の全体の流れは、図 4.6-2 に示すように、「第2次取りまとめ」、「地下環境部会報告書」、諸外国の事例等を参照しつつ、原環機構で取りまとめた「考慮事項」の原案を、同委員会で検討した。特に、日本の地質環境にかかわる科学技術的な事項の詳細検討にあたっては、技術アドバイザー国内委員会内に設置した地質環境分科会で検討した。その他、日本のテクトニクスにかかわる特定のテーマを議論する場として国際テクトニクス会議を開催している。

なお、「考慮事項」(案)については、総合資源エネルギー調査会原子力部会高レベル放射性廃棄物処分専門委員会及び同委員会技術WGで審議され、その科学的妥当性及び客観性が確認された。

以上を経て、公募にあたり「考慮事項」を公表した。

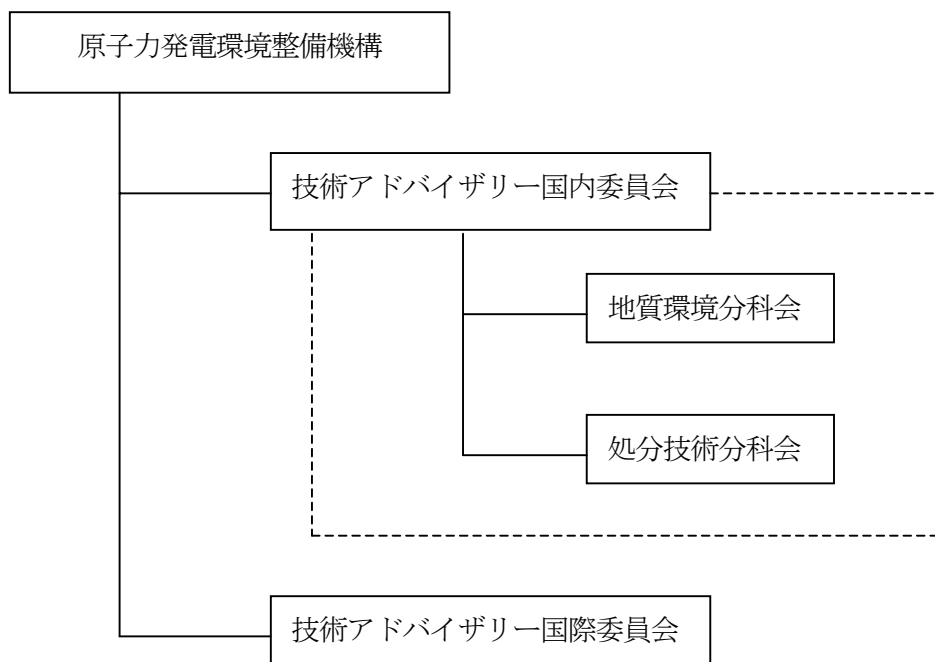


図 4.6-1 技術アドバイザー委員会の構成

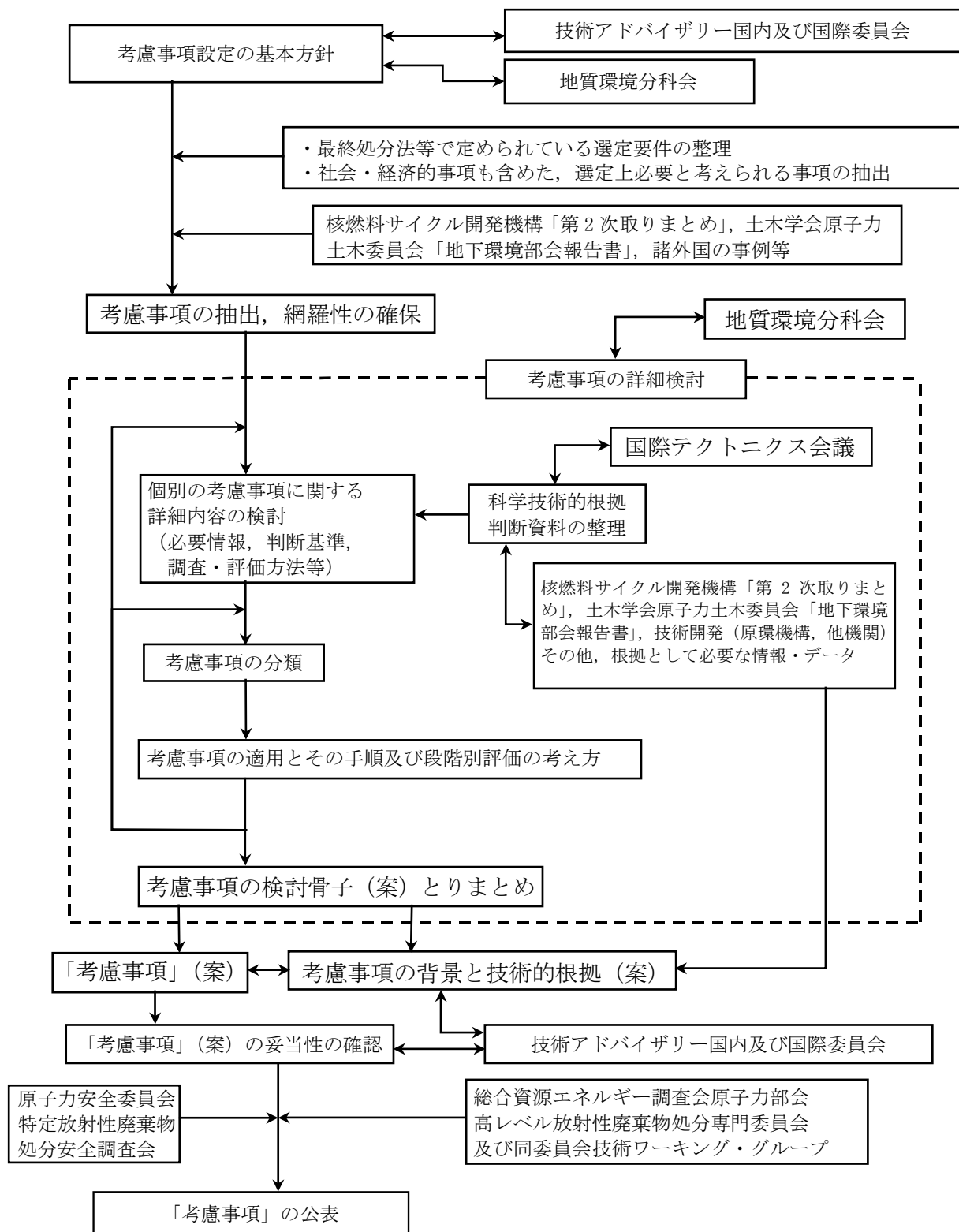


図 4.6-2 概要調査地区選定上の考慮事項の作成の流れ

## 4.7 第4章のまとめ

本章の内容をまとめて以下に示す。

- ① 考慮事項の設定にあたっての基本的考え方は、以下のとおりである。
  - ・ 最終処分法及び同施行規則に示された概要調査地区選定段階の選定要件に関する事項として、個々の選定要件に対する具体化を図るとともに、将来の精密調査地区や最終処分施設建設地の選定にあたって、最終処分法に示される要件との関連も考慮して、項目の追加や評価の具体化を図る。
  - ・ 除外すべき要件だけでなく、除外されなかった地域を対象とし、その場所の特性について総合的な評価が行える要件も設定する。
  - ・ 社会的、経済的な考慮事項は対象として設定するが、政治的な考慮事項は設定しない。
  - ・ 情報量の不足により考慮事項の評価ができない場合には、次の段階での判断に委ねる。
  - ・ 各考慮事項策定の科学的根拠を示すことのできる内容とする。
  - ・ 考慮事項の設定にあたっては、国内外の有識者のレビューを受ける。
  - ・ 原環機構は、国民に対する設定根拠及び判断の説明責任を負う。
  - ・ 公募開始時に公表した「考慮事項」に基づいて、概要調査地区の選定理由を説明できるようにする。
  - ・ 専門家ではない人にも誤解を与えることなく理解される内容とする。
  
- ② 考慮事項を「法定要件に関する事項」（法定要件に対する適格性を評価するために、評価の基準を具体化した事項：①地震、②噴火、③隆起・侵食、④第四紀の未固結堆積物、⑤鉱物資源）及び「付加的に評価する事項」（法定要件に加え事業の合理的な推進の観点から、次段階以降の選定段階や建設・操業の段階等に関し、文献調査で可能な範囲で見通しを得ておく必要から、概要調査地区としての特性を総合的に評価し、必要に応じて相対比較を行う事項：①地層の物性・性状に関する事項、②地下水の特性に関する事項、③地質環境の調査・評価に関する事項、④建設・操業時における自然災害の発生可能性、⑤土地の確保に関する事項、⑥輸送に関する事項）に分類した。

なお、地質環境の長期安定性に関連する主要な自然現象のうち、気候変動・海水準変動については、概要調査地区選定段階における考慮すべき事項としないこととした。
  
- ③ さらに、「法定要件に関する事項」については、「全国一律に評価する事項」（全国規模でデータが整備された情報に基づき、一律の基準により概要調査地区としての適格性を評価する事項）及び「個別地区ごとに評価する事項」（個別の応募区域及びその周辺の地域を対象とする文献調査により、概要調査地区としての適格性を評価する事項）に分類した。
  
- ④ 考慮事項の適用とその手順は、以下のとおりである。
  - ・ 原環機構は、文献調査の開始に先立ち、応募区域が「応募要領」に示された「応募いただいた区域の地質的な条件」により、文献調査の対象となることを事前に確認する。この「応募いただいた区域の地質的な条件」には、活断層と火山に関する考慮事項の全国一律に評価す

る事項の考え方を適用した応募区域として避けるべき条件を示している。

- ・ 応募区域及びその周辺地域の地質、地形等に関する文献を広く収集し、整理する。得られた文献情報に基づき、応募区域を評価するために必要となる概要調査地区を仮設定し、「全国一律に評価する事項」に該当する活断層、第四紀火山の中心から半径 15km の円の範囲との位置関係を確認する。（「全国一律に評価する事項」による適格性の評価）
  - ・ 応募区域及びその周辺地域の文献情報に基づき、全国的な情報には示されていない活断層、火山による熱・熱水の影響の及ぶ範囲等を検討し、仮設定された概要調査地区との位置関係を確認する。（「個別地区ごとに評価する事項」による適格性の評価）
  - ・ 法定要件に対する適格性が確認された地区を対象に、概要調査地区としての特性を総合的に評価し、必要に応じて相対比較を行う。（「付加的に評価する事項」による総合的な評価）
  - ・ 文献調査結果に基づき、詳細な概要調査計画を策定し、法定要件を考慮したうえで、概要調査地区の範囲を最終的に設定する。なお、概要調査地区は、応募区域より広くなる可能性があるが、広がった部分は概要調査を行うにとどめ、原環機構が最終処分施設建設地とすることはない。
  - ・ 文献調査に関する報告書を作成し、公告、縦覧、説明会の開催等を経て、地域住民の方々の意見に配慮しながら、概要調査地区の選定に関する申請を行う。その後、関係市町村長及び関係都道府県知事の意見を踏まえ、経済産業大臣による承認が行われ、概要調査地区の選定が完了する。
- ⑤ 「考慮事項」(案) は、原環機構内に設置した技術アドバイザー委員会の助言を受けるとともに、総合資源エネルギー調査会原子力部会高レベル放射性廃棄物処分専門委員会及び同委員会技術WGで審議され、その科学的妥当性及び客観性が確認された。



## 参考文献

原子力安全委員会 (2002) : 高レベル放射性廃棄物処分の概要調査地区選定段階において考慮すべき環境要件について.

原子力発電環境整備機構 (2002a) : 応募要領, 高レベル放射性廃棄物の最終処分施設の設置可能性を調査する区域の公募関係資料-1.

核燃料サイクル開発機構 (1999) : わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性-地層処分研究開発第2次取りまとめ-.

総合資源エネルギー調査会原子力部会高レベル放射性廃棄物処分専門委員会技術ワーキング・グループ (2002) : 「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」における処分地選定プロセス及び技術ワーキング・グループの当面の検討の進め方について (案).

特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律, 平成12年6月7日, 法律第117号.

特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律施行規則, 平成12年9月1日, 通商産業省令第151号.

通商産業省 (2000) : 特定放射性放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針を定めた件, 平成12年10月2日, 通商産業省告示第591号.

# 第 5 章

## 考慮事項各論

## 第5章 考慮事項各論

### 5.1 法定要件に関する事項「地震」

#### 5.1.1 「地震」に関する設定の考え方

「第2次取りまとめ」では、地震・断層活動が地層処分システムへ与える影響として、岩盤の破断・破砕とこれに伴う地下水移行経路の形成、地震動による岩盤や地下水の性質の変化等が想定されるとしている。

「地下環境部会報告書」では、地震活動が地層処分に及ぼす影響と断層活動が地層処分に及ぼす影響を別々に扱い、地震活動が処分システムに及ぼす影響としては、処分施設に対する地震動の影響、岩盤における地震時の地下水圧の変化等を挙げた一方で、断層活動が処分システムに及ぼす影響としては、岩盤の破断・破壊に伴う処分施設や廃棄体の直接的破壊、周辺岩盤の力学的・水理学的変化による多重バリアの機能低下等の影響が考えられるとしている。

これらのことを踏まえ、「地震」が処分場に及ぼす影響として、次のような事象を想定した。

- ① 地震を発生させ、地層の変位・変形を起こす「断層活動」
- ② 地震による「ゆれ」(地震動)
- ③ 地震に伴う岩盤の亀裂の発生、地下水の動きや化学的性質の変化等の地震の発生前後に  
おける「地質環境の変化」

最終処分施設は、地上施設と地下施設から構成される。地上施設は、地下での建設や操業から閉鎖までに必要で、地下施設の閉鎖後は撤去される。一方、地下施設は、操業終了後は埋め戻され、閉鎖後は周辺の地層と一体となる施設である。

地下深部の地震動は、一般に地表部に比較して小さいことが知られている。このことは、地盤の物理的特性(密度、せん断波速度)が一様な場合、地表面における地震動の振動は地表面の効果により周期によらず2倍となること、硬い層の上位に軟らかい層が分布する場合には、上位に軟らかい層があることによる効果と地表面の効果で地震波が増幅すること、言い換えれば地下深部の地震動は、地表の地震動の振幅と比較して小さいことを、弾性波動論に基づき説明できる(本章末の《参考資料-3》を参照)。Shimizu et al. (1996), Ishimaru and Shimizu (1997) による釜石鉱山での地震観測例や、駒田ほか(1989)、日比野ほか(1987)による鉱山・地下発電所の空洞での地震観測例では、地下深部におけるゆれは地表に比べて小さいことが確認されている。釜石鉱山での地震観測例では、地下深部における最大加速度は地表部の1/2~1/4とされている。

「地下環境部会報告書」では、「地震」が処分場に及ぼす影響のうち、②に相当する地震動の影響に関して、地下深部の地震動は地表部に比較して小さいとし、概要調査地区選定にあたっては特に考慮する必要はないとしている。

これらの事例や考え方を踏まえ、「地震」に関する事象のうち、②「ゆれ」(地震動)の影響について、一般に地下深部の「ゆれ」(地震動)が地上に比べて小さいことを考慮し、概要調査地区の選定段階での評価は行わないものとする。また、高レベル放射性廃棄物を取り扱う操業中の地上施設と、埋め戻して周辺の地層と一体化する以前(閉鎖前)の地下施設に関しては、地震動の影響は考慮するが、既存の原子力施設と同様、耐震設計による対処が可能であると考

え、これらの施設に対しても、地震動の影響について、概要調査地区の選定段階での評価を行わないものとする。

また、「地質環境の変化」に関連して、地震後における水理特性観測例がいくつか報告されている。Shimizu et al. (1996)、Ishimaru and Shimizu (1997)によると、釜石鉱山で観測した334例の地震のうち、地震動による水圧変化を示している可能性があるものは18例であり、その最大幅は0.35kgf/cm<sup>2</sup>程度で、これらの変化は数週間でもとのトレンドに回復したとされている。1946年の南海道地震時において、道後温泉における水位変化が3ヶ月後に回復したとの事例(川辺, 1991)もある。その他、1995年の兵庫県南部地震後に野島断層沿いで観測された水質変化や地下水流動解析結果に基づいて、地震時に認められた地下水の異常は、ほとんどが浅層地下水に相当するものであるとの報告もある(佐藤ほか, 1999; 阿部・酒井, 1999)。

「地下環境部会報告書」では、「地震」が処分場に及ぼす影響のうち、③に相当する地震時の地下水位や地下水圧の変化等について、これまでの観測例からその規模は小さく、地下水流動に対し恒常的な影響は及ぼさない現象であると考え、概要調査地区選定にあたっては特に考慮する必要はないとしている。

これらの事例や考え方から、「地震」に関する事象のうち、地震の発生に伴いその前後で生じる③の「地質環境の変化」については、処分場に大きな影響を与えるものではないとして、概要調査地区の選定段階での評価を行わないものとする。

以上のように、「ゆれ」(地震動)及び「地質環境の変化」を最終処分法に定める「地層の著しい変動」とはしないが、これらについては、概要調査以降も調査を継続し、既存情報及び実測データに基づいて、その発生と影響について検討していく。

一方、地層の変位・変形を起こす①の「断層活動」が発生する場所、すなわち主要な活断層の周辺については、岩盤が広範囲にわたって破断・破砕されるような場所であるとして、処分場の選定に際して避けるべきであるとされている(「第2次取りまとめ」)。また、活断層以外の活構造には、活撓曲、活褶曲等があり、これらの活構造も過去に継続して活動し、将来も活動する可能性があり、処分場に対する影響が明らかに大きく、最終処分施設を合理的に配置することが困難な場合に当たると判断される。第四紀後期に活動を継続している活褶曲及び活撓曲に関しては、「地下環境部会報告書」にも、『地表付近における造構応力状態を反映した現象として、活断層と同様に検討の対象とする必要がある。』とされている。

「断層活動」に関する考慮事項については、「4.4.1 法定要件に関する事項」で述べたように、「全国一律に評価する事項」と「個別地区ごとに評価する事項」とに区分し、評価の考え方、基準等を具体化して、考慮事項を設定した。各々の事項にかかわる考慮事項の内容とその設定根拠等について、以下に示す。

### 5.1.2 「断層活動」に関する「全国一律に評価する事項」の内容とその設定根拠

#### (1) 全国一律に評価する事項の設定論拠となる情報の整理

わが国の活断層の分布に関しては、全国統一の基準の空中写真判読、音波探査等による活断層の位置、規模がコンパイルされているとともに、主要な活断層の活動性の知見も整備されつ

つある。全国統一の基準で活断層の分布・性状を抽出・整理した資料として、陸域の活断層に関しては中田・今泉編（2002）、海域の活断層に関しては徳山ほか（2001）等が挙げられる。

日本列島に発達する縦ずれ型の活断層のほとんどは、過去数十万年間活動を継続している断層であるとされている（200万分の1活断層図編纂ワーキンググループ，2000）。内陸の浅い地震の震源は、陸域の地下20km程度以浅にあることが多く、これらの地震は、発生の原因となる活断層、地層断層の大きさに応じて、同じような規模で繰り返し起こっているとされている（萩原編，1991；松田，1975等）。

活断層研究会編（1980；1991）は、活断層の定義を、『地質年代の区切りである第四紀、つまり約200万年前から現在までの間に、動いたとみなされる断層』とし、空中写真判読結果に基づいて活断層を認定した。中田・今泉編（2002）は、『第四紀後期（過去数十万年以内）に繰り返し活動している断層』を活断層と定義し、全国一律の基準で空中写真を新たに判読し、活断層の詳細な位置の情報を整備するとともに、活断層研究会編（1980；1991）を基に確実度の低い活断層の再評価を行い、起震断層として重要な活断層との識別を行った。さらに、中田・今泉編（2002）は、最近の研究では、日本の主要な活断層は、概ね1,000年から数万年の間隔で繰り返し活動する断層が多いと考えられるようになってきたことを挙げ、『過去数十万年間にわたって活動した証拠が認められない断層については、今後も活動する可能性が極めて低いと考えることができる』としている。

その他、原子力安全委員会の「環境要件」では、活断層を『第四紀、特にその後半に繰り返し活動したことのある断層で、将来も活動する可能性のある断層』としている。また、「第2次取りまとめ」では、活断層を、『過去数十万年以内に活動し、今後も活動する可能性のある断層』としている。

海域の活断層に関しては、活断層研究会編（1980；1991）が陸上活断層と同様の定義に基づいて、音波探査記録を判読し、さらに海底地形を参照したうえで活断層を認定した。徳山ほか（2001）は、海域の場合、地層から導かれる時代の決定が簡単ではないため、陸上活断層の定義をそのまま当てはめることは困難であるとしながら、音響地殻断面図で識別された断層が海底面まで達しており、さらに海底面にずれが認められる場合、断層活動は現在まで継続している可能性が極めて高いものとして、海域活断層とした。ここで、日本周辺のような堆積速度の速い変動帯周辺海域の表層堆積物は、第四紀後半（0.6Ma）以降に堆積したものであり、それらを切って発達する断層は、第四紀後半以降に活動した活断層とみなすことが可能であるとされている。

## (2) 全国一律に評価する事項の考え方

「断層活動」に関連する「全国一律に評価する事項」を以下に示す（原子力発電環境整備機構，2002c）。

陸域では空中写真判読等、海域では海上音波探査等に基づいて全国的に調査された文献に示されている活断層がある場所は含めないように、概要調査地区を選定する。
---

4.4.1(1)で述べたように、概要調査地区の法定要件への適格性を検討する初期の段階においては、当該地域の概要調査地区としての基本的な特性について、全国規模でデータが整備されている情報に基づき、一律の基準により概要調査地区選定に関する法定要件への適格性を評価する。

ここで、考慮事項の設定対象であるわが国における活断層の分布に関しては、陸域及び海域に関して、5.1.2(1)に示したようないくつかの資料が公表されている。

本来、活断層の評価は、現地における詳細な調査に基づき行われるべきものであると考えられるが、ここでは文献調査という限られた情報から全国一律に評価することを前提に、全国規模で体系的にデータが整備されていること、現時点で最新のデータ及び見解を反映していること、位置情報が明確であること等に基づき、陸域に関しては中田・今泉編（2002）を、海域に関しては徳山ほか（2001）を採用して、考慮事項への適格性を判断することとする。

活断層の定義に関しては、第3章で述べたようなプレートシステム及び造構応力状態の安定性の観点から、過去数十万年前以降に繰り返し活動している断層は、今後10万年程度は同様の活動を継続すると考えられること、過去数十万年間にわたって活動した証拠が認められない断層については、今後も活動する可能性が極めて低いと考えることができること等の、最近の研究結果を重視し、中田・今泉編（2002）、「第2次取りまとめ」、「地下環境部会報告書」等の多くの文献が採用している『第四紀後期（過去数十万年内）に繰り返し活動し、将来も活動する可能性がある断層』を踏まえ、過去数十万年前以降繰り返し活動したことがある断層で、将来も活動する可能性のある断層を最終処分施設の著しい変形を生じさせるような岩盤の破壊・破断を発生させ得るものとして考慮する。

全国一律に評価する事項で用いる文献における活断層の定義については、中田・今泉編（2002）は、『第四紀後期（過去数十万年内）に繰り返し活動している断層』、徳山ほか（2001）は、『音響地殻断面で識別された断層が海底面まで達しており、さらに海底面にずれが認められる断層（日本周辺海域の表層堆積物は、第四紀後半（0.6Ma）以降に堆積したものであり、それらを切って発達する断層）』としており、いずれも、上記の『過去数十万年前以降繰り返し活動したことがある断層で、将来も活動する可能性のある断層』と合致している。

また、活断層に関して、原子力安全委員会の「環境要件」では、『処分施設を合理的に配置することが困難となるような活断層の存在が、文献調査で明らかな地域は、主に、処分施設及び廃棄物が直接破損することを避ける観点から、これを概要調査地区には含めない』としている。

原子力安全委員会の「環境要件」に基づき、過去の活動性が明確で累積変位の規模が大きく、将来活動する可能性がある既知の活断層が存在する場所は、処分場を合理的に配置することが困難と考え、确实度の高い活断層がある場所は含めないように、概要調査地区を選定する。

### (3) 全国一律に評価する事項の調査・評価内容

前項（5.1.2（2））で述べたように、陸域に関しては、中田・今泉編（2002）に基づき、陸上活断層を抽出する。

中田・今泉編（2002）には、“活断層”の他に、“推定活断層”が示されている。この“推定活断層”は、断層活動に伴う変位地形が最近数十万年前以降に形成されたものかどうかの判定が、活断層に比べて難しいものや、変位地形そのものが、他の理由（成因）で形成された可能性があることを示す断層であるとされる。ここでは、この“活断層”及び“推定活断層”をすべて陸上活断層として扱い、その分布、位置、規模、性状、活動性等を明らかにし、抽出する。なお、中田・今泉編（2002）は、活断層研究会編（1980；1991）を踏まえたうえで全国一律の基準で活断層を抽出しており、結果的に活断層研究会編（1980；1991）の確実度Ⅰ～Ⅱに相当する実在性の高いものはすべて網羅されていると考えられるだけでなく、活断層研究会編（1980；1991）と比較して、記載されているデータの精度や品質が高いと考えられる。

海域に関しては、徳山ほか（2001）に基づき、海域活断層を抽出する。徳山ほか（2001）には、断層の種類として、“正断層”、“逆断層”、“横ずれ断層”及び“センス不明の断層”が示されている。ここでは、これらの海域の断層分布、位置、規模、性状、活動性等を明らかにし、海域活断層を抽出する。

これらの調査・評価によって認定された陸上及び海域における確実度の高い既知の活断層に対し、活断層の存在が認定できる場所（図示されている活断層線上の場所）は含めないように、概要調査地区を選定する。

#### (4) 全国一律に評価する事項に関する使用情報（利用文献，参考文献）

全国規模を対象とした既存の文献・資料として、以下の資料を参照する。

- ・ [陸域] 中田高・今泉俊文編（2002）：「活断層詳細デジタルマップ」付図 200万分の1日本列島活断層図，東京大学出版会
- ・ [海域] 徳山英一ほか（2001）：「日本周辺海域の中新世最末期以降の構造発達史」付図日本周辺海域の第四紀地質構造図，海洋調査技術，第13巻第1号，海洋調査技術学会

### 5.1.3 「断層活動」に関する「個別地区ごとに評価する事項」の内容とその設定根拠

#### (1) 個別地区ごとに評価する事項の設定論拠となる情報の整理

全国規模で抽出された既知の活断層以外に、活断層の存在が後に指摘された事例もあり、現状では、問題となる活断層の存在が、全国規模の文献にすべて抽出されていないと考えられる。また、活断層の活動の影響を受ける領域や、活動域の拡大・伸展、分岐等、断層の特性によっては図示された断層線上以外の領域にもその破壊・破断の影響が及ぶ場合も想定される。

全国規模で抽出されていなかった活断層の活動に関連しては、2000年に発生した鳥取県西部地震の事例がある。鳥取県西部地震は、あらかじめ知られていない活断層の変位により地震が発生したが、詳細な文献調査、空中写真判読、地表踏査、反射法地震探査等が実施され、20kmの区間で断続的に左横ずれの変位地形の可能性を示すリニアメントの分布が確認された。また、地表踏査により、このリニアメントに対応して、断層破碎帯が数箇所確認され、さらにトレンチ調査により、約1,200年前の地層を変位させる露頭が発見された（井上ほか，2002）。また、伏在断層に関連しては、深谷断層とその周辺地域に関する物理探査事例が報告されており、それによると反射法地震探査及び重力異常等に基づき、断層の一部が伏在していることが推定で

きたとされる（山口ほか，2000）。

これらのことから，全国規模の既存資料で抽出されていない活断層に関しても，個別地区を対象とした文献を詳細に検討することにより，分布が確認または推定された活断層を抽出することが可能な場合もある。

既存の活断層の直接的な影響が及ぶ範囲に関しては，破碎帯の幅と累積変位量の関係，破碎帯の幅と長さとの関係について様々な検討がなされている。ここで，断層破碎帯とは，断層活動に伴い，岩石が破碎され不規則な割れ目の集合体となったもので，角礫部，粘土部等から構成されるある幅をもった帯をいう。「第2次取りまとめ」では，断層活動による岩盤の破断・破碎作用の痕跡は，断層ガウジ，断層角礫，カタクレーサイト等の断層岩として残されており，安全側に評価する観点から，活断層の活動に伴い浅所～深所に形成される各種の断層岩の存在する帯を，「活断層に伴う破碎帯（活断層破碎帯）」として取り扱うとした。一方，金折（2001）は，地表近くで生じた断層ガウジと断層角礫からなる未固結の破碎部を断層破碎帯と呼び，より深い深度で形成され，固結性をもつカタクレーサイトやマイロナイトは，場合によっては母岩より強度が大きいことも予想されるとして，破碎帯とはみなさないとした（表 5.1.3-1）。なお，カタクレーサイトは，地表風化の影響を受けると断層角礫と見分けがつかないことがあり，注意を要することにも触れ，これについては，特に「カタクレーサイト帯」との呼称を提案した（図 5.1.3-1）。

主な活断層の破碎帯の幅は，阿寺断層で 500m，根尾谷断層系（温見断層）で 200m，中央構造線（伊予断層）で 200m（緒方・本荘，1981），野島断層では 50m である（林ほか，1998）ことが知られているが，これらの断層と室内実験のデータから，破碎帯の幅と累積変位量との間には相関があるとの報告がなされている（Otsuki，1978：図 5.1.3-2）ほか，活断層の長さとも累積変位量との間にも相関があると報告されている（Ranalli，1977）。電力施設の基礎岩盤調査において導かれた破碎帯幅と断層の長さの関係の経験式から，断層の長さは破碎幅の 150～350 倍程度で，破碎幅が広い断層は連続性も長いとしている（Ogata，1976；緒方・本荘，1981：図 5.1.3-3）。

これらのことから，断層の破碎帯幅，累積変位量，長さにはある関係が成り立つものと考えられ，個別地区ごとの検討により得られたデータを総合的に判断することによって，活断層の直接的な影響が及ぶ範囲を想定することは可能と考えられる。

断層周辺の変形帯に関しては，日本の主な地震断層周辺の地盤の隆起・沈降量をプロットした事例が知られており（田中・千木良，1997：図 5.1.3-4），「地下環境部会報告書」はその結果から，1 回の地震時に対応する活断層の変位に伴って断層周辺の地盤が鉛直方向に変位する量について，著しい影響は断層から約 1km 以内でほぼ収束するとみなせるとした。ここで，変形帯とは，断層活動に伴う地層の変形が生じているゾーンで，活断層の破碎帯周辺に認められ，断層活動による力を受けて地層の変形を生じていることから，将来，断層活動に伴い，処分場に著しい影響を及ぼすことが想定される領域をいう。

活断層の活動域の拡大・伸展，分岐等に関しては，いくつかの事例が報告されており（例えば，佐藤・平田，1998；鈴木，1988 等），また，その評価に際しては，近接して分布する複数



の断層の一群として取り扱うことが有効であるとしている（「第2次取りまとめ」；中田・今泉編，2002）。

活断層はしばしば、近接したいくつかの断層線の集まりで、その一つ一つが独立して地震を発生するのではなく、その断層群全体が一つの大地震に対応していたり、あるいは、いくつかの部分区間ごとに地震を起こしたりしているとされ、過去の大地震時の例からも、地表に出現した地震断層は互いに近接して分布している複数の断層線から構成される（松田，1990）。松田（1990）は、この断層群の一まとまりを「起震断層」と呼び、次の活断層または活断層群を一つの起震断層とした。

- ① 5km 以内に他の活断層のない孤立した長さ 10km 以上の活断層
- ② 走向方向に 5km 以内の分布間隔をもって、ほぼ一線に並ぶほぼ同じ走向の複数の断層
- ③ 5km 以内の相互間隔をもって並走する幅 5km 以内の断層群
- ④ その断層線の midpoint の位置が主断層から 5km 以上離れている走向を異にする付随断層あるいは分岐断層

中田・今泉編（2002）は、活断層分布の特徴や、個々の活断層の性質を説明するために、松田（1990）の方法を参考に、1) 活断層線の長さが 10km 以上である、2) 活断層線が 5km 以上の間隔をもって独立している、という活断層線間の距離を用いた画一的な基準のほかに、3) 断層の走向・タイプや変位センス等が同じである、ということの基本とし、さらに既存の研究結果、地形情報、地下構造の情報等についても考慮して活断層をグループ化し、このようにしてグループ化された活断層を「活断層帯」と呼んだ（図 5.1.3-5, 図 5.1.3-6）。

「第2次取りまとめ」では、日本列島に分布する規模の大きな活断層は、地表付近でしばしば分岐したり（分岐断層）、副次的な断層（副断層）を伴ったりすることから、活断層の活動の場の変化を評価する際には、分岐断層や副断層を含めたいくつかの活断層から構成される「活断層帯」として、その活動や変化を把握する必要があるとした。このうち、ほぼ平行して隣接する複数の低角逆断層によって構成される逆断層帯では、過去 100 万年間にその幅が拡大した可能性があるとされている（例えば、佐藤・平田，1998）。横手盆地東縁断層帯での物理探査結果から、過去数万年間における活断層帯の幅の拡大は、地表付近で約 2km 程度で、並走する複数の断層は地下 1~2km の堆積岩中で 1 枚に収斂する分岐断層と推定されているほか（佐藤・平田，1998）、伊那谷断層帯（山口，1988）、新庄盆地断層帯（鈴木，1988）等でも、数十万年間の拡大幅は、盆地側に数 km 程度（1~7.5km）とされており、逆断層帯としての活動域が盆地側に向かって数 km 程度拡大する可能性があることにも留意して調査する必要があるとされている（「第2次取りまとめ」）。

一方、中九州火山地域に見られる正断層帯では、活動の場の幅が 100 万年単位で地溝帯内部に向かって狭くなっており（鎌田・小玉，1993）、正断層帯では地溝帯の外側に活動域が拡大する可能性は小さいとされている（「第2次取りまとめ」）。

活断層の長さの伸展に関しては、「第2次取りまとめ」において、松田（1988）の式による計算に基づき、1,000 年間あたりの変位量を 0.1~10m とした場合、10 万年間に増加する活断層の長さは 0.1~10km 程度としているが、伸展した断層の事例は紹介されていない。

活断層の活動の継続に関しては、「地下環境部会報告書」において、『現在とほぼ同じ造構応力状態が持続する限りは、今後 10 万年以内にも、基本的にこれまでに形成された既存の活断層が継続して活動すると考えられる。』と述べ、これまでに既存の活断層の存在を示す兆候の全くなかったところに、新たに、地質環境に大きな影響を及ぼすような断層が発生することは考えられないとしている。

なお、千島弧外弧南西端に分布する十勝平野西縁断層帯（総延長約 100km）においては、その南部に位置する光地園断層が、過去数十万年以内に活動を再開した可能性が指摘されている（東郷，1982；東郷・小野，1994）。光地園断層は、新第三紀に活動した断層（広尾断層）が再活動したと考えられる（「第2次取りまとめ」）。このような事例に基づき、「第2次取りまとめ」では、比較的規模の大きい活断層帯の延長上において、活断層帯と同様の走向及び傾斜方向を有する主な非活断層の有無を確認し、活断層区における活断層の活動様式や、断層活動による地殻水平歪の速度を参考にして、再活動の可能性を検討する必要があるとしている。

また、活断層に準じて処分場に大きな影響を与える活動として、活褶曲・活撓曲の活動が挙げられる。活褶曲・活撓曲の分布については、地質調査所発行の活構造図等に図示されている。活褶曲による変形は、例えば新潟県小千谷市及び長岡市周辺に著しく発達するものが一般に広く知られており、この地域では、活褶曲に伴って発生する活断層の活動についても多くの報告がなされている（太田・鈴木，1979；吉岡，1988；吾妻ほか，1995等）。吉岡（1988）は、Yeats（1986）による分類を引用して、長岡市周辺に発達する活断層を、褶曲に伴って形成された活断層（図 5.1.3-7）であるとした。活褶曲・活撓曲の活動による地層の変形が及ぶ範囲について報告した例はほとんどない。活褶曲・活撓曲の力学的な破壊・変形の及ぶ範囲については、活断層の場合と同様に、個別地区ごとの検討により得られたデータを総合的に判断することによって、その直接的な影響範囲を避けることが可能と考えられる。

その他、「地下環境部会報告書」は、断層活動が処分システムに及ぼす影響として、断層活動により周辺岩盤に、ひずみ、小断層、節理等が生じた場合に想定される、周辺岩盤の力学的・水理学的変化による多重バリアの機能への影響を挙げた。断層活動に伴い、周辺岩盤に割れ目が発達するとされており、この断層活動に起因する割れ目が分布する範囲は、プロセスゾーン（Vermilye and Scholz, 1998）と呼ばれている。プロセスゾーンに分布する割れ目は、断層破碎帯として巨視的な一つの面上（または帯状）につながる以前の断層の成長過程の初期段階（断層の核生成期）に形成されたもので、この段階の破碎帯には引張応力がまだ保持されている状態にある（Scholz, 2002）とされる。

「地下環境部会報告書」では、断層活動による周辺岩盤の力学的・水理学的変化を検討する際には、断層活動により周辺岩盤に、ひずみ、小断層、節理等を生じる範囲（プロセスゾーン：Vermilye and Scholz, 1998）を検討することが重要であるとしている。周辺岩盤中に、断層活動に伴って形成された割れ目が分布する範囲については、プロセスゾーンの片側幅が断層の長さに対して  $10^{-2}$  のオーダーであるとの検討事例があるほか（Vermilye and Scholz, 1998）、日本の事例では、光明断層、花折断層等、100 万年以上の長い活動履歴をもち、長さが 50km を超える断層では、主断層周辺の岩盤中に小断層が分布する範囲は、断層から片側 2km 程度であると報告されている（Tsuneishi et al., 1975；Yoshida, 1985；Yoshida, 1986）。なお、この断層活動

により、周辺岩盤にひずみ、小断層、節理等が生じる範囲には、一般に、地層の著しい変形や変位は認められないとされている。

この主断層の周辺に分布する小断層のほとんどは、断層の成長の初期に形成され、主断層の形成後、活動しなくなるとの報告もある（恒石，1984）。「第2次取りまとめ」では、このことを踏まえ、『安全を期すうえでは、このような領域を含めて影響範囲とみなすか、あるいは個々の地域において十分な調査を行って将来の活動性を検討する必要がある。』と述べている。

金折（2001）は、このプロセスゾーンについて、地層処分の長期安定性評価にあたっては、長期間の地下水流動や核種の拡散を評価するために、プロセスゾーンの存在や性状の把握を検討項目とする必要があることを述べた。また、金折（2001）は、跡津川断層では、癒合割れ目で特徴付けられるプロセスゾーンが断層を挟んで3kmの幅で発達していること、さらにその内側には開口した粒界割れ目が発達したゾーンが200mの幅で分布することを示し、その癒合割れ目で特徴付けられるゾーンは、跡津川断層の形成時もしくは古い時代の活動に関連して発達したゾーンであり、また開口割れ目で特徴付けられるゾーンは、第四紀の活動に関連して形成されたプロセスゾーンである可能性を示したうえで、断層運動の影響をより詳しく評価しようとする場合にも重要であるとした。なお、プロセスゾーンの透水性や強度等、具体的な物性値に関しては、今後の検討が必要である。

表 5.1.3-1 断層岩の分類 (出典: 金折, 2001)

	ランダム・ファブリック	フォリエーションが形成されている			
未 固 結	断層角礫 (目にみえる岩片の割合が30%以上)	?			
	断層ガウジ (目にみえる岩片の割合が全体の30%以下)	フォリエーションを持つガウジ			
結  合  性	ガラス-脱ガラス化したガラス	シュードタキライト	?		
	マトリックスの特徴 テクトニクスによる粒子サイズの減少が、再結晶や新鉱物化作用による鉱物粒子の成長を支配する	粉碎角礫 粗粒 (角礫の大きさ>0.5cm) 細粒 (0.1<角礫の大きさ<0.5cm) 微粒 (角礫の大きさ<0.1cm)		0-10	
		カタクレーサイト・シリーズ	プロトカタクレーサイト	プロトマイロナイト	10-50
			カタクレーサイト	マイロナイト	50-90
ウルトラカタクレーサイト	ウルトラマイロナイト	ファイロナイト系	90-100		
	鉱物粒子の成長が著しい	?	ブラストマイロナイト	マトリックスの割合%	

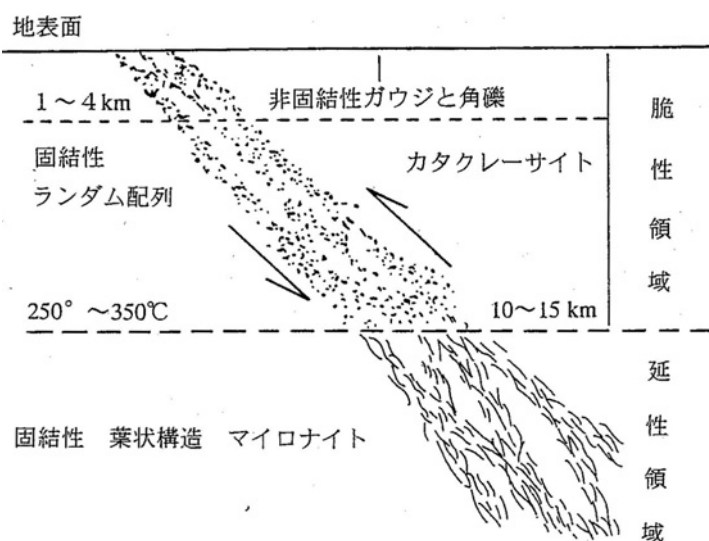
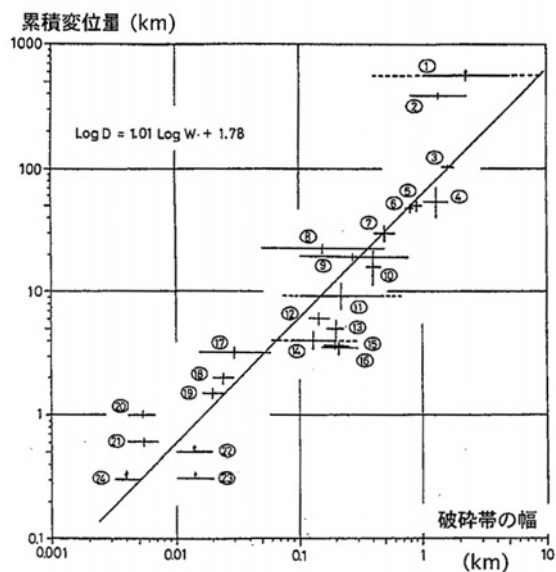


図 5.1.3-1 断層岩の種類とその形成深度に関する概念図 (出典: 金折, 2001)



- |                                 |                   |
|---------------------------------|-------------------|
| 1 San Andreas 断層                | 13 温見断層           |
| 2 Alpine 断層                     | 14 鶴川破砕帯          |
| 3 Great Glen 断層                 | 15 大原断層           |
| 4 Garlock 断層                    | 16 関ヶ原-柳ヶ瀬断層      |
| 5 Bok Bak 断層                    | 17 跡津川断層          |
| 6 Death Valley-Furnace Creek 断層 | 18 広瀬-長谷断層        |
| 7 日詰-気仙沼断層                      | 19 神縄断層の延長の南北走向断層 |
| 8 赤石構造線                         | 20 丹那断層           |
| 9 Hope 断層                       | 21 神縄断層の延長の南北走向断層 |
| 10 Agua Blanca 断層               | 22 鳥屋野断層          |
| 11 阿寺断層                         | 23 佐畑断層           |
| 12 Blue Cut 断層                  | 24 花折断層           |

図 5.1.3-2 断層の累積変位量と破砕帯の幅の関係 (出典: Otsuki, 1978)

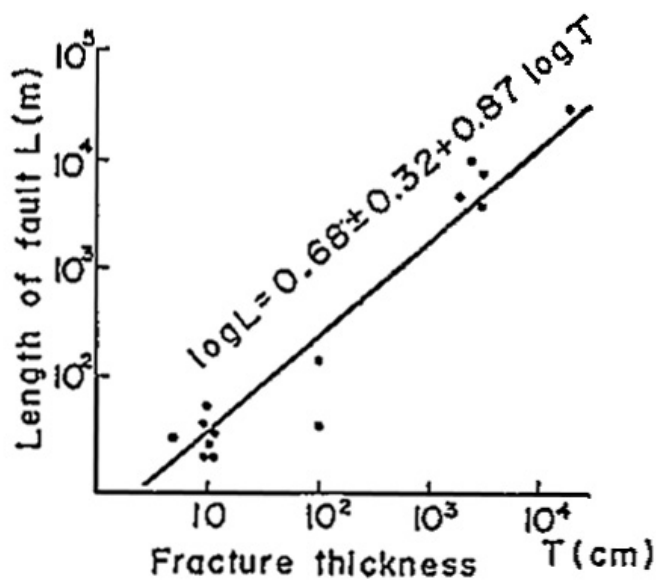


図 5.1.3-3 断層の破砕帯幅と長さの関係 (出典: 緒方・本荘, 1981)

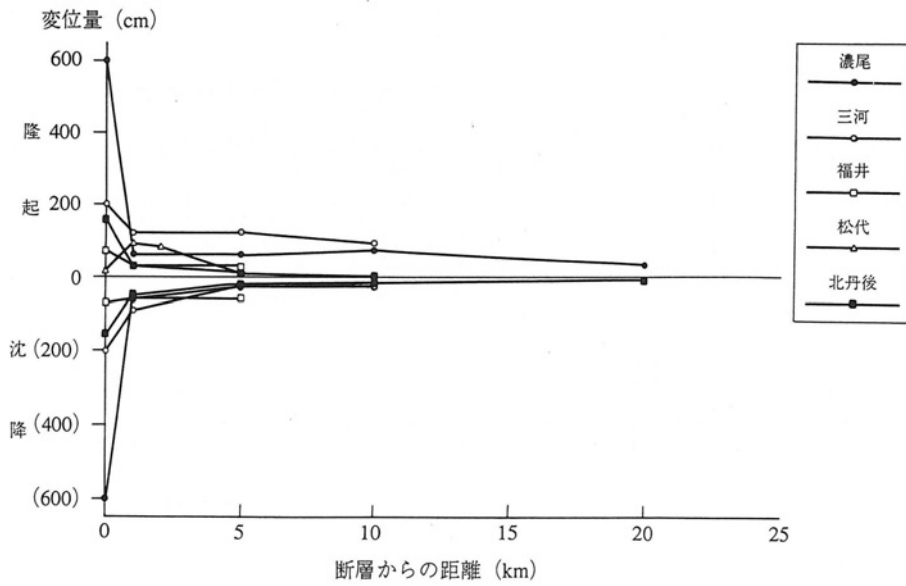


図 5.1.3-4 地震断層周辺の地盤の隆起・沈降水量 (出典：田中・千木良，1997)

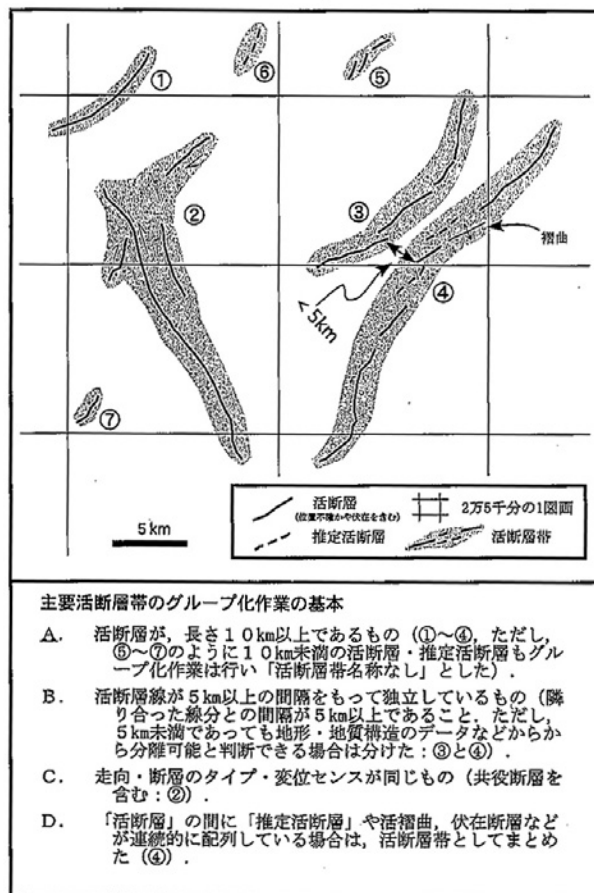


図 5.1.3-5 活断層帯のグループ化の例 (出典：中田・今泉編，2002)

九州地方 近畿・中国・四国地方 北海道地方

7080 阿蘇山断層帯	4010 筑前断層帯	0020 糠日丘断層帯
7090 小倉断層帯	4060 延岡断層帯	0030 古多断層帯
7100 福智山断層帯	4070 石断層帯	0040 峰高断層帯
7110 西山断層帯	5050 糸島山断層帯	0050 栗園断層帯
7200 響田断層帯	5060 糸島山下断層帯	0100 十疊平野断層帯
7250 水瀬断層帯	5270 信楽断層帯	0120 光地断層帯
7290 新田川一日石断層帯	5310 水津川断層帯	0150 宮城子断層帯
7350 平島地溝断層帯	5380 三方断層帯	0200 草良断層帯
7410 榑木断層帯	5400 尾川断層帯	0250 鶴足断層帯
7420 人吉断層帯	5440 花折断層帯	0260 サロベツ断層帯
7500 種子島断層帯	5410 上林川断層帯	0350 神戸断層帯
7530 鹿児島半島断層帯	5430 中山断層帯	0380 石狩川断層帯
	5450 柳井断層帯	0420 野幌丘陵断層帯
	5500 奈良地溝断層帯	0480 辰野川断層帯
	5520 あふみ地溝帯	0500 八雲断層帯
	5570 京都山断層帯	0520 高野平野断層帯
	5580 鹿野断層帯	
	5610 生野山断層帯	
	5620 上川断層帯	
	5660 三好断層帯	
	5680 八幡平断層帯	
	5750 中津川断層帯	
	5751 北津川断層帯	
	5752 四国中央断層帯	
	5753 四国中央断層帯	
	5754 四国中央断層帯	
	5830 岩井断層帯	
	5840 山崎断層帯	
	5900 長尾断層帯	
	5940 赤松断層帯	
	6050 赤松断層帯	
	6070 筑前断層帯	
	6110 石川断層帯	
	5150 松原西方断層帯	
	7050 堀川断層帯	

関東・中部地方 東北地方

2120 鶴川断層帯	1060 青森西方断層帯
2150 関谷断層帯	1070 入久断層帯
2270 深谷断層帯	1080 津田山断層帯
2160 高野山北断層帯	1090 磐石断層帯
2280 平井一帯断層帯	1100 志摩断層帯
2270 豆川断層帯	1110 志摩断層帯
2280 伊勢断層帯	1120 志摩断層帯
2480 伊勢断層帯	1150 志摩断層帯
2490 伊勢断層帯	1160 志摩断層帯
2510 伊勢断層帯	1170 志摩断層帯
2520 伊勢断層帯	1180 志摩断層帯
2530 伊勢断層帯	1190 志摩断層帯
2540 伊勢断層帯	1200 志摩断層帯
2550 伊勢断層帯	1210 志摩断層帯
2560 伊勢断層帯	1220 志摩断層帯
2570 伊勢断層帯	1230 志摩断層帯
2580 伊勢断層帯	1240 志摩断層帯
2590 伊勢断層帯	1250 志摩断層帯
2600 伊勢断層帯	1260 志摩断層帯
2610 伊勢断層帯	1270 志摩断層帯
2620 伊勢断層帯	1280 志摩断層帯
2630 伊勢断層帯	1290 志摩断層帯
2640 伊勢断層帯	1300 志摩断層帯
2650 伊勢断層帯	1310 志摩断層帯
2660 伊勢断層帯	1320 志摩断層帯
2670 伊勢断層帯	1330 志摩断層帯
2680 伊勢断層帯	1340 志摩断層帯
2690 伊勢断層帯	1350 志摩断層帯
2700 伊勢断層帯	1360 志摩断層帯
2710 伊勢断層帯	1370 志摩断層帯
2720 伊勢断層帯	1380 志摩断層帯
2730 伊勢断層帯	1390 志摩断層帯
2740 伊勢断層帯	1400 志摩断層帯
2750 伊勢断層帯	1410 志摩断層帯
2760 伊勢断層帯	1420 志摩断層帯
2770 伊勢断層帯	1430 志摩断層帯
2780 伊勢断層帯	1440 志摩断層帯
2790 伊勢断層帯	1450 志摩断層帯
2800 伊勢断層帯	1460 志摩断層帯
2810 伊勢断層帯	1470 志摩断層帯
2820 伊勢断層帯	1480 志摩断層帯
2830 伊勢断層帯	1490 志摩断層帯
2840 伊勢断層帯	1500 志摩断層帯
2850 伊勢断層帯	1510 志摩断層帯
2860 伊勢断層帯	1520 志摩断層帯
2870 伊勢断層帯	1530 志摩断層帯
2880 伊勢断層帯	1540 志摩断層帯
2890 伊勢断層帯	1550 志摩断層帯
2900 伊勢断層帯	1560 志摩断層帯
2910 伊勢断層帯	1570 志摩断層帯
2920 伊勢断層帯	1580 志摩断層帯
2930 伊勢断層帯	1590 志摩断層帯
2940 伊勢断層帯	1600 志摩断層帯
2950 伊勢断層帯	1610 志摩断層帯
2960 伊勢断層帯	1620 志摩断層帯
2970 伊勢断層帯	1630 志摩断層帯
2980 伊勢断層帯	1640 志摩断層帯
2990 伊勢断層帯	1650 志摩断層帯



図 5.1.3-6 主要活断層帯の分布 (中田・今泉編, 2002 を編集)

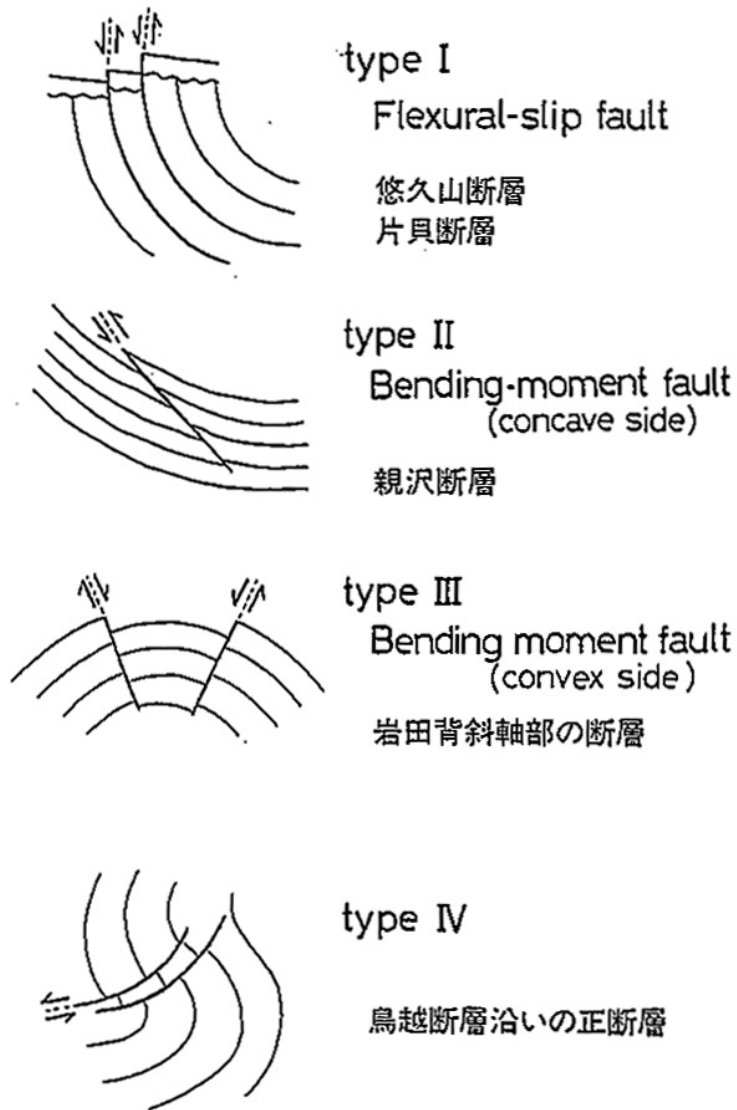


図 5.1.3-7 褶曲に伴う断層のタイプ（長岡市周辺の例）

（出典：吉岡，1988）

Flexural-slip fault：褶曲の進行に伴い褶曲の内側と外側の間に層理面すべりが発生し、それが地表に現れたもの（Type I）。Bending-moment fault：褶曲の凹部と凸部にそれぞれ水平方向の圧縮と引張の力が働き、それによって凹部で逆断層（Type II）、凸部で正断層（Type III）が発生するというもの。Type IVは、Type I～IIIのどのタイプにも相当せず、過度の褶曲により不安定になった地層が重力により滑落したテクトニックな地すべりといえそうなもの



(2) 個別地区ごとに評価する事項の考え方

「断層活動」に関する「個別地区ごとに評価する事項」を以下に示す（原子力発電環境整備機構，2002c）。

くり返し活動し，変位の規模が大きい活断層等について，次の事項に該当すると明確に判断される場所，範囲は含めないように，概要調査地区を選定する。

- ① 全国一律に評価する事項で用いた以外の文献によって認められる活断層がある場所
- ② 活断層の幅（断層破碎帯）及びその外側の変形帯に含まれる範囲
- ③ 活断層の分岐等の発生の可能性が高い範囲
- ④ 顕著な活動を継続している活褶曲や活撓曲の分布範囲

概要調査地区選定の法定要件に関連して，当該地域を個別に検討する段階においては，応募区域及びその周辺の地域に対して，全国規模でデータが整備された情報に加え，地域規模の既存情報を詳細に検討することにより，概要調査地区としての法定要件への適格性を評価する。

① 全国一律に評価する事項で用いた以外の文献によって認められる活断層がある場所

全国規模で抽出されていなかった活断層が活動した事例としては，鳥取県西部地震の事例が指摘されている（井上ほか，2002）。この事例においては，個別に詳細な文献調査，空中写真判読等を行うことによって，変位地形を抽出できる可能性が示されている。また，存在が見落とされやすい伏在活断層の分布に関しては，物理探査を用いた地下構造の検討が有効であるが（山口ほか，2000等），このような検討事例は個別地区を対象とした文献に類するものである。

このような事例を踏まえ，全国規模の文献で抽出されていない活断層等を抽出することを目的に，全国一律に評価する事項で用いた「200万分の1日本列島活断層図」（中田・今泉編，2002）及び「日本周辺海域の第四紀地質構造図」（徳山ほか，2001）には記載されていないが，他の文献に記載されている活断層（伏在活断層等も含む）の存在について，調査・検討を行うものとする。そして，個別地区ごとの文献調査により，全国一律に評価する事項に該当する活断層以外に，分布が明確に認められる活断層が特定された場合には，これらの活断層等がある場所は含めないように，概要調査地区を選定する。

② 活断層の幅（断層破碎帯）及びその外側の変形帯に含まれる範囲

既存の活断層の直接的な影響が及ぶ範囲については，断層活動により破碎された痕跡である断層岩の分布に基づき捉えることができる（「第2次取りまとめ」）。しかし，断層周辺に認められる断層岩のうち，どこまでを活断層の影響が及ぶ「断層破碎帯」とみなすかについては，いくつかの見解がある（「第2次取りまとめ」；金折，2001等）。

このため，考慮事項においては，「第2次取りまとめ」の見解を踏まえることとし，断層ガウジ，断層角礫，カタクレーサイト等から構成される範囲を，断層破碎帯とし，この領域を活断層の活動による岩盤の破断，破碎作用等の影響が将来直接及ぶ幅をもった領域と捉え，その分布や規模に関して，調査・検討を行うものとする。そして，個別地区ごとの

文献調査により、前掲の①で存在を特定した活断層の各々に関して、断層破碎帯の分布や幅に関する情報が得られた場合には、当該断層線上にその幅を加味して、断層活動による破断・破碎が及ぶ領域としてその場所は含めないように、概要調査地区を選定する。

その他、田中・千木良（1997）の変形帯に関する取りまとめ結果及び「地下環境部会報告書」を踏まえ、断層破碎帯だけでなく、活断層の変位に伴って断層周辺の地盤が著しく変位する領域（変形帯）に関しても、地層の著しい変形が起こる領域と捉え、将来、断層活動に伴い、処分場に著しい影響を及ぼすことが想定される領域として考慮するものとする。変形帯に関しても断層破碎帯と同様に、個別地区ごとの文献調査や既存の活断層に関する資料等に基づき、個々の断層に対して、変形帯の幅や分布を設定し、その領域は概要調査地区に含めないものとする。

これらの活断層の幅（断層破碎帯）や変形帯の範囲は、断層や周辺岩盤の性状等によって多様であることから、地域規模で個別に詳細な検討を行うこととする。検討に際しては、緒方・本荘（1981）、Otsuki（1978）等による断層破碎帯の幅に関する検討事例や、田中・千木良（1997）による変形帯に関する取りまとめ結果を参照するものとする。

### ③ 活断層の分岐等の発生の可能性が高い範囲

活断層の分岐等については、盆地や平野と山地との境界付近に存在する逆断層の幅が、過去 100 万年間に拡大した可能性（例えば、佐藤・平田，1998；山口，1988）、新第三紀に活動した断層が過去数十万年以内に活動を再開した可能性（東郷，1982；東郷・小野，1994）等の事例があることから、活断層の拡大・分岐、伸展、地質断層の再活動等について考慮するものとする。その際、前述のように活断層帯としてグループ化できる活断層群の中では、個々の断層として地表では認識されにくい伏在活断層が含まれることがあり、また、将来の活断層帯の拡大範囲をおおまかに把握可能とされるので（「第2次取りまとめ」）、このような個所については、活断層の分岐等の観点から詳細に検討することとする。

活断層の拡大・分岐、伸展に関しては、活断層のグループ化の考え方も念頭に置き、抽出された活断層等に関して個別の詳細な検討を行い、活断層が分岐する可能性、活断層が長さ方向に伸展する等の可能性について検討を行う。盆地縁辺部に分布する逆断層に関しては、盆地側への分岐の例が数多く報告されており（佐藤・平田，1998；山口，1988；鈴木，1988等）、「第2次取りまとめ」の見解を踏まえ、逆断層に関しては特に、その活動域が盆地側に向かって数 km 程度拡大する可能性について、注意深く調査・検討する。検討の結果、活断層が分岐する可能性や、活断層が長さ方向に伸展する等の可能性が明確に認められた場合には、そのような範囲は含めないように、概要調査地区を選定する。

また、現在活動性が認められない地質断層の再活動や、活断層の新生の可能性については、『現在とほぼ同じ造構応力状態が持続する限りは、今後 10 万年以内にも、基本的にこれまでに形成された既存の活断層が継続して活動すると考えられる。断層の発生及び成長のプロセスからみても、これまでに既存の活断層の存在を示す兆候の全くなかったところに新たに地質環境に大きな影響を及ぼすような断層が新たに発生することは考えられない。』とする「地下環境部会報告書」の見解を踏まえ、対象地区周辺の地質構造、地殻変動

特性、造構応力状態等に関して個別地区ごとに検討を行い、将来的なテクトニクスの変化の可能性を検討する。これらの検討の結果、当該地域内の地質断層の再活動や、新たな活断層の新生の可能性が明確に認められるような範囲は含めないように、概要調査地区を選定する。

#### ④ 顕著な活動を継続している活褶曲や活撓曲の分布範囲

活褶曲や活撓曲については、既存文献の記載によるその変形の規模や特性を考慮した場合、これらの活動に伴って地層は著しく変形すると考えられる。例えば、新潟県小千谷市及び長岡市周辺の活褶曲等がある（太田・鈴木，1979；吉岡，1988；吾妻ほか，1995等）。

活褶曲や活撓曲の活動は、周辺の地層を著しく変形させるおそれがあり、将来、最終処分施設に著しい変形を及ぼす可能性があると考えられることから、個別に詳細な検討を行い、これらの構造の分布や、その活動により変形が及ぶ領域を検討するものとする。検討の結果、これらの構造の分布や変形の及ぶ領域に関する情報が得られた場合には、これらの範囲は含めないように、概要調査地区を選定する。

以上の①～④の事項に関して、活断層等の存在が文献調査から明確に判断できない場合には、概要調査あるいはそれ以降の調査において、最終処分施設を合理的に配置することが困難となるような活断層等の有無を検討していく。

### (3) 個別地区ごとに評価する事項の調査・評価内容

個別の既存の文献・資料に基づき、以下に示す事項について調査する。また、各項目に関する調査・評価の概略を例示する。

#### ① 全国一律に評価する事項で用いた以外の文献によって認められる活断層がある場所

応募区域及びその周辺地域を対象に、以下に示すような項目に関して資料を収集し、それらの検討結果を総合的に判断することにより、当該地域内における「200 万分の 1 日本列島活断層図」（中田・今泉編，2002）、「日本周辺海域の第四紀地質構造図」（徳山ほか，2001）に示された以外の活断層等が分布する可能性について詳細に検討する。

- ・ 「200 万分の 1 日本列島活断層図」（中田・今泉編，2002）になく、他の全国・地域規模の既存資料に記載されている陸域の活断層等に関する情報収集
- ・ 「日本周辺海域の第四紀地質構造図」（徳山ほか，2001）になく、他の全国・地域規模の既存資料に記載されている海域の活断層等に関する情報収集（必要に応じ、個別の音波探査データを直接解析し、地層の分布・層序、活断層等の分布・性状について、諸データの整合性を図る）
- ・ 地下構造にかかわる既存資料（ボーリング、反射法探査、重力探査、磁気探査等のデータ）の調査
- ・ 空中写真によるリニアメント判読
- ・ 海底地形図及び海底音響画像によるリニアメント（表層堆積物に刻まれた構造）判読
- ・ 地震の震源分布に関する解析

- ・ 水準点測量結果，GPS データ等の測地・測量解析結果
- ・ その他，リモートセンシングデータ（DEM データを含む） 等

検討対象とするデータは，活断層等の分布・性状について記載した文献を中心に，地形・地質に関する文献のほか，物理探査結果や微小地震の震源分布に関する文献，地下構造にかかわる既存資料等も網羅し，伏在活断層及び地表に活動の痕跡が残されていない可能性のある断層についての情報も考慮して収集する。その他，水準点測量の結果や GPS 観測網の測地データ等についても収集・検討を行い，現在進行中の地殻の変動や変形についても考慮する。また，既存の文献・資料に基づく調査・検討だけでなく，当該地域に関する空中写真や衛星データ，地形データ等も収集し，断層変位地形の存在，諸データの特性・分布等に基づいて，応募区域及びその周辺地域における活断層等の存在に関して総合的な検討を行う。

なお，これらの資料を総合的に取りまとめ，解釈する際には，各々の資料の取り扱いデータの種類や領域に関する特徴を十分考慮し検討する。特に，陸域に関するデータと海域に関するデータとでは，各々の地域を対象に研究を行っている機関や調査手法が一致しないことが一般的な傾向であり，特に沿岸域に関してデータの齟齬が生じやすい。これに関しては，各機関による調査の範囲，深度，手法，精度等の違いに留意し，データの収集を図るものとする。

## ② 活断層の幅（断層破碎帯）及びその外側の変形帯に含まれる範囲

①に示した調査・評価の結果，特定された活断層について，以下に示すような項目に関して資料を収集し，それらの検討結果を総合的に判断することにより，個々の活断層の活動による直接的な影響の及ぶ範囲を可能な限り評価する。

- ・ 個々の活断層について，そこに付随する断層破碎岩（断層ガウジ，断層角礫，カタクレーサイトを含む）の分布幅に関する既存資料の調査（特に，断層の伸びの方向や傾斜，深部への三次元的な連続性に留意する）
- ・ 個々の活断層について，周辺岩盤の変形帯の範囲に関する既存資料の調査

活断層の活動の直接的な影響は，断層破碎帯及びその外側の変形帯に及ぶと考え，これらの資料に基づいて，断層破碎帯並びにその外側の変形帯の分布及び幅について総合的に検討する。

## ③ 活断層の分岐等の発生の可能性が高い範囲

①に示した調査・評価の結果，特定された活断層等について，以下に示す項目に関して資料を収集し，それらの検討結果を総合的に判断することにより，検討対象である活断層等の活動の継続性や将来的な長さの伸展，幅の拡大，分岐，断層の新たな発生，地質断層の再活動の可能性について検討を行う。

- ・ 広域的な地質・地質構造，地殻変動特性，地史，テクトニクスに関する既存資料の調査
- ・ 当該活断層と類似した性質をもつ断層にかかわる地下構造及び形成発達史にかかわる既存資料の調査結果からの類推

- ・ 中田・今泉編（2002）等により活断層帯としてグループ化して図示された活断層群は、活断層帯の中で将来的に分岐、拡大等が生じることから、活断層帯を構成する個々の活断層の走向、タイプ、変位のセンス、活動履歴等に着眼した将来的な断層の分岐・移動の可能性を視野に入れた詳細な検討の実施
- ・ 地震の震源分布に関する解析

活断層等の分岐等の評価に際しては、地域規模での詳細な検討を行い、その発生の可能性について総合的に判断する。例えば、応募区域に活断層等の分岐が及ぶ可能性を評価する場合、広域的な地質・地質構造や地殻変動特性、地史、造構応力状態等に関する既存資料を収集・検討し、地史を編纂して、個別の活断層等に関して構造発達史上の位置付けを明確にすることが重要と考える。地質断層の再活動や、新生の可能性に関連しても同様に、広域的な地質・地質構造、地殻変動特性、地史、造構応力状態等に関して個別地区ごとに検討を行い、将来的なテクトニクスの変化の可能性を検討する。

また、活断層の長さ方向への伸展や、現在、地表に明らかな変位地形が残されていない活断層等に関しては、微小地震の震源分布に関するデータの収集・解析により、活断層の延長上での群発地震の発生について検討すること、下部地殻において進行中の変動特性を把握すること等が重要である。

#### ④ 顕著な活動を継続している活褶曲や活撓曲の分布範囲

①に示した調査・評価の結果、活断層と共に特定された当該地域内における活褶曲や活撓曲について、以下に示すような項目に関して資料を収集し、その変形の及ぶ範囲を可能な限り評価する。

- ・ 活褶曲や活撓曲にかかわる変形の分布範囲についての既存資料の調査
- ・ 水準点測量結果、GPS データ等の測地・測量解析結果

活褶曲や活撓曲の変形が及ぶ範囲を検討する際には、水準点測量の結果、GPS 観測網の測地データ等を詳細に検討し、現在進行中の地殻の変動や変形を評価することが重要である。

#### (4) 個別地区ごとに評価する事項に関する使用情報（利用文献、参考文献）

以上の（1）～（3）を踏まえ、個別の既存の文献・資料として、例えば以下のような資料を参照する。

- ・ 5 万分の 1 地質図幅及び同説明書（地質調査所／産業技術総合研究所）
- ・ 20 万分の 1 地質図幅（地質調査所／産業技術総合研究所）
- ・ 50 万分の 1 活構造図（地質調査所／産業技術総合研究所）
- ・ 新編 日本の活断層（活断層研究会 編）
- ・ 日本第四紀地図（日本第四紀学会 編）
- ・ 地質構造図（地質調査所／産業技術総合研究所）
- ・ 重力図（地質調査所／産業技術総合研究所）
- ・ 海洋地質図（地質調査所／産業技術総合研究所）

- ・ 大陸棚の海の基本図（20 万分の 1）（海上保安庁水路部）
- ・ 沿岸の海の基本図（5 万分の 1）（海上保安庁水路部）
- ・ 個別の音波探査データ
- ・ 空中写真
- ・ 水準点測量，GPS 測量等の測地測量データ及び DEM データを含むリモートセンシングデータ
- ・ 地質構造，重力異常，テクトニクス，地殻変動特性等に関する全国・地域規模の既存資料
- ・ 震源データ及び被害地震に関する記録
- ・ その他，活断層の分布，位置，規模，幅，周辺の変形，活動性，形成発達史等及び活褶曲・活撓曲の分布，変形の範囲，性状に関する全国・地域規模の既存資料

#### 5.1.4 「断層活動」に関する精密調査地区選定段階以降の調査・評価の考え方

「断層活動」に関する精密調査地区選定段階以降の調査・評価にあたっては，概要調査地区の選定段階での文献調査による評価結果を確認するために，地表からの調査，地下の調査施設における調査を行う。

#### 5.1.5 「断層活動」が周辺岩盤に及ぼす力学的・水理学的影響について

「断層活動」が周辺岩盤に及ぼす力学的・水理学的影響については，断層活動により周辺岩盤に，ひずみ，小断層，節理等が生じている範囲及びその性状を検討するものとする。

「第 2 次取りまとめ」，金折（2001）等による断層活動に伴う周辺岩盤の力学的・水理学的影響に関する記載に基づき，断層活動により周辺岩盤に小断層や節理等の発生にかかわる変位・変形が将来生じたとしても，基本的には，処分場に大きな影響を与えるほどの規模のものではなく，割れ目が開口すること等により，周辺地質環境の力学的・水理学的環境の状態が変化する程度のものであると考える。

したがって，断層活動により周辺岩盤に，ひずみ，小断層，節理等が生じている範囲（Vermilye and Scholz（1998）及び金折（2001）によって定義されるプロセスゾーンを含む）については，最終処分施設の著しい変形，埋設した高レベル放射性廃棄物の地表への接近をもたらす地層の変動である「地層の著しい変動」とはしない。概要調査地区選定段階では，断層活動により周辺岩盤に，ひずみ，小断層，節理等が生じている範囲を，断層活動により周辺岩盤の力学的・水理学的特性が変化した領域と捉え，主断層の活動性にかかわらず，後述（5.6.3）の「付加的に評価する事項」の中で示す地層の物性・性状（例えば，岩盤の強度，変形・割れ目・風化・変質の状況），地下水の特性（例えば，地下水の流量・流速）の一環として評価・検討するものとする。

#### 5.1.6 「ゆれ」（地震動）について

##### (1) 「ゆれ」（地震動）に関する情報の整理と考え方

「ゆれ」（地震動）に関しては，釜石鉱山での地震観測例（Shimizu et al., 1996；Ishimaru and Shimizu, 1997）及びその他の鉱山・地下発電所の空洞での地震観測例等（駒田ほか，1989；日

比野ほか，1987)に基づいて，地下深部におけるゆれは地表に比べて小さいということが指摘されている。釜石鉱山での地震観測例では，地下深部における最大加速度は地表部の 1/2～1/4 とされている。

これらのことに基づき，「地震」に関する事象のうち，「ゆれ」(地震動)の影響については，一般に地下深部の「ゆれ」(地震動)が地上に比べて小さいことを考慮し，概要調査地区の選定段階での評価は行わないものとした(5.1.1 参照)。また，操業中の地上施設と，埋め戻して周辺の地層と一体化する以前(閉鎖前)の地下施設に関しては，地震動の影響は考慮するが，その際には，既存の原子力施設と同様，耐震設計による対処が可能であると考え，これらの施設に対しても，地震動の影響について，概要調査地区の選定段階での評価は行わないものとする。

しかし，これらの「ゆれ」(地震動)の影響に関しては，「地層の著しい変動」とはしないものの，概要調査以降も調査を継続し，既存情報及び実測データに基づいて，その発生と影響の程度を評価・確認するものとする。

## (2) 「ゆれ」(地震動)に関する調査・評価内容

「ゆれ」(地震動)に関する情報を収集し，地下の地震動は地表部に比較して小さく，処分場閉鎖までの地上・地下施設に対する耐震設計が十分に可能であること等を評価・確認していく。精密調査地区選定段階以降，原位置での実測データを蓄積し，評価・確認を行っていく。

なお，操業・閉鎖までの地上及び地下施設の耐震設計については，原子力安全委員会による地層処分施設のための新たな指針が作成されることと考えられ，それに則った対応を行っていく。当面は，「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」(原子力安全委員会，2001)，「再処理施設安全審査指針」(原子力安全委員会，2001)に準じて検討を行っていくこととし，想定される地震動を評価するためのデータを，安全審査段階までに取得していく。

原子力施設にかかわる耐震設計の考え方を表 5.1.6-1 に示す。

## (3) 「ゆれ」(地震動)に関する使用情報(利用文献，参考文献)

既存の文献・資料として，例えば以下のような資料を参照する。

- ・ 国立大学観測網地震カタログ震源ファイル (Japan University Network Earthquake Catalog Hypocenters File)
- ・ 気象庁等，関連諸機関発表による震源分布図
- ・ その他，地震動に関する詳細な既存資料

表 5.1.6-1 原子力施設にかかわる耐震設計の考え方

項目	発電用原子炉施設	再処理施設	高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センター
準拠する指針類	指針 発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（原子力安全委員会、2001）	再処理施設安全審査指針（原子力安全委員会、2001）	再処理施設安全審査指針（原子力安全委員会、2001） （廃棄物管理施設の安全性の評価の考え方（原子力安全委員会、1989））
	地質・地盤の調査	同左	同左
安全が確保できなくなる場合	活断層が活動すること（地盤の変位・変形）により、システムが直接的に破壊される		
	活断層が活動することに伴う揺れ（地震動）により、二次的にシステムが破壊される		
短期（50年程度）の評価	耐震設計上の重要度分類	Aクラス（Asクラス）、 Bクラス、Cクラス	Aクラス（Asクラス） Bクラス、Cクラス
	地震、活断層の扱い	活断層の上には作らない 基準地震動 S1、S2	活断層の上には作らない 基準地震動 S1

耐震設計上の重要度分類（機能上の分類）

A クラス：自ら放射性物質を内蔵しているか又は内蔵している施設に直接関係しており、その機能喪失により放射性物質を外部に放散する可能性があるもの及びこれらの事態を防止するために必要なものならびにこれらの事故発生の際に、外部に放散される放射性物質による影響を低減させるために必要なものであって、その影響、効果の大きいもの。  
A クラスの施設のうち特に重要な施設を、限定してAsクラスの施設という。

B クラス：上記において、影響、効果が比較的小さいもの。

C クラス：A クラス、B クラス以外であって、一般産業施設と同等の安全性を保持すればよいもの。

耐震設計に関する荷重の組合せ

As クラスの建物・構築物

①常時作用している荷重及び連環時に施設に作用する荷重と、基準地震動 S1 による地震力または静的地震力とを組合わせ、その結果発生する応力に対して、安全上適切と認められる規格及び基準による許容応力度を許容限界とする。

②常時作用している荷重及び連環時に施設に作用する荷重と基準地震動 S2 による地震力との組合わせに対して、当該建物・構築物が構築物全体として十分変形能力（ねばり）の余裕を有し、建物・構築物の終局耐力に対し妥当な安全余裕を有していること。

A クラス（As クラスを除く）の建物・構築物  
上記①を適用する。

基準地震動 S1、S2 の策定にあたり考慮する地震

基準地震動 S1

①過去の地震

②過去 1 万年の間に活動した活断層による地震

- ・ A 級活断層に属し 1 万年前以降活動したもの、または地震の再来期間が 1 万年未満のもの
- ・ 微小地震の観測により、断層の現在の活動性が顕著に認められるもの

基準地震動 S2

①過去 5 万年の間に活動した活断層による最大の想定地震

- ・ 上記②を除き A 級活断層に属するもの
- ・ B 及び C 級活断層に属し 5 万年前以降活動したもの、又は地震の再来期間が 5 万年未満のもの

②地震地体構造から考えられる最大の地震

③直下地震（M6.5）



### 5.1.7 「地質環境の変化」について

#### (1) 「地質環境の変化」に関する情報の整理と考え方

「地質環境の変化」に関しては、釜石鉾山での地震観測例 (Shimizu et al., 1996 ; Ishimaru and Shimizu, 1997) が報告されている。それによると、釜石鉾山で観測した 334 例の地震のうち、地震動による水圧変化を示している可能性があるものは 18 例であり、その最大幅は  $0.35\text{kgf/cm}^2$  程度で、これらの変化は数週間でもとのトレンドに回復し、これらの水圧変化は Dobrovolsky et al. (1979) による理論歪量が  $10^{-8}$  より大きい地震の 6 割程度で認められている (Shimizu et al., 1996 ; Ishimaru and Shimizu, 1997)。地震時の地下水異常の継続期間に関しては、1946 年の南海道地震時における道後温泉における水位変化が 3 ヶ月後に回復したとの事例 (川辺, 1991) もある。その他、1995 年の兵庫県南部地震後に野島断層沿いで観測された水質変化や地下水流動解析結果に基づいて、地震時に認められた地下水の異常は、ほとんどが浅層地下水に相当するものであるとの報告 (佐藤ほか, 1999 ; 阿部・酒井, 1999) や、1995 年兵庫県南部地震に伴って発生した淡路島北部における地下水変動データを用いたモデル計算により、この地下水変動現象の主たる原因は地震に伴う透水系数の増大 (地震発生後に 5 倍以上大きくなっている) によるものと推定されるとの報告 (徳永, 1999) もある。広島県北部の地下水位観測井における 1994 年から 2001 年の観測において、八つの地震で地震発生後 1 時間程度の短期的な地下水位変動と地震発生後数ヶ月に及ぶ長期的な地下水位変動が観測されている (弘津ほか, 2003)。2000 年鳥取県西部地震や 2001 年芸予地震の際には、近畿地方及びその周辺の地下水観測井戸において、一時的な地下水位変化や地殻歪変化が観測されている (高橋ほか, 2002 ; 小泉ほか, 2002)。また、釜石鉾山では、地震前後の坑内湧水に関する水質分析結果に関する報告もなされており、それによると 4 例について  $\text{SO}_4^{2-}$  と  $\text{HCO}_3^-$  にわずかな変化が認められたとされる (青木ほか, 1999)。

「第 2 次取りまとめ」では、地震前後の地下水流動や水質の変化は、季節変化等の経時変化に比べて小さく、また仮に大きな地震があったとしても、その変化は一時的であり、数ヶ月後には元の水位に戻るとし、地震による地下深部の地質環境への変化は、地層処分システムに大きな影響を与えるものではないとしている。また、「地下環境部会報告書」も、地震時の地下水位や地下水圧の変化は、地下水流動に対し恒常的な影響は及ぼさないと考えられるとしている。

これらのことを踏まえ、「地震」に関する事象のうち、「地質環境の変化」については、その発生の規模が小さく、処分場に大きな影響を与えるものではないと想定されることから、「地層の著しい変動」とはせず、概要調査地区選定上の考慮事項とは取り扱わないものとした (5.1.1 参照)。

#### (2) 「地質環境の変化」に関する調査・評価内容

地上、地中及び地下坑道内での地震前後の湧水量、地下水位、地下水圧、水質等の変化に関する情報を収集し、地震時の地下水位、地下水圧、水質等の変化が、地下水流動に対し著しい影響を及ぼすものではないこと等を定量的に評価・確認していく。精密調査地区選定段階以降も、原位置での実測データを蓄積し、評価・確認を行っていく。

(3) 「地質環境の変化」に関する使用情報（利用文献、参考文献）

既存の文献・資料として、例えば、以下のような資料を参照する。

- ・ 地震前後の地下水流動及び水質等に関する詳細な既存資料

## 5.2 法定要件に関する事項「噴火」

### 5.2.1 「噴火」に関する設定の考え方

荒牧（1996）は火山現象について、『地学的現象のうち、マグマが地表または地表近くに達して引き起こす現象のすべてを指す。噴火活動・火山体の形成・噴気活動などは火山現象の中心となるが、温泉作用・変質作用・鉱化作用・火成岩体の貫入なども広義の火山現象（volcanic phenomenon）。』と定義している。「第2次取りまとめ」では、この火山現象として定義された地学的現象の総称として「火山活動」と定義している。法定要件に関する事項「噴火」の設定にあたり、「第2次取りまとめ」の定義を踏まえ、地下深部で形成されたマグマの地表への噴出だけでなく、地殻中へのマグマの貫入、マグマの熱、熱水、火山ガスにより生じる地下水や岩盤等の物理化学的な影響を生じる現象等、マグマが地表及び地下で引き起こす地学的現象の総称として「火成活動」という用語を用い、取り扱うこととした。

「第2次取りまとめ」では、「火山活動」が地質環境に及ぼす影響について、マグマの貫入、噴出等によって生じる岩盤の破壊、陥没等の力学的影響、地下のマグマから放出される熱エネルギーによる周辺岩盤の温度の上昇、熱水対流系の生成（地下水流動系の変化）、地下水への熱水・火山ガスの混入等の熱的・水理的・地球化学的影響等が考えられるとしている。

「地下環境部会報告書」では、火成活動が地層処分に及ぼす影響として、マグマの貫入・噴出により処分施設及びその周辺の岩盤が直接的に破壊され、放射性核種を地表に放出する可能性があることを挙げている。また、火成活動による熱・熱水の放出は、周辺岩盤に変質や水理特性の変化を及ぼし、また熱水の対流は、核種の移行を促進させる可能性があること、熱水・火山ガスの混入による地下水の水質変化や熱的影響は、人工バリアの性能低下を起こす可能性があることを挙げている。

これらのことを踏まえ、「火成活動」のうちマグマの地殻への貫入や地表への噴出は、最終処分施設の直接的な破壊、放射性核種の地表付近への放出等の影響を及ぼすことから、最終処分法に定められている「地層の著しい変動」とした。また、「火成活動」のうちマグマの貫入・噴出に伴う熱的・水理的・地球化学的な影響も、処分場の機能に重大な影響を及ぼす可能性が高いことから、最終処分法に定められている「地層の著しい変動」に該当する事象とし、概要調査地区選定上の考慮事項として取り扱うものとする。

「火成活動」に関する考慮事項については、「断層活動」に関する考慮事項の場合と同様に、「4.4.1 法定要件に関する事項」で述べたように、「全国一律に評価する事項」と「個別地区ごとに評価する事項」とに区分し、評価の考え方、基準等を具体化して、考慮事項を設定した。各々の事項にかかわる考慮事項の内容とその設定根拠等について、以下に示す。

## 5.2.2 「火成活動」に関する「全国一律に評価する事項」の内容とその設定根拠

### (1) 全国一律に評価する事項の設定論拠となる情報の整理

日本列島はプレートの沈み込み帯に位置しており、陸域・海域を含め多くの火山が分布している。わが国における火山の分布は、これまで200万分の1地質編集図「日本の火山 第2版（地質調査所，1981）」、「日本の第四紀火山帯カタログ（荒牧・山崎編，1984）」、「日本活火山総覧第2版（気象庁編，1991）」、日本地質アトラス（第2版：地質調査所編，1992）に収録の「日本及び隣接地域第四紀火山図（須藤ほか，1992）」等に日本全国を対象として取りまとめられている。しかし、これらの既存資料では、取りまとめの対象とした火山の定義が、「（各文献における）第四紀火山」や「活火山」とそれぞれ異なっている。これらの既存資料に掲載された情報は、限られた火山に関するものであり、収録内容についても限られているため、日本の火山の全体像を把握するためには、個々の火山の論文や研究報告を検索する必要がある。また、近年の研究の進展に伴い、第四紀火山としての認定そのものに修正が求められるケースも生じている（第四紀火山カタログ委員会編，1999）。なお、活火山の定義に関しては、気象庁が1975年に「噴火の記録のある火山及び現在活発な噴気活動のある火山」として77火山を認定したが、1991年には「過去およそ2,000年以内に噴火した火山及び現在活発な噴気活動のある火山」と変更し、1996年までに86火山を認定した。しかし、長期にわたる活動休止期間の後、活動を再開した事例が知られていること、近年の火山学の発展に伴って、その定義が見直されることとなり、現在では『概ね過去1万年以内に噴火した火山及び現在活発な噴気活動のある火山』という定義の下に、108火山を認定し、位置（緯度，経度），標高等がまとめられている（気象庁，2003）。これらのことを背景に、既往資料に基づき新たな知見を追加して、日本における第四紀火山についての基礎データを体系的に取りまとめたのが、「日本の第四紀火山カタログ（第四紀火山カタログ委員会編，1999）」である。一般に第四紀とは、約1.7Ma以降現在までの地質時代を指すが、第四紀火山カタログ委員会編（1999）では、約2Ma以降に活動が認められる火山を第四紀火山と定義し、348火山を収録している（図3.3.2-1）。「日本の第四紀火山カタログ（第四紀火山カタログ委員会編，1999）」には、「日本の第四紀火山カタログ」と「日本の第四紀個別火山体カタログ」の二つがある。前者は、複数の火山体の集合として第四紀火山として認識・同定された火山の位置（地形的及び主火道の緯度，経度），噴火年代等が取りまとめられ、後者は第四紀火山を構成するそれぞれの火山体（以下、「第四紀個別火山体」という）の位置（地形的及び主火道の緯度，経度），火山体の分類，噴出物の分類・体積・組成，噴出年代等が収録されている。

3.3.2 (1) に示したように、日本列島では島弧に特徴的な火山活動が生じている。特に、千島弧，東北日本弧，伊豆-小笠原弧，九州南部～琉球弧等では、第四紀火山の地下に沈み込んだ海洋プレートの存在を示す深発地震面が確認されており（吉井，1978；山崎・大井田，1985等），火山フロントより背弧側では、海洋プレートの沈み込みに伴い島弧に特徴的なマグマが発生，上昇，噴出し（巽，1995；Uto and Tatsumi，1996；中田，1995；高橋，2000等），複成火山やカルデラ火山が卓越して分布している（第四紀火山カタログ委員会編，1999等）。これらの第四紀火山は，集中域と空白域が交互に出現し（Tamura et al.，2002；図3.3.2-5），深度200km程度までの地震波のマントルトモグラフィーから得られる熱分布に対応している（弘瀬ほか，2002；Tamura et al.，2002；図3.3.2-6）。一方，西南日本弧の日本海側及び九州北西部では，第

四紀火山の地下に沈み込んだ海洋プレートの存在を示唆する深発地震面が認められず（山崎・大井田，1985；石田，1991；趙ほか，1999 等），単成火山群が離散的に分布しており，複成火山（大山，三瓶等）も一部で認められる。これらの地域では，火山の分布密度が低く，明瞭な火山フロントが認識されていない。また，この地域に卓越して分布する単成火山群は，沈み込み帯に関連しない火山であるとされている（Iwamori，1992；宇都，1995）。

第四紀火山の時間的・空間的分布に関しては，3.3.2（1）に示したように，第四紀火山の活動は，第四紀の時間の範囲内において現在の東日本火山帯と西日本火山帯に偏在して生じており，火山フロントより海溝側ではその活動が認められず，第四紀を通じて火山フロントの顕著な移動は認められないとされている。

一定の沈み込みの状態が長期間継続している東北日本では，14Ma 以降の火山活動の時間的・空間的分布に関し，過去（14Ma）から現在へ向かって，時代とともに第四紀火山が集散的に分布する特定の地域へと活動の場が収斂していく傾向があるとされている（図 5.2.2-1：Kondo et al.，1998；Kondo et al.，2004）。千島弧に属する北海道中央部～東部では，14Ma 以降沈み込みに関連する火山活動が継続しているが，広域的なテクトニクスの転換に伴い火山活動の場が移動したとされ，現在の沈み込みの状態は，1Ma 以降継続している（広瀬・中川，1999）。また，九州の海溝側では，6Ma 以降フィリピン海プレートの沈み込み及び地溝帯の形成に伴う火山活動が継続しているが，2Ma 頃の広域的なテクトニクスの転換に伴い，火山活動の場が移動し現在に至っているとされる（Kamata and Kodama，1999）。「地下環境部会報告書」では，地域によっては広域的なテクトニクスの転換に伴い火山活動の場が移動した場合もあるが，少なくとも過去数十万年以上は一定の沈み込みの状態が継続しており，いずれも第四紀火山が特定の地域に集中し，火山活動が限られた地域の中で生じているという特徴が認められるとしている。

火山では，地下深部のマグマ溜りから火道を通じてマグマが地表に噴出し，火山体を形成している。マグマ溜りから地表に噴出するまでの上昇経路である火道は，途中で複数の火道に分岐することがある。分岐した火道からマグマが噴出した場合，側火山（または寄生火山という）が形成され，その火口は側火口といわれる。また，分岐した火道は一般に脈状に地殻中に貫入しており，岩脈といわれる。個々の火山の活動によって発生するマグマの貫入・噴出が及ぶ範囲（以下，「マグマの活動範囲」という）については，日本の代表的な「活火山」（複成火山及びカルデラ火山，42 火山）を対象とし，文献調査に基づき，活火山周辺に分布する火口，溶岩円頂丘，岩脈と活火山周辺の側火山，寄生火山等の単成火山（一部複成火山を含む）の分布を検討した事例がある（中田・田中，2001）。それによると，活動期間の長い火山ほど火口，側火山，側火口，岩脈等の分布範囲が広く，北海道，南関東，中国，九州の活火山では，その分布範囲が 10～30km に達するものが多く，東北，北関東，中部の活火山では，最大でも 12km であるとの結果から（図 5.2.2-2），その分布範囲は最大 30km 程度（火山の中心を仮定した場合，半径 15km 程度）であることが示されている。

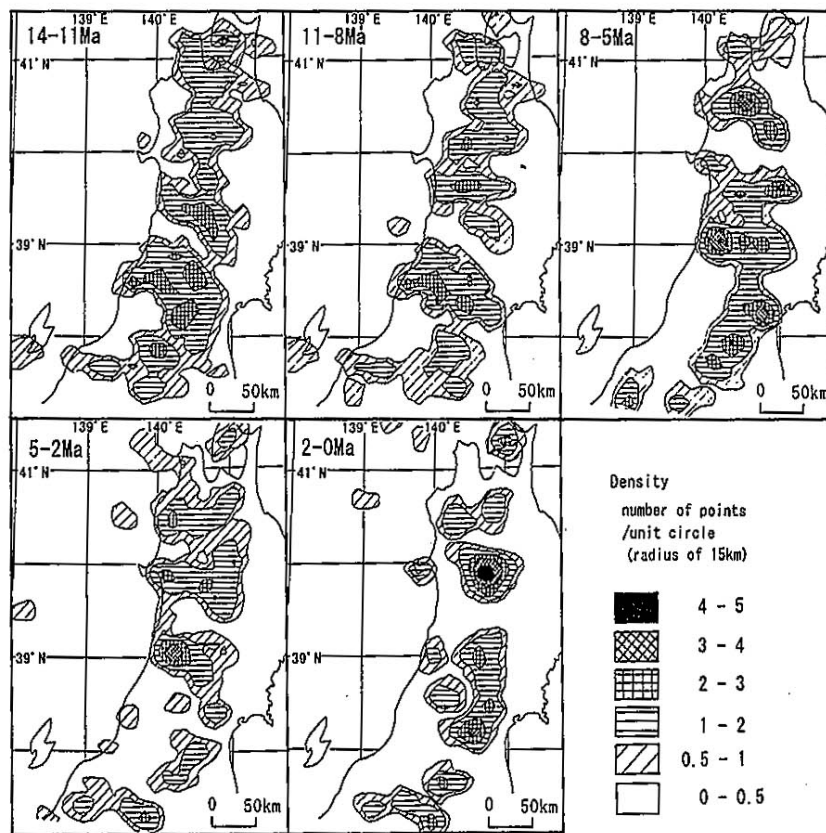
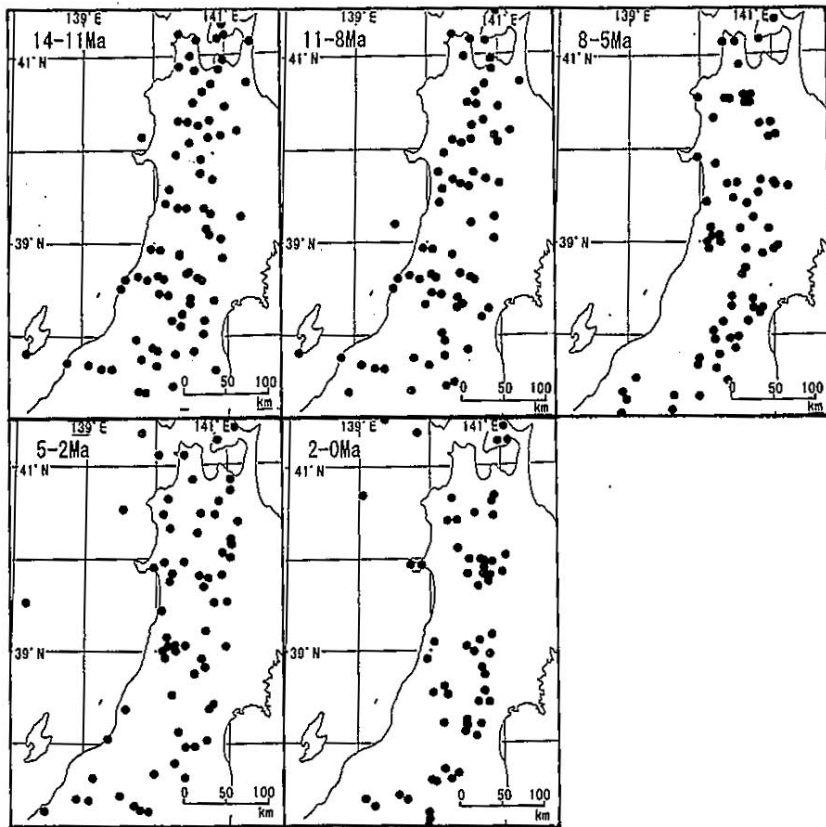


図 5.2.2-1 14Ma 以降の各時代における火山の分布（上）及び分布密度（下）  
 （出典：Kondo et al., 1998）

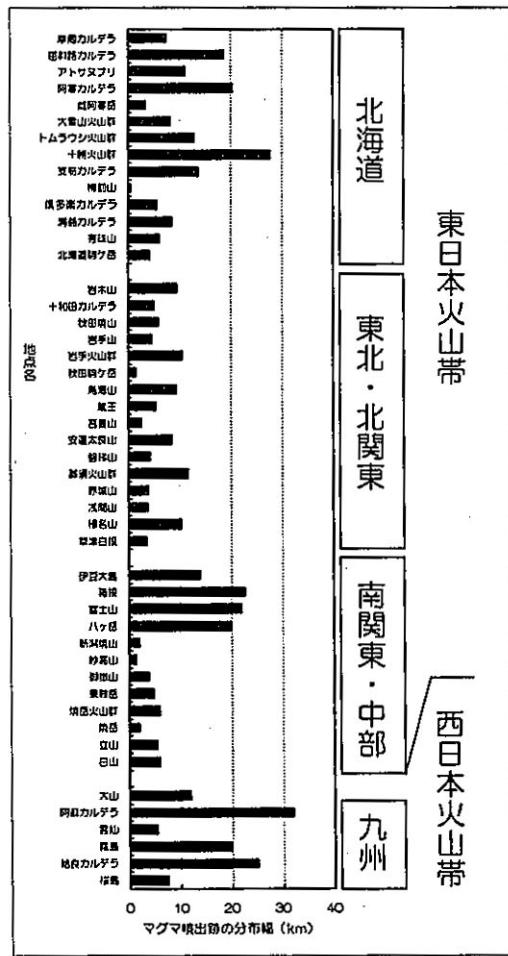


図 5.2.2-2 活火山周辺の側火山，側火口，岩脈等の分布範囲（出典：中田・田中，2001）

(2) 全国一律に評価する事項の考え方

「火成活動」に関する「全国一律に評価する事項」を以下に示す（原子力発電環境整備機構，2002c）。

将来数万年にわたるマグマの活動範囲の拡がりの可能性を考慮し，第四紀火山の中心から半径 15km の円の範囲内にある地域は含めないように，概要調査地区を選定する。

わが国における火山の分布に関しては，前掲（5.2.2(1)）したようにいくつかの資料が公表されている。

本来，各火山におけるマグマの活動範囲の認定は，現地の詳細な調査に基づき，各火山を代表する主火道の周辺に分布する側火山，側火口，岩脈等が同一の火山の活動であるのか検討する必要がある。また，火山の形成史を考慮した場合，静穏期を挟み異なる活動期の活動を同一の火山の活動として認識して良いか，噴出物の組成（同一のマグマ溜りから噴出しているのか，異なるマグマ溜りから噴出しているのか）等から検討する必要がある。ここでは文献調査という限られた情報から全国を一律に評価することが前提であることから，評価を行う際に採用する情報には，全国規模で体系的にデータが整備されていること，現時点での最新のデータ及び

見解が反映されていること、位置情報が正確であること等が必要である。また、地層処分における自然現象の将来予測の基本的考え方は、日本列島周辺におけるプレートの配置・運動方向の継続性（約 2.5Ma 以降もしくは 1.5Ma 以降）、造構応力状態の継続性（数十万年前以降）を根拠とし、その期間（過去数十万年間程度の安定な期間）に生じた過去の自然現象の規則性をみいだし、それに基づき将来の自然現象を推測することである。

気象庁の平成 15 年 1 月 21 日報道発表資料に示された活火山は、『概ね過去 1 万年以内に噴火した火山及び現在活発な噴気活動のある火山』と定義されており、その資料は、将来数万年程度の評価を行うにあたり十分に長い期間の情報を有しているとは、判断できない。一方、「日本の第四紀火山カタログ（第四紀火山カタログ委員会編，1999）」に収録されている第四紀火山は、『約 2Ma 以降に活動が認められる火山』と定義されており、そのカタログは、十分に長い期間の情報を有していると判断される。

なお、マグマの発生については、プレートの配置・運動方向と密接な関係があることが知られており（3.3.2（2）参照）、この時間範囲（過去約 200 万年間）は、過去のプレートの配置・運動方向が概ね安定であった期間と合致している。また、日本のような島弧における火山の寿命は、一般に数十万年程度といわれており、新たな火山の形成、活動位置の移動等を評価する場合には、火山の寿命を越える時間範囲での時間的・空間的な活動特性に関する評価が必要と考えられ、この観点からも 200 万年間は十分に長い期間であると考えられる。

以上のことから、考慮事項の設定にあたり、約 2Ma 以降に活動したことが認められる火山を第四紀火山として評価の対象とし、「日本の第四紀火山カタログ（第四紀火山カタログ委員会編，1999）」に収録されている第四紀火山を対象として取り扱うこととする。

日本列島における第四紀火山は、5.2.2（1）に示したようにその分布は偏在性を有し、一般には、過去 200 万年間に大きな変化は認められないことから、これまでと同様の分布地域において活動すると推測される。また、個々の第四紀火山をみると、複数の個別火山体によって構成されており、一般的に、主火道とそれから分岐した複数の火道を持ち、側火山や側火口の形成、岩脈の貫入等が生じている。このことから個々の第四紀火山において、マグマの活動範囲は、側火山、側火口、岩脈等の分布を把握することにより、その範囲を概略的に見積もることができる。

マグマの活動範囲を検討した事例としては、中田・田中（2001）があり、これによれば、日本の代表的な複成火山では、概して火山の活動期間の長いものほど大きいことが、火山には寿命があり、その範囲は最大 30km 程度（火山の中心を仮定した場合、半径 15km 程度）と考えられる（図 5.2.2-3）。考慮事項の設定にあたり、中田・田中（2001）の検討では、代表的な複成火山、カルデラ火山に限られており、「日本の第四紀火山カタログ（第四紀火山カタログ委員会編，1999）」に収録されているすべての第四紀火山（348 火山：成層火山、カルデラ火山、単成火山を含む）への適用可能性の観点より、個々の第四紀火山に対して、第四紀火山の位置（日本の第四紀火山一覧表に記述された緯度、経度）から、その第四紀火山を構成する最も離れた第四紀個別火山体までの距離に関する検討を行った。その結果、344 火山[第四紀火山の位置の緯度・経度が記載されていない、あるいは第四紀個別火山体の緯度・経度に明らかな誤りがある]

ると思われる四つの第四紀火山（カヤノ平：火山番号 97.75，甲子<sup>かし</sup>—大白森：火山番号 115.5，屈斜路<sup>しべとろ</sup>：火山番号 219，蕊取<sup>しづと</sup>：火山番号 243）を検討から除外]のうち，表 5.2.2-1 に示す八つの第四紀火山を除く第四紀火山（336 火山：97.7%）では，個々の第四紀火山の位置とその第四紀火山を構成する第四紀個別火山体の最大距離は 15km 未満であり（図 5.2.2-4），第四紀火山の位置を中心とする半径 15km の範囲は，大部分の第四紀火山において，それらを構成する個別火山体の分布をカバーしていると判断した。

これらの火成活動に関して，原子力安全委員会の「環境要件」では，『第四紀に活動したことのある火山の存在が，文献調査で明らかな地域は，主に，処分施設及び廃棄物が直接破損することを避ける観点から，これを概要調査地区には含めない。』としている。

以上のことを踏まえ，全国一律に評価する事項の設定にあたり，第四紀火山の位置を中心とする半径 15km の範囲をマグマの活動範囲と捉え，将来数万年にわたりマグマが貫入・噴出する可能性がある地域として，概要調査地区に含めないこととした。

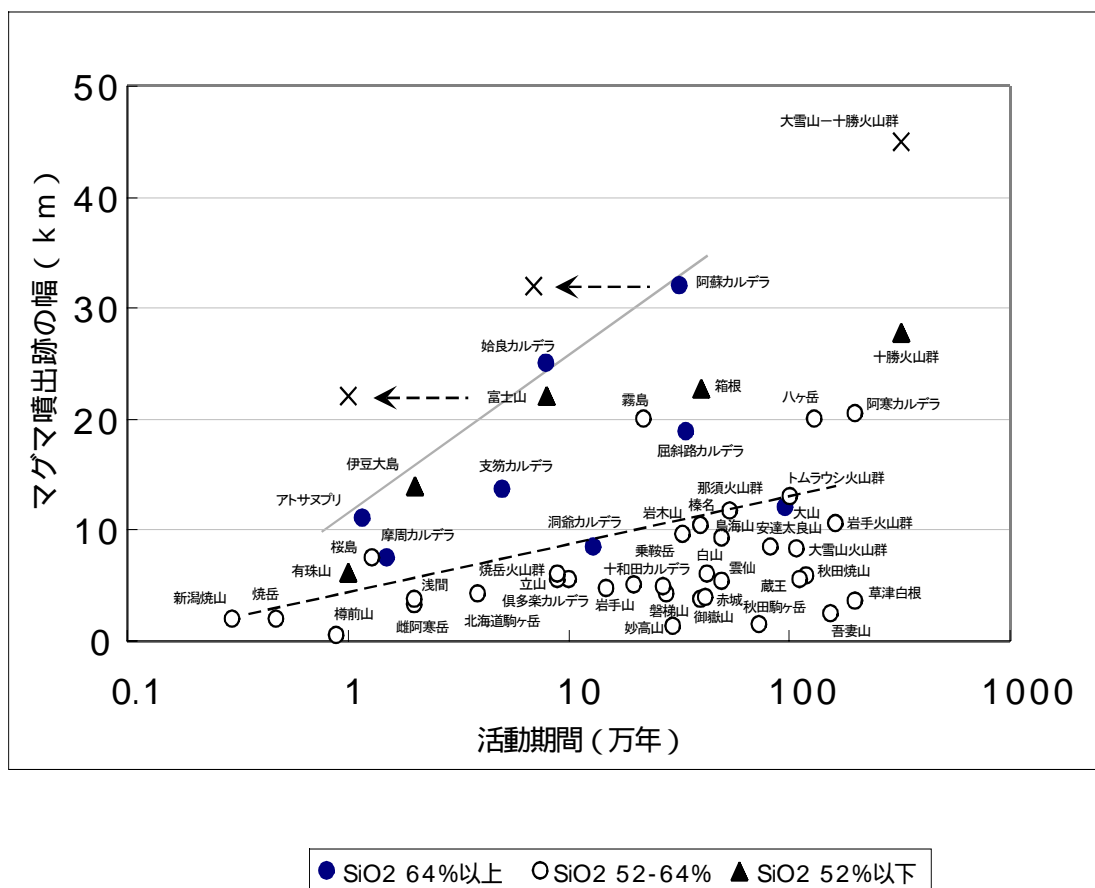


図 5.2.2-3 活火山周辺に分布する噴火跡の分布幅と活動期間の関係（出典：中田・田中，2001）



表 5.2.2-1 第四紀火山の位置を中心とする半径 15km の範囲を超えて第四紀個別火山体が分布する第四紀火山

火山番号	第四紀火山名	第四紀個別火山体数	第四紀火山の位置から第四紀個別火山体までの最大距離 (km)	備考
171.5	南スミスカルデラ／スミスリフト	2	47.6	陥没カルデラー海嶺状火山 伊豆ー小笠原弧背後のリフト帯の断層に沿う海嶺状の火山であり、他の第四紀火山と形成の場が異なる
39	青野山	13	23.6	単成火山群
13	始良・桜島	10	23.0	陥没カルデラー成層火山
177	硫黄島	2	22.9	陥没カルデラー成層火山
18.75	口之津層群	2	21.2	溶岩流ー溶岩ドーム
15	加久藤カルデラ	4	20.1	陥没カルデラ
12	“阿多カルデラ” 阿多火砕流	3	19.3	陥没カルデラ
43.5	横田	5	18.8	単成火山群

第四紀火山の位置、火山番号及び第四紀火山名は、第四紀火山カタログ委員会編（1999）による

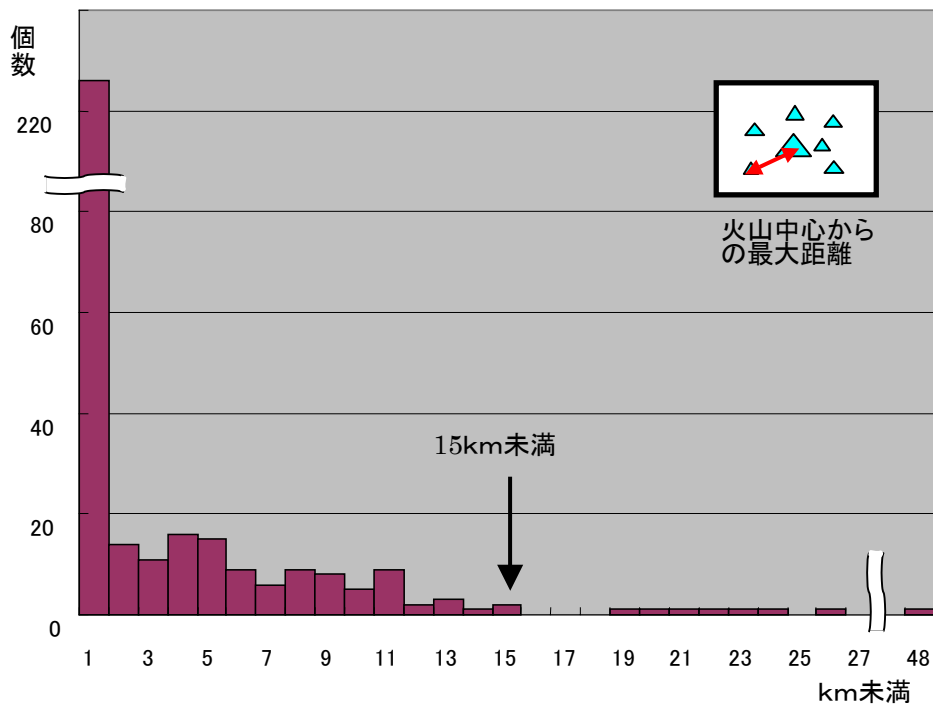


図 5.2.2-4 第四紀火山の中心と個別の火山体との最大距離と頻度（日本の第四紀火山カタログ（1999）に基づき作成）

### (3) 全国一律に評価する事項の調査・評価内容

「日本の第四紀火山カタログ（第四紀火山カタログ委員会編，1999）」に収録されている第四紀火山の分布と位置及び各第四紀火山を構成する第四紀個別火山体の分布と位置に関する情報を収集する。それらの情報に基づき，各第四紀火山の中心（「日本の第四紀火山一覧表」に記述された緯度，経度）から半径 15km の円の範囲を設定し，この円の範囲内の地域を将来にわたりマグマの活動範囲として捉え，概要調査地区に含めないようにする。

前掲（5.2.2（2））のとおり，「日本の第四紀火山カタログ（第四紀火山カタログ委員会編，1999）」に記載されている第四紀火山のうち，半径 15km の円外に第四紀個別火山体が分布する南スミスカルデラ／スミスリフト，青野山，始良・桜島，硫黄島，口之津層群，加久藤カルデラ，“阿多カルデラ”阿多火砕流，横田の各第四紀火山については，「個別地区ごとに評価する事項」を行う際に併せて調査・評価する対象とする。

### (4) 全国一律に評価する事項に関する使用情報（利用文献，参考文献）

全国規模を対象とした既存の文献・資料として，以下の資料を参照する。

- ・ 日本の第四紀火山カタログ（第四紀火山カタログ委員会編，1999）

## 5.2.3 「火成活動」に関する「個別地区ごとに評価する事項」の内容とその設定根拠

### (1) 個別地区ごとに評価する事項の設定論拠となる情報の整理

日本の成層火山の多くは，噴火様式や噴出物の性質が一定の方向性をもって変化し，その火山の寿命が尽きることが火山の地形発達史的特徴に関する研究から指摘されている（守屋，1979；守屋，1983）。また，このような成層火山における規則的で一定方向の変化に対して，マグマの挙動との関連性に関するモデル（高橋，1990）が示されている。火山の活動性を評価するうえで，現在の火成活動が，火山形成発達過程におけるどの時期に位置しているのか，地下深部のマグマの挙動がどのような状態であるかを把握・評価することが重要と考えられる。各火山の活動に関しては，多くの火山において，野外調査に基づく噴出物や貫入岩等の分布，年代，化学組成等について情報を取得し，活動史が編纂されている。また，各火山における活動史に基づき，近接する火山同士を比較・検討することによって，ある地域における火成活動についても検討がなされている（吉田ほか，1997等）。

各火山におけるマグマの貫入・噴出する場の分布については，火道の安定性に関する検討（高橋，1994a）や火口等の配列に関する検討（Nakamura，1977；高橋，1994b等）から，その火山が分布する地域の地殻応力場を反映している。

高橋（1994a）は，放射状岩脈が地表に噴出し形成された側火山を除く火道の分布に基づき，過去 1 万年間に火道が 1.5km 以上移動しなかった複成火山を火道安定型複成火山，一方，過去 5,000～1 万年間に火道が 1.5km 以上移動した複成火山を火道不安定型複成火山と定義し，約 70 の複成火山を分類し，その分布，地殻応力場との関係を明らかにしている。その結果によれば，火道安定型複成火山は，富士山に代表されるような対称性の良い円錐形の火山体を形成し，短縮応力場で発達し，火道不安定型複成火山は，多くの場合，一定の方向性をもって配列する小型の複成火山や火砕丘，溶岩円頂丘等が分布する複成火山であり，典型的な円錐火山というよ

り山頂部に凹凸を有する小型の山地のような地形を呈し、伸張応力場で発達している。これらの火道安定型・火道不安定型複成火山の分布は、広域的応力場もしくは局所的な応力場を反映している。また、個々の火山について活動時期ごとの火道の安定性をみると、火道不安定型複成火山の時期と火道安定型複成火山の時期があり、時期によって火道の安定性は変化するとされている。

Nakamura (1977) は、火山の周囲に分布する側火山、側火口、岩脈等の配列と地殻応力場の関係について検討し、これらの配列は広域的な圧縮応力を受け、水平最大主応力に平行な方向に引き伸ばされた分布をもつとしている。さらに、高橋 (1994b) は、火口配列と水平最大主応力方向が一致する火山を **P-type**、一致しないものを **O-type** と分類した。**O-type** は、両側または片側を逆断層で境された地域に分布しており、広域的な応力場より局所的な応力場 (伸長場) を反映しているとした。また、活動の時期により **P-type** から **O-type** に変化する例も稀に認められるとしている。

第四紀火山が集中的に分布する地域における時間的・空間的变化は、3.3.2 (1) に示したように東北日本・仙岩地域 (梅田ほか, 1998; 大場・梅田, 1999) 及び肥薩地域 (横瀬ほか, 1998) がある。仙岩地域には、東西 50km, 南北 30km の範囲に 37 の第四紀火山が分布しており、活動域が南西側から北東側に移動したとされている (梅田ほか, 1998; 大場・梅田, 1999; 図 3.3.2-13)。また、肥薩地域では東西 60km, 南北 30km の範囲に 20 の第四紀火山が分布しており、第四紀初め頃には、この地域全域で活動が認められるが、時間の経過とともに西部地域で活動が終了し、東部地域ほど活動期間が長い (横瀬ほか, 1998)。

また、沈み込みに直接関連しない火山活動が生じている地域、特に中国地方～九州北部では、3.3.2 (1) に示したように複数の単成火山群が東西約 500km, 南北約 200km の範囲に散在している (Iwamori, 1992; 宇都, 1995; Kimura et al., 2003 等)。個々の単成火山群は、数十 km 四方範囲内に噴出物の化学組成が類似した数個から数十個の単成火山が点在し、その形成年代は 100～200 万年程度以内の範囲で噴出している。しかし、近接する単成火山群とは、噴出物の化学組成、噴出時期が明確に異なる特徴を示しており (宇都, 1995; Kimura et al., 2003)、全体的としての時間的・空間的な明瞭な規則性は認められていない。

中国地方～九州北部の火山活動は、日本海の拡大終了後の 12Ma に活動を開始し、山陰側では第四紀まで断続的に活動し、山陽側では 5～4Ma に活動が停止し、活動地域が山陰側に限定される傾向がみられる (宇都, 1995; Kimura et al., 2003)。

以上に述べたように、将来的なマグマの貫入・噴出の場を特定するためには、既存の火山の活動位置の移動、マグマの活動範囲の広がり、新たな火山の形成等の観点から、大小様々なスケールでの時間的・空間的な活動特性 (過去の活動の規則性) に関する評価を行うことが基本となる。

将来、火成活動が発生する領域を推定する際には、地下にマグマが存在しているかどうかはその評価に対する信頼性を向上させるための重要な情報源であり、地下のマグマを捉える手法として、自然地震の解析等の物理探査手法 (「第 2 次取りまとめ」等) 及びマグマ溜りの膨張・収縮に伴うマグマ溜り直上の地殻変動を捉える測地学的手法 (高橋, 1998) が有効であるとさ

れている。高橋・高橋（1995）や高橋（1997）は、日本列島の活動的ないくつかの火山で得られている知見を統合し、マグマ供給系の空間的配置・構造を推定している（図 5.2.3-1）。測地学的手法からマグマ溜りの位置を推定している例としては、桜島（江頭，1988），浅間（宮崎，1990）や雲仙（八木原・清水，1997）がある。桜島では，1982～1985 年の噴火前後の地殻変動記録の解析結果に基づき，火口直下 4.5km と北東にやや離れた始良カルデラ内の地下 9km の 2 箇所にもマグマ溜りが推定されている（図 5.2.3-2 (a)）。浅間では，火口直下 2km と，西方に約 2km 離れた深度 7km にマグマ溜りが推定されている（図 5.2.3-2 (b)）。雲仙火山では，1991～1995 年の噴火の際の水準測量に基づく地殻変動データの解析結果から 2km，5km，7km の各深度，さらに GPS 観測の結果から深度 12km にマグマ溜りが推定されている（図 5.2.3-2 (c)）。

弘瀬ほか（2002）は，過去の自然地震のデータを解析した結果得られた地震波速度構造に基づき，東北日本におけるマントル上部から地殻までのマグマ供給システムの空間的構造を明らかにし，地震波の低速度域の分布が一様ではなく，離散的な分布を示す第四紀火山の分布と調和的で不均質な分布を示しており，地下のマグマがマントル内の上昇経路を選択的に通り第四紀火山の直下に運ばれている（図 5.2.3-3）。

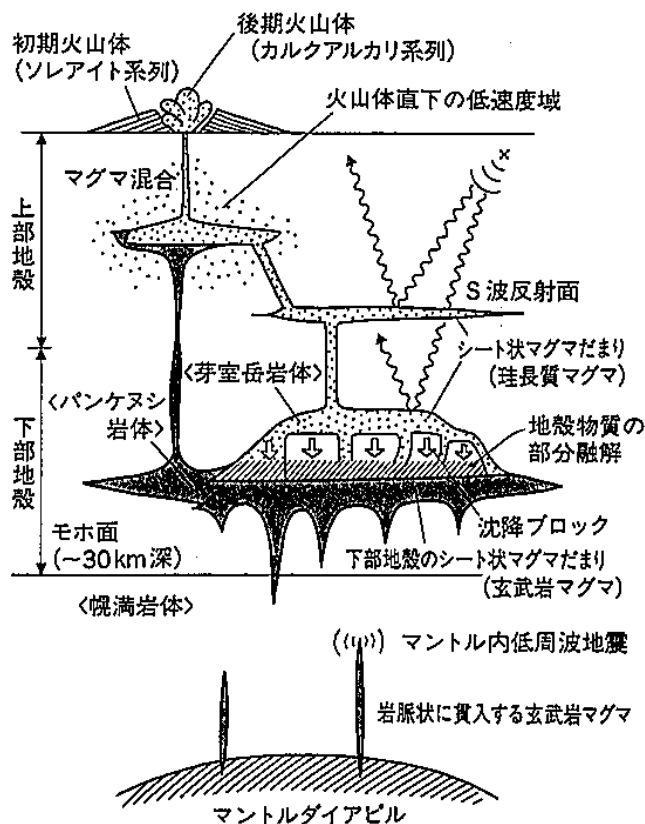


図 5.2.3-1 島弧火山の深部構造（出典：高橋・高橋，1995）

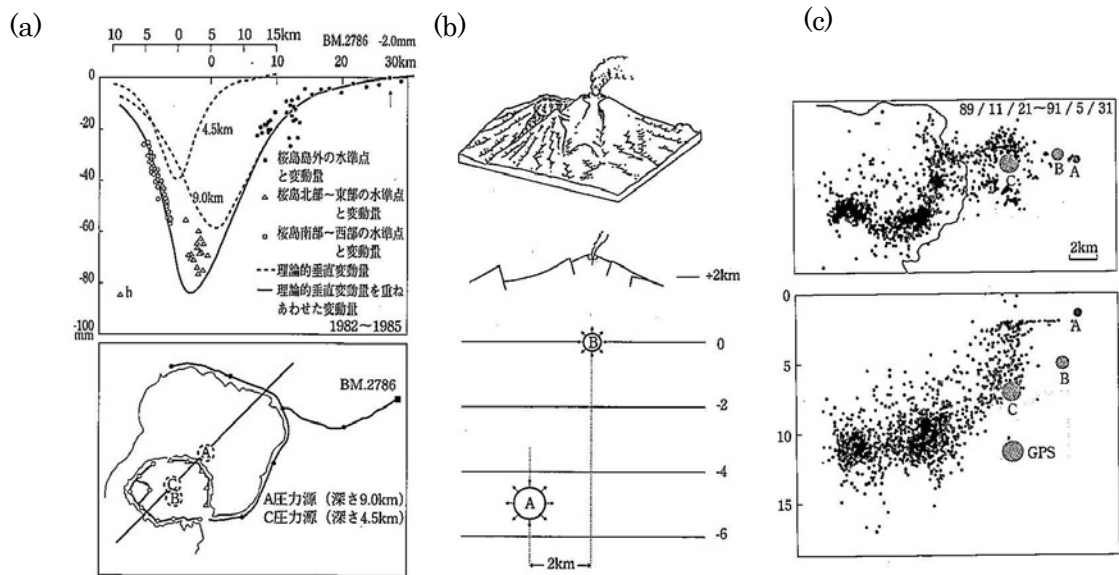


図 5.2.3-2 測地学的手法により推定されるマグマ溜りの位置

(a) 桜島火山下のマグマ溜りの位置 (出典: 江頭, 1988), (b) 浅間火山下のマグマ溜りの位置 (出典: 宮崎, 1990), (c) 雲仙火山下のマグマ溜りの位置 (出典: 八木原・清水, 1997)

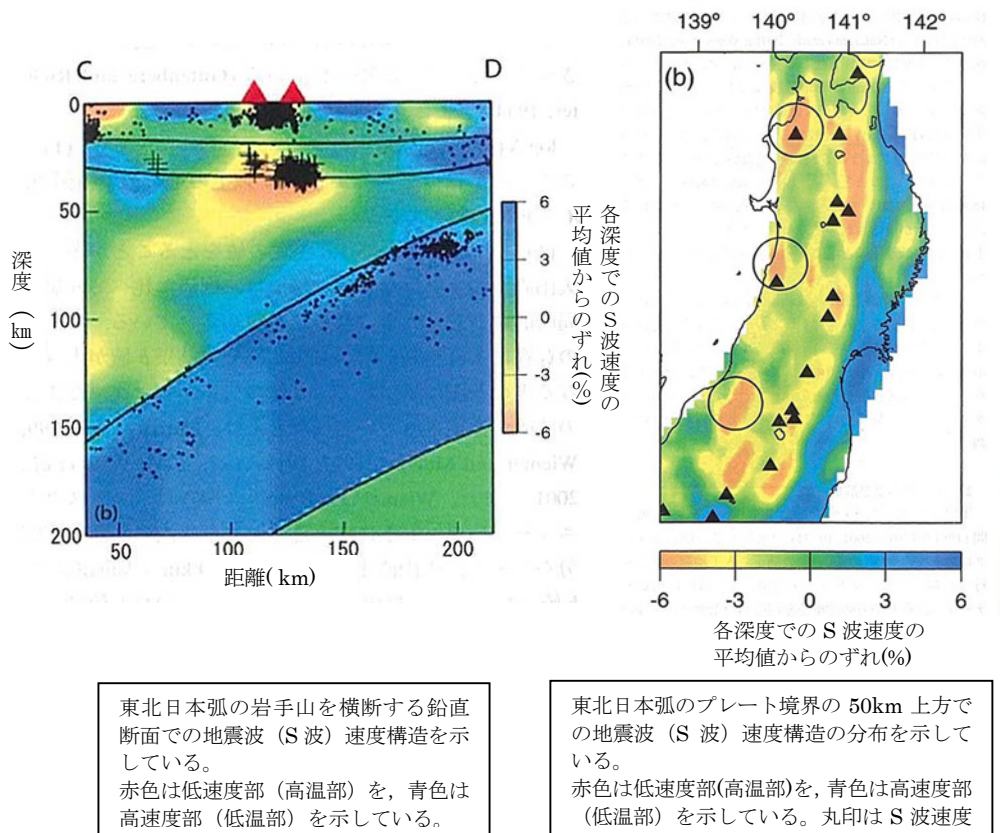


図 5.2.3-3 東北地方における地震波速度解析事例 (出典: 弘瀬ほか, 2002)

火成活動が生じている地域では、地下にマグマ溜りの存在が推定されることから、マグマ溜りから放出される熱エネルギー、火山ガス等の混入等により、熱的・水理的・地球化学的な影響が生じていると考えられる。

火成活動によって熱・熱水の影響が及んでいる範囲の概略は、地下の温度構造分布から知ることができる。日本列島の大局的な地下の温度構造については、実測された温度データを基に取りまとめられた地殻熱流量図（松林ほか，1992；Geological Survey of Japan and CCOP，1997）及び地温勾配図（大久保，1993；矢野ほか，1999）が挙げられる。しかし、これらのデータは数が限られており、かつ、地熱地帯に偏在しているため、火山帯の高温異常域と前弧側の低温域を示すような概括的なものであり、火山やその周辺地域の局所的な熱異常を十分表現するまでに至っていない（「第2次取りまとめ」）。

これらの概括的な地温勾配データから読み取れる高温異常域（地温勾配  $10^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ）の分布は、第四紀火山の分布とほぼ整合するが、富士、御岳、鳥海等の一部の火山周辺で高温異常域が認められないほか、紀伊半島南部のように第四紀火山が存在していない地域においても高温異常域が認められる（「第2次取りまとめ」）。なお、この地温勾配図から、高温異常域の背景となるバックグラウンドの値（広域的な地温勾配値）を読み取ると、北海道の日高西部、三陸海岸周辺、関東平野東部、関東山地周辺、濃尾平野周辺、琵琶湖周辺、中国南部、四国、九州北部と中央部の非火山地帯の各地域では、 $2^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  程度であるのに対して、北海道や東北、北陸、中部、近畿南部、中国北部、九州中央部、九州南部の各地域では  $3\sim 5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  とやや高い値が示されている（「第2次取りまとめ」）。

個々の第四紀火山及びその周辺の地温勾配分布に関する検討事例によると、大雪、八甲田、吾妻、焼岳、霧島の各火山では、火山の噴出中心から離れるに従い地温勾配は低下し、 $10\sim 20\text{km}$  離れると、距離に依存せず概ね一定の値となっている（梅田ほか，1999b）。また、地温勾配の最大値や火山からの距離に対する地温勾配の低下率は、火山によって異なる（梅田ほか，1999b）。

火山及びその周辺地域では、地下に存在するマグマ溜り等の熱源から放出される熱により地下水が温められ、密度に変化が生じ、その浮力によって熱水対流が起きることが想定される。火成活動により熱水対流が発生するかどうかの基本的な要因は、温度構造（温度勾配）であるが、実際には動水勾配、地表からの涵養量、岩盤の透水性・貯留性等により、地域ごとに熱水対流系の規模は異なる（「第2次取りまとめ」等）。

熱水対流系が生じている範囲に関しては、坑井温度プロファイルにより推定することが可能である（「第2次取りまとめ」）。仙岩、栗駒等の代表的な地熱地帯（複数の火山で構成される）の熱水対流系の規模や深度については、玉生（1994）の事例が挙げられる。これによると、顕著な熱水対流系の上昇流が発生している範囲は、いずれの地域でも数  $\text{km}$  程度、深度  $2\sim 3\text{km}$  以浅であるとされている。また、梅田ほか（1999c）は、仙岩地域及び豊肥地域の坑井温度プロファイルから流体流動速度を算出し、それに基づき熱水対流系の規模を推定している。これによると、顕著な上昇流が発生する範囲は  $2\sim 3\text{km}$  以内であり、必ずしも第四紀火山の位置に対応しているわけではなく、 $10\text{km}$  以上離れた位置に生じることもあるとしている。また、熱水対流系の発生する場所、その範囲・深度等は、熱源の位置だけではなく、熱源より上位の地質

構造、岩盤の透水性等に支配されているとしている。

日本列島に賦存する熱水分布に関しては、地質調査所発行の 50 万分の 1 地熱資源図シリーズに取りまとめられている。現在、地熱資源図シリーズは、東日本の 4 地域（札幌、青森、秋田、新潟）及び西日本の 1 地域（九州）について刊行されている。これらの地熱資源図では、井戸や自然湧水のデータに基づき、42°C以上の温泉が分布する地域に関して、泉温のほか、地質から判断される貯留構造や泉質等について整理・区分し、その流出量や地化学に関するデータと地理的分布を、以下の三つに区分して示している（図 5.2.3-4）。

① 第四紀火山に関連した地熱資源賦存地域

（第四紀更新世中期以降の火山岩類の分布域及びその周囲 5km の範囲※）

※地熱資源図では、火山の直接的な影響が及ぶ範囲として火山岩分布域から 5km（火山の噴火中心から約半径 10km）を想定しているが、角（1980）では、火山の噴火中心から約半径 20km が火山の影響が及ぶ範囲と考えられており、実際の影響範囲はより広い可能性も示唆している。

② 第四紀火山活動に関連しない地熱資源賦存地域

（42°C以上の温泉の周囲半径 5km 以内）

②-1 火山フロントより西側（背弧側）に分布する地域

②-2 火山フロントより東側（前弧側）に分布する地域

③ 深層熱水資源賦存地域

（第四紀更新世後期以降の堆積物の分布域）

また、これらの地熱資源賦存地域の各々に関して、以下のような基準でランク付けを行っている。

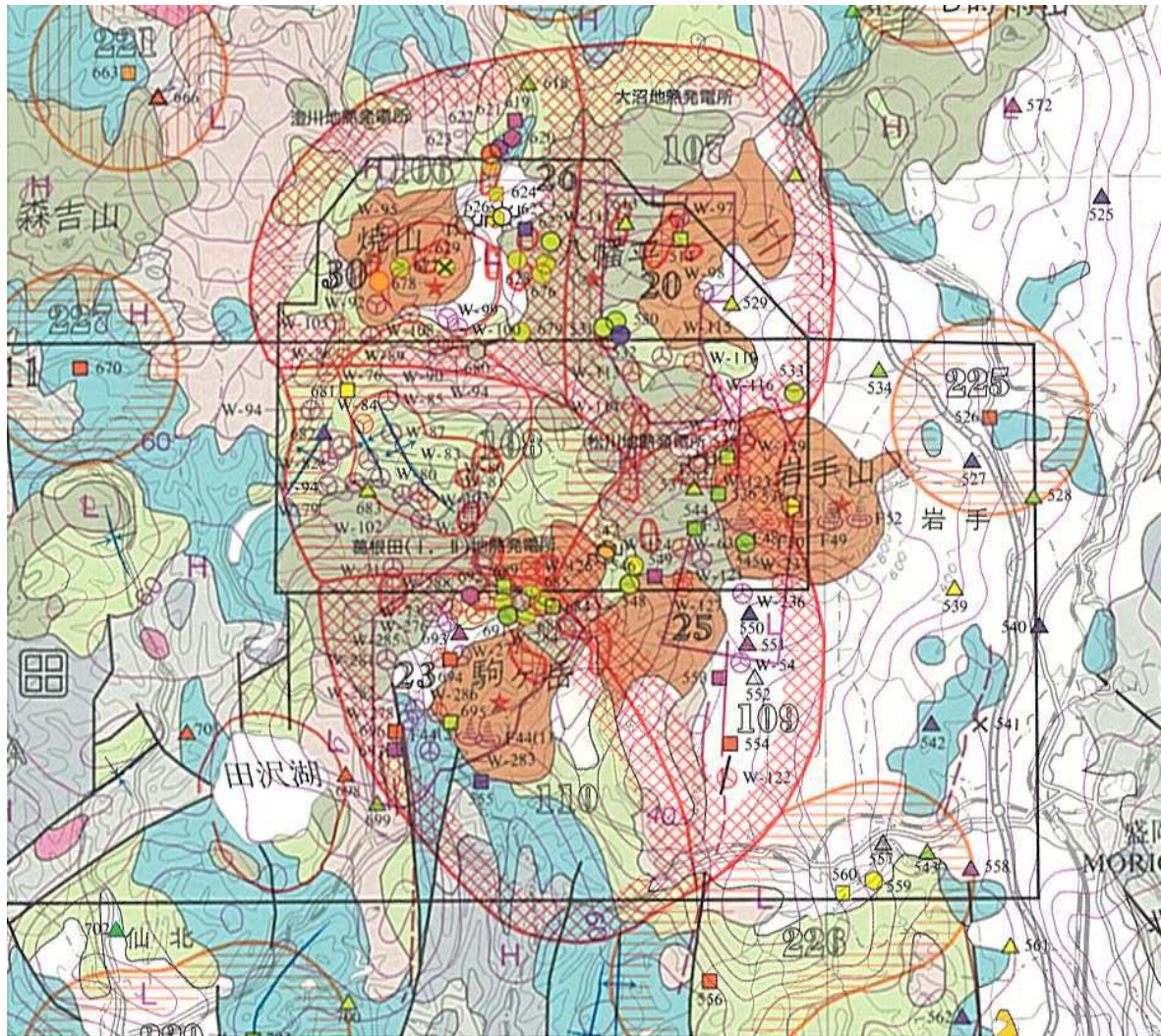
ランク A：90°C以上の温泉が 1 ヶ所以上分布するか、70°C以上の地表地熱兆候及び 1km<sup>2</sup>以上の大規模変質帯が存在する地域

ランク B：ランク A 以外の地域で、地化学温度が 150°C以上の地域

ランク C：ランク A 及び B 以外の 42°C以上の温泉が 1 ヶ所以上分布する地域

しかし、この地熱資源図に示された領域は、地熱地域に偏在するごく限られたデータから類推された領域であり、実際の熱水賦存状況を正確に示すものではない。したがって、個々の火山やその周辺地域に局所的に発生している熱水については、十分表現されていない可能性が考えられるが、これらの資料を参考にすることにより、日本列島に分布する熱水の起源とその温度及び温度履歴の概略を把握し、顕著な高温域や大規模な熱水変質帯を避けることは可能と考えられる。

その他、第四紀火山周辺では、地下水中へのマグマ性の揮発成分の混入により、Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>を主成分とする酸性の地下水が形成されるが、仙岩地域の例では酸性を示すのは火山から数 km 以内で、10km 以上離れると中性に近くなるとされる（小松・梅田，1999）。マグマによる化学的影響範囲は、マグマ起源である <sup>3</sup>He の存在比から推定することができ、箱根、御岳、草津白根等での解析例によれば、火山の噴出中心から離れるほど <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 比は低下する傾向が認められ、噴出中心から 30km 程度離れると、大気中の比と等しくなり、火山活動による化学的影響が認められないと判断できるとの報告がある（Sakamoto et al., 1992）。



温泉 (Hot spring)

泉温 (Water temperature)

- $\geq 90^{\circ}\text{C}$
- ◇  $90^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$
- $60^{\circ}\text{C} \sim 42^{\circ}\text{C}$
- △  $< 42^{\circ}\text{C}$
- × 不明 (No data)

地熱資源賦存地域及び地域番号 (Geothermal resource area with area number)

- 第四紀火山に関連した地熱資源賦存地域  
 (左からランクA, ランクB, ランクC)  
 Geothermal resources related to Quaternary volcanoes  
 (Rank A, Rank B, Rank C, from left to right)
- 深層熱水資源賦存地域  
 Deep-seated hot water resources in late Neogene to Quaternary  
 sedimentary basin
- 第四紀火山に関連しない地熱資源賦存地域 (タイプA)  
 (左からランクA, ランクB, ランクC)  
 Geothermal resources not related to Quaternary volcanoes (type A)  
 (Rank A, Rank B, Rank C, from left to right)
- 第四紀火山に関連しない地熱資源賦存地域 (タイプB)  
 (左からランクA, ランクB, ランクC)  
 Geothermal resources not related to Quaternary volcanoes (type B)  
 (Rank A, Rank B, Rank C, from left to right)

図 5.2.3-4 地熱資源図に示された地熱資源賦存地域の例 (高橋ほか, 2001 を編集)



## (2) 個別地区ごとに評価する事項の考え方

「火成活動」に関する「個別地区ごとに評価する事項」を以下に示す（原子力発電環境整備機構，2002c）。

第四紀火山の中心から半径 15km の円の外側の地域でも，将来数万年にわたりマグマの地殻への貫入や地表への噴出が明確に判断される地域は含めないように，概要調査地区を選定する。また，将来も含め，マグマによる著しい熱の影響，強酸性の熱水，あるいは著しい熱水対流が存在すると明確に判断される地域は含めないように，概要調査地区を選定する。

評価の対象となる第四紀火山において，将来的なマグマの地殻への貫入や地表への噴出が起こる範囲を推定するためには，個々の第四紀火山ごとにおける検討，ある一定の地域に分布する第四紀火山同士の時間的・空間的活動の関係，より広い範囲における地質構造発達史における火山活動の位置付け等を把握し，評価することが重要である。

個々の第四紀火山における検討では，5.2.3（1）に示したようにその火山の活動史（火口の位置，火口の安定性，側火山・側火口の配列，噴出物の年代，化学組成及びその変化，火山形成発達過程における時期等）を把握することが重要である。近接する地域に複数の第四紀火山が分布する場合，その地域に分布する第四紀火山をひとまとまりのグループとして認定し，時間的・空間的活動の変遷を検討することが重要であるが，グルーピングの妥当性，各第四紀火山間におけるマグマの貫入・噴出についても検討することが必要である。個々の第四紀火山における火道の安定性や火口配列は，広域または局所的な地殻応力場と関係があり，また，千島弧や九州の海溝側の第四紀火山では，広域的なテクトニクスの転換に伴い地域的な火山活動の場が変化している（5.2.2（1）参照）。

第四紀火山の時間的・空間的活動の変遷については，個々の第四紀火山の活動史，近接する第四紀火山のグルーピングに基づく活動場の変遷に関する検討，広域または局所的な地質構造要素との関連性及び広域的なテクトニックな転換に伴う活動場の変遷について検討する必要がある。

また，5.2.2（2）に示したように，大規模カルデラや単成火山群を構成する第四紀火山は，法定要件に関する事項「噴火」の「全国一律に評価する事項」で設定した第四紀火山の中心から半径 15km の円の範囲を超えるものが存在する。さらに，物理探査手法，測地学的手法から推定されるマグマ溜りの位置は，必ずしも第四紀火山の噴出位置と一致していない場合がある。

以上のことを踏まえ，第四紀火山の中心から半径 15km の円の外側においても，将来数万年にわたりマグマの地殻への貫入や地表への噴出が生じる可能性がある地域は，処分場の直接的な破壊を避ける観点から，第四紀の火山体，火口，岩脈等の分布について，全国一律の評価に引き続き個別地区ごとに詳細な検討を実施する。そして，対象火山に関して，時間的・空間的活動の特性等について十分な情報が得られ，将来数万年にわたりマグマの地殻への貫入や地表への噴出が明確に判断される地域が存在すると判断される場合には，これらの地域を含めないように，概要調査地区を選定するものとする。

火成活動が周辺に及ぼす熱・熱水の影響については、地温の著しい上昇や熱水対流の発生、地下水の著しい酸性化等が、処分場の環境を大きく変化させ、地下水流動や核種移行を促進させる可能性があること、また、熱水変質帯の形成の影響により、岩盤の力学的・鉱物学的性質が初期のものと大きく変化し、多重バリアシステムの性能を著しく低下させるおそれがあること等を考慮し、火成活動に伴って発生する熱・熱水の著しい影響を受ける範囲を認定し、その地域を含めないように概要調査地区を選定するものとする。

5.2.3 (1) で述べたように、火成活動による熱・熱水の影響範囲については、火山の噴出中心からの距離を指標として、地温勾配等により、著しい熱の影響があると判断される地域、強酸性の熱水が存在すると判断される地域を認定することが可能である。しかし、その影響の及ぶ範囲については、評価の対象となる地域の温度勾配、熱源の位置、大きさ、周辺の地質構造、周辺岩盤の透水性等によって異なる。

このことを踏まえ、第四紀火山について、その周辺の熱・熱水の影響範囲を推定するために個別地区ごとに詳細な検討を実施する。そして、個別地区ごとの文献調査により、個々の第四紀火山の熱や熱水の発生状況、熱履歴等についての十分な情報が得られ、熱・熱水の影響範囲を推定可能な場合には、推定された現状での熱・熱水の影響範囲を基に、将来的なマグマの貫入・噴出の場を考慮した上で熱・熱水の影響が著しいと想定される範囲を概要調査地区に含めないようにする。

なお、火成活動による熱・熱水活動の影響範囲以外の場所で発生している熱・熱水活動については、多重バリアシステムの性能への影響の観点から考慮する必要がある。これについては、後述(5.6.3)の「付加的に評価する事項」の中で示す、地層の物性・性状(例えば、地温勾配)、地下水の特性(例えば、水温、pH、酸化還元性)として評価する。

これらの文献調査の結果、第四紀火山について、その中心から半径15kmの円の外側での火山活動の可能性や、熱・熱水活動の影響に関して文献調査から十分な情報が得られない場合には、概要調査あるいはそれ以降の調査において、引き続き検討を行う。

### (3) 個別地区ごとに評価する事項の調査・評価内容

既存の文献・資料に基づき、以下に示す事項について調査する。また、各項目に関する調査・評価の概略を例示する。

#### ① 第四紀の火山、火口、岩脈等の存在

応募区域の近傍に分布する第四紀火山を対象に、次のような項目に関して資料を収集し、それらの検討結果を総合的に判断することにより、第四紀火山の活動によるマグマの岩盤への貫入や地表への噴出が発生する範囲を、可能な限り評価する。

- ・ 「日本の第四紀火山カタログ(第四紀火山カタログ委員会編, 1999)」に記載されている個別火山体のうち、第四紀火山の中心から半径15kmの円の外側の地域に分布するものの認定と、その個別火山体に関する情報収集
- ・ 第四紀火山の火口、岩脈、火山噴出物、火山に特有の陥没構造等に関する個別の文献、地形図、空中写真判読による認定

対象とするデータは、第四紀火山の火口、岩脈、火山噴出物等の、主に分布について記載した文献を中心に、地形に関する文献や資料の収集のほか、空中写真判読等も行い、開析されて不明瞭になった火山地形、火山噴出物の分布等についても考慮に入れて検討するものとする。

## ② 火山活動の時間的・空間的特性

①に示した調査・評価の結果、特定された第四紀火山の活動範囲について、以下に示すような項目に関して資料を収集し、それらの検討結果を総合的に判断することにより、第四紀火山の活動の時間的・空間的特性を明らかにし、活動範囲の変遷、移動、拡張等の傾向等を可能な限り評価する。

- ・ 1/20 万～1/5 万レベルの地質図、個別の文献、ボーリングデータ等を用いた、火山噴出物（溶岩、火山砕屑物等）や貫入岩の分布、層序、活動年代、火山岩類の化学的性質等に関する既存情報の収集及び時間的・空間的活動特性（火山中心の移動、マグマの活動範囲の変化等）の検討
- ・ 近傍に分布する第四紀火山との活動特性の比較・検討に基づく同一の活動グループとしての認定に関する既存情報の調査・検討
- ・ 第四紀火山及びその周辺の地質構造、地殻変動特性、地史、造構応力状態等に関する既存資料の調査

この火山活動の時間的・空間的特性の検討については、複成火山（成層火山、カルデラ火山等）、単成火山群等の火山の特徴やマグマの性質を考慮のうえ、実施する。

## ③ 地下構造と火成活動の場との関連性

第四紀火山を対象に、以下に示す項目に関して資料を収集し、それらの検討結果を総合的に判断することにより、第四紀火山の地下に存在するマグマの広がり及び第四紀火山周辺の熱・熱水活動について詳細に検討し、その直接的な活動が地下浅部及び地表に及ぶ範囲を特定するものとする。

- ・ 地震波探査、電磁法探査、重力探査、磁気探査等による地下の基盤構造に関する既存資料の調査並びに火山に特有の地質構造、地下のマグマの兆候の把握及び特定の地下構造と火成活動の場との関連性の検討
- ・ 第四紀火山及びその周辺の測地学的データに基づく地殻変動データの解析
- ・ 火山性微動及び火山性地震の分布に関する解析
- ・ 温度検層、磁気探査等による地温・水温分布、温度勾配、キュリー点深度分布等の地下の温度構造に関する既存資料の調査
- ・ 熱水対流、地熱資源賦存等の分布に関する既存資料や解析事例の調査
- ・ 第四紀火山及びその周辺の地下水の地化学的性質に関する既存資料の調査

これらの第四紀火山及びその周辺の地下のマグマ構造や熱構造、地下水の地化学的性質等の評価に際しては、地温、地下水組成等を指標として、バックグラウンド等の比較により影響の及ぶ範囲を検討するとともに、地域規模での詳細な検討を行い、総合的に判断する。

これらの調査・評価によって認定された範囲は、将来的に火成活動の直接的な影響が及ぶ範囲で、将来、処分場を直接破壊、あるいは多重バリアシステムの性能を著しく低下させる場であると捉えて、概要調査地区の設定に際しては、以下のように考慮するものとする。

- ① 第四紀の火山、火口、岩脈等の存在：次項（4）に例示するような個別地区に関する既存資料によってその存在が明確であると特定されたものについては、そのような場所を含めないように概要調査地区を選定する。また、明らかとなったその火山、火口、岩脈等については、その分布や噴出中心を将来的な活動範囲を考慮する場合の基礎データとし、②の火山活動の時間的・空間的特性や、地下構造のデータと併せて、第四紀火山の活動により、将来数万年程度にわたってマグマの貫入や噴出が明らかに想定される範囲を検討する。検討の結果、将来的にマグマの貫入や噴出が発生する可能性が高いとされた範囲を含めないように、概要調査地区を選定する。
- ② 火山活動の時間的・空間的特性：次項（4）に例示するような個別地区に関する既存資料に基づいて、第四紀火山の活動の履歴からその時間的・空間的特性を明らかにし、火成活動の場の将来的な変遷の予測に有効な規則性が設定可能な場合には、①で評価した第四紀の火山、火口、岩脈等の分布や、③の地下構造のデータと併せて総合的に判断し、将来数万年程度にわたるマグマの貫入や噴出が明らかに想定される範囲を検討する。検討の結果、将来的にマグマの貫入や噴出が発生する可能性が高いとされた範囲を含めないように、概要調査地区を選定する。
- ③ 地下構造と火成活動の場との関連性：次項（4）に例示するような個別地区に関する既存資料に基づいて、火山に特有の地質構造や火成活動の場を規制する特定の地下構造や地下のマグマの兆候、地下の熱構造等に関する情報を収集・整理し、①で評価した第四紀の火山、火口、岩脈等の分布及び②で評価した火山活動の時間的・空間的分布と併せて、第四紀火山の地下構造と火成活動との関連を検討する。また、第四紀火山の周辺に関して、現在、高温異常域、熱水対流、地下水の地化学的性質の変化等が発生していると考えられる範囲について、地温、地下水組成等を指標として、バックグラウンド等との比較により特定するとともに、②で評価した、将来的なマグマの貫入や噴出が発生する可能性が高い場を考慮した上で、将来的に高温異常域、熱水対流、地下水の地化学的性質の変化等が想定される範囲を可能な限り評価する。検討の結果、火成活動（マグマの貫入や噴出、高温異常域、熱水対流の発生等）を規制する地下構造が明瞭に認められる場合は、その範囲を含まないように概要調査地区を選定する。また、将来数万年程度にわたり、火成活動の発生による熱・熱水の影響が及ぶ可能性が高い範囲を含めないように、概要調査地区を選定する。

(4) 個別地区ごとに評価する事項に関する使用情報（利用文献、参考文献）

個別の既存の文献・資料として、例えば以下のような資料を参照する。

- ・ 5万分の1地質図幅及び同説明書（地質調査所／産業技術総合研究所）
- ・ 20万分の1地質図幅（地質調査所／産業技術総合研究所）
- ・ 50万分の1活構造図（地質調査所／産業技術総合研究所）

- ・ 地質構造図（地質調査所／産業技術総合研究所）
- ・ 重力図（地質調査所／産業技術総合研究所）
- ・ 第四紀火山周辺の地質構造，重力異常，テクトニクス，地殻変動特性等に関する全国・地域規模の既存資料
- ・ 第四紀火山周辺の火山噴出物（溶岩，火山砕屑物等）や貫入岩の分布，層序，地史，活動年代，火山岩類の化学的性質等に関する全国・地域規模の既存資料
- ・ 日本列島地温勾配図（300 万分の 1），日本の地熱調査における坑井データ，日本の地熱資源賦存分布図（200 万分の 1），地熱資源図（50 万分の 1），地熱地域地質図（20 万分の 1～5 万分の 1），日本温泉，鉱泉分布図及び一覧，日本の主要地熱地域の地質と温泉・変質帯分布，日本の熱水変質帯分布図（200 万分の 1），その他，地温・地温勾配，温泉，熱水変質，水質（pH を含む）等に関する全国・地域規模の既存資料
- ・ リモートセンシングデータ
- ・ 他機関によって定常的に行われている測地学的データ

#### 5.2.4 「火成活動」に関する精密調査地区選定段階以降の調査・評価の考え方

「火成活動」に関する精密調査地区選定段階以降の調査・評価にあたっては，概要調査地区の選定段階での文献調査による評価結果を確認するために，地表からの調査，地下の調査施設における調査を行う。

### 5.3 法定要件に関する事項「隆起・侵食」

#### 5.3.1 「隆起・侵食」に関する設定の考え方

「第2次取りまとめ」では，「隆起・侵食」に関して，『隆起・沈降・侵食が地質環境に与える影響としては，動水勾配や地下水位の変化につながる地形勾配や土被りの変化が考えられる。また，隆起が激しい地域では，地下深部に埋もれていた岩盤の地表への接近や，地表水の地下深部への直接の混入などにつながる大きな侵食が生じる可能性がある。』としている。

「地下環境部会報告書」では，『隆起，侵食が処分システムに及ぼす影響としては，処分場の地表への接近に伴い地下水流動特性や地化学的条件が変化（酸化雰囲気）して核種移行が促進されるといった影響等が考えられるが，地域的な隆起速度と侵食速度の関連性を考慮した設計により，その影響を避けることが可能であると考えられる。よって，隆起，侵食を，概要調査地区選定に関する要件とはしないこととする。また，沈降については，処分深度が増すという意味で，有利な面が大きいと考えられるので，概要調査地区選定にあたっては，考慮しないとする。』としている。

考慮事項の設定にあたり，長い年月をかけて著しい隆起が生じるような地域においては隆起量に見合った侵食が生じる可能性があり，この侵食が著しい場合には，埋設した高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）が地表近くまで接近する可能性があることから，著しい隆起及び侵食を，最終処分法で定められている「地層の著しい変動」に該当する事象と考え，取り扱うものとする。

なお，沈降については，「地下環境部会報告書」においても，『処分深度が増すという意味で，

有利な面が大きい』としており、「地層の著しい変動」には該当しないものとする。

隆起・侵食は、日本列島のどこにおいても継続的に生じているものの、日本列島全体が同時に一様な速度で生じているわけではなく、地域差が極めて大きい。これらを算定するための目安となる地形面や堆積層の分布についても、多様性が大きい。処分場への著しい影響については、個別地区ごとにその発生の程度と影響の大きさを検討・評価する項目であると考えられる。

「隆起・侵食」に関する考慮事項については、「4.4.1 法定要件に関する事項」で述べたように、「個別地区ごとに評価する事項」のみを設定し、「全国一律に評価する事項」は設定しない。考慮事項の内容と設定根拠等について、以下に示す。

### 5.3.2 「隆起・侵食」に関する「個別地区ごとに評価する事項」の内容とその設定根拠

#### (1) 個別地区ごとに評価する事項の設定論拠となる情報の整理

隆起速度やその分布パターン(変動様式)を把握する手法は、対象とする期間、変動の指標、空間的広がりによって、地形学的手法、測地学的手法、地質学的手法の三つに分けられ、それらはそれぞれ長所・短所があることから、相補的に用いることが重要とされる(「第2次取りまとめ」)。

地形学的手法は、ある時代に形成された地形の分布高度とその年代を用いて隆起速度を算定するもので、段丘や小起伏面等が主に変動の指標として用いられており、特に段丘高度を指標とする評価手法は、日本列島のように隆起が速く段丘地形がよく発達している地域では、有効な手法とされる(「第2次取りまとめ」)。

わが国においては、従来、海成段丘を対象とした空中写真判読に基づき、全国的な隆起について調査・評価が行われてきており(小池・町田編, 2001; Ota et. al., 1987; 1992等)、沿岸地域を中心に、過去十数万年以前以降の隆起量分布に関するデータが全国規模で整備されてきている。その他、地域ごとの研究事例が数多く存在する。

一方、内陸部に関しては、河成段丘を指標とした評価手法が提案され、いくつかの地域での評価事例が報告されている(吉山・柳田, 1995; 田中ほか, 1997; 高木ほか, 2000等)。考慮事項の設定にあたり、日本列島の隆起・沈降特性の概略の傾向を調べるため、内陸の隆起量に関して、この河成段丘を指標とした方法で見積もり、沿岸部の文献情報と併せて過去10万年程度の隆起・沈降特性を検討し(幡谷ほか, 2002)、全国の隆起・沈降量分布図を作成した(図5.3.2-1)。図5.3.2-2には、同時に作成した日本全国の1/50,000地形図図幅ごとの隆起・沈降量の頻度分布図を示す。なお、これらの図を作成するにあたり、沿岸部では小池・町田編(2001)の「海成段丘アトラス」及びその他の文献から隆起量もしくは沈降量として示されているデータを抽出し、内陸部では吉山・柳田(1995)のTT法、FS法にしたがい、空中写真判読により隆起量を見積もるとともに、中部山岳地域及び四国山地については、Ohmori(1987)と大森(1990)の隆起量に関するデータを補足的に追加した。図5.3.2-1及び図5.3.2-2から、以下のことを読み取ることができる。

- ① 10万年あたり100mを超える隆起地域としては北海道～北陸の日本海側、糸静線～富士川河口断層帯、柳ヶ瀬断層帯～関が原断層帯～養老～桑名～四日市断層帯等がある。

- ② 10 万年あたり 100m を超える隆起地域は、日本列島全体からみると多くはない。
- ③ 東北地方脊梁山地，中部地域中央部等では，断層によりいくつかのブロックに区分されると考えられるが，全体として個々のブロックで隆起量に大きな差はなく，沿岸部に比べ比較的隆起量が小さい。
- ④ 隆起速度が 10 万年あたり 0～20m の地域は，オホーツク沿岸部，中央構造線以北の四国，中国地方等がある。

小池・町田編（2001）は，3.3.3（1）に述べたように，最終間氷期最盛期に形成された海成段丘の旧汀線高度から求めた平均変位速度とその分布に基づき，さらに主な海岸平野の沈降速度の資料を加味して，日本列島の海岸地域を以下のように分類した。

- ① 傾動に伴う隆起速度が最大で 1m/千年以上の速度で隆起したところを含む地域
- ② ①の地域より傾動に伴う隆起速度が 0.5～1m/千年とやや小さい地域
- ③ 短波長で②と同程度の隆起速度（0.5～1m/千年）の曲動地域
- ④ 長波長，小振幅で隆起速度が 0.5m/千年以下の曲動地域
- ⑤ 長波長，小振幅で隆起速度が 0.1m/千年以下の安定かやや沈降傾向にある地域
- ⑥ 沈降速度が 0.5m/千年より速い顕著な沈降地域

小池・町田編（2001）による日本列島における地殻変動区分の分布を，図 5.3.2-3 に示す。

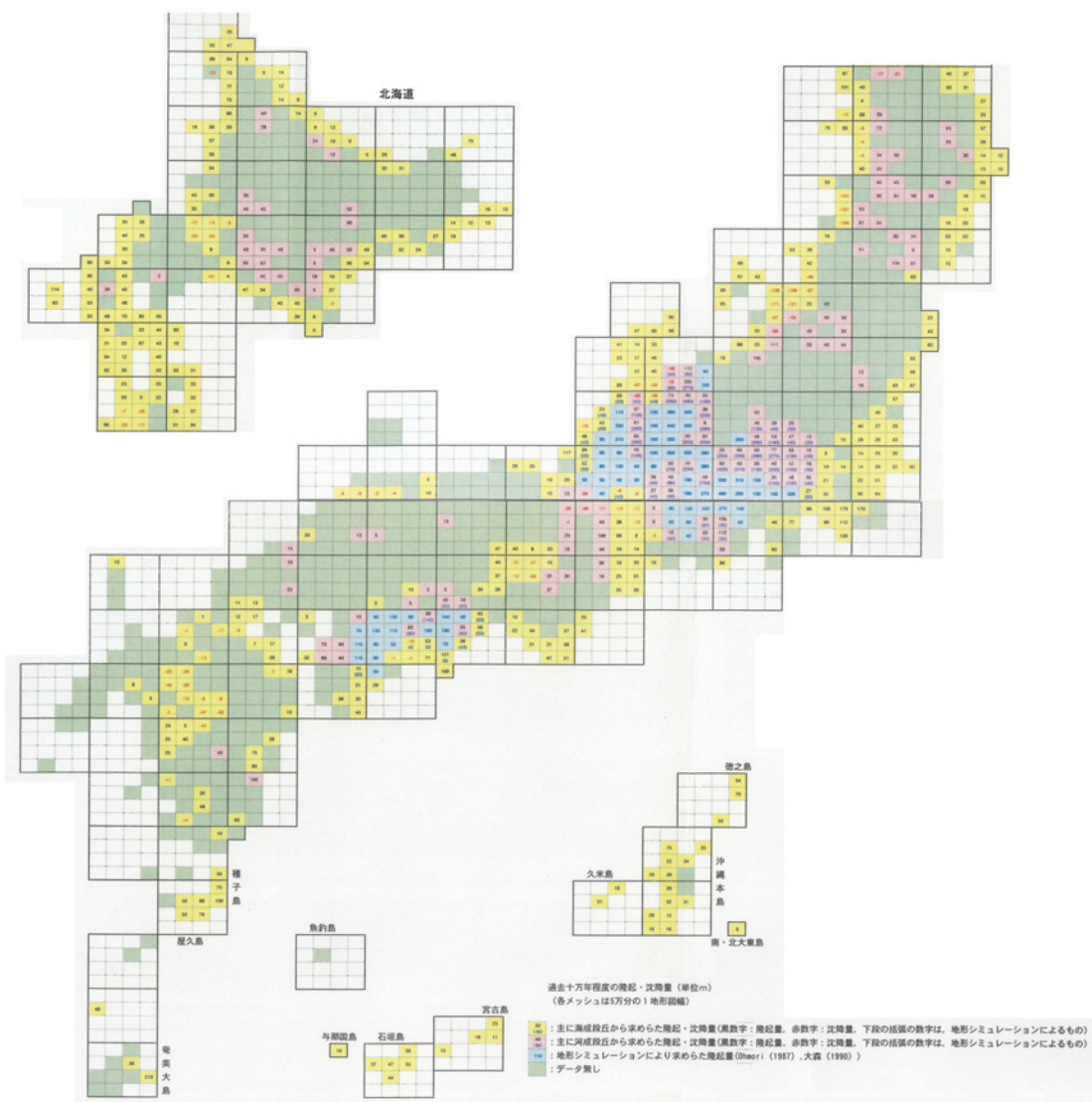


図 5.3.2-1 全国の隆起・沈降量分布図



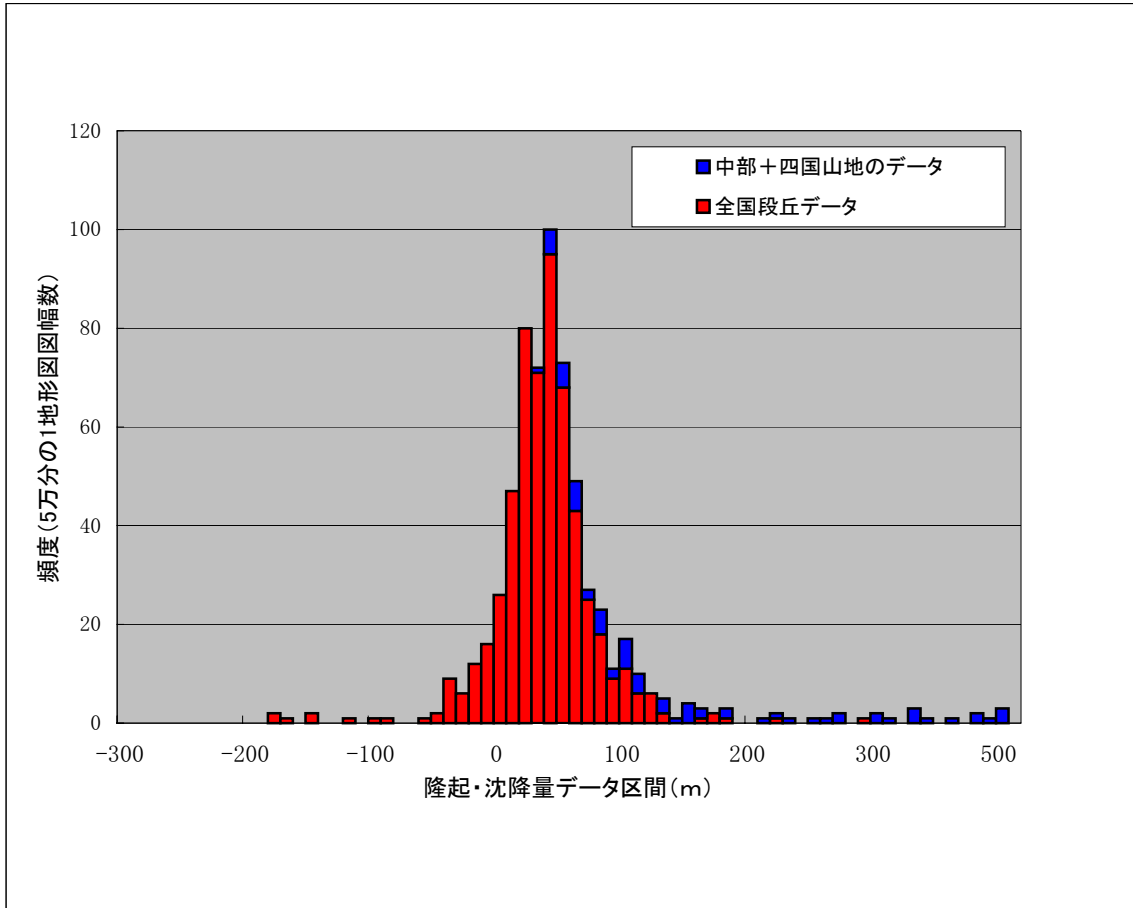


図 5.3.2-2 1/5 万地形図幅の過去 10 万年程度の隆起・沈降量頻度分布図

- ・ 中部+四国山地のデータ（山地高度を指標とした侵食速度と隆起速度との平衡状態を想定したモデルによる）：大森(1990)及び Ohmori (1987) に基づき作成
- ・ 全国段丘データ：小池・町田編(2001)及び吉山・柳田(1995)に基づき作成

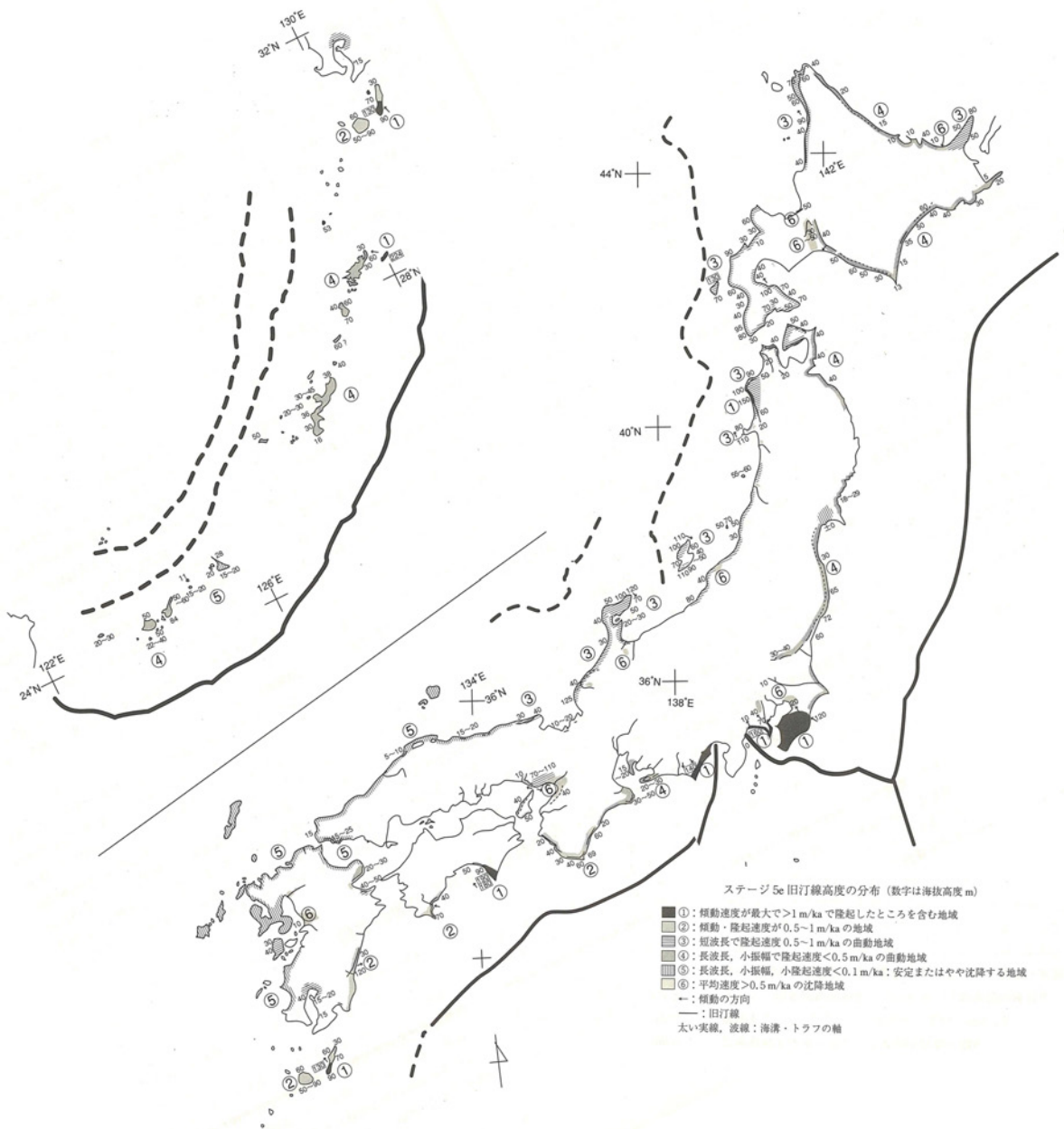


図 5.3.2-3 日本列島における地殻変動区分 (出典: 小池・町田編, 2001)

その他、段丘以外の地形分布高度を指標とした地形学的手法による隆起速度の算定に関しては、第三紀末に海面近くの高度で形成されたと考えられる侵食小起伏面を対象に、第四紀初頭以降の隆起量の概略を検討した事例（第四紀地殻変動グループ、1968）や、山地高度を指標とした、侵食速度と隆起速度との平衡状態を想定したモデルによる 100 万年単位での解析事例（Ohmori, 1987；大森, 1990）等がある。

測地学的手法は、三角測量、GPS 測量等による測地データや検潮データを用いるもので、全国的な変動速度の分布を取りまとめた例として、壇原（1971）、加藤・津村（1979）等があり、それらによれば日本列島は年間1～数mm程度の速さで上下変動していることが示されており、例外的に10mm/年を超える地域も一部にある（「第2次取りまとめ」）。また、GPS 測量により、特に水平方向の変動を全国規模で精密に把握することも可能である（例えば、多田ほか, 1997）。これらの測地学的手法は、全国の変動の速さや分布を高精度で迅速に把握できる利点があるが、測地学的方法是観測期間が最大でも約100年と短く、地形学的あるいは地質学的なデータから得られる長期間の平均的な変動の傾向とは異なる場合がある。

地質学的手法は、形成時の堆積環境と年代が推定できる堆積面や地層の層序等を指標として、地層の堆積後（及び堆積中）の変動様式を解析することによって、隆起や沈降の速度を推定するもので、地形学的手法や測地学的手法に比べて、一般に時間や変動量の分解能が低いものの、より長期間の変動の履歴を推定できる利点があるとされ（「第2次取りまとめ」）、主に盆地や平野において沈降量を推定した事例等が知られている（成瀬, 1988；1989；1990, 小池・町田編, 2001）。ただし、地質学的手法を用いて日本全国の隆起量を体系的に評価した事例はない。

一方、侵食に関しては、ダムの堆砂量データや高度分散量による侵食量を評価する方法（Yoshikawa, 1974；藤原ほか, 1999；高木ほか, 2000 等）に基づいて日本全国規模の侵食に関するマップが整備されているが、それらによると、侵食速度は一部の山地地域を除き1mm/年を超えることはまれで、一般に0.3～0.5mm/年未満であるとされる。しかし、これらについては、いずれも評価期間が短く、例えばダムの堆砂量データを基礎とした評価結果に関しては、その評価期間が数十年程度であり、長期にわたる侵食傾向に関する資料に乏しい。なお、河川の下刻については、代表的な河川を例にその侵食プロセスを検討した結果、10万年単位では下刻量は隆起量と近い値となることが示されている（「第2次取りまとめ」）。

また、海岸部における海水準変動の海面低下に伴う侵食について、全国主要56河川を対象に、氷期（最大海退期）における海水面低下による河川の下刻量を検討し、海水準変動1周期あたりの最大侵食の評価が試みられている（鳥越ほか, 2002）。これによると、沿岸部沖積層基底面の埋没谷深度に隆起・沈降量を考慮し、補正した侵食深度を求め、侵食量の最大値に着目すると、現海岸線付近における河川の下刻作用による最大海退時の最大侵食ポテンシャルは、-90m程度を上限としているものと考えられるとした。すなわち、今後概ね10万年程度の間に、海水準の最大低下期に1回遭遇し、その際には海岸線付近において最大見積り-90m程度の侵食深度が発生すると推定される。また、隆起量との関係から、概ね10万年程度の間の想定総侵食量は、この侵食深度-90mに隆起・沈降量を加減算した量と考えることができる。

## (2) 個別地区ごとに評価する事項の考え方

「隆起・侵食」に関する「個別地区ごとに評価する事項」を以下に示す（原子力発電環境整備機構，2002c）。

過去 10 万年間の隆起の総量が 300m を超えていることが明らかな地域は含めないように、概要調査地区を選定する。

隆起については、過去数十万年前以降の段丘地形が全国的によく残っており、中でも約 12.5 万年前に形成された地形面は広く分布していることから、空中写真判読や各種の記録の検討から過去数十万年前から現在、将来の変動傾向を概ね把握することができる。過去 10 万年間の隆起の総量を評価することを目的に、5.3.2 (1) に述べた地形学的・測地学的・地質学的手法を相補的に用いることを念頭に置いて、過去数十万年前以降に形成された段丘面の分布高度を指標とした隆起の検討結果に基づき、検討するものとする。

一方、侵食については、全国規模の侵食量に関するマップが幾つか存在しているものの、それらはいずれも短期的なデータであり、長期の変動傾向を把握することが困難であること、さらには隆起が著しい場合には、それに見合った顕著な侵食が生じることが否定できないこと（「第 2 次取りまとめ」等）から、5.3.2 (1) に述べた最大海退期における河川の下刻作用に関する検討結果（海退という相対的な隆起効果に伴う侵食作用）も念頭に置き、最も厳しい場合を考慮して、隆起量と同じ量が侵食されるものと仮定するものとする。

隆起・侵食による高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）の地表近くへの接近について、概要調査あるいはそれ以降の調査に基づき設定される最終処分を行う深さとあわせて検討されるべきものであるが、最終処分を行う深さは、政令（特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律施行令，平成 12 年 10 月 25 日）により地下 300m 以上と定められており、概要調査地区の選定段階においては、過去 10 万年間の隆起の総量が 300m を超えていることが明らかな地域は含めないように、概要調査地区を選定するものとする。

地域規模の詳細検討を実施しても隆起量に関する十分な情報が得られない場合には、精密調査地区選定段階以降において、引き続き検討を行うものとする。侵食量に関しては、得られた隆起量に基づき評価することとする。また、海水準変動に伴って低海面期に海岸部で発生が予想される侵食に関しては、施設配置を合理的に設定することにより、その顕著な影響を排除することが可能であると考えられる。

なお、浅層の酸化帯の接近による影響（地下水の流動特性や水質変化）については、精密調査地区選定段階以降において、適切な処分深度の設定といった設計等の対処も含め検討していくこととする。

また、隆起・侵食に伴う地質環境変化として、土被り厚さの減少、地形勾配の変化に伴う動水勾配、地下水位・水質の変化、岩盤の物理・化学的性質の変化等が発生することが考えられ、隆起・沈降の速度はできるだけ小さいことが好ましいと考えられるが、これらについては、「付加的に評価する事項」として考慮するものとする。

### (3) 個別地区ごとに評価する事項の調査・評価内容

個別の既存の文献・資料に基づき、過去数十万年間の隆起・侵食に関する規模の変動傾向について、以下に示す事項に関して調査する。また、各項目に関する調査・評価の概略を例示する。

#### ① 隆起の規模

応募区域及びその周辺地域を対象に、海岸部と内陸部の各々に対して、次のような隆起量を示唆する地形・地質学的な資料を収集し、それらの検討結果を総合的に判断することにより、過去数十万年間の隆起量を明らかにするとともに、隆起の様式や傾向等について検討するものとする。

- ・ 海岸部：海成段丘面とその被覆層を対象とした、分布、年代、高度等に関する情報収集
- ・ 内陸部：河成地形面（段丘面及び河床面）とその被覆層を対象とした、分布、年代、高度等に関する情報収集
- ・ 空中写真による地形判読
- ・ 測地学的手法による地殻変動データの収集
- ・ 地質構造、地殻変動特性、地史、造構応力状態等に関する既存資料の調査
- ・ その他、地形発達モデルに基づいた、隆起・沈降、地殻変動に関する解析結果及び検討事例に関する資料

なお、海岸部の地形・地質学的な情報の収集に関しては、「日本の海成段丘アトラス」（小池・町田編，2001）を検討・評価の基礎とする。また、内陸の山地において、河成地形面から隆起量を算定するデータが得られない場合には、山地高度の変遷に関わる隆起と侵食の平衡モデル（Ohmori, 1987；大森，1990）も参考にする。その他、地形発達モデルを用いた既存の隆起量に関する検討事例を参照する場合には、そのモデルの妥当性、前提等について詳細に検討し、その内容の精度について十分吟味したうえで適切に評価する。

#### ② 侵食の規模

応募区域及びその周辺地域を対象に、主に次に例示するような項目に関して資料を収集し、それらの検討結果を総合的に判断する。

- ・ ダムの堆砂量、崖錐堆積物、扇状地堆積物等、河川の削剥土砂量を直接示すデータ
- ・ その他、地形発達モデルに基づいた、侵食・堆積、地殻変動に関する解析結果及び検討事例に関する資料

侵食量の検討に際しては、地形起伏と侵食速度との関係を基礎とした地形発達モデルに基づく解析により得られた「日本列島における侵食速度の分布」（藤原ほか，1999）を参照し、地域規模の侵食に関する資料が具体的に得られた場合には、侵食の場と侵食量に関して地域規模での詳細な検討を行う。

#### ③ 海水準変動に伴う侵食

応募区域が沿岸部を含む地域であった場合、主に次に例示するような項目に関して資料を収集し、それらの検討結果を総合的に判断することにより、海水準変動に伴って発生す

る侵食量について検討を行う。

- ・ 最終氷期の最低海面期に形成された埋没地形面の分布、分布深度及び形成年代等にかかわる既存のボーリングや物理探査データ
- ・ その他、海水準変動に伴う海面低下量に関する解析結果及び検討事例に関する資料

一般に、海水準変動は汎世界的に発生する現象であることから、資料の収集に際しては、応募区域及びその周辺地域に限らず、日本全国あるいは汎世界的な海水面の低下量に関する机上調査を実施し、調査・評価に際しての参考とするものとする。沿岸部における海水準変動1周期あたりの最大侵食の評価事例も参考になると考えられる。

#### (4) 個別地区ごとに評価する事項に関する使用情報（利用文献、参考文献）

個別地区の調査・評価の基礎として、次に示す資料を参照する。

- ・ 海岸部の隆起量：「日本の海成段丘アトラス」（小池・町田編，2001）
- ・ 山地部の隆起量：Ohmori（1987），大森（1990）等（山地高度の変遷にかかわる隆起と侵食の平衡モデルの基づく隆起速度データ）
- ・ 侵食速度：「日本列島における侵食速度の分布」（藤原ほか，1999）
- ・ 海水準変動：Chappell and Sahckleton（1986）等（海水準変動）

また、個別の既存の文献・資料として、例えば以下のような資料を参照する。

- ・ 空中写真（国土地理院，林野庁等）
- ・ 海成段丘面，河成段丘面（段丘面及び河床面）とその被覆層の分布，年代，高度等に関する全国・地域規模の既存資料
- ・ 三角測量，GPS 測量等の測量データ
- ・ 河川の削剥土砂量，ダムの堆砂量等に関する既存資料
- ・ 海水準変動に関する既存資料
- ・ 最終氷期に形成された旧河床の断面図（埋没地形面）にかかわるボーリング調査，物理探査等の既存資料

### 5.3.3 「隆起・侵食」に関する精密調査地区選定段階以降の調査・評価の考え方

「隆起・侵食」に関する精密調査地区選定段階以降の調査・評価にあたっては、概要調査地区の選定段階での文献調査による評価結果を確認するために、地表からの調査，地下の調査施設における調査を行う。

## 5.4 法定要件に関する事項「第四紀の未固結堆積物」

### 5.4.1 「第四紀の未固結堆積物」に関する設定の考え方

概要調査地区の選定にあたって、最終処分法第6条第2項第3号，同施行規則第5条第2項第1号で記載されている『最終処分を行おうとする地層が，第四紀の未固結堆積物であるとの記録がないこと』を，次のように考える。

処分場の建設可能性の観点から，最終処分を行おうとする地層が第四紀に形成された堆積物のうちの未固結堆積物である場合は，合理的な処分場の建設を行うことが困難である。既存資

料の調査により、最終処分を行おうとする地層における第四紀の未固結堆積物の存在に関し、その記録がないことを確認することによって、法定要件への適格性を評価するものである。

なお、ここでは、「第四紀」及び「未固結堆積物」について、次のように定義する。

① 「第四紀」：約 170 万年前から現在までの地質学における時代（以下の参考文献により定義した）

- ・ 165 万年前：国立天文台編（2002）；日本地質アトラス（地質調査所，1982）及び Odin（1994）による
- ・ 約 170 万年前：「第 2 次取りまとめ」
- ・ 約 170 万年前：第四紀学会（第四紀学会ホームページ，2002）

② 「未固結堆積物」：礫，砂，泥，碎屑物（崖錐堆積物及び土石流堆積物）が固結していない状態にあるもの（国土調査法第 3 条第 2 項の規定に基づく，平成 12 年 8 月 14 日総理府令第 103 号表層地質調査作業規定準則による）

「第四紀の未固結堆積物」に関する考慮事項については、「4.4.1 法定要件に関する事項」で述べたように、「個別地区ごとに評価する事項」のみを設定し、「全国一律に評価する事項」は設定しない。考慮事項の内容と設定根拠等について、以下に示す。

#### 5.4.2 「第四紀の未固結堆積物」に関する「個別地区ごとに評価する事項」の内容とその設定根拠

##### (1) 個別地区ごとに評価する事項の設定論拠となる情報の整理

岩盤の力学特性に関する情報は、詳細な文献調査等により具体的な情報が得られるような場合はその限りではないが、概要調査地区選定段階では、ある地域に分布する岩盤の物性値を具体的かつ詳細に評価することは難しいとされている（「地下環境部会報告書」）。

しかし、力学的な強度が著しく小さく、処分場の建設及び操業に対して明らかに不適と判断される第四紀未固結堆積物の分布に関しては、地質図，地質断面図等の情報をもとに、ある程度推測することができる。

現在、わが国で整備されている地質図の多くは平面図である。わが国においては、地質調査所（現産業技術総合研究所）のほか、地方自治体等、複数の機関によって、様々な縮尺の地質図が全国をほぼ網羅して整備され、刊行・発行されている。その記載の内容や精度については、各々の図幅や発行年度、取りまとめ機関、地域等によって大きく異なり、統一されていないのが現状であり、地下における地質分布を示す地質断面図は、例えば地質調査所発行の 5 万分の 1 地質図に添付されているが、地質平面図に比べるとその数は少ないことに留意する必要がある。

##### (2) 個別地区ごとに評価する事項の考え方

「第四紀の未固結堆積物」に関する「個別地区ごとに評価する事項」を以下に示す（原子力発電環境整備機構，2002c）。

最終処分を行おうとする地層が、第四紀の未固結堆積物である地域は含めないように、概要調査地区を選定する。

「地下環境部会報告書」では、岩盤の力学特性に関して以下のように示されている。

- ① 岩盤の力学特性は、設計・建設・操業・閉鎖の各段階における地下施設の安定性及び閉鎖後における地下施設の長期安定性を検討するうえで、基本的かつ重要な情報である。
- ② 第四紀堆積層のうち、未固結なものは、強度が著しく小さく、坑道掘削が困難であることから、そのような地層については、地下施設の設置対象から除外する必要がある。
- ③ 第四紀堆積層のうち、未固結なもの以外であっても、著しく強度が小さく、明らかに施工が不可能であると判断される岩体は、地下施設の設置対象から除外する必要がある。
- ④ これらの岩盤の物性値について、文献調査が主体である概要調査地区選定段階においては、岩盤の物性値を具体的かつ詳細に評価することは難しいが、岩種や地質時代を指標にすれば、おおよそその岩盤物性を推測できる。

このことを踏まえて、考慮事項の設定にあたり、力学的な強度が著しく小さいという観点から、地下施設の建設に支障をきたす可能性があること、また操業中の地下施設の維持・管理が困難になる可能性もあることから、最終処分を行おうとする地層が、第四紀の未固結堆積物である地域は含めないように、概要調査地区を選定する。

また、第四紀未固結堆積物の存在に関しては、本来、現地における詳細な調査に基づき行われるべきものであると考えられる。したがって、本段階までに文献調査から最終処分を行おうとする地層が、第四紀の未固結堆積物であることに関して十分な情報が得られない場合には、精密調査地区選定段階あるいはそれ以降において、引き続き検討を行い、明らかにしていくものとする。

その他、第四紀以外の未固結堆積物及び処分深度以浅のアクセス坑道、換気立坑等が配置され得る深度における未固結堆積物の存在については、地下施設の長期安定性や施工可能性に関わる事項ではなく、周辺岩盤の力学特性として捉えることが可能であることから、「付加的に評価する事項」の「地層の物性・性状に関する事項」の岩盤の強度等に関する一環として評価を行うものとする。

### (3) 個別地区ごとに評価する事項の調査・評価内容

個別地区における既存の文献・資料に基づき、応募区域及びその周辺地域の地質・地質構造、調査・施工事例等に関する地域規模の既存資料を収集・整理し、未固結堆積層の分布、性状等に関する詳細検討を行うものとする。

### (4) 個別地区ごとに評価する事項に関する使用情報（利用文献、参考文献）

個別地区における既存の文献・資料として、例えば次のような資料を参照する。

- ・ 5万分の1地質図幅及び同説明書（地質調査所／産業技術総合研究所）
- ・ 20万分の1地質図幅（地質調査所／産業技術総合研究所）
- ・ その他、土木地質図、都道府県地質図等の各種地質図



- ・ 第四紀堆積層の分布、性状等に関する全国・地域規模の既存資料
- ・ 地質構造、物理探査、ボーリング調査、施工事例等に関する既存資料

#### 5.4.3 「第四紀の未固結堆積物」に関する精密調査地区選定段階以降の調査・評価の考え方

「第四紀の未固結堆積物」に関する精密調査地区選定段階以降の調査・評価にあたっては、概要調査地区の選定段階での文献調査による評価結果を確認するために、地表からの調査、地下の調査施設における調査を行う。

### 5.5 法定要件に関する事項「鉱物資源」

#### 5.5.1 「鉱物資源」に関する設定の考え方

概要調査地区の選定にあたって、最終処分法第6条第2項第3号、同施行規則第5条第2項第2号で記載されている『最終処分を行おうとする地層において、その掘採が経済的に価値が高い鉱物資源の存在に関する記録がないこと』を、次のように考える。

「その掘採が経済的に価値が高い鉱物資源」とは、将来の人間侵入の可能性を避ける観点から、最終処分を行おうとする地層において、対象となる鉱物資源が、地下深部の掘削を行ってまで採鉱を行うことが経済的に価値のあるものとする。既存資料の調査により、最終処分を行おうとする地層における経済的に価値が高い鉱物資源の存在に関し、記録がないことを確認することによって、法定要件への適合性を評価するものである。

「鉱物資源」に関する考慮事項については、「4.4.1 法定要件に関する事項」で述べたように、「個別地区ごとに評価する事項」のみを設定し、「全国一律に評価する事項」は設定しない。考慮事項の内容と設定根拠等について、以下に示す。

#### 5.5.2 「鉱物資源」に関する「個別地区ごとに評価する事項」の内容とその設定根拠

##### (1) 個別地区ごとに評価する事項の設定論拠となる情報の整理

「地下環境部会報告書」によると、日本の鉱物資源及び石炭、石油、天然ガスの分布については全国的に探査が行われており、分布、性状等に関する整理がなされているとされている。

日本の鉱物資源は、全国的に散在するが、その多くはこれまでの探査、鉱床に関する評価等により、分布・性状等が把握されている（地質調査所編，1982；地学団体研究会編，1996：図 5.5.2-1，図 5.5.2-2）。一方、炭田は、北海道、常磐、九州北部等に、油田は、北海道、東北日本の日本海側等に、ガス田は、南関東、東北地方の日本海側、九州南東部等に分布するとされる（地学団体研究会編，1996；地質調査所編，1982：図 5.5.2-3）。

日本の主要な金 属 鉱 床

番号	鉱山名	タイプ	年代	鉱種・規模	番号	鉱山名	タイプ	年代	鉱種・規模
1	本 庫	V	7	Pb-S Zn-S	61	清 越	V	7	Au-S Ag-S
2	珊 川	V	7	Au-S Ag-S	62	蓮 台 寺	V	7	Au-S Ag-S
3	下 川	ST	4	Cu-M Py-S Zn-S	63	特 越	V	7	Au-M Ag-S
4	龍 昇 殿	V	7	Hg-M	64	久 根	ST	4	Cu-S Py-S
5	洞ノ上	V	7	Ag-S Au-S	65	鹿小屋	V	7	Cu-M
6	磯ノ舞	V	7	Au-M Ag-M	66	神岡彦住	C	4	Zn-M Ag-S Pb-S
7	イトムカ	OM	4	Cr-M	67	神岡新洞	C	4	Zn-L Pb-M Ag-M
8	日高*	OM	4	Cr-M	68	平 瀬	V	5	Mo-S
9	手 稲	V	7	Au-S Ag-S Cu-S	69	西条港*	SD	4	Mn-S
10	余 市	ST	7	Zn-M Ag-S	70	東 濃	SD	7	U-S
11	大 江	V	7	Mn-M Zn-M Pb-S	71	紀 州	V	7	Cu-M Ag-S
12	稻倉石	V	7	Au-M Ag-S	72	中 倉	C	4	Pb-M Zn-M Ag-S
13	種 倉 石	V	7	Au-S Ag-S	73	土 倉	ST	4	Cu-S
14	豊 羽	V	7	Zn-L Pb-M Ag-M	74	北丹波*	SD	4	Mn-S
15	國 富	ST	7	Ag-S Cu-S Au-S	75	大和水銀	V	7	Hg-M
16	伊知安	SD	8	Fe-M	76	砂 法	V	7	Cu-S Zn-S
17	千 歳	V	7	Au-M Ag-S	77	嶋 打	V	6	W-S
18	静 彦	V	7	Au-S Ag-S	78	大 谷	V	6	W-S
19	八 雲	V	7	Mn-M Zn-S	79	中 瀬	V	7	Au-S Sb-S
20	上 庄	V	7	Mn-M Ag-S Zn-S	80	明 延	V	6	Cu-M Zn-M Sn-M
21	今井石崎	V	7	Mn-S	81	庄 野	V	6	Ag-M Cu-M Sn-S
22	阿部城	ST	7	Ag-S	82	人形峠	U-S	7	U-S
23	北 上	ST	7	Cu-S Zn-S Py-S	83	榑 原	ST	4	Py-M
24	舟 打	V	7	Zn-S Pb-S	84	吉 原	V	6	Cu-S Ag-S
25	尾 太	V	7	Zn-M Pb-M Cu-S	85	吾 松	OM	3	Cr-M
26	野田三川	SD	4	Mn-S	86	広 瀬	OM	3	Cr-M
27	藤倉倉	SD	4	Mn-S	87	清 久	V	6	Mo-S
28	田 老	ST	5	Zn-M Fe-M Py-S	88	大 東	ST	7	Ag-S Zn-S
29	金 石	C	5	Cu-M Pb-M Au-S	89	石 鼠(大森)	ST	7	Ag-S Zn-S
30	江 刺	C	5	Cu-S	90	新 茂	C	6	Cu-S Ag-S
31	大 谷	V	5	Au-M	91	草 田	C	6	Cu-S
32	細 倉	V	7	Zn-M Pb-M Ag-S	92	吹 河	C	6	W-S
33	相 内	ST	7	Zn-S Cu-S Au-S	93	藤ヶ台	C	6	W-S
34	相 内	ST	7	Zn-S Cu-S Ag-S	94	高 越	ST	4	Py-S
35	古 瀬	ST	7	Zn-S Cu-S Ag-S	95	佐々連	ST	4	Cu-M Py-S
36	小 坂	ST	7	Cu-M Zn-M Ag-S	96	別 子	ST	4	Cu-M Au-M Py-S
37	花岡源沢	ST	7	Pb-M Zn-M Ag-M	97	市ノ川	V	7	Sb-S
38	花岡松峰	ST	7	Pb-M Zn-M Ag-M	98	大久草	ST	4	Cu-M Au-S
39	花岡松峰	ST	7	Cu-M Zn-M Pb-M	99	和 字	SD	4	Mn-S
40	花 岡	ST	7	Cu-M Zn-M Py-S	100	白 滝	ST	4	Cu-S Py-S
41	新淵内	ST	7	Cu-M Zn-M Pb-M	101	対 州	V	7	Zn-M Pb-M Ag-S
42	花 輪	ST	7	Zn-M Cu-S Ag-S	102	脚 生	V	7	Au-M Ag-S
43	尾 去	V	7	Cu-M Au-S Ag-S	103	馬 上	V	7	Au-S
44	阿 仁	V	7	Cu-S Ag-S	104	豊 栄	C	7	Sn-S Zn-S
45	吉 野	ST	7	Zn-M Pb-S	105	鳳 平	V	7	Sn-S Zn-S
46	八 谷	V	7	Zn-S Cu-S	106	新木浦	C	7	Sn-S As-S
47	高 玉	V	7	Pb-M Zn-M Au-S	107	見 立	C	7	Sn-S Zn-S
48	高 玉	V	7	Au-M Ag-S	108	樺 崎	ST	5	Cu-M
49	八 立	C	5	Cu-M Ag-S W-S	109	五 木*	SD	4	Mn-S
50	日 立	ST	4	Au-M Cu-M Py-S	110	布 計	V	7	Au-S Ag-S
51	高 尾	V	6	W-S	111	大 口	V	7	Au-M Ag-S
52	栗 野*	SD	4	Cu-M Ag-M Au-S	112	養 刈	V	8	Au-L Ag-M
53	栗 野*	SD	4	Mn-M	113	山 戸 野	V	7	Au-M Ag-S
54	板 野 沢	V	7	Ag-S	114	串木野	V	7	Au-M Ag-M
55	群 馬	SD	8	Fe-M	115	駒 山	V	7	Sn-S
56	秩 父	C	7	Ag-S Zn-S Fe-M	116	赤 石	R	7	Au-S
57	朝田(瀬戸)	C	5	Zn-S	117	岩 戸	R	7	Au-S
58	佐 波 川	SD	4	Au-M Ag-M	118	春 日	R	7	Au-S
59	低瀬川	SD	4	Mn-S					
60	土 肥	V	7	Au-S Ag-S					

1) 〇印の鉱山は本文中に項目あり、2) \*は鉱床跡名地区、代表鉱山名で表示、3) タイプ・年代・規模は分布図参照。

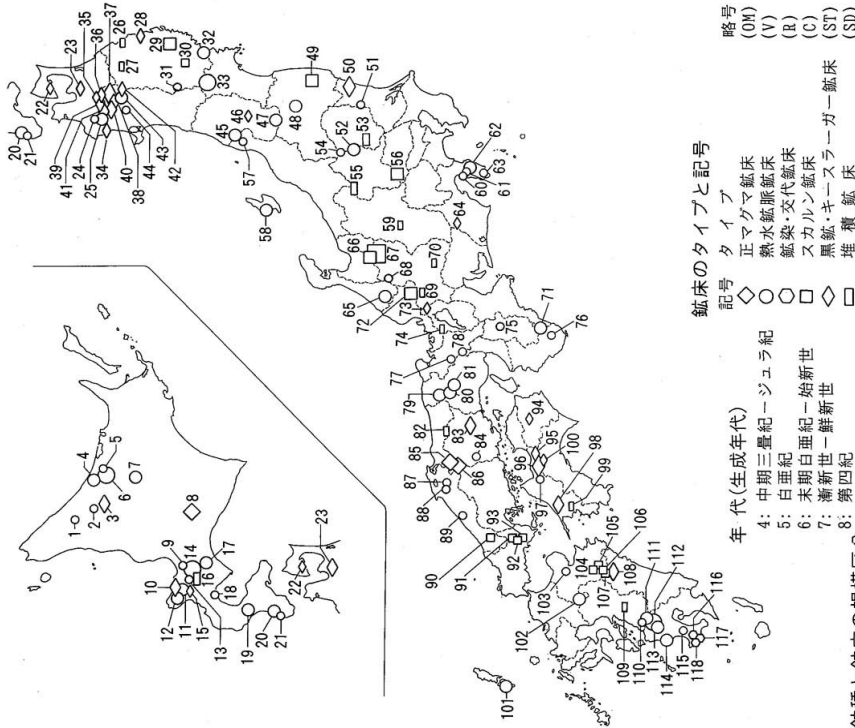


図 5.5.2-1 日本の主要な金属鉱床分布 (出典: 地質調査所編, 1982; 地学団体研究会編, 1996)

日本の主要な非金属鉱床

番号	鉱山名	タイプ	年代	鉱種-規模
1	知床	R	8	S-S
2	除佐	R	8	S-S
3	野沢	R	4	Ab-M
4	小樽松倉	ST	7	Br-S Ka-S
5	蘭白老	ST	7	Br-S
6	神別	ST	8	S-S
7	古武井	SD	7	S-S
8	我朗	SD	3	LS-M
9	松前	R	6	Tc-M
10	尻屋	SD	3	LS-M
11	八戸	SD	3	LS-M
12	松尾	R	7	S-M Py-M
13	岩手	SD	6	Cl-S
14	大船渡	SD	3	LS-M
15	鷹巣	SD	7	Da-M
16	月布	M	7	Br-M
17	金丸	OM	6	Fd-S
18	蔵王	R	8	S-S
19	板谷	R	7	Ka-M
20	大峠	R	7	Pp-S
21	内畑	ST	7	Gy-M
22	沼尻	ST	8	S-S
23	川俣	OM	6	Si-S Fd-S
24	白岩	OM	6	Si-S Fd-S
25	石川	OM	6	Si-S Fd-S
26	滝根	SD	3	LS-S
27	朝日	ST	7	Gy-M
28	常陸太田	M	5	Tc-M
29	日立	SD	3	LS-S
30	日立	R	7	Ka-S
31	大貫	SD	3	Pp-M
32	栃木	SD	3	Si-L
33	葛生	SD	3	LS-L Di-L
34	草津・白根	R	8	S-M
35	小串	R	8	S-S
36	碓氷	M	7	Br-M
37	甘栗	M	4	Tc-S
38	児土・比企	M	4	Tc-S
39	秩父	SD	3	LS-M Si-M
40	奥多摩	SD	3	LS-M Si-M
41	村上	R	7	Se-M
42	中多	R	7	Ac-M
43	青森	SD	3	LS-M
44	信陽	R	7	Pp-S
45	宇久須	R	7	Si-M
46	碓氷	SD	3	LS-S
47	平野谷	M	4	C-S
48	珠洲・七尾	SD	7	Da-S
49	若山	ST	7	Gy-S
50	服部河合	R	7	Po-M
51	神岡	R	6	Po-S
52	天生	M	4	C-M
53	清見	R	6	Po-S
54	平岩・笹洞	V	6	Fl-M
55	赤田	SD	3	Di-M
56	釜生山	SD	3	LS-M
57	多治見	SD	7	Cl-M Si-S
58	釜草	OM	6	Fd-S
59	釜草	R	7	Se-S
60	瀬戸	SD	7	Si-L Cl-L

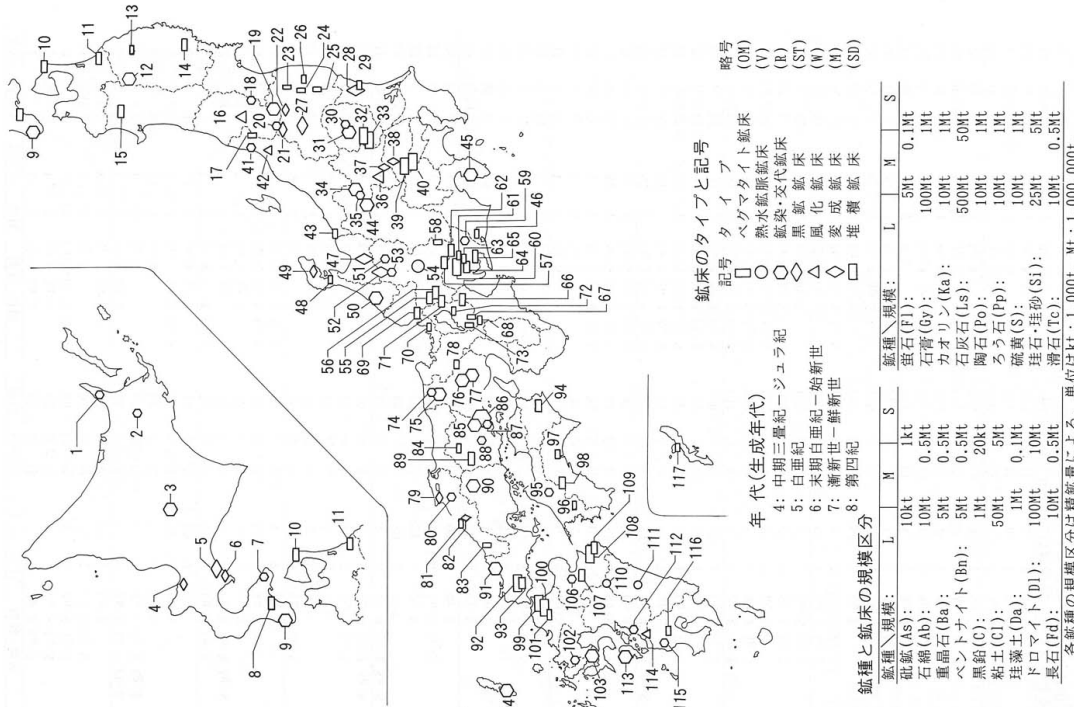


図 5.5.2-2 日本の主要な非金属鉱床分布 (出典: 地質調査所編, 1982; 地学団体研究会編, 1996)

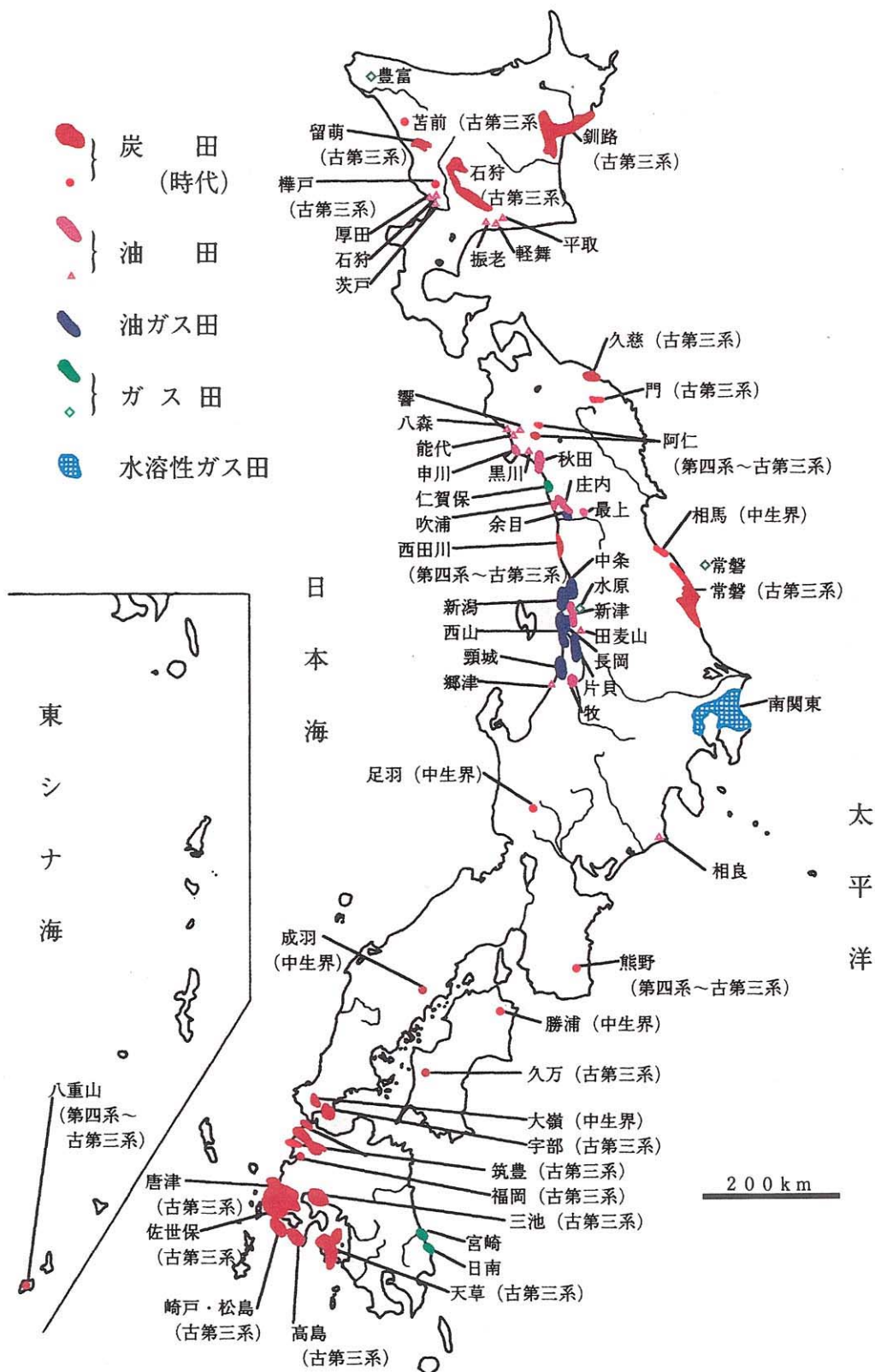


図 5.5.2-3 日本の炭田、油田、ガス田分布  
 (出典：地学団体研究会編，1996；地質調査所編，1982)

## (2) 個別地区ごとに評価する事項の考え方

「鉍物資源」に関する「個別地区ごとに評価する事項」を以下に示す（原子力発電環境整備機構，2002c）。

最終処分を行おうとする地層において，その採掘が経済的に価値が高い鉍物資源が存在する地域は含めないように，概要調査地区を選定する。

「第2次取りまとめ」では，サイト選定の要件に関する検討の中で，サイト選定の可否にかかわる要件の一つとして「人間侵入に関する要件」を挙げている。その中で，地下に資源が存在する場合，将来の世代が採掘や探査の目的で地下深部の地質環境に接近することを想定して，高レベル放射性廃棄物の最終処分施設に人間が侵入するシナリオについて安全評価を行っている。

「地下環境部会報告書」では，地下資源が存在する地点について，国際的な考え方に従い（IAEA，1994；Nagra，1994；SKB，1995等），人間が資源を探査・採掘する活動を行うことにより，地下深部に処分した廃棄体と人間の隔離性が損なわれるおそれがあるとし，処分地の選定にあたって地下資源に対する検討を行う必要があるとした。

これらのことを踏まえ，文献により存在が確認される鉍物資源のうち，現時点でその採掘が経済的に価値が高いと判断されるものは，人間が地下を掘削する動機となる可能性があることから，これが存在する地域を概要調査地区に含めないようにする。

対象とする鉍物資源は，鉍業法第3条第1項の鉍物に準じることとする。

その掘採が経済的に価値が高い鉍物資源の存在については，鉍業法に基づく採掘権の有無を確認する。採掘権とは，鉍物の存在が明らかであり，その採掘の経済的価値もしくはその可能性が認められ，本格的な採掘作業を行うための権利である。採掘権のある鉍物資源については，さらに事業の着手・休止に関する資料を確認し，採掘（鉍物の産出が認められる）中のもの，または休止中（未着手を含む）であっても品位や可採量等が採掘中のものと同様以上であることが明らかであるものについては，その採掘が経済的に価値が高いとし，これらが存在する地域は含めないように概要調査を行う範囲を設定し，概要調査地区を選定する。

また，採掘権がない鉍物資源についても，休止中の場合と同様，公的に認められた記録により上記と同様以上であることが明らかなのは，その採掘が経済的に価値が高いとし，これが存在する地域は含めないように概要調査を行う範囲を設定し，概要調査地区を選定する。

鉍物資源が存在する可能性があるものの，上記に該当しないものについては，その経済性について，概要調査あるいはそれ以降の調査において検討していく。

なお，現在は鉍物資源とみなされていないものの，将来，有用な資源となる可能性のあるもの，地熱，温泉，地下水の資源等については，概要調査地区が選定された後の段階で引き続き検討していくものとする。

### (3) 個別地区ごとに評価する事項の調査・評価内容

鉱床分布、鉱業活動等に関する全国規模の情報収集を行うとともに、個別の既存の文献・資料に基づき、応募区域及びその周辺地域に分布する鉱物資源の種類、分布範囲、規模、品質、調査データ、採掘権の設定、事業の着手・休止に関する資料に関する地域規模の情報収集を行い、採掘中の資源が存在する場所を特定するものとする。

これらの調査・検討の結果、最終処分を行おうとする地層において、その採掘が経済的に価値が高い鉱物資源が存在する場合、その場所は、概要調査地区に含めないようにする。

### (4) 個別地区ごとに評価する事項に関する使用情報（利用文献、参考文献）

日本の鉱物資源に関する情報は、地質調査所（現産業技術総合研究所）、金属鉱業事業団、石油公団、民間資源開発会社等の調査報告書、地図類にまとめられており、これらが調査対象の文献となる。個別の既存の文献・資料として、例えば次のような資料を参照する。

- ・ 200 万分の 1 日本鉱床分布図、日本炭田図、日本油田・ガス田分布図（地質調査所／現産業技術総合研究所）
- ・ その他、鉱床、油田・ガス田、炭田の分布等に関する全国・地域規模の既存資料
- ・ 地質構造、物理探査、ボーリング調査等に関する既存資料
- ・ 採掘権の設定、事業の着手・休止に関する資料 等

### 5.5.3 「鉱物資源」に関する精密調査地区選定段階以降の調査・評価の考え方

「鉱物資源」に関する精密調査地区選定段階以降の調査・評価にあたっては、概要調査地区の選定段階での文献調査による評価結果を確認するために、地表からの調査、地下の調査施設における調査を行う。

## 5.6 付加的に評価する事項

### 5.6.1 付加的に評価する事項の設定

付加的に評価する事項については、4.4.2 で述べたように、精密調査地区及び最終処分施設建設地の選定段階や建設・操業の段階等に関し、文献調査で可能な範囲で見通しを得ておくためのものである。したがって、以下に示す最終処分法及び同施行規則に示された次段階以降の選定要件や建設・操業にあたって必要な事項も含まれている。

最終処分法では、概要調査地区選定後、精密調査地区選定段階においては、第 7 条第 1 項に定められている概要調査を行った後、その結果に基づき、当該概要調査地区のうち、次に示す同第 7 条第 2 項の各号のいずれにも適合していると認めるものの中から精密調査地区を選定しなければならない、と示されている。

- 一 当該対象地層等において、地震等の自然現象による地層の著しい変動が長期間生じていないこと。
- 二 当該対象地層等が坑道の掘削に支障のないものであること。
- 三 当該対象地層等内に活断層、破碎帯又は地下水の水流があるときは、これらが坑道その他の地下の施設に悪影響を及ぼすおそれが少ないと見込まれること。
- 四 その他経済産業省令で定める事項

最終処分法では、さらに精密調査地区選定後、最終処分施設建設地選定段階において、第8条第1項に定められている精密調査を行った後、その結果に基づき、当該精密調査地区のうち、次に示す同第8条第2項の各号のいずれにも適合していると認めるものの中から最終処分施設建設地を選定しなければならない、と示されている。

- 一 地下施設が当該対象地層内において異常な圧力を受けるおそれがないと見込まれることその他当該対象地層の物理的性質が最終処分施設の設置に適していることと見込まれること。
- 二 地下施設が当該対象地層内において異常な腐食作用を受けるおそれがないと見込まれることその他当該対象地層の化学的性質が最終処分施設の設置に適していることと見込まれること。
- 三 当該対象地層内にある地下水又はその水流が地下施設の機能に障害を及ぼすおそれがないと見込まれること。
- 四 その他経済産業省令で定める事項

また、「地下環境部会報告書」においては、地層処分システムに対し影響を及ぼすと考えられる項目や、地質事象の安定性を考慮するうえで一般に重要と考えられる事項について、以下の五つの観点から取りまとめられている。

- ① 地質環境の長期安定性の観点
- ② 人間侵入の観点
- ③ 処分場の建設可能性の観点
- ④ 多重バリア性能の観点
- ⑤ 施工上の安全性の観点

このうち、①及び②は、考慮事項のうち、法定要件に関する事項に相当する。③～⑤の観点から抽出された項目は、次のとおりである。

- ③ 処分場の建設可能性の観点から検討すべきとした項目
  - ・ 岩体の形状・規模等
  - ・ 岩盤の力学特性
- ④ 多重バリア性能の観点から検討すべきとした項目
  - ・ 地下水流動特性
  - ・ 地下水の地化学特性
- ⑤ 施工上の安全性の観点から検討すべきとした項目
  - ・ 異常間隙水圧
  - ・ 膨張性地山
  - ・ ガス突出
  - ・ 山はね
  - ・ 大湧水

また、最終処分法及び同施行規則に示された法定要件の中で、地層の著しい変動に相当しないと考えられる事項については、付加的に評価する事項で考慮することとした。その他、精密調査地区及び最終処分施設建設地の選定段階や建設・操業の段階等においても継続的に、その発生と影響の程度を評価・確認するとした項目もある。

以上のことを踏まえ、概要調査地区としての特性に関し、付加的に評価する事項として、次に示す事項を抽出した。

- ① 地層の物性・性状に関する事項  
岩盤の強度、変形・割れ目・風化・変質の状況、地温勾配、岩体の形状・規模、隆起・侵食の速度、異常間隙水圧・膨張性地山・ガス突出・山はね・大出水の可能性
- ② 地下水の特性に関する事項  
地下水の流量・流速、水温、pH、酸化還元性
- ③ 地質環境の調査・評価に関する事項  
調査の範囲・規模・期間、調査技術・評価手法等の適用性、火成活動・断層活動等の地質環境の評価・モデル化の容易性、調査に対する土地利用等の制約
- ④ 建設・操業時における自然災害に関する事項  
地震・地すべり・洪水等の重大な自然災害の発生可能性
- ⑤ 土地の確保に関する事項  
土地の確保の容易性
- ⑥ 輸送に関する事項  
利用可能な港湾または港湾候補地からの距離等の輸送の容易性

### 5.6.2 付加的に評価する事項の考え方

法定要件に関する事項により法定要件への適格性を確認した後、付加的に評価する事項に関連する文献その他の資料を検討し、概要調査地区としての特性を評価する。

この評価では、概要調査地区としての特性について、付加的に評価する事項に定める各事項を個別に評価するのではなく、すべての事項を総合的に評価することとする。

### 5.6.3 付加的に評価する事項の調査・評価内容

付加的に評価する各事項について、応募区域及びその周辺の地域を対象とする全国規模及び地域規模の文献その他の資料により、概要調査地区としての特性を総合的に評価し、必要に応じて複数の応募区域の相対比較を行う。

付加的に評価する事項のうち、地質環境条件にかかわる事項について、個々の具体的な事項に関する評価の考え方と調査内容を示す。なお、社会的観点からの付加的に評価する事項(5.6.1の⑤、⑥)については、記述対象としない。

#### (1) 地層の物性・性状に関する事項

地層の物性・性状に関する事項は、以下のとおりである。

- ・ 岩盤の強度、変形・割れ目・風化・変質の状況、地温勾配、岩体の形状・規模、隆起・侵食の速度、異常間隙水圧・膨張性地山・ガス突出・山はね・大出水の可能性



上記の各項目のうち、岩盤の強度、変形・割れ目・風化・変質の状況、地温勾配、異常間隙水圧・膨張性地山・ガス突出・山はね・大出水の可能性については、その岩種や構造にかかわる事項と考え、「岩盤の特性」として扱うものとする。

なお、岩体の透水性については、重要な地質条件であるため、単独で取り扱う必要がある事項であるが、「付加的に評価する事項」（次項の(2)地下水の特性に関する事項：(i)地下水の流動特性）とし、総合的に評価を高める事項として扱うものとする。

(i) 岩盤の特性（岩盤の強度、変形・割れ目・風化・変質の状況、地温勾配、異常間隙水圧・膨張性地山・ガス突出・山はね・大出水の可能性）

#### 【評価の考え方】

地下施設の施工性、経済性、安定性の観点から、岩盤の特性が良好で、地下施設の施工性、安定性に支障がないと見込まれる場合は、総合的な評価を高める事項として扱う。

具体的には、次のような特性が考えられる。

最終処分を行おうとする地層及びそれを被覆する地層において、

- ・ 岩盤の強度が低いこと
- ・ 変形が小さいこと
- ・ 割れ目、風化、変質が少ないこと
- ・ 地温勾配が小さいこと
- ・ 異常間隙水圧、膨張性地山、ガス突出、山はね、大出水が発生する可能性が小さいこと

#### 【調査内容】

応募区域及びその周辺の地域について、地質・地質構造に関する資料（地質図、断層・破碎帯の分布、未固結堆積物の分布等）、土木構造物施工記録（学会誌、調査報告書、工事誌等）によるボーリング調査、物理探査、岩石・岩盤試験等に関する資料を収集し、岩盤あるいは岩石・岩盤の各種特性、特異な地質条件の有無等を把握する。また、検討の際には、類似の岩盤の特性に関する資料も収集し、当該地域の評価に資するものとする。

(ii) 岩体の形状・規模

#### 【評価の考え方】

処分施設の建設可能性の観点から、その岩体の形状・規模が、地下施設を収容し、さらには地下施設の設計の自由度に優れる場合を、総合的な評価を高める事項として扱う。

ここでは、岩体を、「岩種、強度、割れ目、風化、変形特性、透水性等の性質が同等と扱える岩盤の広がり」と定義する。

具体的には、次のような特性が考えられる。

- ・ 地下施設を収容し得る深さに、良好な地層が広く分布すること

なお、この場合、複数の岩体にまたがって地下施設を配置することも可能と考える。

### 【調査内容】

応募区域及びその周辺の地域について、地質・地質構造に関する資料（地質図、岩体分布、重力異常等）、土木構造物施工記録（学会誌、調査報告書、工事誌等）によるボーリング調査、物理探査等に関する資料を収集し、岩盤あるいは岩体の分布状況を把握する。

### (iii) 隆起・侵食の速度

#### 【評価の考え方】

隆起・侵食の継続により、地形、地下水、岩盤物性等に関する条件が変化することを考慮し、隆起・侵食の速度が小さいと見込まれる場合を、総合的な評価を高める事項として扱う。

具体的には、次のような特性が考えられる。

- ・ 隆起・侵食の速度が小さいこと
- ・ 継続的に沈降している地域であること

### 【調査内容】

応募区域及びその周辺について、河成段丘、海成段丘の分布、年代、高度等に関する文献（段丘アトラス、第四紀地図等）の収集を行うほか、空中写真判読及び地形解析を実施し、当該地域における隆起量を把握する。

また、侵食速度、河川の削剥土砂量、ダムの堆砂量等に関する文献、海岸部のボーリング調査、物理探査等の資料を収集し、当該地域における侵食量を把握する。

### (2) 地下水の特性に関する事項

地下水の特性に関する事項は、次のとおりである。

- ・ 地下水の流量・流速、水温、pH 及び酸化還元性

上記の各項目のうち、地下水の流量・流速を「地下水の流動特性」に、水温、pH、酸化還元性を「地下水の地化学特性」に、各々まとめて扱うものとする。

### (i) 地下水の流動特性（地下水の流量・流速）

#### 【評価の考え方】

天然バリアの核種封じ込め機能の観点から、岩体の透水性が低いこと、動水勾配が小さいこと等、地下水の流動速度が小さいと見込まれることを、総合的な評価を高める事項として扱う。

具体的には、次のような特性が考えられる。

- ・ 最終処分を行おうとする地層において、地下水の流量・流速が小さいこと

### 【調査内容】

応募区域及びその周辺の地域について、地形、地質・地質構造に関する資料、土木構造物の施工記録（学会誌、調査報告書、工事誌等）によるボーリング調査、物理探査等に関する資料を収集し、地形勾配、岩種、水理地質構造、透水係数分布等を概略把握する。その他、降水量、蒸発散量、表流水の流動状況（河川水量、灌漑水量、洪水量等）、気象関連及び水文関連資料を収集し、これらを併せ総合的に検討することにより、対象地区における水収支の概要を把握

する。

これらに基づき、応募区域及びその周辺の地域に賦存する地下水の涵養域及び流出域との位置関係を明確にしたうえで、その地域における地下水流動場の概要を把握すると同時に、その周辺に分布する地層の透水特性及び地下水流動特性を判断する。これらのデータは、精密調査地区選定段階における合理的な調査計画策定に資することができると思われる。

### (ii) 地下水の地化学特性（水温、pH、酸化還元性）

#### 【評価の考え方】

人工バリアの安定性、地下水中での核種の溶解・沈殿、吸着等の観点から、還元環境であること、強酸性、強アルカリ性の地下水が分布しないこと等が見込まれる場合を、総合的な評価を高める事項として扱う。

具体的には、次のような特性が考えられる。

- ・ 最終処分を行おうとする地層や地下水が酸化環境でないこと
- ・ 水温が高くないこと
- ・ 地下水の酸性が著しくない、あるいはアルカリ性が著しくないこと

#### 【調査内容】

応募区域及びその周辺の地域について、温泉、農畜産業、工業、生活用水、その他の調査・研究用に利用された既設の井戸、ボーリングから得られる地下水の pH 値等に関する資料を収集し、その地域の水文学的位置付けを明確にしたうえで、対象候補とする地層を含むその地域に賦存する地下水の地化学特性を把握する。また、これに加えて、応募区域及びその周辺の地域に分布する岩石の種類、鉱物組成等に関する資料を収集し、同地域に賦存する地下水の形成プロセスを検討する。

### (3) 地質環境の調査・評価に関する事項

地質環境の調査・評価に関する事項は、次のとおりである。

- ・ 調査の範囲・規模・期間、調査技術・評価手法等の適用性、火成活動・断層活動等の地質環境の評価・モデル化の容易性、調査に対する土地利用等の制約

#### 【評価の考え方】

信頼性の高い地質環境の調査・評価結果を得るためには、適切な調査範囲、調査期間内で、適用可能な調査技術、評価手法により、十分な調査・評価が行われる必要がある。

また、得られたデータを、調査・設計・建設、あるいは天然バリアの核種封じ込め機能に関する安全性の評価に適用するに際しても、地質環境を適格に把握し、それを適切にモデル化できるかどうかという点が、信頼性の高い評価を得るためには非常に重要である。

ここでは、信頼性の高いデータを得るために必要な調査の範囲、期間、技術、手法が十分確保できるような諸状況であること、また、それらのデータを用いた地質環境の評価及びモデル化が容易で、明確な評価結果・評価内容を提示できることを、総合的な評価を高める事項とし

て扱う。

具体的には、次のような特性が考えられる。

- ・ 調査範囲・規模・費用が過大にならないこと
- ・ 調査期間が長期にわたらないこと
- ・ 調査技術、評価手法等の適用が容易であること
- ・ 火成活動、断層活動等の評価・モデル化が容易であること
- ・ 土地利用の制限等の調査に対する制約が少ないこと

#### 【調査内容】

応募区域及びその周辺の地域の地質環境、土地利用状況、地形条件を踏まえて、概要調査（さらには精密調査）計画の検討に基づく調査の難易、地質環境の複雑さ等に基づく評価の難易度を評価する。

#### (4) 建設・操業時における自然災害に関する事項

建設・操業時における自然災害に関する事項は、次のとおりである。

- ・ 地震、地すべり、洪水等の重大な自然災害の発生可能性

#### 【評価の考え方】

建設・操業時における地層処分に固有でない一般的事故・災害を防止する観点から、最終処分施設に多大な影響を及ぼす自然災害に関して、地震、地すべり、大洪水やその他気象等にかかわる自然環境が、安全確保上支障がないものである必要がある。当該地域において発生が想定されるこのような自然現象が、容易に設計で対応可能である場合を、総合的な評価を高める事項として扱う。

具体的には、次のような特性が考えられる。

- ・ 建設、操業期間中の安全確保の観点から、地震、津波、地すべり、台風、洪水、土石流、火砕流等の重大な自然災害が発生する可能性が小さいこと

ここで、このような被害が想定される場合は、工学的対処を行う必要があり、想定される地震動、波高、水位等の設計用値が小さいほど、経済性の面でも有利であることも考慮する。

#### 【調査内容】

応募区域及びその周辺について、過去の自然災害の発生履歴に関する資料、防災関連の資料、気象・海象・地形・地質・地質構造等に関する資料等から、この地域において想定される自然災害につながる自然現象の種類、規模等を把握する。

#### 5.6.4 付加的に評価する事項による評価

付加的に評価する事項による評価の考え方を下記に示す。

- ① 付加的に評価する事項の各評価項目は、概要調査地区としての適性を評価するためのものである。
- ② 付加的に評価する事項の各評価項目のもつ属性を考慮した適切な評価尺度を設定する。
- ③ 各評価項目の評価尺度の設定にあたっては、取得される文献情報の密度や品質を考慮して、実用的な設定を行う。
- ④ 各評価項目の評価尺度の設定においては、概要調査地区の適格性を判断するためのしきい値は定めない。
- ⑤ 付加的に評価する事項の評価にあたっては、個別の評価項目毎に評価するのではなく、全ての事項を総合的に評価する。
- ⑥ 総合的な評価は、各概要調査地区の特性を把握するためのもので、適格性の評価は行わない。
- ⑦ 多数の応募があった場合等、複数の概要調査地区の相対的な比較が必要な場合には、各評価項目の尺度を用いて得られた評価結果を統合する総合的な評価軸を用いて得られた評価結果に基づき相対評価を行う。

なお、総合的な評価の考え方を明らかにする方法として、例えば多属性効用解析（MAA；Multi-Attribute Analysis）があり、その概要を本章末の《参考資料-4》に示す。

《参考資料-3》地震動の弾性波動論

地下深部の地震動は、一般に地表部に比較して小さいことが知られている。このことは、弾性波動論に基づき、以下のように説明できる。

地震時における地盤の振動は三次元的であるが、実際の地震動の伝達方向は、地表に近づくに従い鉛直方向を向き、地震動の振幅は縦波（P 波）に比べて横波（S 波）のほうが大きいので、ここでは地震動は真下から鉛直上方に向かって入射し、地盤は水平方向だけに運動するものと仮定し 1 次元で考える。この仮定のもとで、地盤の減衰を考慮しなければ、地盤の振動を表す運動方程式は次式のように示される。

$$\frac{\partial^2 u(z, t)}{\partial t^2} - \frac{\mu}{\rho} \cdot \frac{\partial^2 u(z, t)}{\partial z^2} = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$u$  : 変位,  $\mu$  : 剛性率,  $\rho$  : 密度

いま地盤全体が、一定の円振動数  $\omega$  をもって調和振動しているとすると、変位  $u$  は、

$$u(z, t) = u(z) e^{i\omega t} \quad \dots\dots\dots (2)$$

と表される。なお、 $u(z)$  は地盤が変位している形を現すもので、深度  $z$  だけの関数である。式 (2) を式 (1) に代入し、変形すると、次式のように  $u(z)$  に関する 2 階の常微分方程式として表される。

$$\frac{d^2 u(z)}{dz^2} + \frac{\rho \omega^2}{\mu} u(z) = 0 \quad \dots\dots\dots (3)$$

さらに、

$$\omega \sqrt{\frac{\rho}{\mu}} = \frac{\omega}{\beta} \equiv p \quad \dots\dots\dots (4)$$

$\beta$  : せん断波 (S 波) 速度 (S 波速度と剛性率の間には  $\beta = \sqrt{\mu/\rho}$  の関係がある)

とおけば、式 (3) は次式のようになる。

$$\frac{d^2 u(z)}{dz^2} + p^2 u(z) = 0 \quad \dots\dots\dots (5)$$

式 (5) の解は、 $u(z) = Ae^{ipz} + Be^{-ipz}$  である。なお、 $A, B$  は積分定数であり、境界条件を与えることによって求めることができる。式 (5) の解を式 (2) に代入すると、変位は式 (6) のように表される。

$$u(z, t) = (Ae^{ipz} + Be^{-ipz}) e^{i\omega t} \quad \text{あるいは} \quad u(z, t) = Ae^{i(\omega t + pz)} + Be^{i(\omega t - pz)} \quad \dots\dots (6)$$

一般に地盤中の各点では、上昇波と下降波が混在していることから、式 (6) の第 1 項は上昇波を、第 2 項は下降波をそれぞれ表している。

また、せん断応力 ( $\tau$ ) は次式のように表される。

$$\tau(z, t) = \mu \frac{\partial u}{\partial z} = i\mu p (Ae^{ipz} - Be^{-ipz}) e^{i\omega t} \quad \dots\dots\dots (7)$$

地盤の振動の増幅を表す単純な例として、地表面をもつ上位層と下位層からなる 2 層の地盤モデル (参考図 3-1 を参照) を考える。このとき各層の変位は式 (6) より、次式のように表すことができる。

$$\text{上位層 : } u_1(z, t) = A_1 e^{i(\omega t + pz)} + B_1 e^{i(\omega t - pz)}, \quad \text{下位層 : } u_2(z, t) = A_2 e^{i(\omega t + pz)} + B_2 e^{i(\omega t - pz)} \quad (8)$$

このモデルの下位層からある振幅をもつ地震波が上昇するとして  $A_2=1$  と置く。 $A_1, B_1, B_2$  の三つの未定定数は、地表面におけるせん断応力が 0 になること  $[\tau(-H, t)=0]$ 、境界面 ( $z=0$ ) において  $u_1$  及び  $u_2$ 、並びにそれから求めたせん断応力がそれぞれ等しいこと  $[u_1(0,t)=u_2(0,t), \tau_1(0,t)=\tau_2(0,t)]$  から次のように決定される。

$$A_1 = \frac{2}{(1+\kappa) + (1-\kappa)e^{-2ip_1H}}$$

$$B_1 = \frac{2e^{-2ip_1H}}{(1+\kappa) + (1-\kappa)e^{-2ip_1H}}$$

$$B_2 = \frac{(1-\kappa) + (1+\kappa)e^{-2ip_1H}}{(1+\kappa) + (1-\kappa)e^{-2ip_1H}} \quad \kappa = \frac{\rho_1\beta_1}{\rho_2\beta_2} \dots\dots\dots (9)$$

H : 上位層の層厚

これを式 (8) に代入すると、各層の変位が求められる。

このとき地表面に生ずる変位  $u_1(-H, t)$  は、次式のようにになる。

$$u_1(-H, t) = \frac{2e^{i\omega t}}{\cos p_1H + i\kappa \sin p_1H} = \frac{2e^{i\omega t}}{\cos \frac{\omega H}{\beta_1} + i\kappa \sin \frac{\omega H}{\beta_1}} \dots\dots\dots (10)$$

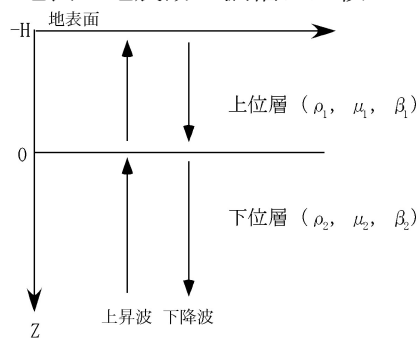
ここで地表面における振幅 ( $u_s$ ) に着目すると、次式のように表される。

$$u_s = |u_1| = \frac{2}{\sqrt{\cos^2 \frac{\omega H}{\beta_1} + \kappa^2 \sin^2 \frac{\omega H}{\beta_1}}} \dots\dots\dots (11)$$

一般的に、密度、せん断波速度ともに深度が深いほど大きくなるので  $\kappa$  は 1 より小さくなる。したがって、 $u_s$  は 2 より大きくなり、地表での振動は 2 倍以上に増幅される。また、次の条件、 $\omega H / \beta_1 = \pi / 2$ 、すなわち  $T = 4H / \beta_1$  となる周期の波動に対して振動の増幅は最大となり、最大値は、次のようになる。

$$u_s = \frac{2}{\kappa} \dots\dots\dots (12)$$

また、上位層と下位層が同じであれば  $u_s=2$  となり、地表面の効果で振幅がすべての周期の振動に対して 2 倍になることが分かる。このように、硬い層に地震波が入力された場合、その上位に軟らかい層があることによる効果と地表面の効果で地震波は増幅される。また、一般的な地盤モデルは、深部にいくほど硬い（密度、せん断波速度が大きい）層であるため、地下深部の地震動は、地表の地震動の振幅に比較して小さくなる。



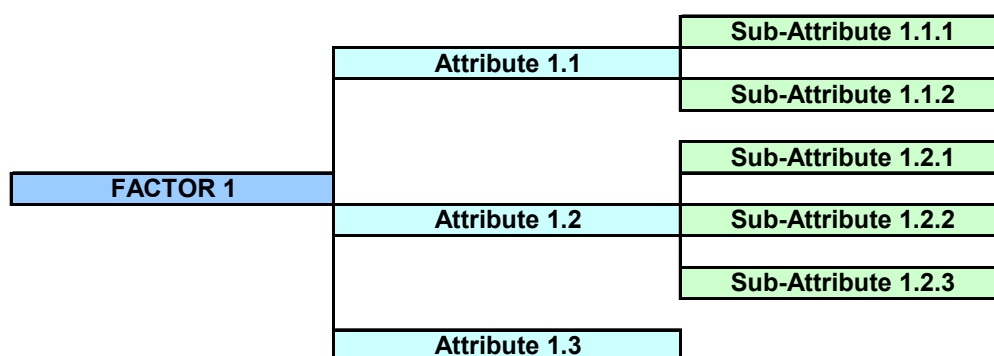
参考図 3-1 上位層及び下位層の 2 層から構成される地盤モデル

#### 《参考資料-4》多属性効用解析（MAA）の概要

多属性効用解析（MAA；Multi-Attribute Analysis）は、ある条件のもとに解析を行い与えられた命題について総合評価を行うための解析手法である。

例えば、場所、地質環境、処分場概念といった条件に対して最も適している処分場サイトを得るといった命題を与えることにより、概要調査地区の選定という意思決定問題に対し、評価ツールとして適用できる可能性がある。以下にその概略手順及び留意点を示す。

- ① 評価する項目を構成する要因（Factors）の設定を行う。
- ② 各要因を記述する属性（Attributes）に関し、評価尺度の設定を行う。属性は判断できる最小単位まで分類し、属性間の関連を検討する（樹形図等；参考図 4-1 を参照）。
- ③ 個々の属性に関し、評価尺度と評点との関係を検討する（評価尺度に対する評点の割り当て方等；Scoring）。
- ④ 各属性に関しての重み付け（Weight）を検討する。
- ⑤ 以上を基に総合評価を行う。



参考図 4-1 要因と属性との関連

総合評価を行うにあたって重要と思われる点、十分検討しておくべき点を次に示す。

- ・ 各属性間の相互関連性
- ・ 全体への影響度合い（感度分析）
- ・ 複数の様々な専門家のグループによる評価
- ・ 繰り返し評価による客観性の向上

これらの評価支援手法を適切に用いることにより、概要調査地区選定結果の信頼性が高められる。



## 参考文献

- 阿部寛信・酒井隆太郎 (1999) : 地震断層活動が水理環境に及ぼす影響, サイクル機構技報, 5, pp.77-83.
- 青木和弘・河村 淳・石丸恒存・阿部寛信 (1999) : 釜石鉾山における地下深部の研究 (地震に関する調査研究), 日本原子力学会 1999 年春の年会, 講演要旨, pp.788.
- 荒牧重雄 (1996) : 火山現象, 新版地学事典, 地学団体研究会編, 平凡社, pp.230.
- 荒牧重雄・山崎正男編 (1984) : 日本の第四紀火山体カタログ, Nos, pp.1-194.
- Chappell, J. and Sahckleton, N.J. (1986) : Oxygen isotopes and sea level. , Nature, 324, pp.137-140.
- 地学団体研究会編 (1996) : 新版地学事典, 平凡社, 付図付表・索引, 27, 日本の主要な金属鉾床分布図, pp.46-47.
- 地学団体研究会編 (1996) : 新版地学事典, 平凡社, 付図付表・索引, 28, 日本の主要な非金属鉾床分布図, pp.48-49.
- 地学団体研究会編 (1996) : 新版地学事典, 平凡社, 付図付表・索引, 29, 日本の炭田・油田・ガス田分布図, pp.50.
- 地質調査所 (1981) : 200 万分の 1 地質図「日本の火山 第 2 版」.
- 地質調査所 (1982) : 日本地質アトラス, 朝倉書店.
- 地質調査所編 (1992) : 日本地質アトラス第 2 版, 地質調査所.
- 第四紀地殻変動研究グループ (1968) : 第四紀地殻変動図, 第四紀研究, 7, pp.182-187.
- 第四紀火山カタログ委員会編 (1999) : 日本の第四紀火山カタログ (CD-ROM 及び付図), 日本火山学会, 1 CD-ROM, 1 sheet.
- 檀原 毅 (1971) : 日本における最近 70 年間の総括的上下変動, 測地学会誌, 17, pp.100-108.
- 土木学会原子力土木委員会地下環境部会編 (2001) : 概要調査地区選定時に考慮すべき地質環境に関する基本的考え方, 土木学会.
- 江頭庸夫 (1988) : 桜島火山における噴火の前駆現象, 火山, 33, 2, pp. 104-106.

藤原 治・三箇智二・大森博雄 (1999) : 日本列島における侵食速度の分布, サイクル技報, 5, pp.85-93.

原子炉安全専門審議会 (1978) : 原子力発電所の地質, 地盤に関する安全審査の手引き, 昭和 53 年 8 月 23 日.

原子力安全委員会 (1989) : 廃棄物管理施設の安全性の評価の考え方, 平成元年 3 月 27 日.

原子力安全委員会 (2001) : 発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針, 昭和 56 年 7 月 20 日, 一部改訂 平成 13 年 3 月 29 日.

原子力安全委員会 (2001) : 再処理施設安全審査指針, 昭和 61 年 2 月 20 日, 一部改訂 平成元年 3 月 27 日, 一部改訂 平成 13 年 3 月 29 日.

原子力発電環境整備機構 (2002c) : 概要調査地区選定上の考慮事項, 高レベル放射性廃棄物の最終処分施設の設置可能性を調査する区域の公募関係資料-3

Geological Survey of Japan and Coordinating Committee for Coastal and Offshore Geoscience Programmes in East and Southeast Asia (CCOP) (1997) : Heat flow map of East and Southeast Asia. 1:5,000,000 Miscellaneous Map Series 36, Geological Survey of Japan.

萩原尊禮編 (1991) : 日本列島の地震-地震工学と地震地体構造-, 鹿島出版会.

幡谷竜太・鳥越祐司・柳田 誠・佐藤 賢・佐々木俊法 (2002) : 日本列島における過去 10 万年間程度の内陸隆起量分布と隆起・沈降特性の検討, 日本地質学会第 109 年学術大会講演要旨, 日本地質学会, P-265, pp.338.

日比野 敏・駒田広也・本荘静光・金川 忠・伊藤 洋・中川加明一郎・北野晃一・沢田義博・藤原義一・本島 睦・野崎隆司・石田 毅・上島照幸 (1987) : 地下式原子力発電所の立地調査技術. 電力中央研究所報告, U01.

弘瀬冬樹・中村綾子・中島淳一・長谷川昭 (2002) : 東北日本弧下のマグマの供給源の分布-b 値と S 波速度から推定される島弧走向方向の変化-, 火山, 47, pp.475-480.

広瀬 亘・中川光弘 (1999) : 北海道中央部~東部の新第三紀火山活動: 火山学的データ及び全岩化学組成からみた島弧火山活動の成立と変遷, 地学雑誌, 5, pp.247-265.

IAEA (1994) : Siting of geologic disposal facilities. Safety Series Report (RADWASS) 111-G-4.1, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.

井上大栄・宮腰勝義・上田圭一・宮脇明子・松浦一樹（2002）：2000年鳥取県西部地震震源域の活断層調査，地震，2，54，pp.557-573.

石田瑞穂（1991）：日本列島の地震—地質工学と地震地体構造，荻原尊礼編，鹿島出版会，pp.57-85.

Ishimaru, K. and Shimizu, I. (1997) : Groundwater pressure changes associated with earthquakes at the Kamaishi Mine, Japan—A study for stability of geological environment in Japan., Proc. of 30th Int'l Geol. Congr., 24, pp.31-41.

Iwamori, H. (1992) : Degree of melting and source composition of Cenozoic basalts in Southwest Japan; evidence for mantle upwelling by flux melting., J. Geophys. Res., B97, pp.10983-10955.

核燃料サイクル開発機構（1999）：わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第2次取りまとめ—.

鎌田浩毅・小玉一人（1993）：火山構造的陥没地としての豊肥火山地域とその形成テクトニクス—西南日本弧・琉球会合部におけるフィリピン海プレートの右斜め沈み込み開始が引き起こした3現象—，地質学論集，41，pp.129-148.

Kamata, K. and Kodama, K. (1999) : Volcanic history and tectonics of the Southwest Japan Arc, Island Arc, 8, 3, pp.393-403.

金折裕司（2001）：断層の影響はどこまで及んでいるか，応用地質，41，pp.323-332.

加藤照之・津村健四郎（1979）：潮位記録から推定される日本の垂直地殻変動，地震研彙報，54，pp.559-628.

活断層研究会編（1980）：日本の活断層 分布図と資料，東京大学出版会.

活断層研究会編（1991）：日本の活断層〔新編〕分布図と資料，東京大学出版会.

川辺岩夫（1991）：地震に伴う地下水・地球化学現象，地震，44，pp.341-364.

Kimura, J., Kunikiyo, T., Osaka, I., Nagano, T., Yamauchi, S., Kakubuchi, S., Okada, S., Fujibayashi, N., Okada, R., Murakami, H., Kusano, T., Umeda, K., Hayashi, S., Ishimaru, T., Ninomiya, A. and Tanase, A. (2003) : Late Cenozoic volcanic activity in the Chugoku area, southwest Japan arc during back-arc basin opening and reinitiation of subduction., Island Arc, 12, pp.22-45.

気象庁編（1991）：日本活火山総覧第2版，気象庁.

気象庁 (2003) : 火山噴火予知連絡会による活火山の選定及び火山活動度による分類 (ランク分け) について, 平成 15 年 1 月 21 日, 報道発表資料.

小池一之・町田 洋編 (2001) : 日本の海成段丘アトラス, 東京大学出版会.

小泉尚嗣・北川有一・高橋 誠・佐藤 努・松本則夫・伊藤久男・桑原保人・長 秋雄・佐藤隆司 (2002) : 2001 年芸予地震前後の近畿地方及びその周辺における地下水・地殻歪変化, 地震, 第 2 輯, 55, pp.119-127.

国立天文台編 (2002) : 理科年表 CD-ROM2003, 丸善.

駒田広也・沢田義博・青山成夫 (1989) : 立体アレー観測による地下深部の地震挙動—細倉鉦山における地震観測—, 電力中央研究所報告, U88074.

小松 亮・梅田浩司 (1999) : 日本列島における温泉・熱水変質帯について. サイクル技報, 4, pp.121-128.

Kondo, H., Kaneko, K. and Tanaka, K. (1998) : Characterization of spatial and temporal distribution of volcanoes since 14Ma in the Northeast Japan arc, Bull. Volcanol. Soc. Japan, 43, pp.173-180.

Kondo, H., Tanaka, K., Mizuochi Y. and Ninomiya, A. (2004) : Long-term changes in distribution and chemistry of middle Miocene to Quaternary volcanism in the Chokai—Kurikoma area across the Northeast Japan arc., Island Arc, 13 (in press).

弘津 誠・田中和広・遠田晋次・松本則夫・塚井直樹 (2003) : 地震時の地下水挙動に関する研究—広島県北部の地下水位観測井における検討—, 日本応用地質学会平成 15 年度研究発表会講演論文集.

林 愛明・重富素子・嶋本利彦・宮田隆夫・竹村恵二・田中秀実・宇田進一・村田明広 (1998) : 断層岩から見た野島断層の活動史と運動像, 月刊地球, 号外断層解剖計画, 21, pp.208-212.

松林 修・大久保泰邦・山崎俊嗣・上嶋正人・宮崎光旗 (1992) : 日本及び隣接地域熱流量・キュリー点深度図, 日本地質アトラス (第 2 版), 地質調査所.

松田時彦 (1975) : 活断層から発生する地震の規模と周期について, 地震, 第 2 輯, 28, pp.269-283.

松田時彦 (1988) : 活断層の数的性質, 数理地震学 (Ⅲ) フラクタルと地震現象の数理共同研究成果報告書, フラクタルと地震現象の数理研究会, 統計数理研究所, pp.174-184.

松田時彦 (1990) : 最大地震規模による日本列島の地震分帯図, 地震研究所彙報, 65, pp.289-319.

宮崎 務 (1990) : 水準測量によって明らかにされた日本の活動的火山の地殻変動, 東京大学地震研究所彙報, 65, 3, pp.665-807.

守屋以智雄 (1979) : 日本の第四紀火山の地形発達と分類, 地理評, 52, pp.479-501.

守屋以智雄 (1983) : 日本の火山地形, 東大出版会.

Nagra (1994) : kristallin- I ; Conclusions from theregional inbestigation programme for siting a HLW repository in the crystalline basement of northern Switzerland. Nagra Technical Report NTB 93-09E, Nagra Wittengen, Switzerland.

中田正夫 (1995) : マントルのアップウェリングと下部地殻・マントルのカップリング, 月刊地球, 17, 6, pp.389-392.

Nakamura, K. (1977) : Volcanoes as possible indicators of tectonic stress orientation-principle and proposal., J. Volcanol. Geoherm. Res., 2, pp.1-16.

中田英二・田中和広 (2001) : マグマの貫入が岩盤に与える影響ー活火山周辺に分布するマグマ噴出跡の分布ー, 日本応用地質学会研究発表会講演論文集, pp.55-58.

中田 高・今泉俊文編 (2002) : 活断層詳細デジタルマップ, 東京大学出版会.

成瀬 洋 (1988) : 日本の第四紀盆地の 1MaBP 以降の沈降量, 大阪経済大学教養部紀要, 6, pp.44-65.

成瀬 洋 (1989) : 日本の第四紀盆地の造盆地運動, 大阪経済大学教養部紀要, 7, pp.127-149.

成瀬 洋 (1990) : 日本の第四紀盆地の形成と変遷, 大阪経済大学教養部紀要, 8, pp.70-85.

200 万分の 1 活断層図編纂ワーキンググループ (2000) : 200 万分の 1 日本列島活断層図, 活断層研究, 19, pp.3-12.

大場 司・梅田浩司 (1999) : 八幡平火山群の地質とマグマ組成の時間ー空間変化, 岩石鉱物鉱床学会誌, 94, pp.187-202.

Odin, G.S. (1994) : Geological time scale (1994), C. R. Acad. Sci. Paris, 318, Ser. II, pp.59-71.

Ogata, S. (1976) : Activity Evaluation of Faults in the Basement Terrain, Eng. Geol., 17, 3, pp.118-121.

緒方正虔・本荘静光 (1981) : 電力施設の耐震施設における断層活動性の評価, 応用地質, 22, pp.67-87.

Ohmori, H. (1987) : Mean Quaternary uplift rates in the central Japanese mountains estimated by means of geomorphological analysis, Bull. Dept. Geogr. Univ. Tokyo, 19, pp.29-36.

大久保泰邦 (1993) : 日本列島の温度勾配図, 日本地熱学会誌, 15, pp.1-21.

大森博雄 (1990) : 四国山地の第四紀地殻変動と地形, 米倉伸之・岡田篤正・森山昭雄編「変動地形とテクトニクス」, 古今書院, pp.60-86.

太田陽子・鈴木郁夫 (1979) : 信濃川下流域における活褶曲の資料. 地理学評論, 52, pp.592-601.

Ota, Y., Koike, K., Omura, A. and Miyauchi, T. (eds.) (1992) : Last Interglacial shoreline map of Japan. 国土地図株式会社.

Ota, Y., Matsushima, Y., Umitsu, M. and Kawana, T. (eds.) (1987) : Middle Holocene shoreline map of Japan, Cartographers, Association, 26, 1, Appendix.

Otsuki, K. (1978) : On the relationship between the width of shear zone and the displacement along fault, J. Geol. Soc. Japan, 84, pp.661-669.

Ranalli, G. (1977) : Correlation between length and offset in strike-slip faults, Tectonophysics, 37, pp.T1-T7.

SKB (1995) : General Siting study 95, siting of a deep repository for spent nuclear fuel., SKB Technical Report 95-34, Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company, Stockholm, Sweden.

Sakamoto, M., Sano, Y. and Wakita, H. (1992) :  $^3\text{He}/^4\text{He}$  ratio distribution in and around the Hakone volcano, Geochemical J., 26, pp.189-195.

佐藤比呂志・平田 直 (1998) : 活断層の深部構造と日本列島の成立, 科学, 68, pp.63-71.

佐藤 努・坂井隆太郎・大澤英昭・古屋和夫・児玉敏雄 (1999) : 淡路島で地震後異常に湧出した地下水の酸素・水素同位体比. 日本水文科学会誌, 29, pp.13-24.

Scholz, C.H. (2002) : The Mechanics of Earthquakes and Faulting., 2nd Editon, Canbridge Univ. Press.

Shimizu, I., Osawa, H., Seo, T., Yasuike, S. and Sasaki, S. (1996) : Earthquake-related ground motion and groundwater pressure change at the Kamaishi Mine., Eng. Geol., 43, pp.107-118.

総理府（2000）：表層地質調査作業規程準則，平成12年8月14日，総理府令第103号。

須藤 茂・中野 俊・高田 亮・川辺禎久・三村弘二・星住英夫・曾屋龍典（1992）：日本及び隣接地域第四紀火山図，日本地質アトラス第2版，朝倉書店，p.6-6。

鈴木康弘（1988）：新庄盆地・山形盆地の活構造と盆地発達過程，地理学評論，61，pp.332-349。

多田 堯・鷺谷 威・宮崎真一（1997）：GPS でみた変動する日本列島，科学，67，pp.917-927。

高木俊男・柳田 誠・藤原 治・小沢 昭男（2000）：海岸段丘から推定した河床高度変化の歴史，地学雑誌，109，3，pp.366-382。

高橋栄一（1990）：島弧火山の深部プロセスの定量モデル化，火山，34，pp.S11-S24。

高橋栄一・高橋正樹（1995）：何が島弧火山の深部構造を決めるか，科学，65，pp.638-647。

高橋 誠・小泉尚嗣・佐藤 努・松本則夫・伊藤久男・桑原保人・長 秋雄・佐藤隆司（2002）：2000年鳥取県西部地震前後の近畿地方及びその周辺における地下水位・地殻歪変化，地震，第2輯，55，pp.75-82。

高橋正明・駒澤正夫・玉生志郎（2001）：青森地熱資源図，特殊地質図31-5，地質調査所。

高橋正樹（1994a）：複成火山の構造と地殻応力場 1.火道安定型・不安定型火山，火山，39，pp.191-206。

高橋正樹（1994b）：複成火山の構造と地殻応力場 2.P-type・O-type火山，火山，39，pp.207-218。

高橋正樹（1997）：日本列島島弧火山における地殻内浅部マグマ供給システムの構造，火山，42，pp.175-187。

高橋正樹（2000）：島弧・マグマ・テクトニクス，東京大学出版会。

玉生志郎（1994）：地熱系モデリングから見たマグマ溜まりー豊肥・仙岩・栗駒地熱地域を例にしてー，地質学論集，43，pp.141-155。

Tamura, Y., Tatsumi, Y., Zhao, D., Kido, Y. and Shukuno, H. (2002) : Hot fingers in the mantle wedge: new insights into magma genesis in subduction zones., Earth Planet. Sci. Lett., 197, pp.105-116.

田中和広・千木良雅弘（1997）：わが国の地質環境の長期的変動特性評価（その1）ー将来予測の基本的考え方と課題ー，電力中央研究所報告研究報告，U96027。

田中和広・遠田晋次・上田圭一・千木良雅弘 (1997) : 我が国の地質環境の長期的変動 (その 2) - 隆起・沈降特性評価手法の提案と適用検討 -, 電力中央研究所報告, U96028.

巽 好幸 (1995) : 沈み込み帯のマグマ学, 東京大学出版会.

東郷正美 (1982) : 光地園断層について. 『環境科学の諸断面 (三井教授還暦記念論文集)』, 土木工学社, pp.146-152.

東郷正美・小野有五 (1994) : 十勝活断層系及びその活動特性について, 法政大学多摩研究所報告, 9, pp.1-14.

徳永朋祥 (1999) : 地震時の地下水変動から推定される淡路島北部地域の水理特性, 応用地質  
特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律, 平成 12 年 6 月 7 日, 法律第 117 号.

特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律施行規則, 平成 12 年 9 月 1 日, 通商産業省令第 151 号.

特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律施行令, 平成 12 年 10 月 25 日, 政令第 462 号.

徳山英一・本座栄一・木村政昭・倉本真一・芦 寿一郎・岡村行信・荒戸裕之・伊藤康人・徐垣・日野亮太・野原 壮・阿部寛信・坂井眞一・向山健二郎 (2001) : 日本周辺海域中新世最末期以降の構造発達史, 海洋調査技術, 13, pp.27-53.

東京大学地震研究所地震予知情報センター: 国立大学観測網地震カタログ震源ファイル (Japan University Network Earthquake Catalog Hypocenters File)

鳥越祐司・幡谷竜太・柳田 誠・佐藤 賢・佐々木俊法 (2002) : 氷期 (最大海退期) における海水面低下による影響を考慮した河川の下刻作用による最大侵食ポテンシャルの履歴, 日本地質学会第 109 年学術大会講演要旨, 日本地質学会, P-266, pp.338.

恒石幸正 (1984) : 断層. 木村敏夫編, 地質構造の科学, 朝倉書店, pp.67-120.

Tsuneishi, Y., Yoshida, S. and Kimura, T. (1975) : Fault-forming process of the Komyo fault in central Japan., Bull. Earthq. Res. Inst., 50, pp.415-442.

通商産業省 (2000) : 特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針を定めた件, 平成 12 年 10 月 2 日, 通商産業省告示第 591 号.



梅田浩司・林 信太郎・伴 雅雄・佐々木 実・大場 司・赤石和幸 (1999a) : 東北日本, 火山フロント付近の 2.0Ma 以降の火山活動とテクトニクスの推移, 火山, 44, pp.233-249.

梅田浩司・小松 亮・江原幸雄 (1999b) : 坑井データによる地下温度構造の推定, サイクル機構技報, 2, JNC TN1340 99-001, pp.29-36.

梅田浩司・小松 亮・中司 昇 (1999c) : 坑井温度データから算定した地熱地帯における熱水流体の流動速度及び熱流量, 地熱, 36, pp.219-237.

梅田浩司・中司 昇・湯佐泰久 (1998) : 地質環境の長期安定性 : 火山活動について, 日本原子力学会 1998 年秋の大会, pp.829.

宇都浩三 (1995) : 火山と年代測定 - K-Ar,  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  年代測定の現状と将来, 火山, 44, pp.233-249.

Uto, K. and Tatsumi, Y. (1996) : Quaternary volcanism of the Japanese Islands., Island Arc, 5, pp.250-261.

Vermilye, J.M. and Scholz, C.H. (1998) : The process zone : A microstructural view of fault growth, J. Geophys. Res., 103, B6, pp.12223-12237.

吾妻 崇・篠原俊樹・太田陽子 (1995) : 信濃川下流部, 小千谷・長岡付近における活褶曲・活断層に関する新資料と問題点, 活断層研究, 13, pp.14-17.

八木原寛・清水 洋 (1997) : やや遠地地震を用いた雲仙火山の三次元 P 波速度構造, 月刊地球, 号外, 地球の活動と電磁気現象, 行武 毅教授退官記念号, 17, pp.112-116.

山口和雄・加野直巳・横倉隆伸・木口 努・横田俊之・田中明子・佐藤比呂志 (2000) : 深谷断層周辺における反射法地震探査 - 江南台地と妻沼低地の地下構造 -, 地震, 第 2 輯, 53, pp.115-125.

山口 勝 (1988) : 木曾山脈東麓における活断層の発達過程, 日本地理学会講演要旨, 34, pp.108-109.

山崎文人・大井田 徹 (1985) : 中部日本におけるフィリピン海プレート沈み込みの形状, 地震, 38, pp.193-201.

矢野雄策・田中明子・高橋正明・大久保泰邦・笹田正克・梅田浩司・中司 昇 (1999) : 日本列島地温勾配図 (1:3,000,000), 地質調査所.

Yeats, R.S. (1986) : Active faults related to folding., Geophysics Study Committee et al. (eds.) *Activetectonics*, National Academy Press, pp.63-79.

横瀬久芳・菊池 航・長尾敬介, 小玉一人 (1998) : 九州南西部矢筈岳火山岩類の K-Ar 年代, *岩石鉱物鉱床学会誌*, 93, pp.151-161.

吉田武義・木村純一・大口建志・佐藤比呂志 (1997) : 島弧マグマ供給系の構造と進化, *火山*, 42, pp.S189-S208

Yoshida, S. (1985) : Mode of Fracturing along the Tsurukawa Fault, West of Tokyo, *Journal of the Faculty of Science, The University of Tokyo*, 21, 2, pp.101-114.

Yoshida, S. (1986) : Hanaori Fault, a Left-Lateral Strike-Slip Fault, Northeast of Kyoto, *Journal of the Faculty of Science, the University of Tokyo*, 21, 3, pp.223-237.

吉井敏剋 (1978) : 日本列島付近の基礎的な地球物理データ, *科学*, 48, 8, pp.489-494.

Yoshikawa, T. (1974) : Denudation and tectonic movement in contemporary Japan, *Bull. Dept. Geogr. Univ. Tokyo*, 6, pp.1-14.

吉岡敏和 (1988) : 活褶曲地帯の活断層, *地質ニュース*, 411, pp.6-9.

吉山 昭・柳田 誠 (1995) : 河成地形面の比高分布からみた地殻変動, *地学雑誌*, 104, pp.809-826.

趙 大鵬・越智富美子・浅森浩一 (1999) : 西南日本の深部構造と地震・火山との関係, *月刊地球*, 21, pp.205-211.

# 用語集

## 用語集

本書で用いている地球科学及び地層処分にかかわる用語の説明を以下に示す。

### アイソスタシー

地殻の運動やその偏在を力学的に説明する概念のことをいい、地球内部に地殻の厚さに応じた圧力と浮力が釣りあう補償面が存在するという考えをいう。

### アルカリ玄武岩

苦鉄質アルカリ火山岩の総称であり、一般にアルカリ ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ) に富み、 $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$  に乏しい。石基カンラン石は輝石の反応縁をもたず、斜方輝石は晶出しない等の特徴がある。

### 異常間隙水圧

間隙水（岩石中の隙間に含まれる水）が、何らかの要因で異常に高い圧力を受けていることをいう。異常間隙水圧は、膨張性地山、大出水等の原因の一つと考えられている。

### 液相濃集元素

岩石の部分融解作用によるマグマの発生やマグマの分別結晶作用の際に、鉱物中の陽イオンサイトに入りにくい元素をいい、不適合元素ともいう。液相濃集元素は、主要な造岩鉱物（固相）とマグマ（液相）との間の分配係数が1よりかなり小さく、マグマ中に濃集する。

### HFS (High Field Strength) 元素

主要な造岩鉱物（固相）とマグマ（液相）との間の分配係数が1よりかなり小さくマグマ中に濃集する不適合元素のうち、Zr, Nb, Hf, Ta等のイオン価が大きいため固相に入りにくい元素をいう。

### FS法 (Former Shoreline)

最終間氷期の海成段丘面の旧汀線高度から地殻変動量・速度を推定する方法をいう。

### MIS

Marine Isotope Stageの略語で、海洋酸素同位体ステージという。酸素同位体ステージとは、深海底ボーリングコア中の有孔虫の殻、氷床コア等に含まれる酸素同位体 ( $^{18}\text{O}$ ,  $^{16}\text{O}$ ) の同位体比を連続的に測定して温度変化を解析し、その過去の気温に基づいたステージ区分である。MIS3を除く奇数が間氷期、偶数が氷期を示す。

### LIL (Large Ion Lithophile) 元素

主要な造岩鉱物（固相）とマグマ（液相）との間の分配係数が1よりかなり小さくマグマ中に濃集する不適合元素のうち、K, Rb, Cs, Sr, Ba, 希土類元素, Th, U等のイオン半径が大きいため固相に入りにくい元素をいう。島弧の火山岩においては、プレートの沈み込みに伴い脱水した流体相を通して付加されていると考えられている。

## 応力降下量

震源断層面上のせん断応力が、地震の発生により、その全部あるいは一部が解放される。この解放された応力、すなわち、地震発生前の応力と地震発生後の応力の差のことをいう。

## 応力場

一定の応力分布によってある構造が形成される場をいう。

## オリストストローム

メランジュの一種であり、整然と成層して堆積した一連の地層が、ある程度固化した後に大規模海底地すべりを起こし、分離・分解され乱雑に再堆積した地層をいう。

## 海上音波探査

海の中で人工的に音を発振させ、地層境界で反射・屈折する音波を用いて、海底下の地質構造を調査する物理探査手法をいう。

## 開析

地形の原面が、様々な外的営力により侵食され、多くの谷や崖が形成されて、それを構成する地層が露出することをいう。

## 崖錐堆積物

崖のすそに錐状をなした岩屑の堆積体を崖錐といい、その構成物のことをいう。

## 確実度

活断層の存在の確からしさを分類・表現した基準をいう。確実度Ⅰとは、活断層であることが確実なもので、断層の位置・変位の向きがともに明確であるものをいう。確実度Ⅱとは、活断層であることが推定されるもので、断層の位置・変位の向きが推定できるが、確実な証拠にかけるものをいう。確実度Ⅲとは、活断層の可能性はあるが、断層の変位の向きが不明で、他の原因によって形成されたりニアメントである疑いが残るものをいう。

## 可採量

採掘する鉱物資源の品位、鉱山技術水準、鉱床の賦存状況等に基づき推定される採掘可能な鉱物資源の量をいう。

## 火山活動

地下のマグマや火山ガスが地表に達し、地上に放出される際に生ずる動的作用をいい、火山灰の噴出、溶岩の流出、火山体の形成等のほか、噴火・噴気現象、火山性地震、火山性の地殻変動等も含まれる。

## 火山地域

第四紀火山が集中して分布する地域をいう。

## 火山フロント

島弧に沿う火山分布域の海溝側の縁を連ねた線をいい、背弧側に比べ火山体数が多く明瞭にたどることができる。

## 加水融解

マグマ生成プロセスの一つで、ある温度・圧力状態の岩石に水が添加されることによって、水が融点降下剤の役割を果たし、ソリダス（固体＋液体状態が始まる温度）が下がり、その岩石が融解温度を超えるため、融解が生じる現象をいう。

## ガス突出

坑道掘削時等にガスを含む層に遭遇する等して、坑道内等にガスが充満する現象をいう。ガスに有害物質が含まれる場合や引火性の物質を含む場合には、施工時の安全性に影響を及ぼす可能性がある。

## 火成活動

地下深部で形成されたマグマが地殻に貫入したり、地表に噴出する、あるいはマグマにより地下水、岩盤等に様々な物理的・化学的な影響を生じさせる現象をいう。

## カタクレーサイト

比較的低温低圧条件下の地殻浅所において岩石に応力が加わり、脆性破壊によって生じた岩石の破碎組織で特徴づけられ、再結晶をほとんど伴わない固結した断層岩をいう。

## 活火山

概ね過去 10,000 年以内に噴火した火山及び現在活発な噴気活動のある火山をいう。

## 活構造

第四紀（後期）の造構応力場を反映して形成され、その変形が現在及び将来も進行するとみなされる地質構造をいう。

## 活褶曲

層状の地層に水平方向の応力が作用すること等により、波状に変形する運動を褶曲運動といい、この褶曲運動が現在あるいは最近まで進行し、地形の変形等として認められ、将来も活動する可能性のあるものを活褶曲という。「考慮事項」では、過去数十万年前以降活動したものを対象としている。

## 活断層帯

活断層線の長さ、活断層線の間隔、断層の走向、変位センス等を基に、グループ化された活断層をいう。

## 活断層

過去数十万年前以降繰り返し活動したことがある断層で、将来も活動する可能性のある断層をいう。

## 活撓曲

地層が厚く堆積しているような地域で、深部の基盤が断層運動等により上下に変位することにより、地表付近では断層が生じず、地層が連続したまま屈曲しているもので、現在あるいは最近まで活動し、将来も活動する可能性のあるものをいう。「考慮事項」では、過去数十万年前以降活動したものを対象としている。

## 活動セグメント

起震断層を構成する個々の断層で、固有地震の発生単位に相当するものをいう。

## カップリング

サブダクション帯で収束する二つのプレート間の相互作用の程度を表すのにカップリング (seismic coupling, interplate coupling) という言葉が使われる。この物理的実態は必ずしも明確でないが、プレート相対運動がプレート間地震による地震性すべりでどの程度受け持たれるかという比率として定量化することができる。プレート境界で発生する大地震1回あたりの断層すべり量と1回前の大地震からのプレートの移動量が等しいとき、カップリングは100%である。プレート境界で非震性すべり、つまり断層のクリープまたはサイレント地震等によってプレートの相対運動の大部分が消費されている場合、カップリングは0に近い。同じプレート境界でも場所によってカップリングは大きく違う。

## カルデラ

普通の火山より大きく、輪郭が環状またはそれに近い形状の火山の活動に伴う陥没地等をいう。

## 岩脈

マグマが地層中に脈状に貫入し、冷却・固結したものをいう。

## 基準高度分散量

地表面の起伏の大きさを表す指標の一つである高度分散量 (高度頻度分布の標準偏差) を単位面積あたりの値に基準化したものをいう。

## 起震断層

一つの大地震に対応する単位の活断層または活断層群をいう。

## 起伏量

一定面積の地表における相対的高度差を表す指標をいう。①単位面積内の最高点と最低点との高度差、②隣接する山頂と谷底との高度差、③切峰面と切谷面との高度差による3通りの表現方法がある。

## 旧汀線高度

地盤運動や海水準変動により現在の海水準とは異なる高度に存在する過去の海岸線を旧汀線といい、現在、旧汀線が分布する高度をいう。

## キュリー一点深度分布

磁気探査によって把握された地磁気異常に基づき、地殻中の岩石が磁性を消失している温度（キュリー一点）状態にある深度の分布をいう。

## 曲降

曲動の一つで、下方へたわむ場合をいう。

## 曲動

地層や地殻を緩やかにたわませる比較的波長の大きい変動をいい、顕著な褶曲や断層を伴わず、地層の曲がりに伴う側方短縮がないと考えられている。曲動は、比較的広範囲に及ぶ地殻の上下方向の運動によって生じる。

## 曲隆

曲動の一つで、上方へたわむ場合をいう。

## グリーンタフ

千島列島～北海道北東部、北海道北西部～東北地方の大部分、フォッサマグナ地方～伊豆七島・小笠原西側、北陸～山陰地方、東海～瀬戸内地方、北九州～南九州西部、琉球列島西側等に分布する中新世前～中期に生じた大量の火山岩・火山砕屑岩の変質した緑色凝灰岩をいう。

## 空中写真判読

航空機等から撮影した地表面の写真（空中写真）を用いて、地形、地質、土壌、植生等の状況を読み取る調査をいう。

## 傾動

地塊が断層面に沿って傾き、一方は急斜面の崖面を、他方は緩やかな斜面を形成することをいう。

## 高アルミナ玄武岩

鋳物組成、化学組成において、ソレイト玄武岩とアルカリ玄武岩の中間的な性質をもち、独立した本源マグマに由来すると考えられる島弧玄武岩の一種をいう。

## 構造イベント

ここでは、背弧海盆の拡大や停止、プレート運動の停止や開始、大陸の衝突等の地質構造の形成・発達に大きく影響する事象をいう。



## 鉱物資源

鉱業法第3条第1項に定義されている鉱物（例えば、金鉱、銀鉱、石炭、石油、石灰石、けい石等）を指す語として用いている。

## 高レベル放射性廃棄物

わが国では、原子炉の使用済燃料から再処理により有用物質を分離して生じる廃液またはそれを固化したものをいうが、一般には後者の意味でガラス固化体を指して用いられることが多い。使用済燃料を再処理せず直接地層処分する国においては、この語を意味する「High-Level Radioactive Waste」等は、処分対象の使用済燃料を指す語として用いられる。

## 古応力場

過去の地質時代の応力場をいい、共役断層の解析、岩脈の方位等から推定される。

## 固結

土粒子、鉱物粒子等が長い時間をかけて続成作用によって固く結合し、固まることをいう。続成作用は、一般的に堆積物の固化・岩石化の過程あるいは堆積岩自身が受けるすべての物理学的・化学的・生物学的な変化であり、風化と変成を除く作用として定義されており、圧密、セメント化、自生、置換、結晶化、バクテリアの作用等の過程を含む。

## 古地磁気

岩石中に記録された残留磁化から復元された過去の地球磁場のことをいう。

## 個別火山体

第四紀火山を構成する個別火山をいう。

## 最終処分施設

高レベル放射性廃棄物の地層処分（最終処分）を行うために必要な、ガラス固化体の搬送用の設備、埋設用の坑道、人工バリアを含む一群の施設をいう。

## 最大水平圧縮応力

地形、地殻構造、プレート構造等の大構造を扱う場合、構造は鉛直軸に関して対象とみなせるため、主応力軸の一つは鉛直方向となり、残りの二つの主応力軸は、水平面内に存在することになる。水平面内に存在する主応力のうち、最大の圧縮応力のものをいう。

## サイドスキャンソナー

水中曳航式の送受波器から水底に向けて扇状に発振された超音波が、水底表層部で反射した波の信号を基に、露岩分布、水底の地質（底質）の相違、砂堆・海釜の形状等の情報を画像化するシステムをいう。

### 酸化還元性

物を酸化させるかあるいは還元させるかの性質をいう。一般に地下深部は、金属が腐食しにくい等の還元的な環境にあるとされている。

### 酸化雰囲気

酸化とは、本来純物質が酸素と化合することをいうが、一般に、広く電子を奪われる変化またはそれに伴う化学反応をいう。このような反応が生じる状態をいう。

### 三重会合点

三つのプレート境界が交わる点のことをいい、トリプルジャンクションとも呼ばれる。日本付近では、房総沖に日本海溝、伊豆-小笠原海溝、相模トラフの会合点がある。

### GPS (Global Positioning System)

汎地球測位システムと呼ばれるもので、複数の人工衛星からの電波信号を同時に受信し、人工衛星を基準として、受信点の地球上での位置・高度を求める測位システムをいう。

### 地震断層

地震に伴って地表に現れたことが歴史的に記録されている断層をいう。

### 地震モーメント

断層全体を点震源としてみた際の地震の大きさを表す量をいう。

### 周氷河地形

地中水の凍結・融解の反復によって生じる凍結融解作用、永久凍土の融解による地すべりやサーモカルスト、風食と風成堆積物の堆積、海氷による海食、積雪の作用、流氷の作用等により形成された地形をいい、氷河周辺地形ともいう。

### 準固結

土粒子、鉱物粒子等が結合し固まっているが、固結度がやや低い状態をいう。

### 準平原

侵食基準面の近くまで削剥された、ほぼ平坦な小起伏の侵食面をいう。どの程度平坦なものを準平原と呼ぶかについての明確な基準はない。

### 処分場

最終処分施設と天然の岩盤によって構成され、閉鎖後長期間にわたってガラス固化体を人間環境から安全に隔離するための機能をもつシステムをいう。したがって、処分場は閉鎖までに必要な一群の施設と閉鎖後の長期にわたる安全機能に着目し、一つのシステムとして表現する際には、多重バリアシステムという。

## 震源断層

地震を発生させた地下の断層をいい、本震及び余震の震源分布から推定される。地震に伴い地表に現れた断層（地表地震断層）に連続する断層であるが、区別して呼称される。

## 人工バリア

地層処分において、ガラス固化体中の放射性物質を人間の生活環境から隔離するために設計される障壁をいう。ガラス固化体、オーバーパック及び緩衝材の総称をいう。

## 侵食ポテンシャル

侵食作用による侵食の程度のことをいう。

## 侵食小起伏面

陸上の削剥作用により形成された起伏の小さい波状の侵食面をいう。

## 浅層地下水

不圧帯水層中に存在する地下水のことをいう。

## 推定活断層

「200 万分の 1 日本列島活断層図」では、断層活動に伴う変位地形が最近数十万年前以降に形成されたものかどうかの判定が、活断層に比べて難しいものや、変位地形そのものが、他の理由（成因）で形成された可能性があることを示す断層としている。

## スラブ引き力

海洋プレートがアセノスフェアよりも重いために、密度差によって生じる重力（負の浮力）をいう。

## スリバー

海溝と火山フロント付近の横ずれ断層の間に形成される海溝に平行な細長い地塊のことをいい、海洋プレートの沈み込み方向が海溝軸と斜交しており、沈み込む海洋プレートと大陸プレートの境界における摩擦強度が大きい場合に形成される。

## 正断層、逆断層、横ずれ断層

断層のずれの向きによって分類したものをいう。断層面に沿って主として上下方向にずれた断層が縦ずれ断層で、上盤側が相対的に下向きにずれた断層を正断層といい、上向きにずれた断層を逆断層という。横ずれ断層は、断層面に沿って主として水平方向にずれた断層で、断層をはさんで他方を見た場合に、他方が右にずれていれば右横ずれ断層、左にずれていれば左横ずれ断層という。

## 脆性破壊

物質がほとんど塑性変形を伴わず、割れの急速な進展によって破壊することをいう。

## 摂動

太陽系の諸天体の公転運動が、他の惑星の引力による影響を受け、太陽を一つの焦点とする楕円軌道からずれることをいう。

## 前弧

島弧－海溝系において、火山フロントより海溝側の地域をいう。

## センス

正断層、逆断層、横ずれ断層等、断層のずれの向きを表したものをいう。

## 走向、傾斜

断層面が水平面と交わる直線の方角を走向、断層面が水平面となす角を傾斜という。

## 造構応力状態

地殻を構成する岩体や地層が、褶曲、断層等の変位・変形を生ずる原因となる地殻中に発生している広域的な応力状態をいう。

## 側火山、側火口

火山の頂上の火口から離れた山腹に火口ができ、そこに小型の火山ができることがある。このような火山を側火山、火口を側火口という。

## ソレアイト玄武岩

非アルカリ火成岩の二大別の一つであるソレアイト岩系（ $\text{SiO}_2$ 量の増加に対して  $\text{FeO}$ 量が急速に濃集する岩系）のうち苦鉄質な火山岩をいう。

## タービタイト（混濁流堆積物）

混濁流によって運搬・堆積した堆積物をいい、重力流堆積物のうちもっとも細粒なものに相当する。一般的には、侵食的な下底面をもつこと、級化成層が顕著なこと、しばしばソールマークが発達すること等の特徴とする。

## 大出水

地下空洞掘削時に坑道内に多量の湧水が流れ込み、工事に支障をきたすような現象をいう。

## ダイヤモンド法

天然岩石系での平衡融解実験の一つの方法で、グラファイトカプセル中のカンラン岩粉末の間にダイヤモンド粉末を挟みこむ方法をいう。

## 第四紀

約170万年前から現在までの地質学における時代をいう。

## 第四紀火山

「日本の第四紀火山カタログ」(1999)では、約200万年前以降に活動したことが認められる火山を第四紀火山とし、日本全国で348の第四紀火山が記載されている(第四紀は、一般に約170万年前以降をいうが、この文献では約200万年前以降に活動したものを第四紀火山としている)。

## 段丘

河川・海・湖等に隣接していて、平坦面と急崖が階段状に配列している地形をいう。

## 単成火山, 単成火山群

ただ1回の噴火活動の結果形成された火山をいう。一般に単成火山は、ある限られた期間に一定の範囲内で相前後して活動することが多く、このような単成火山が集合したものを単成火山群という。

## 断層ガウジ

断層運動に伴う破砕作用によって生じた細粒、未固結の断層内物質をいう。

## 断層角礫

断層運動に伴う破砕作用によって生じ、断層面の間に存在する角礫をいう。様々な大きさのものが不規則に混じり、粘土質～砂質の粉砕物を伴う。

## 断層岩

断層活動に伴う破砕作用によって生じた断層破砕帯を構成する断層ガウジ、断層角礫等が固結した岩石をいい、カタクレーサイト、シュードタキライト、マイロナイト等がある。

## 断層クリープ

断層が、地震の発生を伴わず、緩慢で連続的に活動し、断層によって境される地層、地形が変位する現象をいう。

## 断層の活動度

活断層の過去の活動の程度をいい、平均変位速度をもって表される。活動度は、A級(1m/1,000年のオーダー)、B級(0.1m/1,000年のオーダー)、C級(0.01m/1,000年のオーダー)と分類される。

## 断層破砕帯

断層の活動に伴い、岩石が破砕され、不規則な割れ目の集合体となったもので、角礫部、粘土部等から構成される、ある幅をもった帯をいう。

## 断熱・減圧融解

マグマ生成プロセスの一つで、深部から温度の高い岩石が断熱状態で上昇するとともに岩石にかかる圧力が減少し、融点が低くなり、融点が上昇する岩石の温度よりさらに低くなったところで融

解が生じる現象をいう。

### 地温勾配

地層の温度は、地下の深度が増すにつれて上昇する傾向があり、その度合いを地温勾配という。日本の平均的な地温勾配は、深さ 100m 当り約 3℃の上昇とされている。

### 地殻

地球の表面にある固体状の部分をいう。厚さは一様でなく、大陸地域で厚く（数十 km 程度）、海洋地域で薄く（5～10km 程度）なっている。地球は、この地殻と中心部の核、その間の地下 2900km までに存在するマントルから構成されている。

### 地下施設

廃棄体を地上から地下に搬送するためのアクセス坑道や連絡坑道、廃棄体を埋設するための処分坑道と処分孔等をいう。操業終了後は埋め戻され、閉鎖後は周辺の地層と一体となる。

### 地質年代

地層や岩体の記録を基に区分した年代をいう。本書で用いた地質年代は、第三紀—第四紀境界については第四紀学会（2003）、その他は IUGS（2000）に基づく。

### 地質環境

地層処分の観点から見た地下の環境をいう。岩盤や地下水の性質（地質環境の特性）とそれらの長期にわたる安定性（地質環境の長期安定性）に分けて捉えることができる。地質環境の特性としては、岩盤の力学特性、地下水の地球化学特性、地下水の流動特性等がある。また、地質環境の長期安定性としては、岩盤や地下水の性質に大きな変化を及ぼす可能性のある自然現象（地震、噴火、隆起・侵食）の発生の可能性やそれらによる影響が考えられる。

### 地上施設

ガラス固化体の受入・封入・検査施設、緩衝材の製作・検査施設、管理棟等、地下での建設や操業から閉鎖までに必要な地上の施設をいう。地下施設の閉鎖後は撤去されるが、閉鎖後管理が行われる場合、その間は必要な施設が残される。

### 地層の著しい変動

最終処分施設の著しい変形、埋設した高レベル放射性廃棄物の地表付近への接近をもたらす地層の変動をいう。

### 地体構造区

地質構造のうち大陸、島弧、造山帯等のように比較的大きなスケールを対象とする構造を地体構造といい、その構造によって区分された地質区をいう。

## 地表踏査

地表面で行う現地調査をいう。地表で確認できる事項、例えば、地層・岩石の分布、地質構造、活断層の分布等を調べる。

## 貯留構造

石油、地下水、ガス、熱水、高温の蒸気等を貯留する地質構造や岩石中の構造のことをいう。前者は、背斜、潜丘、断層、不整合等の地質構造や地層の配置、形態が挙げられる。後者は、多孔質で浸透性を有する岩石に認められ、初生的な粒子間隙、粒子内間隙、続成作用に伴い形成された溶脱孔隙、断層活動に伴い形成された割れ目孔隙等が挙げられる。

## 沈水地形

陸地が海水の浸入によって海面下に位置するようになり形成された地形をいう。

## DEM (Digital Elevation Model)

数値標高モデルまたは数値地形モデルと呼ばれるもので、地形の形状を表現するためのデータをいい、数値地形データとも呼ばれる。

## TT 法 (Terrace to Terrace)

最終氷期の河成段丘面とその1サイクル前の氷期の河成段丘面の比高から地殻変動量・速度を推定する方法をいう。

## テクトニクス

地質構造の形成・発達過程、造構運動を研究する学問分野、造構運動を説明する理論をいう。また、造構応力場またはある地域の造構応力状態をテクトニクスと表現することもある。

## デタッチメント

特定の地層より上位の一連の地層が、下位の基盤（地層）から分離し、下盤とはほとんど無関係に変位・変形している構造をいう。

## $\delta^{18}O$

酸素の安定同位体の存在度を表す尺度で、 $^{18}O$  と  $^{16}O$  の同位対比をいう。未知試料の同位対比を標準試料の同位体比（酸素同位体比の場合、一般的に標準平均海水（SMOW）が用いられる）に対する千分率偏差で表す。

## 島弧付加体

海溝やトラフにおいて、島弧地殻がのった海洋プレートが沈み込む時に、島弧地殻が陸側プレートの下に沈み込むことができず、その結果、陸側プレートの先端部に付加された島弧地殻体をいう。

## 特定放射性廃棄物

最終処分法では特定放射性廃棄物を「使用済燃料の再処理後に残存する物を固型化したもの」と

定義しており，具体的にはガラス固化体を意味している。

### トモグラフィー

広義には物体内部の断面映像化技術のことをいい，地下を探索する場合にはジオトモグラフィーともいわれる。

### トラフ

深海底にある細長く比較的幅が広く，比較的緩やかな斜面をもつ舟底状の凹地のことをいい，舟状海盆ともいう。

### トランスフォーム断層

すれ違う二つのプレートを境する断層（横ずれ断層）のことをいい，両端は海嶺あるいは海溝となっており，「その末端が他の運動様式に転位（transform）している断層」と定義されている。

### 熱水対流

地下に存在する熱源から放出される熱によって地下水の対流が引き起こされること。

### 背弧

島弧－海溝系において，火山フロントより大陸または縁海側の地域をいう。

### 波曲構造

著しい褶曲や断層を伴うことなしに，地殻が広い範囲にわたってゆるくたわむことによって形成された構造をいう。

### 半固結

土粒子，鉱物粒子等が結合し，やや固まっている状態をいう。

### 微小地震

マグニチュードMについて， $1 \leq M < 3$  の地震をいい，通常は体を感じない地震をいう。

### 非震性スラブ

アセノスフェア中あるいはそれ以深に沈み込んだ海洋プレートのうち，深発地震を付随しない部分をいう。

### 品位

鉱石，地金等に含有されているある特定の元素または化合物の総量に対する重量比率をいう。

### 複成火山

休止期間を挟んで噴火活動が繰り返された結果生じた火山をいう。



## 伏在断層

活断層のうち、平野等の下に存在しているため新しい地層（沖積層 等）に厚く覆われ、地表に断層変位地形が直接現れないものをいう。

## 物理探査

人工的に発生させた地震波や電磁波等を利用して、空中、地上、水上等から地下の状況を間接的に調査することをいう。地質構造の状況、鉱床の有無等を調査することができる。

## プレートシステム

ここでは、対象とする地域を構成するプレートの組み合わせと、それらの運動を併せてプレートシステムという。

## プロセスゾーン

断層活動に伴い、周辺岩盤に形成・発達した割れ目が分布する範囲のことをいう。プロセスゾーンに分布する割れ目は、断層破碎帯のような巨視的な一つの面上（または帯状）に連続する以前の断層の成長過程の初期段階に形成されたもので、この段階の割れ目には引張応力が保持されている状態にあるとされている。

## ブロック回転

任意の広がりをもつ地塊が、現位置もしくはその近傍で鉛直方向を軸として回転することをいう。回転の量は、測定された岩石磁気の偏角とそこで期待される偏角の差として求められる。

## 文献調査

文献その他の資料（記録文書、学術論文、空中写真、地質図等）による調査をいう。

## 変位地形

断層運動、褶曲運動によって生じた地形をいう。変位地形には、崖地形（断層崖、撓曲崖等）、凹地形（断層谷、地溝、断層凹地等）、凸地形（地塁、断層地塊山脈、傾動山地等）、横ずれ地形（横ずれ尾根、横ずれ谷、閉塞丘等）がある。

## 変形帯

活断層の破碎帯周辺に認められる断層活動に伴う地層の変形が生じているゾーンをいう。断層活動による力を受けて地層の変形を生じていることから、将来、断層活動に伴い、処分場に著しい影響を及ぼすことが想定される。

## 片麻状構造

完晶質等粒状で、縞状構造の発達で特徴付けられる岩石の構造をいう。

## 膨張性地山

坑道の掘削等の際に、坑道周辺の岩盤が徐々に坑道の内側へ膨らみ出してくるような現象を引き

起こす岩体をいう。坑道の崩壊、坑道内への押し出しにより、工事が難航する可能性がある。

### ボーリング調査

地下の地質状況等を調べるため、地中に直径数 cm～十数 cm 程度の円筒状の孔を掘って行う調査をいう。この際に採取した岩石試料、孔を用いた各種の計測等によって、地下の岩石、地下水等に関するさまざまな情報を取得することができる。高レベル放射性廃棄物の地層処分では、ボーリング調査を行う深さは、数百 m～千 m 程度となる。

### フォッサマグナ

本州の中央部を南北に横断する大構造帯をいう。西縁は糸魚川－静岡構造線であるが、東縁は不明である。甲府盆地・藤ノ木－愛川線を境に北部と南部に区分されることもある。

### ホットスポット

マントル深部にある固定した熱源から高温のプルームが上昇し、その直上に火山活動が生じる。その火山活動が生じている場所をいう。

### ホットリージョン

海嶺や島弧のようなプレート境界の火山活動とは異なり、マントルから上昇した高温ダイアピルによって生じる火山地帯のことをいう。数千 km の範囲にわたって点在する。

### マイロナイト

断層（岩盤）の変形に伴って形成される断層岩のうち、地下深部で塑性流動を受けたものをいう。

### マイクロプレート

それ自体としては運動の原動力をもたない小さなプレートをいい、大きなプレート境界の力学の調整機能を果たす。

### 埋没谷

過去に形成された谷が新しい地層に埋められて埋没した谷をいう。

### マグマ

岩石が高温、熔融した状態で地下に存在しているものをいう。一般に、マグマはマントルの上部で発生し、周囲より密度が小さいためにマントル内を上昇し、地殻に貫入、地表への噴出に至る。

### マフィック

マグネシウムや鉄に富む岩石や鉱物に対して、化学的特徴を示すために用いられる用語で、苦鉄質ともいう。

### マントルノジュール

火山岩中に見いだされる粗粒な火成岩の塊のうち、マントル起源のカンラン岩またはそれを構成

するカンラン石や輝石等をいう。

### **未固結堆積物**

礫，砂，泥等の堆積物が固結していない状態にあるものをいう。

### **メラングジュ**

大小岩塊（角礫～亜角礫状，板状等）が泥質または砂質の基質中に乱雑に混在している地質体をいい，成因を問わない。

### **モレーン**

氷成堆積物と同義で使われることもあるが，厳密にはこれらのつくる地形をいう。なお，氷成堆積物とは，氷河表面，氷河内部，氷河底で運搬されたのち堆積した岩屑・砂礫物質の総称である。

### **山はね**

一般に，地下深部の非常に硬い岩盤を掘削した際に起きる現象で，坑道周壁の岩盤が，振動と大音響を伴って岩片状となり，坑道内に飛び散る現象をいう。

### **癒合割れ目**

スリット状のクラックが形成された後に，クラック面で流体拡散が起きることにより，流体包有物が最終的に小球状に取り残されたものをいう。

### **ランプロファイヤー**

濃色斑状の半深成岩で，全自形粒状組織を示す岩石をいう。黒雲母，角閃石，輝石，カンラン石等のマフィック鉱物の斑晶の割合が極めて高いことで特徴付けられるが，ときどきメリライトを含むこともある。石基は細粒で，斑晶と同じ鉱物に加え長石と準長石またはその一方からなる。

### **リニアメント**

直線または緩い曲線に配列する種々の線状模様のことをいう。活断層との関連では，線状に連続する谷地形・崖地形，異なる種類の地形境界等，地形的に連続する線状模様をいう。

### **リフティング**

大陸リソスフェアが伸長応力によって地殻と共に引き伸ばされ，アイソスタシーによって地表が沈降，陥没する現象をいう。

### **粒界割れ目**

岩石の構成粒子の粒径に対して数分の1から数倍程度の大きさをもつ微視的なクラックのうち，粒子と粒子の境界に認められるものをいう。

## 参考文献

地学辞典，古今書院.

地学事典，地学団体研究会編，平凡社.

地形学辞典，二宮書店.

地理学辞典，日本地誌研究会編，二宮書店.

概要調査地区選定時に考慮すべき地質環境に関する基本的考え方，土木学会原子力土木委員会地下環境部会編.

概要調査地区選定上の考慮事項，高レベル放射性廃棄物の最終処分施設の設置可能性を調査する区域の公募関係資料-3，原子力発電環境整備機構.

廃棄物処分・環境安全用語辞典，丸善株式会社.

表層地質調査作業規定準則，総理府令.

地震の事典，朝倉書店.

活断層詳細デジタルマップ，付図「200万分の1日本列島活断層図」，中田高・今泉俊文編，東京大学出版会.

高レベル放射性廃棄物地層処分の事業化技術，電力中央研究所・電気事業連合会.

高レベル放射性廃棄物の処分に係る安全規制の基本的考え方について（第1次報告），原子力安全委員会.

高レベル放射性廃棄物処分の概要調査地区選定段階において考慮すべき環境要件について，原子力安全委員会.

日本の第四紀火山カタログ v.1.0 (CD-ROM版)，第四紀火山カタログ委員会編，日本火山学会.

日本の地震断層パラメーター・ハンドブック，鹿島出版会.

日本の海成段丘アトラス，小池一之・町田洋編，東京大学出版会.

日本周辺海域の中新世最末期以降の構造発達史，海洋調査技術，海洋調査技術学会.

応用地学ノート，共立出版.

理化学辞典，岩波書店.

新編 日本の活断層一分布図と資料，活断層研究会編，東京大学出版会.

堆積学辞典，堆積学研究会編，朝倉書店.

「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」における処分地選定プロセス及び技術ワーキング・グループの当面の検討の進め方について (案)，総合資源エネルギー調査会原子力部会高レベル放射性廃棄物処分専門委員会技術ワーキング・グループ事務局.

特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針，閣議決定.

わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性一地層処分研究開発第2次取りまとめ一，核燃料サイクル開発機構.

図解リモートセンシング，日本リモートセンシング研究会編，日本測量協会.