

地質環境の長期的隔離性能に係わる 天然事象について (2)

— 火 山 活 動 —

1991年10月

石丸恒存 清水和彦

動力炉・核燃料開発事業団 中部事業所

岐阜県土岐市泉町定林寺園戸959-31
TEL 0572-54-1271 FAX 0572-54-8940

地質環境の長期的隔離性能に係わる天然事象について（2）

－ 火山活動 －

石丸 恒存*・清水 和彦*

要 旨

地質環境の長期的隔離性能を評価する上で、我が国においてとくに考慮すべき天然事象のひとつである火山活動を対象に、(1)火山の分布特性とその時間的变化、(2)火山活動の規模や規則性、(3)将来における火山発生の可能性、を把握することを目的として、文献調査による情報の整理と考察を行った。

その結果、上記(1)(2)に関しては、既存情報の整理によって以下の知見が得られた。

- ・日本列島は5つの島弧（弧状列島）からなっており、火山は各島弧において火山フロントと呼ばれる一線よりも大陸側にだけ分布している。
- ・日本列島における火山活動は、一部の例外を除き、新第三紀（約2500万年前～約200万年前）以降ほぼ同じ場所で起こっている。
- ・火山活動には、活動期と休眠期からなる周期性があり、一般に大規模な噴火ほど周期（休眠期）が長い。

また、上記(3)については、既存情報を用いた検討によって以下の結果が得られた。

- ・日本列島における第四紀（約200万年前以降）の火山の発生頻度は、おおむね数千年に1個程度と考えることができる。
- ・今後の数千年や数万年の間に、現在の火山の周辺地域以外の地域で新たな火山活動が起こるとは考えられない。

Natural phenomena relevant to long-term isolation
performance of geological environments II
— Volcanism —

Kohson ISHIMARU * • Kazuhiko SHIMIZU *

ABSTRACT

The literature survey has been carried out on volcanism as one of the most important natural phenomena relevant to the long-term isolation performance of the geological environment. The survey aims at understanding; (1) distribution of the volcanoes in Japan and its change with time, (2) scale and regularity of the volcanic activities, and (3) possibility of occurrence of new volcanoes in the future.

The following results were obtained for the above (1) and (2) from the literature survey.

- Japan consists of 5 island arcs. Distribution of volcanoes are restricted to the continental side of the volcanic front on each island arc.
- Volcanic activity in Japan has mostly occurred in similar area since the Neogene period (25 m. y. ago to 2 m. y. ago).
- Volcanic activity has periodicity composed of active period and dormant one. Interval of larger-scale eruption tends to be longer than that of smaller-scale one.

For the above item (3), the consideration by the use of the information obtained from this work leads to the following results.

- The frequency in occurrence of volcanoes in Japan is possibly about one per 1000 years in the Quaternary period.
- It is not probable that a new volcano may occur in the present non-volcanic area in Japan within thousands or tens of thousands years.

*Chubu Works, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation

目 次

| | |
|---------------------------|----|
| 1. まえがき | 1 |
| 2. 目標とアプローチ | 2 |
| 3. 日本列島の位置付け | 2 |
| 4. 日本列島における火山活動 | 6 |
| 4.1 概要 | 6 |
| 4.2 火山の分布特性 | 8 |
| 4.3 火山活動域の時間的变化 | 10 |
| 4.4 火山活動の規模 | 12 |
| 4.5 火山活動の規則性 | 14 |
| 5. 火山活動による影響と発生の可能性 | 17 |
| 5.1 火山活動による影響 | 17 |
| 5.2 火山発生の可能性 | 18 |
| 5.2.1 火山の発生頻度 | 18 |
| 5.2.2 火山活動の場の変化 | 21 |
| 6. まとめ | 22 |
| 7. あとがき | 23 |
| 8. 引用文献 | 24 |

1. まえがき

地層処分研究開発の目標である「地層処分の実現可能性を示す」ためには、天然の地質環境が保有する隔離性能（放射性廃棄物に対する封じ込め能力）を適確に評価する必要がある。この隔離性能が保持されるべき期間は、廃棄物中の放射能が十分に減衰するまでの期間、すなわち有限ではあるが極めて長い期間である。その間、自然界には様々な変化や現象の発生が予想され、それによって地質環境は物理的にも化学的にも変化していく。したがって、処分システムの長期安全性を示すためには、将来に起こり得る地質環境の変化を予測し、それが放射性廃棄物に対する隔離性能にどのような影響を及ぼすかを評価する必要がある。

隔離性能に影響を及ぼす可能性のある現象は、IAEA⁽¹⁾ が示しているように、大きく、天然事象、人間活動および廃棄物の埋設による影響の3つのカテゴリーに区分することができる。このうち、本件のテーマである天然事象は広範囲にわたるが、IAEA⁽¹⁾ は、放射性廃棄物の放出に関連する可能性のある天然事象として、以下の項目を挙げている。

- | | | |
|-----------|-------------|---------|
| ・気候変動 | ・断層運動／地震 | ・マグマ活動 |
| ・水理・水文の変化 | ・地球化学的变化 | ・貫入 |
| ・海面変動 | ・流体相互作用 | ・噴火 |
| ・削剝 | ・地下水流動 | ・隕石の落下 |
| ・河川浸食 | ・溶解 | |
| ・氷河浸食 | ・ブラインポケット | ・未検出の特徴 |
| ・洪水 | ・隆起／沈降 | ・断層、破碎帯 |
| ・堆積作用 | ・造山運動による | ・貫入岩脈 |
| ・続成作用 | ・造陸運動による | ・その他 |
| ・ダイアピル作用 | ・アイソスタシーによる | |

事業団においては、上記リストおよび諸外国での研究例を参考に、我が国においてとくに考慮すべき天然事象（当面の研究テーマ）として、以下の項目を抽出して調査を進めている。

- (1) 気候変動／海面変動
- (2) 断層運動／地震
- (3) 隆起／侵食
- (4) 火山活動
- (5) 隕石の落下

小論は、これらのうち、火山活動に関する現在までの調査結果を取りまとめたものである。

2. 目標とアプローチ

本研究の最終目標は、天然事象による地層処分システムへの影響を評価することであるが、評価の対象となる場所や期間をあるていど限定しないと定量的な評価を行うことは難しい。当面は、各天然事象の日本列島における特徴や規則性ならびに地質環境に及ぼす影響を概括的に把握することを目標に調査を行っている。

各天然事象については、多くの専門家が長年にわたって研究してきており、それぞれの分野に知識および情報が蓄積されている。これまでの研究によって各事象が完全に理解されているわけではないが、今後の研究によって、未解明の部分がにわかには説明されて行くとも考えにくい。現段階においては、各事象についてそれぞれの分野で蓄積された情報や知識を整理し、本研究にとって有効な知見を蓄積していくことが重要である。

今回は、我が国においてとくに考慮すべき天然事象のひとつである火山活動について、主として市販の刊行物を対象に文献調査を行い、以下の観点から参考となる知識や情報の整理およびこれに基づく考察を行った。

- (1) 日本列島における火山の分布特性とその時間的変化を把握する。
- (2) 日本列島における火山活動の規模や規則性を把握する。
- (3) 火山活動による地質環境への影響および火山発生の可能性を考察する。

小論では、まず日本列島の地質構造的な位置付け、および日本列島における火山活動の概要について、既存の知見に基づき3章および4.1項で解説した後、4.2～4.5項で上記(1)(2)の観点から行った文献調査の結果をまとめた。さらに、これらの結果に基づき、5章で上記(3)について考察を行った。また、今後の課題等については7章にまとめた。

3. 日本列島の位置付け

我が国の地質環境を大局的に理解するためには、地球的視野から見た日本列島の位置付けをまず理解する必要がある。この章では、日本列島の地質構造的な位置付けについて概説する。

日本列島は中国大陸の縁辺に沿って細長く延びる弧状の列島であり、環太平洋造山帯の一部をなす、世界の中で最も変動の激しい地域のひとつである。実際に、日本列島には多くの火山や活断層が分布しており、地震の発生頻度も高い。また、日本列島は地形的にも極めて起伏の激しい地域であり、国土の約75%を山地（火山および丘陵地を含む）が占める。

地球上には、日本列島以外にも、環太平洋造山帯のほかの地域やアルプス-ヒマラヤ造山帯など、地殻変動や火山活動の激しい地域が存在する。それらの地域は、地球上における現在の変動帯として位置付けられる。このような変動帯の分布やそこで発生する様々な地学現象は、プレートテクトニクス理論⁽²⁾⁽³⁾によって理解することができる。これは、

地球の表層部を構成する地殻と最上部マントルからなる厚さ数10~100kmのリソスフェア（岩圈）が、何枚かのプレート（剛板）に分かれて運動し、このプレート同士の相互作用によって様々な地学現象が引き起こされるという理論である。プレート同士の相対的な運動は、互いに「近づく」、「離れる」及び「ずれる」の3種類に大別できる。現在の変動帯は、このようなプレートの境界部に相当しており、境界部での運動やプレートの種類によって異なった性質を有している。

日本列島の周辺には4つのプレートが接している（図-1）。ユーラシアプレートおよび北米プレートに対してフィリピン海プレートが北西方向に沈み込んでおり、さらに、これら3つのプレートに対して太平洋プレートが西方向に沈み込んでいる。また、日本列島中央部の糸魚川-静岡構造線では北米プレートとユーラシアプレートが衝突し合っていると考えられている⁽⁵⁾。日本列島における現在の火山活動や地殻変動は、このようなプレートの衝突や沈み込みなどの相互作用によって引き起こされていると考えることができる。プレートが沈み込み始める場所は海溝に相当しており、海溝の大陸側にはこれと平行した弧状の列島（島弧）が形成されている（図-2）。日本列島は、構造的に、東北日本弧と西南日本弧に、千島弧・伊豆-小笠原弧・琉球弧の3つの島弧が接合することにより成立していると考えられている⁽⁶⁾。

なお、日本列島はもともと大陸の縁辺部をなしていたものが、約2500万年前から始まった日本海の発生・拡大とともに大陸から切り離されたと考えられている⁽⁷⁾。日本海の拡大が終了したのはおよそ1500万年前で、その頃には日本列島は現在の位置に移動し、これを取りまくプレートの配置（とくに、大陸プレートと海洋プレートの位置関係）もほぼ現在と同様になったと考えられる（図-3 a, b）。ただし、当時の日本列島（の基盤）の形は現在とは大きく異なっており、とくに東北日本の大部分は海面下にあったと考えられている（図-3 b）。日本列島の現在の山地地形は、主として第四紀（約200万年前以降）における急激な隆起によって形成されたとされている⁽⁸⁾。

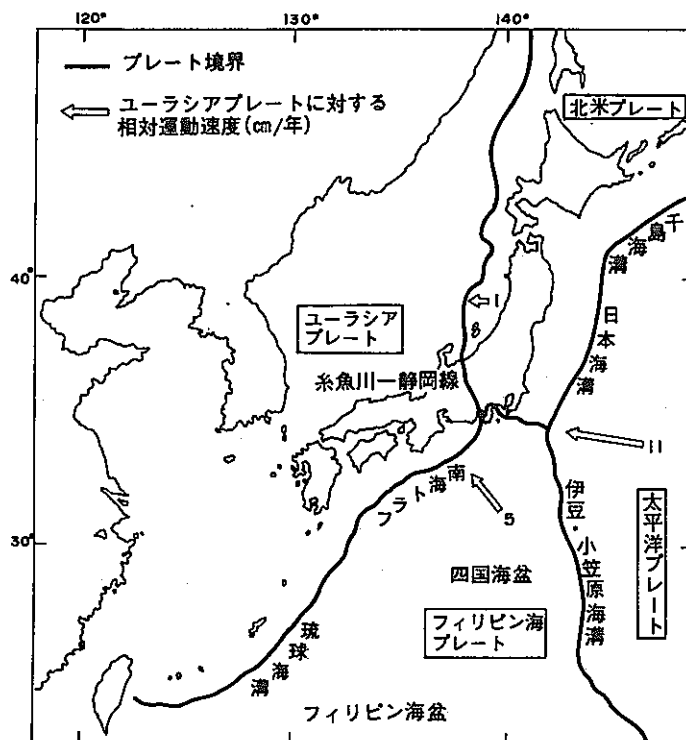


図-1 日本列島周辺のプレート境界
(新妻、1985より)

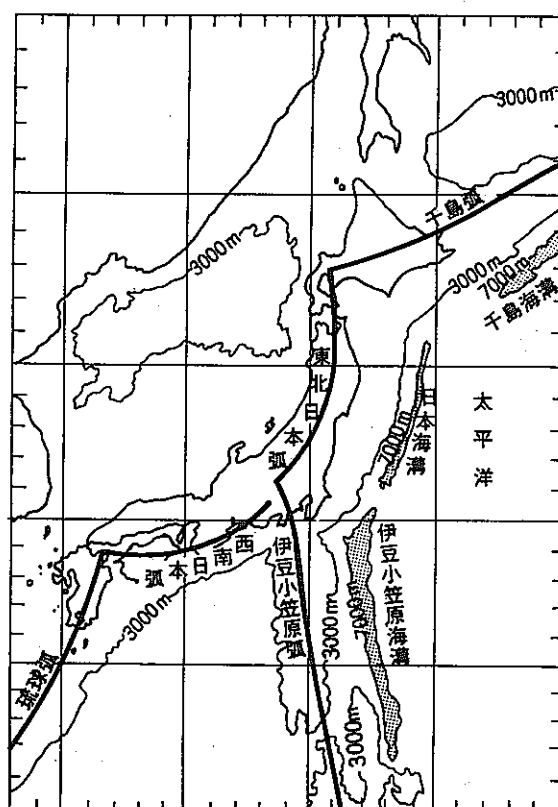


図-2 日本列島における島弧
(上田・杉村、1970を編集)

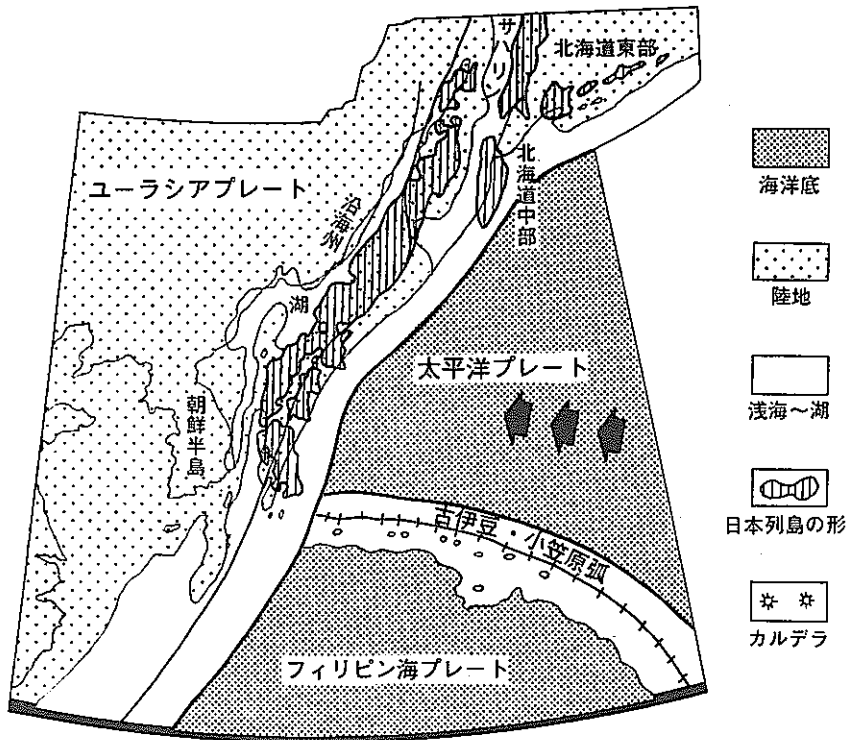


図-3a 約250万年前の日本列島 (平、1990より)
 (アジア大陸が割れ始めて、地溝帯ができ、湖沼群がつけられた)

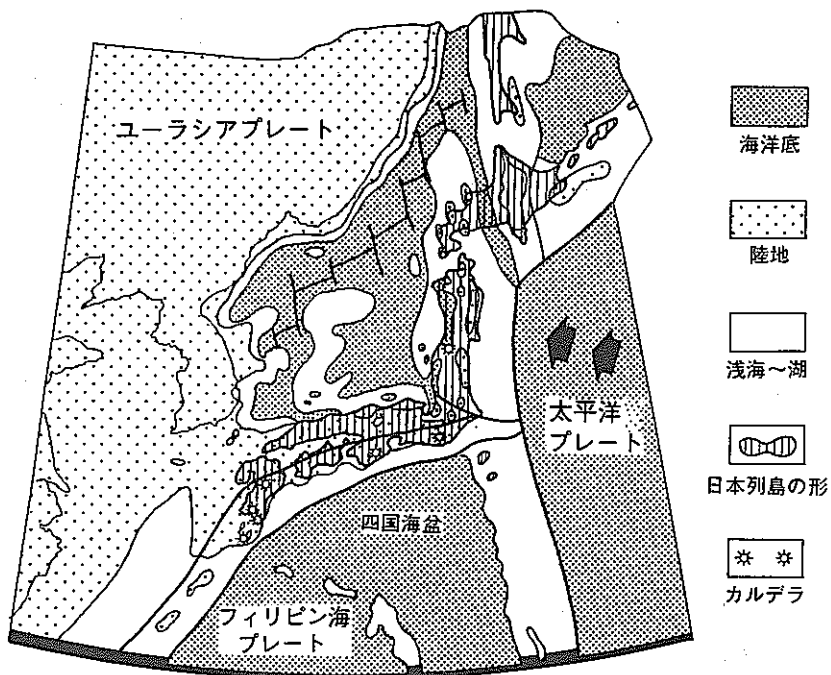


図-3b 約145万年前の日本列島 (平、1990より)
 (日本海の拡大が終了した)

4. 日本列島における火山活動

4. 1 概要

日本列島は、海溝に平行する5つの島弧からなる(図-2)。このような、大陸と大洋の境にあって、海溝と島弧が平行する場所は弧-海溝系と呼ばれる。弧-海溝系は、世界の陸上で最も火山活動の激しい場所であり、すべての地域で火山活動が認められる⁽⁶⁾。

火山活動は、地下数十kmないし100km以上の深部で発生したマグマが地表近くまで上昇することから始まる。マグマは約600°C~1300°Cという高温の珪酸塩の溶融体で水や二酸化炭素などの揮発成分を含んでいる⁽⁹⁾。マグマが地表近くに上昇すれば、浅発性の地震や地盤の隆起が起こり、ついで溶岩や火山灰などが地表に噴出する。これらの一連の現象により、火山が形成される。

形成される火山やその活動は、マグマの性質や規模などによって異なった性質を有する。とくにマグマの粘性は、噴火の様式や火山の形態を決定する重要な要素であり、主にシリカ(SiO₂)や揮発成分の含有量により変化する。一般に、玄武岩質マグマは粘性が低く流動性に富んでいるが、安山岩質~デイサイト質マグマは、玄武岩質マグマよりもシリカ成分を多く含むために粘性が高く流動性に乏しい。日本列島では安山岩の火山が多く、マグマの粘性が高いために噴火の様式は一般に爆発的である⁽¹⁰⁾。

火山には、ただ1回の噴火活動によって生じた単成火山と、休止期をはさんで噴火活動がくり返されることによって生じた複成火山とがある。単成火山の多くは群をなしており、ひとまとまりの単成火山群は、規模や寿命の点でひとつの複成火山に対応するとみなすことができる⁽¹¹⁾。すなわち、マグマがほとんど同じ火道を通して噴出をくり返すことにより形成された、比較的大規模な火山が複成火山であり、一方、1回の噴火ごとに火道を変えることにより形成された、比較的小規模な火山の集まりが単成火山群であるといえる。

日本列島には、現在245の火山(群)が存在し、そのうちの77が活火山(歴史時代に噴火記録のある火山)とされている*。現在、世界の陸上には約800の活火山が存在しているが⁽¹³⁾、その約10%が日本列島(世界の陸地の0.25%弱)に分布していることになる。

火山活動の源となるマグマ発生のメカニズムについては、完全には解明されていないが、プレートの動きに密接に関係していることが知られている。例えば、東北日本における現在の火山の分布は日本海側だけに限られており、太平洋側の火山の分布しない地域と明瞭に一線を画することができる(図-4)。この一線は火山フロントと呼ばれ、太平洋プレートが北米プレートに沈み込んでいる場所と考えられる日本海溝と平行している。すなわち、日本海溝から沈み込んだ太平洋プレートが、ある一定深度に達したところでマグマが発生し、火山活動をひき起こしていると考えられる(図-5)。西南日本では、火山フロントの存在は東北日本ほど明瞭ではないが、火山の分布は中国地方の日本海沿岸から阿蘇山-桜島を結ぶ線よりも大陸側に限られている。西南日本における火山活動は、

* 火山の数は、数え方(例えば、隣接する2つの火山を1群とみなすか、別個のものともみなすかなど)によって異なる。ここでは、『日本の火山』⁽¹²⁾に準じた。

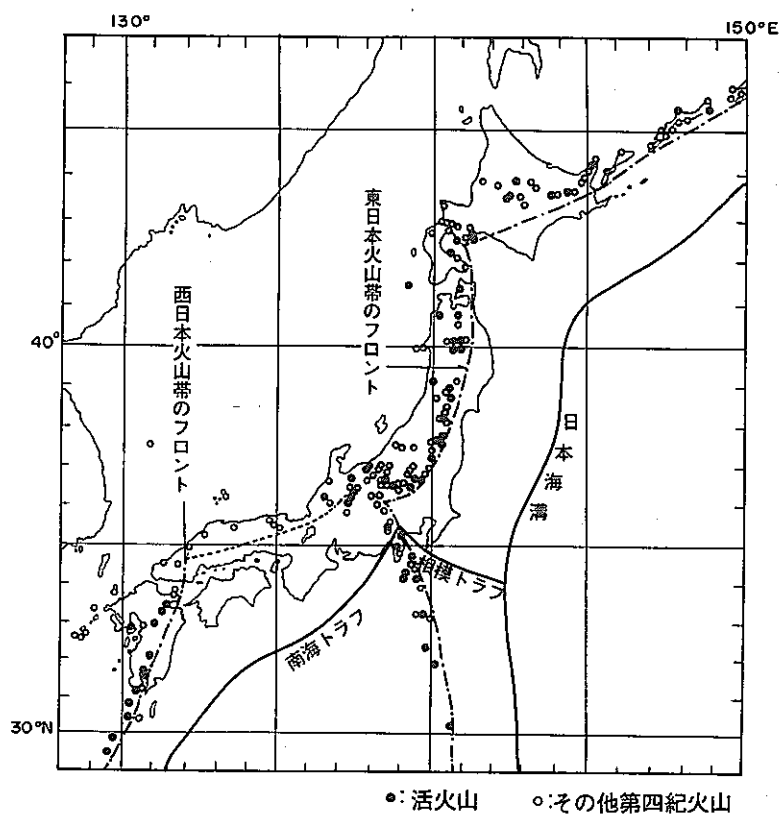


図-4 日本の火山分布と火山フロントおよびプレート境界
(杉村,1978より)

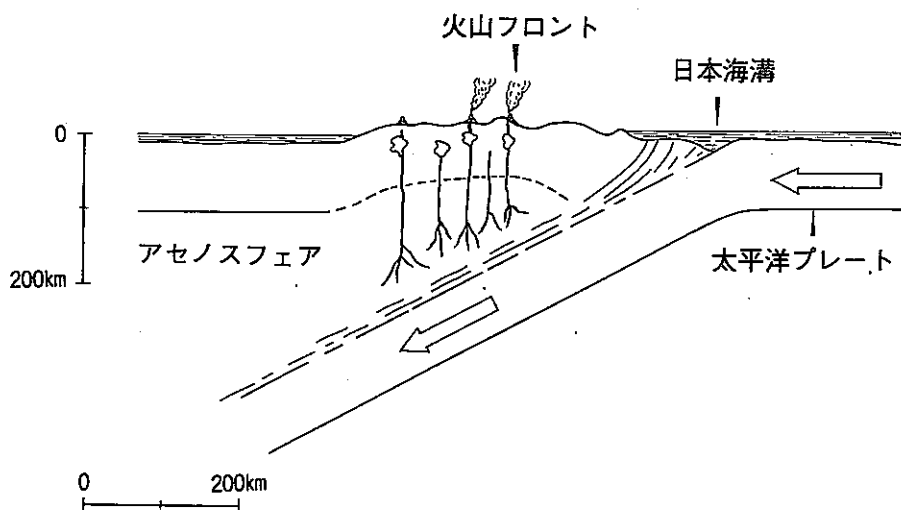


図-5 東北日本弧のモデル断面
(貝塚,1972より)

フィリピン海プレートがユーラシアプレートに沈み込むことによって引き起こされていると考えることができる。

4. 2 火山の分布特性

日本列島に現存する火山は、海溝と平行するいくつかの火山帯をなして帯状に分布している(図-4)。これらの火山帯は、前述の5つの島弧(図-2)に対応しており、それぞれの島弧において海溝に平行する火山フロントよりも大陸側にだけ火山が分布している。火山の分布密度は、一般に火山フロントの近傍で高く、大陸側に行くにしたがって低くなる。火山フロントよりも大陸側の火山の分布する地域は(火山性)内弧、また、火山フロントよりも海溝側の火山の分布しない地域は(非火山性)外弧と呼ばれる⁽⁶⁾。

今回、日本列島を各島弧に対応させて、北海道地区・東日本地区・西日本地区・九州地区の4つの地区に分け、『日本の火山』⁽¹²⁾に基づき、各地区ごとに火山島を除いた火山(群)の数とその分布密度を整理した(表-1)。ただし、伊豆-小笠原弧は東日本地区に含め、東日本地区と西日本地区の境界は、便宜上、敦賀市と静岡市を結ぶ線とした。各地区における火山の分布の特徴は以下のとおりである。

(1)北海道地区は千島弧と東北日本弧の結合部に相当する。火山フロントは雌阿寒岳-樽前山-恵山を結ぶ線である。火山は多数の雁行する火山列をなして分布し、屈斜路湖や支笏湖などカルデラ(火山噴火により形成された凹地形)に生じた湖が火山フロントに沿って点在している。

(2)東日本地区は、東北日本弧に対応する東北日本と伊豆-小笠原弧に対応する中央日本からなり、火山フロントも、恐山-蔵王山-浅間山を結ぶ線と浅間山-富士山-伊豆大島を結ぶ線からなる。東北日本における火山の分布は、島弧における典型的な特徴を示しており、火山フロント近傍で密で、それより大陸側へ行くにしたがって粗くなる傾向が顕著にみられる。この傾向は、第四紀の火山噴出物の分布量に明瞭に表れている⁽¹⁶⁾。一方、中央日本は三つの島弧の結合部に相当し、火山の分布範囲が広く、分布密度も日本列島のなかで最も高い。また、太平洋側にも火山が分布している。

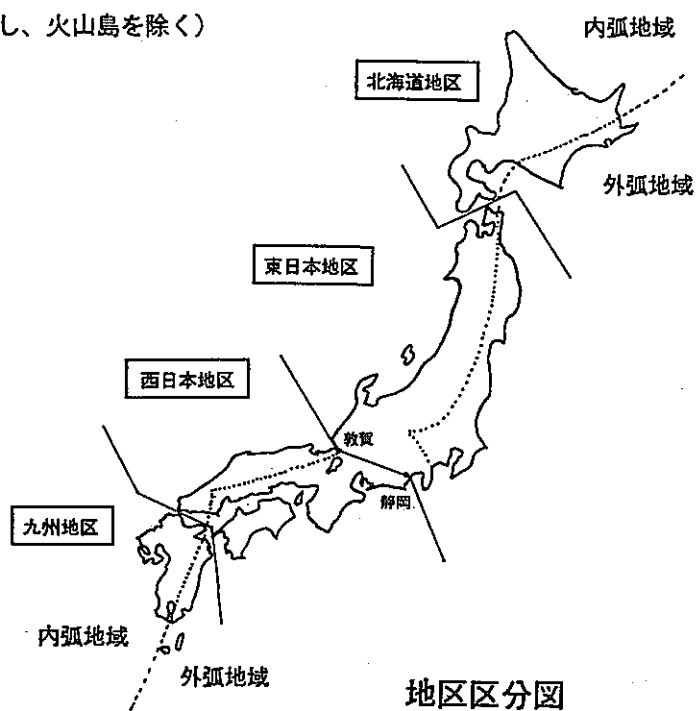
(3)西日本地区では、火山フロントの位置は明瞭でなく、東北日本のような典型的な島弧の特徴は認められない。また、西日本地区には、歴史時代に噴火記録のある火山(活火山)は存在しない。

(4)九州地区は琉球弧の北端部に相当し、火山フロントは九重山-阿蘇山-霧島山-桜島-開聞岳を結ぶ線からなる。九州地区には、現在も活動的な雲仙や阿蘇山、桜島があり、阿蘇や始良など大規模なカルデラが並んでいる。

表-1 日本における火山の分布密度

| 地 区 | 火山(群)数 | 活火山数 | 分布密度 | |
|-------|--------|------|--|------|
| | | | 内弧地域 | 外弧地域 |
| 北海道地区 | 41 | 12 | 6.9×10^{-4} (個/km ²) | 0 |
| 東日本地区 | 108 | 30 | 11.3×10^{-4} | |
| 西日本地区 | 12 | 0 | 4.4×10^{-4} | |
| 九州地区 | 20 | 7 | 7.8×10^{-4} | |
| 計 | 181 | 49 | 8.7×10^{-4} | |

(但し、火山島を除く)



4. 3 火山活動域の時間的变化

現存する火山はすべて第四紀に形成されたもので、それ以前の火山は火山体として地形的に確認することはできない。ただし、火山噴出物の分布と年代から、過去における火山活動域を推定することは可能である。新第三紀（約2500万年前～約200万年前）の火山岩の分布は、『日本の火山』⁽¹²⁾などによって示されており、これを当時の火山活動域と考えることができる。

今回、我が国における火山活動域の時間的变化を把握するため、現在の火山分布と新第三紀の火山岩分布との比較検討を行った（図-6）。新第三紀火山岩の分布については、『日本の火山』のほか、いくつかの文献^{(17) (18)}を参考にした。主な結果は以下のとおりである。

- (1)現存する火山の大部分は、新第三紀火山岩の分布範囲内に存在している。
- (2)現存する火山のうち、新第三紀火山岩の分布範囲外、すなわち新第三紀火山岩以外の基盤の上に形成されているものは、島根県西部の青野山から山口県徳山市に至る青野火山群、北アルプスの焼岳・乗鞍・御岳、加賀の白山および北海道中央部のイルムケップである*。ただし、これらの火山は、新第三紀火山岩の分布範囲から距離にして60～70km程度はずれているが、新第三紀の火山活動域を大局的にとらえた場合には、ほぼその中にあるとみなすことができる。
- (3)新第三紀火山岩の分布は、現在の火山の分布地域（火山フロントの近傍およびその大陸側）に集中しているが、一部、現在の火山分布地域から海溝側に大きく隔たった地域に、新第三紀火山岩の小規模な分布が認められる。
- (4)現在の火山地域から大きく隔たった場所に、新第三紀火山岩が分布しているのは、屋久島から九州東部-足摺岬-屋島-紀伊半島南部-愛知県北東部に至る地域と銚子付近、関東地方北東部、福島県北東部から宮城県南部までの地域である。

なお、現在の火山フロントから海溝側に大きく隔たった場所における新第三紀火山岩の小規模な分布は、1800～1200万年前頃に起こった火山活動によるものと考えられており、その原因については、日本海の拡大や四国海盆の沈み込みと関連づけた解釈がなされている^{(18) (20)}。

以上の比較結果から、我が国における火山活動域の時間的变化について、おおむね次のことがいえる。

* 青野火山群は、古生層と花崗岩質岩の貫入境界の弱線に沿って噴出した約10の単成火山群で、現在は活動していない⁽¹⁹⁾。焼岳・乗鞍・御岳、白山は中・古生層および流紋岩類からなる基盤の上に形成された火山で、焼岳、御岳は現在も活動しており、白山は歴史時代に噴火の記録がある。乗鞍は歴史時代に噴火した記録はない。イルムケップは第三紀の堆積岩からなる基盤の上に形成された火山で、現在は活動していない。

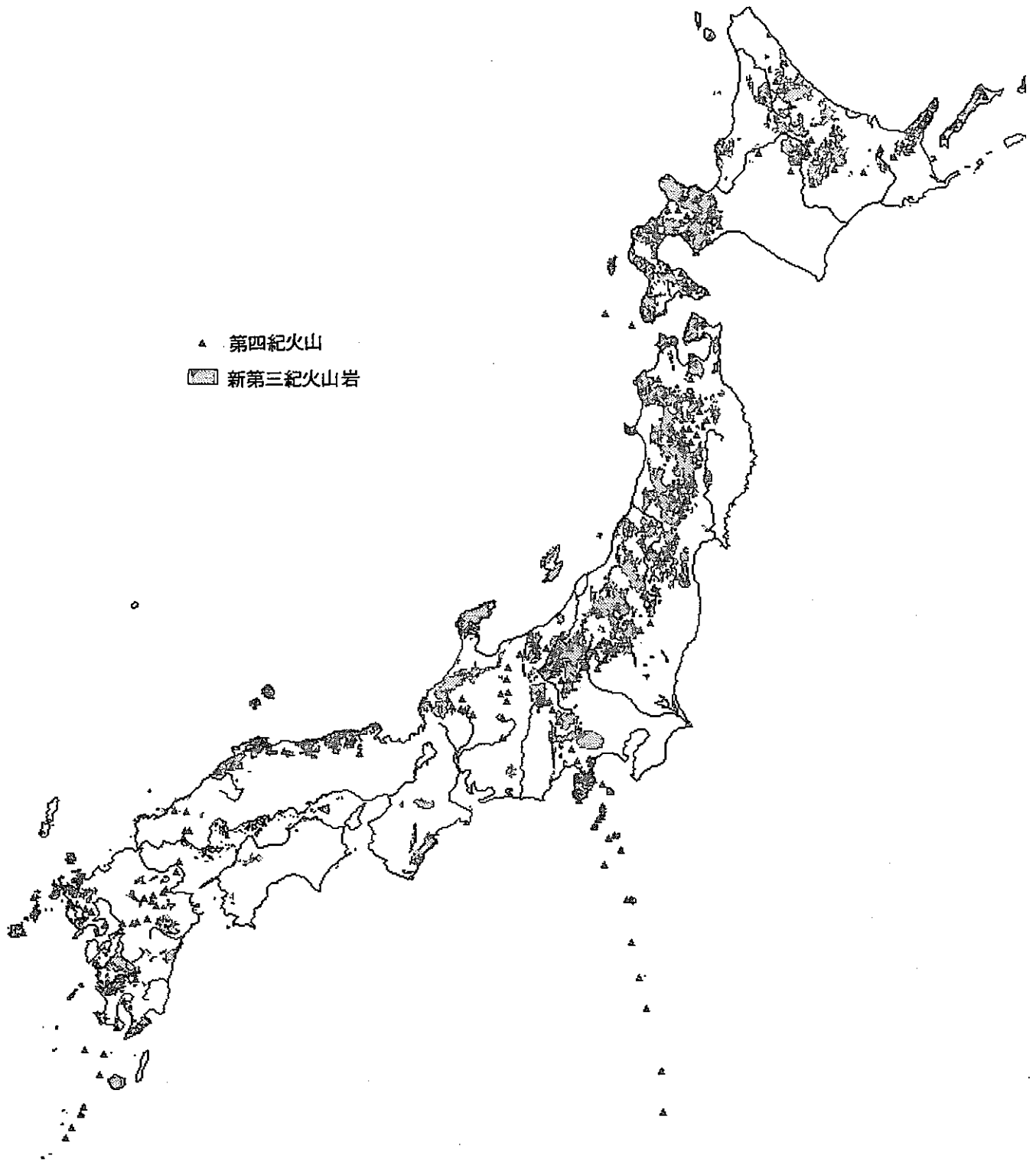


図-6 日本の火山と新第三紀火山岩の分布

(小野、1979、高橋、1989を編集)

- (1)日本列島における主要な火山活動域は、新第三紀以降ほとんど変化していない。
- (2)新第三紀には、現在は火山が存在していない西南日本および東北・関東地方の太平洋側で小規模な火山活動があったが、その活動は1200万年前頃に終了した。

4. 4 火山活動の規模

火山活動とはマグマが地表に噴出する際に生ずる動的作用のことで、噴火、火山灰の噴出、溶岩の流出、火山体の形成、火砕物の堆積のほか、火山性地震、火山性地殻変動などが含まれる⁽²¹⁾。過去における火山の噴火規模やその範囲は、テフラ（火山灰、軽石、スコリアなどの火山噴出物の総称）の性質や分布から推定することができる。

今回、日本列島における火山活動の規模を把握するため、主要な火山体や過去における噴火の規模などに関する情報を整理した。表-2にその結果をまとめた。主要な点は以下のとおりである。

(1)火山の規模

火山の規模については、火山体およびカルデラの大きさに関する情報、ならびにひとつの火山における火口の分布範囲に関する情報を整理した。日本には大型のカルデラを形成している火山がいくつもあり、その規模は直径10~20数kmに達する。カルデラを伴わないものでも、霧島や八ヶ岳など大型の火山体の規模は直径20km以上に及び、火口の分布範囲も10数km四方に及んでいる。日本における火山の最高峰は富士山の3776mで、最も深いカルデラ湖は田沢湖の423mである。

(2)火山噴火の規模

火山噴火の規模については、噴出物である溶岩流、火砕流*、火山灰の到達距離や噴出量に関する情報を整理した。火山噴出物の一般的な到達距離は、溶岩流が火口から数km、火砕流は数十km、火山灰については数百kmから1000km以上に及ぶ。ただし、火砕流については、最大級のものとして、噴出量が200km³以上、到達範囲が100数十kmに及んだ例（阿蘇4火砕流）がある。これは、今世紀最大級といわれる1991年のフィリピン・ピナトゥボ火山の噴火の百倍程度の規模であり、噴出量は八ヶ岳の火山体の大きさ（約240km³）に相当する。

(3)火山性地殻変動

火山性地殻変動に関しては、火山周辺における活断層の分布および火山活動に伴って観測された周辺地域における地盤の隆起・沈降に関する情報を整理した。火山周辺には、

*火砕流

火山の火口から吹き出た数百度の熱風が、火山砕屑物を巻き込み一団となって高速で地表を流下する現象（一種の粉体流）で⁽²²⁾、「熱雲」という学術用語もある。

表-2 主要な火山の規模および火山活動

| 火山名 | 火山の規模 | 火山噴出物の到達距離と総量 | 火山活動に伴う周辺岩盤の変動 | 備考 |
|------------------|---|---|--|---|
| 阿蘇 | 火山体 標高 1592m カルデラ 約18×25km 17個の中央火口丘群 約8×12km内に分布 | 溶岩流 約4km 火砕流(阿蘇4) 約150km(総量約200km ³ 以上) 火山灰(阿蘇4) 約1700km | カルデラの北方(約10kmの範囲)に活断層が多数分布 | 最近約15万年の間に3回の巨大噴火 阿蘇4火砕流は約7万年前の世界最大級の噴火による |
| 始良 | 火山体(桜島) 標高 1117m 約9.5×12.2km カルデラ 約23×24km 面積 約429km ² | 溶岩流 約5km 火砕流(入戸) 約70km(総量200~300km ³) 火山灰(始良Tn) 約1200km | カルデラの周囲約15kmの範囲に活断層 1914年の噴火に伴う地盤の沈降 ⁽²³⁾ ・中心点(鹿児島湾内)で1.5m ・中心点から35km地点で10cm | 入戸火砕流は約2.2万年前の世界最大級の噴火による 1914年の噴火は日本での今世紀最大の噴火(噴出物の総量は約2.0km ³) |
| 十和田 | カルデラ(十和田湖) 約10×10km 面積 59.8km ² 最大深度 326.8m | <約13万年前の噴火> 火砕流 約40km(総量20km ³) 火山灰 50km離れた八戸で130cm堆積 | カルデラ湖の周辺に延長5kmの活断層が2本分布 | 十和田湖は日本のカルデラ湖の中で田沢湖(423.4m)、支笏湖(360.1m)に次いで3番目に深い |
| 洞爺 | 火山体(有珠山) 標高 737m 10個の溶岩円頂丘 約5×6km内に分布 カルデラ(洞爺湖) 約10×10km 面積 69.4km ² 最大深度 179.7m | <約10万年前の大噴火> 火砕流 (総量約150km ³) | 有珠山周辺5kmに活断層分布 昭和新山の形成 ⁽²⁴⁾ ・1943~1945年の間に最大約300mの隆起 | |
| 屈斜路 | 火山体(アサトヌプリ) 標高 584m 約5×5km カルデラ(屈斜路湖) 約20×26km 面積 79.7km ² 最大深度 117.5m | | アサトヌプリの西方5kmに延長2kmの活断層が2本分布 | |
| 富士山 | 火山体 標高 3776m 約24×24km | 溶岩流 約10km 噴出物の堆積 東山麓で約1.3万年間に30m | | 過去数万年の間にひんぱんに噴火 火山体中に約80の側火山が分布 |
| 八ヶ岳 | 火山体 標高 2899m 約20×13km(体積240km ³) 20以上の火山群 約20kmにわたってが配列 | | 火山列中に延長5kmの活断層が1本分布 | |
| 霧島 | 火山体 標高 1700m 約30×20km 約20個の火口 14km四方に分布 | | 火山体中に延長5kmの活断層が1本分布 | |
| 雲仙 | 火山体 標高 1359m 約16×15km | <1991年の噴火>(8月現在) 火砕流 5.5km(総量0.01km ³ 以下) | 東西系の多数の正断層の発達 | 構造性の地溝帯中に火山が分布 |
| ピナトッポ (フィリピン) | 火山体 標高 1745m | <1991年の噴火> 火砕流 15km(総量2km ³) 火山灰 約150km | | 1991年の噴火は今世紀最大級 |
| タンボラ (インドネシア) | 火山体 標高 2851m | <1815年の1回の噴火> 噴出物の総量 150~170km ³ 火山灰 1000km以上 | | 1815年の噴火は歴史上最大の噴火 ・7×6kmのカルデラ形成 |
| トバ (インドネシア) | カルデラ(トバ湖) | <7.5万年前の大噴火> 噴出物の総量 2000km ³ 以下 | | 7.5万年前の噴火は世界最大 |

(主な参考文献)

荒牧重雄 他編(1989): 空からみる日本の火山, 理科年表読本, 丸善
 国立天文台 編(1990): 理科年表, 丸善
 活断層研究会 編(1989): 「新編」日本の活断層, 東京大学出版会

活断層と推定されるリニアメントが火山を取り囲むように集中している場合がある。これらは火山活動に伴って発生したと考えられる。阿蘇カルデラや始良カルデラ周辺では、そのようなリニアメントが数多くみられ、その分布範囲はカルデラの周辺15km程度に及んでいる（カルデラの直径は20～25km）。また、始良カルデラでは、約200年前の火山活動による海底の隆起により形成された桜島新島において、最大30mの上下変位を伴う断層が形成されているのが確認されている⁽²⁵⁾。

火山活動に伴う地盤の沈降としては、1914年の桜島の噴火（今世紀日本最大規模）の前後での観測によって、中心部で1.5m、周辺部（中心から35km）で10cmの沈降が確認された記録がある⁽²³⁾。また、地盤の隆起に関しては、1943～45年に昭和山（高さ約300m、直径約1kmの溶岩ドーム）が形成された記録がある⁽²⁴⁾。

なお、火山活動による地形の変化という観点からは、現存する火山体やカルデラの規模を、長期的な変化の累積結果とみなすことができる。現存する火山の中には、火山体の高さが3000mに達するものやカルデラの深さが400mに及ぶものがある。また、それらの水平規模は最大級のものでは直径20kmに及んでいる。

4. 5 火山活動の規則性

火山活動の時間的な変化については、火山噴出物の量や年代を調べることによって、あるていど推定することが可能である。今回、日本列島における火山の寿命や活動の規則性や特徴を把握するという観点から、主としてテフラに関する研究例を調査し、参考となる情報の整理を行った。その結果、これまでの研究によって以下の知見が得られていることがわかった。

(1)火山の寿命は、単成火山が1回の噴火に相当する期間で長くて数十年程度であるのに対し、複成火山や単成火山群としての寿命は数千年から数十万年に及ぶ⁽²⁶⁾⁽²⁷⁾。

(2)火山活動には、活動期と休眠期からなる周期性があり、一般に大規模な噴火を起こす火山ほど活動の周期（休眠期）が長い。

上記の知見に関連する主な情報として、以下のような研究例がある。

(1)図-7は、広域テフラの研究によって得られた代表的な火山の最大噴火の規模と噴火周期との関係を示したものである⁽²⁸⁾。本図から、噴出物量が10km³以上の巨大噴火を起こしたことがある火山の噴火周期は大部分が1万年のオーダーで、噴火規模が小さくなるにしたがって周期が短くなることがわかる。

(2)図-8は、第四紀後期（過去13万年間）における主要な火山の噴火の歴史をまとめたものである⁽²⁸⁾。本図から、大規模な噴火を起こす火山の活動は、数万年から10万年以上前にさかのぼれることがわかる。また、大規模な噴火ほど間隔が長い傾向が認められること、および大規模な噴火の間により小規模な噴火をくり返す火山が多いことがわかる。

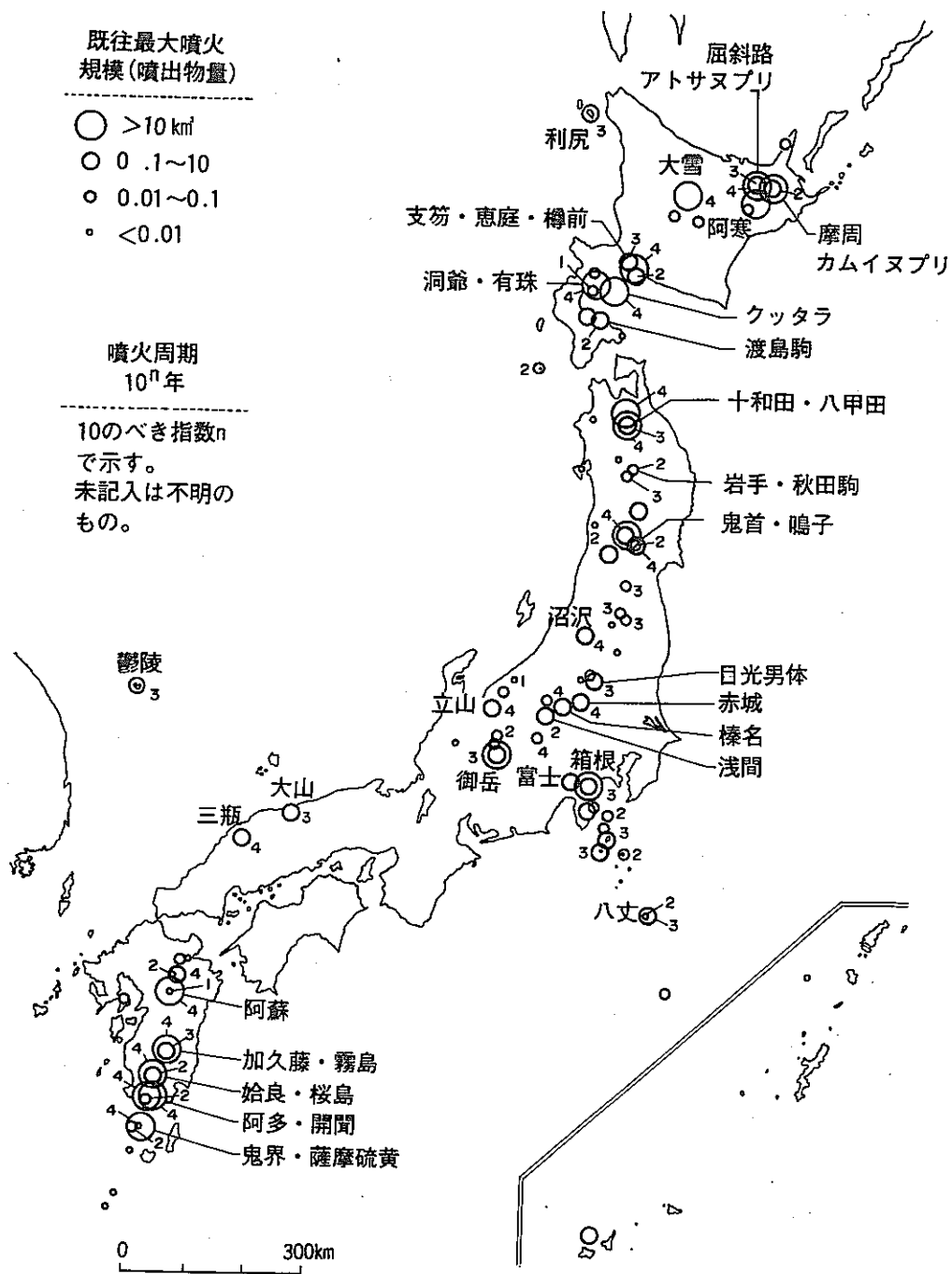


図-7 日本の火山の噴火規模・頻度
(第四紀テフロクロノロジーからの推定)

(町田、1987より)

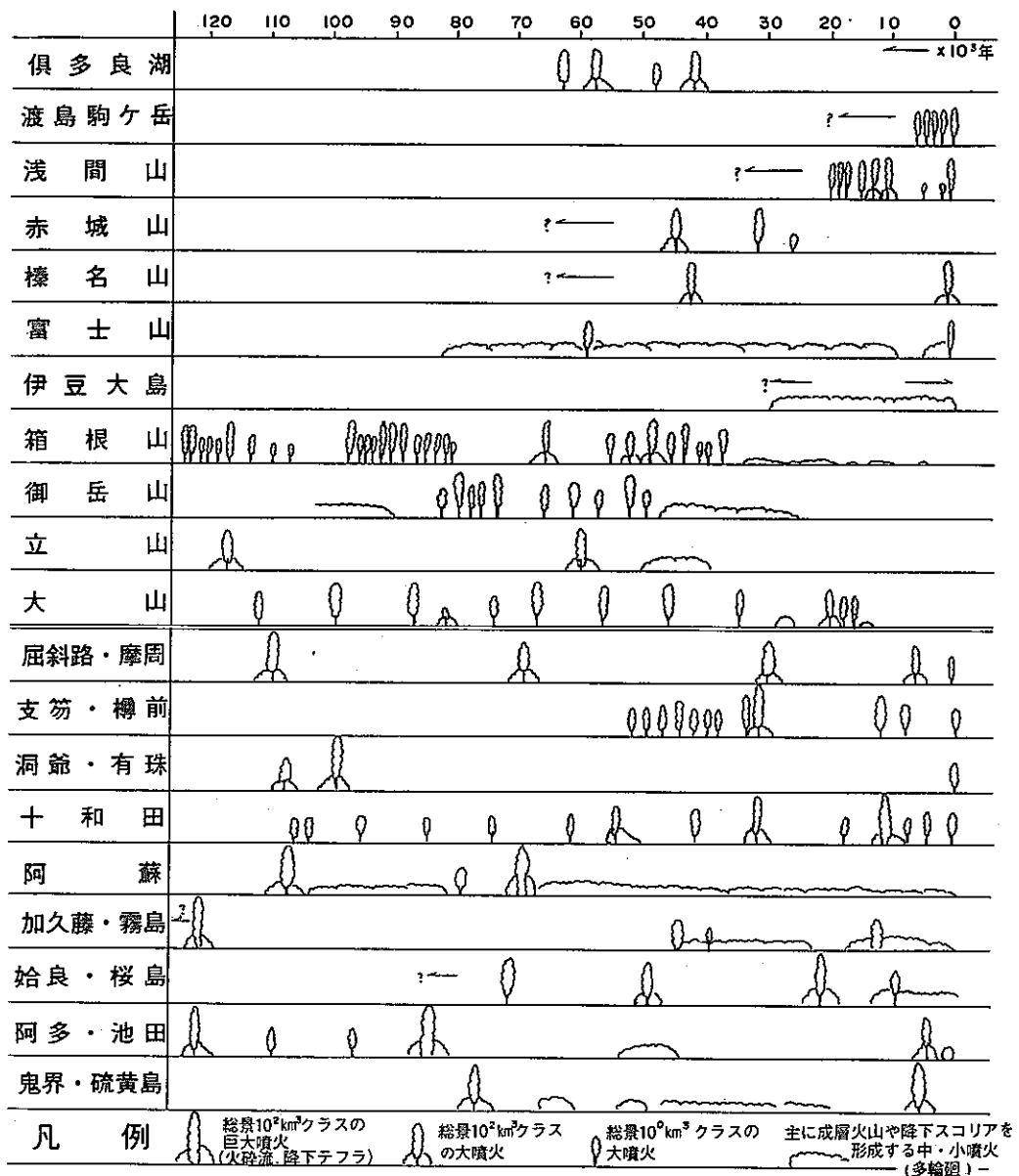


図-8 後期第四紀(過去12.5万年間)における噴火の歴史

(町田、1987より)

5. 火山活動による影響と発生の可能性

5. 1 火山活動による影響

火山活動の規模については前章で述べたが、ここではこれに基づき、火山活動が地質環境に及ぼす影響と範囲について考察する。火山活動による地質環境への影響としては、以下によるものが想定される。

- (1) マグマの噴出
- (2) マグマの貫入
- (3) 火山噴出物
- (4) 火山性の地殻変動

(1) マグマの噴出

マグマが地表に噴出すれば、マグマの通り道（火道）となった部分やその周辺の岩盤は破壊され、場合によっては地表に放出される。ひとつの火口の大きさはせいぜい直径2 km程度であるが、火道はこれよりも小さいと考えられる。ただし、火山（群）は、そのほとんどが複数の火口を持っており、時間とともに噴火する位置が変化することが多い。火口の分布範囲は、大規模なものでは10数km四方に及んでいる（4. 4）。したがって、火山の中心から10km程度の範囲では、マグマが噴出する可能性があると考えなければならない。

(2) マグマの貫入

火口周辺の地下深部ではマグマの貫入が想定される。マグマは一般に板状に貫入する場合が多く、その貫入面の方向は、貫入時期の水平最大圧縮応力と原理的には同じ方向になることが知られている⁽²⁹⁾。マグマが貫入をくり返す期間は、火山の寿命とほぼ同じと考えられている⁽²⁹⁾。マグマの貫入によって、地質環境は直接的な影響（熱の影響、力学的な影響）を受けると考えられるが、マグマ貫入の範囲やその影響の程度について、現時点の知見から考察することは難しい。

(3) 火山噴出物

溶岩流や火砕流、火山灰などの火山噴出物が及ぶ範囲は、一般に溶岩流や火砕流で数km～数十km、火山灰では数百km～1000km以上であるが、その影響は地表部に限られ、地下深部の地質環境に大きな影響を及ぼすとは考えにくい。火山噴出物が厚く堆積した場合には、圧密荷重の増加や表層水理の変化によって、地下深部の地質環境にも多少の変化を与える可能性はあるが、廃棄物に対する隔離性能に重要な影響を及ぼすとは考えられない。

(4) 火山性の地殻変動

火山性の地殻変動としては、火山周辺で起こる地盤の隆起・沈降、および地震・断層の発生が挙げられる。火口付近では、マグマの押し上げによるドームの形成や陥没によるカ

ルデラの形成など、大規模な岩盤形状の変化が起こる可能性がある。このような変動が起こった場合には、岩盤としての安定性が大きく損なわれると考えられる。その範囲を火山体やカルデラの大きさと考えれば、最大級のもの直径20km程度に及ぶ。また、火山周辺の岩盤中では、火山性の地震・断層によって破断面や割れ目が発生し、これによって地下深部の水理状況も変化すると考えられる。火山性と考えられる活断層の分布は、広いものでは直径40km程度の範囲に及んでいる。

火山活動による地質環境の隔離性能への影響は、火山の中心部で大きく、周辺部に行くにしたがって小さくなるが、その範囲は、火山ごと、また同じ火山であっても活動ごとに異なっている。図-9に、我が国において把握された過去における最大級の火山活動による影響範囲をまとめた。

5. 2 火山発生の可能性

上述のように火山活動が起こった場合には、とくにその中心部では、地質環境は非常に大きな影響を受ける。したがって、地質環境の隔離性能を確保するためには、火山活動（とくに噴火）が起こる場所を避けることが前提条件となる。現存する火山については、その分布が完全に把握されているため、その場所を避けることは容易である。問題は、新たな火山の発生による影響を避けることができるかどうかである。

この問題を検討するため、日本列島における火山の発生頻度および火山活動の場の変化について、以下に考察する。

5. 2. 1 火山の発生頻度

火山活動に関する将来予測としては、防災の観点から噴火予知などの研究が進められているが、新たな火山の発生を考慮した長期的な将来予測についての研究例は皆無に等しい。ここでは、日本列島における新たな火山発生の可能性を検討するため、第四紀の日本列島における火山の発生頻度について、前章までに得られた知見を用いて独自の試算を行う。ある特定地域における火山の発生頻度をIとすれば、以下の関係が成り立つ。

$$I = \frac{N}{T}$$

I : 発生頻度 (個/年)
N : ある期間中に形成された火山数 (個)
T : ある期間 (年)

現在、日本列島に存在する火山の数は約 200 (火山島を除く) で、そのすべてが第四紀 (200万年前以降) に形成されたとされている。ここで、Nを 200個、Tを 200万年とすれば、発生頻度 (I) として、「1万年に1個」という結果が得られる。ただし、現存す

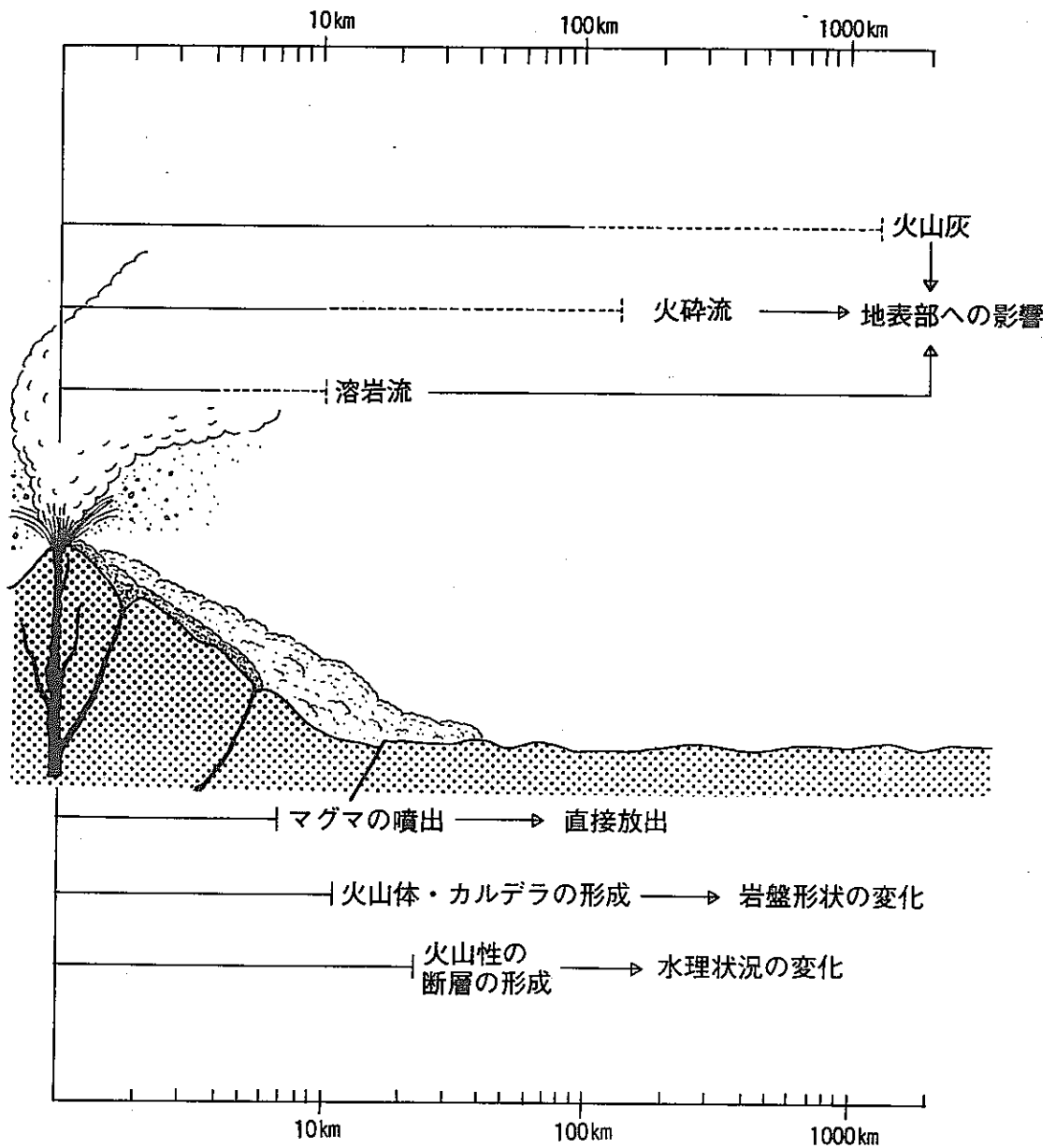


図-9 火山活動による影響範囲

る火山は、現在まで火山体として残っている火山であり、第四紀に形成された火山数の最小値とみなす必要がある。一方、第四紀全体の長さは、形成期間としての最大値である。したがって、この試算結果は過少評価である可能性が大きい。すなわち、第四紀の日本列島における火山の発生頻度は、「1万年に1個」よりも大きいと考えられる。

次に、火山の寿命と現在生きている火山の関係から、火山の発生頻度について試算を試みる。これらの間には、以下の関係が成り立つ。

$$I = \frac{V}{L}$$

I : 発生頻度 (個/年)
V : 生きている火山数 (個)
L : 火山の寿命 (年)

ここで、生きている火山としては現在の活火山が挙げられる。ただし、火山によっては噴火周期が非常に長いものもある(4. 5)ことを考慮すると、現在、死火山や休火山とされている火山でも完全に活動を停止したとは断定できない。すなわち、「現在の活火山数」 < 「生きている火山数」 < 「現在の火山数」という関係が考えられる。ここでは、大まかな数字として生きている火山数を100と仮定する。一方、火山の寿命については、前述(4. 5)のように、数千年～数十万年(複成火山の場合)とされており、火山によって相当の差がある。そこで、仮に1万年～10万年として試算を行ってみる。生きている火山数(V)を100とし、火山の寿命(L)を1万年～10万年とすると、発生頻度(I)は、「100年～1,000年」に1個となる。これは、歴史時代に数個～数十個の火山が新たに発生したことを意味しており、以下の事実と照らせば過大評価と考えられる。

- (1)歴史時代に新たな火山*が発生した記録がない。
- (2)現存する火山の活動年代に関する研究においても、最近数千年以内に発生した火山は知られていない。

以上の試算結果およびその評価から、日本列島における火山の発生頻度は、「1万年に1個」よりも大きく、「100年～1,000年に1個」よりも小さい、といえる。すなわち、日本列島における火山の発生頻度は、おおむね「数千年に1個程度」と考えることができる。

* 歴史時代には、昭和新山をはじめとする溶岩円頂丘などが形成された記録があるが、いずれも既存の火山の周辺(既存の火口から2、3kmの範囲内)に生じたものである。すなわち、既存の火山群に含まれるもので、新たな火山として追加すべきものではなかった。実際に、昭和新山は有珠火山の側火山、さらに有珠火山は洞爺火山群のひとつとされている。

5. 2. 2 火山活動の場の変化

前項の議論から、長期的将来については、日本列島に新たな火山が発生する可能性は無視できないといえる。ここでは、新たな火山が発生する場所を予測するという観点から、日本列島における火山活動の場の変化について考察する。

日本列島における火山活動の場については、以下のことが知られている。

- (1)日本列島における現在の火山の分布は、プレートの配置に規制された火山フロントよりも大陸側だけに限られている(4. 1, 2)。
- (2)新第三紀における主要な火山活動域は、現在の火山分布地域とほぼ一致している(4. 3)。
- (3)約1800万年前～約1200万年前に、現在では火山活動の見られない東北～関東の太平洋側および西南日本の太平洋側で火山活動が起こった。その原因については、日本海の拡大や四国海盆の沈み込みの開始に関連づけた解釈がなされている(4. 3)。
- (4)日本列島は、約2500万年前～約1500万年前に起こった日本海の発生・拡大とともに、大陸から切り離されて現在の位置に移動した(3)。

これらのことから、日本列島の移動(日本海の拡大)が完了する前後に、太平洋側で特異的な火山活動があったが、これを例外とすれば、日本列島における火山活動は、日本列島が現在の位置に移動してから、ほぼ同じ場所だけで起こっているといえる。また、特異的な火山活動を考慮しても、約1200万年前以降、日本列島における火山活動の場はほとんど変化していないといえる。

問題は、火山活動の場がこれまでと同様であることを、どのくらいの将来についてまで示せるかである。この点について現時点で定量的に考察することは難しいが、火山活動の場が変化する可能性としては以下のプロセスが想定される。

- (1)日本列島の形を大きく変えるような大スケールでの地質構造的な変化が起こって、日本列島における火山活動の場が大きく変化する。
- (2)日本列島の周辺において、何らかの地質構造的な変化が生じ、現在の火山活動域とは別の場所で特異的な火山活動が起こる。
- (3)火山活動の場を規制する条件、例えばプレート境界が少しずつ移動し、これに伴い火山活動域が少しずつ移動する。

*プレート境界の転移

プレート境界については、単純な移動だけでなく、不連続的に変化(転移)することがあるとされており、最近では北米プレートとユーラシアプレートの境界が、北海道中軸部から現在の位置に転移したと考えられている。ただし、プレート境界の転移は、もとのプレート境界の運動が収束するにしたがって、新しいプレート境界の運動が活発化していくという過程をへて起こると考えられ、北米プレートとユーラシアプレートの境界の転移も100万年以上の期間を要したとされている⁽⁹⁰⁾。

(1)、(2)を厳密に区別することは難しいが、例えば、2500万年前～1500万年前に起こった日本海の拡大（日本列島の移動）は(1)に、1800万年前頃に起こった四国海盆の沈み込みの開始や約50万年前に完了したプレート境界の転移* は(2)に相当する出来事と考えることができる。このような変化は、100万年～1000万年の期間を要した変化であり、同様のことが、少なくとも今後数千年や数万年の間に起こるとは考えにくい。一方、(3)についても、プレート境界の移動といった現象は非常に緩慢であり、かつ、場（日本列島）とともに移動するため、数千年や数万年の間に火山活動の場を大きく変化させるとは考えられない。

6. まとめ

日本列島における火山活動に関して、今回の調査で得られた知見および考察結果のうち、地質環境の長期的隔離性能を評価する上で重要と考えられるものを以下にまとめる。

(1)火山の分布特性とその時間的变化に関する知見

- ・日本列島における火山の分布は、火山フロントと呼ばれる海溝にほぼ平行な線より大陸側（内弧）だけに限られている。
- ・日本列島の内弧における火山の平均分布密度は、 8.7×10^{-4} 個/km²である。地域別では、東北日本における分布密度が、ほかの地域に比べ2倍程度高い。
- ・日本列島における主要な火山活動は、新第三紀（約2500万年前～約200万年前）以降、ほぼ同じ場所で起こっている。
- ・約1800～1200万年前に、現在は火山が分布していない関東から東北の太平洋側および西南日本の太平洋側で、小規模な火山活動が起こった。

(2)火山活動の規模と規則性に関する知見

- ・大規模な火山体やカルデラの規模は直径20kmに及ぶ。また、ひとつの火山（群）における火口の分布範囲は、大規模なものでは10数km四方にわたる。
- ・火山活動には、活動期と休眠期からなる周期性があり、一般に大規模な噴火ほど周期（休眠期）が長い。
- ・複成火山や単成火山群の寿命は、長いものでは数十万年に及ぶ。

(3)火山活動による地質環境への影響と火山発生の可能性に関する考察結果

- ・火山の周辺数十kmの範囲では、マグマの噴出や火山性の地殻変動など、地質環境に大きな影響を及ぼす現象が発生する可能性がある。
- ・火山の発生頻度について、現存する火山の個数、形成年代、寿命に関する情報を用いて試算を行なった。この試算によれば、第四紀の日本列島における火山の発生頻度は、おおむね数千年に1個程度と考えることができる。
- ・火山活動の場の変化について、日本列島における火山活動域の時代的变化とその要因に基づいて検討を行った。それによると、今後数千年や数万年の間に、現在の火山の周辺地域以外で新たな火山活動が起こる可能性は非常に小さいと考えられる。

7. あとがき

小論では、我が国における火山の分布特性や火山活動の規模、規則性を把握するという観点から、既存の知識や情報を整理し、これに基づき、火山活動の影響と火山発生の可能性について考察を行った。

地質環境への影響という点で、最も重要な火山活動はマグマの噴出である。処分場の下方からマグマが噴出すれば、埋設された放射性廃棄物が地表に直接放出される可能性がある。火山(群)は、一般に複数の火口を持ち、時間とともに噴火の位置が変わる。地質環境の長期隔離性能を確保するためには、そのような噴火の起こりそうな場所すなわち火山地域を避ける必要がある。したがって、火山活動に関しては、火山地域で起こる活動の中身や影響を細かく追求することよりも、将来における火山地域をいかに避け、かつそのことをいかに保証するかが研究の主眼となる。

小論では、日本列島における火山活動の場が、1千万年以上もの間ほとんど変化していないと考えられることを示した。同様のことがどの程度の将来までいえるかについては、地球科学専門家の評価を受けたうえで、最終的には国民の判断に委ねるべきと考える。そのような判断の材料となる科学的な知見を、可能な限り整備していくことが、本研究の今後の課題である。それは、「過去の変化の把握が妥当であること」および「過去の変化によって将来を予測することが妥当であること」を示すことと言える。

このような観点から、今後は以下の点に重点を置いて研究を進める。

- (1)日本列島における火山活動域の時間的变化をさらに詳しく調べる。とくに、現存する火山の活動史および新第三紀に太平洋側で起こった特異的な火山活動の分布の把握に重点を置く。
- (2)日本列島における火山活動のメカニズムおよび規制要因をより詳しく調べる。とくに、上記(1)の新第三紀に起こった特異的な火山活動の原因を追求する。
- (3)現在の非火山地域に存在する温泉や地熱地域の分布およびその熱源を調べ、火山活動との関係を明らかにする。
- (4)火山の発生の可能性と発生した場合の地質環境への影響をより定量的に示す。

8. 引用文献

- (1) International Atomic Energy Agency (IAEA) (1985) : Performance Assessment for Underground Radioactive Waste Disposal System, Safety Series No.68, p1-37
- (2) LePichon, X., Francheteau, J. and Bonnin, J. (1973) : Plate Tectonics, Elsevier, p1-300
- (3) 上田誠也 (1971) : 新しい地球観, 岩波新書, p1-197,
- (4) 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, Vol.55, p53-61
- (5) 小林洋二 (1983) : プレート”沈み込み”の始まり, 月刊地球, Vol.5, No.9, p511-514
- (6) 上田誠也・杉村 新 (1970) : 弧状列島, 現代科学選書, p1-156
- (7) 平 朝彦 (1990) : 日本列島の形成, 岩波新書, p1-226
- (8) 藤田和夫 (1983) : 日本の山地形成論, 蒼樹書房, p1-446
- (9) 久城育夫 (1978) : マグマと火成岩, 岩波講座地球科学3, 「地球の物質科学Ⅱ—火成岩とその生成」 (久城育夫・荒牧重雄編), 岩波書店, p1-12
- (10) 勝井義雄 (1978) : 火山とその活動, アーバンクボタ, No.15, 久保田鉄工 (株), p2-3
- (11) 荒牧重雄 (1979) : 火山の構造, 岩波講座地球科学7, 「火山」 (横山 泉・荒巻重雄・中村一明編), 岩波書店, p157-194
- (12) 小野晃司・曾屋龍典・三村弘二 (1989) : 『日本の火山』第2版, 地質調査所
- (13) 勝井義雄・中村一明 (1979) : 火山の分布, 岩波講座地球科学7, 「火山」 (横山 泉・荒巻重雄・中村一明編), 岩波書店, p195-213
- (14) 杉村 新 (1978) : 島弧の大地形・火山・地震, 岩波講座地球科学10, 「変動する地球Ⅰ 現在および第四紀」 (笠原慶一・杉村 新編), 岩波書店, p159-181
- (15) 貝塚爽平 (1972) : 島弧系の大地形とプレートテクトニクス, 科学, Vol.42, No.10, p573-581
- (16) Sugimura, A., Matsuda, T., Chinzei, K. and Nakamura, K. (1963) : Quantitative disribation of late Cenozoic volcanic materialls in Japan, Bull. volc., Vol.2, No.26, p125-140
- (17) 高橋正樹 (1986) : 日本海拡大前後の”島弧” マグマ活動, 科学, Vol.56, p103-111
- (18) 高橋正樹 (1989) : マグマ活動からみたフォッサマグナ地域の18~12Ma期のテクトニクス, 月刊地球, Vol.11, No.9, p544-551
- (19) 倉沢 一 (1981) : 青野火山群, 「地学事典増補改訂版」, 平凡社, p6
- (20) 巽 好幸 (1991) : 日本海背弧海盆vs. 東アフリカ地溝帯—アセノスフェアの上昇とリフトの形成—, 地質ニュース, No.438, p6-12
- (21) 荒牧重雄 (1981) : 火山活動, 「地学事典増補改訂版」, 平凡社, p188
- (22) 荒牧重雄・小野晃司 (1981) : 火砕流, 「地学事典増補改訂版」, 平凡社, p187
- (23) Omori, F. (1916) : Bull. Imp. Earthq. Inv. Com., Vol.8

- (24)三松正夫 (1970) : 昭和新山, 講談社, p1-268
- (25)活断層研究会 編(1991) : 「新編」日本の活断層, 東大出版会, p1-437
- (26)中村一明 (1974) : 火山配列とその機構, 地団研専報, No.18, p75-81
- (27)荒牧重雄 (監) (1989) :火山の体積と年齢, 理科年表 (国立天文台編), 丸善, p758
- (28)町田 洋 (1987) : 火山の爆発的活動史と将来予測「百年・千年・万年後の日本と自然と人類」 (日本第四紀学会編), 古今書院, p104-135
- (29)Nakamura, K. (1977) : J. Volcanol. Geotherm. Res., Vol.2, No.1
- (30)瀬野徹三 (1987) : 日本付近の新プレート境界と50万年前の変動, 科学, Vol.57, p84-93

— 技術レポートリスト —

- TR/GE 89-01 清水和彦：地質環境データベースシステムの開発研究（基本設計），
PNC TN7410 89-029
- TR/GE 89-02 仙波毅・尾方伸久・坪田浩二：ボアホールレーダの我が国における花
崗岩岩盤への適用試験，PNC TN7410 90-003
- TR/GE 89-03 武田精悦（訳）：国際ストリパプロジェクト，PNC TN7410 90-004
- TR/GE 89-04 尾方伸久・大澤英昭：地下水特性調査技術開発の現状，検層技術(1)，
PNC TN7410 90-005
- TR/GE 89-05 尾方伸久・大澤英昭：地下水特性調査技術開発の現状，検層技術(2)，
PNC TN7410 90-006
- TR/GE 89-06 大澤英昭・吉田英一：深部花崗岩中の割れ目解析－花崗岩岩盤におけ
る割れ目特性およびその分布特性に関する研究－，
PNC TN7410 90-007
- TR/GE 89-07 杉原弘造・二宮康郎：堆積岩盤中における掘削影響評価－掘削による
緩み領域の計測・評価手法の研究開発－，
PNC TN7410 90-009
- TR/GE 89-08 柳澤孝一：広域地下水流動調査の現状について，PNC TN7410 90-021
- TR/GE 89-09 吉田英一：粘土質岩中における核種移行試験・研究－ベルギー・モル
原子力研究所との共同研究（その1）－，
PNC TN7410 90-019
- TR/GE 90-01 今井久・柳澤孝一：3次元飽和不飽和浸透流解析プログラムTAGSACの
概要，PNC TN7410 90-026

- TR/GE 90-02 野原壯・瀬尾俊弘・落合洋治：ウラン鉱床を利用したナチュラルアナログ研究（その1）－ウラン系列核種の放射非平衡について－，PNC TN7410 91-030
- TR/GE 90-03 吉田英一：粘土質岩中における核種移行試験研究－ベルギー・モル原子力研究所との共同研究（その2）－，PNC TN7410 91-017
- TR/GE 90-04 柳澤孝一・今井久・斎藤章・大澤英昭・中島誠：立坑掘削影響試験における地下水流動影響予測解析，PNC TN7410 91-013
- TR/GE 90-05 清水和彦：地質環境の長期的隔離能に係わる天然事象について(1)－気候変動と海面変動－，PNC TN7410 91-010
- TR/GE 91-01 Yoshida, H., M. Yui and T. Shibutani: A Study of Influence Factor on Uranium Fixation in the Tono Uranium Deposit, Japan, PNC TN7410 91-061
- TR/GE 91-02 中野勝志・斎藤章・花木達美：難透水性岩石を対象とした室内透水試験装置の開発，PNC TN7410 91-050
- TR/GE 91-03 尾方伸久・大澤英昭・仙波毅・柳澤孝一：多変量統計解析手法を用いた結晶質岩盤の割れ目解析，PNC TN7410 92-001
- TR/GE 91-04 石丸恒存・清水和彦：地質環境の長期的隔離性能に係わる天然事象について(2)－火山活動－，PNC TN7410 91-031