

分置

# 火山ガラス及びベントナイトの 長期変質挙動に関する調査

(動力炉核燃料開発事業団 委託研究成果報告書)

1990年2月

株式会社 ダイヤコンサルタント

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒107 東京都港区赤坂1-9-13

動力炉・核燃料開発事業団

技術協力部 技術管理室

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

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

## 火山ガラスおよびペントナイトの長期変質挙動に関する調査

高野 仁<sup>\*</sup>, 桜本勇治<sup>\*\*</sup>  
岡崎和彦<sup>\*\*</sup>

### 要 旨

高レベル放射性廃棄物の地層処分に係わるナチュラルアナログ研究の一環として、火山ガラスおよびペントナイトの変質性状に関する調査を実施した。

火山ガラスについては、8,600年前に噴出した伊豆大島火山起源のスコリアガラスと45,000年前に噴出した伊豆高塚山火山起源のスコリアガラスを調査した。

前者のスコリアガラスは、古気候学および地質学的資料から、最初の2,000年は低濃度の塩水をまじえた間隙水に、中程の4,000年間は高濃度の塩水をまじえた地下水に、後の2,000年間は高濃度の塩分をまじえた間隙水に接していたと推定される。

後者のスコリアガラスでは、SEMを用いた観察から、降水の浸透により浅部では溶脱層が、深部ではスメクタイト層がスコリアガラスの周囲に形成されていることが明かとなった。また、上載層の堆積により、SiO<sub>2</sub>が供給され溶脱層の外側にスメクタイト層が形成されているのが認められた。これらの変質層は深度が深くなるにつれて薄くなっている。

ペントナイトについては、モンモリロナイトとセリサイトを含む粘土鉱床を対象として調査を行なった。FT, K-Ar, およびRb-Sr年代とX線回折分析結果から、粘土鉱床の熱履歴が明らかにされた。粘土鉱床の形成は、2段階に分けられる。まず最初に黒雲母流紋岩の貫入による熱で凝灰岩中に結晶度の低いモンモリロナイトが生成され、次に黒雲母流紋岩の貫入岩体に沿って热水が浸入し、パイロフィライト、セリサイトおよび結晶度の高いモンモリロナイトを生成した。これらの活動は、600万年前から500万年前までの100万年間の間に引き続いて行なわれたと考えられる。

本報告書は、株式会社ダイヤコンサルタントが動力炉核燃料開発事業団の委託により実施した研究の成果である。

契約番号: 010D075

事業団担当部課室および担当者: 東海事業所環境技術開発部地層処分開発室(佐々木憲明)

\* 株式会社ダイヤコンサルタント エネルギー関連事業部

\*\* 株式会社ダイヤコンサルタント 技術本部

Studies of Long Term Alteration and Behavior of  
Volcanic Glass and Bentnite

Hitishi Takano,\* Yuji Sakuramoto\*\*  
Kazuhiko Okazaki\*\*

ABSTRACT

The alteration characteristics of volcanic glass and bentnite are investigated as a part of the natural analogue study of geological disposal of high-level radioactive waste.

For the study of volcanic glass, scoria glass samples are collected from two pyroclastic formations, one is from Izu-Oshima volcano and another from Izu-takatsuka-yama volcano, which ejected 8,600 years ago and 45,000 years ago, respectively.

Paleoclimatorogical and geological data suggest that the scoria glass grains from Izu-Oshima have been under the influence of low-salinity pore water for the first period of 2,000 years, then, high-salinity ground water for 4,000 years, and relatively high-salinity pore water during the last 2,000 years.

Scoria glass grains from Izu-Takatsuka-yama are studied under a scanning electron microscope. Each glass grain has a leached layer around the rim of the glass in the shallower part of the formation, while a smectite layer is formed around the glass in the deeper part by the action of penetrating rain water. A smectite layer also occurs along the periphery of the leached layer of the glass grains by the action of  $\text{SiO}_2$  which is supplied from the overlying sedimentary sequences. The thickness of the alteration layers decrease with depth.

For the study of bentnite, clay samples are collected from a clay deposit in which montmorillonite and sericite are coexisting. Genesis of the deposit are clarified from the study of FT, K-Ar and Rb-Sr dating and X-ray diffraction analysis. Two alteration stages are recognized in the deposit. The first stage is represented by the formation of low-crystallinity montmorillonite in tuff which is formed under the influence of heat derived from the intrusive body of biotite-rhyolite. In the second stage, pyrophyllite, sericite, and high-crystallinity montmorillonite are produced by the effect of hydrothermal fluids migrated along the boundary between the tuff and the intrusive body. The hydrothermal alteration process had been continued for about one million years started six million years ago.

---

This work performed by Dia Consultants Co.Ltd. under contact with Power Reactor and Fuel Development Corporation  
PNC Liaison:Geological Isolation Technology section,Tokai Works(Noriaki Sasaki)

\* Dia Consultants Department of Energy Projects  
\*\*Dia Consultants Technical Division

## 目 次

### I. 火山ガラス編

1. 調査目的	1
2. 調査対象の選定	2
3. 調査地の地形・気候・地質概要	5
3.1 地形	5
3.1.1 大島	5
3.1.2 伊豆高塚山	6
3.2 気候	7
3.3 地質	9
3.3.1 大島	9
3.3.2 高塚山火山	11
4. 分析・試験	12
4.1 試料	12
4.2 方法	18
4.2.1 現場密度試験	18
4.2.2 含水比測定	18
4.2.3 粒度分析	18
4.2.4 X線回折分析	18
4.2.5 顕微鏡観察	19
4.2.6 間隙水の水質分析	19
4.3 分析・試験結果	21
4.3.1 現場密度試験および含水比測定	21
4.3.2 粒度分析	21
4.3.3 X線回折分析	23
4.3.4 顕微鏡観察	23
4.3.5 間隙水の水質分析	25
5. 考察	30
5.1 大島におけるスコリア試料の地下水環境	30
5.2 大島における前年度調査との比較	34
5.3 高塚山火山スコリアの変質過程	37
5.4 高塚山火山スコリア間隙水の水質	38
6. 問題点と今後の課題	43
参考文献	44

## II. ベントナイト編

1. 調査目的	47
2. 調査地の概要	48
2.1 地形概要	48
2.2 地質概要	49
2.2.1 地質および地質構造	49
2.2.2 セリサイト鉱床周辺の地質	51
3. 室内分析および年代測定	52
3.1 試料	52
3.2 試験方法	57
3.2.1 X線回折分析	57
3.2.2 年代測定	57
3.2.3 顕微鏡観察	58
3.2.4 熱伝導率測定	58
3.3 結果	59
3.3.1 X線回折分析	59
3.3.2 年代測定	69
3.3.3 顕微鏡観察	72
3.3.4 熱伝導率測定	74
4. 考察	75
4.1 年代	75
4.2 変質鉱物分帶と変質帯形成史	78
5. 問題点と今後の課題	82
参考文献	83

## 表 目 次

### I. 火山ガラス編

表-1 予察調査対象スコリア一覧表	2
表-2 スコリアの予察調査結果一覧表	3
表-3 大島における気温・降水量の平年値	7
表-4 三島における気温・降水量の平年値	7
表-5 各地点における降雨浸透量	8
表-6 大島の地質層序表	10
表-7 高塚山周辺の地質層序表	11
表-8 スコリア試料の分析・試験項目一覧表	17
表-9 X線回折条件	18
表-10 水質分析方法	20
表-11 現場密度試験・含水比測定結果一覧表	21
表-12 X線回折分析結果	23
表-13 顕微鏡観察結果一覧表	24
表-14 大島産スコリア間隙水と雨水の水質分析結果一覧表	26
表-15 高塚山産スコリア間隙水の水質分析結果一覧表	27
表-16 大島における調査結果一覧表	34
表-17 富士および大島のスコリア試料に関する間隙水・浸透水・湧水の分析結果一覧表	35

### II. ベントナイト編

表-1 調査地の地質層序表	49
表-2 採取試料リスト（その1：露頭試料）	55
表-3 採取試料リスト（その2：坑内粘土試料）	56
表-4 採取試料リスト（その3：坑内水平ボーリング試料）	56
表-5 X線回折条件	57
表-6(1) 含有鉱物一覧表（露頭試料その1）	60
表-6(2) 含有鉱物一覧表（露頭試料その2）	61
表-7(1) 含有鉱物一覧表（坑内試料その1）	62
表-7(2) 含有鉱物一覧表（坑内試料その2）	63
表-7(3) 含有鉱物一覧表（坑内試料その3）	65
表-8(1) 含有鉱物一覧表（ボーリング試料その1）	65
表-8(2) 含有鉱物一覧表（ボーリング試料その2）	66
表-9 年代測定結果一覧表	70
表-10 粘土および凝灰岩の顕微鏡観察結果一覧表	73
表-11 热伝導率測定結果	75

## 図 目 次

### I. 火山ガラス編

図-1 大島の地形と調査地点位置図	5
図-2 高塚山周辺の地形と調査地点位置図	6
図-3 大島試料採取位置図その1(YN-1)	13
図-4 大島試料採取位置図その2(IT-1)	14
図-5 高塚山試料採取位置図その1(OH-A)	15
図-6 高塚山試料採取位置図その2(OH-B1～C2)	16
図-7 スコリア間隙水の分離方法	19
図-8 粒度分析結果	22
図-9 大島産O <sub>49</sub> スコリア間隙水および雨水のヘキサダイヤグラム	28
図-10 高塚山産スコリア間隙水のヘキサダイヤグラム	29
図-11 海水準変動と埋没環境	30
図-12 大島湯の浜における海岸線変化	33
図-13 富士および大島のスコリア試料に関する間隙水・浸透水・湧水の ヘキサダイヤグラム	34
図-14 SEMによるスコリア変質層の厚さの測定結果	37
図-15 スコリアの変質モデル	39
図-16 深度とSiO <sub>2</sub> 濃度の関係	40
図-17 スコリア間隙水のHCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /SiO <sub>2</sub> とNa <sup>+</sup> /Ca <sup>2+</sup> の関係図	41
図-18 スコリア間隙水のNaとSiO <sub>2</sub> の関係図	41
図-19 スコリア間隙水の[H <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub> ]と[Ca <sup>2+</sup> ]/[H <sup>+</sup> ]の関係図	42

### II. ベントナイト編

図-1 地形および調査位置図	48
図-2 地質図	50
図-3 セリサイト鉱山付近の地質断面図	51
図-4 試料採取位置図(その1:露頭試料)	53
図-5 試料採取位置図(その2:坑内試料)	54
図-6 変質鉱物の分布(露頭試料)	67
図-7 変質鉱物の分布(坑内およびボーリング試料)	68
図-8 年代測定結果総括図	71
図-9 調査地周辺において報告された地質年代	76
図-10 黒雲母流紋岩のRb/Srアイソクロン	77
図-11 黒雲母流紋岩の岩体冷却史	77
図-12 粘土と凝灰岩の三角ダイヤグラム	80
図-13 変質帯形成モデル	81

## I. 火山ガラス編

### 1. 調査目的

火山ガラスのナチュラルアナログ研究としては、これまでに富士および大島の両火山起源の約3,000年前までのスコリアガラスを対象に、風化変質性状や風化変質環境についての調査・研究が行われてきた。

本調査では、更に古い年代の火山ガラスの風化変質性状と、埋没深度による風化変質性状を把握することを目的として、5,000年以前の大島火山起源のスコリア層と伊豆高塚山火山起源のスコリア丘を対象に、現地調査、試料採取、試料の室内分析・試験を実施した。

## 2. 調査対象の選定

調査に先だって、主として年代が5,000年より古く噴出年代既知のスコリアを対象に、予察的に現地調査と試料の顕微鏡観察を行った。

調査対象としたスコリアあるいはスコリア層の概要を表-1に、各スコリア層の肉眼的特徴、埋没環境、顕微鏡観察結果等の予察調査結果を表-2に示す。また、埋没状態を示す柱状図を巻末資料-1に示す。

表-1 予察調査対象スコリア一覧表

試料No	層準または名称	位 置	年 代(yBP)	噴 出 源
TN-1	富士黒土層の直上、R-1スコリア層。	静岡県駿東郡小山町棚頭。	5,000	富士火山
YN-1 IT-1 ON-1	古期大島層群、O <sub>49</sub> スコリア。	東京都大島町元町、野増。	8,600	大島火山
OGC-3	富士黒土層の直下。	静岡県駿東郡小山町本村。	12,000	富士火山
OGC-2	富士黒土層の下位、青柳スコリア相当層	静岡県駿東郡小山町本村。	12,000 ~15,000	富士火山
OGC-1	泥流堆積物(Mf-3)の直上。	静岡県駿東郡小山町本村。	16,500	富士火山
RN-1	泥流堆積物(Mf-3)の上位。	静岡県御殿場市蓮花寺。	<16,500	富士火山
KS-2	AT火山灰の上位。	静岡県御殿場市上柴怒田。	22,000	富士火山
KS-1	AT火山灰の直下。	静岡県御殿場市上柴怒田。	22,000	富士火山
KZ-1	AT火山灰の下位。	神奈川県足柄下郡箱根町仙石原。	>22,000	富士火山
OH-1 ~OH-5	高塚山スコリア丘。	静岡県田方郡大仁町	45,000	高塚山火山
OY-2	Aso-4火山灰の下位。	静岡県駿東郡小山町生土。	>70,000	富士火山
OY-1	御岳Pm-1火山灰の上位。	静岡県駿東郡小山町生土。	70,000 ~90,000	富士火山

調査したスコリアはいずれも年代が5,000年より古いものであるため、変質の進んでいるものが多い。しかし、年代の比較的新しい富士火山起源のTN-1および大島火山起源のYN-1, ON-1, IT-1と、年代は古いが層厚の厚いOH-1~5とには新鮮なガラスが認められた。

表-2 スコリアの予察調査結果一覧表

試料名	肉眼的特徴	埋没環境	顕微鏡観察結果
TN-1	褐灰色の細粒スコリア。表面は褐色を帯びているが概ね新鮮。	地下水が浸出する埋没黒色土層の上部に含まれ、 <del>露頭</del> 湿潤である。	ガラスは飴状を呈し新鮮である。スコリアの外周と気泡の内周には黄褐色の変質層が生成している。
YN-1	帶褐暗灰色の粗粒スコリア。表面がやや黄褐色を帯びるが概ね新鮮。	海食崖の下部に露出。満潮時には波しぶきが当たる。露頭表面は乾燥しているが内部はやや湿り気を感じる。	ガラスは全体に褐色化したものが多く、外周および気泡の内周には暗褐色～黒色の変質層が生成している。
ON-1	同 上	海食崖に露出。強風時には波しぶきが当たると考えられる。露頭には植物が繁茂している。	ガラスは淡黄褐色で比較的新鮮。周囲は暗褐色の粒状変質層が生成している。
IT-1	同 上	海食崖に露出。強風時に波しぶきが当たると考えられる。露頭表面は乾燥し海塙の薄層が付着している。	ガラスはやや黄褐色に変質し、一部は黒褐色化している。スコリアの周囲と気泡の内周は暗褐色の変質層で縁どられている。
OGC-3	黄褐色の風化した粗粒スコリア。内部には新鮮部も残存している。	比較的湿潤でコケが生えている。	ガラスは全体に褐色化し、周囲にも顆粒状の変質層が生成している。
OGC-2	鉄サビ色に風化した細～中粒スコリア。	露頭表面は乾燥している。	ガラスは全体に暗褐色に汚濁し、周囲は褐変質層が生成している。
OGC-1	褐色に風化した粗～中粒スコリア。大きなスコリアの内部には新鮮部も残存している。	露頭表面は乾燥している。	ガラスは部分的に暗褐色に変質、周囲には厚い変質層が生成している。
RN-1	黄灰色の中～細粒スコリア。漬化して脆くなっている。	小規模な湖成粘土中に挟まれている。地下水がしみ出しており湿潤である。	全体に暗褐色～黒色化し、新鮮なガラスは認められない。
KS-2	暗灰色の細粒スコリア。比較的新鮮で良く発泡している。	露頭表面は乾燥している。	ガラスは黄褐色に変質しているが半透明な部分も残存している。周囲には暗褐色の変質層が生成している。微細な斑晶鉱物が多くガラス基質分が少ない。
KS-1	帶褐灰色の粗粒スコリア。黄色の変質部が網目状に発達している。斑晶長石の一部が白濁している。	同 上	ガラスは全体に暗褐色に汚濁し、周囲は黒色の変質層で縁どられている。
KZ-1	黄褐色の細粒スコリア。軟質に風化し、手で強く押すとつぶれるものもある。	湖成粘土中にレンズ状に挟まれている。2.4m下方より地下水が湧出している。	ガラスは全体に褐色化し新鮮部が認められない。微細な変質鉱物が認められる。
OH-5	暗灰色の中～粗粒スコリア。新鮮であるが、表面が部分的に黄褐色に変色している。	露頭表面は乾燥し、内部もやや湿り気を感じる程度である。	ガラスは半透明の飴状を呈し新鮮である。スコリアの外周と気泡の内側には褐色の変質層が生成し、一部の輝石斑晶は橙色に変質している。
OH-3	同 上	同 上	同 上
OH-1	暗灰色の中～粗粒スコリア。比較的新鮮であるが発泡度が悪く岩片状を呈する。	同 上	ガラスは全体が暗褐色に汚濁している。
OY-2	黄灰色の中粒スコリア。硬質であるが内部まで褐色化している。	露頭表面は乾燥している	ガラスは全体が褐色に汚濁し、さらに周囲には暗褐色の変質層が認められる。
OY-1	褐灰色の細粒スコリア。比較的新鮮に見えるが、斑晶長石が白濁している。	水成のシルト層中にレンズ状に挟まれている。比較的湿潤。	ガラスは全体が暗褐色に汚濁し、斑晶鉱物も暗褐～黄褐色に変色している。

注) 汚濁: 微細なモザイク状の組織を示し、不透明または不透明に近い状態を示す

RN-1とKZ-1は湖成の粘土層中に堆積しているもので、新鮮なガラスが残存していると期待されたが、最もひどく風化変質を受けていた。スコリアを含んでいる粘土層は黄灰色～黄褐色を呈しており、粘土層自体がかなり風化していると考えられる。したがって、これらのスコリアの風化が進んでいる原因は、粘土層堆積後に粘土層自体を風化させた風化作用によるものと推定される。

予察調査の結果から、ガラスの残存程度や露頭条件および前年度までの調査との関連を考慮して、以下の2層準7試料を対象に室内試験・分析を行うこととした。

- ①大島火山起源のO<sub>49</sub>スコリア層のうちYN-1とIT-1。
- ②高塚山火山起源のスコリア丘のOH-1, 2, 3, 4, 5。

なお、高塚山火山起源のスコリア試料については、地表からの埋没深度に応じて深度の深い方からOH-A, OH-B1, OH-B2, OH-C1, OH-C2として新たに試料を採取した。

### 3. 調査地の地形・気候・地質概要

#### 3.1 地形

##### 3.1.1 大島

地形の概要を図-1に示す。

大島は東京の南南西約110kmの太平洋上に浮かぶカルデラ火山島である。

島は北北西-南南東方向約15km、東北東-西南西方向約9kmの卵形を成しており、島の中央部には直径約4kmのカルデラを擁し、中央火口丘のひとつである標高758mの三原新山を最高峰としている。一般にカルデラの外側はなだらかに海に向かって傾斜し、急崖で海に接しているが、島の北西部では比較的平坦な地形が広がっている。

島内には大きな河川がなく、通常は渴れ沢となっている。島の東部の海食崖と北東部には小規模な湧水地点が知られているが、全島的に地下水位は標高0m付近であり地下水のほとんどは海面下に湧出している。

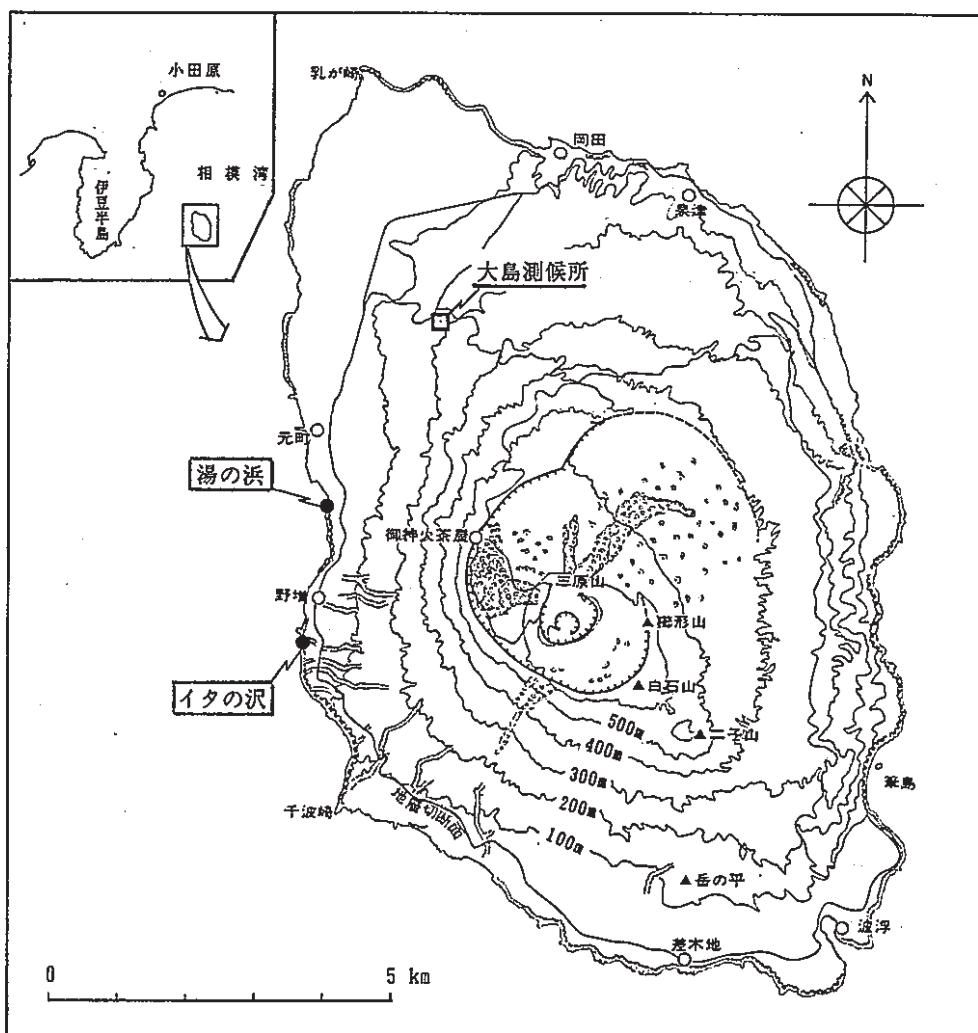


図-1 大島の地形と調査地点位置図

### 3.1.2 伊豆高塚山

調査地周辺の地形の概要を図-2に示す。

調査地は伊豆半島の付け根のほぼ中央に位置し、その東には箱根火山の外輪山から天城山に至る伊豆半島の脊梁山脈が南北に連なり、北西には狩野川により形成された平野が広がっている。高塚山は、この脊梁山脈の西側斜面に位置し、比高約70m（最高点の標高370m）の開析された小丘を成している。

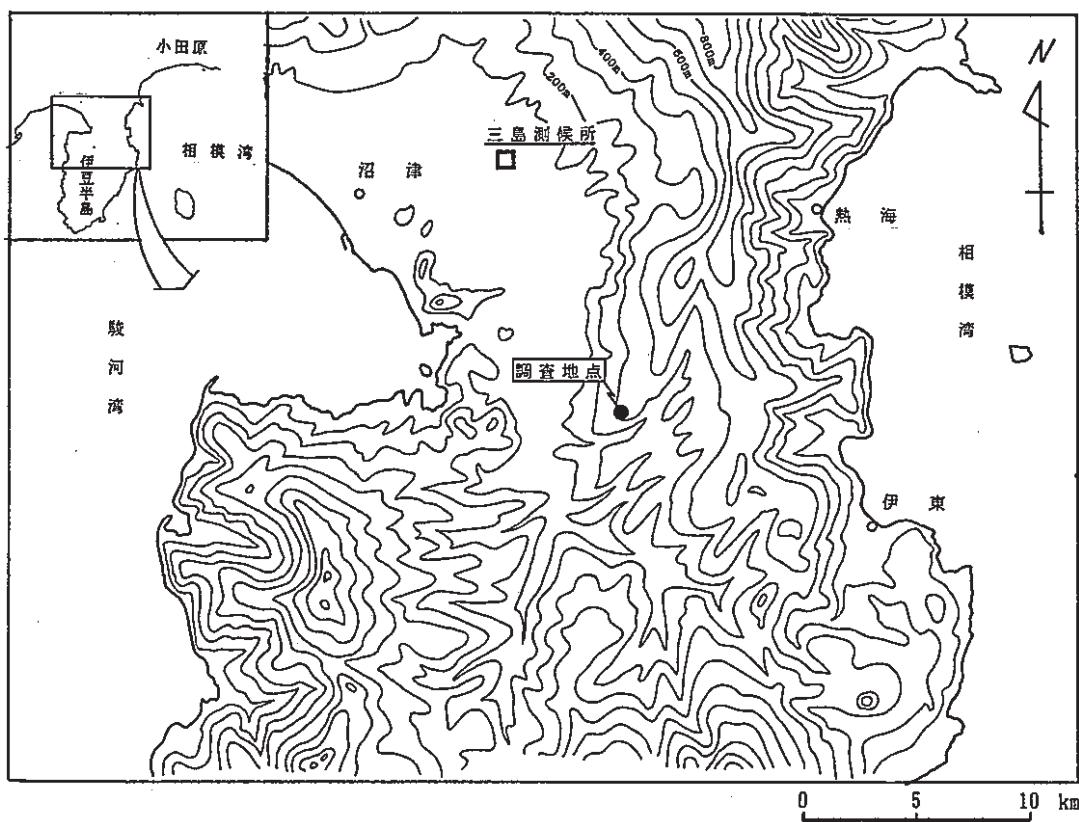


図-2 高塚山周辺の地形と調査地点位置図

## 3.2 気 候

大島の調査地点に最も近い気象庁大島測候所と、高塚山に最も近い気象庁三島測候所における気温・降水量の平年値をそれぞれ表-3、表-4に示す。

表-3 大島における気温・降水量の平年値

月	気温 (°C)			降水量 (mm)
	日平均	最高	最低	
1	6.2	9.5	3.5	128.9
2	5.4	10.0	1.2	147.7
3	8.6	12.2	5.6	241.6
4	13.0	16.5	10.1	261.4
5	16.8	20.1	14.0	307.7
6	19.7	22.5	17.4	362.3
7	23.0	25.8	21.0	227.0
8	24.5	27.5	22.4	221.3
9	21.7	24.7	19.6	331.7
10	17.0	19.8	14.8	399.2
11	13.1	16.1	10.5	197.6
12	9.0	12.1	6.3	126.7
通年	14.9	18.1	12.2	2953.2

(観測期間：1951～1980年)

表-4 三島における気温・降水量の平年値

月	気温 (°C)			降水量 (mm)
	日平均	最高	最低	
1	5.0	11.0	-0.5	75.4
2	5.8	11.6	0.4	84.9
3	8.7	14.3	3.4	138.4
4	13.8	18.9	9.0	175.5
5	17.8	22.8	13.0	172.9
6	21.5	25.6	17.9	246.2
7	25.0	28.9	22.0	209.2
8	26.1	30.6	22.6	213.4
9	22.7	27.3	19.0	228.7
10	17.1	22.3	12.7	165.9
11	12.2	18.1	7.1	109.7
12	7.3	13.6	1.8	67.3
通年	15.3	20.4	10.7	1887.5

(観測期間：1951～1980年)

理科年表（東京天文台編1989年版、丸善）によれば、大島の平均気温は全国的にみてほぼ標準的な値であるが、降水量は全国の主要80ヶ所の観測地点の中では4番目に大きな値となっている。一方、三島における平均気温および降水量はどちらもほぼ標準的な値である。

各月の平均気温と降水量から降雨浸透量を求め表-5に示す。なお、同表中の降雨浸透量は降水の地表流出が無いものと仮定し、ソーンスウェイトの式<sup>\*1</sup>を用いて蒸発散量を求めこれを降水量から差し引いて算出した。

表-5 各地点における降雨浸透量  
(mm/year)

地 点	降 水 量 (A)	蒸 発 散 量 (B)	降雨浸透量 (A-B)
大 島	2953.2	776.3	2176.9
三 島	1887.5	814.4	1073.1

表-5をみると、大島よりも三島の方が浸透量が少ない。これは、後述するようにスコリアの含水量が大島の試料より高塚山の試料のほうが小さいことと調和的である。

\*1)  $E_p = 0.533 D_0 (10 t_j/J)^a$

$$a = 0.000\,000\,675 J^2 - 0.000\,077\,1 J + 0.017\,92 J + 0.492\,39$$

$$J = \sum_{j=1}^{12} (t_j/5)^{1.014}$$

$E_p$ : 月平均蒸発散能 (mm/day),  $D_0$ : 可照時間 (12 hr/day),  $t_j$ :  $j$  月の月平均気温 (°C)

### 3.3 地 質

#### 3.3.1 大島

大島の地質層序を表-6に示す。

大島を構成する地質は、①新第三紀と推定されている基盤岩、②開析された火山体を構成する新第三紀鮮新世から第四紀更新世の岩石、および③現在の大島火山を構成している第四紀完新世の火山噴出物の3つに大別される。

これらうち、島の主体を成すのは第四紀更新世以降の泉津層群、古期大島層群、新期大島層群である。これらは火山体の発達段階に応じてそれぞれ古期山体、新期山体のうちカルデラ形成以前、新期山体のうちカルデラ形成以後に対応されている（一色、1984）。いずれも玄武岩質の火碎岩類を主とし、玄武岩溶岩や細粒火山灰を挟んでいる。このうち新期大島層群は、更に、下位より①凝灰角礫岩で特徴づけられる差木地層、②厚いスコリア層で特徴づけられる野増層、および③現地表面と平行に堆積している湯場層の3層に細分されている（Nakamura, 1960）。古期大島層群および新期大島層群は、一輪廻の火山活動を示す堆積サイクルをもとに、前者がO<sub>95</sub>～O<sub>1</sub>の95部層（田沢、1980）に、後者がS<sub>2</sub>～S<sub>1</sub>（差木地層）、N<sub>4</sub>～N<sub>1</sub>（野増層）およびY<sub>6</sub>～Y<sub>1</sub>（湯場層）の12部層（Nakamura, 1960）に細区分されている。これらのうち古期大島層群については断片的に<sup>14</sup>C法による年代測定が行われ、最も古い値としてO<sub>61</sub>の約10,000年前、最も新しい値としてO<sub>15</sub>の約2,400年前等（一色他、1961など）が求められている。一方、新期大島層群では、S<sub>2</sub>、N<sub>4</sub>、N<sub>3</sub>、N<sub>1</sub>およびY<sub>6</sub>～Y<sub>1</sub>部層について出土した遺物や古文書の記録からそれぞれ5世紀、8世紀、9世紀、12世紀および13～18世紀の噴出物とされている（Nakamura, 1964；一色、1984など）。これらの各部層の年代値から、古期大島層群を堆積させた大島火山の平均活動周期は田沢（1980）により145年とされ、一方、新期大島層群を堆積させた大島火山の活動周期はNakamura（1964）により135±50年とされている。

表-6 大島の地質層序表

地質時代		地層名	年代		山体区分
			古文書(遺物)	放射年代(yBP)*1	
第 四 紀	新 世	新 期 大 島 層 群	Y <sub>1</sub>	1777~1778年	大 島
			Y <sub>2</sub>	1684年	
			Y <sub>3</sub>	1552年	
			Y <sub>4</sub>	1421年	
			Y <sub>5</sub>	1338年?(14世紀)	
			Y <sub>6</sub>	(13世紀)	
		野增層	N <sub>1</sub>	1112年?	新 火 山
			N <sub>2</sub>		
			N <sub>3</sub>	856年	
			N <sub>4</sub>	(8世紀)	
		差木地層	S <sub>1</sub>		新 期 山 体
			S <sub>2</sub>	684年?(5~6世紀)	
新 第 三 紀	中新 世	古 期 大 島 層 群	O <sub>1</sub>		古期 山体
			O <sub>2</sub>		
			·		
			·		
			·		
			·		
			·		
			O <sub>94</sub>		
			O <sub>95</sub>		
		泉津層群		21130±720( <sup>14</sup> C) ~>41600( <sup>14</sup> C)	
		玄武岩溶岩 及び 同質火碎岩		<0.42Ma(K-Ar) <sup>*3</sup>	行者窟火山
		(火山岩層)*4		<2.41Ma(K-Ar)	岡田火山
		(湯ヶ島層群)*4			筆島火山
					(基盤)*4

\*1 Before A.D.1950. \*2 <sup>14</sup>C:放射性炭素法. \*3 K-Ar:カリウム-アルゴン法.

\*4 ( ) 内の地層は露出していない。

地層区分は、NAKAMURA(1960), 田沢(1980), 一色(1984a)に基づいて編集した。また、年代は、NAKAMURA(1964), 田沢(1981), 杉原他(1983), 一色(1981, 1984b)等を参考とした。

### 3.3.2 高塚山火山

高塚山火山の地質層序を表-7に示す。

高塚山火山は、第四紀後期に活動した東伊豆单成火山群(荒牧他, 1977)の一つで、同火山群の北西端に位置する。高塚山火山は、新第三紀の火山岩類と鮮新世の多賀火山噴出物を基盤としたスコリア丘で、堆積物の層相と構造から下位スコリア層と上位スコリア層に区分されている。なお、上位スコリア層はスコリア丘形成後の崩壊により堆積したと考えられている(湯佐他, 1970)。

湯佐他(1970)によれば、高塚山火山噴出物は古期富士火山灰中に挟まれており、この噴出物の下位には箱根火山酸性火山礫凝灰岩、上位には箱根火山中央火口丘軽石堆積物が分布している。古期富士火山灰、箱根火山酸性火山礫凝灰岩、箱根火山中央火口丘軽石堆積物は、町田(1971)によりそれぞれO F, S P (45,000前), C C P - 1 ~ 4 (CCP-1=40,000年前)の各テフラに対比されている。したがって、高塚山火山は45,000~40,000年前に活動したものと推定される。

表-7 高塚山周辺の地質層序表<sup>\*1)</sup>

時 代	層 序		年 代 <sup>*2)</sup>
第 四 紀	箱根中央火口丘堆積物 (CCP-1~CCP-4)		CCP-4…(30,000) CCP-1…(40,000)
	古期富士火山灰 (OF)	高塚山火山噴出物	
	箱根酸性火山礫凝灰岩 (SP)		SP …(45,000) TP … 50,000
新 第 三 紀	鮮 新 世	多 賀 火 山 噴 出 物	
	中 新 世	火 山 岩 お よ び 火 山 碎 屑 岩	

\*1)湯佐他(1970), 町田(1971), 荒牧他(1972), 町田(1977)をもとに編集した。

\*2)TP: 東京軽石層のフィッシュトラック年代。( )内の年代値は火山灰層序学的に推定された値。

#### 4. 分析・試験

##### 4.1 試料

大島および高塚山火山よりスコリア試料を採取した。採取位置を図-3～6に示す。

大島においては、古期大島層群のなかでも比較的厚いスコリア層の認められるO<sub>49</sub>部層を対象として、異なる2地点からスコリア試料(YN-1, IT-1)を採取した。

O<sub>49</sub>部層の堆積年代は直接には得られていない。しかし、2層準上位のO<sub>47</sub>部層の<sup>14</sup>C年代が8,350±160年(一色他, 1981)であることと、古期大島層群を堆積させた大島火山の平均噴火周期が145年である(田沢, 1980)ことから、O<sub>49</sub>部層の堆積年代は8,640年前と見積ることができる。

YN-1(図-3)は、元町南方湯の浜の海食崖の地表下17.6m(海面からの高さ約2m)の位置から採取した。当地点は満潮時には海食崖下に直接波しうきが当る。スコリア層は成層した細～粗粒火山灰中に厚さ60cmでほぼ水平に分布しており、露頭表面は乾燥しているが、内部はやや湿っている。

IT-1(図-4)は、野増南方イタの沢の海食崖の地表下13.8m(海面からの高さ約4m)の位置から採取した。当地点は波打ち際より約20mほど後退した海食崖となっており、崖下は径1m以上の礫から成る礫浜がひろがっている。スコリア層は成層した細～粗粒火山灰中に厚さ80cmでほぼ水平に分布しており、露頭の表面は乾燥し蒸発乾固した海塩が付着しているが内部はやや湿り気を帯びている。

YN-1およびIT-1とともに粗粒のやや褐色を帯びた暗灰色スコリアである。スコリアは微細な気泡が密に発達しておりコークス様を呈している。スコリア粒は概ね新鮮で硬質であるが、表面の一部が灰色や黄褐色に変色しているものも認められる。

一方、高塚山火山においては、スコリア丘を構成するスコリア層の異なる深度から試料を採取した。

OH-A(図-5)は、スコリア採掘場の下部切取り面の深度48.6mの地点から採取した。切取り面は傾斜65°の急斜面となっており、露頭の上半部には上位スコリア層が20°の傾斜で成層しており、下半部には上位スコリア層と斜交して下位スコリア層が約15°の傾斜で露出している。下位スコリア層の下部は岩片を多く含んでおり、また、頻繁に細粒の火山灰層を挟んでいる。OH-Aは下位スコリア層の下部層に位置する。露頭表面は乾燥しており、内部もわずかに湿分を感じる程度であり、小段に堆積した崩積土の部分以外には植生は認められな

Loc. No.	湯の浜 (YN-1)	調査年月	1989年10月日
位 置 :	東京都大島町元町下高堂 元町集落南方900m (湯の浜)		
標 高 :	0m		
地 形 :	海食崖		
概略柱状図			
深度(m)	0 新期大島層群 古期大島層群 O49部層 海面	地形図	(縮尺: 1/10,000) 
試 料	YN-1 : 試料採取深度17.6m (海面からの比高約2m)	備 考	

図-3 大島試料採取位置図その1 (YN-1)

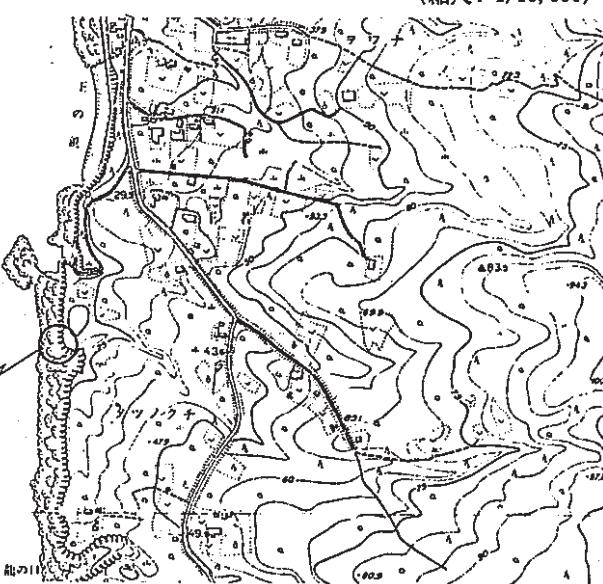
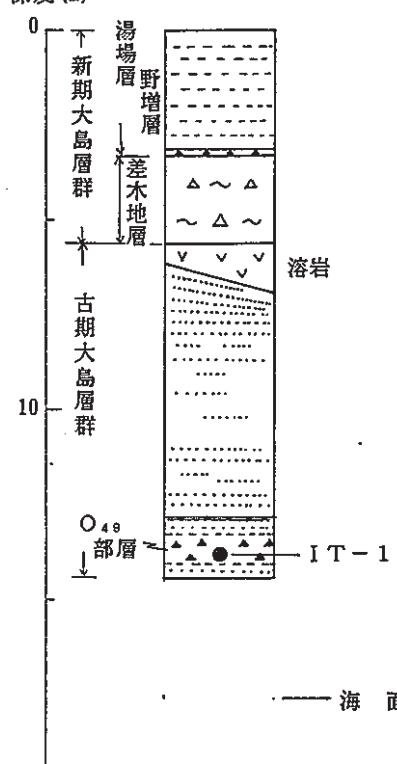
Loc. No.	イタの沢 (IT-1)	調査年月	1989年 10月 18日
位 置 :	東京都大島町野増 野増集落南方500m (イタの沢)		
標 高 :	0m		
地 形 :	海食崖		
概略柱状図	<p>地形図 (縮尺: 1/10,000)</p> 		
深度(m)			
試 料	IT-1 : 試料採取深度 13.8m (海面からの比高約4m)	備 考	

図-4 大島試料採取位置図その2 (IT-1)

L o c. N o.	O H - A	調査年月	1989年 10月 17日
位 置 : 静岡県田方郡大仁町南 大仁駅の東北東4.5km		露頭状況 : スコリア採掘場の人工的な切断面。 採石場は稼行中であり、比高50~60m、傾斜 65°前後ののり面となっている。 スコリア層は15~20°の傾斜で成層している。 露頭面は乾燥しているが、挟在する細粒部に 沿って植物の繁茂が認められる。	
標 高 : 310m			
地 形 : 周辺を小起伏山地に囲まれた やや開析されたスコリア丘の南斜面			
概略柱状図		地形図	(縮尺 1/25,000) 
深度(m)		スケッチ	
試 料	OH-A : 採取深度 48.6m	備 考	試料OH-B1, B2, C1, C2は隣接露頭（次項）にて採取

図-5 高塚山試料採取位置図その1(OH-A)

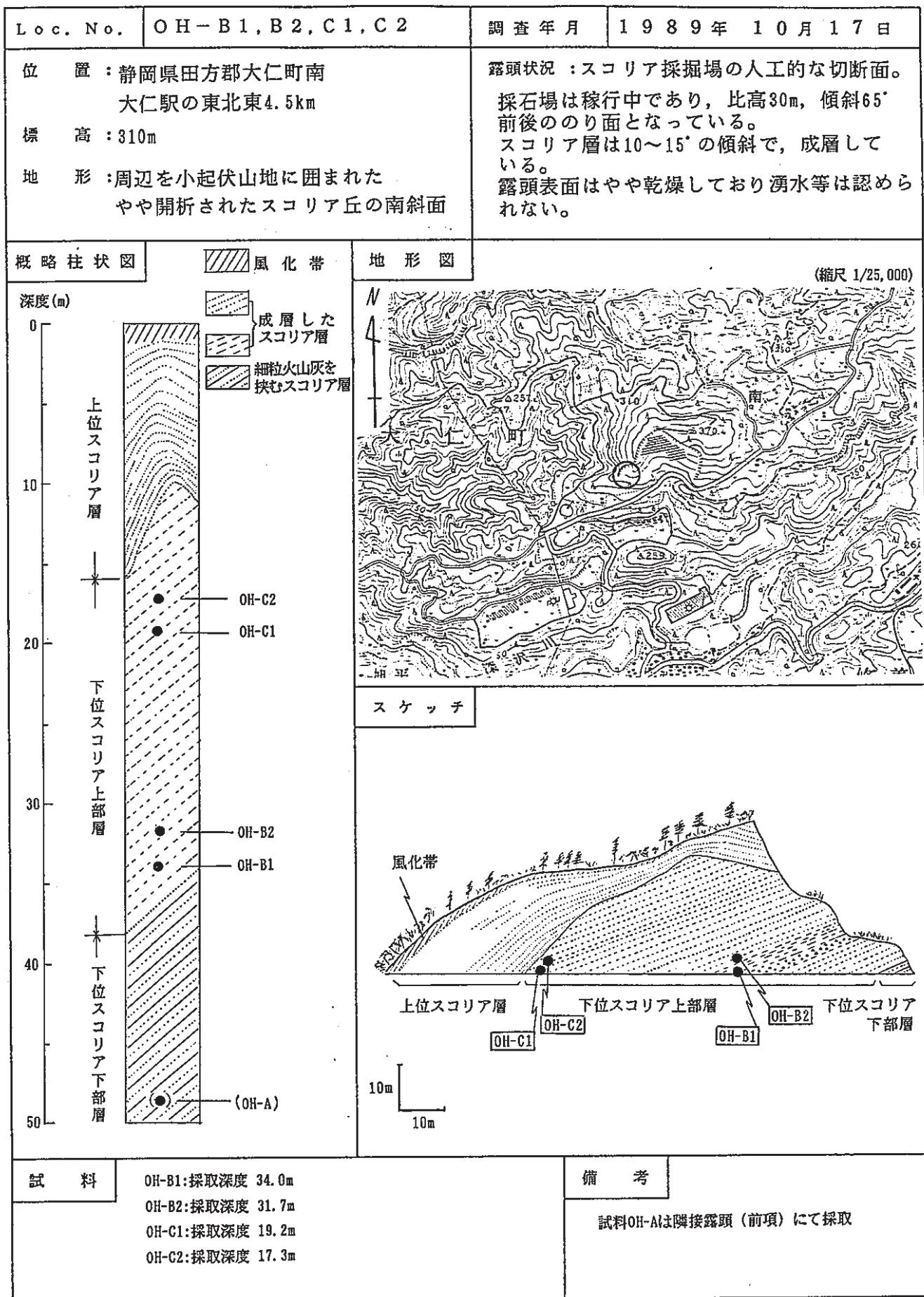


図-6 高塚山試料採取位置図その2 (OH-B1~C2)

い。OH-Aはやや丸みを帯びた暗灰色の中粒スコリアで、微細な気泡が認められるが発泡の程度はあまり良くない。

OH-B1, B2, C1およびC2(図-6)は、スコリア採掘場の上部切取り面のそれぞれ深度34.0m, 31.7m, 19.2m, 17.3mより採取した。切取り面は傾斜60~70°の急斜面となっており、露頭の上部から左側には上位スコリア層がほぼ地表面と平行に約15°の傾斜で成層しており、下部および右側には下位スコリア層が約15°の傾斜で成層している。本露頭の下位スコリア層は岩片や細粒の火山灰層の挟みが少なくほぼ均質なスコリアから成る。OH-B1~C2は本層に位置する。露頭表面は乾燥しており、内部もわずかに湿分を感じる程度である。OH-B1, B2, C1およびC2は、いずれも帶褐暗灰色の中粒~細粒スコリアで、気泡は微細なものが多く発泡の程度はOH-Aよりやや良い。

採取した各スコリア試料の分析・試験内容を表-8に示す。OH-B2とOH-C2はそれぞれOH-B1とOH-C1の近くから採取深度をやや浅くして採取したものであり、間隙水の分析以外は分析・試験を省略した。また、高塚山試料のX線回折分析は埋没深度が最も浅く変質の進んでいると推定されるOH-C2のみを対象とした。

表-8 スコリア試料の分析・試験項目一覧表

地 域 試 料 分析・試験項目	大 島		高 塚 山				
	YN-1	IT-1	OH-A	OH-B1	OH-B2	OH-C1	OH-C2
現 場 密 度 試 験	○	○	○	○	-	○	-
粒 度 分 析	○	○	○	○	-	○	-
X 線 回 折 分 析	○	○	-	-	-	-	○
顯 微 鏡 観 察	○	○	○*	○*	-	○*	-
含 水 比 測 定	○	○	○	○	-	○	-
間隙水の水質分析	○	○	○	○	○	○	○

\*) OH-A, OH-B1, OH-C1はそれぞれ予察調査のOH-1, OH-4, OH-5と同一試料である。

## 4.2 方 法

### 4.2.1 現場密度試験

露頭面をできるだけ平滑に整形したのちステンレス製円筒容器（容積230ml）を整形面に垂直に立て、ハンマーにて打撃貫入した。貫入したのち容器の周囲を削剥して容器を露出させたのち、容器の口をプラスチックの平板にてふさぎ不攪乱試料を採取した。採取した試料は密封して室内に持ち帰り秤量し、その重量とステンレス製円筒容器の容積とから密度を算出した。

### 4.2.2 含水比測定

生試料を秤量したのち恒温乾燥炉(110°C)にて24時間乾燥させ、再度秤量し乾燥前後の重量から含水比を求めた。

### 4.2.3 粒度分析

粒度分析には現場密度試験にて採取した試料を用いた。試料を一週間風乾したのち、 $75\mu \sim 19000\mu$ までの10段階のJIS規格標準網フルイを用いて機械振動により粒度分けした。

### 4.2.4 X線回折分析

採取したスコリア試料を超音波洗浄器により十分洗浄したのち、手選により異質岩片を除去した。これを風乾したのちステンレス乳鉢で粗碎し、さらに自動らいかい機で指頭にざらつきを感じない程度に粉碎し、粉末試料を作製した。この粉末試料を蒸留水と共にシリンドラー(容積:1l)中に分散させ、8時間放置したのち、上澄液10cmを回収し、遠心分離機により粘土分を沈殿させた。この沈殿物をスライドガラスに塗布して定方位試料を作製した。X線回折は日本電子株式会社製JDX-11PA型X線回折装置を用い表-9の左側に示した条件で行った。

なお、 $14\sim15\text{\AA}$ の反射のあるものについては、エチレングリコール処理を行った後、表-9の右側に示した条件でX線回折し、粘土鉱物を同定した。

表-9 X線回折条件

	定 方 位 試 料	エチレングリコール処理試料		
対 フ 管 管 ス 走 記 フ 時 走	陰 電 電 リ 査 速 録 紙 スケ ル計 定 査 範	極 タ 流 ト 度 度 度 度 数 数 数 範	Cu Ni 30 KV 10 mA 1° - 0.3mm - 1° 1°/min 10 mm/min 1000 cps 1 sec $2\theta = 2\sim 60^\circ$	Cu Ni 30 KV 10 mA 1° - 0.3mm - 1° 1°/min 10 mm/min 400 cps 1 sec $2\theta = 2\sim 15^\circ$

#### 4.2.5 顕微鏡観察

超音波洗浄器により洗浄したスコリア粒子を樹脂によって固定して薄片を作製した。この薄片を用いて偏光顕微鏡によりスコリアの組織、鉱物組成、風化変質程度を観察した。

#### 4.2.6 間隙水の水質分析

採取したスコリア試料から次の方法で間隙水を分離し水質分析に供した。水質分析項目と分析方法を表-10に示す。

- ①スコリア試料を遠沈管（内経40mm）にとり3500～4000rpmで10分間遠心分離する。
- ②分離後、遠沈管内の試料の上層1/2を捨て、新たに試料を入れ①の操作を繰り返す。
- ③遠沈管の底に水分が集積したところで、これをろ紙（No. 5B:  $2.2 \mu\text{m}$ ）を敷いた吸引鐘にあけ吸引ろ過を行う（図-7）。
- ④①から③の操作を繰り返し行い、分析に必要な量の間隙水を得る。

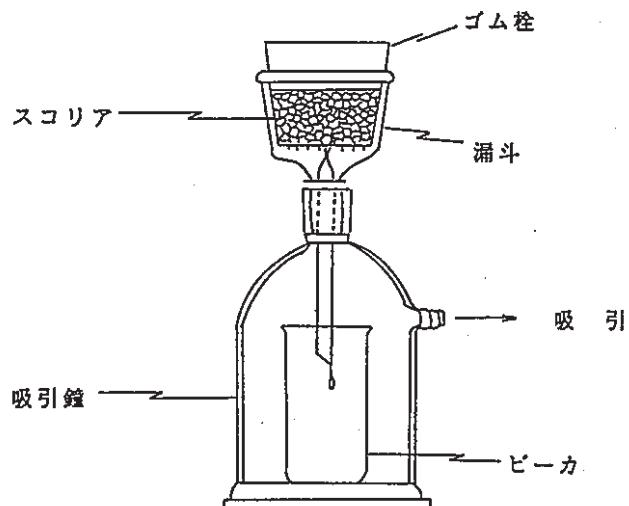


図-7 スコリア間隙水の分離方法

表-10 水質分析方法

分析項目		分析方法
記号	名称	
Na <sup>+</sup>	ナトリウムイオン	フレーム光度法(JIS K 0101)
K <sup>+</sup>	カリウムイオン	"
Ca <sup>2+</sup>	カルシウムイオン	原子吸光法(JIS K 0101)
Mg <sup>2+</sup>	マグネシウムイオン	"
Cl <sup>-</sup>	塩素イオン	イオンクロマトグラフ法(JIS M 0202)
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	重炭酸イオン	BCG-MR(ブロムクレゾールグリーソーメチルレッド)混合指示薬を用いて、0.05N HClで滴定
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	硫酸イオン	イオンクロマトグラフ法(JIS M 0202)
T-Fe	全鉄	原子吸光法(JIS K 0101)
SiO <sub>2</sub>	ケイ酸	モリブデン黄法(JIS K 0101)

### 4.3 分析・試験結果

#### 4.3.1 現場密度試験および含水比測定

現場密度試験および含水比測定結果をまとめて表-11に示す。

表-11 現場密度試験・含水比測定結果一覧表

試 料	項 目	
	湿潤密度 (g/cm <sup>3</sup> )	含水比 (%)
大島	IT-1	1.11
	YN-1	0.99
高塚	OH-A	1.62
	OH-B1	0.94
山	OH-C1	1.41

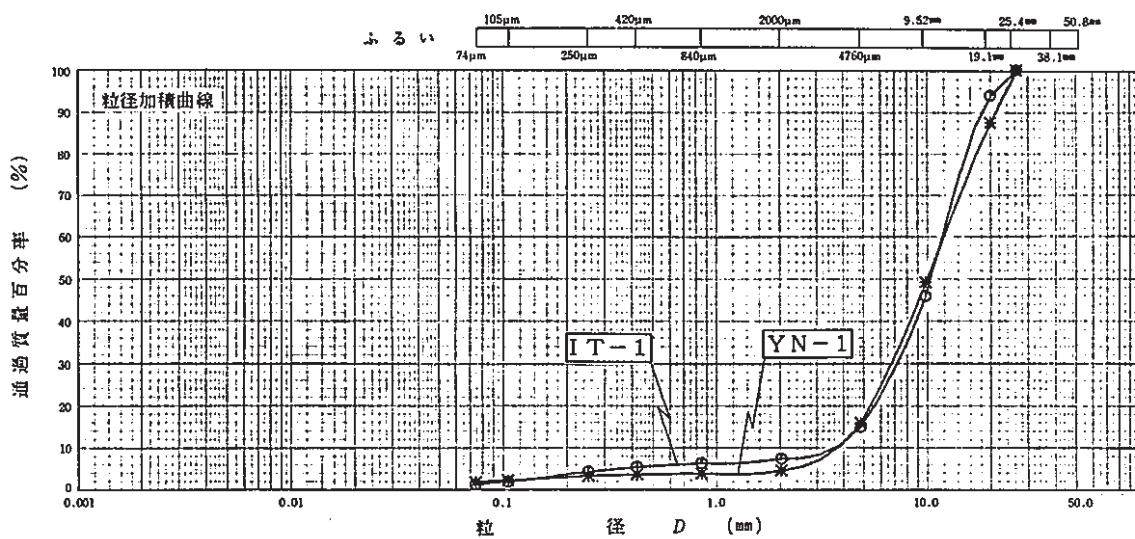
大島のO<sub>49</sub>スコリア層から採取したIT-1とYN-1は密度、含水比ともほぼ同様の値であり、採取地点による差異は認められない。

一方、高塚山火山のスコリア試料は密度がややばらついており、含水比もOH-Aと他の試料とで差異が認められる。含水比がOH-Aとその他で異なるのは、OH-Aが細粒火山灰層を頻繁に挟む部分であるのに対し、OH-B1とOH-C1は比較的均質なスコリアのみから成る部分であることから、透水性に差異があるためと考えられる。

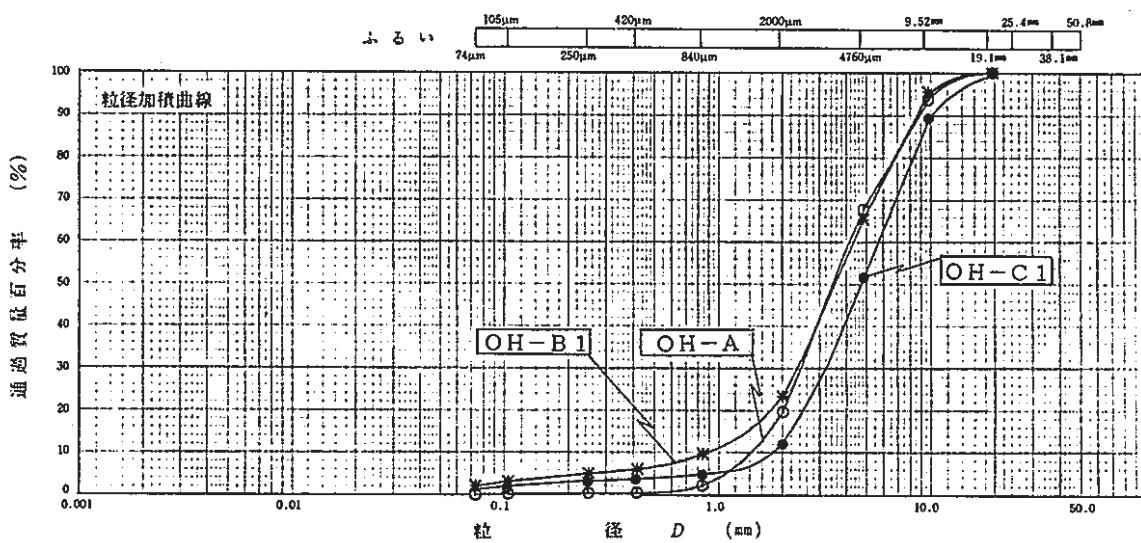
#### 4.3.2 粒度分析

粒度分析結果を図-8に示す。

大島のO<sub>49</sub>スコリア層から採取したYN-1とIT-1はほとんど同じ粒度分布を示している。また、高塚山火山のスコリア試料も、OH-C1がやや粗粒分に富んでいるものの、ほぼ同様な粒度分布となっている。大島と高塚山の両スコリア試料を比較すると、大島の試料の方が粗粒分に富んでいる。



試料番号	No. IT-1	No. YN-1
最大粒径 mm	25.40	25.40
60 % 粒径 mm	11.2	11.4
30 % 粒径 mm	6.93	8.52
10 % 粒径 mm	3.31	3.49
均等係数 $U_e$	3.38	3.27
曲率係数 $U'_e$	1.30	1.07
土粒子の比重 $G_s$	—	—
使用した分散剤		



試料番号	No. OH-A	No. OH-B1	No. OH-C1
最大粒径 mm	19.10	19.10	19.10
60 % 粒径 mm	4.04	4.22	5.54
30 % 粒径 mm	2.38	2.28	3.09
10 % 粒径 mm	1.36	0.778	1.71
均等係数 $U_e$	2.97	5.42	3.24
曲率係数 $U'_e$	1.03	1.58	1.01
土粒子の比重 $G_s$	—	—	—
使用した分散剤			

図-8 粒度分析結果

#### 4.3.3 X線回折分析

X線回折分析結果を巻末資料-3に、それによって求められた鉱物一覧を表-12に示す。

各スコリア試料とともに、風化変質鉱物としてわずかにモンモリロナイトが認められる。

表-12 X線回折分析結果  
(水ひ産物定方位試料)

試料名	鉱物名	斜長石
	モンモリロナイト	
IT-1	・	・
YN-1	・	・
OH-C2	・	・

相対含有量：◎多量、○中量、・少量、・微量

#### 4.3.4 顕微鏡観察結果

顕微鏡観察結果を表-13に示す。

大島の試料は、YN-1, IT-1とともにガラス基質に富み、斑晶鉱物が少ない。

ガラスは褐色～黄褐色に濁っており新鮮に見える部分は少ない。スコリアの周囲と気泡の内周は厚さ10μm前後の暗褐色～黒色の変質層で縁どられている。YN-1とIT-1とでは顕微鏡レベルでの変質程度の差異は認められない。

高塚山火山の試料は、いずれもガラス基質が少なく斑晶鉱物に富んでいる。ガラスは半透明の飴状の組織を示し比較的新鮮である。スコリアの周囲と気泡の内周には褐色の変質層が生成している。この変質層の周囲には粒状の褐色物質が付着していることがある。OH-A, OH-BおよびOH-Cには変質程度において顕微鏡レベルでの明瞭な差異は認められない。

表-13 顕微鏡観察結果一覧表

試 料	色 調	スコリアの組織	斑 晶 鉱 物	ガ ラ ス の 性 状	変 質 状 態
大 島	YN-1	暗褐灰色  虫喰い状。 気泡は不定形。 大きな斑晶を含むが、全体にガラス分が多く結晶粒が少ない。	斜長石>輝石 斜長石(自形) 輝石(自形)	褐色、不透明、モザイク状組織 微細な針状結晶を含有する。	全体が褐色に変色。スコリアの外周と気泡の内周に暗褐色～黒色の変質層が生成。 変質層厚7～11μm。
	IT-1	褐灰色  虫喰い状、一部網目状。 気泡は不定形。 結晶粒が多くガラス分が少ない。	斜長石>輝石 斜長石(自形) 輝石(自形)	黄褐色、半透明、モザイク状組織。 微細な針状結晶を含有する。	スコリア外周と気泡の内周の大部分が厚い暗褐色変質層で縁どられている。変質層厚8～12μm 最大30μm。変質層の一部はスコリア内部まで及び、島状の黒褐色部を形成している。
高 塚	OH-C1	淡黄褐色  網目状。 気泡は円形～不定形。 結晶粒が多くガラス分が少ない。	斜長石>輝石 斜長石(針～柱状) 輝石(半自形)	淡黄褐色、半透明、飴状組織 ガラスは結晶粒にからみつく様に分布する。	スコリアの外周と気泡の内周に褐色変質層が生成。変質層の大部分は複屈折を示す。 輝石斑晶の周囲やへき開沿いが淡褐色化する部分がある。
	OH-B1	淡黄灰色  網目～ポンジ状。 気泡は円形～不定形。 結晶粒が多くガラス分が少ない。	斜長石=輝石 斜長石(自形、板～柱状) 輝石(自形～半自形)	淡黄灰色、半透明 一部粒状を呈するが、概ね飴状を呈する。	斑点状に黒褐色化し汚濁している。 スコリア外周に沿って部分的に褐色粒状化。
山	OH-A	黒色  虫喰い状。 気泡は円～楕円形。 結晶粒が多くガラス分が少ない。	斜長石>輝石 斜長石(自形) 輝石(半自形～他形)	暗褐色、不透明、粒状組織 直交ポーラーで微細な針状結晶が認められる。	全体が暗褐色に汚濁。 輝石斑晶の周囲とへき開に沿って黄色に変色。スコリアによっては鮮やかな橙色に変色

注) 汚濁: 微細なモザイク状の組織を示し、不透明または不透明に近い状態を示す。

#### 4.3.5 間隙水の水質分析結果

間隙水の水質分析結果を表-14, 15に、ヘキサダイヤグラムを図-9, 10に示す。なお表-14には参考のためにIT-1採取地点より内陸に240m離れた山林<sup>\*1</sup>にて採取した雨水の分析結果もあわせて示してある。

大島産のYN-1の間隙水は溶存成分量が56.418～57.288meq/l, 水質組成が $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^- >> \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$ 型,  $\text{SiO}_2$ が33.3mg/lであり、また、IT-1の間隙水は溶存成分量が48.591～49.939meq/l, 水質組成が $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^- >> \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$ 型,  $\text{SiO}_2$ が53.6mg/lである。このように両試料ともほぼ同様の水質であり $\text{Na}^+$ と $\text{Cl}^-$ が非常に多くなっている。これは、波浪または海水の影響によるものと考えられる。なお、雨水は一般的な内陸部の降水に比べて、 $\text{Na}^+$ と $\text{Cl}^-$ の濃度が高くなっていることから、風送塩の影響を受けていることは間違いないと考えられる。また、雨水には $\text{NH}_4^+$ が検出されているが、これは大気汚染の影響と考えられる。

一方、高塚山のスコリア試料の間隙水の水質をみてみると、溶存成分量は0.678meq/l(OH-B2)～0.893meq/l(OH-C2)の範囲にあり、水質組成はOH-C2が $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^- >> \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ 型、OH-B2が $\text{Na}^+ + \text{K}^+ = \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^- >> \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ 型、OH-C1, OH-B1およびOH-Aが $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^- >> \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ 型である。また、 $\text{SiO}_2$ は20.3mg/l(OH-A)～83.0mg/l(OH-C1)の範囲にある。このように間隙水の溶存成分量、水質組成、 $\text{SiO}_2$ 濃度とともに若干の差異が認められるが、埋没深度による系統的な差異は認められない。

---

\*1)前年度調査のLoc. 24地点

表-14 大島産スコリア間隙水と雨水の水質分析結果一覧表

試料番号	I T - 1		Y N - 1		雨 水	
採取位置	イタノ沢		湯の浜		野増南方	
試料の種類	間 隙 水					
採取日	1989.10.18		1989.10.18		1989.10.18	
気温 (°C)	-		-		-	
水温 (°C)	-		-		-	
pH	*1		*1		4.65	
EC(μS/cm, 25°C)	*1		*1		107	
	mg/ℓ	meq/ℓ	mg/ℓ	meq/ℓ	mg/ℓ	meq/ℓ
N a <sup>+</sup>	650	28.26	963	41.87	5.45	0.24
K <sup>+</sup>	27.1	0.69	14.8	0.38	1.42	0.04
C a <sup>2+</sup>	221	11.03	150	7.49	4.38	0.22
M g <sup>2+</sup>	121	9.96	91.8	7.56	1.38	0.11
N H <sub>4</sub> <sup>+</sup>	-	-	-	-	1.50	0.08
F e <sup>2+</sup>	<0.04	<0.00	<0.04	<0.00	-	-
陽イオン合計		49.94		57.29		0.73
H C O <sub>3</sub> <sup>-</sup>	31.7	0.52	26.8	0.44	0.0	0.00
S O <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	209	4.35	223	4.64	3.4	0.07
C l <sup>-</sup>	1550	43.72	1820	51.34	11.4	0.32
N O <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-	-	-	-	20.0	0.33
陰イオン合計		48.59		56.42		0.73
S i O <sub>2</sub>	53.6		33.8		-	

\*1)抽出量が少ないため測定不能

表-15 高塚山産スコリア間隙水の水質分析結果一覧表

試料番号	OH-A		OH-B1		OH-B2		OH-C1		OH-C2	
採取位置	深度48.6m		深度34.0m		深度31.7m		深度19.2m		深度17.3m	
試料の種類	間隙水									
採取日	1989.10.17		1989.10.17		1989.10.17		1989.10.17		1989.10.17	
気温(°C)	-		-		-		-		-	
水温(°C)	-		-		-		-		-	
pH	*1		*1		*1		*1		*1	
EC(μS/cm, 25°C)	*1		*1		*1		*1		*1	
	mg/l	meq/l								
N a <sup>+</sup>	5.8	0.25	4.7	0.20	5.2	0.23	5.4	0.24	7.4	0.32
K <sup>+</sup>	1.9	0.05	1.1	0.03	0.7	0.02	1.1	0.03	1.3	0.03
C a <sup>2+</sup>	6.7	0.33	6.4	0.32	4.8	0.24	6.4	0.32	6.1	0.30
M g <sup>2+</sup>	2.7	0.22	3.3	0.27	2.5	0.21	2.5	0.21	2.8	0.23
F e <sup>2+</sup>	0.04	0.00	0.05	0.00	0.05	0.00	0.15	0.00	0.15	0.00
陽イオン合計		0.86		0.82		0.69		0.79		0.89
H C O <sub>3</sub> <sup>-</sup>	22.0	0.36	32.0	0.52	29.3	0.48	26.8	0.44	28.0	0.46
S O <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	10.4	0.22	3.8	0.08	3.7	0.08	7.3	0.15	6.0	0.13
C l <sup>-</sup>	9.9	0.28	6.3	0.18	4.3	0.12	6.0	0.17	8.1	0.23
陰イオン合計		0.86		0.78		0.68		0.76		0.81
S i O <sub>2</sub>	20.3		50.2		48.5		83.0		48.0	

\*1)抽出量が少ないため測定不能

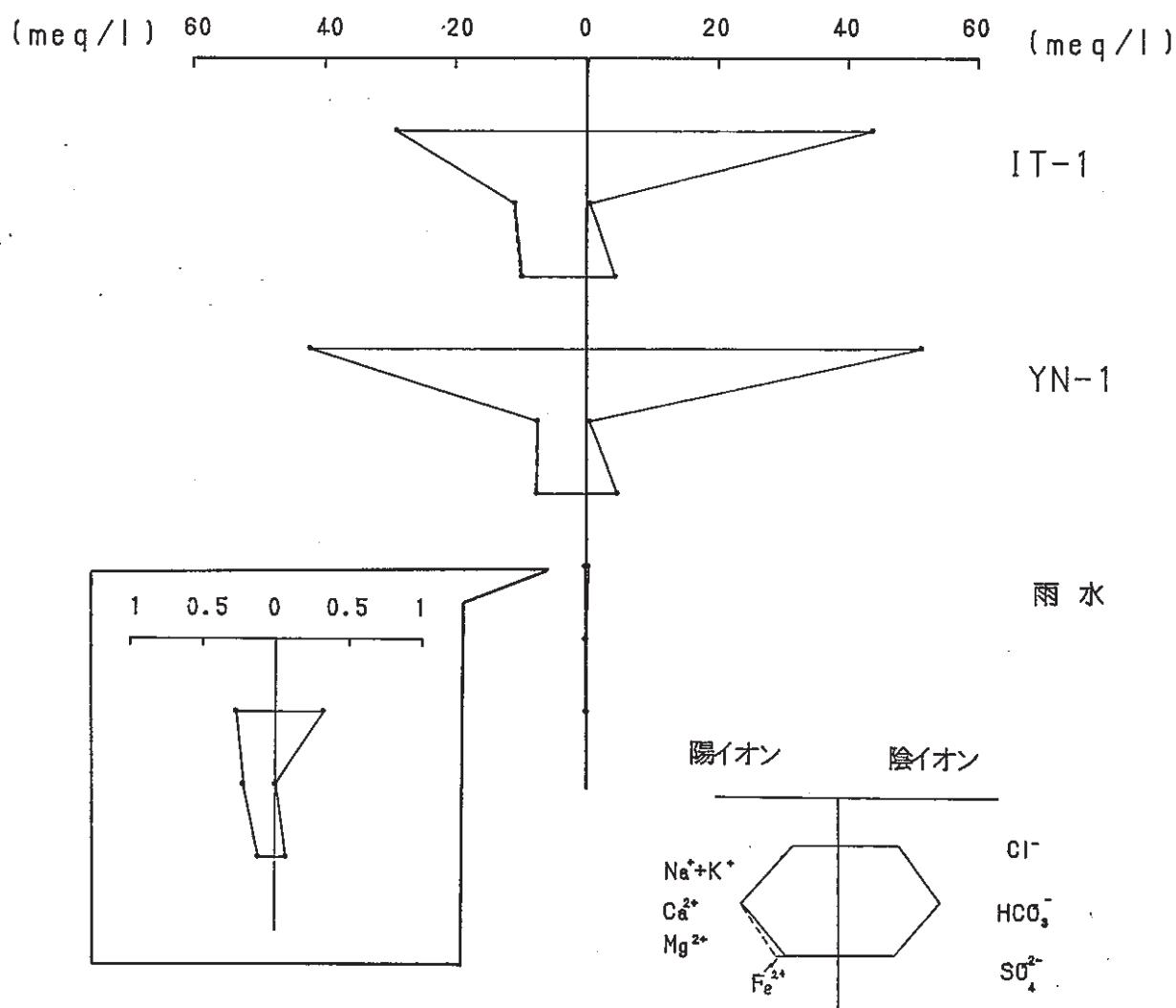


図-9 大島産O<sub>49</sub>スコリア間隙水および雨水のヘキサダイヤグラム

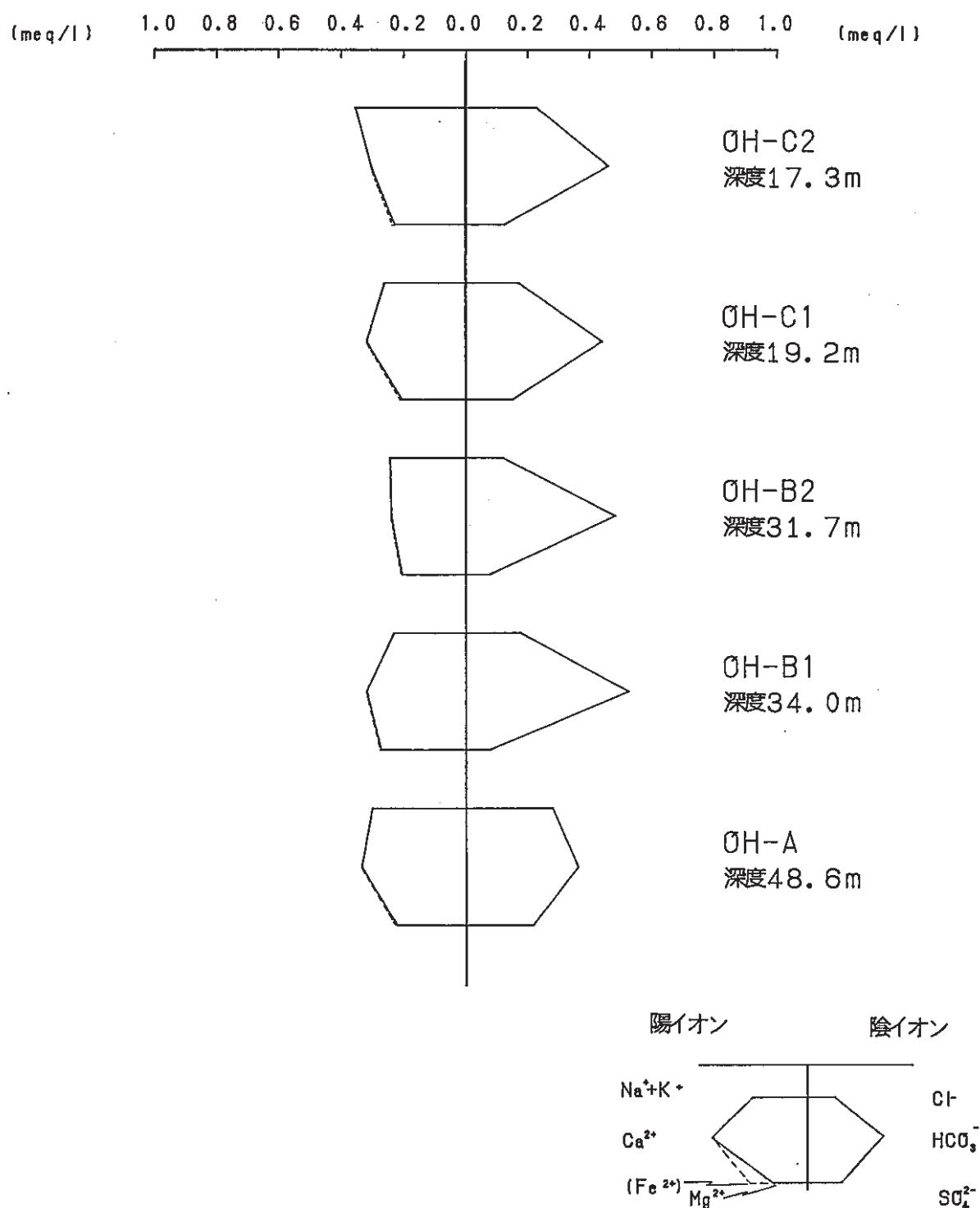


図-10 高塚山産スコリア間隙水のヘキサダイヤグラム

## 5. 考 察

### 5.1 大島におけるスコリア試料の地下水環境

大島のYN-1とIT-1のスコリア試料は、その間隙水が溶存成分に富み、特に $\text{Na}^+$ と $\text{Cl}^-$ が高濃度であること、および採取した位置も海食崖の基部であることから、波浪または海水の影響を受けた可能性が高いと考えられる。そこで、試料を採取したO<sub>49</sub>部層が堆積してから現在にいたるまでの地下水環境をYN-1地点を例として考察してみる。

#### (1) 海岸線の変化

次の①～⑦に示す事項をもとに海岸線の変化を検討する。

①試料採取地点付近の海食崖に露出する堆積物は、各部層の上部に風化火山灰が存在し、海生生物の化石が認められないことから、海成層ではないと考えられる。したがって、各部層は、堆積時には海水中に没してはいなく、また、大きな隆起運動を受けなかった。

②大島の平均海面に対する昇降運動は測定されていないが、1979年以降の岡田検潮所に対する相対的な島内の上下運動は年間±2cm以内で、上昇や下降の傾向は認められない。また、1986年の噴火前後の相対的な上下変動は平均30cm（最大60cm）である。

③①と②から、大島における海水準変化は氷河性の海水準変動のみであるとみなす。

④太田他（1987, 1982）により推定された日本における過去10,000年の海水準変化を示した図-11から明かなように、海平面は10,000年前に-40m付近まで低下しており、その後は10m/1,000年の速さで上昇（=縄文海進）し、6,000年前にはほぼ現在の水準に達していた。その後、海平面は、5,000年前の小海進と3,000年前の小海退により多少上昇あるいは低下（それぞれ±2~3m）するが、2,000年前以降はほぼ現在の海水準となっている。

⑤海上保安庁発行の1/50,000海底地形図から、調査地点の標高100~-100m間で求めた平均地形勾配（3.8°）は過去も同様であった。また、この間に噴出した火山灰は地形と平行に堆積した。

⑥当地点における平均堆積速度は、堆積物の総層厚から、2m/1000年であるとみなす。

⑦海進時には海食崖は発達せず、海面停滞期に海食崖が後退する。

推定した海岸線の変化を図-12に示す。この図をもとに、海岸線の変化を述べると次のようになる。

O<sub>49</sub>部層堆積時の約8,600年前には、海面は-32m付近にあり、海岸線は、地形勾配から現在よりも約470mほど沖合いにあったと推定される（図-12-A）。そ

の後、海面の上昇分と噴出物の堆積による標高の付加を差し引くと、6,000年前の海岸線は現在より沖合い86mまで接近した(図-12-C)。この後、海水準はほぼ安定し、海食崖の成長が始まった。6,000年前から4,000年前までの2000年間は、海面は現在より2~3m高くなっている、試料採取地点は標高-2~-3mで海岸からは数10m陸側にあったと考えられる(図-12-D)。4,000年前の小海退期には海食崖の後退は遅くなったあるいは停止した(図-12-E, F)。2,000年前からは海面はほぼ現在と同じ水準で、海食崖の後退が顕著となった。

なお、海食崖の後退速度は、縄文海進終了後から現在までに一様に海食崖が後退したとすると、 $1.4(\text{cm/year}) [= (71\text{年/m})]$  と見積られる。

## (2) 地下水の水位と水質

以上のことから、試料採取地点が直接の波浪または海水にさらされるようになったのは、つい最近の数10年間の事と推定される。しかし、上述したように6,000年前から4,000年前までの2,000年間は、試料採取地点は海面下の深度に埋没しており、海水を含んだ地下水の影響を被ったことが想定される。

農業用地下水研究グループ(1986)によれば、現在の大島の地下水位は全島的に海拔0m付近にあり潮汐とともに変動することが観測されており、また、水質も古期山体を形成する地層の一部に淡水の帯水層が存在する以外はほとんどの場所で海水の混入が認められ、海岸から内陸へ1km以上はなれた場所でも $1,000\text{mg/L}$ 以上の $\text{Cl}^-$ が観測されている。

このことから、6,000年前から4,000年前までの海面上昇期の間は、試料採取地点のスコリアは海水の影響を受けた地下水に浸されていたと推定され、その地下水は、当時の海岸から86mほどしか離れていなかったことを考慮すると、かなり高塩分濃度であったと考えられる。

一方、4,000前から現在までの海面低下に伴う地下水位低下期の間は、試料採取地点のスコリアは現在と同じように比較的塩分濃度の高い間隙水と接していたと考えられる。また、6,000年以前の試料採取地点は地下水位より十分高い位置にあったため、そのスコリアは、風送塩の影響を受けているが塩分濃度の低い間隙水、たとえば前年度調査のLoc. 24のN1スコリアやN4スコリアの間隙水と同様の間隙水と接していたと推定される。

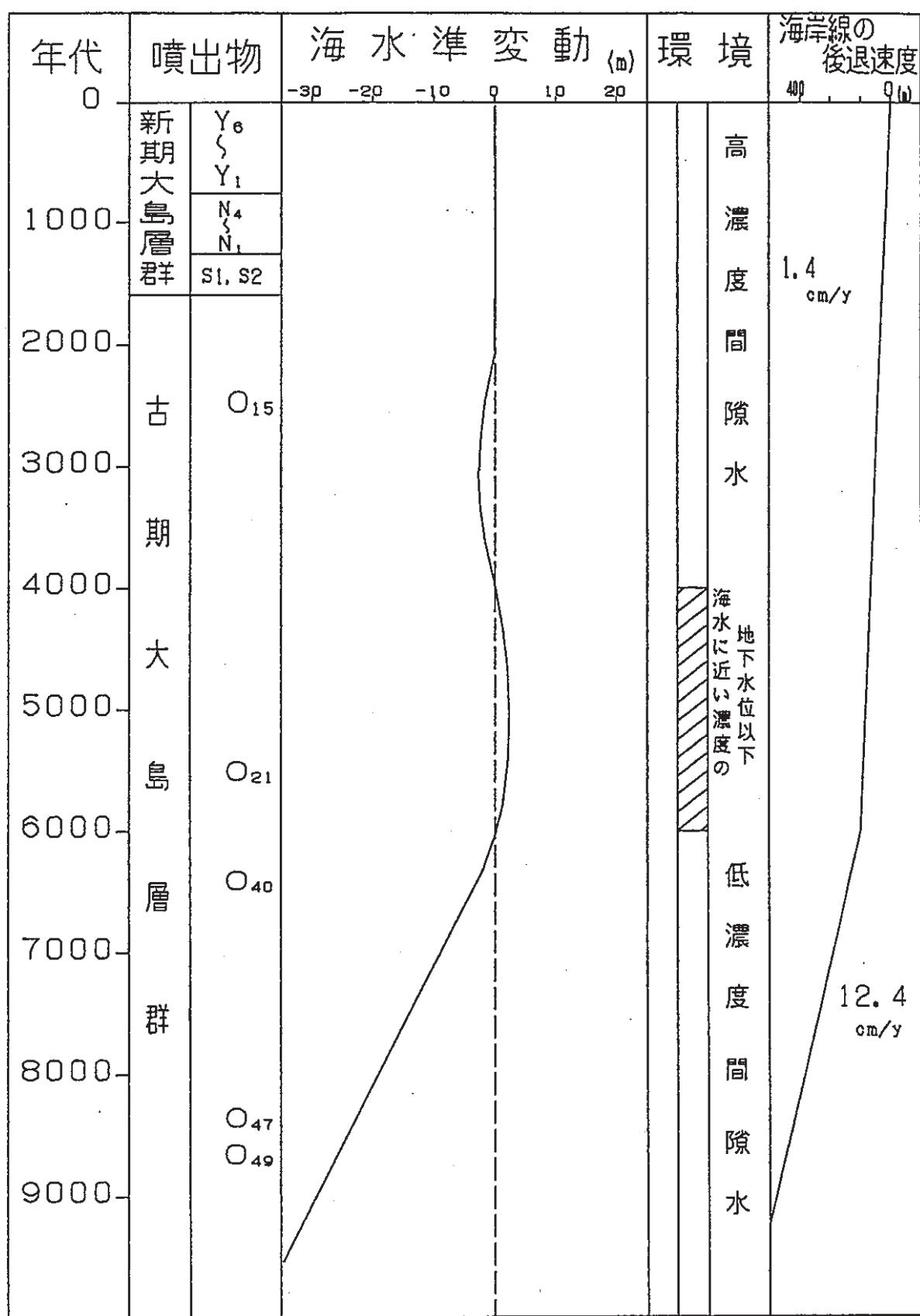


図-11 海水準変動と埋没環境

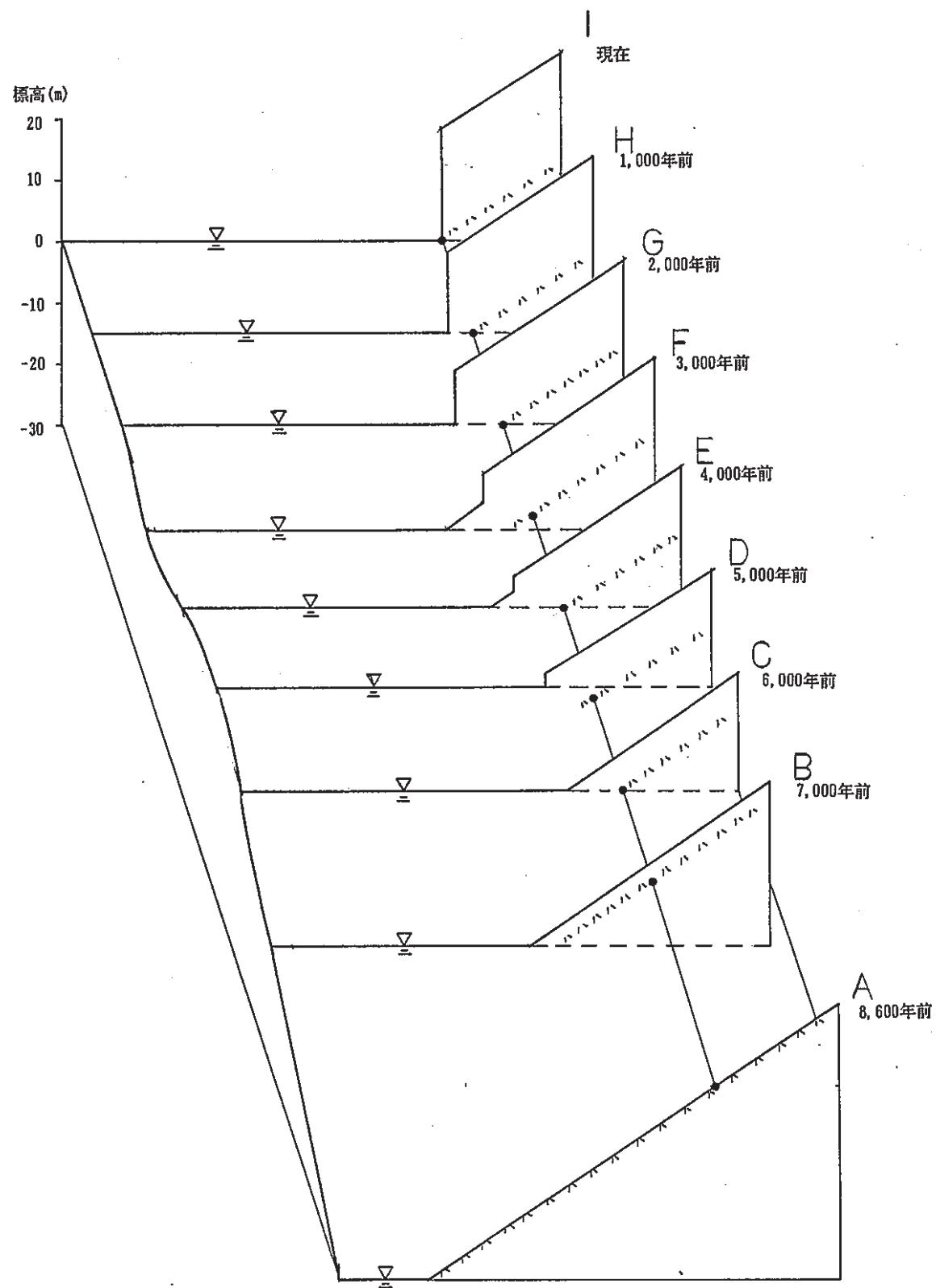


図-12 大島湯の浜における海岸線変化

## 5.2 大島における前年度調査との比較

前年度に大島においては新期大島層群中のN<sub>4</sub>スコリアとN<sub>1</sub>スコリアを対象にナチュラルアナログ調査が実施されている（PNC SJ4308 89-001）。これらの調査結果と今回の調査結果をまとめて表-16に示す。また、間隙水等の水質分析結果については、前年度に実施した富士火山起源のスコリア試料の分析結果も含めて表-17と図-13にまとめて示した。

表-16 大島における調査結果一覧表

試 料 名	Loc. 24 N1	Loc. 24 N4	YN-1	IT-1
対 象 地 層	N <sub>1</sub> スコリア	N <sub>2</sub> スコリア	O <sub>49</sub> スコリア	
年 代 (yBP)	877	1239		8640
埋没深度 (m)	4.3	5.8	17.6	13.8
密 度 (g/cm <sup>3</sup> )	0.88	0.80	0.99	1.11
含 水 比 (%)	13.2	28.6	23.0	20.8
SiO <sub>2</sub> 含有量 (wt%)	51.66	51.42		—
風化変質鉱物 *)	なし		モンモリロナイト	
間隙水の水質組成		Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> >Ca <sup>2+</sup> >Mg <sup>2+</sup> Cl <sup>-</sup> >>SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> >HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		
間隙水の溶存成分濃度 (meq/l)	5.650 ～5.903	6.905 ～7.242	56.418 ～57.288	48.591 ～49.939
風化変質の程度	ガラスは新鮮 変質層厚:10 <sup>-2</sup> ～10 <sup>-3</sup> mm		ガラスは全体にやや汚濁 変質層厚:10 <sup>-2</sup> mm	
平均気温 (°C)		14.9		
年間降水量 (mm)		2953.1		

\*) X線回折分析により検出できた鉱物

表-16の各試料を比較すると風化変質の条件として年代、埋没深度および間隙水の溶存成分量が異なっており、変質性状としては風化変質鉱物の有無に大きな差異が認められる。間隙水の溶存成分量が異なるため単純な比較はできないが、X線回折分析でO<sub>49</sub>スコリア試料にモンモリロナイトが認められたことは、年代の古さに起因したものと考えられる。また、偏光顕微鏡にて定性的に比較したにすぎないが、年代の古いO<sub>49</sub>スコリアの風化変質層も年代の新しいN<sub>1</sub>やN<sub>4</sub>スコリアよりもやや厚い傾向が認められる。

表-17 富士および大島のスコリア試料に関する間隙水・浸透水・湧水の水質分析結果一覧表

試料名	試料の種類	pH	EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}, 25^\circ\text{C}$ )	陽イオン						陽イオン合計	陰イオン				陰イオン合計	$\text{SiO}_2$	
				$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Fe}^{2+}$	$\text{NH}_4^+$		$\text{HCO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$			
宝永 スコリア	間隙水	-	-	4.40	1.70	5.30	1.31	—	—	—	24.4	6.5	4.1	—	—	34.2	
				0.19	0.04	0.26	0.11	—	—	0.61	0.40	0.14	0.12	—	0.65		
	浸透水	8月 採水	7.5	69.0	2.95	1.25	8.13	1.10	—	—	—	33.0	2.0	1.7	—	—	18.2
					0.13	0.03	0.41	0.09	—	—	0.66	0.54	0.04	0.05	—	0.63	
	12月 採水	7.3	64.8		3.20	0.86	8.21	1.12	—	—	—	33.0	2.8	1.4	—	—	22.9
					0.14	0.02	0.41	0.09	—	—	0.66	0.54	0.06	0.04	—	0.64	
砂沢 スコリア	間隙水	—	—	3.60	1.10	5.78	1.73	—	—	—	13.4	7.8	5.9	—	—	68.5	
					0.16	0.03	0.29	0.14	—	—	0.62	0.22	0.16	0.17	—	0.55	
富士 黒土層	湧水	7月 採水	7.1	125	5.20	1.62	8.90	7.05	—	—	—	69.0	3.2	2.4	—	—	45.0
					0.23	0.04	0.44	0.58	—	—	1.29	1.13	0.07	0.07	—	1.27	
	8月 採水	7.0	119		4.75	1.30	8.71	6.58	2.90	—	—	67.1	4.7	2.8	—	—	36.1
					0.21	0.03	0.44	0.54	0.10	—	1.32	1.10	0.10	0.08	—	1.28	
	12月 採水	7.3	121		5.00	1.28	9.01	6.62	—	—	—	64.1	5.2	2.7	—	—	42.6
					0.22	0.03	0.45	0.57	—	—	1.27	1.05	0.11	0.08	—	1.23	
N <sub>4</sub> スコリア	間隙水	6.0	801	86.0	3.73	40.2	15.3	4.00	—	—	—	6.10	26.1	222	—	—	47.7
					3.38	0.10	2.01	1.26	0.14	—	7.24	0.10	0.54	6.26	—	6.91	
N <sub>1</sub> スコリア	間隙水	6.0	640	78.0	2.87	27.0	11.9	3.16	—	—	—	7.63	26.9	176	—	—	51.5
O <sub>49</sub> スコリア	間隙水 (YN-1)	—	—	963	14.8	150	91.8	<0.04	—	—	—	26.8	223	1820	—	—	33.8
				41.87	0.38	7.49	7.55	0.00	—	57.29	0.44	4.64	51.34	—	56.42		
	間隙水 (IT-1)	—	—	650	27.1	221	121	<0.04	—	—	—	31.7	209	1550	—	—	53.6
				28.26	0.69	11.03	9.96	0.00	—	49.94	0.52	4.35	43.72	—	48.59		
大島	雨水	4.7	107	5.45	1.42	4.38	1.38	—	1.50	—	—	0.0	3.4	11.4	20.0	—	
				0.24	0.04	0.22	0.11	—	0.08	0.73	0.00	0.07	0.32	0.33	0.73		

注) 間隙水は全試料とも、減圧法により抽出したものである。

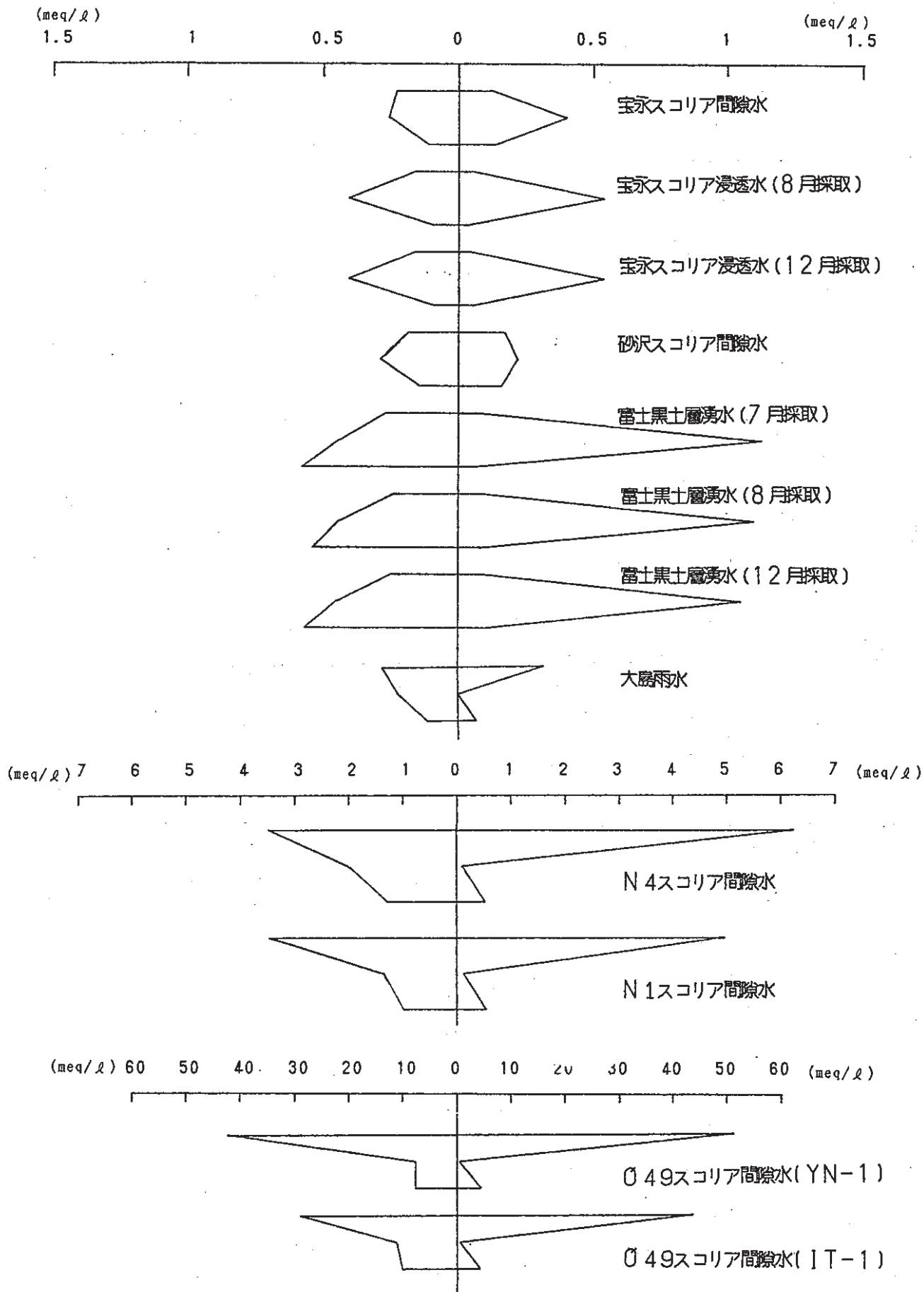


図-13 富士および大島のスコリア試料に関する  
間隙水・浸透水・湧水のヘキサダイヤグラム

## 5.3 高塚山火山スコリアの変質過程

高塚山スコリア試料のSEM観察による風化変質層の測定結果<sup>\*1</sup>を図-14に示す。

図-14をみると、スコリアの風化変質層の厚さは埋没深度が深くなるにつれて明らかに減少している。また、SEM観察では、風化変質層は溶脱層とスマクタイト層に区別され、前者は深度の浅い試料に認められ、これに対し後者は

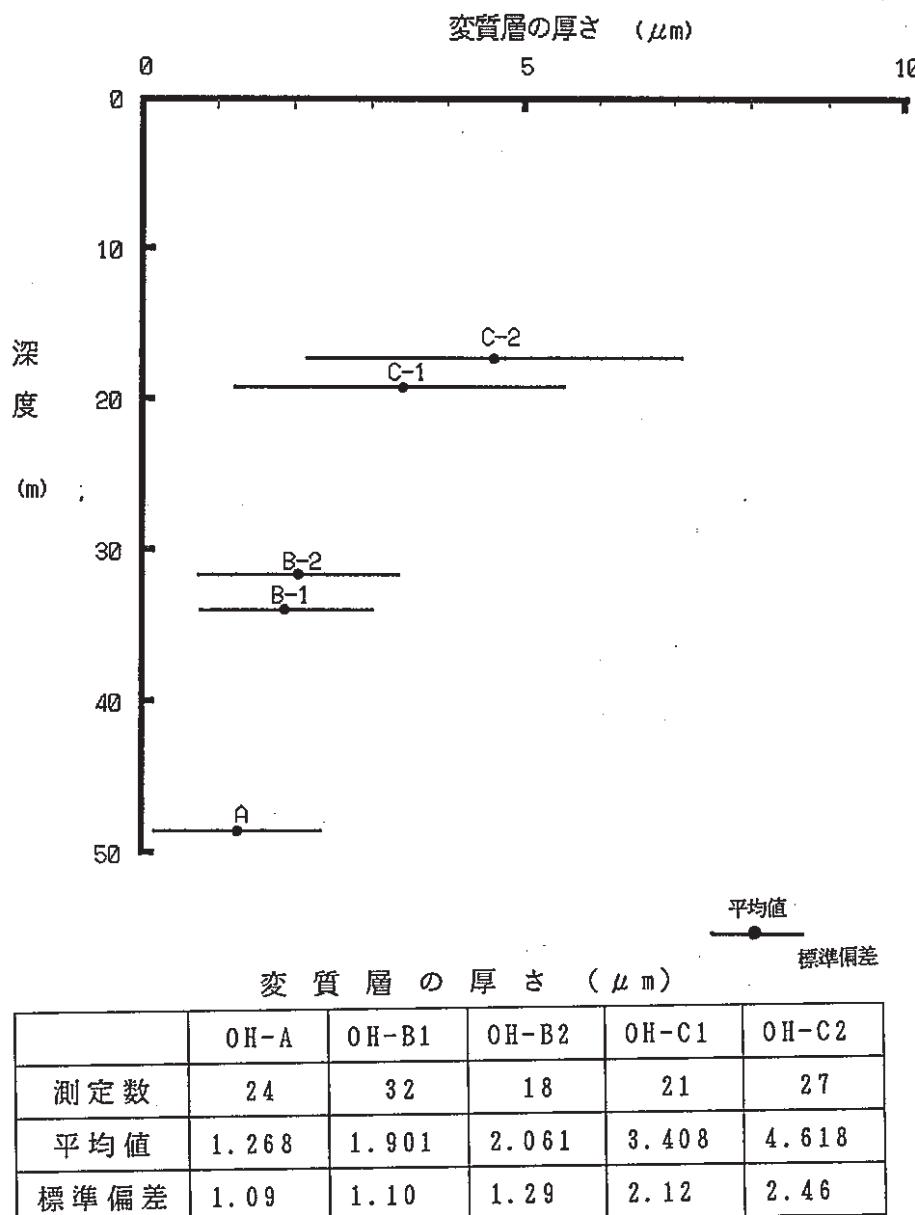


図-14 SEMによるスコリア変質層の厚さの測定結果

\*1) 動力炉核燃料開発事業団より提供されたデータを使用した。

深度の浅い試料では溶脱層の外側に、深度の深い試料ではスコリア表面に直接接していることが明かとなった。

これらのことから、スコリアの風化変質のモデルを考察すると図-15のようになる。図-15の①は、高塚山のスコリアコーンが形成された直後からの、雨水の浸透による風化変質層の形成状況を示している。降水がスコリア層中を浸透していく場合、一般的には浸透水の $H^+$ 濃度は深度とともに減少するが、 $SiO_2$ 濃度は増加する。このとき、 $H^+$ 濃度が高く、 $SiO_2$ 濃度が低い浅部では、スコリア表面には溶脱層が形成されるが、 $H^+$ 濃度が低く、 $SiO_2$ 濃度が高い深部ではスメクタイト層が形成されると考えられる。一方、試料採取地点の地表部には、富士火山灰起源と推定されるローム状の風化帯が分布している。この火山灰がスコリア層の上部に堆積してからは、図-15の②に示したように火山灰の風化によってスコリア層に $SiO_2$ が供給され、スコリア層の浅部でも浸透水の $SiO_2$ 濃度が高くなり、溶脱層の外側にスメクタイトが形成されたと考えることができる。

#### 5.4 高塚山火山スコリア間隙水の水質

高塚山火山にて採取したスコリア試料は、同一起源、同一年代であるが、風化変質の条件の一つである埋没深度が異なっている。しかし、前掲図-10に示したように深度変化に伴う水質組成の変化は明確でない。図-16は各試料の $SiO_2$ 濃度の深度変化を示したものである。 $SiO_2$ 濃度は一般的には地下水が浸透していくにつれ周辺岩石との反応が進み増加していく。しかし、図-16から明らかのように、 $SiO_2$ 濃度は深度とともに減少する傾向がある。

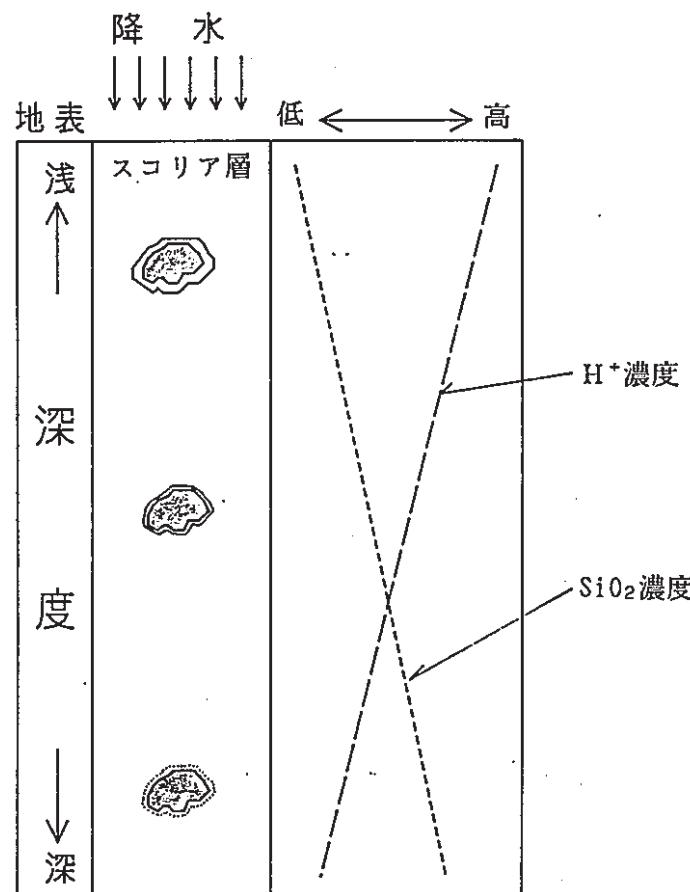
この理由を検討するため、まず、間隙水がどの様な状態に置かれているかをみてみる。

図-17に間隙水の $HC O_3^-/SiO_2$ モル比と $Na^+/Ca^{2+}$ モル比との関係を、図-18に $Na$ モル濃度と $SiO_2$ モル濃度の関係を、図-19に $H_4SiO_4$ モル濃度と $Ca^{2+}/H^+$ モル濃度比の関係を示す。これらの図には、前年度に調査した宝永スコリアの間隙水と砂沢スコリアの間隙水および富士黒土層の湧水の測定値をあわせて示した。

図-17中の曲線はGarrels(1967)の示した火山岩と地下水との反応における長石→モンモリロナイト、長石→カオリナイト、長石→ギブサイトの理論的な反応境界線である。図-17を見ると富士黒土層の湧水と高塚山スコリアの最下部の試料(OH-A)を除いてギブサイトより左の領域にプロットされる。

図-18の2本の直線は $SiO_2:Na$ が2:1と1:1の線であるが、Ikeda(1989)によれば火山岩中の斜長石が風化してカオリナイトになる時の地下水の $SiO_2:Na$ は2:1であり、一方、カオリナイトとモンモリロナイトが平行状態であるときには

① 堆積直後



② 上載層の堆積

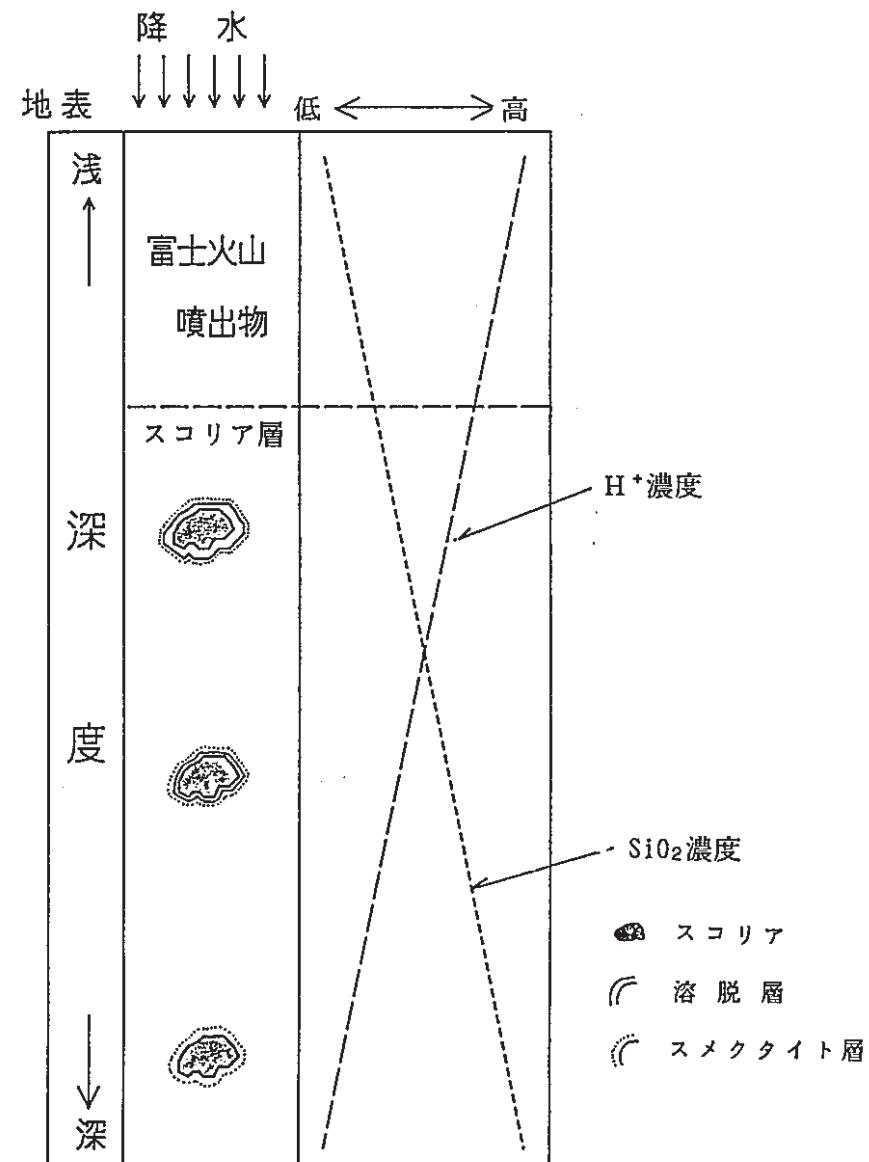
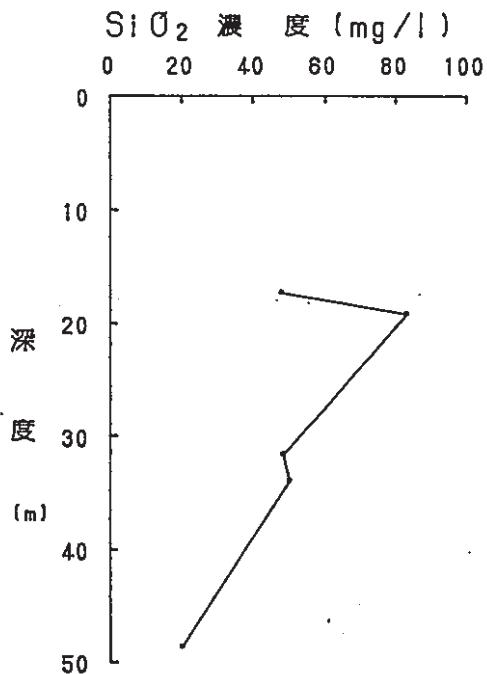


図-15 スコリアの変質モデル

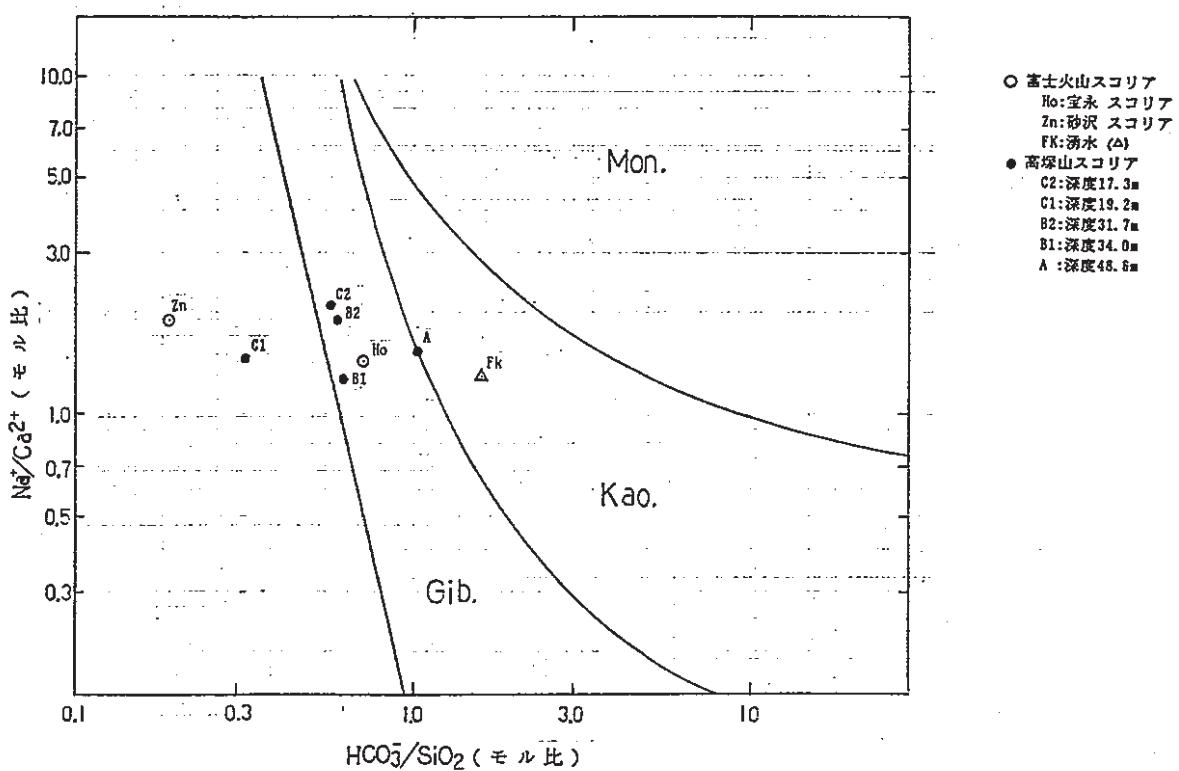
図-16 深度とSiO<sub>2</sub>濃度の関係

SiO<sub>2</sub>:Naは1:1となる。図-18を見ると高塚山スコリアの最下部の試料(OH-A)がややSiO<sub>2</sub>:Na=1:1に寄っている他はSiO<sub>2</sub>:Na=2:1より上方にプロットされる。

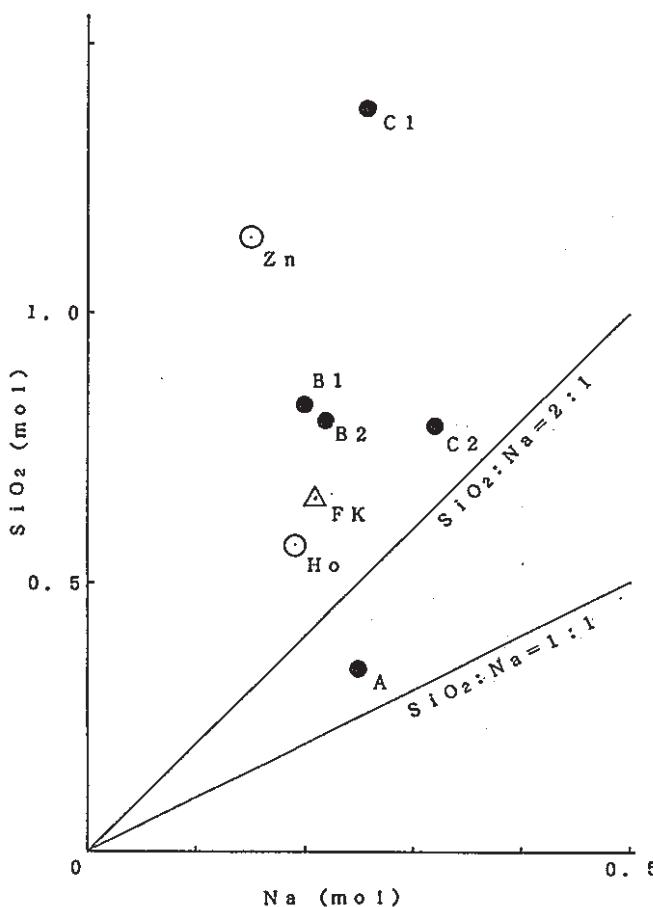
図-19はTardy(1971)による岩石と地下水の反応における長石の変質相図であるが、間隙水試料はpHの測定値が得られていないためpHを6~7と仮定してプロットしてある。図-19を見るとほとんどの試料はモンモリロナイトと平衡である範囲にプロットされ、OH-AとpH6に想定したときの宝永スコリアのみがカオリナイトの範囲にプロットされる。

OH-C2のX線回折分析でモンモリロナイトが検出され、SEM観察でもスメクタイトが認められたものの、図-17~19をみると、採取した間隙水がモンモリロナイトと平衡状態になっているとは考えにくい。

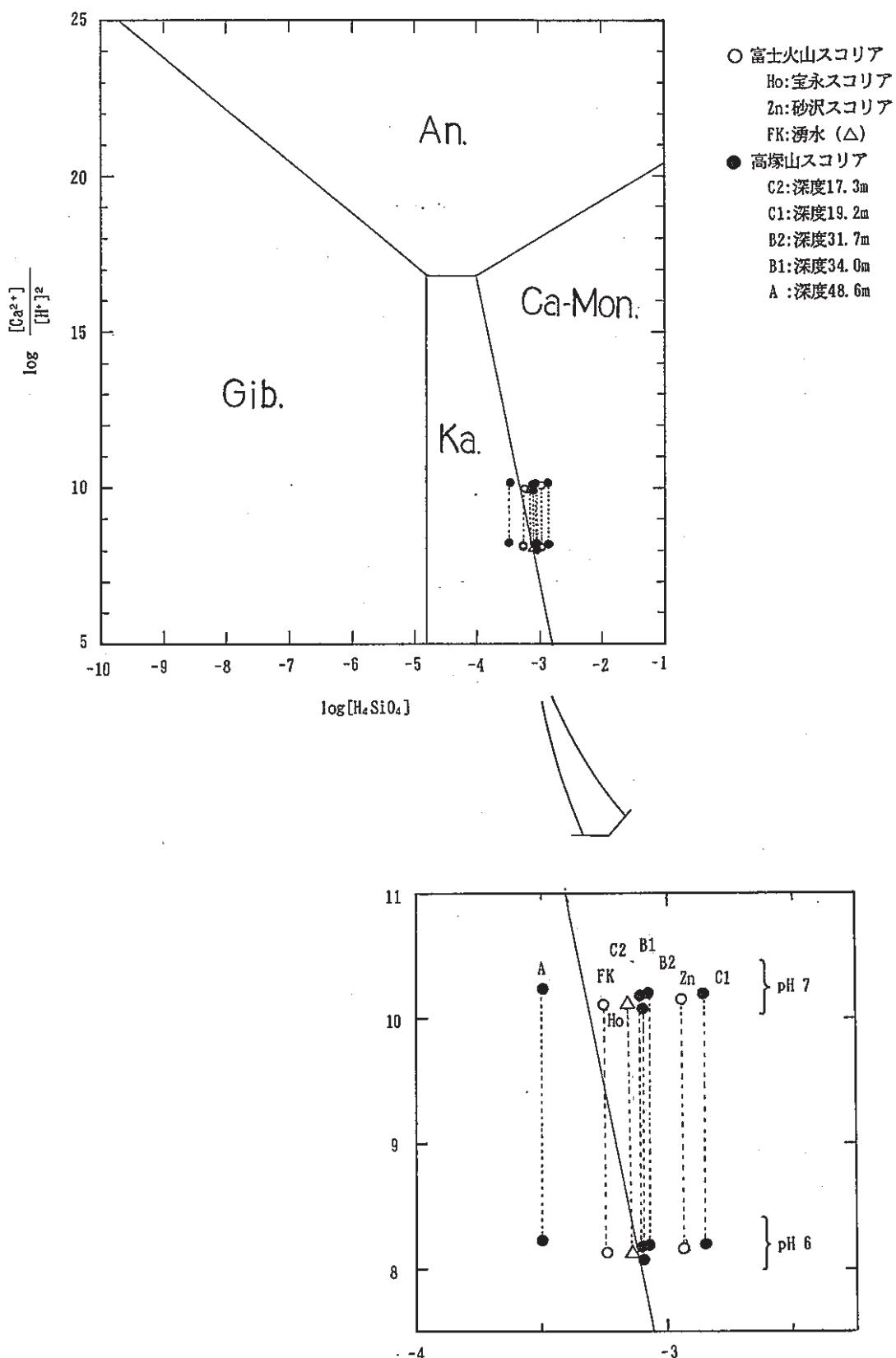
のことと、採取位置が人工的な切取り法面であることを考え合わせると、採取した間隙水は、雨水が地表面から供給されたものだけでなく、切取り法面から直接浸透したものが混入しており、風化変質層を形成した真の間隙水ではないと推定される。したがって、このことが深度による間隙水の水質の変化のない理由と考えられる。

図-17 スコリア間隙水の $\text{HCO}_3^-/\text{SiO}_2$ と $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ の関係図

Garrels (1967)のFig. 4より引用した

図-18 スコリア間隙水の  
Naと $\text{SiO}_2$ の関係図

Ikeda (1989)のFig. 14より引用した

図-19 スコリア間隙水の $[\text{H}_4\text{SiO}_4]$ と $[\text{Ca}^{2+}]/[\text{H}^+]$ の関係図

Tardy(1971)のFig. 3より引用した

## 6. 問題点と今後の課題

高塚山火山のスコリアについて、埋没深度の差異による変質層の性状が深度約50mに及ぶ区間で明かとなつたが、風化変質層を形成した間隙水の水質については、露頭表面から浸透する降水の影響により、正確な結果を得ることができなかつた。今後、間隙水の水質を把握するためには、斜面や法面から離れた所にボーリングや縦坑等を掘削するなどして、露頭表面から浸透する降水の影響のない箇所からスコリア試料を採取する必要がある。

## 参考文献

- Garrels, M. G., Genesis of Some Ground Waters from Igneous Rocks. :Reserches in Geochemistry, Vol. 2, p. 405-420(1967)
- Ikeda, K., Chemical evolution of groundwater quality in the southern foot of Mount Fuji. :Bull. Geol. Surv. Japan, Vol. 40, No. 7, p. 331-404(1989)
- 井関弘太郎, 完新世の海面変動:日本の第四紀研究(日本第四紀学会編), 東京大学出版会, 東京, p. 89-97(1977)
- 一色直記, 大島地域の地質:5万分の1地質図幅説明書, p. 42-66(1984)
- 国立天文台編, 理科年表:丸善, 東京(1990)
- 久野久著・箱根火山地質図再版委員会, 箱根火山地質図説明書:大久保書店, 東京, (1972)
- 町田 洋, 火山灰からみた箱根火山の一生:箱根火山(日本火山学会編), 箱根町, 神奈川, p. 77-102(1971)
- Nakamura, K., Stratigraphic Studies of Oshima Volcano, Izu, deposited during the Last Fifteen Centuries. - I. Cyclic Activity of "Main Craters" and the Absolute Chronology of the Pyroclastic Sediments. :Scientific Studies of the College of General Education University of Tokyo., Vol. 10, p. 125-145(1960)
- Nakamura, K., Volcano-Stratigraphic Study of Oshima Volcano, Izu. :Bull. Earthq. Res. Inst., Vol. 42, p. 649-728(1964)
- 太田陽子, 松島義章, 森脇 広, 日本における完新世海面変化に関する研究の現状と問題—Atlas of Holocene Sea-level Records in Japan を資料として—:第四紀研究, Vol. 21, No. 3, p. 133-143(1982)
- 太田陽子, 米倉伸之, A. 自然環境の変遷 § 13海岸線:日本第四紀地図解説書(日本第四紀学会編), 東京大学出版会, 東京, p. 70-72(1987)
- Oki, Y., Aramaki, S., Nakamura, K., Hakamata, K., Volcanoes of Hakone, Izu and Oshima. :Hakone Town Office, Kanagawa(1978)
- 菅原利夫, 稲本 晓, 18. 伊豆大島・利島:日本の地下水(農業用地下水研究グループ編), 地球社, 東京, p. 370-375(1986)
- 砂村継夫, 波による岩石海岸の地形変化—最近の研究とその問題点—:地理学評論, Vol. 48, No. 6, p. 395-440(1975)
- 多田 堯, 橋本 学, 1986年伊豆大島噴火と地殻変動:月刊地球, Vol. 9, No. 7, p. 396-403(1987)

- Tardy, Y., Characterization of the principal weathering types by the geochemistry of waters from some European and African crystalline massifs.: Chem. Geol., Vol. 7, p. 253-271 (1971)
- 田沢堅太郎, カルデラ形成までの1万年間における伊豆大島火山の活動:火山第2集, Vol. 25, p. 137-170 (1980)
- 田沢堅太郎, 古期大島層群の<sup>14</sup>C年代と平均噴火周期:火山第2集, Vol. 26, p. 69-70 (1981)
- 湯佐泰久, 黒田 直, 伊豆-高塚山, 船原山火山の地質と岩石:静岡大学地学研究報告, Vol. 2, No. 1, p. 43-54 (1970)

## II. ベントナイトのナチュラルアナログ研究

### 1. 調査目的

本調査では、新潟県の村上にあるセリサイト鉱床を対象として前年度に実施されたベントナイトのナチュラルアナログ研究を引き継ぎ、モンモリロナイトの変質年代と変質履歴を把握することを目的として、試料の採取、室内分析、年代測定を行った。

## 2. 調査地の概要

### 2.1 地形概要

調査地およびその周辺の地形概要を図-1に示す。

調査地は朝日山地の東縁部に位置し、標高100～600mの深く開析された山地となっている。調査地のほぼ中央には大須戸川が山地を東西に分断して南流しており、それに沿って比較的幅の広い沖積平野が形成されている。

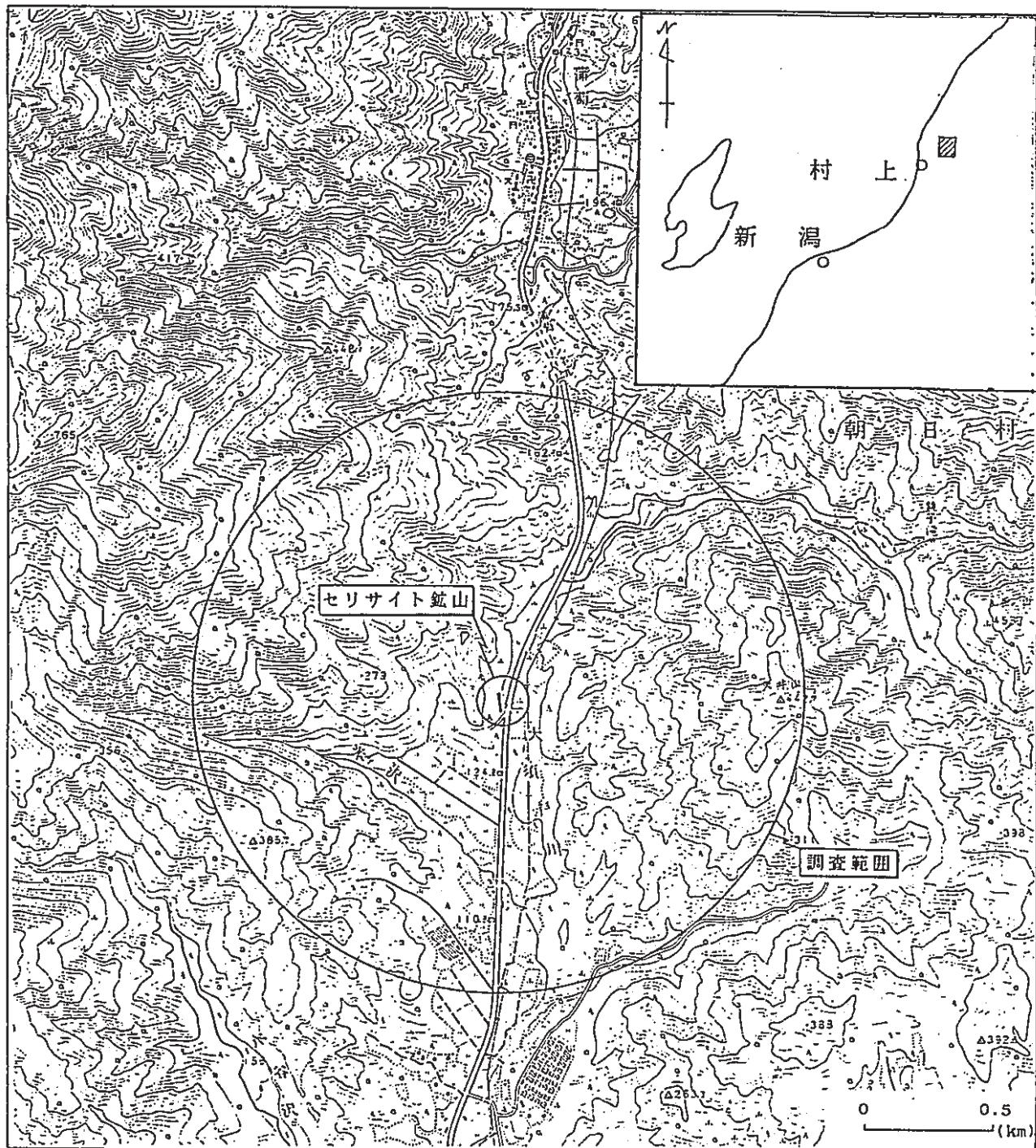


図-1 地形および調査位置図

## 2.2 地質概要

文献および前年度の調査結果をもとに地質の概要を述べる。

### 2.2.1 地質および地質構造

調査地周辺の層序と地質概要を表-1に、地質図を図-2に示す。

表-1 調査地の地質層序表

	地層名		層相と特徴	層厚(m)
第四紀	沖積層		礫層と砂層から成る。河床からの比高3~4mの沖積段丘を形成している。	2~4
新第三紀 中新世	朝長坂流日峠紋岩層	黒雲母流紋岩層	灰白色黒雲母流紋岩から成る。風化すると流理構造が顕著となる。	50~100+
		凝灰岩層	細粒ガラス質凝灰岩、火山礫凝灰岩。上部層準が粘土化している。	20~70
		白色流紋岩層	白色流紋岩。部分的に角礫状を呈する。	100+
		天井山層	安山岩、安山岩質火山礫凝灰岩。	?
		蒲萄層	軽石凝灰岩。軽微に溶結している。	?
先新第三紀	花崗岩類	中~粗粒花崗岩。アプライト脈を頻繁に挟む。		

調査地およびその周辺には先新第三紀の花崗岩類を基盤とし、新第三紀の火山岩、火山碎屑岩および堆積岩が分布している。新第三紀の火山岩類および堆積岩類は下位より、蒲萄層、天井山層、朝日層の3層に区分される（高浜、1976など）。これらの地層のうち調査地には主として朝日層が分布している。

朝日層は、当地域では長坂峠流紋岩部層と称されており、下位より白色流紋岩層、凝灰岩層、黒雲母流紋岩層の3層に細区分される。また、これらには、黒色でガラス光沢のある真珠岩の小岩体が貫入している。

白色流紋岩層は、黒雲母を含まず流理構造の発達した流紋岩を主体とするが、部分的に角礫質となり火山角礫岩～凝灰角礫岩様を呈する。また、まれに白色の細粒凝灰岩を挟む。本層は、調査地の北部から西部にかけて帯状に分布するほか、調査地南東部にも分布している。

凝灰岩層は、均質な灰色の細粒ガラス質凝灰岩と流紋岩片を含む火山礫凝灰岩から成り、全体に軟質で上部層準では粘土化している。本層は、調査地の北西部と南東部に分布する。

黒雲母流紋岩層は、粒径の大きな自形の黒雲母を含む灰白色黒雲母流紋岩で、風化すると流理状の構造が現れ、これに沿って剝離する傾向が認ある。本層は調査地の中央部に楕円形に分布している。

真珠岩は、ガラス光沢があり、わずかに黒雲母の斑晶を含んでいる。露頭で

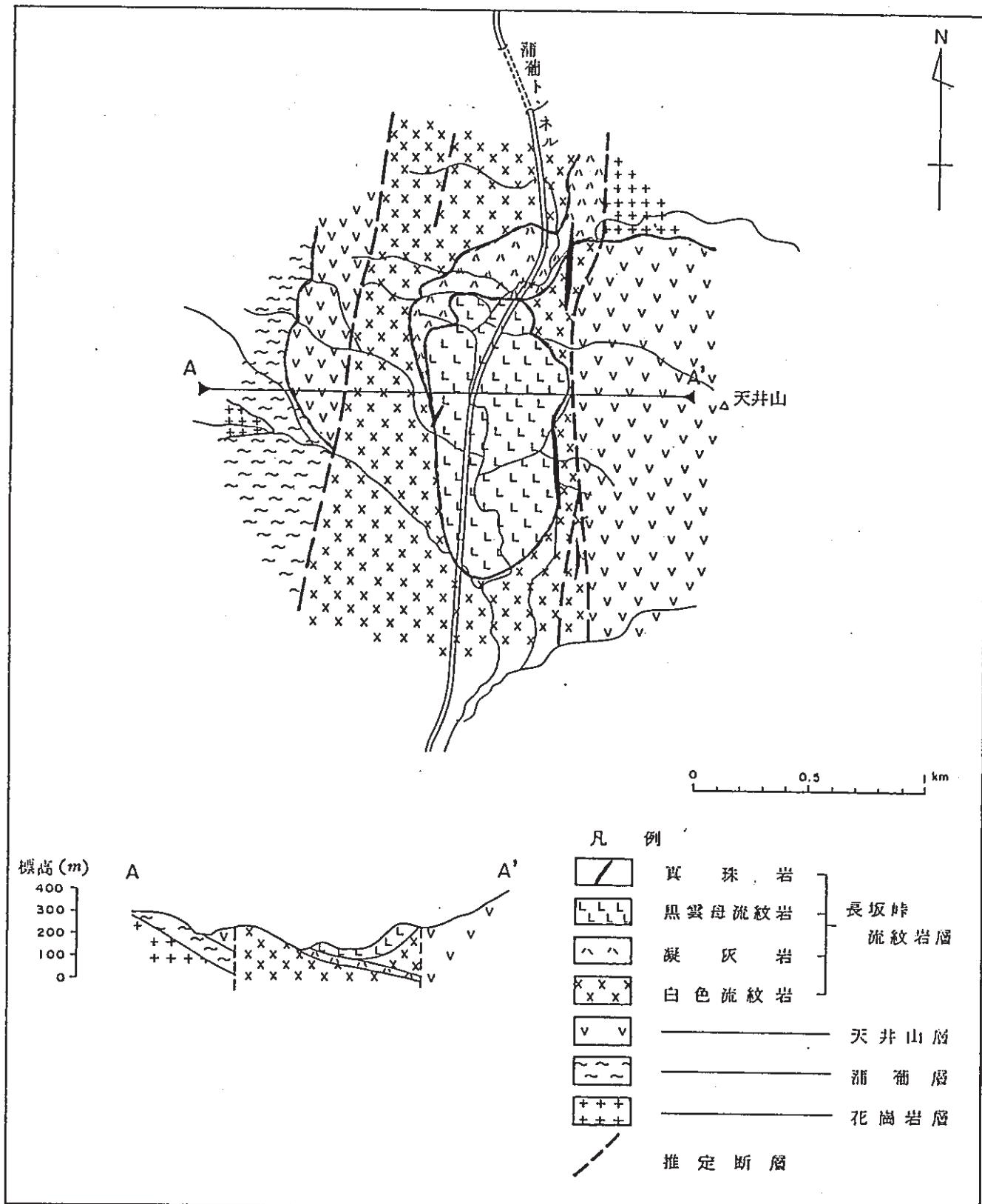


図-2 地質図

は一般に風化して細片状～粗粒砂状を呈する。本岩は調査地の東部山腹とセリサイト鉱山付近ではほぼ南北方向に帯状に貫入している。

長坂峠流紋岩部層は南北に延びる地溝状に分布している。長坂峠流紋岩層と天井山層の境界付近には、断層粘土起源と考えられる暗紫灰色粘土の崩積土が何点か認められることから、長坂峠流紋岩部層の東西両縁には南北性の断層が存在すると推定される。また、同部層中の白色流紋岩層および凝灰岩層は北西部で南東に20～40°で傾斜し、南東部で水平ないし北東に緩く傾斜しており、全体としては南東～東に傾斜した同斜構造を成している。

### 2.2.2 セリサイト鉱床周辺の地質

セリサイト鉱床周辺の地質断面図を図-3に示す。凝灰岩層の黒雲母流紋岩との接觸部付近は厚さ20～30mの粘土化帯となっている。粘土化帯は青灰色～灰白色の非常に均質な粘土から成るが、一部に粗粒の軽石質凝灰岩様を呈する部分や源岩の堆積構造を残している部分が認められる。セリサイト鉱床は、この粘土化帯に胚胎している。

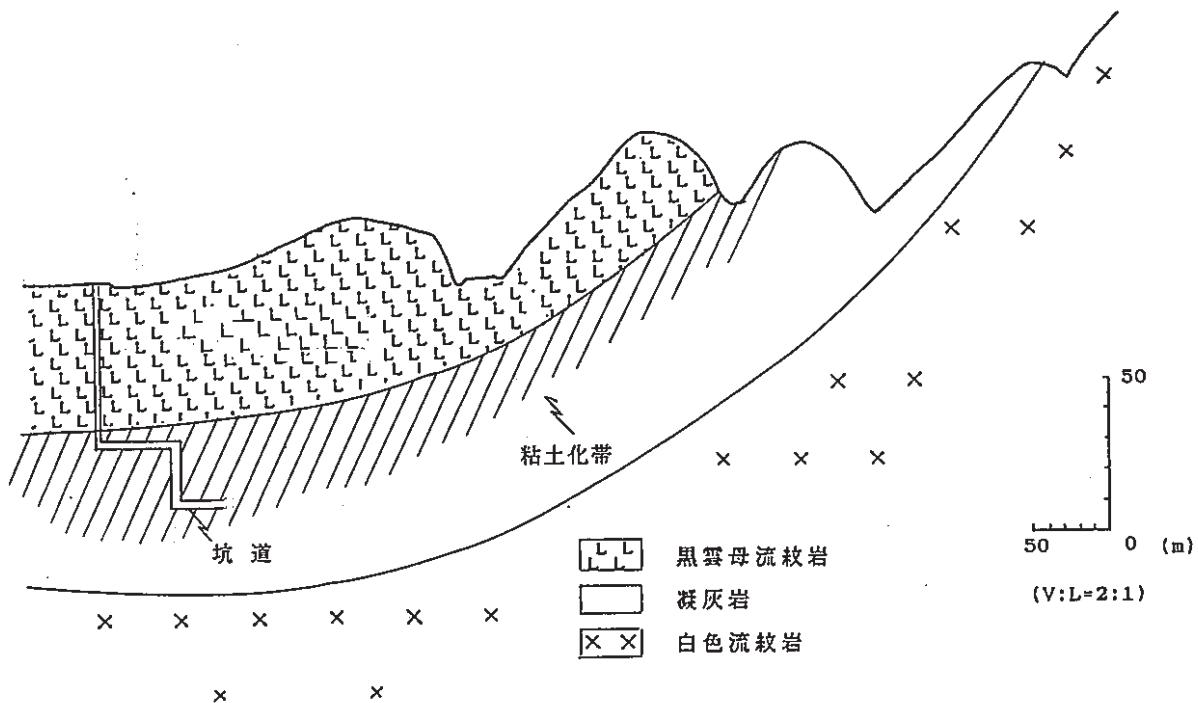


図-3 セリサイト鉱山付近の地質断面図

### 3. 室内分析および年代測定

#### 3.1 試 料

セリサイト鉱山の周辺露頭、坑内および坑内ボーリング試料から粘土試料と岩石試料を採取した。

試料採取位置を図-4, 5に、試料の地質概要とそれぞれの試験項目を表-2, 3, 4に示す。なお、図-4, 5には前年度にX線回折分析を行った試料の採取位置も示してある。

露頭試料は、黒雲母流紋岩体の中心から放射状に主要な3ルート(A, B, C)を選び同岩体からの距離に応じて採取した。粘土露頭では変質鉱物の変化を把握するため数10cm間隔で試料を採取した。また、これとは別に白色流紋岩、凝灰岩、黒雲母流紋岩からそれぞれ代表的な試料を採取した。

坑内試料は、前年度に分析した-50m坑道について更に間隔を狭くして採取し、新たに掘削された-66m坑道からも採取した。

坑内ボーリング試料は、-50m坑道の西側の-58mと-64mの深度で水平に掘削されたボーリングのコア試料から、原則として5m間隔で採取し、色調の変化する部分では特に密に採取した。

採取した試料のうち、粘土試料と凝灰岩試料はすべてX線回折分析により構成鉱物を同定した。また、各岩種ごとの複数の試料についてFT法による年代測定を実施し、特に、黒雲母流紋岩についてはRb-Sr法とK-Ar法を用いて年代測定を行った。さらに、各岩種について熱伝導率の測定もあわせて行った。

なお、粘土および凝灰岩試料のうち、代表的なものについては顕微鏡観察も行った。



図-4 試料採取位置図（その1：露頭試料）

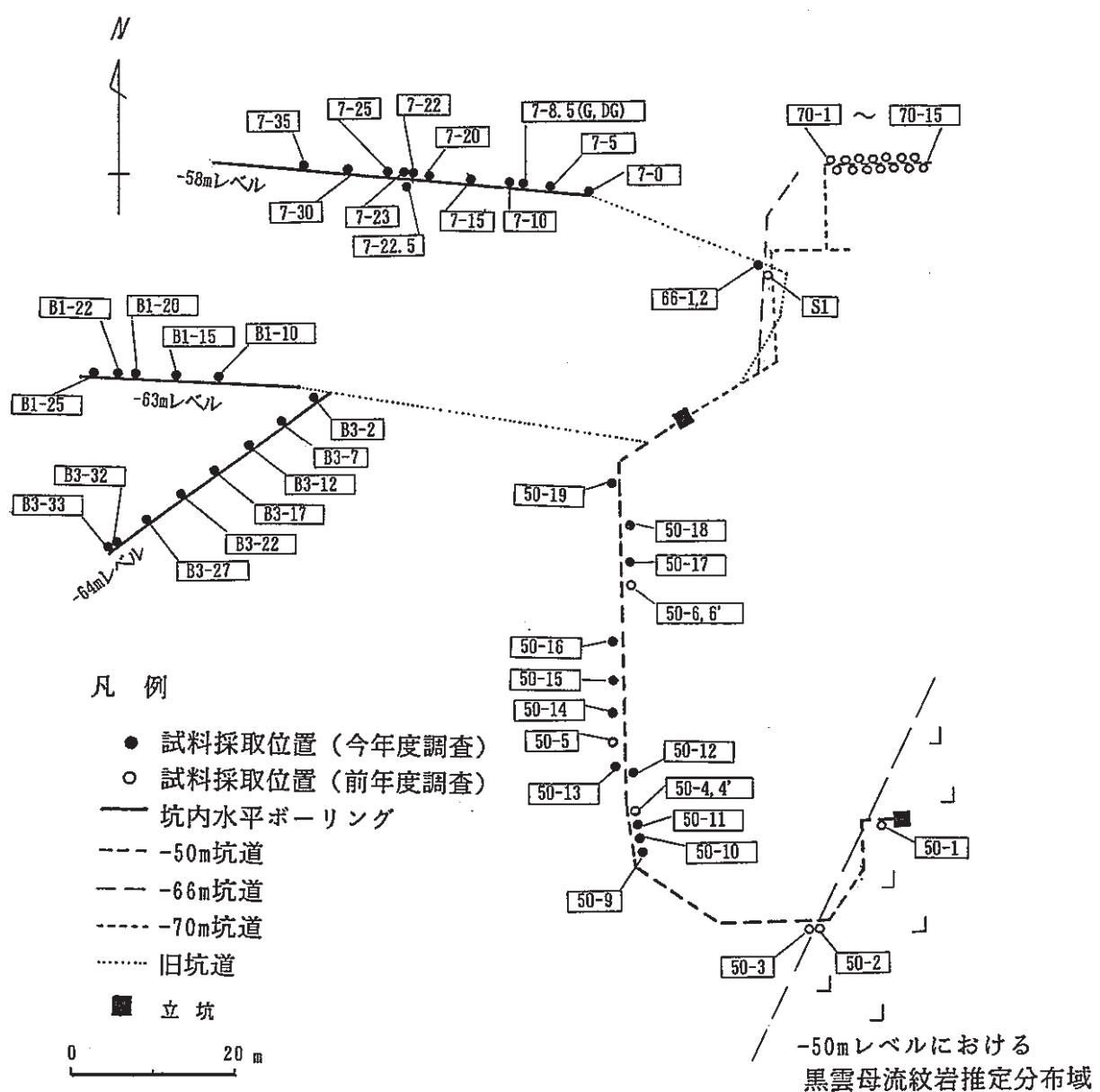


図-5 試料採取位置図（その2：坑内試料）

表-2 採取試料リスト（その1：露頭試料）

試料名	地 質	位 置	分 析				
			X線	FT	K-Ar	Rb-Sr	熱伝導
A-0	黒雲母流紋岩	大須戸川本流		○	○	○	○
A-1-①	青灰色粘土	流紋岩近傍	○	○			
A-1-②	青灰色粘土	A-1-①より25cm	○				
A-1-③	青灰色粘土	A-1-②より25cm	○				
A-1-④	青灰色粘土	A-1-③より25cm	○				
A-1-⑤	青灰色粘土	A-1-④より25cm	○				
A-1-⑥	青灰色粘土	A-1-⑤より50cm	○				
A-1-⑦	青灰色粘土	A-1-⑥より50cm	○				
A-1-⑧	青灰色粘土	A-1-⑦より50cm	○				
A-1-⑨	青灰色粘土	A-1-⑧より50cm	○				
A-1-⑩	青灰色粘土	A-1-⑨より50cm	○				
A-1-⑪	青灰色粘土	A-1-⑩より50cm	○				
A-2	青灰色粘土	A-1の上流15m	○				
A-3	明灰色細粒凝灰岩	A-1の上流部	○	○			
B-1-①	淡青灰色粘土	流紋岩より水平4m	○				
B-1-②	淡青灰色粘土	B-1-①の上流3m	○	○			
B-2	明灰色中粒凝灰岩	B-1-②の上流80m	○	○			○
B-3	明灰色細粒凝灰岩	B-2の上流20m	○				
B-4	青灰色泥質凝灰岩	B-3の上流30m	○				
B-5	明灰色細粒凝灰岩	B-4の上流50m	○	○			
B-6	明灰色細粒凝灰岩	B-5の上流30m	○				
C-1-①	青灰色粘土	ユンボ跡近傍	○	○			○
C-1-②	青灰色粘土	C-1-①露頭の上部1.4m	○				
0301	明灰色細粒凝灰岩	ブロック状白色流紋岩の直下	○				
C-2	軟質細粒凝灰岩	C-1-①の上流50m	○				○
C-3	明灰色細粒凝灰岩	C-2の上流15m	○	○			
C-4	明灰色細粒凝灰岩	C-3の上流35m	○				○
C-5	明灰色細粒凝灰岩	C-4の上流25m	○				
C-6-①	明灰色細粒凝灰岩	C-5の上流30m	○				
C-6-②	含軽石細粒凝灰岩	C-6-①の上流11m	○	○			
C-7	明灰色細粒凝灰岩	C-6-②の上流30m	○				
C-8	明灰色細粒凝灰岩	C-7の上流20m	○				
C-9	白色流紋岩	C-8の上流15m					○
D-1	軟質泥質凝灰岩	Cルート北方の沢	○				
E-1	凝灰角礫岩	調査地北東部	○	○			○
F-1	白色流紋岩	セリサイト鉱山西方の沢	○				○
F-2	真珠岩	セリサイト鉱山西側の林道	○				
G-1	白色流紋岩	銚子滝林道	○				○
H-1	黒雲母流紋岩	大行東方沢	○				○
I-1	黒雲母流紋岩	江館橋					○
O-2	青灰色粘土	ユンボによる採掘跡					
計		41	33	14	1	1	10

注) FT: フィッショントラック年代測定 Rb-Sr: ルビゾウム-ストロンチウム年代測定

表-3 採取試料リスト（その2：坑内粘土試料）

試料名	地 質	位 置	分 析	
			X線	FT
50-4	ハイドロフィライト帶粘土	-50m坑道		○
50-4-1	"	"	○	
50-4-2	"	"	○	
50-9	淡青灰色粘土	-50m坑道坑口寄り	○	
50-10	淡青灰色粘土	50-9より1.7m	○	
50-11	淡青灰色粘土	50-10より1.0m	○	
50-12	粘土化粗粒凝灰岩	50-11より6.0m	○	
50-13	均質粘土	50-12境界の下位30cm	○	
50-14	"	-50m坑道5m間隔	○	
50-15	"	"	○	
50-16	"	"	○	
50-17	"	"	○	
50-18	"	"	○	
50-19	"	"	○	
66-1	灰白色粘土の暗灰色部	-66m坑道切羽寄り	○	
66-2	灰白色粘土	"	○	
計		16	13	1

注) FT: フィッシュソントラック年代測定

表-4 採取試料リスト（その3：坑内水平ボーリング試料）

試料名	地 質	位 置	分析	
			X線	
B1-10	灰白色粘土	B-1水平孔孔口より10m	○	
B1-15	"	" 15m	○	
B1-20	"	" 20m	○	
B1-22	暗灰色粘土	" 22m	○	
B1-25	"	" 25m	○	
B3-2	暗灰白色粘土	B-3水平孔孔口より2m	○	
B3-7	灰白色粘土	" 7m	○	
B3-12	"	" 12m	○	
B3-17	"	" 17m	○	
B3-22	"	" 22m	○	
B3-27	"	" 27m	○	
B3-32	"	" 32m	○	
B3-33	"	" 33m	○	
7-0	灰白色粘土	No. 7水平孔孔口より0m	○	
7-5	"	" 5m	○	
7-8.5G	"	" 8.5m	○	
7-8.5DG	島状の暗灰色部	" 8.5m	○	
7-10	灰白色粘土	" 10m	○	
7-15	"	" 15m	○	
7-20	"	" 20m	○	
7-22	暗灰色粘土	" 22m	○	
7-22.5	"	" 22.5m	○	
7-23	"	" 23m	○	
7-25	青灰色粘土	" 25m	○	
7-30	灰白色粘土	" 30m	○	
7-35	"	" 35m	○	
計		26	26	

### 3.2 試験方法

#### 3.2.1 X線回折分析

採取した試料を風乾したのちステンレス乳鉢で粗碎し、さらに自動らいかい機で指頭にざらつきを感じない程度に粉碎し、粉末試料を作製した。この粉末試料の一部をガラス製試料板に詰め無定方位試料を作製し、表-5の左側に示した条件でX線回折を行った。

これらの試料のうち7Åの反射が認められる試料については塩酸処理(6N塩酸で1時間煮沸)を、14~15Åの反射がある試料のうち代表的なものについてはエチレングリコール処理を行った後、表-5の中央に示した条件でX線回折を行った。

また、7Åおよび14~15Åの反射が不明瞭な試料のうち代表的なものについては、試料の一部を蒸留水と共にシリンドー(容積:1ℓ)中に分散させ、8時間放置したのち、上澄液10cmを回収し、遠心分離機により粘土分を沈殿させ、この沈殿物をそのままあるいは塩酸処理した後スライドガラスに塗布して定方位試料を作製して、塩酸処理したものはそのまま、処理をしていないものはエチレングリコール処理後、表-5の右側に示した条件でX線回折し、粘土鉱物の判定を行った。なお、X線回折は日本電子株式会社製JDX-11PA型X線回折装置を用いて行った。

表-5 X線回折条件

	無定方位試料	無定方位 処理試料	定方位 処理試料
対陰極	Cu	Cu	Cu
フィルター	Ni	Ni	Ni
管電圧	30 kV	30 kV	30 kV
管電流	10 mA	10 mA	10 mA
スリット系	1° - 0.3mm - 1°	1° - 0.3mm - 1°	1° - 0.3mm - 1°
走査速度	1°/min	1°/min	1°/min
記録紙速度	10 mm/min	10 mm/min	10 mm/min
フルスケール計数	2000cps	1000 cps	1000または4000cps
時定数	1 sec	1 sec	1 sec
走査範囲	2θ = 2° ~ 60°	2θ = 2° ~ 15°	2θ = 2° ~ 15°

#### 3.2.2 年代測定

##### (1) フィッショントラック年代測定

年代測定にはジルコン結晶粒を用いた。なお、自発トラックの検出に結晶外部面を、誘導トラック検出には結晶の外部面に密着させた白雲母を用いる

外部ディテクター法を用いた。また、年代算出に際しては、 $^{238}\text{U}$ の壊変定数として $7.03 \times 10^{-17}$ を用いた。

#### (2) K-Ar年代測定

年代測定には、黒雲母流紋岩から分離した黒雲母結晶粒と長石結晶粒を用いた。年代の算出にはDalrymple&Lanphere(1969)の方法を用いて行った。なお、 $^{40}\text{K}$ の壊変定数としては $\lambda_B = 4.962 \times 10^{-10}$ 、 $\lambda_e = 0.584 \times 10^{-10}$ を、 $^{40}\text{K} / \text{K}$ の比としては $1.167 \times 10^{-4}$ を用いた。

#### (3) Rb-Sr年代測定

年代測定は、黒雲母流紋岩から分離した黒雲母結晶粒、長石結晶粒および全岩試料を用いた。

#### 3.2.3 顕微鏡観察

ペトロボキシにより試料を固定した後、油擦りにて薄片を作製した。この薄片を用いて偏光顕微鏡により試料の組織、鉱物組成、変質程度を観察した。

#### 3.2.4 热伝導率測定

採取した試料を長片約10cm、短片約6cmの直方体に整形し、表面を平滑に仕上げ、この試料を自然乾燥させた後、平滑面の異なる5点でBox Probe法により熱伝導率を測定した。

### 3.3 結 果

#### 3.3.1 X線回折分析

表-6～8にX線回折分析結果を示す。なお、これらの表には前年度のX線回折分析結果も含めて示してある。また、変質鉱物の分布と相対的な量比を露頭試料と坑内試料に分けて、それぞれ図-6と図-7に示す。

露頭では、結晶度のよいモンモリロナイトが多量に含まれ、ごくわずかにセリサイトを伴っているタイプ(A-1-1～11, A-2, C-1, D-1および0-1)が黒雲母流紋岩の近傍に認められ、少量のセリサイト／モンモリロナイト混合層鉱物に微量のセリサイトが伴っているタイプ(B-1, 0301およびC-2～3)が黒雲母流紋岩の周辺に認められる。また、黒雲母流紋岩から離れた場所の試料(B-2～6, C-6～8)には少量のモンモリロナイト、モルデン沸石および濁沸石が含まれている。

坑内では、セリサイトを主体としたものが多いが、黒雲母流紋岩に近い部分にパイロフィライト(50-4)が、また、所々にモンモリロナイトとカオリナイトを含むもの(50-12, 50-6, 17, 19, 70-10～14等)が認められる。なお、70-15には、比較的多量のセリサイト／モンモリロナイト混合層鉱物が認められる。

表-6(1) 含有鉱物一覧表（露頭試料その1）

試料名	鉱物名	緑泥石	パイロファイト	セリカイト	デイカイト	カリナイト	カオリナイト	混合層物	セリサイト/モンモリロナイト	モンモリロナイト	石英	$\alpha$ -クリストバル石	潤石	モルデン沸石	苦灰石	方解石	菱鉄石	黄鉄石	白鉄	チタン鉄鉱	針鉄	カリ	斜長石	黒雲母
R 1										○												○	○	
A 1 - 1				・						○ ○									○	・		○		
A 1 - 2				・						○ ○									・		○	○		
A 1 - 5				・						○ ○									○			○		
A 1 - 7				・						○ ○									・			○		
A 1 - 10				・						○ ○ ○									○		○	○		
A 1 - 11				・						○ ○ ○									○		○	○		
A 2				・						○ ○ ○									・			○		
A 3				・						・ ○												○		
B 1 - 1			○			○				○									○			○		
B 1 - 1				・						○									○		○	○		
B 2				・						・		○ ○		○					・		・		○	
B 3				・						・		○ ○		○					・		・		○	
B 4										・		○ ○ ○ ○ ○		・					・		・	○ ○		
B 5										○ ○		○ ○ ○ ○ ○		・					・			○ ○		
B 6										・		・ ○ ○ ○ ○ ○		・					・		・	○ ○		

相対含有量：○多量、○中量、○少量、・微量、?不確定

表-6(2) 含有鉱物一覧表（露頭試料その2）

鉱物名 試料名	緑泥石	パイロファイト	セリサイト	デイツカイト	カリナイト	カオリナイト	混セリサイト 層/鉱物切 り口	モンモリロナイト	石英	$\alpha$ -クリストバル石	濁沸石	モルデン沸石	苦灰石	方解石	菱鉄鉱	黄石鉄鉱	黄鐵鉱	白鉄鉱	チタン鉄鉱	針鉄鉱	カリ鉄鉱	斜長石	黒雲母	
C 1 - 1	.	.					○	○										·			○	○		
C 1 - 2	.	.					○	○	○									○			○	○		
0 3 0 1						○		○										·			○	○		
C 2	.	.				○		○										·			○	○		
C 3	.	.				○		○										·			○	○		
C 4	.	.				○		○										○				○		
C 5	.	.				·	○	○										·				○		
C 6 - 1	.	.				○		○	○		○						·	○	·		·		○	
C 6 - 2	.	.				·		○	○		○							○	·		·		○	
C 7	.	.				·		○	○		○							·				○		
C 8						·		○	○	○	○		·					·			·	○		
D 1	.	.				○	○											○			○	○		
E 1	.	.				·	○														○	○		
O 1	.	.				○	○	○									○	·			○	○		
O 2	.	.				○	○	○										·			○	○		

相対含有量：○多量、○中量、○少量、·微量、?不確定

表-7(1) 含有鉱物一覧表（坑内試料その1）

鉱物名 試料名	緑 泥 石	パイロ ファイ ライト	セリッ サイト	デイカ イト	カオリ ナイト	混合 セリサイト 層 物 鉱 物	モン モリロ ナイト	石 英	α ークリ ス ト バル 石	濁 沸 石	モル デン 沸 石	苦 灰 石	方 解 石	菱 鐵 鉄 鉱	石 コ 鉱	黃 鐵 鉄 鉱	白 鐵 鉄 鉱	チタ ン 鉄 鉱	針 鉄 鉱	カリ 長 石	斜 長 石	黒 雲 母
50-1		○				・		○	○											○	○	
50-2									○											○	○	
50-3		○					・	◎												○		
50-9	・	○					○	◎											・			
50-10	・	○						・	◎										・			
50-11		○						○										○				
50-4		○							○													
50-4a		○							○													
50-4-1		○							○													
50-4-2		○							○													
50-12		○			・		○	○								・	・		○	○		
50-13		○							○									・				
50-5		○							○													
50-14		○							○													
50-15		○							○													
50-16		○							○													
50-16W		○							○													

相対含有量：○多量、○中量、○少量、・微量、？不確定

表-7(2) 含有鉱物一覧表（坑内試料その2）

鉱物名	緑泥石	パイロサイト	セリカイト	デイツカイト	カオリナイト	混合セリサイト/層状鉱物	モンモリロナイト	石英	α-クリストバル石	濁石	モルデン沸石	苦灰石	方解石	菱鉄鉱	黄石鉄鉱	黄鉄鉱	白鉄鉱	チタン鉄鉱	針鉄鉱	カリ長石	斜長石	黒雲母
試料名																						
50-6		○		・		・	◎															
50-6'		○					◎															
50-17		・	○			◎											○			○		
50-18		○				◎											○		○		○	
50-19		・	○	○	○	◎											○		○		○	
50-7		○				◎										・			○		○	
50-8		○		・		◎													○			
66-1		○				◎																
66-2		○				◎																
S1		○	○	○	・	◎										・	・	◎				

相対含有量：◎多量、○中量、○少量、・微量、?不確定

表-7(3) 含有鉱物一覧表（坑内試料その3）

試料名	鉱物名	緑泥石	パイロファライト	セリカイト	デイツカイト	カリナイト	カオリナイト	混セリカイト／鉱物モリロナイト	モンモリロナイト	石英	$\alpha$ -クリストバル石	濁沸石	モルデン沸石	苦灰石	方解石	菱鉄石	黄石鉄	白鉄	チタン鉄鉱	針鉄	カリ長鉱	斜長石	黒雲母
70-1				○	◎				○														
70-2				○																			
70-3				○						○													
70-5			○	○					○														
70-6			○	○					○														
70-7			○						○														
70-8			○		·		·																
70-9									○	·													
70-10				·		○		○	○	○											○		
70-11				○		○		○	○	○											○		
70-12				○		○		○	○	○											○		
70-13				○		○		○	○	○											○		
70-14					○	○	○	○	○	○											○		
70-15						○		○	○														

相対含有量：○多量、○中量、○少量、·微量、?不確定

注：水ひ産物無定方位試料のみ

表-8(1) 含有鉱物一覧表（ボーリング試料その1）

試料名	鉱物名	緑泥石	パイロファイト	セリサイト	デイツカイト	カリナイト	カオリナイト	混セリサイト/粘土物	モンモリロナイト	石英	$\alpha$ -クリストバル石	濁石	モルデン沸石	苦灰石	方解石	菱鉄鉱	黄鉄鉱	白鉄鉱	チタン鉄鉱	針鉄	カリ	斜長石	黒雲母
B 1 - 1 0		○						◎													○		
B 1 - 1 5		○		・				◎													・		
B 1 - 2 0		○						◎													○		
B 1 - 2 2		○						◎													○		
B 1 - 2 5		○	○					◎													○		
B 3 - 2		○						◎													○		
B 3 - 7		○						◎													○		
B 3 - 1 2		○						◎													○		
B 3 - 1 7		○						◎													○		
B 3 - 2 2		○						◎															
B 3 - 2 7		○						◎													・		
B 3 - 3 2		○						・	◎												○		
B 3 - 3 3		○						・	◎												○		

相対含有量：◎多量、○中量、○少量、・微量、？不確定

表-8(2) 含有鉱物一覧表（ボーリング試料その2）

鉱物名 試料名	緑 泥 石	バイロ フィライ ト	セリサイ ト	デイツ カイト	カオリナ イト	混セリ 合層 物	モンモ リロナ イト	石 英	$\alpha$ —クリ スチ タル 石	潤 石	モルデ ン沸 石	苦 石	方 石	菱 石	石 鉄 鉱	黄 鉄 鉱	白 鉄 鉱	チタ ン鉄 鉱	針 カ リ	斜 長 石	黒 雲 母
7-0			○					○													
7-5			○						○												
7-8.5G			○	○				○											○		
7-8.5DG			○					○											·		
7-10			○						○										○		
7-15			○	·				○													
7-20			○					○													
7-22			○	○				○													
7-22.5			○						·	○							○			○	
7-23			·				○		○							○	·			○	
7-25			○					○				·									
7-30			○					○													
7-35			○					○												○	

相対含有量：○多量、○中量、○少量、·微量、?不確定

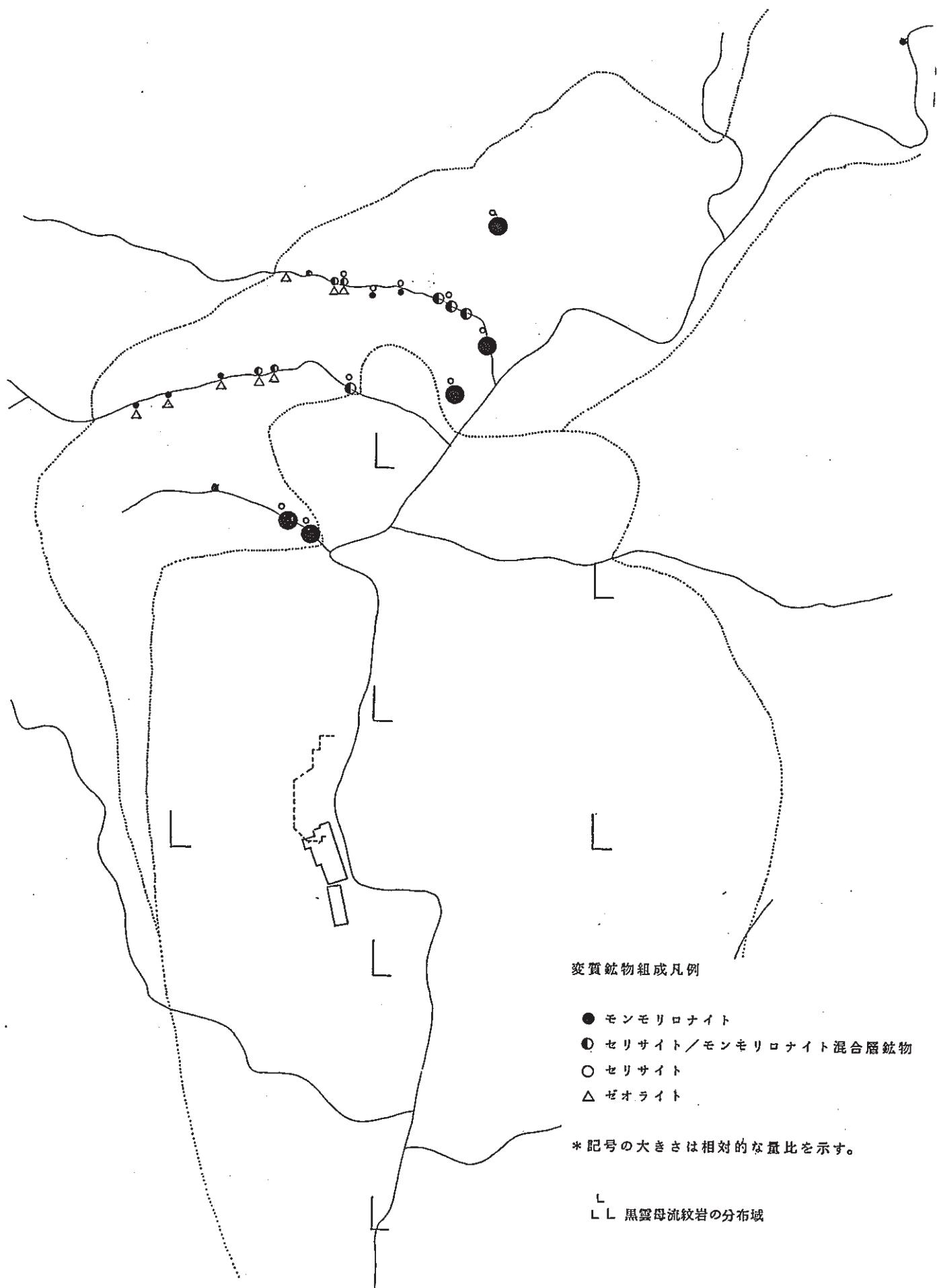


図-6 変質鉱物の分布（露頭試料）

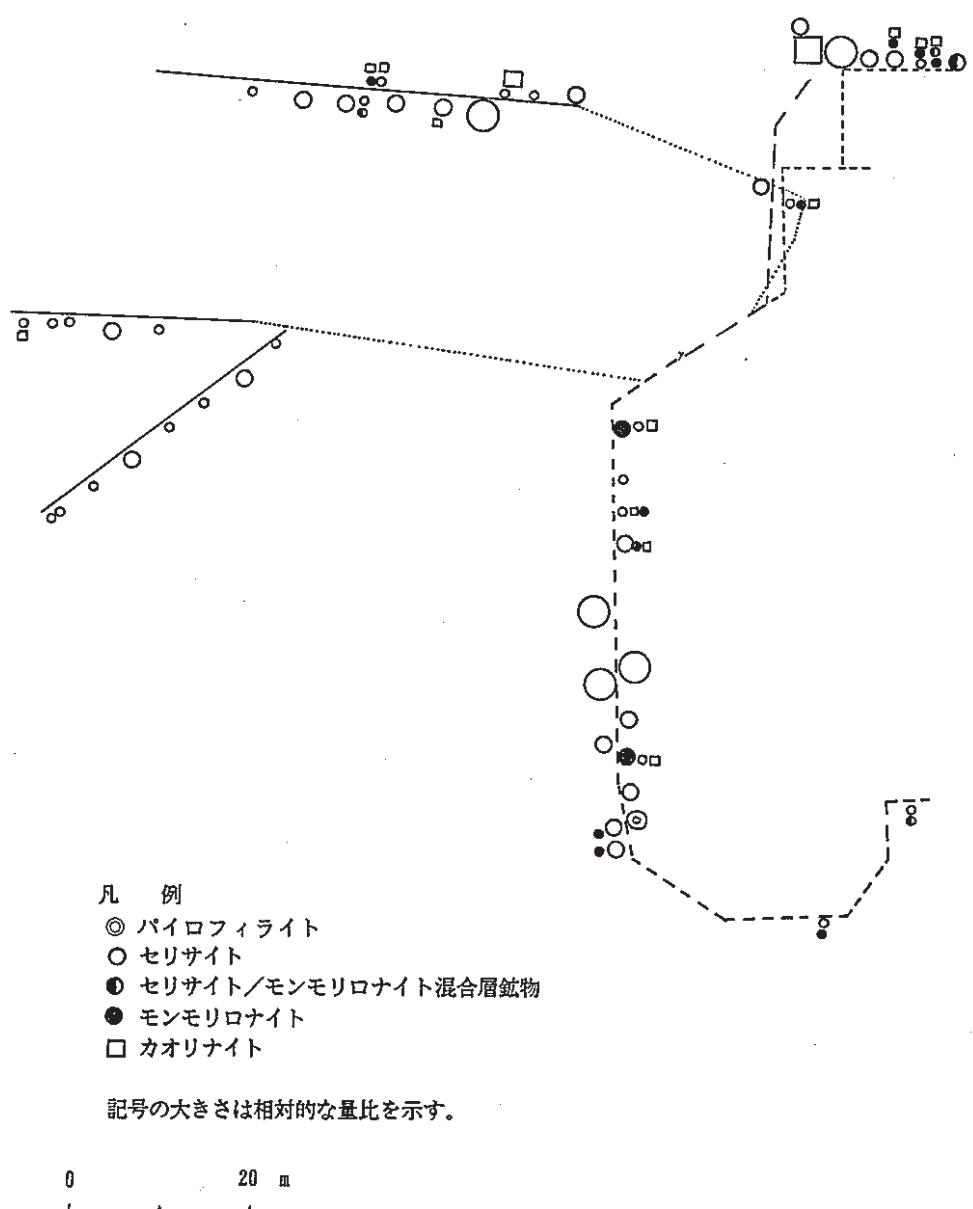


図-7 変質鉱物の分布（坑内およびボーリング試料）

### 3.3.2 年代測定

年代測定結果を前年度に実施されたデータとあわせて表-9および図-8に示す。

各地層の年代値を地層別および手法別にみると、黒雲母流紋岩が5.0～5.5 Ma [FT年代]，4.7～5.7 Ma [K-Ar年代]，5.8 Maと7.1 Ma [Rb-Sr年代]，真珠岩が5.6 Ma [FT年代]，粘土が6.3～7.3 Ma [FT年代]，6.3～6.5 Ma [K-Ar年代]，凝灰岩が5.5～6.5 Ma [FT年代]，白色流紋岩が5.9と6.7 Ma [FT年代]となっており、どの年代値にもそれぞれ100万年前後のばらつきが認められる。また、粘土試料の年代値はFT法およびK-Ar法とともに黒雲母流紋岩の同手法による年代値よりもやや古くなっている。

表-9 年代測定結果一覧表

試 料		年 代 値 (Ma)		
		FT年代	K-Ar年代	Rb-Sr年代
黒雲母流紋岩	R-1	5.4±0.4	5.6±0.3[bi] 4.7±1.7[pl]	7.1±0.5 11.4±0.1
	A-0	5.5±0.4	5.4±0.3[bi] 5.7±2.6[pl]	5.8±0.6
	H-1	5.0±0.4	—	—
真珠岩	F-2	5.6±0.4	—	—
粘土	A-1	6.6±0.4	—	—
	B-1	6.4±0.4	—	—
	C-1	6.3±0.4	—	—
	50-4	6.6±0.4	6.3±0.4[se]	—
	50-5	7.2±0.4	6.5±0.6[se]	—
	L70-13	6.4±0.4	4.9±0.7[se]	—
	O-1	7.3±0.4	—	—
凝灰岩	A-3	6.1±0.4	—	—
	B-2	5.6±0.3	—	—
	B-5	5.9±0.4	—	—
	C-3	6.3±0.4	—	—
	C-6	5.5±0.3	—	—
	E-1	6.5±0.3	—	—
白色流紋岩	F-1	6.7±0.4	—	—
	G-1	5.9±0.4	—	—

注) FT: フィッシュントラック法。

K-Ar: カリウム-アルゴン法。

Rb-Sr: ルビッショウム-ストロンチウム法。

bi: 黒雲母

pl: 斜長石

se: セリサイト

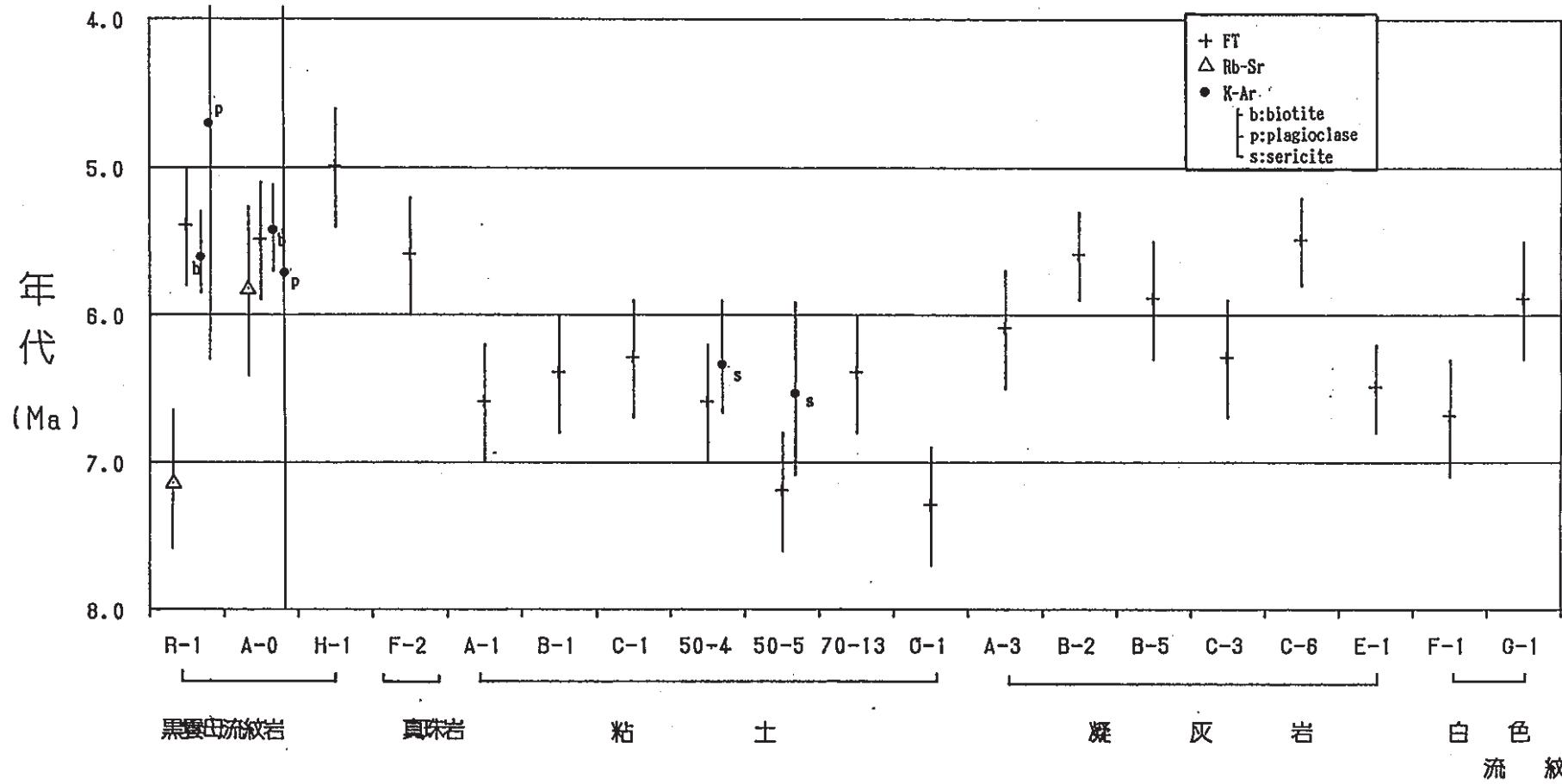


図-8 年代測定結果総括図

### 3.3.3 顕微鏡観察

表-10に顕微鏡観察結果をまとめて示す。

粘土試料は、いずれもモザイク状の組織を示し、針状の変質鉱物が網目状に連なって生成している。初生鉱物は識別できるが輪郭が不明瞭となっている。またB-1-2には非晶質のシリカが島状に点在している。

凝灰岩試料は、細粒基質に鉱物片が点在している。基質には微細な石英と針状または板状の変質鉱物が散在しており、C-5とC-6には非晶質のシリカが認められる。B-6,C-6,C-8など黒雲母流紋岩から離れた試料の基質は、直交ニコルで暗黒に近く他の試料よりも新鮮で、初生の石英粒や長石粒も輪郭が鮮明である。また、B-6およびC-8には、珪藻や放散虫様の微化石が数個体認められる。

表-10 粘土および凝灰岩の顕微鏡観察結果一覧表

試料名	全体の特徴・組織	初生鉱物の性状	変質生成鉱物の性状
A-1-7 (粘土)	◦モザイク状の細粒組織。変質鉱物が網目状に発達。 ◦不透明鉱物が点在する。	◦輪郭の不明瞭な小片状の石英が散在する。 ◦小さな長石の輪郭らしきものがわずかに認められる。	◦微細な針状の変質鉱物が網目状に連なっている。 ◦極微細な石英の島状濃集部が認められる。
B-1-2 (粘土)	◦モザイク状を呈する細粒基質中に石英片が点在する。 ◦淡褐色の非晶質シリカが島状に分布する ◦不透明鉱物が点在する。	◦石英粒は輪郭が不明瞭となり淡褐色に汚濁している。 ◦斜長石は双晶が不鮮明となっている。	◦微細な針状～板状の変質鉱物が網目状に発達し、また、非晶質シリカの周囲を取り囲んでいる。 ◦極微細な石英の島状濃集部が認められる。
B-3 (細粒 凝灰岩)	◦淡褐色に汚濁した細粒基質中に鉱物片が点在する。 ◦不透明鉱物が点在する。	◦石英粒は比較的新鮮であるが、やや輪郭が不明瞭となっている。 ◦斜長石は双晶が不鮮明となっている。	◦微細な針状～板状の変質鉱物が不規則に点在している。 ◦微細な石英ないしはクリストバライトの集合体が認められる。
B-6 (細粒 凝灰岩)	◦細粒基質中に鉱物片が点在している。 ◦基質部は直交ニコルでほとんど暗黒となる。 ◦不透明鉱物が点在する。	◦石英は新鮮で輪郭も明瞭。 ◦長石の一部は変質鉱物を含んでいる。 ◦黒雲母が外形を残したまま変質鉱物に置き変わっている。	◦針状の変質鉱物と板状の淡い変質鉱物が散在する。 ◦微細な石英ないしはクリストバライトの集合体が認められる。
C-3 (細粒 凝灰岩)	◦細粒基質および比較的大きな結晶粒から成る。 ◦不透明鉱物が点在する。	◦石英粒は比較的新鮮であるが、やや輪郭が不明瞭となっている。 ◦斜長石は双晶がやや不鮮明となっており、変質鉱物と完全に置き変わっているものも認められる。	◦微細な針～板状の変質鉱物が一部の長石を交代し、基質にも散在している。 ◦極微細な石英粒が基質中に認められる。
C-5 (細粒 凝灰岩)	◦細粒基質と鉱物片および非晶質のシリカから成る。 ◦非晶質シリカは黄褐色の飴状を呈し帯状の褐色汚濁部を含む。 ◦不透明鉱物が点在する。	◦石英粒は新鮮である。 ◦斜長石はやや淡褐色に汚濁している。	◦基質および非晶質シリカの汚濁部に針状の変質鉱物が認められる。後者に見られる変質鉱物は、網目状に連なって生成している。 ◦基質部に微細な石英ないしはクリストバライトの集合体が認められる。
C-6-1 (細粒 凝灰岩)	◦細粒基質と鉱物片および島状の非晶質のシリカから成る。 ◦基質部は直交ニコルでほとんど暗黒となる。 ◦不透明鉱物が点在する。	◦石英粒は新鮮。 ◦斜長石は新鮮。	◦非晶質シリカの周辺部が変質鉱物化し基質中にも微細な変質鉱物が散在している。 ◦基質部に微細な石英ないしはクリストバライトの集合体が認められる。集合体は残晶状を呈する。
C-8 (細粒 凝灰岩)	◦細粒基質および小さな鉱物片から成る。 ◦基質部は直交ニコルでほとんど暗黒となる。 ◦不透明鉱物が点在する。	◦石英粒は新鮮。 ◦斜長石は新鮮。	◦基質中に微細な板状の変質鉱物が散在する。 ◦基質中に石英ないしはクリストバライトの微晶が認められる

## 3.3.4 热伝導率測定

热伝導率測定結果を表-11に示す。

热伝導率は黒雲母流紋岩が最も大きく, 1.0~1.5 kcal/m·h·°C, 白色流紋岩がこれに次いで0.1~1.3 kcal/m·h·°C, 凝灰岩が最も小さく0.4~0.7 kcal/m·h·°Cとなっている。

表-11 热伝導率測定結果

kcal/m·h·°C

試料No.	A-0	H-1	I-1	B-2	C-3	E-1	C-9	F-1	G-1	
試料の種類	黒雲母流紋岩			凝灰岩			白色流紋岩			
大きさ W	5.090	4.445	4.445	3.980	4.810	6.125	5.320	3.920	4.165	
H	6.860	6.630	4.610	7.840	9.770	8.750	7.810	5.825	4.965	
L	10.090	7.820	10.120	12.985	13.250	13.470	11.940	13.337	9.980	
測定値	1 2 3 4 5	0.991 1.029 1.006 0.991 1.075	1.277 1.333 1.352 1.339 1.348	1.506 1.498 1.548 1.514 1.422	0.696 0.715 0.659 0.587 0.715	0.650 0.654 0.644 0.603 0.601	0.417 0.432 0.415 0.461 0.337	1.178 1.301 1.163 1.346 1.271	1.242 1.326 1.283 1.242 1.307	0.910 0.922 0.879 0.891 0.906
平均	1.018	1.330	1.498	0.674	0.630	0.412	1.252	1.280	0.092	

#### 4. 考 察

これまでの調査結果から、調査地における変質帯の成因を各地層の年代と変質鉱物分帶とから考察する。

##### 4.1 年 代

###### (1) 従来の年代との相違

従来、調査地に分布する朝日層の地質時代は中新世中期とされてきた。しかし、今回測定した黒雲母流紋岩の年代値は5~7Maであり中新世後期から鮮新世に相当する。図-9はこれまでに公表された当地域周辺での放射年代を示したものである。同図に示したように、調査地に分布する長坂峠流紋岩部層の放射年代としては、本調査と同様の5.8Ma(金属探鉱事業団, 1982)が測定されている。また、調査地の南方8kmでは中新世後期～鮮新世の黒田層中の凝灰岩から5.96 Maの年代値が報告されている(村松, 1987)。それに対して、長坂峠流紋岩層からは、従来推定されていた朝日層の時代を示す14.1Maの年代値が報告されている(村松, 1987)。これらの事から、従来朝日層に対比されてきた地層の一部には、黒田層と同時期の6Ma前後のものが含まれていると考えられる。

###### (2) 粘土の形成時期

前述の図-8をみると、黒雲母流紋岩の活動によって凝灰岩が変質して形成されたと考えられる粘土の年代は、黒雲母流紋岩よりもやや古い傾向が認められる。しかし、黒雲母流紋岩のRb-Sr年代は3試料を合わせて算出すると $6.2 \pm 0.8$  Ma(図-10)となり粘土の年代とほぼ一致する。また、Nishimura et al. (1986)により推定された鉱物の閉鎖温度と各鉱物の年代を用いた黒雲母流紋岩の岩体の冷却史を示した図-11から明らかのように、黒雲母流紋岩は100万年に約170°Cの割合で冷却したことになる。

したがって、層序と年代測定結果とを考え合わせると調査地の地史は次のように考えることができる。

- ①白色流紋岩の活動とこれに伴う凝灰岩の堆積。
- ②黒雲母流紋岩の貫入。
- ③粘土帶の形成。

これら①から③の事象は、約650万年前から550万年前までの短期間に相前後して生じたものと考えられる。

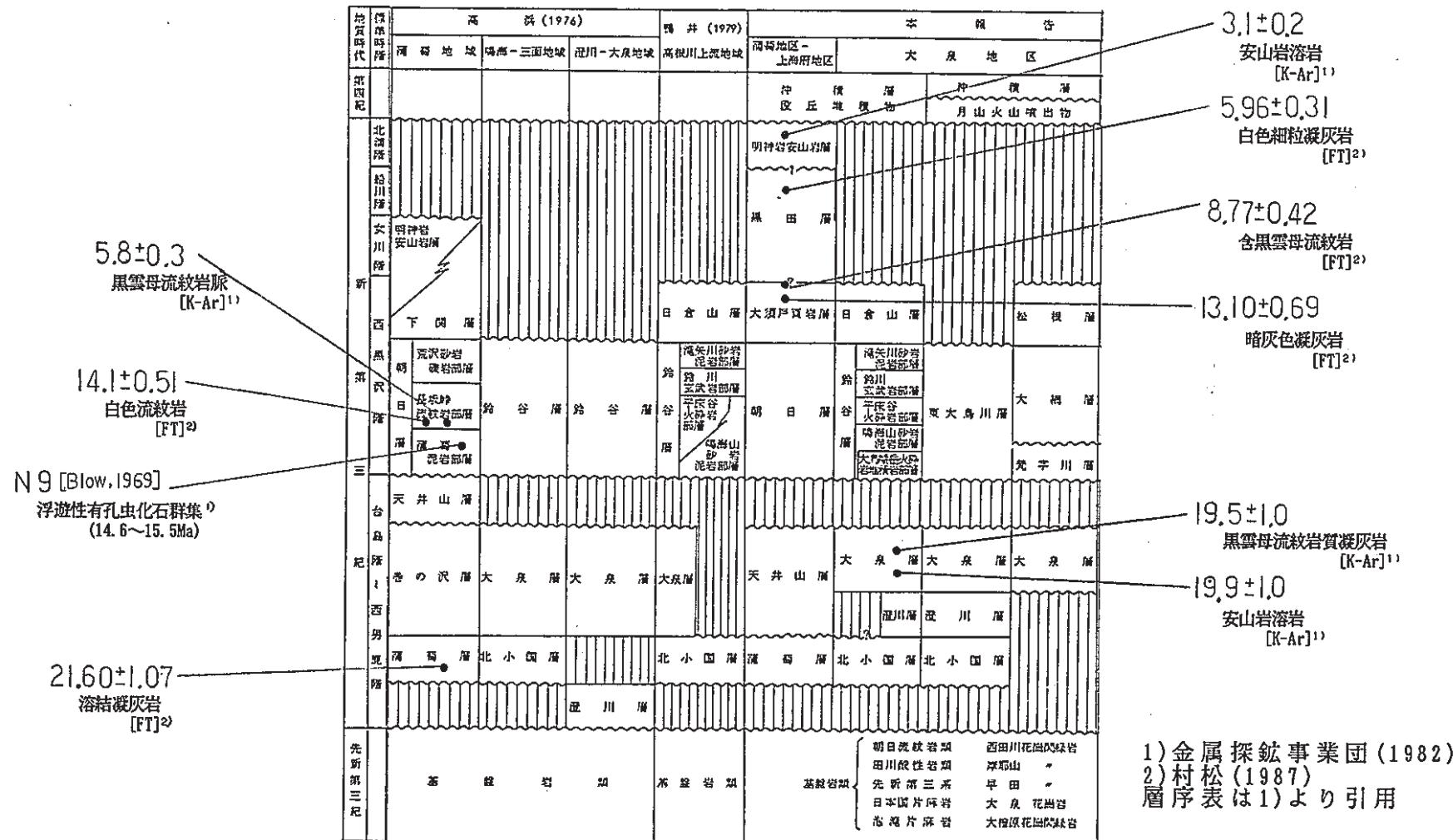


図-9 調査地周辺において報告された地質年代

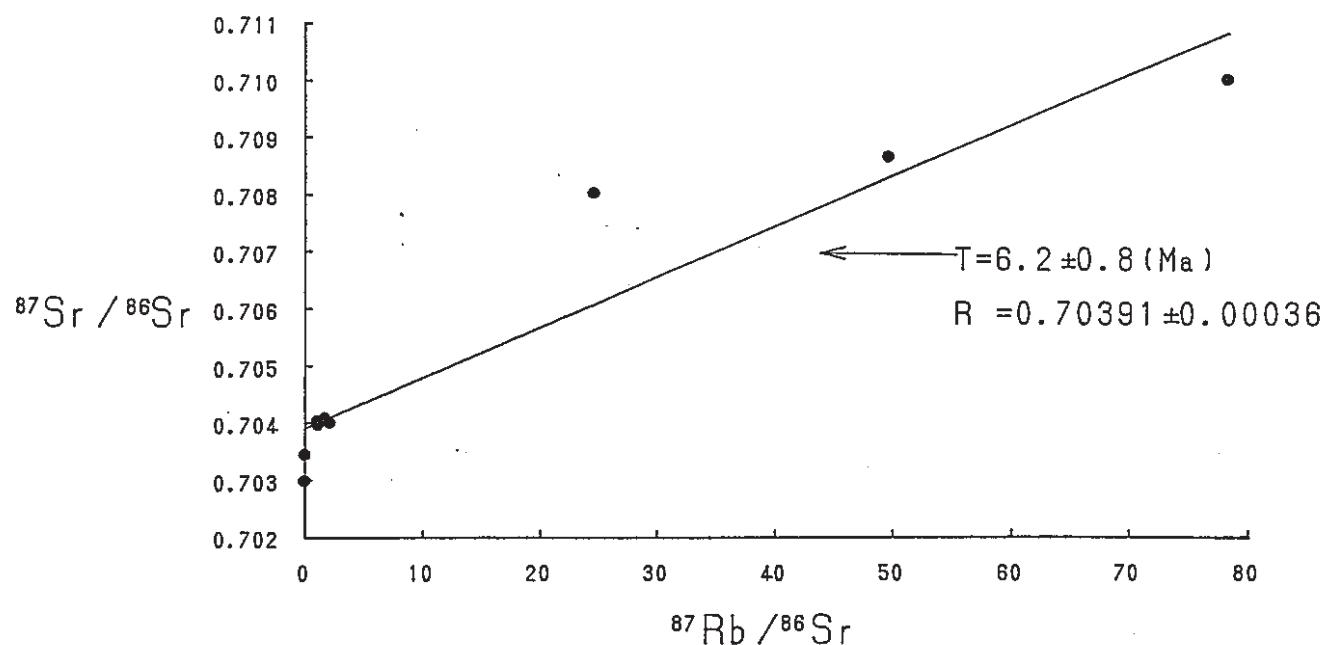


図-10 黒雲母流紋岩のRb/Srアイソクロン

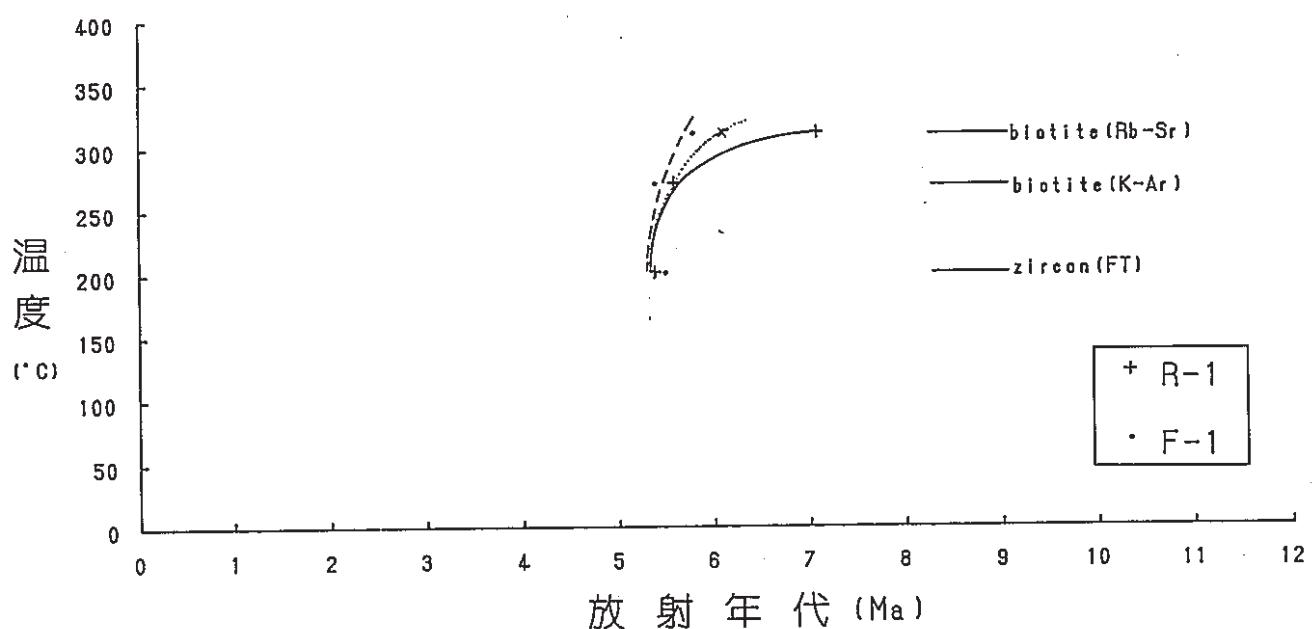


図-11 黒雲母流紋岩の岩体冷却史

各鉱物の閉鎖温度は西村・茂木(1986)による

#### 4.2 変質鉱物分帶と変質帯形成史

X線回折分析の結果から当地域の変質帯は変質鉱物の組合せから次の7つに分帶される。

- ①結晶度の良いモンモリロナイトを主体とするもの。
- ②セリサイト／モンモリロナイト混合層鉱物を少量含むもの。
- ③結晶度の良くないモンモリロナイトとゼオライトを含むもの。
- ④パイロフィライトから成るもの。
- ⑤セリサイトから成るもの。
- ⑥セリサイトから成るが⑤よりも相対的に含有量が少ないもの。
- ⑦モンモリロナイト、カオリナイトおよびセリサイトから成るもの。

上記①～⑦のうち①～③は地表で、④～⑦は坑内および坑内で実施されたボーリングに認められる。

これらの変質鉱物の分布をみると、地表では黒雲母流紋岩に近い方から①→②→③の順に分布している(前掲図-6参照)。一方、坑内では変質鉱物組成と黒雲母流紋岩の分布とには特に関係が認められず、④～⑦を分帶することは難しい。変質鉱物組成の差異は、熱水の通路や源岩の組織・組成にも影響されることを考えると、坑内は全体としてはセリサイト化帯とみなすことができる。ただし、パイロフィライトはこれまでの調査では1試料しか確認できていないが、鉱山会社の非公開資料によれば、黒雲母流紋岩の岩体の近傍で複数箇所確認されており、小規模ながらもパイロフィライト帯を形成していることが推定される。

地表と坑内の各変質分帶を南から北、すなわち黒雲母流紋岩の岩体の中心から周辺部の順にならべると、次の様になる。

##### I. パイロフィライト帯 (④)

↓

##### II. セリサイト帯 (⑤, ⑥および⑦を含む)

↓

##### III. 高結晶度のモンモリロナイト帯 (①)

↓

##### IV. セリサイト／モンモリロナイト混合層鉱物帯 (②)

↓

##### V. 低結晶度のモンモリロナイト帯 (③)

上記の変質分帶を変質程度から判断すると、I帯からV帯までの分帶が一連の変質作用により形成されたものとは考えにくく、I～III帯を形成した変質作用とIV～V帯を形成した変質作用とは別ものと考えられる。

I～Ⅲ帯は熱水変質作用により、形成されたと考えられる。すなわち、黒雲母流紋岩に沿って酸性で高温の熱水が上昇しパイロフィライトが生成し、相対的に温度の低いところではセリサイトが生成した。さらに、この熱水が変質母岩中を浸透していく間に、その温度が低下するとともにpHもアルカリ性となり、高結晶度のモンモリロナイトを生成した。このことは、 $\text{SiO}_2$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 三角ダイヤグラム（図-12）からも裏付けることができる。この図に示されるように、低結晶度のモンモリロナイトとゼオライトが認められる凝灰岩試料B-5, 6（図-12の6と7）を変質母岩とすると、結晶度の良いモンモリロナイトを主体とする試料とセリサイト／モンモリロナイト混合層鉱物を少量含む試料はこれらの右上に、セリサイトあるいはセリサイト／モンモリロナイト混合層鉱物を主体とする試料は、下方にプロットされる。図中の矢印は小坂（1968）の示した変質母岩からの変質経路で、これらは上からアルカリ性、中性、弱酸性、酸性の環境に対応するとされている。この見解にもとづけば、坑道周辺のセリサイトあるいはセリサイト／モンモリロナイト混合層鉱物を主体とする試料（図-12の8, 9）は酸性から弱酸性の環境、高結晶度のモンモリロナイトを主体とする試料（図-12の1, 2）は中性からアルカリ性の環境、混合層鉱物を少量含む試料（図中の3, 4, 5）はアルカリ性環境にあったと考えられる。

一方、IV～V帯は、変質帯が黒雲母流紋岩を取り囲んで分布していることから、黒雲母流紋岩の熱による変質作用により形成されたと考えられる。すなわち、黒雲母流紋岩に近く温度が高いところでは、少量のセリサイト／モンモリロナイト混合層鉱物が生成し、岩体から離れた温度が低いところでは、少量の低結晶度のモンモリロナイトが生成した。

以上の考察と層序、年代測定結果を総合すると変質帯の形成史は次のようにまとめることができる（図-13）。

- ①白色流紋岩の活動とそれに伴う凝灰岩の堆積。
- ②黒雲母流紋岩の貫入。
- ③黒雲母流紋岩の熱により、セリサイト／モンモリロナイト混合層鉱物帯と低結晶度のモンモリロナイト帯の形成。
- ④黒雲母流紋岩に沿った熱水の侵入。
- ⑤熱水によるパイロフィライト帯、セリサイト帯、高結晶度のモンモリロナイト帯の形成。

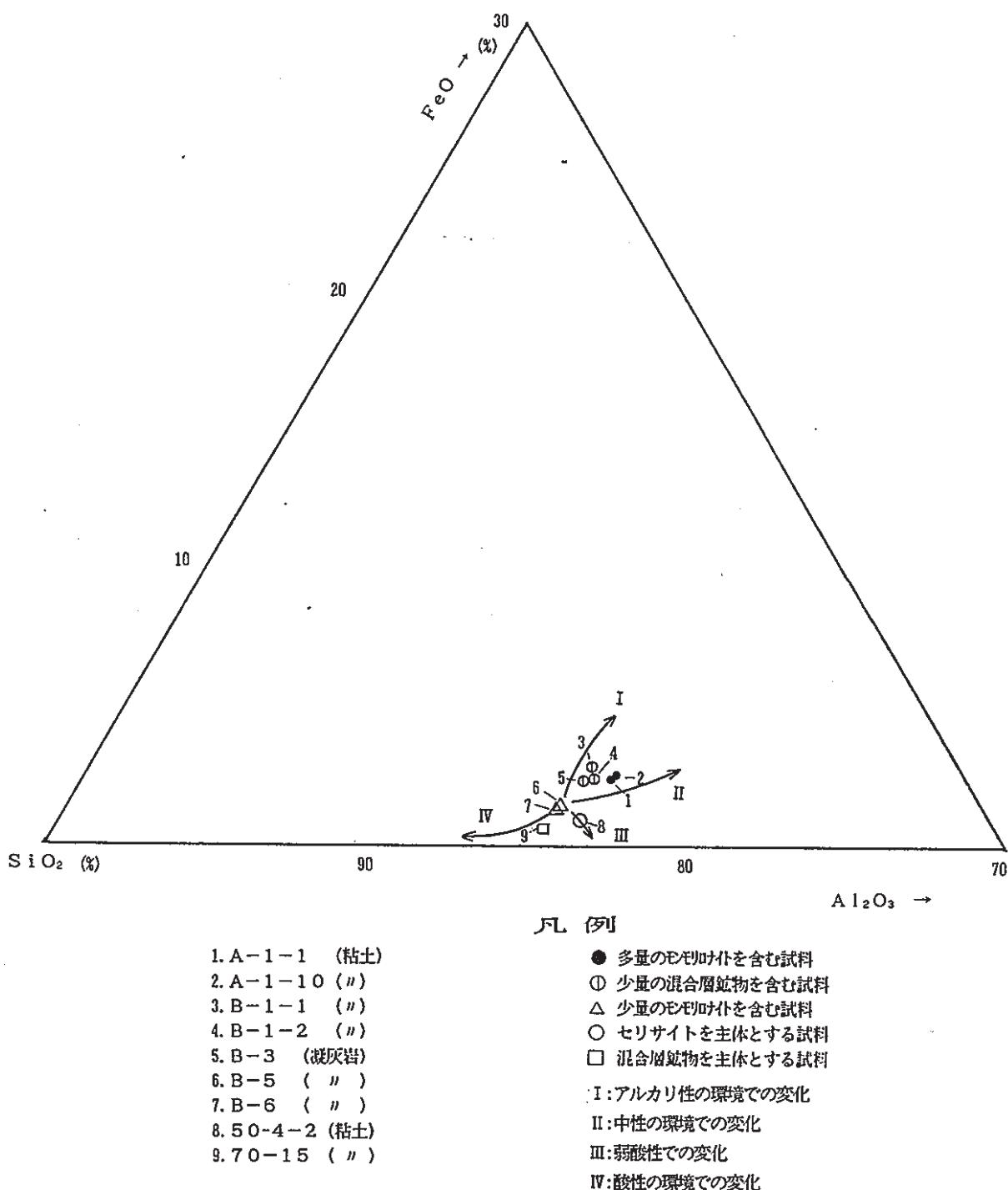
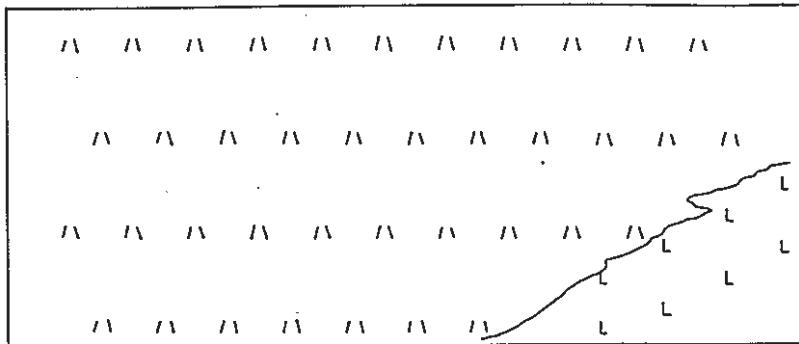


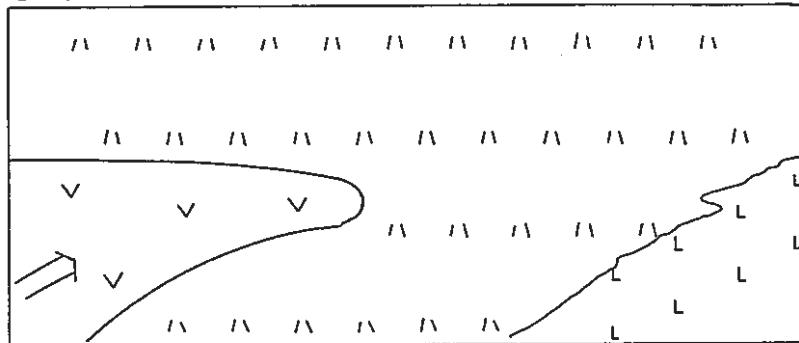
図-12 粘土と凝灰岩の三角ダイアグラム

小坂(1968)より引用した

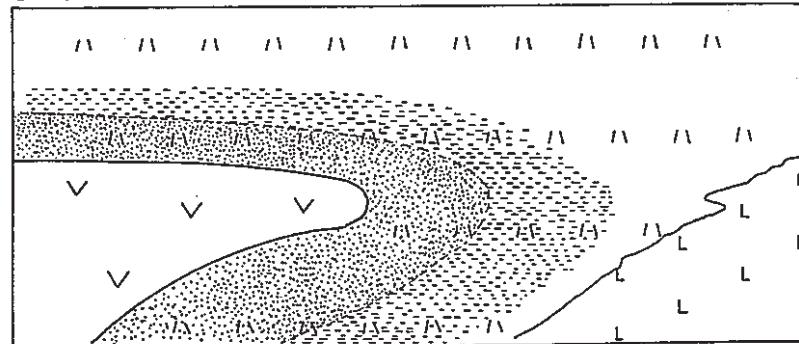
①白色流紋岩の活動とそれに伴う凝灰岩の堆積



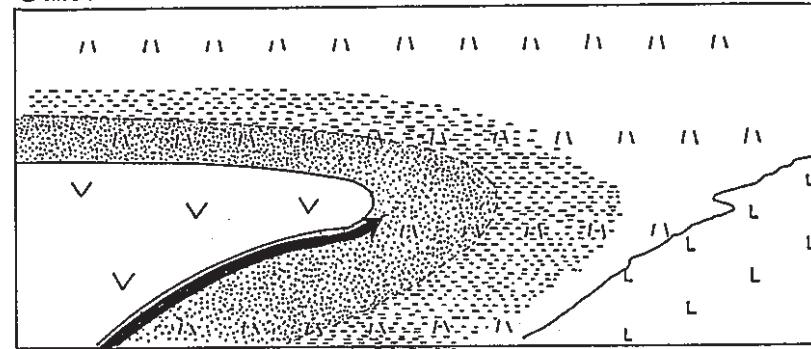
②黒雲母流紋岩の貫入



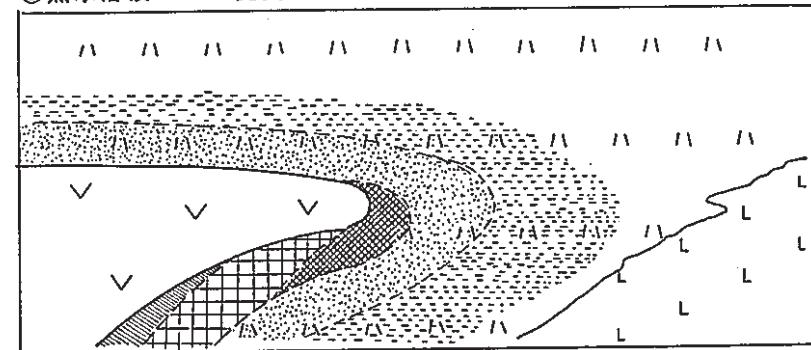
③黒雲母流紋岩の熱による変質鉱物分帯の形成



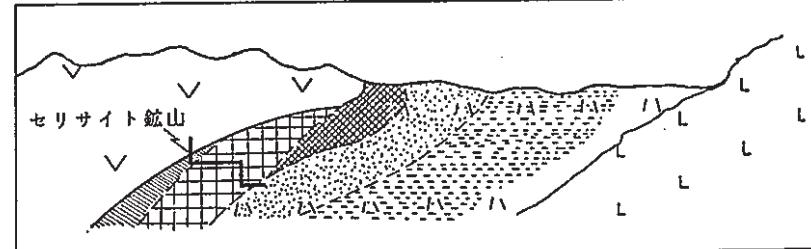
④黒雲母流紋岩に沿って酸性の热水溶液が侵入



⑤热水溶液による変質鉱物分帯の形成



⑥現在



[Hatched Box] L	白色流紋岩	[Stippled Box] モンモリオナイト/セリサイト混合層帶
[Hatched Box] \	凝灰岩	[Diagonal Line Box] モンモリオナイト帶【高結晶度】
[Inverted Triangle Box] V	黒雲母流紋岩	[Cross-Hatch Box] セリサイト帶
[Dotted Box]	モンモリオナイト帶【低結晶度】	[Horizontal Line Box] パイロファイト帶

注) 縮尺は考慮されていない。

図-13 変質帯形成モデル

## 5. 問題点と今後の課題

前章で考察した変質帯の形成モデルでは、粘土化帯の形成が最も新しいことになる。このモデルは、年代測定結果にみられる黒雲母流紋岩と粘土の年代の差を誤差の範囲とみなし、一連の事象をほぼ同時期のものと考えた上で成り立っている。年代の差を有意なものと考えると粘土化帯は黒雲母流紋岩の貫入以前に形成されたことになるが、これでは周辺の凝灰岩層にみられるIV、V帯の存在と粘土化帯のIII帯の存在に矛盾が生じる。すなわち、黒雲母流紋岩の熱により生じたと考えられるIV帯の内側に変質程度の低いIII帯が存在することになる。したがって、粘土帯のFT年代が真に古いのか否か、あるいは古くなった原因は何かを検討する必要があると考えられる。

一方、凝灰岩にみられる低結晶度のモンモリロナイトとセリサイト／モンモリロナイト混合層鉱物は、黒雲母流紋岩の熱により同時に生成されたと考えたが、少なくともモンモリロナイトについては続成変質作用で生成された可能性を完全に否定することはできない。モンモリロナイトが続成変質作用で生成したと考えた場合に、続成変質作用を被った時代が黒雲母流紋岩の貫入以前か、または、同流紋岩貫入後現在までの期間であるかが問題となる。前者の場合は、黒雲母流紋岩の貫入により、モンモリロナイトがセリサイト／モンモリロナイト混合層に変化したことが想定され、モンモリロナイトの変質条件を示すアナログとなる。一方、後者の場合は、III帯を構成するモンモリロナイトが流紋岩の残熱にさらされても変質しなかったと考えられ、モンモリロナイトの非変質条件を示すアナログとなる。しかし、この問題では、続成変質作用でモンモリロナイトが生成する時間が重要な意味をもってくる。前述したように、当地域では14Maの古い年代値の報告もあり、十分に続成変質作用を被った地層が近接して分布している可能性もあるが、これらの地層との関係も明かでない。

以上に述べてきたように、当地域における変質作用とその履歴を明らかにするためには、各変質事象の年代とそれらの関係を更に詳細に検討する必要があると考えられる。このためにはまず第一に、測定年代の妥当性を14Maを示すと考えられる試料を用いて複数の方法で検討すること、微化石を用いた凝灰岩の年代測定を行うこと等が必要と考えられる。

## 参考文献

- 金属探鉱事業団, 昭和56年度広域調査報告書, 羽越地域(I):資源エネルギー庁, 東京, p. 4-55, 66-71, 125(1982)
- 村松敏雄, 村上市~朝日村に分布する凝灰岩・流紋岩の絶対年代測定—フィッシュショントラック法による絶対年代測定法(その2)ー:新潟県立教育センター研究報告, No. 99, p. 31-34(1987)
- Nishimura, S. and Mogi, T., The Interpretation of Discordant Ages of Some Granitic Bodies.: Jour. Geotherm. Res. Soc. Japan, Vol. 8, No. 2, p. 145-163 (1986)
- 小坂丈予, 火山温泉地域における岩石の変質現象について:地熱, No. 17, p. 65-79 (1968)
- 高浜信行, 雁沢好博, 鴨井幸彦, 大塚富男, 新潟県北部に分布する新第三系の層序ーとくに碎屑岩層についてー:新潟大学地質学鉱物学研究報告, No. 4, p. 97-104 (1976)