

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研究

(動力炉核燃料開発事業団 委託研究成果報告書)



1992年2月

株式会社 ダイヤコンサルタント

この資料は、動燃事業団の開発業務を進めるため、特に限られた関係者だけに開示するものです。については、複製、転載、引用等を行わないよう、また第三者への開示又は内容漏洩がないよう管理して下さい。また今回の開示目的以外のことには使用しないよう特に注意して下さい。

本資料についての問い合わせは下記に願います。

〒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

火山ガラス及びペントナイトの長期変質挙動に関する調査研究

二口克人*，桜本勇治**

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、火山ガラス及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、285年前に噴出した富士宝永スコリアガラス、45,000年前に噴出した高塚山火山起源のスコリアガラス及び中期中新世から中期更新世まで連続した堆積岩試料が得られる南房総鴨川のスコリアガラスを調査した。

スコリアの変質に関与した地下水の水質は、宝永スコリアではCa-HCO₃型（溶存成分量0.34~0.663 meq/l），高塚山スコリアではCa-SO₄·Cl型（溶存成分量が1.01~1.40 meq/l）であった。なお、宝永スコリアでは、深度が増加するにしたがって、pH、HCO₃⁻及びSiO₂濃度が増加する傾向が認められた。

南房総鴨川における自生鉱物の分布を利用した古地温の解析から、清澄層中部で69℃に達し、この値と積算層厚から算出した地温勾配は約2.1℃/100mで、現在の地温勾配と同程度であったと考えられ、安野層上部で約50℃に達していたと推定される。

ペントナイトについては、新潟県村上市の粘土鉱床を対象として、ボーリング調査を行った。また、山形県鶴岡市の酸性白土鉱床や島根県のペントナイト鉱床について予備的な調査を行った。

村上鉱床及びその周辺に認められる変質帯を、変質鉱物組合せとその分布、産状を考慮して、次のように分帶した。

- I. パイロフィライト帯（I帯）
- II. セリサイト帯（II帯）
- III. 高結晶度のモンモリロナイト帯（III帯）
- IV. セリサイト／モンモリロナイト混合層帯（IV帯）
- V. 低結晶度のモンモリロナイト帯（V帯）

このうちのIV帯からV帯は黒雲母流紋岩体の貫入による熱変質により、I帯からIII帯までは熱水の活動により生成されたと推定された。これらの地質現象は、後期中新世後期（約5.5~6.5 Ma.）に、次に示す順に進行したと考えられる。

- ①白色流紋岩の活動とそれに伴う凝灰岩の堆積
- ②黒雲母流紋岩体の貫入
- ③黒雲母流紋岩体の熱変質によるIV帯及びV帯の形成
- ④黒雲母流紋岩体に沿った熱水の上昇
- ⑤熱水によるI帯、II帯、III帯の形成

また、変質に関与した熱水は、変質鉱物及び変質岩の化学組成等から判断すると、酸性で200℃程度、Si, Al, Kに富む酸性火成活動末期のものであると推定される。

鶴岡地域では、酸性白土鉱床中に粗粒玄武岩岩脈が貫入している露頭を確認することができたが、岩脈付近でのセリサイト化は認められなかった。

島根県に点在するペントナイト鉱床は、ペントナイトのナチュラル・アナログ研究の対象となりうる可能性がある。

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成果である。

契約番号：030D0140

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 東京事業部

**：株式会社ダイヤコンサルタント 技術本部

Katsuhito Futakuchi*, Yuji Sakuramoto **

ABSTRACT

The alteration characteristics of volcanic glass and bentonite 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 Fuji volcano and another from Izu-Takatsukayama volcano, which were ejected 285 years ago and 45,000 years ago, respectively.

Additional scoria glass samples are collected from the Miura Group(middle Miocene to middle Pliocene) and the Kazusa Group (middle Pliocene to middle Pleistocene).

Chemical analyses of pore water in the Fuji-Houei volcanic succession and Izu-Takatsukayama volcanic succession indicate that they contain calcium bicarbonate (dissolved component $0.34 \sim 0.663 \text{ meq/l}$) and calcium sulphide or calcium chloride (dissolved component $1.01 \sim 1.40 \text{ meq/l}$) respectively. Moreover, SiO_2 contents of the pore water increase with the burial depth of the samples in the Fuji-Houei volcanic succession.

X-ray diffraction analysis of acidic volcanic glass shards from the Miura and the Kazusa Groups proves the existence of alteration products. This results support that the paleo-geothermal gradient was about the same as the present one (about $2.1^\circ\text{C}/100\text{m}$).

For the study of bentonite, a drilling survey and X-ray diffraction study were performed at Murakami clay deposit. A preliminary study was done at Tsuruoka acid clay deposit and some clay deposits in Simane Prefecture.

The Murakami clay deposit can be divided into the following five zones, based upon the results of various analyses and dating. These zones, from the intrusive body outward, are;

- I. pyrophyllite zone(I zone),
- II. sericite zone(II zone),
- III. high-crystallinity montmorillonite zone (IIIzone),
- IV. sericite/montmorillonite mixed layer mineral zone(IVzone), and
- V. low-crystallinity montmorillonite zone(V zone).

These alteration zones can be grouped into two according to their origin the groupe 1 (IV and V zones) is a product of thermal alteration and the groupe 2 (I, II, and III zones) is a product of later hydrothermal alteration.

The process of the alteration, which occurred in late Miocene, is assumed to be following order:

- ① the felsic volcanic activity and accumulation of acidic tuff
- ② intrusion of biotite-rhyolite into rhyolite and tuff
- ③ formation of IV and V zones by thermal alteration
- ④ ascending hydrothermal fluid along the boundary between biotite-rhyolite and tuff
- ⑤ formation of I, II, and III zones by hydrothermal alteration

Chemical analysis, X-ray diffraction analysis, and physical properties of clay and tuff suggest that the hydrothermal fluid which formed pyrophyllite, sericite, and high-crystallinity montmorillonite were high temperature acidic fluids and must be derived from the last stage of igneous activity.

At Tsuruoka area, a dolerite dyke intruded into Tsuruoka acid clay deposit are observed. X-ray diffraction analysis shows that there is no evidence of sericitization in the clay deposit near the contact.

According to several published papers, some clay deposits in Simane Prefecture are sites worthy of investigation on thermal alteration of montmorillonite.

This work performed by Dia Consultants Co. Ltd. under contract with Power Reactor and Nuclear 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. 調査地域の概要	2
2.1 地 形	2
2.1.1 富士	2
2.1.2 高塚山	4
2.1.3 南房総鴨川	5
2.2 地 質	7
2.2.1 富士	7
2.2.2 高塚山	10
2.2.3 南房総鴨川	11
3. 分析・試験及び年代測定	14
3.1 試 料	14
3.2 方 法	14
3.2.1 X線回折分析	14
3.2.2 間隙水の水質分析	17
3.2.3 絶対年代測定	19
3.3 分析・試験結果	20
3.3.1 X線回折分析	20
3.3.2 間隙水の水質分析	20
3.3.3 絶対年代測定	20
4. 考 察	26
4.1 スコリアの変質に関与した地下水の水質	26
4.1.1 富士	26
4.1.2 高塚山	29
4.2 南房総鴨川のスコリアの変質温度	29
4.3 南房総鴨川のスコリアの変質層	30

4.4 南房総鴨川地域の水理構造モデル	30
5. 問題点と今後の課題	37
参考文献	38

II. ペントナイト編

1. 調査目的	41
2. 調査地域の概要	42
2.1 地形	42
2.1.1 村上地域	42
2.1.2 鶴岡地域	42
2.1.3 大田市北部地域	42
2.1.3 大田市東部地域	42
2.1.3 出雲市三谷	42
2.2 地質	46
2.2.1 村上地域	46
2.2.2 鶴岡地域	48
2.2.3 大田市北部地域	51
2.2.4 大田市東部地域	54
2.2.5 出雲市三谷	54
3. 調査及び分析	59
3.1 試料	59
3.1.1 村上地域	59
3.1.2 鶴岡地域	59
3.2 X線回折分析	59
3.3 X線回折分析結果	59
4. 考察	76
4.1 村上地域	76
4.1.1 変質鉱物組合せと変質分帶	76
4.1.2 変質帶の生成環境	79
4.1.3 変質岩の年代	82
4.1.4 変質に関与した熱水の性状	87
4.1.5 変質帶の生成モデル	87
4.2 鶴岡地域	91

4.3 大田市北部地域	9 1
4.4 大田市東部地域	9 1
4.5 出雲市三谷地域	9 2
5. 問題点と今後の課題	9 3
参考文献	9 4

表 目 次

I. 火山ガラス編

表 2-1 高塚山及びその周辺の地質層序表	10
表 2-2 調査地域の層序表	13
表 3-1 スコリア試料の分析・測定項目一覧表	14
表 3-2 X線回折条件	17
表 3-3 水質分析方法	17
表 3-4 南房総鴨川地域の凝灰岩試料のX線回折結果	20
表 3-5 宝永スコリアの間隙水の水質分析結果	21
表 3-6 高塚山スコリアの間隙水の水質分析結果	22
表 4-1 南房総鴨川のスコリアの変質に関するまとめ	32

II. ベントナイト編

表2-1 村上地域の地質層序表	4 6
表2-2 鶴岡地域の試料のX線回折分析結果	5 0
表2-3 X線回折分析結果（出雲市三谷）	5 7
表3-1 X線回折条件結果	7 4
表3-2(1) 含有鉱物一覧表（露頭試料その1）	6 3
表3-2(2) 含有鉱物一覧表（露頭試料その2）	6 4
表3-2(3) 含有鉱物一覧表（坑内試料その1）	6 5
表3-2(4) 含有鉱物一覧表（露頭試料その2）	6 6
表3-2(5) 含有鉱物一覧表（露頭試料その3）	6 7
表3-2(6) 含有鉱物一覧表（ボーリング試料その1）	6 8
表3-2(7) 含有鉱物一覧表（ボーリング試料その2）	6 9
表3-3 含有鉱物一覧表（鉱山側掘削孔）	7 0
表3-4 含有鉱物一覧表（今年度掘削孔）	7 1
表3-5 変質鉱物と貫入面からの距離との関係	7 5
表4-1 変質鉱物の生成条件（推定）	8 0
表4-2 フィッショング・トラック年代測定結果一覧表	8 3
表4-3 Rb-Sr年代測定結果一覧表	8 4
表4-4 K-Ar年代測定結果一覧表	8 4
表4-5 珪藻化石の同定結果	8 5
表4-6 各岩石試料中の主要元素の重量	8 8

図 目 次

I. 火山ガラス編

図 2-1 宝永スコリア調査位置図	2
図 2-2 山腹（須走登山道一合目）露頭位置図	3
図 2-3 高塚山周辺の地形と調査地点位置図	4
図 2-4 南房総鴨川の調査範囲	5
図 2-5 南房総鴨川の水系と地形区分（中嶋ほか, 1981）	6
図 2-6 宝永スコリア層柱状図（御殿場市付近）	8
図 2-7 宝永スコリア層および試料採取位置（須走口登山道一合目）	9
図 2-8 南房総鴨川付近の地質図（日本の地質「関東地方」編集委員会, 1986）	12
図 3-1 高塚山試料採取位置図	15
図 3-2 南房総地域試料採取位置図	16
図 3-3 減圧法によるスコリア間隙水の抽出	18
図 3-4 宝永スコリア層の間隙水のヘキサダイヤグラム	23
図 3-5(1) 高塚山スコリアの間隙水のヘキサダイヤグラム(OH-B')	24
図 3-5(2) 高塚山スコリアの間隙水のヘキサダイヤグラム(OH-C', OH-C'')	25
図 4-1 宝永スコリアの間隙水のヘキサダイヤグラムと深度との関係	27
図 4-2 スコリア間隙水の $[H_4SiO_4]$ と $[Ca^{2+}] / [H^+]^2$ の関係図	28
図 4-3 南房総鴨川地域のX線回折分析結果と採取層準	31
図 4-4 九十九里ガス田における垂直温度分布（千葉県公害研究所, 1982）	33
図 4-5 南房総鴨川地域の地質構造発達史（見解Ⅰ）	35
図 4-6 南房総鴨川地域の地質構造発達史（見解Ⅱ）	36

II. ベントナイト編

図 2-1 調査位置図（村上地域）	4 3
図 2-2 鶴岡地域調査位置図	4 4
図 2-3 大田市および出雲市付近の粘土鉱床位置図	4 5
図 2-4 村上地域地質図及び地質断面図	4 7
図 2-5 セリサイト鉱山付近の地質断面図	4 9
図 2-6 鶴岡地域地質図	5 0
図 2-7 大田市北部地域地質図	5 2
図 2-8 沸石による変質分帶（大田市北部）	5 3
図 2-9 大田市東部地域地質図	5 5
図 2-10 X線回折分析結果（大田市東部）	5 5
図 2-11 出雲市三谷地域地質図	5 6
図 3-1 ポーリング位置および地表試料採取位置図	6 0
図 3-2 MT-1孔及びMT-2孔の試料採取深度	6 1
図 3-3 水沢化学工業㈱探掘場の試料採取位置	6 2
図 3-4 鉱山側掘削孔における変質鉱物分布（MT-1）	7 2
図 3-5 今年度掘削孔における変質鉱物分布（MT-2）	7 3
図 4-1 変質帯と変質鉱物組合せ	7 7
図 4-2 変質鉱物分布図（村上地域）	7 8
図 4-3 粘土と凝灰岩の三角ダイヤグラム	8 1
図 4-4 年代測定結果総括図	8 6
図 4-5 各試料における単位体積中の元素濃度	8 9
図 4-6 変質帯形成モデル	9 0

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、富士及び大島起源の約3000年前までのスコリアガラス、大島及び高塚山火山起源の数万年前のスコリアガラスを対象として、風化変質状況やその変質環境についての調査・研究が行われてきた。さらに、平成2年度には、これまで以上に古い火山ガラスの変質状況とその変質環境の関係を把握することを目的として、房総半島南部の鳴川地域に露出する新第三紀～第四紀層中に含まれるスコリアガラスを対象に調査・研究が行われている。

本調査では、高塚山及び南房総鳴川地域のスコリアガラスを対象とする調査・研究を継続して行うとともに、スコリアガラスの埋没深度と風化変質状況及び変質環境との関係を把握することを目的とし、富士起源の宝永スコリアのうち層厚の厚い露頭を対象に、現地調査、試料採取、室内分析を実施した。

2. 調査地域の概要

2.1 地 形

2.1.1 富士

調査地域及びその周辺の地形の概要を図2-1～2に示す。

調査地域は富士山の東側の山腹～山麓に位置し、その北側には標高1000mに達する丹沢山地が東西に連なり、西側には富士山体へと連続する標高500～700mの東南東へ緩く傾斜した丘陵が広がっている。

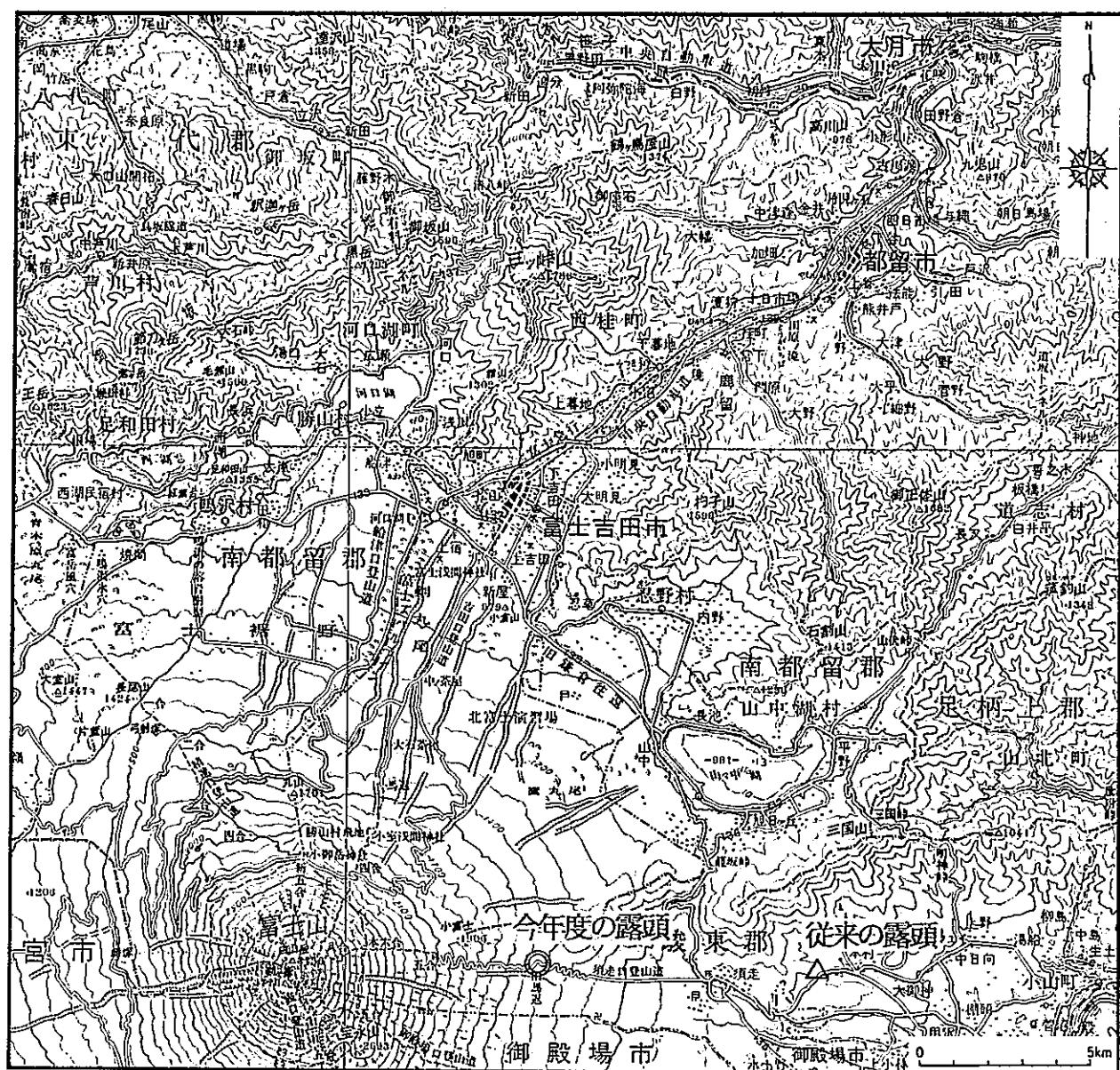


図2-1 宝永スコリア調査位置図

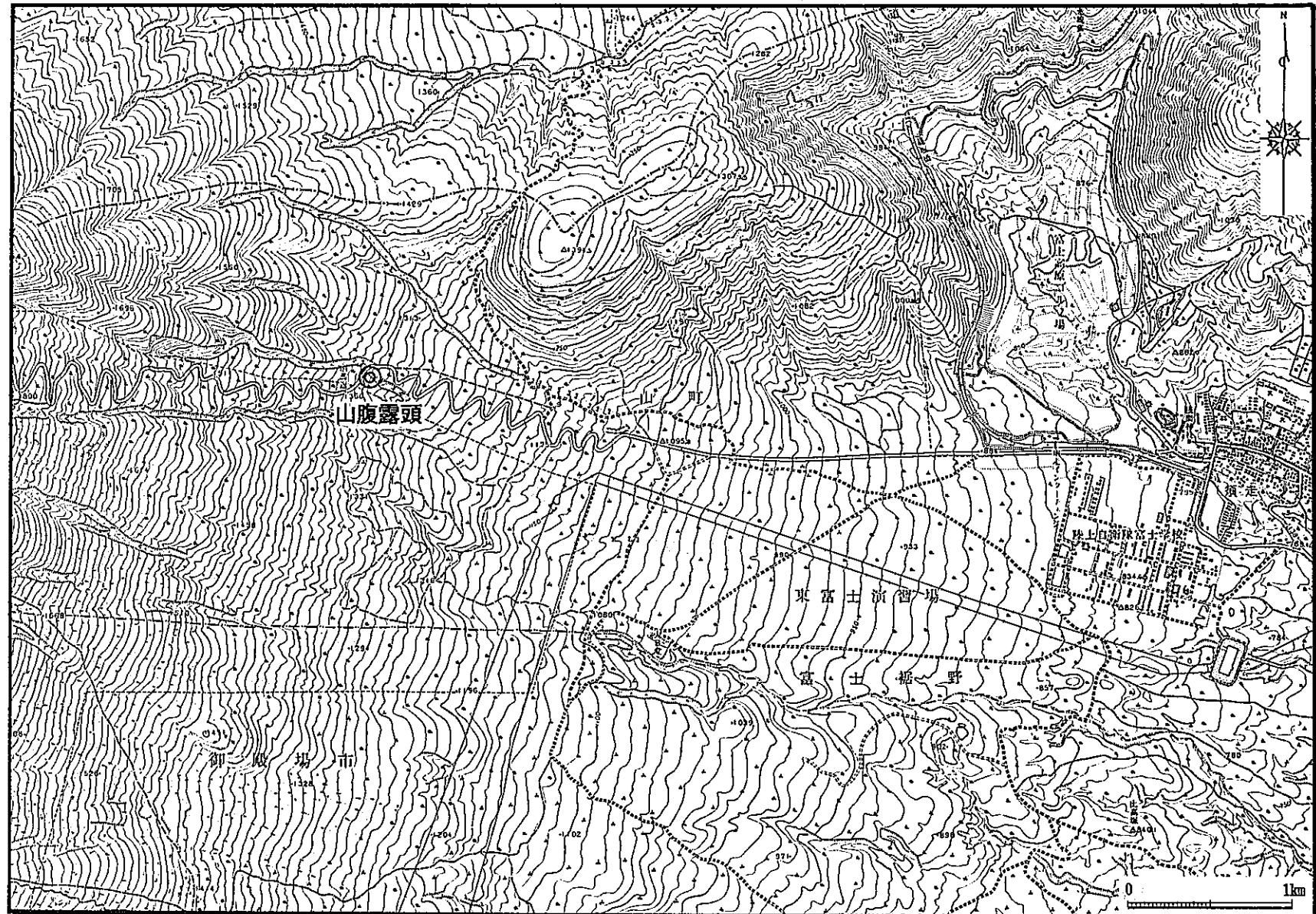


図2-2 山腹（須走口登山道一合目）露頭位置図

2.1.2 高塚山

調査地域及びその周辺の地形の概要を図2-3に示す。

調査地域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って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山腹に位置し、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。

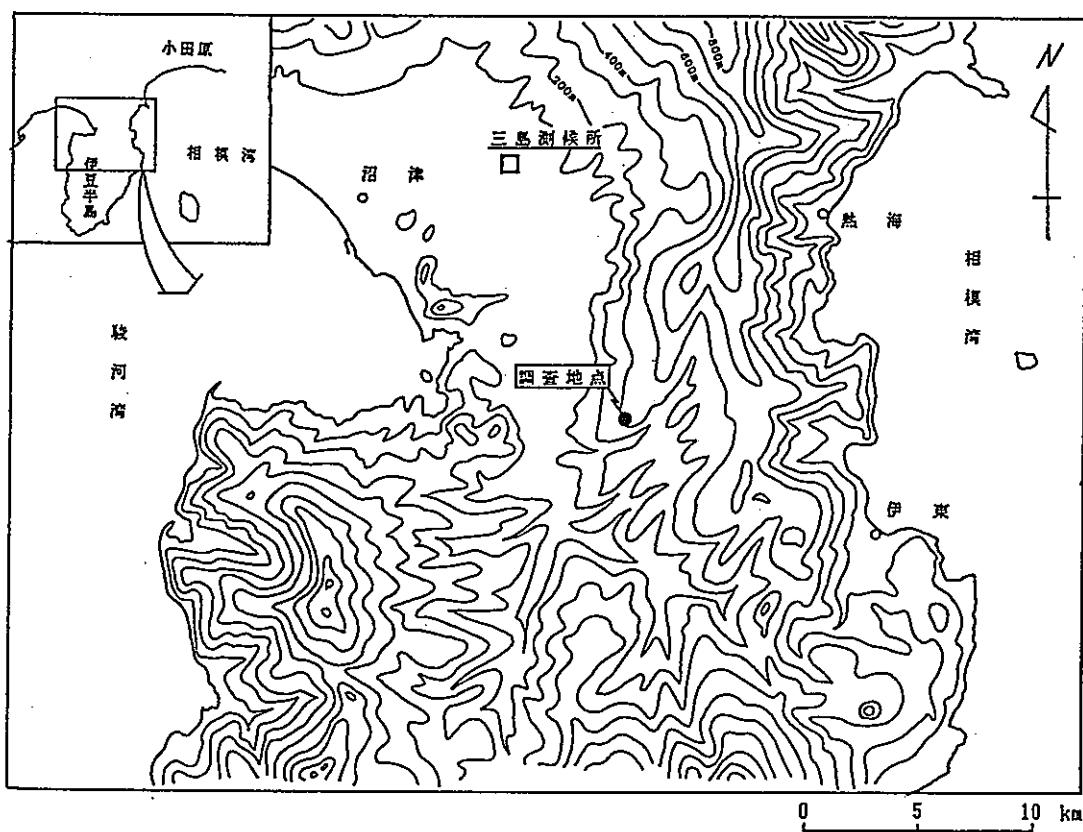


図2-3 高塚山周辺の地形と調査位置図

2.1.3 南房総鴨川

調査地域及びその周辺の地形の概要を図2-4に、また南房総鴨川付近の水系と地形区分（中島ほか、1981）を図2-5に示す。

調査地域は房総半島の南部に位置し、標高100～300m程度の低い丘陵地からなり、標高の割りには谷が急峻である。

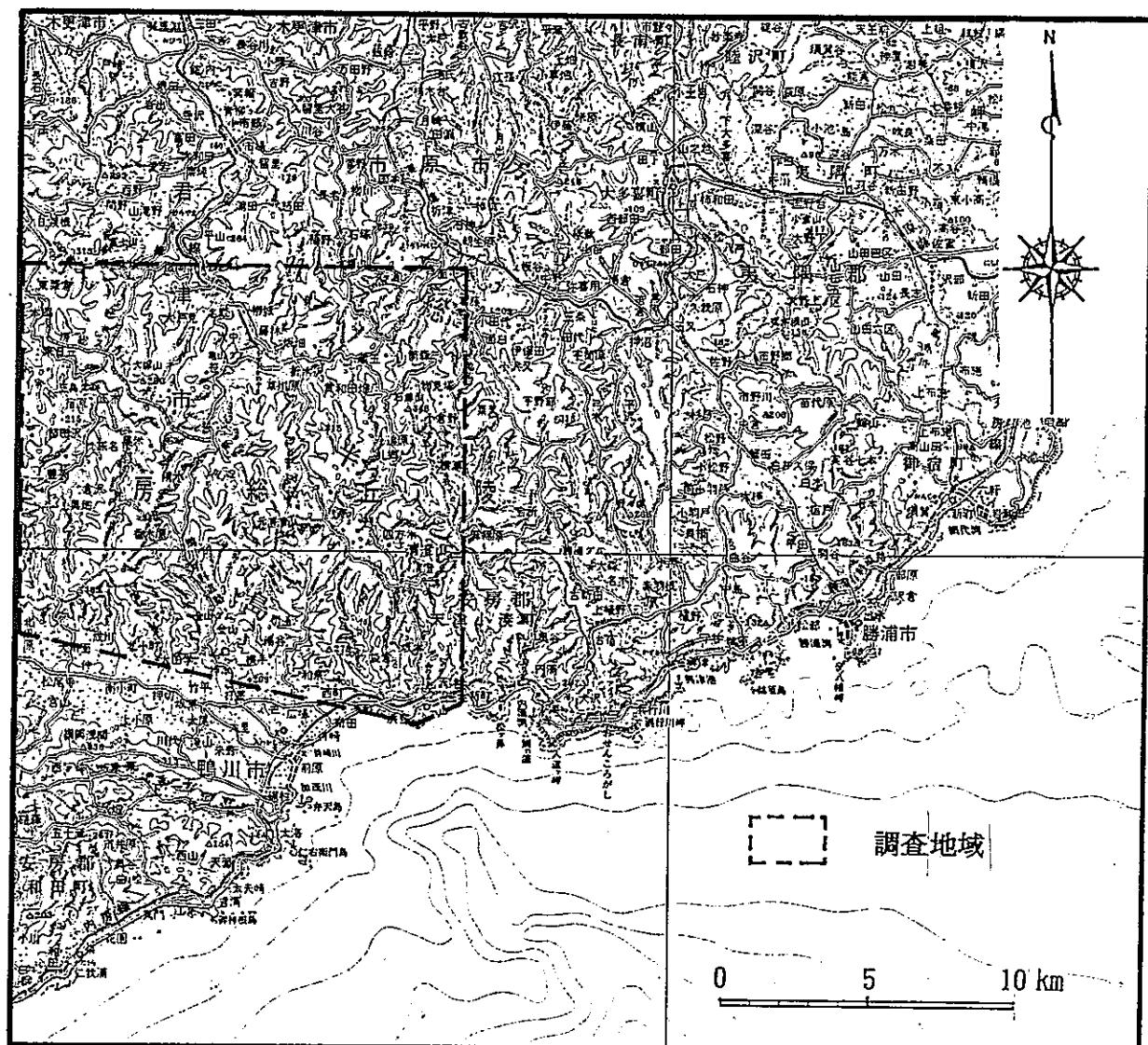
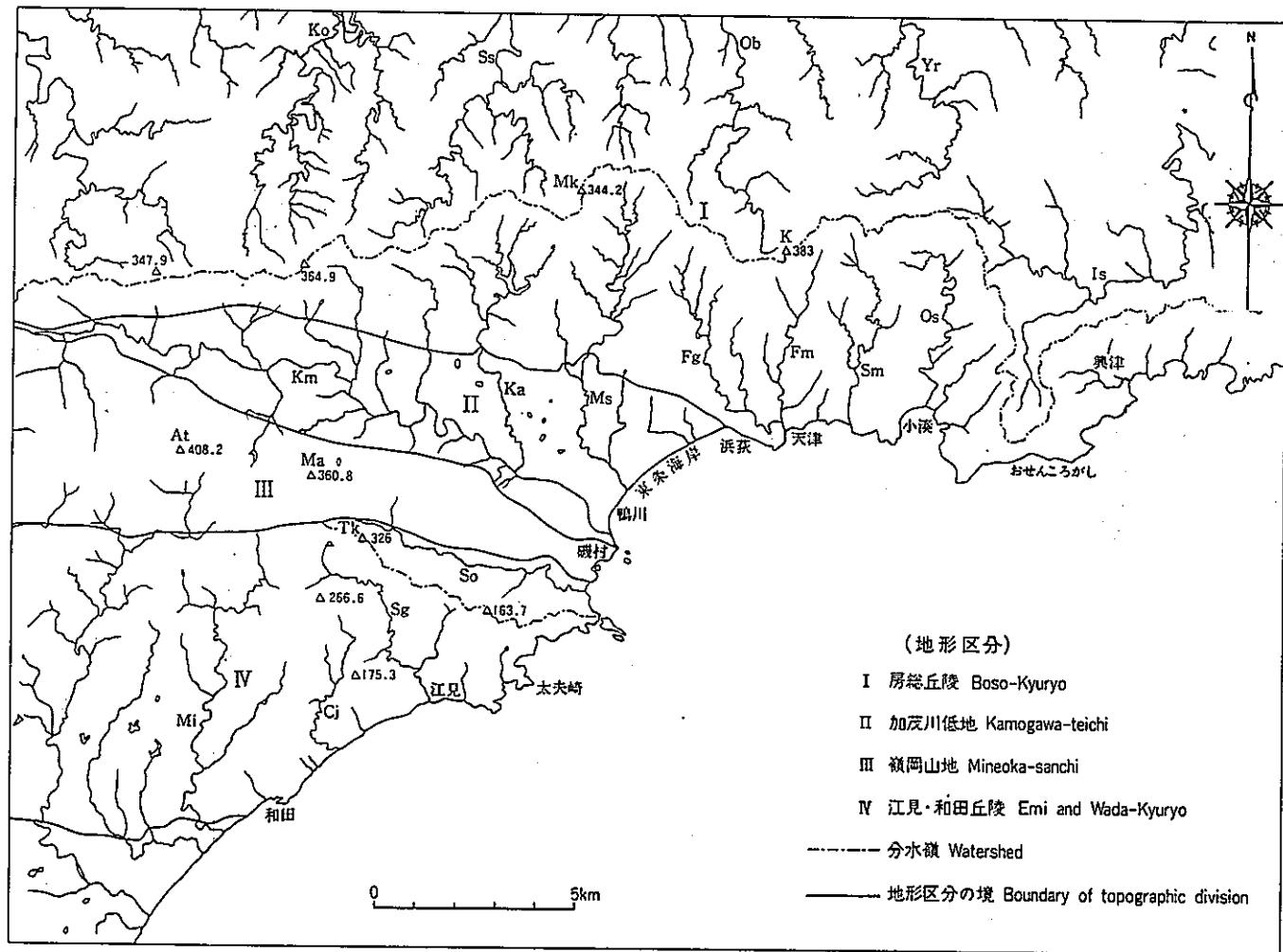


図2-4 南房総鴨川の調査範囲



鴨川図幅地域付近の水系と地形区分 (山) At: 爽宮山 K: 清澄山 Ma: 嶺岡浅間 Mk: 元清澄山 Tk: 高越山 (川) Cj: 長者川 Fg: 袋倉川 Fm: 二間川 Is: 英霧川 Ka: 金山川 Km: 加茂川 Ko: 小糸川 Mi: 三原川 Ms: 待崎川 Ob: 小鶴川 Os: 大風沢川 Sg: 舟呂川 Sm: 神明川 So: 曾呂川 Ss: 苍川 Yr: 美老川

図2-5 南房総鴨川の水系と地形区分 (中嶋ほか, 1981)

2.2 地質

2.2.1 富士

調査地域の丘陵地帯には、富士火山起源の火山噴出物が広く分布しており、この火山噴出物は下位から古期富士降下火碎層、富士黒土層、新期富士火碎層の3層に区分されている（町田、1964など）。

古期富士降下火碎層は数10cm間隔で成層したスコリア層を主体としており、泥流堆積物、腐植質細粒火山灰及びローム状風化部を挟んでいる。全体に未固結であるが傾斜60°以上の急傾斜面で自立する程度には締まっている。スコリア層は褐色を帯びた暗灰色を呈し細粒砂～細礫大のスコリア及び岩片からなる。

富士黒土層は埋没腐植質火山灰層で細礫混じりの黒褐色シルトからなり、厚さは1.5m前後である。

新期富士降下火碎層は古期富士降下火碎層と同様のスコリア層からなる。本層の最上部は宝永スコリア層と呼ばれ、1707年に噴出したものであり、山麓（御殿場市付近）では厚さ1~2mでほぼ地表面に沿って分布している。このスコリア層は暗灰色を呈する0.5~2cmの新鮮なスコリアからなり、最下部に厚さ5cm前後の黄白色の軽石層を伴っている（図2-6参照）。一方、山腹（須走口登山道一合目付近）では層厚が6m以上に達している（図2-7参照）。山腹でのスコリア層は一般に淘汰が悪く、砂粒大以下の粒子を多く含んでおり、スコリア以外の岩片を含むこともある。

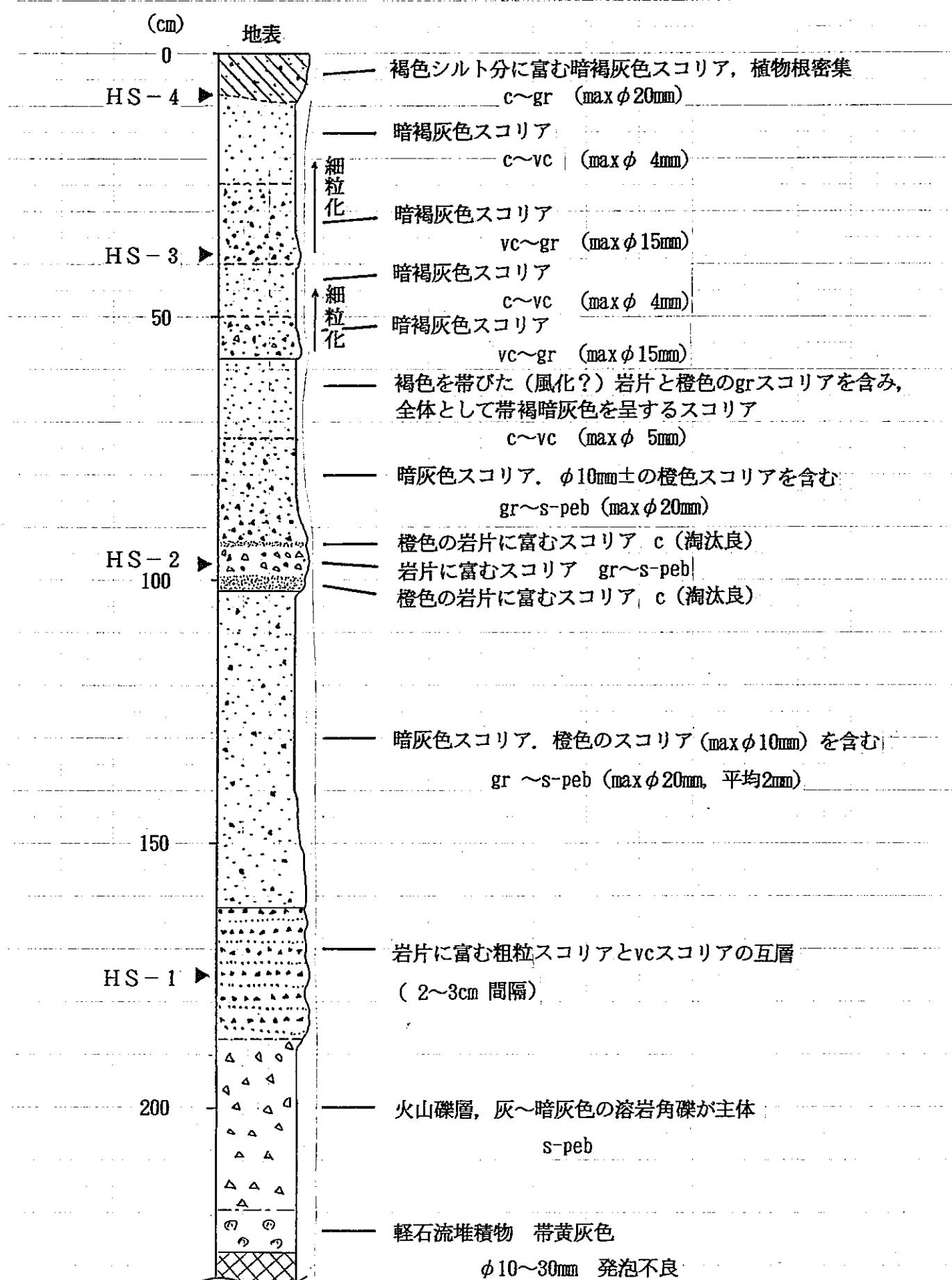


図2-6 宝永スコリア層および試料採取位置(御殿場市付近)

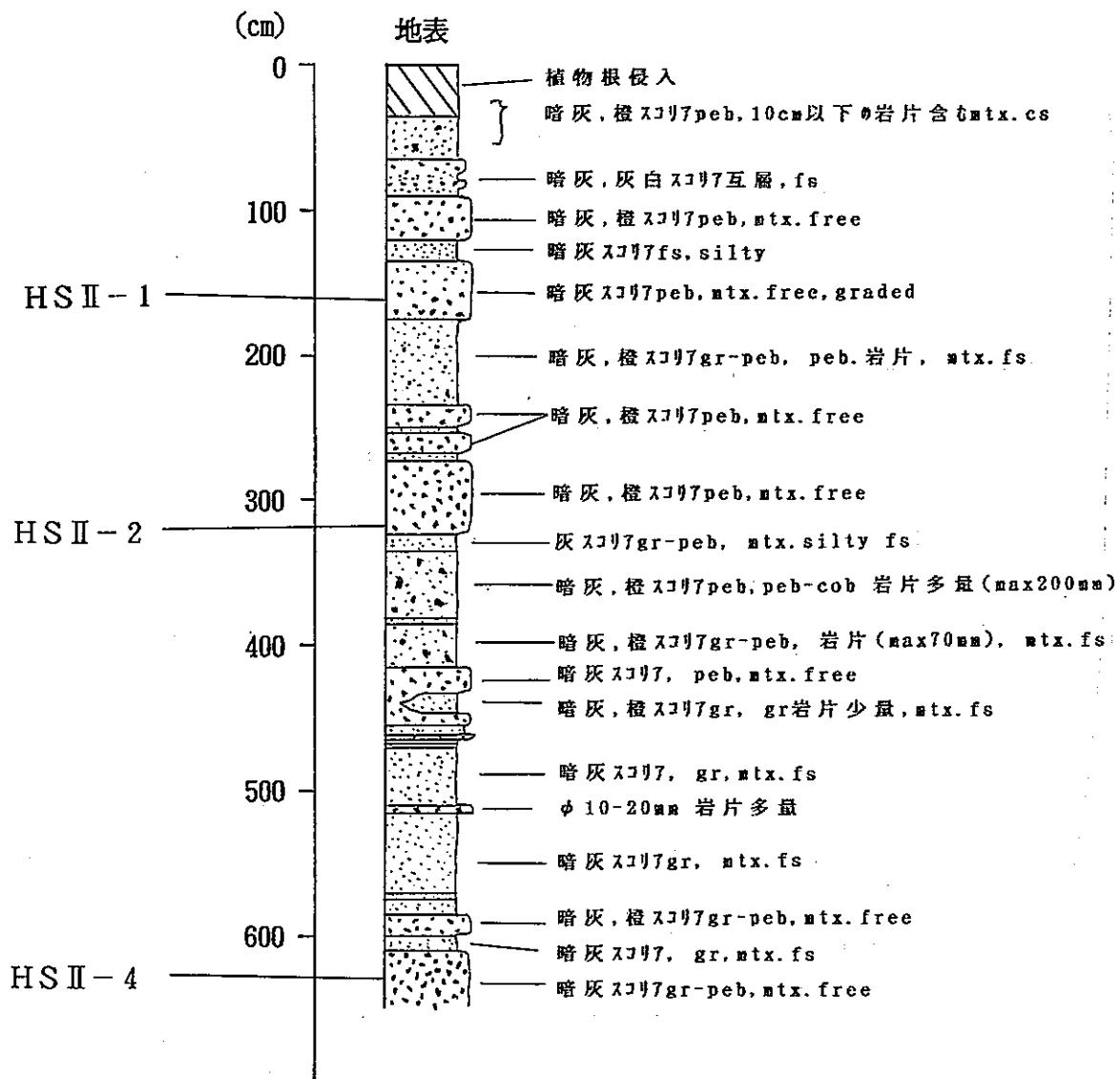


図2--7 宝永スコリア層および試料採取位置(須走口登山道一合目)

2.2.2 高塚山

高塚山及びその周辺の地質層序を表2-1に示す。

高塚山は、第四紀後期に活動した東伊豆単成火山群（荒牧ほか, 1977）の一つで、同火山群の北西端に位置する。高塚山は、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とに区分されている。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（湯佐ほか, 1970）。

湯佐ほか（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OF, SP（45,000年前）、CCP-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、高塚山火山噴出物は45,000～40,000年前に噴出したものと推定されている。

表2-1 高塚山及びその周辺の地質層序表^{*1)}

時代	層序	年代 ^{*2)}
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	多賀火山噴出物	
中新世	火山岩および火山碎屑岩	

*1) 湯佐ほか（1970）、町田（1971）、荒牧ほか（1971）、町田（1971）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。

2.2.3 南房総鴨川

調査地域及びその周辺の地質については、中嶋ほか（1981），日本の地質「関東地方」編集委員会（1986）等の研究がある。これらの結果をもとに、調査地域の地質概要を以下に述べる。なお、調査地域及びその周辺の地質図を図2-8に、その層序を表2-2に示す。

調査地域には、下位から三浦層群及びそれを不整合（黒滝不整合と呼ばれる）に被覆する上総層群が分布している。三浦層群は、下位から木ノ根層、天津層、清澄層及び安野層の順に堆積している。上総層群は、下位から黒滝層、黄和田層、大田代層及び梅ヶ瀬層の順に堆積している。なお、調査地域の範囲外ではあるが、上総層群は上位の下総層群に不整合（長沼不整合と呼ばれる）に被覆される。

木ノ根層は下位の神川層を不整合に覆い、頁岩を主体として、砂岩、細粒及び軽石凝灰岩を挟んでいる。上部は泥岩主体となっている。

天津層は木ノ根層を整合に覆い、頁岩を主体とするが、スコリア凝灰岩、ゴマシオ凝灰岩、細粒凝灰岩を頻繁に挟んでいる。この様な玄武岩～安山岩質の凝灰岩の挟みの出現は、木ノ根層までの地層に挟まれる凝灰岩類が白色～灰白色細粒凝灰岩や軽石凝灰岩のみであることに対し、大きな変化であるといえる。

清澄層は天津層を整合に覆い、砂がちのフリッシュ型砂岩泥岩互層からなっている。清澄層中にも、天津層と同様な凝灰岩の挟みが認められる。この凝灰岩中には、三浦半島側の地層中の凝灰岩と対比がなされているものもある。

安野層は清澄層を整合に覆い、下部がフリッシュ型砂岩泥岩互層、上部が泥岩主体である。上部の泥岩層は大きく見ると上方に粗粒化する傾向が認められている。

黒滝層は、下位の安野層を黒滝不整合を介して被覆する凝灰質砂礫岩である。調査地域内では、上位の黄和田層に漸移している。

黄和田層は泥岩を主体としており、砂岩の薄層を挟んでいる。

大田代層は、下位の黄和田層を整合に被覆し、砂岩泥岩互層からなる。

梅ヶ瀬層は、下位の大田代層を整合に被覆し、主として砂岩優勢の砂岩泥岩互層からなる。

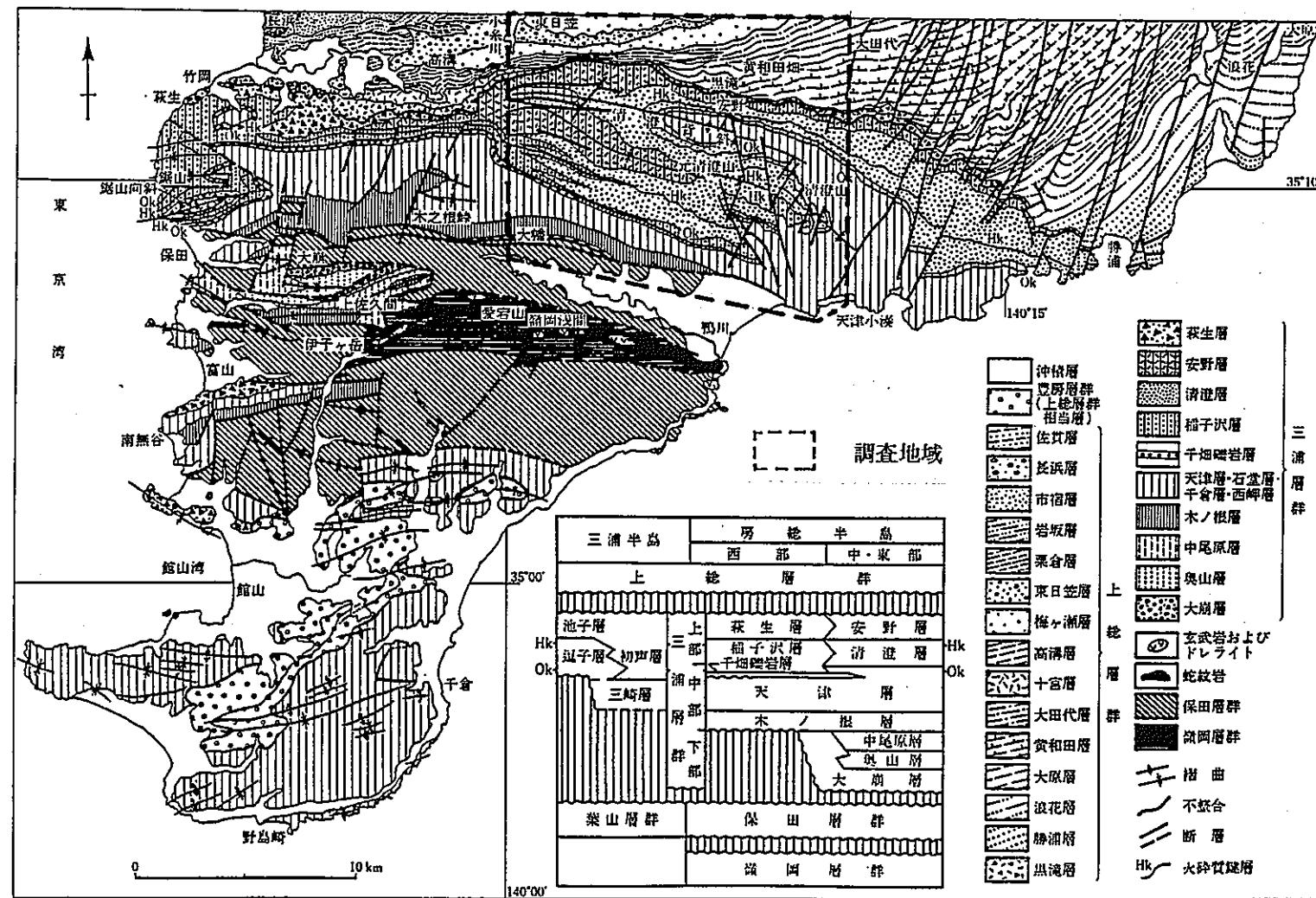


図2-8 南房総鴨川付近の地質図（日本の地質「関東地方」編集委員会, 1986）

表2-2 調査地域の層序表

層序		鍵層	層厚及び 積算層厚	堆積年代
長沼不整合	下総層群		—	鈴木・杉原(1983)
	上総層群	笠森層	300m	徳橋ほか(1983)
		長市層	80m	0.31~0.63Ma.
		桜ノ木白層	80m	380m 460m
	中総層群	国本層	320m	0.87Ma.
		梅ヶ瀬層	U-4(t) U-4(s) 530m	1.06~1.47Ma.
		大田代層	0-8(t) 0-8(s) 540m	1.90~2.06Ma.
		黄和田層	—	M. Kasuya(1990)
		安野層	Kdx(t) Kdx(s) An-68(s) Anx(t) Any(t) An-45(s) 450m	2.34~2.59Ma. 2.76~3.37Ma
		清澄層	Kyx(t) Ky-12(t) Ky-10(s) Ky-8(s) Am-98(s) Am-97(s) Am-96(s) 870m	—
黒滝不整合	三浦層群	梅(t) 桃(t) 桜(t)	—	3580m
		Am-83(s) Am-78(t)	—	5.2~11.5Ma.
		天津層	Amx(t) Am-29(s) Am-16(t) Am-14(s) 1025m	—
		木ノ根層	Kn-3(t) 775m	—

() 内のs, tはそれぞれスコリア凝灰岩、凝灰岩を示す。

3. 分析・試験及び年代測定

3.1 試 料

富士、高塚山及び南房総鴨川地域からスコリア試料等を採取した。なお、富士では須走口登山道一合目付近の山腹露頭から試料を採取した。また高塚山では、直接法面から浸透するような地表水の影響をできるだけ取り除くために、バックホウ型の掘削機により法面を約5m掘込んだ横坑内からスコリア試料を採取した。採取位置を図2-7（前述）、図3-1～2に示し、また詳細な試料採取位置を資料集に添付した。試料の分析内訳を一覧表にして、表3-1に示す。

表3-1 スコリア試料の分析・測定項目一覧表

地域 分析・ 試験項目	試料名 採取深度	富 士			高 塚 山		南房総鴨川 Ky-12(t) 地表露頭
		H S II - 1 GL-1.6m	H S II - 2 GL-3.2m	H S II - 4 GL-6.3m	O H - B'	O H - C'	
間隙水の水質分析 ¹⁾	○	○	○	○ ²⁾	○ ³⁾		
X線回折分析							○
フィッショントラック年代測定				○			

1) 間隙水の抽出は減圧法で行った。

2) O H - B' については、同一層準から3試料を採取し、試料間のバラツキを検討した。

3) O H - C' の下位約1mの位置の試料をO H - C' として採取・分析した。

3.2 方 法

3.2.1 X線回折分析

試料を風乾した後、ステンレス乳鉢で粗砕し、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た。また、この粉末試料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、遠心分離機によって粘土分を沈殿させ、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。無定方位試料については、表3-2の左側に示した条件で、また定方位試料については表3-2の中央に示した条件でX線回折を行った。これらの試料のうち、7Å及び14～15Åの反射が認められるものについては、それぞれ塩酸処理及びエチレングリコール処理を行った後、表3-2の右側に示した条件でX線回折を実施して粘土鉱物を同定した。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。

Loc. No.	O H - B' , B 2 , C' , C 2 , C''	調査年月	'91年7月19日
位 置	静岡県田方郡大仁町南 大仁駅の東北東4.5km		
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	
試 料	OH-B':採取深度 34.0m OH-C':採取深度 19.2m OH-C'':採取深度 20.2m	備 考	

図3-1 高塚山試料採取位置図



● : 試料採取位置

キロメートル

図 3-2 南房総地域試料採取位置図

表3-2 X線回折条件

	無定位試料	定位試料	定方位試料
対陰極	Cu	Cu	Cu
フィルター	Ni	Ni	Ni
管電流	30 kV	30 kV	30 kV
管電圧	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.
カウル計数	2000cps	1000cps	1000cps
時定数	1 sec.	1 sec.	1 sec.
走査範囲	2θ = 2~60°	2θ = 2~20°	2θ = 2~20°

3.2.2 間隙水の水質分析

スコリア試料から減圧法によって間隙水を分離して水質分析に供した。分析項目及び分析方法は、表3-3に示すとおりである。減圧法の手順を以下に記述する。

- ①スコリア試料を遠沈管（内径40mm）にとり、3500~4000rpmで10分間遠心分離を行う。
- 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：2.2μm）を敷いた吸引鐘にあけ吸引ろ過を行う（図3-3）。
- 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。

表3-3 水質分析法

分析項目		分析方法
記号	名称	
Na ⁺	ナトリウムイオン	フレーム光度法 (JIS K 0101)
K ⁺	カリウムイオン	"
Ca ²⁺	カルシウムイオン	原子吸光法 (JIS K 0101)
Mg ²⁺	マグネシウムイオン	"
Cl ⁻	塩素イオン	イオクロマトグラ法 (JIS M 0202)
HCO ₃ ⁻	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 ₄ ²⁻	硫酸イオン	イオクロマトグラ法 (JIS M 0202)
T-Fe	全鉄	原子吸光法 (JIS K 0101)
SiO ₂	ケイ酸	モリブデン黄法 (JIS K 0101)

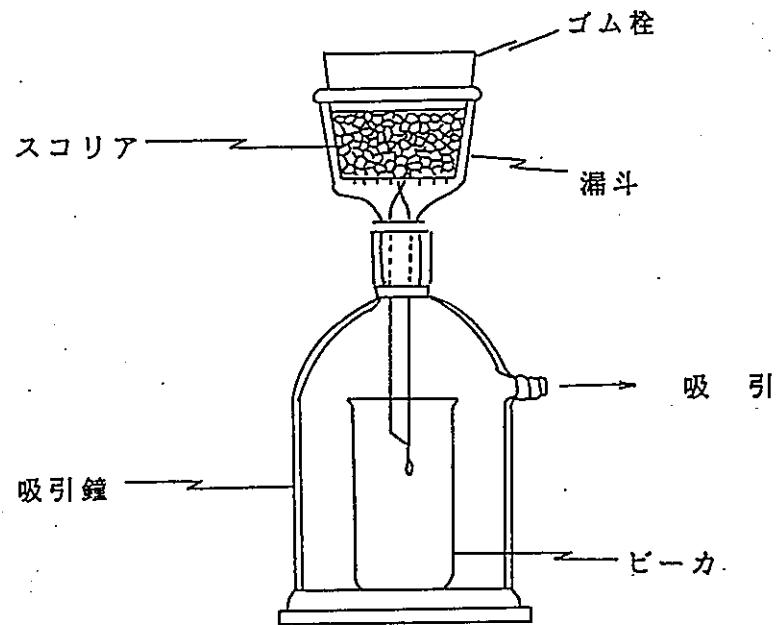


図3-3 減圧法によるスコリア間隙水の抽出

3.2.3 絶対年代測定

高塚山のスコリアの噴出年代を決定する方法として、フイッシュン・トラック法が有効であるか否かを検討するために、高塚山のスコリアからジルコン結晶粒を次の手順で抽出し、それをエッティング後実体顕微鏡下で観察した。

- ① 試料を粉碎する。
- ② 粉碎後の試料を水洗を実施して細粒分を洗い流す。
- ③ 60メッシュ以下の粒径の粒子を篩別によって集める。
- ④ 碗かけおよび重液分離によって、重鉱物を濃縮する。
- ⑤ 永久磁石および電磁分離機を用いて磁選を行う。
- ⑥ 重液分離の繰り返し、ハンドピッキングによりジルコン粒を選別する。

3.3 分析・試験結果

3.3.1 X線回折分析

南房総鴨川の清澄層の凝灰岩試料 (Ky-12t) のX線回折分析結果のチャートを資料集に、それによって求められた構成鉱物の一覧表を、表3-4に示す。

鉱物組成についてみると、モンモリロナイト、ハロイサイト、石英、黄鉄鉱及び斜長石が認められ、変質温度を示唆する自生鉱物として、特に石英の存在が注目される。

3.3.2 間隙水の水質分析

宝永スコリア及び高塚山スコリアの間隙水の水質分析結果をそれぞれ表3-5、表3-6に、それらのヘキサダイヤグラムを図3-4、図3-5(1)～(2)に示す。なお、これらの図表には平成2年度までの調査結果も併記した。

なお、間隙水の水質組成については、考察のところで詳しく述べるのでここでは省略する。

3.3.3 絶対年代測定

高塚山のスコリアからジルコン結晶粒の分離を行ったところ、スコリア 1kgから15個のジルコン粒が得られた。しかし、これらのジルコン粒は、実体鏡下での観察ではすべて異質結晶粒であり、本質結晶粒ではなかった。

したがって、ジルコンを用いたフィッショントラック法による年代測定は、伊豆高塚山のスコリア層の噴出年代を求める手法として適切ではないと判断される。

表3-4 南房総鴨川地域の凝灰岩試料のX線回折結果

鉱物名 試料名	緑 泥 石	イ ラ イ ト	モン モリ ロ ナイト	ハ ロ イ サ イ ト	石 英	α -クリ スチ バル 石	α -リ ン ケイ 石	斜 ブ チロ ル 沸 石	方 解 石	黃 鐵 鉱	菱 鐵 鉱	カ リ 長 石	斜 長 石	普 通 角 閃 石
K y 1 2 (t)			

相対含有量：◎多量、○中量、。少量、・微量

表3-5 宝永スコリアの間隙水の水質分析結果

試料番号	HS II-1		HS II-2		HS II-4					
採取深度(m)	-1.6		-3.2		-6.3					
試料の種類	減圧法による間隙水									
採取日	1991.11.29									
pH	7.6		7.3		7.5					
単位	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l				
Na ⁺	2.82	0.12	1.32	0.06	2.30	0.10				
K ⁺	1.13	0.03	0.59	0.02	0.94	0.02				
Ca ²⁺	5.92	0.30	3.23	0.16	4.03	0.20				
Mg ²⁺	2.69	0.22	1.31	0.11	1.74	0.14				
Fe ²⁺	1.88	0.07	1.50	0.05	1.75	0.06				
陽イオン合計		0.74		0.40		0.52				
HCO ₃ ⁻		0.48		0.40		0.52				
SO ₄ ²⁻	1.2	0.02	1.1	0.02	0.7	0.01				
Cl ⁻	3.1	0.09	1.7	0.05	1.7	0.05				
NO ₃ ⁻	7.1	0.11	0.5	0.01	0.9	0.01				
陰イオン合計		0.70		0.38		0.50				
SiO ₂	32.2		33.0		33.0					

表3-6 高塚山スコリアの間隙水の水質分析結果

試料番号	OH-B'		OH-C'		OH-B'		OH-C'		OH-B' (1)		OH-B' (2)		OH-B' (3)		OH-C'		OH-C'		OH-B'		OH-C'							
採取位置	深度34.0m		深度19.2m		深度34.0m		深度19.2m						深度34.0m				深度19.2m		深度20.2m		深度34.0m		深度19.2m					
試料の種類	間隙水																											
採取日	1990.7.20		1990.7.20		1990.10.30				1991.4.11				1991.4.11				1991.7.19											
pH	7.3		7.3		7.3		7.5		7.4		7.3		7.3		7.2		7.2		7.4		7.2							
	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l						
Na ⁺	6.55	0.28	6.85	0.30	6.79	0.30	5.61	0.24	8.73	0.38	6.62	0.29	6.28	0.27	7.99	0.35	7.64	0.33	4.84	0.21	8.62	0.37						
K ⁺	1.23	0.03	1.63	0.04	0.85	0.02	1.05	0.03	1.22	0.08	0.94	0.02	0.92	0.02	1.70	0.04	1.52	0.04	1.00	0.03	1.93	0.05						
Ca ²⁺	9.18	0.46	9.73	0.49	12.49	0.62	9.57	0.48	5.77	0.29	5.25	0.26	5.06	0.25	8.89	0.44	10.4	0.52	5.20	0.26	20.8	1.04						
Mg ²⁺	5.95	0.49	4.25	0.35	5.64	0.46	3.86	0.32	3.75	0.31	3.48	0.29	3.39	0.28	4.41	0.36	4.47	0.37	2.23	0.18	7.38	0.61						
Fe ²⁺	3.48	0.12	3.33	0.12	0.50	0.02	2.00	0.07	3.26	0.12	1.64	0.06	3.31	0.12	2.11	0.08	4.87	0.17	2.80	0.10	1.00	0.04						
陽イオン合計		1.38		1.30		1.42		1.14		1.13		0.92		0.94		1.27		1.43		0.78		2.11						
HCO ₃ ⁻	22.0	0.36	18.3	0.30	25.6	0.42	29.3	0.48	23.2	0.38	17.1	0.28	18.3	0.30	14.0	0.23	14.0	0.23	14.0	0.23	9.8	0.16						
SO ₄ ²⁻	20.5	0.43	25.2	0.52	21.6	0.45	14.6	0.30	16.6	0.35	10.9	0.23	13.9	0.29	25.7	0.54	33.2	0.69	13.0	0.27	39.0	0.81						
Cl ⁻	16.9	0.48	18.0	0.51	17.5	0.49	8.1	0.23	14.9	0.42	15.1	0.43	12.7	0.36	16.9	0.48	17.9	0.50	8.6	0.24	40.1	1.13						
陰イオン合計		1.27		1.33		1.36		1.01		1.15		0.94		0.95		1.25		1.42		0.74		2.10						
SiO ₂	63.4		60.0		28.1		23.8		90.9		73.6		84.1		69.1		66.7		90.9		71.9							

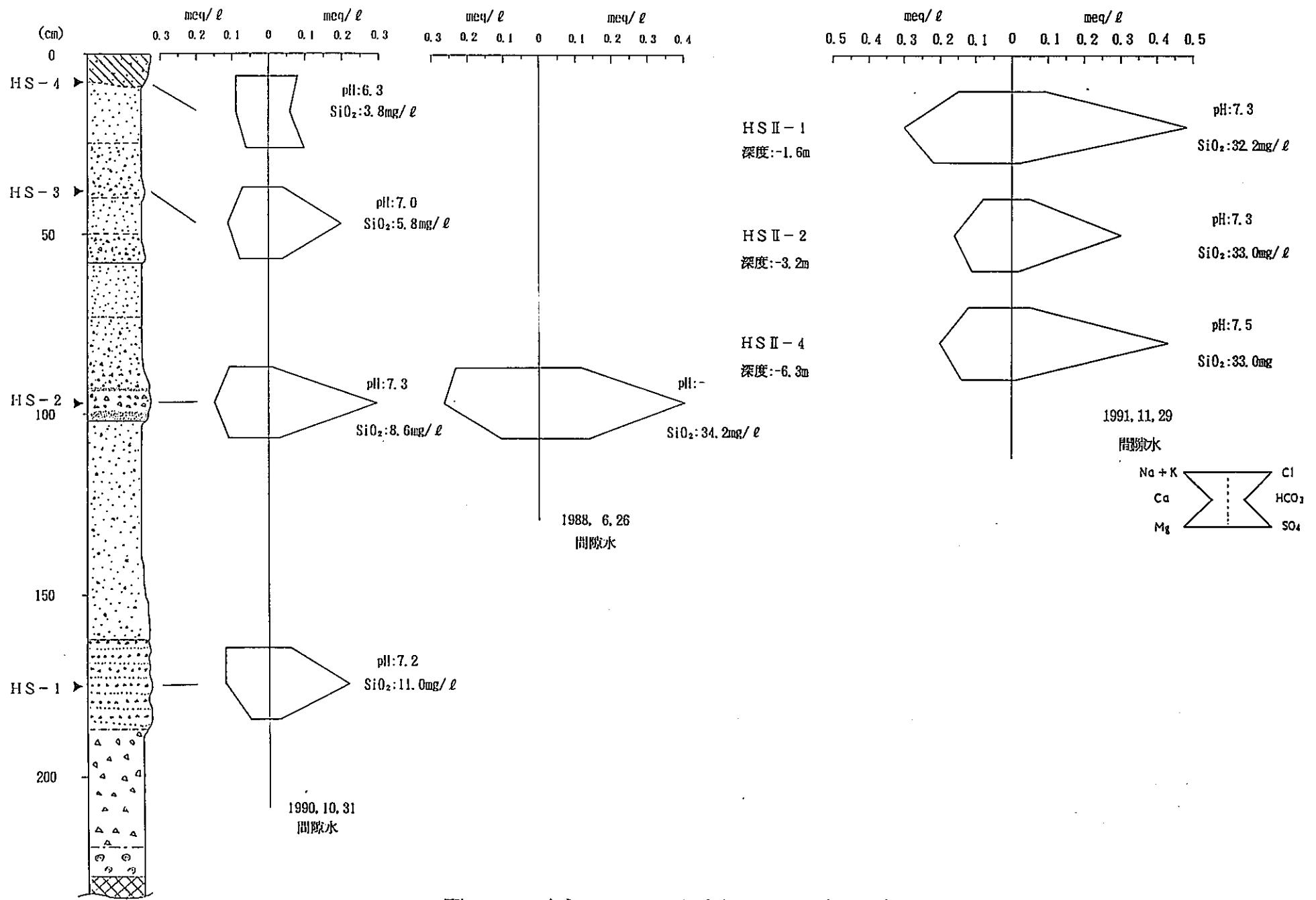


図3-4 宝永スコリアの間隙水のヘキサダイヤグラム

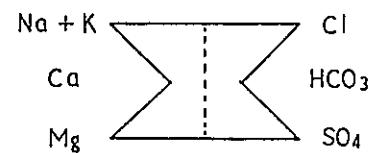
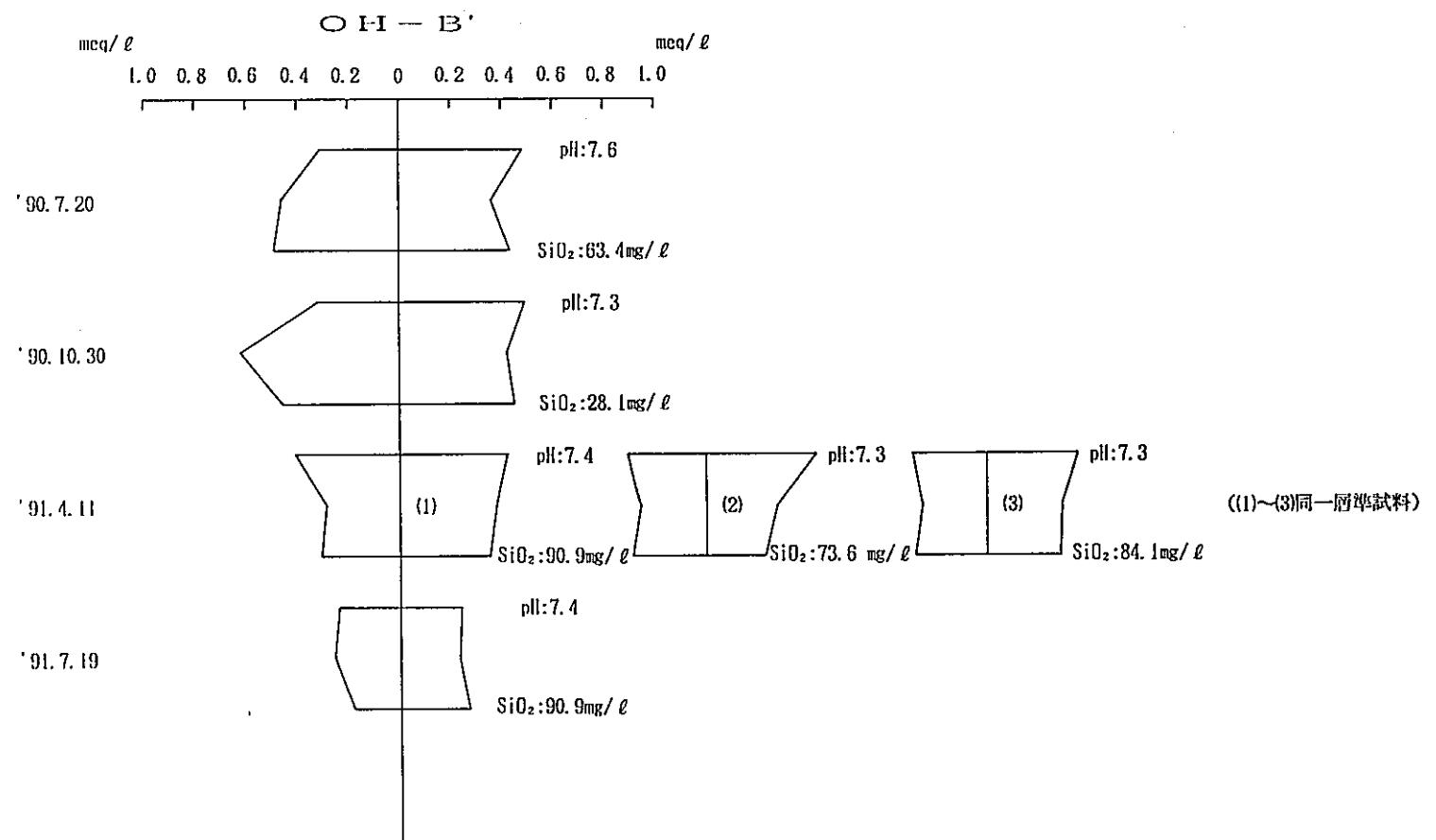


図3-5(1) 高塙山スコリアの間隙水のヘキサダイヤグラム(OH-B')

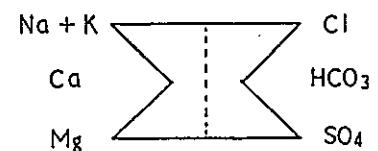
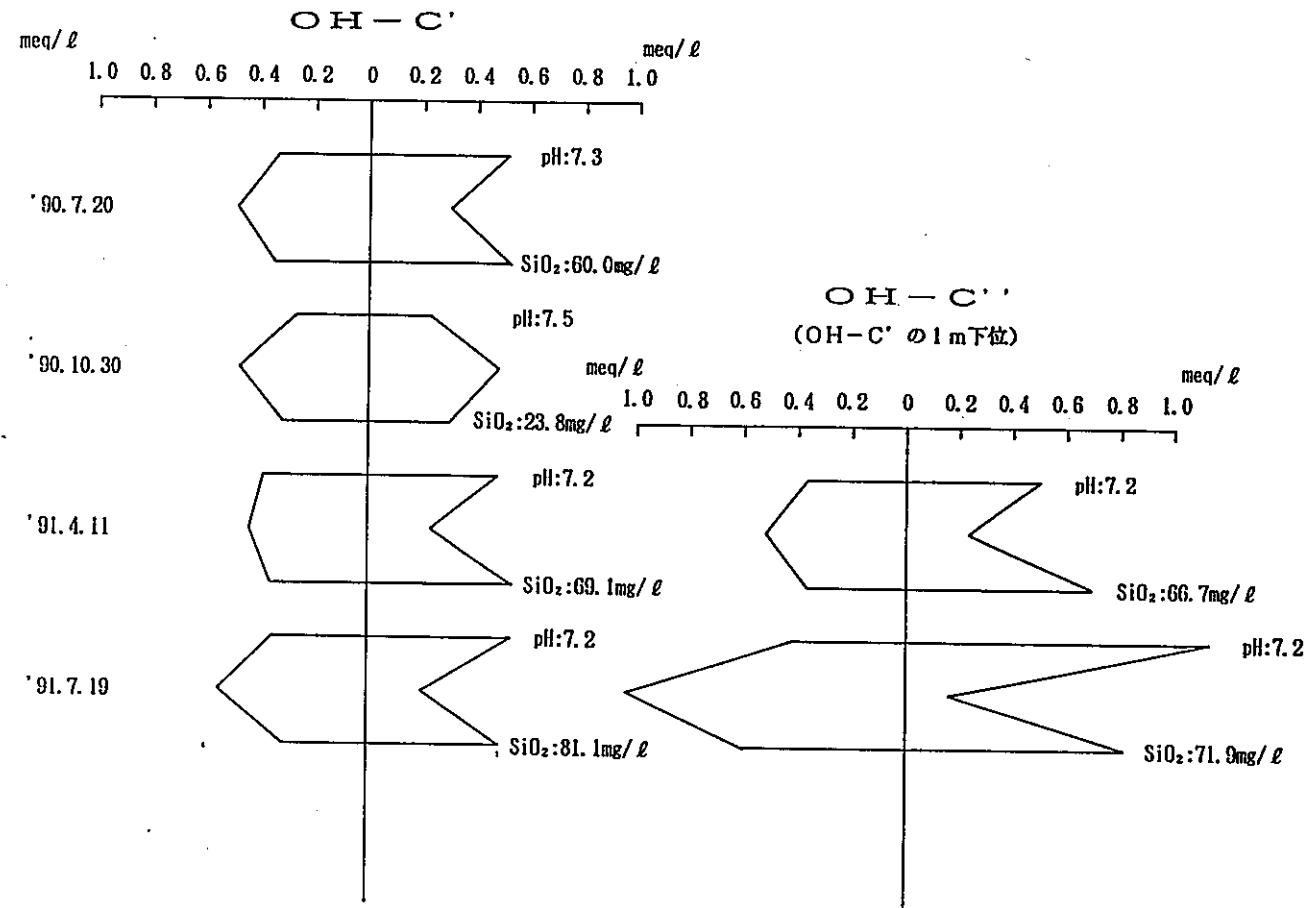


図3-5(2) 高塚山スコリアの間隙水のヘキサダイヤグラム (OH-C', OH-C'')

4. 考 察

今年度の調査結果に平成2年度までの成果を加味して、スコリアの変質や変質環境について考察する。

4.1 スコリアの変質に関与した地下水の水質

4.1.1 富士

図4-1に宝永スコリア層の間隙水の水質を深度で整理して示す。図4-1をもとに、宝永スコリア層の間隙水の水質をみてみると次のようになる。

① 山麓（御殿場市付近）の露頭における深度0.06～1.65mの間隙水

pHは、6.3～7.3の範囲にあり、深度が深くなるにつれて高くなる傾向を示している。水質組成は、地表付近(0.06m)ではCa-Cl・SO₄型であるが、深度0.35m以深ではCa-HCO₃型となる。溶存成分量は、0.24～0.37meq/lの範囲にあり、深度が深くなるにつれて多くなる傾向を示している。SiO₂濃度は、3.8～11.0mg/lの範囲にあり、溶存成分量と同様、深度が深くなるにつれて高くなる傾向がある。

② 山腹（須走口登山道一合目付近）の露頭における深度1.6～6.3mの間隙水

pH、溶存成分量及びSiO₂濃度は、それぞれ、7.3～7.6、0.38～0.74meq/l、32.2～33.0mg/lの範囲にあり、いずれも山麓の露頭の間隙水のそれよりも高い値を示している。水質組成は、深度にかかわらずCa-HCO₃型である。ただし、深度1.6mの間隙水には、NO₃⁻が7.1mg/l含まれているのに対して、深度3.2m以深の間隙水には、NO₃⁻はほとんど含まれていない。このことと、深度1.6mの間隙水の溶存成分量(0.70～0.74meq/l)が深度3.2m以深の間隙水のそれ(0.38～0.52meq/l)よりも多いことを考慮すると、深度1.6mの間隙水と深度3.2m以深の間隙水とは水質的には不連続であると判断される。したがって、間隙水の水質と埋没深度との関係を見る場合は、深度1.6mの間隙水を除外して検討する必要がある。深度1.6mの間隙水の水質を考慮しなければ、深度が深くなると、溶存成分量は多くなっている。

次に、宝永スコリア層の間隙水がどのような粘土鉱物と平衡状態にあるかを検討する。

図4-2は、間隙水のH₄SiO₄モル濃度とCa²⁺/H⁺モル濃度比の関係を示したものである。なお、同図にはTardy(1971)による岩石と地下水との反応における長石の変質相の領域を示してある。この図から明らかなように、山麓の露頭における深度0.06～1.65mの間隙水はカオリナイトの安定領域に、山腹の露頭における深度3.2～6.3mの間隙水はCa型モンモリロナイトの安定領域に位置している。このことから判断すると、宝永ス

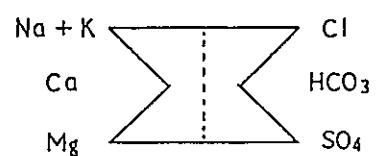
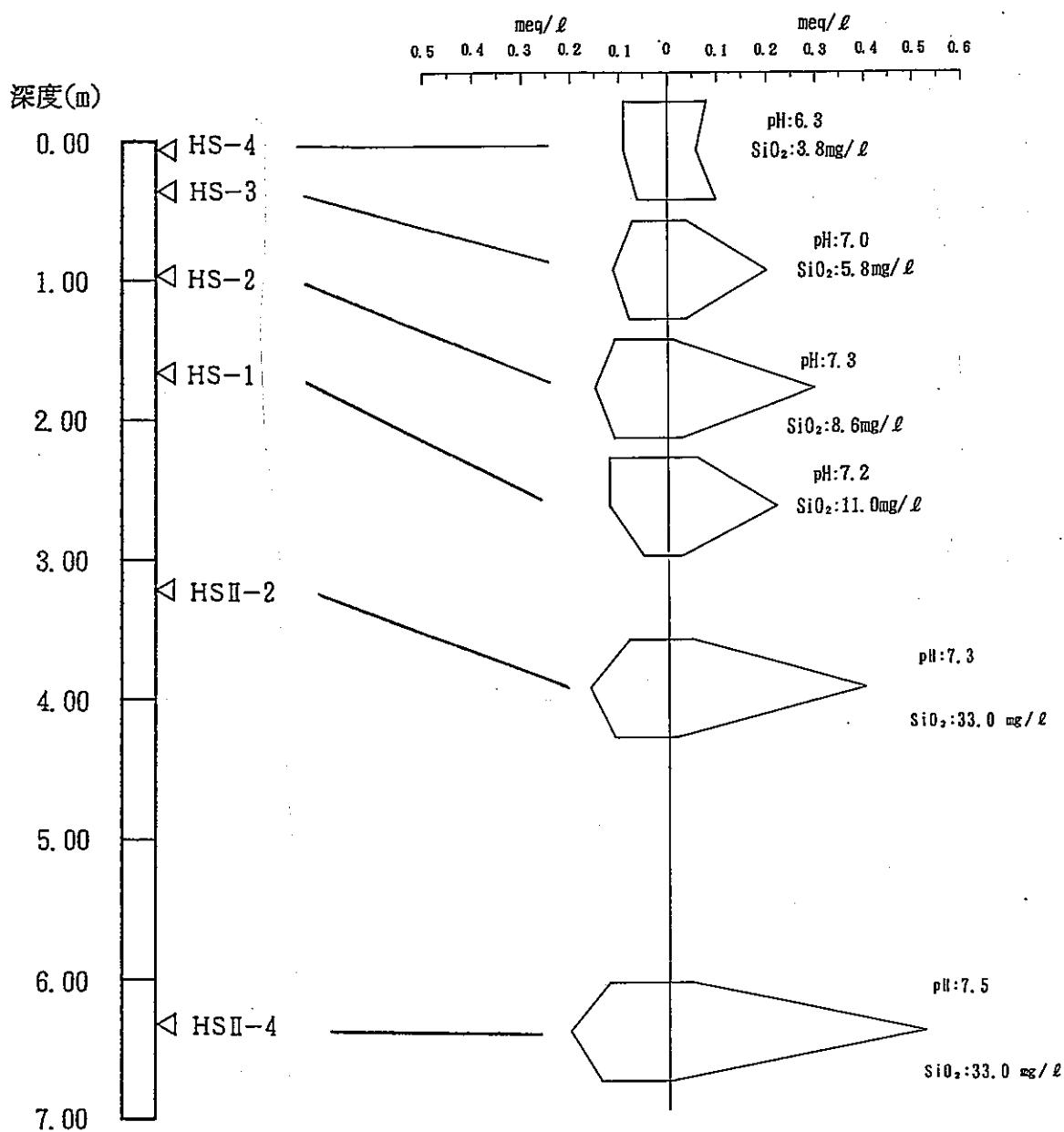


図4-1 宝永スコリアの間隙水のヘキサダイヤグラムと深度との関係

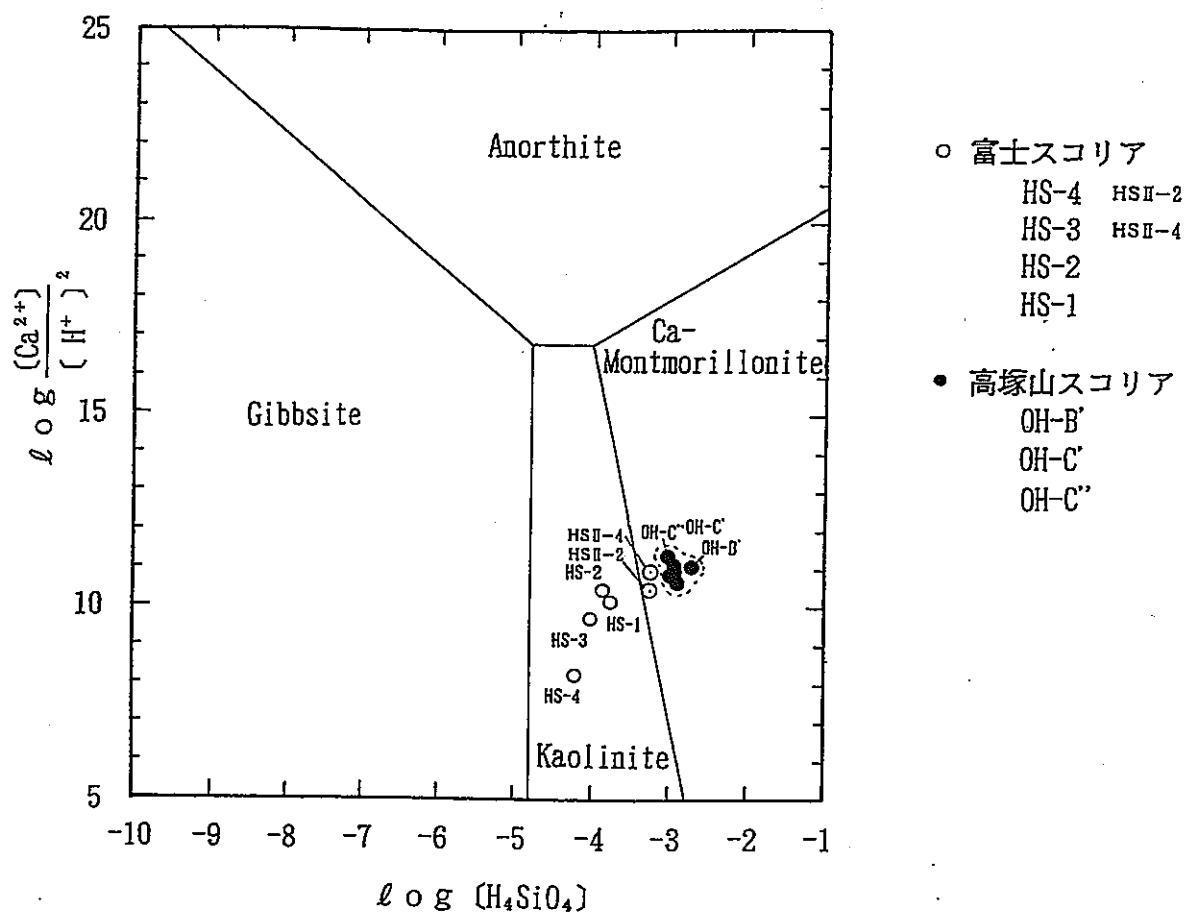


図4-2 スコリア間隙水の $[\text{H}_4\text{SiO}_4]$ と $[\text{Ca}^{2+}] / [\text{H}^+]^2$ の関係図

Tardy (1971) のFig. 3より引用した。

コリア層の間隙水は、深度1.65m以浅ではカオリナイトと、深度3.2m以深ではCa型モンモリロナイトと平衡状態にあるといえる。

4.1.2 高塚山

スコリア層の間隙水は、図3-5に示されるように、溶存成分が0.74~2.10meq/lで、 $\text{Ca}-\text{Cl} \cdot \text{SO}_4$ 型あるいはそれに近い型の水質組成を示している。また、同一時期に採取した同一層準の3試料間に顕著な水質の差異は認められない。さらに、 $\text{OH}-\text{C}'$ の約1m下位から採取した $\text{OH}-\text{C}'$ と $\text{OH}-\text{C}'$ との間には、顕著な水質の差異は認められない。

次にこの間隙水がどのような粘土鉱物と平衡関係にあったかを検討する。スコリアの間隙水の H_4SiO_4 モル濃度と $\text{Ca}^{2+}/\text{H}^+$ モル濃度比の関係を図4-1に示す。この図から明らかなように、スコリアの間隙水はいずれもCa型モンモリロナイトと平衡である領域にプロットされる。このことは、スコリアにスメクタイトから成る変質層が形成されているというSEMによる観察結果と調和的である。したがって、この間隙水はCa型モンモリロナイトと平衡関係にあると考えられる。

4.2 南房総鴨川のスコリアの変質温度

南房総鴨川のスコリアの変質温度を把握するために、平成2年度の検討結果を踏まえて、青柳(1979)による自生鉱物の分布を用いた古地温の解析を行った。凝灰岩中に認められる自生鉱物、すなわちモンモリロナイト、石英、トリディマイト、クリストバライドの出現と深度の関係を図4-3に示す。なお、初生的なものと考えられるイライト、緑泥石が認められる凝灰岩については、石英が自生鉱物であるか否か明らかでないため?印を付してある。同図から明らかなように、イライトや緑泥石が含まれる凝灰岩を除くと、Ky-12の層準付近の凝灰岩に初めて石英が出現する。ガラスから石英が生成する温度を69°C(Aoyagi and Kazama, 1980), 海底上の温度を4°Cとすると、長沼不整合からKy-12の層準までの層厚が約3100mであるため

$$(69 - 4^\circ\text{C}) \div 3100\text{m} \approx 2.1^\circ\text{C}/100\text{m}$$

という古地温勾配が算出される。この値は、図4-4に示す千葉県公害研究所(1982)による九十九里ガス田における垂直温度分布図から読み取れる現在の地温勾配、すなわち約2°C/100mとほぼ一致する。このことから、三浦層群や上総層群堆積時から現在までの間、地温勾配はほとんど変化していないと予想される。

したがって、南房総鴨川地域のスコリアの変質温度はU-4(s)で約20℃、O-8(s)で約30℃、An-68(s)で約50℃程度と推定される。

4.3 南房総鴨川のスコリアの変質層

南房総鴨川のスコリアの変質について、本年度までに実施した顕微鏡観察結果、X線回折分析結果を総合して表4-1に示す。

スコリア凝灰岩について見ると、梅ヶ瀬層、大田代層、黄和田層では、顕微鏡下においてもX線回折分析においてもスコリアの変質は認められない。安野層では、顕微鏡下で変質層が認められるがX線回折分析ではモンモリロナイトは認められていない。清澄層では、顕微鏡下で変質層は認められないがX線回折分析でモンモリロナイトが認められる。天津層では、顕微鏡下で変質層が認められX線回折分析でモンモリロナイトが認められる。これらのこと考慮すると、安野層中に認められた変質層は非晶質であることが考えられる。また、清澄層中のスコリアでは、顕微鏡では観察できないまでも、スコリアガラスがモンモリロナイトに変質しているものと判断される。層位学的にさらに下位の天津層では、スコリアガラスが顕微鏡下で確認できる程度にモンモリロナイトに変質しているものと考えられる。

次に、泥岩中に点在するスコリア粒子の変質についてみる。安野層のスコリア凝灰岩では顕微鏡観察で変質層が認められるが、ほぼ同一層準にある泥岩中に点在するスコリア粒子には顕微鏡下で変質層は認められない。また、天津層の泥岩中に点在するスコリア粒子には顕微鏡下で変質層が認められる。このことは、同一層準であっても、スコリア凝灰岩中よりも、泥岩中の方がスコリアガラスの変質が抑制されていることが考えられる。

4.4 南房総鴨川地域の水理構造モデル

南房総鴨川の各分析試料の埋没履歴（水質を含む環境変化）を把握し、さらに、各試料における火山ガラスとの反応に関与した地下水の水量を推定するためには、主として水文環境の変遷を明らかにすることが重要と考えられる。

そこで本年度は、水理構造の変遷を検討するため、三浦層群の堆積時代以降の水文地質に係わる地質構造発達史について文献調査を行った。房総半島の地質構造発達史についての見解は基本的には2大別される。それらの見解を以下に紹介する。

		下総層群	鍵層	層厚	積算層厚	粉末X線回折結果		
						Montmorillonite	Tridymite	Cristobalite
						Quartz		
長沼不整合	上総層群	笠森層		300m				
		長南層		80m	300m			
		桜ノ木台層		80m	380m			
		国本層			460m			
		梅ヶ瀬層	U-4(t)		780m	◎	-	-
			U-4(s)	530m		?		(III.)
		大田代層	0-8(t)		1310m	○?	-	-
			0-8(s)	540m		?		(III., Ch.)
		黄和田層			1850m			
		玉浦層	Kdx(t)			-	-	
黒滝不整合	三浦層群	安野層	Kdx(s)	= 40m	2220m	?		
			An-68(s)		2260m			
			Anx(t)			●	-	-
			Any(t)	450m		-	-	-
			An-45(s)		2710m			
		清澄層	Kyx(t)			●	-	
			Ky-12(t)	870m		?		
			Ky-10(s)			●	-	
			Ky-8(s)			-		
		梅(t)桃(t)桜(t)	Am-98(s) Am-97(s) Am-96(s)		3580m	●~○	-~●	-
天津層群	天津層群	天津層	Am-83(s)					
			Am-78(t)					
			Amx(t)	1025m		-	-	-
			Am-29(s)					
			Am-16(t)			●	○	○
			Am-14(s)					
					4605m			
		木ノ根層	Kn-3(t)	775m		●	○	-
						?	?	(III., Ch.)

() 内のs, tはそれぞれスコリア凝灰岩、凝灰岩を示す。

図4-3 南房総鴨川地域のX線回折結果と採取層準

表4-1 南房総鴨川のスコリアの変質に関するまとめ

地層名	鍵層名	鏡下での 変質層の 有無	X線回折分析結果			試料の構成
			スコリア中のモンモリロナイト の有無	自生鉱物（石英） の有無	最高温度	
梅ヶ瀬層	U-4(t) U-4(s) U-4(m)	×	○	?	20℃	凝灰岩 スコリア凝灰岩 泥岩中のスコリア
大田代層	O-8(t) O-8(s) O-8(m)	× ×	×	?	31℃	凝灰岩 スコリア凝灰岩 泥岩中のスコリア
黄和田層	Kdx(s) Kdx(t)	×		?	43℃	スコリア凝灰岩 凝灰岩
安野層	An-68(S) An-68(m) Anx(t) Any(t) An-45(S)	○ × ○	×	×	51℃	スコリア凝灰岩 泥岩中のスコリア 凝灰岩 凝灰岩 スコリア凝灰岩
清澄層	Kyx(t) Ky-12(t) Ky-10(s) Ky-10(ss) Ky-8~9(s) Ky-8(s)	○ × × × ×	○	?	61℃	凝灰岩 凝灰岩
				○	69℃	スコリア凝灰岩 砂岩中のスコリア
						スコリア凝灰岩
						スコリア凝灰岩
						スコリア凝灰岩
						スコリア凝灰岩
天津層	Am-98(s) Am-97(s) Am-96(s) Am-96(m) 梅桃桜 Am-83(m) Am-78(t) Am-78(m) Amx(t) Am-29(s) Am-16(t) Am-14(s)	○ × ○ ○	○ ○ ○	○ ×	79℃	スコリア凝灰岩 スコリア凝灰岩 スコリア凝灰岩 泥岩中のスコリア 凝灰岩 泥岩中のスコリア 軽石凝灰岩 泥岩中の軽石 凝灰岩 スコリア凝灰岩 凝灰岩 スコリア凝灰岩
木ノ根層	Kn-3(t)			?	100℃	凝灰岩

注) ○は有りを、×は無しを、?は石英が自生鉱物であるか否かを確定できない場合をそれぞれ示す。

最高温度は、ガラスの変質鉱物の出現とその生成温度とから算出した。

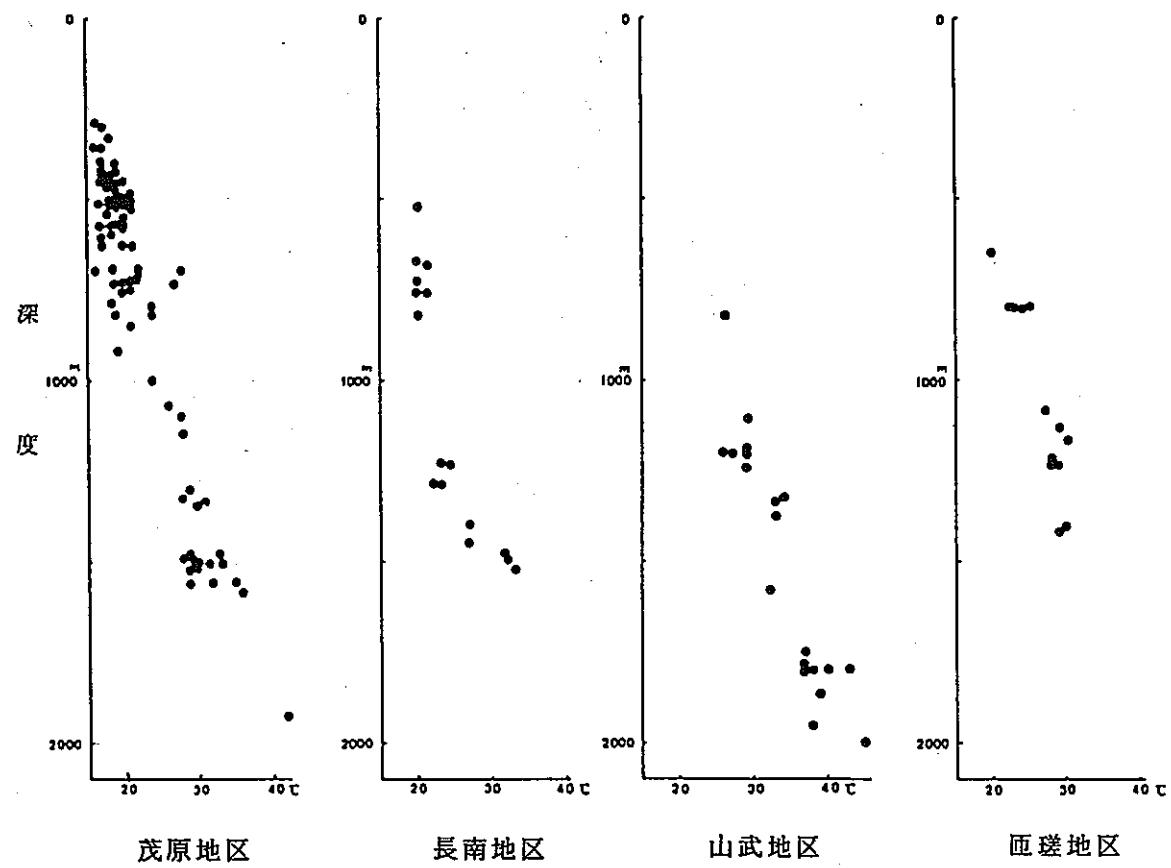


図4-4 九十九里ガス田における垂直温度分布 (千葉県公害研究所, 1982)

見解Ⅰは、三梨（1968）に代表される。この見解は、南房総地域の地層群の現在の分布に基づいたものであり、嶺岡山地及び清澄背斜の2つの隆起帯が全体の地質構造を規制しているとして構成されている。図4-5に小玉らの南房総地域における地質構造の発達を示す概念図を示す。この図において注目される点としては、三浦層群堆積後の黒滝不整合期には、清澄背斜の隆起が大きく、その後の上総層群下部・中部が堆積する時期にも隆起が続いたため、清澄背斜から嶺岡山地にかけての地域は陸域であったという解釈が挙げられる。すなわち、清澄背斜から嶺岡山地にかけての地域に、現在上総層群が分布していないのは、これらの構造運動に起因すると考えられている。

見解Ⅱは、榆井（1988）による。この見解は、主として千葉付近における地下の地質・地質構造に基づいたもので、主に下総層群の分布状況の解釈を目的としている。図4-6にその地質構造発達史の概念図を示す。この見解では、三浦層群の上位に上総層群が全域にわたって不整合に被覆し、その後の両層群に形成された断層による地塊構造に規制されて下総層群が堆積したとしている。この場合、三浦層群の分布域を上総層群の分布域が覆っている。

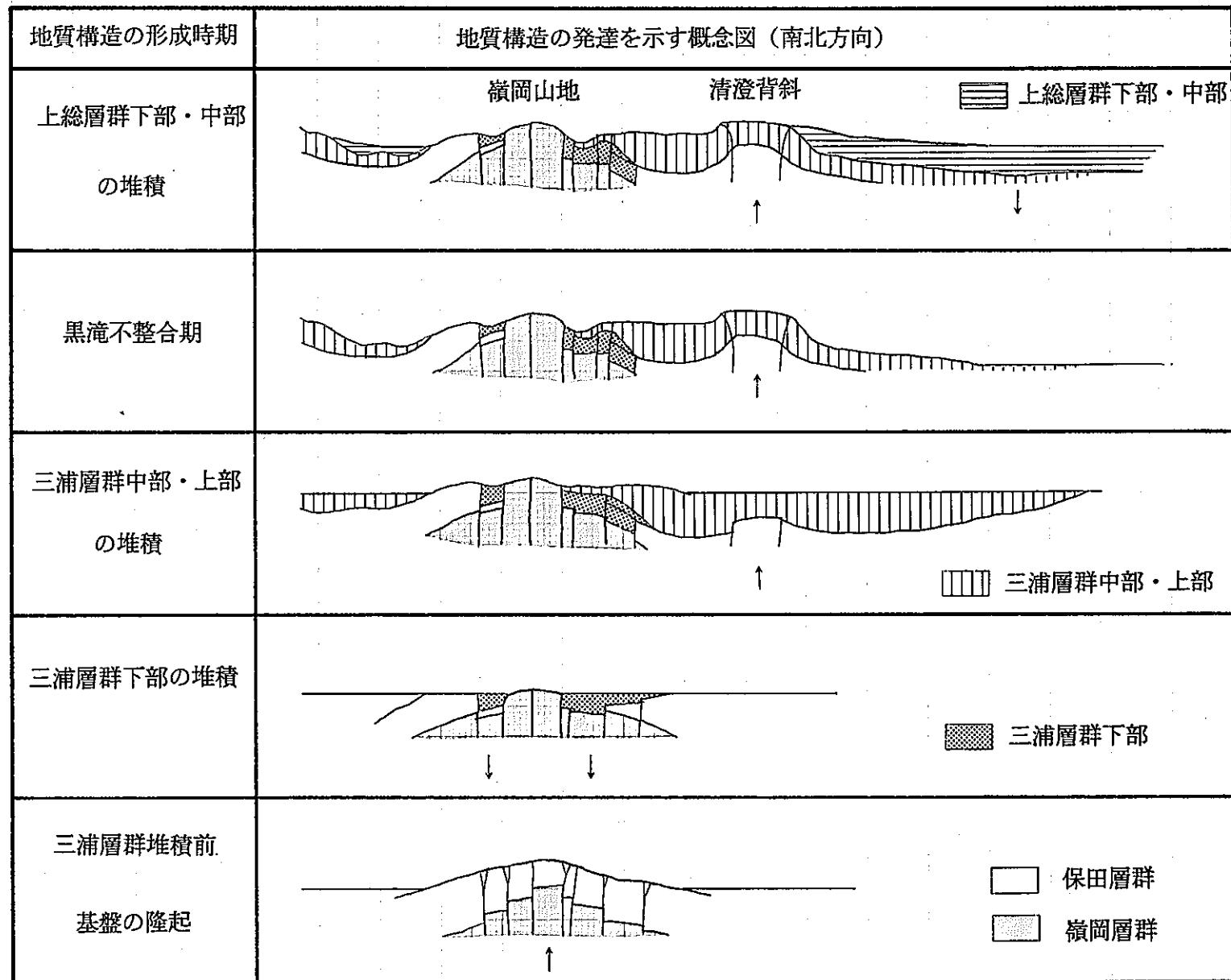


図4-5 南房総鴨川地域の地質構造発達史（見解I）

主な地質構造運動	堆積盆の構造発達を示す概念図（東西方向）
沖積層の堆積	<p>関東ローム層 東京湾 沖積層 太平洋 上総層群 三浦層群</p>
関東ローム層等の堆積 7~8万年前	<p>関東ローム層 下総層群上部 上総層群 三浦層群</p>
下総層群上部の堆積 約40万年前	<p>下総層群下部 湾または湖 外洋 上総層群 三浦層群</p>
下総層群下部の堆積	<p>浅い海 上総層群 三浦層群 基盤岩類</p>
東京湾不整合 (長沼不整合)の形成 約70万年前	<p>東京湾不整合 上総層群 深い海の堆積物 三浦層群 基盤岩類</p>
上総層群の堆積	<p>深い海 上総層群 三浦層群 基盤岩類</p>
黒滝不整合の形成 約400万年前	<p>黒滝不整合 三浦層群 基盤岩類</p>

図4-6 南房総鴨川地域の地質構造発達史（見解Ⅱ）

5. 問題点と今後の課題

今年度新たに富士宝永スコリアの調査地とした須走口登山道一合目付近は、標高約1350m、御殿場測候所は標高約465mで、900m近い標高差がある。また、この2点間の距離は約11kmあり、参考気象データの収集地点としての御殿場測候所の適性に問題がある。

高塚山スコリアについては、フィッション・トラック法用いた絶対年代測定の適用に対し、不適切な試料であったため、年代値を得ることができなかった。昨年度試みたK-Ar法においても適用限界を越えていたため、現在のところ本スコリア層の絶対年代測定は求め難いと考えられる。

南房総鴨川については、古地温の分布の推定の精度は向上したと考えられるが、スコリア凝灰岩中のスコリアでは安野層、泥岩中に含まれるスコリアでは天津層からスコリアの変質が確認されているが、これらのスコリアの変質層準の上限を把握するためには、黄和田層から天津層までの地層を対象に、より多数の層準のスコリアの変質について調査する必要があると考えられる。さらに、同一層準の試料を異なる地点から採取・分析することによって、埋没深度（温度履歴）と変質層の形成との関係を確かめていく必要があると考えられる。

南房総鴨川の各分析試料の埋没履歴（水質を含む環境変化）を把握し、さらに、各試料における火山ガラスとの反応に関与した地下水の水量を把握するためには、水文環境の変化に係わる地質構造発達史を明確にしなければならない。現在、その構造発達史の見解は2種類あり三浦層群の分布域と上総層群の分布域との関係において、大きく異なっている。すなわち本調査における三浦層群の試料採取地域に上載層として上総層群が存在したか否かという見解の相違は、採取したスコリアの埋没深度の算定に大きく影響する。この問題の解決については、本調査・研究の範疇を越えていると考えられるが、逆にこのような問題のないような調査地域、つまり現在もなお三浦層群の上位に上総層群が被覆しているような地域でのボーリング試料を用いた検討を実施することによって、スコリアの変質に関する情報が得られると考えられる。

さらに、将来実施予定の浸透流解析の解析モデルを構築するためには、各変動時期の実際の隆起・沈降速度の見積もりが必要と考えられる。さらに、古地形の復元と各種水理定数や境界条件の検討を経ることによって、より確かな古地下水流动系の解析がなされると考えられる。

参考文献

- 町田 洋, Tephrochronology による富士火山とその周辺地域の発達史—第四紀末期について: 地学雑誌, v. 73, p. 23~38, p. 337~350 (1964)
- 湯佐泰久, 黒田 直, 伊豆一高塚山, 船原山火山の地質と岩石: 静岡大学地学研究報告, v. 2, No. 1, p. 43~54 (1970)
- 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)
- 町田 洋: 火山灰は語る, 蒼樹書房 (1977)
- 荒牧重雄, 葉室和親, 東伊豆单成火山群の地質: 地震研究所彙報, v. 52, p. 235~278.
- 鈴木正男, 杉原重夫, フィッショントラック年代からみた上総層群の鮮新／更新世境界: 第四紀学会講演要旨, v. 13, p. 69~70 (1983)
- 徳橋秀一, 壇原 徹, 遠藤秀典, 磯田邦俊, 西村 進, フィッショントラック法を用いた若い年代測定試料測定の試みと問題点—房総半島上総～下総層群中の火山灰層を対象として: 地質調査所月報, v. 34, No. 5, p. 241~269 (1983)
- 原 雄, 榆井 久, 黄和田層下部のフィッショントラック年代: 地質学雑誌, v. 96, No. 5, p. 397~400 (1970)
- Kasuya, M., Fission-Track Ages of Tuff Layers Related to the Pliocene-Pleistocene Boundary on the Boso Peninsula, Japan.: Quaternary Research, v. 33, No. 1, p. 86~93 (1990)
- 中川久夫, 新妻信明, 早坂 功, 房総半島新生代地磁気編年: 地質学雑誌, v. 75, No. 5, p. 267~281 (1969)
- 尾田太良, 浮遊性有孔虫化石からみた房総半島上部新生界の古地磁気記録の時代的解釈: 地質学雑誌, v. 81, No. 10, p. 645~647 (1975)
- 片田正人, 丹治耕吉, 小野千恵子, 寺岡易司, 岩石の平均化学成分とその図示 6. 第三紀泥岩: 地質調査所月報, v. 28, No. 5, p. 51~66 (1977)
- Tardy, Y., Characterization of the principal weathering types by the geochemistry of waters from some European and African crystalline massifs: Chem. Geol., v. 7, p. 253~271 (1971)
- 千葉県衛生研究所, 千葉県下鉱泉の特質について: 千葉県衛生研究所年報, v. 3, p. 17~23 (1955)

Aoyagi, K. and Kazama, T., Transformational changes of clay minerals, zeolites and silica minerals during diagenesis : Sedimentology, v. 27, p. 179 ~188 (1979)

千葉県公害研究所, 九十九里ガス田の開発と地盤沈下 : 千葉県公害研究所地盤沈下研究事業報告, No. 5, p. 45 (1982)

長尾敬介, 板谷徹丸, K-Ar法による年代測定 : 地質学論集, v. 29, p. 5~19 (1988)

三梨 昂, 三浦半島・房総半島の地質構造と堆積構造 : 日本地質学会第75年会 地質見学案内書, p. 4~13 (1968)

三梨 昂, 関東堆積盆地の構造とその発達 : アーバンクボタ, No.18, p. 6~15 (1980)

地質調査所, 東京湾とその周辺地域の地質 : 特殊地質図⑩ 10万分の1地質説明書, 91p. (1979)

榎井 久, 地下水の容れものと水の流れ : アーバンクボタ, No.27, p. 8~15 (1988)

Ⅱ. ベントナイト編

1. 調査目的

本調査では、新潟県村上市付近のセリサイト鉱床を対象として平成2年度までに実施されてきたベントナイトのナチュラル・アナログ研究を引継ぎ、変質帯の立体的分布の把握を目的として、ボーリング調査、コア及び坑内試料の採取、室内分析を行った。

さらに、本調査では、山形県鶴岡市付近、島根県大田市付近及び島根県出雲市付近の酸性白土鉱床あるいはベントナイト鉱床について、文献調査や現地調査を実施し、これらがベントナイトのナチュラル・アナログ研究の対象となりうるか否かの検討を行った。

2. 調査地域の概要

2.1 地形

2.1.1 村上地域

調査地域及びその周辺の地形の概要を図2-1に示す。

調査地域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。調査地域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、それにそって比較的広い沖積平野が形成されている。

2.1.2 鶴岡地域

調査地域及びその周辺の地形の概要を図2-2に示す。

本地域は、庄内平野の南西縁に相当し、平坦地とこれを囲む標高400m程度までのなだらかな丘陵地~山地からなる。特に、酸性白土鉱床はこの平坦地周辺の丘陵地や緩傾斜地に多く分布している。

2.1.3 大田市北部地域

調査地域及びその周辺の地形の概要を図2-3に示す。

本地域は、島根県大田市北東部で、山陰本線波根駅の東方約2.5kmに位置する。本地域は標高約100mであるが起伏に富み、国道9号線を境として北側はやや急峻な地形を呈している。

2.1.4 大田市東部

調査地域及びその周辺の地形の概要を図2-3に示す。

本地域は、島根県大田市東部で、山陰本線大田市駅の東方約5kmに位置する。本地域は標高約100~300mの起伏に富む地形を呈している。

2.1.5 出雲市三谷

調査地域及びその周辺の地形の概要を図2-3に示す。

本地域は、島根県出雲市駅の南東約3.2kmに位置する。本地域付近は、標高200mにも達しないが開析は進行しており地形は急峻である。

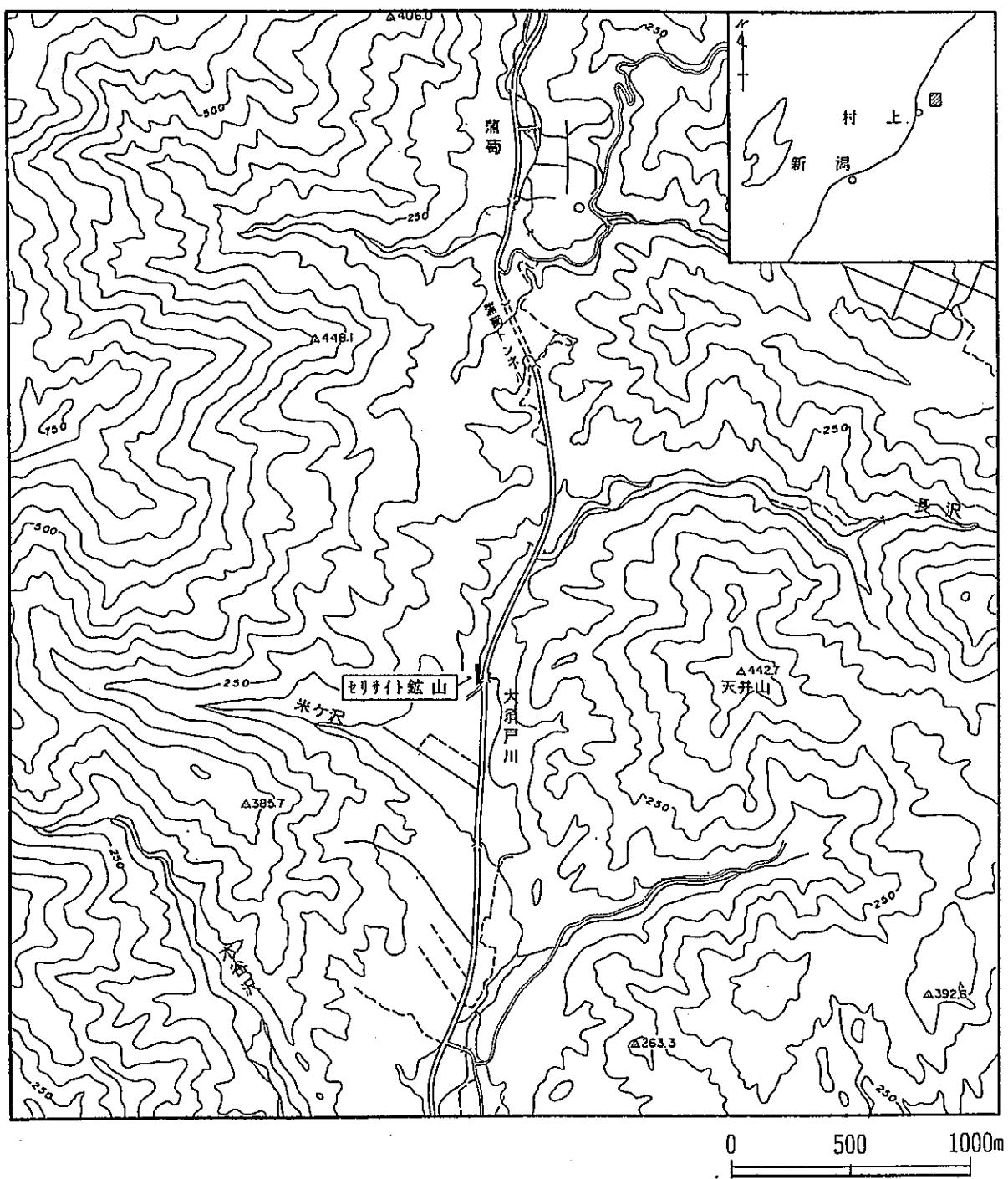


図2-1 調査位置図（村上地域）

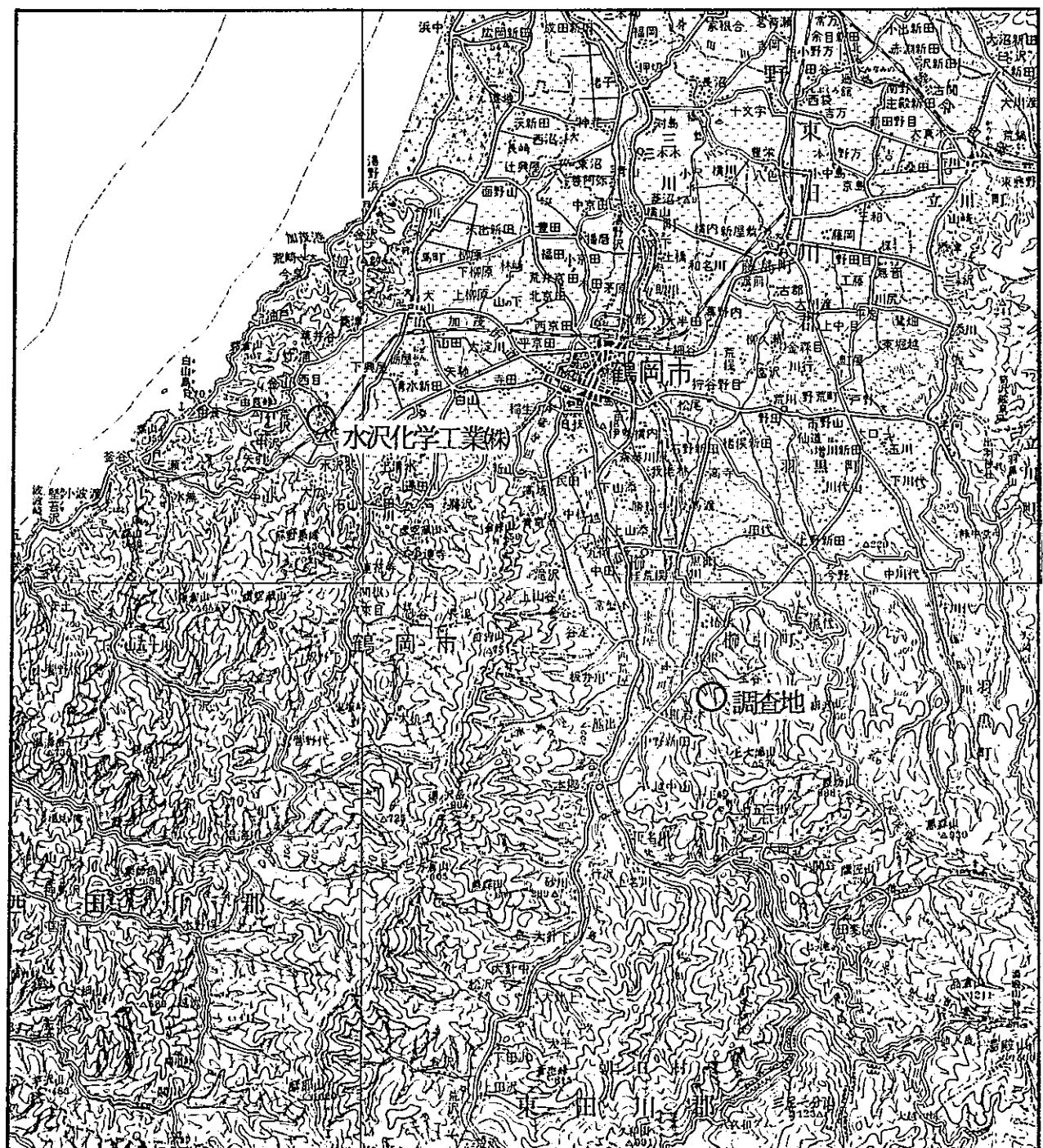


図2-2 鶴岡地域調査位置図



図2-3 大田市および出雲市付近の粘土鉱床位置図

2.2 地質

2.2.1 村上地域

調査地域の層序と地質概要を表2-1に、地質図を図2-4に示す。

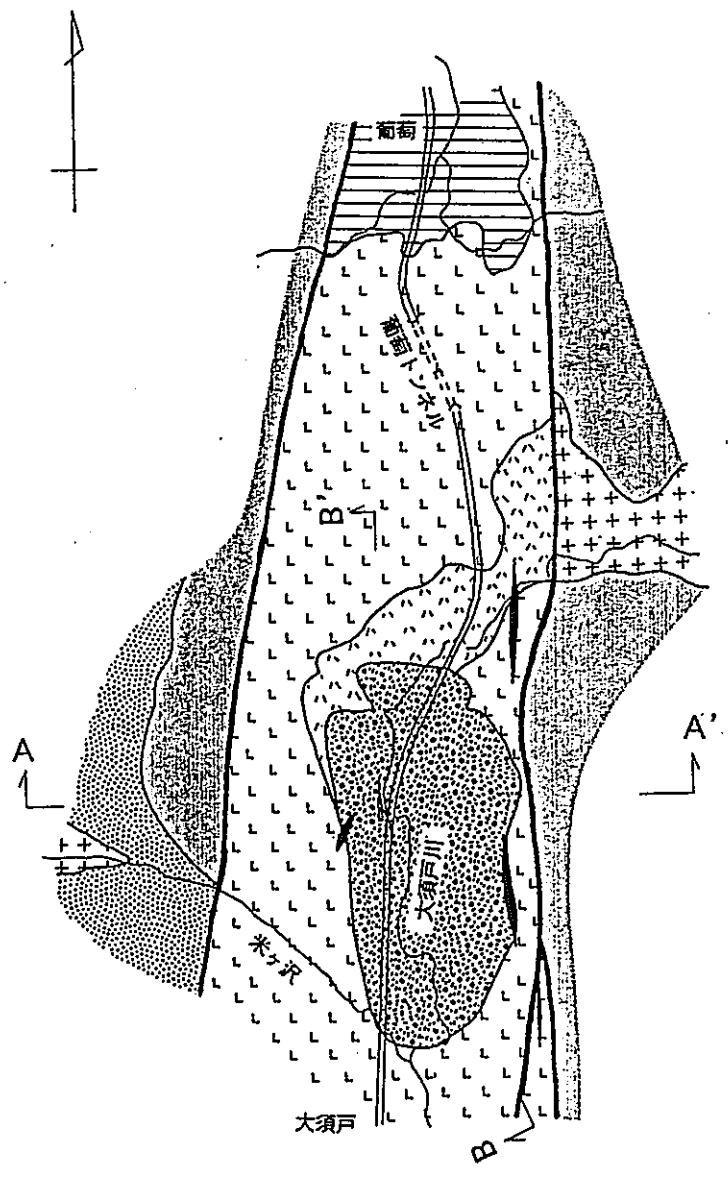
表2-1 調査地域の地質層序表

区分	地層名			層相と特徴	層厚(m)
第四紀	沖積層			礫層と砂層からなる。河床から比高い3~4mの沖積段丘を形成している。	2~4
新第三紀新世	朝日層	長坂峠流紋岩部層	黒雲母流紋岩層	灰白色黒雲母流紋岩からなる。風化すると流理構造が明瞭になる。	50~100+
		凝灰岩層	白色流紋岩層	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
		葡萄泥岩部層		白色流紋岩。部分的に角礫状を呈する。	100+
		天井山層		黒色~暗オリーブ灰色の塊状泥岩からなる。 海生の貝化石を産する。	約100
	葡萄層			安山岩、安山岩質火山礫凝灰岩。	?
先新第三紀	花崗岩類			輕石凝灰岩。輕微に溶結している。	?
				中~粗粒花崗岩。アプライト脈を頻繁に挟む。	

調査地域及びその周辺を構成する地質は、基盤の先第三紀の花崗岩類、それを不整合に覆う新第三紀の火山岩類、堆積岩類よりなる。新第三紀の火山岩類及び堆積岩類は下位から、葡萄層、天井山層、朝日層に区分されている（高浜、1976など）。これらの地層のうち、調査地域には主として朝日層の葡萄泥岩部層及び長坂峠流紋岩部層が南北に延びる地溝状に分布している。また、これらの部層は全体的には南東～東に傾斜した構造を成しており、基盤の花崗岩類・葡萄層・天井山層とは南北系の断層で接している。

長坂峠流紋岩部層は下位から白色流紋岩層、凝灰岩層、黒雲母流紋岩体に細区分されている。また、本部層中には黒色でガラス光沢を有する真珠岩の岩脈が貫入している。

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～凝灰角礫岩様を呈し、まれに白色の細粒凝灰岩を挟む。



凡例

	真珠岩	
	黑雲母流紋岩	長坂峯 流紋岩 部層
	凝灰岩	朝日層
	白色流紋岩	
	泥岩	葡萄泥岩 部層
	葡萄	
		天井山層
		葡萄層
		花崗岩類
	地層境界	
	推定断層	

標高(m)

400
300
200
100
0

A

A'

B

標高(m)

300
200
100
0

坑道

B'

0 0.5 1km

図2-4 村上地域の地質図及び地質断面図

本層は、調査地域の北部の葡萄集落付近から南西部にかけて連続的に分布するほか、調査地域南東部にも認められる。

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角礫凝灰岩からなり、全体に軟質で上部層準では粘土化している。本層は、調査地域の中央部から北西部にかけて分布している。

黒雲母流紋岩体は、粒径の大きな自形の黒雲母を含む灰白色黒雲母流紋岩からなり、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められる。本岩体は調査地域南部の大須戸川沿いに橢円形状に分布している。

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

一方、葡萄泥岩部層は、暗オリーブ灰色～黒色を呈する塊状の泥岩からなり、Maki yama sp. やPecten sp. 等の海生化石を産する。また、本層の風化部は明オリーブ灰色を呈し、不規則な細片～岩片状に割れる。本層は調査地域北部の葡萄集落付近に分布している。葡萄泥岩部層及び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。長坂峠流紋岩部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数箇所で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、葡萄泥岩部層は東～南東に40～50° 傾斜し、長坂峠流紋岩部層中の白色流紋岩層及び凝灰岩層は、北西部で南東に20～40°、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～東に傾斜した構造を成している。

セリサイト鉱床は、図2-5に示すように前述の凝灰岩層と黒雲母流紋岩体との接触部付近に発達する青灰色～灰白色の非常に均質な粘土化帯に胚胎している。

なお、この粘土化帯は、一部に粗粒の軽石質凝灰岩様を呈する部分や原岩の堆積構造を残している部分が認められるものの比較的均質である。

2.2.2 鶴岡地域

調査地域及びその周辺の地質図を図2-6に示す。

調査地域は、いわゆるグリーン・タフ地域に属し、秋田県から山形県に分布する油田地帯の南部に相当する。基盤岩類による構造区分では、棚倉構造線の足尾帶に属している。また本鉱床の粘土等のX線回折分析結果を表2-2に示す。

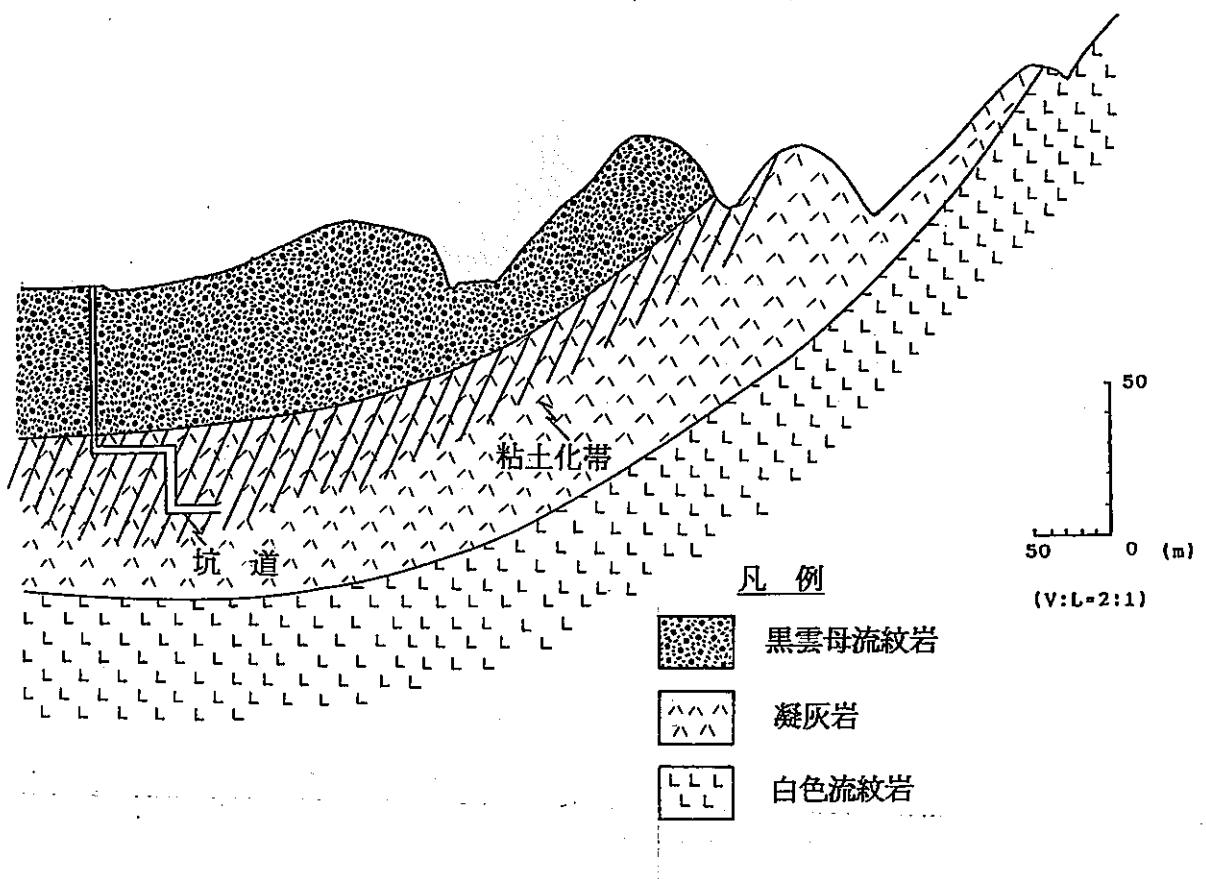


図2-5 セリサイト鉱山付近の地質断面図

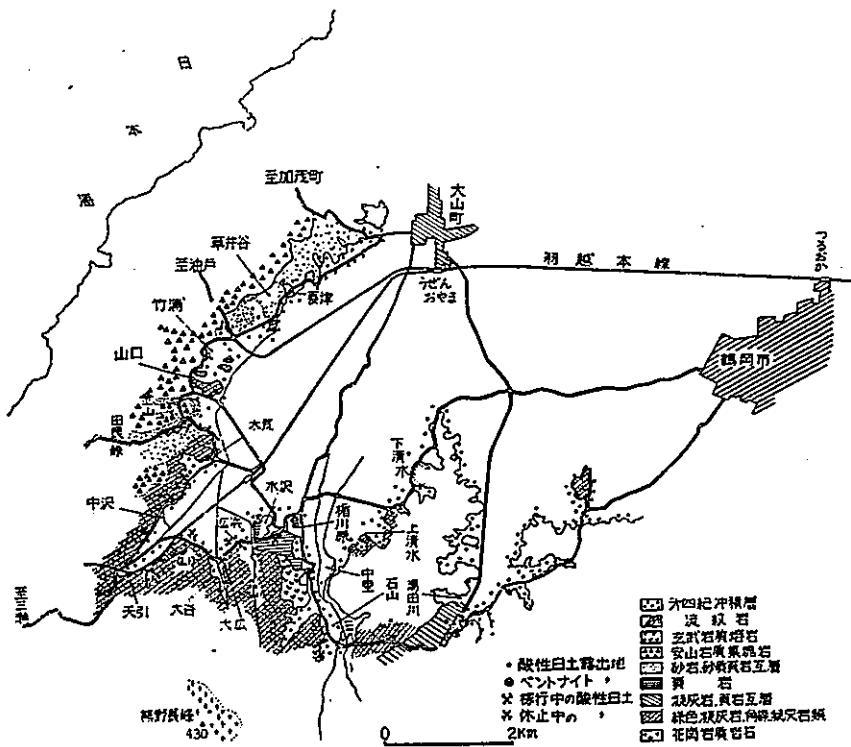


図2-6 鶴岡地域地質図

表2-2 鶴岡地域の試料のX線回折分析結果

水沢7号採		水沢8号採		湯田川園地		広浜南露頭		水沢2号採		水沢頁岩 粘土 ノルモザン用		井ノ岡露頭		焼成白土 ガレ オンアース		鉱物
I	d(Å)	I	d(Å)	I	d(Å)	I	d(Å)									
39	21.43	7	26.75			8	23.60	6	23.47			84	16.66	98	16.35	Mix
38	10.34			70	18.54	36	10.70	40	16.41			100	4.48	15	8.98	M
100	4.51	35	4.46	63	4.52	100	4.46	100	4.48	28	4.26	14	4.27	10	4.26	H
		30	4.26	23	4.27	10	4.26	14	4.27	100	4.09			100	4.05	Q
						42	4.07									C
30	3.36	100	3.34	100	3.35	43	3.35	64	3.35	40	3.34	67	3.34	30	3.34	Q, H
												8	3.11	9	3.17	M
46	2.57	18	2.55	25	2.56	43	2.57	37	2.55	6	2.57	24	2.57	33	2.54~ 2.50	M, H
						20	2.49			28	2.49					Q, C, H
				14	2.38					5	2.12					M
										7	1.81					Q
																Q

Mix: 長周期粘土鉱物 M: モンモリロサイト H: ハロイサイト C: α -クリストバライト Q: 石英

調査地域での先第三系の基盤岩類は、後期白亜紀の花崗岩類及び田川酸性岩類からなり、それらを不整合に新第三系の堆積岩類が被覆している。この新第三系は、秋田の標準層序と対比すると、門前階～西黒沢階に相当し、阿仁合型、台島型植物群や八尾一門ノ沢動物群といった化石群集を産する。そして、平野部では沖積層が広く分布している。

酸性白土鉱床は新第三系内に認められ、酸性の凝灰岩が風化変質して形成されたと考えられている。この酸性白土は、地表下 3～10m までが利用度の高い部分であり、その下部では長周期粘土鉱物、原岩の長石類およびガラス、沸石鉱物の含有量が増加し、MgO, CaO, Na₂O成分が多くなるとされている。

本鉱床は昭和初期に注目され始め、昭和12年に水沢化学の工場が設立されて本格的な開発が行われた。

2.2.3 大田市北部地域

調査地域の地質図を図2-7に示す。

調査地域は、島根県の日本海岸に沿う新第三系分布地帯のほぼ中央に位置し、中新世の地層が分布している。これらは3つの累層に区分されているが、いずれも海成堆積岩および海底火山噴出物からなり、整合に累重している。海成堆積岩は礫岩、粗粒砂岩、頁岩を主とし、海底火山噴出物は安山岩および流紋岩の熔岩、凝灰岩、凝灰角礫岩等からなる。これらのうちの凝灰岩にベントナイト鉱床が胚胎している。本凝灰岩の走向・傾斜は E-W, 5～20° N であり、層厚は激しく変化するものの平均的には 50m 程度である。また、本凝灰岩には安山岩岩脈の貫入が認められる。

稼行されているベントナイト鉱床は、凝灰岩がモンモリロナイト化したもので、青色、一部は緑色ないし淡緑色を呈し、地表付近では白色で脆弱である。

本鉱床は、X線回折分析によって得られた結果から沸石に注目して4帯に分帶されている（図2-8参照）。すなわち、

- A帯：未変質ガラス・斜チロル沸石帯
- B帯：斜チロル沸石・モルデン沸石帯
- C帯：モルデン沸石帯
- D帯：フェリエライト帯

に区分され、モンモリロナイトはほぼ全帯に認められるものの、特にC帯に顕著に発達している。モンモリロナイトに注目すると、未変質ガラス帯、漸移帯、モンモリロナイト帯に区分され、全体として概ね平坦な帶状分布（クラゲ型）を呈している。凝灰岩中には数多くの珪質脈が認められ、これらを通路とした熱水変質が本ベントナイ

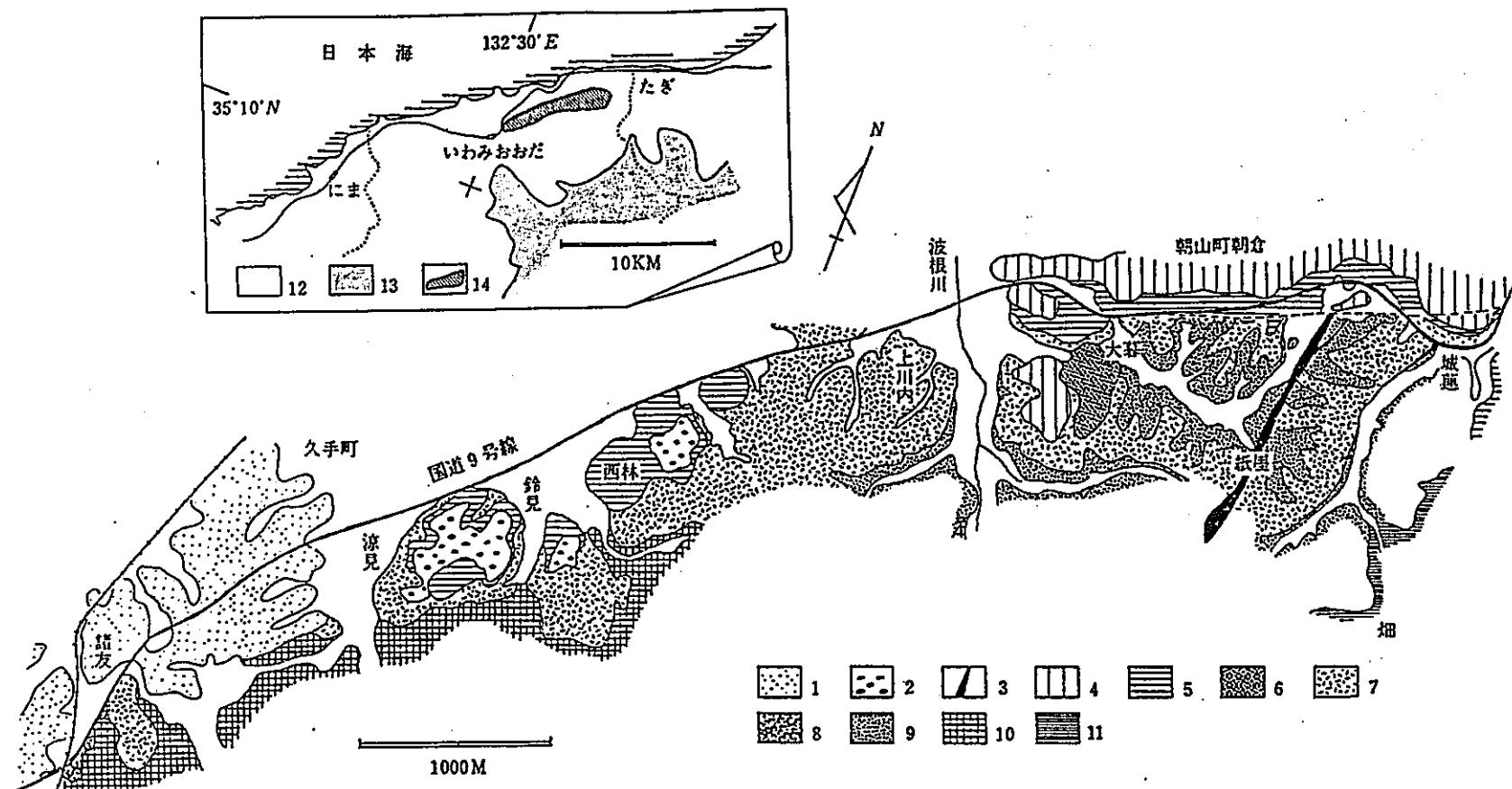


図2-7 大田市北部地域地質図

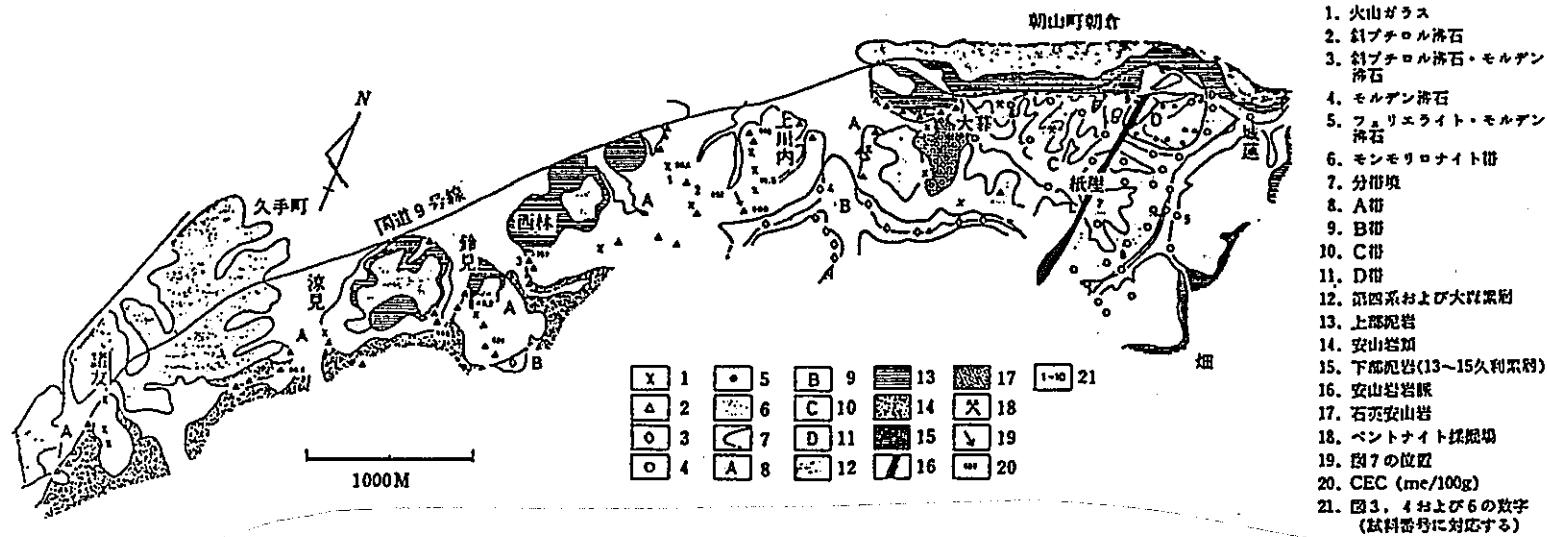


図2-8 沸石による変質分帯 (大田市北部)

ト鉱床の成因と考えられている。フェリエライトは、微視的に観察するとモンモリロナイトを切って晶出しており（モンモリロナイトを交代），D帯の分布も安山岩の岩脈に調和的であることから、モンモリロナイト生成後の岩脈の貫入時の産物と考えられている。

なお、本鉱床のモンモリロナイトはCa型である。

開発の現状については、今のところ不明である。

2.2.4 大田市東部地域

調査地域の地質図を図2-9に示す。

調査地域には、基盤岩として白亜系の黒雲母花崗岩が分布し、これを不整合に中新世の火山碎屑岩類（流紋岩質）が被覆している。さらにこれを安山岩が不整合に被覆している。

ペントナイト鉱床には、花崗岩中に存在する流紋岩質の岩脈（走向NE、傾斜50N）の縁辺部（幅1m程度）に認められるものと、火山碎屑岩類が変質したものとがある。前者の方が品位は高いが、鉱量は後者の方が圧倒的に多く、1965年時点で前者は稼行されていない。ペントナイトの性状については、化学分析結果、X線回折分析結果（図2-10参照）等が示されており、構成鉱物として石英、モンモリロナイト、クリストバライド、モルデナイトがあり、膨潤度1.5～1.9程度で、CECが50～102meq/100g程度の性状を有している。

なお、本ペントナイト鉱床のモンモリロナイトはCa型である。

開発の現状については、現状は今のところ不明である。

2.2.5 出雲市三谷

調査地域の地質図を図2-11に示す。

調査地域には、中新世中～後期の石見層群大森累層の火山岩と出雲層群布志名累層の来待礫岩層が分布している（図2-11参照）。大森累層は、下位から複輝石玄武岩、石英安山岩、普通輝石安山岩の順に累重し、布志名累層は、細礫を含む火山円礫岩～凝灰質粗粒砂岩からなる来待礫岩層と呼ばれる地層からなっている。この来待礫岩層は、下位の大森累層を整合に被覆するとされている。各層の走向・傾斜はENE・15～30N程度を呈している。NNW走向の断層が3条認知あるいは推定されている。

本地域のペントナイト鉱床は、大森累層中の石英安山岩溶岩中に挟まれる火山角礫岩が変質して生成されたものと推定されている。角礫の含有量は大きく変化し、含有

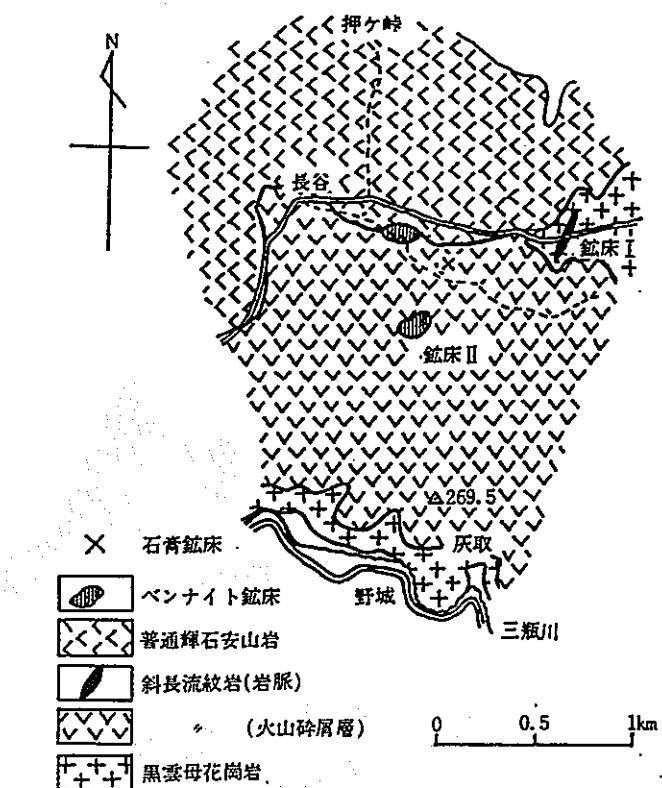


図2-9 大田市東部地域地質図

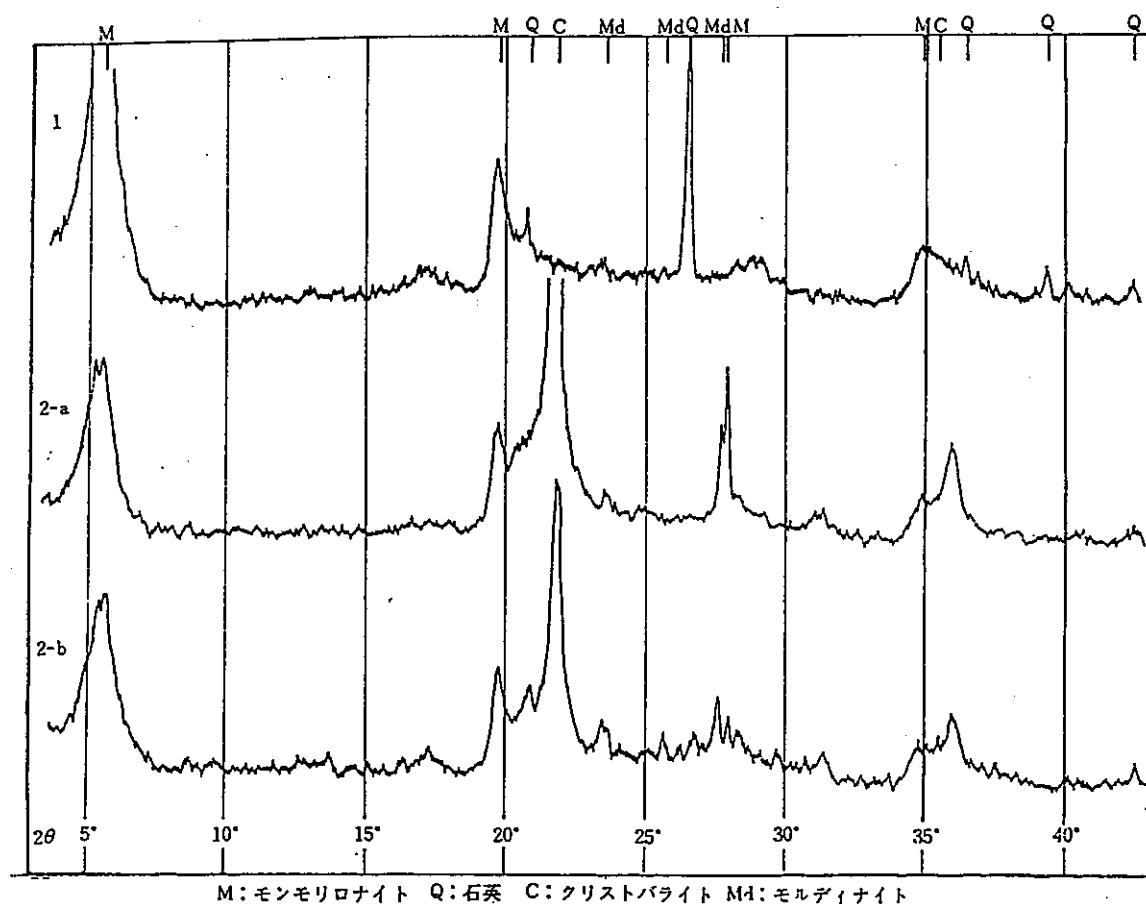


図2-10 X線回折分析結果 (大田市東部)

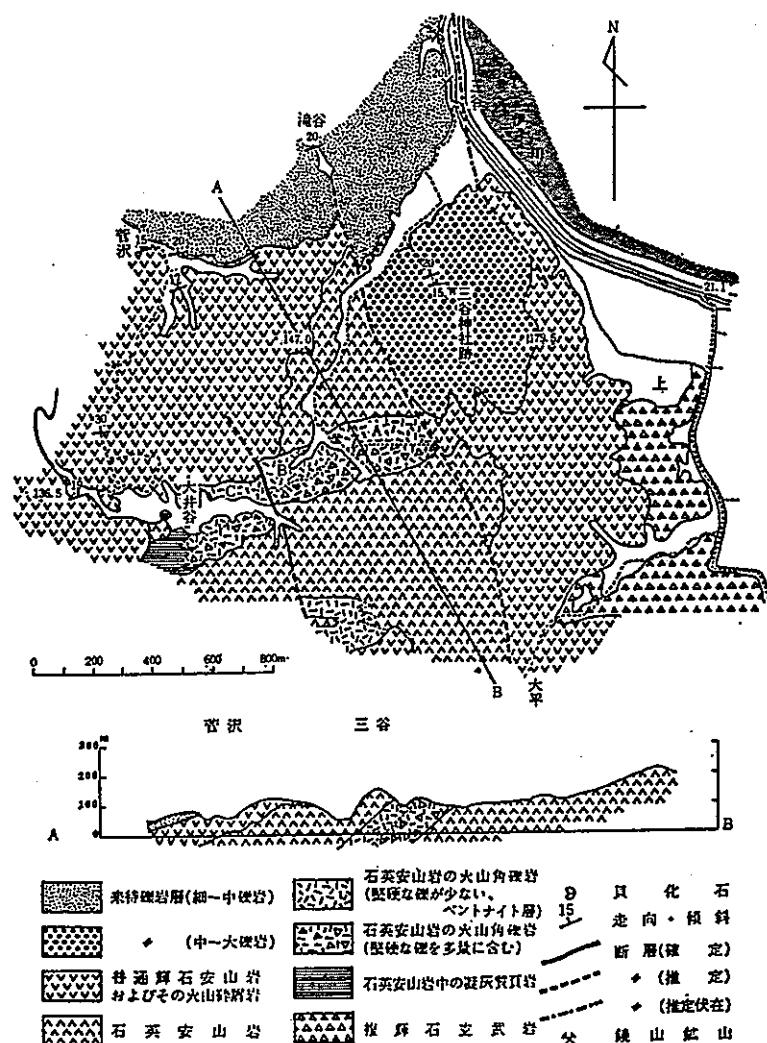


図2-11 出雲市三谷地域地質図

表2-3 X線回折分析結果（出雲市三谷）

No. 1			
2 θ	d (Å)	I	鉱物
5.9	14.9	0.8b	M
9.8	9.0	20	Z
19.6	4.52	20	M
20.8	4.27	25	Q
23.6	3.76	10	Z
24.3	3.66	8	
26.5	3.36	83	Q
27.8	3.21	13	M
34.8	2.58	10	M

No. 3			
2 θ	d (Å)	I	鉱物
5.5	16.0	45b	M
9.8	9.0	22	Z
19.8	4.48	26	M
21.8	4.07	42	C
35.6	2.52	10b	C, M

No. 2			
2 θ	d (Å)	I	鉱物
6.0	14.7	25b	M
9.8	9.0	38	Z
19.5	4.55	22	M
21.7	4.09	30	C
22.2	4.00	30	Z
27.8	3.21	11	C, M
29.9	2.89	12	Z
35.0	2.56	10b	C, M

No. 4			
2 θ	d (Å)	I	鉱物
9.8	9.0	27	Md
19.6	4.52	20	Md
21.9	4.05	103	C, Md
23.6	3.76	9	Md
25.6	3.47	30	Md
26.4	3.38	14	Md
27.6	3.22	25	Md
28.4	3.14	10	C
29.9	2.99	9	Md
34.9	2.57	12	Md
36.0	2.49	20b	C

Q : 石英

Z : 沸石

C : クリストバライト

Md : モルデナイト

量の少ない部分が稼行の対象とされている。鉱石の性状を示すものとして、化学分析結果、X線回折分析結果（表2-3）が示され、この他に膨潤度および塩基性置換容量の測定結果が示されている。これらを総合すると、本地域のペントナイトは、石英、モンモリロナイト、沸石類、クリストバル石等からなり、そのCBCは90meq/100g程度で、膨潤性にも乏しいと考えられている。

1961年までは、水平坑道を掘削・採掘していたが、1962年以降は露天採掘に移行したとされている。現在の開発状況については不明である。

3. 調査及び分析

3.1 試 料

3.1.1 村上地域

変質帶の立体的分布を把握するために、平成2年度に佐藤鉱業㈱により掘削されたボーリング孔（MT-1、深度70m）及び今回掘削したボーリング孔（MT-2、深度100m）のコアを用いてX線回折分析を実施した。

各ボーリング孔の掘削位置を図3-1に、それぞれのボーリング孔の柱状図及び試料採取位置を図3-2に示す。

3.1.2 鶴岡地域

水沢化学工業㈱が現在採掘している酸性白土鉱床中に貫入している粗粒玄武岩脈付近の粘土化部を採取し、X線回折分析を実施した。

採取の採取位置を図3-3に示す。

3.2 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砕し、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た。また、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、遠心分離機によって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。無定方位試料については、表3-1の左側に示した条件で、定方位試料については表3-1の中央に示した条件でX線回折分析を実施した。定方位試料のうち、7Å及び14~15Åの反射が認められるものについては、それぞれ塩酸処理及びエチレングリコール処理を行った後、表3-1の右側に示した条件でX線回折を実施して粘土鉱物を同定した。

なお、X線回折には、日本電子株式会社製JDX-11PA型X線回折装置を用いた。

3.3 X線回折分析結果

表3-2に平成2年度までに実施したX線回折分析結果を、表3-3及び表3-4に村上地域のボーリング・コア試料のX線回折分析結果を示す。また、変質鉱物の分布と相対的な量比を、それぞれのボーリング孔について図3-4と図3-5に示す。また、表3-5に鶴岡地域の地表試料のX線回折分析結果を示す。

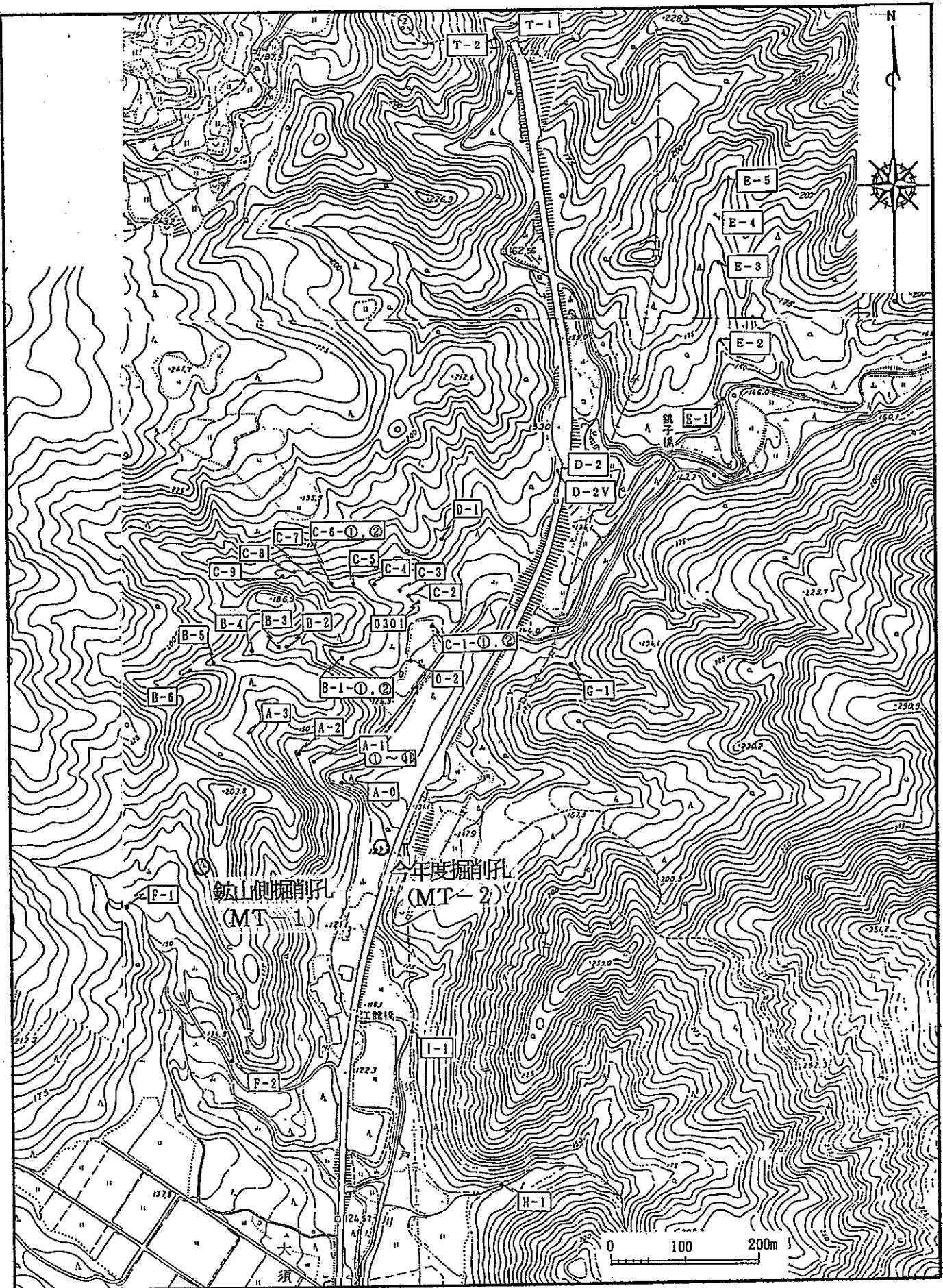
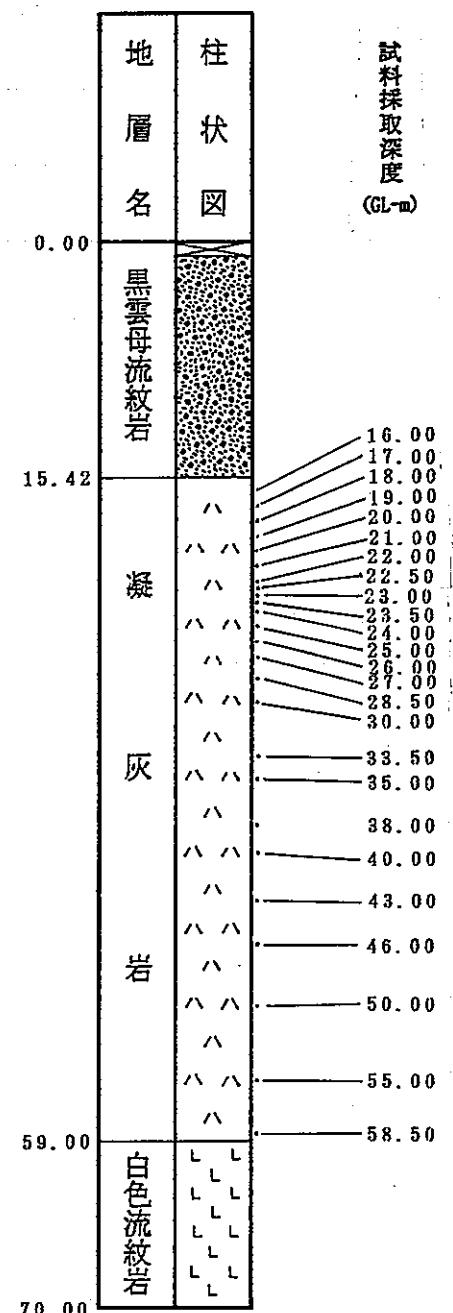


図3-1 ポーリング位置および地表試料採取位置図

鉱山側掘削孔 (MT-1)



今年度掘削孔 (MT-2)

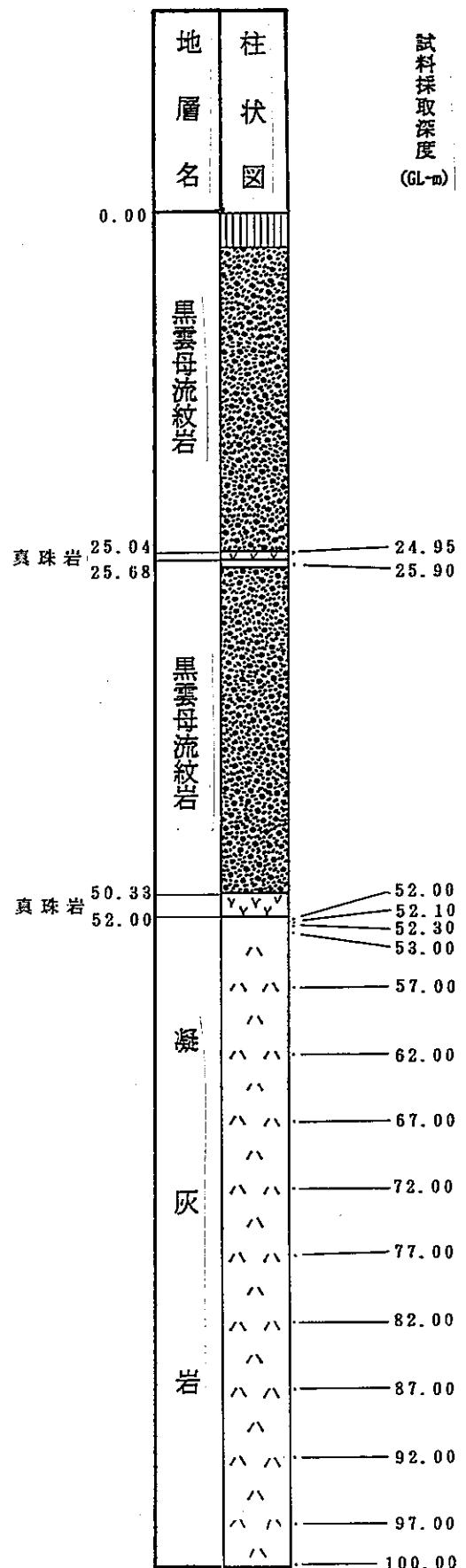


図3-2 MT-1孔及びMT-2孔の試料採取深度

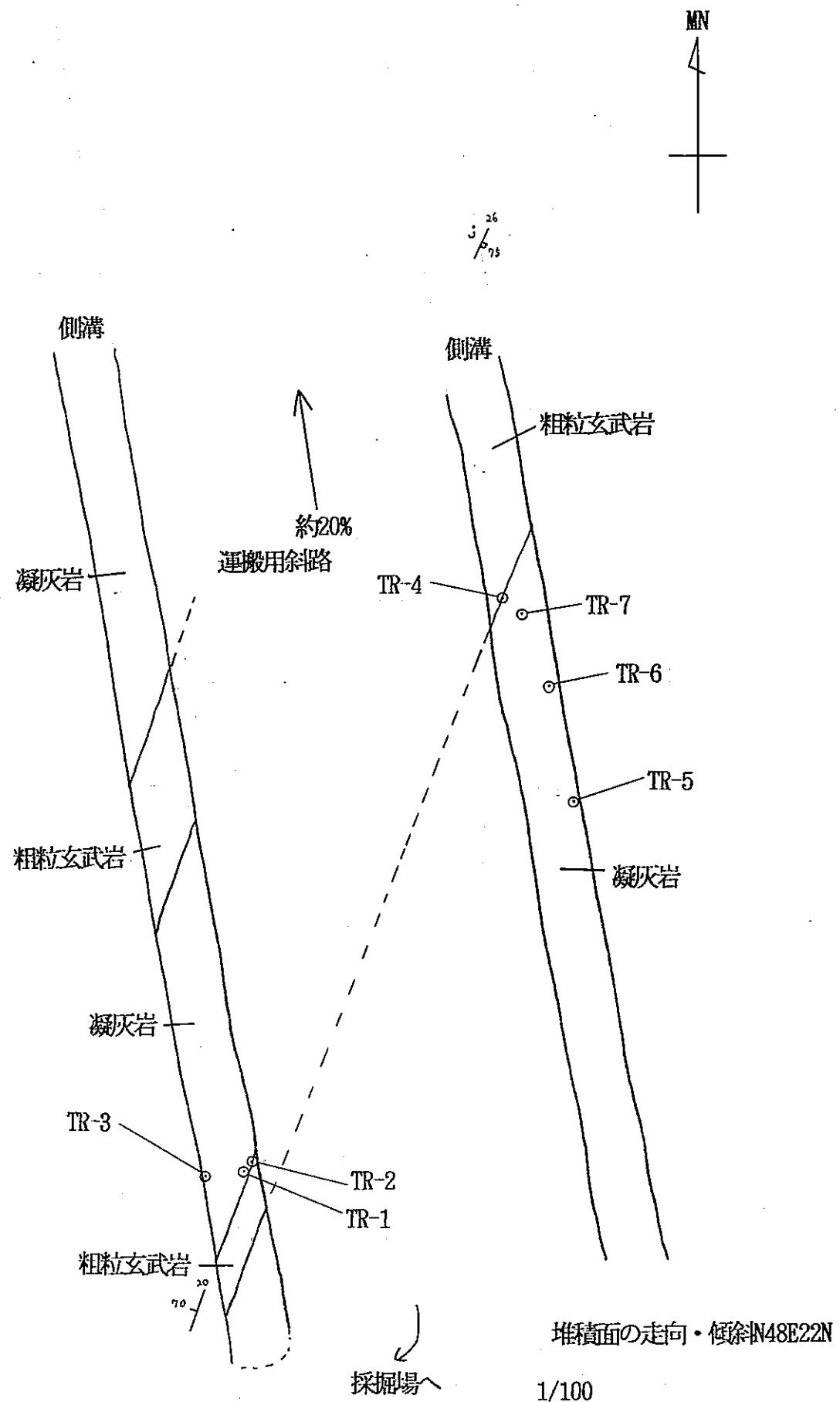


図3-3 水沢化学工業株採掘場の試料採取位置

表3-2(1) 含有鉱物一覧表（露頭試料その1）

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	カリナ イト	混合 セリサイト 粘土 物	モンモ リロナ イト	石 英	α -クリ ストバル 石	フェリエ ライト	モルデ ン沸石	苦 灰 石	方 解 石	菱 鐵 鉱	石 コ 鉄 鉱	黄 鐵 鉱	白 鐵 鉱	針 タング 鉄 鉱	カリ 長 石	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 1-2		・					○	○								○			○	○	
B 1.5		・					○ ○ ○	○		○					・	・	?	○	○		
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3—2(2) 含有鉱物一覧表(露頭試料その2)

試料名	鉱物名	緑泥石	バイロフィライト	セリサイト	ディオリナイト	カオリナイト	混晶 セリサイト モンモリロナイト	モンモリロナイト	石英	α -クリストバル石	フェリエライト	モルデン沸石	苦灰石	方解石	菱鉄鉱	石鉄鉱	黄鐵鉱	白鐵鉱	チタン鉄鉱	針鉄鉱	カリ長石	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		.						○	○								○			○	○		
D 2		.		.	.			○	○		○						·			○	○		
D 2 - V																	○	○			·		
E 1		.							·	○										○	○		
E 2									·	·	○									·	○		
E 3									○												·	○	
E 4									·	·	○											·	
E 5									·	·	○										·	○	
O 1		.							○	○	○						○	·			○	○	
O 2		.							○	○	○							·			○	○	
W 1			○						○									·				·	

表3-2(3) 含有鉱物一覧表（坑内試料その1）

鉱物名 試料名	緑 泥 石	バイロ フィライト	セリサイト	カオリナイト	セリサイト 混合 物	モンモリロナイト	石 英	α -クリ スチ タル 石	モルデン 沸石	フエリエ ライト	苦 灰 石	菱 解 石	石 鉄 鉱	黄 鐵 鉱	白 鐵 鉱	針 チタン 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		○					○												
50-4-a		○					○												
50-4-1		○					○												
50-4-2		○					○								○			・	
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3-2(4) 含有鉱物一覧表（坑内試料その2）

試料名	鉱物名	緑泥石	パイロフィライト	セリサイト	ディッカイト	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	α -クリストバル石	フェリエライト	モルデン沸石	苦灰石	方解石	菱鐵石	黃鐵鉱	白鐵鉱	チタン鉄鉱	針カリ	斜長石	黒雲母
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3-2(5) 含有鉱物一覧表（坑内試料その3）

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	混セリサイト 層物	モンモリロナイト	石英	α -クリストバル石	フェリエライト	モルデン沸石	苦灰石	方解石	菱鐵石	黄鐵石	白鐵	針鐵鉱	カタニン鐵鉱	斜長石	黒雲母
試料名																				
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3-2(6) 含有鉱物一覧表（ボーリング試料その1）

鉱物名 試料名	緑 泥 石	縞 バ イ ロ フ ィ ラ イ ト	セ リ ッ カ イ ト	デ イ カ イ ト	カ オ リ ナ イ ト	混 セ リ サ イ ト 合 成 物 モ ン モ リ ロ ナ イ ト	モ ン モ リ ロ ナ イ ト	石 英	α - クリ ス ト バ ル 石	ブ エ リ エ ラ イ ト	モ ル デ ン 沸 石	苦 灰 石	方 解 石	菱 鐵 石	石 鐵 コ	黃 鐵 鉄	白 鐵 鉄	チ タ ン 鉄 鉱	針 カ リ 鉄 鉱	斜 カ リ 長 石	黒 雲 母 石
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3-2(7) 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 イ ラ イ ト	セ リ サ イ ト	デ イ ッ カ イ ト	カ オ リ ナ イ ト	混 セ リ 合 シ ト ／ 結 晶 物 モ ン モ リ ロ ナ イ ト	モ ン モ リ ロ ナ イ ト	石 英	α — クリ ス ト バ ル 石	モ ル デ ン 沸 石	苦 灰 石	方 解 石	菱 鐵 石	黃 鐵 石	白 鐵 石	チ タ ン 鉄 鉱	針 力 リ 鉄 鉱	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

表3-3 含有鉱物一覧表(鉱山側面消孔)

鉱物名	緑 泥 石	パイロフ ライド	セ リ サ イ ト	カ オ リ ナ イ ト	モ ン モ リ ロ ナ イ ト	セ リ サ イ ト/ ナ イ ト 混 合 層 鉱 物	石 英	黃 鉄 鉱	チ タ ン 鐵 鉱	カ リ 長 石	斜 長 石
試料名											
GL - 16. 00m	・		・			・	◎	・			○
GL - 17. 00m	・		・			・	◎				
GL - 18. 00m	・		・				◎				
GL - 19. 00m			・				◎				
GL - 20. 00m			・	・			◎				・
GL - 21. 00m			○				◎				
GL - 22. 00m		○	・				◎				
GL - 22. 50m	○	・					◎				
GL - 23. 00m	・	・					◎				
GL - 23. 50m	・	・					◎				
GL - 24. 00m		○					◎				
GL - 25. 00m		・	・				◎				
GL - 26. 00m			・	・	・		◎	・			・
GL - 27. 00m			・				◎				
GL - 28. 50m			・	・			◎		・		・
GL - 30. 00m			・				◎				・
GL - 33. 50m	・		・			・	◎				・
GL - 35. 00m	・		・				◎				
GL - 38. 00m	・		・			・	◎				
GL - 40. 00m			・				◎				
GL - 43. 00m			・	・			◎				・
GL - 46. 00m			・				◎				
GL - 50. 00m			・				◎		・		
GL - 55. 00m			・				◎				
GL - 58. 50m			・				◎				

相対含有量: ◎多量, ○中量, ・少量, ·微量

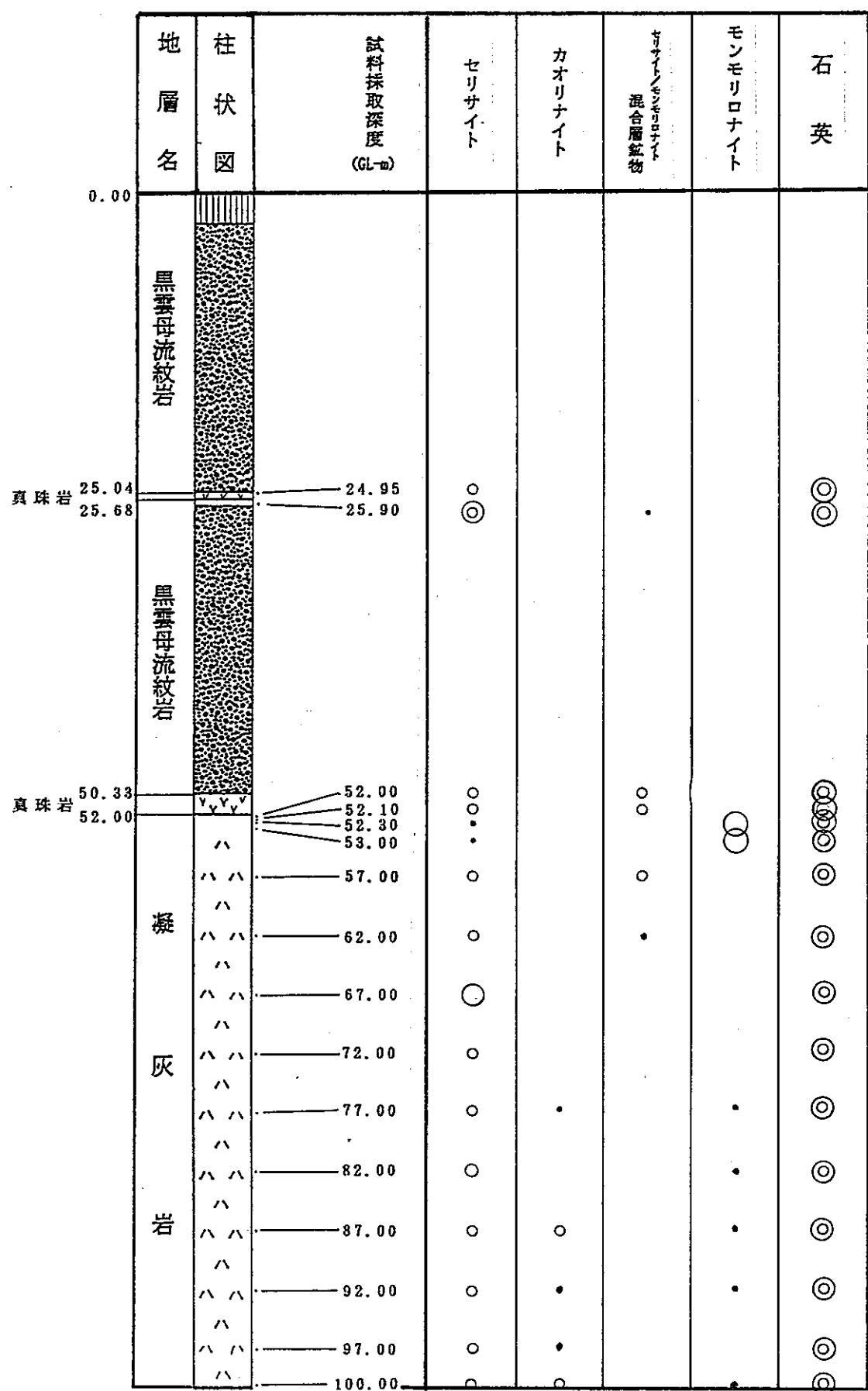
表3-4 含有鉱物一覧表(今年度掘削孔)

鉱物名	緑泥石	パイロファイト	セリサイト	ディオガイト	カオリナイト	モリブデン モリブナイト 混合層鉱物	モンモリロナイト	石英	α -クリストバル石	濁沸石	モルデイン沸石	苦灰石	方解石	菱鐵鉱	石コウ	黄鐵鉱	白鐵鉱	チタン鐵鉱	針鐵鉱	カリ長石	斜長石	黒雲母
試料名																						
GL-24.95m					◦				○													
GL-25.90m			○					◦		○												
GL-52.00m				◦				◦	○									◦				
GL-52.10m				◦				◦	○									◦				
GL-52.30m				◦				○	○									◦				
GL-53.00m				◦				○	○									◦				
GL-57.00m				◦				◦	○									◦				
GL-62.00m				◦				◦	○									◦				
GL-67.00m			○					◦	○													
GL-72.00m			◦					◦	○													
GL-77.00m			◦					◦	◦									◦		○		
GL-82.00m			◦					◦	◦									◦				
GL-87.00m			◦					◦	◦									◦				
GL-92.00m			◦					◦	◦									◦				
GL-97.00m			◦					◦	◦									◦				
GL-100.00m			◦					◦	◦									◦				

相対含有量：○多量，◎中量，◦少量，·微量，?不確定

相对含有量：◎多量，○中量，·少量，·微量

図3-4 鉱山側斜削孔における変質鉱物分布(MT-1)



相対含有量：◎多量，○中量，●少量，●微量

図3-5 今年度掘削孔における変質鉱物分布(MT-2)

表3-1 X線回折条件

区分	無定位試料	定位試料	定方位試料
対陰極	Cu	Cu	Cu
フィルター	Ni	Ni	Ni
管電流	30 kV	30 kV	30 kV
管電圧	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	1000cps	1000cps
時定数	1 sec.	1 sec.	1 sec.
走査範囲	2θ = 2~60°	2θ = 2~20°	2θ = 2~20°

村上地域のボーリング孔(MT-1, MT-2)のコア試料には、変質鉱物として、石英・ α -クリストバル石・パイロフィライト・セリサイト・セリサイト/モンモリロナイト混合層鉱物・カオリナイト・モンモリロナイト・緑泥石・黄鉄鉱等が認められる。

各孔の変質鉱物の分布の特徴は概ね次のとおりである。

MT-1孔：図3-4に示されるように、深度22.0~23.5m付近にパイロフィライトを主体とする部分が認められ、その両側（深度21.0及び24.0m付近）にセリサイトの卓越する部分が存在する。さらに、これらの両側には、これらから離れる方向に向かって、セリサイトを主体とし、カオリナイトの認められる部分（深度19.0~20.0m付近、深度25.0~30.0m付近）とセリサイトを主体とし、モンモリロナイトの認められる部分（深度16.0~18.0m付近、深度33.5m以深）が配列している。

MT-2孔：図3-5に示されるように、深度52.0~62.5m付近にセリサイト/セリサイト混合層鉱物及びセリサイトが認められる部分が存在しており、その部分の中の深度52.3~53.3m付近には結晶度の良いモンモリロナイトの卓越する部分が挟在している。深度65.0~76.5m付近には、セリサイトの卓越する部分が認められる。深度77.0m以深には、セリサイトを主体とし、カオリナイト・モンモリロナイトの認められる部分が存在する。

表3-5では、鶴岡鉱床の地表試料のX線回折分析結果を貫入面からの距離で整理して示してある。鶴岡鉱床の貫入岩付近に分布する変質帯には、変質鉱物として、石英・ α -クリストバル石・ α -リンケイ石・モンモリロナイト・斜方沸石が認められるが、セリサイトやセリサイト/モンモリロナイト混合層鉱物は本地域では生成されていない。

表3-5 変質鉱物と貫入面からの距離との関係

鉱物名			モンモリロナイト	石英	α -リンケイ石	α -クリストバル石	斜方沸石	カリ長石	斜長石	普通輝石
試料名及び 貫入面からの距離										
試 料 No.	TR-2	貫入面からの距離 (cm)	0	○	・		◎			
	TR-4		0	○	・	・		・		
	TR-1		5	○	・		◎			
	TR-7		40	○			○	・		
	TR-3		70	◎	・	・	○			
	TR-6		130	○	・					
	TR-5		240	○	・		○			
	TR-0		1000以上	○	・	・	○			
	凝灰岩		1000以上	○			○		・	
	粗粒玄武岩		—					○	○	○

注) 平面的な位置関係は図3-3を参照のこと。

4. 考 察

村上地域については、本年度の調査結果に平成2年度までの調査結果を加味して、セリサイト鉱床及びその周辺の変質帯の成因について考察する。また、鶴岡地域については、調査・分析結果をもとに、粗粒玄武岩岩脈周辺の変質部についての成因についての考察を試みる。

4.1 村上地域

4.1.1 変質鉱物組合せと変質分帶

本地域に分布する変質帯には、変質鉱物として、石英、 α -クリストバル石、パイロフィライト、セリサイト、セリサイト／モンモリロナイト混合層鉱物、カオリナイト、モンモリロナイト、モルデナイト、フェリエライト、黄鉄鉱、白鉄鉱などが認められる。

これらの変質鉱物とその組合せ、さらにその分布及び産状を考慮して、本地域の変質帯を①パイロフィライト帯、②セリサイト帯、③高結晶度のモンモリロナイト帯、④セリサイト／モンモリロナイト混合層鉱物帯及び⑤低結晶度のモンモリロナイト－沸石帯の5つに区分した。各変質帯と変質鉱物組合せとの関係を図4-1に、各変質帯の分布を図4-2に示す。

パイロフィライト帯は、パイロフィライトの存在により特徴づけられる。パイロフィライト帯は黒雲母流紋岩に接して分布しており、坑内及び孔内でのみ認められる。

セリサイト帯は、セリサイトの存在により特徴づけられる。セリサイト帯のうち黒雲母流紋岩から離れたところではカオリナイト、モンモリロナイト、黄鉄鉱及び白鉄鉱を含むことがある。セリサイト帯は坑内及び孔内でのみ認められる。

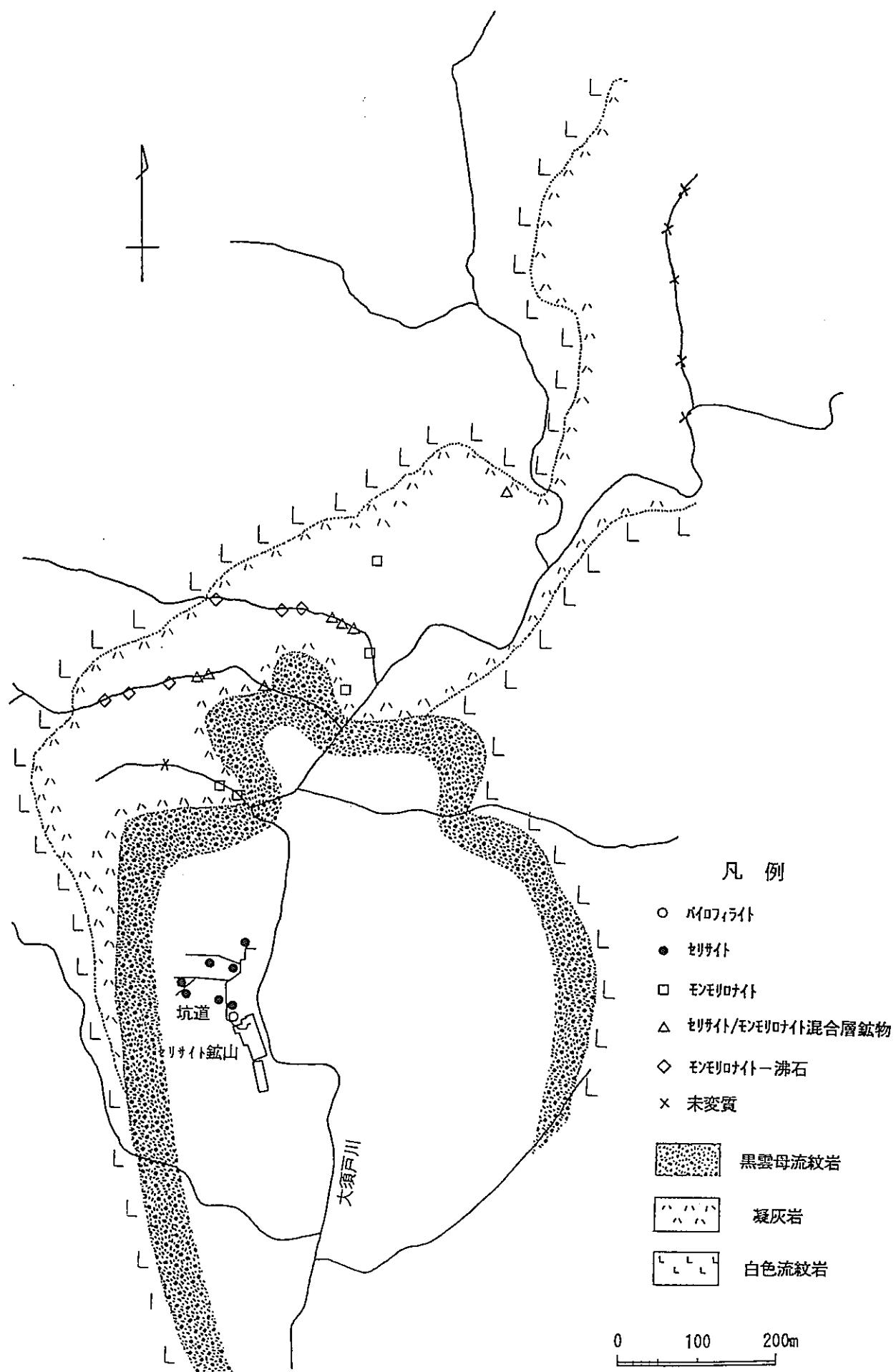
高結晶度のモンモリロナイト帯は、結晶度の高いモンモリロナイトの存在により特徴づけられ、黒雲母流紋岩に接して地表部及び孔内に分布する。

セリサイト／モンモリロナイト混合層鉱物帯は、セリサイト／モンモリロナイト混合層鉱物の存在により特徴づけられる。セリサイト／モンモリロナイト混合層鉱物帯は、地表及び孔内で認められる。セリサイト／モンモリロナイト混合層鉱物帯のうち黒雲母流紋岩から離れたところではしばしば α -クリストバル石、モルデナイトを含む。

低結晶度のモンモリロナイト－沸石帯は、結晶度の低いモンモリロナイト、モルデナイト、フェリエライトの存在により特徴づけられる。低結晶度のモンモリロナイト

図4-1 変質帯と変質鉱物組合せ

変質帯 ↓ 変質鉱物	パイロフィライト帶	セリサイト 帯	モンモリナイト帶	セリサイト/モンモリナイト 混合層鉱物帶	モンモリナイト-沸石帶
パイロフィライト	---	---	---	---	---
セリサイト	---	---	---	---	---
セリサイト/モンモリナイト混合層鉱物	---	---	---	---	---
カオリナイト	---	---	---	---	---
モンモリナイト	---	---	---	---	---
モルデナイト	---	---	---	---	---
フェリエライト	---	---	---	---	---
緑泥石	---	---	---	---	---
石英	---	---	---	---	---
α -クリストバライト	---	---	---	---	---
方解石	---	---	---	---	---
黄鐵鉱	---	---	---	---	---
白鐵鉱	---	---	---	---	---



一沸石帯は、黒雲母流紋岩からみてセリサイト／モンモリロナイト混合層鉱物帯の外側の地表に分布している。

各変質帯と黒雲母流紋岩との位置関係をみると、図4-2に示すように、黒雲母流紋岩から外側に向かい、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→セリサイト／モンモリロナイト混合層鉱物帯→低結晶度のモンモリロナイト一沸石帯の順に配列している。

4.1.2 変質帯の生成環境

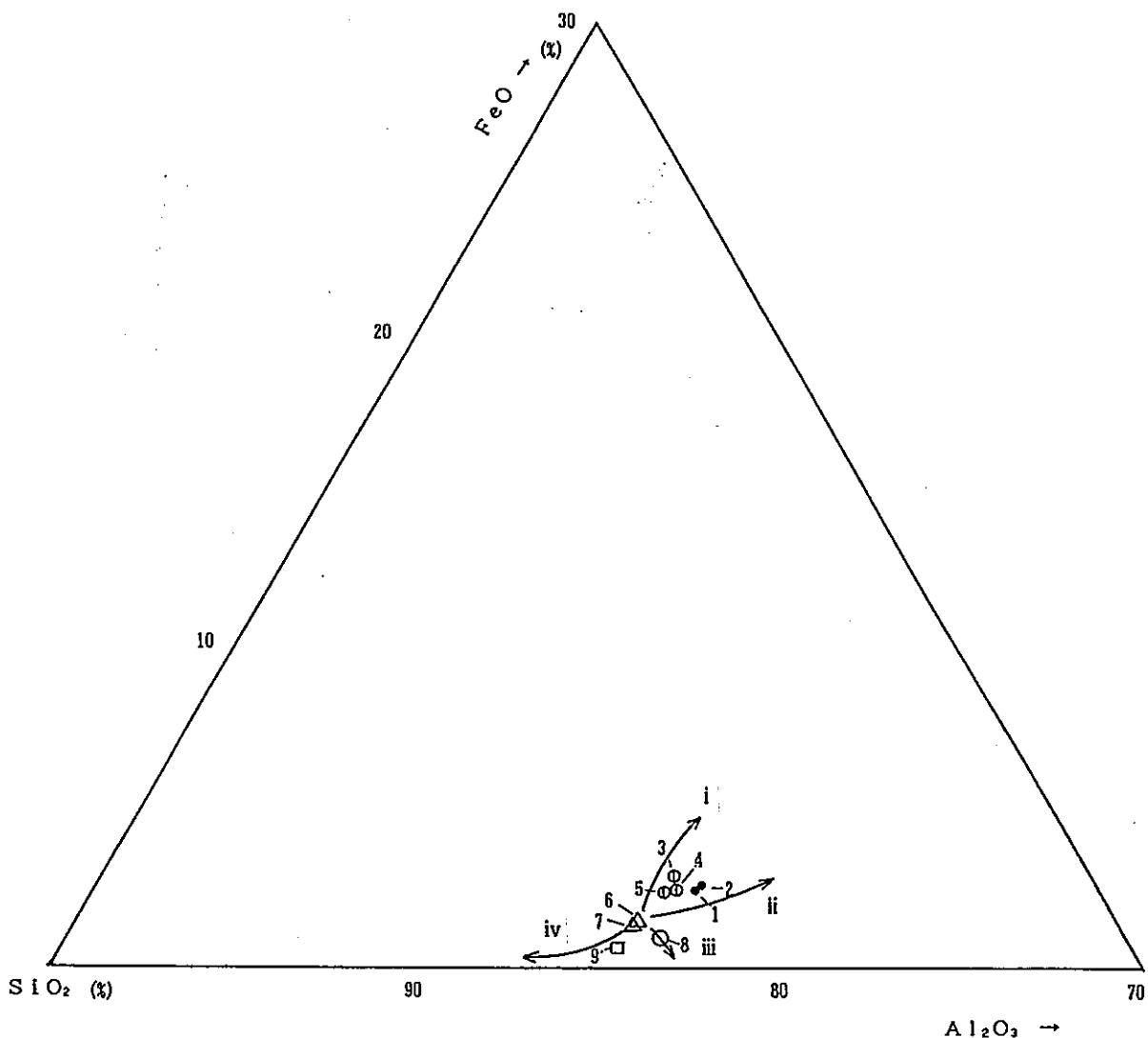
金原（1982）による変質鉱物の生成条件を温度とpHで整理した表を表4-1に示す。上記の各変質帯の配列を変質鉱物の温度安定領域から判断すると、パイロフィライト帯から低結晶度のモンモリロナイト一沸石帯までの分帶が一連の変質作用により形成されたとは考えにくく、パイロフィライト帯～高結晶度のモンモリロナイト帯を形成した変質作用とセリサイト／モンモリロナイト混合層鉱物帯～低結晶度のモンモリロナイト一沸石帯を形成した変質作用とは区別されるべきものと考えられる。

パイロフィライト帯～高結晶度のモンモリロナイト帯は分布及び変質鉱物の量から判断すると熱水変質作用により形成されたと考えられる。すなわち、黒雲母流紋岩体に沿って酸性で高温の热水が上昇して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、この热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も中性～アルカリ性側となり、高結晶度のモンモリロナイトを生成した。このことは、動燃事業団殿によって実施された岩石および粘土試料の化学分析結果をもとに作成したSiO₂, FeO, Al₂O₃三角ダイヤグラム（図4-3）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一沸石帯の凝灰岩試料（B-5, 6, 図4-3の6と7）を変質母岩とすると、高結晶度のモンモリロナイト帯の試料とセリサイト／モンモリロナイト混合層鉱物帯の試料はこれらの右上に、セリサイト帯の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。この見解に基づけば、坑道周辺のセリサイト帯（図4-3の8と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帯（図4-3の1と2）は中性からアルカリ性の環境、セリサイト／モンモリロナイト混合層鉱物帯（図4-3の3, 4, 5）は中性からアルカリ性環境にあったと考えられる。

表4-1 変質鉱物の生成条件(推定)

鉱物名	変質鉱物の生成条件(推定)				
	温度(°C)			pH	
	~100	100~200	200~	酸性	中~アルカリ性
パイロフィライト			○	○	
セリサイト		○	○	○	○
カオリナイト	○	○		○	
緑泥石		○	○		○
セリサイト/モンモリロナイト混合層鉱物	○	○		○	○
モンモリロナイト	○				○

金原(1982)より引用



FL 例

1. A-1-1 (粘土)
2. A-1-10 (〃)
3. B-1-1 (〃)
4. B-1-2 (〃)
5. B-3 (凝灰岩)
6. B-5 (〃)
7. B-6 (〃)
8. 50-4-2 (粘土)
9. 70-15 (〃)

- 高結晶度のモンモリロナイト帶
- セリサイト／モンモリロナイト混合層鉱物帶
- △ 低結晶度のモンモリロナイト帶
- セリサイト帶
- i : アルカリ性の環境での変化
- ii : 中性の環境での変化
- iii : 弱酸性での変化
- iv : 酸性の環境での変化

図4-3 粘土と凝灰岩の三角ダイヤグラム

小坂(1968)より引用した

一方、セリサイト／モンモリロナイト混合層鉱物帯～低結晶度のモンモリロナイト～沸石帯は、黒雲母流紋岩を取り囲んで累帯分布していることや変質鉱物の量から、黒雲母流紋岩の熱による変質作用によって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、セリサイト／モンモリロナイト混合層鉱物帯が、さらに岩体から離れた温度が低いところでは、低結晶度のモンモリロナイト帯～沸石が生成したと考えられる。

4.1.3 変質岩の年代

年代測定結果を表4-2～4に、珪藻化石の同定結果を表4-5に示す。また、年代測定結果を地層別・変質程度別にまとめ、図4-4に示す。

これらの図表をもとに、各地層・岩体の生成年代について記述する。

白色流紋岩及び凝灰岩のフィッショントラック年代は、それぞれ5.9～6.7 Ma, 6.1～6.8 Maと両者ともほとんど同じであり、後期中新世後期の年代を示している。また、凝灰岩中の偽礫状泥岩から抽出した珪藻化石群は、ほとんどが海成浮遊性珪藻であり、北太平洋中高緯度地域の新第三系珪藻化石帯の7B帯に相当することから判断すると、凝灰岩の生層序年代は、後期中新世後期～前期鮮新世と推定され、フィッショントラック年代と一致する。

変質に関与したと考えられる黒雲母流紋岩の年代は、フィッショントラック年代が5.0～5.5 Ma, K-Ar年代が黒雲母で5.4～5.6 Ma, 斜長石で4.7～5.7 Ma, Rb-Sr年代が6.2 Maであり、後期中新世後期～前期鮮新世の年代を示している。各鉱物のK-Ar系, Rb-Sr系等の閉鎖温度(K-Ar系; 黒雲母: 270±40°C, Rb-Sr系; 黒雲母: 310±40°C, フィッショントラック; ジルコン: 200±30°C, Nishimura and Mogi, 1986)から判断すると、黒雲母流紋岩の貫入年代は、後期中新世後期であり、そん尾平均的な冷却速度はほぼ120°C/Maと推定される。

岩脈として産する真珠岩のフィッショントラック年代は5.6 Maであり、後期中新世後期の年代を示している。

次に、変質岩の年代について記述する。

セリサイト帯の変質岩の年代は、フィッショントラック年代が6.4～7.2 Ma, K-Ar年代がセリサイトで6.3～6.5 Maであり、後期中新世後期の年代を示している。

高結晶度のモンモリロナイト帯・セリサイト／モンモリロナイト混合層鉱物帯・低結晶度のモンモリロナイト～沸石帯のフィッショントラック年代は、それぞれ6.3

表4-2 フィッショントラック年代測定結果一覧表

岩石名	自発核分裂飛跡		誘導核分裂飛跡		熱中性子フルエンス		結晶数 n	相関係数 r	総計面積 (cm ²)	ウラン濃度 (ppm)	年代値 (ma)
	Ns	ρ_s (1/cm ²)	Ni	ρ_i (1/cm ²)	nd	ρ_d (1/cm ²)					
黒雲母流紋岩	408	5.05×10^5	1464	1.81×10^6	782	5.28×10^4	30	0.748	8.07×10^{-4}	276	5.5 ± 0.4
	349	4.65×10^5	1397	1.86×10^6	801	5.41×10^4	30	0.799	7.51×10^{-4}	277	5.0 ± 0.4
	258	4.41×10^5	1359	2.33×10^6	1137	7.68×10^4	30	0.660	5.84×10^{-4}	242	5.4 ± 0.4
真珠岩	336	4.65×10^5	1204	1.67×10^6	798	5.39×10^4	30	0.693	7.22×10^{-4}	249	5.6 ± 0.4
セリサト帶 変質岩	589	1.67×10^6	1789	5.07×10^6	803	5.42×10^4	30	0.662	3.53×10^{-4}	752	6.6 ± 0.4
	622	1.45×10^6	2482	5.80×10^6	1135	7.67×10^4	30	0.805	4.28×10^{-4}	605	7.2 ± 0.4
	340	8.14×10^5	1548	3.52×10^6	1141	7.71×10^4	29	0.775	4.18×10^{-4}	382	6.4 ± 0.4
モンモリロナイト帶 変質岩	570	1.25×10^6	1686	3.69×10^6	783	5.29×10^4	28	0.796	4.57×10^{-4}	560	6.6 ± 0.4
	615	1.07×10^6	1937	3.37×10^6	791	5.34×10^4	28	0.776	5.75×10^{-4}	507	6.3 ± 0.4
	583	1.01×10^6	2296	3.97×10^6	1139	7.70×10^4	27	0.721	5.79×10^{-4}	413	7.3 ± 0.4
セリサト/モンモリロナイト 混合層鉱物帶 変質岩	656	9.38×10^5	2008	2.87×10^6	786	5.31×10^4	30	0.858	6.99×10^{-4}	435	6.4 ± 0.4
	552	8.35×10^5	1944	2.94×10^6	788	5.32×10^4	30	0.904	6.61×10^{-4}	444	5.6 ± 0.3
	579	8.79×10^5	1835	2.79×10^6	792	5.35×10^4	30	0.866	6.59×10^{-4}	418	6.3 ± 0.4
	604	8.31×10^5	2182	3.00×10^6	794	5.36×10^4	29	0.815	7.27×10^{-4}	451	5.5 ± 0.3
モンモリロナイト/沸石 帶変質岩	518	9.26×10^5	1738	3.11×10^6	789	5.33×10^4	30	0.853	5.60×10^{-4}	468	5.9 ± 0.4
凝灰岩	564	8.51×10^5	1832	2.67×10^6	785	5.30×10^4	30	0.897	6.63×10^{-4}	419	6.1 ± 0.4
	872	1.53×10^6	2673	4.70×10^6	795	3.34×10^4	29	0.729	5.69×10^{-4}	703	6.5 ± 0.3
	1167	1.56×10^6	4999	6.70×10^6	1166	7.88×10^4	29	0.765	7.46×10^{-4}	682	6.8 ± 0.3
白色流紋岩	664	1.09×10^6	1986	3.25×10^6	797	5.38×10^4	29	0.861	6.10×10^{-4}	486	6.7 ± 0.4
	368	1.41×10^6	1258	4.81×10^6	800	5.40×10^4	25	0.913	2.62×10^{-4}	716	5.9 ± 0.4
	752	1.17×10^6	3377	5.27×10^6	1163	7.86×10^4	30	0.747	6.41×10^{-4}	538	6.5 ± 0.3
	856	1.27×10^6	3738	5.59×10^6	1165	7.87×10^4	30	0.735	6.76×10^{-4}	564	6.7 ± 0.3

表4-3 Rb-Sr年代測定結果一覧表

試料名		Sr(ppm)	Rb(ppm)	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
黒雲母流紋岩	黒雲母	14.7	398	78.4	0.70988 ± 0.00010
	斜長石	803	2.8	0.010	0.70298 ± 0.00017
	全岩	202	119	1.70	0.70409 ± 0.00015

$$\begin{aligned}
 \text{The best slope} &= 0.000083 \pm 0.0000089 \\
 ^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr(i)} &= 0.70344 \pm 0.00040 \\
 \text{Calculated Age} &= 5.8 \pm 0.6 \text{ Ma}
 \end{aligned}$$

表4-4 K-Ar年代測定結果一覧表

岩石名	鉱物名	^{40}Ar (scc/gm $\times 10^{-5}$)	^{40}Ar (wt%)	K (wt%)	年代値 (Ma)
黒雲母流紋岩	黒雲母	0.142 0.132	38.4 35.2	6.54 6.47	5.4 \pm 0.3
	斜長石	0.010 0.010	8.6 6.1	0.45 0.45	5.7 \pm 2.6
坑内の変質岩	セリサイト	0.163 0.150	34.5 68.7	6.39 6.40	6.3 \pm 0.4

表4-5 珪藻化石の同定結果

Species Name	Ecology			B-6	E-2M
	H. R.	pH	C. R.		
<i>Actinocyclus ingens</i> Rattray	Euh			—	2
<i>Actinoptychus senarius</i> (Ehr.) Ehrenberg	Euh			—	1
<i>Chaetoceros</i> spp.	Euh			—	1
<i>Coscinodiscus marginatus</i> Ehrenberg	Euh			—	5
<i>Denticulopsis hustedtii</i> (Simonsen and Kanaya) Simonsen	Euh			—	2
<i>Grammatophora maxima</i> Grunow	Euh			—	1
<i>Neodenticula kantschatica</i> (Zabelina) Akiba & Yanagisawa	Euh			—	4
<i>Paralia sulcata</i> (Ehr.) Cleve	Euh			—	1
<i>Rhizosolenia</i> spp.	Euh			—	3
<i>Thalassionema hirosakiensis</i> (Kanaya) Schrader	Euh			—	2
<i>Thalassionema nitzschiooides</i> Grunow	Euh			—	101
<i>Thalassiosira antiqua</i> (Grun.) Cleve	Euh			—	1
<i>Thalassiosira zabelinae</i> Jouse	Euh			—	3
<i>Raphoneis surirella</i> (Ekr.) Grunow	Euh-Meh			—	1
<i>Aulacosira granulata</i> (Ekr.) Simonsen	Ogh-ind	al-il	l-ph	—	3
Marine Water Species				0	127
Marine to Brackish Water Species					1
Brackish Water Species					0
Fresh Water Species					3
Total Number of Diatoms				0	131

LEGEND

H. R. : 塩分濃度に対する適応性
 Euh : シンエンセイ(カイスイセイ)
 Euh-Meh: シンエンセイ-チュウスイセイ
 (カイスイセイ-キスイセイ)
 Ogh-hil: ヒンエン-コウエンセイ
 Ogh-ind: ヒンエン-フテイセイ
 Ogh-hob: ヒンエン-ケンエンセイ
 Ogh-unk: ヒンエン-フメイ

pH : 水素イオン濃度に対する適応性
 ac-bi: シンサンセイ
 ac-il: コウサンセイ
 ind : pH-フテイセイ
 al-bi: シンアルカリセイ
 al-il: コウアルカリセイ
 unk : pH-フメイ

C. R. : 流水に対する適応性
 l-bi: シンシスイセイ
 l-ph: コウシスイセイ
 ind : リュウスイフテイセイ
 r-bi: シンリュウスイセイ
 r-ph: コウリュウスイセイ
 unk : リュウスイフメイ

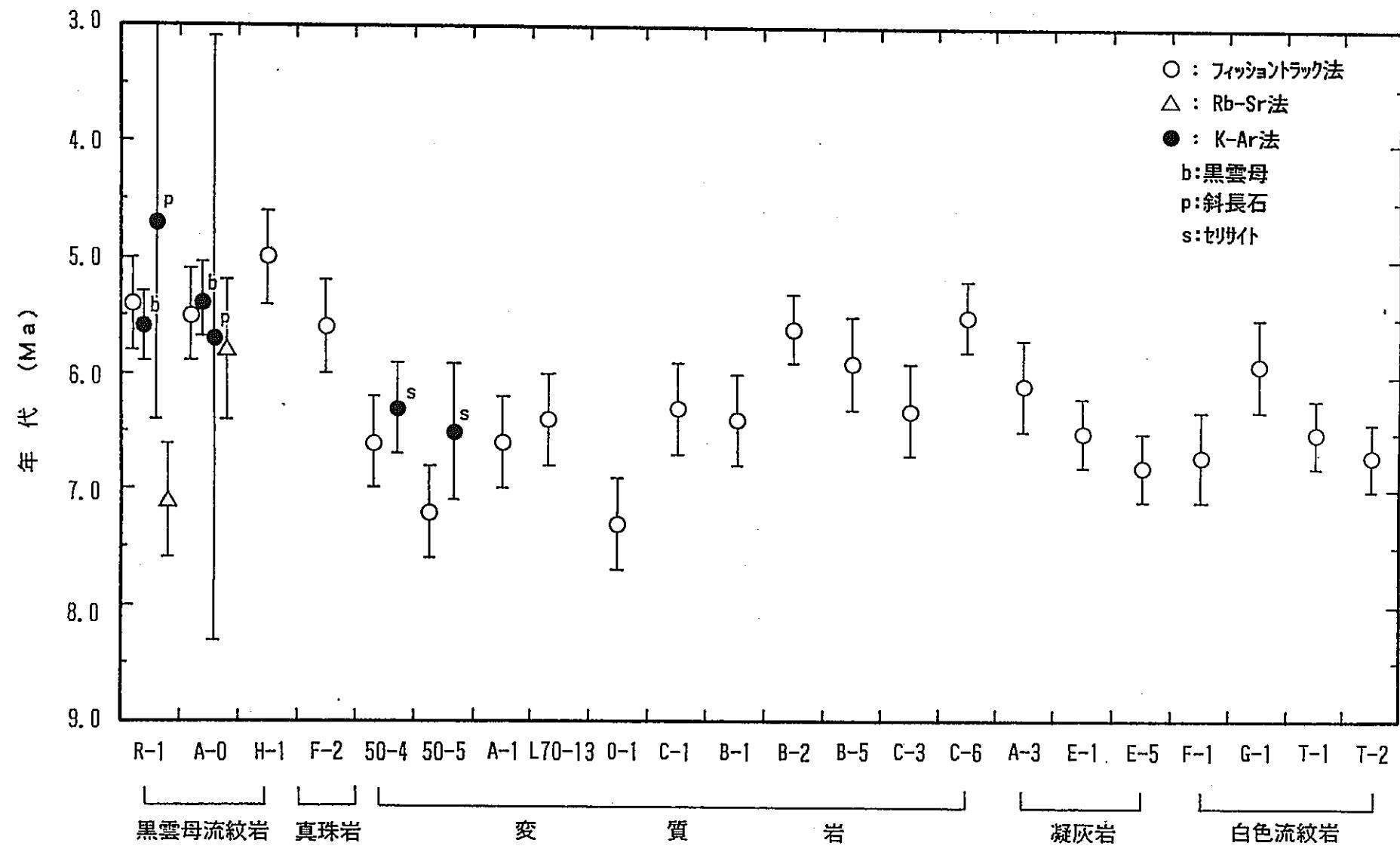


図4-4 年代測定結果総括図

～7.3 Ma, 5.5～6.4 Ma, 5.9 Maであり、いずれも後期中新世後期の年代を示している。

このように、各変質帯の変質岩の年代は、多少の違いはあるが、いずれも後期中新世後期の年代を示しており、変質母岩である凝灰岩の生成年代や変質作用に関与したと考えられる黒雲母流紋岩の貫入年代とほとんど変わらない。

4.1.4 変質に関与した熱水の性状

化学分析値が出されている試料のうち、密度を求めた試料について化学分析値を100%に換算し、さらに100cmあたりの酸化物重量及び元素重量に換算したものを表4-6に示す。また、変質作用による元素の変化を図4-5に示す。

図4-5から明らかなように、Si, Al及びKの変化は、セリサイト帯から低結晶度のモンモリロナイト-沸石帯にかけて一連ではなく、高結晶度のモンモリロナイト帯とセリサイト/モンモリロナイト混合層鉱物帯の間で大きなギャップがある。また、セリサイト帯では、Si, Al及びKが絶対的に多くなっている。これらのこととは、セリサイト及び高結晶度のモンモリロナイト帯を生成した変質作用とセリサイト/モンモリロナイト混合層鉱物帯及び低結晶度のモンモリロナイト-沸石帯を生成した変質作用とは異なるものであるという前述の結論を指示するとともに、セリサイト帯がSi, Al及びKに富む熱水により生成されたことを示唆している。また、セリサイト帯の生成に関与した熱水は、Si, Al及びKに富むことから判断すると、酸性火成活動末期のものと考えられる。

4.1.5 変質帯の生成モデル

以上述べたことを総括すると、図4-6に示すように、

- ①白色流紋岩の活動とそれに伴う凝灰岩の堆積
↓
- ②黒雲母流紋岩体の貫入
↓
- ③黒雲母流紋岩体の熱により、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黒雲母流紋岩体に沿った酸性火成活動末期の熱水（酸性で、200℃程度）の上昇
↓
- 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

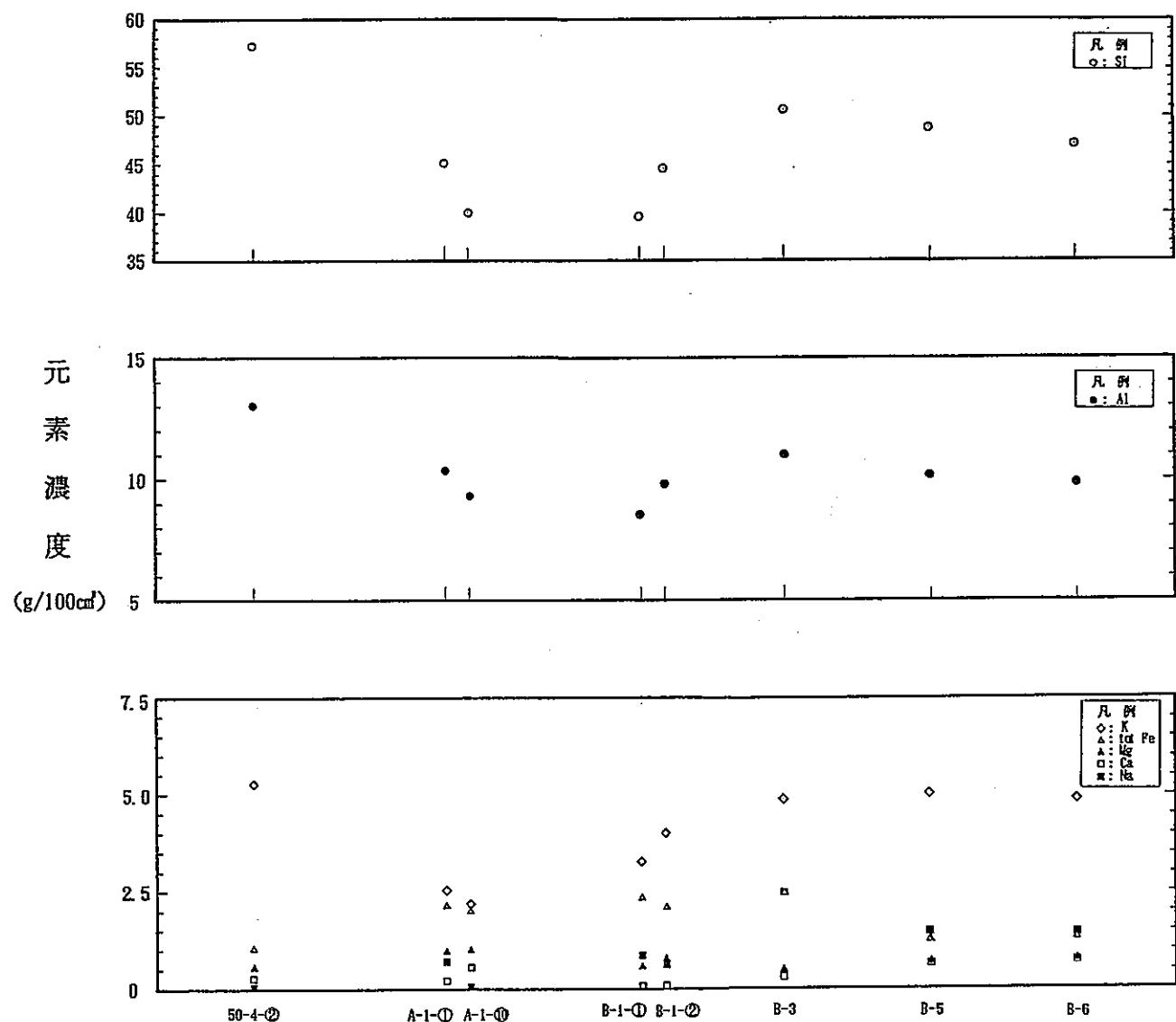
という順に地質現象が起こり、セリサイト鉱床及びその周辺の変質帯が生成されたと考えられる。

なお、高結晶度のモンモリロナイト帯の生成年代を変質岩の年代の平均値 6.4 Maと

表4-6 各岩石試料中の主要元素の重量

(単位はg/100cm³)

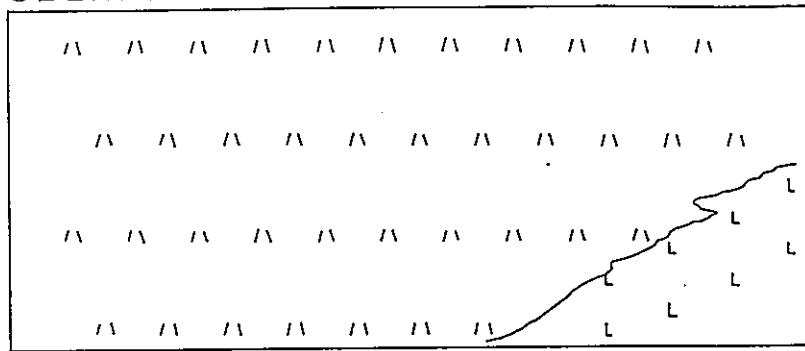
試 料	A-1-①	A-1-⑩	B-1-①	B-1-②	B-3	B-5	B-6	50-4-②
Si	45.153	40.097	39.568	44.559	50.639	48.710	47.124	58.229
Al	10.382	9.348	8.545	9.816	11.032	10.189	9.865	13.048
Fe ³⁺	1.684	1.738	2.075	1.969	2.084	1.132	1.172	0.714
Fe ²⁺	0.599	0.344	0.266	0.247	0.386	0.157	0.173	0.305
totFe	2.283	2.082	2.341	2.216	2.470	1.289	1.345	1.019
Mg	0.980	1.029	0.586	0.791	0.404	0.704	0.756	0.587
Ca	0.224	0.590	0.120	0.161	0.524	0.644	0.720	0.281
Na	0.711	0.174	0.876	0.639	2.490	1.461	1.464	0.107
K	2.534	2.309	3.549	3.997	4.887	5.178	4.825	5.296



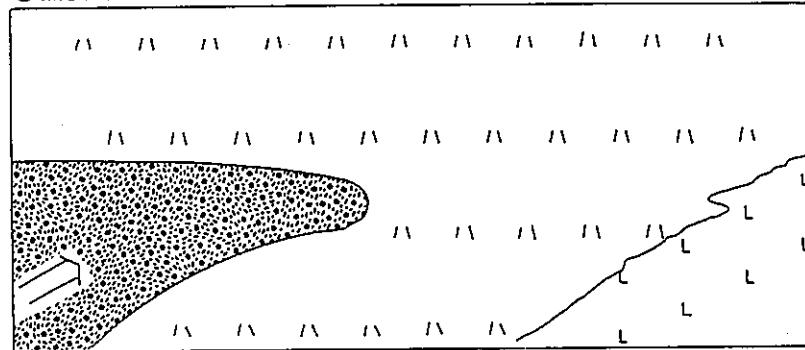
II. セリサイト帶 III. 高結晶度の
モンモリロナイト帶 IV. セリサイト
/モンモリロナイト
混合層鉱物帶 V. 低結晶度のモンモリロナイト帶

図4-5 各試料における単位体積重量中の元素濃度

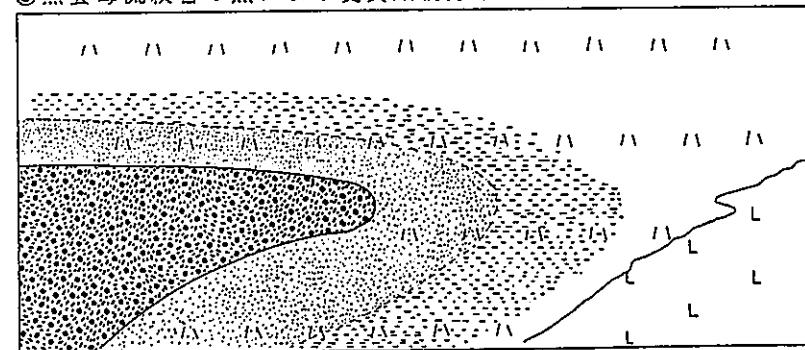
①白色流紋岩の活動とそれに伴う凝灰岩の堆積



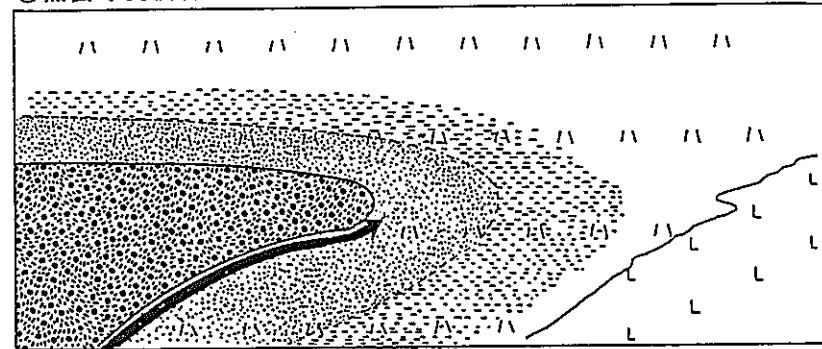
②黒雲母流紋岩の貫入



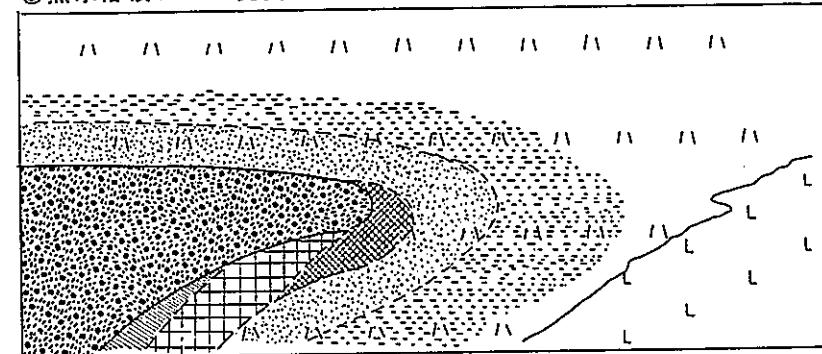
③黒雲母流紋岩の熱による変質鉱物分帯の形成



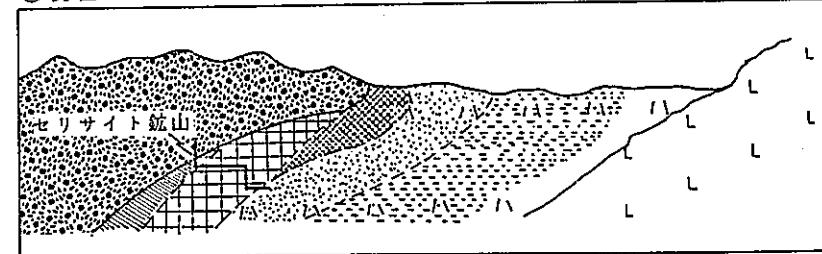
④黒雲母流紋岩に沿って酸性の热水溶液が侵入



⑤热水溶液による変質鉱物分帯の形成



⑥現在



[Symbol: L-L]	白色流紋岩	[Symbol: Dotted pattern]	モモリオシト/セリサイト混合層帶
[Symbol: //]	凝灰岩	[Symbol: Hatched pattern]	モモリオシト帶【高結晶度】
[Symbol: Dotted pattern]	黒雲母流紋岩	[Symbol: Vertical lines]	セリサイト帶
[Symbol: Dashed pattern]	モモリオシト帶【低結晶度】	[Symbol: Horizontal lines]	ハーフモモリオシト帶

注) 比尺は考慮されていない。

図4-6 変質帯形成モデル

し、黒雲母流紋岩体が 200°Cまでに冷却された年代をそのフィッショントラック年代の平均値 5.3Ma とすると、高結晶度のモンモリロナイトが生成した後も、黒雲母流紋岩体は約 110万年の間 200°C以上の残熱を有していたと推定される。

4.2 鶴岡地域

モンモリロナイトおよび α -クリストバライトが認められ、一部の試料において石英、 α -リンケイ石および斜方沸石が認められる（表3-5参照）。これらのうち、 α -クリストバライトの分布は概ね貫入面からの距離とその量比に相関があるものの、他の変質鉱物には貫入面からの距離と変質鉱物の量比や変質の程度の差を示唆する鉱物分布は認められない。また、セリサイトやセリサイト／モンモリロナイト混合層鉱物は本地域では生成されていない。

以上のことから、今年度本地域で調査対象とした露頭は、珪化変質は生じているもののペントナイトのセリサイト化（イライト化）を検討する上では不適当と判断される。したがって、本地域においては今回対象とした岩脈の延長部でより岩脈の厚さの厚い箇所を探すか、あるいはより規模の大きい岩脈を探す必要がある。

4.3 大田市北部地域

酒井、井上、飯塚（1980）によれば、本地域のモンモリロナイトは熱水変質によって生成されたと考えられている。沸石類の鏡下での観察によれば、フェリエライトはモンモリロナイトを切って晶出していること、沸石による変質分帶の分布が安山岩岩脈に調和的であることから、モンモリロナイト生成後に安山岩岩脈が貫入して沸石を生じたと解釈されている。したがって、本地域のモンモリロナイトは、その生成後に熱あるいは熱水による変質を受けた可能性が高いと考えられる。このことから判断すると本地域は、ペントナイトのナチュラル・アナログ研究のフィールドとして好適であると言える。

4.4 大田市東部地域

岡本、桑島（1965）によれば、本地域のモンモリロナイトについては花崗岩類の中の流紋岩質岩脈沿いに生成されているものと、火山碎屑岩の一部が変質したものという2種類の産状が報告されているが、その成因の詳細については触れられていない。したがって、本地域においては、モンモリロナイトの生成時期と成因、そして熱履歴について調査・研究した上で、ペントナイトのナチュラル・アナログ研究の対象として適切であるか否かを検討すべきと考えられる。

4.5 出雲市三谷地域

岡本（1963）によれば、本地域のモンモリロナイトは火山角礫岩が変質して生成されたものとされているが、その成因の詳細については触れられていない。本地域においては、モンモリロナイトの生成時期と成因、そして熱履歴について調査・研究した上で、ペントナイトのナチュラル・アナログ研究の対象として適切であるか否かを検討すべきと考えられる。

5. 問題点と今後の課題

村上セリサイト鉱床及びその周辺の変質帯の成因等については、現在までの調査・研究により、かなり明らかにされたと考えられるが、変質帯及び貫入岩体の三次元的な分布状況は、地表資料及び限られた坑内資料に基づいているにすぎない。変質帯の生成について、詳細に調査・研究するためには、より正確な変質帯及び貫入岩体の三次元的な分布の把握が必要と判断される。このためには、地表、あるいは坑内からのボーリング調査をさらに実施することが不可欠である。さらに、高結晶度のモンモリロナイト帯の生成後も黒雲母流紋岩体は、約 110万年間は 200℃以上の残熱を有していたと推定されるため、黒雲母流紋岩体に接している高結晶度のモンモリロナイト帯（生成温度は 200℃以下）が、生成後、加熱された可能性が高いと考えられる。したがって、今後高結晶度のモンモリロナイト帯が生成後、どうのような温度履歴を有しているかを検討していく必要がある。

鶴岡地域の粗粒玄武岩の貫入に伴う変質の程度は、その周辺のモンモリロナイトがセリサイト化（イライト化）していないことから判断して、低いと考えられる。したがって、本地域においては、接触部のモンモリロナイトがセリサイトやセリサイト／モンモリロナイト混合層鉱物に変化している可能性の高い、より規模の大きい貫入岩が見られるような露頭を捜すべきであると考えられる。

島根県に点在する粘土鉱床については、文献上ではセリサイトやセリサイト／モンモリロナイト混合層鉱物は報告されていないが、モンモリロナイトの生成後にそれを含む地層に貫入した貫入岩が大田市北部地域に存在し、今後詳細な現地調査を実施する必要があると考えられる。

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—フィッショントラック法による絶対年代測定法(その2)－: 新潟県立教育センター研究報告, No.99, p. 31~34 (1987)
- 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)
- 吉村尚久, 石塚雄人, 村上粘土鉱床周辺変質帯のフェリエライト: 粘土科学, v. 29, No.4, p. 179 ~186, (1989)
- Akiba, F., Middle Miocene to Quaternary diatom biostratigraphy in the Nankai Trough and Japan Trench, and modified Lower Miocene through Quaternary diatom zones for middle-to-high latitudes of the North Pacific. : Init. Rep. DSDP, U.S. Govt. Printing Office, Washington, v. 87, p. 393~481, (1985)
- Nishimura, S. and Mogi, T., The Interpretation of Discordant Ages of Some Granitic Bodies. : Jour. Geotherm. Res. Soc. Japan, v. 8, No.2, p. 145~163 (1986)
- 岡本和夫, 出雲市三谷のペントナイト鉱床: 中国地方工業用鉱物資源(2), p. 149~153, (1963)
- 上野三義, 島崎恵造, 山形県鶴岡市南西部の酸性白土: 東北の工業用鉱物資源, 東北地方工業用鉱物資源開発委員会, 第4輯, p. 64~68, (1964)
- 岡本和夫, 桑島純一, 島根県大田市長谷のペントナイト鉱床: 中国地方工業用鉱物資源(3) p. 125~131, (1965)
- 酒井禮男, 島根県大田市朝倉ペントナイト: 地学雑誌, 第79巻, 第6号, p. 49~54, (1970)
- 酒井禮男, 井上多津男, 飯塚信之, 島根県大田市北部の火碎岩の変質ーとくにフェリエライトの産状についてー: 島根県立工業技術センター研究報告, 第17号, p. 52~61, (1980)
- 井上多津男, 酒井禮男, 飯塚信之, 島根県大田市朝山付近の中新統の層序と変質: 島根県立工業技術センター研究報告, 第18号, p. 20~28, (1981)

金原啓司, 変質帶調査, 地熱開発総合ハンドブック, 初版, 翔泳社・テクノシステム, 東京, p. 41~52, (1982)