

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 概要

(動力炉核燃料開発事業団 委託研究成果報告書)

1991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。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

火山ガラスおよびベ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、火山ガラス及びベ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、284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-HCO₃型あるいはそれに極めて近い型（溶存成分量が1.01~1.40 meq/l）、南房総鴨川のスコリアではNa-HCO₃型（溶存成分量が50~220 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HCO₃⁻及びSiO₂濃度が増加する傾向が認められた。

南房総鴨川のスコリアの変質は、顕微鏡観察及びX線回折分析結果により、スコリア凝灰岩中のスコリアでは安野層以下、泥岩中に取り込まれたスコリアでは天津層以下の層準に認められ、その変質層は非晶質あるいはモンモリロナイトから構成されていることが判明した。また、自生鉱物の分布を利用した古地温の解析から、天津層最上部で69℃に達し、この値と積算層厚から算出した地温勾配は約1.8℃/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。

ベ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実施した。

調査・分析結果に基づき本鉱床の変質分帯を行った。認められた変質帯を黒雲母流紋岩体の中心から周辺部の順に並べると、

- 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）

となり、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帯までは熱水の侵入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

の順に進行したと考えられる。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を考慮すると、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。

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：020D0096

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

Katsuhito Futakuchi* ; Yuji Sakuramoto**

ABSTRACT

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

Scoria glass with pore water samples are collected for the study of volcanic glass from pyroclastic formations of Fuji Volcano ejected 284 years ago and Izu-Takatsukayama ejected about 45,000 years ago. Additional samples are collected from Neogene and Quaternary sedimentary formations of the Miura (middle Miocene to middle Pliocene) and the Kazusa (middle Pliocene to middle Pleistocene) Groups in the Boso Peninsula.

Chemistry of pore water obtained from the above localities shows that they contain mainly Ca^{2+} and HCO_3^- , Ca^{2+} and HCO_3^- , and Na^+ and HCO_3^- , respectively. In addition, the amount of SiO_2 and HCO_3^- in the pore water from Fuji-Houei volcanic succession increases with depth.

Scoria glass grains from Miura Group and Kazusa Group are examined with an optical microscope and with an X-ray diffractometer. They have altered to amorphous silica and/or montmorillonite and occurs in the Miura Group of two different horizons depending on the mode of occurrence. The alteration products of scoria glass in scoria tuff beds occurs in the whole Miura Group (up to Anno Formation) whereas those of scoria glass scattered in mudstones are found only in the lower parts of the Group (below the Amatsu Formation).

Results of X-ray diffraction analysis of acidic volcanic glass shards from the Miura and Kazusa Groups show the existence of alteration minerals. The fact indicates that the geothermal gradient in this region has been unchanged since Miocene time (about $1.8\text{ }^\circ\text{C}/100\text{m}$).

A clay zone around the Murakami sericite deposit consisting of montmorillonite and sericite are used for the study of bentonite.

The clay zone can be classified into five zones from X-ray analysis and radiometric dating. They are arranged for an intrusive body outward:

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

These five alteration zones can be grouped into two groups according to their origin. Zones IV and V are products of thermal alteration caused by intrusion of the igneous body and zones I, II, and III are products of later hydrothermal alteration.

The processes of these alteration, which occurred in late Miocene, are considered to be in the following order:

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

Chemistry and X-ray diffraction data of clay and tuff suggest that the hydrothermal fluid was high temperature acidic fluid and was derived from the later stage of igneous activity.

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. 調査対象地域の地形・地質概要	1
2.1 富士	1
2.2 伊豆高塚山	1
2.3 南房総鴨川	2
3. 分析・試験および年代測定	2
3.1 試料の概要	2
3.2 分析・試験および年代測定結果	6
4. 考察	11
4.1 スコリアの変質に関与した地下水の水質	11
4.2 南房総鴨川のスコリアの変質温度	19
4.3 南房総鴨川のスコリアの変質層	19
5. 問題点と今後の課題	19
II. ベントナイト編	
1. 調査目的	22
2. 調査地の概要	22
3. 室内分析および年代測定	24
3.1 試料の概要	24
3.2 分析・試験結果	26
4. 考察	31
4.1 変質帯	31
4.2 年代	33
4.3 熱水の化学組成について	33
5. 問題点と今後の課題	38

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起源の約3000年前までのスコリアガラス、そして同じ大島や伊豆高塚山火山起源の更に古い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を実施してきた。

本調査では、富士および伊豆高塚山の調査を継続して行うとともに、これまで以上に古い火山ガラスの変質状況やその変質環境の関係を把握することを目的として、房総半島南部の鴨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、現地調査、試料採取、試料の室内分析・試験を実施した。

2. 調査対象地域の地形・地質概要

2.1 富士

調査対象地域は富士山麓の東端に位置し、北側は標高1000mに達する丹沢山地に境され、西側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となっている。

調査対象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、これら火山噴出物は下位から古期富士降下火砕層、富士黒土層、新期富士火砕層の3層に区別されている（町田，1964など）。

新期富士降下火砕層は古期富士降下火砕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、当地域では厚さ1～2mでほぼ地表面に沿って分布している。宝永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。

2.2 伊豆高塚山

調査対象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斜面に位置し、比高約70m（最高点の標高370m）の開折された小丘を成している。

高塚山火山は、第四紀後期に活動した東伊豆単成火山群の一つで、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とに区別されている。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。高塚山火山噴出物は古期富士火山灰中に挟まれており、この高塚山火山は45,000~40,000年前に活動したものと推定されている。

2.3 南房総鴨川

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。

房総半島は、嶺岡山地に隆起地塊として分布する古第三系の嶺岡層群を除くと、新第三系以降の厚い海成層によって広く被覆されている。嶺岡層群を挟んでその北側と南側とに新第三系が東西方向に帯状に分布している。調査対象地域付近の地質図を図-1に、調査対象地域における層序、層厚、年代測定結果をまとめて表-1に示す。

本地域の基盤の一部とみなされている嶺岡層群は、比較的深い海の堆積物から構成されている。また、これら嶺岡層群の分布する嶺岡山地には超塩基性岩類および玄武岩類が分布している。嶺岡層群の外側には中新世前期の保田層群が分布している。そしてその上位層として三浦層群（下位から木ノ根層、天津層、清澄層、そして安野層）が分布している。三浦層群はさらに新しい上総層群によって不整合（黒滝不整合と呼ばれる）に覆われている。上総層群は房総半島の東側でより下位の地層が出現しており、平面的にも三浦層群に対してアバットの関係を呈している。上総層群は下位から、黒滝層、勝浦層、浪花層、大原層、黄和田層、大田代層、梅ヶ瀬層、国本層、柿ノ木台層、長南層、万田野層、笠森層と区別されている。

3. 分析・試験および年代測定

3.1 試料の概要

富士、伊豆高塚山、そして南房総鴨川地域の試料およびそれぞれの試料の分析内訳を一覧表にして表-2に示す。なお、伊豆高塚山では、直接法面から浸透するような地表水の影響をできる限り排除する目的で、バックホウ型の掘削機により法面中を数m掘込んだ後スコリア試料を採取した。

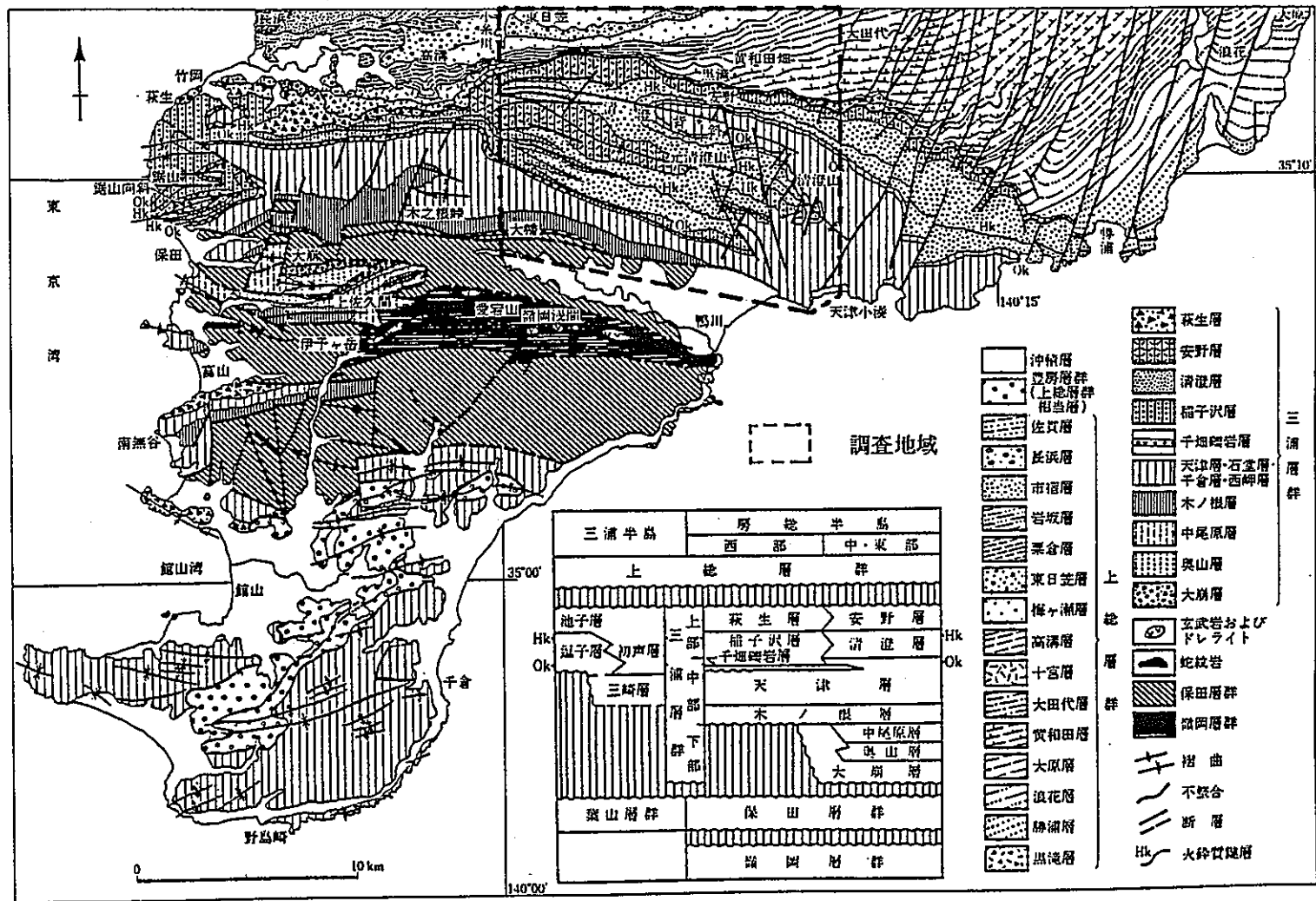


図 - 1 南房総付近の地質図 (日本の地質『関東地方』編集委員会, 1986)

表-1 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	笠森層	300m	300m 380m 460m	徳橋ほか(1983) 0.31~0.63Ma. 0.49~0.91Ma.
		長沼層	80m		
		梅ノ木層	80m		
	総層群	国本層	320m	780m	0.87Ma.
		梅ヶ瀬層	U-4(t) U-4(s) 530m	1310m	1.06~1.47Ma.
		大田代層	0-8(t) 0-8(s) 540m	1850m	1.90~2.06Ma.
		黄和田層	370m	2220m 2260m	M. Kasuya(1990) 原・楢井(1990) 2.34~2.59Ma. 1.66~2.10Ma. 1.6Ma.
		安野層	Kdx(t) Kdx(s) An-68(s) Anx(t) Any(t) An-45(s) 450m	2710m	2.76~3.37Ma.
	三浦層群	清澄層	Kyx(t) Ky-10(s) Ky-8(s) Am-98(s) Am-97(s) Am-96(s) 梅(t) 桃(t) 桜(t) — 3580m	870m	5.2~11.5Ma.
		天津層	Am-83(s) Am-78(t) Amx(t) Am-29(s) Am-16(t) Am-14(s) 1025m	4605m	
		木ノ根層	Kn-3(t) 775m		
黒滝不整合					

() 内のs, tはそれぞれスコリア凝灰岩, 凝灰岩を示す。

表-2 富士, 伊豆高塚山, 南房総鴨川地域試料の分析内訳

調査地域名	試料番号 ¹⁾	X線回折	顕微鏡観察	化学分析	間隙水	粒度分析	含水比	密度・間隙率	定方位試料	年代測定
富士	HS-4				○					
	HS-3				○					
	HS-2				○					
	HS-1				○					
伊豆高塚山	OH-B'				○					○
	OH-C'				○					
南房総鴨川	Kn 3-t	○								
	Am14-s	○	○							
	Am14-m	○								
	Am16-t	○								
	Am29-s	○								
	Am x-t	○								
	Am78-t	○	○				○	○		
	Am78-m	○	○							
	Am83-m	○								
	Am96-s	○	○			○	○	○		
	Am96-m	○	○			○	○		○	
	桜-t	○								
	桃-t	○								
	梅-t	○								
	Ky10-s	○	○			○	○	○	○	
	Ky10-ss	○	○		○	○		○		
	Ky x-t	○								
	An68-s	○	○				○	○	現場○	
	An68-m	○			○	○	○		○	
	An x-t	○								
	An y-t	○								
	Kd x-t	○								
	O 8-s	○	○				○	○	現場○	
O 8-m	○			○	○		○	○		
O 8-t	○									
U 4-s	○	○				○				
U 4-m	○									
U 4-t	○									

1) : -の後のs, m, t, ssはそれぞれスコリア凝灰岩, 泥質岩, 細粒凝灰岩, 砂岩を表す。

採取した試料について、現場密度試験、密度試験、含水比測定、真比重測定、粒度分析、X線回折分析、顕微鏡観察、間隙水の水質分析、絶対年代測定を実施した。

3.2 分析・試験および年代測定結果

3.2.1 現場密度試験および含水比測定

南房総鴨川地域のスコリアおよび凝灰岩試料の現場密度試験および含水比測定結果をまとめて、表-3に示す。

表中の試料Noは、層位学的な順序に合わせて並べてある。この表を見ると、スコリアの間隙率および含水比が層位学的な上位のものほど大きく、湿潤密度および乾燥密度が小さくなる傾向が認められる。真比重にそれほど大きな差異が認められないことから、この間隙率の変化は、より層位学的に下位のスコリアほど圧密を強く受けている可能性を示すものと考えられる。

3.2.2 粒度分析

南房総鴨川地域のスコリア試料の粒度分析試験をまとめて、表-4に示す。

3.2.3 X線回折分析

南房総鴨川地域のスコリア、凝灰岩および泥質岩試料のX線回折分析結果から求められた構成鉱物の一覧表をまとめて、表-5～6に示す。

3.2.4 顕微鏡観察

顕微鏡観察結果を表-7に示す。

ガラスの変質の有無に着目すると、An-68以上の層準のスコリアは顕微鏡レベルでの変質は認められない。

3.2.5 岩石の化学分析

岩石の化学分析結果をまとめて表-8に示す。分析した3試料間には特に大きな差異は認められない。新第三紀泥岩の平均化学成分（非グリーンタフ地域）と比較すると、CaOに富み、SiO₂に乏しい傾向にあるが、このことはX線回折によって方解石が検出されていることと、顕微鏡下で微化石（有孔虫が多い）が普通に認められることに起因すると考えられる。

表-3 物理試験結果一覧表 (南房総地域)

試料No	真比重 Gs	間隙率 (%) n	含水比 (%) W	湿潤密度 g/cm ³ ρ _t	乾燥密度 g/cm ³ ρ _d	間隙比 e	飽和度 (%) Sr
08(s)	2.765	47.0	28.3	1.87	1.46	0.888	87.8
An68(s)	2.679	41.4	24.0	1.95	1.57	0.706	91.1
Ky10(s)	2.830	33.6	18.3	2.22	1.88	0.505	102.6
Am96(s)	2.838	16.5	6.51	2.57	2.37	0.197	93.8
Am78(t)	2.749	37.4	21.0	2.08	1.72	0.597	96.6

• $\rho_d = \rho_t / (1 + W/100)$

• $n = [e / (1 + e)] \cdot 100$

• $e = (Gs \cdot 1 / \rho_d) - 1$

表-4 粒度試験結果一覧表 (南房総地域)

試料No	礫分 (%)	砂分 (%)	シルト分 (%)	粘土分 (%)	最大粒径 mm	均等係数	曲率係数
U4(s)	0.8	90.0	9.2		4.76	5.74	2.43
08(s)	0.0	84.0	9.9	6.1	2.00	23.0	8.47
An68(s)	33.1	61.6	5.3		9.52	6.67	1.13
Ky10(s)	26.6	64.9	4.3	4.2	4.76	14.0	2.51
Am96(s)	22.8	65.7	10.2	1.3	9.52	16.7	0.695

表-5 南房総鴨川地域の試料のX線回折結果 (泥質岩及び凝灰岩)

試料名 \ 鉱物名	緑 泥 石	イ ラ イ ト	モン モ ロ ノ イ ト	石 英	α ク リ ス ト バ ル 石	α リ ン ケ イ 石	斜 方 晶 石	方 解 石	黄 鉄 鉱	菱 鉄 鉱	カ リ 長 石	斜 長 石	普 通 角 閃 石
U 4 (t)		・	・	◎								◎	
U 4 (m)	・	・	○	◎	・							・	・
O 8 (t)	・	・	・	・								・	・
O 8 (m)	・	・	・	◎		・	・	・	・	・	・	○	・
K d X (t)	・		・									・	
A n 6 8 (m)	・	・	・	○				・	・			○	・
A n X (t)			・									・	
A n Y (t)											?・	・	
A n 6 8 (m)	・	・	・	○				・	・			○	・
K y X (t)	・	・	・	・	・							・	
K y 1 0 (s s)	・	・	・	○				・	・		・	○	・
A m 9 6 (m)	・	・	・	○	・			・	・			・	
梅 (t)			・	・								・	
桃 (t)			・	・								・	
桜 (t)		・	・	・		・						・	
A m 8 3 (m)	・	・	○	◎								◎	
A m 7 8 (m)	・	・	・	○		・		・				○	・
A m X (t)												・	
A m 1 6 (t)			・	・	・							◎	
A m 1 4 (m)	・	・	・	◎								・	
K n 3 (t)	・	・	・	○		・						・	

相対含有量： ◎多量， ○中量， ・少量， ・微量， ?不確定

() 内のm, ss, tはそれぞれ泥質岩, 砂岩, 凝灰岩を示す。

表-6 南房総鴨川地域の試料のX線回折結果 (水ひ試料)

試料名 \ 鉱物名	緑 泥 石	イ ラ イ ト	モン モ ロ ノ イ ト	石 英	α ク リ ス ト バ ル 石	α リ ン ケ イ 石	斜 方 晶 石	方 解 石	黄 鉄 鉱	菱 鉄 鉱	カ リ 長 石	斜 長 石	普 通 角 閃 石
U 4 (s)			・									?・	
O 8 (s)												?・	
A n 6 8 (s)												?・	
K y 1 0 (s)			・										
A m 9 6 (s)			・										
A m 7 8 (t)			・										
A m 2 9 (s)			・									?・	
A m 1 4 (s)			・									?・	

相対含有量： ◎多量， ○中量， ・少量， ・微量， ?不確定

() 内のs, tはそれぞれスコリア凝灰岩, 凝灰岩を示す。

表-7 顕微鏡観察結果一覧表

試料No.	色 調	スコリアTexture	斑晶鉱物	ガラスの状況	変 質 状 況
U-4(s)	暗褐灰	虫食い状>網状 発泡度低	pl>>py	暗褐灰, 針状結晶多含	顕著な変質認められない
O-8(s)	暗褐灰	虫食い状	pl	暗褐灰, 針状結晶多含	顕著な変質認められない
Kdx(s)	暗褐灰	虫食い状	py>>pl	褐~暗褐灰, 孔隙小さい	顕著な変質認められない
An-68(m)	灰~暗褐灰	スポンジ~虫食い状 発泡度高	pl> py	褐~褐灰, 針状結晶多含	顕著な変質認められない
An-68(s)	灰~暗褐灰	スポンジ~虫食い状 発泡度高	pl> py	褐~褐灰, 針状結晶多含	黄褐色変質層認められる
An-45	灰褐~暗褐灰	スポンジ状, スコリア内に岩片含む	pl> py	褐~褐灰, 針状結晶多含	黄褐色変質層認められる
Ky-10(ss)	暗褐灰	虫食い状	pl	褐灰, 暗灰, 針状結晶多含	顕著な変質認められない
Ky-10	暗褐灰	網状, 低発泡度のもの存在	pl>>py	暗褐灰~褐, 針状結晶含	顕著な変質認められない
Ky-8~9	褐灰	繊維状(軽石)	pl> py	無色透明	顕著な変質認められない
Ky-8	暗褐灰	スポンジ~網状,	pl>>py	暗褐灰, 針状結晶多含	顕著な変質認められない
Am-98	暗褐灰	網状~スポンジ状	pl> py	暗褐灰~褐灰, 針状結晶多含	暗褐色変質層認められる
Am-97-1	褐灰	気泡円~不規則 低発泡度	pl>>py	暗褐, 黒褐, 針状結晶含	顕著な変質認められない
Am-96(m)	褐灰~暗褐灰	虫食い状, 低発泡度	pl	暗褐灰, 針状結晶多含	褐色変質層認められる
Am-96(s)	暗褐灰	網状~虫食い状	pl>>py	暗褐灰, 黒灰, 針状結晶多含	暗褐色変質層認められる
Am-78(m)	灰白	繊維状(軽石)	pl	無色, 針状結晶含	顕著な変質認められない
Am-78(t)	淡黄褐		pl> py	無色	顕著な変質認められない
Am-14	暗褐灰	虫食い状	pl>>py	褐~褐灰, 針状結晶含	黄褐色変質層認められる

() 内のm, s, ss, t はそれぞれ泥質岩, スコリア凝灰岩, 砂岩, 凝灰岩を示す。

表-8 化学分析結果一覧表

wt. %

区分	0-8(m)	An-68(m)	Ky-10(ss)	新第三紀泥岩の平均*
SiO ₂	57.65	58.50	56.14	63.43
TiO ₂	0.75	0.75	0.74	0.58
Al ₂ O ₃	14.61	15.05	14.92	14.86
Fe ₂ O ₃	1.22	3.02	4.07	2.46
FeO	3.96	2.87	2.40	2.18
MnO	0.39	0.55	0.40	0.06
MgO	2.04	1.98	2.23	1.55
CaO	6.68	6.80	7.20	1.68
Na ₂ O	1.86	2.07	1.75	1.91
K ₂ O	1.56	1.11	1.14	2.16
P ₂ O ₅	0.60	0.52	1.05	0.08
S	0.52	0.32	0.15	—
CO ₂	1.87	1.65	2.15	—
H ₂ O(+)	4.39	3.19	2.69	3.94
H ₂ O(-)	1.96	1.64	2.96	3.61

* : 片田ほか (1976) の非グリーンタフ地域の値を引用した。
 () 内の m, ssはそれぞれ泥質岩, 砂岩を示す。

3.2.6 間隙水の水質分析

間隙水の水質分析結果をそれぞれの地域に分けて表-9~11に、ヘキサダイアグラムを図-2~4に示す。なお、富士および伊豆高塚山については既往分析結果によるヘキサダイアグラムも併せて示してある。

3.2.7 絶対年代測定

K-Ar法による年代測定結果では、伊豆高塚山のスコリアについては測定限界を越えているため年代値は得られなかったが、南房総鴨川地域の0-8では、2.66~2.67Ma. という年代値が得られた。これは既往文献による年代値(1.90~2.06Ma.)よりも幾分か古い値となっている。

4. 考 察

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

水質分析の結果(図-2参照)を見ると、既往分析結果に対して溶存成分がやや乏しい傾向にある。さらに今年度の結果を深度と陰イオンとSiO₂濃度に注目すると、最上部のHS-4ではHCO₃⁻に乏しいが、HS-3~1では逆にHCO₃⁻に富んでおり、水質の形が異なっている。また、深度が増加すると、SiO₂濃度が増加する傾向にある。

4.1.2 伊豆高塚山

今年度の間隙水の分析結果によるとSiO₂濃度は既往分析結果の1/2程度となっている。この間隙水の分析結果をもとに、H₄SiO₄モル濃度とCa²⁺/H⁺モル濃度比の関係およびTardy(1971)による岩石と地下水の反応における長石の変質相の領域を示したものを図-5に示す。これによれば、高塚山スコリアの間隙水はいずれもモンモリロナイトと平衡である範囲にプロットされる。このことは、昨年度調査において高塚山スコリア中にスメクタイトからな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、この間隙水はスコリアと平衡関係にあると考えられる。

4.1.3 南房総鴨川

南房総鴨川の結果を見ると、溶存成分の総量に差異はあるもののいずれもCa²⁺-SO₄²⁻形ないしはそれに極く近い水質である。千葉県下の主な温泉水の水質分析結果によると

表-9 宝永スコリアの間隙水等の水質分析結果

試料番号	HS-03		浸透水		浸透水		雨水		HS-1		HS-2		HS-3		HS-4	
採取位置	GL-0.95m		GL-2.2m		GL-2.2m		地表		GL-1.65m		GL-0.95m		GL-0.35m		GL-0.06m	
試料の種類	間隙水*		浸透水		浸透水		雨水		間隙水*							
採取日	1988.6.26		1988.8.19		1988.12.9		1988.12.24		1990.10.31							
pH	-		7.5		7.3		6.1		7.2		7.3		7.0		6.3	
	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 ⁺	4.40	0.191	2.95	0.128	3.20	0.139	0.91	0.040	2.08	0.09	2.18	0.09	1.45	0.06	1.60	0.07
K ⁺	1.70	0.043	1.25	0.032	0.86	0.022	0.47	0.012	1.01	0.03	0.71	0.02	0.43	0.01	0.80	0.02
Ca ²⁺	5.30	0.264	8.13	0.406	8.21	0.410	0.45	0.022	2.39	0.12	3.00	0.15	2.27	0.11	1.71	0.09
Mg ²⁺	1.31	0.108	1.10	0.090	1.12	0.092	0.18	0.015	0.64	0.05	1.28	0.11	0.94	0.08	0.75	0.06
Fe ²⁺	-		-		-		-		0.10	0.00	0.10	0.00	0.03	0.00	nd.	0.00
陽イオン合計		0.606		0.656		0.663		0.089		0.29		0.37		0.26		0.24
HCO ₃ ⁻	24.4	0.400	33.0	0.541	33.00	0.541	4.3	0.070	13.4	0.22	18.3	0.30	12.2	0.20	3.66	0.06
SO ₄ ²⁻	6.5	0.135	2.0	0.042	2.8	0.058	2.2	0.046	1.4	0.03	1.5	0.03	2.1	0.04	4.9	0.10
Cl ⁻	4.1	0.116	1.7	0.048	1.4	0.039	1.5	0.042	2.1	0.06	0.5	0.01	1.4	0.04	3.0	0.08
陰イオン合計		0.651		0.631		0.638		0.158		0.31		0.34		0.28		0.24
SiO ₂	34.2		18.2		22.9		-		11.0		8.6		5.8		3.8	

*:減圧法により抽出

表-10 伊豆高塚山スコリアの間隙水の水質分析結果

試料番号	OH-A		OH-B1		OH-B2		OH-C1		OH-C2		OH-B'		OH-C'	
採取位置	深度48.6m		深度34.0m		深度31.7m		深度19.2m		深度17.3m		深度34.0m		深度19.2m	
試料の種類	間隙水*													
採取日	1989. 10. 17										1990. 10. 30			
pH	抽出量が少ないため測定不能										7.3		7.5	
	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 ⁺	5.8	0.25	4.7	0.20	5.2	0.23	5.4	0.24	7.4	0.32	6.79	0.30	5.61	0.24
K ⁺	1.9	0.05	1.1	0.03	0.7	0.02	1.1	0.03	1.3	0.03	0.85	0.02	1.05	0.03
Ca ²⁺	6.7	0.33	6.4	0.32	4.8	0.24	6.4	0.32	6.1	0.30	12.49	0.62	9.57	0.48
Mg ²⁺	2.7	0.22	3.3	0.27	2.5	0.21	2.5	0.21	2.8	0.23	5.64	0.46	3.86	0.32
Fe ²⁺	0.04	0.00	0.05	0.00	0.05	0.00	0.15	0.00	0.15	0.00	0.50	0.02	2.00	0.07
陽イオン合計		0.86		0.82		0.69		0.79		0.89		1.42		1.14
HCO ₃ ⁻	22.0	0.36	32.0	0.52	29.3	0.48	26.8	0.44	28.0	0.46	25.6	0.42	29.3	0.48
SO ₄ ²⁻	10.4	0.22	3.8	0.08	3.7	0.08	7.3	0.15	6.0	0.13	21.6	0.45	14.6	0.30
Cl ⁻	9.9	0.28	6.3	0.18	4.3	0.12	6.0	0.17	8.1	0.23	17.5	0.49	8.1	0.23
陰イオン合計		0.86		0.78		0.68		0.76		0.81		1.36		1.01
SiO ₂	20.3		50.2		48.5		83.0		48.0		28.1		23.8	

*：減圧法により抽出

表-11 南房総鴨川の泥質岩、スコリア凝灰岩及び砂岩の間隙水の水質分析結果

試料番号	O-8(m)		An-68(m)		Ky-10(s)		Ky-10(ss)		Am-96(m)		Am-96(s)	
試料の種類	間隙水*											
採取日	1990, 10, 31											
pH	8.3		7.8		7.6		7.8		8.05		4.0	
	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 ⁺	3662	159.22	1921	83.52	4262	185.30	863	37.52	1814	78.87	1395	60.65
K ⁺	1316	33.66	1128	28.85	1381	35.32	483	12.35	1585	40.54	605	15.47
Ca ²⁺	5878	293.31	6384	318.56	4330	216.07	3457	172.50	4669	232.98	9098	453.99
Mg ²⁺	1373	113.00	1407	115.80	801	65.93	536	44.12	987	81.23	1972	162.30
陽イオン合計		599.19		546.73		502.62		266.49		433.62		692.41
HCO ₃ ⁻	7017	115.09	6886	109.46	8422	138.02	2991	49.02	6579	107.82	nd.	0.00
SO ₄ ²⁻	22733	473.31	19958	415.53	14747	307.04	10747	223.76	14834	308.85	39607	824.63
Cl ⁻	nd.	0.00	247	6.97	1275	35.97	210	5.92	484	13.65	284	8.01
陰イオン合計		588.40		531.96		481.03		278.70		430.32		832.64
SiO ₂	13629		16363		46203		18190		19583		20757	

*：希釈法により抽出

() 内のm, s, ssはそれぞれ泥質岩, スコリア凝灰岩, 砂岩を示す。

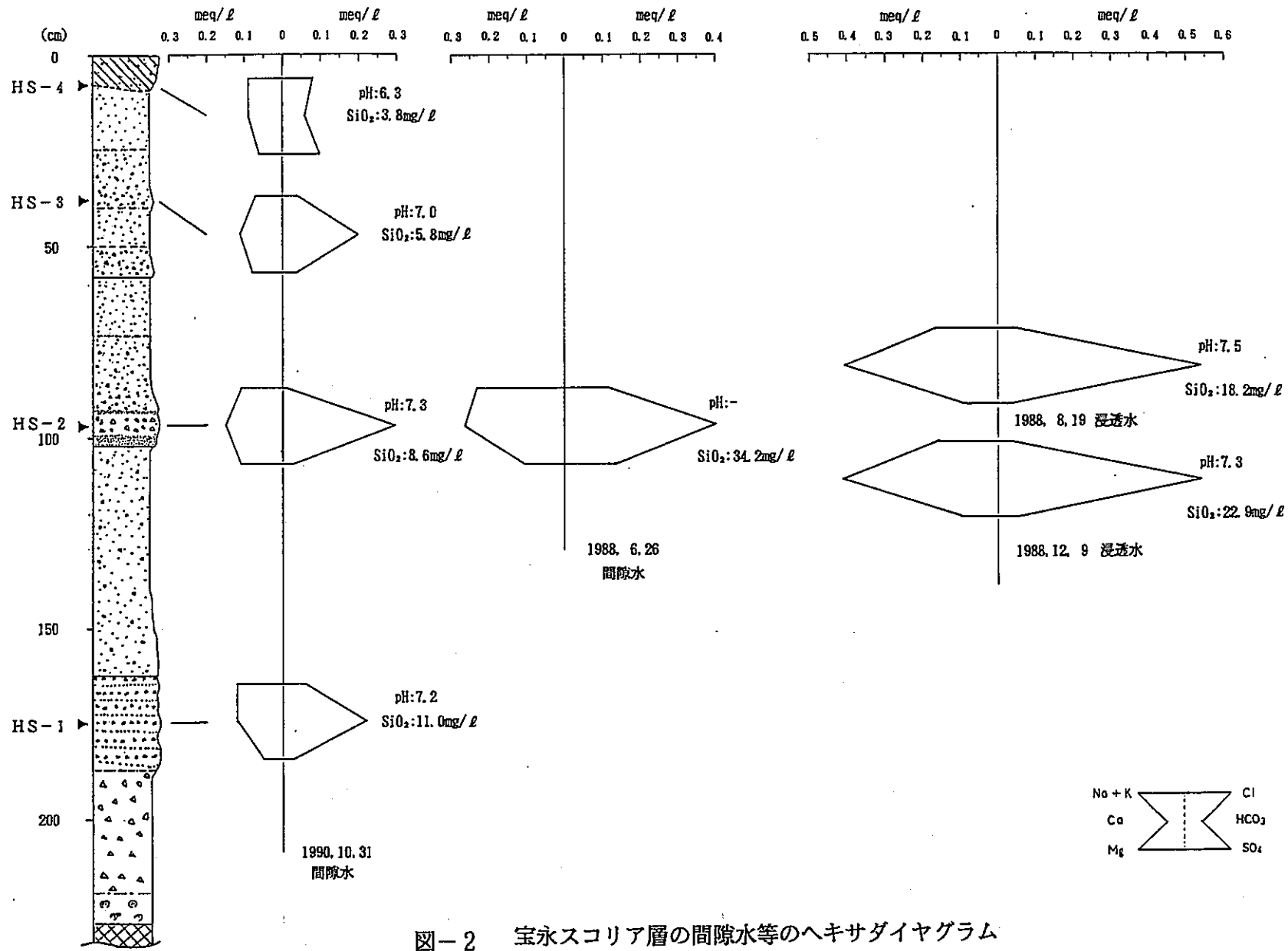


図-2 宝永スコリア層の間隙水等のヘキサダイアグラム

meq/l 1.0 0.8 0.6 0.4 0.2 0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 meq/l

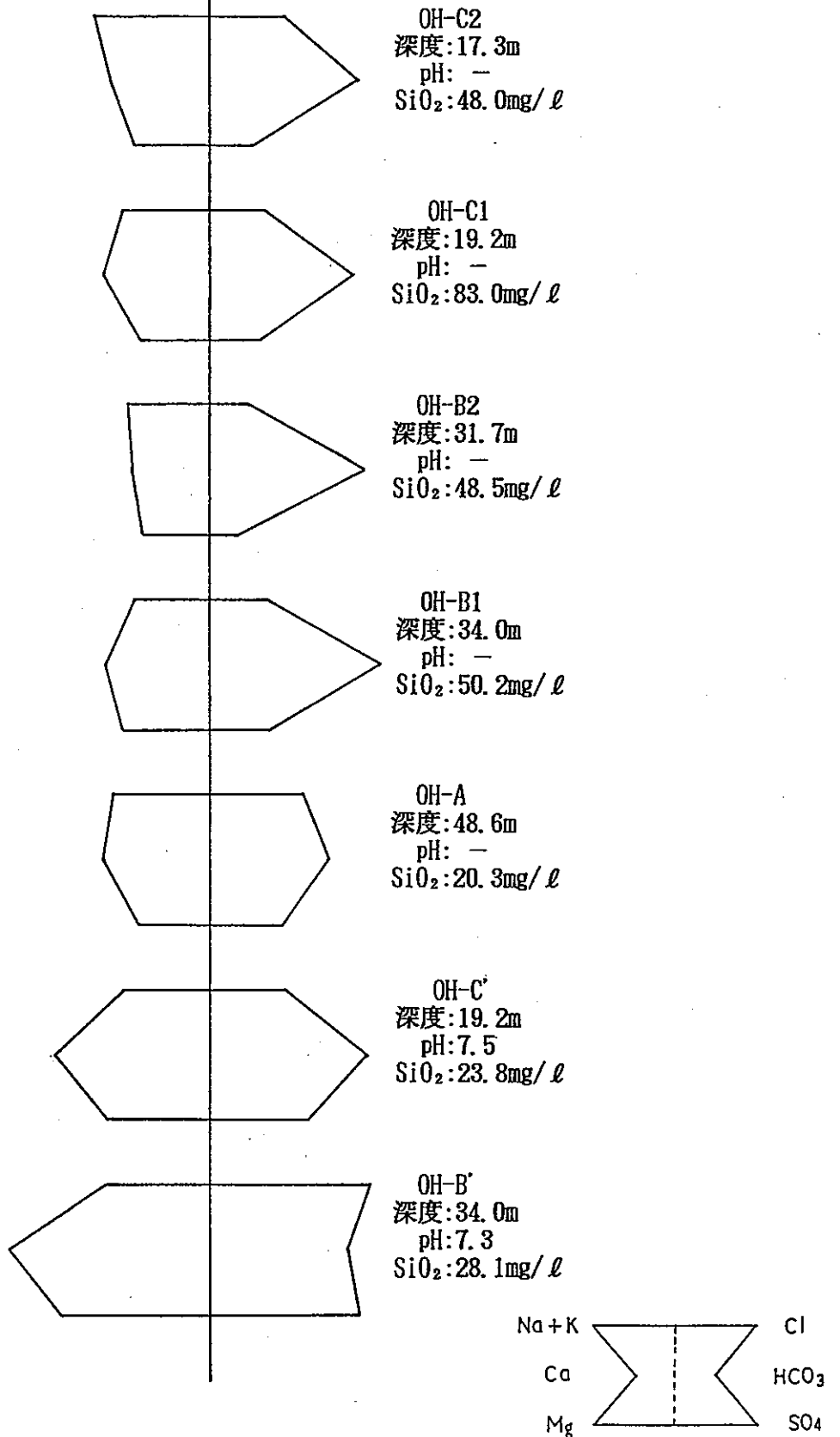
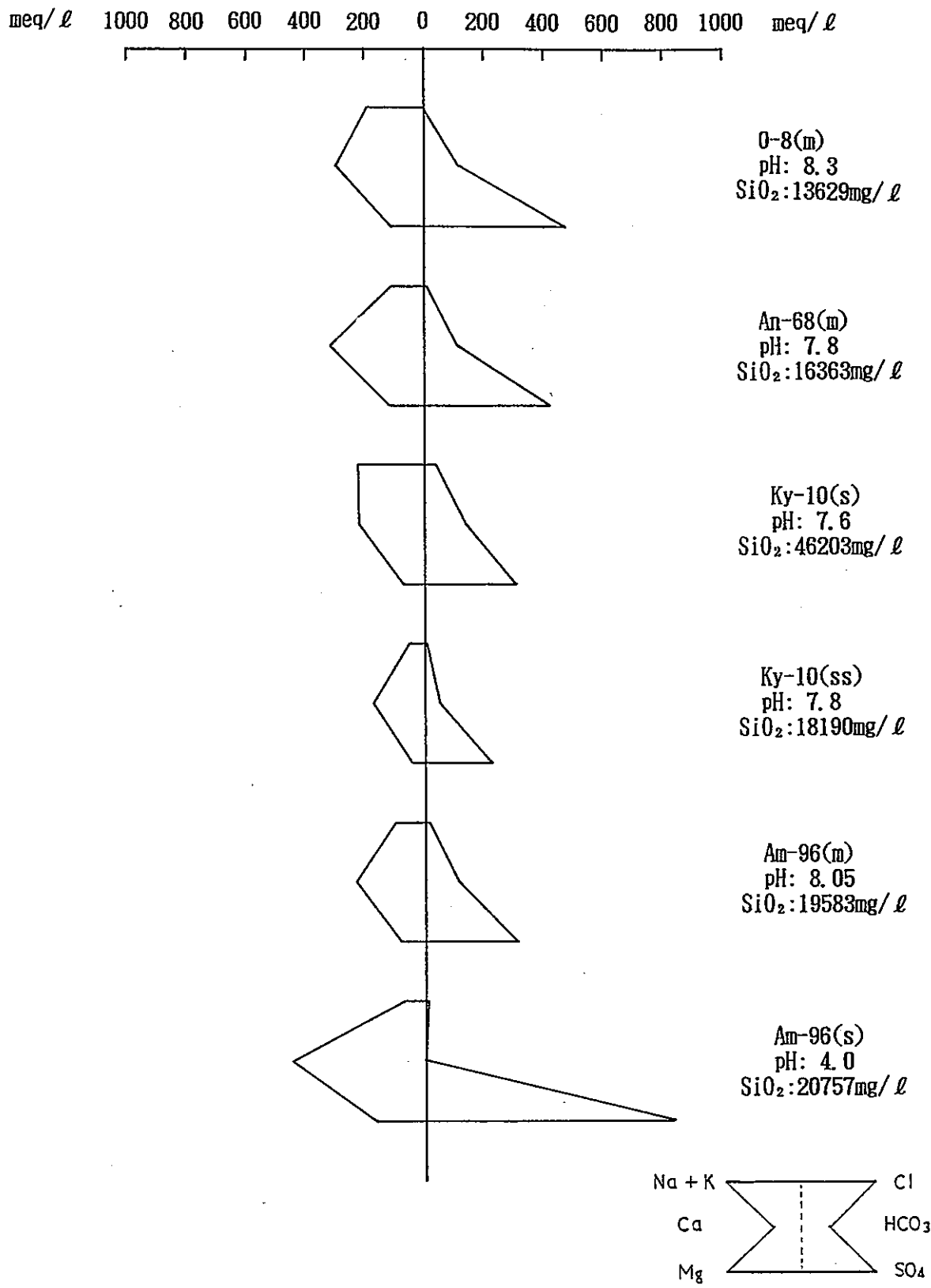


図-3 高塚山産スコリアの間隙水のヘキサダイアグラム



() 内の m, s, ss はそれぞれ泥質岩, スコリア凝灰岩, 砂岩を示す。

図-4 南房総鴨川の泥質岩・砂岩及びスコリア凝灰岩の間隙水のヘキサダイヤグラム

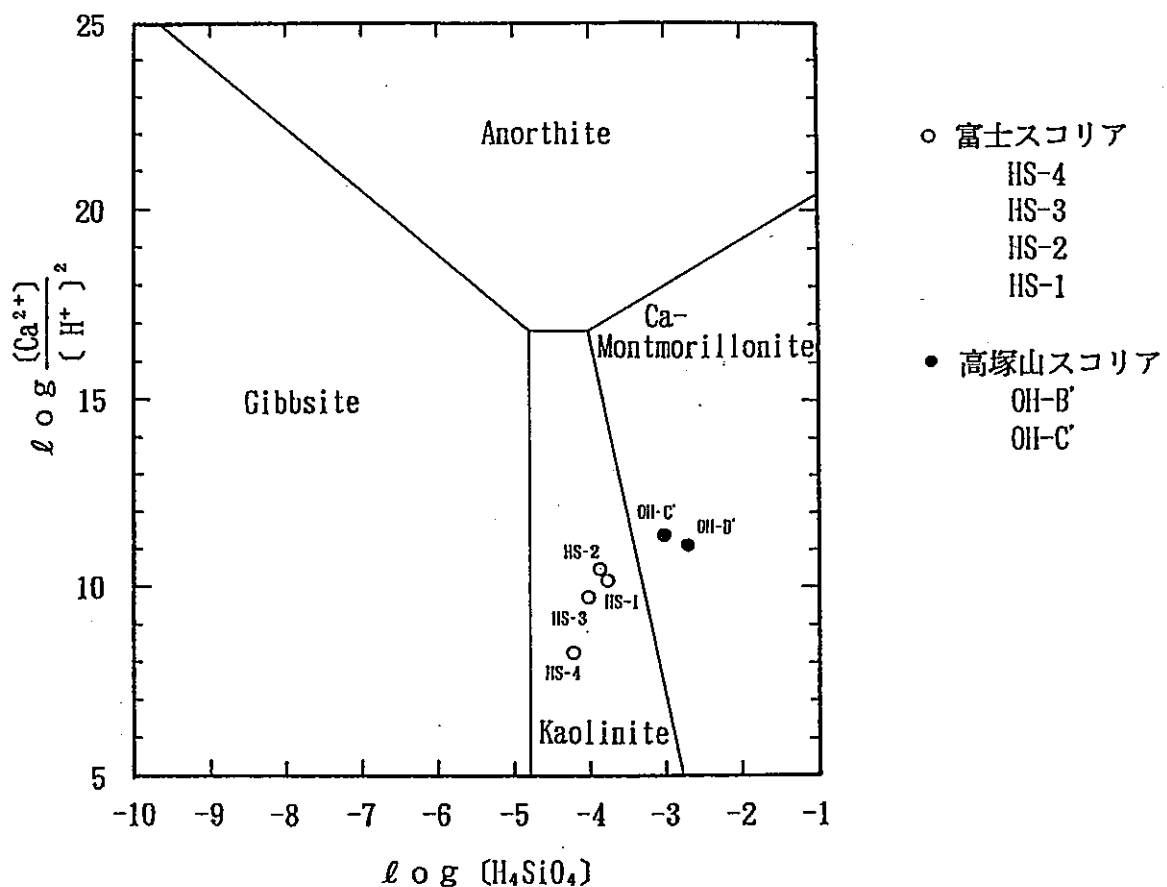


図-5 スコリア間隙水の $[H_4SiO_4]$ と $[Ca^{2+}] / [H^+]^2$ の関係図
 Tardy (1971) のFig. 3より引用した。

現在の地下水の水質は一部を除き $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$ 形を示しており、今年度の分析結果とは大きく異なっている。今年度の間隙水の採水に希釈法を用いていることと、試料中に黄鉄鉱が含まれることから、本来の間隙水の性質みるためには分析値から SO_4^{2-} 及び Ca^{2+} 、 Mg^{2+} を差し引く必要がある。その結果による水質は $\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^-$ 型を示した。

4.2 南房総鴨川のスコリアの変質温度

南房総鴨川地域のスコリアの変質温度を把握するために、自生鉱物の分布を用いた古地温の推定を試みた。イライトや緑泥石が含まれる試料を検討の対象から除くとAm-96の層準付近の凝灰岩に初めて石英が出現し、ガラスから石英が生成する温度を69℃とし海底上の温度を4℃すると、長沼不整合からAm-96の層準までの層厚約3600mとから、約1.8℃/100mという古地温勾配が算出された(図-6参照)。この地温勾配は現在の地温勾配とほぼ一致し、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。

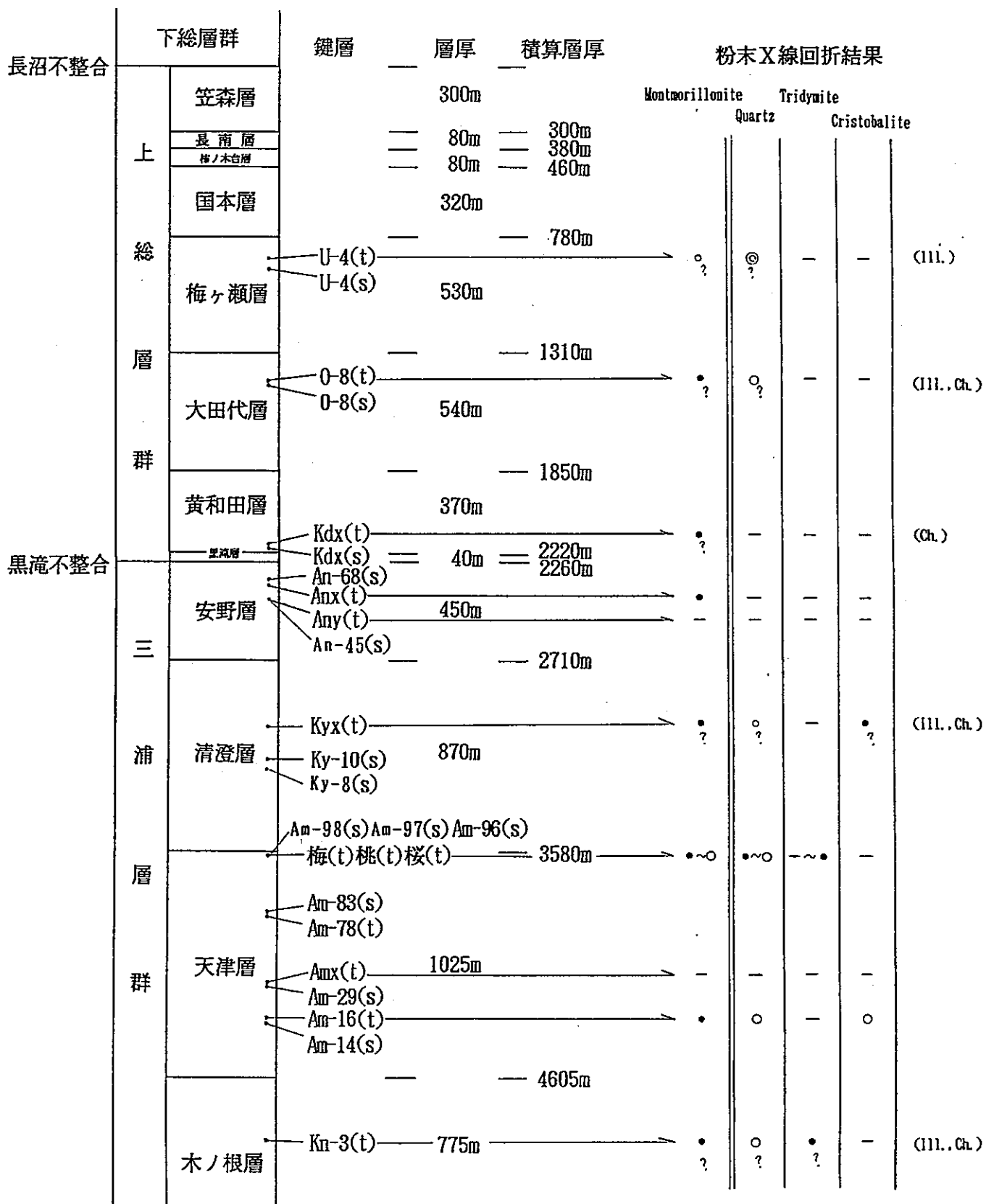
4.3 南房総鴨川のスコリアの変質層

スコリアのX線回折分析結果においては、水ひ試料中にモンモリロナイトが認められている。薄片の顕微鏡観察結果において変質層が認められた試料の中には、X線回折分析において変質鉱物が認められなかったものがあることから、スコリアの変質層を構成する物質としては、モンモリロナイト及び非晶質シリカが考えられる。

また、泥岩中に点在するスコリアについてみると、変質が認められたスコリア凝灰岩よりとほぼ同層準の試料ではスコリアに変質が認められず、より下位の層準において変質が認められることから、泥岩中の方がスコリアガラスの変質が抑制されていると考えられる。

5. 問題点と今後の課題

高塚山スコリアについては、切取り法面からの直接の浸透水の影響を排除することができた。しかし、K-Ar法を用いた絶対年代測定では測定限界以下であったため、年代値を得ることができなかった。今後、高塚山スコリアの年代を求めるとするならば、多量のスコリアからジルコンを分離し、フィッシュン・トラック法による年代測定を実施する以外にないと考えられる。



() 内のs, tはそれぞれスコリア凝灰岩, 凝灰岩を示す。

図-6 粉末X線回折結果と採取層準

南房総鴨川スコリアについては、今後スコリアの変質層準の上限を把握するために、より多く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。

II. ペントナイト編

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までに実施されてきたペントナイトのナチュラル・アナログ研究を引継ぎ、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、地表踏査、試料の採取、室内分析、年代測定を行った。

2. 調査地の概要

調査対象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。調査対象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。

調査対象地域の層序と地質概要を表-12に、地質図を図-7に示す。

表-12 調査対象地域の地質層序表

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	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+
		葡萄泥岩部層	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	
		天井山層	安山岩、安山岩質火山礫凝灰岩。	?	
		葡萄層	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。		

調査対象地域及びその周辺には先新第三紀の花崗岩類を基盤とし、新第三紀の火山岩類、火山砕屑岩及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から

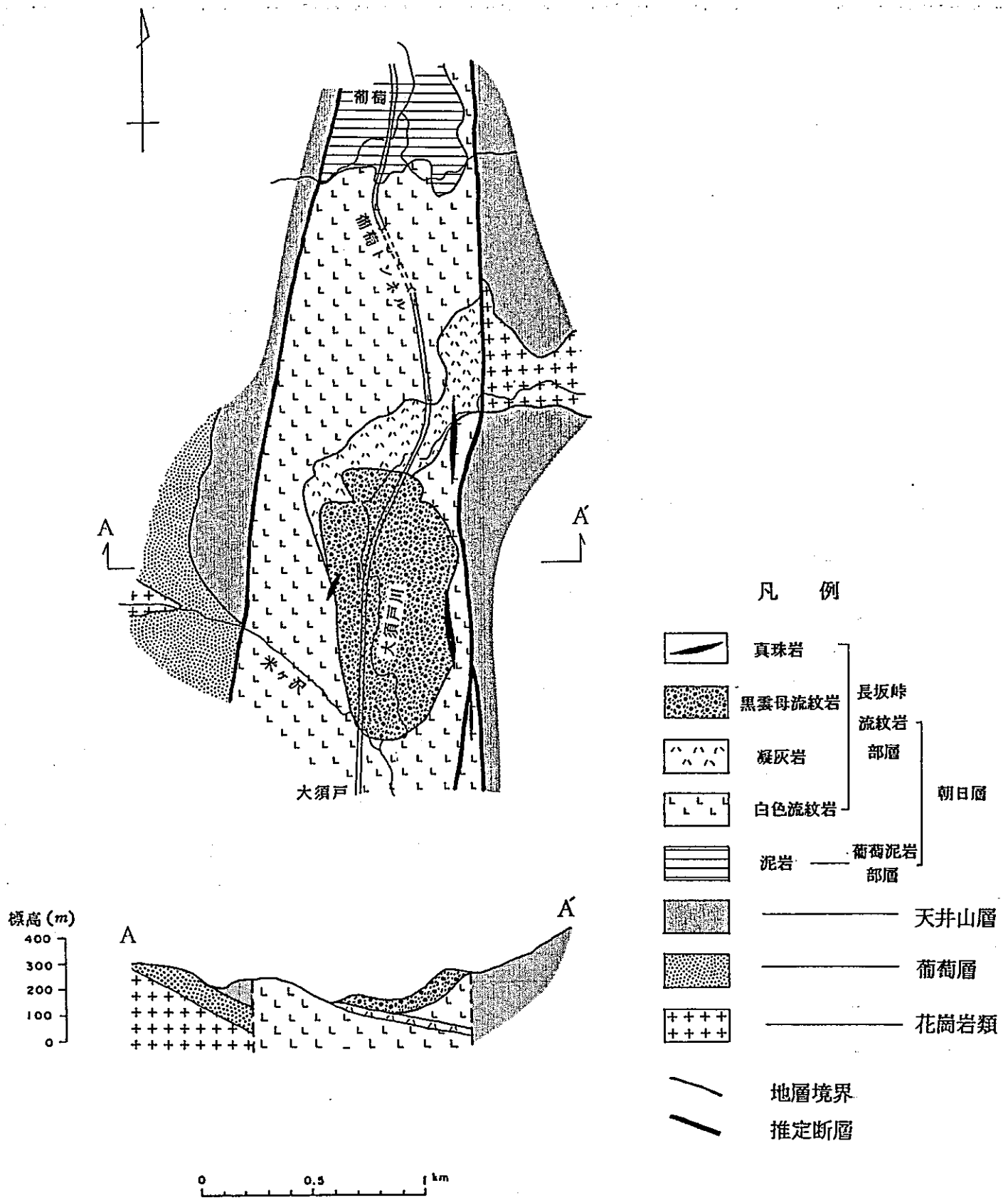


図-7 地質図 (村上地区)

、葡萄層、天井山層、朝日層の3層に区分されている。これらの地層のうち、調査対象地域には主として朝日層が分布している。

朝日層は、当地域では葡萄泥岩部層及び長坂峠流紋岩部層と称されており、長坂峠流紋岩部層は下位から白色流紋岩層、凝灰岩層、黒雲母流紋岩層の3層に細区分されている。また、長坂峠流紋岩部層中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。

葡萄泥岩部層およ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。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および凝灰岩層は北西部で南東に20～40°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～東に傾斜した構造を成している。

凝灰岩層の黒雲母流紋岩との接触部付近は厚さ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なるが、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。セリサイト鉱床は、この粘土化帯に胚胎している。

3. 室内分析および年代測定

3.1 試料の概要

村上地域の試料及びそれぞれの試料の分析内訳を一覧表にして表-13に示し、試料採取位置を図-8に示す。

採取した試料について、現場密度試験、密度試験、含水比測定、真比重測定、X線回折分析、絶対年代測定、微化石分析を実施した。

表-13 村上地域採取試料の分析内訳

試料番号	X線回折	微化石分析	FT年代測定	湿潤密度	乾燥密度	含水比
50-4-②	○			○	○	○
A-1-①				○	○	○
A-1-⑩				○	○	○
B-1-①				○	○	○
B-1-②				○	○	○
B-3				○	○	○
B-5				○	○	○
B-6		○		○	○	○
D-2	○					
D-2V	○					
E-2	○					
E-2M		○				
E-3	○					
E-4	○					
E-5	○					
T-1			○			
T-2			○			

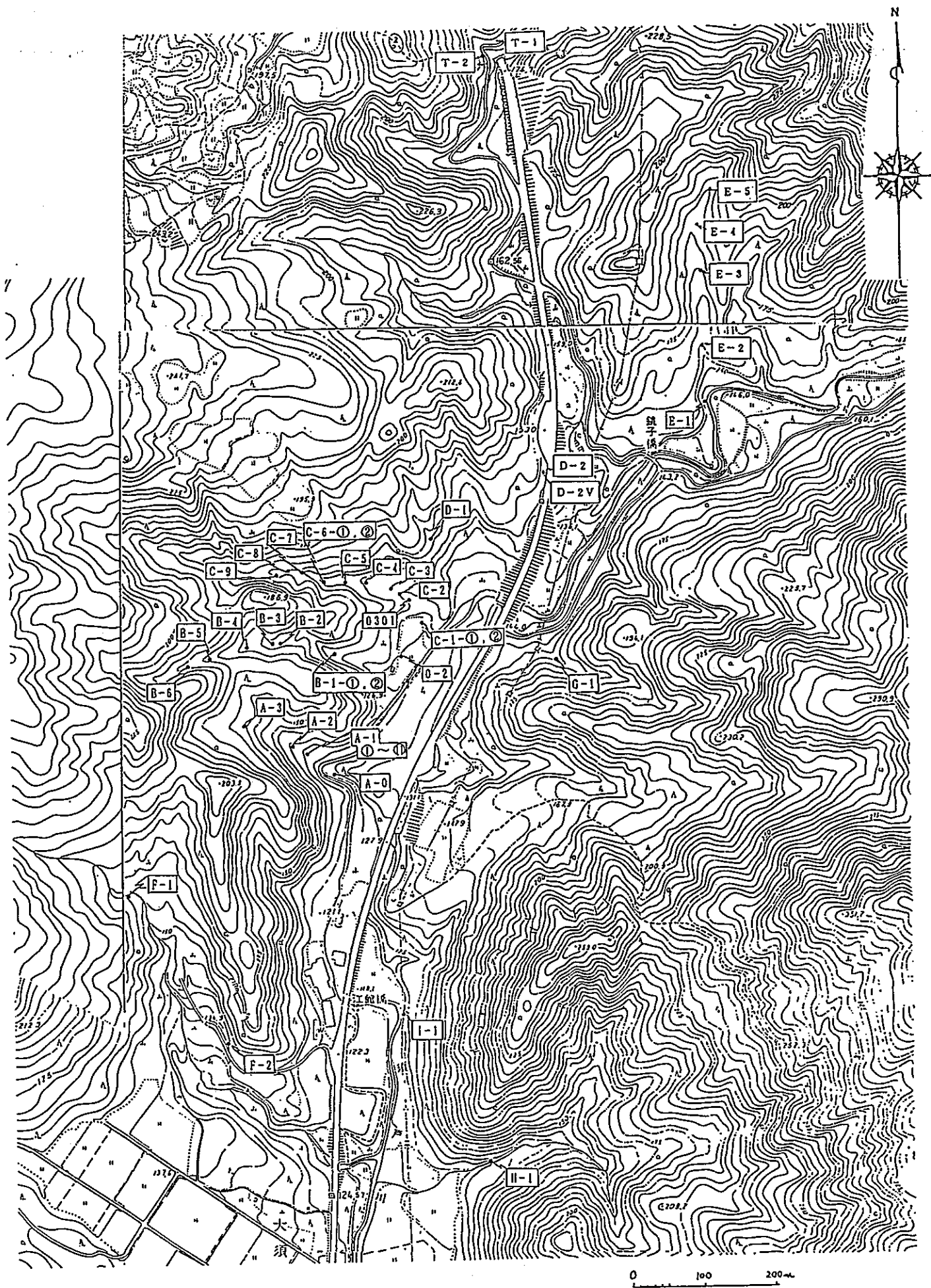


图-8 試料採取位置図

3.2 分析・試験結果

3.2.1 含水比測定

各試料の測定結果をまとめて表-14に示す。

表-14 密度試験・含水比測定結果一覧表

試料名	湿潤密度 g/cm ³	乾燥密度 g/cm ³	含水比 (%)
50-4-②	2.011	1.639	22.6
A-1-①	1.775	1.382	28.4
A-1-⑩	1.857	1.237	50.1
B-1-①	1.751	1.182	48.2
B-1-②	1.847	1.324	39.5
B-3	1.933	1.530	26.3
B-5	1.863	1.451	28.4
B-6	1.802	1.412	27.7

3.2.2 X線回折分析

X線回折分析結果によって得られ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とに分けて、それぞれ図-9と図-10に示す。

3.2.3 絶対年代測定

絶対年代測定結果を前年度までに実施されたデータとあわせて表-15及び図-11に示す。白色流紋岩の年代値については、前年度までの結果が 5.9~6.7Ma. (フィッシュ・トラック年代)であったのに対し、今年度の結果は 6.5~6.7Ma.と同様の測定結果であった。また、凝灰岩の年代値については、前年度までの結果が 5.5~6.5Ma. (フィッシュ・トラック年代)であったのに対し、今年度の結果は 6.8Ma. とほぼ同様の測定結果であった。

3.2.4 微化石分析

B-6 試料 (凝灰岩) からは、珪藻化石は全く検出されなかった。昨年度に、薄片中に認められた珪藻あるいは珪藻様微化石は 2 次的に変質もしくは置換されたため、分離・抽出ができなかったとも考えられる。

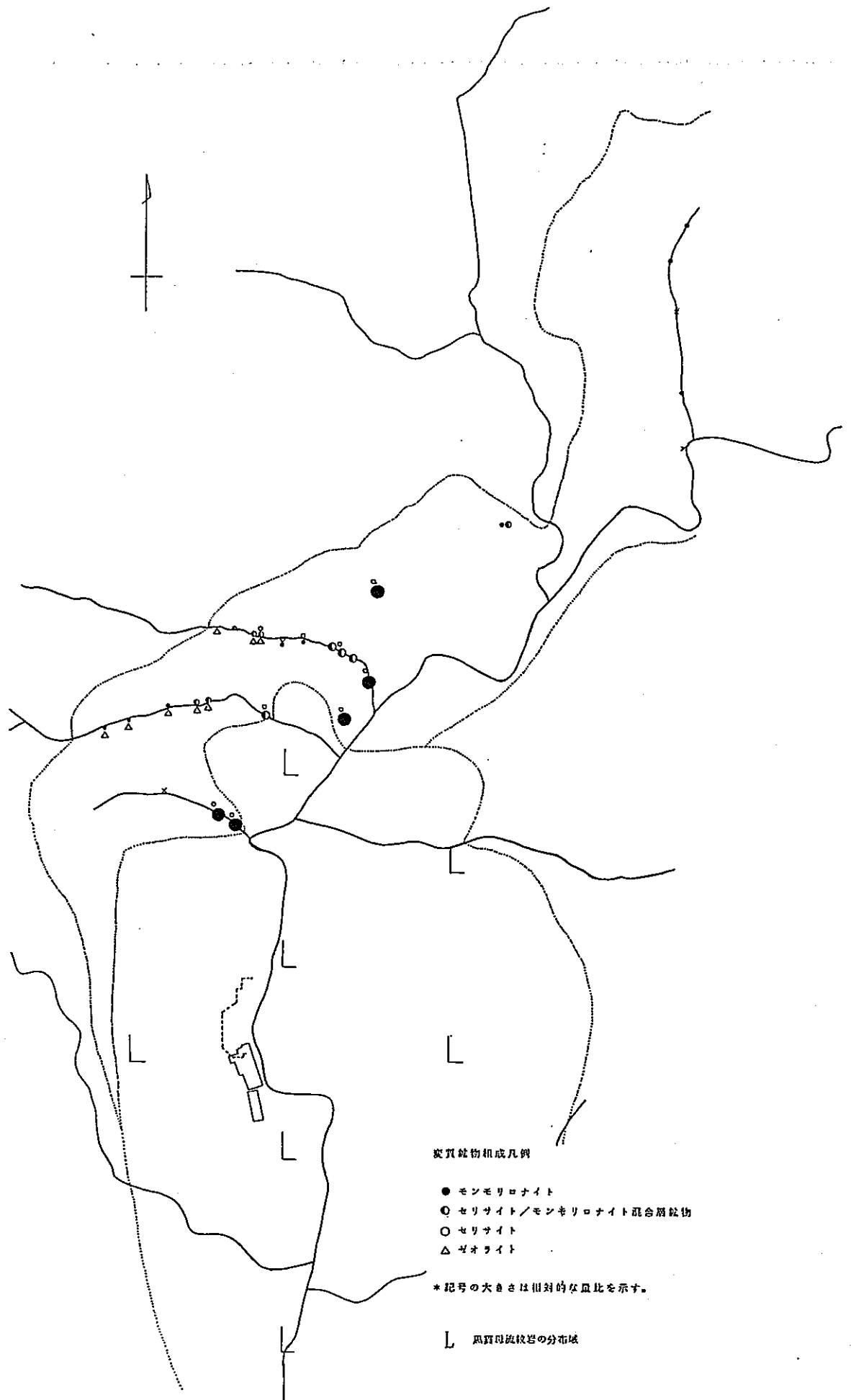
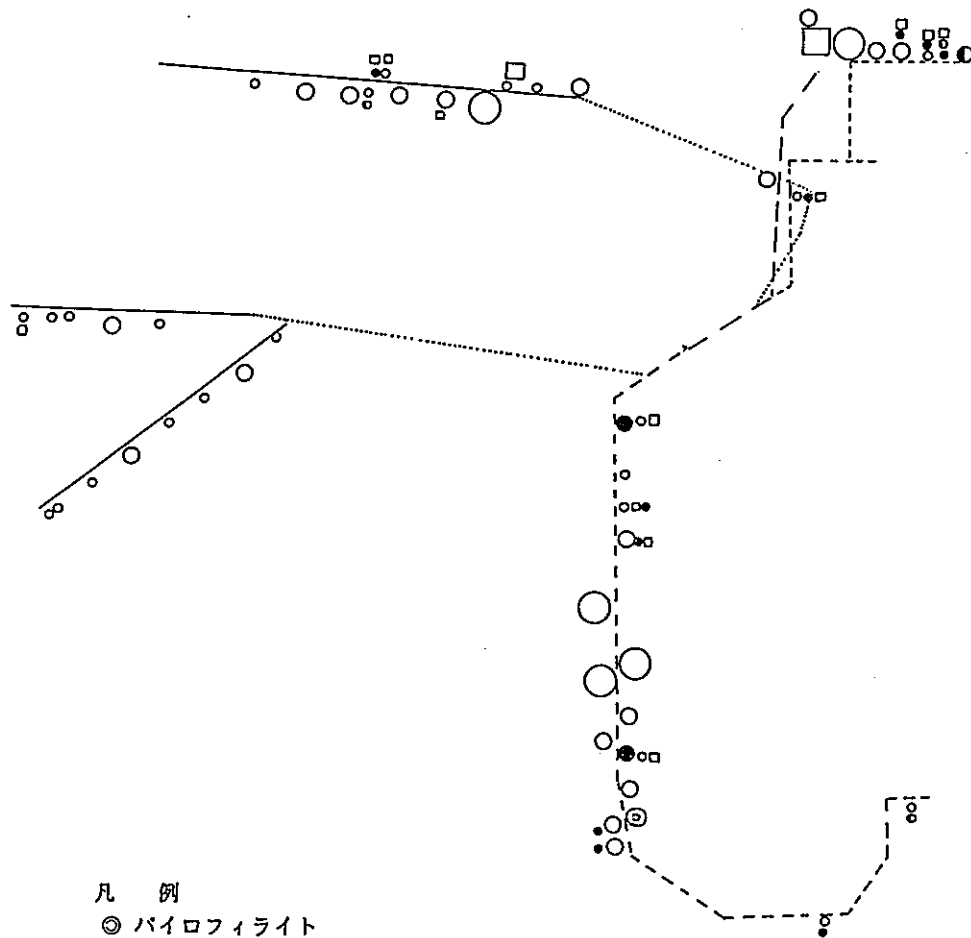


図-9 変質鉱物の分布



- 凡 例
- ◎ バイロフィライト
 - セリサイト
 - セリサイト/モンモリロナイト混合層鉱物
 - モンモリロナイト
 - カオリナイト

記号の大きさは相対的な量比を示す。



図-10 変質鉱物の分布 (坑内およびボーリング試料)

表-15 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
黒雲母流紋岩体	R-1	5.4±0.4	5.6±0.3[bi] 4.7±1.7[pl]	6.2±0.8 *
	A-0	5.5±0.4	5.4±0.3[bi] 5.7±2.6[pl]	
	H-1	5.0±0.4	—	
真珠岩	F-2	5.6±0.4	—	—
変質岩	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])	—
	A-1	6.6±0.4	—	—
	O-1	7.3±0.4	—	—
	C-1	6.3±0.4	—	—
	B-1	6.4±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	—	—
凝灰岩	A-3	6.1±0.4	—	—
	E-1	6.5±0.3	—	—
	E-5	6.8±0.3	—	—
白色流紋岩	F-1	6.7±0.4	—	—
	G-1	5.9±0.4	—	—
	T-1	6.5±0.3	—	—
	T-2	6.7±0.3	—	—

* : 全測定値を用いたアイソクロンから求めた。
 () : 不純物少量含む。

注) FT:フィッショントラック法
 K-Ar:カリウム-アルゴン法
 Rb-Sr:ルビウム-ストロンチウム法
 bi: 黒雲母
 pl: 斜長石
 se: セリサイト

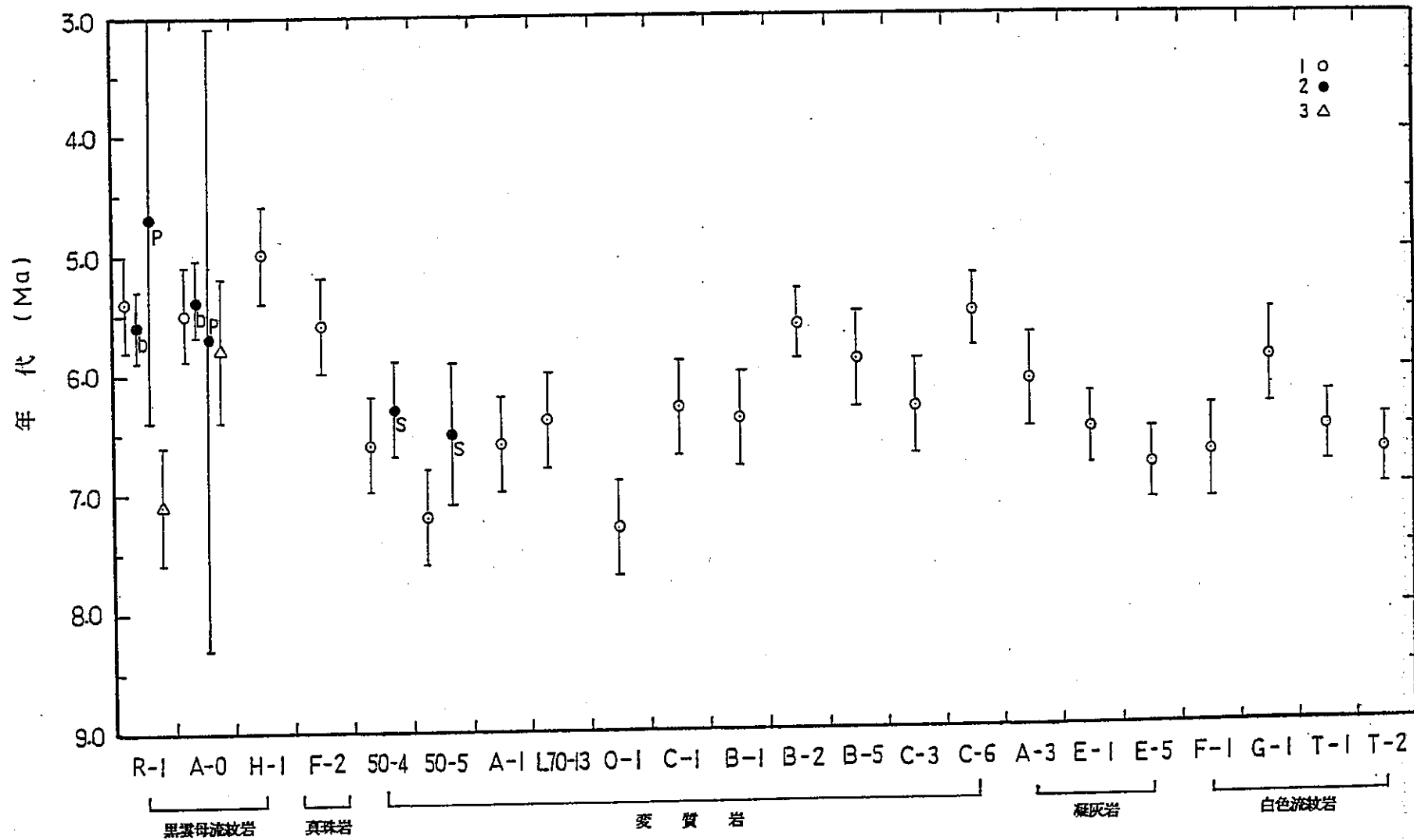


図-11 年代測定結果総括図

1:FT 2:K-Ar (b:黒雲母, p:斜長石, s:セリサイト) 3:Rb-Sr

E-2M試料(泥岩)からは比較的多くの珪藻化石が検出された。このE-2M試料の化石帯は、絶滅種である*Neodenticulakamtschatica*及び*Thalassiosira antiqua*が産出し、*Neodenticula koizumii*と*Rouxia californica*を伴わないことからAkiba(1985)の北太平洋中高緯度地域の新第三系珪藻化石帯(NPD)の*Neodenticula kamtschatica* Zone(NPD7B)帯と認定される。NPD7B帯は、後期中新世後期～前期鮮新世(6.2~3.2Ma.)に相当している(図-12参照)。

なお、いずれの試料にも、有孔虫化石および石灰質ナンノ化石は検出されなかった。

4. 考察

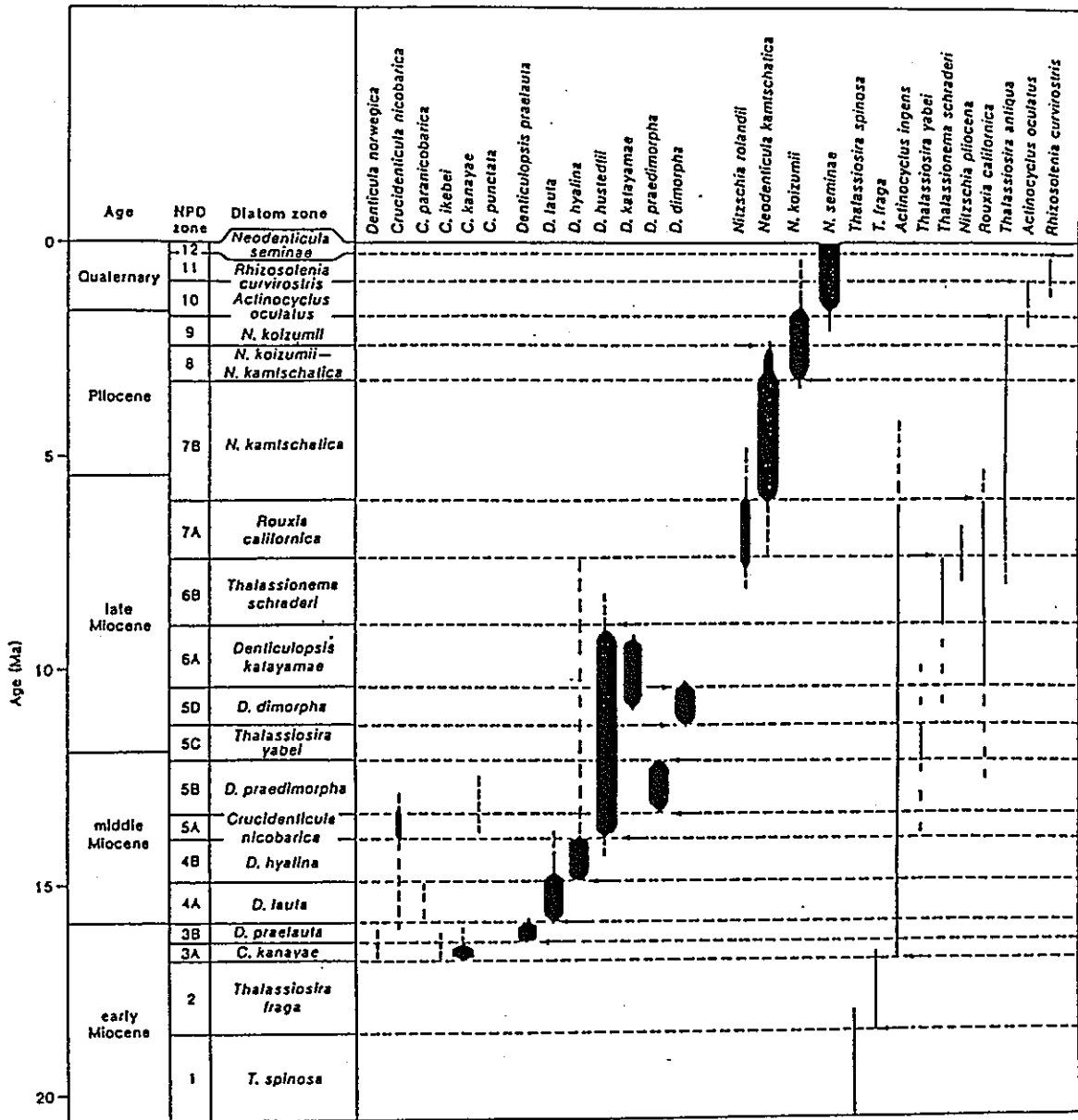
前年度までに得られた結果に、今年度の結果を加味して、以下にセリサイト鉱床及びその周辺の変質帯について考察する。

4.1 変質帯

調査地域に分布する変質帯は変質鉱物の組合せから次の7つに分帯される。

- ①結晶度の良いモンモリロナイトを主体とする高結晶度のモンモリロナイト帯
- ②セリサイト/モンモリロナイト混合層鉱物を少量含むセリサイト/モンモリロナイト混合層鉱物帯
- ③結晶度の良くないモンモリロナイトとゼオライトを少量含む低結晶度のモンモリロナイト帯
- ④パイロフィライトを主体とするパイロフィライト帯
- ⑤セリサイトを主体とするセリサイトA帯
- ⑥セリサイトを主体とするが⑤よりも相対的に含有量が少ないセリサイトB帯
- ⑦モンモリロナイト、カオリナイト及びセリサイトから成るセリサイトC帯(セリサイト/モンモリロナイト混合層鉱物が認められる場合もある)

上記①~⑦のうち①~③は地表で、④~⑦は坑内及び坑内で実施されたボーリング・コアに認められる。そして、これらの分布をみると、地表では黒雲母流紋岩に近い方から①→②→③の順に配列しているが、坑内の④~⑦を分帯することは困難である。この坑内を全体としてセリサイト帯とし、一部にパイロフィライト帯が存在すると考えると地表と坑内の各変質帯を黒雲母流紋岩の中心から周辺部の順に並べると以下のようなになる。



北太平洋中高緯度地域の新第三系珪藻化石帯 (NPD) と主な示準化石の生層序分布 Denticulopsis属やこれに関係した属の線の幅は、各時代における大まかな頻度分布を示す。矢印は、帯の境界を定義するための基準面を示す (Akiba 1985 による)。

図-12 珪藻化石同定結果図

- I. パイロフィライト帯 (④) (I帯)
- ↓
- II. セリサイト帯 (⑤, ⑥及び⑦を含む) (II帯)
- ↓
- III. 高結晶度のモンモリロナイト帯 (①) (III帯)
- ↓
- IV. セリサイト/モンモリロナイト混合層鉱物帯 (②) (IV帯)
- ↓
- V. 低結晶度のモンモリロナイト帯 (③) (V帯)

上記の変質分帯を変質程度から判断すると、I帯からV帯までの分帯が一連の変質作用により形成されたとは考えにくく、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区別されるべきものと考えられる。

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、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、さらに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。

4.2 年代

前述したように、白色流紋岩及び変質母岩である凝灰岩の堆積年代、変質作用に関与したと考えられる黒雲母流紋岩体の貫入年代、変質岩の生成年代ともほとんど同時期（約 5.5～6.5 Ma, 後期中新世後期）であることと、層序を考慮すると、調査地の地史は次のように考えることができる。すなわち、約 650万年前に、

- ①白色流紋岩の活動とこれに伴う凝灰岩の堆積
- ②黒雲母流紋岩体の貫入
- ③変質帯の形成

という順に地質現象が起こったものと考えられる。

4.3 熱水の化学組成について

凝灰岩から生成した各変質岩中の化学組成を比較することで、変質に関与した熱水の化学組成について検討した。

凝灰岩から生成した各変質岩中の化学分析結果のうち、含水比測定を実施した試料について、個々の値を総計 100% に換算しなおし、さらに、個々の値を一定体積あたりの重量 (g/100cm³) に換算し、最後に、この重量を酸化物から元素に換算したものを表-16 に示し、この値と試料の関係を図-13 に示す。

50-4-②から A-1-⑩までを熱水変質の領域、B-1-①から B-6までを熱変質の領域としてみると、

- ・熱水変質の領域では、黒雲母流紋岩に近い方が Si, Al に富む
- ・熱変質の領域では、黒雲母流紋岩から遠いほうが Si, Al に富む
- ・Mg, Ca, Na の量には顕著な変化を認められない

これらのことから、熱水は Si, Al に富み、火成活動末期のものであって海水的なものではないと考えられる。また、全試料を通じて Mg の量に顕著な変化が認められないことから、Mg を基本構成要素とするフェリエライトの Mg の起源は、熱水から付加されたものとは考えにくく、本来岩石中に含まれていた Mg を取り込んだものと考えられる。

以上のことを総合すると、調査地域に侵入した熱水は、高温、酸性で、Si, Al に富む酸性火成活動末期のものであるとまとめることができる。

4.4 変質帯の生成モデル

以上述べたことを総括すると、図-14 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 6.4Ma とし黒雲母流紋岩体が 200℃までに冷却された年代をそのフィッシュン・トラック年代の平

表-16 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

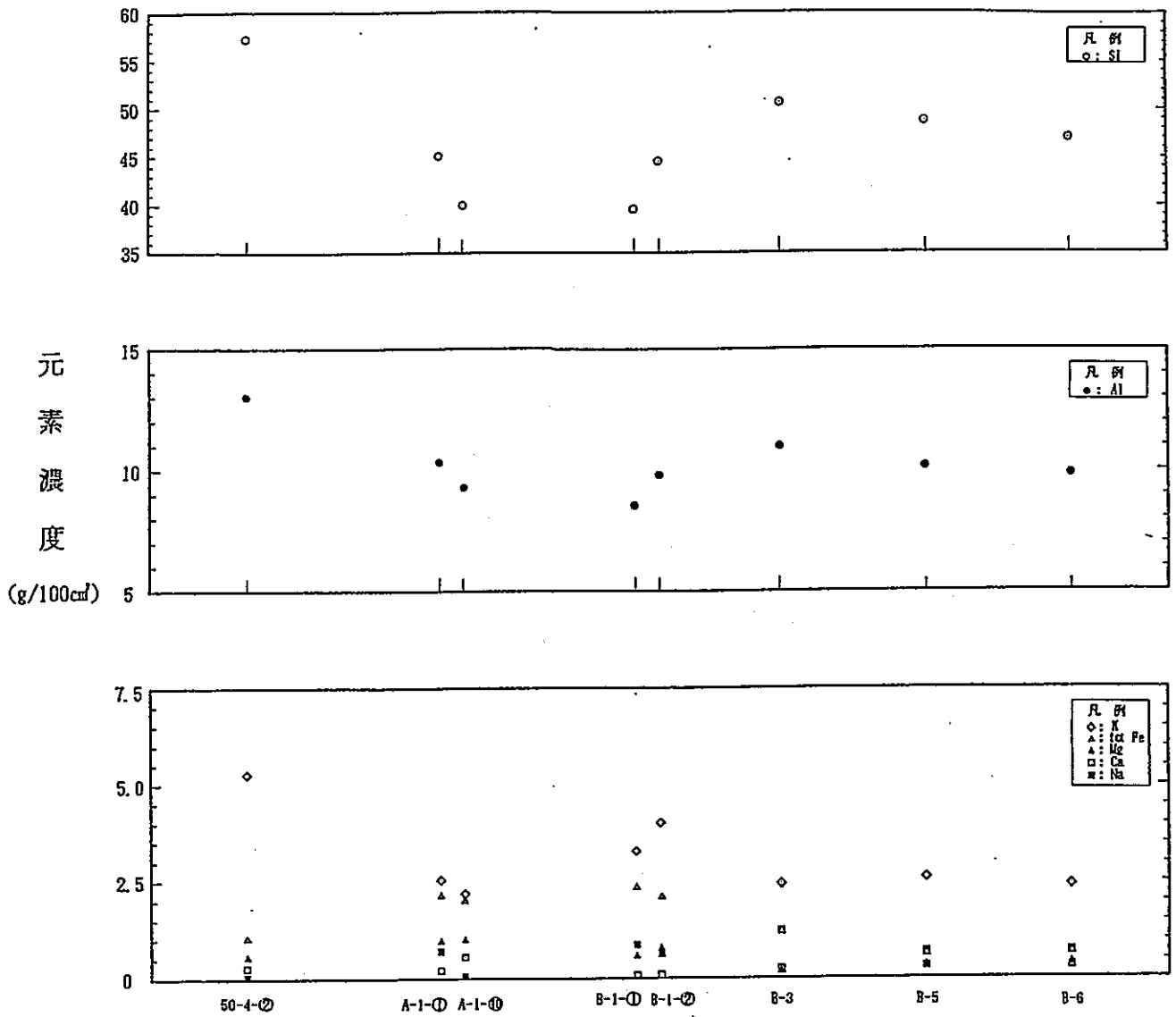
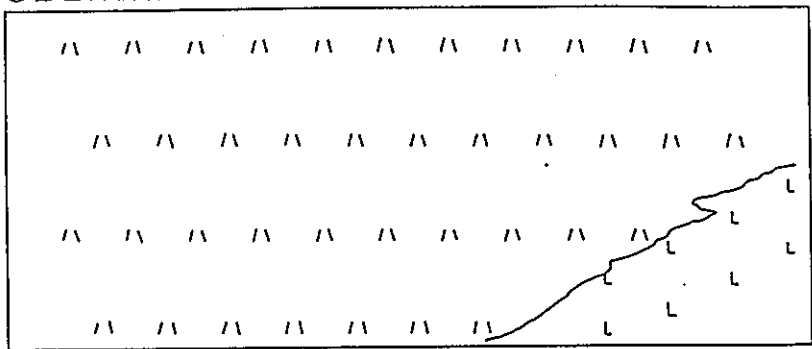
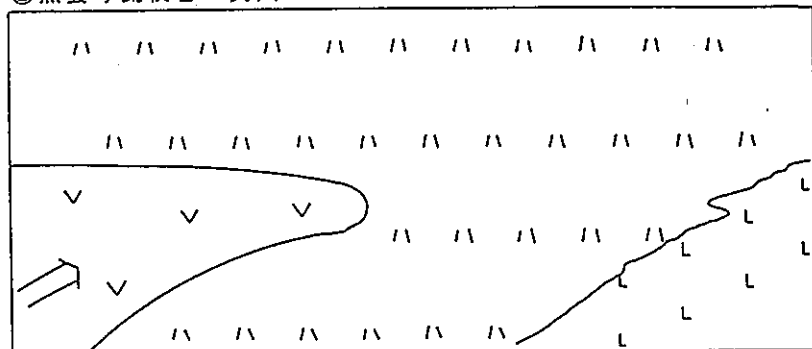


図-13 各試料における単位体積中の元素濃度

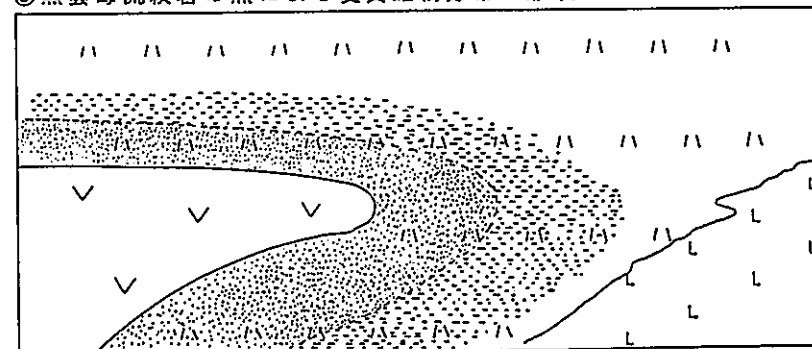
① 白色流紋岩の活動とそれに伴う凝灰岩の堆積



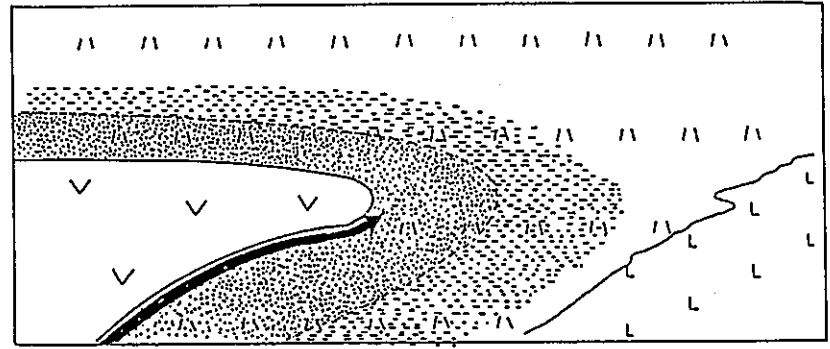
② 黒雲母流紋岩の貫入



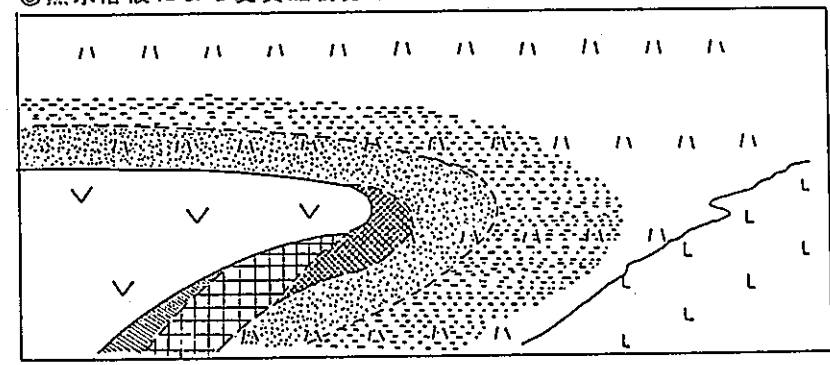
③ 黒雲母流紋岩の熱による変質鉱物分帯の形成



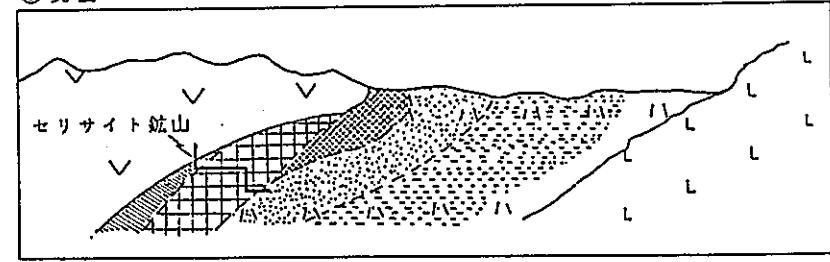
④ 黒雲母流紋岩に沿って酸性の熱水溶液が侵入



⑤ 熱水溶液による変質鉱物分帯の形成



⑥ 現在



- | | | | |
|----|-----------------|-----------|--------------------|
| LL | 白色流紋岩 | 点状と格子状の混合 | モンモリロナイト/セリサイト混合層帯 |
| △△ | 凝灰岩 | 格子状 | モンモリロナイト帯[高結晶度] |
| V | 黒雲母流紋岩 | 格子状 | セリサイト帯 |
| 点状 | モンモリロナイト帯[低結晶度] | 斜線 | アノフィライト帯 |

注) 縮尺は考慮されていない。

図-14 変質帯形成モデル

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℃以上の残熱を有していたと推定される。

5. 問題点と今後の課題

現在までの調査によって、本鉱床の成因等についてはかなり明らかにされたと考えられるが、問題となる貫入岩体および周辺地域の三次元的な構造は、地表資料および限られた坑内資料に基づいている。より精密な本鉱床の調査・研究には、より詳しい各層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が必要と考えられる。

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。