

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 (VII) 概要

(動力炉核燃料開発事業団 委託研究成果報告書)

技術資料		
開示区分	レポート No.	受領日
区	J1308 94-001	1994, 7, 6
この資料は技術管理室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です 動力炉・核燃料開発事業団 技術協力部技術管理室		

1994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

火山ガラス及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、287年前に噴出した富士宝永スコリアガラス、10数万年前に噴出した伊豆高塚山スコリア、房総半島茂原ガス田に分布する鮮新世から前期更新世の地層に挟在するスコリア、そして兵庫県神鍋山火山のスコリアを対象に年代、スコリアガラスの変質、そして変質に関与した地下水の水質について調査した。

高塚山では、火山弾を用いてK-Ar法による年代測定を試みたが、アルゴンの同位体比が大気に近いため年代値は得られなかった。房総半島茂原ガス田に分布する鮮新世から前期更新世の地層に挟在するスコリアの変質をボーリング・コアを用いて顕微鏡観察を行ったところ、一部の試料を除き、未変質のまま保存されていることが判明した。神鍋山火山起源のスコリアの変質に関与した地下水の水質は、Na-Cl型（溶存成分量0.43~2.51meq/l）であった。

ベ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、粘土及び凝灰岩の化学特性を分析・試験し、緩衝材に対する類似性を調査した。また、山形県鶴岡地域の酸性白土鉱床及び島根県大田市北部地域のベントナイト鉱床について現地調査及び分析を行った。

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、次のように分帯した。

- 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。

山形県鶴岡地域では、酸性白土鉱床を胚胎する凝灰岩中に火成岩岩脈が貫入している露頭を確認することができたが、岩脈付近にセリサイト化あるいはセリサイト/モンモリロナイト混合層鉱物化を認めることができなかった。

島根県大田市北部地域では、ベントナイト鉱床を胚胎する凝灰岩中に安山岩の岩脈が貫入している露頭を確認することができたが、岩脈付近にセリサイト化あるいはセリサイト/モンモリロナイト混合層鉱物化を認めることができなかった。

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：050D0187

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（間野 正）

*：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 技師長室

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 Fuji volcano, which were ejected 287 years ago.

A volcanic bomb from Izu-takatsukayama volcano are also examined with K-Ar dating method.

Additionally, boring core samples are collected in Mobarra gas field, which penetrated Miura Group (middle Miocene to middle Pliocene) and the Kazusa Group (middle Pliocene to middle Pleistocene), to examine the existence of alteration product on scoria glass.

Chemical analyses of pore water in the Kannabeyama volcanic succession indicate that they contain sodium chloride (dissolved component 0.43 ~ 2.51 meq/L).

For the study of bentonite, fundamental properties of clay and tuff from Murakami clay deposit were analyzed. Preliminary studies were done at Tsuruoka acid clay deposit in Yamagata Prefecture and Oda bentonite deposit 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 (III zone),
- IV. sericite/montmorillonite mixed layer mineral zone (IV zone), and
- V. low-crystallinity montmorillonite zone (V zone).

These alteration zones can be grouped into two according to their origin. The group 1 (IV and V zones) is a product of thermal alteration and the group 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

Results of chemical analysis of clay and tuff are used to compare with those of buffer materials.

At Tsuruoka area, volcanic dykes 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 contacts.

Also, at Oda area, a andesite dyke intruded into Oda clay deposit are observed. X-ray diffraction analysis shows that there is no evidence of sericitization in the clay deposit near the contact.

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 (Tadashi Mano)

* : 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 高塚山	1
2.3 南房総鴨川及び茂原ガス田	2
2.4 神鍋山	4
3. 分析・試験	4
3.1 分析・試験の概要	4
3.2 結果	4
3.2.1 絶対年代測定	4
3.2.2 間隙水の水質分析	4
3.2.3 岩石の化学分析	4
3.2.4 X線回折分析	9
3.2.5 顕微鏡観察	9
4. 考 察	9
4.1 神鍋山のスコリアの変質に関与した地下水の水質	9
4.2 茂原ガス田のスコリアの変質温度	9
4.3 茂原ガス田のスコリアの変質層	9
5. 問題点と今後の課題	12

II. ペントナイト編

1. 調査目的	13
2. 調査地の概要	13
2.1 村上	13
2.2 山形県鶴岡	15
2.3 島根県大田市北部	15
3. 室内分析	20
3.1 試料の概要	20
3.2 分析結果	20

4. 考 察	2 0
4.1 村上	2 0
4.1.1 年 代	2 0
4.1.2 変質鉱物分帯と変質帯形成史	2 5
4.1.3 熱水の化学組成について	2 6
4.1.4 村上地域の粘土, 凝灰岩試料の化学特性について	2 9
4.2 山形県鶴岡	2 9
4.3 島根県大田市北部	2 9
5. 問題点と今後の課題	3 1

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、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、さらに南房総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。そして、平成4年度には、房総半島の茂原ガス田に分布する鮮新世～前期更新世の地層に挟在するスコリアの変質に関与していると考えられる地下水の分析を実施した。

本年度の調査では、富士宝永スコリアの試料採取、高塚山火山噴出物の年代測定を試み、茂原ガス田に分布する鮮新世～前期更新世の地層に挟在するスコリアガラスの変質について調査するためにボーリング・コアを用いて室内分析を実施するとともに、兵庫県神鍋山火山起源のスコリアガラスの変質に関与していると考えられる間隙水の水質分析を実施した。

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層に区分されている（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、須走口登山道一合目付近では厚さ6m以上の層厚を有している。宝永スコリア層は暗灰色を呈する0.5～2cmの新鮮なスコリアを主体とし、最下部に厚さ数cm前後の黄白色の軽石層を伴っている。

2.2 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）の開析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た。

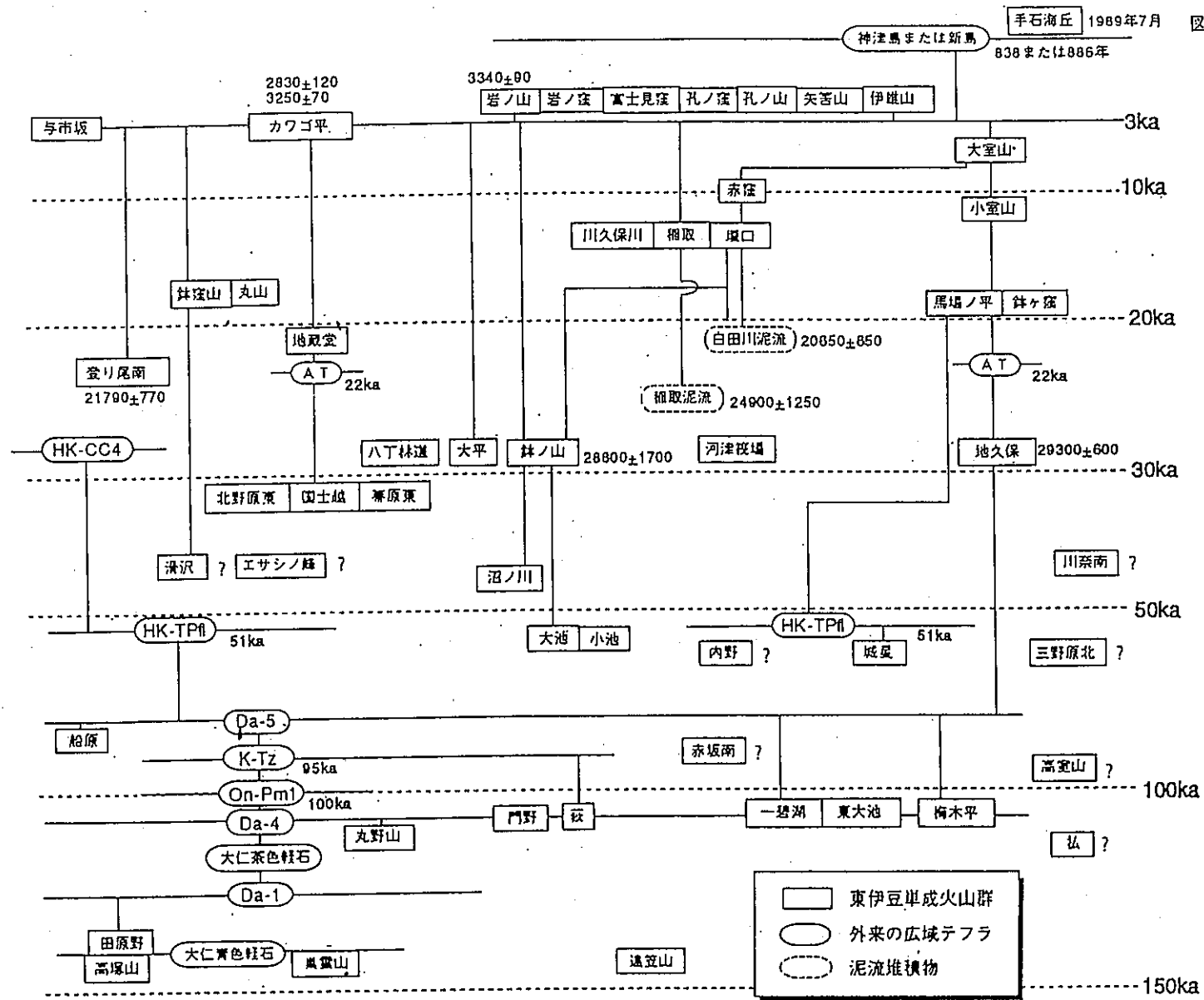
最近小山ら（1993）は、広域テフラの対比とレスクロメトリーの導入によって、これらの東伊豆単成火山群の活動史を検討し、高塚山火山の活動は10~15万年前頃であったとの見解を示している（図-1参照）。

2.3 南房総鴨川及び茂原ガス田

本地域は千葉県房総半島の南~南東部に位置している。陸のほとんどが300m程度までの丘陵山地からなり、本地域では北側の房総丘陵と南側の嶺岡山地があり、その間には加茂川に沿った加茂川低地がある。また、茂原の東~東北側には九十九里浜につながる低地がひろがっている。房総丘陵は、標高100~300m程度の低い丘陵地で、丘陵面は開析が進み、標高のわりには谷が急峻である。この房総丘陵上にほぼ東西に走る稜線が大きな分水嶺となっている。

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。

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及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



図：東伊豆単成火山地域に分布するテフラ（+溶岩流）の層序と年代。誤差を付した数字は、これまで報告されている¹⁴C年代（一部未公表）。

図-1 東伊豆単成火山地域に分布するテフラ層序と年代

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，笠森層と区分されている。

茂原ガス田付近の地質図を図-2に示し，茂原ガス田付近を通る地質断面図を図-3に示す。

2.4 神鍋山

神鍋山火山群は，丹後山地内の豊岡盆地の西側約15kmに位置し，北西-南東に延びた川沿いの盆地状の低地内にある。周囲は標高 650~1000m 程度の山地に囲まれている。

本地域の基盤岩は中新世の火山岩及び堆積岩類で，神鍋山火山群はアルカリ玄武岩質の単成火山群からなる。それぞれの火山はスコリア丘を形成し，このうちの神鍋スコリア層は，広域テフラの対比から約22,000年前~約 6,000年前に噴出したと推定されている。神鍋山火山周辺の地質図を図-4に示す。

3. 分析・試験

3.1 分析・試験の概要

高塚山の噴出物のうち，火山弾を試料としてK-Ar法による年代測定に供した。

茂原ガス田のボーリング・コアから得たスコリア，細粒凝灰岩，砂質岩，そして泥質岩試料の内訳を表-1に示す。また，試料を採取した孔井位置を図-5に示す。

神鍋山火山起源のスコリア試料については，間隙水の水質分析を実施した。

3.2 結果

3.2.1 絶対年代測定

高塚山の火山弾を分析した結果，アルゴン同位体比が大気のそれに非常に近いために，年代値を得ることができなかった。

3.2.2 間隙水の水質分析

神鍋山火山起源のスコリアから抽出した間隙水の水質分析結果を表-2に，ヘキサダイアグラムを図-6に示す。

3.2.3 岩石の化学分析

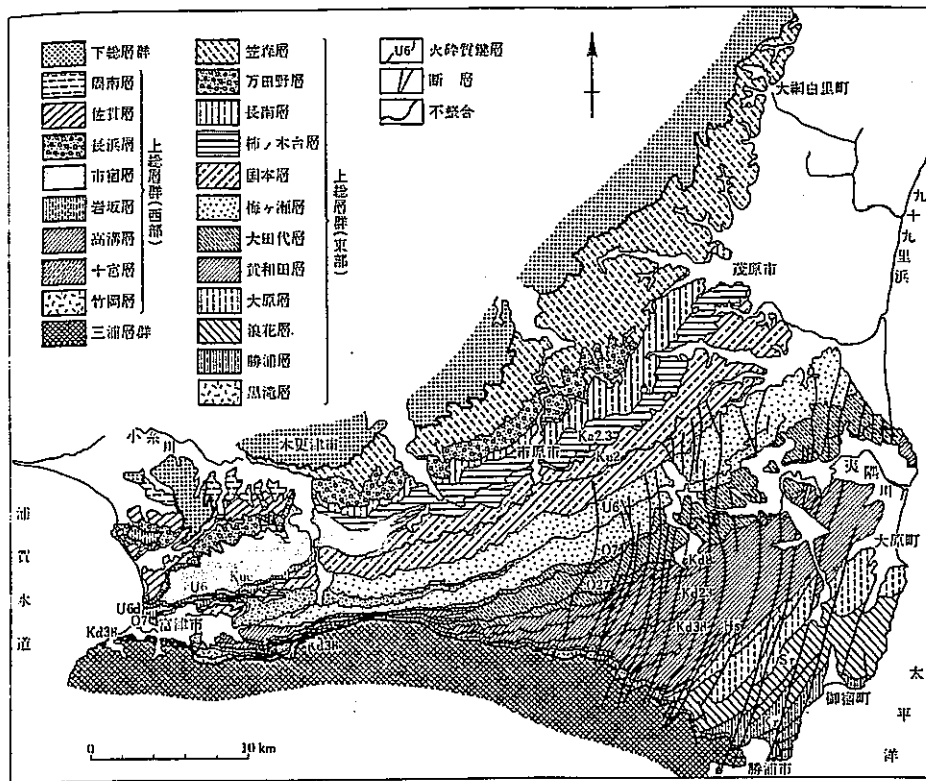


図-2 茂原ガス田付近の地質図 (日本の地質「関東地方」編集委員会, 1986)

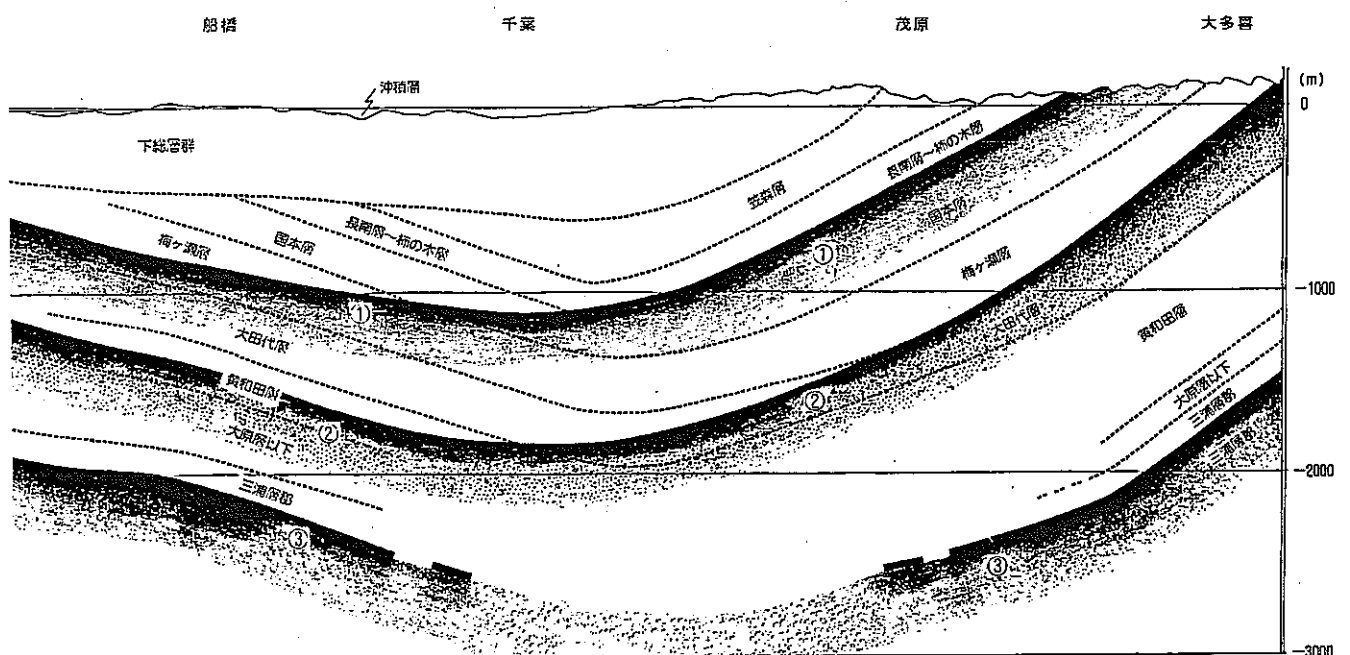
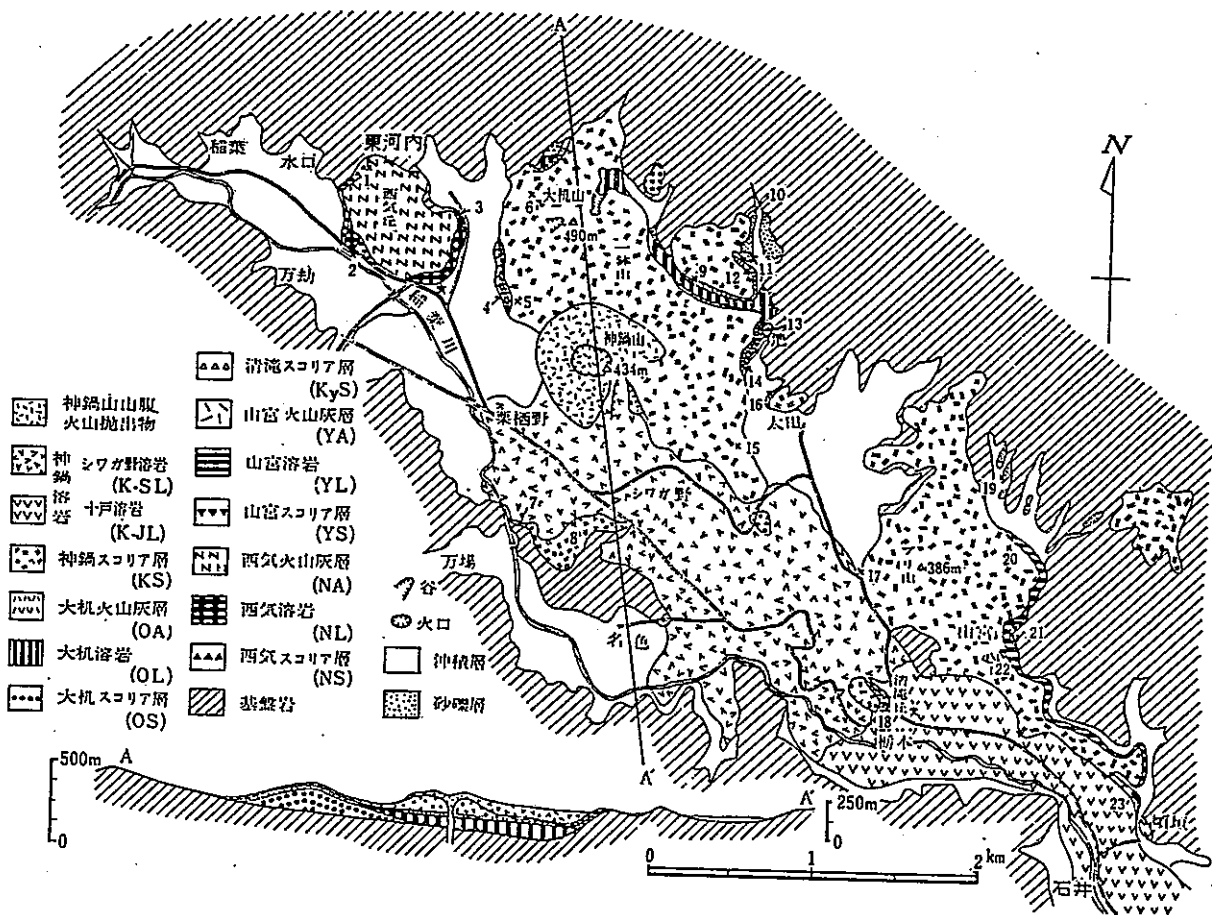


図-3 大多喜-船橋地質断面図 (星野ほか, 1992)



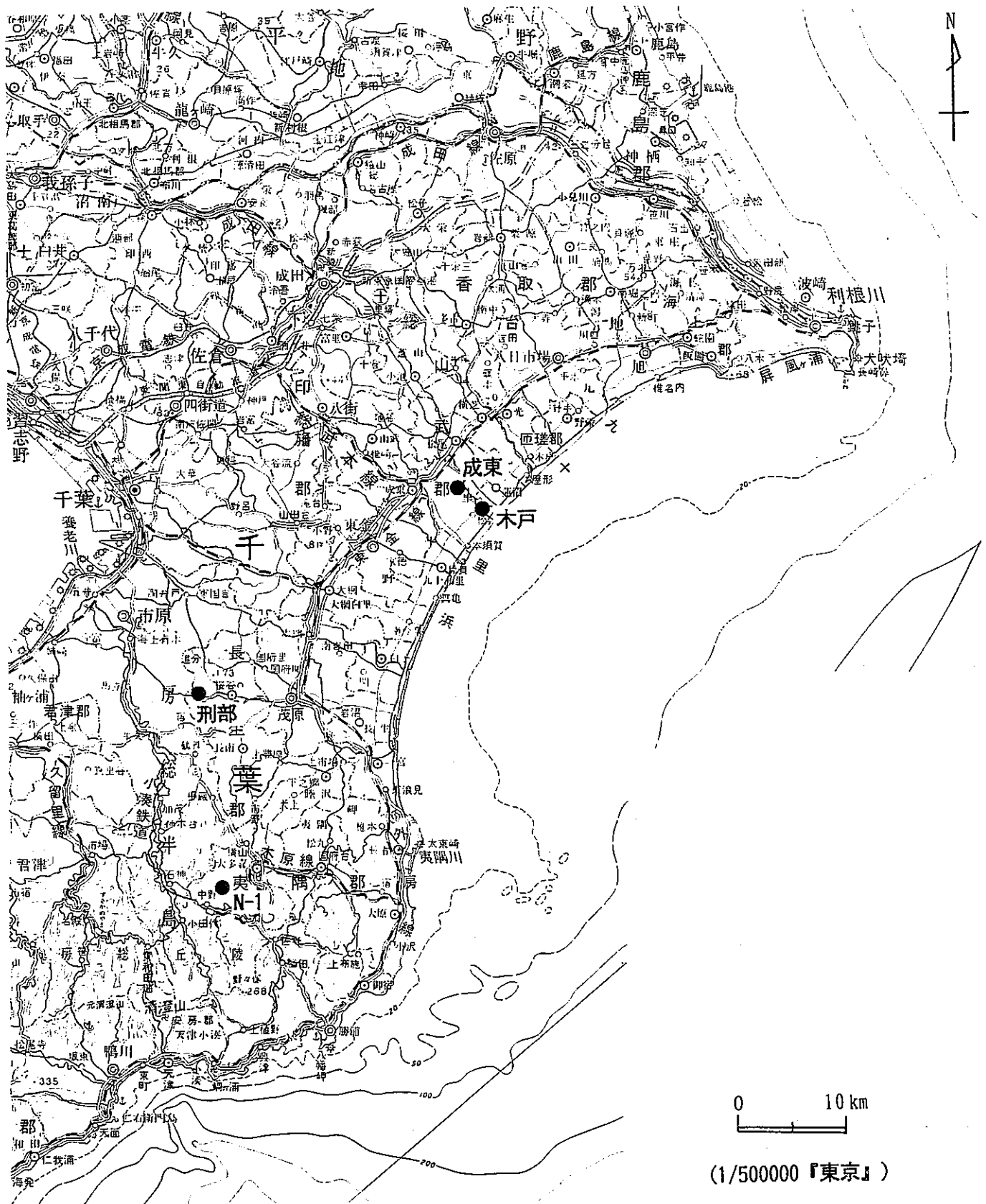
第 図 神鍋山周辺の地質図

1 から 23 までの番号は地点番号を示す。表層を形成する神鍋火山灰層 (KA) は省略してある。

図-4 神鍋山周辺の地質図 (古山, 1973)

表-1 採取した茂原ガス田のボーリングコア内訳

稼行団体名	孔名	スコリア深度	凝灰岩深度	泥質岩深度	砂質岩深度	地層名
関東天然瓦斯開発	刑部	2301.70m	2299.80m	2300.30m	2300.40m	三浦層群 (層名不詳)
	成東	1899.05m 1899.10m	—	—	1899.50m	安野層 (三浦層群)
	木戸	1403.90m	1400.42m 1402.35m 1402.45m	1402.12m 1402.99m	1600.00m	浪花層 (上総層群)
日本天然瓦斯興業	N-1	2002.15m	—	2002.45m	2002.55m	清登層 (三浦層群)



(1/500000 『東京』)

図-5 調査対象ボーリング孔位置図

表-2 神鍋山スコリアの間隙水の水質分析結果

試料番号	KS-1		KS-2	
試料の種類	減圧法による間隙水			
採取日	1992, 9,			
pH	6.9		7.0	
	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l
Na ⁺	4.47	0.19	23.4	1.20
K ⁺	0.80	0.02	2.99	0.08
Ca ²⁺	2.42	0.12	15.1	0.75
Mg ²⁺	1.09	0.09	7.46	0.61
Fe ²⁺	0.83	0.03	1.44	0.05
陽イオン合計		0.45		2.51
HCO ₃ ⁻	6.71	0.11	20.75	0.34
SO ₄ ²⁻	5.1	0.11	12.1	0.25
Cl ⁻	7.2	0.20	58.6	1.65
陰イオン合計		0.43		2.30
SiO ₂	26.5		45.9	

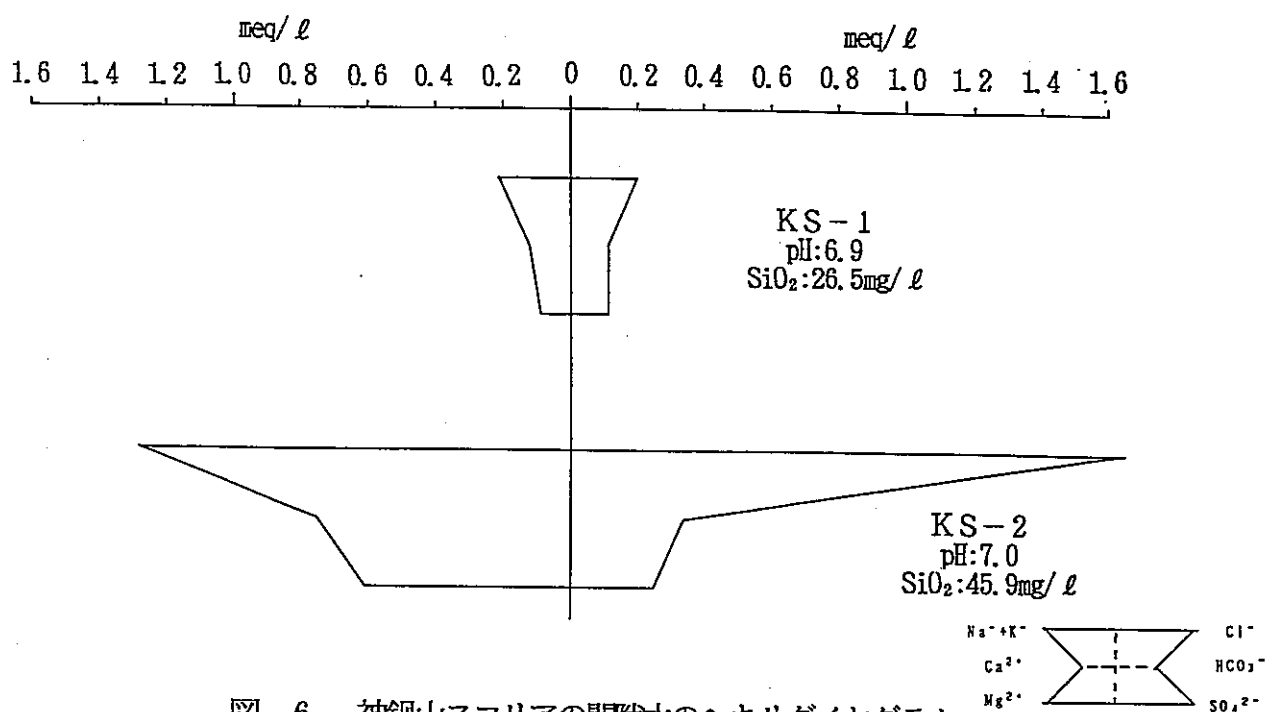


図-6 神鍋山スコリアの間隙水のヘキサダイアグラム

南房総鴨川及び茂原ガス田の細粒凝灰岩の化学分析結果を表-3に示す。

3.2.4 X線回折分析

茂原ガス田のボーリング・コアから得た細粒凝灰岩のX線回折分析結果を表-4に泥質岩及び砂質岩のX線回折分析結果を表-5に示す。

3.2.5 顕微鏡観察

茂原ガス田のボーリング・コアから得たスコリアを含む試料の薄片の顕微鏡観察結果を表-6に示す。

4. 考 察

4.1 神鍋山スコリアの変質に関与した地下水の水質

水質分析の結果(図-6参照)を見ると、2試料ともNa-Cl型であるが、KS-1よりもKS-2の方が溶存成分量は約5倍大きい。

この間隙水の分析結果をもとに、 H_4SiO_4 モル濃度と Ca^{2+}/H^+ モル濃度比の関係及び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-7に示す。これによれば、KS-1はカオリナイトと、KS-2はCa型モンモリロナイトと平衡である範囲にプロットされる。

4.2 茂原ガス田のスコリアの変質温度

細粒凝灰岩のX線回折結果について自生鉱物に注目すると、天津層のAm-16に石英が認められ、この層準は少なくとも69℃以上に熱せられたと考えられ、茂原ガス田の各試料は、それよりも低い温度条件にあったと推定される。

4.3 茂原ガス田のスコリアの変質層

スコリアを含む試料の薄片の顕微鏡観察結果から、三浦層群の安野層中の1例のみに変質層が観察されたが、その他の試料中のスコリアガラスは、極めて新鮮で変質が認められない。

表-3 凝灰岩の化学成分一覽表

(単位は%)

試料	Am-16	Any	Ky-12	桃	Amx	木戸孔 ¹⁾	
						-1400.42	-1402.45
SiO ₂	57.31	68.48	69.28	70.81	69.18	80.03	80.59
TiO ₂	0.94	0.27	0.35	0.27	0.37	—	—
Al ₂ O ₃	16.16	13.04	12.47	12.52	12.90	9.83	9.63
Fe ₂ O ₃	8.78	2.50	3.10	2.39	3.41	2.28	3.59
MnO	0.19	0.13	0.05	0.06	0.05	—	—
MgO	3.12	0.49	0.82	0.53	0.63	—	—
CaO	7.35	2.31	2.22	1.87	2.99	1.53	2.54
Na ₂ O	2.30	2.97	2.12	2.58	2.35	—	—
K ₂ O	0.46	2.23	2.49	2.98	2.08	6.32	3.65
P ₂ O ₅	0.15	0.07	0.07	0.03	0.05	—	—
強熱減量	2.71	5.66	5.56	5.09	5.18	—	—
計	99.47	98.15	98.63	99.13	99.19	99.99	100.00
鉱物組成 ²⁾	Pl > Qt, Cri > Mt	Pl	Pl > Qt, Mt, Py, Ha	Pl, Qt > Mt	Pl	Pl > Qt	Pl, Qt
地層名	三浦層群 天津層	三浦層群 安野層	三浦層群 清澄層	三浦層群 天津層	三浦層群 天津層	上総層群 浪花層	

1) : 木戸孔試料はEDX分析で、その他の試料は蛍光X線分析で求めた。
 2) : Mt: モンモロナイト, Qt: 石英, Cri: αクリストバライト, Pl: 斜長石, Py: 黄鉄鉱, Ha: ハイク

表-4 ボーリング・コアの細粒凝灰岩のX線回折分析結果

鉱物名 孔名 深度		緑	イ	モン	石	斜	黄	カ	斜	普
		泥	ラ	モリ	英	ア	鉄	リ	長	通
		石	イト	ロナイト		チ	鉱	長	石	角
						ロ				閃
						ル				石
						沸				
						石				
刑部孔	-2299.80m	·	·	·	○	·	·	·	○	·
木戸孔	-1400.42m				·				○	
	-1402.35m	·		·	·	·	·	·	·	
	-1402.45m				·				·	

相対含有量: ◎多量, ○中量, ◦少量, ·微量

表-5 ボーリング・コアの砂質岩、泥質岩のX線回折分析結果

鉱物名 孔名 深度 岩質		モン	緑	イ	東	普	α	石	斜	黄
		モリ	泥	ラ	沸	通	ク	英	長	鉄
		ロナイト	石	イト	石	角	リ	石	石	鉱
						閃	スト			鉱
						石	バ			
							ライ			
							ト			
刑部孔	-2300.30m	泥質岩	·	·	·	·		◎	○	
	-2300.40m	砂質岩	·	·	·			◎	○	
成東孔	-1899.50m	砂質岩	·	·	·			◦	◦	
木戸孔	-1402.12m	泥質岩	·	·	·			○	◦	
	-1402.99m	泥質岩	·	·	·	·		○	◦	·
	-1600.00m	砂質岩	·	·	·	·		◎	◎	·
N-1孔	-2002.45m	泥質岩	·	·	·		◦	○	◦	
	-2002.55m	砂質岩	·	·	·			◎	◦	

相対含有量: ◎多量, ○中量, ◦少量, ·微量

表-6 顕微鏡観察結果

稼行団体	孔名	スコリア深度	地層名	岩石名	スコリアの組織	斑晶鉱物	ガラスの状況	変質状況
関東天然瓦斯開発	刑部	2301.70m	三浦層群 (層名不詳)	スコリア質泥岩	虫食い状	pl>>py	暗褐灰、無色 針状結晶多含	顕著な変質は認められない
	成東	1899.05m	安野層 (三浦層群)	スコリア質泥岩	球状~虫食い状	pl	黒褐、褐灰 針状結晶含む	顕著な変質は認められない
		1899.10m		スコリア凝灰岩	球状~虫食い状	pl	黒褐、褐灰 針状結晶多含	一部のスコリア粒子 表面が褐色変質
	木戸	1403.90m	浪花層 (上総層群)	スコリア凝灰岩	球状~虫食い状	pl>>py	褐灰、無色 矩形結晶含む	顕著な変質は認められない
日本天然瓦斯興業	N-1	2002.15m	清澄層 (三浦層群)	スコリア凝灰岩	球状~網状	pl	無色、黒褐 針状結晶多含	顕著な変質は認められない

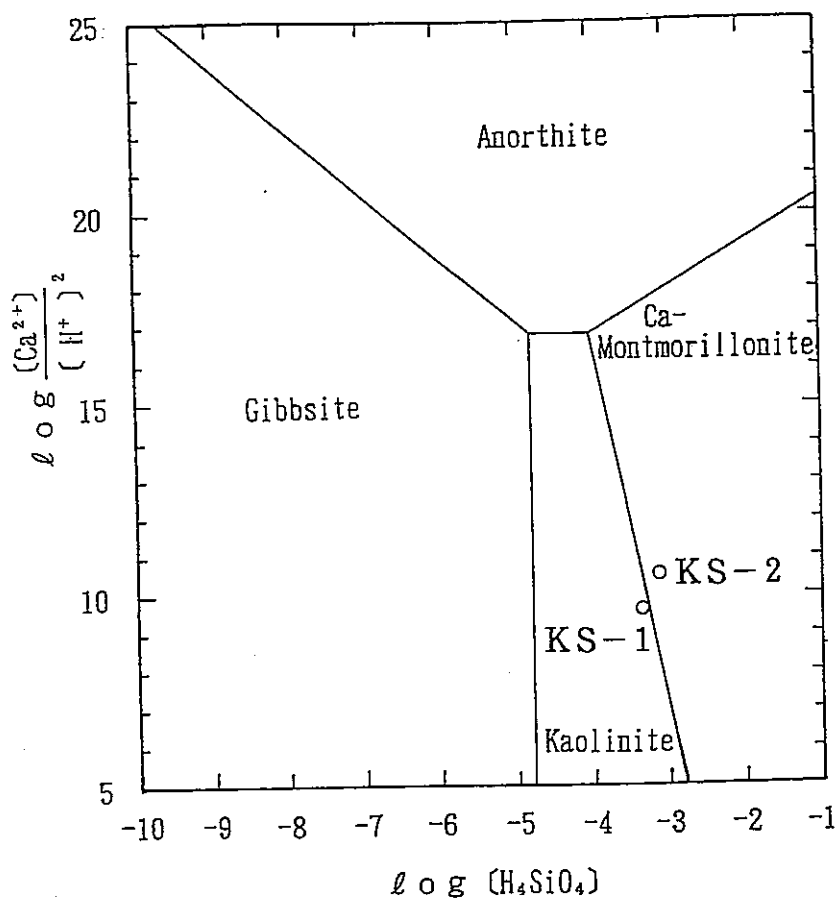


図-7 スコリア間隙水の $[H_4SiO_4]$ と $[Ca^{2+}] / [H^+]^2$ の関係図

Tardy (1971) のFig. 3 より引用した。

5. 問題点と今後の課題

高塚山の火山弾を用いたK-Ar年代測定は、アルゴン同位体比が大気のそれに近いために直接年代をえることはできなかった。しかし、この火山岩類が同位体分別を生じたマグマからの産物であるとすれば、独立に $^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比を測定することで補正出来る可能性がある。

茂原ガス田のスコリアガラスは、自生鉱物の生成温度を利用した検討から69℃以上の熱を受けても変質せず新鮮なままのものが多数観察された。今後、地表試料に基づいた既往結果も踏まえながら、房総半島における上総層群～三浦層群の熱履歴を詳細に解明していくことが重要と考えられる。このためには、さらに多くのボーリング・コアの調査・分析が必要である。

II. ベントナイト編

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ベントナイトのナチュラル・アナログ研究を引継ぎ、本地域の年度、凝灰岩の緩衝材に対する類似性を検討することを目的として、試料の採取、室内分析・試験を行った。

さらに、調査対象としての適性を検討してきた山形県鶴岡市付近及び島根県大田市に分布する酸性白土鉱床あるいはベントナイト鉱床について現地調査と試料採取を行い、室内分析を実施してベントナイトのナチュラル・アナログ研究候補地としての検討を行った。

2. 調査地の概要

2.1 村上

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。

村上地域の層序と地質概要を表-7に、地質図を図-8に示す。

表-7 村上地域の地質層序表

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。		

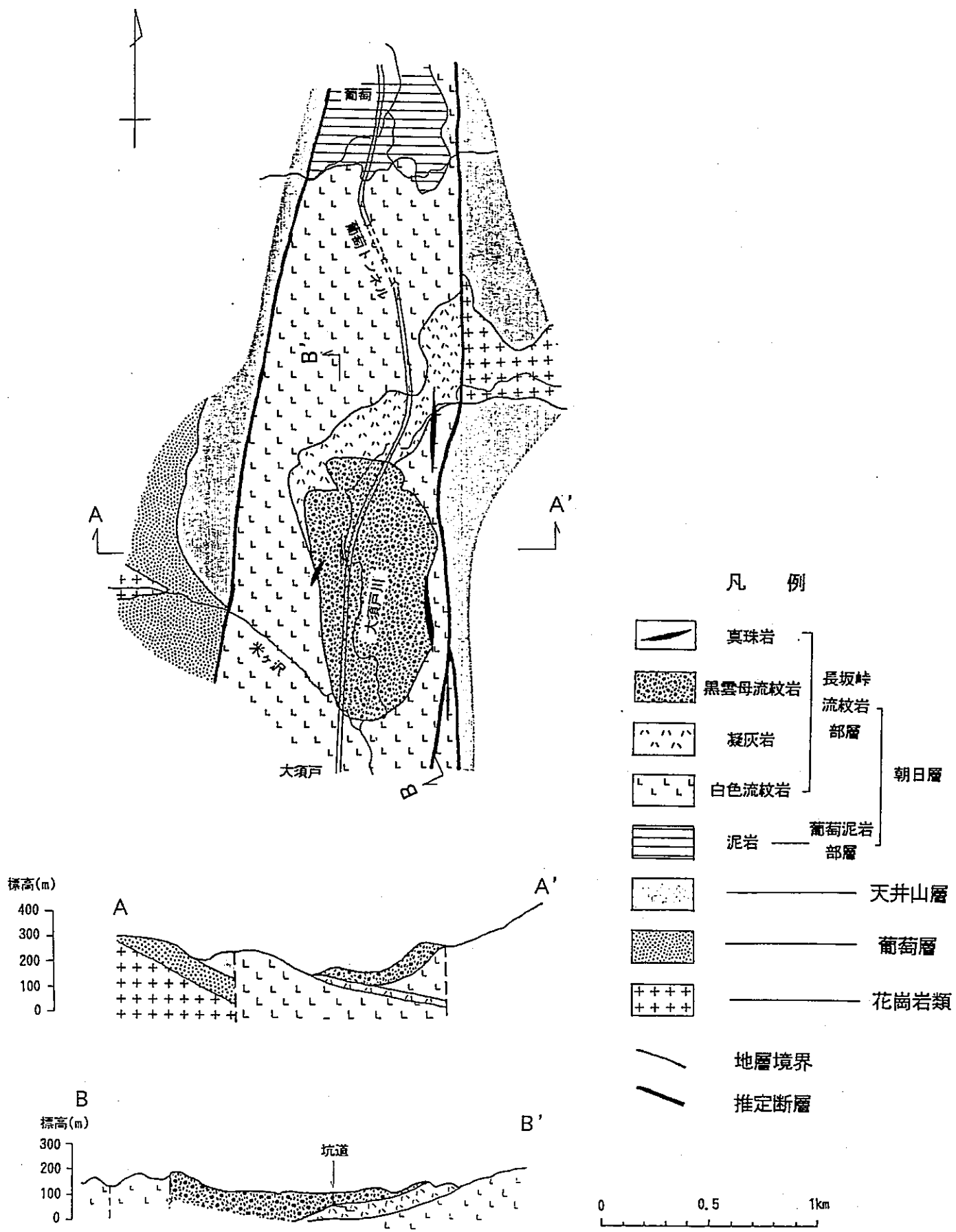


図-8 村上地域地質図及び地質断面図

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及び堆積岩類は下位から、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。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°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。

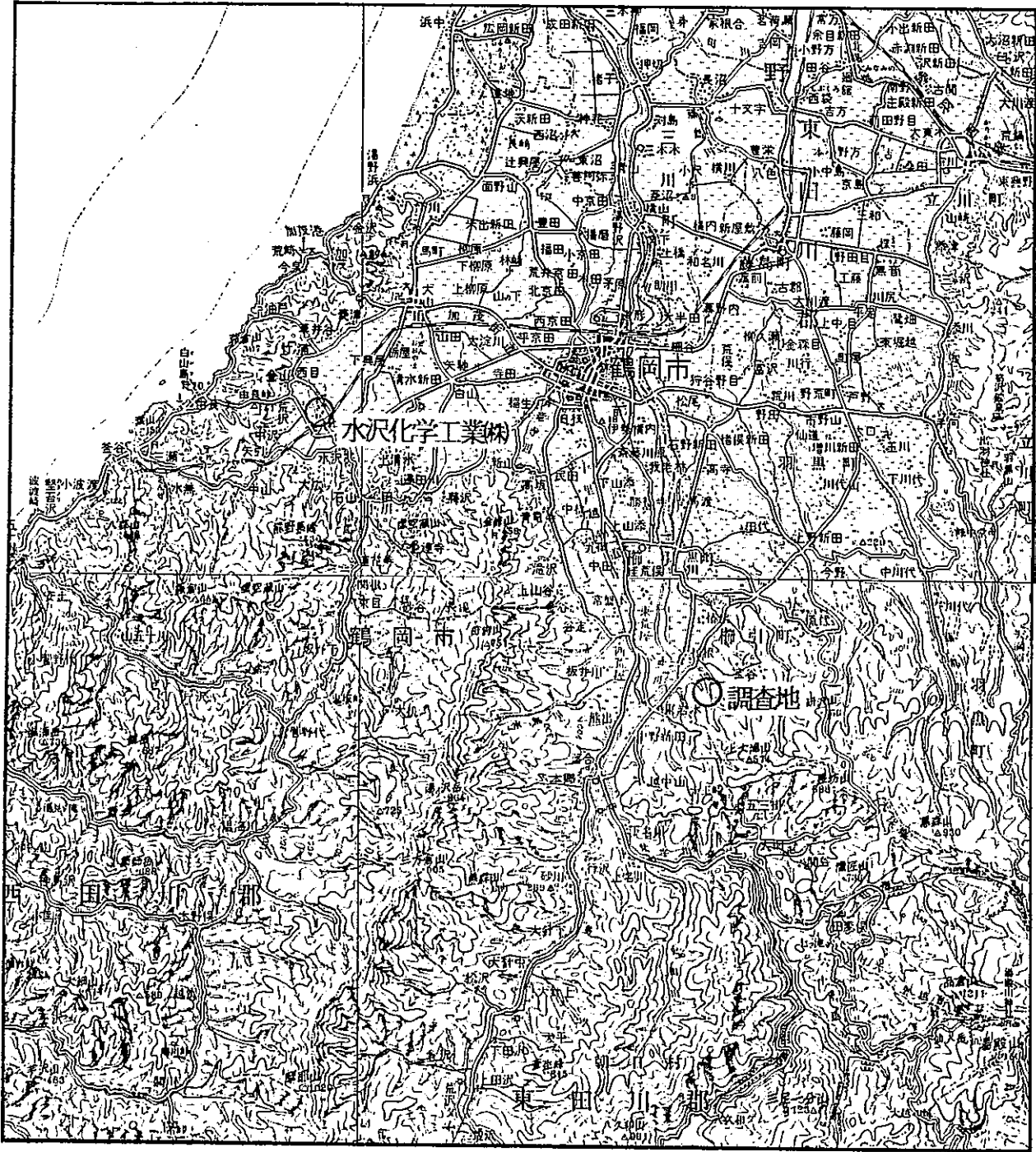
凝灰岩層の黒雲母流紋岩との接触部付近は厚さ20～30mの粘土化帯となっている。粘土化帯は青灰色～灰白色の非常に均質な粘土からなるが、一部に粗粒の軽石質凝灰岩様を呈する部分や原岩の堆積構造を残している部分が認められる。セリサイト鉱床は、この粘土化帯に胚胎している。

2.2 山形県鶴岡市

調査対象地域の位置を図-9に示す。本地域は、基盤岩として後期白亜紀の花崗岩類及び田川酸性岩類からなり、これらを新第三系の堆積岩類、火山岩類が被覆している。調査地の新第三系は石英安山岩、酸性凝灰岩、泥岩～礫岩、硬質頁岩等からなるが、そのほとんどは、月山火山の噴出物に広く被覆されている。この酸性凝灰岩中には酸性白土鉱床が認められている(図-10参照)。この鉱床は、新第三系堆積岩類中の凝灰岩が風化変質を受けて生じたとされている。

2.3 島根県大田市北部

調査対象地域の位置を図-11に示す。本地域は海成堆積岩及び海底噴出物からなる中新世の地層が広く分布する。この海底火山噴出物のうちの凝灰岩Na⁺にベントナイト鉱床が認められている(図-12参照)。この鉱床は、新第三系堆積岩類中の凝灰岩が熱水変質を受けて生じたとされている。特に大田市北部の鉱床においては、モンモリロナイ



1 : 200,000



図-9 郡部地域調査位置図



更新世	月山火山噴出物	Δ lat	安山岩熔岩・同質火砕岩及び泥流堆積物	
中新世	松根層	MT	硬質頁岩	
	大網層	OA	酸性凝灰岩・凝灰質砂岩・泥岩及び礫岩	
		越中山安山岩部層	OAa	普通輝石安山岩・紫蘇輝石安山岩熔岩
		七ツ橋玄武岩部層	OAo	變質玄武岩熔岩・同質火砕岩
	大泉層	Op	變質輝石安山岩熔岩・同質火砕岩	
	上大海石英安山岩	XYd ₁		

図-10 鶴岡地域地質図

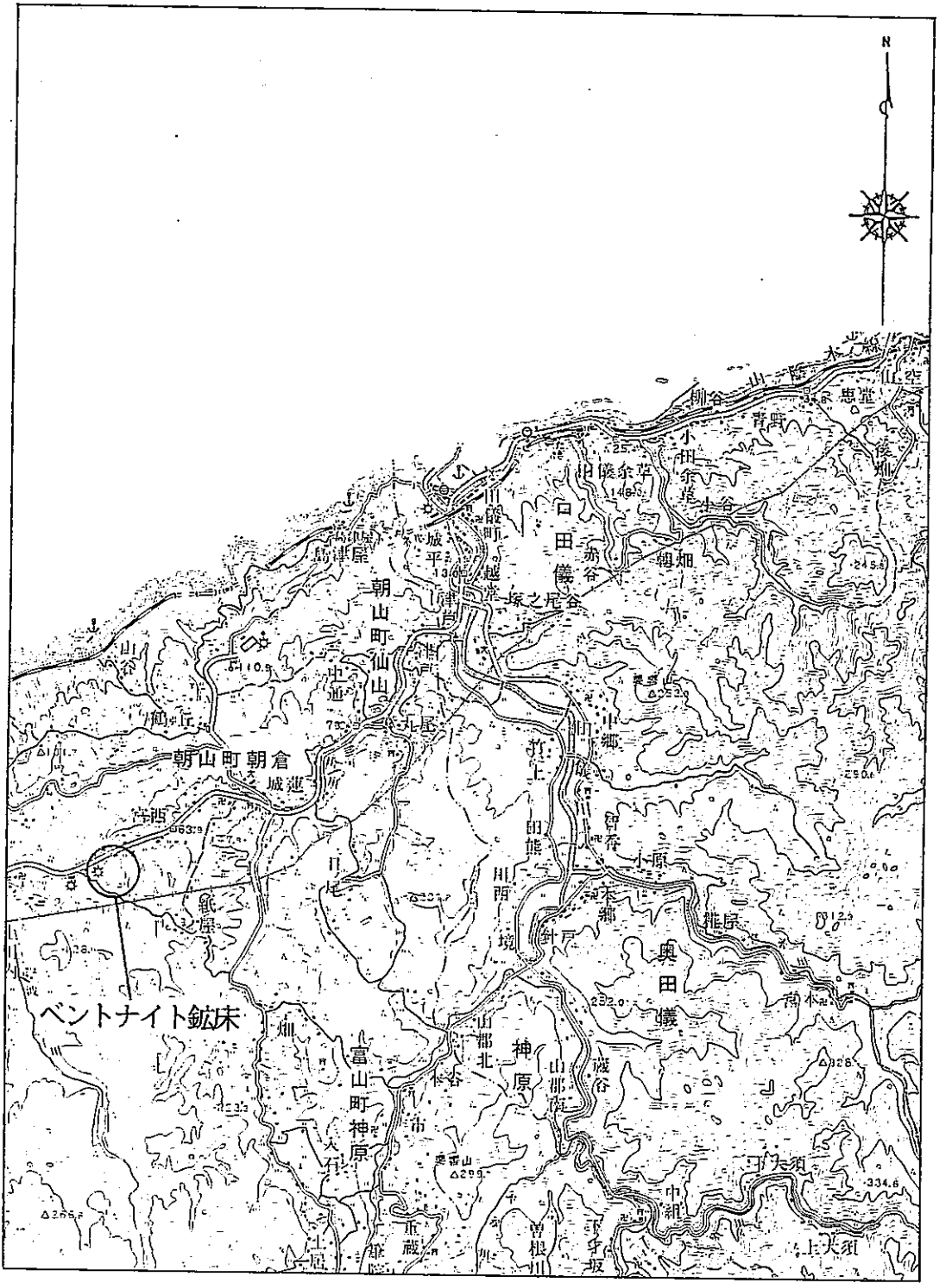


図-11 大田市北部調査位置

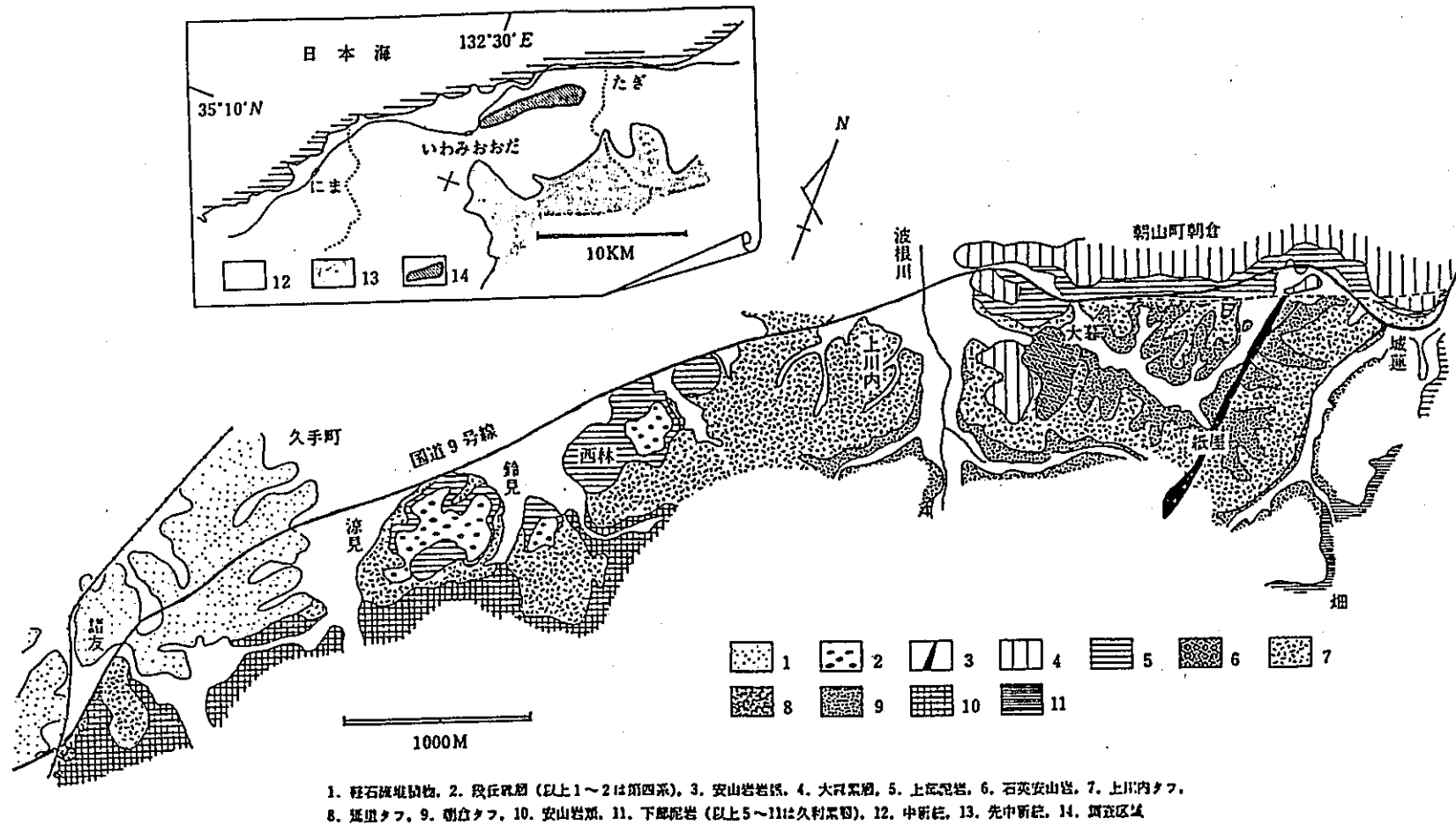


図-12 大田市北部地域地質図

ト生成後に貫入したと考えられている安山岩の岩脈が貫入している。

3. 室内分析

3.1 試料の概要

村上地域の試料採取位置を図-13に示し、それぞれの試料についてCEC、置換性塩類、MBCの測定を実施した。

また、地表踏査によって山形県鶴岡地域での凝灰岩への火成岩の貫入が認められた地点の位置を図-14に示す。さらに、地表踏査によって島根県大田市北部地域での凝灰岩への安山岩の貫入が認められた地点の位置を図-15に示す。これらの火成岩の貫入を受けた凝灰岩試料についてX線回折分析を実施した。

3.2 分析結果

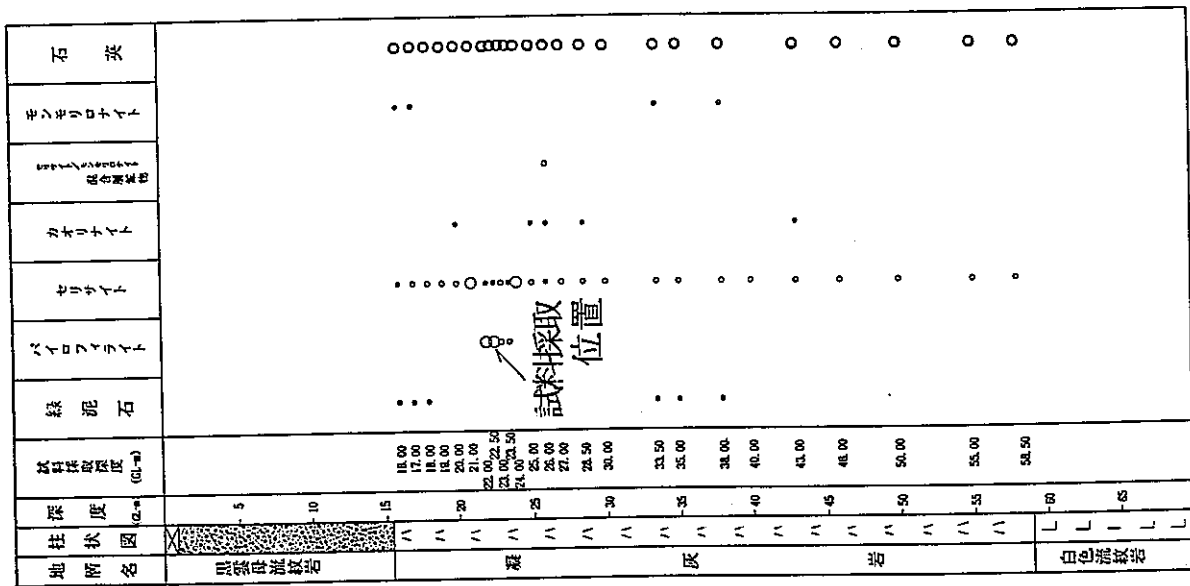
村上地域の試料を用いた分析・試験結果によって得られた粘土及び凝灰岩の化学特性を表-8に示す。また、山形県鶴岡地域及び島根県大田市北部地域から採取した試料のX線回折分析結果を、貫入岩からの距離で整理して表-9に示す。表-9で明らかなように、鶴岡地域の貫入岩付近においては、主としてモンモリロナイトや沸石類が認められ、より高温下で生成すると考えられるセリサイト/モンモリロナイト混合層鉱物やセリサイトは認められない。大田市北部地域の貫入岩付近においては、主としてモンモリロナイトが認められ、 α -リンケイ石や α -クリストバル石が生成されているものの、より高温下で生成すると考えられるセリサイト/モンモリロナイト混合層鉱物やセリサイトは認められない。

4. 考察

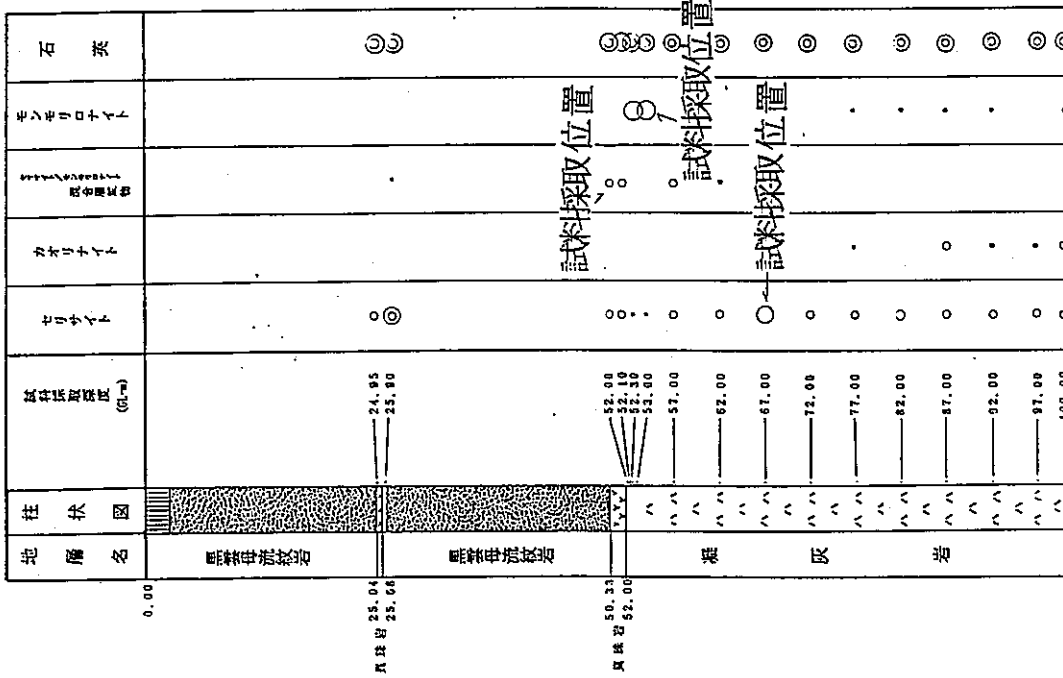
村上地域については前年度までに得られた結果に、今年度の結果を加味して、以下に年代、変質鉱物分帯と変質帯形成史、熱水の化学組成そして化学特性について考察する。また、鶴岡地域と大田市北部地域については、調査・分析結果をもとに火成岩岩脈周辺の凝灰岩の変質鉱物についての考察を試みる。

4.1 村上

4.1.1 年代



(MT-1)



(MT-2)

図-13 ボーリング・コア試料採取位置

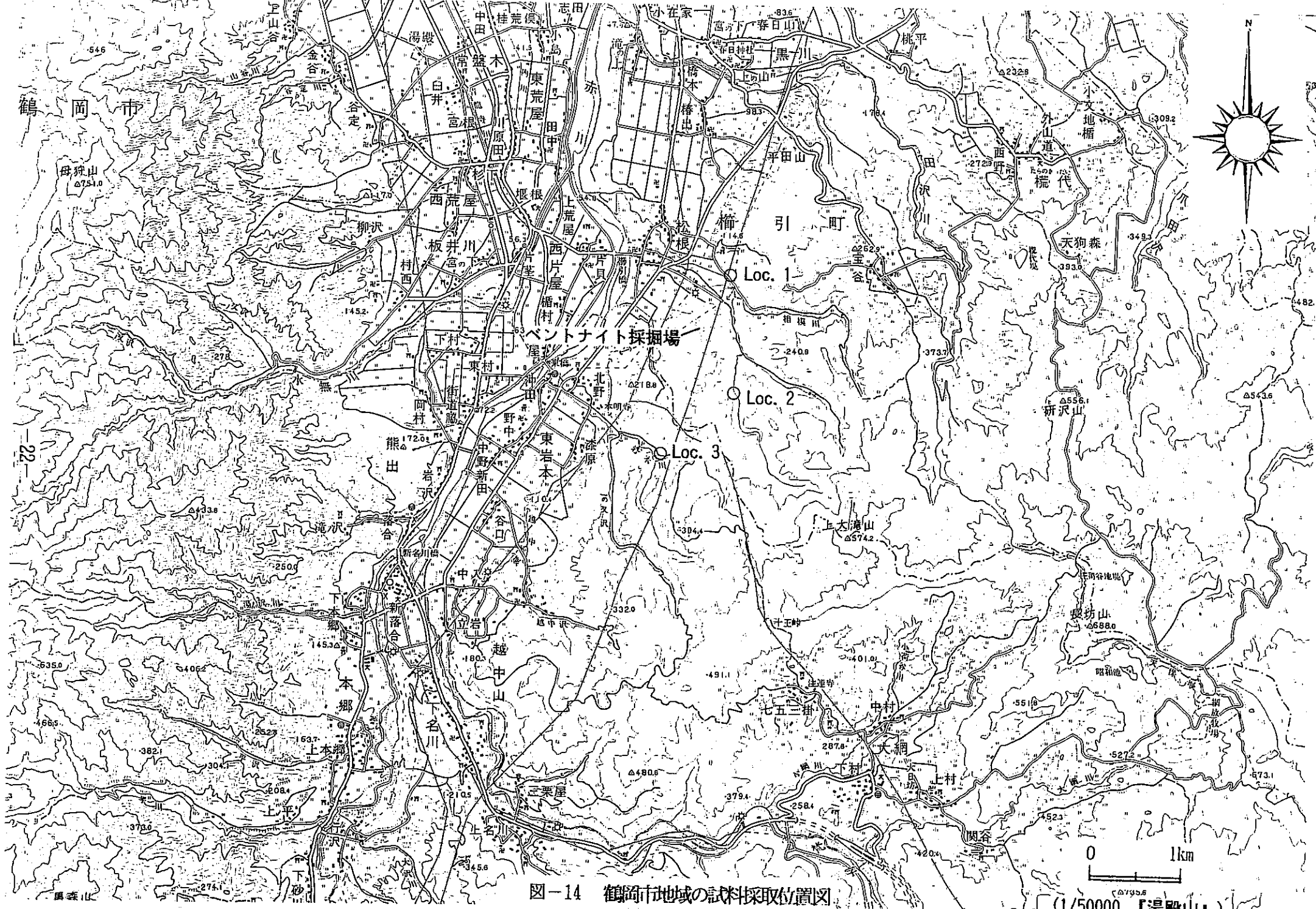


図-14 鶴岡市地域の試料採取位置図

(1/50000 湯殿山)

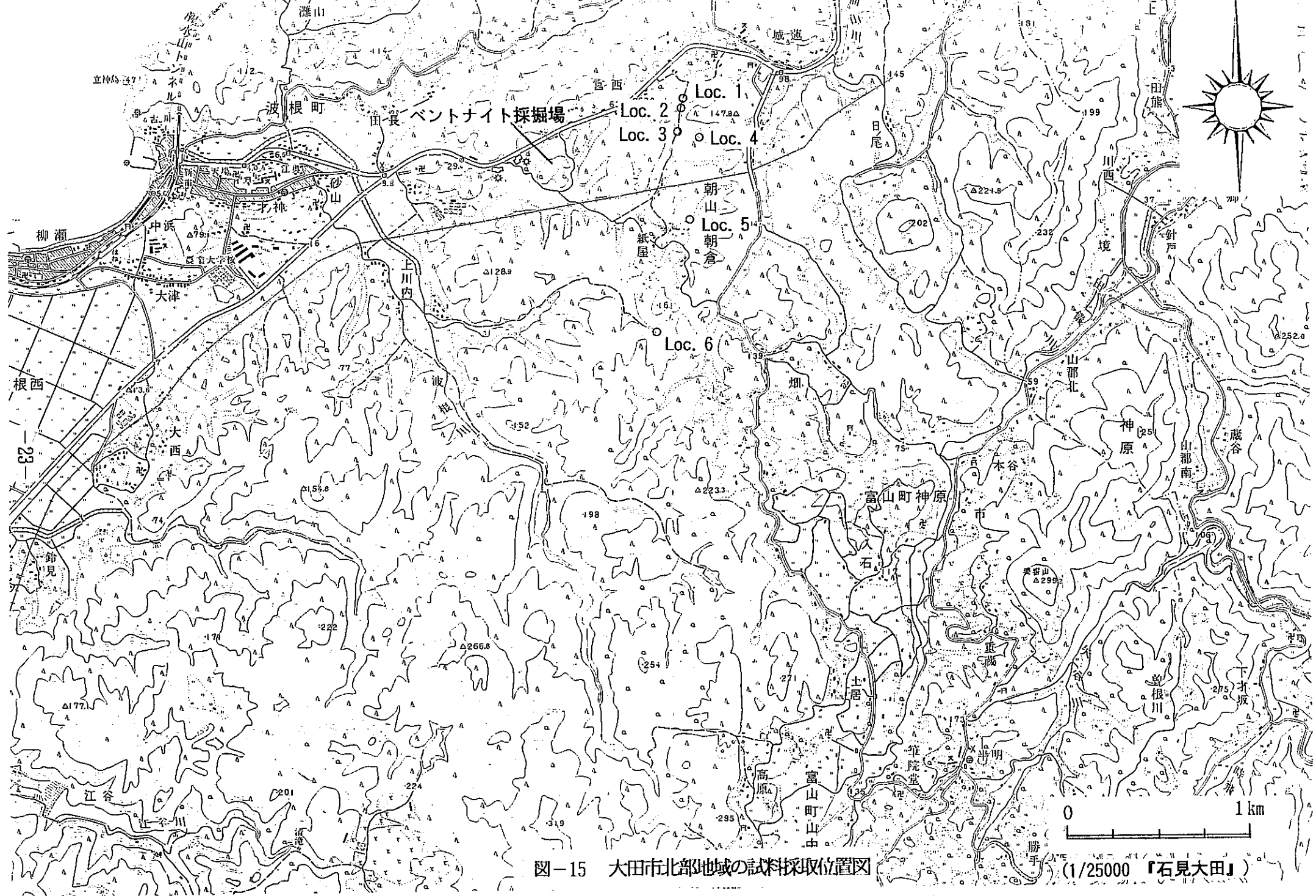


図-15 大田市北部地域の試料採取位置図 (1/25000 『石見大田』)

表-8 村上地域の粘土，凝灰岩試料の化学特性

試料名	孔名 深 度 変質帯	MT-1孔	MT-2孔		
		22.20m I帯	52.05m IV帯	52.55m III帯	70.15m II帯
CEC (meq/100g)		8.5	15.0	39.0	7.0
置換性塩類	Ca (meq/100g)	3.15	3.59	10.4	1.94
	Mg (meq/100g)	2.72	6.74	15.7	2.43
	Na (meq/100g)	0.08	0.64	1.51	0.60
	K (meq/100g)	0.84	0.30	0.93	0.72
MBC (meq/100g)		8	10	21	9
Fe (meq/100g)		-	2.13	10.1	-

表-9 変質鉱物と貫入面からの距離との関係 (鶴岡地域，大田地域)

露頭No. 試料名, 貫入面からの距離		鉱物名		モンモリロナイト	イライト	カオリナイト	フェリエライト	モルデン沸石	斜プチロル沸石	α-クリストバル石	α-リンケイ石	石 英	斜長石
		貫入面からの距離 (cm)											
山形県鶴岡地域	1の上盤側	TX-19	0									◎	・
		TX-6	10				○	・					・
		TX-12	20	・	・								
		TX-7	50	・		◎	・						・
		TX-17	100	・		◎	・						・
		TX-8	150			◎	・						・?
	1の下盤側	TX-20	0	・	・							◎	・
		TX-21	10	・	・							◎	・
		TX-26	20	・	・							◎	・
		TX-23	30	・	・							◎	・
2の上盤側	TX-1	0	○						・			○	
	TX-2	50	◎		・							・	
	TX-3	80	◎									○	
島根県大田地域	4	OX-4	0	○						・		・	・
		OX-5	10	◎						・		・	◎
		OX-6	20	◎								○	・
		OX-9	100	・		・				○		・	・
	6	OX-22	0							○		○	・
		OX-23	120	・						○	・?	・	・

相対含有量 ; ◎多量, ○中量, ・少量, 微量, ?不確定

今年度のジルコンを用いたフィッション・トラック年代測定結果では、白色流紋岩及び凝灰岩試料の年代値が、6.5~6.8Ma.と比較的狭い範囲に集中しており、昨年度までの測定結果と整合している。さらに、微化石分析の結果では、泥岩試料中には珪藻化石が抽出・同定され、この珪藻化石群の示す化石帯がNPD7B帯であり、後期中新世後期~前期鮮新世(6.2~3.2Ma.)に相当していることから、本研究で実施した各種放射年代測定結果と同程度の年代を示している。

以上の年代測定結果及び微化石分析結果から推定される白色流紋岩及び凝灰岩の年代は、村松(1987)により報告された14.1Ma.である可能性は低い。したがって、今年度及び昨年度までの調査結果から推定される調査地の地史は、昨年度の考察を支持するといえる。すなわち、

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

の順に地質現象が進行し、これら①~③の事象は、約650万年前から550万年前までの短期間に相前後して生じたものと考えられる。

4.1.2 変質鉱物分帯と変質帯形成史

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

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

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。このことは、前年度鉦山側で実施したボーリング内の変質鉱物分布からも裏付けられる。

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。

以上のことと層序、年代測定結果を総合すると変質帯の形成史は次のようにまとめることができる(図-16参照)。

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

4.2.3 熱水の化学組成について

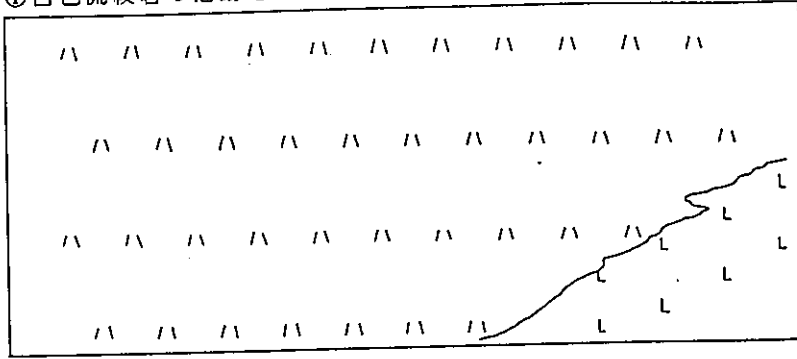
凝灰岩から生成した各変質岩中の化学分析結果のうち、含水比測定を実施した試料について、個々の値を総計100%に換算しなおし、さらに、個々の値を一定体積あたりの重量(g/100cm³)に換算し、最後に、この重量を酸化物から元素に換算した値と試料の関係を図-17に示す。

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、

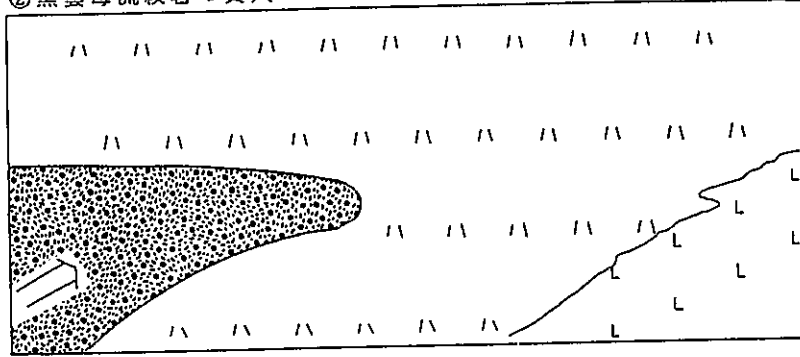
- ・熱水変質の領域では、黒雲母流紋岩に近い方がSi, Alに富む
- ・熱変質の領域では、黒雲母流紋岩から遠いほうがSi, Alに富む
- ・Mg, Ca, Naの量には顕著な変化を認められない

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

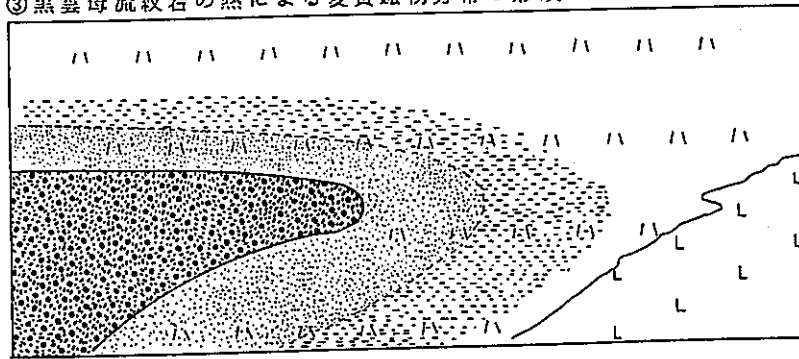
① 白色流紋岩の活動とそれに伴う凝灰岩の堆積



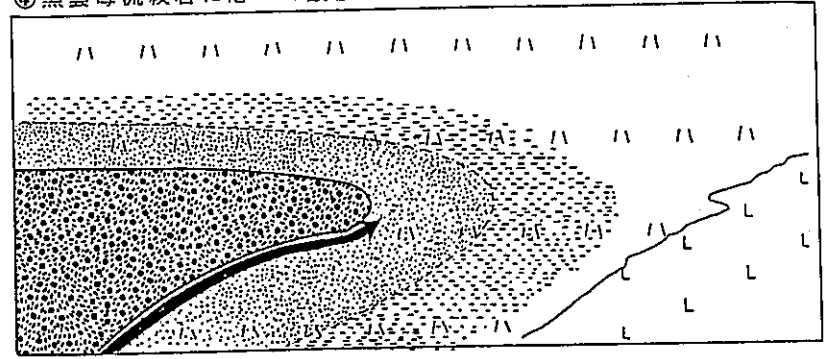
② 黒雲母流紋岩の貫入



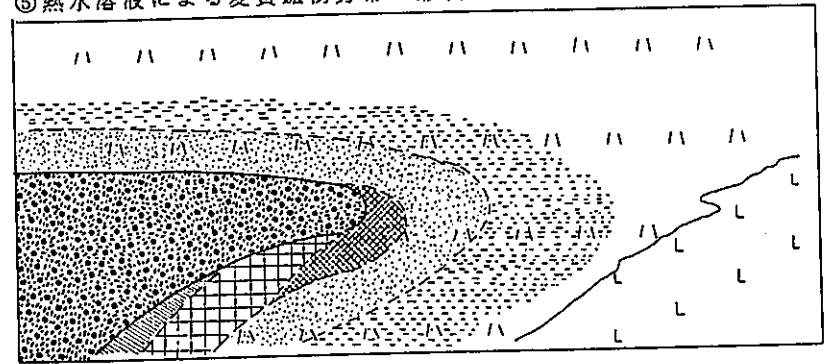
③ 黒雲母流紋岩の熱による変質鉱物分帯の形成



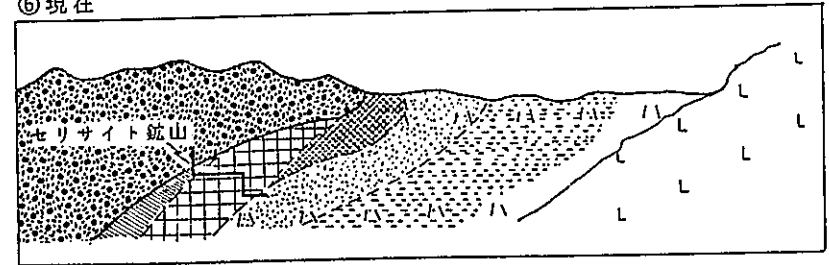
④ 黒雲母流紋岩に沿って酸性の熱水溶液が侵入



⑤ 熱水溶液による変質鉱物分帯の形成



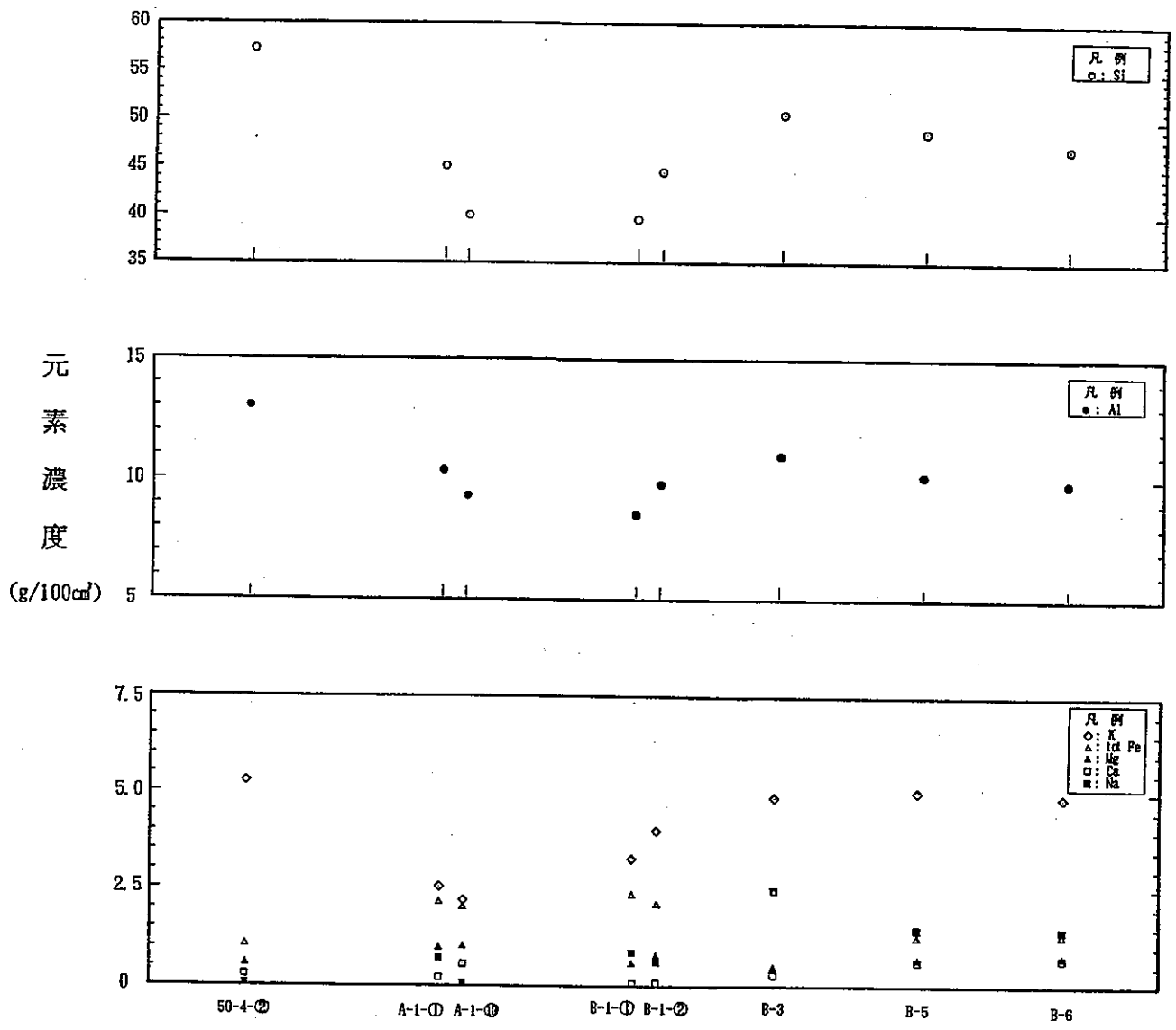
⑥ 現在



- | | | | |
|--|---------------|--|------------------|
| | 白色流紋岩 | | モンロライト/セリサイト混合層帯 |
| | 凝灰岩 | | モンロライト帯【高結晶度】 |
| | 黒雲母流紋岩 | | セリサイト帯 |
| | モンロライト帯【低結晶度】 | | アノロクライト帯 |

注) 縮尺は考慮されていない。

図-16 変質帯形成モデル



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

図-17 各試料における単位体積重量中の元素濃度

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に富み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。

4.1.4 村上地域の粘土、凝灰岩試料の物理・化学特性について

今回測定を実施したCEC、置換性塩類、MBCについて、それぞれの結果を図-18~20に示す。陽イオン交換能に関する項目(図-18~20参照)についてみると、平成4年度の試料の値よりも今年度のボーリング・コア試料の値の方が低く出ている。このことは、平成4年度の試料はセリサイト帯以外は全て地表から採取しており、これらの試料中の粘土鉱物が風化の影響を受けて交換性陽イオンが H^+ に変化している可能性が考えられる。MBCは高結晶度のモンモリロナイト帯のボーリング・コアの値が飛び抜けて大きいものの、大局的にはあまり顕著の差異が変質帯間には認められない。

4.2 山形県鶴岡

平成3年度調査では、貫入岩による影響としては珪化変質が認められるものの、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認められなかった。今年度、火成岩の貫入露頭を複数見いだしたが、X線回折分析結果では沸石類を多量に含むものが認められたものの、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認められなかった。したがって、本調査地はモンモリロナイトのセリサイト(イライト)化の事例研究の場としては不適當と考えられる。

4.3 島根県大田市北部

平成4年度調査では、安山岩による影響としては珪化変質が認められるものの、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認められなかった。今年度は、平成4年度の安山岩岩脈の延長部に、安山岩の貫入露頭を複数見いだしたが、X線回折分析結果では珪化変質は認められたものの、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認められなかった。したがって、本調査地はモンモリロナイトのセリサイト(イライト)化の事例研究の場としては不適當と考えられる。

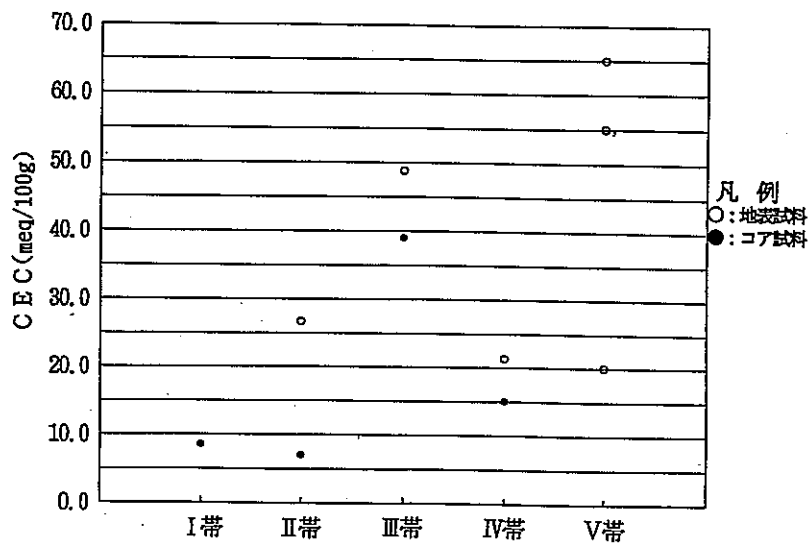


図-18 村上地域の粘土、凝灰岩試料のCEC

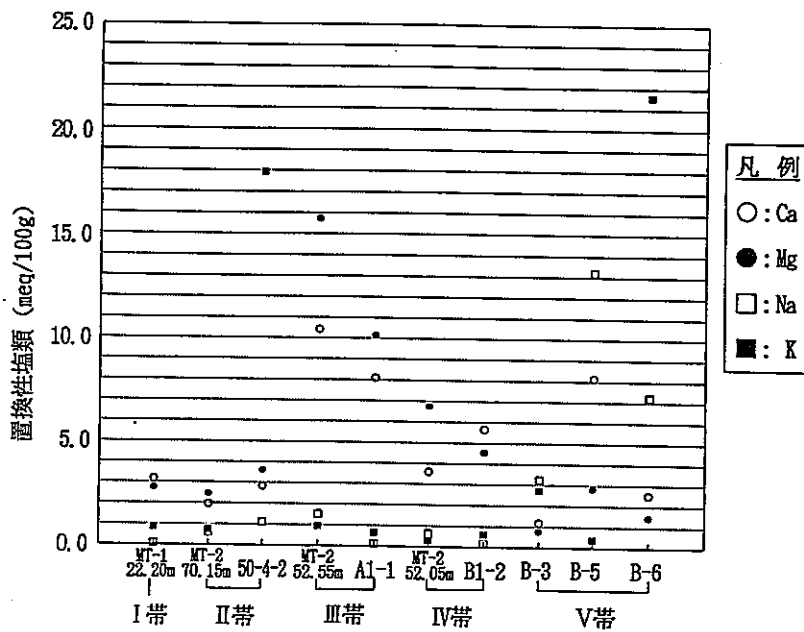


図-19 村上地域の粘土、凝灰岩試料の置換性塩類

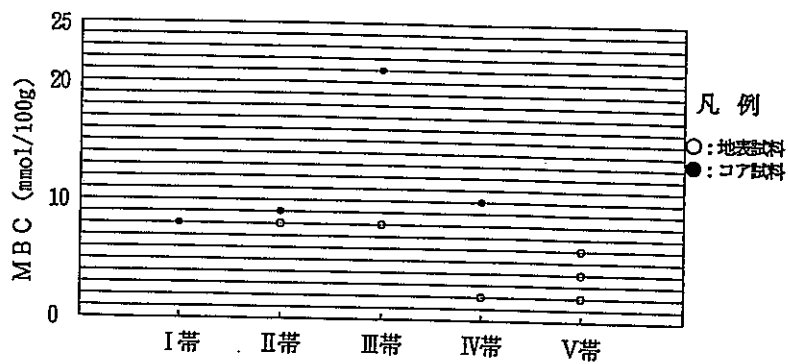


図-20 村上地域の粘土、凝灰岩試料のMBC

5. 問題点と今後の課題

現在までの調査によって、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。

粘土、凝灰岩試料の陽イオン交換能に関する項目については、地表付近の風化の影響を排除できるボーリング・コアを用いて実施した。置換性塩類の総和と CEC の値とは比較的良好一致し、平成 4 年度の結果は風化の影響で交換性陽イオンが H^+ に変化している可能性が高いとした予想が適切であったことを示した。

山形県鶴岡地域の酸性白土鉱床及び島根県大田市北部地域のベントナイト鉱床については、今年度の現地調査対象の露頭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が生成されていないことが判明した。したがって、これらの地域においてはモンモリロナイトのセリサイト化、あるいはセリサイト／モンモリロナイト混合層鉱物化の事例研究の場としては不適當である。しかし、貫入岩及び凝灰岩の詳細な年代測定を複数種の鉱物について実施して、それらの温度履歴を把握し、貫入岩の加熱があったにもかかわらず、モンモリロナイトが変質しなかった事例として研究することも、ベントナイトの長期変質挙動を探る上で重要と考えられる。