

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)

(動力炉核燃料開発事業団 委託研究成果報告書)

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 Ooda 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 Ooda area, an andesite dyke intruded into Ooda 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 南房総鴨川及び茂原ガス田	5
2.1.4 神鍋山	8
2.2 地 質	9
2.2.1 富士	9
2.2.2 高塚山	12
2.2.3 南房総鴨川及び茂原ガス田	15
2.2.4 神鍋山	19
3. 分析・試験	20
3.1 試 料	20
3.2 方 法	20
3.2.1 絶対年代測定	20
3.2.2 間隙水の分析	25
3.2.3 岩石の化学分析	25
3.2.4 X線回折分析	25
3.2.5 顕微鏡観察	25
3.3 分析・試験結果	28
3.3.1 絶対年代測定	28
3.3.2 間隙水の分析	28
3.3.3 岩石の化学分析	28
3.3.4 X線回折分析	28
3.3.5 顕微鏡観察	28

4. 考 察	3 2
4.1 神鍋山のスコリアの変質に関与した地下水の水質	3 2
4.2 茂原ガス田のスコリアの変質温度	3 2
4.3 茂原ガス田のスコリアの変質層	3 4
5. 問題点と今後の課題	3 5
参考文献	3 6

II. ベントナイト編

1. 調査目的	37
2. 調査地域の概要	38
2.1 地形	38
2.1.1 村上	38
2.1.2 鶴岡地域	38
2.1.3 大田市北部	38
2.2 地質	42
2.2.1 村上	42
2.2.2 鶴岡地域	44
2.2.3 大田市北部	47
3. 分析・試験	51
3.1 試料	51
3.1.1 村上	51
3.1.2 鶴岡地域	51
3.1.3 大田市北部	51
3.2 方法	51
3.2.1 化学特性試験	51
3.2.2 X線回折分析	56
3.3 分析結果	56
3.3.1 化学特性試験	56
3.3.2 X線回折分析	57
4. 考察	71
4.1 村上	71
4.1.1 変質鉱物組合せと変質分帯	71
4.1.2 変質帯の生成環境	74
4.1.3 変質岩の年代	77
4.1.4 変質に関与した熱水の性状	82
4.1.5 変質帯の生成モデル	82

4.1.6 緩衝材に対する類似性	86
4.2 鶴岡地域	86
4.3 大田市北部地域	89
5. 問題点と今後の課題	90
参考文献	91

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	12
表 3-1	採取した茂原ガス田のボーリング・コア内訳	20
表 3-2	間隙水の水質分析方法	26
表 3-3	X線回折条件	27
表 3-4	カリウム濃度とアルゴンの同位体比の測定結果	28
表 3-5	神鍋山スコリアの間隙水の水質分析結果	29
表 3-6	凝灰岩の化学成分一覧表	30
表 3-7	ボーリング・コアの細粒凝灰岩のX線回折分析結果	30
表 3-8	ボーリング・コアの砂質岩、泥質岩のX線回折分析結果	30
表 3-9	顕微鏡観察結果	31

II. ベントナイト編

表2-1	調査地域の地質層序表	42
表3-1	村上ボーリング・コアのCEC他の分析内容	51
表3-2	化学特性試験の分析・測定方法	56
表3-3	X線回折条件	56
表3-4	村上地域の粘土，凝灰岩試料の化学特性	57
表3-5(1)	含有鉍物一覧表（露頭試料その1）	58
表3-5(2)	含有鉍物一覧表（露頭試料その2）	59
表3-5(3)	含有鉍物一覧表（坑内試料その1）	60
表3-5(4)	含有鉍物一覧表（坑内試料その2）	61
表3-5(5)	含有鉍物一覧表（坑内試料その3）	62
表3-5(6)	含有鉍物一覧表（ボーリング試料その1）	63
表3-5(7)	含有鉍物一覧表（ボーリング試料その2）	64
表3-6	含有鉍物一覧表（鉍山側掘削孔）	65
表3-7	含有鉍物一覧表（平成3年度掘削孔）	66
表3-8	変質鉍物と貫入面からの距離との関係（鶴岡地域，大田地域）	69
表4-1	変質帯と変質鉍物組合せ	72
表4-2	変質鉍物の生成条件（推定）	75
表4-3	フィッシュョン・トラック年代測定結果一覧表	78
表4-4	Rb-Sr年代測定結果一覧表	79
表4-5	K-Ar年代測定結果一覧表	79
表4-6	珪藻化石の同定結果	80
表4-7	各岩石試料中の主要元素の重量	83

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位置図	4
図2-4	南房総鴨川及びその周辺の地形	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	茂原ガス田付近の地形	7
図2-7	神鍋山火山及びその周辺の地形	8
図2-8	宝永スコリア層及び試料採取位置(御殿場市付近)	10
図2-9	宝永スコリア層及び試料採取位置(須走口登山道一合目)	11
図2-10	伊豆高塚山を含む東伊豆単成火山地域のテフラ柱状図	13
図2-11	東伊豆単成火山地域に分布するテフラ層序と年代	14
図2-12	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)	16
図2-13	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)	16
図2-14	東京湾岸沿いの断面位置図(星野ほか, 1992)	17
図2-15	大多喜-船橋地質断面図(星野ほか, 1992)	17
図2-16	神鍋山周辺の地質図(古山, 1973)	19
図3-1	高塚山試料採取位置図	21
図3-2	調査対象ボーリング孔位置図	22
図3-3	試料採取対象ボーリング孔の柱状図	23
図3-4	神鍋山火山のスコリア採取位置図	24
図3-5	減圧法によるスコリア間隙水の抽出	26
図3-6	神鍋山スコリアの間隙水のヘキサダイアグラム	29
図4-1	スコリア間隙水の $[H_4SiO_4]$ と $[Ca^{2+}] / [H^+]^2$ の関係図	33

II. ベントナイト編

図2-1	調査位置図(村上地域)	39
図2-2	鶴岡地域調査位置図	40
図2-3	大田市北部調査位置図	41
図2-4	村上地域地質図及び地質断面図	43
図2-5	セリサイト鉱山付近の地質断面図	45
図2-6	鶴岡地域地質図	46
図2-7	大田市北部地域地質図	48
図2-8	沸石による変質分帯(大田市北部)	49
図3-1	ボーリング位置および地表試料採取位置図	52
図3-2	ボーリング・コア試料採取位置	53
図3-3	鶴岡市地域の試料採取位置図	54
図3-4	大田市北部地域の試料採取位置図	55
図3-5	鉱山側掘削孔における変質鉱物分布(MT-1)	67
図3-6	平成3年度掘削孔における変質鉱物分布(MT-2)	68
図4-1	変質鉱物分布図(村上地域)	73
図4-2	粘土と凝灰岩の三角ダイヤグラム	76
図4-3	年代測定結果総括図	81
図4-4	各試料における単位体積中の元素濃度	84
図4-5	変質帯形成モデル	85
図4-6	村上地域の粘土, 凝灰岩試料のCEC	87
図4-7	村上地域の粘土, 凝灰岩試料の置換性塩類	87
図4-8	村上地域の粘土, 凝灰岩試料のMBC	88

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、房総半島南部の鴨川地域に露出する新第三紀～第四紀層に挟在するスコリアガラスを対象に調査・研究が行われている。また、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から前期更新世の地層に挟在するスコリアガラスの変質に関与していると考えられる地下水についての調査・研究が行われている。

本調査では、富士起源の宝永スコリアガラス・高塚山火山起源のスコリアガラス及び房総半島の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ガラスを対象とする調査・研究を継続して行うとともに、兵庫県神鍋山火山起源の22,000～6,000年前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。

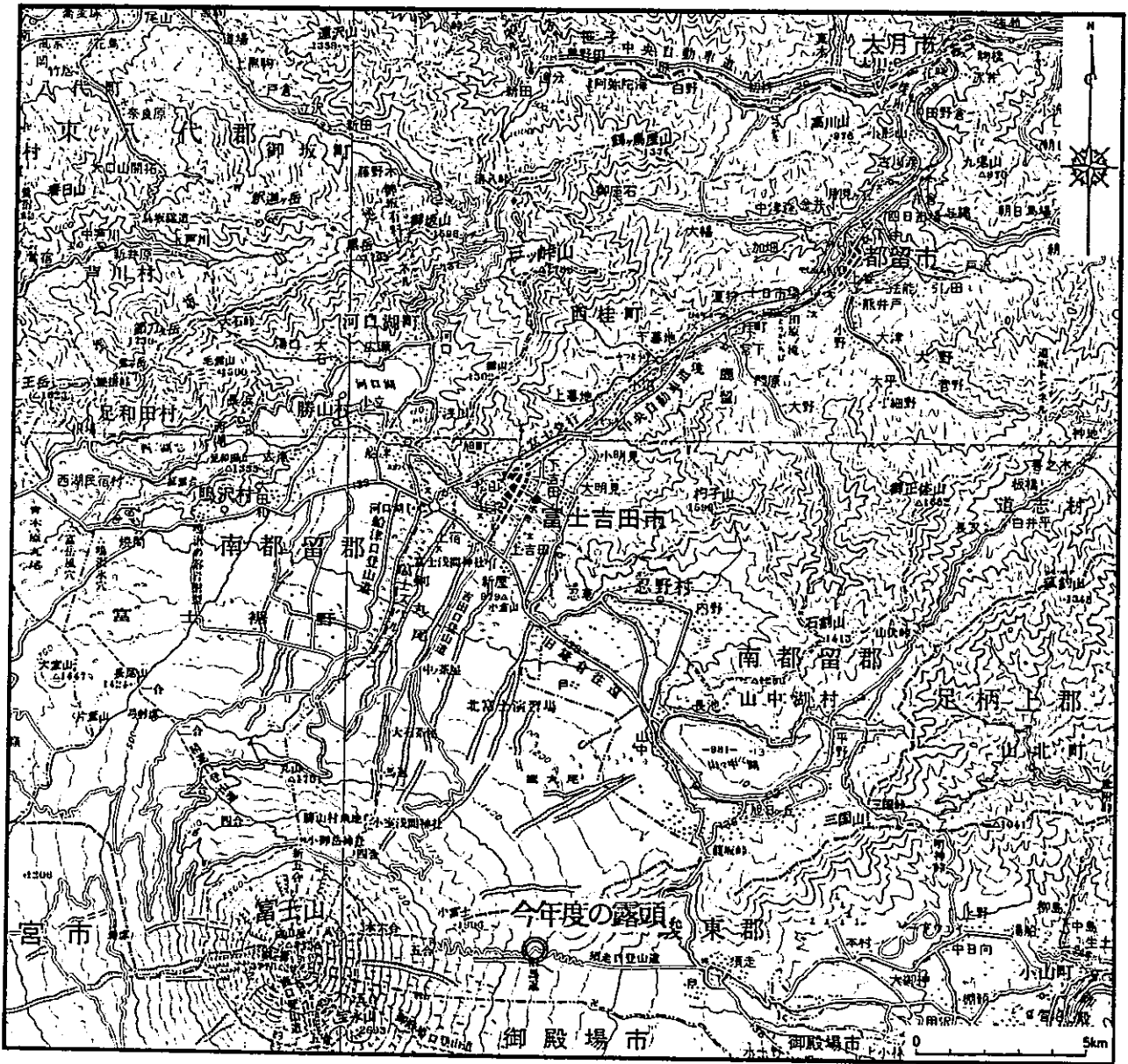


図2-1 宝永スコリア調査位置図

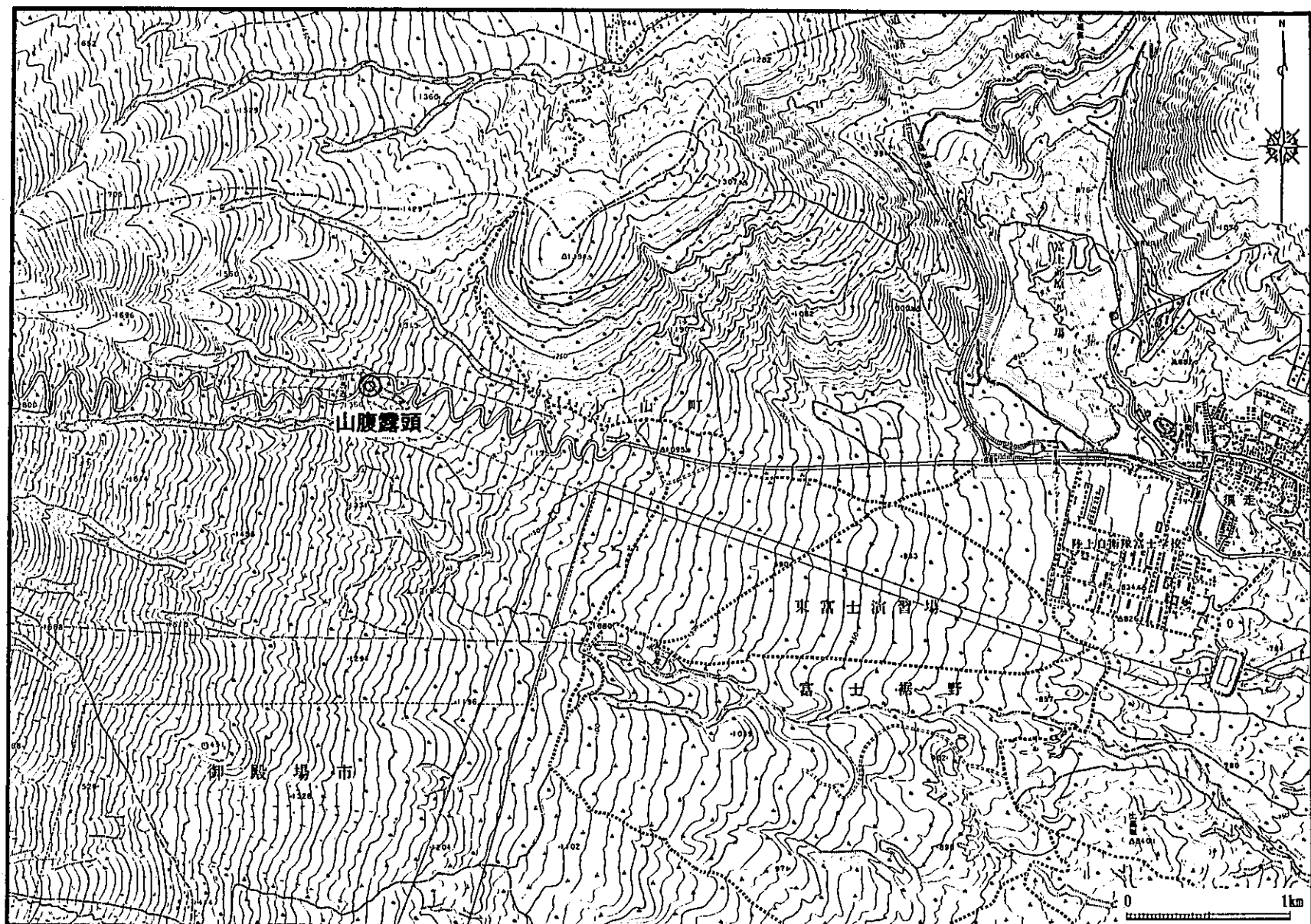


图2—2 山腹(須走口登山道—合目)露頭位置图

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地が南北に連なり、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、この脊梁山地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。

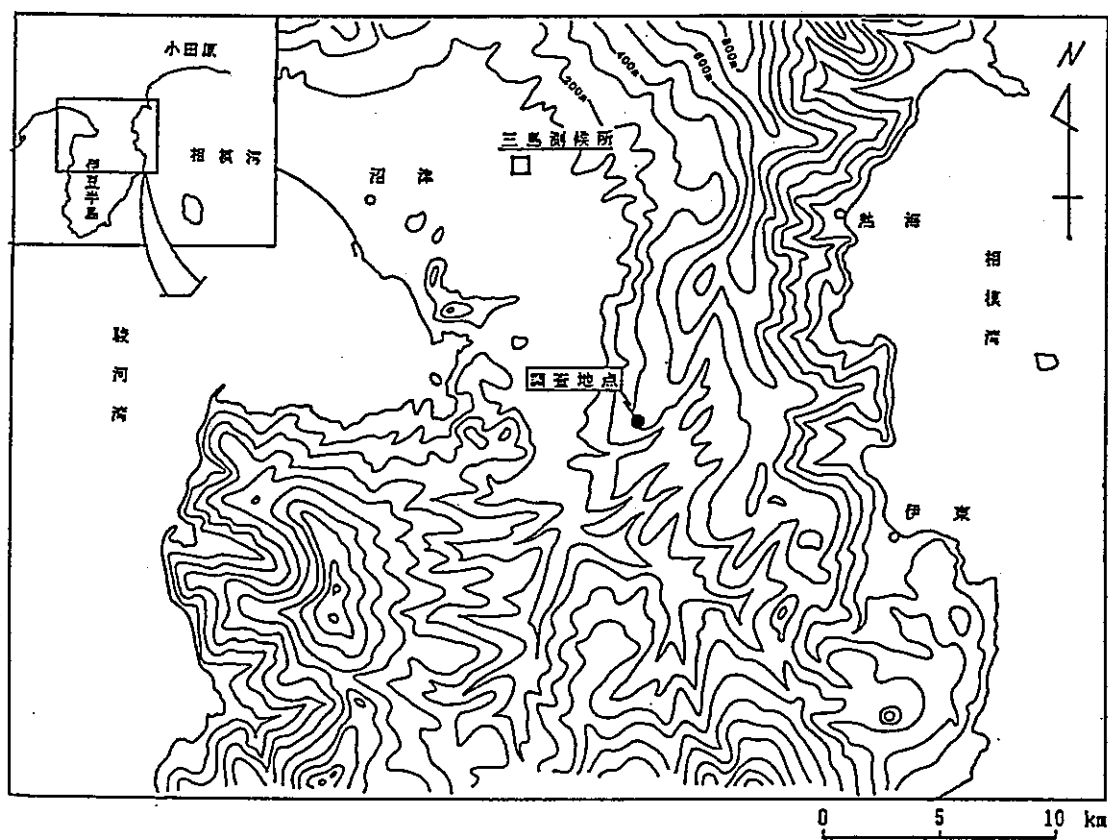


図2-3 高塚山周辺の地形と調査位置図

2.1.3 南房総鴨川及び茂原ガス田

南房総鴨川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、標高のわりには谷が急峻である。

茂原ガス田及びその周辺の地形の概要を図2-6に示す。

調査地域は房総半島の南東部に位置し、標高10~200m程度の低い丘陵地及び平野からなる。

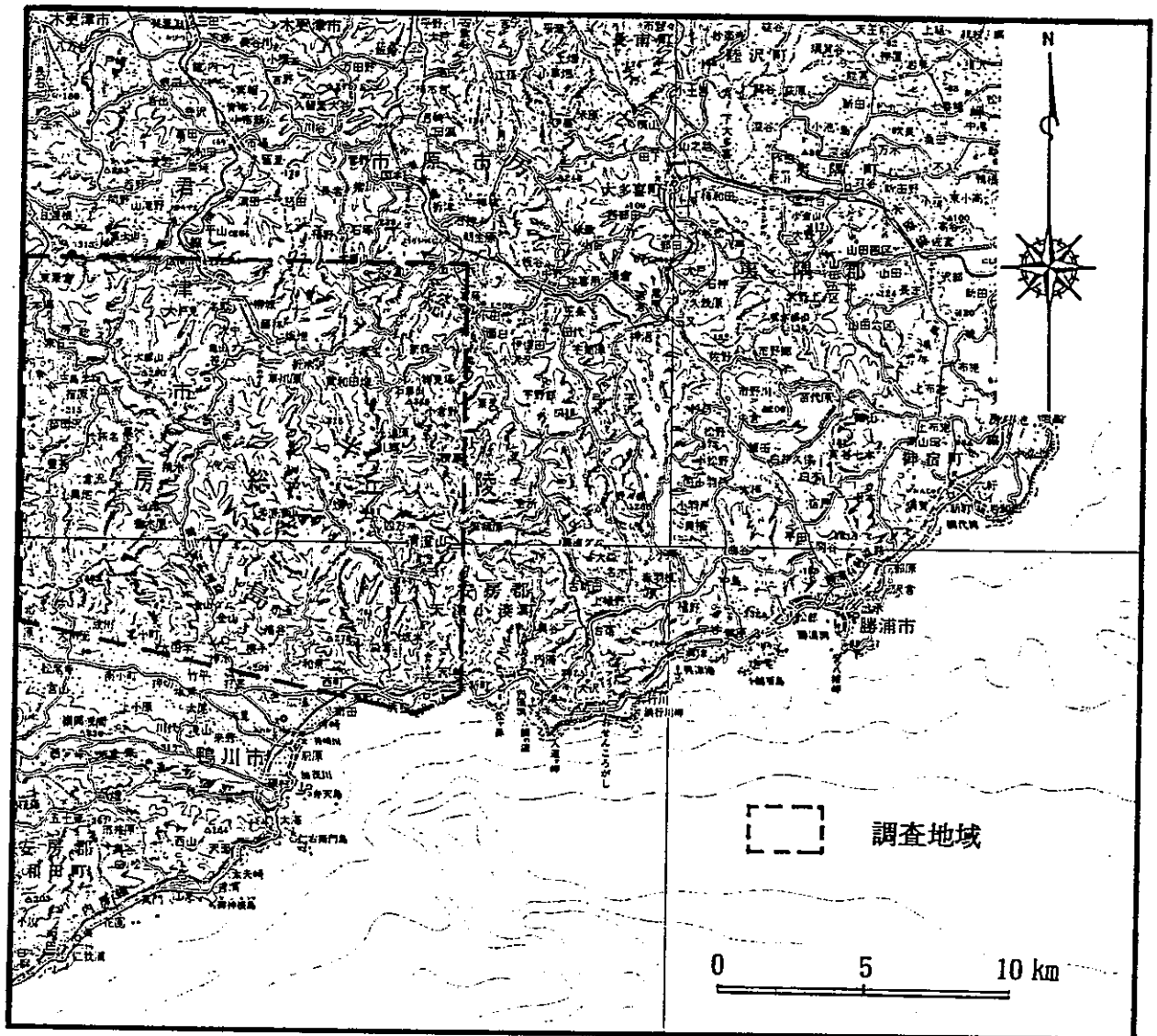
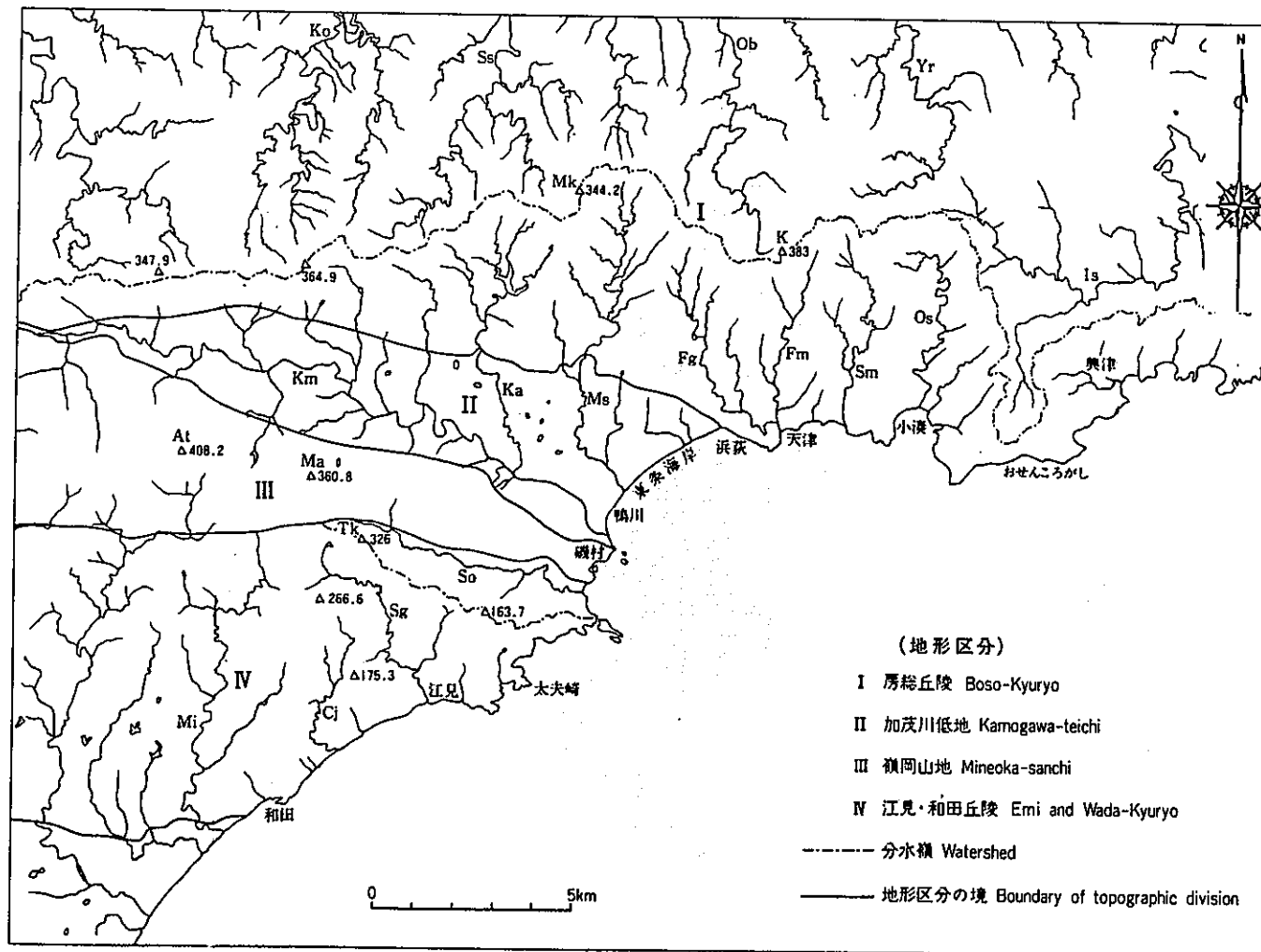


図2-4 南房総鴨川及びその周辺の地形



鴨川図幅地域付近の水系と地形区分 (山) At: 愛宕山 K: 清澄山 Ma: 嶺岡山 Mk: 元清澄山 Tk: 高鶴山 (川) Cj: 長者川 Fg: 袋谷川 Fm: 二間川 Is: 茨隅川 Ka: 金山川 Km: 加茂川 Ko: 小糸川 Mi: 三原川 Ms: 袴崎川 Ob: 小櫃川 Os: 大風沢川 Sg: 洲貝川 Sm: 神明川 So: 曾呂川 Ss: 笹川 Yr: 養老川

図2-5 南房総鴨川の水系と地形区分 (中嶋ほか, 1981)



図2-6 茂原ガス田付近の地形

2.1.4 神鍋山

神鍋山及びその周辺の地形の概要を図2-7に示す。

調査地域は、丹後山地内の豊岡盆地の西側約15kmに位置している。北西から南東へと流下する稲葉川沿いに分布する盆地状の低地の中に神鍋山があり、その周囲は標高 650～1000m 程度の山地によって囲まれている。

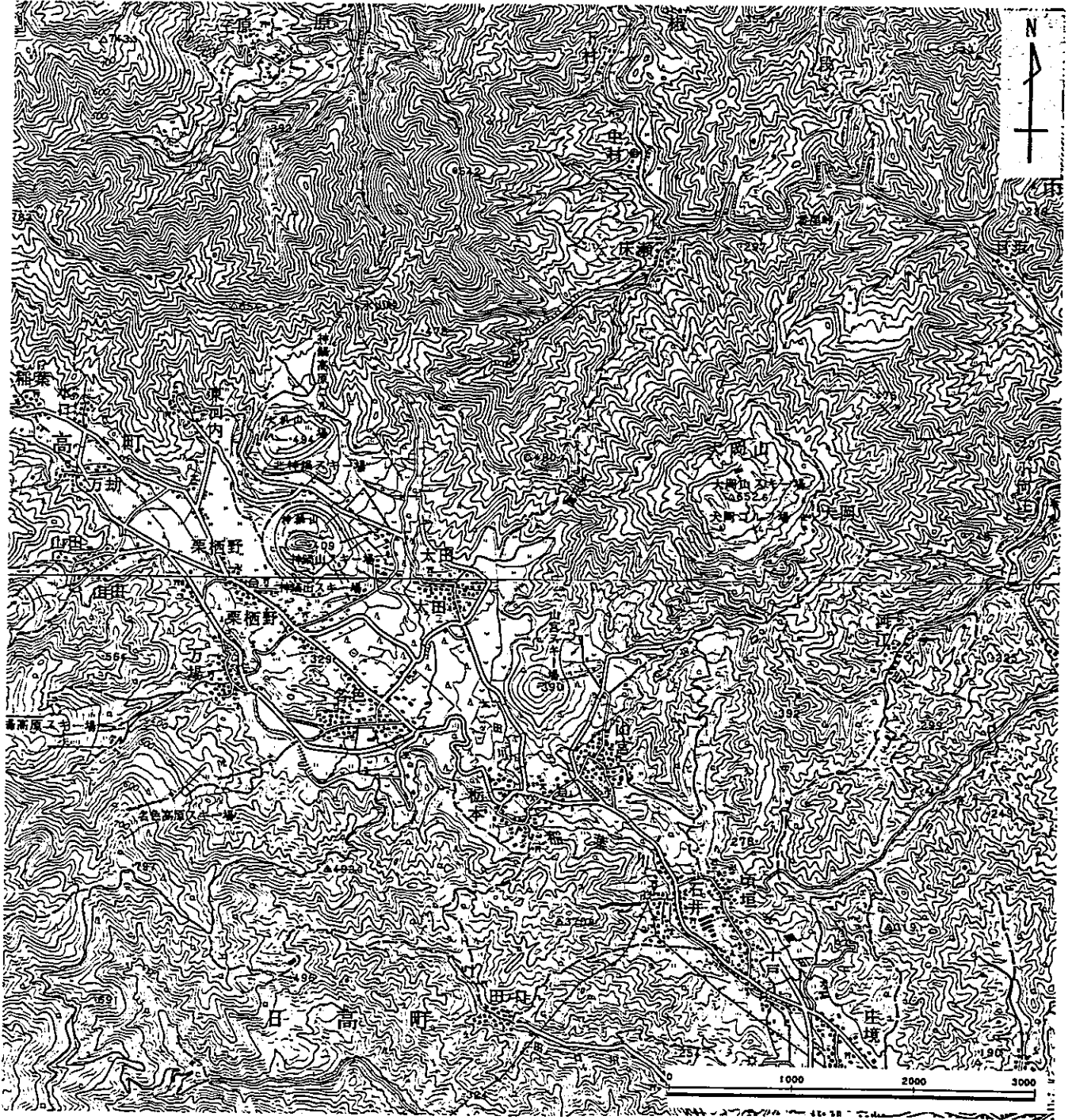


図2-7 神鍋山火山及びその周辺の地形

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砕層、富士黒土層、新期富士降下火砕層の3層に区分されている（町田，1964など）。

古期富士降下火砕層は数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。本層は、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、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2-8参照）。一方、より宝永火口に近い山腹（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2-9参照）。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。

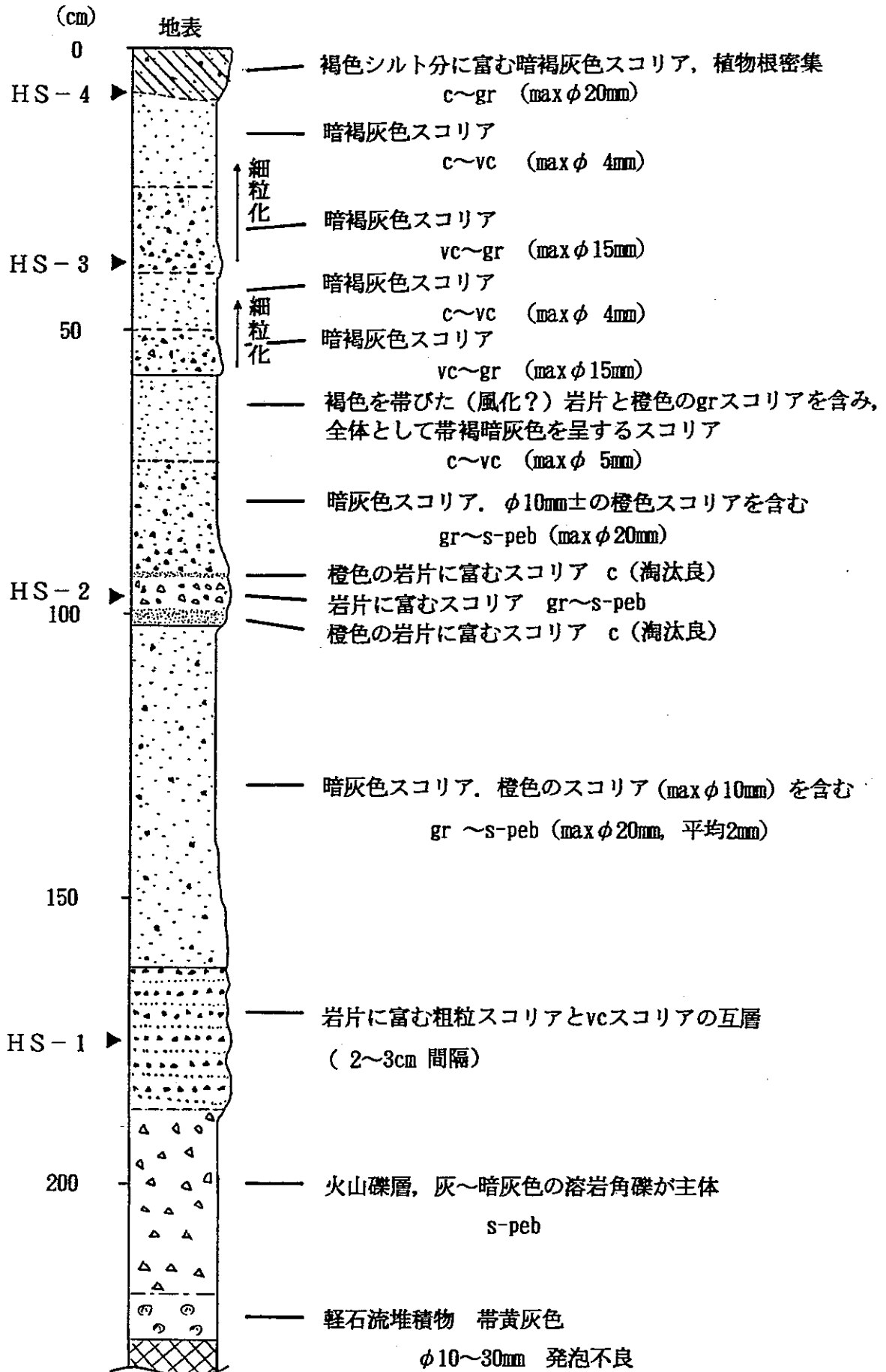
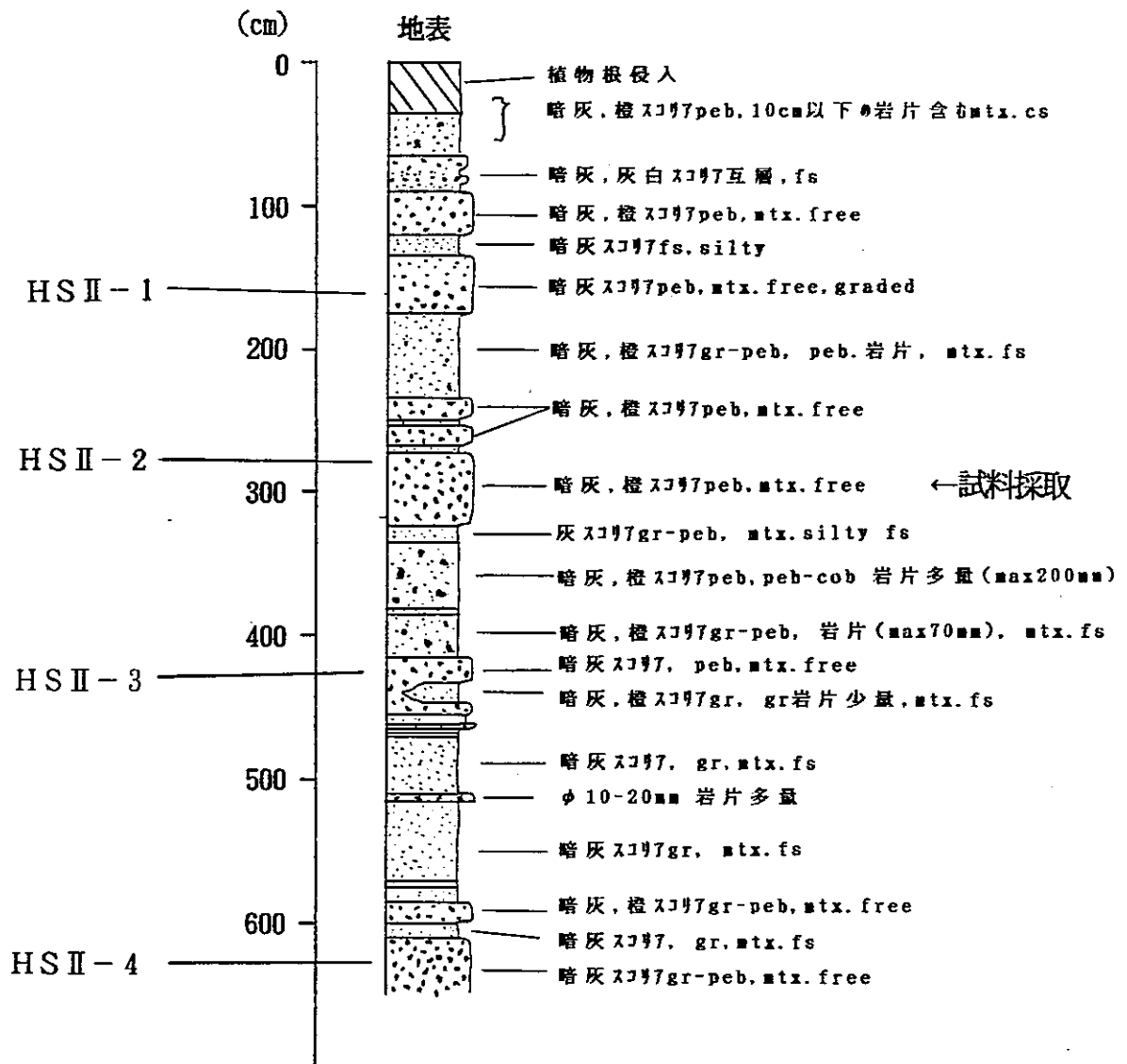


図2-8 宝永スコリア層および試料採取位置 (御殿場市付近)



注) HS II - 1 ~ 4 は採取層準を示している。
柱状図中の深度と採取深度とは必ずしも一致しない。

図2-9 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。

最近小山ら（1993）は、広域テフラの対比とレスクロノ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2-10に高塚山を含むテフラ柱状図を、図2-11に東伊豆単成火山地域に分布するテフラ（溶岩を含む）層序と年代を示す。

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	更 新 世	箱根中央火口丘堆積物 (CCP-1～CCP-4)
	新 世	古期富士火山灰 (OF) 高塚山火山噴出物
	世	箱根酸性火山礫凝灰岩 (SP)
新 第 三 紀	鮮 新 世	多賀火山噴出物
	中 新 世	火山岩および火山碎屑岩
		CCP-4・・・(30,000) CCP-1・・・(40,000) SP・・・(45,000) TP・・・50,000

*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。

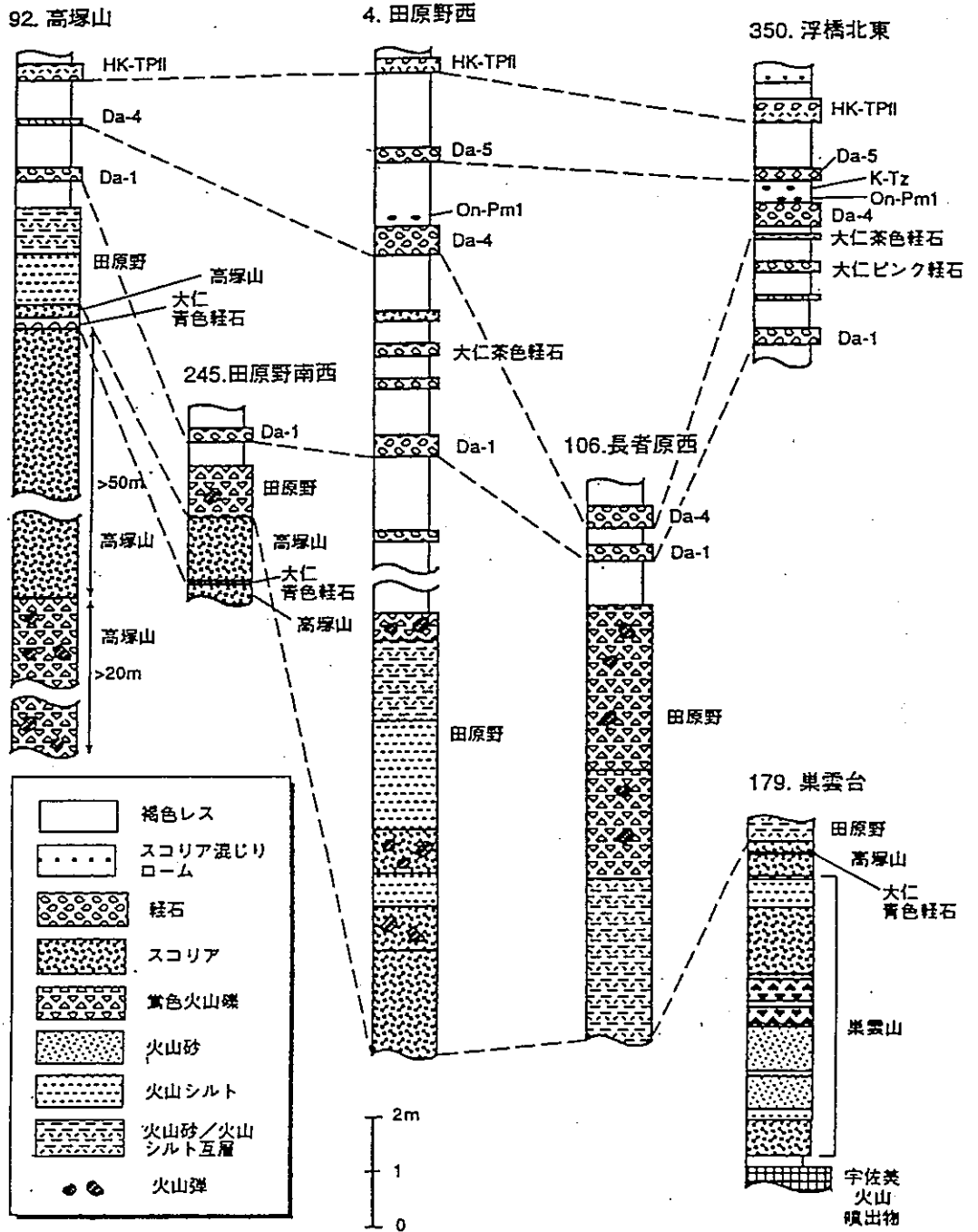
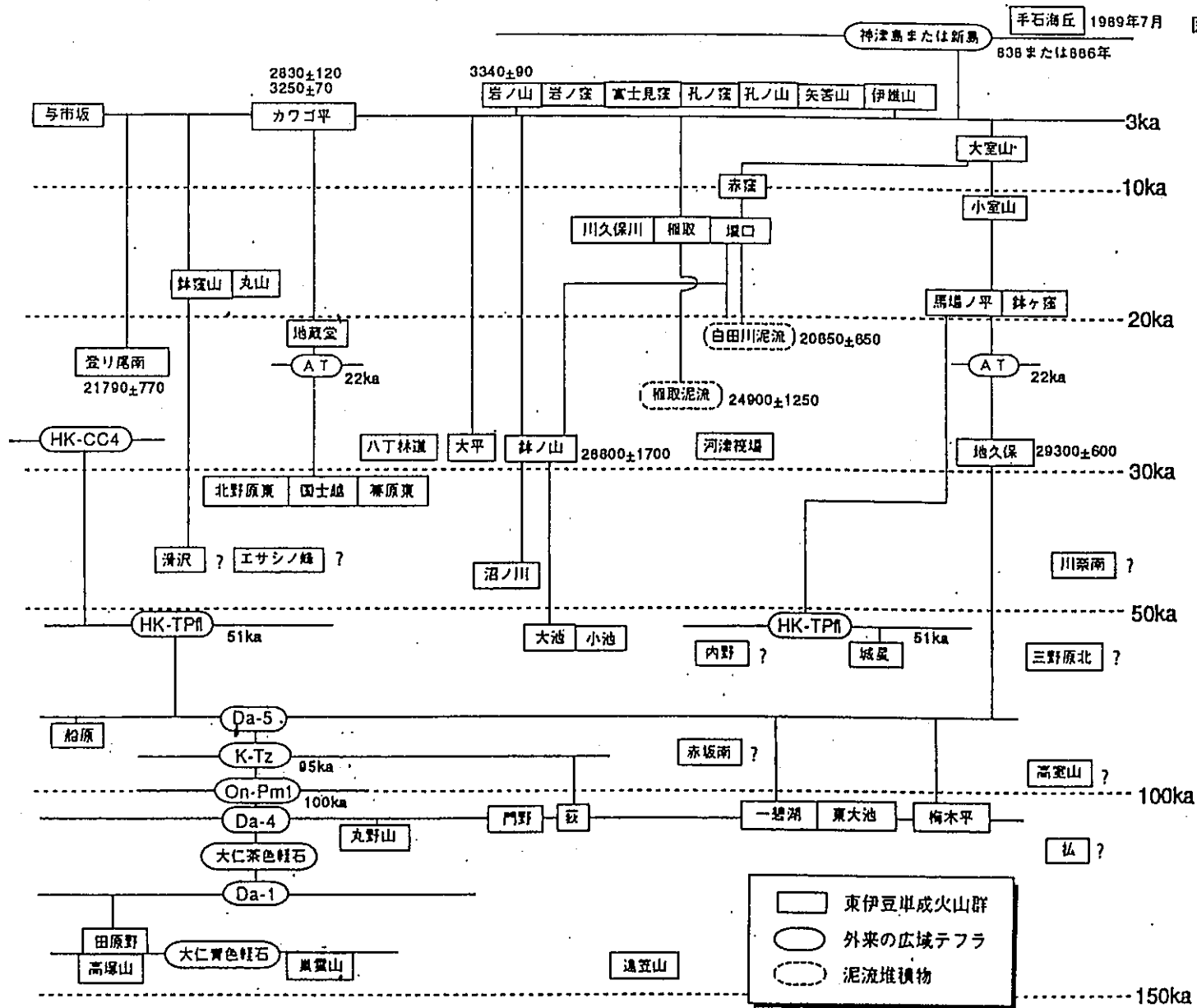


図2-10 伊豆高塚山を含む東伊豆単成火山地域のテフラ柱状図



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2-11 東伊豆単成火山地域に分布するテフラ層序と年代

2.2.3 南房総鴨川及び茂原ガス田

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。また、茂原ガス田付近の地質および地質構造は、その地下資源の有用性からかなり詳しく調査されている。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2-12、図2-13に示す。また、星野ほか(1992)による船橋から大多喜にかけての断面位置及び地質断面図をそれぞれ図2-14、図2-15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、勝浦層、浪花層、大原層、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對し、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。

勝浦層は砂岩・泥岩互層からなり、房総半島東部にのみ分布している。

浪花層は泥岩を主体とし、砂岩薄層を挟在し、房総半島東部にのみ分布している。

大原層は泥岩・砂岩互層からなり、房総半島東部にのみ分布している。

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。

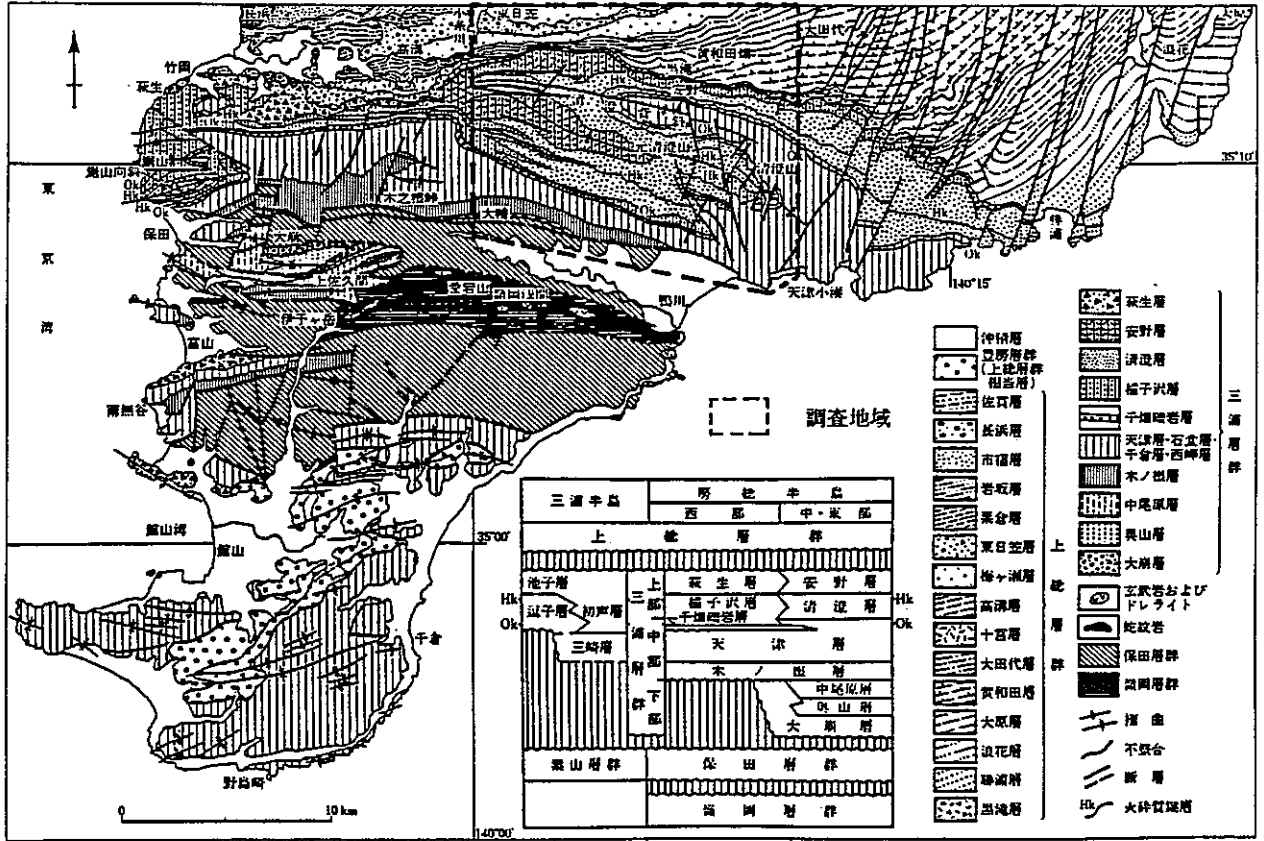


図2-12 南房総鴨川付近の地質図 (日本の地質「関東地方」編集委員会, 1986)

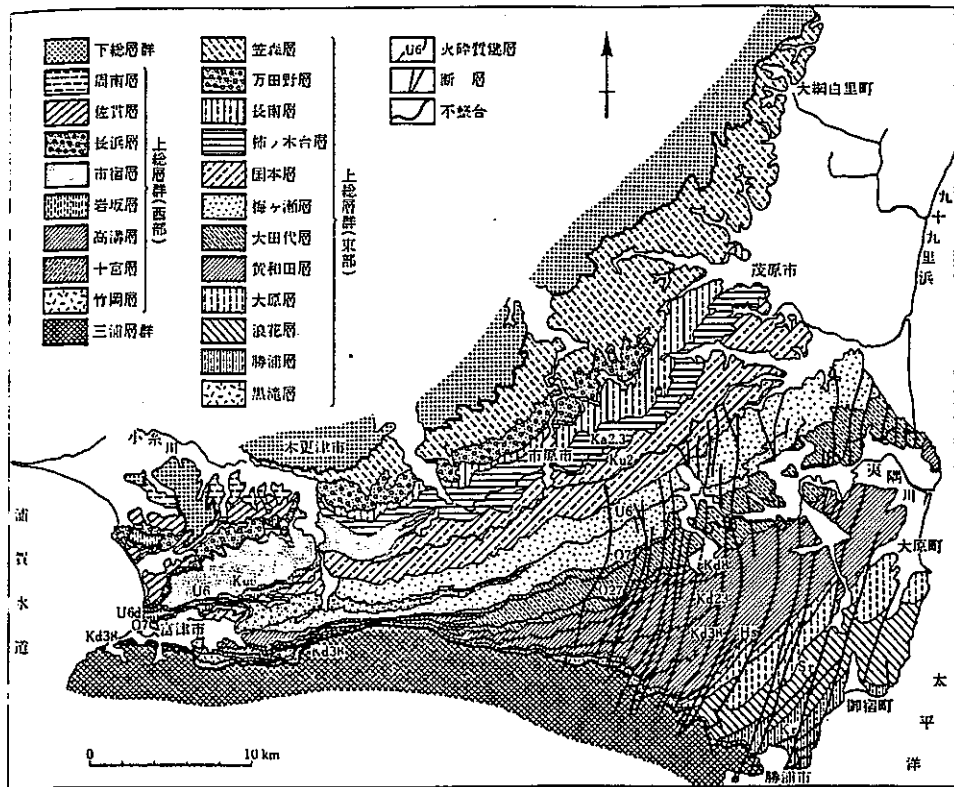


図2-13 茂原ガス田付近の地質図 (日本の地質「関東地方」編集委員会, 1986)

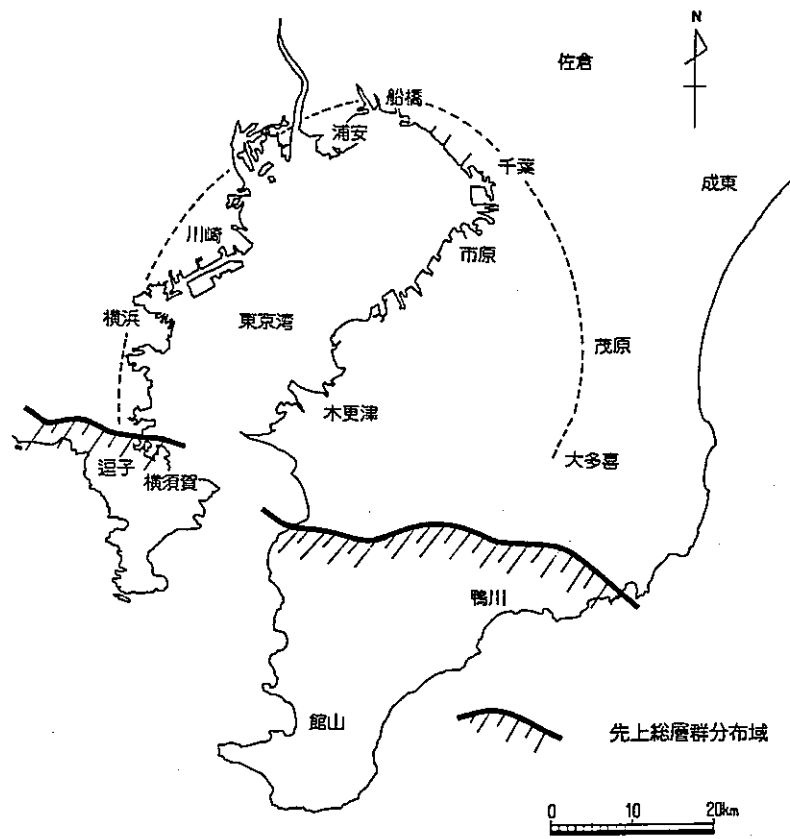


図2-14 東京湾岸沿いの断面位置図 (星野ほか, 1992)

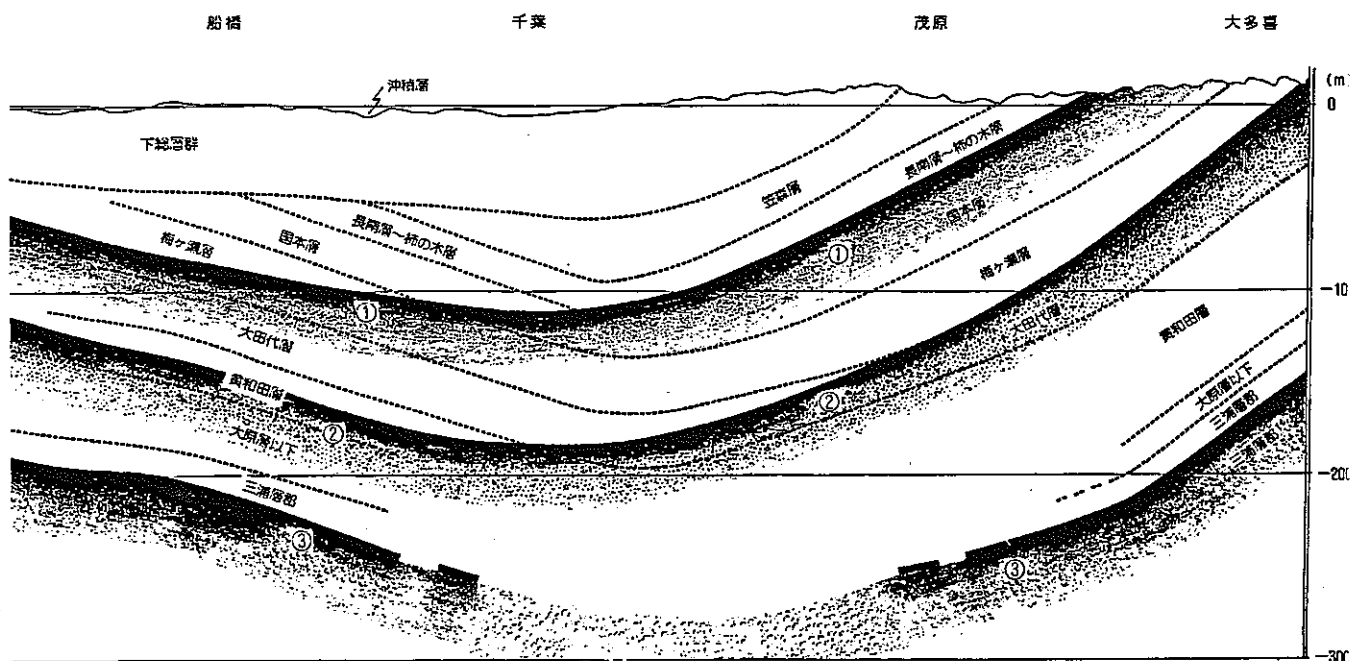


図2-15 大多喜-船橋地質断面図 (星野ほか, 1992)

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。

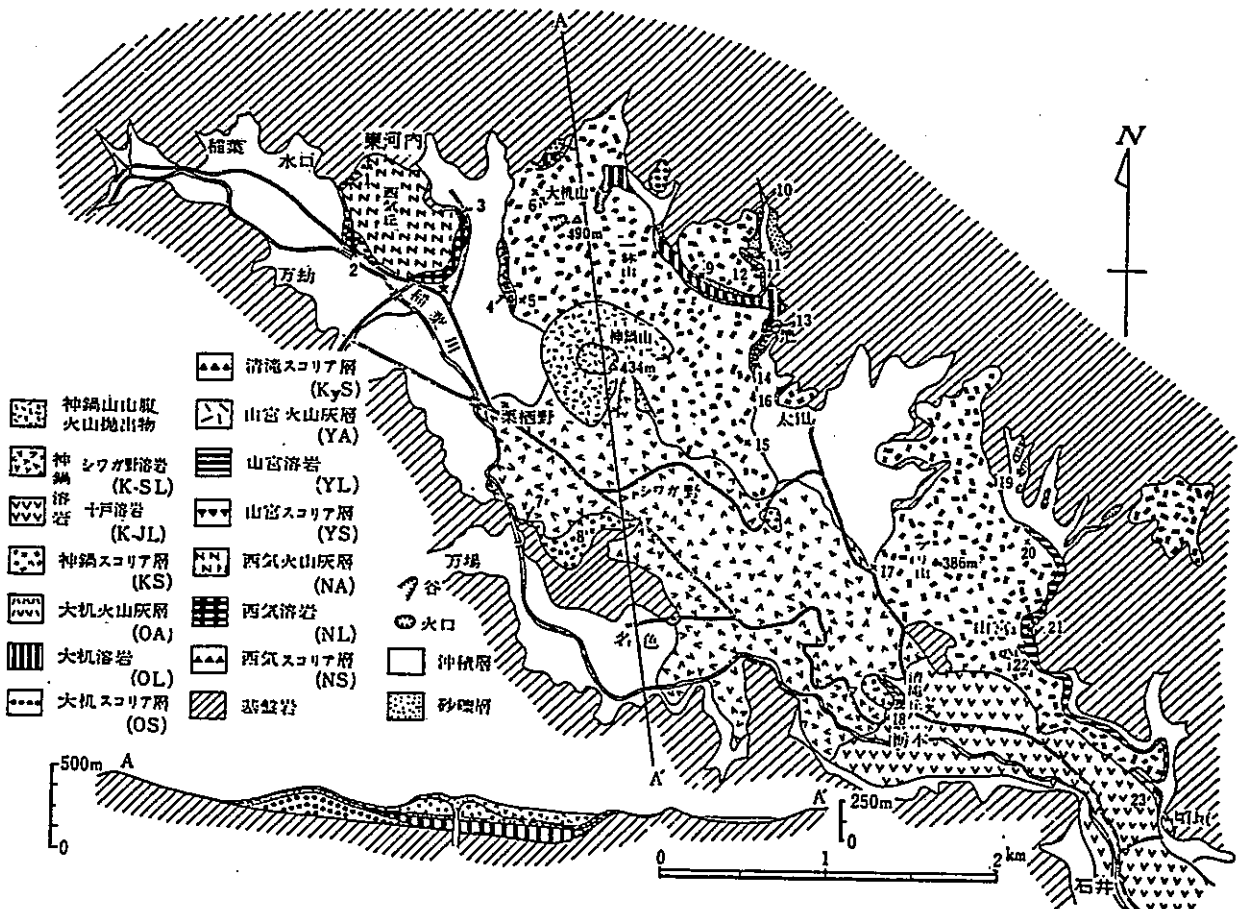
図2-12及び図2-13に示したように、南房総鴨川では三浦層群が、茂原ガス田では上総層群が主として地表に分布している。この茂原ガス田においては、上総層群中に胚胎する水溶性ガスを採取すると共に、このガスを溶解している地下水中に濃縮されているよう素も採取されている。本ガス田は世界一のよう素の生産量を有している。

2.2.4 神鍋山

神鍋山火山群の地質については、古山（1973）等の研究がある。神鍋山及びその周辺の地質図を図2-16に示す。

神鍋山及びその周辺の基盤岩類は中新世の北但層群である。北但層群はこの地域の南東部においては中～塩基性の火山岩を主体とし、北西部においては中～酸性火山岩、砂岩、礫岩そして泥岩からなる。

神鍋山火山群は、アルカリ玄武岩質の単成火山群であり、西気火山、ブリ火山、清滝火山、大机火山、神鍋火山からなる。清滝火山以外はすべて溶岩を流出しており、このうち神鍋溶岩の分布面積が最大である。それぞれの火山に由来するスコリア層はスコリア丘を形成したとされている。神鍋スコリア層の下位には広域テフラ始良Tn（約22,000年前）があり、上位は広域テフラアカホヤ火山灰（約6,000年前）に被覆されていることから、神鍋山火山の活動年代は約22,000年前～約6,000年前までの間と推定されている（古山ほか、1993）。



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2-16 神鍋山周辺の地質図 (古山, 1973)

3. 分析・試験

3.1 試料

富士の須走口登山道一合目付近の山腹露頭からスコリア試料を採取した（図2-9参照）。

高塚山からは、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火山弾試料を採取した。採取位置を図3-1に示す。

また、茂原ガス田において天然ガス稼行会社が掘削した調査ボーリング孔から得られたボーリング・コアから、スコリア及び細粒凝灰岩を採取した。さらに、スコリアが得られた深度付近の泥質岩及び砂質岩も併せて採取した。試料採取を行ったボーリング孔の位置を図3-2に、それぞれのボーリング孔の地層区分と試料採取深度を図3-3に、採取試料の内訳を表3-1に示す。

神鍋山のスコリアについては、地表面からの深度約11mの法面上から1試料（Ks-1）、地表面からの深度約10mの切り立った崖から1試料（Ks-2）、計2試料採取した。採取位置を図3-4に示す。

表3-1 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	清澄層 (三浦層群)

3.2 方法

3.2.1 絶対年代測定

火山弾試料の中心部（コア部）を切り出して粉碎し、60~80メッシュに粒径を揃えたものを超音波洗浄してK-Ar年代測定に供した。

測定は長尾・板谷（1988）に示される方法に基づき行った。年代の計算に用いた定数

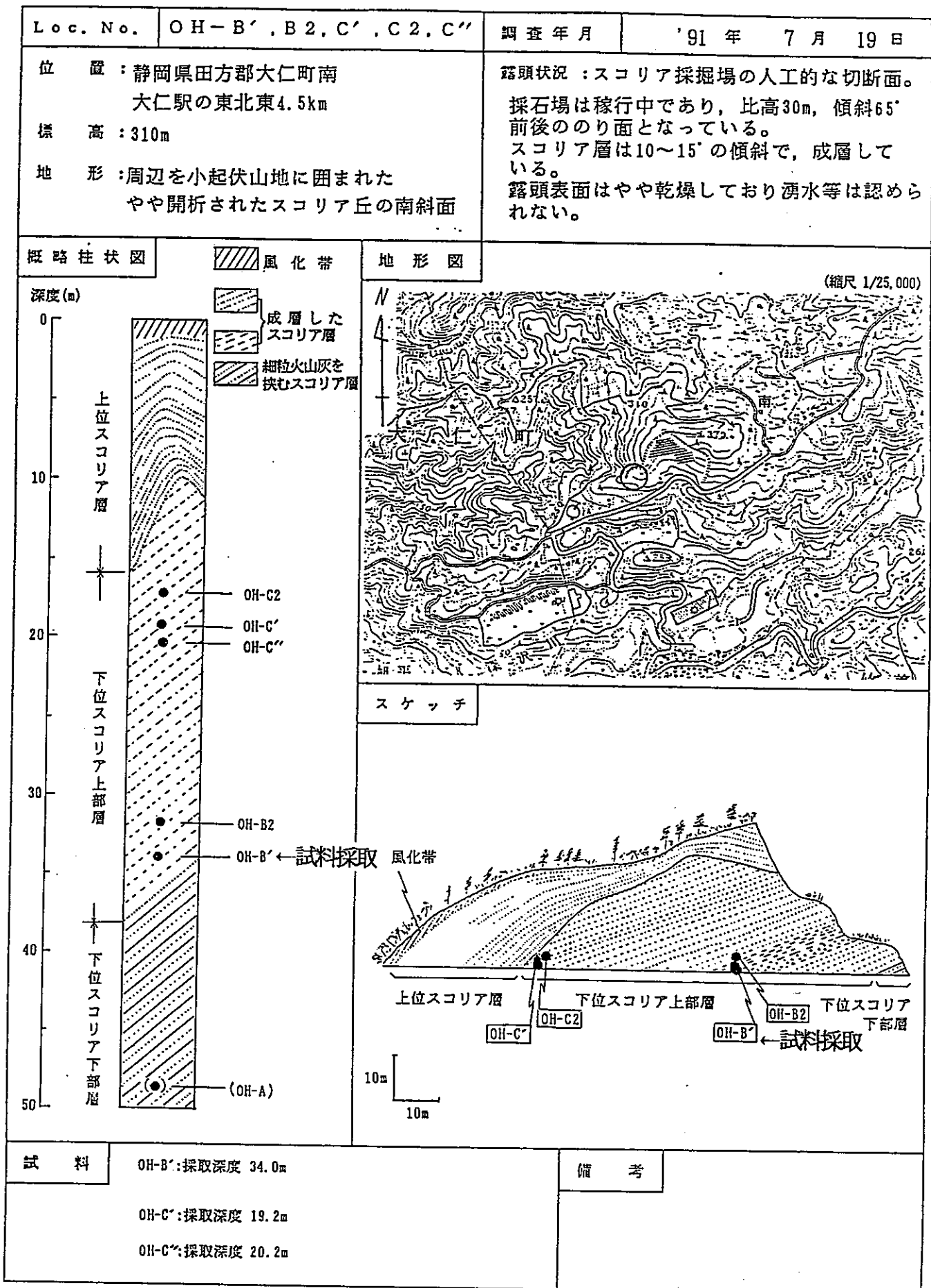


図3-1 高塚山試料採取位置図

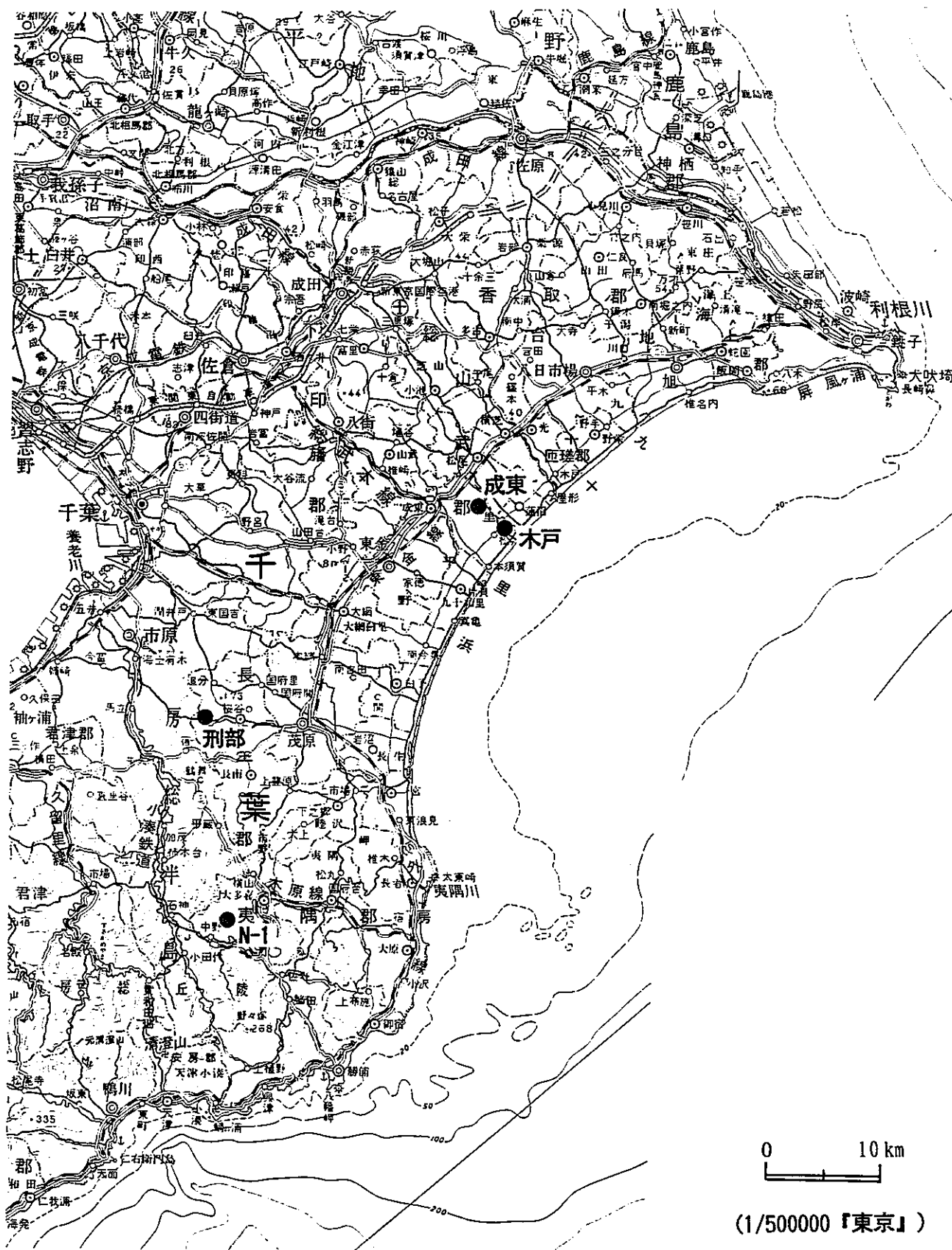


図3-2 調査対象ボーリング孔位置図

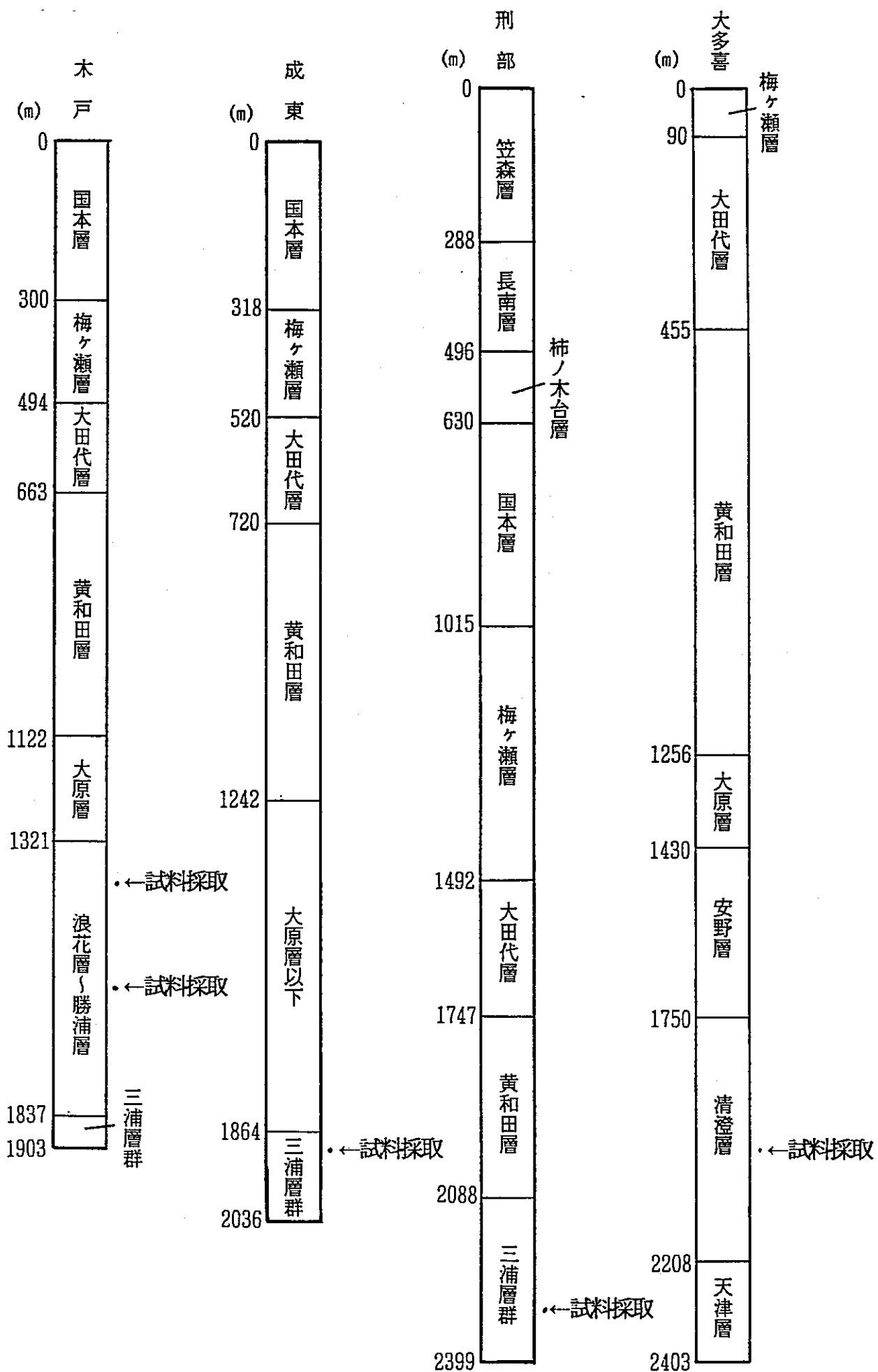


図3-3 試料採取対象ボーリング孔の柱状図

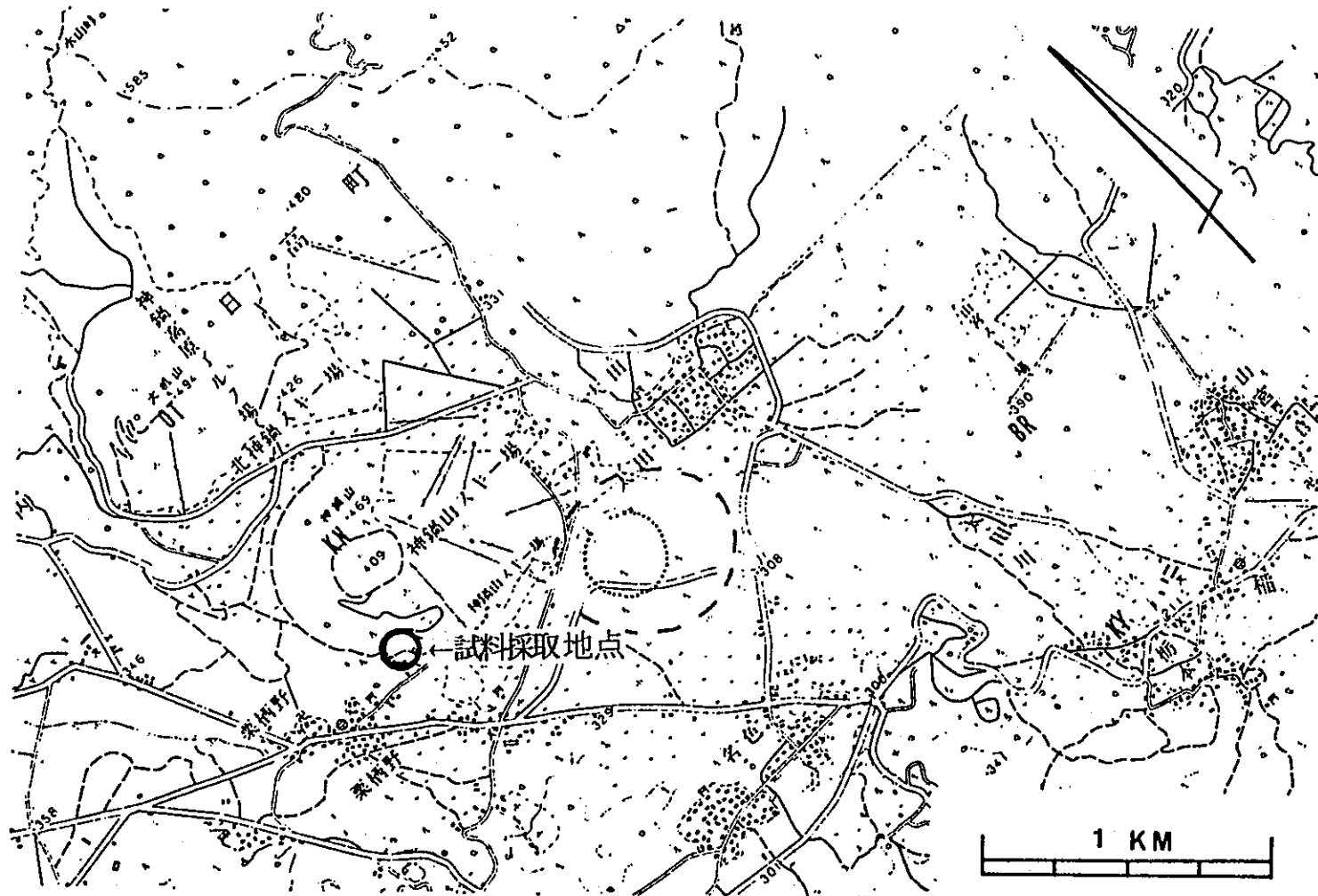


図3-4 神鍋山火山のスコリア採取位置図

点線：太田スコリア丘の推定火口縁，破線：同スコリア丘の推定基底外形，
 OT：大机スコリア丘，KN：神鍋スコリア丘，BR：ブリスコリア丘。
 地形図は国土地理院発行の2.5万分の1・「神鍋山」，「栃本」を使用した。

は、 $\lambda e = 0.581 \times 10^{-10}/y.$, $\lambda \beta = 4.963 \times 10^{-10}/y.$, ${}^{40}K/K = 0.01167 \text{ atm } \%$ である。

3.2.2 間隙水の分析

神鍋山のスコリア試料からは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3-2に示すとおりである。

なお、減圧法の手順は次のとおりである。

- 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：2.2 μ m）を敷いた吸引鐘にあげ吸引ろ過を行う（図3-5）。
- 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。

3.2.3 岩石の化学分析

岩石の化学分析は、南房総鴨川及び茂原ガス田のボーリング・コア中に認められた細粒凝灰岩の一部について、蛍光X線法またはEPMAによって実施した。試料の量が比較的多量の場合（0.5g以上）には、ガラスビードを作成して、理学電機製の蛍光X線分析装置（3080型）を用いた。また、試料の量が微量の場合には、粉末試料を直接試料台にアセトンで固定、炭素蒸着の後、日立製の電子顕微鏡（X-650）を用いて測定点を3か所定めた後、KEVEX製のEPMA（8000型）によって成分分析を実施した。

3.2.4 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ダー（容積：1 ℓ ）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3-3の左側に示した条件で、定方位試料に

表3-2 間隙水の水質分析方法

分 析 項 目		分 析 方 法
記 号	名 称	
Na ⁺	ナトリウムイオン	フレイム光度法 (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	イソクロマトグラフ法 (JIS M 0202)
HCO ₃ ⁻	重炭酸イオン	BCG-MR (ブロムクリン-メチレンブルー) 混合指示薬を用いて, 0.05N HCl で滴定
SO ₄ ²⁻	硫酸イオン	イソクロマトグラフ法 (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)

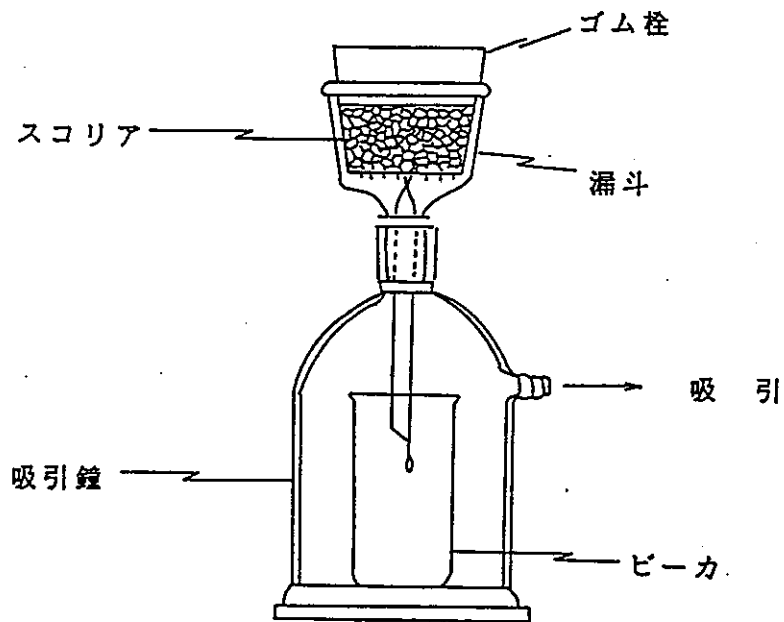


図3-5 減圧法によるスコリア間隙水の抽出

については表3-3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3-3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。

3.2.5 顕微鏡観察

ポーリング・コアからダイヤモンドカッターによってチップを切り出し、油擦りで薄片を作製した。これらの薄片を用いて偏光顕微鏡を用いてスコリアの組織、鉱物組成、変質状況を観察した。

表3-3 X線回折条件

区分	無定方位試料	定方位試料	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.
パルスカウンタ	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°

3.3 分析・試験結果

3.3.1 絶対年代測定

K濃度とAr ($^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$) の同位体比の測定結果を表3-4に示す。

このうちのArの測定においては、その同位体比が空気の値に非常に近く、これらの値から単純に年代計算を行うと、0Ma. あるいは未来の年代が算出されるため、年代値は得ることができなかった。

表3-4 K濃度とArの同位体比の測定結果

試料名	試験室No.	K濃度 (wt%)	$^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$
OH-B' (v)	S29-284	—	295.5
	S29-285	0.467±0.023	293.2

3.3.2 間隙水の分析

神鍋山スコリアの間隙水の水質分析結果を表3-5に、それらの結果から作成したヘキサダイアグラムを図3-6に示す。

3.3.3 岩石の化学分析

南房総鴨川及び茂原ガス田のボーリング・コアから得た細粒凝灰岩の化学分析結果を表3-6に示す。

3.3.4 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3-7に示す。また、スコリアを包含する層準の深度付近から得た泥質岩及び砂質岩のX線回折分析結果を表3-8に示す。

3.3.5 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3-9に示す。

表3-5 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	

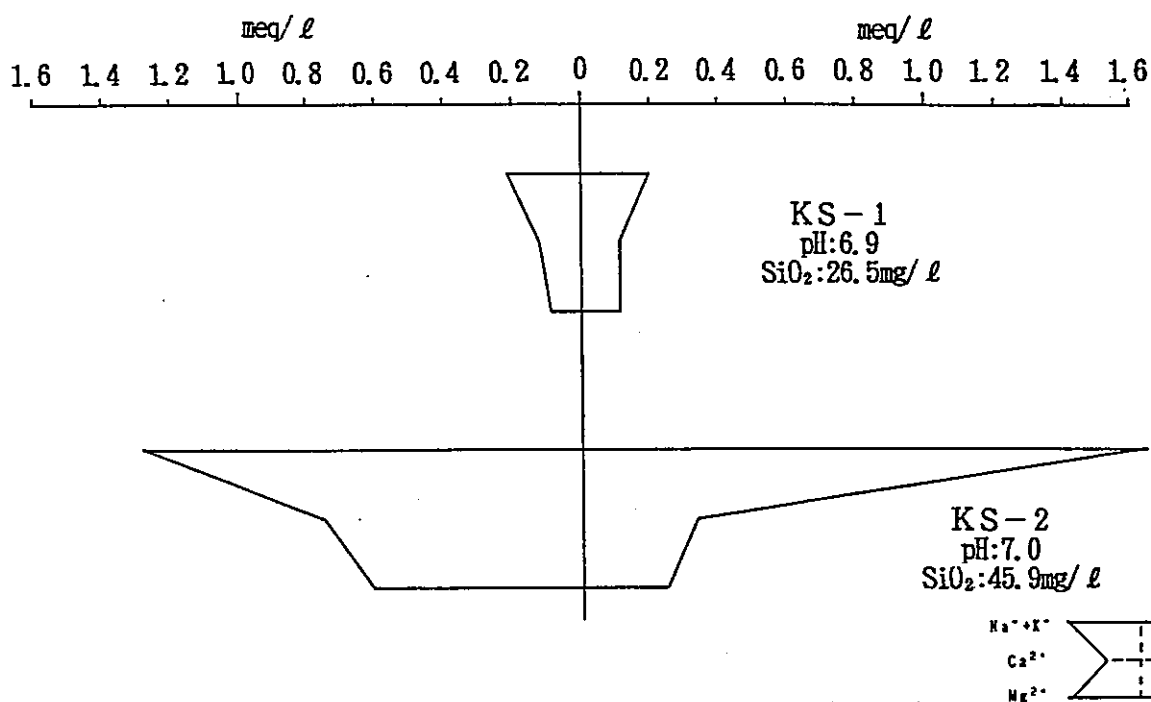


図3-6 神鍋山スコリアの間隙水のヘキサダイアグラム

表3-6 凝灰岩の化学成分一覧表

(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: モノ斜輝石, Qt: 石英, Cri: α-クリストバライト, Pl: 斜長石, Py: 黄鉄鉱, Ha: ハイドラト

表3-7 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		緑	イ	モン	石	斜	黄	カ	斜	普
		泥	ラ	モリ	英	ブ	鉄	リ	長	通
孔名	深度	石	イト	ロ	沸	チ	鉱	長	石	角
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3-8 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		モン	緑	イ	東	普	α	石	斜	黄
		モリ	泥	ラ	沸	通	ク	英	長	鉄
孔名	深度	ロ	石	イト	石	角	リ	石	石	鉱
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 3-8 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	p1>>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	ボール~虫食い状	p1	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	ボール~虫食い状	p1	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	ボール~虫食い状	p1>>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	ボール~網状	p1	無色、黒褐 針状結晶多含	顕著な変質は認められない

4. 考 察

4.1 神鍋山のスコリアの変質に関与した地下水の水質

図3-6をもとに、神鍋スコリア層の間隙水の水質をみると以下のようにまとめられる。

① KS-1における深度約11mの間隙水

pHは6.9であり、水質組成は、Na-Cl型である。溶存分量は、0.43~0.45meq/ ℓ である。SiO₂濃度は、26.5mg/ ℓ である。

② KS-2における深度約10mの間隙水

pHは7.0であり、水質組成は、Na-Cl型である。溶存分量は、2.30~2.51meq/ ℓ である。SiO₂濃度は、45.9mg/ ℓ である。

このKS-1とKS-2の間には、pH及び水質の型に違いはないものの、溶存分量とSiO₂濃度に大きな差が認められる。この原因は、KS-2は切り立った崖から採取していて、比較的時間をかけて下方へ浸透した水を間隙水として含んでいると考えられるのに対し、KS-1は法面上から採取していて、ほとんど下方へ浸透していない水を間隙水として含んでいることによると考えられる。

次に、水質分析結果をもとに、神鍋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4-1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、KS-1における深度約11mの間隙水はカオリナイトの安定領域に、KS-2における深度約10m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。

4.2 茂原ガス田のスコリアの変質温度

茂原ガス田のスコリアの変質温度を把握するために、青柳(1979)による自生鉱物を用いた古地温の推定を試みた。すなわち凝灰岩中に認められる自生鉱物として、モンモリロナイト、石英、トリディマイト、クリストバライトの出現に注目し、堆積性粒子と考えられるイライトや緑泥石が認められる試料は除外して検討した。しかし、この検討の前提として、堆積した細粒凝灰岩が初生的にこれらの鉱物を含んでいないことが必要になる。

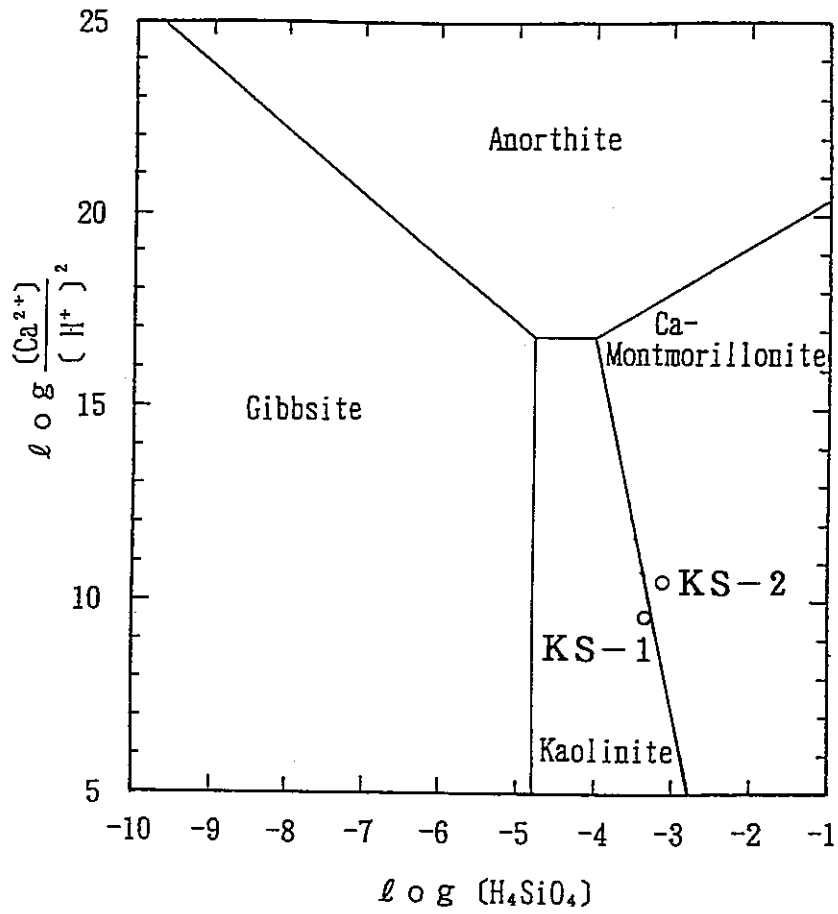


図4-1 スコリア間隙水の (H_4SiO_4) と $[Ca^{2+}] / [H^+]^2$ の関係図

Tardy (1971) のFig. 3より引用した。

以上のような見地に立脚すると、表3-7の結果から、木戸孔の深度約1400mの細粒凝灰岩に石英が出現する点が注目される。しかし、表3-6に示した化学分析結果によれば、南房総鴨川のAm-16以外の細粒凝灰岩は、そのSiO₂含有量からいずれも中性～塩基性の火成活動に由来するものとは言いがたく、初生的な斑晶鉱物として石英を含んでいた可能性は否定できない。したがって、Am-16のみが明らかに自生鉱物としての石英を有していると考えられる。

そこで、ガラスから石英が生成する温度を69℃ (Aoyagi and Kazama, 1980)とするとAm-16以深の層準は少なくとも69℃以上に熱せられたと解釈される。また、Am-xは化学分析結果からは酸性のマグマに由来していると考えられるが、X線回折分析において石英が検出されていないことから、Am-xの層準は69℃以上に熱せられたことがないことになる。

以上のことから、陸上試料を用いた結果では、天津層のAm-16付近の層準が69℃以上に熱せられたと解釈され、ボーリング試料についての直接的な温度履歴についてのデータは得られていないことになる。調査の対象地域内において、各地層の厚さにそれほど大きな変化がないと仮定すると、ボーリング試料はすべて天津層下部よりは上位に相当するため、最高温度は69℃に満たないものであったと予想される。

4.3 茂原ガス田のスコリアの変質層

スコリアの変質に関しては顕微鏡観察のみを実施している。これによれば、表3-8に示したように成東孔の1899.10mの安野層のスコリア凝灰岩以外に顕著な変質は認められなかった。これは、地表試料にもとづく既往調査結果(平成2～3年度)、すなわちスコリア凝灰岩で変質が認められた最も新期の地層は三浦層群の安野層であったことと調和的である。

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、 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比が大気のそれに近いために直接年代を得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るならば、独立に $^{38}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比を測定することで補正ができる可能性があることから、 $^{38}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比の測定を実施して補正を行い、テフラ層序とレスクロノメトリーに基づく年代値の検証を行える可能性がある。

茂原ガス田の地下水については、平成4年度の水質分析結果に基づく考察から化石海水起源であることが明らかになった。したがって、このような地下水を賦存する地層に挟在しているスコリアガラスは、スコリア堆積後現在に至るまでほぼ海水とほぼ同じ組成を有する地下水の中に置かれてきたことになる。このことは、このような地層中のスコリアガラスの変質状況を調査することによって、海水あるいはそれに近い高い塩分濃度の地下水下における長期変質挙動の解明に対する極めて重要なナチュラル・アナログ研究のフィールドとなることを示唆している。今年度稼行団体から提供を受けて調査したボーリング・コア中に含まれるスコリアガラスは、自生鉱物の生成温度を利用した検討から69℃以下の熱履歴を有するものではあるが、全く変質せず新鮮なままのものであるものが多数観察された。今後、地表試料を用いて検討した南房総鴨川での結果を踏まえながら、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、さらなるボーリング・コアの調査・分析が必要である。

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—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, 神奈川県, 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, 東伊豆単成火山群の地質：地震研究所彙報, v. 52, p. 235~278. (1971)
- 小山真人, 早川由紀夫, 東伊豆単成火山地域の噴火史：文部省科学研究費自然災害特別研究, 計画研究「火山災害の規模と特性」(代表者 荒牧重雄) 報告書, p. 69~77, (1993)
- 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)
- 中嶋輝允, 牧本 博, 平山次郎, 徳橋秀一, 地域地質研究報告5万分の1図幅「鴨川地域の地質」：地質調査所, 107p. (1981)
- 日本の地質「関東地方」編集委員会編, 日本の地質3 関東地方：共立出版, 335p. (1986)
- 星野一男, 渡辺浩平, 八田敏行, 釜井俊孝：東京湾岸地域の深部軟岩層の地質・物性断面第24回岩盤力学シンポジウム論文集, p. 479~483, (1992)
- 古山勝彦：神鍋火山群の火山層序, 地質学雑誌, v. 79, No. 6, p. 399~406, (1973)
- 古山勝彦：近畿北部, 神鍋単成火山群に「太田火山」の発見, 地球科学, v. 44, No. 5, p. 279~282 (1990)
- 古山勝彦, 長尾敬介, 笠谷一弘, 三ツ井誠一郎：山陰東部, 神鍋火山群及び近傍の玄武岩質単成火山のK—Ar年代, 地球科学, v. 47, No. 5, p. 377~390, (1993)
- Aoyagi, K. and Kazama, T., Transformational changes of clay minerals, zeolites and silica minerals during diagenesis : Sdimentology, v. 27, p. 179 ~188 (1979)
- 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)

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3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、本鉱床及びその付近に分布する粘土、凝灰岩の緩衝材に対する類似性を調査するために、ボーリング試料の採取、室内分析を行った。また、平成3年度には、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が、今年度は、両地域の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. 調査地域の概要

2.1 地形

2.1.1 村上

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

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。

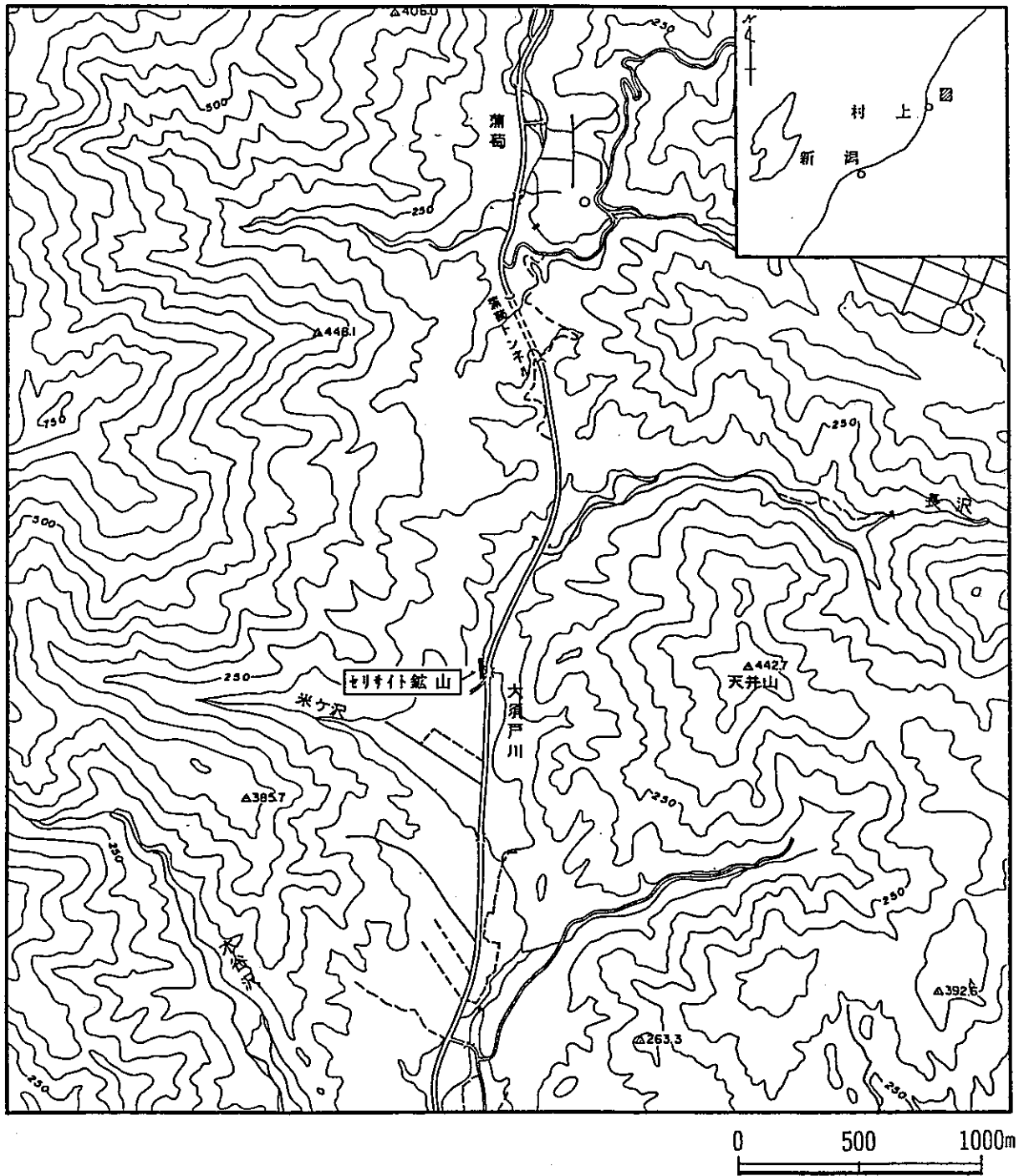
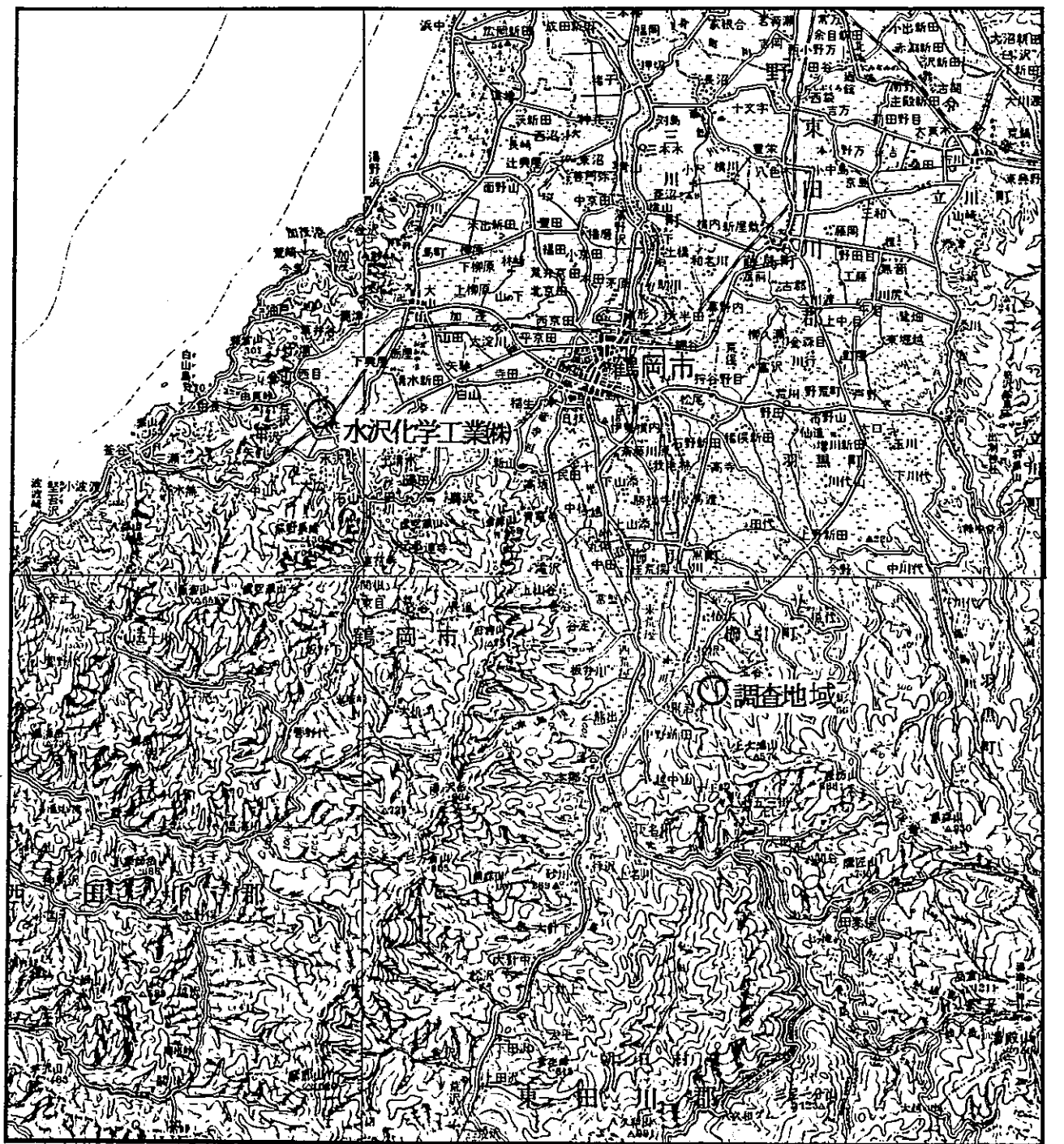


図2-1 調査位置図 (村上地域)



1 : 200,000



図2-2 鶴岡地域調査位置図

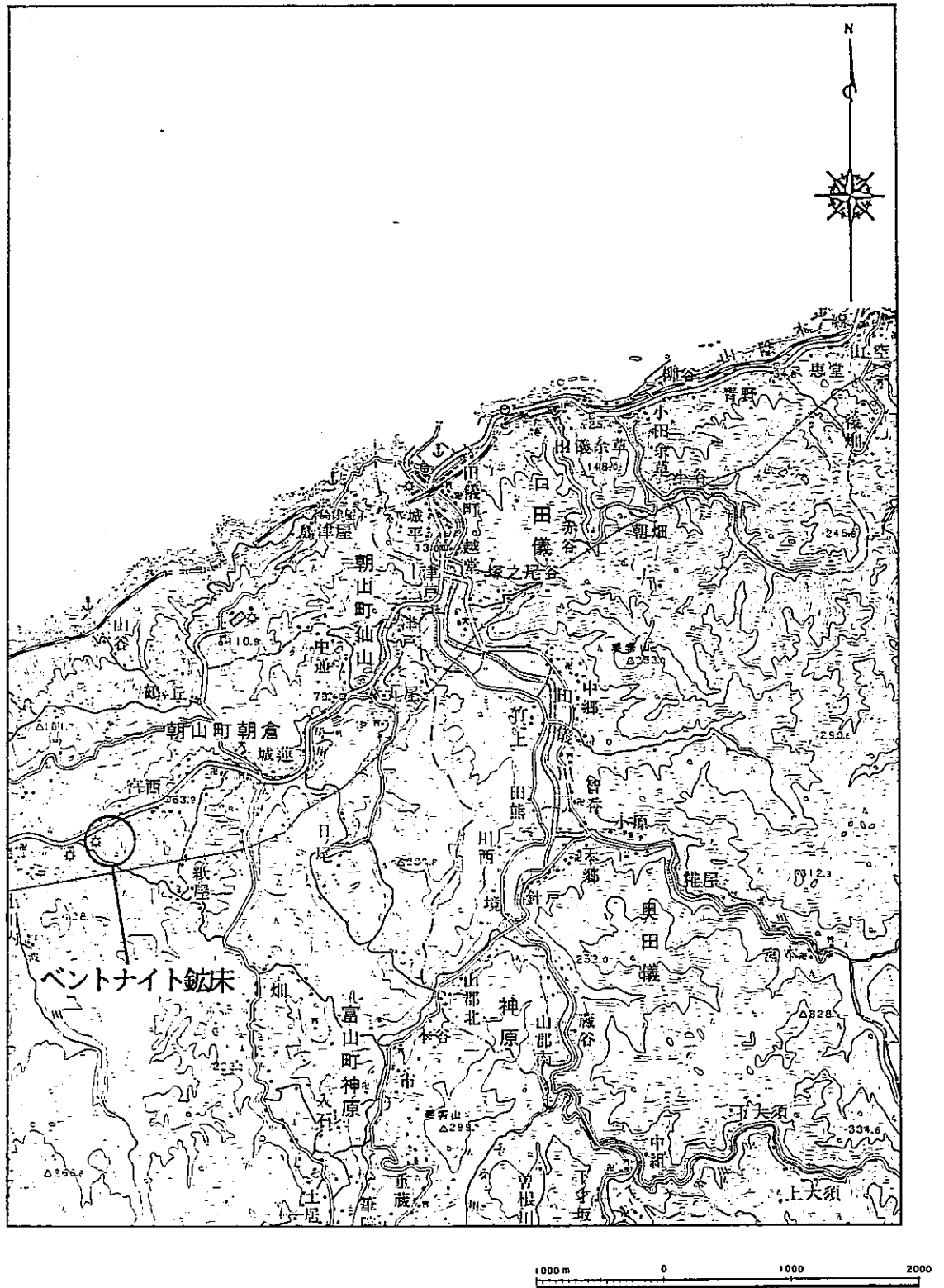


図2-3 大田市北部調査位置

2.2 地質

2.2.1 村上

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	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。

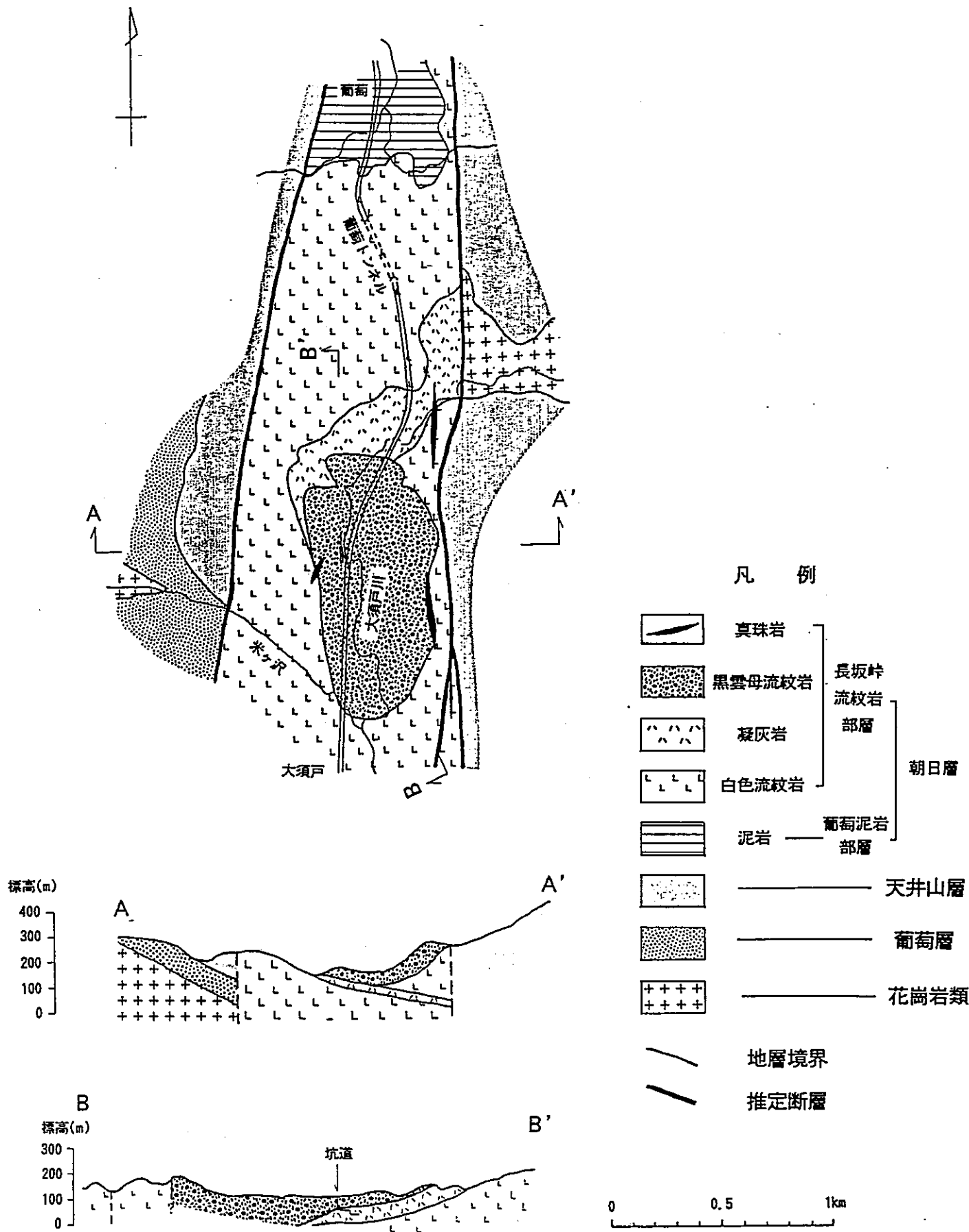


図2-4 村上地域地質図及び地質断面図

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楕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鉾山付近では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、*Makiyama* 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見られることから、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。

セリサイト鉾床は、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。なお、今年度実施した地表踏査のルートマップ及び主要な露頭の詳細データは資料集に添付した。

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、棚倉構造線の西部の足尾帯

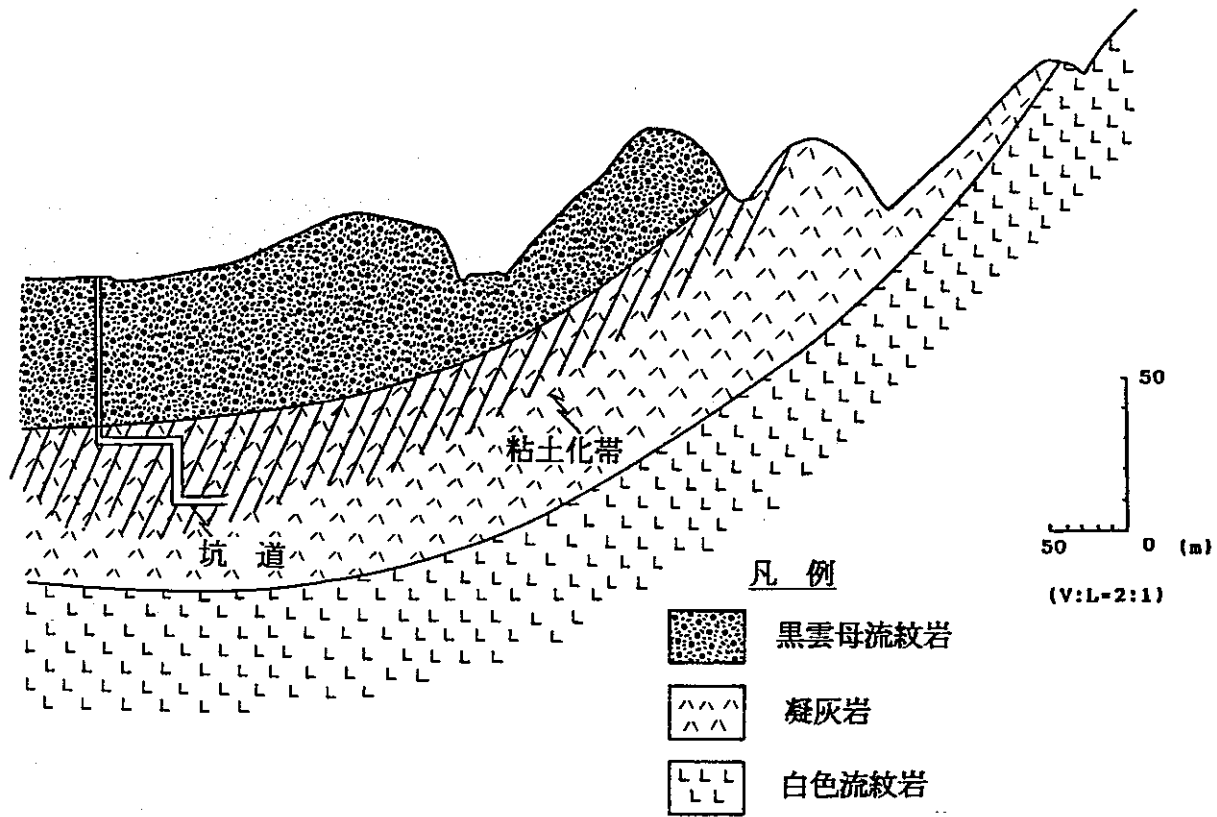


図2-5 セリサイト鉱山付近の地質断面図



更新世	月山火山噴出物	△	安山岩熔岩・同質火砕岩及U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U礫岩	
		越中山安山岩部層	OAa	普通輝石安山岩・紫輝輝石安山岩熔岩
		七ツ滝玄武岩部層	OAb	安質玄武岩熔岩・同質火砕岩
	大泉層	Op	安質輝石安山岩熔岩・同質火砕岩	
	上大滝石英安山岩	↑ KYa ↓		

図2-6 湯殿山地域地質図

に属している。

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―門ノ沢動物群といった化石群集を産するとされている。調査地域である松根地区の新第三系は、上大滝石英安山岩、酸性凝灰岩、凝灰質泥岩～礫岩、安山岩類及び玄武岩類からなる大網層、そして硬質頁岩からなる松根層から構成されている。さらに調査地域の東部の丘陵～山地は月山火山噴出物が広く被覆している。そして、赤川沿いには河川堆積物が広く分布している。

酸性白土鉱床は新第三系内の酸性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 、 Na_2O 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。

2.2.2 大田市北部

調査地域の地質図を図2-7に示す。なお、今年度実施した地表踏査のルートマップ及び主要な露頭の詳細データは資料集に添付した。

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及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溶岩、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、 $5\sim 20^{\circ}$ 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帯に分帯されている(図2-8参照)。すなわち、

- A帯：未変質ガラス・斜ブチロル沸石帯
- B帯：斜ブチロル沸石・モルデン沸石帯

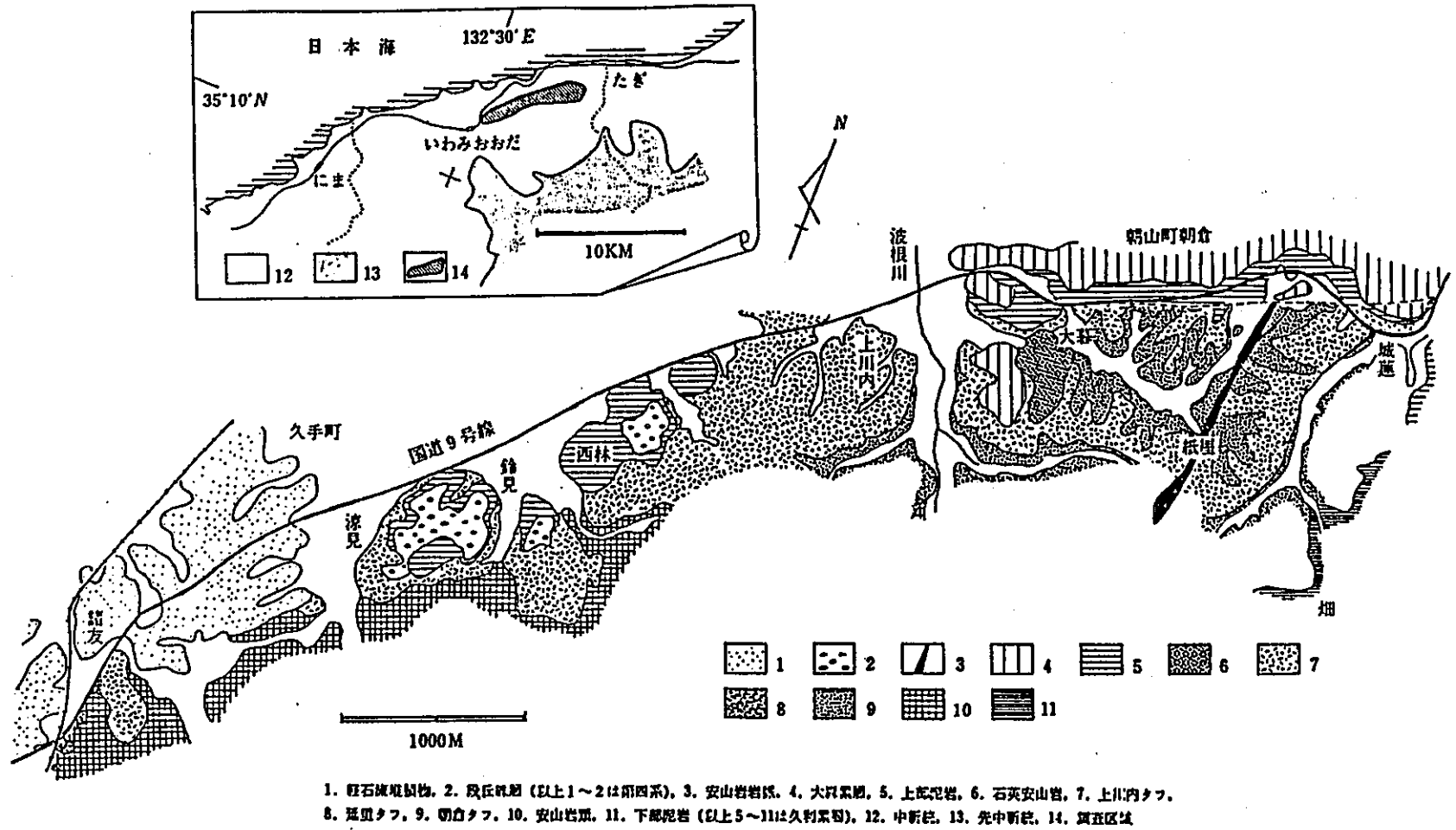


図2-7 大田市北部地域地質図

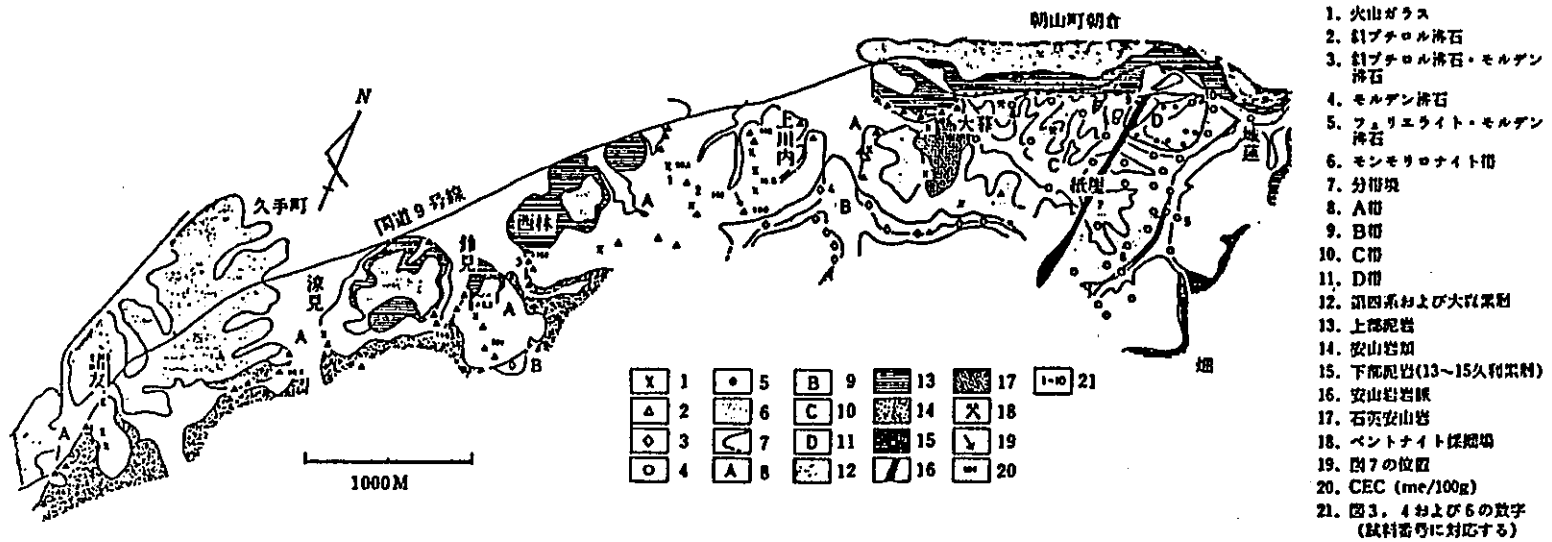


図2-8 沸石による変質分帯 (大田市北部)

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帯状分布（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安山岩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。

現在現地においては、大田市上川内地区においてモンモリロナイトを対象として露天掘りによる採掘が実施されている。

3. 分析・試験

3.1 試料

3.1.1 村上

村上地域に分布する粘土，凝灰岩の緩衝材に対する類似性を検討するために，図3-1及び図3-2に示すボーリング・コアから試料を採取し，表3-1に示す項目について試験・分析を実施した。

表3-1 村上ボーリング・コアのCEC他の分析内容

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		○	○	○	○
置換性 塩類	Ca	○	○	○	○
	Mg	○	○	○	○
	Na	○	○	○	○
	K	○	○	○	○
MBC		○	○	○	○

CEC (Cation Exchange Capacity) : 陽イオン交換容量
MBC (Methylene Blue Exchange Capacity) : メチレンブルー吸着量
○ : 分析を実施する試料。

3.1.2 鶴岡地域

鶴岡市南部の松根地区に分布する凝灰岩中に貫入している火山岩岩脈の貫入面付近を中心に試料を採取し，X線回折分析を実施した。試料の採取位置図を図3-3に示す。

3.1.3 大田市北部

大田市北部の紙屋地区に分布する凝灰岩中に貫入している安山岩岩脈の貫入面付近を中心に試料を採取し，X線回折分析を実施した。試料の採取位置図を図3-4に示す。

3.2 方法

3.2.1 化学特性試験

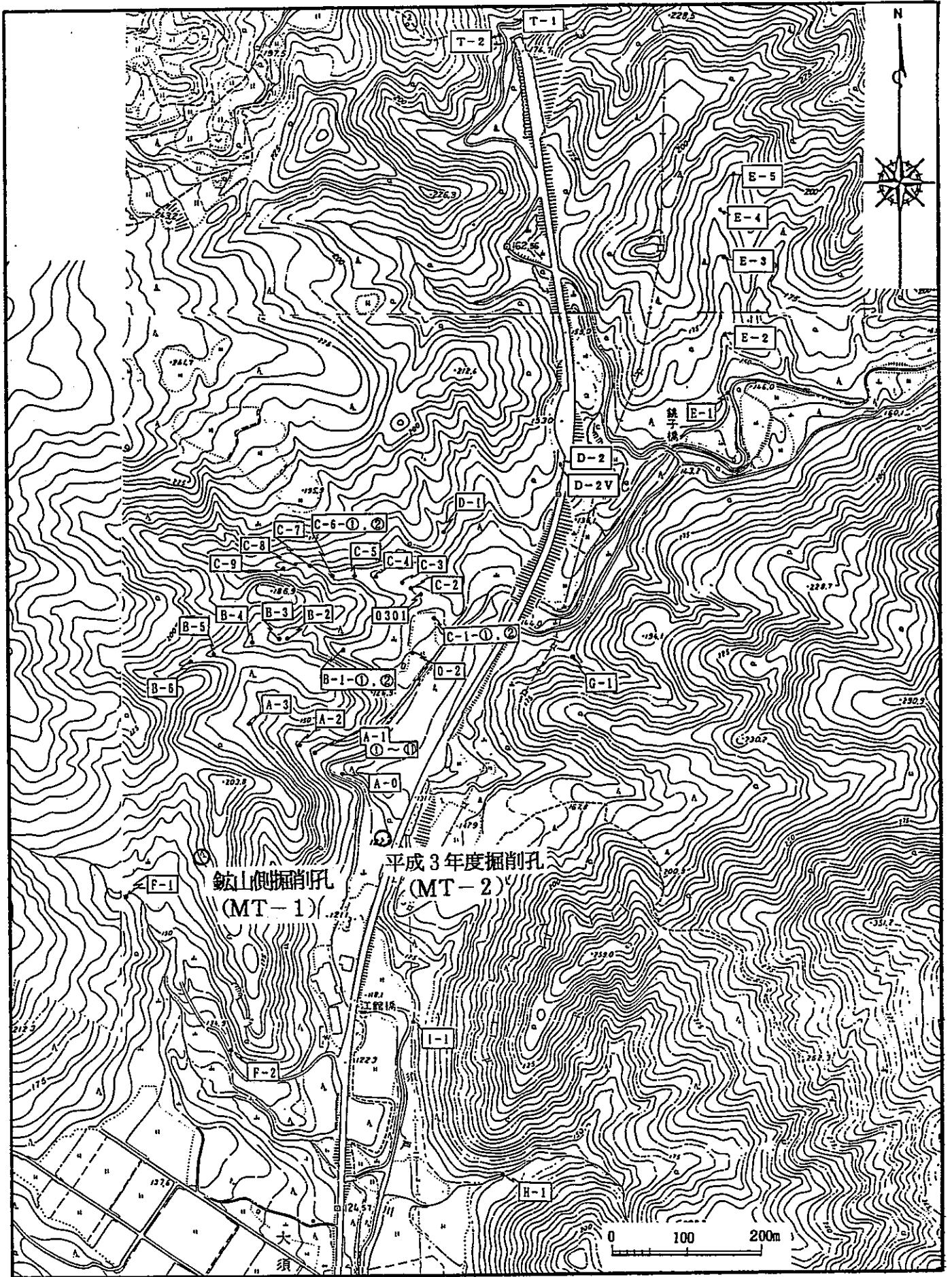
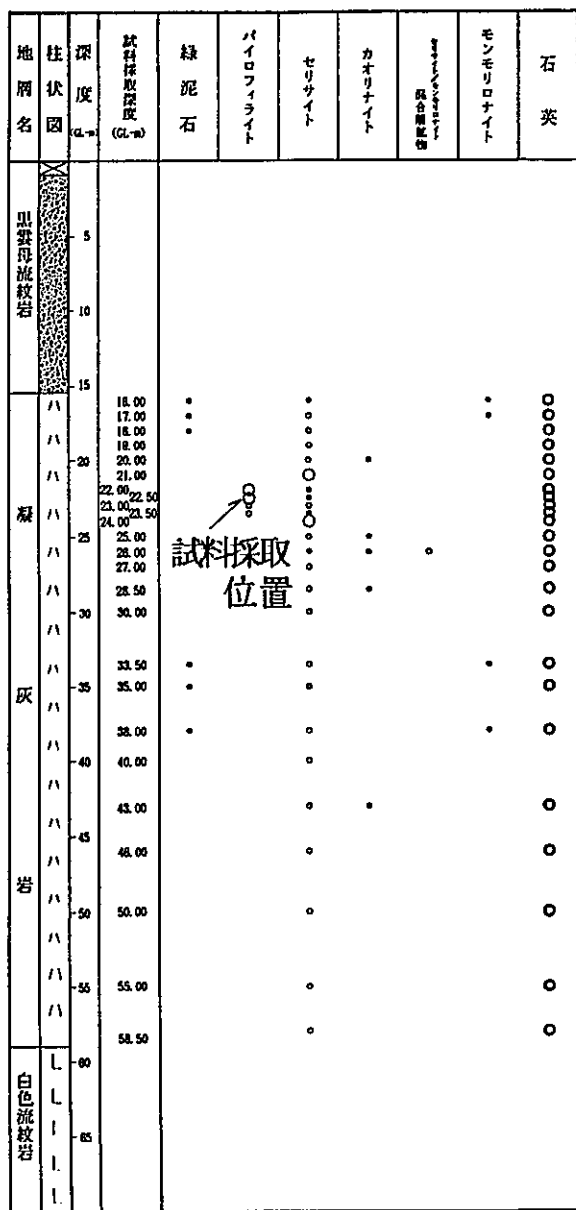
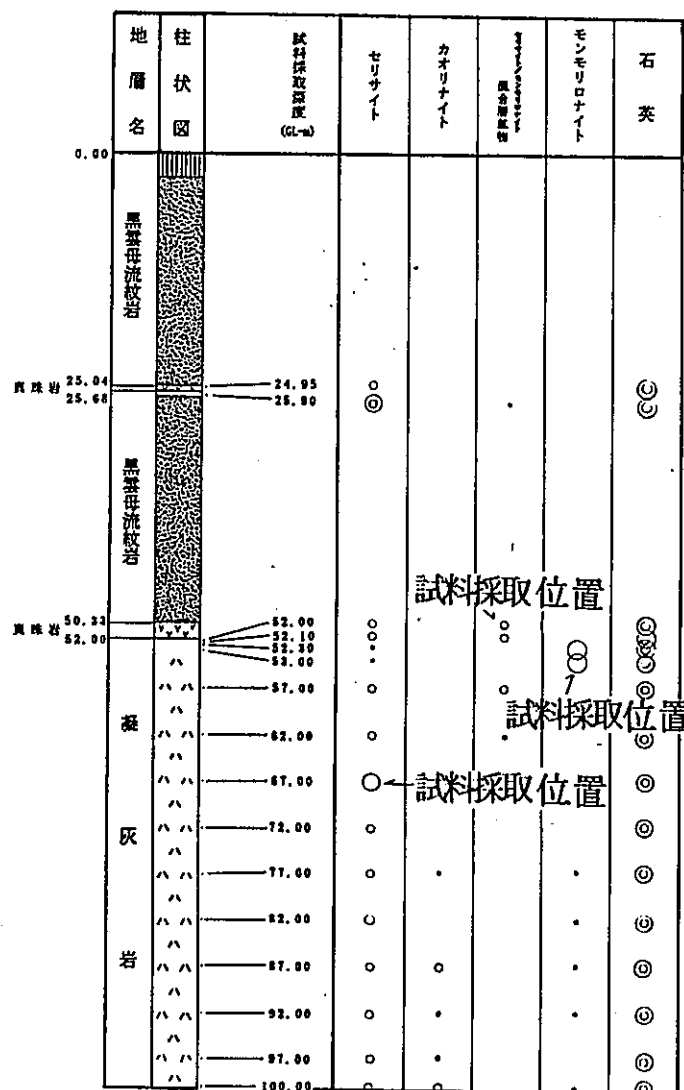


図3-1 ボーリング位置および地表試料採取位置図



相対含有量：●多量，○中量，・少量，・微量

(MT-1)



相対含有量：●多量，○中量，・少量，・微量

(MT-2)

図3-2 ボーリング・コア試料採取位置

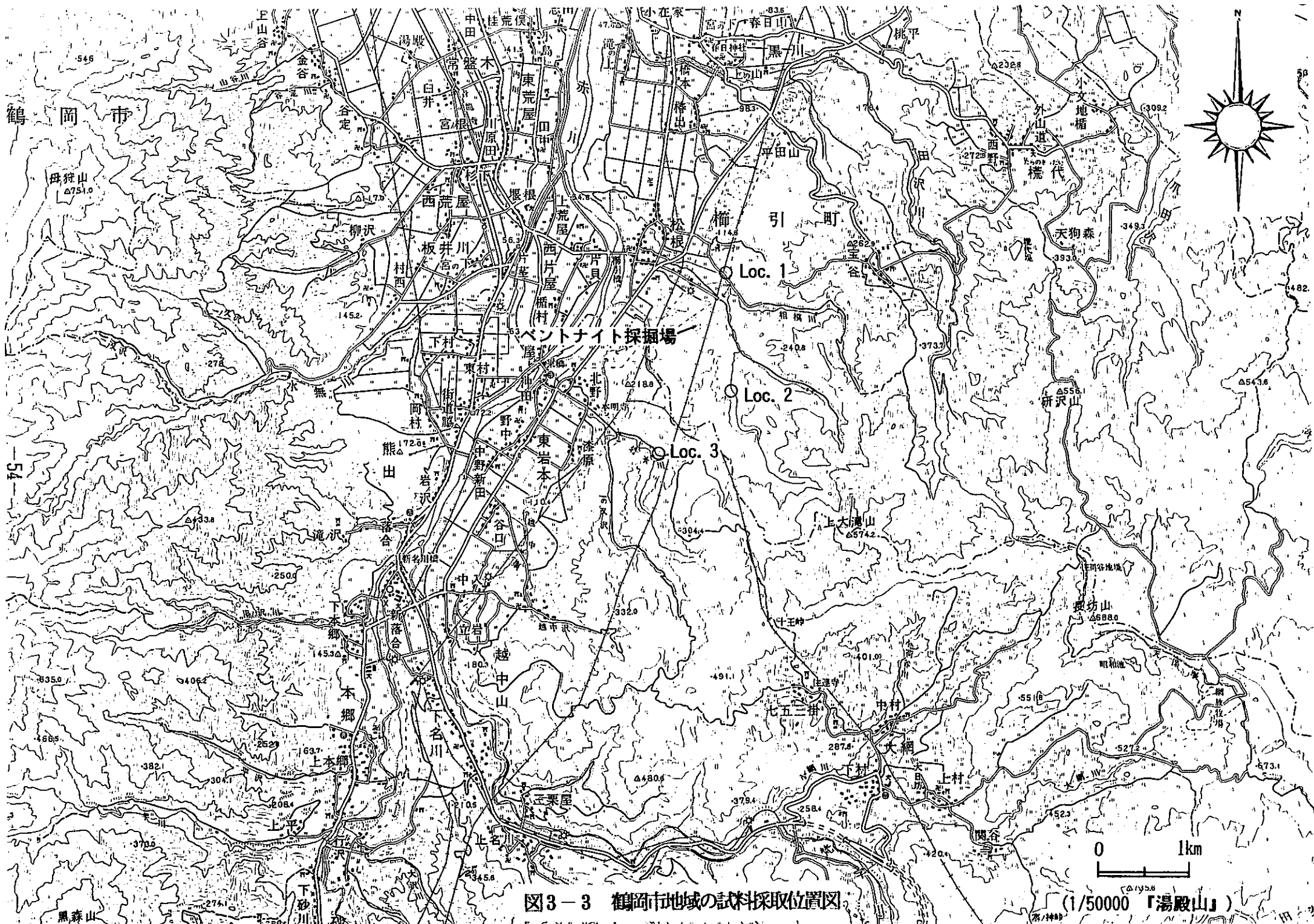


図3-3 鶴岡市地域の試料採取位置図

(1/50000 「湯殿山」)

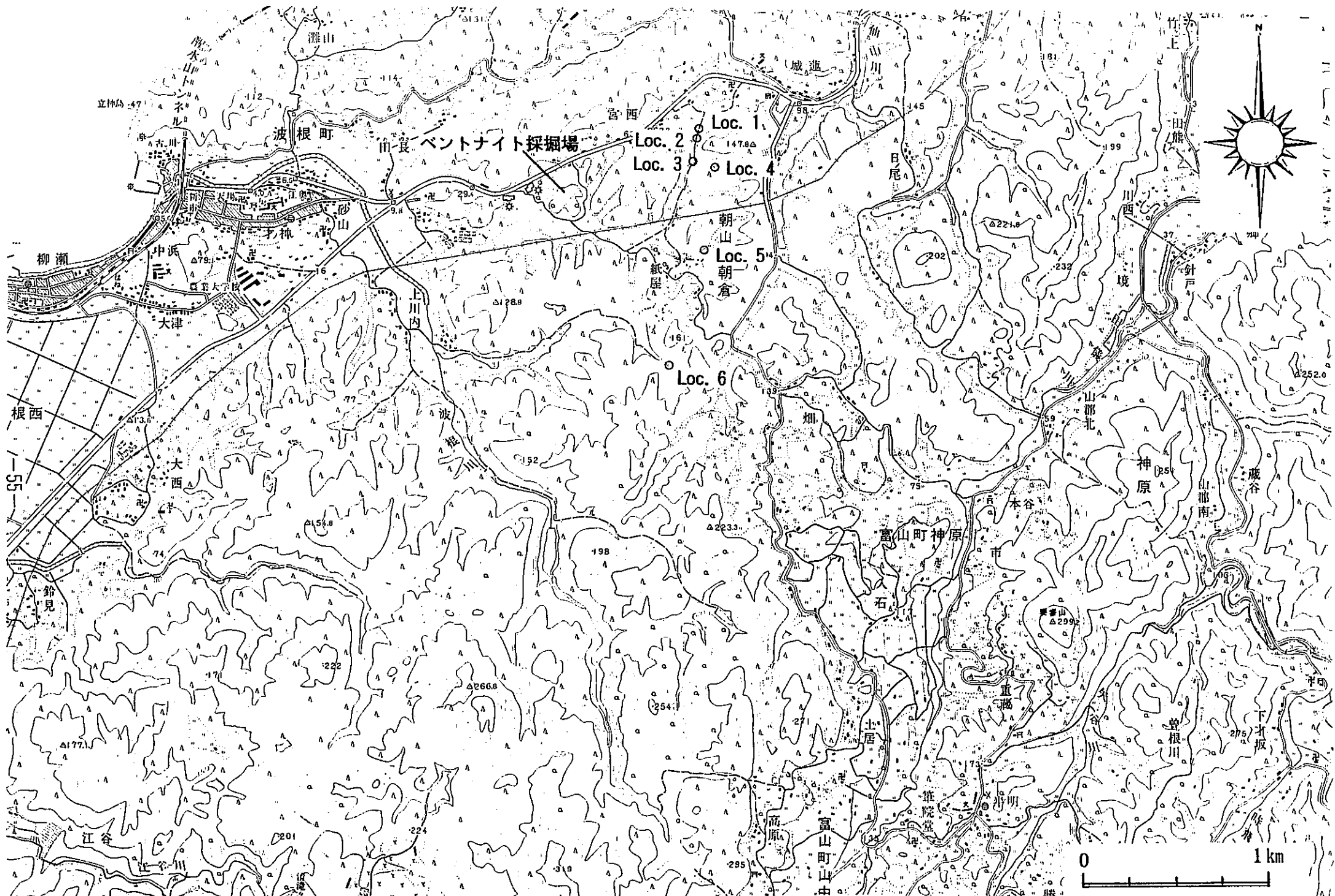


図3-4 大田市北部地域の試料採取位置図 (1/25000 「石見大田」)

化学特性試験の試験方法を表3-2に示す。

表3-2 化学特性試験の分析・測定法

区分	分析・測定方法
CEC	土壌養分分析法3.2塩基性置換容量セミマイクロ法
MBC	日本ベントナイト工業会標準試験法 (JBAS-106-77)

3.2.2 X線回折分析

X線回折分析は以下のような方法で実施した。

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ダー（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澱させた。この沈澱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3-3の左側に示した条件で、定方位試料については表3-3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3-3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。

表3-3 X線回折条件

区分	無定方位試料	定方位試料	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°

3.3 分析結果

3.3.1 化学特性試験

村上地域に分布する粘土，凝灰岩の化学特性の分析結果を表3-4に示す。

表3-4 村上地域の粘土，凝灰岩試料の化学特性

試料名	孔名	MT-1孔	MT-2孔		
	深度	22.20m	52.05m	52.55m	70.15m
	変質帯	パイロフライト帯	セリサイト/モンモリロナイト混合層 鉍物帯	モンモリロナイト帯	セリサイト帯
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	—

3.3.2 X線回折分析

表3-5に平成2年度までに実施したX線回折分析結果を，表3-6及び表3-7に平成3年度に実施した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，変質鉍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3-5と図3-6に示す。

表3-8には，鶴岡及び大田市北部の地表試料のX線回折分析結果を貫入岩の貫入面からの距離で整理して示してある。

村上地域のボーリング孔 (MT-1, MT-2) のコア試料には，変質鉍物として，石英・ α -クリストパル石・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鉍物・カオリナイト・モンモリロナイト・緑泥石・黄鉄鉍等が認められる。

鶴岡の貫入岩付近の凝灰岩には，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 -クリストパライト・石英・斜長石が認められる。露頭1の下盤側の試料は現地で暗色を呈し，堆積性の泥質物質を多

表3-5(1) 含有鉱物一覧表 (露頭試料その1)

試料名 \ 鉱物名	緑 泥 石	パイロ フィ ライト	セリ サイト	ディ ック カイト	カオ リ ナイト	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	石 英	α- クリ スト バル 石	フ エ リ エ ラ イト	モ ル デ ン 沸 石	苔 灰 石	方 解 石	菱 鉄 鉱	石 コ ウ	黄 鉄 鉱	白 鉄 鉱	チ タ ン 鉄 鉱	針 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3-5(2) 含有鉱物一覧表(露頭試料その2)

試料名	鉱物名																					
	緑 泥 石	パイロ ファイ ライト	セリ サイト	ディ ック カイト	カオ リ ナイト	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	石 英	α ト ク リ ス ト バ ル 石	フ エ リ エ ラ イト	モ ル デ ン 沸 石	苔 灰 石	方 解 石	菱 鉄 鉱	石 コ ウ	黄 鉄 鉱	白 鉄 鉱	チ ク ン 鉄 鉱	針 鉄 鉱	カ リ 長 石	斜 長 石	黒 雲 母
C1-1			.			○	○								.					○	○	
C1-2			.			○	○	○							○					○	○	
0301						○	○								.					○	○	
C2			.			○	○								.					○	○	
C3			.			○	○								.					○	○	
C4			.			○	○								○						○	
C5			.			.	○	○							.						○	
C6-1			.			○	○	○	○					.	○		.				○	
C6-2			.			.	○	○	○	○					○		.				○	
C7			.			.	○	○	○	○					.						○	
C8						.	○	○	○	○	○	
D1			.			○	○								○					○	○	
D2			.		.	.	○	○		○					.					○	○	
D2-V															○	○					.	
E1			.			.	○													○	○	
E2					.	.	○													.	○	
E3							○													.	○	
E4					.	.	○													.		
E5					.	.	○													.	○	
O1			.			○	○	○						○	.					○	○	
O2			.			○	○	○							.					○	○	
W1			○				○								.					.		

表 3-5(3) 含有鉱物一覧表 (坑内試料その1)

試料名	鉱物名																					
	緑 泥 石	パイ ロ フ イ ラ イ ト	セ リ サ イ ト	デ ィ ッ カ イ ト	カ オ リ ナ イ ト	セ リ サ イ ト / 混 合 層 鉱 物	モ ン モ リ ロ ナ イ ト	石 英	α ー 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 コ ウ	黄 鉄 鉱	白 鉄 鉱	チ タ ン 鉄 鉱	針 鉄 鉱	カ リ 長 石	斜 長 石	黒 雲 母
50-1			○			・	○	○												○	○	
50-2							○														○	○
50-3			○			・	○														○	
50-9	・		○				○	○								・						
50-10	・		○				○	○								・						
50-11			○				○									○						
50-4		○					○															
50-4a			○				○															
50-4-1			○				○															
50-4-2			○				○															
50-4-2'			○				○									○					・	
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3-5(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 ファイ ライト	セリ サイト	ディ ック サイト	カオ リ ナイト	セリ サイト / モン モ ロ ノ イ ト 混 合 層 鉱 物	モン モ ロ ノ イ ト	石 英	α - ク リ ス ト パ ル 石	フ エ リ エ ラ イ ト	モ ル デ ン 沸 石	苦 灰 石	方 解 石	菱 鉄 鉱	石 コ ウ	黄 鉄 鉱	白 鉄 鉱	チ タ ン 鉄 鉱	針 鉄 鉱	カ リ 長 石	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3-5(5) 含有鉱物一覧表(坑内試料その3)

試料名 \ 鉱物名	緑 泥 石	パイロ フィ ライト	セリ サイ ト	ディ ンカ イト	カオ リ ナイ ト	セリ サイ ト/ 混 合 層 物 モ ン モ ロ ナ イ ト	モ ン モ ロ ナ イ ト	石 英	α - ク リ ス ト パ ル 石	フ エ リ エ ラ イ ト	モ ル デ ン 沸 石	苦 灰 石	方 解 石	菱 鉄 鉱	石 コ ウ	黄 鉄 鉱	白 鉄 鉱	チ タ ン 鉄 鉱	針 鉄 鉱	カ リ 長 石	斜 長 石	黒 雲 母	
70-1			○		◎			○															
70-2			◎																				
70-3			◎					○															
70-5			○	○				○															
70-6			○	○				○															
70-7			○					○															
70-8			○		.	.																	
70-9						○	.																
70-10			.	○		○	○	○														○	
70-11			○	○		○	○	○														○	
70-12			○	○		○	○	○														○	
70-13			○	○		○	○	○														○	
70-14					○	○	○	○														○	
70-15						○		○															

相 対 含 有 量 : ◎多量、○中量、○少量、.微量、?不確定
注:水ひ産物無定方位試料のみ

表3-5(6) 含有鉱物一覧表 (ボーリング試料その1)

試料名	緑泥石		セリサイト	パイロフィライト	ディッカイト	カオリナイト	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	石 - 英	α-クリストパル石	ブエリエライト	モルデン沸石	苦灰石	方解石	菱鉄鉱	石コウ	黄鉄鉱	白鉄鉱	チタン鉄鉱	針鉄鉱	カリ長石	斜長石	黒雲母
B1-10			○						◎													○	
B1-15			○			・			◎													・	
B1-20			○						◎													○	
B1-22			○						◎													○	
B1-25			○			○			◎													○	
B3-2			○						◎													○	
B3-7			○						◎													○	
B3-12			○						◎													○	
B3-17			○						◎													○	
B3-22			○						◎														
B3-27			○						◎													・	
B3-32			○					・	◎													○	
B3-33			○					・	◎													○	

相 対 含 有 量 : ◎多量、○中量、○少量、・微量、?不確定

表3-5(7) 含有鉱物一覧表 (ボーリング試料その2)

試料名	鉱物名																						
	緑 泥 石	パイ ロ フ イ ラ イ ト	セ リ サ イ ト	デ イ ツ カ イ ト	カ オ リ ナ イ ト	セ リ サ イ ト / 混 合 層 鉱 物 / モ ン モ リ ロ ナ イ ト	モ ン モ リ ロ ナ イ ト	石 英	α - ク リ ズ ト バ ル 石	フ エ リ エ ラ イ ト	モ ル デ ン 沸 石	苦 灰 石	方 解 石	菱 鉄 鉱	石 コ ウ	黄 鉄 鉱	白 鉄 鉱	チ タ ン 鉄 鉱	針 鉄 鉱	カ リ 長 石	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3-6 含有鉱物一覧表 (鉱山側掘削孔)

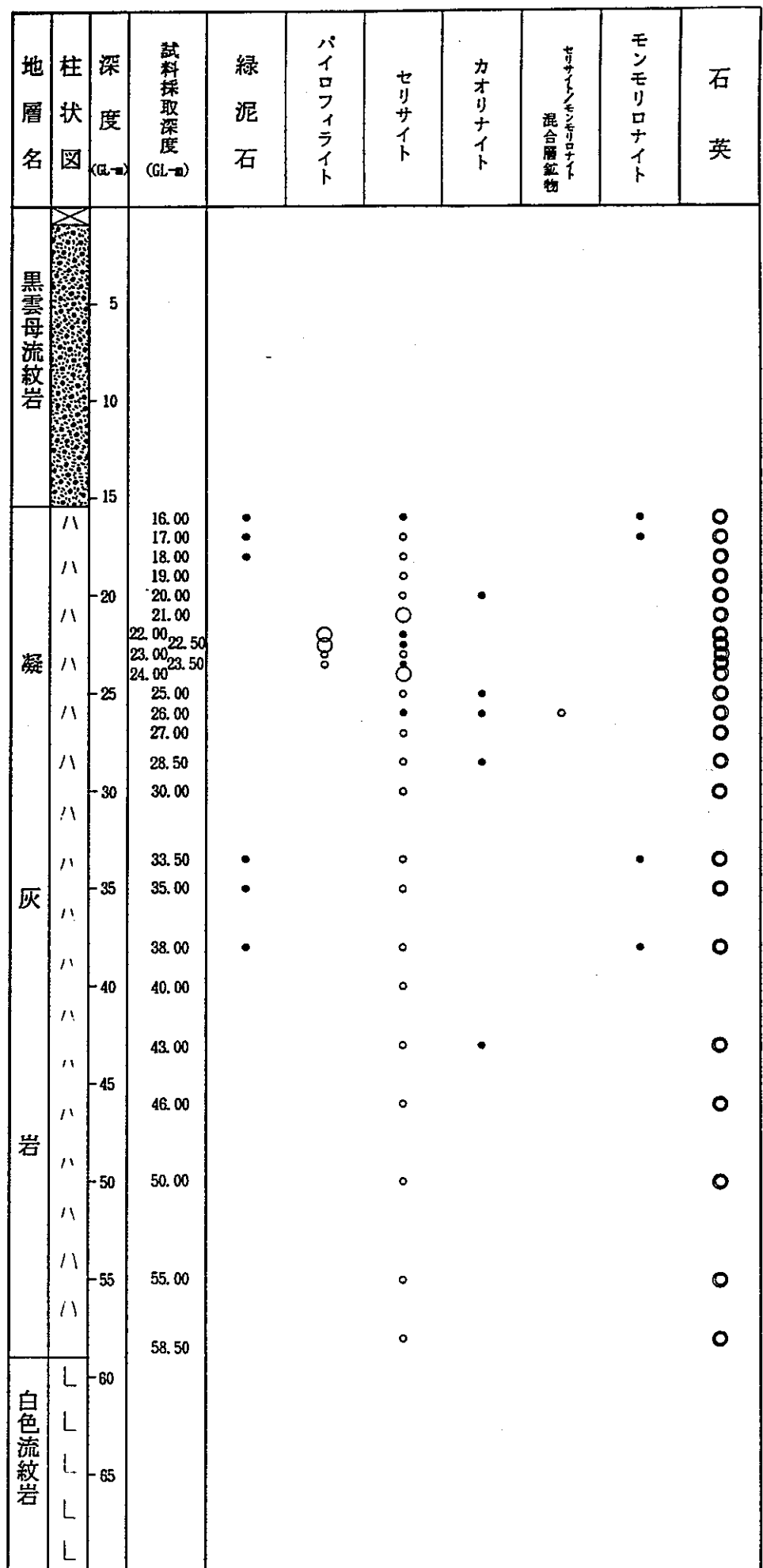
試料名 \ 鉱物名	緑泥石	パイロフィライト	セリサイト	ディツカイト	カオリナイト	セリサイト/モンモリロナイト 混合層鉱物	モンモリロナイト	石英	α-クリストバル石	フェリエライト	モルデン沸石	苦灰石	方解石	菱鉄鉱	石コウ	黄鉄鉱	白鉄鉱	チタン鉄鉱	針鉄鉱	カリ長石	斜長石	黒雲母
GL -16.00m	・		・				・	◎								・					○	
GL -17.00m	・		・				・	◎														
GL -18.00m	・		・					◎														
GL -19.00m			・					◎														
GL -20.00m			・		・			◎														・
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3-7 含有鉱物一覧表 (平成3年度掘削孔)

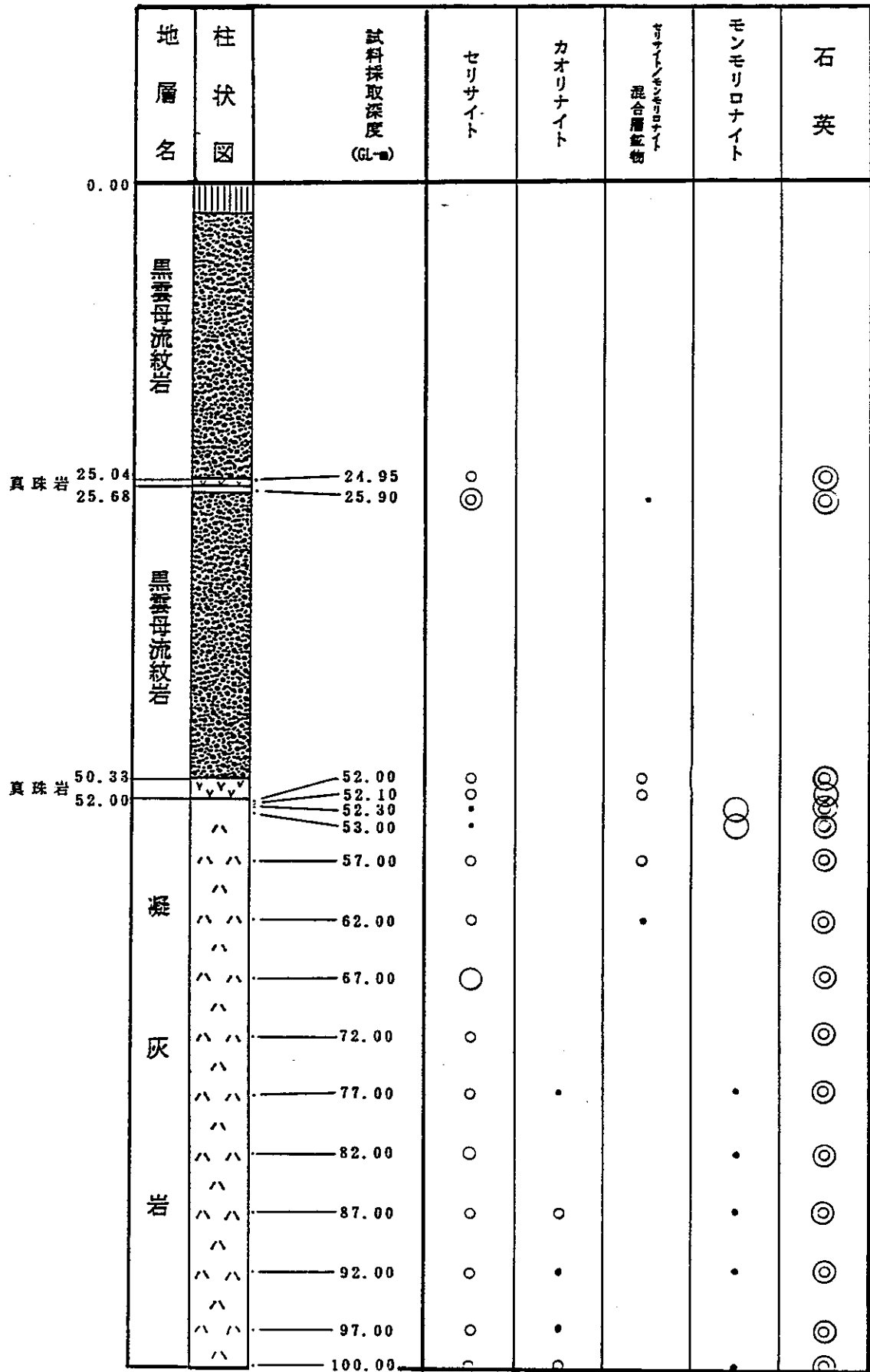
試料名 \ 鉱物名	緑 泥 石	パイ ロ フ イ ラ イ ト	セ リ サ イ ト	デ イ ツ カ イ ト	カ オ リ ナ イ ト	セ リ サ イ ト / モ ン モ リ ロ ナ イ ト 混 合 層 鉱 物	モ ン モ リ ロ ナ イ ト	石 英	α - ク リ ス ト バ ル 石	フ エ リ エ ラ イ ト	モ ル デ ン 沸 石	苦 灰 石	方 解 石	菱 鉄 鉱	石 コ ウ	黄 鉄 鉱	白 鉄 鉱	チ タ ン 鉄 鉱	針 鉄 鉱	カ リ 長 石	斜 長 石	黒 雲 母	
GL -24.95m			◦				・	◎															
GL -25.90m			◎			・	・	◎															
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



相対含有量：◎多量，○中量，●少量，・微量

図3-5 鉦山側崩消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3-6 平成3年度掘削孔における変質鉱物分布 (MT-2)

表3-8 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
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

く含むような概観であった。露頭1の上盤側にまとまったイライトの産出を見ないことから、露頭1の下盤側に認められたイライトは堆積性であって、熱変質による産物ではないと考えられる。

大田市北部の貫入岩付近の凝灰岩には、モンモリロナイト・フェリエライト・斜ブチロル沸石・石英・ α -クリストバル石・ α -リンケイ石・斜長石が認められる。この結果から、これらの試料に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おらず、珪化変質が生じているといえる。

4. 考 察

村上地域については、本年度の調査結果に平成4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とともに、本地域に分布する粘土、凝灰岩の緩衝材に対する類似性について検討する。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 村上地域

4.1.1 変質鉱物組合せと変質分帯

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（Ⅰ帯）、②セリサイト帯（Ⅱ帯）、③モンモリロナイト帯（Ⅲ帯）、④セリサイト/モンモリロナイト混合層鉱物帯（Ⅳ帯）及び⑤モンモリロナイト-沸石帯（Ⅴ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表4-1に、各変質帯の分布を図4-1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。

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。

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

表4-1 変質帯と変質鉱物組合せ

変質帯 変質鉱物	パイロフィライト帯 (I帯)	セリサイト帯 (II帯)	モンモリロナイト帯 (III帯)	セリサイト/モンモリロナイト 混合層鉱物帯 (IV帯)	モンモリロナイト-沸石帯 (V帯)
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					
緑 泥 石					
石 英					
α -クリストバライト					
方 解 石					
黄 鉄 鉱					
白 鉄 鉱					

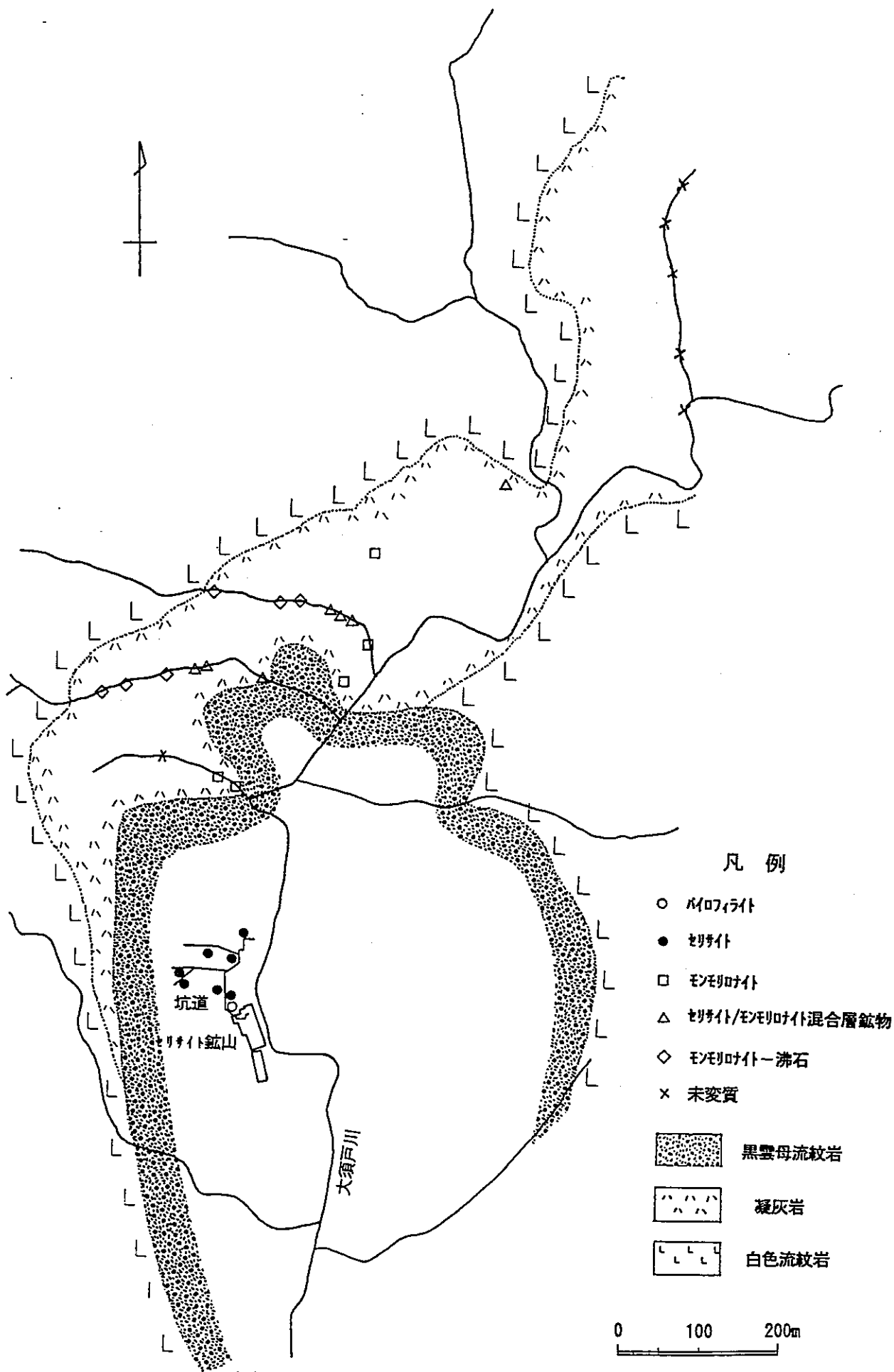


図4-1 変質鉱物分布図(村上地域)

ェリエライトの存在により特徴づけられる。モンモリロナイト-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4-1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→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→モンモリロナイト-沸石帯の順に配列している。

4.1.2 変質帯の生成環境

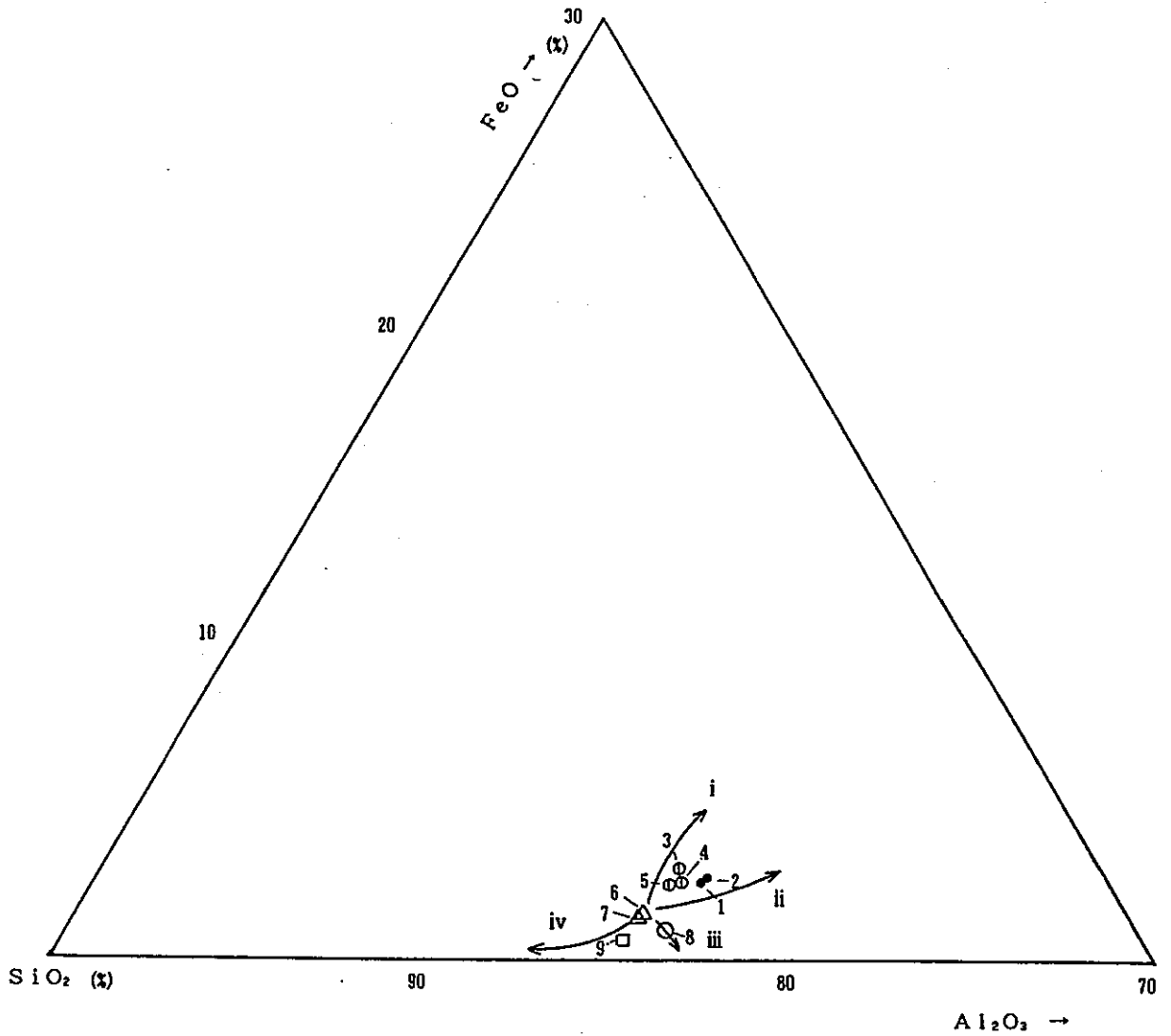
金原(1982)による変質鉱物の生成条件を温度とpHで整理した表を表4-2に示す。上記の各変質帯の配列を変質鉱物の温度安定領域から判断すると、パイロフィライト帯からモンモリロナイト-沸石帯までの分帯が一連の変質作用により形成されたとは考えにくく、パイロフィライト帯~モンモリロナイト帯を形成した変質作用とセリサイト/モンモリロナイト混合層鉱物帯~モンモリロナイト-沸石帯を形成した変質作用とは区別されるべきものと考えられる。

パイロフィライト帯~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 SiO_2 、 FeO 、 Al_2O_3 三角ダイヤグラム(図4-2)からも裏付けることができる。この図に示されるように、モンモリロナイト-沸石帯の凝灰岩試料(B-5,6,図4-2の6と7)を変質母岩とすると、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4-2の8と9)は酸性から弱酸性の環境、モンモリロナイト帯(図4-2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4-2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4-2 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



- 凡例
- 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 (")

凡例

- モンモロロナイト帯
- セリサイト/モンモロロナイト混合層鉱物帯
- △ モンモロロナイト-沸石帯
- } セリサイト帯
- } セリサイト帯
- 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4-2 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～モンモリロナイトー沸石帯は、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、モンモリロナイト帯ー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4-3～5に、珪藻化石の同定結果を表4-6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4-3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ュン・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、フィッシュン・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、フィッシュン・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： $270 \pm 40^\circ\text{C}$ 、Rb-Sr系；黒雲母： $310 \pm 40^\circ\text{C}$ 、フィッシュン・トラック；ジルコン： $200 \pm 30^\circ\text{C}$ 、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、その平均的な冷却速度はほぼ $120^\circ\text{C}/\text{Ma}$ と推定される。

岩脈として産する真珠岩のフィッシュン・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、フィッシュン・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。

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・モンモリロナイトー沸石帯のフィッシュン・トラック年代は、それぞれ6.3～7.3 Ma、5.5～6.4

表4-3 ファイッション・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		熱中性子フロン		結晶数	相関係数 r	総計数面積 (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
セリウム帯 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
モンペロウム帯 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
セリウム/モンペロウム帯 混合層鉱物帯 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
モンペロウム/沸石 帯変質岩	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	5.53×10^6	1165	7.87×10^4	30	0.735	6.76×10^{-4}	564	6.7 ± 0.3

表4-4 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

The best slope = 0.000083 ± 0.000089
 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(i)$ = 0.70344 ± 0.00040
 Calculated Age = $5.8 \pm 0.6\text{Ma}$

表4-5 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	38.4	6.54	5.4 ± 0.3
		0.132	35.2	6.47	
坑内の変質岩	セシウム	0.010	8.6	0.45	5.7 ± 2.6
		0.010	6.1	0.45	
坑内の変質岩	セシウム	0.163	34.5	6.39	6.3 ± 0.4
		0.150	68.7	6.40	

表4-6 珪藻化石の同定結果

Species Name	Ecology			B-6	E-2H
	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 & Yanagisawawa	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 nitzschioides</i> Grunow	Euh			—	101
<i>Thalassiosira antiqua</i> (Grun.) Cleve	Euh			—	1
<i>Thalassiosira zabelinae</i> Jouse	Euh			—	3
.....					
<i>Rhaphoneis 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 : シンセイ (カスイセイ)

Euh-Meh : シンセイ-チュウスイセイ
(カスイセイ-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-bl : シンザンセイ

ac-il : コウザンセイ

ind : pH-フテイセイ

al-bl : 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-bl : シンスイセイ

l-ph : コウスイセイ

ind : リュウスイフテイセイ

r-bl : 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

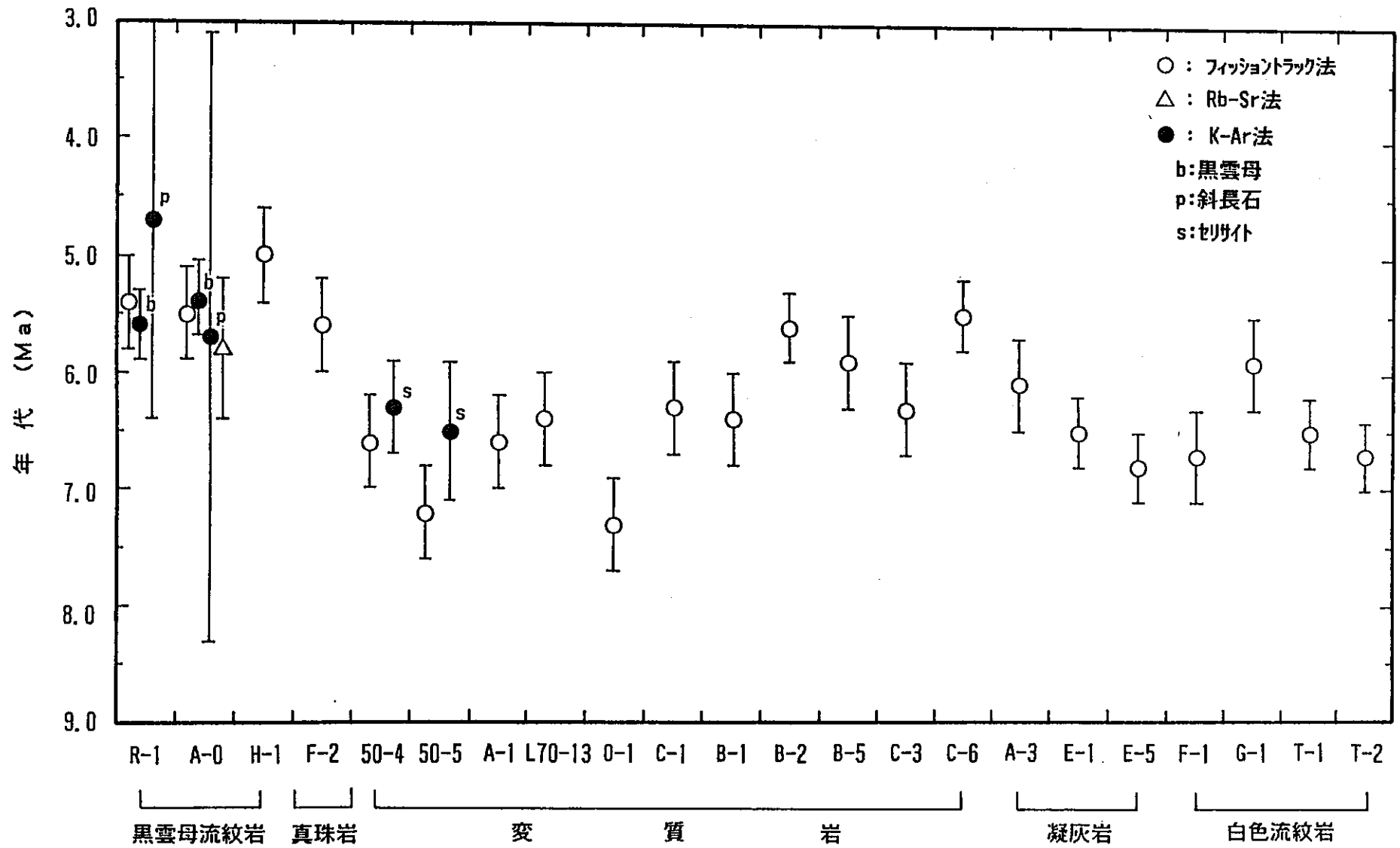


図4-3 年代測定結果総括図

Ma, 5.9Ma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、多少の違いはあるいが、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關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 変質に關与した熱水の性状

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4-7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、セリサイト帯からモンモリロナイト-沸石帯にかけて一連ではなく、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。これらのことは、セリサイト及び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關与した熱水は、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モンモリロナイト-沸石帯の形成
↓
- 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、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、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・トラック年代の平均値5.3Maとすると、モンモリロナイト帯が生成した後も、黒雲母流紋岩体は約110万年

表4-7 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

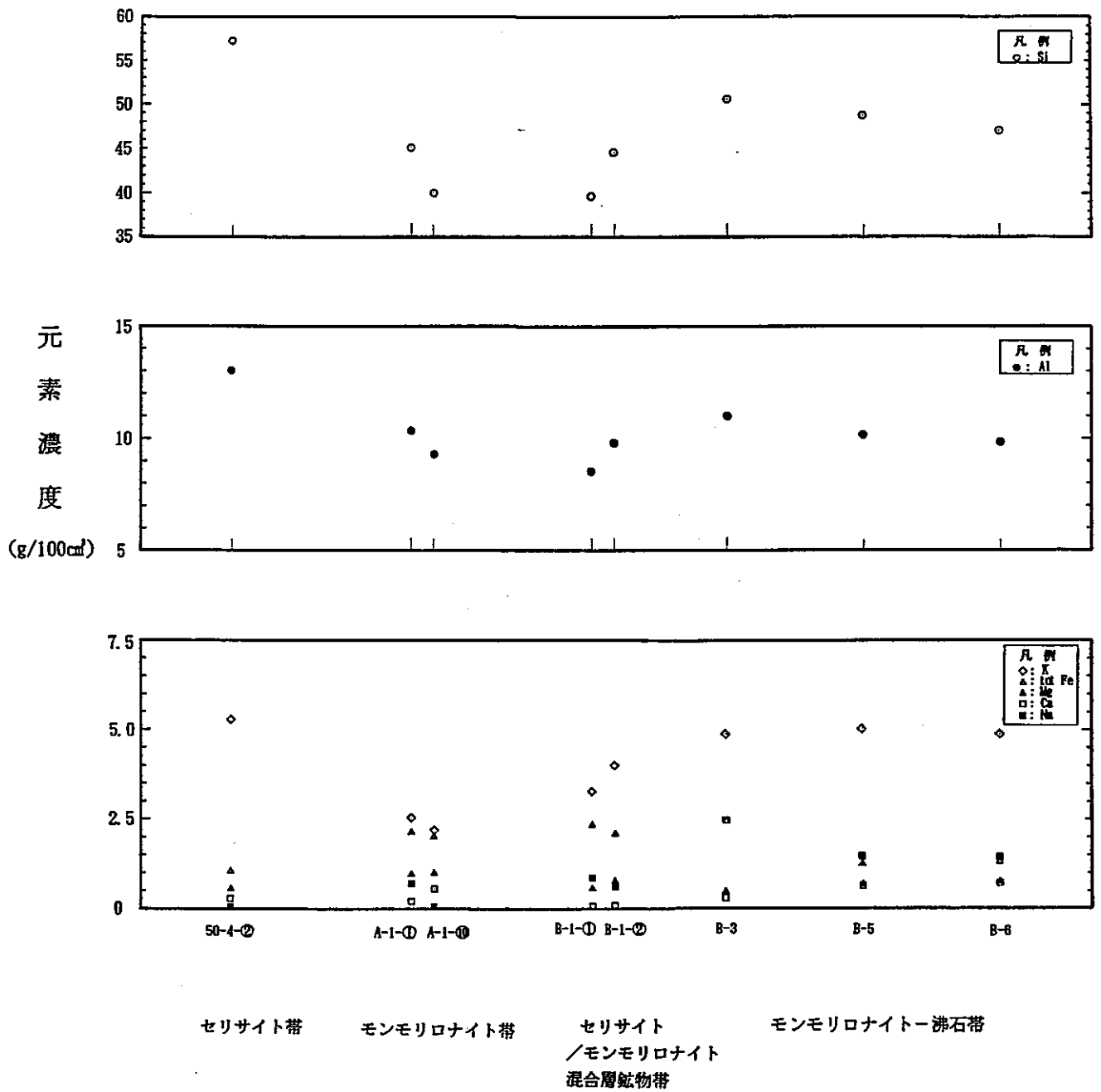
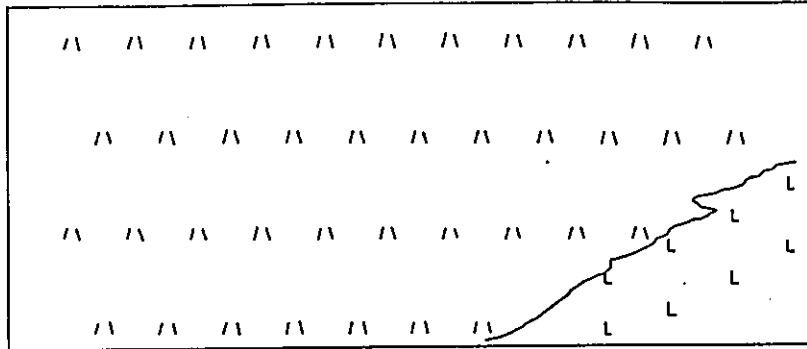
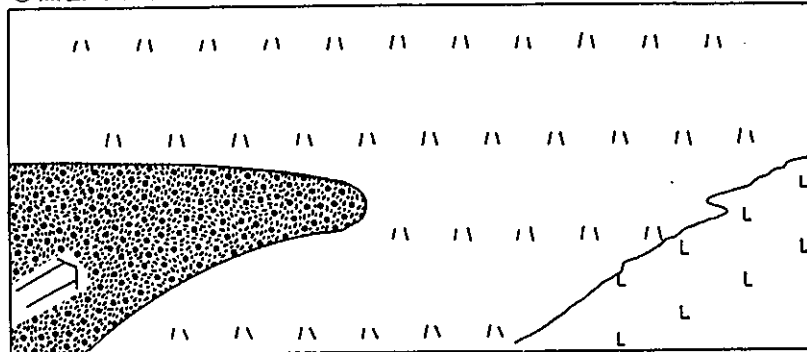


図4-4 各試料における単位体積重量中の元素濃度

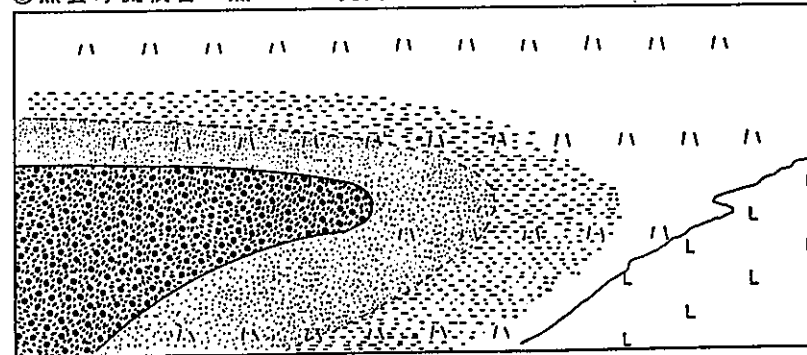
① 白色流紋岩の活動とそれに伴う凝灰岩の堆積



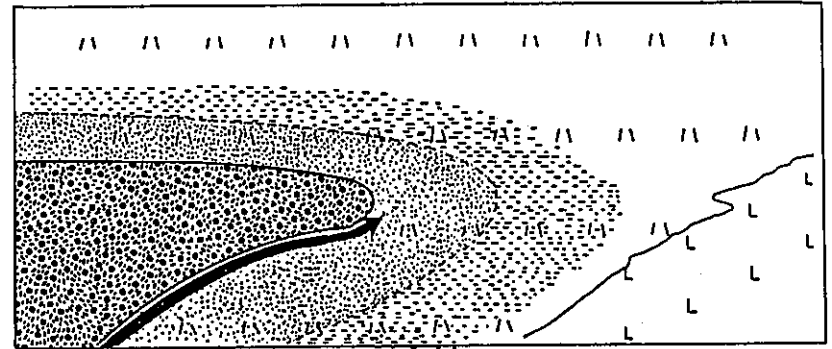
② 黒雲母流紋岩の貫入



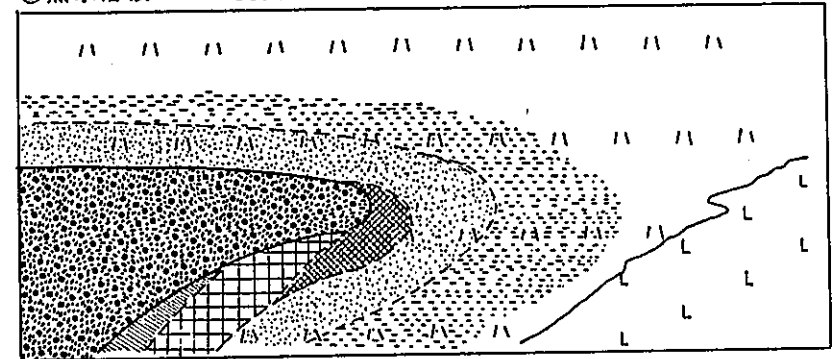
③ 黒雲母流紋岩の熱による変質鉱物分帯の形成



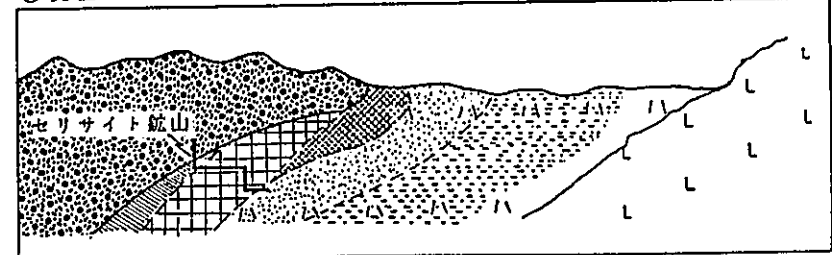
④ 黒雲母流紋岩に沿って酸性の熱水溶液が侵入



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 | | モンモリロナイト/セリサイト混合層帯 |
| | 凝灰岩 | | セリサイト帯 |
| | 黒雲母流紋岩 | | モンモリロナイト帯 |
| | モンモリロナイト-沸石帯 | | セリサイト帯 |

(注) 縮尺は考慮されていない。

図4-5 変質帯形成モデル

の間 200℃以上の残熱を有していたと推定される。

4.1.6 緩衝材に対する類似性

今回測定を実施したCEC、置換性塩類、そしてMBCについて、それぞれの結果を図4-7~9に示す。なお、図4-7~9中には、平成4年度に地表試料及び坑内試料を用いて同項目について測定した結果を併記した。陽イオン交換能に関する項目(図4-7~8参照)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でている。このことは、セリサイト帯以外の試料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については、モンモリロナイト帯のボーリング・コアのデータが飛び抜けて大きいものの、大局的にはあまり顕著な差異が変質帯間には認められない。

4.2 鶴岡地域

平成3年度の調査結果においては、モンモリロナイトがすべての試料に認められ、一部の試料に α -リンケイ石・ α -クリストバル石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ていない。すなわち、平成3年度調査対象とした露頭においては珪化変質は生じているものの、モンモリロ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當と判断し、今年度にさらに現地調査を行うことによって、いくつかの貫入面を含む露頭を確認してX線回折分析を実施した。

今年度調査で確認した、酸性凝灰岩に火山岩が貫入している露頭試料のX線回折分析結果では、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生成されておらず、沸石類を多量に含むものが認められた。

したがって、今年度の調査結果もモンモリロナイトの変質に関しては平成4年度以上の成果を確認することができず、本調査地での貫入露頭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切であると判断される。

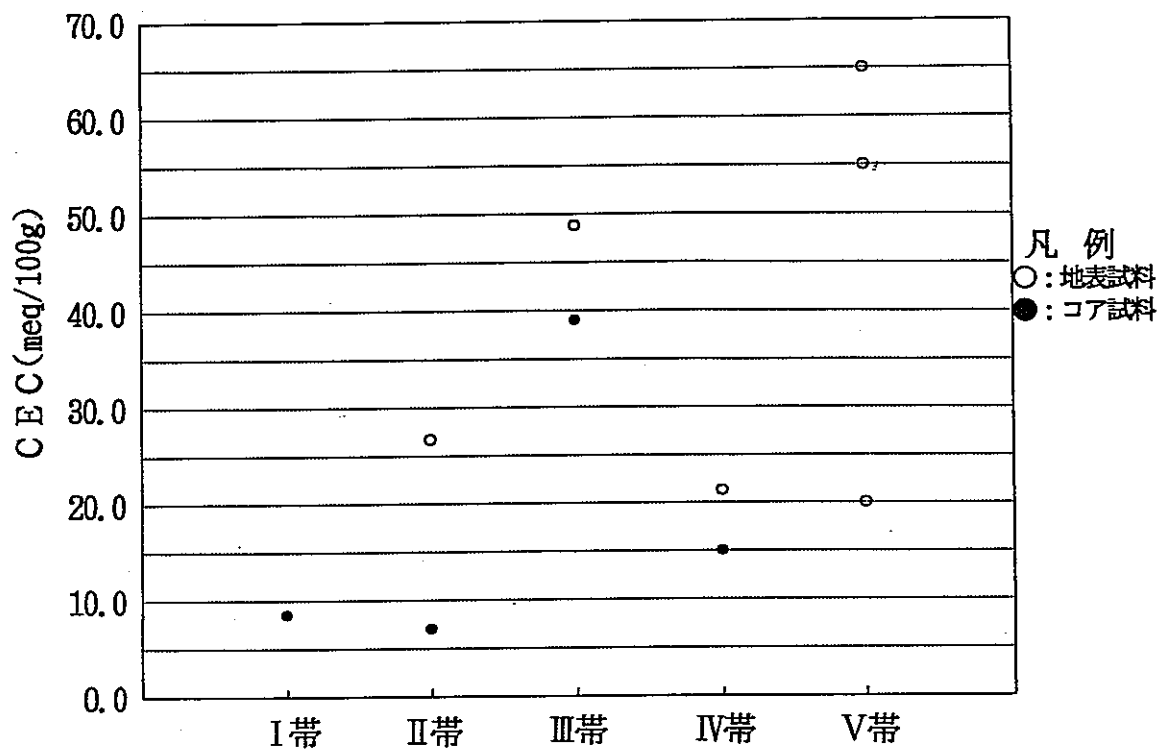


図4-6 村上地域の粘土、凝灰岩試料のCEC

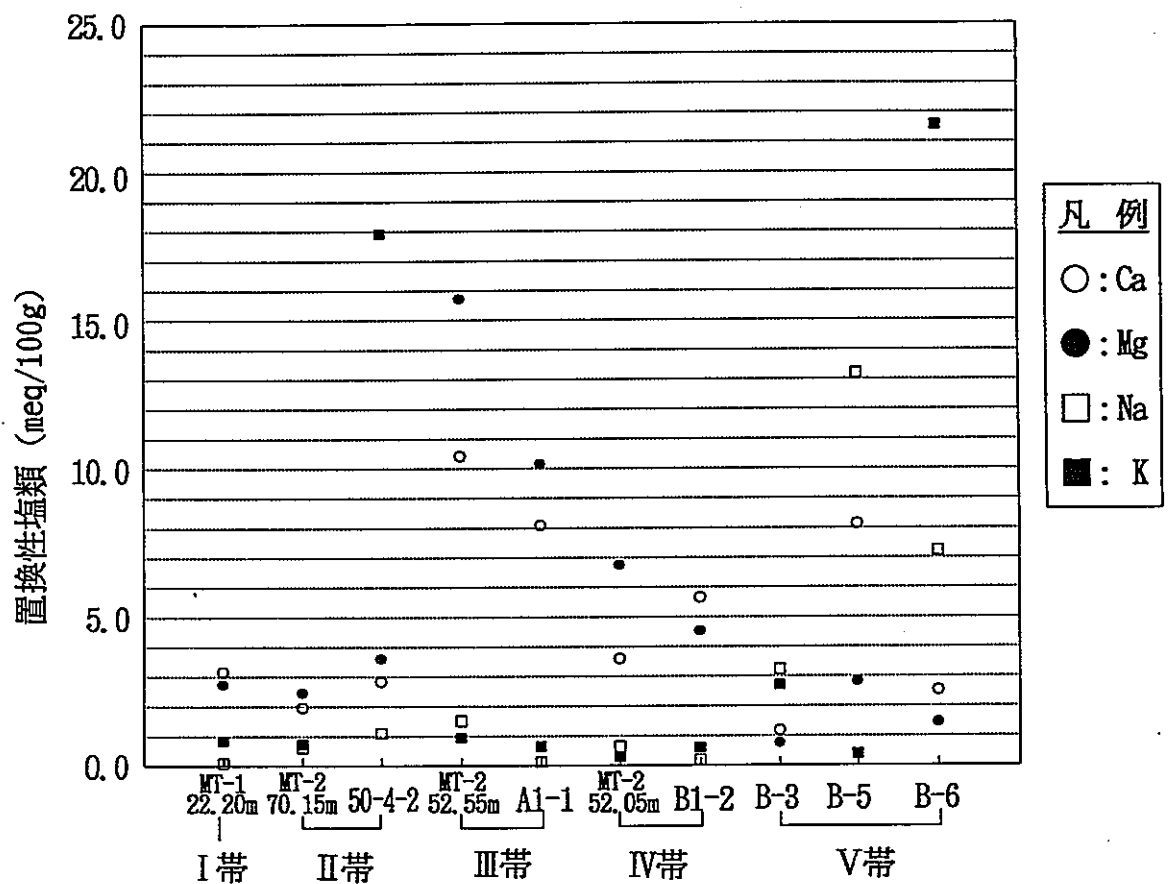


図4-7 村上地域の粘土、凝灰岩試料の置換性塩類

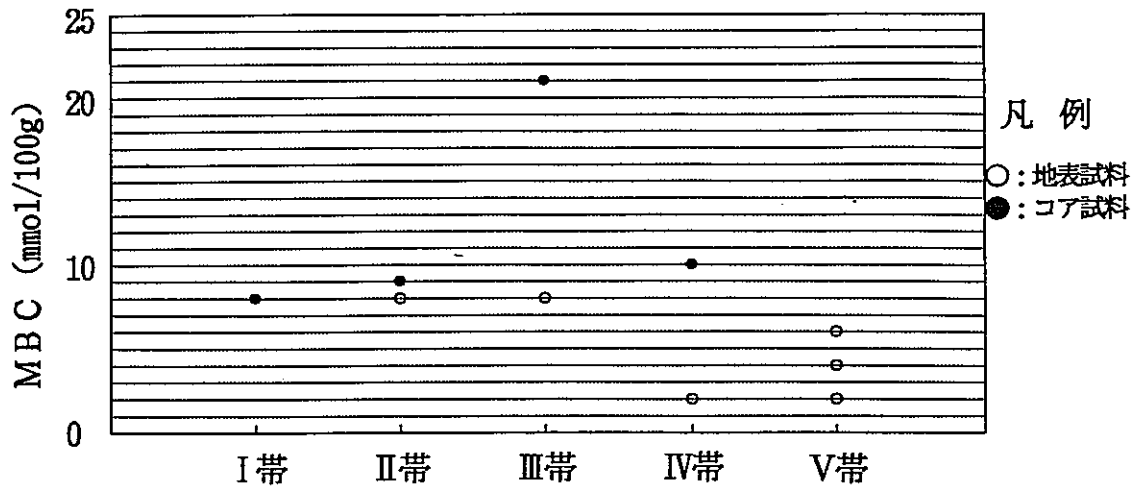


図4-8 村上地域の粘土、凝灰岩試料のMBC

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, 沸石による変質分帯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予想できる。

一方, 平成4年度の調査結果においては, モンモリロナイトがほとんどの試料に認められ, 一部の試料に α -リンケイ石・ α -クリストバル石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い。このことは, 平成4年度調査対象とした露頭においては珪化変質は生じているものの, モンモリロナイトのセリサイト化(イライト化)を検討する上では不相当と判断し, 今年度にさらに現地調査を行うことによって, 同一貫入岩の延長上において, いくつかの貫入面を含む露頭を確認してX線回折分析を実施した。その結果は, 稀に沸石を含むものがあるものの, 主としてモンモリロナイト及びシリカ鉱物を主体としている。

したがって, 今年度の調査結果もモンモリロナイトの変質に関しては平成4年度以上の成果を確認することができず, 本調査地での貫入露頭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切であると判断される。

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・ボーリング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、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モンモリロナイト帯（生成温度は 100℃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、風化の影響を排除できると考えられるボーリング・コアを用いて試験を実施した。これらの CEC は地表試料に対して系統的に低い値を示したが、置換性塩類の総和と CEC の値は比較的良い一致を示した。したがって、地表試料は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高いとした平成 4 年度の予想が適切であったと考えられる。

山形県鶴岡の酸性白土鉱床及び島根県大田のベントナイト鉱床ではモンモリロナイトを含む地層を火山岩岩脈が貫入している露頭を探し、分析を実施したが、セリサイト化（イライト化）は認められなかった。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への変化についての情報は得られないが、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することで温度履歴を把握し、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検討することも、モンモリロナイトの長期変質挙動を探る上で重要であり、このような事例研究も今後進めていく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(1): 資源エネルギー庁, 東京, p. 4~55, 66~71, 125 (1982)
- 村松敏雄, 村上市~朝日村に分布する凝灰岩・流紋岩の絶対年代測定—フィッシュン・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)
- 小坂文予, 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—とくに砕屑岩層について—: 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)
- 北村 信, 新生代東北本州弧地質資料集 第3巻: 榊室文堂, (1986)
- 酒井禮男, 島根県大田市朝倉ベントナイト: 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砕岩の変質—とくにフェリエライトの産状について—: 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, 変質帯調査, 地熱開発総合ハンドブック, 初版, ㈱フジ・テクノシステム, 東京, p. 41~52, (1982)