

火山ガラス及びベントナイトの 長期変質挙動に関する調査研究

(動力炉核燃料開発事業団 委託研究成果報告書)



1993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、285年前に噴出した富士宝永スコリアガラス及び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ガラスを対象に変質に関与した地下水の水質について調査した。

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0.40～0.80meq/ℓ）であり、深度が増加するにしたがって、pH、HCO₃⁻及びSiO₂濃度が増加する傾向が認められた。一方、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に関与する地下水は、化石海水起源であり、Na-Cl型で海水に極めて近い塑性を有している。

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、粘土及び凝灰岩の物理・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、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。

島根県大田市北部地域では、ベントナイト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：040D0144

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

*：株式会社ダイヤコンサルタント 東京事業部

**：株式会社ダイヤコンサルタント 技師長室

Studies of Long Term Alteration and Behavior of Volcanic Glass and Bentonite.

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 285 years ago.

Additionally, groundwater samples are collected from the wells in Mobara gas field, which penetrated Miura Group (middle Miocene to middle Pliocene) and the Kazusa Group (middle Pliocene to middle Pleistocene).

Chemical analyses of pore water in the Fuji-Houei volcanic succession indicate that they contain calcium bicarbonate (dissolved component 0.40~0.80 meq/l). Moreover, SiO₂ contents of the pore water increase with the burial depth of the samples in the Fuji-Houei volcanic succession.

Chemical and isotopic analysis of groundwater from the Mobara gas field indicate that the groundwater is typical connate marine water.

For the study of bentonite, fundamental properties of clay and tuff from Murakami clay deposit were analyzed. A preliminary study was done at 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 physical and Chemical analysis of clay and tuff are used to compare with those of buffer materials.

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 (Noriaki Sasaki)

* : Dia Consultants Department of Energy Projects

** : Dia Consultants Technical Division

目 次

I. 火山ガラス編

1. 調査目的	1
2. 調査地域の概要	2
2.1 地 形	2
2.1.1 富士	2
2.1.2 南房総鴨川及び茂原ガス田	4
2.2 地 質	7
2.2.1 富士	7
2.2.2 南房総鴨川及び茂原ガス田	10
3. 分析・試験	14
3.1 試 料	14
3.2 方 法	14
3.2.1 間隙水の分析	14
3.2.2 地下水の水質分析	18
3.3 分析・試験結果	22
3.3.1 間隙水の分析	22
3.3.2 地下水の水質分析	22
4. 考 察	27
4.1 スコリアの変質に関与した地下水の水質	27
4.1.1 富士	27
4.1.2 茂原ガス田	27
5. 問題点と今後の課題	34
参考文献	35

Ⅱ. ペントナイト編

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 大田市北部	38
2.2 地 質	41
2.2.1 村上	41
2.2.2 大田市北部	43
3. 分析・試験	48
3.1 試 料	48
3.1.1 村上	48
3.1.2 大田市北部	48
3.2 方 法	48
3.2.1 物理及び化学特性試験	48
3.2.2 X線回折分析	48
3.3 分析結果	54
3.3.1 物理及び化学特性試験	54
3.3.2 X線回折分析	54
4. 考 察	67
4.1 村 上	67
4.1.1 変質鉱物組合せと変質分帯	67
4.1.2 変質帯の生成環境	70
4.1.3 変質岩の年代	73
4.1.4 変質に関与した熱水の性状	78
4.1.5 変質帯の生成モデル	78
4.1.6 緩衝材に対する類似性	82
4.2 大田市北部	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 3-1	茂原ガス田の採水対象の孔井の諸元	1 6
表 3-2	間隙水の水質分析方法	1 7
表 3-3	上総層群から産出する天然ガスの化学分析例	2 0
表 3-4	地下水の現地測定項目及び測定方法	2 1
表 3-5	地下水の室内分析項目及び測定方法	2 1
表 3-6	宝永スコリアの間隙水の水質分析結果	2 3
表 3-7	茂原ガス田の地下水の水質分析結果	2 5
表 4-1	茂原ガス田の地下水のCl ⁻ 濃度とB, Br, I の関係	3 1

Ⅱ. ペントナイト編

表 2-1	調査地域の地質層序表	4 1
表 3-1	物理及び化学特性試験の分析・測定内容	5 1
表 3-2	物理及び化学特性試験の分析・測定方法	5 1
表 3-3	X線回折条件	5 3
表 3-4	村上地域の粘土, 凝灰岩試料の物理及び化学特性	5 3
表 3-5(1)	含有鉱物一覧表(露頭試料その1)	5 5
表 3-5(2)	含有鉱物一覧表(露頭試料その2)	5 6
表 3-5(3)	含有鉱物一覧表(坑内試料その1)	5 7
表 3-5(4)	含有鉱物一覧表(坑内試料その2)	5 8
表 3-5(5)	含有鉱物一覧表(坑内試料その3)	5 9
表 3-5(6)	含有鉱物一覧表(ボーリング試料その1)	6 0
表 3-5(7)	含有鉱物一覧表(ボーリング試料その2)	6 1
表 3-6	含有鉱物一覧表(鉱山側掘削孔)	6 2
表 3-7	含有鉱物一覧表(平成3年度掘削孔)	6 3
表 3-8	変質鉱物と貫入面からの距離との関係	6 6
表 4-1	変質帯と変質鉱物組合せ	6 8
表 4-2	変質鉱物の生成条件(推定)	7 1
表 4-3	フィッシュン・トラック年代測定結果一覧表	7 4
表 4-4	Rb-Sr年代測定結果一覧表	7 5
表 4-5	K-Ar年代測定結果一覧表	7 5
表 4-6	珪藻化石の同定結果	7 6
表 4-7	各岩石試料中の主要元素の重量	7 9
表 4-8	ペントナイト試料のコンシステンシー	8 7

図 目 次

I. 火山ガラス編

図 2-1	宝永スコリア調査位置図	2
図 2-2	山腹（須走登山道一合目）露頭位置図	3
図 2-3	南房総鴨川の調査範囲	4
図 2-4	南房総鴨川の水系と地形区分（中嶋ほか，1981）	5
図 2-5	茂原ガス田付近の地形	6
図 2-6	宝永スコリア層および試料採取位置（御殿場市付近）	8
図 2-7	宝永スコリア層および試料採取位置（須走口登山道一合目）	9
図 2-8	南房総鴨川付近の地質図（日本の地質「関東地方」編集委員会，1986）	11
図 2-9	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）	11
図 2-10	東京湾岸沿いの断面位置図（星野ほか，1992）	12
図 2-11	大多喜一船橋地質断面図（星野ほか，1992）	12
図 3-1	茂原ガス田採水対象孔井位置図	15
図 3-2	減圧法によるスコリア間隙水の抽出	17
図 3-3	天然ガス生産システム概念図	19
図 3-4	宝永スコリア層の間隙水のヘキサダイアグラム	24
図 3-5	茂原ガス田の地下水のヘキサダイアグラム	26
図 4-1	スコリア間隙水の $[\text{H}_4\text{SiO}_4]$ と $[\text{Ca}^{2+}] / [\text{H}^+]^2$ の関係図	28
図 4-2	茂原ガス田の地下水と海水との水質の比較	30
図 4-3	地下水の Cl^- と B との関係	32
図 4-4	地下水の Cl^- と Br との関係	32
図 4-5	地下水の Cl^- と I との関係	32
図 4-6	地下水の δD と $\delta^{18}\text{O}$ との関係	33
図 4-7	地下水の Cl^- と δD との関係	33
図 4-8	地下水の Cl^- と $\delta^{18}\text{O}$ との関係	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	大田市北部調査位置図	40
図2-3	村上地域地質図及び地質断面図	42
図2-4	セリサイト鉱山付近の地質断面図	44
図2-5	大田市北部地域地質図	45
図2-6	沸石による変質分帯（大田市北部）	47
図3-1	ボーリング位置および地表試料採取位置図	49
図3-2	坑内試料採取位置図	50
図3-3	大田市北部地域の試料採取位置	52
図3-4	鉱山側掘削孔における変質鉱物分布（MT-1）	64
図3-5	平成3年度掘削孔における変質鉱物分布（MT-2）	65
図4-1	変質鉱物分布図（村上地域）	69
図4-2	粘土と凝灰岩の三角ダイヤグラム	72
図4-3	年代測定結果総括図	77
図4-4	各試料における単位体積中の元素濃度	80
図4-5	変質帯形成モデル	81
図4-6	村上地域の粘土、凝灰岩試料のCEC	83
図4-7	村上地域の粘土、凝灰岩試料の置換性塩類	83
図4-8	村上地域の粘土、凝灰岩試料のMBC	84
図4-9	村上地域の粘土、凝灰岩試料の炭質物	84
図4-10	村上地域の粘土、凝灰岩試料の硫酸塩含有量	84
図4-11	村上地域の粘土、凝灰岩試料の膨潤度	85
図4-12	ベントナイト試料の有機物及び硫酸塩含有量（動燃事業団殿測定）	86
図4-13	ベントナイト試料のCECとMBCの関係（動燃事業団殿測定）	86
図4-14	ベントナイト試料の最大乾燥密度と最適含水比の関係 （動燃事業団殿測定）	87
図4-15	蒸留水及びNaCl溶液内でのベントナイト試料の膨潤度 （動燃事業団殿測定）	88
図4-16	ベントナイト試料の熱伝導率（動燃事業団殿測定）	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。

本調査では、富士起源の宝永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、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、現地調査、試料採取、室内分析を実施した。

2. 調査地域の概要

2.1 地 形

2.1.1 富士

調査地域及びその周辺の地形の概要を図2-1～2に示す。

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

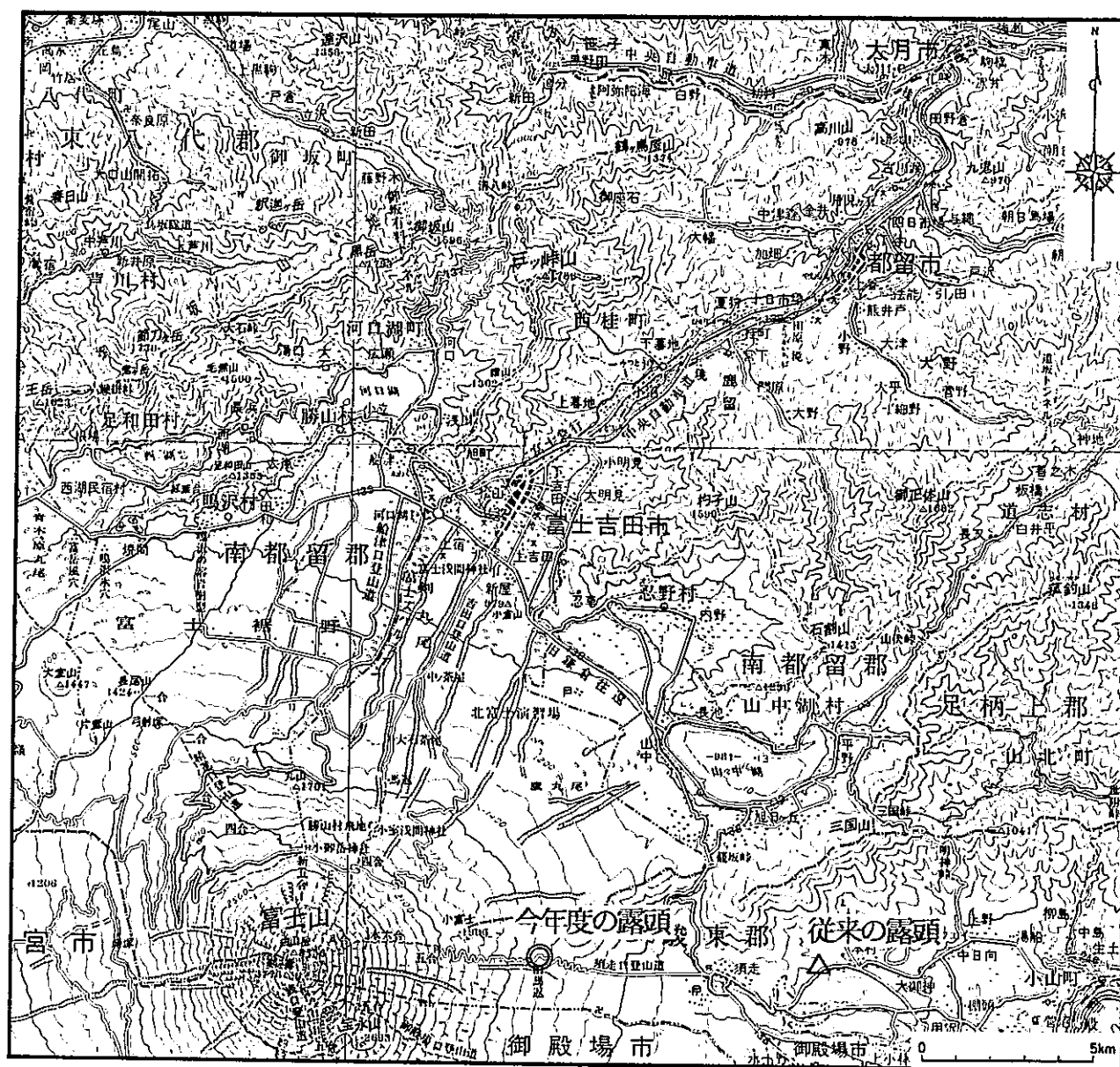


図2-1 宝永スコリア調査位置図

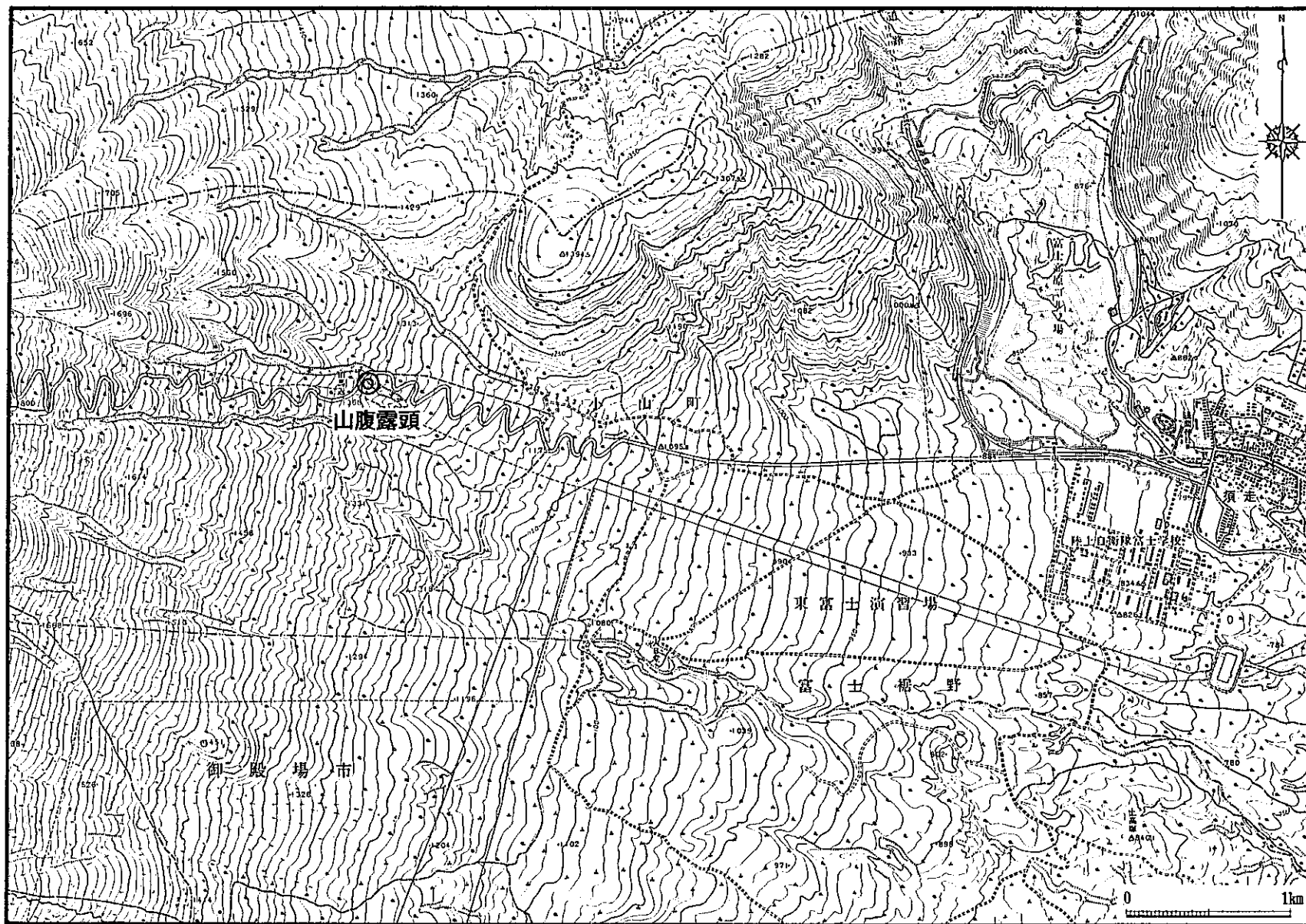


図2-2 山腹(須走口登山道一合目)露頭位置図

2.1.2 南房総鴨川及び茂原ガス田

南房総鴨川地域及びその周辺の地形の概要を図2-3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2-4に示す。

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

茂原ガス田調査地域及びその周辺の地形の概要を図2-5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～平野からなる。

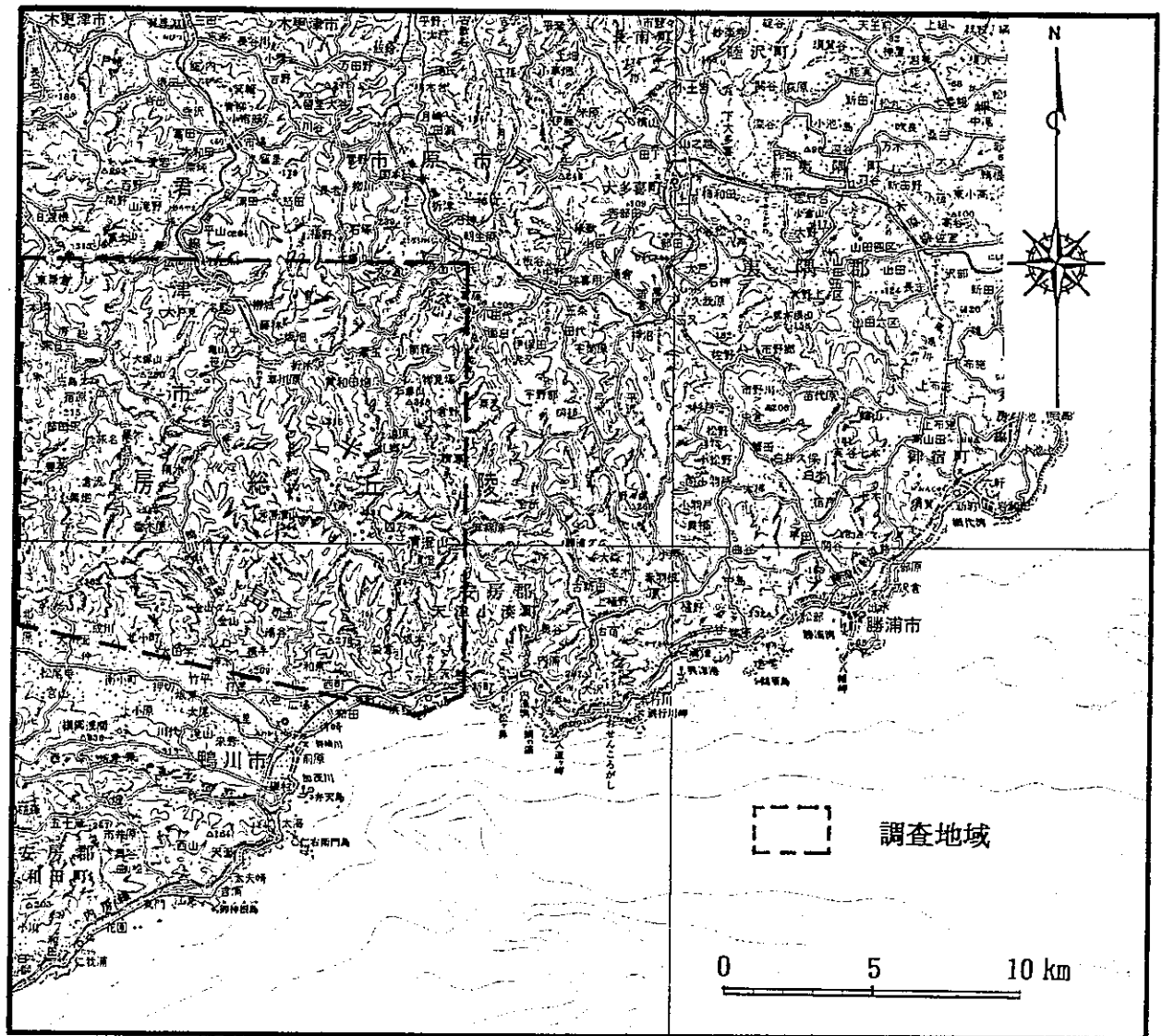
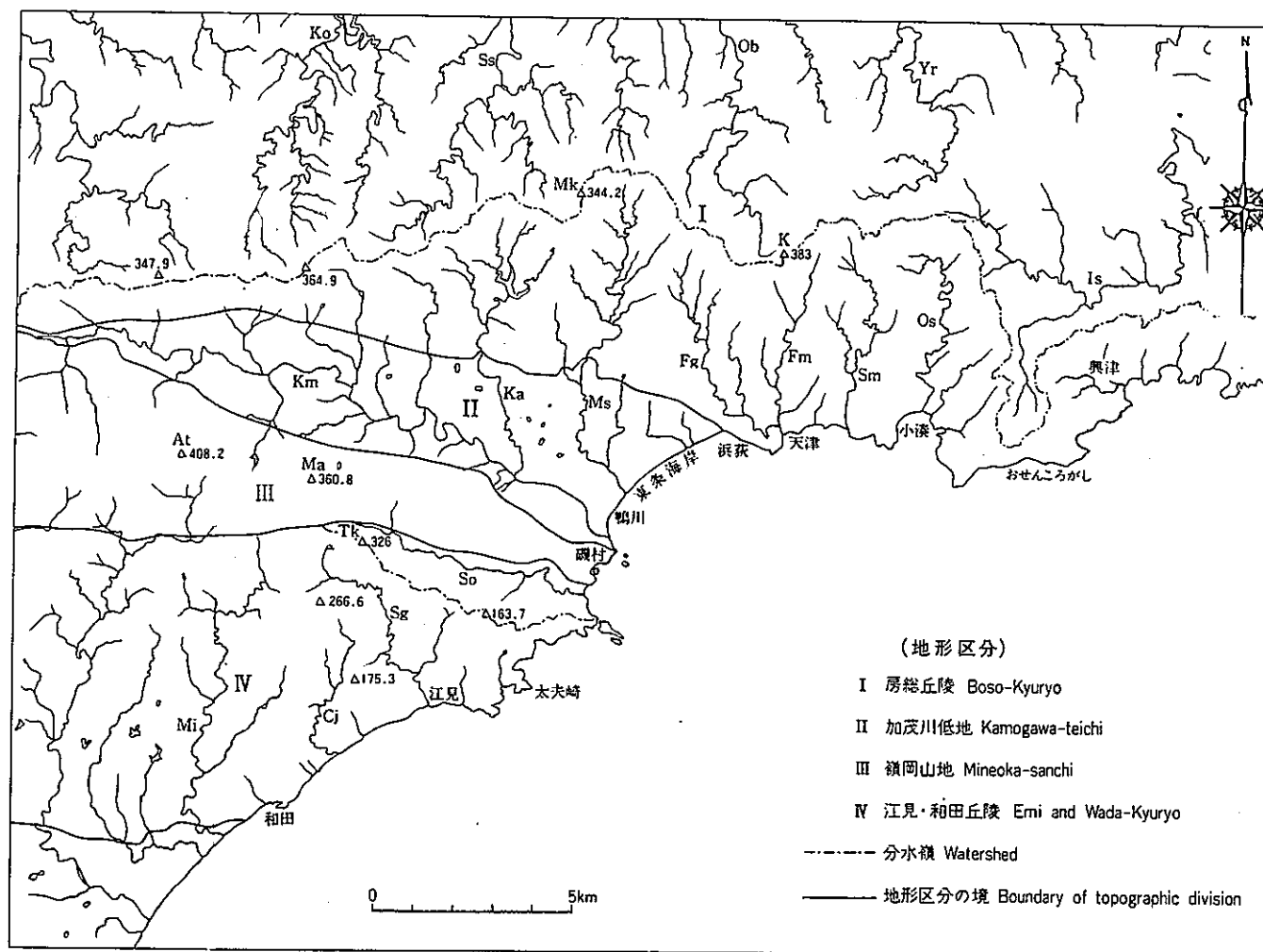


図2-3 南房総鴨川の調査範囲



鴨川図幅地域付近の水系と地形区分 (山) At: 愛宕山 K: 清澄山 Ma: 嶺岡浅間 Mk: 元清澄山 Tk: 高鶴山 (川) Cj: 長吉川 Fg: 袋倉川 Fm: 二間川 Is: 夷隅川 Ka: 金山川 Km: 加茂川 Ko: 小糸川 Mi: 三原川 Ms: 待崎川 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2-4 南房総鴨川の水系と地形区分 (中嶋ほか, 1981)

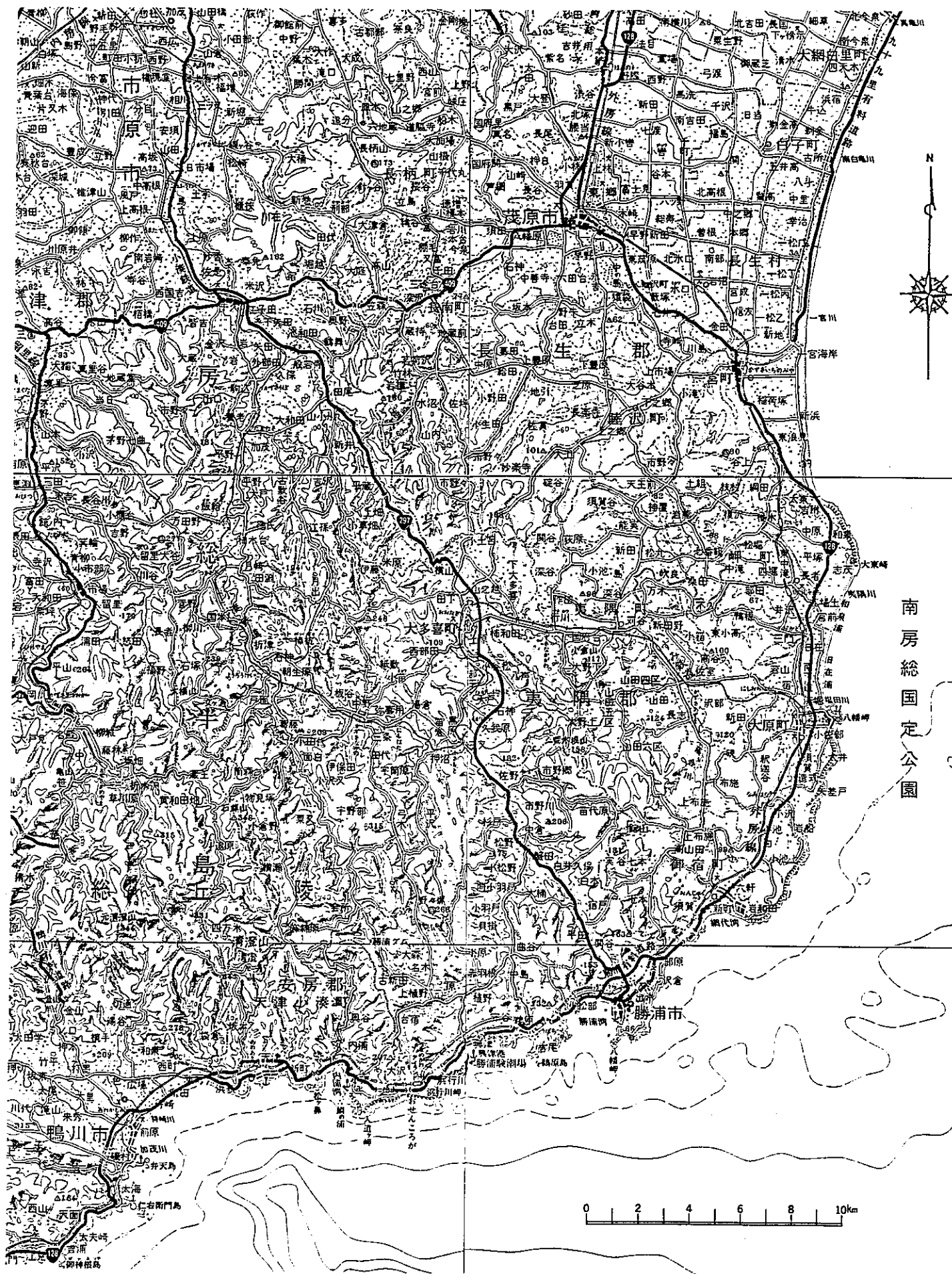


図2-5 茂原ガス田付近の地形

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 1～2 m でほぼ地表面に沿って分布している。このスコリア層は暗灰色を呈する 0.5～2cm の新鮮なスコリアからなり、最下部に厚さ 5cm前後の黄白色の軽石層を伴っている（図2－6参照）。一方、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2－7参照）。山腹でのスコリア層は一般に淘汰が悪く、砂粒大以下の粒子を多く含んでおり、スコリア以外の岩片を含むこともある。

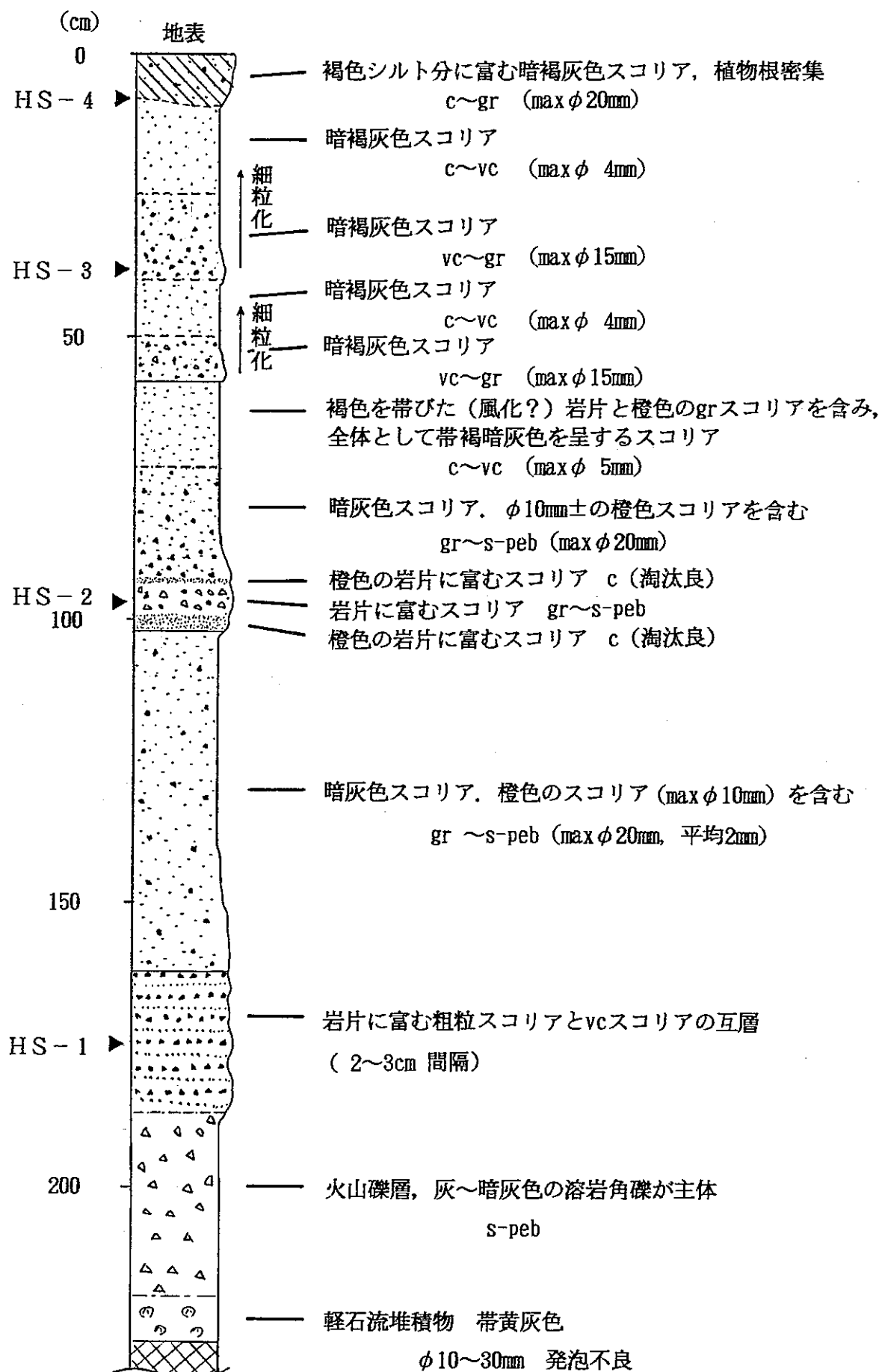
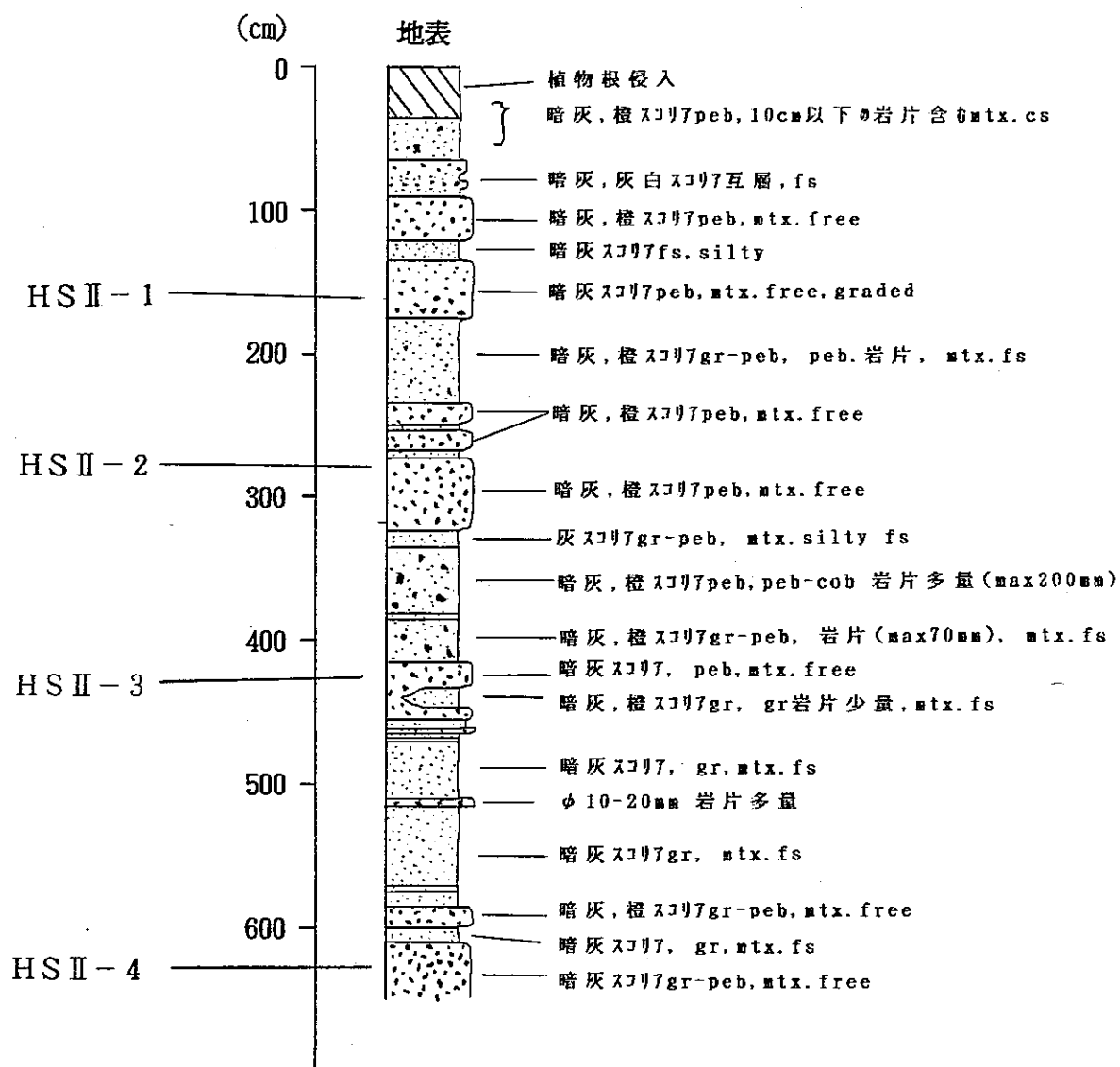


図2-6 宝永スコリア層および試料採取位置 (御殿場市付近)



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2-7 宝永スコリア層および試料採取位置 (須走口登山道一合目)

2.2.2 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2-8、図2-9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2-10、図2-11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。

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

図2-8及び図2-9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。

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2-7参照）。また、茂原ガス田のガス井から地下水を採取した。採水対象としたガス井の位置を図3-1に、それぞれのガス井の諸元を表3-1に示す。

3.2 方法

3.2.1 間隙水の分析

富士の宝永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）を敷いた吸引鐘にかけ吸引ろ過を行う（図3-2）。
- ④①から③の操作を繰り返し行い、分析に必要な量の間隙水を得る。

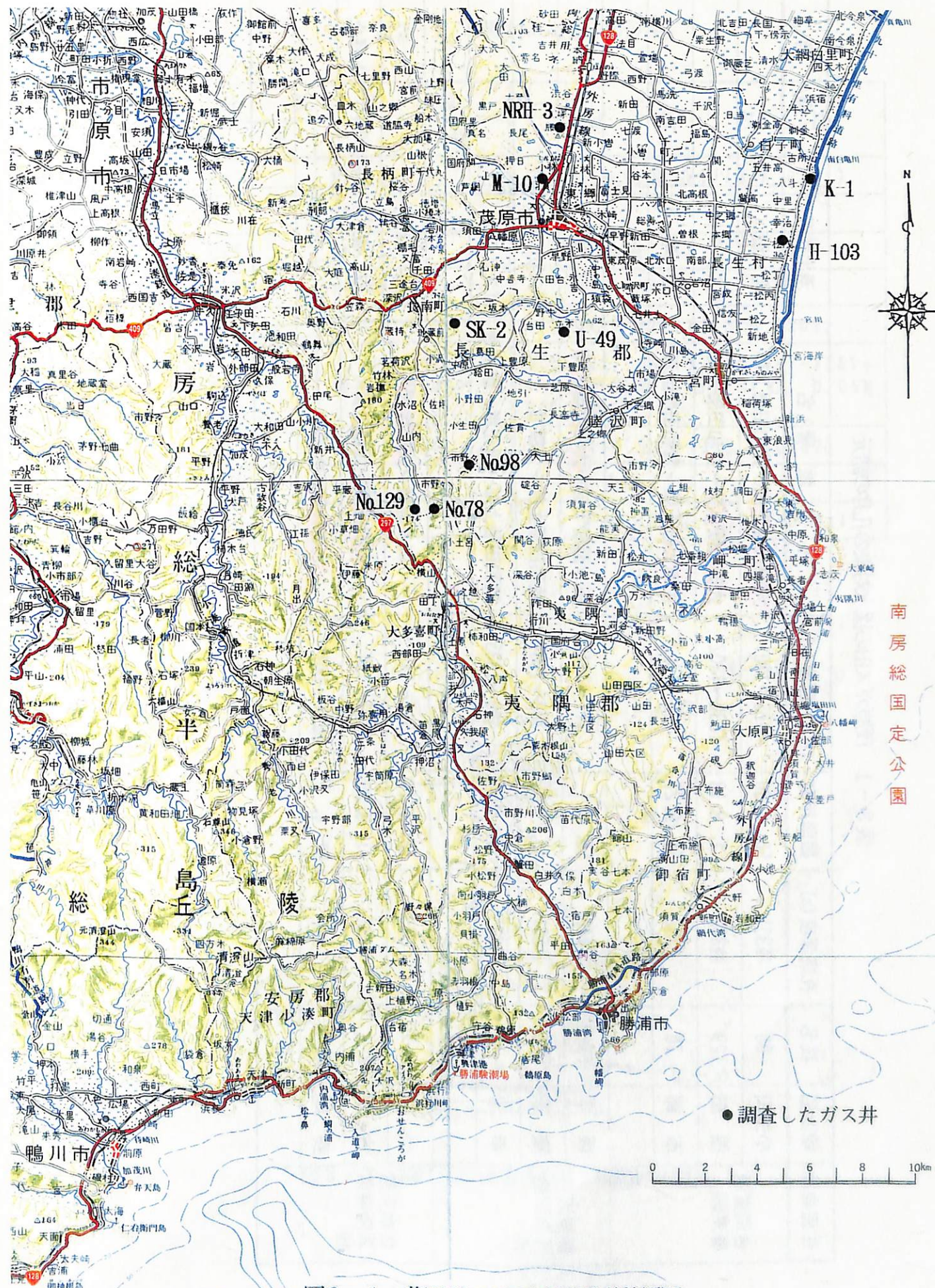


図3-1 茂原ガス田採水対象孔井位置図

表3-1 茂原ガス田の採水対象の孔井の諸元

生産会社	地区名	孔名	孔底深度(m)	掘削年度	ストレーナ-深度(m)	対 象 地 層 名	湧出状況	備 考
合同資源 産業(株)	小生田	98	1301	56, 6, 30	895~1301	大田代層下部~黄和田層下部	自 噴	
	堀 田	129	1302	1, 9, 18	1030~1302	大田代層下部~黄和田層上部	ガスリフト	
	市 部	78	1202	54, 12, 27	960~1202	大田代層下部~黄和田層上部	自 噴	
					~	~		
関東天然 瓦斯開発 (株)	坂 本	SK-2	1140	55, 6	717~1140	梅ヶ瀬層下部~大田代層下部	自 噴	
	猿 袋	U-49	1501	45, 1	700~1501	黄和田層上部~大原層	ガスリフト	
	幸 治	H-103	1335	37, 1	489~1335	黄和田層上部~浪花層・勝浦層	ガスリフト	
					~	~		
日本天然 瓦斯興業 (株)	小 林	M-10	949	58, 1, 10	517~949	梅ヶ瀬層~大田代層	自 噴	
	古 所	K-1	737	41, 3, 26	320~734	大田代層~黄和田層	自 噴	採水時リフト停止
	長 尾	NRH-3	1801	52, 4, 4	1058~1801	大田代層~大原層	ガスリフト	
					~	~		

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 ー ム 光 度 法 (JIS K 0101)
K ⁺	カリウムイオン	〃
Ca ²⁺	カルシウムイオン	原子吸光法 (JIS K 0101)
Mg ²⁺	マグネシウムイオン	〃
Cl ⁻	塩素イオン	イオンクロマトグラフ法 (JIS M 0202)
HCO ₃ ⁻	重炭酸イオン	BCG-MR (ブ ロ ム ク レ ソール ナー リー ソー メチル レ ッ ト) 混 合 指 示 薬 を 用 い て, 0.05N HCl で 滴 定
SO ₄ ²⁻	硫酸イオン	イオンクロマトグラフ法 (JIS M 0202)
T-Fe	全鉄	原子吸光法 (JIS K 0101)
SiO ₂	ケイ酸	モリブデン黄法 (JIS K 0101)

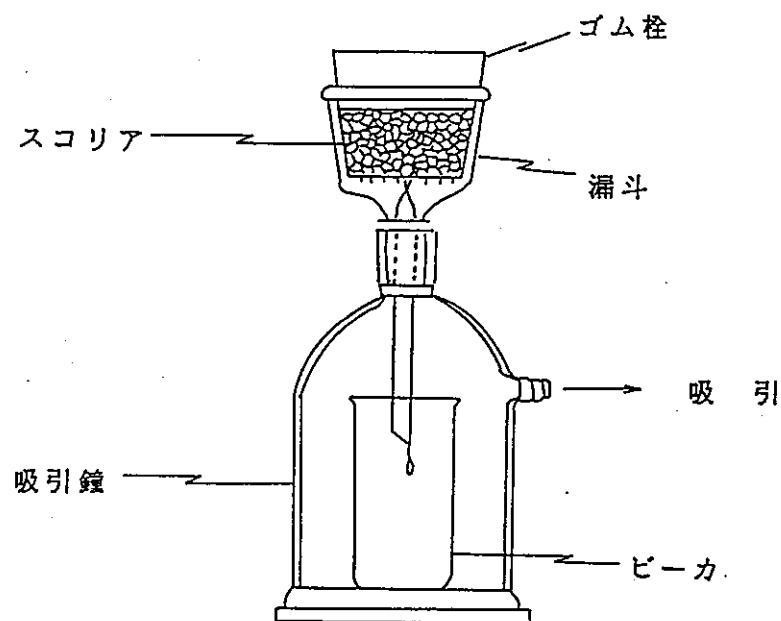


図3-2 減圧法によるスコリア間隙水の抽出

3.2.2 地下水の分析

茂原ガス田においては、図3-3に示すようなシステムによって天然ガス及び地下水（かん水）を採取している。本ガス田のガス井は、ベントナイト泥水を用いて掘削されているが、孔名管（塩化ビニール製）は、孔内の泥水を清水で十分に洗浄した後、電気検層を実施することによって採取層準（深度）を決定して設置している。本ガス田の天然ガスは水溶性であり、ガスが溶け込んだ地下水を減圧することによって、容易にガスと水とを分離することができる。そこで、自噴する場合はそれを分離槽に送り、ガスと地下水を分離している。それに対して自噴しない場合には、それを分離槽に送り、ガスと地下水を分離している。したがって、分離槽から流出する地下水は大気と接触することなく、閉鎖系を保ったままであると考えられる。ガスリフトの場合においても原理的にはBhに大きく影響を及ぼす大気との接触はないと判断されるが、河井ほか（1973）による上総層群から産出する天然ガスの化学分析例（表3-3）をみると、微量ながら酸素の検出されたものがある。そのため、試料採取対象のガス井としては、なるべく自噴井を選定した。

現地においては、セパレータを経て連続的に湧出してくる地下水をできるだけ空気との接触を避けて採水した。分析項目及び分析方法は、現地測定項目については表3-4、室内分析項目については表3-5に示すとおりである。

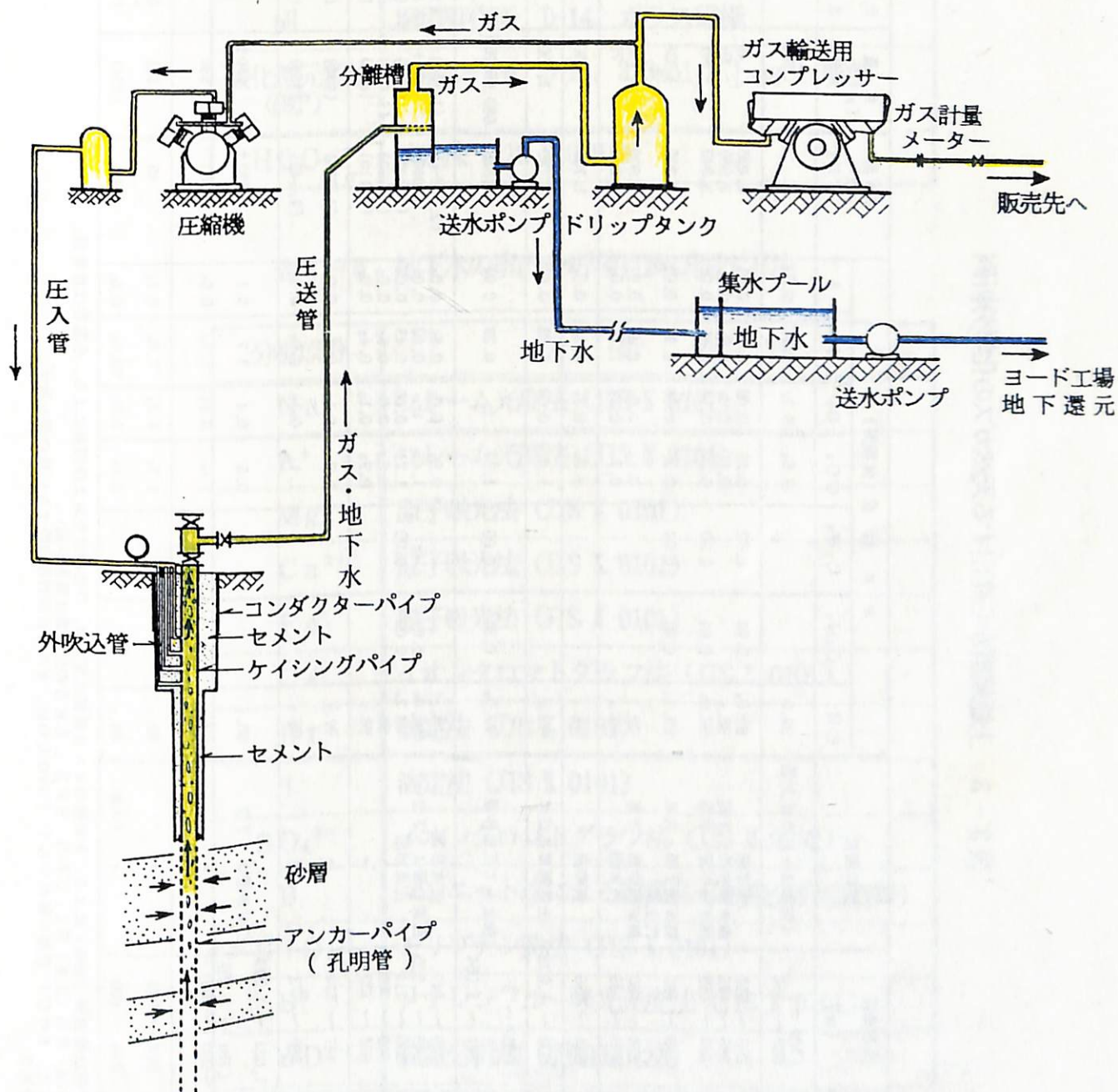


図3-3 天然ガス生産システム概念図

表3-3 上総層群から産出する天然ガスの化学分析例

地 区	坑 井 名	採取深度 (m)	採取層位	ガ ス 組 成 (体積%)							ガス量 (m ³ /日)	水 量 (m ³ /日)	ガ ス 水 比	水のC I 濃 度 (g/l)
				CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	CO ₂	O ₂	N ₂	A				
古 沢	古 沢 R 1	(130 ~) 680 ~ 750	(黄和田 ~) 大原上部	96.0			2.5 ₃	0.0 ₃	1.4 ₂	0.0 ₃		520		16.58
茂 原	B 14	295 ~ 510	梅ガ瀬	99.0 ₄	0.02	0.00	0.26	0.09	0.58	0.01	4,490	46	107	14.27
	B 18	286 ~ 475	梅ガ瀬中部・下部	98.5			0.5 ₀	0.0 ₈	0.9 ₂	0.0 ₂	3,960	94	42	
	D 12	252 ~ 462	梅ガ瀬中部・下部	99.0 ₅	0.01	0.00	0.22	0.14	0.56	0.02	3,340	141	24	13.61
	D 24	242 ~ 450	梅ガ瀬下部・大田代上部	99.2 ₃	0.01	0.00	0.37	0.05	0.28	0.01	3,370	328	10	16.33
	STR 5 日天 R 49	238 ~ 460 266 ~ 435	梅ガ瀬中部・下部 梅ガ瀬	99.1 98.3			0.4 ₁ 0.2 ₁	0.0 ₇ 0.2 ₉	0.4 ₀ 1.1 ₇	0.0 ₁ 0.0 ₂	1,900 1,500	135 75	14 20	18.50 (18.99)
横 芝	横芝(富士) R 1	624 ~ 850	黄和田	94.4			2.8 ₉	0.3 ₉	2.2 ₆	0.0 ₄	1,700	960	1.77	19.00
野 田	野 田 R 1	900 ~ 1,035	上総層群基底部	92.0			1.07	0.04	6.83	0.04	780	1,400	0.56	7.43
市 川	市川(江東) R 1	(657 ~) 961 ~ 1,054	主として江東砂層	97.9 ₈	0.04	0.00	1.57	tr	0.39	0.01	1,320	680 ~ 700	1.94 ~1.89	(14.74)
江 戸 川	ER 1	679 ~ 847	江東砂層	98.1			0.9 ₉	0.0 ₆	0.8 ₅	0.0 ₃	(2,060+)	(1,400)	(1.50+)	15.58
	ER 2	946 ~ 1,565	江東砂層より下位	98.0 ₉	0.04	tr	1.45	tr	0.40	0.01	1,040+	400+	2.4 ~ 3.4	17.82
	ER 3	623 ~ 711	江東砂層	98.2 ₄	0.02	0.00	1.21	0.06	0.45	0.02	(1,490)	(955)	(1.56)	(15.06)
	ER 5	605 ~ 705	"	98.6			0.8 ₀	0.0 ₇	0.5 ₆	0.0 ₂	(1,590)	(1,050)	(1.51)	14.65
	ER 6	651 ~ 737	"	98.5			0.9 ₃	0.1 ₀	0.4 ₃	0.0 ₂	(1,110)	(650)	(1.68)	15.03
江 東	KR 6	447 ~ 574	"	97.8			1.0 ₈	0.1 ₀	0.9 ₅	0.0 ₃	(1,370)	(930)	(1.47)	7.49
	KR 11	480 ~ 573	"	98.1			1.1 ₁	0.1 ₀	0.6 ₇	0.0 ₃	(1,140)	(730)	(1.56)	8.78
東 京 江東・ 江戸川 以外	上野 R 1	1,021 ~ 1,203	江東砂層より下位	95.3			0.5	0.4	3.7	0.1	350±	170±	2±	8.95
	大森 R 1	(784 ~) 890 ~900 (~955)	"	97.5			1.0 ₄	0.1 ₆	1.1 ₈	0.0 ₄	1,050	580	1.81	12.60
横 浜	網島 R 1	602 ~ 702	"	89.9			1.7 ₇	0.3 ₄	7.8 ₅	0.1 ₆	49	161	0.30 ~ 0.31	0.71
	保土ヶ谷 (相生) R 1	359 ~ 600	" (大船)	64.9			2.4 ₅	0.0 ₃	32.0 ₈	0.5 ₀	(80)	(234)	(0.34)	0.82

(注1) 野田 R1のガス分析値は柴田賢(1961)による。その他のガス分析値は荒木峻、戸谷嗣津夫および河井による。小数字は参考値。

(注2) 茂原 B14, D12, D24, 市川(江東) R1, 江戸川 ER2, ER3の分析値は精度が高い。

(注3) ガス量、水量、ガス水比、水のC I 濃度の値のうち()内のものは、ガス分析試料採取時でない時の値を示す。

(注4) 坑井名の()内は会社名。

表3-4 地下水の現地測定項目及び測定方法

測定項目	測 定 機 器
気温	水銀棒温度計
水温	水銀棒温度計
電気伝導度	横河電気 SC82
pH	堀場製作所 D-14, ガラス電極
酸化還元電位 (ORP)	堀場製作所 D-14, 3.3mol KCl-AgCl 電極
HCO_3^-	滴定法 (JIS K 0101)

表3-5 地下水の室内分析項目及び測定方法

分析成分	分 析 方 法
Na^+	フレイム光度法 (JIS K 0101)
K^+	フレイム光度法 (JIS K 0101)
Mg^{2+}	原子吸光法 (JIS K 0101)
Ca^{2+}	原子吸光法 (JIS K 0101)
Fe	原子吸光法 (JIS K 0101)
Cl^-	イオンクロマトグラフ法 (JIS K 0101)
Br^-	滴定法 (JIS K 0101)
I^-	滴定法 (JIS K 0101)
SO_4^{2-}	イオンクロマトグラフ法 (JIS M 0202)
B	マンニット法による容量法 (鉱泉分析法指針)
SiO_2	モリブデン黄法 (JIS K 0101)
S^{2-}	メチレンブルー吸光光度法 (JIS K 0101)
δD	質量分析法 (亜鉛還元法)
$\delta^{18}\text{O}$	質量分析法 ($\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 平衡法)
TOC	燃焼-赤外線分析法 (JIS K 0102)
フミン酸	吸光光度法
フルボ酸	吸光光度法

3.3 分析・試験結果

3.3.1 間隙水の分析

宝永スコリアの間隙水の水質分析結果を表3-6に、それらのヘキサダイアグラムを図3-4に示す。なお、図3-4には平成3年度までの調査結果も併記した。

3.3.2 地下水の水質分析

茂原ガス田の地下水の水質分析結果を表3-7に、それらのヘキサダイアグラムを図3-5に示す。ただし、酸素・水素同位体組成は次式で定義される δ 値で示した。

$$\delta D \text{ (または } \delta^{18}O) = \frac{(R)_{\text{試料}} - (R)_{\text{SMOW}}}{(R)_{\text{SMOW}}} \times 1000 (\text{‰})$$

R : D/H または $^{18}O/^{16}O$
SMOW : 標準平均海水 (Standard Mean Ocean Water)

表3-6 宝永スコリアの間隙水の水質分析結果

試料番号	HSⅡ-1		HSⅡ-2		HSⅡ-3		HSⅡ-4		HSⅡ-2		HSⅡ-3		HSⅡ-4	
採取深度 (m)	-1.9		-2.5		-3.8		-6.0		-2.5		-3.8		-6.0	
試料の種類	減圧法による間隙水													
採取日	1992, 5, 8								1992, 8, 7					
pH	7.9		7.4		7.3		7.4		6.8		7.2		7.7	
	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 ⁺	1.97	0.09	1.17	0.05	1.05	0.05	2.03	0.09	2.56	0.11	3.94	0.17	4.37	0.19
K ⁺	0.45	0.01	0.48	0.01	0.71	0.02	0.73	0.02	0.78	0.02	1.11	0.03	1.16	0.03
Ca ²⁺	5.58	0.28	4.60	0.23	3.94	0.20	3.66	0.18	4.53	0.23	5.79	0.29	8.25	0.41
Mg ²⁺	1.50	0.12	1.42	0.12	1.37	0.11	1.22	0.10	1.34	0.11	2.00	0.16	1.35	0.11
Fe ²⁺	0.65	0.02	0.90	0.03	0.67	0.02	0.96	0.03	3.37	0.12	3.34	0.11	1.65	0.06
陽イオン合計		0.52		0.44		0.40		0.42		0.59		0.76		0.80
HCO ₃ ⁻		0.43		0.28		0.25		0.33		0.20		0.33		0.55
SO ₄ ²⁻	2.8	0.06	3.2	0.07	3.4	0.07	2.1	0.04	4.84	0.10	4.59	0.10	2.33	0.05
Cl ⁻	2.5	0.07	1.5	0.04	2.5	0.07	2.3	0.06	3.01	0.08	2.68	0.08	2.34	0.07
NO ₃ ⁻	2.8	0.05	4.5	0.07	3.2	0.05	3.3	0.05	10.7	0.17	15.3	0.25	2.35	0.04
陰イオン合計		0.61		0.46		0.44		0.48		0.55		0.76		0.72
SiO ₂	33.9		33.3		36.0		33.2		41.1		46.6		39.6	

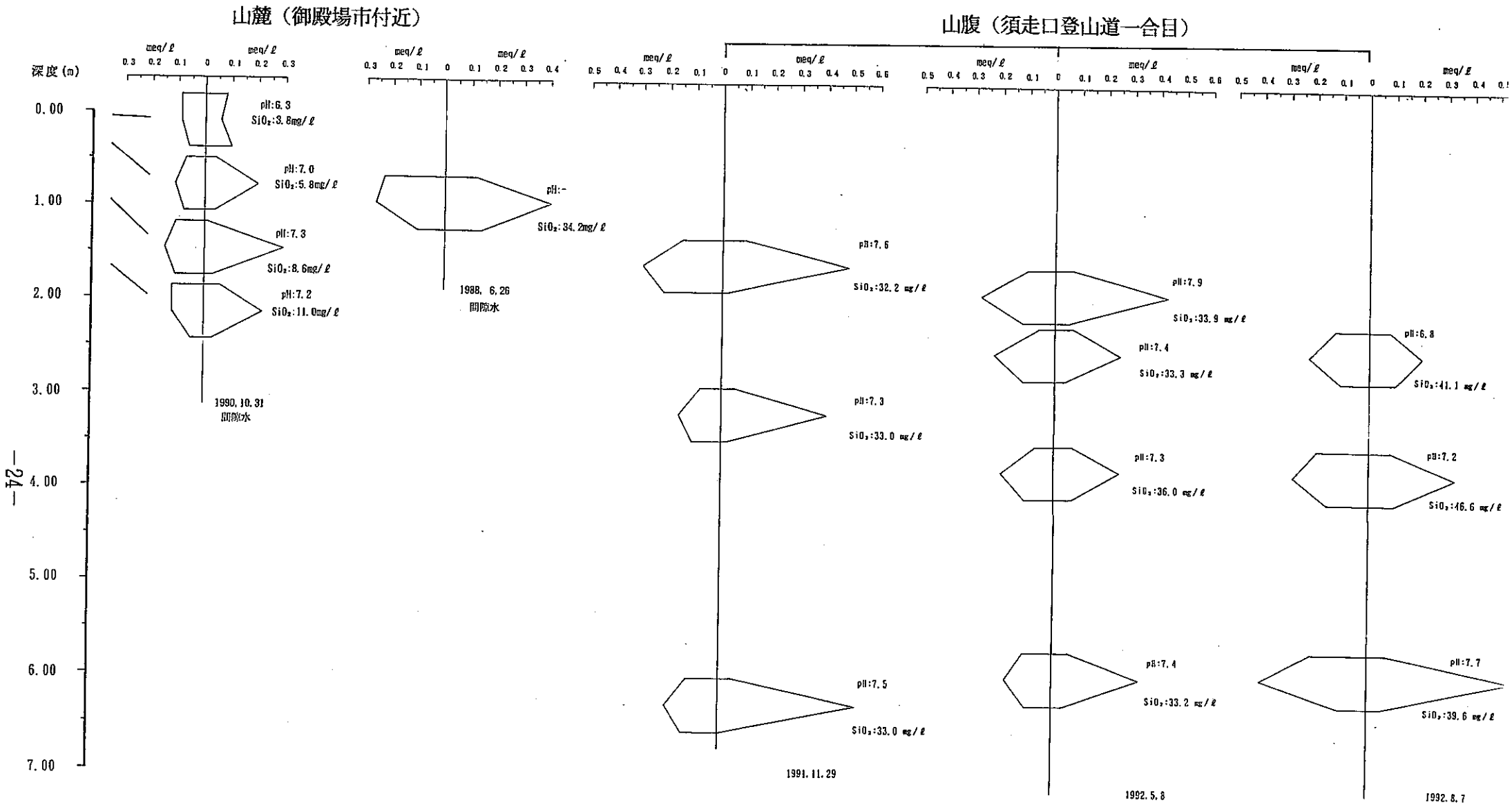


図3-4 宝永スコリア層の間隙水のヘキサダイアグラム

表3-7 茂原ガス田の地下水の水質分析結果

試料番号	No.78		No.98		No.129		SK-2		H-103		U-49		NRH-3		M-10	
稼行団体	合同資源産業(株)						関東天然瓦斯開発(株)						日本天然瓦斯興業(株)			
採取日	1992. 7. 7						1992. 7. 8						1992. 7. 9			
採水深度 (GL- m)	960~1202		895~1301		1030~1302		717~1140		489~1335		700~1501		1058~1801		517~949	
気温 (℃)	20.5		21.1		23.5		24.4		24.1		26.4		28.3		26.7	
水温 (℃)	27.8		28.6		25.5		24.0		29.3		31.3		34.5		24.9	
電気伝導度(mS/cm25℃)	47.7		42.9		47.9		36.4		45.5		49.7		45.9		46.6	
pH	7.86		7.79		7.65		7.94		7.50		7.81		7.54		7.74	
ORP (mV) *	-256		-240		-232		-279		-285		-271		-263		-258	
	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 ⁺	10700	465	10400	452	9870	429	7410	322	10200	443	10600	461	9460	411	9390	408
K ⁺	3020	77.2	2960	75.7	2960	75.7	2120	54.2	3030	77.5	3140	80.3	3080	78.8	2760	70.6
Ca ²⁺	229	11.4	219	10.9	221	11.0	145	7.24	236	11.8	231	11.5	210	10.5	174	8.68
Mg ²⁺	315	25.9	339	27.9	312	25.7	223	18.4	351	28.9	358	29.5	316	26.0	362	29.8
Fe ²⁺	0.98	0.04	2.25	0.08	1.84	0.07	0.86	0.03	2.02	0.07	0.91	0.03	1.52	0.05	1.89	0.07
Fe ³⁺	0.45	0.02	0.41	0.02	0.65	0.03	0.36	0.02	0.40	0.02	0.47	0.03	0.45	0.02	0.36	0.02
陽イオン合計	—	579.56	—	566.60	—	541.50	—	401.89	—	561.29	—	582.36	—	526.37	—	517.17
HCO ₃ ⁻	903	14.8	995	16.3	934	15.3	970	15.9	928	15.2	1129	18.5	1007	16.5	897	14.7
SO ₄ ²⁻	22.3	0.46	17.7	0.37	20.2	0.42	20.6	0.43	23.0	0.48	24.7	0.51	28.4	0.59	19.8	0.41
Cl ⁻	18800	530	19300	544	18400	519	13500	381	19000	536	19500	550	17600	496	17300	488
I ⁻	131	1.03	128	1.01	136	1.07	83.7	0.66	100	0.79	120	0.95	109	0.86	111	0.87
Br ⁻	136	1.70	134	1.68	129	1.61	95.8	1.20	128	1.60	128	1.60	119	1.49	122	1.53
HBO ₃ ²⁻	68.6	2.30	71.9	2.41	63.0	2.11	50.9	1.70	65.8	2.20	74.7	2.50	53.6	1.80	53.6	1.80
S ²⁻	<0.2		<0.2		<0.2		<0.2		<0.2		<0.2		<0.2		<0.2	
陰イオン合計	—	550.29	—	565.16	—	539.51	—	400.89	—	556.26	—	574.06	—	517.24	—	507.31
SiO ₂	70	—	73	—	64	—	64	—	68	—	74	—	81	—	61	—
δD (‰)	-0.4		1.9		6.7		-0.8		-0.1		1.2		-1.5		-3.2	
δ ¹⁸ O (‰)	-1.93		-1.90		-1.94		-2.61		-1.94		-1.61		-2.26		-2.53	
TOC	82	—	67	—	63	—	100	—	58	—	71	—	68	—	69	—
フミン酸	104	—	123	—	76	—	74	—	37	—	66	—	102	—	47	—
フルボ酸	75	—	74	—	71	—	178	—	57	—	70	—	80	—	66	—

* ORP の値は現場での実測値を記入した。

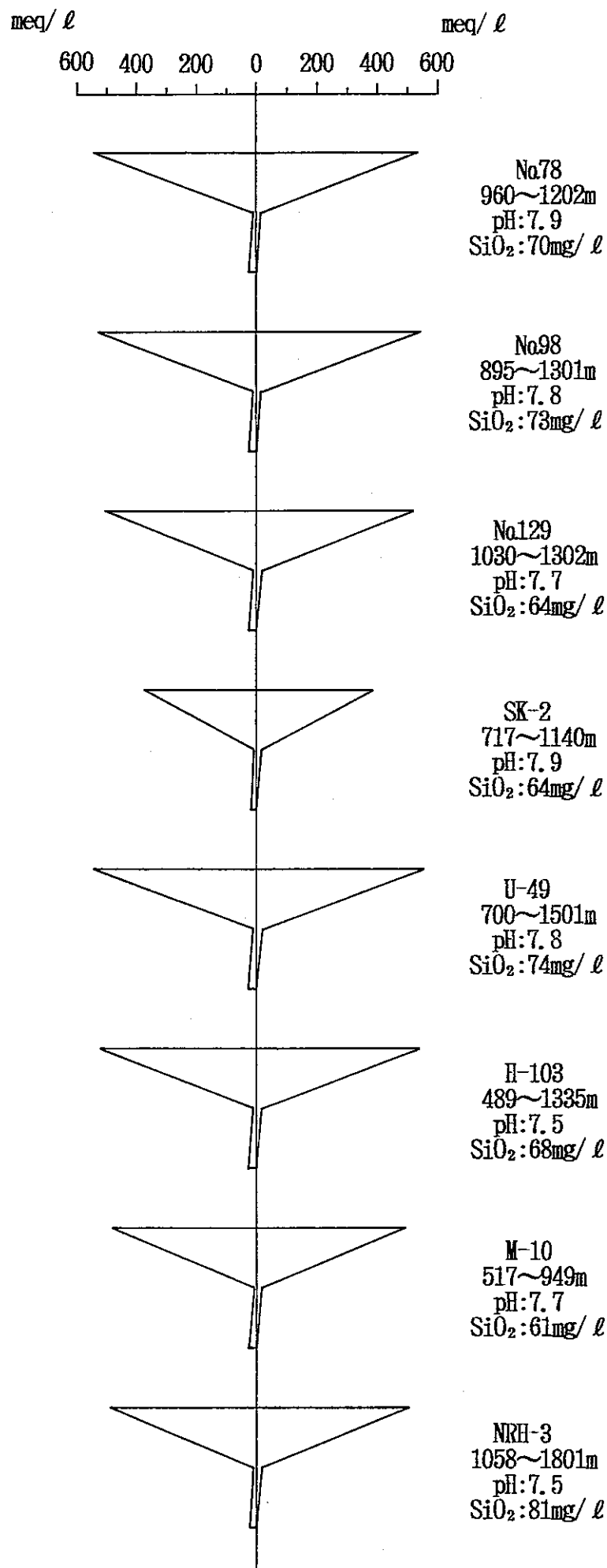


図3-5 茂原ガス田の地下水のヘキサダイアグラムグラム

4. 考 察

今年度の調査結果に平成3年度までの成果を加味して、スコリアの変質環境について考察する。

4.1 スコリアの変質に関与した地下水の水質

4.1.1 富士

図3-4をもとに、宝永スコリア層の間隙水の水質をみると次のようになる。

① 山麓（御殿場市付近）の露頭における深度0.06~1.65mの間隙水

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

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

pH、溶存分量及びSiO₂濃度は、それぞれ、6.8~7.7、0.38~0.74meq/ℓ、32.2~46.6mg/ℓの範囲にあり、いずれも山麓の露頭の間隙水のそれらよりも高い値を示している。水質組成は、深度にかかわらずCa-HCO₃型である。

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

図4-1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、山麓の露頭における深度0.06~1.65mの間隙水はカオリナイトの安定領域に、山腹の露頭における深度3.2~6.3mの間隙水はCa型モンモリロナイトの安定領域に位置している。このことから判断すると、宝永スコリア層の間隙水は、深度1.65m以浅ではカオリナイトと、深度3.2m以深ではCa型モンモリロナイトと平衡状態にあるといえる。

4.1.2 茂原ガス田

茂原ガス田の地下水のpH、酸化還元電位(ORP)は、分離槽の構造が他とは異なるK-1孔を除くと、pH=7.5~7.9、ORP=-232~-285mVと限られた範囲にある。ORPをEhに換算(ORPの測定に使用した電極は3.3mol KCl-AgClであり、基準水素電極の値、すなわちEhに変換するためには、25℃で+206mV加えればよい)してみると、いずれの地下水もEhが負の領域となり、還元状態にあることがわかる。水質についてみると、図3-5

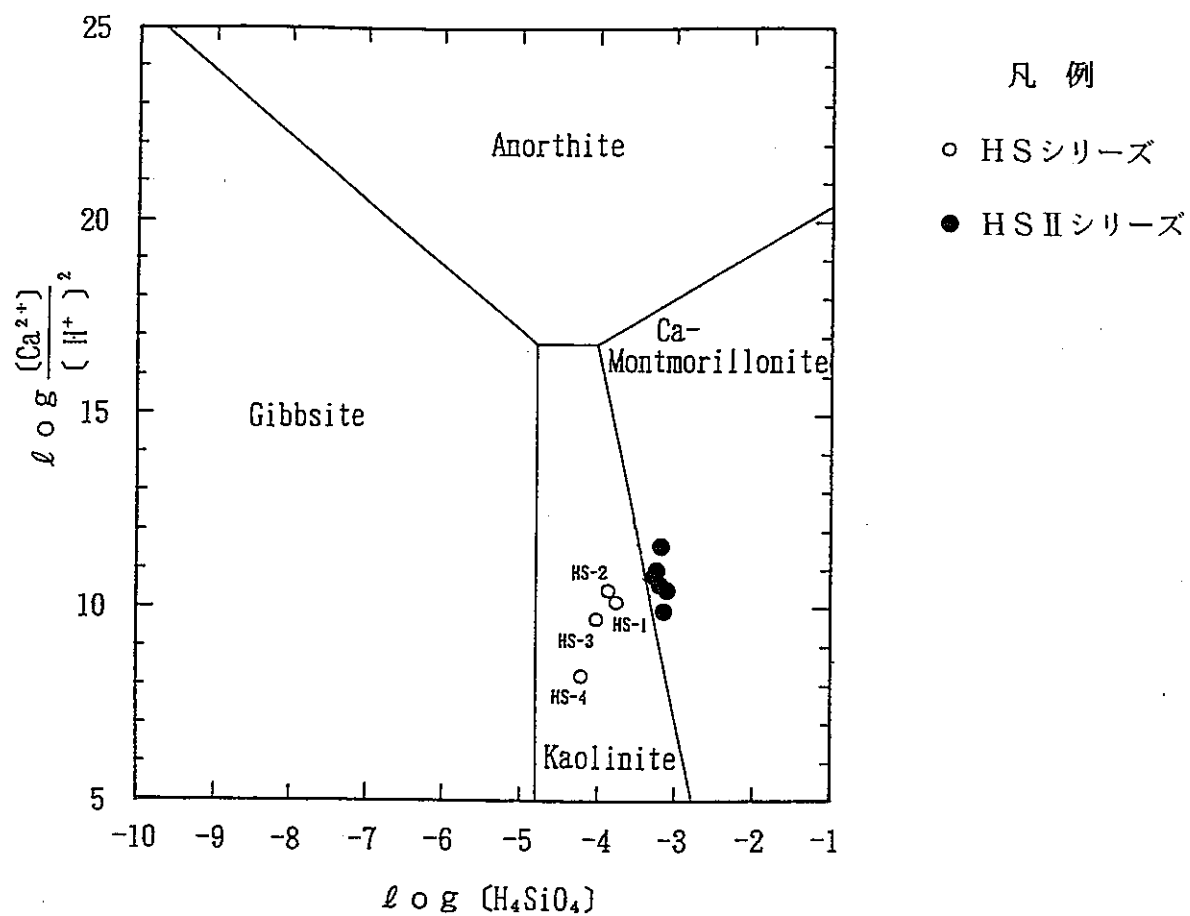


図4-1 スコリア間隙水の $[H_4SiO_4]$ と $[Ca^{2+}] / [H^+]^2$ の関係図

Tardy (1971) のFig. 3より引用した。

から明らかなように、本ガス田の地下水はいずれも明瞭なNa-Cl型を呈し、 Cl^- 濃度が19000 mg/l程度でほぼ海水と同じ組成である。ただし、地下水の水質と海水のそれを比較した図4-2を見ると、茂原ガス田の地下水は Na^+ 、 Cl^- がほぼ海水と同じ濃度で、 K^+ 、 HCO_3^- にやや富み、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} に乏しい。

次に、本ガス田の地下水の成因について検討する。

表4-1は、 Cl^- と $\text{B} \cdot \text{Br}^- \cdot \text{I}^-$ との重量比をまとめたものである。また、図4-3~5はそれらの関係を示したものである。これらの図・表からわかるように、本ガス田の地下水の Cl^- と $\text{B} \cdot \text{Br}^- \cdot \text{I}^-$ との比（重量比）はほとんど同じ値であり、また、 Cl^- と $\text{B} \cdot \text{Br}^- \cdot \text{I}^-$ とは正の相関を示している。

これらのことは、本ガス田の地下水は同一の起源を有していることを示唆している。

図4-6は、 δD と $\delta^{18}\text{O}$ の関係を示したものである。本ガス田の地下水の δD はほぼ海水と同じ値であるが、 $\delta^{18}\text{O}$ は2‰程度軽い値を示している。このことは、 Cl^- 濃度と δD 及び Cl^- 濃度と $\delta^{18}\text{O}$ の関係を示した図4-7、図4-8からも明らかである。すなわち、図4-7において δD は Cl^- 濃度にかかわらずほぼ海水と同じ値を示すのに対し、図4-8をみると、 $\delta^{18}\text{O}$ は Cl^- 濃度にかかわらず海水よりも2‰程度軽い値を示している。この問題は、今後に残されるが、おそらく過去地質時代に海水の $\delta^{18}\text{O}$ が変動したのではないかと考えられている（中井ほか、1974）。

以上のようなことから判断すると、茂原ガス田の地下水は、典型的な化石海水であるといえる。したがって、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關与する地下水は、化石海水起源であり、Na-Cl型で、海水に極めて位近い組成を有している。

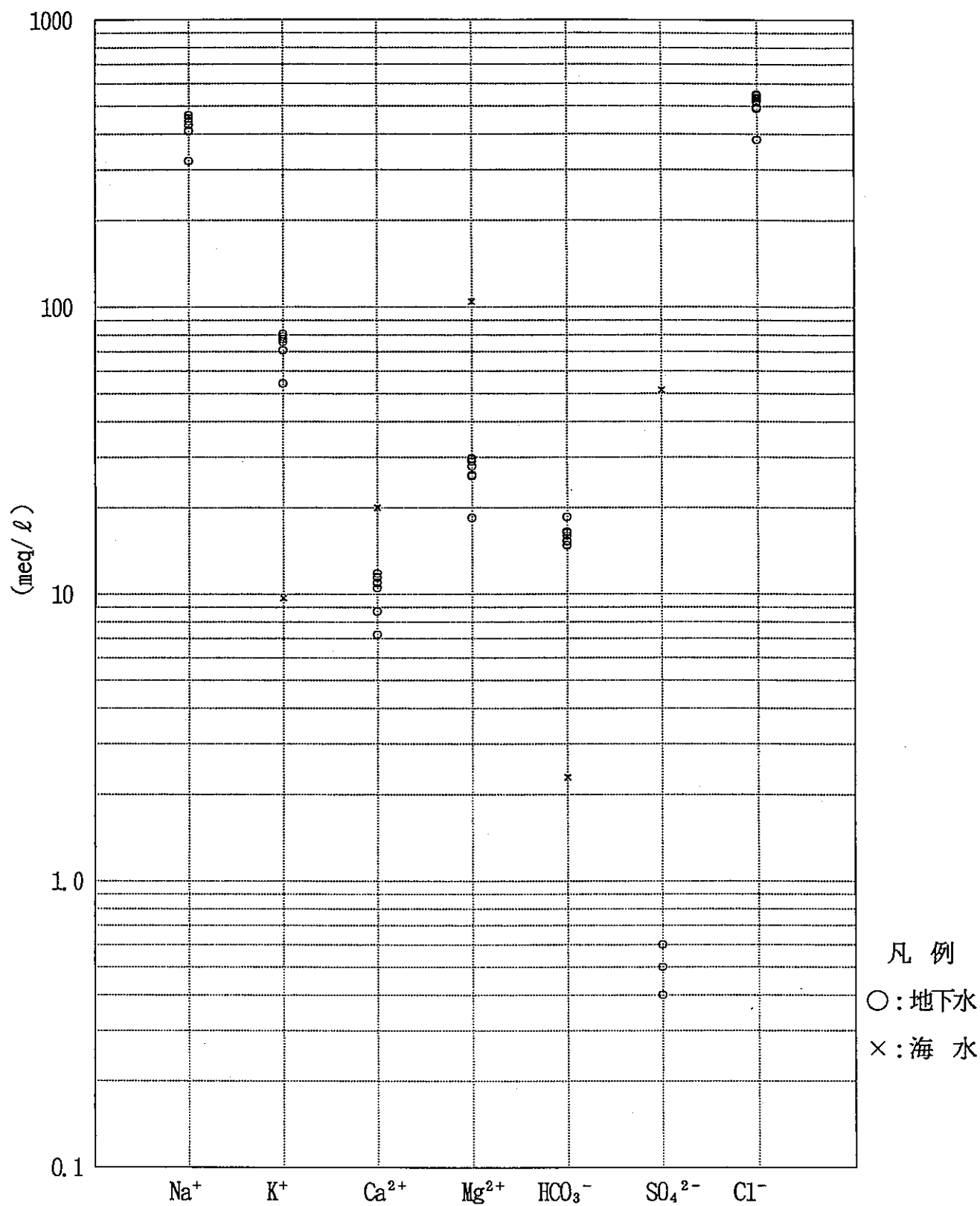


図4-2 茂原ガス田の地下水と海水との水質の比較

表4-1 茂原ガス田の地下水のCl⁻濃度とB, Br, Iの関係

孔名	Cl ⁻ (mg/l)	B (mg/l)	Br ⁻ (mg/l)	I ⁻ (mg/l)	B/Cl	Br/Cl	I/Cl
No78	18800	12.4	136	131	0.00066	0.0072	0.0070
No98	19300	13.0	134	128	0.00067	0.0069	0.0066
No129	18400	11.4	129	136	0.00062	0.0070	0.0074
SK-2	13500	9.2	95.8	83.7	0.00068	0.0071	0.0062
U-49	19500	13.5	128	120	0.00069	0.0066	0.0062
H-103	19000	11.9	128	100	0.00063	0.0067	0.0053
M-10	17300	9.7	122	111	0.00056	0.0071	0.0064
NRH-3	17600	9.7	119	109	0.00055	0.0068	0.0062
海水	19833	4.5	69	0.053	0.00023	0.0035	0.000003
油田塩水	—	—	—	—	0.00001~0.02	0.0001~0.01	0.00003~0.02
火山性温泉	—	—	—	—	0.01~0.1	0.0001~0.001	0.00001~0.0005

注) B/Cl ・ Br/Cl ・ I/Cl : 重量比

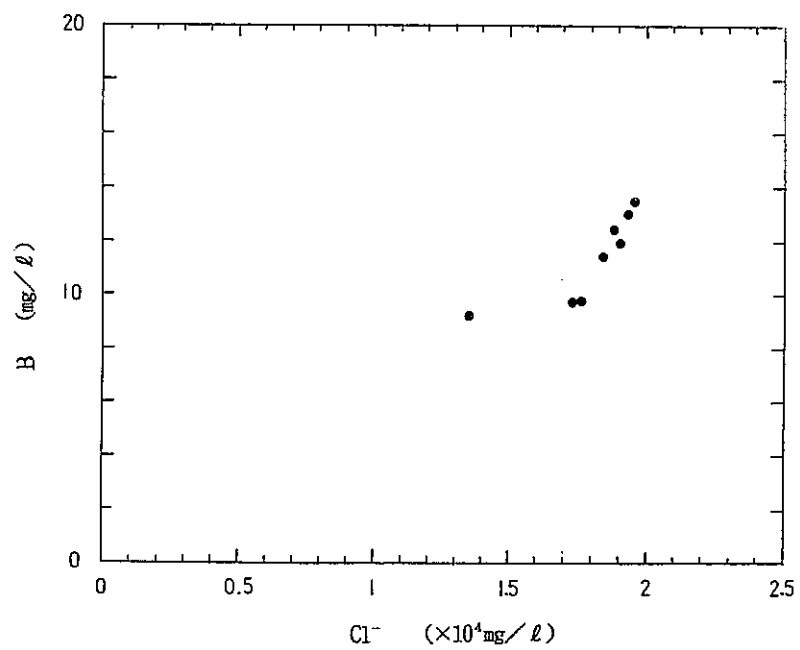


図4-3 地下水のCl⁻ とBとの関係

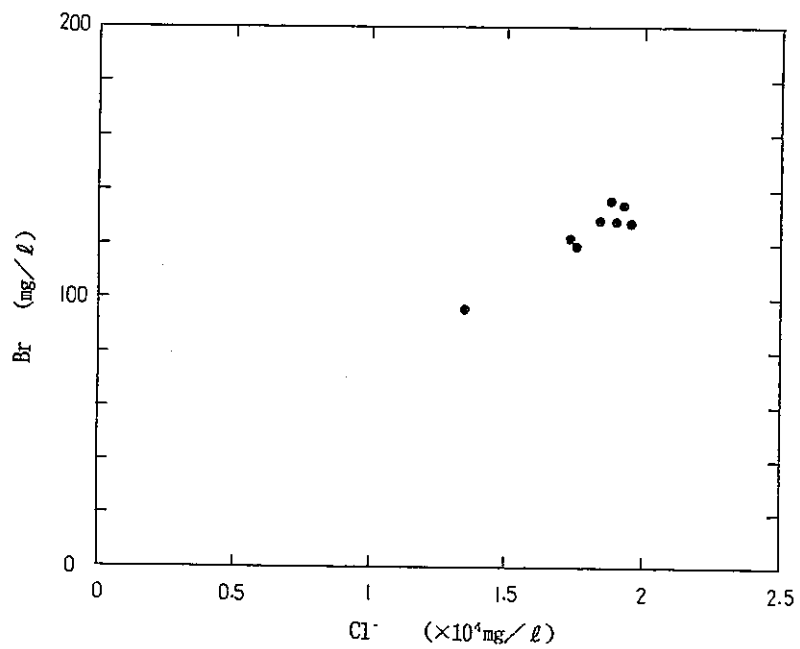


図4-4 地下水のCl⁻ とBrとの関係

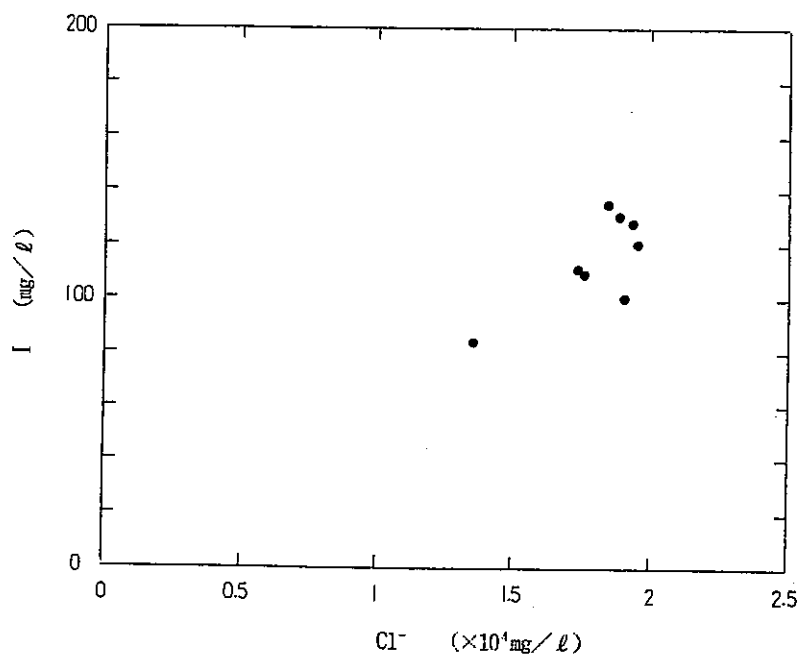


図4-5 地下水のCl⁻ とIとの関係

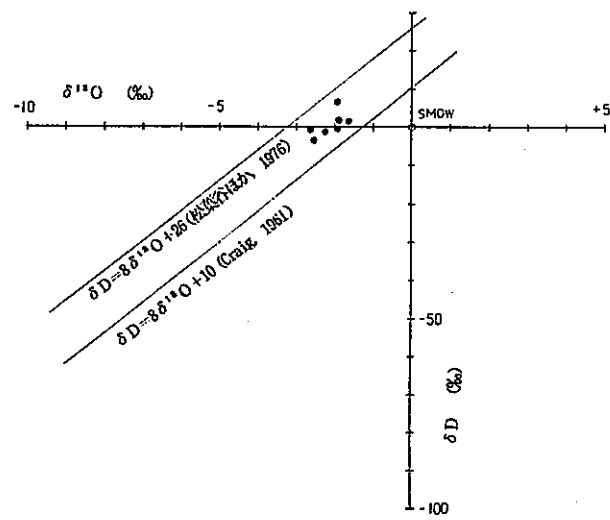


図4-6 地下水の δD と $\delta^{18}O$ との関係

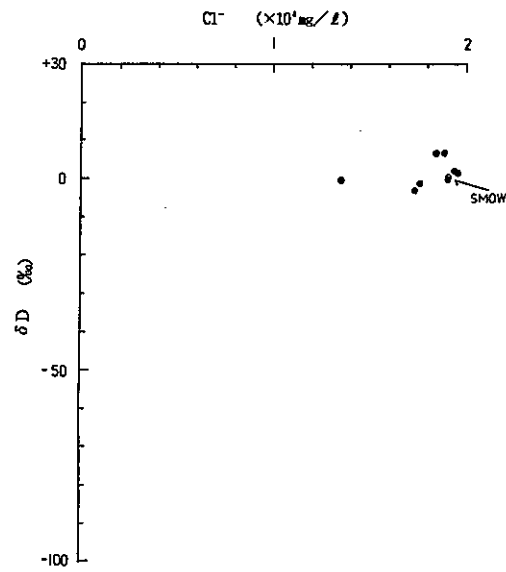


図4-7 地下水の Cl^- と δD との関係

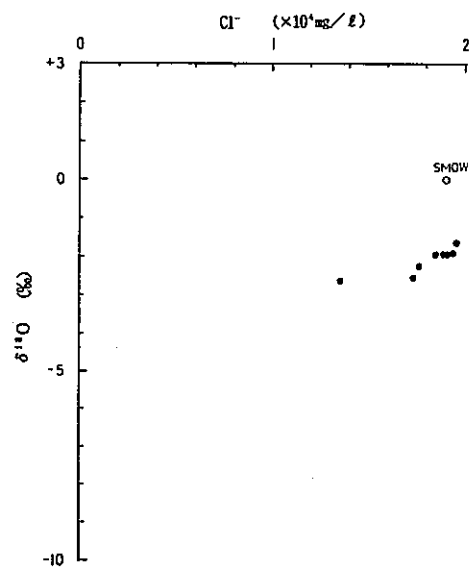


図4-8 地下水の Cl^- と $\delta^{18}O$ との関係

5. 問題点と今後の課題

平成3年度から富士宝永スコリアの調査地とした須走口登山道一合目付近は、標高約1350m，御殿場測候所は標高約465mで、900m近い標高差がある。また、この2点間の距離は約11kmあり、参考気象データの収集地点としての御殿場測候所の適性に問題があるが、現在のところ他に至近の定点気象観測設備はない。

茂原ガス田の地下水については、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。なお、現地での調査の際、稼行団体の担当者との打合せにおいて、探査等の目的で実施したボーリングのコアが保管されていることがわかった。このコアが利用可能であれば、その中からスコリアや凝灰岩を採取して分析することが望まれる。

参考文献

- 町田 洋, Tephrochronology による富士火山とその周辺地域の発達史—第四紀末期について：地学雑誌, v. 73, p. 23~38, p. 337~350 (1964)
- 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)
- 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)
- 三梨 昂, 三浦半島・房総半島の地質構造と堆積構造：日本地質学会第75年会 地質見学案内書, p. 4~13 (1968)
- 三梨 昂, 関東堆積盆地の構造とその発達：アーバンクボタ, No.18, p. 6~15 (1980)
- 地質調査所, 東京湾とその周辺地域の地質：特殊地質図②0 10万分の1 地質説明書, 91p. (1979)
- 楡井 久, 地下水の容れものと水の流れ：アーバンクボタ, No.27, p. 8~15 (1988)
- 中井信之, 吉田 裕, 安藤直行, 石油, 天然ガス鉱床の同位体地球化学：地球化学, 7/8, p. 87~98, (1974)
- 福田 理, 永田松三, 鈴木宏芳, 関東平野の地下地質と地層流体：地質学論集 第31号, p. 5~40, (1988)
- 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)

This is a blank page.

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、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、これらのうちの、島根県大田市付近のベントナイト鉱床について現地調査を実施し、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 大田市北部

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、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。

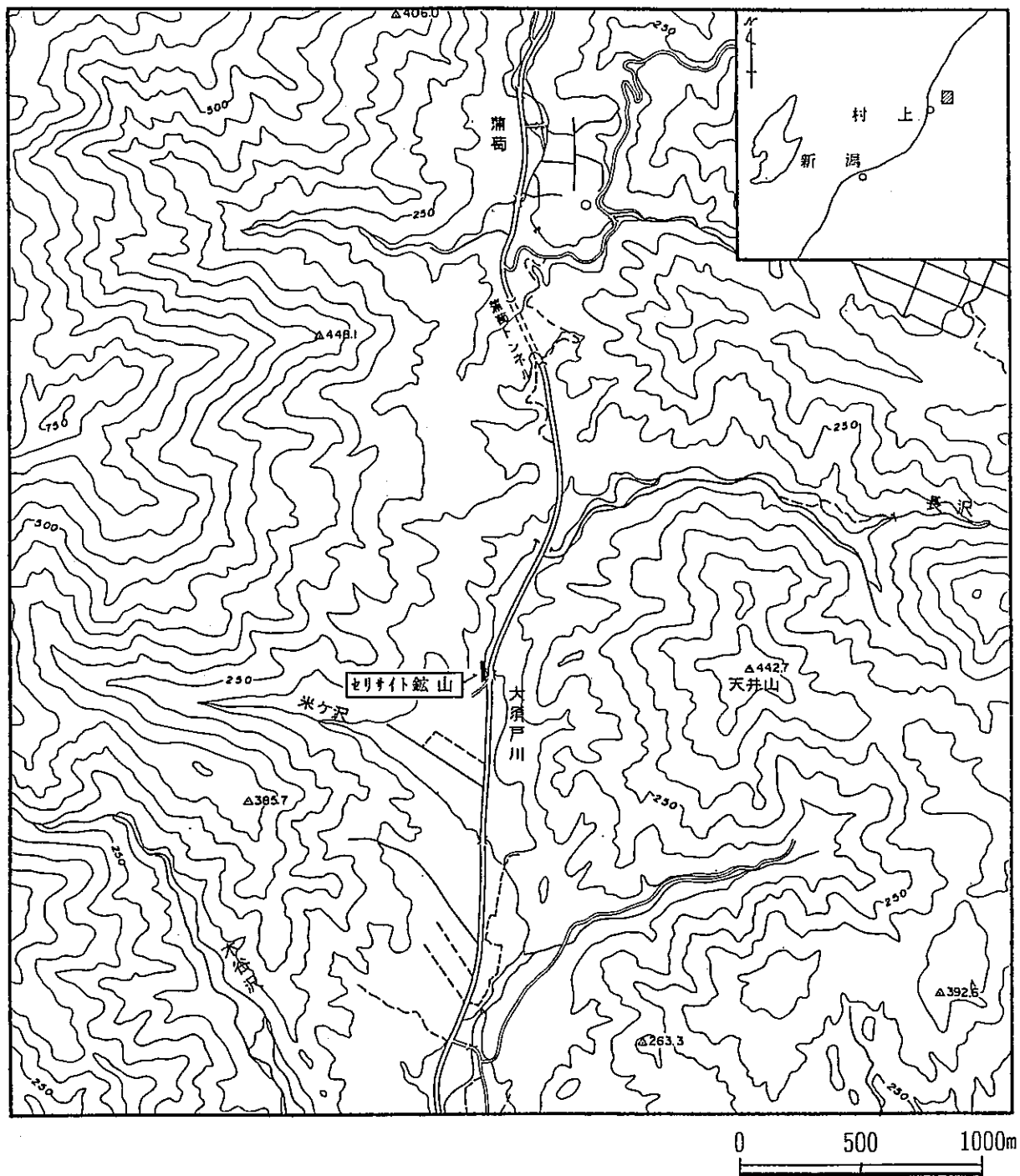


図2-1 調査位置図 (村上地域)

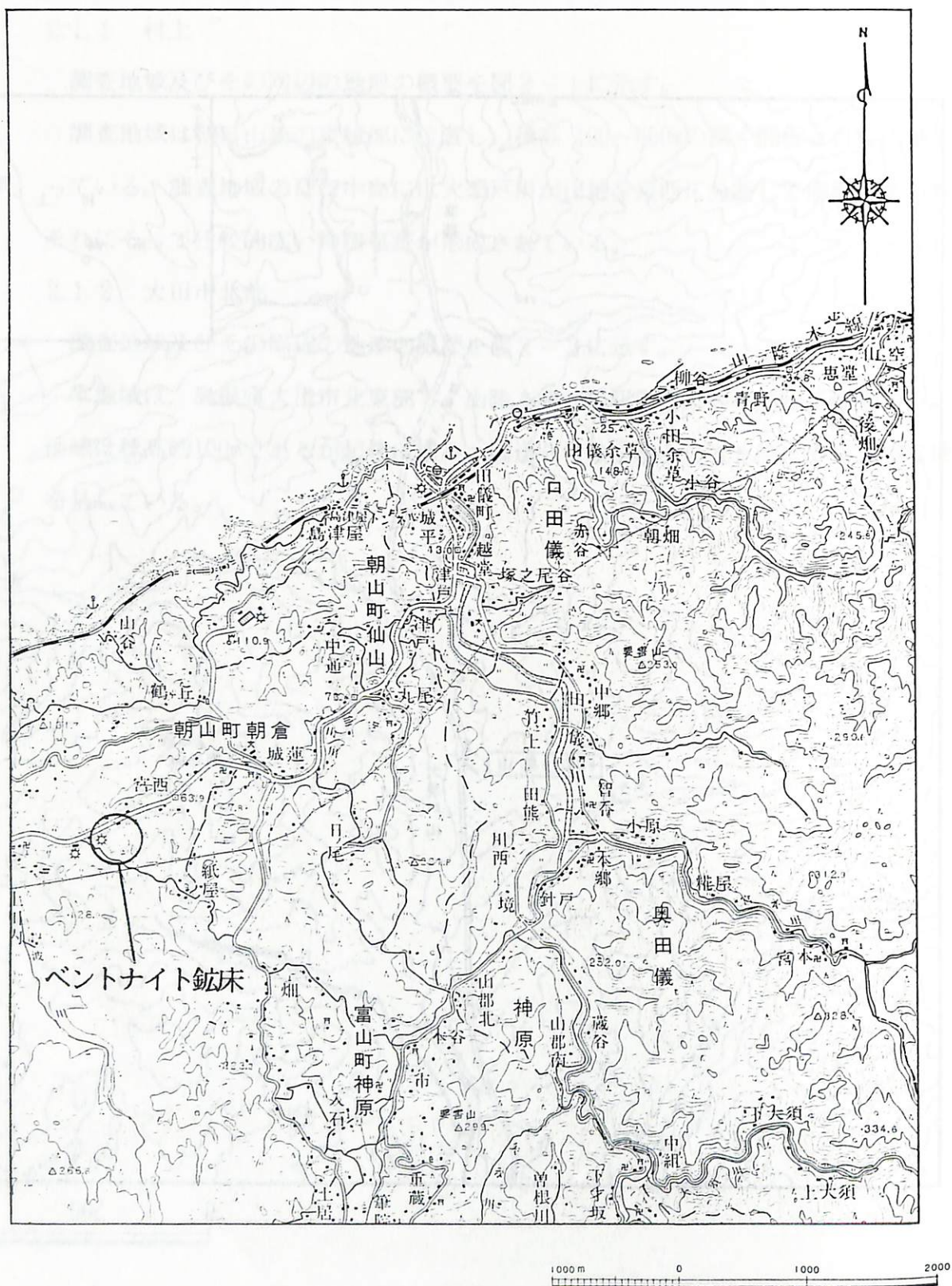


図2-2 大田市北部調査位置

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2-3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。

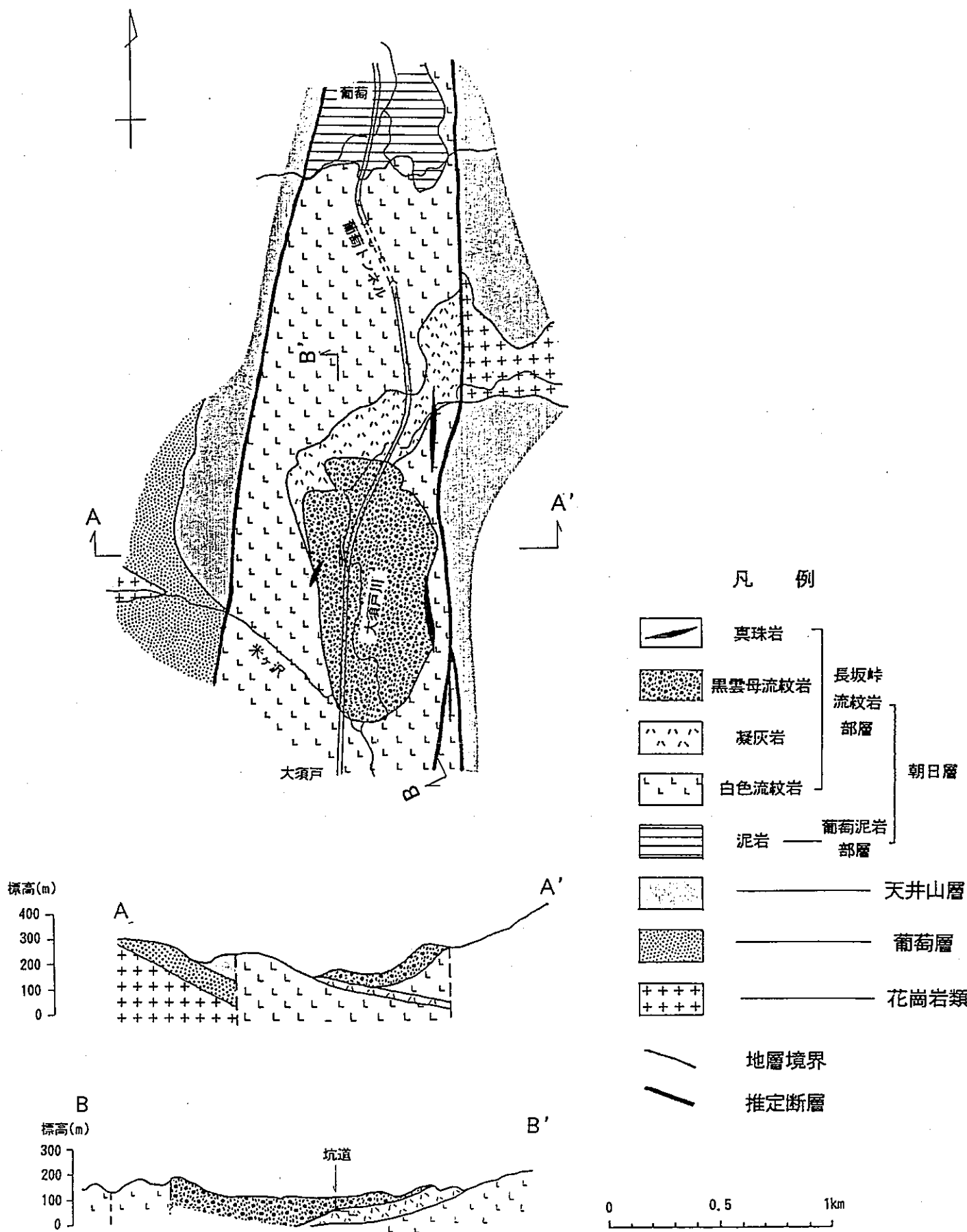


図2-3 村上地域地質図及び地質断面図

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鉱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。

セリサイト鉱床は、図2-4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 大田市北部

調査地域の地質図を図2-5に示す。

調査地域は、島根県の日本海岸に沿う新第三系分布地帯のほぼ中央に位置し、中新世の地層が分布している。これらは3つの累層に区分されているが、いずれも海成堆積岩および海底火山噴出物からなり、整合に累重している。海成堆積岩は礫岩、粗粒

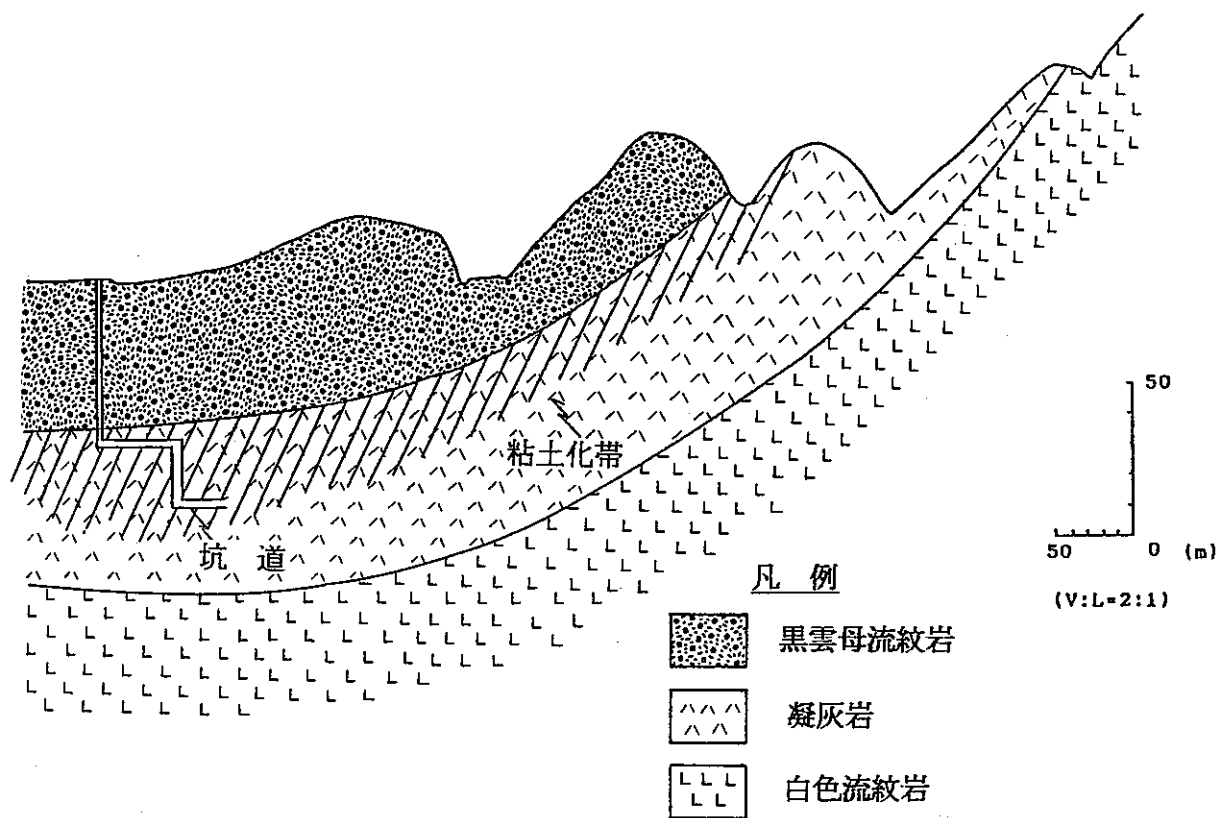


図2-4 セリサイト鉱山付近の地質断面図

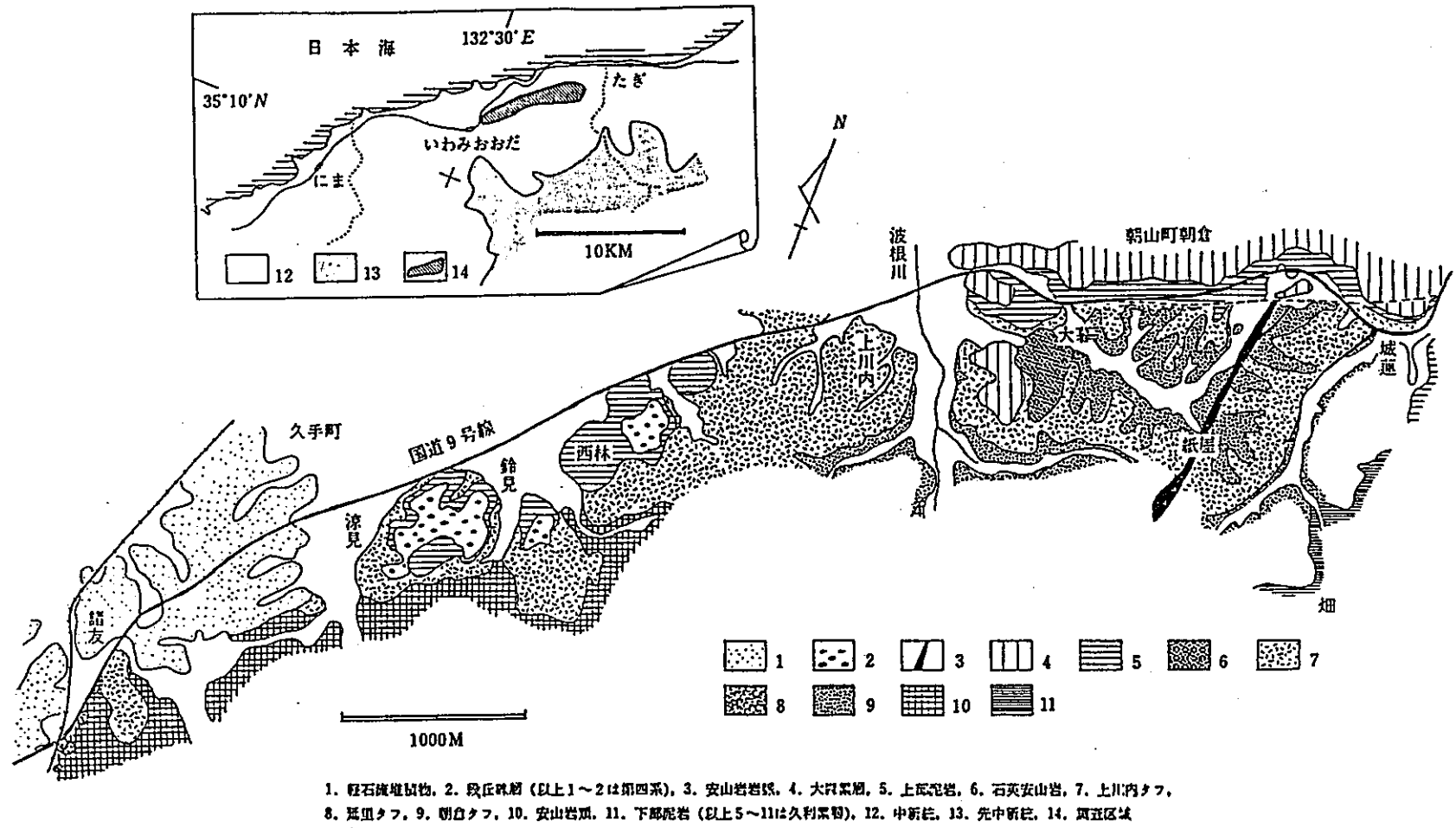


図2-5 大田市北部地域地質図

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, 5~20° N であり、層厚は激しく変化するものの平均的には 50m 程度である。また、本凝灰岩には安山岩岩脈の貫入が認められる。

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

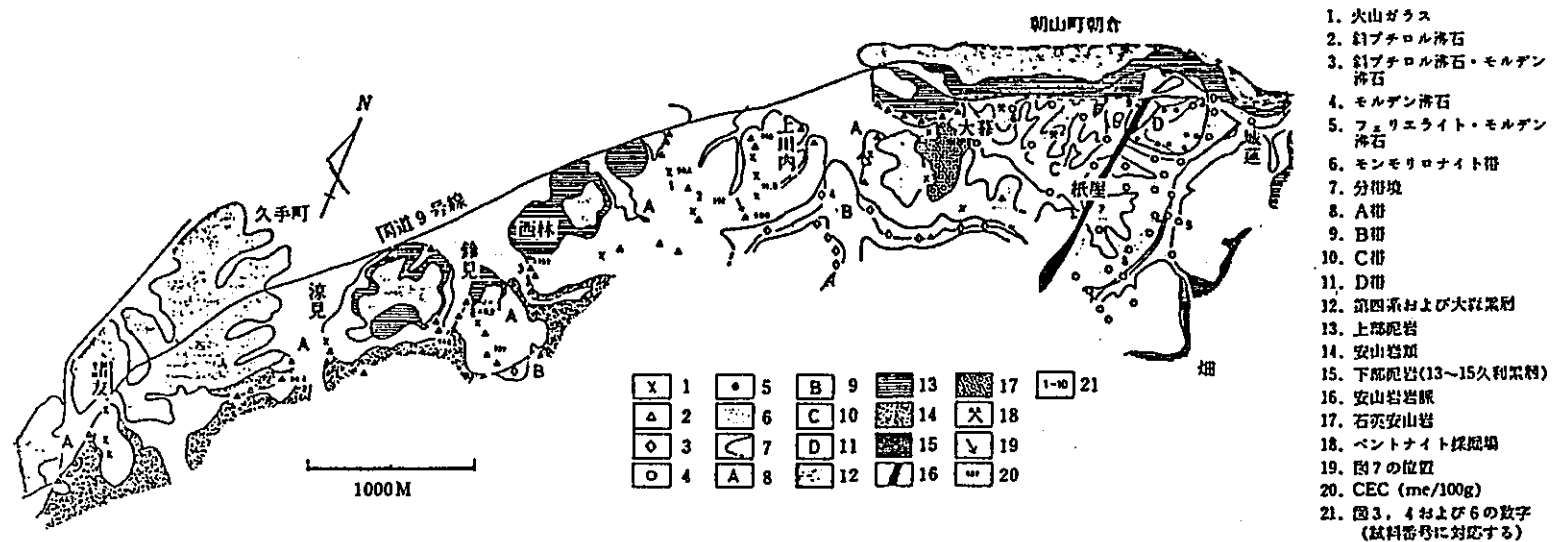
本鉱床は、X線回折分析によって得られた結果から沸石に注目して4帯に分帯されている（図2-6参照）。すなわち、

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

に区分され、モンモリロナイトはほぼ全帯に認められるものの、特にC帯に顕著に発達している。モンモリロナイトに注目すると、未変質ガラス帯、漸移帯、モンモリロナイト帯に区分され、全体として概ね平坦な帯状分布（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。



1. 火山ガラス
2. 斜方輝石
3. 斜方輝石・モルデン
4. モルデン
5. フェリサイト・モルデン
6. モンモリロナイト
7. 分帯
8. A帯
9. B帯
10. C帯
11. D帯
12. 第四系および大規模
13. 上部泥岩
14. 安山岩類
15. 下部泥岩(13~15久利集)
16. 安山岩岩脈
17. 石英安山岩
18. ベントナイト採掘場
19. 図7の位置
20. CEC (me/100g)
21. 図3, 4および6の数字
(試料番号に対応する)

図2-6 沸石による変質分帯 (大田市北部)

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に示す地表及び坑内から試料を採取し、表3-1に示す項目について試験・分析を実施した。

3.1.2 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3-3に示す。

3.2 方法

3.2.1 物理及び化学特性試験

物理及び化学特性試験の試験方法を表3-2に示す。

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。

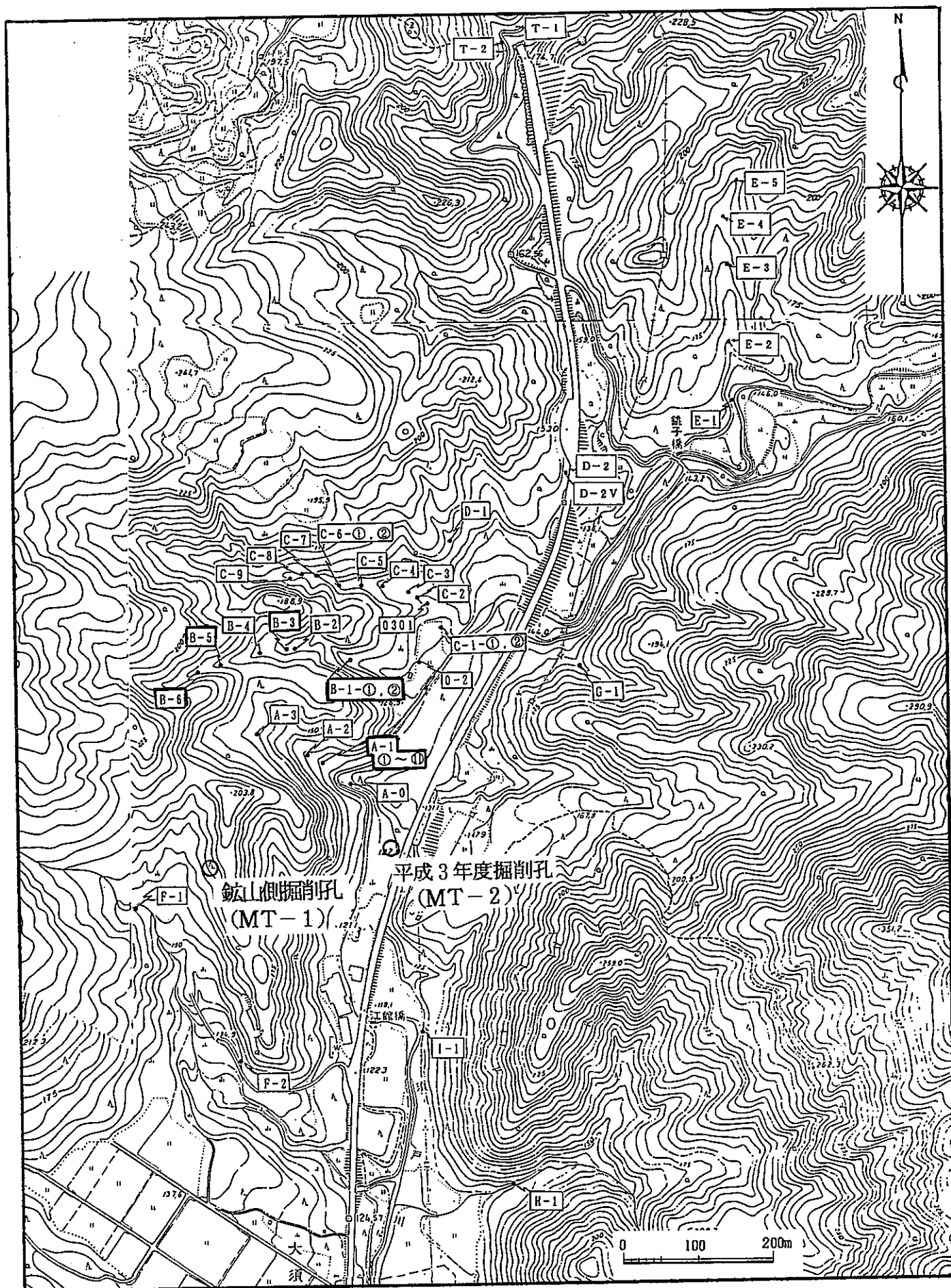


図3-1 ボーリング位置および地表試料採取位置図

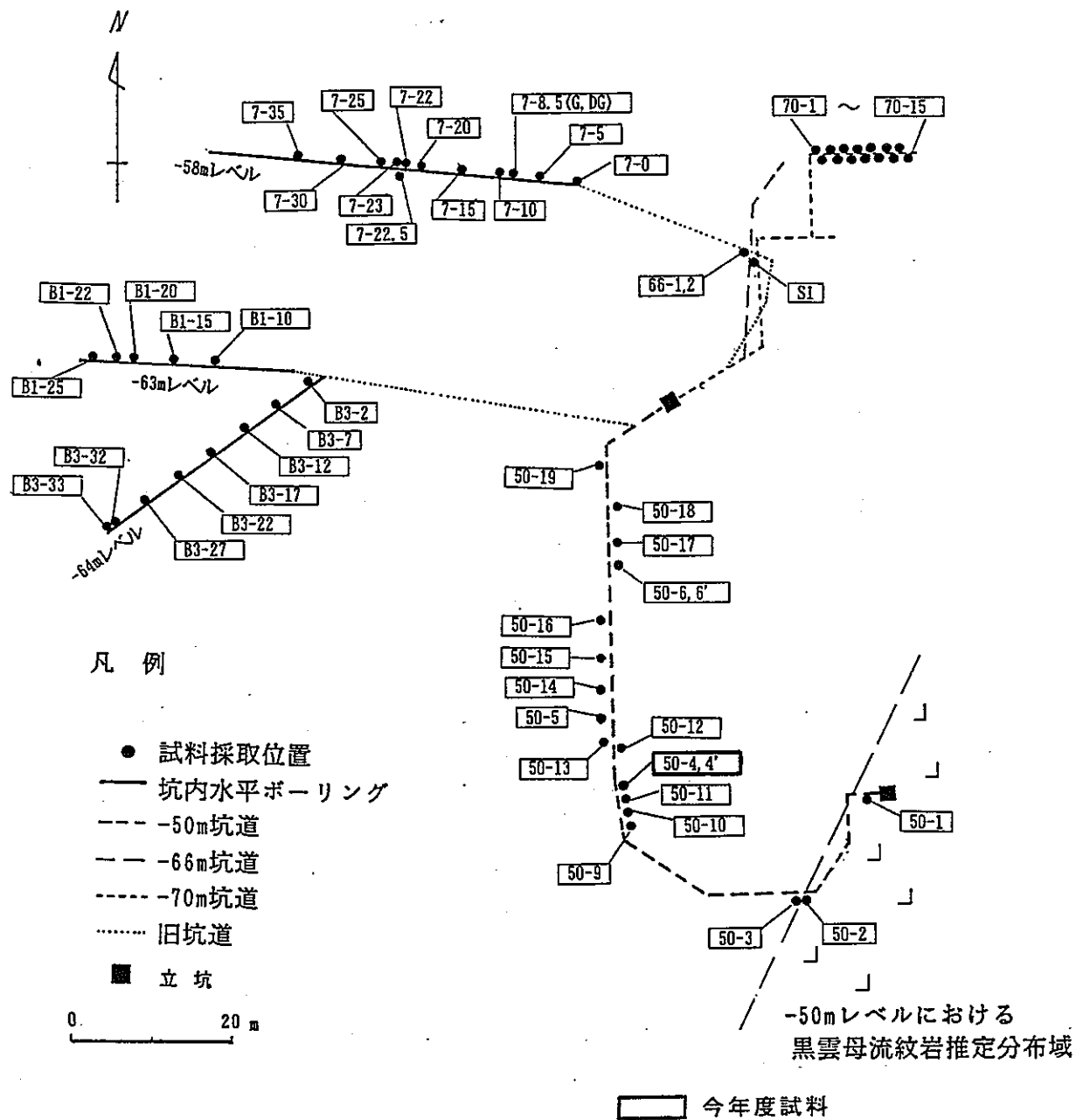


図3-2 坑内試料採取位置図

表3-1 物理及び化学特性試験の分析・測定内容

項 目 \ 試 料	50-4-2	A1-1	B1-2	B3	B5	B6
化 学 成 分	○	○	○	○	○	○
C E C	●	●	●	●	●	●
M B C	●	●	●	●	●	●
炭質物および硫酸塩含有率	●	●	●	●	●	●
交換性陽イオン組成	●	●	●	●	●	●
コンシステンシー	×	●	●	×	×	×
最大乾燥密度・最適含水比	×	●	●	×	×	×
膨 潤 度	●	●	●	●	●	●
熱 伝 導 率	●	×	×	●	●	●

○：前年度までに分析済，●：今回分析・測定，×：測定が不可能なもの

表3-2 物理及び化学特性試験の分析・測定方法

区 分	測 定 方 法
化 学 成 分	動燃事業団殿で分析済
C E C	土壤養分分析法3.2塩基性置換容量セミマイクロ法
M B C	簡便法
炭質物および硫酸塩含有率	JIS K 0102 およびJIS K 0556
交換性陽イオン組成	JIS K 0101
コンシステンシー	JIS A 1205 およびJIS A 1206
最大乾燥密度・最適含水比	JIS A 1210
膨 潤 度	日本ベントナイト工業会標準試験法 JBAS-104-77
熱 伝 導 率	非定常熱線法

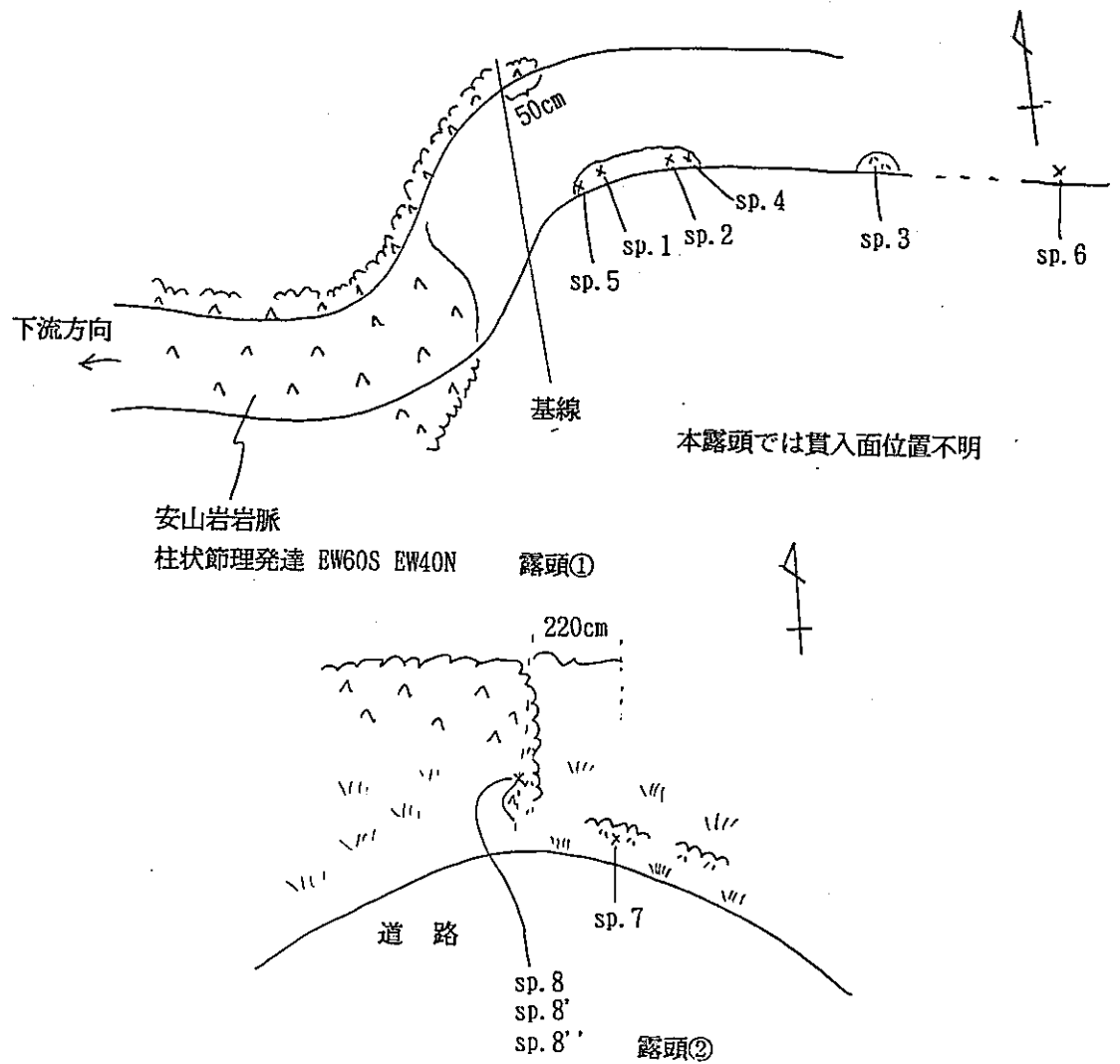
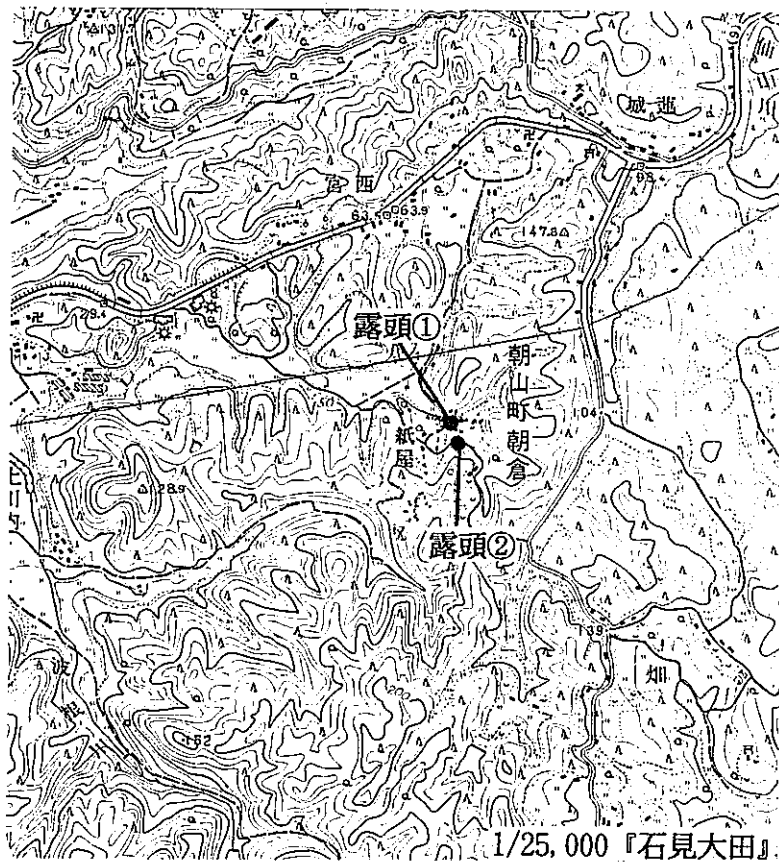


図3-3 大田市北部地域の試料採取位置

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°

表 3 - 4 村上地域の粘土、凝灰岩試料の物理及び化学特性

項 目 \ 試 料		50-4-2	A1-1	B1-2	B3	B5	B6
C E C (meq/100g)		26.7	48.8	21.3	20.0	65.0	55.0
置換性塩類	Ca (meq/100g)	2.82	8.08	5.64	1.17	8.13	2.51
	Mg (meq/100g)	3.59	10.12	4.52	0.75	2.80	1.43
	Na (meq/100g)	1.10	0.11	0.19	3.23	13.19	7.22
	K (meq/100g)	17.90	0.64	0.59	2.70	0.37	21.56
MBC (mmol/100g)		8	8	2	6	4	2
炭質物 (%)		<0.1	2.1	2.2	1.6	1.0	1.0
硫酸塩 (mg/ℓ)		16	577	102	176	333	361
液性限界 (%)		—	83.4	81.4	—	—	—
塑性限界 (%)		—	22.8	20.3	—	—	—
塑性指数		—	60.6	61.1	—	—	—
最大乾燥密度 (g/cm³)		—		2.53	—	—	—
最適含水比 (%)		—		9.2	—	—	—
膨潤度 (ml/2g)	蒸留水	5.0	5.0	4.0	3.0	5.0	4.0
	0.03% NaCl	6.0	4.0	4.0	2.0	3.0	4.0
	3% NaCl	6.0	4.0	4.0	3.0	5.0	4.0
熱伝導率 (×10 ⁻³ cal/cm・s・℃)		3.581 ±.114	—	—	1.361 ±.072	1.900 ±.011	2.347 ±.125

3.3 分析結果

3.3.1 物理及び化学特性試験

村上地域に分布する粘土、凝灰岩の物理及び化学特性の分析結果を表3-4に示す。

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、変質鉱物の分布と相対的な量比を、それぞれのボーリング孔について図3-4と図3-5に示す。

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

各孔の変質鉱物の分布の特徴は概ね次のとおりである。

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

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

表3-8では、大田市北部の地表試料のX線回折分析結果を安山岩の貫入面からの距離で整理して示してある。大田市北部の貫入岩付近の凝灰岩には、緑泥石・イライト・モンモリロナイト・石英・ α -クリストバル石・ α -リンケイ石が認められる。このうち、イライトが認められる試料には必ず緑泥石が伴われること、より貫入面に近い試料にイライトが認められないことから、このイライトは初生的に含まれているものと判断される。したがって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。

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	白	セ	デ	カ	セ	モ	石	α	フ	モ	苦	方	菱	石	黄	白	チ	針	カ	斜	黒
		泥	パイ	リ	イ	オ	リ	ン	ン	英	ーク	リエ	ル	灰	解	鉄	コ	鉄	鉄	タン	鉄	リ	長
		石	ロ	サイ	ッ	リ	合	モ	英	リス	ライ	デン	石	石	鉄	ウ	鉄	鉄	鉄	鉄	長	石	母
R 1									○													◎	○
A 1 - 1				・				◎	◎								○		・			○	
A 1 - 2				・				◎	◎								・				○	○	
A 1 - 5				・				◎	◎								○					○	
A 1 - 7				・				◎	◎								・					○	
A 1 - 1 0				・				◎	○	◎							○				○	○	
A 1 - 1 1				・				◎	○	◎							○				○	○	
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 イ ラ イ ト	セ リ サ イ ト	デ イ ッ カ イ ト	カ オ リ ナ イ ト	セ リ サ イ ト ／ 混 合 層 ／ モ ン モ リ ロ ナ イ ト	モ ン モ リ ロ ナ イ ト	石 英	α - ク リ ス ト バ ル 石	フ 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
C 1 - 1			・				○	◎								・				○	○	
C 1 - 2			・				◎	○	◎							○				○	○	
0 3 0 1						○		◎								・				○	○	
C 2			・			○		◎								・				○	○	
C 3			・			○		◎								・				○	○	
C 4			・				○	◎								○					○	
C 5			・				・	◎	○							・					○	
C 6 - 1			・			○		○	◎		○				・	○		・			○	
C 6 - 2			・			・		○	◎		○					○		・			○	
C 7			・			・		○	◎		○					・					○	
C 8						・		○	◎	○	・		・			・				・	○	
D 1			・				○	◎								○				○	○	
D 2			・		・	・		◎	○		○					・				○	○	
D 2 - V																○	○				・	
E 1			・				・	◎												○	○	
E 2					・		・	○												・	○	
E 3								○												・	○	
E 4					・		・	○													・	
E 5					・		・	○												・	○	
O 1			・				◎	○	○						○	・				○	○	
O 2			・				◎	○	○							・				○	○	
W 1			○					◎								・					・	

表3-5(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 イ 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 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
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 イ ラ イ ト	セ リ サ イ ト	デ イ 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 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
5 0 - 6			○		・		・	◎														
5 0 - 6'			○					◎														
5 0 - 1 7			・		○			◎										○			○	
5 0 - 1 8			○					◎										○			○	
5 0 - 1 9			・		○		○	◎										○			○	
5 0 - 7			○					◎								・					○	
5 0 - 8			○		・			◎													○	
6 6 - 1			○					◎														
6 6 - 2			○					◎														
S 1			○		○		・	◎								・	・		◎			

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 イ ラ イ ト	セ リ サ イ ト	デ イ 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 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
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 \ 鉱物名	緑 泥 石	パイ ロ フ イ ラ イ ト	セ リ サ イ ト	デ イ ッ カ イ ト	カ オ リ ナ イ ト	セ リ サ イ ト ／ 混 合 屈 ／ モ ン モ リ ロ ナ イ ト	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
B 1-10			○					◎													○	
B 1-15			○		・			◎													・	
B 1-20			○					◎													○	
B 1-22			○					◎													○	
B 1-25			○		○			◎													○	
B 3-2			○					◎													○	
B 3-7			○					◎													○	
B 3-12			○					◎													○	
B 3-17			○					◎													○	
B 3-22			○					◎														
B 3-27			○					◎													・	
B 3-32			○			・		◎													○	
B 3-33			○			・		◎													○	

相 対 含 有 量 : ◎多 量、 ○中 量、 〇少 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 ッ カ イ ト	カ オ リ ナ イ ト	セ リ サ イ ト / 混 合 層 / モ ン モ リ ロ ナ イ ト	モ ン モ リ ロ ナ イ ト	石 英	α ー 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
7-0			○					◎														
7-5			○					◎														
7-8.5 G			○		○			◎										○				
7-8.5 DG			○					◎										・				
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 (鉾山側掘削孔)

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 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)

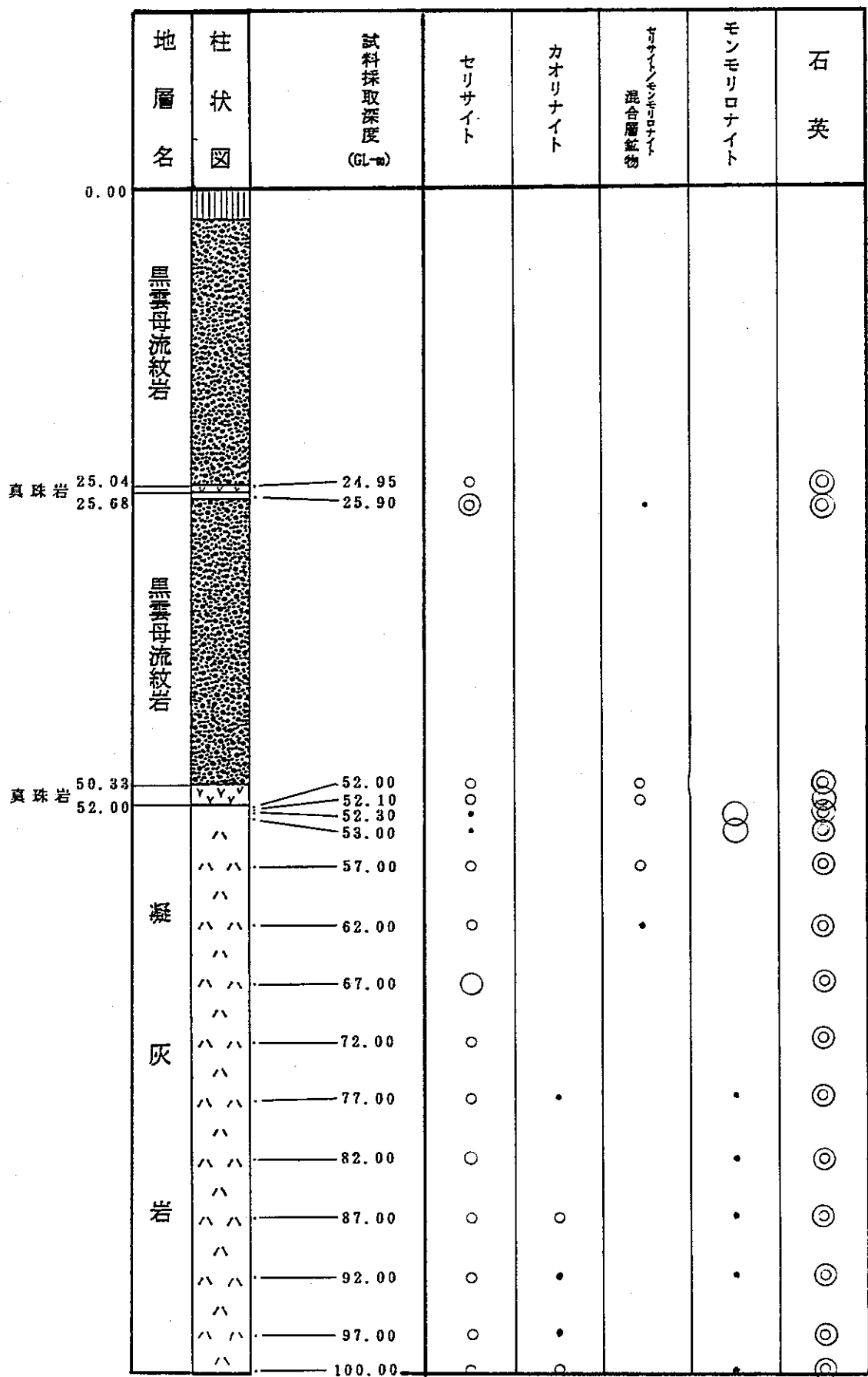
試料名 \ 鉱物名	緑泥石	パイロフィライト	セリサイト	ディッカイト	カオリナイト	セリサイト/モンモリロナイト 混合層鉱物	モンモリロナイト	石英	α-クリストバル石	フェリエライト	モルデン沸石	苦灰石	方解石	菱鉄鉱	石コウ	黄鉄鉱	白鉄鉱	チタン鉄鉱	針鉄鉱	カリ長石	斜長石	黒雲母
GL -24.95m			。				・	◎														
GL -25.90m			◎			・	・	◎														
GL -52.00m			。			。		◎								。						
GL -52.10m			。			。		◎	・							・						
GL -52.30m			・				○	◎							・	・					・	
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

地層名	柱状図	深度 (GL-m)	試料採取深度 (GL-m)	緑泥石	バイロファイライト	セリサイト	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
黒雲母流紋岩		5								
		10								
凝灰岩	ハ	15	16.00	•		•			•	○
			17.00	•		○			•	○
凝灰岩	ハ		18.00	•		○				○
			19.00			○				○
凝灰岩	ハ	20	20.00			○	•			○
			21.00			○				○
凝灰岩	ハ		22.00		○	○				○
			22.50		○	○				○
凝灰岩	ハ		23.00		○	○				○
			23.50		○	○				○
凝灰岩	ハ		24.00		○	○				○
			25.00			○	•			○
凝灰岩	ハ	25	26.00			○	•	○		○
			27.00			○				○
凝灰岩	ハ		28.50			○	•			○
			30.00			○				○
凝灰岩	ハ	30								○
			33.50	•		○			•	○
凝灰岩	ハ		35.00	•		○				○
		35								○
凝灰岩	ハ		38.00	•		○			•	○
			40.00			○				○
凝灰岩	ハ	40				○				○
			43.00			○	•			○
凝灰岩	ハ	45				○				○
			46.00			○				○
凝灰岩	ハ		50.00			○				○
		50								○
凝灰岩	ハ		55.00			○				○
		55				○				○
凝灰岩	ハ		58.50			○				○
白色流紋岩	L	60								
白色流紋岩	L									
白色流紋岩	L	65								
白色流紋岩	L									
白色流紋岩	L									

相対含有量：◎多量，○中量，・少量，・微量

図3-4 鉦山側掘削孔における変質鉱物分布 (MT-1)



相対含有量：◎多量，○中量，・少量，・微量

図3-5 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

試料No.および 貫入面からの距離 鉱物名				緑 泥 石	イ ラ イ ト	モ ン モ リ ロ ナ イ ト	石 英	α ー リ ン ケ イ 石	α ー ク リ ス ト バ ル 石	チ タ ン 鉄 鉱	黄 鉄 鉱	カ リ 長 石	斜 長 石
試 料 No.	SP-3	貫 入 面 か ら の 距 離 (cm)	680				○					○	○
	SP-4		355	・	・	・	◎					・	・
	SP-5		195	・	・	○	◎			・	・		・
	SP-6		1500	・		○	○						・
	SP-7		220			○			○			・	・
	SP-8		≒0			・	・	○			・		○
	SP-8'		≒0			○		○					○
	SP-8''		≒0			・			○		・		◎

相対含有量：◎多量，○中量，○少量，・微量，？不確定
 注）平面的な位置関係は図を参照のこと。

4. 考 察

村上地域については、本年度の調査結果に平成3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考察する。また、大田市北部地域については、調査・分析結果をもとに安山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 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、②セリサイト帯、③高結晶度のモンモリロナイト帯、④セリサイト/モンモリロナイト混合層鉱物帯及び⑤低結晶度のモンモリロナイト-沸石帯の5つに区分した。各変質帯と変質鉱物組合せとの関係を表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。

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

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

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

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	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
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					

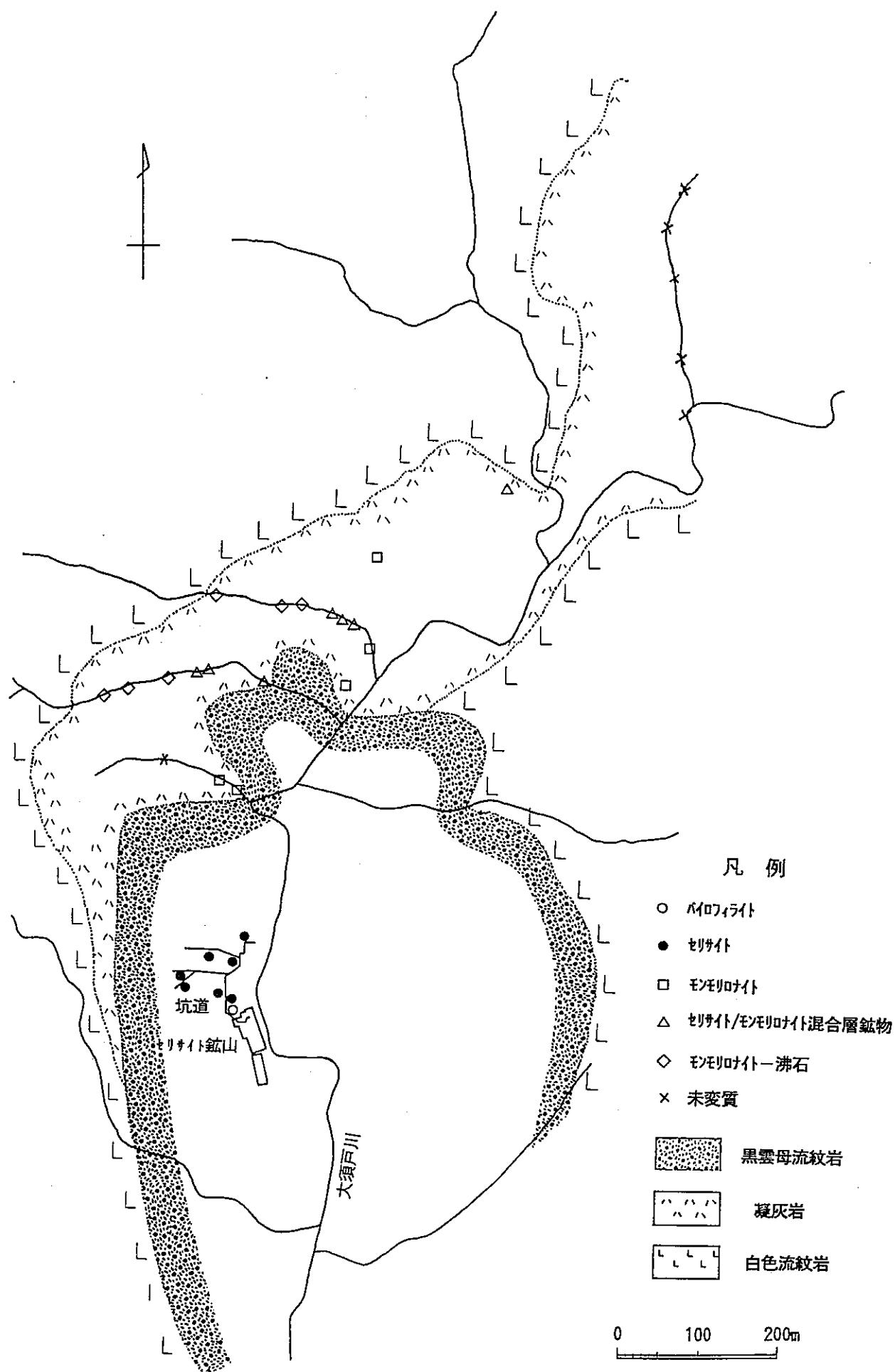


図4-1 変質鉱物分布図 (村上地域)

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

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

4.1.2 変質帯の生成環境

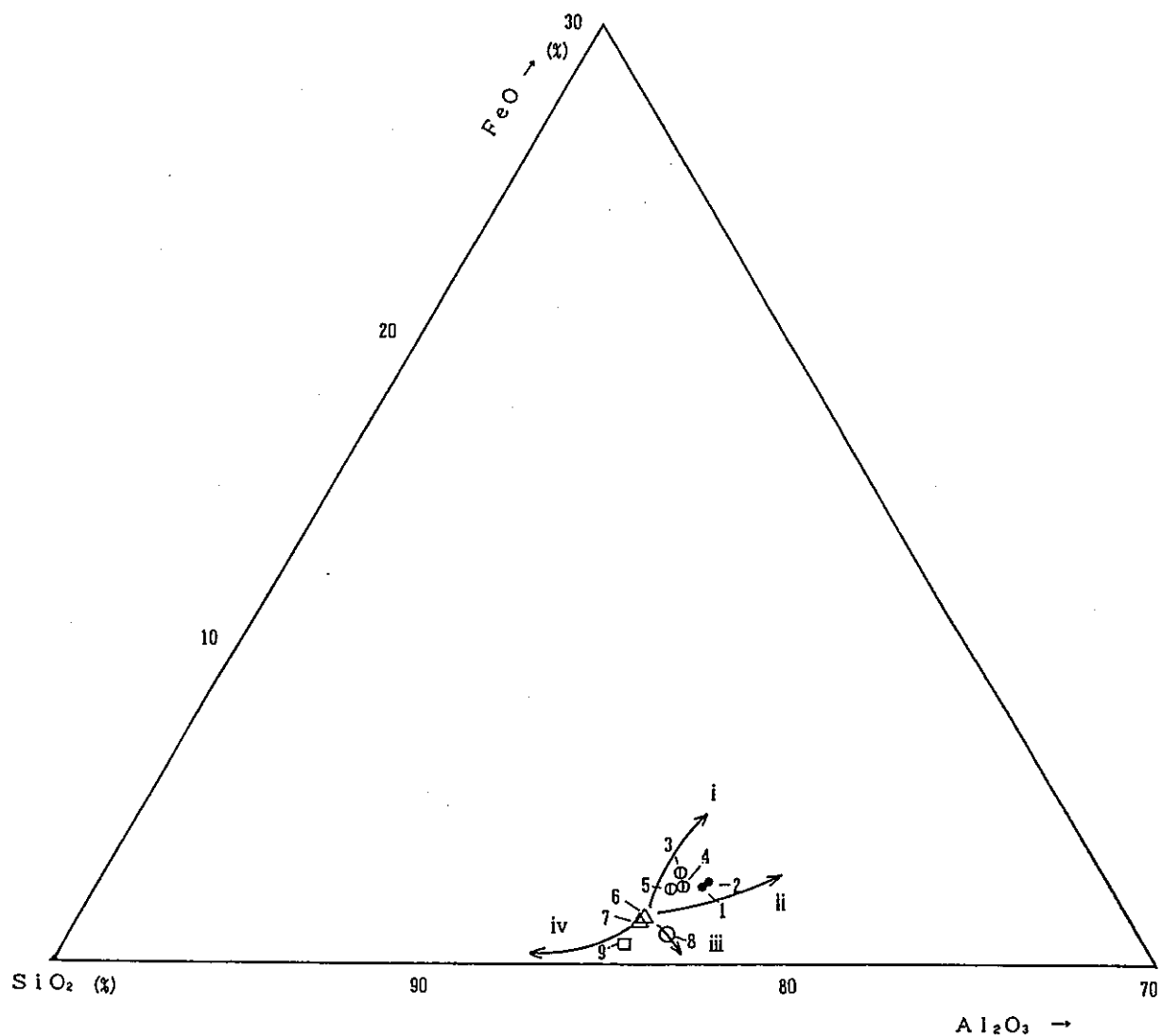
金原（1982）による変質鉱物の生成条件を温度とpHで整理した表を表4-2に示す。上記の各変質帯の配列を変質鉱物の温度安定領域から判断すると、パイロフィライト帯から低結晶度のモンモリロナイトー沸石帯までの分帯が一連の変質作用により形成されたとは考えにくく、パイロフィライト帯～高結晶度のモンモリロナイト帯を形成した変質作用とセリサイト／モンモリロナイト混合層鉱物帯～低結晶度のモンモリロナイトー沸石帯を形成した変質作用とは区別されるべきものと考えられる。

パイロフィライト帯～高結晶度のモンモリロナイト帯は分布及び変質鉱物の量から判断すると熱水変質作用により形成されたと考えられる。すなわち、黒雲母流紋岩体に沿って酸性で高温の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 三角ダイアグラム（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、低結晶度のモンモリロナイトー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、高結晶度のモンモリロナイト帯の試料とセリサイト／モンモリロナイト混合層鉱物帯の試料はこれらの右上に、セリサイト帯の試料は下方にプロットされる。図中の矢印は小坂（1968）の示した変質母岩からの変質経路で、これらは上からアルカリ性、中性、弱酸性、酸性の環境に対応するとされている。この見解に基づけば、坑道周辺のセリサイト帯（図4-2の8と9）は酸性から弱酸性の環境、高結晶度のモンモリロナイト帯（図4-2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. S0-4-2 (粘土)
9. 70-15 (〃)

- 高結晶度のモンモリロナイト帯
- ⊙ セリサイト／モンモリロナイト混合層鉱物帯
- △ 低結晶度のモンモリロナイト帯
- } 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アグラム

小坂(1968)より引用した

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

4.1.3 変質岩の年代

年代測定結果を表4-3～5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 6.2Ma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 5.6Ma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。

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

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		熱中性子フルンス		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	$\rho_s(1/\text{cm}^2)$	Ni	$\rho_i(1/\text{cm}^2)$	nd	$\rho_d(1/\text{cm}^2)$					
黒雲母流紋岩	408	5.05×10^5	1464	1.81×10^6	782	5.28×10^4	30	0.748	8.07×10^{-4}	276	5.5 ± 0.4
	349	4.65×10^5	1397	1.86×10^6	801	5.41×10^4	30	0.799	7.51×10^{-4}	277	5.0 ± 0.4
	258	4.41×10^5	1359	2.33×10^6	1137	7.68×10^4	30	0.660	5.84×10^{-4}	242	5.4 ± 0.4
真珠岩	336	4.65×10^5	1204	1.67×10^6	798	5.39×10^4	30	0.693	7.22×10^{-4}	249	5.6 ± 0.4
セリサイト 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	8.14×10^6	1548	3.52×10^6	1141	7.71×10^4	29	0.775	4.18×10^{-4}	382	6.4 ± 0.4
モンモリロナイト 変質岩	570	1.25×10^6	1686	3.69×10^6	783	5.29×10^4	28	0.796	4.57×10^{-4}	560	6.6 ± 0.4
	615	1.07×10^6	1937	3.37×10^6	791	5.34×10^4	28	0.776	5.75×10^{-4}	507	6.3 ± 0.4
	583	1.01×10^6	2296	3.97×10^6	1139	7.70×10^4	27	0.721	5.79×10^{-4}	413	7.3 ± 0.4
セリサイト/モンモリロナイト 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
モンモリロナイト/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 ± 0.0000089
 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(i)$ = 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 ($\text{scc/gm} \times 10^{-5}$)	^{40}Ar (wt%)	K (wt%)	年代値 (Ma)
黒雲母流紋岩	黒雲母	0.142 0.132	38.4 35.2	6.54 6.47	5.4 ± 0.3
	斜長石	0.010 0.010	8.6 6.1	0.45 0.45	5.7 ± 2.6
坑内の変質岩	セシウム	0.163 0.150	34.5 68.7	6.39 6.40	6.3 ± 0.4

表4-6 珪藻化石の同定結果

Species Name	Ecology			B-6	E-2M
	H. R.	pH	C. R.		
<i>Actinocyclus ingens</i> Rattray	Euh			—	2
<i>Actinoptychus senarius</i> (Ehr.) Ehrenberg	Euh			—	1
<i>Chaetoceros</i> spp.	Euh			—	1
<i>Coscinodiscus marginatus</i> Ehrenberg	Euh			—	5
<i>Denticulopsis hustedtii</i> (Simonsen and Kanaya) Simonsen	Euh			—	2
<i>Grammatophora maxima</i> Grunow	Euh			—	1
<i>Neodenticula kantschatica</i> (Zabelina) Akiba & 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 : ヒンイン-コウエンセイ

Ogh-ind : ヒンイン-フテイセイ

Ogh-hob : ヒンイン-ケンエンセイ

Ogh-unk : ヒンイン-フメイ

pH : 水素イオン濃度に対する適応性

ac-bi : シンサンセイ

ac-il : コウサンセイ

ind : pH-フテイセイ

al-bi : シンアルカリセイ

al-il : コウアルカリセイ

unk : pH-フメイ

C. R. : 流水に対する適応性

l-bi : シンシスイセイ

l-ph : コウシスイセイ

ind : リュウスイフテイセイ

r-bi : シンリュウスイセイ

r-ph : コウリュウスイセイ

unk : リュウスイフメイ

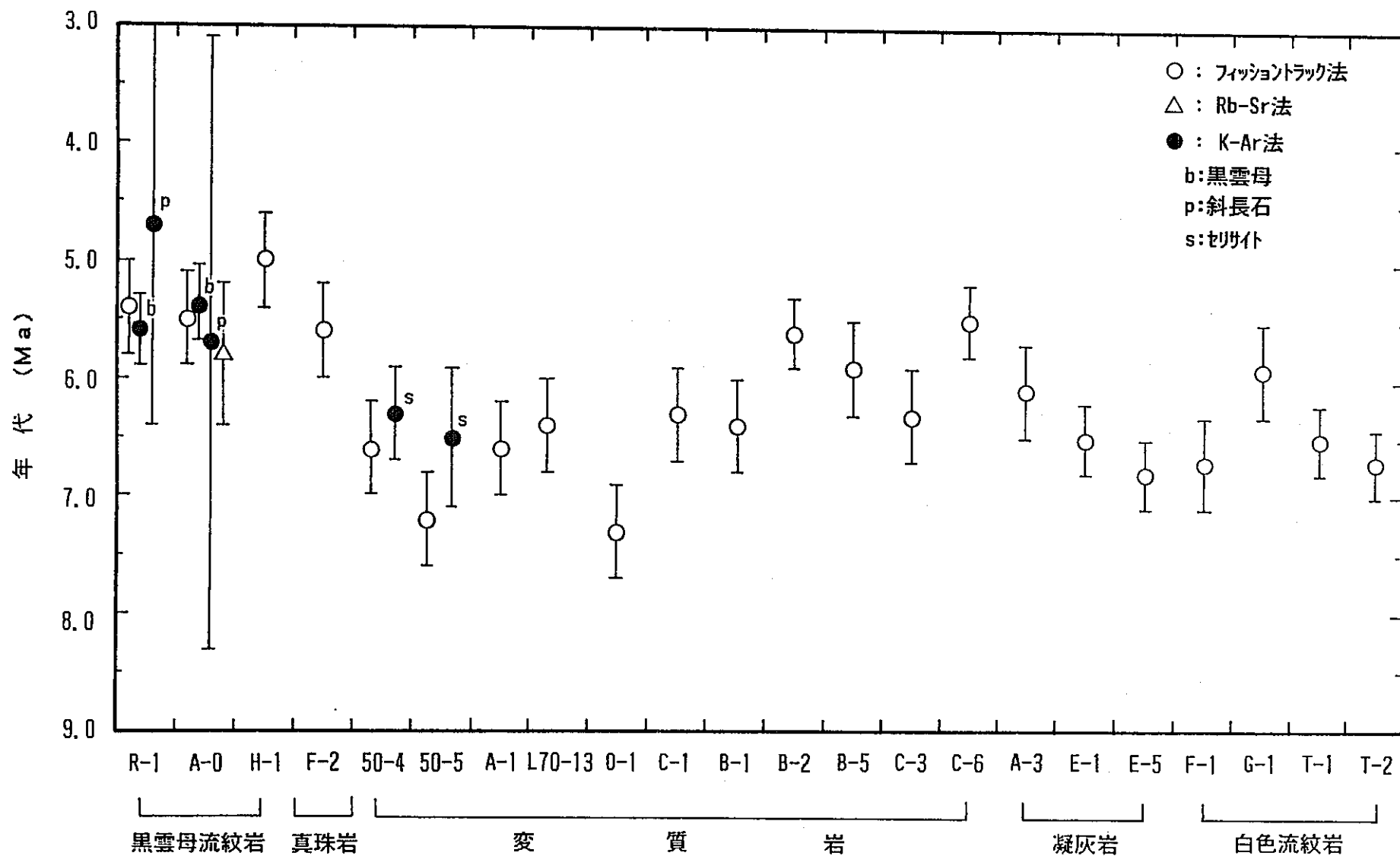


図4-3 年代測定結果総括図

～7.3 Ma, 5.5～6.4 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関与したと考えられる黒雲母流紋岩の貫入年代とほとんど変わらない。

4.1.4 変質に関与した熱水の性状

化学分析値が出されている試料のうち、密度を求めた試料について化学分析値を 100%に換算し、さらに 100cmあたりの酸化物重量及び元素重量に換算したものを表 4-7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、セリサイト帯から低結晶度のモンモリロナイト-沸石帯にかけて一連ではなく、高結晶度のモンモリロナイト帯とセリサイト/モンモリロナイト混合層鉱物帯の間で大きなギャップがある。また、セリサイト帯では、Si, Al及びK が絶対的に多くなっている。これらのことは、セリサイト及び高結晶度のモンモリロナイト帯を生成した変質作用とセリサイト/モンモリロナイト混合層鉱物帯及び低結晶度のモンモリロナイト-沸石帯を生成した変質作用とは異なるものであるという前述の結論を指示するとともに、セリサイト帯がSi, Al及びK に富む熱水により生成されたことを示唆している。また、セリサイト帯の生成に関与した熱水は、Si, Al及びK に富むことから判断すると、酸性火成活動末期のものと考えられる。

4.1.5 変質帯の生成モデル

以上述べたことを総括すると、図 4-6 に示すように、

- ①白色流紋岩の活動とそれに伴う凝灰岩の堆積
↓
- ②黒雲母流紋岩体の貫入
↓
- ③黒雲母流紋岩体の熱により、セリサイト/モンモリロナイト混合層鉱物帯と低結晶度のモンモリロナイト帯の形成
↓
- ④黒雲母流紋岩体に沿った酸性火成活動末期の熱水（酸性で、200℃程度）の上昇
↓
- ⑤熱水によるパイロフィライト帯、セリサイト帯、高結晶度のモンモリロナイト帯の形成

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

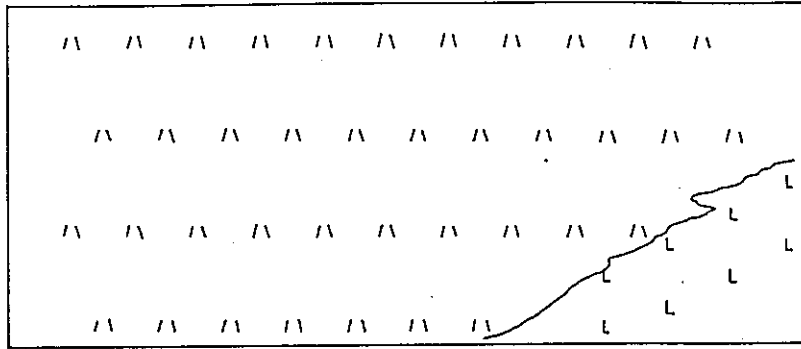
なお、高結晶度のモンモリロナイト帯の生成年代を変質岩の年代の平均値 6.4Maと

表4-7 各岩石試料中の主要元素の重量

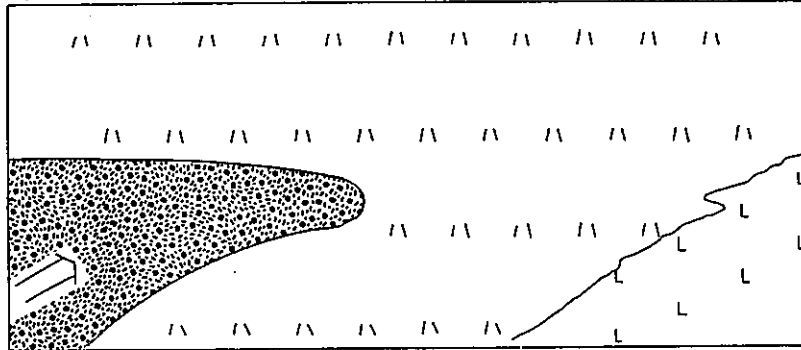
(単位はg/100cm³)

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

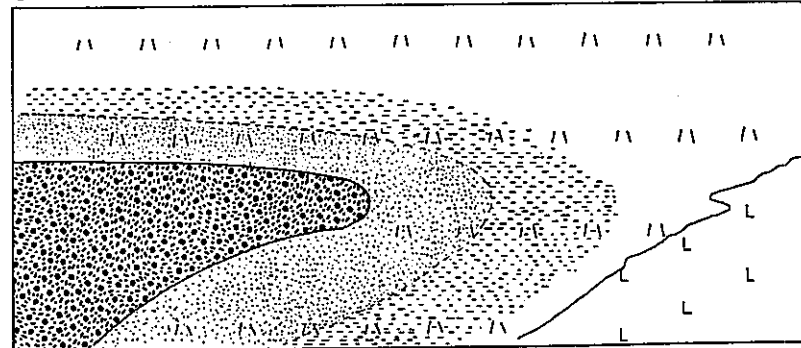
① 白色流紋岩の活動とそれに伴う凝灰岩の堆積



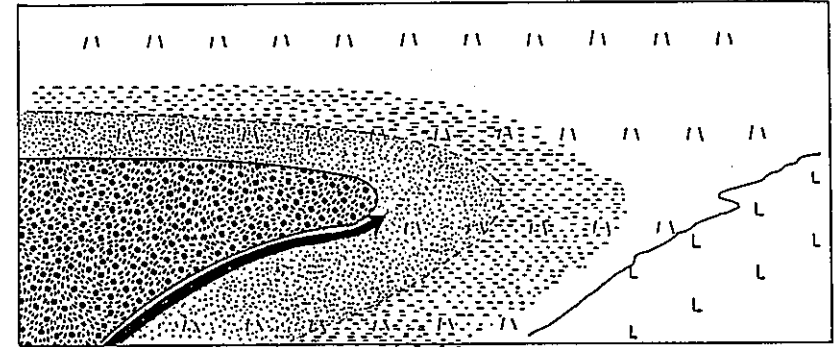
② 黒雲母流紋岩の貫入



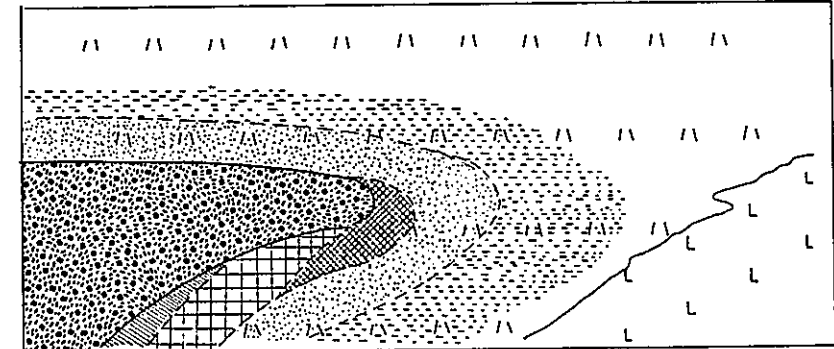
③ 黒雲母流紋岩の熱による変質鉱物分帯の形成



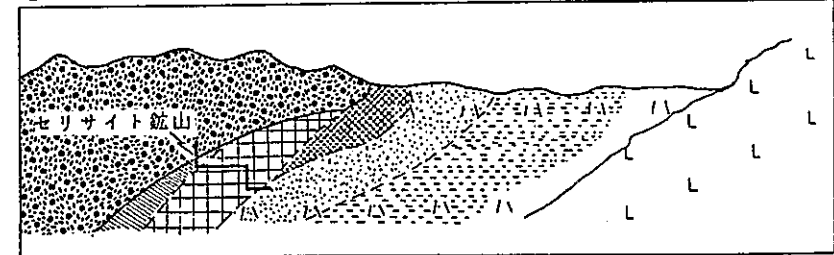
④ 黒雲母流紋岩に沿って酸性の熱水溶液が侵入



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 | モンモロナイト/セリサイト混合層帯 |
| 凝灰岩 | モンモロナイト帯[高結晶度] |
| 黒雲母流紋岩 | セリサイト帯 |
| モンモロナイト帯[低結晶度] | アイロナイト帯 |

注) 縮尺は考慮されていない。

図4-5 変質帯形成モデル

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ョン・トラック年代の平均値 5.3Maとすると、高結晶度のモンモリロナイトが生成した後も、黒雲母流紋岩体は約 110万年の間 200℃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項目のうち、全 6 試料について測定した CEC、置換性塩類、MBC、炭質物、硫酸塩そして膨潤度について、それぞれの結果を図 4-7~11に示す。また、動燃事業団による国産の各種のベントナイトの物理、化学特性の測定結果を図 4-12~16、表 4-8に示す。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、必ずしも粘土鉱物含有量の多いセリサイト帯及び高結晶度のモンモリロナイト帯試料の陽イオン交換能が相対的に高いとは限らず、むしろ低結晶度のモンモリロナイトー沸石帯の試料の方が高くなっている。また、置換性塩類の総和と CEC の値は、セリサイト帯の試料を除いて大きく異なっている。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、大局的には貫入岩体に近い方が高い傾向にある。炭質物及び硫酸塩含有量は、最も貫入岩体に近く、且つ坑内試料であるセリサイト帯の試料が際立って少ない。膨潤度は、大局的には貫入岩体に近い方が高い傾向にあるものの、全体的には大きな差異はなく、水質の違いによる膨潤度の変化はほとんど認められない。

参考のために、動燃事業団による各種ベントナイトの値と今回の分析・試験結果を比較すると、

- ・炭質物は、50-4-2を除きいずれも村上地域の試料が多く含まれる。
- ・硫酸塩は、いずれの村上地域の試料も少ない。
- ・CECは、村上地域の試料が 1/2~1/3 程度を示し、MBCは 1 桁小さいが、それらを含めても CECと MBC はほぼ比例関係を示す。
- ・膨潤度は、全体的に村上地域の試料が小さい。また、溶媒の濃度とは明瞭な関係は認められない。
- ・液性限界は村上試料の方が非常に小さいが、塑性限界はやや小さい程度である。
- ・熱伝導率は、B-3を除きいずれも村上地域の試料が大きい。

以上のように、村上地域に分布する粘土、凝灰岩の物理、化学特性は国産のベント

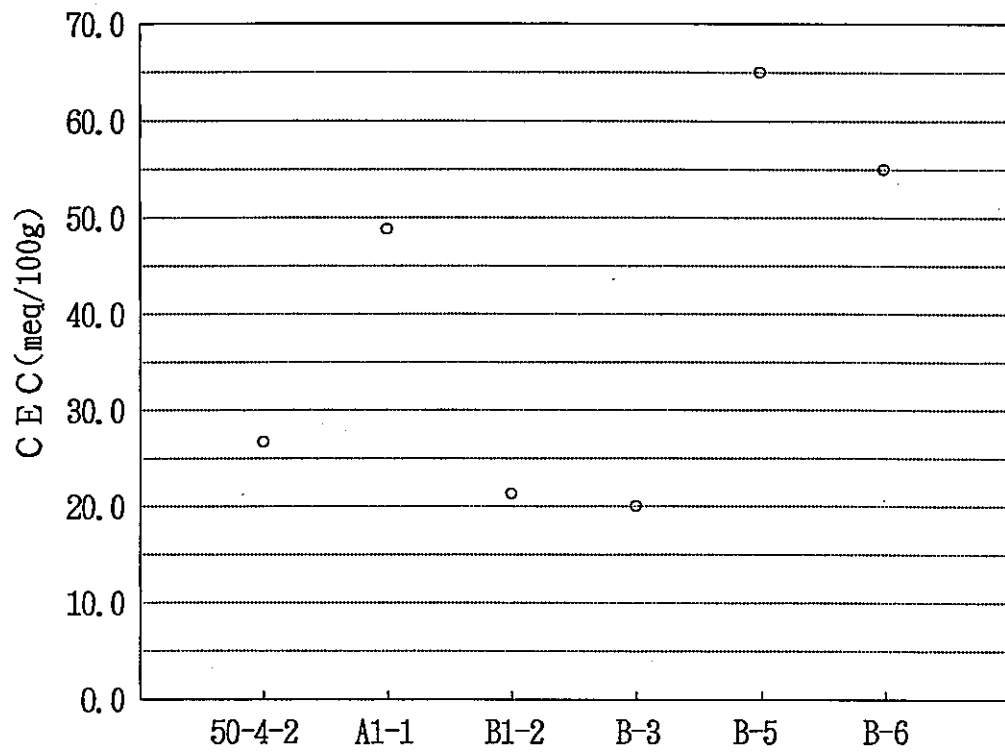


図4－ 村上地域の粘土、凝灰岩試料のCEC

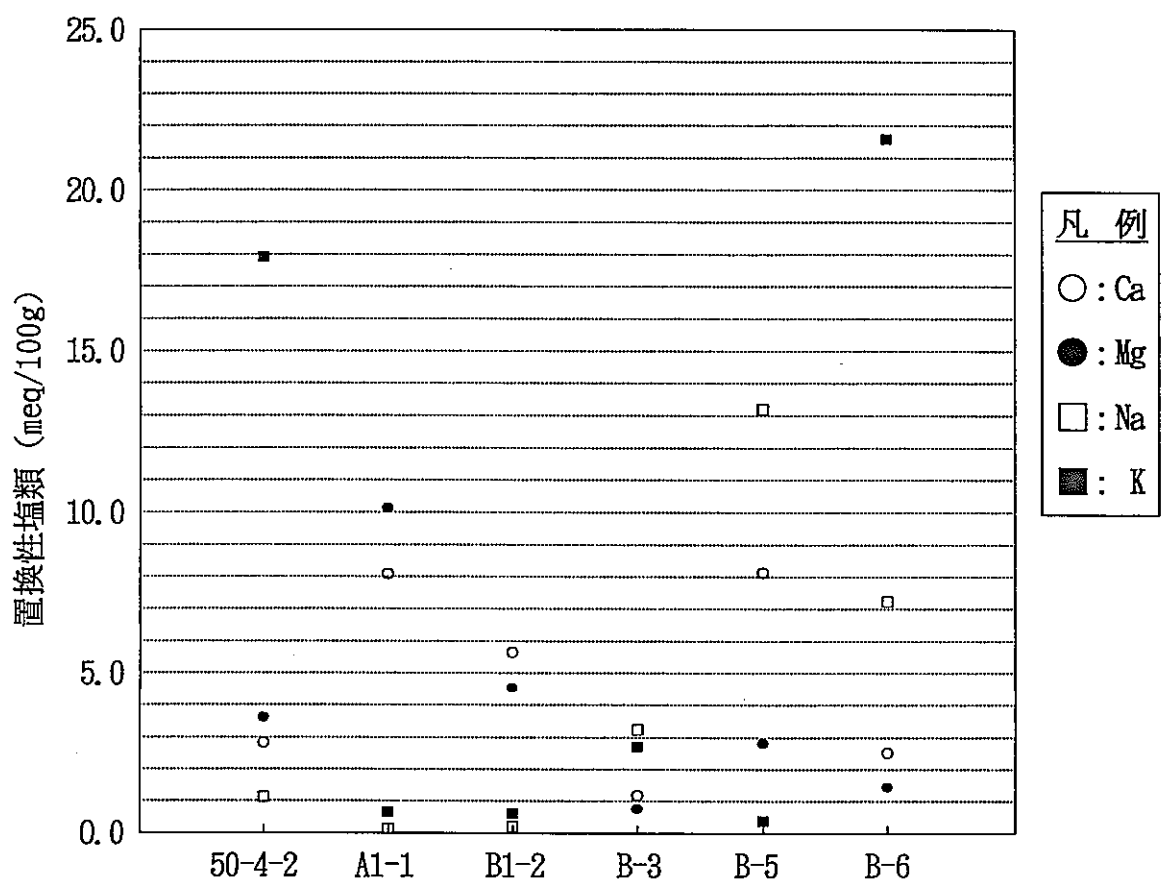


図4－ 村上地域の粘土、凝灰岩試料の置換性塩類

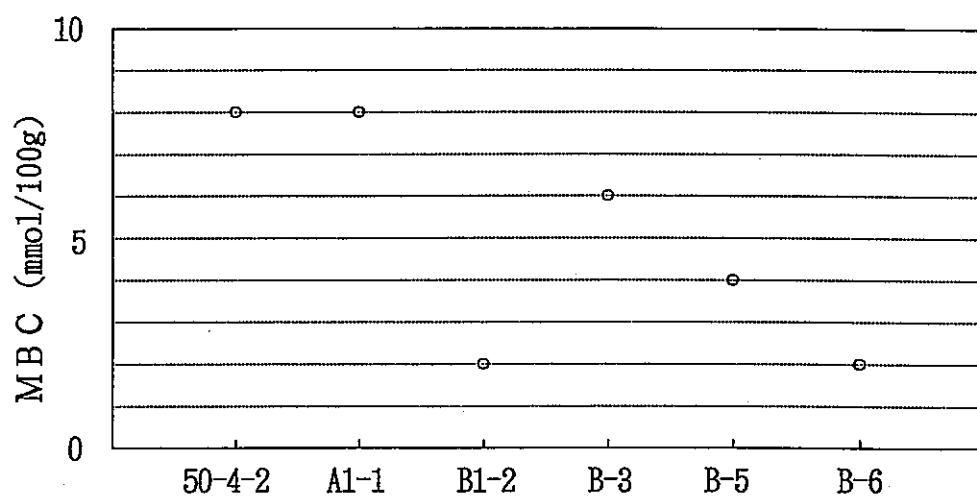
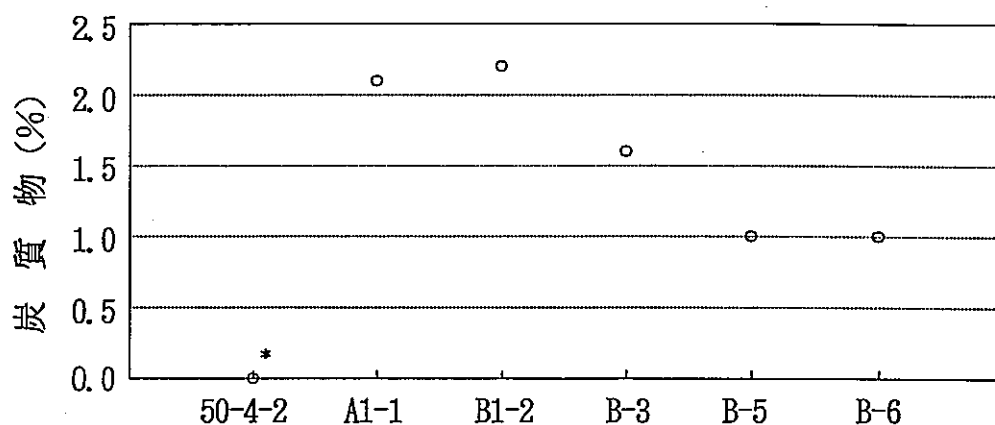


図4－ 村上地域の粘土，凝灰岩試料のMBC



*: 50-4-2は測定限界以下

図4－ 村上地域の粘土，凝灰岩試料の炭質物

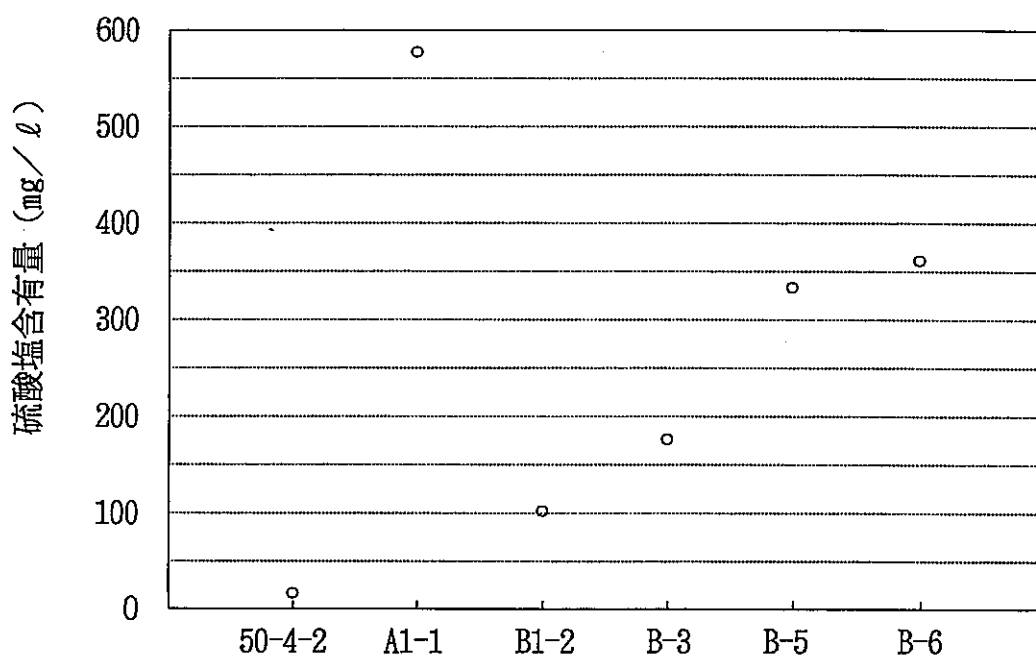


図4－ 村上地域の粘土，凝灰岩試料の硫酸塩含有量

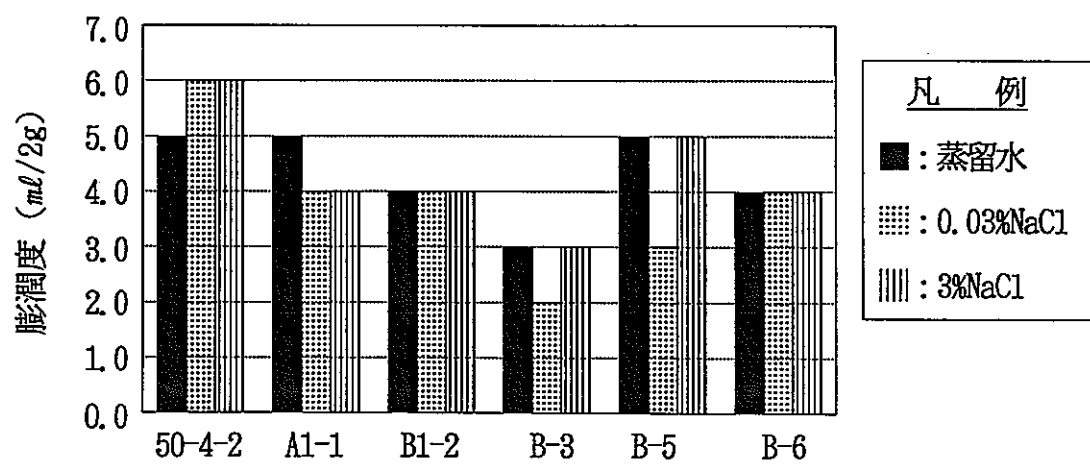


図4－ 村上地域の粘土、凝灰岩試料の膨潤度

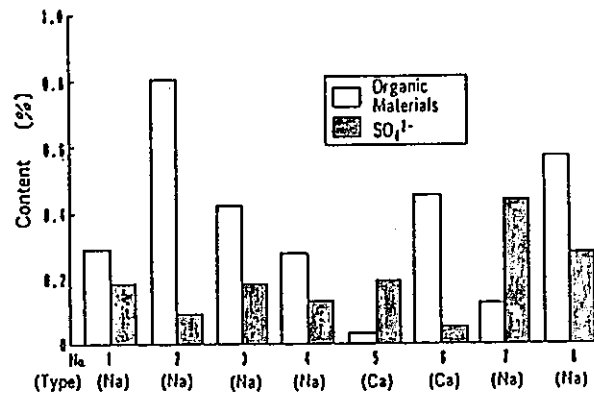


Figure : Organic materials and sulfate content

図4-6 ベントナイト試料の有機物及び硫酸塩含有量 (動燃事業団殿測定)

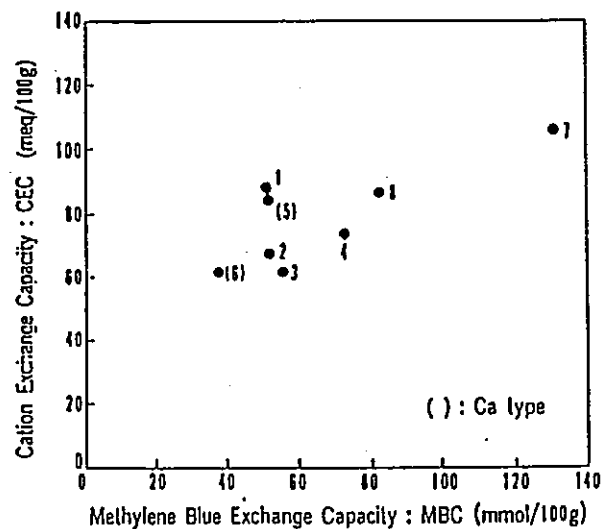


Figure : Cation exchange capacity as a function of methylene blue exchange capacity

図4-7 ベントナイト試料のCECとMBCの関係 (動燃事業団殿測定)

表4-8 ベントナイト試料のコンシステンシー（動燃事業団殿測定）

Table : Consistency limits of bentonite samples

Sample No	Type	wL%	wP%	Ip%	wS%	wSat%
1. Iwaki	Na	378	29	349	17	21
2. Kunigel	Na	416	21	395	11	13
3. Asama	Na	395	37	358	18	23
4. Tone	Na	327	45	282	17	23
5. Kunibondo	Ca	134	49	85	21	22
6. HYH-X	Ca	137	35	102	21	19
7. Kunipia	Na(Pure)	993	42	951	10	19
8. MX-80	Na	450	37	413	13	20

Ip=wL-wP

wSat:saturated water content of the compacted bentonite formed by pressing at 100MPa

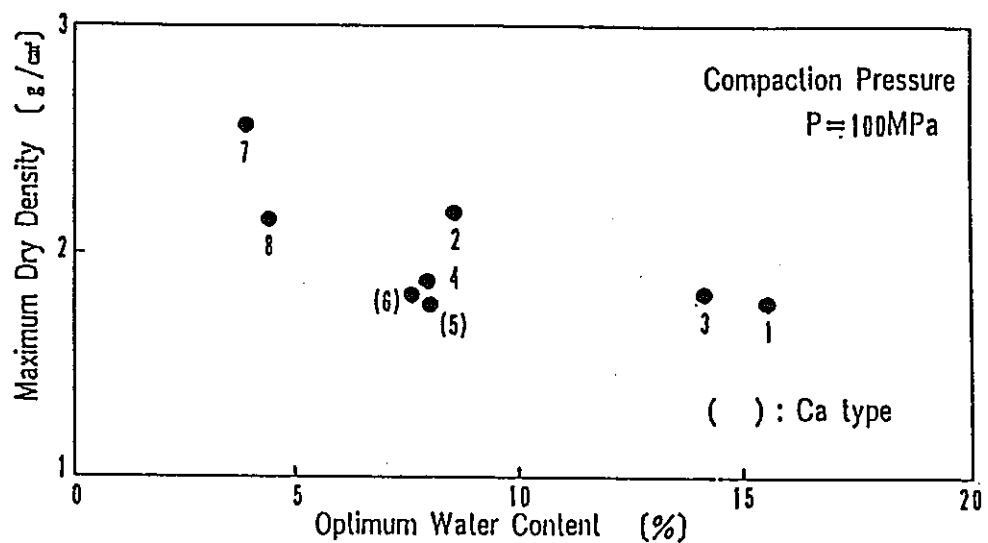


Figure : Maximum dry density versus optimum water content at 100MPa compaction test

図4-8 ベントナイト試料の最大乾燥密度と最適含水比の関係（動燃事業団殿測定）

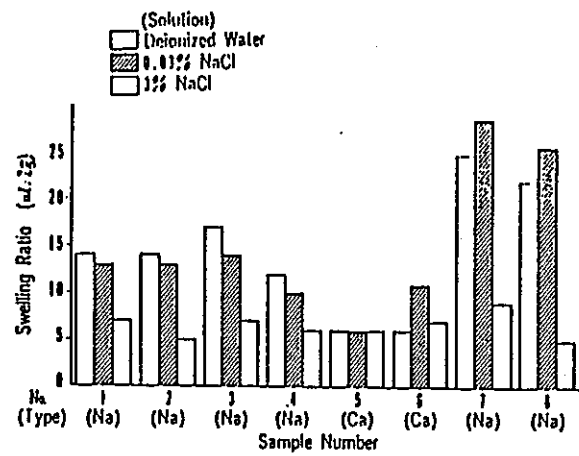


Figure : Swelling ratio of bentonite in distilled water and NaCl solution

図4-9 蒸留水及びNaCl溶液内でのベントナイト試料の膨潤度 (動燃事業付試験測定)

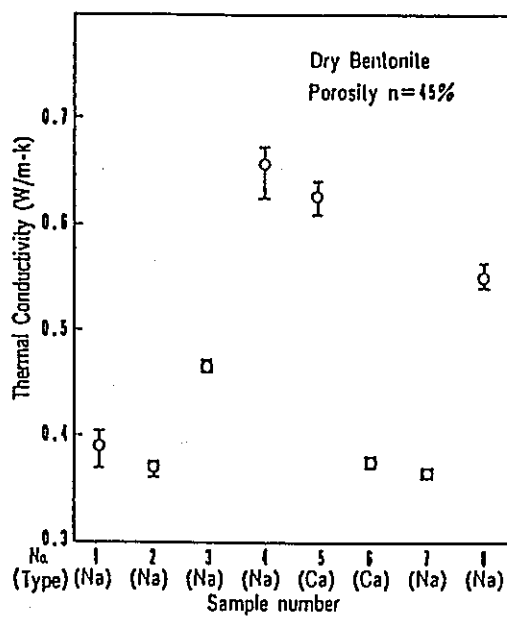


Figure : Thermal conductivity of bentonite

図4-10 ベントナイト試料の熱伝導率 (動燃事業付試験測定)

ナイト（緩衝材候補）のそれとは少なからぬ差異が認められる。この原因としては、村上地域に分布する粘土、凝灰岩はいずれも自然状態のものであるが、緩衝材の方は人為的な様々な処理を経た工業製品であること、また、モンモリロナイト含有量が村上地域に分布する粘土、凝灰岩の方が非常に少ないことが挙げられる。

4.2 大田市北部

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考えられる。

一方、今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、今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される。したがって、本地域においてモンモリロナイトのセリサイト化が生じている場所を求めるためには、今回対象とした岩脈よりもさらに規模の大きい岩脈を探すことが望まれる。

5. 問題点と今後の課題

村上セリサイト鉱床及びその周辺の変質帯の成因等については、現在までの調査・研究により、かなり明らかにされたと考えられるが、変質帯及び貫入岩体の三次元的な分布状況は、地表資料及び限られた坑内資料に基づいているにすぎない。変質帯の生成について、詳細に調査・研究するためには、より正確な変質帯及び貫入岩体の三次元的な分布の把握が必要と判断される。このためには、地表、あるいは坑内からのボーリング調査をさらに実施することが不可欠である。さらに、高結晶度のモンモリロナイト帯の生成後も黒雲母流紋岩体は、約 110 万年間は 200℃ 以上の残熱を有していたと推定されるため、黒雲母流紋岩体に接している高結晶度のモンモリロナイト帯（生成温度は 200℃ 以下）が、生成後、加熱された可能性が高いと考えられる。したがって、今後高結晶度のモンモリロナイト帯が生成後、ど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、凝灰岩試料の物理及び化学特性のうち、陽イオン交換能に関する項目については、必ずしも粘土鉱物含有量の多いセリサイト帯及び高結晶度のモンモリロナイト帯試料の陽イオン交換能が相対的に高いとは限らず、むしろ低結晶度のモンモリロナイトー沸石帯の試料の方が高くなっている。また、置換性塩類の総和と CEC の値はセリサイト帯の試料を除いて大きく異なっている。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ことから、ボーリング・コアで同様に分帯された試料によって風化の影響を排除した条件で再試験することが望ましいと考えられる。

島根県に点在するベントナイト鉱床のうち、大田市北部地域ではモンモリロナイトを含む地層を安山岩岩脈が貫入している露頭について現地調査・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。今後、本地域においては、岩脈との接触部のモンモリロナイトがセリサイトやセリサイト／モンモリロナイト混合層鉱物に変化している可能性の高いような、より規模の大きい貫入岩が見られるような露頭を捜すことが望まれる。

参考文献

- 金属探鉱事業団, 昭和56年度広域調査報告書, 羽越地域 (I) : 資源エネルギー庁, 東京, p. 4 ~ 55, 66 ~ 71, 125 (1982)
- 村松敏雄, 村上市 ~ 朝日村に分布する凝灰岩・流紋岩の絶対年代測定 - フィッション・トラック法による絶対年代測定法 (その2) - : 新潟県立教育センター研究報告, No. 99, p. 31 ~ 34 (1987)
- 小坂文予, 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 - とくに碎屑岩層について - : 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)
- 酒井禮男, 島根県大田市朝倉ペントナイト : 地学雑誌, 第79巻, 第6号, p. 49 ~ 54, (1970)
- 酒井禮男, 井上多津男, 飯塚信之, 島根県大田市北部の火砕岩の変質 - 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, (株)フジ・テクノシステム, 東京, p. 41 ~ 52, (1982)