

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(Ⅸ)

(動力炉核燃料開発事業団 研究内容報告書)

技術資料		
開示区分	レポートNo.	受領日
Z	ZJ1308 96-001	1996.7.11

この資料は技術管理室保存資料です
閲覧には技術資料閲覧票が必要です
動力炉・核燃料開発事業団 技術協力部技術管理室

1996年3月

株式会社 ダイヤコンサルタント

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

本資料についての問合せは下記に願います。

〒319-11 茨城県那珂郡東海村大字村松 4-38
動力炉・核燃料開発事業団
東海事業所
技術開発推進部・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（IX）

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、兵庫県浜坂地域に分布する鮮新世のアルカリ玄武岩質の火山弾を対象にして、火山ガラスの水和量と希土類の含有量を比較した。ガラスの水和の進行した試料のアルカリ含有量は減少する傾向があるものの、希土類の減少は認められなかった。

ベントナイトについては、新潟県西頸城郡のモンモリロナイトを含む堆積岩について、貫入岩による熱変質に関する現地調査及び分析を継続して行い、新潟県中条のベントナイト鉱床を対象にNa型モンモリロナイトのCa型化に関する調査を開始し、南房総嶺岡及び丹沢地域を対象にモンモリロナイトの沸石化に関する調査を行った。

新潟県西頸城郡では、統成作用起源のモンモリロナイトを含む地層にひん岩が貫入している露頭付近を調査した。変質鉱物の組合せと分布に注目して分帶すると、貫入面に近いものから、

- I. イライト帶
- II. イライト／モンモリロナイト混合層鉱物帶
- III. モンモリロナイト帶

の順に配列していることが判明し、ひん岩の貫入による一連の熱変質によるものと判断された。すなわち、

- ① 泥質物の堆積
- ② 埋没統成作用によるモンモリロナイトの形成
- ③ ひん岩の貫入
- ④ 熱変質によるイライト帶及びイライト／モンモリロナイト混合層鉱物帶の形成

と地質現象が進行したと考えられる。この泥質岩の堆積時代は年代測定及び微化石分析から求められた。また、ひん岩の全岩年代測定も実施した。さらに、各変質帶の泥質岩の理化学的特性を把握した。

新潟県中条のベントナイト鉱床では、地表面からの距離を基準に試料採取を行い、鉱物組成、水質分析、凝灰岩の理化学特性について調査した。その結果、本地域がNa型モンモリロナイトのCa型化の検討に対して好適であると判断された。

南房総嶺岡及び丹沢地域では、既往文献によって高pHの湧水が期待できる地域の湧水の調査を実施したが、いずれの地域においても、モンモリロナイトの沸石化の検討に対しての必要条件である高pHの湧水を露頭で得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：070D0304

事業団担当部課室及び担当者：東海事業所環境技術開発部地層処分開発室（石川博久）

*：株式会社ダイヤコンサルタント 東京事業部

**：株式会社ダイヤコンサルタント 技術管理部

Katsuhito Futakuchi*, Yuji Sakuramoto **

ABSTRACT

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

For the study of volcanic glass, volcanic bombs are collected at Hamasaki area in Hyogo Prefecture, which ejected at late Pliocene, to examine the relationship between the hydration rate to the leaching rate of REE, as chemical analogs for fission products.

Chemical analyses of volcanic bombs indicate that the concentration of REE are no concern with the hydration rates, nevertheless the higher hydrated the higher leaching rates of alkalis.

These chemical studies show that in the case of hydration of the waste glass are occur, although the alkalis are leached, fission products are hardly leached, in the way of natural analogue.

For the study of bentonite, radiometric dating of tuff and porphyrite of lava dome were done at Nishikubiki area, Niigata Prefecture, to determine the thermal history of this area. Several analyses were done for dating and for taking the chemical properties.

The marine deposits in Nishikubiki area, Niigata Prefecture can be divided into the following three zones, based upon the results of X-ray diffraction. These zones, from the intrusive body outward, are;

- I. illite zone(I zone),
- II. illite/montmorillonite mixed layer mineral zone(II zone), and
- III. montmorillonite zone (III zone).

These groups(I to II zones) are products of thermal alteration.

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

- ① sedimentation of marine clastic sediments
- ② formation of montmorillonite by diagenesis
- ③ intrusion of porphyrite into sediments
- ④ formation of illite and illite/montmorillonite mixed layer mineral by thermal alteration.

At Nakajo clay deposit in Niigata Prefecture, the conversion of (Na)Montmorillonite to (Ca)Montmorillonite were discussed. X-ray diffractmetry were showed that this field are suitable for that question.

Preliminary studies, that the zeolitization of montmorillonites, were done at Mineoka ophiolite Members in Chiba Prefecture and Tanzawa metamorphic succession in Kanagawa Prefecture. There is no evidence for the zeolitization of montmorillonites, because of the lack of the high alkaline spring in those fields.

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(Hirohisa Ishikawa)
*: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 浜坂付近の地形	2
2.2 浜坂付近の地質	4
3. 分析・試験	7
3.1 試 料	7
3.2 方 法	7
3.2.1 希土類の分析	7
3.2.2 強熱減量及び湿分	7
3.2.3 X線回折分析	7
3.3 分析・試験結果	10
3.3.1 希土類の分析	10
3.3.2 強熱減量及び湿分	10
3.3.3 X線回折分析	11
4. 考 察	12
5. 問題点と今後の課題	17
参考文献	18

II. ベントナイト編

1. 調査目的	1 9
2. 調査地域の概要	2 0
2.1 地 形	2 0
2.1.1 新潟県西頸城	2 0
2.1.2 新潟県中条	2 2
2.1.3 南房総嶺岡	2 4
2.1.4 丹沢地域	2 7
2.2 地 質	2 9
2.2.1 新潟県西頸城	2 9
2.2.2 新潟県中条	3 3
2.2.3 南房総嶺岡	3 5
2.2.4 丹沢地域	3 9
3. 分析・試験	4 1
3.1 試 料	4 1
3.1.1 新潟県西頸城	4 1
3.1.2 新潟県中条	4 1
3.1.3 南房総嶺岡	4 4
3.1.4 丹沢地域	4 4
3.2 方 法	4 4
3.2.1 X線回折分析	4 4
3.2.2 絶対年代測定	4 7
3.2.3 顕微鏡観察	4 7
3.2.4 密度・含水比測定	4 7
3.2.5 化学特性試験	4 7
3.2.6 膨潤度	4 8
3.2.7 化学組成	4 8
3.2.8 热伝導率測定	4 8
3.2.9 微化石分析	4 8

3.2.10 水質分析	49
3.3 分析結果	49
3.3.1 X線回折分析	49
3.3.2 絶対年代測定	49
3.3.3 顕微鏡観察	49
3.3.4 密度・含水比測定	49
3.3.5 化学特性試験	49
3.3.6 膨潤度	54
3.3.7 化学組成	54
3.3.8 热伝導率測定	54
3.3.9 微化石分析	54
3.3.10 水質分析	54
4. 考察	61
4.1 新潟県西頸城	61
4.1.1 変質帶	61
4.1.2 年代	63
4.2 新潟県中条	65
4.3 南房総嶺岡	68
4.4 丹沢地域	69
5. 問題点と今後の課題	70
参考文献	71

表 目 次

I. 火山ガラス編

表 3-1 X線回折条件	9
表 3-2 浜坂付近の火山弾の希土類分析結果	10
表 3-3 浜坂付近の火山弾の強熱減量および湿分の測定結果	10
表 3-4 火山弾のX線回折分析結果	11

II. ベントナイト編

表 2-1 新潟県西頸城地域の第三系の層序 (西田ほか, 1966)	31
表 2-2 能生地域における第三系の粘土, 沸石鉱物 (佐藤, 渡辺, 1989)	32
表 2-3 南房総嶺岡の蛇紋岩の溶出試験結果 (前田, 浅賀, 1993)	38
表 2-4 中川温泉の源泉の水質分析結果 (大木, 平野, 1967)	40
表 3-1 X線回折条件	47
表 3-2 化学特性試験の分析・測定方法	48
表 3-3 水質分析項目および分析方法	50
表 3-4 新潟県西頸城地域のX線回折分析結果	50
表 3-5 新潟県中条地域のX線回折分析結果	51
表 3-6 南房総嶺岡および丹沢地域のX線回折分析結果	51
表 3-7 フィッショングラフ年代測定結果一覧表	52
表 3-8 K-Ar年代測定結果一覧表	52
表 3-9 新潟県西頸城地域の泥質岩の薄片観察結果	53
表 3-10 新潟県西頸城地域の泥質岩の物理試験結果	53
表 3-11 新潟県西頸城地域の泥質岩の化学特性試験結果	55
表 3-12 新潟県中条地域の凝灰岩の化学組成分析結果	55
表 3-13 新潟県西頸城地域の熱伝導率測定結果	56
表 3-14 新潟県中条地域の岩石の化学成分一覧表	57

表 3-15 新潟県中条地域の岩石のCO ₂ , SO ₃ , 全硫黄	5 7
表 3-16 西頸城の泥質岩及びひん岩の熱伝導率測定結果	5 8
表 3-17 新潟県西頸城地域の石灰質ナンノ化石分析結果	5 8
表 3-18 新潟県西頸城地域の珪藻化石分析結果	5 9
表 3-19 新潟県西頸城地域の有孔虫化石分析結果	5 9
表 3-20 新潟県中条地域の湧水の水質分析結果	6 0
表 4-1 各地のモンモリロナイトの交換性陽イオンと C E C (宇野, 武司, 1981)	6 7

図 目 次

I. 火山ガラス編

図 2-1 浜坂付近の地形図	3
図 2-2 浜坂付近の地質図	5
図 2-3 赤石溶岩の酸化物の総和と各酸化物との関係	6
図 3-1 火山弾試料採取位置図	8
図 4-1(1) 火山弾の強熱減量とアルカリ濃度との関係(1)	13
図 4-1(2) 火山弾の強熱減量とアルカリ濃度との関係(2)	14
図 4-2(1) 火山弾の強熱減量とREE濃度との関係(1)	15
図 4-2(2) 火山弾の強熱減量とREE濃度との関係(2)	16

II. ベントナイト編

図 2-1 新潟県西頸城地域調査位置図	21
図 2-2 新潟県中条地域の地形図	23
図 2-3 南房総嶺岡地域の地形図	25
図 2-4 南房総嶺岡付近の水系と地形区分（中島ほか, 1981）	26
図 2-5 丹沢地域の地形図	28
図 2-6 西頸城地域地質図	30
図 2-7 新潟県中条地域地質図	34
図 2-8 南房総嶺岡地域の地質図	36
図 2-9 南房総嶺岡の地質区分と湧水点と6価クロム濃度 (千葉県嶺岡帯六価クロム調査班, 1978)	37
図 2-10 丹沢地域の地質図	40
図 3-1 新潟県西頸城地域の試料採取位置図	42
図 3-2 新潟県中条地域の試料採取柱状図	43
図 3-3 南房総嶺岡地域の湧水点位置及び湧水のpH	45
図 3-4 丹沢地域の湧水点位置及び湧水のpH	46
図 3-5 新潟県中条地域の湧水のヘキサダイヤグラム	60
図 4-1 変質帶と鉱物組合せ	62
図 4-2 新潟県西頸城地域のひん岩の冷却史	66

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。次いで平成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。さらに平成7年度には、房総半島の鴨川地域から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、スコリアガラスの変質に関与していると考えられる表流水と間隙水の水質分析を実施した。

今年度は、兵庫県浜坂において別途得られた、天然環境下で長期的に変質を受けた火山ガラス試料（火山弾）を対象に、希土類含有量の分析やX線回折分析等を実施し、変質による希土類等の挙動や鉱物学的な変化について検討するものとした。

2. 調査地域の概要

2.1 浜坂付近の地形

浜坂及びその周辺の地形の概要を図2-1に示す。

調査地域は、兵庫県美方郡温泉町と鳥取県岩美郡岩美町とにまたがる地域で、山陰本線浜さ駅の南南西約7kmに位置する。調査地は兵庫県側の岸田川、鳥取県側の蒲生川に挟まれた、標高150～700m程度の比較的急峻な山岳地の脊梁部に相当している。

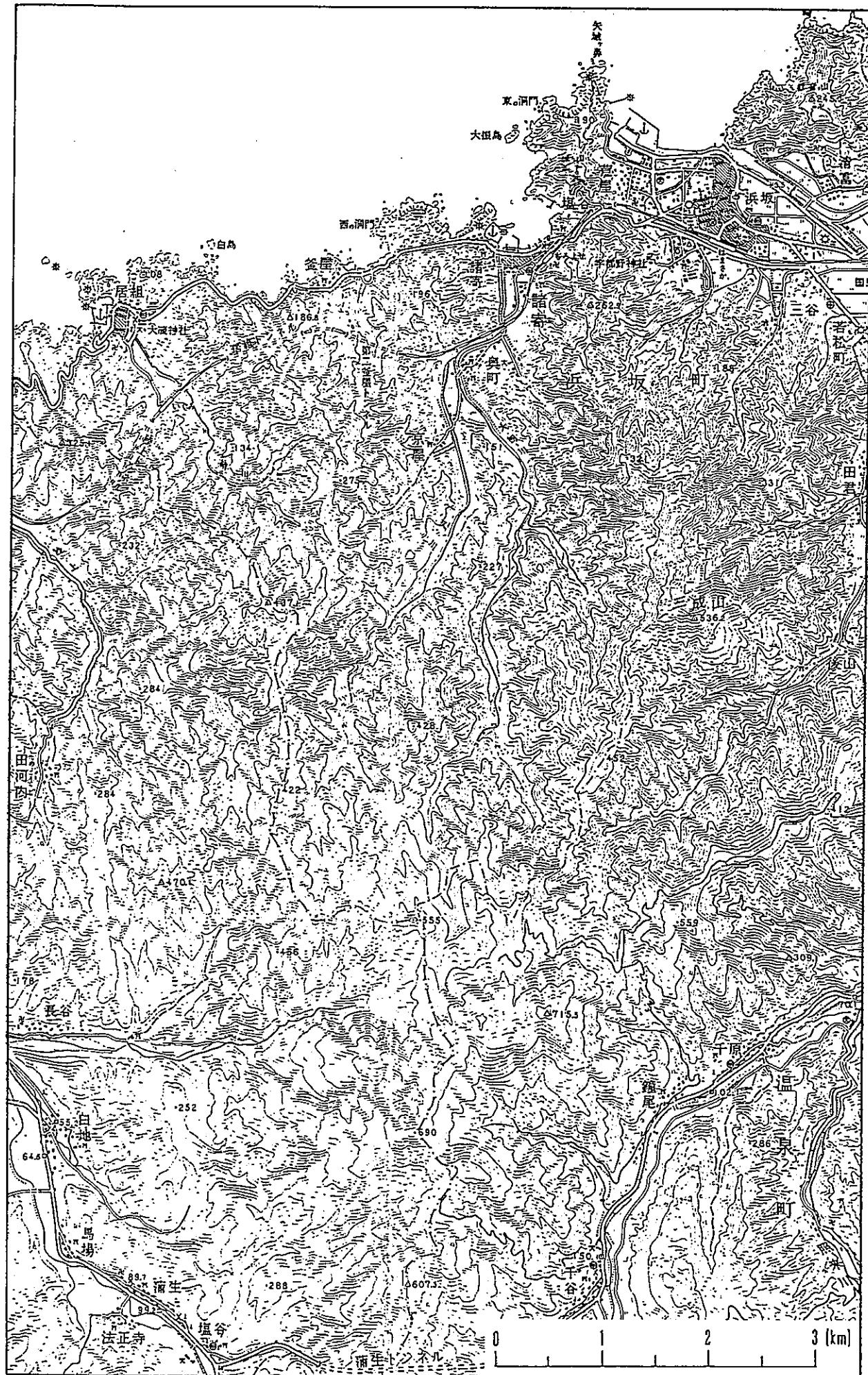


図2-1 浜坂付近の地形図

2.2 浜坂付近の地質

調査地域及びその周辺の地質図を図2-2に示す。

調査地域の基盤は白亜紀～古第三紀の浜坂花崗岩で、それらを中新統の北但層群が被覆している。そして、これらを被覆する鮮新統のアルカリ玄武岩溶岩が分布している。

基盤の花崗岩はバソリス状の黒雲母花崗岩で、年代値としては56～68Ma. が得られている。また、この花崗岩類を貫く北東～南西方向の文象質花崗岩脈が認められる。

北但層群は、下位から酸性火成岩の巨礫を含む浜坂礫岩層、玄武岩質安山岩及び玄武岩溶岩を主体とする諸寄火山岩層、各種堆積岩からなる香住層から構成されている。これらのうち、諸寄火山岩層と香住層との関係は不整合である。

最上位のアルカリ玄武岩は、単成火山起源の溶岩で、K-Ar法で 3.9Ma. が得られている。構成鉱物としては、斑晶としてカンラン石、チタン輝石を含み、石基には斜長石、カンラン石、チタン輝石、磁鐵鉱が主として含まれているが、全体としては火山ガラスの占める割合が非常に高い。

なお、このアルカリ玄武岩分布域の中に、削剝を受けたスコリア丘の一部を示す露頭が発見されている。

Genbudo Research Group (1989) は、浜坂地域に近い玄武洞付近に分布するアルカリ玄武岩溶岩（赤石溶岩）の主成分分析及び希土類の分析を実施し、 H_2O^+ 以外の酸化物の総和の100%に対する不足分が H_2O^+ に相当すると仮定し、この不足分の量が風化の進行の指標と考えて、酸化物の総和と各酸化物との関係をグラフに示し、風化の進行に伴って SiO_2 とアルカリ金属の溶脱が大きいとしている（図2-3参照）。

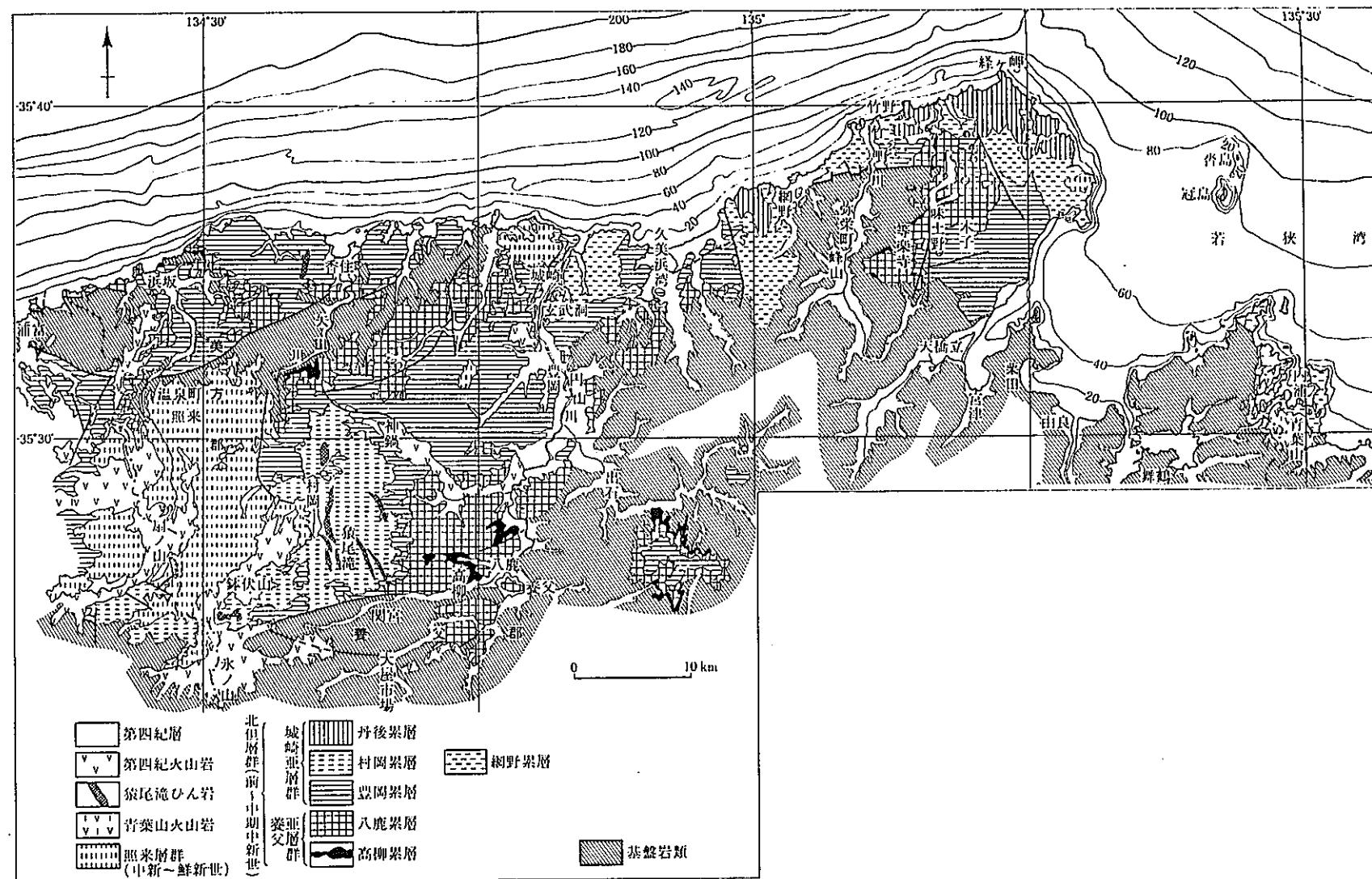


図 近畿地方の山陰北陸区の新第三系 (石田 編図)

図2-2 浜坂付近の地質図

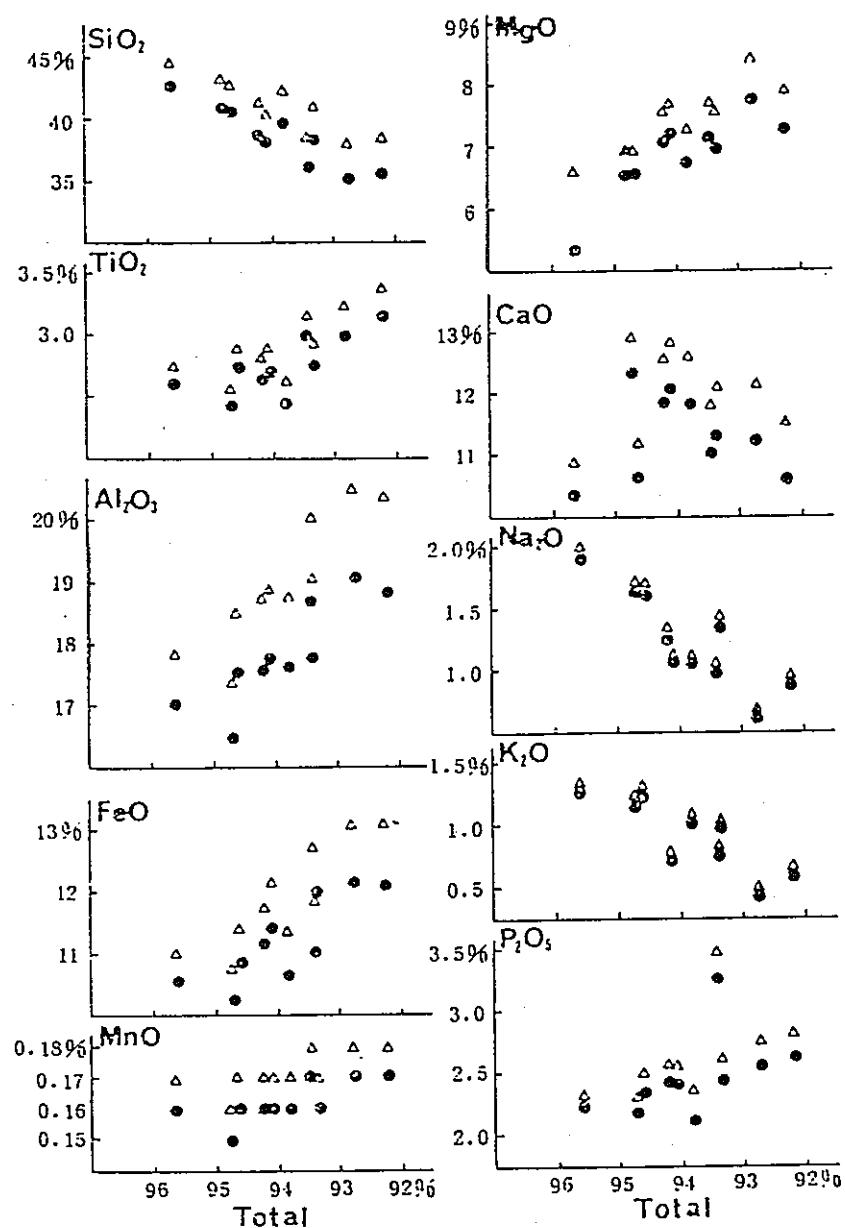


Fig. Relation between total oxides concentration and each oxide concentration. Triangles indicate normalized values on a volatile-free basis, and solid circles indicate raw data.

図2-3 赤石溶岩の酸化物の総和と各酸化物との関係

3. 分析・試験

3.1 試 料

試料採取位置図を図3-1に示す。

試料は、スコリア丘の露頭に認められる火山弾（No.1～No.10及びNo.13）である。なお本試料は、粉末化された状態で動燃事業団殿から提供いただいたものである。

3.2 方 法

3.2.1 希土類の分析

調整した試料に対し、誘導結合プラズマ質量分析法（ICPMS）を用いて分析を行った。

3.2.2 強熱減量及び湿分

強熱減量及び湿分は、地質調査所（1978）「地質調査所化学分析法 地球科学的試料の化学分析法2」にしたがって求めた。

3.2.3 X線回折分析

X線回折分析は以下のようない方法で実施した。

採取した試料を風乾したのち、自動らいかい機で指頭にざらつきを感じない程度に粉碎し、粉末試料を作製した。この粉末試料の一部をガラス製試料板に詰め無定方位試料を作製した。また、この粉末試料を蒸留水と共にシリンドー（容積：1ℓ）中に分散させ、8時間放置したのち、上澄液10cmを回収し、遠心分離機によって粘土分を沈澱させた。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3-1の左側に示した条件で、定方位試料については表3-1の中央に示した条件でX線回折分析を実施した。定方位試料のうち、7Å及び14～15Åの反射が認められるものについては、それぞれ塩酸処理及びエチレングリコール処理を行った後、表3-1の右側に示した条件でX線回折を実施して粘土鉱物を同定した。

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

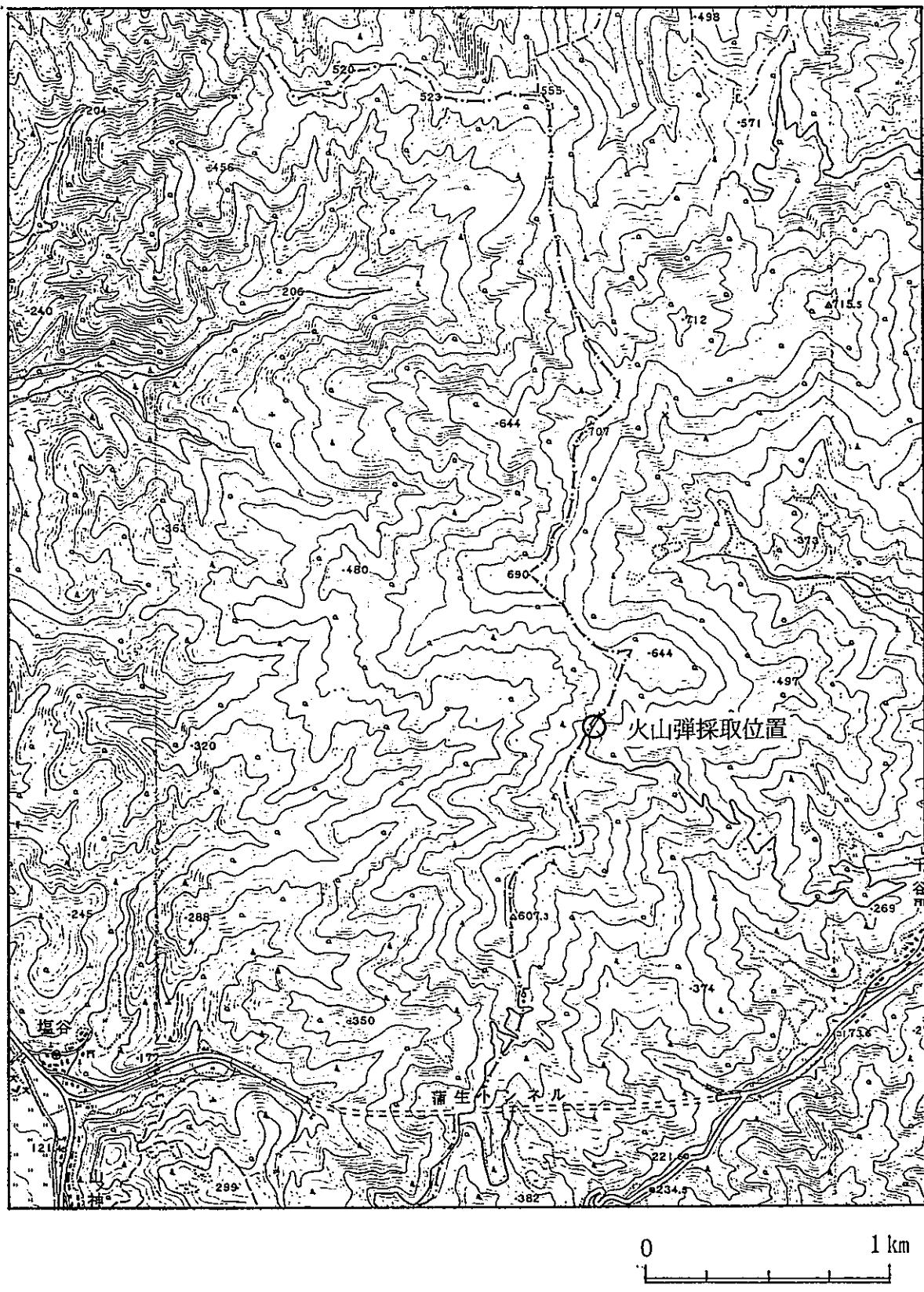


図3-1 火薬採取位置図

表 3 - 1 X線回折条件

区分	無定位試料	定位試料	定位試料
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・試験結果

3.3.1 希土類の分析

浜坂付近の火山弾の希土類の分析結果を表3-2に示す。

表3-2 浜坂付近の火山弾の希土類分析結果

(wt ppm)

区分	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.13
S c	25	18	17	17	16	19	14	19	18	16	18
Y	29	26	20	25	16	27	16	24	16	15	17
L a	49	43	36	46	29	47	31	46	30	30	34
C e	85	103	69	59	57	71	62	68	60	59	63
P r	12	11	8.2	8.5	6.7	10	7.3	10	7.1	6.9	7.9
N d	44	43	30	31	25	37	26	37	25	26	28
S m	8.9	8.3	5.9	5.9	4.9	7.3	5.0	6.7	4.9	4.9	5.5
E u	3.4	2.9	2.3	2.4	1.9	2.6	1.9	2.5	1.9	1.9	2.1
T b	1.4	1.0	0.7	0.7	0.5	0.8	0.5	0.8	0.5	0.5	0.6
D y	6.4	5.4	3.8	3.9	3.1	4.7	3.2	4.3	3.2	3.0	3.4
H o	1.5	0.9	0.6	0.7	0.5	0.8	0.5	0.7	0.5	0.5	0.5
E r	3.8	3.0	2.2	2.2	1.8	2.7	1.8	2.4	1.8	1.7	1.8
T m	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5
Y b	3.7	3.1	2.2	2.2	1.9	2.7	1.9	2.4	1.8	1.8	1.8
L u	0.8	0.5	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.3	0.4	0.3

3.3.2 強熱減量

浜坂付近の火山弾の強熱減量及び湿分の測定結果を表3-3に示す。

表3-3 浜坂付近の火山弾の強熱減量および湿分の測定結果

(%)

区分	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.13
強熱減量 H_2O^+	6.40	2.44	0.76	1.54	0.02	2.41	0.52	1.29	0.46	0.61	0.67
湿分 H_2O^-	4.47	1.97	0.36	1.34	0.06	0.10	0.11	0.93	0.10	0.15	0.41

3.3.3 X線回折分析

浜坂付近の火山弾のX線回折分析結果を表3-4に示す。

X線回折分析結果によれば、今回の火山弾試料には斜長石以外の鉱物は検出されていない。

表3-4 火山弾のX線回折分析結果

鉱物名	斜 長 石
試料名	
BOM-1	△
BOM-2	◎
BOM-3	○
BOM-4	◎
BOM-5	○
BOM-6	◎
BOM-7	○
BOM-8	◎
BOM-9	○
BOM-10	○
BOM-13	◎

相対含有量：◎多量、○中量、△少量、・微量

4. 考 察

浜坂付近の火山弾の希土類の測定結果と含水量との関係について検討する。

本来浜坂付近の火山弾は、火山ガラスの占める割合が大きく、試料それぞれの化学組成のうちの強熱減量の大きさは、火山ガラスの水和の進行程度の指標となると推定される。水和の進行の程度と希土類の含有量の変化傾向は、廃棄物ガラスの水に対する飽和後のF P等の地下水への放出に対するナチュラル・アナログとなりうると考えられる。

このような考え方のもとに、動燃事業団殿から提示を受けた主要成分分析結果を用いて H_2O^+ とアルカリとの関係を図4-1(1), (2)に、今回分析した試料について H_2O^+ と各希土類濃度との関係を図4-2(1), (2)に示す。

図4-1をみると、 H_2O^+ の増大すなわち水和の進行に伴い、アルカリ元素に近い元素群の減少（すなわち溶脱）が激しいことがうかがわれる。

一方、X線回折分析結果においては、いずれの試料においても斜長石が確認された以外に鉱物は検出されず、水和によって生成したと考えられる鉱物種についての知見は得ることができなかった。

そして、図4-2をみると、ガラスの水和の指標と考えられる H_2O^+ 量と各種希土類との関係は、水和による放出を示すよりはむしろ水和の進行に従い希土類の濃度が増加するような傾向にみえる。

以上把握された状況は、地表付近で進行したと考えられる、風化に伴うガラスの水和が進行しても、希土類の溶出は認められないことを示している。今回の分析結果においてはむしろ希土類濃度が水和に伴って増加する傾向にあるが、X線回折分析結果において粘土鉱物等の収着性の高い鉱物の生成は認められていない。したがって、この希土類濃度の増加に対する解釈は行うことができない。

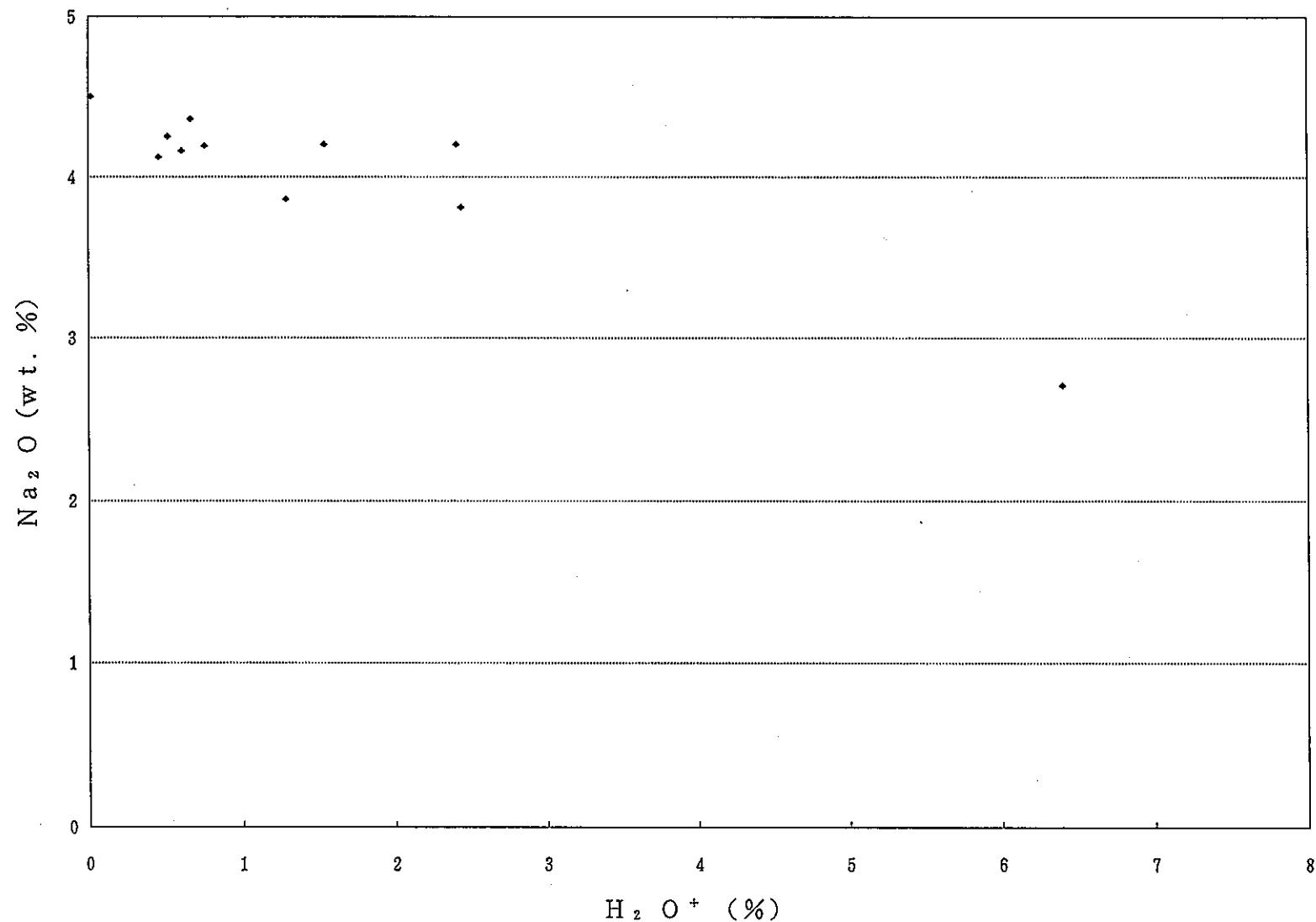


図 4-1(1) 火山弾の強熱減量とアルカリ濃度との関係(1)

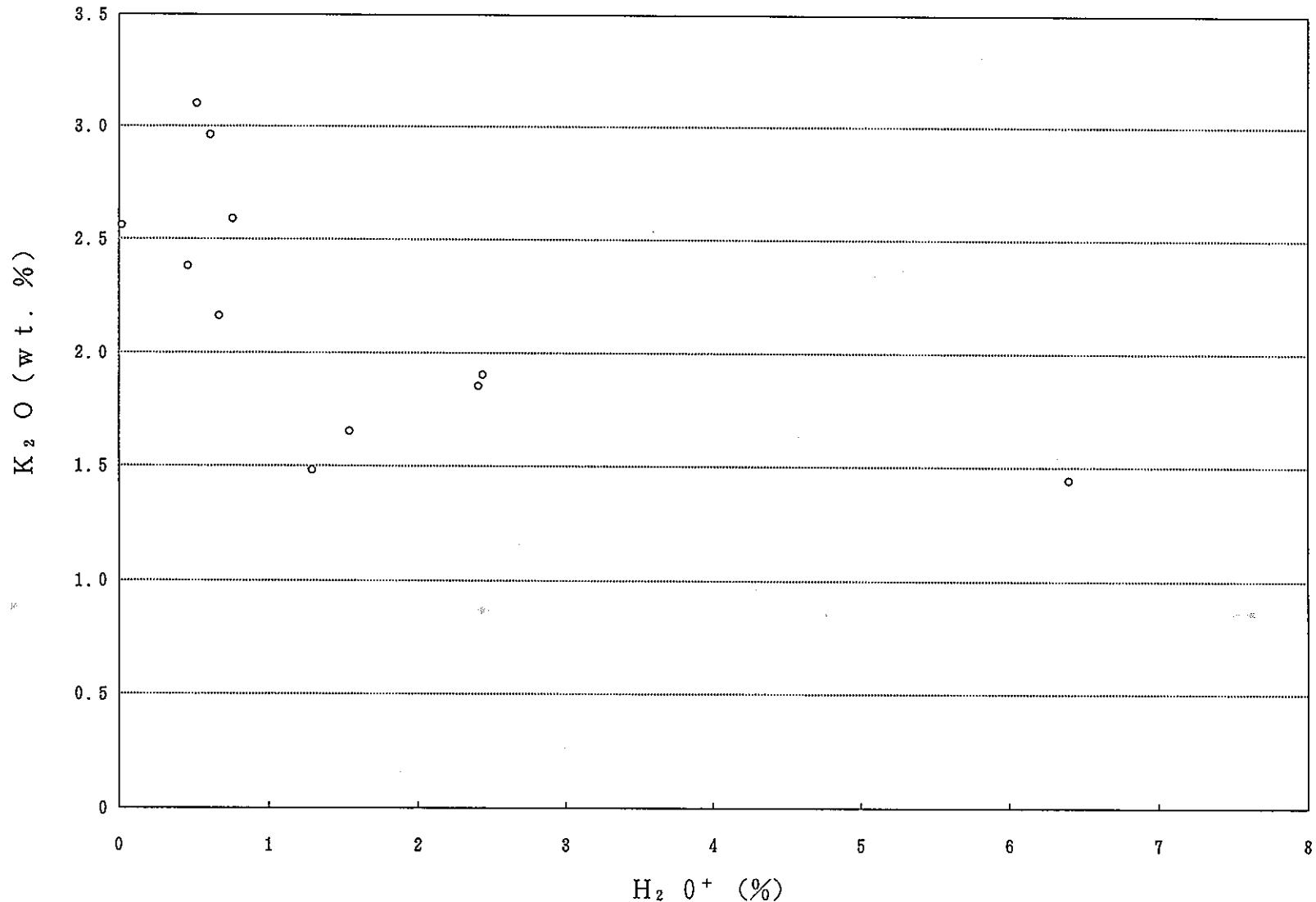


図4-1(2) 火山弾の強熱減量とアルカリ濃度との関係(2)

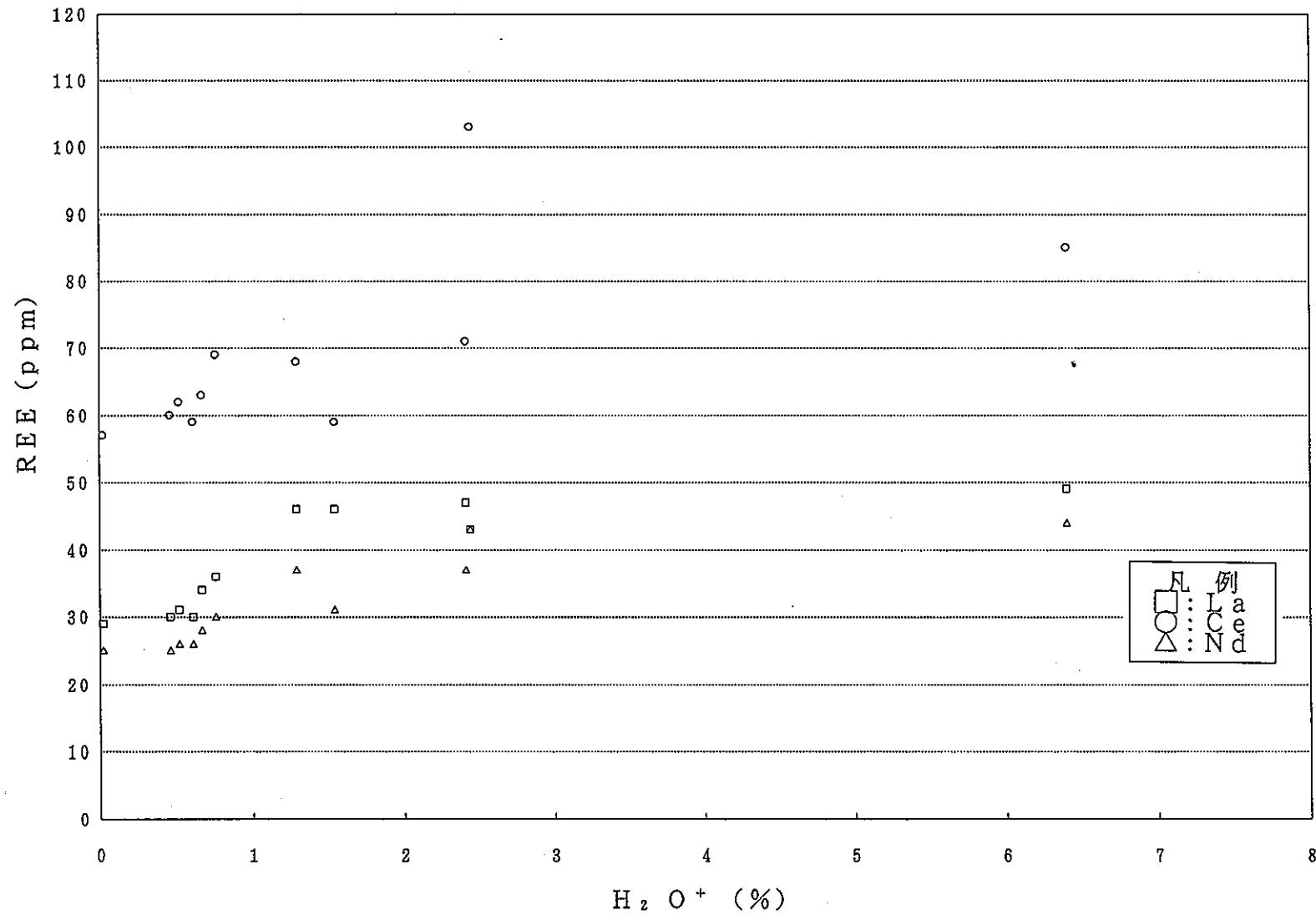


図4-2(1) 火山弾の強熱減量とREE濃度との関係(1)

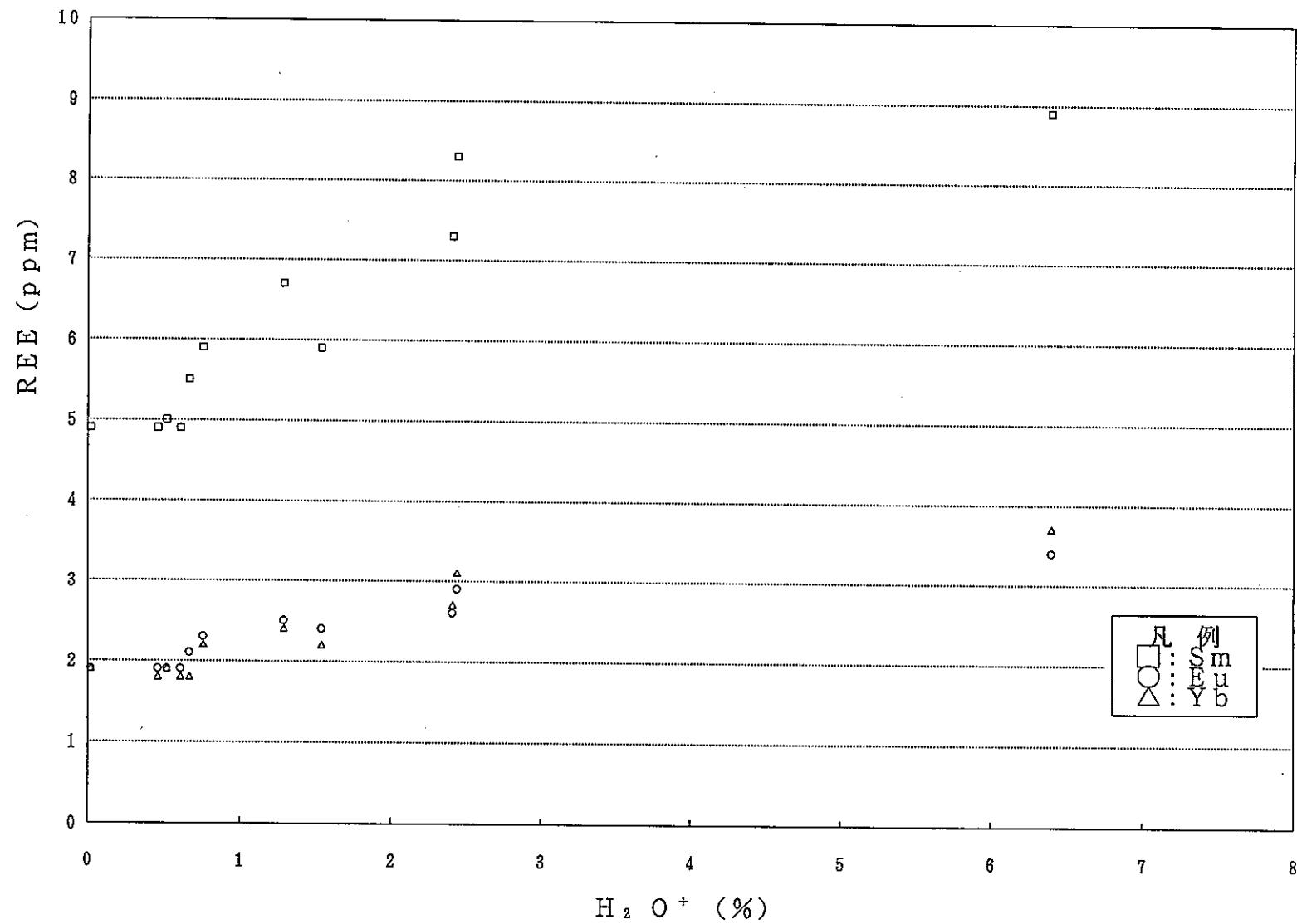


図 4 - 2(2) 火山弾の強熱減量と R E E 濃度との関係(2)

5. 問題点と今後の課題

今回試料とした火山弾の分析結果によって、火山弾を構成する火山ガラスの水和の進行に伴い、アルカリ元素の溶脱が進む一方で、F Pの化学アナログと考えられる希土類群の含有量には変化が認められなかった。このことから、廃棄体ガラスの地質学的時間経過における水和反応ではF Pの浸出がほとんど生じないと予想できることが判明した。

しかし、水和反応による生成物の同定を行うことができていないことと、反応に関与した水についての情報は得られておらず、これらの事柄は今後の課題であると考えられる。さらに、別な地域での同様の検討を行うことによって、水和に伴う元素の溶脱に関する一般的な姿が、より明確になると考えられる。

参考文献

- 応地恭子, 応地善雄, 東山陰地域のアルカリ玄武岩類の岩石学的研究(II) -兵庫県の玄武岩類- : 岩石鉱物鉱床学会誌, v. 52, No.6, p. 198~204, (1964)
- Genbudo Research Group, High-P and Low-Si and -K Quaternary lava from Genbudo, northern Kinki district, Japan : Earth Science (Chikyu Kagaku), v. 43, No. 4, p. 231~236, (1989)
- 三ツ井誠一郎, 長尾敬介, 兵庫県美方郡浜坂町周辺に分布するアルカリ玄武岩について : 日本地質学会第97年学術大会 講演要旨, p. 418, (1990)
- Furuyama, K., Nagao, K., Mitsui, S. and Kasatani, K., K-Ar ages of Late Neogene monogenetic volcanoes in the east San-in district Japan : Earth Science (Chikyu Kagaku), v. 47, No.6, p. 519~532, (1993)
- 日本の地質『近畿地方』編集委員会, 日本の地質 6 近畿地方, 共立出版, p. 111~119, (1987)

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、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てきた。また、平成7年度においては、新たに選定した新潟県西頸城郡に分布するモンモリロナイト含有層を調査し、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。

今年度は、新潟県西頸城郡に分布するモンモリロナイト含有層についての調査を継続して、調査地の貫入現象に伴う熱履歴についての検討等を行った。また、新潟県中条地域のベントナイト鉱床を対象に、モンモリロナイトのNa型のCa型化に関する調査を行った。さらに、既往文献によって高pHの地下水の存在が報告されている南房総嶺岡地域と丹沢地域について、モンモリロナイトの沸石化のナチュラル・アナログ研究の対象としての可能性の検討を行った。

2. 調査地域の概要

2.1 地形

2.1.1 新潟県西頸城

調査地域及びその周辺の地形の概要を図2-1に示す。

本地域は、新潟県西頸城郡能生町南南西で、北陸本線能生駅の南南西約6kmに位置する。本地域の南部には標高1000mを越える起伏の大きい山地があり、それらを取り巻くように中～小起伏の山地が分布している。北部の名立付近及び北東部の高田平野西縁には丘陵地が分布し、その縁片部には小規模ながら洪積台地が分布している。調査地域内は平野の発達に乏しく、海浜部及び河川沿いに小規模に分布しているにすぎない。調査地における最高点は鉢ヶ岳の1316mである。

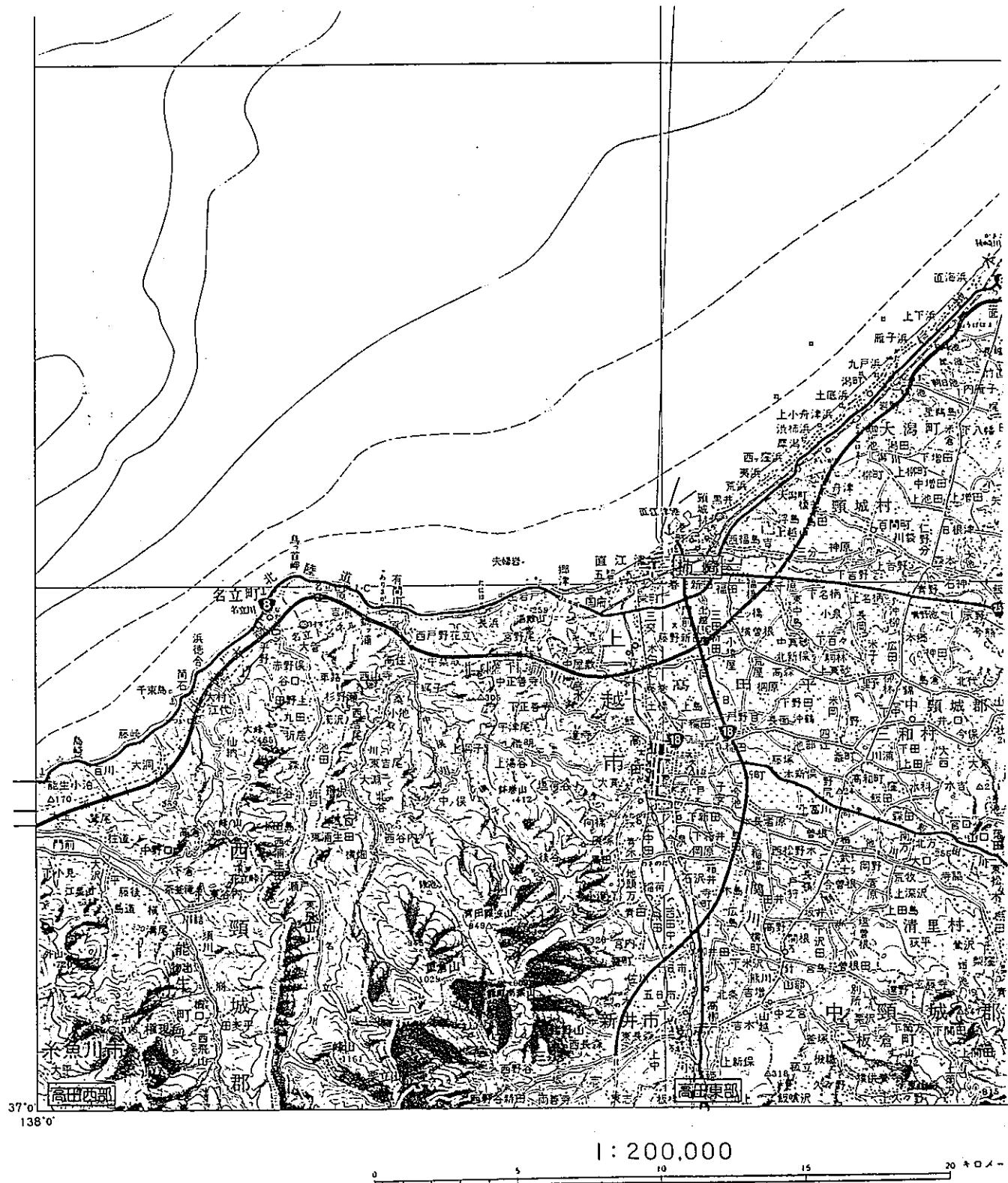


図2-1 新潟県西頸城地域調査位置図

2.1.2 新潟県中条

調査地域及びその周辺の地形の概要を図2-2に示す。

調査地域は新潟県中条市南東部に位置し、南東から北西に向かい、標高400m～600m程度の櫛型山脈及びそれから海側へと続く丘陵地、そして台地～低地及び砂丘地が配列している。調査地の北東には、南東から北西に貫流する胎内川が、これら平行配列した山地～砂丘地に直交するように流れている。



図2-2 新潟県中条地域の地形図

2.1.3 南房総嶺岡

南房総嶺岡及びその周辺の地形の概要を図2-3に、また南房総嶺岡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、嶺岡山地と呼ばれる標高100～400m程度の低い山地からなり、最も高い所でもい愛宕山の標高408mにすぎないが、千葉県の最高所となっている。嶺岡山地はほぼ東西にのびた山地で、その北と南にはそれぞれ加茂川と曾呂川が東流する低地が存在する。

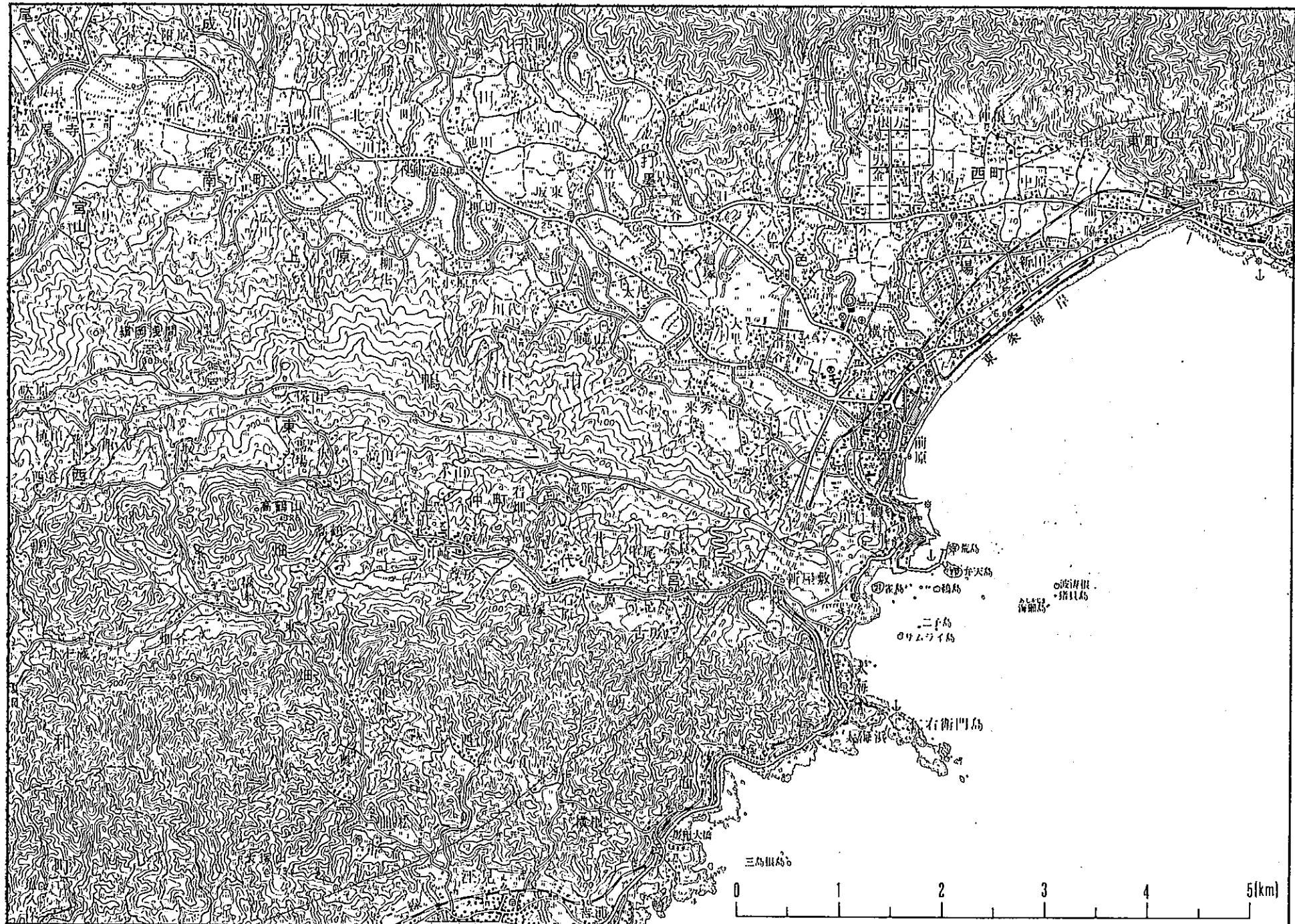
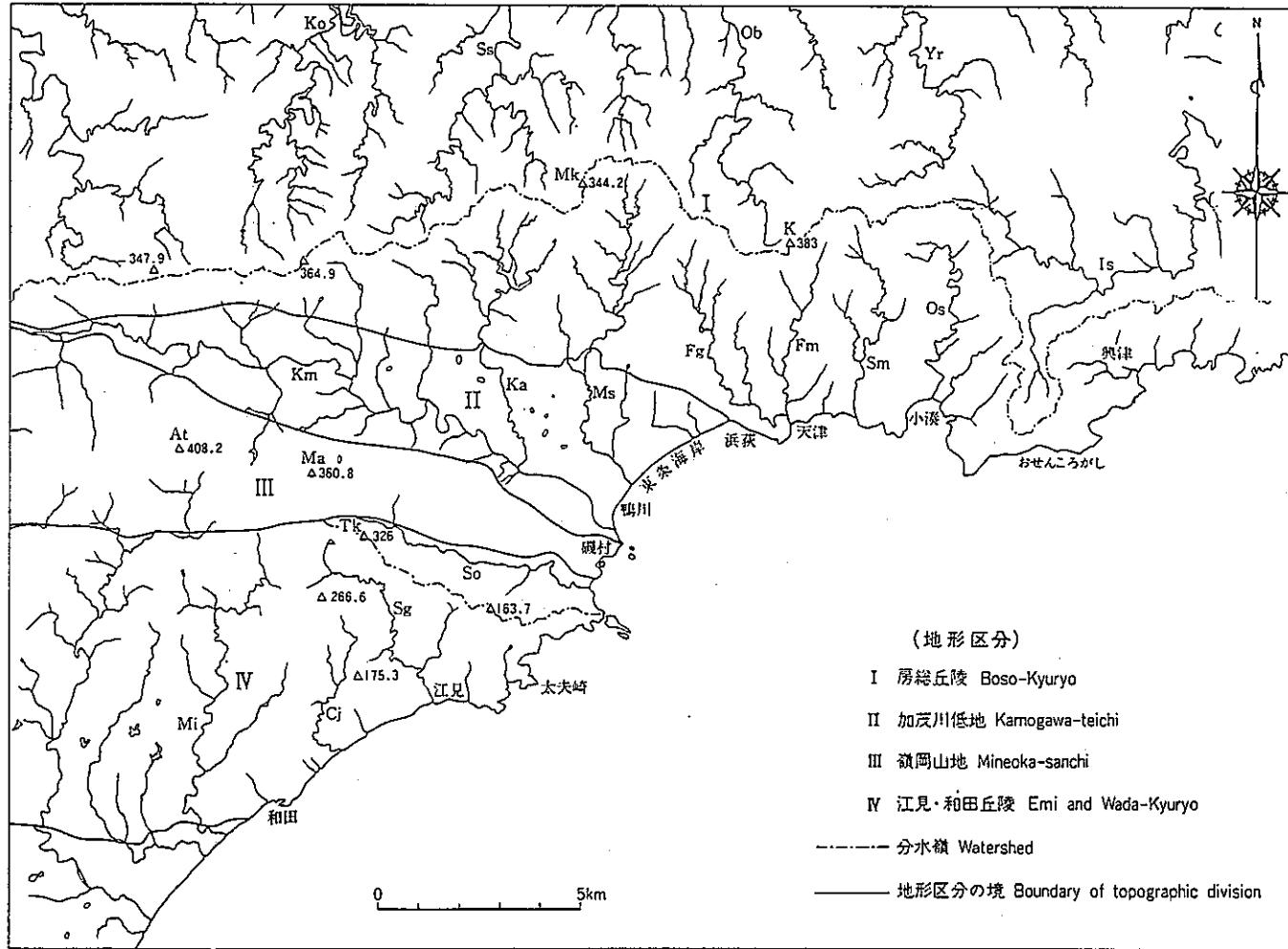


図2-3 南房総領岡地域の地形図



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: 嵐岡浅間 Mk: 元清澄山 Tk: 高越山 (JII) Cj: 長者川 Fg: 袋倉川 Fm: 二間川
Is: 灰瀬川 Ka: 金山川 Km: 加茂川 Ko: 小糸川 Mi: 三原川 Ms: 待崎川 Ob: 小瓶川 Os: 大風沢川 Sg: 舟貝川 Sm: 神明川 So: 曾呂川 Ss: 苍川 Yr: 美老川

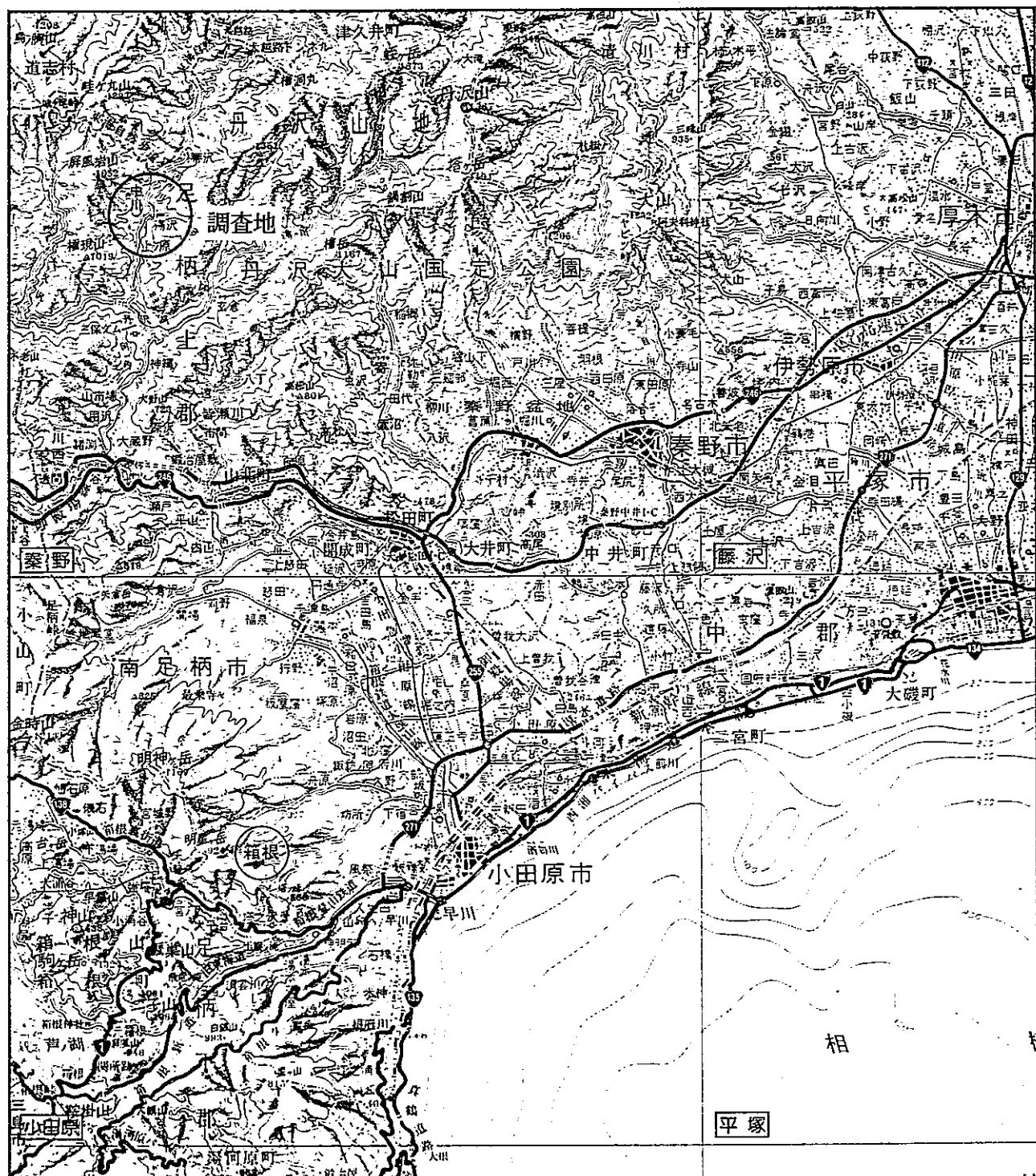
図 2-4 南房総鴨川の水系と地形区分（中嶋ほか, 1981）

2. 1. 4 丹沢地域

調査地域及びその周辺の地形の概要を図2-5に示す。

丹沢山地は、関東平野の西に東西約50km、南北約35kmにわたってひろがり、その中心部は標高1,500m前後の峰々からなっている。

調査地の中川温泉付近は、東西に900～1000m程度の急峻な山地に囲まれた狭い谷地形を呈している。谷の両側は非常に切り立った崖からなり、谷底の低地は狭い範囲に分布するにすぎない。



1: 200,000

図2-5 丹沢地域の地形図

2.2 地質

2.2.1 新潟県西頸城

調査地域の地質図を図2-6に示す。

調査地域は、いわゆるフォッサマグナの最北部に位置し、フリッシュ型互層を主体とする厚い新第三系が分布していることで知られている。西田ほか（1966）をもとに調査地域の主として新第三系の地質状況を以下に記述する。

この地域の層序は、新第三紀の久比岐層群、能生谷層、川詰層、名立層、谷浜層からなり（表2-1参照），第四紀の段丘堆積層、焼山火山噴出物、沖積層等が分布している。

久比岐層群は新第三系の下半分を占める地層で、主に黒色頁岩と細粒砂岩からなり有律互層を形成している。また、スランピングが発達している。この久比岐層群の上位に、黒色泥岩によって特徴づけられる能生谷層が整合に累重している。能生谷層の上部は塊状の厚い泥岩からなるが、下部は砂岩との互層となっている。能生谷層を整合に被覆する川詰層は、凝灰質砂岩を主体として礫岩や泥岩を挟在している。川詰層を整合に被覆する名立層は、泥岩を主体とし、時に火碎岩を挟在する。これらを不整合に被覆する谷浜層は、礫岩や火碎岩を主体とし、泥岩を挟在する。

本地域の新第三紀層は、石英閃緑ひん岩-閃緑ひん岩を主とする岩体に所々で貫入あるいは逆入されており、西頸城半深成岩類と呼ばれている。これらの貫入部の泥岩は微弱ながら変質しているとされている。これらの西頸城半深成岩類の貫入時期は、西田ほか（1966）や赤羽、加藤（1989）では能生谷層より新期の地層に貫入していないことから、能生谷層堆積後で川詰層堆積前と考えられている。一方、茅原ほか（1984）では、谷浜層の火碎岩がこれらの貫入岩類の噴出相であると考えており、この見解によれば、西頸城半深成岩類の貫入時期は谷浜層堆積時と考えられる。

渡辺、佐藤（1986）、佐藤、渡辺（1989）、佐藤ほか（1991）は、久比岐層群、能生谷層、川詰層の泥岩及び砂岩中の粘土鉱物や沸石を調査し、モンモリロナイトが能生谷層上部層以上に地層群にのみ認められ、それよりも下位の地層群にはイライト／モンモリロナイト混合層鉱物が認められること、そしてこの混合層鉱物のイライトの割合が下位ほど大きくなることを見いだし、この粘土鉱物の変化は続成作用による一連のものであると結論づけている（表2-2参照）。

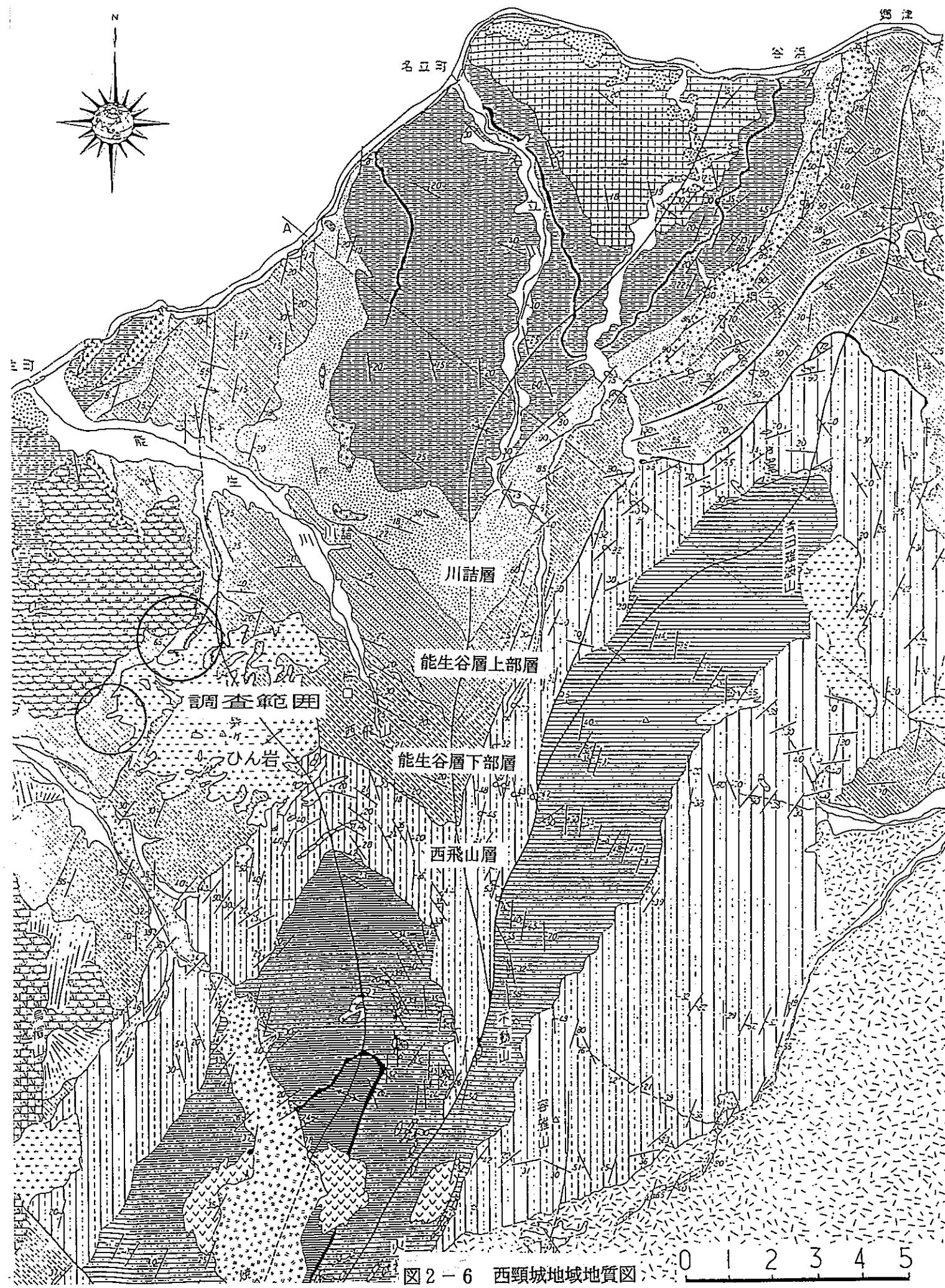


図2-6 西頸城地域地質図

表2-1 新潟県西頸城地域の第三系の層序 (西田ほか, 1966)

地層	地質柱状図	層厚 m	主要岩質
谷浜層		200 400	砾岩, シルト岩, 安山岩質火山円砾岩, 安山岩質溶岩および同質凝灰角砾岩などからなるが, 上部に石英安山岩質円砾岩がある。
名立層		500	全体として灰色泥岩と白灰色中粒~粗粒砂岩との互層からなる。 安山岩質溶岩, 凝灰角砾岩, 凝灰岩を挟む。
川詰層		150 300	淡灰色凝灰質砂岩を主とし砾岩, 黒色頁岩を介在する。
能生谷層	上部	800	塊状黑色頁岩からなるが, 最下部は砂岩頁岩の互層である。
	下部	550	いわゆる 黒色頁岩様の砂質頁岩と淡灰色中粒~粗粒砂岩との厚い互層からなる。砂岩は凝灰質の場合がある。
久比岐層群	西飛山層 上部	1170	<i>slumping structure</i> の著しい暗灰色頁岩と淡灰色細粒~中粒砂岩との互層からなるが, 上部と下部ではみごとな砂泥有鉀互層が発達し, 各種の堆積構造がみられる。 苦灰質團塊を多含する。
	下部	310	主に淡灰色中粒~粗粒砂岩からなり, 部分的に砾岩となる。 暗灰色頁岩を介在する。
火打山層	上部	640	全体として黒色硬質頁岩からなり, 細に灰色中粒砂岩を介在するが, 部分的には砂泥有鉀互層となる。 最下位に曲型的砂泥有鉀互層が発達し, 各種の堆積構造がみられる。
	中部	750	主に着しく葉理を有する黒色硬質頁岩からなる。
	下部	?	粘板岩状黒色硬質頁岩, 緑色凝灰角砾岩からなる。

表2-2 能生地域における第三系の粘土、沸石鉱物（佐藤、渡辺、1989）

Table . List of clay minerals and zeolite found from the Nō district

Formation	Sample No.	Mont.	I/S	Mi.	Ch.	Cp.	R.F.
KAWAZUME F.	85071802	Na/Ca				•	f.s.s.
	85071801	Na				•	f.s.s.
	85071806	Na				•	f.s.s.
NODANI F.	85071809	Ca		•	•		f.s.s.
	85071814	Ca		•	•		b.s.
	85071817	Ca		•	•		b.s.
	85071822	Na/Ca					b.s.
	85072219	Ca		•	•		b.s.
	85072215	Ca		•	•		b.s.
	85072211	Ca		•	•		b.s.
	85072208	Ca		•	•		b.s.
	85073102		• 90%				b.s.
	85072206	Ca		•	•		b.s.
NISHIHIIYAMA F.	85072203	Na/Ca					b.s.
	85072815		• 90%	•	•		b.s.
	85072201		• 90%	•	•		b.s.
	85072813		• 90%	•	•		f.s.s.
	85072810		•	•	•		f.s.s.
	85072807		• 90%	•	•		b.s.
	85072801		• 90%	•	•		f.s.s.
	85073110		• 70%	•	•		f.s.s.
	85073115		• 70%	•	•		b.s.
	85073116		• 70%	•	•		b.s.
	85072401		• 60%	•	•		b.s.
	85072405		•	•	•		f.s.s.
	85072406		• 45%	•	•		b.s.
	85072408		• 50%	•	•		b.s.
	85072409		• 25%	•	•		b.s.
	85072410		•	•	•		b.s.
	85072411		•	•	•		b.s.
	85072415		•	•	•		b.s.
	85072417		• 15%	•	•		b.s.
	85072424		• 10%	•	•		b.s.
	85072431		• 5%	•	•		b.s.
	85072432		• 5%	•	•		b.s.

Mont. : Montmorillonite.

I/S : Illite/smectite interstratified mineral.

Mi. : Mica. Ch. : Chlorite. Cp. : Clinoptilolite.

R.F. : Rock facies. f.s.s. : fine sandstone.

b.s. : black shale

Value in I/S column showing percentage of smectite layers in I/S.

Na, Ca and Na/Ca in Mont. column showing interlayer cation.

2.2.2 新潟県中条

調査地域の地質図を図2-7に示す。

調査地付近は、白亜系の花崗閃緑岩を基盤として、新第三系が広く分布する。そして、平野部ならびに河川沿いに第四系が分布する。これらの地層群は、一般に北東－南西方向に帶状配列しており、櫛形山脈側、すなわち南東から北西に向かって、より新期の地層群が露出している。

基盤岩の花崗閃緑岩は、調査地南東部に広く分布しており、櫛形山脈の主体となっている。

新第三系のうちの中新統は、下位から釜杭層、下関層、内須川層の順に累重し、新潟油田標準層序における津川層から椎谷層の層準に相当している。釜杭層は、本地域での第三系の基底であり、砂岩・礫岩からなる。下関層は、硬質頁岩からなる。そして、内須川層は黒色泥岩からなっている。調査地北東部の鳥坂山付近には、流紋岩の貫入が認められ、この酸性火成活動に伴う凝灰岩類が下関層の下部層準に認められ、ベントナイト化が顕著であり、水沢化学工業株式会社が採掘を行っている。

中新統の北西側には碎屑性堆積物からなる鮮新統の鍬江層、更新統の若土層が分布している。

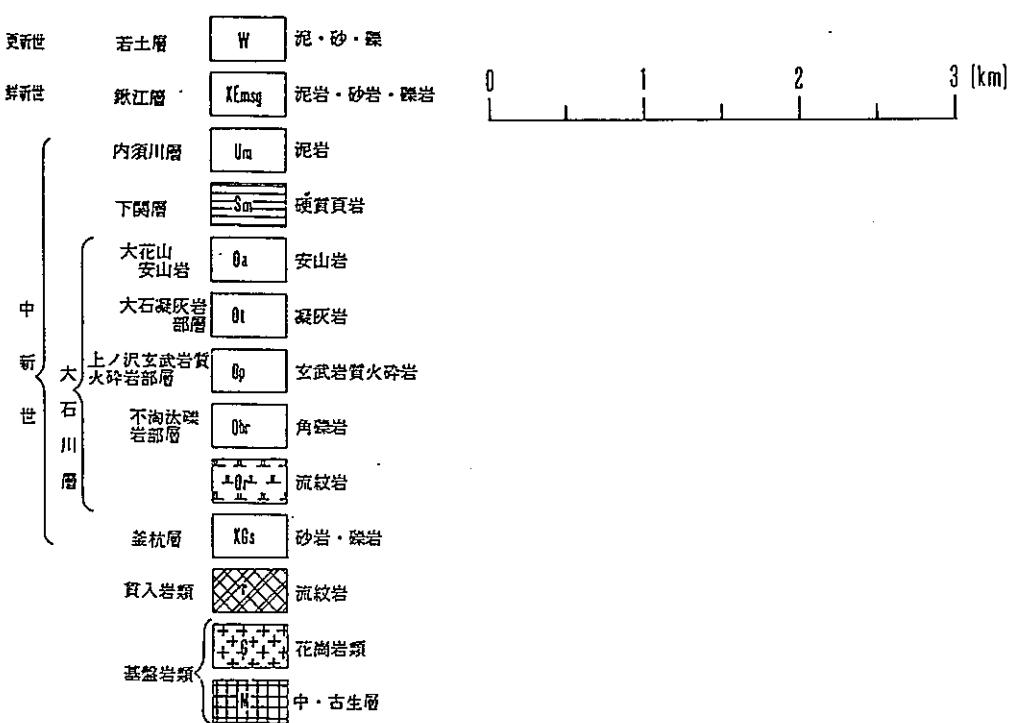
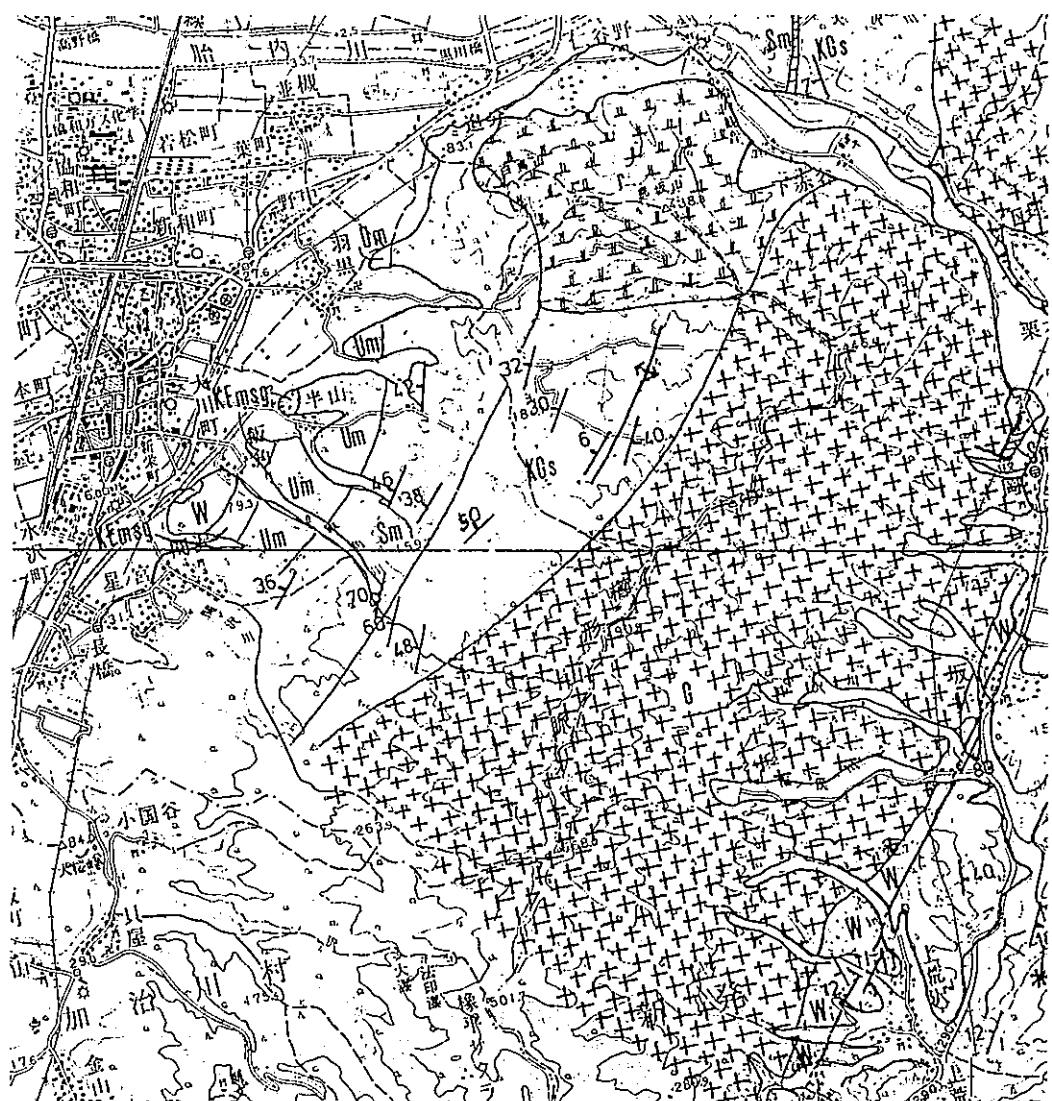


図2-7 新潟県中条地域地質図

2.2.3 南房総嶺岡

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

調査地域には、下位から嶺岡層群、保田層群、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。これらのうち、嶺岡山地の調査地付近には、古第三紀の堆積岩類からなる嶺岡層群とこれらに貫入する超苦鉄質岩類と玄武岩類が分布する。

嶺岡層群は、頁岩・珪質頁岩及び砂岩頁岩互層を主体とし、砂岩・チャート・石灰岩・凝灰岩を伴い、比較的深い海の堆積物からなる。

超苦鉄質岩類は、主として蛇紋岩化の著しい斜方輝石かんらん岩及びダナイトからなり、これらに伴って閃綠岩や斑れい岩の小岩体や岩脈が貫入している。しかし、多くの場合、これらの閃綠岩や斑れい岩と超苦鉄質岩類は断層で接している。

玄武岩類は、嶺岡層群や超苦鉄質岩類に貫入しており、枕状溶岩の構造を示すものが認められる。

千葉県嶺岡帯六価クロム調査班（1978）によれば、1976年に嶺岡地域で飲用に供されている天然水中に6価クロムが検出され、どのような経緯によって天然水に6価クロムが含まれるに至ったかを調査している。地表踏査、湧水の採水と分析、そして溶出試験の結果をもとに、湧水中の6価クロムの起源は蛇紋岩にあると結論している。図2-9に千葉県嶺岡帯六価クロム調査班（1978）による嶺岡山系の地質区分と湧水点位置とその6価クロム濃度を示す。

また、前田、浅野（1993）の記述によれば、嶺岡帯の蛇紋岩の溶出試験において（表2-3参照）、pHが酸性の場合には溶出する総クロム量は多いが3価クロムのみで6価クロムは含まれず、中性付近ではクロムの溶出は認められず、アルカリ性の場合で初めて6価クロムの溶出が認められることが明らかにされている。

これらのことから、南房総嶺岡地域においては、蛇紋岩分布域の中に高アルカリ性の湧水が認められ、天然起源の6価クロムが溶存していることになる。このことは、6価クロムの濃度の高い湧水点が高アルカリ性であると解釈できることになる。

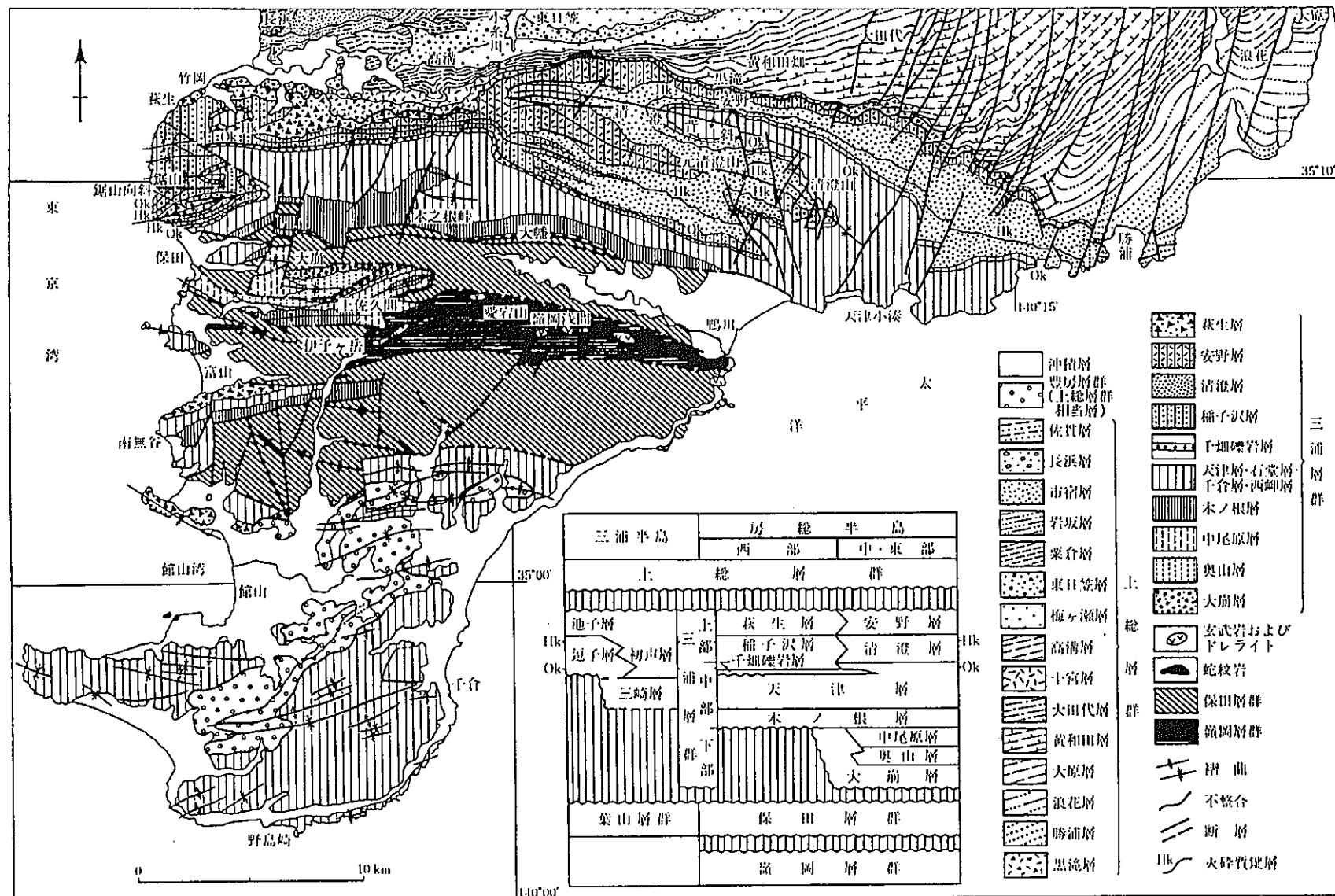
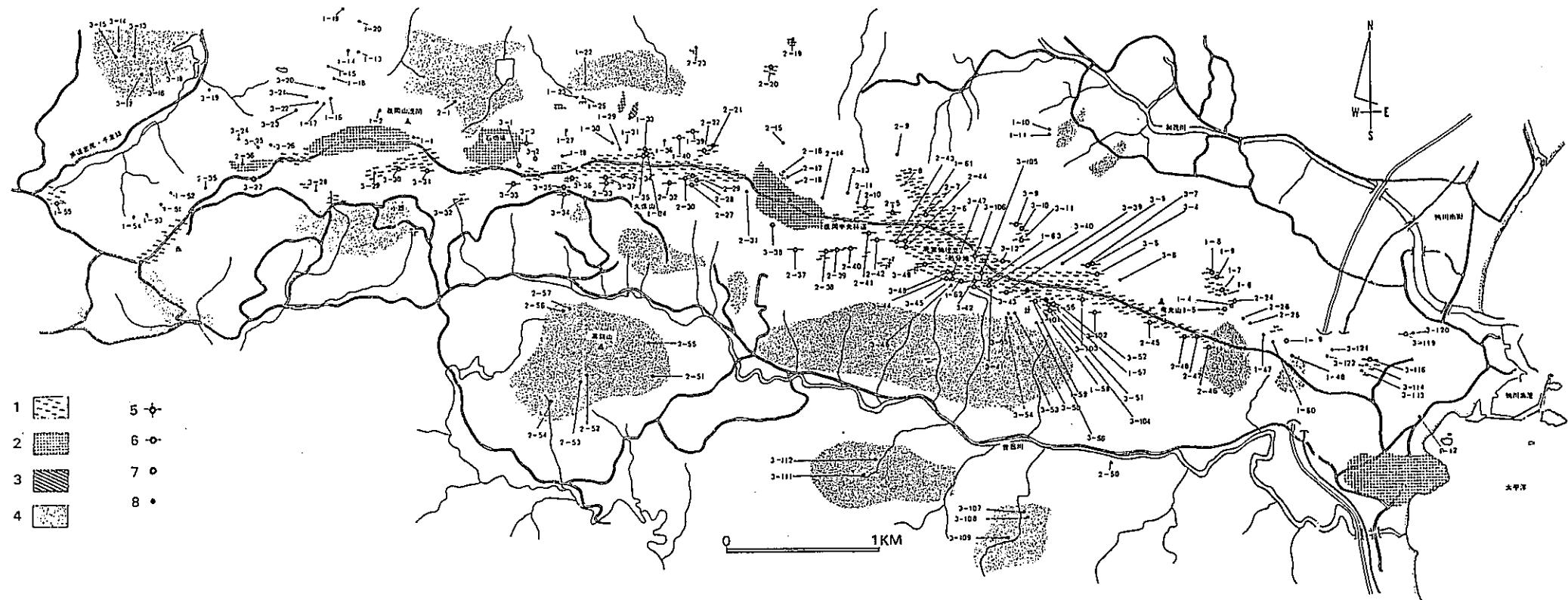


図 房総半島の地質図および房総—三浦半島の層序対比表 (三梨ほか, 1979 を小玉が一部改訂)

図2-8 南房総嶺岡地域の地質図



第4図 岩岡山系地質区分とCr(VI)分析値階級別湧水採取地点。
1: 火成岩, 2: 玄武岩, 3: 関節岩または直レイ岩, 4: 第三紀堆積岩, 5: 0.1 ppm < 湧水のCr(VI)濃度,
6: 0.005 ppm ≤ 湧水のCr(VI)濃度 ≤ 0.1 ppm, 7: 湧水のCr(VI)濃度 < 0.005 ppm, 8: Cr(VI)不
検出。

図2-9 南房総嶺岡の地質区分と湧水点と6価クロム濃度

(千葉県嶺岡帯六価クロム調査班, 1978)

表2-3 南房総嶺岡の蛇紋岩の溶出試験結果（前田、浅賀、1993）

表 蛇紋岩の溶出実験（1）

蛇紋岩を含むケイ酸塩鉱物の粒度	溶出条件	測定時のpH	溶出総クロム[mg/l]	溶出6価クロム[mg/l]
150 メッシュ以上	硫酸酸性溶液	1.5	0.48	0.00
	蒸留水	7.3	0.00	0.00
	水酸化ナトリウムアルカリ性溶液	12.0	0.05	0.05
150~200 メッシュ	硫酸酸性溶液	1.8	0.78	0.00
	蒸留水	7.7	0.00	0.00
	水酸化ナトリウムアルカリ性溶液	12.0	0.11	0.11
200メッシュ以下	硫酸酸性溶液	1.9	1.23	0.00
	蒸留水	7.1	0.00	0.00
	水酸化ナトリウムアルカリ性溶液	12.0	0.11	0.11

表 蛇紋岩の溶出実験（2）

測定時のpH	溶出総クロム[mg/l]	溶出6価クロム[mg/l]
1.9	0.78	0.00
7.6	0.00	0.00
7.9	0.00	0.00
8.0	0.00	0.00
8.2	0.00	0.00
8.3	0.01	0.01
8.4	0.02	0.02
8.5	0.02	0.02
9.5	0.04	0.04
11.1	0.04	0.04
11.3	0.04	0.04
11.7	0.04	0.04
11.9	0.04	0.04
12.1	0.05	0.05
12.2	0.06	0.06

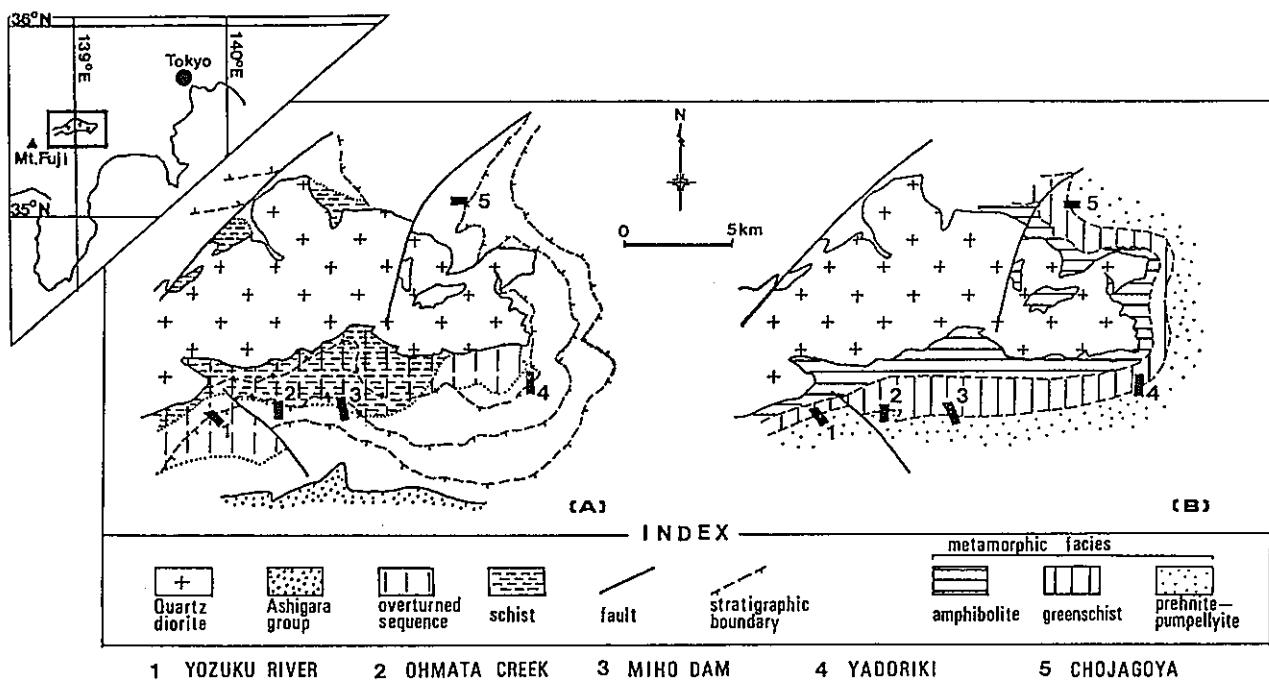
2.2.4 丹沢地域

調査地域の地質図を図2-10に示す。

丹沢地域は、丹沢層群とそれに貫入する石英閃緑岩からなる。丹沢層群は、主として中～塩基性の火山碎屑岩、溶岩及び貫入岩からなり、全層厚は7000～10000mに及んでいる。地質構造は、石英閃緑岩体を地位心として、外側に向かって上位層の分布するドーム状構造を形成しており、一般に下位層ほど急傾斜を示している。特に石英閃緑岩の南側では幅2～4kmにわたって広域的に逆転していることが知られている。

変成作用は沸石相から角閃岩相に及んでいる。特に緑色片岩と角閃岩相に属する岩石は、石英閃緑岩体の南側の幅1～4kmの比較的広い地域に発達している。

大木、平野（1967）によれば、丹沢地域の中川温泉にはpHが10程度の高アルカリ性の地下水が存在することが示されている（表2-4参照）。



第図 丹沢山地の地質構造と変成分帶の概略図。
〔A〕地質構造（滝田，1974；杉山，1976を簡略化）。〔B〕変成分帶（SEKI *et al.*, 1969, 1971; 坂野・
関, 1979を簡略化）。数字1～5は試料採取を行った地域を示す。

図2-10 丹沢地域の地質図

表2-4 中川温泉の源泉の水質分析結果（大木, 平野, 1967）

No.	1 信玄館源泉	2 町営源泉	3 北沢源泉
泉温 (°C)	32.9	32.3	39.6
pH	9.9	10.0	10.3
RpH	7.7		8.1
	Mol/l	Mol/l	Mol/l
Li ⁺	1.26×10^{-5}	9.4×10^{-6}	4.7×10^{-6}
K ⁺	4.89×10^{-5}	3.37×10^{-5}	2.15×10^{-5}
Na ⁺	6.65×10^{-3}	5.78×10^{-3}	8.61×10^{-3}
Ca ²⁺	4.97×10^{-4}	4.37×10^{-4}	8.40×10^{-4}
Mg ²⁺	2.00×10^{-5}	9.9×10^{-6}	
Fe ²⁺	2.7×10^{-6}		
Fe ³⁺			8.0×10^{-7}
Al ³⁺	2.5×10^{-6}		1.2×10^{-6}
Cl ⁻	1.26×10^{-3}	9.83×10^{-4}	1.74×10^{-3}
SO ₄ ²⁻	2.71×10^{-3}	2.27×10^{-3}	3.55×10^{-3}
HCO ₃ ⁻	5.35×10^{-4}	5.68×10^{-4}	4.94×10^{-4}
CO ₃ ²⁻	2.74×10^{-4}	3.41×10^{-4}	2.97×10^{-4}
OH ⁻	8.51×10^{-6}	1.00×10^{-4}	2.00×10^{-4}
HBO ₂	3.01×10^{-5}	3.01×10^{-5}	9.62×10^{-5}
SiO ₂	6.41×10^{-4}		7.69×10^{-4}
イオン強度 Ca ²⁺ の活 動度係数 [Ca ²⁺]	1.10×10^{-2} 6.17×10^{-1} 3.06×10^{-4}	9.86×10^{-3} 6.33×10^{-1} 2.77×10^{-4}	1.55×10^{-2} 5.62×10^{-1} 4.71×10^{-4}

3. 分析・試験

3.1 試料

3.1.1 新潟県西頸城

渡辺, 佐藤 (1986), 佐藤, 渡辺 (1989), 佐藤ほか (1991) の研究により, 統成作用の結果の変質鉱物としてモンモリロナイトのみを含み, イライト/モンモリロナイト混合層鉱物を含んでいないと判断される能生谷層上部層を試料とし, 本層に対する西頸城半深成岩類の貫入による熱変質を検討対象とした。また, 貫入している西頸城半深成岩類のひん岩も検討対象とした。

今年度においては, 前年度のような変質鉱物の累帯構造が一般的であるか否かを検討するために貫入岩体の西側の地域の踏査を行い, 泥質岩の確認を行った。これらの露頭から得られた泥質岩をX線回折分析用試料とした。

さらに, 泥質岩の堆積年代を知る目的で微化石分析用の試料 (S帯) と, 赤羽, 加藤 (1989) の地質図において, 能生谷層上部層の下限付近の層準に相当する金谷凝灰岩層 (西谷内凝灰岩層とも呼ばれる) を上越市高田西部の平山で採取し, ジルコンを用いたフィッショングラフック年代測定用試料とした。

そして, 新鮮なひん岩を採取し, 全岩によるK-Ar年代測定用試料とともに, 鉱物別のフィッショングラフック及びK-Ar年代測定を試みるために, 鉱物分離用の試料を採取した。

以上の試料の採取位置を図3-1に示す。

3.1.2 新潟県中条

現在稼行中の採掘場において, 原地形面が残されている地表面を基準として, 連続的に地層が露出する切羽について, 原地形面から深度2m程度毎に試料採取を行った。ここでは, 深度約6m付近よりも上位では黄褐色, 下位では青灰色を呈している。

また, 採掘場で最も深度的に深い位置 (原地形面からの深度約 58m) での試料も併せて採取した。図3-2に試料を採取した深度を原地形面で整理した概念的な柱状図を示す。

そして, 採掘場中央部付近で湧水が認められた (原地形面からの深度 45m程度) ので, 採水して水質分析に供した。

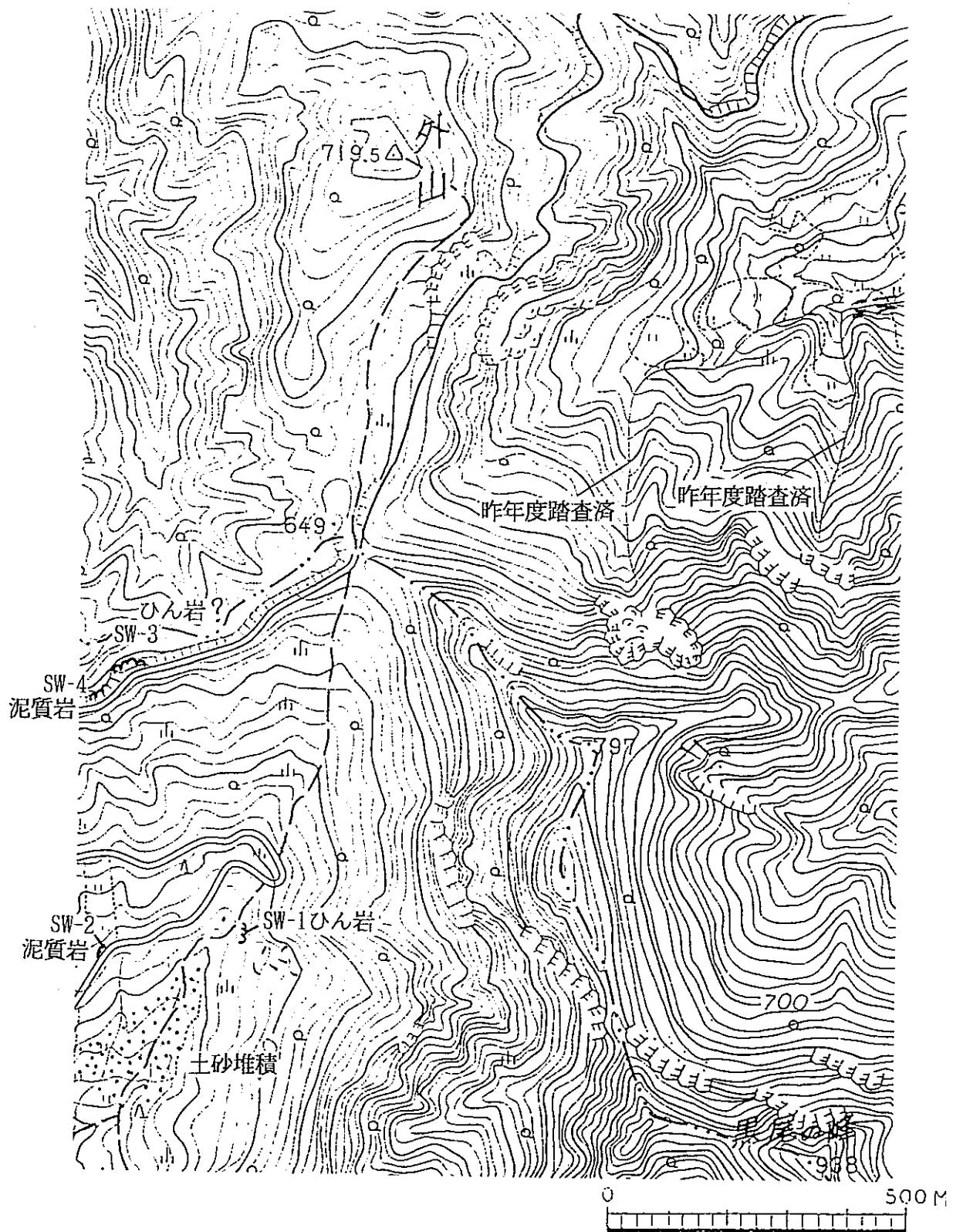
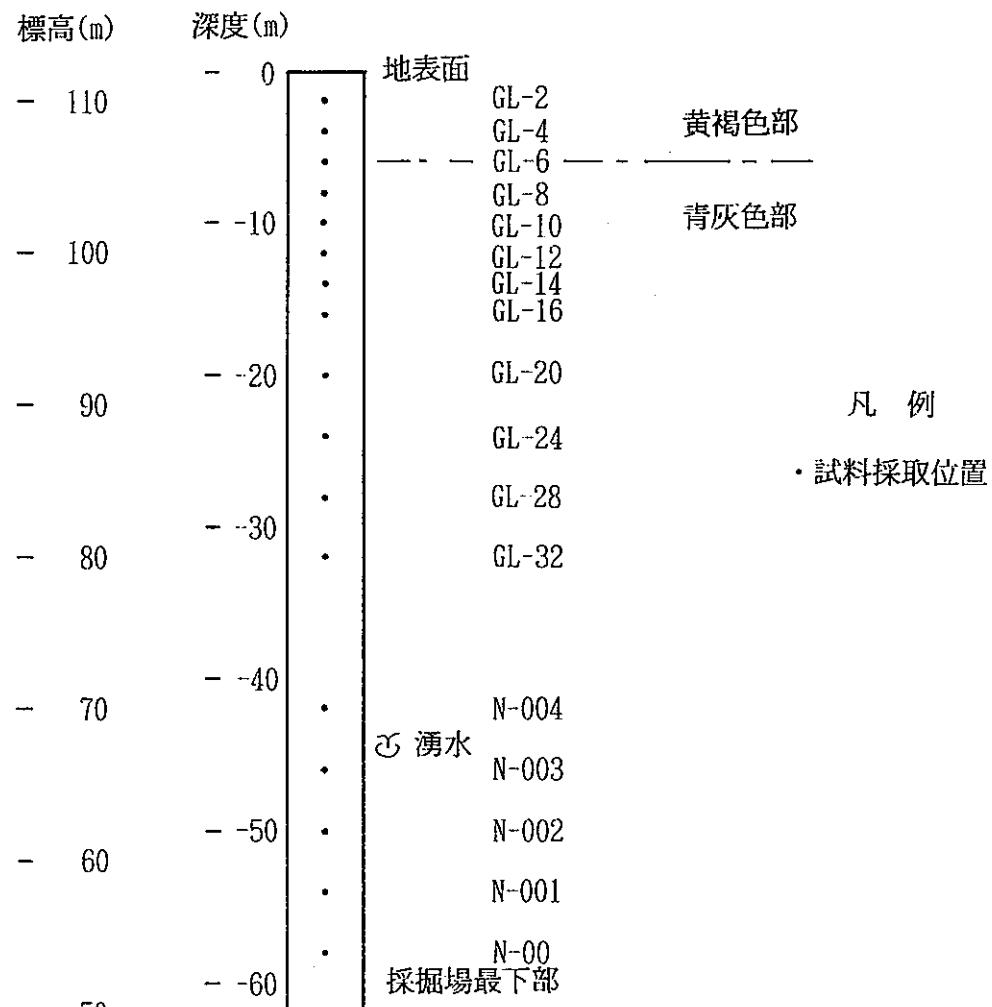
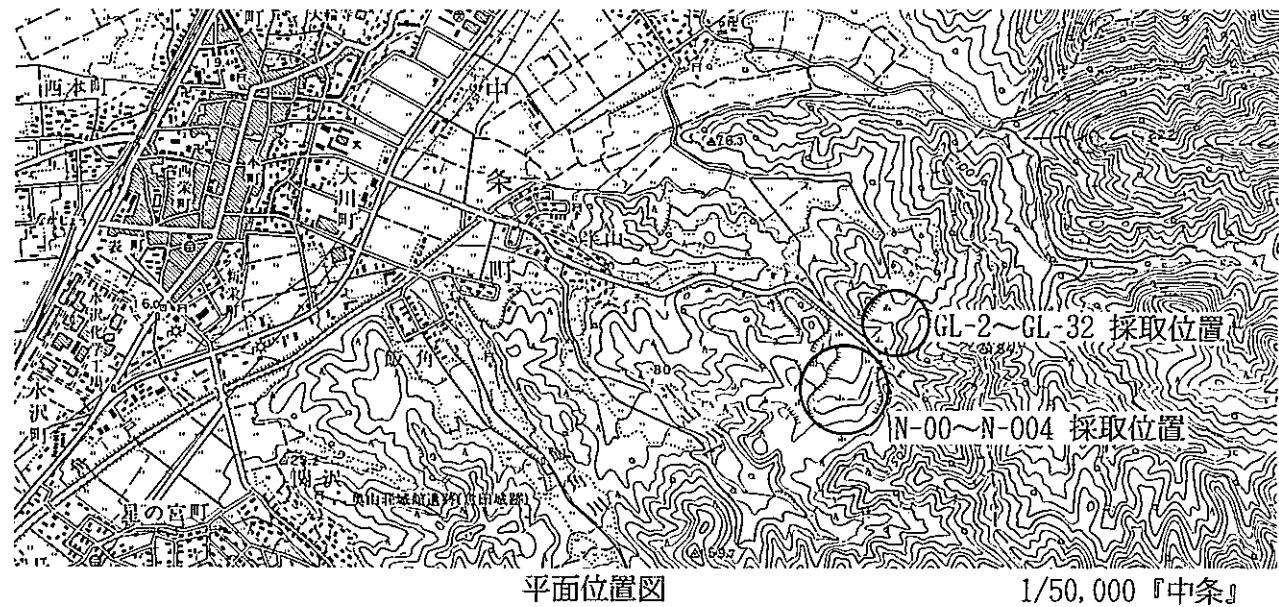


図3-1 新潟県西郷城地域の試料採取位置図



概略柱状図

図3-2 新潟県中条地域の試料採取柱状図

3.1.3 南房総嶺岡

2.2.3で示した図2-9を参考に、6価クロム濃度が比較的高濃度であった湧水点分布域を対象に踏査を行い、携帯用pHメータによって湧水のpH測定を実施して、高アルカリ性を示す湧水点について、湧水と接触している岩石試料を採取する方針をとった。今回調査における湧水点位置及び試料採取位置を図3-3に示す。なお、図3-3中には現地で測定したpHを併記した。

3.1.4 丹沢地域

大木、平野(1967)の報告に基づき、丹沢地域の中川温泉付近を中心に、湧水点を対象に踏査を行い、南房総嶺岡と同様、携帯用pHメータによって湧水のpH測定を実施して、高アルカリ性を示す湧水点について、湧水と接触している岩石試料を採取する方針をとった。今回調査における湧水点位置及び試料採取位置を図3-4に示す。なお、図3-4中には現地で測定したpHを併記した。

3.2 方法

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

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

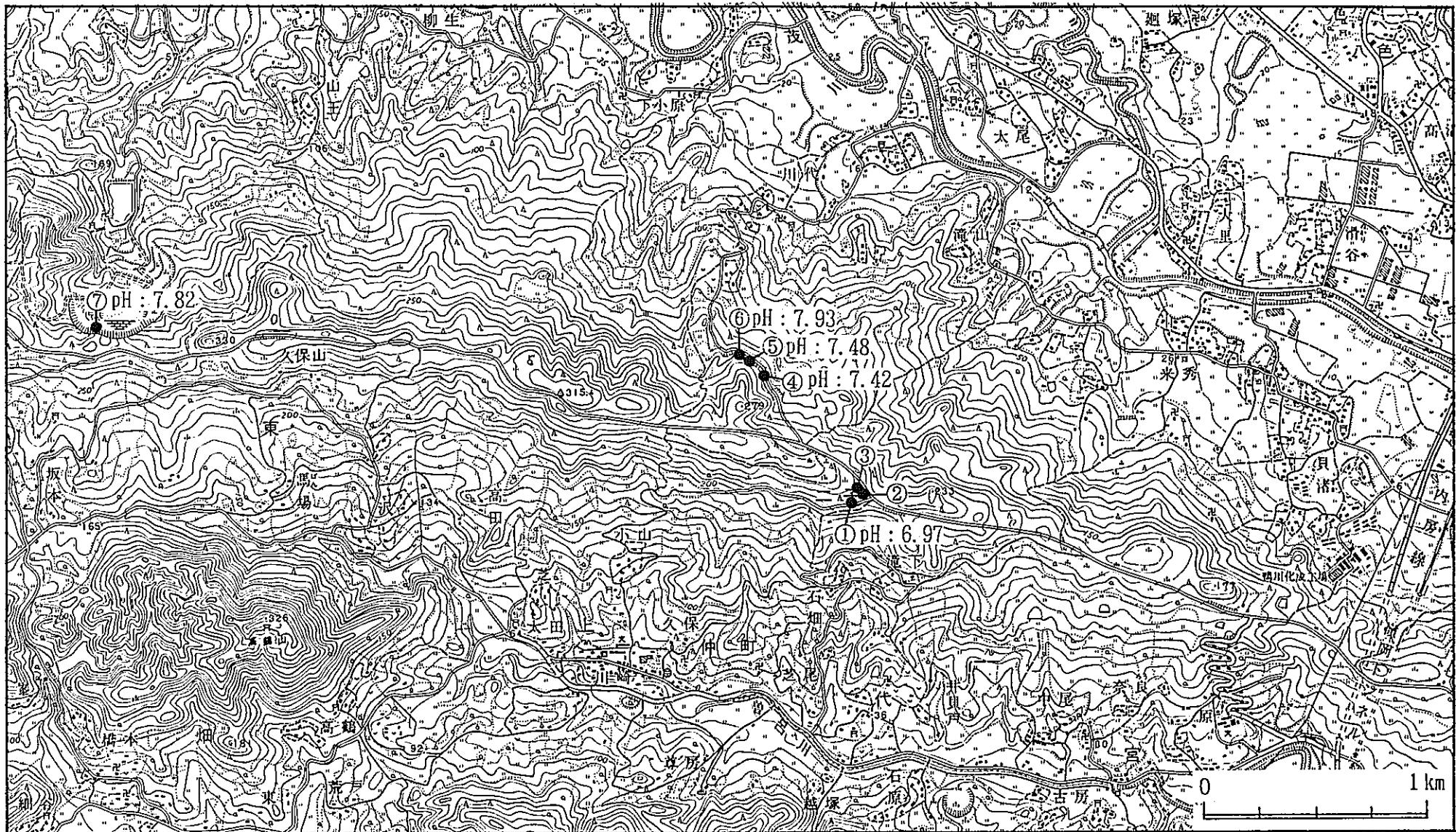


図3-3 南房総嶺岡地域の湧水点位置及び湧水のpH

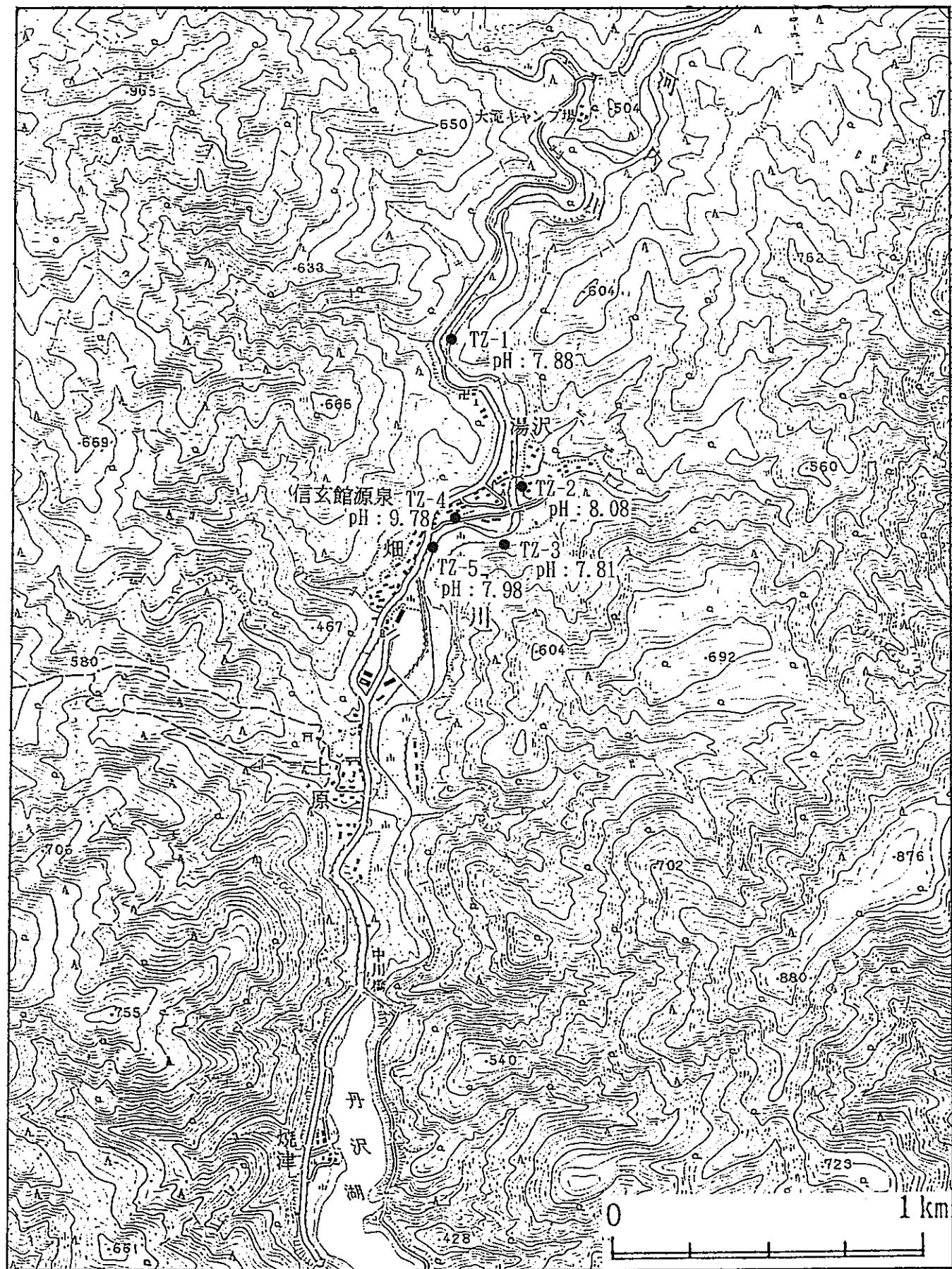


図3-4 丹沢地域の湧水点位置及び湧水のpH

表3-1 X線回折条件

区分	無定位試料	定位試料	定方位試料
対陰極	Cu	Cu	Cu
フィルター	Ni	Ni	Ni
管電流	30 kV	30 kV	30 kV
管電圧	10 mA	10 mA	10 mA
スリット系	1° - 0.3mm-1 °	1° - 0.3mm-1 °	1° - 0.3mm-1 °
走査速度	1° /min.	1° /min.	1° /min.
記録紙速度	10 mm/min.	10 mm/min.	10 mm/min.
フルスケール計数	2000cps	1000cps	1000cps
時定数	1 sec.	1 sec.	1 sec.
走査範囲	2θ = 2~60°	2θ = 2~20°	2θ = 2~20°

3.2.2 絶対年代測定

新潟県西頸城の凝灰岩については、採取した試料からジルコン結晶粒を抽出し、そのフイッショングラム・トラック年代をgrain by grain-外部ディテクター法により測定した。なお、年代産出に際しては、 ^{238}U の自発壊変定数として $7.03 \times 10^{-17}/\text{yr.}$ を用いた。

新潟県西頸城のひん岩については、風化部を除去した試料を粉碎し、60~80メッシュに粒径を揃えた全岩試料、鉱物分離後の角閃石及び斜長石を超音波洗浄してK-Ar年代測定に供した。測定は長尾・板谷(1988)に示された方法に基づき行った。年代の計算に用いた定数は、 $\lambda e = 0.581 \times 10^{-10}/\text{y.}$, $\lambda \beta = 4.963 \times 10^{-10}/\text{y.}$, ${}^{40}\text{K}/\text{K} = 0.01167_{\text{atm}}\%$ である。なお、鉱物分離後のアパタイトをフイッショングラム・トラック年代測定に供した。

3.2.3 顕微鏡観察

西頸城地域の泥質岩の薄片を作成し、偏光顕微鏡を用いて構成鉱物種と組織を観察した。

3.2.4 密度・含水比測定

西頸城地域の泥質岩、中条地域の凝灰岩について、土粒子の密度、含水比、湿潤密度、乾燥密度、間隙比、飽和度の測定を行った。

3.2.5 化学特性試験

西頸城地域の泥質岩、中条地域の凝灰岩について、CEC、MBC、置換性塩類、

pHについて測定を行った。なお、各試験方法を表3-2に示す。

表3-2 化学特性試験の分析・測定方法

区分	分析・測定方法
塩基性置換容量 (CEC)	土壤養分分析法 3.2.1 セミミクロ Schollenberger法
メレングレー吸着量 (MBC)	日本ベントナイト工業会標準試験方法 (JBAS-106-77)
置換性塩類	置換性ナトリウム (Na^+) フレーム光度法 (JIS K 0102)
	置換性カリウム (K^+) フレーム光度法 (JIS K 0102)
	置換性カルシウム (Ca^{2+}) 原子吸光法 (JIS K 0102)
	置換性マグネシウム (Mg^{2+}) 原子吸光法 (JIS K 0102)
pH	日本ベントナイト工業会標準試験方法 (JBAS-105-77)

3.2.6 膨潤度

西頸城地域の泥質岩、中条地域の凝灰岩について、膨潤度の測定を行った。膨潤度の測定は、日本ベントナイト工業会標準試験方法 (JBAS-104-77) に準拠した。

3.2.7 化学組成

西頸城地域の泥質岩、中条地域の凝灰岩について、化学組成の分析を行った。化学組成の分析は、地質調査所 (1978) の「地質調査所化学分析法 地球科学的試料の化学分析法 2」に準拠した。

3.2.8 热伝導率測定

西頸城地域に分布する泥質岩及びひん岩について、熱伝導率測定を実施した。測定は、JIS R2618 の非定常法（耐火断熱れんがの熱線法による熱伝導率の試験法）に準拠したボックス・プローブ法によって行った。

3.2.9 微化石分析

西頸城地域に分布する泥質岩について、石灰質ナンノプランクトン、珪藻、有孔虫について微化石分析を実施した。

3.2.10 水質分析

中条地域で認められた湧水について、水質分析を実施した。分析方法を表3-3に示す。

3.3 分析結果

3.3.1 X線回折分析

表3-4に新潟県西頸城地域の試料のX線回折分析結果を示す。また、新潟県中条地域の試料のX線回折分析結果を表3-5に、そして、南房総嶺岡及び丹沢地域の試料のX線回折分析結果を表3-6に示す。

なお、新潟県西頸城地域の試料において認められたイライト／モンモリロナイト混合層鉱物については、渡辺（1981）の方法を用いてイライト化率を見積もった。

3.3.2 絶対年代測定

西頸城地域に分布する能生谷上部層の泥質岩の下限の層準に極めて近い凝灰岩層（金谷凝灰岩）について実施した、ジルコンを用いたフイッショントラック年代測定結果を表3-7に示す。さらに、西頸城地域のひん岩についての全岩、鉱物分離後の角閃石、斜長石のK-Ar年代測定結果を表3-8に示す。そして、西頸城地域のひん岩についての鉱物分離を経た鉱物毎のフイッショントラック年代測定結果も併せて表3-8に示す。

3.3.3 顕微鏡観察

西頸城地域の泥質岩薄片の鏡下で観察された特徴を表3-9に示す。

3.3.4 密度・含水比測定

西頸城地域の泥質岩、中条地域の凝灰岩についての密度・含水比の測定結果を表3-10に示す。

3.3.5 化学特性試験

西頸城地域の泥質岩、中条地域の凝灰岩について実施したCEC、MBC、置換性

表3-3 水質分析項目及び分析方法

項目	測定機器・分析方法
pH	ガラス電極法 (JIS K 0101)
EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	電気伝導度計 (JIS K 0101)
Na^+	フレーム光度法 (JIS K 0102)
K^+	フレーム光度法 (JIS K 0102)
Ca^{2+}	原子吸光法 (JIS K 0102)
Mg^{2+}	原子吸光法 (JIS K 0102)
HCO_3^-	滴定法 (JIS K 0102)
SO_4^{2-}	イオンクロマトグラフ法 (JIS K 0102)
Cl^-	イオンクロマトグラフ法 (JIS K 0102)
CO_3^{2-}	滴定法 (JIS K 0101)
SiO_2	モリブデン黄法 (JIS K 0101)

表3-4 新潟県西頸城地域のX線回折分析結果

試料名	緑泥石	緑泥石モリロナイト混合物	イライト	イランナイト	モンモリロナイト	斜長石	石英	普通角閃石	方解石
SW-2	・		・		・	△	◎		
SW-4	・		・		△	○	◎		
ひん岩	△					◎	◎	・	
I帯	・		・			△	◎		△
I/S帯	・			・		○	◎		
S帯	△			・	△	△	◎		

相対含有量：◎多量，○中量，△少量，・微量

表3-5 新潟県中条地域のX線回折分析結果

試料名	鉱物名 モンモリロナイト	斜長石	石英	α -クリストバライド	モンモリロナイトの タイプ
GL-2m	○	△		△	Ca
GL-4m	◎	△		△	Ca
GL-6m	○			○	Ca
GL-8m	◎	△			Ca
GL-10m	◎	△		・	Ca
GL-12m	○	△		○	Ca
GL-14m	○	○		・	Ca
GL-16m	◎	△		△	Ca
GL-20m	○	△		・	Ca
GL-24m	○			○	Ca
GL-28m	○	・		△	Na
GL-32m	◎	・		・	Na/Ca
N-004(GL-42m)	◎	・	・	○	Na/Ca
N-003(GL-46m)	◎	△	△	△	Na/Ca
N-002(GL-50m)	◎		・	△	Na
N-001(GL-54m)	◎		○	△	Na
N-00 (GL-58m)	○		△	○	Na

相対含有量：◎多量，○中量，△少量，・微量

表3-6 南房総嶺岡および丹沢地域のX線回折分析結果

試料名	鉱物名 蛇紋石 绿泥石 沸石 石英 斜長石 方解石
南房総嶺岡	2 ◎
	6 ◎
丹沢地域	TZ-3 △ · ○ △ △

相対含有量：◎多量，○中量，△少量，・微量

表3-7 フィッシュン・トラック年代測定結果一覧表

試料名	対象鉱物名	自発核分裂飛跡		誘導核分裂飛跡		熱中性子フルエンス		結晶数	相関係数 r	ウラン濃度 (ppm)	年代値 (ma)
		Ns	$\rho s(1/cm^2)$	Ni	$\rho i(1/cm^2)$	nd	$\rho d(1/cm^2)$				
金谷凝灰岩	ジルコン	268	4.10×10^5	1029	1.57×10^6	1211	7.87×10^4	30	0.549	160	7.6 ± 0.6
ひん岩	アパタイト	50	2.09×10^4	60	2.51×10^4	1283	8.33×10^4	30	-0.031	2	10.5 ± 2.0 *

* : 本試料中には、 α トラック以外の結晶内の傷が多く、エッチング処理後の両者の分離が困難であるため参考値とする。なお、確実に α トラックと認定されるもののみを計数すると、30個の試料中で3飛跡となり、この場合の年代値は 0.6 ± 0.4 Ma. となる。

表3-8 K-Ar年代測定結果一覧表

試料No.		^{40}Ar (10^{-8}ccSTP/g)	Non Rad Ar (%)	K (wt%)	年代値 (Ma)	
ひん岩	全 岩	8.76 ± 0.59	72.5	1.892 ± 0.038	1.19 ± 0.08	
		8.22 ± 0.57	73.9		1.12 ± 0.08	
	斜長石	0.60 ± 0.60	96.1	0.17 ± 0.03	0.94 ± 0.96	
		0.34 ± 0.34	97.9		0.53 ± 0.55	
	角閃石	$^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar} = 293.1$ で測定不能			0.21 ± 0.03 — * — *	
		$^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar} = 294.3$ で測定不能				

* : $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ の大気平衡値は約295であり、この値を下回るものは、基本的に放射性壞変起源のArの蓄積が認められることになる。

表3-9 新潟県西頸城地域の泥質岩の薄片観察結果

試料名	構成鉱物種(粒子)	基質の状況	備考
S 帯	石英>斜長石>岩片>輝石類、有孔虫化石 不透明物質を含む 粒径は 0.2mm以下 化石以外は円磨度が非常に低い	開放ニコル下で褐色を呈する	非常に弱い葉理が認められる
I／S帯	石英>斜長石>岩片>黒雲母、輝石類 不透明物質を含む 粒径は 0.2mm以下 円磨度が非常に低い	開放ニコル下で褐色を呈する	非常に弱い葉理が認められる
I 帯	石英>斜長石>岩片 不透明物質を含む 粒径は 0.2mm以下 円磨度が非常に低い 径 1~2mm のペレット状物質を数個含む	開放ニコル下で褐色を呈する 大部分は波動消光するミクライトからなる	非常に弱い葉理が認められる ペレット状物質も大部分ミクライトからなる

表3-10 新潟県西頸城地域の泥質岩の物理試験結果

変質帶	I 帯	I／S帯	S 帯
土粒子の密度 (g/cm ³)	2.740	2.711	2.697
含水比 (%)	0.95	6.87	6.99
湿潤密度 (g/cm ³)	2.404	2.281	2.231
乾燥密度 (g/cm ³)	2.381	2.135	2.085
間隙比	0.151	0.270	0.294
飽和度 (%)	17.3	68.9	64.6

塩類、pHの測定結果をそれぞれ表3-11及び表3-12に示す。

3.3.6 膨潤度

西頸城地域の泥質岩、中条地域の凝灰岩について実施した膨潤度の測定結果をそれぞれ表3-11及び表3-12に併記した。

3.3.7 化学組成

西頸城地域の泥質岩、中条地域の凝灰岩について実施した化学組成の分析結果をそれぞれ表3-13及び表3-14に示す。また、中条地域の凝灰岩について実施したCO₂、SO₃、T-Sの分析結果を表3-15に示す。

3.3.8 热伝導率測定

西頸城地域に分布する泥質岩及びひん岩について実施した熱伝導率測定結果を表3-16に示す。

3.3.9 微化石分析

石灰質ナンノ化石の分析結果を表3-17に、珪藻化石の分析結果を表3-18に、そして有孔虫化石の分析結果を表3-19に示す。

3.3.10 水質分析

中条地域で認められた湧水について実施した水質分析結果を表3-20に示す。またその結果から作成したヘキサダイヤグラムを図3-5に示す。

表3-11 新潟県西頸城地域の泥質岩の化学特性試験結果

変質帶		I 帯	I/S帶	S 帯
pH		9.1	5.6	7.5
C E C (meq/100g)		4.5	11.6	14.3
置換性塩類	Na (meq/100g)	0.1	0.1	0.1
	K (meq/100g)	0.2	0.3	0.2
	Ca (meq/100g)	24.1	7.8	12.9
	Mg (meq/100g)	0.5	3.2	4.1
M B C (meq/100g)		10	21	9
膨潤度 (ml/2g)		0.5 以下	0.5	1.5

表3-12 新潟県中条地域の凝灰岩の化学特性試験結果

試料名		N-2 (GL-2m)	N-8 (GL-8m)	N-32 (GL-32m)	N-00 (GL-58m)
pH		6.8	9.6	9.8	9.8
C E C (meq/100g)		54.1	58.8	71.9	61.1
置換性塩類	Na (meq/100g)	1.3	4.4	27.1	34.0
	K (meq/100g)	1.4	2.3	4.4	2.5
	Ca (meq/100g)	13.3	22.4	19.8	12.5
	Mg (meq/100g)	21.9	28.6	21.8	11.9
M B C (meq/100g)		36	46	80	74
膨潤度 (ml/2g)		2.0	2.0	3.0	4.0

表3-13 新潟県西頸城地域の岩石の化学成分一覧表

(単位はwt%)

試 料	ひん岩	I帯	I／S帯	S帯
SiO ₂	64.42	56.95	67.76	71.75
TiO ₂	0.41	0.58	0.70	0.49
Al ₂ O ₃	16.15	12.49	16.53	13.14
Fe ₂ O ₃	2.48	0.49	1.58	1.30
MnO	0.12	0.15	0.02	0.03
MgO	1.79	2.10	1.45	1.25
CaO	4.58	8.04	0.79	1.44
Na ₂ O	3.75	2.12	2.29	2.55
K ₂ O	1.62	2.22	2.98	2.87
P ₂ O ₅	0.18	0.77	0.14	0.18
強熱減量	1.35	7.53	4.07	3.09
計	99.16	98.94	100.30	100.01
湿 分	0.55	0.67	5.90	6.18

表3-14 新潟県中条地域の岩石の化学成分一覧表

(単位はwt%)

試料	N-00	N-8	N-2
SiO ₂	75.64	65.08	70.89
TiO ₂	0.14	0.16	0.15
Al ₂ O ₃	11.94	17.31	15.22
Fe ₂ O ₃	1.50	2.08	2.03
MnO	0.01	0.02	0.01
MgO	4.38	5.63	3.61
CaO	0.58	1.41	0.67
Na ₂ O	1.58	0.73	0.59
K ₂ O	0.48	1.53	3.59
P ₂ O ₅	0.01	0.01	0.02
強熱減量	3.84	4.70	3.72
計	100.46	100.07	100.58
湿分	18.16	17.45	13.07

表3-15 新潟県中条地域の岩石のCO₂，SO₃，全硫黄

(単位はwt%)

試料	N-00 (GL-58m)	N-004 (GL-42m)	GL-32m	GL-8m	GL-2m
CO ₂	0.07	0.11	0.09	0.07	0.04
SO ₃	0.05	0.02	0.02	0.13	0.02
T-S	0.05	0.09	0.08	0.09	0.01

表3-16 西頸城の泥質岩及びひん岩の熱伝導率測定結果

試料名	測定値 (kcal/m · h · °C)						換算値 ×10E-3 (cal/cm · s · °C)
	1	2	3	4	5	平均値	
S 帯	1.526	1.638	1.576	1.602	1.510	1.570 ±0.024	4.362 ±0.066
I／S帶	1.449	1.386	1.322	1.449	1.393	1.400 ±0.024	3.888 ±0.066
I 帯	2.052	2.172	2.238	1.969	2.308	2.148 ±0.061	5.966 ±0.171
ひん岩	1.932	1.918	1.918	1.893	1.918	1.916 ±0.006	5.322 ±0.018

表3-17 新潟県西頸城地域の石灰質ナンノ化石分析結果

種類	
<i>Coccilithus pelagicus</i> (Wallich) Schiller	91
<i>Helicosphaera kampfneri</i> Hay & Mohler	1
<i>Helicosphaera</i> spp.	2
<i>Reticulofenestra minuta</i> Roth	1
<i>Reticulofenestra minutula</i> (Gartner) Haq & Berggren	6
Unknown	2
石灰質ナンノ化石総数	103

表3-18 新潟県西頸城地域の珪藻化石分析結果

種類	生態性			環境指標種	
	鹽分	pH	流水		
<i>Achnanthes japonica</i> H. Kobayasi	Ogh-ind	al-il	r-bi	J, T	2
<i>Achnanthes lanceolata</i> (Breb.) Grunow	Ogh-ind	ind	r-ph	K, T	1
<i>Cocconeis placentula</i> (Ehr.) Cleve	Ogh-ind	al-il	ind	U	1
<i>Cymbella sinuata</i> Gregory	Ogh-ind	al-il	r-ph	K, T	1
<i>Navicula viridula</i> (Kuetz.) Kuetzing	Ogh-ind	al-il	r-ph	K, U	1
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (Ag.) Lange-Bertalot	Ogh-hil	al-il	l-ph	K, T	3
海水生種合計					0
海水-汽水生種合計					0
汽水生種合計					0
淡水生種合計					9
珪藻化石總數					9

凡例

H.R.: 塩分濃度に対する適応性	pH: 水素イオン濃度に対する適応性	C.R.: 流水に対する適応性
Ogh-ind: 貧塩不定性種	al-il: 好アルカリ性種	l-ph: 好止水性種
Ogh-hil: 貧塩好塩性種	ind : pH 不定性種	ind : 流水不定性種 r-ph: 好流水性種 r-bi: 真流水性種

環境指標種

J: 上流性河川指標種 K: 中～下流性河川指標種 (以上は安藤, 1990)
U: 広適応性種 T: 好清水性種 (以上は Asai,K. & Watanabe,T.1995)

表3-19 新潟県西頸城地域の有孔虫化石分析結果

種名	産出頻度	V R
	保存状態	C - B
浮遊性種		
<i>Globigerina quinqueloba</i> Natland		1
<i>Globigerina</i> spp.		2
<i>Globigerinita glutinata</i> (Egger)		1
底生種		
<i>Bolivina robusta</i> Brady		4
<i>Trifarina kokozuraensis</i> (Asano)		1
<i>Epistominella pulchella</i> Husezima & Maruhashi		6

表3-20 新潟県中条の湧水の水質分析結果

試料番号	中条-1	
試料の種類	湧水	
採取日	1995.11.14	
pH	7.5	
EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1950	
	mg/ ℓ	meq/ ℓ
Na ⁺	331	14.4
K ⁺	6.1	0.16
Ca ²⁺	5.1	0.25
Mg ²⁺	4.3	0.35
陽イオン合計	—	15.16
HCO ₃ ⁻	35.7	0.59
SO ₄ ²⁻	682	14.2
Cl ⁻	10.3	0.29
CO ₃ ²⁻	0.03	0.00
陰イオン合計	—	15.08
SiO ₂	17.6	—

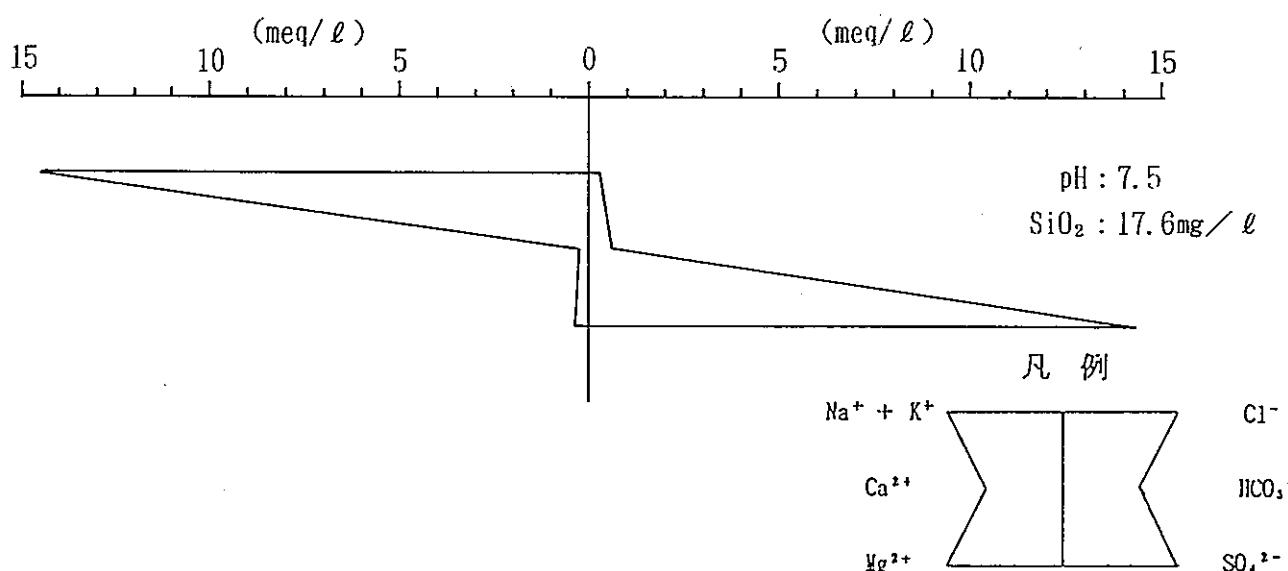


図3-5 新潟県中条地域の湧水のヘキサダイヤグラム

4. 考 察

新潟県西頸城地域については、調査・分析結果をもとに火成岩貫入岩体の熱履歴に関して考察を試みる。新潟県中条地域については、当地域に分布するモンモリロナイトの交換性陽イオンについて、風化によるNa型のCa型化のナチュラル・アナログ研究のフィールドとしての適性について考察する。そして、南房総嶺岡地域及び丹沢地域については、モンモリロナイトの沸石化のナチュラル・アナログ研究のフィールドとしての適性について考察するものとする。

4.1 新潟県西頸城

4.1.1 変質帶

今年度までに得られた資料に基づき、本地域における変質帶の分布について整理する。

本地域に分布する泥質岩には、構成鉱物として、緑泥石、緑泥石／モンモリロナイト混合層鉱物、イライト、イライト／モンモリロナイト混合層鉱物、モンモリロナイトが認められる。

これらの構成鉱物とその組合せ、さらにそれらの分布及び産状を考慮して本地域の変質分帯を①イライト帯、②イライト／モンモリロナイト混合層鉱物帯及び③モンモリロナイト帯の3つに区分した。各変質帶と構成鉱物組合せとの関係を図4-1に示す。

イライト帯は、少量のイライトを含み、イライト／モンモリロナイト混合層鉱物やモンモリロナイトをほとんどまったく含まないことで特徴づけられる。イライト帯は、ひん岩に最も近い領域で認められ、色調は黒色を帶びやや硬質となっている。

イライト／モンモリロナイト混合層鉱物帯は、イライト／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。微量のイライトを含み、モンモリロナイトを全く含んでいない。色調は暗オリーブ灰を呈し、軟質でわずかに粘性がある。イライト／モンモリロナイト混合層鉱物帯は、イライト帯の北側、すなわちさらにひん岩から離れた位置に認められる。なお、本帯のイライト／モンモリロナイト混合層鉱物のイライト化率を渡辺（1981）の方法で求めたところ、平成7年度報告書における25試料でS=1、75%程度のイライト化率であった（24試料は含有量が少なく解析不能）。

モンモリロナイト帯は、少量から微量のモンモリロナイト及び微量のイライトを含み、イライト／モンモリロナイト混合層鉱物を含まないことで特徴づけられる。色

図4-1 変質帯と鉱物組合せ

鉱物	変質帯	イライト帶	行朴/モンモリロナイト混合層鉱物帶	モンモリロナイト帶
イライト				
行朴/モンモリロナイト混合層鉱物				
モンモリロナイト				
緑泥石				
緑泥石モンモリロナイト混合層鉱物		—		
カリ長石				—
斜長石				
石英				

調は暗オリーブ灰を呈し、軟質でわずかに粘性がある。モンモリロナイト帯は、イライト／モンモリロナイト混合層鉱物帯のさらに北側～北東側に広く分布している。

各変質帯とひん岩との平面的な位置関係をみると、ひん岩から外側に向かい、イライト帯→イライト／モンモリロナイト混合層鉱物帯→モンモリロナイト帯の順に配列している。

既往文献においては、能生谷層上部層のモンモリロナイトは続成作用によって生成されたことが明らかにされている。このことから、モンモリロナイトを粘土鉱物の出発物質とすると、これらの粘土鉱物の分帶による各帯の配列は、モンモリロナイト帯及びイライト／モンモリロナイト混合層鉱物帯中の微量のイライトが堆積時に堆積粒子として含まれたものであると解釈することによって、これらの変質帯の分布は明らかに貫入岩の加熱によって形成されたと考えることができる。

以上のことから昨年度調査においては、本調査地域はベントナイトのイライト化（熱変質）のナチュラル・アナログの研究フィールドとして非常に好適であると判断され、今後は、調査対象地域の詳細な熱履歴の復元のための、各種年代測定や各層の3次元的な分布状況の把握が必要とされた。

一方今年度は、上記のような泥質岩中の変質鉱物に関する累帯構造が本地域の貫入岩周辺において普遍的であるか否かの検討のために、地表踏査を実施したが、昨年度に比較して、極めて露出条件が不良であったために、その確認はできなかった。しかし、昨年度の変質分帯は、3つの変質帯を定めるための露頭の数が、各帯に対し常に複数であったことから無理のない分帯であったと判断している。

4.1.2 年代

まず、泥質岩の年代について整理する。

既往文献においては、有孔虫化石の比較や能生谷層上部層の岩質がほとんど頁岩からなることから、新潟油田標準層序の椎谷層に対比されている（西田ほか、1966や赤羽、加藤、1989）。

今年度調査において、泥質岩の微化石分析（石灰質ナンノ化石、珪藻、有孔虫）を実施し、能生谷層上部層の直下に連続して分布する金谷凝灰岩層のジルコンを用いたフィッショングラフック年代測定を実施した。微化石分析結果では、全体にいづれの群集についても微化石の産出は貧弱であり、年代判定に重要な種を得ることができな

かったが、群集の類似性から椎谷層上部から西山層と推定された。一方のフィッショ
ン・トラック年代は 7.6 ± 0.6 Ma. であり、椎谷層の堆積年代を示している。

以上のことから総合すると、調査対象の泥質岩の堆積年代は椎谷層上部から西山層の
堆積時代となる。この期間は数Ma. という比較的長い期間となるが、能生谷上部層が
砂岩をほとんど含まない泥質岩の厚層であり、堆積速度が非常に小さかったことが推
定される。

次に、ひん岩の年代について整理する。

既往文献においては、西頸城半深成岩類と一括された貫入岩類が、いずれも能生谷
層よりも古い地層のみに貫入し、その上位の川詰層より新しい地層への貫入が認めら
れていないことから、能生谷層上部の堆積時期（中新世後期）に貫入したと推定され
ている（赤羽、加藤、1989）。

一方、茅原ほか（1984）は、これらの一括された貫入岩のうちの一部には、その岩
体の北または北西側に分布する鮮新世（一部は前期更新世）の噴出岩類と生成年代、
岩質、岩石系列等が一致しており、貫入相と噴出相の組み合わせをなしている考
えている。この中で、茅原ほか（1984）は、本調査対象の鉢ヶ岳を構成する岩体と北西側
に分布する江星山火山岩層が、一つの組み合わせとなっているとしている。なお、江
星山火山岩層は、新潟油田標準層序の灰爪層に対比されている。

今年度は、ひん岩の年代及び熱履歴の調査のために、鉱物分離を行った上で年代測
定を実施した。それらの結果を列記すると、全岩のK-Ar年代は $1.12 \sim 1.19 \pm 0.08$ Ma.,
斜長石のK-Ar年代は $0.53 \sim 0.94 \pm 0.96$ Ma., そしてアパタイトのフィッショ
ン・トラ
ック年代は、真にフィッション起源のトラックの計測から 0.6 ± 0.4 Ma. が得られて
いる。

これらのことを総合すると、調査対象のひん岩は、西山層上部から灰爪層の堆積時
代に貫入したものであり、明らかに能生谷層上部層の堆積後の貫入であったと考えら
れる。

一方、同じひん岩の鉱物分離によって得られた全岩、斜長石、アパタイトのそれぞ
れの年代測定結果については年代値が得られ、全岩データも含めて閉鎖温度が異なる
ことを利用した岩体の冷却史の検討が可能となった。K-Ar法における全岩での閉鎖溫
度を $400 \sim 600$ °C (Nishimura and Mogi, 1986), 斜長石での閉鎖温度を 230 °C, フ
ィッショ
ン・トラ
ック法におけるアパタイトでの閉鎖温度を 120 ± 20 °C (柴田, 199

1) として得られた年代値と閉鎖温度との関係を図4-2に示す。図4-2を見ると、これら3つのデータから得られる冷却曲線は非常に直線的であり、指数関数的な減衰曲線を示していない。また、100万年で600°C以上という非常に大きな冷却速度を有していたと推定される。このような特徴と類似した冷却履歴は、北アルプスの滝谷花崗閃緑岩(2Ma頃から固結を開始したとされている)において報告されており(原山、1994)，調査地のみの特異な現象ではないと考えられる。したがって、本地域においても、急速な冷却が発生したと推定される。

4.2 新潟県中条

まず、昨年度報告書において紹介した、Na型モンモリロナイトのCa型化に関連した既往文献について再度紹介する。

宇野、武司(1981)は我が国の代表的なモンモリロナイト鉱床から採取した試料について、新鮮なモンモリロナイトとその風化物の各々について、交換性陽イオン、CEC、熱的性質についての違いを比較検討し、風化過程におけるモンモリロナイトの性質の変化について考察している。検討用の試料は、それぞれの鉱床の切羽において青色系統を呈するものを風化の程度が低いもの、黄色系統を呈するものを風化の程度が高いものとして区分して分析している。各地のモンモリロナイトの交換性陽イオンとCECをまとめて表4-1に示す。

これらの産地のうち、風化の程度の低い試料において交換性陽イオンがNaが主体のもの、すなわち中条、三川、月布の3産地での結果が、Na型モンモリロナイトのCa型化に関連した検討対象となる。なお、表4-1では、Na、K、Mg、Ca、Al以外の交換性陽イオンがCECに占める割合を右端に記入しているが、ここではその主要なものをHと仮定した。

今年度の調査対象である中条では、風化の程度が強くなるにしたがいNaが激減する。風化試料ではMgとHが顕著に増加しCaが増加し、最も強く風化を受けた試料では、Caが激減し、交換性陽イオン全体に占めるHの割合が½程度にまで増加しているといった特徴を有していると報告されている。

以上の既往文献による情報を受けて、現在採掘中の中条のベントナイト鉱床において地表からの深度別サンプリングを実施して、X線回折及び置換性塩類の分析値から粘土鉱物組成を検討した。

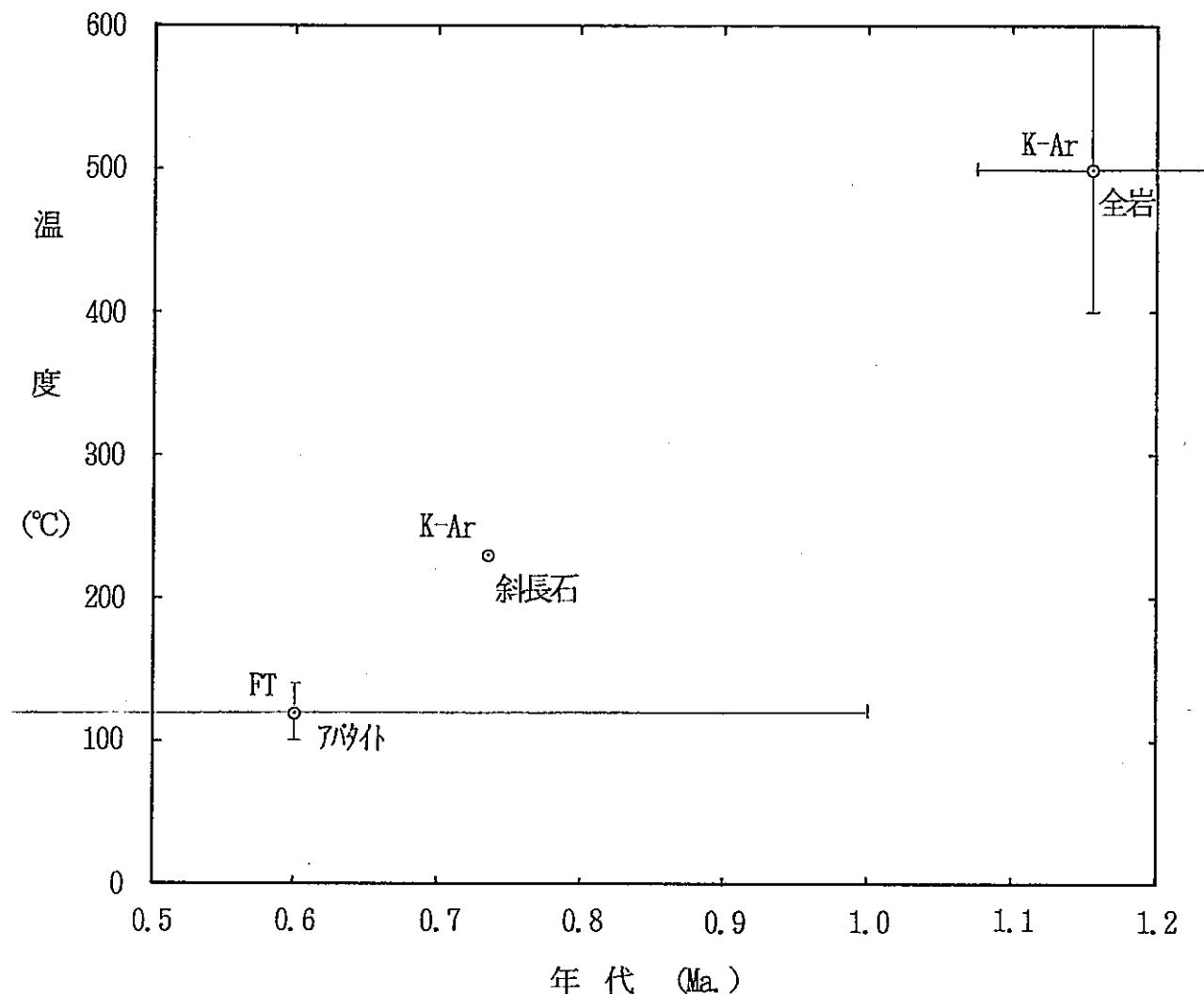


図4-2 新潟県西吾妻地域のひん岩の冷却史

表4-1 各地のモンモリロナイトの交換性陽イオンとC.E.C. (宇野, 武司, 1981)

Table . Exchange cations and C. E. C. of montmorillonites (meq/100g)

Specimen	Na	K	Mg	Ca	Al	Total	C.E.C.	Δ	$\Delta/C.E.C.\%$
Nakajo (a)	38.9	0.5	14.7	8.5	1.1	63.7	72.0	8.3	11.5
Nakajo (b)	7.8	4.0	43.6	16.8	1.0	73.2	100.1	26.9	26.9
Nakajo (c)	1.2	3.6	13.9	0.3	5.9	24.9	53.2	28.3	53.2
Odo (a)	0.1	1.8	44.1	35.9	—	81.9	82.7	0.8	1.0
Odo (b)	1.1	1.9	10.6	6.2	1.8	20.6	67.4	46.8	69.4
Mikawa (a)	44.4	1.9	7.3	5.9	—	59.5	64.9	5.4	8.3
Mikawa (b)	3.9	1.1	26.6	4.3	—	35.9	73.3	37.4	51.0
Tsukinuno (a)	46.1	0.1	6.9	22.3	—	75.4	75.0	-0.4	-0.5
Tsukinuno (b)	26.2	0.5	7.5	10.6	—	44.8	59.9	15.1	25.2
Kawasaki (a)	5.2	0.0	28.6	42.0	—	75.8	86.6	10.8	12.5
Kawasaki (b)	0.1	0.0	29.4	28.7	—	58.2	66.8	8.6	12.9
Dobuyama (a)	2.5	2.5	8.2	40.1	—	51.6	76.7	25.1	32.7
Dobuyama (b)	1.6	1.6	12.7	19.5	—	37.3	52.3	17.0	32.5
Asakura (a)	6.2	6.2	4.2	33.9	—	45.6	63.1	17.5	27.7
Asakura (b)	1.3	1.3	5.5	9.9	—	17.3	63.7	46.4	72.8
Cheto	2.3	1.2	4.8	101.5	—	109.8	112.5	2.7	2.4
Wyoming	48.0	1.6	13.3	19.8	0.4	83.1	84.0	0.9	1.1

$\Delta = \text{C.E.C.} - (\text{Na} + \text{K} + \text{Mg} + \text{Ca} + \text{Al})$

(a) ; blue clay, (b) ; yellow clay, (c) ; yellow clay (strongly weathered specimen)

採掘場の下部の試料 (GL-46m以深) においてNa型のモンモリロナイトが検出され, GL-28m～-42mにおいてNa型やCa/Na型が混在し, そしてGL-2～-24mの試料はCa型あるいはH型が主体と考えられる。これらのうち, Ca/Na型の存在は, X線回折分析のチャート上でNa型とCa型の両者のピークが認められることと, 置換性塩類のNaとCaの量が比較的近い値を示すことから示すことができる。

採水・水質分析を実施した深度は, 地表下約-45m (現地での詳細な採掘形状図は得られなかった) であり, 水質分析結果は明瞭な $\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-}$ 型の水質を示している。このような水質の形成は, 以下のように解釈することができる。すなわち, 弱酸性の天水が地表面から浸透する過程において, Ca^{2+} の溶解による中和が進行するとともに, 水に含まれていた酸素が岩石中の硫化鉱物と反応して遊離硫酸を生成していく。そして, Ca^{2+} と SO_4^{2-} に富む水がベントナイト化した地層中を下方へ浸透していく過程で Ca^{2+} と Na^+ のイオン交換が進行し, 結果として Na^+ と SO_4^{2-} に富む水が形成されたと考えられる。なお実際に, 今回採取した試料のうち, N-003 の試料において双眼実体鏡下において黄鉄鉱の結晶を確認しており, 上記の推論を裏付けていると判断される。

以上のように, 上記の水質を有する水は, Na型モンモリロナイトとCaモンモリロナイトとの境界部の深度付近に存在しており, モンモリロナイトの Ca^{2+} の固定と Na^+ の放出が十分に進んでいることを示していると考えられる。

これらのことから, 中条地域は, Na型モンモリロナイトのCaモンモリロナイト化に対するナチュラル・アナログのフィールドとして極めて重要と判断される。

4.3 南房総嶺岡

南房総嶺岡及び丹沢地域の調査は, モンモリロナイトの沸石化に関するナチュラル・アナログ研究の場としての適性の検討を目的としているが, 昨年度の文献調査によるモンモリロナイトの沸石化についての最低限の条件としては,

- ・モンモリロナイトを含む地層が存在する
- ・高pHの地下水 ($\text{pH} > 9$) が存在する

ことが挙げられる。今年度南房総嶺岡と丹沢地域を選定した理由は, 特に後者の高pHの地下水が報告されていることによる。

しかし, 今回調査で見いだした湧水のpHはいずれも8以下を示し, 上記のpH条件を満足していなかった。また, 参考のために実施した岩石試料のX線回折分析結果において

もモンモリロナイトも沸石も検出されない結果となった。

現地調査を実施した時期が冬季であり、南関東においては渴水期となっていることから、全体的に湧水に乏しいことが考えられる。

4.4 丹沢地域

丹沢地域においても、南房総嶺岡同様、調査で見いだした湧水のpHはいずれも8程度を示し、上記のpH条件を満足していなかった。しかし、中川温泉の元湯の1つである信玄館の温泉水のpHは約9.8を示した。

大木ほか(1964)によれば、中川温泉の源泉は深度60~100m程度の井戸から自噴しているもので、pHは9.9、Rphは7.7でNa-SO₄型の水質を有しているとされている。大木ほか(1964)は、このpHとRphとの大きな差については、中川温泉の地下水が著しくCO₂に対して不飽和の状態にあり、地下水のpHが炭酸物質の溶存状態によって支配されているためとしている。今回の湧水も地表露頭のもののみであり、地下水が地表面に近く過程でCO₂を吸収してpHの低下が生じたと解される。

また、参考のために実施した岩石試料のX線回折分析結果においてもモンモリロナイトが検出されず、濁沸石が微量検出された。濁沸石は、調査地付近においては割れ目を充てんする鉱物として普遍的に産出するとされており、モンモリロナイトから変質して生成されたものとは考えにくい。

5. 問題点と今後の課題

新潟県西頸城郡の泥質岩の調査では、モンモリロナイトを含んでいる泥質岩中で、貫入面からの距離が小さくなるに従い、より高温型の変質鉱物が出現することが確認されている。本地域は、モンモリロナイトのイライト化についての貴重なナチュラル・アナログ研究のフィールドと考えられ、今年度、各変質帯の詳細な分布状況の把握と、貫入岩の冷却史の検討を進め、モンモリロナイトを含む地層がひん岩の貫入によって変質を受け、変質鉱物（粘土鉱物）の累帯構造が形成されたことが示された。さらに、年代測定や微化石分析の結果から、モンモリロナイトを含む地層と貫入岩の貫入時期との間には、十分な時間間隙があることが判明した。したがって、本調査地においては、貫入岩の規模や周辺の泥質岩のイライト化率の検討を行うことで、モンモリロナイトのイライト化の非定常的な解析に対する貴重なデータを供給できるフィールドと考えられる。今後、本地域においては熱変質を受けた泥質岩の各変質帯からの試料について、堆積性起源のジルコンやアパタイト等の閉鎖温度の異なる鉱物を抽出して、各変質帯における加熱条件の検討が有効であると考えられる。

Na型モンモリロナイトのCa型化については、既往文献を参考に新潟県中条の粘土鉱床を調査した。出発物質となるべきNa型モンモリロナイトについては、X線回折分析結果等から、採掘場下部の試料がそれに相当しており、地表に近い領域においてはCa形のモンモリロナイトが卓越し、収着性も減少することが確認された。したがって、今後本フィールドの精査を行い、Na型モンモリロナイトからCaモンモリロナイトへの変化についての検討をさらに詳細に進めていくべきであると考えられる。

モンモリロナイトの沸石化については、pHが9や10といった非常に高いpHを有した水の関与が重要と判断され、我が国での非常に高いpHを有する地下水（湧水等）の分布を調査する方針が示され、この方針を受けて、南房総嶺岡及び丹沢地域の調査を実施した。しかし、地表における湧水のpHはいずれの地域においても高アルカリを示さず、沸石化について議論は行えなかった。今後は、可能であれば高pHが報告されている井戸内部や、豊水期での現地踏査を行い、高アルカリを示す地下水のモンモリロナイトに対する沸石化の検討をこれらの地域で進めていくべきであると考えられる。

参考文献

- 西田彰一, 津田禾粒, 市村隆三, フォッサマグナ最北部の新第三系(その1)－いわゆる難波山層に関する研究－: 新潟大学理学部地鉱研究報告, No.1, p.1~14, (1966)
- 赤羽貞幸, 加藤磧一, 高田西部地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅): 地質調査所, 89p., (1989)
- 茅原一也, 周藤賢治, 北脇裕士, 鈴木雅彦, 難波山堆積・構造区における火成活動, 特に hypabyssal-extrusive associationについて: 地質学論集, No.24, p.31~44, (1984)
- 渡辺 隆, 佐藤 努, 続成作用を示すイライト／モンモリロナイト混合層鉱物－新潟県能生町能生川流域に分布する第三系の例－: 上越教育大学研究紀要, v.5, No.3, p.101~111, (1986)
- 佐藤 努, 渡辺 隆, 新潟県能生町能生川流域における新第三紀堆積岩の続成変質: 岩石鉱物床学会誌, v.84, No.8, p.259~269, (1989)
- 佐藤 努, 磯部博志, 渡辺 隆, 新第三紀頁岩・砂岩におけるスメクタイト－イライト変換反応: 粘土科学, v.31, p.32~37, (1991)
- 新潟県, 土地分類基本調査 中条, 新潟県, p. 1~21, (1971)
- 宇野泰章, 武司秀夫, モンモリロナイト風化物の交換性陽イオンと高温生成相: 鉱物学雑誌 v.15, p.156~169, (1981)
- 北村 信, 新生代東北本州弧地質資料集 第3巻, No.26: (株)宝文堂, (1986)
- 千葉県嶺岡帯六価クロム調査班, 嶺岡山系蛇紋岩帯における湧水中のCr(VI)について: 地質学雑誌, v.84, No.12, p. 721~727, (1978)
- 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)
- 前田四郎, 浅賀正義, 地学のガイドシリーズ2 新・千葉県地学のガイド－千葉県の地質とそのおいたち－, コロナ社, p. 227~230, (1993)
- 一国雅巳, 鈴木励子, 鶴見 実, 水－岩石相互作用の生成物としてのアルカリ鉱泉水: 地球化学, v.16, p.25~29, (1982)
- 大木靖衛, 平野富雄, CO₂物質を含み溶液系でのCa－沸石と方解石の安定関係: 柴田秀賢教授退官記念論文集, p. 168~174, (1967)
- 杉山 明, 丹沢山地の地質構造発達史(1)層序および構造, 地質学雑誌, v.82, No.11, p.699~712, (1976)
- 佐藤興平, 柴田 賢, 内海 茂, 丹沢トーナル岩質岩体の角閃石と黒雲母のK-Ar不一致年代, 地質学雑誌, v.92, No.6, p.439~446, (1986)
- 荒井 融, 丹沢山地のテクトニクス－変成岩類の相解析による考察－, 地質学雑誌, v.93 No.3, p.185~200, (1987)
- 渡辺 隆, イライト／モンモリロナイト混合層鉱物の混合層構造の判定, 鉱物学雑誌, v.15, 特別号, p.32~41, (1981)