

浜名湖表層堆積物中の粘土鉱物

阿部泰行*・和田秀樹**

Clay Minerals in the Surface Sediments of Hamana Lake, Central Japan

Yasuyuki ABE* and Hideki WADA**

Clay minerals in surface sediments and weathered rocks collected from Hamana Lake and its vicinity were identified by X-ray diffraction method. The distribution of clay minerals in Hamana Lake is summarized as follows ;

- 1) Montmorillonite, chlorite and kaolinite decrease in amount from the north to the south (28% - 8%, 42% - 22%, 22% - 11%, north to south, respectively).
- 2) Illite increases in amount from 22% to 52% southwards. It is more concentrated in the lake than in the river sediments.
- 3) Chlorite in the lake is less abundant than that in the river sediments except in illite poor Inohana Lake. Mg- and Fe-chlorite is discriminated. The former is characteristic of the northern part of the lake and latter is of the southern part.

These results indicate that most of the clay minerals in the surface sediments of the lake are closely related to the geology of the surrounding land areas. Fe-chlorite and illite may have been brought into by ocean currents along the Enshu-nada seacoast. The concentration of chlorite and kaolinite in the central part of the lake seems to be controlled either by the bottom topography of the lake or by the size-sorting process.

I. ま え が き

浜名湖は、日本でも代表的な汽水性の湖である。この湖は、比較的小さな集水域をもつ大小いくつかの河川によって堆積物が供給され、又海側からは潮流によって海浜砂が運ばれていると考えられている。この湖の生成の歴史を解く上で粘土鉱物の変化は過去の環境変化を推定できる1手段になるであろう。

浅海堆積物中の粘土鉱物については国内外を問わず現在まで多くの研究がなされてきた。わが国では東京湾(生沼・小林, 1962; 青木, 1981), 大阪湾(青木ほか, 1975)等の日本の代表的な閉鎖型の湾内堆

積物中の粘土鉱物の分布に関する報告があり、また一方開放型の湾における粘土鉱物の分布に関する研究例は石狩湾(塩沢, 1969b; 石井ほか, 1977), 名護湾(AOKI and OINUMA, 1974), 相模湾(OTSUKA, 1976; 青木, 1983), 駿河湾(青木・生沼, 1981)などがあり、湖における粘土鉱物の分布については宍道湖(星野ほか, 1982; 西山ほか, 1981), 厚岸湖(塩沢, 1969a)などがある。

本研究の目的は、浜名湖表層堆積物中の粘土鉱物の分布を明らかにし、後背の地質との関係及び粘土鉱物の分布を規制している因子について考察することである。

1987年3月23日受理

* 三井金属鉱業(株) Kamioka Mine, Mitsui Mining & Smelting Co., Ltd., Kamioka-cho, Gifu-ken, 506-11, Japan.

** 静岡大学理学部地球科学教室 Institute of Geosciences, School of Science, Shizuoka University, Shizuoka 422.

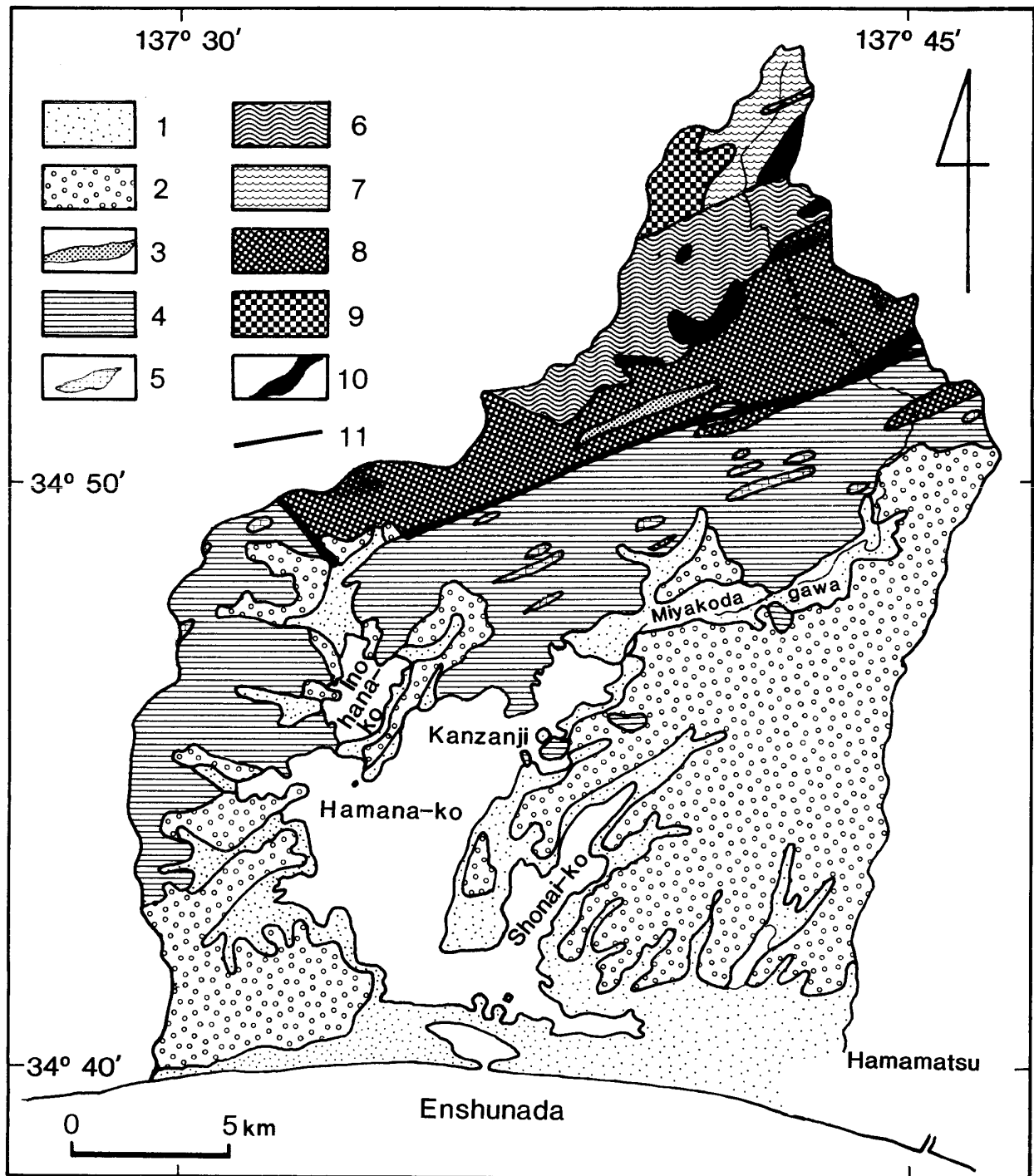


Fig. 1. Geological map of the drainage area of the Hamana Lake (adapted from Geological map of Shizuoka Prefecture, 1: 200,000 ed. by R. TSUCHI, 1985). Legends are as follows; 1: Holocene mud, silt, sand and gravel. 2: Pleistocene terrace silt and gravel. 3: Early Cretaceous sandstone, shale and chert. 4: Carboniferous-Jurassic black shale, sandstone and green rock. 5: Carboniferous-Jurassic limestone. 6: Carboniferous-Jurassic pelitic and psamitic schist with green schist (Sanbagawa metamorphic rocks). 7: Carboniferous-Jurassic black schist (Sanbagawa metamorphic rocks). 8: Carboniferous-Jurassic metadiabase and metagabbro (Mikabu rocks). 9: Carboniferous-Jurassic amphibolite (Mikabu rocks). 10: Serpentinite. 11: Fault.

II. 地形・地質の概略

1. 湖底地形及び底質

浜名湖は静岡県西南部に位置し、総面積69.3 km²、総容積33×10⁷ m³、周囲103 kmで、狭い湖口(幅200 m)で遠州灘に接しており、閉鎖性の強い環境と考えられる。湖の南半分は、平均水深2.5 mであり、特に湖口付近は潮間帯が広く発達し、舞阪-新居間の多くの架橋等により外洋海水の流入が阻害されている。湖中央部以北で水深は急に深くなり、平均水深は7.2 mである。

浜名湖の湖底堆積物は大きく2つに分かれる。本湖の南半分には、今切口が生まれて以来、天竜川によってはき出された砂が、湖内に流入し、広く堆積しているのに対し、本湖の北半分及び入江、支湖には、silt-clay が堆積している。現在浜名湖に河口を持っている河川は、都田川、新川、花川、釣橋川、笠子川など二級河川に指定されているものだけでも28にもものぼる。しかし、都田川を除くと河川流域が狭いのでそれら小河川からの物質の供給量は少ない。

2. 浜名湖周辺の地質

浜名湖周辺の地質を Fig. 1 に示す。浜名湖の東西には、現世及び第四紀のレキ、砂、粘土が広く分布している。その北には、チャートを主とし、ほかに粘板岩、砂岩からなる中・古生層および三波川変成岩類や御荷鉾帯の緑色岩類が分布し、これらを塩基性貫入岩が貫いている。

III. 試料と分析の方法

1. 試料

試料採取地点を Fig. 2 に示す。湖底表層堆積物試料は、浜名湖本湖、猪鼻湖、庄内湖からエックマン・バージ採泥器、ブルームサンプラー及びピストン式サンプラーを用い、8 試料採取し分析した。河川底土試料は、都田川、井伊谷川、西神田川から表泥を全部で5 試料採取した。また、浜名湖北部三ヶ日地域から、御荷鉾帯玄武岩質緑色岩の風化物試料を1 試料採取し分析した。

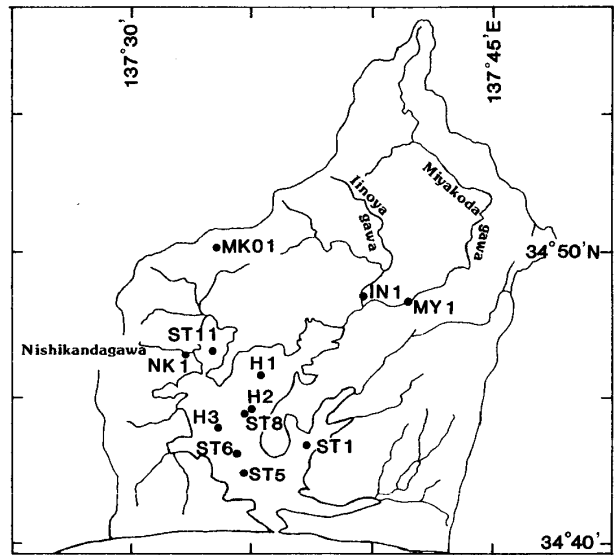


Fig. 2. Location of samples.

2. 分析の方法

堆積物・風化物試料ともしばらく蒸留水中に放置した後、分散剤として1N 水酸化ナトリウムを少量加え蒸留水に分散させ、ストークスの法則に基づいて2μm以下の粒子成分の回収を行った。回収した試料は、未処理、エチレングリコール処理、塩酸処理等を行ったものについてガラス板上に塗布した方位試料のX線回折によって粘土鉱物の定量・定性分析を行った。粘土鉱物の判定はOINUMA and KODAMA (1967) 及び長沢 (1974) に従った。各種処理方法及びその目的は次の通りである。

加熱処理：試料をガラス板上に塗布し、各温度で1時間加熱後デシケーター中で空冷しその後X線回折を行う。もしモンモリロナイトが存在すれば15Åの回折線が300°C加熱で10Åに移動し、ハロサイトが存在すれば150°C加熱で10Åの反射強度が減り7Åが増す。このことはモンモリロナイト、ハロサイトの検出に使われる。またクロライトが存在すれば600°C加熱後も14Åの回折線が残るためクロライトの検出にも使われる。

KCl 処理：遠心管に試料をとり1N 塩化カリウム溶液を加える。しばらく放置した後、遠心分離して上澄みをすてる。再び1N 塩化カリウム溶液を加え、しばらく放置した後、遠心分離して上澄みをすてる。これを4回繰り返せばほぼ完全に層間陽イオンはK⁺で

飽和する。モンモリロナイト，バーミキュライトは K^+ 飽和で $14-15\text{\AA}$ の回折線が $10-12.5\text{\AA}$ に縮み，これによってクロライト (14\AA のまま変化しない) と区別される。

HCl 処理：6N 塩酸溶液中で 1 時間， 95°C に熱し，その後水洗する。未処理の試料ではカオリナイトとクロライトが共存するときは回折線が 7\AA で重複する。一般に Fe, Mg 質クロライトは酸に弱く，カオリン鉱物は強いので塩酸処理による 7\AA の回折線の変化からこれらの鉱物の存在の有無を判断できる。

エチレングリコール処理：ガラス板に塗った orient-ed aggregate に対してエチレングリコールを噴霧の形で吹きかける。モンモリロナイトではこの処理で 2 分子層のエチレングリコールが層間にはいり，底面間隔は約 17\AA に広がる。それに対してバーミキュライトの場合は 1 分子層しかはいらず，底面間隔は $14-15\text{\AA}$ であって天然状態（すなわち水 2 分子層がはいっている状態）とほとんど変わらないし，クロライトの場合は複合体を作らないので，底面間隔は 14\AA のままである。したがってこの方法はモンモリロナイトをバーミキュライトやクロライトから区別するのに役立つ。またハロイサイトもこの処理によって有機複合体を作る。ハロイサイトの 10\AA の回折線がエチレングリコール処理後は約 11\AA に膨張し，イライトとの区別に使える。

クエン酸ソーダ・ MgCl_2 ・エチレングリコール処理：まず試料を 1N クエン酸ナトリウム (pH 7.3) 中で 3 時間 100°C に加熱する。その間 1 時間ごとに遠心分離して上澄みをして，新しいクエン酸ナトリウムに更新する（クエン酸ソーダ処理）。その後 1N 塩化マグネシウム溶液を用いて，KCl 処理と同様の処理を行う (MgCl_2 処理)。この処理後試料をガラス板に塗布し，自然乾燥後エチレングリコール処理を行う。Al 質モンモリロナイトが存在する場合，クエン酸ソーダ処理によって層間の $\text{Al}+\text{OH}$ は除かれ $\text{Na}+\text{H}_2\text{O}$ が層間にはいる。さらに MgCl_2 処理によって層間は Mg に置換され，エチレングリコール処理によっても，もともと 14\AA にあった回折線は約 17\AA に移動する。

クエン酸ソーダ・ MgCl_2 ・KCl 処理：Al 質バーミキュライト (intergradient chlorite-vermiculite) が存在する場合，この処理によってもともと 14\AA にあった

回折線は $10-12.5\text{\AA}$ に縮む。

また粘土鉱物の相対的量比を求める方法は OINU-MA (1968) に従った。

IV. 分析の結果

1. X線回折結果

湖底堆積物の例として湖心 (H1) の試料の X 線回折結果を Fig. 3 に示す。湖心の試料中に含まれる鉱物について検討すると，まず 600°C 加熱後に 14\AA の回折線が残っていることからクロライトが存在することがわかる。また同じ 600°C 加熱後に 14\AA の回折線が一部 12\AA に移動していることからクロライト/バーミキュライト混合層が少量含まれていると思われる。HCl 処理後に残っている 10\AA , 7\AA の回折線はそれぞれイライト，カオリナイトの存在を示している。またクエン酸ソーダ・ MgCl_2 ・エチレングリコール処理，クエン酸ソーダ・ MgCl_2 ・KCl 処理の結果から Al 質のモンモリロナイト，バーミキュライトも少量含まれていると思われる。非粘土鉱物としては石英・角閃石が含まれる。その他の湖底及び河川堆積物試料中にも，粘土鉱物としては主としてクロライト，イライト，カオリナイト，モンモリロナイトが存在し，Al 質バーミキュライト，Al 質モンモリロナイト，クロライト/バーミキュライト混合層の入っている試料もある。また， $2\text{ }\mu\text{m}$ 以下の非粘土鉱物として，石英，長石，角閃石が含まれる。陸上の風化物試料 (MKOI) 中にはイライトは含まれておらず，粘土鉱物としては主としてクロライト，バーミキュライト，カオリナイト，モンモリロナイトが入っている。また，非粘土鉱物としては石英が少量含まれる。

2. 粘土鉱物の分布

(1) モンモリロナイトの分布

モンモリロナイトの分布を Fig. 4 (A) に示す。各河川底土中のモンモリロナイトの含有量は，都田川 (23%)，井伊谷川 (32%)，西神田川 (14%) となっており，湖の西部よりも北部の方が比較的多い。陸上の風化物試料は 22% となっている。また，湖底堆積物のモンモリロナイトの含有量は猪鼻湖 (28%) で多少多く，本湖では北から南に行くに従って 12-7% に減少する。庄内湾は 10% である。

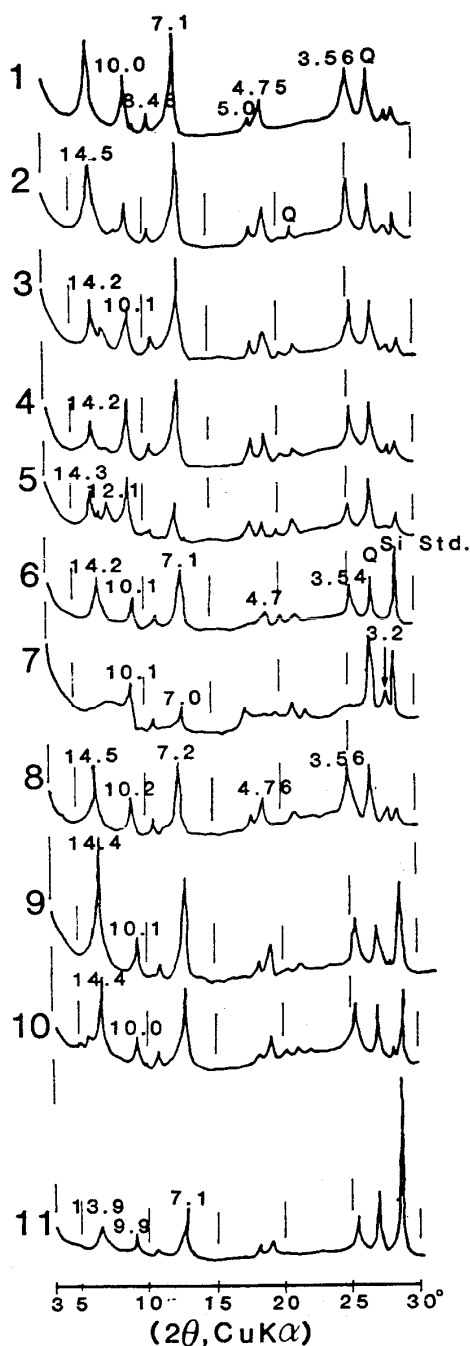


Fig. 3. X-ray diffraction patterns of the clay fraction of the surface sediment at the location of H-1 in the Hamana Lake by means of various treatments.

1: untreated, 2: heated at 150°C for 1 hour, 3: heated at 300°C for 1 hour, 4: heated at 450°C for 1 hour, 5: heated at 600°C for 1 hour, 6: treated with KCl, 7: treated with hydrochloric acid for 1 hour, 8: treated with ethylene glycol, 9: treated with Na-citrate-MgCl, 10: treated with Na-citrate-MgCl-ethylene glycol, 11: treated with Na-citrate-MgCl-KCl.

(2) クロライトの分布

クロライトの分布を Fig. 4 (B) に示す、河川底土中のクロライトの含有量は、都田川(45%)、井伊谷川(47%)、西神田川(28%)であり、また陸上の風化物試料は54%である。クロライトは北岸から北東岸に多く、西岸では少ない。また、湖底堆積物中のクロライトの含有量は、猪鼻湖で28%であり、本湖では湖の北半分では38-42%と比較的多く、湖の南半分では28-32%とほぼ一定の値を示す。庄内湾では22%と比較的少ない。

(3) イライトの分布

イライトの分布を Fig. 4 (c) に示す。河川底土中のイライトの含有量は、都田川(21%)、井伊谷川(15%)、西神田川(36%)であり、また陸上の風化物試料中には含まれていない。イライトはクロライトとは逆に北岸から北東岸に少なく、西岸に多い。また、湖底堆積物中のイライトの含有量は、猪鼻湖では22%と少なく、本湖では、北半分は34-35%と比較的少なく、南半分では44-52%と多い。また庄内湾は50%と比較的多い。

(4) カオリナイトの分布

カオリナイトの分布を Fig. 4 (D) に示す。河川底土中のカオリナイトの含有量は、都田川(11%)、井伊谷川(6%)、西神田川(22%)であり、また陸上の風化物試料では24%である。北東岸では少なく、北岸から西岸にかけて多い。湖底堆積物中のカオリナイトの含有量は、猪鼻湖で22%と比較的多く、本湖では北から南に行くに従って17-11%と減少する。また本湖の南半分では12%で一定となっている。庄内湾では19%と比較的多い。

3. クロライトの組成

クロライトの化学組成は、直接的には化学分析により知ることができるが、これ以外にも X線回折分析から推定する方法が今まで幾つか考案されている。一つは $d(060)$ から b_0 を求めてそれから八面体シート中の Fe(+Mn) の量を求める方法(白水, 1960)であり、またもう一つは (001) の反射強度が化学組成により変化する関係から求める方法である。このうち $d(060)$ を用いる方法は、 $d(060)$ の反射強度が弱いので、本研究では不適當である。よって本研

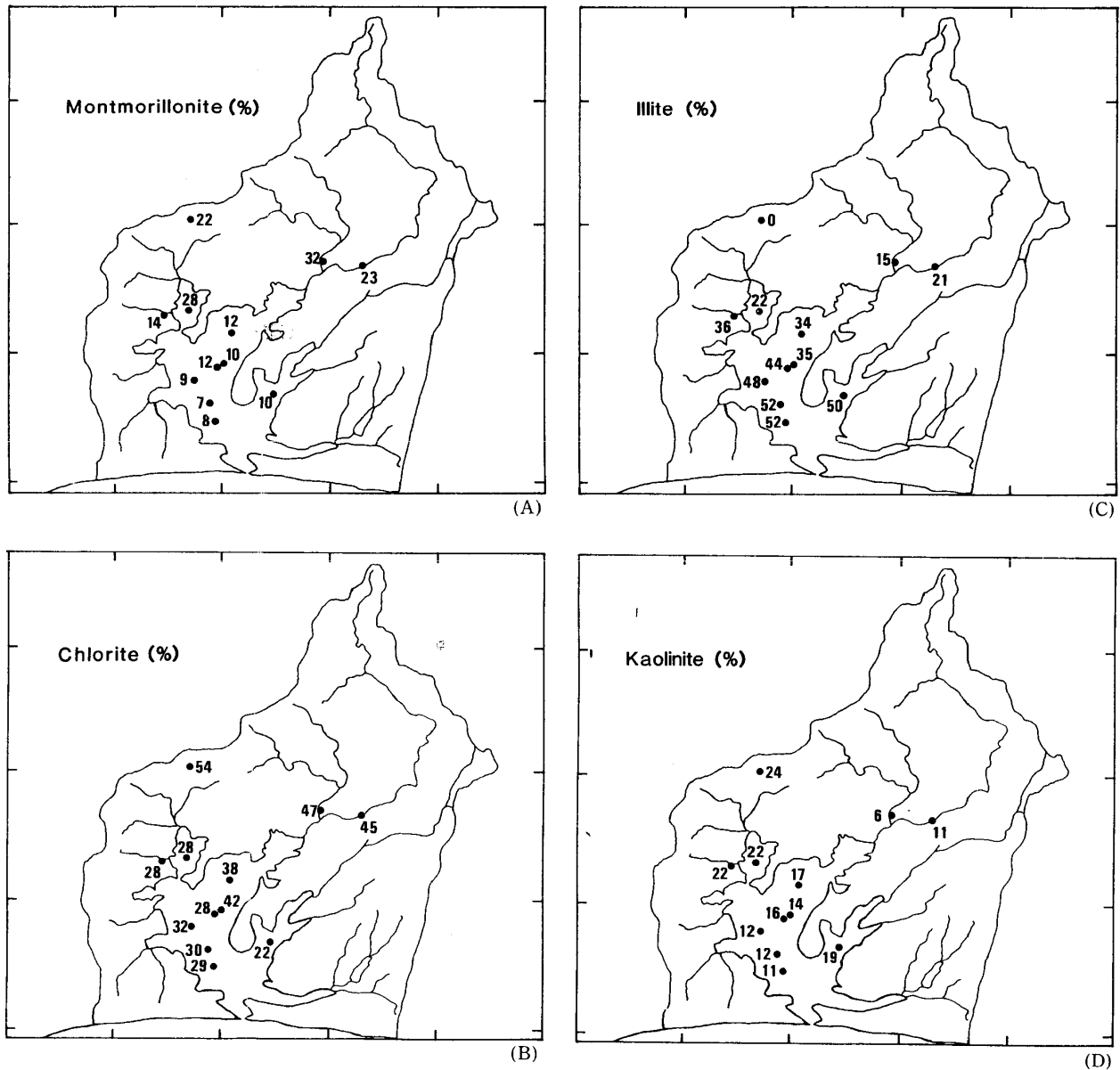


Fig. 4(A) Distribution of montmorillonite in the surface sediments of the Hamana Lake area.
 (B) Distribution of chlorite in the surface sediments of the Hamana Lake area.
 (C) Distribution of illite in the surface sediment of the Hamana Lake area.
 (D) Distribution of kaolinite in the surface sediments of the Hamana Lake area.

究では、クロライトの底面反射の強度比から化学成分を求める、OINUMA *et al.* (1973) の方法を用いた。これは Fig. 5 に示すように、 14\AA 、 7\AA 、 4.7\AA の反射強度 I を成分とした三角ダイアグラムを使う方法で、trioctahedral 型と dioctahedral 型のクロライトに適用できるものである。

各試料について $I(14\text{\AA})$ 、 $I(7\text{\AA})$ 、 $I(4.7\text{\AA})$ を求め、この三角ダイアグラムにプロットしたのが、Fig. 5 である。サンプルは全て ADBE の中に入り、Fe-Mg クロライトであることがわかる。また各点は

線分 AB の右側に集まっており、 y の値の違いにより 2 つのグループに分けられる。これを y の値の大きい方から A、B と分け、地図上にプロットしたのが Fig. 6 である。これを見ると、 y の値の大きい (Fe 量の多い) クロライトつまり A グループのものは本湖、庄内湾及び北東部の河川に分布し、B グループのもの (y の値の小さいクロライト) は猪鼻湖及びその後背地に分布している。また A グループの中でも Fe 量の多いクロライトが本湖の南半分には分布している。

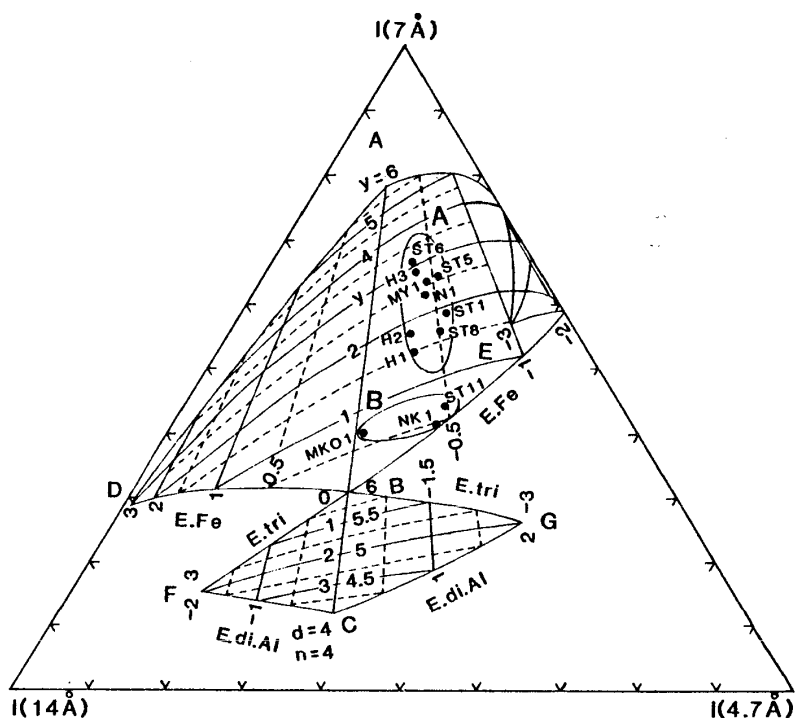


Fig. 5. I(14Å)-I(7Å)-I(4.7Å) triangular diagram showing the chemical composition and crystal chemistry of chlorite from the Hamana Lake area.

E.Fe: excess Fe in a 2:1 layer against an interlayer Fe, E.di.Al: excess of di.Al in a 2:1 layer. E.tri. = -E.di.Al * 3/2, y: total volume of Fe(Cr, Mn), d: number of di.Al, n = 6 - d/2, AB: tri. -tri.subgroup, BC: di.-di.sub-group from tri.-tri.sub-group, ADB: Fe exceeds in a 2:1 layer, AEB: Fe exceeds in an interlayer, BFC: di.Al space exceeds in an interlayer, BGC: di.Al space exceeds in a 2:1 layer.

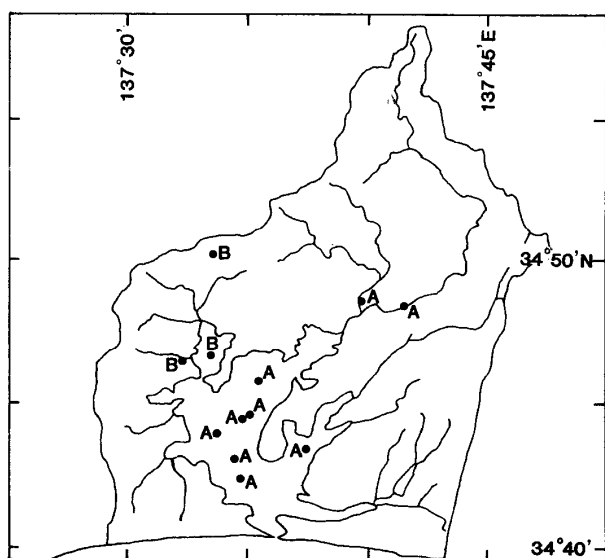


Fig. 6. Compositional distribution of chlorite in the Hamana Lake area.

V. 考 察

1. 粘土鉱物の分布

モンモリロナイトは北部に比較的多い傾向を示す。これは塩基性岩から生じたモンモリロナイトが北部から供給されるためと思われる。猪鼻湖は閉鎖的な支湖であるためにその影響を顕著に受けている。

クロライトは河川では、北部から北東部にかけて多く分布している。これは、三波川変成帯からクロライトの供給が多いためこのような傾向を示すと考えられる。また湖内では、湖奥から湖口にかけて減少する。この要因としても、供給源の岩石の影響が第一に考えられる。また湖の南半分ではほとんど一定値を示しており、湖奥に行くと増加する。その境界はちょうど底質の粒度組成、湖底地形の変化しているところに一致する。加藤(1979)は天竜川流域の沖積平地の泥質堆積物の粘土鉱物がクロライト、

パーミキュライト, イライト, カオリナイトから成ることを示した。浜名湖南部の湖底堆積物中の粘土鉱物はこれと一連のものと考えられる。

イライトはクロライトとは逆の傾向を示す。これは、南の方が相対的にイライトが多い物質の供給があるというのが1つの原因であるが、河川よりも湖底の方がイライトの相対量が多い傾向を示す。これは湖底にはいつてからモンモリロナイト, パーミキュライトなどの膨潤性粘土鉱物から変化しイライトが生成されたために河川よりも湖底のほうがイライトが多くなったとも考えられるが、モンモリロナイト, パーミキュライトはどの試料においても少なく、イライトの増加量を説明するにはいたらない。従って、遠州灘からイライトに富む物質の供給がある等、他の要因を考える必要がある。

カオリナイトもクロライトと同じく北から南に行くに従って減少する傾向を示す。これは北部からの供給が主体であることを反映している。

また湖中央部に相対量の境界があるのもクロライトと同じである。そのことから、カオリナイトの分布も供給源の影響のほか湖底堆積物の形成過程にもなう湖底地形もしくは底質の粒度との関係が存在することが明らかとなった。

2. クロライトの組成分布

Mgに富むクロライトが北西部に分布し、Feに富むクロライトが湖の南部に分布している。つまり、Bグループのクロライトは猪鼻湖及びその後背地にしか存在していない。これは、猪鼻湖に供給されたMgに富むクロライトは本湖に供給されたクロライトとは異なっていること、そしてFig. 1にも示されるように猪鼻湖は閉鎖的な支湖であるために猪鼻湖に供給されたクロライトが本湖に供給されたクロライトと混じりにくいことを示している。またAグループの中でもFeに富むクロライトは湖の南半分に分布している。このことはFeに富むクロライトが外海から供給されたものであることを反映している。

謝 辞

本研究を行うに当たり、静岡大学理学部の長沢敬之助教授には粘土鉱物全般に渡る親切な御助言をい

ただき、また静岡大学の岡田博有教授とともに本稿の査読をしていただいた。試料採取に際しては、東京大学農学部水産実験所の岡本研氏をはじめとし所員の方々に多くのご協力をいただいた。著者の一人和田は本研究の一部の費用を伊藤財団による科学助成金と文部省科学研究費補助金(総合研究A)課題番号(60300012)の援助を受けた。以上の方々に、心より感謝いたします。

文 献

- AOKI, S. and OINUMA, K. (1974), Clay mineral compositions in Recent sediments around Nansei-Syoto Islands, south of Kyushu. *Jour. Geol. Soc. Japan.* **80**, 57-63.
- 青木三郎・星野透・生沼郁 (1975), 大阪湾堆積物中の粘土鉱物。日本地質学会第82回学術大会演旨, 420
- 青木三郎・生沼郁 (1981), 駿河湾表層堆積物中の粘土鉱物の分布。地質雑, **87**, 429-438.
- 青木三郎 (1981), 東京湾表層堆積物の2, 3の性質, 東洋大学紀要教養課程篇(自然科学), **24**, 71-81.
- 青木三郎 (1983), 相模湾および周辺海域の表層堆積物中の粘土鉱物の分布。La mer, **21**, 113-120.
- 星野透・青木三郎・生沼郁 (1982), 宍道湖堆積物中の粘土鉱物。東洋大学紀要教養課程篇(自然科学), **25**, 31-50.
- 石井次郎・岡田昭明・岩田圭示 (1977), 石狩湾海中の懸濁物について。地球科学, **31**, 19-30.
- 加藤芳明 (1979), 静岡県の沖積平地泥質表層堆積物の粘土鉱物(予報), 第23回粘土科学討論会講演要旨集, 74.
- 長沢敬之助 (1974), 粘土鉱物のX線回折法による同定。X線分析の進歩VI, 15-22.
- 西山勉・生沼郁・青木三郎 (1981), 粘土鉱物の地域的組成分布と結晶化学的特性—宍道湖および周辺地域を中心として—。昭和56年度特別研究(自由課題)報告書, 23-49.
- 生沼郁・小林和夫 (1962), 東京湾口堆積物中の粘土鉱物組成—東京湾口の研究その6—。日本海洋学会創立20周年記念論文集, 136-145.
- OINUMA, K. and KODAMA, H. (1967), Use of infrared absorption spectra for identification of clay minerals in sediments. *Jour. Toyo Univ., Gener. Educ. (Nat. Sci.)*, **7**, 1-23.
- OINUMA, K. (1968), Method of quantitative estimation of clay minerals in sediments by X-ray diffraction analysis. *Jour. Toyo Univ., Gener. Educ. (Nat. Sci.)*, **10**, 1-15.
- OINUMA, K., SHIMODA, S., SUDO, T. (1973), Triangular diagrams in use of a survey of crystal chemistry

- of chlorites. Proc. Intern. Clay Conf. 1972, 123-130.
- OTSUKA, K. (1976), Regional distribution of clay minerals of Sagami Bay, Japan. *Rep. Fac. Shizuoka Univ.*, **11**, 179-190.
- 塩沢孝之(1969a), 厚岸湖および厚岸湾の底質-粒度組成と粘土鉱物組成-。地質雑, 75, 1-11.
- 塩沢孝之(1969b), 石狩湾堆積物中の粘土鉱物組成。第四紀研究, 8, 81-88.
- 白水晴雄(1960), X線および光学的方法による緑泥石の化学的成分決定。岩鉱誌, **44**, 18-22.
- 塩沢孝之(1969a), 厚岸湖および厚岸湾の底質-粒度組成