

## 日本列島周縁陸棚斜面泥質堆積物の粘土鉱物

殷建華\*・岡田博有\*\*・Laurent LABEYRIE\*\*\*

### Clay Mineralogy of Slope Sediments around the Japanese Islands

Jianhua YIN\*, Hakuyu OKADA\*\* and Laurent LABEYRIE\*\*\*

To make clear factors controlling distribution of clay minerals of surface sediments on the slope areas of the Japanese Island Arc, samples collected at 65 sites around the Japanese Islands were examined mineralogically. Clay minerals in almost all the samples consist of illite, montmorillonite, kaolinite and chlorite. The distribution of each of these minerals is summarized below.

Illite is concentrated in the southern Sea of Japan, largely transported by the Tsushima Warm Current from the East China Sea, and in the offshore areas on the Pacific side of Southwest Japan, partially derived by turbidity currents from sedimentary rocks and metamorphic rocks widely exposed in the Outer Zone of Southwest Japan, and partially transported by the Kuroshio Current from the East China Sea. Montmorillonite is concentrated on both sides of Northeast Japan. It may have been derived from Neogene to Quaternary volcanic rocks well developed in Northeast Japan. The relative abundance of kaolinite seems to be higher in the San-in offshore area than in other areas. This is related to the weathering of granites on adjacent lands. No trend was recognized in chlorite distribution, although its amounts are not small.

As to the controlling factors of the distribution pattern of clay minerals on the slope environments around the Japanese Islands, it is concluded that not only regional on-land geology but also major ocean circulations and local gravity flows are most important, although the role of wind for the dispersal of clay minerals has not been properly evaluated except for illite.

#### I. はじめに

日本周辺海底堆積物中の粘土鉱物の研究は主に沿岸海域を中心にして行なわれてきた。例えば、石狩湾(塩沢, 1969), 相模湾(OTSUKA, 1976; 青木, 1983), 駿河湾(青木・生沼, 1981), 富山湾(佐藤,

1983), 三陸沖(青木・生沼, 1985)などはその代表的なものである。このような陸地に近接する沿岸海域では、海底堆積物中の粘土鉱物のほとんどは、河川によって搬入された碎屑性粘土鉱物で、粘土鉱物の分布パターンに後背地の地質が反映しているのがふつうである。

1987年3月23日受理

\* 筑波大学地球科学系 Institute of Geosciences, University of Tsukuba, Ibaraki 305.

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

\*\*\* Centre des Faibles Radioactivités, C.N.R.S., 91190 Gif sur Yvette, France.

一方、陸地から非常に離れた大洋の場合、例えば、北太平洋では、粘土鉱物を主成分とした海洋底非生物源堆積物は主にアジア大陸から偏西風によって運ばれてきたと考えられている (GRIFFIN *et al.*, 1968; REX *et al.*, 1969; CLAYTON *et al.*, 1972; JANECEK, 1985; LENÔTRE *et al.*, 1985 など)。また、CHAMLEY (1980) は四国海盆堆積物の粘土鉱物に海流 (黒潮) の影響が強いことを指摘している。

日本周辺陸棚斜面上堆積物中の粘土鉱物の分布には、陸上地質の影響が強いのか、それとも、大洋環境のように海流や風などの影響が重要なのか、これらの問題に関する研究はこれまで非常に少ない。そこで本研究では、日本周辺陸棚斜面上の粘土鉱物分布を規制する要因を明らかにすることを目的として、陸棚斜面から採取された泥質堆積物について、粘土鉱物学的研究を行なった。

## II. 日本列島周縁海域の地

### 質学的, 海洋学的特性

#### 1. 海底地形

日本列島周縁の大陸棚は、全体的に見れば幅狭く、貧弱である。陸棚の輪郭は山陰沖を除けば、ほぼ現海岸線と平行している。陸棚斜面の地形には地域性が見られる。東北日本東側の陸棚斜面は比較的単調で、その上部に比較的広い深海平坦面があり、斜面の下部は急傾斜になる。北海道東沖を除けば、顕著な海底谷は認められない。一方、西南日本南岸沖では、熊野舟状海盆、土佐海盆、日向海盆などの前弧盆地がよく発達している。陸棚斜面では、大陸棚外縁から前弧盆地に、あるいは前弧盆地の外縁から南海トラフに伸びる多数の小海底谷のほか、さらに陸棚斜面を横切って、天竜、潮岬、足摺海底谷のような大規模海底谷の発達も著しい。とくに、駿河トラフは富士川河口沖で発し、その南方延長は南海トラフとつながっている。これらの海底谷は、後で述べるように陸源碎屑物の深海への運搬に大きい役割を果たしている (TAIRA & NIITSUMA, 1986)。

日本海側では、北海道から北陸にかけての陸棚斜面は現在圧縮場に置かれているといわれており (TAMAKI & HONZA, 1985; 岡田ほか, 1985)。

そのような構造環境を反映した小海嶺や小海盆が雁行配列して極めて複雑な地形を示している。富山湾沖には、500 km にわたって、富山海底谷が日本海盆に伸びており、日本海海底地形の大きい特徴となっている (本座, 1976)。この海底谷も堆積物の運搬に非常に重要な役割を果たしている。北陸から山陰にかけての沖合では、大陸棚は日本周辺のほかのところに比べて比較的よく発達し、対馬海峡へ伸びている。陸棚斜面では、隠岐堆と白山堆が北へ突き出している。西南日本海の海底は隠岐堆と大和海嶺のつながりによって対馬海盆と大和海盆とに分けられている。この海域では陸棚斜面上に顕著な海底谷は認められない。

#### 2. 海況

日本周辺海域の主な海流は黒潮と親潮である (Fig. 1)。赤道付近で生じた黒潮はフィリピン海の西縁に沿って北上し、台湾の東の海峡から東シナ海に流入して2つに大きく分岐する。1つは黒潮主流として、九州、四国、本州の南岸沖を東に向かって流れ、房総半島の東南沖合で本州から離れて、太平洋に流入している。もう1つは黒潮の支流として対馬海峡を通過して日本海に入り、対馬暖流となる。

北西太平洋西縁を南下する親潮は高緯度で生じた寒冷流で、東北日本太平洋側の海域は強くその流れの影響を受けている。日本海の北部には、間宮海峡からリマン海流が流れ込んでいる。

#### 3. 第四紀堆積作用の特徴

BOGGS (1984) によると、日本島弧の前弧と背弧地域の陸棚斜面の第四紀堆積物は主に半遠洋性堆積物で特徴づけられている。一般に前弧陸棚斜面では、日本列島とほぼ平行している構造隆起帯 (tectonic high) が堆積物の深海への運搬の障壁となって、堆積物がその後ろの深海平坦面または前弧盆地で堆積する。東北日本東側の陸棚斜面では、海底谷があまり発達しておらず、海底谷を通過して深海へ運搬される堆積物が少ない。したがって、堆積物がほとんど前弧盆地でトラップされ、日本海溝には海溝充填堆積物が非常に少ない (岡田, 1976; 岡田・酒井, 1979; VON HUENE *et al.*, 1980)。ところが、西南日本南

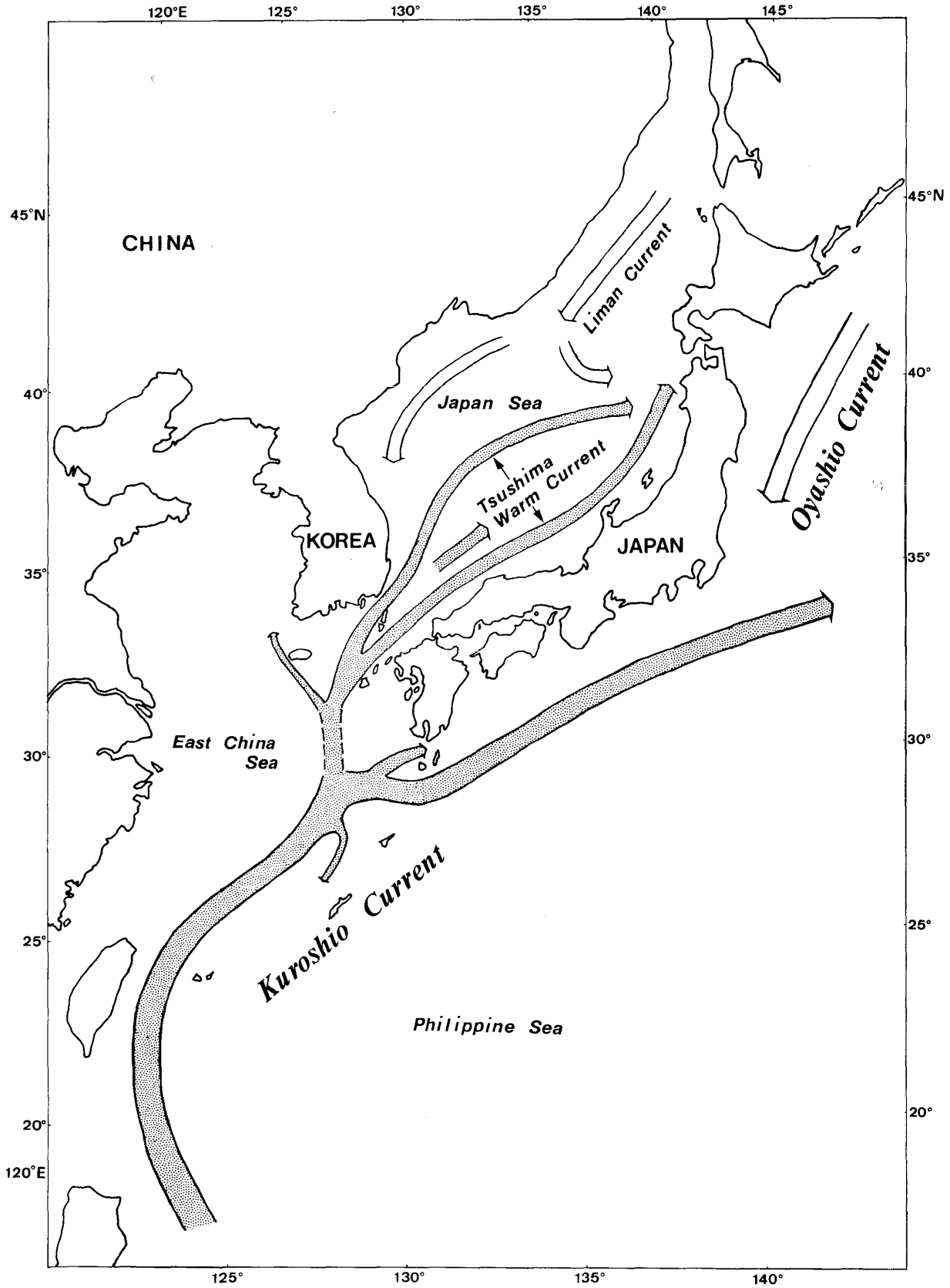


Fig. 1. Schematic flow patterns of the Kuroshio and Oyashio Currents around the Japanese Islands (after AOKI *et al.*, 1974 and GUAN, 1983).

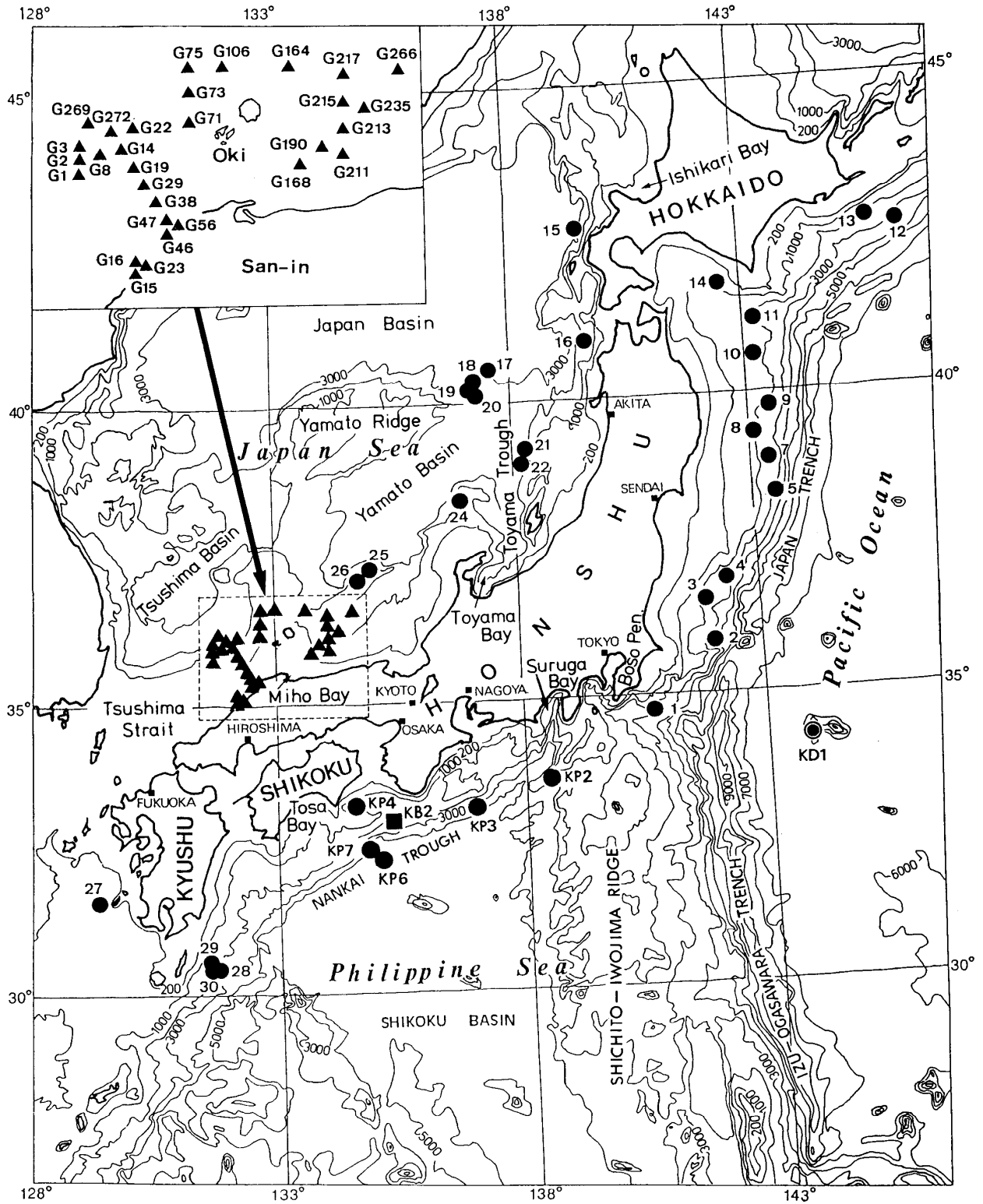


Fig. 2. Locations of the samples used in this study. Samples only with numerals: by the *RV Jean Charcot* cruise; Samples with G: by the *RV Hakurei-maru* cruise; and Samples with K: by the *RV Hakuho-maru* cruise.

- piston-core sample, ▲ Smith-McIntyre grab sample, ■ box-core sample
- ⊙ dredged sample

沖合の陸棚斜面では、海底谷が極めてよく発達しており、南海トラフには混濁流堆積物が厚く堆積している (TAIRA & NIITSUMA, 1986)。とくに駿河トラフの役割が大きく、そこから多量の陸源碎屑物が混濁流の形で南海トラフへ供給されている (平ほか, 1984; 大塚, 1985; TAIRA & NIITSUMA, 1986)。

日本海では、半遠洋性堆積物のほか、混濁流堆積物も広く見られる (玉木, 1984)。富山海底谷では混濁流が頻繁に起きており、巨大な海底扇状地が作られている (BOUMA, 1975; NASH, 1981; 田中, 1985)。

### III. 分析試料と研究方法

#### 1. 分析試料

本研究で使用された試料は次の3航海で採取されたものである (Fig. 2)。

① Jean Charcot号 ESTASEI (1984年10月—同11月) の調査航海で日本列島周辺の陸棚斜面から採取した28本のピストンコアが用いられた。これらの試料には ES 記号を付す。

② 工業技術院特別研究「西南日本周辺大陸棚の海底地質に関する研究」の一環として、1986年6月から7月にかけて地質調査船白嶺丸による島根・鳥取沖海域の海底地質調査 (GH86-2航海) が実施された (有田ほか, 1987)。この海域では、スミス・マッキンタイヤ型グラブサンプラーを使って合計274地点で表層堆積物試料を採取した。本研究にはその中の30地点の試料を使用した。これらの試料には G 記号を付す。

③ 1986年11月から12月にかけて実施された東京大学海洋研究所調査船白鳳丸による海底地質調査 (KH86-5航海) で採取したサンプルのうち、5本のピストンコア (KP 試料)、1本のボックスコア (KB 試料) と1個のドレッジ試料 (KD 試料) が本研究に使用された。

まとめると、本研究に使われたサンプルは全部で65地点である。その内訳はピストンコア33本、ボックスコア1本、スミス・マッキンタイヤグラブにより採取した試料30個とドレッジによる試料1個である。これらのサンプルのうち、ジャン・シャルコーのコアの大部分と白鳳丸試料の一部は陸源物質が直接到達しにくい海底の地形的な高まりから採取され

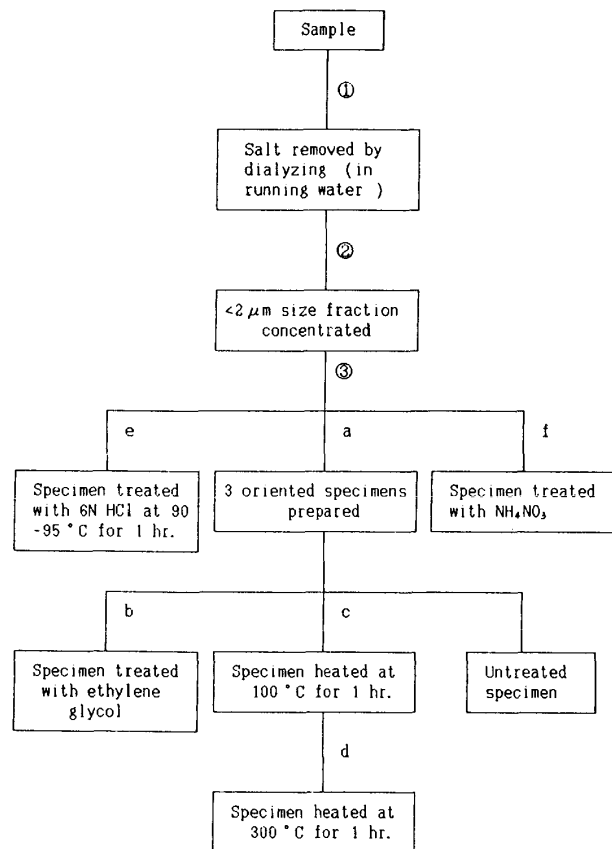


Fig. 3. Flow sheet showing the procedures of preparation of specimens for X-ray powder diffraction analysis.

た。例えば、ES18, 19, 20 (大和海嶺), ES25, 26 (隠岐海嶺), KP2 (銭州海嶺), KD1 (拓洋第2海山) など、このようなサンプルには堆積物に対する海流、風などの影響が反映していると思われる。この点でこれらのサンプルは非常に貴重である。

コアからの試料採取に当たって、白鳳丸のピストンコアとボックスコアは表層から5 cm までのサンプルを、ジャン・シャルコーのピストンコアは約150 cm 置きにサンプルを取った。

#### 2. 研究方法

##### (1) 顕微鏡観察

堆積物の性質を知るために、ES サンプルと KP・KB・KD サンプルについては、smear slide を1枚ずつ作って顕微鏡観察を行なった。なお、堆積物構成物質の組成は百分比視覚図を使って見積った。

##### (2) X線回折法による粘土鉱物の同定と定量分析

すべてのサンプルについて、X線回折法により堆積物に含まれる粘土鉱物の同定と定量分析を次の手順に従って行なった (Fig. 3).

① 試料調製は一般に原試料を水中で攪拌し、適当な時間静置した後懸濁液を取り、遠心分離器で試料を回収する。しかし、今回の試料は現世海底堆積物で海塩が含まれている。海塩(主に  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ) の存在により、微細な粒子の粘土鉱物は十分分散できなくなる。したがって、試料の分散効果を上げるために、粘土フラクションを分取する前に試料の塩抜きを行なった。試料に水を加え、適当に攪拌して、セルローズチューブに入れ、チューブを流水中に2日間浸しておく(杉崎, 1981)。

② 塩を抜いた試料を1lのシリンダーに入れ、蒸留水を加え、攪拌して自然に沈降させる。ストークスの法則にもとづき、水温に対応する時間経過後上部から10 cm までの懸濁液を吸い出し、遠心分離器で濃縮させる。

③ 濃縮された試料に対して、次の各種の処理を行なって、X線回折用の定方位試料を作る。

a) 試料をスライドガラスに落とし、自然乾燥させて定方位試料を3枚作る。

b) a) で作った試料の1枚にエチレングリコールを噴霧する。

c) a) のもう1枚の試料を100°Cで1時間加熱する。

d) 100°Cで加熱した試料をX線にかけた後、さらに300°Cで1時間加熱する。

e) 濃縮された試料を6N HCl 溶液中で、沸騰する水浴上で1時間加熱した後、塩酸を捨て、蒸留水で2-3回洗滌してから定方位試料を作る。

f) 濃縮された試料を1N 硝酸アンモン溶液中で、沸騰する水浴上で30分加熱し、洗滌して定方位試料を作る。

すべてのサンプルは、a)~e) の5通りの定方位試料についてX線測定を行なった。幾つかのサンプルはさらに硝酸アンモン処理も行なった。X線回折条件は、 $\text{CuK}\alpha$  使用, 35KV, 12mA, スリット系  $1^\circ-1^\circ-0.4$  mm, 走査速度  $1^\circ/\text{分}$  である。

粘土鉱物の同定は、SUDO *et al.* (1961) に準じて行なった。Fig. 4 は、例として Sample26-Core

Catcher の X 線回折パターンを示したものである。未処理試料の X 線回折パターンでは、各粘土鉱物の反射が重なっている。もし加水ハロイサイトがあれば、100°Cで加熱すると、10Åのピークが7Åに変わるので、残った10Åのピークはイライトである。300°Cで加熱すると、モンモリロナイトの15Åのピークが10Åに変わる。エチレングリコール処理後、モンモリロナイトの15Åのピークが17Åに変わる。緑泥石とカオリナイトの識別には HCl 処理試料の X 線回折パターンを用いた。緑泥石は HCl 溶液に溶けてしまうので、残った7Åのピークはカオリナイトの反射である。緑泥石が完全に溶けたかどうかはその3次反射の4.7Åのピークの有無によって確かめることができる。硝酸アンモン処理で、普通の Mg を含むパーミキュライトの14.5Åの回折線は10-11Åに収縮する。

粘土鉱物の定量については SUDO *et al.* (1961) と OINUMA (1968) の方法に従った。

## IV. 分析結果

### 1. 顕微鏡観察結果

ES サンプルと KP・KB・KD サンプルの顕微鏡観察の結果は Table. 1 に示した通りである。

日本列島周縁陸棚斜面上の堆積物の性質は、場所によってかなりの差が見られる。東北日本太平洋側の陸棚斜面は主に珪藻に富む泥質堆積物で特徴づけられ、珪藻軟泥も珍しくない。組成は、主成分となった珪藻と粘土部分のほかに、石英、長石、火山ガラス、石灰質ナンノプランクトン、海綿骨針、有孔虫、放射虫などからなる。石灰質ナンノプランクトンは、房総半島の東南沖から北海道の東沖合に向かって減少の傾向が明瞭に見られる。極く表層の堆積物中の珪藻は逆に北では多く、南の方では比較的少ない。

西南日本南方沖陸棚斜面は主に石灰質ナンノプランクトンに富む泥質堆積物で特徴づけられている。ナンノプランクトンと粘土のほかに、石英、長石、火山ガラスなども含まれている。南海トラフの軸部から採取したサンプルには明らかに生物源のものが少なく、石英などの陸源物質が優勢である。拓洋第2海山のサンプルは石灰質軟泥である。

日本海では、主に非生物源泥質堆積物からなっ

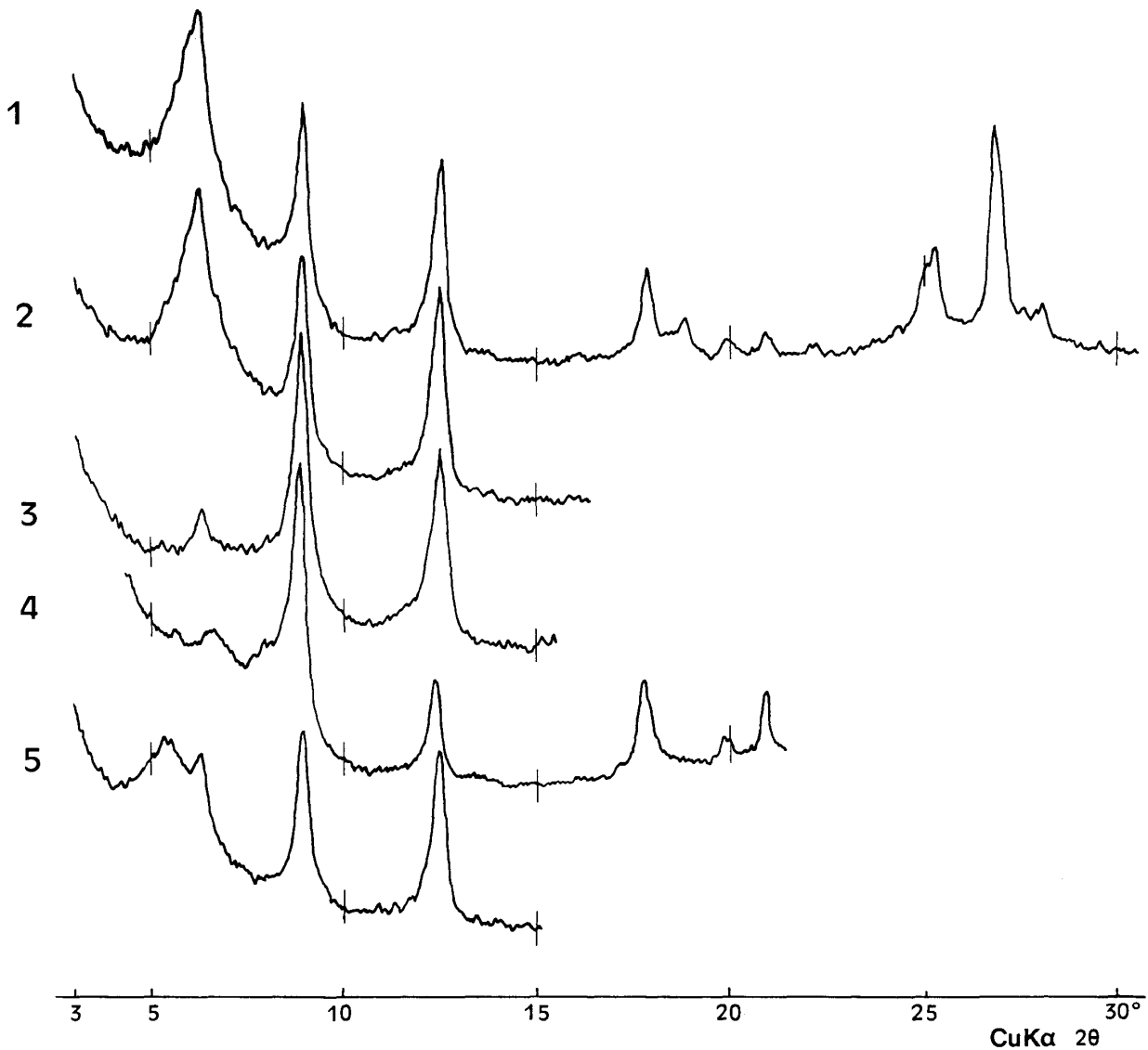


Fig. 4. X-ray diffraction patterns of sample 26-core catcher.

1: untreated, 2: heated at 100°C for 1 hr., 3: heated at 300°C for 1 hr., 4: treated with 6NHCl at 90-95°C for 1 hr., 5: treated with ethylene glycol.

いる。主成分は粘土で、太平洋側と比べて生物源のものがかなり少ない。大和海嶺の東端から採取されたサンプルには生物遺骸はほとんど含まれていない。

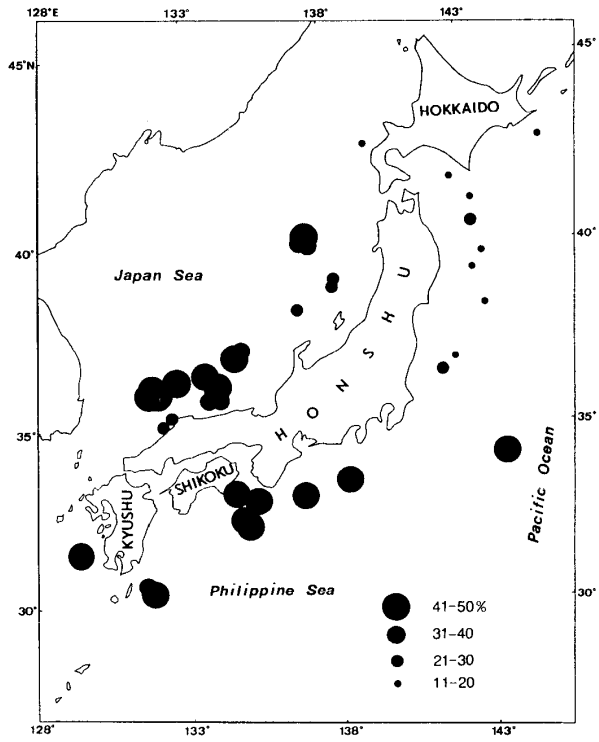
## 2. X線回折法による粘土鉱物の同定と定量分析の結果

X線回折法による粘土鉱物分析の結果、ES12コアの2つのサンプルにカオリナイトが検出されていないが、ほかのすべてのサンプルの粘土鉱物は、イライト、モンモリロナイト、カオリナイト及び緑泥石からなっている。

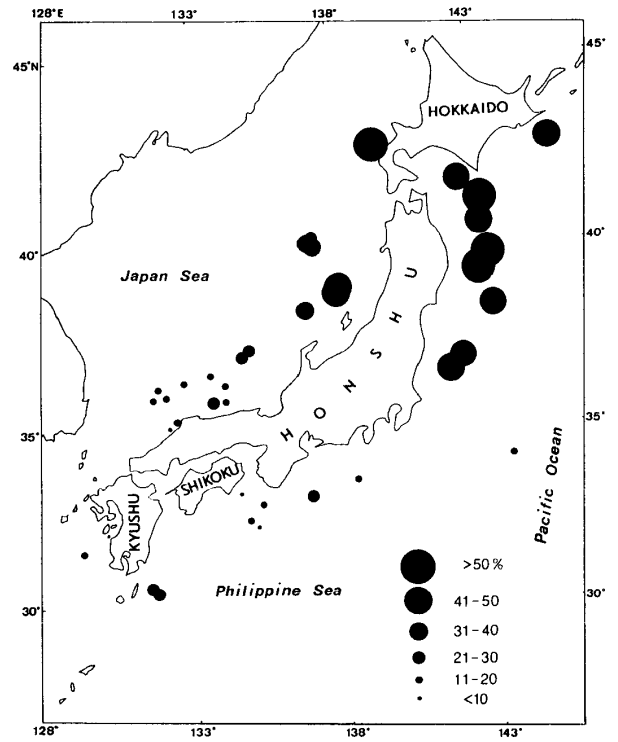
### (1) 粘土鉱物の水平分布

日本列島周辺陸棚斜面堆積物に含まれるこれら4種類の粘土鉱物組成には顕著な地域的変動が見られる (Fig. 5)。次に各粘土鉱物の分布の特徴を述べる。

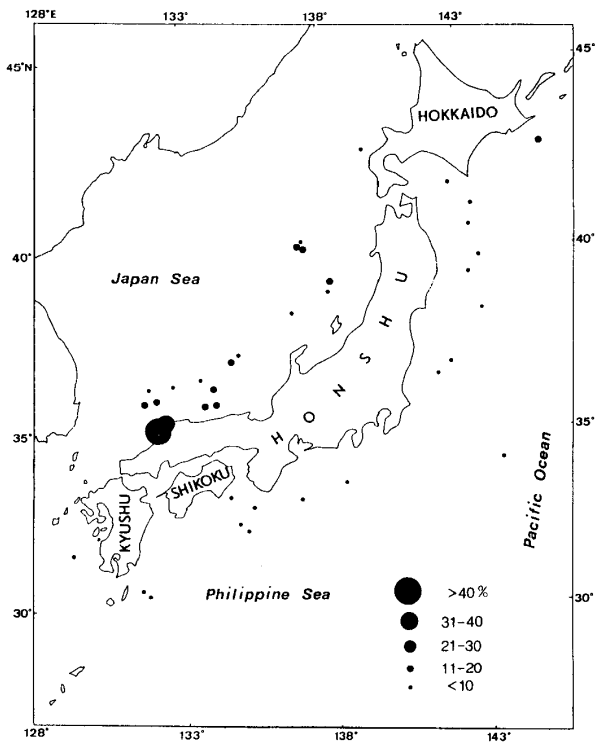
1) イライト (Fig. 5a) : イライトは今回取り扱ったサンプル中最も卓越した粘土鉱物の1つである。その含有率の変動幅は12-49%である。イライトの水平分布には地域的規則性が明瞭に見られる。日本海の場合、日本列島側の陸棚斜面に沿って山陰沖から北海道西方海域へイライトの相対量が次第に減っていく。すなわち、山陰沖ではイライトが大部分のサンプルで40%以上を占めているのに対し、北海道



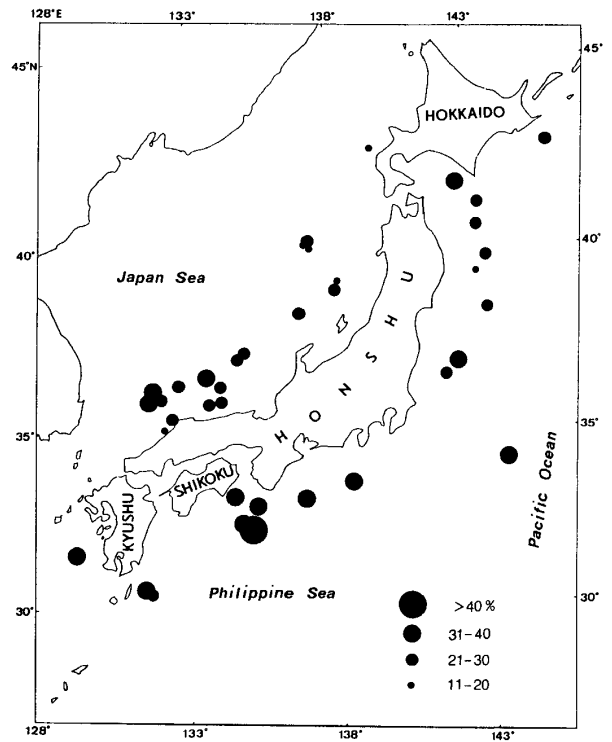
(a) Illite



(b) Montmorillonite



(c) Kaolinite



(d) Chlorite

Fig. 5. Clay mineral concentrations in the  $<2 \mu\text{m}$  size fraction of surface sediments.







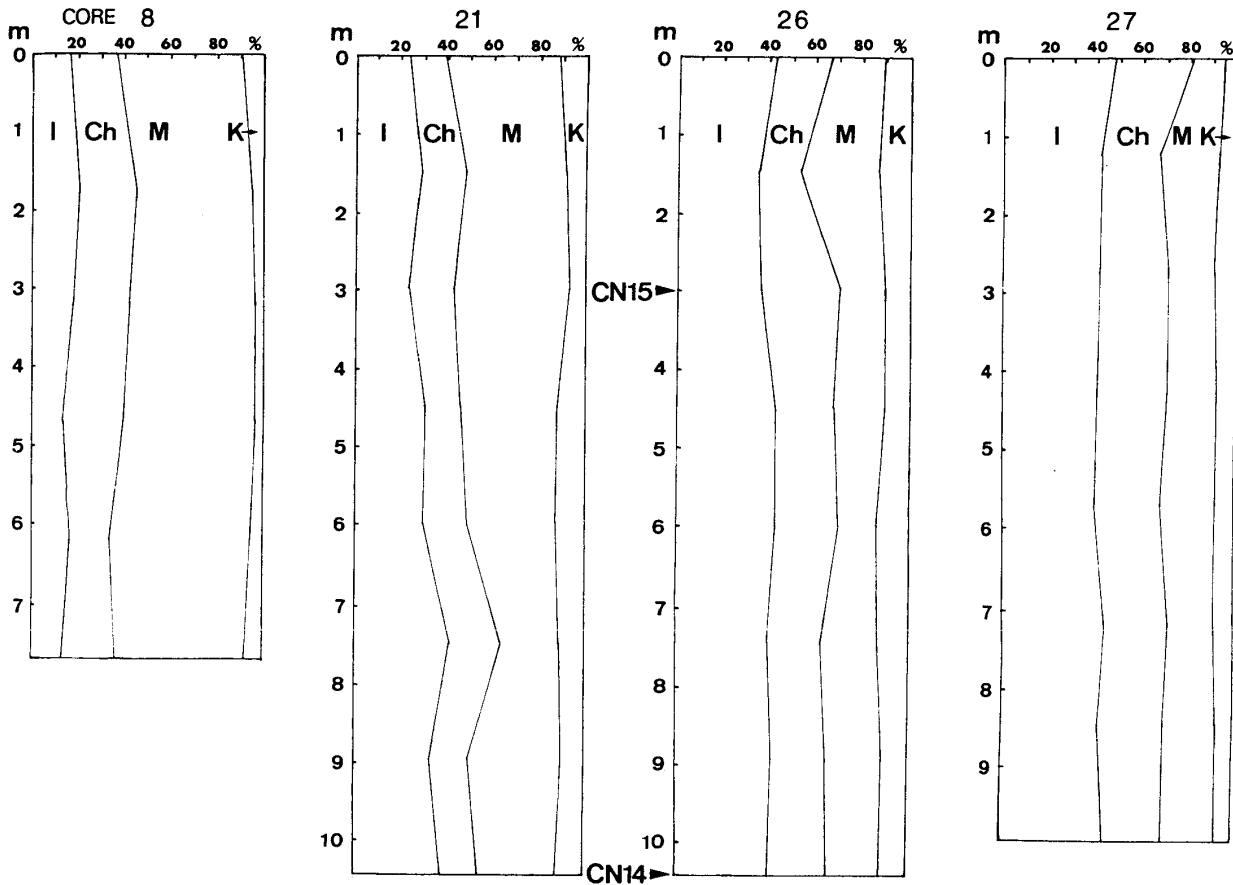


Fig. 6. Vertical variations in clay mineral composition in cores 8, 21, 26 and 27.

I: illite, Ch: chlorite, M: montmorillonite, K: kaolinite; CN14 and 15: calcareous nannoplankton age.

西方海域では15%しかない。しかも、山陰沖では、沿岸地域のイライトは沖合よりも低く、江の川と神戸川の河口付近で20数%程度にすぎない。

日本列島の太平洋側でも、イライトの分布の地域性が明瞭に認められる。房総半島の東沖合を境として、東北日本陸棚斜面ではイライト含有率は12-22%、大部分は10数%にすぎないが、西南日本南沖の陸棚斜面ではほとんどが40%以上を占めている。また、北西太平洋海盆にある拓洋第2海山のサンプルでもイライトが40%を超えている。

2) モンモリロナイト (Fig. 5b) : モンモリロナイトは本研究海域のもう1つの重要な粘土鉱物である。含有率の変動幅は非常に大きく、8-65%に達する。モンモリロナイトは主に東北日本の両側海域、とくに東側に卓越しており、イライトと対照的な分布を示している。日本海の東縁では北から南へモンモリ

ロナイトが次第に減っていく。北海道西方海域ではその含有率が65%にも達しているが、山陰沖では10数%しかない。太平洋側については、やはり房総半島の東沖合が境となっており、東北日本の陸棚斜面ではモンモリロナイトの含有率は42-59%、西南日本南側陸棚斜面では10数%にすぎない。拓洋第2海山でも20%しかない。

3) カオリナイト (Fig. 5c) : カオリナイトは研究海域表層堆積物中最も少ない粘土鉱物である。日本列島太平洋側ではほとんど10%以下の含有率であるが、日本海側は太平洋側に比べてやや多い。とくに山陰沖では多いが(10数%程度)、特記すべき事実は河川の河口付近でカオリナイトの含有率が高いことである(江の川、神戸川河口付近で27-44%)。

4) 緑泥石 (Fig. 5d) : 調査海域の緑泥石の含有率は12-40%で、大部分のサンプルは30%前後である。

