

## 有明海の海底堆積物\*

鎌 田 泰 彦\*\*

(昭和42年1月10日受理)

## Bottom Sediments in the Ariake Sea

Yasuhiko KAMADA

## 序 言

有明海は、福岡・熊本・長崎・佐賀の4県にかこまれ、九州西部に南から深く入り込んだ大きな内湾であり、延長96km・平均幅18km・面積1,700km<sup>2</sup>の水面を有している。海図の上では全体を島原海湾とよび、湾奥を有明海というが、一般には総称的に有明海を用いている。

有明海の全般的な底質は、水路部発行の海図第169号(島原海湾)の底質記号によって概要が知られ、星野通平(1952)<sup>5)</sup>によって泥質堆積物の異常分布が指摘されたことがある。しかし本格的な堆積学的研究は、最近の10年間に急速に進展した所である。

筆者(1957)<sup>6)</sup>は昭和31年8月に予察的な底質調査を行ない、湾の北半部地域の25点より採取した試料の粒度組成によって、4つの堆積型を識別したことがある。その後、有明海大干拓計画の基礎調査として、海上保安庁水路部<sup>8)</sup>・地質調査所<sup>2)</sup>・有明海研究グループ<sup>1)</sup>などがこの種の間諷と取組み、数多くの成果が挙げられている。また有明製鉄原料調査部によって、砂鉄鉱床の開発のための海底調査も行なわれてきた<sup>13)</sup>。

昭和34年に、農林省西海区水産研究所(長崎)・4県水産試験場・長崎大学水産学部・九州大学農学部水産学科などで組織された、有明海水産研究会の総合調査が行なわれた。筆者はその第2回(12月17~23日)の調査の際に、長崎水試の鶴丸(122t)に乗船し、有明海全域に亘る72の観測点中、55点で底質の採取を行なった。これらの試料中には、有明海の湾奥部に特有な“ガタ(潟土)”(一名ヘドロ)といわれる泥質堆積物から、湾口部の礫質堆積物に至るまでの種々の海底堆積物が含まれている。従って、有明海の海底堆積物の粒度分布によって知られる堆積型は、この種の内湾における一つの標式をなすものと考えられるので、その研究結果を述べて、他地域との対比の材料に供したいと思う。

〔謝辞〕 本研究を進めるにあたり、有明海総合調査実施当時の西海区水産研究所資源部長辻田時美博士(現東北海区水研所長)、長崎県水産試験場藤田正場長(現三重県立大学水産学

\* 日本地質学会西日本支部第40回例会(於熊本大学)にて講演

\*\* 長崎大学教育学部地学教室

部教授)にはとくにお世話になった。試料の処理には、井上昌幸・堀口承明・神近利明の諸学士に長崎大学在籍中に協力して頂いた。また地学教室深堀慎仁学士には製図の援助をして頂いた。ここに深く感謝の意を表する。本研究に用いた費用の一部は、文部省科学研究費によるものである。

## 1. 海 底 地 形 の 概 要

有明海は、湾口部の早崎瀬戸から島原半島ぞいに水深が大きく、湯島附近に湾ではもっとも深い水深-154mを示す細長い海釜<sup>かいふ</sup>があり、-50mの等深線は島原沖にまで達している。-30~40m平坦面が広く分布するが、この平坦面はウルム氷期末期の海退によって形成されたものと考えられている<sup>1)</sup>。

湾奥部には南北にのびた列状の高まりがある。峯の洲で代表される海底自然堤防であり、これに接して海底水道<sup>みお</sup>があつて、筑後川・六角川・塩田川などの河口沖の湾に連なっている。<sup>1)5)6)</sup>

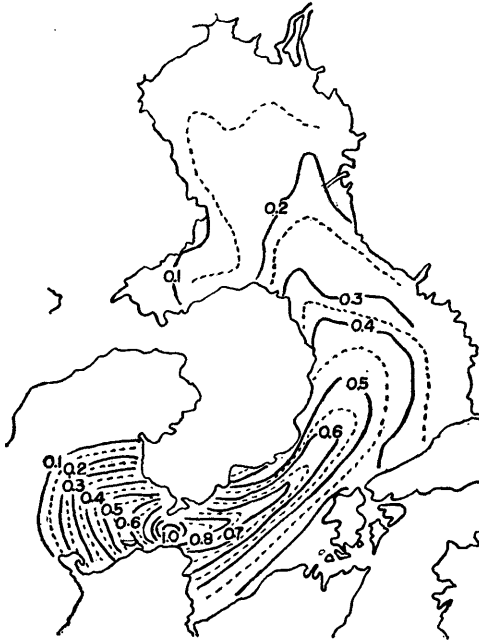
有明海の潮位差は著しく、湾奥の住ノ江における大潮差は494cm(本邦最大)に及んでいる。この結果、泉水海(諫早湾)や佐賀・肥後平野の前面に広大な干潟が発達し、その面積は大潮時238.1km<sup>2</sup>(小潮干潟面積109.9km<sup>2</sup>)に達する。干潮時には長崎・佐賀側ではいわゆるガタが露出し、熊本側では巨大な連痕が現われる。

## 2. 海 況

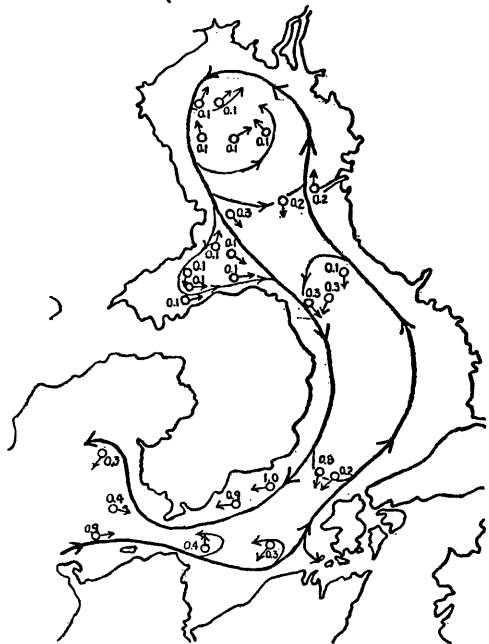
有明海<sup>1)2)</sup>の海況は、長崎海洋気象台や沿岸各県の水産試験場によって詳しく観測されている。<sup>1)2)3)</sup>潮流の大勢は流速の大きい点が外海と異なる。その流速は湾奥部で陸水の補給がたえずあるため、落潮流の方がやや大きい。速度は早崎瀬戸より島原附近に至る間で大きい。ことに瀬戸附近では6~7ktに達し、島原附近では約3ktとなり、湾奥部では1kt内外に減ずる。水路部<sup>6)</sup>の観測によれば、早崎・三角・長洲の各地区を通過する潮流の最大流速は、それぞれ6.5, 2.6, 2.0ktとなっている。

湾口部の早崎瀬戸中央部における流速の最大値は365.0cm/secであり(昭和28年10月9日観測)、この値を1.0として湾内各点の最大値との比を求めた流速比の分布を第1図に示す。<sup>2)3)</sup>この流速比の分布が等深線と非常によく似ている点は、有明海の海底地質を論ずる際に重要である。

潮流に支配されない定常流の分布を第2図に示す。<sup>2)3)</sup>早崎瀬戸の南沿岸より流入した外洋水は、湾の東岸ぞいに北上し、長洲沖から西に方向を転じ、島原半島にそって南下した後には干々石湾に流出する。湾奥部の竹崎島一大牟田以北では、反時計廻りの湾内環流が存在する。この湾奥部に流入する河川水の影響で、蓄積する余剰水は、南下する外洋系の水と多比良<sup>たいら</sup>附近で合流して湾外に放出される。



第1図 有明海における流速比の分布 (2m層)  
(長崎海洋気象台原図)



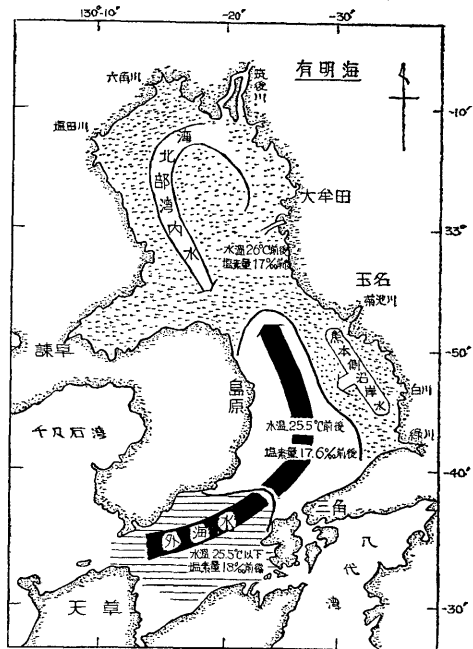
第2図 有明海における湾内環流 (定常流) の大勢 数字はノット (長崎海洋気象台原図)

水温・塩素量などの性質による有明海の水系は、およそ3型に区別される。<sup>15)</sup> 湾口部に分布する外洋型水系は、湾内水に比較すると気象の影響を受けることが少なく、冬期は高温・高鹹、夏期は低温・高鹹を示す。これに対し、湾奥部 (湾北部, 泉水海) と熊本沿岸ぞいに発達する沿岸型水系は、気象・気候および流入河川水の影響を強く受ける。両者の中間的な性質をもつ中間型水系は、上層は沿岸水、底層は外洋水の影響を受ける。外洋水の影響範囲はこの型の水塊に留まるものと考えられる。

昭和30年9月に長崎県水産試験場が行なった海洋観測の結果を総括してえがかれた、有明海水系模式図を第3図に示す。

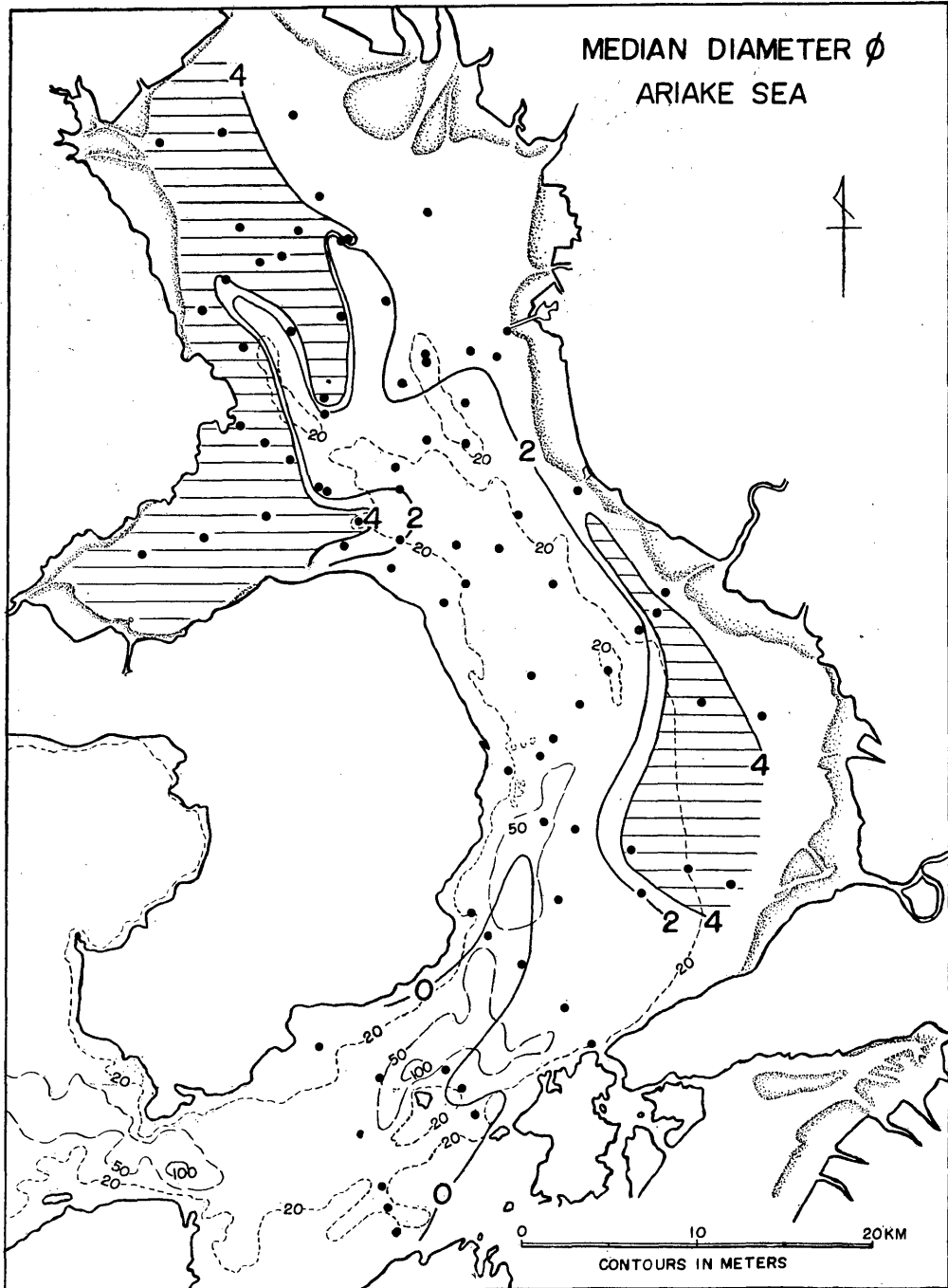
### 3. 底質の粒度組成

底質試料は、砂質部は篩分法、泥質部はピペット法によって粒度分析を行なった。測定結果



第3図 有明海の水系模式図 (9月)  
(長崎県水産試験場原図)

より粒径中央値 $Md$ 、TRASKの分級係数 $S_o$ および歪度 $S_k$ を求めた。これは各粒度毎の重量%を、粗粒から細粒のものへと加算した累積曲線上の四分位数 $Q_1$  (25%)、 $Md$  (50%)、 $Q_3$



第4図 有明海における海底堆積物の粒径中央値  $Md\phi$  の等値線図

(75%)の値をとり、次式で算定したものである。<sup>22)</sup>

$$So = \sqrt{Q_1/Q_3}, Sk = Q_1 \cdot Q_3 / Md^2$$

また粒径中央値を表わすのに $\phi$ 値を用いたが、粒径 $d$  mm =  $1/2^\phi = 2^{-\phi}$ である。

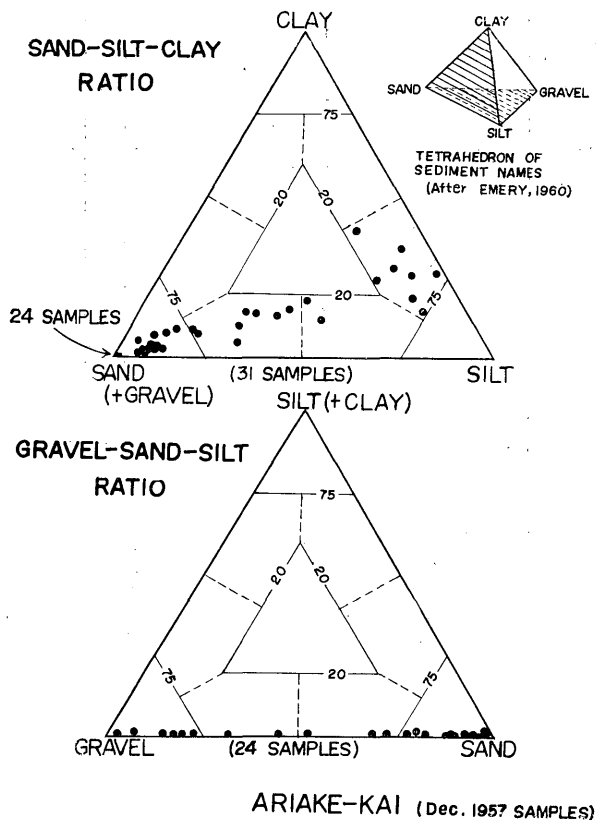
有明海の底質は、湾口部の海底で岩盤の露出している所から、湾奥部の干潟をつくる軟弱な粘土質に至るまで、変化の幅は頗る著しい。礫を50%以上を含む $Md\phi < -1$  ( $Md > 2$  mm)の礫質堆積物は湾口部に分布し、強い潮流の影響を受けていることは明らかである。 $Md\phi$ が4~8 (0.0625~0.004mm)を示すシルト質堆積物の分布は、湾奥の西半部と熊本側沿岸部に完全に2分されるが、とくに泉水海や塩田川沖には $Md\phi > 8$  ( $Md < 0.004$ mm)の粘土質の部分をも含んでいる。湾中央部には南北に延びた砂質堆積物が分布する。湾北部で泥質堆積物の分布が、0~2 $\phi$ の粗粒な砂質堆積物に移る変化は急激である。とくに塩田川と六角川沖の海底水道附近では、泥質分布域に砂質のそれが舌状に入込んでいるのは著しい現象である(第4図)。

SHEPARD (1954)<sup>21)</sup>が提唱した Sand-silt-clay ratio による海底堆積物の命名法によれば、湾奥西半部の泥質堆積物の大部分は clayey silt~silty clay であるが、海底水道附近の底質には silty sand や sandy silt が見出される。一方熊本沿岸部の泥質堆積物は、緑川の河口沖では calyey silt が分布するが、菊池川河口沖では多少砂質となり silty sand の広い分布が存在する。

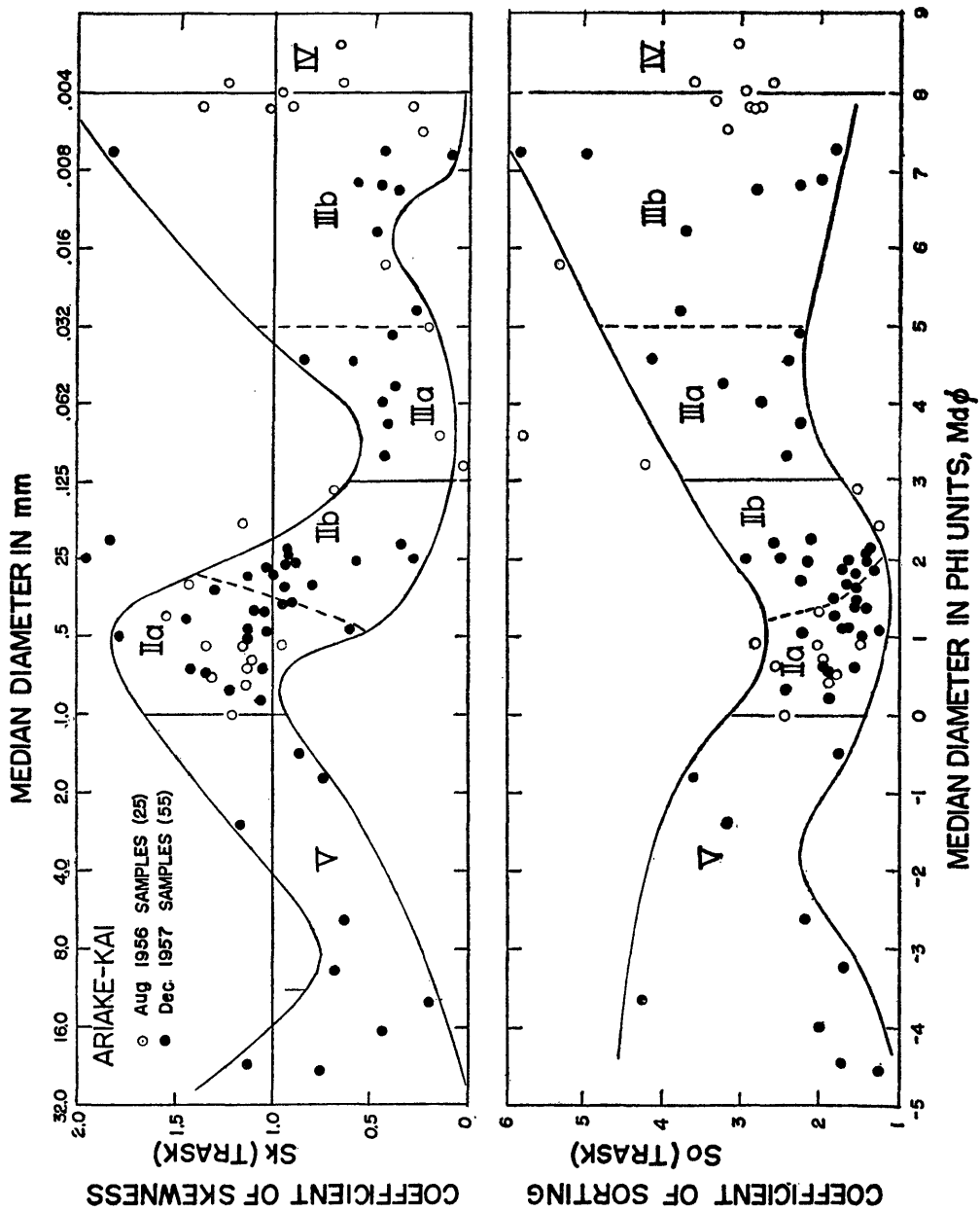
砂質分布域の堆積物の大部分は sand に入り、南部に僅かに gravelly sand がある。礫質分布域の堆積物は sandy gravel ~ gravel である(第5図)。

#### 4. 粒度分布と堆積型の区分

第6図のように、Md に対する So 値や Sk 値をとった粒度分布図をえがくと、礫質部・砂質部・泥質部にそれぞれ特徴ある集団が認められる。すでに述べたように、有明海においては、浅海堆積物の種々の性質をもつ底質試料が採取されるので、



第5図 Sand-silt-clay および Gravel-sand-silt の含有率を示す三角座標図



第 6 図 粒度分布と堆積型の区分

この粒度分布の考察の際の一典型を提供するものと考えられる。

粒度分布図よりいくつかの堆積物の型を識別することができるが、その区分の基準として INMAN and CHAMBERLAIN (1955)<sup>7)</sup>が、アメリカの California の La Jolla, Texas の Rockport および Mississippi Delta の 3 地域の沿岸堆積物の研究の際に提唱したものを多少修正して用いた。この方法は、隣接海域であるちぢわ石湾の底質の研究ですでに使ったものである。<sup>10)11)12)</sup>

I 型はもっとも分級の進んだ細粒の砂質堆積物に与えられ、長汀海浜砂の多くはこの型に含まれよう。有明海においては、筑後川口のデルタの頂置層や、島原半島の南東岸の砂浜にこの種の堆積物が分布するが、詳しくは今後の精査によらなければならない。佐藤任弘 (1961)<sup>20)</sup>が砂質堆積物の粒度型の分類の基準とした、 $2.50 \sim 3.25\phi$  に Md を有する極端に淘汰のよい O 型がこれに相当するであろう。

大部分の砂質堆積物は II 型に含まれる。 $Md\phi 0 \sim 3$  の堆積物の So が  $1.25 \sim 3.0$  の範囲に集中することは著しい特徴である。II 型はさらに  $Md\phi$  の 1.5 附近をもって粗粒の IIa 型と、5% 以上の含泥量をもつ細粒の IIb 型に分ける。この場合 IIa は  $Sk > 1$  であって、粗粒部の分級が悪いが、IIb は  $Sk < 1$  で細粒部の分級が不良となる傾向がある。

泥質堆積物は、 $Md\phi$  が  $3 \sim 8$  のシルト質の III 型と、粘土を 50% 以上含む ( $Md\phi > 8$ ) 粘土質の IV 型に区分する。有明海においては便宜上 III 型を  $5\phi$  をもって IIIa と IIIb とに細分した。IIIa における So は  $2.0 \sim 5.0$  を示し、両隣りの IIb や IIIb と比べて分級が不良である。IIIb の So 値のばらつきはさらに大きいのが、比較的良好なものも存在する。III 型の Sk 値が 1 以下であるのは著しい特徴であるが、IV 型に近づくに従い、1.0 附近の正規分布型に集中する傾向を見せる。\*

一方礫質部でも  $Md\phi$  が 0 以下では分級も不良となり、砂質の II 型から識別される V 型を構成する。この型の堆積物には一般に石灰質の生物遺骸の破片を多量に含むことが大きな特徴であり、bimodal な粒度分布をもつ。しかし coarse pebble 大の Md 値をもつ礫では、石灰質の破片も少なくなり分級も良好になる。

## 5. 浅海堆積物の粒度分布に対する考察

以上述べてきたように、Md に対する So, Sk の関係を示す粒度分布図においては、ただ単に堆積物の識別を行うだけでなく、浅海堆積物の一般的特性をとらえることができる。

I 型や II 型においては小さい So 値をとり、Sk 値も 1.0 附近に集中しておよそ正規分布を示す。これを中央において、細粒と粗粒に向い So の最小値が次第に高くなって分級が不良になるが、さらに外側では再び分級の良好な点も出てくる。すなわち IIIa においては分級の良好なも

\* IIIb~IV 型において、1956 年試料と '57 年試料における分散の度合の違いは、採取時期が夏期と冬期であったため、気象条件に影響を受けていると思われる。

のは全くないが、IIIbで良好な点もあらわれる。したがってIIIaは砂質のⅡ型と泥質のIIIbの間に存在する中間相といえる。IIIaの堆積物は殆んどが含泥量25~50%のsilty sandである。<sup>12)</sup>

同様なことは礫質部においても考えられるが、有明海の試料中にはMd $\phi$ が-2附近のものが少いので詳しくは論じられない。しかし、EMERY (1955)<sup>9)</sup>によれば、海浜礫の62の分析例の平均粒径中央値は56.0mm (-5.8 $\phi$ )であり、その平均分級係数は1.25を示すといわれ、礫質堆積物にも分級のよいものが存在していることは明らかである。

これまで述べてきたことから、浅海堆積物を形成する際の一般則として、Md値がおよそ-6, 2, 8を示す附近に、それぞれ礫質、砂質、泥質の堆積物中における分級のよいものが集中する傾向が認められる。この3つの粒度附近では、それぞれ堆積条件に安定さをもっているものと考えられる。もし、堆積条件が重複してくると、分級の悪い中間相が形成されるのであろう。このことは、有明海に隣接する千々石湾の海底堆積物の粒度組成においても、全く同じ現象が認められる。<sup>10)12)</sup>

他地域においても、例えば砂質より礫質に移る部分については、熊本県天草富岡半島附近の底質(満塩博美, 1964)<sup>14)</sup>、また砂質から泥質への変化の状態は、新潟県北蒲原沖の底質(佐藤任弘, 1960)<sup>15)</sup>、および北海道サロマ湖の底質(大島和雄ほか, 1966)<sup>16)</sup>の研究によって与えられたMd/So相関図を見ても、全く同じ現象が認められる。

奈須紀幸ら(1962)<sup>17)</sup>は、東京湾口の海底地質の研究において、「普遍的な傾向として、中央値Md $\phi$ が細砂、中砂付近で淘汰度 $\sigma_\phi$ (INMAN)が最も小さく、淘汰がよいことを示し、より粗粒になっても、細粒になっても $\sigma_\phi$ の値は増大して淘汰は悪くなる。またMd $\phi$ 値が3~4より小さい、いわば粗粒の方では $\alpha_\phi$ 値(INMANの歪度)は負の値が多く、より大きく、すなわち、細粒へ向うと急に正の値へ移行する。」と述べている。その理由については奈須<sup>16)</sup>が流体力学的に説明している。

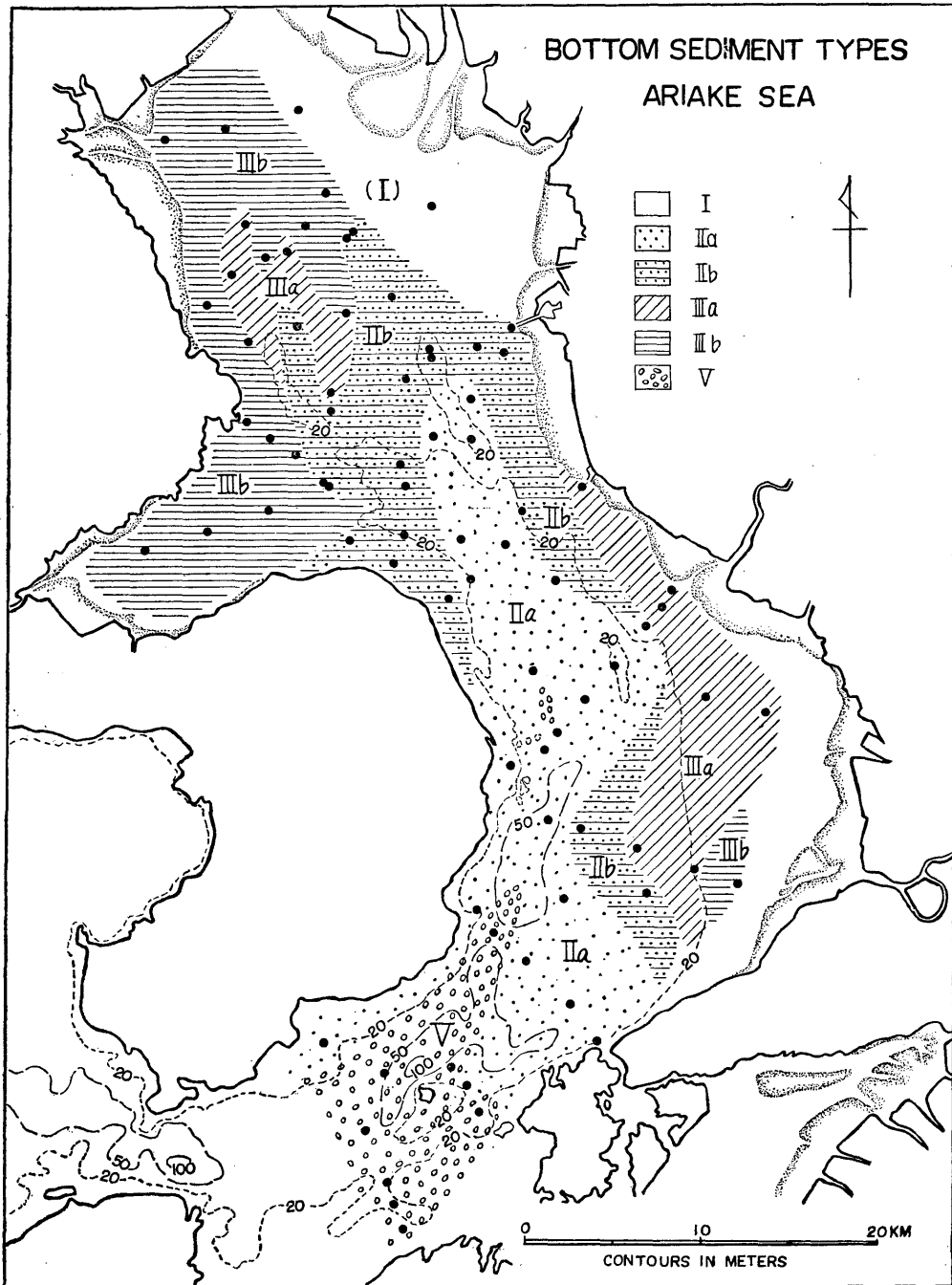
さらに多くの材料により検討を加える必要はあるが、この段階で極言すれば、浅海堆積物の性質はある程度粒径中央値によって、その範囲が規定されるものである。またいくつかの粒度に類似したSo値やSk値が出てくるので、So値やSk値の等値線図による底質分布の表現は、異なる堆積型にまたがる場合には、不適當であるといえる。

## 6. 有明海の堆積型の分布(第7図)

有明海の湾口部においては、礫質堆積物であるV型が分布する。V型とIIa型の分布の境界は、さきに述べた早崎瀬戸中央部の最大流速を1とした場合の0.6の流速比の等値線にほぼ一致する。V型の分布域は全く外洋型水系の支配下にある。

砂質堆積物を代表するⅡ型の分布域は、湾央部では島原半島ぞいの西半部を占めるが、湾奥部では東半部に移り、全体としては南北方向の帯状分布をとる。





第7図 有明海における堆積型の分布

IIa型は大部分が泥をもたない砂で構成され、一部礫質砂が含まれる。IIb型は湾奥東半部の底質によって識別されたもので、多少の泥を混じている。両者の境界は流速比の0.2~0.3の等値線附近にあり、とくにIIa型は中間型水系の支配下に分布している堆積物である。またこのIIa型に属する砂質堆積物は、島原海湾層<sup>1)</sup>とよばれる洪積層が、海底の浸食によって洗出されているものと推定される。

熊本側沿岸水の発達する地域の底質の大部分はIIIa型の silty sand である。緑川河口沖にはIIIb型の小分布も認められ、ここでは河口より沖合に向いIIIb→IIIa→IIb→IIa→Vの漸移的な底質変化が認められる。この変化は水深の増加するにつれて堆積物が粗粒になることを示すもので、海水の流速に順応したものであることは明らかである。菊池川河口沖ではIIbを欠いており、沖合に向ってIIIaより急激にIIaに変化する。

湾奥の西半部はIIIb型の泥質堆積物で特徴づけられる。これは有明海ではもっとも細粒の堆積物で、一般にはガタと呼ばれ、干潮時の干潟において露出する。最近では、土木工学での慣例にしたがって「有明粘土」と呼ばれている<sup>1)</sup>。またこの有明粘土からなる地層(有明粘土層)は最大30mの厚さをもつ沖積層であり、その下限の絶対年代は約9,000年B.P.前後と推定されている<sup>1)</sup>。

この湾奥部のIIIb型は、湾内でもっとも流速の遅い、沿岸水が発達する地域に分布する堆積物であるが、主な供給源は筑後川であって、川口より排出した微細粒子は湾内環流により反時計廻りに西側に運ばれ、流速を減じた沿岸水の下で沈積することが考えられる。星野通平(1952)<sup>5)</sup>は、有明海において泥質堆積物が両側に分れて分布する異常性は、満潮時に河川の影響の強い低鹹水が両岸に圧迫されてしまうことに起因すると説明している。

## 7. 底質と生物遺骸群集との関係

浅海堆積物中に含まれる大型の生物遺骸群集の代表者は貝類である。島原—長洲線以北における底質と貝類遺骸の分布との関係については、かつて簡単に述べたことがある。<sup>9)</sup> また有明海全般の貝類相については、波部忠重・田中彌太郎(1959)<sup>4)</sup>の詳細な報告がある。これらの報告に基づいて考察すれば、およそ次のような堆積型と遺骸群集との関係が知られる。

湾奥のIIIb型に属する泥質分布域では、強内湾性の貝類群集が自生堆積をしており、*Theora lubrica* シズクガイ、*Raeta pulchella* チョノハナガイ、*Paphia undulata* イヨスタレ、*Veremolpa micra* ヒメカノコアサリ、*Ringicula doliaris* マメウラシマがその主要構成種である。熊本沿岸の菊池川口に近いIIIa型の silty sand の底質には、上記の内湾性種が少なくなり、*Abrina kanamarui* シロバトガイ、*Myadora fluctuosa* ミカドカタピラガイなどが多くなる。また緑川口に近いIIIb型の泥質中には *Alveolus ojanus* ケントリガイが豊富に含まれる。

湾中央部のIIa~IIb型の砂質堆積物には、*Ostrea* カキの破片や、*Modiolus comptus* ピロ

ードマクラの死殻がきわめて豊富に含まれる。その他の貝類では、*Crassatellites nanus* スダレモシオ、*Chlamys asperulata* ヒナノヒオウギ、*Anisodonta gouldi* イソカゼなどが多い。また単体珊瑚の *Discotrochus (Cylindrophyllia) minimus* YABE and EGUCHI が共産するのは特徴的である。この珊瑚は陸上では島原半島の南端に近い、南有馬町原城趾の大江貝層（後期洪積世）に化石として含まれている。しかし、この海底の砂質堆積物（島原海湾層）は、大江貝層よりも新しい地層であるという見解が出されている。<sup>1)</sup>有明海以外の海底からは、天草富岡半島附近の砂質堆積物より発見されている。<sup>14)</sup>

湾口部の V 型の礫質堆積物には、貝類遺骸は量も種類も少なくなるが、波部・田中によれば、種の構成は外洋的傾向が強くなるという。

## 結 語

有明海全域にわたって採取された、80の底質試料の粒度分析を行った結果、浅海性の海底堆積物の本質的な特徴を、この地域においても再確認することができた。粒度の変化にともなう堆積物の構成粒子の集合状態には、各地とも共通性をもっている。粒径中央値が砂質から泥質に移る附近 ( $Md\phi$  が 4~5) や、砂質から礫質に移る附近 ( $Md\phi$  が -1~-2) には、分級のよい部分を欠いているのは著しい特性である。これまで個々の粒子の流体中における運動型式は、内外の多くの学者によって明らかにされているが、粒径に広い範囲をもつ粒子の集団の堆積機構については、今後もあらゆる角度から検討する必要がある。

また有明海には、現在の海況に支配されて沈積した堆積物と、未凝固の洪積層が海底浸食によって洗出された残留物とが共存する。このような海域では、海底堆積物のすべてを「現世堆積物」として解釈する訳にはいかず、ここでも第四紀学の導入（地史的なものの考え方）が不可欠である。従って、今後は、堆積物中の化石群集や重鉱物組成などを明らかにすることによって、物質の供給源をたどる必要がある。

## 引 用 文 献

- 1) 有明海研究グループ (1965) : 有明・不知火海域の第四系 一とくに有明軟弱粘土について一 地団研専報 (11), 1-86.
- 2) 中条純輔・近藤信興・倉沢 一 (1961) : 島原海湾における音波探査および沿岸地質について 地調月報 12, (4), 247-274.
- 3) EMERY, K. O. (1955) : Coarse Gravels from various Environments. Jour. Geol., 63, (1) 39-49.
- 4) 波部忠重・田中弥太郎 (1959) : 有明海の貝類相一 I 有明海研報 (5), 9-18
- 5) 星野通平 (1952) : 日本近海大陸棚の泥質堆積物について 地質雑 58, (677), 41-53.
- 6) ——— (1958) : 日本近海大陸棚上の堆積物について 地団研専報 (7), 1-41.
- 7) INMAN, D. L. and CHAMBERLAIN, R. K. (1955) : Particle-size Distribution in Nearshore Se-

- diments. *Finding Ancient Shorelines*, 106—129.
- 8) 海上保安庁水路部 (1959) : 島原海湾の海底地形・底質分布および潮流 水路部調査報告, 1—42.
- 9) 鎌田泰彦 (1957) : 有明海の底質 (概報) 堆積学研究 (10), 5—8.
- 10) ——— (1959) : 長崎市郊外網場湾の海底地質 長崎大学芸自然科学研報 (10), 1—14.
- 11) ——— (1962) : 長崎附近の現世海成堆積物と貝類遺骸群集 化石 (3), 39—42.
- 12) ———・堀口承明 (1963) : 千々石湾茂木沖の堆積物と貝類遺骸群集 長崎大学芸自然科学研報 (14), 33—47.
- 13) 松石秀之 (1966) : 有明海における海底砂鉄の地質及び鉱床 —海底砂鉄探査の研究 その1— 九州鉱山誌 34, (1), 23—60.
- 14) 満塩博美 (1964) : 天草富岡半島付近の底質 九大理学部研報・地質 6, (3), 167—187.
- 15) 長崎県水産試験場 (1956) : 有明海の開発 (のり漁場) 調査 有明海調査 (6), 1—46.
- 16) 奈須紀幸 (1958) : 浜砂の生成機構 科学 28, (10), 529—525.
- 17) ———・加賀美英雄・中条純輔 (1962) : 東京湾口の海底地質 日本海洋学会創立20周年記念論文集 98—119.
- 18) 大島和雄ほか5氏 (1966) : 北海道サロマ湖の生態学的研究 —形成史と底質について— 北海道水試報告 (6), 1—32.
- 19) 佐藤任弘 (1960) : 新潟県北蒲原沖の底質 地質雑 66, (782), 710—716.
- 20) ——— (1961) : 浅海堆積物の粒度型について 地質雑 67, (785), 58—65.
- 21) SHEPARD, F. P. (1954) : Nomenclature based on Sand-Silt-Clay Ratios. *Jour. Sed. Petol.*, 24, (3), 151—158.
- 22) TWENHOFEL, W. H. and TYLER, S. A. (1941) : *Methods of Study of Sediments. McGraw-Hill Book Co.*, 183p.
- 23) 安井善一・赤松英雄・中村 勲 (1954) : 有明海の潮汐と潮流について 有明海の総合開発に関連した海洋学的研究 (長崎海洋气象台) 3—40.