

## 大隅海峡にみられるベッドフォームの形態と分布

池原 研\* 木下泰正\* 西村清和\*  
中村光一\* 川幡穂高\*

IKEHARA, K., KINOSHITA, Y., NISHIMURA, K., NAKAMURA, K. and KAWAHATA, H. (1988) Morphology and distribution of bedforms in the Ōsumi Strait, south Kyushu, Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 39(2), p.95-113.

**Abstract:** Six kinds of bedforms are found in the Ōsumi Strait, located between Kyushu and Tanega-Shima, south Kyushu, Japan by sea floor mapping using side-scan sonar and sea bottom photography. These bedforms are 1) sand streamers, 2) sand ribbons, 3) sand waves, 4) megaripples, 5) ripple marks and 6) current lineations.

Sand waves observed in the Strait have a linear relationship between waveheight and wavelength in log-log plots, but there is no apparent relationship between waveheight and water depth.

Bedform distribution shows a systematic change from southwestern part of the Strait to eastern or northern part as follows; sand streamer · sand ribbon → sand ribbon · sand wave → megaripple → ripple marks only. The surface sediments tend to become finer from southwest to northeast. It is considered that these changes in bedforms and grain size are caused by decrease of the current energy which transports the sediments.

The bedform system of the Strait is formed by a single current system as compared with the bedform system formed by tidal currents. The presence of sand streamers indicates that these bedforms are active under the present hydraulic conditions, because the sand streamer is not resistant to change of the current conditions. The bedform is controlled by the unidirectional ocean current flowing through the Strait which is the Ōsumi Branch Current, one of the branches of the Kuroshio.

It is concluded that the bedform system observed in the Ōsumi Strait is the ocean current generated system.

## 1. はじめに

河川の河道や湾口・潮流口及び大陸棚上(特に海峡部や堆上)のように水の流れの速いところでは様々なベッドフォームが分布することが知られている。現在の水理環境下で形成されるこのようなベッドフォームの理解は、過去における同様な堆積構造をもつ地層の堆積環境を推定するという地質学的な面で重要であることはもちろんだが、堆積物の移動・沈積という観点からみれば、現在の水域の利用・開発という土木・工学的な面においても重要である。

これまで、水の流れに関係して形成された堆積構造の研究が数多く地域でなされてきた。イギリス海峡や北海及びその周辺海域は、研究が最もすすんでいる地域のひとつである(例えば, STRIDE, 1963など)。この他の地

域でも、アメリカのコロンビア川(JORDAN, 1962)やWabash川(JACKSON II, 1976)などの河川, 南アフリカ(FLEMMING, 1978, 1980)や北米大西洋側(TWICHELL, 1983)などの大陸棚上, アラスカのLower Cook Inlet(BOUMA *et al.*, 1980)やサンフランシスコ湾(RUBIN and McCULLOCH, 1980)などの湾口部, カナダのFundy湾(DALRYMPLE *et al.*, 1975)などの潮間帯などからも報告がある。日本でも、瀬戸内海の備讃瀬戸(茂木・加藤, 1962; 本座・奈須, 1968a, b; 小笹, 1975), 関門海峡(陽, 1965), 対馬海峡(有田, 1976; 茂木, 1981; 大嶋ほか, 1982), 津軽海峡(茂木, 1977), 大隅海峡(井内, 1981), 豊後水道(井内, 1982; 池原・木下, 1984)などの海峡部や沖縄トラフ北方の大陸棚外縁部(KAGAMI *et al.*, 1984)などから、ベッドフォームの分布が報告されている。しかし、これらの研究の初期においては、音響測深器の記録による地形断面からその形態や分布が論じられ

\*海洋地質部

たのみで、その平面的形態や測深器の精度以下の起伏しかもたない構造についてはほとんど不明であった。その後、STRIDE らによる side scan asdic を用いた一連の研究により、その平面的形態や起伏の小さな構造なども明らかにされてきた (例えば、STRIDE, 1963; KENYON, 1970; BELDERSON *et al.*, 1972など)。近年、音響調査機器の進歩はめざましく、これらの機器を利用してさらに精度のよい記録がとれるようになってきた。これにともなって、世界各地から精度の高いベッドフォームに関する研究報告がなされてきている。しかし、日本周辺においては、ベッドフォームなどの海底の微地形を精度良く面的にとらえた研究例は数少ない (例えば、KAGAMI *et al.*, 1984など)。

地質調査所では、日本周辺の大陸棚の海底地質や堆積物に関する調査研究を進めているが、その中で、大陸棚上の小区域を選んで、サイドスキャンソナーによる海底微地形の調査を行っている。このうちいくつかの区域は、サイドウェーブをはじめとする水流に関係して形成されたベッドフォームの分布域である。その結果、これまで日本周辺からはあまり報告のない起伏の小さなベッドフォームの分布が明らかとなってきた (池原・木下, 1984; 池原ほか, 1986; 池原, 1986; 池原ほか, 1987a,b)。

南九州の大隅半島と種子島の間に位置する大隅海峡もベッドフォームが分布する地域のひとつである。本論では、大隅海峡において行った調査結果をもとに、そこにみられる各種のベッドフォームの断面及び平面的形態を記載し、その分布やその形態から推測される表層堆積物の移動方向について報告する。ベッドフォームの分布や堆積物の移動方向の考察においては、大嶋ほか (1978) による調査結果 (特にサイドスキャンソナー記録) も参考にした。

## 2. 調査及び分析方法

調査は、地質調査船白嶺丸 (金属鉱業事業団所有, 1821.6トン) を用いて行われた (GH84-3航海)。期間は、1984年7-8月である。

調査方法は、12kHz 精密音響測深器による測深、3.5kHz サブボトムプロファイラーによる表層地層探査、サイドスキャンソナーによる海底微地形探査の航走観測と、スミス・マッキンタイヤー式グラブ採泥器による表層堆積物の採取及び深海カメラによる海底写真撮影の停船観測である (第1, 2図)。

サイドスキャンソナーによる調査は、大隅半島南端の佐多岬の東北東約16kmの水深約70-90mの海域において、東北東-西南西に測線 (約3.7マイル) を10本設定した。

測線間隔は、0.2マイル (約360m) であり、探査幅は片舷200mである。調査時には、人工衛星航法装置より船速を入力し、記録器の紙送りを制御する (西村ほか, 1984) ことにより歪みのない記録を得た。記録は、隣り合う測線の記録とそれぞれ約20m重なるので、記録を順に張合せて海底モザイク図を作成した。

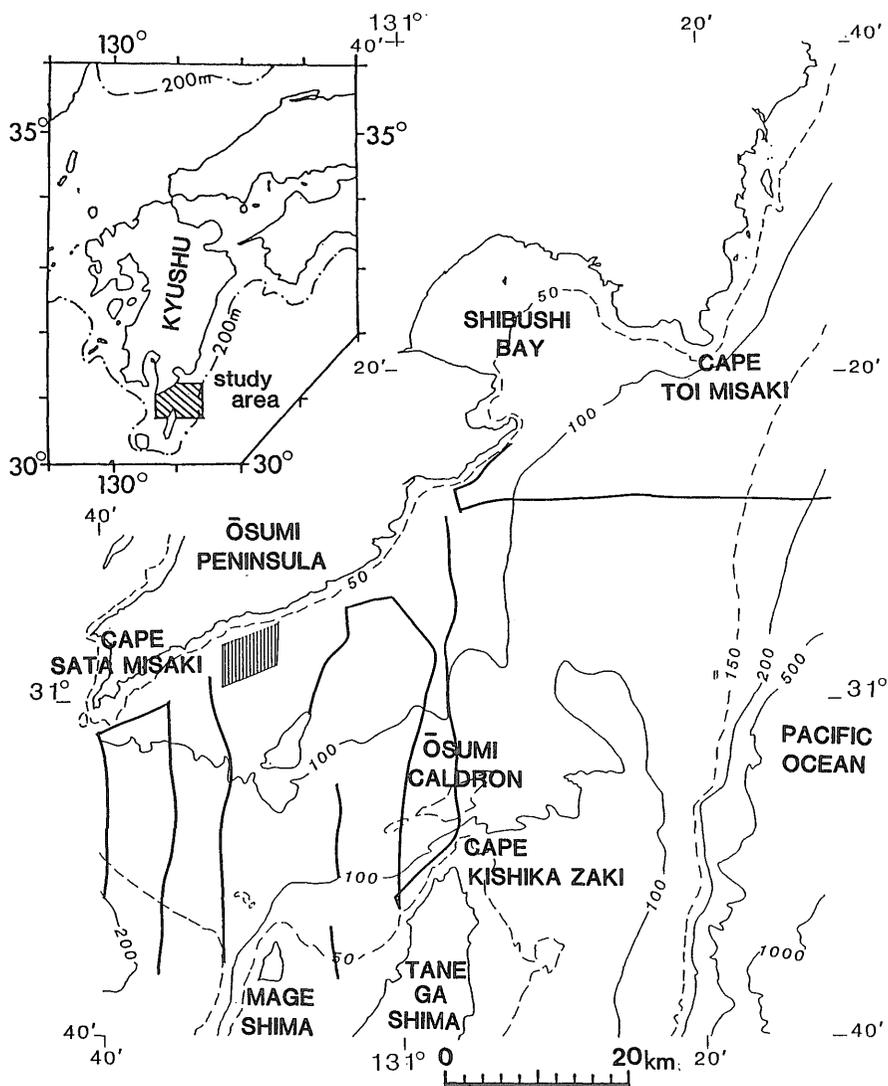
表層堆積物は、大隅海峡全域で72点 (一部はGH83-2航海による) で採取され (第2図)、このうち礫質で採取量の少ない4点を除く68点については粒度分析を行った (池原・川幡, 1985b; 池原, 1985)。分析は、砂質部 (4.5φより粗粒部) についてはふるい振とう法、それより細粒の泥質部については比重計法により行った。また、海底写真の撮影も表層堆積物の採取と同時に行為れ、72点の採取点のうち63点で良好な海底写真が得られた (池原・川幡, 1985a)。

## 3. 大隅海峡の位置及び海底地形の概要

大隅海峡は南九州の種子島と大隅半島の間に位置している。海峡の幅は最も狭いところでは35km程度である。大隅海峡ではそのほとんどの地域において80-100mの水深を示す。平坦面として井内 (1981) は、80-100m (I面)、100-120m (II面)、130-140m (III面) の3つを認めている。このうち、I面が最も広く分布する。また、II面はI面に較べて微小な起伏に富んでいる。これはサイドスキャンソナーの記録から露岩もしくは表層堆積物が薄いと識別されたところ (井内, 1981) にあたり、海流による侵食作用の結果形成された地形と考えられる。大きな凹地としては、喜志鹿埼北方に大隅海釜が存在するが、そのほかにも馬毛島と佐多岬の間や、馬毛島の北方から大隅海釜にかけての間にはいくつかの海釜地形が認められる。大隅海釜は、北東-南西方向にのびた楕円形の海底凹地で、最深部は174mの水深を示す (長軸方向に10km以上、短軸方向に約4km)。

佐多岬の先端部や大隅半島の東岸沖、喜志鹿埼東方には大きな砂堆がみられる。これらの砂堆の長軸は、大隅半島よりのものは東北東-西南西もしくは東西に、喜志鹿埼沖のものはほぼ東西にのびる。これらの砂堆上にはサンドウェーブが分布する (海上保安庁水路部, 1980, 1981; 井内, 1981)。

海底地形は大隅半島沿岸では水深60m付近まで急傾斜をなしており、また、種子島の西方でも海岸付近から水深80-100m付近 (大隅海釜付近では150m付近) まで急傾斜をなしている。この付近の大陸棚の外縁水深は、約150m付近にある。



第1図 サイドスキャンソナー測線 実線は大嶋ほか (1978) の測線、縦線部はGH84-3航海のマッピング範囲

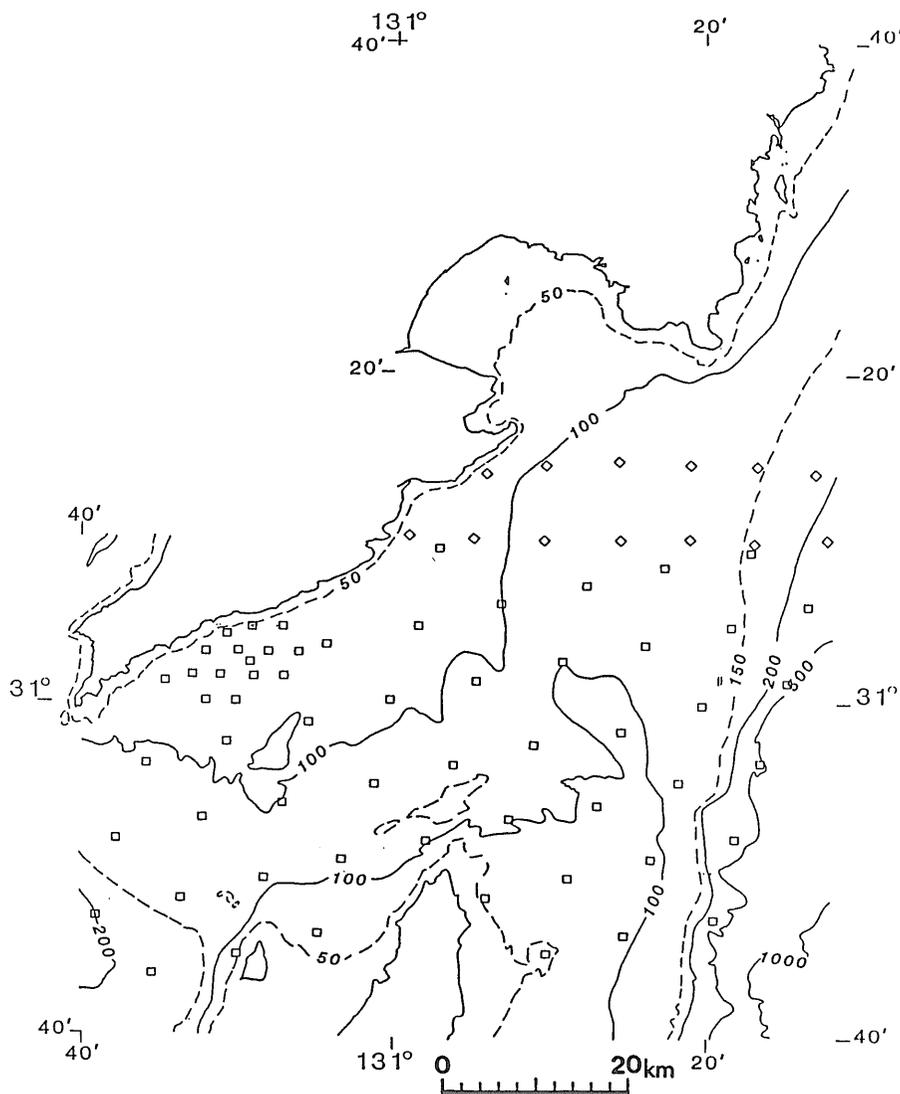
Fig. 1 Survey lines by side-scan sonar. Solid lines are survey lines by OHSHIMA *et al.* (1978) and hatched small box shows the mapping area in GH84-3.

#### 4. 水理条件

潮汐表 (海上保安庁水路部発行) によれば、大隅海峡付近における表層の海水の流れは、潮汐にかかわらず東流を示し、潮流よりも海流が支配的であることを表している。この流れは、黒潮の分流のひとつである大隅分岐流と呼ばれるものである。1955年から1974年の表層流速の観測結果によれば、流速はおよそ0.5-1.5ノット程度

であるが、2ノットを越えるのが4-5年に1回、2ノットに達するのがおよそ2年に1回程度みられる (海上保安庁水路部, 1971; 1977)。

海峡部をより詳しくみれば、表層の海流の流向にもばらつきがみられる。例えば、潮汐表には潮流観測の結果から、大隅半島沿岸部では潮流の影響があることが記されている。また、流れ藻標識放流・再捕結果では南や南西への漂流も認められている (大野, 1985)。このように、



第2図 採泥点位置 菱形はGH83-3航海, 四角形はGH84-2航海の採泥点

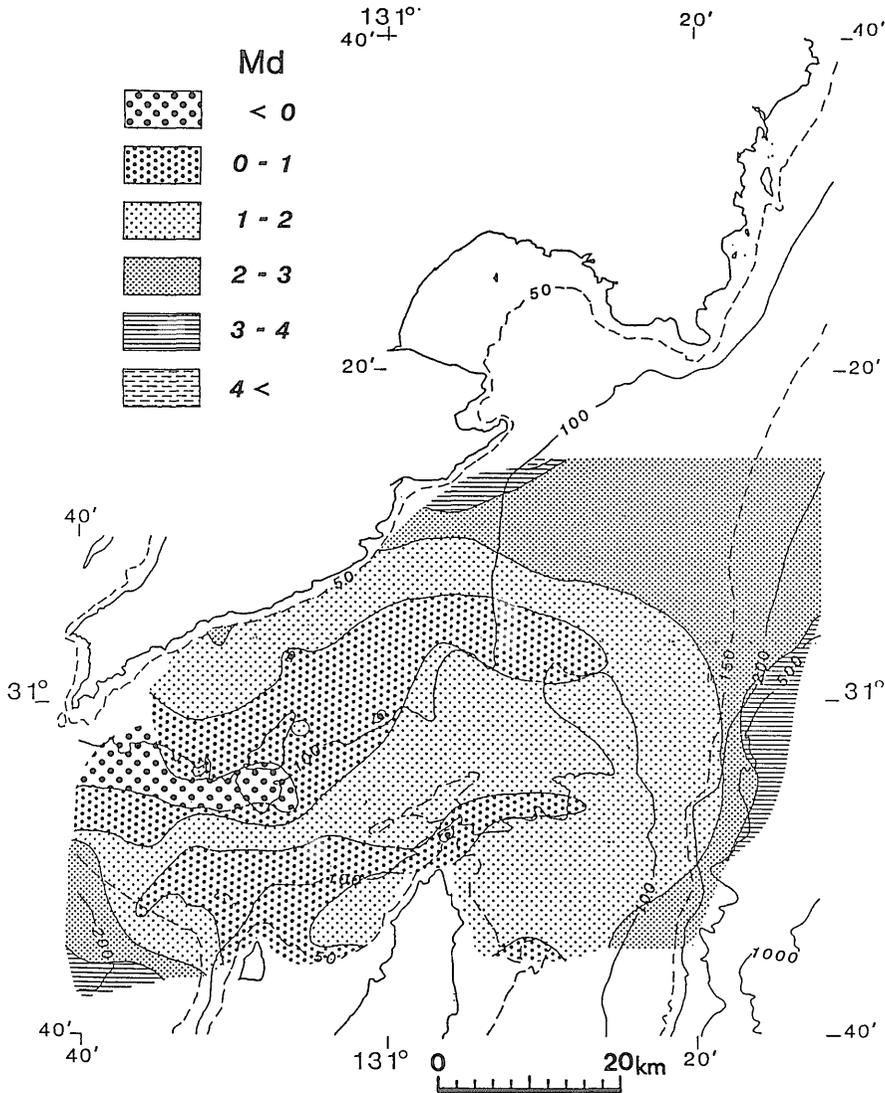
Fig. 2 Location map of the sampling points. Diamond shows the sampling point in GH83-2 and quadrangle shows the sampling point in GH84-3.

海流の流向は局地的には海底地形や陸岸, 潮汐などの影響を受けているところもある。

### 5. 表層堆積物分布

大隅海峡には, 広く砂質堆積物が分布している(井内, 1981; 池原・川幡, 1985b)。表層堆積物の中央粒径値をみると, 海峡中央部の粗粒部や, 東部及び沿岸部の細粒

部を除き, 中粒砂(Md $\phi$ :1-2)が分布する(第3図)。海峡西部から中央部にみられる粗粒砂の分布には, 佐多岬南方から東北東にのびる列と, 馬毛島付近から東方へ大隅海釜付近にのびる列とがみられる。両者の間にも中粒砂が分布しており, その一部は大隅海釜内にも広がっている。一方, 海峡北東部の都井岬南方では広く細粒砂が分布している。大隅半島沿いでも分布は狭いながら,



第3図 底質の中央粒径値分布図

Fig. 3 Median diameter distribution of the surface sediments in phi scale.

細粒砂の分布がみられる。志布志湾の湾口部付近では、海峡部の陸棚水と湾内の湾内水との境界を反映して、湾内水側に浮遊懸濁物堆積物である泥質堆積物が分布する (大嶋ほか, 1978; 池原, 1985)。種子島北東方の大陸斜面域では、極細粒砂以下の泥質堆積物が分布している。

大隅海峡の表層堆積物の淘汰度や含礫率、粒度分布型の特徴は次の様にまとめられる (池原ほか, 1986)。海峡中央部や佐多岬南方では、含礫率が高く、淘汰が悪く、粒度分布型は双峰型になる。一方、海峡北東-東部では、粒度分布は細粒砂にピークをもつ単峰型を示し、淘汰は

よい。両者の中間部では、堆積物の粒度特性も両者の中間的な特徴を示す。志布志湾湾口部や大陸斜面域の泥質堆積物は淘汰が悪い (池原, 1985)。

堆積物の組成上の特徴としては、佐藤ほか (1985) によれば、多くの軽石やスコリアが含まれている。これらは特に、大隅半島沿岸部や海峡北東-東部の中粒砂-細粒砂分布域に多く分布している。

## 6. ベッドフォームの特徴

### 6.1 ベッドフォームの分類基準

大隅海峡において認められたベッドフォームは、以下の6つである。

1. サンドストリーマー (sand streamer)
2. サンドリボン (sand ribbon)
3. サンドウェーブ (sand wave)
4. メガリップル (megaripple)
5. リップルマーク (ripple mark)
6. カレントリニエーション (current lineation)

これらのうち、1-4は測深記録もしくはサイドスキャンソナー記録から認められたものであり、5、6は海底写真から認められたものである。

これらのベッドフォームの分類、命名については、研究者間でその分類基準や使用する名称について違いがある。ここでは、各ベッドフォームについて以下の様に定義し、使用することにする。

#### A. Longitudinal Bedforms

流れに対して構造の長軸が平行なもの。

A.1 サンドストリーマー：流れと平行方向に細長くのびる構造。サイドスキャンソナー記録上では、白色部と暗色部の細かい縞模様として現われる。起伏は小さく測深記録ではわからない。

A.2 サンドリボン：流れに平行に配列し、一般に起伏の小さな構造。KENYON (1970) は、その形態から A-D 型の 4 つのタイプに分けた。A 型は直線的な頂線 (crest line) を持つ小さな transverse bedforms の連なりとして現われるものである。B 型はサイドスキャンソナー記録上で、暗色と明色の帯状の記録となって現われるもので、サンドストリーマーよりも縞模様の間隔が広いものである。C 型は屈曲型の transverse bedforms の連なりとして現われるもので、D 型はサンドウェーブのトラフ部にサンドウェーブに接してみられるものである。起伏が大きなサンドリボンの場合、地形断面記録のみからではサンドウェーブとの区別はつかない場合が多い。

A.3 カレントリニエーション：流れに平行に配列する線構造や溝で、海底写真でとらえられる大きさのもの。

#### B. Transverse Bedforms

構造の長軸が流れの方向と直交するもの。

B.1 サンドウェーブ：流れに直交した頂線をもつ波状地形。McCAVE (1971) に従い、波長 30m 以上で、波高 1.5m 以上のものとする。REINECK and SINGH (1980) の giant ripple に相当する。ただし、サンドウェーブ分布域においては、波長もしくは波高が基準値に達していても、周囲の波状地形と一連で区別不可能な場合には、サンドウェーブとした。

B.2 メガリップル：サンドウェーブより小規模な波状地形。波長 0.6-30m、波高 0.06-1.5m のもの。

B.3 リップルマーク：海底写真より認められる波状地形。波長 0.6m 以下、波高 0.06m 以下のもの。その断面形態から、ウェーブリップルとカレントリップルに、また、平面形態から、直線状 (straight)、うねり状 (sinuous)、懸垂状 (catenary)、舌状 (lingoid)、三日月状 (cusped)、半月状 (lunata) に分けられる (ALLEN, 1968)。

#### 6.2 ベッドフォームの形態及び分布

今回得られた測深記録とサイドスキャンソナー記録及びこれまでの報告 (海上保安庁水路部, 1980, 1981; 井内, 1981) から、それぞれのベッドフォームの分布を第 4、5 図に示した。また、今回のサイドスキャンソナーの調査から作成した海底モザイク図とそのスケッチを図版 1 と第 6 図に示した。これらの記録から、各ベッドフォームの分布や形態上の特徴は次の様である。

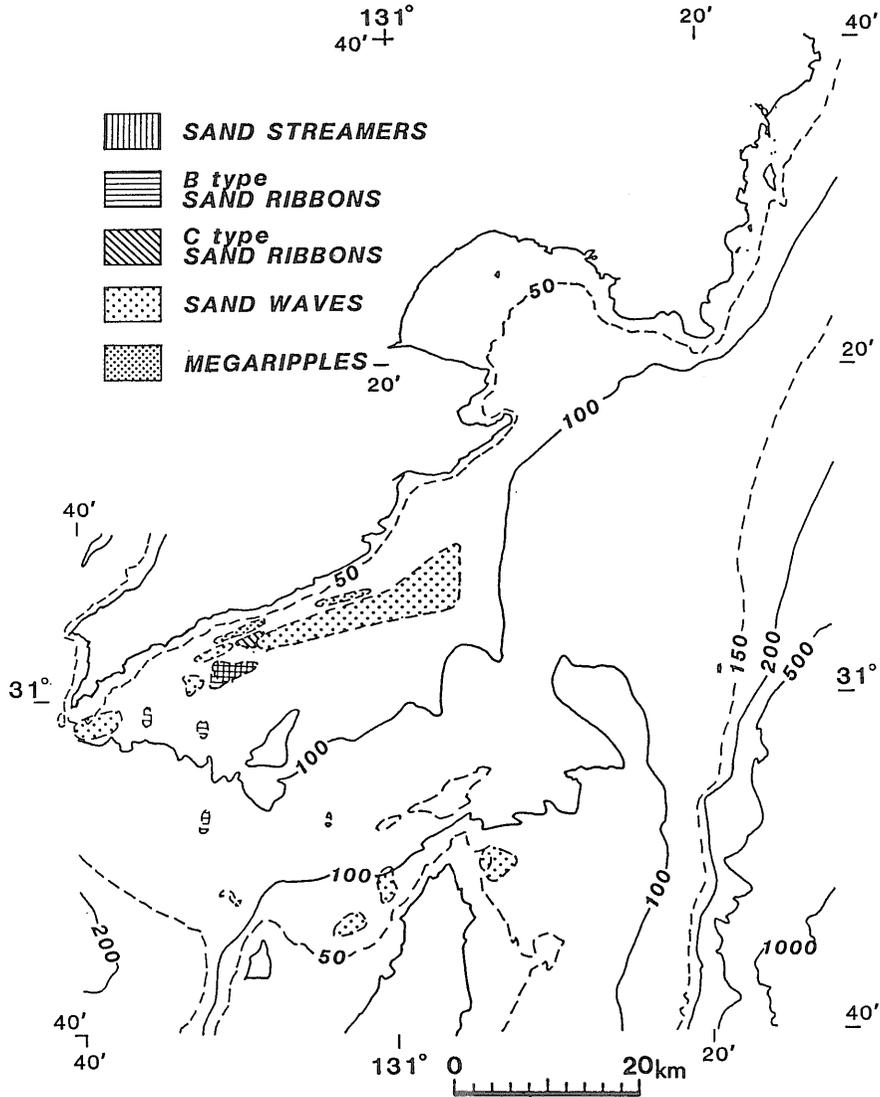
A.1 サンドストリーマー (図版 2-A)：サイドスキャンソナーによる調査域の沖合側に分布する。縞模様の暗色部の幅約 5m (2-9m)、白色部の幅約 8m (4-13m)、長さ 1000m 以上の細く密に配列した構造である。淘汰のあまりよくない中粒砂の分布域に発達している。コメントマークのように構造のどちら側かの端に礫や露岩などの流れに対する障害物が認められるものはない。縞模様の長軸は、南西-北東方向にのびている。調査域が全体に岸よりであったため、分布の全容はつかめていない。

A.2 サンドリボン (図版 2-B, C)：KENYON (1970) の分類による B 型と C 型が認められる。

B 型のサンドリボン (図版 2-B) は、海峡中央部の数ヶ所で認められる。その幅は約 250m であるが、長さはその両端がとらえられていないため不明である。起伏はほとんどなく、測深記録からは識別できない。縞模様ののびの方向は、海峡中央部では西南西-東北東もしくは東西、やや陸側の大隅半島沖ではおよそ南西-北東方向である。

C 型のサンドリボン (図版 2-C) は、海峡周辺部のサンドストリーマーや B 型サンドリボン分布域からサンドウェーブ分布域への移行部に認められる。その幅は約 250m、長さ約 500-700m であり、サンドウェーブの連なりとして認められる。起伏は約 2-3m あり、測深記録からもその存在は認められるが、測深記録のみからでは、サンドウェーブとの区別は不可能である。連なりの方向は、南西-北東方向である。

A.3 カレントリニエーション：海峡中央部の 2 地点



第4図 サイドスキャンソナー記録にみられるベッドフォームの分布

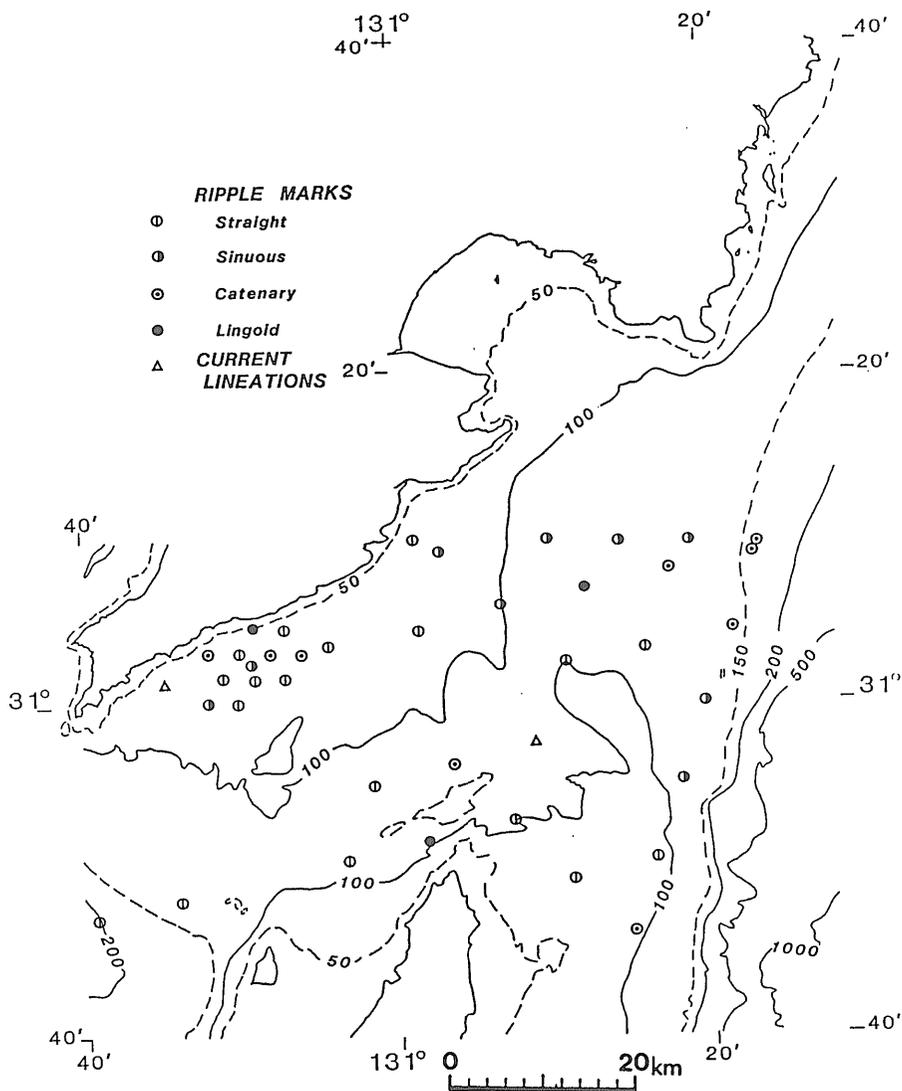
Fig. 4 Spatial distribution of bedforms on the basis of the records of side-scan sonar.

の海底写真から認められた (第5図)。礫などの下流部にできる obstacle scour や、流れに平行な線構造である。

B.1 サンドウェーブ (図版3-A) : 大隅海峡周辺におけるサンドウェーブの分布域は、これまでに4ヶ所が知られている。1. 佐多岬南方砂礫丘上 (海上保安庁水路部, 1980; 井内, 1981), 2. 大隅半島沿岸部 (海上保安庁水路部, 1980), 3. 馬毛島北東方 (海上保安庁水路部, 1981), 4. 喜志鹿埼東方砂堆上 (海上保安庁水路部, 1981)。今回の調査は、2. の海域の一部で

行われた。

ここにみられるサンドウェーブは、C型サンドリボンの東側に分布し、両者の間に明確な境界線を引くことは難しい。サンドウェーブの波長は平均55m (24-136m)、波高は平均2.8m (1.2-7.2m)、波長・波高比は平均21.8 (6.7-40) である。断面形態 (第7図) は、著しい非対象形を示し、頂部はやや丸みを帯びている。頂線は側方へ長く続くことはない。大きな波長のサンドウェーブの表面に、小さな波長のサンドウェーブがみられるこ



第5図 海底写真にみられるベッドフォームの分布

Fig. 5 Spatial distribution of bedforms on the basis of the sea bottom photographs.

とはまれである。頂線ののびの方向はおよそ、北北西-南南東を示す。

B.2 メガリップル (図版3-B) : 調査域の最も北より(陸側)の一測線上にのみ認められる。波長4-28mであるが、波高は測深精度以下のため不明である。頂線はほぼ直線上で、まれに分岐する。頂線の向きは測線にほぼ直交しており、北北西-南南東にのびる。

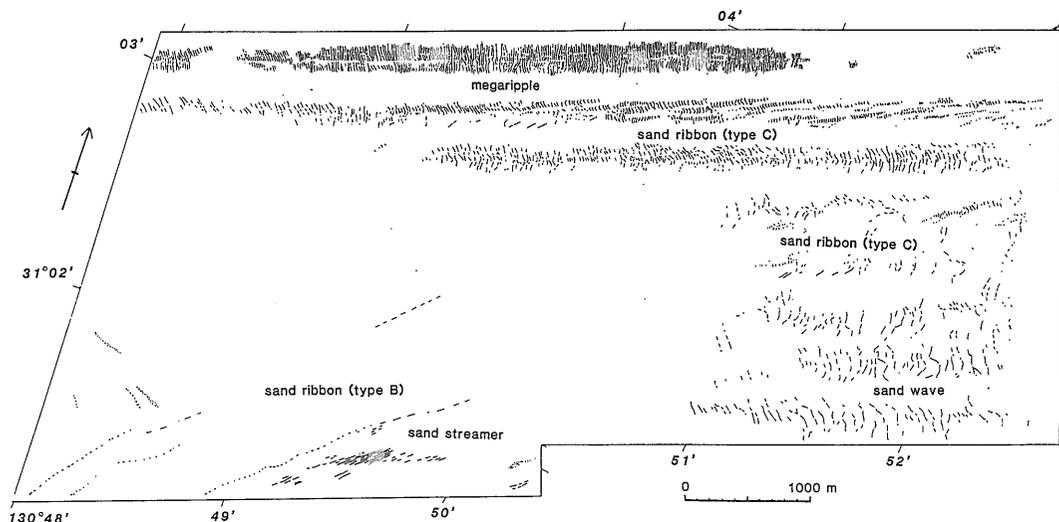
B.3 リップルマーク : 海峡中央部の礫質部を除いて、海峡のほぼ全域から認められる。平面形態としては、

直線状もしくはうねり状である。サンドストリーマー、サンドリボン、サンドウェーブ、メガリップルの分布域にもみられ、サンドウェーブやメガリップルといったよりおおきなベッドフォームの表面に重なって形成されている。

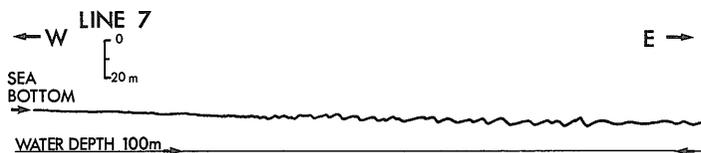
## 7. 議 論

### 7.1 サンドウェーブの形態

サンドウェーブの記載の際には、その波長と波高との



第6図 サイドスキャンソナーによる海底マッピング記録のスケッチ  
Fig. 6 The sketch map of the sea floor mosaic.



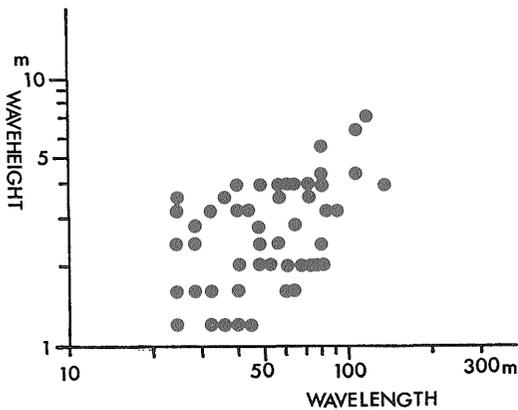
第7図 サンドウェーブの断面形態  
Fig. 7 The profile of sandwaves.

関係、波高（もしくは波長）と水深との関係がしばしば議論される。

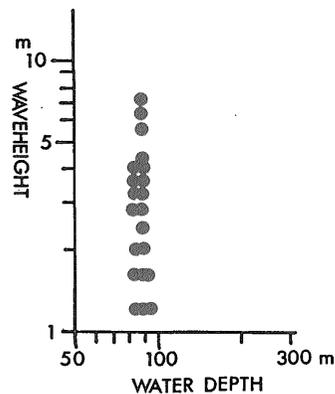
サンドウェーブの波長と波高との関係は、両対数グラフ上で両者がよい直線関係を示す（波長が増せば、波高も増す）ことが、ALLEN (1968) により指摘されている。この関係は、世界各地のサンドウェーブについて報告されている（例えば、FLEMMING, 1978など）。ただし、その直線にはある幅があり、直線と言うよりはむしろ帯である。また、その傾きは海域によってやや異なる。これは、それぞれの海域におけるローカルな環境の違い（水理環境、底質粒度など）とともに、現在形成中のものか、崩壊期にあるものかというサンドウェーブの一生のうちどのステージをみているのかということも関係していると考えられる。本海域における波長と波高との関係は第8図のようである。ある程度のばらつきはあるが、相関関係が認められる。

一方、ALLEN (1968) は、サンドウェーブの波高と水

深との関係についてもふれ、両者も両対数グラフ上で直線関係を示す（水深が増せば、波高も増す）ことを指摘した。また、日本土木学会の水理委員会移動床流れの抵抗と河床形状研究小委員会 (1973) は、実験水路や河道上での河床波（本論でのベッドフォーム）の形状特性について述べている。それによれば、砂漣（リップルマーク）・砂堆（本論でのメガリップルとサンドウェーブ）領域における水深・波長比は、砂漣領域では、水深・波長比が大きくばらつき明確な関数関係がないのに対し、砂堆領域では、水深・波長比が約5であることを示した。YALIN (1964) も、砂漣の波長が水深よりも底質粒度に関係していることを示す一方、砂堆については、次元解析より、水深・波長比が約5であることを示している。前述の様に波長と波高の間にはある直線関係が存在しているので、上記のことは、波高と水深の間にある関係があることを示している。海域における水深の増加にともなう波高の増加の関係は、備讃瀬戸のサンドウェーブ



第 8 図 サンドウェーブの波長と波高との関係  
Fig. 8 Relationship between sandwave length and height.



第 9 図 サンドウェーブの水深と波高との関係  
Fig. 9 Relationship between water depth and sandwave height.

について知られている (茂木・加藤, 1962; 本座・奈須, 1968b).

しかし, 本海域のサンドウェーブは, 水深が90m前後という狭い範囲に分布するにもかかわらず, 波高は1.2-7.2mと変化し, ALLEN (1968) らのこのような関係を示さない (第 9 図). このことは, 他海域でも知られている (例えば, FLEMMING, 1978など). 本調査海域だけでは水深の範囲が狭いため不確実のところもあるが, 波高と水深の間に明らかな相関関係がないのであれば, 地層中のサンドウェーブの高さから古水深を推定することは, 特別な場合を除いてできないことになる.

### 7.2 ベッドフォームの分布特性

大隅海峡では, 海峡中央部から周辺部に向かって次の様なベッドフォームの変化が認められる (第 4 図). すなわち, 海峡中央部から周辺部へ, サンドストリーマー・B型サンドリボン→C型サンドリボン・サンドウェーブ→メガリップル→リップルマークのみ, と変化する. この関係は, BELDERSON *et al.* (1982) により示された海峡部での潮流によるベッドフォームの分布パターン of 模式図 (潮流ベッドフォームシステム) の一部とよく一致する. つまり, ひとつの流れのシステムの中で, 流速の速い海峡中央部では, サンドストリーマー, B型サンドリボン, カレントリニエーションが分布し, 流速の減少にともなって, C型サンドリボン, サンドウェーブ, メガリップル, さらに, リップルマークへとベッドフォームは変化する (第10図).

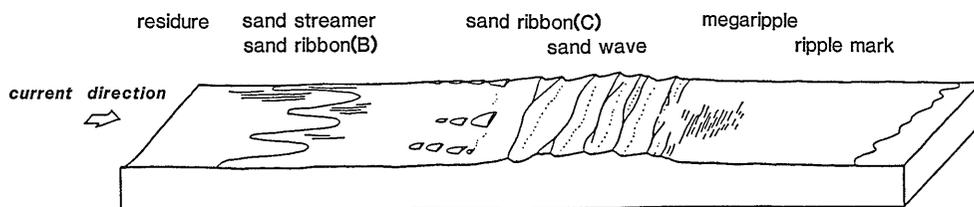
一方, 底質との関係でみれば, 海峡中央部の粗粒部にサンドストリーマーやB型サンドリボンが分布し, 周辺

に向かって堆積物が細粒になるにつれてベッドフォームも変化している (第10図).

### 7.3 堆積物の移動方向

リップルマークをはじめ, 各ベッドフォームは流れの方向 (堆積物の移動方向) の指示者であることが知られている. 本海域にみられる各ベッドフォームの示す流向は, 第11, 12図のようである. 大隅海峡では, 海峡の長軸方向である南西から北東もしくは西南西から東北東の流れが卓越している. 喜志鹿埼東方の砂堆上のサンドウェーブは頂線をほぼ南北に配列し, 西から東 (もしくはその逆) の流向を示している (第11図). これらの方向は, 大隅海峡を南西側から北東側に向かって流れる海流の方向と調和的である.

これに対して, リップルマークの示す流向 (第12図) は, 海峡中央部や北東及び東方では現海流とほぼ同じ方向を示しているが, 大隅半島沿岸のサンドウェーブ分布域では方向が一定しない. このことは, サンドウェーブの表面付近での水の流れが複雑であることを示している. COLLINSON and THOMPSON (1982) は, 波長・波高比の小さい (起伏の大きい) ベッドフォーム上での水の動きを示している. これによれば, ベッドフォームの下流側斜面 (lee side) では, 渦流による強い反流が形成され, この流れは海底面を侵食した後, 頂線の方へ拡散していく. このように, 起伏の大きなベッドフォームの分布域では, リップルマークのような局地的な流れの指示者は大局的な流向の指示者とならないことがある. これは, 地層中のベッドフォームから古流向を求める場合の注意点となろう.



grain size (Md)	coarser ←					→ finer
	< 1	1-2	1-2	1-2	1-3	> 3
sorting	very poorly	poorly	poorly-moderately	moderately-moderately well	moderately well-well	poorly
gravel content(%)	higher ←					→ lower
	> 15	< 20	< 5	< 3	< 3	< 1

第10図 ベッドフォームの水流の流下方向への変化の模式図

Fig. 10 Schematic diagram of the changes of bedforms and sediment properties.

また、堆積物の粒度分布からも移動方向が推定できる (JOHNSON *et al.*, 1982). 大隅海峡では、海峡中央部で粗く、周辺 (北東-東部) に向かって細粒化する。粒度の減少は、流速の減少にともなって表れると考えられるので、その移動方向は、海峡中央部 (南西) から周辺方向 (北東ないし東) であると考えられる。

以上のように、ベッドフォームの形状や底質分布からみて、大隅海峡では、現在海峡を流れている海流とはほぼ同じ方向の堆積物の移動が推定される。

#### 7.4 ベッドフォームの形成時期

これまで、大隅海峡に広く分布する砂質堆積物は、現在は移動していないと考えられてきた (井内, 1981). ベッドフォームは堆積物の移動にともなって形成されるのであるから、砂質堆積物の分布域にみられるサンドウェーブをはじめとするベッドフォームは、現在は活動的でないと考えられる。

一方、WERNER and NEWTON (1975) は、バルチック海のベッドフォームの研究から、幅の狭いサンドリボンやコメットマークが一年間で消滅したり、海水の流れの変化にともなって、その指示する方向を変化させることを示した。このことは、これらのベッドフォームが水理環境の変化に対して耐久性のあるものでないことを示している。大隅海峡では、コメットマークと幅の狭いサンドリボンとの遷移部に位置する (WERNER and NEWTON, 1975) サンドストリーマーが認められており、このことは、この構造が現在形成されているものであることを指示している。

現在の潮流により形成されているベッドフォームの配列 (BELDERSON *et al.*, 1982) は、ひとつの潮流系で形成されたものである。大隅海峡に分布するベッドフォームは前述のようにこれと同じ配列を示すので、大隅海峡の場合もあるひとつの流れのシステムのなかで形成されたと考えられる。

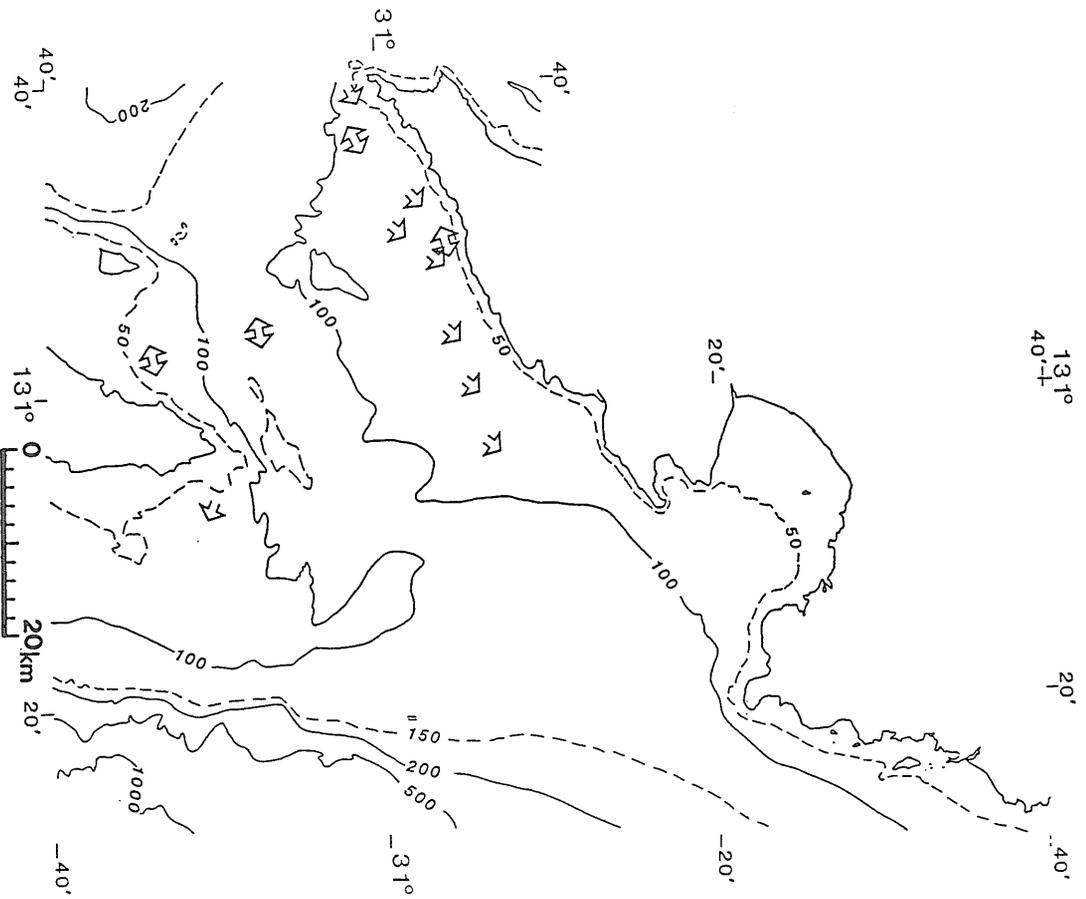
これら二つの点から大隅海峡のベッドフォームシステムは現在も活動中であると考えられる。このことは海峡部に分布する砂質堆積物が、従来考えられてきたのと異なり、現在も移動していることを示している。現在の大隅海峡をみれば、堆積物を移動させ、ベッドフォームを活動させる流れは、海峡部を流れる海流である。したがって、大隅海峡にみられるベッドフォームは、現在海峡を西から東に流れる海流である大隅分岐流 (黒潮の分流のひとつ) により形成される海流ベッドフォームシステムである。

いつごろから、ベッドフォームシステムの形成が始まったかについては、現在のところそれを的確に示すデータはない。井内 (1981) や海上保安庁水路部 (1981) の砂堆に関するデータから、完新世初期からその形成が始まったと考えるのが妥当であろう。

#### 8. まとめ

大隅海峡におけるベッドフォームの分布と形態について述べた。以上をまとめると次のようになる。

1. 大隅海峡では、サンドストリーマー、サンドリボン、サンドウェーブ、メガリップル、リップルマーク及

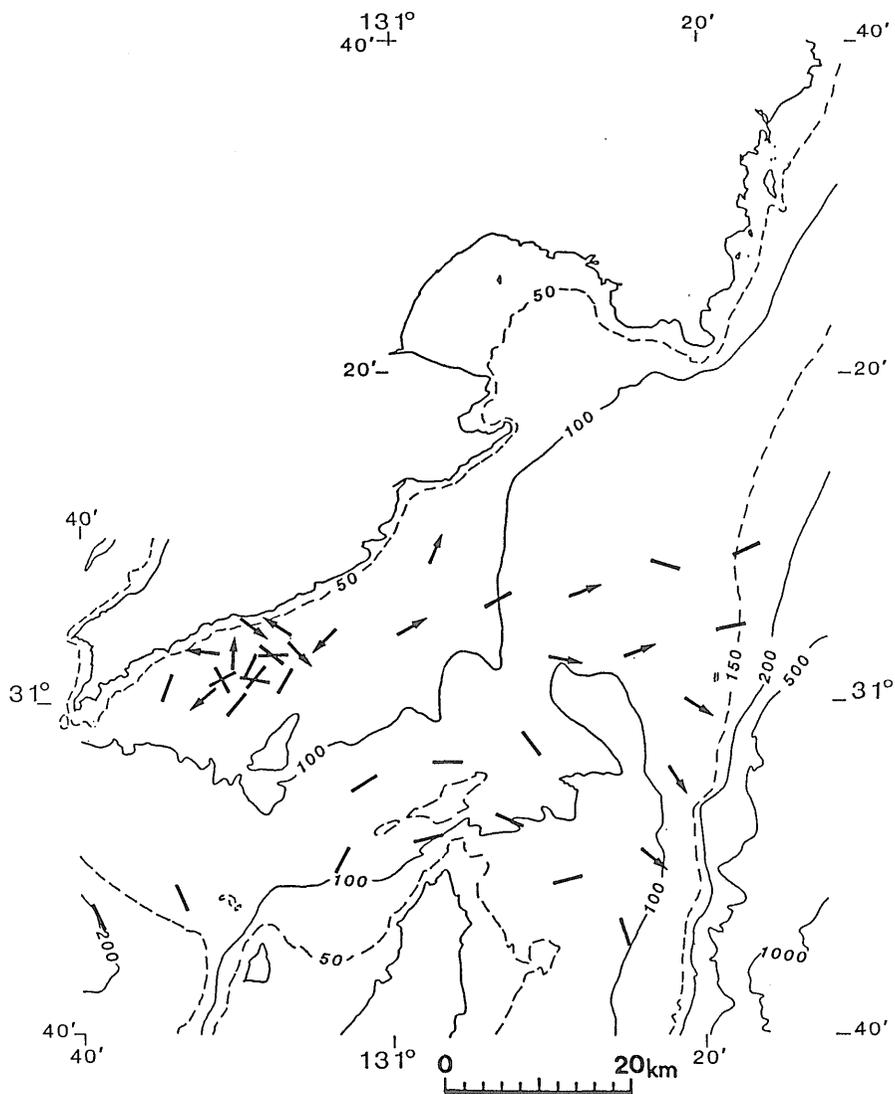


第11図 サイドスキャンソナー記録にみられるベッドフォームの示す流向 矢印が両方向についているものは流れの向きが不明のものを現わす

Fig. 11 Direction of sediment transportation estimated from bedforms found in side-scan sonar and bathymetrical records. The mark with arrows at both ends shows that only bearing is known.

1. ビカレントリニエーションの6つのベッドフォームが分布している。
2. サンドウエーアの波長と波高との間には、両対数グラフ上で直線関係 (波長の増加にともなって、波高も増加する) がみられる。波高と水深の間には、直線関係は認められない。
3. ベッドフォームは、海峡西部及び中央部から周

辺の北東及び東部に向かって、サンドストリーマー・B型サンドリボン・カレントリニエーション→C型サンドリボン・サンドウエーア→メガリツナル→リツナルまでのみ、と変化し、また、底質はその方向に細粒化する。ベッドフォームや底質の水平分布は、現在海峡部を流れる海流のエネルギーの減少にともなって形成されたものと考えられる。堆積物の移動方向は、現在の海流の流れ



第 12 図 海底写真にみられるベッドフォームの示す流向 矢印のついていないものは流れの向きが不明のものを現わす

Fig. 12 Direction of sediment transportation estimated from bedforms found in sea bottom photographs. The mark without arrow shows that only bearing is known.

の方向と調和的である。

4. これらのベッドフォームは、その組合せや水平分布の特徴などから、現在活動中であると考えられる。

5. 以上のことより、大隅海峡に分布するベッドフォームは、現在大隅海峡を南西側から北東ないし東に向かって流れる黒潮の分流のひとつである大隅分岐流によって形成された海流ベッドフォームシステムとして位置付けられる。

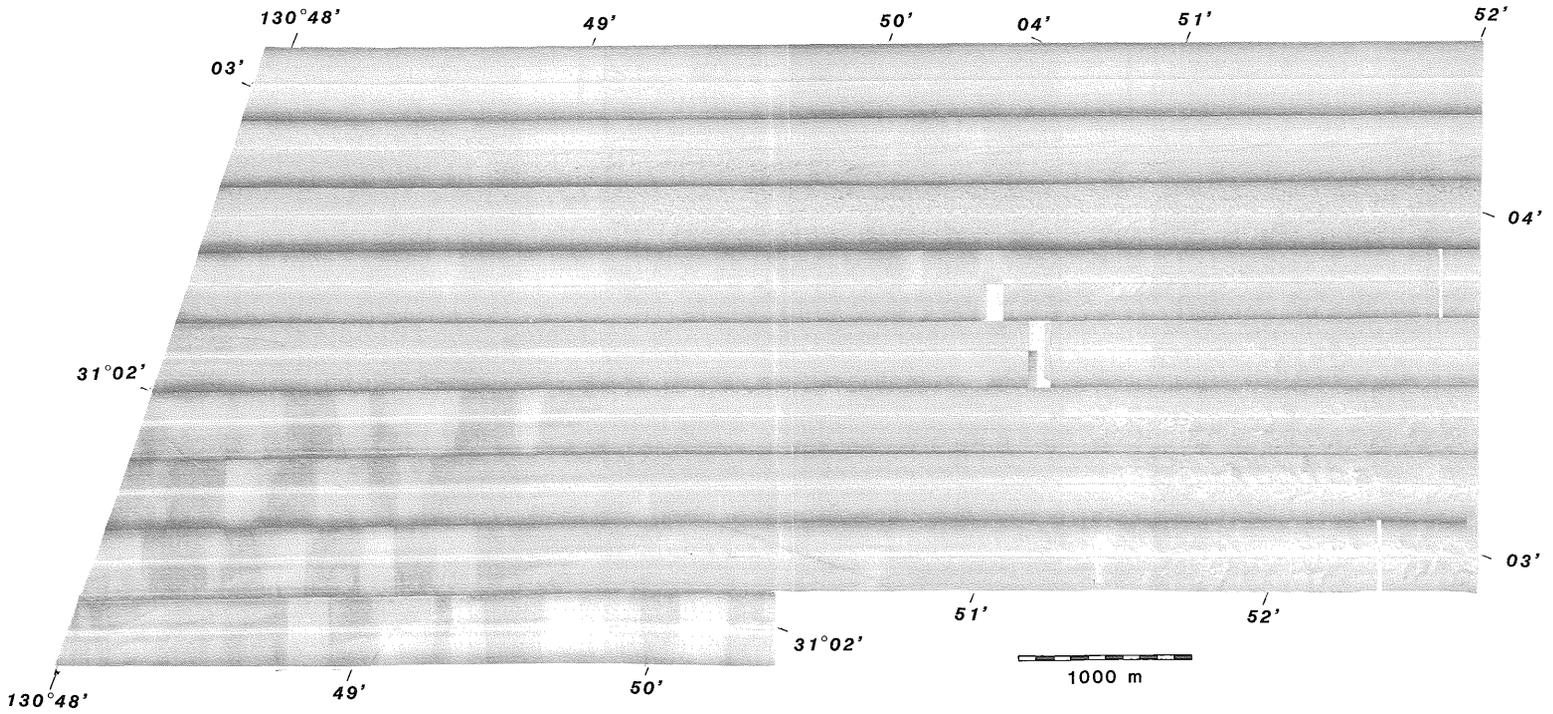
謝 辞 本研究を行うにあたり、白嶺丸の奥村英明船長をはじめとする乗組員の皆様には調査段階で種々の御協力を頂いた。また、地質調査所の中尾征三課長、石橋嘉一氏(元所員)には船上での調査に御協力頂いた。地質調査所の有田正史博士、斎藤文紀氏、筑波大学の増田富士雄博士、中山尚美氏にはベッドフォームや堆積物について御教示頂いた。以上の方々に厚く感謝いたします。

文 献

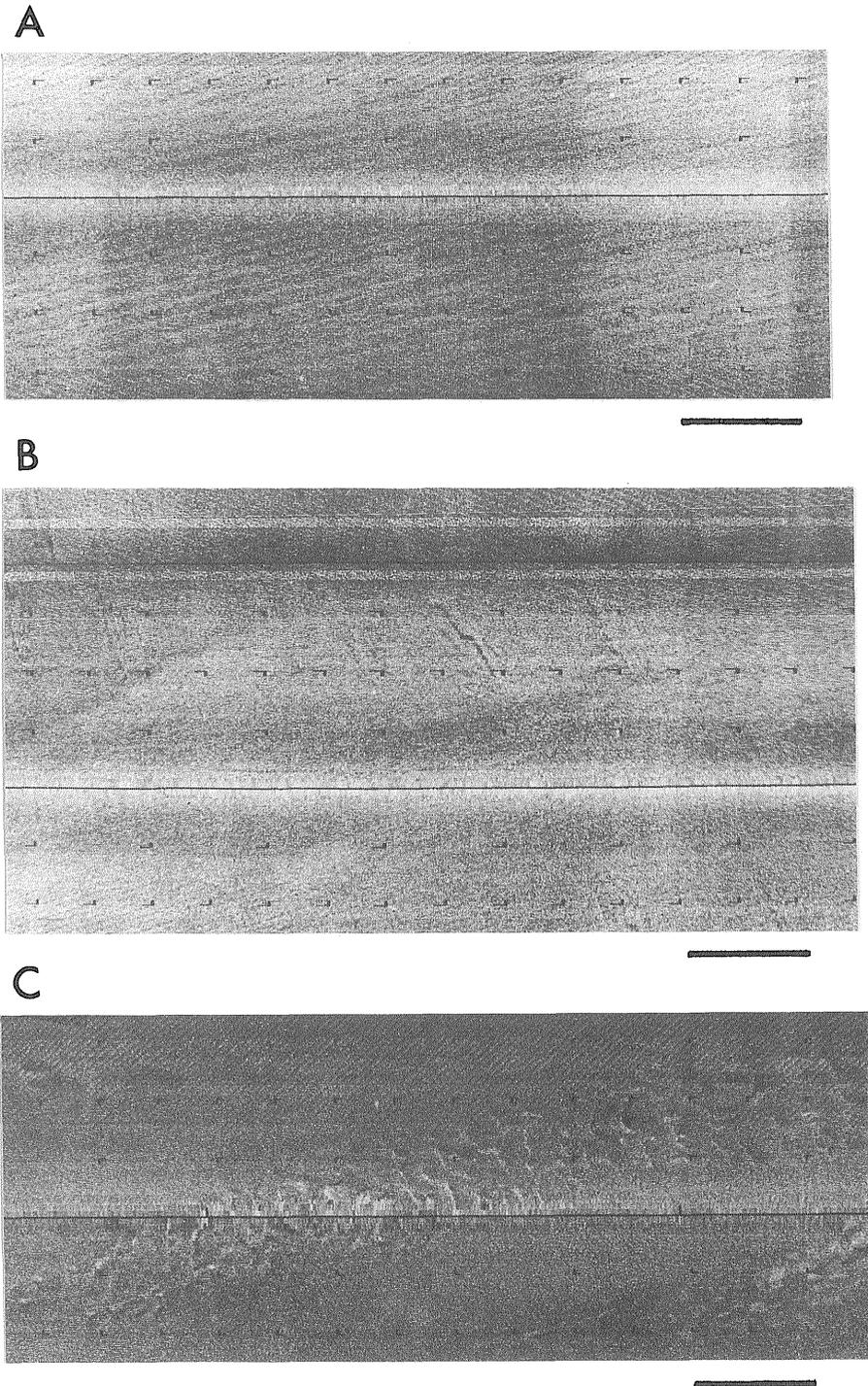
- ALLEN, J. R. L. (1968) *Current ripples-Their relation to patterns of water and sediment motion*. North-Holland, Amsterdam, 433p.
- (1968) The nature and origin of bedform hierarchies. *Sedimentology*, vol. 10, p.161-182.
- 有田正史 (1976) 海底砂利賦存状況調査報告書—玄海灘海域—. 通商産業省生活産業局, 工業技術院地質調査所, 21p.
- BELDERSON, R. H., KENYON, N. H., STRIDE, A. H. and STUBBS, A. R. (1972) *Sonographs of the Sea Floor*, Elsevier, Amsterdam, 185p.
- , JOHNSON, M. A. and KENYON, N. H. (1982) Chapter 3. Bedforms. in STRIDE, A. H., ed., *Offshore Tidal Sands, Processes and Deposits*, Chapman and Hall, London, p. 27-57.
- BOUMA, A. H., RAPPEPORT, M. L., ORLANDO, R. C. and HAMPTON, M. A. (1980) Identification of bedforms in Lower Cook Inlet, Alaska. *Sed. Geol.*, vol. 26, p.157-177.
- COLLISON, J. D. and THOMPSON, D. B. (1982) *Sedimentary structures*. George Allen & Unwin, London, 194p.
- DALRYMPLE, R. W., KNIGHT, R. J. and LAMBIASE, J. J. (1978) Bedforms and their hydraulic stability relationships in a tidal environment, Bay of Fundy, Canada. *Nature*, vol. 275, p.100-104.
- FLEMMING, B. W. (1978) Underwater sand dunes along the southeast African Continental Margin—observations and implications. *Marine Geol.*, vol. 26, p.177-198.
- (1980) Sand transport and bedform patterns on the continental shelf between Durban and Port Elizabeth (Southeast African continental margin). *Sed. Geol.*, vol. 26, p.179-205.
- 本座栄一・奈須紀幸 (1968a) 備讃瀬戸における sand wave の移動形態 その1. 海洋地質, vol. 4, no. 1, p.16-26.
- (1968b) 備讃瀬戸における sand wave の移動形態 その2. 海洋地質, vol. 4, no. 2, p.22-28.
- 池原 研 (1985) 西南日本南方沖の泥質堆積物. 堆積学研究会報, no. 22-23, p.71-77.
- (1986) 西南日本大陸棚上のサンドウェーブ. 堆積相シンポジウム・碎屑性堆積物研究会講演要旨, p.10-1-10-2.
- ・川幡穂高 (1985a) 海底写真による九州南方海域(種子島・屋久島付近及び野間岬沖)の海底観察. 「西南日本周辺大陸棚の海底地質に関する研究」昭和59年度研究報告書—九州南方海域—, 地質調査所, p.46-51.
- ・——— (1985b) 九州南方海域(種子島・屋久島付近及び野間岬沖)の表層堆積物. 同上, p.55-62.
- ・木下泰正 (1984) 豊後水道南部のサンドウェーブ. 日本地質学会第91年学術大会講演要旨, p.250.
- ・———・上嶋正人 (1987a) 隠岐海峡にみられるサンドウェーブ(予報). 「西南日本周辺大陸棚の海底地質に関する研究」昭和61年度研究報告書—日御碕, 鳥取沖海域—, 地質調査所, p.63-75.
- ・———・——— (1987b) 豊後水道南方のサンドウェーブの形態的特徴(予報). 同上, p.197-209.
- ・———・西村清和・川幡穂高 (1986) 大隅海峡の堆積物と堆積構造. 日本地質学会第93年学術大会講演要旨, p.270.
- 井内美郎 (1981) 大隅海峡及び周辺海域の堆積物と堆積史—大隅海峡の発達史と関連して—. 地調月報, vol. 32, p.693-716.
- (1982) 瀬戸内海における表層堆積物分布. 地質雑, vol. 88, p.665-681.
- JACKSON II, R. G. (1976) Largescale ripples of the lower Wabash River. *Sedimentology*, vol. 23, p.593-623.
- JOHNSON, M. A., KENYON, N. H., BELDERSON, R. H. and STRIDE, A. H. (1982) Chapter 4. Sand transport. in STRIDE, A. H., ed., *Offshore Tidal Sands, Processes and Deposits*, Chapman and Hall, London, p.58-94.
- JORDAN, G. F. (1962) Large submarine sand waves. *Science*, vol. 136, p.839-848.
- KAGAMI, H., KUBO, S. and NASU, N. (1984)

- Large-scale ripple marks on the shelf margin of the northern Okinawa Trough. *Jour. Oceanogr. Soc. Japan*, vol. 40, p.230-242.
- 海上保安庁水路部 (1971) 日本近海海流図, 第2. 昭和30年-昭和39年.
- (1977) 日本近海海流図, 第3. 昭和40年-昭和49年.
- (1980) 沿岸海の基本図 (5万分の1) 「佐多岬」及び同説明書. 35p.
- (1981) 沿岸海の基本図 (5万分の1) 「種子島北部」及び同説明書. 35p.
- KENYON, N. H. (1970) Sand ribbons of European tidal seas. *Marine Geol.*, vol. 9, p.25-39.
- McCAVE, I. N. (1971) Sand waves in the North Sea off the coast of Holland. *Marine Geol.*, vol.10, p.199-225.
- 茂木昭夫 (1977) 日本近海海底地形誌—海底俯瞰図集. 東京大学出版会, 東京, 90p.
- (1981) 対馬海峡大陸棚の地形発達—対馬陸橋に関連して. 第四紀研究, vol. 20, p.243-256.
- ・加藤俊雄 (1962) 備讃瀬戸東部の sand wave について. 海洋地質, vol. 1, no. 1, p. 2-12.
- 西村清和・木下泰正・上嶋正人・池原 研 (1984) サイド・スキャン・ソナーによる海底表層地質調査 その1 (複合航法システムを用いた高精度海底マッピング). 日本地質学会第91年学術大会講演要旨, p.252.
- 大野正夫 (1985) 概論: ガラモ場—その環境と水産資源的効用—. 海洋科学, vol. 17, no. 1, p. 4-10.
- 大嶋和雄・井内美郎・木下泰正・横田節哉・村上文敏・小野寺公児・野原昌人・青木市太郎・有田正史 (1978) 志布志湾および周辺海域の底質. 公害特別研究報告集, no. 56, p. 3-33.
- ・井上英二・小野寺公児・湯浅真人・黒田敬 (1982) 対馬—五島周辺海域の堆積物. 地調月報, vol. 33, p.321-350.
- 小笹博昭 (1975) 備讃瀬戸における海底砂州, サンドウェーブの調査. 港湾技研報告, vol. 14, no. 2, p. 3-45.
- REINECK, H. E. and SINGH, I. B. (1980) *Depositional Sedimentary Environments (2nd Edition)*, Springer-Verlag, Berlin, 549p.
- RUBIN, D. M. and McCULLOCH, D. S. (1980) Single and superimposed bedforms: A synthesis of San Francisco Bay and flume observations. *Sed. Geol.*, vol. 26, p.207-231.
- 佐藤 寿・池原 研・川幡穂高 (1985) 九州南方海域 (種子島・屋久島付近及び野間岬沖) の表層堆積物中の軽石及び岩滓の分布特性. 「西南日本周辺大陸棚の海底地質に関する研究」昭和59年度研究報告書—九州南方海域—, 地質調査所, p.63-71.
- STRIDE, A. H. (1963) Current-swept sea floors near the southern half of Great Britain. *Quart. Jour. Geol. Soc.*, vol. 119, p.175-199.
- 水理委員会移動床流れの抵抗と河床形状研究小委員会 (1973) 移動床流れにおける河床形態と粗度. 土木学会論文報告集, no. 210, p.65-91.
- TWICHELL, D. C. (1983) Bedform distribution and inferred sand transport on George Bank, United States Atlantic continental shelf. *Sedimentology*, vol. 30, p.695-710.
- WERNER, F. and NEWTON, R. S. (1975) The pattern of large scale bedforms in the Langeland Belt (Baltic Sea). *Marine Geol.*, vol. 19, p.29-59.
- YALIN, M. S. (1964) Geometrical properties of sand waves. *Proc. ASCE*, vol. 90, HY 5, p.105-119.
- 陽 清 (1965) 関門海峡の sand wave について. 水路要報, no. 79, p. 7-16.

(受付: 1987年6月8日; 受理: 1987年12月17日)



図版1 サイドスキャンソナーによる海底モザイク図  
Plate 1 The sea floor mosaic off the Ōsumi Peninsula.



図版 2 大隅海峡にみられるベッドフォームのサイドスキャンソナー記録例 スケールバーは100m

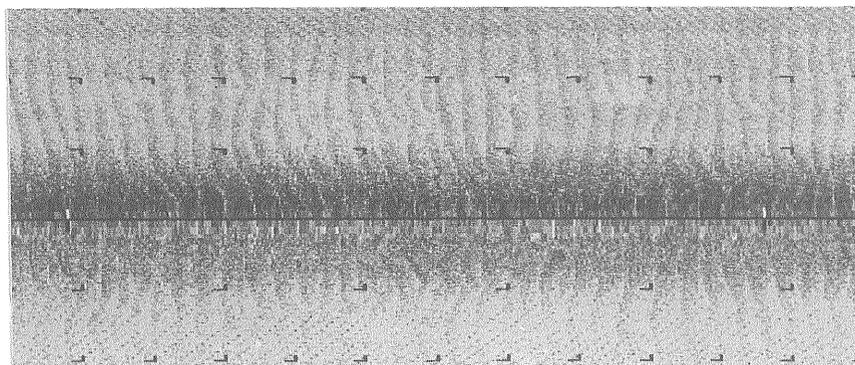
Plate 2 Sonograph of each bedforms. Scale bar is 100m.

- |                          |                               |                               |
|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 2-A サンドストリーマー 測線 9       | 2-B サンドリボン B型 測線 9            | 2-C サンドリボン C型 測線 4            |
| 2-A Sand streamer Line 9 | 2-B Sand ribbon Type B Line 9 | 2-C Sand ribbon Type C Line 4 |

A



B



図版 3 大隅海峡にみられるベッドフォームのサイドスキャンソナー記録例 スケールバーは100m

Plate 3 Sonograph of each bedforms. Scale bar is 100m.

3-A サンドウェーブ 測線 3

3-A Sand wave Line 3

3-B メガリップル 測線 1

3-B Megaripple Line 1