

ベッドフォームの話

池原 研・木下 泰正 (海洋地質部)

Ken Ikehara · Yasumasa Kinoshita

1. はじめに

みなさんも 砂丘や河川の河道・海岸・干潟などで堆積物の表面に波状の模様があるのを見たことがあると思います(第1図)。これらの模様(砂漣)は 風や水の動きによって堆積物が移動してつくられたものです。

ここでは 海の中で見られる砂漣やさらにもっと大きい波状地形であるサンドウェーブやメガリップルなどについて 御紹介したいと思います。

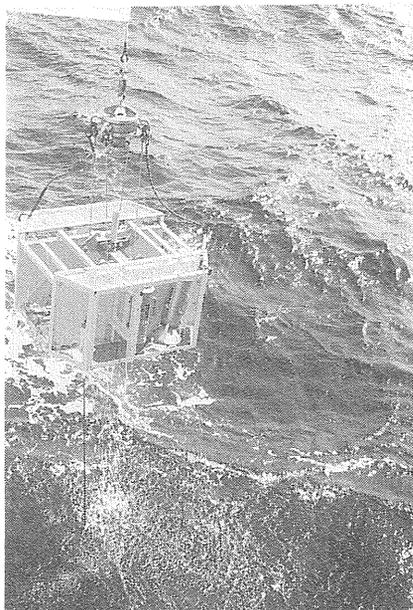
2. 調べる方法

海底は 少し深くなると太陽の光のとどかない 暗黒の世界となります。また その上には水という難敵がいますので おいそれとは海底の様子を観ることはできません。潜水船で潜れば直に海底の様子を観察することができますが なかなか潜水船に乗れる機会もありません。

そこで 普通の海洋調査では 耐水・耐圧容器の中に入れたカメラで海底写真やビデオの撮影をします。第



第1図 海岸や砂丘に見られる砂漣
上; 千葉県飯岡町の海岸(前浜) 下; 茨城県波崎町の海岸砂丘



第2図 深海カメラシステムの例
地質調査所で使用しているもの一例
グラフ採泥器の横に取り付けられている

2図に 地質調査所で使っている深海カメラシステムの一例の写真を載せました。カメラは採泥器のフレームに取り付けられており 海底での方位を知るためのコンパスの付いた重りが海底に着くことでシャッターが切れる仕組みになっています。写真に写されたコンパスから様々な海底の構造の方向を読み取ります。また 採泥器に取り付けてありますので 写真撮影と同時にその地点の底質を採取することができます。このため 底質がどのような状態で分布しているのかといったようなことがわかりますので 底質分布を考える上でもたいへん役に立ちます。

しかし 海水中では光の減衰は大きいので 海底写真ではせいぜい数mから10m程度の範囲しかカバーできません。したがって より大きな構造を捕えることができません。そこで光に代って音が使われます。音は 水中での減衰率が光よりはるかに少ないため 海洋調査ではよく用いられます。測深や海底下の地質構造を知るための音波探査などにも用いられ 海洋地質はもとより海洋調査にはなくてはならないもののひとつとなっています。海底写真オーダーの地形より大きな地形の調査には 音響測深器や魚群探知器を用いた断面形態の調査と サイドスキャンソナーを用いた平面形態の調査が行われます。以前は 測深記録のみから海底地形の議論がなされていましたが それだけでは 測深精度以下の構造(微地形)についてや地形の側方への連続

第1表 ベッドフォームの分類基準 (McCAYE 1971による)

	サンドウェーブ	メガリップル	砂漣
波 長	>30m	0.6~30m	<0.6m
波 高	>1.5m	0.06~1.5m	<0.06m

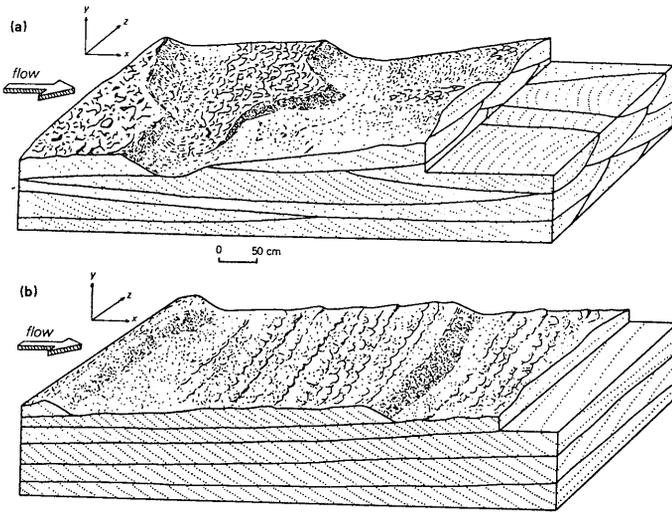
性については 正確にはわかりませんでした。サイドスキャンソナーを使えば 海底表面の微地形の詳細を面的に知ることができます。それによって 海底面の構造について より精度の高い議論ができるようになりました。サイドスキャンソナーについては すでに 村上・木下(1983)の詳しい説明がありますので そちらを参考にして下さい。

3. 砂が移動してつくる堆積構造

海底や河川の河道 潮間帯などに見られる堆積物の移動にもなつて形成された微地形や構造は 総称してベッドフォーム (bedform) と呼ばれます。海底で砂が移動してつくるベッドフォームをここでは その大きさにより サンドウェーブ (sandwave) メガリップル (megaripple) 砂漣 (ripple mark) というように分類します。しかし これらの名前については必ずしも統一されてなく 研究者や調査地域(実験水路 河川 潮間帯 浅海域など)によって使用する用語やその分類基準は異なります。例えば ある研究者はメガリップルという言葉を使わず サンドウェーブの中に入れてしまいますし サンドウェーブもメガリップルも使わず 両方を合せてデューン (dune) という言葉を使う人もいます。ここでは McCAYE という人が1971年の論文の中で 北海のベッドフォームについて用いた分類を使用します(第1表)。

様々なベッドフォームが世界各地の海底から報告されていますが その中でも特に研究の進んでいるのがヨーロッパの北海周辺の地域です。この付近における1960年代からの多くの調査結果や報告が現在のベッドフォームの研究 特に配列様式や形態などの知識の基礎となっているといえるでしょう。

また サンドウェーブは地層中からも報告されています。これらはおもに 第3図に示すようなサンドウェーブの内部構造を基に考察されています。このような地層中のベッドフォームの特徴や それを構成する堆積物の特徴などから それらのベッドフォームを形成した



第3図 サンドウェーブの内部構造の模式図
HARMS *et al.* (1975) による

当時の古水理環境などを推定することなどもなされています。

このようなベッドフォームができるかどうかは 堆積物の粒度と 堆積物を動かす水の流速などの条件で決まります (第4図)。したがって いくら砂が分布していても 十分な流速がなければ ベッドフォームは形成されません。普段は 気をつけなければその存在がわからない川底のベッドフォームが 洪水の後には大きくなって容易に観察できるようになったのを 御覧になった人もあるかも知れません。 このように ベッドフォームは 流れの状態の変化に対応してその大きさや形を変え

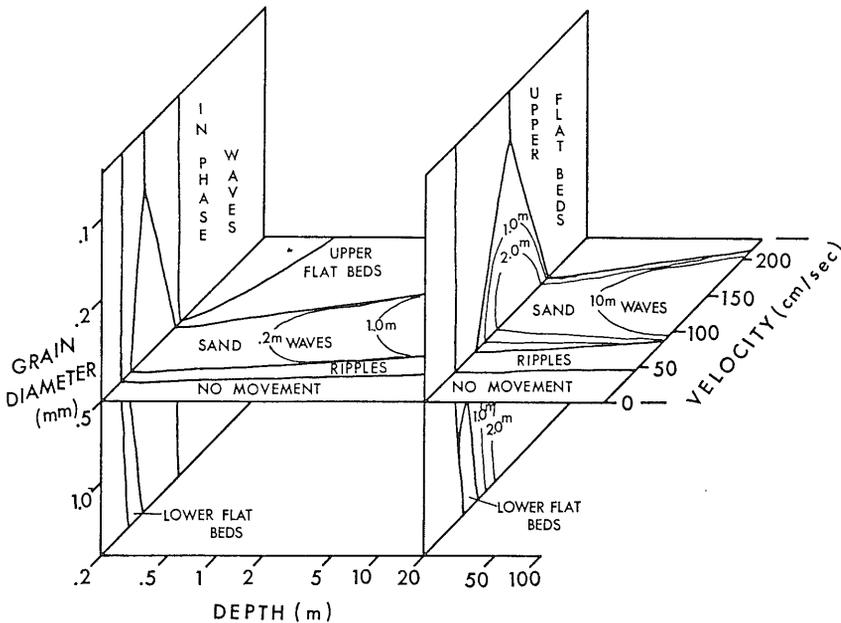
るのです。

4. 現在の海底に見られるベッドフォーム

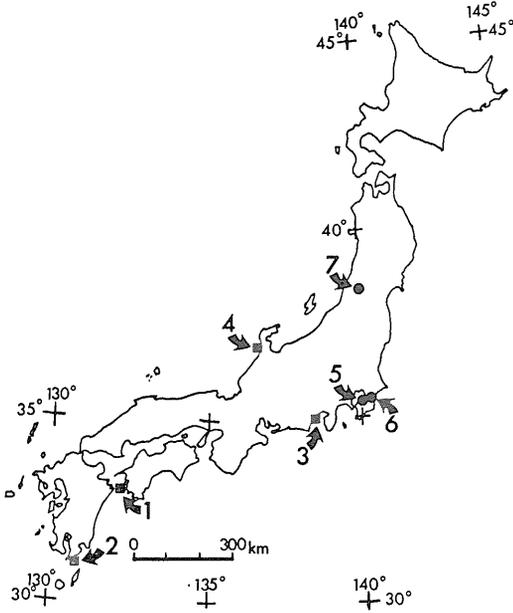
それでは そのようなベッドフォームの実例を 日本のまわりの大陸棚上に見てみましょう。ここでは 豊後水道と大隅海峡 それに 静岡沖と羽咋沖の海底の例で見てみたいと思います (第5図)。

1) 豊後水道の例

豊後水道の南部では水深 70~100m 付近の海底から



第4図 ベッドフォームが形成されるための水深—流速—粒度の関係
RUBIN and McCULLOCH (1980) による

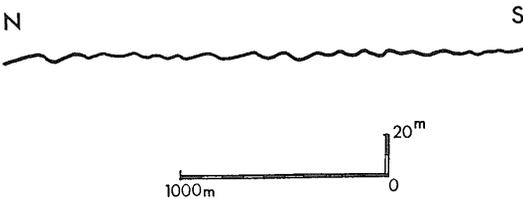


第5図 例に挙げた地域の位置
 四角は現在の海底における例に挙げた地域 丸印は地層中での例に挙げた地域
 1：豊後水道南部 2：大隅海峡 3：静岡沖 4：羽咋沖 5：市宿層 6：万田野層 7：本郷層橋立砂岩部層

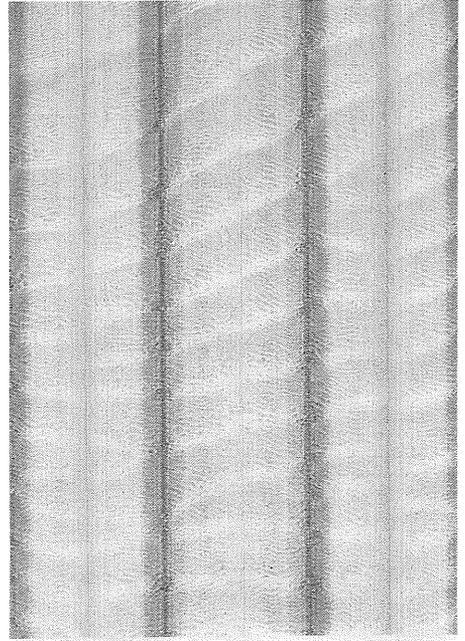
サンドウェーブ メガリップル 砂漣の三つのベッドフォームが観察されました。 サンドウェーブの分布域では サンドウェーブの上にメガリップルが乗り さらにその表面に砂漣が分布するといったベッドフォームの三階建構造が見られます。

サンドウェーブの形態は 第6図のように平面的には緩く湾曲し 側方へまれに分岐しながらよく連続していきます。 断面形態は 波状を呈しますが 対称形のものと同非対称形のものが見られます(第7図)。 その大きさは 波長の平均が約 109m 波高の平均が約 2 m です(第8図)。

メガリップルは サンドウェーブの上に乗るものと単独で存在するものがありますが どちらも 直線的



第7図 豊後水道南部のサンドウェーブの断面形態の例



第6図 豊後水道南部のサンドウェーブ分布域のサイドスキャンソナーの記録例
 スケールバーは 100m 図の上が北

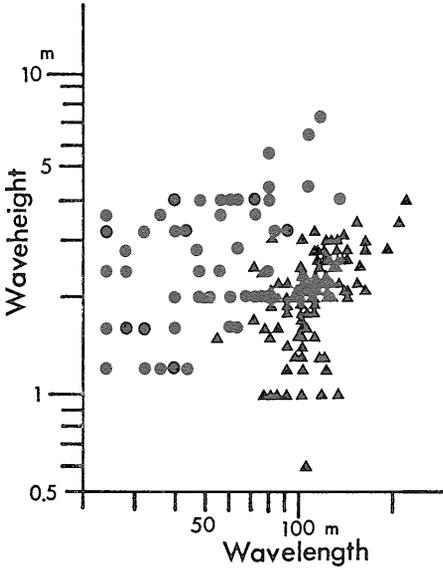
でまれに分岐する平面形態を持っています(第6図 第9図)。 その頂線(crest line)の間隔は約10mです。 断面形態は 残念ながら測深精度以下の起伏しか持たないために その波高とともに不明です。

砂漣は 水道部の粗粒砂以上の粗い堆積物の分布域を除いて分布しています。 形態としては 数十 cm の波長を持っています。 断面形態としては 非対称形のものも 対称形のものも見られます。 また 平面形態としては 直線型や屈曲型など様々な形態を示します(第10図)。

2) 大隅海峡の例

九州と種子島の間位置する大隅海峡の水深 70~100 m 付近からは 6種類のベッドフォームが観察されます(池原ほか, 1988)。 それらはすなわち サンドストリーマー(sand streamer) サンドリボン(sand ribbon) サンドウェーブ メガリップル 砂漣 カレントリニエーション(current lineation)の6つです。

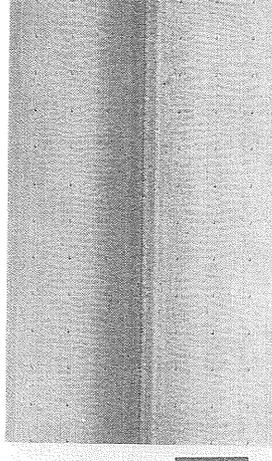
サンドストリーマー(第11図)やサンドリボン(第12図)カレントリニエーションといったベッドフォームはいずれも 堆積物が強い流れのために移動することによってできる 流れに平行なベッドフォームです。 第12図に示したサンドリボンのようにサンドウェーブの連なりと



第8図 サンドウェーブの波長と波高の関係
 三角は豊後水道南部、丸印は大隅海峡のもの

して認められるものを除けば ベッドフォームの比高は一般には小さく 細長い溝状の地形や 底質の粗粒部と細粒部との帯状の分布で表わされます。これらの流れに平行なベッドフォームは その平面形態や大きさから分類されています。このような比高の小さなベッドフォームは 比高の大きいサンドウェーブなどの分布域よりも強い流れの場所で見られます。

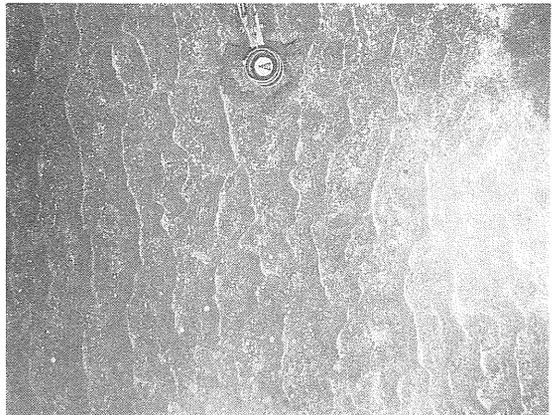
大隅海峡に見られるサンドウェーブは その波長が平均55m 波高の平均が約3 mです(第8図)。形態とし



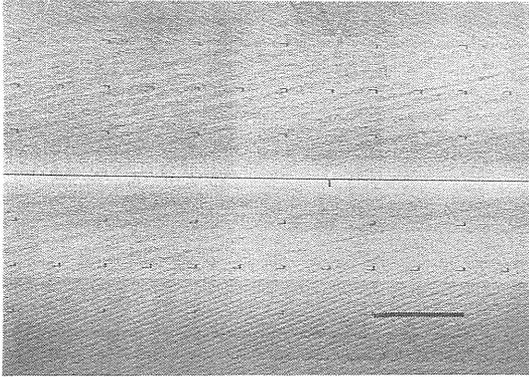
第9図 豊後水道南部のメガリップルのサイドスキャンソナーの記録例
 スケールバーは 100m
 図の上が北

ては 断面では著しい非対称形を示し 平面形態でも側方への連続性は良くありません(第13図)。このような形態は 前に示した豊後水道のものとは違っています。また メガリップルの波長は4~28mで 直線状でまれに分岐する平面形態を持ちます。砂漣は 様々な平面形態を示しますが 直線型もしくは屈曲型が多いようです。

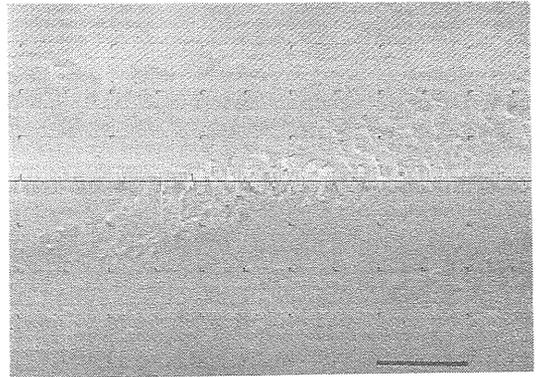
大隅海峡におけるベッドフォームの分布の特徴は 海峡の南西部や中央部から周辺部に向って ベッドフォームが規則的に変化することです。つまり 海峡中央部から サンドストリーマー・サンドリボン→サンドリボン・サンドウェーブ→メガリップル→砂漣のみ というように変化します(第14図)。このようなベッドフォームの変化は 海峡を流れる海流の流速の変化に伴って生



第10図 豊後水道南部の海底写真に見られる砂漣の例
 コンパスの白円の直径は 58mm
 左: st. 390 北緯 32°55.6' 東経 132°15.3' 水深 95m
 右: st. 397 北緯 33°00.0' 東経 132°18.2' 水深 97m



第11図 大隅海峡のサンドストリーマーの記録例
スケールバーは 100m 図の上がおよそ東北東



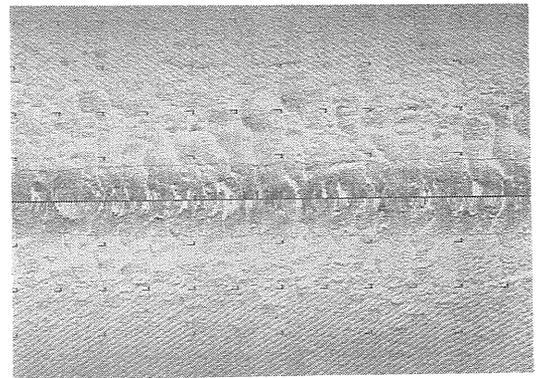
第12図 大隅海峡のサンドリボンの記録例
KENYON (1970) の分類によるC型サンドリボン スケールバーは 100m 図の上がおよそ東北東

じたものと思われる。また このようなベッドフォームの配列は ヨーロッパの北海周辺から報告された潮流によるベッドフォームの配列様式と一致します(第15図)。大隅海峡の場合 流れの主体は 黒潮の分流のひとつである大隅分岐流と呼ばれる海流ですので 大隅海峡に見られるベッドフォームは 黒潮によってつくられたベッドフォームといえるでしょう。

3) 静岡沖大陸棚の例

駿河湾は プレート境界として有名ですが 大陸棚が狭く中央部が深い湾としても知られています。この駿河湾沿岸で 最も大陸棚の広いところが 石垣いちごや東照宮で知られる久能山の沖です。久能山下の海岸は激しい海岸侵食にさらされ 一方 その東の三保半島では 久能山下や安部川からもたらされた砂礫が堆積して砂嘴を形成しています。また 久能山や日本平を含めた有度丘陵一帯は ドーム状の地質構造を示しており その沖合は 地質学的にも興味あるフィールドです。

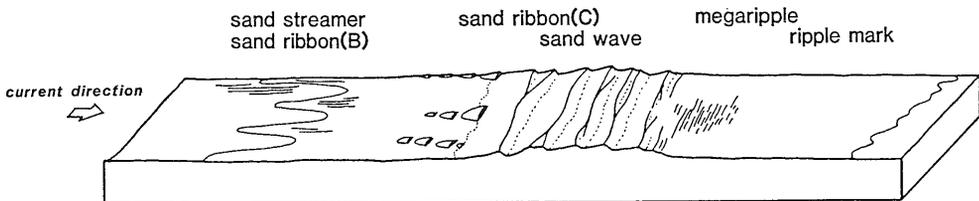
第16図は この有度丘陵の西端にあたる 静岡市大谷の大谷川河口沖の水深10m付近の記録です。暗色の部分が 粗粒な堆積物の分布している場所で 明色の部分は 細粒の堆積物が分布している場所です。有度丘陵



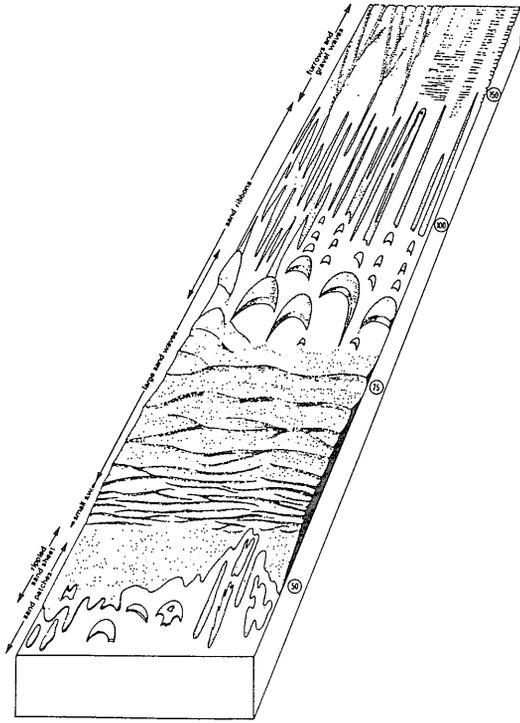
第13図 大隅海峡のサンドウェーブの記録例
図の上がおよそ東北東

沖の大陸棚上は そのほとんどが 細粒砂の分布する区域ですが 西端部では このような粗粒部のほか 露岩域も認められます。この粗粒部をよく見て下さい。

少しわかりづらいかも知れませんが 細かい横縞が見えると思います。大きさからいって メガリッブルに属するものと思われます。どうしてこのような粗粒部だけにメガリッブルが見られるのかについては さらに



第14図 大隅海峡に見られるベッドフォームの水平分布の模式図
池原ほか (1988) による



第15図 潮流によるベッドフォームの配列様式の模式図
BELDERSON *et al.* (1982) による

底質や流速 波の条件などを総合的に検討していかねばならないでしょう。

4) 羽咋沖大陸棚の例

金沢市の北 能登半島のつけねあたりにある羽咋市の沖の水深50m前後には 波長数百m 波高5 m前後の波



第16図 静岡沖のメガリップルの記録例
図の上がおよそ北西

状地形が見られます。この地域のサイドスキャンソナーの記録の一例を第17図に示します。前に示した静岡沖の例と同様に 暗色部が粗粒部 明色部が細粒部です。ここでも 粗粒部にメガリップルの分布が見られます。

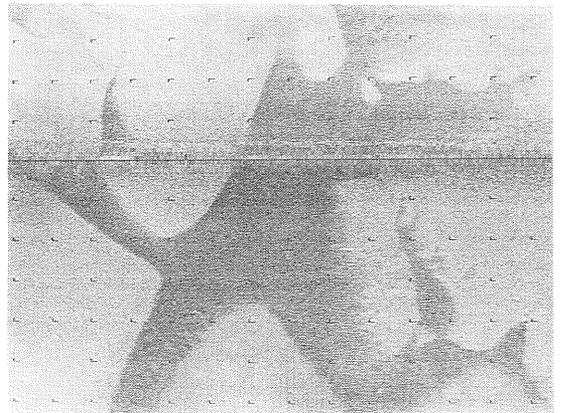
このようなメガリップルやより大きな波状地形が どのような海水の動きによって形成されたのかは今のところ不明ですが これまでには 知られていなかったこのような小さなベッドフォームの分布や形態から 海底での堆積物の移動様式がより鮮明になるものと期待されます。

5. 地層中に残されたベッドフォーム

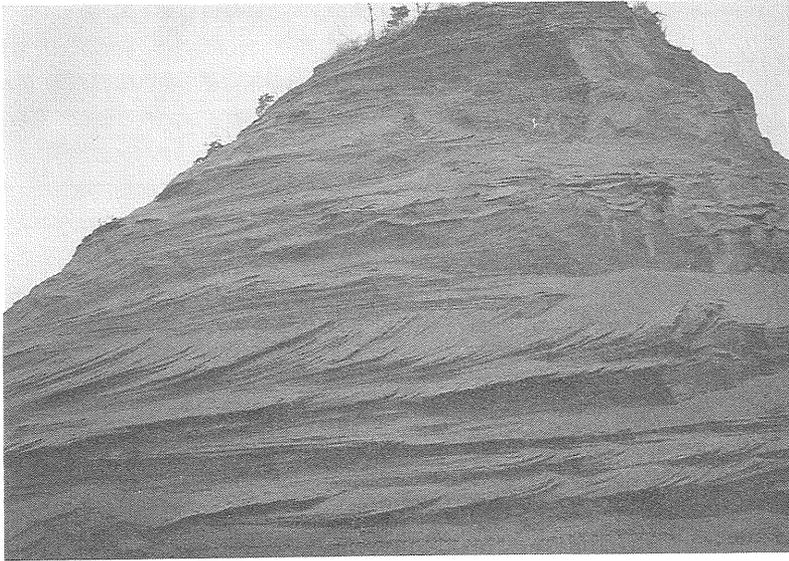
以上述べてきた現在の海底で見られる種々のベッドフォームは 地層中でも見られることがあります。砂進以外ではサンドウェーブやメガリップルの報告が多いようです。ここでは サンドウェーブやメガリップルの地層中での例として 房総半島に分布する市宿層と万田野層の例と山形県山形盆地西南部の本郷層橋立砂岩部層の例を簡単に紹介します。

1) 千葉県市宿層の例

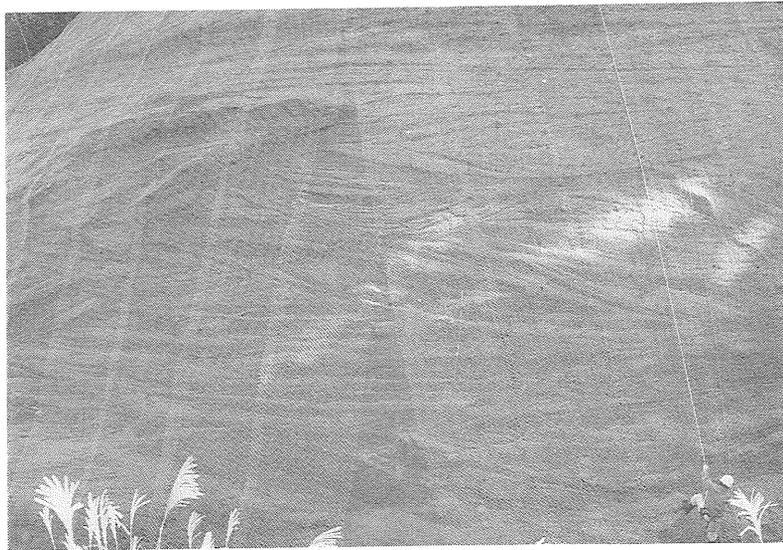
市宿層は 千葉県君津市と富津市の鹿野山周辺に分布する更新統上総層群に属する 厚いレンズ状の含礫砂質堆積体です。この市宿層内には大型の斜交層理がよく発達し サンドウェーブ堆積物であることが指摘されています(峯崎・立石 1983)。第18図は 富津市の砂採り場の露頭写真です。斜交層理がみごとに発達しているのが 御覧になれると思います。最近の研究から こ



第17図 羽咋沖のメガリップルの記録例
図の上が北西



第18図 千葉県富津市の砂採り場に見られる市宿層



第19図 千葉県長南町の林道沿いに見られる万田野層

の市宿層の堆積体は 前述の大隅海峡のような 海流サンドウェーブシステムであることがわかりました(中山・増田 1987). このようなことから この当時房総半島には 海流が流れ込んでいたことが推定できます.

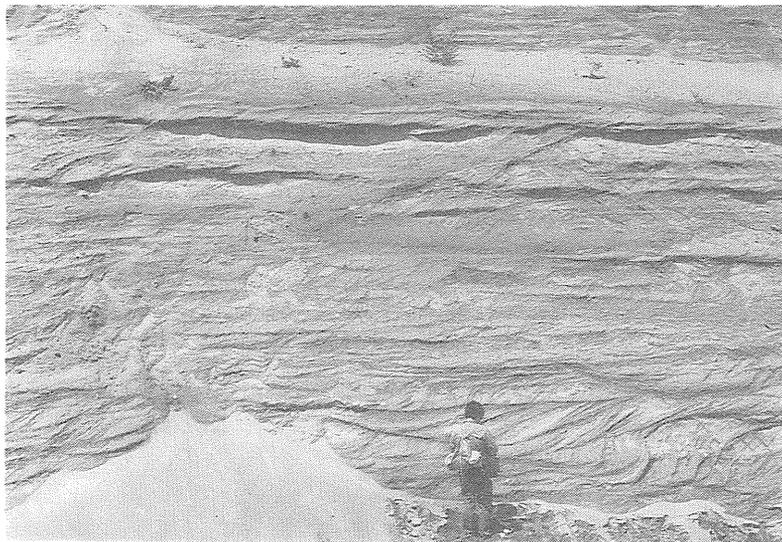
2) 千葉県万田野層の例

次に同じ房総半島の 上総層群万田野層の例を示しましょう. 万田野層は 市原市南部から長南町にかけてを中心として 木更津市から長柄町付近に至る地域に分布する厚さ最大70mの砂礫層です. 第19図は 千葉県長生郡長南町野見金山の林道沿いの露頭です. ここでも 大型のトラフ型斜交層理が発達した堆積体をつくっています. この斜交層理から推定される古流向は ほ

ぼどこの地域においても東北東ないし北北東の向きを示します(徳橋・遠藤 1984). この万田野層のサンドウェーブ堆積物は 大陸棚上で潮流の影響下で形成されたものと考えられています(KATSURA, 1984).

3) 山形県本郷層橋立砂岩部層の例

最後に 山形盆地西南部の本郷層橋立砂岩部層の例を示します. 第20図の写真は 山形県西村山郡西川町の稲沢から吉川に向う道路際の露頭です. ここは 橋立砂岩部層の中上部にあたり やはりトラフ型斜交層理が発達しています. これらの斜交層理の形態から 波長10~20m 波高1~2mのベッドフォームが推定されており また この橋立砂岩部層が 北に開いた湾の水深



第20図 山形県西川町の道路際に見られる橋立砂岩部層

最大50m程度のところで堆積したものであることも推定されています(斎藤 1983)。この砂岩部層はヤマガタダイカイギュウ (*Dusisiren dewana*) が産出したことでも知られています。

6. おわりに

以上簡単に 堆積物の移動に伴ってつくられるベッドフォームの話をしてまいりました。日本周辺の大陸棚上においても 海峡部を中心として ここで紹介した以外の場所(例えば 瀬戸内海の備讃瀬戸や関門海峡 東シナ海の大陸棚～大陸斜面域 対馬海峡 津軽海峡 隠岐海峡)からもサンドウェーブなどの報告がなされています。しかしただ単に分布するというだけではなく いつ・どのような営力で形成されたのか その平面的な配列様式はどうか 現在の営力下で移動・発達しているのか否か といったような点についてはあまりわかっていないのが現状でしょう。サイドスキャンソナーをはじめ様々な最新兵器を使ったより精度の高い調査を心掛けることはもちろんですが 堆積物を動かす側である海水の流れの特性を理解することも非常に大切です。そのためには 海洋物理学を研究されている方達との共同研究なども必要かも知れません。今後さらに ベッドフォームの研究がなされることを祈りつつ 筆を置くことにします。

文 献

- HARMS, J. C., J. B. SOUTHARD, D. R. SPEARING and R. G. WALKER (1975) Depositional environments as interpreted from primary sedimentary structures and stratification sequences. Short Course Notes no. 2, Dallas, Soc. Econ. Paleont. Mineral.
- 池原 研・木下泰正・西村清和・中村光一・川幡穂高(1988)大隅海峡にみられるベッドフォームの形態と分布. 地調月報 39, 95—113.
- KATSURA, Y. (1984) Depositional environments of the Plio-Pleistocene Kazusa Group, Boso Peninsula, Japan. *Sci. Rep., Inst. Geosci., Univ. Tsukuba, Sec. B*, 5, 69-104.
- KENYON, N. H. (1970) Sand ribbons of European tidal seas. *Mar. Geol.*, 9, 25-39,
- MCCAVE, I. N. (1971) Sand waves in the North Sea off the coast of Holland. *Mar. Geol.*, 10, 199-225.
- 峯崎智成・立石雅昭(1983) 房総半島市宿砂層, 長浜砂礫層の堆積相. 砕屑性堆積物の研究 2, 2-7.
- 村上文敏・木下泰正(1983) 音波を使って海底を視る. 地質ニュース 348, 34-43.
- 中山尚美・増田富士雄(1987) 房総半島, 更新統上総層群市宿層の海流堆積相. 地質雑 93, 833-845.
- RUBIN, D. M. and D. S. McCULLOUGH (1980) Single and superimposed bedforms: a synthesis of San Francisco Bay and flume observations. *Sediment. Geol.*, 26, 207-231.
- 斎藤常正(1983) 橋立砂岩部層の堆積環境. ヤマガタダイカイギュウ発掘調査報告書 高橋静夫編 山形県立博物館 8, 71-75.
- 徳橋秀一・遠藤秀典(1984) 姉崎地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1図幅) 地質調査所 136p.