

カラー写真を利用する潮間帯付近の微地形の調査

—大分県中津海岸を例として—

西村嘉四郎* 松野 久也** 磯部 一洋**

NISHIMURA, K., MATSUNO, K. and ISOBE, I. (1980) A study on minor shore forms developed at tidal flat using color aerial photography; Case study in Nakatsu coast, Oita Prefecture. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 31(8), p. 357-367.

Abstract: Color aerial photography offers great promise for the collection of information from the air, because human eyes have the capability to discriminate an infinite number of difference in color, but at most only a few hundred shade difference in gray. This capability permits us to discriminate much more readily among objects in nature.

On the other hand, we have difficulties to determine accurate locations of sampling and determine measurement points and to delineate the distribution of minor shore forms within broad tidal flat (ebb tidal delta) along the coast formed by large tidal range. To solve these problems late Mr. Kashirō NISHIMURA and one of the Junior author Kyuya MATSUNO of the Environmental Geology Department, attempted and carried on experimental studies during the period from 1971 to 1973 at Nakatsu City and Usa City, Oita Prefecture, northeastern Kyushu.

For the purpose of the studies, color photographs provided by Mr. Kenji OGA of the Kokusai Aerial Photography Co. Ltd., using motor drive camera Hasselblad EL 500 with Distagon 40 mm lens. Short focal length wide angle lens camera is superior to take color photographs from low altitude avoiding scatter of the blue part of the visible spectrum due to moisture content in the atmosphere.

Interpretation of the minor shore forms had been conducted under stereoscope with use of color paper prints enlarged about 4 times whose format size and effective focal length were equivalent to those photographs of 23 cm × 23 cm format size taken by aerial camera with 150 mm focal length lens. For the plot and delination of the minor shore forms on the existing maps of 1:10,000 scale, a simple and conventional stereoplotter named Stereomicrometer had been used.

Fig. 3 indicates the distribution of superficial deposits and the minor shore forms on tidal flat at Nakatsu coast faced to Seto Inland Sea in June 1970. The minor shore forms only develop on sandy sediments and have a system of ridge and runnel. It is able to consider from its morphological characteristics that the system corresponds to sand waves which are induced by tidal current associated with large fluctuation of tidal range.

On the whole "rays" of ridge and runnel gradually curve to the left similar to counter-clock-wise rotary current from outer part of tidal flat to inner part of it. It is considered that the minor shore forms and above-mentioned curvature are formed by slower flowing succeeding to the maximum of ebb tide on tidal flat.

1. ま え が き

可視光線の全波長領域を記録する空中カラー写真が、極浅海底の微地形を記録する点で優れていることはよく

知られた事実である。それらの微地形が空中から写真に記録できるか否かは、入射光量と入射角・海面の状況・海底の条件及び海水の透明度によって異なる。晴天で波の静穏時における海底では、これは基本的に海水の透明度に支配される。沿岸の懸濁物質を含む海中では、透明度は数10 cm に過ぎないが、沿岸海域では数mから10

*故人, 元環境地質部

**環境地質部

数mに達し、外洋では10数mから数10mにも達する。これは海域によっても、季節によっても変化があることはいうまでもない。

潮汐底(tidal flat)が発達する浅海域は、調査船の航行は船の保安上不可能である。このため、海上調査からも、陸上の調査からも除外された空白地帯である。また、潮汐底は地上調査に準じた調査も可能であるが、特徴のある地形その他目印となる地物が殆んどなく、調査データの位置決定に海上調査と同様な問題がある。また、海域は船の航行が可能であったとしても、海上調査による海底地質あるいは底質調査では、船上からの地点ごとの試料採取とその分析によるのみ行われ、浅海底の微地形とは無関係に成果が取りまとめられている。本研究は、これらの諸問題を解決するために、表面反射情報だけではあるが、面的なデータの獲得の可能な空中写真の応用を目的として実施されたものである。

この研究は、以前から判読用の空中カラー写真の撮影について、経費節減をはかるために手持カメラ(ハッセルブラド EL 500)の利用を検討中であった国際航空写真株式会社の大賀健次氏から、1970年及び1972年に撮影された大分県中津市を中心とする周防灘沿岸約32 kmにわたる、一連の空中カラー写真の提供を受けた¹⁾ことに端を発したものである。以来、1971年から1973年にかけて3カ年間に、これらの写真による平面図(応急的な)を作成、既存の空中写真との比較による、浅海域の微地形の経年変化について検討を実施した。

本報告は、微地形の分布や経年変化に関する図・写真を含めた西村の研究結果(遺稿)を基にして、これに松野と磯部が微地形の特徴と形成について若干の記載及び考察を加え、取りまとめたものである。

2. 空中写真

この研究には、底質分布及び微地形配列図作成に、ハッセルブラド EL 500カメラによって撮影された空中カラー写真及び既存の白黒空中写真が用いられた(第1表)。併せて2色カラー写真(blue insensitive color filmによる)

1) 写真の一部は松野(1971)により公表されている。

の利用について検討を行った。

2.1 ハッセルブラド EL 500カメラの特徴

ハッセルブラド EL500モータードライブカメラによる垂直空中写真撮影が、大賀健次氏によって検討されたことについては既に述べた。このハッセルブラドカメラは、ジェミニシリーズの宇宙船上から手持で地球表面のカラー写真を撮影し、宇宙空間からの地球表面写真調査の可能なこと、及びその有効性を実証し、アポロシリーズの宇宙船では、4個を一組として、多波長帯域同時撮影の実験に用いられたものである。

このカメラの特徴は、70 mmフィルムを使用し、Distagon 40 mmレンズを装置し、約4倍引伸して、広角測量用カメラ($f \approx 150$ mm画割23cm×23 cm)にほぼ等しい諸元をもった写真が得られることである。さらに、このカメラは軽量小型であって、付属品一切を含めて一人で携行することができ、軽飛行機で撮影が可能である。したがって、撮影費用も通常の測量用カメラによるその数分の1で済み、極めて経済的でもある。とくに写真判読だけを目的とする空中写真の撮影、反覆撮影による種々の監視、フィルム、フィルターのテストなど、利用面が期待されるものである。さらに空中カラー写真の場合、同一画割で、通常の測量用カメラでの撮影高度の4分の1の高度で足り、大気中における青の光線の散乱を実質的に避けることができるという利点がある。したがって、カラー写真の場合、画質のよい写真が得られる。

空中カラー写真は高度2000m以上では、青の光線の散乱によって全体的に青味をおび、画質が劣化する。この傾向は高度が高くなる程増大するのである。また、このような短焦点広角レンズは、被写地域が平坦である場合に、低高度で死角を生ずることなく、一度に広い範囲を撮影できるという効果があるからでもある。さらに最近では焦点距離38 mmレンズが用いられ、指標その他がとりつけられているので、測量用カメラとしての使用も可能と思われる。

2.2 2色カラーフィルムの特徴

2色カラーフィルム(blue insensitive color film)は、空中から水中、水中から水中の写真撮影のために開発さ

第1表 使用写真一覧表

カメラ	フィルム	高度 (m)	焦点距離 (mm)	撮影年月日	写真縮尺
K17 (メトロゴン)	モノクロ	4,700	153.01	1947. 12. 15	1 : 40,000
ウILD RC8	〃	1,850	152.11	1962. 10. 17	1 : 12,000
ウILD RC5	〃	3,300	152.02	1967. 7. 30	1 : 20,000
ハッセルブラド EL500	カラー	1,600	40.00	1970. 6. 5	1 : 20,000

れた新しいフィルムである。空中から海面あるいは海面下、または、水中において水中の被写体を撮影する場合、大気中あるいは水中に含まれる微細な懸濁物質によって、散乱される青の波長領域の光線は好ましいものではなく、かつ不必要なものである。したがって上述のような撮影に際して、通常カラーフィルムを用いる場合、黄色フィルターを用いて、青の部分の光線をカットすることがしばしば行われる。

この場合陽画ポジでは青の感光層が露光されずに黄色が形成される結果、得られる写真像は黄色を呈する。また、フィルターを使用する結果、フィルムの有効感度を減少する。したがって、青の感光層のないフィルムを利用すると、上述のようなフィルターを必要としないため、普通のカラーフィルムを使用する場合に比べて速い露光ができるという利点があり、光量の少ない水中撮影に好都合である。本研究では、このフィルムの効果の検討も行われた。

3. 平面図作成

空中写真から平面図あるいは地形図のような地図を作成する場合、内部定位の明らかな測量用カメラで撮影された写真によらなければならない。前述のように今回撮影に使用されたハッセルブラド EL 500カメラは、測量用カメラではないので、焦点距離、画面主点など内部定位が正確に求められていない²⁾。したがって、前述の EL 500撮影の写真では精度の高い図化機を用いても無意味である。よって、引伸印画(23 cm×23 cm)の画割の中点を結ぶ線の交点を画面主点とみなして、3級図化機(ステレオマイクロメーター)を用いて、応急的な平面図の作成を試みた。

次に、地上基準点がなければ、写真の対地標定が不可能であって、測地学的な精度をもった地図を作成することはできない。ここでは、1970年に測量された中津海岸の国土基本図(縮尺1:5,000)に示されている沿岸及び海中の著明な点を基準点として代用し、モデルごとの対地標定を行った。この結果、モデル間の接合部において、図上で描画上のくいちがいは±5 mm以内であった。このようにして作成された平面図は、応急的な図面として十分使用に耐えるものと判断された。さらに精度の高い地形図を得るためには、ハッセルブラド MK 70(焦点距離60 mm)による写真とウイルドオートグラフ A

10あるいはウイルドオートグラフ A40と組合せて使用することが、最近測量機関において検討されている。

4. 中津海岸の自然的特徴

4.1 後背陸地の地質と潮汐底

中津海岸(第1図)は瀬戸内海西域の周防灘に面し、遠浅な海底地形を利用して従来から干拓が行われている所である。この海岸背後の陸地(中津平野)の地質は、坂本・長谷(1972)等によって明らかにされている。両者の中津平野第四系の層序表によると、この地域は地形的に中津台地・糸口山丘陵・宇佐台地及び豊後高田台地に区分され、下部から花崗岩、凝灰角礫岩、河成砂礫層、^{えきせん} 駒川軽石流堆積物、高森軽石質砂・礫・シルト層、糸口山泥流堆積物、宇佐礫層、中津層、被覆火山灰層となっている。さらに中津層を下部から礫層・火山砂層に、高森軽石質砂・礫・シルト層を軽石質砂層と礫・シルト層に区分している。

第2図は潮汐底における建設用砂利採集跡においてみられる礫層を撮影したものである。中津海岸へ流入する山国川・犬丸川・伊呂波川・^{やつかん} 駒館川・寄藻川及び桂川からは現在河口の一部を除き、大量の礫が排出されていない。潮汐底にみられる礫種は、何れも安山岩質円礫に軽石質円礫を混在していることから、中津層及び宇佐礫層中のそれと一致する。また潮汐底にみられる礫層(第2図)はある程度固結していることから、前述の中津層及び宇佐礫層が侵食されて露出したものと考えられる。

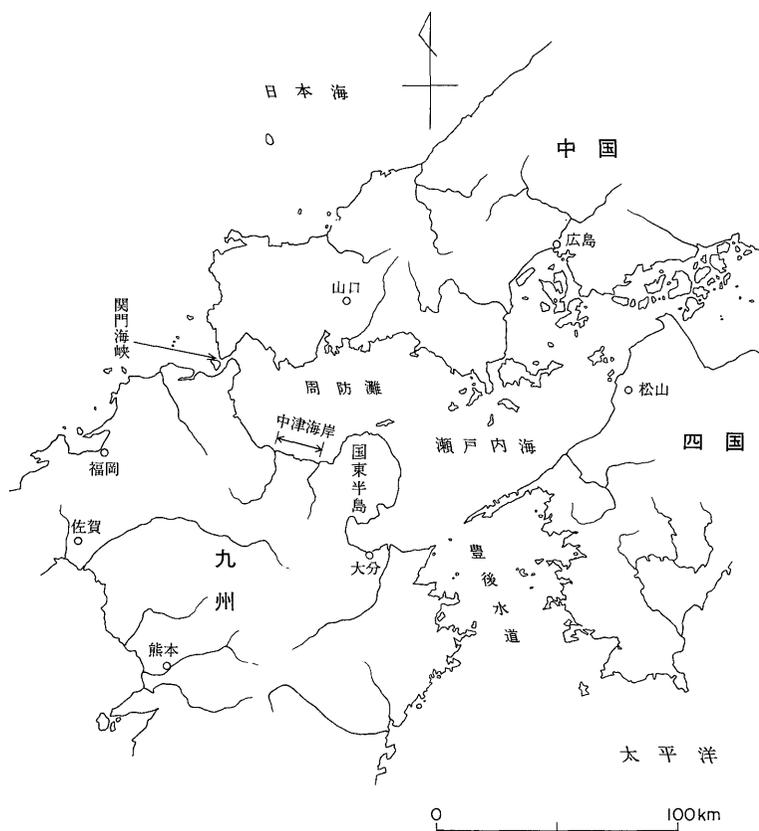
護岸堰堤から0.1-1.2 km沖合で潮間帯に当たる潮汐底では、礫層の上面に細粒砂が極く薄く堆積し、後で詳しく述べる特徴的な微地形がよく発達している。さらに、潮汐底の海側は明瞭な傾斜変換点をもってより急勾配の泥質堆積物からなる海底へ変化し、そこでは上述のような微地形は発達していない(第7図参照)。

4.2 海況

中津海岸における潮差は特に大きく、大潮では3-4 mもあり、緩勾配の潮汐底は干潮時に2 km以上にわたり干上る所もある。尾原ほか(1973)によれば、半日潮が支配的であり、満潮の際は東から西へ流れ、一方干潮に近づく場合には、西から東への流れが卓越する。そして、1970年10月上旬の観測によれば、最大流速は0.33 m/sec、比較的動かない場合0.1 m/secぐらいであり、透明度は海水の停滞傾向を反映して3-3.5 mと大きくない。

外洋で発生した大波の入射は、関門海峡と国東半島によって阻まれて、この海岸においては全く認められない。周防灘で発生した風浪が卓越し、冬季の北西風による風浪は浅海底における砂の移動に対して最も大きな影

2) 現在、このような目的に使用される測量用カメラとしては、画面主点を求めるための指標が組み込まれ、かつツアイス社製のディスプレイの少ない優れたレンズが使用されているMK70が販売されるに至っている。



第1図 中津海岸の位置図



第2図 駅館川河口左岸の砂利採集跡にみられる礫層
(第5・6図とも1971年7月9日午後西村撮影)

響を与える。風浪の最大規模のものとしては、有義波高 $H\frac{1}{2}$ 3.2 m, 同周期 $T\frac{1}{2}$ 7.3 sec ぐらいのものが考えられ、これは季節風が北西方向に当たる山口県側（吹送距離約60 km）から風速20 m/secで3時間以上連続して吹送した場合であって、風波の予知曲線（土木学会、1963）から求められる。

5. 潮汐底に発達する微地形

5.1 平面分布

中津海岸のうち犬丸川河口左岸と寄藻川河口右岸の干拓地にそれぞれはさまれた約15 kmの沿岸について、1970年6月5日の干潮時に撮影されたカラー写真に基づいて、微高地形とその間を流出する水流の方向、礫層と護岸堰堤直下にみられる泥質層の分布を図化したものが第3図である。

第3図に示すように、礫層あるいは泥質層の分布地域より海側に直線的あるいは湾曲した高まりと低い谷とが交互に何列にも発達する。この微地形は大規模な平行型砂れんともいふべきものであり、特に寄藻川河口左岸では20列以上にわたりほぼ沿岸に平行に配列しているのがみられる。

KING (1959) はこの微高地形を ridge, その間の谷を runnel と呼び、茂木 (1971) は両者を砂の浪あるいは砂浪 (sand wave) と呼んだ。以下この微地形を茂木にしたがい砂浪と呼ぶことにする。

砂浪の発達状態は礫層の分布と相反する関係を示す。すなわち、礫層が広く分布する所では砂浪の発達が悪く、礫層がみられない寄藻川河口左岸では砂浪の発達がこの海岸中で最もよい。すなわち、砂浪は砂質堆積物が礫層の上に載っている所だけに発達する。

砂浪の発達域では、礫層に近い陸側よりも海側において峰の長さが長く、その間隔（波長に相当）の広い規則的なものがみられる。その峰の長さは最長700m以上にも達し、間隔は30-80mにおよぶ。峰と谷の比高（波高に相当）は30-40 cm程度であって、峰の長さあるいは間隔に比べて比高が著しく小さい。第5図は潮汐底に立って砂浪を撮影したもので、写真からは正確な砂浪の平面形態を把握することが難しく、この目的のためには空中写真の方がはるかに優れている。

砂浪の峰に直角方向すなわち陸から海の方へ溝がある間隔をもって発達している。第3図によれば、砂浪の谷から排水された海水が溝に集まり、多少蛇行しながら海へ注いでいる。そして、西に片寄って流出するものが多い。

次に砂浪の峰と谷の配列を概観すると、潮汐底海寄り

から陸寄りに向かうにつれて、波に例えれば波向に相当する砂浪の向きが、徐々に変化の様子が明らかである。海岸全域に共通して砂浪の向きは反時計回りに曲る傾向が認められ、陸寄り程曲り方は著しい。海へ流出した水流の曲り方も反時計回りであって、砂浪のそれと全く同じ回り方となっている。

5.2 経年的変化

砂浪が最もよく発達する寄藻川河口左岸について、その経年的変化をみることにする。第4図は、第1表に示す4時点に撮影された空中写真に基づいて微地形の変化を表現したものである。図の作成に当たっては比較を容易にするために縮尺を一定にしてある。第4図(1)は1947年12月15日撮影の写真から作成され、反時計回りの砂浪の向きの変化が明らかである。(2)・(3)・(4)は1962年10月17日・1967年7月30日及び1970年6月5日にそれぞれ撮影された写真から作成されたものである。何れも砂浪の発達状態が(1)と比べてよい。

(1)-(4)を比較すると砂浪の配列形態は互いによく類似している。(1)は冬、(2)は秋、(3)・(4)は真夏と初夏という具合に撮影された季節に違いがあり、また23年にわたり撮影されたという時間的差違はあっても、ほぼ同様な形態を呈する。このことは、砂浪が波や河川土砂の排出による変形を受け難いことを暗示している。

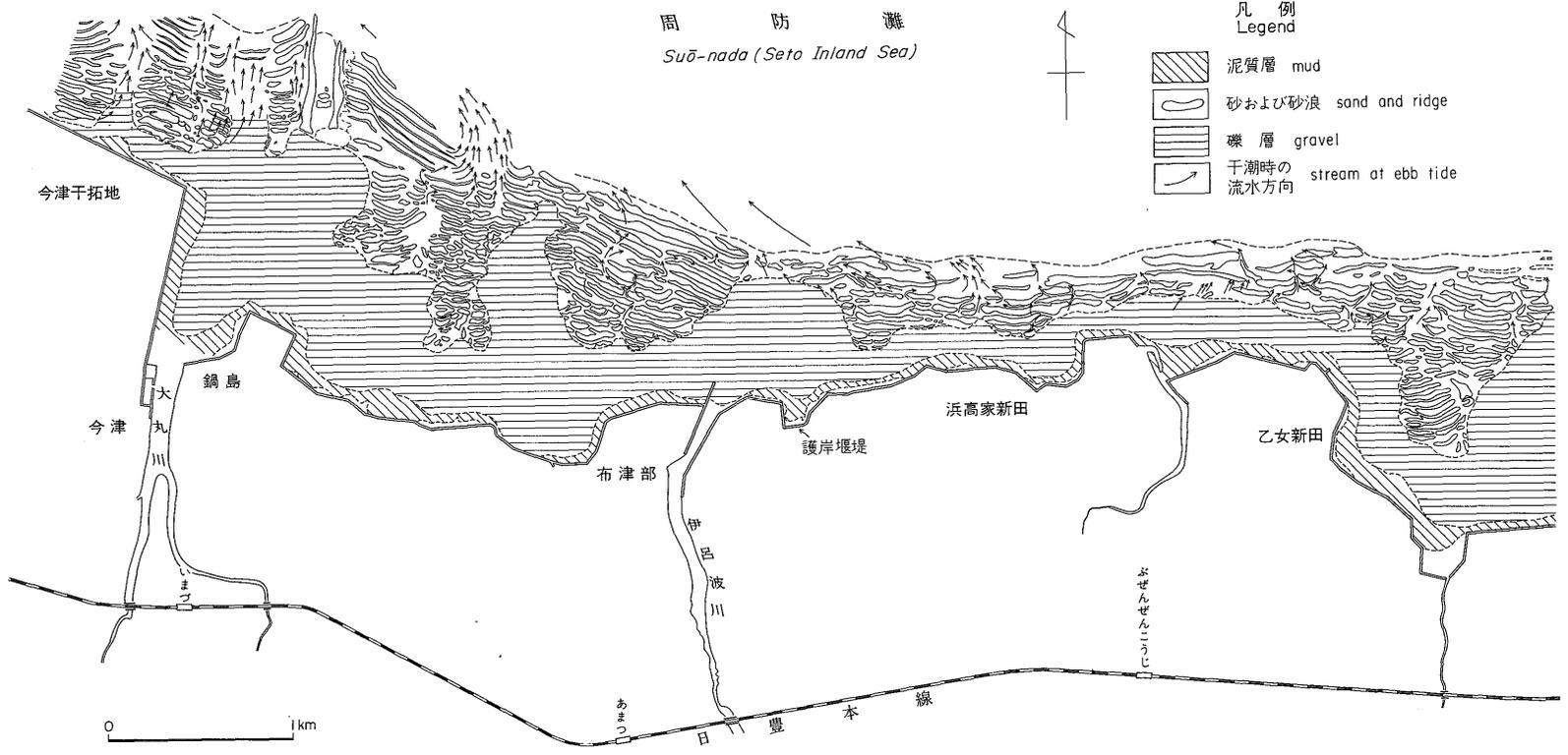
6. 砂浪の形成に関する考察

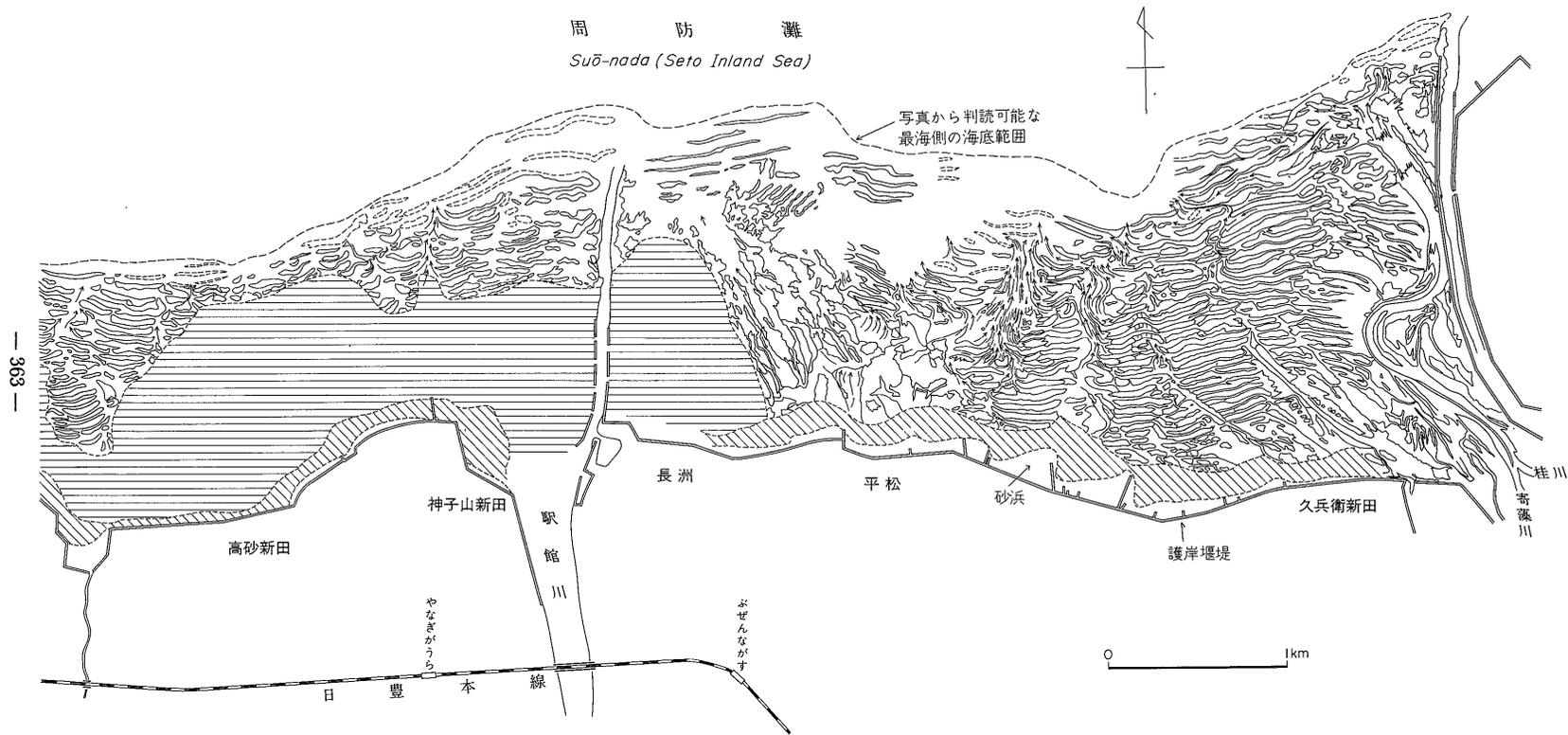
中津海岸に広く分布する潮汐底は低潮台 (low tide terrace) に当たり、大潮の干潮時にはほぼ干上がり、満潮時には常に水没する（第7図参照）。第3図に示した通り平均海水位の訂線は護岸堰堤に一致するため、水没する時間の方が干上がるそれよりも長い。

風浪がこの海岸へ入射すれば、波動運動によって海底砂の移動が生じ、砂れんが形成される。第6図に示す砂浪上の平行型砂れんは、静穏時の波によってできたものであり、これに対して大規模な砂浪は次に述べる営力によって形成されるものと考えられる。すなわち、1) 北西季節風最盛時における大規模な風浪、2) 備讃瀬戸等に発達する砂浪同様に上げ潮と下げ潮がそれである。

第4図から明らかなように冬以外の季節にも砂浪が形成されている事実から、1)ではなく2)の営力によって形成されるものと考えざるを得ない。この考えは茂木 (1971) により、既に発表されている。すなわち、CORNISH (1936) の説明を引用し、砂浪が特に上げ潮によって形成されると茂木は述べている。

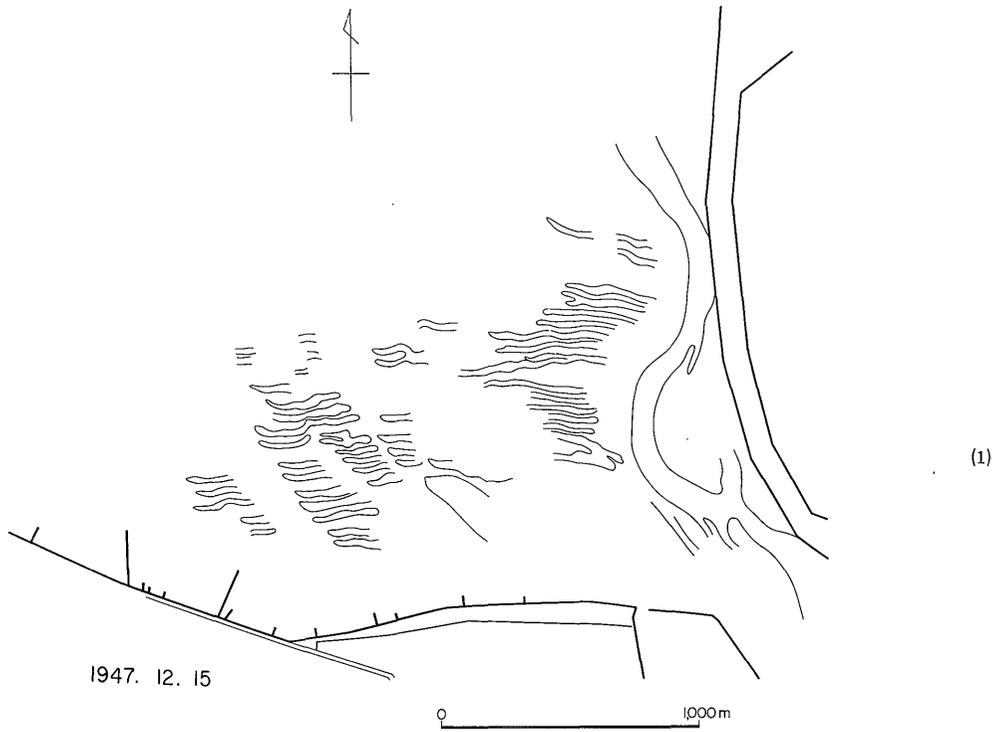
中津海岸沖合の潮流は4.2節で述べた通り、海岸と平行して流れ、しかも微速である。したがって、干満に伴っ





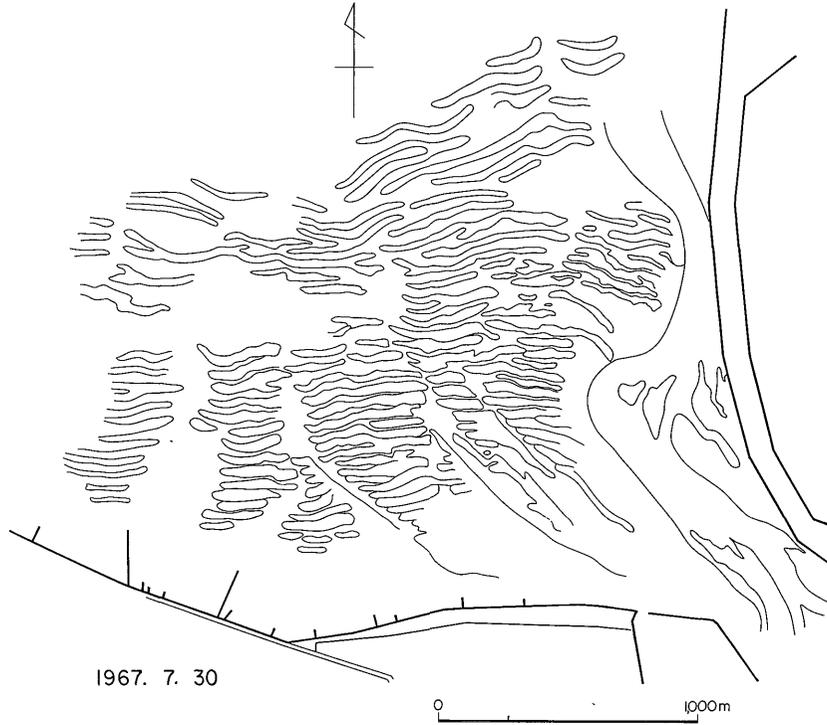
カラー写真を利用する潮間帯付近の微地形の調査 (西村嘉四郎・松野久也・磯部一洋)

第3図 潮汐底における堆積物分布と微地形
The distribution of superficial deposits and the minor shore forms in Nakatsu coast.

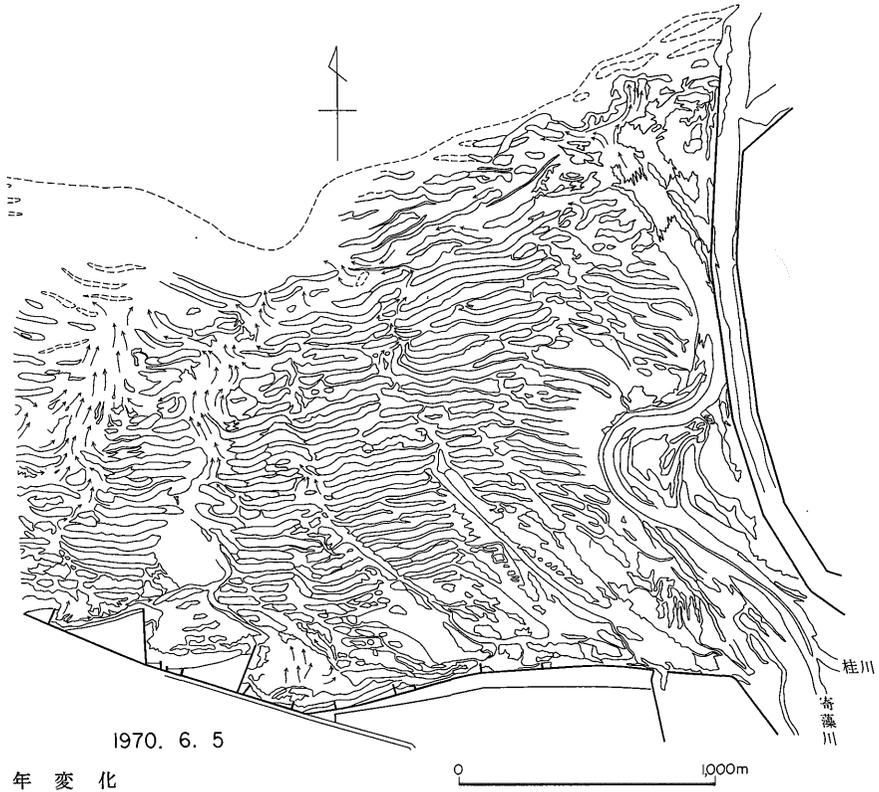


第4図 砂浪の

カラー写真を利用する潮間帯付近の微地形の調査 (西村嘉四郎・松野久也・磯部一洋)



(3)



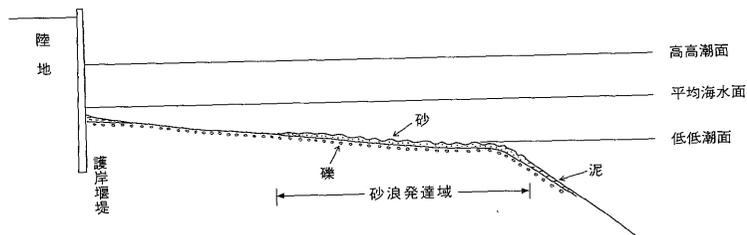
(4)



第5図 大潮干潮時における砂浪の地上写真(伊呂波川河口左岸)



第6図 砂浪の峰上に発達する平行型砂れん(伊呂波川河口左岸)



第7図 潮汐底にみられる堆積物の分布と潮位

て生ずる潮流によって瀬戸内海のような内海の狭窄部に形成される砂浪とは異なり、潮汐底のそれは海岸に対して直角方向に生ずる上げ潮と下げ潮によって形成されるものと考えられる。特に砂浪の形成に大きな影響を与えるのは低潮面と平均海面との間における潮位の変動であろう。

第7図は海岸の模式断面・堆積物の分布及び潮位を示している。半日潮の場合、潮位が低潮面から平均海面まで上昇する6時間内に砂浪は変化し、その後平均海面から低潮面まで下降する12-18時間内にも変化する。前者の場合には水深が徐々に大きくなるので、一旦形成された砂浪は保存され、その後残り易い。後者の場合には逆に水深が徐々に小さくなるため、砂浪が海面上に露出し、排水される海水によって谷や溝を中心にむしる破壊される傾向にある。

内湾において反時計回りの環流が観測されるが(星野, 1971; 磯部・相原, 1976), 中津海岸に発達する潮汐底を上昇しながら陸側へ進入する海水も、それと同様に地球自転に伴う偏向力によって反時計回りに極く低速度(0.3 km/hr 以下)で移動するものと考えられる。既に述べた通り砂浪の配列の向きが、反時計回りであることは、6時間の間に逐次上昇する海水の陸側への進入によるものと考えられる。さらに、干潮時の流水の向きが、潮流が西から東の方向であるにもかかわらず西へそれる。すなわち反時計回りであることもこの考えを支持する。

7. ま と め

写真判読だけを目的とする空中写真の撮影にとって、極めて経済的なハッセルブラッド EL 500カメラを用い、中津海岸をカラーフィルムで低空撮影した空中写真は、潮

汐底に発達する微地形の撮影に特に優れていることが明らかとなった。写真からは、海水面下も含め20列以上にもおよぶ砂浪の形態が表現されていて、砂浪の谷及び溝から排水される水流や底質の分布も明らかにされた。

海側から陸側へかけた砂浪の向きの変化と水流の向きは何れも反時計回りであり、これは上げ潮と下げ潮に伴う海水の緩慢な反時計回りの移動を反映したものと考えられる。特に砂浪は低潮面から平均海面に至る上げ潮時に形成される可能性が大きい。

文 献

- 土木学会編 (1963) 水理公式集. 土木学会, 東京, 603 p.
- 星野通平 (1971) 大陸棚上の堆積物. 海洋科学基礎講座(7), 浅海地質学, 東海大学出版会, 東京, p. 320-326.
- 磯部一洋・相原輝雄 (1976) 福井県小浜湾の海況について. 地調月報, vol. 27, p. 1-14.
- KING, C. A. M. (1959) *Beaches and coasts*. Edward Arnold Publishers Ltd., London, 403p.
- 松野久也 (1971) カラー写真に記録された海底. 地質ニュース, no. 200, 表紙及び説明.
- 茂木昭夫 (1971) 海浜型. 海洋科学基礎講座(7), 浅海地質学, 東海大学出版会, 東京, p. 184-197.
- 尾原信彦・相原輝雄・金井孝夫・高島 勲 (1973) 周防灘南部沿岸水域の海洋地質調査研究. 地調月報, vol. 24, p. 1-24.
- 坂本 亨・長谷紘和 (1972) 大分県北部, 中津平野の第四系. 地調月報, vol. 23, p. 539-544.

(受付: 1980年4月25日; 受理: 1980年5月2日)