

可視領域リモートセンシングによる海岸環境の計測

堀 川 清 司*・砂 村 継 夫**

1. はじめに

波長 400~700 nm (nanometer, 10^{-9} m) の電磁波領域は可視領域とよばれる。リモートセンシングは、センサーのタイプによって能動方式と受動方式とに大別され、可視領域における受動方式のリモートセンシングには、白黒およびカラー写真、マルチスペクトル写真、マルチスペクトル走査計が含まれる¹⁾。本研究においては、千葉県勝浦海岸を実験地域に選び、航空機に搭載したカメラによりカラー写真およびマルチスペクトル写真を撮影し、これらの写真から浅海底の地形・地質および海浜流に関する情報を高い精度で得られるかどうかを、現地観測 (ground truth あるいは sea truth) の結果をもとにして検討した。

2. 実験地域

実験地域は勝浦湾 (湾口幅約 1.6 km, 奥行約 2 km のほぼ半円状) の湾奥に位置している (図-1)。陸上には

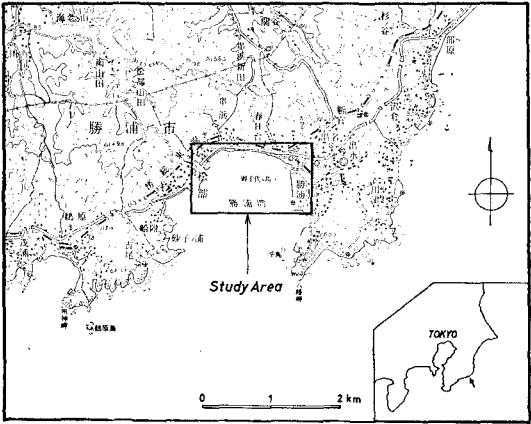


図-1 実験地域

狭い砂浜 (幅 10~40 m) が発達するが、水深数メートル以浅の海底には、基盤が露出している部分 (海蝕台) と砂地盤からなる部分とがあり、これらは海岸線沿いに交互に分布する。基盤は第三系・鮮新統の砂岩・シルト岩

の互層 (勝浦層) から成り、その走向はほぼ $N40^{\circ}E$ 、傾斜は $5\sim10^{\circ}N$ である。砂地盤の海底はほぼ均質の砂から成り、淡黄灰色を示す。一方、基盤上には広く海藻類が分布し青黒色を呈する。

この海岸を実験地域に選定した理由は、(1) 海水の透明度がかなりよい、(2) 砂地盤および基盤の、それぞれの地域における海底からの光の反射率に場所的な差が少ない、(3) 砂地盤および基盤地域に関する計測が同時に可能である、(4) 既往の調査資料²⁾ が利用できる、などによる。

3. 空中写真撮影

撮影は、ハッセルブラッド 500 EL 3 台、同 MK 70 1 台から成るマルチスペクトルカメラを用いて行われた。リアルカラーの写真および 3 種類のフィルタ (Wratten Filter No. 29, 58, 90) を用いた 3 種類の白黒写真が同時に撮影された。使用したフィルムは、カラー写真用としてコダック Aerocolor Negative Film 2445, 白黒写真用としてコダック Tri-X Aerographic Film 2403 である。フィルム・フィルタ・カメラの組合せおよび撮影条件を表-1 に示す。フィルタの分光特性を図-2 に示す。

表-1 フィルム、フィルタ、カメラおよび撮影条件

フィルム	フィルタ	絞り	シャッタースピード	カメラ	レンズおよび焦点距離
2445 (CN)	—	8	1/500	500 EL	Zeiss 100 mm
2403 (Tri-X)	Wratten 58	5.6	1/250	MK 70	100.94
"	90	4	"	500 EL	100
"	29	5.6	1/500	"	"

撮影期間は 1974 年 11 月 27 日~29 日の 3 日間で、撮影時刻は 12~13 時の間であった。撮影高度はいずれの場合も約 1 000 m、撮影縮尺は約 1/10 000 である。なお、撮影はオーバーラップ 60%、サイドラップ 30% で行われた。

4. 現地観測

浅海底の地形特性を調べるため、写真撮影に先だって浅深測量を実施した。また、マルチスペクトル写真の光

* 正会員 工博 東京大学教授 工学部土木工学科
** 正会員 工博 東京大学助手 工学部土木工学科

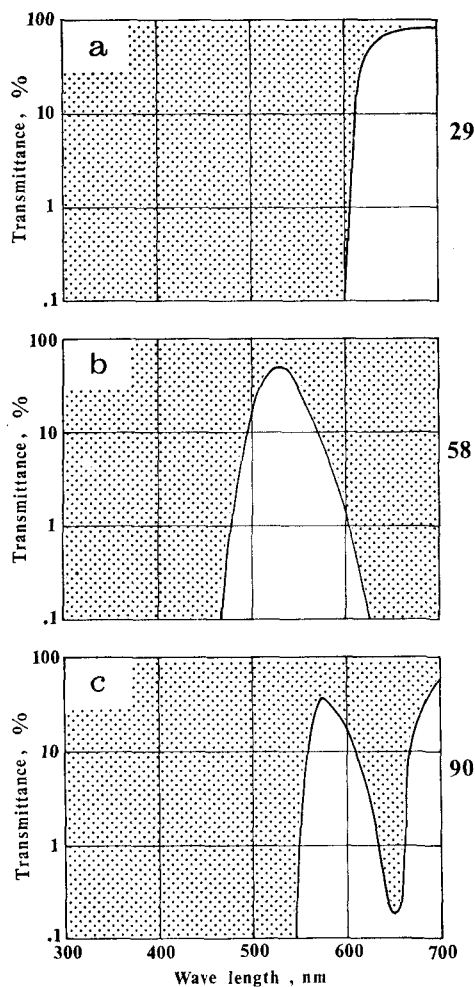


図-2 フィルターの分光特性

の反射度の基準物として、海中に 1.8m 四方の白色標識板(図-3) 5枚を、それぞれ深さ方向に 1m 間隔で海面下 1~5m の位置に設置した。設置地点は 図-4 に示す砂地盤の地域(水深 4~6m)である。

5. 解析方法および結果

(1) 水深測量

空中写真を使って水深を求める方法として、次の3つの方法がある⁴⁾：(1) 波の伝播速度により推定する方法、(2) 海底が写っている写真を図化機にかけて直接測定する方法、(3) 写真画面の濃度から推定する方法。いずれの方法もそれぞれ未解決の問題を含んでおり、実用化の段階までには至っていない。ここでは、(3) の方法の可能性を検討した。

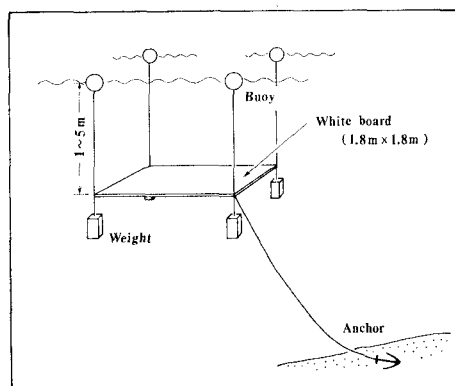


図-3 白色標識板の設置を示す模式図

上記3日間の撮影期間のうち、波高が最も小さかった11月27日(表-2)の写真を写真濃度測定装置((株)レスカ製 PPA-250 型)にかけて、標識板および海底面の

表-2 撮影時の海象条件

撮影日時	海象条件		波		潮位
			最大の砕波波高(H_b)max	周期 T	
1974年11月27日 12~13時			約 1 m	9~10 sec	M.S.L. +0.4~0.5 m
" 28日 "			約 2	10~11	"
" 29日 "			約 1.5	約 10	"

透過光の出力を求め、水深と出力との関係を調べた。まず標識板の場合には、4種類の写真(すべてポジ画像フィルム)のいずれを用いても水深の増加とともに出力が減少する結果が得られたが、最もバラツキの少ない結果を示したのは No. 90 のフィルターを用いた写真(以下、「No. 90 の写真」とよぶ)であった。この結果を 図-5 に示す。

次は、海底面からの透過出力と水深との関係をみてみよう。深浅測量が行われた測線のなかから砂地盤上を通るもの、および基盤上を通るものをまず選び出し、さらに、これらの測線のうちから浮遊物質の影響のない測線

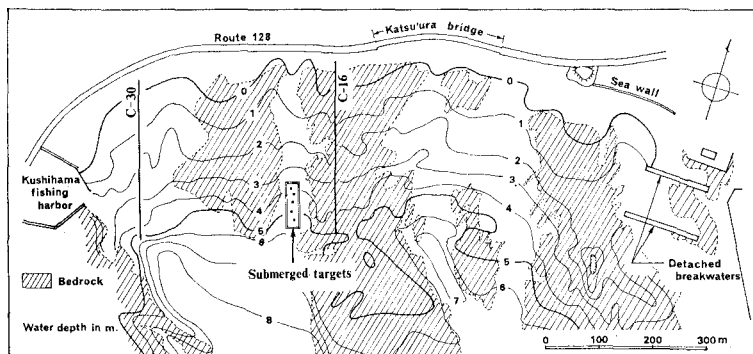
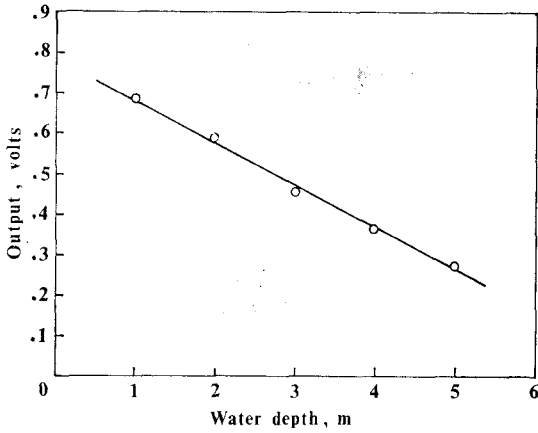


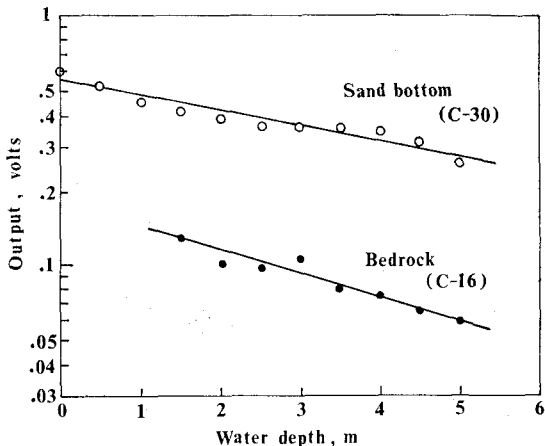
図-4 白色標識板設置地点および測線 (C-16, 30)

等深線は、1972 年測量の結果³⁾をスムージングしたもの。



図—5 白色標識板の透過出力と水深との関係

をそれぞれの地域で1本ずつ選んだ(図—4のC-16および30)。いずれの測線の場合も、No. 90, No. 58, No. 29, カラー写真の順に水深—出力の相関関係が悪くなる。すなわち、No. 90の写真が最もよく海底情報を提供していることを示している。沿岸水は波長500~600nmの光を最もよく透過させる⁵⁾ので、No. 58のフィルター(図—2(b))を用いた写真が最もよい結果を与えてもよいように考えられる。しかし、このフィルターは460~500nmの波長領域(青色の一部)の光を透過させるため、大気中の微細な粒子によって散乱される青色領域の光をも記録してしまい、映像に水中情報以外のものも含まれることになる。このため、完全に青色がカットされているNo. 90のフィルター(図—2(c))を用いた写真の方がよい結果を与えているのであろう。図—6にNo. 90の写真による結果を示す。図中、水深1.5m以浅の基盤上での値がぬけているのは、碎波帯のため海底面が撮影できず、透過出力の測定ができなかったことを意味する。図—6の結果は、出力が水深の増加とともに指数関数的に減少することを示しており、この傾向は標識板

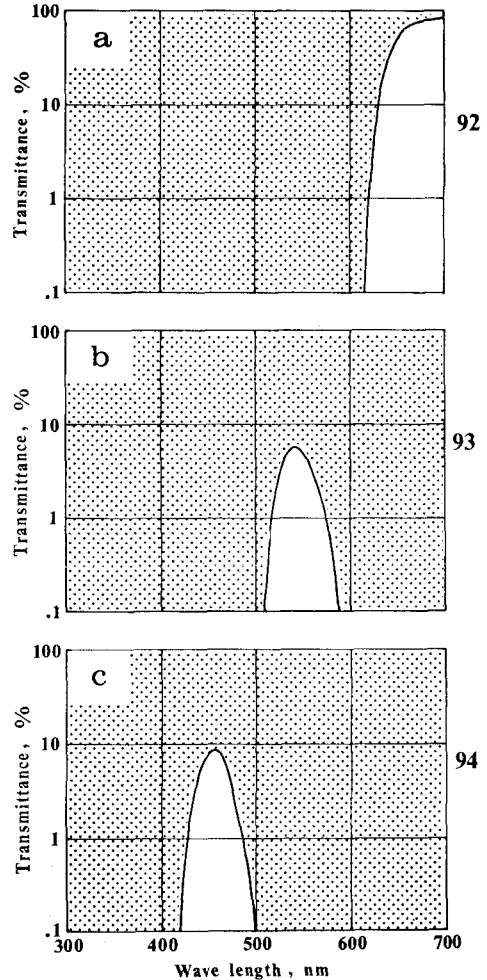


図—6 海底面の透過出力と水深との関係

から得られた結果(図—5)とは異なる。なお、この相異の原因は現在のところ不明である。

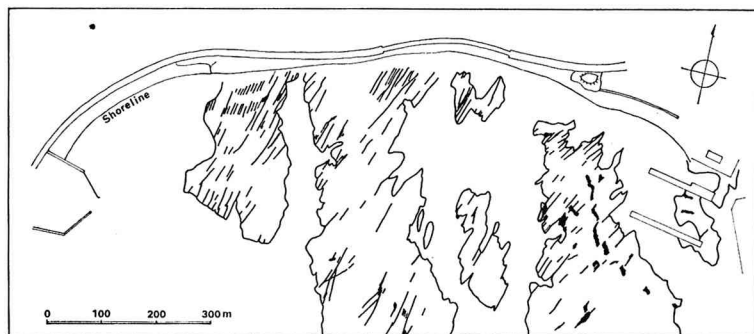
(2) 海底地質

海底地質の判読および後述する離岸流パターンの判読においては、上記3種類の白黒写真のほかに、上記カラー写真から3種類のフィルター(Wratten Filter No. 92, 93, 94)を用いて実験室で分解した写真(白黒ポジ画像フィルム)を用いた。これらのフィルターの分光特性を図—7に示す。なお、海底地質の判読には静穏度のよかった11月27日のデータを用いた。



図—7 カラー写真の分解に用いたフィルターの分光特性

海底基盤の性状に関する情報を最も鮮明に与えている写真は、No. 93のフィルターによるカラー分解写真(以下、「No. 93の写真」とよぶ)である。前述したように、500~600nmの領域の波長をもつ光が水中を最もよく透過するので、No. 93のフィルター(図—7(b))が海底の情報を得るのに最適であることがわかる。この写真をもとにして、基盤上に分布する白色の線状構造



図—8 No. 93 の写真より判読された海底基盤上の線状構造

(linearment) をトレースしたものを 図—8 に示す。この線状構造の大部分は、海蝕台上の層理面に沿う凹地に堆積している薄い砂層を示す。

(3) 離岸流のパターン

流れそのものを写真から直接読みとることは不可能に近い。そこで、流れによって浮遊状態で運搬されている物質（以下、「浮遊物質」とよぶ）の平面分布を判読して、11月27日、28日、29日の流れのパターンを推定した。

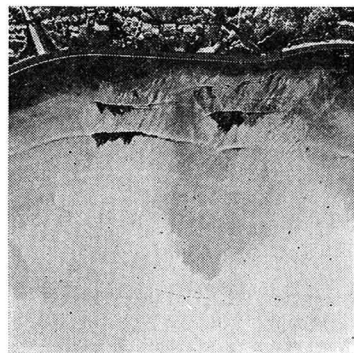
光の波長が 600 nm より長くなるにつれて、すなわち赤色の領域に入るにつれて光の水中への透過性が悪くなる。このことは、この領域の光が海底面より上方の水中情報を提供しうることを意味している。図—2 および 図—7 に示すフィルターの特性からみて、浮遊物質の平面分布の判読には、No. 29 のフィルターを用いた写真（以下、「No. 29 の写真」とよぶ）および No. 92 のフィルターによるカラー分解写真（以下、「No. 92 の写真」とよぶ）が最適であると考えられるので、これらの写真を用い、海上において階調 (tone) の違いを鮮明に示すパターンを描いた。なお、両者の写真によるパターンの相違はほとんどなかった。流れおよび浮遊物質に関する現地観測は行っていないので、ここで抽出されたパターンが浮遊物質の分布を表現しているかどうかは不明である。そこで、海底の状態を最もよく与える No. 93 の写

真を用いて上記のパターンを実体視し、このパターンと隣接する海底面との間に高度差が認められるかどうかを検討した（連続する2枚の写真の撮影時間間隔は 4~5 秒であり、その間の浮遊物質の移動速度は非常に小さいので、パターンが2枚の写真上で変化することはほとんどなく実体視が容易に可能であった）。その結果、No. 29 あるいは No. 92 の写真から判読

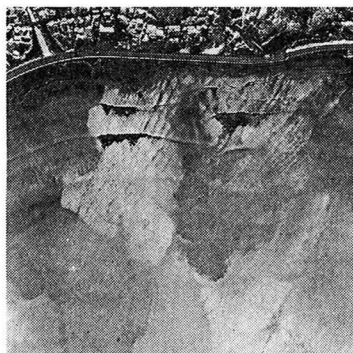
されたパターンは、海底面との間に高度差を持つことが確認でき、浮遊物質の平面分布を示すものと考えてよい。したがって、これら2種類の写真は、流れのパターンを判読するのに有効である。参考までに3種類のフィルターを用いたカラー分解写真の一例を 写真—1 に示し、図—9 に、No. 92 の写真による結果を示す。図中、点線で示されたパターンは、実線で示されたものに比して、階調の差が小さく判読しにくかったパターンを示す。図—9 よりわかるように、波高が大きくなるにつれて流れのパターンが複雑になる。また、波高の大きさにかかわらず地点 No. 8~10, No. 16 および No. 24 の前方には常に離岸流が存在している。なお、この結果は既往の調査結果⁶⁾と一致する。

6. おわりに

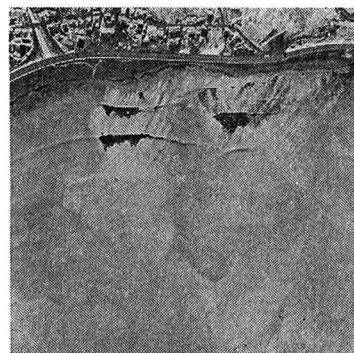
(1) 海水の透明度がよい、(2) 海底の反射率が場所的な変化を示さない、(3) 碎波の影響が少ない、(4) 浮遊物質の影響がない、という条件の下では、ブルーカットのフィルター (No. 90) を用いて撮影された写真上で透過出力（あるいは濃度）を調べることにより、浅海域の地形測量が可能である。また、グリーン・フィルター (No. 93) を用いて分解されたカラー写真は浅海底に関する情報を鮮明に与えるので、海底地質の判読には有効



(a) No. 92



(b) No. 93



(c) No. 94

写真—1 各種フィルターを用いて分解されたカラー写真（11月28日撮影）の一部（ネガ画像）
最も鮮明な離岸流パターンを与えるのは (a) の写真であることがわかる。

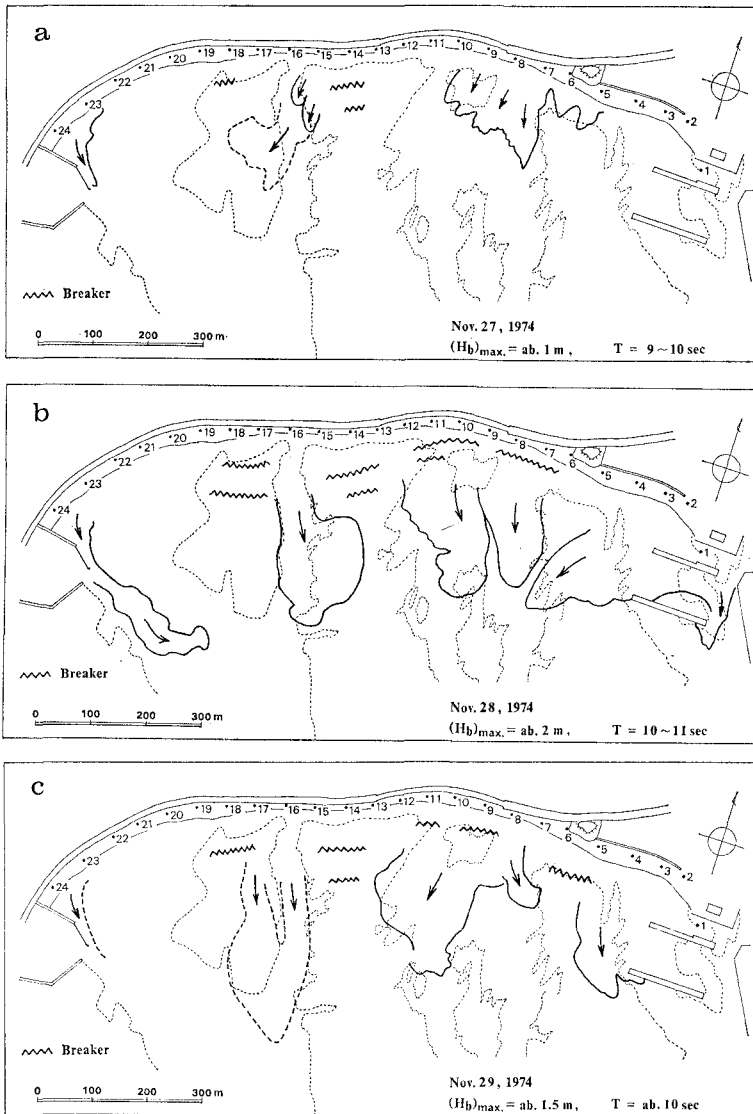


図-9 No. 92 の写真より判読された離岸流のパターン

である。ただし、静穏時に撮影された写真を用いた場合に限る。なお、カラー分解写真を用いての、水深情報に関する定量的検討は行っていないが、このグリーン・フィルターを用いた写真が最もよい結果を与えるものと考えられる。海浜流のパターンの推定にはレッド・フィルター (No. 29 あるいは 92) を用いて撮影される写真、あるいはそれを用いて分解されたカラー写真が最適である。

リアルカラーの写真を、実験室において各種のフィルターを用いて分解することによっても、種々の情報を抽出できるので、この方法も有効である。

最後に、本研究は科学技術庁特別研究促進調整費によるものであることを付記し、研究を行うに当たりお世話になった下記の方々に謝意を表する：科学技術庁資源調

査所武田要主任調査官、関利孝調査官および矢嶋祐次調査官、千葉大学工学部源田秀三郎教授および島芳也助手、(株)画像工学研究所西尾元充社長。

参考文献

- 1) 渡辺貫太郎：海洋環境のリモートセンシング，土木学会誌，Annual '76，pp. 16~19，1976。
- 2) 堀川清司・砂村継夫・佐々木民雄：千葉県勝浦海岸の漂砂に関する現地調査，東京大学総合試験所年報，第32巻，pp. 31~38，1973。
- 3) 前出 2)。
- 4) 海底測量と技術の研究会：空中写真で海を調べる，USEA，第8号，pp. 1~25，1971。
- 5) Duntlez, S. Q.: Light in the sea, Jour. Optical Soc. Am., Vol. 53, pp. 214~233, 1963。
- 6) 前出 2)。