❷ 海洋環境のリモートセンシング

渡　辺　貫太郎

まえがき

航空機，人工衛星からの環境監視ならびに資源探査に有用な新しい観測技術として，リモートセンシングは近年各方面から注目されるに至った．これは海岸土木工学の分野においても十分に役立つ技術と思われるので，その概要を紹介してご参考に供したい．

1. リモートセンシングとは

リモート センシング（Remote sensing; 遠隔探査）は，地表の地物から反射（散乱）または放射される電磁波を航空機または人工衛星積載の感知装置（センサー）で感知して，地物の質と状況とを識別および量的推測を行う技術である．まだ実用の域に達しているものは少ないが，広水域にわたってほとんど隙間のない資料が得られ，容易に繰り返し観測ができる特長をもち，その実用化に努力を払うならば，四周を海に囲まれたわが国にとっては特に有用なものに育つであろう．

電磁波の全波長領域のうち，海洋のリモートセンシングに利用される波長域は，可視部，熱赤外部およびマイクロ波部で，表—1 記載の各センサーが用いられる．これらのセンサー方式は地物からの自然光の反射（散乱）

表—1　海洋のリモートセンシング方式の一覧
（P：パッシブ，A：アクティブ）

波長区分	モード	センサー方式	観測可能な対象
可視部 (0.4μ～0.75μ)	P	白黒およびカラー写真	海岸地形，海水
		マルチスペクトル写真	河川排出濁水，汚染水
		マルチスペクトル走査計	植物プランクトン域，水深分布
	A	レーザー高度計	浅海の水深測定
		レーザー散乱計	水中懸濁物質
熱赤外部 (8μ～12μ)	P	赤外放射計（走査型）	表面水温，油膜分布
マイクロ波部 (数 mm～数十 cm)	P	マイクロ波放射計	波浪，海氷，塩分，油膜
	A	レーダー散乱計	波浪，油膜
	A	レーダー高度計	津波，高潮，海面傾斜

成分を感知する受動方式（passive mode）と，レーダーやレーザー装置のように電磁波パルスを発射してそのエコーを感知する能動方式（active mode）とがある．

このようなリモートセンシングによって海洋土木工学の分野で役立つと思われる観測対象は，表—1 記載のように海岸地形，（河川排出）濁水，浅海底水深分布，および波浪状況などであろう．写真による海岸地形の調査は写真測量としてすでに確立された技術で，いわゆるリモートセンシングには含まれないのが普通であるから，ここではその他について概観する．

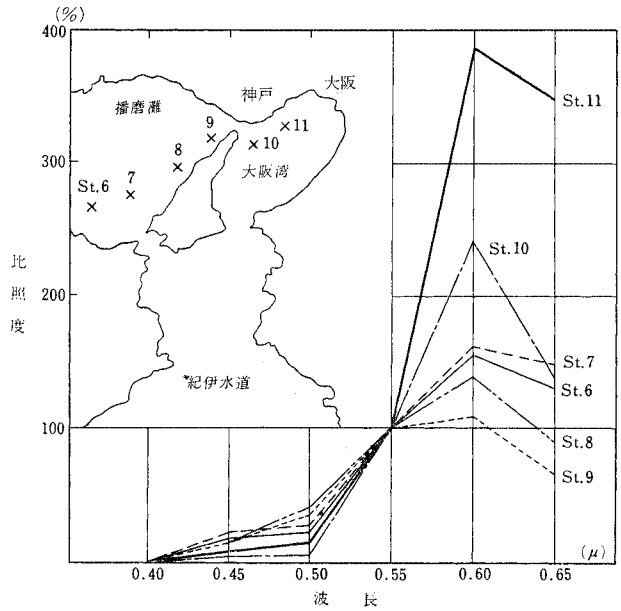
2. 可視部リモートセンシング

海洋の分野でパッシブな可視部リモートセンシングで観測可能なのは水色を異にする濁水，すなわち河川排出濁水，汚染水，植物プランクトンの豊富な水域および浅海における水深分布などである．

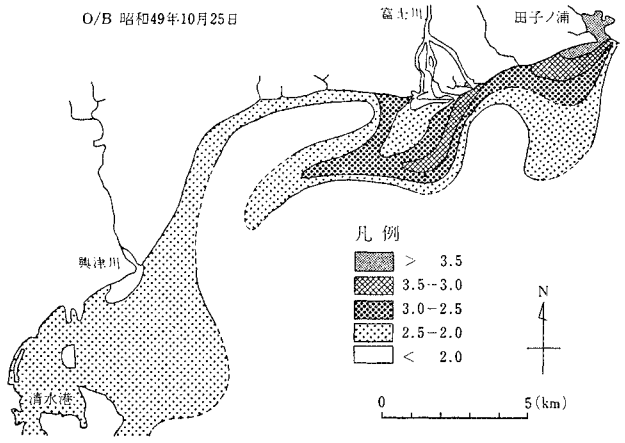
このうち，濁水域における上向き散乱光のスペクトルの測定例を 図—1 に示す．フォトセルに銀干渉フィルターを組み合わせて作ったマルチスペクトル照度計[1]によって測定した水面直下の水中上向き比照度（緑色の 550 mμ 帯を基準）のスペクトルで，汚染濃度の高い大阪湾 St. 10, 11 のでは，黄色の 600 mμ 帯およびオレンジの 650 mμ 帯の比照度が，播磨灘の St. 6～9 に比べて格段に高く，海水は黄褐色気味であったことが表わされている．図—2 は同種の照度計による駿河湾の清水港—田子ノ浦港間の照度比（O/B）分布図で，ここに O はオレンジの 625 mμ 帯，B はブルーの 450 mμ 帯である．ヘドロで有名な田子ノ浦港付近の比照度が特に高く，鉱物質の濁水に若干のヘドロの混じった富士川排出濁水が沿岸流にのって西よりに拡散している様子などが表わされている．これらの例でわかるように，マルチスペクトルカメラや走査計によって感知される海中からの光によって河川排出濁水，植物プランクトンの豊富な水域および汚染水域などの識別が可能であり，数値解析法が確立されれば，それらの濃度の推算も可能となる．

このように可視部リモートセンシングは対象物からの反射（散乱）光のスペクトル特性を利用するもので，その解析には主として特定対象の分布状態の検出に有効な写真光学的あるいは電気的画像解析と，数量的な結果の期待できる数値解析とがある．

いずれの解析法においても，リモートセンシングではセンサーによるサーベイ観測と，そのサーベイ域内に設けた試験地（水域）での海洋観測による実態（sea truth）とが必要である．リモートセンサーによるシグナルの解析結果を海洋の実態と統計的に対比することにより，はじめてリモートセンシングを実用化することができる．



図—1　水中上向き照度比のスペクトル（1972 年 8 月 24 日）



図—2　水中上向き照度比分布（オレンジ帯／ブルー帯）

3. 資源衛星資料の写真光学的画像解析

資源衛星 LANDSAT（ERTS の改称）による画像資料解析の例として，最も低コストで行える写真光学的画像解析を説明する．

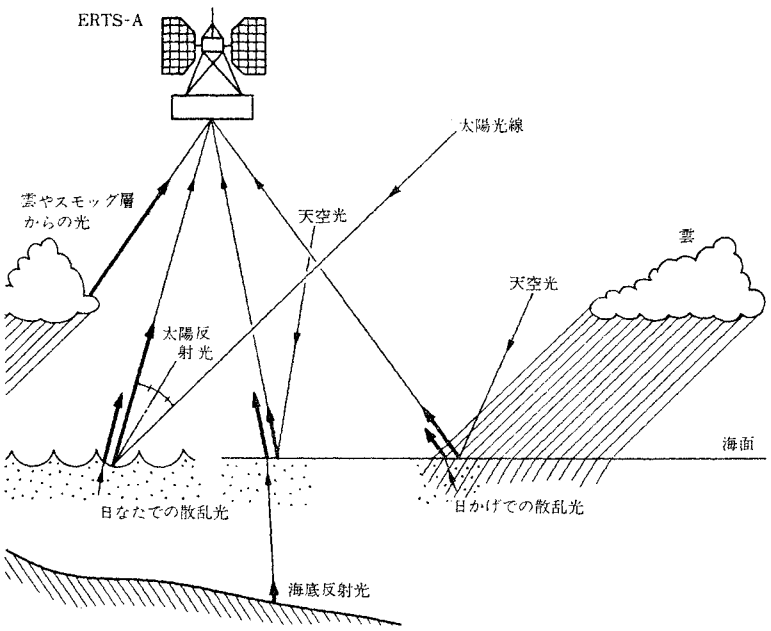
航空機または人工衛星積載のリモートセンサーへ入射する光の成分を図—3 に図解する．記入されている各成分光のうちで水中情報をもつのは水中上向き散乱光と海底反射光だけで，他の成分光はすべて有害でその影響を除去または補正する必要がある．ことに，雲やスモッグ層からの散乱光，および波浪表面からの太陽光反射成分は水中情報を隠すのみでなく，正しく分離識別しないと濁水域と誤識別される危険が大きい．

これら有害な空中情報光は，水中情報光とのスペクトルの相違を利用して写真的処理で分離除去することができる．図—4 は水中情報光と空中情報光とのスペクトルの形を定性的に表わした図である．光の水中における消散係数の違いで，長波長光が水層をほとんど透過できないため，水中情報光は反射赤外部成分をほとんどもたないが，水層透過と関係のない空中情報光は十分な反射赤外部成分をもっている．図において上縁に記入されている文字と数字は資源衛星のマルチ スペクトル走査計のバンド名で，MSS-4 は緑色の 0.5～0.6 μ 帯，MSS-5 はオレンジの 0.6～0.7 μ 帯，MSS-6 は暗赤色の 0.7～0.8 μ 帯，そして MSS-7 は，反射赤外部の 0.8～1.1 μ 帯を意味する．したがって，MSS-4, MSS-5 画像には水中情報も空中情報も写っているが，MSS-7 画像には水中情報はほとんどなくて，海域で灰色に表われているのは空中情報だけであるから（ポジ画像の場合），可視部映像から反射赤外部映像を減ずれば水中情報を分離識別することができる．この画像減法はコンピューターによって可能であるが，低コストな写真的処理として，可視部のポジ画像フィルムと反射赤外部のネガ画像フィルムとを重ね合わせて引伸機でプリントすることによっても可能である．

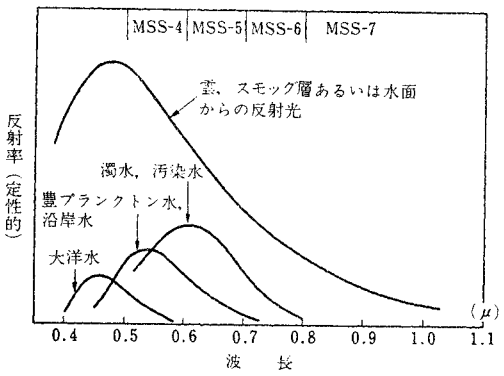
図—5 が，アーツ画像からこのような処理で作った水中情報抽出図（1972 年 10 月 24 日 10 時 05 分ころ）で，大阪湾，播磨灘東部における汚染水塊，紀伊水道西部に広がっていた吉野川排出濁水域が灰色模様として表わされている．その 2 日前に，徳島で 30 mm という豪雨があって，それによる吉野川からの濁水が，北向き潮流によって主として北方へ広がっており，その先端は鳴戸海峡を越えて播磨灘へも流入している．

4. 浅海底水深のリモートセンシング

資源衛星アーツ 1 号による 1972 年 10 月 9 日のマルチスペクトル走査画像に前述の写真的処理を施して，有明海における浅海底模様を抽出した写真を図—6 にあげる．灰色模様が浅海底で，重ねて描かれている白線は昭和 44 年発行の海図による等深線で，両者の模様がほぼ一致していることは，この灰色模様が濁水域よりは浅海底を表わしていることを示している．そして，両者間のわずかな相違は，水深測量の行われたとき（昭和 44 年



図—3　リモートセンサーへ入射する光の成分



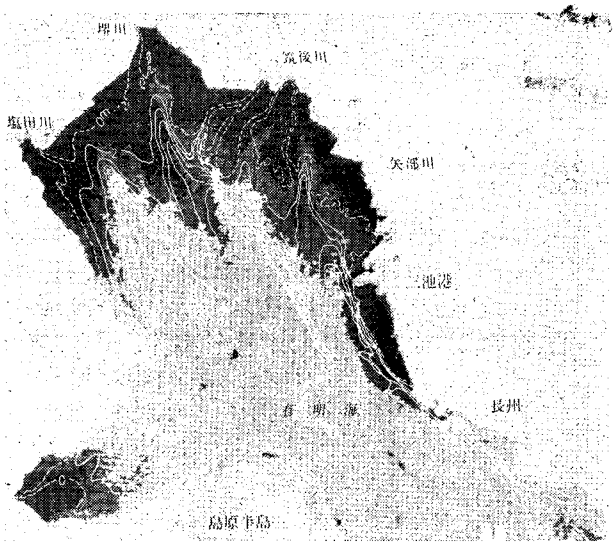
図—4　水中情報光，空中情報光のスペクトルの形

図—5　ERTS-1 のマルチスペクトル画像から
抽出した濁水域（灰色模様，1972 年 10 月 24 日）

以前）からアーツ画像の撮られた昭和 47 年 10 月までの間に海底状況が変化していたことを物語る．この例のように，宇宙からのリモートセンシングは海底の変化状況監視にも役立つわけである．

このような写真的画像解析では水深を数量的に知ることはできないが，マルチスペクトル走査計シグナルを数値化して，物理的意味をもつ解析法に従って計算すればコンピューターによって水深を推算することも不可能ではない．ミシガン大学においてその興味ある試みがミシガン湖畔について行われ，その可能性が示された[2),3)]．しかし，その試みは水質が一様（この場合は光の消散係数が一様）で，海（湖）底の質，すなわち反射率も一様であるという限られた条件下でのことであるから，水質が一様でなく，砂や岩礁および藻場などが複雑に分布している普通の浅海にこれを適用するには，なお多くの研究努力と投資が必要である．

水深のリモートセンシングに非常に有望なのはレーザー高度計である．レーザー光は位相の揃った単一波長の光であるため無線周波電波と同じように「変調」が容易で，マイクロ波レーダーと同様のレーザー高度計として利用される．そのパルス幅が非常に狭いため（例えばネオンレーザーでは 3 nano 秒），距離測定の分解度は非常に高くて 1.5 ft 程度にできるといわれる．そしてパラボラアンテナから発射されるマイクロ波電波（例えば



図—6 ERTS-1 のマルチスペクトル画像から抽出した有明海の浅海底模様（1972 年 10 月 9 日）

5 cm＝5 万 μ）に比べて，レーザー光の波長は非常に短いため（ネオンレーザーでは 0.5401 μ）識別地上解像度もマイクロ波レーダーより 10^5 程度も高くできる．集束性の高いレーザー光の特長のため，航空機からでも濁度の低い海では水深 20 m 程度までの測定が可能であるという[4]．

あとがき

紙数の都合で，ここでは表—1 記入のリモートセンシング方式のすべてについて述べることはできなかった．リモートセンシングは広水域をほとんど隙間なく短時間で観測できるという大きな特長があり表面近傍のことしかわからないという大きな欠点もあるが，海洋調査のいろいろな面で将来大きく役立つものと思われる．その大きな効用を実際にものにするには，その実用化のために必要な研究を強力に推進しなければならない．

引用文献

1) 神戸正雄・渡辺貫太郎・堀　玉佑：多重波長帯別水中照度計による紀伊水道・瀬戸内海における試験観測．神戸海洋気象台い報，189 号，pp. 16～24．昭和 48 年．

2) Brown, W.L. et al, : A method for calculating water depth, attenuation coefficients and bottom reflectance characteristics. Proc. 7 th Internat. Sym. on Remote Sensing of Environment, Vol. l, Univ. of Michigan, pp. 663～682. 1971 年．

3) 渡辺貫太郎：人工衛星による海洋観測．気象研究ノート，112 号，日本気象学会，pp. 140～180．昭和 47 年．

4) Hichman, G.D., : The airborne pulsed NEON blue-green laser; A new oceanographic remote sensing devise. Proc. 7 th Internat. Sym. on Remote Sensing of Environment, Vol. II, Univ. of Michigan, pp. 1061～1074, 1969 年．

ギャラガー
有限要素解析の基礎
川井忠彦 監訳／A5／4,600円
マトリックス構造解析の一手法である有限要素法の基礎となる理論的原理の展開を変分法に則って行なったもの。

現代土木工学②
土木解析学
椎貝博美 編／A5／3,300円
水理学・土質力学・構造力学等に関する解析の基本事項をまとめたもので、数式は基本から展開し土木解析に必要な力学の基礎知識を確実に理解できる内容です。

●既刊
③土木総合計画論 …八十島義之助編／2,800円
⑤土木構造設計 ……松本嘉司著／3,600円
⑥土木施工管理 ……河野 彰編／2,800円

水質工学 応用編
合田 健 編／A5／3,600円
現状に即した水と汚泥の処理法を多数列挙し最新データと技術によりその処理プロセスを詳述。また水質管理の在り方にも言及。
●基礎編……2,700円

鋼 橋 設計編 I・II
小西一郎 編／B5／ I ）23,000円 II ）25,000円

数学モデル —現象の数式化—
近藤次郎 著／A5／4,800円

Ⓜ丸善 東京・日本橋
振替：東京7-5番