

海洋のリモートセンシングの現状

佐々木保徳*¹ 宗山 敬*¹ 浅沼市男*²

現在研究開発途中のマイクロ波による方法も含めて、海洋のリモートセンシング技術の現状を簡単に概観した。

ここでは、海洋のリモート・センシングを波長のうえから、可視領域、赤外線領域およびマイクロ波領域の3領域に分け、海洋観測に応用するうえでのそれぞれの特質を比較した。

あわせて、マイクロ波による方法をのぞいて、今後の問題点をいくつか指摘した。そのうちの2～3は以下のとおりである。

- (1) 新しい方法、新しい応用分野の開発
- (2) リモートセンシングにおいて参照するための海洋/大気データの完備
- (3) 現在は独立に用いられている3領域の併用による効率化

Status of Ocean Remote Sensing Technology

Yasunori Sasaki*³, Kei Muneyama*³, Ichio Asanuma*⁴

In this report, the status of ocean remote sensing technology including the method utilizing microwaves which is currently being developed, is briefly reviewed.

Remote sensing is classified into 3 bands in terms of wavelength, i.e., the visible region, the infrared region and the microwave region. The effective applications of respective bands for several kinds of oceanic phenomena are discussed here.

Finally, some problems to be solved are pointed out excluding the microwave region. A few of them are as follows:

- (1) Development of new methods and the potential application of present technologies.
- (2) Sea/air truth data completions for convenient use as references in ocean remote sensing.
- (3) Co-operative use of present techniques among all bands for higher efficiency.

*1 海洋保全技術部

*2 海洋保全技術部 (元潜水技術部)

*3 Marine Environment Department

*4 Marine Environment Department

(formerly Marine Undersea Science and Technology Department)

1. はじめに

まず、本稿を執筆するにあたり、はじめに、雑感を交えて書くことに対してお許しを乞う。

“リモートセンシング”という用語が、日本語の中に定着し（少なくとも科学技術の分野では）、はや、10年は経つと思う。“リモートセンシング”という用語はかなり広い場で用いられているが、きわめて例外的な場がある。おそらく、他では滅多にお目にかかれまいだろう。それは予算要求書の中である。ここでは“遠隔探査”という非常にいかめしい馴じみにくい用語があげられている。

これに対し、中華人民共和国や中華民国の文献では、もっぱら“遙感”という用語が用いられている。“Remote Sensing”の訳語は、まさにこれであり、この一語に尽きる。実に名訳である。“遠隔探査”という用語のもつ響きに比べて、なんとソフトで親しみの感じられることか。

かつて、予算要求書の原案の中に“ウィンチ”と書いたら、これではカタカナばかりで、はすっぱな感じがするので、“測定要素昇降装置”にせよと、教えてくれた人がいた。なるほど、その通りにしたら予算が認められた。

“リモートセンシング”という用語の反意語は、言うまでもなく、“ダイレクトセンシング”であるが、こちらの方は、まだ、かつて、お目にかかったことはない。探査（場合によっては測定と呼ぶ方が良いかも知れない）には、もちろん、“リモート”方式と“ダイレクト”方式しか、あり得ない。普段、われわれは研究のみならず、日常生活においても、いろいろな量を測定しているが、その測定法が、いずれの方式に属するかなどと考えたりはしないのが、普通である。要するに、われわれは、単に目的の量さえ、はかれればよいわけである。

“リモートセンシング”の原理をあえて述べるとするならば、“センサーを被測定物体と非接触の状態にして、諸量、諸性質を捕えること”ということになる。したがって、そのむかし、御典医が將軍の脈をとるのに、直接体に触れるのは恐れ多いからと、次の間の少し開けた襖の隙間から釣り竿の糸を差入れ、その先端を將軍に握らせて脈をとったなどという、まことしやかな話がある。これなどは、測定したい物理量(?)は脈拍数であり、セ

ンサーは御典医の手であるから、立派に、“リモートセンシング”であると言えるだろう。現在では、人工衛星や航空機などによる観測の代名詞ともなっていることは、これら飛翻体による観測が、いかに盛んであることを如実に物語るものである。一方、温度計で気温、水温、または体温計で体温を計る等々は、すべて“ダイレクトセンシング”である。

なお、“リモートセンシング”という用語が、とりたてて用いられるようになったのは、人工衛星による観測法の登場以来であると考えて差支えないだろう。“センシング”という用語には、本来、センサーで量を測定するという意味あいよりも、むしろ、写真撮影やテレビカメラ、スキャナー等による撮影、走査、さらには宇宙飛行士の目視観測といったような人間の視覚的な方法を意味していたと思われる。それがセンサー技術の進歩や観測項目の増大から、今日的な測定に近い意味あいへと移行したとみてよいだろう。

2. 海洋のリモートセンシングの分類

わが国でも、ようやく、海洋のマイクロ波リモートセンシング技術の開発研究が始まり、やっと可視域、赤外線、マイクロ波域と出揃った。

マイクロ波は、わが国では、まだ、一部のフィールド実験をのぞけば、ほとんど見るべき成果は得られていないが、内外の状況をもとに、今後の可能性という面からとり上げた。可視域と赤外域の研究に関しては、相当量のデータも蓄積し、基礎的知見も得られており、いよいよ円熟期を迎えようとしている折、今後の研究のために現状を分析、確認することが肝要である。

一口に、リモートセンシングと言っても海と陸では大違いである。海のリモートセンシングでは、以下のような難題が前面に立ちだかっている。

- (1) 探査(測定)対象の濃度、分布密度が小さく、それからの放射電磁波(光、マイクロ波とも)が非常に弱い
- (2) (1)の事実に伴い、光路上の大気物質や海表面反射成分、波などによる影響が大きい
- (3) 海上での照合実験が大がかりなものとなる
- (4) 測器は苛酷な条件下で用いるため、水密性、耐圧性、耐久性が要求され、大型で高価となる

(5) 採取試料の分析, 各種データ解析に時間, 労力を要する割には比較的狭い海域に限られ, 再現性の良いデータを得るのに苦心する等々である。

また, 研究環境としては,

- (1) 国内の研究者数, 施設が少なく, 情報も交換しにくい
- (2) 衛星データの入手は, 煩雑な手続きが必要で, また, 入手可能なデータが限られている, 等々がある。

以下は, 海洋現象を有効な波長域別に区分して比較し, 各波長域のもつ特質につき概観する。

海洋現象を遠隔測定するうえで, 最も有効と考えられる波長域別に分類したものが表1である。ただし, ○印の施されていない波長域が不適當であることを, 必ずしも意味するものではない。

この表からわかるように, 分類上, 同一波長域に属する海洋現象は, それぞれ明瞭な共通した特徴をもつことは明らかである。すなわち, 可視域における遠隔測定の対象となる現象は, 主として, 陸の近傍での人為的, 生物的活動による影響を反映した現象であり, 赤外域のそれは, 主として, 熱的分布に関連して生じる現象であり, また, マイクロ波帯のそれは, 主として地球物理学的な海洋現象であると言えるだろう。

実利用という観点からみると, 可視域と赤外域による遠隔測定は, 既に応用の段階に入っている。前者における代表的な人工衛星としては, LANDSATシリーズ, NIMBUS-7およびNOAAシリーズを上げることができる。

LANDSATシリーズは, その名の示すように, 本来は陸域観測が主目的であったが, ゲインを上げることで海域観測も可能となり, クロロフィル量や懸濁物量の分布, その他, 多くの方面にわたり, 海洋の分野での遠隔測定の道を開いた。

余談であるが, 陸域では, 穀物の収穫量予測, 農耕地や山岳地, 牧草地区分, 病虫害状況の把握, 生育分布, 都市域区分, エクメネやアネクメネに関する諸量分布, その他, 多くの方面に互り遠隔測定の一分野として不動ならしめたものである。これらの海洋分野における研究の成果を結集したものがNIMBUS-7のCZCS(沿岸域水色走査計)である。

これは特に沿岸域におけるクロロフィル量, 溶存有機物量, 懸濁物量の評価を目的としており, アルゴリズムに関しても, 基本的大筋は, ほぼでき上っている。これを応用した解析結果が一部では報告されている。

また, NOAAシリーズ(赤外域)にあっては, 大気中の水平, 鉛直温度分布, 雲の分布(高さ, 雲量, 移動方向など), 水蒸気分布, 海表面温度分布, 海流変動の追跡, 等の気象, 海象のパラメータの測定には, 今や不可欠のものとなっている。

なお, これらの可視~赤外域での遠隔測定技術を応用するうえで, 不可欠となる海洋の光物理学的研究も, 1930年頃から始まっており, 1950年代末~1960年代にかけて, 宇宙や大気中の光学理論が導入されたり, その他の多くの理論が提案され, 急速な進歩を遂げてきた。さらに1970年代に入ると, 衛星による遠隔測定上の要求もあって, 一段と進歩した。さらに海洋の光物理学, センサー技術, 衛星技術の3者の進歩が相俟って, 今日の成果を見るに至っている。

一方, マイクロ波領域では, 上記両域に比して, 海洋における放射, 散乱や海洋波浪などとの相互作用に関する基礎的研究例が少なく, 歴史も浅い。わが国も, マイクロ波通信技術にかけては, 世界でも一級であるが, マイクロ波によるリモートセンシングにおいては, 大きく遅れている。これは, 基礎的研究データが米国に比べて少ない(歴史が浅いため)ことによるものである。

海洋現象の遠隔測定にマイクロ波を応用しようとする正規の試験研究は, 1964年に打上げが開始されたNIMBUSシリーズが最初であろう。これは, その後, 1973~1974年のSKYLAB計画, 1975年のGEOS-3, 1978年のSEASAT-1と続いている。これらの中で, 海洋現象とマイクロ波センサーデータの関係を求めるに十分な衛星データと, 海洋計測データとが得られているのは, SEASAT-1の場合のみであり, 可視~赤外域の場合に比べて, 大きく立遅れていることは事実である。それにもかかわらず, マイクロ波領域は軍事上の目的に対してはきわめて有力な手段となるため, 衛星打上げ国である米国が, データの提供に難色をして示しており, 今後の打上げ, 利用計画も白紙に戻されて, マイクロ波による海洋観測技術の開発も危ぶまれ

ている。ただし、米国では、軍事目的で、多くのマイクロ波衛星が打上げられており、これを利用して独自に研究が進められていることはほぼ確実視されている。

また、表の末尾に掲げたものは、今のところ、直接的に遠隔測定法を応用することが難しいものの例である。もちろん、これらのほかにも、沢山考えられる。限界を求めて新技術の開発研究が望まれるところである。

3. 今後の課題

本章では、飛翔体による海洋観測法を一層効果的なものにするために、今後の技術開発上、残されている課題や、そのために整えられるべき条件につき二、三述べる。主たる項目は以下のとおりである。なお、マイクロ波域に関しては、研究が始まったばかりであり、やや時期尚早の感があるため、除くこととする。

3.1 リモートセンサーの問題

これについては、波長域、波長幅、キャリブレーションの方法、センサー感度、耐用年数、分解能、センサー密度などの問題がある。波長に関しては、従来の主流を占めていた、LANDSATのMSS(可視域の場合)に関する成果をもとに、多方面の提案の結果が、CZCSに反映されたことは周知のとおりである。これに関しては、まだ、大筋の結論しか得られていない。また、電気回路における電流量の変動による見掛けのシグナル量の変動の補正法(可視域、赤外域とも)の基準化や、耐用年数の向上なども望まれる。さらに、全体的にセンサー数が少ないため、同一センサーで同一地点を時系列的に解析することは現状では難しい。そのため、同一センサーを多数個打上げ、海洋衛星監視機構等を設置して運営することが望まれる。

3.2 映像データおよびスポットデータ解析における問題

これに関しては、解析精度の向上、アルゴリズムの向上、リアルタイム化、パストラディアンモデルの向上とパストラディアン除去のアルゴリズムの向上など、多々ある。

クロロフィルなどの生物性色素の評価法については、Jerlov(1974)、Clark and Ewing(1974)、Kiefer and Wilson(1978)、Smith and Baker

(1978)、Gordon and Clark(1980, 1981)、その他多くの研究があり、これらは、いずれも、クロロフィルの光学的特徴を十分に生かしたアルゴリズムによって、クロロフィル濃度を評価しようとするものである。これらは、いずれも、かなりの成果をおさめてきたものである。この他、Viollier, Deschamps and Lecomte(1978)、Morel and Prieur(1977)、Camburtsev and Duntley, Kozlyaninov and Pelevin(1965)、その他による解析法として、海水中の物質の後方散乱係数と吸収係数の比をパラメーターとして、クロロフィル濃度の評価をしようという、試みも数多くなされ、Viollierらの方法は、LANDSATデータの解析にも応用されている。これらは、いずれも、反射率測定から各パラメーターを評価し、クロロフィル濃度を評価するものである。しかし、いずれの方法とも、応用には、まだ少なからず問題を含んでおり、あと一步の詰めが望まれるところである。

これに対して、無機性懸濁物量の評価法についても、Gordonらをはじめとして、いくつかのモデルが提案されている。また、これらによる量的評価の試みも、一応の成果をおさめている。これについても、あと一步の詰めが望まれるところである。

また、解析結果を利用しようとする立場からは、できるだけ、リアルタイムに近いデータ処理が望まれる。

そのほか、データ解析の上で、パストラディアンも、不可避的な問題である。パストラディアンの解析のためのモデルも、数多く提案されているが、まだ、これといった決定的なモデルはない。ただし、赤外域のデータを用いて、大気中の水蒸気量を評価することに関しては、ほぼ見解が統一されているようである。大気中の水蒸気量やパストラディアンを地上観測で評価しようとする試みもあり、モデルが提案されている。Ground-based measurement stationの設置が望まれるところである。

なお、最近、ベルギー王立研究所で、地上に到達する全下向光、太陽直達光、拡散光の強度の定期的な測定が始められた。このような施設は、本来基本的なものであり、本邦でも望まれるところである。

3.3 海洋光学データ, および理論の有効利用の問題

リモートセンシングのデータを解析するにあたっては海洋における光学データや理論的裏付けが必要不可欠である。

リモートセンシングを, ただ単に技術的な手段として, 利用しようとする立場では, 海況パラメータは, 状況に応じて簡単に引用できる形のものにまとめられることが望ましい。例えば, 太陽高度と海面における透過率, 反射率の関係, 海面粗度と海面における透過率および反射率の関係, 雲量や水蒸気量と太陽高度に対する海面直上下向光の組成比, 懸濁物の種類および数, 分布式と海中光の分布関数値や吸収係数, 散乱係数の値など枚挙にいとまがない。リモートセンシングのデータの解析を主体に研究を行っている者にとっては, 海洋データをリモートセンシングデータの解析に生かすさいの仲立ちをするのが, 海洋光物理学の成果である。そういう意味では, 海洋光物理学における成果の簡便なる利用のためのリアレンジメントが強く望まれるところである。

3.4 海洋調査の方法とデータの利用方法の再検討

これは飛翔体による観測技術開発途上における問題であり, 確立された技術を応用するさいの問題ではないので, 本来の題目の意味あいとは多少異なるかも知れないが, 避けて通れない問題である。

結論からさきに言えば, 海洋観測において得られるデータが, 必ずしもその海域の特徴を正しく反映しているとは言えないことである。例えば, 飛翔体から観測される温度は表皮温度であるが, 海洋計測では必ずしも, 表皮温度が測定されていないこと, 懸濁物量やクロロフィル量などは同一の採水試料でさえ, 分取の違いによって大きなバラツキを示すことなど, 上げればきりがなし。これらについては早急にしかるべきガイドラインが望まれるところである。

3.5 新技術の開発

現在遠隔測定には, 殆んど用いられていないが, もしくは可能性の段階にとどまっているものの中にも, 将来技術として応用されるべき十分な可能性を有するものがあるので, 二, 三を上げてみる。

- (1) レーザー方式による波浪解析および大気パラメータ観測
- (2) 蛍光, 発光を利用したクロロフィル量測定
- (3) 完全曇天下での可視リモートセンシング技術の開発

4. おわりに

海洋に対する最近のアプローチの気運の高まりを反映して, 海洋に対するわれわれの物心両面にわたるかかわりも, 日に日に複雑さを増している。また, 海洋はもはや従来の海洋が果たしてきた役割にのみにとどまらず, われわれの生活の一部をも占めんとするに至っている。このような状況に鑑みて, われわれは従来にも増して, 一層海洋に関する情報を正確, 多量, かつ迅速に収集する必要に迫られている。これに対して, 飛翔体からの海洋観測技術は, 多少の正確さ等を犠牲にしても効率, 経費, その他を考慮すれば, きわめて有効な方法といえる。今後共, 一層の技術の進歩を切に願ってやまない。

文献

- (1) Lintz, J., Jr., Simonett, D.S., "Remote Sensing of Environment" (1976), Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- (2) Gower, J.F.R., "Oceanography from Space" (1981), Plenum Press.
- (3) Vatz, B.W. "Effective Utilization of Optics in Radar Systems" (1977), Proceedings of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers vol. 128.
- (4) 海洋科学技術センター, "新海洋観測システムの研究—トータルシステムの概念設計報告書(宇宙からの海洋観測)," 昭和57年(1982) 3月,

ほか