

海洋汚染のリモートセンシングに関する研究 — 衛星画像による汚染監視について —

山之内 博*、山岸 進*、野中 晃二**、
原口 富博**、二村 正**

Study on Remote Sensing of Marine Pollution
— Pollution Detection by Satellite Images —
by

Hiroshi YAMANOUCHI, Susumu YAMAGISHI, Koji NONAKA,
Tomihiro HARAGUCHI and Tadashi NIMURA

Abstract

Oil spill response reports were reviewed from the technical point of view. The state of the art of remote sensing was also investigated focusing on the cleaning up operation and the monitoring the marine environment.

Although there were many reports and statistics on ship accidents, causes and counter measures of the ship accidents were not sufficiently clear and effective. One of the reason is difficulties of analysis of accidents which were collision or grounding. More precise and time dependent analysis of accidents will be necessary. From statistics, major oil spills were caused by tankers and about 40 % of their causes were mis-maneuvering and about 30% were related with some defects on the maneuvering system. Therefore guide lines of the maneuvering of ships have to be reviewed and improved.

By processing satellite data, the major oil spills occurred in the Prince William Sound in Alaska and in Persian Gulf and the surface state of Tokyo Bay were analyzed. The results show that the contrast enhancement, especially, including the band 5 (1.55~1.75 μ m) of LANDSAT is effective to distinguish the oil slick from the surrounding sea surface, and statistical analysis also provide referential data for detecting the change of the sea surface.

For further improvement of the image processing, the removal of effects of aerosol is important. The aerosol near the surface is especially influential and has to be treated more precisely. Lidar observations were effective for verifying the optical atmospheric model.

Although there are still many difficulties, the remote sensing from satellites is an attractive means of monitoring the marine pollution. Regular observation by satellites cooperated with air planes and ships is considered to be effective for detecting the change of marine environment in the early stages.

* 装備部

** 運動性能部

原稿受付 平成11年3月4日

審査済 平成11年9月8日

—目次—

1. 緒言
 - 1.1 研究の目的
 - 1.2 概要
2. タンカー安全対策の調査
 - 2.1 タンカーの航行支援対策
 - 2.2 海洋汚染検知技術
 - 2.2.1 リモートセンシング
 - 2.2.2 パッシブ検知技術
 - 2.2.3 アクティブ検知技術
 - 2.3 まとめ
3. 衛星画像
 - 3.1 画像処理システム
 - 3.2 コントラスト強調
 - 3.3 衛星画像データ
 - 3.4 エクソンバルディーズ号による油汚染
 - 3.5 湾岸戦争によるペルシャ湾油汚染
 - 3.6 東京湾データについて
 - 3.7 まとめ
4. 海面放射輝度
 - 4.1 処理データ
 - 4.2 処理方法
 - 4.3 海面放射輝度の平均値
 - 4.3.1 太陽高度の影響
 - 4.3.2 海面放射輝度の月変化
 - 4.3.3 海面放射輝度の年変化
 - 4.4 統計解析
 - 4.5 まとめ
5. 大気補正の精密化
 - 5.1 大気放射
 - 5.2 エアロゾルモデル
 - 5.3 ライダーによる大気放射輝度の測定
 - 5.4 まとめ
6. 結言
- 参考文献

1. 緒 言

1.1 研究の目的

海上輸送中の油や有害液体物質流出事故が発生した場合、海洋環境に及ぼす影響は計り知れないものがある¹⁾⁶⁾。未然に事故防止策を施すとともに、事故に際しては拡散範囲を予測し、早急に防除処置を施さねばならない。また、日本沿岸における油流出事故の発生と防除対策の記録⁵⁾からも分かるように、後をたたない小規模の流出油事故の海洋環境に及ぼす影響も留意すべきことであり、汚染の観点から見た不断の環境監視とデータの蓄積が必要である。

本研究では、タンカー事故に関する調査報告を調べ、未然に事故を防止するための安全対策とそれでも生ず

る事故への汚染防除対策の問題点を抽出した。次いで、急速な進歩を遂げつつある衛星画像を用いた汚染監視について、その可能性と高度化のための調査・研究を行なった。

1.2 概 要

本報告は、「タンカー安全対策環境保全総合調査研究」環境保全総合調査研究促進費（平成5年度）、「海洋汚染物質のリモートセンシングに関する研究」（平成5年度～7年度）に関する総合報告である。

事故調査結果を事故防止へ結びつけるためには衝突・座礁事故に至るまでの複数要因の時系列的考察が重要であり、この解析方法を十分検討することが必要である。また、汚染監視には万能なセンサーはなく、複数のセンサーを組み合わせて用いることが必要である。事故状況の敏速な把握が第一であるが、汚染及びその処理が環境へ及ぼす影響を長期的に追跡評価することも欠かせない。

衛星画像の研究では、画像処理のプログラムを作成し、大規模汚染の画像抽出を行った。高度化のためには大気補正、特に対流圏下層のモデル化が重要であり、ライダーを用いた大気モデルの検証を提案し、実験で有効性を示した。しかし、エアロゾル（大気に浮遊する微粒子）の水平方向に変化がある場合の補正は、既存のモデルを使った手法では非常に困難である。

このように、衛星画像による汚染監視について未だ多くの課題はあるが、広域汚染監視には極めて有効な手段で、定期的に航空機や船舶と協調して観測を行い、衛星画像データを集積し、海洋環境変化の早期発見に努めることが有効な方策と考えられる。

第1章は、研究の目的と概要を述べ、第2章では、タンカーの安全に関する文献調査を行い、問題点を示した。また、汚染監視についてリモートセンシング技術を、パッシブ及びアクティブ技術に分類して各々の可能性を述べた。第3章以降は、衛星画像の海洋汚染検知への利用についての研究である。画像処理プログラムを作成し、代表的な大規模汚染の画像を示した。第4章は、太陽高度、海色変化等比較の基礎データを整理し、衛星画像による微弱な海洋汚染検知の可能性について検討した。第5章は、衛星画像の大気補正に用いられている代表的なLOWTRAN大気モデルの導入と地上設置ライダーを用いたモデル検証法について検討した。第6章は、以上をまとめ、結言とした。

2. タンカー安全対策の調査

2.1 タンカーの航行支援対策

1992年12月のスペイン沖で発生したタンカー座礁事故に引き続き、1993年1月にはシェトランド諸島沖の大規模な油流出事故とスマトラ北方沖合いのタンカー

衝突事故が相次いで発生した。これらの事故のうち、スマトラ北方沖合いタンカー衝突事故は、わが国への原油輸送中に発生したものである。過去にも多くのタンカー事故は発生しているが、日本のシーレーンにおける2万トン以上の油流出を起こした大規模なタンカー事故はこれが初めてであり、国内ではタンカー輸送の安全対策及び流出油対策の重要性に関する認識を新たにした。また、国際的にも、沿岸国に流出油が漂着する可能性のあるタンカー事故が頻発している状況を受け、対策を講じなければならないとの声が高まった。

このような、国内外の情勢を受け、1994年運輸省は、

- ① O S P A R (Oil Spill Preparedness And Response) の計画の繰り上げ実施、
 - ② O P R C (Oil Pollution Preparedness, Response and Co-operation) 条約の早期批准、
 - ③ I M O (International Maritime Organization) に対する既存タンカー対策の提案、
 - ④ 油汚染対策技術の開発促進、
- を対策として打ち出した。

①、②の計画及び条約については、1994年中に完了及び批准を決定した。1994年以降、わが国がこれらの国際約束を果たしていくためには、単にオイルフェンス等機材の準備を整えるだけでなく、これらを活用する方策が初めて、有効な油流出対策を講じることができる。また、船については、今般の事故を契機に、既存タンカーに対しては、二重船殻化に限らず、抜本的な事故防止対策を可能な限り早期に検討すべきとの声が加盟国間で高まり、電子海図の採用、新形式タンカーの研究等加盟国に対して説得力のある対策を打ち出すことが必要である。

このためには、まず第一に一連の事故における問題点を正確に把握する必要があることから、大型タンカーの海難事故防止に関連した調査・研究の概要を把握するため主として文献による調査を行った。

海難事故の調査に関しては、ロイド等の海難情報資料に基づく、事故の船種別発生件数、衝突・座礁・火災等の種類別発生割合、タンカー船主協会等による油流出事故の統計資料等、多数の調査結果が発表されている。しかしながら、どうしてそのような事故が起きたのか、そのような事故を防止するにはどうすればよいのか、という事については必ずしも調査研究は十分に進んでいないようである。海難事故の多くは、特に衝突・座礁事故では、複数の要因が重なり関連し合っ

て起きていると考えられるが、きめ細かな事故防止対策の研究には、互いに干渉しながら変化してゆく複数の要因の時系列的考察による定量的な分析評価という面からの研究強化が望まれる。

船舶の海難事故において、油流出は当然の事ながらタンカー事故によるものが最も多い。そのタンカー事故において、衝突・座礁事故がロイドの海難資料に基

づく解析では約4割を占めている。タンカー事故における衝突・座礁の事故原因としては、1万トン以上のタンカー事故についてのアメリカ沿岸警備隊の調査では、40%近くが操船者のミス、約30%がその船の操縦性能に関係した事故であると分析されている。日本造船研究協会RR742委員会における大型船の海難事故調査においても、荒天時の衝突・乗揚事故の約半分に操縦性能が関係していると報告されている。これらの調査結果は衝突・座礁事故を少なくするには、操船者のミスを少なくすること及び操船性能の劣る船を少なくすることの必要性を示している。操船者のミスを少なくするには、操船支援設備等を充実させる他に、操船者に自船の操縦性能をよく知ってもらうことが重要である。

国際海事機関(IMO)における海難事故を少なくするための船舶の操縦性能に関する審議もこの2点から進められた。一つは、操船者に自船の操縦性能をよく知ってもらうための「操船ブックレット」の整備であり、もう一つは、操縦性能の劣悪な船を無くするための「操縦性能暫定基準」の策定であった。ただし、この基準は必ずしも十分な技術的検討を経て策定されたものではないため、今後見直しが予定されている。

当所でも海難防止を進めるためのIMOのこの動きに対応し、暫定基準見直し用の技術資料を作成するため、平成7年度より指定研究「IMO操縦性能基準の改正案に関する調査研究」を開始し、さらに平成9年度からは基準見直しのための技術資料作成に加えて、基準が国内規則として施行された場合に対応できる技術を開発するため、特別研究「船舶の操縦性能評価技術に関する研究」を開始した。

汚染防除に関しては、情報収集、回収技術、環境への影響評価に関する研究開発が必要であり、また、これらを統合するマネジメントが非常に重要であることが各報告で指摘されている。このうち汚染監視技術については、技術開発が急速に進展しており直ちに調査研究を開始した。

2.2 海洋汚染検知技術

2.2.1 リモートセンシング

相次ぐ油流出事故の防除対策の反省として、防除作業には刻々と変化する状況を的確に把握することが非常に重要であることが指摘されている。油汚染監視には、これまで観測船や係留ブイが主として用いられてきたが、時間空間的に変動する広大な海洋の環境状況を的確に把握するには十分ではない。そのためリモートセンシング技術で、広域をカバーして情報を得る試みが重ねられてきた⁸⁾。

一般にリモートセンシングと呼ばれているものは、光あるいはマイクロ波など電磁波を用いて遠隔から機器観測することであり、光学写真、赤外、可視光スペ

クトルスキャナー画像、レーダ等が用いられていた。航空写真による探査の歴史は古く、ライト兄弟の初飛行1902年から11年後1913年にはリビアの油田地帯の地質探査に使われていた。1960年代に至り、TIROSに始まりESSAシリーズの衛星搭載のセンサーにより宇宙からの驚異的画像情報がもたらされるようになった。1970年代にはLANDSAT衛星の画像情報が一般にも解放されるようになったためこの画像の活用が急速に広がり、検知技術と利用分野の開拓が進歩し、資源探査、地球規模の大気、生体系など各方面で成果を挙げている。陸域に比べて利用が遅れていた海洋観測も技術的進歩につれて情報の質も向上し、海洋物理学や水産関係の利用も盛んになった。海洋汚染監視にとっても非常に有効な手段になりつつある。欧米においては、衛星画像に限らず各種のリモートセンシング技術が防除体制の重要な部分として研究開発されてきた^{14, 21-23)}。

一般的に、海洋汚染検知センサーには次のことが要求されている。

- * 広域探査
- * 高分解能画像（詳細な形状と位置）
- * 速報性（実時間画像情報）
- * 随時観測（機動性も含む）
- * 夜間観測（昼夜を問わない）
- * 液体成分識別（変質状況も含む）
- * 気体成分識別（危険な気体成分）
- * 水面下の情報
- * 全天候型
- * 経済性

海洋汚染検知技術は、油流出の早期発見、流出源の特定、油の拡散の監視とその予測に不可欠であるとともな事故処理後の環境変化の追跡評価にも必要となる。

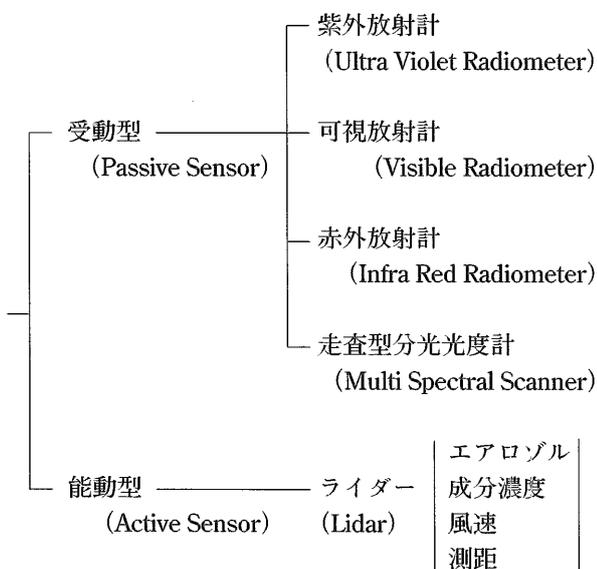


表 2—1 光学リモートセンサー

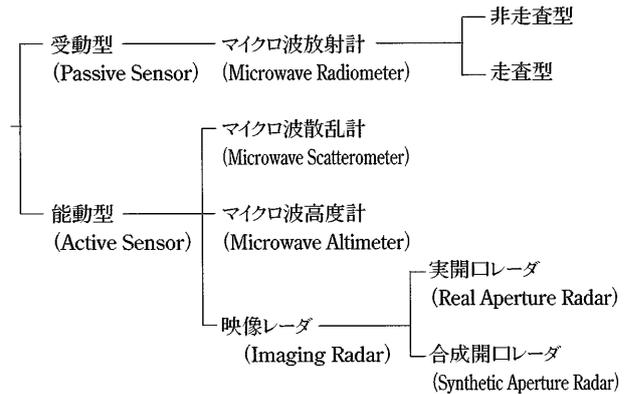


表 2—2 マイクロ波リモートセンサー

センサーは受動型と能動型に分類される。受動型は、太陽光の反射や散乱、あるいは目標物から放射される赤外線やマイクロ波を検知するもので古くから実用化されており、比較的小型である。能動型は、ターゲットに向かってマイクロ波やレーザー光を放射して、返ってくる信号を受信するもので、太陽光に影響されることが少ないが、一般的に装置は大型になる場合が多い。

2.2.2 パッシブ検知技術

リモートセンシングに用いられる電磁波を波長で分類すると、図 2—1 のようにそれぞれ特徴を持った帯域があり、多方面で活用されている。⁸⁾

電磁波の放射のスペクトル特性は黒体放射の輝度を与えるPlankの関数 $B_{\lambda}(T)$ で表され、波長に対して次のように書ける。

$$\text{Eq. 2-1 } B_{\lambda}(T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5 (e^{hc/kT} - 1)}$$

ここで、 $h=6.6262 \times 10^{-34} \text{Js}$ はPlank定数、 $k=1.3806 \times 10^{-23} \text{JK}^{-1}$ はBoltzmann 定数であり、 λ は波長、 T は温度、 c は光速である。

放射束密度（放射発度）は黒体温度によって決まり、Stefan-Boltzmann の法則により与えられる。

$$\text{Eq. 2-2 } W = \epsilon \sigma T^4$$

ここで、 $\sigma = 2 \pi^5 k^4 / (15c^2 h^3) = 5.6698 \times 10^{-8} \text{Wm}^{-2} \text{K}^{-4}$ がStefan-Boltzmann 定数と呼ばれるものである。 ϵ は射出率を示す。

また、最大輝度の波長はその温度に反比例し、Wienの変位則で与えられる。

$$\text{Eq. 2-3 } \lambda_{max} T = K$$

λ をcmで表す時 $K = 0.2897$ である。

赤外線やマイクロ波放射計は、上の原理を基にして油膜と水面の放射温度差を検知するものである。図 2

一2と図2-3は地表で観測される太陽のスペクトル放射束密度 (放射発度)、地表からの放射を衛星で観測した場合を示す。

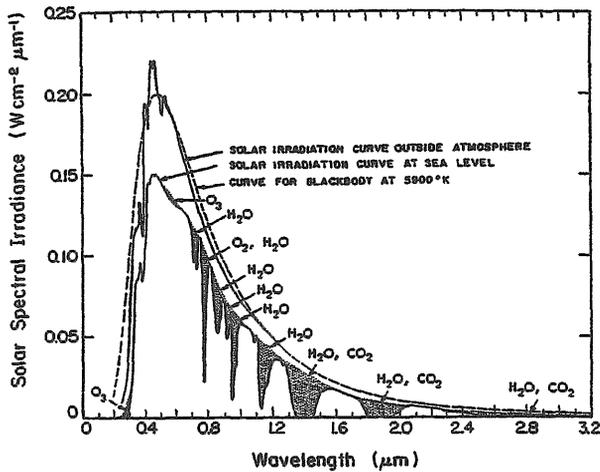


図 2-2 地表で観測された直達太陽光スペクトル放射束密度⁹⁾

図中の滑らかな曲線は、260、280、300K の黒体からのスペクトル放射輝度の計算値を示す。また、図2-4には海水の光透過度を示す。海表面に到達した光の一部は海水中に透過して吸収され、海面のアルベドが小さいため放射輝度は非常に小さくなる。アルベドは入射フラックスに対する反射フラックスの割合と定義されるが、条件 (入射角分布、波長等) によって大きく影響を受ける。

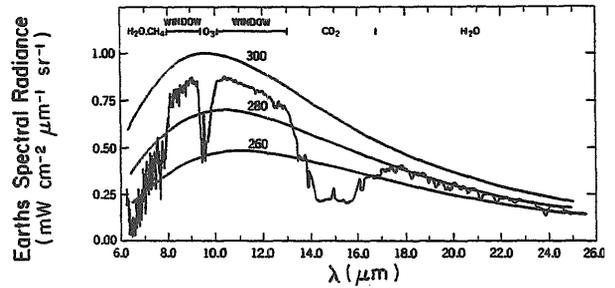
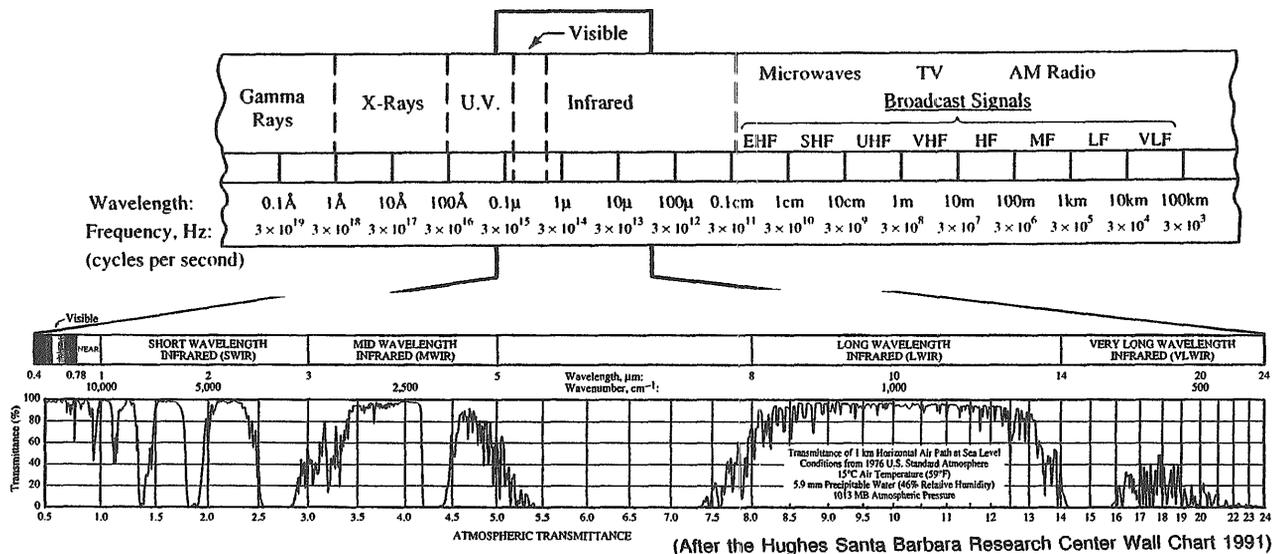


図 2-3 衛星から観測された地表面のスペクトル放射輝度¹⁰⁾



マイクロ波バンド名と波長

バンド名	周波数 (MHZ)	波長 (cm)
P	220 - 390	133 - 77
L	390 - 1550	77 - 19
S	1550 - 5200	19 - 5.8
C	3900 - 6200	7.7 - 4.8
X	5200 - 10900	5.8 - 2.7
K	10900 - 36000	2.7 - 0.83

図 2-1 電磁波のスペクトル⁸⁾

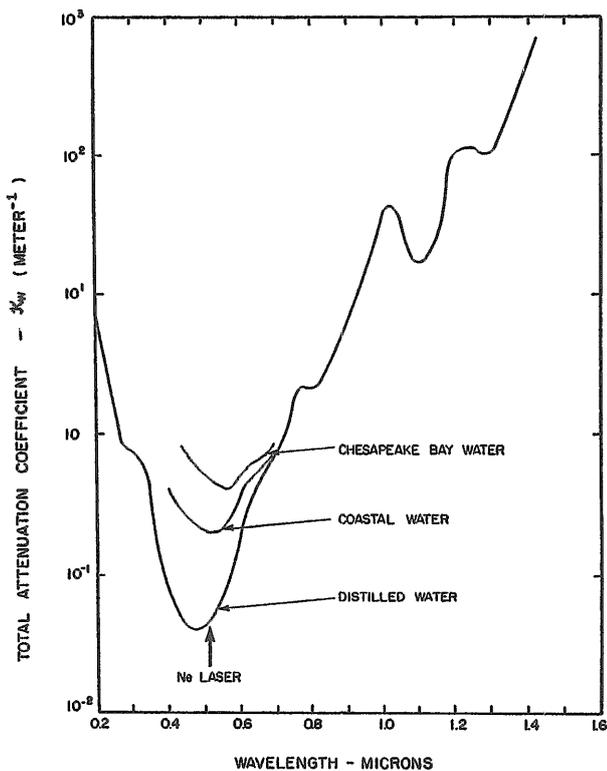


図 2—4 海水の光透過度¹¹⁾

(1) 可視・紫外カメラ、スキャナー

可視光領域では、光学機器が発達しており解像度の高いカラー観測が比較的容易にできる。写真、RBV (Return Beam Vidicon)、MSS (Multi Spectral Scanner) による記録・伝送が行われてきた。さらに CCD (Charged Coupled Device) 素子による画像の高分解能デジタルデータ化が非常に小型な高密度素子でできるようになってきた。

可視領域波長を用いて油膜を識別するには、油膜が水より強い反射¹²⁾ (放射率 水 0.4, 油 0.6) を示す性質を用いる。重油、ムース化油、軽質油膜は、各々特徴ある吸収帯を持っており、色調や照り具合が異なって見える。この場合、ブリュスター角 (Brewster Angle) を利用できると、偏光板で表面画像コントラストが一層向上する。しかし、油膜と水面との識別は間接的なもので、太陽の照り具合や、湧昇流、風浪の状況により誤認することが多く、沿岸域では海草などと油の識別は困難である。

紫外域でも同様な手法で油膜を識別することができる。このうち UVLS (Ultra Violet Line Scanner) は、スキャナーで紫外光の画像を作るもので、油膜の検知能力は $0.01 \mu\text{m}$ が限界と言われている。紫外線は大気による減衰が大きく気象条件が悪いと使えない。

(2) 赤外放射計

油の放射温度が海水と異なることから、油膜を判別するもので、検知には、 $8 \sim 10 \mu\text{m}$ の波長がよく使わ

れる。通常、厚い油膜は強い放射源として映るが、油膜が薄いと水面と区別することはできない。また、中間的な厚さ ($50 \sim 150 \mu\text{m}$) の方が周囲の水面より暗く写ることも報告されている。この理由は蒸発による温度低下、水蒸気による吸収など挙げられているが未だ十分解明されていない¹³⁾。IRLS (Infra Red Line Scanner) は、スキャナーで赤外画像を作るもので、油膜 $1 \mu\text{m}$ 程度が検出限界とされている。

吸収や反射の油膜画像への影響が紫外域と赤外域では異なることから、これらを総合して、判断することが有効である。夜でも観測可能だが、雨や霧の中では減衰が大きくてうまくいかない。

(3) マイクロ波放射計

物体から放射されるマイクロ波から物体の放射輝度を測定するものである。物質の放射率が分かれば、物体の温度が求まる。また、放射率の異なる物質を識別できる。走査型マイクロ波放射計は $5 \sim 34\text{GHz}$ のマイクロ波で放射画像を作る。より高周波 (90GHz) を使って、油膜厚さを測る実験も行われている。油は海水中に放出されると短時間でエマルジョン化するが、エマルジョンは多様な形態をとり、放射率も変わるため測定は難しくなる。

2.2.3 アクティブ検知技術

(1) マイクロ波散乱計

目標海域に向けてマイクロ波を放射して、その反射を測定すると、海面の凹凸の度合いで反射波の強度が変化する。油膜は風浪が立ちにくいことから水面と識別することができ、光学センサーと同様な広い範囲の情報が得られる。

(2) マイクロ波レーダ

上述と同様な原理を用いて航空機搭載の高解像度のレーダ画像から油膜を識別することができる。サイドルッキングレーダ (SLAR: Side Looking Aperture Radar) によれば一連の広域観測ができる。さらに解像度の高い合成開口レーダ (SAR: Synthetic Aperture Radar) があり、衛星に搭載され、地上分解能 30m の観測が可能である^{30, 31)}。SAR はマイクロ波レーダのアンテナが移動することを利用して、実質的に巨大な口径の高分解能アンテナと同等の効果を得るようにしたもので、合成開口とパルス圧縮技術により通常のレーダに比べて格段に高い分解能が得られるという優れた特長を持つ。マイクロ波は雲や霧などの影響を受けにくい点が他の光学装置に比べて優れている。しかし、油膜の識別は間接的なものであり、風や湧昇流などの画像と誤認する 경우가多く、表面波の解釈にはシートルース実験 (海面における比較検証データの収集) が必要となる。

(3) ライダー

ライダー (LIDAR: Light Detection And Ranging またはレーザレーダ) は、レーザ光を放射して、光と

物質との相互作用によって発生する散乱光などを分析することによって、光路に沿った濃度分布を計測するものである¹⁵⁾。この手法によれば、直接的な成分識別ができ、事故時に発生した気体成分を識別して、爆発等の危険域の判定に用いることも可能である。レーザー誘起蛍光を用いたライダーは、蛍光寿命が物質固有であることを用いて成分の同定や油膜の厚さ測定を行うものである。クロロフィル分布、油膜検知などの研究が行われているが¹⁶⁾、レーザー装置が大型なため汚染防除の現場に使用されることはほとんど無かった。しかし、半導体レーザー等の発達により、機器の小型化が進むと現場でも活用されるようになるであろう。



Lidar specification

Laser

Type	Nd : YAG
Wavelength	532,1064nm
Output	140mJ
Repetition	1 ~ 14Hz
Pulse Width	6 ~ 9 nsec

Transient Recorder

Type	TR8818/2012F
Sampling	100/20MHz
Accuracy	8 / 12bit
Sensitivity	0.25/ 2 V F.S.

Scanning

Range	Az : 40~100, 260~320deg E1 : -20~80, 90deg
Resolution	< 0.1 mrad
Accuracy	< 0.4 mrad
Velocity	5 deg/sec
Output	BCD 5 Digit

図 2—5 ライダー⁴⁰⁾

2.3 まとめ

自然光源を利用するパッシブ検知は、特にCCD等の光電素子の発達により一層小型化し、解像度の良い画像が得られる。汚染検知においても基本的観測装置と

して欠くことのできないものである。衛星搭載の可視・赤外画像は、大規模油汚染を明瞭に画像化できるが、微弱な汚染検出は困難である。しかし、より高度な多波長センサーで詳細なスペクトルを観測できる海洋観測衛星の運用が進んでおり、詳細なスペクトルとともに空間分解能の高い画像が利用できれば汚染検知への貢献も増すと考えられる。

アクティブ検知は、人工的な光源を用いるため装置は複雑となるが、日照など自然条件に影響されることが少ない。成分識別、油膜厚さなど、これまで困難であったことも測定可能になると期待される。また、汚染防除現場では、小型飛行機、ヘリコプター、船などにも搭載できる機動性に富んだ計器が要求されている。技術的進歩は、これらの課題にも応える事が可能となってきた。

監視システムとしては、複数の補完し合う検知装置を航空機や衛星に搭載して、短時間に広域をカバーするように構成し、得られた情報を統合化し、画像情報として必要な機関へ迅速に送信できるようなネットワーク化を図る必要がある。

野外観測において可視と近赤外波長域では、天候の影響を受け易い。特にアルベドの小さい海洋観測では、エアロゾルの影響や表面の光学的効果を評価することが重要であり、

- 1) 海水の光学的特性に関する研究
 - 2) 海中、海面直上における放射輝度に関する研究
 - 3) 海面射出光の大気中での放射伝達に関する研究
- などの研究を十分行わなければならない。

3. 衛星画像

前章で述べたセンサーの多くは、衛星に搭載されて、広域探査に活用されている^{16,17,18)}。特に、NIMBUS-7に搭載されたCZCS (Coastal Zone Color Scanner)²⁵⁾は沿岸海色の画期的な画像情報をもたらした。この運用が終了した後は海洋を対象とした衛星は無くLANDSAT、SPOT等の画像が代用された。本章では衛星画像を用いた海洋汚染検知への可能性を検討する。

3.1 画像処理システム

デジタル衛星画像データは、CCT (Computer Compatible Tape)、フロッピーディスク、専用の光磁気ディスク、CD (Compact Disk)等の形でユーザに提供される。フロッピーディスクはデータの容量が比較的小さい。これら进行处理するために、PC (Personal Computer)とEWS (Engineering Work Station)を用いた⁴²⁾。システムは、パソコン本体 (PC-98RA)、光磁気ディスク (512Mバイト : 64Mバイト 4ドライブ×2台)、マウス、ハイパーフレーム (R、G、B各8ビット : 640×400ピクセル)、拡張ラムディスク (容

量 4 Mバイト) 等により構成されている。

また、EWSはIBM パワーステーション 320を使用した。衛星画像データを取り扱うために1.1 GB (ギガバイト) の記録容量の光磁気ディスク (片面の記録容量、約573MB)、ディスプレイ画面の表示ドット (ピクセル) 数は1280×1024、R (赤)、G (緑)、B (青) に割り付ける各表示データ精度は8ビット (256階調) のフルカラー表示、メインメモリ80MBである。LANDSAT TM (Thematic Mapper) データはフルシーンデータ (185 Km 範囲) をCCT (記録密度 6250 bpi) で購入し、計算機センターから研究室の光磁気ディスクへ転送し、その後の処理を行った。TM 1シーンは7バンドで約300MBの容量であり、1シーン分の衛星データを片面の光磁気ディスクに記録し、各シーン毎に光磁気ディスクを交換してその後の処理を行った。

3.2 コントラスト強調

目的とする画像を鮮明化するために、ある輝度範囲のデータに注目し、この範囲の最大・最小値をデータの上限と下限に割り当て差を拡大表示するとコントラストが強調される。以下はプログラムの流れである^{43,44)}。

- ① 全データについて輝度値とその頻度を表すヒストグラムを作成する。
- ② 作成したヒストグラムデータをもとにして、目的海域を画像表示するために上限と下限の閾値を決める。一般的に海域データの輝度値は陸域に比べて小さいので、陸域のデータはここで指定する上限の値より大きな値の部分が大きく、陸域の情報が画面に表示されたときには最大輝度値として表示される。画像表示のための変換は、各バンド毎のヒストグラムから決定した上限 (U) と下限 (L) の閾値を使用して、次式で計算する。
表示輝度値 = $(i - L) / (U - L) \times 255$
表示輝度値が負の場合、表示輝度値は0とする。
- ③ バンド毎のヒストグラムをもとにして決められた閾値を使用して、3つのバンドを用いて1シーン全体の画像を表示する。この時、表示のために使用する画像データは、等間隔にデータをサンプリングして行う。
- ④ 全体画像の中から、マウスを用いて任意の調べたい領域を指定し、目的の海域を画面に再表示する。
- ⑤ 表示された画面の中で調べたい領域をマウスで指定し、指定した領域についての観測輝度値の分布状態をグラフ表示して、バンド毎の分布の違いを調べる。

3.3 衛星画像データ

画像データのリストを表3-1に示す。比較的容易に入手できる衛星データとしては、LANDSAT (ランドサット)、SPOT (スポット)、MOS-1、1b (もも)、

ERS、JERS-1 等がある。これらのデータの多くは可視から、赤外線波長領域を幾つかの波長帯域 (バンド) に分けて、それぞれの波長帯域での放射輝度が記録されている。ここでは主に可視と近赤外線波長領域のセンサーで観測されたデータについて、センサー毎に観測輝度の頻度を示すヒストグラムを作り、各センサーで観測された画像例を示し、どの程度汚染を明瞭化できるかを見る。

衛星名	最初の衛星打ち上げ年又は運用期間	センサー名	観測幅 (Km)	バンド名	観測波長 (μm)	地上分解能 (m)				
LANDSAT-1,2,3,4,5	1972	MSS	185	4	0.5~0.6	80				
				5	0.6~0.7	80				
				6	0.7~0.8	80				
				7	0.8~1.1	80				
				TM	1	0.45~0.52	30			
					2	0.52~0.60	30			
					3	0.63~0.69	30			
		4	0.76~0.90		30					
		5	1.55~1.75		30					
		6	10.4~12.5		120					
		7	2.08~2.35		30					
		JERS1	1992/2/11-1998/10/12	OPS (VNIR)	75	1	0.52~0.60	18		
						2	0.63~0.69	18		
						3	0.76~0.86	18		
4	0.76~0.86					前方視(18)				
OPS (SWIR)	75			5	1.60~1.71	18				
				6	2.01~2.12	18				
				7	2.13~2.15	18				
				8	2.27~2.40	18				
SAR	75			1.275GHz (L-band),HH		18				
MOS-1,1b	1987/2/19-1996/4/19			MESSR	185	1	0.51~0.59	50		
						2	0.61~0.69	50		
		3	0.72~0.80			50				
		4	0.80~1.10			50				
		VTIR	900	1	0.5~0.7	900				
				2	6.0~7.0	2700				
				3	10.5~11.5	2700				
				4	11.5~12.5	2700				
		MSR	317	23.8±0.2GHz		32000				
				0.25GHz		32000				
		SPOT-1,2,3,4	1986/2	HRV/XS	117	1	0.50~0.59	20		
						2	0.61~0.68	20		
3	0.79~0.89					20				
HRV/SWIR	117			4	1.55~1.75	20				
				HRV/P	117	0.51~0.73		10		
ERS-1,2	1991/9	SAR	100	5.3GHz(C-band),VV		30				
RADARSAT	1995/11	SAR	50~500	Cバンド(波長5.6cm)		10~100				
				IRS-1C,1D	1995/11	LISS-3	127~141	2	0.50~0.75	5.2~5.8
								3	0.52~0.59	21~23
								4	0.62~0.68	21~23
5	0.77~0.86	21~23								
ADEOS	1996/8/17-1997/6/30	OCTS	1400	0.402~0.422		700				
				0.433~0.453						
				0.479~0.501						
				0.511~0.529						
				0.555~0.575						
				0.660~0.680						
				0.745~0.785						
				0.845~0.885						
				3.55~3.88						
				8.25~8.80						
				10.3~11.4						
				11.4~12.5						
				AVNIR	80		0.42~0.50		16	
							0.52~0.60		16	
							0.61~0.69		16	
							0.76~0.89		16	
							0.52~0.69		8	

表 3-1 衛星と搭載センサー一覧

- LANDSATデータ：打ち上げ時1972年にはERTS (Earth Resources Technology Satellite) と呼ばれていたが1975年LANDSATと改名された。米国によりこれまでに5個打ち上げられている。観測装置としては、初期にはRBV (Return Beam Vidicon camera) と MSS (Multi Spectral Scanner) が使用されていた。その後地上空間分解能が79mで、4つの波長帯域での放射強度を検出する多重スペクトル走査計 (MSS: Multi Spectral Scanner) と、MSSの改良型の多重スペクトル走査計で、可視、近赤外領域での地上空間分解能が30mのセマティックマップパー (TM: Thematic Mapper) と呼ばれる観測装置が使用されている。TMセンサーは、10 μ m帯の赤外線帯域を1バンド含む7つのバンドで構成されている。図3-1はExxon Valdez 流出事故後のPrince William Sound の画面であるが、各バンドの特徴が示されている。
 - SPOTデータ：フランスの衛星で、1986年から1998年までに1号から4号までが打ち上げられた。センサーを斜め方向に向けた観測もできる点が特長の一つである。パンクロマチックモードとマルチスペクトルモードでのデータを提供している。
 - MOSデータ：海洋観測衛星 (Marine Observation Satellite) として宇宙開発事業団により打ち上げられた、日本初の地球観測の海洋観測衛星である。もも1号、1号bと名付けられた。
 - JERS1データ：宇宙開発事業団により、地球の全陸域を観測し、資源探査を主目的に国土調査、農林漁業、環境保全、防災、沿岸監視等の観測を行う地球観測衛星で、1992年に打ち上げられた。高性能の合成開口レーダ (SAR) と光学センサー (OPS) を搭載している。ADEOS は地球グローバル環境観測衛星として1996年に打ち上げられたが、太陽電池の不具合で1997年機能を停止した。
 - ERS衛星データ：The European Space Agency のヨーロッパリモートセンシング衛星1号は1991年、次いで1995年2号が打ち上げられた。RADARSAT はカナダ初の衛星である。
- その他にインドの衛星 (LISS-III) が高分解能の画像を提供している。EOS (Earth Observing System) 軌道ステーションからのデータも利用できるようになってきた。

3.4 エクソンバルディーズ号による油汚染^{1), 2)}

1989年3月24日にアラスカ湾Prince William海峡において、約200,000 klの原油を積載したエクソン・バルディーズ号が流氷群を避けるために、航路から外れ、暗礁に乗り上げ、その一部約42,000klの原油を流出し、1,000km以上に渡って拡散し、著しい環境破壊を招いた。この事故から2週間経過した4月7日に、

LANDSAT衛星で観測された原油の拡散状況がEOSAT (Earth Observation Satellite Company) で受信されていた³⁰⁾。このCCTを購入し、処理を試みた⁴²⁾。シーンは、LANDSAT 4号により4月7日に観測されたPath 67、Row18に相当するTMのデータである。1シーンは7つのバンドで構成されているが、購入したCCTは1,600bpiの記録密度であったため、各々のバンドについて1シーンを4分割したサブシーンのファイルで成り立つために、28個のイメージファイル (1ファイルは、13Mバイト弱の大きさである。) について転送を行う必要があった。所内のLAN (10Base-5) を経由したパソコンと汎用計算機間のファイル転送スピードは、約15Kバイト/秒で1ファイルの転送に約15分が必要である。この転送速度には、主に光磁気ディスクの書き込み速度が制限となっていると考えられる。

解析手順は、まず3.2節のコントラスト強調処理を行う。すなわち、各バンドについて一定間隔でデータをサンプリングし、圧縮した全体画面を作成し (図3-2)、これと同時に、全体のデータについて、輝度分布のヒストグラムデータを作成する (図3-3)。バンド6は温度情報を持ち、他のバンド情報とは幾分異なる。一般的に輝度値の低い側にあるピークが海面からの情報を含み、それより高い輝度値の領域に陸域からの情報が含まれている。図3-4 に示すように画像の表示のための下限と上限を指定することによって、表示の色を割り当てた。

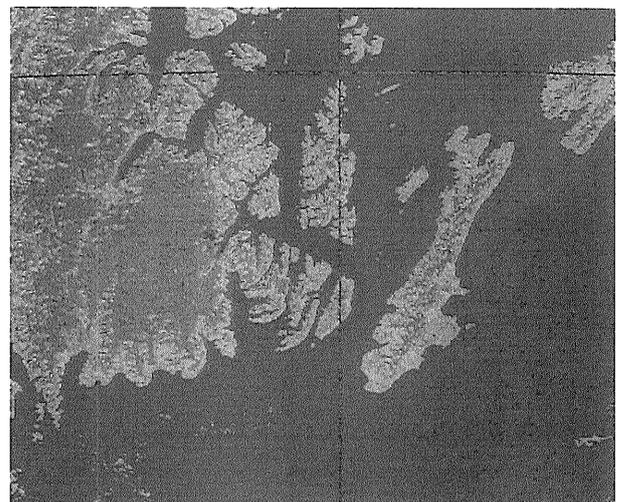
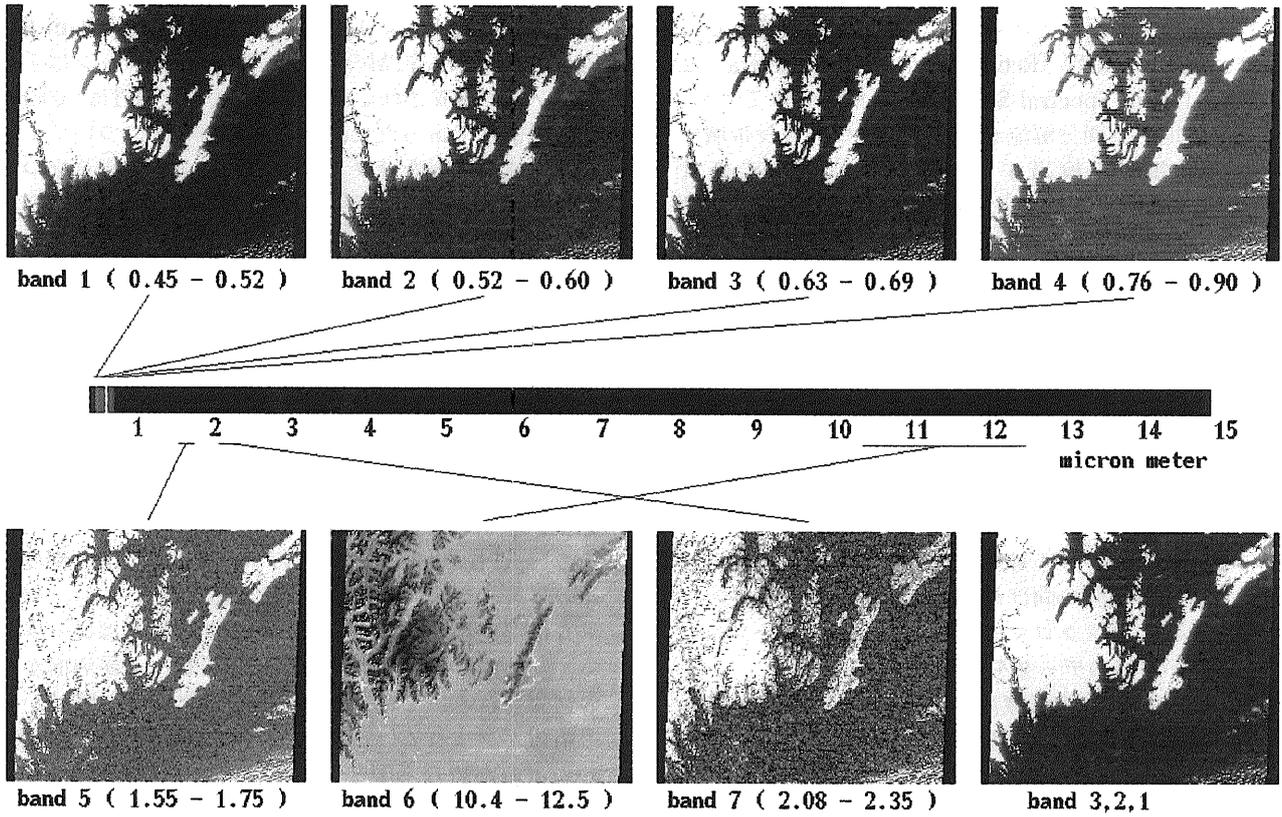


図3-2 全体画面(バンド5,2,1) (Prince William Sound)

LANDSAT THEMATIC MAPPER (TM) DATA



LANDSAT- 4 DATE:19890407

図 3-1 LANDSAT TMによるバンド毎の画像 (Prince William Sound)

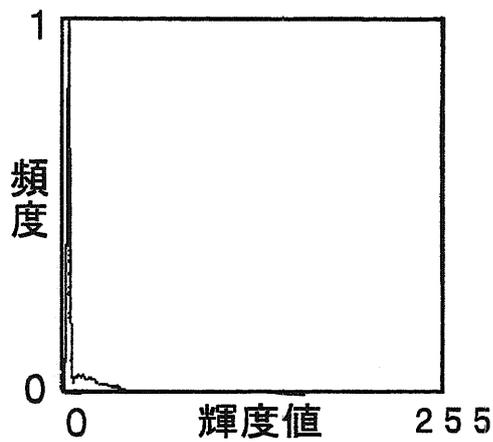


図 3-3 ヒストグラム(バンド5)(Prince William Sound)

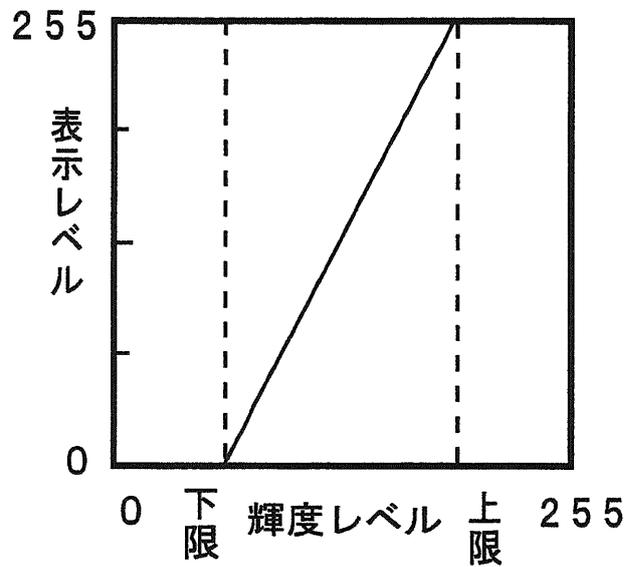


図 3-4 表示レベルの指定