4-4 衛星通信の海洋への応用

電気通信大学 宮 坂 武 芳

1. ま え が き

海洋に関する情報は単に船舶に関するもののみに限らず、最近では海上、海中および海底の科学技術、資源調査など各種のものが含まれている。しかし、これらの情報の大部分は船舶のためのもので、船舶の航行の安全その他の内容のものが、情報の目的によりいくつかの伝送形式によって伝達されている。

その中で無線電信、無線電話もしくはファクシミリによって得られた気象情報が船舶の運航のために果たす役割はきわめて大きい。特にファクシミリ等により得られた画像情報は、その入手の簡易化によって広範な船舶が容易に利用でき、多くの情報内容を持つため他の伝送形式による情報よりすぐれており、また業務の省力化にも貢献している。さらに実験の結果、航行中の船舶において直接受信された画像による気象情報がさらに有効であることが明白になった。

最近、打ち上げを予定されている ITOS 系衛星についても、独特な海洋への利用についてその効果が期待できるので、これらについて述べる。

2. 海洋における情報とその伝送

海洋における情報は、前述のように直接または間接に船舶に関係しているものが多く、船舶の航行、気象、漁業などに関するもの、および個人ののためのものがあり、各種の方式によって船舶と陸上の間で相互に交換される。この中で画像情報として陸上から船舶に提供されるものに、気象情報および船舶向け各種ニュースなどがあり、船舶が自ら得る画像情報としては漁群探知、水深の記録および船舶の省力化等に伴う各種監視装置がある。このような画像による情報は高い信頼性のもとで容易に利用できるからきわめて有効である。

ところで、海上を航行する船舶の安全に、気象情報を

欠かすことはできない。この気象情報は陸上および海上を含めた世界的規模のものであって、定期的にまたは臨時にファクシミリ放送等による画像情報を含めて船舶に提供されている。これらの情報源のうち海上に関するものは各船舶から国際観測通報船舶の制度によって、国際的には6時間ごとに、国内的には3時間ごとに船舶局が気象資料の提供を受けるため、航行船舶が稀薄な海域、船舶局の執務時間の関係等によって、不十分な場合も生ずる。そこで、全世界の洋上の海象・気象観測網を充実するための IGOSS 計画の一環として、1969 年から日本海においてテレメーター方式によるブイロボット¹⁾の実験的な運用の開始により、気象情報の自動収集が試みられた。

このようにして船舶、航行に必要な気象情報を測定の約 2~3 時間後に入手するが、台風のように急激な気象の変化を予測するためには、さらに最も新しく、かつ、十分な情報が必要である。そこでもうひとつの気象情報源として、衛星からの情報について述べる。

3. 海洋における気象衛星情報の利用

3.1 船舶の航行と ESSA 系衛星

米国において本格的な気象衛星の実験に成功してから TIROS 系、NIMBUS 系および ESSA 系衛星に続いて ITOS 系の実験が開始された。ESSA 系衛星は 1966 年 2 月 3 日、第 1 号が打ち上げられてから 2 台の APT (Automatic Picture Transmission) 装置によるものおよび AVCS (Advanced Vidicon Camera System) 装置によって世界中の雲の分布を地上に送り続け、現在、APT 装置によるものでは 8 号が稼働している。衛星は約 780 n. m. (nautical miles) の高度から約 1,750 n. m. 四方の画像による情報の伝送を連続して行なっている。

この気象情報は、雲の分布がある幅の濃度によって表わされているから、従来の画像による情報にくらべいっそう有効な情報を与える。このような情報を船舶において直接利用する場合には、利用可能な衛星の選択をすることが必要である。しかし、気象衛星からの情報は現在

"4-4 Application of the Satellite Communication at Sea" by Ta-keyoshi Miyasaka (The University of Electro-Communications, Tokyo)

写真 1 南極海を航行中の船舶が利用した ESSA-8 による気象画像 (左下が昭和基地, 受信者: 仁洋丸 JKBM, 受信地: 南緯 66°30' 東経 70°31')

では一般船舶の大部分が間接的に供給されていて、衛星から直接情報を受信しう船舶はきわめて少数である。

直接入手された気象情報は、迅速で高い信頼度の画像情報として比較的容易に運用に供することができる利点がある。その反面、現状では情報の入手回数および時刻に制限があり、また、時として広い海面においては、その情報の利用のために若干の熟練を必要とする欠点がある。

このような欠点を有するにもかかわらず、前線等、気圧配置の具体的な確認、洋上において気象情報の内容が充分でないとき、また特に台風の発生時には、その規模等具体的な気象状況の確認が可能となり、さらに他の手段たとえばファクシミリ等により得られた種々の気象情報を併用することによって、航行の安全のためにその情報の効果をいっそう期待できることが、航行中の船舶において実験²⁴⁾した結果明らかになった。

現在、航行中の船舶が利用できる衛星は ESSA 8 で、たとえば日本南方洋上の航行船舶の稀薄な海域または気象情報の充分でない海域、南緯 40 度以南の捕鯨船等の安全な航行のために、きわめて有効な情報となっていることが認められている。実際に船舶の受信した画面を写真 1 に示す。

3.2 ITOS 系衛星とその利用

ITOS-1(TIROS-M) が 1970 年 1 月 23 日に打ち上げられてから、現在まで 3 個の衛星による実験が試みられた。現在この実験は中断されているが、本年中に再開される予定である。

この ITOS 系 (NOAA 系) 衛星が ESSA 系衛星と異なる点は、赤外線による情報の収集が開始されたことである。衛星本体の形状が箱形となり、第 1 センサーには APT カメラシステム、AVCS カメラシステム各 2 のほかに走査放射計 2 が備えられ、第 2 センサーには太陽プロトン観測装置、平板放射計、データ構成変換装置

写真 2 ITOS-D から送られた赤外線による画像 (昭和 47 年 10 月 18 日 09 h 40 m 00 s ~ 10 h 00 m 19 s 電気通信大学宮坂研究室において受信)

各 1 のほかにテープレコーダー 2 台などを搭載している。これらの装置によって、可視光により観測された雲の分布に加えて、赤外線による温度分布に関する情報が昼夜にかかわらず得られるようになった。これによる海面温度の情報等は、海洋に関するきわめて有効な情報となることは確かである。写真 2 に受信例を示す。

このような機構を持つ ITOS 系 (NOAA 系) 衛星は 1972 年末項 ITOS-D が打ち上げられ、一連の計画として E, F および G の 4 つの衛星の打ち上げが予定され、2 ~ 4 年の間続けてこの実験が行なわれることになっている。

ITOS 系衛星は、従来の ESSA 系衛星が蓄積ビジコンによりたくわえられた画像を電子的に走査することによって送画したのに対して、衛星に新しく設けられたセンサーによって得られる測定データがリアルタイムで伝送されるところに重要な意義がある。

このセンサーは、初期の ITOS 衛星と本質的に同じ 2 つの放射計 (SR) を有していて、一方の放射計は 0.5 ~ 0.7 μm の可視光線に、もう一方は、大気赤外線の“窓”による 10.5 ~ 12.5 μm の赤外線領域に感度を持つ。この赤外線の領域は最近の数多くの人工衛星の実験によって明らかになった“窓”と呼ばれる波長領域で、この波長の範囲の赤外線は地表、海面または雲の上部より放射されたのちほとんど減衰を受けることなく大気圏および宇宙空間を通過して人工衛星に到達することができ、かつその減衰量もわかっている。この“窓”の領域での赤外線の量を放射計で測定することは、その放射源のエミシビリティが等しければ、その物質の温度そのものを意味することになる。

図 1 のように SR は 1 次元の機械的走査装置を持つ。地表からの入力光は回転軸に対して 45° 傾き、毎分 48

図 1 ITOS 衛星概観および走査放射計光学部

回転する走査鏡を通して、カセグレン形光学系に入って焦点に集められ、2つのビームに分かれて赤外線はボロメーターに、または可視光線はフォトダイオードで検出される。走査鏡の回転軸は衛星の軌道方向を向いており、走査鏡が主走査を、衛星の飛行が副走査を担当して地表を2次元的に走査する。このとき、回転鏡が地球を走査する角度を約 109° としている。それ以上の角度では地表面以外の、たとえば宇宙空間とか衛星自体の構造物の一部などを走査することにより、太陽の直接または反射による強い放射が視野に入る危険がある。

このようにして得られる画面の分解能は、放射計のビーム幅に関連がある。放射計内における赤外線のビーム幅 5.3mr の衛星の直下の瞬間視野の地上における分解能は約 4n.m. で、可視光線では 2.8mr の衛星の直下における分解能は約 2n.m.である。

また、再生画面は水平線に近づくほど縮小されたデータとしての信頼性が低下するので、これらの

有効利用範囲は軌道を中心として、通常左右に約 30° とされている。

人工衛星によって得られた赤外線放射計からの情報は、直接、海面、雲の上層部および地表面の温度に関する値を示すから、学問的に関心が深いばかりでなく、気象観測上からも非常に有利なことは確かである。

この赤外線放射計によれば、 180°K から 315°K の広い範囲にわたって温度分布に関する情報の入手が可能で、この赤外線によるデータは地表または雲をその上空から見おろしたときに得られる温度分布の地図として、しかも可視光線によるデータとまったく同期した画面として受信できることになっている。

ところで、これらの温度を明確にするために、走査鏡が地表面を走査していないあき時間に伝送画面の濃度と比較するための7レベルの階調の信号が送信される。この階調は、いずれも衛星の内部でテレメーターの搬送波を周波数変調する副搬送波を振幅変調するための直流電圧に7つの電圧の階調を設け、これを階調信号として送出する。このとき、0レベルは高温側で受信画面では黒を高圧レベル(5V)は低温側で受信画面では白を表わすようになっている(図2参照)。

放射計から得られた温度情報をこの階調信号と関係づけるために次の方法がとられている。

すなわち、放射計の回転鏡が地表面と反対側、すなわち、上側にある放射計の黒体を走査すると

① 増幅器貯蔵 20ms, ② 外部空間走査 41ms, ③ 地表走査 378ms, ④ 宇宙間走査 61ms, ⑤ 電圧校正走査 50ms, ⑥ 前、後ポート 10ms, ⑦ 同期信号 30ms, ⑧ 背面走査 650ms

図 2 SR センサー出力信号特性

図3 SRセンサー信号特性

き、そこから得られる赤外線を測定し、テレメーターを通じて地上の受信側に伝送、記録し、また、黒体の中にサーミスターを埋め込むことによって得られる電圧も同様に記録すれば、受信側においてはこれと同じ濃度と同じ階調信号の部分を選ぶことによってサーミスターに発生している電圧を知ることができ、かつ、その電圧からサーミスターおよびそれらが埋め込んである黒体の温度を求めることができる。このようにして全階調に対する温度の絶対値を決定することができる。

実際に黒体に埋め込まれているサーミスターは3個であって、 $+5^{\circ}\sim+19^{\circ}\text{C}$ 、 $+18^{\circ}\sim+35^{\circ}\text{C}$ および $+31^{\circ}\sim+45^{\circ}\text{C}$ の3種類の異なった温度範囲で動作するものがそれぞれ1個ずつ選ばれている。測定する場合は、このうちの1個が動作するのみであって、3個で広い温度範囲を測定することによって温度の読み取りの精度の低下を防いでいる。温度の読み取り誤差はおそらく 2°C 以下 1°C 前後しか生じないと考えられる。さらにこれを補うには、洋上の船舶による実測された海水温度情報と照合すればよく、これが綿密に行なわれるならば地球上の全水域の温度調査はほとんど数日で完成し、しかも 0.5°C 以内の精度で行なうことも不可能ではない。

このようにして放射計から得られた可視光線および赤外線による観測データは、2つの電波(1697.5 MHz および 137.5 MHz)によってリアルタイムで伝送される。

1697.5 MHz による VHRR (Very High Resolution Radiometer) は、 $0.5\sim0.7\mu\text{m}$ の波長帯および $10.5\sim12.5\mu\text{m}$ の波長帯に対して別個の高解像度の放射計を準備し、790 n. m. の高度から 0.6 mr のビーム幅で 400 rpm という高速度で地表面の走査を行ない、地表面の有効識別可能面積を 0.47 n. m. 平方程度まで引き上げようとしている。

しかし、この VHRR データは 1697.5 MHz での信号の受信およびこれを再生する記録装置およびアンテナ装置等に多大の経費を必要とするため、VHF による受信も可能となるように考慮されており、この信号源として別に2組の放射計が準備されている。

VHF による伝送は、VHRR のような広帯域にわたる信号の伝送ができないので、さきに述べたような 48 rpm の低速走査の結果得られた観測データが伝送される。

しかしながら、これらの観測する対象の面積はまったく同一であって、解像度には格段の差があるのはやむをえないが、従来のビジコンによる観測にくらべると良好な解像度を有しており、温度データとして価値があるばかりでなく、夜間観測も可能である点で、従来よりいずれにしてもすぐれていることは確かである。

ITOS-D~G までの衛星は、太陽同期の一定軌道にデルタ2段ロケットによって打ち上げられる予定で、公称

表1 公称軌道要素

高 度	790 n. m.
遠地点および近地点	790 n. m. ± 25 n. m.
赤道傾角	101.7°
昇交点周期	115, 14 min
昇交点精度	完全な太陽同期 1日当り 0.9857°
赤道交差時刻(北行)	1500 または 2100 地方太陽時

写真3 NIMBUS-3によるハリケーンの温度分布受信画面(実際はカラー表示、石島巖氏提供)

軌道要素等は表 1 に示す。軌道時刻の選択は実用に供する時間を選ぶ。

赤外線“窓”のデータは直接放射計から伝送し、同様な走査装置から得られる可視光線データはいったん記録され、鏡が 1 回転する間の $1/2$ すなわち 0.625sec のちに読出しが行なわれ、走査が空白の時間を利用して可視と赤外の 2 つの放射計からのデータが交互に同一伝送回線で伝送される。

写真 3 は ITOS の前段階 NIMBUS 衛星による台風の温度分布図（原画は、温度範囲別にカラー表示）である。

4. む す び

画像として得られる気象情報は、海上を航行する船舶の安全のためにきわめて有効である。もちろん、このことだけに限らず情報の画像化は海上、海中または海底を問わずきわめて有効であることはいうまでもない。

航行中の船舶が ITOS 系衛星から得られる諸情報は、航行の安全とともに海洋に関するデータとして広く利用できることは確かで、海洋汚染の監視、水産資源の開発、

より精密な雲の分布および夜間における若干の気象情報の提供などに有効であることは間違いない。

一方、現在の海洋における画像情報の利用として狭帯域印刷電信方式の採用がある。船舶の省力化と相まって次第にこの傾向の増加が望ましい方式のひとつになるだろう。

終わりに、貴重なご意見と資料の提供をいただいた七洋電機株式会社 石島 巖氏に対し厚くお礼申し上げます。

（昭和 47 年 7 月 4 日受付）

〔参 考 文 献〕

- 1) 宮崎正衛：気象庁のプイ・ロボットについて、船と気象、第 121 号、日本気象協会（1970.10）
- 2) 宮坂武芳ほか：海上における気象衛星の受信方式について、電気通信大学学報、第 26 号（1969.8）
- 3) 宮坂武芳ほか：海上における気象衛星情報の航法のための簡易解析、電気通信大学学報、第 26 号（1969.8）
- 4) 宮坂武芳：船舶における気象衛星の利用（1）（南緯 40° 以南における受信実験について）、電気通信大学学報、第 29 号（1971.8）
- 5) A. Schnapf: ITOS-1 (TIROS-M) Design and Orbital Performance, RCA, Princeton, N. J. Oct. (1970)
- 6) A. Schwalb: Modified Version of the Improved TIROS Operational Satellite, NOAA TM NESS 35

4-5 天文気象と画像技術

郵政省電波研究所 村 主 行 康

1. ま え が き

天文学および気象学の分野で用いられている画像は、一般に遠距離から撮られる画像であるため、分解能の向上が必要であり、また、その濃淡が重要な情報を含むものである。そのうち天文学については、最近地球大気の吸収やシンチレーション等の影響を避けるため人工衛星（たとえば OAO）等により、宇宙空間で写真を撮りそれを地球上に伝送する等の技術もあり、また、地上ではテレビ技術を用いて天文観測をより容易にし、かつ高能率化する等のことが行なわれている。一方、気象学においては、気象衛星に実用されているように、雲の写

真を人工衛星で撮影し、これを地上に伝送して、上空の雲の様子を知る等の方式がある。

これらのことは、その必要とする分解能や情報量、情報速度等により各種の方式が考えられ、また、人工衛星を利用するものは、その姿勢制御方式や宇宙空間の情報伝送回線をも考慮して定められる。したがって、画像工学技術としては種々のものが考えられ、また、今後ますます利用範囲の拡大が予想されるが、ここではある程度計画され、また実験されたものについて 2, 3 の事例とともに紹介することとする。

2. 上空よりの気象画像の撮影

地表からの雲の観測については、古くから行なわれており、それにより天気予報等もなされていたが、最近の人工衛星技術の発達により、上空から見た雲の様子を人

“4-5 Image Processing Technique in Concerning Astronomy and Meteorology” by Yukiyasu Suguri (Radio Research Laboratories, Ministry of Posts and Telecommunications, Tokyo)