NOAA IR データによる海面温度分布画像の作成

向 井 幸 男
by Yukio Mukai

Generating a Color sliced Image of Sea Surface Temperature using NOAA IR Data

Abstract: VHRR data of NOAA have been received and used for weather forecast at Meteorological Agency of Japan. Those NOAA data are recorded in magnetic tape. They are reproduced and converted to digital signals and processed by an image processing system, IMAGE-100.

VHRR-IR image of sea surrounding east-northern part of Japan was produced and sea surface temperature was sliced into eight grades at 2°C interval in the range from 7°C to 25°C.

和文梗概

気象衛星 NOAA には熱赤外バンドのセンサが搭載されており、我が国では気象庁で受信されて気象予報に利用されている。気象庁ではこの NOAA データは受信と同時に磁気テープに記録されているので、この磁気テープを原データと考え、データレコーダで再生し、得られた信号をマルチスペクトラルイメージアナライザ IMAGE-100に入力し、海面水温に関する情報を抽出した。1976年11月3日午前9時頃観測されたデータを使って東日本周辺の海域を含む画像を作成し、同時期に漁業情報サービスセンターで航行中の船舶からの測定温度データ等をもとに作成した海面温度図から数点を選び、それらの点の温度と画像の濃度レベルの関係を調べ、7°Cから25°Cの範囲を約2°C間隔で8段階に分け、色別で表示した温度の段階別カラー画像を作成したのでその手順を以下に説明する。

1. NOAA 衛星から得られる信号

気象衛星 NOAA は高度約1,460km、周期約116分、軌道面傾斜角 102°の極軌道衛星で、VHRR (Very High Resolution Radiometer), SR (Scanning Radio-

meter), VTPR (Vertical Temperature Profile Radio meter), SPM (Solar Proton Monitor) の4種類のセンサが搭載されている。

本研究において処理の対象としたのは VHRR からの信号であり、衛星の軌道方向に垂直な方向に地表面を走査する。VHRRの走査の状況を図1に示す。地球走査範囲は衛星の直下点を中心として $\pm 54^\circ$ の範囲である。地球走査範囲は地球表面の距離にして衛星の直下点を中心として約4,390kmとなる。衛星の直下点から $\pm 32^\circ$ の走査時点に第1および第2サブシンクマーカが設定されていて、衛星からの送信信号の中にそれに該当する信号が含まれている。これは全体の地球走査範囲が相当広範囲にわたり端の方のデータは当然歪等が多く、データの望ましい使用範囲を示すもので2つのサブシンクマーカの間の範囲は地球表面の距離にして衛星の直下点を中心として約1,920kmである。

測定波長、解像度等の VHRR の走査に関する諸元は表1に示す通りである。走査によって得られたビデオ信号により 99 KHz の副搬送波を周波数変調し、この信号により更に 1697.5MHz の搬送波を周波数変調して衛星より送信される。

図2に VHRR の信号波形を示す。走査鏡の回転速度は400 rpm なので1回転に要する時間は150 ms であり、この間に IR 信号と VISIBLE 信号が交互に75 ms ずつ送られて来る。各信号の最初にブリーク信号が用意されていてその周波数帯が違う事 (IR は18.75

* (財)リモート・センシング技術センター

「写真測量とリモートセンシング」 Vol. 15 No. 4, 1976

表1 Characteristics of VHRR scan

測定波長	可視0.6~0.7 μ
	赤外10.5~12.5 μ
走査鏡回転速度	400回/分
走査鏡瞬時視野角	可視, 赤外共0.6mrad
走査線間隔	870m
解像度(瞬時視野スポット径)	876m(高度1,460km)
搬送波周波数	1,697.5 MHz
搬送波変調	FM
副搬送波周波数	99 KHz
副搬送波変調	FM

図1 A cross-sectional view of VHRR scan of NOAA

KHz, VISIBLE は12.5 KHz) により後続する信号が何であるかを識別する事が出来る。衛星の直下点を中心として45.3 ms の範囲の信号が地球走査範囲に該当するビデオ信号であり、サブシンクマーカの間の信号は衛星の直下点を中心として26.8 ms の範囲が該当する。

2. NOAA の VHRR-IR 画像の作成

NOAA の VHRR-IR 画像を作成する手順として

は、まず VHRR 信号が記録されている磁気テープ（このテープは VHRR 信号が周波数変調された形で記録されているのでここではこれを NOAA FM テープという）を再生して得られるアナログ信号を A/D 変換し、出力デジタル信号を一定の形（今回は LA-

図2 A wave form of VHRR video signal

NDSAT CCT と同じ形)に編集して一旦磁気テープ (NOAA CCT という)に記録する。次に NOAA CCT を読み取って画像を作成する。

NOAA CCT の作成系統図を図3に示す。NOAA VHRR のビデオ信号の最高周波数は次式で計算される。

$$f_{\max} = \frac{2\pi}{24\theta} \times \frac{N}{60} = 34.906 \text{ KHz}$$

$\Delta\theta$: 放射計の瞬時視野角 0.6 mrad

N : 走査鏡の回転速度 400 rpm

このようにビデオ信号の帯域幅は0~35 KHz である。NOAA FM テープに記録されている信号はビデオ信号により99 KHzの副搬送波を周波数変調した信号であり、その帯域は99 KHz を中心として35~163 KHz である。従ってデータレコーダで再生する場合この帯域をカバーする様に注意しなければならない。本研究においては NOAA FM 信号を IMAGE-100 に取り込み可能な様に処理する NOAA 信号処理装置を用意した。

NOAA 信号処理装置は周波数変調されている NOAA FM 信号を復調し NOAA ビデオを信号取得し、IMAGE-100の DAEDALUS スキャナ信号処理回路内の A/D 変換器の変換レベルに合う様にビデオ信号のレベルやゲインを調整し IMAGE-100に送る。更に VHRR ビデオ信号の中に含まれている IR プリカーサ信号を検出し、IR 走査スタート信号を IMAGE-100に送る。

VHRR ビデオを信号 A/D 変換する場合、その最高周波数が35 KHz であるからサンプリング定理により70KHz でサンプリングすれば十分である。IMAGE-100の DAEDALUS スキャナ信号処理回路にはまたま周期13.2 μ s(サンプリングレート75.8 KHz)の A/D変換クロックが使用されているので今回の研究においてもそのクロックで A/D 変換する事にした。この場合サンプリング間隔の空間的距離は衛星の直下点において

$$360 \times \frac{400}{60} \times 13.2 \times 10^{-6} \times 1,460 \text{ km} = 0.807 \text{ km}$$

である。

すべてのビデオ信号領域を A/D 変換すれば望ましいわけであるが、CPU のバッファ容量、MT へのデータ転送時間等への制限を考慮しなければならず、今回1走査について500ポイントのデータをサンプリングして磁気テープに収録する事にし、そのデータ収集開始点およびデータ収集間隔を A/D 変換クロックレートの1倍、2倍、3倍、4倍に設定可能な様にした。データ収集間隔を2倍、3倍、4倍にしたときはそれ

ぞれデータ収集の対象となる走査線も2本毎、3本毎、4本毎にし、縦横のデータ間隔が同じになる様になっている。

以上の手順により NOAA CCT が出来ると NOAA CCT 内に記録された走査領域の中の任意の矩形領域を読み出して画像を作成する事が出来る。

3. 解析対象シーン

NOAA の一軌道から受信出来る時間は約20分位であり、その間に横方向約4,000km×軌道方向約7,000 km の範囲の映像が観測されるが本研究の解析対象領域としては黒潮と親潮が混じり合っているかなりの温度差が存在すると思われる三陸沖を含む東日本周辺の海域を選定する事にし、図4(a)に示す様な画像について解析する事にした。図4(a)の画像は衛星直下点からほぼ第2サブシンクマーカまでの領域をデータ収集間隔2倍のモードで作成した CCT から IMAGE-100に入力して得た画像であり、横方向500ポイント、縦方向500本の走査線で構成されている。データ収集間隔2倍のモードであるからそれぞれの単位距離は

横方向 0.807 × 2 = 1,614 km

縦方向 0.870 × 2 = 1,740 km

従って図4(a)の画像は横約807km×縦約870kmの領域を示す。しかし横方向の単位距離は衛星直下点での値であるから地球のわん曲を考慮すれば実際はもっと長い距離になる筈である。

4. 画像の平滑とコントラスト強調処理

図4(a)の画像はオリジナルビデオによる画像であり、温度情報は濃淡レベルで表示されており、明るいところ程温度が低く、暗くなるに従い温度が高くなっている。この画像を更にコントラスト強調処理を行った後温度分布画像を作った方が良い。理由は温度分布画像を作る場合、後に説明する様に温度と画像の濃度レベル(画素のデジタル・カウントの事であり本論文では濃度あるいは濃度レベルという言葉を使用する)との関係を調べるべく実際の水温分布図を参照しながらいくつかの温度に対応する点を画像上で指定するのであるから、海面の温度範囲にあわせたコントラスト強調処理をした画像で指定する方がより見易く正確に指定する事が出来るからである。

オリジナルビデオによる画像には、A/D 変換する際に発生した雑音のためにたくさんの小さな濃淡の点が現われており、このままコントラスト強調処理を行

図3 The block diagram for generating NOAA CCT

図4 NOAA IR images of the sea surrounding east-northern part of Japan obtained on Nov. 3 1976

うと雑音成分も一緒に強調されてしまうのでこの雑音成分を除くために、一旦平滑した後コントラスト強調処理を行なった。この画像を図解したものを図4(d)に示す。

図4(a)のほぼ中央で水平に引いた断面の濃度変化を図5(a)に示す。日本海と太平洋の海面の部分が低い値を示し、その間の日本列島の陸からの放射レベルが若干低い値（観測時刻は11月の午前9時であり、陸の方が海より温度が低い）を示し、画像の右下隅を左斜めに走る帯状の雲からの放射レベルが更に低い値を示しているのが分る。図5(a)の濃度曲線にはかなり雑音に乗っており、これを平滑する方法として過去8ポイントのサンプリングデータの算術平均を平滑データとする事にした。雑音は走査方向に全くランダムに発生しているので、この雑音を除く平滑処理として単に走査方向に算術平均をとるのが最も適当である。この平滑処理を実施した画像を図4(b)に示し、この画像にお

る図5(a)と同一断面の濃度曲線を図5(b)に示す。雑音によるスパイクがなくなっている。

次にこの平滑画像についてコントラスト強調処理を行なう。今、海面温度の領域について着目しているので、この領域を拡大すべく図5(b)に示す様に下限と上限を設定した。図5(b)を見ると解析対象である海面からの放射の濃度レベルは大体159～191の範囲内に含まれているようであり、この範囲の1段階下の143を下限、2段階上の223を上限とした。上限以上の値は最大値（濃度レベル255）に、下限以下の値は濃度レベル0に、その間の値はリニアに拡大する様なコントラスト強調処理を行った。図6にリニアなコントラスト強調処理の入出力特性を示す。

コントラスト強調画像を図4(c)に示し、この画像における図5(b)と同一断面の濃度曲線を図5(c)に示す。図5(b)において下限以下の部分が図5(c)においては濃度レベル0になっているのが分る。これらの部分は殆

図5 (a) Horizontal density trace of the center section of original image

図5 (b) Horizontal density trace of the center section of smoothed image

んど雲からの放射の領域に相当する。

5. 温度と濃度レベルの関係の抽出

図4(c)のコントラスト強調画像において、画像の濃度レベルと実際の温度との関係を求める。図7に漁業情報サービンセンターが、航行中の船舶からの水温測定データとその他の水温データをもとにして作成した1976年11月1日～5日の日本東方海域の表面水温分布図を示す。

図7において+印で示されている7°C, 13°C, 15°C, 21°C, 25°Cの点を実測温度と参照する位置として設定し、これらに該当する点を画像上で指定し、それぞれの温度に対応する濃度レベルを調べた。7°Cおよび25°Cに該当する点を画像上でカーサで指定した状況を図8に示す。

図4の画像は地図補正されていない画像なので図7で選んだ点を正確に画像上で対応させる事はむずかしいが、海面温度はそれ程狭い範囲で急激に変化するも

のでない事を考慮に入れば日本列島の映像等をもとに類推する事により、正確な対応点のかなり近くまでカーサを持って行く事が出来ると思われる。更にこの位置指定のあいまいさを補正するためにカーサおよびその周辺の2×2画素の濃度レベルの平均値をその温度に対応する濃度レベルとした。

以上の手順により得られた温度と濃度レベルの対応表を表2に示す。これを濃度レベルを横軸、温度を縦軸にしてプロットしたものを図9に示す。この図を見ると13°Cの点を除けば温度と濃度レベルの間にはリニアな関係性が認められる。13°Cの点については図4(c)において北方から三陸沖東方にV字型に張り出している白っぽい領域があり、その内部の点を温度ツールとしたのであるが、この点だけリニアな関係性からはみ出しているところを見ると、この白い領域は海面ではなく、もっと温度の低い海霧の様なものであると推定され、13°Cの温度ツール点の選定がまづかった様である。

以上の理由により13°Cの点を除いて濃度と濃度レベ

図5 (c) Horizontal density trace of the center section of contrast stretched image

図5 Horizontal density trace of the center section of the images of Fig. 4

ルの関係式を見付ける事にした。厳密には各点の温度と直線との偏差の自乗の和が最小になる様な最小自乗直線を見付けるのが望ましいが、ここでは7°Cと25°Cを結ぶ直線を温度と濃度レベルの関係式とした。図9にその直線を示すが最小自乗直線と殆ど一致する。また NOAA FM テープの出力信号から NOAA ビデオ信号に変換する周波数弁別器、および NOAA ビデオ信号をデジタルに変換する A/D 変換器の入出力特性もすべてリニアであり、結局総合システムとしての入出力である NOAA FM テープの出力信号と温度情報とは直線的な関係にあるということが出来る。

図6 Input-output characteristic of linear contrast stretch

6. カラー別表面水温分布画像の作成

図4(c)の画像において表2に示すように、18°C(=25°C-7°C)の温度差が、176(=189-13)の濃度レベルの差となって表現されている。両者の関係はリニアで

あるから濃度レベルの数値1は約0.1℃に相当する。IMAGE-100には8種類の2次元のパターンをそれぞれ違った色で表示出来る機能があるので、7℃から25℃の範囲を約2.2℃間隔で8段階に分け、カラー別表面

水温分布画像を作成した。図9の直線的關係を使って8段階に分けた場合のそれぞれの段階の濃度レベルと温度の範囲と表示カラーを表3に示す。この表に従って段階分けして得られた画像を図10(a)に示し、カラー

+ mark Points used as temperature truth

Nov. 1~5 1976

図7 The isothermal lines map of eastern sea area of Japan

表2 A correspondence table between the temperature and the density level

温 度 (°C)	濃度データ
7	13
13	35
15	94
21	153
25	189

表3 Relations between the density level and the temperature range in the color sliced sea surface temperature image

濃度データの範囲	温度範囲 (°C)	カラー
13~ 34	7 ~ 9.2	Gray
35~ 56	9.3~11.5	Burut Bromn
57~ 78	11.6~13.8	Blue
79~100	13.9~16.1	Yellow
101~122	16.2~18.4	Magenta
123~144	18.5~20.7	Cyau
145~166	20.8~23.0	Blue-Gray
167~189	23.1~25.0	White

(a) Designation of temperature truth point of 7°C (+mark)

(b) Designation of temperature truth point of 25°C (+mark)

図8 Designation of temperature truth points in NOAA IR image

と温度範囲の関係を図10(b)に示す。この画像により温度の分布状況が1目で良く分かる。

7. 結果の検討および考察

図10(a)の画像は縦と横の比が1対1ではなくて、上下に圧縮されているので日本列島がかなりえび形に曲っているが、一見して南へ下がって行くに従い温度の高い海域が広がっていくのがカラー別で良く表示されているのが分る。温度約20°Cの黒潮暖流（図10(a)では青色で表示されている）が犬吠崎沖から金華山沖にかけて分波しているのが分るが、これは図7の表面水温分布図にも示されている。この画像は11月3日の午前9時頃に観測されたものであるが、また、北海道東方海上から三陸沖にかけてV字型の領域の色がその周辺と不連続になっており、これは海面温度ではなくて海霧等の温度が表示されていると見るべきである。7°Cより低温であると考えられる雲の領域は図において黒く表示されている。

人工衛星による表面水温分布データの取得は同時広域性という人工衛星によるリモートセンシングの特長を十二分に発揮できる分野であり、また表面水温分布データの情報は魚群探索の有効な指標となり得るものであり、この様な観点から見て人工衛星データを利用した表面水温観測システムは人工衛星による

図9 Relation between the surface temperature and the density level of NOAA IR image

リモートセンシング技術の実用化の有力な分野であると考えられる。実用化に至るまでに解決しなければならない問題点は、雲、霧等表面水温の観測を妨げている領域を除去し、その領域の表面水温のデータを過去のデータ等を利用して推定して行く方法を確立する事であろう。この研究は(社)漁業情報サービスセンターからの援助を受けて行ったものであるが、本研究を遂行するに当たり、この研究の推進団体となり色々御指導して下さいました水産庁および漁業情報サービスセンター、気象衛星 NOAA のデータを取得して提供して頂いた気象庁の関係各位および研究に直接御指導戴い

(a) Color sliced image of sea surface temperature

Temperature
range (°C)

(b) Color and temperature range

图10 Color sliced image of sea surface temperature of NOAA IR image.

た東海大学海洋学部の渡辺貫太郎教授，宇宙開発事業団の土屋清主任開発部員，および漁業情報サービスセンターの人工衛星利用調査検討委員会の各委員，およ

び NOAA データを IMAGE-100 に入力するためのインターフェース機器を製作するのに御協力頂いた東京芝浦電気会社(株)の関係各位に深く感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 土屋清：気象衛星，テレビジョン 第29巻第3号（1975）
- 2) 高木幹雄，田村清：気象衛星（NOAA）画像の入力処理，リモートセンシングシンポジウム（昭和50年11月25日，26日東京）
- 3) 高木幹雄，田村清：気象衛星（NOAA）画像の処理と表示，電子通信学会技術研究報告（1975）
- 4) D.R. Wiesnet, D.F. McGinnis; HYDROLOGIC APPLICATIONS OF THE NOAA-2 VERY HIGH RESOLUTION RADIOMETER, A Symposium Remote Sensing Water Resource Management (1973)