

気象衛星 (NOAA) 画像の処理

—海面温度の推定と雲域除去—

田中 護*・藤本 勉*

Picture Information Processing of Weather Satellite (NOAA) Images

— Derivation of Sea Surface Temperature and

Exclusion of a Clouded Area —

Mamoru TANAKA, Tsutomu FUJIMOTO

Abstract

The authors tried to estimate sea surface temperature out of infrared APT (Automatic Picture Transmission) pictures received directly from NOAA weather satellite.

They converted the APT picture received for a week (from 6/4 1987 to 6/10 1987) to brightness temperature picture by using calibration data taken from APT picture in accordance with the method recommended by NOAA (National Oceanic & Atmospheric Administration).

Next, they projected the brightness temperature picture into a Mercator's projection map.

In order to make compensation for atmospheric losses, they made regression lines with sea truth data reported from ship stations and got through radio teletype weather bulletin broadcast.

Clouds presented in the picture were eliminated by picture synthesis techniques in compiling higher temperature pixels of those APT pictures.

1. まえがき

極軌道気象衛星「NOAA」の画像を利用する形態は色々ある。例えば可視画像による雲の位置や移動量から天気予報への利用、赤外画像による温度分布より漁業や農業への利用などである。赤外画像を利用する場合、画像全体から正しい温度値を得るのは難しい。測定値の誤差は主に雲と大気中の水蒸気量によるものと考えられる。正しい値として船舶の実測温度を用いて画像から求めた輝度温度と比較すると、輝度温度のほとんどが低くなっており、このことを裏付けている。

「NOAA」のAPT (Automatic Picture Transmission) 熱赤外画像をキャリブレーションデータを用いて輝度温度画像に変換し、多数の船舶通報温度との回帰を求めて

温度の補正式を求めた。輝度温度への変換は海洋大気庁 (United States Department of Commerce, National Oceanic Atmospheric Administration) の推奨する方法⁴⁾に従った。

複数枚の温度校正した輝度温度画像を重ね合わせて、温度の高い方の画素を残す事により雲域の除去を行った。海面においては数日間での温度変化は少なく比較的安定しているものと思われる。雲域除去により広範囲の海表面が現れて利用し易い画像を得る事が出来た。

「NOAA」は太陽同期軌道を周回するが毎日同一地点を通過する事はない。また衛星高度も一定ではないので取得する画像の分解能も画像間・画素位置によって異なる。そのために画像を地図化 (例えばメルカトル地図等) することにより基準となる地図上で地域の特定が可能となり画像間の演算が出来る様になる。

*宇部工業高等専門学校電気工学科

2. APT画像の入力および軌道予報文の入手

「NOAA」は高解像度伝送H R P T (High Resolution Picture Transmission) の送信を行っているが1.7[GHz]のマイクロ波帯であるので、追尾・受信システムが高価となる。一方、A P T 画像は「NOAA」が取得した画像に球面補正をし分解能を少し犠牲にして、137[MHz]帯のV H Fで送信されるファクシミリ信号である。従って簡易な受信装置で受信することが出来る。分解能は約4[Km]である。宇部高専においてもA P T 画像を利用している。

毎日G T S (Global Telecommunication System) テレタイプ回線より受信している最新の軌道予報文から衛星の通過軌道を計算し、アンテナによる「NOAA」の自動追尾や入力画素の地理位置などの計算を行った。

衛星画像の入力は既報の受信システム¹⁾によって行い、ハード・ディスクに蓄積した画像を新規導入した画像測定解析装置に転送して処理した。画像測定解析装置は次の様な性能を持っている。

- ホストコンピュータ：三菱 スーパーミニコン
- MELCOM-70/MX2000
- メモリー 4[MB]仮想記憶
- ハードディスク 70[MB]
- 画像表示装置：グラフィカ Mシリーズ
- M-1008
- 2048×2048 画素
- 2600万色 カラー表示

一枚の画像は768画素×768走査線分入力する。毎日15時前後の北上軌道を走査幅約3000[Km]、走査線間隔0.5[sec]で、赤道上空通過6分後より6.4分間にわたって赤外および可視画像を入力する。宇宙空間や雲などの白レベルから、海・陸部などの黒レベルまで (0[v]~6[v]) A/D変換によって12[Bit]のデータとしてディスクに蓄積する。図2-1は1988年6月4日~6月10日までの一週間にわたって受信した時の「NOAA」の通過軌道を示す。軌道は毎日約3度ずつ東にずれていくので、広い範囲の画像を入手する事が出来る様に選んだ。

photo2-1~photo2-7は入力衛星画像である。左が可視画像、右が赤外画像である。非常に活発な梅雨前線が徐々に南下している。これらの画像を合成して雲域を除去した輝度温度画像を作る事などを試みた。

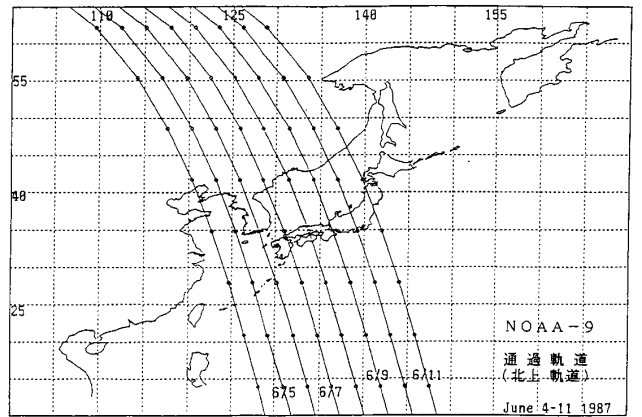


図2-1 NOAA 通過軌道

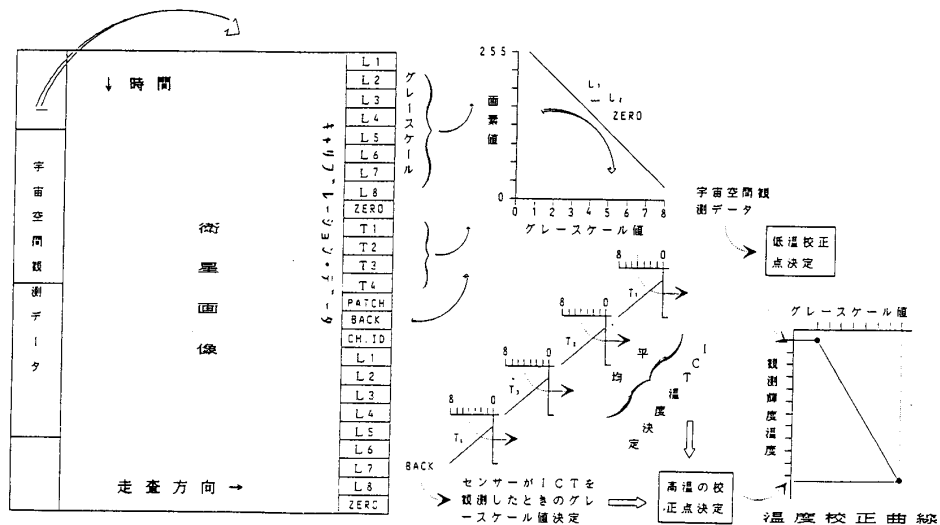


図3-1 温度校正過程

3. 赤外データの輝度温度変換

3.1 APTフレームレベルの測定

図3-1に入力画像データを輝度温度へ変換する過程を示す。同図を参考にしながら輝度温度への変換過程を具体的に示す。数値は6月4日のものを主に用いる。

入力した衛星画像データは電圧に対応した12[bit]のデータである。一走査線は宇宙空間観測データ、赤外データ、APTキャリブレーションデータからなる。キャリブレーションデータは一つのパラメータが8走査線分続き、1APTフレームは16個のパラメータからなる。

1画面に6フレーム入力されることになる。

各パラメータは次のような内容を表している。

- L1~L8, ZERO : グレースケール
- T1~T4 : センサ1~4の黒体炉放射温度
- PATCH : パッチ温度
- BACK : 宇宙空間走査データ
- CH.ID : 使用センサNO.

表3-1に毎日のAPTフレームの各パラメータ毎の平均レベルを示す。受信部において処理がアナログで行われているので、毎日の画像を同一条件で入力するのは困難である。測定結果から、どのパラメータも一週間で約1%の変動が確認出来る。電圧値をグレースケール値に正規化する事によって画像間の入力条件による差を解消する。

' 87	6/04	6/05	6/06	6/07	6/08	6/09	6/10
L 1	4.042	4.025	4.030	4.056	4.033	4.060	4.062
L 2	3.567	3.527	3.549	3.586	3.554	3.592	3.594
L 3	3.101	3.055	3.084	3.130	3.090	3.137	3.138
L 4	2.656	2.604	2.634	2.694	2.642	2.699	2.701
L 5	2.233	2.166	2.206	2.277	2.215	2.279	2.283
L 6	1.812	1.742	1.780	1.867	1.793	1.869	1.873
L 7	1.387	1.360	1.347	1.443	1.360	1.445	1.447
L 8	0.993	0.959	0.949	1.049	0.961	1.043	1.057
ZERO	4.529	4.520	4.520	4.530	4.521	4.541	4.538
T 1	3.270	3.251	3.252	3.307	3.269	3.303	3.306
T 2	3.244	3.220	3.222	3.272	3.236	3.269	3.278
T 3	3.274	3.254	3.255	3.308	3.270	3.302	3.308
T 4	3.232	3.211	3.215	3.269	3.231	3.265	3.282
PATCH	2.813	2.787	2.789	2.851	2.804	2.837	2.852
BACK	3.211	3.186	3.188	3.233	3.196	3.229	3.234
CH.ID	2.664	2.633	2.636	2.698	2.647	2.684	2.698
SPACE	1.042	0.989	1.008	1.065	1.031	1.069	1.058

表3-1 APTフレーム・レベルの平均値[V]

' 87	6/04	6/05	6/06	6/07	6/08	6/09	6/10
A 0	9.835	10.181	10.260	10.200	10.232	10.332	10.590
A 1	-1.293	-1.962	-2.339	-1.726	-2.225	-2.011	-2.406
A 2	-0.784	-0.471	-0.091	-0.505	-0.164	-0.303	-0.082
A 3	0.218	0.159	0.038	0.139	0.055	0.085	0.033
A 4	-0.019	-0.015	-0.003	-0.0119	-0.005	-0.007	-0.003

表3-2 画素電圧V[V]-グレースケールG変換係数

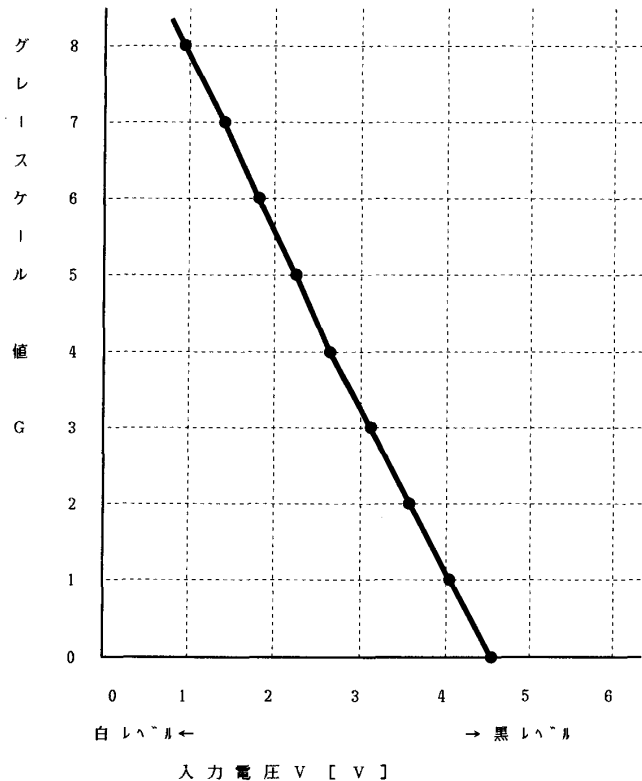


図3-2 6月4日 入力特性

3.2 グレースケール値への変換

表3-1のグレースケールを使って毎日の画像ごとにグレースケール値への変換式の係数を求める。図3-2は6月4日の入力電圧対グレースケール値のグラフを示す。これを4次式に近似する。各日の画像に対する係数を表3-2にまとめた。入力画素電圧 V[v]、グレースケール値Gは

$$G = A_0 + A_1 \times V + A_2 \times V^2 + A_3 \times V^3 + A_4 \times V^4 \dots\dots\dots(1)$$

で計算する。

3.3 温度校正

図3-3はセンサーの校正曲線である。図3-4はAPT赤外画像信号を温度に対応させるための温度校正曲

線である。共に海洋大気庁より提供されている。図3-4において、A点は高温基準点を表しセンサーがハウジング黒体を見た時の温度である。これはAPTフレームのT1~T4よりグレースケール値を求め図3-3より温度に変換して求めることが出来る。この時のグレースケール値はAPTフレームのBACK SCANの電圧値をグレースケール値に変換して求める。BACK SCANレベルはセンサーがハウジング黒体を見た時の赤外出力を表す。以上でA点が決まる。B点は低温基準点を表しセンサーが宇宙空間を見ている時の値でAPTフレームのSPACEレベルの値をグレースケール値に変換して求める。図3-4はこの時の温度を150[°K]に正規化してある。A、B間を直線で結び温度校正グラフを完成する。これらの温度校正曲線を用いて衛星画像の全画素について輝度温度を求める事になる。コンピュータで自動的に計算する為には、図3-3・図3-4を式に置き換える必要がある。図3-3はセンサーNo.4に対するものであるが、各センサーに対して同様な校正曲線が準備されているので、それぞれのグラフを直線式で表すことにしてグラフより係数をきめると(2)式の様に表すことが出来る。(1)式より各センサーのグレースケール値(G1~G4)が与えられると各センサー温度(TEMP1~TEMP4)は(2)式で求めることが出来る。

$$\begin{aligned}
 \text{センサーNo.1} \quad \text{TEMP1}[^\circ\text{K}] &= 6.60807 \times G1 + 276.604 \\
 \text{センサーNo.2} \quad \text{TEMP2}[^\circ\text{K}] &= 6.64688 \times G2 + 276.412 \\
 \text{センサーNo.3} \quad \text{TEMP3}[^\circ\text{K}] &= 6.65625 \times G3 + 276.541 \\
 \text{センサーNo.4} \quad \text{TEMP4}[^\circ\text{K}] &= 6.57576 \times G4 + 276.739
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

センサーによってわずかに温度の違いが出る、これは黒体中の温度勾配によるものであり、四つの平均値を求めてハウジング黒体の温度とする。6月4日の例では

$$\begin{aligned}
 T4 &= 3.232[\text{V}], G4 = 2.753, \text{TEMP4} = 294.553[^\circ\text{K}] \\
 T1 \sim T4 \text{の平均値} \quad T_{\text{back}} &= 294.19[^\circ\text{K}] \\
 \text{BACK SCAN} &= 3.232, G_{\text{back}} = 2.756 \\
 \text{SPACE レベル} &= 1.042, G_{\text{space}} = 7.860 \\
 \text{このとき} \quad T_{\text{space}} &= 150[^\circ\text{K}]
 \end{aligned}$$

図3-4の校正曲線はA、Bの二点を与えて直線を引き、画素のグレースケール値に対する温度を得る様になっている。しかしグラフの縦軸は等分目盛りではないのでこのグラフを利用する為には次の手順を踏まなければならない。これは「グレースケール-温度」正規化グラフを利用するのでやむをえない。図3-4の縦軸を任意の等分目盛りに置き換える。等分目盛りの値Rと温度値

K[°K]との関係式を作る。正規化グラフの縦軸の長さをR(150[°K]の時R=0とする。)として温度目盛りKとの関係式を(3)の二次式で表し、最小二乗法によって係数を求めた。

$$R = fa \times K^2 + fb \times K + fc \tag{3}$$

$$fa = 0.288693, fb = -93.1768, fc = 7588.96$$

逆にRからKを求めるには(4)式を解く。

$$K = \frac{-fb \pm \sqrt{fb^2 - 4 \times fa \times (fc - R)}}{2 \times fa} \tag{4}$$

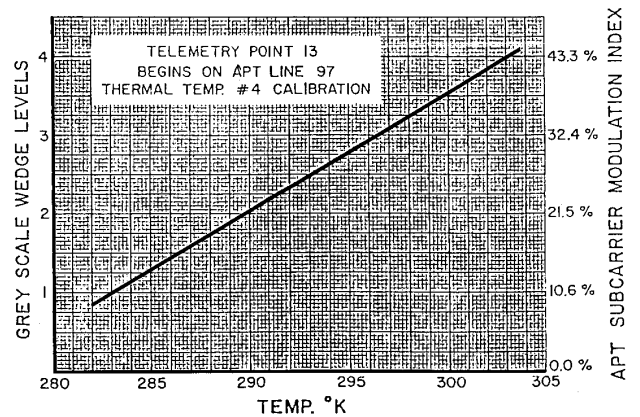


図3-3 黒体温度目標グレースケール 正規化グラフ

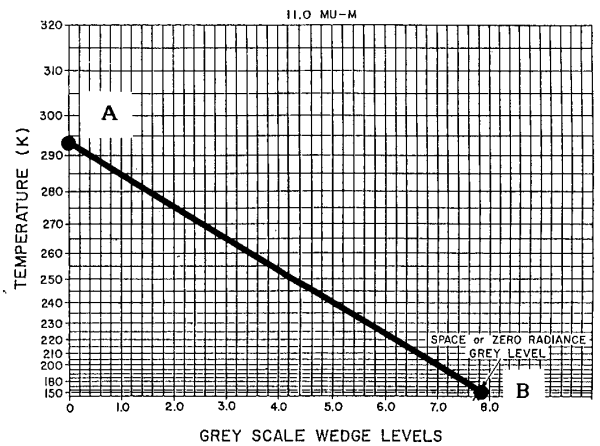


図3-4 グレースケール 温度 変形グラフ

A・B点温度を(3)式によりRに置き換える。

$$Ra = 5163.27, Rb = 0$$

グレースケールGからRを求めるには次式を解く。

$$R = \text{SEPROP} \times G + \text{SECONS} \tag{5}$$

$$\text{SEPROP} = (Ra - Rb) / (G_{\text{back}} - G_{\text{space}})$$

$$\text{SECONS} = Ra - \text{SEPROP} \times G_{\text{space}}$$

6月4日～6月10日までの(5)式の係数を示す。

6/4 SEPROP=-1011.569, SECONS=7951.211

6/5 SEPROP= -987.373, SECONS=7818.543

6/6 SEPROP=-1019.659, SECONS=7999.605

6/7 SEPROP= -996.845, SECONS=7921.105

6/8 SEPROP=-1021.992, SECONS=7991.059

6/9 SEPROP=-1006.385, SECONS=7981.930

6/10 SEPROP= -993.897, SECONS=7939.488

全画素について

①. (1)式でグレースケール値を求める。

②. (5)でRを求める。

③. (4)式で温度Kを求める。

④. $^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273.0$

とすることによって全画素を温度値に変換することが出来る。

4. 船舶通報温度と対応する輝度温度

4.1 気象テレタイプによる船舶通報の受信

気象庁からR T T (Radio Teletype) で送られて来る国際地区気象通報 (J M G) の海上気象実況通報を受信する。3時間毎の最新のデータである。その中から近海の情報を選択して船舶が直接測定した海面温度と地理位置 (東経・北緯) の値を知る事が出来る。

図4-1に実際に受信した通報文の例を示す。海洋気象ブイ・ロボットからの通報データも受信する事が出来る。

4.2 位置補正および地図化

入力画像は地形図データを使って周辺部におけるずれや時間のずれなどを補正する。²⁾表示した入力画像上に軌道情報を元に地形図を描き込み、ずれを確認した後衛星の走査角と入力開始時刻の修正を行う。

修正した各日々毎の軌道予報と入力時刻から地図化画像を作り出す。地図化画像は東経105度から155度、北緯20度から50度の範囲を経度方向に1000点、緯度方向に768点の画素を持ち、それぞれの画素位置と対応する入力画像上の値をもって来る。地図化の具体的な手法についてはすでに報告³⁾しているのでここでは省略する。

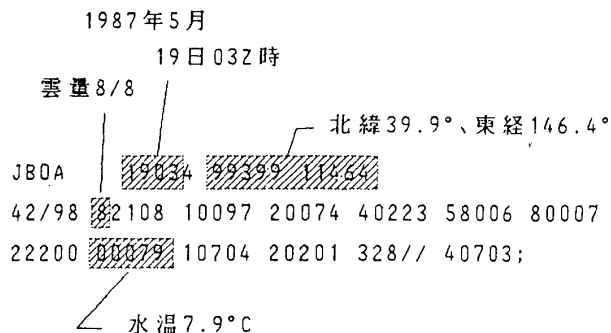


図4-1 海上気象実況通報文例

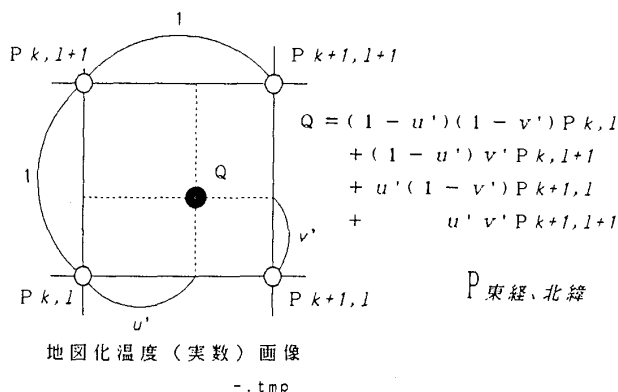


図4-2 共一次内挿による補間

photo4-1は6月6日の地図化赤外画像である。写真中の青丸印はその日の船舶からの通報位置をあらわしている。

4.3 船舶通報位置の輝度温度抽出

通報からの緯度・経度の値より指定する画像上の位置の輝度温度を求める場合、指定した位置には地図画像の画素は無い。図4-2に示す共一次内挿によって補間する。図に於てQが通報より指定した画素位置の値である。この値を決定する為にQの位置に近い周囲4点の画素値を地図化画像より抽出する。4点からの距離に重みをかけてQの値を決定する。

この様にして船舶通報位置における輝度温度の値を決定した。

5. 大気補正式と補正輝度温度画像

5.1 大気補正式の決定

図5-1は、全ての船舶通報位置に対する輝度温度を求めて蓄積した317個のデータを用いて船舶通報海面温度ST[°C]と海面放射輝度温度BT[°C]との回帰直線を求めたものである。直線の式は

$$ST = 1.26801 \times BT - 2.79327 \dots\dots\dots(6)$$

の様に表わされる。

しかしこの図では多くのデータでSTよりもBTの側の温度が低く出ているので(6)式に影響しているであろう。

船舶通報温度は直接海水を汲み上げて測定した温度であるから正しい値である。これに対応する輝度温度を推定するのであるから通報温度との差は明らかに誤差である。出来るだけ誤差の要因となるものは除かなければならない。従ってデータの内明らかに雲域であるものを除いて回帰を求めたのが図5-2である。輝度温度が海面の値である事を確かめる為に、photo4-1の様に画像解析装置に画像を重ねて通報位置を丸印で表示させ、確認した後でその値を採用した。船舶通報には雲量(目視によって全雲量を8とする数字で表す。)も含まれており、雲量4以上のデータも除いた。その結果データは56点に減少したけれども(7)式のような補正式が求まった。

$$ST = 1.49758 \times BT - 6.69798 \dots\dots\dots(7)$$

(7)式は海面におけるデータから作られた温度校正式である。従って海面での温度校正には使用出来るが、雲域まで適用出来るかどうかは解らない。

5.2 補正画像の合成と疑似カラー表示

(7)式を用いて各日の地図化補正輝度画像を作り、同一位置に於ける画素間では温度の高い方の画素を残す事により雲域を除去した。photo5-1は一週間分の地図化補正輝度温度画像を合成して雲域を除去した結果である。photo2-1~photo2-7と比較して、相当広範囲に雲が取り除かれている。

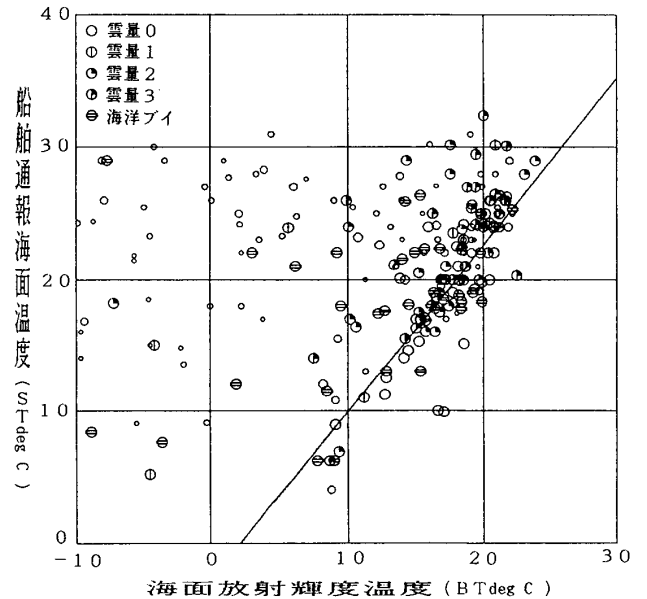


図5-1 船舶通報に対応する全データを用いた回線

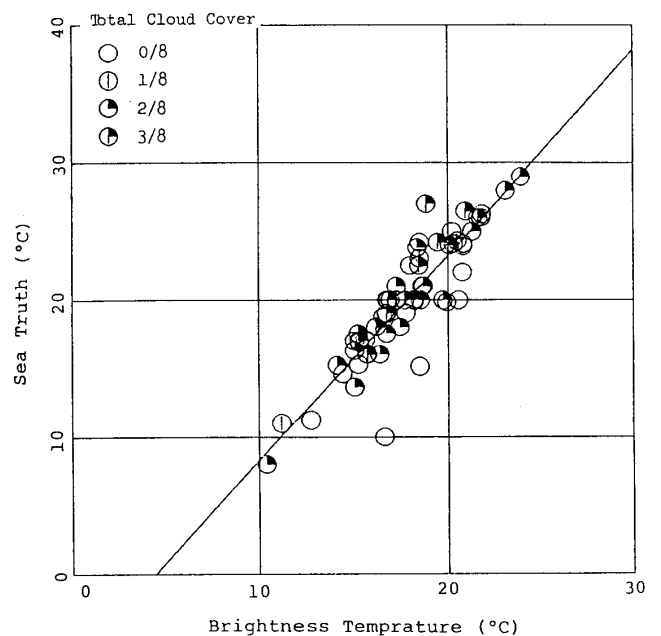


図5-2 雲域のデータを除いた回帰

photo5-2は合成画像に対して0°C~5.0°Cを3°C毎に段階表示したものである。photo5-3はさらに部分拡大したものである。主に海面部分の温度段階が解り易い様に配色してある。海表面の温度分布が確認出来る。

6. 輝度温度画像の合成に対する問題点

図6-1は気象庁によってブイ・ロボットが設置されている位置を示す。図6-1はブイ・ロボットからの通報海面温度をRTTによって受信し、その経時変化をグラフにしたものである。伊豆大島・山陰沖のグラフが6月10日を境に大きく変動している部分は梅雨前線の移動の影響を受けている様である。このことはグラフの変動とphoto2-1~photo2-7に至る前線の移動とを比較してみれば解る。東シナ海のブイは対馬暖流の揺らぎの影響により変動が大きい。グラフは3時間置ききのデータであり一日の変動も現れている。昼と夜とでは変動の大きい場所ですら±1度程度である。一週間の海面温度を比較しようとするならば、毎日同じ時刻頃入力された画像の方が望ましいと言える。しかしグラフから毎日の温度変動が以外と大きい事が解る。三陸沖ブイの様に比較的安定している場合はよいが、数日にわたる合成温度画像を作るのはかなり無理がある事が解った。平均温度に着目する様な場合には有効である。

7. むすび

- 1). 地図化輝度温度画像の作成
- 2). 大気補正式の検討
- 3). 複数画像の合成
- 4). 雲域の除去
- 5). 海面温度分布画像の作成

について進めて来た。1)では周辺部での地図データとのずれが1画素内に納めてある。2)では雲の多い画像からは有効な船舶通報に対応するデータが少なく、さらにデータの蓄積が必要である。船舶通報は限られた点のデータで時間も不連続なものである。全画素に対して補正する為には他の情報(湿度・気温・気圧・衛星との距離・可視画像の利用等)を取り入れて、それらの情報をどの様に利用して大気補正するか検討する必要がある。今回補正式を作る為に用いたデータは一週間分のデータである。画像毎に補正する方が良くであろう。さらに画像の入力時刻に近いデータの方がさらに良い結果が得られるであろう。3)では入力画像のひずみの修正が重要である。現在は表示して確認しているがこれを自動化し精度の向上を図りたい、4)では80%程度の雲を取り除く事が出来た。しかし単純に温度の高い画素を残す操作しか行っていない。画素値の時間的な変動等を考慮出来

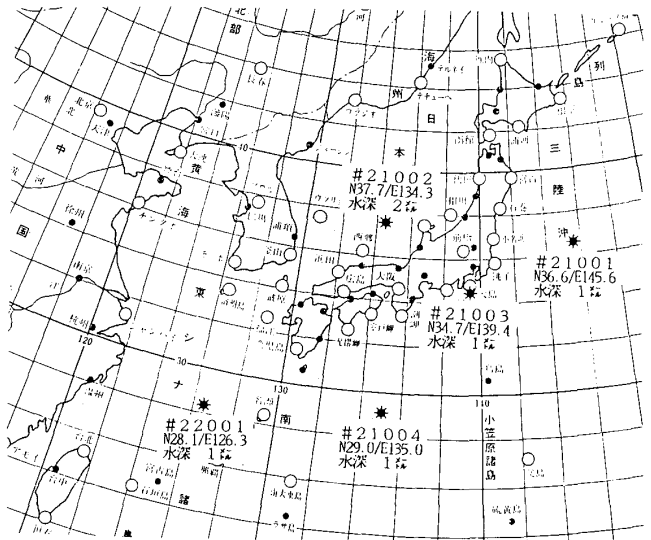


図6-1 気象庁海洋気象ブイ・ロボット位置

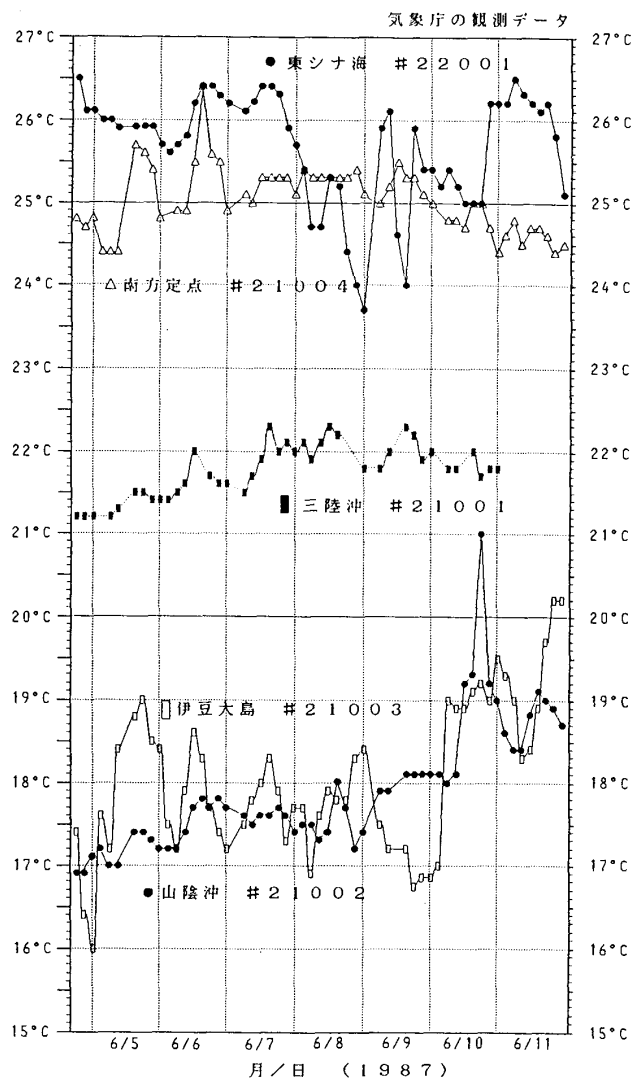


図6-2 ブイ位置の海面温度の経時変化

るかも知れない。5) ではかなり広範囲の海面輝度温度画像を得る事ができた。しかし数日に渡る様な温度画像の合成は無理がある事が解った。今後、毎日の海面温度分布を測定し時系列データを蓄積して行きたいと考えている。

8. 参考文献

- 1). 藤本、田中：「気象衛星画像受信システム」
宇部高専研究報告 3 2 号 P29-37 昭和61年 3 月
- 2). 藤本、田中：「極軌道気象衛星 (NOAA) 画像のグリidding処理」
宇部高専研究報告 3 3 号 p7-18 昭和62年 3 月
- 3). 藤本、田中：「気象衛星 (NOAA) 画像の処理 - 地図化の試み -」
宇部高専研究報告 3 4 号 P117-129昭和63年 3 月
- 4). Gary J.Nelson : 「APT IR CHANNEL CALIBRATION」
October 1978 NOAA National Environmental Satellite Service.
(昭和63年 9 月20日受理)



photo. 2-1 6月4日 [可視] [赤外]

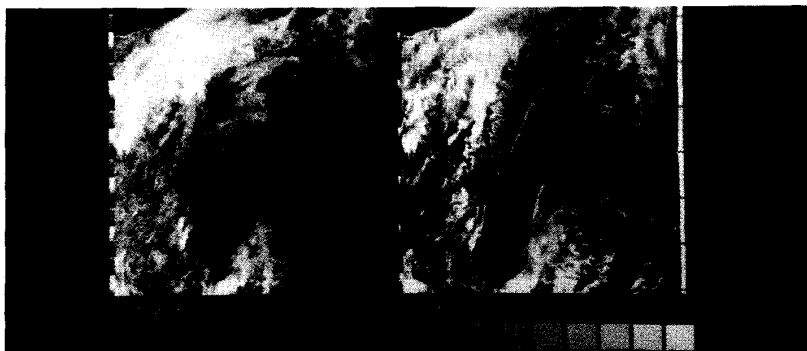


photo. 2-2 6月5日 [可視] [赤外]



photo. 2-3 6月6日 [可視] [赤外]

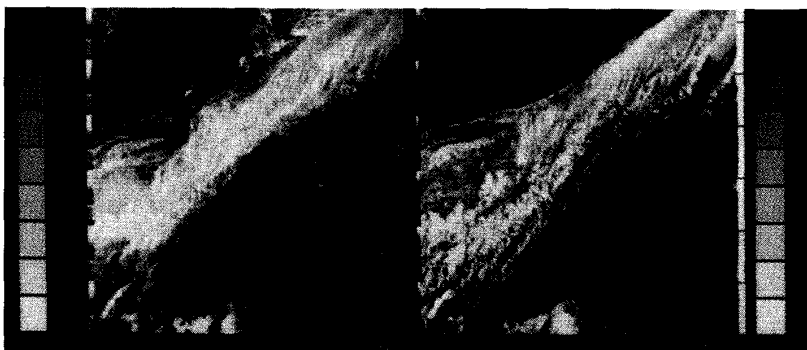


photo. 2-4 6月7日 [可視] [赤外]



photo. 2-5 6月8日 [可視] [赤外]



photo. 2-6 6月9日 [可視] [赤外]



photo. 2-7 6月10日 [可視] [赤外]

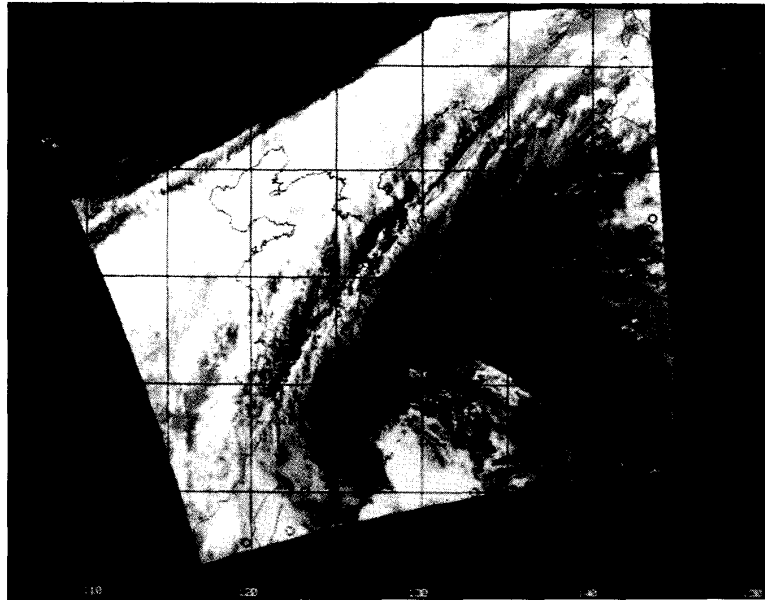


photo. 4 - 1 6月6日 地図化赤外画像
青○：船舶通報位置

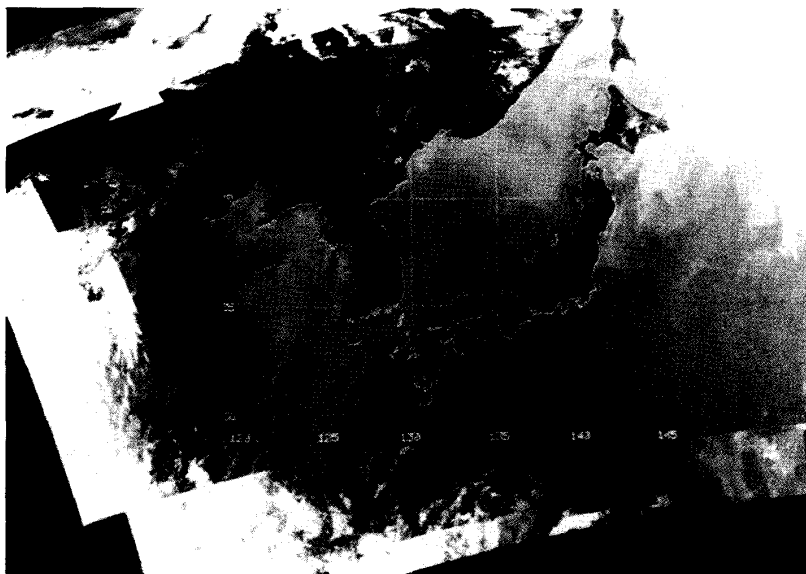


photo. 5 - 1 雲域除去地図化画像
(7枚合成)

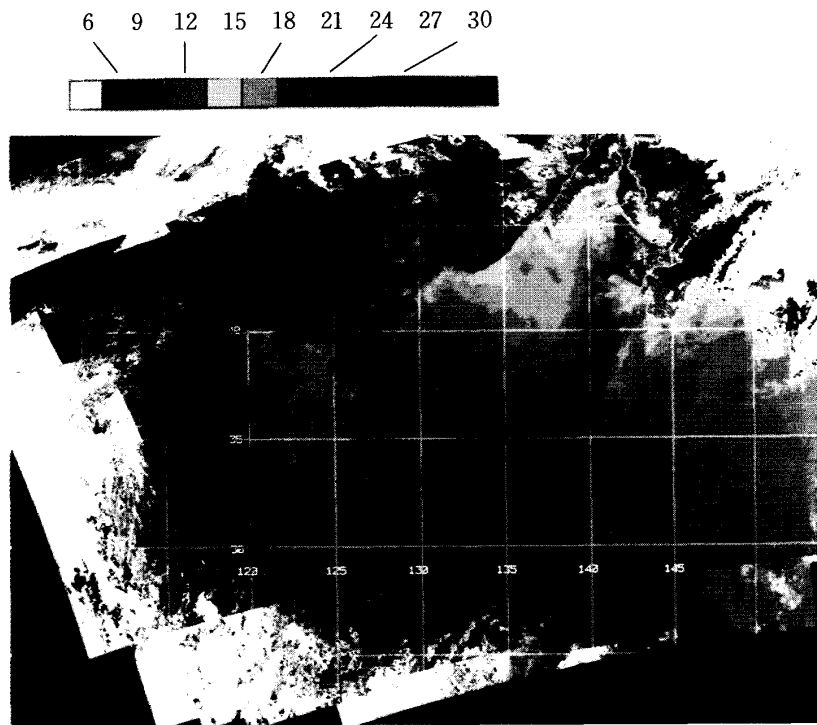


photo. 5-2 温度段階を付けた疑似カラー表示
(0℃～50℃を3℃毎に表示)



photo. 5-3 部分拡大