

(1977. 9. 20)

NOAAの熱赤外映像データによる 海面温度分布画像の作成

向井 幸男

(財)リモート・センシング技術センター)

まえがき

1972年7月、米国によって地球上空約900 kmの高さから地表面を観測する衛星(LANDSAT-1)が打ち上げられ、LANDSAT-1からの観測データが送られて来て以来、人工衛星からのリモートセンシングデータの応用のための研究が各方面でなされている。国土が狭隘な我国においては、人工衛星からのリモートセンシング技術は海洋の観測に有効であると期待されている。人工衛星を利用して漁海況情報を得て漁業に役立てようとする研究開発が進められており、海面温度分布情報は人工衛星から観測するのに適した情報であり、この情報は魚群探査の有効な指標を提供するものと期待されている。

米国が打ち上げた気象衛星NOAAは、毎日朝と夕方我國の上空を通過しており、このNOAAには、VHRR(Very High Resolution Radiometer)と呼ばれる超高分像度赤外放射計が搭載されていて観測対象の温度情報を得る事が出来る。NOAAのVHRR信号が記録されている磁気テープを再生し、日本東北部周辺の海域の熱赤外映像を作成し、温度ツールズとしては漁業情報センターから発行されている漁海況速報を用いて、カラー別温度分布画像を作成した。

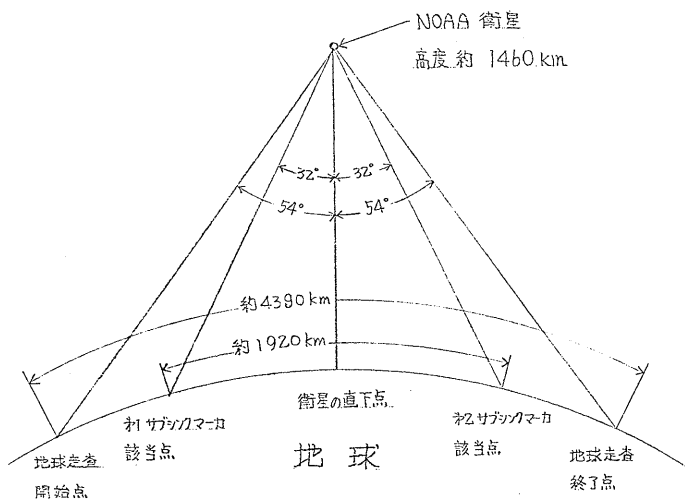
1. NOAA衛星から得られる信号

気象衛星NOAAは、高度約1460 km、周期約116分、軌道面傾斜角102°の極軌道衛星で、VHRR、SR(Scanning Radiometer)、VTPR(Vertical Temperature Profile Radiometer)、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、衛星の軌道の方向に垂直な方向に地表面を走査する。VHRRの走査の断面図を図1に示す。地球走査範囲は衛星の直下点を中心として±54°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4990 kmとなる。衛星の直下点から±32°の走査時点に1および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の同期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1920 km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1697.5 MHz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。各信号の最初にプリカーサ信号が用意されていて、その周波数が違う事(IRは18.75 KHz, VISIBLEは12.5 KHz)により継続する信号が何であることを識別する事が出来る。



測定波長	可視 0.6 ~ 0.7 μ 赤外 1.05 ~ 1.25 μ
走査鏡回転速度	400 回/分
走査鏡瞬時視野角	可視, 赤外共 0.6 mrad
走査線間隔	870 m
解像度 (瞬時視野スポット径)	876 m (高度 1,460 m)
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 NOAA VHRVの走査断面図

表1 NOAA VHRVの走査諸元

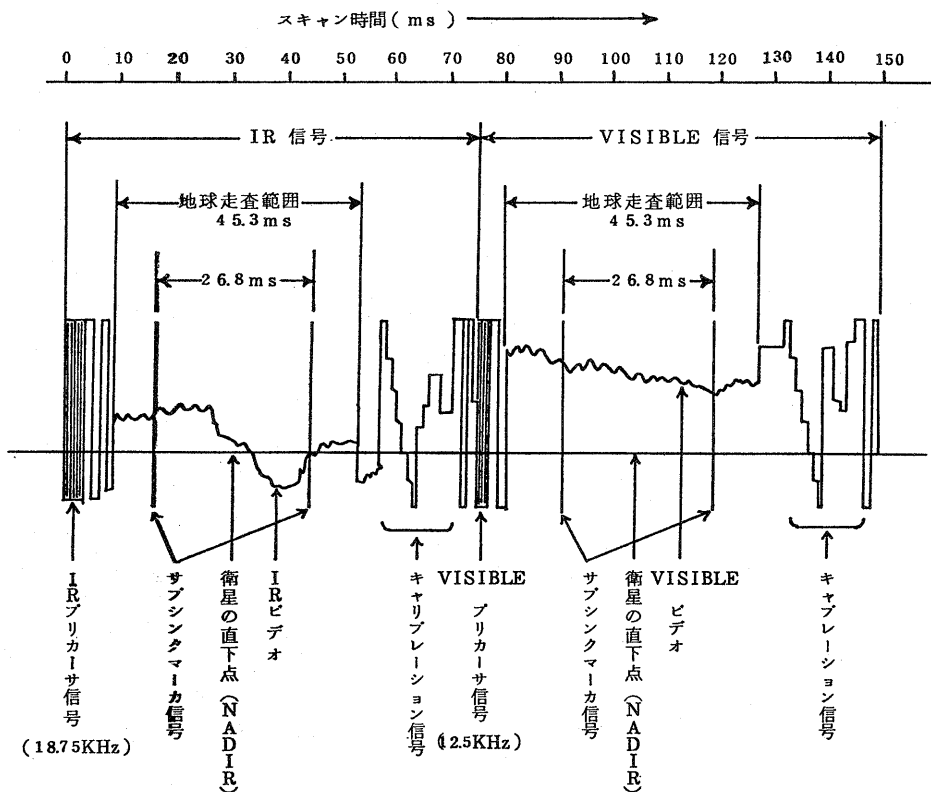


図2 NOAA VHRVの信号波形

2. NOAAのVHRR-I R画像の作成

VHRR-I R画像を作成する手順としては、先ずVHRR信号が記録されている磁気テープ(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(LANDSAT CCTと同じ形)に編集して、一旦磁気テープ(NOAA CCTという)に記録し、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 FMテープをデータレコーダにより再生し、NOAA信号処理装置に送る。NOAA信号処理装置は同波数変調されているNOAA信号を複調し、NOAAビデオ信号を得、そのゲインとオフセットを調整してIMAGE-100に送る。更に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ビデオ信号の最大周波数は次式で計算されるように35 KHzである。

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

$\Delta\theta$: 放射計の瞬時視野角 0.6 mrad

N : 走査鏡の回転速度 400 rpm

従ってA/D変換する場合70 KHzでサンプリングすれば十分である。IMAGE-100には、DAEDALUSスキャナ信号をA/D変換してLANDSATタイプのCCTに変換する機能があるが、このサンプリングレートは75.8 KHzなのでこれを使ってA/D変換した。サンプリング間隔(13.2 μ s)の空間的距離は、衛星の直下点において、

$$360 \times \frac{400}{60} \times 13.2 \times 10^{-6} \times 1460 \text{ km} = 0.807 \text{ km}$$

である。1走査線について任意の点から500ポイントのデータをCCTに収録する事にし、各ポイントの間隔をA/D変換クロックレートの1倍、2倍、3倍、4倍に選定可能な様にし、その時データ収録の対象になる走査線も1本毎、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した。

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

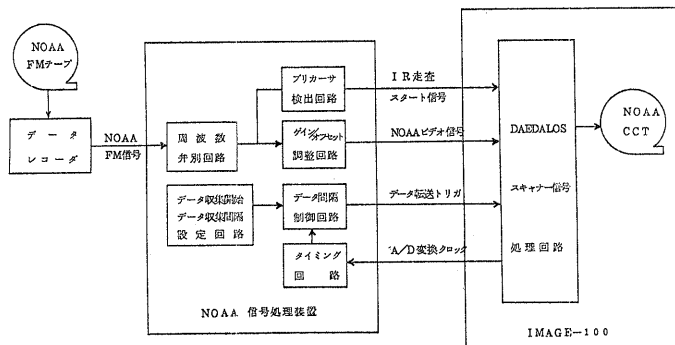


図3 NOAA CCTの作成系統図

3. NOAA CCTデータのTangent補正
 NOAA CCTに収録されたデータは、NOAAビデオ信号を一定時間間隔でA/D変換したデータなので走査角が大きくなればなる程、観測点の間隔が広がったデータが並んでいる。これを一定距離間隔でResampleするのがTangent補正であり、衛星データのTangent補正の説明図を図4に示す。

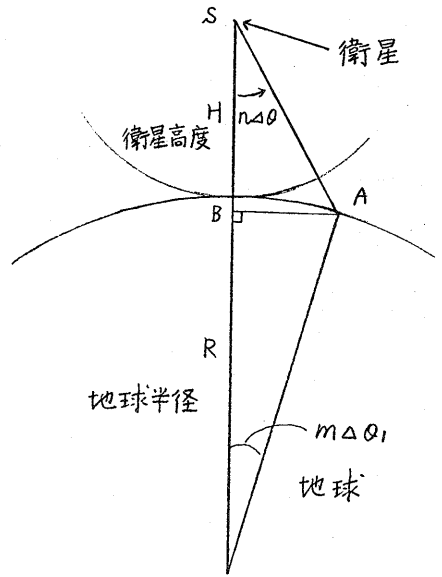


図4の三角形SBAから
 Resamplingの式は次の様になる。

$$n = \frac{1}{\Delta\theta} \text{Arctan} \left(\frac{R \sin(m\Delta\theta)}{H+R-R \cos(m\Delta\theta)} \right) \quad \textcircled{1}$$

$$\Delta\theta_1 = \frac{H}{R} \Delta\theta$$

H: 衛星高度 NOAAの場合 約1460km

R: 地球半径 6370km

$\Delta\theta$: データのサンプリングレートに相当する走査角度 2°

サンプリングレート $13.2\mu\text{s}$ のとき、 $\Delta\theta = 0.03168^\circ$

図4 Tangent補正説明図

①式においてmを1から500まで変化させ nearest neighbour法でnを求めその変換テーブルを使ってNOAA CCTを再編集した。

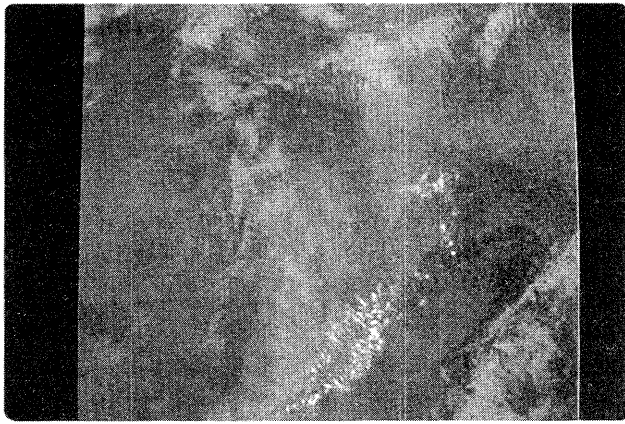
4. 解析対象シーン

NOAAの1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4000km×軌道方向約7000km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5(a)に示す様な画像について解析する事にした。図5(a)の画像は衛星直下点からほぼオ2サブシンフ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をTangent補正したCCTからIMAGE-100に入力して得た画像であり約800km×800kmの領域である。

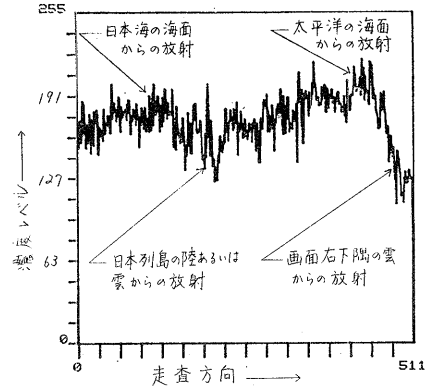
5. 画像の平滑とコントラスト強調処理

図5(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なった後温度分布画像を作った方が良いわけであるが、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々が画像に現われており、このままコントラスト強調処理を行なうと雑音成分も一諸に強調されてしまうので、一旦平滑した後コントラスト強調処理を行なった。

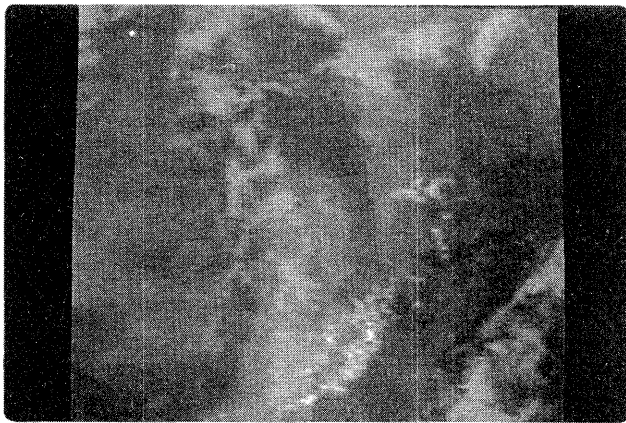
図5(a)の下端から1/4位の辺の水平方向の断面の濃度変化を図6(a)に示す。日本海と太平洋の海面の部分が高い値を示し、その間の日本列島の陸からの放射レベルが若干低い値(観測時刻は11月の午前9時であり、陸の方が海より温度が低い)を示し、画像の右下隅の雲からの放射レベルが更に低い値を示している。



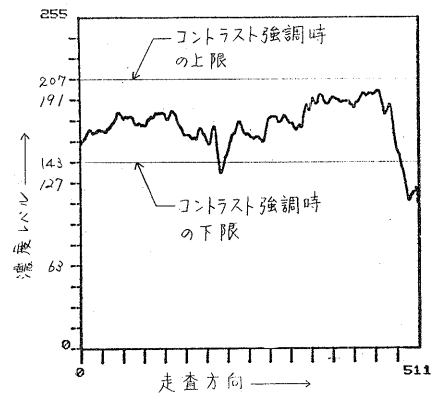
(a) オリジナルビデオによる画像



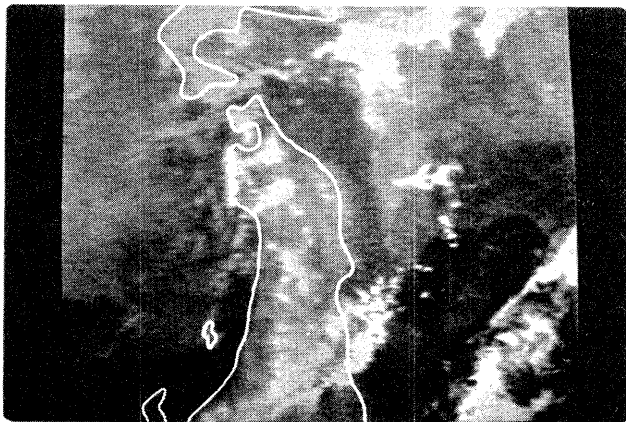
(a) オリジナルビデオによる画像の濃度曲線



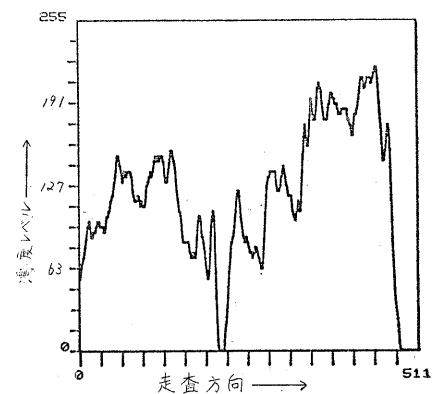
(b) 平滑処理後の画像



(b) 平滑処理後の画像の濃度曲線



(c) コントラスト強調処理後の画像



(c) コントラスト強調処理後の画像の濃度曲線

図5 東日本周辺一帯のNOAA-IR信号による画像
1976年11月3日午前9時観測

図6 図5の画像の下端から左側の又の水平方向断面の濃度曲線

が分る。図6(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走査方向の過去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画像を作成し、更に3×3の平均値を平滑データとした。この平滑処理を実施した画像を図5(b)に示し、この画像における図6(a)と同一断面の濃度曲線を図6(b)に示す。雑音によるスパイクが失くなっている。

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6(b)に示す様に上限と下限を設定し、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なった。コントラスト強調画像を図5(c)に示し、この画像における図6(b)と同一断面の濃度曲線を図6(c)に示す。図6(b)において下限以下の部分が、図6(c)においては濃度レベル0になっているのが分る。これらの部分は殆ど雲からの放射の領域に相当し、これから解析しようとしている海面からの放射領域はもと高い領域である。

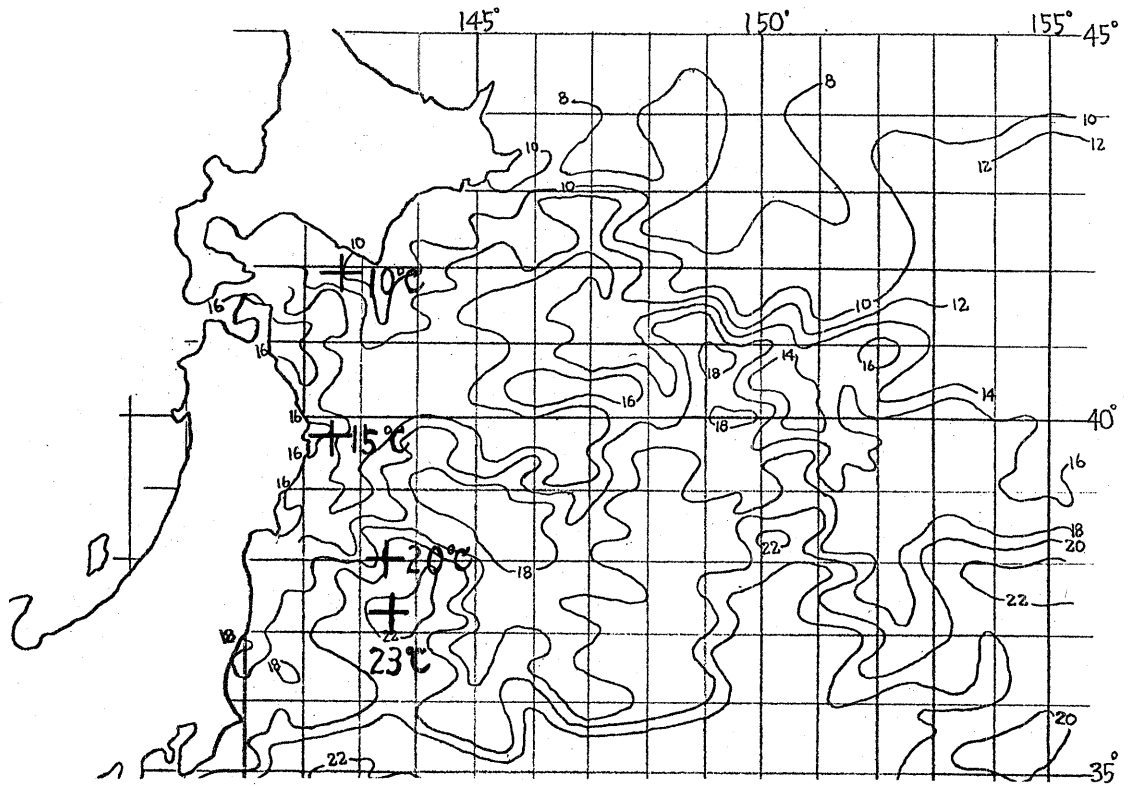
6. 温度と濃度レベルの関係の抽出

図5(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に漁洋情報センターが、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海面温度分布図を示す。図7に十印で示した10℃、15℃、20℃、23℃の点(温度ツルースと呼ぶ)に該当する位置を画像上に入力し、それらの点に対応する濃度レベルを調べる。海面温度はそれ程狭い範囲で急激に変化するものではないから日本列島の映像等をもとに対応点を類推しカーサで温度ツルース点を入力した。各温度ツルース点に対応する画像の濃度レベルを表2に示す。これらを図上にプロットしたのが図8であり、この図から温度と濃度レベルとの関係式を見付けるわけであるが、この場合1つの直線上にぴったり乗っているので10℃と23℃の2点を結ぶ直線式が両者を関係付ける式であると考えられる。この場合温度ツルース点が4点しかないが、温度ツルース点が多い方が望ましいわけで、その場合1つの直線上に乗らなくなってくる事が予想される。その時には温度と直線との偏差の自乗の和が最小になるような最小自乗直線を見付けてそれを温度と濃度レベルの関係式とするのが妥当だろう。

7. カラー別海面温度分布画像

図8の温度と濃度レベルの関係をもとに8℃から24℃の範囲を2℃間隔で8段階に分けて各温度段階毎にカラー別で表示した海面温度分布画像を作成した結果を図9に示す。

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℃の黒潮暖流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の海面温度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、この頃では陸地の方が海より概ね温度が低い事が分る。また、北海道東方海上から三陸沖にかけてV字型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。8℃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。



十印 温度ツルースとして画像に入力した点
 図7 NOAA 観測時の日本東方海域の海面温度分布図
 1976年11月1日～5日

温度	濃度レベル
10°C	54
15°C	116
20°C	179
23°C	216

表2 温度と濃度レベルの対応表

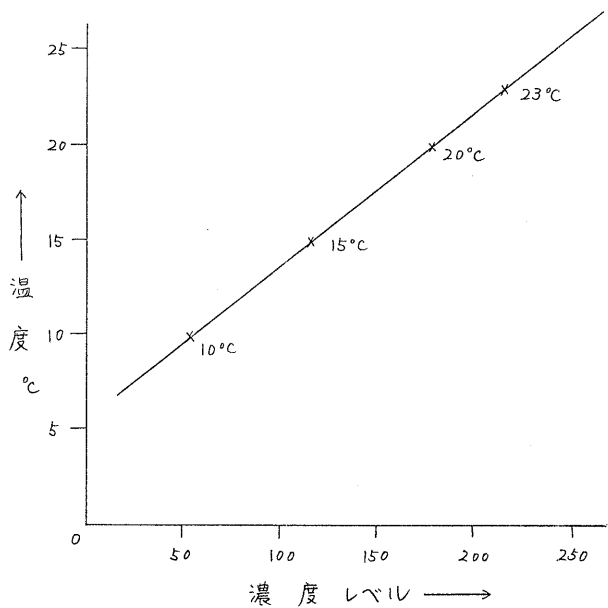


図8 温度と濃度レベルとの関係

あとがき

海面温度の分布情報は魚群探索のための有益な情報として漁業関係者に利用されているが、現在この情報は漁業情報サービスセンターが海上を航行する船舶からの通報データ、およびその他気象関係データ等をもとに等温線図を作成し5日に1度の割合でファクシミリで漁業関係ユーザーに提供している。何と云っても広大な海域が相手であり莫のデータを拓げて面のデータを作り上げているので正確さに欠け、またこの図の作成に多大の労力を必要としている。これらの向題を解決するために人工衛星による観測データを海面温度分布作成作業に利用するシステムの調査研究が開始され、このレポートはこの調査研究の初年度の実験成果をまとめたものである。この実験によりNOAAのVHR R-IR信号の映像と2~3の温度ソースデータを使って海面温度の分布画像を作成する事が出来る事が分、たゆけであるが、実用化に至るまでに解決しなければならない向題点はまだかなり残されている。

衛星からの観測によって得られた温度データの精度評価、雲、霧等海面温度の観測を妨げている領域を除去しその領域の温度レベルを決定する事、陸域、経緯度線等の図形情報を入力する事、対象海域はもっと広く2軌道以上になりその場合別々の軌道の画像からモザイク画像を作成する事等の向題点を克服しなければならない。このシステムの調査研究が引き続いて実施されており、近い将来これらの向題点を解決しよる実用化をよる。

謝辞

本研究を遂行するに当り、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(N.O.A.A)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(N.O.A.A)画像の処理と表示, 電子通信学会技術研究報告(1975)

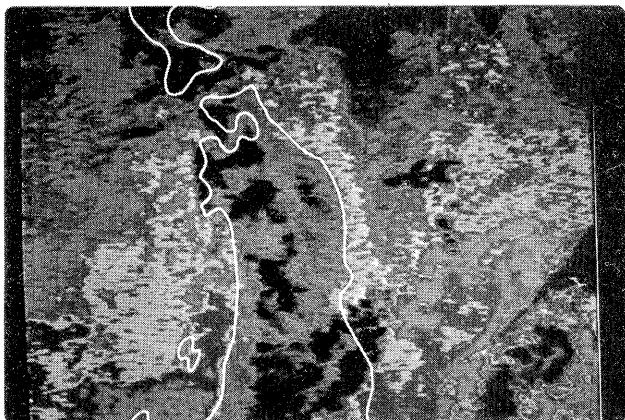


図9 カラー別海面温度分布画像

観測日時 1976年11月3日 午前9時
8°C~24°Cの温度範囲を2°C向隔で
8段階に分けた。