

極軌道気象衛星『NOAA』画像のグリッディング処理

藤本 勉*・田中 護*

Gridding Processes for Polar Orbiting Weather Satellite, 『NOAA』 Images

Tsutomu FUJIMOTO Mamoru TANAKA

Abstract

The Authors are directly receiving APT (Automatic Picture Transmission) Pictures from NOAA series U.S. polar orbiting weather satellite.

As the APT picture is a real time transmission of surface conditions of the earth, any additional informations concerning to geographic references are not contained.

In order to highly utilize informations from these pictures, it must be needed to be able to pin-point any longitudinal and latitudinal places in the image.

The Authors tried to over-write longitude, latitude lines and coastal lines onto the image, and they got good results.

In this paper, they describe detailed discussions of their techniques for gridding procedures.

1. まえがき

極軌道気象衛星『NOAA』の送信するAPT雲画像を直接受信するシステムを、MELCOM-70/25とTOSBAC DS-600を中核として構築している。

取得できる『NOAA』のAPT雲画像は、衛星が観測した地球表面の実時間画像であり、静止気象衛星『ひまわり』のLR-FAX雲画像とは違って、画像中に経度線、緯度線、陸地の海岸線、河川などを挿入する処理は、施されていない。

日中には、画像中に陸地が撮影されるので、およその撮影場所は推定できる。しかし、夜間の場合とか、昼間であっても雲に覆われている場合など、あるいは洋上に定点を定め、これを観測する場合などは、撮影地域の特長が出来ず、画像を利用する上で著しく不便である。

衛星の軌道に関する情報を基に、経度線、緯度線、陸地の海岸線を画像中に挿入する作業、即ち、グリッディング処理が必要となる。

試みた、グリッディング処理の過程について述べる。

2. 気象衛星『NOAA』のAPT画像

極軌道気象衛星『NOAA』は軌道傾斜角(i)約 98° 、高度約830kmの、ほぼ円形の軌道を公転周期約1時間42分で周回しながら、地球表面を観測し、画像を実時間で送信してくる。

観測は、衛星に搭載されている改良型高分解能放射計(AVHRR, Advanced Very High Resolution Radiometer)により行われる。AVHRRの回転ミラーは、360rpmで回転し、衛星直下点から、ミラーの走査角で $\pm 55.4^\circ$ の範囲の地球表面を走査して観測する。AVHRRからの可視、赤外のデータは、情報送出速度処理装置(MIRP, Manipulated Information Rate Proces-

*宇部工業高等専門学校電気工学科

sor) により、インターレースされた120rpmの自動画像伝送サービス (APT, Automatic Picture Transmission) 用のデータに加工され、送出される。

衛星の軌道予報は、TBUSプレティンで通報されて来る。これにより衛星の通過時間を計算し、受信待機する。現在のところ、計算機のメモリの制約から、受信可能時間のうち日本付近上空通過時の6分24秒間だけを受信し、768本の走査線を取得している。なお、1本の走査線は768点でサンプリングしている。

本報で報告している画像は、いずれも『NOAA-9号』の北上軌道を受信したものであり、赤道上空通過後7分0秒から受信したものである。

3. 『NOAA』, APT 画像のグリidding処理

APT 画像に、経度線、緯度線を挿入する作業をグリidding (Gridding) と呼ぶ。以下、試みたグリidding処理の手法について述べる。

APT 画像はMIRPにより加工されて送出されるが、この間の時間遅れは公表されていない。従って、本報告ではAVHRRの回転ミラーは衛星の移動と共に250ms(240rpm)で上の走査角の範囲を可視、赤外センサーが交互にインターレースして走査するものとして処理を行った。

なおミラーの視野の周辺でおこる球面ひずみはMIRPによる処理で既に取り除かれており、等価的にミラーの走査速度は地球の表面距離に比例したものになっている。

衛星の軌道要素は、TBUSプレティンで通報されて来る。これにより衛星の位置を計算し、観測された地球上の場所を推定する。

衛星が地表面を観測し、その信号が受信されるまでには、上のデータ処理による時間遅れのほか、電波伝搬による時間遅れが加わる。後者は衛星の移動とともに変化する。この点については、AVHRRの走査開始を、画像の右端にある位相信号により検出して画像の取得を開始することにより、衛星位置の変化による電波伝搬時間の変化は、考慮する必要をなくした。しかし、一定の時間遅れはグリidding処理を行う際に考える必要がある。これは、グリidding処理の過程において、画像中の

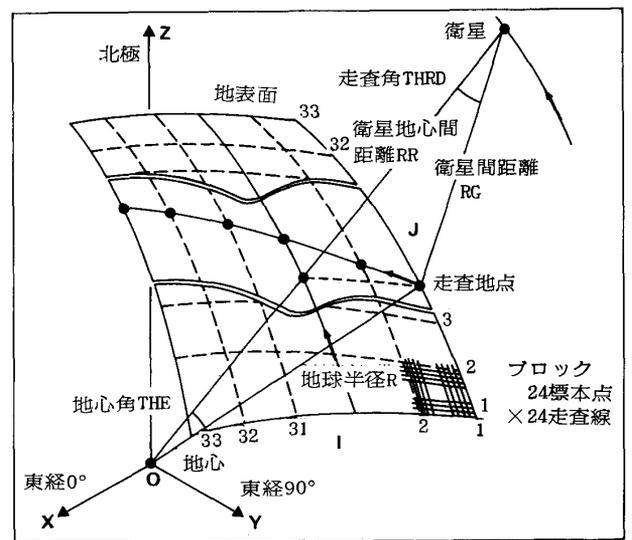
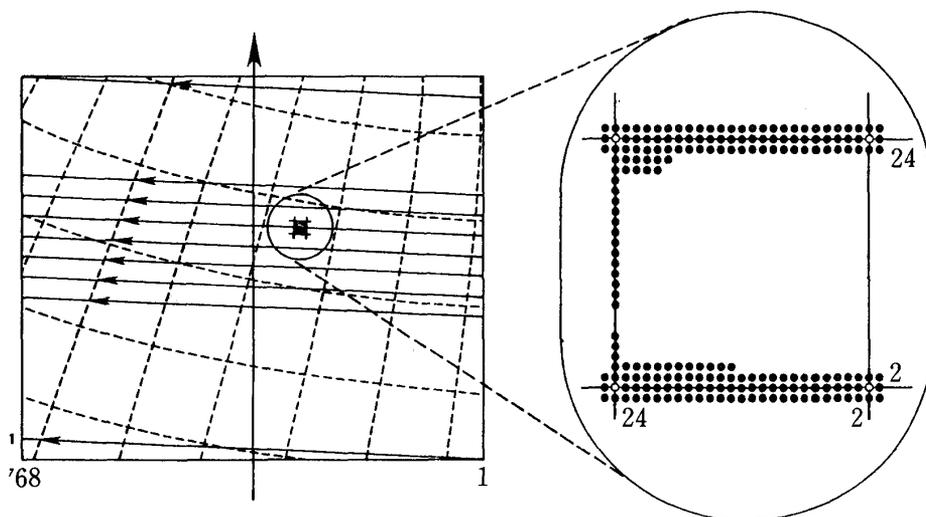


図3・1(a) 観測地表面



(1) 走査方向 受信開始点

(2) ブロック拡大図

図3・1(b) 画素入力走査方向

半島、湖などの特徴的な場所（ランドコントロールポイント）と経緯線、海岸線をアダプティブに一致させることによって補正した。

グリッディングを行うに際し、768点×768走査線の受信画像の全画素（約59万画素）の経緯度を計算する必要がある。計算時間を短縮するために、全画像を32×32の小ブロックに分割し、このブロックの4頂点の画素の経緯度のみを計算し、他の画素の経緯度は、これより内挿して求めた。

図3・1(a), (b)の北上軌道の場合の例で、画像の右端すなわち、AVHRRのミラーが衛星軌道に直角方向、最右端（走査角 -55.4° ）を向いた時から、受信を開始する。したがって以後、走査角で 3.4625° 毎、衛星移動時間で7.8125ミリ秒毎の衛星位置および走査点（観測点）の経緯度を軌道計算から求めることにする。これを1本の走査線について行った後、33本後、すなわち衛星移動時間で16.5秒後の走査線について同じ計算を行う。

受信画像中の画素位置から対応するこの時の時刻(t)とAVHRRのミラーの走査角(α)は一義的に求まる。

先ず、この時刻における衛星の位置を計算する。

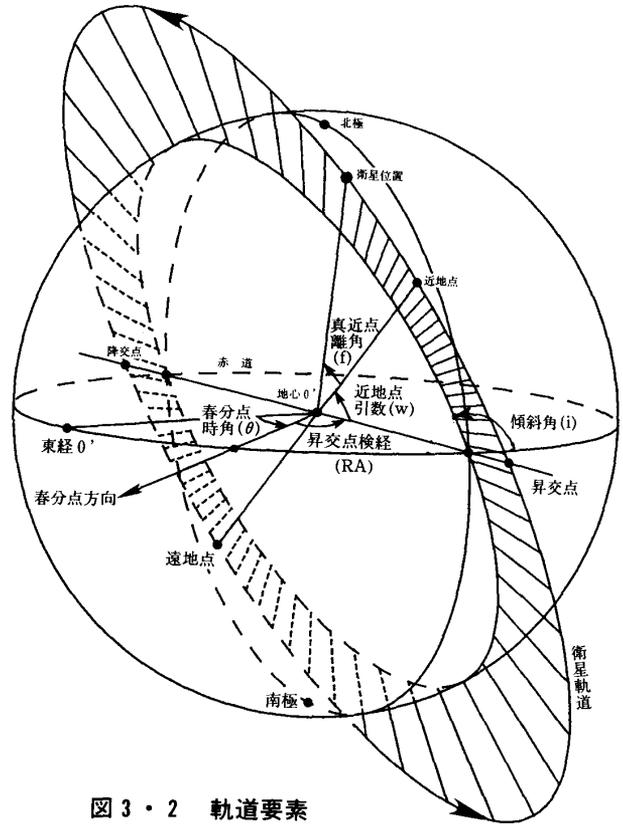


図3・2 軌道要素

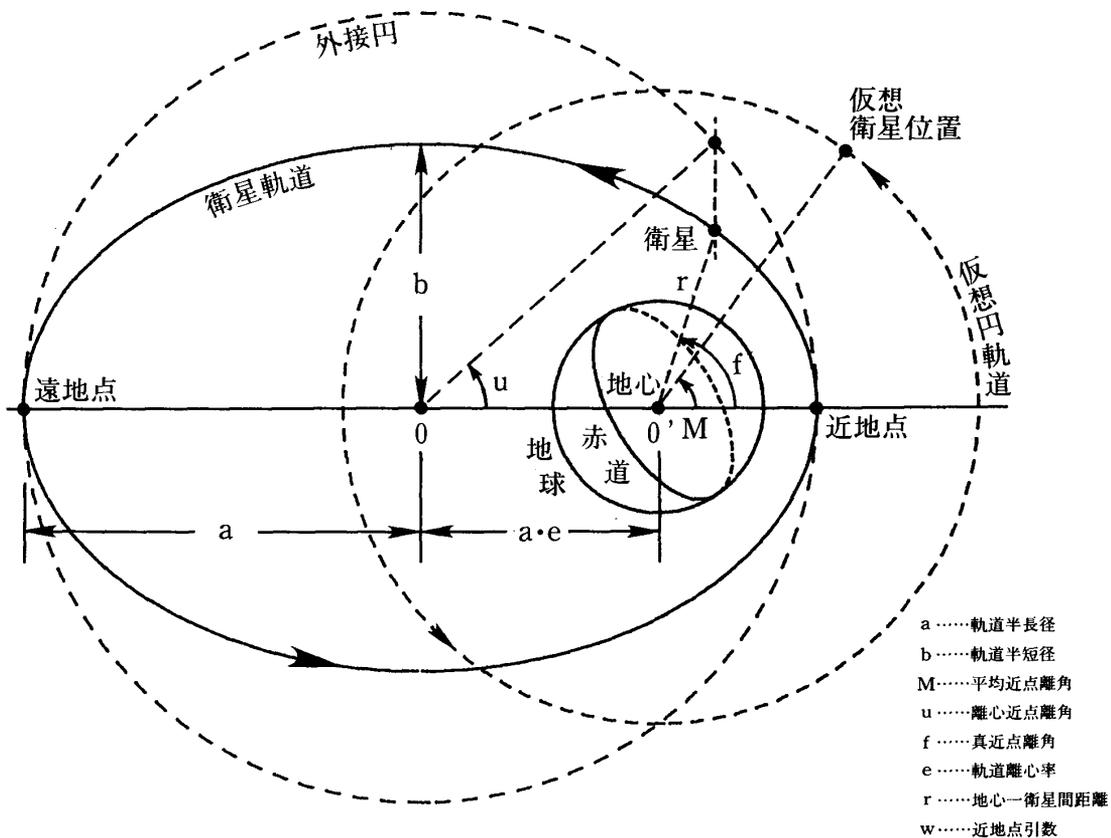


図3・3 円軌道と楕円軌道の関係

第4・1表 計算に利用した軌道要素

公 転 番 号(ORBIT Nr.)	: 03448
元 期(EPOCH)	: 1985/8/13,20 : 36 : 37.771Z
春分点のグリニッジ時角 (GREENWICH HOUR ANGLE AT ARIES)	: 278.2784°
近 地 点 周 期(ANOMALISTIC PERIOD)	: 1h42m2.277s
軌 道 離 心 率(ECCENTRICITY)	: 0.00152739
昇 交 点 赤 経 (RIGHT ASCENSION OF ASCENDING NODE)	: 179.49546°
軌 道 傾 斜 角(INCLINATION)	: 098.94924°
平 均 近 点 離 角(MEAN ANOMALY)	: 059.55918°
軌 道 半 長 径(SEMI-MAJOR AXIS)	: 7229.987Km
近 地 点 移 動 率(PERIGEE MOTION)	: -2.82989°/日
昇交点赤経移動率 (MOTION OF RIGHT ASCENSION OF ASCENDING NODE)	: +0.99726°/日
平均近点離角変化率 (RATE OF CHANGE OF NEAN ANOMALY)	: +5080.97°/日

最初に図3・2における軌道要素を更新する。軌道要素にある元期(t₀)における平均近点離角に、元期からの経過時間(t-t₀)と平均近点離角の変化率(mv)とを掛けて得られる平均近点離角の変化分を加えて、この時刻における平均近点離角(M)を計算する。

同様に元期における値に、元期からの経過時間に対する変化分を加えて、この時刻における春分点のグリニッジ時角(θ_g)、昇交点赤経(Ω)、近地点引数(ω)を計算する。

なお軌道傾斜角(i)、離心率(e)は不変であるとして取り扱った。

次に、平均近点離角から次式のケプラーの方程式を解いて離心近点離角(u)をもとめる。(図3・3参照)

$$u = e \cdot \sin(u) + M \dots\dots\dots (3-1)$$

この超越方程式の解法は、先ず右辺のuにMを代入し

て、

$$u^{(0)} \leftarrow e \cdot \sin(M) + M \dots\dots\dots (3-2)$$

とし、次のuが収束するまで反復を繰り返す方法で行った。

$$d u = u^{(i)} - e \cdot \sin(M) \dots\dots\dots (3-3)$$

$$u^{(i+1)} = u^{(i)} + \frac{M - d u}{1 - e \cdot \cos(u^{(i)})}$$

i = 0, 1, 2, \dots\dots\dots (3-4)

これより、真近点離角(f)を求める。

$$f = 2 \cdot \tan^{-1} \left\{ \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \cdot \tan \left(\frac{u}{2} \right) \right\} \dots\dots\dots (3-5)$$

また、衛星—地心間距離(r)はaを軌道半長径として、

$$r = a \cdot \{1 - e \cdot \cos(u)\} \dots\dots\dots (3-6)$$

さらに、ミラー角 (θd) を使って、地心から衛星方向と、この時の走査点 (観測点) 方向とのなす角 (θe) を求める。

$$\theta e = \sin^{-1} \left\{ \frac{Rg \cdot \sin(\theta d)}{R} \right\} \dots\dots\dots (3-7)$$

ここに、R は真球と見なした地球半径である。また、Rg は衛星—走査点 (観測点) 間距離であり、

$$Rg = r \cdot \cos(\theta d) - \sqrt{R^2 - \{(r \cdot \sin(\theta d))\}^2} \dots\dots\dots (3-8)$$

で与えられる。

『NOAA』の APT 画像においては、既述のように AVHRR のミラーの視野の周辺でおこる球面ひずみは既に取り除かれており、等価的にミラーの走査速度は地球の地表面距離に比例したものになっている。即ち、APT 画像の走査線方向は、地球の地表面距離に比例したものになっている。

地心角 (θe) を使って地表面距離 (Ls) は、地球を真球と考えれば、

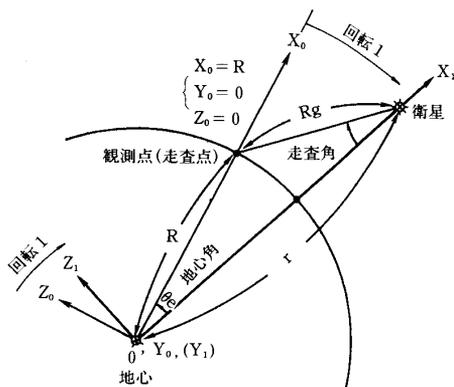
$$Ls = R \cdot \theta e \dots\dots\dots (3-9)$$

として、与えられる。

ここで、図 3.4 のように地心を原点として、X0 軸を観測点方向、Y0 軸を衛星の移動方向、Z0 軸をこれらと直角な方向に選ぶと、観測点の座標は

$$(x_0 = R, y_0 = 0, z_0 = 0) \text{ となる。}$$

同図において、Y0 軸 (= Y1 軸) を中心に X0 軸が衛星方向 (X1 軸) を向くように回転 (Z0 軸は衛星軌道面に直角の方向 [Z1 軸] を向く) すると、観測点の座標 (x_1, y_1, z_1) は、



$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta e) & 0 & -\sin(\theta e) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\theta e) & 0 & \cos(\theta e) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

..... (3-10)

となる。

次に、図 3.5 において、Z1 軸を中心に X1 軸が昇交点

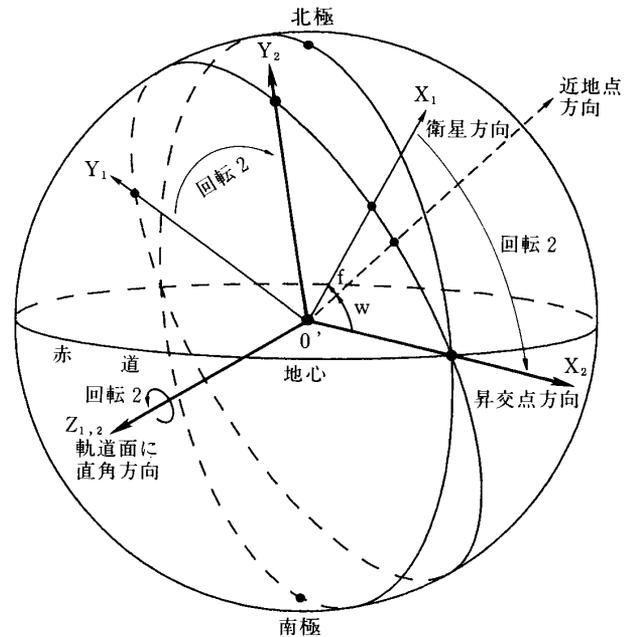


図 3.5 昇交点基準の軌道面座標へ変換

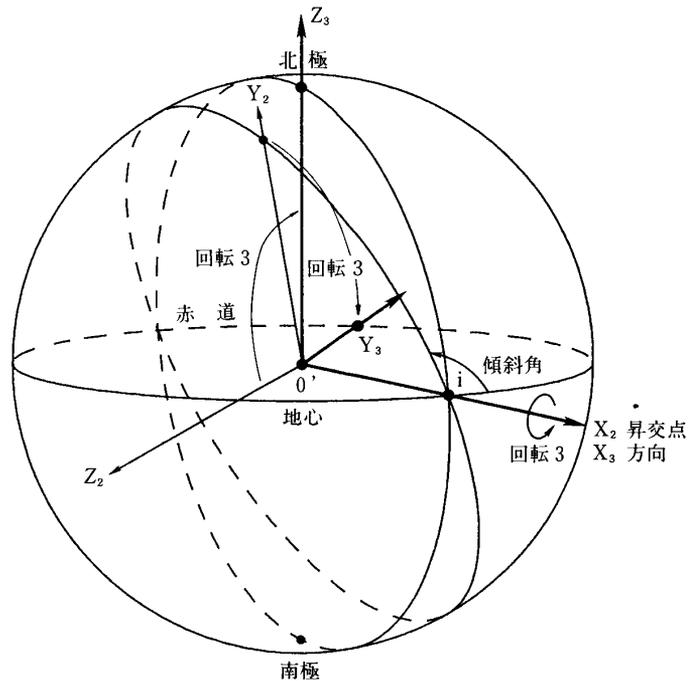


図 3.6 昇交点基準赤道面座標へ変換

方向 (X₂軸) を向くように、座標軸を衛星軌道面内で真近点離角(f)+近地点引数(ω)ほど回転すると、観測点の座標 (x₂, y₂, z₂) は、

$$\begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(f + \omega) & -\sin(f + \omega) & 0 \\ \sin(f + \omega) & \cos(f + \omega) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (3-11)$$

となる。

図3・6において、昇交点方向を向いているX₂軸を中心 (X₃軸) に、座標軸を軌道傾斜角(i)ほど回転すると、Y₂軸は赤道方向を、Z₂軸は北極方向を向く。観測点の座標 (x₃, y₃, z₃) は、

$$\begin{bmatrix} x_3 \\ y_3 \\ z_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(i) & -\sin(i) \\ 0 & \sin(i) & \cos(i) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (3-12)$$

となる。

最後に、図3・7において、北極方向を向いているZ₃軸を中心 (Z₄軸)、昇交点方向を向いているX₃軸が経度0°方向を向くように、春分点のグリニッジ時角(θg)+昇交点赤経(Ω)ほど回転する (X₄軸)。Y₄軸は、東経90°方向を向くことになる。観測点の座標 (x₄, y₄, z₄) は、

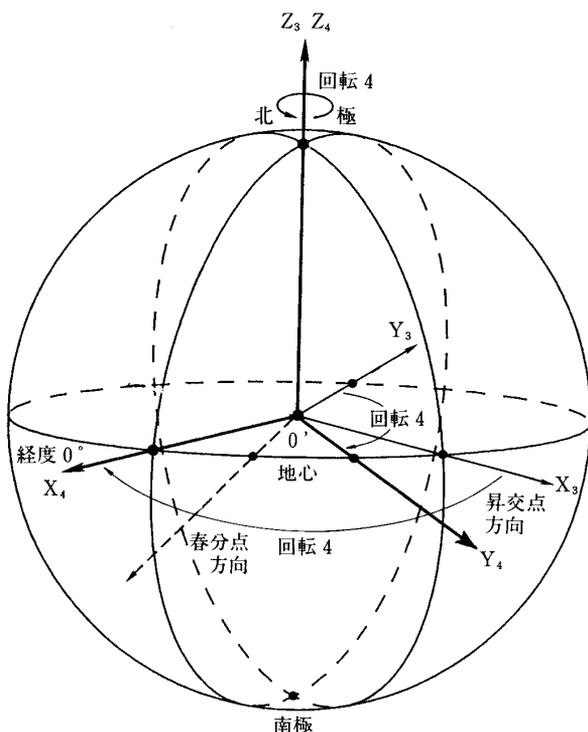


図 3・7 経度0度基準の軌道面座標へ変換

$$\begin{bmatrix} x_4 \\ y_4 \\ z_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\Omega + \theta g) & -\sin(\Omega + \theta g) & 0 \\ \sin(\Omega + \theta g) & \cos(\Omega + \theta g) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_3 \\ y_3 \\ z_3 \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (3-13)$$

以上により、観測点(x₀=R, y₀=0, z₀=0 から、(x=x₄, y=y₄, z=z₄) への変換は次式となる。

$$\begin{aligned} x = & \cos(\Omega + \theta g) \cdot \cos(f + \omega) \cdot \cos(\theta e) \cdot R \\ & + \cos(\Omega + \theta g) \cdot \sin(f + \omega) \cdot \sin(\theta e) \cdot R \\ & - \sin(\Omega + \theta g) \cdot \cos(i) \cdot \cos(\theta e) \cdot \sin(f + \omega) \cdot R \\ & + \sin(\Omega + \theta g) \cdot \sin(i) \cdot \sin(\theta e) \cdot R \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (3-14)$$

$$\begin{aligned} y = & \sin(\Omega + \theta g) \cdot \cos(f + \omega) \cdot \cos(\theta e) \cdot R \\ & + \sin(\Omega + \theta g) \cdot \sin(f + \omega) \cdot \sin(\theta e) \cdot R \\ & + \cos(\Omega + \theta g) \cdot \cos(i) \cdot \cos(\theta e) \cdot \sin(f + \omega) \cdot R \\ & - \cos(\Omega + \theta g) \cdot \sin(i) \cdot \sin(\theta e) \cdot R \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (3-15)$$

$$\begin{aligned} z = & \sin(i) \cdot \cos(\theta e) \cdot \sin(f + \omega) \cdot R \\ & + \cos(i) \cdot \sin(\theta e) \cdot R \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (3-16)$$

これより、観測点の経度〔東経〕(Lng) は、

$$Lng = \tan^{-1}(y/x) \quad \dots\dots\dots (3-17)$$

で求まる。

一方、観測点の緯度については tan⁻¹(z/R) で求まる天文緯度〔地心緯度〕(Lat') を、次の方法により地球の回転楕円体形状を考慮した、地理緯度〔測地緯度〕(Lat) に変換する。

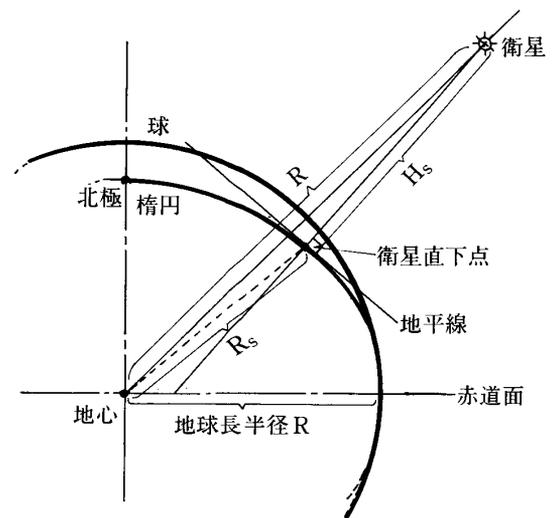


図 3・8 地理緯度 (衛星直下点) へ補正

図3・8において、まず、

$$\text{Lat}' = \tan^{-1}(z/R) \dots\dots\dots (3-18)$$

とし、Fを地球の扁平率として、地心から回転楕円体地球表面上の観測点までの距離(Rs)を、次式で計算する。

$$R_s = \frac{1 - (2 \cdot F - F^2)}{1 - (2 \cdot F - F^2) \cdot \cos^2(\text{Lat}')} \dots\dots\dots (3-19)$$

地理緯度(Lat)は、

$$\text{Lat} = \tan^{-1} \frac{\tan(\text{Lat}')}{(1 - F)^2} \dots\dots\dots (3-20)$$

衛星から回転楕円体地球表面上へ下した垂線の長さ〔衛星高度〕(Hs)は、地心—衛星間距離(r)を使って、

$$H_s = \sqrt{r^2 - \{R_s \cdot \sin(\text{Lat} - \text{Lat}')\}^2} - R_s \cdot \cos(\text{Lat} - \text{Lat}') \dots\dots\dots (3-21)$$

$$\Delta \text{Lat}' = \sin^{-1} \left\{ \frac{H_s \cdot \sin(\text{Lat} - \text{Lat}')}{r} \right\} \dots\dots\dots (3-22)$$

改めて、

$$\text{Lat}' \leftarrow \text{Lat}' - \Delta \text{Lat}'$$

として、(3-20)式、(3-21)式、(3-22)式に代入し、Lat'が収束するまで、これを反復して地理緯度を求めた。

以上の手順を32×32の小ブロックの頂点(33×33点)に繰り返し、各頂点の東経(Lng)、北緯(Lat)、および、

$\text{Lng}(i, j)$	$\text{Lat}(i, j)$	1	0	0	0	$-L_s(i, j) \cdot \text{Lng}(i, j)$
$\text{Lng}(i, j+1)$	$\text{Lat}(i, j+1)$	1	0	0	0	$-L_s(i, j+1) \cdot \text{Lng}(i, j+1)$
$\text{Lng}(i+1, j)$	$\text{Lat}(i+1, j)$	1	0	0	0	$-L_s(i+1, j) \cdot \text{Lng}(i+1, j)$
$\text{Lng}(i+1, j+1)$	$\text{Lat}(i+1, j+1)$	1	0	0	0	$-L_s(i+1, j+1) \cdot \text{Lng}(i+1, j+1)$
0	0	0	$\text{Lng}(i, j)$	$\text{Lat}(i, j)$	1	$-L_s(i, j) \cdot \text{Lng}(i, j)$
0	0	0	$\text{Lng}(i, j+1)$	$\text{Lat}(i, j+1)$	1	$-L_s(i, j+1) \cdot \text{Lng}(i, j+1)$
0	0	0	$\text{Lng}(i+1, j)$	$\text{Lat}(i+1, j)$	1	$-L_s(i+1, j) \cdot \text{Lng}(i+1, j)$
0	0	0	$\text{Lng}(i+1, j+1)$	$\text{Lat}(i+1, j+1)$	1	$-L_s(i+1, j+1) \cdot \text{Lng}(i+1, j+1)$

$$\begin{matrix}
 -L_s(i, j) \cdot \text{Lat}(i, j) \\
 -L_s(i, j+1) \cdot \text{Lat}(i, j+1) \\
 -L_s(i+1, j) \cdot \text{Lat}(i+1, j) \\
 -L_s(i+1, j+1) \cdot \text{Lat}(i+1, j+1) \\
 -t(i, j) \cdot \text{Lat}(i, j) \\
 -t(i, j+1) \cdot \text{Lat}(i, j+1) \\
 -t(i+1, j) \cdot \text{Lat}(i+1, j) \\
 -t(i+1, j+1) \cdot \text{Lat}(i+1, j+1)
 \end{matrix}
 \begin{matrix}
 a_1 \\
 a_2 \\
 a_3 \\
 a_4 \\
 a_5 \\
 a_6 \\
 a_7 \\
 a_8
 \end{matrix}
 =
 \begin{matrix}
 L_s(i, j) \\
 L_s(i, j+1) \\
 L_s(i+1, j) \\
 L_s(i+1, j+1) \\
 t(i, j) \\
 t(i, j+1) \\
 t(i+1, j) \\
 t(i+1, j+1)
 \end{matrix}
 \dots\dots\dots (3-23)$$

衛星直下点から観測点(各画素)までの地表面距離(Ls)を求める。

なお、地表面距離(Ls)は、(3-9)式で与えられる地球を真球と考えた場合の値を採用した。

グリッティング処理は、換言すれば、図3・9に示すように、この東経(Lng)、北緯(Lat)で表された、即ち地図座標系と、地表面距離(Ls)〔画像の横座標に対応する〕、時刻(t)〔画像の縦座標に対応する〕で表された、即ち衛星画像座標系との射影変換式を得ることに帰結される。

グリッティングを行うためには、任意の経緯度の点が、画像内のどこに位置するかを決定する必要がある。手順としては、まず、任意の経緯度の点が、どの小ブロック内に位置するかを決定し、次いで、ブロック内のどこに

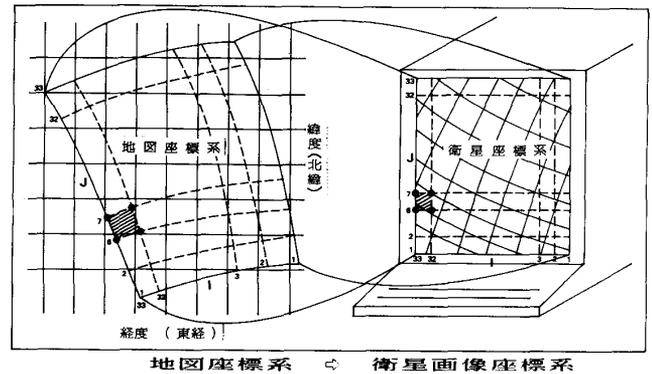


図3・9 座標系の変換

位置するかを決定する。

そのためにまず、この33×33点の東経(Lng), 北緯(Lat)を最小自乗近似する2次式を走査線方向, 画素方向について求めておく。

そして、画像中に、例えば、5°毎の緯経線、および陸地の海岸線を、次の方法により書き込む。

まず、北緯(Lat), 東経(Lng)の点の含まれる小ブロックを探す。この小ブロックの4頂点(i, j), (i, j+1), (i+1, j), (i+1, j+1)の北緯(Lat), 東経(Lng), 地表面距離(Ls), 時刻(t)を用いて、(3-23)式を得る。なお、
 $Lng(i, j)$, $Lat(i, j)$, $Ls(i, j)$, $t(i, j)$ は、それぞれ(i, j)頂点の東経, 北緯, 地表面距離, 時刻を表す。

これを解いて得られる a_1-a_8 を用いて、小ブロック内の任意の北緯(Lat), 東経(Lng)に対する、次の2次射影変換式を求める。

$$Ls = \frac{a_1 \cdot Lng + a_2 \cdot Lat + a_3}{a_7 \cdot Lng + a_8 \cdot Lat + 1} \dots\dots\dots (3-24)$$

$$t = \frac{a_4 \cdot Lng + a_5 \cdot Lat + a_6}{a_7 \cdot Lng + a_8 \cdot Lat + 1} \dots\dots\dots (3-25)$$

これで任意の北緯(Lat), 東緯(Lng)に対する地表面距離(Ls), 時刻(t)は求められたが、これを画像中に挿入するには、さらに、ディスプレイのドット位置で表した、スクリーン座標系に変換する必要がある。

まず、横(X軸)方向について、受信画像の4隅の衛星直下点からの地表面距離は、上で既に計算されている。画像の横方向の最大地表面距離(2・Lsmax)は1走査線の長さであり、報告例の場合、これを768点で受信している。従って、単位地表距離に対する画素数(Tx)は、2・Lsmax/768として計算できる。次に、縦(Y軸)方向については、APT画像の送信仕様より、1秒間当りの走査線数(Ty)は2本である。

従って、任意の北緯(Lat), 東経(Lat)に対する地表面距離(Ls), 時刻(t)より、重ね合わせるべき、ディスプレイのドット位置(Dx, Dy)は、画面内のX方向, Y方向のシフトを、Offsetx, Offsety, 受信開始時刻を t_1 として、

$$Dx = \text{Offsetx} - (Tx \cdot Ls + 384) \dots\dots\dots (3-26)$$

$$Dy = 2 \cdot (t - t_1) + \text{Offsety} \dots\dots\dots (3-27)$$

となる。

以上により、受信画像中に経線, 緯線, および、陸地の海岸線を書き込む。

なお、海岸線については、地図から読み取った、海岸線の経緯度をデータファイル化して持っており、これを経緯度線の書き込みと同じ方法により画像中に挿入した。

4. グリidding処理例

1985年08月14日14時13分57秒から受信したNOAA-9号(軌道番号 03453)の画像をグリidding処理した結果を、例として示す。

通報された軌道要素データのうち、最も最近のものを表4.1に示している。この軌道要素を使ってグリidding処理を行った。

この時、衛星は、図4.1に示すように、豊後水道から日本海へ北上した。

写真4.1は、ファクシミリ受信装置によるハードコピーである。左が可視センサー(チャンネル2)の画像で、右が赤外センサー(チャンネル4)による画像である。朝鮮半島北部には衰弱した台風9号の雲が見える。本州全域が快晴であり、長野や新潟付近に積乱雲がある。これを赤外画像で見ると、新潟県境のものは高層にまで発達した雄大な積乱雲であることが分かる。

写真4.2は、可視画像データから、海面および陸地に相当するレベルの画素だけを抽出し、これと赤外画像データから抽出した、高層の雲に相当する画素とを合成して表示したものである。

これは、台風の雲や雄大積乱雲など、高層にまで発達した雲が発生している場所を容易に特定できるようにすることを目的としたレベル分割法である。これによれば、高層にまで発達した雄大な積乱雲が、新潟県境と福島県の太平洋岸、いわき市付近にあることが良く分かる。

しかし、朝鮮半島においては、半島全体が雲に覆われているため、以下のグリidding処理を行った後でないと、台風の中心位置は特定できない。

なお、この受信時刻には、太陽光の海面反射(サングリント)が軌道中心より西側のところにあり、可視画像は、その影響を受けて明るく撮影されている。

表4.1の軌道要素データを用いて、前章の手法により経度線, 緯度線および陸地の海岸線を求め、表示したものが写真4.3である。この写真より、衛星の軌道傾斜角(約98°)のため、経緯度線さらには衛星画像は歪んで撮影されていることが解る。

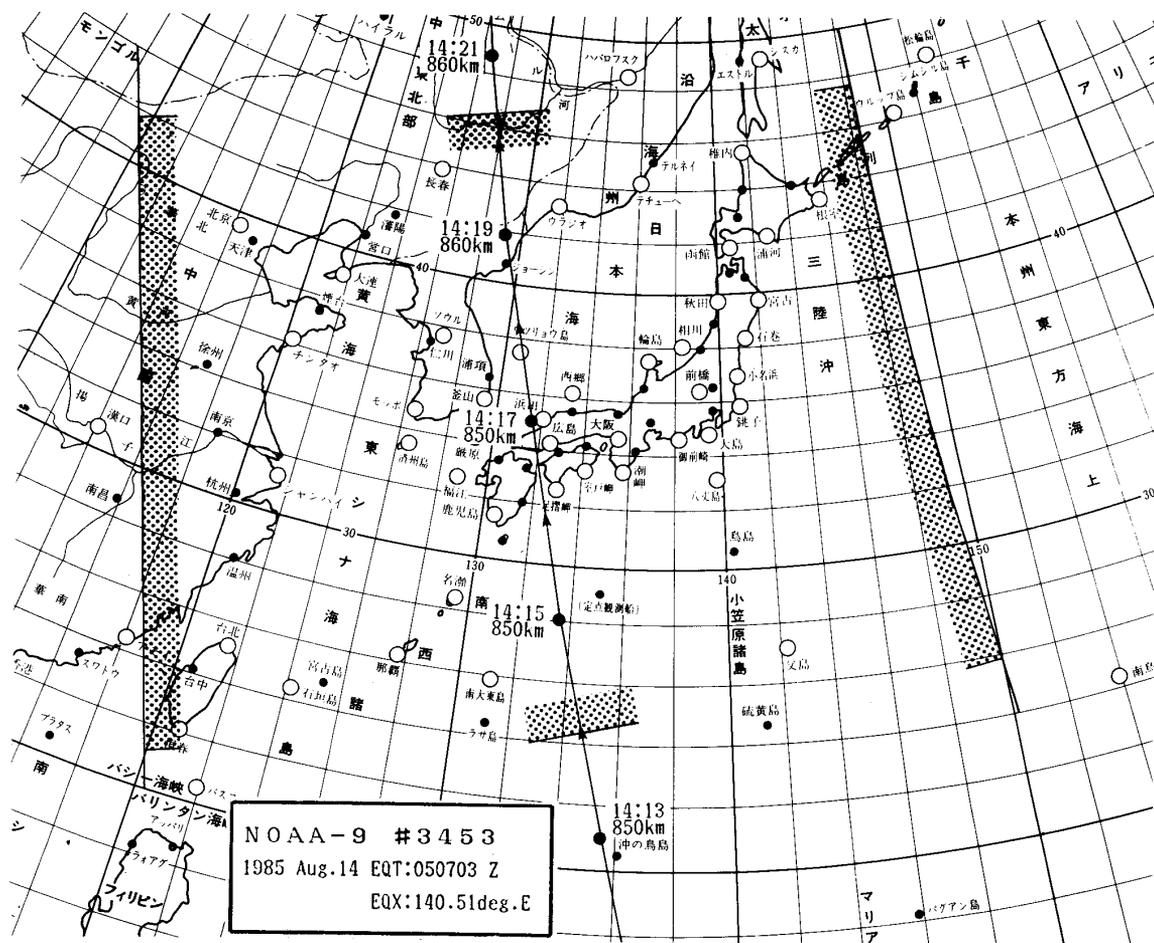


図4・1 衛星軌道 (天気図用紙は(財)日本気象協会版第2号を使用した)

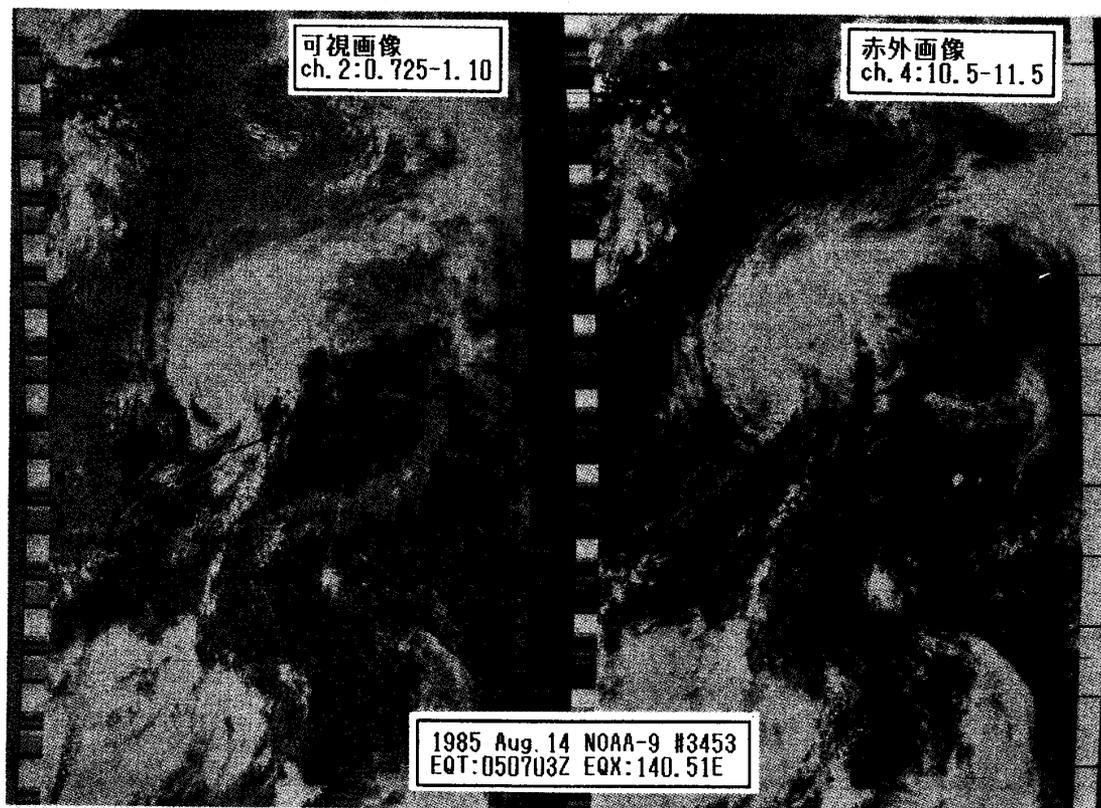


写真4・1 ファクシミリ記録画

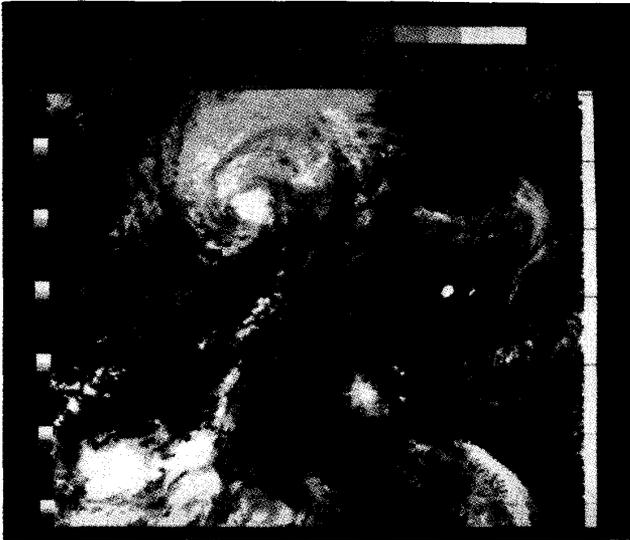


写真 4・2 可視・赤外合成画像（原画像）
NOAA-9, #03453 1985/08/14

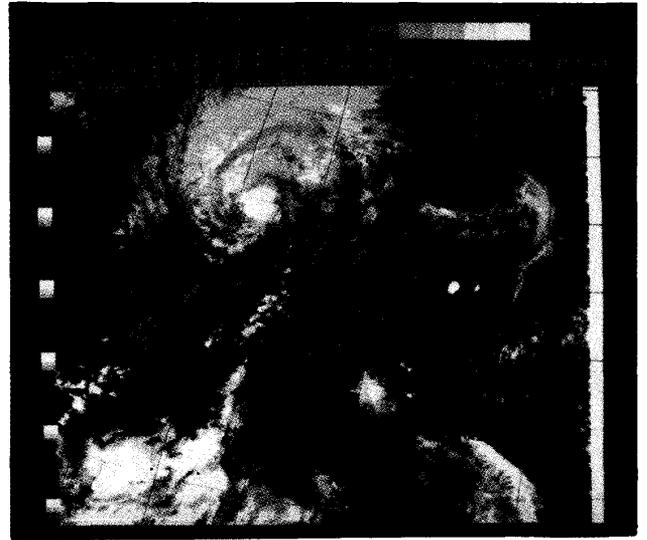


写真 4・5 経緯度線・海岸線挿入画

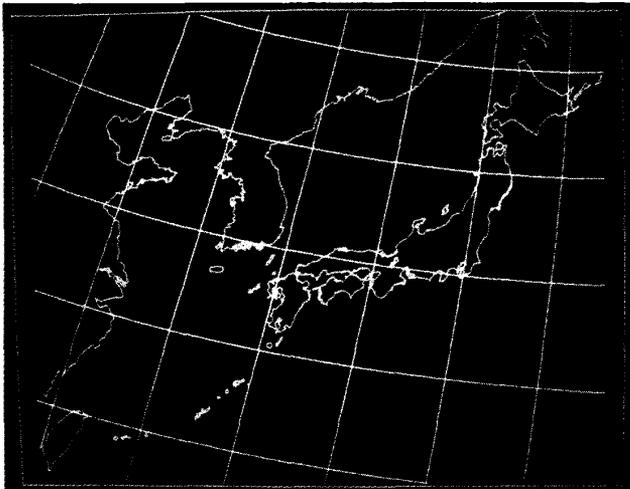


写真 4・3 経緯度線・海岸線



写真 4・6 部分拡大画（日本列島附近）

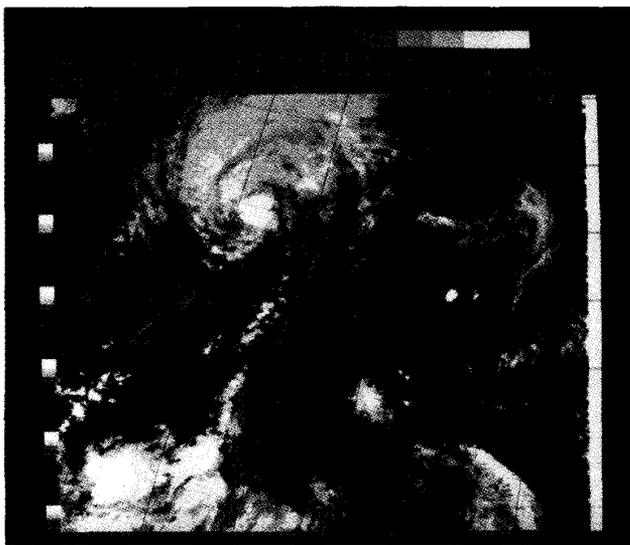


写真 4・4 経緯度線挿入画



写真 4・7 部分拡大画（中四国地域）

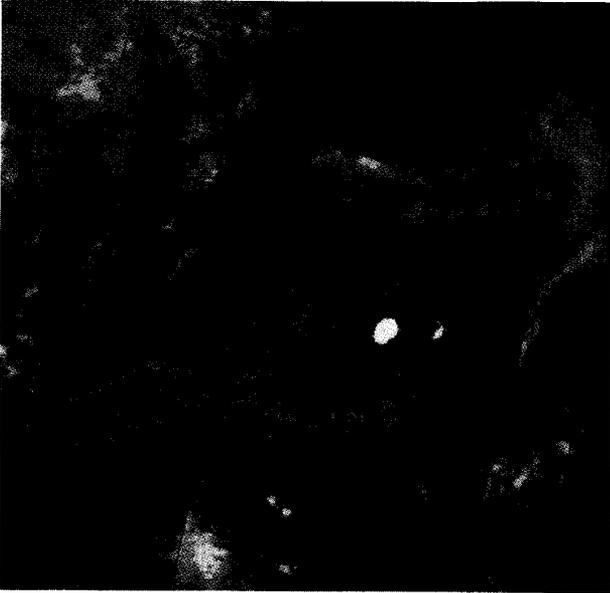


写真4・8 赤外画像（日本列島附近部分拡大画像）

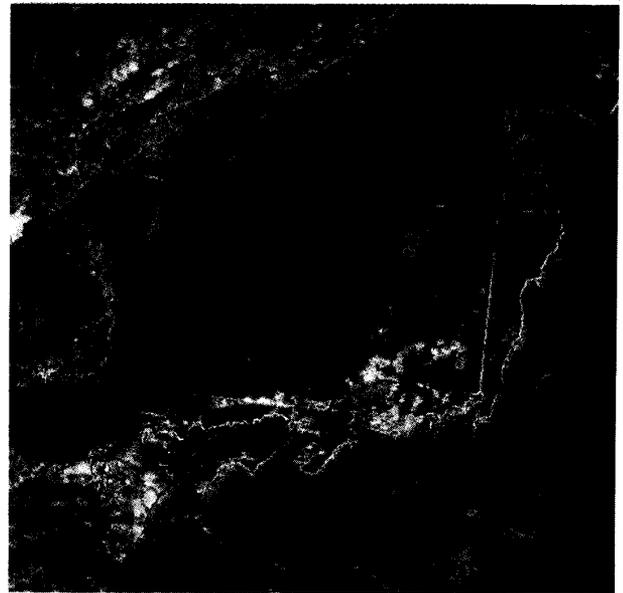
写真4・9 可視画像（NOAA-9, #03552）
誤った処理例

写真4.4は経緯度線を、写真4.5は経緯度線と陸地の海岸線とを挿入したものである。これらの処理により高層にまで発達した雲の所在地域が明確に特定できる。

写真4.6は日本列島の付近だけをハードウェアズームした部分拡大画（これは再試行した画像であり、疑似カラーの割り当てレベルが写真4.4までのものと異なっている）であり、写真4.7はさらに中四国地域のみをハードウェアズームした画像である。

赤外画像にたいして同じ処理を行い、日本列島の付近だけをハードウェアズームした部分拡大画像を写真4.8に示している。これによれば、地域的な地表面の温度分布を知ることができる。同写真において、緑色を呈している地域が温度の高い所であり、この日、東京、名古屋、福井などが高温であったことが解る。

以上のように、対象地域を特定するにグリッティング処理は不可欠であり、有効であることが実証された。

グリッティング処理においては、衛星の位置をTBU Sプレインで通報される衛星の軌道要素から計算し、観測された地球上に場所を推定している。

衛星が地表面を観測し、その信号が受信されるまでには、既述のように、MIRPによりデータ処理されてAPT画像が生成されるまでの時間遅れのほか、電波伝搬による時間遅れが加わる。したがって、これらの時間遅れを考慮して、上の推定位置を修正しなければならない。

現在のところ、グリッティング処理過程の初期におい

てオペレータが、画像中の半島、湖などの特徴的な場所（グランドコントロールポイント）と経緯線、海岸線をアダプティブに一致させることにより修正を施している。

写真4.9はNOAA—9号の可視画像を1985年08月21日14:40:25 (J.S.T) {軌道番号03552, 昇交時間05:33:25Z, 昇交経度134.00°E} から受信したものであり、経緯線、海岸線を挿入して部分拡大した画像である。

上述の修正が不適当に行われたため、経緯線、海岸線の位置がずれて挿入されている。

5. むすび

以上、NOAAのAPT画像に対するグリッティング処理の手法について述べ、2, 3の処理画像を示した。

実用上、十分満足な結果が得られているが、さらに検討すべき課題として、

- 1) 計算時間の短縮を目的として、原画像のうち33×33点の画像の経緯度のみを軌道計算で求め、他の画素については、補間することにより推定している。採用している2次射影変換式（補間式）は、適用する領域が直線で囲まれている場合、即ち台形領域の場合にのみ有効であり、そうでない場合には不都合が生じる可能性がある。本例については、現在のところ問題は発生していないが、さらに検討する必要があること。

- 2) グリidding処理過程の初期において、画像中の半島、湖などの特徴的な場所(グランドコントロールポイント)と経緯線、海岸線をアダプティブに一致させることが、オペレータにより行われている。この過程を自動化する必要があること。
- 3) 主に、ハードウェアからの制約があるが、計算時間の短縮に努めなければならないこと。
- 4) 地理緯度への変換においては、地球の円転楕円体形状を考慮しているが、画像入力時の走査距離(地表面距離)に対しては考慮していない。将来、取得画素数を増やした場合、当然問題となろう。
- 5) 本手法は、衛星画像に経緯度線、海岸線を挿入するグリidding処理である。ところが衛星の通過位置が軌道毎に異なるため、取得される画像の撮影場所も軌道毎に異なり、異軌道で取得された画像とは直接重ね合わせるなど、相互に比較することが出来ない。

これを解決するため本例とは逆に、予め用意されている標準の地図(メルカトル地図、ポーラスステレオ地図など利用目的に応じた各種の地図)上に、取得された衛星画像を書き込む、即ち衛星画像の地図化処理が必要となってくる。

これについては、画像の各画素の経緯度が既に計算されているので、さほど困難な問題は残っていない。

以上のような課題について、現在検討を加えているの

で近い機会にそれらの結果を報告する。

最後の、常に多くをご教示頂くことに対して、気象庁予報部通報課、田村恵補氏に深く感謝致します。

6. 参考文献

- 1) 藤本, 田中: 気象衛星画像のグリidding処理, 電気四学会中国支部連合大会講演論文集, P 163, (昭和60)
- 2) 藤本, 田中: 気象衛星画像受信システム, 電気四学会中国支部連合大会講演論文集, P 112, (昭和59)
- 3) 藤本, 田中: 気象衛星画像受信システム, 宇部高専研究報告, 32, P 29-37, (昭和61, 3)
- 4) J.C.Barnes, M.D.Smallwood: TIROS-N Series Direct Readout Services Users Guide, National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Department of Commerce, (Mar.1982)
- 5) 高木幹雄: 学術情報としての衛星データの直接取得とその高次利用に関する研究: 昭和57年度科学研究費補助金一般研究(A)研究成果報告書, (昭和58, 3)
- 6) 虎尾正久: 宇宙航行の数学, 森北出版, (昭和45, 11)
- 7) 山田陽志郎: 人工衛星の軌道計算と観測, 伊東, 西城編: 工作による天体観測, P 94-104, 共立出版, (昭和59)

(昭和61年10月9日受理)