リモートセンシング画像処理基本ソフトウェアの開発? 広域衛星画像の地理的変換

著者	矢崎 忍, 建石 隆太郎
雑誌名	国立防災科学技術センター 研究報告
巻	43
ページ	223-246
発行年	1989-03
URL	http://doi.org/10.24732/nied.00000990

528.235/236

リモートセンシング画像処理基本ソフトウェアの開発
Ⅰ．広域衛星画像の地理的変換

矢崎　忍*・建石隆太郎**

国立防災科学技術センター

Development of Foundamental Softwaren in Remote Sensing Image Processing
I. Geographical Transformation of Wide View Satellite Image

By
Shinobu YAZAKI
National Reserch Center for Disaster Prevention, Japan

Ryutaro TATEISHI
Chiba University

Abstract

As one of the series of development program of foundamental softwares of remote sensing data proccesing, correspondence between satellite image and geographical location is dealt with. The polynominal formula of transformation based on GCP data that are valid for LANDSAT image is not sufficient for wide view satellite images such as MOS-1 VTIR or NOAA AVHRR.

For those images, formula based on the map projection is neccesary. In this report.

1) Composition of transformation formula between image coordinate and geographical coordinate and evaluation of coeficients in the formula.
2) Superposion of geographical map grid on satellite image.
3) Transformation of one satellite image to another image coordinate of different projection.

are given for images of Mercator and LCC projection.

And as the unified projection coordinate for resulting image, the square coordinate system is proposed.

1. はじめに

1987年より日本の人工衛星 MOS－1（Marine Observation Satellite－1）の受信

*第4研究部，計測研究室　　**千葉大学

が始まり，当センターにおいても解析が始まった．ＭＯＳ－１は３つの地上撮像センサーＭＥＳＳＲ（Multispectral Electronic Self-Scanning Radiometer），ＶＴＩＲ（Visible and Thermal Infrared Radiometer）およびＭＳＲ（Microwave Scanning Radiometer）を搭載している．このうちＭＥＳＳＲは可視，近赤外の高分解能，狭域の放射計で仕様はＬＡＮＤＳＡＴに近い．ＶＴＩＲは可視～熱赤外の中分解能，広域の放射計で海面・地表・雲頂温度分布の測定を目的にしている．またＭＳＲはマイクロ波の低分解能，広域の放射計で大気中の水分量や雪，氷の分布などの測定を目的にしている．一方，既に運用されているアメリカの気象衛星ＮＯＡＡの画像は，その観測波長等の仕様がＭＯＳ－１/ＶＴＩＲと一部共通しており，ＶＴＩＲと相互補完的に利用できる．広域の気象，気候変動の予測等，防災分野におけるこれらのデータの利用が期待される．

リモートセンシングの分野で，当センターはこれまでＬＡＮＤＳＡＴのＭＳＳやＴＭ，あるいはＳＰＯＴの画像を用いて，おもに陸域を対象に災害状況の検出や災害に関連した環境の調査を行ってきた．これらの衛星画像はおもに可視，近赤外の比較的狭い範囲（数10㎞～100㎞）の画像であった．これに対してＭＯＳ－１／ＶＴＩＲ，ＭＳＲやＮＯＡＡ/ＡＶＨＲＲは数100㎞～数1000㎞におよぶ広い範囲の画像であり，画像と地上位置の対応において従来のＬＡＮＤＳＡＴ等と異なる手法を要する．

本報告は，人工衛星リモートセンシングにおける基本的ソフトウェアの開発の一環として，ＭＯＳ－１　ＶＴＩＲ，ＭＳＲおよびＮＯＡＡを対象に実施した広域画像の地上位置との対応および幾何学的変換について述べたものである．

2. 広域衛星画像と地図投影

衛星画像を扱う場合画像上の各ピクセルと地上における位置の対応は最も基本である．衛星画像とそれに対応する地球上の位置の関係を示したものが図１である．ＬＡＮＤＳＡＴやＭＯＳ－１　ＭＥＳＳＲなどにより陸域の地表を解析対象とする場合，通常良く晴れた日の雲の少ない画像を扱うので画像上にＧＣＰ（ground control point）を容易にとることができる．さらにこれらの場合，一度に解析する領域の大きさは高々100㎞×100㎞程度であるので地球の曲率の影響は小さく，経度，緯度と画像座標とはＧＣＰデータから最小自乗法によって係数を決定した１次または低次の変換式により精度よく変換できる．

これに対してＭＯＳ－１／ＶＴＩＲ，ＭＳＲやＮＯＡＡなどの広域の画像の場合，地表ばかりではなく海面や雲も解析の対象にするので必ずしもつねにＧＣＰをとることができるとは限らない．また，よく晴れた画像で陸域にＧＣＰをとることができても，この場合地球の曲率が無視できないので変換式は高次になる．これに対して陸域の範囲は全画像においては片寄っているので，ＧＣＰデータのみから画像全体で有効な変換式を構成することは困難

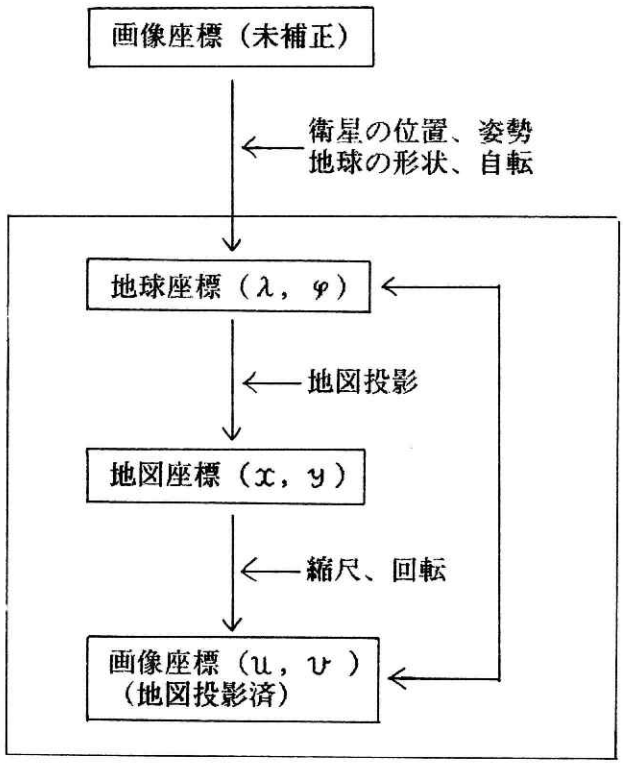


図1　衛星画像と地球上の位置との関係
Fig. Fig. 1 Transformation process from satellite image to geographical coordinate

である．またＭＳＲの画像では分解能が低くもともとＧＣＰをとることができない．

したがって，これらの画像に対してはＧＣＰを用いない方法，すなわち衛是と地球の位置関係のデータから原画像の各ピクセルに対応する地上位置を計算する方法によらなければならない．我々が利用できる衛星画像には地図投影のなされていない原画像と規定の地図上に投影された画像があるが，本稿では地図投影された画像におけるピクセルと地上位置の対応，すなわち図１の枠で囲んだ部分についてのみ述べる．

地図投影には多くの図法があるが，ここではＭＯＳ－１で用いられているＬＣＣ図法（Lambert Conformal Conic，ランベルト正軸円錐図法）とＭＯＳ－１およびＮＯＡＡで用いられているメルカトール図法をとりあげ，これらに対して

(1) 地球座標から画像座標への変換および逆変換

(2) 衛星画像への等緯度線，等経度線および海岸線の書き入れ

(3) 投影法の異なる衛星画像の相互の変換および任意の地図上への変換

を実施した．

3. 地球座標と画像座標との変換

地上の位置は経度と緯度で表わせるが，ここではこれを地球座標と呼んで（λ，φ）で表わすことにする（λ，φはそれぞれ東，北方向を正とする）．一方，画像上のピクセル位置はピクセル値とライン値で表わせる．ここではこれを画像座標と呼んで（u，v）で表わすことにする．画像座標は画像の左上を原点（u＝v＝1）として右方および下方をそれぞれ正にとる．地上位置と画像上の位置との対応を知るということは，地球座標と画像座標との変換式を求めることに他ならない．

地図投影された画像の場合地球座標から画像座標への変換は図１に示すように地図座標を介して行われる．地図座標というのは投影面上にとった直交座標で（x，y）で表わすことにする．なお，ここでは地球をベッセル回転楕円体と仮定し赤道半径をＲで，離心率をｅで表わすことにする．

メルカトール図法とＬＣＣ図法の地図投影変換式ではφはつねに

$$\tan\left[\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right]\left[\frac{1-e\ \sin\varphi}{1+e\ \sin\varphi}\right]^{\frac{e}{2}} \qquad (1)$$

または

$$\tan\left[\frac{\pi}{4}-\frac{\varphi}{2}\right]\left[\frac{1+e\ \sin\varphi}{1-e\ \sin\varphi}\right]^{\frac{e}{2}} \qquad (2)$$

という形で現れる．そこで簡単のため（１）を f（φ）で表わすことにする（このとき(2)は 1／f（φ）で表わされる）．すなわち，

$$f(\varphi) \equiv \tan\left[\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right]\left[\frac{1-e\ \sin\varphi}{1+e\ \sin\varphi}\right]^{\frac{e}{2}}$$

$$= 1 \Big/ \left\{\tan\left[\frac{\pi}{4}-\frac{\varphi}{2}\right]\left[\frac{1+e\ \sin\varphi}{1-e\ \sin\varphi}\right]^{\frac{e}{2}}\right\} \qquad (3)$$

f（φ）の逆関数 f^{-1}（t）も現れるがこれは解析的には表わせない（f^{-1}（t）については付録を参照）．

以下に，メルカトール図法およびＬＣＣ図法についてそれぞれの変換式を示す．

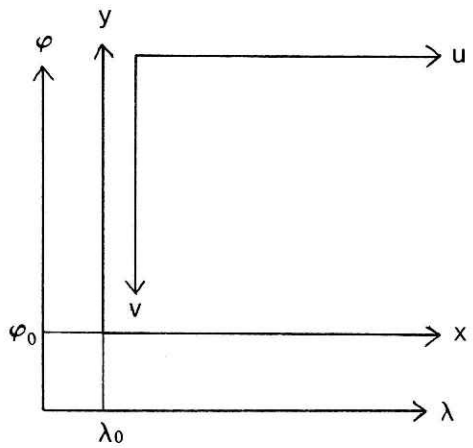


図2　メルカトール図法における各座標間の関係
Fig. 2　Relation of three coordinate systems on the Mercator projection plane

3.1　メルカトール図法

経緯度（λ_0，φ_0）の点を地図座標原点（x＝y＝0）にとり緯線に沿って東向きにx軸を，経線に沿って北向きにy軸をとる（図2）．このとき（λ，φ）と（x，y）の関係はメルカトール図法の地図投影法の公式によって

$$\left.\begin{aligned} x &= R\,(\lambda - \lambda_0) \\ y &= R\{\ln f(\varphi) - \ln f(\varphi_0)\} \end{aligned}\right\} \qquad (4)$$

で与えられる．

メルカトール図法の場合通常，画像座標を経緯線に沿ってとるので，ここでもそのようにとる（図2）．このとき（x，y）から（u，v）への変換は

$$\left.\begin{aligned} u &= u_0 + \frac{x}{d} \\ v &= v_0 - \frac{y}{d} \end{aligned}\right\} \qquad (5)$$

で表わされる．ここで（u_0，v_0）は地図座標原点（x＝y＝0）の画像座標，dはφ＝0（赤道）におけるピクセルの大きさである（ピクセルは正方形とする）．

（4）と（5）からx，yを消去して

$$\left.\begin{aligned} u &= U + \frac{\lambda}{D} \\ v &= V - \frac{1}{D}\ln f(\varphi) \end{aligned}\right\} \qquad (6)$$

また，これを λ，φ について解いて

$$\left.\begin{aligned} \lambda &= D\,(u - U) \\ \varphi &= f^{-1}\left[\exp\{-D\,(v - V)\}\right] \end{aligned}\right\} \qquad (7)$$

が得られる．ここに

$$\left.\begin{aligned} D &= \frac{d}{R} \\ U &= u_0 - \frac{\lambda_0}{D} \\ V &= v_0 + \frac{1}{D}\ln f(\varphi_0) \end{aligned}\right\} \qquad (8)$$

である．これらの変換式からわかるように，この場合の地球座標と画像座標との変換のパラメーターは3つである．

NOAA　AVHRR，87.6.17モードS画像の例

この場合地図投影のパラメーターとして

$\lambda_1 = 135.0$（°E）：画像原点（u＝v＝1）の経度

$\varphi_1 = 44.0$（°N）：　〃　緯度

$d = 3.0$（km）：赤道におけるピクセルサイズ

が与えられている．これから（8）により

$D = 0.0004704$

が得られ，（6）に（λ，φ）＝（λ_1，φ_1），（u，v）＝（1，1）を代入することにより

$U = -5007.80$

$V = 1812.74$

が得られる．

3.2　LCC図法

ここではMOS－1で用いられている2基線正角円錐図法について述べる．これは軸が地軸と一致し2つの緯度（これらを φ_1，φ_2（$\varphi_1 < \varphi_2$）とする）で地球と交わる円錐面に投影する図法である．

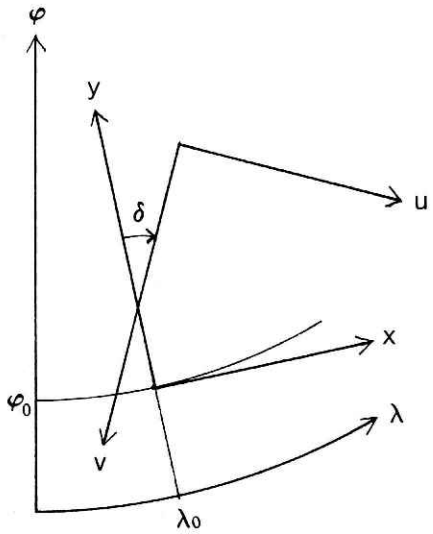


図3　ＬＣＣ図法における各座標間の関係
Fig. 3　Relation of three coordinate systems on the LCC projection plane

正軸図法であるから，経線は投影面上で常に直線になる．そこで地図座標として経緯度（λ_0，φ_0）の点を原点（x＝y＝0）とし経線に沿って北向きにy軸を，y軸に直交して東向きにx軸をとることにする（図3）．このとき（λ，φ）と（x，y）の関係はＬＣＣ図法の地図投影法の公式によって

$$\left.\begin{aligned} x &= \kappa \{ f(\varphi) \}^{-\mu} \sin \mu (\lambda - \lambda_0) \\ y &= \kappa [\{ f(\varphi_0) \}^{-\mu} - \{ f(\varphi) \}^{-\mu} \cos \mu (\lambda - \lambda_0)] \end{aligned}\right\} \quad (9)$$

で与えられる．ここで μ，κ は

$$\mu = \ln \left\{ \frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_2} \left[\frac{1 - e^2 \sin^2 \varphi_2}{1 - e^2 \sin^2 \varphi_1} \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \Big/ \ln \left[\frac{f(\varphi_2)}{f(\varphi_1)} \right] \quad (10)$$

$$\kappa = \frac{R \cos \varphi_1 \{ f(\varphi_1) \}^{\mu}}{\mu \sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi_1}}$$

で定義される定数である．

地図投影画像はその定義から投影面上の像を形を変えずに適当に縮尺したものであるから，この変換は原点移動，縮小および回転によって表わされる．すなわち

$$\left.\begin{aligned} u &= u_0 + \frac{1}{d}\left(x\cos\delta - y\sin\delta\right) \\ v &= v_0 - \frac{1}{d}\left(x\sin\delta + y\cos\delta\right) \end{aligned}\right\} \tag{11}$$

ここで（u_0，v_0）は地図座標原点（$x=y=0$）の画像座標，dは基準緯度（$\varphi=\varphi_1$，$\varphi=\varphi_2$）におけるピクセルのサイズ，δはv軸のy軸に対するに傾き（y軸に対して－v軸が時計回りの向きのとき正とする）である（図3）．

（9）と（11）からx，yを消去して

$$\left.\begin{aligned} u &= U + \frac{1}{D}\left\{f(\varphi)\right\}^{-\mu}\sin(\mu\lambda + \Delta) \\ v &= V + \frac{1}{D}\left\{f(\varphi)\right\}^{-\mu}\cos(\mu\lambda + \Delta) \end{aligned}\right\} \tag{12}$$

また，これをλ，φについて解いて

$$\left.\begin{aligned} \lambda &= \frac{1}{\mu}\left[\arctan\frac{u-U}{v-V} - \Delta\right] \\ \varphi &= f^{-1}\left\{\left[D^2\left((u-U)^2 + (v-V)^2\right)\right]^{-\frac{1}{2\mu}}\right\} \end{aligned}\right\} \tag{13}$$

が得られる．ここで

$$
\left.
\begin{aligned}
D &= \frac{d}{\chi} \\
U &= u_0 - \frac{1}{D}\{f(\varphi_0)\}^{-\mu}\sin\delta \\
V &= v_0 - \frac{1}{D}\{f(\varphi_0)\}^{-\mu}\cos\delta \\
\Delta &= \delta - \mu\lambda_0
\end{aligned}
\right\} \qquad (14)
$$

である．したがって，この場合地球座標と画像座標との変換を規定するパラメーターは U，V，D，Δ および μ の５つである．

ＶＴＩＲ，87．6．17画像の例

この場合変換パラメーターを求める方法はいろいろあるが，ここではそのうちの１つを示す．用いるデータは

$\varphi_1 = 20$ （°）	：	基準緯度１
$\varphi_2 = 50$ （°）	：	〃　２
$\lambda_0 = 139.35$ （°Ｅ）	：	地図座標原点経度
$\varphi_0 = 35.98$ （°Ｎ）	：	〃　緯度
$d = 0.909$ （km）	：	ピクセルサイズ
$\delta = 16.00$ （°）	：	画像軸の傾き
$x_w = -63.160164$ （km）	：	ＷＲＳセンターのｘ座標
$y_w = 34.636581$ （km）	：	〃　ｙ〃
$u_w = 1787.73$	：	〃　ｕ〃
$v_w = 2132.99$	：	〃　ｖ〃

である．まず φ_1，φ_2 から（10）により

$$\mu = 0.580483$$
$$\chi = 12684.6 \quad (\text{km})$$

が得られる．つぎに（11）において d，δ が与えられているので，１つの点の地図座標と画

像座標があれば u_0，v_0 が求まるが，このような点としてＷＲＳセンターの値が利用できる．すなわち（11）に（x，y）＝（x_w，y_w），（u，v）＝（u_w，v_w）を代入して

$$u_0 = 1865.0$$
$$v_0 = 2150.5$$

が求まる．最後に，（14）により

$$D = 7.1662 * 10^{-5}$$
$$U = -742.1$$
$$V = -6941.7$$
$$\Delta = -64.89 \quad (^\circ)$$

が得られる．u_0，v_0，d，δ はここで述べたやりかたの他に，チックマークデータなどから最小自乗法により求めることもできる（この場合は地図座標原点は任意である）．

4. 衛星画像への等緯度線，等経度線および海岸線の書き入れ

ＶＴＩＲやＮＯＡＡの画像範囲のような広域でみると平均的に地表の６～８割は雲に覆われている．特に陸地付近は雲が出やすく海岸線がはっきり見える画像はむしろ少ない．したがってこれらの画像では目視によって地上位置との対応をつけるのは容易ではない．このとき画像上に海岸線や経緯線を重ね合わせると，この対応は容易になる．

等経度線，等緯度線および海岸線を経度，緯度で表わしたデータとして用意しておけば，3.で求めたような経度，緯度から画像座標への変換式により，任意の図法により地図投影された画像上に重ねて描くことができる．

図４～図６にそれぞれＶＴＩＲ，ＭＳＲおよびＮＯＡＡの画像に経緯線と海岸線を重ね合わせたものを示す．

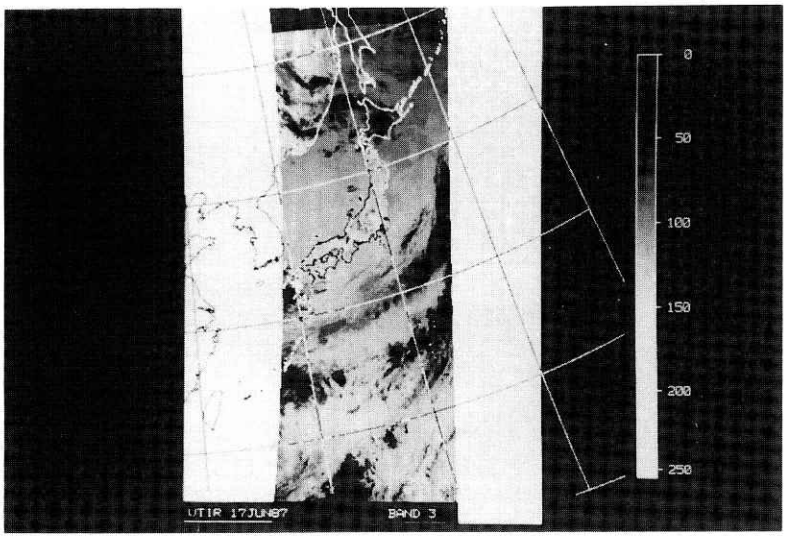


図4　MOS-1 VTIR 画像（LCC図法）と地図・経緯線との重ね合わせ
Fig. 4　VTIR image and geographical map and grid superposition (the LCC projection)

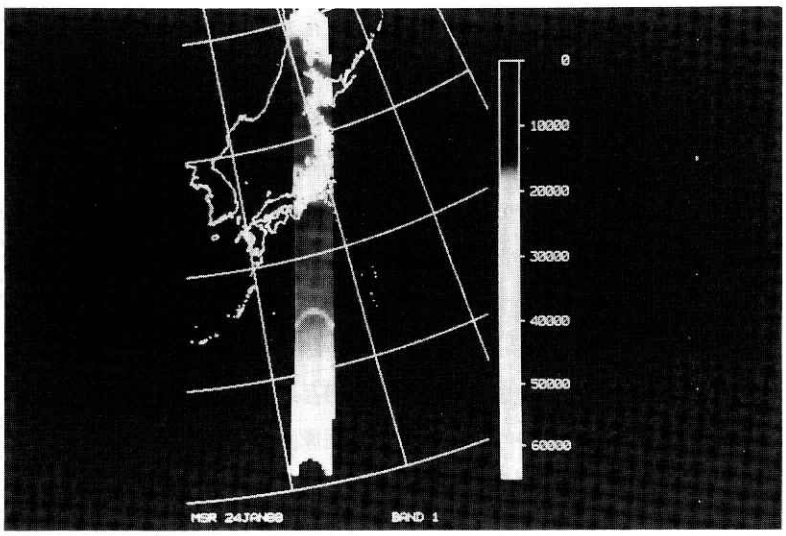


図5　MOS-1 MSR 画像（LCC図法）と地図・経緯線との重ね合わせ
Fig. 5　MSR image and geographical map and grid superposition (the LCC projection)

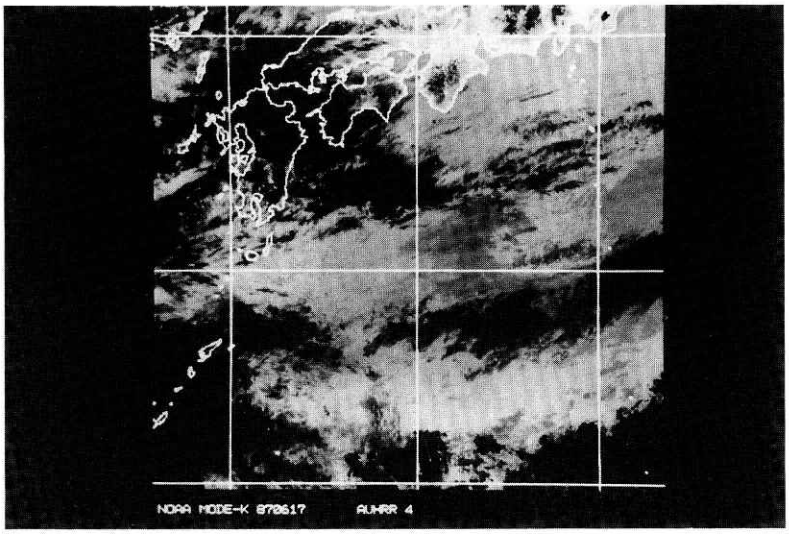


図６　　NOAA AVHRR 画像（メルカトール図法）と地図・経緯線との重ね合わせ
Fig.6　NOAA image and geographical map and grid superposition (the Mercator projection)

5. 衛星画像の相互の交換

衛星画像を画像座標系の異なる別の衛星画像の上に変換して２つの画像を幾何学的に重ね合わせることはいろいろな場合に必要になる．１つには同種の画像を比較するためである．例えばＶＴＩＲとＶＴＩＲ，あるいはＶＴＩＲとＮＯＡＡ　ＡＶＨＲＲの観測日時の違う２つの画像をラジオメトリック特性を一致させた後，差をとることにより経時変化を抽出することができる．もう１つは，同一の衛星の異なるセンサーによる２つの画像を重ね合わせることにより１つの多バンドデータとして利用するためである．ＭＯＳ－１のＶＴＩＲとＭＳＲは同時に観測を行い，それぞれ４つのバンドをもつが，これを重ね合わせることにより共通する部分では８バンドのデータとして利用することができる．ＶＴＩＲはおもに温度情報を，ＭＳＲはおもに大気中の水分量の情報を持つので相互に補正情報として利用できる．

２つの画像を重ね合わせるということは２つの画像座標間の変換を求めるということである．それぞれの画像座標と地球座標の変換が求められていれば，画像座標間の変換は一方の画像座標を地球座標に変換してそれを他方の画像座標に変換することにより得られる．すなわち，２つの画像Ａ，Ｂの画像座標をそれぞれ（u_A，v_A），（u_B，v_B）とすると

$$(u_A,\ v_A) \rightarrow (\lambda,\ \varphi) \rightarrow (u_B,\ v_B) \qquad (*)$$

と表わせる．

画像変換を行なうには各画素毎にこれらの計算をしなければならないので，無駄な計算はできるだけ省いて計算量が少なくなるようにしておくことは有用である．そのためには(＊)の2つの変換式から λ，φ を消去して直接 u_A，v_A から u_B，v_B への変換式を求めておけばよい．ここでは特に利用度の高い，メルカトールとＬＣＣ，およびＬＣＣどうしについて画像座標間の変換式を求めておく．

5.1　メルカトール画像とＬＣＣ画像との変換

メルカトール画像の画像座標を（u_M，v_M），ＬＣＣ画像の画像座標を（u_L，v_L）とすると，（u_M，v_M）と（u_L，v_L）との変換は（7），(12) から λ，φ を消去して

$$\left.\begin{aligned} u_L &= U_1 + \frac{1}{D_1}\ \exp(\mu_1\ v_M)\ \sin(\mu_1\ u_M + \Delta_1) \\ v_L &= V_1 + \frac{1}{D_1}\ \exp(\mu_1\ v_M)\ \cos(\mu_1\ u_M + \Delta_1) \end{aligned}\right\} \qquad (15)$$

およびこれを u_M，v_M について解いて

$$\left.\begin{aligned} u_M &= \frac{1}{\mu_1}\left\{\arctan\left[\frac{u_L - U_1}{v_L - V_1}\right] - \Delta_1\right\} \\ v_M &= \frac{1}{2\,\mu_1}\ln\left[D_1^2\left\{(u_L - U_1)^2 + (v_L - V_1)^2\right\}\right] \end{aligned}\right\} \qquad (16)$$

と得られる．ここで

$$\left.\begin{aligned} \mu_1 &= \mu_L\ D_M \\ D_1 &= D_L\ \exp(\mu_1\ V_M) \\ \Delta_1 &= \Delta_L - \mu_1\ V_M \\ U_1 &= U_L \\ V_1 &= V_L \end{aligned}\right\} \qquad (17)$$

である．（17）でサフィックスのＭおよびＬはそれぞれ（８），（14）で与えられたメルカトールとＬＣＣの変換のパラメータを示す．

ＮＯＡＡ　ＡＶＨＲＲのメルカトール投影画像は日本付近を約1500㎞（東西）×1400㎞（南北）（画素数　512×480）の５つのブロックに分けて提供される．

ＮＯＡＡ，87．6．17とＶＴＩＲ，87．6．17の重ね合せての例

ＮＯＡＡとＶＴＩＲのパラメータは3.1および3.2で求めてあるのでこれらを（17）に代入して

$$\mu_1 = 2.7306 * 10^{-4}$$
$$D_1 = 1.1756 * 10^{-4}$$
$$\Delta_1 = 13.46 \quad (^\circ)$$
$$U_1 = -742.11$$
$$V_1 = -6941.70$$

が得られる．

ここではＮＯＡＡをＶＴＩＲの上に変換した例を示す．図７はＶＴＩＲのバンド３画像を，図８はＮＯＡＡチャネル４画像をそれぞれ温度表示したもので（観測波長は共に10.5～11.5μｍ），図８は図７の約４時間後の画像である．図９にＮＯＡＡの温度からＶＴＩＲの温度を引いた差の画像を示す．この図で明るいところは４時間の間に温度の上昇したところを，暗いところは温度の下降したところを示している．

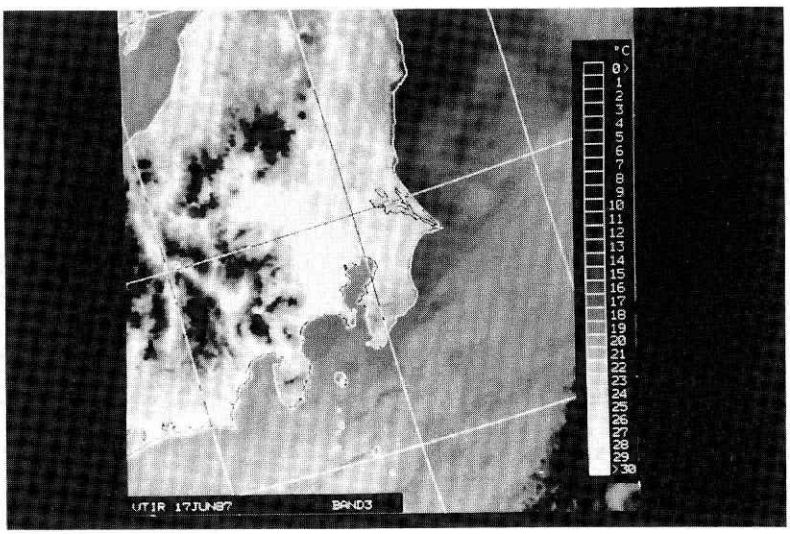


図７　ＶＴＩＲバンド３から求められた温度分布（関東周辺）
（観測日時：1987.6.17　10：20（ＪＳＴ）頃）

Fig.7　Temperature distribution in and around the Kanto area due to brightness of VTIR band-3 at 10：20（JST），17．Jun．1987



図8　NOAA AVHRRチャンネル4から求められた温度分布（VTIR（図7））との重ね合わせ画像（観測日時：1987.6.17 14：10（JST）頃）

Fig.8　Temperature distribution due to brightness of NOAA channel－4 at 14：10 (JST), 17. Jun. 1987, transformed to the VTIR image coordinate of Fig.7

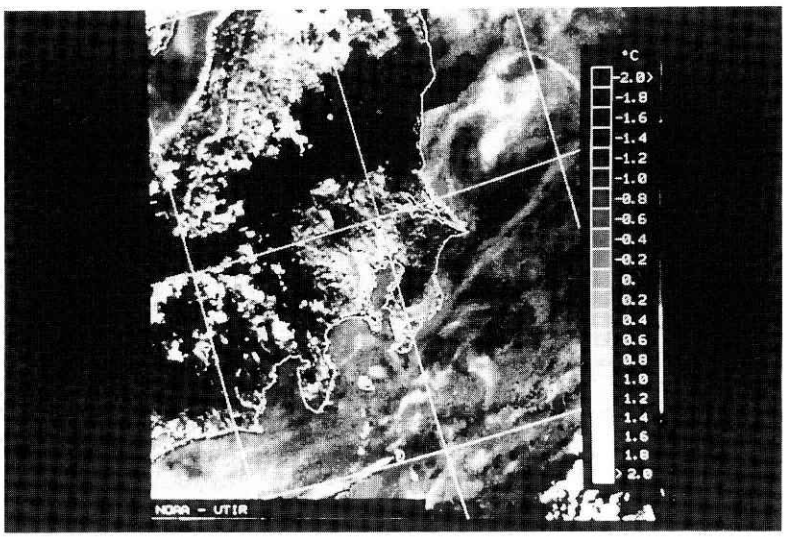


図9　NOAAの温度（6.17, 14：10）とVTIRの温度（6.17, 10：20）との差

Fig.9　Temperature difference between the NOAA image of Fig.8 and the VTIR image of Fig.7

5.2　ＬＣＣどうしの変換

ここでは２つの基準緯度（φ_1，φ_2）は共通とする．ＭＯＳ－１のＬＣＣ画像はすべてこの場合にあてはめる．このときは地図投影面が共通であるから画像座標どうしは原点移動，回転および拡大・縮小の関係，すなわちヘルマート変換の関係になる．したがって，２つのＬＣＣ画像の画像座標をそれぞれ（u_A，v_A），（u_B，v_B）とするとこの変換は

$$\left.\begin{aligned} u_B &= a\,u_A + b\,v_A + c \\ v_B &= -b\,u_A + a\,v_A + d \end{aligned}\right\} \quad (18)$$

および

$$\left.\begin{aligned} u_A &= p\,u_B + q\,v_B + r \\ v_A &= -q\,u_B + p\,v_B + s \end{aligned}\right\} \quad (19)$$

で与えられる．ここで係数 a，b，…… は

$$\left.\begin{aligned} a &= \frac{D_A}{D_B}\cos(\Delta_B - \Delta_A) \\ b &= \frac{D_A}{D_B}\sin(\Delta_B - \Delta_B) \\ c &= U_B - a\,U_A - b\,V_A \\ d &= V_B + b\,U_A - a\,V_A \\ p &= \frac{D_B}{D_A}\cos(\Delta_A - \Delta_B) \\ q &= \frac{D_B}{D_A}\sin(\Delta_A - \Delta_B) \\ r &= U_A - p\,U_B - q\,V_B \\ s &= V_A + q\,U_B - p\,V_B \end{aligned}\right\} \quad (20)$$

で与えられる．（20）でサフィックスの A および B はそれぞれの画像の（14）で与えられるパラメータを示す．

ＶＴＩＲ，87. 8. 8 と　ＭＳＲ　87. 8. 8 の重ね合せの例

これらの画像の場合 $\varphi_1 = 20$（°），$\varphi_2 = 50$（°）は共通である．3.2 と同様にＶＴＩＲ（画像 A とする）およびＭＳＲ（画像Ｂとする）のパラメータを求めると

$$D_A = 7.1662 * 10^{-5}$$

$$U_A = -541.75$$

$$V_A = -7365.58$$

$$\Delta_A = -64.89 \quad (°)$$

および

$$D_B = 7.8836 * 10^{-4}$$

$$U_B = -143.64$$

$$V_B = -357.21$$

$$\Delta_B = -64.71 \quad (°)$$

が得られる．これらから（20）により

$$a = .090900$$

$$b = .000279$$

$$c = -92.339$$

$$d = 312.170$$

$$p = 11.00105$$

$$q = -0.03381$$

$$r = 1026.377$$

$$s = -3431.075$$

が得られる．

図10に88年１月24日のＶＴＩＲ画像（一部）を，図11に図10のＶＴＩＲ画像と同時に観測されたＭＳＲ画像をＶＴＩＲ画像の上に変換したものを示す．

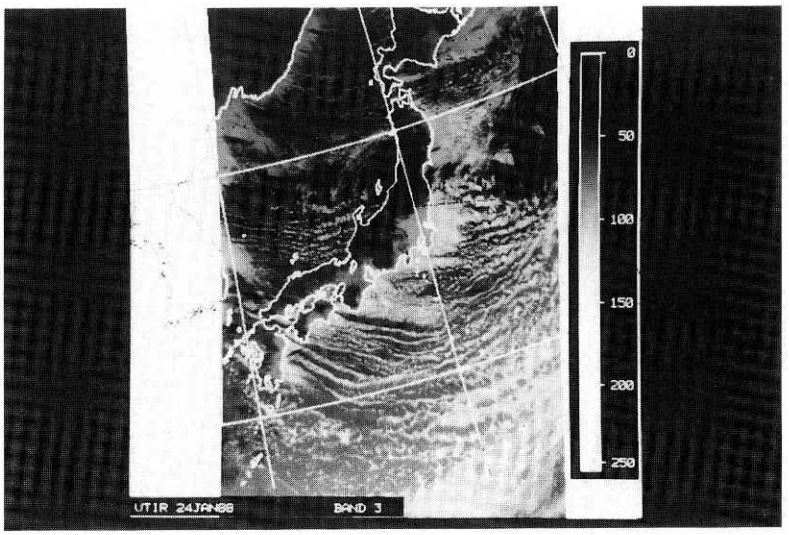


図10　ＶＴＩＲバンド３画像（1988.1.24，日本全土および周辺）
Fig.10　VTIR band-3 image of 24. Jan. 1988, in and around the Japan islands

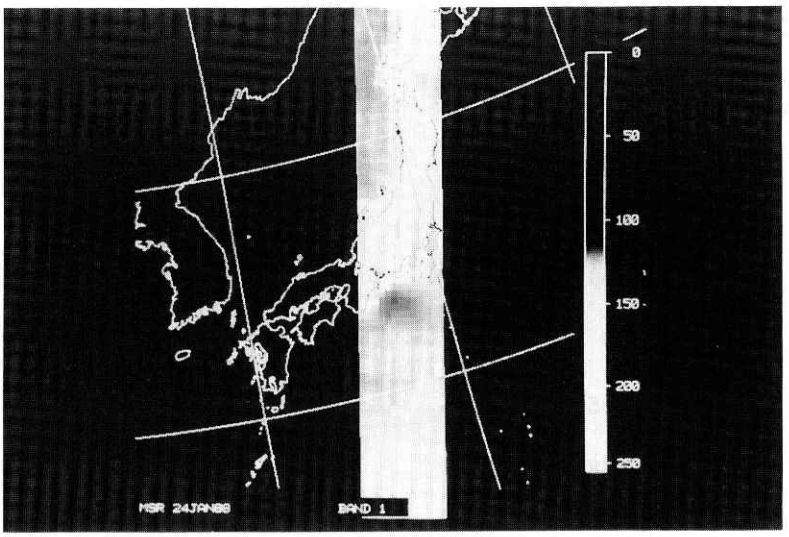


図11　ＭＳＲバンド１画像（1988.1.24）とＶＴＩＲ（図10）との重ね合わせ
Fig.11　MSR band-1 image of 24. Jan. 1988 transformed to the VTIR coordinate of Fig.10

5.3　正方形図法への変換

幾何学的に未補正の画像も含めて，いろいろな地図投影法による広域の衛星画像を処理した結果得られた画像（例えば海面温度分布等）をデータファイルとして蓄積していくようなとき，共通の図法に変換しておいたほうが後の利用のために都合がよい．このような共通の図法の要件としては，画像と地上位置の対応が簡単で，広い範囲で均一な表示がなされ，しかも形や面積の歪のあまり大きくない図法が好ましい．まず，画像と地上位置の対応が簡単で広い範囲で均一な表示がなされているという点では円筒図法がよい．円筒図法のうちで例えばメルカトール図法は方位を正しく表わすことを目的にした図法であり，したがって方位は正しく表わされるが高緯度で面積が著しく拡大される欠点がある．また面積を正しく表わす図法である等積図法では高緯度で形が著しく歪む．このようにすべてを正しく表わすことができない以上それぞれ一長一短があるが，ここでは正方形図法をとりあげる．

正方形図法は一定の経緯度差を地図上の正方形に対応させるもので，一定の経緯度差の領域が画像の一つのピクセルに対応するので対応関係がきわめて簡単である．また形や面積の歪みもそれほど大きくはない．

この図法では地球座標と画像座標の変換は簡単に

$$u = \frac{\lambda - \lambda_0}{D} + 1$$

$$v = \frac{\varphi_0 - \varphi}{D} + 1 \qquad (21)$$

および

$$\lambda = \lambda_0 + D\,(u - 1)$$

$$\varphi = \varphi_0 - D\,(v - 1) \qquad (22)$$

で与えられる．ここで λ_0，φ_0 は画像座標原点の経度，緯度，Dは経緯度で計ったピクセルの大きさである．

図12に正方形図法による表示例としてＶＴＩＲの画像を変換したものを示す．この図では $\lambda_0 = 110°\,E$，$\varphi_0 = 60°\,N$，$D = 0.1°$ である．

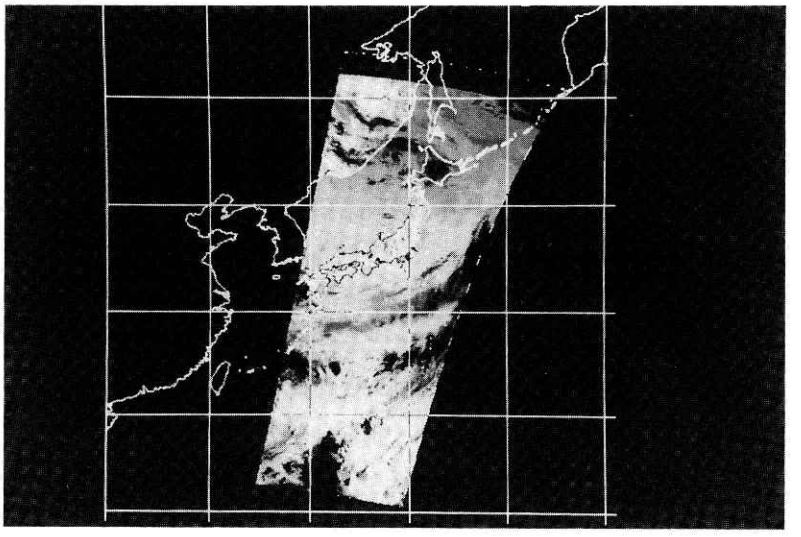


図12　正方形図法によるＶＴＩＲバンド３画像（1987.6.17）
Fig.12　Example of the square map projection applied to the VTIR band-3 image

6. まとめ

ＭＯＳ－１およびＮＯＡＡで用いられているメルカトール図法とＬＣＣ図法に対して，画像座標（ピクセル）と地球座標（経度，緯度）との変換式およびそれに含まれるパラメーターの値の決定のアルゴリズムを求めた．また，その変換式を用いて上記の図法に投影された衛星画像に等経度，等緯度線および海岸線の重ね合わせ，異なる地図投影法による衛星画像間の変換および共通地図座標系としての正方形図法への変換を行った．

これらの手法の開発によりＭＯＳ－１およびＮＯＡＡの画像を統一的に扱えるようにした．

参考文献

地図投影法の公式は宇宙開発事業団の内部資料より引用した．

（1988年12月19日　原稿受理）

付　録　f^{-1} の計算

f（φ）の逆関数 f^{-1}（t）は解析的に explicit な形には表わせないので逐次計算により値を求めなければならない．

$$\varphi = f^{-1}(t) \tag{A1}$$

とおくと，定義から

$$t = f(\varphi) = \tan\left[\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right]\left[\frac{1 - e\sin\varphi}{1 + e\sin\varphi}\right]^{\frac{e}{2}} \tag{A2}$$

これを変形して

$$\varphi = 2\arctan\left\{t\left[\frac{1 + e\sin\varphi}{1 - e\sin\varphi}\right]^{\frac{e}{2}}\right\} - \frac{\pi}{2} \tag{A3}$$

となる．この形のままで逐次計算してもよいが，三角関数の計算を多数回行なうことになるので次のようにしたほうが計算時間が少なくてすむ．

$$a = e\sin\varphi \tag{A4}$$

$$\theta = \arctan\left\{t\left[\frac{1 + a}{1 - a}\right]^{\frac{e}{2}}\right\} \tag{A5}$$

で a，θ を定義すると（A3）は

$$\varphi = 2\theta - \frac{\pi}{2} \tag{A6}$$

となる．（A４），（A６）から

$$a = -e \cos 2\theta \qquad (A7)$$

となるが，ここで三角関数の公式

$$\cos 2\theta = \frac{1 - \tan^2\theta}{1 + \tan^2\theta}$$

を使うと（A７）はまた

$$a = e\,\frac{\tan^2\theta - 1}{\tan^2\theta + 1} \qquad (A8)$$

と書ける．さらに

$$b = \tan^2\theta \qquad (A9)$$

で b を定義すると，（A８）は

$$a = e\,\frac{b - 1}{b + 1} \qquad (A10)$$

と書ける．一方，（A５），（A９）から

$$b = t^2\left[\frac{1 + a}{1 - a}\right]^e \qquad (A11)$$

が得られる．

（A10），（A11）は a，b に対する連立方程式になっているから，適当な初期値から始

めて（A10），（A11）を交互に求めていけばよい．漸化式の形に書けば例えば

$$\left.\begin{aligned} a_0 &= 0 \\ b_i &= t^2 \left[\frac{1 + a_{i-1}}{1 - a_{i-1}} \right]^e \\ a_i &= e \, \frac{b_i - 1}{b_i + 1} \end{aligned}\right\} \qquad (A12)$$

となる．これをn回繰り返して得られる a_n から，（A 4）により $\varphi(t)$ の第n近似として

$$\varphi_n(t) = \arcsin\left[\frac{a_n}{e} \right] \qquad (A13)$$

が求まる．

ここで（A12）の収束性を調べておく必要がある．収束残差 $\varphi_n(t) - \varphi(t)$ のtの値のすべて定義域（$0 \leqq t < \infty$）に亘る最大値を d_n，すなわち

$$d_n(t) = \max_t | \varphi_n(t) - \varphi(t) | \qquad (A14)$$

として，各nについて d_n を求めると，表A 1のようになった．例えば2回の繰り返しで収束残差は地上距離にして80m位である．したがって，MOS－1やNOAAの場合は地上分解能からみて $n = 2$ で十分であることが分かる．また，どのような場合にも $n = 3$ で十分であることも分かる．

最後に図A 1に（A12），（A13）を用いて $f^{-1}(t)$ を求める関数サブルーチンの例を示す．

表Ａ１　繰り返し回数と収束残差

Table A 1. Convergence residuals in terms of number of iteration

n	d_n（単位：度）	地上距離換算（概数）
1	2×10^{-1}	20 km
2	8×10^{-4}	80 m
3	4×10^{-6}	40 cm
4	3×10^{-8}	3 mm

```
      FUNCTION FINV(T)
      PARAMETER E = 0.0816968
      PARAMETER N = 2 ( or 3 )
      TT = T * T
      A = E * ( TT - 1 ) / ( TT + 1 )              = a1
      DO 1  I = 2 , N
      B = TT * ( ( 1 + A ) / ( 1 - A ) ) ** E      = bi
1     A = E * ( B - 1 ) / ( B + 1 )                = ai
      FINV = ASIN ( A / E )
      RETURN
      END
```

図Ａ１　$f^{-1}(t)$ を求めるFORTRANサブルーチン

Fig.A 1. A FORTRAN program to compute function $f^{-1}(t)$