

気象衛星ノア APT 画像の球面幾何歪補正

田中 護*・藤本 勉*・高浪五男**

A Correction of Spherical Geometric Distortion of Weather Satellite NOAA Images.

Mamoru TANAKA, Tutomu FUJIMOTO, Ituo TAKANAMI

Abstract

The APT (Automatic Picture Transmission) image of weather satellite NOAA is produced by the on-board computer from AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) data by using simple correction procedure for spherical geometric distortion, and has the facsimile signal format.

However, a spherical geometric distortion remains partially in the APT image in this simple correction procedure.

In order to reduce the distortion, the correction procedure is traced conversely, and a false AVHRR image is reproduced from the APT image.

The false AVHRR image is converted into the accurate equi-distance image again.

As a result of investigation of spherical geometric distortion which remains in the picture by the GCP (Ground Control Point) method, the distortion is extremely decreased by using their proposed method.

1. まえがき

U-MIPS (宇部高専気象情報処理システム)では、気象衛星 NOAA (米国)、風雲 (中国)、METEOR (ソ連)、ひまわり (日本) などの観測画像や気象ファクシミリ、気象テレタイプなどを直接受信し、利用技術の開発研究を行なっている。気象衛星画像のうち主に NOAA の APT 画像 (可視、赤外画像) に対して、有効的な利用が出来るように各種の画像処理を試みてきた。^{1),2)} NOAA は軌道傾斜角約98度、高度約850kmの極軌道を公転周期約1時間42分で周回し、1日に約3度軌道が東に移行する。この

ため受信する衛星画像の撮影地域が毎日に異なる。全画素に対して地域を特定して利用し易い画像とするためにグリidding処理³⁾を行い、地図化した画像に変換する。グリidding処理などの結果がその後の処理に多大な影響を及ぼすので非常に重要である。NOAA の APT 画像は137MHz 帯の VHF で送信されるファクシミリであり AVHRR (高分解能放射計) で観測したデータを簡易球面幾何歪補正しさらに可視画像の濃度や赤外画像の温度を校正するためのデータおよびそれぞれの同期信号が合成されている。簡易球面幾何歪補正が行なわれた受信画像は部分的に球面幾何歪が残っており、グリidding処理において受信衛星画像と、画像上に重ね描きする地形図とが部分的に重ならない所が発生する。画像全体にわたり球面幾何歪を取り除くために次の方法を用いる。一旦 NOAA 側で編集する以前の球面歪画像に再生する

*宇部工業高等専門学校電気工学科

**山口大学工学部

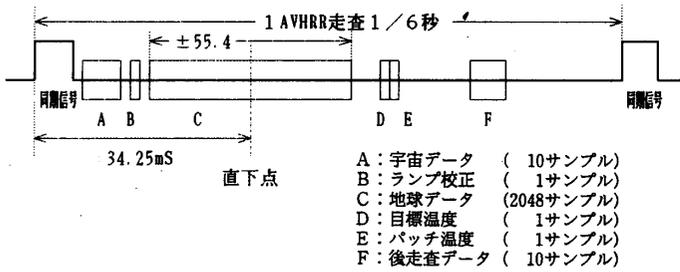


図-1 AVHRR データサンプリング領域

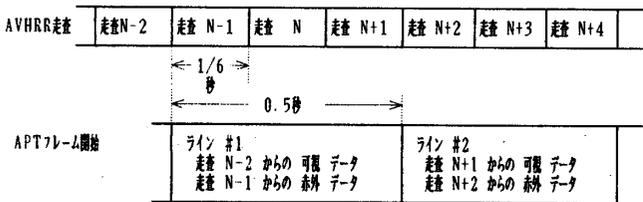


図-2 AVHRR データと APT データ編集の相対位相

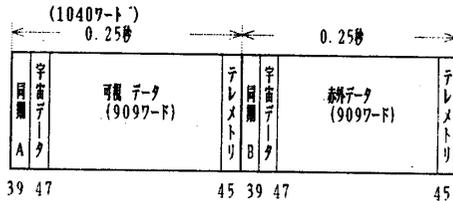


図-3 APT ビデオラインフォーマット (D/A 変換以前)

ために簡易補正の手順を逆にたどって球面歪画像を作る。衛星直下点から観測点までの地表面距離を計算し球面歪画像から等距離画像に変換する。このような画像変換の前と後とは画像の持つ幾何的歪がどのくらい改善されているか調べた。そのために、予め設定してある GCP (Ground Control Point) における地形図と球面幾何歪補正画像との画素のずれを求めた。その結果歪が大きく改善されており精度の良い画像を得ることができた。

2. APT 画像の簡易幾何歪補正

2-1 APT 画像

高分解能放射計 AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) は衛星直下点から走査角±55.4度の範囲を軌道と直角方向に360rpm で走査して5チャンネルの電磁波を観測する。衛星直下点での分解能は約1.1 km である。図-1 は AVHRR データの1走査のタイミングを示す。このようにサンプリングされたデータは図-2のように AVHRR の3走査毎に1走査分のデータと同期信号、テレメトリーデータを挿入し APT データとして編集され図-3のようなフォーマットで送出される。1 APT ラインは、ch 2 : 可視, ch 4 : 遠赤外のデータからなっている。

2-2 簡易幾何歪補正

図-4 は簡易幾何歪補正の概要を示している。AVHRR 画像は気象衛星が地球表面を観測する走査角を等角速度で走査し観測した画像である。高解像度であるけれども観測画像は球面歪を持っている。APT 画像に編集する際、走査線を1/3に減らし、等距離画像に補正するために走査角を9領域に分割し、次のように平均をとって画素の間引きを行なっている。衛星直下点より

- $\theta_{\pm 1} = 0 \sim \pm 16.8$ 度 : 4 画素の平均
- $\theta_{\pm 2} = \pm 16.8 \sim \pm 34.8$ 度 : 3 画素の平均
- $\theta_{\pm 3} = \pm 34.8 \sim \pm 43.8$ 度 : 2 画素の平均
- $\theta_{\pm 4} = \pm 43.8 \sim \pm 48.8$ 度 : 1½ 画素の平均
- $\theta_{\pm 5} = \pm 48.8 \sim \pm 55.4$ 度 : そのまま

このような補正方法では、各領域では部分的に球面歪が残っており特に周辺部に目立つ。解像度が約4 [Km] となっており目視では目立たない程度である。

2-3 簡易球面幾何歪補正における距離分解能

図-5 より気象衛星の走査角の変化に対する地表面距離の変化を求める。

- θ : 走査角 [rad]
- $d\theta$: 走査角の変化分 [rad]
- θ_0 : 地心角 [rad]
- H : 衛星高度 [Km]
- R : 地球半径 [Km]

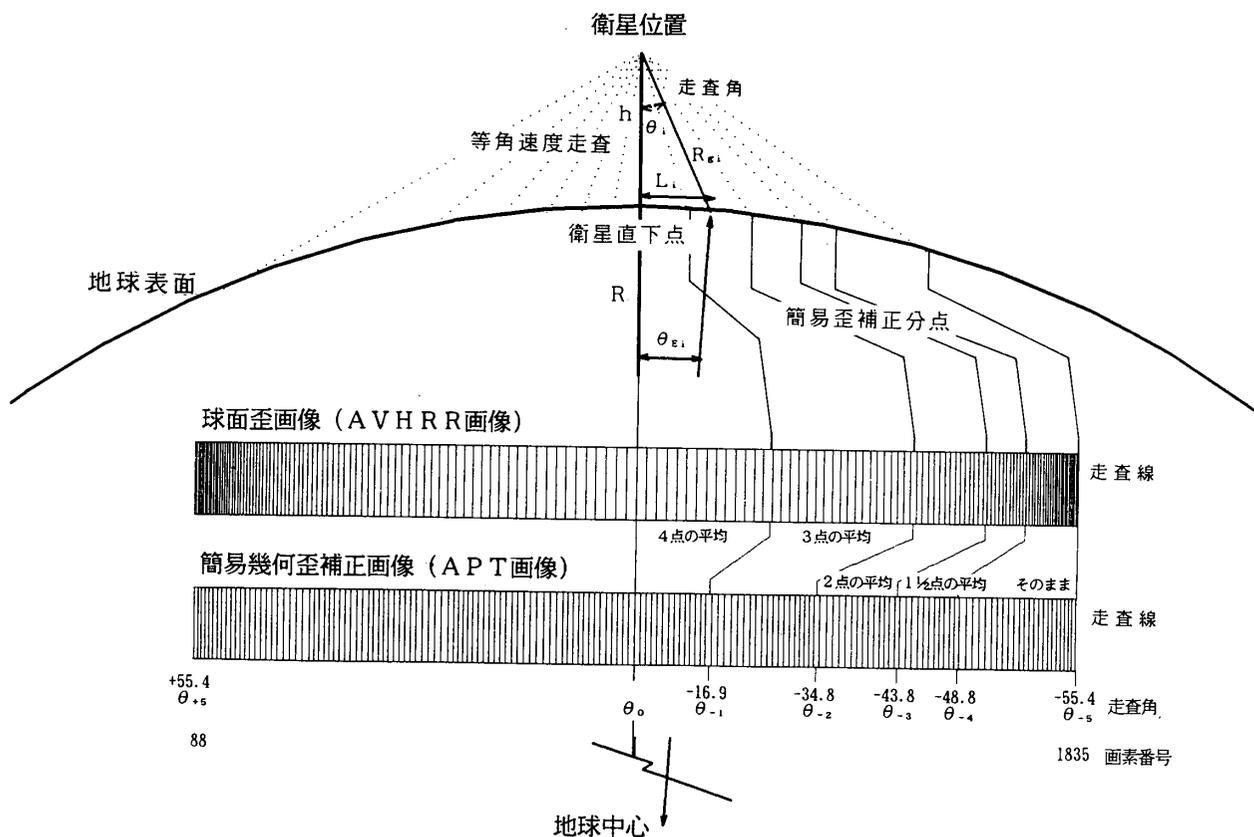


図-4 APT 画像の簡易幾何補正概念図

R_g : 衛星-観測点間距離 [Km]
 L : 直下点-観測点間地表面距離 [Km]
 dL : 地表面距離の変化分 [Km]

とすると

$$r = H + R, \quad Z = r / R \quad \dots (1)$$

$$R \cdot \sin(\theta_k) = r \cdot \sin(\theta) \quad \dots (2)$$

$$\theta_e = \theta_k - \theta \quad \dots (3)$$

$$\theta_k = \sin^{-1} \{ Z \cdot \sin(\theta) \} \quad \dots (4)$$

の関係より

$$\theta_e = \sin^{-1} \{ Z \cdot \sin(\theta) \} - \theta \quad \dots (5)$$

地表面距離 L は

$$L = R \cdot \theta_e \quad \dots (6)$$

(6)式を微分する

$$\frac{dL}{d\theta} = \frac{dL}{d\theta_e} \cdot \frac{d\theta_e}{d\theta} \quad \dots (7)$$

$$\frac{dL}{d\theta_e} = R \quad \dots (8)$$

$$\frac{d\theta_e}{d\theta} = \frac{Z \cdot \cos(\theta)}{\sqrt{1 - \{Z \cdot \sin(\theta)\}^2}} - 1 \quad \dots (9)$$

(7) (8) (9)式より

$$\frac{dL}{d\theta} = R \cdot \left\{ \frac{Z \cdot \cos(\theta)}{\sqrt{1 - \{Z \cdot \sin(\theta)\}^2}} - 1 \right\} \quad (10)$$

(10)式より dL は

$$dL = d\theta \cdot \left\{ \frac{r \cdot \cos(\theta)}{\sqrt{1 - \{Z \cdot \sin(\theta)\}^2}} - R \right\} \quad (11)$$

最小走査角を $d\theta = 1.2$ [mrad] 衛星高度 $H = 850$ [Km]
 地球半径 $R = 6378.14$ [Km] として距離分解能 dL を (11)
 式により計算した結果を図-6に示す。図-6のように

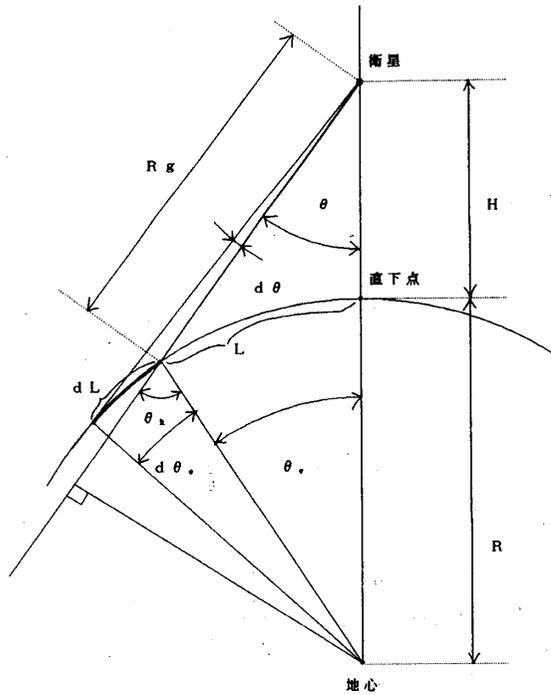


図-5 走査角-地表面距離の関係

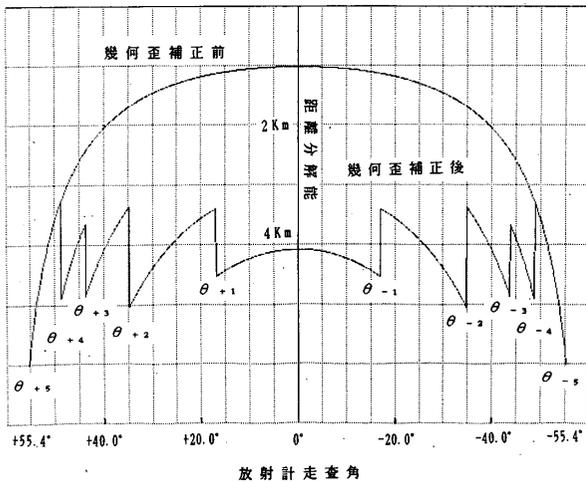


図-6 APT リニア化領域および解像度

簡易球面幾何歪補正では距離分解能を一定の範囲に納めることができる。しかし各領域内では球面歪を持ったままである。さらに分割した領域の境界で分解能が不連続となっている。

3. 画像再生による球面幾何歪の補正

3-1 球面幾何歪画像の再生

NOAA の APT 画像の簡易球面幾何歪補正では歪が残るので簡易補正以前の状態に一旦戻す。図-5 の関係より、領域分割点走査角 $\theta_{\pm 1} \sim \theta_{\pm 5}$ に対する地表面距離 $L_{\pm 1} \sim L_{\pm 5}$ を求める。領域番号 $i = \pm 1 \sim \pm 5$ に対して

$$R_s = \sqrt{R^2 - [r \cdot \sin(\theta_i)]^2} \dots\dots\dots (12)$$

$$R_{gi} = r \cdot \cos(\theta_i) - R_s \dots\dots\dots (13)$$

$$\theta_{ei} = \sin^{-1} \left\{ \frac{R_{gi} \cdot \sin(\theta_i)}{R} \right\} \dots\dots\dots (14)$$

$$L_i = R \cdot \theta_{ei} \dots\dots\dots (15)$$

図-7 に走査角 θ_i と L_i の関係を示す。さらに L_i に対する画素位置 I_i を求める。入力可視または赤外画像の 1 走査ラインは 2000 画素あり図-7 における画素番号は画像表示の都合で走査方向とは逆に並べ変えてある。

受信画像の領域分割点画素番号は

$$I_i = \frac{(1835 - 88)}{(L_{+5} - L_{-5})} (L_i - L_{+5}) + 88 \dots\dots\dots (16)$$

次に NOAA の簡易球面幾何歪補正で行なっている各領域での画素の間引きに対して、逆に画素を補間することによって AVHRR 画像に相当する球面幾何歪画像を再生する。補間の方法は色々考えられるが、ここでは線形補間を用いた。

図-8 において

$I_{\pm 1}$ では同一画素を 8 個繰り返して補間する。

$I_{\pm 2}$ では同一画素を 6 個繰り返して補間する。

$I_{\pm 3}$ では同一画素を 4 個繰り返して補間する。

$I_{\pm 4}$ では同一画素を 3 個繰り返して補間する。

$I_{\pm 5}$ では同一画素を 2 個繰り返して補間する。

受信画像の 88~1835 画素が球面歪画像の 1~N 画素に拡大される。

3-2 球面幾何歪補正画像の生成

球面幾何歪補正画像を生成するためには、図-9 のように補正画像の画素番号 X_1 に対応する球面幾何歪画像の画素番号 X_2 を求め、 X_2 での画素値を球面幾何歪補正画像の画素値とする方法をとる。

X_1 に対応する地表面距離 L を求める。

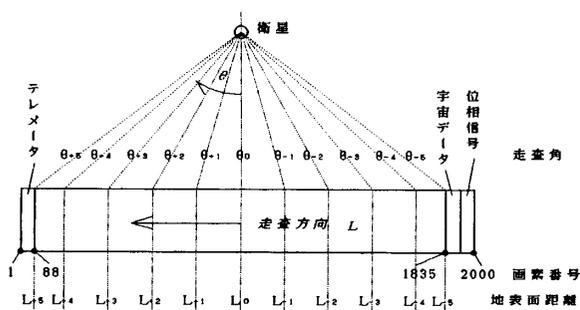


図-7 走査角に対する地表面距離の関係

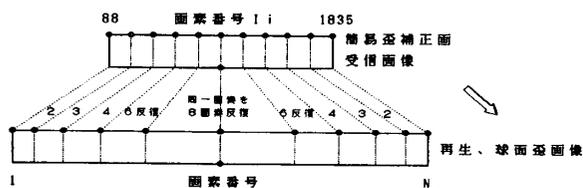


図-8 球面歪画像への画素補間

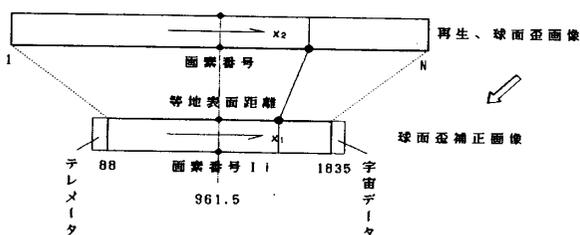


図-9 球面歪補正画像への変換

$$L = \frac{-2 \cdot L_{+5}}{1835 - 88} \cdot (X_1 - 961.5) \quad \dots\dots\dots (17)$$

Lに対応する地心角 θ_e を求める。

$$\theta_e = L / R \quad \dots\dots\dots (18)$$

$$R_g = \sqrt{R^2 + r^2 - 2 rR \cdot \cos(\theta_e)} \quad \dots\dots\dots (19)$$

θ_e より走査角を決定する。

$$\theta = \sin^{-1} \left\{ \frac{R \cdot \sin(\theta_e)}{R_g} \right\} \quad \dots\dots\dots (20)$$

θ に対応する球面歪画像の画素位置 X_2 を求める。

$$X_2 = \frac{-(N-1)}{2 \cdot \theta_{+5}} \cdot \theta + \frac{(N-1)}{2} + 1 \quad \dots\dots\dots (21)$$

X_2 における画素値を X_1 の値とする。

3-3 簡易補正領域分割点について

APT 画像の簡易補正領域分割点画素位置の決定は、容易ではない。図-4, 図-6のようにAPT画像では走査方向に不均一な球面歪が残留し全画素位置に影響しているからである。球面歪補正後の等距離画像に対するAPT画像の走査方向のずれを距離に直し図-10に示す。例えば衛星高度700 [km]の場合を見ると、画像の両端、中央および横軸とクロスする箇所においてはずれがゼロになる。このように領域分割点付近ではAPT画像のずれが小さいことに着目し、(16)式によってAPT画像の領域分割点画素位置を求めた。

4. 処理例

4-1 画像入力

画像はNOAA-11号を1990年8月8日13時42分33秒より約9分間受信したものである。図-11は入力時の気象衛星の通過軌道と軌道計算に用いた各パラメータの値を示す。可視、赤外画像共走査方向に2000画素、走査線1024本、1画素11ビットからなる。写真-1は受信したNOAA-APT可視画像である。撮影の都合で走査方向を1000画素に縮めてある。

4-2 球面幾何歪画像の再生

写真-2は再生した球面幾何歪画像である。但し、球面幾何歪画像の1走査線分の画素数は大きく引き延ばされているので画像全体を表示することができない。従って表示のために走査線方向の画素数を1000個に減らしてある。周辺が縮んだ画像となっている。NOAAのAVHRR画像に相当する画像である。

4-3 球面幾何歪補正画像の生成

球面幾何歪画像について3-2の処理を行なって球面幾何歪補正画像を生成する。写真-3は受信原画にグリッディング処理を行なったものである。写真-4は球面幾何歪補正画像にグリッディング処理を行なったものである。写真-5, 6, 7, 8は部分拡大してある。これらの写真から、受信原画像と球面幾何歪補正画像とを比較し、受信原画像で画像の地形と地形図とがずれている箇所に注目する。例えば和歌山、能登半島、佐渡島、伊豆半島、銚子、奥尻島、国後島などの海岸線について、受

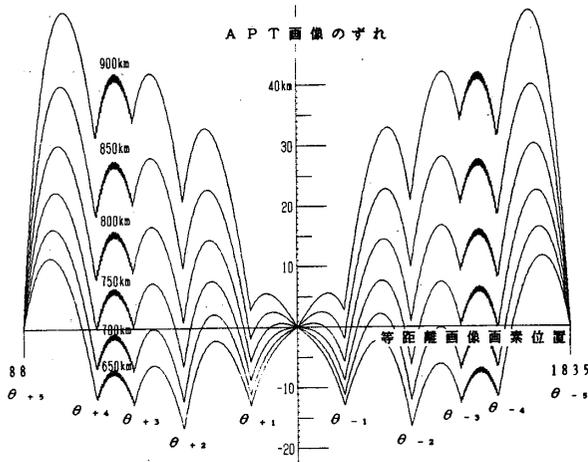


図-10 等距離画像に対する APT 画像のずれ

信原画像にグリッディングを行なったものでは、西にずれたり東にずれたりしており場所により異なる。同じ場所について球面幾何歪補正画像では、地形図と球面幾何歪補正画像の海岸線とが一致していることがわかる。

5. 画像の幾何歪検出

5-1 画像の幾何歪検出方法

気象衛星画像の幾何歪の検出方法は、GCP を中心とした気象衛星画像の小ブロックを切り出し、小ブロック画像から二値化した海岸線画像を作る。対応する GCP を中心とする地形図画像との相関をとり、相関値最大点と地形図画像とのずれを求める。この方法については参考文献(4)で報告した。地形図の内、日本列島の海岸線データは、国土地理院より磁気テープで購入し、データ数を減らして編集したものを用いた。GCP 位置は地図データが信頼できる日本列島を対象とし図-12のように地形に特徴のある124箇所を設定した。

5-2 検出結果

表-②は受信原画に対して画素のずれを検出した結果である。124箇所中113箇所検出できた。表-③は球面歪補正画像に対して画素のずれを検出した結果である。103箇所検出できた。これらのデータから相関値が0.4以上のものについてずれの様子を図-13で表わす。図-

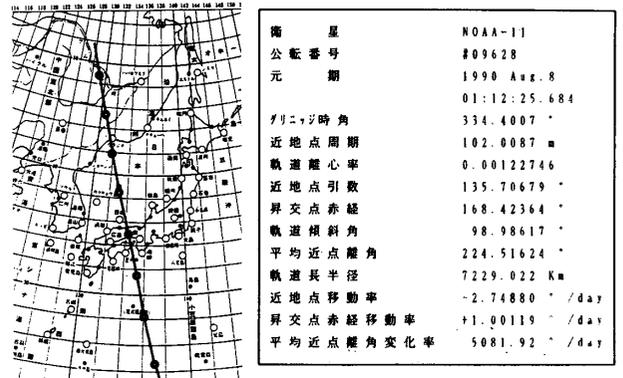


図-11 NOAA-11 通過軌道と軌道情報

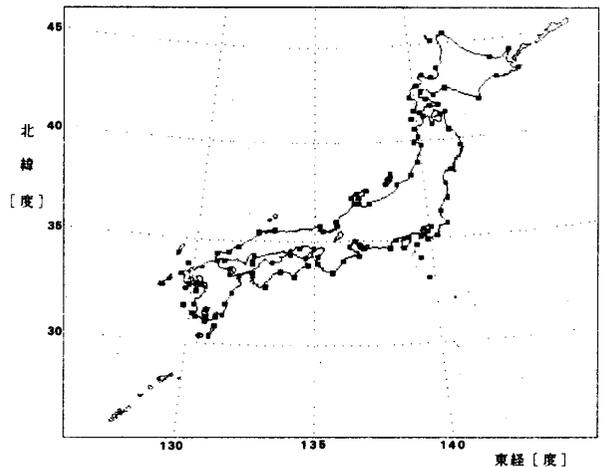


図-12 GCP 設定位置

13において、旧補正法とはグリッディング処理のとき(5)、(6)式より走査角 θ によって地表面距離 L が変化することより、走査角 θ を変化させて地形図の重ね方を調整する方法である。この方法では走査方向の調整は可能であるが、部分的に存在する幾何歪に対しては対応できない。検出結果をみると旧補正法では画素のずれが大きく、部分的にずれる方向が集中する特異な形をしている。これに対して球面幾何歪補正画像ではずれが少ないし、集中現象もなく質の良い画像が得られたことがわかる。

6. むすび

NOAA の簡易球面幾何歪補正画像は球面歪が残って

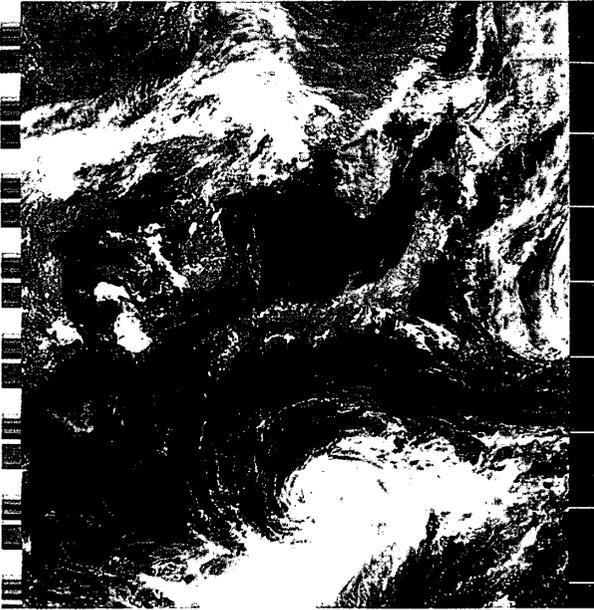


写真-1 受信原画像 (可視)
NOAA-11 Aug.8 1990

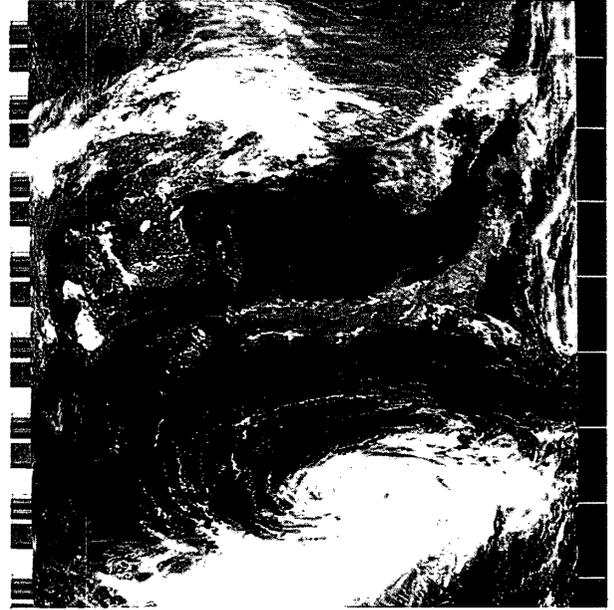


写真-2 球面歪画像
NOAA-11 Aug.8 1990

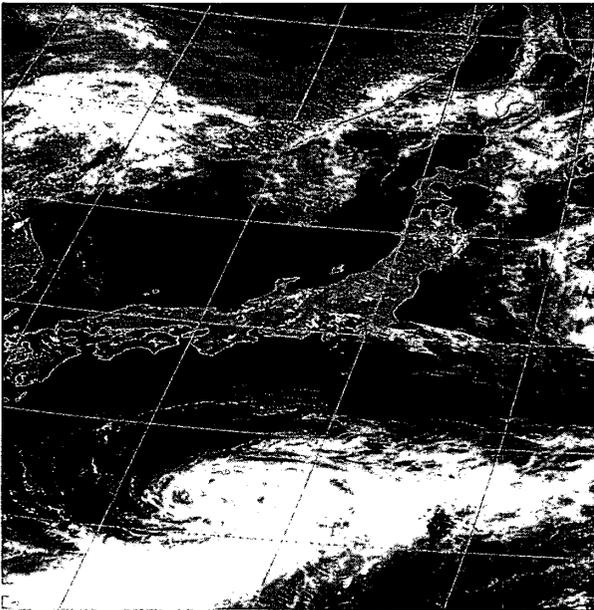


写真-3 グリディング処理結果 (受信原画像)
日本付近: NOAA-11 Aug.8 1990

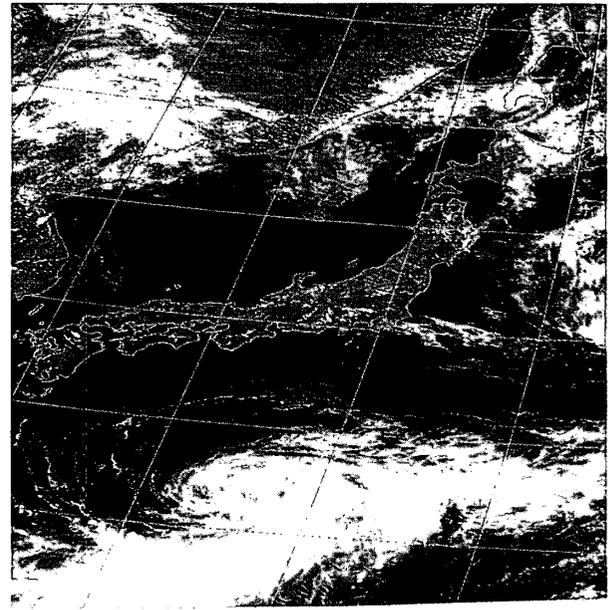


写真-4 グリディング処理結果 (補正画像)
日本付近: NOAA-11 Aug.8 1990

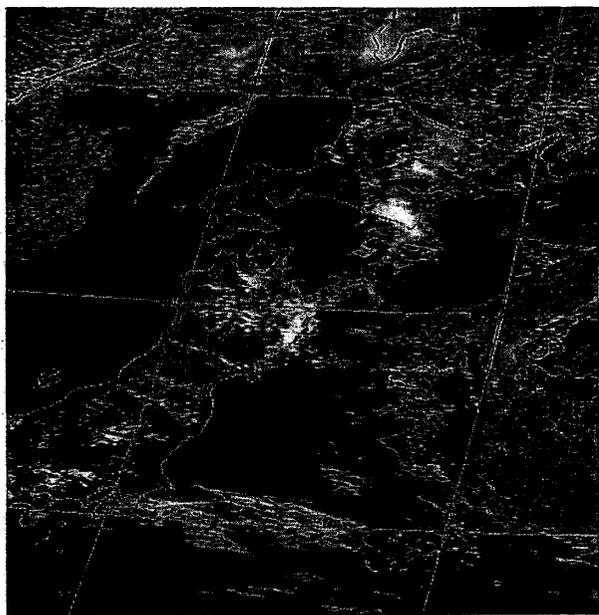


写真-5 グリディング処理結果（受信原画）
部分拡大①：NOAA-11 Agul. 1990

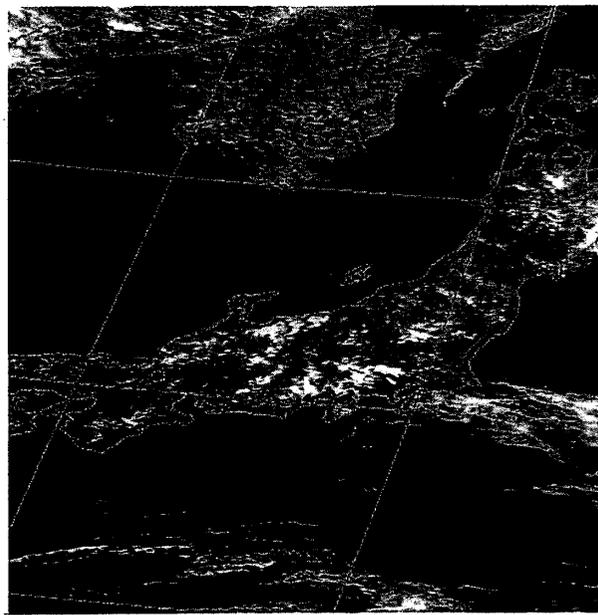


写真-7 グリディング処理結果（受信原画）
部分拡大②：NOAA-11 Agul. 1990

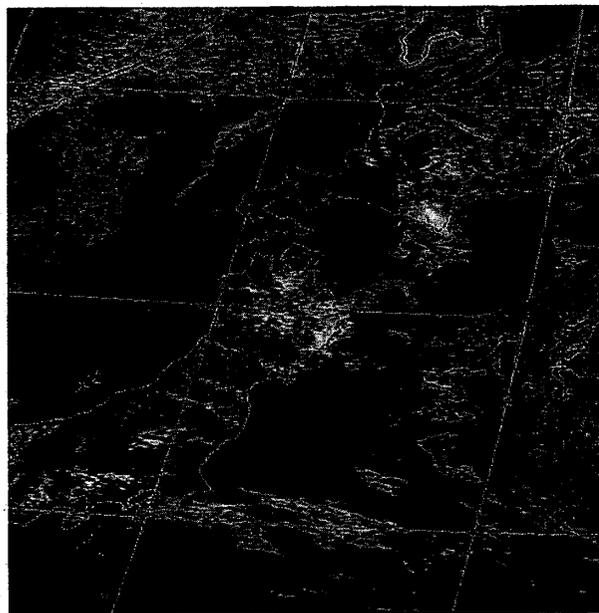


写真-6 グリディング処理結果（補正画像）
部分拡大①：NOAA-11 Agul. 1990

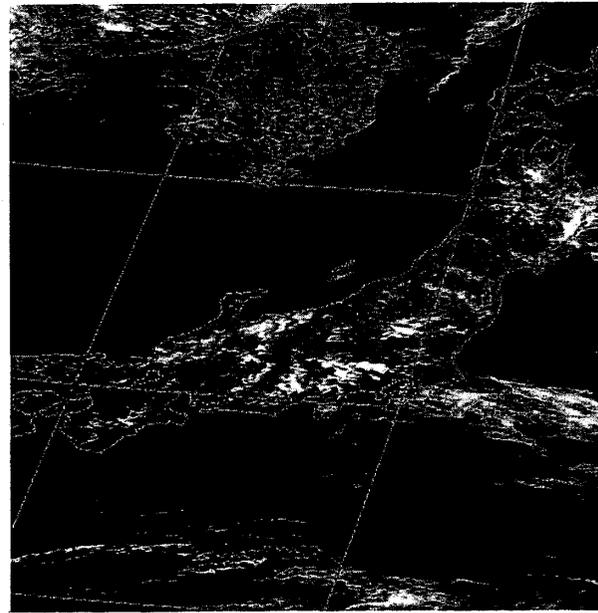


写真-8 グリディング処理結果（補正画像）
部分拡大②：NOAA-11 Agul. 1990

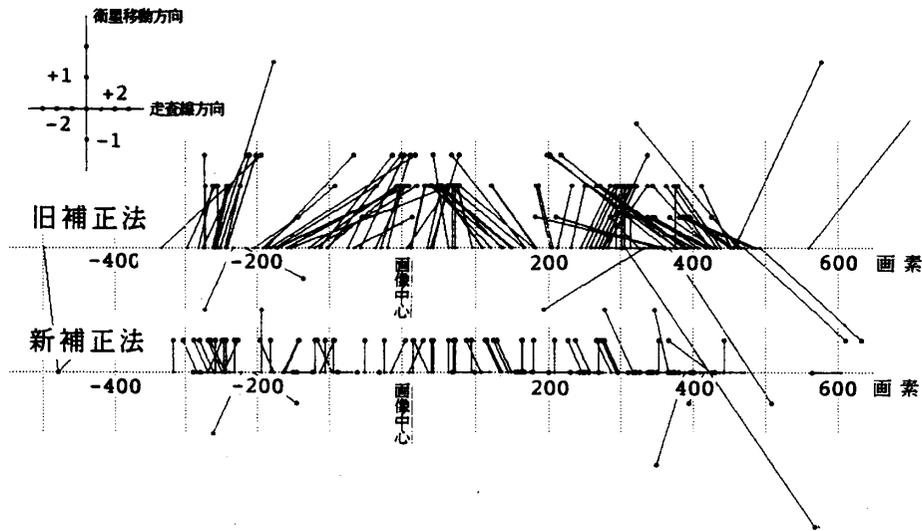


図-13 GCP 点のずれ

いるうえに補正領域のきりかえ部分で距離分解能が不連続な画像でありグリiddingが成功しない主な原因となっていた。これに対して簡易球面歪補正される以前のAVHRR画像に相当する球面歪画像を再生し、再生画像から等距離画像を新たに作りかえることにより画像の持つ幾何歪を大きく改善することができた。またグリiddingの結果も良好であった。

まだGCP箇所が少なく雲の多い画像の場合にははずれの検出が困難である。信頼できる大陸部地図データが入手できればGCPを広い範囲に取れるので歪の集中する画像の両端近くまで検出可能となるであろう。

以上の処理過程では画像を二度作りかえる手順とその際画素の補間という操作が入る。従って処理時間が増えること、画素値のオリジナリティーを失うという欠点がある。しかしながらAPT画像に必ず含まれている球面幾何歪を取り除くことができた。

グリiddingの結果は日本列島付近については良好である。しかし大陸部など画像の一部では目視でも不十分な箇所がある。主に3-3で述べた簡易補正画像分割点の決定方法が不完全であると思われる。このことを含めさらに精度の良い画像を追究していきたい。

7. 参考文献

- 1) 藤本・田中：気象衛星(NOAA)画像の処理－海面温度の推定と雲域除去－，電気四学会中国支部連合大会講演論文（昭和62年）
- 2) 藤本・田中：気象衛星ノア画像処理－可視情報を利用した海霧発生域の抽出と海表面温度分布図の作成－，電気四学会中国支部連合大会講演論文（昭和63年）
- 3) 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（昭和60年）
- 4) 藤本・田中：気象衛星ノア画像の弓状ひずみの補正，電気四学会中国支部連合大会講演論文（平成元年）
- 5) 藤本・田中：気象衛星ノアAPT画像の球面幾何歪補正，電気四学会中国支部連合講演論文（平成2年）
- 6) A. Schwalb: THE TIROS-N / NOAA A-G SATELLITE SERIES, NOAA National Environmental Satellite Service, Washington, DC 20235

（平成3年9月24日受理）