

気象衛星メテオール画像の歪補正

田中 護*・藤本 勉*・高浪 五男**

Geometrical Distortion Correction of Meteorological Satellite Meteor 1-30.

Mamoru TANAKA, Tutomu FUJIMOTO, Ituo TAKANAMI

Abstract

The authors intend to utilize the earth picture of the former U.S.S.R meteorological satellite Meteor 1-30. The orbital altitude of Meteor 1-30 is around 650 [Km] , and the resolution at the Nadir is about 1 [Km] . Meteor 1-30 passes through comparatively low orbit comparing to U.S. NOAA, therefore a highly detailed picture can be obtained. As for a picture of Meteor 1-30 received on May 13 1988, the whole area of Korean Peninsula is included.

It is expected to obtain geographical map data from this picture. However, various kinds of distortions are included in this picture which are to be removed.

It is reported about distortion correction processes and results obtained in this paper, moreover remaining problems in utilizing Meteor picture are stated.

1. まえがき

U-MIPS (宇部高専気象情報処理システム) は主にミニコン MX-2000 (三菱), 画像解析装置 M-1008 (グラフィカ) を中心としたシステムである。気象衛星「NOAA」, 「風雲」, 「ひまわり」および「METEOR」の画像を取得することができる。「ひまわり」以外の気象衛星画像は 137[MHz] 帯の VHF で送信されるファクシミリであり, 同一の受信設備を利用することができる。旧ソビエトの気象衛星 METEOR-1 型は過去多数打ち上げられ, その後 2 型, 3 型へと引き継がれている。1 型はアメリカの気象衛星 NOAA の衛星高度約 860 [km] と比較して, 高度約 650 [km] と低高度であるので衛星直下点における分解能が NOAA の約 4 [km] に対して約 1 [km] であり, 精密な画像となっている。

U-MIPS では気象衛星 NOAA, 風雲の他に METEOR

-1・2・3 型の画像を一部保存している。これらの中から 1988 年 5 月 13 日に取得した軌道番号 #33159 の METEOR 1-30 の画像の解析と利用方法について検討する。この画像は朝鮮半島がほぼ全域含まれており, 朝鮮半島全域の地形図データを得ることが期待できる。画像を有効的に利用するためには画像に含まれる各種の歪を補正しなければならない。補正した画像にグリッディング (地形図を重ね合わせる。) を行ない, 歪の補正が正しく行なわれたかを判定する。これらの処理過程とグリッディングの結果について報告する。

2. 気象衛星 METEOR 1-30 型の概要

METEOR は旧ソビエト (U. S. S. R) の気象衛星である。1975 年にはすでに 1 型の NO. 30 が打ち上げられている。その後 2・3 型へ引き継がれていった。1 型は旧ソビエトとソビエトに隣接する地域の環境・天然資源の調査を目的として太陽同期軌道に打ち上げられた。周期約 96 分で毎日午前 12 時頃日本上空を通過し昼間のみ受信できた。主に可視域で雲画像を観測し降雨域, 降雨量,

*宇部高専高等専門学校電気工学科

**山口大学工学部

大気中の水蒸気量などを測定するための衛星であった。

METEOR 1-30衛星の主な装置性能

(a) センサー性能

- ①TVタイプ 4 CH 光学変換 低解像度走査計
 (0.5~0.6, 0.6~0.7, 0.7~0.8, 0.8~1.0 μ m)
 観測範囲 2000 [Km]
 直下点分解能 1000 [m]
 衛星高度 650 [Km]
- ②TVタイプ 2 CH 光学変換 中解像度走査計
 (0.5~0.7, 0.7~1.0 μ m)
 観測範囲 1400 [Km]
 直下点分解能 240 [m]
 衛星高度 650 [Km]

(b) 伝送データ

- ①送信特性
 - 搬送波 137.15 [MHz]
 - 変調方式 FM
 - シフト ± 9.6 [KHz]
 - バンド幅 ± 50 [KHz]
 - 出力 5 [W] 以上
- ②低周波特性
 - 副搬送波 2400 [Hz]
 - 副搬送波変調 AM (最大変調時白レベル)
- ③装置記録特性
 - 協働係数 528
 - 走査速度 240 [line/分]
 - 走査密度 7.6 [line/mm]
 - 画像サイズ 195 \times 290 [mm]
 - 階調 12以上

3. 画像の受信

3-1 通過軌道の計算

アメリカの気象衛星ノアの場合には軌道に関する情報は毎日米国環境衛星局が発表し、GTS(世界気象通信網)テレタイプ回線で中継されており、軌道に関する最新の情報を受信することができる。これに対してメテオールの軌道要素はNASA(米国航空宇宙局)が観測したデータを何日か遅れて入手するために、最新の軌道を予測す

るための軌道要素のデータが得られない。実際に画像を受信した1988年5月13日の画像に対する軌道を計算するのに約9日前の5月4日の元期データを利用せざるをえなかった。図. 1に計算に用いた軌道情報を示す。

軌道情報に基づいて画像の受信を行なった。受信開始時刻1988年5月13日12時19分18秒より1分毎の衛星直下点の軌道を計算した結果を図. 2に示す。

衛星番号	8300510
元期	47285, 77151431MJD 1988年5月4日18時30分 58.836384秒 GMT
平均近点離角	198.5652度
回転数	14.99189532回/日
増加回転数	0.00002225回/日 ²
離心率	0.0041411
軌道傾斜角	97.7091度
昇交点赤経	215.3684度
近地点引数	161.7070度

図. 1 軌道情報

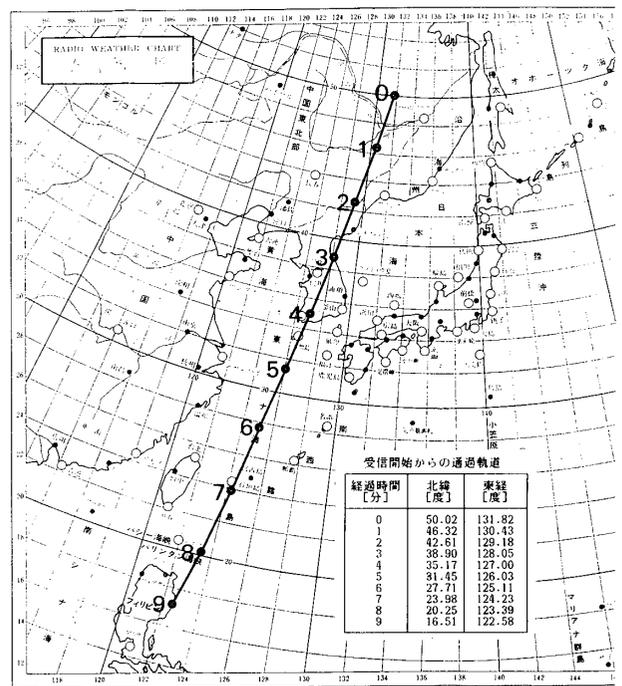


図. 2 METEOR 1-30 予想通過軌道
(1988 5/13 12:19:18 より1分毎)

3-2 受信画像

衛星画像の受信はあらかじめ計算した通過軌道に基づいてアンテナを制御し自動追尾させて行なう。メテオールは1走査0.25秒で送信してくるので図. 3のようなフォーマットで受信した。125 [μSEC] でサンプリングし1走査ラインを2000点, 2047走査ラインの入力を行なった。

写真. 1 は受信画像を単純に2000画素で区切って表示したものである。この画像の1024ライン目の波形を図. 4に示す。受信後の電圧±10 [V] を11 [ビット] でサンプリングして入力したもので白黒が反転している。

写真. 1 の受信画像右側の帯状部分は同期信号である。下方の黒い帯状部分はメテオール I-30 がソビエト近海を通過すると衛星からの送信を停止するため生じたものである。この画像は同期信号右側エッジから弓状に歪んでいることが確認できる。また画像の周辺部が詰まる球面歪を生じている。

4. 画像の歪補正

4-1 弓状歪の補正

図. 2 のように衛星画像の受信は北緯50度付近から北緯15度付近まで約9分間行なわれる。受信点から衛星までの直線距離の変化が大きく電波の到来時間に差が生じることになる。その結果写真. 1 のように弓状歪が発生する。これを除くために同期信号が挿入されている。この同期信号を検出するのに画像のレベル差を利用する方法がとられる。図. 4の同期信号波形のように全ての走査線で画像信号との差異を完全に検出できるわけではなく、同期信号に近い部分での画像レベルの影響を受ける。このために同期信号を検出し、走査線毎に並べ換える方法では画像の端の凹凸は避けられない。受信した画像は同期信号の幅が一定していないために、さらに困難な条件であった。そのために軌道計算によって電波の到来時間差を求め、遅延画素数に換算して走査線をスライドさせる方法を考案した。

図. 5において受信点から衛星までの直線距離Lを軌道計算により赤道直交座標上で求める。

受信点 (宇部高専屋上アンテナ位置) パラメータを

- 北緯 φ: 33.95175度
- 東経 λ: 131.21682度

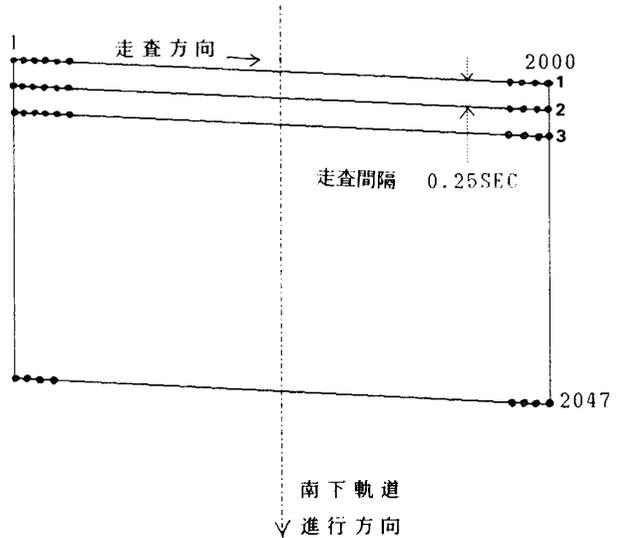


図. 3 受信画像フォーマット

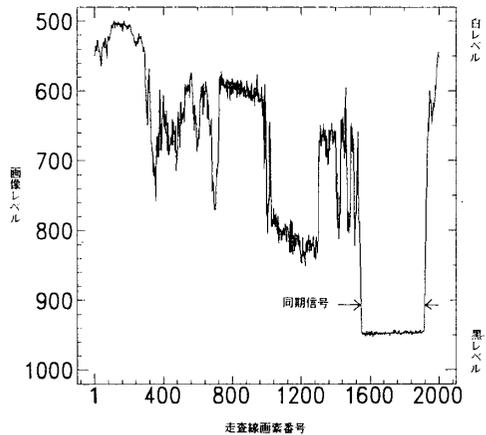


図. 4 受信画像波形 (走査線番号 1024)

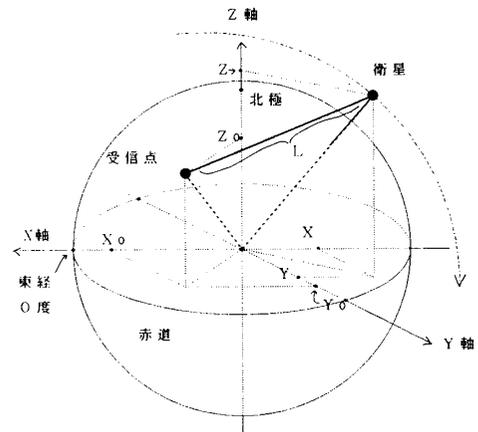


図. 5 赤道直交座標での受信点-衛星間距離

海拔 H : 43,39 [m]
 地球赤道半径 R : 6378,137 [Km]

とすると

$$\left. \begin{aligned} X_0 &= (R+H) \cdot \cos(\lambda) \\ Y_0 &= (R+H) \cdot \cos(\lambda) \\ Z_0 &= (R+H) \cdot \sin(\phi) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

軌道計算により求められる X, Y, Z から L の値は

$$L = \sqrt{(X-X_0)^2 + (Y-Y_0)^2 + (Z-Z_0)^2} \dots\dots\dots (2)$$

L の最短距離の値を L min とし、このときの遅延画素数を S min とすれば図. 6 のような弓状の分布となる。走査線は 2000 画素からなり一走査に 0.25 秒かかる。このことから遅延画素数は次のように計算することができる。

$$\begin{aligned} d &= |L - L_{min}| \\ S &= |2000 \cdot d / (0.25 \cdot C_o)| \\ C_o &: \text{光速} \end{aligned} \dots\dots\dots (3)$$

(3) 式より計算された遅延画素数 S - S min を図. 7 に示す。この値を用いて画像の各走査線を遅延画素数ほどスライドさせ並べ換えることにより弓状歪を補正することができる。補正の結果を写真. 2 に示す。

4-2 斜め歪の補正

4-2-1 画像端の検出

写真. 2 の画像の両側で折り返しが生じている。部分拡大し強調したものを写真. 3 に示す。この折り返しの中心部分が画像の両端を表わしているものと考えられる。表示した画像から画像の端部分の画素番号を読み取り、それらの値から最小自乗法により画像の端を表わす直線の式を決定した。N : 画素番号, L : 走査線番号とすれば

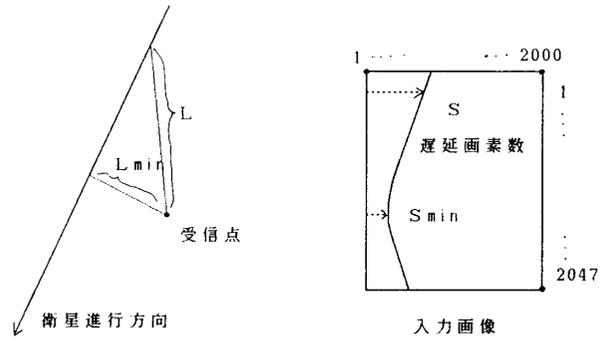


図. 6 弓状歪の発生

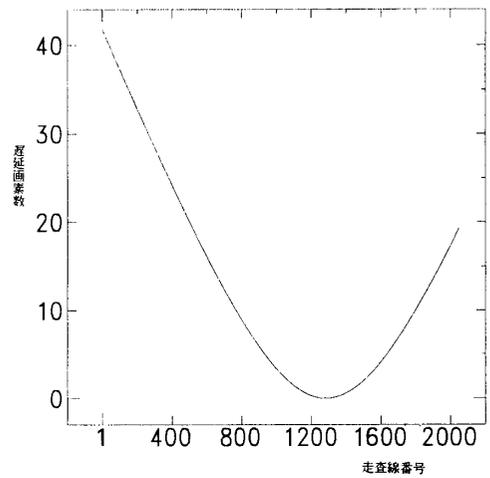


図. 7 遅延画素数

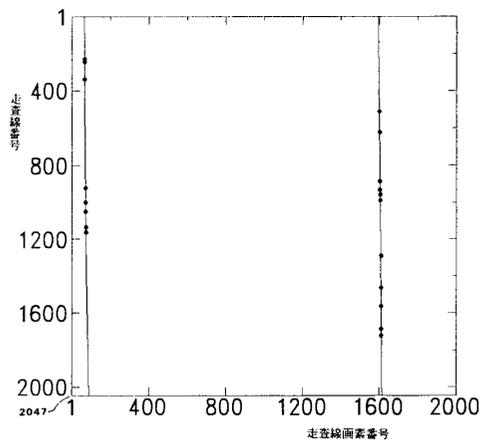


図. 8 画像エッジの検出結果

$$\begin{aligned}
 N &= A \cdot L + B \quad (\text{左側の直線}) \\
 N &= C \cdot L + D \quad (\text{右側の直線}) \\
 \left. \begin{aligned}
 A &= 8.4215 \times 10^{-3} \\
 B &= 62.9789 \\
 C &= 9.8164 \times 10^{-3} \\
 D &= 1595.0046
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)
 \end{aligned}$$

これらの結果を図. 8 に示す.

4-2-2 画像中心の決定と斜め歪の補正

(4) 式より画像の両端を求め平均値より画像の中心(衛星直下点)となるべき画素位置が決定できる。(4) 式を基に受信画像の画像中心位置を求めた後、改めて走査線の1000番目が画像の中心となるように並べ換える.

図. 8 より画像が斜めに傾いていることが解る. この斜め歪は画像の中心を合わせることによって同時に補正される. 写真. 4 はこれらの弓状歪, 斜め歪を補正し画像中心を合わせたものである.

4-3 球面歪の補正

写真. 4 の段階では画像の周辺部分がつまる球面歪が残存している. 図. 9 の走査角 θ_d と地表面距離 L との関係性を計算したものを図. 10 に示す. 走査角が大きくなると距離の変化が大となる. 走査角の最大値は不明であるが以下に述べる補正方法では真の値でなくてもよい. NOAA の場合を参考にして仮に ± 55 度とした. 直下点からの地表面距離の最大値は衛星高度によって異なるが約 ± 870 [km] である. 球面歪を持った画像は図. 12 (a) のように画像中心から ± 765 画素までが画像であり, 残り ± 1000 画素までは同期信号である. 補正画像は画像中心を 1000 画素目にとり, 画像中心から ± 1000 画素とし, 画像の端と地表面距離の最大値を一致させる. このようにして画像に地形図を重ねて地形図と球面歪画像とのずれを調べる. 写真. 4 の画像に地形図を重ねた結果を写真. 5 に示す. 写真. 6 は部分拡大したものである. 画像に写っている地形と地形図とが一致するように画像を変換すれば球面歪を補正することができる. メテオール 1-30 の画像は周辺部が急激に縮っているために図. 10 の関係式を用いて等距離画像に変換しても地形図と一致しない. そのために次のような方法によって等距離画像に変換した. 図. 11 の A のグラフは画像中心から数えた球面歪画像上の地形特徴点画素位置に対する挿入した地形図の対応する特徴点画素位置の関係を表わす. グラフ

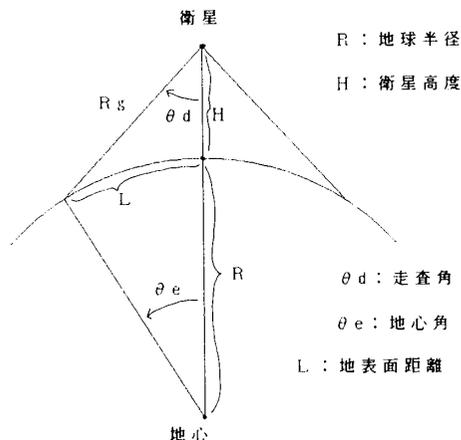


図. 9 球面歪の発生

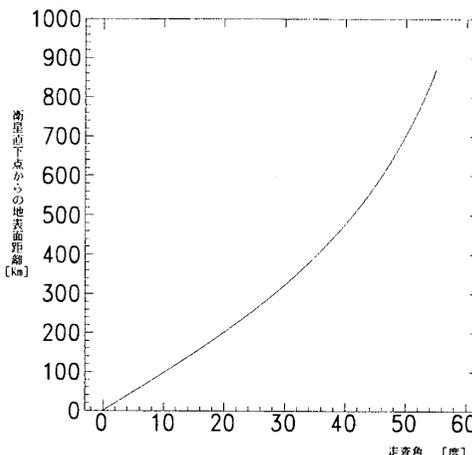


図. 10 球面歪特性

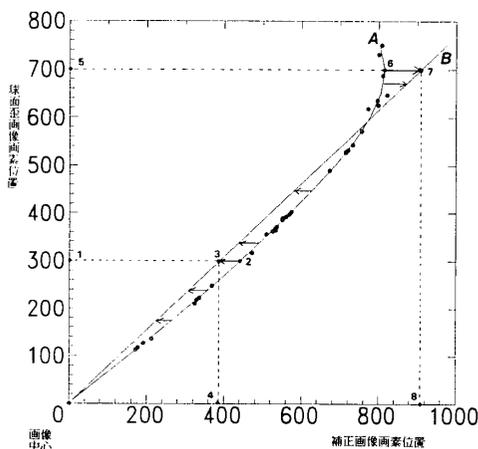


図. 11 球面歪の補正曲線

Bは画像の端を一致させ中心から±1000画素に拡張するための変換グラフである。グラフにおいて1に対応する2の画素位置から3へ画像を縮小すると等距離画像上の点4が決まる。同様中心から6の位置にある歪画像は7に拡張すると8の等距離画像上の位置が決まる。

このようにして求めた画像は図. 12 (b) のように拡張した箇所では走査線データにすき間ができる。そのためラグランジェ補間を用いて画像を補間し完成した。

写真. 7は変換後の等距離画像に地形図を挿入したものである。写真. 8, 写真. 9は部分拡大したものである。

5. まとめ

グリッディングの最終結果が写真. 7, 8, 9である。写真. 7では実際に写っている朝鮮半島の地形に対して挿入された地形図が南側に下がっている。これは軌道計算の誤差によるおもわれるが写真. 8のグリーンの地形図線のように単純に計算時刻を数秒前にずらせば修正できる。グリッディングに用いた地形図データの内、日本の部分は国土地理院作成磁気テープKS-161から編集したものをしているのが、大陸部のデータは1/300万の地図から読み取ったものであり精度の保証はない。従って画像を利用するためには信頼のおける日本地図と一致させる必要がある。写真. 9では画像上の地形に対して地形図が左側に回転していることが確認できる。このように各種歪はかなり改善したけれども、残存している歪もあり補正過程における精度を改善する必要があると思われる。

(1). 画像中心を衛星直下点とみなして処理するので軌道計算の正確さが必要である。しかし最新の軌道要素が入手できなかった。

(2). 衛星側の撮影メカニズムが不明であり、画像周辺部の異様な歪がどのような原因で発生するのか解らない。

(3). 衛星の走査角が不明である。

(4). 弓状歪の補正を計算によって行なっており軌道計算の誤差は画像に直接影響する。

(5). 画像中心、画像の両端が不明瞭である。

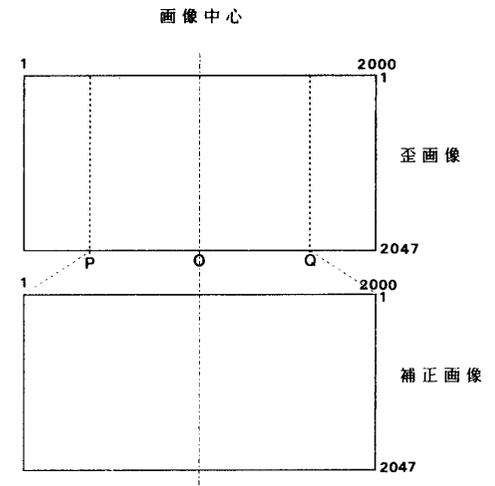
(6). 球面歪が周辺部で極端である。

などから

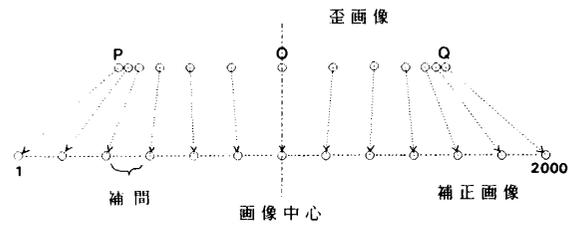
(7). 表示画像上で求めたパラメータを用いた。

などが精度を落とす原因になったと考えられる。

以上大陸部地形図作成を目指してメテオール1-30の



(a)



(b)

図. 12 画像の拡張と補間

画像の持つ幾何学的な歪を取り除き、グリッディングによって歪の改善状態を確認したわけである。地形図とのずれが1画素程度まで精度を上げるのは容易ではない。同期信号が利用しにくい衛星画像に対しては今回用いた手法を応用することが可能である。

最後に本研究に対して昭和63年卒横山俊和君、平成2年卒中村武恒君、平成3年卒小杉幸江君の卒業研究による協力に謝意を表します。

参考文献

- 1) WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION: WORLD WEATHER WATCH WMO-No.411 1975
- 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 (昭和59年)
- 3) 藤本・田中: 気象衛星画像のグリッディング処理,

電気四学会中国支部連合大会講演論文集(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集(平成元年)

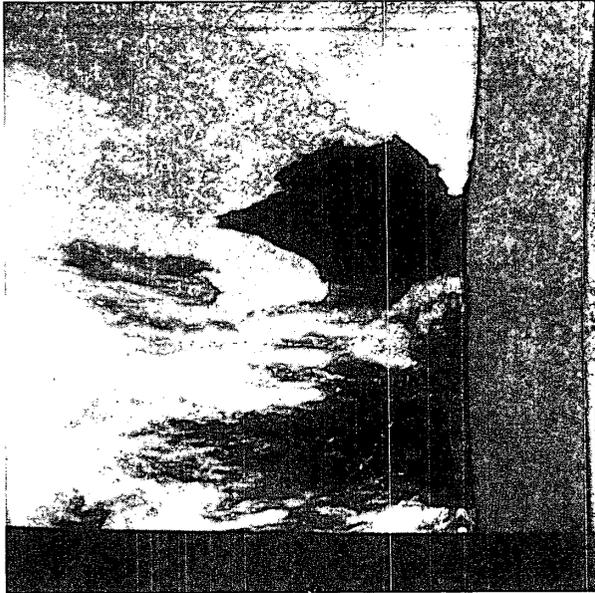


写真. 1 1988 5/13 METEOR 1-30
受信画像

- 5) 藤本・田中：気象衛星ノア画像の球面幾何歪補正,
電気四学会中国支部連合大会講演論文集(平成2年)
(平成4年9月10日受理)

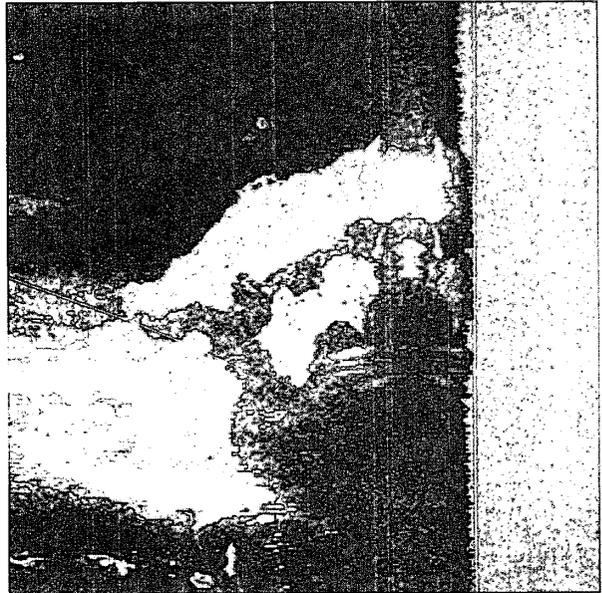


写真. 3 1988 5/13 METEOR 1-30
画像端の折り返し(強調)

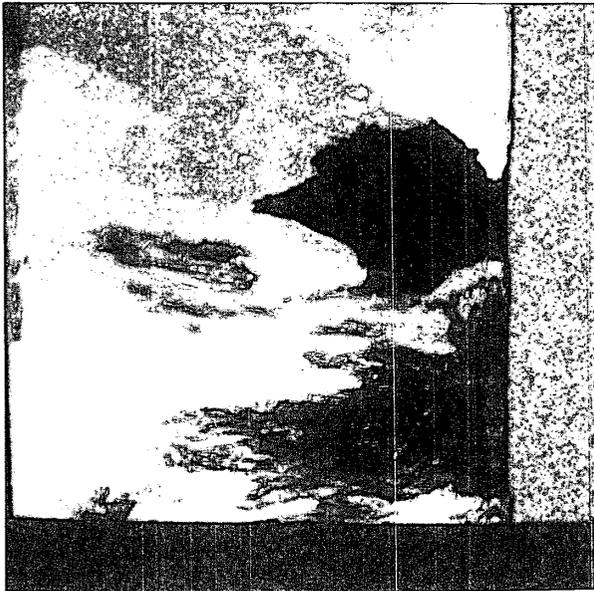


写真. 2 1988 5/13 METEOR 1-30
弓状歪補正画像



写真. 4 1988 5/13 METEOR 1-30
斜歪補正画像(部分拡大)

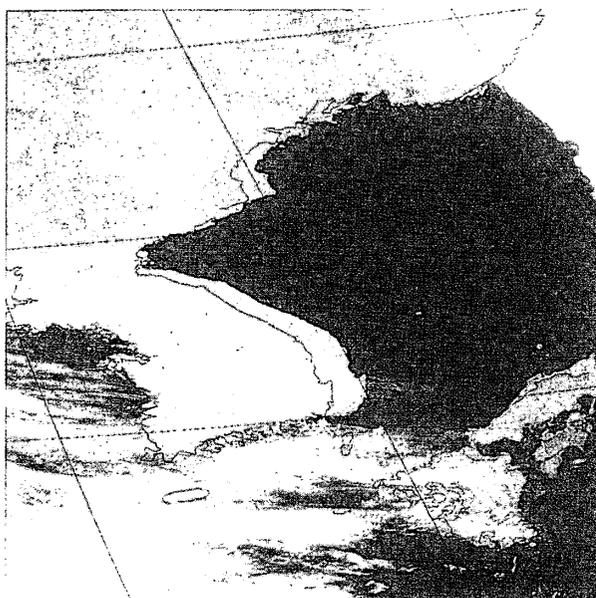


写真. 5 1988 5/13 METEOR 1-30
グリッド画像
(球面歪画像)



写真. 7 1988 5/13 METEOR 1-30
グリッド画像
(球面歪補正画像)

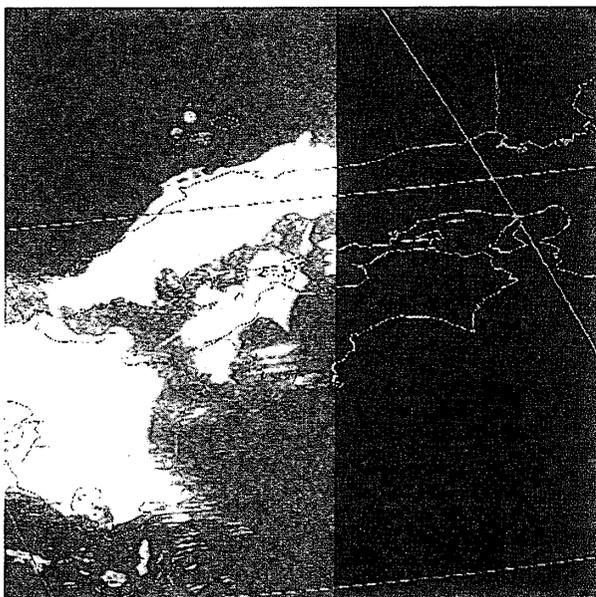


写真. 6 1988 5/13 METEOR 1-30
グリッド画像
(球面歪画像-部分拡大)

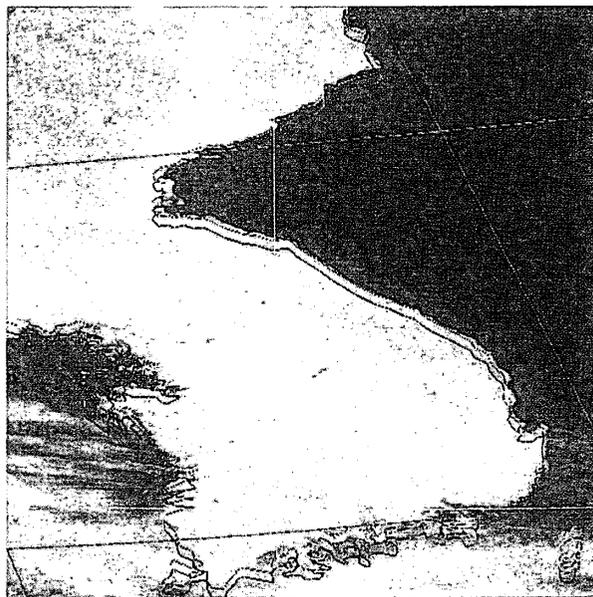


写真. 8 1988 5/13 METEOR 1-30
グリッド画像
(球面歪補正画像-部分拡大)

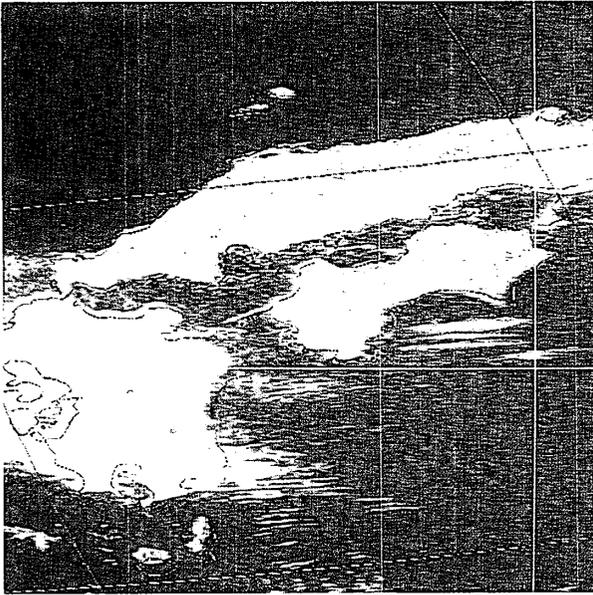


写真. 9 1988 5/13 METEOR 1-30
グリidding画像
(球面歪補正画像一部分拡大)