

# 航空機MSSデータの幾何学的補正とその評価

布野 裕二 内藤 寛二 石島 義弘 花木 真一  
 (日本電気株式会社)

秋山 実  
 (建設省国土地理院)

## 1. まえがき

航空機に搭載されたMSSによるリモートセンシングデータは、カメラ方式に比バスペクトル特性に優れており、又人工衛星をプラットフォームとする場合に比バ高い解像力の画像が得られることから幅広い応用が期待されている。

しかしながら、航空機の運動状態は気流の変動、操縦性能などが原因で時々刻々変化するため、収集されたMSSデータにも幾何学的歪が含まれることになる。従って、解析処理の面でMSSデータをより実用的なものとするためには、その前処理として、幾何学的に正しくマッピングされた画像を求める必要がある。

今回、我々は航空機運動データに基づいてMSSデータの幾何学的歪を補正するシステム、MSSデータ補正計算システムを作成した。又、収集データによる補正計算、および補正結果の評価を行なったのでこれらについて以下に報告する。

## 2. システムの概要

### 2.1 座標系の定義

ここでは以後で使用する座標系の意味について述べる。

#### (1) 画像座標系 (0-ij)

MSSデータフレームに関する座標系で、各画像データの位置はピクセルナンバーi, スキャンラインナンバーjで表わされる。

#### (2) 平面直角座標系 (0-x<sub>0</sub>Y<sub>0</sub>Z<sub>0</sub>)

今回使用したデータの収集地区(伊勢・松阪地区、図-1参照)では、東経136°00'の経線北方向をX<sub>0</sub>方向、北緯36°00'の緯線の軸東をY<sub>0</sub>正方向、Z<sub>0</sub>軸を上方にとる左手系である。

#### (3) 出力座標系 (0-x<sub>1</sub>Y<sub>1</sub>Z<sub>1</sub>)

画像座標系で定義されるMSSデータをマッピングすべき座標系で、一般に平面直角座標系に対する局地座標系となっている。

#### (4) 出力格子座標系 (0-mn)

MSS画像データはマッピングされた結果、一般に出力座標系で任意の分布を示す。このデータを以下に続くデジタル処理に適用するためには、リサンプリングを行なう必要がある。この座標系はこの時導入される格子状の座標系で、映像化を行ないたい領域に対して所要の格子サイズ、格子数を与えて定義する。

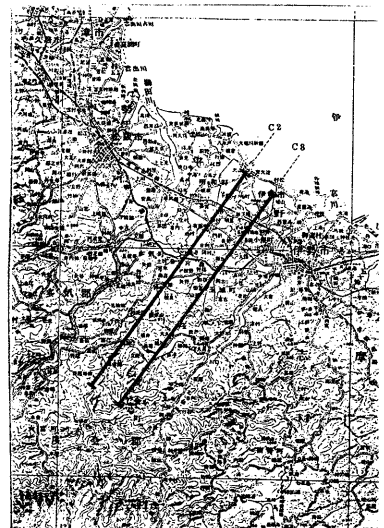


図-1 撮影地区およびコース

以上述べた座標系の関係を図-2に示す。

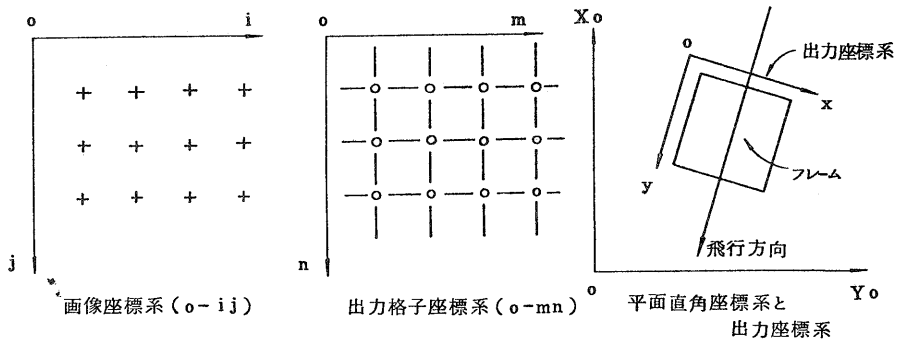


図-2 座標系の定義

## 2.2 MSSデータ補正計算システムの概要

MSSデータ補正計算システムのプロセスフローを図-3に示す。このフローから分かるように、このシステムは大きく分けてデータの~~前~~前処理、歪補正処理、補正済データの映像化および評価の三つの部分から成っている。

### (1) データの前処理

データの前処理では、航空機運動データの処理を行なう。CCDの形で得られる運動データをフォーマット変換し、姿勢位置データの計算の入力とする。航空機姿勢位置データの計算では、運動データのスムージング、積分・補間を行なう。又MSSデータを補正する際に必要な変数は推定により求める。空中三角測量によって得られたデータ(航空機の位置、および姿勢の方向余弦)は、運動データの積分、推定計算において初期値および補正值として用い、計算精度を向上させるアルゴリズムを採用している。

### (2) 歪補正処理

#### ① 出力画像データ作成

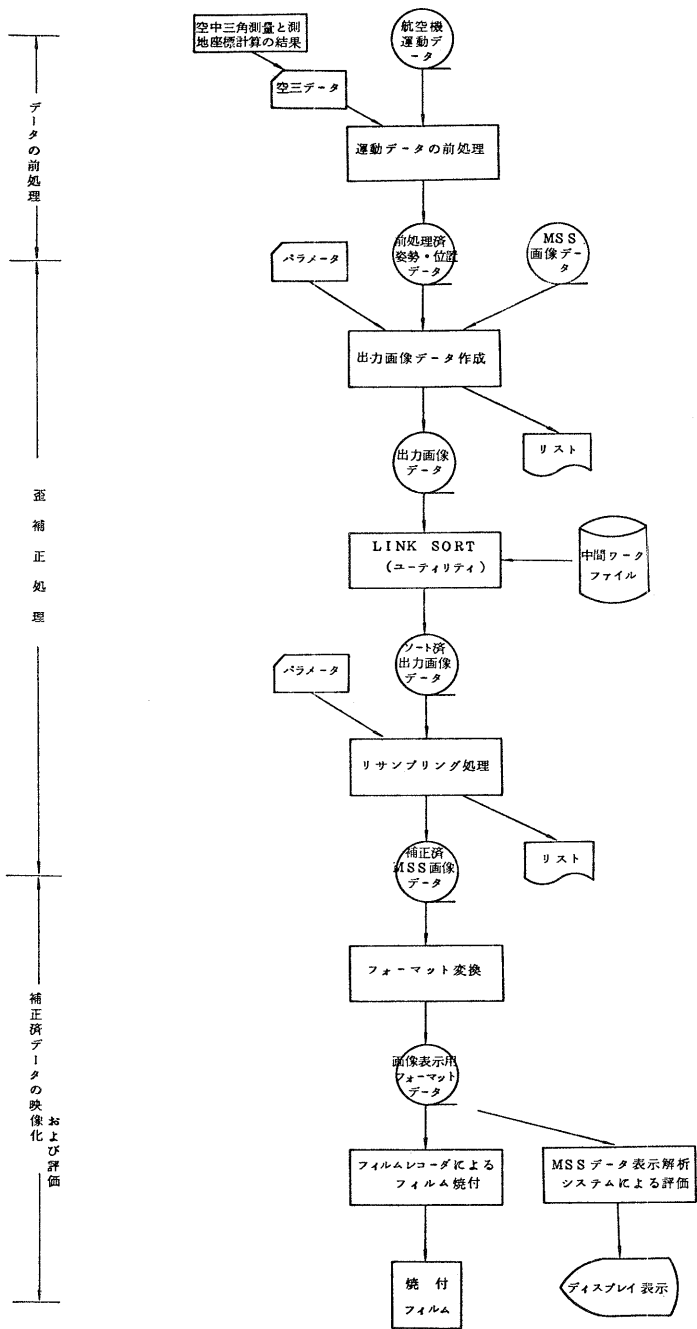
ここではMSS画像データを、フレームごとに画像座標系から出力座標系へマッピングする。各ピクセルの出力座標系における座標値を、航空機姿勢位置データより求め、このデータとピクセルの濃度値をレコード(出力画像データ)にまとめ出力する。

#### ② ソート

出力画像データを各フレームごとに、出力座標系の $y$ 方向に関して昇順にソートする。この処理は、以下に続くリサンプリング処理で近傍データの入力をシーケンシャルに行なうためのいわば前処理である。

#### ③ リサンプリング処理

出力座標系平面上に任意に分布する出力画像データを、推定された出力格子座標に対してリサンプリングを行なう。



データの  
前処理

並補  
正処  
理

補正済データの  
映像化  
および  
評価

図-3

MSSデータ補正計算システム・プロセスフロー



一方、MSSデータの収集に用いたバンディックス社製MSS(M<sup>2</sup>S)の仕様や測定条件から(式-2)の関係が得られる。

平面直角座標系へのマッピングでは各スキャンラインに対応して求められている姿勢・位置データと、(式-2)の関係を(式-1)へ代入し、各ピクセルの座標値を決定する。但し、以下の条件を仮定した。

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{瞬間視野角} & \text{IFOV} = 2.5 \text{ ミリラジアン} \\ \text{画面角} & \text{FOV} = 2.5 \times 10^{-3} \times 802 = 2.005 \text{ ラジアン} \\ \text{サンプリング周期} & T = 1/30 \text{ sec} \quad \text{----- (式-2)} \\ \lambda & = 0.0025 \times (i - 402) \\ \Delta t & = 1/30 \times 0.0025 \times (i - 402) / \text{FOV} \end{array} \right.$$

但し、 $i$  はスキャンライン上のピクセルナンバ ( $i = 1 \sim 803$ ) である。

- ① 航空機の運動状態はMSS1 スキャンにおいて一定である。
- ② 地上は平面である。

## (2) 出力座標系へのマッピング

出力座標系としては、図-5に示すように平面直角座標系にマップされたMSSデータの1フレームに対応して定義する。

平面直角座標系から出力座標系へのマッピングは(式-3)を用いて行なう。

但し、

$(x_{ORG}, y_{ORG})$ : 出力座標系原点の  $(0-x_0, y_0)$  における座標値

$\alpha$  : 出力座標系の平面直角座標系に対する回転角

である。

以上求めた  $(i, j)$  番目のピクセルの座標値  $(x_{ij}, y_{ij})$  とその濃度  $p_{ij}$  を1組  $(x_{ij}, y_{ij}, p_{ij})$  にまとめ出力する。

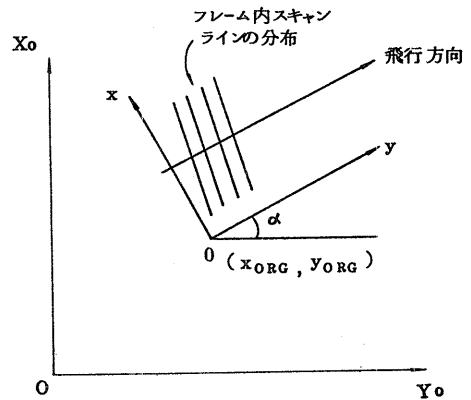


図-5 平面直角座標系と出力座標系

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_0 - x_{ORG} \\ Y_0 - y_{ORG} \end{bmatrix} \quad \text{(式-3)}$$

## 4. ソート

この処理の入力は、3.で作成された出力画像データファイルである。この処理では各フレームごとに  $y_{ij}$  をキーとしてレコード  $(x_{ij}, y_{ij}, p_{ij})$  を昇順にソートする。ソート用のプログラムとしては、標準のユーティリティプログラムを使用した。

## 5. リサンプリング処理

ここでは、ソート済出力画像データを入力としてリサンプリングを行なう。リサンプリングにより映像化した領域は、その部分に対応した出力格子座標系を定義するパラメータを指定することで、任意に選定することができる。出力座標系でのMSS画像データの分布と、出力格子座標系の関係を図示すると図-6 のようになる。

但し、この図において  
 $(lx_{ORG}, ly_{ORG})$ : 出力格子座標系の原点の  
 $(0-xy)$ における座標値  
 $(\Delta lx, \Delta ly)$ :  $x$ 方向,  $y$ 方向の格子  
 点の間隔  
 である。

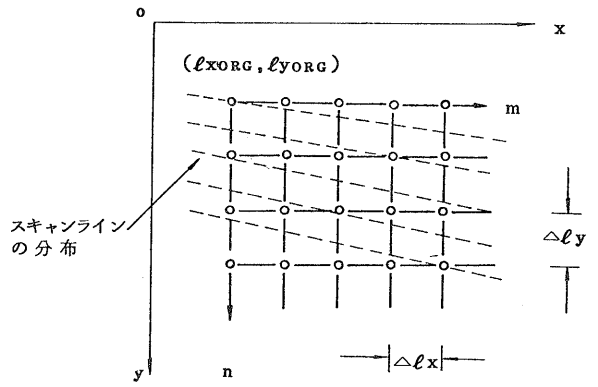


図-6 出力座標系(o-xy)と  
出力格子座標系(o-mn)

この図からも分かるように、航空機  
 MSSデータは出力座標系上で任意の分  
 布を示すため、リサンプリングを行な  
 うべき出力格子点上には一般に存在  
 しない。

リサンプリングの方式としては幾つか  
 の方式が検討されているが、こういった  
 点および情報の変形が少ないという事  
 から、ニアレストネーバ法を採用した。

リサンプリング処理では、ある格子点での濃度を、その周りのデータから決定す  
 るため、近傍演算を行なう必要がある。そのため画像データの入力は一般に  
 シーケンシャルに行なうことはできない。しかしながら本方式ではリサンプリング  
 処理の前処理としてフレームごとに画像データのソートを行なっており、そういった  
 問題を回避することができた。

## 6. フォーマット変換

リサンプリング処理の結果得られた歪補正済MSS画像データを、  
 MSSデータ表示解析システム、フィルム焼付システムで取り扱えるようにフォーマット  
 変換する。

## 7. 補正計算の結果とその評価

### 7.1 補正計算

本システムを用いて収集データの補正計算を行なう。データとして利用したのは、  
 図-1に示す撮影地区(伊勢・松阪地区)を、高度約2650mの航空機  
 から撮ったMSSデータである。MSSとしてはバンディックス社製を用いた。

### 7.2 フィルム焼付

補正前、補正後のデータをフィルム焼付システムによりフィルムに焼き付ける。

収集データを用いて処理したフィルム焼付画像の例を図-7、図-8に示す。

図-7は歪補正前、図-8はMSSデータ補正計算システムで歪の補正  
 を行なった画像である。

又、評価の基準とするため、この画像に対応する空中写真を図-9に示  
 した。

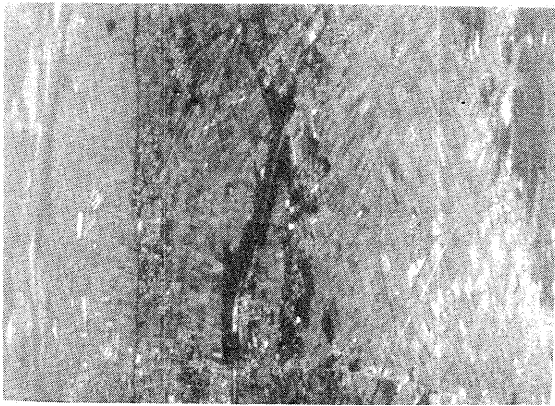


図-7 補正前フィルム焼付画像

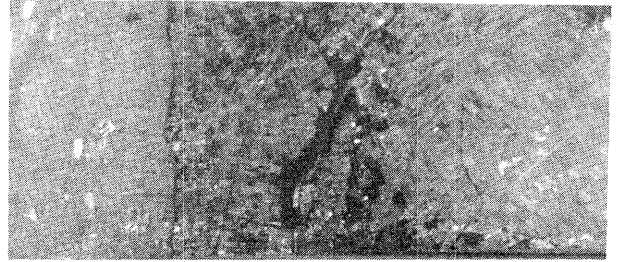


図-8 補正後フィルム焼付画像

### 7.3 補正結果の評価

#### (1) 定性的評価

図-8の補正済画像を見ると、図-7において認められるスキャンオーバーラップ、タンジェント歪が取り除かれていることが分かる。又、この補正済画像を図-9の空中写真と比較すると、その中に含まれる対象物が相似になっており、出力座標に正しくマップされた自然なMSS画像に近づいていることが分かる。

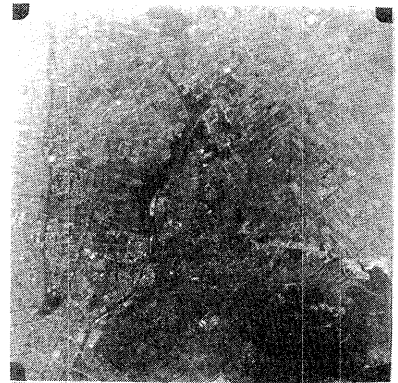


図-9 図-8に対応した空中写真

#### (2) 定量的評価

MSSデータ表示解析システム<sup>(3)</sup>では、インタラクティブに画像データを取り扱え、タブレットによって制御されるカーソルマークをカラーTV上に発生させて画像を眺めながら画像中の任意の対象物の座標を知ることができる。(図-10参照)

対象物近傍の画像を各ピクセルが識別できる程度まで拡大表示したのち、同時に撮影した航空写真や地図を参照して対象物を検出する。座標値はX方向、Y方向ともTV画面上に表示される。

図-8に示す補正済画像において計測点は空中三角測量によってその平面直角座標値が既知であるパスポイントおよび対空標識点、更にMSS画像上で比較的コントラストが良く、しかも地図との対応のつけやすい特徴的な道路の交差点を数ヶ所選択した。定量的評価を行なうに当たっては、ここでは簡単な方法として地図に対する三のパスポイントを基準点とし、それら

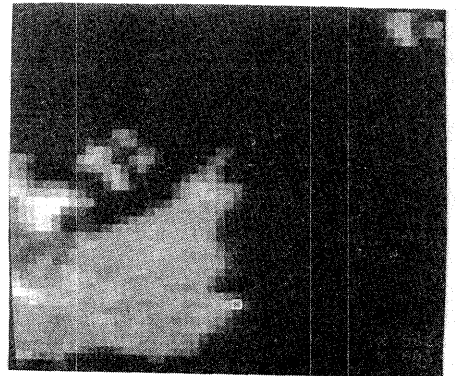


図-10 MSSデータ表示解析システムによる解析

基準点間の距離と、MSS画像上で計測した2点間の距離を比較した。基準とする地図は、国土地理院発行の2万5千分の1の伊勢・明野を使用した。表-1はこのようにして求めた基準点間距離の比較である。

画像上での道路の交差点は、X、Y両方向とも2〜3ピクセル程度で表わされており、その正確な位置を決定することは難しく、計測点抽出における測定誤差は1〜2ピクセル程度と考えられる。従って2点間の相対的距離を計測する際の誤差は最大4ピクセル(実長約26m)程度となる。

その他、地図から比較のための基準点を計測する場合には、地図上での計測誤差を考慮しなければならない。

表-1の比較結果をみると、基準値と、補正済画像より求めた2点間の距離との間の相対誤差はほぼ3%以内に抑えられており、補正精度はかなり良好であると思われる。

表-1 2点間距離の比較(単位m)

ケース	基準値	補正画像	差
1	2 4 1 3	2 4 6 2	+ 4 9
2	3 5 0	3 5 4	+ 4
3	6 6 8	6 9 1	+ 2 3
4	8 0 0	7 9 5	- 5
5	8 6 0	8 8 3	+ 2 3
6	1 6 5 0	1 7 2 1	+ 7 1
7	2 1 3 7	2 2 0 3	+ 6 6
8	8 2 5	8 1 4	- 1 1

## 8. おわりに

今回の研究では、航空機MSSデータの幾何学的歪を、運動データを用いて補正するMSSデータ補正計算システムを作成し、このシステムを用いて収集データの補正計算を行なった。その結果は原データとともに白黒フィルムに焼き付ける一方、MSSデータ表示解析システムのディスプレイに表示した。これらを基にして、原データと補正後データの比較を行ない、その補正精度を定性的、定量的に評価した。その結果、平地部におけるMSSデータ補正計算システムの有効性を確認することができた。

今後、本システムを基本に、地形を考慮した補正計算システムを作成し、山岳部におけるMSSデータの補正精度についても検討を進める予定である。

又、本システムをより実用的なシステムとするため、性能の向上、計算方式の改善等を行なって行きたいと考えている。

尚、本研究は科学技術庁・特別研究促進調整費による「リモートセンシング情報の収集・処理・解析手法に関する総合研究(幾何学的歪の研究)」において実施されたものである。この研究に対し御指導頂いた加藤、古賀、小宮山の各氏に謝意を表します。

## 参考文献

- (1) 萩山、伊藤、加藤 「航空機から撮られたMSS映像の幾何学的歪補正」  
日本航空宇宙学会・飛行機シンポジウム講演会(昭和52年11月)
- (2) 萩山、加藤、伊藤 「航空機リモートセンシング用MSSデータの幾何学的歪補正」  
電子通信学会・宇宙航行エレクトロニクス研究会(昭和53年7月)
- (3) 内藤、花木 「MSSデータ解析システム」電子通信学会・情報部門全国大会(昭和52年8月)