

京都大学・工学部 正会員 岡本 厚

1. 概説

SLAR画像は、飛行方向(x 方向)にはMSS画像と同様正射投影原理により、また飛行方向と直角方向(y 方向)には the range projection principle(斜距離投影原理)により撮影された画像である。したがって、SLAR画像の幾何特性は、中心投影原理に基づく航空写真、走査方向には航空写真と類似した特性を持つMSS画像のものとは全く異なっている。そこで、まず理想的な状態(航空カメラ、MSS(スキャナ)、SLARのアンテナの外部標定要素がすべて0の状態)で撮影された航空写真、tan補正されたMSS画像(strip写真)、SLAR画像を想定し、これらの幾何特性を考えてみよう。
 図-1に示されるように、飛行方向と平行に、かつ鉛直に立てられた三角形を航空カメラ、MSS(スキャナ)→SLARシステムを用いて撮影したとする。この場合、航空写真は図-1の点 O_A より撮影され、またMSS画像、SLAR画像は点 O より航空機を等速で飛行させて撮影される。得られた3種類の画像の幾何特性は図-2のようになる。

SLAR画像の幾何特性を調べてみると、三角形の形

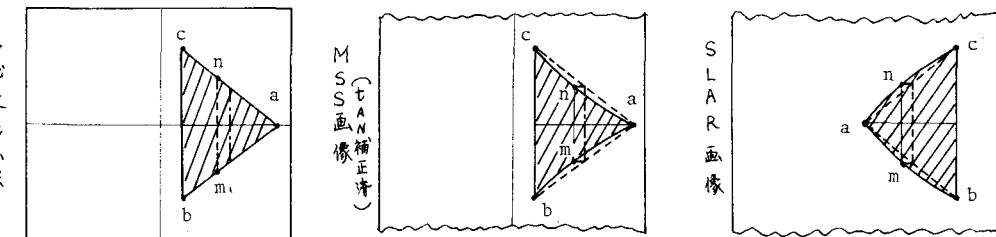


図-2: 得られた3種の画像

状が逆になっていることがわかる。これは、航空機が O_A に来た時、アンテナの電気的中心から三角形の頂点Aまでの距離が、△の底辺上の点Dまでの距離よりもずっと短くなることから容易に理解される。

以後、このような幾何特性を持つSLAR画像の偏歪修正について考察することにする。

2. SLAR画像の解析的偏歪修正

単撮影の場合のSLAR画像の解析的標定問題における観測方程式は次式のようになる。²⁾

(skew angleは 0° であると仮定) (図-3参照)

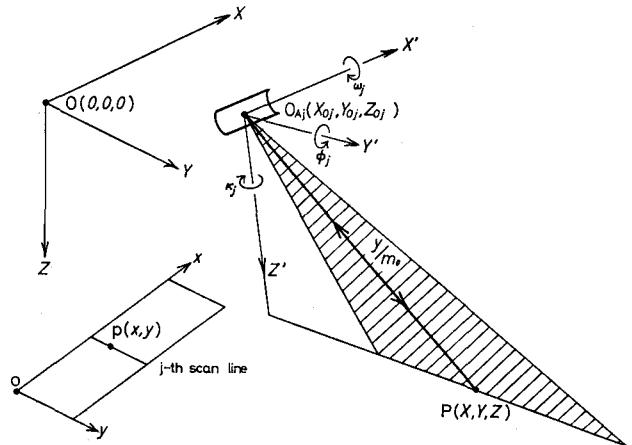


図-3: SLAR画像の解析的標定問題(単撮影の場合)

$$\left. \begin{aligned} X &= X_{0j} + \frac{\sin \varphi_j \cos \varphi_j \cos^2 \chi_j (Z - Z_{0j}) - \sin \chi_j \sqrt{(1 - \sin^2 \varphi_j \cos^2 \chi_j) \frac{y}{m_0}^2 - (Z - Z_{0j})^2}}{1 - \sin^2 \varphi_j \cos^2 \chi_j} \\ Y &= Y_{0j} + \frac{\sin \varphi_j \sin \chi_j \cos \chi_j (Z - Z_{0j}) + \cos \varphi_j \cos \chi_j \sqrt{(1 - \sin^2 \varphi_j \cos^2 \chi_j) \frac{y}{m_0}^2 - (Z - Z_{0j})^2}}{1 - \sin^2 \varphi_j \cos^2 \chi_j} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

アンテナの外部標定要素 ($\varphi_j, \chi_j, X_{0j}, Y_{0j}, Z_{0j}$) の変動は微少であると仮定し、式(1)を Taylor 展開して線形化すると、

$$\left. \begin{aligned} X &= \bar{X} + Z \Delta \varphi_j - \sqrt{(\frac{y}{m_0})^2 - Z^2} \Delta \chi_j + \frac{1}{m_0} \Delta Z_{0j} & \Delta X_{0j} &= \frac{1}{m_0} \Delta Z_{0j} \\ Y &= \bar{Y} + \frac{1}{m_0} \Delta Y_{0j} + \frac{Z}{\sqrt{(\frac{y}{m_0})^2 - Z^2}} \frac{1}{m_0} \Delta Z_{0j} & , \text{ ただし, } \Delta Y_{0j} &= \frac{1}{m_0} \Delta Y_{0j} \\ & & \Delta Z_{0j} &= \frac{1}{m_0} \Delta Z_{0j} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

となる。ここで、 (\bar{X}, \bar{Y}) はアンテナの外部標定要素の第1近似値をえた場合、SLAR画像座標より求められる地上点の座標であり、これらは次式で与えられる。

$$\bar{X} = X(1-\epsilon)/m_0, \quad \bar{Y} = \sqrt{(\frac{y}{m_0})^2 - Z^2}, \quad (\epsilon \text{ は走査線の重複率, } m_0 \text{ は縮尺}) \quad (3)$$

また、アンテナの外部標定要素の第1近似値としては

$$\varphi_{0j} = \chi_{0j} = 0, \quad Y_{0j} = Z_{0j} = 0, \quad X_{0j} = X(1-\epsilon)/m_0 \quad (4)$$

を採用することにする。式(2)の $\Delta \varphi_j, \Delta \chi_j, \Delta X_{0j}, \Delta Y_{0j}, \Delta Z_{0j}$ はアンテナの外部標定要素の微少変動量であるが、これらの飛行方向に向する挙動はつきのような高次多項式で与えられるものと仮定する。

$$\Delta \varphi_j = a_{1j} X + a_{2j} X^2 \quad (5)$$

式(5)を式(2)に代入し、整理すると SLAR画像の解析的偏正修正問題における観測方程式（誤差方程式の形）が得られるが、以後撮影地域が平坦な場合と撮影地域に比高がある場合に分けてこの問題を考察してみよう。

2-1. 撮影地域が平坦な場合

飛行高度 H とすると、式(2)は次式のよう表わされる。

$$\Delta X = H \Delta \varphi_j - \sqrt{(\frac{y}{m_0})^2 - H^2} \Delta \chi_j + \frac{1}{m_0} \Delta Z_{0j}, \quad \Delta Y = \frac{1}{m_0} \Delta Y_{0j} + (H/\sqrt{(\frac{y}{m_0})^2 - H^2}) \frac{1}{m_0} \Delta Z_{0j} \quad (6)$$

式(6)に式(5)で表わされるアンテナの外部標定要素の飛行方向に向する挙動を代入し、整理すると次式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} \Delta X &= A_0 + A_1 X + A_2 \sqrt{y^2 - r^2} + A_3 X^2 + A_4 X \sqrt{y^2 - r^2} + A_5 X^2 \sqrt{y^2 - r^2} \\ \Delta Y &= B_0 + B_1 X + B_2 r/\sqrt{y^2 - r^2} + B_3 X^2 + B_4 X r/\sqrt{y^2 - r^2} + B_5 X^2 r/\sqrt{y^2 - r^2} \end{aligned} \right\}, \quad \text{ただし } r = m_0 H \quad (7)$$

地上基準点が与えられると、式(7)の係数は最小2乗法により計算できる。この結果を使えば、SLAR画像の幾何的歪の補正を実施できる。ただし、撮影地域が平坦な場合はアンテナの外部標定要素は求められない。というのは、式(6)の第1式において $\Delta \varphi_j$ と ΔZ_{0j} の挙動が同一となるからである。

2-2. 撮影地域に比高がある場合

撮影地域に比高がある場合、地上点の平均標高よりの高低差を Z_H で表わすことになると、式(2)は

$$\Delta X = (H - Z_H) \Delta \varphi_j - \sqrt{(\frac{y}{m_0})^2 - (H - Z_H)^2} \Delta \chi_j + \frac{1}{m_0} \Delta Z_{0j}, \quad \Delta Y = \frac{1}{m_0} \Delta Y_{0j} + \left\{ (H - Z_H) / \sqrt{(\frac{y}{m_0})^2 - (H - Z_H)^2} \right\} \frac{1}{m_0} \Delta Z_{0j} \quad (8)$$

となる。式(8)に式(5)を代入して整理すると、

$$\left. \begin{aligned} \Delta X &= A_0 + A_1 X + A_2 \sqrt{y^2 - (r - Z_H)^2} + A_3 (r - Z_H) + A_4 X \sqrt{y^2 - (r - Z_H)^2} + A_5 X^2 + A_6 X (r - Z_H) + A_7 X^2 \sqrt{y^2 - (r - Z_H)^2} + A_8 X^2 (r - Z_H) \\ \Delta Y &= B_0 + B_1 X + B_2 (r - Z_H) / \sqrt{y^2 - (r - Z_H)^2} + B_3 X^2 + B_4 X (r - Z_H) / \sqrt{y^2 - (r - Z_H)^2} + B_5 X^2 (r - Z_H) / \sqrt{y^2 - (r - Z_H)^2} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

が得られる。ただし、撮影地域に比高があるれば、アンテナの外部標定要素を決定することができる。なぜなら、2-1の場合と異なり、 $\Delta \varphi_j$ と ΔZ_{0j} とは分離できるからである。

講演時には2-2で叙述された SLAR画像の偏正修正法の特徴、シミュレートされた SLAR画像に適用した場合の結果等について詳しく報告することにする。

参考文献

- 1) E.S., Leonardo: "Comparison of Imaging Geometry for Radar and Camera Photographs," Photo Eng. Vol. 29, 1963, pp. 987~993.
- 2) 同上: "SLAR画像の解析的標定問題," 日本写真測量学会, 昭和54年度每次学術講演会発表論文集, pp. 29~34.