# ALOS PRISMの正射画像作成プログラムの開発
# Development of Orthoimage Generation Program for ALOS PRISM

地理地殻活動研究センター　神谷　泉
Geography and Crustal Dynamics Research Center　Izumi KAMIYA

**要　旨**

ALOS PRISMデータを用い，正射画像を作成するプログラムを開発した．その動作を，航空機搭載スリーランセンサであるADS40の画像を使用して確認した．PRISMとADS40の双方に対応するため，両者から変換可能な中間フォーマットのデータを使用した．このため，PRISMデータを中間フォーマットに変換するプログラムも作成した．また，画像の標定は，位置･姿勢の観測値と地上基準点を同時に調整する方法を使用した．このアルゴリズムも記載する．

## １．はじめに

宇宙航空研究開発機構が平成17年度に打ち上げを予定している陸域観測技術衛星（ALOS: Advanced Land Observing Satellite;宇宙航空研究開発機構，2004）には，1:25,000程度の中縮尺地図作成を主要な目的の一つとしているパンクロマチック立体視センサ（PRISM: Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping）が搭載される．

ディジタル図化機には，SPOT等の人工衛星画像に対応したものもあり，PRISMにも対応すると期待されるが，その処理アルゴリズムの詳細は公開されていない．そこで，PRISMの幾何学的な誤差要因の解明と，作成する地理情報の精度向上を目指し，公開されたアルゴリズムによる標定プログラム，正射画像作成プログラム，DEM作成プログラムの開発を行うことにした．本稿では，そのうち，正射画像作成プログラムと，これに必要な標定プログラムの作成結果を報告する．標定プログラムの作成とシミュレーションデータへの適用は，神谷（2005）で報告したが，本稿では，神谷（2005）に記載できなかった詳細なアルゴリズムを記述する．

PRISMは，光学ベンチ上に固定された前方視，直下視，後方視の３つの放射計で構成される．画素間隔は地上2.5m，前方視と後方視の間のB/Hは1.0である．直下視放射計は，６個のリニアCCD素子，前方視放射計と後方視放射計は，８個のリニアCCD素子が配置されている．隣り合うCCD素子は，ハーフミラーを用いて，一部重なり合うように配置されている（宇宙航空研究開発機構，2004）．

## ２．標定アルゴリズム

本研究では，写真座標（ピクセル番号の計測値の関数）のほかに，衛星の位置と姿勢（ライン番号の計測値の関数），基準点の地上座標の計測値（基準点成果），放射計の取り付け角の計測値，放射計の画面距離と主点位置に誤差があるとして，標定プログラムを作成した（神谷，2005）．

衛星の位置と姿勢の誤差は，時間の多項式としてモデル化した．標定プログラムは，衛星の姿勢の誤差をECR（地球に固定された地心座標系）で規定するか，衛星座標系（衛星に固定された座標系）で規定するかを選択することができる．同一の多項式の係数が適用される範囲を，本研究ではタイムゾーンと呼ぶ．標定プログラムは，任意の画像を任意のタイムゾーンに所属させることができる．

写真座標の観測方程式を導く式は，以下のとおりである．簡単のため，大気補正の項は省略してある．この式は，ECRで記述されている．PRISMの幾何学的定義（宇宙開発事業団，2002；宇宙航空研究開発機構，2004）では，CCD座標のＺ成分が正の値となるように定義されているため，これに従った．衛星座標系における投影中心の位置と，姿勢の誤差のクロスタームは，微小なため無視した．なお，複数のコースのデータの取り扱いを正確に記載するため，神谷（2005）と記載方法が多少異なる．

（姿勢の誤差をECRで規定する場合）

$$G_i = k\mathrm{R}\left(\mathrm{A_S}\left(H_{\mathrm{S}q}, t_{ij}^{(\mathrm{b})}\right)\right)\mathrm{S}^{(\mathrm{b})}\left(t_{ij}^{(\mathrm{b})}\right)\mathrm{R}\left(A_{\mathrm{R}I}\right)R_I\left\{X_{ij} + \mathrm{A_{X}}_I\right\} + \mathrm{O}^{(\mathrm{b})}\left(t_{ij}^{(\mathrm{b})}\right) + \mathrm{A_O}\left(H_{\mathrm{O}q}, t_{ij}^{(\mathrm{b})}\right) + \mathrm{S}^{(\mathrm{b})}\left(t_{ij}^{(\mathrm{b})}\right)O_I \quad (1)$$

（姿勢の誤差を衛星座標系で規定する場合）

$$G_i = k\,\mathrm{S}^{(\mathrm{b})}\left(t_{ij}^{(\mathrm{b})}\right)\mathrm{R}\left(\mathrm{A_S}\left(H_{\mathrm{S}q}, t_{ij}^{(\mathrm{b})}\right)\right)\mathrm{R}\left(A_{\mathrm{R}I}\right)R_I\left\{X_{ij} + \mathrm{A_{X}}_I\right\} + \mathrm{O}^{(\mathrm{b})}\left(t_{ij}^{(\mathrm{b})}\right) + \mathrm{A_O}\left(H_{\mathrm{O}q}, t_{ij}^{(\mathrm{b})}\right) + \mathrm{S}^{(\mathrm{b})}\left(t_{ij}^{(\mathrm{b})}\right)O_I \quad (2)$$

ここで，各記号の意味は，以下のとおりである．なお，放射計番号$I$を除き，大文字はベクトルあるいは行列，小文字はスカラーに用いる．放射計の番号$I$は，F（前方視），N（直下視），B（後方視）のいずれかの値をとる．また，

小括弧 ( ) は関数の引数，中括弧 { } は式の評価順序，カギ括弧 [ ] は行列・ベクトルの要素を示すために用いる．

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} x_{ij}^{(\mathrm{b})} + v \\ y_{ij}^{(\mathrm{b})} + v \\ c_I \end{bmatrix}$$ 地上点 $i$ の画像 $j$ における CCD 座標（写真座標と画面距離）

$$\begin{bmatrix} x_{ij}^{(\mathrm{b})} \\ y_{ij}^{(\mathrm{b})} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathrm{u}_I\left(p_{ij}^{(\mathrm{b})}\right) \\ \mathrm{v}_I\left(p_{ij}^{(\mathrm{b})}\right) \end{bmatrix}$$ 地上点 $i$ の画像 $j$ におけるピクセル番号の計測値 $p_{ji}^{(\mathrm{b})}$ から計算した写真座標

$\mathrm{u}_I(p), \mathrm{v}_I(p)$ 放射計 $I$ のピクセル番号 $p$ の写真座標（$\mathrm{u}_I(\ )$，$\mathrm{v}_I(\ )$ が既知の関数）

$p_{ij}^{(\mathrm{b})}, l_{ij}^{(\mathrm{b})}$ 地上点 $i$ の画像 $j$ におけるピクセル番号，ライン番号の観測値

$I$ 放射計番号（画像番号 $j$ の関数）

$t_{ij}^{(\mathrm{b})} = \mathrm{t}_j\left(l_{ij}^{(\mathrm{b})}\right)$ 地上点 $i$ の画像 $j$ におけるライン番号の計測値 $l_{ij}^{(\mathrm{b})}$ に対応する時刻

$\mathrm{t}_j(l)$ 画像 $j$ のライン番号 $l$ を観測した時刻（$\mathrm{t}_j(\ )$ が既知の関数）

$v, V$ 残差（何に対する残差かは，適宜判断）

$$G_i = \begin{bmatrix} x_{\mathrm{G}i} \\ y_{\mathrm{G}i} \\ z_{\mathrm{G}i} \end{bmatrix}$$ 地上点 $i$ の地上座標（ECR）

$G_i^{(\mathrm{b})}$ 地上点 $i$ の地上座標の観測値（ECR）

$\mathrm{S}^{(\mathrm{b})}(t)$ 時刻 $t$ の衛星の姿勢の観測値（衛星座標系のベクトルを ECR に変換する回転行列）（$\mathrm{S}^{(\mathrm{b})}(\ )$ が既知の関数）

$R_I$ 放射計 $I$ の CCD 座標のベクトルを衛星座標に変換する回転行列

$\mathrm{O}^{(\mathrm{b})}(t)$ 時刻 $t$ の ECR における衛星座標系の原点（衛星の質量中心）の観測値（$\mathrm{O}^{(\mathrm{b})}(\ )$ が既知の関数）

$O_I$ 衛星座標系における放射計 $I$ の投影中心の位置

$$\mathrm{A_O}\left(H_{\mathrm{O}q}, t\right) = \begin{bmatrix} h_{\mathrm{x}q0} + h_{\mathrm{x}q1}t' + h_{\mathrm{x}q2}t'^2 + h_{\mathrm{x}q3}t'^3 + \ldots \\ h_{\mathrm{y}q0} + h_{\mathrm{y}q1}t' + h_{\mathrm{y}q2}t'^2 + h_{\mathrm{y}q3}t'^3 + \ldots \\ h_{\mathrm{z}q0} + h_{\mathrm{z}q1}t' + h_{\mathrm{z}q2}t'^2 + h_{\mathrm{z}q3}t'^3 + \ldots \end{bmatrix}$$ タイムゾーン番号 $q$ における時刻 $t$ の衛星の位置の誤差

$$\mathrm{A_S}\left(H_{\mathrm{S}q}, t\right) = \begin{bmatrix} h_{\omega q0} + h_{\omega q1}t' + h_{\omega q2}t'^2 + h_{\omega q3}t'^3 + \ldots \\ h_{\varphi q0} + h_{\varphi q1}t' + h_{\varphi q2}t'^2 + h_{\varphi q3}t'^3 + \ldots \\ h_{\kappa q0} + h_{\kappa q1}t' + h_{\kappa q2}t'^2 + h_{\kappa q3}t'^3 + \ldots \end{bmatrix}$$ タイムゾーン番号 $q$ における時刻 $t$ の衛星の姿勢の誤差

$$t' = \frac{t - \left(t_{\mathrm{E}q} - t_{\mathrm{S}q}\right)/2}{t_{\mathrm{E}q} - t_{\mathrm{S}q}}$$ タイムゾーン $q$ 内で −1 から 1 に規格化された時刻（計算誤差を避けるために導入）

$t_{\mathrm{S}q}, t_{\mathrm{E}q}$　　タイムゾーン $q$ の最初と最後の時刻

$q$　　タイムゾーン番号（画像番号 $j$ の関数）

$A_{\mathrm{X}I} = \begin{bmatrix} h_{\mathrm{u}I} \\ h_{\mathrm{v}I} \\ h_{\mathrm{c}I} \end{bmatrix}$　　放射計 $I$ の主点位置と画面距離の誤差

$A_{\mathrm{R}I} = \begin{bmatrix} h_{\mathrm{R}I\omega} \\ h_{\mathrm{R}I\varphi} \\ h_{\mathrm{R}I\kappa} \end{bmatrix}$　　放射計 $I$ の放射計の取り付け角の計測値の誤差（追加して作用させる回転行列に対応する角）

$$\mathrm{R}\left(\begin{bmatrix} \omega \\ \varphi \\ \kappa \end{bmatrix}\right) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\omega & -\sin\omega \\ 0 & \sin\omega & \cos\omega \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\varphi & 0 & \sin\varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\varphi & 0 & \cos\varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\kappa & -\sin\kappa & 0 \\ \sin\kappa & \cos\kappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$ 回転角から回転行列を得る関数

（1），（2）から $k$ を消去して，$x_{ij}^{(\mathrm{b})}$，$y_{ij}^{(\mathrm{b})}$について解くと，写真座標に関する観測方程式が得られる．

$$x_{ij}^{(\mathrm{b})} + v = \{c_I + h_{\mathrm{c}I}\}\frac{b_1}{b_3} - h_{\mathrm{u}I} \equiv f_{ij}\left(\overline{X}\right)$$ （全ての像点）（3）

$$y_{ij}^{(\mathrm{b})} + v = \{c_I + h_{\mathrm{c}I}\}\frac{b_2}{b_3} - h_{\mathrm{v}I} \equiv g_{ij}\left(\overline{X}\right)$$ （全ての像点）（4）

ここで，$b_1$～$b_3$は，以下に示すベクトル $B$ の成分，$\overline{X}$ は，後述の最小２乗法において決定すべきパラメータである．

（姿勢の誤差を ECR で規定する場合）

$$B = R_I^{\mathrm{T}}\{\mathrm{R}(A_{\mathrm{R}I})\}^{\mathrm{T}}\left\{\mathrm{S}^{(\mathrm{b})}\left(t_{ij}^{(\mathrm{b})}\right)\right\}^{\mathrm{T}}\left\{\mathrm{R}\left(\mathrm{A}_{\mathrm{S}}\left(H_{\mathrm{S}q}, t_{ij}^{(\mathrm{b})}\right)\right)\right\}^{\mathrm{T}}\left\{G_i - \mathrm{O}^{(\mathrm{b})}\left(t_{ij}^{(\mathrm{b})}\right) - \mathrm{A}_{\mathrm{O}}\left(H_{\mathrm{O}q}, t_{ij}^{(\mathrm{b})}\right) - \mathrm{S}^{(\mathrm{b})}\left(t_{ij}^{(\mathrm{b})}\right)O_I\right\}$$ （5）

（姿勢の誤差を衛星座標系で規定する場合）

$$B = R_I^{\mathrm{T}}\{\mathrm{R}(A_{\mathrm{R}I})\}^{\mathrm{T}}\left\{\mathrm{R}\left(\mathrm{A}_{\mathrm{S}}\left(H_{\mathrm{S}q}, t_{ij}^{(\mathrm{b})}\right)\right)\right\}^{\mathrm{T}}\left\{\mathrm{S}^{(\mathrm{b})}\left(t_{ij}^{(\mathrm{b})}\right)\right\}^{\mathrm{T}}\left\{G_i - \mathrm{O}^{(\mathrm{b})}\left(t_{ij}^{(\mathrm{b})}\right) - \mathrm{A}_{\mathrm{O}}\left(H_{\mathrm{O}q}, t_{ij}^{(\mathrm{b})}\right) - \mathrm{S}^{(\mathrm{b})}\left(t_{ij}^{(\mathrm{b})}\right)O_I\right\}$$ （6）

ここで，上付きの $^{\mathrm{T}}$ は，行列の転置を示す．

他の観測方程式は，以下のとおりである．ここでは，像点において位置と姿勢の観測方程式をたてるという伝統的な写真測量の方法に従った．

$$\mathrm{A}_{\mathrm{S}}\left(H_{\mathrm{S}q}, t_{ij}^{(\mathrm{b})}\right) = V$$ （全ての像点）（7）

$$\mathrm{A}_{\mathrm{O}}\left(H_{\mathrm{O}q}, t_{ij}^{(\mathrm{b})}\right) = V$$ （全ての像点）（8）

$$G_i = G_i^{(\mathrm{b})} + V$$ （全ての基準点）（9）

$$A_{\mathrm{R}I} = V$$ （全ての放射計）（10）

$$A_{XI} = V \qquad \text{（全ての放射計）} \quad (11)$$

最小２乗法において決定すべきパラメータは，以下のとおりである．上の行から順に，主点位置と画面距離の誤差，放射計の取り付け角の計測値の誤差，衛星の位置の誤差，衛星の姿勢の誤差，地上座標の観測値の誤差である．衛星の位置と姿勢の誤差は，タイムゾーンの数だけ繰り返す．

$$\begin{aligned}
\overline{X} = \big[ & h_{\mathrm{uF}} \quad h_{\mathrm{vF}} \quad h_{\mathrm{cF}} \quad h_{\mathrm{uN}} \quad h_{\mathrm{vN}} \quad h_{\mathrm{cN}} \quad h_{\mathrm{uB}} \quad h_{\mathrm{vB}} \quad h_{\mathrm{cB}} \\
& h_{\mathrm{RF\omega}} \quad h_{\mathrm{RF\varphi}} \quad h_{\mathrm{RF\kappa}} \quad h_{\mathrm{RN\omega}} \quad h_{\mathrm{RN\varphi}} \quad h_{\mathrm{RN\kappa}} \quad h_{\mathrm{RB\omega}} \quad h_{\mathrm{RB\varphi}} \quad h_{\mathrm{RB\kappa}} \\
& h_{\mathrm{x10}} \quad h_{\mathrm{x11}} \quad h_{\mathrm{x12}} \quad h_{\mathrm{x13}} \quad \cdots \quad h_{\mathrm{y10}} \quad h_{\mathrm{y11}} \quad h_{\mathrm{y12}} \quad h_{\mathrm{y13}} \quad \cdots \quad h_{\mathrm{z10}} \quad h_{\mathrm{z11}} \quad h_{\mathrm{z12}} \quad h_{\mathrm{z13}} \quad \cdots \\
& h_{\omega 10} \quad h_{\omega 11} \quad h_{\omega 12} \quad h_{\omega 13} \quad \cdots \quad h_{\varphi 10} \quad h_{\varphi 11} \quad h_{\varphi 12} \quad h_{\varphi 13} \quad \cdots \quad h_{\kappa 10} \quad h_{\kappa 11} \quad h_{\kappa 12} \quad h_{\kappa 13} \quad \cdots \\
& h_{\mathrm{x20}} \quad h_{\mathrm{x21}} \quad h_{\mathrm{x22}} \quad h_{\mathrm{x23}} \quad \cdots \quad h_{\mathrm{y20}} \quad h_{\mathrm{y21}} \quad h_{\mathrm{y22}} \quad h_{\mathrm{y03}} \quad \cdots \quad h_{\mathrm{z20}} \quad h_{\mathrm{z21}} \quad h_{\mathrm{z22}} \quad h_{\mathrm{z23}} \quad \cdots \\
& h_{\omega 20} \quad h_{\omega 21} \quad h_{\omega 22} \quad h_{\omega 23} \quad \cdots \quad h_{\varphi 20} \quad h_{\varphi 21} \quad h_{\varphi 22} \quad h_{\varphi 03} \quad \cdots \quad h_{\kappa 20} \quad h_{\kappa 21} \quad h_{\kappa 22} \quad h_{\kappa 23} \quad \cdots \\
& \qquad\qquad \vdots \\
& x_{\mathrm{G1}} \quad y_{\mathrm{G1}} \quad z_{\mathrm{G1}} \quad x_{\mathrm{G2}} \quad y_{\mathrm{G2}} \quad z_{\mathrm{G2}} \quad x_{\mathrm{G3}} \quad y_{\mathrm{G3}} \quad z_{\mathrm{G3}} \quad \cdots \big]^{\mathrm{T}} \\
\equiv & \big[ \bar{x}_1 \quad \bar{x}_2 \quad \cdots \quad \bar{x}_n \big]^{\mathrm{T}}
\end{aligned} \qquad (12)$$

写真座標以外の観測方程式（７）～（11）は線形であるが，写真座標の観測方程式（３）（４）は非線形である．従って，観測方程式を以下のように線形化し，繰返し計算で解を求める．

$$x_{ij}^{(\mathrm{b})} + v = f_{ij}\left(\overline{X}\right) \approx f_{ij}\left(\overline{X}^{(0)}\right) + \sum_{k=1}^{n} \left.\frac{\partial f_{ij}}{\partial \bar{x}_k}\right|^{(0)} \bar{x}_k^{(1)} \qquad (13)$$

$$y_{ij}^{(\mathrm{b})} + v = g_{ij}\left(\overline{X}\right) \approx g_{ij}\left(\overline{X}^{(0)}\right) + \sum_{k=1}^{n} \left.\frac{\partial g_{ij}}{\partial \bar{x}_k}\right|^{(0)} \bar{x}_k^{(1)} \qquad (14)$$

ここで上つき添え字$^{(0)}$はパラメータの近似値，$^{(1)}$は近似値に対する補正量である（$\overline{X} = \overline{X}^{(0)} + \overline{X}^{(1)}$，$\bar{x}_k = \bar{x}_k^{(0)} + \bar{x}_k^{(1)}$）．また，$\left.\frac{\partial f_{ij}}{\partial \bar{x}_k}\right|^{(0)}$，$\left.\frac{\partial g_{ij}}{\partial \bar{x}_k}\right|^{(0)}$は，近似値$\overline{X}^{(0)}$における$\frac{\partial f_{ij}}{\partial \bar{x}_k}$，$\frac{\partial g_{ij}}{\partial \bar{x}_k}$の値を示す．

写真座標の観測方程式（３）（４）は複雑であるため，数値微分を使用し，微係数を求めた．ここで，$\Delta\bar{x}_k$は，十分小さな値である．

$$\left.\frac{\partial f_{ij}}{\partial \bar{x}_k}\right|^{(0)} \approx \frac{f_{ij}\left(\bar{x}_1^{(0)}, \ldots, \bar{x}_k^{(0)} + \Delta\bar{x}_k, \ldots, \bar{x}_n^{(0)}\right) - f_{ij}\left(\bar{x}_1^{(0)}, \ldots, \bar{x}_k^{(0)}, \ldots, \bar{x}_n^{(0)}\right)}{\Delta\bar{x}_k} \qquad (15)$$

$$\left.\frac{\partial g_{ij}}{\partial \bar{x}_k}\right|^{(0)} \approx \frac{g_{ij}\left(\bar{x}_1^{(0)}, \ldots, \bar{x}_k^{(0)} + \Delta\bar{x}_k, \ldots, \bar{x}_n^{(0)}\right) - g_{ij}\left(\bar{x}_1^{(0)}, \ldots, \bar{x}_k^{(0)}, \ldots, \bar{x}_n^{(0)}\right)}{\Delta\bar{x}_k} \qquad (16)$$

特定の像点に関する観測方程式の，関係しない地上点，関係しない画像に関する微係数は明らかに０であるが，簡単のため，この場合も数値微分を用いて微係数を計算した．標定を実施する際のUPC時間の多くは，微係数の

計算に費やされているが，微係数が０であることが自明な場合の計算を行っても，１回の調整計算に要する時間は，3.0GHz のPentium 4で数秒であった．

本研究では，必要に応じ調整に使用するパラメータを選択するため，使用しないパラメータは，その観測方程式に対して，課題な重みを与えることにより，事実上固定した．

## ３．正射画像作成アルゴリズム

ここでは，出力座標系（地図座標）と緯度・経度の関係，ピクセル番号・ライン番号からバンドル（地上点，投影中心，像点を通る直線）を求める方法は，既知とする．正射画像の作成のためには，緯度・経度・楕円体高から，対応する入力画像のピクセル番号・ライン番号を求める必要がある．ここでは，その方法を述べる．リサンプリングアルゴリズムは，記載を省略する．

### ３．１　バンドルと楕円体高一定の曲面の交点

バンドルと楕円体高一定の曲面の交点を求める方法は，以下のとおりである．

１）緯度・経度の概略値を求める．初回の呼び出しの場合は，画像中央のラインに対応する衛星の位置（ECR）を緯度・経度に変換する．２回目以降の場合は，前回の緯度・経度の概略値を使用する．これは，連続した呼び出しにおける緯度・経度は，近い値をとる場合が多く，繰り返し計算の回数を節約するためである．

２）１）で求めた緯度・経度の概略値において準拠楕円体と接する平面から，楕円体高だけ離れた平面を決定する．

３）２）で求めた平面とバンドルの交点を求め，緯度・経度に変換する．

４）３）で求めた緯度・経度と，概略の緯度・経度の差が一致した場合（較差が一定値未満の場合，以下同様）には，３）で求めた緯度・経度が求める交点である．

５）一致しない場合には，３）で求めた緯度・経度を緯度・経度の概略値に代入し，２）へ戻る．

### ３．２　ピクセル・ラインの概略値

緯度・経度からピクセル番号・ライン番号の概略値を求める方法は，以下のとおりである．なお１）と２）は，初期化時に１回行えばよい．

１）画像の４隅のピクセル番号・ライン番号とその地域の典型的な楕円体高を用いて，３．１に示した方法により，画像の４隅の緯度・経度を求める．

２）１）で求めたピクセル番号・ライン番号と緯度・経度の関係を満足するよう，次式の係数を決定する．

$$\begin{aligned} p_0 &= a_{10}B + a_{01}L + a_{11}BL + a_{00} \\ l_0 &= b_{10}B + b_{01}L + b_{11}BL + b_{00} \end{aligned} \tag{17}$$

$p_0$，$l_0$　ピクセル番号・ライン番号の概略値

$B$，$L$　緯度・経度

３）２）に示した式と２）で決定した係数を用いて，ピクセル番号・ライン番号を求め，概略値とする．

### ３．３　ピクセル・ラインの厳密値（概略値あり）

ピクセル番号・ライン番号の概略値を用い，任意の緯度・経度・楕円体高に対応するピクセル番号・ライン番号を求める方法を示す．

１）与えられたピクセル番号・ライン番号の概略値から対応するバンドルを求める．

２）３．１に示した方法により，１）で求めたバンドルと，楕円体高一定の曲面の交点の緯度･経度を求める．これはピクセル番号・ライン番号の概略値に対応する緯度・経度である．

３）以下の方法で，ピクセル番号･ライン番号を求める．

$$\begin{bmatrix} p \\ l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_0 \\ l_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{10} + a_{11}L & a_{01} + a_{11}B \\ b_{10} + b_{11}L & b_{01} + b_{11}B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B - B_0 \\ L - L_0 \end{bmatrix} \tag{18}$$

$p$，$l$　ピクセル番号・ライン番号

$p_0$，$l_0$　ピクセル番号・ライン番号の概略値

$B$，$L$　与えられた緯度・経度

$B_0$，$L_0$　２）で求めた$p_0$，$l_0$に対応する緯度・経度

なお，上記の係数行列は，（17）式から求めた

$$\begin{bmatrix} \dfrac{\partial p_0}{\partial B} & \dfrac{\partial p_0}{\partial L} \\ \dfrac{\partial l_0}{\partial B} & \dfrac{\partial l_0}{\partial L} \end{bmatrix}$$ であり，$$\begin{bmatrix} \dfrac{\partial p}{\partial B} & \dfrac{\partial p}{\partial L} \\ \dfrac{\partial l}{\partial B} & \dfrac{\partial l}{\partial L} \end{bmatrix}$$ の近似値である．

４）２）で求めたピクセル番号・ライン番号の概略値に対応する緯度・経度と，与えられた緯度・経度が一致した場合は，３）で求めたピクセル番号・ライン番号が求める値である．

５）一致しない場合は，３）で求めたピクセル番号・ライン番号をピクセル番号・ライン番号の概略値に代入し，１）に戻る．

### ３．４　ピクセル・ラインの厳密値（概略値なし）

ピクセル番号・ライン番号の概略値を用いずに，任意の緯度・経度・楕円体高に対応するピクセル番号・ライン番号を求める方法を示す．なお，概略値を使用する方法を別途定めたのは，本アルゴリズムで用いるピクセル番号・ライン番号の概略値より，隣接する出力画像の画素に対するピクセル番号・ライン番号の方がよい近似値であり，これを使用する方が繰り返し計算の回数を節約できるためである．

１）３．２に示した方法により，緯度・経度からピクセル番号・ライン番号の概略値を求める．

2）1）で求めたピクセル番号・ライン番号の概略値と与えられた緯度・経度・楕円体高を用いて，3．3に示した方法により，ピクセル番号・ライン番号を求める．

### 3．5 計算順序と適用アルゴリズム

全ての出力画像のラインについて，以下の操作を繰り返す．

1）出力画像のラインの端の画素から，3．4に示した概略値を用いない方法を使用して，入力画像のピクセル番号・ライン番号を求める．この操作を，入力画像の範囲内にあるピクセル番号・ライン番号が求まるまで繰り返す．

2）1）で画像の範囲内のピクセル番号・ライン番号が求めることのできた出力画像の画素から出発し，その前後の画素に対応する入力画像のピクセル番号・ライン番号を，3．3に示した概略値を用いる方法を使用して順次決定する．なお，ピクセル番号・ライン番号の概略値は，隣接する出力画像の画素の値とする．

## 4．中間フォーマットとRPISMデータ変換プログラム

本研究では，PRISMと，シミュレーションデータの作成に使用したADS40（Eckardt et. al.，2000）の双方のデータから作成することのできる中間フォーマットを使用している．中間フォーマットのファイルは，①raw画像ファイル，②ピクセル数，ライン数等のデータを格納した画像情報ファイル，③ラインごとの時刻，位置，姿勢を示す回転行列を記述した画像標定ファイルからなる．

ALOS PRISMのLevel 1B1データ（ラジオメトリック補正がされ，幾何補正のために必要データが付加された標準プロダクト）を，本プログラムで使用する中間フォーマットに変換するプログラムを作成した．

Level 1B1データのうち，後処理により得られる精密な衛星の位置，姿勢，ECI（慣性系に固定された方向をもつ地心座標）からECR（地球に固定された地心座標系）への変換パラメータは，ALOS共通ファイルフォーマット（宇宙開発事業団，2003）の形式で格納されている．宇宙航空研究開発機構から共通ファイルフォーマットのサンプルデータが提供されたため，これらの部分については，このサンプルデータを使用して，プログラムの動作を確認した．他の部分に関しては，Level 1B1データのうち，使用する部分を手入力してサンプルデータを作成し，動作を確認した．

共通ファイルフォーマットでは，衛星の位置に関しては，60秒ごとの位置と速度ベクトルが記載されている．注目している時刻の回りの4時刻の位置と速度ベクトルを使用して，これらを満たす時間の多項式を求めて補間を行い（エルミート補間），ラインを撮影した時刻の位置を求めた．ここで，PRISMの撮像メカニズムに関するさまざまな遅延（宇宙航空研究開発機構，2004）は，補正されているものとした．姿勢に関しては，0.1秒ごとのクォータニオン（宇宙開発事業団，2003）が記載されている．クォータニオンを回転角に変換し，回転角を線形補間し，これを回転行列に変換し，ラインを撮影した時刻の姿勢とした．

## 5．シミュレーションデータを使用した運用試験

作成したプログラムの動作を確かめるため，写真測量用スリーラインセンサーであるADS40（Eckardt et. al.，2000）のデータを使用し，PRISMのシミュレーションデータを作成した．地上基準点を用いてシミュレーションデータを標定し，正射画像を作成した．なお，正射画像の作成に必要なDEMは，数値地図50mメッシュ（標高）を使用した．その結果を，図－1に示す．

図－1 PRISMのシミュレーションデータと数値地図50mメッシュ（標高）を使用して作成した正射画像

## ６．まとめ

ALOS PRISM用標定プログラム，正射画像作成プログラム，PRISM の標準フォーマットのデータを本プログラムで使用する中間フォーマットに変換するプログラムを作成した．これらのプログラムの動作を，航空機搭載３ラインサであるADS40のデータから作成したシミュレーションデータ等を使用して，確認した．

## ７．今後の課題

独自の技術によりALOS PRISMによる地図作成を実現するためには，DEM作成プログラムを開発する必要がある．また，ALOSが打ち上げられ，PRISMデータが得られたら，実データを使用してプログラムの動作を確認するとともに，PRISM の精度の検証，誤差要因の解明等を行う予定である．

## 謝　辞

本研究を実施するに当たり，宇宙航空研究開発機構（旧宇宙開発事業団）からは，共同研究協定に基づき，ALOS及びPRISMに関する技術資料を開示していただいた．株式会社パスコからは，ADS40 に関する技術情報を提供していただいた．ここに記して謝意を表す．なお，本研究は，国土地理院の特別研究「ALOS PRISMデータの解析に関する研究」の一環として実施した．

## 参 考 文 献

Eckardt, A., Braunecker, B., and Sandau, R. (2000): Performance of the imaging system in the LH systems ADS40 airborne digital sensor, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, XXXIII, part B1, 104-109.

神谷　泉 (2005)：ALOS PRISM 画像の標定プログラムの作成とシミュレーションデータを用いたプログラムの検証，応用測量論文集，16，79-86.

宇宙開発事業団 (2002)：PRISMセンサモデル，NBF-00012A.

宇宙開発事業団 (2003)：ALOS共通ファイルフォーマット説明書，A3版，NEB-01009A-3.

宇宙航空研究開発機構（2004）：地球観測データ利用ハンドブック－ALOS 編－，ドラフト版．http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/about/ALOS_HB_DRAFT_JP.pdf (accessed on August 15, 2005).