

評価・標準化研究会

会長	飯倉善和（弘前大学）
幹事	沖 一雄（東京大学）
	稲澤智昭（（株）インフォサーブ）
	大串文誉（ジクー・データシステムズ（株））
	村木広和（（株）イメージワン）
	田殿武雄（宇宙航空研究開発機構地球観測研究センター(JAXA EORC)）

1. はじめに

本研究会が発足して10年が経過しました。当初の設立趣意書にも予想されたように、リモートセンシングの技術自体は昨今の環境問題の深刻化と共に広く世に知られる様になり、その期待はますます大きくなってきています。また、コンピュータの性能の飛躍的向上や数値標高モデルや放射伝達モデルなどが手軽に使えるようになってきたこともあり、衛星画像処理の方法にも進展が見られています。

しかし、これらの成果はまだ確立したものとは言えず、既存の画像処理ソフトを利用している一般の利用者には良く知られていません。実利用を進展するためには、これらの手法の評価と標準化を行ない、それらを一般の利用者にお知らせし、リモートセンシングによって提供される情報の信頼性を向上させることが不可欠です。

なお、リモートセンシングは学際的研究分野である故に各種用語の使用やその定義が各専門分野の影響を強く受け、不統一な面が多々見受けられます。

本研究会では、各種の衛星画像処理手法の標準化や用語の統一を行なうとともに、誰もが自分の処理手法を評価できる標準データセットの充実や評価方法の統一化・標準化に関する会員の研究を支援していきたいと考えています。

主な研究テーマは、

- 1) 精密幾何補正法の評価方法と標準化
- 2) 大気効果補正法の評価方法と標準化
（放射伝達モデルの利用方法を含む）
- 3) 地形効果補正法の評価方法と標準化
（数値標高モデルの利用方法を含む）
- 4) 土地被覆分類法の評価方法と標準化
（領域分割およびカテゴリー分類手法の評価を含む）
- 5) その他、標準化を必要とする計測データ処理手法の検討
- 6) リモートセンシング関連用語の標準化、

などです。

2 . 評価・標準化研究会議

最近 2 回の研究会議において以下の内容が検討されました（詳細は、<http://gosei.mech.hirosaki-u.ac.jp/~rssj/>を参照ください）。

2 . 1 平成 1 8 年度評価・標準化研究会

日時：平成 18 年 11 月 17 日（木）15:00-18:00

場所：東京大学 生産技術研究所 ICUS（都市基盤安全工学国際研究センター）
レクチャールーム（B 棟 6 階，Bw601）

議事：

(1) 話題提供

(1-A) 稲澤智昭氏（（株）インフォサーブ）

「PCI Geomatica 10 による画像処理」

(1-B) 大串文誉氏（ジクー・データシステムズ（株））

「ENVI でのオルソ補正と大気補正について」

(2) 活動計画について

- ・ 次回研究会議（話題提供）について
- ・ データおよび解析手法（アルゴリズム）の提供方法について

2 . 2 平成 1 9 年度評価・標準化研究会

日時：平成 19 年 4 月 10 日（火）14:00-17:00

場所：東京大学 生産技術研究所 ICUS（都市基盤安全工学国際研究センター）
レクチャールーム（B 棟 6 階，Bw601）

議事：

(1) 話題提供

(1-A) 村木広和氏（（株）イメージワン）

「航空写真と衛星の幾何補正の現状と今後の考察」

(1-B) 田殿武雄氏（宇宙航空研究開発機構地球観測研究センター（JAXA EORC））

「陸域観測技術衛星 ALOS「だいち」搭載光学センサの校正検証と研究成果物について ~特に幾何精度について」

(2) 活動計画について

- ・ 次回研究会議（話題提供）について
- ・ 春季学術講演会でのポスター発表について
- ・ 学会誌原稿について
- ・ データおよび解析手法（アルゴリズム）の提供方法について

3 . 研究報告

研究報告として、評価・標準化研究会で話題提供された（1）インフォサーブの稲澤智昭氏による「PCI Geomatica 10 による画像処理」、（2）ジクー・

データシステムズの大串文誉氏による「ENVI でのオルソ補正と大気補正について」、(3) イメージワンの村木広和氏による「航空写真と衛星の幾何補正の現状と今後の考察」、そして(4) JAXA EORC の田殿武雄氏による「陸域観測技術衛星 ALOS「だいち」搭載光学センサの校正検証と研究成果物について ~ 特に幾何精度について」を報告させていただきます。

3.1 PCI Geomatica 10 による画像処理

(株)インフォサーブ 稲澤智昭

PCI Geomatica はカナダの PCI 社が開発した、リモートセンシング画像処理、デジタル写真測量、GIS/空間分析および地図作成ツールを統合したソフトウェアである。

今回は、このソフトウェアの機能のうち、大気補正、正射補正およびポラリメトリック SAR 処理について紹介した。以下にその概要を示す。

(1)大気補正

PCI Geomatica の大気処理は、DLR(German Aerospace Center)の Dr. Richter によって開発された大気補正モジュール ATCOR2/3 である。

ATCOR2 は、平坦地形を対象とした高速の大気補正アルゴリズムであり、ATCOR3 は起伏地形を対象として数値標高モデルを使用した大気補正アルゴリズムである。

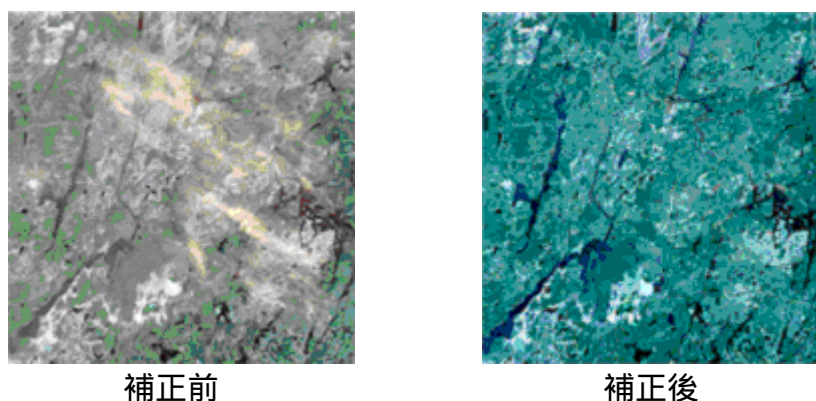


図 1. LANDSAT 7 の大気補正による雲・ヘイズの除去

(1-1)ATCOR2/3 の機能

PCI Geomatica の大気補正には次の処理が含まれている。

- ・ 大気および照射の影響の除去
- ・ 物理パラメータの算出
 - 表面反射率
 - 放射率
 - 表面温度
- ・ 付加価値データの出力
 - 土壌調整植生指標 (Soil Adjusted Vegetation Index - SAVI)
 - 葉面積指数 (Leaf Area Index - LAI)
 - 光合成有効放射吸収率 (Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation - FPAR)
 - 地表面アルベド (Surface Albedo)
 - 吸収放射量 (Absorbed Solar Radiation)

入力データとして熱赤外バンドが含まれている場合

- 熱流速差 (Thermal Flux Difference)
- 地中熱流量 (Ground Heat Flux)
- 顕熱フラックス (Sensible Heat Flux)
- 潜熱 (Latent Heat)
- 正味放射量 (Net Radiation)
- ・ 設定したパラメータによるスペクトル表示
- ・ 補正タイプ (視程タイプ) の選択
 - Constant Conditions
 - Spatially Varying Conditions
- ・ ヘイズおよび雲マスクの自動生成
- ・ ヘイズおよび雲マスクのマニュアル生成および編集
- ・ 視程の編集

(1-2)参考文献

PCI Geomatica で使用している大気補正のアルゴリズムに関する参考文献を以下に示す。

- 1) R. Richter (1996), 'A spatially adaptive fast atmospheric correction algorithm' Int. J. Remote Sensing, Vol. 17, 1201-1214
- 2) R. Richter (1996), 'Atmospheric correction of satellite data with haze removal including a haze/clear transition region', Computers & Geosciences, Vol. 22, 675-681
- 3) R. Richter (1998), 'Correction of satellite imagery over mountainous terrain', Applied Optics, Vol. 37, 4004-4015

(2) 正射補正

PCI Geomatica の大気補正は、OrthoEngine のパッケージに含まれている。OrthoEngine では幾何補正、正射補正、画像モザイク処理および DEM 抽出が可能である。以下にその機能を示す。

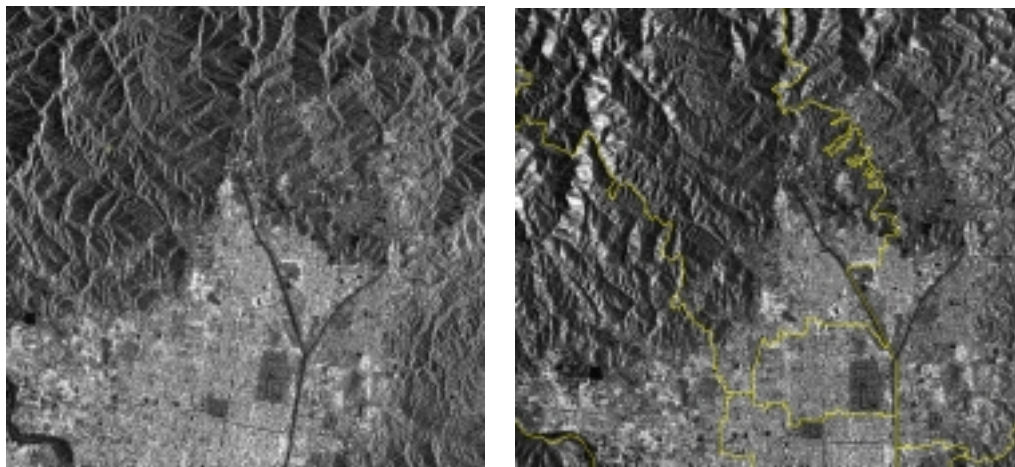
(2-1) 幾何補正・正射補正

OrthoEngine の幾何補正・正射補正には次の機能が含まれている。

- ・ Toutin ' s Model による衛星画像の精密な正射補正
- ・ 有理関数 (RPC) に基づいた正射補正
- ・ バンドル法による航空写真の正射補正
- ・ 多項式による幾何補正
- ・ Thin Plate Spline 関数による幾何補正

また、これらの処理の補助として次の機能が含まれている。

- ・ タイル化されている画像のステッチ
- ・ 地上基準点 (GCP) およびタイポイントの自動収集
- ・ 航空写真の指標の自動収集



補正前

補正後

図 2. PALSAR/ALOS の正射補正

(2-2) モザイク処理

OrthoEngine に含まれているモザイク処理の機能は次の通りである。

- ・ マニュアルモザイク処理
- ・ 自動モザイク処理
 - 多様な自動カラーバランス・アルゴリズム
 - 画像の正規化
 - ホットスポットの除去
 - 多様なカットライン自動生成アルゴリズム

(2-3)DEM 抽出

OrthoEngine に含まれている DEM 抽出の機能は次の通りである。

- ・ RADARSAT、ASAR を含む衛星画像、航空写真のステレオ画像からの DEM 抽出
- ・ ベクタ・データや他の外部データからの DEM 作成
- ・ インタラクティブな DEM 編集ツール

(2-4)自動化・バッチ処理

OrthoEngine の各処理機能はコンポーネント化されており、ワークフローのスク립ト記述によって完全自動化およびバッチ処理が可能である。

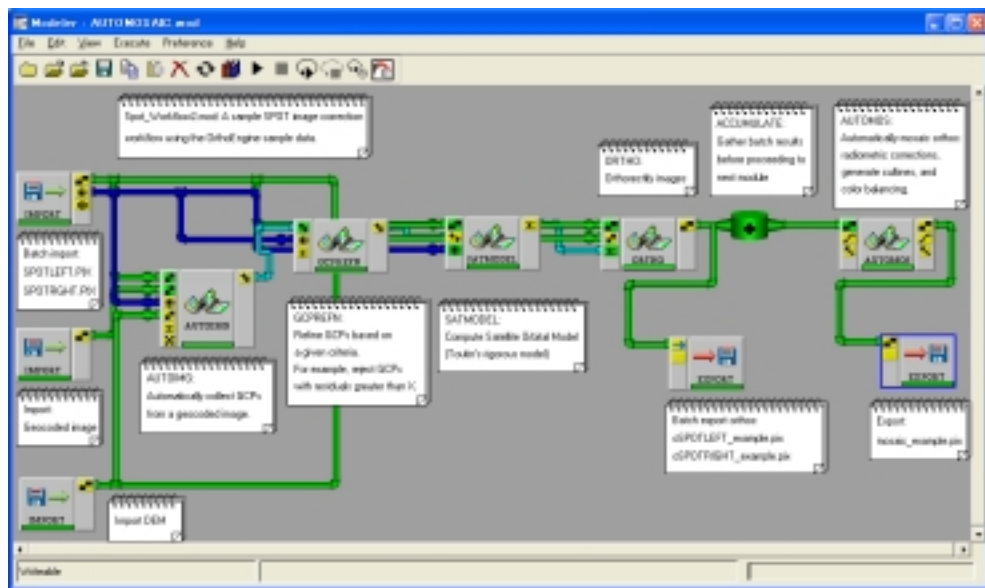


図 3. ビジュアルスクリプトで作成した自動モザイク処理ワークフロー

(2-5)参考文献

OrthoEngine で衛星画像の正射補正に使用している Toutin ' s Model に関する参考文献を以下に示す。

- 1) Toutin, Th, (1985), Analyse mathematique des possibilites cartographiques du systeme SPOT, These de Docteur-Ingenieur en Sciences Geodesiques, ENSG, Paris, France, pp 1-163.

- 2) Toutin, Th. & Carbonneau Y. (1989) La Multi-Stereoscopie Pour Les Corrections D'Images SPOT-HRV. Canadian Journal of Remote Sensing, p110, Vol. 15, No. 2 September.

(3) ポラリメトリック SAR 処理

ポラリメトリック SAR (POLARSAR) データの処理と分析は、SAR Polarimetry Workstation (SPW) パッケージに含まれている。

SPW の処理機能は次の通りである。

- ・ ターゲット分析
 - 多様な行列およびパラメータの出力
 - 多様なパラメータのヒストグラム・散布図およびシグネチャー・ダイアグラムの出力
- ・ フィルタリング
 - Lee ポラリメトリック・スペックル・フィルタ
 - Boxcar フィルタ
- ・ 分類処理
 - 教師付き分類
 - Supervised Wishart classification
 - 教師無し分類
 - Unsupervised van Zyl classification
 - Unsupervised Freeman-Durden classification
 - Unsupervised Cloude-Pottier classification
 - Unsupervised Wishart classification
- ・ 偏波合成処理
 - 楕円率角 ($-45^{\circ} \sim 45^{\circ}$) と楕円方位角 ($-90^{\circ} \sim 90^{\circ}$) を送信時と受信時で任意に設定し後方散乱強度画像を出力
 - ビットマップで指定されたターゲットから後方散乱が最大となる楕円率角および楕円方位角を算出して後方散乱強度画像を出力
 - 二つのビットマップで指定されたターゲット間のコントラストが最大となる楕円率角および楕円方位角を算出して後方散乱強度画像を出力

(4) 今後の課題

PCI Geomatica 10 の OrthoEngine では、新たに ALOS の PRISM、AVNIR-2 および PALSAR をサポートするようになった。

今後、OrthoEngine を用いて、これらのデータの正射補正や PRISM の DEM 抽出を行い、精度の評価を行なっていく予定である。

3.2 ENVI でのオルソ補正と大気補正について

ジクー・データシステムズ(株) 大串文誉

ENVI は、1994 年に米国の ITT Visual Information Solutions (旧 RSI) 社により開発された、比較的新しいリモートセンシング画像解析アプリケーションである。当初からハイパースペクトル解析やマルチウィンドウなど先進的な機能を持ち、現在でもリモートセンシング分野に必要とされる膨大なデータを高速に処理する能力や簡単な操作性などが評価され、様々な分野で活用されている。

世界各国で環境モニタリングや国家安全保障の位置づけが高まり、リモートセンシング画像は数年前と比較すると、空間分解能とスペクトル分解能が数段によくなっている。これらの画像を解析するにあたり、アプリケーションもデータ特性を最大限に活用できることが必要不可欠な条件となっている。このような条件の下、空間高分解能データではオルソ補正(幾何補正)、スペクトル高分解能データでは大気補正がデータを利用する上で大変重要となる。簡単にはあるが、ENVI でのこれらの機能について紹介する。

ENVI のオルソ補正ツールは、非常にシンプルな操作で実現できる機能となっている。基本的には、ファイル、RPC、標高データ、および投影法の指定で補正が完了する。現在、ENVI が標準で対応しているセンサーは表 1 の通りで、補正には RPC(Rational Polynomial Coefficient)モデルが必要になる。PRISM(だいち)に関しても RPC が提供され、ENVI でも次期バージョンで対応を予定している。

表 - 1 ENVI オルソ機能の対応センサー

センサー	補正に必要な情報(標高データ以外)
ASTER	Global Attributes より RPC 生成
CARTSAT-1	RPC ファイル(PRODUCT_RPC.TXT)
IKONOS	RPC ファイル(*_rpc.txt)
OrbView-3	RPC ファイル(_image*_metadata.pvl)
QuickBird	RPC ファイル(*.rpb)
SPOT (Level 1A & 1B)	メタデータより RPC を生成

上記以外のセンサーに関しても、ENVI ではセンサーのスペック情報と画像の地理情報から RPC を作成することが可能となっているため、オルソ補正が可能となる。標高データも ENVI では様々なフォーマットに対応しているため、単純な CSV データ形式から 50m メッシュ、SRTM といったデータを補正に利用することができる。また、ENVI のオプション機能を利用するとステレオペア画像から DEM を作成することも可能となっている。さらに、ENVI ではオルソ補正の API (IDL) を公開する予定で、将来的には自動処理も可能となる。

精度について言及しておく、ENVI はオルソ補正の際に RPC モデルを使用するため、実際のセンサーモデルを使用する補正と比較すると精度は若干落ちる。しかし、これらの精度は、補正の際に GCP の情報を与えることによって従来のオルソ補正の精度に近づけることができると開発元より報告されている。

ENVI の大気補正ツールは、FLAASH という有償オプションで提供されている。このモジュールは AFRL (米国空軍研究所)、SSI (Spectral Sciences, Inc.) 社、および ITTVIS 社により共同開発されており、こちらもシンプルな手順でマルチおよびハイパースペクトルデータの大気補正を行うことができる。FLAASH のセンサー対応状況を表 2 に示す。

表 - 2 FLAASH の対応センサー

マルチスペクトル	ハイパースペクトル
ASTER、AVHRR、IKONOS、IRS、Landsat TM、Landsat MSS、MODIS、SeaWiFS、SPOT、QuickBird、その他	AVIRIS、Hydice、Hymap、CASI、Hyperion、ASIA、その他

大気補正を行うにあたり入力する情報は、センサー高度、撮影時間、地理情報、大気モデル、エアロゾルモデル、視界距離等で、これらのパラメータを入力すると、水蒸気、酸素、二酸化炭素、メタン、オゾンによる乱反射を除去した反射率データが作成される。FLAASH の計算手法はピクセル毎にモデルが計算されているため、水蒸気の分布がばらついているような画像でも正確に補正することが可能となっている。山岳地帯等の地形を考慮した大気補正は FLAASH では対応しておらず、IDL で対応する必要がある。

今回紹介させていただいた補正ツールは、アプリケーションとしては確立されているものであるが、補正後の画像が実利用に耐えられるよう、パラメータや操作方法を検討する必要がある。今後は本研究員の方々に色々とおアドバイスをいただき、より精度の高い補正が実現できる方法を確立させたい。

3.3 航空写真と衛星の幾何補正の現状と今後の考察

(株)イメージワン 村木広和

1. はじめに

近年、高分解能衛星として非常に注目された IKONOS 衛星、Quick Bird 衛星、OrbView3 衛星が運用され7年余り経ち、これらの衛星に関しても当初は、地図作成(1/5,000 や 1/2,500)が期待され、国土地理院や各企業において、その手法に関して多く研究がされてきた。しかし、現実問題として、要求精度や経済性を考慮した場合に課題があった。利用方法の多くは、デジタルオルソ画像としての利用であると言える。これら、高分解能衛星以前の中分解能衛星クラスの SPOT シリーズでは、衛星に搭載されている光学センサー自体の設計思想が地図作成であることから、フランスでは、全世界レベルでの DEM 作成や地図作成に用いられている。日本において、これら中分解能衛星は、地上分解能が直下視で 2.5m 分解能であることから、高分解能衛星と比較して小縮尺の 1/50,000 をはじめ 1/100,000 地図作成・修正等で用いられた。森林管理分野では、デジタルオルソ画像としても多く利用されている。高分解能衛星の一般地図作成(1/5,000 以上)への利用では、前記の要求精度や経済性の影響により、日本国内における地図作成としての利用は少ない。本考察では、航空機や衛星に搭載されているセンサーの幾何学的な特性について今後どのような考察が必要かを整理したものである。

2. 航空写真測量の原理と論理精度について

現在、航空機等に搭載しているカメラは、フィルムカメラからデジタルカメラに移行し、始めている。フィルム面や CCD 面に投影された像と被写体との間の幾何学的関係から被写体の形状に関する情報を取得する原理である。

- 被写体と投影レンズ中心、フィルム面または、CCD 面上の像をむす 3 点が同一直線上にある 共線条件が基本となっている。
- 二箇所の異なる位置にあるカメラを用いて撮影したステレオ写真からステレオモデルを構成、観測することによって 3 次元情報が得られる。

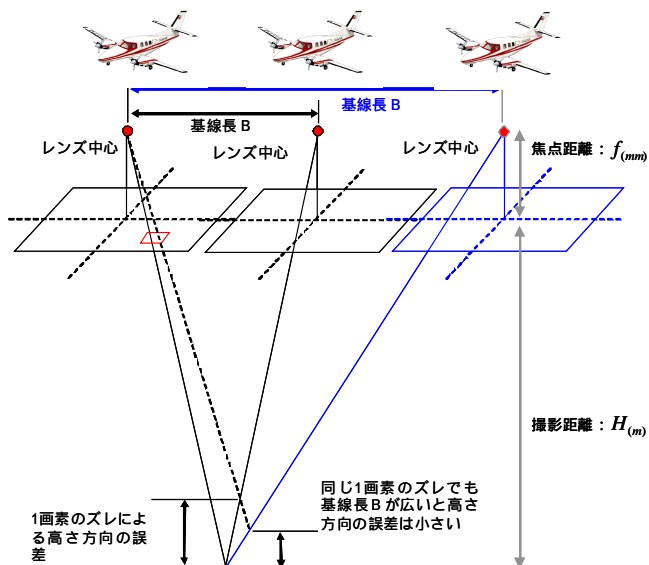


図-1 写真測量の論理精度

計測対象までの距離: H

カメラ焦点距離: f

デジカメ分解能: δ_{CCD}

$$\text{平面の精度: } \delta_{XY} = \frac{H}{f} \delta_{CCD}$$

$$\text{高さの精度: } \delta_Z = \frac{H}{f} \frac{H}{B} \delta_{CCD}$$

•平面精度については、高さの設定により、精度が決まる。

•高さ方向の精度は、基線長 B と高さの設定で決まる。

3. 写真測量の計測精度劣化要因について

写真測量における内部定位は、観測座標系から写真中心を原点とした写真座標系への座標変換とフィルムを用いていれば、その伸縮に伴う伸縮補正、写真中心とレンズ中心のズレ補正等の回転変換、縮尺変換、原点移動補正と言った2次元座標系から2次元座標系への変換式として、ヘルマート変換とアフィン変換が、一般的に用いられている。内部標定では、以下に示す共線条件を妨げる要因の補正も行う必要がある。

- フィルム媒体の伸縮と歪み (内部定位要素)
- CCD面の平面性 (内部定位要素)
- レンズ収差 (内部定位要素)
 1. ラジアルディストーション
 2. タンジェンシャルディストーション
- 大気の屈折率 (外部定位要素)
- 観測機器の機械誤差 (内部定位要素)
- 地球曲率 (外部定位要素)

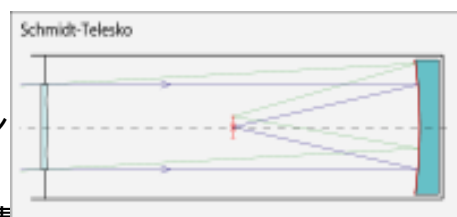


図-2 シュミット・カメラ

上記の共線条件を妨げる最も大きな要因は、ラジアルディストーション (放射方向わい曲収差: 図-3を参照) で、カメラとレンズの組み合わせごとに異なる。一般的に航空機搭載のカメラは、検定したラジアルディストーションがメーカーより与えられている。これら検定値は、主点から距離 1 cm ごと

との同心円上での放射方向ディストーションが μ 単位で与えられている。しかし、高分解能衛星で用いられているセンサーの光学系は、天体観測などで用いられているシュミット・カメラ(図-3参照)と同じ機構の反射鏡を用いて設計されているので、レンズディストーションを考慮する必要は無い。

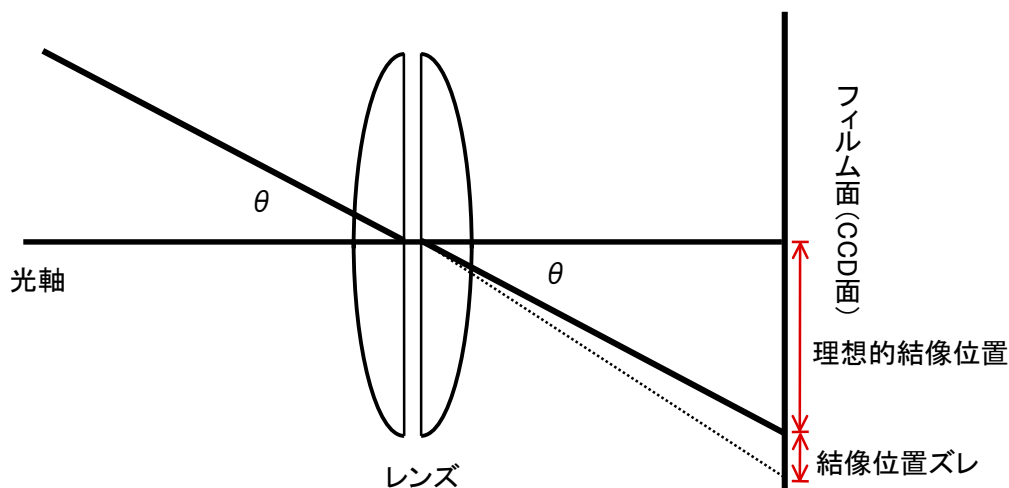


図-3 ラジアルディストーションによる歪み

4. 航空機カメラと衛星のプッシュブームセンサーとの幾何学的比較

航空機のエリアセンサーと衛星のプッシュブームセンサーは、図-3で記載しているように基本的には、CCD面あるいは、フィルム面がエリアセンサー方式かライン方式のプッシュブームセンサーかに分ける事ができる。航空機も衛星も共に基本式としては、共線条件式である式(1)と式(2)が理想的である。日本の航空測量業界においては、航空機カメラモデルを基本としたステレオ方式の図化方法であるため、高精度な標定法が必要となる。これまで、衛星のステレオ方式において提案されている標定法は、前記でも説明したが、中心投影式にもとづく共線条件式が条件である(式(1)を参照)。プッシュブーム撮影方式は、各ライン画像がそれぞれ異なった標定要素(式(2)を参照)をもち、航空機カメラのエリアセンサーに比べて幾何学的安定性が劣る。それは、高分解能衛星にもっとも多くみられる極端に狭い画角のため標定要素間に非常に強い相関関係が、生じ標定精度が不安定となる。

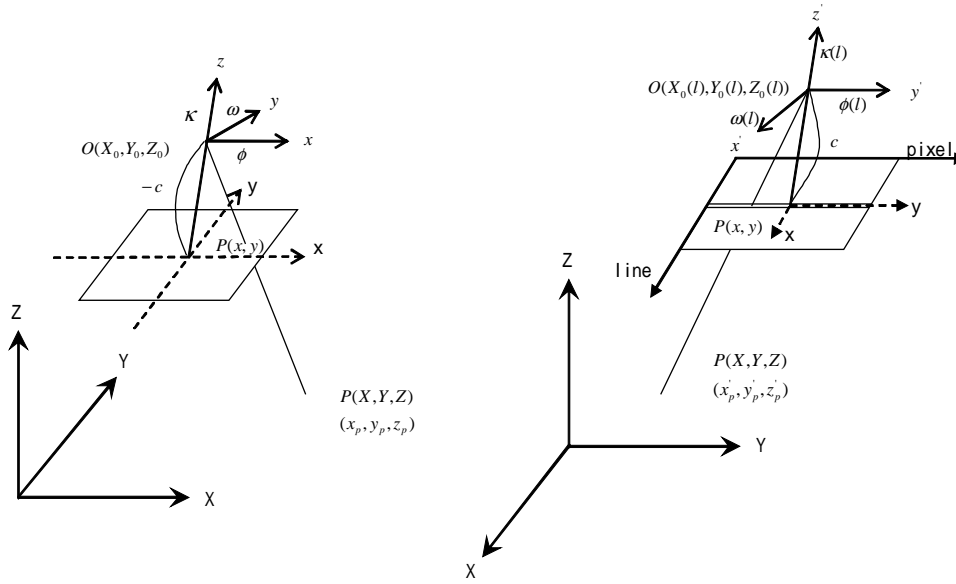


図-4 航空機カメラモデルと衛星カメラモデル

$$\begin{aligned}
 (x - \Delta x) &= -c \cdot \frac{a_{11}(X - X_0) + a_{12}(Y - Y_0) + a_{13}(Z - Z_0)}{a_{31}(X - X_0) + a_{32}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)} \\
 (y - \Delta y) &= -c \cdot \frac{a_{21}(X - X_0) + a_{22}(Y - Y_0) + a_{23}(Z - Z_0)}{a_{31}(X - X_0) + a_{32}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)} \quad \text{共線条件式} \quad \text{式 (1)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta x &= x_0 + x(a_1 r^2 + a_2 r^4) + (k_1 x + k_2 y + k_3 xy + k_4 y^2) \\
 \Delta y &= y_0 + y(a_1 r^2 + a_2 r^4) + (k_5 xy + k_6 x^2) \quad \text{レンズ歪みの未知係数} \\
 r^2 &= (x^2 + y^2)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (x - \Delta x) &= -c \cdot \frac{a_{11}(l)(X - X_0(l)) + a_{12}(l)(Y - Y_0(l)) + a_{13}(l)(Z - Z_0(l))}{a_{31}(l)(X - X_0(l)) + a_{32}(l)(Y - Y_0(l)) + a_{33}(l)(Z - Z_0(l))} \\
 (y - \Delta y) &= -c \cdot \frac{a_{21}(l)(X - X_0(l)) + a_{22}(l)(Y - Y_0(l)) + a_{23}(l)(Z - Z_0(l))}{a_{31}(l)(X - X_0(l)) + a_{32}(l)(Y - Y_0(l)) + a_{33}(l)(Z - Z_0(l))} \quad \text{共線条件式} \quad \text{式 (2)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta x &= x_0 + x(a_1 r^2 + a_2 r^4) + (k_1 x + k_2 y + k_3 xy + k_4 y^2) \\
 \Delta y &= y_0 + y(a_1 r^2 + a_2 r^4) + (k_5 xy + k_6 x^2) \quad \text{レンズ歪みの未知係数} \\
 r^2 &= (x^2 + y^2)
 \end{aligned}$$

式 1 の諸元

x : 写真画像上における横方向

y : 写真画像上における縦方向

c : 焦点距離

$a_{11} \sim a_{33}$: 3軸回転行列

式 2 の諸元

x : 衛星進行方向

y : センサ走査方向

c : 焦点距離

$a_{11} \sim a_{33}$: 3軸回転行列

5. 衛星の焦点距離

各衛星の焦点距離の公称値と実際の撮影時での値が異なることや、CCDアレイの中心と主点との間で僅かなズレが生じる。そのため内部定位の観点から補正が必要になる。補正方法としては、室内検定法と解析検定法があり、本来は、センサーが置かれた宇宙空間環境で検定を行なうことが望ましい。また、解析検定法では、焦点距離及び主点位置を未知量として計算するが、センサーの空間位置と、強い相関（オーバーパラメタリゼーション：）持っていることから高分解能衛星のように超狭角な画角であることから安定した解を得ることが困難である。特に、焦点距離の決定には、衛星の高度の30%程度の3次元的な広がりが必要であるので基本的に不可能である。もし、衛星のカメラモデルが公開されていない場合は、公称値を利用し、主点位置ズレが無いものとする必要がある。

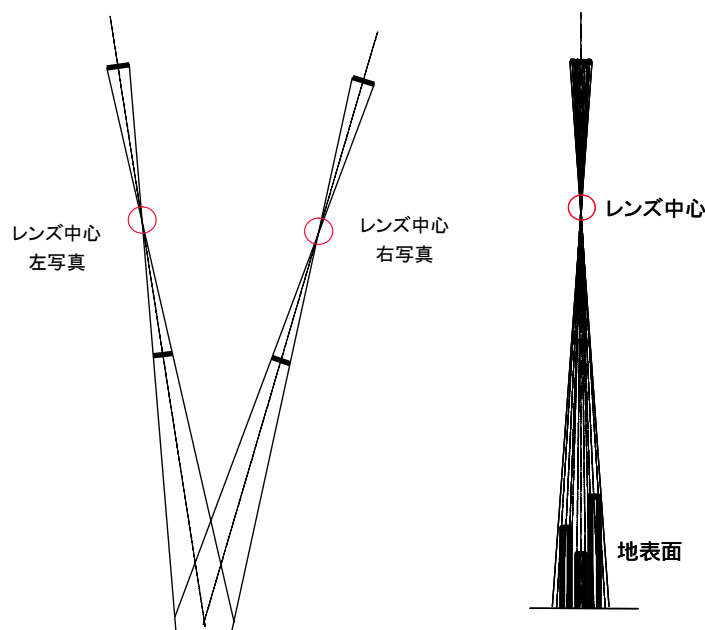


図-5 衛星カメラの焦点距離(画角が1~3度以下)

6. 高分解能衛星における標定方法 (RPC モデル)

RPC (Rational Polynomial Camera) モデルは、有理多項式を用いたモデルであり、RF モデル (Rational Function Model) とも呼ばれる。有理多項式を用いたセンサー標定モデルは、デジタル図化機の図化の高速化を目的に約25年程前に開発されてきた。高分解能衛星が商業化されるまでは、主に軍事の地図作成分野に制限して利用されていた。IKONOS 衛星の商業化と共に利用されるようになった。RPC モデルは、一般的な航空測量における内部定位と

外部定位要素を有理多項式の代数パラメータとして再構成したモデルである。これは、RPC モデルを用いることで、軍事機密情報としてきた衛星のカメラモデルや軌道情報を外部情報として参照することなく、得られた画像から 3 次元情報を抽出することが出来る。

$$x_{ij} = \frac{P_{i1}(X, Y, Z)_j}{P_{i2}(X, Y, Z)_j}$$

$$y_{ij} = \frac{P_{i3}(X, Y, Z)_j}{P_{i4}(X, Y, Z)_j} \quad \text{式 (3)}$$

$$P_{ik}(X, Y, Z)_j = a_1 + a_2Y + a_3X + a_4Z + a_5YX + a_6YZ + a_7XZ$$

$$+ a_8Y^2 + a_9X^2 + a_{10}Z^2 + a_{11}XYZ + a_{12}Y^3 + a_{13}YX^2 + a_{14}YZ^2$$

$$+ a_{15}Y^2X + a_{16}X^3 + a_{17}XZ^2 + a_{18}Y^2Z + a_{19}X^2Z + a_{20}Z^3$$

7. 今後の検討（衛星の画角と標定関係の課題点）

今後、高分解能衛星が利用される場合、提供された RPC モデルの係数を用いて GCP でシフト補正を行なう必要があり、より高精度化のルール化を行なう必要がある。また、別の解析法として、DLT 法を用いて概略の撮影位置と姿勢情報を得て、共線条件式の初期値として用いることや、2 次元アフィン変換を用いて合わせる方法に関しても検討をする必要がある。（2 次元レベル）以下の箇条書きは高分解能衛星を用いて標定を行なう上で注意すべき事項である。

- (ア) 画角が狭いと殆ど鉛直写真と同じ幾何学画像となるため、ステレオ計測に用いるペアーとして B/H 比に注意する必要がある。
- (イ) 画角が狭いと、「レンズ中心の空間位置」や「姿勢」などの標定要素間に強い相関があり、オーバーパラメタリゼーションが発生しやすい。
- (ウ) 画角の狭い衛星画像では、初期値として「レンズ中心の空間位置と姿勢の値」が重要となってくる。初期値の重要性。

8. おわりに

航空写真と衛星画像との幾何学的な違いを考察し、今後あるべき幾何補正の方向性について検討を行いました。航空機と衛星に搭載されている光学センサーの長所、短所を明確に認識し、これらの特性を生かした利用方法を検討することが重要であると考えられます。特に、高分解能衛星に関しては、今後、約 0.5m 分解能の衛星が本年から随時打ち上げられることを鑑みて、リモートセンシング学会、GIS 学会、測量業界等において、地図分野や画像 GIS 分野への利用を考察する必要があると思います。

参考文献：

- 1) Okamoto, A., Akamatsu, S. and Hasegawa. H., 1992. Orientation Theory for Satellite CCD Line-Scanner Imagery of Mountainous Terrain. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 29(B2): 205-209.
- 2) Okamoto. A., Fraser. C., Hattori. S., Hasegawa. H. and Ono. T. 1998. An Alternative Approach to the Triangulation of SPOT imagery. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 32(B4): 457-462.
- 3) 小荒井衛、飯田洋、渡辺信之、吉永新一郎、津留宏介、樋野隆司、井上潮、洲濱智幸、中村忠, 2000, 高分解能衛星画像 (IKONOS 画像) による地物の判読可能性について, 日本写真測量学会平成 14 年度年次学術講演会発表論文集:P169 - 174.
- 4) 門田貴江, 中越絵里子, 高木方隆, 2002. 三次元 affine 変換による IKONOS 画像の幾何補正, 日本写真測量学会平成 14 年度年次学術講演会発表論文集:P165-168.
- 5) 山川毅, Clive Fraser, Harry Hanley, 代数学的標定モデルによる高解像度 IKONOS 衛星画像の標定, 日本写真測量学会平成 14 年度年次学術講演会発表論文集:P201-204.

3.4 陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS)搭載光学センサの校正検証と研究成果物について ~特に幾何精度について~

宇宙航空研究開発機構地球観測研究センター(JAXA EORC) 田殿武雄

1. はじめに

陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS)は2006年1月24日鹿児島県種子島宇宙センターからH-IIAロケット8号機で打ち上げられ、一年以上経過した現在も順調に運用を継続している。ALOSはパナクロマチック立体視センサ(Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping, PRISM)、高性能可視近赤外放射計2型(Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type-2, AVNIR-2)およびフェーズドアレイ方式Lバンド合成開口レーダ(Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar, PALSAR)の3つの観測センサを搭載し、高分解能かつ高精度な地球観測に威力を発揮することが期待されている(図1)。これら観測センサの能力を最大限に引き出し、有効に利用するためにはセンサ自身の特性評価、画像データの校正や画質評価、衛星軌道・姿勢決定精度の評価と管理、および成果物の検証が重要な課題である。

ALOSの初期校正検証は打上げから9ヶ月間の初期校正期間に集中的に実施し、各センサの初期校正結果についてはこれまでも発表されている。2006年10月24日からALOSは定常観測運用に移行し、データの一般配布を開始した。しかし、精度に関わる課題がいくつか残っており検討を継続している。本研究ではALOS搭載の二つの光学センサ、PRISMとAVNIR-2の幾何校正、輝度(放射量)校正の内容と結果について述べ、システム補正済みの標準成果物の絶対精度について論ずる。

2. 幾何校正および幾何補正精度評価

AVNIR-2の幾何相対誤差はバンド間のレジストレーション誤差、すなわちバンド毎の幾何誤差が大きいとカラー合成画像を作成した際に色のにじみが現れたり、植生指数等のバンド間演算を行う際に誤差が加わることになる。AVNIR-2ではバンド3を幾何的な基準バンドと定義している。したがって、バンド3に対して他バンドの幾何誤差の評価を行い、さらに標準成果物作成に用いる幾何センサモデル内で使用するパラメータの修正を行った。図2上はポインティング角 -41.5 度におけるバンド間レジストレーションの評価結果で各バンドの幾何誤差をx方向、y方向に分けて示している。図2下はパラメータ修正後の同様の評価結果を示したものであり、幾何誤差が0に近くなっていることが分かる。

PRISMの相対幾何校正は、CCDユニット間のアライメントの評価と修正として実施した。PRISMは直下視で6個、前方視・後方視で8個のCCDユニットで構成さ

れ、35km 観測幅での観測時には3から4個の CCD ユニットで撮像される。相対的な幾何精度が悪い場合、画像の中で歪みが生じることになり、3方向視画像を用いて DSM を作成する際、標定精度が悪くなったり mismatching の要因となる。CCD 間相対アライメントの評価は、1シーン内に稠密に配置した GCP を用いて外部標定によって実施した。1シーン内で最大 209 点の GCP を用いて外部標定を行い、標定残差の分布傾向から CCD 毎の X, Y 方向の傾きを1次近似で推定し、CCD 間の相対アライメントパラメータの修正を行った。図3はこの一例を示したものであり、上は CCD 相対アライメント補正前、下は補正後の幾何誤差を x 方向、y 方向に分けて表したものである。

幾何絶対校正はセンサアライメントの評価として実施した。幾何の絶対精度は、標準成果物に付随している画像座標(ライン、ピクセル)から地図座標(緯度、経度)への変換情報の確からしさを指し、幾何センサモデルと衛星の位置および姿勢のデータから算出される。この精度を上げるために、AVNIR-2 の幾何絶対校正は GCP を用いた外部標定にもとづくセンサの取付アライメントの評価と補正として実施した。

PRISM の幾何絶対精度は、指向アライメントパラメータの評価として実施する。ALOS は PRISM の高い幾何精度要求を達成するために高精度の衛星位置・姿勢決定技術を開発要素の一つに挙げており、この実現のために2周波搬送波測位型 GPS 受信機(GPSR)と3本の恒星センサ(STT)が搭載されている。高精度衛星位置(軌道)決定は、地上にダウンリンクしたオンボードの GPS データと世界各地の GPS 基準局データを用いた後処理により目標としている1m以下(RMS)を達成している。一方、姿勢決定は地上処理システムの一つである高精度指向決定システム(Precision Pointing and Geolocation Determination System, PPDS)により 2×10^{-4} 度(地上換算で約 2.5m)を目標として、定常的に評価されている。PPDS では STT 校正、高精度姿勢決定値(Precision Attitude Determination, PAD)処理、PRISM 各放射計ボアサイト方向の視線ベクトル(指向アライメントパラメータ)推定、高周波姿勢決定値処理などを実施している。PRISM 標準成果物の幾何システム補正は、幾何センサモデル、高精度軌道決定値、指向アライメントパラメータおよび高精度姿勢決定値を用いて実施されるため、幾何絶対精度の向上には指向アライメントパラメータおよび高精度姿勢決定値の精度向上が必要不可欠である。

4. まとめ

本研究では陸域観測技術衛星 ALOS(だいち)搭載の光学センサ PRISM と AVNIR-2 の校正検証について、特に幾何校正とその手法について述べた。図4は2007年3月29日現在の標準成果物の精度評価結果をまとめたものである。ALOS は打上

から早くも一年，データの一般配布開始から半年が経過し，データを利用した研究成果が今後出てくるものと考えられる。衛星自身は非常に健全で，現在も継続して貴重な観測データを取得している。利用者にデータを十分使って頂くには，継続した精度評価と管理が必須であり，またさらなる精度向上を目指して引き続き定常校正として実施していく。

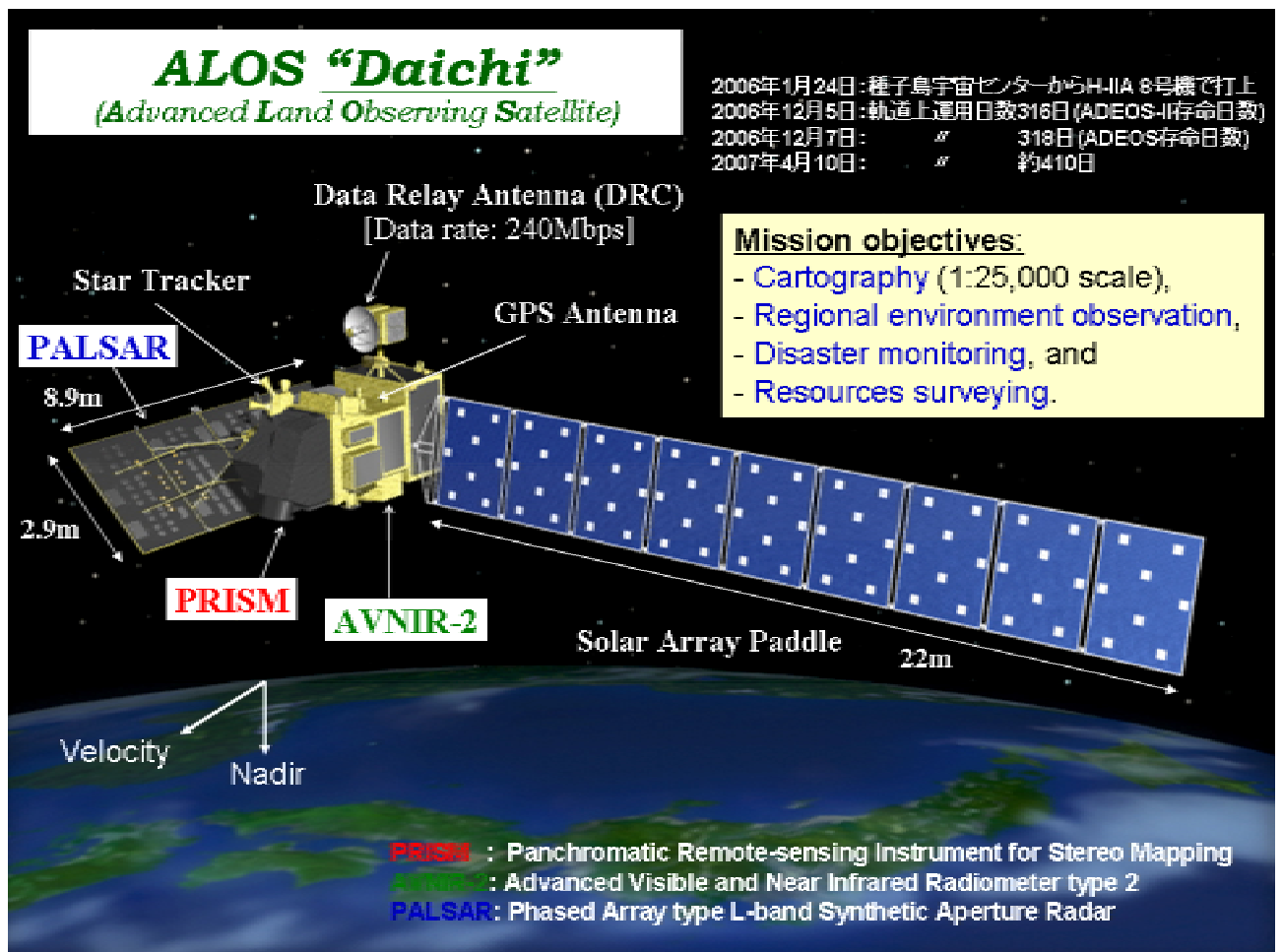
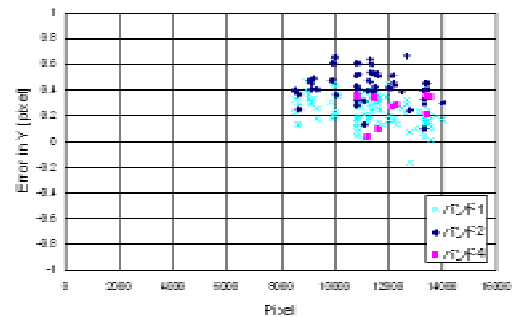
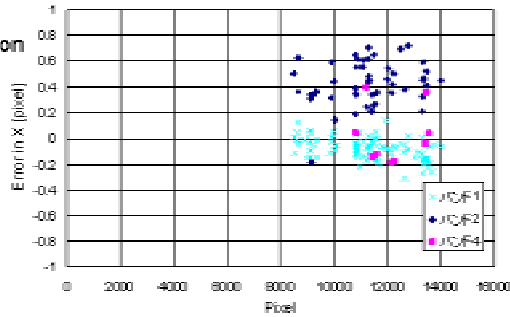
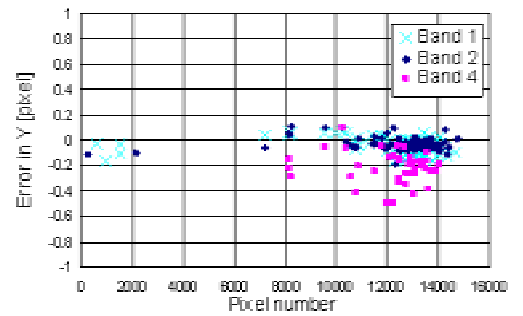
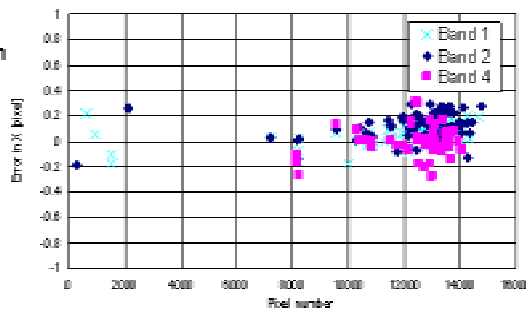


図 1. ALOS 軌道上外観とミッション概要.

Before correction
Tomakomai
-41.5deg.
(May 4, 2006)



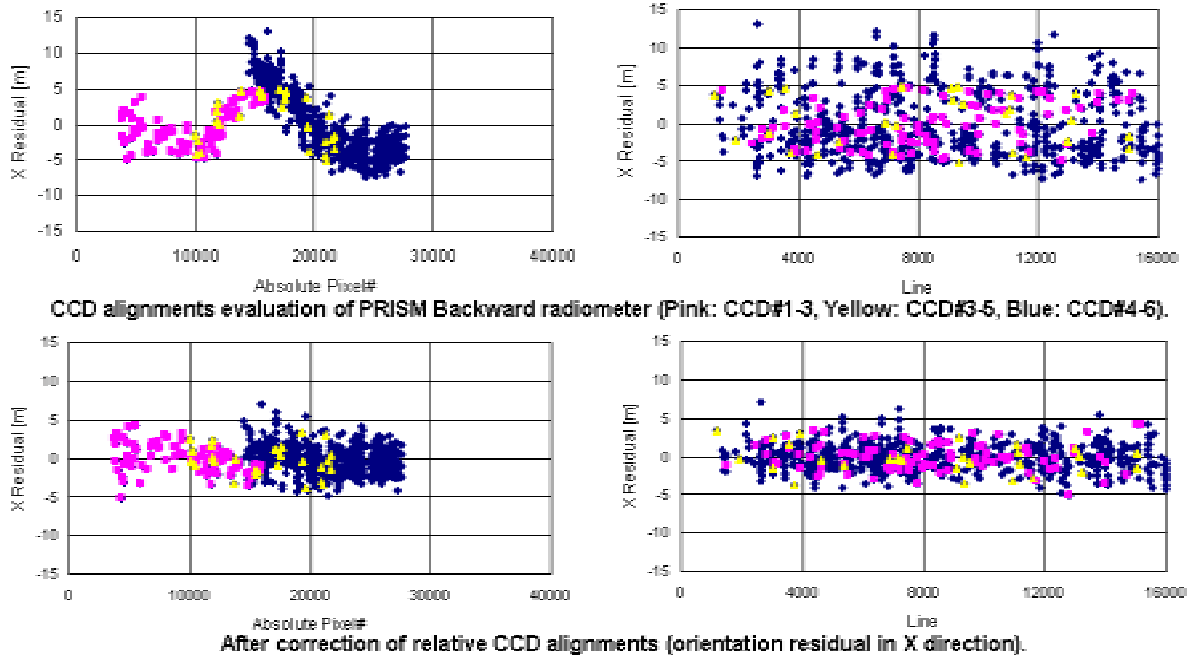
After correction



AVNIR-2 band-to-band registration estimation and correction (Sep 2006):

- ✓ 19 scenes, various pointing angles (-41.5 to +41.5deg.), Band 3 is base image
- ✓ Automatic image matching technique (least square matching)
- ✓ Parameters were modified in geometric sensor model

図2. AVNIR-2 幾何相対校正として実施したバンド間レジストレーション評価(上)とパラメータ補正後(下).



PRISM CCD alignments estimation (Ver. 2 released on Feb 28, 2007):

- ✓ External orientation technique: Yaw axis fixed > 1GCP can be corrected
- ✓ Almost of residuals of orientation are within +/-5m after correction
- ✓ Some CCDs have not been evaluated

図 3. PRISM 幾何相対校正として実施した CCD 間相対アライメント評価(上)とパラメータ補正後(下).

Results of Cal/Val as of March 2007

標準成果物	目標精度	評価結果(2007/3/29現在)
PRISM 1B2	緯度精度 相対精度 5%(1 σ) 絶対精度 10%(1 σ) 幾何精度 絶対精度(GOPなし) 6.0m(3 σ) 直下視 高精度指向決定システム(PPDS) をともなう	緯度精度 相対精度 0.4%(1DN)以下 → ターゲットによってストライプ 絶対精度 4.6%(AVNIR-2と同等) 幾何精度 絶対精度: RMS誤差(1 σ 相当) → チューニングを継続検討 ビクセル00方向 ライン00方向 前方視 11m 21m 直下視 8m 9m 後方視 10m 20m 相対精度: シーン内標準偏差(1 σ) ビクセル00方向 ライン00方向 3放射計共通 4m 3m
AVNIR-2 1B2	緯度精度 相対精度 5%(1 σ) 絶対精度 10%(1 σ) 幾何精度 絶対精度(GOPなし) 283.7m(3 σ) 相対精度(GOPあり) 7.7m(3 σ) ポインティング角0度の時	緯度精度 相対精度 0.4%(1DN)以下 絶対精度 バンド1 3.8%; バンド2 4.6%; バンド3 2.2%; バンド4 15.6% 幾何精度 絶対精度: RMS誤差(1 σ 相当) ビクセル00方向 ライン00方向 ポインティング角によらず 106m 19m 相対精度(1 σ) 4m 4m

図 4. PRISM, AVNIR-2 標準成果物の目標精度と精度評価結果(2007年3月29日現在).

4. おわりに

現在, 以下の内容を主な活動として研究会を進めております。

- 1) メーリングリストを利用し, 評価・標準化に関する話題を随時議論する。
- 2) 具体的な検討が必要になったテーマについて研究会を開催する。
- 3) 研究会では, あらかじめ議題を明らかにし, 議事録および報告の資料を作成する。
- 4) 作成した議事録および報告の資料は, 研究会メンバーに配布する。また, 研究会の開催や報告を学会誌に報告する。
- 5) 研究会において評価が定まり, 標準化すべき基礎データやソフト, その他の成果が出てきた場合には, それを研究委員会に進言し, 検討してもらう。
- 6) 必要に応じて, 他の研究会との共同研究会を開催する。

評価・標準化研究会への入会希望やご意見がありましたら下記の連絡先にご連絡頂ければと思います。また、研究会の詳細な情報はホームページ（<http://gosei.mech.hirosaki-u.ac.jp/~rssj/>）に掲載されておりますので、こちらも是非参照ください。

連絡先：

連絡先（幹事） 沖 一雄

東京大学 大学院農学生命科学研究科

E-mail: agrioki@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp