

Terra ASTERのシステム幾何補正および精度検証

○竹内 渉[†]・越智士郎[‡]・安岡善文[†]

[†] 東京大学生産技術研究所

[‡] 近畿大学農学部

E-mail:wataru@iis.u-tokyo.ac.jp

Abstract:

Accuracy assessment of geometric correction with Terra ASTER

ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) is an imaging instrument that is flying on Terra, a satellite launched in December 1999 as part of NASA's Earth Observing System (EOS). ASTER is a cooperative effort between NASA and Japan's Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) and the Earth Remote Sensing Data Analysis Center (ERSDAC). ASTER data is distributed by HDF-EOS format, which has a very complicated data structure. It result in the difficulties of handling the data. However, that includes latitude and longitude values of footprints every 6km owing to the precise orbit tracing system with the star tracker. Precise geometric correction is one of the most difficult and indispensable process in remote sensing data. In this study, firstly, a free software is developed to achieve map projection conversion from UTM to plate carree coordinate with ASTER data in HDF-EOS format. Secondly, map projection conversion is applied to sixteen scenes of ASTER data over Japan Island. Thirdly, accuracy of system geometric correction is evaluated with the castal lines and administrative boundary lines in vector format by visual interpretation. As a result, the root mean square geometric error is 79.2m in North West direction.

Keywords: Terra ASTER, HDF-EOS, geometric correction

1 はじめに

1.1 本研究の背景

地球観測衛星 Terra は、米航空宇宙局 (NASA) が進めている「地球観測システム計画 (EOS)」の旗艦衛星で、高度 705km の軌道を周回しながら地球の健康状態を診断している。Terra に搭載されている 5 つのセンサのうち、日本の経済産業省が中心となって開発した ASTER は約 60km の走査幅を持ち、17 日間をかけて全球を観測している。Terra にはスタートラッカー (米国 Ball 社製 CT-601) と呼ばれるハードウェアが搭載されており、恒星から衛星自身の位置を割り出すシステムが組み込まれている¹。これと GPS の組み合わせにより従来の他の衛星よりもシステムが提供する位置情報の精度が向上している。

1.2 データ配布の問題点

国内における ASTER データの窓口は (財) 資源環境観測解析センター (ERSDAC) が行っており、CDROM

等のメディアおよびオンラインによる配布を行っている²。これまでの衛星データに比べて非常に安価に (1 枚 9,800 円) かつ迅速に手に入れることができる。従って、自治体、教育機関などの科学研究以外のユーザでも気軽にデータを利用できるようになった。ユーザが特に指定をしない限り、放射量補正と幾何補正 (UTM 座標系) がなされたレベル 1b データが HDF-EOS フォーマットで提供される。レベル 1b データが未だ作られていないときに限り、レベル 1a (ローデータ) から投影法 (例えば等緯度経度座標系)、再配列法 (例えば共一次内挿法)、データフォーマット (HDF-EOS か CEOS) を指定して高次プロダクトをリクエストすることができる。従って、ユーザが ASTER データを使うときのフォーマットとしては、放射量補正・幾何補正済 (UTM 座標系)、HDF-EOS フォーマット (以下レベル 1b 標準フォーマットと呼ぶ) が最も良く用いられていると考え、本研究でもこのレベル 1b 標準フォーマットデータを対象とする。しかし、HDF-EOS フォーマットはファイル構造が複雑で、ファイルの内部に格納されている位置情報を正確に読み出すことは、ENVI や ERDAS

¹米国 Ball 社ホームページ <http://www.ball.com/>

²GDS ホームページ <http://www.gds.aster.ersdac.or.jp/>

等の高価な商用ソフトウェアを持っていたとしても初心者にとっては利用は難しい³。これでは、ASTERの特徴の一つである高い幾何補正精度を十分に生かし、実利用に反映させるさせることができない。

1.3 本研究の目的

本研究では、ASTER データのレベル 1b 標準フォーマットを対象に、UTM 座標系から等緯度経度座標系へ座標変換を行い、非商用ソフトウェアである ENVI freelook⁴で読み込むことができるフォーマットに変換するツールを作成する。等緯度座標系に変換するのは、広域をモザイクするために統一的に座標値を扱うことができるためである。次に、座標変換を含めたシステム幾何補正の結果を行政区界・海岸線ベクターデータを用いて検証する。

2 解析手法および使用したデータ

2.1 解析手法

ASTER データの処理は次のような手順で行う。

- 1. フォーマット変換** HDF-EOS 形式で納められている合計 14 チャンネルの画像データ (UTM 座標系) をヘッダーなしのフラットバイナリファイルにダンプする。
- 2. 緯度経度情報の読み込み** Figure 1 の左図に示されている画像の四隅の点 (scene four corners) の緯度経度情報を HDF ファイルの内部から読み出す。このとき、注意すべき点は二点ある。第一点は、四隅の点と foot print との対応が通常の衛星データとは異なっている点である。すなわち、画像の内部に含まれている点は左上の点のみである。二点目は、緯度経度情報は地心緯度 (Geocentric: 地心から見て地軸からなす角の余弦) で保存されている点である。従って、測地緯度 (Geodetic: 楕円体に対する緯度, WGS84 を使用) に式 (1) を用いて変換する。式 (1) において C は極と赤道での地球半径の割合を表す。

$$Geodetic = \text{Arctan}[(\tan(Geocentric))/C] \quad (1)$$

where $C = 0.99330562$

³HDF-EOS のホームページ <http://hdfeos.gsfc.nasa.gov/>

⁴RSI 社の FTP サイト <ftp://ftp.rsinc.com/pub/freelook/>

3. 座標変換式の算出 四隅の点を基準点として、アフィン変換による UTM 座標系 (入力画像) から緯度経度座標系 (出力画像) への座標変換式を算出する。変換式の各係数は、基準点を用いて UTM 座標系での系統的幾何補正の残留誤差を測定し、その残留誤差を用いて最小二乗法によって決定する。

4. 画素の再配列 出力画像の座標系上に格子点を設定し、それに対応する画像データの配列に、求めた係数を使用して変換する。入力画像の対応点は通常整数値に対応しないため、共一次内挿法による内挿を行う。これは、内挿したい点の周囲の観測点四点を用いて、距離による重みづけによって画素の値を決定する方法である [画像解析ハンドブック, 1991]。なお、ASTER 画像の画素の対応は、15m(可視近赤外・チャンネル 1-3), 30m(短波長赤外・チャンネル 4-9), 90m(熱赤外・チャンネル 10-14) の解像度の違いによって Figure 1 の右図に示すような対応をしていることに注意する。

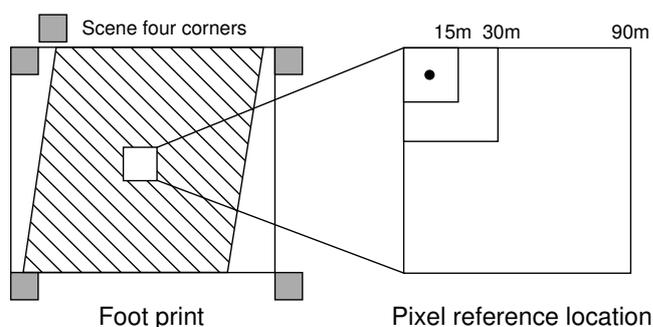


Figure 1. ASTER level 1b footprint and upper left pixels of VNIR, SWIR and TIR bands in the context of the scene four corners alignment.

2.2 使用したデータ

使用した衛星データは日本列島のほぼ全域に渡る 16 シーンの ASTER データ (レベル 1b 標準フォーマット) である。取得時期は ASTER 打ち上げ直後の 2000 年 3 月から 2002 年 4 月にかけての 2 年である (Table 1)。緯度・経度・取得時期にある程度幅を持たせることで、それらの影響を評価することを目的とする。また、検

証用データとして、無償で公開されている全国行政区界・海岸線境界ベクトルデータ(平成14年10月作成, 世界測地系対応, 緯度経度座標系)を使用する⁵。なお, 測地法の改正により2002年4月1日より日本で作成する地図は世界測地系で計算した緯度・経度が使われているため⁶, 本研究でも世界測地系を用いて計算を行う。

Table 1. Terra ASTER data list used in this study. The geographical values show the scene center coordinates in decimal degree.

No.	Date	Latitude	Longitude	Location
1	2001/09/26	44.216	143.709	Kushiro
2	2001/09/06	43.687	143.545	Kushiro
3	2001/04/06	38.034	136.769	Ishikawa
4	2001/04/06	37.507	136.607	Ishikawa
5	2001/04/06	36.977	136.44	Ishikawa
6	2002/01/14	36.592	139.934	Ibaraki
7	2002/03/16	36.585	139.984	Ibaraki
8	2002/03/19	36.563	139.798	Ibaraki
9	2002/03/12	36.260	139.892	Ibaraki
10	2001/06/29	36.224	140.165	Chiba
11	2001/08/16	36.193	140.400	Chiba
12	2002/09/20	36.187	140.062	Chiba
13	2001/06/04	36.105	139.048	Tokyo
14	2000/08/14	34.403	130.54	Kanmon
15	2000/04/08	33.977	129.661	Fukuoka
16	2000/04/08	33.446	129.517	Isahaya

海岸線境界ベクトルデータを重ね合わせ, 目視判読によって得られた誤差の分布を地図上に示す (Figure 2). いずれのシーンについても北西方向にずれを生じていることがわかる. 解析した16シーンについて緯度経度方向のずれを二乗平均で算出した結果, 誤差の平均値は79.2m, 標準偏差は31.3mであった.

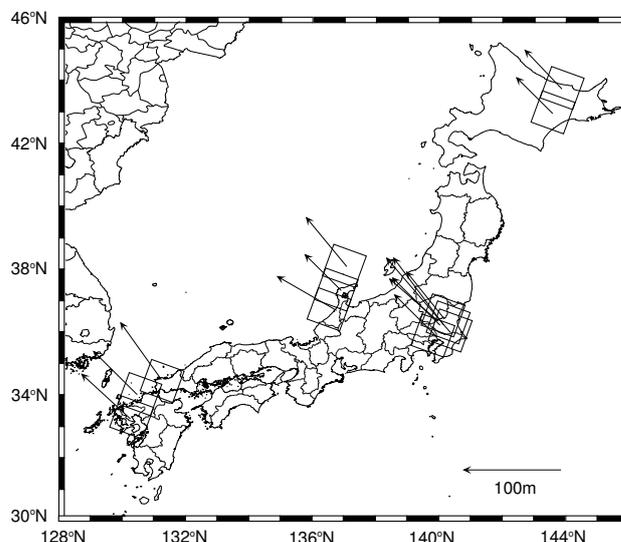


Figure 2. Accuracy assessment of geometric errors of ASTER data over Japan Island. The rectangular areas of 60km x 60km show foot prints of each ASTER data. The arrows correspond to the magnitude and the direction of geometric errors.

3 解析結果

3.1 平均誤差の算出

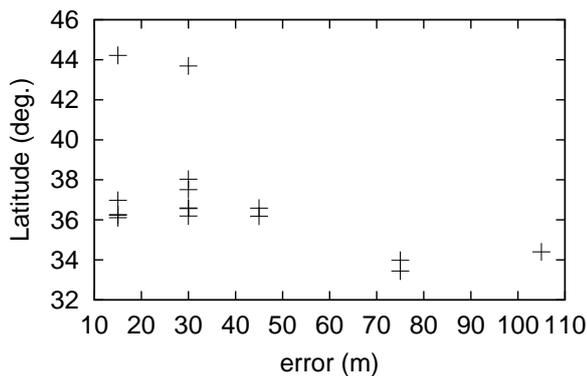
ASTER データ 16 シーンについて全自動で幾何補正を行った. 可視近赤外 3 チャンネル, 短波長赤外 6 チャンネル, 熱赤外 5 チャンネルを含む 1 シーンを処理するのに要した時間は, 2GHz の Linux マシンを使用して 1 シーン 3 分程度であった. これに, 行政区界・

3.2 緯度経度の影響の検討

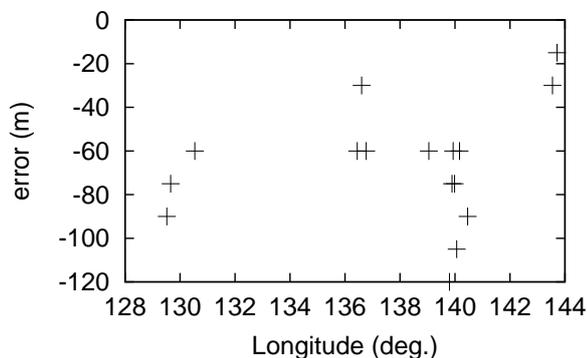
次に, 緯度および経度ごとの誤差の影響を検討する (Figure 3). 上図は画像中心緯度に対する緯度方向の誤差を, 下図は画像中心経度に対する経度方向の誤差をそれぞれ示している. 誤差の符号は, 緯度および経度が大きくなる方向を正の向きにとって示している. 緯度方向の誤差の平均値は 66.5m, 標準偏差は 27.4m, 経度方向の誤差の平均値は 37.5m, 標準偏差は 26.3m であった. 緯度方向および経度方向に対する誤差の分散は大きく, 明確な関係を見つけることはできなかった. また, データ取得時期と誤差との間にも明確な関係を見つけることができなかった.

⁵ESRI JAPAN 社ホームページ <http://www.esrij.com/>

⁶国土地理院・世界測地系解説ホームページ <http://www.gsi.go.jp/LAW/G2000/g2000.htm>



(a) Latitude



(b) Longitude

Figure 3. Geometric correction errors as a function of scene center latitude and longitude.

3.3 ベクトルデータとの重ね合わせ

行政区界・海岸線境界ベクトルデータと重ね合わせた例を示す (Figure 4). 図に示すのは、羽田空港を含む東京湾沿岸の 6km 四方の領域である。ASTER の観測範囲のほんの一部であるが、そのほかの領域に対しても起伏の少ない平坦な地域に関しては目視によって簡単に重ね合わせることができた。正射投影されているわけではないので、起伏のある地点においては倒れ込みに起因する誤差が生じていることに留意されたい。



(a) Before

(b) After

Figure 4. Evaluation of geometric correction with ASTER NDVI image. The shown 6km x 6km area includes Haneda Airport in Tokyo Bay. Solid lines in white shows the coastal line and administration boundary.

4 まとめ

本研究では、HDF-EOS フォーマットで提供されている ASTER のレベル 1b データを対象に、UTM 座標系から等緯度経度座標系に座標変換を行った。それをフリーソフトウェアである ENVI freelook で読み込むことができるフォーマットに変換した。処理したデータを行政区界・海岸線境界ベクトルデータと重ね合わせ、目視判読により精度検証を行った。その結果、すべてのシーンにおいて北西方向に平均 79.2m の幾何補正誤差が検出された。緯度方向および経度方向に対する誤差の分散は大きく、明確な関係を見つけることはできなかった。また、データ取得時期と誤差との間にも明確な関係を見つけることができなかった。一方、山岳地帯など起伏のある地点においては倒れ込みに起因する誤差を含んでいることに留意されたい。

都市域や都道府県のモニタリングなど、比較的狭い範囲の数シーン程度の作業量を想定すれば、自動幾何補正ののち数地点を目視で判別することにより重ね合わせを行う本方法は合理的である。また、ベクトルデータとスペクトルデータの重ね合わせには、通常のパソコンでも作動し無償で公開されている ENVI freelook を使用できることから、自治体、教育機関等リモートセンシングに不馴れなユーザが、安価にかつ容易に

モートセンシングデータを利用するための支援ツールになりうる。なお、幾つかのデータの処理結果をFTPにて公開している⁷。今後は、今回目視で行った重ね合わせの評価を自動で行う手法の開発、オンラインでの処理システムを構築する予定である。

謝辞

本研究は、科学技術振興事業団「環境・災害監視のためのアジア衛星観測ネットワークの構築」プロジェクトの一環として実施したものである。関係各位に感謝の意を表す。また、本研究で使用した ASTER データは (財) 資源環境観測解析センター (ERSDAC) より提供していただいた。ここに厚くお礼を申し上げる。また、世界測地系に関して弘前大学の飯倉善和教授から有用な助言を頂いた。ここに深謝するものである。

参考文献

[ASTER Handbook, 2002] NASA JPL, "ASTER Users Handbook Ver. 2," 2002.

[ASTER ユーザーズガイド, 2001] ERSDAC, "ASTER ユーザーズガイド第 2 編 (ASTER レベル 1 データプロダクト編) Ver. 3.1", 2001.

[画像解析ハンドブック, 1991] 高木幹雄, 下田陽久編, "画像解析ハンドブック", 1991.

⁷<ftp://yasulab.iis.u-tokyo.ac.jp/pub/ASTER/>