

# ADEOS-II GLIのシステム幾何補正に対する幾何的精度検証

## Accuracy assessment of system geometric correction with ADEOS-II GLI

**Abstract:** GLI (Global Imager) is an imaging instrument that had been flying on ADEOS-II, a satellite launched in December 2003 as a part of JAXA's Earth observing programme. Precise geometric correction is one of the most difficult and indispensable process in remote sensing data. In this study, firstly, radiometric and geometric corrections were applied to 229 scenes of GLI level1b data over the world. Secondly, accuracy of system geometric correction was evaluated with the coastal lines using template matching technique. As a result, the root mean square geometric error was found to be 435-485m which corresponds to 1.7 pixel size in 250m resolution. The error vectors in one scene have the random distribution both in direction and size and it was found that the qualitative instrumental errors was not found in the system geolocation information. The whole processing system is developed as a package software under multi-platform environment and is freely available via the FTP site (<ftp://webgli.iis.u-tokyo.ac.jp/pub/gligeo/>).

## 1 はじめに

GLI (GLobal Imager) は, JAXA の地球環境観測衛星 ADEOS-II に搭載されていた光学センサであり, 炭素のグローバルな循環の把握, 気候変動の指標である雲, 雪氷, 海面温度のモニタリング, 海洋基礎生産力の把握などを目的としていた. 国内における GLI データの窓口は, JAXA EORC および RESTEC が行っており, 定常運用を行っていた 2003 年 4 月から 10 月までのおよそ 7ヶ月間のデータを, オンラインおよび DVD や 8mm テープなどのメディアを用いて配布している (宇宙航空研究開発機構, 2003c). エンドユーザが使用するデータは, 放射量補正およびシステム幾何補正が施されているレベル 1b と呼ばれる標準プロダクトと, 植生指標, 雲の光学的厚さ, 雲水量, 海面温度などの物理量に変換されたレベル 2a, 3 などの高次プロダクトとに大別することができる. 高次プロダクト以外の物理量を所望する場合には, エンドユーザは標準プロダクトであるレベル 1b のデータを用いる必要があるため, 本研究ではこのデータを対象とする.

GLI のデータには, 地図座標に投影された MAP プロダクトと呼ばれるものも存在するが, これらは計画生産がなされておらず, あくまでも要求生産品である (宇宙航空研究開発機構, 2003a). 従って, MAP プロダクトを入手しない限りは, ユーザはプロダクト内に含まれている緯度経度情報を基に, 各自で画像を地図座標に投影する必要がある (JAXA, 2003a). 地図座標への投影および幾何補正精度の検証は, 衛星データ処理のうちで最も基礎的かつ重要な過程であり, 特に時系列解析や広域のモザイク処理などには必要不可欠である. また, 現在のところ, ERDAS や ENVI などの商用フォーマットでさえも, GLI のプロダクトの読み出しをサポートしていないため, 一般のユーザが GLI のプロダクトを地図座標に投影した形で使うことのできる環境は整っていない.

そこで, 本研究では, GLI の標準プロダクトであるレベル 1b データを対象に, 全球で取得された観測データを用いて地図投影画像を作成し, システム幾何補正精度の評価を行う. 同時に, 輝度温度値への変換および地図座標への投影を行うソフトウェアパッケージを開発することを目的とする. なお, ソフトウェアの開発にあたっては, 計算機環境に左右されないマルチプラットフォーム化を目指す.

## 2 使用したデータおよび解析手法

### 2.1 使用したデータ

本研究で使用した GLI データは, 2003 年 4 月 2 日の昼間に取得された 1km レベル 1b データ (VNIR, SWIR, MTIR)224 シーンおよび, 2003 年 5 月 25 日から 6 月 5 日に取得された 250m レベル 1b データ 5 シーンである. これらの観測データでほぼ全球を網羅することができる. また, システム幾何補正結果の検証用データとして, 汎用地図化ソフトウェアである GMT (Generic Mapping Tool) と共に提供されている海岸線データ (およそ 200m の解像度) を使用した (Wessel, 1996). 以下に, 使用したデータの概要, 衛星データ処理方法, 幾何補正誤差の評価方法について述べる.

## 2.2 レベル 1b データの概要

GLI のレベル 1b データは、シーンごとに VNIR (380-865nm, 19 チャンネル), SWIR (1050-2210nm, 4 チャンネル), MTIR (3.7-12 $\mu$ m, 7 チャンネル), 250m (460-2190nm, 6 チャンネル) の 4 つの独立したデータから成り立っている。VNIR, SWIR, MTIR の空間分解能はいずれも 1km である。なお、夜間観測の場合には MTIR の画像のみが提供されている。レベル 1b データのファイル命名規則は、表 1 に示される通りである。基本的に、衛星名、センサ名、観測年月日、モード、チルティング、プロダクト種別で命名されている。

表 1 GLI レベル 1b データの種別, HDF ファイル名<sup>1</sup>, チャンネル数, データ容量の一覧.

種別	HDF ファイル名 (granule ID)	チャンネル数	容量
VNIR	A2GLRYYMMDDPPSSOOT_PV1B0000000.00	19 (380-865 nm)	90 MB
SWIR	A2GLRYYMMDDPPSSOOT_PS1B0000000.00	4 (1050-2210 nm)	30 MB
MTIR	A2GLRYYMMDDPPSSOOT_PM1B0000000.00	7 (3.7-12 $\mu$ m)	40 MB
250m	A2GLRYYMMDDPPSSOOT_P01B0000000.00	6 (460-2190 nm)	450 MB

<sup>1</sup> 表中のファイル名は次の略称に従う。R: 空間分解能 (1 $\rightarrow$ 1km, 2 $\rightarrow$ 250m.), YY: 年, MM: 月, DD: 日, PP: パス番号, SS: シーン番号, OO: 観測モード (OD: 昼間, ON: 夜間, SC: 太陽キャリブレーション, LC: ランプキャリブレーション, EC: 電気キャリブレーション), T: チルティング (1: 0 度, 2: -20 度, 3: +20 度).

## 2.3 レベル 1b データの処理手順

GLI のレベル 1b データは、いずれのファイルも HDF 形式で配布されており、それらの内部には

- 輝度校正済みのデジタルカウント値 (l1b\_ch\_data)
- デジタルカウント値から輝度への変換係数 (gsys)
- 打ち上げ後の校正係数 (gcal)
- 12 画素/ラインごとの緯度経度 (l1b\_blk\_lat, lon)
- 12 画素/ラインごとの衛星天頂角と方位角 (sc\_zenith, azimuth)
- 12 画素/ラインごとの太陽天頂角と方位角 (solar\_zenith, azimuth)

などが格納されている。なお、括弧内に示された文字列は、HDF ファイル内における各データの名称 (SD-Sname) である。各チャンネルのデータとして輝度値 (radiance) を用いるためには、

$$\text{Radiance } [W/m^2/str/\mu m] = \text{l1b\_ch\_data} \times \text{gsys} (\times \text{gcal}) \quad (1)$$

とする。gcal は MTIR データの変換には使用しない。レベル 1b データから輝度温度への変換および地図座標への投影は次の手順に従う。

### 2.3.1 フォーマット変換

HDF ファイル内に格納されている各チャンネルのデータ、緯度経度画像、衛星および太陽の天頂角と方位角をヘッダーなしのフラットバイナリファイルに、輝度値への変換係数と校正係数をアスキーファイルにダンブする。これには、HDF ライブラリとして無料配布されている hdp ソフトウェアを使用する (NCSA, 2003).

## 2.3.2 輝度温度値への変換

式1に従って、VNIR, SWIR, MTIR, 250mの各チャンネルのデータを輝度値に変換する。このとき、チャンネル4, 5, 7, 8には、ハイとローの2つのゲインモードが存在することに注意する。MTIRのデータについては、JAXAから提供されている変換係数を用いて輝度値から温度値 [Kelvin] へ変換を行う (JAXA, 2003b)。

## 2.3.3 画素の再配列

12画素/ラインごとに提供されている緯度経度に線形補間を用いることにより、入力画像の各画素における緯度経度を算出する。本研究においては等緯度経度座標系を利用する。次に、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、最近隣内挿法による内挿を行う。これは、内挿したい点に最も近い観測点の画像データを求める画像データとする方法である。位置誤差は最大1/2画素生じるが、オリジナルな画像データを壊さない、アルゴリズムが簡単であるという利点がある (高木, 1991)。

## 2.3.4 クイックルック画像の作成

各チャンネルの出力画像に対してJPEGフォーマットのクイックルック画像を作成する。処理の一部には、マルチプラットフォームのフリーソフトウェアとして配布されているImageMagickを使用する。

これら一連の処理を行うソフトウェアの開発にあたっては、計算機環境に左右されないマルチプラットフォーム化を目指すものとし、オープンソースで汎用化された既存のソフトウェアの機能を積極的に利用するものとする。

## 2.4 幾何補正誤差の評価方法

幾何補正誤差の評価は、空間分解能の高い250mデータのうち、陸海の区別のつきやすいチャンネル23画像(近赤外)を用いて行った。評価方法としては、海岸線データとGLIのチャンネル23画像にテンプレートマッチングを適用した。まず、半島の突端部など特徴的な形状を持つ地域を30種類ほど選択し、100x100画素相当の領域を切り出して2値化されたチップセットを作成した。次に、海岸線チップ画像とチャンネル23画像との間で、初期の対応点から近傍10x10画素領域における画像相関値を算出し、最も相関の高い点をマッチングの最適点として与えた。

# 3 解析結果

## 3.1 システム幾何補正精度の検討

システム幾何補正によって得られた座標値の精度を、海岸線のデータを用いて評価した。テンプレートマッチングによって得られたチップセットの組み合わせ例を図1に示す。上段が適切にマッチングが行われた例、下段が不適切な例を表している。干潟などをはじめとした海岸線が変化しやすい箇所において、海岸線データが更新されていないために、適切にマッチングが行われていない例がみられた。そこで、各シーンについて作成した30種類ほどのチップセットのうち、目視による判読でマッチングが適切に行われなかったと判断されたものについては、評価対象からは除外した。また、海岸線の分布はシーンによって異なっていたが、どのシーンにおいても全体にまんべんなく評価点が分散するように注意した。

正しくマッチングが行われたと判断されたチップセットにおいて、緯度経度方向の誤差を算出し、シーンごとに二乗平均誤差としてまとめた結果を表2に示す。各シーンについて30種類ほどのチップセットを選定したが、実際に使用した評価点の数はシーンによって異なり、17から28であった。表2によると、東西方向の誤差の大きさは、およそ280mから330mであり、250mデータの座標上でおよそ1.2画素に相当する。南北方向の誤差の大きさは、およそ290mから360mであり、250mデータの座標上でおよそ1.3画素に相当す

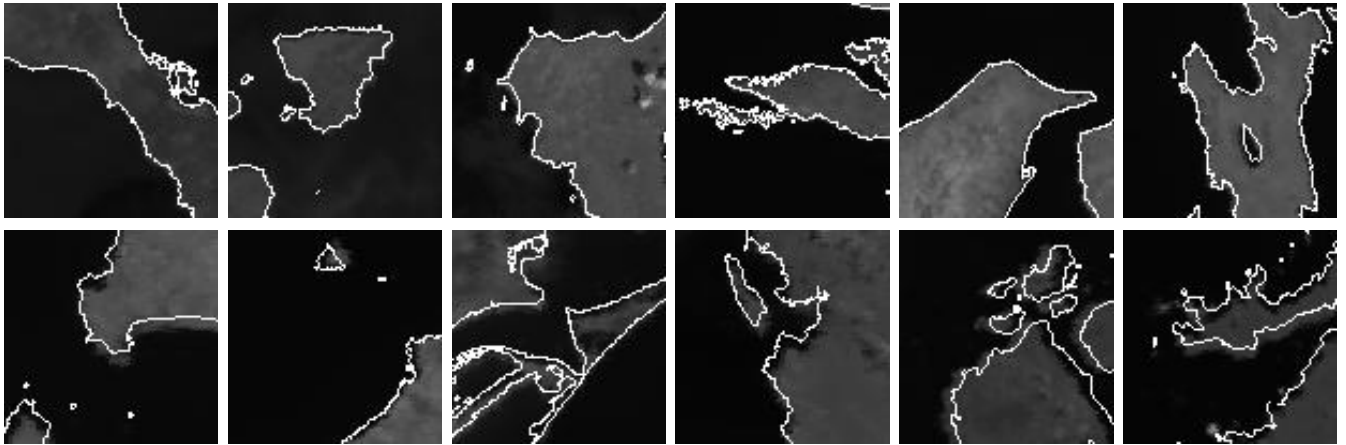


図 1 テンプレートマッチングに使用した海岸線データ (白線) と GLI のチャンネル 23 画像のチップセットの組み合わせ例。上段が適切にマッチングが行われた例，下段が不適切な例。

る。全体としての誤差の大きさは、435m から 485m 程度であり、250m データの座標上でおよそ 1.7 画素に相当する。評価に用いた GLI データは最新のパラメータを用いて算出された結果である。2003 年 12 月に公開された初期バージョンのデータの公称精度では、2 から 3 画素の誤差を内包しているとの報告があることから (宇宙航空研究開発機構, 2003b), 再解析によって提供されているパラメータを用いることで、従来のデータよりもおよそ 0.3 から 1.3 画素の精度向上を期待することができる。

次に、同一シーン内における誤差の分布を図 2 に示す。図 2-(a) に示したイタリアの画像および図 2-(b) に示したオーストラリア北部の画像のそれぞれのシーンにおいて、誤差の方向はランダムに発生していることがわかる。また、大きさはおよそ 270m から 350m に分布しており、空間的に偏りなく分布している。ほかの 3 シーンについても、誤差の分布は方向および大きさともに偏りはみられず、定性的な誤差は認められなかった。誤差がランダムでありながら誤差量が 1 画素以上であるという結果は、マッチングに問題がある可能性がある。特に、図 2 を見ると、位置的に非常に近い検証点でありながら誤差パターンが全く異なっている。この原因としては、GMT から得られた海岸線データの位置精度が十分ではない可能性がある。

また、本報告では図化 (等緯度経度座標系) した座標上で位置誤差を長さで算出し、それを衛星直下の分解能で単純に除して画素単位の誤差に換算したが、等緯度経度の図化画像上では off-nadir 角の大きい地域がオーバーサンプリングされており、誤差を課題に評価することになることになる。オーバーサンプリングは上記のマッチング精度にも影響していると考えられる。

表 2 250m の GLI レベル 1b データをシステム幾何補正した時の精度。

地域	観測日	シーン中心位置		評価点	二乗平均誤差 (m)		
		緯度	経度		東西方向	南北方向	全体
オーストラリア北部	2003.5.25	14.2S	137.7E	18	322.8	300.5	440.3
オーストラリア南部	2003.5.25	27.9S	134.0E	17	332.2	354.2	485.3
ドイツ	2003.6.5	54.1N	26.6E	22	284.7	366.2	463.8
イタリア	2003.6.5	40.0N	19.8E	27	329.5	291.6	440.6
エジプト	2003.6.5	32.1N	16.5E	24	294.2	322.5	436.8

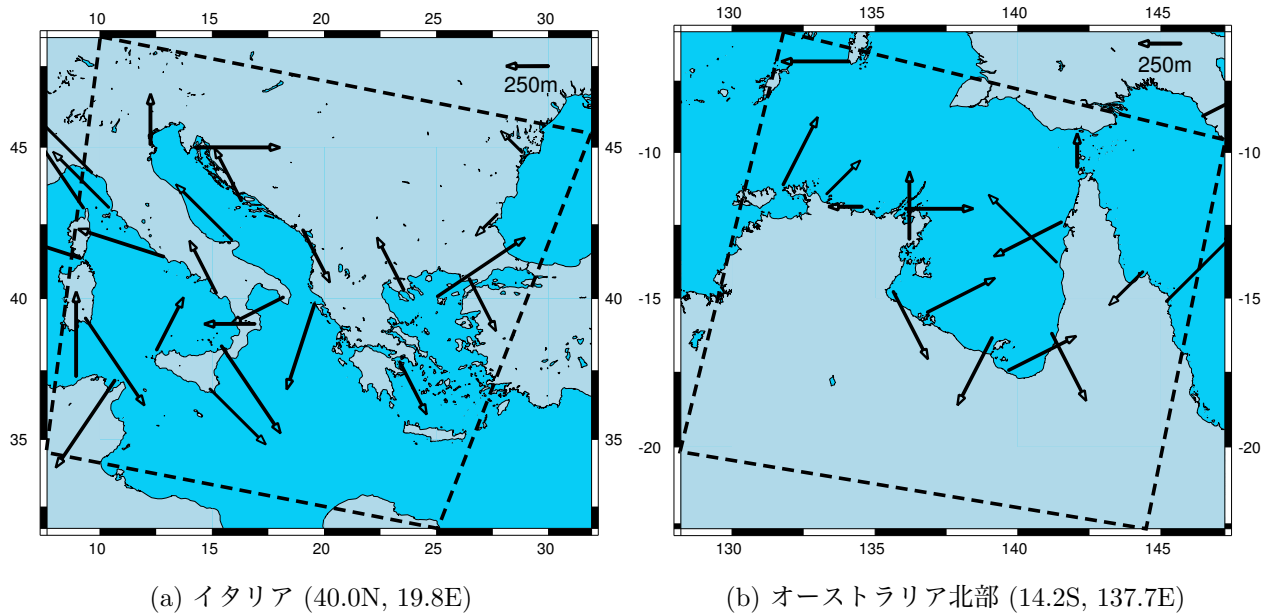


図 2 ADEOS-II GLI 250m 画像におけるシステム幾何補正誤差の分布。図中の点線は GLI の観測範囲を示しており、矢印はその座標における誤差の大きさと方向を示している。

### 3.2 ソフトウェアパッケージ化への検討

本研究で行った一連の処理は、ソフトウェアパッケージとして開発を行った。パッケージを使用するために必要なソフトウェアおよびハードウェアは表3に示す通りである。本システムは、Windows, MacOSX, Linux, Solaris の4種類のOSについて動作確認をしている。ただし、Windows環境では標準的なインストールオプションのほかに、UNIX環境を構築するツールであるCygwinを導入する必要がある。ソフトウェアは、すべてC言語によって書かれており、UNIXに標準的に搭載されているCシェルを用いて各ソフトウェアの機能を結合し、パッケージ化を実現している。なお、hdfファイルを扱うためにNCSAによって提供されているhdp (HDF dumper)が、クイックファイルを作成するためにはImageMagickパッケージがそれぞれ必要となる。これらのソフトウェアはオープンソースで長期にわたって世界中の多数のユーザによって開発が行われており、Windows, MacOSX, Linux, Solarisをはじめとして現在使用されているほとんどのOS上で使用することができる。

CPUの処理速度や搭載するメモリはさほど大きくなくても処理を行うことができるが、現実的な処理時間を考えると表3に示すスペックを持つマシンを使用することが望ましい。東大生研で運用しているシステムにおいては、Pentium-4 2.8GHz x 2, 4GBメモリを搭載したマシンで、1kmのGLIレベル1bデータ1シーンを処理するためにおよそ3分、250mのデータ1シーンを処理するためにおよそ10分かかった。GLIのレベル1bデータ全チャンネルを処理、保存するために必要なデータ量はおよそ1.6GBであり、処理するデータ枚数に応じてハードディスクの容量を確保する必要がある。なお、本研究で開発したパッケージソフトウェアはFTPサイト (<ftp://webgli.iis.u-tokyo.ac.jp/pub/gligeo/>) から入手可能である。

最後に、開発したパッケージソフトを用いて、1kmのGLIレベル1bデータ224シーンについて一連の幾何補正を行った結果を図3に示す。可視近赤外の19チャンネル、短波長赤外の4チャンネル、熱赤外の7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、1.25GHzのMacOSXマシンを使用して1シーン3分程度であった。

表 3 システムサーバーを構築するために必要なソフトウェアおよびハードウェアの一覧.

ハードウェア	下記の OS が作動する PC およびワークステーション CPU: Pentium-4 1GHz 以上, Memory: 1GB 以上, HD: 100GB 以上
ソフトウェア	Windows (要 Cygwin), MacOSX, Linux, Solaris C シェル, gcc コンパイラ, ImageMagick, hdp

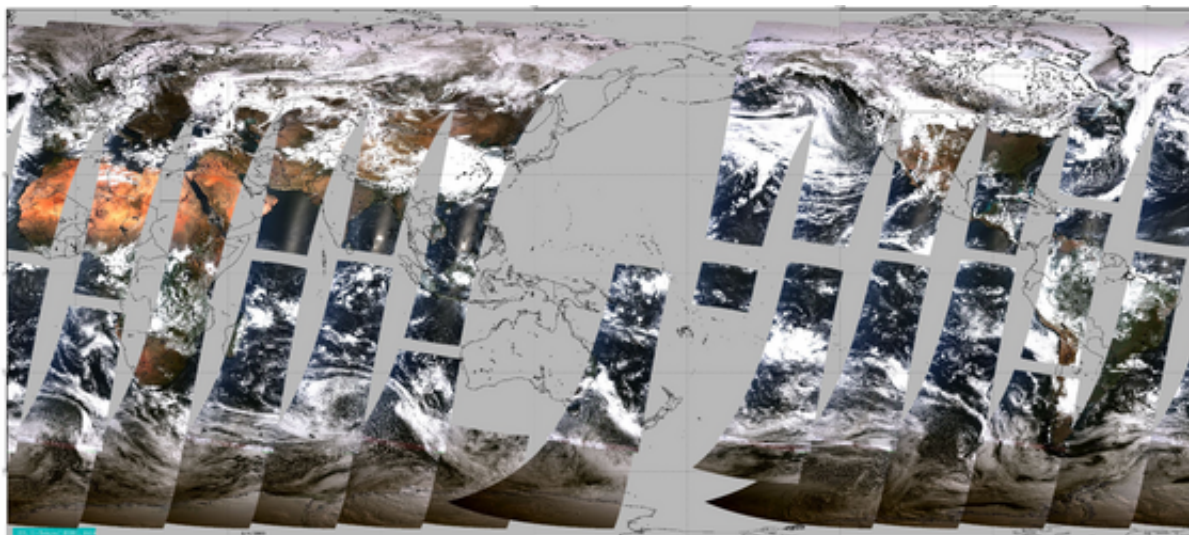


図 3 2003 年 4 月 2 日に ADEOS-II GLI によって撮影された全球画像の地図化.

## 4 まとめ

本研究では, GLI の標準プロダクトであるレベル 1b データを対象に, 全球で取得された観測データを用いて地図投影画像を作成し, システム幾何補正精度の評価を行った. 本研究で得られた成果は次の通りである.

- システム幾何補正の東西方向および南北方向の誤差はともに 300m 程度である.
- システム幾何補正の全体としての誤差はおよそ 450m 程度であり, 250m データの 1.7 画素に相当する.
- 同一シーン内の誤差はランダムに分布しており定性的な誤差はみられない.
- 一連の処理を行うソースコードを開発し, マルチプラットフォーム下で実行できるようにパッケージ化した.

残念ながら運用を停止してしまった ADEOS-II であるが, Landsat 7 号が停止していた 10ヶ月間に貴重な地球環境データを取得した. 今後の地球観測データ取得の重要性を高めるためにも, GLI データが国内外の研究者に最大限活用されるように, 本研究の成果が一助となることを願うものである.

## 謝辞

本研究は, 科学技術振興機構 (JST) による計算科学技術活用型特定研究開発推進事業の研究開発課題である「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 GLI データは, 宇宙航空研究開発機構 (JAXA)

より提供していただいた。ここに厚くお礼を申し上げます。データの入手に関しては、JAXA EORC の山本浩万博士に多大なるご協力をいただいた。

## 参考文献

- 宇宙航空研究開発機構, 2003a. ADEOS-II GLI レベル 1 プロダクトフォーマット説明書, NEB-01039B.
- 宇宙航空研究開発機構, 2003b. 地球観測データ利用ハンドブック - ADEOS-II 編一, 初版.
- 宇宙航空研究開発機構, 2003c. ADEOS-II GLI ホームページ. [http://sharaku.eorc.jaxa.jp/GLI/index\\_j.html](http://sharaku.eorc.jaxa.jp/GLI/index_j.html) (accessed 29 Apr. 2004)
- 高木幹雄, 下田陽久 編, 1991. 画像解析ハンドブック.
- JAXA, 2003a. Algorithm Theoretical Basis Documents of precise geometric correction (ATBD LTSKG).
- JAXA, 2003b, ADEOS-II GLI Calibration Homepage. <http://suzaku.eorc.jaxa.jp/GLI/cal/res/> (accessed 29 Apr. 2004).
- NCSA, 2003. The NCSA HDF Homepage. <http://hdf.ncsa.uiuc.edu/hdp.html> (accessed 29 Apr. 2004)
- Wessel, P., and Smith, W. H. F., 1996. A Global Self-consistent, Hierarchical, High-resolution Shoreline Database. *J. Geophys. Res.*, B4(101), 8741-8743.

# 目次

<b>1</b>	<b>はじめに</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>使用したデータおよび解析手法</b>	<b>1</b>
2.1	使用したデータ . . . . .	1
2.2	レベル 1b データの概要 . . . . .	2
2.3	レベル 1b データの処理手順 . . . . .	2
2.3.1	フォーマット変換 . . . . .	2
2.3.2	輝度温度値への変換 . . . . .	3
2.3.3	画素の再配列 . . . . .	3
2.3.4	クイックルック画像の作成 . . . . .	3
2.4	幾何補正誤差の評価方法 . . . . .	3
<b>3</b>	<b>解析結果</b>	<b>3</b>
3.1	システム幾何補正精度の検討 . . . . .	3
3.2	ソフトウェアパッケージ化への検討 . . . . .	5
<b>4</b>	<b>まとめ</b>	<b>6</b>



## 表目次

1	GLI レベル 1b データの種別, HDF ファイル名, チャンネル数, データ容量の一覧. . . . .	2
2	250m の GLI レベル 1b データをシステム幾何補正した時の精度. . . . .	4
3	システムサーバーを構築するために必要なソフトウェアおよびハードウェアの一覧. . . . .	6

## 図目次

- 1 テンプレートマッチングに使用した海岸線データ(白線)とGLIのチャンネル23画像のチップセットの組み合わせ例. 上段が適切にマッチングが行われた例, 下段が不適切な例. . . . . 4
- 2 ADEOS-II GLI 250m 画像におけるシステム幾何補正誤差の分布. 図中の点線はGLIの観測範囲を示しており, 矢印はその座標における誤差の大きさと方向を示している. . . . . 5
- 3 2003年4月2日にADEOS-II GLIによって撮影された全球画像の地図化. . . . . 6