

衛星画像の処理と利用のための データベースの構築に関する研究

Development of Database for Satellite Image Processing and Utilization

○高橋樹生*, 飯倉善和*

○ Mikio Takahashi*, Yoshikazu Iikura*

*弘前大学

*Hirosaki University

キーワード： データベース (database), 精密幾何補正 (precise geometric correction), 最適化法 (optimization method), 自動化 (automation), GUI (graphical user interface)

連絡先： 〒 036-8561 弘前市文京町 3 弘前大学 理工学部 知能機械工学科
飯倉善和, Tel.: (0172)39-3682, Fax.: (0172)39-3682, E-mail: iikura@cc.hirosaki-u.ac.jp

1. はじめに

1972 年のランドサット 1 号の打ち上げ以来、これまで膨大な衛星データが蓄積されている。光学センサによる衛星データは画像化することにより、地上の対象物を容易に認識できるため、状態を把握する手段としての利用価値は高い。しかし、この画像は地形や大気の影響を受けたものであり、対象を定量的に把握するには、正確に地図と重ね合わせ（幾何補正）、データを物理量（分光反射率）に変換（放射量補正）しなければならない。今までこれらの補正が正確に行われた衛星画像は提供されてこなかったため、利用者によって必要な処理が個別的に行われてきた。

本研究室ではこの問題に対して、定量化のための要素技術と実用化に向けた統合化技術を積み上げてきた。定量化の取り組みでは、最適化

法を用いた精密幾何補正¹⁾、簡便な大気地形効果補正²⁾、地平線・視野域の計算³⁾などがある。最近では、分光反射率と大気の光学的厚さの同時推定に取り組んでいる⁴⁾。実用化への取り組みではデータ処理の自動化⁵⁾、地形パラメータデータベースの構築⁶⁾を行ってきた。

本発表では、衛星画像処理の流れを紹介するとともに、より一般化した前処理と幾何補正の自動化、新たに開発した SQLite3 を用いたデータ検索と GUI による操作について説明する。

2. 処理の概要

本研究では、衛星データを前処理、精密幾何補正、大気地形効果補正を順に適用する。処理の流れと処理に必要なデータを Fig.1 に示す。この章では前処理、使用するデータについて説明する。なお幾何補正や GUI の処理には IDL⁷⁾、

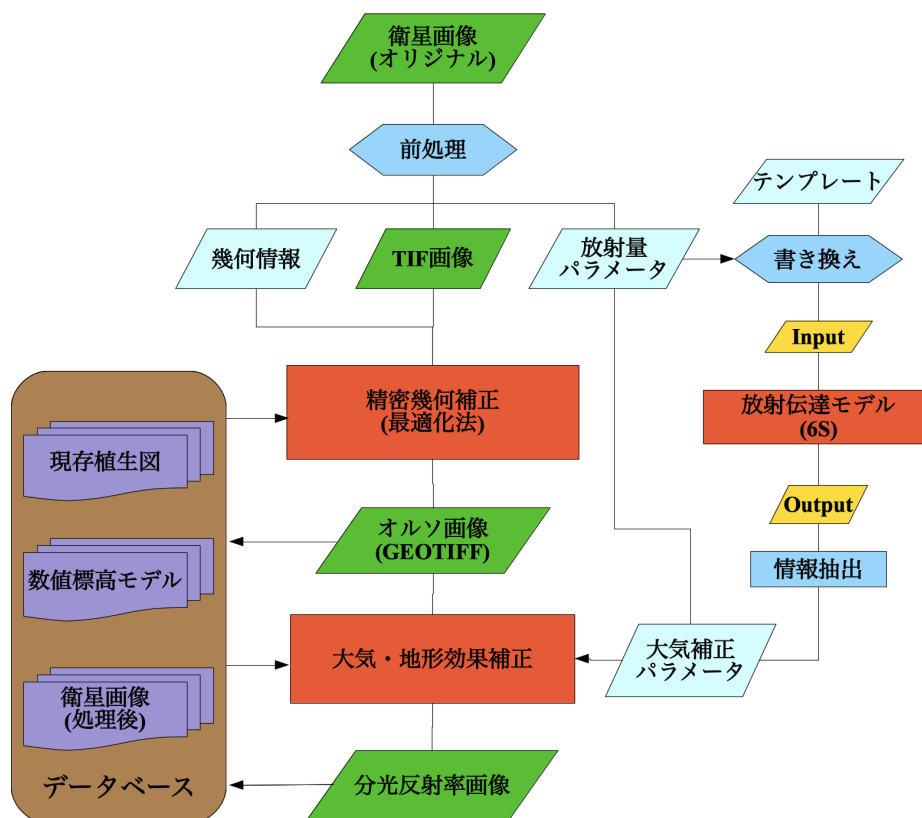


Fig. 1 衛星画像処理の流れとデータベース

データベースの管理はsqlite3、処理の自動化にはUNIXのシェルスクリプトを使用している。

2.1 前処理について

衛星データのフォーマットはセンサの種類、配布機関によって様々な形式が存在する⁸⁾。代表的なフォーマットとしてはバンドごとにファイルが分割されているCEOS-BSQ、複数のバンドが一つにまとめられているHDF、TIFF画像に地図座標情報を付加したGEOTIFFなどが挙げられる。処理レベルには未補正、システム補正、オルソ補正などがある。

これら複数の種類のフォーマットに対してプログラムの保守を容易にするために、前処理によりフォーマットの統一を行う。前処理では精密幾何補正に必要なパラメータの抜き出し、衛星データの画像化 (GEOTIFF)、クイックルック画像の作成、正規化植生指数NDVIの作成を行う。ここで幾何補正パラメータ、GEOTIFF画

像とNDVIは3章精密幾何補正に使用するデータとして、クイックルック画像は4章GUI処理の際にシーン全体を参照する画像としてそれぞれ利用する。

なお、正規化植生指数NDVIとは衛星データを用いて簡易的な計算式から作られる植物の量や活力を表した指標である。画像中に含まれる水域や雲、積雪域は衛星画像と陰影画像の相関に悪影響を及ぼすため、本研究ではNDVIを利用したマスク処理を行いこれらを除外する。NDVIの算出式を以下に示す。

$$NDVI = (IR - R) / (IR + R) \quad (1)$$

ここで、IRは近赤外バンド、Rは可視域の赤のバンドのデータである。このデータを二値化したものをマスクとして作成する。NDVI画像をFig.2に示す。ここで黒く表示されているのが水域や雲がかかっている除外領域で、白く表示されるのが衛星画像と陰影画像の相関を取ること

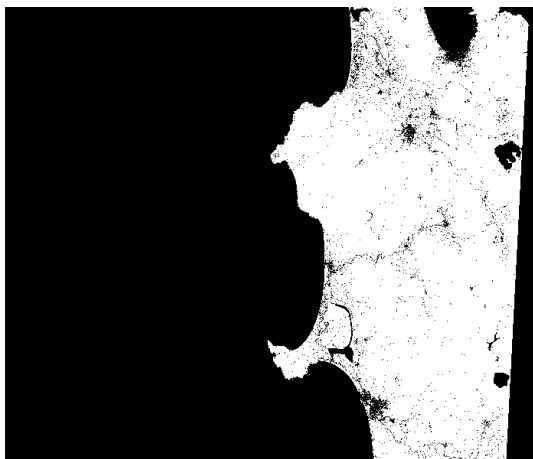


Fig. 2 NDVI 画像の例

ができる領域である。

2.2 使用するデータとその規格化

本研究では、測地系として WGS84 を座標系として UTM(ZONE54) を用いる。衛星画像の精密補正には対応した数値標高モデル（以下、DEM）や NDVI 等のラスタデータを利用する。フルシーンの衛星画像を読み込んだ上で同サイズの DEM や、DEM から作成する直達日射のシミュレーション画像（陰影画像）、さらに各種解析を行うにはかなりのメモリを必要とする。そのため本研究では、すべてのラスタデータを UTM 座標系上で $10\text{km} \times 10\text{km}$ の大きさで、衛星画像はそれぞれセンサの分解能に合わせて、GIS データは分解能 10m 、 1000×1000 の画像として作成した。本研究で利用したセンサとシーン数、分解能を Table 1 に示す。

Table 1 利用した衛星画像の種類と数と分解能

センサ名	シーン数	分解能 [m]
ASTER(VNIR)	12	10
ASTER(SWIR)	12	25
AVNIR2	14	10
ETM+	13	25
TM	53	25

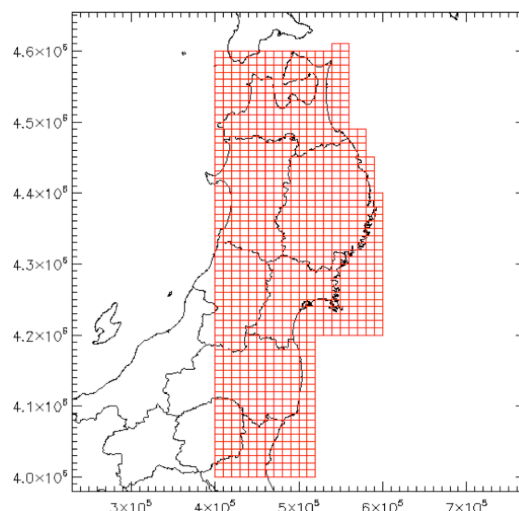


Fig. 3 対象とした地域と領域の分割

DEM の作成には、国土地理院発行の基盤地図情報 10m メッシュ（標高）を用いた。緯度経度座標に基づいた GML ファイルをラスタデータに変換して GEOTIFF ファイルとして保存した。また植生図は環境省自然保護局生物多様性センター発行の第 5 回までの現存植生調査に基づくベクターデータ（SHAPE ファイル）をラスタ化して用いた。データファイル名は次のように設定した。

- DEM : kiban??_???.tif
- 植生図 : veg??_???.tif
- 衛星画像 : sat??_???.tif

ここで、ファイル名の ??_??? の部分には領域毎に左下の UTM 座標値 (x, y) を 10km 単位でコード化して利用する。UTM 座標が $x=430000\text{m}$ 、 $y=4430000\text{m}$ とするとデータファイル名は kiban45_438.tif といった形になる。本研究で利用しているデータの範囲を Fig.3 に示す。

数値標高モデルから作成される視野域、天空視野要素、流域などのデータや衛星画像を処理して得られる各種データも同じ形式で保存する⁶⁾。

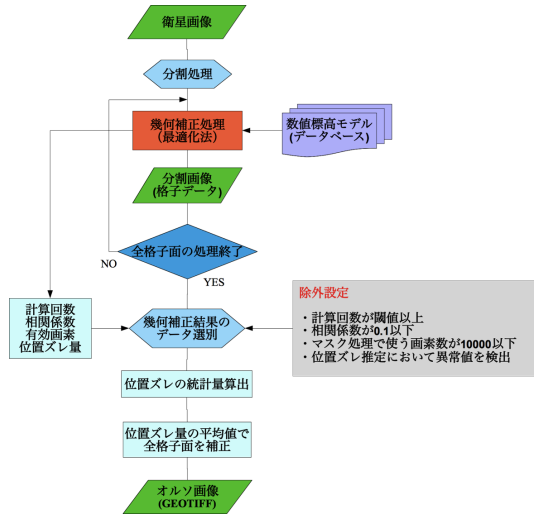


Fig. 4 幾何補正の流れ

3. 精密幾何補正とその適用

3.1 最適化法を用いた精密幾何補正

最適化法は地形の起伏及び地球の曲率を考慮をして幾何変換を行った衛星画像と、直達日照度のシミュレーション画像である陰影画像を用いて、幾何変換を行いながら画像の位置ズレ量を検出する方法である。位置ズレの推定法には相互相関関数を用いた最急降下法を利用する。衛星画像の幾何変換式を以下に示す。幾何補正のフロー図を Fig.4 に示す。

$$\begin{pmatrix} p - p_0 - \delta p \\ l - l_0 - \delta l \end{pmatrix} = \frac{1}{\Delta} \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ -\sin \theta & -\cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X - X_0 - \delta x \\ Y - Y_0 - \delta y \end{pmatrix} \quad (2)$$

ここで p, l は画像座標、 X, Y は UTM 座標、 p_0, l_0, X_0, Y_0 は各座標系におけるシーンセンタ座標、 Δ は分解能、 α はオリエンテーション角、 δ_x, δ_y は位置ズレ補正量、 δ_p, δ_l は衛星画像が中心投影であることから生じる起伏による位置ズレであり、この補正には独自に開発した簡便なオルソ補正手法を用いた⁹⁾ 衛星画像上に座標軸等を記載したものを Fig.5 に示す。

衛星画像の精密補正に利用する陰影画像各点における、太陽の入射照度 $\cos \beta$ は、太陽天頂

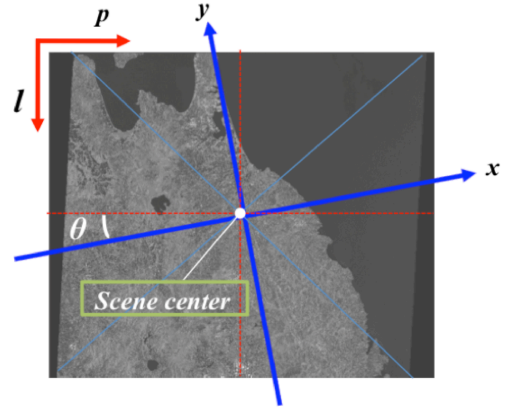


Fig. 5 衛星画像上での各座標軸

角 θ 、太陽方位角 A 、地表面の斜度 e 、傾斜方位 ϕ の関数として次の式で与えられる。

$$\cos \beta = \cos \theta \cos e + \sin \theta \sin e \cos(\phi - A) \quad (3)$$

太陽位置の情報 θ 及び A は衛星データのシステム情報に含まれており、パラメータ e 及び ϕ は DEM から計算で求める。

3.2 精度評価と幾何補正済み画像の出力

最適化されたパラメータの精度評価のために、全格子面で算出した位置ズレ量を除外条件を設けて選別する。除外条件を Table 2 に示す。ここで計算回数は最急降下法が収束するまでの回数、相関係数は衛星画像と陰影画像の相互相関係数の値、有効画素数は NDVI 画像の相関を取るのに有効と判断された画素の数、ズレ量は算出した位置ズレ量である。分割領域ごとの位置ズレ推定の平均値からのズレを矢印で表したものを Fig.6 に示す。除外されなかった格子面での位置ズレ推定量の平均値を補正パラメータとして全格子面に幾何補正処理を行い、この処理を行った画像を幾何補正済み画像として保存している。

Table 2 精度評価のための除外条件

除外条件の項目	閾値
計算回数	30 回以上
相関係数	0.1 以上
有効画素数	10000 以上
ズレ量	300m 以内



Fig. 6 位置ズレ量の平均値からのズレ

4. 処理データの管理と利用

4.1 処理プログラムと管理システムの関係

処理したデータから必要なシーンを効率的に取り出すには検索機能が必要となるが、IDL は標準でデータベースの機能を有していない。また IDL には 'spawn' プロシージャというものがあり、これは IDL 上でシェルを実行することができ、シェルのコマンドのほかに引数の設定、戻り値の取得ができる。sqlite3 は軽量なデータベース管理システムで、サーバ不要で動作でき、

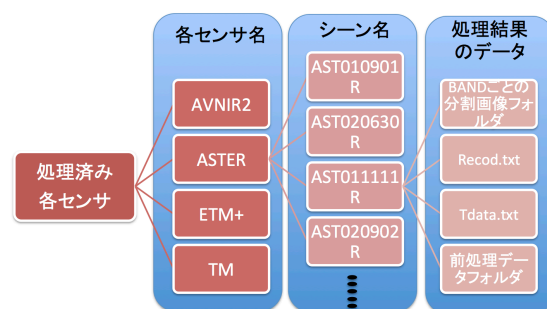


Fig. 7 データの構成

アプリケーションに組み込んで使うこともできる。また UNIX のシェル上で対話型処理と非対話型処理の両方が可能である。よって IDL の spawn と sqlite3 の非対話型処理を用いて IDL 上でデータベースファイルとのやり取りを実行する。実行時は以下のように記述する。

$$\text{spawn, 'sqlite3' + データベース名} \quad (4)$$

$$\text{+ '操作文', result}$$

操作文はデータの追加、検索やその条件を書くところであるが、必ず操作文全体を「'」か「"」で囲まなくてはならない。また sqlite3 からの戻り値はシェルを挟むことですので string になるため適当な位置で分割する必要がある。この操作は IDL の STRING 関数を用いることで容易に実現できる。

4.2 データベースの構成

センサのシーン名は以下のように決めている。

センサ名+観測日+パス/ロウ or

フレーム番号 or 撮影時間

処理済みのデータは Fig.7 のように構成されるフォルダの「BAND ごとの分割画像フォルダ」の場所に保存される。

また幾何補正処理の自動を行う際の実行文を以下に示す。ここでカレントディレクトリを Fig.7 の処理済み各センサとするとデータベースの構造に従って以下になる。

```
set fname1='ls'
```



```

foreach fdir1($fname1)
  pushd $fdir1
  set fname2='ls'
  foreach fdir2($fname2)
    pushd $fdir2
    idl '幾何変換の実行ファイル'
    popd
  end
  popd
end

```

4.3 処理データの登録

処理データはシーンごとに sqlite3 のデータベースファイルに登録される。登録項目は「登録順に割り振られる ID、シーン名、場所、年月日、幾何変換ができるデータであったか」である。処理データの登録は幾何補正の自動化の際に同時に行っているため自動で登録を行える。また登録されるデータは先ほどのデータベースの構造とシーン名で関係づけられており、シーン名が決まればセンサ名が決まる。その他のフォルダの構造は全て同じであるため、シーン名が決まることで必要なファイルを自動で認識できる。

4.4 GUI を用いた処理データの利用

データベースに登録したデータを利用するために IDL 上で GUI を作成する。メインとなる検索画面を Fig.8 に示す。検索の条件は UTM 座標、衛星データの取得年月日、センサーの種類が挙げられる。[UTM] は UTM 座標系で上下左右の座標を決めて、その範囲を含むデータの検索を行う。[year/month/day] は設定した期間の中に撮影日が含まれる衛星データの検索を行う。[SELECT_SENSOR] は選択したセンサーを対象とした検索を行う。これらは組み合わせて用いることができ、また入力されなかったときはその項目が検索条件に含まれなくなる。

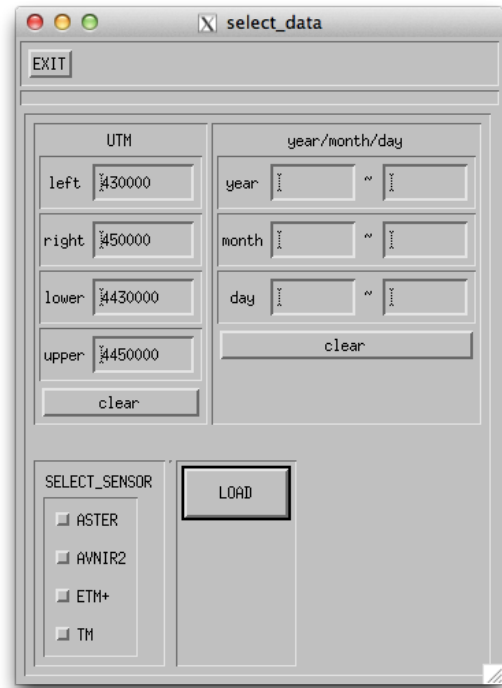


Fig. 8 衛星画像の検索

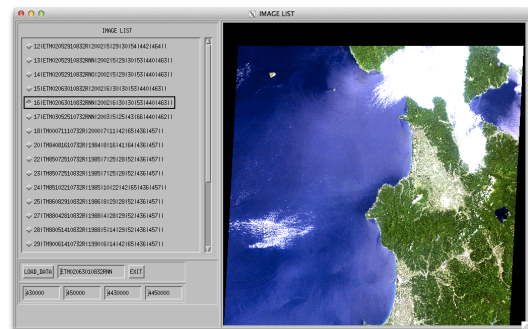


Fig. 9 検索結果とクイックルックの表示

次に条件にかかったデータをさらに選別するためのウインドウを Fig.9 に示す。ここではメインの条件に当てはまるデータをリスト化して表示し、リストの中から選択したデータのクイックルック画像を表示する。また解析したい UTM 座標の範囲の変更も可能である。ここで UTM 座標の範囲指定がなされなかった場合、警告（モーダルウインドウ）を出し次の処理に進めないようになっている。

Fig.10 に最終的に指定した範囲のデータを表示する。ここでは指定された範囲と同じ範囲のデータの読み込み、合成、切り出しを行っている。

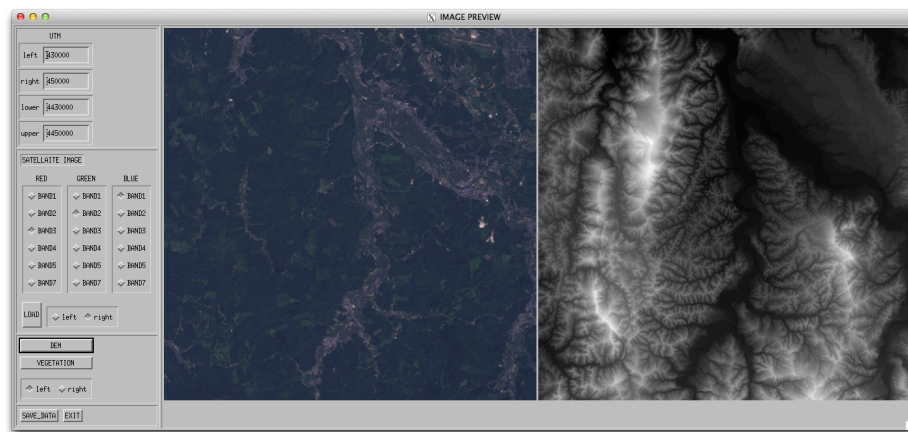


Fig. 10 幾何補正画像の表示

る。また同じ範囲の DEM や植生図も表示でき、衛星画像と地図データの容易な比較が可能である。

5. 終わりに

衛星データの精密幾何補正処理とその自動化、そしてそれを利用するためのデータベースと GUI の作成を行った。

今後の目標を以下に示す。・利用できるセンサの種類や既存のセンサのデータの量を増やす。

- ・解析に用いるための機能の充実を目指す。
- ・大気・地形効果補正の自動化とその処理データの自動登録も行えるようにする。

謝辞：本研究は以下の助成を受けて行ったものです。ここに関係者に謝意を表します。

平成 25 年度 JST 研究成果最適展開支援プログラム（フイージビリティスタディ）「衛星画像を用いた分光反射率データベースの作成とその応用」

参考文献

- 1) 飯倉善和: 数値標高モデルを用いたランドサット TM 画像の幾何補正の最適化, 日本リモートセンシング学会誌, **22-2**, 189/195 (2002)

- 2) 飯倉善和、横山隆三: ランドサット TM 画像の大気および地形効果の補正, 日本リモートセンシング学会誌, **19-2**, 386/392 (1999)
- 3) 飯倉善和: 被服平面を用いた体系的な不可視領域の決定, GIS-理論と応用, Vol.8, No.1, **39-46**, 39/46(2000)
- 4) 飯倉善和, 木村一星: 衛星画像を用いた分高反射率と光学的厚さの同時推定, 計測自動制御学会東北支部・第 289 回研究集会, 資料番号 289-1(2014)
- 5) 木村一星, 飯倉善和: ランドサット TM 画像の世界測地系上の精密幾何補正の自動化, 日本リモートセンシング学会第 52 会学術講演会論文集, 75/78(2012)
- 6) 飯倉善和: 衛星画像処理のための地形パラメータデータベースの構築, 日本リモートセンシング学会第 56 会学術講演会論文集, 161/162(2014)
- 7) 飯倉善和: IDL を用いた 3 次元画像処理入門-パソコンで作れる鳥瞰図, 共立出版 (2007)
- 8) 飯倉善和: リモートセンシング質問箱「第 7 回: 衛星画像の入手とパソコンによる表示」, 日本リモートセンシング学会誌, **29-1**, 429/434(2009)
- 9) Y. Iikura : Practical orthorectification of system corrected satellite images and its validation, Proceedings of IGARSS2012 (2012)