

ALOS PRISM からの DEM 及び正射画像作成プログラムの開発と事前検証
Development of DEM and orthoimage production program from ALOS PRISM,
and its pre-launch verification

神谷 泉

Izumi KAMIYA

国土地理院 地理地殻活動研究センター

Geographical Survey Institute

〒305-0811 茨城県つくば市北郷1

Abstract

A program to produce DEM and orthoimage from the PRISM sensor is developed. A calculation of the pixel and line number on the raw images from the ground coordinates needs long time for the PRISM by the used method. The program reduces the computation volume by interpolating the pixel and line number in ground grid space and along ground height axis. The program worked properly using 1.6 m grid test data obtained by the ADS40, which projection geometry is like the PRISM.

Observing control points settled mainly in open sky area, root mean square error was 1.13 m in vertical for the DEM, and 1.30 m in horizontal for the orthoimage. These values represent errors of the DEM and orthoimage production procedure, and pointing error on the orthoimage.

Comparing the DEM with DSM obtained by LIDAR measurement, root mean square error of the DEM was 3.59 m in a mixed area of high buildings, low housing, woods, and crop fields. The error corresponds 5.7 m for the PRISM.

1 はじめに

地図作成を主要なミッションの1つとしている ALOS 衛星（宇宙航空研究開発機構，2005）は、平成 17 年度冬期に打ち上げられる予定である。ALOS に搭載されている PRISM センサーは、前方視、直下視、後方視の 3 つの放射計からなり、軌道内でのトリプレットマッチング（3 方向から観測した画像のマッチング）が可能である（図 1）。画素間隔は、直下視において 2.5m となるように設計されている。

現在、写真測量用のデジタル図化機が販売されており、PRISM への対応も予想される。しかし、デジタル図化機は一般に高価であるとともに、その内部はブラックボックスであり、幾何学的な誤差要因の解明や精度向上を目的とした研究には利用し難い。PRISM 画像の標定、PRISM 画像からの DEM 作成、および PRISM 画像からの正射画像の作成ができれば、通常の画像処理システムを使用して、地図の作成が可能となる。そこで、公開されたアルゴリズム（神谷 2005a, 2005b；国土地理院，2005）に基づき、これらのプログラムを作成した。標定プログラムと、外部 DEM を使用した正射画像作成プログラムについては、別途報告した（神谷，2005a, 2005b）。本稿では、DEM を作成するとともに、正射画像も同時に作成することができるプログラムについて報告する。ここで、エリアマッチングにおいて、計算量を削減しながら地形補正を行う手順を示す。なお、DEM は、地表面の高さを表す DSM であるとする。

なお、現在、PRISM の実データは得られていないため、本研究では、PRISM と類似した投影方式を有する航空機搭載 3 ラインセンサーである ADS40 (Eckardt et al., 2000) のデータを使用して、プログラムの動作を確認した。

2 アルゴリズム

DEM の作成は、多段階の coarse-to-fine 戦略を用いたエリアマッチングを使用した (Schenk, 2002)。1 段階の処理では、概略の DEM を使用して、同一の範囲をカバーする、より詳細な DEM を作成する。前方視、直下視、後方視の 3 枚の画像を同時にマッチングするため、1 段階の 1 求点の処理には、注目点の位置を高さ方向にスキャンしながら相関が最も高くなる点を探す鉛直軌跡 (Gyer, 1981) を用いた。今回使用した、地上点の位置から画像座標を計算する手順は、計算効率よりソースコードの簡明さを追求したため、イテレーション (繰り返し計算) が入れ子になっており、時間を要する。このため、この計算の使用回数を削減する必要がある。一般的に、リニアセンサーの画像においては、フレームセンサーとは異なり、標定要素が時間の関数となるため、上記の計算にはイテレーションが必要となり、使用回数を削減することが望ましい。画像の地形ひずみ等の影響を回避しながら、上記の計算の使用回数を減らすため、1 段階の処理として、以下のアルゴリズムを採用した (記号は表 1, データの流れは図 2 参照)。

(1) 概略 DEM の拡張

エリアマッチングを行うためには、相関窓の大きさだけ余分な領域の画像を必要とする。そのため、まず概略の DEM を、相関窓の大きさの半分 $Ws/2$ (余りは切捨て) に相当する格子数 $\text{ceil}((D/D_0) Ws/2)$ だけ外挿する ($\text{ceil}(x)$ は、 x を切り上げた整数)。

(2) 下限の DEM, 上限の DEM に対するピクセル番号, ライン番号の計算

(1) で得られた外挿された概略の DEM から H_0 だけ低い DEM (下限の DEM), H_0 だけ高い DEM (上限の DEM) を使用して、それらの全格子点に対する前方視, 直下視, 後方視の画像のピクセル番号, ライン番号を計算する。このとき、いずれかの画像において、ピクセル番号またはライン番号が画像の範囲外となる場合は、その格子点は不当であるとする。

(3) ピクセル番号, ライン番号の平面内での内挿

(2) で得られた前方視, 直下視, 後方視の画像のピクセル番号, ライン番号の格子を、マッチングに使用する正射画像の格子に合わせて内挿する。同時に、(2) で得られた不当性も内挿する。具体的には、ピクセル番号, ライン番号の内挿に使用したいずれかの格子点が不当であれば、内挿された格子点も不当とする。

(4) 不当性の拡張

相関係数の計算に使用するすべての画素の値が得られることを保証するため、(3) で得られた不当性の格子を、相関窓の大きさの半分 $Ws/2$ (余りは切捨て) だけ拡張する。

(5) 概略の DEM の内挿

作成する DEM の格子に合わせて概略の DEM を内挿し、作成する DEM の初期値とする。

(6) 高さ方向のスキャン

ΔH を、 $-H_0, -H_0+d, -H_0+2d, \dots, H_0$ として、以下の処理を行う。ここで、 $d=2 H_0(H_s-1)$ 。

(6-1) ピクセル番号, ライン番号の高さ方向の内挿

(3) で得られた下限の DEM, 上限の DEM に対するピクセル番号, ライン番号の格子を高さ方向に

内挿し、概略の DEM から ΔH だけ高い DEM に対するピクセル番号、ライン番号の格子を得る。

(6-2) 正射画像の作成

(6-1) で得られたピクセル番号、ライン番号の格子を使用して、概略の DEM から ΔH だけ高い DEM に対応する前方視、直下視、後方視画像の正射画像を作成する。原画像は、正射画像の画素間隔になるべく近くなるよう、DEM 作成に使用する画像を適宜 $1/2^n$ に縮小した画像を用いる。

ここで、概略の DEM から ΔH だけ高い DEM が正しい DEM であれば、前方視、直下視、後方視画像から作成された正射画像は、いずれも正確な DEM に基づく正射画像であり、位置が合っているため、相関が高いと期待される。

(6-3) 格子点に関するループ

作成する DEM のすべての格子点について、以下の処理を行う。

(6-3-1) 正射画像の格子点の計算

注目している格子点に対応する正射画像上の格子点を求める。

(6-3-2) 不当な格子点の回避

(6-3-1) で求めた正射画像上の格子点が、(4) で不当とされた場合には、注目している格子点の DEM を不当とし、注目している格子点の処理を中止する。

(6-3-3) 類似度の計算

(6-3-1) で求めた正射画像上の格子点の周りの $W_S \times W_S$ の相関窓について、前方視と直下視、直下視と後方視、前方視と後方視の間の相関係数を計算する。3つの相関係数の和を、注目している格子点の ΔH の類似度とする。

ここで、単独の相関係数を使用するより、3つの相関係数の和を使用した方が、オクルージョン等に起因するミスマッチングが発生しにくいと予想される。

(6-3-4) 類似度の比較

注目している格子点について、(6-3-3) で求めた類似度が、その格子点の類似度の中で最大であれば、注目している格子点の高さを、(5) で求めた初期値 + ΔH とする。

(7) 閾値付きのメディアンフィルター

大誤差を回避するため、閾値付きのメディアンフィルターを使用する (服部, 1986)。具体的には、作成する DEM の全ての格子点について、以下の処理を行う。

(7-1) 不当な格子点の回避

注目している格子点が、(6-3-2) で DEM が不当とされた格子点である場合には、その点の処理を中止する。

(7-2) メディアンの計算

注目している格子点の周りの 3×3 の範囲の格子点のうち、(6-3-2) で DEM が不当とされた格子点を除いた格子点の高さの中間値を計算する。中間値の計算には、(6) で求めた高さを使用する。

(7-3) 元の値との比較

(7-2) で求めたメディアンと、(6) で求めたその格子点の高さの差の絶対値が L_M より大きい場合は、作成する DEM の値として(7-2)で求めたメディアンを、それ以外の場合は、(6)で求めたその格子点の高さを採用する。

(8) DEM の外挿

次の段階の処理のため、あるいは作成した DEM を使用した正射画像の作成のため、(7-3) で作成した DEM を外挿し、(7-1) で不当とされた格子点の高さを推定する。

内挿方法は、全てバイリニア法を用いる。不当性の内挿も、正当な場合は0、不当な場合は0以外の値を用いることにより、実数値に対するバイリニア法による内挿が適用できる。なお、第1段階の概略DEM（初期DEM）は、高さが一定のDEM、あるいは既存のDEMとする。

上記の処理では、平面内および高さ方向にピクセル番号、ライン番号を内挿することにより、ピクセル番号、ライン番号の計算回数を削減している。また、概略のDEMを使用して正射画像を作成することにより、画像の地形ひずみ、姿勢変動等に伴う未補正画像のひずみを取り除き、これらのひずみに伴う相関係数の低下を回避している。

作成されたDEMを使用した正射画像の作成は、 H_0 、 d を無視して、上記の(2)、(6-1)、(6-2)を適用すればよい。このアルゴリズムは、通常の前射画像の作成にも利用できる。

上記の処理のうち、ピクセル番号、ライン番号を計算するアルゴリズム(2)は、以下のとおりである（図3参照）。

(1) 近似値なしの検索

格子点をジグザグにスキャンしながら、近似値を用いないでピクセル番号、ライン番号を求める（神谷，2005b）。ここで、「ジグザグにスキャン」とは、X方向の格子番号の昇順にスキャンし、同一のX方向の格子番号内では、X方向の格子番号が偶数であればY方向の格子番号の昇順に、奇数であれば降順に行うスキャンである。入力画像の範囲内のピクセル番号、ライン番号が見つかったら、その値をピクセル番号、ライン番号の近似値の初期値として、(2)、(3)の処理を行う。

(2) 近似値ありの昇順の計算

(1)で入力画像の範囲内のピクセル番号、ライン番号が見つかった格子点から出発し、格子点をジグザグにスキャンしながら、近似値を用いてピクセル番号、ライン番号を求める（神谷，2005b）。近似値は、入力画像の範囲内のピクセル番号、ライン番号が見つかった直前の格子点のピクセル番号、ライン番号とする。

(3) 近似値ありの降順の計算

(1)で入力画像の範囲内のピクセル番号、ライン番号が見つかった格子点から出発し、格子点を(1)と逆順にジグザグにスキャンしながら、近似値を用いてピクセル番号、ライン番号を求める。近似値は、入力画像の範囲内のピクセル番号、ライン番号が見つかった直前の格子点のピクセル番号、ライン番号とする。

ジグザグスキャンを採用することにより、正射画像を求める範囲が入力画像の端を越えた場合にも、入力画像の範囲内にある出力画像の格子点であれば、ほとんどの場合、真値に近い近似値を使用できる。この結果、入力画像の範囲内にありながら、適切な近似値を使用しないために入力画像の範囲内のピクセル番号、ライン番号が得られないという不具合の発生を回避し、また、イテレーションの回数を減らすことにより計算量を削減することができる。ここで、イテレーションは、出力座標からの入力座標の計算を、入力座標からの出力座標の計算の逆問題として解くためのイテレーションである。

3 ADS40 データへの適用

「2 アルゴリズム」を、航空機搭載3ラインセンサーであるADS40のつくば地区のデータ（Yotsumata et al., 2002）に適用した。このデータは2002年4月24日に撮影され、本研究では、このうち南北方

向の 5 コースのデータを使用した。使用した標定データは、GPS/IMU の調整値と、画素間隔 0.2m の ADS40 の原データ上で観測した基準点を使用して調整したものである（神谷，2005a）。

DEM と正射画像の作成には、1/8 に縮小した ADS40 の画像（画素間隔 1.6m）を使用した。1/2ⁿ に縮小した画像のうち、PRISM の画素間隔 2.5m に最も近いものは、1/16（3.2m）である。一般に、高分解能画像の方がオクルージョンの問題が深刻であり、マッチングが難しい。そこで、プログラムの動作確認という目的を考慮し、より難しい条件である 1/8（1.6m）に縮小した画像を使用した。

3.1 基準点における精度点検

表 2 に示す小地域用のパラメーターを使用して、標定に使用した基準点の周囲の DEM と正射画像を作成した。ただし、高さ 358m の基準点 No.5 を含むコース（図 11 の一番東のコース）については、基準点 No.5 が第 1 段階の高さの走査範囲に含まれないため、高さの走査範囲を拡張した表 2 の高高度の小地域用のパラメーターを使用した。ここで、地表面の勾配は最大 50% と仮定して $L_M = D/2$ とした。段階が進んだ後は、概略の DEM には、その格子間隔 D_0 までの誤差があると仮定し、 $H_0 = D_0$ とした。一方、初期の段階（表 2 の Step B, Step C）では、これより大きな誤差があると想定し、 D_0 より大きな値とした。 H_S は、ステップ数が足りないことによる誤差を避けるため、比較的大きな値を選んだ。

基準点は、道路等にペイントした点を GPS で計測したものであり、上空視界が比較的開けた場所に設置されている。計測に使用した基準点の例を図 4 に示す。なお、DEM と正射画像の作成は、コースごとに行ったため、2 つのコースから観測された基準点は、コースごとに別々に評価した。評価に使用した基準点の数は 19 点、コースごとに評価したため、評価対象は 29 点である。

3.2 レーザースキャナーデータとの比較による精度点検

表 2 に示す小地域用のパラメーターを使用して、高層建物、低層住宅、樹林、畑が混在するつくば市の小野崎地区（図 5）の DEM を作成した。これを、2004 年 10 月 23 日に計測したレーザースキャナーデータ（長谷川ほか，2005）から作成した格子間隔 1m の DSM と比較した。比較対象は、作成した DEM の注目している格子点の直近の格子点とした。

3.3 鳥瞰図・モザイク

表 2 に示す小地域用のパラメーターを使用して、平地から丘陵にまたがる石岡市の十三塚地区の DEM、正射画像を作成し、鳥瞰図を作成した。また、表 2 に示すつくば地区全体用のパラメーターを使用して、つくば地区の全コースの DEM と正射画像を作成し、作成された正射画像を使用してモザイク画像を作成した。つくば地区全体用のパラメーターを別途設定した理由は、広範囲の高さに対応し、また、計算時間を節約するためである。

4 結果

基準点における DEM と正射画像の精度指標を表 3 に、誤差の分布を図 6 に、誤差のヒストグラムを図 7 に示す。

レーザースキャナーデータと比較した結果の精度指標を表 3 に、誤差のヒストグラムを図 8 に、誤差の分布とその解釈を図 9 に示す。

図 10 に十三塚地区の DEM と鳥瞰図を示す。図 11 につくば地区全体のモザイクされた正射画像を示す。

5 考察

5.1 内挿について

ピクセル番号, ライン番号を平面内で内挿することにより, ピクセル番号, ライン番号の計算回数を $1/(D_0/D)^2$ に, 今回使用したパラメーターでは $1/100$ に減らすことができた. また, 高さ方向に内挿することにより, ピクセル番号, ライン番号の計算回数を $2/H_s$ に, 今回使用したパラメーターでは約 $1/50 \sim 1/100$ に減らすことができた.

内挿による誤差の原因として, センサーの位置と姿勢の非線形な変化, 焦点面上での CCD 素子の配置の非線形性, レンズディストーション, 大気補正の非線形性が考えられる. センサーの位置と姿勢の非線形な変化を除けば, これらの効果もともと小さい上に, ピクセル番号, ライン番号に対して緩やかに変化するため, これらの誤差は無視できる. センサーの位置と姿勢の非線形な変化は, 位置と姿勢の変動が緩やかな衛星に搭載された PRISM では, 無視できると予想される.

5.2 精度について

本研究に使用した ADS40 データは, 画素間隔 0.2m の原データ上で観測した基準点の画像座標を使用しており, 検証点における平均 2 乗誤差は, 平面位置 0.21m, 高さ 0.22m であった (神谷, 2005a). これに対し, DEM と正射画像の作成には, 画素間隔 1.6m に縮小した ADS40 のデータを使用しており, 基準点における DEM と正射画像の平均 2 乗誤差は, 平面位置で 1.30m, 高さで 1.13m であった. 標定誤差の寄与率 (標定誤差部分の分散/全分散) は, 平面位置で 3%, 高さで 4% である. 従って, 3 に示す DEM と正射画像の誤差は, 主として, DEM と正射画像の作成工程の誤差, あるいは正射画像上での基準点のポインティング誤差であると解釈される.

基準点における DEM の誤差 (表 3, 図 7(a)) では, 絶対値が 2m 以上の誤差が発生した事例は, 4.19m の負の誤差となった事例と, 2.36m の正の誤差となった事例があった. 前者は, 高架橋の上にある基準点で, 高架橋の端に近いので, 高架橋の下の部分に引っ張られて大きな負の誤差が生じたと考えられる. 後者は, 樹林に比較的近い道路上の基準点であり, 樹林に引っ張られて大きな正の誤差が生じたと考えられる. この 2 例を除くと, DEM の誤差は, 全て DEM 作成に使用した画像の画素間隔 (1.6m) 以内であった.

レーザースキャナーデータと比較した DEM の平均 2 乗誤差は, 3.59m であった (表 3). 図 9 を見ると, 大きな誤差が生じた部分は, 主に高層建物とその周辺, 建物が建て替えられた部分, 樹林と畑の境界部分, 街路樹・独立樹, DEM 作成範囲の端の部分であることがわかる. このうち, 建物が建て替えられた部分は, DEM の誤差ではない. DEM 作成範囲の端の部分では, 大誤差を回避するための閾値付きのメディアンフィルターが十分働かず, 誤差が増大したと推測する. それ以外の場所は, 高さが激しく変化する場所である. これらの場所では, 高さの変化にエリアマッチングが追従できないために, 誤差が増大したと考えられる. 図 9 を見ると, これが主要な誤差の原因であることがわかる.

DEM の作成に使用した画像の画素間隔は 1.6m, PRISM の画素間隔は 2.5m であり, 平均 2 乗誤差に画素間隔の比をかけると, PRISM での DEM の精度は, 5.6m となる. 先に述べたように, この値には, 標定誤差がほとんど含まれていない. センサーの位置の目標精度は 1m (3σ), 指向の目標精度は 2×10^{-4} 度 (3σ), 衛星の高度は 691km である (Iwata et al., 2002, 宇宙航空研究開発機構, 2005). 位置と指向の誤差が独立であると仮定して, それらの根 2 乗和をとり, 3σ から 1σ に変換するため 3 で割ると, PRISM の標定精度は, $\sqrt{1^2 + (691 \times 10^3 \times 2 \times 10^{-4} \times (\pi/180))^2} / 3 = 0.87\text{m}$ (1σ) と見積も

ることができ、DEMの精度は、 $\sqrt{5.6^2 + 0.87^2} = 5.7\text{m}$ (1σ) と見積もられる。

ところで、上に指摘した高さの変化にエリアマッチングが追従できないための誤差は、画素間隔を大きくしても、画素間隔の比ほど大きくならないため、その分、上記の見積もりは、過大である。また、DEMの精度は、対象地域の高さのプロファイルに大きく依存する。都市部では、PRISM以外のデータソースが豊富であり、PRISMは、図5に示す小野崎地区より建物が少ない地域で使用されることが多いと想定される。そのような地域では、高さが激しく変化する部分が少なく、DEMの精度は向上する機会が多いと予想される。

基準点における正射画像のX方向及びY方向の誤差(表3, 図7(b)(c))では、絶対値が最大で2.37m、すなわちDEM及び正射画像の作成に使用した画像の画素間隔の1.5倍の誤差が発生した。図7(b)を見ると、少なくともX方向については、これは、例外的な事例ではない。基準点の平面位置の計測は、図4に示すような正射画像上で行った。これらの基準点は、画素間隔0.2mのADS40の原データ上で観測することを前提としてペイントされている。多くの基準点では、図4の左側のように背景が一様でなく、画素間隔1.6mに縮小した画像から作成した正射画像上では、基準点そのものを観測することができなかった。このような場合は、画素間隔0.2mの原データを参照しながら、周囲の地物から基準点の位置を推定した。表3に示す平均2乗誤差(X方向1.04m, Y方向0.79m)には、このような正射画像上での基準点のポインティング誤差が含まれるため、作成した正射画像の精度は、これよりも高いと考えられる。

図10を見ると、地形図と比較して、DEMと鳥瞰図が概ね妥当なことがわかる。図11を見ると、雲とその周辺を除き、モザイクのつなぎ目において、道路等の線状物が矛盾なく接合されていることがわかる。

6 まとめ

PRISMに適用可能なDEMと正射画像作成プログラムを開発した。ここで、地上座標から未補正画像のピクセル番号、ライン番号を求める際、平面内と高さ方向に補間することにより、計算量を削減することができた。このプログラムが正常に動作することを、画素間隔1.6mに縮小したADS40のデータを使用して確認した。

上空視界が比較的開けた道路上の基準点におけるDEMの平均2乗誤差は1.13m、正射画像の平均2乗誤差は1.30mであった。ここで、DEMの精度はDEM作成工程の精度、正射画像の精度はDEMと正射画像の作成工程の精度と基準点のポインティング精度を代表するものである。

高層建物、低層住宅、森林、畑が混在する地域において、作成したDEMをレーザースキャナーのDSMと比較したところ、平均2乗誤差は3.59mであった。これをPRISMに換算すると5.7mと見積もられる。

謝辞

宇宙航空研究開発機構からは、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。国土地理院の長谷川裕之氏には、レーザースキャナーデータの便宜を図ってもらい、原稿に目を通していただいた。ここに記して謝意を表す。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。ソースプログラムを含む本研究の成果は、国土地理院のホームページ(国土地理院, 2005)で公開されている。

参考文献

- 宇宙航空研究開発機構, 2005. 地球観測データ利用ハンドブックーALOS 編ー, ドラフト版.
http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/about/ALOS_HB_DRAFT_JP.pdf, accessed on September 16, 2005.
- 神谷泉, 2005a. 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, no.16, pp.76-86.
- 神谷泉, 2005b. ALOS PRISM の正射画像作成プログラムの開発, 国土地理院時報, no.109, pp.57-63.
- 国土地理院, 2005. ALOS PRISM データの解析に関する研究. <http://gisstar.gsi.go.jp/ALOS/>, accessed on December 28, 2005.
- 長谷川裕之, 神谷泉, 都竹正志, 小美博規, 2005. LIDAR 反射強度と高さデータを用いた道路領域抽出. 日本写真測量学会平成 17 年度年次学術講演会発表論文集, pp.69-70.
- 服部進, 森忠治, 内田修, 藤原重雄, 1986. 空中写真のステレオマッチングのための多段階相関法の改良 (I) —メディアンフィルタリングによる隠蔽部分の処理の試み—, 写真測量とリモートセンシング, vol.25, no.1, pp.4-16.
- 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, vol. XXXIII, part B1, pp.104-109.
- Gyer, M. (1981) Automated stereo photogrammetric terrain elevation extraction. Technical report, Gyer and Saliba Inc.
- Iwata, T., Osawa, Y., and Kawahara, T., 2002. Precision pointing management for the Advanced Land Observing Satellite (ALOS). 23rd International Symposium on Space Technology and Science, ISTS 2002-d-56.
- Schenk, T, 2002. デジタル写真測量, pp.209-236, 日本測量協会, 東京.
- Yotsumata, T., Okagawa, M., Fukuzawa, Y, Tachibana, K., and Sasagawa, T. 2002. Investigation for mapping accuracy of the Airborne digital sensor-ADS40, ISPRS Comission I Mid-Term Symposium in conjunction with Pecora 15/Land Satellite Information IV Conference. <http://www.isprs.org/commission1/proceedings/paper/00055.pdf>, accessed on October 10, 2005.

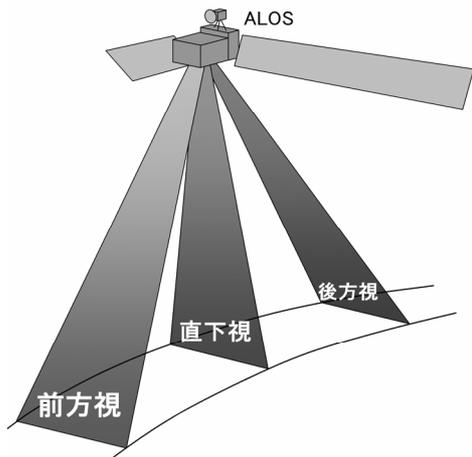


図 1 PRISM による 3 方向からの立体視

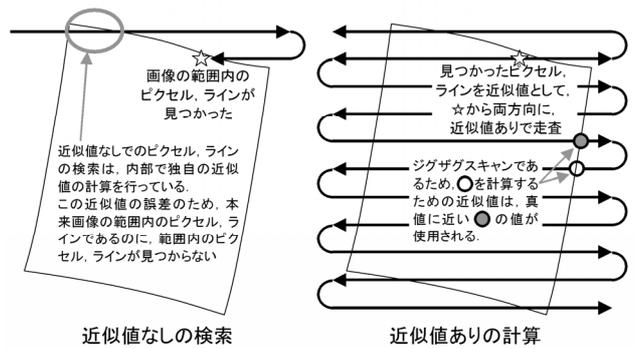


図 3 ピクセル番号、ライン番号の計算(ジグザグスキャン)

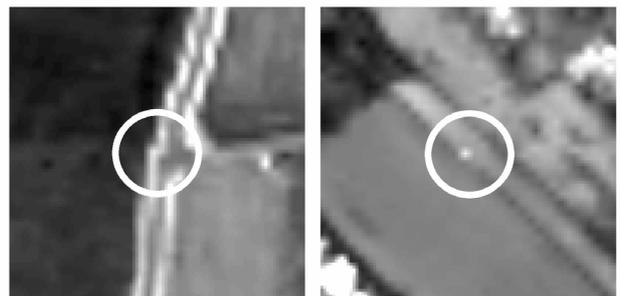


図 4 判別し難い基準点(左)と判別しやすい基準点(右)
(1.6m 間隔の原画像から作成した 0.5m 間隔の正射画像)

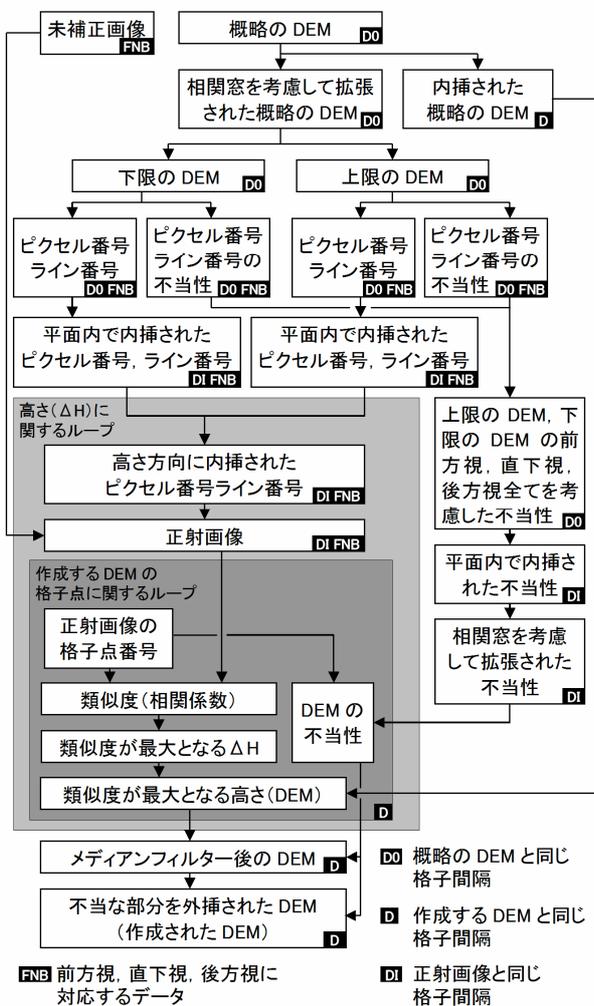


図 2 1 段階の DEM 作成のデータの流れ

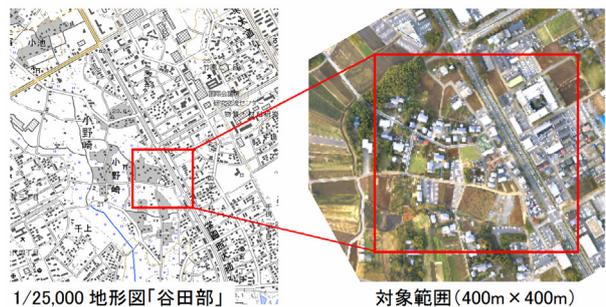
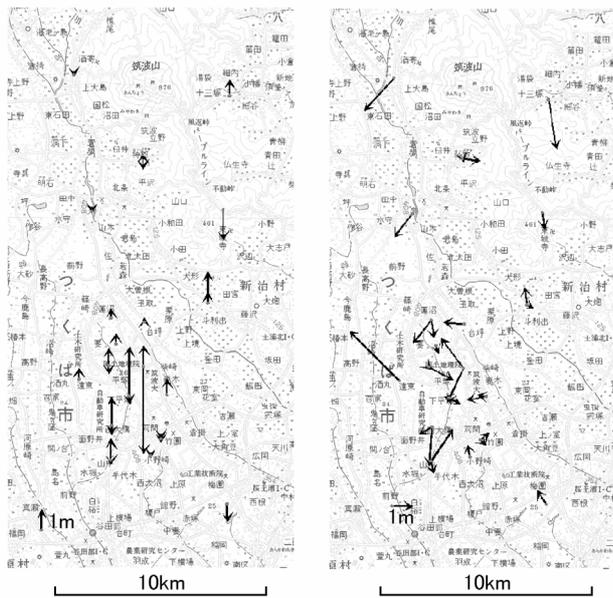


図 5 レーザースキャナーの DSM との比較に使用した
小野崎地区の DEM の作成範囲
背景は、長谷川ほか(2005)のカラー画像



(a) DEM(高さ) (b) 正射画像(平面位置)
 図6 基準点におけるDEMと正射画像の誤差分布
 (同じ点から2つの矢印が出ているのは、
 同じ基準点が2つのコースから観測されているため)

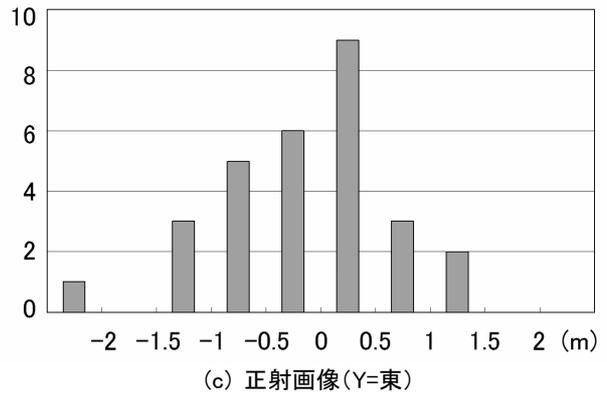
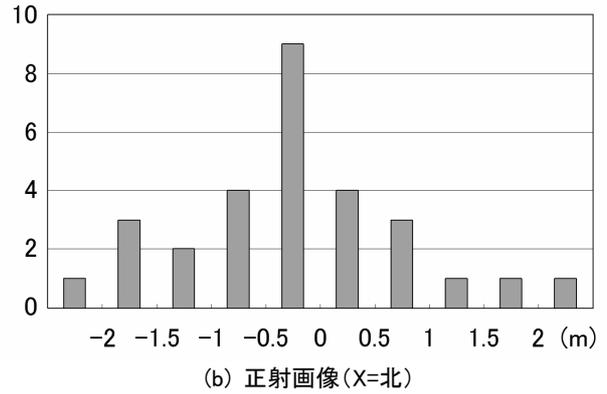
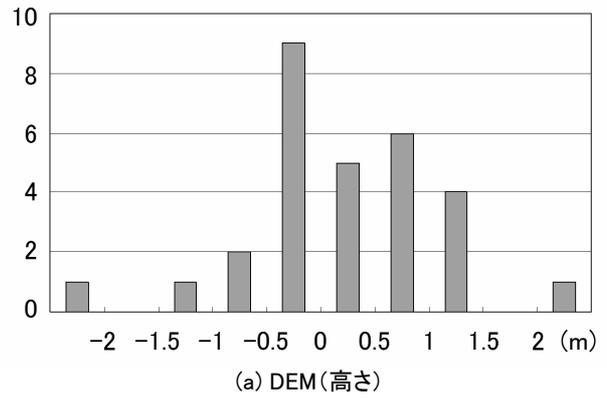


図7 基準点におけるDEMと正射画像の誤差のヒストグラム

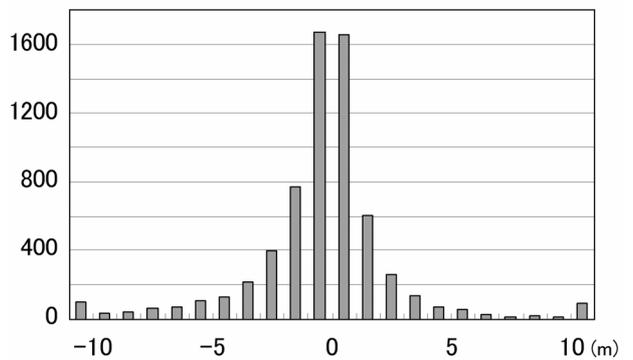


図8 レーザースキャナーのDSMと比較したDEMの誤差のヒストグラム

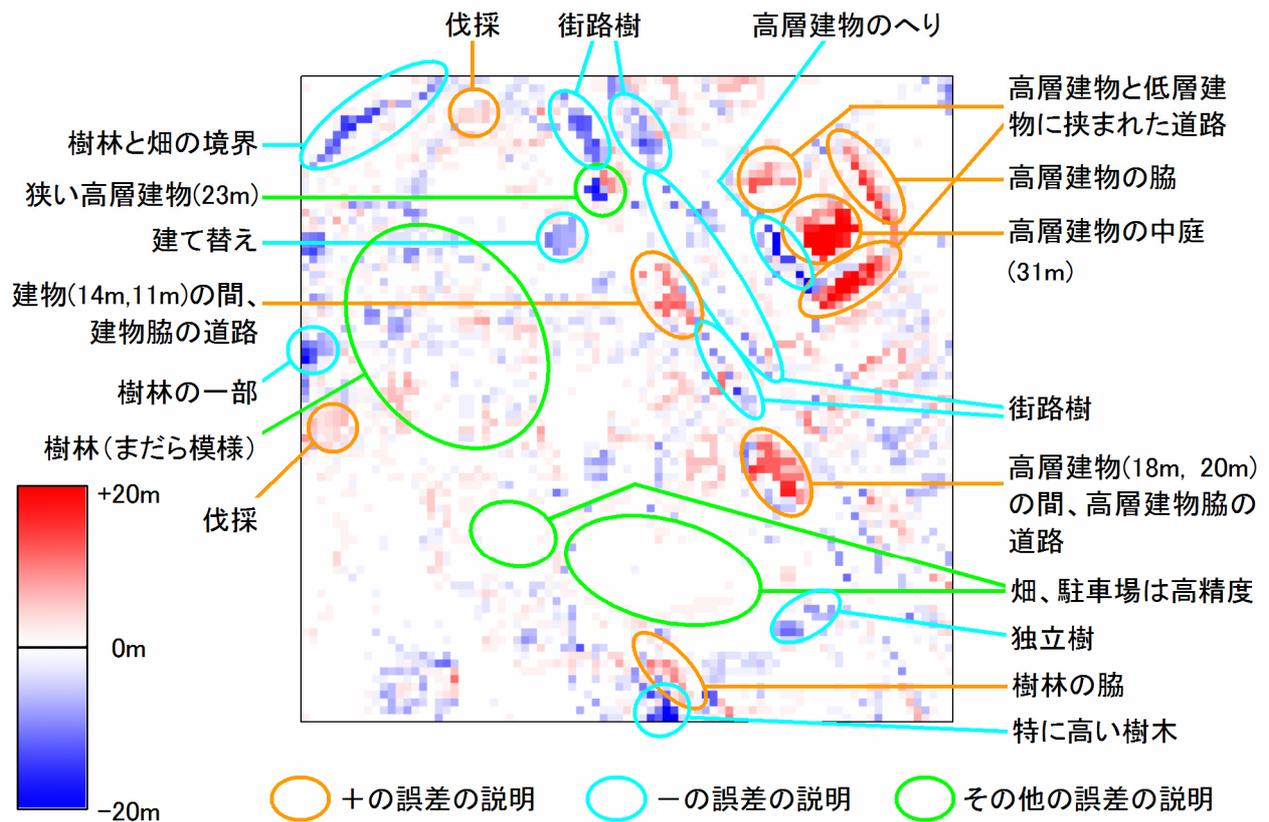


図9 レーザースキャナーのDSMと比較したDEMの誤差の分布と解釈

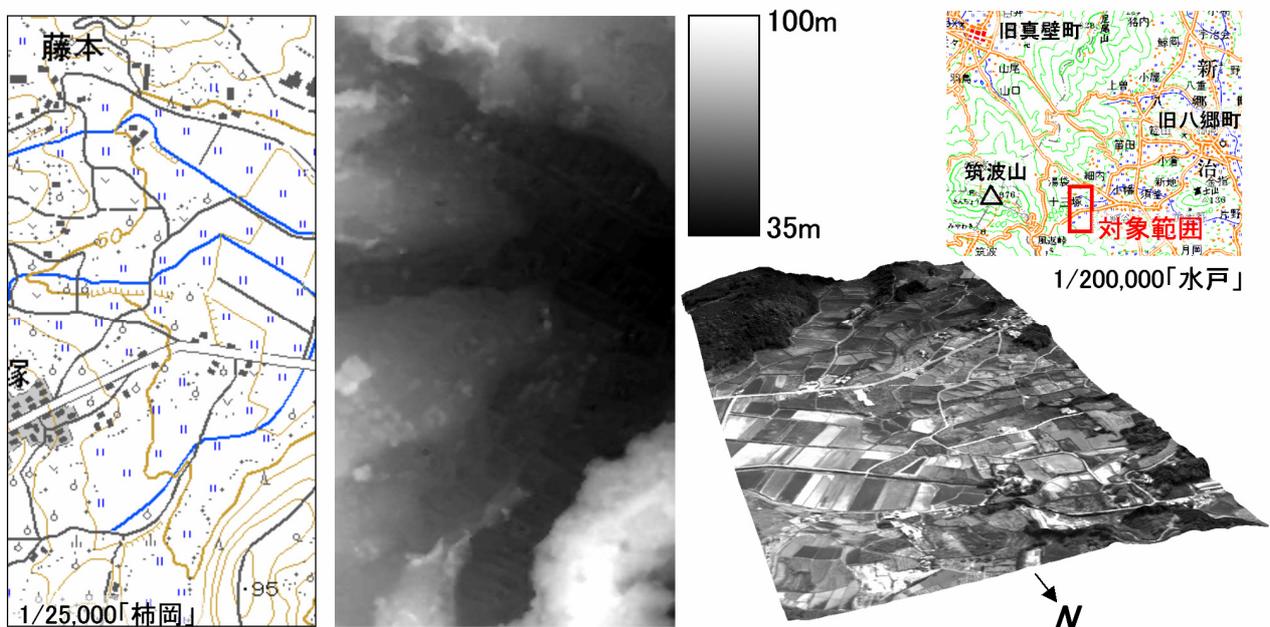


図10 十三塚地区のDEMと鳥瞰図

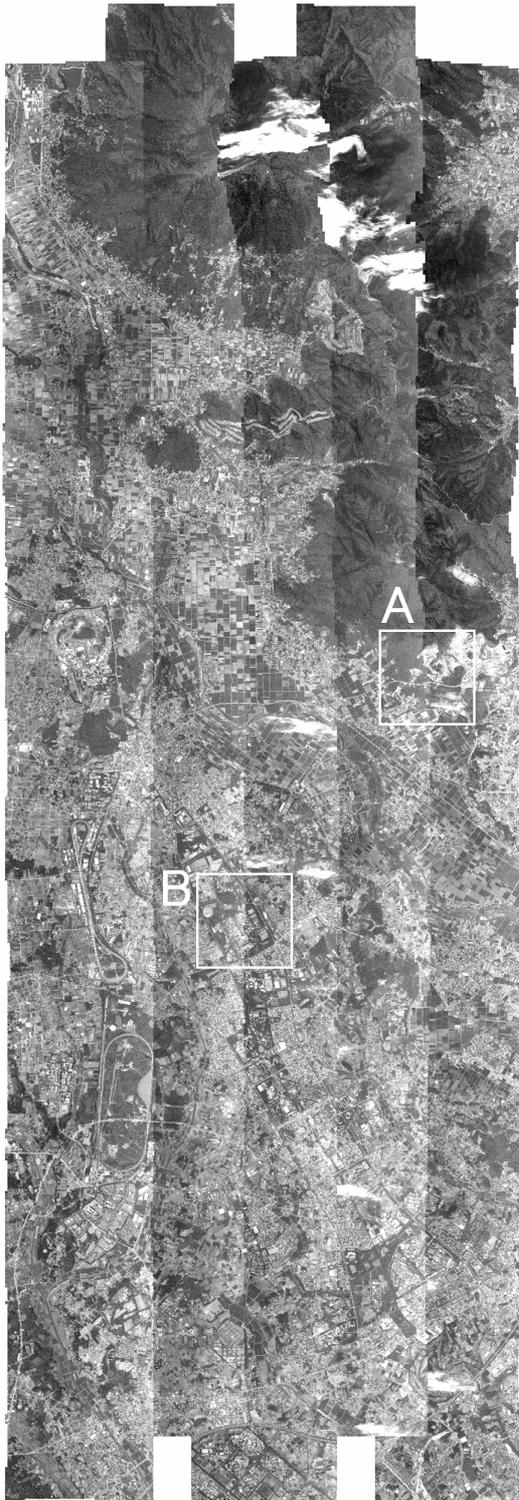


図 11 つくば地区全体のモザイクされた正射画像

表 1 1 段階のマッチングで使用するパラメーター

記号	意味
D_0	概略の DME の格子間隔
D	作成する DME の格子間隔
D_I	マッチングに使用する正射画像の画素間隔
H_0	高さ方向の走査範囲 (概略の DEM から $\pm H_0$ の範囲で走査する)
H_s	走査のステップ数
W_s	相関窓の大きさ (奇数)
L_M	閾値付きのメディアンフィルターの閾値

表 2 DEM および正射画像作成に使用したパラメーター

用途	小地域用	高高度の 小地域用	つくば地 区全体用
第 1 段階	Step C	Step B	Step A
第 2 段階	Step D	Step C	Step B
第 3 段階	Step E	Step D	Step C'
第 4 段階	Step F	Step E	
第 5 段階		Step F	
初期 DEM	高さ 0m	高さ 100m	高さ 100m
作成した DEM	5m 間隔	5m 間隔	40m 間隔
作成した 正射画像	0.5m 間隔	0.5m 間隔	10m 間隔

	D_0 (m)	D (m)	D_I (m)	H_0 (m)	H_s	W_s	L_M (m)
Step A	160	160	32	800	101	7	80
Step B	160	80	16	300	101	7	40
Step C	80	40	8	100	101	7	20
Step C'	80	40	8	80	101	7	20
Step D	40	20	4	40	101	7	10
Step E	20	10	2	20	101	9	5
Step F	10	5	1	10	201	9	2.5

表 3 DEM と正射画像の精度 (m)

評価項目		比較方法	オフ セット	ばらつき (SD)	平均 2 乗 誤差	最小	最大
正射画像	X = 北	道路等にペイントした 基準点を GPS 測量の 結果と比較	-0.23	1.02	1.04	-2.38	2.37
	Y = 東		-0.20	0.76	0.79	-2.37	1.19
	平面位置*		0.30	1.27	1.30		3.36
DEM	高さ	レーザーキャナー の DSM との比較	0.12	1.12	1.13	-4.19	2.36
			-0.38	3.56	3.59	-27.51	27.19

* $\sqrt{X^2 + Y^2}$