

ALOS/PRISM 及び ALOS/AVNIR を用いた高精度 DEM の作成方法

大場章弘*・本迫晋・福島光平・厳網林

Method for Generating High-precision DEM Using ALOS/PRISM and ALOS/AVNIR

Akihiro OBA, Shin MOTOSEKO, Kohei FUKUSHIMA and Wanglin YAN

Abstract

There are many anecdotal reports that makes digital terrain model by stereo-photogrammetry using ALOS/PRISM. But, a common element of some cases generating DSM and DEM is that it has high RMS Error values as a cause of occlusion like the height of buildings and trees, so it is inadequate for the application that needs high precision. In this paper, it generates DEM processed by removing the ground surface elevation using ALOS/AVNIR. It could provide high-precision DEM that was used in making reconstruction design of Shisen-Earthquake that occurred in May, 2008. This knowledge will be possible to apply to estimate slope and habitable area, and assist to make city planning.

Keywords : ALOS/PRISM, ALOS/AVNIR, DSM, DEM

1. はじめに

2006 年から運用開始された陸域観測技術衛星 ALOS は3次元計測で地形モデルの作成が可能であり, DSM やDEM 抽出に関する事例が多数報告されている. 五十嵐(2007)は, 平成18年2月20日から平成19年5月末までに計43回の ALOS を用いた災害観測が行われたと報告した. また, 古田(2007)によると, 特に災害分野での利用実績が高く, 地表面高さではなく地物高さを抽出する特徴を活かして, 災害ポテンシャルの把握に役立つとしている. このような災害時に都市復興計画を作成する際, 日本の都市計画施行規則第9条における区域図の指定では2500分の1以上の地形図が定められており, 高精度な地形情報が必要となる. 高久・田殿(2007)の DSM 抽出の評価結果によると, 20m 以上の高層ビルが

含まれる市街区域や森林などが含まれる領域は RMSE17~18m と精度が悪化する傾向を示し, 高いビルを含まない市街区域では 3~5mRMSE と比較的精度の高いモデルが作成できるとした. また, 神谷(2006)の DEM 抽出における精度検証では, 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の DSM と比較したところ, 平均二乗誤差が 3.59m, PRISM 換算で 5.7m であり, 特に樹林や建物など, 高さが激しく変化する場所での誤差が大きいとしている. この原因について Takaku et al. (2004) は ALOS の事前シミュレーションで, 建物や樹林など, 数多くの明らかなオクルージョンによる要素が大きいとしている.

以上から本研究では, ALOS/PRISM で推定した DSM から, 既存研究で RMSE 値が大きいとされる建物と樹林の地上サーフィス情報を ALOS/AVNIR と PRISM を用いて抽出し, DSM の抽出結果とオーバーレイすることによって取り除き, 内挿法によって推定することで高精度の DEM が抽出可能であるか検証することを目的とする. 本稿で扱った DEM は, 著者の所属する研究グループが

*〒252-8520 藤沢市遠藤 5322
慶應義塾大学政策・メディア研究科 1 年
Email: perry@sfc.keio.ac.jp

2008年5月に起きた四川大地震の復興ランドデザインを提出する際に適用した。

2. 研究方法

本研究の流れを図1に示す。本研究では大きく2つのプロセスから構成される。1つ目はDSMの作成、2つ目は建物・樹木の抽出である。まずALOS/PRISMから空中三角測量でDSMを作成する。次に、ALOS/AVNIRおよびPRISMを使った最尤法による分類で建物と樹木を抽出する。この抽出結果について、50点のランダムに配置したポイントでALOS/PRISMとALOS/AVNIRから再度目視による判読を行い、抽出精度を評価する。作成したDSMと抽出結果をオーバーレイし、重複部分の高さを除去する。残った標高データをポイントデータ化し、Natural Neighbors法で内挿することでDEMを推定する。抽出されたDSMとDEMから等高線をそれぞれ作成し、目視による比較から精度検証を行う。

2.1 対象地域

対象地域は図2に示す中国四川省都江堰市の山

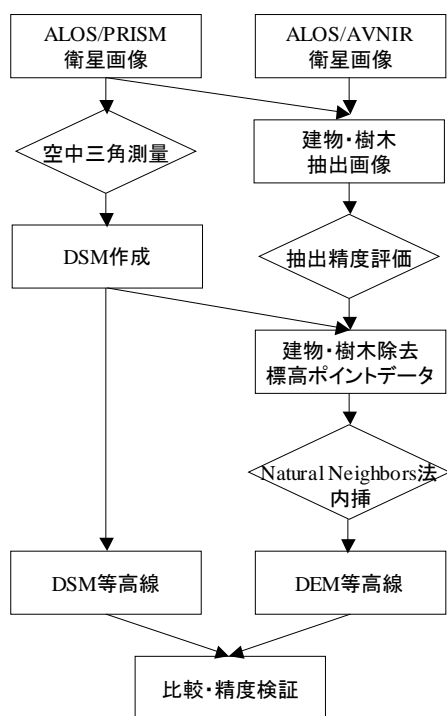


図1 研究フロー

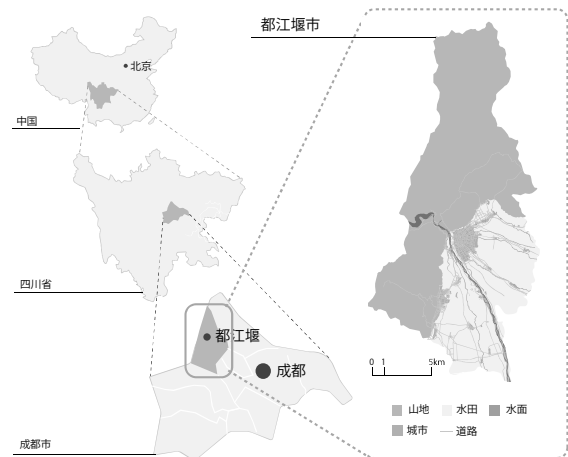


図2 都江堰市

間部を除く地域とする。都江堰市全域では東西35km, 南北69km, 面積1221k m²であり、今回DEM作成をするにあたって、世界遺産都江堰を含む33km四方を対象とする。基本的な地形は扇状地であり、河川上流部に市街地、下流部に農地が広く分布するが、細かい起伏が特徴的に見られる。そのため、地形モデルを作成する際にはこの細かい起伏の抽出が求められる。

2.2 本研究で用いるデータ

本研究では図3に示す2枚の画像を用いた。図左は2008年6月4日撮影のALOS/PRISM3方向視画像それぞれ地上解像度2.5mであり、DSMの作成および建物の判読に用いた。図右は同日撮影のALOS/AVNIR地上解像度10mであり、樹木の判読を行う際に用いた。

2.3 DSMの作成

2.3.1 幾何モデルの定義

幾何モデルの定義として、Generic Pushroomモデルを選定した。座標系及びバーティカルデータタムは、UTM48(GRS1980/JGD2000), WGS84とした。

2.3.2 内部評価と外部評価の設定

内部評価におけるセンサパラメータの設定には、(ESRI ジャパン Leica 技術グループ,2004)を参考に

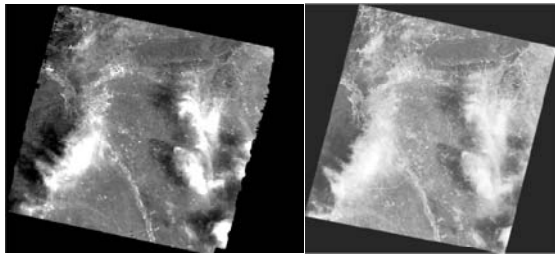


図3 ALOS/PRISM(左)と ALOS/AVNIR(右)

して焦点距離 1939mm, ピクセルサイズは 0.00701mm を設定した. 外部評定に用いる多項式次数は $(X,Y,Z)=(2,2,2)$, $(\omega, \phi, \kappa)=(0,0,0)$, 前方視, 直下視, 後方視の各クロストラック, アンログトラックの入射角は $(0, 23.8)$, $(0,0)$, $(0, -23.8)$ を得た.

2.3.3 GCP の取得

地上基準点(GCP)を 21 点, 検証点(チェックポイント)を 5 点, タイポイントを 25 点取得した. リファレンスデータには基本的には Google Earth を利用し, 目視による検証として 75000 分の 1 地形図を用いた.

2.3.4 空中三角測量

RMSE の値は地上基準点で $(X,Y,Z) = (0.0005, 0.0005, 4.83)$, 検証点で $(X,Y,Z) = (0.0003, 0.001, 28.4)$ であり, 全体の RMSE は 0.40 であった. 地上解像度が 2.5m であるため, 統計計算上では妥当な精度であると判断できる.

2.3.5 TIN による内挿

DSM の内挿は, TIN 内挿法を用いた. しかし, 内挿された TIN はスパイクと呼ばれるノイズがある場合が多く, (ESRI ジャパン Leica 技術グループ, 2004)を参考として Slope Tolerance 値を 0.25 として除去した. これらの流れから, DSM を抽出した.

2.4 建物・樹木の抽出

2.4.1 建物・樹木の抽出

今回, 画像の多数部分に雲が影響しているため, 影響を受けない部分を設定した. また, 中心市街地の建物は瓦屋根の建物が多いが, 農地はそうでな

いことや, 市街地と農地の主な樹種の違いなど, 画素の特性が異なるため, それぞれ切り出して別々に分類を行った.

切り出した各画像において, まず画素の特性が強く出てしまう明らかな街路樹や工場, 高層建築物を目視判読で抽出した. 続いてマルチバンドカラー合成による植生の抽出が可能な ALOS/AVNIR を用いて最尤法による分類を行い, 樹木を抽出した. 建物の抽出は農村部の大部分を中心に樹林よりも細かい大きさで分布するため, AVNIR での抽出が困難である. そこで, 解像度の高い PRISM を用いた.

2.4.2 農村部における道路の抽出

同じ被覆が続く土地において, 画素の特性が異なる被覆が突如現れたものに対して生じるものはオクルージョンと呼ばれ, 既存研究で RMSE が大きい要因はこれにあるとされた. 農村部における農道や高速道路等の道路は, オクルージョンの対象となる. そこで, 農村部の分類に道路を加えた. 大きな幹線道路に関しては目視で, 細かい農道については最尤法の分類で抽出した.

2.4.3 分類精度の評価

上記手法に沿って分類した結果を, 第三者による目視判読で再度分類し, 評価する. 市街地, 農村部でそれぞれ 50 点のランダムに配置したポイントで, ALOS/PRISM, ALOS/AVNIR による判読を行う. その際のルールを図 4 に示す. PRISM と AVNIR 間の矢印は, AND 条件を表し, AVNIR と再分類間の矢印はこの AND 条件により成り立つ分類を指し示す. PRISM で建物かつ樹林を建物と分類したのは, 対

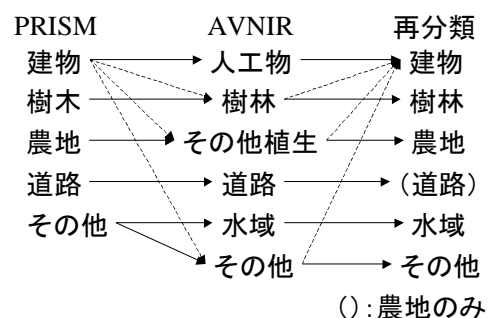


図 4 再分類の判読ルール

象地域の居住形態が屋敷林であることを考慮したことを理由とする。この結果が分類法による抽出結果と一致するか否かで比較し、全ポイント数 50 で割った値を正答率とし、評価する。

2.5 DEM の抽出

建物や樹木を除いた標高データをポイントデータ化し、除去された部分を最近隣の値から予測可能な内挿法によって推定する。今回は Natural Neighbors 法によって内挿した。Natural Neighbors 法は加重平均内挿法であり、サンプルデータ・ポイントが一様でない密度で分布している場合に最も適する手法であるため、本研究において適切であると判断した。

3. 結果・検証

3.1 検証方法

3.1.1 建物・樹木抽出精度の検証

まず、建物・樹木の抽出結果について検証する。2.4.3 に示した方法に乗って点数付けした結果を市街地、農村部でそれぞれ検証する。

3.1.2 DEM 精度の検証

DSM の等高線を作成した場合、等高線の標高間隔と同じ大きさの建物や樹木、あるいは建物群や樹林がその高さの等高線として生じてしまう。これが都市計画における実用性を欠く最大の問題点である。よって DEM を抽出した場合、DSM から作成した等高線からこれらの部分の等高線が除去される。これに該当する等高線数を集計し、精度の検証とする。

3.2 建物・樹木抽出精度の正答率

表1に抽出精度の正答率を示す。市街地は農村部に比べ正答数が低かったが、市街地が 90%、農村部が 94%とどちらも 90%以上の高い精度を示した。

表1 抽出精度の正答率

対象地	検証個数	正答数	正答率(%)
市街地	50	45	90
農地	50	47	94

3.3 DEM の抽出と除去結果

DEM の抽出結果と DSM の比較図、DSM から建物や樹木の高さに関する等高線が除かれた結果を

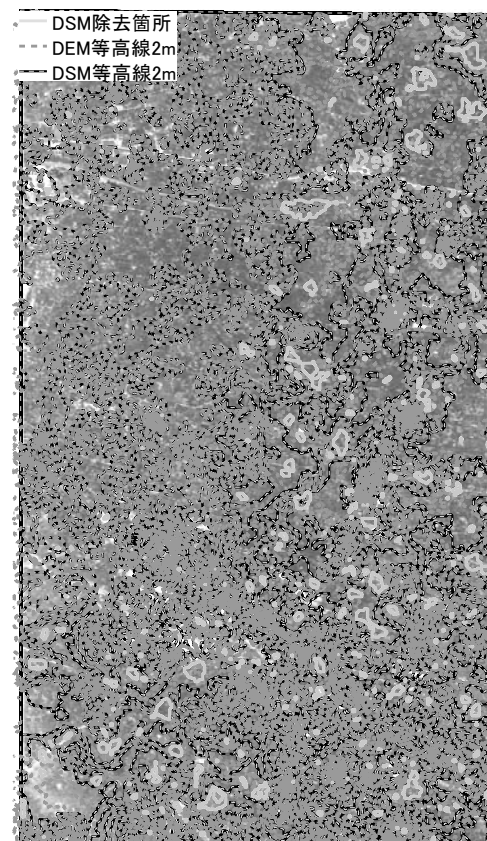
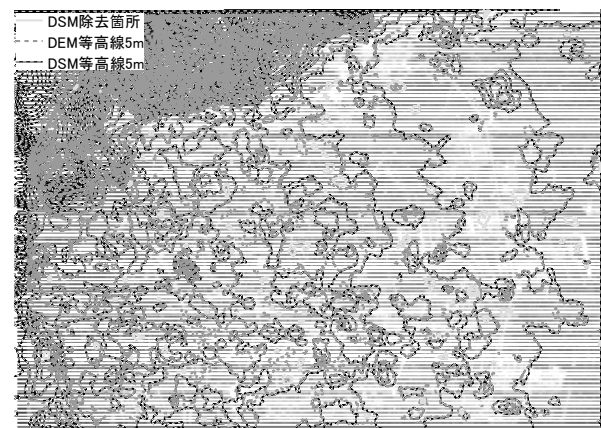


図5 抽出結果と DSM 除去箇所
市街地(上)と農村部(下)

表2 等高線除去数

対象地	等高線の間隔(m)	建物など等高線除去数
市街地	5	99
農村部	2	345

オーバーレイしたものを図5に示す．等高線の間隔については国土地理院発行の1万分の1地形図を参考にし，市街地は扇状地上流部で山地を含む点，農村部は扇状地下流部で比較的平野である点をそれぞれ考慮して，5m，2mとした．また，3.1.2の方法に沿って，建物や樹木によって等高線が除去されたと判断される箇所数を表したものを表2に示す．

4. 考察

4.1 建物・樹木の抽出精度

建物・樹木の抽出結果の正答率は高く，本研究において必要な精度を満たしたと言える．正答しなかった検証箇所については，いずれも建物・樹木の抽出箇所とその他の分類との境界付近であり，建物や樹木とそれ以外の明確な区別が困難な場所である．よって，抽出精度の正答率はこの観点から見ても妥当な数値であると考えられる．

4.2 方法論の妥当性

表2から，建物や樹木によって等高線が除去されたと判断される箇所が市街地で 99 箇所，農村部で 345 箇所見られた．この結果から，本手法によって DEM の抽出が可能であることを示している．等高線の標高間隔はそれぞれの地形に沿っており，この点から見ても実用的であると言える．

4.3 除去箇所の等高線レンダリング

3. で示した結果以外にも，建物の高さのために等高線が建物群や樹林の形状に沿っている箇所に対して，DEMの等高線では形状を無視して滑らかにレンダリングされているところが何箇所かうかがえた．図6にその様子を示す．このような場所は表2のよう

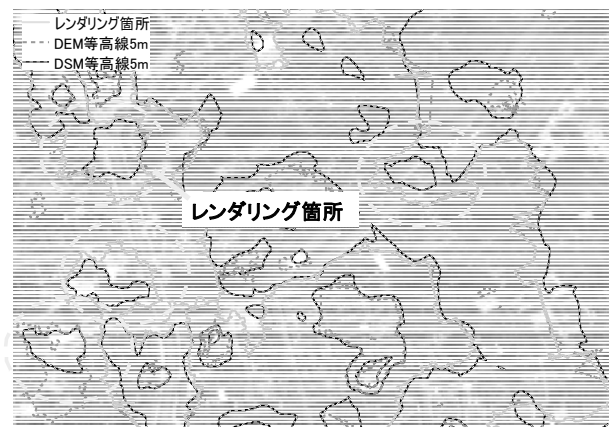


図6 除去箇所の等高線レンダリング

に表現することは難しいため，目視による確認のみとなってしまいますが，本手法による DEM 抽出の可能性を示していると言える．

4.4 本手法の応用可能性

本手法は建物や樹木などの抽出精度，内挿方法によって結果が異なってくる．そのため，本手法を他地域に応用する場合，オクルージョンとなる要素は何かがあるか，画像の特性がどんなものであるかを考慮しなくてはならない．本研究では，建物や樹木に加え，農地では道路がオクルージョンの要素となったが，完全に抽出しきれていない箇所については等高線が地形に沿って出でおらず，不自然な形状となっている箇所がいくつか見られる．地形の微細な変化と言っても，ほんの数メートル離れて10m 以上標高が変化するような場所は扇状地には殆どないと考えられるため，本研究と同様の地形を特徴とする対象地で応用する場合は，過剰評価気味にこれらのオクルージョン要素を抽出することがDEM抽出精度の向上につながると考えられる．

おわりに

本稿では，ALOS/PRISMから抽出したDSMから，既存研究でRMSE値が大きいとされる建物と樹林の地上サーフィス情報をALOS/AVNIRとPRISMを用いて抽出し，DSMの抽出結果とオーバーレイするこ

とによって重なった部分の標高を取り除き、内挿法によって推定することで高精度の DEM が抽出可能であるか検証を行った。その結果、建物や樹木の高さが直接等高線として表れてしまった箇所を検出することによって、本手法から DEM の抽出が可能であることが示された。しかしながら、オクルージョンの要素となる建物等の抽出が困難であった箇所については、等高線として不自然な箇所もいくつか見られた。数メートル離れた箇所で10メートル以上の地形変化が見られるような箇所は本研究の対象地域のような場所では見られないことを考えると、抽出は過剰評価気味の方が DEM の抽出精度が上げられるのではないかと考えられる。今後精度を上げるにあたって、地形の特長に応じたオクルージョン要素の抽出精度を上げる必要がある。

記

本研究は、東京大学・慶應義塾大学・西南交通大学の共同プロジェクト「中国四川省大地震復興グラウンドデザイン」の一環として行われたものである。震災で亡くなられた方の冥福を祈るとともに、被災者の方々の一日も早い復興を祈念する。

謝辞

本稿で用いた衛星画像の幾何補正には、厳網林研究室の浦川亜希子氏、木村詩織氏、横山夏来氏の協力を、結果の判読では稲葉佳之氏のご指導を、文章校正は前田達也氏のご協力を、都江堰市の位置図は仙石裕明氏から提供していただいた。ここに記して感謝の意を表する。

引用文献

五十嵐崇士(2007)ALOS による災害観測の状況に

ついて.「RESTEC」, 59, 21-22.

神谷泉 (2006)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.「衛星写真とリモートセンシング」, 45(1), 33-42.

株式会社パスコ訳(2001)ラスタ・サーフィスをポイントから内挿する.『ArcGIS 3D Analyst ユーザーズガイド』, 株式会社パスコ ESRI 本部, 50-58.

高久淳一・田殿武雄(2007)PRISM による DSM/オルソ画像の作成.「日本リモートセンシング学会誌」, 27(4), 372-385.

古田竜一 (2007)陸域観測技術衛星だいち(ALOS)の特徴的なデータ利用について.「衛星写真とリモートセンシング」, 46(3), 27-29.

丸家誠・大山洋 (2007)PRISM の高精度 DSM・オルソ画像作成.「衛星写真とリモートセンシング」, 46(4), 38-41.

財団法人リモート・センシング技術センター機関誌編集委員会(2007)ALOS による東京都心部の映像.「RESTEC」, 58, 口絵1.

ESRI ジャパン Leica 技術グループ (2006) LPS による ALOS/PRISM データのステレオ標定と DEM 抽出の試行, <http://www.esri.com/support/erdas/document/alos_prism/alos_prism.pdf>.

Takaku, J . Futamura, N . Iijima, T . Tadono, , T . Shimada, M. Shibasaki, R. (2004) High resolution DEM generation from ALOS PRISM data - simulation and evaluation. *Geoscience and Remote Sensing SymposiumSchuyler*, 7, 4548-4551.

Tianen CHEN.R. SHIBASAKI. K. TSUNO. (2004) Triplet-matching for DEM generation with PRISM. ALOS ---- A Case Study using Air-Borne Three Line Scanner Data . *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 150-155