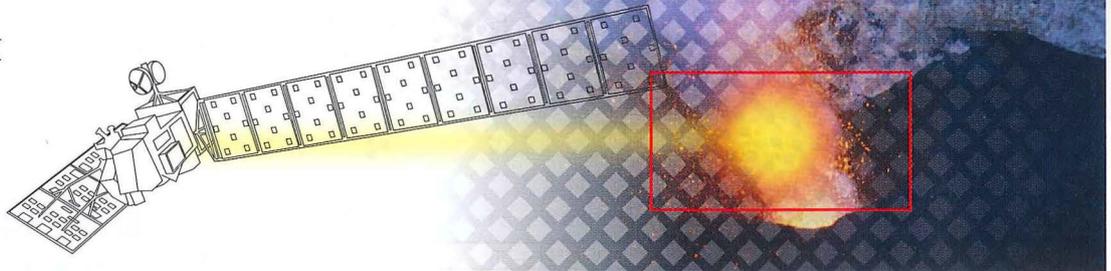


3-3

地球観測衛星「だいち」搭載立体視センサによる災害監視への取組み

Disaster Monitoring by Using Stereo Image Sensor Mounted on Japanese Satellite ALOS

高木方隆



1. 地球観測衛星「だいち」の特徴

地球観測衛星「だいち」は、2006年に運用が開始された。立体視センサ（PRISM）、マルチスペクトルセンサ（AVNIR2）、マイクロ波センサ（PALSAR）の三つのセンサを搭載し、観測を続けていたが、2011年4月に電源システムのトラブルから運用が停止された。PRISMはモノクロ画像であるが、空間分解能は2.5mと高分解能である。更にPRISMは衛星直下を観測するだけでなく、前方視と後方視センサを備え、立体画像を取得することができるため、三次元計測が可能である。AVNIR2は、空間分解能が10mであるが、可視光域のRGBに加えて近赤外域の波長（0.76~0.89 μm ）も観測しているため、土地被覆分類に利用されている。PALSARは、Lバンド（1.27GHz）のマイクロ波センサなので、気象状況の影響を余り受けずに観測することができる。更に、複数回の観測することで、軌道の僅かな違いから位相情報を処理（インタフェロメトリ）することによって地表面の形状を把握することも可能である。

2. ステレオ画像による三次元計測

前述のように、地球観測衛星「だいち」による三次元計測は、PRISMとPALSARそれぞれで可能である。特にPALSARは、災害発生前と発生後の画像をインタフェロメトリ処理することによって、地殻変動に伴う地盤の変化状況を数cmのオーダーで把握することが可能である。したがって、災害監視にも応用可能なセンサと

みなされる。しかし、インタフェロメトリによる地盤の変化状況の把握は、広範囲が僅かに変化するような変化を検出することは可能であるが、非常に狭い範囲が大きく変化するような場合は、検出が困難である。つまり斜面崩壊などの災害の検出には不向きとなる。そこで、斜面崩壊のような災害の検出には、ステレオ画像を用いた三次元計測が期待される。

2.2 幾何モデル

ステレオ画像を用いた三次元計測には、まず地上におけるある点の座標 (x, y, z) が、画像上のどの座標 (u, v) に投影されるかについての関数が必要である。この関数は、幾何モデルと呼ばれ、最近ではRPC（Rational Polynomial Coefficients）モデルと呼ばれるものが一般的に利用されている⁽¹⁾。RPCモデルは、次式のように三次多項式により表現されている。

$$\begin{cases} u = \frac{a_1x^3 + a_2y^3 + a_3z^3 + \dots + a_{20}}{b_1x^3 + b_2y^3 + b_3z^3 + \dots + b_{20}} \\ v = \frac{c_1x^3 + c_2y^3 + c_3z^3 + \dots + c_{20}}{d_1x^3 + d_2y^3 + d_3z^3 + \dots + d_{20}} \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 u, v は画像座標、 x, y, z は地上座標、 a_i, b_i, c_i, d_i は変換係数を表している。変換係数は、人工衛星の軌道情報と姿勢情報、そしてセンサの内部ひずみを考慮したもので、画像を購入すれば変換係数の情報も付属している。ただ、RPCモデルは、若干システムエラーを含んでいるために、精密な計測のためには基準点情報により補正を行う必要がある。衛星画像の幾何モデル構築における基準点とは、地上のある点の座標 (x, y, z) が精密に求められているとき、その点画像上での座標 (u, v) がどこに当たるかが分かる点のことである。この基準点情報を用いてRPCモデルに原点移動に当たるシフト項を与

高木方隆 高知工科大学システム工学群
E-mail takagi.masataka@kochi-tech.ac.jp
Masataka TAKAGI, Nonmember (School of Systems Engineering, Kochi University of Technology, Kami-shi, 782-8502 Japan).
電子情報通信学会誌 Vol.94 No.10 pp.871-873 2011年10月
©電子情報通信学会 2011

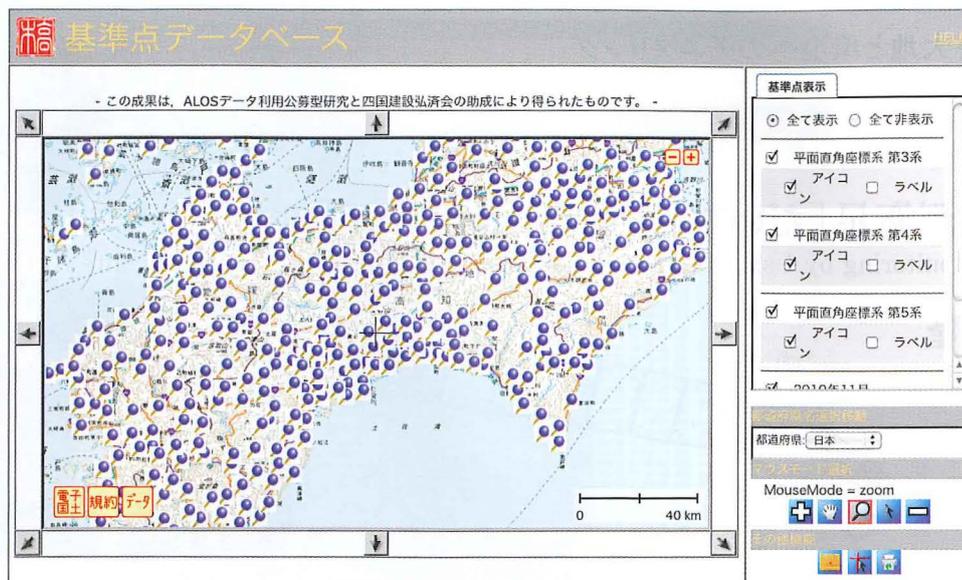


図1 基準点公開ページ

えて補正する方法が一般に用いられている⁽²⁾。

2.2 基準点データベース

地上分解能が、10 m 未満となると、既存地図は基準点として十分な精度を有していないため、高分解能人工衛星画像のためには、基準点を別途精密に計測しておく必要がある。そこで当研究室は、高分解能衛星画像を幾何補正する際に必要な基準点の整備を四国を対象に行ってきた。道路の交差点・橋の中央・堤防の角等を基準点として選定し、三次元座標を計測している。その計測は、GPS VRS (Virtual Reference Station) 測量である。GPS を用いた精密計測は、複数の GPS を用いる干渉測位が有効であるが、それは非常に手間のかかる作業となる。それに対して現在は、国土院が設置している電子基準点を活用し、計測地点付近に仮想的な GPS のデータを生成するサービスが行われている。これにより GPS 単体で数 cm の精度で計測が可能となっており、GPS VRS 測量と呼ばれている。この手法を用いて計測した基準点の三次元座標を測量風景・衛星画像サンプルとともに Web 上で公開している。2010 年 2 月現在、その基準点の数は 556 点に及んでいる。図 1 は、公開している Web ページの例である (<http://www.infra.kochi-tech.ac.jp/takalab/Information/research/GCPDB/GCPDB.html>)。

本基準点データベースは、オルソ画像（正射投影画像、一般の人工衛星画像はリニアレーセンサで取得され、カラム方向が中心投影でライン方向が平行投影となっている。これを地図と重ね合わせるためには正射投影への変換が必要である）や DSM (Digital Surface Model, 地表面の標高データをモデル化したもので、地

盤のみの地形に関する標高データではなく、森林の樹冠形状や家屋の屋根を含んだ土地被覆に対する標高データの集まりである) 等のプロダクトの生成に利用できるが、1 m 未満の高分解能人工衛星画像の場合は、点ではなく道路形状等を基準点と利用の方が精度が向上する⁽³⁾。

2.3 ステレオマッチングと三次元座標計算

一般に、ステレオ画像を用いた三次元計測のためには、左画像のある点が、右画像のどの点に相当するかを抽出する必要がある。これをステレオマッチングと呼び、非常に重要な処理である。PRISM 画像の場合、直下視画像に加えて、前方視と後方視のトリプレット画像である。トリプレット画像の場合は、対応点を三つの画像から得られるため、三次元計測の精度の向上が期待されるが、現実には直下視と後方視の組合せでのステレオマッチングが安定した結果となる場合が多い。北半球の場合、後方視は太陽光が後方にある順光での画像が得られるが、前方視は太陽光が前方にある逆光での画像となり、複雑な形状の物体では、光の反射・散乱の状況が前方視と後方視で大きく異なる状況にある。このことから、ステレオマッチング処理において、日本では直下視と後方視の組合せで行うのが好ましい。

ステレオマッチング処理は、面積相関法や最小二乗マッチング法など様々な手法が提案されている。精度的には、最小二乗マッチングが優れているようであるが、初期値が必要なので、幾つかのマッチング手法と組み合わせるのが一般的である⁽⁴⁾。

ステレオマッチングによって、直下視画像のある点の座標 (u_n, v_n) が、後方視画像の (u_b, v_b) に対応すると判定



図2 作成された標高モデル (DSM) の例

表1 標高のRMSE

シーン	RMSE (m)	備考
四万十市周辺	2.71	平野部
高知市周辺	3.03	平野部
高松市周辺	2.71	平野部
四国カルスト周辺	7.19	山間部
剣山周辺	14.0	山間部

されたとき、1シーンにつき二つの幾何モデルがあるため、合計四つの式が得られるのに対して、未知数は (x, y, z) の三つなので、最小二乗法により解を得ることができる。以上が、ステレオ画像による三次元計測の流れである。非線形方程式の解法は様々であるが、RPCモデルの場合、複雑な式ではないため、モンテカルロ法などでも十分な精度の解を得ることができる。

3. PRISM による三次元計測結果

PRISM 画像を用いて DSM の作成を行った。用いた画像は、Level 1B2 の直下視画像と後方視画像である。今回、バイアス補正済みの RPC モデルを用いて、五つのエリアを対象に DSM 作成を行った。図2に作成された DSM の例を示す。高知市周辺のデータより作成された DSM から、物部川流域を切り出して作成した鳥瞰図である。

作成した DSM の精度検証を基準点データベースを用いて行った。基準点の x, y 座標における DSM での z 値を比較し、基準点の z 座標を最確値として平均二乗誤差 (RMSE) を計算した。その結果を表1に示す。

DSM 作成において山間部では、誤差の多い結果と

なった。

4. 災害監視に向けた課題

基準点データベースを構築し、四国全域を対象とした ALOS PRISM 画像から、DSM 作成を行った。その結果、平野部の多い画像においては、3 m 程度の精度を達成し、満足のいく成果であったが、山間部の画像においては、10 m を超える誤差となった。RPC モデルをバイアス補正するだけでは十分な精度が得られなかったため、20 m 未満の地盤の変動を捉えるためには、モデルの改良が必要である。

例えば、DLT (Direct Linear Transfer) モデルと呼ばれている幾何モデルは、写真測量の原理に基づいた幾何モデルのため、精度向上が期待できる。7点以上の基準点が必要であるが、構築された基準点は、1シーン当たり20点程度確保されているので十分実用可能と考えられる。今後、DLT モデルを用いて DSM 作成を行い、10 m 規模の地盤変動を捉えるためのベースマップ作成を行っているところである⁽⁵⁾。

最後に、本研究は、独立行政法人宇宙航空研究開発機構における「ALOS データ利用公募型研究」の支援を受けて行っている成果の一部をまとめたものである。

文 献

- (1) C.V. Tao and Y. Hu, "A comprehensive study of the rational function model for photogrammetric processing," *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, vol. 66, no. 12, pp. 1477-1485, 2001.
- (2) C.S. Fraser and H. Hanley, "Bias-compensated RPC's for sensor orientation of high resolution satellite imagery," *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, vol. 71, no. 8, pp. 909-915, 2005.
- (3) 高木方隆, 國友達也, 小島光博, 石田圭佑, "高分解能衛星画像のためのベクトル図形基準点の精度検証," *写真測量とリモートセンシング*, vol. 49, no. 6, pp. 381-386, 2010.
- (4) A. Gruen and D. Akca, "Geospatial goes global: From your neighborhood to the whole planet," *Least Squares 3D Surface Matching*, ASPRS 2005 Annual Conference, Baltimore, Maryland, March, 2005.
- (5) K. Ishida, M. Kojima, and M. Takagi, "Change detection of surface elevation by ALOS/PRISM for disaster monitoring," *ISPRS Technical Commission VIII Symposium*, no. TS19-1, Kyoto, Japan, 2010.

(平成23年4月11日受付 平成23年5月9日最終受付)



高木 方隆

昭60愛媛大・農・農工卒。平2同大学院博士課程了。平5東大・生産技術研究所・助手。以来、衛星リモートセンシングの研究に従事。現在、高知工科大・システム工学群・教授。農博。日本写真測量学会理事。