

山間部における高分解能 TerraSAR-X の地形補正済み画像を用いた DEM の精度評価 DEM accuracy evaluation in mountain area by utilizing topographic corrected products of high-resolution TerraSAR-X data

野中 崇志^{1*}; 岡島 裕樹¹; 塚原 弘一¹
NONAKA, Takashi^{1*}; OKAJIMA, Yuki¹; TSUKAHARA, Koichi¹

¹ 株式会社パスコ
¹ PASCO CORPORATION

近年、商用目的の高解像度合成開口レーダ (Synthetic Aperture Radar, SAR) の開発、及びそれに伴い災害時の被災箇所、水稲作付け地、森林等の地図作成をはじめとする様々な分野での利用検討が行われている。衛星データによる地図作成に関して、画像からの地物の判読特性や画像の位置精度が重要となるため、高解像度 SAR データでもこれらに関する基礎的研究が行われている。

TerraSAR-X 衛星群は商用目的の SAR 衛星の 1 つであり、2007 年の 6 月の打ち上げ以降、全世界のデータを順調に取得している。更に 2010 年には併用機の TanDEM-X が打ち上げられ、現在は 2 機で均一で高精度の全世界の陸域の数値標高モデル (Digital Surface Model, DEM) 用のデータを取得している。TerraSAR-X はいくつかの処理レベルがある。他の光学データや GIS と重ね合わせることができることから Enhanced Ellipsoid Corrected (EEC) は地図投影済み、かつ DEM による地形補正済みの強度データである。一方で、Single Look Slant Range Complex (SSC) はアジマス-スラントレンジ方向に 2 軸を有する地図投影前の複素データであり、インターフェロメトリ、偏波解析等で使用されている。

TerraSAR-X 衛星の幾何精度に関する既往研究では、SSC プロダクトの精度は 1m 以下であることが示されているが、ユーザによく使用されている EEC プロダクトは、実データによる詳細の精度評価結果の報告がなされていない。そこで、著者らはこれまで平坦地において、衛星と同期した反射板を使用した実験により、TerraSAR-X の EEC プロダクトの幾何精度の評価を行ってきた。その結果、SRTM の DEM を使用したとき数 m の精度を満たしていることを示した。またレンジ方向の幾何精度と DEM の精度、及び入射角のモデルを構築し、平坦地でモデルの精度を評価したところ、モデルの精度は 1m 程度であることを明らかにした。

本研究では、本モデルを山間部の TerraSAR-X データに適用し、オルソ化に使用した DEM の精度を評価することを目的とする。使用した 2 つの TerraSAR-X データは、異なる入射角を持ち、撮影モードは高分解能 SpotLight モード (分解能は約 2 m) である。一方、使用する DEM はメッシュサイズが 30m の ASTER、及び 90m の SRTM より生成されたものである。また検証用の参照データとして、一定の精度 (地図情報レベル 2500) を満たす航空写真を使用した。

まず検証点として TerraSAR-X 画像と航空写真画像の両方から確認できる道路の交差点と道路の湾曲部を中心に合計 25 点選択した。そして 25 地点における TerraSAR-X と航空写真の位置較差の平均値、標準偏差、及び RMS (Root Mean Square) 誤差を X 方向、Y 方向、及び X-Y 平面において示した。次に山間部のデータにモデルの適用を検討した。オルソ補正を行うレンジ方向が X 方向とほぼ合致するため、X 方向の較差の標準偏差の要因をオルソ補正における誤差と考えて、DEM の誤差を推定した。最後に平坦地と山間部の結果を基に本研究を総括する。

キーワード: 幾何精度, TerraSAR-X, 地形補正, ASTER, SRTM

Keywords: Geometric accuracy, TerraSAR-X, topographic correction, ASTER, SRTM

台風26号による伊豆大島土砂災害の観測 Pi-SAR-L2 observation of the landslide caused by Typhoon Wipha on Izu Oshima island

渡辺 学^{1*}; 段 理紗子²; 本岡 毅¹; 大木 真人¹; 島田 政信¹
WATANABE, Manabu^{1*}; DAN, Risako²; MOTOHKA, Takeshi¹; OHKI, Masato¹; SHIMADA, Masanobu¹

¹ 宇宙航空研究開発機構, ² リモートセンシング技術センター
¹Japan Aerospace Exploration Agency, ²RESTEC

On October 16, 2013, Typhoon Wipha struck Izu Oshima island, and a large-scale landslide was induced by the heavy rain. Six days after the disaster, Pi-SAR-L2 observation was carried out in four different observation directions (L203201?L203204). One Pi-SAR-L observation (L03801) was carried out before the disaster on August 30, 2000 in same observation direction of L203201. The observation data were used to determine which parameters and directions are preferable to detect landslide areas. Several full polarimetric parameters, including Sigma₀, polarimetric coherence, four-component parameters, and eigenvalue decomposition parameters were obtained using PolSARPro and a self-produced programs. As pointed out by Shimada et al. [1], the change of the land cover from a forest before the disaster to bare soil after the disaster was well detected by the coherence between HH and VV. In addition to this parameter, the eigenvalues and four-component decomposition parameters have the potential to detect landslide areas. The data from observations of the bottom to the top of the landslide detect the landslide well, whereas the observation of the opposite side are not as useful.

Soil from the landslide intruded into the town areas, but none of the full polarimetric parameters show any significant difference between the landslide-affected town areas and the unaffected areas.

[1] Masanobu Shimada, Manabu Watanabe, Noriyuki Kawano, Masato Ohki, Takeshi Motooka, and Yutaka Wada, Detecting Mountainous Landslides by SAR polarimetry: A Comparative Study Using Pi-SAR-L2 and X band SARs, Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Aerospace Technology Japan, 2014, 12, No.ists29, pp. Pn9-Pn15.

Keywords: Full polarimetry, SAR, disaster

JERS-1 および ALOS/PALSAR による海岸汀線の時系列評価 Shoreline change analysis using JERS-1/SAR and ALOS/PALSAR amplitude images

朝香 智仁^{1*}; 岩下 圭之¹; 工藤 勝輝¹; 青山 定敬¹; 杉村 俊郎²
ASAKA, Tomohito^{1*}; IWASHITA, Keishi¹; KUDOU, Katsuteru¹; AOYAMA, Sadayoshi¹; SUGIMURA, Toshiro²

¹ 日本大学, ² リモートセンシング技術センター
¹Nihon University, ²Remote Sensing Technology Center of Japan

Aerial photo analysis and bathymetric survey are commonly conducted to investigate the actual conditions and temporal variation in beach transformation. In recent years, satellite-based optical imagery has been more widely used to evaluate coastal erosion. However, defining shoreline edges using optical imagery is difficult because the sand under seawater near the shoreline can often be seen through clear water. On the other hand, synthetic aperture radar (SAR) imagery can be used to interpret the boundary between a sandy beach and seawater; this is possible because the incident radio waves are not transmitted through water, and SAR images can be compared to trace the shoreline. In this work, we examine the potential of shoreline change analysis by using Japanese Earth Resources Satellite 1 (JERS-1)/SAR and Advanced Land Observing Satellite/Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar (ALOS/PALSAR) amplitude images. We consider Kuji-kurihama beach in Chiba Prefecture as our test site; along this beach, the shoreline is almost perpendicular to the SAR antenna beam orientation for the descending orbit.

We propose a three-step automated shoreline-tracing method to assess the temporal variation of the shoreline in the study area; the HH-polarized JERS-1/SAR amplitude image captured on February 22, 1993, and the HH-polarized ALOS/PALSAR amplitude image captured on May 20, 2010 were used for this purpose. In our method, a shoreline is traced as vector data. In the first step, edge pixels in SAR images are identified by using the Laplacian of a Gaussian filter. In the second step, unwanted edge pixels are masked on the basis of a discriminant analysis in which candidate shoreline edge pixels are estimated by using statistical information within a moving window. The criteria for identifying shoreline edge pixels is decided on the basis of previously gathered data, the backscattering average, and the standard deviation, in the training area (30 by 10 pixels) encompassing the sea, shoreline, and land. In the third step, shoreline vector data are generated from continuous candidate shoreline edge pixels by an automated shoreline-tracing algorithm.

The results were verified in two ways. We first verified the location of the shoreline edge in the SAR amplitude images by overlaying multispectral images acquired on dates close to the acquisition dates of the earlier mentioned JERS-1/SAR data and ALOS/PALSAR data: the JERS-1/Optical Sensor (OPS) color composite image acquired on May 3, 1993, and the ALOS/Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2 (AVNIR-2) color composite image acquired on January 8, 2011, were used for this analysis. Next, we calculated the statistical information of the backscattering data in the JERS-1/SAR and the ALOS/PALSAR amplitude images for our selected training area. It is noteworthy that the backscattering average and standard deviation in the shoreline training area is a unique than anything training area.

Our proposed method reproduces the temporal variation of the shoreline by using JERS-1/SAR and ALOS/PALSAR amplitude images. However, a part of the shoreline extracted using the JERS-1/SAR amplitude image was inaccurate. The speckle noise in the JERS-1/SAR amplitude image and the low spatial resolution of the raw data may have caused these errors. In our future work, we intend to improve the algorithm for JERS-1/SAR data and accumulate backscattering information of shoreline edge areas using SAR amplitude images.

キーワード: 後方散乱係数, 海岸浸食
Keywords: backscattering, beach erosion

航空機搭載合成開口レーダー PiSAR2 による立山の氷河観測-序報- Glacier observations by airborne synthetic aperture radar, PiSAR2, at Tateyama, Japan

古屋 正人^{1*}; 福井 幸太郎²; 杉山 慎³; 澤柿 教伸⁴
FURUYA, Masato^{1*}; FUKUI, Kotaro²; SUGIYAMA, Shin³; SAWAGAKI, Takanobu⁴

¹ 北海道大学大学院理学研究院, ² 立山カルデラ砂防博物館, ³ 北海道大学低温科学研究所, ⁴ 北海道大学環境科学研究院
¹Hokkaido University, Graduate School of Science, ²Tateyama Caldera Sabo Museum, ³Institute of Low Temperature Science, ⁴Hokkaido University, Graduate School of Environmental Science

Fukui and Iida (2012) reported that three snowy gorges at Tateyama, Japan, were flowing at a rate of 10-30 cm/month and hence could be identified as glaciers. Fukui and Iida's observations are based on ground-based GPS observations. Because glacier flow velocity data sets are one of the fundamental physical quantities to better understand the dynamics, conventional geodetic techniques have been applied, and the measurement accuracy has significantly improved. However, due to the severe environment and logistic problems, SAR-based velocity mapping has been performed with successful results at large glaciers and ice sheets over the past decades. The velocity mapping technique is so called pixel-offset (or feature) tracking. Thus, applying the same technique to the fore-mentioned newly discovered glaciers, we should also be able to detect the spatial distribution of glacier velocities. However, the presently available satellite-based SAR data set does not have enough spatial resolutions to resolve the velocities. In this regard, the 30-cm resolution of Pi-SAR2 seems promising to perform the pixel-offset tracking. Here we report the first observation images of the Japanese glaciers acquired by Pi-SAR2, and will discuss the preliminary report of velocity mapping.

キーワード: 合成開口レーダー, 氷河, 立山
Keywords: SAR, glacier, Tateyama

多周波数 SAR による氷床-棚氷域モニタリング Monitoring of Ice sheet marginal zone using multi-frequency SAR data

山之口 勤^{1*}; 土井 浩一郎²; 中村 和樹³; 青木 茂⁴

YAMANOKUCHI, Tsutomu^{1*}; DOI, Koichiro²; NAKAMURA, Kazuki³; AOKI, Shigeru⁴

¹ (一財) リモート/センシング技術センター, ² 国立極地研究所, ³ 日本大学, ⁴ 北海道大学 低温科学研究所

¹Remote Sensing Technology Center of Japan, ²National Institute of Polar Research, ³Nihon University, ⁴Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University

Environment of Antarctic continent and ice sheet marginal zone is quite important for understanding the mass balance of ice, formation of deep ocean water and other cryospheric phenomena. Previous study showed the usefulness of SAR data to understand what is happen on the boundary area between ice sheet and ice shelf by SAR data analysis, and achieved the mapping of ice sheet surface velocity mapping. In recent, many kinds of satellite equipped SAR sensor plan to launch and these data are available through the scientific Research Announcement (RA) or Announcement of Opportunity (AO).

Based on these facts, this study focuses on the use of multi-frequency SAR data for ice sheet marginal zone monitoring. Especially, we focus on the use of InSAR analysis for grounding line extraction, ice flow velocity mapping by offset tracking, and understanding the image feature difference through the interpretation of X-, C- and L- band SAR data. We use X-band data by TerraSAR-X, C-band data by ENVISAT and ERS-1/2, and L-band data by ALOS/PALSAR data. Then, we will try to describe the applicability and prospectives of ALOS-2 / PALSAR-2 data

TerraSAR-X data were provided by DLRs' AO project (Proposal No. HYD1808), ERS-1/2 and ENVISAT data were provided by ESA Cat-1 AO project, (project C1P.7657) and ALOS/PALSAR data were provided by Research Announcement by JAXA PI project (PI No. P1418002).

キーワード: 氷床, 多周波数, SAR

Keywords: Ice sheet, multi-frequency, SAR

ポラリメトリ SAR データによる地表粗度・比透磁率・比誘電率の算定法とその応用 Evaluation of surface roughness, magnetic permeability and dielectric permittivity using polarimetric SAR data

小池 克明^{1*}; 増田 貴之¹; サエプロ アセプ²; 浦井 稔³; 大村 誠⁴; 土井 浩一郎⁵

KOIKE, Katsuki^{1*}; MASUDA, Takayuki¹; SAEPULOH, Asep²; URAI, Minoru³; OMURA, Makoto⁴; DOI, Koichiro⁵

¹ 京都大学大学院工学研究科, ² バンドン工科大学, ³(独) 産業技術総合研究所地質調査総合センター, ⁴ 高知県立大学文化学部, ⁵ 国立極地研究所

¹Graduate School of Eng., Kyoto Univ., ²Bandung Institute of Technology, ³Geological Survey of Japan, AIST, ⁴Dept. Cultural Studies, Univ. Kochi, ⁵National Institute of Polar Research

合成開口レーダ (SAR) リモートセンシングは全天候型であり、マイクロ波の干渉処理で地殻変動が抽出できるという利点がある。最近では、地表物質の後方散乱強度が偏波ごとに異なるという原理に基づくポラリメトリ SAR も広く応用されている。しかし、ポラリメトリ SAR の用途は画像分類などに限られており、地表物性を評価するまでには至っていない。そこで、本研究では地質の同定や土壌含水率推定の観点から、Saepuloh *et al.* による手法 mdPSAR (magnetic permeability and dielectric permittivity from Polarimetric Synthetic Aperture Radar) を用い、HH・VV・HV の 3 偏波 SAR データから地表粗度、比透磁率、比誘電率を導き出すことを試みた。

mdPSAR では、最初に地表粗度を HV モードの後方散乱係数と地形のフラクタル性を仮定した実験式 (Campbell and Shepard, 1996) から求める。次に、Small Perturbation Model (Fung and Chen, 2010) という後方散乱係数モデルを用い、これと HH と VV の 2 偏波データとが一致するように、非線形最適化法の一つである Nelder-Mead Simplex 法によって比透磁率と比誘電率を算定する。

2008 年 10 月 25 日と 2009 年 4 月 27 日に取得された ALOS PALSAR データを用い、鳥取砂丘周辺に mdPSAR を適用した。その結果、計算モデルと実データとの差は HH, VV モードともに平均で 1% 程度と小さく、シーンにわたる誤差の分布は比較的平坦であった。2 シーンの砂丘部の比誘電率は 13.4, 10.6 と得られ、これらは湿潤砂の値に調和的であるととも、降雨後のシーンの方が高い値であった。また、砂丘部の比透磁率は周囲に比べて高く、これは磁鉄鉱を含む花崗岩の風化に砂が由来することを考えれば妥当といえる。このように mdPSAR の有効性が確かめられた。ただし、住宅地のような人工構造物の領域での誤差は 10% を超えるところもあり、このような HH モードの強い地表物に対する地表粗度の推定式の改良が必要である。

mdPSAR を南極昭和基地付近の PALSAR データにも適用しており、露岩域と雪氷域の分布、氷の融解状態、クレバス地形の発達などを地表粗度と比誘電率の時間-空間変化によって明らかにすることを目指している。

文 献

Campbell, B.A., Shepard, M.K. (1996) Lava flow surface roughness and depolarized radar scattering, *J. Geophys. Res.*, v. 101 (E8), 18941-18951.

Fung, A.K., Chen, K.S. (2010) *Microwave Scattering and Emission Models for Users*, Artech House, Norwood, MA.

Saepuloh, A., Urai, M., Koike, K., Sumantyo, J.T.S.: An advanced technique to identify surface materials on an active volcano by deriving magnetic permeability and dielectric permittivity from polarimetric SAR data, *IEEE Geosci. & Remote Sens. Lett.* (under review)

キーワード: ALOS PALSAR, 偏波モード, 後方散乱係数, 非線形最適化, 鳥取砂丘

Keywords: ALOS PALSAR, polarization mode, backscattering coefficient, nonlinear optimization, Tottori sand dunes

ALOS/PALSARによる新全球森林・非森林マップ(2007-2010) New Global Forest/Non-Forest Maps from ALOS PALSAR data (2007-2010)

島田 政信^{1*}; 伊藤 拓弥²; 渡辺 学¹; 本岡 毅¹; ラジェシュ タパ¹
SHIMADA, Masanobu^{1*}; ITOH, Takuya²; WATANABE, Manabu¹; MOTOOKA, Takeshi¹; RAJESH, Thapa¹

¹ 宇宙航空研究開発機構, ² リモートセンシング技術センター

¹Japan Aerospace Exploration Agency, ²Remote Sensing Technology center of japan

宇宙航空研究開発機構(Japan Aerospace Exploration Agency, JAXA)は、陸域観測衛星(Advanced Land Observing Satellite, ALOS)が2007年から2010年にかけて取得した全球PALSARデータを高精度処理して25m分解能の全球PALSARモザイク画像を作成した(1,2,3)。また、それらを用いて全球の森林・非森林マップを試験的に作成した(4)が、今回、PALSARモザイク画像を地域毎・年代毎に詳細に評価し、光学衛星(Google Earth画像)や現地データを参考とした分類を行い、新森林・非森林マップ(検証済み版)を作成した(5)。図1が2010年の森林・非森林マップである。森林・非森林マップは、森林土地利用の時間的な変化を把握し、陸域起源の地球温暖化の要因の特定や、Reducing the Emission from Deforestation and forest Degradation plus (REDD+)活動を推進する上で、非常に重要な基礎情報である。このマップは、3種類の検証データと比較した結果、約90%の精度を持つことが確認されている。

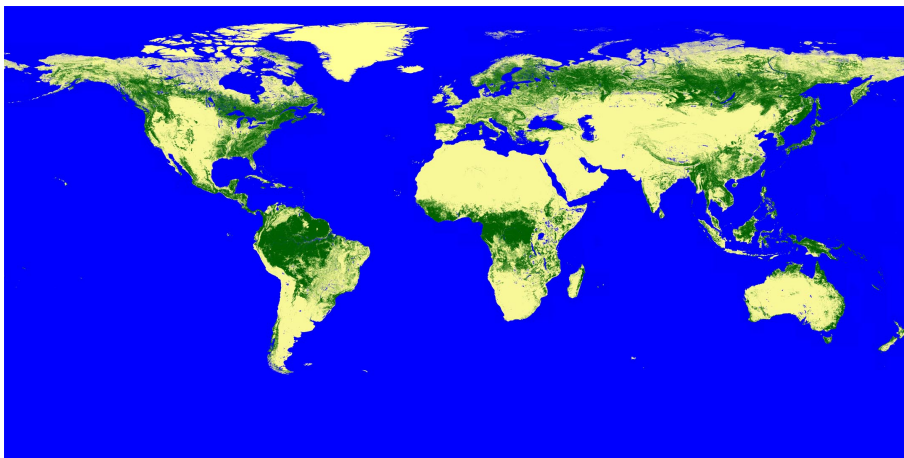
JAXAではL-band SARデータが森林解析に使用されることを期待し、50m分解能のデータ(PALSARモザイクデータ及び森林・非森林データ)公開することとした。上記精度は、無作為抽出での評価であり、森林の定義が国によって異なることを考慮すると更に改善の余地があり、今後時間をかけて精度向上を目指している。

参考文献:

- 1) K&Cモザイクホーム: http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/kc_mosaic/jkc_mosaic.htm
- 2) PALSAR10mモザイク: http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/guide/jpal_10m_mosaic_dl.htm
- 3) M. Shimada and T. Otaki, "Generating Continent-scale High-quality SAR Mosaic Datasets: Application to PALSAR Data for Global Monitoring," IEEE JSTARS Special Issue on Kyoto and Carbon Initiative, vol. 3, Issue 4, 2010, pp.637-656.
- 4) 全球森林・非森林分類: http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/guide/jforestmap_oct2010.htm
- 5) M. Shimada, T. Itoh, M. Watanabe, T. Motooka, T. Shiraishi, T. Rajesh, and R. Lucas, 2013, New Global Forest/Non-Forest Maps from ALOS PALSAR data (2007-2010), Remote Sensing Environment, in review.

キーワード: 合成開口レーダー, 森林非森林, モザイク

Keywords: SAR, forest/non-forest, SAR mosaic



干渉／偏波 合成開口レーダの信号処理における最近の進展 Recent progress in InSAR and PolSAR signal processing

廣瀬 明^{1*}
HIROSE, Akira^{1*}

¹ 東京大学
¹The University of Tokyo

本招待講演は、合成開口レーダ、特に位相や偏波を扱う合成開口レーダの分野での著者らのグループによるいくつかの新方式に焦点をおきながら、近年の信号処理技術の進展を概観する。これら技術分野は現在、災害把握・減災、水循環、地球温暖化などの重要社会課題の解決が期待され、一層注目を集めている。観測の機能や精度を上げるにあたり、複素ニューラルネットワークなどのレーダ物理に根ざした適応処理の枠組みが有効である。また位相アンラッピングの手法なども紹介・議論する。

キーワード: 合成開口レーダ, 干渉計則, 偏波計測, 複素ニューラルネットワーク, 位相アンラッピング, 位相特異性拡散法
Keywords: synthetic aperture radar, interferometry, polarimetry, complex-valued neural network, phase unwrapping, Singularity-spreading phase unwrapping

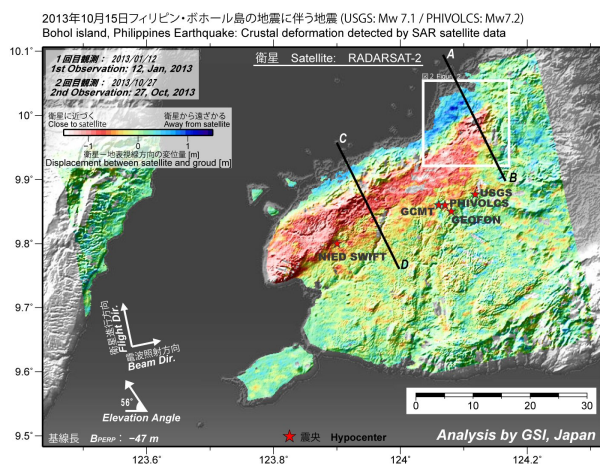
2013年10月15日フィリピン・ボホール島の地震に伴う地殻変動 Uplift and reverse fault rupture of the 2013 Bohol earthquake (Mw 7.2), Philippines, revealed by SAR pixel offset analysis

小林 知勝¹; 飛田 幹男^{1*}
KOBAYASHI, Tomokazu¹; TOBITA, Mikio^{1*}

¹ 国土交通省国土地理院
¹ GSI of Japan

本研究は、衛星 SAR データを用いて 2013 年 10 月 15 日に発生したフィリピン・ボホール地震 (死者 222 名) の地殻変動を検出し、その震源断層メカニズムを推定したものである。ピクセルオフセット法を用いた解析により、最大約 1 m を超える地殻変動が、島の北西部において、東北東-西南西の方向に、長さ約 50km の帯状に観測された。北東部には、長さ約 5km の変位の不連続が見られ、変位の跳びの量は最大約 2 m に達している。この付近では現地調査から地表地震断層が出現していることがわかっており、その結果と調和的である。観測された地殻変動データをもとに構築した矩形断層一様すべりの震源断層モデルから、東北東-西南西方向の走向をもつ長さ約 50km で傾斜角が約 60° の断層による逆断層すべりで観測された変位場はほぼ説明されることがわかった。さらに、散乱強度の変化を利用した解析 (加色混合法) による海岸線変化抽出を試みたところ、震源領域の西側にあたる Loon から Maribojoc にかけて約 10km の海岸線が海側に移動 (離水) したことがわかった。震源断層モデルから、この付近は周囲より大きな隆起 (約 1 m) が予想されており、加色混合法で得られた結果と調和的である。本地震においては、震源領域周辺に地殻変動観測データはなく、このような詳細な地震像は SAR 解析のみにより得られたものであることは特筆すべきことである。

キーワード: ボホール地震, 合成開口レーダー, 地殻変動, 内陸地震, SAR, RADARSAT-2
Keywords: Bohol earthquake, Crustal Deformation, Pixel offset analysis, uplift, SAR, RADARSAT-2



ALOS/PALSAR 干渉画像の誤差評価 Estimate of error in ALOS/PALSAR interferograms

橋本 学^{1*}
HASHIMOTO, Manabu^{1*}

¹ 京都大学防災研究所
¹ DPRI, Kyoto University

四国地方は、沖合の南海トラフにおいてフィリピン海プレートが沈み込みを行い、顕著な地殻変動が生じている。GNSSの観測によると、西北西方向の水平変位が卓越し、南から北に向かう変動勾配があることが確かめられている。この変位場は、東西方向の変位に感度が高い人工衛星搭載型 SAR による観測に適している。この観察に基づいて、我々は四国を対象に平均変動速度を ALOS/PALSAR を用いて検出することを試みて来た。観測機会の多い北行軌道の画像を主に解析して来たが、観測時期によっては電離層擾乱によると考えられる見かけの変動 (peak-to-peak で最大 4?50cm 程度) が認められるため、これらを目視により除去し、スタッキングを行なった。しかし、四国をほぼカバーする 4 パスの画像の解析結果を重ねると、明らかに東西に大きな変位速度勾配を持つ結果となり、GNSS の観測結果とあわない。また、中国地方でのパス間の不連続が顕著である。このため、依然系統誤差が残っていると考えられる。そこで、系統誤差がどの程度の大きさであり、そしてどのような空間分布を持っているのかを知るために、GNSS の変位と干渉画像の視線距離変化を直接比較し、その誤差評価を行なった。

手順は、次の通りである。

- (1) 特定の ALOS/PALSAR 画像ペアに対して、その撮像領域内に位置する GEONET 観測点を抽出し、マスター・スレーブ撮像期間の変位 3 成分を求め、視線距離変化に変換する。
- (2) 当該の干渉画像から、GEONET 観測点での視線距離変化を抽出する。
- (3) GEONET 観測局毎に GNSS 観測および干渉画像から得られた視線距離変化の差を計算する。
- (4) GEONET 観測局での視線距離変化の差を曲面で近似・内挿する。あわせて、平均・標準偏差や緯度・経度・標高依存性を調べる。
- (5) (4) で得られた近似曲面を観測干渉画像に加える。

例えば、パス 419 の 2010 年 4 月 11 日と 5 月 27 日のペアに GEONET の変位からは、46 日間ということもあり、ほとんど変動が期待されない。しかし、干渉画像には、四国において東西で $\pm 20\text{cm}$ 以上の視線距離変化が認められる。また、中国地方においても顕著な舌状の視線距離短縮領域が見られる。これに対して、この干渉画像に対する手順の (3) および (4) の結果は、GEONET 計算値から干渉画像を引いているので、正負逆転したパターンが得られる。干渉画像中には 36 点の GEONET 観測点があり、これらの観測点における視線距離変化の差の標準偏差を計算すると、7.8cm となる。平均は -1.7cm であるが、GEONET 観測点は ITRF2005、干渉画像はアンラップ時のサンプル点 (画像のほぼ中心) に相対的なものとなるため、平均そのものには意味はない。GEONET 観測点の緯度・経度・標高に対する視線距離変化の差を見ると、北緯 34° を境に緯度・経度に対して 2 つのグループに分けられ、明らかに線形関数では視線距離変化の差を近似することはできない。ここでは、GMT の Surface コマンドを用いて、近似・内挿した。最後に観測干渉画像に内挿した視線距離変化の差を足し合わせることで、補正干渉画像を得る。全体的に黄色くなり、GEONET の変位分布に沿うようになった。ただし、波長 20km 程度の変動は依然残っている。

その他のペアについても同じ手順で解析した。解析したペアについて視線距離変化の差に関して標準偏差を計算した。最も小さい標準偏差は 2009 年 1 月 6 日と 2 月 21 日のペアで 1.2cm、最大は 2010 年 5 月 27 日と 7 月 12 日のペアで 18.9cm である。24 ペア中、2cm 以下は 4 例、2-4cm は 7 例、4-6cm は 6 例、6-8cm は 3 例、8-10cm が 2 例、10cm 以上が 2 例となっている。中央値は 4.5cm となる。隣接するパス 418 (GEONET 観測点 30 点) では、解析した 26 ペアに対して、標準偏差の最小は 1.5cm、最大は 19.8cm、中央値は、4.7cm である。電離層擾乱も含めた PALSAR 干渉画像の持つ誤差評価として、一つの目安となるであろう。

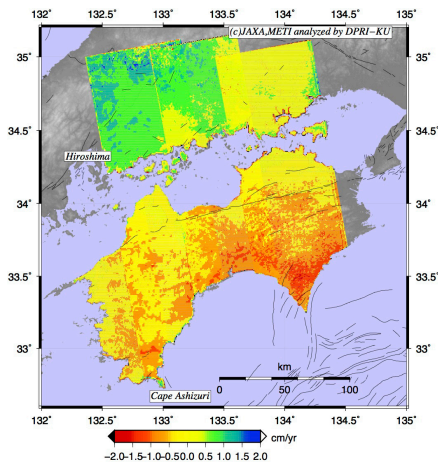
その他のパス (417, 418 および 420) にも同じ手順を適用し、四国全体をカバーする補正干渉画像を作成した (添付図)。概ね GEONET の変位場に整合的な結果が得られた。ただ、東端のパス 417 の補正干渉画像が、中国地方において隣のパス 418 と不連続が生じている。パス 417 では、垂直基線長の長いペアが他のペアより含まれる。垂直基線長が長い場合、山岳部において干渉性が低下することから、GEONET 観測点で視線距離変化が得られないことがある。その場合、平野のデータのみで補正せざるを得ず、系統的な誤差が残る結果となったと考えられる。

キーワード: 合成開口レーダー干渉法, PALSAR, だいち, 誤差, 地殻変動
Keywords: SAR interferometry, PALSAR, ALOS, error, crustal deformation

STT59-10

会場:414

時間:4月29日 11:35-11:50



多偏波 SAR データを用いた PS-InSAR 解析手法の開発 Persistent scatterer SAR interferometry using multi-polarimetric SAR interferograms

石塚 師也^{1*}; 田村 正行¹; 松岡 俊文¹
ISHITSUKA, Kazuya^{1*}; TAMURA, Masayuki¹; MATSUOKA, Toshifumi¹

¹ 京都大学大学院 工学研究科

¹ Graduate School of Engineering, Kyoto University

Persistent scatterer SAR interferometry (PS-InSAR) 解析は、複数の SAR データを用いて地表変動を推定する手法であり、これまでも非地震性地殻変動や火山、地盤沈下等の微小地表変動の推定に成果を挙げてきた。通常、PS-InSAR 解析には単偏波で取得された SAR データが用いられるが、近年は ALOS/PALSAR 等、多くの衛星搭載 SAR で多偏波による観測が行われており、今後も多偏波 SAR データの利用可能性は益々高まってくると考えられる。そのため、本研究では多偏波 SAR データを用いた PS-InSAR 解析手法を開発し、従来の単偏波 SAR データのみを用いて行われる解析と比べて、地表変動の推定精度が向上することを示す。

本研究では、複数の偏波で取得された SAR 干渉画像を同時に解析することで、独立に近いデータ数が増えるとみなすことができるため、地表変動推定精度が向上すると考えた。ただし、地表散乱体の誘電特性や形状に応じて各偏波に対する散乱特性が変化するため、SAR 干渉画像は偏波ごとに干渉度の低下に伴う位相ノイズ量が異なると考えられる。そのため、各ピクセルの位相ノイズ量に応じて偏波干渉画像ごとの相対的な重みを決定し、年間地表変動量の推定を行った。

本手法を ALOS/PALSAR の多偏波モードで観測されたデータに適用し、検証を行った。まず、HH-HH の干渉画像と VV-VV の干渉画像の両方を用いて解析を行った結果、HH-HH と VV-VV の干渉画像に対する重みはほぼ同等となった。すなわち、PS を有するピクセルでは HH 偏波と VV 偏波に対する位相ノイズ量はほぼ同じであると言える。一方で、HH-HH と HV-HV の干渉画像の両方を用いて解析を行った場合は、HH-HH の干渉画像の重みの方が大きい結果となった。これは、HH-HH 干渉画像は HV-HV 干渉画像に比べて、より干渉度の低下が少ないためと解釈できる。ただし、HH 偏波のみを用いて解析を行う場合と比べて、HH と HV 偏波両方を用いて解析を行うことで地表変動の推定精度が向上することが示された。

キーワード: PS-InSAR 解析, 地表変動, 偏波

Keywords: persistent scatterer SAR interferometry, surface deformation, polarimetry

広域 SAR 干渉解析のための GNSS 補正 Correction by GNSS data for wide area InSAR analysis

森下 遊^{1*}
MORISHITA, Yu^{1*}

¹ 国土交通省国土地理院
¹ GSI of Japan

SAR 干渉解析結果には、軌道決定誤差、対流圏遅延、電離層遅延などに起因する様々な誤差が含まれる。軌道決定誤差は系統的な軌道残存縞を生じさせる。対流圏誤差及び電離層誤差は、一般的に空間的波長が長く、局所的な解析結果には大きな影響はないが、広域を対象にした場合には致命的な誤差となり得る。

対流圏誤差については、数値気象モデルからその誤差量を定量的に推定し、低減する手法が開発されているが、数値気象モデルの空間・時間分解能の限界により、常に良好な低減処理結果が得られるわけではない。電離層誤差については、様々な補正手法が研究されているものの、現時点では有効な手法は確立されていない。特に L バンドは電離層誤差の影響を受けやすいことがわかっており、大きな課題となっている。軌道残存縞は、地表変動がないと想定される地域の位相を平坦にするように低減するのが一般的である。また、ある程度の密度の GNSS 連続観測点などにおける変動量データがあれば、それに適合させるようなバイリニア曲面等のパラメータを最小二乗的に推定し、補正することが可能である(飛田ほか, 2005; 福島・Hooper, 2011)。この GNSS 補正により、解析範囲全体に変動があるときでも高精度に軌道残存縞を除去することができる(Kobayashi et al., 2011)。しかし、広範囲を対象とした解析の場合、電離層誤差等の長波長の誤差の影響により、バイリニア曲面等の単純な面的モデルでは良好な補正結果が得られないことが多い。この問題を解決するため、スプライン補間等による補正手法も提唱されている(Fukushima, 2013)。

本発表では、散布データの自然な近傍内挿補間法を使用した GNSS 補正手法について報告する。本手法により、軌道残存縞だけでなく、電離層誤差や対流圏誤差などの長波長の誤差を低減することができる。また、処理手順を工夫することによって、従来のスプライン補間による GNSS 補正の課題であった変動量データの存在しない外挿部分も滑らかに補正することができる。本手法を ALOS/PALSAR データによる広域時系列解析に適用した結果、従来よりも長波長誤差の影響と考えられる位相変化が減少し、GNSS データ間隔よりも波長が短い位相変化を明瞭に検出することができた。

参考文献

飛田幹男, 宗包浩志, 松坂茂, 加藤敏, 矢来博司, 村上亮, 藤原智, 中川弘之, 小澤拓 (2005): 干渉合成開口レーダの解析技術に関する研究, 国土地理院時報, 106, 37-49.

福島洋, A. Hooper (2011): PS 干渉解析による 2004 年新潟県中越地震後の地殻変動, 測地学会誌, 57, 195-214.

Kobayashi, T., M. Tobita, T. Nishimura, A. Suzuki, Y. Noguchi and M. Yamanaka (2011): Crustal deformation map for the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, detected by InSAR analysis combined with GEONET data, Earth Planets Space, 63, 621-625, 2011.

Fukushima, Y. (2013): Correction of DInSAR noise using GNSS measurements, in proceedings of APSAR 2013, 2013.

キーワード: 干渉 SAR, GNSS
Keywords: InSAR, GNSS

干渉 SAR の電離層補正に向けた、GPS-TEC による日本周辺の電離層擾乱の特性把握 Research on the characteristics of ionospheric disturbance around Japan by GPS-TEC for ionospheric correction to InSAR

中川 弘之^{1*}; 宗包 浩志¹; 黒石 裕樹¹; 神原 雅史²
NAKAGAWA, Hiroyuki^{1*}; MUNEKANE, Hiroshi¹; KUROISHI, Yuki¹; KAMIHARA, Masashi²

¹ 国土交通省国土地理院, ² 株式会社 パスカリア
¹GSI of Japan, ²Pascalina Co.,Ltd

干渉合成開口レーダー(干渉 SAR)では、電離層擾乱に伴う電波の遅延誤差により正確な地盤変動情報が抽出できない場合があることが問題となっている。国土地理院では 2013 年度より、GEONET の 2 周波観測データから得られる電離層電子密度(TEC)に関する情報に基づいて、干渉 SAR に対して電離層補正を行う手法の研究を実施している。

初年度の 2013 年度は、日本とその周辺域における電離層擾乱現象の特性を把握するため、2000 年から 2011 年までの 12 年を対象に、網羅的な調査を行い、電離層擾乱現象を特定し、特性把握をおこなった。また、特定された電離層擾乱の発生時のうちで、対応する ALOS PALSAR の干渉ペアがあるものについて電離層位相遅延差の推定画像を試作し、これを実際の SAR 干渉画像と比較を行った。本発表ではこのうち、前段の電離層擾乱の特性把握の結果について報告する。

まず、対象期間の GEONET の 30 秒データから、宗包(2013)の手法により観測点毎に 30 秒間隔で、天頂方向の TEC、TEC の傾斜の北南成分および東西成分からなるモデルを推定した。その際、定数 3600 秒のハイパスフィルタをかけて低周波成分を除去した。

この GPS-TEC のデータを元に、対象期間に発生した電離層擾乱現象を同定し特性を分析した。その際に、個々の擾乱について詳細に検討して現象の同定や特性値の精度を高めるよりも、TEC の RMS などの指標をできるだけ活用して電離層擾乱現象の傾向を把握することを優先した。

手順は以下の通りである。まず、観測点毎の天頂方向の TEC の 1 時間の RMS が閾値以上となる電子基準点の数が一定数を超えている場合に電離層擾乱現象が発生していると思われ、その日時を抽出した。次に、それぞれの日時について(独)情報通信研究機構の Web サイトに掲載されている「GEONET GPS 全電子数マップ」を目視し、マップのパターンに応じて、その時に発生している擾乱現象を、「伝播性電離層擾乱(TID)」「プラズマバブル」「その他」に分類した。

その後、「TID」と「プラズマバブル」に分類された擾乱現象それぞれについて、開始時間と終了時間、現象の影響範囲とその時間推移等の特性を、観測点毎に計算した 10 分間の TEC の RMS に基づいて決定した。加えて、TID の波長やプラズマバブルの北端緯度など、現象の種類毎の特性値も推定した。これらを統計的にとりまとめることにより、対象期間における日本周辺の電離層擾乱現象の特性を明らかにした。

この調査の結果、対象期間中に 8,815 件の電離層擾乱現象を同定した。年次毎の件数は 2001 年の 967 件をピークにその後徐々に減少し、2007 年に 471 件と最小になり、その後再び増加傾向がみられた。この傾向は太陽活動周期と整合している。また、プラズマバブル、TID ともに太陽活動が活発な時に多く不活発な時に少ない傾向がみられた。

TID については、5 月~8 月の夏季に発生頻度が多い傾向がはっきりと見られた。また、ローカルタイムの 22 時を中心として前後 2 時間の間に集中して発生していることも明らかになった。プラズマバブルについては、ローカルタイムの日没後、夜半にかけて発生頻度が高かった。これらは先行研究の結果と整合的である。

参考文献

宗包浩志(2013): GEONET データを用いた「だいち」 SAR 干渉画像の電離層補正手法の開発(序報), STT57-09, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会

(独)情報通信研究機構: GEONET GPS 全電子数マップ, <http://seg-web.nict.go.jp/GPS/GEONET/>

キーワード: 干渉 SAR, 電離層擾乱, TEC, GEONET

Keywords: InSAR, ionospheric disturbance, TEC, GEONET

ALOS PALSAR を用いた時系列解析のダム外部変形計測への適用 APPLICATION OF DINSAR TIME SERIES ANALYSIS USING ALOS PALSAR TO EXTERIOR DEFORMATION MONITORING OF DAMS

本田 謙一^{1*}; 虫明 成生¹; 佐藤 渉¹; 佐藤 弘行²; 小堀 俊秀²; 佐々木 隆³; 山口 嘉一⁴; 清水 則一⁵
HONDA, Kenichi^{1*}; MUSHIAKE, Naruo¹; SATOH, Wataru¹; SATOH, Hiroyuki²; KOBORI, Toshihide²; SASAKI, Takashi³
; YAMAGUCHI, Yoshikazu⁴; SHIMIZU, Norikazu⁵

¹ 国際航業株式会社, ² 土木研究所, ³ 国土技術政策総合研究所, ⁴ ダム技術センター, ⁵ 山口大学

¹Kokusai Kogyo Co., Ltd., ²Public Works Research Institute, ³National Institute for Land and Infrastructure Management, ⁴Japan Dam Engineering Center, ⁵Yamaguchi University

近年、ダム等大規模構造物の老朽化と安全管理が大きな課題となっている。日本国内にあるダムのうち 2020 年には 58%が建造から 50 年を超えるなどダムの老朽化も進んでおり、安全管理のための効率的な変位計測技術が求められている。また、地震などの災害時に構造物の被災状況を早期に把握するため、安全で迅速な変位計測技術が必要とされている。Differential Interferometric SAR (DInSAR) は広域の複数の構造物を一度に観測できることから、大規模構造物の安全管理に非常に有益である。

そこで本研究では、沖縄県の大保脇ダムを対象として DInSAR のダムの外部変形計測への適用性を検討した。大保脇ダムは 2006 年 12 月の完成と同時に GPS で外部変形計測を行っており、2010 年 12 月までに 114mm の変形が観測されている。そこで、同時期に観測している ALOS PALSAR の Ascending14 シーンと Descending14 シーンを用い、各軌道で DInSAR の時系列解析を行った。

GPS により計測された変位と比較した結果、最も変形の大きな点において、DInSAR の変位は GPS の変位の 70% から 80%の値が得られた。RMSE は約 1cm であり、解像度 10m の ALOS PALSAR データでも、数センチ程度の変位ならば DInSAR で計測できることが確認できた。また、時系列での変位の傾向もよく捉えており、DInSAR によるダムなどの大規模構造物の外部変形計測への利用可能性が示唆される。

キーワード: ダム, 外部変形計測, DInSAR, SBAS, GPS

Keywords: Dam, Exterior deformation monitoring, DInSAR, SBAS, GPS

国内の主要な活火山における干渉 SAR 時系列解析 Approach for monitoring ground deformation around the active volcanoes in Japan by InSAR time series analysis

三浦 優司^{1*}; 安藤 忍²; 中村 政道¹
MIURA, Yuji^{1*}; ANDO, Shinobu²; NAKAMURA, Masamichi¹

¹ 気象庁火山課, ² 気象研究所
¹ Volcanological Division, JMA, ² MRI

気象庁および気象研究所では、2007年から北方領土を含む日本全国の活火山周辺を対象に二時期の差分干渉 SAR 解析による火山活動に伴う地殻変動の検出を試み、火山噴火予知連絡会および各種学会などで報告を行ってきた。

近年、多量の SAR データを使用することにより、干渉性の低下、DEM 誤差及び対流圏・電離圏遅延などに起因するノイズの影響を低減する、干渉 SAR 時系列解析という手法が開発され、地殻変動の検出に多用されるようになってきている。今回、国内の主な活火山を対象に、ALOS 運用中に蓄積された複数の PALSAR データを用いて本手法を適用し、火山活動に伴う地殻変動の検出を試みた。

これまでに行った解析の結果、十勝岳、吾妻山、伊豆大島、三宅島、薩摩硫黄島等で GPS でも捉えられている火山活動に伴うと考えられる衛星視線方向の地殻変動が検出されたので、これらの詳細について報告する。

キーワード: 干渉 SAR 時系列解析, 地殻変動, ALOS/PALSAR, 活火山

Keywords: InSAR time series analysis, ground deformation, ALOS/PALSAR, active volcano

PS-InSAR 解析を用いた八丁原地熱開発地域周辺の地表変動の解析 Surface displacement around Hachobaru geothermal field inferred from persistent scatterer SAR interferometry

石塚 師也^{1*}; 辻 健²; 松岡 俊文¹; 藤光 康宏³; 西島 潤³

ISHITSUKA, Kazuya^{1*}; TSUJI, Takeshi²; MATSUOKA, Toshifumi¹; FUJIMITSU, Yasuhiro³; NISHIJIMA, Jun³

¹ 京都大学大学院 工学研究科, ² 九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所, ³ 九州大学大学院 工学研究科

¹Graduate School of Engineering, Kyoto University, ²International Institute for Carbon-Neutral Energy Research (I2CNER), Kyushu University, ³Faculty of Engineering, Kyushu University

地熱開発地域では、地下熱流体の流れに伴い、地表変動が発生することが知られている。これまでも水準測量や GPS 等の測地学的手法により、地熱開発地域の地表変動が推定されており、モニタリング技術としての有効性が示されてきた。近年では、persistent scatterer SAR interferometry (PS-InSAR) 解析により、従来よりも空間的に高密度に地表変動を推定することが可能になり、地熱開発のモニタリング技術としての有効性が示されつつある。本研究では、日本最大の地熱開発地域である八丁原地熱開発地域及び九重連山を含む周辺の地域に PS-InSAR 解析を適用し、地表変動量の推定と変動の特徴の考察を行った。解析には、2007 年 7 月から 2010 年 12 月間に ALOS/PALSAR によって取得された 18 シーンを用いた。

解析の結果、SAR データ取得期間において、地熱開発地域周辺では、年間約 15mm の衛星から遠ざかる向きの変動が起こっていることが推定された。また、この継続的な変動に加え、時間的に不規則な隆起や沈下も発生していると分かった。この不規則性の隆起や沈下は九重連山全体で発生していることから、九重連山の地表変動が地熱地域の地表変動に関係していると推測される。また、この継続的な変動は時間と共に徐々に減衰する傾向を示しており、今後も変動量は減衰すると推測される。さらに、変動域には明瞭な境界が見られており、変動域は断層によって定まっている可能性が示された。

キーワード: 地表変動, PS-InSAR 解析, 八丁原地熱地域

Keywords: surface displacement, persistent scatterer SAR interferometry, Hachobaru geothermal area

干渉SARによる東海地域の定常的な地殻変動解析 The Steady Crustal Deformation Analysis in Tokai region by InSAR

安藤 忍^{1*}; 岩切 一宏²; 青木 元²
ANDO, Shinobu^{1*}; IWAKIRI, Kazuhiro²; AOKI, Gen²

¹ 気象研究所, ² 気象庁

¹MRI, ²JMA

地表面の状態把握に優れたLバンド波長帯を有するALOS/PALSARは、干渉性が高く面的な地殻変動観測に有効である。

気象研究所では、静岡県掛川市から御前崎市周辺のALOS/PALSARデータを解析し、フィリピン海プレートの沈み込みに伴う定常的な地殻変動の検出を試みた。変動の定常成分(時系列)を得るため、ここでは、撮像日間隔の異なる多数の画像ペアに対して干渉処理を行い、各干渉画像における衛星視線方向の変動量から、46日毎(衛星回帰日数)の平均変動量を計算した(スタッキング処理)。なお、明らかにノイズが重畳していると思われる干渉画像を除いてスタッキング処理を行った。スタッキング処理により、電離層等に起因したノイズの影響が低減され、変動検出精度の向上が期待できる。

解析したデータは、2007年1月~2010年10月の北行軌道(パス409, フレーム680)の23シーン、2006年10月~2010年9月の南行軌道(パス60, フレーム2920)の19シーンである。垂直軌道間距離が約1km以下の北行軌道101ペア及び南行軌道79ペアについて干渉処理を行った。得られた干渉画像に対して電子基準点「掛川」を無変動地点としてアンラップ処理を行い、これに気象庁非静力学モデル(JMA-NHM)による大気遅延補正を施して、全てのペアの衛星視線方向の変動量を求めた。各ペアの期間内で変動は一定と仮定した上で、46日毎の衛星視線方向の平均変動量を計算した。ペアによって撮像日の間隔が異なるため、平均処理に用いるサンプル数が異なるが、重み付けは行わなかった。

その結果、北行軌道の解析では、定常的な変動がほとんど見られなかった。一方この地域の変動への感度が高い南行軌道の解析では、御前崎付近を中心に衛星から遠ざかる定常的な変動が見られ、GNSSによる変動ベクトルと調和的な結果が得られた。

本解析で用いたPALSARデータの一部は、国土地理院が中心となって進めている防災利用実証実験(地震WG)に基づいて観測・提供されたものである。また、一部はPIXELで共有しているものであり、宇宙航空研究開発機構(JAXA)と東京大学地震研究所との共同研究契約によりJAXAから提供されたものである。PALSARに関する原初データの所有権は経済産業省及びJAXAにある。なお解析には、宇宙航空研究開発機構の島田政信氏により開発されたSIGMA-SARを使用させていただいた。なお、干渉画像の処理過程においては、国土地理院発行の数値地図50mメッシュ(標高)を使用し、結果の描画についてはGMTを用いた。ここに記してお礼申し上げます。

キーワード: SAR 干渉解析, 地殻変動, ALOS/PALSAR, 東海地域

Keywords: InSAR, Ground deformation, ALOS/PALSAR, Tokai region

X-band SAR 衛星・Cosmo-SkyMed を利用した桜島のモニタリング Monitoring of Sakurajima Volcano using Cosmo-SkyMed

宮城 洋介^{1*}; 小澤 拓¹; 島田 政信²
MIYAGI, Yosuke^{1*}; OZAWA, Taku¹; SHIMADA, Masanobu²

¹ 防災科学技術研究所, ² 宇宙航空研究開発機構

¹National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, ²Japan Aerospace Exploration Agency

九州南部、鹿児島県に位置する桜島は、現在日本で最も活発な火山である。2006 年 6 月に昭和火口から再開した噴火活動は、2009 年以降、より活発になり、現在でもたびたび爆発的噴火を起こしている。また 2012 年 7 月 24 日には、南岳山頂火口でおよそ 1 年半ぶりに噴火が起こった。桜島における現在の噴火活動を理解し、今後の噴火活動を予測するためにも、定期的なモニタリングを行う必要がある。活動中の火山における現地観測は危険を伴うため、一般には困難であるが、人工衛星搭載のセンサを利用したリモートセンシング観測であれば、活動中の火山であっても定期的に、しかも広域を一度に観測することができる。とりわけ能動型のマイクロ波センサである合成開口レーダ (SAR) は、昼夜を問わず観測が可能で、雲や噴煙を透過し地上を観測することができる。このため、噴火活動中でも火口のモニタリングが可能であり、またその位相情報を利用した差分干渉解析 (DInSAR 解析) により面的な地殻変動の検出も可能となる。本発表では、イタリアの X-band SAR 衛星・COSMO-SkyMed (以下 CSK) によるデータを利用し、桜島南岳の火口の変化を検出した。また、DInSAR 解析も試みた。

キーワード: 合成開口レーダ, 桜島, 地殻変動
Keywords: SAR, Sakurajima, Deformation

TerraSAR-X (TanDEM-X)/DInSAR によって検出された霧島山・新燃岳の地殻変動 Volume Increase of Lava within the Kirishima, Shinmoe-dake Crater, Detected by TerraSAR-X/DInSAR

宮城 洋介^{1*}; 小澤 拓¹; 小園 誠史²; 島田 政信³
MIYAGI, Yosuke^{1*}; OZAWA, Taku¹; KOZONO, Tomofumi²; SHIMADA, Masanobu³

¹ 防災科学技術研究所, ² 東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻, ³ 宇宙航空研究開発機構
¹National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, ²Department of Geophysics, Graduate School of Science, Tohoku University, ³Japan Aerospace Exploration Agency

九州南部、鹿児島県と宮崎県の県境に位置する霧島山新燃岳は、2011年1月に噴火活動を開始し、同年9月以来目立った噴火活動を起こしていない。噴火後のGPS及びDInSAR観測の結果、2011年噴火に関係した主マグマ溜り（深さ7.5-10km）への噴火後再充填に伴うと思われる広域の地殻変動が検出されたが、この地殻変動も同年11月頃から鈍化を始め、その後顕著な膨張は見られていない。しかし、ドイツのXバンドSAR衛星・TerraSAR-X及びTanDEM-Xによるモニタリングを継続した結果、噴火活動及び広域の地殻変動が見られなくなった2011年11月以降、火口内溶岩表面がわずかずつではあるが隆起をしていることが明らかになった。異なる波長を持ち異なる軌道から観測したカナダのCバンドSAR衛星・RADARSAT-2のデータを用いた解析でもほぼ同様の結果が得られている。

検出された火口内溶岩表面の隆起は、すなわち火口内溶岩の継続的な体積増加を示していると考えられ、これは2014年1月現在継続中である。しかし隆起レート（体積増加レート）は徐々に低下し、2011年11月には約10cm/monthであったが、2012年10月以降3-4cm/month程度になった（図1）。また2013年6月下旬、この火口内溶岩表面の隆起が停止したように見られたが、2013年7月には隆起が再開した。観測された隆起量から計算されたこの間（2011年11月～2014年1月）の火口内溶岩の総体積増加量は、およそ $8 \times 10^4 \text{m}^3$ と見積もられる。

TerraSAR-X（及びTanDEM-X）の11日間隔、もしくはRADARSAT-2の24日間隔のSARデータペアを使ったDInSAR解析では、火口外側に顕著な地殻変動は検出されなかった。しかし、データペアの観測間隔を十分に長くとしたDInSAR解析の結果と、PSInSAR解析の結果、それぞれ火口北側山腹に衛星-地面間の距離が遠ざかる地殻変動、すなわち沈降を含む地殻変動が検出された。これは火口地下浅部にある変動源（浅部ソース）の収縮によるものと考えられる。この浅部ソースとしてSillタイプのポイントソース[Okada, 1985]を仮定すると、最適解は火口地下約700mに推定され、体積減少はゆらぎを伴いつつも継続している。これらのことから、火口内溶岩の体積増加は、火口地下浅部にあるソースから溶岩が徐々に流出していることが原因であると考えられる。

その主な駆動力は、2011年噴火時に大量のマグマが供給されたことによる浅部ソース内の過剰圧であると考えられ、その後平衡状態へ移行する期間の溶岩の流出を見ているものと考えられる。また、仮にこの系が、浅部ソースと火口内溶岩の間だけで閉じているとすると、体積増加レートは減少し続けて0になり、火口外側の収縮の地殻変動も止まるはずだが、体積増加レートは2013年8月以降バラつきながらも $50 \text{m}^3/\text{day}$ 程度に落ち着いている。これはこの系が閉じていないことを示しており、深部ソースから浅部ソースへのマグマの供給が、微量ではあるが継続して行われていたと考えることができる。このマグマの供給が、浅部ソースから火口内へ溶岩を押し出す駆動力の一つとなっている可能性も考えられる。

TerraSAR-X及びTanDEM-Xによるモニタリングは今後も継続して行われる予定であり、本発表時点での最新のデータを用いた解析結果についても紹介する。

キーワード: 合成開口レーダ, 霧島山, 新燃岳, 地殻変動
Keywords: SAR, Kirishima, Shinmoe-dake, Deformation

PS-InSAR 法による伊豆大島の地殻変動の検出と火山性変動源の推定 Crustal deformation in Izu-Oshima Island detected by PS-InSAR analysis and estimation of volcanic deformation source

長谷川 雄一^{1*}; 田部井 隆雄²; 小澤 拓³
HASEGAWA, Yuichi^{1*}; Tabei, Takao²; OZAWA, Taku³

¹ 高知大学大学院総合人間自然科学研究科, ² 高知大学理学部, ³ 防災科学技術研究所

¹Grad. School Int. Arts Sciences, Kochi Univ., ²Fac. Science, Kochi Univ., ³National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

伊豆大島の三原山では、過去 800 年間に合計 21 回噴火を繰り返している。最後の噴火は 1986 年に山頂カルデラ内部で発生している。定常的な火山活動を監視するために、時空間的に密な観測を行うのは重要である。しかし、山岳域に観測網を構築するのは容易ではない。本研究では、恒久散乱体干渉 SAR (PS-InSAR) 法による干渉時系列解析を行い、伊豆大島全体の変形を検出する。その結果をもとに地下にどのような変動源が存在しているかを推定する。解析には、2006 年 6 月～2011 年 2 月までに北行および南行軌道から撮影された ALOS/PALSAR 画像 40 枚を使用した。

北行軌道画像解析から 2007 年 10 月～2011 年 2 月の期間にカルデラ内部において衛星視線方向 (LOS) に距離が最大約 15cm 伸長するパターンが、南行軌道画像解析から 2007 年 1 月～2010 年 3 月の期間に同様の領域において距離が最大約 14cm 伸長するパターンが認められた。次に、島内 4ヶ所の GEONET 観測点における座標時系列を LOS 変位に変換し、干渉時系列解析結果と比較した。その結果、両者の差の RMS は 1.3～3.2cm の範囲に収まっており、干渉時系列解析結果は有意と判断される。また、GPS 時系列を基準として解析過程で取り除けなかった衛星軌道決定のずれに起因する系統的な誤差を軽減した。

両軌道画像解析から得た LOS 変位量を組み合わせ準上下成分と準東西成分に分解し、2007 年 9 月時点を基準とした累積変位量を求めた。その結果、カルデラ内部に 2007 年～2010 年までに沈降と隆起を繰り返し最終的に最大約 16cm となる沈降域が、島の東側沿岸部に同期間において最大約 11cm となる隆起域が得られた。準上下成分の結果を用いて、伊豆大島の変形を説明する圧力源モデルの推定を行った。島内全体の変形が等方的ではないため、水平位置と深さの異なる球状圧力源 (Mogi, 1958) を浅部と深部に 2つ設定した。両者の圧力源の水平位置と深さはグリッドサーチ法によって推定した。その結果、体積が増減を繰り返す圧力源がカルデラ内部西側の深さ 3.0～4.5km に、体積増加量が年間約 800 万 m³ とほぼ一定の圧力源が三原山火口から北東方向に約 1km 離れた位置の深さ 6.0～9.0 km に求まった。また、準上下成分の結果と求めた体積変化量から算出される鉛直成分の残差より、カルデラ内部において両者の残差が大きくなっていることが判明した。したがって、深部のマグマ溜まりはマントルからのマグマの供給により膨張を続け、浅部のマグマ溜まりはカルデラ内部に広がる溶岩の荷重と深部マグマ溜まりからのマグマの供給によって収縮と膨張を繰り返していると考えられる。

キーワード: PS-InSAR 法, 時系列解析, 伊豆大島, 地殻変動, 火山性変動源

Keywords: PS-InSAR method, time-series analysis, Izu-Oshima Island, crustal deformation, volcanic deformation source

差分干渉合成レーダーによる南極宗谷海岸南部の氷流速度測定 Flow velocity measurements of ice streams in the southern part of Soya Coast, Antarctica, by DInSAR

白水 薫^{1*}; 土井 浩一郎²; 青山 雄一²
SHIRAMIZU, Kaoru^{1*}; DOI, Koichiro²; AOYAMA, Yuichi²

¹ 総合研究大学院大学, ² 国立極地研究所

¹The Graduate University for Advanced Studies, ²National Institute of Polar Research

差分干渉合成開口レーダーは南極大陸上の氷流の流速を測定するための有効な方法の一つである。本研究では、日本の衛星 ALOS/PALSAR で観測された L バンド (波長 23.6cm) SAR データに差分干渉合成開口レーダー手法 (Differential Interferometric SAR : DInSAR) を適用し、東南極宗谷海岸南部スカーレン周辺の氷流速度の測定を試みた。使用データは、2007 年 11 月 23 日から 2010 年 1 月 13 日の間に観測された 9 シーン (Path633, Row571-572) であり、地形縞除去のためにはデジタル地形モデル ASTER GDEM を用いた。

解析の結果、視線方向の流動速度は、最大で 3.5cm/day の速さであった。通常、露岩域においては変動が無いと考えられるが、得られた変動画像では、露岩において最大 37cm の変動が検出されており、見かけの変動と考えられ、解析における誤差を含むと考えられる。このことから、露岩上に表われる見かけの変動を氷流流速測定の誤差の見積りに用いることが出来ると考えられる。

本講演では、氷流の流速測定結果を示すとともに、流速測定に含まれる誤差評価について議論を行う。

キーワード: 差分干渉 SAR, 南極氷床, 氷流

Keywords: Differential Interferometric SAR, Antarctic ice sheet, ice stream

差分干渉合成開口レーダーによる北極域氷床の流動測定 Flow measurements of ice sheets in Arctic region by differential SAR interferometry

土井 浩一郎^{1*}; 山之口 勤³; 中村 和樹⁴; 白水 薫²

DOI, Koichiro^{1*}; YAMANOKUCHI, Tsutomu³; NAKAMURA, Kazuki⁴; SHIRAMIZU, Kaoru²

¹ 国立極地研究所, ² 総合研究大学院大学, ³ リモートセンシング技術センター, ⁴ 日本大学工学部

¹National Institute of Polar Research, ²The Graduate University for Advanced Studies (SOKENDAI), ³RESTEC, ⁴Nihon University

2000 年代には入り、グリーンランドやカナダ北極群島の氷床質量が急速に減少していることが衛星重力ミッション GRACE の観測から明らかになってきた (Svendsen et al. 2012, Gardner et al. 2011)。その一因として、氷床や氷流の流動速度が加速し、氷の海洋への流出量の増加が考えられる。

本研究では、衛星合成開口レーダー (SAR) データに ASTER GDEM を利用した差分干渉 SAR 手法を適用し、北極域の氷床や氷流の流動速度を求め、流動速度の時間的な変化の有無を調べることを目的としている。

そこで、我々は、グリーンランド北西部およびカナダ北極群島エルズミア島の 3 地域を観測した ALOS/PALSAR データに差分干渉 SAR 手法を適用し、氷床や氷流の SAR の視線方向の 46 日間の変位量を求めた。講演では、これらの結果を示すとともに、3 パスまたは 4 パス干渉 SAR 手法を適用し、その変動についても議論する予定である。

キーワード: 差分干渉 SAR, 流動, 氷床, 北極域

Keywords: Differential SAR interferometry, flow, ice sheet, Arctic region

中央アジア, キルギス・アラトー山脈における岩石氷河の空間分布と分類 Spatial distribution and classification of rock glaciers in Kyrgyz Ala-Too Range, Central Asia

山村 祥子^{1*}; 奈良間 千之¹; 富山 信弘²; 田殿 武雄³

YAMAMURA, Akiko^{1*}; NARAMA, Chiyo¹; TOMIYAMA, Nobuhiro²; TADONO, Takeo³

¹ 新潟大学自然科学系, ² 財団法人リモート・センシング技術センター, ³ 宇宙航空研究開発機構

¹Niigata University, ²RESTEC, ³JAXA

乾燥・半乾燥地域である中央アジアの水資源を見積もる上で、山岳氷河と山岳永久凍土の現状把握の必要性が述べられているが (Sorg et al., 2012), 山岳氷河の分布とその変動が調査されている一方、山岳永久凍土の調査報告は一部地域を除いて報告されていない (Marchenko et al., 2007). さらに、近年では、天山山脈のアク・シイラック山脈において山岳永久凍土の融解に起因する地すべりが生じるなど、災害の側面も含め山岳環境にも大きな影響を与えつつある。スイス・アルプスでは、岩石氷河が山岳永久凍土環境の存在指標として指摘されて (Haerberli, 1985), 岩石氷河を用いた山岳永久凍土の空間分布の解明、岩石氷河の流動速度や表面形態の経年変化から山岳地域の温暖化の影響が指摘されるなど、山岳永久凍土環境の研究が活発におこなわれている (Kaab et al., 2006; Roer et al., 2005). そこで本研究では、山岳永久凍土の存在指標である岩石氷河を用いて、未だ明らかでない天山山脈の山岳永久凍土の空間分布やその現状を明らかにするため、キルギス・アラトー山脈中央部の岩石氷河の空間分布と形態分類をおこなった。さらに、これら形態的特徴から分類した岩石氷河に差分干渉 SAR を適用し、ALOS PALSAR データを用いて、岩石氷河の流動から分類結果を検証した。

空中写真判読・ALOS 衛星データ・GoogleEarth を用いて、デブリ地形のポリゴン・ポリラインデータを ArcGIS 上で作成し、それを基にデブリ地形から岩石氷河を認定、さらに、現地調査と ALOS AVNIR-2 による NDVI の植生指標により現成型と停滞～化石型を分類した。その空間分布をみると、現成型岩石氷河の分布の多くは、山脈の北斜面に集中している。さらに現成型岩石氷河を背後の氷河と氷河地形の有無から氷河起源と崖錐起源に分類した。現成型と認定した岩石氷河のうち、氷河起源の岩石氷河が数多く確認された。

周氷河帯とその上位に分布する不連続山岳永久凍土帯を現成の岩石氷河の分布高度と気象観測所のデータから推定した結果、現在の不連続山岳永久凍土帯は北側では 3300m 以上、南側では 3500m 以上であることがわかった。現地の気象観測所の標高と気温をもとに気温の逡減率から推定される本研究の山岳永久凍土帯下限高度における年平均気温は、年平均気温 -2℃～-4℃という世界各地の山岳永久凍土帯下限高度の気温条件 (藤井, 1980) に調和的である。調査地域においては、背後に末端がデブリで覆われた小規模な山岳氷河を持ち、氷河末端部からそのまま岩石氷河に移行している氷河起源の岩石氷河が多く確認された。この結果は、崖錐起源が多くを占めるスイス・アルプスと大きく異なる。これほど多くの氷河起源タイプの岩石氷河が存在する理由として、この山脈に分布する氷河の末端部は岩屑に覆われており、この不明瞭な末端部は、永久凍土帯の下限高度よりも上方に位置し、氷河後退の過程で形成されたデブリで覆われた埋没氷が永久凍土化して流動し岩石氷河の形態に移行したと考えられる。これら認定した岩石氷河の流動解析には、2007年、2009年、2010年の ALOS PALSAR データを使用した。上述の形態による分類から、山脈北側斜面のほうが認定した現成型岩石氷河が広く分布するが、北斜面よりも山脈南斜面で流動する岩石氷河を多く確認した。崖錐起源の岩石氷河の流動は世界的にも数多く報告されているが、本研究地域においては氷河起源と認定した岩石氷河の明瞭な変動を確認できた。今後は、さらに観測期間の短いデータを用いて詳細な流動を調べる予定であり、この結果は当日報告する。

キーワード: 山岳永久凍土, 岩石氷河, 差分干渉 SAR, ALOS PALSAR, 天山山脈

Keywords: mountain permafrost, rock glacier, InSAR, ALOS PALSAR, Tien Shan Mountains

防災科研における InSAR 解析ツールの開発 (その 3) Development of InSAR processing tools in NIED ?Part3?

小澤 拓^{1*}
OZAWA, Taku^{1*}

¹ 防災科学技術研究所

¹National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

合成開口レーダー (SAR) は、有用な地殻変動検出ツールの一つとなった。最近では、無償で利用できる SAR 解析ソフトウェア (たとえば、ROI-PAC, GMTSAR, Doris) が公開され、誰でも SAR 解析を用いた地殻変動検出が可能となった。特に、一般的によく用いられる 2 パス差分 SAR 干渉法については、解析アルゴリズムがある程度まで成熟したことにより、誰がどのソフトウェアを用いて解析しても、ほぼ同じ結果を得られるようになった。一方、最近では、時系列解析などの高度 SAR 解析手法を用いて、より高精度な地殻変動検出が試みられている。しかし、その解析については、改良すべき課題が多く残されている。それらの改良に向けた研究開発を効率的に進めるためには、解析アルゴリズムを隅々まで理解できる解析ソフトウェアを用いる必要がある。そこで、防災科研においては、解析アルゴリズムの高度化に向けた InSAR 解析ツールを開発することにした。

本解析ツールは、次のような一般的な解析手順を採用している。(1)SLC フォーマット変換およびパラメータファイル作成。(2) 平行移動のみを考慮した SLC の大まかな位置合わせ。(3) アフィン変換係数の決定。(4)SLC のリサンプリング。(5) 初期干渉画像の作成。(6)DEM に基づく散乱強度画像シミュレーションおよび地理座標系からレーダー座標系への変換テーブルの作成。(7) シミュレート散乱強度画像と観測強度画像とのマッチング。(8) 変換テーブルの修正。(9) 軌道縞および地形縞のシミュレーション。(10) 差分 SAR 干渉画像の作成。(11) 干渉画像フィルターの適用。(12) 干渉画像等のジオコーディング。

日本地球惑星科学連合 2013 年大会においては、SAR 干渉法の適用条件の良いデータペアについて、開発した InSAR 解析ツールによる解析結果を紹介し、GAMMA SAR プロセッサによる解析結果とおおよそ同じ結果が得られることを示した。日本測地学会第 120 回講演会においては、Gatelli et al. (1994) のフィルターによる干渉性の向上、高速化、Skew 画像への対応について述べた。その後、本ツールはオーバーサンプリングおよびバンドパスフィルターによる ALOS/PALSAR の FBS-FBD 画像間の干渉処理に対応した。また、オーバーサンプリング法もしくは双 3 次スプライン補間による DEM のリサンプリングにも対応した。さらに、現時点においては、画像マッチングの高精度化を試みている。これらの対応により、本解析ツールの 2 パス差分 SAR 干渉法の基礎的な部分の開発はひとまず終了とする。今後は、さらなる高精度化や、地形視差の補正、SAR 画像シミュレーションの高精度化、複数軌道 SBAS、SBAS 等の機能を追加していく予定である。また、マニュアルの整備も進める予定である。

キーワード: 合成開口レーダー, 干渉法, 解析ソフトウェア
Keywords: SAR, InSAR, software, tool