

# InSAR Detection of the Mt. Aso Volcanic Crater Activity at the event of Sept 14 2014 Eruption

Kiyooki Takahashi<sup>1</sup>, Kouki Miyazaki<sup>1</sup>, \*Masanobu Shimada<sup>1</sup>

1. Tokyo Denki University, School of science and engineering

Synthetic Aperture radar can observe the earth surface with high resolution by the multiple transmission and reception of microwave signals. Since the microwave in L-band is not affected by the weather condition and the eruption ashes, it is adequate to detect the surface deformation from the space. This research will detect the deformation of the volcanic mountain by using the interferometric SAR technique. InSAR measures the differential distance between the satellite and the target between two different observations (dates) and visualization allows the accurate measurement of the distance. This research will detect the volcanic subsidence of the crater using this method and PALSAR-2 data, which was developed and operated by the JAXA since May 24, 2014.

Mt. Aso has been active for these years and had a small-scale eruption on Sept. 14 2014. PALSAR-2 data of UB mode with 85 MHz single polarization were acquired on Sept. 7 and 21 covering these areas, and were InSAR processed (including the atmospheric correction). It was found that there were three small subsidence areas western part of the main volcanic crater. Three these areas had 5cm subsidence in average vertically. This can be interpreted as that the eruption of the magma could reduced the mass of the magma. Validation of the results has been conducted using the GPS data acquired at three points by GSI and NIED, and measured the RSSE of 2.345cm. It can interpreted that the eruption of Sept. 14 2014 were observed by two adjacent PALSAR-2 images as the subsidence of 6.06 cm, the loss of the coherence at the crater area, and resultant loss of the mass were estimated, and thus the mountain could be shrunk.

Keywords: InSAR, eruption, subsidence

# 干渉SAR解析を用いた2016年熊本地震前後の九重山の地表変動の推定 Estimation of surface displacement around Kuju volcano before and after the 2016 Kumamoto earthquake using SAR interferometry

\*三村 祐介<sup>1</sup>、石塚 師也<sup>2</sup>、小田 義也<sup>1</sup>

\*yuusuke mimura<sup>1</sup>, Kazuya Ishitsuka<sup>2</sup>, Yoshiya Oda<sup>1</sup>

1. 首都大学東京、2. 北海道大学大学院工学研究院

1. Tokyo Metropolitan University, 2. Graduate School of Engineering, Hokkaido University

2016年熊本地震は、別府-島原地溝帯に沿って発生し、熊本地方を中心に九州地方に大きな被害をもたらした。この別府-島原地溝帯に位置する活火山である九重山は、現在でも噴煙が確認され、今後の活動が注視されている。

本研究では、差分干渉SAR解析および干渉SAR時系列解析を用いて熊本地震前後の地表変動を検出した。地表変動量が大きいと考えられる地震直後の2016年4月18日と2016年6月13日に取得されたペアには差分干渉SAR解析を適用し、それ以外のペアには干渉SAR時系列解析の1つであるSmall BAseline Subset (SBAS)法を適用した。差分干渉SAR解析には南向軌道で取得されたデータ(パス23、フレーム2950)を用いた。SBAS法の解析には、ALOS-2/PALSAR-2によって2014年8月から2016年2月の間に取得された北向軌道6シーン(パス130、フレーム650)を用いた。一方、熊本地震後の時系列解析には、2016年4月から2016年10月間に南向軌道で取得されたデータ13シーン(パス23、フレーム2950)を用いた。

差分干渉SAR解析の結果、熊本地震直後の2016年4月18日から6月13日の間に、硫黄山で約4cm、久住山で約3cm、八丁原地熱発電所付近で約2cmもの隆起と考えられる衛星に近づく向きの変動が九重山全体で確認できた。解析結果と国土地理院が運営するGEONETデータとの変動差は0.02cmであり、両データは整合的であると言える。九重山で顕著な火山性地震の増加が確認できないことや広範囲の変動であることから、吉川ほか(2003)が推定しているような九重山の深さ約5km以深にあるとされている断層帯での熱流体の移動に関する可能性がある。

SBAS法を用いた解析では、硫黄山・久住山で熊本地震前後の両方において、同様に不規則な隆起と沈下が確認されたが、前後での変動パターンは時空間的に異なるものであった。原因については地震活動や傾斜計との相関は見られず、明確にわかっていない。GEONETデータとのRMSEは0.51cmであり、両データは整合的であると言える。また、八丁原地熱発電所付近では熊本地震前後ともに年約14~16mmの直線的な沈下変動が確認できた。これはIshitsuka et al, (2016)が2007年7月から2010年12月の期間で行った結果と整合的である。

本研究では、2014年8月から2016年10月までの九重山の変動を明らかにした。熊本地震後の地表変動をより明らかにするには、より長期間のデータを用いて解析することにより、干渉SAR時系列解析の精度を上げる必要があると考える。

キーワード：干渉SAR、差分干渉SAR、SBAS法、熊本地震、九重山、ALOS2/PALSAR2

Keywords: InSAR, DInSAR, SBAS Analysis, Kumamoto earthquake, Kuju volcano, ALOS2/PALSAR2

## 継続的な差分干渉SAR解析による熊本地震後の地表面変動分布図作成の防災的意義と課題

### Disaster management issues of the displacement distribution map after 2016 Kumamoto earthquake based on time-series DInSAR analysis

\*宝楽 裕<sup>1</sup>、木村 誇<sup>2</sup>、酒井 直樹<sup>2</sup>、上石 勲<sup>2</sup>、園部 雅史<sup>1</sup>、木村 詩織<sup>1</sup>、下村 博之<sup>1</sup>、武田 大典<sup>1</sup>

\*Yutaka Horaku<sup>1</sup>, Takashi Kimura<sup>2</sup>, Naoki Sakai<sup>2</sup>, Isao Kamiisi<sup>2</sup>, Masashi Sonobe<sup>1</sup>, Shiori Kimura<sup>1</sup>, Hiroyuki Shimomura<sup>1</sup>, Daisuke Takeda<sup>1</sup>

1. 株式会社パスコ、2. 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 気象災害軽減イノベーションセンター

1. PASCO CORPORATION, 2. Innovation Center for Meteorological Disaster Mitigation, National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

平成28年(2016年)熊本地震により、被災地域では斜面崩壊や地すべり等の土砂災害や液状化等の地盤災害が多発しており、道路や橋梁等のインフラや農地・農業用施設への甚大な被害が生じている。また、地震後の豪雨により、地震で地盤が緩んだ場所の崩壊や地震による崩壊土砂の土石流化が発生しており、今後も危険性が高い状態が継続することが懸念される。

国立研究開発法人防災科学技術研究所では、災害直後から震源・深度分布、地震による建物被害推定、空中写真判読による土砂移動分布図の作成、現地における被害状況把握、リアルタイムレーダー雨量解析を実施しており、ホームページ公開などを通じて地元自治体へ防災情報の提供を行ってきた。本発表では、それらの試みの一つとして、合成開口レーダー（SAR）画像を用いた継続的な差分干渉SAR解析に基づき、地震後約7ヶ月間の地表面変動分布図を作成した結果を報告する。また、現地調査で地表面変動分布図を検証した結果を踏まえ、SAR画像を用いた広域・長期にわたる地表面変動抽出について防災情報としての利用に向けた課題を挙げる。

解析にあたり、ALOS-2（Lバンド）画像は2016年5月から同年11月にかけて継続的に撮影され、災害前後のアーカイブ画像を含めた15枚105組による差分干渉SAR解析を行い、時系列での比較を行った。解析結果より、対象範囲（熊本県内にて設定した1600km<sup>2</sup>）における地表面変動の抽出や衛星視線方向の地表面変動量の算出を行い、地表面変動分布図を作成した。地表面変動分布図の作成において、メッシュ単位や道路区間ごとに地表面変動量を平均化して図化することにより、広域にわたる変動候補箇所の分布をわかりやすく表現できた。一方、メッシュ単位や道路区間毎の表示は実際の地変現象の特徴（例えば、地すべり性の変位を起こしている斜面の規模や変位方向）が分かりづらくなる面があり、また地表面変動量を衛星視線方向ではなく2次元の成分に分解する等、変動量の表現に改良が必要と考えられた。

衛星画像より抽出された地表面変動は事象（地すべり、地盤沈下、液状化等）の考察を行い、現地調査による確認を実施した。同年6月の豪雨前後やその後の期間に変動が抽出された箇所は現地でも地表面変動の痕跡（道路面の亀裂など）を確認することができた。高野台地区（京都大学火山研究センター付近）の大規模斜面崩壊箇所では、崩壊土砂の流出によると考えられる変動が確認された。赤瀬川地区（阿蘇大橋付近）では工事による斜面整備等の人為的な改変によるものと思われる変動が確認された。また、地上センサにより斜面変位が観測されている箇所（高野台地区、大峯山地区）では調査期間中に顕著な斜面変位は検知されておらず、差分干渉SAR解析においてもノイズレベルを超える変動は検出されなかった。一方、差分干渉SAR解析で地表面変動が認められたにもかかわらず現地ではその痕跡が確認できない箇所もあった。これらの事例についてはケースによって原因が異なると考えられるため、個別に精査する必要がある。

キーワード：地表面変動分布図、差分干渉SAR、地すべり、平成28年熊本地震、ALOS-2

Keywords: Displacement distribution map, Differential SAR Interferometry, Landslide, The 2016 Kumamoto earthquake, ALOS-2

# DInSAR, GNSS及び傾斜計による十勝岳の地殻変動モニタリング Deformation monitoring at Tokachi-dake volcano, by using GNSS, tiltmeter, and DInSAR observations

\*宮城 洋介<sup>1</sup>

\*Yosuke Miyagi<sup>1</sup>

1. 防災科学技術研究所

1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

北海道中央部に位置する十勝岳は、十勝岳火山群の中で現在最も活発に活動している火山である。20世紀には1926年、1962年、そして1988-89年に小、中規模のマグマ噴火が発生しており、その間にも水蒸気爆発を繰り返してきた。1988-89年の噴火以降も度々火山性微動や地震活動の活発化が観測され、現在でも大正火口や62-2火口からは活発な噴気活動が続いている。

火山活動の活発化を捉える指標の一つに地殻変動がある。十勝岳周辺には防災科研のV-net観測点や国土地理院のGEONET観測点が数点ありGNSSや傾斜計による地殻変動連続観測が行われている。これらは主に深部の活動に起因する広域の地殻変動の検出及び監視を目的とする。一方山頂近傍には、北海道立地質研究所と北海道大学による数点の連続GNSS観測点が存在し、主に地下浅部の活動に起因する地殻変動のモニタリングを行っている。さらに、これらGNSS及び傾斜計から成る観測網の空間分解能を補うために、人工衛星搭載SARを利用した差分干渉SAR解析（DInSAR解析）による地殻変動モニタリングも行われている。衛星SARによる観測は、時間分解能は劣るが広域の変動を一度に捉えることが可能であり、上記GNSS及び傾斜計から成る観測網と相補的なデータを取得することができる。本研究では、V-net及びGEONETによる広域のGNSS及び傾斜計から成る連続観測データと併せて、2014年5月に打ち上げられ現在もJAXAによって運用されているALOS-2/PALSAR-2（だいち2号）による観測データ、それから、2015年の5月～7月に観測されたドイツのX-band SAR衛星・TerraSAR-Xによる観測データを使用し、十勝岳の地殻変動モニタリングの結果を紹介し、近年及び現在の十勝岳の状況について議論する。

キーワード：合成開口レーダー、地殻変動、十勝岳

Keywords: SAR, Deformation, Tokachi-dake

## RADARSAT-2、ALOS、ALOS-2のデータを利用した干渉SAR（関東地方の事例）

### SAR interferometry using RADARSAT-2, ALOS and ALOS-2 data; case study in Kanto region

\*森下 遊<sup>1</sup>

\*Yu Morishita<sup>1</sup>

1. 国土地理院

1. GSI of Japan

衛星SARで利用されている周波数帯は主にLバンド、Cバンド、Xバンドの3種類である。干渉SARにおいて周波数帯の違いは干渉性や変位計測精度に多大な影響を及ぼす、重要な要素である。それぞれの周波数帯に長所及び短所があり、対象に応じて適切な周波数帯を選択することや複数の周波数帯を組み合わせることで、変位計測能力を高めることが可能となる。

日本においては、国産のLバンドSAR衛星であるALOS及びALOS-2のデータが盛んに用いられてきた。しかし、これらのデータには、他の周波数帯に比べて計測精度が低く、観測頻度が高くないという欠点がある。さらに、ALOSが運用を停止した2011年5月からALOS-2が観測を開始した2014年8月までの3年以上の間は、観測データが存在せず、どのような地表変位があったかを調べるできない。地盤沈下や火山等、長期間の連続的な変位監視が必要な対象にとって、特に東北地方太平洋沖地震の直後であることもあり、その空白期間を埋めることは重要である。

ALOSシリーズの空白期間に運用されていた数少ないSAR衛星の一つとして、カナダのCバンドSAR衛星RADARSAT-2がある。CバンドデータはLバンドに比べて植生の影響を受けやすいが、計測精度は高く、特定の領域ではデータ量も多い。今回、国土地理院とJAXA、JAXAとCSAの協定に基づき、ALOSシリーズの空白期間を含む、関東地方におけるRADARSAT-2のデータを取得することができた。本発表では、立川断層周辺及び箱根山を含む関東地方におけるRADARSAT-2、ALOS及びALOS-2のSAR干渉解析結果と、それらの比較について報告する。

キーワード：干渉SAR、RADARSAT-2、ALOS、ALOS-2、Cバンド、Lバンド

Keywords: InSAR, RADARSAT-2, ALOS, ALOS-2, C-band, L-band

# 合成開口レーダを用いた東南極域における時系列棚氷・氷床変動 Temporal variation of ice sheet and ice shelf on East Antarctica using Synthetic Aperture Radar data

\*山之口 勤<sup>1</sup>、土井 浩一郎<sup>2</sup>、中村 和樹<sup>3</sup>、青木 茂<sup>4</sup>

\*Tsutomu Yamanokuchi<sup>1</sup>, Koichiro Doi<sup>2</sup>, Kazuki Nakamura<sup>3</sup>, Shigeru Aoki<sup>4</sup>

1. 一般財団法人 リモート・センシング技術センター、2. 国立極地研究所、3. 日本大学工学部、4. 北海道大学低温科学研究  
所

1. Remote Sensing Technology Center of JAPAN, 2. National Institute of Polar Research, 3. Nihon University, 4. ILTS,  
Hokkaido University

ALOS-2やSentinel-1Aの打ち上げから3年が過ぎ、これらの衛星は順調に極域のデータを収集している。1991年のERS-1/SARによる極域観測が始まったころからすると広域、高頻度、多周波数での観測が実現されつつある。昨年のJpGUでは、こうした状況を生かし、LH湾にて突然発生した定着氷の流失イベントについて複数のSARデータを用いた解析と報告が可能であった。今回は、昨年度の成果を踏まえ、LH湾の定着氷のその後の変化状況の解析および、西南極域に比べてClimate Changeに対する応答がゆるやかであると言われて  
いる東南極、なかでも特に昭和基地・LH湾を含む周辺のPrinsesse Lagnhild Kyst地域を中心に、時系列の  
SARデータセットを用いた解析を行う。SARを用いた解析としては、InSARを用いたGrounding Lineの時系列  
解析と、後方散乱画像を用いた時系列変化の解析を行う。また、これらSARデータの解析結果に高度計の  
データも用いることで、本地域における棚氷の変化量の定量的な把握も試みる。なお、時系列解析に際して  
は、SAR強度画像の利用が比較的簡便に可能なGoogleEarthEngineの利用も試みる予定である。

キーワード：SAR、時系列解析

Keywords: SAR, Time Series analysis

## Monitoring of Plantation Forests using Polarimetric SAR Data

\*小林 祥子<sup>1</sup>、大村 善治<sup>2</sup>、山口 芳雄<sup>3</sup>、Ragil Widyorini<sup>4</sup>、藤田 素子<sup>2</sup>、Bambang Supriadi<sup>5</sup>、川井 秀一<sup>2</sup>

\*Shoko Kobayashi<sup>1</sup>, Yoshiharu Omura<sup>2</sup>, Yoshio Yamaguchi<sup>3</sup>, Ragil Widyorini<sup>4</sup>, Motoko S Fujita<sup>2</sup>, Bambang Supriadi<sup>5</sup>, Shuichi Kawai<sup>2</sup>

1. 玉川大学、2. 京都大学、3. 新潟大学、4. University of Gadjah Mada、5. PT. Musi Hutan Persada

1. Tamagawa University, 2. Kyoto University, 3. Niigata University, 4. University of Gadjah Mada, 5. PT. Musi Hutan Persada

Industrial plantation forests have rapidly expanded throughout many parts of the world. Therefore, the sustainability of plantation forests must be ensured through continuous monitoring. Especially in regions of persistent water vapor and clouds, which cannot be continuously monitored by optical sensors, microwave sensors are particularly advantageous in forest monitoring. However, microwave backscattering mechanisms in plantations remain poorly understood.

This study attempts to understand backscattering characteristics under different forest structural conditions in plantation forests of fast-growing acacia trees in Sumatra, Indonesia. A general four-component scattering power decomposition method was applied to ALOS PALSAR data. The variation in decomposition powers was compared to forest inventory data with visual assessments of stand conditions.

Our results were highly consistent with the field-measured data and suggest that the forest structural conditions can be understood from the yearly variations of the polarimetric parameters. The main findings are that (1) after the rapid growth phase, when the trees retain fewer leaves, canopy scattering is contributed by both forest canopy and understory vegetation. Four-component power decomposition is useful for distinguishing the growth of the canopy itself from growth of the understory vegetation; (2) in the investigated plantation, the relative canopy scattering increases in healthy mature stands before harvest time because the remaining tree canopy is supplemented by understory vegetation. At the same time, the understory growth strongly interferes with the double-bounce scattering, in which remarkable decrease is observed. This result indicates that the understory conditions must be considered in the analysis of L-band SAR data, especially in this plantation and other sparse forests; (3) physical leaf damage is associated with a distinct decrease in relative canopy scattering, and also by increased relative surface and double-bounce scatterings. Partial damage in a forest compartment is reflected in the ALOS PALSAR data. Moreover, even in younger forest stands, the fluctuation in the canopy scattering reflects the growing conditions, and provides useful information for measuring growth states.

This study on a single-layered forest elucidated how the fundamental characteristics of radar backscattering vary with forest structures and conditions. Such understanding will assist forestry researchers to interpret scattering mechanisms in natural forests.

キーワード：散乱電力分解、Lバンド、植林地

Keywords: Scattering Power Decomposition, L-band, plantation forests



# A study on measurement error of topography using cross-track interference SAR

\*Akitsugu Nadai<sup>1</sup>, Junpei Uemoto<sup>1</sup>, Syoichiro kojima<sup>1</sup>, Toshihiko Umehara<sup>1</sup>, Tatsuharu Kobayashi<sup>1</sup>, Takeshi Matsuoka<sup>1</sup>, Seiho uratsuka<sup>1</sup>

1. NICT National Institute of Information and Communications Technology

Synthetic aperture radar (SAR) has been developed to obtain radar images with high spatial resolution. Applying digitally signal processing, SAR obtains higher processing abilities, like the cross-track interferometric SAR (XTI SAR) technique to measure the topography of wide area. In these days, the improvement of accuracy is strongly required for quick topography measurement at the disaster scenes.

The XTI SAR technique uses more than two antennas with spatial separation perpendicular to the moving direction of platform. All antennas receive the scattered signal from the same target. The differences of target ranges between each antenna pairs are measured from the difference of signal phases received by each antenna with sensitivity of sub-wavelength order. The target position is determined by combining the antenna positions and the differences of target ranges.

On the processing of XTI SAR, the antenna positions measured on ground are dealt as known value, because the position measurement in flight is quite difficult. However, the real antenna positions in flight may differ from the measured positions on ground due to the different conditions of circumstances. Moreover, the platform altitude, which is needed to solve the ambiguity in difference of target ranges, may include error. In addition, the target ranges measured each antenna also include pseud lengths due to the time delays in electronic circuits. These errors of measurement parameters on XTI SAR may lead the measurement error of topography.

In this paper, considering the simple XTI SAR technique using two antennas, the relations between the errors of measurement parameters and the measurement error of topography is studied. Based on these relations, the features of measurement errors due to each error of measurement parameters are simulated and the influences are discussed.

Keywords: Synthetic Aperture Radar (SAR), Cross-track interferometric SAR, topography

# InSAR atmospheric correction using Geostationary Meteorological Satellites

\*二村 忠宏<sup>1</sup>、古田 竜一<sup>1</sup>

\*Tadahiro Nimura<sup>1</sup>, Ryoichi Furuta<sup>1</sup>

1. 一般財団法人リモート・センシング技術センター

1. Remote sensing technology center of Japan (RESTEC)

InSAR is effective tool to detect land deformation precisely with high spatial resolution. And addition to the spatial resolution, the SAR observations can measure deformation more frequently than leveling. ESA's Sentinel-1 constellation are observing Japan area each 12 days for example. More finely and frequently observation, we face critical problems caused by the atmospheric effects. And to correct this effects there are many ways proposed. The major one is using metrological analysis model like ECMWF. This corrections are very successful in several observations. But there are some problems remained. 1st is that the models aren't synchronized SAR observation time. JAXA's ALOS-2 orbit to synchronize the time is designed to observe nearly 0:00 or 12:00 at local time. But the time is not exactly 0:00 or 12:00, varied by orbit. This gap has problems because of the phase shift by the water vapor every second changing. 2nd is the cost of calculation. To simulate atmospheric model like ECMWF we need high performance computers like KEI. It is difficult to use that computers for everyone who want to calculate certain time. And the other methods including GNSS correction also have advantages and disadvantages. To solve those problems we propose using Geostationary Meteorological Satellites to correct InSAR results.

Next generation geostationary meteorological satellites like Himawari-8 and GOES-16 can observe visible range at every 5 minutes. Especially Himawari-8 can observe Japan area at every 2.5 minutes. And the wavelength ranges are significantly increasing from former generations. Using this wavelength ranges and frequent observation by GMS, we can calculate the phase shift of SAR by the water vapor.

We made InSAR results and using Himawari-8 images to correct these results. To confirm SAR satellite's wavelength effects in correction using Himawari, we used ALOS-2 images and Sentinel-1 images after starting the Himawari-8's observation. SAR processing software we used is GAMMA SAR. And used parameter files of the software to calculate SAR satellite information. Using SAR satellite information and Himawari-8 satellite information, we calculated the length change from SAR satellites by the snell's law. And calculated the phase shift from this length changes.

Himawari-8 data that was used in this study was supplied by the P-Tree System, Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA).

キーワード : SAR、干渉SAR、ALOS-2

Keywords: SAR, InSAR, ALOS-2