

SARデータを用いた吾妻山地表面変動量の推定

Estimate of crustal deformation around Azumayama Volcano by using SAR data

武藤 大樹¹、*小川 佳子¹、久田 泰広¹、出村 裕英¹、三浦 哲²、小澤 拓³Daiki Muto¹, *Yoshiko Ogawa¹, Yasuhiro Hisada¹, Hirohide Demura¹, Satoshi Miura², Taku Ozawa³

1.会津大学、2.東北大学大学院理学研究科、3.防災科学技術研究所

1.The University of Aizu, 2.Graduate School of Science, Tohoku University, 3.National Research Institute for Earth Science and Disasters

Azumayama Volcano is located along the border of the Yamagata and Fukushima Prefecture. The volcanic alert level of Azumayama has been raised to Level 2 since Dec. 2014, which is the highest in the Fukushima prefecture. Level 2 means a probability of an eruption which can damage the area near the crater.

The Advanced Land observing Satellite2 (ALOS2) / Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar (PALSAR2) observes the large area. The technique of interferometric SAR (InSAR) analysis can estimate the ground displacement with the cm-level resolution.

In this research, we examined a crustal deformation around Azumayama. We analyzed the ALOS2/PALSAR2 data observed from September 2015 to November 2016 using the technology of InSAR, comparing the results with the measurement from the 6 GNSS stations around Azumayama. If the crustal deformation obtained by the InSAR analysis of ALOS2/PALSAR2 data is consistent with the measurement by GNSS observation at the corresponding locations, we could integrate the two methods to estimate the crustal deformation of the whole area around Azumayama, spatially- and time-continuously which should complement each other.

As a result, we detected the local crustal deformation around Azumayama by InSAR. The crustal uplift had occurred at Oana crater through 2014/9/9-2015/6/2. No crustal deformation was observed from 2015/6/2 to fall 2015. The subsidence at the west of Azumayama since fall 2015 seemed to be detected for the first time by InSAR.

The InSAR estimates showed very good agreement with the GNSS observations within their errors except for a few cases where phase propagation delays through the ionosphere or troposphere should limit the accuracy of InSAR.

No GNSS station is located at the west of Azumayama. InSAR analysis can contribute to estimate the crustal deformation in the whole volcanic area. By integrating the two different methods of InSAR and GNSS, we would be able to monitor the deformations around Azumayama Volcano multi-dimensionally. It will be an important step toward prevention and/or mitigation of natural disaster.

キーワード：吾妻山、地殻変動、干渉SAR、防災・減災

Keywords: Mt. Azuma, crustal deformation, interferometric SAR, prevention and reduction of natural disaster

4方向からのALOS-2干渉SARによる3次元変動場の推定 ～2015年桜島火山活動の事例～

3-D deformation mapping by exploiting ALOS-2 InSAR from four different viewing directions
-case of Sakurajima volcanic activity in 2015 -*森下 遊¹、小林 知勝¹、矢来 博司¹*Yu Morishita¹, Tomokazu Kobayashi¹, Hiroshi Yarai¹

1.国土交通省国土地理院

1.GSI of Japan

干渉SARは高空間分解能かつ高精度に地表変位量を計測することが可能であり、直接計測することが困難な地震や火山活動に伴う地下の地殻変動やそのメカニズムの推定に役立てられてきた。一方で、干渉SARには衛星-地表間距離の1次元の変化量のみしか計測できないという制約条件がある。3方向以上からの干渉SAR結果を組み合わせることで3次元の変位量を推定することが可能となるが、従来の衛星SARによる観測はほぼ右方向に限定されており、そのような条件が満たされることはなかった。衛星進行方向の変位量を計測することが可能なピクセルオフセットやMAIの結果と組み合わせることで3次元変位場を推定した事例は多数存在するが、これらの手法は干渉SARに比べて空間分解能や計測精度が劣るため、干渉SARが本来保持する能力を犠牲にすることになる。

2015年8月15日、桜島において多数の火山性地震が発生し、傾斜計、伸縮計及びGNSS連続観測で膨張性の変動が観測された。この火山活動に伴う地殻変動を計測するため、ALOS-2による緊急観測が相次いで実施された。右方向のみではなく左方向の観測も実施され、わずか9日間で北行及び南行、左方向及び右方向それぞれの組み合わせによる4方向からの干渉SAR結果を得ることができた。

4方向からの干渉SAR結果により、桜島火山活動に伴う3次元変位量及びその各成分の誤差量を推定した。その結果、昭和火口を中心とする北西-南東方向で最大15cm以上の伸長性の水平変動、昭和火口南東側で最大12cm以上の隆起が検出された。誤差量は東西、南北、上下成分でそれぞれ0.8cm、3.4cm、0.7cmと推定された。南北成分の誤差量が他の成分よりも大きいのは、衛星が極軌道であり方位角が小さいため、南北成分の拘束が他成分より弱いためである。それでも誤差量は検出された変位量よりも十分に小さく、検出された変動は有意なものであるといえる。桜島島内に設置された7点のGNSS連続観測による変位量と比較した結果、RMSEが東西、南北、上下成分でそれぞれ1.2cm、1.6cm、0.7cmとなり、干渉SAR3次元変動場の推定誤差も考慮すると、両者は調和的であるという結果が得られた。

MAIによる衛星進行方向の変位量の利用も試みたが、干渉SARに比べて計測精度が大幅に低く、3次元変動場の推定精度向上にはほぼ寄与しない結果となった。

キーワード：ALOS-2、InSAR、3次元変動場、ダイク貫入、桜島

Keywords: ALOS-2, InSAR, 3-D deformation, Dike intrusion, Sakurajima

数値気象モデルによる大気遅延誤差の低減処理の効果 - 2015年桜島火山活動のInSAR解析を例に -
Effect of atmospheric-related noise reduction using numerical weather model -Application
to the 2015 Sakurajima dike intrusion event -

*小林 知勝¹

*Tomokazu Kobayashi¹

1.国土交通省国土地理院

1.GSI of Japan

InSAR 画像内に含まれる地殻変動以外の位相変化の要因の1 つに大気の影響がある。大気遅延誤差の低減には、画像内の標高と位相変化量の相関を利用した低減手法がしばしば用いられるが、SARとは独立したデータを用いた手法も提案されてきた。気象データを利用する方法がその1つで、小林・他(2014)では数値気象モデルを用いて遅延誤差の低減処理を行う技術開発(AtmDeRay)を行った。本発表では、2015年の桜島で起きたマグマ貫入イベントの解析を通じて、火山活動を対象としたInSAR解析における大気遅延誤差の低減処理の効果と重要性について報告する。

2015年8月15日、桜島で火山活動が活発化した。GNSSによる地殻変動データや震源分布から、山頂直下付近にマグマが貫入したことによるものと考えられている。16日以降は、GNSSデータ等の動きに変化は見られず大きな地殻変動は起きていない。この活動に伴い、だいち2号による緊急観測が行われた。北行軌道/左側観測と南行軌道/右側観測による東上空からの観測、北行軌道/右側観測と南行軌道/左側観測による西上空からの観測である。このうち、8月16日に実施された1回目の緊急観測(Path125, 北向軌道・左観測)の干渉画像(ペア: 2015.01.04-2015.08.16)は、霧島山で約9cm程度の標高に相関する位相変化が見られる等、大気による遅延の影響が強いデータであった。このInSAR解析からは、昭和火口の東にある鍋山付近で地殻変動と考えられる最大約16cmの衛星視線方向距離の短縮が同心円状に明瞭に検出されたが、これに加えて、南岳付近にも最大約7cmの距離短縮の位相変化が見られた。問題は、南岳付近に広がる距離短縮の位相変化が、地殻変動か大気遅延誤差かである。数値気象モデルにより予想される位相遅延モデルからは、霧島山で最大8cmの距離短縮の位相変化が予想され、南岳付近にも最大約6cmの距離短縮の位相変化が見積もられた。一方、鍋山付近では最大でも1cm程度にとどまった。この位相遅延モデルを用いて誤差低減すると、南岳付近や霧島山の位相変化は1cm程度の位相変化に抑えられる一方で、鍋山付近の同心円状の位相変化はほとんど変化することなく残った。8月24日に行われた同じ東側からの観測(Path23, 南行軌道・右観測)による複数の干渉画像は、霧島山等で大気によるものと考えられる位相変化は小さく大気の影響が小さいInSAR画像であった。この画像では、南岳付近には明瞭な距離短縮の位相変化は見られなかった。これらのことから、数値気象モデルにより誤差低減されたものが、地殻変動分布をより反映したものと考えられる。誤差低減の有無は、モデル計算結果にも強く影響した。GNSSやPath125以外のInSARデータから推定されるモデルは、昭和火口直下のダイク開口である。しかし、低減前のデータを加えたモデル推定を行うと、低角(傾斜約30度)のクラックとなり、干渉画像の再現も極めて悪い。これらの結果は、InSARによる火山観測において、大気誤差の低減処理が、モデル推定の結果、ひいては火山の活動評価にも大きな影響を与えうることを示唆している。

謝辞: 本研究で用いたALOS-2データは、火山噴火予知連絡会衛星解析グループ(火山WG)を通じて、(国研)宇宙航空研究開発機構(JAXA)から提供を受けました。原初データの所有権はJAXAにあります。数値気象モデルは、国土地理院と気象庁との協定に基づき提供されたものです。

キーワード: InSAR、大気遅延誤差、数値気象モデル

Keywords: InSAR, Atmospheric-related noise, numerical weather model

有限要素法を用いたInSAR画像の解釈：山体形状の影響

Interpretation of InSAR images by FEM: Effects of topography

*高田 陽一郎¹*Youichiro Takada¹

1.北海道大学大学院理学研究院

1.Faculty of Science, Hokkaido University

合成開口レーダー(SAR)解析は火山性の地殻変動を明らかにする上で欠かせないツールとなっており、世界中で多くの業績が上がっている。国内でもここ数年で霧島山、御嶽山、桜島などの噴火、あるいはダイク貫入イベントに伴う地殻変動が干渉SAR(InSAR)解析によって明らかにされている。SAR衛星は世代を重ねる度に空間分解能を増しており、これに伴って急峻な山腹や山頂付近における地殻変動を一層詳細に把握することが可能になってきた。また、航空機SARによる干渉解析の試みも国内外で進められており、米国では既に実用段階に入っている。

このように高分解能化したデータを用いて定量的な解釈を行うためには、数値モデリングもそれに見合って進化する必要がある。特に火山は地形が険しく、力源が浅部にある場合には地表変位場は地形の影響を受けるはずである。本研究では詳細な地形を考慮した断層モデルを開発し、桜島のInSAR画像と比較して地形の効果を検証した。

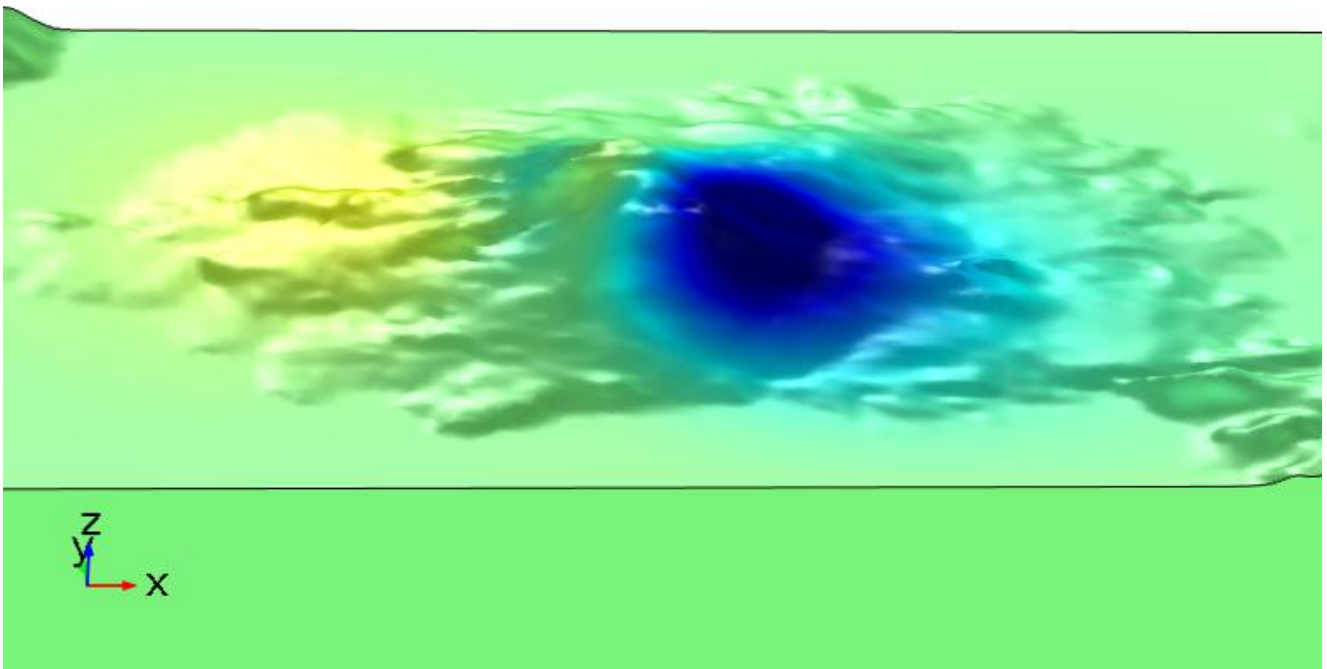
桜島では2015年8月に火山活動の高まりを受けて噴火警戒レベルが最大で4まで引き上げられる事態が発生した。だいち2号(ALOS2)によって複数のSAR画像が撮像され、InSAR解析により桜島中央部にノイズレベルを上回る衛星視線方向の変位が観測された。この変位場は開口クラックにより良く説明できる(例えば、国土地理院HP)。イベントは桜島のほぼ中央部で発生しており、開口クラックの直上は島内でも標高が高く傾斜が大きな地域である。また、クラックは非常に浅い場所に位置するため、InSAR画像が地表地形の影響を受ける可能性は高い。そこで、有限要素法ソフトウェアCOMSOL Multiphysicsを用いて詳細な地表地形を考慮したモデルを構築し、地表変位を計算した(図)。地形データはSRTM (Shuttle Radar Topography Mission)を用いた。断層は矩形とし、これに開口変位を与えた。このモデルは2015年8月10日と8月24日に撮像されたSAR画像を用いたInSAR画像を概ね良く説明できた。

同じ断層モデルで地表標高が0 mの場合を計算すると地表変位が大きすぎるため、断層を500m以上深く設定する必要があった。このように、いわば平坦なままで標高を一様に変えれば全体的な傾向は詳細に地形を考慮した場合と大きく違わないが、山頂周辺に衛星視線方向の変位量で1cm程度の差異が残る。この差異は正と負のペアをなす特徴的なパターンを示すが、量が小さいのでInSAR画像から丁寧にノイズを除去しないと見出せない可能性がある。講演では他のInSAR画像について試した結果や、クラックを非常に浅くした場合の地形の効果にも言及する。

キーワード：合成開口レーダー、有限要素法、桜島、山体形状

Keywords: SAR, FEM, Sakurajima, Surface topography

Finite element model and dLOS of Sakurajima



地上設置型レーダー干渉計による火口周辺の地表変動モニタリング

Ground-based radar interferometer observation system for monitoring of surface deformation around the volcanic crater

*小澤 拓¹、宮城 洋介¹、青木 陽介²、辻 浩²

*Taku Ozawa¹, Yosuke Miyagi¹, Yosuke Aoki², Hiroshi Tsuji²

1.防災科学技術研究所、2.東京大学地震研究所

1.National Research Institute for Earth Science and Disasters, 2.Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

地上設置型レーダー干渉計（GBRI）は、地上に設置したアンテナからレーダー波を照射し、観測対象からの後方散乱波を受信するセンサーである。さらに、得られたレーダー画像の各画素に格納される位相の時間変化から、アンテナと散乱点との距離の変化を面的に検出することができる。これまでの衛星SARやGNSSを用いた研究により、火口周辺で局所的な地表変動が検出された例が多く報告されている。噴火発生に係るメカニズムの理解や噴火発生予測の高度化のため、このような地表変動をより高い時間分解能で観測したい。そこで、GBRIを用いて火口周辺の地表変動をモニタリングする技術を確認することを目的とした研究を推進するため、浅間山山麓にGBRI観測システムの設置を進めているところである。

本観測システムは、合成開口レーダー型（LiSA Lab社製LiSA mobile k09）と実開口レーダー型（Gamma Remote Sensing社製GPRI2）の2台のGBRIから構成される。それぞれのGBRIは200~300MHzの帯域幅を持つ17GHz帯のマイクロ波を用いており、レンジ方向については、1mより良い分解能を得る。LiSA mobile k09は、アンテナ部が3mのルール上を移動しながら観測するセンサーであり、合成開口処理によってクロスレンジ方向の分解能を向上させる。一方、GPRI2はクロスレンジ方向に2.5mの幅を持つアンテナを用いて同程度の分解能を得る。また、GPRI2はアンテナを回転させることにより、面的に画像を得ることが可能である。

GPRI2は2016年1月に東京大学地震研究所の浅間火山観測所に設置し、試験運用を開始した。現時点においては、雪に覆われている山体しか観測できていないが、そのような状況においても、1時間程度に限定すれば、ほとんどの時間において安定して干渉が得られることがわかった。ただし、大気遅延と推測される成分が、大きい場合には、1時間で2cmに達する可能性がある。このような非地表変動成分をいかに軽減させるかが、今後の研究における大きな課題の一つである。さらに長い時間の観測については、これから解析を進める予定である。LiSA mobile k09の設置についても3月中に終了する予定であり、本発表においては、それらの初期観測結果についても紹介する予定である。

キーワード：地上設置型レーダー、火山、地殻変動

Keywords: Ground-based radar, volcano, deformation

GB-SARの技術と応用

GB-SAR technology and its deployment

*佐藤 源之¹

*Motoyuki Sato¹

1. 東北大学

1. Tohoku University

地上設置型合成開口レーダ(Ground Based Synthetic Aperture Radar) はGB-SARとして開発と実用化が進んでいる。

1990年代から基礎的な研究がイタリア、スペインなどで開始され、東北大学東北アジア研究センターにおいてもVNAを送受信機に利用したシステムを1997年頃より実験的に研究し、比較的近距离の樹木の3次元可視化や、レーダポーラリメトリを利用した特徴抽出などに利用してきた。

2010年頃より、商用のGB-SARシステムが普及をはじめ、東北大学東北アジア研究センターでは宮城県栗原市荒砥沢の大規模な地滑り地域を対象とした連続モニタリングを栗原市と共同で2011年11月より行っている。地滑りの早期警戒システムを社会実装する実験と捉えている。

電波暗室内や、ごく近傍で極めて微弱な出力しか出さない場合を除き、通常のGB-SAR運用には無線局の認可を受ける必要がある。我が国では電波法の定めに従い、周波数割り当てを受けることになるが、レーダーで使用できる周波数はある程度決まっている。

一方、関東総合通信局は、2012年度に「17GHz帯地上設置型合成開口レーダーに関する調査検討会」を実施した。これは欧州などで標準化されている17GHz帯の周波数を我が国で利用する場合の問題点を明確にし、利用促進を図ろうとするものであった。同時にこの周波数帯域は 特定実験局として、比較的容易に無線局免許を受けられる周波数としても公開された。

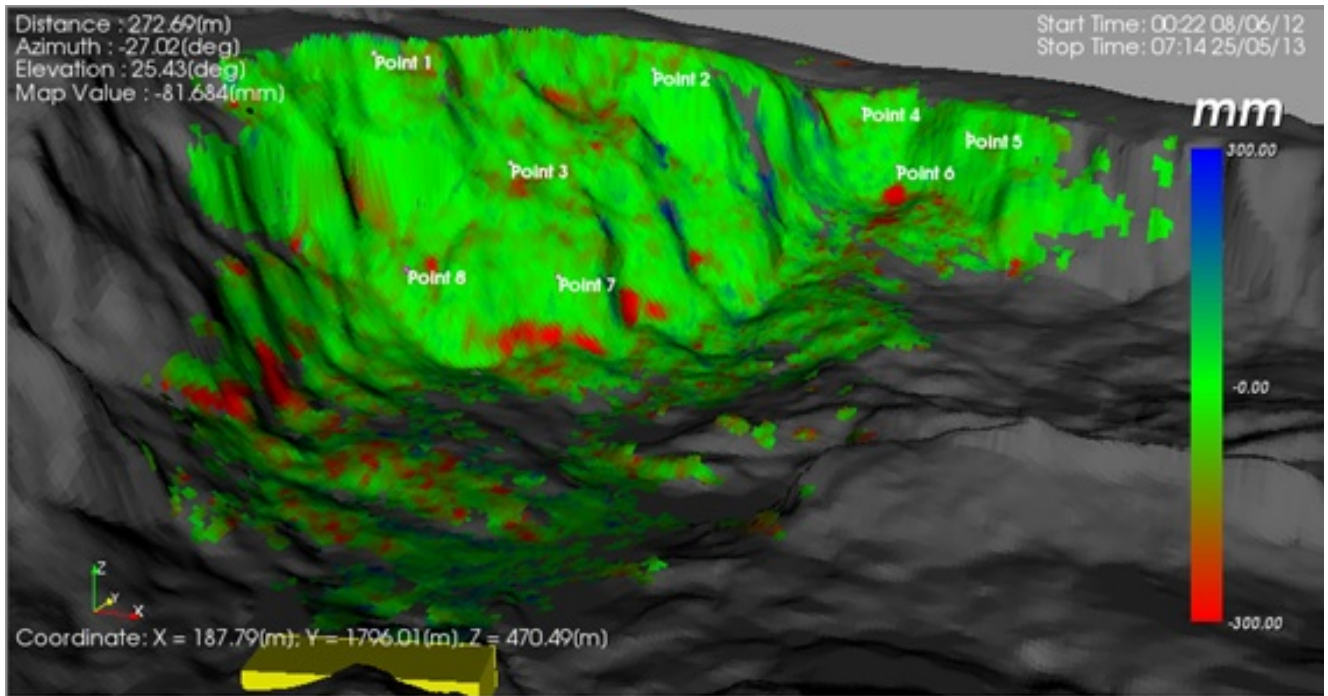
東北大学東北アジア研究センターが荒砥沢で運用するGB-SARは、予め告示された周波数、空中線電力及び使用可能地域の条件の下、免許を受けやすい特定実験試験局として開局したが、後にこの周波数割り当てがなくなったため、2013年4月から、実験試験局に変更している。その後、東北大学東北アジア研究センターでは更に2台について、同17GHz周波数帯域で実験試験局の免許を受け、研究を行っている。

GB-SARは周波数によって得られる情報の種類が変わる。今後、異なる周波数での利用価値を見極める必要がある。

17GHz帯を用いて、東北大学東北アジア研究センターでは地滑り計測の他、橋梁の振動計測や広域の路盤計測への応用などを行っている。

キーワード：GB-SAR、地上設置型合成開口レーダ、地滑り

Keywords: GB-SAR, Landslide, vibration



ALOS-2 / PALSAR-2でみる南極棚氷・氷床

Antarctic ice shelf and ice sheet through ALOS-2 / PALSAR-2 satellite

*山之口 勤¹、土井 浩一郎²、中村 和樹³、青木 茂⁴*Tsutomu Yamanokuchi¹, Koichiro Doi², Kazuki Nakamura³, Shigeru Aoki⁴

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 for Polar Research, 3.Nihon
University, 4.Institute for Low Temperature Science, Hokkaido University

After the two years of launch of ALOS-2 satellite, PALSAR-2 collected the fine data on Antarctic continent and surrounding ice shelves. We would like to report the first two years of results using ALOS-2 / PALSAR-2 data. Our study focus on two subjects, one is 3pass or 4pass DInSAR (DDInSAR) analysis for detection of marginal zone between ice sheet and ice shelf, known as "grounding line". It is very few 3pass InSAR pairs even after two years of data accumulation, we introduce the intermediate report of the analysis through the comparison of grounding lines made by ERS-1/2 and ALOS / PALSAR data respectively. The other is time series analysis of ice shelf change on Prinsesse Ragnhild Kyst. This area is located on East Antarctica, where its climatological change is said to be relatively calm. We investigate the variation of the ice shelf through the time series SAR backscatter image analysis.

キーワード：ALOS-2、干渉SAR、時系列解析

Keywords: ALOS-2, InSAR, Time series analysis

InSARによる永久凍土地帯の地盤変動の検出：予備的結果

InSAR measurement of ground subsidence at permafrost areas: preliminary results

*古屋 正人¹、飯尾 研人²

*Masato Furuya¹, Kento Iio²

1.北海道大学大学院理学研究院地球惑星科学部門、2.北海道大学大学院理学院自然史科学専攻

1.Department of Earth and Planetary Sciences, Hokkaido University, 2.Department of Natural History Sciences, Hokkaido University

ロシアのヤマル半島において、2014年6月にカルデラのような「陥没地形」が発見された。シベリア北部のような永久凍土地帯ではサーモカルストと呼ばれる窪地あるいは融解湖が知られており、多くは永久凍土の融解に伴う沈降によるものと考えられている。融解湖の拡大あるいは縮小が光学衛星画像の解析から調べられたことはあるが、永久凍土の融解そのものは現場観測が困難であることや、対象地域そのものが広大でもあり、現在どこで融解が進行しているかなどは明らかになっていない。Liu et al (2015, JGR-ES)は、InSARを用いて、永久凍土融解に伴う地盤沈下を検出し、そのようなプロセスが捉えられることを示した。

われわれは予備的解析として、ロシアのヤマル半島において、ALOS/PALSARのデータによるInSARを用いて、地盤変動の検出を試みた。予備的結果などについて議論する。

キーワード：永久凍土、InSAR、サーモカルスト、地盤沈下、電離層

Keywords: permafrost, InSAR, thermokarst, ground subsidence, ionosphere

箱根観測で見られたPALSAR-2干涉SARの森林部での位相変化

Phase shift observed over a forest stand with PALSAR-2 SAR interferometry in Hakone

*渡辺 学¹、永井 裕人¹、夏秋 嶺¹、島田 政信^{1,2}*Manabu Watanabe¹, Hiroto Nagai¹, Ryo Natsuaki¹, Masanobu Shimada^{1,2}

1.宇宙航空研究開発機構、2.東京電機大学

1.Japan Aerospace Exploration Agency, 2.Tokyo Denki university

Volcanic activity has increased in Owakudani Park, Hakone, Japan, since April 26, 2015, including a small eruption that occurred on May 29. Several Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar-2 (PALSAR-2) observations were conducted to detect crustal movement near the crater area. A phase shift of about 90° over a Japanese cedar forest stand located near Owakudani Park was clearly observed for the interferometric pair on March 1 and May 10, 2015. However, no clear phase shift was observed for the adjacent broadleaf forest stand. Except for the pair, no clear phase shift was observed over the forest stands.

Watanabe et al. [1] used L-band Synthetic Aperture Radar (SAR) to determine that the dielectric constant corresponding to moisture in a tree trunk often increases after rainfall and induces σ_0 increase. Rainfall of 10.5 mm/h was observed 6 h prior to the observation on March 1, which may have affected the ground phase beneath the cedar forest stands.

A model describing the phase delay due to water vapor in the atmosphere [2] is introduced in the present study to describe the phase delay due to the moisture change in a forest layer. It is indicated that the estimated phase shift due to the moisture variation of trees is 109° assuming a 20% refractive index variation, which was actually observed in trees in Tsukuba and Tomakomai. This result implies that the possible cause of the phase shift observed over the Japanese cedar forest stand was caused by moisture change in the forest layer after the strong rainfall.

[1] M. Watanabe, T. Motohka, T. Shiraishi, R. B. Thapa, C. Yonezawa, K. Nakamura, and M. Shimada, "Multi-temporal Fluctuations in L-band Backscatter from a Japanese Forest", IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, 53(11), 5799-5813, 2015

[2] M. Shimada, "Correction of the satellite's state vector and the atmospheric excess path delay in the SAR Interferometry—An application to surface deformation detection," J. Geodetic Soc. Japan, 45(4), 327-346, 1999

キーワード：水分

Keywords: Moisture

ALOSおよびALOS-2データを用いた斜面崩壊地域の検出－富士山を例として

Detection of slope failure using ALOS and ALOS-2 data -Application to Mt. Fuji

*石塚 師也¹、高橋 亨¹、松岡 俊文^{1,2}、相澤 隆生³

*Kazuya Ishitsuka¹, Toru Takahashi¹, Toshifumi Matsuoka^{1,2}, Takao Aizawa³

1.公益財団法人 深田地質研究所、2.京都大学 学際融合教育研究推進センター、3.サンコーコンサルタント (株)

1.Fukada Geological Institute, 2.Center for the Promotion of Interdisciplinary Education and Research, Kyoto University, 3.Sancoh Consultants Co. Ltd.

干渉SAR解析は、数十kmにわたる広域の地表の変化を数mほどの高空間解像度で推定できるため、斜面崩壊地域の検出に有効であると考えられる。しかし、斜面の傾斜方向や地表被覆などにより、斜面崩壊を検出できる場所に制限がある。本研究では、地震や火山性の活動、降雨に伴う斜面崩壊が注視されている富士山山体を対象として、干渉SAR解析を用いて斜面崩壊が検出可能な斜面を明らかにするとともに、適用可能な斜面において崩壊地域の検出を行った。

北向軌道および南向軌道のデータを用いて、干渉SAR解析を行ったところ、レーダ照射方向と反対側の斜面では、常に干渉度が低く、干渉SAR解析による斜面崩壊地域の検出は難しいことが分かった。しかしながら、ほとんどの斜面では、適切な軌道のデータを用いることにより、斜面崩壊モニタリングを行うことが可能である。ただし、大沢崩れがある西側斜面は、レイオーバーとシャドウの影響により、どちらの軌道のデータを用いても常に干渉性が低いことが分かった。また、ALOSとALOS-2のデータの解析結果を比較したところ、ALOS-2の方が干渉性の高い領域が多く分布していることが分かった。さらに、北向軌道と南向軌道の両方のデータを用いることで、宝永火口周辺で発生している斜面崩壊地域を検出できることが分かった。本研究の結果は、ALOS、ALOS-2データを用いた斜面崩壊地域検出の有効性を示すものである。

キーワード：干渉SAR解析、斜面崩壊、富士山

Keywords: SAR interferometry, Slope failure, Mt. Fuji

Pi-SAR-L2データを利用した航空機SAR干渉解析の試み

Preliminary Analysis of Airborne SAR Interferometry Using Pi-SAR-L2 Data

*村上 亮¹、成田 翔平¹*Makoto Murakami¹, Shohei Narita¹

1. 国立大学法人北海道大学

1. Hokkaido University

1. はじめに

合成開口レーダ (SAR) は、全天候性、広域性、非接触性、計算機親和性など、火山観測に適した多くの長所を有している。中でも、我が国のPALSAR2/ALOS2など、衛星搭載SARによる観測は、すでに標準的な火山モニタリング手法となっており、これまで多くの成果が上がっている。一方、航空機搭載SARは、ある程度自由に照射方向を設定でき、即時対応にも適応性が高いことから、衛星型にない多くの長所を有しているものの、リピートパス干渉法 (DInSAR) に関しては、飛行軌跡の制御や位置追跡の精度がボトルネックとなっており、広く用いられる段階には至っていない。本研究では、JAXAが運用する高性能Lバンド航空機SAR装置 (Pi-SAR-L2) のデータを利用して、航空機干渉SARの実現性を評価するための予備的解析を実施した。

2. Pi-SAR-L2データの干渉処理について

Pi-SAR-L2には、高精度なINS-GPSハイブリッド型の航路追跡装置が搭載されている。これにより、高い軌道再現性が実現されているが、予測不可能な気流の変化等の影響によって、完全な同一航路の実現は困難である。その結果、航空機干渉SARの飛行航路偏差起源の位相差の分布は、衛星のそれに比べてより複雑な形状を呈し、地殻変動情報の有効な抽出には、航跡の複雑性に起因する位相分布の適切な除去が必要である。本研究では、2015年8月のマグマ貫入イベントが発生した桜島を対象地域として、無変動期のデータを使用し、測定精度の確認を行った。

3. 実施した干渉処理の概要と結果

本研究では、小澤拓博士が開発中のRINC (Radar Interferometry Calculation Tools, 最新バージョンは0.36) を利用した。2013/9/13および2014/8/7に桜島付近の上空から取得されたデータについてJAXAから提供を受けた。南西から北東方向への飛行ペアについて、良好な干渉が得られた。このデータの航跡間距離は数m以内であり、観測機搭載の航法システムの性能と、操縦を担当したパイロットの卓越した技量が確認できた。RINCによる衛星データと同様の標準的な処理で、第一段階の干渉結果を得た。この段階では、航路不一致による位相差、地上の地形に比例した位相差、水蒸気分布による位相差などが含まれている。航空機干渉SARの場合には、軌道や地形に起因する位相変化の構造が複雑であり、これが、地殻変動解析への応用を難しくしている。生干渉図を精査したところ、飛行方向に垂直な2本のラインを境界にして位相の不連続な断裂が存在していた。地殻変動の適切な抽出には、地表の変動とは無関係であるこの種の位相変化成分の確実な除去が必要である。今回は、画像全体を不連続ラインで区分される3つの領域に分割した。そのそれぞれに、二次曲面のフィッティングおよび地形データのフィッティングを実施し、領域ごとに位相変化の長周期トレンド成分と地形相関成分を除去した後、結果を結合した。長周期成分が除去された結果の位相の乱れは、かなり低減されており、大部分の領域で、 $+\pi$ ラジアン (6cm程度) に収まっていた。2015年の貫入イベントの地殻変動は、およそ5kmの空間波長で最大値は約30cmであり、この程度の変位振幅と空間的広がり地殻変動であれば、pi-sar-l2観測でも検知可能であることの手がかりを得た。

謝辞：本研究で使用した航空機SARデータはJAXAから提供を受けた。解析には小澤拓博士が開発したRINC (Ver.0.36) および国土地理院の標高データを使用した。ここに記して感謝する。

キーワード：地殻変動、火山、リモートセンシング、航空機SAR

Keywords: Crustal Deformation, Volcanology, Remote Sensing, Airborne SAR

PALSAR-2 SCANSAR-INSARについて

- Full Aperture 処理とSpecan処理の比較 -

PALSAR-2 ScanSAR Interferometry - Full Aperture processing and Specan processing -

*島田 政信¹

*Masanobu Shimada¹

1.東京電機大学 理工学部 理工学科 建築・都市環境学系

1.Tokyo Denki University, School of science and engineering

PALSAR-2のScanSARは広範囲に観測画像を取得できる機能を持っており、振幅画像を用いた応用解析や干渉SARへの解析に多くの応用事例を見ることができる。PALSAR-2のScanSARは他のモード同様に、PALSARに比べて、1) SNRが高いこと、2) 分解能が高いことが挙げられる。さらに、衛生運用に関して言えば、3) ビーム同期の精度を向上させており、4) 軌道保持制度の向上と相まって、干渉性の向上につながっている。ScanSAR-InSARに関しては、1) Specan手法と2) Full aperture方式の画像化があり、本研究では、両方法の利害得失を整理する。合わせて、本SARはDual Beamを用いて広い観測幅の維持と低アンビギュイティを実現している。アンビギュイティの実現方法を合わせて確認する。

キーワード：合成開口レーダ、ScanSAR干渉

Keywords: PALSAR-2, ALOS-2

ALOS/PALSARとALOS-2/PALSAR-2で見た関東および大阪平野の地盤変動

Ground Deformations in the Kanto and Osaka Plains Observed by ALOS/PALSAR and ALOS-2/PALSAR-2

*橋本 学¹*Manabu Hashimoto¹

1. 京都大学防災研究所

1. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

沖積平野の地盤変動の空間分布が伏在する活断層等の地下の基盤形状を反映するとする仮説 (Bell et al., 2002) に基づいて、日本の代表的な沖積平野である関東、京都・大阪の2地域の変動を、SARにより面的に捉え、活断層との関係を調べている。それぞれの地域において、ALOS/PALSAR画像のInSAR時系列解析とALOS-2/PALSAR-2画像の干渉解析を行った結果を報告する。

用いたデータは、ALOS/PALSARおよびALOS-2/PALSAR-2画像である。観測期間は、ALOS/PALSARについては2006年5月から2011年4月まで、ALOS-2/PALSAR-2については2014年8月から2015年12月までのデータを、それぞれ解析した。

ALOS/PALSAR画像は、各地域で3年以上かつ15回以上の観測がなされているので、Stanford大で開発されたStaMPS (Hooper et al., 2004) により、時系列解析の一種であるPersistent Scatterer InSAR (PS-InSAR) を実施した。

ALOS-2/PALSAR-2は、観測期間が長くても1年4ヶ月程度である。さらに、2014年から2015年にかけては、同じ地域と同じ入射角での観測回数が少なく、最大でも関東の一部地域の6回である。このため、今回は差分干渉法 (一部スタッキング) にとどめた。使用したソフトウェアは、Gamma®である。

いずれの解析においても、地形縞の計算とジオコードのための位置合わせには、ASTER-GDEM ver.2 (Tachikawa et al., 2011) を用いた。

関東平野のALOS/PALSAR画像 (Path 406 Frame 710) のPS-InSAR解析により、埼玉市と東京北東部に、最大10 mm/yrに達する衛星から遠ざかる変動が検出された。地盤沈下が継続しているものと考えられる。また、利根川に沿っても沈降が認められる。一方、立川市を横切る立川断層に沿って、5 mm/yrを越える衛星に近づく変動が認められる。

関東北部古河市を中心とする地域のALOS-2/PALSAR-2干渉画像 (Path119 Frame 750) のスタッキングでは、画像南部の埼玉市付近に視線距離伸長の変動が認められた。しかし、この変動を除き、必ずしもALOS/PALSARの結果と整合しない。今後のデータ蓄積が不可欠である。なお、西側のシーン (Path 120 Frame 740) では、夏の画像を含むペアにおいて、秩父盆地に大きい視線距離変化が得られている。局所的な大気の変動によるものと考えられる。

大阪平野・京都盆地では、ALOS/PALSAR画像 (Path 414 Frame 680とPath 65 Frame 2920) の解析から、有馬・高槻構造線に沿った沈降と京都盆地南部の隆起が検出されている (橋本, 2014)。

しかし、ALOS-2/PALSAR-2の2014年10月から2015年12月の画像 (Path 21 Frame 2910, Path 26 Frame 2920, Path 127 Frame 680等) の解析結果では、これらの変動が認められない。変動が誤差を越えるほど大きくないためと考えられるが、他衛星のデータを用いて2011年以降変動が終息した可能性も検討する必要がある。

ALOS/PALSARおよびALOS-2/PALSAR-2画像は、ALOS-2 RA-4 (#1178, PI: 橋本学) により提供、または「上町断層帯における重点的な調査観測」により取得されたものです。ALOS/PALSAR画像の著作権・所有権は経済産業省および宇宙航空研究開発機構、ALOS-2/PALSAR-2画像の著作権・所有権は宇宙航空研究開発機構にあります。

キーワード：合成開口レーダー、地盤変動、ALOS/PALSAR、ALOS-2/PALSAR-2、関東平野、大阪平野

Keywords: Synthetic Aperture Radar, ground deformation, ALOS/PALSAR, ALOS-2/PALSAR-2, Kanto Plain, Osaka Plain

航空機SAR Pi-SAR2による剣岳東斜面の二つの山岳氷河の観測とその解釈

Observations and Interpretations of Two Mountain Glaciers on the Eastern slope of Mt. Tsurugi by Pi-SAR2 airborne SAR

*古屋 正人¹、福井 幸太郎²、児島 正一郎³、松岡 建志³

*Masato Furuya¹, Kotaro FUKUI², Shoichiro Kojima³, Takeshi Matsuoka³

1.北海道大学大学院理学研究院自然史科学部門、2.立山カルデラ砂防博物館、3.情報通信研究機構

1.Department of Natural History Sciences Hokkaido University, 2.Tateyama Caldera Sabo Museum,

3.National Institute of Information and Communications Technology

福井・飯田(2012)は、立山、剣岳周辺で日本にも氷河が現存していることをGPSを用いた流動速度観測とアイスレーダーを用いた氷厚観測から示した。一方、氷河の観測は一般に現地での観測が困難であり、世界的には様々な衛星あるいは航空機を用いたリモートセンシング技術が用いられてきた。日本の北アルプスの場合は、世界の山岳氷河に比べて規模が小さく、また勾配も急であること等の問題で、現業的に行われている衛星リモートセンシング技術の適用は必ずしも容易ではない。われわれは、NICTとの共同研究として、航空機SARを用いた観測を2013年以降3回行って、各時期の数値地形図を作成するとともに多偏波観測を行った。それらの結果について紹介する。

キーワード：剣岳、三の窓氷河、小窓氷河、Pi-SAR2、偏波SAR

Keywords: Mt. Tsurugi, Sannomado glacier, Komado glacier, Pi-SAR2, Polarimetric SAR

ALOS-2 PALSAR-2 SAR 干渉処理により検知された西之島の変動

Line-of-Sight displacements in Nishinoshima detected by ALOS-2 PALSAR-2 SAR interferometry

*夏秋 嶺¹、渡辺 学¹、大木 真人¹、島田 政信²、鈴木 新一¹

*Ryo Natsuaki¹, Manabu Watanabe¹, Masato Ohki¹, Masanobu Shimada², Sinichi Suzuki¹

1.宇宙航空研究開発機構、2.東京電機大学

1.Japan Aerospace Exploration Agency, 2.Tokyo Denki University

Nishinoshima island in the Pacific Ocean has been erupting since November 2013. At first, it created a small new island located in south-east off shore of the pre-existing island. Nowadays the new island has rapidly expanded the land with its lava flow and almost absorbed the pre-existing island. According to the current record, the pre-existing island had 760(North-South) x 600(East-West) meter land while the new one had 1960 x 1960 m as of February 3, 2016 [1]. The state-of-the-art L-band Synthetic Aperture Radar (SAR), Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar-2 (PALSAR-2) aboard Advanced Land Observation Satellite-2 (ALOS-2) has been continuously observing the island since its launch. It has 3m spatial resolution with 50km swath in ultra-fine mode [2].

As Nishinoshima is an active volcano, it has been analyzed with mainly photogrammetric approach [3]. In this paper, we performed interferometric analysis and found line-of-sight displacements, which indicates ground subsidence toward the lava flow. The ratio was approximately 20 - 30cm in 2 months. Because of the discrete timing of ascending and descending observations, and unsteady volcanic activities, the precise speed of subsidence has not been determined. At the same time, we found that the lava flow hidden by the coagulated rocks shows very low temporal coherency. That is, we can evaluate the activeness of the volcano by interferometric analysis which cannot be seen by the simple photographic analysis. On the other hand, no significant deformation was found in the interferograms acquired after October, 2015.

References

[1] Japan Coast Guard website "Nishinoshima Volcano" 9 Feb. 2016.

<http://www1.kaiho.mlit.go.jp/GIJUTSUKOKUSAI/kaiikiDB/kaiyo18-e1.htm>

[2] Kankaku Y. et al., "PALSAR-2 Launch and Early Orbit Status" IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium 2014, pp. 3410 - 3412.

[3] Ohno Y. et al., "The change of the Nishinoshima volcanic activity to catch with the image of various sensors," Journal of the Japan Society of Photogrammetry Vol. 54(1), PP. 46-51, 2015

キーワード：ALOS-2、PALSAR-2、干渉SAR、西之島

Keywords: ALOS-2, PALSAR-2, SAR interferometry, Nishinoshima

だいち2号を用いた全国SAR干涉解析

InSAR analysis all over Japan by ALOS-2 (Daichi-2) / PALSAR-2 data

*三浦 優司¹、山中 雅之¹、山田 晋也¹、攪上 泰亮¹、仲井 博之¹、和田 弘人¹、森下 遊¹*Yuji Miura¹, Masayuki Yamanaka¹, Shinya Yamada¹, yasuki kakiage¹, Hiroyuki Nakai¹, Kozin Wada¹, Yu Morishita¹

1. 国土地理院

1. GSI of Japan

国土地理院では、だいち2号に搭載された合成開口レーダー（SAR）のデータを使用して、特定の地域を限定せず、日本全国を網羅的にSAR干涉解析し、地震・火山・地盤沈下・斜面変動をはじめとした様々な変動を抽出することに取り組んでいる。具体的には、日本全国の網羅的なSAR干涉解析を、分解能3m・観測幅50kmの高分解能モード、分解能100m・観測幅350kmの広域観測モードについて北行・南行のそれぞれの回帰について継続的に実施する。

これまでに全国をくまなく解析した結果、地震や火山活動にともなう地殻変動をはじめ、地下水のくみ上げによる地盤沈下、消雪による積雪地域での年周変動、埋立地での沈降、斜面変動と考えられる位相変化を多数検出した。また、北行軌道の夏季の期間を含む解析結果では、まとまった非干涉の領域が現れた。原因を調査した結果、マスター画像とスレーブ画像に不規則なずれが生じており、電離層の活動と関連している可能性がある。

SAR干涉解析結果は、ウェブ地図である地理院地図を通して閲覧できるタイルデータの形式で整備している。地理院地図は、国土地理院が提供する地図・空中写真・火山土地条件図等と重ね合わせることができ、干涉SARで検出された変動を地形・地質等の情報と併せて解釈することが可能である。

本発表では、全国を網羅的に実施したSAR干涉解析の結果と今後の課題について報告する。

キーワード：干涉SAR、だいち2号、地理院地図、火山、地震、地盤沈下

Keywords: InSAR, ALOS-2, GSI Maps, volcano, earthquake, subsidence

SARと光学画像によるカナダ・ユーコン地域におけるサージ型氷河の動態

Dynamics of surge-type glaciers in Yukon, Canada, inferred from SAR and optical images

*阿部 隆博¹、古屋 正人²

*Takahiro Abe¹, Masato Furuya²

1.北海道大学大学院理学院、2.北海道大学大学院理学研究院

1.Department of Natural History Sciences, Hokkaido University, 2.Department of Earth and Planetary Sciences, Hokkaido University

Ice flow speed is one of the essential components to know glacier variations. Short-term speed-up events such as seasonal fluctuations and glacier surging are attributed to enhanced basal sliding, which can be influenced by evolution of subglacial drainage system and effective water pressure (ice overburden pressure minus basal water pressure). Due to logistic problems, the mechanism has not been fully understood.

Recent advances in space geodetic technique have enabled us to reveal the spatial and temporal changes in ice speed over entire ice sheet and mountain glaciers. We first revealed the spatial and temporal speed changes at surge-type glaciers in Yukon, Canada, using ALOS/PALSAR radar images between 2007 and 2011, and we found winter speed-up at their quiescent phases (Abe and Furuya, 2015). In the absence of surface meltwater input in winter, we suggested the importance of englacial water storage in basal crevasses, and extracted water with high water pressure may enhance the basal sliding.

In 2014, two new SAR satellites were successfully launched, one of which is ALOS-2 with L-band SAR sensor PALSAR-2 operated by JAXA and the other is Sentinel-1 with C-band sensor operated by ESA. They can acquire higher resolution images with shorter intervals, which will reveal more detail information about basal condition, where it is extremely difficult to observe directly.

Landsat optical images have been also used for glaciological research for a long time. Recently, Landsat 8, which was launched in 2013, has given significant impacts on glacier velocity mapping of ice sheets and mountain glaciers (e.g., Fahnestock et al., 2015). Thus, we have also derived the spatial and temporal speed changes near the border of Alaska and the Yukon, using similar feature tracking program (Abe et al., 2015), and we found three ongoing surging events (Klutlan, Steele, and Walsh). Each glacier has the different pattern of spatial and temporal velocity changes associated with the surging event, which is reflected in the meteorological condition and the thermal structure at each glacier.

In our presentation, we will report some new findings derived from satellite images, and discuss future prospects in order to better understand glacier dynamics focusing on the differences between the radar and optical images.

キーワード：サージ型氷河、ユーコン、合成開口レーダー、ランドサット、フィーチャートラッキング

Keywords: Surge-type glaciers, Yukon, SAR, Landsat, Feature tracking

DInSAR観測により検出された北海道十勝岳の地殻変動

Volcanic deformation in Tokachi-dake volcano, Hokkaido, detected by DInSAR observations

*宮城 洋介¹、川口 亮平¹、小澤 拓¹、高橋 浩晃²*Yosuke Miyagi¹, Ryohei Kawaguchi¹, Taku Ozawa¹, Hiroaki Takahashi²

1.防災科学技術研究所、2.北海道大学地震火山研究観測センター

1.National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, 2.Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University

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。

北海道立地質研究所が山頂近傍で行っているGNSS連続観測により、2006年8月以降62-2火口のすぐ西側、前十勝を中心とする局所的な地殻変動が検出され、山頂付近が膨張していることが明らかとなった。この膨張は2015年まで続いたが、2015年5月に変動パターンは同じで変動レートが大きくなった。同時期にL-band SAR衛星・ALOS-2/PALSAR-2とX-band SAR衛星・TanDEM-Xによる観測が行われ、2015年5月-7月期間の山頂近傍の局所的な膨張の地殻変動が検出された。変動の中心は前十勝で、同じ地殻変動を見ていると思われる。二つのSAR衛星はそれぞれ西と東から観測していることから、本研究では得られた地殻変動を東西と準上下成分に分解し、より詳細な変動パターンを得る。こうして得た地殻変動の変動源を推定すべく、Mogiモデル[Mogi, 1958]を使ったモデリングと境界要素法を用いた地形を考慮したモデリング[川口他, 本学会, 2016]の結果を比較した。その結果、地形を考慮した方が、より観測値を説明できることが分かった。

キーワード：合成開口レーダ、地殻変動、十勝岳

Keywords: SAR, Deformation, Tokachi-dake Volcano