

ALOS-2 データを使用した SAR 干渉解析による日本全国地盤変動監視 (序報) Ground surface deformation monitoring all over Japan by InSAR using ALOS-2 data (first report)

森下 遊^{1*}; 山田 晋也¹
MORISHITA, Yu^{1*}; YAMADA, Shinya¹

¹ 国土地理院
¹ GSI of Japan

国土地理院では、2006年から2011年に運用されたALOSのSARデータを使用して、日本国内計66の火山、地盤沈下、地すべり地域を対象に定期的にSAR干渉解析を実施し、地盤変動を監視していた。しかし、ALOSが2011年5月に運用を終了したため、定常解析の中断を余儀なくされていた。

ALOSの後継機であるALOS-2は2014年5月24日に打ち上げられ、同年8月4日から基本観測を開始し、同年11月25日からデータの定常配布が開始された。国土地理院は、ALOS-2のSARデータを使用してSAR干渉解析を実施し、地盤変動監視を再開させる予定である。ALOS-2では、ALOSの時代よりも発展させ、特定の地域に限定せず、日本全国を対象に網羅的に解析を実施する予定である。また、繰り返し観測が実施される観測モードのデータを、基本的には全て解析する予定である。このような発展的な定常解析は、ALOS-2の基線長が常に短く維持されることや解析システムの性能が向上したこと等により実現可能となった。

解析結果は、国土地理院が提供するウェブ地図である「地理院地図」の地理空間情報ライブラリーの一つとして登録され、地理院地図で閲覧できる形式で公開する。背景地図や他の地理空間情報と重ね合わせて表示することで、解析結果の解釈や変動の位置の把握が容易になり、利用促進が見込まれる。解析結果の解説も付加する予定である。

ALOS-2の基本観測シナリオにおいて、基本観測開始後約1年間は、様々な観測モード及び角度による災害用ベースマップ観測が予定されており、2回以上の観測が必要であるSAR干渉解析はあまり実施できない。本格的に定常解析が実施できるようになるのは2015年8月頃からとなる予定である。

本発表では、限定的ではあるが広域観測モードのデータを使用して実施した最初のSAR干渉解析の結果及び今後の定常解析の予定を報告する。

キーワード: 干渉 SAR, だいち2号, 地盤変動, 地盤沈下, 地すべり, 火山
Keywords: InSAR, ALOS-2, deformation, subsidence, landslide, volcano

ALOS-2のSAR干渉解析で捉えられた長野県北部の地震の地殻変動 Crustal deformation derived from the northern Nagano prefecture earthquake detected by InSAR analysis using ALOS-2 data

矢来 博司^{1*}; 小林 知勝¹; 森下 遊¹; 山田 晋也¹; 飛田 幹男¹
YARAI, Hiroshi^{1*}; KOBAYASHI, Tomokazu¹; MORISHITA, Yu¹; YAMADA, Shinya¹; TOBITA, Mikio¹

¹ 国土地理院
¹ GSI of Japan

ALOS-2は、2014年5月にJAXAによって打ち上げられた、最新のL-band SAR衛星である。

本研究では、ALOS-2のデータにInSAR解析を適用し、2014年11月22日に発生した長野県北部の地震(M6.7)の地殻変動を明らかにした。解析に用いたデータは、Descending軌道のright lookingとleft lookingのデータである。概ね東方向と西方向からの両方向の観測データを得ることができたため、地殻変動の空間分布をより詳細に捉えることができ、断層モデルの推定に重要なデータが得られた。

干渉画像から、神城断層の北部で、20km程度の東傾斜の断層が破壊したこと、左横ずれ成分を含む逆断層運動であったこと、震央近くでは、神城断層に沿って約10kmにわたり最大約1mに達する変動が生じたこと、等が明らかとなった。

SAR干渉解析およびGNSS観測で得られた地殻変動分布から、今回の地震の断層モデルの推定を行った。プレリミナリーな結果ではあるが、断層面の傾斜は深いところではやや高角、地表に近い部分ではやや低角と考えられ、地表に近い部分で大きな滑りが生じたと推定される。

キーワード: 長野県北部の地震, ALOS-2, 干渉 SAR
Keywords: Northern Nagano Prefecture earthquake, ALOS-2, InSAR

高山地帯を含む北海道の冬季の ALOS2-PALSAR2 干渉解析: 十勝岳周辺の場合 ALOS2-PALSAR2 Interferometry on snow covered mountaneous area in Hokkaido: Tokachidake Volcano and Vicinity

村上 亮^{1*}MURAKAMI, Makoto^{1*}¹ 北海道大学地震火山研究観測センター¹ Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido Univ.

衛星搭載のLバンド合成開口レーダーによるリピートパス干渉観測は、特に植生被覆領域において、良好な干渉性を保持するため、地殻変動など地表の変形を面的破格技術として広く定着している。しかし、積雪や雪氷に覆われる寒冷地では、地表が積雪に覆われている場合、電波の反射条件が時期によって異なる結果、干渉性が極度に低下することが、経験上知られている。

雪や雪氷に対するマイクロ波の透過や反射の理論および実験的研究によれば、乾雪の誘電率は比較的大きく、数10cm程度の積雪があると、伝搬速度の変化や屈折による経路変化が起こり、マイクロ波の行路長が有意に変化する。また、反射や散乱のメカニズム毎に、位相変化に差が生じる可能性がある。しかしながら、従来は、積雪による位相変化の詳細や、それらが地殻変動観測に与える影響は、あまり注目されてこなかった。

2014年5月に宇宙研究開発機構(JAXA)によって打ち上げられたALOS2は、Lバンドの次世代センサーであるPALSAR2を搭載したSARの専用衛星である。従来機に比べ様々な改良が施され、広範な観測条件下において高い干渉性の保持が期待されている。PALSAR2によって、寒冷地の冬季観測が可能となれば、冬季のアクセス困難性によって現地観測の実現が絶望的な、寒冷地の火山周辺の地殻変動把握に新たな道を切り開く意義は大きい。

このような可能性を探り、一方、積雪特有のノイズの存在を探索するため、今回は、十勝岳-大雪山系を含む領域について、ALOS2-PALSAR2によって2014年8月14日、12月4日及び18日、並びに2015年1月15日に取得されたデータを用いて干渉解析を実施した。8月と12/18はVV観測で、残りは、HH観測である。なお、十勝岳の活動的火山の一つである62-II火山口周辺では、2006年末頃開始し消長を繰り返しながら現在まで膨張性地殻変動が継続している。GPS観測によれば2014年中ごろからこの動きが加速したことが示唆されている。その確認のため、衛星による面的調査を実施することもこの解析の目的であった。

まず、観測期間の短い12月のペア(4日-18日)は、時間間隔も時事かかったためか、極めて良好な干渉が、ほぼ全域にわたって得られている。2回目の観測の直前に、この地域に多量の積雪があったことが記録されており、積雪期であっても、少なくとも期間が短ければ干渉性が保たれることが確認された。また、森林域では干渉度が比較的劣化しているが、森林限界を超えた高高度領域では、干渉性は良好であり、例えば、十勝岳62-II火山口周辺では、高いSN比で位相差が得られている。また、平野部では広域にわたって良好な干渉性がみられるが、明らかに土地被覆と相関がある有意な位相差が観察された。この地域における土地区画は基盤目状であり、各種の利用形態の土地が規則正しく区分けされ、分布している。明らかにこれらの境界を挟んで、位相も明瞭なパッチ上の分布をしている。その成因は今後の検討課題であるが、それぞれの領域で特徴的な反射形態(例えば市街地はダブルバウンスが卓越)ごとに、積雪の位相への影響の様子が異なるためであろう。地殻変動観測にとっては、これらはノイズとなるが、土地分類や積雪の研究には、新たなシグナルとして利用できる可能性もある。また、VV-HH偏波間の組み合わせである12/18-01/15間の干渉も試みた。意外なことに、一部の領域では、明瞭な干渉が得られており、十勝岳連峰の山頂部の連なりにもそれに含まれる。しかし、HH-HH間の干渉度分布とは明らかに違う性状であり、特に、通常良好な干渉が得られる市街地において、極度に干渉性が劣化している。これも、今後の興味深い検討課題である。最後に、地殻変動検出目的で、VVどうしの08/14-01/15の干渉も試みたが、平野部ではかろうじて干渉が成立したものの、全体的に干渉度は悪く、山頂部でもコヒーレンスは劣化していた。一方、08/14-12/04は、VV-HHであるが、予想に反して位相の認識が可能な程度の干渉が得られた。しかし、やはりS/Nは良好とはいえず、認識できる位相には限界があった。簡単なシミュレーションを行い、少なくとも、山頂付近において5cmを超える程度の膨張性変動が存在したら、かなりの確率で認識できたであろうことが確認できた。一方、今回の実際の干渉データを見る限りにおいてそのような変動は確認できなかった。

詳細は、講演で述べるが、今回の結果は、積雪を伴う寒冷地の地殻変動観測に期待を与えるものであり、条件が整えば、積雪時であっても干渉が成立することを示す事例であると考えられる。

本解析で用いた、PALSAR2データについては火山噴火予知連絡会が中心となって進めている防災利用実証実験(火山WG)に基づいて、JAXAにて観測・提供されたものである。

キーワード: 地殻変動, 干渉 SAR, リモートセンシング, 人工衛星, 火山, 積雪

Keywords: crustal deformation, InSAR, remote sensing, satellite, volcano, snowpack

地殻変動観測のための PALSAR-2 画像干渉処理 Interferometry of PALSAR-2 images for crustal deformation study

橋本 学^{1*}
HASHIMOTO, Manabu^{1*}

¹ 京都大学防災研究所

¹ Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

ALOS-2/PALSAR-2 は、2014 年 6 月に初画像を取得して以来、順調に観測を続けている。観測開始以来、顕著な地震・火山活動が発生し、地殻変動が捉えられて来た。ここでは、主として 2014 年 9 月 27 日の御嶽山噴火、11 月 22 日の長野県北部地震 (Mjma6.7) および 2015 年 2 月 6 日の徳島県南部の地震 (Mjma5.1) 前後のデータを用いて、PALSAR-2 画像の干渉性と精度、および観測された地殻変動について検討する。

干渉処理には、防災科研小澤氏による RINC と GammaR を用いた。また、DEM として、Pixel で提供された Digital Ellipsoidal Model あるいは ASTER-GDEM ver.2 を用いた。解析に用いた PALSAR-2 画像は、いずれも UBS (アジマス方向の解像度 3m) である。

御嶽山噴火に対しては、8 月 22 日と 10 月 3 日、8 月 18 日と 10 月 13 日のペアを用いた。いずれも北行軌道からの右方向の観測で、入射角はそれぞれ約 36° と 53°、垂直軌道間距離は約 5m と 24 m である。山岳地域にかかわらず干渉性は高い。しかしながら、シーン内の GEONET 観測局の変位から計算される視線方向変位と比較すると系統的な差が残る。この差の標準偏差は 4.75cm と推定される。御嶽山頂直下西側に視線距離短縮の変動が認められるが、広域の変動はなかった。噴火に伴う変動は、局所的なものであったと言える。

長野県北部の地震については、10 月 2 日と 11 月 27 日、9 月 19 日と 11 月 28 日のペアを用いた。前者は南行軌道からの左観測、後者は北行軌道からの右観測である。入射角と軌道間距離は、それぞれ 36° と 6 m、40° と 112 m である。干渉性は高いが、震源域周辺に干渉性の低下する領域が認められる。特に、地表地震断層の上盤側には線状の低コヒーレンス領域が認められ、地表付近に位相の不連続を生じていることを示している。上盤側にバックストップなどの副次的な断層の破壊が生じたことを示唆する。得られた干渉画像から、地表地震断層が認められる領域直下に南東南へ約 50 度で傾き下がる断層面で、深さ 5km 以浅の領域で、最大 1.3m 程度の逆断層すべりが発生したと推定される。

徳島県南部の地震に際しては、2015 年 1 月 10 日と 2 月 7 日、2014 年 11 月 18 日と 2015 年 2 月 10 日の 2 ペアを解析したが、顕著な地表面変動は検出されなかった。

キーワード: PALSAR-2, 地殻変動, SAR 干渉法

Keywords: PALSAR-2, crustal deformation, SAR interferometry

Pi-SAR-L2/InSARによる新燃岳火口内の地表変動 Surface deformation in the Shinmoe-dake crater detected by Pi-SAR-L2/InSAR

小澤 拓^{1*}; 宮城 洋介¹; 島田 政信²
OZAWA, Taku^{1*}; MIYAGI, Yosuke¹; 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

2011年1月に新燃岳(霧島山)において噴火が発生した。Ozawa and Kozono (2013)は衛星 SAR の散乱強度画像を解析し、3回の準プリニー式噴火が発生した後の1月29日から31日の間に、溶岩が火口内に88.7m³/secのほぼ一定の速度で流出したことを明らかにした。その後、ブルカノ式噴火が間欠的に発生する噴火様式に変化した。噴火回数は時間とともに減少し、2011年9月の爆発以降、噴火は発生していない。しかし、Miyagi et al. (2014)は、RADARSAT-2や TerraSAR-X等の衛星 SAR データを用いた干渉解析を実施し、それ以降にもゆっくりとした溶岩流出が継続していることを明らかにした。その溶岩流出速度は時間と共に減衰する傾向にあったが、2013年5月の時点においても、50~100 m³/day程度の流出が求まった。

本研究では、その後の火口内の地表変動を調査するため、宇宙航空研究開発機構(JAXA)の航空機搭載型 SAR (センサー名: Pi-SAR-L2)のデータを用いた SAR 干渉解析を試みた。本解析で使用した Pi-SAR-L2 データは、2013年9月13日と2014年8月7日に、3パスの軌道から観測されたものである。地形縞のシミュレーションにおいては、噴火後に取得された RADARSAT-2 データを用いた SBAS 解析から求めた地形データを用いた。得られた差分 SAR 干渉画像においては非地殻変動成分が残存していたが、その後の解析領域を新燃岳火口周辺の約1km × 1kmの範囲に限定し、その領域内での非地殻変動成分は面近似できると仮定して、火口外の位相差が0になるようにパラメータを推定して補正した。その結果、これまでの衛星 SAR の解析においてスラントレンジ短縮変化が求まっていた領域とほぼ同じ領域において、同様の変化が求まった。さらに、本解析においては3パスの軌道からのスラントレンジ変化が求まっているので、これらの結果から3次元地表変位ベクトルを求めた。推定された上下変位は最大で20cmを超えているのに対して、水平成分はほとんどの領域で3cm以下であった。このことは、流出している溶岩の粘性が高く、水平方向への流動が小さいことを示唆する。

推定された上下変位分布から、2013年9月13日から2014年8月7日の期間の体積増加量は10044m³と求まった。一方、衛星 SAR に関しては、2014年4月16日までのデータが利用可能であり、それらのデータを用いた SAR 干渉解析から、2013年9月13日から2014年4月16日までの体積増加量は7507-7704 m³と求まった。よって、2014年4月16日から2014年8月7日までの体積増加量は、2340-2537 m³と推定される。Huppert and Woods (2002)は過剰圧を持つ浅部マグマだまりが存在する場合の溶岩流出量の時間変化をモデル化しており、深部からの浅部マグマだまりへの溶岩流入が無い場合における溶岩流出量の時間変化のモデルを、衛星搭載型 SAR の干渉解析から求まっている体積変化量に当てはめたところ、2014年4月16日から2014年8月7日までの体積増加量は2339m³と求まり、観測結果と良く一致する。Miyagi et al. (2014)は、2013年5月までの衛星搭載型 SAR の解析結果から、深部からの浅部マグマだまりへのマグマ供給が継続していることを示唆する結果を示しており、本解析の結果は、その深部からのマグマ供給が減少したことを示唆する。

謝辞. Pi-SAR-L2 データは、JAXA との共同研究 (RA5) に基づいて提供されたものであり、原初データの所有権は JAXA が有する。また、TerraSAR-X 及び TanDEM-X データは、JAXA と DLR による衛星を利用した災害監視に係る共同研究を通じて配布されたものであり、原初データの所有権は DLR が有する。

キーワード: 航空機 SAR, 干渉解析, 新燃岳, 火口, 溶岩, 地表変動
Keywords: airborne SAR, InSAR, Shinmoe-dake, crater, lava, deformation

Pi-SAR-L2 と PALSAR のノイズ等価係数の評価 Evaluation of noise equivalent σ_0 for Pi-SAR-L2 and PALSAR-2.

渡辺 学^{1*}; 本岡 毅¹; 大木 真人¹; 夏秋 嶺¹; 米澤 千夏²; 島田 政信¹
WATANABE, Manabu^{1*}; MOTOHKA, Takeshi¹; OHKI, Masato¹; NATSUAKI, Ryo¹; YONEZAWA, Chinatsu²;
SHIMADA, Masanobu¹

¹ 宇宙航空研究開発機構, ² 東北大学

¹JAXA, ²Tohoku University

The noise equivalent σ_0 (NESZ) were evaluated to the data simultaneously observed with Pi-SAR-L2 and PALSAR-2 by full polarimetry mode. The observation were done on Sept. 11, 2014 over Sendai airport. Fast Fourier transforms (FFTs) was applied to the data, and 10, 20, 30, 40, 50 dB random noise were added in the frequency domain. Inverse FFTs was applied to obtain the time domain data. The change of σ_0 for the runway in the Sendai airport was examined, and the NESZ for Pi-SAR-L2 and PALSAR-2 were evaluated from the data. Estimated NESZ were -46.2, -60.5, -61.0, -55.0 dB for σ_0 HH, HV, VH, VV of Pi-SAR-L2 data, and -40.3, -50.0, -51.3, -43.0 dB of PALSAR-2 data. The NESZ for the Pi-SAR-L2 was 6 to 12 dB better than those for the PALSAR-2.

The Pi-SAR-L2 σ_0 profile for the area, where the incident angle is same, were compared with the PALSAR-2 σ_0 for each polarization. The area, where σ_0 is more than -20 dB shows almost same profile, and shows same σ_0 . On the other hand, the area, where σ_0 is less than -20 dB shows the difference. The difference was not explained by the NESZ estimated above. One of the possible causes for the higher NESZ may be higher azimuth ambiguity for the PALSAR-2 data.

キーワード: フルポーラリメトリ, 合成開口レーダ

Keywords: Full polarimetry,, SAR

合成開口レーダと光学センサによる海洋メソ・サブメソスケールフロントの検出 Detection of meso- and submeso-scale ocean fronts using Synthetic Aperture Radar (SAR) and Optical data

磯口 治^{1*}
ISOGUCHI, Osamu^{1*}

¹(一財) リモート・センシング技術センター
¹Remote Sensing Technology Center (RESTEC)

Synthetic aperture radar (SAR) can image ocean surface roughness with high spatial resolution (~10m) and operationally detect information on wind speed and wave, which are related to ocean surface roughness. One of main factors by which surface roughness is modulated is convergence and divergence of surface currents and it has been reported that a large current shear is imaged as line-shaped high NRCS on a SAR image. With a combination of c-band SAR and optical images, a study on upper ocean dynamics has been reported. In the present study, information of ocean fronts with meso- and submeso-scales are detected using L-band SAR (PALSAR-2) and MODIS SST/Chl-a images. The MODIS data we used, which are processed and provided in near-real-time by JAXA/EORC, are observed in the Northwestern Pacific at October 25, 2014 01:11(UT), while PALSAR-2 data that are provided by JAXA within the framework of the 4th ALOS Research Announcement are acquired at October 25, 2014 14:17(UT), about 13 hours time gap for the MODIS acquisition.

In order to make fine structure visible, an about 20-km high-pass filtering is applied for the PALSAR-2 NRCS image after eliminating incidence angle-dependent average signals. This PALSAR-2 contrast image is then compared with the MODIS SST and Chl-a images. The comparison shows that the positions of line-shaped bright and dark patterns in the contrast images correspond with large SST gradients, i.e., SST fronts. This feature is consistent with a general theory that divergence and convergence areas induced by large current shear are imaged dark and bright, respectively, through the modulation of ocean surface roughness. Moreover, the comparison with the Chl-a image represents some local Chl-a maximum along the line-shaped patterns in the PALSAR-2 contrast image. It is suggested that the local increase of Chl-a is induced by upwelling caused by submeso-scale front phenomena. The PALSAR-2 contrast image is thus expected to give useful information on the upper ocean dynamics. In addition to that, since the detected line-shaped patterns might represent "Shiome" and are related to Chl-a concentration, it is interesting to investigate their relationship with fishing grounds.

キーワード: 合成開口レーダ, 海洋フロント, サブメソスケール
Keywords: PALSAR-2, ocean front, submesoscale

ALOS-2 / PALSAR-2 ScanSAR-ScanSAR 干渉処理によるフィリピン、マヨン火山の観測 ALOS-2 / PALSAR-2 ScanSAR-ScanSAR interferometry observation for Philippine Mayon Volcano analysis

夏秋 嶺^{1*}; 本岡 毅¹; 渡邊 学¹; 大木 真人¹; 島田 政信¹
NATSUAKI, Ryo^{1*}; MOTOHKA, Takeshi¹; WATANABE, Manabu¹; OHKI, Masato¹; SHIMADA, Masanobu¹

¹ 宇宙航空研究開発機構地球観測研究センター

¹Earth Observation Research Center, Japan Aerospace Exploration Agency

On September 14 - 18, 2014, Mayon Volcano recorded some activities including lava flows. Before and the after those activities, Advanced Land Observation Satellite-2 (ALOS-2) observed the volcano on September 4 (Scene ID: ALOS2015233350-140904) and October 16 (Scene ID: ALOS2021443350-141016). ALOS-2 carries the state-of-the-art L-band Synthetic Aperture Radar (SAR), the Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar-2 (PALSAR-2) [1]. It has 3m spatial resolution with 50km swath in ultra-fine mode. However, in those observations, 100m x 100m resolution with 350km swath ScanSAR mode was scheduled. No better resolution image was taken during the activities by ALOS-2.

In this paper, we tried interferometric SAR (InSAR) analysis for Mayon volcano with those pair of two ScanSAR images. There are two requirements for the ScanSAR ? ScanSAR interferometry. One is the time synchronization between two observation and the other is the accurate co-registration. PALSAR-2 is designed to have 90% or more burst synchronization. However, as PALSAR-2 was under calibration those days, some pairs have less synchronization ratio. Fortunately, the pair we used marked approximately 53.6% of burst synchronization which is enough high for the interferometry. For the co-registration, in this paper, we applied a local co-registration method using phase gradient estimation from amplitude information proposed in [2], in addition to the popular cross-correlation and geometrical co-registration.

We found some low coherency parts at the summit and the southwest skirt of the mountain. Those low coherency areas represent the surface change caused by the lava or rock fall. On the other hand, no significant deformation was found in the interferogram. These results indicates that this activity was not large enough to make a detectable deformation for 100m resolution SAR interferometry.

References

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

[2] R. Natsuaki and A. Hirose, "Performance improvement of InSAR local co-registration with multiresolution interferogram," Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar (APSAR) 2013 Tsukuba, Proc, WE2.R3.1, Tsukuba Japan, September 2013.

キーワード: ALOS-2, PALSAR-2, ScanSAR-ScanSAR 干渉, 干渉合成開口レーダー

Keywords: ALOS-2, PALSAR-2, ScanSAR-ScanSAR interferometry, Interferometric Synthetic Aperture Radar

Phase Linking を利用した干渉 SAR 時系列解析の計測点密度向上 -非都市域の地殻変動観測の高度化に向けて-

On the phase linking of distributed scatterers - improvement of measurement density in non-urban areas-

小林 知勝^{1*}; Samiei-Esfahany Sami²; Hanssen Ramon F.²
KOBAYASHI, Tomokazu^{1*}; SAMIEI-ESFAHANY, Sami²; HANSSSEN, Ramon F.²

¹ 国土交通省国土地理院, ² デルフト工科大学
¹GSI of Japan, ²Delft University of Technology

はじめに: PSI (Persistent Scatterer Interferometry) 解析は、時間的に散乱特性の変化が小さく位相が安定している PS と呼ばれる点のみを利用することで、高い計測精度で地表変位の時間変化を推定する手法である。しかしながら、PS 点は人工構造物等が密に分布する都市部等では多く抽出できるが、それ以外の山間部等では数が少なくなり計測点密度の劣化が生じる。非都市域で計測点密度を向上させるには、Distributed Scatterers (DS) 点の利用が不可欠である。しかし DS 点の位相は誤差が大きく、PS のような高精度での計測は一般的に困難である。

Phase Linking 法: 近年 Phase Linking と呼ばれる新たなアルゴリズムが開発された (Monti-Gaurenieri et al., 2008)。この方法は、DS 点の位相の時系列データを、全干渉画像のコヒーレンスを基に最適化することにより、PS 点と同等の精度で位相計測を実現するものである。この操作は位相連続化前に行われ、複素円周正規分布の下で最尤法によりラップ状態の位相が得られる。最適化された位相は PS と同等に扱うことができ、PSI 解析にそのまま利用可能となる。全干渉画像の位相をつなぎ合わせる操作に相当することから Phase Linking と呼ばれる。DS 点を利用して高い計測精度の観測を実施する方法として SBAS 法があるが、本手法は、位相連続化前に位相を最適化する点、短基線長ペアの限られた情報ではなく全干渉画像の情報を利用する点で優れている。

シミュレーションデータを用いたテスト: 本手法の効果及び開発した計算コードの動作確認のため、シミュレーションデータを用いたテストを実施した。50x50 ピクセルサイズの 24 枚の SLC データセットを 2 種類作成した。それぞれ、干渉性ノイズを表現するコヒーレンス行列として、時間とともに干渉性が低下するもの及び季節変動するものを用いた。また、地殻変動に相当する時間発展する位相を組み込んだ。マルチルック処理 (5x5) のみを施してもコヒーレンスの高いペア以外地殻変動に相当する位相分布は認識できないが、Phase Linking 処理を施すことにより、全干渉画像で真の地殻変動と同じ位相分布を再現することができた。最適化された位相の標準偏差は、理論的に求まる標準偏差の下限 (Cramér-Rao bound) に近く、最大 0.1-0.2rad の誤差で位相は求まった。マルチルック処理では最大 1.5rad の差があり、Phase Linking により DS 点から適切に位相を最適化できていることを確認できた。

実データへの適用: 本手法を立山・弥陀ヶ原火山を撮像した ALOS/PALSAR データに適用した。この領域は草原や森林が広がり多くの PS 点の取得は期待できない場所である。非積雪期のデータのみを選択すると利用できる画像は 12 枚であった。比較のため、標準的な PSI 解析も実施した。一般に、分散指標を利用した PS 候補点の取得方法は、画像数が少ない場合は精度が良くないことが知られているため、ここでは単一の SLC 画像から PS 候補点を抽出する SCR 法も用いた。一方、Phase Linking 法による解析では、まず初めに、2 標本 KS 検定を用いて統計的に同質のピクセルを抽出してマルチルック処理を行った後 (Ferretti et al., 2011)、Phase Linking 処理を実施した。同じ条件で両手法の結果を比較するため、Spatio-temporal consistency (Hanssen et al., 2008) による位相評価指標を用いて最終的に利用する計測点を選択した。解析の結果、PSI 解析では最終的に全画素 720,000 点中 7094 点の計測点が残ったが、Phase Linking ではその約 10 倍となる 82,138 点を得られた。この解析では、地獄谷と呼ばれる地熱活動の活発な領域で進行する膨張性地殻変動が検出されたが、観測点密度の増加により、変動域の広がりをよく把握することができる。Phase Linking を利用した DS 点の位相最適化処理により、山間部における地殻変動観測の向上が期待される。

謝辞: 「だいち」のデータは、国土地理院と JAXA の「陸域観測技術衛星を用いた地理空間情報の整備及び高度利用に関する協定書」に基づき、国土地理院が JAXA から購入したものである。データの著作権は JAXA、METI にある。

キーワード: Phase Linking, Distributed scatterers, 干渉 SAR 時系列解析, PSI 解析

Keywords: Phase linking, Distributed scatterers, InSAR time series analysis, Persistent scatterer interferometry (PSI)

ALOS/PALSAR データ解析に基づく厳冬期の多雪高層湿原における水の浸潤条件 Condition for water infiltration in snowy highland marshes based on ALOS/PALSAR data analysis

豊崎 徳久¹; 小川 佳子^{1*}; 久田 泰広¹; 出村 裕英¹; 祖父江 真一²

TOYOSAKI, Norihisa¹; OGAWA, Yoshiko^{1*}; HISADA, Yasuhiro¹; DEMURA, Hirohide¹; SOBUE, Shinichi²

¹ 会津大学, ² リモートセンシング技術センター

¹Univ. of Aizu, ²RESTEC

We have been studying how to monitor the hydrological environment of snowy highland marshes by using remote sensing. The data from L-band radar PALSAR (The Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar) onboard ALOS (Advanced Land Observing Satellite "DAICHI"), a Japanese satellite, has potentials to observe the marshes under the snow layer. The microwave radar measures the back-scattered signals and works in all weathers. The microwave generally reaches the subsurface layer, so the returned signal includes information about soil moisture as well as surface roughness. We analyze the data from PALSAR and try to retrieve the hydrological information in highland marshes through the year.

Based on our analysis of PALSAR/ALOS data, we lastly reported that the Oze highland marsh, extending across the 4 prefectures (Fukushima, Gumma, Niigata and Tochigi), keeps a largest amount of liquid water body in midwinter, however, no such case seems to happen in Kiritappu and Sarobetsu marshes both locating at Hokkaido. All 3 marshes are covered with snow layer in winter. The peak of water content in Oze is observed in midwinter and not in early spring. We concluded that the observed water body in Oze marsh is not meltwater but would be the liquid water squeezed out from the peat bed by the load of heavy snow. In the other 2 marshes of Kiritappu and Sarobets, the thickness of the snow layer and/or peat layer (which is a reservoir of water) seems not enough.

In this presentation, we show our new analysis about Tashiroyama, Uryunuma and Midagahara marshes, locating at Fukushima, Hokkaido and Toyama prefectures, respectively. All 3 marshes are highland marshes where it snows in every winter. We examined whether the water infiltration out of the peat layer could be observed in these highland marshes based on the PALSAR/ALOS data. In both Tashiroyama marsh and Uryunuma marsh, water infiltration was observed during midwinter. In Midagahara marsh, on the other hand, no infiltration of water was observed. We discuss the condition for water infiltration in its correlation with peat depth and snow depth. We propose that water infiltration in highland marshes is caused when the following two conditions are met: 1) layer >2m for the thickness of peat bed and 2) snow cover >2-3m.

キーワード: パルサー, 水文学, リモートセンシング, 高層湿原, 雪, 泥炭層

Keywords: PALSAR, hydrology, remote sensing, highland marsh, snow, peat bed

ALOS-2 データの氷河域研究への適用-初期解析事例- An application of ALOS-2 data for study of glacial region

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

ALOS-2/ PALSAR-2 successfully launched on 24, May, 2014 and it has been collecting the data all over the world properly. The major difference between ALOS and ALOS-2 are improvement of spatial resolution, short revisit cycle, keeping short baseline and improvement of observation opportunity by left-right looking. Among them, the important improvement are short base line and short revisit cycle because it is expected to provide the high coherency between observations. It is able to observe in 14 days difference in the best case, it is almost 3 times shorter temporal difference than ALOS data.

Based on these difference, we choose two area for the comparison between ALOS-2 and ALOS data. One is Mt. El Salto, Andes region. This area has many rock glaciers and we successfully detected the movement of them. Here we would like to check whether ALOS-2 can detect these Phenomenon as ALOS data. The other target area is East Antarctic marginal zone between ice sheet and ice shelf. We already confirmed that the possibility of the extraction of grounding line by PALSAR data and how it improve using ALOS-2 data to take into the effect of short revisit cycle and short baseline. We plan to report how ALOS-2 data be useful for cryospheric study based on these two case studies.

ALOS-2/PALSAR-2 and ALOS/PALSAR data were provided by Research Announcement by JAXA PI project (PI No. P1418002)

Keywords: ALOS-2, SAR, InSAR, grounding line, glacier

DInSAR手法を用いた南極氷床の流動速度推定における精度向上の取組み An approach to improve the accuracy of ice flow rate measurement of Antarctic ice sheet using DInSAR method

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

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

差分干渉合成開口レーダー (DInSAR) は南極氷床の緩やかな氷流を高分解能に測定するのに有用な手法の一つである。しかしながら、DInSAR手法による氷流速度推定の精度評価に関する研究はあまりなされておらず、その精度評価は重要な課題である。

DInSAR手法による氷流速度推定では、解析処理において Digital Elevation Model (DEM; 数値標高モデル) を2回適用する。1回目は2時期の SAR データから作成した初期干渉画像に含まれる地形縞を除去する際に使用し、2回目は DInSAR 画像から推定した氷流速度を衛星の視線方向 (Line-Of-Sight; LOS) から実際の流動方向へ射影する際に使用する。しかしながら、極域で DInSAR 手法に使用可能な DEM は少なく、通常使用される ASTER-GDEM は氷床上に多くの異常値を含む。したがって、氷流速度推定に DEM の精度が与える影響は大きいと考えられる。

本研究では、ALOS/PRISM データを用いて新たに作成した DEM (以下、PRISM-DEM と呼ぶ) を DInSAR 手法に適用し、ASTER-GDEM の場合と比較することで氷流速度推定の精度向上を図った。また、南極域の露岩は衛星の回帰周期 (ALOS の場合 46 日間) では変動するとは考えにくいことから、DInSAR 画像での露岩域の変動は誤差と考えられる。そこで、この露岩域の変動量を指標として DInSAR 画像で得られた変位の誤差評価を行った。

研究対象地域は東南極宗谷海岸南部のスカーレン周辺 (昭和基地から南方 90km の地域) とした。DInSAR 画像を作成するために使用した ALOS/PALSAR データは、2007 年 11 月 23 日から 2011 年 1 月 16 日の間に観測された 13 シーン (Path633, Row5710-5720) である。また、PRISM-DEM は ALOS/PRISM の直下視・後方視画像 (観測日: 2009 年 1 月 18 日, Path187, Row 直下視 5020-5030, 後方視 5075-5085) のステレオ視差から作成した。

PRISM-DEM を用いた場合には ASTER-GDEM の場合に比べ、実際の流動方向の氷流速度推定結果に異常な値は見られなかった。また、露岩は ASTER-GDEM を使用した場合には平均 1.65cm, PRISM-DEM の場合には平均 0.74cm となった。

以上の結果から、PRISM-DEM を使用することで氷流速度の推定精度と DInSAR 画像に含まれる誤差の改善が出来たと言える。本講演では、氷流速度推定結果について示すと共に、PRISM-DEM の精度検証についても議論を行う。

キーワード: 差分干渉合成開口レーダー, 南極氷床, 氷流速度, 数値標高モデル

Keywords: DInSAR, Antarctic Ice Sheet, ice flow rate, DEM

ALOS-2 PALSAR-2 ミッションの現状と森林観測 Advanced Land Observing Satellite-2: Mission Status and Forest Observation

島田 政信^{1*}; 渡辺 学¹; 本岡 毅¹
SHIMADA, Masanobu^{1*}; WATANABE, Manabu¹; MOTOHKA, Takeshi¹

¹ 宇宙航空研究開発機構, ² 東京電機大学

¹Japan Aerospace Exploration Agency, ²Tokyo Denki University

PALSAR-2を搭載したALOS-2は、2014年5月24日に種子島宇宙センターから、回帰周期14日、赤道上高度628kmの太陽同期準回帰軌道に打ち上げられた。本衛星は主として5種類の観測目的(ミッション)を有しており、1) 近年頻度と規模が増大する災害時の緊急観測と被災地への情報提供、2) 森林減少や極域氷河の減少などで知られる地球環境監視、3) 農業や国土監視、4) 石油等の資源監視、5) 将来高性能センサのための技術開発である。これらに応えるために、ALOS-2及び主センサであるPALSAR-2には様々な工夫が加えられた。例えば、1) 衛星進行方向に1mの分解能をもつSpotlightモードの付加、2) 3mの分解能と多重偏波で50~70kmの観測幅で帯状観測ができるストリップモード、3) 350/490kmの観測幅を持つ2偏波のScanSARモード、4) 14日の回帰周期と半径500m以内の軌道保持による干渉精度の向上、5) 緊急観測要請後72時間以内の緊急干渉観測の実施、6) ほぼ9割以上のScanSARのビーム同期の実現と広域干渉SARの円滑化である。これまでに衛星は基本観測計画(BOS-2)に従って運用され、2014年の観測でのデータ取得状況は55,530シーンであり、これは計画の62.7%である。2015年に打ち上げ以降初めての全球森林観測を達成できると考えている。このような高機能なPALSAR-2データの利活用を進めるためのALOS-2解析研究プログラムは地球観測研究センター(EORC)主導で行われる。その構成要素は、校正検証、応用研究であり、センサとしてはALOS-2/PALSAR-2だけでなく航空機搭載のPi-SAR-L2を用いる。本報告ではPALSAR-2の現状や地球規模での観測結果についてPALSARとの比較を通して紹介する。

キーワード: 合成開口レーダ, 森林観測, 校正検証, SAR干渉

Keywords: L-band SAR, Forest Observation, Calibration and validation, SAR interferometry

再解析データ JRA-55 による InSAR 対流圏遅延補正効果の検証 Examination of InSAR tropospheric delay correction with JRA-55 reanalysis data

木下 陽平^{1*}; 古屋 正人¹
KINOSHITA, Youhei^{1*}; FURUYA, Masato¹

¹ 北海道大学大学院理学研究院

¹Department of Natural History Sciences, Hokkaido University

合成開口レーダー干渉法 (InSAR) の位相情報には地表変動の他に地球大気による大気伝搬遅延効果が重畳しており、数 mm から数 cm 程度の微小変動を検出する際の障害となっている。大気伝搬遅延効果は地球大気による屈折率が真空中での屈折率と異なるために生じる効果であり、電離層中の自由電子に起因する電離層遅延と対流圏以下での中性大気に起因する対流圏遅延とに分けることが出来る (Doin et al., 2009)。InSAR と同様に大気伝搬遅延効果を受ける全球測位システム (GNSS) での研究から対流圏遅延は乾燥大気による静水圧遅延と水蒸気による湿潤遅延に分けられることが知られており (Bevis et al., 1992)、InSAR にとっては時空間的変動の大きい湿潤遅延が高精度地表変動検出における主要な誤差要因となっている (Zebker et al., 1997)。これまでに GNSS の遅延量データを利用した補正法や数値気象モデルを利用した補正法など数多くの研究が為されてきたものの、現状では微小地表変動検出を達成するほどの精度には至っていない。

数値気象モデルを用いた補正法では、地形に相関する対流圏遅延に対し気候解析用に作成された再解析データが有効であることが近年報告されている (e.g. Jolivet et al., 2014)。しかしいずれの研究も特定のデータセットのみを用いての事例解析的な研究のためデータセット間の相違に言及したものは無く、また研究対象となった地域以外での補正の有効性については検証されていない。

本研究では 2014 年より提供が開始された気象庁 55 年長期再解析データ (JRA-55) を用いて InSAR 対流圏遅延の補正を行い、その効果を検証した。JRA-55 は長期にわたる高品質で均質な気候データセットの作成を目的とした再解析プロジェクトである (Kobayashi et al., 2015)。JRA-55 のモデル水平解像度は TL319 (約 60 km)、鉛直 60 層となっており、3 次元データは 6 時間毎に提供されている。本研究では JRA-55 に含まれる気圧、気温、比湿のデータを時間内挿して Jolivet et al. (2014) と同様の計算法で鉛直伝搬遅延量を計算し、三角関数を用いて SAR の視線方向遅延量へ変換した。また、ヨーロッパ中期予報センターの ERA-Interim 再解析データ (水平解像度 0.75 度、鉛直 37 層) でも同様に遅延量を計算し、JRA-55 との比較を行った。補正の対象とする SAR データには降雪が少なく観測の多い名古屋周辺 (Path:411, Frame:690) の ALOS/PALSAR データを用い、GAMMA ソフトウェアで干渉処理を行った。地形縞除去には国土地理院の 10 m 楕円体高データを用いた。干渉性の低下による InSAR 画像の劣化を避けるため垂直基線長が 3000 m より短い干渉ペアのみを対象とした。28 の SLC データを用いて干渉処理を行った結果、合計 309 の InSAR 画像を作成した。一部の InSAR 画像には軌道縞推定時の推定誤差あるいは電離層擾乱と思われる長波長の位相変化が見られるが、対流圏遅延効果によるものかの判別が出来ないため多項式フィッティングによる長波長トレンドの除去は行っていない。

JRA-55, ERA-Interim による伝搬遅延補正の結果、全 InSAR 画像の標準偏差の平均値は補正前が 1.26716 cm であったのに対し、JRA-55 による補正後は 1.25231 cm に減少した。一方 ERA-Interim による補正では補正後の標準偏差の平均値は 1.26797 cm となり、わずかに増加するという結果が得られた。また、再解析データから得られる伝搬遅延量を乾燥遅延と湿潤遅延に分けてそれぞれ補正した場合、乾燥遅延補正後と湿潤遅延補正後それぞれの標準偏差が JRA-55 では 1.26053 cm と 1.2659 cm、ERA-Interim では 1.26223 cm と 1.28106 cm となった。この結果から、ERA-Interim の補正が有効ではなかった要因の一つとして湿潤遅延の現実再現性の低さが考えられる。

講演当日は JRA-55 及び ERA-Interim による補正効果を報告し、その効果の違いについて考察をする予定である。

キーワード: InSAR, 対流圏遅延, 再解析データ, JRA-55, ERA-Interim
Keywords: InSAR, tropospheric delay, reanalysis data, JRA-55, ERA-Interim

RINCによるPALSAR-2/InSAR解析 PALSAR-2/InSAR analysis using RINC

小澤拓^{1*}; 宮城洋介¹
OZAWA, Taku^{1*}; MIYAGI, Yosuke¹

¹ 防災科学技術研究所

¹ National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

陸域観測技術衛星「だいち2号」(ALOS-2)は2014年5月24日に打ち上げられ、11月25日からALOS-2に搭載された合成開口レーダー(センサー名:PALSAR-2)データの定常配布が開始された。一方、我々はPALSAR-2等のデータを用いた高度SAR解析手法の研究に向けて、SAR干渉解析ツール(RINC)の開発を進めている(e.g.,小澤, 2014)。本発表においては、RINCによるPALSAR-2データを用いたSAR干渉解析の事例を紹介する。

PALSAR-2は、高分解能(Stripmap)、広域観測(ScanSAR)、スポットライトの3つの観測モードを有している。高分解能モードのデータを用いたSAR干渉解析では、ほとんどの干渉ペアにおいて高い干渉性が得られており、データに格納されている衛星軌道情報に基づいて地形・軌道縞成分をシミュレートすることにより、それらの成分はおおよそ除去できた。2014年8月に噴火した口永良部島や2014年9月に噴火した御嶽山についてSAR干渉解析を適用したところ、火山周辺に地表変動によると思われる位相変化が検出された。小笠原硫黄島に関するSAR干渉解析においては、時空間的に複雑に変化する地殻変動を捉えた。2014年11月22日に発生した長野県北部の地震に関するSAR干渉解析においては地震に伴う地殻変動を検出することができた。

広域観測モード(490km観測幅)による関東・中部地方の1ペアについてSAR干渉解析を試みたところ、干渉性は低いものの、ほぼ全域で干渉が得られた。また、スワス間での顕著な位相のギャップは見られなかった。しかし、差分SAR干渉画像においては、長波長の位相差成分が残った。スポットライトモードによる小笠原硫黄島のデータを解析したところ、高い干渉は得られたものの、位相が急激に変化するギャップが見られた。これらの問題は、地表変動データとして用いる上では重要であり、今後の解決が必要である。

キーワード: PALSAR-2, 干渉解析, SAR解析ツール, 口永良部島, 御嶽山, 長野県北部の地震

Keywords: PALSAR-2, InSAR, RINC, Kuchinoerabujima, Ontake, the northern Nagano Earthquake

合成開口レーダーによる火山噴火活動の長期的モニタリングの有用性 Usefulness of long-term monitoring of volcanic eruptions by synthetic aperture radar

本田 健^{1*}; 鶴殿 俊昭¹; 下村 博之¹; 野崎 高義¹; 中田 節也²; 金子 隆之²; 前野 深²
HONDA, Takeshi^{1*}; UDONO, Toshiaki¹; SHIMOMURA, Hiroyuki¹; NOZAKI, Takayoshi¹; NAKADA, Setsuya²;
KANEKO, Takayuki²; MAENO, Fukashi²

¹ 株式会社パスコ, ² 東京大学地震研究所

¹PASCO CORPORATION, ²Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

【はじめに】

西之島は東京の南約 1000km に位置する無人島である。2013 年 11 月 20 日に西之島南東約 500m の地点で新たな噴火が確認され、同年 12 月 26 日には西之島と一体化、2014 年 10 月には西之島の大半が溶岩に覆われるなど、溶岩流出を伴う活発な噴火が現在も継続している。しかしながら、一番近い有人の島である小笠原諸島から約 130km 離れていることから、目視や観測機器による常時観測は困難である。航空機によって上空から監視することは可能であるが、噴火による航空障害も懸念される。

著者らは、火山島の発達形態を限りなく精緻に記録することを目的として、安全且つ定期的に観測が可能な合成開口レーダー衛星を用いた長期的観測を実施した。

【観測の概要】

今回観測に用いた TerraSAR-X は X バンド合成開口レーダーを搭載した、回帰日数 11 日の衛星である。観測は「撮影モード：高分解能 SpotLight300MHz (空間分解能 1.1-1.8 m)、偏波：HH、衛星軌道：Descending」で実施し、噴火 2 日後の 2013 年 11 月 22 日から 2015 年 2 月 4 日までに計 30 回撮影している。また画像分析には地図投影した後方散乱強度値を用いた。

【モニタリング結果】

島の形状変化をみると、新島は噴火直後から溶岩の流出方向を変えながら拡大し、噴火開始の約 1 ヶ月半後には西之島と陸続きとなった。2014 年 5 月 17 日まではほぼ同心円状に拡大したが、同年 6 月 8 日には東側への溶岩の流出が確認され同年 9 月 4 日まで島は東側に拡大した。さらに同年 9 月 26 日には北側への溶岩の流出が確認され、西之島をほぼ覆い尽くす形で現在に至っている。撮影時点の島の面積は、2014 年 1 月 5 日は約 0.25km² (0.54 × 10⁴ m²/day)、同年 5 月 17 日は約 0.9km² (0.49 × 10⁴ m²/day)、同年 9 月 4 日は約 1.3km² (0.36 × 10⁴ m²/day)、同年 9 月 26 日は約 1.7km² (1.80 × 10⁴ m²/day)、2015 年 2 月 4 日は約 2.5km² (0.61 × 10⁴ m²/day) となった。

次に火山活動の状況を見ると、火口や火口内の溶岩ドーム状の地形、溶岩ロープ、溶岩の流下方向がはっきり確認できた。溶岩ロープは火口から一直線に海岸に向かってはいるのではなく、左右に蛇行しながら流下している様子が確認できることから、地形の微妙な凹凸の上を流下したものと考えられる。また溶岩ロープが固定された後もその先端から島が拡大していることから、溶岩ロープ内を通じて溶岩が海岸線に供給されたと推測できる。

一方中央火口をみると、2014 年 11 月 9 日以降火口が水平方向に東に約 40m 移動していることが確認された。水平位置が変わっていないとすれば中央火口は衛星に近づいていることを示唆しており、水平移動量とレーダーの入射角より中央火口丘は約 50m 高くなったと推測できる。

【考察】

今回 SAR 衛星によって火山活動を長期的にモニタリングした結果、火山活動の詳細な変化をとらえることが出来た。このような成果が得られたのは、空間解像度が高い X バンド衛星を用いたこと、高頻度で撮影を繰り返したこと、観測に影響を与える植生が存在しないことがあげられる。

ただし、今回の観測ではレーダーの照射方向に対して直交方向（南北方向）に流下する溶岩流は明瞭に判別できたが、照射方向（東西方向）の場合は不明瞭であることが確認されている。SAR 画像を解析する際には、レーダーの照射方向を考慮する必要がある。

【さいごに】

SAR による火山活動の監視は、衛星の周回性により観測日時が限定されるものの、天候や無人島などの地理的条件に左右されずに監視が可能であることが確認された。また衛星に搭載されたレーダーの特性によって空間解像度や透過性が異なることから、例えば地表面の観測には X バンドの SAR 衛星、山体膨張には L バンドの SAR 衛星を用いるなど、目的に応じて衛星を使い分けることも考えられる。

今後は火山噴火の前兆となる山体膨張の監視等の技術開発を推進し、火山災害の軽減に向けて SAR 衛星を利用した継続的な火山監視の実現を目指すことが望まれる。

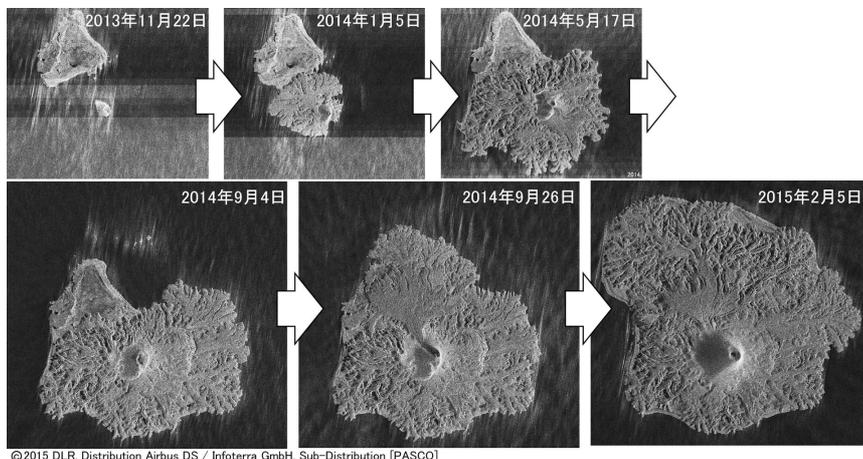
キーワード: 合成開口レーダー, 火山モニタリング

Keywords: Synthetic aperture radar, Volcano monitoring

STT54-P03

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 18:15-19:30



地すべり性干渉縞検出を目的とする差分干渉 SAR 画像に用いる斜面サイズ適応型空間フィルタ A spatial filter adaptive to slope size applied to differential SAR interferograms for landslide detection

草野 駿一^{1*}; 三五 大輔¹; 山之口 勤²; 島田 政信³

KUSANO, Shunichi^{1*}; SANGO, Daisuke¹; YAMANOKUCHI, Tsutomu²; SHIMADA, Masanobu³

¹ 株式会社パスコ, ² 一般財団法人リモート・センシング技術センター, ³ 独立行政法人宇宙航空研究開発機構

¹PASCO corporation, ²Remote Sensing Technology Center of Japan, ³Japan Aerospace Exploration Agency

差分干渉合成開口レーダ(差分干渉 SAR)は、衛星などから地表面を複数回観測することで、各観測間に生じた地表変位を計測する技術である。電波を用いているため、雲や噴煙などがあっても地表面を観測することができる。また、数十キロメートル四方の観測範囲で、最高で数ミリメートルオーダーの地表変位を計測できるため、地表変位の監視(例えば地すべりや地盤沈下、火山の山体膨張などの監視)などに用いられている。

差分干渉 SAR 画像上では、地表変位は干渉縞と呼ばれる特徴的なパターンとして現れる。一方で、地表変位に起因する干渉縞以外に、各観測間での大気中の水蒸気分布の変化による干渉縞がしばしば現れる。この大気に起因する干渉縞は、判読を妨げる要因となるだけでなく、推定する地表変位量の誤差要因となる。そのため、地すべりに起因する干渉縞(地すべり性干渉縞)のような局所的な干渉縞を判読し、高精度な定量的解析を行うためには、大気による干渉縞成分の適切な除去が望まれる。

本研究では、差分干渉 SAR 画像において、地すべり性干渉縞を極力保存した上で、誤差となる大気起因の干渉縞低減を目指した空間フィルタを提案する。提案フィルタは空間周波数でのハイパスフィルタをベースとする。大気に起因する干渉縞は、数百メートルからキロメートルオーダーであり、比較的大きな空間スケールである。一方で、地すべり性干渉縞は地すべり自体の大きさに限定され、日本では数十メートルから数百メートルのスケールとなることが多い。このスケールの違いを利用して、空間周波数を適切に選択したハイパスフィルタを用いることで、地すべり性干渉縞を保存した上で、大気に起因する干渉縞のような大きなスケールの干渉縞のみを効率的に低減できる。

しかし、一般的に地すべり自体の大きさは、その場所ごとに異なる。さらに、地すべりの形状も様々であり、縞は異方性を有する。そのため、未知の地すべりを差分干渉 SAR 画像から検知する際には、フィルタリングのための最大空間周波数を適切に設定することは困難であり、結果を見ながら適宜最大空間周波数を調整する必要がある。そこで提案手法では、斜面のサイズに適応したハイパスフィルタを提案する。地すべりの大きさは斜面のサイズに限定されると仮定し、フィルタリングのしきい値を斜面サイズに限定することで、斜面サイズ以下の干渉縞は適応的に保存され、斜面サイズ以上の大気に起因する干渉縞を低減する。

提案手法の具体的手順は次のとおりである。本研究では、斜面を斜面向きで定義することとした。DEM から算出した斜面方位角画像において、類似する斜面方位角を持つ画素同士をグループ化して同一斜面とみなす。グループ化には領域拡張法を用いた。領域拡張法により推定した斜面領域の二値画像に対して二次元フーリエ変換し、斜面領域のパワースペクトルを計算する。このパワースペクトルを正規化したものを窓関数とし、対応する領域の差分干渉 SAR 画像のスペクトルに乗じることで、斜面サイズに適応したフィルタリングを実現する。フィルタ後のスペクトルを逆フーリエ変換し、フィルタ後の差分干渉 SAR 画像を得る。隣接する斜面に対してこれを繰り返し、得られた斜面ごとのフィルタ後差分干渉 SAR 画像をモザイクして、画像全体にフィルタを施す。提案した手法では、斜面サイズの最大値を設定し、それ以上のサイズの干渉縞を一様にフィルタリングすることとした。

本手法を長野県および山形県の地すべり地帯における差分干渉 SAR 画像に適用し、検証した。画像全体に一様にハイパスフィルタを適用した場合と、提案手法を比較した場合を比較した。画像全体に一様にハイパスフィルタを適用した場合は、フィルタリングする最大空間周波数を大きくするにつれ、大気に起因する干渉縞が十分に低減される一方で、地すべり性干渉縞も大きく低減されるため、最適な最大空間周波数の設定に試行錯誤を要する。それに対し、提案手法では、地すべり性干渉縞を十分に保存したうえで、大気に起因する干渉縞が十分に低減することを確認した。

本手法の、地すべり性干渉縞は斜面サイズに限定されるという仮定は、一般的に成立すると考えられる。本手法は、過剰なフィルタリングを抑制しながら、最大限大気起因の干渉縞を低減する実用的な手法であり、地すべり性干渉縞の判読性向上、変位量の高精度推定に役立つと期待される。

キーワード: 差分干渉 SAR, 地すべり, 空間フィルタ

Keywords: Differential SAR interferometry, landslide, spatial filter

X-band 及び L-band SAR による桜島のモニタリング Monitoring of Sakurajima Volcano using X-band and L-band SAR

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の一つである。2006年6月に昭和火口から再開した噴火活動は、2009年以降さらに活発になり、現在でもたびたび爆発的噴火を起こしている。また2015年1月には昭和火口内に溶岩ドームの拡大が確認されている。これらの活動に関連し、始良カルデラを中心とした広域の地殻変動と、より桜島にローカルな地殻変動が、これまでGPS、傾斜計、水準測量などにより検出されてきた [Iguchi et al., 2013; Yamamoto et al., 2013]。桜島における現在の噴火活動を理解し、今後の活動を予測するためにも、定期的な地殻変動モニタリングを行う必要がある。一般的に、活動中の火山における現地観測は危険を伴うため困難であるが、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あり、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周辺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。本研究では、X-band と L-band という異なる波長の SAR センサを用いた桜島火山のモニタリングの結果を紹介する。なお使用する X-band SAR は COSMO-SkyMed であり、JAXA-ASI (イタリア宇宙機関) 間の共同研究協定の下データを利用した。L-band SAR は 2014年5月に打ち上げられた ALOS-2/PALSAR-2 のデータを使用した。

使用した X-band SAR データは CSK データ (Stripmap モード, 空間分解能約 3m) で、2010年7月以降北行・南行両軌道から 1-2回/月の頻度で取得されたデータである。CSK の回帰周期は同じ衛星の場合最短で 16日間であるが、4基体制で運用されているため、本研究で使用したデータの取得間隔は最短で 4日間である。しかし、取得間隔が短く、かつ垂直基線長 (データを取得する 2回の衛星の軌道間距離) が短い場合でも、桜島やその周辺では干渉する領域が限られてしまい (例えば鹿児島市内や地獄河原)、桜島全体の地殻変動を検出するのは困難であった。またそもそも桜島の地殻変動速度は小さく [Yamamoto et al., 2013]、短期間の干渉解析の結果からは、顕著な地殻変動は検出されなかった。そこで、本研究では InSAR 時系列解析用ソフトウェアである StaMPS [Hooper et al., 2007] を使い、CSK データを使った PSInSAR 解析を行った。その結果、桜島北部沿岸に PS 点が得られ、1cm/year の隆起が検出された。また地獄河原周辺には逆に 1cm/year 程度の沈降が検出された。これらは同時期に行われた水準測量の結果 [山本, 2012] と調和的である。ただし地形の影響による大気誤差を含んでいる可能性も考えられる。使用した L-band SAR データは ALOS-2/PALSAR-2 データ (Stripmap モード, 空間分解能約 3m) で、2014年9月以降北行・南行両軌道から観測されており、最新の解析結果を紹介する。

キーワード: 合成開口レーダ, 桜島, モニタリング, InSAR, PSInSAR, 地殻変動

Keywords: Synthetic Aperture Radar, Sakurajima, Monitoring, InSAR, PSInSAR, Deformation

中央アジア・天山山脈北部地域における山岳永久凍土の空間分布 Spatial distribution of permafrost in the northern Tien Shan, Central Asia

山村 祥子^{1*}; 奈良間 千之²; 富山 信弘³; 田殿 武雄⁴

YAMAMURA, Akiko^{1*}; NARAMA, Chi-yuki²; TOMIYAMA, Nobuhiro³; TADONO, Takeo⁴

¹ 新潟大学大学院自然科学研究科, ² 新潟大学理学部自然環境科学科, ³ 財団法人リモート・センシング研究センター, ⁴ 宇宙航空研究開発機構

¹Department of Environmental Science, Niigata University, ²Niigata University, Department of Environmental Science, ³Remote Sensing Technology Center of Japan (RESTEC), ⁴Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)

天山山脈は中央アジアの乾燥・半乾燥地域における重要なウォータータワーとして知られており、山脈内には山岳氷河や山岳永久凍土という形で水資源が存在している。これらの水貯蔵量を見積もる上で、山岳氷河や山岳永久凍土の現状把握は不可欠であるが (Sorg et al., 2012), 天山山脈北部地域においては山岳永久凍土の空間分布の把握は未だ不十分である。そこで本研究では、山岳永久凍土の存在指標となる岩石氷河の空間分布・形態分類・流動から、天山山脈北部キルギス・アラトー山脈の山岳永久凍土環境を明らかにした。

現地調査・空中写真判読を用いて形態的特徴を基に認定した岩石氷河に差分干渉 SAR を適用し、その地表面の変動から、岩石氷河を内部に永久凍土を持つ現成型・停滞型岩石氷河と化石型岩石氷河に分類した。上記の地表面変動解析の検証として、2013-2014 年夏季に現地で GPS 定点観測を実施し、氷河起源タイプの岩石氷河上で平均流速 75cm/yr の斜面下方への地表面流動が観測された。観測サイトは、地温・気温条件から見ても、永久凍土が存在しうる環境であるといえる。

現成型・停滞型岩石氷河の分布高度およびそれらの流動から、キルギス・アラトー山脈では不連続な永久凍土帯が山脈北面 2900m 以上、山脈南面 3400m 以上に分布していることが明らかになった。加えて、夏季三ヶ月以内の短期間差分干渉 SAR 解析から、岩石氷河内部の山岳永久凍土の近年の融解に伴う局所的な沈降を山脈北面 3300-3500m 付近で確認した。さらに、現成型・停滞型と認定した岩石氷河のうち約半数が、氷河起源タイプの岩石氷河だった。当日は、これら氷河起源タイプの岩石氷河の形成条件に関しても報告をおこなう予定である。

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

Keywords: DInSAR analysis, mountain permafrost, rock glacier, Tien Shan

ALOS/PALSAR データを用いたグリーンランド北西部の非定常氷床変動の検出 Detection of irregular change of ice sheet in north-western Greenland using ALOS/PALSAR data

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(一財) リモートセンシング技術センター, ⁴ 日本大学

¹National Institute of Polar Research, ²Graduate University for Advanced Studies (SOKENDAI), ³Remote Sensing Technology Center, ⁴Nihon University

急速な氷床融解が進行中のグリーンランドでは氷床流動の変化が起きている可能性がある。そこで、差分干渉 SAR 手法 (DInSAR) を、北西グリーンランドを観測したいくつかの ALOS/PALSAR シーンに適用し、変位図と 2 重差分干渉 SAR 手法 (DDInSAR) により得られる変位差図を JpGU2014 において示した。

氷床の流動では定常的な流動が主であり、差分干渉 SAR 画像に現れる定常的な流動に伴う位相変化は DDInSAR により相殺することができるため、流動変化といった定常的でない変位を検出することが可能である。

ALOS/PALSAR により 2007 年 8 月 30 日、10 月 15 日、11 月 3 日に 3 回連続して観測されたシーン (パス 76、フレーム 1590) に DDInSAR 手法を適用したところ、得られた変位差図に 10~15cm の変位差のある円形あるいは楕円形をしたスポットが数カ所見られた。それらのスポットの位置は沿岸域氷床上の池の位置とほぼ一致することから、得られた変位差は池の表面の変位により生じたのではないかと考えられる。

今後、同じ SAR データにオフセットトラッキング手法を適用して表面流動を推定し、その結果と組み合わせて池の表面変位についてさらに調べる予定である。

キーワード: 差分干渉 SAR, 氷床流動, オフセットトラッキング, グリーンランド

Keywords: Differential Interferometric SAR, ice sheet flow, offset tracking, Greenland

ALOS-2/PALSAR-2により捉えられた国内外の活火山周辺における地殻変動 Ground Deformation around the Domestic and Overseas Active Volcanoes detected by ALOS-2/PALSAR-2

安藤 忍^{1*}; 中橋 正樹²; 鬼澤 真也²
ANDO, Shinobu^{1*}; NAKAHASHI, Masaki²; ONIZAWA, Shin'ya²

¹ 気象研究所, ² 気象庁
¹MRI, ²JMA

2014年5月24日に、陸域観測技術衛星「だいち2号 (ALOS-2)」が打ち上げられた。衛星に搭載された合成開口レーダ (PALSAR-2) は、先代の「だいち1号 (ALOS)」同様、地表面の状態把握に優れたLバンド波長帯を利用しており、干渉性が高く面的な地殻変動観測に有効である。また、ALOS/PALSARよりも高分解センサであり、回帰日数も14日と格段に短くなったため、より高解像度のデータを高頻度で取得・解析でき、防災・減災に役立つと期待されている。打ち上げ後約半年間の校正期間を経て、2014年11月25日にデータ公開された。ALOS-2/PALSAR-2はその運用上の制約により、少なくとも最初の1年間はベスマップの蓄積を重視しているが、火山活動の急変や地震などの災害の発生時には臨機応変に観測が行われている。

気象研究所では、国内外の活火山周辺及び地震発生前後の地殻変動についてALOS-2/PALSAR-2のデータを用いた干渉解析や強度画像比較を行っている。得られた解析結果は、それぞれ本庁の火山活動評価や地震震源過程解析評価のツールとして利用されている。本発表では、データが一般公開されて以降、気象研究所において解析されたALOS-2/PALSAR-2の解析結果について紹介する。

本解析で用いたPALSAR-2データの一部は、火山噴火予知連絡会が中心となって進めている防災利用実証実験 (火山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-2に関する原初データの所有権はJAXAにある。なお解析には、防災科学技術研究所の小澤拓氏により開発されたRINC(Ver0.25)を使用した。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10mメッシュ (標高) を元にしたDEHMを使用し、地図の描画にはGMTを用いた。ここに記してお礼申し上げます。

キーワード: ALOS-2/PALSAR-2, 干渉 SAR, 強度画像, 活火山
Keywords: ALOS-2/PALSAR-2, InSAR, Amplitude image, Active volcano