

DInSAR と GPS によって検出された, 2011 年新燃岳噴火前後の地殻変動 Crustal Movements associated with the 2011 eruption of Shinmoe-dake detected by DInSAR and GPS

宮城 洋介^{1*}, 小澤 拓¹, 河野 裕希¹

MIYAGI, Yosuke^{1*}, OZAWA, Taku¹, KOHNO, Yuhki¹

¹ 防災科学技術研究所

¹National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

九州南部, 鹿児島県と宮崎県の県境に位置する霧島山・新燃岳が 2011 年 1 月 19 日に噴火活動を開始した。当初のマグマ水蒸気爆発から, 1 月 26 日には準プリニー式噴火に移行し, 1822 年以来 189 年振りのマグマ噴火となった。その後も同様の爆発的噴火を繰り返し, この間火口内では溶岩ドームの急速な成長が見られた。2 月中旬以降, 爆発的噴火の頻度や溶岩ドームの成長は落ち着いたが, 1716-1717 年にかけて噴火活動が 1 年半以上断続的に継続したとされる記録もあり, 今後も同様の噴火を起こす可能性は十分に考えられる。今後の活動を予測するためにも, 噴火前後の活動の推移を理解する必要がある。

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は, 活動中の火山であっても定期的に, しかも広域を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 (Synthetic Aperture Radar 以下 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, 今回の溶岩ドームの急速な成長を捉える事ができた。また, 2 時期の SAR データを用いた差分干渉解析 (DInSAR 解析) により, 噴火前後や噴火に伴う地殻変動を検出することができる。霧島山の地殻変動は, 2011 年新燃岳噴火以前から現在まで国土地理院の GEONET と防災科学技術研究所の GPS 観測点によって捉えられており, 2010 年初頭から噴火まで山体が膨張し, 噴火に伴って収縮, 噴火後再び膨張に転じたことが分かっている。ALOS/PALSAR データを用いた DInSAR 解析から, 2007 年 11 月-2010 年 1 月の期間には変動は見られず, 2010 年 2 月-2010 年 11 月の期間に新燃岳北西部を中心とした膨張が検出された。また噴火を挟んだ 2010 年 11 月-2011 年 2 月の期間に, 同じく新燃岳北西部を中心とする収縮が検出された。噴火後, RADARSAT2 データを用いた DInSAR 解析から, 2011 年 3 月-2011 年 11 月の期間に, やはり新燃岳北西部を中心とする膨張が確認され, DInSAR と GPS 観測の結果が調和的であることが分かった。また, 同じ噴火後の RADARSAT2/DInSAR の結果から, 火口周辺に局所的な収縮のシグナルが検出された。

本発表では, 衛星 SAR/DInSAR 観測と GPS 観測から得られた新燃岳 2011 年噴火に関連する地殻変動と, その変動源について議論を行う。

キーワード: 合成開口レーダー, 差分干渉 SAR, GPS, 新燃岳, 地殻変動

Keywords: SAR, DInSAR, GPS, Shinmoe-dake, Crustal movement

SAR 解析により検出された新燃岳・霧島山の火口内の変化 Temporal change in the Shinmoe-dake crater detected by SAR analysis

小澤 拓^{1*}, 宮城 洋介¹

OZAWA, Taku^{1*}, MIYAGI, Yosuke¹

¹ 防災科学技術研究所

¹NIED

2011年新燃岳(霧島山)噴火においては火口内に溶岩が出現し、火口内の地形を大きく変化させた。我々は複数の SAR 衛星による画像を解析し、火口内の溶岩が1月29日から1月31日の間に急激に増加したことを明らかにした。その噴出率は750万立米/日と求め、1月31日には、溶岩の体積は1500万立米に達した。その後、溶岩は噴出物に覆われたため、3月に観測された SAR 画像からは、体積が若干増加したように見える。

9月7日に小規模噴火が発生し、その後に噴火は観測されていない。その噴火後の火口内の溶岩の変化を調査するために、RADARSAT-2により11月22日から4連続で観測された SAR データに SAR 干渉法を適用した。火口内および周辺域においては高い干渉性が得られ、火口内に顕著な位相変化が求められた。この位相変化は火口内の地形の変化による成分と地表変動による成分の和を示す。そこで、この期間の地表変動の速度が一定であるという仮定の下で、それらの成分を分離した。求めた地形変化成分から、火口内に堆積している噴出物の体積は2000万立米と求め、3月と比べて大きく変化していないことが明らかとなった。また、推定された地表変動成分から、溶岩が蓄積された領域において、衛星-地表間距離が短縮する変化が生じていたことが明らかとなった。これが隆起によるものと仮定したところ、体積増加率は275立米/日と求められた。

キーワード: 新燃岳, 霧島山, 火口, SAR, 地殻変動, 溶岩

Keywords: Shinmoe, Kirishima, crater, SAR, deformation, lava

PALSAR/InSAR 解析による Laguna del Maule カルデラ周辺の地殻変動 Crustal deformation around the Laguna del Maule caldera detected by PALSAR/InSAR

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

前研究においては、東北地方の火山周辺において、2011年東北地方太平洋沖地震に伴って局所的な地殻変動が生じていたことを明らかにした(Ozawa and Fujita, submitted to JGR)。我々は、同様の地殻変動が他の地震においても生じていたかを調査するために、InSARを用いた地殻変動検出を行っている。本講演においては、チリのLaguna del Mauleに関する解析結果を紹介する。Laguna del Mauleは15 × 25kmの幅を有するカルデラであり、2010マウレ・チリ地震の東方に位置している。歴史上に噴火の記録は無いが、InSAR解析から大きな隆起が生じていることが明らかにされている。我々は、PALSARのSAR干渉解析により、地震前、地震時、地震後の地殻変動を調査した。積雪の影響により、地殻変動調査に十分な干渉性が得られるデータは、夏季のデータに限られた。現在では、(1)2007/2/12-2009/2/17, (2)2009/2/17-2010/2/20, (3)2010/2/20-2010/4/7, and (4)2010/4/7-2011/1/8の干渉ペアに関する解析が終了している。得られた干渉画像においては、膨張を示すスラントレンジ短縮変化が求まった。そこで、茂木モデルを仮定して、(1)、(2)および(4)の干渉ペアから得られた地殻変動から地殻変動力源のパラメータを推定したところ、カルデラ下の2700mの深さ(海面下)に膨張源が求まった。推定されたモデルからシミュレートしたスラントレンジ変化は、観測されたスラントレンジ変化を良く説明している。推定された体積変化量はそれぞれ5400万、4400万、2400万立米であり、これは2700万、4300万、3200万立米/年の変化速度に相当する。これらの平均(3400万立米/年)から、(3)の干渉画像(46日間)の地殻変動を計算したところ、観測された干渉画像と調和的な結果が求まった。このことは、2010年マウレ地震発生時に、地殻変動の大きな変化は無かったことを示唆する。ただし、これは予備的な解析結果であり、今後、より詳細な解析を行う予定である。

キーワード: 火山, 地震, 地殻変動, 合成開口レーダー, チリ, マウレ

Keywords: volcano, earthquake, deformation, SAR, Laguna del Maule

PS-InSAR 時系列解析による口永良部島火山の地殻変動

Surface deformation of Kuchinoerabujima volcano revealed by PS-InSAR time-series analysis

田中 明子^{1*}, 山本 圭吾²

TANAKA, Akiko^{1*}, YAMAMOTO, Keigo²

¹ 産業技術総合研究所 地質情報研究部門, ² 京都大学 防災研究所

¹Geological Survey of Japan, AIST, ²DPRI, Kyoto University

口永良部島火山は、島の中央部に新岳・古岳などの中央火口丘を有する活火山である。1980年に新岳山頂東側の割れ目火口から発生した小規模な水蒸気噴火以降、噴火は発生していないが、新岳火口周辺や古岳火口では噴気活動みられ、火山性の地震が頻発し、継続的な山体の膨張が観測されるなど、現在も火山活動は活発な状態にある(例えば、井口・他(2002))。2004年に始められた山頂部の連続GPS観測により、2005年1月-6月頃、2006年9月-2007年1月頃、および2008年9月-2009年1月頃の火山性地震の活動期に同期した、火口周辺の膨張を示す方向に変位が観測された(例えば、斉藤・井口, 2007)。また、ALOS/PALSARデータによるInSAR解析により、2006年および2008年の膨張イベント期間を含む2つの独立した干渉ペアにおいて、新岳付近の地盤が衛星視線方向に近づく変動パターンが検出されている(山本, 2009)。

ここでは、InSAR時系列解析の一手法であるPS法を口永良部島に適用した結果について報告する。ALOS/PALSARのascendingとdescending両方のデータを使用し、解析パッケージStaMPS(Hooper et al., 2007)を用いた解析の結果、新岳だけではなく、古岳周辺においても、視線方向に沿った20 mm/yr程度の地表変位が検出された。新岳付近の地殻変動量は、従来のInSAR解析やGPS観測結果と調和的である。GPS観測点に乏しい古岳付近も含めた地殻変動量の解析を行う。

謝辞: 本研究で用いたPALSARデータはPIXEL(PALSAR Interferometry Consortium to Study our Evolving Land surface)において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(ERI)との共同研究契約によりJAXAから提供された。PALSARデータの所有権は経済産業省およびJAXAにある。

キーワード: PS干渉SAR, 時系列解析, 口永良部島火山, 地殻変動, ALOS/PALSAR

Keywords: PS-InSAR, time-series analysis, Kuchinoerabujima volcano, ground deformation, ALOS/PALSAR

PS-InSAR 時系列解析から求めた 2008 年岩手・宮城内陸地震後の地殻変動 Crustal deformation after the Iwate-Miyagi Nairiku earthquake deduced from PS-InSAR time series analysis

大下 佑也^{1*}, 太田 雄策¹, 三浦 哲², 出町 知嗣¹, 立花 憲司¹, 海野 徳仁¹

OHSHITA, Yuya^{1*}, OHTA, Yusaku¹, MIURA, Satoshi², DEMACHI, Tomotsugu¹, Kenji Tachibana¹, UMINO, Norihito¹

¹ 東北大学 地震・噴火予知研究観測センター, ² 東京大学 地震研究所

¹RCPEVE, Tohoku university, ²ERI, The University of Tokyo

2008年6月14日に発生した岩手・宮城内陸地震(Mw6.9)は奥羽脊梁山脈ひずみ集中帯[1]内部で発生した内陸逆断層型の地震である。本震の主要な破壊は西に傾き下がる震源断層において起きたことが測地学的、地震学データから明らかになっている[例えば, 2]。Iinuma et al. [3]は連続観測点に加えて地震後に新たに展開されたキャンペーン GPS 点のデータに基づく余効すべり分布推定を行い、地震時に大きくすべった領域の浅部延長、および出店断層において1ヶ月程度の間、余効すべりが発生していたことを明らかにした。また大園[4]はGPSデータから長期的な余効変動を見出し、これを地震発生後の下部地殻もしくは上部マントルの粘性緩和によるものと考えてモデル化を行っている。しかし広域の地殻変動は粘性緩和モデルによって説明できるものの、震源域ごく近傍ではモデル値との乖離が大きく、粘性緩和以外に長期的余効変動を引き起こす要因があることが指摘されている[4,5]。そこで本研究ではPS法を用いたInSAR時系列解析を適用し、それら震源域近傍の長期的余効変動の時空間発展を明らかにすることを目的とする。

InSARデータにはALOS/PALSARデータの観測期間が2008年7月から2010年10月までの12シーンをを用いた(フレーム57,パス2830の南行軌道)を用いた。PS法によるInSAR時系列解析にはStaMPS[6]を用いた。StaMPSはPS法によるInSAR時系列解析の手法の一つである。数値標高データにはSRTM4を用いた。マスター画像は2009年9月のデータを用いた。また、初期PS候補点抽出の閾値である振幅安定度(D_A)の値は標準的な値[8]である0.4を採用した。

PS法による時系列解析の結果、震源断層上盤側でLOS短縮(隆起もしくは東向き変位)、下盤側でLOS伸長(沈降もしくは西向き変位)の余効変動とみられる変位のパターンが見られた。また、震源断層西側において、[5]で低干渉領域だった箇所に、2か所の大きいLOS短縮域を確認した。このLOS短縮の領域はStaMPSに含まれるSBAS法でも同様に確認できる。一方、大気遅延・電離層遅延などのノイズの影響を受けていると考えられるシーンが確認され、余効変動の時間発展を見る上ではノイズを除去する必要がある。また、PS点ではない点を誤抽出している可能性があり、PS候補点抽出の閾値である D_A の値の仮定等を含め、今後の検討が必要である。講演では、震源断層上盤側で確認されたLOS短縮域の力源についてより詳細な考察を行う。

[謝辞]: 本研究で用いたSARデータは、地震・地盤変動データ流通及び解析ワーキンググループ(地震WG)およびPIXEL共有データを通じて提供を受けました。PALSARデータの所有権は経済産業省および宇宙航空研究開発機構(JAXA)にあります。またHooper博士にはStaMPS解析ソフトウェアを提供して頂きました。記して感謝します。

[1] Miura et al., EPS, 2004, [2] Ohta et al., EPS, 2008, [3] Iinuma et al., GRL, 2009, [4] 大園, 東北大学博士論文, 2009, [5] 太田 他, JpGU Meeting, 2010, [6] Hooper et al., JGR, 2007, [7] Hooper et al., GRL, 2008, [8] Ferretti et al., IEEE Trans, 2001

キーワード: InSAR, 岩手・宮城内陸地震, StaMPS, ALOS/PALSAR, PS-InSAR, 地殻変動

Keywords: InSAR, 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake, StaMPS, ALOS/PALSAR, PS-InSAR, Crustal deformation

異なる SAR 時系列解析手法を用いて算出した地盤沈下の定量的な比較 Quantitative comparison of methods and sensors for monitoring land subsidence based on SAR interferometric stacking

PASQUALI Paolo¹, RICCARDI Paolo¹, CANTONE Alessio¹, DEFILIPPI Marco¹, 大串 文誉^{2*}, GAGLIANO Stefano³
PASQUALI Paolo¹, RICCARDI Paolo¹, CANTONE Alessio¹, DEFILIPPI Marco¹, OGUSHI, Fumitaka^{2*}, GAGLIANO Stefano³

¹sarmap SA, ²Exelis VIS 株式会社, ³Exelis Visual Information Solutions, Italia

¹sarmap SA, ²Exelis VIS KK, ³Exelis Visual Information Solutions, Italia

SAR 時系列解析 (インターフェロメトリスタッキング) は、地形の変動に対して非常に精度の高い測定が行うことができ、地盤沈下の現象をとらえることに有効な手法として知られている。特に、Persistent Scatterers (Ferretti et al. 2001) と Small BASeline (Berardino et al. 2002) の 2 つ手法は、時系列解析の代表的なアプローチとみなすことができる。これらの手法を用いることで、特定のエリアを同一センサ、モード及びジオメトリから撮像された 20 シーン以上の衛星合成開口レーダ (SAR) 画像を用いて、年間数ミリオーダーの精度で地表面の変動を測定することができる。条件のよいピクセルでは、変動の履歴を 1 センチメートルまたはそれ以上の精度で知ることが可能となる。

2 つのアプローチの主な違いは、それぞれの手法には適用しやすいオブジェクトや土地被覆のタイプが大きく異なっている。PS 法 (Persistent Scatter) は、いわゆるポイントターゲットと呼ばれており、コーナーリフレクタのように非常に特徴的なジオメトリを持ち (例えば、建物、岩) 時系列の中で安定して後方散乱シグナルが存在するターゲットが存在するシーンの分析に適している。SBAS 法 (Small BASeline) は、その逆で、幾何学的に特徴があまりないエリア、いわゆる分散しているターゲットの分析に適してとされている。

PS 法のアプローチでは、時系列の解析のなかで地形に変動が起こることは前提とされておらず、より線形的な変動が期待される場合に使用される。SBAS アプローチはその逆で、地形に変動が起こることが前提されており、大きな変動が期待される場合に使用される。本論文では、地下水のくみ上げや天然ガス採掘によって、広範囲に地盤沈下が起こっていると考えられるエリアを、2 つの手法で解析をおこなった。

また、解析では ALOS PALSAR (L バンド) 及び ENVISAT ASAR (C バンド) の衛星センサから取得したデータを使用しており、結果の検証は、GPS と水準測量にもとづき行われた。この解析では、地盤沈下現象をモニタリングを行うための変動観測を行うための異なるアプローチとそれぞれのセンサの長所と短所を説明することができた。また、地理的に特徴が異なる地域で同じ手法が可能であることも議論する。最後に、これらの解析結果にもとづき、今後打ち上げが予定されている Sentinel-1 (C バンド) および ALOS-2 (L-Band) のデータ利用に関する提案も行う。

REFERENCES

Ferretti, A., Prati, C., & Rocca, F. 2001: Permanent scatterers in SAR interferometry, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 39, 8-20.

Berardino, P., Fornaro, G., Lanari, R., & Sansosti, E. 2002: A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 40, 2375- 2383.

キーワード: 合成開口レーダ, インターフェロメトリ, Persistent Scatterers, Small BASeline, ALOS PALSAR

Keywords: Synthetic Aperture Radar, Interferometry, Persistent Scatterers, Small BASeline, ALOS PALSAR

偏波を用いた差分干渉 SAR 解析による解析精度向上の試み An Attempt to Increase Estimation Accuracy of Differential SAR Interferometry using Polarization

石塚 師也^{1*}, 辻 健¹, 松岡 俊文¹

ISHITSUKA, kazuya^{1*}, TSUJI, Takeshi¹, Toshifumi Matsuoka¹

¹ 京都大学大学院 工学研究科

¹ Graduate School of Engineering, Kyoto University

差分干渉 SAR 解析とは観測間の位相変化から衛星視線方向の地表変動を推定する手法である。これまで差分干渉 SAR 解析によって数多くの地表変動現象が明らかにされてきたが、解析精度は観測条件や対象地域に依存することが知られている。本研究では、解析精度を低下させる原因の 1 つとして干渉度の低下に注目した。干渉度は位相に含まれるノイズ量の少なさを表す指標であり、例えば、植生が多い地域や複数の散乱体が存在するピクセルで散乱波が乱雑な位相情報を含んでいる場合には干渉度の低下が起こる。そこで、本研究では推定精度の向上を目的として、複数の偏波で観測された SAR データを用いた差分干渉 SAR 解析を試みた。

偏波は振動方向の違いによって水平成分 (H) 及び鉛直成分 (V) で表され、送信及び受信の組み合わせによって 4 成分の観測データ (HH, HV, VH, VV) が得られる。これら 4 成分の観測データの散乱行列が得られると任意の散乱状態を復元することができるため、偏波を用いた観測データから位相の乱雑さを示す値である干渉度を最大とする散乱状態を推定できる (Cloude and Papathanassiou, 1998)。本研究でも干渉度が最大となる散乱状態の推定し、推定された散乱状態の位相変化から地表変動の推定を行った。データは ALOS に搭載されている PALSAR の多偏波モードで観測されたデータを用い、千葉県で発生している地盤沈下地域を対象とした。その結果、干渉度が改善した状態での地表変動を推定した。

キーワード: 差分干渉 SAR 解析, 偏波, 干渉度, 地盤沈下

Keywords: Differential SAR Interferometry, Polarization, Interferometric Coherence, Land Subsidence

噴火時の火山における合成開口レーダの差分干渉処理を用いた降灰範囲及び降灰深の推定

Estimation of the area and the thickness of volcanic ash by using DInSAR technique

中野 陽子^{1*}, 清水 武志¹, 山越 隆雄¹, 石塚 忠範¹, 若林 栄一²

NAKANO, Youko^{1*}, SHIMIZU, Takeshi¹, YAMAKOSHI, Takao¹, Tadanori Ishizuka¹, Eiichi Wakabayashi²

¹ 独立行政法人土木研究所, ² 八千代エンジニアリング株式会社

¹Public Works Research Institute, ²Yachiyo Engineering CO., LTD.

2010年10月26日、インドネシア国ジョグジャカルタ近郊の Merapi 火山で発生した噴火は、11月5日に発生した大規模な火砕流のほか、広範囲に火山灰を堆積させた。噴火後の2010年から2012年の雨季にかけての泥流の発生は、大規模な火砕流が堆積した山体南側に位置する Gendol 川よりも Merapi 山西麓の河川で頻発しており、山頂付近では火山灰が厚く堆積したことが想定される。

一方、霧島山(新燃岳)において Ozawa(2011) は、JAXA の陸域観測衛星 ALOS の合成開口レーダセンサ (PALSAR) データを用いた InSAR 処理の結果と降灰深とで一致が見られると報告している。

本検討ではこれを踏まえ、Merapi 山 2010 年噴火において 2010/11/01 と 2010/12/27 の PALSAR データで干渉処理を用い、降灰範囲及び降灰深の推定し、現地データとの比較検討を行った。また、推定された降灰深と比較した現地データは、2011年9月から2012年2月にかけて行った Merapi 山周辺における地点降灰堆積深の現地調査結果を用いた。

差分干渉処理により抽出された地形変化縞の見られる範囲と、現地調査で計測した降灰範囲及び降灰深の分布データとは、降灰分布の主軸の一致及び泥流頻発溪流の源頭部で厚い傾向が見られる等おおむね整合的であった。

謝辞: 本報告に用いた ALOS データは、JAXA によって提供を受けたものであり、本報告の成果は、JAXA/火山 WG の検討による成果である。また、ALOS/PALSAR の解析には、SIGMA-SAR を用いた。ここに記して感謝いたします。

キーワード: Merapi 山, 火山灰, 合成開口レーダ, 差分干渉

Keywords: Mt. Merapi, volcanic ash, volcanic ash, DInSAR