

修正 FA 法を用いた PALSAR ScanSAR 干渉について PALSAR ScanSAR Interferometry Using The Modified Full Aperture Processing

島田 政信^{1*}

SHIMADA, Masanobu^{1*}

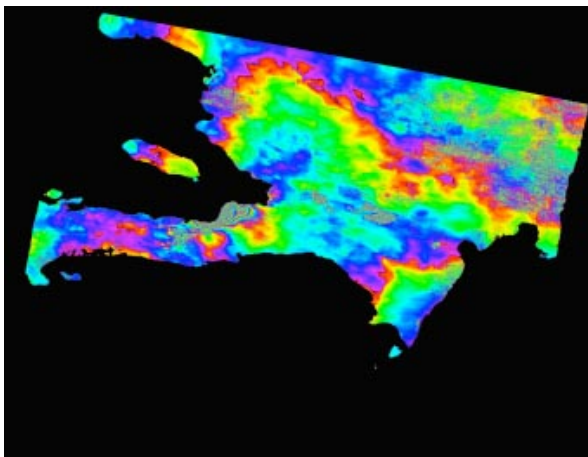
¹ 宇宙航空研究開発機構

¹Japan Aerospace Exploration Agency

ScanSAR 処理は Specan 処理とフルアパチャー処理 (FAP) で代表される。FAP では受信信号を内挿し、あたかも STRIP モードと同様に受信されたかのように信号を作り替え、標準 SAR 処理をさせる。FAP により、信号内挿という処理プロセスを加えることで、通常干渉処理が出来るという利点があるものの、スキャン毎に画像の長さが異なるという欠点がある。SAR 映像化の基本は線形処理であり、ここでは全スキャンが同じ (アジマス) 長さになる方法を提案し、一枚の非常に大きな SLC を作成し、それから干渉処理を行うこととした。利点としては離散する島々でも広域にわたって成り立つ master/slave 間のコレジストレーション関係の構築が可能なことである。図 1 に Haiti 地震の事例を紹介する。震源周りでの地殻変動の状況が把握出来る。

キーワード: 合成開口レーダー, スキャン SAR 干渉, 地殻変動, ALOS

Keywords: SAR, ScanSAR InSAR, Surface Deformation, ALOS



干渉 SAR 時系列解析による地盤沈下検出力の検証 Evaluation for detection capability of ground subsidence by InSAR time series analysis

宮原 伐折羅^{1*}, 山中 雅之¹, 小林 知勝¹

MIYAHARA, Basara^{1*}, YAMANAKA, Masayuki¹, KOBAYASHI, Tomokazu¹

¹ 国土地理院

¹ Geospatial Information Authority of Japan

国土地理院は、高精度地盤変動測量として、陸域観測技術衛星「だいち」の PALSAR データを用いた干渉 SAR により、全国 17 地域の地盤沈下について、変動を監視している。変動の把握には、複数の SAR 干渉画像を平均化してノイズを軽減したスタッキング処理を用いている。これまで、九十九里平野を始め、津軽平野、新潟平野において、水準測量との比較により、スタッキング処理の結果を評価しており、約 1 cm 以内で水準測量と一致することが報告されている(鈴木他、2010)。今回、干渉 SAR 時系列解析により、現在、地盤沈下が継続している津軽平野における変動を把握し、従来のスタッキング処理と比較したため、これを報告する。

鈴木 啓・森下 遊・雨貝知美・唐沢正夫(2010): 干渉 SAR を活用した効率的な地盤沈下監視の実施へ向けた取り組み, 平成 22 年度国土交通省国土技術研究会, <http://www.mlit.go.jp/chosahokoku/h22giken/program/kadai/pdf/innovation/inno2-05.pdf> (accessed 25 Feb. 2012)

キーワード: 干渉 SAR, 時系列解析, 地盤沈下, StaMPS, だいち, PALSAR

Keywords: SAR Interferometry, Time series analysis, Ground subsidence, StaMPS, ALOS, PALSAR

InSAR データに基づく 2008 年 9 月西濃豪雨時の三次元水蒸気分布の推定 Three dimensional water vapor distribution based on InSAR data during Seinoh heavy rain on 2 September 2008

木下 陽平^{1*}, 島田 政信², 古屋 正人¹

KINOSHITA, Youhei^{1*}, SHIMADA, Masanobu², FURUYA, Masato¹

¹ 北海道大学大学院理学院, ² 宇宙航空研究開発機構 地球観測研究センター

¹Natural History Sci. Hokkaido Univ., ²Earth Observation Research Center, Japan Aerospace exploration Agency

合成開口レーダ干渉法 (InSAR) とは, 合成開口レーダ (SAR) を利用した 2 時期のデータの位相の差を面的に観測する技術であり, 従来から広域にわたる地殻変動の検出に利用されてきた. InSAR で得られる位相差には GPS と同様に地球大気による電波伝搬遅延効果が含まれ, 特に時空間的に不均質に分布する水蒸気による遅延効果は数 cm オーダーの地殻変動の検出にとっては大きな障害となっている. しかし一方で InSAR データから水蒸気遅延シグナルを抽出できれば, 他の観測手段には無い詳細な水蒸気分布を捉える事ができる (藤原ほか 1998, Hanssen et al. 1999).

我々は 2008 年 9 月の西濃豪雨時に緊急観測で得られた ALOS/PALSAR の level 1.0 データから InSAR 画像を作り, 約 8km の空間スケールで約 120mm の変位を示す局所的シグナルを検出した. このシグナルが地殻変動や電離層の擾乱によるものではなく大気伝搬遅延によるものであること, および 1 km メッシュ全国合成レーダデータの降水エコー強度分布との比較から InSAR のシグナルが 80mm/hr を超えるエコー極大域の位置に非常に近いことをこれまでに報告してきた (木下ほか, 2010, 2011, 日本測地学会秋季講演会, 木下ほか, 2011, 連合大会). 本発表では InSAR で捉えた集中豪雨起源の水蒸気遅延シグナルに基づいて, Hobiger et al. (2008) の波線追跡法によって集中豪雨時における大気水蒸気の三次元分布の推定を行ったので, その結果を報告する. 本研究での InSAR 画像の作成には GAMMA ソフトウェアを利用した. 地形縞のシミュレートには国土地理院の基盤地図情報の 10 m 標高データを元に作成した 10 m メッシュ楕円体高を用いた.

マイクロ波の中性大気における伝搬遅延量を決める屈折率は気圧, 気温, 水蒸気圧の 3 つで求めることができる (Thayer, 1974). そこで我々は, 集中豪雨シグナルの周辺における SAR データ取得時の気圧, 気温, 水蒸気圧の三次元分布を設定し, 波線追跡法によって InSAR での伝搬遅延量をモデル計算することで, InSAR データのシグナルをうまく説明するような三次元水蒸気分布を推定した. ここで, ある屈折率に対して拘束条件なしに気圧, 気温, 水蒸気量の値を一意に決定することはできず, また InSAR においてマイクロ波の各 pixel における伝搬経路はすべてほぼ平行であるため, GPS 大気トモグラフィのようなインバージョン (e.g. Seko et al., 2000) で気圧, 気温, 水蒸気量の各パラメータをすべて推定するのは難しい. そのため本研究では拘束条件として気圧, 気温については気象庁 MSM データの値をそのまま用い, 時空間的な変動が大きく伝搬遅延への影響も大きい水蒸気のみ MSM の値を基に試行錯誤的に推定した. 本研究では InSAR の局所的なシグナルのみに着目して水蒸気分布を推定することとし, 推定する領域は InSAR のシグナルを中心として水平 30 km 四方, 高度 15000 m までの範囲を選んだ.

モデル計算の結果, 高度 5000 m より上空での相対湿度 50% 以下の乾燥した領域の存在と, InSAR のシグナルの周囲 10km の狭い範囲での地表から高度 9000 m にかけて相対湿度が 90% を超える多量の水蒸気の存在が推定された. また, 推定した水蒸気場を鉛直方向に積分して可降水量分布を求めたところ, InSAR のシグナルの位置の可降水量はその周囲に比べて約 12 mm 大きく, またその位置は気象レーダの降水エコー極大域とおおよそ 3 km 離れていた. 加えて AMeDAS の地上風観測データでは, InSAR のシグナルの位置で地上風が収束しているように見えており, このことはシグナルの位置で水蒸気の収束があることを示唆している. これらから, この水蒸気の集中する位置と降水エコー極大域の位置の違いは, 集中豪雨を引き起こした降水システムにおける水蒸気流入域と実際の降水域の違いを捉えたものであろう.

キーワード: InSAR, 集中豪雨, 波線追跡法, 水蒸気

Keywords: InSAR, Heavy rain, Ray tracing, Water vapor

ALOS/PALSAR 干渉処理によって把握された十勝岳 62-II 火口の火山性地殻変動 Crustal deformation around 62-II crater of Tokachidake Volcano, central Hokkaido Japan, depicted by InSAR of ALOS/PALSAR

小四郎丸 拓馬^{1*}

KOSHIROMARU, Takuma^{1*}

¹ 北海道大学地震火山研究センター

¹ Inst. of Seismology and Volcanology, Hokkaido Univ.

十勝岳は、北海道中央部を北東 - 南西方向に貫く十勝岳火山群のほぼ中央に位置する、標高約 2077m の活火山である。20 世紀以降も 1926 年・1962 年・1988~89 年と、約 30 年周期で噴火しており、極めて活動性が高い。山頂を形成する溶岩ドームの北~北西部には、鋸岳火口・グラウンド火口・播鉢火口・北向火口・中央火口・62 - II 火口などが存在する。1962 年噴火で形成され、1988~89 年にも噴火した 62 - II 火口周辺では、気象庁などの GPS 観測によって、現在も地殻変動が観測されている。本研究では、この地殻変動について、ALOS/PALSAR による干渉 SAR のデータを用いた解析を試みた。

ALOS/PALSAR は、2006 年から 2010 年にかけて、十勝岳を含む領域を計 38 回観測している。そのうちアセンディングでの観測は 18 回、ディセンディングでの観測は 20 回である。これらの観測データから、基線長が十分に小さく観測期間が十分に長いペアを選択して、計 47 個の干渉画像を作成した。これらの中には、ペアのどちらかが積雪期間にあたり干渉性が悪くなっているものや、画像全体において気象などの影響によるノイズが多いと思われるものが含まれている。最初に、これらのノイズが小さく、干渉性が良好なペアについて、位相変化を精査した。たとえば、無雪期の観測であり、さらに画像の全面において気象ノイズがほとんど見られない 2008 年 6 月 30 日と 2009 年 10 月 3 日のペアでは、62 - II 火口周辺に集中する局所的な干渉パターンを見出すことができた。これが地殻変動によるものであるとすれば、この火口周辺の膨張が示唆され、GPS 観測と調和的な結果であると考えられる。

一方、干渉解析した結果の中には、基線長が十分に小さいにもかかわらず、干渉画像にノイズが表れてしまうものも多く見られた。多くの場合、ノイズには地形と強く関連している成分が含まれており、電離層擾乱や対流圏に含まれる水蒸気による電波の遅延などによって発生する、気象ノイズの影響を大きく受けていると考えられる。次に、気象ノイズが比較的軽微な複数の干渉画像をスタックして気象ノイズを平均化し、地殻変動によると思われる位相変化を抽出することを試みた。ここでは、6 枚の干渉画像を用いてスタック処理をした結果、これらのデータからも、62 - II 火口を中心とするほぼドーム状の膨張パターンを見出すことができた。この結果は、気象ノイズがほとんどなかったペアの結果とも、ほぼ一致している。

これらの位相変化が地殻変動によるものであると仮定し、茂木モデルのフィッティングを試みたところ、62 - II 火口直下の地表から約 1km の深さにソースを求めることができた。この結果は、GPS による観測とも調和的であり、十勝岳 62 - II 火口の地下に膨張性の変動源があることが強く示唆される。なお、62 - II 火口周辺以外には、系統的な位相変化は見いだされなかった。

本研究では JAXA・EROC の島田政信博士による SIGMA-SAR を用いて干渉処理を行った。さらに、解析に用いた PALSAR データは地震及び火山ワーキンググループ等の枠組みにより JAXA から提供されたものである。PALSAR データの所有権は経済産業省および JAXA にある。解析には、国土地理院による 10m メッシュ数値標高データを用いた。ここに記してお礼申し上げる。

キーワード: 干渉 SAR, 地殻変動, 十勝岳, ALOS, PALSAR, 火山

Keywords: InSAR, Crustal Deformation, Tokachidake, ALOS, PALSAR, Volcano

SAR データを用いた 2010 年メキシコ・バハカリフォルニア地震に伴う地殻変動解析

Analysis of crustal deformation due to the 2010 El Mayor-Cucupah Earthquake in Mexico using SAR data

岡本 淳一^{1*}, 橋本 学¹, 福島 洋¹

OKAMOTO, Junichi^{1*}, HASHIMOTO, Manabu¹, FUKUSHIMA, Yo¹

¹ 京都大学防災研究所

¹DPRI, Kyoto University

2010年4月4日、メキシコ・バハカリフォルニア地方で El Mayor-Cucupah 地震 (Mw 7.2) が発生した。震源は太平洋プレートと北米プレートの境界付近の地震活動が活発な地域で、加えてこの場所は pull-apart 盆地であるため、横ずれ断層と正断層で形成される複雑なテクトニクスとなっている。本研究では ALOS/PALSAR と ENVISAT/ASAR のデータを使用し、地震時・地震後の詳細な地殻変動を明らかにし、本震の断層運動と余効変動の発生過程との関係を明らかにすることを目的とした。

まず初めに、地震時変動解析を行った。地震時変動の InSAR 画像は全体的に干渉性が高く、Ascending (北行) 軌道のデータでは断層近傍で 150cm 程度の変動を検出した。しかし、震源より北西側の断層近傍では干渉縞の乱れが確認され、さらに震源断層とは異なる断層でも顕著な位相の不連続が生じていた。一方 Descending (南行) 軌道のデータでは、震源断層に沿って同心円状の小さな干渉縞がいくつも確認され、本震に伴って副次的な断層運動が生じていたことが示唆された。また、Ascending と同じ領域に位相不連続が確認されており、本震に伴って別の断層でも局所的な変動を起こしたことがわかった。両軌道からのデータを用いて 1 枚の平面断層を仮定してすべり分布を求めたところ、震源の北西側で若干の正断層成分を伴った横ずれすべりが見つかり、深さ 3~4km の場所におよそ 3.5m の最大すべりが求められた。同時に、ABIC (Akaike's Bayesian Information Criterion) 最小の条件で推定された断層傾斜角は北東方向に 68°であった。本震の大局的な変動パターンはこのモデルで説明できたが、震源の北西側では残差が大きく、局所的な変動を説明できなかった。

次に、地震後およそ 6ヶ月間の SAR データを用いて余効変動解析を行った。ALOS, ENVISAT の両衛星の Descending データで、主に震源より北西の断層近傍で余効変動を観測した。それらのプロファイルをとったところ、全て視線距離伸長 (西方への変動もしくは沈降) で ~5cm 程度の変動が観測された。余効変動が観測された場所は、断層北西端を除いて、本震断層の西側である。加えて、本震断層から 10km ほど南西側に離れた別の断層付近でも、およそ 2.5cm 程度の視線距離伸長の変動が観測された。これは、本震時と余効変動でさらに別の断層が運動している可能性がある。本震断層付近の余効変動について、本震で推定された断層を用いて余効すべり分布を推定したところ、震源より北西側で逆断層成分をもつすべりが得られた。これが、本震で推定されたすべり方向 (正断層成分を含んだ横ずれすべり) とは異なる結果で、しかも、観測データを上手く説明することが出来なかったことから、測定された余効変動は別の断層面上でのすべりなどの他の要因によるものである可能性がある。

そこで、データを説明するモデルを試行錯誤的に探したところ、小断層 5 枚から成る南西に低角で傾斜する断層でうまく説明できることが分かった。その結果、本震すべりと整合的な正断層成分を含むモデルによって、余効変動で観測された位相変化を説明することが出来た。さらに、山地側が隆起し、盆地側が沈降するというテクトニクスにも整合的である。この結果は、本震によってこの付近の地殻内の応力が複雑に変化し、本震断層のごく近傍でも異なる断層が本震後に運動した可能性があることを示す。

キーワード: 合成開口レーダー, 干渉法, バハカリフォルニア地震, 地震時変動, 余効変動, 余効すべり

Keywords: SAR, interferometry, El Mayor-Cucupah earthquake, coseismic deformation, postseismic deformation, afterslip

InSAR で捉えた京都盆地・大阪平野の地盤変動の 2.5 次元解析 2.5 Dimension Analysis of Ground Deformation in the Kyoto Basin and Osaka Plain Detected with SAR Interferometry

橋本 学^{1*}

HASHIMOTO, Manabu^{1*}

¹ 京都大学防災研究所

¹ DPRI, Kyoto University

2011 年より、京都盆地と大阪平野を対象に、陸域観測技術衛星「だいち」搭載の PALSAR とドイツの TerraSAR-X 画像を用いて地盤変動を面的に把握し、その空間分布から基盤形状を推定することを試みている。今回、PALSAR の北行軌道のデータを解析し、南行軌道の画像を組み合わせることにより、2.5 次元解析を行ったので、その結果を報告する。

今回、2006 年 10 月 8 日?2010 年 10 月 19 日の間に撮像された PALSAR のパス 414、フレーム 680 の画像 24 シーンを解析した。できる限り垂直基線長が短く、観測時間間隔の長いペアを干渉解析し、スタッキングを行い、平均視線距離変化率を得た。なお、干渉解析においては、軌道推定を行い、干渉画像をできるだけフラットにするようにした。北行軌道からの撮像では、電離層擾乱による考えられる大きな変動が認められるが、これを低減するためである。一方、南行軌道（パス 65、フレーム 2920）の画像は、2007 年 1 月 9 日から 2010 年 10 月 20 日に撮像されたものを用いた。

昨年までの解析で、南行軌道の観測から、京都盆地南部の視線距離短縮と有馬・高槻構造線に平行する視線距離伸長が認められる。また、TerraSAR-X 画像の解析でも、同じ変動が観測されるので、地盤変動のシグナルと考えられる。今回解析した北行軌道の観測からもやはり同様な領域に同じセンスの変動が認められる。

これらを用いて 2.5 次元解析を行い、疑似上下成分と東西成分に変換した。その結果、京都盆地南部では年間約 1cm の隆起、有馬・高槻構造線に沿っては年間約 5mm の沈降が得られた。京都盆地で見つかった隆起域は、その西縁が西山断層系の榎原断層・灰原断層に一致しており、地下構造を反映しているものと考えられ、興味深い。なお、有馬・高槻構造線に平行する沈降域の西端、豊中付近では、局所的に 1cm/年を超える沈降となっている。また、これらの領域では、顕著な東西成分は得られないので、ほぼ上下方向の変動であると推察される。この他、顕著な地盤変動として、大阪湾岸埋め立て地の沈降、淀川北岸の沈降、大阪府庁の西側の局所的な沈降などが認められる。

これらの変動の原因については、考察の域を出していない。京都盆地については、地下水の貯留域になっていることから、地下水位の変動によるものと考えられる。有馬・高槻構造線に平行な変動については、やはり地下水位の変動とそれに関連した圧密沈下が考えられるが、形状が 2006 年モザンビーク地震後の余効変動のパターンと共通点を持つことから、1995 年兵庫県南部地震による影響が継続している可能性もある。

PALSAR Level1.0 データは、文部科学省研究委託事業「上町断層帯重点観測」において取得しました。PALSAR データの所有権は、宇宙航空研究開発機構および経済産業省にあります。TerraSAR-X 画像は（株）パスコ主催「SAR 技術応用研究会」研究助成により（株）パスコより提供されました。TerraSAR-X 画像の所有権は Infoterra GmbH にあります。

キーワード: InSAR, 地盤変動, 京都盆地, 大阪平野, 地盤沈下, 有馬・高槻構造線

Keywords: InSAR, ground deformation, Kyoto Basin, Osaka Plain, ground subsidence, Arima-Takatsuki Tectonic Line

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
¹ NIED

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/日と求められ、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2000万立米と求められ、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