

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*}

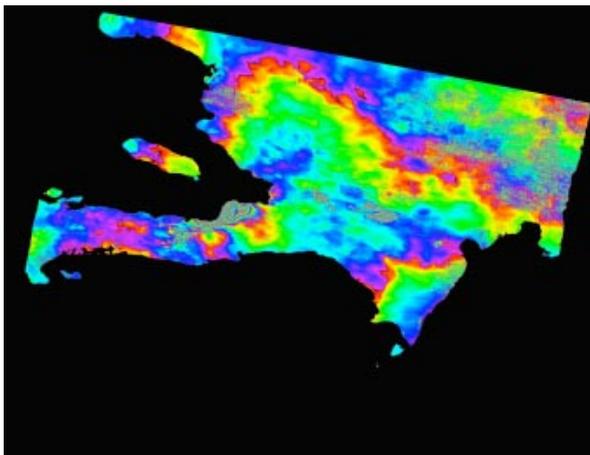
¹ 宇宙航空研究開発機構

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

¹ DPRI, 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

¹DPRI, 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、電離層擾乱によると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