

干渉 SAR の電離層補正に向けた、GPS-TEC による日本周辺の電離層擾乱の特性把握 Research on the characteristics of ionospheric disturbance around Japan by GPS-TEC for ionospheric correction to InSAR

中川 弘之^{1*}; 宗包 浩志¹; 黒石 裕樹¹; 神原 雅史²
NAKAGAWA, Hiroyuki^{1*}; MUNEKANE, Hiroshi¹; KUROISHI, Yuki¹; KAMIHARA, Masashi²

¹ 国土交通省国土地理院, ² 株式会社 パスカリア
¹GSI of Japan, ²Pascalina Co.,Ltd

干渉合成開口レーダー(干渉 SAR)では、電離層擾乱に伴う電波の遅延誤差により正確な地盤変動情報が抽出できない場合があることが問題となっている。国土地理院では 2013 年度より、GEONET の 2 周波観測データから得られる電離層電子密度(TEC)に関する情報に基づいて、干渉 SAR に対して電離層補正を行う手法の研究を実施している。

初年度の 2013 年度は、日本とその周辺域における電離層擾乱現象の特性を把握するため、2000 年から 2011 年までの 12 年を対象に、網羅的な調査を行い、電離層擾乱現象を特定し、特性把握をおこなった。また、特定された電離層擾乱の発生時のうちで、対応する ALOS PALSAR の干渉ペアがあるものについて電離層位相遅延差の推定画像を試作し、これを実際の SAR 干渉画像と比較を行った。本発表ではこのうち、前段の電離層擾乱の特性把握の結果について報告する。

まず、対象期間の GEONET の 30 秒データから、宗包(2013)の手法により観測点毎に 30 秒間隔で、天頂方向の TEC、TEC の傾斜の北南成分および東西成分からなるモデルを推定した。その際、定数 3600 秒のハイパスフィルタをかけて低周波成分を除去した。

この GPS-TEC のデータを元に、対象期間に発生した電離層擾乱現象を同定し特性を分析した。その際に、個々の擾乱について詳細に検討して現象の同定や特性値の精度を高めるよりも、TEC の RMS などの指標をできるだけ活用して電離層擾乱現象の傾向を把握することを優先した。

手順は以下の通りである。まず、観測点毎の天頂方向の TEC の 1 時間の RMS が閾値以上となる電子基準点の数が一定数を超過している場合に電離層擾乱現象が発生していると見なし、その日時を抽出した。次に、それぞれの日時について(独)情報通信研究機構の Web サイトに掲載されている「GEONET GPS 全電子数マップ」を目視し、マップのパターンに応じて、その時に発生している擾乱現象を、「伝播性電離層擾乱(TID)」「プラズマバブル」「その他」に分類した。

その後、「TID」と「プラズマバブル」に分類された擾乱現象それぞれについて、開始時間と終了時間、現象の影響範囲とその時間推移等の特性を、観測点毎に計算した 10 分間の TEC の RMS に基づいて決定した。加えて、TID の波長やプラズマバブルの北端緯度など、現象の種類毎の特性値も推定した。これらを統計的にとりまとめることにより、対象期間における日本周辺の電離層擾乱現象の特性を明らかにした。

この調査の結果、対象期間中に 8,815 件の電離層擾乱現象を同定した。年次毎の件数は 2001 年の 967 件をピークにその後徐々に減少し、2007 年に 471 件と最小になり、その後再び増加傾向がみられた。この傾向は太陽活動周期と整合している。また、プラズマバブル、TID ともに太陽活動が活発な時に多く不活発な時に少ない傾向がみられた。

TID については、5 月~8 月の夏季に発生頻度が多い傾向がはっきりと見られた。また、ローカルタイムの 22 時を中心として前後 2 時間の間に集中して発生していることも明らかになった。プラズマバブルについては、ローカルタイムの日没後、夜半にかけて発生頻度が高かった。これらは先行研究の結果と整合的である。

参考文献

宗包浩志(2013): GEONET データを用いた「だいち」 SAR 干渉画像の電離層補正手法の開発(序報), STT57-09, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会

(独)情報通信研究機構: GEONET GPS 全電子数マップ, <http://seg-web.nict.go.jp/GPS/GEONET/>

キーワード: 干渉 SAR, 電離層擾乱, TEC, GEONET
Keywords: InSAR, ionospheric disturbance, TEC, GEONET

ALOS PALSAR を用いた時系列解析のダム外部変形計測への適用 APPLICATION OF DINSAR TIME SERIES ANALYSIS USING ALOS PALSAR TO EXTERIOR DEFORMATION MONITORING OF DAMS

本田 謙一^{1*}; 虫明 成生¹; 佐藤 渉¹; 佐藤 弘行²; 小堀 俊秀²; 佐々木 隆³; 山口 嘉一⁴; 清水 則一⁵
HONDA, Kenichi^{1*}; MUSHIAKE, Naruo¹; SATOH, Wataru¹; SATOH, Hiroyuki²; KOBORI, Toshihide²; SASAKI, Takashi³
; YAMAGUCHI, Yoshikazu⁴; SHIMIZU, Norikazu⁵

¹ 国際航業株式会社, ² 土木研究所, ³ 国土技術政策総合研究所, ⁴ ダム技術センター, ⁵ 山口大学

¹Kokusai Kogyo Co., Ltd., ²Public Works Research Institute, ³National Institute for Land and Infrastructure Management, ⁴Japan Dam Engineering Center, ⁵Yamaguchi University

近年、ダム等大規模構造物の老朽化と安全管理が大きな課題となっている。日本国内にあるダムのうち 2020 年には 58%が建造から 50 年を超えるなどダムの老朽化も進んでおり、安全管理のための効率的な変位計測技術が求められている。また、地震などの災害時に構造物の被災状況を早期に把握するため、安全で迅速な変位計測技術が必要とされている。Differential Interferometric SAR (DInSAR) は広域の複数の構造物を一度に観測できることから、大規模構造物の安全管理に非常に有益である。

そこで本研究では、沖縄県の大保協ダムを対象として DInSAR のダムの外部変形計測への適用性を検討した。大保協ダムは 2006 年 12 月の完成と同時に GPS で外部変形計測を行っており、2010 年 12 月までに 114mm の変形が観測されている。そこで、同時期に観測している ALOS PALSAR の Ascending14 シーンと Descending14 シーンを用い、各軌道で DInSAR の時系列解析を行った。

GPS により計測された変位と比較した結果、最も変形の大きな点において、DInSAR の変位は GPS の変位の 70% から 80%の値が得られた。RMSE は約 1cm であり、解像度 10m の ALOS PALSAR データでも、数センチ程度の変位ならば DInSAR で計測できることが確認できた。また、時系列での変位の傾向もよく捉えており、DInSAR によるダムなどの大規模構造物の外部変形計測への利用可能性が示唆される。

キーワード: ダム, 外部変形計測, DInSAR, SBAS, GPS

Keywords: Dam, Exterior deformation monitoring, DInSAR, SBAS, GPS

国内の主要な活火山における干渉 SAR 時系列解析 Approach for monitoring ground deformation around the active volcanoes in Japan by InSAR time series analysis

三浦 優司^{1*}; 安藤 忍²; 中村 政道¹
MIURA, Yuji^{1*}; ANDO, Shinobu²; NAKAMURA, Masamichi¹

¹ 気象庁火山課, ² 気象研究所

¹ Volcanological Division, JMA, ² MRI

気象庁および気象研究所では、2007 年から北方領土を含む日本全国の活火山周辺を対象に二時期の差分干渉 SAR 解析による火山活動に伴う地殻変動の検出を試み、火山噴火予知連絡会および各種学会などで報告を行ってきた。

近年、多量の SAR データを使用することにより、干渉性の低下、DEM 誤差及び対流圏・電離圏遅延などに起因するノイズの影響を低減する、干渉 SAR 時系列解析という手法が開発され、地殻変動の検出に多用されるようになってきている。今回、国内の主な活火山を対象に、ALOS 運用中に蓄積された複数の PALSAR データを用いて本手法を適用し、火山活動に伴う地殻変動の検出を試みた。

これまでに行った解析の結果、十勝岳、吾妻山、伊豆大島、三宅島、薩摩硫黄島等で GPS でも捉えられている火山活動に伴うと考えられる衛星視線方向の地殻変動が検出されたので、これらの詳細について報告する。

キーワード: 干渉 SAR 時系列解析, 地殻変動, ALOS/PALSAR, 活火山

Keywords: InSAR time series analysis, ground deformation, ALOS/PALSAR, active volcano

PS-InSAR 解析を用いた八丁原地熱開発地域周辺の地表変動の解析 Surface displacement around Hachobaru geothermal field inferred from persistent scatterer SAR interferometry

石塚 師也^{1*}; 辻 健²; 松岡 俊文¹; 藤光 康宏³; 西島 潤³
ISHITSUKA, Kazuya^{1*}; TSUJI, Takeshi²; MATSUOKA, Toshifumi¹; FUJIMITSU, Yasuhiro³; NISHIJIMA, Jun³

¹ 京都大学大学院 工学研究科, ² 九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所, ³ 九州大学大学院 工学研究科

¹Graduate School of Engineering, Kyoto University, ²International Institute for Carbon-Neutral Energy Research (I2CNER), Kyushu University, ³Faculty of Engineering, Kyushu University

地熱開発地域では、地下熱流体の流れに伴い、地表変動が発生することが知られている。これまでも水準測量や GPS 等の測地学的手法により、地熱開発地域の地表変動が推定されており、モニタリング技術としての有効性が示されてきた。近年では、persistent scatterer SAR interferometry (PS-InSAR) 解析により、従来よりも空間的に高密度に地表変動を推定することが可能になり、地熱開発のモニタリング技術としての有効性が示されつつある。本研究では、日本最大の地熱開発地域である八丁原地熱開発地域及び九重連山を含む周辺の地域に PS-InSAR 解析を適用し、地表変動量の推定と変動の特徴の考察を行った。解析には、2007 年 7 月から 2010 年 12 月間に ALOS/PALSAR によって取得された 18 シーンを用いた。

解析の結果、SAR データ取得期間において、地熱開発地域周辺では、年間約 15mm の衛星から遠ざかる向きの変動が起こっていることが推定された。また、この継続的な変動に加え、時間的に不規則な隆起や沈下も発生していると分かった。この不規則性の隆起や沈下は九重連山全体で発生していることから、九重連山の地表変動が地熱地域の地表変動に関係していると推測される。また、この継続的な変動は時間と共に徐々に減衰する傾向を示しており、今後も変動量は減衰すると推測される。さらに、変動域には明瞭な境界が見られており、変動域は断層によって定まっている可能性が示された。

キーワード: 地表変動, PS-InSAR 解析, 八丁原地熱地域

Keywords: surface displacement, persistent scatterer SAR interferometry, Hachobaru geothermal area

干渉 SAR による東海地域の定常的な地殻変動解析 The Steady Crustal Deformation Analysis in Tokai region by InSAR

安藤 忍^{1*}; 岩切 一宏²; 青木 元²
ANDO, Shinobu^{1*}; IWAKIRI, Kazuhiro²; AOKI, Gen²

¹ 気象研究所, ² 気象庁

¹MRI, ²JMA

地表面の状態把握に優れた L バンド波長帯を有する ALOS/PALSAR は、干渉性が高く面的な地殻変動観測に有効である。

気象研究所では、静岡県掛川市から御前崎市周辺の ALOS/PALSAR データを解析し、フィリピン海プレートの沈み込みに伴う定常的な地殻変動の検出を試みた。変動の定常成分(時系列)を得るため、ここでは、撮像日間隔の異なる多数の画像ペアに対して干渉処理を行い、各干渉画像における衛星視線方向の変動量から、46 日毎(衛星回帰日数)の平均変動量を計算した(スタッキング処理)。なお、明らかにノイズが重畳していると思われる干渉画像を除いてスタッキング処理を行った。スタッキング処理により、電離層等に起因したノイズの影響が低減され、変動検出精度の向上が期待できる。

解析したデータは、2007 年 1 月~2010 年 10 月の北行軌道(パス 409, フレーム 680)の 23 シーン, 2006 年 10 月~2010 年 9 月の南行軌道(パス 60, フレーム 2920)の 19 シーンである。垂直軌道間距離が約 1km 以下の北行軌道 101 ペア及び南行軌道 79 ペアについて干渉処理を行った。得られた干渉画像に対して電子基準点「掛川」を無変動地点としてアンラップ処理を行い、これに気象庁非静力学モデル(JMA-NHM)による大気遅延補正を施して、全てのペアの衛星視線方向の変動量を求めた。各ペアの期間内で変動は一定と仮定した上で、46 日毎の衛星視線方向の平均変動量を計算した。ペアによって撮像日の間隔が異なるため、平均処理に用いるサンプル数が異なるが、重み付けは行わなかった。

その結果、北行軌道の解析では、定常的な変動がほとんど見られなかった。一方この地域の変動への感度が高い南行軌道の解析では、御前崎付近を中心に衛星から遠ざかる定常的な変動が見られ、GNSS による変動ベクトルと調和的な結果が得られた。

本解析で用いた PALSAR データの一部は、国土地理院が中心となって進めている防災利用実証実験(地震 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 に関する原初データの所有権は経済産業省及び JAXA にある。なお解析には、宇宙航空研究開発機構の島田政信氏により開発された SIGMA-SAR を使用させていただいた。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 50m メッシュ(標高)を使用し、結果の描画については GMT を用いた。ここに記してお礼申し上げます。

キーワード: SAR 干渉解析, 地殻変動, ALOS/PALSAR, 東海地域

Keywords: InSAR, Ground deformation, ALOS/PALSAR, Tokai region

X-band SAR 衛星・Cosmo-SkyMed を利用した桜島のモニタリング Monitoring of Sakurajima Volcano using Cosmo-SkyMed

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、より活発になり、現在でもたびたび爆発的噴火を起こしている。また 2012 年 7 月 24 日には、南岳山頂火口でおよそ 1 年半ぶりに噴火が起こった。桜島における現在の噴火活動を理解し、今後の噴火活動を予測するためにも、定期的なモニタリングを行う必要がある。活動中の火山における現地観測は危険を伴うため、一般には困難であるが、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、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、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。本発表では、イタリアの X-band SAR 衛星・COSMO-SkyMed (以下 CSK) によるデータを利用し、桜島南岳の火口の変化を検出した。また、DInSAR 解析も試みた。

キーワード: 合成開口レーダ, 桜島, 地殻変動
Keywords: SAR, Sakurajima, Deformation

TerraSAR-X (TanDEM-X)/DInSAR によって検出された霧島山・新燃岳の地殻変動 Volume Increase of Lava within the Kirishima, Shinmoe-dake Crater, Detected by TerraSAR-X/DInSAR

宮城 洋介^{1*}; 小澤 拓¹; 小園 誠史²; 島田 政信³
MIYAGI, Yosuke^{1*}; OZAWA, Taku¹; KOZONO, Tomofumi²; SHIMADA, Masanobu³

¹ 防災科学技術研究所, ² 東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻, ³ 宇宙航空研究開発機構
¹National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, ²Department of Geophysics, Graduate School of Science, Tohoku University, ³Japan Aerospace Exploration Agency

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は、2011年1月に噴火活動を開始し、同年9月以来目立った噴火活動を起こしていない。噴火後のGPS及びDInSAR観測の結果、2011年噴火に関係した主マグマ溜り（深さ7.5-10km）への噴火後再充填に伴うと思われる広域の地殻変動が検出されたが、この地殻変動も同年11月頃から鈍化を始め、その後顕著な膨張は見られていない。しかし、ドイツのXバンドSAR衛星・TerraSAR-X及びTanDEM-Xによるモニタリングを継続した結果、噴火活動及び広域の地殻変動が見られなくなった2011年11月以降、火口内溶岩表面がわずかずつではあるが隆起をしていることが明らかになった。異なる波長を持ち異なる軌道から観測したカナダのCバンドSAR衛星・RADARSAT-2のデータを用いた解析でもほぼ同様の結果が得られている。

検出された火口内溶岩表面の隆起は、すなわち火口内溶岩の継続的な体積増加を示していると考えられ、これは2014年1月現在継続中である。しかし隆起レート（体積増加レート）は徐々に低下し、2011年11月には約10cm/monthであったが、2012年10月以降3-4cm/month程度になった（図1）。また2013年6月下旬、この火口内溶岩表面の隆起が停止したように見られたが、2013年7月には隆起が再開した。観測された隆起量から計算されたこの間（2011年11月～2014年1月）の火口内溶岩の総体積増加量は、およそ $8 \times 10^4 \text{m}^3$ と見積もられる。

TerraSAR-X（及びTanDEM-X）の11日間隔、もしくはRADARSAT-2の24日間隔のSARデータペアを使ったDInSAR解析では、火口外側に顕著な地殻変動は検出されなかった。しかし、データペアの観測間隔を十分に長くとったDInSAR解析の結果と、PSInSAR解析の結果、それぞれ火口北側山腹に衛星-地面間の距離が遠ざかる地殻変動、すなわち沈降を含む地殻変動が検出された。これは火口地下浅部にある変動源（浅部ソース）の収縮によるものと考えられる。この浅部ソースとしてSillタイプのポイントソース[Okada, 1985]を仮定すると、最適解は火口地下約700mに推定され、体積減少はゆらぎを伴いつつも継続している。これらのことから、火口内溶岩の体積増加は、火口地下浅部にあるソースから溶岩が徐々に流出していることが原因であると考えられる。

その主な駆動力は、2011年噴火時に大量のマグマが供給されたことによる浅部ソース内の過剰圧であると考えられ、その後平衡状態へ移行する期間の溶岩の流出を見ているものと考えられる。また、仮にこの系が、浅部ソースと火口内溶岩の間だけで閉じているとすると、体積増加レートは減少し続けて0になり、火口外側の収縮の地殻変動も止まるはずだが、体積増加レートは2013年8月以降バラつきながらも $50 \text{m}^3/\text{day}$ 程度に落ち着いている。これはこの系が閉じていないことを示しており、深部ソースから浅部ソースへのマグマの供給が、微量ではあるが継続して行われていたと考えることができる。このマグマの供給が、浅部ソースから火口内へ溶岩を押し出す駆動力の一つとなっている可能性も考えられる。

TerraSAR-X及びTanDEM-Xによるモニタリングは今後も継続して行われる予定であり、本発表時点での最新のデータを用いた解析結果についても紹介する。

キーワード: 合成開口レーダ, 霧島山, 新燃岳, 地殻変動
Keywords: SAR, Kirishima, Shinmoe-dake, Deformation

PS-InSAR 法による伊豆大島の地殻変動の検出と火山性変動源の推定 Crustal deformation in Izu-Oshima Island detected by PS-InSAR analysis and estimation of volcanic deformation source

長谷川 雄一^{1*}; 田部井 隆雄²; 小澤 拓³
HASEGAWA, Yuichi^{1*}; Tabei, Takao²; OZAWA, Taku³

¹ 高知大学大学院総合人間自然科学研究科, ² 高知大学理学部, ³ 防災科学技術研究所

¹Grad. School Int. Arts Sciences, Kochi Univ., ²Fac. Science, Kochi Univ., ³National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

伊豆大島の三原山では、過去 800 年間に合計 21 回噴火を繰り返している。最後の噴火は 1986 年に山頂カルデラ内部で発生している。定常的な火山活動を監視するために、時空間的に密な観測を行うのは重要である。しかし、山岳域に観測網を構築するのは容易ではない。本研究では、恒久散乱体干渉 SAR (PS-InSAR) 法による干渉時系列解析を行い、伊豆大島全体の変形を検出する。その結果をもとに地下にどのような変動源が存在しているかを推定する。解析には、2006 年 6 月～2011 年 2 月までに北行および南行軌道から撮影された ALOS/PALSAR 画像 40 枚を使用した。

北行軌道画像解析から 2007 年 10 月～2011 年 2 月の期間にカルデラ内部において衛星視線方向 (LOS) に距離が最大約 15cm 伸長するパターンが、南行軌道画像解析から 2007 年 1 月～2010 年 3 月の期間に同様の領域において距離が最大約 14cm 伸長するパターンが認められた。次に、島内 4ヶ所の GEONET 観測点における座標時系列を LOS 変位に変換し、干渉時系列解析結果と比較した。その結果、両者の差の RMS は 1.3～3.2cm の範囲に収まっており、干渉時系列解析結果は有意と判断される。また、GPS 時系列を基準として解析過程で取り除けなかった衛星軌道決定のずれに起因する系統的な誤差を軽減した。

両軌道画像解析から得た LOS 変位量を組み合わせ準上下成分と準東西成分に分解し、2007 年 9 月時点を基準とした累積変位量を求めた。その結果、カルデラ内部に 2007 年～2010 年までに沈降と隆起を繰り返し最終的に最大約 16cm となる沈降域が、島の東側沿岸部に同期間において最大約 11cm となる隆起域が得られた。準上下成分の結果を用いて、伊豆大島の変形を説明する圧力源モデルの推定を行った。島内全体の変形が等方的ではないため、水平位置と深さの異なる球状圧力源 (Mogi, 1958) を浅部と深部に 2つ設定した。両者の圧力源の水平位置と深さはグリッドサーチ法によって推定した。その結果、体積が増減を繰り返す圧力源がカルデラ内部西側の深さ 3.0～4.5km に、体積増加量が年間約 800 万 m³ とほぼ一定の圧力源が三原山火口から北東方向に約 1km 離れた位置の深さ 6.0～9.0 km に求まった。また、準上下成分の結果と求めた体積変化量から算出される鉛直成分の残差より、カルデラ内部において両者の残差が大きくなっていることが判明した。したがって、深部のマグマ溜まりはマントルからのマグマの供給により膨張を続け、浅部のマグマ溜まりはカルデラ内部に広がる溶岩の荷重と深部マグマ溜まりからのマグマの供給によって収縮と膨張を繰り返していると考えられる。

キーワード: PS-InSAR 法, 時系列解析, 伊豆大島, 地殻変動, 火山性変動源

Keywords: PS-InSAR method, time-series analysis, Izu-Oshima Island, crustal deformation, volcanic deformation source

差分干渉合成レーダーによる南極宗谷海岸南部の氷流速度測定 Flow velocity measurements of ice streams in the southern part of Soya Coast, Antarctica, by DInSAR

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

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

差分干渉合成開口レーダーは南極大陸上の氷流の流速を測定するための有効な方法の一つである。本研究では、日本の衛星 ALOS/PALSAR で観測された L バンド (波長 23.6cm) SAR データに差分干渉合成開口レーダー手法 (Differential Interferometric SAR : DInSAR) を適用し、東南極宗谷海岸南部スカーレン周辺の氷流速度の測定を試みた。使用データは、2007 年 11 月 23 日から 2010 年 1 月 13 日の間に観測された 9 シーン (Path633, Row571-572) であり、地形縞除去のためにはデジタル地形モデル ASTER GDEM を用いた。

解析の結果、視線方向の流動速度は、最大で 3.5cm/day の速さであった。通常、露岩域においては変動が無いと考えられるが、得られた変動画像では、露岩において最大 37cm の変動が検出されており、見かけの変動と考えられ、解析における誤差を含むと考えられる。このことから、露岩上に表われる見かけの変動を氷流流速測定の誤差の見積りに用いることが出来ると考えられる。

本講演では、氷流の流速測定結果を示すとともに、流速測定に含まれる誤差評価について議論を行う。

キーワード: 差分干渉 SAR, 南極氷床, 氷流

Keywords: Differential Interferometric SAR, Antarctic ice sheet, ice stream

差分干渉合成開口レーダーによる北極域氷床の流動測定 Flow measurements of ice sheets in Arctic region by differential SAR interferometry

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 リモートセンシング技術センター, ⁴ 日本大学工学部

¹National Institute of Polar Research, ²The Graduate University for Advanced Studies (SOKENDAI), ³RESTEC, ⁴Nihon University

2000 年代には入り、グリーンランドやカナダ北極群島の氷床質量が急速に減少していることが衛星重力ミッション GRACE の観測から明らかになってきた (Svendsen et al. 2012, Gardner et al. 2011)。その一因として、氷床や氷流の流動速度が加速し、氷の海洋への流出量の増加が考えられる。

本研究では、衛星合成開口レーダー (SAR) データに ASTER GDEM を利用した差分干渉 SAR 手法を適用し、北極域の氷床や氷流の流動速度を求め、流動速度の時間的な変化の有無を調べることを目的としている。

そこで、我々は、グリーンランド北西部およびカナダ北極群島エルズミア島の 3 地域を観測した ALOS/PALSAR データに差分干渉 SAR 手法を適用し、氷床や氷流の SAR の視線方向の 46 日間の変位量を求めた。講演では、これらの結果を示すとともに、3 パスまたは 4 パス干渉 SAR 手法を適用し、その変動についても議論する予定である。

キーワード: 差分干渉 SAR, 流動, 氷床, 北極域

Keywords: Differential SAR interferometry, flow, ice sheet, Arctic region

中央アジア, キルギス・アラトー山脈における岩石氷河の空間分布と分類 Spatial distribution and classification of rock glaciers in Kyrgyz Ala-Too Range, Central Asia

山村 祥子^{1*}; 奈良間 千之¹; 富山 信弘²; 田殿 武雄³

YAMAMURA, Akiko^{1*}; NARAMA, Chiyo¹; TOMIYAMA, Nobuhiro²; TADONO, Takeo³

¹ 新潟大学自然科学系, ² 財団法人リモート・センシング技術センター, ³ 宇宙航空研究開発機構

¹Niigata University, ²RESTEC, ³JAXA

乾燥・半乾燥地域である中央アジアの水資源を見積もる上で、山岳氷河と山岳永久凍土の現状把握の必要性が述べられているが (Sorg et al., 2012), 山岳氷河の分布とその変動が調査されている一方、山岳永久凍土の調査報告は一部地域を除いて報告されていない (Marchenko et al., 2007). さらに、近年では、天山山脈のアク・シイラック山脈において山岳永久凍土の融解に起因する地すべりが生じるなど、災害の側面も含め山岳環境にも大きな影響を与えつつある。スイス・アルプスでは、岩石氷河が山岳永久凍土環境の存在指標として指摘されて (Haerberli, 1985), 岩石氷河を用いた山岳永久凍土の空間分布の解明、岩石氷河の流動速度や表面形態の経年変化から山岳地域の温暖化の影響が指摘されるなど、山岳永久凍土環境の研究が活発におこなわれている (Kaab et al., 2006; Roer et al., 2005). そこで本研究では、山岳永久凍土の存在指標である岩石氷河を用いて、未だ明らかでない天山山脈の山岳永久凍土の空間分布やその現状を明らかにするため、キルギス・アラトー山脈中央部の岩石氷河の空間分布と形態分類をおこなった。さらに、これら形態的特徴から分類した岩石氷河に差分干渉 SAR を適用し、ALOS PALSAR データを用いて、岩石氷河の流動から分類結果を検証した。

空中写真判読・ALOS 衛星データ・GoogleEarth を用いて、デブリ地形のポリゴン・ポリラインデータを ArcGIS 上で作成し、それを基にデブリ地形から岩石氷河を認定、さらに、現地調査と ALOS AVNIR-2 による NDVI の植生指標により現成型と停滞～化石型を分類した。その空間分布をみると、現成型岩石氷河の分布の多くは、山脈の北斜面に集中している。さらに現成型岩石氷河を背後の氷河と氷河地形の有無から氷河起源と崖錐起源に分類した。現成型と認定した岩石氷河のうち、氷河起源の岩石氷河が数多く確認された。

周氷河帯とその上位に分布する不連続山岳永久凍土帯を現成の岩石氷河の分布高度と気象観測所のデータから推定した結果、現在の不連続山岳永久凍土帯は北側では 3300m 以上、南側では 3500m 以上であることがわかった。現地の気象観測所の標高と気温をもとに気温の逡減率から推定される本研究の山岳永久凍土帯下限高度における年平均気温は、年平均気温 -2℃～-4℃という世界各地の山岳永久凍土帯下限高度の気温条件 (藤井, 1980) に調和的である。調査地域においては、背後に末端がデブリで覆われた小規模な山岳氷河を持ち、氷河末端部からそのまま岩石氷河に移行している氷河起源の岩石氷河が多く確認された。この結果は、崖錐起源が多くを占めるスイス・アルプスと大きく異なる。これほど多くの氷河起源タイプの岩石氷河が存在する理由として、この山脈に分布する氷河の末端部は岩屑に覆われており、この不明瞭な末端部は、永久凍土帯の下限高度よりも上方に位置し、氷河後退の過程で形成されたデブリで覆われた埋没氷が永久凍土化して流動し岩石氷河の形態に移行したと考えられる。これら認定した岩石氷河の流動解析には、2007 年、2009 年、2010 年の ALOS PALSAR データを使用した。上述の形態による分類から、山脈北側斜面のほうが認定した現成型岩石氷河が広く分布するが、北斜面よりも山脈南斜面で流動する岩石氷河を多く確認した。崖錐起源の岩石氷河の流動は世界的にも数多く報告されているが、本研究地域においては氷河起源と認定した岩石氷河の明瞭な変動を確認できた。今後は、さらに観測期間の短いデータを用いて詳細な流動を調べる予定であり、この結果は当日報告する。

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

Keywords: mountain permafrost, rock glacier, InSAR, ALOS PALSAR, Tien Shan Mountains

防災科研における InSAR 解析ツールの開発 (その 3) Development of InSAR processing tools in NIED ?Part3?

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

合成開口レーダー (SAR) は、有用な地殻変動検出ツールの一つとなった。最近では、無償で利用できる SAR 解析ソフトウェア (たとえば、ROI-PAC, GMTSAR, Doris) が公開され、誰でも SAR 解析を用いた地殻変動検出が可能となった。特に、一般的によく用いられる 2 パス差分 SAR 干渉法については、解析アルゴリズムがある程度まで成熟したことにより、誰がどのソフトウェアを用いて解析しても、ほぼ同じ結果を得られるようになった。一方、最近では、時系列解析などの高度 SAR 解析手法を用いて、より高精度な地殻変動検出が試みられている。しかし、その解析については、改良すべき課題が多く残されている。それらの改良に向けた研究開発を効率的に進めるためには、解析アルゴリズムを隅々まで理解できる解析ソフトウェアを用いる必要がある。そこで、防災科研においては、解析アルゴリズムの高度化に向けた InSAR 解析ツールを開発することにした。

本解析ツールは、次のような一般的な解析手順を採用している。(1)SLC フォーマット変換およびパラメータファイル作成。(2) 平行移動のみを考慮した SLC の大まかな位置合わせ。(3) アフィン変換係数の決定。(4)SLC のリサンプリング。(5) 初期干渉画像の作成。(6)DEM に基づく散乱強度画像シミュレーションおよび地理座標系からレーダー座標系への変換テーブルの作成。(7) シミュレート散乱強度画像と観測強度画像とのマッチング。(8) 変換テーブルの修正。(9) 軌道縞および地形縞のシミュレーション。(10) 差分 SAR 干渉画像の作成。(11) 干渉画像フィルターの適用。(12) 干渉画像等のジオコーディング。

日本地球惑星科学連合 2013 年大会においては、SAR 干渉法の適用条件の良いデータペアについて、開発した InSAR 解析ツールによる解析結果を紹介し、GAMMA SAR プロセッサによる解析結果とおおよそ同じ結果が得られることを示した。日本測地学会第 120 回講演会においては、Gatelli et al. (1994) のフィルターによる干渉性の向上、高速化、Skew 画像への対応について述べた。その後、本ツールはオーバーサンプリングおよびバンドパスフィルターによる ALOS/PALSAR の FBS-FBD 画像間の干渉処理に対応した。また、オーバーサンプリング法もしくは双 3 次スプライン補間による DEM のリサンプリングにも対応した。さらに、現時点においては、画像マッチングの高精度化を試みている。これらの対応により、本解析ツールの 2 パス差分 SAR 干渉法の基礎的な部分の開発はひとまず終了とする。今後は、さらなる高精度化や、地形視差の補正、SAR 画像シミュレーションの高精度化、複数軌道 SBAS、SBAS 等の機能を追加していく予定である。また、マニュアルの整備も進める予定である。

キーワード: 合成開口レーダー, 干渉法, 解析ソフトウェア
Keywords: SAR, InSAR, software, tool