

氏 名 山之口 勤

学位（専攻分野） 博士（理学）

学位記番号 総研大甲第 1045 号

学位授与の日付 平成 19 年 3 月 23 日

学位授与の要件 複合科学研究科 極域科学専攻  
学位規則第 6 条第 1 項該当

学位論文題目 InSAR を用いた南極域における接地線と氷床表面形態の決定に関する基礎研究

論文審査委員 主 査 教授 澁谷 和雄  
教授 森脇 喜一  
助教授 土井 浩一郎  
教授 若林 裕之（日本大学）  
教授 木村 宏（岐阜大学）

## 論文内容の要旨

### InSAR を用いた南極域における接地線と氷床表面形態の 決定に関する基礎研究

山之口 勤

極域氷床変動を知る上で、grounding line (接地線)、氷床表面地形 (高さ)、氷床流動速度を知ることが重要である。これらのパラメータについて、人工衛星搭載の合成開口レーダ (Synthetic Aperture Radar : SAR と略す) から得られるデータを用いた干渉 SAR 解析 (Interferometric SAR : InSAR と略す) が有効であることが知られつつある。InSAR では、棚氷の海洋潮汐による上下動を利用した grounding line の抽出や、氷床 DEM の作成、氷床流動の解析などが可能である。本研究では、これまで試行的には行われてきた InSAR による grounding line の同定・抽出を南極大陸の広い範囲について行い確定した。またあわせて InSAR による高精度高分解能氷床表面地形の把握とその評価を実施した。

Grounding line の抽出は、東南極域 25°W-40°E の範囲及び西南極域 85°W-165°W の範囲で実施した。これらの地域にはいずれも 2000km 以上の長さの大陸縁辺部にわたって棚氷が分布している。時期の異なる 2 シーンの SAR データを元に干渉処理によって作成された InSAR 画像には、RAMP(Radarsat Antarctic Mapping Project)と呼ばれる地理情報を持つ画像データセットを介して地理情報を付与した。その結果、InSAR 画像から抽出された grounding line 情報にも WGS84 系基準楕円体上の緯度・経度が付加されている。

既存の grounding line データとしては ADD (Antarctic Digital Database)があるが、ADD には多くの誤りや不足があることが知られている。東南極域 / 西南極域の両方でみられた InSAR と ADD の grounding line の違いには、空間位置のずれ及び形状の不一致の両方がある。位置ずれの空間分布には系統性がなく、ランダムであった。地理的な位置のずれが系統的でない理由としては、ADD に反映されている地図情報が部分的に 30 年以上昔の測量データを利用しており、位置精度に問題があること、新しい測量データを用いたより正しい地域がパッチ状に混在してしまい、その結果、地理的な網が歪んでしまったことが一因として考えられる。InSAR による結果にはこうした誤差は起こりえない。ADD-InSAR 間の grounding line の具体的なずれの量は、東南極・Riiser-Larsen 半島付近 (70°00'S, 32°00'E) で約 5000m、Padda 島、Skallen 付近 (69°30'S, 38°00'E) で 1200m を示した。一方、西経 10 度のノイマイヤ基地周辺では 200m 未満の良い一致を示していた。西南極域においてもこうしたランダムな位置ずれは起きており、Siple 島 (73°39'S, 125°00'W) 近辺では約 6000m 西向きへ、Pine Island coast 沿いの King 半島 (73°10'S, 102°30'W) 付近で東向きへ 7100m と非常に大きなずれ量を示した。

また、InSAR による grounding line は ADD によるそれと比べて、各地域の微細な海陸境界の形状を反映していることがわかった。この違いは、InSAR による grounding line の抽出が棚氷 (海水) と氷床 (陸氷) の境目を棚氷の潮汐変動に伴う衛星方向視線ベクトルの変化で検出するという grounding line の定義に対して本質的な観測原理を用いているのに対して、ADD による grounding line の抽出方法が主に Landsat 衛星画像の判読により行われ

ていることに起因する。例示すると、ADD では東南極の Lazarevisen 地域 ( $70^{\circ}00'S, 14^{\circ}30'E$ ) の grounding line が半島状に描かれており、またこの地域の Landsat 画像や SAR 強度画像をみても、半島が存在しているように見える。しかし InSAR 解析により、実際の海陸分布は南極大陸から分離した3つの小さな島の集合であることがわかった。つまり、grounding line の判読には SAR 強度画像、あるいは光学センサ画像のみを利用するのでは不十分であり、InSAR による情報の重要性が改めて確認されたといえる。また、Bear 半島 ( $74^{\circ}35'S, 111^{\circ}00'W$ ) は ADD においては「半島」の扱いであったが、InSAR 画像の判読結果よりこども「島」であることがわかった。

その一方で、Roberts skollen ( $71^{\circ}30'S, 3^{\circ}15'W$ ) 付近では、grounding line の抽出・判読が難しかった。その理由としては、氷流や急峻地形などの複雑な地理的条件によるフリッジの重なりや、潮汐振幅の小ささが関係していると思われる。このような領域では、潮汐振幅の大きい SAR データペアを取得、あるいは Differential InSAR により地形の影響を取り除いた上で grounding line の抽出を行う必要がある。

InSAR を用いた氷床表面地形の解析は、Prinsesse Ragnhild Kyst 地域 ( $70^{\circ}30'S, 24^{\circ}00'E$ ) と Breivika ( $70^{\circ}15'S, 24^{\circ}10'E$ ) 南部について実施した。InSAR だけで DEM(Digital Elevation Model)を作成した場合、データの空間密度は高いが、高さ精度には難がある。一方、近年、ICESat 衛星からのレーザー光の反射による氷床表面高度の測定 (GLAS レーザー高度計) が行われている。GLAS レーザー高度計は、隣り合うグラウンドトラック間の空間観測密度は低いものの、トラック下での高さ方向の精度は公称約 14cm となっている。そこで、このレーザー高度計データを真値とし、InSAR による DEM の誤差を補正する処理を行い、高精度 InSAR DEM を作成し、それを地上データで検証、評価した。InSAR DEM 単独では GLAS の楕円体高に対して Prinsesse Ragnhild Kyst 地域では RMS で  $\pm 168.7m$ 、Breivika 南部地域では RMS で  $\pm 284.0m$  の誤差であったが、補正後にはそれぞれ  $\pm 30.1m$ 、 $\pm 32.6m$  まで改善された。これらの結果より、いずれの場合においても、RMS 誤差量を一桁改善することが可能であった。なお Breivika 南部では、日本南極地域観測隊第 28 次隊により取得された GPS 観測点高度との比較を行った。その結果、補正後 InSAR DEM と GPS 測量高度間の差は RMS で  $\pm 39.5m$  となり、本研究で提案した補正手法が良好に機能していることが確認できた。ここで提案した手法は、現地観測による GCP が不要であり、かつ実用的な DEM が場所を選ばずに作成できるという優れた利点を持っている。

以上に示したように、InSAR を用いた grounding line や氷床表面地形の把握は事例研究から実利用の領域に達した。今後、ALOS 等の洗練された高性能 SAR 衛星データを用いることにより、より精度良い南極域の地理情報の作成が可能になるであろう。

## 論文の審査結果の要旨

### InSAR を用いた南極域における接地線と氷床表面形態の 決定に関する基礎研究

山之口 勤

山之口氏の論文は、合成開口レーダーデータの解析技法であるInSAR（干渉法）を利用して、可視・近赤外衛星画像からは判別しにくい氷床接地線を、従来のAntarctic Digital Databaseより高い精度(300m)で抽出するための応用手法と実際の解析結果を、東南極域（25° W-40° E）と西南極域（85° W-165° W）について示したものである。沿岸域を区分し、得られた結果の特徴を詳細に議論したが、従来は、半島と表現されていたLazarevisen地域が実際には3つの小さな島の集合であり、Riiser-Larsen半島付近ではADD海岸線のずれが5000mに達するなどの新たな知見を与え、高く評価された。特に、Arc-Info形式で示す氷床接地線データベースは従来のADD海岸線を一新するものと期待される。

山之口氏はさらに、InSARで与えられる氷床地形のデジタルモデル(DEM: 場所によりRMS誤差が±170mから±280mになる)をIceSATレーザー高度計(GLAS)のground trackを地上検証測線（高さの公称精度14cm）として補正し、GPSトラバースによる実測データも参照することにより、RMS誤差で±40mのDEMが実現できることを示した。

山之口氏の本博士論文の一部は既に英文査読誌に掲載されており、さらに継続して論文を投稿準備中であることから、審査員一同、本提出論文が博士（理学）の学位に相当することを認めた。

具体的な審査経過としては平成18年11月7日15時～17時20分、委員全員の出席のもと、出願者の発表（約75分）に基づき予備審査を行った。用語の不明確な定義、説明の未熟さ等、多くの修正すべき点が指摘されたが、データの選択、SAR及びGLAS解析方法、精度評価とその解釈等に問題はなく、このまま本審査に入って良いという結論を委員全員が認めた。

平成19年1月12日15時30分～16時30分、公開発表会を開催した。従来研究のレビュー、手法・使用データの説明、解析結果紹介とその物理的解釈等、一連の流れをわかりやすく発表した。審査委員・関連研究者からの専門的な質問に対してだけでなく、非専門的な質問に対しても的確に応答していて、理解度が十分得られていることが伺えた。16時30分～17時30分、審査委員による質疑応答が行われたが、話題はこの研究の将来展望が主で、特に大きな問題点を指摘されることもなかった。