

干渉SAR処理を用いた南極接地線 (grounding line) の精密決定

山之口, 勤
財団法人リモート・センシング技術センター

土井, 浩一郎
国立極地研究所

澁谷, 和雄
国立極地研究所

青木, 茂
北海道大学低温科学研究所

<https://doi.org/10.15017/14190>

出版情報 : 九州大学応用力学研究所所報. 135, pp.95-99, 2008-09. Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University

バージョン :

権利関係 :

干渉 SAR 処理を用いた 南極接地線(grounding line)の精密決定

山之口 勤^{*1} 土井 浩一郎^{*2} 澁谷 和雄^{*2} 青木 茂^{*3}

Precise Detection of Grounding Line at Antarctica Using SAR Interferometry

Tsutomu YAMANOKUCHI, Koichiro DOI, Kazuo SHIBUYA and Shigeru AOKI

E-mail of corresponding author: tsutomuy@restec.or.jp

Abstract

Recent studies point out the relationship between global environmental change and retreat of Antarctic ice sheet. Grounding line is a marginal zone where grounded continental ice sheet flow out to the ocean and just start to afloat and is one of the important parameters for the estimation of ice mass flux at Antarctica. However the precise position and detailed feature of grounding line haven't decided because its position is difficult to find from the surface of ice sheet. Synthetic Aperture Radar (SAR) is a microwave imaging sensor and SAR sensor illuminate microwave to the ground, then observe its backscattered microwave from ground. Interferometric SAR (InSAR) is an application technique of SAR data to measure the line-of-sight distance change using a pair of SAR data and most suitable technique for the detection of grounding line because InSAR can detect the tidal motion of ice shelf. Extracted grounding lines are geometrically corrected and projected onto Polar Stereographic Coordinate and compared with conventional dataset which name is ADD. Planimetric difference of grounding line between ADD and InSAR extracted one attains to 5000m at Riisør Larsen Peninsula, East Antarctica and 9500m at Burke Island, West Antarctica. In this study we confirmed the effectiveness of InSAR technique and revealed the incompleteness and inaccuracy of ADD data. Then, we plan to develop grounding line database at whole Antarctica. The icesheet-iceshelf boundary mainly laid at three regions on Antarctica, where East Antarctica (25°W-40°E), West Antarctica (85°W-165°W) and Antarctic Peninsula (50°W-60°W). We also introduce the development plan of this database.

Key words : *Grounding line, InSAR, ADD, Antarctica, ice sheet, ice shelf*

1. はじめに

近年、いわゆる地球温暖化、あるいは地球環境問題が研究者のみならず、お茶の間向けのテレビ番組などでも取り上げつつある。そうした際にかんがりの確率で出てくるのが、“温暖化が進行すると、南極やグリーンランドの氷が融けて海面が上昇する”という話題である。こうした話題はセンセーショナルにとりあげられがちだが、事実としての検証が極めて重要である。

近年の研究によれば、南極氷床上における年間の

降雪量(質量の獲得量)を海水面の高さに換算すると、約 5mm と見積もられている¹⁾。これに対する質量損失については、現在南極域における主要な氷河のみからの見積もりで約 2.3mm と推定されており²⁾、こうした結果から、氷床の涵養と融解のわずかな差が近年議論されている年間あたりの海面変動に大きな影響を与えており、主要な氷床以外の南極大陸縁辺部における質量収支も見過ごすことはできないことがわかる。これらのより詳細な見積りのためには、南極大陸全域について氷床の流動や氷厚(表面地形、高度)、grounding line の状況を把握する必要がある。このうち、grounding line については British Antarctic Survey(BAS)編纂による Antarctic Digital Database (ADD)³⁾というデジタル地理デー

*1 財団法人 リモートセンシング技術センター

*2 国立極地研究所

*3 北海道大学低温科学研究所

データベースが存在する。ADD は、世界中の南極観測の結果をデジタルデータベース化したものであるが、grounding line についてはその不正確さが既に指摘されている。本研究では、干渉 SAR(InSAR)とよばれる解析手法を用いて grounding line の抽出を行い、その結果と ADD 収録のものとの比較を実施し、有効性を検討した。また、InSAR を用いて、南極大陸上の主要な棚氷-氷床境界域における grounding line を抽出し、データベース化する計画についても述べる。

2. 使用データと解析手法

2.1 InSAR による grounding line 検出原理

本研究では、grounding line の検出に干渉 SAR (InSAR)とよばれる解析を適用した。InSAR とは、同一地域を観測した 2 枚の SAR 画像を用いて衛星と地表面との間の距離変化を位相差の形で検出する解析技術である⁴⁾。Fig.1 に grounding line 検出の模式図を示す。

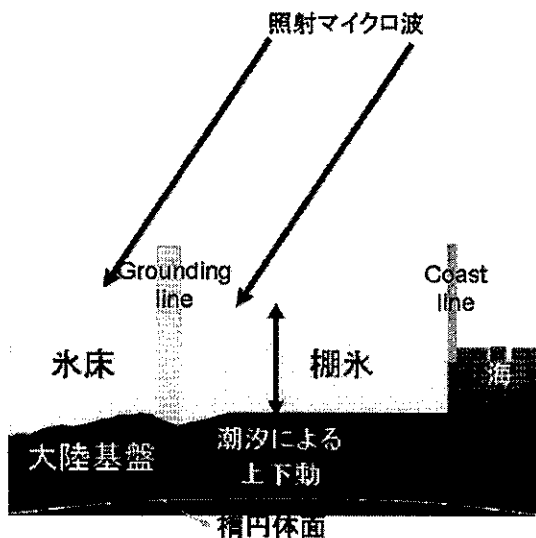


Fig.1 Schematic figure of grounding line

Fig.1 において、基盤地形に接地している南極大陸の氷床と、その縁辺に広がる棚氷の境目が grounding line である。Grounding line を境目に、棚氷域は潮汐による上下動があるのに対し、大陸氷床は短期的(1~数日)にみれば動かないものとみなすことができる。InSAR 画像上において、棚氷の潮汐による上下動に伴う衛星との間の距離変化が、動かない大陸氷床との境目に干渉縞 (Fringe) の集中となって現れる。この Fringe の集中域を、手動でデジタル化することにより grounding line の抽出を行った⁵⁾。

2.2 使用データ

本研究では、ヨーロッパ宇宙機関 (ESA) により運用されている SAR 搭載衛星 ERS-1 及び ERS-2 のデータを用いた。データの観測年月日は、一部を除き 1995 年~1996 年である。この期間は、ERS-1 の観測の 24 時間後に ERS-2 が観測を行う “Tandem Mission” と呼ばれる観測モードが取られていた。一般の InSAR 観測では、干渉ペア画像を得るのに回帰周期分 (24~46 日程度) の時間差が必要であるが、Tandem 観測ではわずか 1 日である。ペア間の観測時間差が短いほど氷床流動等によるコヒーレンスの低下が抑制されることから、InSAR による grounding line の解析には Tandem 観測モードは最適である。Table.1 に、3 つの解析領域において使用した画像の数を示す。また、本文末の Fig.5-7 にそれぞれの領域における InSAR 処理結果画像を示す。

Table 1 Number of Scenes used in this study

	East Antarctica	West Antarctica	Antarctic Peninsula
Number of Scenes	68	70	38
Total Scenes used	136	140	76

2.3 地理座標の付与

ADD は、デジタル地理データベースであり、地理情報を有している。よって、ADD との比較のために InSAR から得られた grounding line についても地理座標の付与を行った。付与の方法としては、RAMP (Radarsat Antarctic Mapping Mission)⁶⁾ と呼ばれるカナダの Radarsat 衛星の SAR 画像から作成された全南極大陸のモザイク画像を基準画像に用いた。RAMP 画像も ADD と全く同じ地理情報を有しており、ERS-1/2 の Interferogram を RAMP 画像に重ね合わせてデジタル化することにより grounding line のベクターデータに地理座標を与えた。Table 2 に、付与した地理情報の詳細を示す。

Table 2 Specification of grounding line data

Geometric Accuracy	±400m (nominal)
Datum	WGS84
Reference System	WGS84 (Standard parallel =71°S)
Map projection	Polar Stereographic
Vector Type	polyline (arc)

3. 解析結果

3.1 白瀬氷河周辺域の解析結果

Fig.2 は宗谷海岸～白瀬氷河付近における InSAR データ、RAMP 画像、ADD データの重ね合わせ図である。白線が ADD による coast line および grounding line を示す。黒線は InSAR による coastline および grounding line を示す。

Fig.2 より、白瀬氷河における grounding line の位置が、ADD と InSAR で大きく異なっていることがわかる。InSAR による grounding line は ADD のそれよりも約 16km 内陸側に寄っている。本地域については 1996 年と 1999 年の 2 回 InSAR 解析を実施しているが、いずれの場合も同様な結果が得られた。



Fig.2 Grounding line and coast line around Shirase Glacier

こうした InSAR grounding line が ADD grounding line より内陸側に位置するという現象は、西経 1° 付近の Jutulstraumen 氷河でもみられ、これらの現象は実際の grounding line の後退としては急激すぎることから、ADD の情報が誤っているものと考えられる（理由は後述）。

Fig.2 に示される Skallen および Padda 付近では、ADD と InSAR の coast line について、その形状は極めてよく一致しているものの、位置については大きなずれがみられる。ずれの傾向は Padda と Skallen で一致しており、ADD の coast line に対して InSAR で求めたそれは約 1200m 西側に位置している。InSAR の位置あわせの基準となった RAMP 画像の公称空間位置精度は $\pm 200\text{m}$ であることから、このずれ量は基準誤差だけでは説明できない。また、ADD の coast line と RAMP 画像から判読される coast line の位置関係についても同様の位置ずれを呈してい

る。こうしたずれの原因のひとつとして、ADD 内に古い地理データと新しい地理データが混在することにより、歪みが発生していることが考えられる。なお、同様の比較を、西経 10° 付近の Neumayer 基地周辺においても行ったが、上記のような位置のずれはみられなかった。

3.2 Lazarevisen 地域の解析結果

Fig.3 は、東経 14° 付近、Lazarevisen 周辺の InSAR による grounding line と ADD による grounding line および RAMP 画像の重ね合わせ画像であり、Fig.4 は同一地域をアメリカの地球観測衛星 Landsat4 号搭載の光学センサである TM センサで観測した画像である。

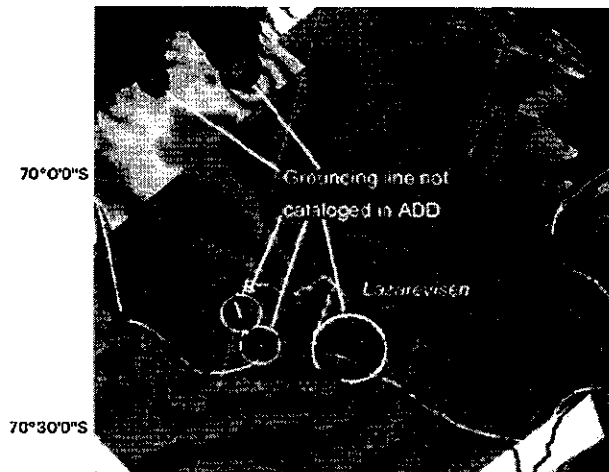


Fig.3 Grounding line and coast line around Lazarevisen

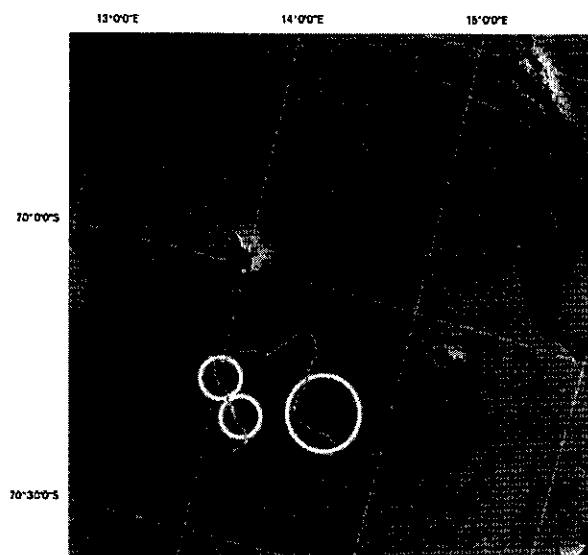


Fig.4 Landsat TM image around Lazarevisen

本図で特徴的なのは、Fig.3 内中央部において、ADD (白線) では半島状に示されている grounding line が、実際には3つの島嶼部の集まり (白色の○囲み) であることが InSAR による解析の結果わかったことである。Lazarevisen 付近の ADD grounding line は、Landsat 衛星の光学センサからの判読により作成されており、現地調査等で決定されたものではない。また確かに Fig.4 では該当領域に半島のような形状が見受けられる。このように、ADD の grounding line では位置や形状が不確実な地域が存在することが明瞭に示された。

また、Fig.3 の北部にある2つの島 (黒色の○囲み) も、ADD には収録されていない島である。棚氷の中にあり、雪を被っているような小さな島の場合、実地調査はもとより、人工衛星の光学センサ等の色調で島を検出することは極めて難しい。そういった場合においても、InSAR による島の検出は極めて有効であると言える。

4. データベースの構築

前章までの結果より、InSAR による grounding line の抽出が極めて有効であることが確認できた。これらの結果を踏まえ、現在は Fig.5-Fig.7 の範囲について、grounding line の抽出・デジタイジング作業を実施中である。抽出した grounding line はデータベース化を行い、2008 年の秋季を目途にインターネット上で公開予定である⁷⁾。おりしも本年は国際極年(IPY:International Polar Year)であり、IPY における貢献の一つになれば幸いである。

5. まとめと今後の展望

本報告では、InSAR による grounding line の抽出について、その意義、抽出手法、抽出結果及び従来データとの比較結果を示した。その結果、従来の grounding line データに比べはるかに精確にその位置と形状を探知することが可能であった。その結果を踏まえ、InSAR による grounding line データベースを構築する予定である。今後の課題は、InSAR から得られた grounding line データの評価(Validation)である。既知の問題として、場所によっては潮汐の状態によって grounding line の形状が変化すると報告が得られている。南極という地域の特性上、実地観測によるデータの取得が非常に困難なため、別の衛星データ、特に地表面高を2次元的に得られる ASTER センサの DEM 等との比較を行う予定である。

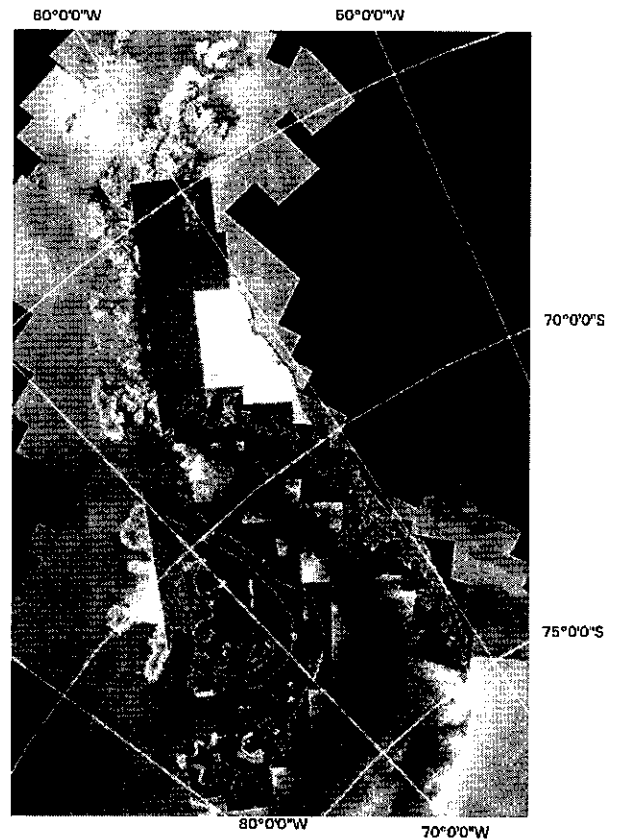


Fig.5 Analysis area at Antarctic Peninsula

謝辞

東南極域における ERS-1/2 データ取得は、日本の第37次南極観測隊衛星受信チームによりなされた。記して謝意を表す。

本研究の一部は、国立極地研究所の研究助成を受けた。記して謝意を表す。

本研究の一部は、財団法人 新技術振興渡辺記念会の助成を受けた。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) Vaughan, DG., JL. Bamber, M. Giovinetto, J. Russell and APR. Cooper (1999): Reassessment of Net Surface Mass Balance in Antarctica, *Journal of climate* 12, (4), pp. 933-946
- 2) Rignot, E., and RH., Thomas (2002): Mass balance of Polar Ice Sheets, *Science*, vol. 297, pp. 1502-1506

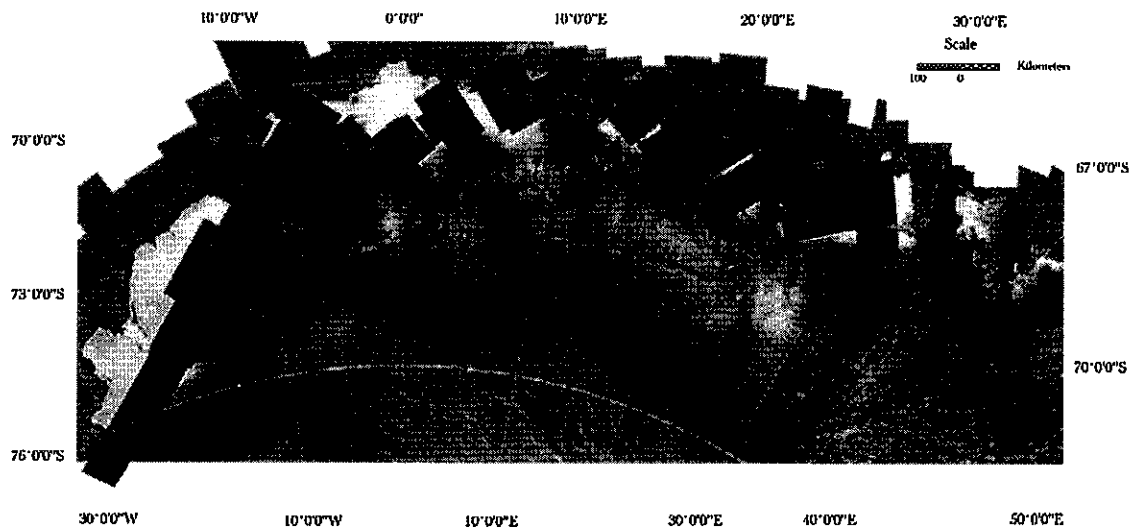


Fig.6 Analysis area at East Antarctica

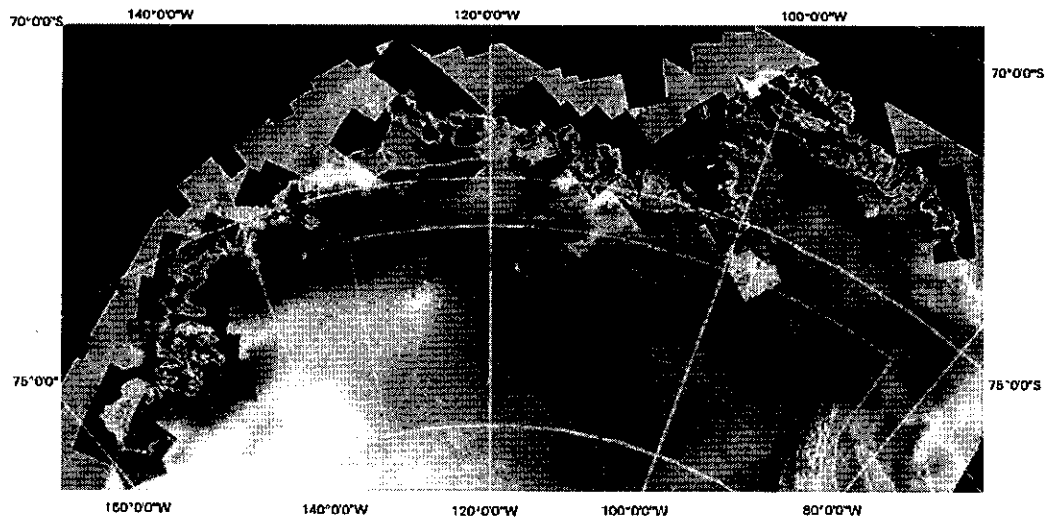


Fig.7 Analysis area at West Antarctica

- 3) ADD Consortium (2000) : Antarctic Digital Database, Version 3.0. Database, manual and bibliography, Scientific Committee on Antarctic Research, Cambridge,, 93pp
- 4) Goldstein R. M., H. Engelhardt, B. Kamb, and R.M. Frolich (1993): Satellite radar interferometry for monitoring ice sheet motion: application to an Antarctic ice stream, Science, vol. 262, pp. 1525-1530.
- 5) T. Yamanokuchi, K. Doi, and K. Shibuya (2005) : Validation of grounding line of the East Antarctic Ice Sheet derived by ERS-1/2 interferometric SAR data, Polar Geoscience, vol. 18, pp 1-14.
- 6) Jezek, K., and RAMP Product Team (2002): RAMP AMM-1 SAR Image Mosaic of Antarctica. Alaska Satellite Facility, Fairbanks, AK, in association with the National Snow and Ice Data Center, Boulder, CO. Digital media.
- 7) T. Yamanokuchi, K. Doi, K. Shibuya and S. Aoki (2008) : Development of Grounding line Database at Antarctica by InSAR Technique, Proceedings of International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS08) Proceedings CD-ROM (printing).