

合成開口レーダーによる南極氷床変動観測

小澤拓¹、山之口勤²、中村和樹³、土井浩一郎⁴

¹ 防災科学技術研究所

² リモート・センシング技術センター

³ 日本大学

⁴ 国立極地研究所

Observation of Antarctic ice sheet change by Synthetic Aperture Radar

Taku Ozawa¹, Tsutomu Yamanokuchi², Kazuki Nakamura³ and Koichiro Doi³

¹National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

²Remote Sensing Technology Center of Japan

³Nihon University

⁴National Institute of Polar Research

Synthetic aperture radar (SAR) is an imaging sensor using a microwave and can obtain surface image regardless of weather and sunlight conditions. Furthermore it can detect surface deformation with cm-accuracy from a phase difference between two SAR images (InSAR). For the Antarctic ice sheet, InSAR is used to detect distributions of ice flows and grounding lines of ice streams and ice shelves. Recently the pixel offset method which is by the comparison of intensity images was developed, and it has enabled us to detect large deformations in ice stream areas. On the other hand, the time-series analysis such as SBAS (small baseline subset) and PS-InSAR methods becomes recent mainstream for SAR analysis, and more small surface deformation is researched by such analyses. Furthermore analysis of ScanSAR data can detect surface deformation in wider area. As mentioned above, utilization of SAR is evolving progressively. Now several SAR missions are planned in some countries, and then golden age for SAR mission will come over in near future. We expect that such SAR missions enable us to research on ice sheet change in more detail. In this presentation, we review researches on SAR analysis in NIPR, and mention about expectations for future SAR researches in Antarctica.

合成開口レーダー(SAR)はマイクロ波を用いた画像センサーであり、天候・昼夜を問わずに、観測毎にメートルレベルの空間分解能を有する地表画像を得ることができる。さらに、後方散乱波の位相の時間変化を解析することにより、地表の変位をセンチメートルレベルの精度で求めることが可能である(SAR 干渉法)。南極氷床域においては、Goldstein et al. (1993)が Rutford 氷流周辺の干渉画像を得ることに成功し、その流動分布、グラウンディングラインを検出できることを示した。1990年代においては、そのような流動分布、グラウンディングライン、地形データ(DEM)などを求める方法についての研究がすすめられた。例えば、小澤ほか(1999)は、アムンゼン湾周辺における干渉画像の作成に成功し、棚氷のグラウンディングラインの推定に成功した。Ozawa et al. (1999)および小澤ほか(2000)は、日本の JERS-1 データを用いた氷床域の干渉画像の作成に成功し、44 日毎に連続で得られた2枚の干渉画像から、氷床域の DEM およびラングホブデ氷河周辺域の流動分布の推定に成功した。このように、成功裏に DEM・氷床変形を求めることができるようになり、2000 年以降においては、氷床流動・変形を捉えるツールとして、実用的なマッピングに用いられるようになった。例えば、Yamanokuchi et al. (2005)は、SAR 干渉解析を東南極の海岸域に適用し、グラウンディングラインのデータベースを作成した(Figure 1)。このデータベースは、この領域の地理を把握するだけでなく、将来の観測から得られる結果との比較により、その安定性を求めることができると期待される。また、2000 年以降は、地表変動検出のための新たな SAR 解析手法が開発され、より詳細な地表変動検出が可能になった。例えば、従来の SAR 干渉法では、10m を超えるような変位を捉えることは困難である場合が多いが、強度画像の比較からそのような大変位を捉える手法が開発された(ピクセルオフセット法)。Nakamura et al. (2007a, 2007b, 2010)は、ピクセルオフセット法を白瀬氷河周辺域に適用し、白瀬氷河全域の流動分布を求め(Figure 2)、さらに、その流動分布が時間変化していることを発見した。このような解析は、氷河・浮氷舌の発達メカニズムの解明につながるものと期待される。

これまでの SAR 解析は、2 枚の SAR 画像を干渉させる手法が一般的であったが、最近では、大量の SAR データを入力する時系列解析が一般的に用いられるようになった。これにより、従来の解析では推定できなかったパラメータも求められるようになり、より高精度な地表変動検出が可能になった。例えば、干渉条件の良いデータペアから求めた干渉画像から、地表変動の時間変化が滑らかに変化するという拘束条件とともに地表変動時系列と地形データの誤差などを同時に推定する SBAS 法(Berardino et al., 2002)や、人工構造物や大きな岩石など、時間的に安定した散乱体が存在するピクセルに注目して、スペクトル解析を併用してノイズ成分を分離する PS-InSAR 法(Ferretti et al, 2001)は、mm レベルの変位も捉えられることから、火山活動や非地震時の断層の動きなどを捉える手法として用いられている。南極氷床域においては、これらの手法は

まだ一般的ではないが、今後、そのような解析を用いることが出来るようになれば、より細かな氷床流動の変化も捉えられるようになるかもしれない。また、最近では、より広域的な地表変動も、SAR 解析により検出できるようになりつつある。これまでの一般的な SAR 観測モード(ストリップマップモード)の観測幅は数 10 から 100km 程度であり、SAR 解析からは、その画像内での相対的な変化しか捉えることが出来ない。しかし、レーダー波の照射方向を振りながら観測する ScanSAR モードによっては、数 100km の観測幅で地表画像を得ることができ、最近では ScanSAR データを用いた SAR 干渉解析も可能になった。このような ScanSAR データを利用することにより、より効率的に広大な南極氷床を観測できるようになると期待される。

陸上における解析と比べて、南極氷床域における SAR 解析は容易ではなく、まだその適用に関する研究が必要と考えられるが、以上で述べたような解析が利用できるようになれば、より詳細に流動分布やその時間変化、グラウンディングラインを把握できるようになると考えられ、南極氷床の質量収支の把握に強く貢献できると期待される。さらに、現在、複数の国・機関において、新たな SAR ミッションが計画されており、近い将来には、多くの SAR が同時に運用される予定である。そのような SAR 黄金時代において、これらのデータを上手く組み合わせることで解析できるようになれば、さらに詳細な南極氷床の変動観測が可能になると期待される。

References

- Berardino, P., G. Fornaro, R. Lanari and E. Sansosti, A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 40, 2375–2383, 2002.
- Ferretti, A., C. Prati and F. Rocca, Permanent scatterers in SAR interferometry, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 39, 8–20, 2001.
- Goldstein, R. M., H. Engelhardt, B. Kamb and R. M. Frolich, Satellite radar interferometry for monitoring ice sheet motion: Application to an Antarctic ice stream, *Science*, 262, 1525-1530, 1993.
- Nakamura, K., K. Doi and K. Shibuya, Why is Shirase Glacier turning its flow direction eastward?, *Polar Sci.*, 1, 63-71, 2007a.
- Nakamura, K., K. Doi and K. Shibuya, Fluctuations in Flow Velocity of the Antarctic Shirase Glacier over an 11-year Period, *Polar Sci.*, 4, 443-455, 2010.
- Nakamura, K., K. Doi and K. Shibuya, Estimation of seasonal changes in the flow of Shirase Glacier using JERS-1/SAR image correlation, *Polar Sci.*, 1, 73-83, 2007b.
- 小澤拓, 土井浩一郎, 渋谷和雄, 干渉開口レーダから得られた東南極 Zubchaty 棚氷の海洋潮汐による変形, *測地学会誌*, 45, 165-179, 1999.
- Ozawa, T., K. Doi and K. Shibuya, A case study of generating a digital elevation model for the Soya Coast area, Antarctica, using JERS-1 SAR interferometry, *Polar Geosci.*, 12, 227-239, 1999.
- 小澤拓, 土井浩一郎, 渋谷和雄, JERS-1 の干渉合成開口レーダ法を用いた南極氷床流動・変形の検出, *測地学会誌*, 46, 43-52, 2000.
- Yamanokuchi, T., K. Doi and K. Shibuya, Validation of grounding line of the East Antarctic Ice Sheet derived by ERS-1/2 interferometric SAR data, *Polar Geosci.*, 18, 1-14, 2005.

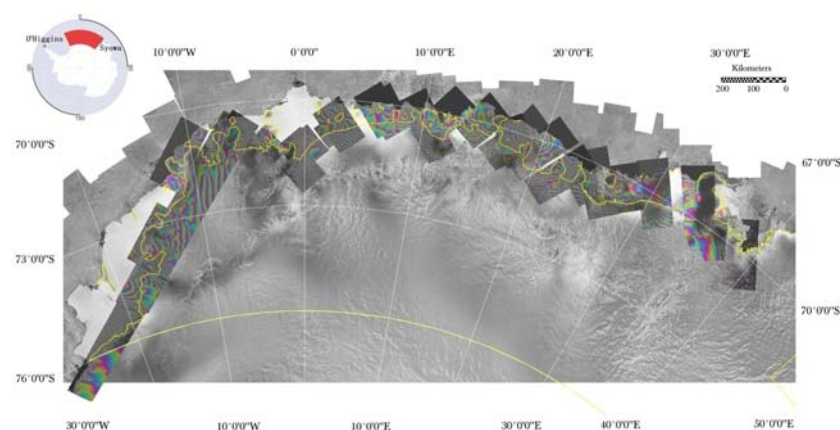


Figure 1. Grounding line database derived from Yamanokuchi et al. (2005).

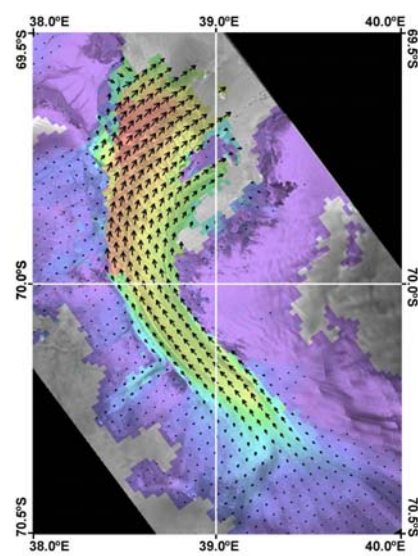


Figure 2. Ice flow distribution around the Shirase Glacier detected by Nakamura et al. (2007a).