

南パタゴニア氷原 Pio XI 氷河の近年の流動速度と末端位置の変化

Recent variation in Ice Speed and Ice-front Position of Pio XI Glacier, Southern Patagonia Icefield

波多俊太郎^{1,2}, 杉山慎², 古屋正人³

Shuntaro Hata^{1,2}, Shin Sugiyama², Masato Furuya³

Corresponding author: shuntaro.hata@frontier.hokudai.ac.jp (S. Hata)

南パタゴニア氷原に位置する氷河の中で唯一末端前進および氷厚増加をした特異な氷河であることが知られている Pio XI 氷河の特異性を説明するためには、Pio XI 氷河の流動の詳細を理解する必要がある。そこで我々は SAR 衛星画像および可視衛星画像をそれぞれ用いて 2014–2017 年における Pio XI 氷河の流動速度と末端位置変化の季節スケールにおける変動を定量化した。その結果、北側末端は 4-9 月に加速し 10-3 月に減速する、すなわち冬期に大きな流動速度を示す。一方で、南側末端では 7-11 月に加速、12-6 月に減速する。北側末端は、その末端位置に 7-11 月に前進、12-6 月に後退する季節変動を示した。一方、南側末端では季節変動は観測されなかった。

1. はじめに

南パタゴニア氷原に位置する氷河末端の多くは後退しており、氷原は縮小傾向にある (Maltz, 2018)。氷原西部に位置する Pio XI 氷河は近年、氷原に位置する氷河の中で唯一末端の前進および南側末端で標高上昇が報告された (e.g., Wilson 2016, Maltz, 2018)。末端で 2 股に分岐して北側は湖に、南側はフィヨルドに流れ込んでいる。

気候変動に直接影響を受けていないと考えられる Pio XI 氷河の特異な振舞いを説明するために、先行研究によって長年議論が行われている。気候変動に直接影響

を受けない末端変動として、氷河サージが知られており、Pio XI 氷河がサージ氷河ではないかという指摘がある。しかしながら Rivera(1997)では、Pio XI 氷河でサージ氷河ではないと結論付けた。

Pio XI 氷河を対象とした流動速度および末端位置の観測はこれまで人工衛星画像解析によって行われてきた (e.g., Sakakibara and Sugiyama, 2014)。しかしながら Pio XI 氷河の位置する氷原西部では 1 年を通して天候が悪く、光学センサーを用いた高頻度観測が困難である。そのため、流動速度および末端位置が季節スケールでどのような変動を示すのか

わかっていない。しかしながら、2014 年以降新たな人工衛星が運用開始されたことで天候を問わず観測可能な合成開口レーダー (Synthetic Aperture Radar: SAR) の回帰周期が短くなり、高時間分解能での流動観測が可能となった。

そこで本研究では 2015–2017 年の期間で 1 年よりも短いタイムスケールにおける流動速度および末端位置の変化を定量化することを目的とした。

2. 観測手法

2.1. 流動速度

本研究では、人工衛星が取得した SAR 画像にオフセットトラッキング法を適用して氷河の流動速度を測定した。オフセットトラッキング法は取得時期の異なる 2 枚の画像間のずれを累積変動量として検出する。オフセットトラッキング法は、地表面変動観測によく用いられる InSAR と呼ばれる手法では捉えることのできない大きな変動や干渉性の悪い箇所でも流動速度の検出が可能であるというメリットがある。したがって流動速度の大きな氷河を対象とした流動速度検出に頻繁に用いられている (e.g. Nagler, 2015, Kääb, 2018)。この手法により、氷河の面的な流動速度を得ることができる。

¹北海道大学 大学院環境科学院
Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University

²北海道大学 低温科学研究所
Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University

³北海道大学 大学院理学研究院
Department of Natural History Sciences, Hokkaido University

本研究で用いたデータは 2014 年に打ち上げられた ALOS-2 と Sentinel-1 によって取得され、それぞれの最短回帰周期は 14, 12 日である。流動速度の測定に用いた衛星画像の 46 ペアの取得感覚は 12-48 日であった。

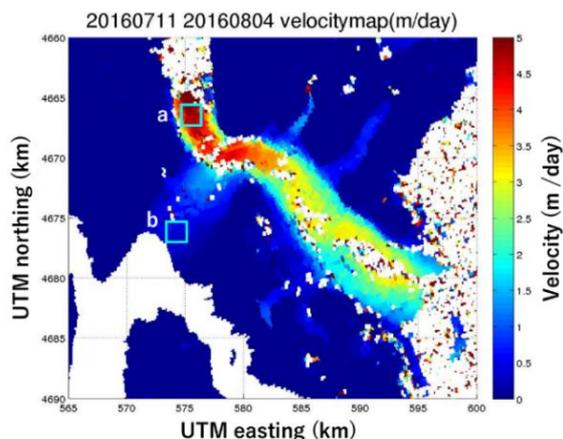


図 1. 2016 年 7 月 11 日から 2016 年 8 月 4 日の期間における Pio XI 氷河の流動速度分布 a, b の領域内の平均流動速度を図 2. に示す。

2.2. 末端位置変化

2015-2018 年の 16 枚の可視衛星画像から地理情報システム (QGIS) を用いて目視判別により末端位置を決定した。その後、同一の氷河幅に対する末端位置の平均的な変化量を氷河末端変動量とした。用いたデータを取得した衛星は Landsat 8 (Band-8) と Sentinel-2 であり、空間分解能はそれぞれ 15 m, 10 m である。

3. 結果

3.1. 流動速度変化

2016 年における氷河の流動速度分布を図 1 に示す。北側末端 (図 1a) と分岐点の領域において大きな流動速度を示した。次に時間変化を解析すると、北側末端では 2015-2017 年の年平均速度は 2.0, 2.6, 1.9 m/day であり、1.1-4.7 m/day の範囲で季節変動を示した (図 2a)。また各年の変動幅は 3.6, 3.5, 2.1 m/day であった。南側末端では年平均速度は 1.1, 0.9, 1.2 m/day であり、0.3-2.1 m/day の範囲で季節変動を示した (図 2b)。また各年の変動幅は 1.5, 1.4, 1.7 m/day であった。観測期間全体を通し、南側末端よりも北側末端において流動速度とその変動幅が大きかった。

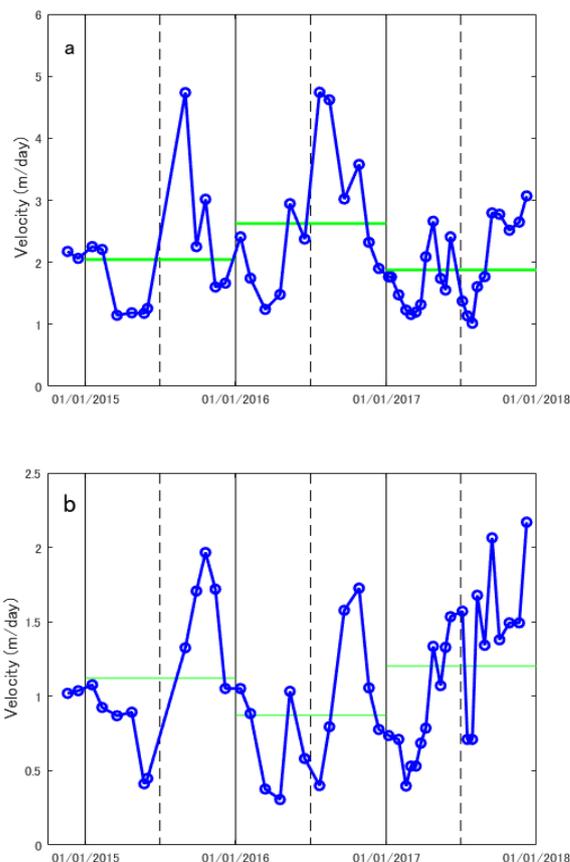


図 2. 北側末端(a)および南側末端(b)における流動速度の時間変化 (青), 各年の平均値 (緑)。

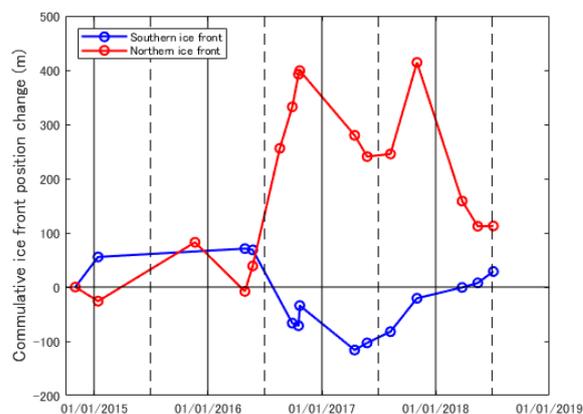


図 3. 北側 (赤) および南側 (青) 末端位置の時系列変化。

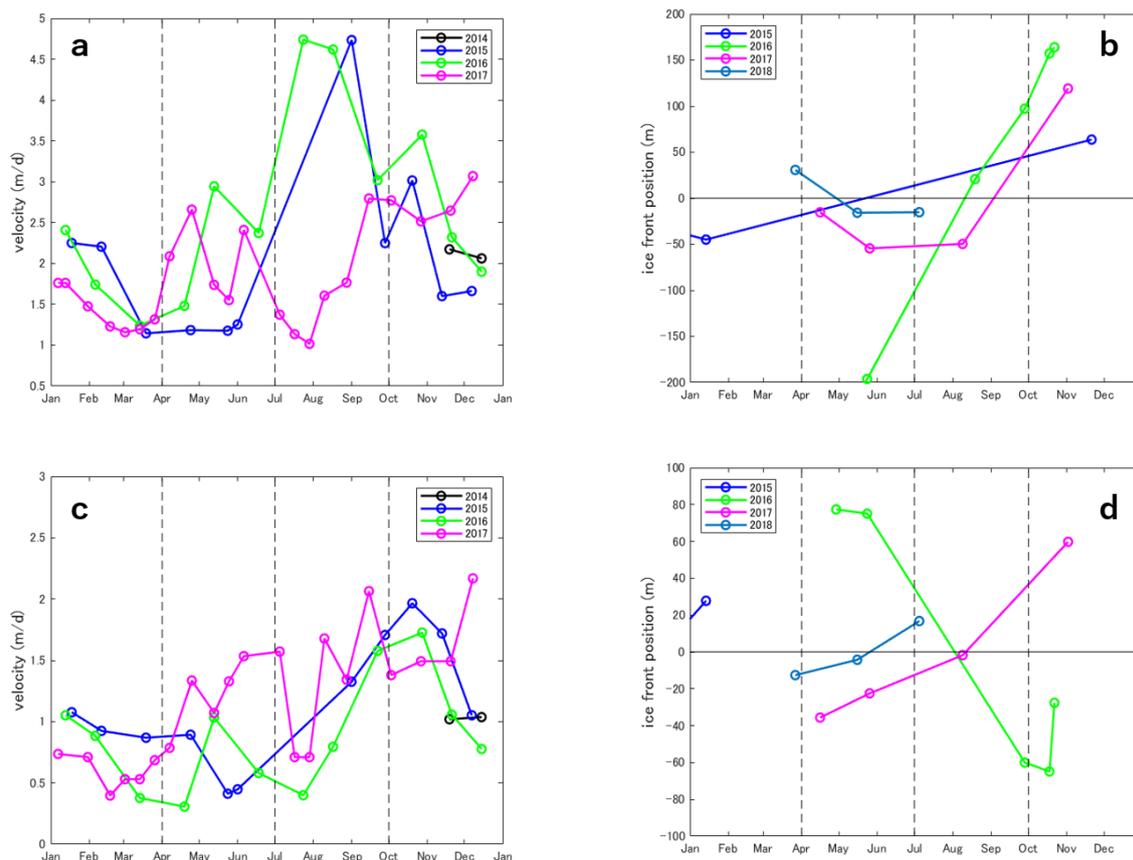


図 4. 北側末端における(a)流動速度の季節変化, (b)末端位置の季節変化. 南側末端における(c)流動速度の季節変化, (b)末端位置の季節変化. 末端位置は各年平均値からの偏差を示す.

3.2. 末端位置変化

北側の末端は2016年6月までゆるやかな前進を示した後、年周期の前進・後退を繰り返し、2018年7月には2014年11月と比べて200mまで前進した(図3).

南側末端は最大100mの範囲で前進・後退を示した後、2014年11月から2018年6月までに100m前進した.

4. 考察

4.1. 季節変動

Pio XI 氷河両末端は、1年以内の短い時間スケールで流動速度および末端位置に変化を示しながら流動していた。北側末端で4-9月にかけて加速し、10-3月に減速するという季節変動が観測された(図4a)。南側末端では8-10月に加速、12-6月に減速するという季節変動が確認された(図4c)。

さらに、2015、2016年の7-9月には北側末端で顕著な加速が認められた。特に、2015年8-9月には年平均の2.3倍の速度に達した。一方、南側末端

ではこのような顕著な流動加速は確認されなかった。

図4b, dでは、南北末端位置のそれぞれの季節変動が確認できる。北側末端位置では、7-11月に前進し、12-6月に後退する年周期変動が観測された。一方で南側の末端位置においては、末端位置変化に周期的な変動を認めることができない。

4.2. 流動速度と末端位置の関係

両末端における流動速度および北側末端における位置変動は季節変動を示したが、それらの周期および位相は一致していない。南側末端位置は季節的な変動が確認されなかった。

それぞれの氷河末端は15km程度離れているため気象条件が大きく異なることは考えにくい。同じ気象条件の消耗域で分岐したそれぞれの氷河末端において加速現象の有無および季節変動が異なることは非常に興味深い。しかしながら、南北両末端で挙動が異なる原因に関して、現段階で結論を出すことはできない。さらに、季節スケールの流動速度

および末端位置変化が氷河変動に与える影響もわかっていない。そのためには今後さらなる観測が必要である。

5. まとめ

人工衛星搭載 SAR のデータを高時間分解能で解析した結果、南パタゴニア氷原 Pio XI 氷河の季節的な流動変化が明らかになった。

北側末端は4-9月に加速し10-3月に減速する、すなわち冬期に大きな流動速度を示す。一方で、南側末端では7-11月に加速、12-6月に減速する。北側末端は、その末端位置に7-11月に前進、12-6月に後退する季節変動を示した。一方、南側末端では季節変動は観測されなかった。

流動速度と末端位置変化に関係性は見出すことができない。今後は季節変動スケールの流動速度変化が氷河変動に与える影響について研究を進める予定である。

【謝辞】

本研究で用いた PALSAR-2 データは PIXEL (PALSAR Interferometry Consortium to Study our Evolving Land surface) において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-2 データの所有権は経済産業省および JAXA にある。

本研究は科研費 (16H05734) の助成を得た。

【引用・参考文献】

- 1) Rivera, A. *et al.*, The 20th-century advance of Glacier Pio XI, Chilean Patagonia, *Ann. Glaciol.*, **24**, 66–71
- 2) Malz, P. *et al.*, 2018: Elevation and Mass Changes of the Southern Patagonia Icefield Derived from TanDEM-X and SRTM Data, *Remote Sens.*, **10**, 188.
- 3) Wilson, R and D. Carrion, A. Rivera, 2016: Detailed dynamic, geometric and supraglacial moraine data for Glacier Pio XI, the only surge-type glacier of the Patagonia Icefield, *Ann. Glaciol.*, **57**(73), 119-130.
- 4) Rignot, E., J. Mouginot, and B. Scheuch, 2011, Ice flow of the Antarctic ice sheet, *Science*, **333**, 1427–1430.
- 5) Nagler T. *et al.*, 2015, The Sentinel-1 Mission: New Opportunities for Ice Sheet Observations, *Remote Sens.*, **7**, 9371-9389.
- 6) Käab A. *et al.*, 2018, Massive collapse of two glaciers in western Tibet in 2016 after surge-like instability, *Nat. Geosci.*, **11**, 114-120.