

南パタゴニア氷原 Pio XI 氷河の表面流動速度分布

Surface velocity distribution at Pio XI glacier, Southern Patagonia Icefield

波多俊太郎 (北海道大学大学院 環境科学院, 低温科学研究所)

杉山 慎 (北海道大学 低温科学研究所)

古屋正人 (北海道大学大学院 理学院)

Shuntaro Hata, Shin Sugiyama, Masato Furuya

1. はじめに

南パタゴニア氷原は南半球で最大の温暖氷塊であり、面積は 12550 km^2 を占める¹⁾。氷原から溢流する氷河の 96% が海洋か湖に流れ込むカービング氷河である。その多くが末端の後退と表面標高の低下傾向を示しており、南パタゴニア氷原全体における氷体積減少の主要因となっている²⁾。こうした氷原全体の傾向に反して、Pio XI 氷河は質量の増加を続けている。Pio XI 氷河は南パタゴニア氷原の西側に位置し、氷原で最大の流域面積を持つ。消耗域の末端は二股に分岐して、北側では湖に、南側はフィヨルドに流入している。1945 年から前進を続け、近年も表面標高の上昇が報告されている³⁾。また、パタゴニアの他の氷河では示さないサージと類似した流動変化の報告もある⁴⁾。このような Pio XI 氷河の特殊な変動と流動変化を詳しく調査するために、人工衛星を使った観測が有効である。しかしながら南パタゴニア氷原の西側は雲に覆われる期間が長く、可視衛星画像による観測が難しい。また、雲を透過して観測可能な合成開口レーダも、回帰周期が長く流動速度の検出には不十分であった。そこで本研究では、2014 年に打ち上げられた回帰周期の短い合成開口レーダのデータを用いて 2014–2017 年の期間の流動速度の変化を高時間分解能で調べた。

2. 観測手法

流動速度の測定にはオフセットトラッキング法を用いた。オフセットトラッキング法とは、取得時期の異なる 2 枚の画像のずれを変位として検出する手法である。この手法は InSAR と呼ばれる手法と比較して、干渉性の悪い箇所や変動量の大きいところでも変動を検出できるメリットがある。一方、気候条件や流動変化により融解やクレバスの増加など氷河表面の状態が変化したとき変動を検出できない場合がある。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。2014 年から 2017 年までの画像を用いた。

3. 結果

2014–2017 年における氷河流動速度分布を図 1 に示す。北側末端 (図 1a) と分岐点 (図 1b) の領域において流動速度が特に顕著に変化を示した。

図 2, 3 に北側末端と分岐点それぞれの地点における速度の変化を示す。まず、北側末端では 2015–2017 年の間の年平均速度が 2.0 , 2.6 , 1.9 m d^{-1} であり、 1.0 m d^{-1} から 4.7 m d^{-1} の範囲で変動を示した。2015–2017 年の各年における変動幅はそれぞれ 3.6 , 3.5 , 2.1 m d^{-1} であった。分岐点では年平均速度は 3.7 – 3.9 m d^{-1} であり、 2.5 m d^{-1} から 5.6 m d^{-1} の範囲で変動を示した。また各年の変動幅は 2.0 , 1.7 , 3.1 m d^{-1} であった。分岐点での平均流動速度

は北側末端における平均流動速度と比べ 1.63 m d^{-1} ほど大きい。しかし、変動幅は北側末端のほうが大きく、より顕著な加速と減速が確認された。

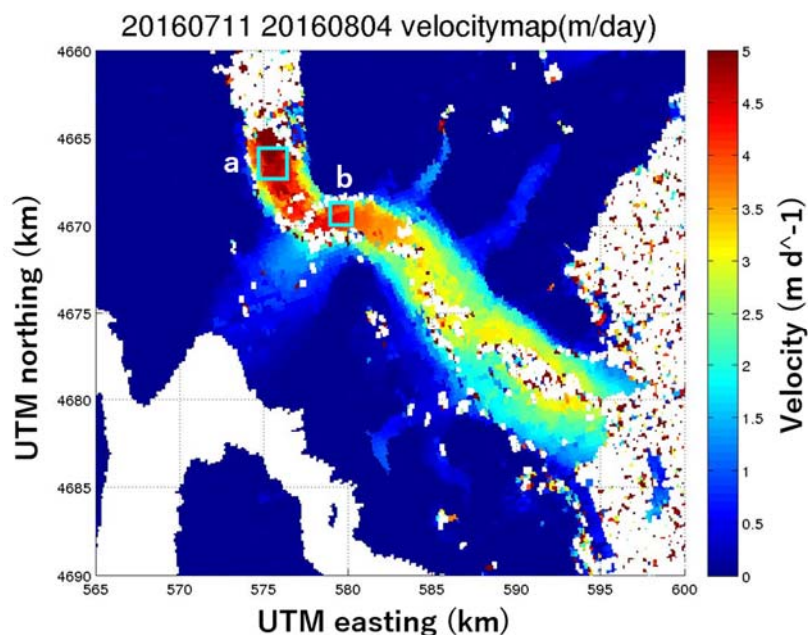


図 1. 2016 年 7 月 11 日から 8 月 4 日までの流動速度分布

4. 考察

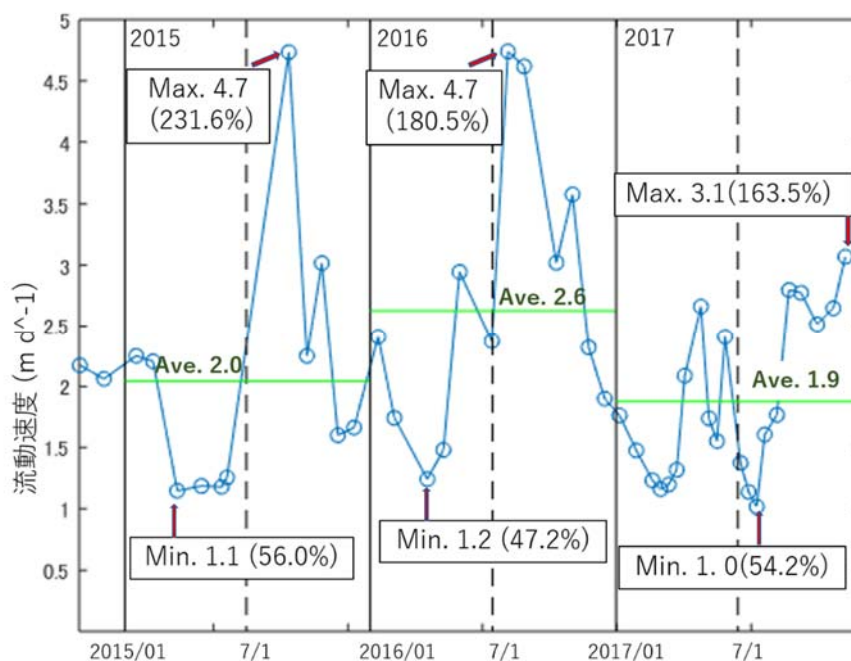


図 2. 北側末端 (図 1a) の流動速度変化. 図中の数字は各年の最小・最大速度 (m d^{-1}) と年平均速度からの偏差 (%) を示す

本研究によって、Pio XI 氷河末端付近における流動変化の詳細が明らかになった。北側末端と分岐点で 4-9 月にかけて加速し、10-3 月に減速するという年周期変動が確認された。

これは観測期間を通して確認できる年周期変動であるため、季節変動であると考えられる。また、2015 年、2016 年の 7–9 月には北側末端と分岐点で顕著な加速が認められ、2015 年の 8–9 月には年平均の 2.3 倍の流動速度が観測された。

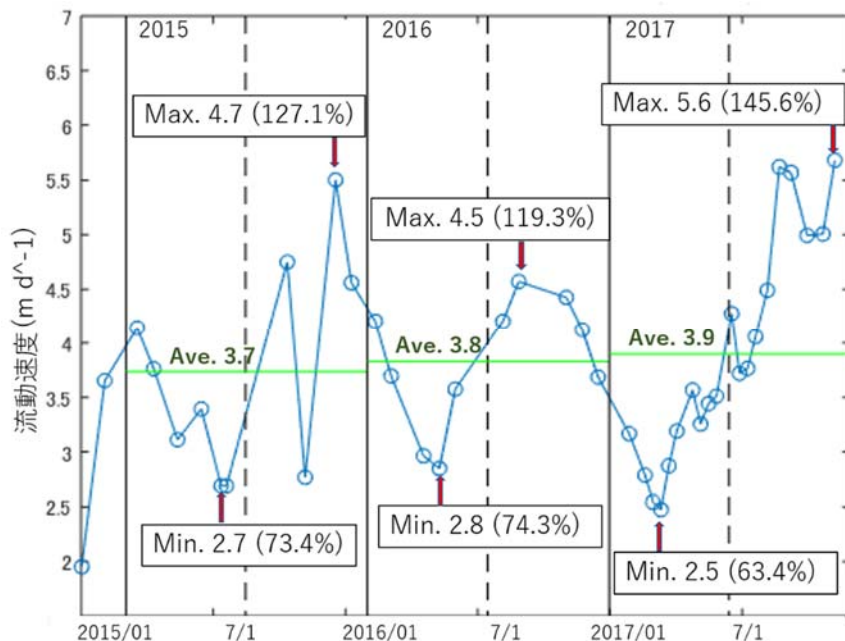


図 3. 分岐点 (図 1b) の流動速度変化. 図中の数字は各年の最小・最大速度 (m d^{-1}) と年平均速度からの偏差 (%) を示す

明らかになった季節的な流動変化は、南半球の冬に当たる 7–9 月に加速を示した点で興味深い。氷河の流動加速は、氷河底面における融解水が重要な役割を果たすと考えられている。アラスカの氷河で冬季流動加速を見出した Abe 等は、夏季に生じた融解水が氷河底面で水路を発達させた後、冬季に水路が閉塞して水圧が上がり、その結果として流動速度が上昇するという説を提唱している⁵⁾。しかしながら流動速度の観測のみでは Pio XI 氷河の加速現象の原因について結論を出すことはできない。

2015 年、2016 年には季節的な流動変化を示したが、2017 年には異なる挙動が認められた。4–5 月に加速した後 6–7 月で減速し、その後 8 月以降は加速傾向を示し、最終的に 12 月に年最大速度に達した。このような年間を通して継続した流動加速は 2017 年でのみ観測された。

5. まとめ

短回歸周期合成開口レーダのデータを解析した結果、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。氷河は 4–9 月に加速し、10–3 月に減速する、すなわち冬季に大きな流動速度を示す。また北側末端では 2015 年、2016 年の冬季 (8, 9 月) に年平均よりも 2 倍程度速い顕著な加速が観測された。今後はこの流動変化が Pio XI 氷河の変動に果たす役割を明らかにする計画である。

6. 謝辞

本研究で用いた PALSAR 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 データの所有権は経済産業省および JAXA にある. 本研究の一部は, 東京大学地震研究所特定共同研究 (B)「SAR を用いた多角的な地殻・地表面変動研究」で行われた.

7. 引用・参考文献

- 1) Aniya, M., Sato, H., Naruse, R., Skvarca, P., and Casassa, G, 1996: The use of satellite and airborne imagery to inventory outlet glaciers of the Southern Patagonia Icefield. *Photogramm. Eng. Remote Sensing*, **62**, 1361–1369.
- 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; doi:10.3390/rs10020188.
- 3) Warren CR, Rivera A, 1994: Non-linear response of calving glaciers: a case study of Pio XI Glacier. *Rev. Chil. Hist. Nat.*, **67**(4), 285–394.
- 4) 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. Glacial.*, **57**(73), 119-130.
- 5) Abe T. *et al.*, 2016: Brief Communication: Twelve-year cyclic surging episodes at Donjek Glacier in Yukon, Canada, *Cryosphere*, **10**, 1427–1432.