



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Evolution of Glaciar Pío XI, a calving glacier in the Southern Patagonia Icefield, under the influence of non-climatic forcing [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	波多, 俊太郎
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(環境科学)
Dissertation Number	甲第15128号
Issue Date	2022-09-26
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/87462
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Hata_Shuntaro_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士（環境科学）

氏名 波多 俊太郎

審査委員	主査	教授	杉山 慎
	副査	教授	Ralf Greve
	副査	教授	渡辺 力
	副査	助教	箕輪昌紘
	副査	教授	藤田耕史

(名古屋大学大学院環境学研究科)

学位論文題名

Evolution of Glaciar Pío XI, a calving glacier in the Southern Patagonia Icefield, under the influence of non-climatic forcing

(南パタゴニア氷原 Pío XI 氷河における気候以外の要素に影響を受けた末端位置・表面標高・流動変化)

著しい後退傾向にある世界各地の山岳氷河の中でも、海や湖に流入するカービング氷河は急速に後退し、海水準上昇に大きな影響を与えている。陸上に末端を持つ氷河は主に気候（降雪と気温）の影響を受けて変動する一方で、カービング氷河は前縁の海・湖との相互作用によって生じる流動速度や末端消耗の変化、すなわち気候以外の要素にも影響を受けて急速かつ複雑な変動を示す。たとえば、南米パタゴニアに位置する Pío XI 氷河は、多くの氷河が後退する中で例外的に前進傾向を示している。これまでに Pío XI 氷河の特異な変動を説明するいくつかの仮説が提案されてきたが、決定的な変動メカニズムは明らかとなっていない。さらに2020年に、この氷河が流入する Greve 湖で突発的な排水が発生した。この排水イベントは氷河の流動速度や末端消耗に影響を与え、これまで観測されていない新たな氷河変動を駆動する可能性がある。そこで本研究は人工衛星データを用いて、Pío XI 氷河の2000年から現在までの変動とそのメカニズムを明らかにすることを目的とした。

衛星データ解析では、光学衛星画像（Landsat-5/7/8、Sentinel-2、ASTER、PlanetScope Dove、Rapid Eye）から氷河末端位置を読み取り、画像相関法を適用して流動速度を測定した。また、各種の数値標高モデル（DEM）（ALOS/PRISM、WorldView-1/2、SPOT-6/7、SRTM-DEM、ASTER-VA）および衛星レーザ高度計ICESat-2の標高データから、氷河表面の標高変化を測定した。その結果、2000–2021年における Pío XI 氷河の末端位置と表面標高、2016–2021年の流動速度、および2020年の排水イベントに伴う Greve 湖の面積と水位の変化が定量化された。

Pío XI 氷河は南北に分岐した末端に加え、上流の7か所で湖に流入する末端を持つ。南北末端を含む4つの末端は2000–2018年に明瞭な前進傾向を示し、最も大きな南側末端の前進距離は1400 mに達した。表面標高は消耗域全体で 37.3 ± 0.4 mの上昇、すなわち氷厚の増加傾向を示した。2000–2007年における氷厚増加速度は 1.14 ± 0.03 m a⁻¹だったが、2007–2017/18年には 2.69 ± 0.04 m a⁻¹であり、2.4倍の増加が確認された。また、南側末端が流入するフィヨルドでは2011年以降氷河前縁に土砂が堆積している様子が観測され、2018年には土砂堆積が氷河末端幅の8割に達した。以上の結果から、土砂堆積が氷河の流動と末端消耗を抑

制していることが示唆された。

2020年4–7月にGreve湖の水位は 18.3 ± 1.2 m低下し、湖岸線の後退によって面積が 14.5 km² 減少した。この観測から 3.7 ± 0.2 km³ の湖水流出が明らかとなり、氷河湖の急激な排水としては衛星観測開始以来世界最大級のイベントと判明した。また、湖の排水経路の河川で地形の崩壊が観測され、流路の移動が確認され、数値標高モデルの解析からは流水浸食によって >30 mの標高低下が観測された。湖の排水経路に位置する堆積物の突発的な崩壊によって河川の流路が変化し急激に浸食が進行し、河川と湖の水面が低下したと結論づけた。さらにGRACE衛星のデータから地表面の質量分布を解析したところ、決壊が起きた2020年には湖の周辺で大きな質量減少が観測された。2020年の変化は2002–2019年の傾向から外れており、Greve湖の排水によって周辺重力が減少し、GRACE衛星のデータに影響を与えたと考えられる。排水後の2020年4月から2021年6月には、それまで安定していた北側末端で 250 m後退し、上昇傾向にあった表面標高は2019年8月から2021年3月の期間に 16.3 ± 0.4 m低下した。2016–2019年において明瞭な季節変動を示した北側末端の流動速度はGreve湖排水直後から流動速度が著しく低下し、2020年8月には排水前の8%に減少した。さらに、北側末端の流動減少によって末端の流動方向が変化し、北側末端から南側末端へと主流が切り替わった。これらの観測から、氷河湖排水をきっかけとした流動速度の低下によって湖に流れ込む北側末端への氷フラックスが減少し、末端後退と表面標高低下が引き起こされたと考えられる。

以上の結果から、(i) 近年のPio XI氷河の変動が定量化され、(ii) 氷河末端の土砂堆積がカービング氷河の変動に大きな影響を与えること、および(iii) 氷河湖の水位変化がカービング氷河の流動と変動(末端位置・表面標高)に大きな影響を与えることが明らかになった。本研究は、カービング氷河が気候以外の要素に影響を受けて著しく変動する事例を示し、カービング氷河の複雑な変動メカニズムに知見を与えるものである。