



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Influence of sea ice and subglacial hydrology on the dynamics of outlet glaciers flowing into Lützow-Holm Bay, East Antarctica [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	近藤, 研
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(環境科学)
Dissertation Number	甲第15670号
Issue Date	2023-12-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/91168
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Ken_Kondo_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士（環境科学） 氏名 近藤 研

学 位 論 文 題 名

Influence of sea ice and subglacial hydrology on the dynamics of outlet glaciers
flowing into Lützow-Holm Bay, East Antarctica

東南極リュツォ・ホルム湾に流入する溢流水河の変動に海氷と底面水文環境が与える影響

南極氷床の質量変化は、降雪による涵養と、海洋への氷流出（カービングおよび棚氷底面融解）による消耗で生じる。消耗の大部分は沿岸部の溢流水河で生じており、内陸から沿岸に氷を供給する氷河の流動速度に強く影響される。近年の氷床縮小は溢流水河の加速による氷流出の増加が原因とされており、氷床変動とその海水準への影響を理解するために溢流水河の流動変化とそのメカニズムの解明が急務となっている。溢流水河の速い流動は、高い水圧が保たれた底面で発生する活発な底面滑りによって生じる。このような速い流動は、氷河に作用する応力や底面の摩擦の変化によって著しく変動するため、氷河をとりまく環境変化に強い影響を受けると考えられている。例えば、海氷流出によって氷河末端部に作用する応力が変化し、氷河が加速する例が報告されている。しかしながら氷河の流動速度、末端位置、氷厚を詳細に定量化し、海氷変動と比較解析した研究は少なく、南極各地での観測データが求められている。日本の南極観測拠点が位置するリュツォ・ホルム湾でも 2016 年に定着氷が流出して、氷河末端の分離や加速が報告されているが、氷河接地線付近の流動や内陸部の氷厚への影響については調査がなく未解明である。また流動変化のメカニズム解明には底面滑りの理解が不可欠であるが、南極における氷河底面での測定は極めて少なくその理解は遅れている。例えば山岳氷河では流動速度の季節変動や数日スケールの短期流動変化が観測されて、融解水の流入による底面水圧の変動がその要因とされている。従来、低温環境下にある南極氷床では、表面の融解水は底面へ流入しないと想定されてきたが、最近になって比較的気温が高い南極半島で夏季の流動加速を示唆する観測が報じられ、南極の雪氷融解が氷河流動に与える影響に注目が集まっている。短期流動変化の検出とそのメカニズム解明には、高い時間分解能で氷流動と底面観測を同時に行う必要があるが、衛星データ解析のみでは困難である。そこで本論文では、南極氷床の溢流水河における流動変化のメカニズム解明を目的として、（１）東南極リュツォ・ホルム湾に流入する 5 つの氷河（白瀬、スカーレン、テーレン、ホノール、ラングホブデ氷河）において過去二十年間の流動変化と海氷変動との関係性を人工衛星データにより解析し、（２）熱水掘削と氷河底面の直接観測によってラングホブデ氷河の短期流動変化を観測した。

まず、5 つの対象氷河について人工衛星データを解析し、2000–2020 年の末端位置、流動速度、表面標高、氷河前の海氷面積を測定した。末端位置は、衛星画像（JERS-1、ASTER、Landsat 4/7/8）を用いて GIS ソフトウェア上で描画した。流動速度は、Landsat 7/8 の画像に画像相関法を適用した高分解能の測定に加えて、NASA MEaSUREs が公開する南極氷床の年平均流動速度データセット（ITS_LIVE）を用いて取得した。さらに、流動場の数値処理によって氷河の歪み速度分布を解析した。表面標高は、数値標高モデル（REMA）とレーザー高度計（ICESat-1/2）の公開データを使用した。また、氷河前に設けた解析領域内で可視衛星画像の反射率を定量化し、海氷、開放水面、雲のピクセル判別を行った。以上の解析には Google Earth Engine を導入して大量の

データを効率よく処理した。人工衛星データ解析の結果、2000–2016 年には全ての氷河で末端位置が 0.6–38.7 km 前進し、その後 2018 年までに 0.4–6.0 km 後退したことが明らかとなった。氷河幅の大きい 3 つの氷河（白瀬、スカーレン、テーレン氷河）の流動は、2010–2015 年に減速、2015–2018 年に加速傾向を示した。白瀬氷河、スカーレン氷河の接地線付近では、2012–2016 年に 6.5 ± 0.2 m および 2.4 ± 0.2 m の標高増加が観測された後、2016–2020 年にはそれぞれ -0.8 ± 0.1 m および -3.03 ± 0.07 m の減少傾向に転じた。これらの結果は、海氷流出の起きた 2016 年を境に氷河が後退・加速し、氷が薄くなったことを示している。また、氷河前に占める開放水面の割合は 2008–2016 年には平均 1% 以下であったが、リュツォ・ホルム湾の定着氷流出に伴って増加し、2016 年以降に最大 100% の最大値を取った。これらの結果から、氷河前の海氷が氷山分離や流動を抑制していたことが示唆された。さらに、流動方向の伸長歪みが 2010–2015 年には減少、2015–2018 年には増加しており、接地線付近で観測された標高変化が、流動変化で生じた歪み速度の変化に起因することが示された。以上の結果は、海氷の流出に起因する比較的小さな応力の変化によって、氷河の流動と氷の流出が増加し、氷床質量の変化を引き起こしたことを示す。

さらに、人工衛星データからは観測が困難な短期流動変化を明らかにするために、2021 年 12 月から 2022 年 2 月にラングホブデ氷河で現地観測を実施した。特に観測が困難な氷河底面滑りと水圧変動の関係を直接観測するために、3 軸加速度計と水圧計を搭載した測定装置を開発して使用した。氷河の接地線から約 1 km 上流を全層掘削し、厚さ 550 m の氷河底面に設置した装置で加速度と底面水圧を測定した。氷河表面では GNSS 機器と自動気象測器を運用し、氷河の流動と気象の観測を行なった。観測の結果、1 月 2 日から 4 日にかけて氷河底面水圧が急激に上昇した際に、最大 20% の流動加速が測定された。同期間に氷河底面の加速度計では振幅の大きい振動イベントが平常時の 2 倍観測され、活発な底面流動が生じたことが示唆された。底面水圧の上昇は 30 mm d^{-1} に達する降雨の直後に生じており、氷河表面から底面に流入した水によって底面滑りが促進されて、短期的な流動加速が生じたことが強く示唆された。以上の結果は、南極の氷河底面に水が流入し、底面水圧上昇と流動加速が起きることを示す初めてのデータであり、従来その影響が限定的と考えられてきた表面水が、溢流氷河流動の季節変動を引き起こす重要な要素であることを示す。

本研究によって、東南極リュツォ・ホルム湾に流入する 5 つの氷河の過去 20 年間の変動が初めて明らかになった。また得られたデータによって、海氷の消長による応力変化が経年的な氷河流動変化の要因であることが判明した。一方ラングホブデ氷河での現地観測では、夏季の短期流動加速を東南極で初めて捉えることに成功した。氷河底面での直接観測によって、表面水の底面流入を発端とする水圧上昇による滑りの促進が流動加速の要因であることを解明した。これら人工衛星データ解析および現地観測の結果は、海氷流出や表面水の底面への流入による氷河の応力バランスや底面状態の僅かな変化が、著しい流動変化を生じることを示している。すなわち、南極氷床の溢流氷河は、大気や海洋など周囲の環境変化に敏感に反応して流動変化を引き起こすことが明らかとなった。以上の成果は、リュツォ・ホルム湾における氷河変動の定量的理解に資するとともに、南極氷床における溢流氷河の変動メカニズムに新たな知見を与えるものである。