# グリーンランド北西部ボードイン氷河前縁フィヨルドにおける 水温・塩分・流速の長期係留観測

# Long-term Measurement of Temperature, Salinity and Ocean Current in the Bowdoin Fjord in northwestern Greenland

藤支 良貴<sup>1, 2</sup>, 深町 康<sup>3, 4</sup>, 漢那 直也<sup>3</sup>, 杉山 慎<sup>1, 3</sup> Yoshiki Fujishi<sup>1, 2</sup>, Yasushi Fukamachi<sup>3, 4</sup>, Naoya Kanna<sup>3</sup>, Shin Sugiyama<sup>1, 3</sup> Corresponding author: yoshiki-f@pop.lowtem.hokudai.ac.jp (Y. Fujishi)

To investigate seasonal variability in current, temperature, and salinity near a Greenlandic tidewater glacier, we deployed two moorings in Bowdoin Fjord in front of Bowdoin Glacier from July 2017 to July 2018. At 17 km from the glacier front, we observed fortnightly temperature variations, suggesting the influence of tide on water exchange in the fjord. At 1 km from the glacier front, temperature at 10 m from the bottom decreased by 0.4 °C between July and mid-August. The drop in the temperature during the melt season suggests that submarine melting at the glacier front was enhanced by subglacial meltwater discharge.

#### 1. はじめに

グリーンランド氷床は近年急速に質量を失っ ている.特にグリーンランド沿岸域で著しく質量 を失い,近年の海水準の上昇に大きく寄与してい る<sup>1)</sup>. 質量損失の要因として, カービング氷河末 端の水中融解の増加が指摘されている<sup>2)</sup>. また, 氷河から海洋への淡水流出量が増加しており,グ リーンランド沿岸の海洋環境・生態系に与える影 響も注目されている<sup>3)</sup>. これまでの研究によると, 氷河底面から流出(底面排水)する融解水が,フ ィヨルド深層に位置する暖水を引き込み湧昇す る<sup>4)</sup>. 湧昇した融解水は沖向きに流れ, さらに底 層では外洋から暖水が引き込まれる.フィヨルド の循環に影響を与える氷河からの淡水流出量は, 季節的に大きな変動を示す. そのため, フィヨル ド内部の海洋循環も季節的な変動を示すと考え られる.しかしながら、グリーンランドにおいて フィヨルドの長期海洋観測データは限られおり, フィヨルド内部の海洋循環や海水特性の季節変 化に関する理解は遅れている. そこで本研究では グリーンランド北西部に位置するボードインフ ィヨルドにおいて,水温,塩分,流速の係留観測 を行い,フィヨルドの海水特性と循環の季節変動 を調査した.

#### 2. 研究対象地

グリーンランド北西部に位置するボードイン 氷河(77°41 N, 68°35 W)は全長約10 km, 末端 幅 3 km のカービング氷河で,全長約20 km のボ ードインフィヨルドに流入する(図1).ボード イン氷河は,2008年以降急激に後退したことが 報告されている<sup>5)</sup>.またボーインフィヨルドでは, 夏の期間に観測が行われた例はあるが<sup>6)</sup>,長期の 海洋観測はまだ行われていない.

#### 3. 観測手法

ボードインフィヨルドにおける係留観測は, 2017年7月から2018年7月の期間において2地 点で行った(図1). 氷河末端から17kmの地点 (BF17)の水深は540m,氷河末端から1kmの地 点(BF01)の水深は180mであった. BF17の係留 系は,圧力計1台,水温計7台,流向流速計1台, 塩分・水温・深度計(CTD計)1台で構成されて いた. BF01の係留系は流向流速計1台とCTD 計1台で構成されていた(表1).観測中にBF17 の係留系に何らかの理由で絡まりが生じ,設置深 度が不明となったため,一部の水温データは欠損 値として扱った.また,BF01において,2017年 12月および2018年4月以降にあたる期間は,電

<sup>1</sup> 北海道大学低温科学研究所 Hokkaido University, Institute of Low Temperature Science

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>北海道大学 大学院環境科学院

Hokkaido University, Graduate School of Environmental Science <sup>3</sup>北海道大学 北極域研究センター

Hokkaido University, Arctic Research Center

⁴北海道大学 北極域研究グローバル・ステーション

Hokkaido University, Global Station for Arctic Research

北海道の雪氷 No.38 (2019) Annual Report on Snow and Ice Studies in Hokkaido

気伝導度センサーへの泥の混入により異常値が 検出されたため、塩分データは欠損値として扱っ た.係留データは、1.7日未満の周期の変動を除 去するタイドキラーフィルター<sup>77</sup>を適用した.気 温データはカナック空港で測定されたデータを 用いた(図1).



図 1 観測地の衛星画像(2017 年 7 月 25 日 の sentinel-2)に係留地点(•)とカナック空港 (▲)の位置をそれぞれ示す.

機器	モデル	測定間隔 (min)	設置課 (m)
圧力計	JFE Advantech DEFI2-D50HG	10	220(BF17)
水温計	SeaBird SBE56	1	222(BF17)
水温計	日油技研 NWT-SN	30	246(BF17)
水温計	日油技研 NWT-SN	10	268, 320, 368 418, 468 (BF17)
流向流速計	JFE Advantech Infinity-EM	60	167(BF01) 527(BF17)
CTD #	SeaBird SBE37-SN	5	170(BF01) 530(BF17)

表 1 本研究で設置した係留系の構成

## 4. 結果

# 4. 1 フィヨルド入り口 (BF17) における水温 鉛直分布

9月20までは272,320,368,418,468,530 m,10月10日までは312,368,418,468,530 m,その後は345,368,418,468,530mの水温 データを議論する.BF17において,最も暖かい 海水(0.77-1.04°C)は350-450mに存在したこと が明らかになった(図2).また水温の鉛直プロ ファイルにおいて,0.8°Cの等温線は,7-9月に は約 100 m に及ぶ大きな鉛直変動を二週間周期 で示した.一方で,10-6 月には 0.8℃の等温線は 比較的小さい変動を示した.また 0.8℃の等温線 は 7-9 月にかけて深くなる傾向を示し,8月2日 に 360 m 深に位置した等温線は,9月14日には 400 m 深にまで移動した.さらに9月14日には -0.29℃の海水が 290 m 深に観測された.



# 4. 2 氷河近傍 (BF01) における水温・塩分・ 流速データ

BF01 の 170 m 深では, 氷河の融解が生じる 2017 年 7-8 月に 0.48℃ の急激な水温の低下が観 測された(図 3a). 2017 年 8 月中旬に最低水温 -0.85℃が観測され, その後の水温は昇温傾向を 示した. 2018 年 6 月中旬には 最高水温-0.30℃ が観測され, その後の融解期には 2017 年と同様 に 0.43℃ の急激な水温の低下が観測された.水 温と塩分はよく似た変動を示し, 7-10 月は比較 的大きい変動を示した.また 167 m深では,南に 7.90×10<sup>-2</sup> cm s<sup>-1</sup>の年平均流速が観測された. 一方 で,氷河の融解が生じる 7 月には北に 2.62×10<sup>-1</sup> cm s<sup>-1</sup>, 8 月には北に 3.38×10<sup>-1</sup> cm s<sup>-1</sup> と,氷河へ 向かう流れが卓越した(図 3c).

#### 5. 考察

## 5. 1 フィヨルド入り口 (BF17) における水温 鉛直分布の季節変動

7-9月の水温の変動は2週間周期で生じたこと から、大潮小潮が夏季の水温変動の要因であると 考えられる.一方、比較的小さい変動を示した 10-6月は、ボードインフィヨルドが海氷で覆わ れてフィヨルドの循環および海水交換が弱化し たと考えられる.7-9月にかけて0.8℃の等温線 が深い位置に移動し, -0.29℃ の冷たい海水が 9 月14日に290m深で初めて観測されたことから, 上層に位置する比較的冷たい海水層が厚くなっ たことが示唆された.



南北流速の係留データ.(d)カナック空港で 取得された気温データ.(a),(b)は170m深, (c)は167m深で測定された.黄色の網掛け は気温が0℃を上回っている時期を示す.

# 5. 2 氷河近傍(BF01)における海水特性の季節 変動

本節では、氷河近傍の流向・流速の変動に注目 し,水中融解の影響をポテンシャル水温・塩分デ ータを用いて評価する. BF01の167 m 深におい て,融解期には氷河へ向かう流れが卓越した.氷 河の底面排水により湧昇が生じ,その補償流とし て氷河向きの流れが駆動されたと考えられる(図 4). 次に、氷河向きの流れが卓越した融解期に、 170 m 深で生じた急激な海水温低下を議論する. 氷河末端付近の水温と塩分は,主に①底面排水で 流出する融解水と, ②水中融解で生じる融解水と 混合して大きく変化する<sup>8)</sup>. 2017 年 8 月の海水 特性は、ポテンシャル水温・塩分の散布図上で② と海水の混合直線 (Melt-slope) の傾きとよく一致 していた (図 5). このことから,水中融解で生じ た融解水と海水が混合することで,氷河近傍の水 温が低下したと考えられる. 以上の結果より, 底面排水に起因して北向きの流れが生じ,水中融 解が促進され,水中融解で生じた融解水が海水と 混合することで、170m深の海水特性が変化した ことが示唆された.

①底面排水 ②氷河向きの流れを駆動



図4 底面排水と氷河向きの流れを示す 模式図



図 5 BF01 の 170 m 深におけるポテンシャ ル水温と塩分の散布図. 図中の黒線は Melt-slope を示す. 図中の等値線と数字は ポテンシャル密度を示す. 水温と塩分の保 存式 <sup>9,10</sup>に従い, Melt-slope を算出した.

#### 6. まとめ

フィヨルドを循環する海流の季節変動の解明 のため、グリーンランド北西部ボードインフィヨ ルドにおいて係留観測を行った. 氷河から 17 km 離れた地点における水温は、7–9 月に2週間周期 で鉛直的に大きな変動を示し、潮汐による水温変 動が示唆された. また氷河近傍1 km 地点の 170 m 深では、氷河の融解が生じる 7–8 月に、0.4℃ 以上の急激な水温低下が明らかとなった. この時 期のポテンシャル水温と塩分の関係性は Meltslope の傾きと概ね一致していた. そのため、底 面排水に起因する水中融解で生じた融解水と海 水が混合することで、フィヨルド底層の海水特性 に影響を及ぼしたと考えられる. 北海道の雪氷 No.38 (2019) Annual Report on Snow and Ice Studies in Hokkaido

## 【謝辞】

本研究は ArCS 北極域研究推進プロジェクトの 支援を受けて実施した.グリーンランド観測メン バーの協力に感謝する.

## 【参考・引用文献】

- Khan, S. A., Wahr, J., Bevis, M., Velicogna, I., 2010: Spread of ice mass loss into northwest Greenland observed by GRACE and GPS, *Geophys. Res. Lett.*, 37, 1-4.
- Straneo, F. et al., 2013: Challenges to Understanding the Dynamic Response of Greenland's Marine Terminating Glaciers to Oceanic and Atmospheric Forcing, Bull. Am. Meteorol. Soc., 94, 1131-1144.
- Meire, L. *et al.*, 2017: Marine-terminating glaciers sustain high productivity in Greenland fjords, *Glob. Chang. Biol.*, 23(12), 5344–5357
- Rignot, E., Koppes, M., and Velicogna, I., 2010: Rapid submarine melting of the calving faces of West Greenland glaciers, *Nat. Geosci.*, 3, 187– 191
- Sugiyama, S., Sakakibara, D., Tsutaki, S.,Maruyama, M., & Sawagaki, T., 2015: Glacier dynamics near the calving front of Bowdoin Glacier, northwestern Greenland, *J. Glaciol.*, 61(226), 223–232

- Kanna, N., Sugiyama, S., Ohashi, Y., Sakakibara, D., Fukamachi, Y., & Nomura, D., 2018: Upwelling of macronutrients and dissolved inorganic carbon by a subglacial freshwater driven plume in Bowdoin Fjord, northwestern Greenland, J. Geophys. Res.: Biogeosci., 123, 1666–1682.
- Thompson, R. O. R. Y., 1983: Low-pass filters to suppress inertial and tidal frequencies, *J. Phys. Oceanogr.*, 13, 1077–108
- Straneo, F. *et al.*, M., 2013: Characteristics of ocean waters reaching Greenland's glaciers, *Ann. Glaciol.*, 53(60), 202-210.
- Gade HG., 1979; Melting of ice in sea water: a primitive model with application to the Antarctic ice shelf and icebergs, *J. Phys. Oceanogr.*, 9(1), 189–198
- Mankoff, K. D., Straneo, F., Cenedese, C., Das, S. B., Richards, C. G., and Singh H., 2016, Structure and dynamics of a subglacial discharge plume in a Greenlandic fjord, *J. Geophys. Res.: Oceans*, 121, 8670–8688