

グリーンランド北西部カナック氷帽における 2012–2021 年の表面質量収支 Surface mass balance of Qaanaaq Ice Cap in northwestern Greenland from 2012 to 2021

渡邊 果歩^{1,2}, 近藤 研^{1,2}, 杉山 慎¹

Kaho Watanabe^{1,2}, Ken Kondo^{1,2}, Shin Sugiyama¹

Corresponding author: wtnbkh@lowtem.hokudai.ac.jp (K. Watanabe)

To investigate the mass change of Greenland's peripheral glaciers and ice caps, we have conducted surface mass balance measurement on Qaanaaq Ice Cap in northwestern Greenland since 2012. The mean specific mass balance of the ice cap from 2012 to 2021 was -3.38 ± 0.21 m w.e. The most negative mass balance was observed in the balance year 2014/15, a period characterized by relatively small accumulation (70% of its average for the whole period). On the other hand, the most positive mass balance was observed in 2017/18, which can be attributed to relatively cold summer (positive degree-day sums was 32% of its average for the whole period).

1. はじめに

グリーンランドの周縁部には、氷床とは独立した氷河氷帽が数多く存在する。それらの質量減少は、2000–2019 年において世界中で損失した氷の質量の 13%を占めており¹⁾、海面上昇に大きく寄与している。しかし、グリーンランド北部に代表されるアクセスが悪い地域では現地調査の報告は少なく、氷河氷帽変動の空間的・時間的変動の詳細は理解が遅れている。そこで我々は、北西部のカナック氷帽で 2012 年から継続的に質量収支の観測を行っている²⁾。本研究では、2012–2021 年の観測データを解析し、カナック氷帽の質量収支とその変動の原因を明らかにすることを目的とする。

2. 研究対象地

カナック氷帽(77° 28' N, 69° 14' W)はグリーンランド北西部に位置し、その面積は 268 km²、標高は 27–1128 m である(図 1a)。2007–2009 年における氷帽の表面標高変化速度は -1.8 ± 0.1 m a⁻¹ であり、カナック氷帽周辺の氷河氷帽の中で最大の標高低下速度であった³⁾。氷帽から南西へ溢流するカナック氷河は、約 600 人が暮らすカナック村の北側に位置しており(図 1b)、2012 年以降表面質量収支を中心としたモニタリング観測が継続して行われている^{2,4)}。この氷河からの流出河川では 2015 年と 2016 年に洪水被害が生じている。その後の研究の結果、氷河の急激な融解と豪雨が洪水の原因として示され、4 °C の気温上昇によっ

て流出量が 3 倍に増加すると推定された⁵⁾。

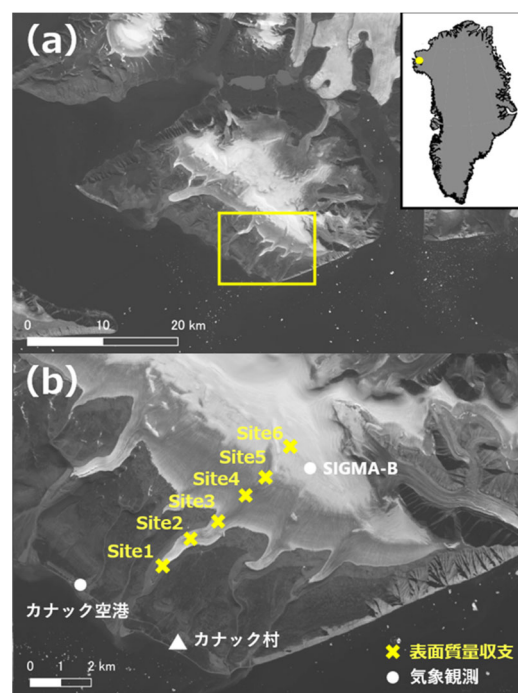


図 1 (a)カナック氷帽の衛星画像 (Landsat 8, 2020 年 7 月 25 日撮影)。黄色枠は(b)の範囲を示す。(b)カナック氷河における表面質量収支(x)および気象観測地点(●)。

¹ 北海道大学 低温科学研究所

² 北海道大学 環境科学院

Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University
Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University

3. 研究手法

3. 1 表面質量収支

カナック氷河上の6地点(243–968 m a.s.l.)に観測サイトを設け、表面質量収支の測定を行った(図1b)。サイト毎に長さ2 m、直径35 mmのアルミポールを氷内に埋設し、毎年夏期に氷から突き出したポールの長さを測定し、それらの比較から各地点での年間融解量を算出した。積雪がある場合には密度サンプラーを用いて積雪密度を測定し積雪水当量を算出した。このように測定した年間融解・積雪水当量から、2012年から2021年の年間表面質量収支を求めた。本研究では7月末から8月上旬を質量収支年の区切りとした(表1)。

人工衛星画像(Landsat 8、解像度15 m)を用いて、氷帽の周縁をGISソフトウェア(QGIS)上で描画し、その領域内で数値標高モデル(ArcticDEM、解像度32 m)を解析して氷帽面積の標高分布を得た。上記測定で得られた表面質量収支の標高依存性を全域に適用し、面積標高分布から氷帽全体の表面質量収支を推定した。このとき、観測データの無い高標高域(968 m以上)と低標高域(243 m以下)には、直近の観測値または質量収支勾配の外挿値を極端値として与え、両者の差を誤差幅とした。

表1 表面質量収支の観測期間

質量収支年 (開始年/終了年)	期間 (年/月/日)	
	開始日	終了日
2012/13	2012/07/29	2013/08/04
2013/14	2013/08/04	2014/08/03
2014/15	2014/08/03	2015/07/30
2015/16	2015/07/30	2016/07/31
2016/17	2016/07/31	2017/08/02
2017/18	2017/08/02	2018/07/31
2018/19	2018/07/31	2019/08/03
2019/20	2019/08/03	2020/06/26
2020/21	2020/06/26	2021/08/02

3. 2 気象データ

カナック村から北西方向に3.5 km離れたカナック空港(16 m a.s.l.)および氷帽の平衡線付近に位置するSIGMA-B(944 m a.s.l.)⁶⁾において観測された気象データを用いた(図1b)。それぞれの地点で観測された気温データから日平均気温を算出し、各質量収支年における積算暖度を計算した。

また、SIGMA-Bにおいて観測された積雪表面高度から日平均値を求めて、前日から高度が上昇している場合に積雪があったとみなし、高度の変化量を積算することで各質量収支年における涵養量を推定した。積雪密度は、北極域における先行研究より、新雪密度に相当する $120 \pm 50 \text{ kg m}^{-3}$ を仮定した⁷⁾。

3. 3 領域気候モデル

RACMO2 (Regional Atmospheric Climate Model) はERA-Interim再解析データを入力とする極域気候モデルである⁸⁾。本研究では、RACMO2によって算出された表面質量収支(解像度1 km、3時間値)をカナック氷河の観測サイトに対して内挿し、質量収支年で積算して年間表面質量収支の推定値を得た。また、氷帽の領域内のモデル推定値を質量収支年で積算することで、カナック氷帽全域の平均表面質量収支の推定値を得た。

4. 結果

4. 1 カナック氷河の表面質量収支

図2にカナック氷河における表面質量収支の観測値を示す。各年の質量収支は概ねよく似た標高依存性を示し、各標高での値は約 2 m w.e. a^{-1} の幅で大きな年々変動を示した。年間表面質量収支の平均値はサイト2で $-1.77 \text{ m w.e. a}^{-1}$ の最小値、サイト6で $0.18 \text{ m w.e. a}^{-1}$ の最大値を取り、質量収支が氷河全域で負の年ほど、サイト2で質量収支が極少値を取る傾向が見られた。

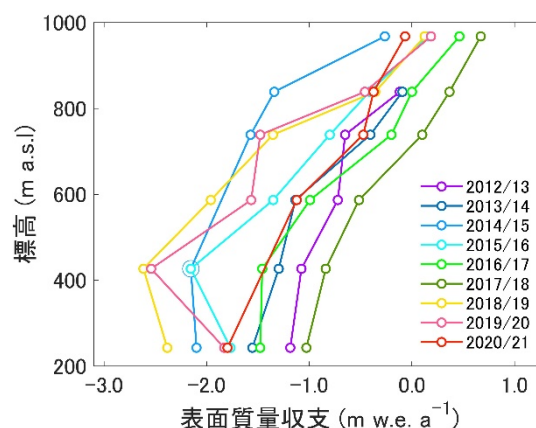


図2 2012/13-2020/21におけるカナック氷河の表面質量収支

4. 2 カナック氷帽の質量変化

カナック氷帽全域では、2012–2021 年にかけて、 -3.46 ± 0.21 m w.e.の質量変化が見積もられた(図 3)。特に 2014/15 年に最小の質量収支(-1.08 ± 0.04 m w.e.)を取り、一方で 2017/18 年に唯一正の質量収支(0.24 ± 0.01 m w.e.)が観測された。

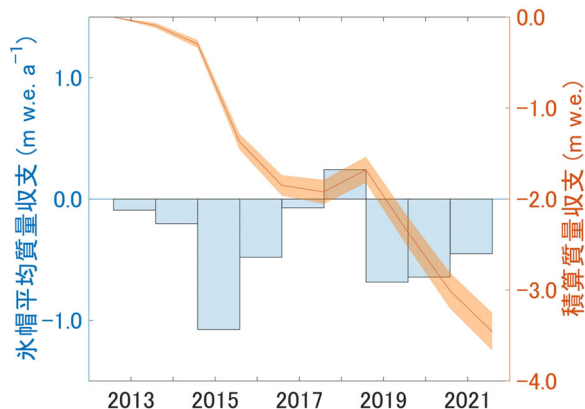


図 3 2012/13–2020/21 年における、カナック氷帽全域の平均表面質量収支(棒、左軸)およびその積算値(実線、右軸、シェードは誤差幅を示す)。

5. 考察

5. 1 気象と表面質量収支との関係

2014/15 および 2017/18 年に最小・最大の質量収支をとった要因を考察するため、気象データと比較した。最も負の質量収支を示した 2014/15 年の積算暖度は、SIGMA-B サイトでは観測全期間の平均値よりも 38%大きかった一方、カナック空港では平均値よりも 7%小さかった(図 4)。すなわち、夏期の高温によって融解が著しく進んだとは考え難い。対して、SIGMA-B サイトにおける同年の涵養量は、全期間平均値の 70%と顕著に小さい。したがって、この年に観測された顕著な負の質量収支には、例年と比べて顕著に少ない涵養量がより重要な役割を果たしたと推定される。一方、唯一正の質量収支を示した 2017/18 年の積算暖度は、カナック空港、SIGMA-B サイト(それぞれ全期間平均の 69%, 32%)ともに顕著に小さい(図 4)。したがって、夏期の融解が抑制された結果、質量収支が正になったと考えられる。

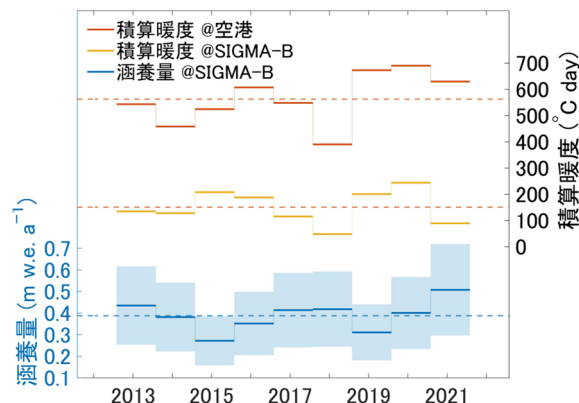


図 4 2012/13–2020/21 年における、SIGMA-B での涵養量(青、左軸、シェードは誤差幅を示す)、SIGMA-B(赤)とカナック空港(黄)での積算暖度(右軸)。点線は全観測期間の平均値を示す。

5. 2 領域気候モデルとの比較

次に、領域気候モデル RACMO2 によって算出された表面質量収支との比較を行った(図 5)。特に高標高域では観測データ(図 2)と概ね良く似た質量収支勾配を示したが、すべての質量収支年において観測データよりも正の値を示した(図 6)。また、9 年間の質量変動は 0.14 m w.e.と正の値となり、観測値よりも 3.58 ± 0.21 m w.e 過大評価となった。複数の領域気候モデルをグリーンランド各地域で比較した先行研究では、RACMO2 は特に北西部において他の領域気候モデルよりも正の表面質量収支を推定することが示唆されている⁹⁾、本研究で確認された質量収支を過大評価する傾向は、この先行研究と整合的である。

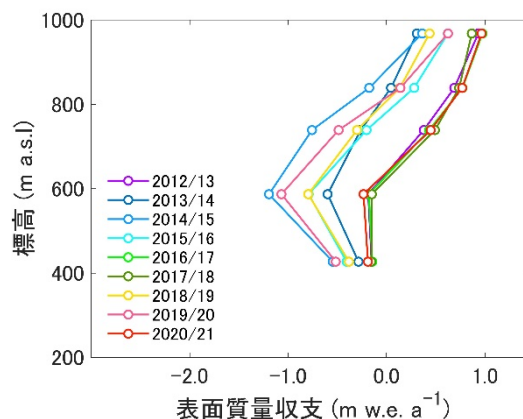


図 5 RACMO2 の質量収支データを内挿して得られた、2012/13–2020/21 年におけるカナック氷河観測サイトでの表面質量収支。

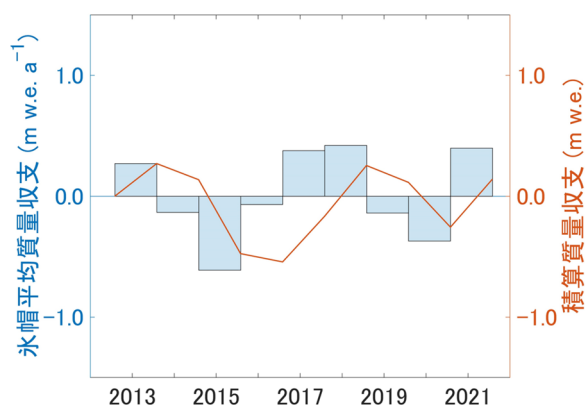


図 6 RACMO2 の質量収支データに基づいて算出した、2012/13-2020/21 におけるカナック氷帽全域の平均表面質量収支（棒，左軸）およびその積算値（実線，右軸）。

6. まとめと今後の展望

グリーンランド北西部に位置するカナック氷河において、2012–2021 年に表面質量収支を観測した。観測されたデータを解析して年々の質量変動を定量化し、気象データおよび領域気候モデルによる推定値との比較を行った。その結果、カナック氷帽では 9 年間で -3.46 ± 0.20 m w.e. の質量減少が生じ、2014/15 年に最も負の質量収支 (-1.08 ± 0.04 m w.e.)、2017/18 年に唯一正の質量収支 (0.24 ± 0.01 m w.e.) を示した。質量収支の年々変動を、積算暖度と涵養量と合わせて考察した結果、年によって表面質量収支に対する気温と涵養量の寄与が異なることが確認された。さらに、領域気候モデル RACMO2 の推定値との比較から、数値モデルの結果が質量収支を大きく過大評価することが明らかになった（9 年間の積算値で観測値に対して 3.58 ± 0.21 m w.e. の過大評価）。本研究の結果は、グリーンランドにおける氷河氷帽の変動に関して、数少ない正確な長期データを提供するものである。またカナック氷帽における質量変動のメカニズムと、領域気候モデルによる推定値の不確実性について示唆を与えるものである。

【謝辞】

本研究は、GRENE 北極気候変動研究事業、ArCS 北極域研究推進プロジェクト、ArCS II 北極域研究加速プロジェクトの下で実施した。2012–2019 年の現地観測メンバー、および 2020 年、2021

年の現地観測に協力いただいた、グリーンランド調査所の Kirsty Langle 氏、デンマーク気象研究所の Andrea Gierisch 氏、カナック村の Mikael 氏、Masaitsiaq 氏に謝意を表す。なお SIGMA-B の気象観測は、環境省地球環境保全試験研究費の助成を受けた。

【参考・引用文献】

- 1) IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, In press.
- 2) Sugiyama et al., 2014: Initial field observations on Qaanaaq ice cap, northwestern Greenland, *Annals of Glaciology*, **55**(66), 25-33.
- 3) Saito et al., 2016: Surface elevation change on ice caps in the Qaanaaq region, northwestern Greenland, *Polar Science*, **10**(3), 239-248.
- 4) Tsutaki et al., 2017: Surface mass balance, ice velocity and near-surface ice temperature on Qaanaaq Ice Cap, northwestern Greenland, from 2012 to 2016, *Annals of Glaciology*, **58**(75), 181-192.
- 5) Kondo et al., 2021: Flood events caused by discharge from Qaanaaq Glacier, northwestern Greenland, *Journal of Glaciology*, **67**(263), 500-510.
- 6) Aoki et al., 2014: Field activities of the “Snow Impurity and Glacial Microbe effects on abrupt warming in the Arctic” (SIGMA) Project in Greenland in 2011–2013, *Bulletin of Glaciological Research*, **32**, 3-20.
- 7) Jones et al., 2001: Snow ecology: an interdisciplinary examination of snow-covered eco-systems. Cambridge University Press, 48–49.
- 8) Noël et al., 2018: Modelling the climate and surface mass balance of polar ice sheets using racmo2 – part 1: Greenland (1958–2016), *The Cryosphere*, **12**(3), 811-831.
- 9) Vernon et al., 2013: Surface mass balance model intercomparison for the Greenland ice sheet, *The Cryosphere*, **7**, 599-614.