

グリーンランド北西部カナック氷帽における 質量収支・流動速度・表面高度変化の観測

Field measurements of mass balance, ice speed and elevation change on Qaanaaq Ice Cap, northwestern Greenland

丸山未妃呂 (北海道大学 大学院環境科学院・低温科学研究所)

津滝俊 (国立極地研究所 北極観測センター, 北海道大学 低温科学研究所)

榊原大貴 (北海道大学 大学院環境科学院・低温科学研究所)

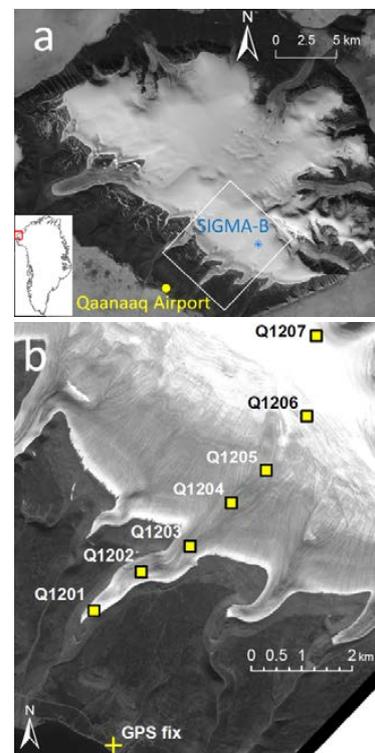
澤柿教伸 (北海道大学 地球環境科学研究所)

杉山慎 (北海道大学 低温科学研究所)

Mihiro Maruyama, Shun Tsutaki, Daiki Sakakibara, Takanobu Sawagaki, Shin Sugiyama

1. はじめに

グリーンランド周縁部には、氷床とは独立した氷帽、氷河が数多く存在している。これらの氷体は沿岸の低標高に位置するため、近年の融解量増加が著しいと考えられる。先行研究により、グリーンランド周縁部における近年の氷損失の原因として、気温の上昇以外にもいくつかのプロセスが指摘されている。たとえば、氷表面の暗色化によるアルベド低下が融解量を増加させる他¹⁾、季節的な流動変化が氷流出量に影響を与えると考えられている²⁾。しかしながら、グリーンランドの氷帽における研究例は限られており、特に北西部では現地観測データが不足している。そこで本研究では、グリーンランド北西部のカナック氷帽において2012年および2013年の夏期に現地観測を行い、表面融解量、流動速度および表面高度を測定した。2012年の観測については Sugiyama ら³⁾(2014)によって報告されたところであるが、本論はそれに引き続いて観測で得られたデータを基に、近年の質量損失を定量化し、流動速度短期変動の原因やアルベドが融解に与える影響を考察する。



2. 観測手法

カナック氷帽は、グリーンランド北西部カナック村 (77°28'N, 69°13'W) の北側に位置する面積 288 km² の氷帽である³⁾ (図 1a)。本研究では、氷帽から溢流するカナック氷河の最上流 (1100 m a.s.l.) から末端にかけて 7 本のステークを設置し (243–1079 m a.s.l.)、表面融解量と流動速度の測定を実施した (図 1b)。2012年7月18日に Q1201 から Q1206、2012年7月20日に Q1207 にステークを設置した。使用したステークは長さ 2 m、直径 35 mm のアルミポールで、マキタの電動ドリルと Kovacs 社製の掘削刃を使って氷内に埋設した。これらのステークの高さを測定することで 2012年7月18–29日および 2013年6月29日–8月4日の融

図 1 (a)カナック氷帽の衛星画像 (Landsat7ETM+, 2002年7月2日撮影)。(b)カナック氷帽における観測地域 (aの白枠部分に、ステーク設置場所 () と GPS 基準局 (+) を示す)。

解速度を測定した。

標高 900 m 以上に設置した 2 本のステークは、2013 年 7 月 20 日の段階で雪に埋まっており、再測できなかった。そこでこの 2 地点においては、以下の手順で質量収支を計算した。はじめにカナック空港と SIGMA-B (図 1a) で測定された気温から気温減率を求め、Q1206 と Q1207 地点の Positive Degree-Day (PDD) を算出した。次に、2012 年の観測で得られた Degree-Day Factor (DDF)³⁾ を使って 2 地点の融解量を求めた。また、SIGMA-B で測定された雪面高度の連続値から降雪量を推定し、融解量を差し引くことで年間の質量収支とした。なお新雪の密度は 80 kg m^{-3} とした。

2 周波 GPS (GNSS GEM-1) によるスタティック測量で氷帽上のステークの位置を測定し、2012 年 7 月 18–29 日と 2013 年 7 月 18 日–8 月 4 日および年間の流動速度を計算した。また、ステークを設置した測線に沿って、計 260 点で 2 周波 GPS (Leica System1200, GNSS GEM-1) を用いたキネマティック測量により表面標高の測定を行った。2013 年 7 月に、前年の測定地点をハンディ GPS によって探索しながら表面高度を再測した。測量の精度は水平方向、鉛直方向共に数 cm 程度である。

3. 結果

3.1. 表面融解

図 2 に 2012 年、2013 年の夏期融解速度を示す。末端付近の Q1201 では、2013 年の融解速度 ($17 \text{ mm w.e. d}^{-1}$) は 2012 年 ($46 \text{ mm w.e. d}^{-1}$) の 37% であった。2012 年の融解速度は中緯度の温暖氷河と同等であることが先行研究によって報告されている³⁾。それに対して 2013 年は 5 地点の平均で 2012 年の 23% と低い値を示した。また、2012 年 7 月から 2013 年 7 月にかけての各ステークにおける年間質量収支を図 3 に示した。末端での消費量は $1.2 \text{ m w.e. a}^{-1}$ であり、約 1000 m a.s.l. 以上で涵養していることが判明した。

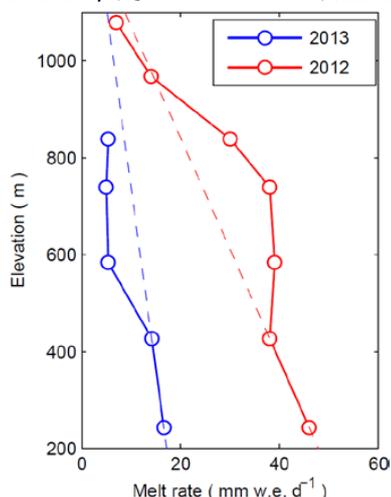


図 2 2012 年夏期および 2013 年夏期の融解速度。点線は Q1201 と Q1202 の融解速度を結んだ線の外挿を示す。

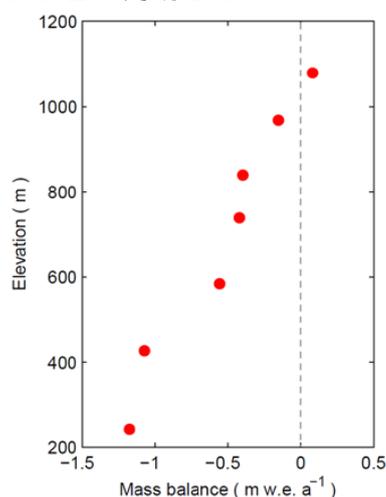


図 3 2012–2013 年における年間の質量収支。

3.2. 流動速度

2012 年および 2013 年の夏期流動速度と、2012 年 7 月から 2013 年 7 月の年間流動速度を図 4 に示す。Q1203–Q1204 (584–739 m a.s.l.) において速度は最大となり、2012 年夏期には 25.2 m a^{-1} 、2013 年夏期は 20.8 m a^{-1} であった。2013 年夏期の 5 地点における平均流動速度は 13.6 m a^{-1} と、年間の平均値 13.4 m a^{-1} とほぼ同等であるが、2012 年夏期の平均流動速

度は 16.0 m a^{-1} と有意に大きな値を示した。

3.3. 表面高度

2013年と2012年の測線沿いの表面標高を比較して、1年間の高度変化を図5に示した。氷河の末端付近で約2m、観測全域平均で0.20mの表面低下を示しており、氷厚の減少が明らかとなった。

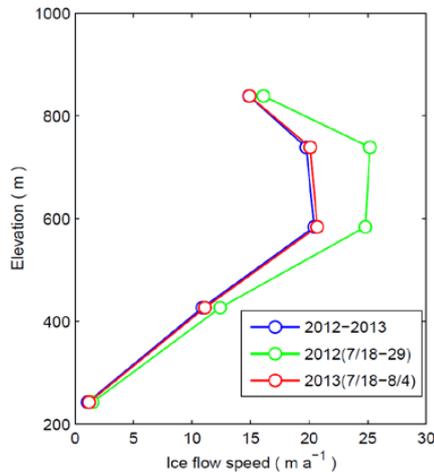


図4 年間の流動速度および2012年夏期、2013年夏期の流動速度。

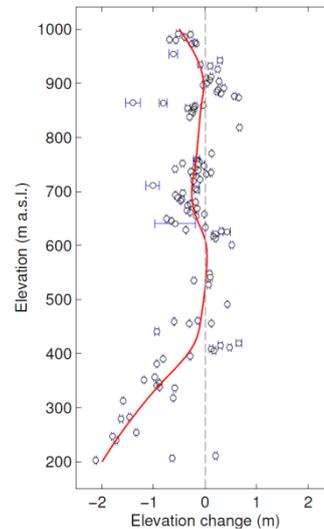


図5 2012-2013年における表面高度変化。赤線は局所回帰モデルでスムージングした線を表す。

4. 考察

2002年から2013年における7月の平均気温とPDDを表1に示す。2012年は2013年と比べて平均気温が 3.1 ，PDDが 87 K d 高く、融解量が大きかった主要因と考えられる。一方2013年は、過去10年間の平均値と比較して気温が低く、例年よりも融解量が少なかった可能性がある。さらに、2012年の氷河表面は不純物で汚れていたためアルベドが低下し(図6a)、融解が促進されたと考えられる。これに対して積雪が多かった2013年は、観測期間中にも降雪があり、氷河表面のアルベドが高く保持されたため融解が抑制されたと推測される(図6b)。

また、比較的アルベドが低い期間に得られた2012年のDDFを質量収支の計算に用いているため、Q1206とQ1207における2013年の融解量は過大評価された可能性が高い。さらに上積氷の形成を考慮していないため、質量収支は過小評価となっている。これらの点を改善するために、正確なアルベドと上積氷を考慮した質量収支モデルの適用を予定している。

2012年夏期における中流域の流動速度は、年間の平均速度に対して37%の加速であった。2012年夏期は、前述のように表面の融解速度が大きく、クレバスなどの裂け目からより多くの融解水が氷河底

表1 カナック空港で測定された観測期間中における過去10年間の7月の平均気温とPDD。

年	月平均気温()	PDD(K d)
2002	1.6	53
2003	4.5	138
2004	2.0	62
2005	6.1	190
2006	7.0	218
2007	7.9	243
2008	6.6	205
2009	8.3	256
2010	7.6	229
2011	8.8	273
2012	8.7	260
2013	5.6	173
平均	6.2	192

面に流入することで、底面流動が活発であった可能性が高い。カナック氷帽表面での年間平均気温は $-2 \sim -8$ であり、氷体は氷点下に保たれていると考えられる。冷たい氷体を通して底面に融解水が到達し、底面流動を促進していることを示す観測結果は、氷帽の流動機構を考える上で重要である。

本研究で得られた表面低下速度 (0.20 m a^{-1}) は、Bolch ら⁴⁾ (2013) によって報告されている 2003–2008 年のグリーンランド北西部の氷帽・氷河平均表面低下量 0.65 m a^{-1} の 31% であった。これは 2013 年の積雪と低い気温による表面融解の抑制が大きく影響しており、例年よりも表面低下量が小さかったといえる。低い標高で氷厚減少が顕著であり、低標高域での融解量の増加が重要な役割を果たしている可能性が高い。このような標高依存性は、人工衛星データの解析によって示されたカナック周辺の氷帽氷厚変化の結果と整合するものである⁵⁾。

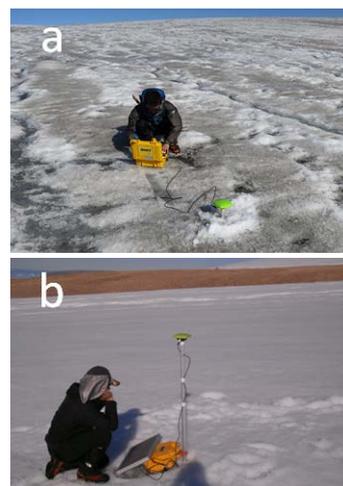


図 6 Q1203 地点における (a) 2012 年の氷河表面と (b) 2013 年の氷河表面。

5. 結論

2012 年および 2013 年夏期に、グリーンランド北西部のカナック氷帽において融解量、流動速度、表面標高の測定を行った。質量収支観測の結果、氷帽の末端では 2012–2013 年に $1.2 \text{ m w.e. a}^{-1}$ の消耗が確認された。表面高度の測定結果からは、観測全域平均で 0.20 m a^{-1} の表面低下が明らかとなった。2012 年は融解速度が比較的大きく、高い気温と低いアルベドの両方が大きな役割を果たしていると推測される。2012 年は 2013 年よりも特に中流域で流動速度が大きいことが判明した。2012 年は表面融解速度が大きく、氷河底面に融解水が流入し、底面流動が活発であったことが示唆された。今後は、現地観測データと質量収支モデルからアルベドと上積氷を考慮した質量収支を計算し、2014 年 7 月に行われる観測の結果を加えて氷帽の将来変動予測を目指す。

謝辞

本研究は、GRENE 北極気候変動研究事業の一環として実施したものである。2012 年および 2013 年の現地観測メンバーに謝意を表する。

【参考文献】

- 1) Wientjes, IGM and Oerlemans, J. (2010): An explanation for the dark region in the western melt zone of the Greenland ice sheet, *The Cryosphere*, **4**(3), 261–268
- 2) Palmer, S. and 4 others. (2010): InSAR observations of ice elevation and velocity fluctuations at the Flade Isblink ice cap, eastern North Greenland, *Journal of Geophysical Research*, **15**(F4), F04037
- 3) Sugiyama, S. and 5 others. (2014): Initial field observations on Qaanaaq ice cap, northwestern Greenland, *Annals of Glaciology*, **55**(66), 25–33
- 4) Bolch, T. and 6 others. (2013): Mass loss of Greenland's glaciers and ice caps 2003–2008 revealed from ICESat laser altimetry data, *Geophysical Research Letters*, **40**, 875–881
- 5) 齊藤潤, 津滝俊, 澤柿教伸, 杉山慎, 2014: グリーンランド北西部における氷帽の表面高度変化, *北海道の雪氷*, **33**