

# グリーンランド北西部における氷床・氷帽・カービング氷河の変動 Mass changes of the ice sheet, ice caps, and calving glaciers in northwestern Greenland

杉山 慎 (北海道大学 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),  
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),  
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)  
Shin Sugiyama, Takanobu Sawagaki, Shun Tsutaki, Daiki Sakakibara, Mihiro Maruyama

## 1. はじめに

グリーンランドを覆う氷床, および氷床から独立した数多くの氷帽・氷河の質量が近年急激に減少している. グリーンランド氷床は 1990 年代後半から顕著な縮小傾向を示し, 2000–2011 年における氷損失速度は海水準に換算して約  $0.6 \text{ mm a}^{-1}$  と報告されている<sup>1)</sup>. 氷損失は近年加速傾向にあり, 特に沿岸に位置する溢流氷河で変化が大きい. すなわち気温上昇による融解増加に加えて, 海洋への氷流出が氷床縮小に重要な役割を果たしている. また総面積  $89,700 \text{ km}^2$  に及ぶグリーンランド沿岸部の氷帽・氷河は, 2003–2008 年に  $0.12 \text{ mm a}^{-1}$  の速度で氷を失った. この値はグリーンランド氷床の氷損失の約 20% に相当し, 世界の山岳氷河における総氷損失の 10% に相当する<sup>2)</sup>.

衛星観測技術の進歩により, グリーンランドの氷質量変化がより正確に測定されるようになった. さらに発展著しい数値モデルを駆使して, 質量変化の原因にも踏み込んだ議論がなされている. その一方で, グリーンランドにおける現地観測データは少なく, 調査が不十分で理解されていない重要なプロセスが多く残されている. 例えば, 内陸のフィルン層における融解水の貯留は<sup>3)</sup>, 現地観測なしでは予見しえなかった新しいプロセスである. この他, 氷床海洋相互作用, 雪氷表面アルベド, 氷床底面流動などが, 重要かつ未解決のプロセスとして挙げられる (図 1). 氷質量減少の定量化には涵養量, 融解量, カービングフラックスの正確な把握が必要となるが, 詳細かつ正確なデータを得るため, また衛星データの検証のため, 現地観測の拡充が急務である.

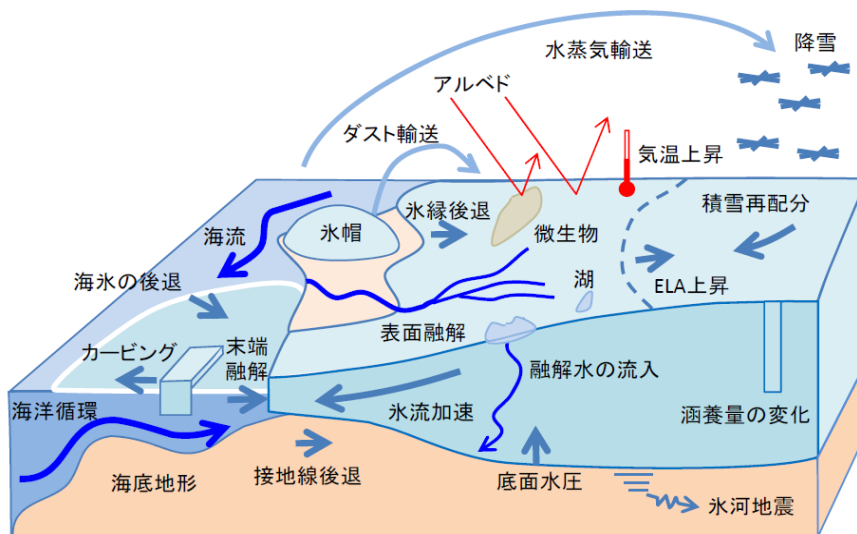


図 1. グリーンランドにおける近年の氷質量減少に関わるプロセス.

このような背景に基づいて我々は、グリーンランドにおける氷損失に着目して研究活動を開始した。このプロジェクトは2011年に始動した GRENE 北極気候変動研究事業の取り組みのひとつであり、GRENE 事業の戦略課題「全球の気候変動及び将来予測における北極域の役割の解明」への貢献を目指すものである。特にグリーンランド北西部に焦点をあて、氷床・氷帽・カービング氷河の変動とそのメカニズム解明を目的とする。本稿では研究対象地を紹介し、これまでの取り組みとその成果を概説する。

## 2. 研究対象地

本研究は、グリーンランド北西部カナック周辺の水床周縁部、溢流氷河、独立氷帽を調査対象とする(図2)。カナック(77°28'N, 69°13'W)は人口約600人、定期便が就航するグリーンランド最北の村落である。グリーンランド北部は南部と比較して現地観測活動が少なく、カナック周辺でも氷河氷床に関する研究は非常に少ない。近年の研究では、南部で顕著であった氷損失が北西部に伝搬しつつあるデータが示されており<sup>4)</sup>、北西部における氷変動観測はその重要性を増している。

カナックは Inglefield Bredning と呼ばれる幅約 15–20 km の湾に面しており、この湾には 7 つの溢流氷河が流入している。特にフィヨルドの東端に位置するトレイシー氷河とヘイルプリン氷河はこの地域最大の氷河で、これまでの衛星データ解析によってその後退、氷厚減少、流動加速が明らかになった<sup>5)</sup>。さらに Inglefield Bredning から派生するボードインフィヨルドにはボードイン氷河が、カナック北西の沿岸には 11 のカービング氷河が流出し、2000 年以降これら全ての氷河が後退傾向にある<sup>5)</sup>。カナックの北側には、西に突き出す形でグリーンランド氷床の周縁部が伸びており、上記の氷河群に氷を供給している。2013 年 7 月にはこの氷床上 A2 (1800 m a.s.l.) (図2) 地点で積雪ピット観測と 5 m フィルンコア掘削を行い、近年の涵養量復元に必要なサンプルを得た。また 2012 年以降 SIGMA-A (1500 m a.s.l.) 地点で、気象研究所を中心としたプロジェクトが気象・積雪観測を行っており、このグループとも協力して観測活動を進めている。氷床の北側には Inglefield Land と呼ばれる陸地が広がっている。その近傍では氷床表面の暗色化が特に著しく、バンド状の着色が衛星画像からも確認できる(図2)。カナックのすぐ北側に幅約 20 km のカナック氷帽が広がる他、周辺にいくつかの氷帽が存在するが、これらの氷帽も消耗域の暗色化が顕著である。

我々は上記の氷体を対象に、野外観測及び人工衛星データの解析を実施している。以下では、2012 年と 2013 年に野外観測を実施したカナック氷帽とボードイン氷河に関して、これまでの研究成果を紹介する。

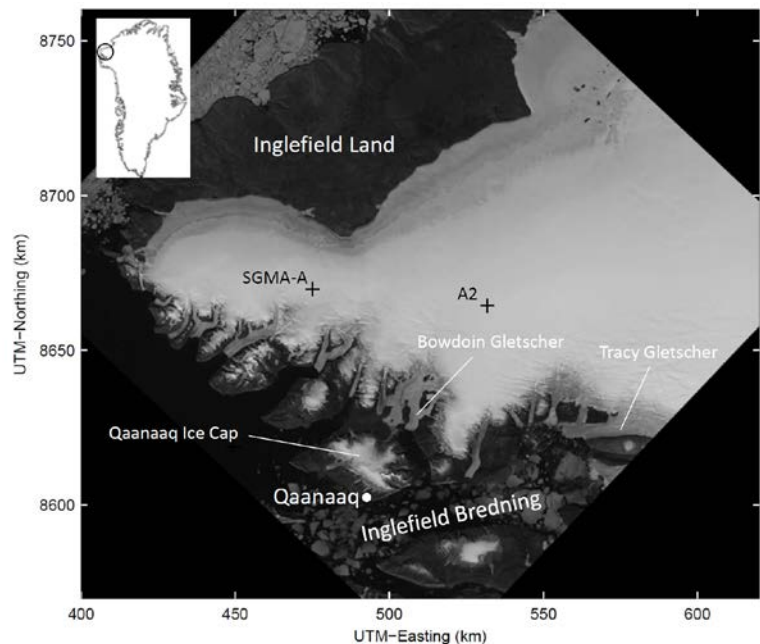


図2 グリーンランド北西部カナック周辺の衛星画像 (1999年7月24日 Landsat 画像)。

### 3. これまでの成果

#### (1) カナック氷帽

カナック氷帽は、グリーンランドから半島状に突き出した陸地を覆う面積 288 km<sup>2</sup>の氷体で、陸上に末端を持つ多数の氷河が溢流する (図 3a). 溢流水河のひとつであるカナック氷河末端から氷帽最高点 (1110 m a.s.l.) にかけて測線を設け、2012 年と 2013 年の夏季に観測を行った<sup>6)</sup> (図 3b).

氷レーダによる測定によると、測線に沿った平均氷厚は 120 m、最高氷厚は 165 m である。氷の流動速度は中流域で約 25 m a<sup>-1</sup>で、この速度が日変化、季節変化を示すことが明らかになった。年間平均気温 (海面高度で約-8℃) は氷が十分に冷たいことを示唆しており、融解水が底面に到達するメカニズム、底面での流動状態の解明が課題となっている。氷帽上 7 か所における融解速度によれば、氷の暗色化に伴うアルベド低下によって消耗域で融解が有意に増加している<sup>6)</sup>。暗色化の原因は雪氷生物の繁殖であることが確認されている。2012 年の 8 月には 1000 m a.s.l. 付近まで上がった雪線が、2013 年の同時期には 700 m a.s.l. 程度に観測され、質量収支の年々変動が激しいことが示された。

以上の観測結果は、グリーンランド沿岸における氷帽の氷損失を定量化し、そのメカニズムを探る上で重要である。質量収支の変動が大きいことが判明し、長期間にわたる継続観測が必要となっている。

#### (2) ボードイン氷河

ボードイン氷河は、カナックの北約 20 km に位置する末端幅幅 3 km のカービング氷河である (図 4)。末端から約 10 km 上流まで流動の速い部分が続いており、ボードインフィヨルドへ約 500 m a<sup>-1</sup> の速度で氷が流出している。2012 年のヘリコプターによる予察に続き、2013 年 7 月には約 3 週間にわたり氷河とフィヨルドの観測を行った。

氷河末端から約 4 km の範囲で氷レーダ観測を行った結果、最大氷厚 350 m の氷はその大部分が海水面より下に位置することが判明した。カービング端では浮力とほぼ釣り合う位置まで氷が海に浸かっており、浮力がカービングや氷流動に重要な影響を与えていることを示唆している。また氷河の流動速度は半日・日周期の変動、降水に反応した加速イベントなどを示し、表面から底面に流入する融解水と降水、潮位の変化に強く影響を受けていることが明らかになった。

氷河前のフィヨルドではソナーによる測深を実施した。その結果、氷河から 1-2 km 離れた海底に高さ約 50 m の起伏が存在することが明らかになった。この氷河は 2008 年以降急速に後退しているが、この後退に氷河前の地形が関与している可能性が高い。氷レーダによって得られた氷河底面地形と合わせて、カービング氷河末端付近の基盤

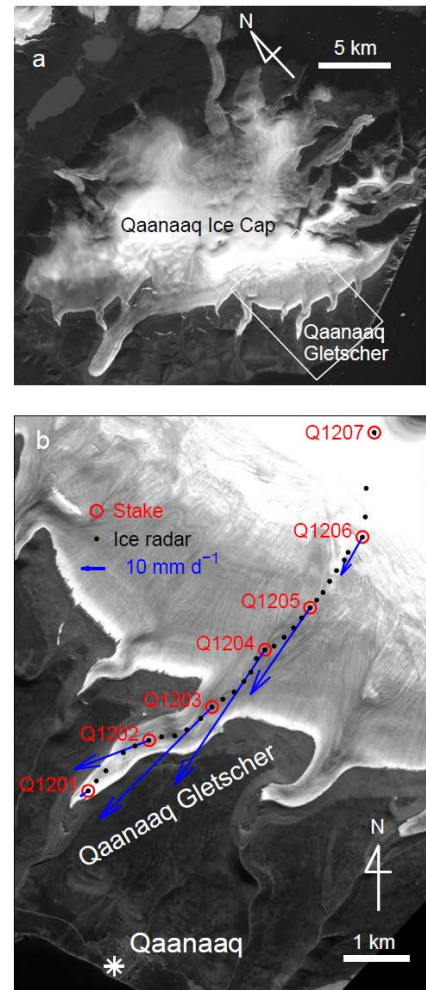


図 3 (a)カナック氷帽の人工衛星画像 (2009 年 8 月 25 日 ALOS PRISM 画像)。白枠は b の範囲。(b)カナック氷河上の観測地点 (○) と表面流動ベクトル、氷レーダ測定地点 (●)。



形状が明らかになった。通常カービング氷河では、クレバスが多い氷河末端部や氷山に埋められたフィヨルドでは、地形の詳細な測定が難しい。ボードイン氷河での詳細な観測結果はユニークなものであり、カービング氷河の変動メカニズムを理解する上で重要なデータになると考えている。

#### 4. まとめと今後の計画

GRENE 北極気候変動研究事業では、グリーンランド北西部カナック周辺の氷床・氷帽・カービング氷河を対象に研究活動を開始した。2012年と2013年に現地観測を実施した他、人工衛星データを使った解析が進行している。カナック氷帽とボードイン氷河で質量収支や流動に関わる多様なデータを取得した他、内陸の涵養量、カービング氷河の末端変動と流動変化などが明らかになりつつある。今後は2014年と2015年に現地観測を予定しており、2016年3月のプロジェクト終了までに、カナック周辺における氷質量減少の定量化とそのメカニズム解明を目指す。

#### 5. 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。現地観測メンバー、GRENE 雪氷課題代表者の榎本浩之氏、科研プロジェクト代表者の青木輝夫氏に謝意を表す。またカナックでの活動に協力頂いた Gohsic-Sakiko Daorana 氏に感謝する。

#### 【引用文献】

- 1) Shepherd, A. *et al.*, 2012: A reconciled estimate of ice-sheet mass balance. *Science*, **338**, 1183–1189.
- 2) Bolch, T. *et al.*, 2013: Mass loss of Greenland's glaciers and ice caps 2003–2008 revealed from ICESat laser altimetry data. *Geophys. Res. Lett.*, **40**, 875–881.
- 3) Forster, R. R. *et al.*, 2013: Extensive liquid meltwater storage in firn within the Greenland ice sheet. *Nat. Geosci.*, **7**, 95–98.
- 4) Khan, S. A. *et al.*, 2010: Spread of ice mass loss into northwest Greenland observed by GRACE and GPS. *Geophys. Res. Lett.*, **37**, L06501.
- 5) 榎原大貴, 杉山慎, 2013: グリーンランド北西部におけるカービング氷河の末端変動と流動変化. 2013年度雪氷研究大会講演予稿集, 北見.
- 6) Sugiyama, S. *et al.*, 2014: Initial field observations on Qaanaaq Ice Cap in northwestern Greenland. *Ann. Glaciol.* **55**(66), 25–33.

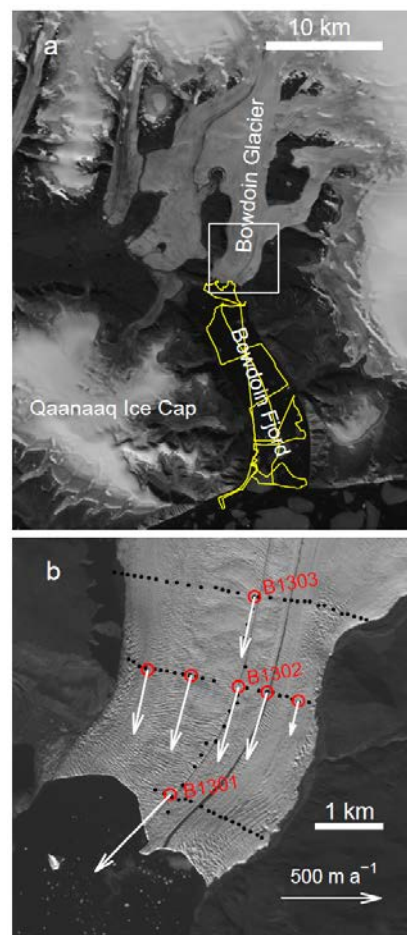


図 4 (a)ボードイン氷河周辺の人工衛星画像 (1999年7月24日 Landsat 画像)。黄線は測深ルート、白枠は b の範囲。(b)ボードイン氷河上の観測点 (○) と表面流動ベクトル、氷レーダ測定地点 (●) (2010年7月25日 ALOS PRISM 画像)。