

グリーンランド氷床北西部の積雪堆積環境の時空間変動

的場澄人¹、門田萌^{1,2}、對馬あかね³、箕輪昌紘^{1,2}、山口悟⁴、津滝俊^{1,3}、澤柿教伸⁵、青木輝夫⁶、杉山慎¹、
本山秀明³、榎本浩之³

¹北海道大学低温科学研究所、²北海道大学環境科学院、³国立極地研究所

⁴防災科学技術研究所雪氷防災研究センター、⁵法政大学、⁶気象研究所、⁷総合研究大学院大学

Spatiotemporal variations of snow accumulation condition in the northwestern Greenland Ice Sheet

Sumito Matoba¹, Moe Kadota^{1,2}, Akane Tsushima³, Masahiro Minowa^{1,2}, Satoru Yamaguchi⁴, Shun Tsutaki^{1,3},
Takanobu Sawagaki⁵, Teruo Aoki⁶, Shin Sugiyama¹, Hideaki Motoyama^{3,7}, and Hiroyuki Enomoto^{3,7}

¹Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University,

²Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University, ³National Institute of Polar Research

⁴Snow and Ice Research Center, National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, ⁵Hosei University,

⁶Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency, ⁷SOKENDAI (Graduate University for Advanced Studies)

We conducted glaciological observations in the northwestern Greenland Ice Sheet to elucidate spatiotemporal variations of snow accumulation conditions under the projects of GRENE-Arctic and SIGMA (snow impurity and glacial microbe effects on abrupt warming in the Arctic) since 2011. Annual mass balance at 1500 m of elevation site (SIGMA-A) decreased since 2000 suggesting the run off of melt water have occurred since 2000 below 1500 m elevation. Annual mass balance at upstream area of Heilprin glacier (SIGMA-D) has not varied since 1660s. We also measured flow velocity around SIGMA-D site and installed an automated weather station at the SIMGA-D site.

1. はじめに

近年、グリーンランド氷床の質量が減少し、その減少量が加速的に増加していることが報告されている。数値モデル研究や衛星観測研究は、現在の質量の減少は表面融解量の増加と氷山分離量の増加が主な原因だとしている。グリーンランド北西部は、グリーンランド中部および南部に比べて氷床の減少が著しくなく、今後、減少量が増加することが予想されるが、北西部は他の地域に比べて観測データが少ない。この地域の少々質量収支の現状を理解するために、日本が主導する二つの大型研究が行われた。GRENE 北極気候変動研究事業の基で実施されたグリーンランド観測はカービング氷河のダイナミクスと独立氷帽の質量収支の理解に、SIGMA (積雪汚染及び雪氷微生物が北極域の環境変動に及ぼす影響) プロジェクトは、積雪粒径の増大化と雪氷汚染による氷床表面アルベドの変化と氷床融解過程の理解に、それぞれ重点を置いた (Sugiyama et al., 2014, 2015; Aoki et al., 2014; Yamaguchi et al., 2014)。本研究の目的は、二つのプロジェクトの基でグリーンランド氷床北西部の涵養域において雪氷・気象観測を実施し、積雪環境の時空間変動を示すことである。

2. 研究対象地域と観測内容

図1に観測場所を示す。SIGMA-A (78.052°N, 67.628°W, h=1490m a.s.l.) では2012-14年に積雪の観測を行った。2012年に19mの雪氷コアを採取した。SIGMA-A2 (78.10°N, 64.08°W, h=1800m a.s.l.) では、2013年に観測を行い、6.5mの雪氷コアを採取した。これらの雪氷コアは現地为数センチメートル毎に切断して融解させ、日本に持ち帰って化学分析を行った。SIGMA-D (77.636°N, 59.120°W, h=2100m a.s.l.) では2014年に観測を行い、浅層メカニカルドリルで222.5mのアイスコアを採取した。アイスコアは現地の一部を数センチメートル毎に切断して融解させ、残りは冷凍で日本に持ち帰ってから処理を行い、化学分析を行った。SIGMA-A、SIGMA-A2は氷床の尾根上に位置し、SIGMA-Dはこの地域最大のカービング氷河の一つであるHeilprin氷河の上流部の谷に位置している。

3. 年間涵養量と融解量の空間分布

すべての雪氷コア中の水同位体比は明瞭な季節変動を示した。この季節変動から年層を同定し、冬に相当する負のピーク間の距離から年間の涵養量を求めた。また、SIGMA-Dアイスコアは1963年のトリチウムピークを示準層として年層を確認した。図2に各サイトの雪氷コアから復元された年間質量収支の時間変化を示す。SIGMA-Aのみ2000年以降、年間質量収支が減少している傾向が示された。SIGMA-Aでは、20m雪温は-20度であり夏期の融解水が再凍結するためにも十分低い温度であるが、2011年、2012年の夏期にはその年の冬季に堆積した積雪の温度が0度まで上昇し、ザラメ雪化したことが観測された。つまり、2000年以降、標高が1500mより低い地点では、融解水の流出によって質量収支が減少した可能性が考えられる。

4. 年間質量収支の長期変動と現在の気象状況モニタリング

SIGMA-D 雪氷コア 222.5m 中、現時点で 112m まで解析が終了している。112m で 1660 年に相当した。1660 年から現在までの平均年間質量収支は $0.25\text{m w.eq. yr}^{-1}$ で、小氷期中期から現在にかけて大きな変動を示さなかった。つまり涵養域から Heilprin 氷河への氷体の供給量は小氷期から現在にかけて一定であるということが示された。

図 3 に、GPS で測定した SIGMA-D 掘削地点周辺の流動場を示す。掘削地点は下流に向かって、 2.43m yr^{-1} の速度で流動している。氷厚を一定と仮定し流動速度から推定した SIGMA-D アイスコアの深度と年代の関係は、アイスコアの水同位体比から同定した年代とほぼ一致したことから、掘削地点の流動場も小氷期から現在にかけて大きく変化していないことが予想される。

SIGMA-D 地点には、自動気象観測装置を設置し、気温、風向風速、湿度、放射収支、雪温、積雪深を測定している。測定データは、ADS (Arctic Data System) にて公開している。

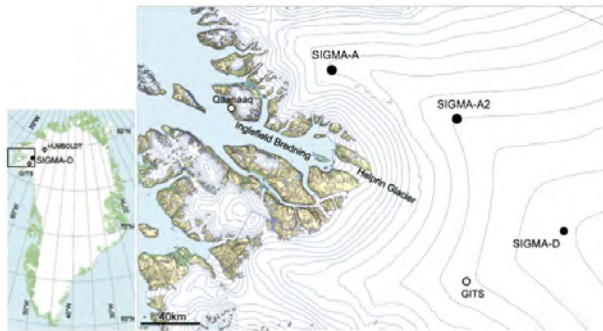


Figure 1. Location of observation sites

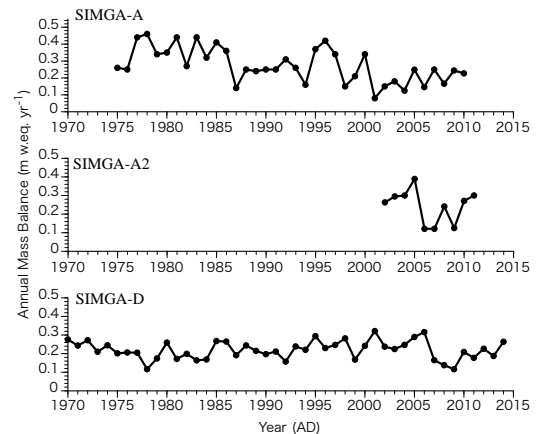


Figure 2. Variations of annual mass balance at SIGMA-A, SIGMA-A2 and SIGMA-D sites reconstructed with seasonal variations of water isotopes.

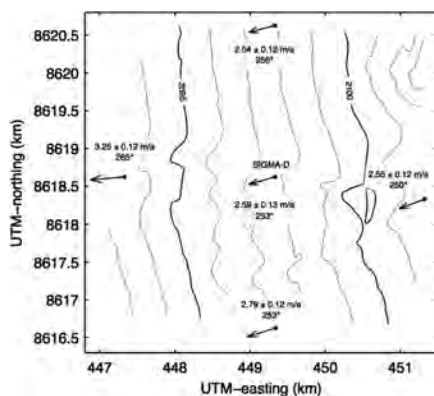


Figure 3. Surface elevation measured by this study at contour intervals of 1 m, and locations of the flow velocity measurements (solid circles) and horizontal velocity vectors (arrows). Coordinates are in UTM zone 20N (km).

謝辞

観測に協力いただいた GRENE 北極観測事業グリーンランドサブ課題および SIGMA プロジェクトの現地観測メンバーに感謝いたします。本研究は、GRENE 北極観測研究事業、JSPS 科研費基盤研究(S)23221004、基盤研究(C)26400460、北海道大学低温科学研究所共同研究の助成を受けて行われた。

References

- Aoki, T., S. Matoba, J. Uetake, N. Takeuchi and H. Motoyama, Field activities of the “Snow Impurity and Glacial Microbe effects on abrupt warming in the Arctic (SIGMA) Project in Greenland in 2011-2013. *Bullet. Glaciol. Res.*, 32, 3-20, doi: 10.5331/bgr.32.3, 2014.
- Matoba, S., H. Motoyama, K. Fujita, T. Yamasaki, M. Minowa, Y. Onuma, Y. Komuro, T. Aoki, S. Yamaguchi, S. Sugiyama and H. Enomoto, Glaciological and meteorological observations at the SIGMA-D site, northwestern Greenland Ice Sheet, *Bullet. Glaciol. Res.*, 33, 7-14, doi: 10.5331/bgr.33.7, 2015.
- Sugiyama, S., D. Sakakibara, D. Matsuno, S. Yamaguchi, S. Matoba and T. Aoki, Initial field observations on Qaanaaq Ice Cap in the northwestern Greenland, *Ann. Glaciol.*, 55, 25-33, doi: 10.3189/2014AoG66A102, 2014.
- Sugiyama, S., D. Sakakibara, S. Tsutaki, M. Maruyama and T. Sawagaki, Glacier dynamics near the calving front of Bowdoin Glacier, northwestern Greenland, *J. Glaciol.*, 61, 223-232, doi: 10.3189/2015JoG14J127, 2015.
- Yamaguchi, S., S. Matoba, T. Yamasaki, T. Tsushima, M. Niwano, T. Tanikawa and T. Aoki, Glaciological observations in 2012 and 2013 at SIGMA-A site, Northwest Greenland, *Bullet. Glaciol. Res.*, 32, 95-105, doi: 10.5331/bgr.32.95, 2014.