

2016/17 年グリーンランド北西部カナック氷帽上 における年間ダストフラックスの空間分布 The spatial distribution of annual dust flux on glacier surface at Qaanaaq ice cap, northwestern Greenland in 2016/17

羽月 稜 (北海道大学大学院環境科学院)

黒崎 豊 (北海道大学大学院環境科学院)

的場 澄人 (北海道大学低温科学研究所)

杉山 慎 (北海道大学低温科学研究所)

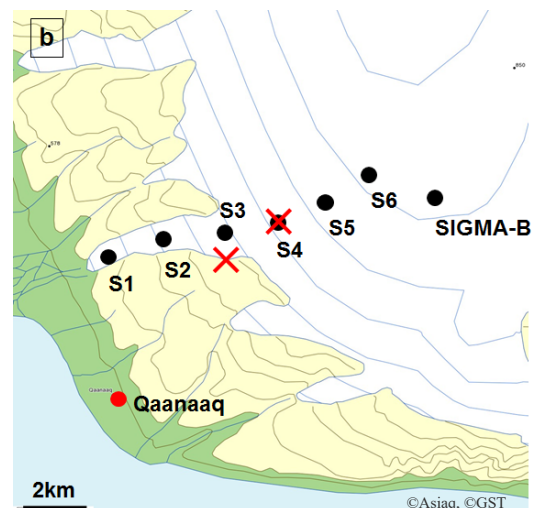
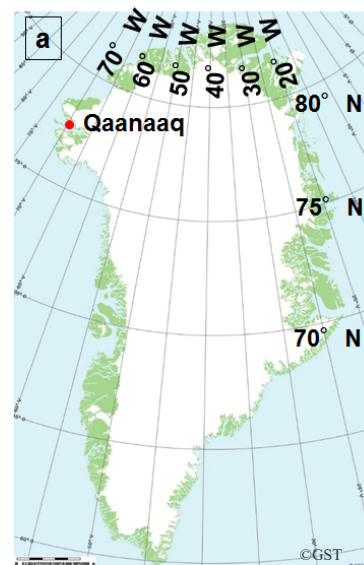
Ryo Hazuki, Yutaka Kurosaki, Sumito Matoba and Shin Sugiyama

1. はじめに

近年グリーンランド氷床の質量が急速に損失していることが報告されている¹⁾。地球温暖化に伴う気温の上昇による夏季の氷床表面の融解量増加や、カービングによる冰山分離量の増加がその大きな要因であるとされているが、それ以外にもいくつかのプロセスが指摘されている。グリーンランド氷床の消耗域での雪氷面暗色化に伴うアルベドの低下による表面融解量の増加もその1つである²⁾。特にグリーンランド氷床の中南部の消耗域で雪氷表面の暗色化が見られ、その範囲は拡大している。暗色化の主な原因は氷河上の汚れ物質である。氷床・氷河上に存在する汚れ物質の量は、大気からの降下物、氷床・氷河表面の消耗による氷体に含まれている不純物の氷河表面への露出、氷河表面を流れる融解水による流出などのプロセスによる収支で変化することが考えられる。グリーンランド北西部のカナック氷河において行われた表面質量収支の観測によって、氷河中流部は暗色化によって気温に対する融解量が大きいことが示された³⁾。本研究では、カナック氷河において融雪期直前の標高別の積雪特性と積雪中および氷体中の不純物量を調べ、氷河表面の汚れ物質量の増減に対する寄与を明らかにすることを目的とした。

2. 観測サイト

カナック氷帽 (77°28'N, 69°14'W) はグリーンランド北西部のカナック村から北に約3kmの地点に位置し、標高15~1135mにかけて312km²の面積を覆っている氷帽である (図1)。主な観測は、カナック氷帽南部から南西方向溢流する Qaanaaq 氷河において、2012年に氷河の流線に沿って設置された消耗域の6つのステーク (Q1601~Q1606, 243m~968m a.s.l) 近傍と標高944mに位置する SIGMA-B サイトで行った³⁾ (図1)。



× Observation point of air dust

図1 (a) グリーンランドと観測サイト (b) カナック氷河における観測地域。×印には大気降下ダスト観測用のバケツを設置。

3. 観測手法

各ステーク近傍において積雪断面観測を行い、層位、密度、雪温の鉛直分布を調べた。また積雪とその下の氷体から化学分析用のサンプルを採取した。層位は目視、ルーペによる雪粒子の観察、指で触った硬度によって判別を行った。密度は高さ 3cm 体積 100cm³ の密度サンプラーを用いて試料を採取したのち、電子天秤で質量を測定して算出した。雪温は白金測温抵抗体 (Pt100) を用いて測定した。積雪と氷体のサンプルは全て清浄なポリエチレン袋 (WHIRL-PACK) に採取し、室温で融解したのち、清浄なポリプロピレン製容器 (アイボーイ) に移して保管した。

大気降水物は、超純水を入れたバケツをステーク 4 近傍の氷河上及びステーク 3 近傍の氷河脇のモレーン上の高さ約 1.5m に、2017 年 6 月 9 日から 7 月 4 日までの 26 日間設置し、バケツ内に沈着した物質をバケツに残った超純水とともに採取した (図 1)。サンプルに含まれる不溶性粒子 (ダスト) の粒径分布および粒子の濃度をコールターカウンター

(BECKMAN COULTER 社製: Multisizer3) を用いて測定した。測定した粒径の範囲は 2 から 60 μ m であった。粒子濃度は各サンプル 3 回の測定値の平均値から求めた。3 回の測定は、ダストの沈殿による粒子濃度の変化を防ぐために各分析前に毎回軽く攪拌した。

4. 結果

4. 1. 積雪断面観測

図 2 にステーク 4 の積雪断面観測の結果を示す。雪温が表面から 0.4m まで 0°C であり 0.4m 以深で 0°C 以下を示したことから、観測時期は、積雪表面の融解は始まっているものの融解水の流出がまだ生じておらず、融雪期の直前であることが分かった。

4. 2. 氷河氷体および積雪中のダスト濃度の空間分布

図 3 に積雪中と (図 3a) 氷体中 (図 3b) のダストの体積濃度の空間分布を示す。全てのサイトにおいて氷体中の

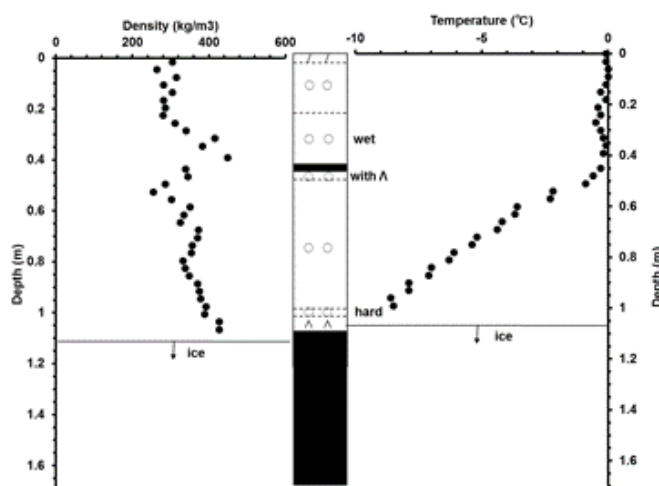


図 2 ステーク 4 の積雪深と層構造、密度、雪温の関係。

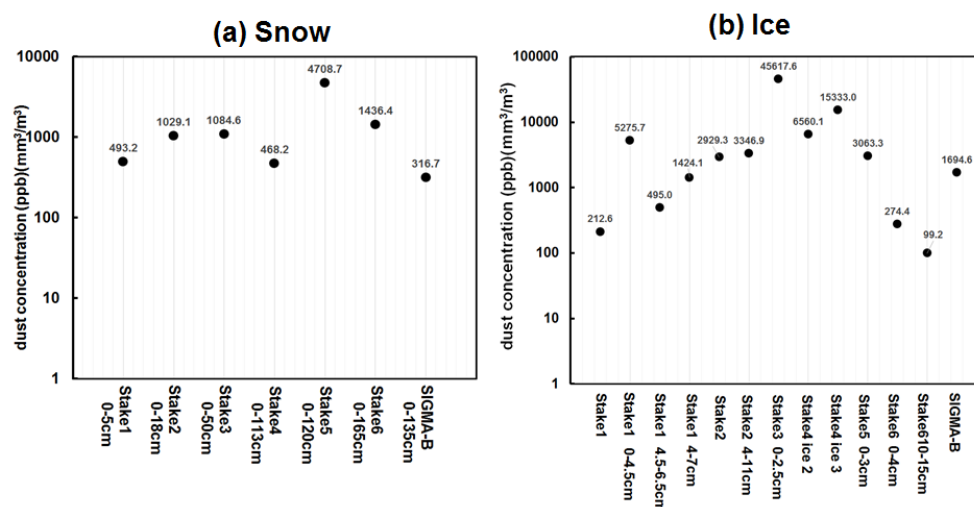


図 3 各ステークにおける (a) 積雪中 (b) 氷体中のダスト濃度。

ダスト濃度は積雪中のダスト濃度より高かった．氷体中のダスト濃度は同一サイト内でも値にバラつきがあった．また積雪中のダスト濃度はステーク 5 で，氷体中はステーク 3 と 4 で特に値が大きかった．

4. 3. 氷河表面に付加されるダストの年間フラックスの空間分布

図 3 にサイト毎の合計氷河表面に付加される大気降下物由来のダストと氷河の消耗によって露出するダストの年間フラックスを示す．それぞれのダストフラックスは以下の計算式で求めた．

$$D_{air} = C_{snow} \cdot H \cdot T_{snow}$$

$$D_{air} = C_{bucket} \cdot V_{bucket} \cdot S_{bucket} \cdot T_{bucket}$$

$$D_{ice} = C_{ice} \cdot A_{ice}$$

ここで D_{air} は大気降下物の年間フラックス ($\text{mm}^3 \text{m}^{-2} \text{yr}^{-1}$)， C_{snow} は積雪中のダスト濃度 ($\text{mm}^3 \text{m}^{-3}$)， H は積雪の水当量深度 (m)， T_{snow} は SIGMA-B サイトに設置された AWS で推定した積雪期間

(yr)， C_{bucket} と V_{bucket} は最終的にバケツに残った水溶液中のダスト濃度 ($\text{mm}^3 \text{m}^{-3}$) と水溶液の量 (m^3)， S はバケツの開口部の面積 (m^2)， T_{bucket} はバケツを設置した期間 (yr)， D_{ice} は氷河の表面融解によって氷体中から露出するダストの年間フラックス ($\text{mm}^3 \text{m}^{-2} \text{yr}^{-1}$)， C_{ice} は氷体中のダスト濃度 ($\text{mm}^3 \text{m}^{-3}$)， A_{ice} は氷河表面の年間消耗量 (m yr^{-1}) とする．

T_{snow} は，AWS から 2016/17 シーズンの降雪開始日を 8 月 12 日とし，その日から観測

日までを観測期間とした．また大気降下物サンプルの観測期間は実際にバケツを設置していた 26 日間を観測期間とした．つまりこの約 1 ヶ月の平均値が年平均値であると仮定して年間フラックスに換算していることになる．

ステーク 4 以下では，氷体由来のダストの寄与が大きいことが分かった．特にステーク 3 と 4 では氷体由来のダストの寄与が一桁大きい．一方，ステーク 5 と 6 では積雪由来のダストの寄与の割合が大きかった．ステーク 1 から 4 の氷体試料はトリチウム濃度がほぼ検出されず，近年の降水を含まない，つまり氷河の氷体の氷を採取していることが確認されたが，ステーク 5 と 6 ではトリチウムが検出され，前年の氷河表面を含む上積み氷を採取している可能性がある．

5. 考察

ここでは，ステーク 3 と 4 において氷体由来のダストフラックスが多かった理由について考える．図 2 と図 3 より，ステーク 3，4 はステーク 1，2 に比べて氷河表面の年間融解量が少ないにも関わらず年間ダストフラックスは大きく，氷体中のダスト濃度が高いことが分かった．また氷河の流動により，氷河の表面では標高によって表面に露出する氷の年代が異なる (図 5)．ステーク 3 と 4 付近の氷体中のダスト濃度が高いのは，現在はこの部分だけ，汚

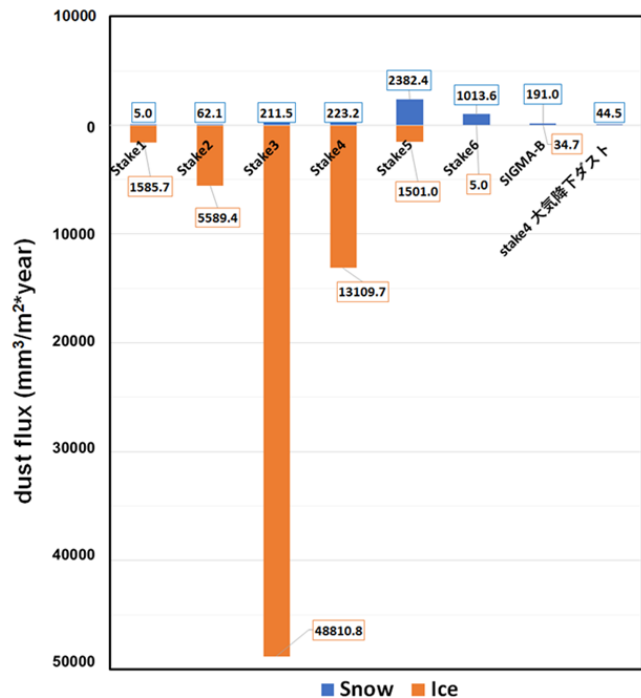


図 4 サイトごとに見積もられた年間ダストフラックス．グラフ上側に積雪中また大気降下物由来，下側に氷体由来のダストを示す．

れ物質を多く含む年代の氷が出てきているのだと推定される(図6)。つまりステーキ5や6付近では既に汚れ物質を多く含む年代の氷は露出したあとであり、ステーキ1や2ではその年代の氷はまだ露出していないと考えられる。これが正しいければ、今後暗色化が目立つエリアがより下流域へシフトしていく可能性がある。これを確かめるための方法として、カナック氷帽でアイスコア掘削、ある年代にダストが多く蓄積したと仮定したモデルを使つての検証、Na/Ca 比や安定水同位体比の分析によりダストや氷体の年代の推定などが考えられる。

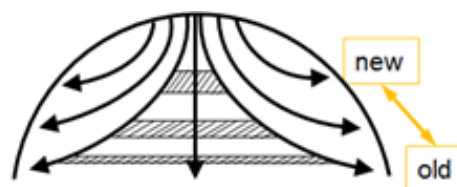


図5 氷床内部の流動の模式図。矢印は氷床の流動を示す。

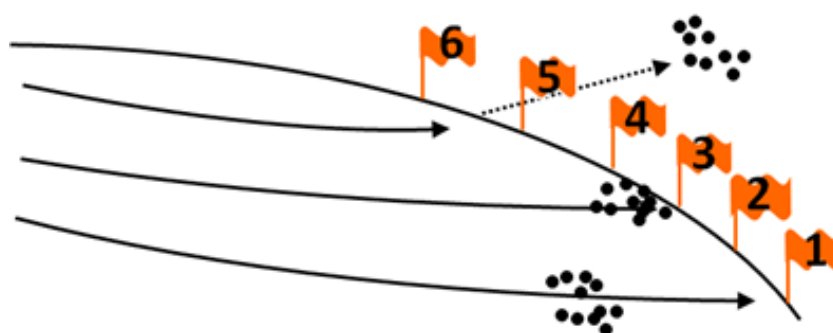


図6 ステーキ3, 4付近で現在高濃度のダスト層が析出している事を示す模式図。矢印は氷床の流動を示す。

6. 謝辞

本研究は SIGMA-II プロジェクト (JSPS 科研費 16H01772) および ArCS 北極域研究推進プロジェクトのもとで実施した。

【参考・引用文献】

- 1) Rignot, E., I. Velicogna, M. R. Van den Broeke, A. Monaghan, and J. Lenaerts., 2011: Acceleration of the contribution of the Greenland and Antarctic ice sheets to sea level rise. *Geophys. Res. Lett.*, **38**(5), L05503.
- 2) Wientjes, I. G. M. and J. Oerlemans, 2010: An explanation for the dark region in the western melt zone of the Greenland ice sheet, *The Cryosphere*, **4**(3), 261–268.
- 3) Sugiyama, S. *et al.* 2014: Initial field observations on Qaanaaq ice cap, northwestern Greenland, *Ann. Glaciol.*, **55**(66), 25–33.
- 4) Tsutaki, S. *et al.* 2017: Surface mass balance, ice velocity and near-surface ice temperature on Qaanaaq Ice Cap, northwestern Greenland, from 2012 to 2016. *Ann. Glaciol.*, **58**(75), 181–192.