

グリーンランドから地球温暖化をみる

○青木輝夫、朽木勝幸、庭野匡思(物理気象研究部)、橋本明弘(予報研究部)、
田中泰宙(環境・応用気象研究部)、保坂征宏(気候研究部)

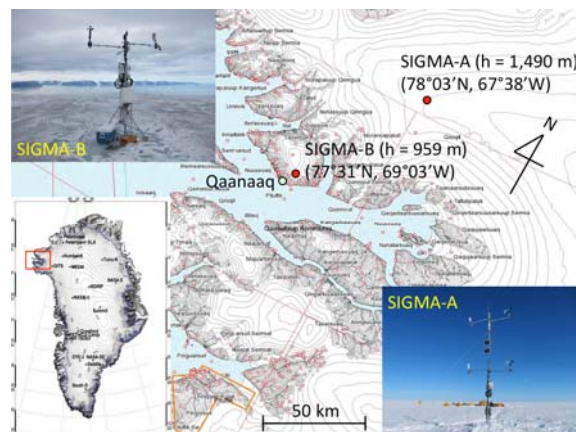
1. はじめに

近年、北極域の温暖化が急激に進行し、グリーンランドでは1990年代後半から氷床質量の減少率が年々加速している⁽¹⁾。この原因として氷床表面での融解が降雪による涵養を上回ることで、氷床から海へ流出する氷河への流出量の増加が考えられる。このうち、特に前者の寄与が増加していると報告されている⁽²⁾。基本的な原因は気温の上昇であるが、不確定要素として黒色炭素等の光吸収性エアロゾルによる積雪汚染や雪氷微生物の繁殖がもたらす雪氷面アルベド(太陽光反射率)低下が挙げられる。これら積雪汚染や雪氷微生物がアルベド低下を通じた雪氷の融解にどの程度寄与しているか現地観測で明らかにするため、2012年6-8月に北西グリーンランドの氷床・氷帽上において自動気象観測装置(AWS)の設置、雪氷、放射、衛星検証、雪氷微生物等の集中観測を実施した。この現地観測と衛星観測による実態把握をもとに、雪氷物理プロセスモデル⁽³⁻⁴⁾を開発し、それを気候モデルに組み込んで、積雪汚染や雪氷微生物がどこでどの程度雪氷融解に寄与しているかを明らかにすることが、本研究の目的である。

2. 観測場所と項目

第1図にグリーンランド北西部の集中観測実施地域と2機のAWSの設置地点を示す。始めにQaanaaqから北北東約70kmの氷床上涵養域の標高1,490m地点(SIGMA-A)にヘリコプターで人員と物資を輸送し、2012年6月26日-7月16日の期間、キャンプをしながら集中観測を実施した。観測項目はAWSによる気象観測のほか、分光放射観測、積雪断面観測、全天カメラ観測、積雪サンプリング(微粒子及び化学成分用)、ハンドオーガ(到達深度19m)による雪氷サンプリング、

雪尺観測等である。その後、7月19日にQaanaaq氷帽上(裸氷)の標高959m地点(SIGMA-B)にAWSを設置し、周囲の氷河上で分光放射観測、雪氷微生物観測等を実施した。

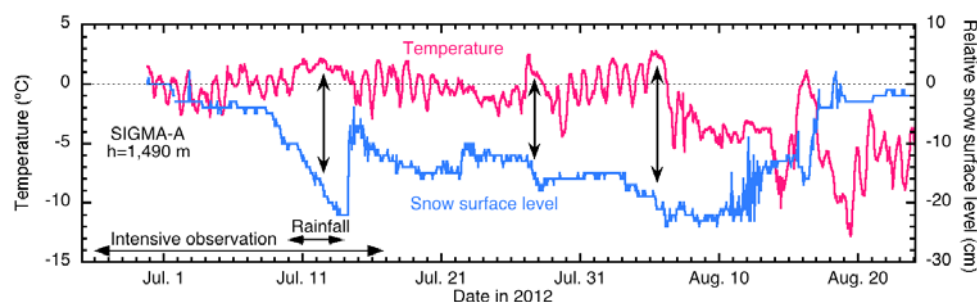


第1図:グリーンランド北西部の集中観測実施地域と自動気象観測装置設置地点

3. 観測結果と考察

3. 1. 気象要素と雪面高度

SIGMA-Aにおける集中観測期間から8月下旬までの気温と雪面変化を第2図に示す。8月初めまでは気温が0°C前後で推移し、その中でプラスの気温が継続した期間(縦矢印)に顕著な雪面低下が観測された。特に、7月10-13日は断続的な降雨があり、12cmの雪面低下が観測された。この降雨期間中、グリーンランド氷床表面の97%が融解したと報告されている。この期間の気象条件を気象庁非静力学モデルで再現したところ、グリーンランド西海岸に沿って低気圧が北上し、グリーンランド氷床上に気温の上昇をもたらすと共に、西側氷床の広域で降雨のあった可能性を示唆する結果が得られた。SIGMA-Aでは8月上旬から気温が低下し、中旬には約

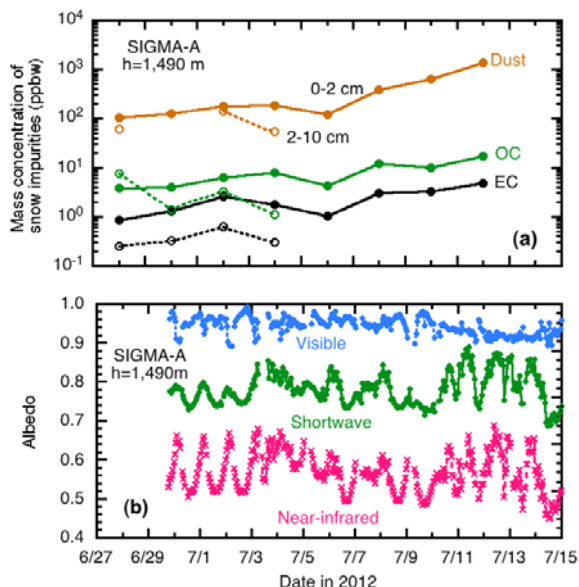


第2図:集中観測期間を含む2012年夏期のSIGMA-Aにおける気温とAWS設置時からの相対的な雪面の高さの変化。7月14日の急激な雪面上昇は人工的な盛り雪によるもの。縦矢印は気温上昇と顕著な雪面低下の関係を示す。

20cmの雪面上昇(降雪)が観測された。それ以降、2013年1月現在まで雪面の大幅な低下は観測されず、雪面の高さは第2図のスケールで38cm(2013年1月1日)である。

3. 2. 積雪不純物とアルベド

積雪アルベドは積雪粒径と不純物濃度に大きく依存しているため、これらの要素を同時に測定する必要がある。第3図はSIGMA-Aで観測された3種類の積雪不純物濃度とアルベド変化を示す。積雪不純物はどの成分も後半ほど高濃度である。同時に測定されたエアロゾルの光学的厚さ(波長0.5 μ m)は0.03-0.05と小さいことから、この原因として積雪表面における濃縮過程が考えられる。ここで観測された元素状炭素(EC)濃度はグリーンランド各地での先行研究の測定濃度範囲内であった(ここでは、EC濃度=黒色炭素(BC)濃度と仮定)。放射伝達モデルによってBC濃度とアルベド低下量の関係を計算すると、SIGMA-AにおけるEC濃度測定値の範囲ではアルベド低下量は無視できる程度であるが、最終日のダスト濃度を加えると0.02程度の短波長アルベド低下量が見積もられる。第3図(b)に示された短波長アルベドは7月11日以降増加しているが、これは曇天によって下向き放射フラックスの波長分布が短波長側にシフトするため、不純物効果が分からない。一方、不純物の影響を強く受ける可視域のアルベドは7月10日以降低下している。一方、ダストの粒径を調べたところ、長距離輸送されにくい直径5 μ m以上の大粒子が確認された。

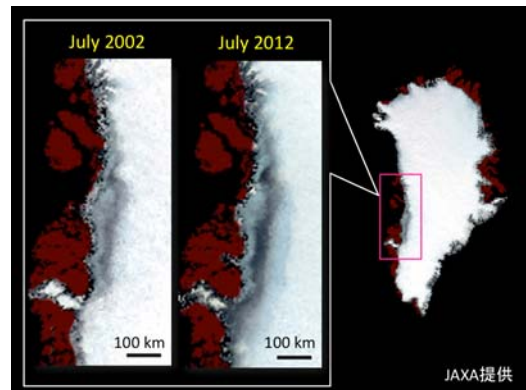


第3図: 集中期間中にSIGMA-Aで観測された(a)積雪不純物濃度と(b)アルベドの変化。積雪不純物の種類はダスト、有機炭素(OC)、元素状炭素(EC)で、実線は積雪層0-2cm、破線は2-10cmの各濃度、アルベドの波長域は可視域(青)、短波域(緑)、近赤外域(赤)の3バンド。

3. まとめ

2012年夏期における北西グリーンランド氷床上では、降雨と大幅な雪面低下、複数回の気温上昇とそれによる雪面低下が観測された。数値シミュレーションによると降雨はグリーンランド氷床西側の広範囲でもたらされたことが示唆された。

比較的沿岸に近いSIGMA-Aでは高濃度のダスト粒子が積雪表面から見つかった。このダスト粒径は氷床近傍から輸送されたものと考えられるため、消耗域における雪氷微生物の栄養塩として安定供給されている可能性がある。第4図はグリーンランド中西部消耗域の2002年7月と2012年7月のMODIS衛星画像である。この10年間に消耗域が内陸側に大幅に拡大し、その中の雪氷微生物で覆われた暗色域の濃さが増している。温暖化に伴い消耗域が拡大すると、雪氷微生物の繁殖領域の拡大と濃度増加が起こり、これに伴うアルベド低下が更に雪氷の融解を加速させる可能性がある。



第4図: MODIS衛星で観測されたグリーンランド中西部消耗域の2002年7月と2012年7月の比較(JAXA提供)

参考文献

- (1) Shepherd, A., et al. 2012: Science, 338, 1183, doi:10.1126/science.1228102.
- (2) van den Broeke, M., et al., 2009: Science, 326, 984, doi: 10.1126/science.1178176.
- (3) Aoki, Te., et al., 2011: J. Geophys. Res., 116, D11114, doi:10.1029/2010JD015507.
- (4) Niwano, M., et al., 2012: J. Geophys. Res., 117, F03008, doi:10.1029/2011JF002239.

※本研究は科学研究費補助金(基盤研究(S):23221004)「北極域における積雪汚染及び雪氷微生物が急激な温暖化に及ぼす影響評価に関する研究(SIGMA)(H23-27年度)」、研究代表者:青木輝夫(物理気象研究部)、研究分担者:田中泰宙(環境・応用気象研究部)、的場澄人(北海道大学)、山口悟(防災科学技術研究所)ほか、連携研究者:朽木勝幸、庭野匡臣(物理気象研究部)、橋本明弘(予報研究部)、保坂征宏(気候研究部)、谷川朋範(JAXA)ほか、研究協力者:山崎哲秀(犬橿北極探検家)ほか、として行われた。