

# 2014年グリーンランド北西部カナック氷帽の積雪における雪氷藻類繁殖の物理的要因の推定および繁殖による表面反射率への影響評価

大沼友貴彦<sup>1</sup>、竹内望<sup>1</sup>、田中聡太<sup>1</sup>、永塚尚子<sup>2</sup>、朽木勝幸<sup>3</sup>、庭野匡<sup>3</sup>、青木輝夫<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 千葉大学大学院理学研究科

<sup>2</sup> 国立極地研究所

<sup>3</sup> 気象研究所

## The physical factors causing the initiation and increase of snow algal growth and estimation of effect of snow algae on the reflectance of the snow surface on Qaanaaq Ice Cap in northwest, Greenland

Yukihiko Onuma<sup>1</sup>, Nozomu Takeuchi<sup>1</sup>, Sota Tanaka<sup>1</sup>, Naoko Nagatsuka<sup>2</sup>, Katsuyuki Kuchiki<sup>3</sup>, Masashi Niwano<sup>3</sup>, and Teruo Aoki<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Science, Chiba University

<sup>2</sup>National Institute of Polar Research

<sup>3</sup>Meteorological Research Institute

Snow algae are photosynthetic microorganisms that adapt to cold environment, and they grow on snow and ice. Growth of snow algae change color of snow surface and reduce its albedo (reflectance). Albedo reduction can promote melting of snow and ice since the absorption of solar radiation increases. It is important to estimate and model the melting of snow and ice in order to project future change of global cryosphere. Therefore, the physical model of snow and ice albedo should be developed to include effect of snow algae.

In this study, we aim to determine the factors of initiation and growth of snow algae on snowpack based on field study on Qaanaaq ice cap in the northwest Greenland. We also evaluate the effect of snow algae on surface albedo. The field study was carried out from June to August of 2014. We did snowpit observations and collected the snow from the pit and surfaces, and measured the reflectance of snow surface at two locations (*Site-A* 550m, *Site-B* 950m a.s.l) in every week. In a laboratory, we counted cells of snow algae with a microscope and measured concentration of chlorophyll-a (*Chl-a*  $\mu\text{g m}^{-2}$ ) using a fluorescence meter in snow samples to observe vertical distribution of snow algae in the pits, and temporal change of snow algal growth on the snow surfaces. The reflectances of snow surface were measured with a portable spectrometer. These data of cell count and *Chl-a* were compared with other physical properties of snowpit and meteorological conditions in order to determine the factors driving the snow algal growth. In addition, the effect of snow algae on reflectance of snow surface was estimated by the relationship between cell count and *Chl-a* of snow algae and reflectance on snow surface.

Results showed that the concentration of *Chl-a* gradually increased both at two study sites, but the timing of increase was different. *Chl-a* increased drastically in the middle July at *Site-A*, while, *Chl-a* increased in the early August at *Site-B*. *Chl-a* at both sites increased almost 20 times in a week. The red snow appeared in July 20 (at *Site-A*) and in August 3 (at *Site-B*). The reason of the different timing of *Chl-a* increase at the two study sites is probably due to elevation.

The spectral reflectance of snow surface significantly changed when red snow appeared. In the *Site-A*, the reflectance was reduced in the mean of 15-20% in the wavelength regions between 350 and 550 nm after red snow phenomenon appeared, while, the reflectance was reduced in the mean of 10% in the wavelength region in the *Site-B*. Red snow algae have pigments of *Chl-a* and astaxanthin, which have a specific absorption at the wavelength near 450 nm for *Chl-a* and near 480 nm for astaxanthin. When the *Chl-a* increased from 0 to 26 [ $\mu\text{g m}^{-2}$ ] at *Site-A* from July 14 to July 20, the snow surface reflectance of wavelength region of 350-550 nm decreased in 0.6-0.8 [% per  $\mu\text{g m}^{-2}$ ] per *Chl-a* 1 [ $\mu\text{g m}^{-2}$ ]. Similarly, when *Chl-a* increased from 0 to 21 [ $\mu\text{g m}^{-2}$ ] from July 28 to August 3 in *Site-B*, the reflectance of 350-550 nm decreased in 0.5 [% per  $\mu\text{g m}^{-2}$ ] per *Chl-a* 1 [ $\mu\text{g m}^{-2}$ ]. These results indicate that the reflectance of 350-550 nm decreased at least 0.5 [% per  $\mu\text{g m}^{-2}$ ] by growth of snow algae (less than *Chl-a* concentration 30 [ $\mu\text{g m}^{-2}$ ]).

雪氷藻類とは、積雪や氷河上に繁殖する寒冷環境に適応した光合成微生物である。雪氷藻類の繁殖は雪氷表面の色を変化させ、アルベド（反射率）を低下させる。雪氷表面のアルベドが低下すると太陽光の吸収量が増加し、雪氷の融解が促進され、気温や海面の上昇といった地球環境への影響が考えられる。現在と将来の地球環境をより正確に評価するためには雪氷の融解を再現、予測する必要があるが、従来の雪氷アルベド物理モデルでは雪氷藻類による影響を考慮していないために正確に再現、予測することができない。従って、雪氷藻類の繁殖を含め

たアルベド物理モデルを開発することで雪氷の融解をより正確に再現、予測できると考えられる。しかしながら、雪氷藻類を考慮したアルベド物理モデルの開発には、雪氷藻類の繁殖の条件を明らかにし、雪氷藻類が雪面のアルベドに与える影響を定量的に明らかにする必要がある。

そこで本研究は、グリーンランド北西部にあるカナック氷帽上の積雪において雪氷藻類の繁殖開始時期と繁殖量を決定する要因を明らかにすること、雪氷藻類の繁殖による雪面反射率への影響を評価することを目的とした。本研究では、2014年6月から8月にかけてグリーンランド北西部のカナック氷帽 (N 77°, E 69°) の積雪で観測を行った。カナック氷帽では2つの異なる高度の積雪 (Site-A 550m, Site-B 950m a.s.l) において1週間間隔で積雪断面観測、雪サンプルの採取、表面反射率の測定を行った。採取した雪サンプルから、顕微鏡による細胞数カウント、雪氷藻類の葉緑素であるクロロフィル a (*Chl-a*) の蛍光分析を行い、雪氷藻類の時間変化と積雪断面での深度変化の定量的な評価を行った。積雪表面の反射率は、携帯型分光放射計を用いて測定した。雪氷藻類の繁殖に影響を与える要因を明らかにするために、藻類細胞数および *Chl-a* 濃度と観測した積雪物理データ、気象データとの比較を行った。そして、雪面の藻類細胞数、*Chl-a* 濃度と反射率の関係から雪氷藻類の繁殖が雪面の反射率に与える影響を評価した。

積雪表面の *Chl-a* 濃度を分析した結果、*Chl-a* 濃度が急激に増加した時期は高度によって異なった。高度 550m の Site-A では7月中旬、高度 950m の Site-B では8月上旬に *Chl-a* 濃度が急激に増加した。それぞれのサイトにおける *Chl-a* の濃度は1週間で約20倍増加した。両サイトでは、特定の藻類の繁殖によって積雪表面が赤く染まる赤雪現象がそれぞれ7月20日 (Site-A)、8月3日 (Site-B) に確認された。この結果は、高度によって異なる環境条件 (気温、積雪の状態など) が雪氷藻類の繁殖開始時期を決定している可能性を示唆している。

積雪表面の反射率は、赤雪現象が発生する前後1週間で特徴的な減少を示し、*Chl-a* 濃度の増加と関係がみられた。Site-A では、赤雪現象発生後に、波長 350-550nm の範囲で反射率が平均で 15-20%減少した。Site-B では、赤雪現象発生後に、波長 350-550nm の範囲で反射率が平均で 10%減少した。赤雪藻類は、色素である *Chl-a* とアスタキサンチンを含んでおり、*Chl-a* の吸収波長は 450nm 付近、アスタキサンチンの吸収波長は 480nm 付近であることが知られている。そして、7月14日から7月20日の Site-A において *Chl-a* 濃度は 26 [ $\mu\text{g m}^{-2}$ ]増加し、*Chl-a* 濃度 1 [ $\mu\text{g m}^{-2}$ ]に対して、350-550nm の範囲で反射率が 0.6-0.8 [% per  $\mu\text{g m}^{-2}$ ]減少した。7月28日から8月3日の Site-B において *Chl-a* 濃度は 21 [ $\mu\text{g m}^{-2}$ ]増加し、*Chl-a* 濃度 1 [ $\mu\text{g m}^{-2}$ ]に対して 350-550nm の範囲で反射率が 0.5 [% per  $\mu\text{g m}^{-2}$ ] 減少した。この反射率の結果は、ダスト量や積雪粒径が赤雪現象の前後で変化していないと仮定すると、*Chl-a* 濃度が 30 [ $\mu\text{g m}^{-2}$ ]に到達するまでに *Chl-a* 濃度 1 [ $\mu\text{g m}^{-2}$ ]に対して 350-550nm の範囲で反射率が少なくとも 0.5 [% per  $\mu\text{g m}^{-2}$ ] 減少することを示唆している。