

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 19 日現在

機関番号：82657

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25740012

研究課題名(和文)赤道直下の氷河における生物活動による氷河の融解加速

研究課題名(英文)Accelerate the melting of tropical glacier by glacier organisms

研究代表者

植竹 淳(Uetake, Jun)

大学共同利用機関法人情報・システム研究機構(新領域融合研究センター及びライフサイ・新領域融合研究センター)・特任研究員

研究者番号：40455473

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：赤道直下のアフリカ、ルウエンゾリ山の氷河(ウガンダ)は、大幅な縮小が報告され、近い将来に消滅が予測されている。氷河の表面は1年間で最大で161cm低下しており、低下量は氷河表面が黒くなり反射率が低くなるほど顕著であることがわかった。この氷河の黒色化には、氷河上で生育するコケ植物の塊(GMGA)の分布が関連しており、日射などにより氷河の表面温度が高くなることで、主構成種の*Ceratodon purpureus*の増殖が促されていることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：Tropical regions are not well represented in glacier biology, yet many tropical glaciers are under threat of disappearance due to climate change. Here we report a novel biogenic aggregation at the terminus of a glacier in the Rwenzori Mountains, Uganda. The material was formed by uniseriate protonemal moss gemmae and protonema. Molecular analysis of five genetic markers determined the taxon as *Ceratodon purpureus*, a cosmopolitan species that is widespread in tropical to polar region. Given optimal growing temperatures of isolate is 20–30 °C, the cold glacier surface might seem unsuitable for this species. However, the cluster of protonema growth reached approximately 10 °C in daytime, suggesting that diurnal increase in temperature may contribute to the moss's ability to inhabit the glacier surface. The aggregation is also a habitat for microorganisms, and the disappearance of this glacier will lead to the loss of this unique ecosystem.

研究分野：雪氷生物学

キーワード：環境変動 熱帯 氷河 雪氷生物 コケ 絶滅危惧

1. 研究開始当初の背景

赤道直下のアフリカ、ルウェンゾリ山の氷河（ウガンダ）は、航空写真や衛星画像の解析などにより大幅な縮小が報告され、近い将来に消滅が予測されている。このことは乾季に降水量が著しく低下する周辺地域の植生や水利用に深刻な影響を与え、また氷河上に生息している特殊な生態系の消失を引き起こし、生物資源の損失を引き起こすと考えられる。これまでの研究では、氷河縮小の原因には地球温暖化による温度上昇や乾燥化などが挙げられているが、この氷河を一面に覆う黒色物質（雪氷生物の活動により形成）による太陽光の反射率低下の寄与は、全く考慮されてこなかった。

2. 研究の目的

予備調査の結果、氷河上にはこれまでに全く報告の無かった蘚類（コケ植物）が塊になっている構造（氷河コケナゲット：GMGA）が多数分布しており、これらがより効率的に氷河を融解している現象が確認された。そこで本研究では、氷河融解に大きな影響を与える氷河コケナゲットに着目し、氷河コケナゲットによる氷河の融解促進、氷河コケナゲットの形成過程、氷河コケナゲットの氷河への侵入経路の解明の3点を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

氷河の融解量と反射率の低下

氷河上の17地点にステークを設置し、氷河表面の低下量を実測した。またステークの周辺での氷河表面の反射率をスペクトルメーター（MS720、英弘精機）で測定した。

氷河コケナゲットの空間分布

17箇所の融解量測定地点周辺で、20cm×20cmの氷河表面氷を採取し、その中に含まれる黒色物質の重量を測定した。直径4mm以上の有機物塊をGMGAとし、重量を測定した。

氷河コケナゲットの生理活性

GMGAの光合成電子伝達速度を、パルス増幅変調法を用いた蛍光検出器(Water-PAM EDF, Waltz)で測定した。また冷蔵状態で持ち帰った試料と、氷河コケナゲットから単離した主構成種(*Ceratodon purpureus*)の培養温度を5から30まで5刻みに変化させ、電子伝達速度の変化を測定した。

気象観測

氷河上の岩に簡易気象ステーション(HOBO Weather Station, Hobo)を設置し、温度、日射(光合成有効放射)のモニタリングを行った。

氷河コケナゲットの微生物生態

GMGAからビーズ破砕法で、遺伝子の抽出を行い、バクテリアの16S rRNA遺伝子をPCR法で増幅をした。多検体を識別するために、それぞれのサンプルに特有のバーコード配列をPCR法で付加して、次世代シーケン

サー(Miseq)で遺伝子配列の解読を行い、得られた遺伝子配列を、遺伝子配列解析パイプライン(QIIME)を用いて解析し、遺伝子型(Operational Taxonomic Unit: OTU)による分類と、各サンプルにおけるそれぞれのOTUの存在量を明らかにした。

4. 研究成果

氷河上の広い地域でのGMGAの空間分布と反射率低下、氷河表面低下の関連性を明らかにするために、氷河上に設置した計17箇所の観測点で、観測と雪氷生物試料の採取を行った。その結果、平成26年度2月から平成27年2月の1年間で最大で161cm、最小で23cm氷河表面の高さが低下しており、氷河の末端付近ほど低下量が大きい傾向が見られた。表面低下量は、氷河表面の反射率(最大0.69、最小0.11:353nm-1008nmの平均値)との相関が見られ、末端部ほど値が低い傾向にあった。GMGAの重量(直径1.4mm以上の氷河上不純物の湿重量)は、表面低下量の多い末端付近に局所的に多く(最大で3378g/m²)、氷河の内部ではほとんど大きな集合体を形成していないことが明らかとなった。

GMGA形成の有無が、氷河表面低下量と関連している可能性が強いことから、GMGA形成のプロセスを明らかにするため、GMGAと主構成種である*Ceratodon purpureus*培養株の葉緑体のクロロフィル蛍光から電子伝達速度(Electron Transport Rate: ETR)の至適温度を測定した。その結果、5の低温でも活性があるものの至適温度は25と陸上に生息する蘚苔類と同等であった(図1)。また、ETRは光合成有効放射(Photosynthetically Active Radiation: PAR)が94または144μmol/m²sの時に最大となり、強光よりも弱光(曇天時に相当)に適応している事が示唆された。

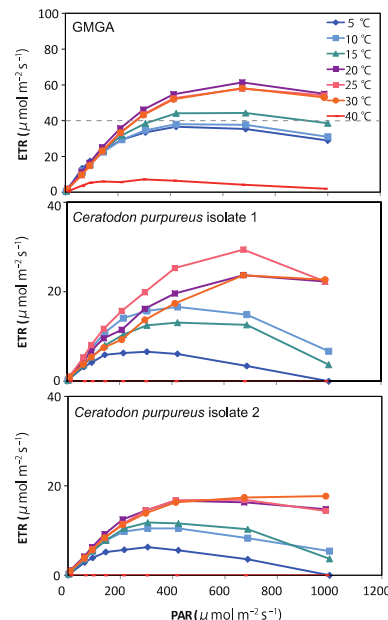


図1: 培養温度による電子伝達速度の変化

氷河上でのGMGAの肥大成長および *Ceratodon purpureus* の増殖がどのような温度条件で行われているのかを明らかにするため、GMGAの表面温度測定を行った。その結果、GMGAが多く分布する末端地点では、GMGAのサイズが大きいために表面温度が7-10℃まで上昇し、指摘温度が25℃付近であるGMGAの主構成種：*Ceratodon purpureus* の成長が促されている可能性が示された。

氷河上のリン酸塩濃度は、グリーンランドなどの他の氷河に比べて値が高かった（平均約27ppb）。また、氷河上流に残っていた積雪の硝酸塩、アンモニウム塩濃度は、微生物が多く生息する氷表面に比べて、それぞれ約12.7倍、24.8倍（それぞれ395ppb, 345ppb）高く、これの氷河上への供給源が氷河外部にある事が示唆された。

GMGA及び周辺の氷河表面のバクテリアの16S rRNA遺伝子の解析を行った結果、氷河上のすべての場所から、これまで氷河上ではほとんど検出された報告がなかった根粒菌：*Bradyrhizobium* が高頻度で検出された。また、GMGA以外の氷河上では硝化に関連する微生物群が検出された。降水や表面氷の栄養塩濃度（アンモニウム塩、硝酸塩）が他の地域の氷河に比べて、10倍以上高い特徴があった事から、これらの高濃度の窒素源の供給が氷河上の微生物による窒素循環に大きな影響を与えている可能性が示された。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計 5件)

1: Jun Uetake, Sota Tanaka, Kosuke Hara, Yukiko Tanabe, Denis Samyn, Hideaki Motoyama, Satoshi Imura, Shiro Kohshima, Novel biogenic aggregation of moss gemmae on a disappearing African Glacier, PLOS ONE, 2014, DOI: 10.1371/journal.pone.0112510.

2: Naoko Nagatsuka, Nozomu Takeuchi, Jun Uetake, Rigen Shimada, Mineralogical composition of cryoconite on glaciers in northwest Greenland, 2014, Bull. Glaciol. Res., 32, 107-114.

3: Teruo Aoki, Sumito Matoba, Jun Uetake, Nozomu Takeuchi, Hideaki Motoyama, Field activities of the "Snow Impurity and Glacial Microbe effects on abrupt warming in the Arctic" (SIGMA) Project in Greenland in 2011-2013, Bull. Glaciol. Res., 2014, 32, 3-20.

4: Teruo Aoki, Sumito Matoba, Satoru Yamaguchi, Tomonori Tanikawa, Masashi Niwano, Katsuyuki Kuchiki, Kouji Adachi, Jun Uetake, Hideaki Motoyama, Masahiro Hori, Light-absorbing snow impurity concentrations measured on Northwest

Greenland ice sheet in 2011 and 2012. Bull. Glaciol. Res., 2014, 32, 21-31

5: Nozomu Takeuchi, Naoko Nagatsuka, Jun Uetake, Rigen Shimada, Spatial variations in impurities (cryoconite) on glaciers in northwest Greenland. Bull. Glaciol. Res., 2014, 32, 85-94.

〔学会発表〕(計 5件)

口頭発表

1: 植竹淳、瀬川高弘、永塚尚子1、田中聡太、竹内望、本山秀明、青木輝夫、グリーンランド、カナック氷河上のクリオコナイト粒の形成プロセスと分布、環境微生物系学会合同大会2014、2014年10月

2: 植竹淳、瀬川高弘、永塚尚子1、田中聡太、竹内望、本山秀明、青木輝夫、グリーンランド北西部、カナック氷河におけるクリオコナイト粒の形成過程とその分布、日本雪氷学会、2014年9月

3: Jun Uetake, Sota Tanaka, Kosuke Hara, Yukiko Tanabe, Satoshi Imura, Hideaki Motoyama, Shiro Kohshima, Bacterial diversity of ice surface and moss gemmae aggregation on disappearing tropical glacier in Uganda, 5th Conference of Polar and Alpine Microbiology, 2013年9月

ポスター発表

1: 植竹淳、田中聡太、原宏輔、田邊優貴子、伊村智、本山秀明、ウガンダの氷河上の微生物と蘚類原系体の集合体、第4回極域科学シンポジウム、2013年11月

2: 植竹淳、永塚尚子、竹内望、本山秀明、青木輝夫、グリーンランド、カナック氷河のクリオコナイト粒の発達プロセスにおけるバクテリア相の変化、第4回極域科学シンポジウム、2013年11月

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

取得状況(計 0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

[プレスリリース] 消滅の危機にある熱帯氷河のユニークな生態系：アフリカの氷河上で新たに発見されたコケ無性芽の集合体

<http://www.nipr.ac.jp/info/notice/20141118.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

植竹淳 (UETAKE JUN)

大学共同利用機関法人情報・システム研究機構

(新領域融合研究センター及びライフサイエンス統合データベースセンター)

新領域融合研究センター・特任研究員

研究者番号：40455473

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし