

## グリーンランドで氷河ポンプの直接観測に成功

～氷河前に湧き上がる融解水の実態を解明～

### ポイント

- ・海に流入する氷河の前に形成されるプルーム（融解水の湧昇流）の直接観測に成功。
- ・プルーム中の海水温度と塩分が、従来考えられていたよりも急激に変化することを発見。
- ・グリーンランドで海に流入する氷河の変動と、氷河融解が海洋生態系に与える影響の理解に貢献。

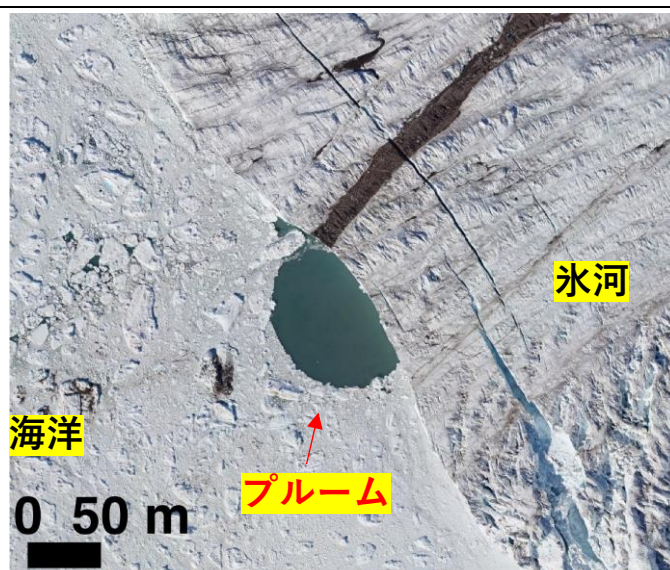
### 概要

北海道大学北極域研究センターの Evgeny A. Podolskiy 助教、漢那直也研究員（現東京大学大気海洋研究所）、同大学低温科学研究所の杉山 慎教授らの研究グループは、グリーンランドの氷河と海洋の境界で見られるプルーム中での直接観測に成功し、これまで主に数値シミュレーションから予想されていたプルームの動態を、観測によって初めて明らかにしました。

水温、塩分、深度センサーを氷河前のプルームに直接投入して、海水特性の変化を高頻度でモニタリングした結果、氷河の融解や氷河湖の決壊に伴う淡水の流出、潮汐変動、フィヨルド内外の海水交換などにより、従来考えられていたよりもダイナミックに海水特性が変化することが明らかになりました。プルームはフィヨルドのポンプとして海水をかき混ぜ、氷河末端の水中融解とカービング\*1の促進、栄養豊富な海水の循環など、氷河変動と海洋環境に大きな役割を果たします。本研究により、フィヨルドの海水循環モデルの高度化や氷河・海洋境界現象の理解が進み、グリーンランドにおける氷河変動と海洋生態系の理解への貢献が期待されます。

本研究成果は、2021年3月25日（木）公開の *Communications Earth & Environment* 誌にオンライン掲載されました。

なお、本研究は、科学研究費助成事業、ArCS 北極域研究推進プロジェクト、ArCS II 北極域研究加速プロジェクトの助成を受けて実施されました。



氷河と海洋の境界をドローンで上空から撮影。プルームが冰山を押し流して海面に広がる様子。

## 【背景】

グリーンランドには、カービング氷河\*<sup>2</sup>が数多く分布しています。これらカービング氷河と海洋の境界では、夏の融解期に濁った水が海面に広がる様子が観察されます(図1)。これは、カービングフロント\*<sup>3</sup>の氷河底から海洋に流出する茶色く濁った融け水が、海水と混ざって湧昇したものです。氷河の前で淡水と海水の混合水が湧きあがるこの現象を「プルーム」と呼びます。

プルームは、カービング氷河の水中融解やフィヨルドの海水循環、海洋の生物生産と密接に関わっています。通常、海洋は上下に混ざり難い層構造をしています。プルームは海底から水を押し上げるポンプとして、海洋の熱や物質を循環させます。プルームにより海水が激しくかき混ぜられると、海水と接する氷河が融けやすくなり、融けた氷河の形状が不安定になるためカービングが起きやすくなります。また、栄養塩\*<sup>4</sup>が豊富な海水がプルームによって海面まで持ち上げられるため、海洋表層を漂う植物プランクトンは栄養塩を利用して増殖しやすくなります。

氷河融解の影響を受けて変化するプルームの動態は、氷河と海洋の相互作用を理解する上で鍵になるため、近年、大きな注目を集めています。これまで、ヘリコプターや無人ボートを用いてカービングフロントに近づき、プルームの海水特性をスナップショット的に観測する試みが行われてきました。また、数値シミュレーションにより、プルームの挙動が推定されてきました。しかし、プルームの海水特性の時間変化を観測した例はなく、そのため、プルームの実態は謎に包まれていました。

## 【研究手法】

本研究では、プルームの実態を解明するために、グリーンランド北西部ボードイン氷河のカービングフロントで包括的な観測を行いました(図1, 2)。氷河の上からカービングフロントに近づいて、水温、塩分、深度センサーをプルーム内に投入しました。この手法による観測は困難で、これまで実施された例がありませんでした。センサーから送られたデータを氷河上のレコーダーで記録し、プルームの海水温度と塩分を約12日間モニタリングしました。またカービングフロントの状況や、氷河でせき止められた湖の排水イベントを、氷河と湖の周辺に設置した定点観測用カメラ4台と水圧センサーで観測しました。さらに、氷河の振動を計測するために地震計を設置しました。フィヨルドでは船でカービングフロントに近づいて、水温や塩分の詳細な測定を行いました。

## 【研究成果】

プルームの海水特性を高頻度でモニタリングした結果、氷河の融解や湖の決壊に伴う淡水の流出や、潮汐変動、フィヨルド内外の海水交換などにより、プルームの海水特性が、従来考えられていたよりも短時間でダイナミックに変化していたことが明らかになりました。

特に氷河湖の決壊は、氷河とプルームに著しい影響を与える最大のイベントでした。湖の決壊直後、氷河上の地震計は周波数の低い微小な揺れを記録し、またプルーム内に設置した深度センサーは鉛直上向きに大きく移動しました。すなわち、湖から流出した膨大な量の淡水は、地震計を設置した氷河の底を通過して海洋に流出し、プルームとなって深度センサーを海中で持ち上げたのです。湖の決壊後、プルーム内の塩分が下がり、湧昇が活発化しました。この間、プルーム内の流れにのって移動するセンサーの「痕跡」から、海水温度と塩分の時空間分布を捉えることに成功しました(図3)。

本研究により、プルームは従来数値モデルで予測されていたよりも極めて複雑な挙動を示し、その水の特徴は、水文条件や気象条件、突発的な氷河湖の排水イベントなど、複合的な要因で変化することが明らかになりました。

## 【今後への期待】

本研究により、フィヨルドの海水循環モデルの高度化や、氷河と海の境界で起こる諸現象の理解への貢献が期待されます。その結果、氷河の水中融解とカービング、および氷河が海洋生態系に果たす役割の解明が見込まれます。

## 論文情報

論文名 Co-seismic eruption and intermittent turbulence of a subglacial discharge plume revealed by continuous subsurface observations in Greenland (グリーンランドにおける時系列観測より明らかとなった氷河底流出プルームの噴出, 断続的に発生する乱流および氷河地震)  
著者名 Evgeny A. Podolskiy<sup>1</sup>, 漢那直也<sup>1,2</sup>, 杉山 慎<sup>1,3</sup> (<sup>1</sup>北海道大学北極域研究センター, <sup>2</sup>東京大学大気海洋研究所, <sup>3</sup>北海道大学低温科学研究所)  
雑誌名 Communications Earth & Environment (英科学誌)  
DOI 10.1038/s43247-021-00132-8  
公表日 2021年3月25日(木) (オンライン公開)

## お問い合わせ先

北海道大学北極域研究センター 助教 Evgeny Podolskiy (エヴゲニ・ポドリスキ)

T E L 011-706-9626 F A X 011-706-9623 メール evgeniy.podolskiy@gmail.com

北海道大学低温科学研究所 教授 杉山 慎 (すぎやましん)

T E L 011-706-7441 F A X 011-706-7142 メール sugishin@lowtem.hokudai.ac.jp

研究プロジェクトに関する情報

<http://www.ice.lowtem.hokudai.ac.jp/~sugishin/research/hokudai2/greenland2/greenland2.html>

<https://www.nipr.ac.jp/arcs2>

## 配信元

北海道大学総務企画部広報課 (〒060-0808 札幌市北区北8条西5丁目)

T E L 011-706-2610 F A X 011-706-2092 メール kouhou@jimuhokudai.ac.jp

## 【用語解説】

- \*1 カービング … 氷河から氷が切り離されて冰山ができること。
- \*2 カービング氷河 … 湖や海洋に流れ込む氷河のこと。
- \*3 カービングフロント … 氷河と海洋の境界のこと。
- \*4 栄養塩 … 硝酸塩, リン酸塩などの植物プランクトンが増殖するために必要な塩類のこと。

【参考図】

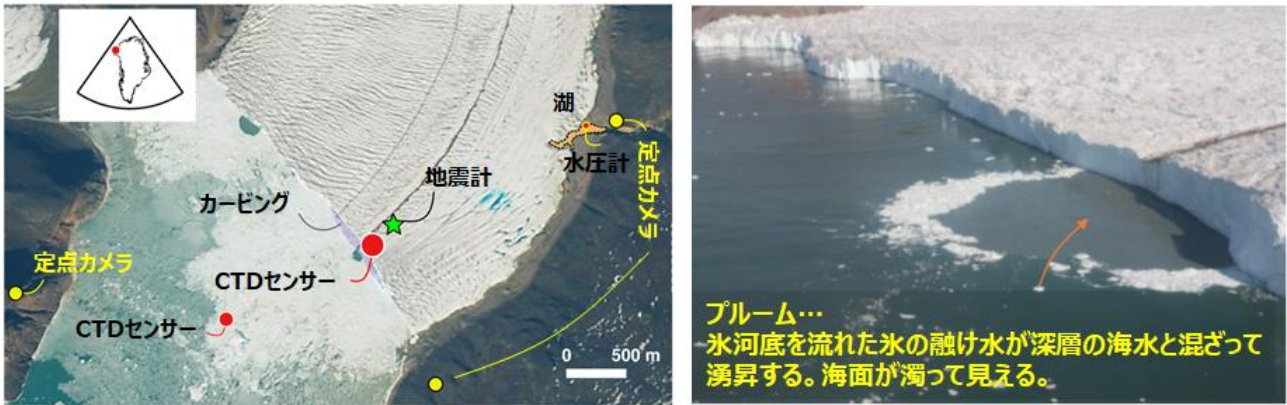


図 1. 左：グリーンランド北西部ボードイン氷河での観測。右：氷河の融解時期に出現するプルーム。

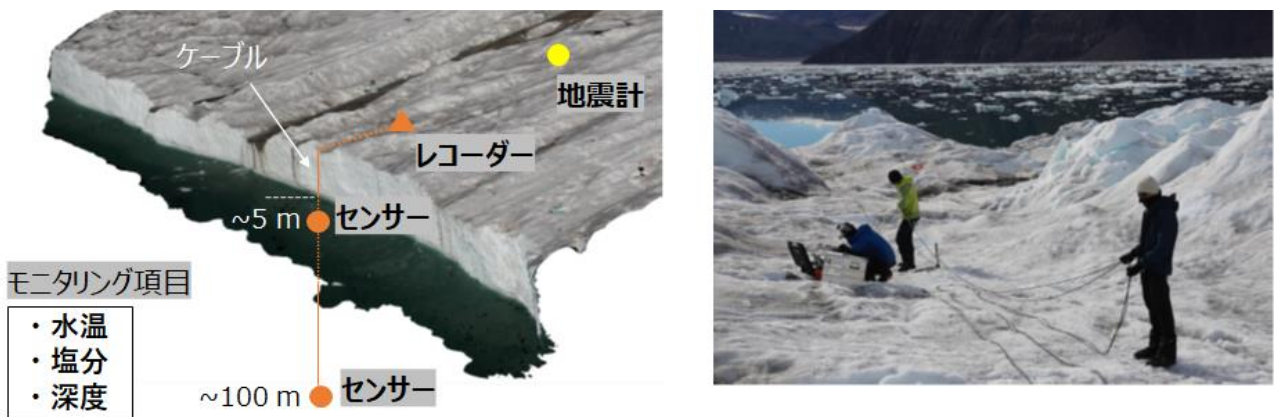


図 2. 左：プルームのモニタリング観測の概念図。水深約 5 m, 100 m に水温，塩分，深度センサーを 12 日間係留し，10 秒毎のデータを氷河上に設置したレコーダーで記録した。また地震計を氷河上に設置し，氷河の振動を同時に計測した。右：氷河カービングフロントでの観測オペレーションの様子。

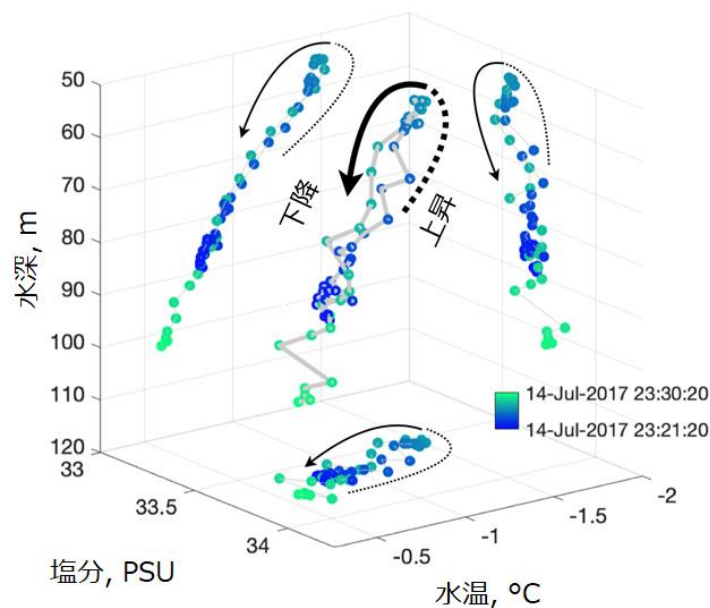


図 3. 水深約 100 m に係留したセンサーより得られた水温，塩分，水深の 3 次元分布。データは時間で色分けされている。湧昇流によって移動するセンサーにより，プルーム内の水温と塩分の分布とその変化が初めて明らかになった。