

## フィヨルドの生態系を支える「氷河ポンプ」を発見

～プルームによる栄養塩輸送が植物プランクトンを育む～

### ポイント

- ・氷河が流れ込むフィヨルドで、氷河の融け水が数百メートル下から湧き上がる湧昇流を確認。
- ・湧昇流（プルーム）がフィヨルド中層の豊富な栄養塩を表層に運ぶ様子を捉えることに初めて成功。
- ・プルームによる栄養塩輸送がフィヨルドの植物プランクトンの増殖に寄与することを証明。

### 概要

北海道大学北極域研究センターの漢那直也博士研究員、同低温科学研究所、同大学院水産科学研究の共同研究グループは、グリーンランドの氷河の融け水による湧昇流（プルーム）が、フィヨルドの中層（深さ 200 m）から栄養塩を汲み上げるポンプとして機能していることを、初めて定量的に明らかにしました。

プルームによって表層へ運ばれた栄養塩は、その後、垂表層（深さ 10～50 m）に水平的に広がっていきます。プルームの真上では、植物プランクトンがこれらの栄養塩を利用して大増殖を起こす様子が明らかとなりました。本研究は、氷河の融解が著しいグリーンランドにおいて、氷の融け水がフィヨルドの基礎生産（光合成等によって有機物が生産されること。食物連鎖の基底をなす）に果たす重要な役割を明らかにしたものです。

本研究成果は、2018年5月23日（水）公開の米国科学誌「Journal of Geophysical Research-Biogeosciences」にオンライン掲載されました。また、米国地球物理学連合の Research Spotlight に選ばれ、機関誌 Eos（オンライン版）に取り上げられました。

なお本研究は、文部科学省北極域研究推進プロジェクト（ArCS）の助成を受けて実施されました。



Guillaume Jouvét 氏（スイス連邦工科大学）提供

氷河の融け水によるプルームの採水。氷河で削られた堆積物を多く含むため非常に濁っている。

## 【背景】

近年の北極域の気温上昇に伴い、氷河の融け水が、フィヨルドの基礎生産に与える影響に注目が集まっています。グリーンランド南部のフィヨルドでは、氷河の融解量が最大となる夏に、植物プランクトンによる基礎生産が増加することが衛星で確認されています。このことは、植物プランクトンの増殖に不可欠な窒素、リン、ケイ素などの栄養塩が、夏の間フィヨルドの表層へ供給されていることを示唆します。

グリーンランドに存在する氷河の約 35%は、カービング氷河と呼ばれる海に流入する氷河です。夏に生じる氷河の融け水は、大部分がクレバスに流れ込み、氷河の底面に達し、やがてフィヨルドへ流出します。カービング氷河の底面は、通常海面より数百メートル深い位置にあります。そのためフィヨルドへ流出した氷河の融け水は、淡水と海水の密度差によって氷河前で湧昇することがわかっています (1p 目図)。これまでの研究から、カービング氷河前で生じるプルームは、中・深層の豊富な栄養塩を表層に運び、植物プランクトンの増殖に寄与することが示唆されてきました。しかし、「プルームが栄養塩を表層に運ぶ」ことを示す直接的なデータは報告されておらず、氷河の融解とフィヨルドの基礎生産との関連について定量的な理解が遅れていました。これには、氷が崩落しやすい、フィヨルドが常に冰山や海水で覆われているなどの理由から、研究船で氷河とフィヨルドの境界にアクセスすることが難しく、現場観測が敬遠されてきたという経緯があります。

## 【研究手法】

本研究では、世界各地で氷河観測経験を持つ北海道大学の研究グループが、現場の環境（気象、海況など）を熟知しているグリーンランドカナック村の住民と連携し、カービング氷河とフィヨルドの境界での現場観測を実現させました (図 1)。研究対象地となったグリーンランド北西部ボードイン氷河では、化学・生物分析用の水サンプルを採水しました。また、氷河側からフィヨルドとの境界に近づき、プルームの真上で海水を直接採水することに世界で初めて成功しました (1p 目図)。さらに、フィヨルド側から氷河との境界に近づき、多数のセンサーを備えた観測機器による現場測定、化学・生物分析用の海水のサンプリングなど、広域にわたり観測活動を行いました。

## 【研究成果】

本研究による主な発見は以下の 3 点です。

1. プルームには栄養塩が豊富に含まれており、これらがフィヨルドの広範囲に輸送されること (図 2~4)。
2. プルームの真上で植物プランクトンが大増殖を起こしていたこと (図 5)。
3. グリーンランドの氷河の融解によって、フィヨルドの生態系に大きな変化が予想されること。

氷河とフィヨルドの両方で観測したことにより、氷河の融解とフィヨルドの植物プランクトン増殖との関連が明らかになりました。氷河の融け水は栄養塩をほとんど含まないものの (図 2)、フィヨルドの中層にあたる深さ 200 m には、例えば窒素源としての硝酸塩が 2 桁高い濃度で存在します (図 3)。今回観測したプルームは、ボードイン氷河の底面 (水深約 200 m に位置する) から排水された融け水が、栄養塩に富む中層海水と混合して湧き上がったものです (図 4)。すなわち、氷河底面からの排水が呼び水となり、ポンプのように栄養塩が中層から表層へ汲み上げられたこととなります。例えばプルームによって表層に運ばれる硝酸塩は、1 秒あたり  $2.1 \times 10^7 \mu\text{mol}$  と試算されます。フィヨルドの表層に達した栄養塩は、亜表層にあたる深さ 10~50 m に水平的に広がって基礎生産を促進する役割

を果たします。実際にプルームの真上では、植物プランクトンが大増殖を起こす様子を観測的に捉えました（図5）。

本研究は、グリーンランドにおける氷河の融解がフィヨルドに与える影響に関し、生物地球化学的な視点から重要な知見を与えるものです。

### 【今後への期待】

本研究により、近年増加する氷河の融解とフィヨルドの植物プランクトン増殖との関係が定量的に説明できるようになりました。カービング氷河が流入するフィヨルドは、セイウチ、アザラシなどの海棲哺乳類や海鳥にとって最適な餌場となっています。中でも氷河とフィヨルドの境界は、これら高次の捕食者が密集するホットスポットとして古くから知られていました。フィヨルドの生物生産を根底から支えているのは、基礎生産者である植物プランクトンです。夏に増大する氷河の融解水量と、プルームにより生み出される基礎生産が、氷河前のホットスポットを生み出す起点になっていることは間違いありません。今後は、氷河の融解水が生み出す生態系を、高次生産まで含めて総合的に理解することが重要です。

### 論文情報

論文名	Upwelling of macronutrients and dissolved inorganic carbon by a subglacial freshwater driven plume in Bowdoin Fjord, northwestern Greenland (グリーンランド北西部におけるボードイン氷河底面融解水プルームに伴う栄養塩類、溶存無機炭素の湧昇)
著者名	漢那直也 <sup>1</sup> , 杉山 慎 <sup>1</sup> , 大橋良彦 <sup>1</sup> , 榊原大貴 <sup>1</sup> , 深町 康 <sup>1</sup> , 野村大樹 <sup>1</sup> ( <sup>1</sup> 北海道大学)
雑誌名	Journal of Geophysical Research – Biogeosciences (米国地球物理学連合学会誌)
DOI	10.1029/2017JG004248 10.1029/2018EO100639 (機関誌 EOS の掲載記事)
公表日	米国東部時間 2018 年 5 月 23 日 (水) (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 博士研究員 漢那直也 (かんななおや)

T E L 011-706-9077 メール kann@arc.hokudai.ac.jp

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://wwwice.lowtem.hokudai.ac.jp/~sugishin/research/hokudai2/greenland2/greenland2.html>

### 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@jimu.hokudai.ac.jp

【参考図】



図1 ボードイン氷河とフィヨルドとの境界における観測の様子。カナック村の住民である大島トク氏（猟師）他の協力をうけた。

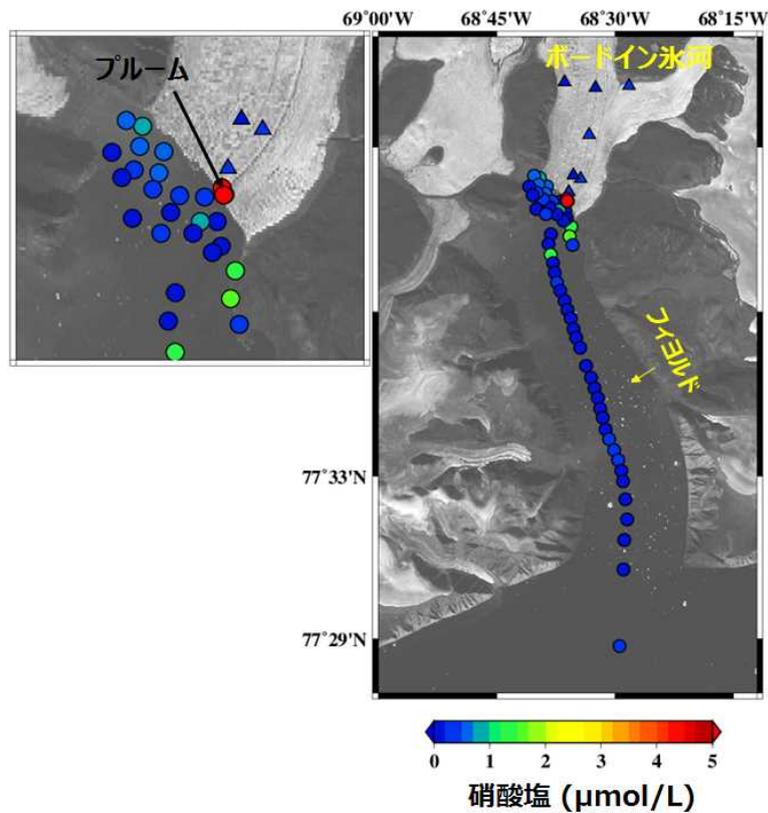


図2 ボードイン氷河の融け水（△）と、表層海水（○）中の硝酸塩濃度。氷河の融け水の硝酸塩濃度は $0.2\mu\text{mol/L}$ 程度であるのに対し、プルーム表層の硝酸塩濃度は最大 $12\mu\text{mol/L}$ と2桁高い。

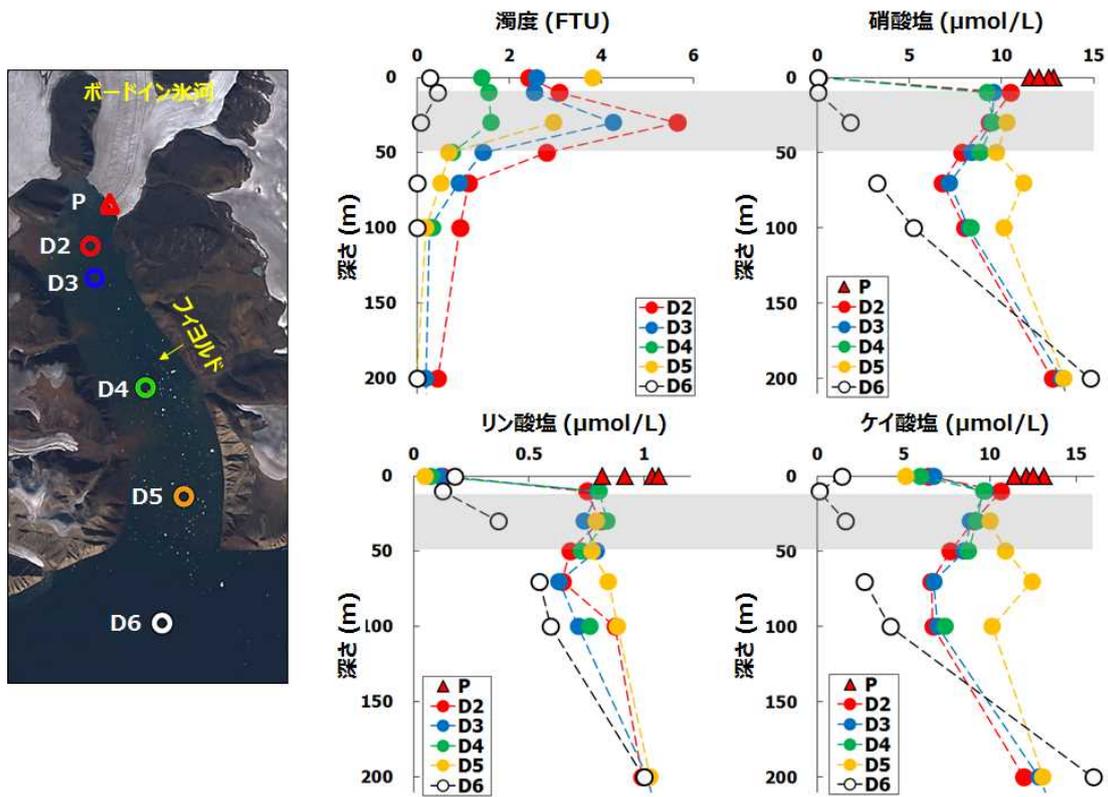


図3 ポードイン氷河が流入するフィヨルドの濁度，栄養塩濃度の鉛直分布。網掛け部分はプルームが存在する水深を表す。プルームが存在する水深に注目すると，氷河に近づくにつれ，栄養塩濃度が高められていることがわかる。プルームの採水を行った測点Pで，表層の栄養塩濃度は最も高い値を示す。

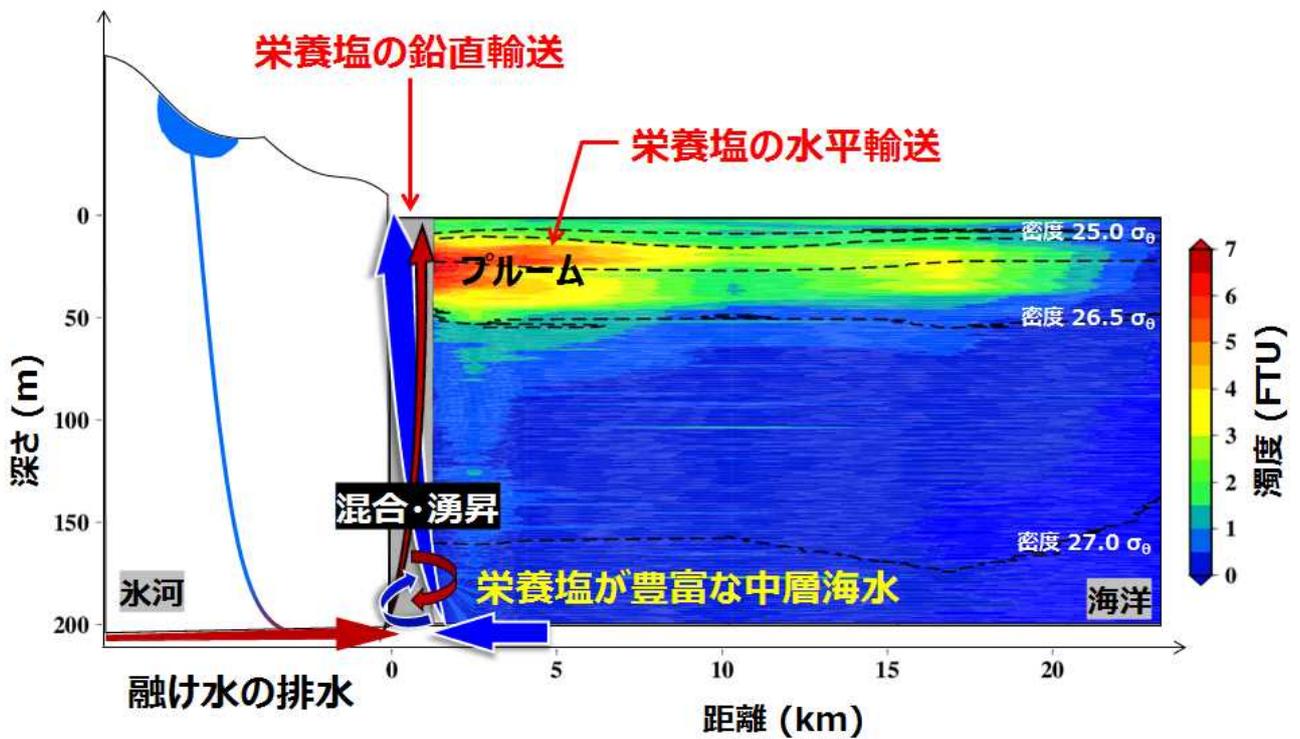


図4 本研究で明らかになった氷河の融け水に起因する栄養塩の輸送過程。氷河付近から舌状に張り出したプルームは，濁度によって可視化される。

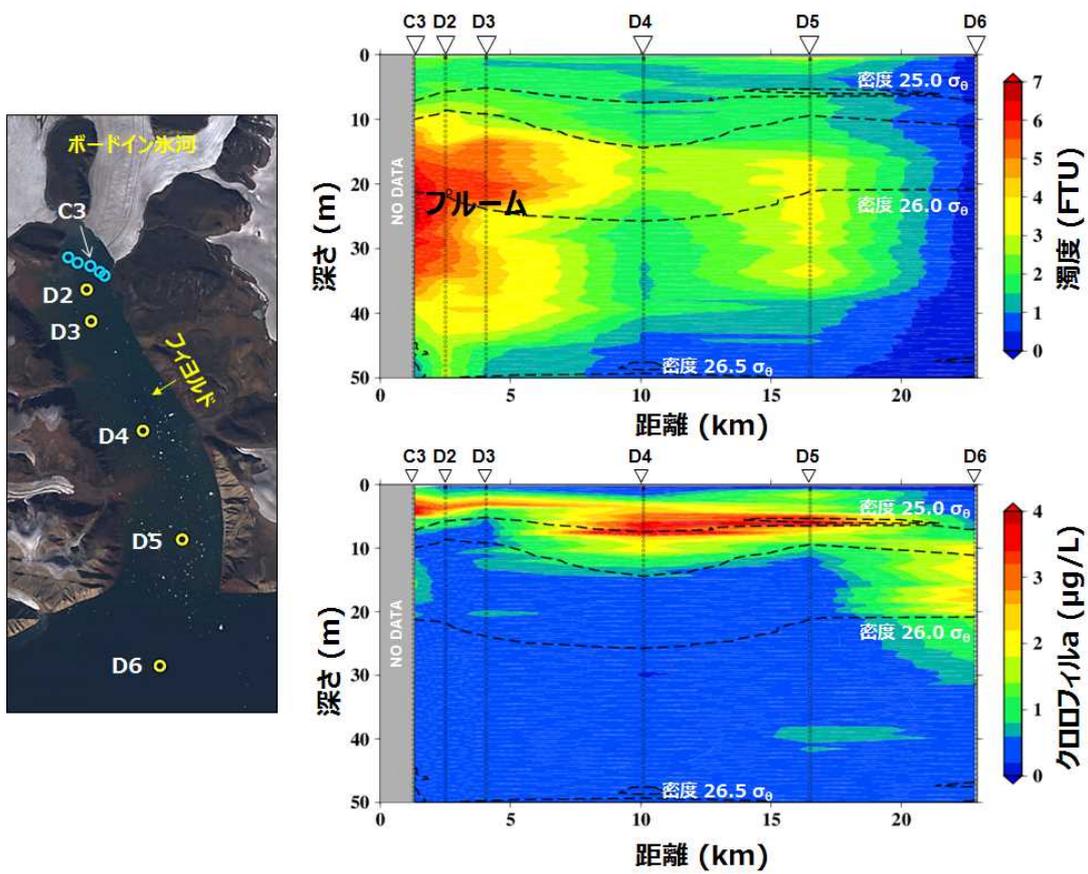


図 5 ボードイン氷河が流入するフィヨルドの濁度，植物プランクトンの存在指標であるクロロフィル a 濃度の鉛直断面図。ブルームの直上に，植物プランクトンが高濃度で存在することがわかる。ブルーム内部では，高い濁度のため光が遮られ，植物プランクトンが増殖できないと考えられる。