

## 北極の海氷融解の早期化が夏の植物プランクトンを増殖

～夏に海洋プランクトンが大気へ放出するエアロゾルの増加をアイスコアから検出～

### ポイント

- ・ 2002 年以降、夏期に植物プランクトンから大気へ放出されるエアロゾルの増加を検出。
- ・ グリーンランド沖の海氷の融解時期の早期化が夏の植物プランクトンの増殖を促進。
- ・ 温暖化による海氷減少が、極域の夏の雲量を増加させる可能性を示唆。

### 概要

北海道大学低温科学研究所附属環オホーツク観測研究センターの的場澄人助教、同研究所の飯塚芳徳准教授らの研究グループは、グリーンランドで採取されたアイスコア中の化学成分の分析を行い、2002 年以降、夏に海洋プランクトンの増殖によって海洋から大気へ放出される硫黄化合物（メタンスルホン酸）の濃度が、それ以前と比べて 3～6 倍増加していることを検出し、海氷の融解時期が早期化したことがその要因であることを示しました（図 1）。

大気中に浮遊する不純物（エアロゾル）の組成や濃度は、それを採取・分析する必要がありますが、長期間のデータは非常に少なく、特に北極域では殆どありません。氷床には、大気中のエアロゾルを含む雪が連続的に降り積もっています。氷床を表面から深部に向かって円柱状にくり抜いて採取されるアイスコアに含まれる化学成分は、大気中のエアロゾルの連続的な変化を反映し、長期間のエアロゾルの変化を復元することができます。

アイスコア中の夏のメタンスルホン酸濃度は、2002 年から増加し始めました。それと連動してグリーンランド東部沖の海氷が融解する時期が約 1 ヶ月早くなり、夏に植物プランクトンの増殖が見られることが、人工衛星データとの比較から分かりました（図 2）。温暖化が引き起こす海氷融解の早期化は、海洋表層の成層化、海水中に届く太陽光の増加、海氷に付着している藻類（アイスアルジー）の再配布などを生じ、植物プランクトンの増殖を促進するプロセスが提案されていましたが、本結果は、夏の海洋プランクトンの増殖による海洋から大気への硫黄化合物の放出量が実際に増加している観測的証拠を初めて示しました。

大気中の硫黄化合物は雲の形成に重要であり、地球の気温をコントロールする放射収支に大きく影響します。本研究の成果は、地球温暖化のメカニズムを理解する上で重要なプロセスを示すもので、将来予測の精度向上に寄与することが期待されます。

なお本研究成果は、2022 年 12 月 26 日（月）公開の Communications Earth & Environment 誌に掲載されました。

## 【背景】

大気中に浮遊する不純物（エアロゾル）は、排気ガス、海洋、砂漠など様々なソースから放出されます。大気中にあるエアロゾルは太陽からの光エネルギーを吸収して地球を暖めたり、逆に反射して地球を冷やしたりする効果があります。また、雲を形成する核としての役割を持つものもあります。

雲が形成されると太陽からの光エネルギーを反射して地球を冷やします。雲の核となる機能を持つエアロゾルの一つが、硫酸などの硫黄を含む化合物です。大気中の硫黄化合物は、化石燃料の燃焼のような人間の産業活動や、火山ガスなどの自然界から放出されるものがあります。海洋の植物プランクトンもその一つです。海洋プランクトンが海水中に放出するジメチルサルファイドという物質は大気中で酸化され硫酸とメタンスルホン酸という硫黄化合物に変化し、どちらの物質も雲を形成する核としての機能を持ちます。

大気中のエアロゾルの組成や濃度は、エアロゾルを採取して分析する必要がありますが、長期間にわたり連続的に観測が行われて観測拠点は少なく、特に北極域では殆どありません。一方で氷床には、大気中のエアロゾルを含む雪が連続的に降り積もっています。氷床を表面から深部に向かって円柱状にくり抜いて採取されるアイスコアに含まれる化学成分は、大気中のエアロゾルの連続的な変化を反映し、長期間のエアロゾルの組成や濃度の変化を復元可能です。これまでの研究では、アイスコア中のメタンスルホン酸の濃度は地球温暖化が進むと減少することが報告され、海洋の生物生産の減少が指摘されていました。

## 【研究手法】

今回、分析したのは研究グループが2015年にグリーンランド南東部（北緯 67.18°、西経 36.37°、標高 3170m）で採取した 90m のアイスコアです。アイスコアを採取した場所は年間の降水量が 1m 以上、雪に換算すると 3-4m 堆積する、グリーンランド氷床の中でも極めて降水量の多い地域です。通常アイスコアでは、アイスコアを形成する降雪が生じた日の推定が難しいのですが、これまでの研究からこの 90m のアイスコアは 1966 年から 2014 年まで 1 ヶ月の誤差範囲で日付を推定できることが分かっていました。本研究では、この日付を用いて植物プランクトンが放出するメタンスルホン酸が氷床上に降下した（沈着した）量を一ヶ月毎に見積もりました。

## 【研究成果】

メタンスルホン酸の沈着量は 1 年間に 2 回、春と夏にピークがあることが分かりました。さらに、夏のピーク時の量が 2002 年以降、それまでと比べて 3~6 倍も増加したことが分かり、2002 年以降にグリーンランド東部沖で大きな環境の変化が生じている可能性を示しました（図 1）。人工衛星で取得されている海氷面積や海氷表面のクロロフィル濃度のデータを解析したところ、2002 年以降、グリーンランド南東部に近い海域で、海氷が融解して消える時期が 8 月から 7 月へ 1 ヶ月早くなり、それに伴ってその海域での植物プランクトンの濃度が増加したことが分かりました（図 2）。温暖化によって海氷が早く溶けるようになり、太陽光が強い 7 月に海水中の光環境が改良され、植物プランクトンの増殖の規模が大きくなり、大気に放出されるメタンスルホン酸や硫酸の量が増加した、というプロセスが考えられます。

## 【今後への期待】

本研究では、海氷の融解の早まりが、夏に植物プランクトンの増殖を促し、大気への硫黄化合物の放出量を増加させたことを示しました。このことは、地球温暖化が進むと、夏に植物プランクトンが

大気へ放出する物質が増加し、雲の形成が促進されることを意味します。これまで、将来予測のシミュレーションで、あまり変化をしないと考えられてきた海洋生物由来の硫黄化合物を、高精度に将来予測を行うためには考慮する必要があることをこの論文では示唆しました。

#### 【謝辞】

本研究は、日本学術振興会科学研究費（26257201、18H05292、22J10351）、北極域研究加速プロジェクト(ArCSII;JPMXD1420318865)の一環として行われたものです。

#### 論文情報

論文名	Increased oceanic dimethyl sulfide emissions in areas of sea ice retreat inferred from a Greenland ice core (グリーンランド氷床コアから推定された海氷後退域における海洋性硫化ジメチル排出の増加)
著者名	黒崎 豊 <sup>1, 2</sup> 、的場澄人 <sup>2</sup> 、飯塚芳徳 <sup>2</sup> 、藤田耕史 <sup>3</sup> 、島田利元 <sup>4</sup> (1 北海道大学大学院環境科学院、 <sup>2</sup> 北海道大学低温科学研究所、 <sup>3</sup> 名古屋大学大学院環境学研究科、 <sup>4</sup> 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構)
雑誌名	Communications Earth & Environment (英科学誌)
DOI	10.1038/s43247-022-00661-w
公表日	2022年12月26日(月)(オンライン公開)

#### お問い合わせ先

北海道大学低温科学研究所附属環オホーツク観測研究センター 助教 的場澄人(まとばすみと)  
TEL 011-706-5485 FAX 011-706-7142 メール matoba@lowtem.hokudai.ac.jp

#### 配信元

北海道大学社会共創部広報課(〒060-0808 札幌市北区北8条西5丁目)

TEL 011-706-2610 FAX 011-706-2092 メール jp-press@general.hokudai.ac.jp

【参考図】

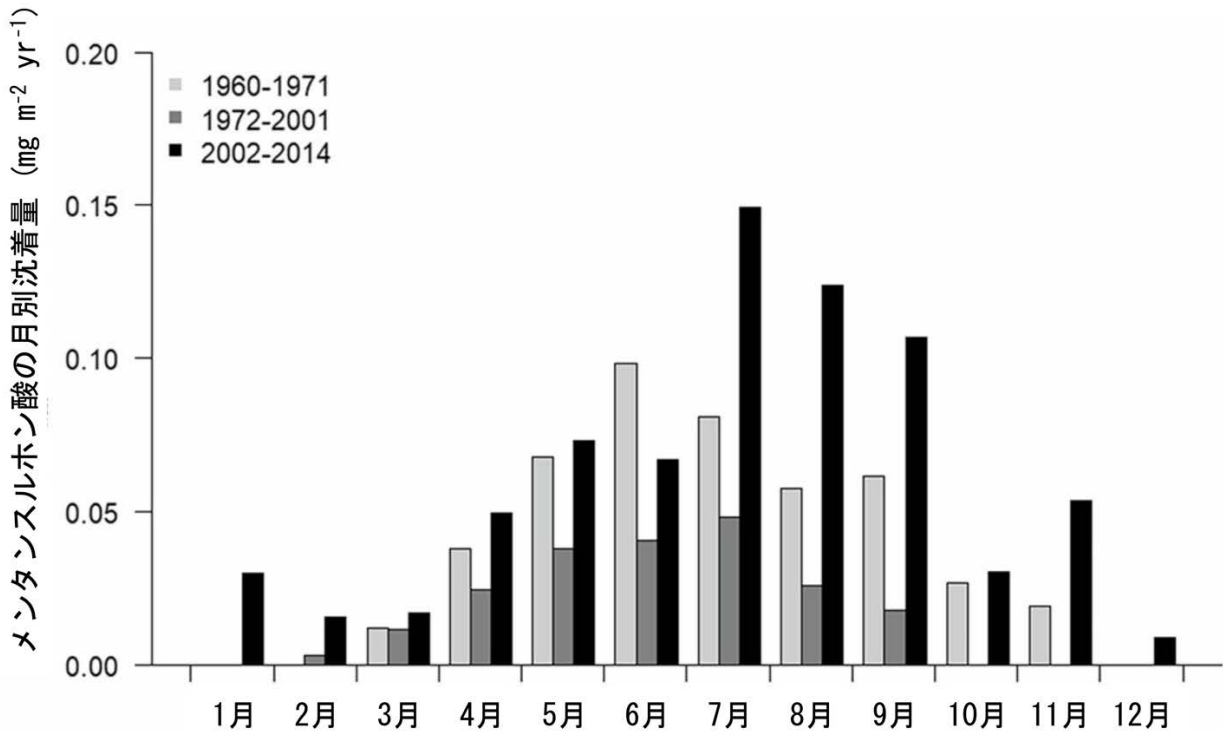
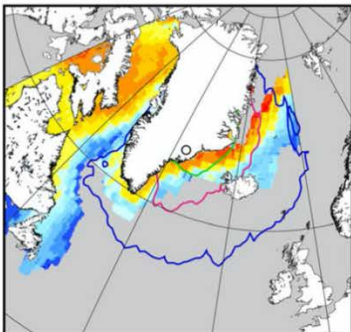
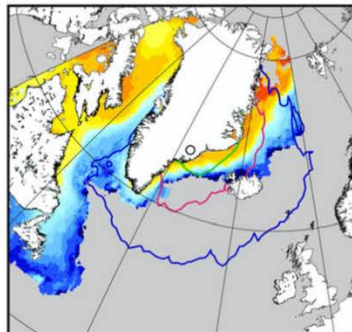


図 1. SE-Dome アイスコアから復元したメタンサルホン酸の月別の沈着量。黒は 2002-2014 年、濃い灰色は 1972-2001 年、薄い灰色は 1960 年から 1971 年の沈着量を示す。2002-2014 年の期間だけ、夏 (7-9 月) の沈着量がそれ以外の期間に比べて 3~6 倍多い。

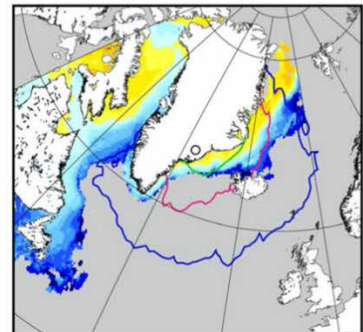
(a) 1960-1971



(b) 1972-2001



(c) 2002-2014



海水が消失した日 (通日)

図 2. 1960-1970 年(a)、1971-2001 年(b)、2002-2014 年(c)において、海氷が消失した日の平均値。消失した日は、通年 (1 月 1 日から通して数えた日数) で示している。緑、紫、青の線はアイスコアの掘削地点に到達する空気塊の存在度を示しており、緑の線の内側の海域は掘削地点への影響が特に海域を示す。2002-2014 年には緑の線の内側の海域で海氷が消失した日が、それ以前より 1 ヶ月早くなっている。