



|                        |   |
|------------------------|---|
| Title                  | 高時間分解能アイスコアに記録された海洋生物活動由来の硫黄化合物に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]   |
| Author(s)              | 黒崎, 豊   |
| Citation               | 北海道大学. 博士(環境科学) 甲第15715号  |
| Issue Date             | 2024-03-25  |
| Doc URL                | <a href="http://hdl.handle.net/2115/91776">http://hdl.handle.net/2115/91776</a>                         |
| Rights(URL)            | <a href="https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/</a> |
| Type                   | theses (doctoral - abstract and summary of review)  |
| Additional Information | There are other files related to this item in HUSCAP. Check the above URL.                              |
| File Information       | Yutaka_Kurosaki_review.pdf (審査の要旨)  |



[Instructions for use](#)

# 学位論文審査の要旨

博士 (環境科学)

氏名 黒崎 豊

審査委員 主査 教授 西岡 純  
副査 教授 渡辺 力  
副査 准教授 飯塚 芳徳  
副査 助教 的場 澄人  
副査 教授 堀 雅裕 (富山大学 学術研究部)

## 学位論文題名

高時間分解能アイスコアに記録された海洋生物活動由来の硫黄化合物に関する研究  
(Studies on the sulfur compounds derived from the ocean biological activity recorded  
in the high-time-resolution ice core)

エアロゾルは種類によって雲凝結核 (CCN) や氷晶核に成長し雲粒子特性に作用する。海洋上においてCCNとなるエアロゾルで最も自然発生量が多いのは、海洋生物活動を起源として生成される硫化ジメチル (DMS) である。DMSは、大気に放出された後、二酸化硫黄とメタンスルホン酸 (MSA) に酸化され、CCNの形成に寄与し、雲による負の放射強制力を増加させる効果を持つ。過去の研究では、衛星観測により得られた海洋表層のクロロフィルa濃度と風速等の気象要素からDMS放出量の時空間変動が推定されている。しかし、衛星によるChl-a濃度の見積もり、海洋中の生物組成によるDMSの生成効率の違い、海洋中のDMSの大気への放出プロセスの定量的な見積もりなどの不確かさなどに起因する誤差が大きく、雲形成に対する影響の定量的議論するには精度が不十分である。また、北極域におけるMSAの長期観測は、5地点でしか行われておらず、20年以上継続した観測はカナダ北東部エルズミア島のAlertのみであり、長期的な変動の実態解明に必要なデータは殆どない。アイスコアは、過去から現代の大気中のエアロゾル濃度を連続に復元し得る唯一のアーカイブである。その中でも他の地域に比べて涵養量が4倍近く高いグリーンランド南東部で得られたアイスコア (SE-Domeアイスコア) は、エアロゾルの保存性が高く、極めて高い時間分解能での解析が可能である。本研究は、SE-Domeアイスコアを使用してグリーンランド南東部の季節海氷域における DMS放出量の変遷とそのメカニズム、および、上空の雲粒子特性に海洋生物活動起源の硫黄化合物が与える効果を明らかにすることを目的とした。

SE-Domeアイスコア中の年間のMSA堆積フラックス ( $MSA_{flux}$ ) は、1960年から2001年にかけて有意に減少し、2002年以降に急激に増加した。 $MSA_{flux}$ の季節変動は、1960年-2001年は、春 (4月-6月) のみにピークが現れたが、2002年-2014年は、春と夏 (7月-9月) にピークが現れた。春の $MSA_{flux}$ は有意な経年変化を示さず、イルミンガー海のクロロフィルa濃度と高い正相関を示すことが分かった。この関係を過去に外挿すると、1960年から2014年にかけて、春のイルミンガー海表層の海洋生物生産量は有意に変化していなかったことが考えられる。2002年-2014年の夏の $MSA_{flux}$ は、1972年-2001年に対して3-6倍増加した。気

象再解析データから、2002年–2014年のグリーンランド南東沿岸部の海氷は、1972年–2001年と比べると約1カ月早く消失することが示された。また、同海域において2002年–2014年の開水面のクロロフィルa濃度は1998年–2001年に対して有意に増加したことが示された。つまり、2002年–2014年のMSA<sub>flux</sub>の増加は、グリーンランド南東沿岸海域の海氷が、光合成有効放射量が大きくなる7月に消失し、開水面表層への光環境が改善され、植物プランクトンのブルームが活発化したことに起因すると結論づけた。

次に、2002年以降の夏のDMS放出量の増加が同海域上空の雲粒子特性と雲アルベドへ与える影響を考察した。2002年–2014年の液相の雲粒有効半径の平均値は、1982年–2001年に対して1.7  $\mu\text{m}$ 小さくなり、液相の雲粒個数濃度の平均値は8.8  $\text{cm}^{-3}$ 増加した。一方、雲粒の成長に寄与する雲水量や水雲の光学的厚さは有意な変化を示さなかった。雲粒粒径の影響を受ける近赤外波長の雲アルベドの夏の平均値は1982年–2001年と2002年–2014年において有意に変化しなかった。以上のことから、2002年以降の夏のグリーンランド南東沿岸海域では、DMS起源のエアロゾルが増加が、液相の雲粒個数濃度を増加と液相の雲粒有効半径を減少させたが、個々の雲のアルベドの変化に与えるほどの効果がなかったと推察した。

以上より、夏の北極域の季節海水域では、近年の地球温暖化による海氷後退日の早期化に起因して、植物プランクトンのブルームが強化され、海洋から大気へのDMS放出量が増加し、雲の物理的特性に作用している可能性を示唆した。

本研究は、近年の温暖化において海洋生物活動を起源として生成されるDMSが増加している実態を観測データから初めて示した。さらに、その原因が海氷融解の早期化であることを観測データから示したことに、成果と意義があると認められる。

審査員一同は、これらの成果を高く評価し、また、研究者として誠実かつ熱心であり、大学院博士課程における研鑽や取得単位などもあわせ、申請者が博士（環境科学）の学位をうけるのに十分な資格を有するものと判定した。