

1970年代の硫酸エアロゾルの粒径復元にはじめて成功

～硫酸エアロゾルが雲をつくる作用の解明による、地球温暖化メカニズム研究の進展に期待～

ポイント

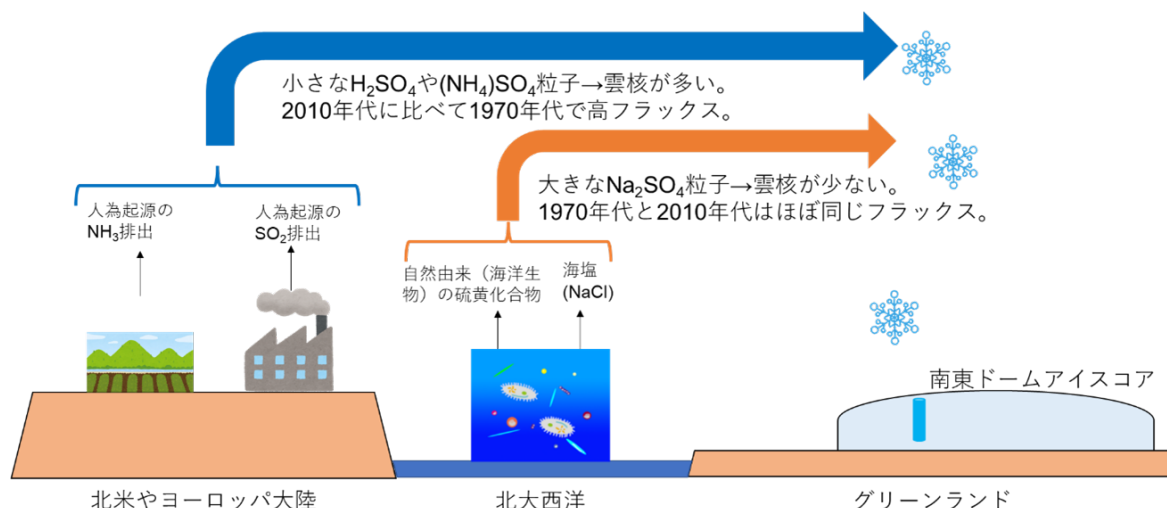
- ・グリーンランドのアイスコアに保存されている硫酸エアロゾルの粒径分布の復元にはじめて成功。
- ・人為的な硫黄排出最盛期である1970年代の硫酸エアロゾルは主に0.4 μm より小さいことを解明。
- ・地球温暖化のメカニズムの理解向上と、将来予測の精度を高めることに期待。

概要

北海道大学低温科学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のアイスコア^{*1}に保存されている硫酸エアロゾル^{*2}の粒径分布の復元にはじめて成功し、人為硫黄酸化物の排出最盛期である1970年代の硫酸エアロゾルは主に0.4 μm より小さかったことを解明しました (p1図)。

硫酸エアロゾルの組成や粒径分布は、地球の放射収支を考える上で重要な要素です。しかし、過去の硫酸エアロゾルの組成や粒径分布については、信頼できる観測がないためほとんど情報がなく、過去のエアロゾルの組成と輸送をモデル化することに不確実性が大きいのが現状です。今回、研究グループは、グリーンランドのアイスコアに保存されている硫酸エアロゾルの粒径分布の復元に成功し、1970年代に北極で小さな硫酸塩粒子が増加したことを示す最初の観測的証拠を提示しました。今回の研究結果はエアロゾルと雲の相互作用の理解を深めるとともに、モデルにおけるパラメータ設定に新たな制約を与えるものです。これは、地球温暖化のメカニズムの理解向上につながり、将来予測の精度を高めることが期待されます。

なお、本研究成果は、2022年8月25日(木)公開のJournal of Geophysical Research, Atmospheres誌に掲載されました。



1970年代と2010年代の硫酸エアロゾルの輸送経路・組成と粒径

【背景】

エアロゾルは 20 世紀における地球と地域の気候変動に大きな役割を果たしてきました。硫酸塩エアロゾルは雲凝結核^{*3} (CCN) として作用し、雲を増加させ、地球表面を冷却します (図 1)。人為的な SO₂排出量の増加により、北極の硫酸塩エアロゾルは 1975 年まで増加し、その時代に極域の温暖化増幅が観測されなかった原因と考えられています。しかし、最近のモデル計算においても、エアロゾルと雲は、放射強制力の推定と気候予測における主要な不確実性の要因となっています。不確実性を減らすには、北極の気候に対する硫酸塩エアロゾルの役割について、より直接的な証拠が求められています。例えば、硫酸塩エアロゾルの堆積量 (フラックス^{*4}) が一定であっても、硫酸エアロゾルの大きさによって数密度が変化し、CCN 効果を通じて雲アルベドに大きな影響を与えることとなります (図 2)。

アイスコアからはエアロゾルの沈着量を得ることができます。しかし、これまでの研究はアイスコアを融解して、融解水中の全硫酸イオン量として議論されてきました。ですが、硫酸イオンの総量だけでは、硫酸エアロゾルの数濃度、粒径分布を明らかにできません。本研究では硫酸エアロゾルの数濃度、粒径分布を解明するために、グリーンランド南東部のドーム (北緯 67.18°、西経 36.37°、標高 3170m) のアイスコアを用いました (図 3)。このドーム域は極めて高い堆積速度を持つため、高い時間分解能とエアロゾルの保存性の両方を備えており、南東ドームアイスコアは、過去のエアロゾルの堆積量を正確に決定するのに最適なアイスコアの一つです。

【研究手法】

エアロゾルの数濃度、粒径分布の詳細を提供できるツールの一つに、研究グループが開発した昇華型 SEM/EDS 法があります。本研究ではその方法で抽出された硫酸エアロゾルを単粒子ごと解析 (図 4) し、「1970 年代」である 1973-1975 年と「2010 年代」である 2010-2012 年の期間を比較しました (p1 図)。1970 年代は人為的な硫酸エアロゾルの極大期であり、2010 年代は硫黄の排出が広く規制された後の期間です。昇華型 SEM/EDS 法により硫酸塩と不溶性ダストの質量比が得られ、従来型の溶液分析による硫酸イオンとダストの質量比と比較することにより、硫酸エアロゾルを直径 0.4 μm 以上の大きな硫酸塩粒子と 0.4 μm 以下の小さな硫黄化合物に分けることができました。

【研究成果】

1970年代の直径0.4 μm以下の小さい硫酸エアロゾルの季節堆積量は $10.8 \pm 2.32 \text{ mg m}^{-2} \text{ season}^{-1}$ で、2010年代の $3.30 \pm 2.02 \text{ mg m}^{-2} \text{ season}^{-1}$ の約3倍であることがわかりました。一方、1970年代の直径0.4 μm以上の大きい硫酸エアロゾルの季節堆積量 ($1.62 \pm 0.54 \text{ mg m}^{-2} \text{ season}^{-1}$) は2010年代 ($2.49 \pm 2.00 \text{ mg m}^{-2} \text{ season}^{-1}$) とほぼ同じでした (p1図)。主な発見は、小さな硫酸エアロゾルの季節堆積量が1970年代に2010年代よりも高いのに対し、大きな硫酸塩粒子の季節堆積量は基本的に変化していないことです。小さなエアロゾルは、同じ質量の大きなエアロゾルよりも粒子や液滴の数濃度が高いため (図2)、特に粒子がCCNとして機能する場合は、散乱される放射の量が大きくなると思われます。今回の結果は、1970年代にはエアロゾルの質量推定よりも多くのCCNがあったことを示唆しています。

【今後への期待】

将来に向けて、人為起源 SO₂の削減が続くと、地球温暖化が加速され続ける可能性があります。さらに、北極では、地球温暖化の極地増幅により海面水温が上昇し、海洋生物活動による硫黄化合物の

排出が増加すると予測されています。今回の結果から、海洋生物からの硫黄化合物は、グリーンランド氷床上の高地に輸送される間に大きな硫酸塩 (Na_2SO_4 など) を形成することがわかりました。人為起源と海洋生物起源のエアロゾルの大気輸送経路や酸化経路の違いは、現在モデルでは把握されていない CCN と降水への大きな影響を与える可能性があります。今後は観測事実を増やし、モデルの精度向上と地球温暖化のメカニズムの理解向上につなげることで、将来予測の精度を高めることが期待されます。

【謝辞】

本研究は、日本学術振興会科学研究費 (JP18H05292, JP26257201, JP17H04709, JP18H03363, JP20H04305, JP16H05884)、北極域研究加速プロジェクト (ArCS II; JPMXD1420318865)、北海道大学低温科学研究所の共同研究プログラム、(独) 環境再生保全機構の環境研究総合推進費 (JPMEERF20202003, JPMEERF20205001)、環境省地球環境保全試験研究費 (国1753) の一環として行われたものです。

論文情報

論文名	High flux of small sulfate aerosols during the 1970s reconstructed from the SE-Dome ice core in Greenland (グリーンランド南東ドームアイスコアから復元された 1970 年代の小粒径硫酸エアロゾルの高フラックス)
著者名	飯塚芳徳 ¹ 、植村 立 ² 、松井仁志 ² 、大島 長 ³ 、川上 薫 ^{1,4} 、服部祥平 ^{5,6} 、大野 浩 ⁷ 、的場澄人 ¹ (¹ 北海道大学低温科学研究所、 ² 名古屋大学環境学研究科、 ³ 気象庁気象研究所、 ⁴ 北海道大学環境科学院、 ⁵ 東京工業大学、 ⁶ 南京大学、 ⁷ 北見工業大学地球環境工学科)
雑誌名	Journal of Geophysical Research, Atmospheres (地球物理学の専門誌)
DOI	10.1029/2022JD036880
公表日	2022 年 8 月 25 日 (木) (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 准教授 飯塚芳徳 (いづかよしのり)

T E L 011-706-7351 F A X 011-706-6888 メール iizuka@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)

T E L 011-706-2610 F A X 011-706-2092 メール jp-press@general.hokudai.ac.jp

名古屋大学広報室 (464-8601 名古屋市千種区不老町)

T E L 052-789-3058 F A X 052-789-2019 メール nu_research@adm.nagoya-u.ac.jp

気象庁気象研究所企画室広報担当 (〒305-0052 茨城県つくば市長峰 1-1)

T E L 029-853-8535 メール ngmn11ts@mri-jma.go.jp

【参考図】

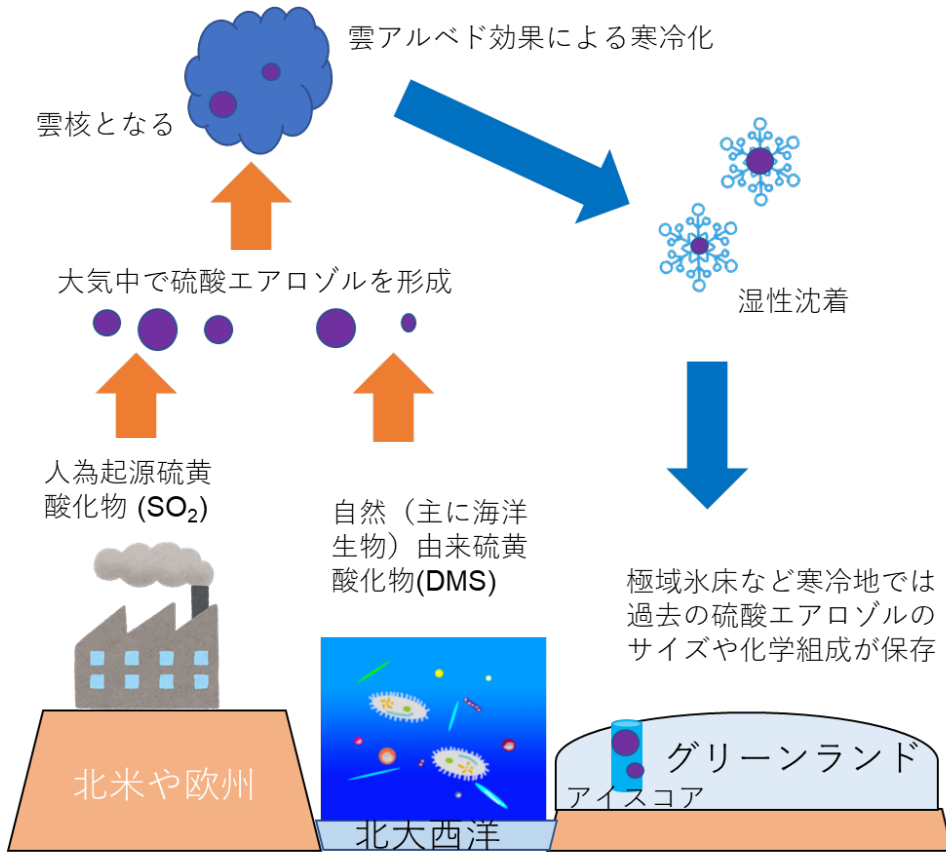


図 1. 硫酸エアロゾルと雲の相互作用

どちらも同じ硫酸エアロゾル量 (約 $100\mu\text{g m}^{-3}$)

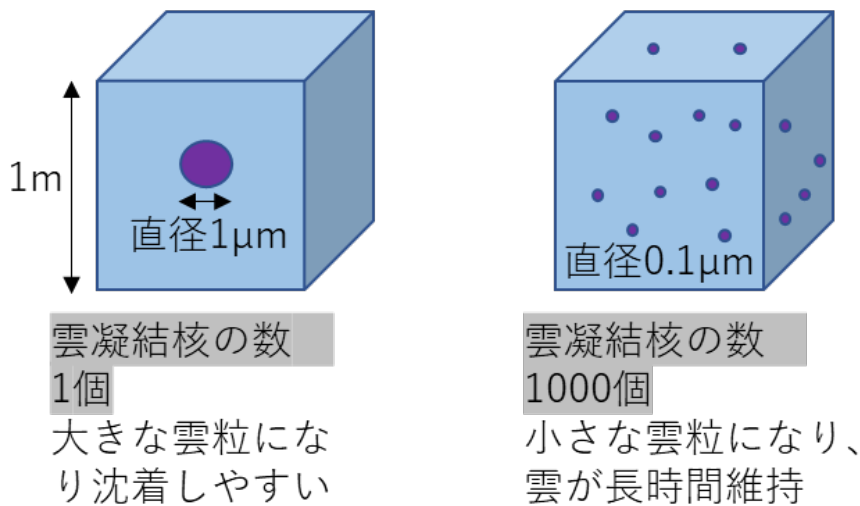


図 2. 硫酸エアロゾルの大きさと雲核数

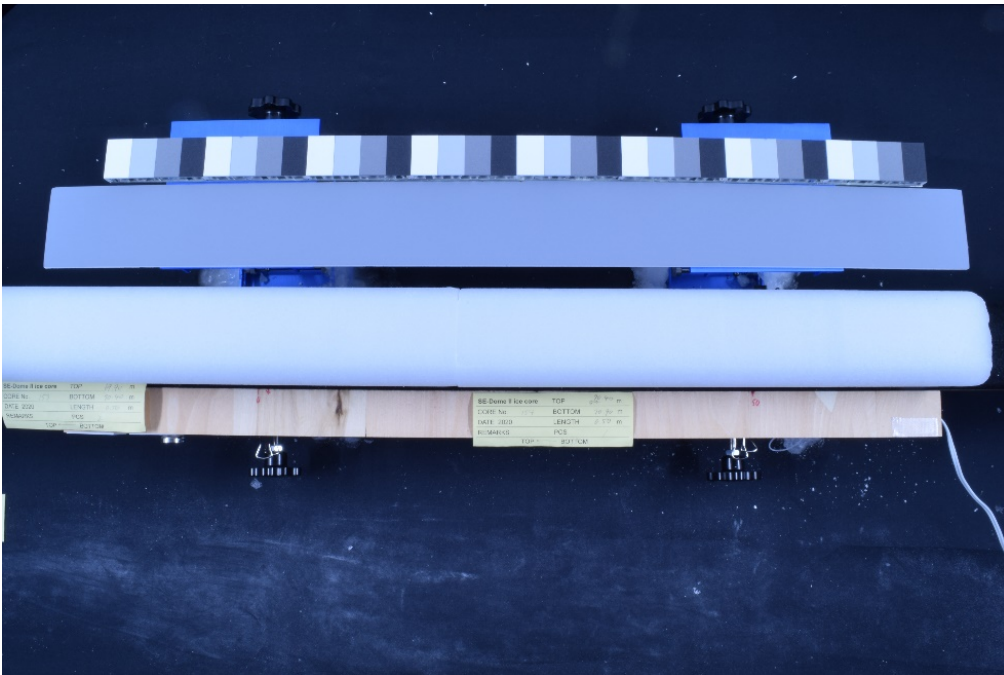


図 3. グリーンランド南東ドームアイスコア（1970年代の氷）

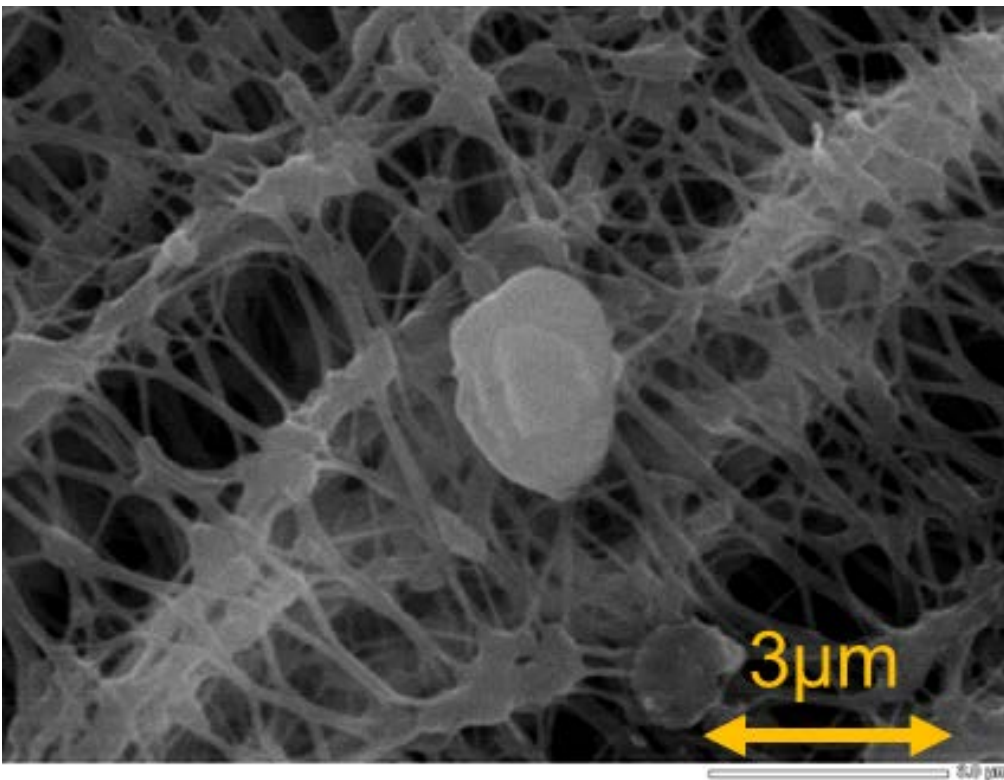


図 4. 1970年代の直径 $0.4 \mu\text{m}$ 以上の大きい硫酸エアロゾルの電子顕微鏡写真

【用語解説】

- *1 アイスコア … 極地氷床などで鉛直方向にくり貫かれる円柱状の氷試料のこと。
- *2 エアロゾル … 気体中に浮遊する微小な液体または固体の粒子と周囲の気体の混合体。
- *3 雲凝結核 … 雲が生成されるとき、気体の水蒸気から液体の水に凝結するとき核（凝縮核）として働く微粒子のこと。
- *4 フラックス … 流束（単位時間単位面積あたりに流れる量）のこと。