

グリーンランド北西部で野外廃棄物焼却時の PM_{2.5} を観測

～北極域で「誰一人取り残さない」大気環境把握への貢献に期待～

ポイント

- ・北極域グリーンランド北西部のカナックで屋外 PM_{2.5}（大気汚染度合い）の実態を初めて観測。
- ・カナックにおける野外廃棄物焼却時の大気汚染による PM_{2.5} 増加を初めて把握。
- ・北極域のローカルな大気汚染微粒子（PM_{2.5}）が周辺域の海洋へ沈着しうる可能性を示唆。

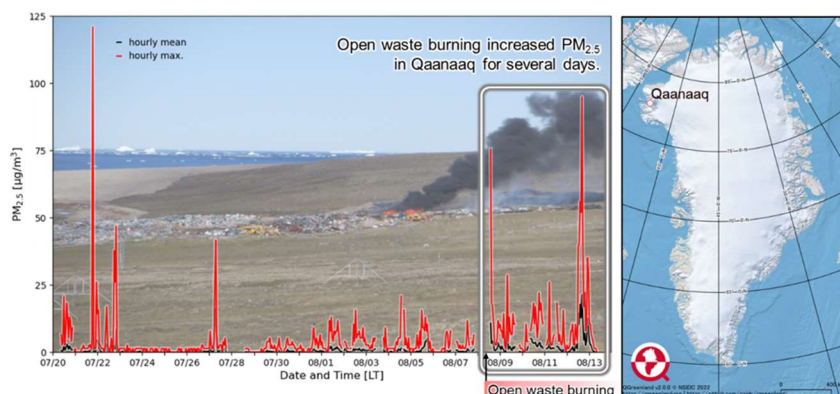
概要

北海道大学北極域研究センターの安成哲平准教授・ディスティングイッシュトリサーチャー、筑波大学理工情報生命学術院博士後期課程の梶川友貴氏、名古屋大学宇宙地球環境研究所の松見 豊名誉教授、及び米国 NASA による研究グループは、国連による持続可能な開発目標（SDGs）の「誰一人取り残さない（<https://sdgs.un.org/2030agenda>）」という方針を満たすため、北極域の住民にとって健康的な大気の質を維持することが不可欠と考え、北極域のグリーンランド北西部のカナックで初めて PM_{2.5} の観測を 2022 年 7 月 20 日から 8 月 13 日に行いました。

観測期間中に、複数回の PM_{2.5} 濃度の増加が観測され、8 月 8 日から比較的高い濃度が続きました。現地調査（写真・動画）と NOAA HYSPLIT^{*1} による後方粒跡線解析や NASA MERRA-2 再解析データ^{*2} などの複合的な分析から、この期間中、遠方からの越境大気汚染の影響が少ないと判断できたため、8 月 8 日以降の持続的な高濃度 PM_{2.5} は、カナックの野外廃棄物焼却によるものと特定されました。さらに、その際の PM_{2.5} の粒子の振る舞いについて NOAA HYSPLIT で拡散計算を行ったところ、バフィン湾のような近隣湾などの海に野外廃棄物焼却からの粒子が沈着している可能性も示唆されました。現地の役場の担当者への聞き取りから、2012 年から 2022 年の間焼却施設が稼働しておらず、グリーンランド政府の許可を経て野外で焼却が行われていたことも分かりました。現在は、おおむね週 1 回カナックの煙突のある焼却施設で焼却が行われており、野外での廃棄物焼却は行われなくなったとのことですが、北極域の住民が住んでいる場所で大気環境を長期間にわたって継続して測定することは、北極域で将来的に清浄な大気環境を確保するために必須です。

本研究は、グリーンランド・カナックにおける大気質測定及び廃棄物焼却の大気質への影響を初めて定量的に示すものであり、北極域における大気質政策を策定するうえで極めて重要な知見です。

なお、本研究成果は、2024 年 3 月 26 日（火）公開の Atmospheric Science Letters 誌に掲載されました。



グリーンランド北西部・カナックにおける野外廃棄物焼却による PM_{2.5} 濃度の上昇

【背景】

PM_{2.5} は、2.5 μm 以下の小さな大気中を浮遊する微粒子で、健康影響評価の観点から世界中で使用されている大気汚染度合いの指標ですが（<https://iris.who.int/handle/10665/69477>; <https://iris.who.int/handle/10665/345329>）、その観測は人が多く住む中緯度帯に集中していることがよく知られており（例えば、Lary et al., (2014, doi:10.4081/gh.2014.292) の図 1 参照）、北極域など高緯度地域ではその観測自体が行われていない場所が比較的多いのが現状です。場所によっては日常的に人が住んでいるにも関わらず、大気環境の状況を知ることが未だできていない地域があり、このことは、大気汚染の観点から、国連による持続可能な開発目標（SDGs）の「誰一人取り残さない（<https://sdgs.un.org/2030agenda>）」という方針を満たしていないことを意味します。

北極域のグリーンランド北西部カナックは、600 人ほどの住民が住んでいる場所（<https://en.wikipedia.org/wiki/Qaanaaq>）であり、日本の北極研究の国家プロジェクトでも長年研究が行われている地域ですが（現在は、ArCSII*³ という国家プロジェクト）、これまで大気汚染（大気質）の観点から大気環境が測定されておらず、大気環境の実態が全く分かっていませんでした。

【研究手法】

本研究では、住民にとっての健全な大気環境のため、大気質を把握することが不可欠と考え、グリーンランド北西部のカナックで 2022 年 7 月 20 日から 8 月 13 日に PM_{2.5} の短期観測を初めて行いました。測定に使ったのは、以前、安成准教授の研究グループで開発された「寒冷地仕様 PM_{2.5} 測定装置（内部にパナソニック社製の PM_{2.5} センサーを搭載）」*⁴ を商用版の装置*⁵ としてアップデートしたものです。気象データは、現地で独自に Kestrel 5500 Weather Meter や、おんどとり（TR-74Ui-S）で測定したものや、カナック空港のデータを使用し議論しました。また、NASA の MERRA-2 再解析データや、オンラインで計算可能な NOAA HYSPLIT の後方粒跡線や拡散計算ツールも使用しました。

【研究成果】

観測期間中、何度か PM_{2.5} 濃度が増加するイベントがありましたが、特に 2022 年 8 月 8 日以降に相対的に濃度の高い期間が続くことが分かりました（P1 図）。PM_{2.5} 濃度が高くなった五つのイベント時の空気塊の起源を調べるため、NOAA HYSPLIT による 3 日間の後方粒跡線解析を行ったところ、どのイベント時もグリーンランド氷床や付近の海から来ており、大気汚染のソースと考えられる場所は見当たりませんでした。また、観測期間に全球をカバーする MERRA-2 再解析データの気溶から計算された PM_{2.5} 濃度は常に低く（Yasunari et al., (2021, doi: 10.1088/1748-9326/abf7ef) の図 1 と同様な解析を 1 時間平均値で行った結果より）、多少前半期間に林野火災の影響がありそうなデータは見られたものの、現地観測のような高濃度を説明できるイベントは含まれておりませんでした。

PM_{2.5} 濃度は比較的午後の時間帯に増加する傾向があり（図 1c）、8 月 8 日以降、相対的に高濃度が継続しました（図 1a）。8 月 8 日は、カナックの廃棄物を捨てているダンプサイトから黒煙が上がるのが目視で観測でき、その煙はカナックの中心部まで輸送されていることも確認できました（図 2）。

これらから総合的に判断すると、8 月 8 日以降の相対的に PM_{2.5} 濃度が高くなったイベントは、カナックの野外廃棄物焼却による煙に含まれる大気汚染微粒子がカナック中心部へ輸送されたことによるローカルな大気汚染だと結論づけられました。8 月 8 日の黒煙が目視できた時間（図 2a）から 3.5 日間の粒子拡散計算を NOAA HYSPLIT で行ったところ（雨以外の地面の状態などで決まる粒子の落下速度をいくつか仮定して計算）、グリーンランドのカナック周辺の海域からバフィン湾の辺り

に沈着している可能性が示唆されました（図 3）。PM_{2.5} の観測から、野外廃棄物焼却は少なくとも 4.5 日は継続していた可能性があります（図 1a）、粒子拡散の計算はツールでは 3.5 日までしかできなかったため、実際には結果より多くの粒子が沈着している可能性も考えられます。

いずれにしても、北極域のローカルな野外廃棄物焼却の大気汚染微粒子が周りの海へ沈着していることが考えられたため、北極域のローカルな大気汚染と周辺海域へのその影響を調査することは将来の研究課題として重要であることが提案されます。これらの結果は、グリーンランド北西部における大気質への廃棄物焼却の影響を初めて定量的に示すものであり、今後、北極域におけるこの地域の大気質政策を策定するうえで極めて重要な知見です。

【今後への期待】

カナックの役場の担当者に確認したところ、カナックの焼却施設が 2012–2022 年の間使用できなかったため、その間、グリーンランド政府の許可を経て、今回の野外廃棄物焼却を行っていたことが分かりました。現在はおおむね週 1 回カナックの煙突のある焼却施設で焼却を行っているとのことで、野外での廃棄物焼却は行われなくなったということです。しかしながら、焼却施設からの煙による大気環境への影響や、年間を通してのグリーンランド北西部の大気環境の実態は分かっていません。国連 SDGs による「誰一人取り残さない (<https://sdgs.un.org/2030agenda>)」の観点から、カナックのような高緯度北極域に住む人々も、大気環境を定常的に把握でき、清浄な大気の下で長期的に健康に過ごせることは極めて重要です。そのために今後、より包括的な大気質の観測やローカルな大気汚染の要因の特定などに関する研究が必要とされるため、本研究をきっかけに、活発な研究が行われることが期待できます。

【謝辞】

本研究は、ArCS II (JPMXD1420318865)、日本学術振興会科学研究費補助金 (JP19H01976) からの支援を受けて行われました。

【関連する研究成果】

北海道大学・東京大学・三重大学共同プレスリリース「北極域の森林火災と西欧熱波を同時誘発させる気候パターンを初めて特定～北極域とその周辺で起こる夏季森林火災と熱波同時発生予測手法の発展とその高精度化への期待～」

発表日：2021 年 5 月 18 日

URL：<https://www.hokudai.ac.jp/news/2021/05/post-843.html>

北海道大学・名古屋大学共同プレスリリース「極寒の地域でも使用可能な PM_{2.5} 測定用の自動温度調節断熱ボックスを開発～アラスカなどの北極圏から南極まで今後の測器展開と寒冷地 PM_{2.5} 定常観測の発展に期待～」

発表日：2022 年 3 月 11 日

URL：<https://www.hokudai.ac.jp/news/2022/03/pm25pm25.html>

論文情報

論文名 Increased atmospheric PM_{2.5} events due to open waste burning in Qaanaaq, Greenland, summer of 2022 (2022年夏、グリーンランド・カナックにおける野外廃棄物焼却による大気中PM_{2.5}の増加)

著者名 安成哲平^{1,2}, 梶川友貴³, 松見 豊⁴, Kyu-Myong Kim⁵ (1北海道大学北極域研究センター、²北海道大学広域複合災害研究センター、³筑波大学理工情報生命学術院、⁴名古屋大学宇宙地球環境研究所、⁵アメリカ航空宇宙局 (NASA))

雑誌名 Atmospheric Science Letters (大気科学の専門誌)

DOI 10.1002/asl.1231

公表日 2024年3月26日(火) (オンライン公開)

【参考図】

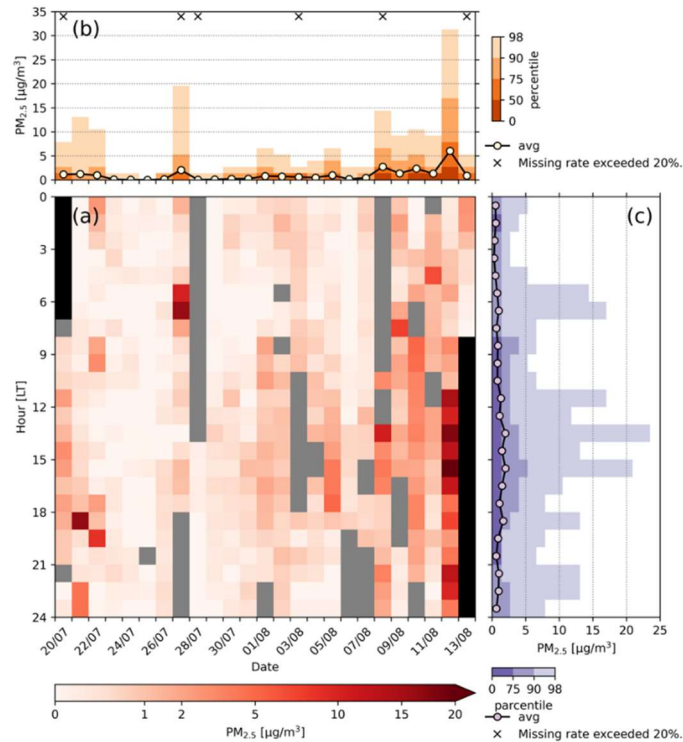


図 1. 2022 年 7 月と 8 月の PM_{2.5} 質量濃度の日及び時間ごとの統計量の分布：(a) PM_{2.5} 質量濃度の時間平均値のマトリクス図。(b) 日ごとの統計量。(c) 1 時間ごとの統計量。



図 2. 2022 年 8 月 8 日、カナックのごみ置き場の野外廃棄物焼却の様子：(a) PM_{2.5} を測定している中心部の住居 (QCH-N) 付近で 09:57:01 に撮影、(b) QCH-N で 10:01:01 に撮影、(c) ごみ置き場付近で 10:12:01 に撮影。撮影時刻はカナックの現地時刻に対応している。

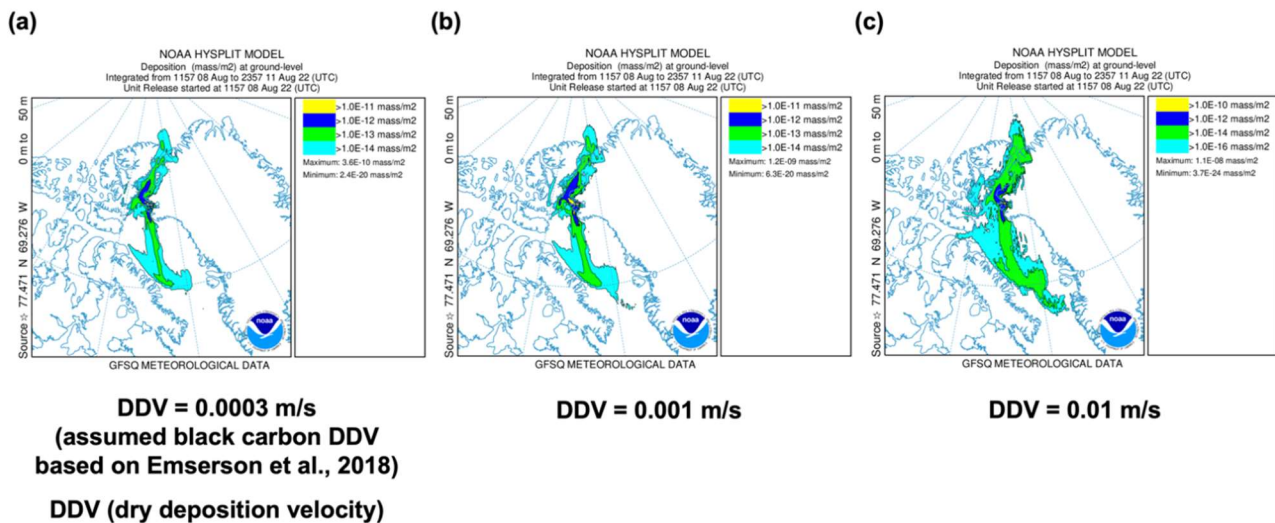


図 3. NOAA HYSPLIT モデルを用いた、三つの異なる乾性沈着速度 (DDV) によるカナックのゴミ置き場の地点からの粒子拡散による相対累積沈着量の計算：(a) $DDV = 0.0003 \text{ m s}^{-1}$ (Emerson et al., (2018, doi: 10.1029/2018JD028954) によるブラックカーボンを想定した乾性沈着速度に基づく)；(b) $DDV = 0.001 \text{ m s}^{-1}$ ；(c) $DDV = 0.01 \text{ m s}^{-1}$ 。3.5 日間の前方拡散計算は、2022 年 8 月 8 日 11 時 57 分 (UTC) に開始した (図 2a の現地時間 9 時 57 分に基づく)。

【用語解説】

- * 1 NOAA HYSPLIT (<https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT.php>) … アメリカ海洋大気庁 (NOAA) の Air Resources Laboratory が作成している全球の 3 次元気象データセットを使って、空気を粒子に見立て (空気塊) どこから輸送されたか計算したり (後方粒跡線解析や Backward Trajectory 解析と呼ばれる)、ある時間から先にどのように大気中の粒子が拡散・沈着するか (粒子拡散・沈着計算) を行うことができる。NOAA HYSPLIT のウェブサイトからオンラインでも計算が可能。
- * 2 NASA MERRA-2 再解析データ (<https://gmao.gsfc.nasa.gov/reanalysis/MERRA-2/>) … アメリカ航空宇宙局 (NASA) が作成する全球の大気・海洋・陸面などを計算できる数値モデル GEOS (https://gmao.gsfc.nasa.gov/GEOS_systems/) による全球数値シミュレーションに、衛星データ観測を反映した (データ同化と言う) 全球データセット。大気エアロゾルの変数も入っており、 $PM_{2.5}$ も計算できる (本研究では、Buchard et al., (2016, doi: 10.1016/j.atmosenv.2015.11.00404) 手法で計算)。
- * 3 ArCSII (<https://www.nipr.ac.jp/arcs2/>) … 現在行われている国立極地研究所、北海道大学、海洋開発研究機構が主導する日本の北極研究国家プロジェクトのこと。
- * 4 寒冷地仕様 $PM_{2.5}$ 測定装置 … 安成准教授らの研究グループで開発された自動温度調節断熱ボックス (Yasunari et al., (2022, doi: 10.1016/j.jenvman.2022.114784) 関連する研究成果参照) の内部にパナソニック社製の $PM_{2.5}$ センサー (Nakayama et al., (2018, doi: 10.1080/02786826.2017.1375078)) を搭載した装置の総称。
- * 5 商用版の装置 … 開発した寒冷地仕様 $PM_{2.5}$ 測定装置をアップデートしたもので (別の防水ファン、雨よけカバー追加、変圧器追加、外部塗装など)、株式会社タナカから入手可能 (<http://kktanaka.co.jp/products>) (上記*4 の $PM_{2.5}$ センサー及びセンサー周りの部品は個別に別途入手と内部への個別搭載が必要)。