

研究課題名：将来排出シナリオを用いた SLCFs の変化に伴う気候・地域環境への影響評価

課題代表者：国立環境研究所地域環境保全領域 五藤大輔
共同研究者：国立環境研究所地域環境保全領域 永島達也・打田純也
九州大学応用力学研究所 竹村俊彦
名古屋大学大学院環境学研究科 須藤健悟・Ha Thi Minh Phuc・
Hossain Mohammed Syedul Hoque・何彦峰・
Do Thi Nhu Ngoc・王靖凌・鎌田友美・水野光一郎・
正木悠斗・Wei Hui・郭力萌・翟旭峰
東京大学大気海洋研究所 鈴木健太郎
岡山大学学術研究院環境生命自然科学学域 道端拓朗・中尾穂乃香・出口歩海・
吉村航人
岡山大学理学部地球科学科 田村誠也・橋本真一
東北大学大学院環境科学研究科 Isah Mohammed Engha
海洋研究開発機構地球表層システム研究センター 関谷高志
Ulsan National Institute of Science and Technology 朴祥緒

実施年度：令和5年度～令和7年度

1. 研究目的

本研究課題では、大気中の PM_{2.5} などの微粒子（エアロゾル）や光化学オキシダントであるオゾンのような大気寿命が比較的短い大気汚染物質（特に、短寿命気候強制因子: SLCFs）量の変化による気候および地域環境の変化を評価することを大きな目的とする。このために、SLCFs の複雑な気候影響過程を組み込んだ気候モデルを用いて、SLCFs の将来排出量シナリオの違いによる気温・降水量のような気候変化を定量的に評価することで、将来の気候変動に対する SLCFs の影響を社会に発信することを目的とする。この目的実現のために、複数の気候モデルを用いて、SLCFs の組成毎・地域毎の気温・降水量のような気候変化を定量的に評価する。また、本目的を達成するために、数値シミュレーションで用いる気候モデル（MIROC-SPRINTARS、MIROC-ESM-CHEM、NICAM-Chem）の精度向上も必要となることから、継続的なモデル改良・検証も実施する。

2. 研究計画

環境省環境研究総合推進費 S-20 「短寿命気候強制因子による気候変動・環境影響に対応する緩和策推進のための研究」（代表：竹村俊彦）で計画した SLCFs 関連排出量の地域別変化をさせた感度実験（S-20 感度実験）を実施する。対象となる SLCFs が人為起源の SO₂、ブラックカーボン（BC）、有機炭素エアロゾル（OC）、窒素酸化物（NO_x）、揮発性有機化合物（VOC）、CO、NH₃ 等と多種類である。対象領域は、人為起源物質削減の場合、日本、中国、インド、インドネシア・タイ・ベト

ナム、その他アジア、EU、その他ヨーロッパ・ロシア、北米、中南米、オセアニア、中央アジア、アフリカ、アジア全域、全球の14区別であり、森林火災起源削減の場合は、東南アジア、シベリア、南米、アフリカ、全球の5区別と設定する。これらのシミュレーションを大気海洋結合モデルMIROC-SPRINTARSおよびMIROC-ESM-CHEM、大気モデルNICAM-Chemを用いて実施する。なお、MIROC-SPRINTARSは、近未来予測におけるエアロゾルの地域排出量の変化に対する気候・大気質の反応を定量化することを目的とした国際モデル相互比較プロジェクトRegional Aerosol Model Intercomparison Project (RAMIP) に新しく参加する。以上のシミュレーションと並行して、各モデルを用いた個別研究を進める。また、SLCFsにも関連する雲・雨・雪に関するモデリングをMIROCベースで継続して実施し、精度向上を目指す。

3. 進捗状況

S-20 感度実験では、大気海洋結合モデルであるMIROC-SPRINTARSを用いて、SLCFsに関連するSO₂、BC、OCの特定地域の人為起源排出量をゼロにしたシミュレーションを昨年度報告した。本年度は大気モデルNICAM-Chemで実施した実験結果を中心に報告する。NICAM-Chemのモデル解像度は56kmに設定し、モデル分解能の違いに伴う結果や応答の違いに注目することで、SLCFsの気候影響評価を実施した。特に不確実性が高いとされている人為起源BCの削減に伴うアジア域でのエアロゾル放射強制力に注目したところ、

図1のような結果が得られた。大気中の BC が減少すると、BC による光吸収成分の減少によってエアロゾル放射強制力は負の値となる。期待通り、大部分の地域では雲物理モジュールの違いに関わらず、エアロゾル放射強制力は負となった。しかし、インドでの結果に注目すると、エアロゾル放射強制力が正の値となることがあり、このことは BC のエアロゾル放射強制力による雲の変化が重要であることを示唆している。また NICAM-Chem では、BC 以外にも人為起源 NO_x、VOC、CO の排出量を各領域で変化させ、オゾン濃度変化にも着目したシミュレーションを実施中である。

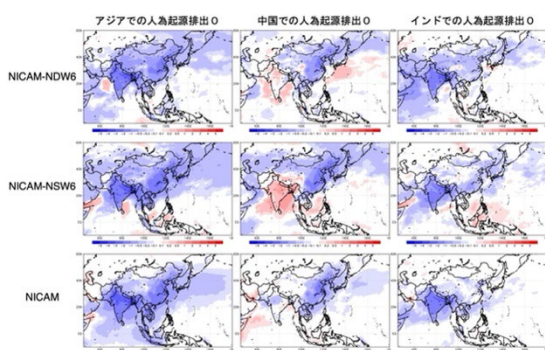


図 1. 大気上端における短波のエアロゾル放射強制力[Wm⁻²]の年平均水平分布で、感度実験と標準実験との差。青色が負の値、赤色が正の値を示す。用いた雲物理モジュールは、(上段)雲微物理 NDW6 で積雲パラメタリゼーションはなし(NICAM-NDW6)、(中段)雲微物理 NSW6 で積雲パラメタリゼーションはなし(NICAM-NSW6)、(下段)大規模凝結過程と積雲パラメタリゼーションを適用した(NICAM)モデルである。また、人為起源 BC の排出量を 0 にした場所がそれぞれ異なっており、(左列)アジア、(中央列)中国、(右列)インド、と設定した。

また、MIROC における雲・雨・雪に関する素過程の改良を進めた。CMIP6 などの国際モデル相互比較研究に参加しているほとんどの気候モデルが、降水を診断するモデリング手法を採用しているが、上空で生成された雨が瞬時に地表面へ到達してしまうモデル設計上の問題が潜在している。そこで、降水予報型スキームを MIROC に導入してきた (Michibata et al., JAMES, 2019, doi:10.1029/2018MS001596) が、今年度はその降水予報型スキームをさらに高度化し、降雹も予報する新しい微物理スキームを開発した。同時に、発雷頻度の診断スキームも併せて実装した。また、降雪の放射

効果の定量化を進め、降雪の放射効果による気温・降水量の変化を評価した。

その他、MIROC-SPRINTARS を用いた人為起源 SO₂ 排出量変化による感度実験結果を解析し、エアロゾルによる北大西洋温暖化ホール形成メカニズムを解明した (Kusakabe and Takemura, Sci. Rep., 2023, doi:10.1038/s41598-022-27315-3)。また、MIROC-ESM-CHEM を用いて、人為起源エアロゾルの前駆物質である SO₂ や NO_x の排出量の変化が、エアロゾルの雲凝結核と降水による除去過程の複雑な相互作用を経て、地上気温にどの程度の影響を及ぼすかを調べた。

4. 今後の計画

S-20 プロジェクトが 2021 年度から開始され、本課題では S-20 プロジェクトで必要とする様々なシミュレーションを実施してきた。S-20 感度実験では、特定の地域・組成・部門の SLCFs およびその前駆物質の排出量を変化させたシミュレーションを、大気海洋結合モデルである MIROC-SPRINTARS および MIROC-ESM-CHEM と、大気モデルである NICAM-Chem を用いて実施しているので、今後もモデル結果の解析を進める。さらに、S-20 プロジェクト内で作成される将来シナリオを用いたシミュレーションにも着手する。また、モデル間の比較も行う予定であり、それぞれのモデルの長所を生かし、SLCFs の変化に対する気象・気候場への影響を引き続き評価する。並行して、MIROC および NICAM のモデル精緻化も継続して実施する。

5. 計算機資源の利用状況 (2023 年 4 月 1 日～2023 年 10 月 31 日)

VE 時間積 v_debug: 3.1 hours, v_normal: 4,160,390.2 hours, 計: 4,160,393.3 hours, (全体の VE 時間積に対する占有率: 56.6%)