

研究課題名：短寿命気候強制因子の変化に伴う気候・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・安井良輔
 名古屋大学大学院環境学研究科 須藤健悟・Ha Thi Minh Phuc・松田涼樹・
 府中雄大・Hossain Mohammed Syedul Hoque・中田裕太・何彦峰・王靖凌・
 鎌田友美・水野光一
 岡山大学学術研究院自然科学学域 道端拓朗
 東京大学大気海洋研究所 鈴木健太郎
 東京大学大学院理学系研究科 堀田陽香・Chiu-Tung Cheng
 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
 株式会社中電シーティーアイ 長谷川晃一
 Ulsan National Institute of Science and Technology 朴祥緒
 東京都市大学環境情報学研究科 Karkour Selim

実施年度：令和2年度～令和4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地球の放射収支・水循環に影響を与え、その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指す。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、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

時空間局在化が大きいSLCFsの地域毎での気候・環境影響評価を行う。SLCFsを取り扱う数値モデルの改良・検証に関しては、人工衛星や地上観測等の複数の観測情報を利用して、SLCFsおよび関連する物質の三次元構造の再現性を向上させる。本年度から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）が開始され、本課題で計算されたモデル結果は、SLCFsの変化に対する気候影響を評価することで、国の政策立案に大きく貢献するものである。S-20プロジェクトでは、共通排出量データおよびシナリオを用いた数値実験を実施することを計画しており、この実験に先立ち、個々のモデルでSLCFsに関連した数値シ

ミュレーションを行った。具体的には、MIROC-SPRINTARSを用いて、温暖化状況下でのSLCF変化に対する気温変化を調べた。また、MIROC-ESMを用いて、火山性エアロゾルが成層圏にまで到達した場合の大気化学場への影響を調べた。また、NICAM-Chemを用いて、エアロゾル除去過程モジュールに着目した比較研究を行った。以上のような取り組みに関する本発表を行う。

3. 進捗状況

MIROC-SPRINTARSを用いて、SLCFsの1つであり、主要な大気汚染物質である硫酸塩エアロゾルに着目し、その前駆気体であるSO₂排出量変化に対する気温変化を調べた（Takemura, 2020）。硫酸塩エアロゾルは、光散乱物質であり、雲凝結核の主要物質であることから、このエアロゾルの減少によって気温は上昇することが予想される。図1に示したように、計算結果において

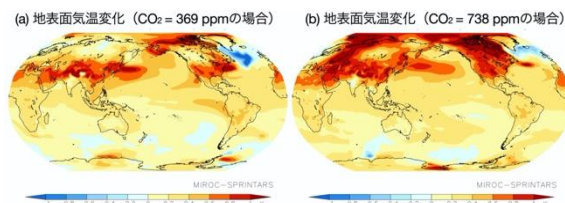


図1. MIROC-SPRINTARSで計算した人為起源SO₂排出量をゼロにした場合の年平均地上気温変化。
 (a)はCO₂濃度が369 ppmの場合、(b)はCO₂濃度が738 ppmの場合（Takemura, 2020）

も気温上昇は確かめられたが、本研究の重要な発見としては、CO₂濃度が高い状況下で同実験を行ったところ、CO₂濃度が高い方が同量のSO₂排出量減少でも気

温上昇が大きいことが明らかとなった。これは、雪氷・海氷アルベドと水蒸気フィードバックの影響が主な要因である。

MIROC-ESM を用いて、SO₂ が気候等に及ぼす影響を、成層圏オゾンや対流圏化学への影響と関連づけて調べた。20 世紀の代表的な火山噴火としては、1991 年 6 月に起きたピナツボ火山噴火であり、北半球で 0.5 度の気温低下が見られた。この火山噴火を対象とし、硫酸塩エアロゾルの微物理過程を改良した MIROC-ESM を用いた事例解析を行った。その結果、火山噴火による SO₂ 全球成層圏総量は噴火直後のピークを再現したものの、その後は過大評価していた。大気上端での外向き短波放射フラックスは、噴火後から 1994 年までは平年値より増加を示し、最大約 7 W m⁻² 増加した。大気上端での外向き長波放射フラックスは、噴火後から 1994 年までは平年値より減少を示し、最大約 2 W m⁻² 減少した。鉛直積算オゾン量は噴火により赤道付近で約 4% 減少し、北半球では概ね観測と一致していたが、南半球は過大評価であった。対流圏化学場では、OH 濃度が噴火後北半球中・低緯度での減少がみられ、ピナツボ火山の影響で最大約 7% の減少となった。

最後に、NICAM-Chem を用いて、エアロゾル除去過程（特にエアロゾル雲内洗浄過程あるいは rainout）の不確実性を調べるために、2011 年 3 月福島第一原子力発電所事故に伴う放射性セシウム 137 (Cs-137) を事例にとった領域規模実験を行った（Goto and Uchida, in press）。rainout は、特に微小粒子のシミュレーションに大きな不確実性を生じさせる。本研究では、領域高分解能実験可能な Diamond-NICAM に、他のモデルで利用されている raintou スキームを 4 種類導入すると共に、エアロゾル湿性沈着に深く関与する雲雨変換効率や雲微物理過程に関する複数のスキームを用いて、Cs-137 の粒子動態に関するモデル相互比較を実施した。実験結果を観測と比較したところ、概ね、±30% のバイアス、0.6-0.9 の相関係数、67-112 Bq m⁻³ の不確実性、<40% の精度（1/10 から 10 倍の範囲に収まる値の割合）となった。全ての実験結果を比較したところ、エアロゾル rainout スキームの感度は、雲微物理の取り扱いの感度よりも、Cs-137 濃度への影響が大きいことがわかった。

[参考文献]

D.Goto and J., Uchida (in press) J. Meteor. Soc. Japan.
T. Takemura (2020) *Sci. Rep.*, doi:10.1038/s41598-020-78805-1

4. 今後の計画

S-20 プロジェクトが本年度から開始され、本課題では S-20 プロジェクトで必要とする様々な数値実験を実施している。現在進行中である S-20 プロジェクト内での SLCFs 排出量減少による感度実験では、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ゼロにして気象場変化を解析する予定である。この実験では、本課題で主に利用している大気海洋結合モデルである MIROC-SPRINTARS および MIROC-ESM と、全球雲解像モデルである NICAM-Chem を用いる。数値実験では、大気モデルを用いて大気の違いに注目すると共に、大気海洋結合モデルを用いて大気海洋の相互作用を加味した遅い応答にも着目する。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・気候場への影響を評価したい。

5. 計算機資源の利用状況（2020 年 11 月 1 日～2021 年 10 月 31 日）

実行ユーザ数: 15

VE 時間積 v_debug: 210.29 hours, v_normal: 274,456.06 hours, 計: 274,666.35 hours, (全体の VE 時間積に対する占有率: 19.3%)