

## 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・  
Hossain Mohammed Syedul Hoque・中田裕太・何彦峰・王靖凌・  
鎌田友美・水野光一郎・正木悠斗・Wei Hui  
岡山大学学術研究院自然科学学域 道端拓朗・中尾穂乃香  
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  
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<sub>2.5</sub>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。2021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（以後、S-20感度実験と呼ぶ）を実施することを計画しており、本年度はその一部に着

手した。S-20感度実験と並行して、個々のモデルでSLCFsに関連した数値シミュレーションも行った。具体的には、MIROCのモデル結果の評価として、衛星シミュレータを利用し、より精密なモデルの評価をできるようにした。また、2022年1月に起きたトンガ火山噴火によって大気中に放出されたSO<sub>2</sub>及び微小火山灰シミュレーションも実施した。本発表では、以上の取り組みを中心に報告する。

### 3. 進捗状況

S-20感度実験では、まず大気海洋結合モデルであるMIROC-SPRINTARSを用いて、SLCFsに関連するSO<sub>2</sub>、ブラックカーボン（BC）、有機炭素エアロゾル（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実施し、削減しない場合との放射・気象場等の変化差を見ることで、SLCFsの環境・気候影響を評価した。放射場の影響を見るために、エアロゾルと放射相互作用（Aerosol-Radiation Interaction: ARI）による瞬時放射強制力（Instantaneous Radiative Forcing due to ARI: IRF<sub>ARI</sub>）に注目した。各領域（全球・中国・インド）での人為起源排出量（SO<sub>2</sub>、BC、OC）をゼロとしたシミュレーションを実施し、標準実験とのIRF<sub>ARI</sub>の差（SO<sub>2</sub>から生成される硫酸塩エアロゾル、BC、OCを含んだ有機炭素物質（OM））を計算した。その結果、図1に示したように、中国のみで変化させた場合、全球で変化させた場合と比べるとどの物質も13%程度のIRF<sub>ARI</sub>の差が生じていた。図2には海洋応答も加味したシミュレーションによる気温変化分布図を提示したが、中国の人為起源SO<sub>2</sub>削減で+0.06 K、BC削減で-0.01 K、OC削減で+0.01 Kの地上気温変化（全球年平均値）

が見積もられた。本要旨には示していないが、全球で人為起源排出量を削減した場合には、SO<sub>2</sub>削減で+0.51 K、BC削減で+0.05 K、OC削減で+0.09 Kの地上気温変化（全球年平均値）と見積もられた。全球で変化させた場合と比べるとSO<sub>2</sub>とOCは12%程度の差で、IRFariと同程度の差であったが、BCは符号も異なり、SO<sub>2</sub>とOCとは大きく異なる変化であった。BCを全球規模で削減することで、雲や水蒸気を介した複雑なフィードバックが発生するために、大気が必ずしも冷えないことは、我々の先行研究（Takemura and Suzuki, 2019）からも示唆されていたが、本年度は中国のみの削減では地球の平均地上気温が下がることが示された。並行して実施したインドのみで削減したシミュレーションによっても、地球の平均地上気温が下がることが示された。したがって、局所的なSLCFsの削減で効果的な温暖化抑制が実施できる可能性が示唆された。

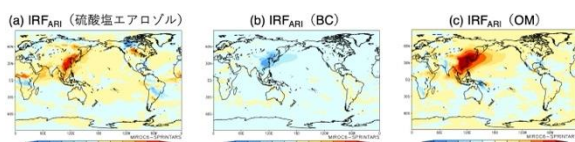


図 1. MIROC-SPRINTARS でシミュレーションした中国の人為起源 SO<sub>2</sub>、BC、OC 排出量による IRFari の全球分布図。(a) は硫酸塩エアロゾル、(b) は BC、(c) は OM に関する IRFari である。

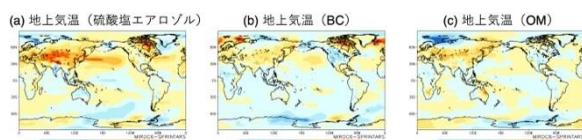


図 2. 図 1 と同じだが、地上気温の全球分布図。

不確実性が大きい雲のモデル結果の評価として、衛星シミュレータを利用した研究進捗も報告する。実際の衛星観測では、降雪粒子の一部も雲として判定されるが、これまでのモデル評価ではこの効果が考慮されていなかった。そこでこの効果を衛星シミュレータでも考慮することで、MIROC の雲のより厳密な評価を実施した。その結果、全球年平均の雲量の再現性が向上することがわかり、衛星観測との全球年平均値の誤差が 5%以内になることが計算された。

さらに、モデルが表現する降水が雨であるか雪であるか、そしてその強度がどのぐらいかを CloudSat 衛星観測の検出感度と同一条件で評価する方法（降水フラグ）を用いて、MIROC の降雨および降雪を評価した。その結果、MIROC は雪の頻度を過大評価する代わり

に、強度を過小評価する誤差補償が存在することが明らかとなった。

また、2022 年 1 月に起きたトンガ火山噴火によって大気中に放出された SO<sub>2</sub> 及び微小火山灰シミュレーションを MIROC で実施した。比較のために、1991 年ピナツボ火山シミュレーションも実施した。その結果、トンガ火山噴火起源エアロゾルによる IRFari はピナツボ火山の結果と比べて、およそ 1 桁小さいことがわかり、トンガ火山噴火起源エアロゾルによる気候変動は限定的と推定された。

#### 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いる。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 と、大気モデルである NICAM-Chem を用いて実施する。膨大な数のシミュレーションと、大気海洋結合モデルで必要とする 100 年規模の長期シミュレーションも実施するため、引き続きスーパーコンピュータを大規模に利用する。結果の解析では、大気モデルを用いて大気の速い応答に着目すると共に、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・気候場への影響を引き続き評価したい。

#### 5. 計算機資源の利用状況（2021 年 11 月 1 日～2022 年 10 月 31 日）

実行ユーザ数: 23

VE 時間積 v\_debug: 360.29 hours, v\_normal: 449,558.84 hours, 計: 449,919.14 hours (全体の VE 時間積に対する占有率: 35.6%)