

## 研究課題名：大気環境物質による環境・気候への影響評価

課題代表者：国立環境研究地域環境研究センター 五藤大輔  
 共同研究者：国立環境研究所地域環境研究センター 永島達也  
 九州大学応用力学研究所 竹村俊彦・道端拓朗  
 名古屋大学大学院環境学研究科 須藤健悟・大西貴都・Ha Thi Minh Phuc  
 海洋研究開発機構ビッグデータ活用予測プロジェクトチーム 関谷高志  
 近畿大学総合社会学部 中田真木子  
 株式会社中電シーティーアイ 長谷川晃一  
 ソウル大学校自然科学大学 朴 祥緒  
 State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical  
 Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences Tie Dai

実施年度：平成 28 年度～平成 30 年度

### 1. 研究目的

本研究課題では、全球規模の大気汚染物質輸送モデルと様々な排出シナリオを用いて、大気海洋応答を通じた大気汚染物質あるいは短寿命気候汚染物質 (SLCP) の環境・気候影響を評価する。使用する排出シナリオは、環境省推進費 S-12 プロジェクト (以後、S-12 と呼ぶ) で作成される社会経済シナリオや国際研究プロジェクトで作成されたシナリオなどを想定している。こうしたシナリオを施策として実現した場合に、気候モデル MIROC を用いて起こり得る環境・気候影響の科学的な根拠を提示することを第一の目的とする。MIROC ベースのモデルは過去の複数課題で十分に精緻化されているので、このモデルを用いて大気汚染物質の全球分布・長距離輸送、および気候影響に着目した数値実験を行い、大気汚染の三次元構造に関する定量的な理解を向上させることを第二の目的とする。また、MIROC とは異なる力学コアである非静力学正 20 面体大気モデル NICAM をベースにした大気汚染物質シミュレーションもを行い、MIROC とのマルチモデルによる比較を行うことで、大気汚染物質の分布の再現性を検証することを第三の目的とする。

### 2. 研究計画

本年度は、1960 年から 2010 年までのエアロゾルおよび短寿命気体の過去再現実験を行い、アジアの大気質の変遷に着目した。特に、我が国で行われてきた大気汚染規制の成果を見るために、2008 年を対象とし、過去の汚染対策をしなかった場合のシミュレーションもを行い、2 実験の差分をとった。今回の発表では、全球化学輸送モデル MIROC-CHASER を用いて全球規模で計算した結果をダウンスケーリングし、WRF-CMAQ による日本付近の領域高解像度計算結果も見せる。

また昨年度に引き続き、SLCP の削減により、気温がどの程度変化するかを調べるために、MIROC-SPRINTARS を用いて大気海洋結合計算を行った。本年度は、SLCP (特にブラックカーボン (BC) と関連するエアロゾルである硫酸塩エアロゾル (Sulfate) に着目) の変化に伴う大気の違いと遅い応答の切り分けを行い、それぞれの応答が気温にどのような影響を与えるかを考察した。

その他、SLCP の気温応答には雲を介した影響が大きいことが昨年度までの研究で示されたこともあり、本年度も継

続して MIROC の雲-降水スキームの改良も行い、昨年度新たに導入した 2 モーメント予報型降水スキームに、降雨と降雪も予報変数とすることで、エアロゾル・雲の相互作用を改善することができた。なお、結果は報告会で紹介する。

また、S-12 で作成された大気汚染物質の排出規制を強く意識した将来シナリオ (国立環境研究所社会環境システム研究センター・花岡達也氏の提供) を用いた将来実験も行なった。MIROC を用いた結果は現在解析中であるため、本発表では NICAM の領域モデルを用いて計算した結果のみ見せる。

### 3. 進捗状況

図 1 は、東アジア地域の PM2.5 の日平均値が 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  を超える日数を示しており、評価対象年を 2008 年とし、我が国における大気汚染対策が行われた再現実験 (対策あり実験) と、対策が行われなかった仮想実験 (対策なし実験) の結果である。この結果から、関東・関西・北九州などの大都市近傍では、これまでに行われた規制によって、PM2.5 高濃度発生日が 50-80% 抑制されていたことが示唆された。これは、我が国の大気汚染対策が非常に有効に働いたことを示しており、将来にかけての大気汚染対策の有効性を示す重要な成果である。

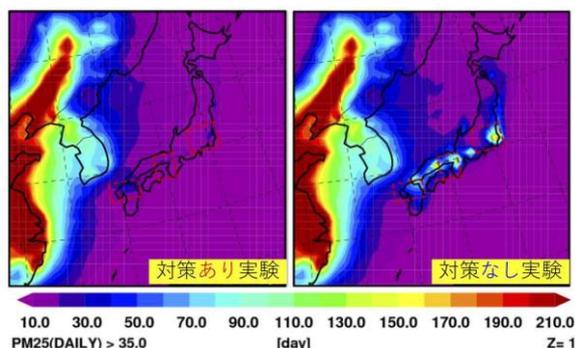


図 1. 東アジアを対象とした PM2.5 の日平均値が 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  を超える日数の分布。左図は我が国における大気汚染対策が行われた“対策あり実験”で、右図は対策が行われなかった“対策なし実験”の結果である。対象年は 2008 年であり、過去これまでに日本で行われてきた規制が無かったとした場合の 2008 年の排出量を入力して計算した。

図2は、SLCP変化に伴う全球地上気温応答であるが、海洋循環を考慮せず(海面水温を固定)に実験した結果では、BCと地上気温、あるいはSulfateと地上気温が線形に対応していることがわかった(図2右)。つまり、大気のみを介した速い応答ではBCおよびSulfateは地上気温に線形であることを示している。また、瞬時放射強制力ではBCによる地上気温変化はSulfateの約13%と小さかった。この差は、BCは速い応答が卓越するために瞬時放射強制力と異符号の放射収支が変化するのに対して、Sulfateは雲・エアロゾル相互作用による瞬時放射強制力と同符号の強い放射収支が変化するためである。その一方で、海洋循環も加味した結果では、特にBCと地上気温が非線形に対応していた(図2左)。これは、BC変化が大気加熱具合を変化させ、速い応答が変化し、これにより有効放射強制力の変化幅が小さくなることで、地上気温への影響が小さくなったことが示唆される。

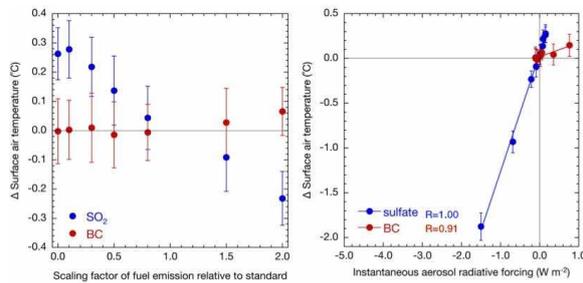


図2. MIROC-SPRINTARSによるSO<sub>2</sub>およびBCの排出量の変化による地上気温変化(左図)と、大気上端瞬時放射強制力と地上気温変化(右図)との関係の全球年平均値。排出量は0倍から10倍までの間で、不等間隔で変化させた。

図3はNICAMのストレッチ領域版を用いて、S-12シナリオで計算した東アジアでのエアロゾル関連量の変化を示した。現状行われている汚染物質排出の対策(シナリオ1)に加えて、2度目標対策のうち特にSLCPに関連する対策をより進めたシナリオ(シナリオ2)を用いて、シナリオ毎に、2030年(将来)と2010年(現在)の差を比較した。その結果、中国でSO<sub>2</sub>排出対策が十分に進められないシナリオ1では、2030年のエアロゾル光学的厚さ(AOD)は2010年のAODよりも大きかった(図3aで赤い部分が増加した領域)。しかし対策を十分行なったシナリオ2では、2030年のエアロゾル光学的厚さ(AOD)は2010年のAODよりも小さくなった(図3bで青い部分が減少した領域)。これらのエアロゾル量の変化の結果、大気短波放射フラックス(d-SWATM)は、シナリオ1ではどこでも正であるのに対して、汚染対策をより行なったシナリオ2では負になる領域も見られるようになった(図3cと3d)。このことは、SLCPの環境・気候影響も考慮した社会経済シナリオに従うと、気温を抑制することもでき、大気環境も改善できることが示している。逆に、汚染物質の排出規制対策をかなり厳しく行わなければ、汚染物質の削減だけでは気温増加を抑制することはできないことが示された。

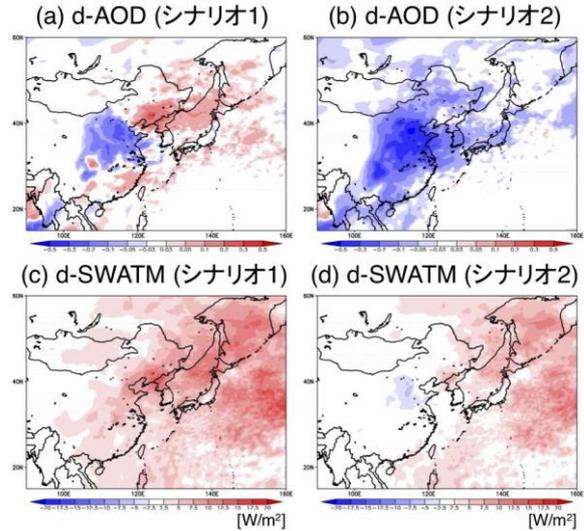


図3. NICAMのストレッチ版を用いて計算したエアロゾル光学的厚み(AOD)と大気中の短波放射フラックス(SWATM)に関して、2030年と2010年の変化量( $\Delta$ )の夏季(6-8月)平均分布図。用いたシナリオはS-12プロジェクト下で作成された将来シナリオ(国立環境研究所社会環境システム研究センター・花岡達也氏の提供)である。

#### 4. 今後の計画

今年度の残りの期間で、S-12で作成された過去・現在・将来シナリオと複数の数値モデルを用いて長期積分した結果を、大気汚染物質による環境・気候への影響という観点から、継続して解析する。

またこれまでの成果を通じて、SLCP削減パスに関する科学的知見を検討してきたが、SLCPを削減しても当初期待されたほど地上気温が下がらないことがわかった。この結果は、SLCPの中でも特にBCの変化に対する気温応答がかなり複雑な過程を経ており、特に雲・降水を介した影響が強いことが主な理由であると考えられる。従って、大気汚染物質による環境・気候への影響評価をより高精度に行うために、エアロゾル・雲・降水の相互作用に関連したモジュールの改良を継続して行う。

#### 5. 昨年度の研究課題名

大気汚染物質による環境・気候への影響評価

#### 6. 計算機資源の利用状況(2017年10月1日～2018年11月30日)

実行ユーザ数: 12

CPU 時間 v\_deb: 289.91 hours, v\_32cpu: 56,383.79 hours, v\_96cpu: 1,245,442.16 hours, v\_160cpu: 336,181.38 hours, 計: 1,638,297.24 hours