

Environment Research and Technology Development Fund

環境研究総合推進費 終了研究成果報告書

SLCPの環境影響評価と削減パスの探索による気候変動対策の推進 (S-12)

平成26年度～平成30年度

Evaluation of SLCP Environmental Impact and Promotion of Climate Change Countermeasures through
Seeking the Optimal Pathway

〈研究代表機関〉

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構

2019年5月

目次

I. 成果の概要	1
1. はじめに (研究背景等)	
2. 研究開発目的	
3. 研究開発の方法	
4. 結果及び考察	
5. 本研究により得られた主な成果	
6. 研究成果の主な発表状況	
7. 研究者略歴	
II. 英文Abstract	16

I. 成果の概要

課題名 S-12 SLCPの環境影響評価と削減パスの探索による気候変動対策の推進

課題代表者名 中島 映至（宇宙航空研究開発機構 第一宇宙技術部門地球観測研究センター 参与）

研究実施期間 平成26～30年度

累計予算額 940,448千円（うち平成26年度：199,999千円 平成27年度：190,000千円、平成28年度：180,499千円、平成29年度：189,523千円、平成30年度：180,427千円）
累計予算額は、間接経費を含む。

本研究のキーワード：地球温暖化、大気汚染、短寿命気候汚染物質、SLCP、エアロゾル、ブラックカーボン、オゾン、排出インベントリ、排出シナリオ、気候変動、環境影響、健康影響、農業影響

研究体制

- (1) 大気質変化事例の構造解析と評価システムの構築（国立研究開発法人国立環境研究所）
 - （サブテーマ1）マルチスケール大気質変化評価システムの構築と変化事例の解析（国立研究開発法人国立環境研究所）
 - （サブテーマ2）アジア域排出インベントリシステムの開発（一般財団法人日本環境衛生センター）
 - （サブテーマ3）地域スケールの排出量逆推計システムの構築（国土交通省気象庁気象研究所）
- (2) 統合評価モデルの改良とそれを用いた将来シナリオの定量化（国立研究開発法人国立環境研究所）
 - （サブテーマ1）世界を対象とした統合評価モデルの改良とそれを用いた排出シナリオの定量化（国立研究開発法人国立環境研究所）
 - （サブテーマ2）国・地域を対象とした統合評価モデル開発と排出シナリオの定量化（みずほ情報総研株式会社）
 - （サブテーマ3）都市スケールにおける排出シナリオの定量化と大気汚染影響の評価（京都大学）
- (3) 数値モデルによる気候・環境変動評価と影響評価（九州大学）
 - （サブテーマ1）数値モデルを用いたエアロゾルによる気候変動の評価（九州大学）
 - （サブテーマ2）数値モデルを用いた短寿命微量気体による気候変動の評価（名古屋大学）
 - （サブテーマ3）短寿命大気汚染物質による気候変動に伴う健康へのインパクト評価（京都大学）
 - （サブテーマ4）短寿命大気汚染物質による気候変動に伴う農業へのインパクト評価（茨城大学）
 - （サブテーマ5）短寿命大気汚染物質による気候変動に伴う水循環変動の評価（国立研究開発法人海洋研究開発機構）
 - （サブテーマ6）短寿命大気汚染物質・雲・降水相互作用に伴う領域気候変動の評価（近畿大学）
- (4) 統合運用システムの構築（東京大学）
- (5) 環境影響評価と気候変動対策の推進（国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構）

研究協力機関

テーマ1:

九州大学応用力学研究所

一般財団法人電力中央研究所環境科学研究所

テーマ2:

中国: 国家発展和改革委員会能源研究所、中国科学院広州能源研究所、中国環境科学研究院

インド: インド経営大学院アーメダバード校、ボパール建築計画研究所、アーメダバード大学

タイ: アジア工科大学、タマサート大学、キングモンクット大学

インドネシア: ボゴール農業大学、バンドン工科大学

マレーシア: マレーシア工科大学

ネパール: アジア技術経営大学

韓国: 国立ソウル大学校、ソウル市立大学校、国立環境科学院

テーマ3: なし

テーマ4:

国立研究開発法人国立環境研究所

テーマ5: なし

1. はじめに(研究背景等)

大気汚染はアジア・アフリカなど各国とも深刻な問題となっており、将来的な大気質の改善は人間社会にとって重要な課題である。我が国でも、国内における短寿命気候汚染物質(SLCP)削減や大陸からの越境汚染問題への対処が必要になっている。SLCP削減の努力は、2012年に始動した気候と大気浄化の国際パートナーシップ(CCAC)などにより始まっているが、IPCC-AR5評価活動でも示されているように、SLCPによる複雑な気候変動は十分にわかっていない。例えば、人為起源エアロゾルの直接・間接気候影響の放射強制力はIPCC-AR4とIPCC-AR5で大きく異なっている。これは、放射強制力への影響メカニズムが複雑なことと、SLCPの時空間変動が激しいために汚染状況が十分に現状把握されていないことに起因している。そのためにSLCPの最適な削減施策の探索にも大きな不確実性を伴っている。特に、領域スケールの気候変動を引き起こす可能性が指摘されているが、その評価は難しい。

2. 研究開発目的

S-12課題では、領域大気化学輸送モデルと逆推計手法を用いたSLCP排出インベントリの高度化、アジア太平洋統合評価モデル(AIM)におけるSLCP過程の高度化、気候・環境モデルによる影響評価を行い、この3つのシステムを組み合わせることでSLCP削減施策の探査を行う。

そのために、次のS-12課題では次の5つのテーマの活動を行う(図1)。

(テーマ1) 大気質変化事例の構造解析と評価システムの構築

(テーマ2) 統合評価モデルの改良とそれを用いた将来シナリオの定量化

(テーマ3) 数値モデルによる気候・環境変動評価と影響評価

(テーマ4) 統合運用システムの構築

(テーマ5) 環境影響評価と気候変動対策の推進

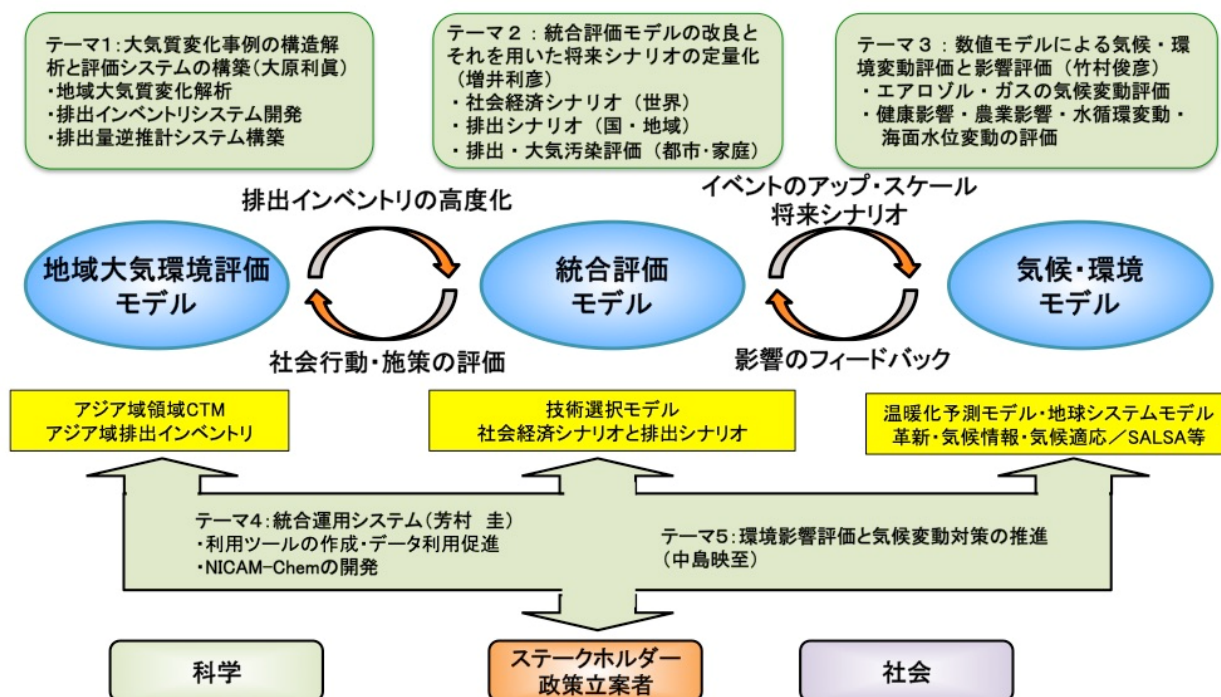


図1. S-12の研究課題と研究体制

3. 研究開発の方法

(1) 大気質変化事例の構造解析と評価システムの構築

アジアにおいて大気汚染と地球温暖化による環境影響の緩和に対して有効なSLCP削減の効果的な対策メニューを示すために、過去の大気質変化イベントの定量的解析を通じて、SLCP削減の有効な対策を明らかにし、対策効果の定量的評価ツールを開発することを目指す。そのために、全球・領域化学輸送モデル(CTM)をもとに、都市～アジアスケールの大気質変化事例の解析や対策効果の評価が可能なマルチスケール化学輸送モデルシステムを構築し、過去に実施された大気汚染対策に適用して、排出量変化と大気質変化の定量関係を評価する。更に、本研究で構築される排出インベントリ、排出量逆推計システムと統合して「マルチスケール大気質変化評価システム」を構築し、地域大気質変化事例によって検証する。最終的に、このシステムを用いて、大気汚染対策効果を分析することによりSLCP対策の有効性を定量的に明らかにする。

具体的には、アジア地域において、社会経済変化や環境対策によって大気質が変化した事例をSLCP対策の社会実験ケースとして捉え、その事例時の観測データや社会経済データ、対策情報等を収集し、排出インベントリ(EI)/化学輸送モデル(CTM)/排出量逆推計モデル(IM)を活用して変化要因や対策効果を定量的に分析するとともに、その変化を再現できるようにEI/CTMを改良することにより、SLCP対策効果を定量的に評価可能な計算システムを構築する。この目的を達成するために、マルチスケール化学輸送モデルシステム(サブテーマ1)、アジア域の排出インベントリシステム(サブテーマ2)、排出量逆推計システム(サブテーマ3)の開発・改良を進め、これらの3つのシステムを「マルチスケール大気質変化評価システム」として統合して、大気汚染対策による排出量削減効果・大気質改善効果を定量的に分析する。

研究は次のサブテーマで実施する。

(サブテーマ1) マルチスケール大気質変化評価システムの構築と変化事例の解析 (国立研究開発法人国立環境研究所)

(サブテーマ2) アジア域排出インベントリシステムの開発 (一般財団法人日本環境衛生センター)

(サブテーマ3) 地域スケールの排出量逆推計システムの構築 (国土交通省気象庁気象研究所)

(2) 統合評価モデルの改良とそれを用いた将来シナリオの定量化

テーマ2では、分析対象を世界、国、地方（都市、農村）といったスケールでそれぞれモデル開発を行い、各スケールでの社会経済情報や排出インベントリが整合するように情報を共有して、将来の排出シナリオを定量化した。

世界を対象とした分析では、これまで将来の世界の地域別GHG排出シナリオを提供してきた世界技術選択モデルであるAIM/Enduse [Global]について、SLCP対策についても検討が可能となるようにモデル改良を行うとともに、アジアのインベントリをテーマ1で更新されたREASに基づいて更新し、世界地域別・部門別の将来のLLGHG及びSLCPの排出シナリオを定量化した。また、推計結果を気候モデルの入力となるように0.5°メッシュの情報にダウンスケールを行い、テーマ3と4に提供した。さらに、様々な取り組みを踏まえたAIM/Enduse [Global]の計算結果を簡易に再現することができるツールAIM/SLCPの開発を新たに行った。国を対象とした分析では、「1. 地域スケールの技術選択モデルの開発」、「2. 地域毎のLLGHG、SLCP排出シナリオの作成」、「3. 異なるスケールでのLLGHG、SLCP将来シナリオ定量化」に貢献することを目的としている。これらの目的1～3に資する作業として、① エンドオブパイプ技術のデータ構築、② エンドオブパイプ技術のデータを実装した技術モデルの開発それを用いた中国・インドの国レベルの排出量推計、③ 中国・インドの地域レベルの排出量推計を実施した。都市や地方を対象とした分析では、家庭、交通を対象としたLLGHGやSLCPの排出シナリオの推計やその前提となるエネルギー需給についての定量化を目的とした分析を行った。

なお、各スケールにおける定量化では、IPCC第五次評価報告書以降の国際モデル比較研究で用いられている共通社会経済シナリオ（SSP: Shared Socioeconomic Pathways）をのうちの中庸社会であるSSP2を基礎とし、国より詳細な分析ではSSPの情報をダウンスケールして、サブテーマ間の整合性を確保している。また、排出シナリオについては、2°C目標に相当する場合と、健康被害をできるだけ抑えることを目指したシナリオを設定し分析を行った。

研究は次のサブテーマで実施する。

（サブテーマ1）世界を対象とした統合評価モデルの改良とそれを用いた排出シナリオの定量化（国立研究開発法人国立環境研究所）

（サブテーマ2）国・地域を対象とした統合評価モデル開発と排出シナリオの定量化（みずほ情報総研株式会社）

（サブテーマ3）都市スケールにおける排出シナリオの定量化と大気汚染影響の評価（京都大学）

（3）数値モデルによる気候・環境変動評価と影響評価

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）などにおいて、人為起源エアロゾル全体の地球平均放射強制力は負であると評価している。したがって、コベネフィットを目指した単純な人為起源エアロゾル関連排出量の削減は、地球温暖化を加速する可能性があることに留意する必要がある。このことを踏まえて、本研究課題では、標準的な排出量インベントリから排出量を増減させたデータを与えて、エアロゾル気候モデルMIROC-SPRINTARSおよび化学気候モデルMIROC-CHASERによるシミュレーションを実施する。その結果を解析し、SLCPs関連排出量の変化に対する気象場の感度を定量的に評価する。このシミュレーションの基本部分は、国際的なモデル相互比較プロジェクトのプロトコルに準拠しているため、国際的な研究コミュニティーにも広く貢献するものでもある。

健康影響評価では、SLCPsの濃度変化による健康へのインパクトを評価するために、SLCPsのうち特に健康影響が懸念されるPM2.5とオゾンの長期曝露による健康影響に関する疫学知見を整理統合し、非線形性も含めた曝露—反応関数を作成する。その上で、PM2.5およびオゾン濃度のシミュレーション結果に基づき、健康影響評価を行う。農作物収量影響評価では、SLCPsが作物収量に及ぼす影響について、対流圏オゾンによる直接的影響に加え、SLCPsによる気候変動を介した間接的影響も含めて統合的に評価する。評価の高精度化のために、水稲収量モデルMATCROの全球モデル化およびオゾン影響プロセスの導入を行う。

以上の研究をベースとして、エアロゾル気候モデル・化学気候モデル両者が含まれるMIROC-ESMを用いて、S-12プロジェクトで新たに開発するSLCPsに関する複数の排出量シナリオに沿った将来予測シミュレーションを実施する。その結果を、気候変動・健康影響・農作物収量影響の観点から解析し、SLCPsの削減効果を定量化して、大気汚染および地球温暖化の緩和策を検討する際の科学的な情報を統合的に提供する。

研究は次のサブテーマで実施する。

- (サブテーマ1) 数値モデルを用いたエアロゾルによる気候変動の評価(九州大学)
- (サブテーマ2) 数値モデルを用いた短寿命微量気体による気候変動の評価(名古屋大学)
- (サブテーマ3) 短寿命大気汚染物質による気候変動に伴う健康へのインパクト評価(京都大学)
- (サブテーマ4) 短寿命大気汚染物質による気候変動に伴う農業へのインパクト評価(茨城大学)
- (サブテーマ5) 短寿命大気汚染物質による気候変動に伴う水循環変動の評価(国立研究開発法人海洋研究開発機構)
- (サブテーマ6) 短寿命大気汚染物質・雲・降水相互作用に伴う領域気候変動の評価(近畿大学)

(4) 統合運用システムの構築

テーマ4では、テーマ1～3が開発するSLCP排出インベントリ高度化システム・AIMのSLCP過程の高度化システム・気候変動の影響評価システムを連結した統合運用システムの開発を実施する。そのために、3つのシステムの連結に役立つツールキットとデータ授受のためのデータアーカイブシステムを作成する。政策立案者が参加して、対策コストと影響を評価しながら能動的に最適パスの探査を試みることにより、システム利用法を確立する。そのために、様々な削減パスの影響を評価できるユーザインターフェースを作成する。一方、代表的なSLCPであるブラックカーボンの排出量変化がもたらす全球平均地上気温へのインパクトのメカニズムを理解するために、S-12テーマ3の研究によって実施された、数値気候モデルMIROC-SPRINTARSによるSLCP気候影響解析のための数値実験データを用いた詳細な解析を行う。また、次世代雲解像大気モデルに主要な大気汚染物質に由来する大気化学過程を導入したNICAM-Chemを用いて、詳細な領域計算から全球的な影響評価までをシームレスに行う必要があるため、計算格子を柔軟に設定できるストレッチ版及び領域版NICAM-Chemを実用的に稼働できるように整備するとともに、世界最高解像度での全球計算を実施可能とする。さらに、ブラックカーボンの排出量変化は地上気温に対する感度は小さいものの降水量は顕著に変化することを鑑み、降水量や気温の変化に伴う水資源の変化や洪水・渇水といった水災害への影響まで見積もるため、領域シミュレーションの精度向上を視野に入れた地表面過程モデルの高度化を行う。

(5) 環境影響評価と気候変動対策の推進

テーマ1～4が開発するSLCP排出インベントリ高度化システム・AIMのSLCP過程の高度化システム・気候変動の影響評価システム・統合運用システムの機能評価を行なう。また、研究の進捗に関するテーマ間の調整を行なう。政策立案者が参加して、対策コストと影響を評価しながら能動的に最適パスの探査を試みることにより、システム利用法を確立する。また、プロジェクトの活動の国内外での発信と役立つ項目に関する研究連携を推進する。

4. 結果及び考察

(1) 大気質変件事例の構造解析と評価システムの構築

アジアにおけるSLCP関連物質の排出量と大気質の最近の変化並びに長期変化を把握するとともに、これまでに実施された大気汚染対策による大気環境改善効果を明らかにすることを目的として、全球・東アジア・日本国内を対象としたマルチスケール化学輸送モデルシステム、アジア域における排出インベントリシステム、衛星・地上観測を使用した排出量逆推計システムを結合したマルチスケール大気質変化評価システムを構築した。このシステムを活用して、サブテーマ連携によりアジア域における排出量と大気汚染対策効果を解析した。主な結果は以下のとおりである。

① SLCP関連物質排出量の長期変化の把握

アジア域排出インベントリREAS (Regional Emission inventory in Asia) を拡張し、1950年から2015年までの様々なSLCP関連物質の人為起源排出量を推計した。その結果によると、(a) 最近65年間にアジアにおける排出量は、SO₂で約20倍、NO_xで約30倍、BCでは約5倍に増加したこと、(b) 中国ではいずれの物質の排出量も急速な経済成長によって1970年頃から急増したが、第11次・第12次五か年計画(2006～2015年)において大気汚染対策が強化された結果、SO₂とNO_xは減少傾向に、その他の物質も増加傾向が鈍化もしくは横ばいに転じたこと、(c) 一方、東南アジアと南アジアの排出量は近年の経済発展によって、そ

の増加率が上昇し続けていることが明らかとなった。

②NO_x排出量の最近の変化の解析（排出インベントリ法と逆推計法の連携解析）

排出インベントリの結果を初期値として、衛星観測データに整合するように排出量を逆推計することによって、不確実性を減らし、かつ、迅速に推計する手法を開発した。例えば、中国におけるNO_x排出量の最近の変化を排出インベントリ法と逆推計法によって推計したところ、当初は両者の差異が非常に大きな状態であったが、その後、両手法の改訂を進め、最終的にほぼ一致する結果が得られた。また、インドについても両手法による結果は良く一致した。このような解析により、中国では大気汚染対策によりNO_x排出量が減少に転じたのに対し、もう一つの排出大国であるインドでは増加傾向が加速していることが、確かな知見として得られた。

③大気汚染対策による排出削減効果・大気質改善効果の定量評価

中国と日本の大気汚染物質排出量について、対策による削減量を推計した結果、例えば、NO_xについて見ると、中国における排出量は、対策を実施したことによって35%程度が削減され、特に発電所への脱硝装置の導入が排出量の減少に寄与していると推計された。一方、日本では対策による削減率は約80%と高く、特に自動車対策による効果が大きいことが示された。更に、化学輸送モデルを用いて、日本と中国の大気汚染対策によるPM_{2.5}やオゾンなどの低減効果を調べたところ、東アジアの広域でこれらの濃度が低下し、大気質が改善したことが明らかとなった。

④将来排出シナリオ作成のための基準年排出量データの提供

S-12全体のSLCP排出シナリオを作成するために、REASとテーマ2のアジア太平洋統合評価モデル(AIM)のインベントリ構造を整合させた後、本研究で改良・改訂されたREAS排出量をAIMの基準年排出量として提供した。また、REASとAIMの排出基礎情報の共有化を進めた。

(2)統合評価モデルの改良とそれを用いた将来シナリオの定量化

パリ協定で定められた2°C目標シナリオの実現に向けた低炭素対策を取りつつ、健康影響・環境影響を軽減させ、さらに2°C目標シナリオの実現を後押しするようなSLCP削減シナリオの探索を、世界を対象とした技術選択モデルであるAIM/Enduse[Global]を用いて行った。国別・部門別・ガス種別に排出増減の傾向が異なり、またガス種別に大幅削減にむけた有効な対策の組み合わせが異なるため、様々な対策の組み合わせを分析し、テーマ横断で解析するシナリオの候補として、9つのシナリオについて相乗効果・相殺効果の傾向を解析した。その結果、CO₂排出経路およびGHG排出経路は類似していても、対策技術の組み合わせ次第で、大気汚染物質(SO₂, NO_x, OC, PM, CO, NMVOC)およびSLCP(BC)の排出経路は大きく異なることが分かった。特に、SLCP削減シナリオとして、BCやCH₄の排出源に対する「直接的な削減対策」と、NO_x, CO, NMVOCの排出源に対して対策を取ることで対流圏O₃生成を抑制する「間接的な削減対策」に注目すると、1)発電部門における電源構成(石炭または再生可能エネルギーを優先する)、2)発電・産業部門におけるCO₂回収貯留、3)家庭・業務・運輸部門における電化率の促進、および4)発電・産業・運輸部門における除去装置導入の促進、に関する将来シナリオの設定が、結果に影響を与えることが分かった。その結果、1) BCを大幅削減しつつ、健康影響を考慮してSO₂も十分に削減し、2) 対流圏O₃の抑制のために前駆物質であるNO_x, CO, NMVOCを削減し、かつ大気中CH₄増加の抑制のためにNO_x, COを同時に削減し、3) SO₂, NO_x, NMVOC削減による地域的な冷却効果の低減(=温暖化影響の増加)による相殺効果、を考慮すると、「2°C目標を再生可能エネルギー強化、民生・運輸での電化促進、汚染除去対策は強化継続(2D-EoPmid-RESBLDTRT)」というシナリオが、総合的にSLCP削減シナリオとして有効であると考えられた。

また、AIM/Enduse [Global]は政策決定者を含めた一般ユーザー向けではないため、ステークホルダーが独自にシナリオを検討し、評価対象ガス種の排出量、削減量だけでなく、環境影響や健康影響を簡易に評価できるように、テーマ1、テーマ3およびテーマ4と連携して、タブレット上でも挙動するブラウザ版簡易評価ツールAIM/SLCP (Scenario Lookup by Coalition for Protecting environment tool)を開発し、http://www-iam.nies.go.jp/aim/data_tools/S12/にて公開した。

そのほか、開発・改良した国版のAIM/Enduseを用い、中国及びインドを対象とした2010年から2050年までの温室効果ガス、大気汚染物質及びSLCPの排出量の推計を行い、導入技術による除去率の推移や対策導入の

ための追加費用の推計を行った。また、中国における省やインドにおける州を対象とした排出シナリオの推計もあわせて行った。また、民生部門における屋内大気汚染物質や交通を起源とする排出シナリオの定量化においては、都市と農村、所得や気候など詳細な情報を用いて、その基礎となる目的別エネルギー種別のエネルギー需要量の推計を行った。

(3) 数値モデルによる気候・環境変動評価と影響評価

テーマ3としてまず示すべき研究成果は、大気上端での放射強制力の大きさからこれまでに想定されていたブラックカーボンによる地上気温の変化が小さいことを、そのメカニズムとともに示したことである。気候変動や大気汚染の国内外におけるこれまでの対策は、放射強制力と気温変化の関係(気候感度パラメータ)は化学組成にあまり依存しないことが前提とされてきた。しかし、代表的なエアロゾルである硫酸塩とブラックカーボンとでは、気候感度パラメータが大きく異なることを、大気モデルおよび大気海洋結合モデルの両者を使うことにより解明した。BCの排出量増減に伴って大気中での太陽放射の吸収量が増加する(放射強制力)が、この変化は雲や水蒸気量の変化もたらし、エネルギー収支の観点から太陽放射吸収量変化を相殺する方向に働く(速い応答)。一方、硫酸塩は大気上端と地表面での放射強制力がほぼ等しいことから大気中でのエネルギー吸収には関与せず、さらに雲の凝結核として効果的に機能することによって放射強制力を増長する方向に働く。この研究成果は、国際的に議論されている気候変動と大気汚染の最適同時緩和策策定のための重要な科学的知見であり、当初想定していなかった研究成果でもある。また、窒素酸化物(NO_x)の排出量を削減すると、温室効果気体であり、かつ健康影響を及ぼす対流圏オゾンの減少が期待できる一方で、 NO_x 排出にともなって大気酸化能を支配するOHラジカルが減少し、温室効果気体であるメタンが増加する傾向にあることが明らかになった。特に50%以上の NO_x 削減幅の場合には、オゾン減少による負の放射強制力(冷却)をメタン増加による正の放射強制力(加熱)が上回ることとなり、 NO_x 削減は付加的な温暖化を引き起こしてしまうことがわかった。ただし、同時にCOや揮発性有機化合物(VOCs)の削減を想定する場合には、メタン・COともに減少が期待でき、 NO_x 削減による加熱降下を部分的に打ち消すことが可能であるが、その効果は相対的に弱いことも示した。

疫学知見に基づいたSLCPsの曝露—健康影響関数構築では、死因別(虚血性心疾患、脳卒中、肺がん、慢性閉そく性肺疾患、急性呼吸器感染症)について検討し、循環器疾患死亡において高濃度ではリスク比の増加が緩やかになったが、肺がん死亡ではほぼ線形が保たれた。曝露—健康影響関数および前段落で記述した気候モデルによる計算結果を用いて、PM2.5および対流圏オゾンによる寄与死亡数および損失生存年数(YLL)を評価した。2010年時点のPM2.5濃度レベルによる寄与死亡数は、全球で436.7万人と推定され、中国、インドを含むアジア地域でPM2.5寄与死亡数、YLLともに多かった。一方、オゾンによる寄与死亡数は、17.6万人と推定された。農作物収量影響評価では、オゾンによる水稲減収率を2001-2010年について推計し、全球平均では10~15%であるものの、九州北部、韓国、中国の北緯30-35度の地域やネパール、バングラデシュなどでオゾンの影響が大きいことがわかった。エアロゾルの場合は日射量の変化に伴う影響があるが、BC減少は直達日射および散乱日射の両方の増加をもたらす一方、硫酸塩エアロゾル減少は直達日射を増加させるが、植物の光合成に大きな影響を及ぼす散乱日射は減少することが定性的に考えられる。計算結果は、グローバルにはBC排出量変化では水稲収量に大きな変化はないが、 SO_2 排出量を減少させると水稲収量が低下することを示した。

将来予測として、テーマ2が構築したSLCPsの排出量シナリオを用いたシミュレーションを実施した。除去対策(End-of-Pipe)のみを考慮したシナリオでは、主に東アジアと南アジアを排出源とする SO_2 から生成される硫酸塩エアロゾルが減少する効果によって、地上気温は上昇することがわかった。一方、除去対策に加えて、CCSや電化等の取り組みを含む 2°C 目標追加シナリオでは、長寿命温室効果気体の排出削減による温室効果の減少によりSLCPs削減による地上気温の上昇は鈍化し、エアロゾル関連物質の排出源の近傍の狭い領域でのみ除去対策に起因する地上気温の上昇が生じることがわかった。また、健康影響や農作物収量影響についても、 2°C 目標追加シナリオの方が低減効果は大きいことが示された。

気候変動において重要なのは気温変化だけではなく、例えば、直接的に人命や財産に影響を及ぼす豪雨や熱波などの地域規模の極端現象も重要である。また、農作物収量は、地域的な日射・気温・降水量の複合効果として現れている。SLCPs自体が短寿命のために時空間分布が偏っており、より具体的に環境政策に寄与しうる科学的知見を提供するために、細かい時空間スケールでのSLCPsの統合的影響評価を今後実施していく必要

がある。

(4) 統合運用システムの構築

テーマ4は、大気汚染の限られた側面からの削減策にばかり注目が行きがちなSLCPIに関して、その気候影響を特に地球規模での水循環の観点から調べるため、モデル開発とそれらを用いたシミュレーション及び解析を行うことを目的として実施された。より具体的には、次世代に向けた大気化学輸送モデルであるNICAM-Chemの整備及び、領域シミュレーションの精度向上のための地表面過程の高度化を行った。

その結果、SLCPの一つであるブラックカーボン(BC)の排出量削減による地上気温の低下は、これまで考えられているよりも小さいことがその仕組みとともに明らかとなった。すなわち、BC削減による太陽光吸収の減少は大気の不安定化をもたらし、それに伴って雲・降水の変化など「速い応答」の調節機能が働くために、エネルギー収支の変化が地上気温の変化には現れにくいことがわかった。その結果、太陽光の散乱・吸収によるエネルギー変化(瞬時放射強制力)に対する地上気温変化の感度は、硫酸塩と比較してBCは小さくなる。ただし、BCや硫酸塩の気候に対する影響は地域性が非常に強いこともわかった。

また、S-12全体で行った大気汚染物質の排出の把握、その結果を反映したSLCPの排出に関する技術選択を可能とするAIMモデルの拡張、それを用いてSLCP排出に関する将来シナリオを探索する統合運用システムの開発、さらに気候モデルと統合運用システムを組み合わせる気候影響を評価する手法の開発に貢献した。その際詳細な領域計算から全球的な影響評価までをシームレスに行う必要があるため、本テーマで計算格子を柔軟に設定できるNICAM-Chemを実用的に稼働できるように整備したとともに、世界最高解像度での全球計算を実施可能にした。

さらに、SLCPの陸域水循環への影響は多大であり、SLCP削減効果はこの観点でも評価する必要があることを明らかとした。BCや硫酸塩の前駆気体であるSO₂の排出量が増減すると、気温や降水量が変化することにより、大洪水に晒される人口が増加する可能性があることを示した。特に、BCの変化は地上気温に対する感度は小さいものの、降水量には顕著に影響することがわかった。しかしながら、近年顕著に増加しつつある洪水・熱波などの極端現象に対してSLCPが及ぼす影響の評価については、国際的にも研究事例が非常に乏しいのが現状である。SLCPが地球の大気や表層のエネルギー収支に及ぼす量や、エアロゾルが雲・降水生成に不可欠な物質であることを考えると、SLCPの総合的な環境影響評価は今後ますます重要になってくると考えられる。

(5) 環境影響評価と気候変動対策の推進

課題(1)～(4)で作成されたシステムの本格稼働を行い、全システムを評価した。政策立案者が参加して、対策コストと影響を評価しながら能動的に最適パスの探査をいくつかの事例で試みることのできる簡易システムAIM/SLCPを完成した。ボトムアップとトップダウン手法による排出シナリオの作成、過去に取られた対策による大気質変化の理解、AIMによるS-12独自のSLCP排出シナリオの作成、モデルを用いた気候影響・農業影響・健康被害の評価を指揮した。

以上の活動を通して、BC・対流圏オゾン・メタンの削減に伴う様々な正と負の便益を生む気候効果を気候モデルによって評価し、その関係図を作成した。この関係図に基づいて、正の気候影響を最大化しつつ、負の気候影響を最小化することによって、気候・水循環・農業・健康への被害の軽減が最大になるようなS-12最適排出シナリオ「2D-EoPmid-RESBLDTRT」を完成させた。この最適シナリオを含む様々なSLCP削減シナリオを、大気海洋結合型気候モデルMIROC-ESM、水文・農業・健康影響モデルに導入して、SLCPが引き起こす気候・水循環・農業・健康への影響の詳細に検討し、その取りまとめを行なった。

環境省と協議を定期的に行い、PM_{2.5}等、各物質の影響評価の必要性、省庁間のデータ利用の必要性を確認した。また、CCAC, APCAP, IPCCへの対応の段取りを共有した。APCAP, IIASA, IPCC, AGU, EGU等の国際会議への参加、SLCP排出シナリオに関する国際ワークショップ、第5回の一般公開シンポジウム、アドバイザリーボード会合の開催、プロジェクトの活動の国内外での発信と役立つ項目に関する研究連携を推進した。

SLCP提言書の作成・配布を指揮し、エコプロダクツ展サイエンスカフェと全国環境研究所交流シンポジウムに置いてSLCP研究成果を発表し、市民・行政者との対話を行なった。また、SLCP削減シナリオの探索に関する市民コンテストの実施を指揮した。

5. 本研究により得られた主な成果

(1) 科学的意義

本研究の成果の大きな科学的意義は、短寿命気候汚染物質(SLCP)の複雑な気候影響を定量的に明らかにした点が挙げられる。ブラックカーボン(BC)の削減は、大気加熱の減少を引き起こすために、雲と降水変化が起こり、その相殺効果によって、これまで考えられていたほどには地上気温の低下につながらないことが明らかになった。また窒素酸化物(NO_x)の過渡な削減は、メタン寿命を伸ばすために、メタン濃度の増加を結果的に招き、地球温暖化を緩和しない。これらの発見のもとに、有効なSLCP削減シナリオは、BC・メタン・炭素系物質(COやVOC)・NO_xを適切に組み合わせる必要があることを示した。

このような適切な組み合わせにはSLCP組成間の複雑な相互作用・間接気候効果に関する定量的な知見が必要であり、本研究では世界最先端のSLCP統合運用システムを開発した点も重要な意義である。すなわち、衛星リモートセンシング手法を取り込んだSLCPの排出量に関する現状把握能力の向上と、大気海洋結合気候モデル(MIROC-ESM)と次世代型非静力学大気モデル(NICAM)にSLCP過程のモデル(SPRINTARS, CHASER)を組み込んだシステムを確立、気候・健康・農業影響・水循環の詳細な定量的評価を行なった。この知見を基礎にして、地球温暖化緩和のための技術選択モデルAIMへの信頼性の高いSLCP過程の取り込みが可能になった。これらの点は、SLCPの気候・環境影響に関する世界的な知見には大きな不確実性を持っているので、科学界への大きな貢献である。作成されたモデル群は、SLCPのみならず、他の短寿命大気組成の研究にも利用できるもので、科学的に大きな波及効果がある。

(2) 環境政策への貢献

パリ合意において設定された2度目標と1.5度努力目標の達成のためには、0.5度の大きさの全球平均地表面気温の低下を確保することが重要になっている。そのために、SLCP削減が重要であるが、専門家の間でもSLCPの気候影響については理解が得られていないのが現状である。そのために、本研究で得られたSLCPに関する知見と評価システムは、我が国の施策構築と国際リーダーシップの発揮に役立つ。研究から明らかなように、大気汚染物質の単純な削減ではかえって温暖化を加速する可能性もあり、BC・メタン・炭素系物質(COやVOC)・NO_xを適切に組み合わせた削減シナリオが必要であるためである。本研究で作成したS-12最適シナリオは、現時点での最適なシナリオの一つであり、その利用が有効である。また、開発したSLCP統合運用システムは、定量的なSLCPの知見を国内外の議論に迅速に提供することができる。

本研究に基づいた「SLCP削減施策に関する提言」を取りまとめて、関係者・機関に配布した。UNEP/ABC-Asia(アジア地域の褐色雲プロジェクト)ワークショップ(2014)、SLCP国際政策シンポ(2017)の企画、APCAP共同フォーラムへの参加、CCAC国際事務局との意見交換(2017)、エコプロダクツ展サイエンスカフェ実施(2018)、全国環境研究所交流シンポジウム(2019)でのSLCP問題の発表と提言書の配布、IIASA日本委員会ワークショップにおけるS-12研究成果の発表と意見交換(2019)、最適なSLCP削減シナリオ探査のための市民コンテストの実施(2018)、毎年の公開シンポジウムを通じた市民対話を行なった。

6. 研究成果の主な発表状況

(1) 主な誌上発表

<査読付き論文>

- 1) D. GOTO, T. NAKAJIMA, T. DAI, T. TAKEMURA, M. KAJINO, H. MATSUI, A. TAKAMI, S. HATAKEYAM, N. SUGIMOTO, A. SHIMIZU AND T. OHARA: J. Geophys. Res. Atmos., 120 (12), 6247-6270 (2015) An evaluation of simulated sulfate over East Asia through global model inter-comparison.
- 2) D. GOTO, T. DAI, M. SATOH, H. TOMITA, J. UCHIDA, S. MISAWA, T. INOUE, H. TSURUTA, K. UEDA, C.F.S.

- NG, A.TAKAMI, N. SUGIMOTO, A. SHIMIZU, T. OHARA, T. NAKAJIMA: *J. Geoscientific Model Development*, 8, 235–259, doi: 10.5194/gmd-8-235-2015 (2015) Application of a global nonhydrostatic model with a stretched-grid system to regional aerosol simulations around Japan.
- 3) D. GOTO, K. UEDA, C-F-S. NG, A. TAKAMI, T. ARIGA, K. MATSUHASHI, T. NAKAJIMA: *Atmos. Environ.*, 140, 320–332 (2016) Estimation of excess mortality due to long-term exposure to PM_{2.5} in Japan using a high-resolution model for present and future scenarios.
 - 4) D. GOTO, T. NAKAJIMA, T. DAI, H. YASHIRO, Y. SATO, K. SUZUKI, J. UCHIDA, S. MISAWA, R. YONEMOTO, T. T. N. TRIEU, H. TOMITA, and M. SATOH: IN K. VADREVU, T. OHARA, C. JUSTICE (eds) *Land-Atmospheric Research Applications in South and Southeast Asia. Springer Remote Sensing/Photogrammetry. Springer, Cham, 277–302*(2018) Multi-scale simulations of atmospheric pollutants using a non-hydrostatic icosahedral atmospheric model.
 - 5) T. HANAOKA, T. MASUI: (2018) *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 6 (3), 505–520 (2018) Co-benefits of Short-Lived Climate Pollutants and Air Pollutants by 2050 while achieving the 2 degree target in Asia.
 - 6) 平山智樹, 藤原和也, 日比野剛, 花岡達也, 増井利彦: *環境システム研究論文集*, 73 (6), II_301-II_308 (2017) 大気汚染物質と短寿命気候汚染物質に及ぼす気候変動緩和策による副次効果の分析 -インドを例にして-
 - 7) Y. MASUTOMI, K. ONO, M. MANO, A. MARUYAMA, A. MIYATA: *Geosci. Model Dev.*, 9, 4133–4154, doi:10.5194/gmd-9-4133-2016 (2016) A land surface model combined with a crop growth model for paddy rice (MATCRO-Rice Ver. 1) – Part I: Model description.
 - 8) Y. MASUTOMI, Y., K. ONO, T. TAKIMOTO, M. MANO, A. MARUYAMA, A. MIYATA: *Geosci. Model Dev.*, 9, 4155–4167, doi:10.5194/gmd-9-4155-2016 (2016) A land surface model combined with a crop growth model for paddy rice (MATCRO-Rice Ver. 1) – Part II: Model validation.
 - 9) Y. MASUTOMI, Y. KINOSE, T. TAKIMOTO, T. YONEKURA, H. OUE, K. KOBAYASHI: *Sci. Total Environ.*, 655, 1009–1016, doi:10.1016/j.scitotenv.2018.11.132 (2019) Ozone changes the linear relationship between photosynthesis and stomatal conductance and decreases water use efficiency in rice.
 - 10) Y. MORINO, K. UEDA, A. TAKAMI, T. NAGASHIMA, K. TANABE, K. SATO, T. NOGUCHI, T. ARIGA, K. MATSUHASHI, T. OHARA: *Environ. Sci. Technol.*, 51, 14273–14282 (2017) Sensitivities of simulated source contributions and health impacts of PM_{2.5} to aerosol models.
 - 11) 中島映至, 今須良一, 高見昭憲, 五藤大輔, 鶴田治雄, 打田純也, Tie Dai, 三澤翔大, 上田佳代, Chris Fook Sheng Ng, 渡辺知保, 小西祥子, 佐藤陽祐, 樋口篤志, 増富祐司, 村上暁信, 土屋一彬, 近藤裕昭, 丹羽洋介, 芳村圭, 大原利真, 森野 悠, Nick Schutgens, 須藤健悟, 竹村俊彦, 井上豊志郎, 新井豊, 村田諒, 米元亮馬, Tran Thi Ngoc Trieu, 植松光夫, 佐藤正樹, 富田浩文, 八代尚, 原政之: *シミュレーション*, 34(2):28–38 (2015) 大気環境物質のためのシームレス同化システム構築とその応用.
 - 12) T. NITTA, K. YOSHIMURA, A. ABE-OUCHI: *J. Hydrometeor.*, 18,11, doi:10.1175/JHM-D-16-0105.1 (2017) Impact of arctic wetlands on the climate system: Model sensitivity simulations with the MIROC5 AGCM and a wetland scheme.
 - 13) E. OIKAWA, T. NAKAJIMA, D. WINKER: *J. Geophys. Res.*, 123, 1211–1233, (2018) An evaluation of the shortwave direct aerosol radiative forcing using CALIOP and MODIS observations.
 - 14) M. OKATA, T. NAKAJIMA, T. INOUE, T.Y. NAKAJIMA, H. OKAMOTO, K. SUZUKI: *J. Geophys. Res.*, DOI: 10.1002/2016JD025441 (2017) A study of the earth radiation budget in 3-D broken cloudy atmospheres by using satellite data.
 - 15) C. PARK, R. XING, T. HANAOKA, Y. KANAMORI, T. MASUI: *Energy Procedia*, (111), 689–698 (2017) Impact of Energy Efficient Technologies on Residential CO₂ Emissions: A Comparison of Korea and China.
 - 16) S. SAHU, T. OHARA, G. BEIG, J. KUROKAWA, T. NAGASHIMA: *Environ. Res. Lett.*, 10, doi:10.1088/1748-9326/10/9/095002 (2015) Rising critical emission of air pollutants from renewable

biomass based cogeneration from the sugar industry in India.

- 17) Y. SATO, D. GOTO, T. MICHIBATA, K. SUZUKI, T. TAKEMURA, H. TOMITA, T. NAKAJIMA: Nature Communications, 9, 985 (2018) Aerosol effects on cloud water amounts were successfully simulated by a global cloud-system resolving model.
- 18) C. SHI, T. NAKAJIMA, M. HASHIMOTO: J. Geophys. Res., 121, 14084–14101 (2016) Simultaneous retrieval of aerosol optical thickness and chlorophyll concentration from multi-wavelength measurement over East China Sea.
- 19) K. SUZUKI, T. TAKEMURA: J. Geophys. Res., 124, 2194–2209, doi:10.1029/2018JD029808 (2019) Perturbations to global energy budget due to absorbing and scattering aerosols.
- 20) H. G. TAKAHASHI, S. WATANABE, M. NAKATA, T. TAKEMURA: Prog. Earth Planet. Sci., 5:44, doi:10.1186/s40645-018-0197-2 (2018) Response of the atmospheric hydrological cycle over the tropical Asian monsoon regions to anthropogenic aerosols and its seasonality.
- 21) T. TAKEMURA, K. SUZUKI: Sci. Rep., 9, 4419, doi:10.1038/s41598-019-41181-6 (2019) Weak global warming mitigation by reducing black carbon emissions.
- 22) J. UCHIDA, M. MORI, M. HARA, M. SATOH, D. GOTO, T. KATAOKA, K. SUZUKI, T. NAKAJIMA: Mon. Wea. Rev., 145, 5059–5082 (2017) Impact of lateral boundary errors on simulations of convective systems with a non-hydrostatic regional climate model.
- 23) K. UEDA, M. YAMAGAMI, F. IKEMORI, K. HISATSUNE, H. NITTA: J. Epidemiol., 26, 249–257, doi:10.2188/jea.JE20150039 (2016) Associations between fine particulate matter components and daily mortality in Nagoya, Japan.
- 24) Z. WEI, K. YOSHIMURA, L. WANG, D. MIRALLES, S. JASECHKO, X. LEE: Geophys. Res. Lett., doi:10.1002/2016GL072235 (2017) Revisiting the contribution of transpiration to global terrestrial evapotranspiration.
- 25) Y. XIE, H. DAI, H. DONG, T. HANAOKA, T. MASUI: Environmental Science and Technology, 50 (9), 4836–4843 (2016) Economic impacts from PM2.5 pollution-related health effects in China: A provincial-level analysis.
- 26) R. XING, T. HANAOKA, Y. KANAMORI, T. MASUI: Journal of Cleaner Production, 172 (20), 2964–2977 (2018) Achieving Chinas Intended Nationally Determined Contribution and its co-benefits: Effects of the residential sector.
- 27) T. YOSHIKANE, K. YOSHIMURA: Scientific Reports, 8, 9926 (2018) Dispersion characteristics of radioactive materials estimated by using wind patterns.
- 28) 芳村圭、新田友子、石塚悠太、多田真嵩、鈴木健太郎、竹村俊彦: 土木学会論文集B1(水工学), 74, 4, 1217–1222 (2018) 短寿命気候汚染物質による陸域水循環への影響.
- 29) 弓本桂也、鶴野伊津志、板橋秀一、栗林正俊、宮崎和幸: 大気環境学会誌、50、199–206 (2015) 逆推計手法を利用したNOx排出量インベントリの速報アップデート.
- 30) K. YUMIMOTO, T. Y. TANAKA, M. YOSHIDA, M. KIKUCHI, T. M. NAGAO, H. MURAKAMI, T. MAKI: J. Meteor. Soc. Japan. 96B, 133–149 (2018) Assimilation and forecasting experiment for heavy Siberian wildfire smoke in May 2016 with himawari-8 aerosol optical thickness.

<査読付論文に準ずる成果発表>

- 1) 中島映至: パリティ, 30, 27–29, (2015) 地球温暖化研究の30年.
- 2) 中島映至・大原利眞・増井利彦・竹村俊彦・芳村圭・花岡達也・須藤健悟・鈴木健太郎・五藤大輔・鶴田治雄編:(2018) SLCP削減施策に関する提言.

(2)主な口頭発表(学会等)

- 1) D. GOTO, Y. SATO, H. YASHIRO, K. SUZUKI, T. NAKAJIMA: 2018 International Global Atmospheric Chemistry (IGAC) Science Conference, Takamatsu, Japan (2018) Global aerosol climatology with 14 km grid spacing using a non-hydrostatic atmospheric transport model.
- 2) T. HANAOKA: TF-HTAP/TFIAM Workshop on Global Emissions Scenarios to 2050, Laxenburg, Austria (2015) AIM Activities for Assessing Emissions of Long-Lived GHGs and Short-Lived Climate Pollutants by AIM/Enduse[Global] Model.
- 3) 花岡達也, 増井利彦: 第34回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 東京 (2018) 低炭素対策による相乗効果・相殺効果を考慮した短寿命気候汚染物質削減シナリオの評価.
- 4) T. HARAYAMA, G. HIBINO, T. HANAOKA, T. MASUI: China Energy Modeling Forum 2018 Annual Conference The 1st International Modeling Symposium on Co-benefits of Greenhouse Gas Emissions Reduction and Air Pollution Control, Beijing, China (2019) GHGs, SLCPs and Air Pollutants Estimation by Asia - Pacific Integrated Model (AIM).
- 5) J. KUROKAWA, K. YUMIMOTO, S. ITAHASHI, T. NAGASHIMA, T. MAKI, T. OHARA: 14th iCACGP Quadrennial Symposium/15th IGAC Science Conference, Takamatsu, Japan (2018) Historical trends of air pollutant emissions in Asia: Development of Regional Emission inventory in ASia (REAS) version 3.
- 6) T. MAKI, T. Y. TANAKA, N. OSHIMA, J. KUROKAWA, K. YUMIMOTO, K. KONDO, T. OHARA: 2018 American Geophysical Union (AGU) Fall Meeting, Washington D.C., USA (2018) Construction of Black Carbon emission inverse system for east Asia
- 7) T. MASUI: The Atmospheric Pollution, Climate Change Nexus in Asia: Implications for a New Development Agenda, Hayama, Japan (2016) Research on GHG and SLCP emission scenario using AIM (Asia - Pacific Integrated Model) and progress of S - 12, ERTDF of MOEJ
- 8) 増富祐司, 竹村俊彦: 日本気象学会2018年秋季大会, 仙台 (2018) 大気エアロゾルによる日射量変化がアジア水稲生産に及ぼす影響の評価
- 9) T. NAGASHIMA: 2018 joint 14th iCACGP Quadrennial Symposium and 15th IGAC Science Conference, Takamatsu, Kagawa, Japan (2018) Insufficient representation of summertime surface ozone minimum in the East Asian maritime region by chemical transport models
- 10) T. NAKAJIMA: AOGS, Sapporo, Japan (2014) Air pollution in Asia and its effects on the climate and public health.
- 11) T. NAKAJIMA: AOMSUC-9, Oct. 8-10, Jakarta, Indonesia (2018) Short-lived climate pollutant issues on the earth's climate change phenomenon.
- 12) T. NAKAJIMA, T. OHARA, T. MASUI, T. TAKEMURA, K. YOSHIMURA, D. GOTO, K. SUZUKI, S-12 Science Team: Invited paper, Japan Geosci. Union General Assembly, 20-25 May, 2017, Makuhari, Japan (2017) Short-lived climate pollutant issues in the mitigation of the global warming. 999)
- 13) D. GOTO, T. NAKAJIMA: 15th AeroCom workshop, Beijing, Sept. 19-21(2016) High resolved aerosol simulations using a non-hydrostatic icosahedral atmospheric model (NICAM).
- 14) 中田真木子: 日本気象学会2018年度秋季大会, 仙台 (2018) 東アジア域における短寿命大気汚染物質の気候への影響
- 15) T. OHARA: International Meeting on Land Use and Emissions in South/Southeast Asia, Ho Chi Minh City, Vietnam (2016) S-12 project and Regional Emission Inventory in Asia (REAS)
- 16) 須藤健悟, 長谷川晃一, 竹村俊彦: 日本気象学会2018年秋季大会, 仙台 (2018) 微量気体SLCPsの長期変動と気候影響
- 17) K. SUZUKI: NITech Lectures on Turbulence and Cloud, Nagoya, Japan (2018) Linkage of cloud microphysics to climate: Satellite observations and global modeling.
- 18) K. SUZUKI: IGES Workshop on "How can Asia manage air pollution and climate change?: From understanding impacts to implementing solutions", Tokyo, Japan (2019) The atmospheric science view on

climate-air pollution linkages.

- 19) 高橋洋、渡辺真吾、鈴木健太郎、竹村俊彦: 日本気象学会2018年度秋季大会、仙台 (2018) エアロゾルの大気水循環への影響-プロセスによる分離-
- 20) T. TAKEMURA, K. SUZUKI: Tri-MIP (AerChemMIP-RFMIP-PDRMIP) Workshop, Reading, UK (2018) Sensitivity of meteorological field to changing anthropogenic aerosol emissions assessed with a coupled-ocean general circulation model MIROC-SPRINTARS.
- 21) 竹村俊彦、鈴木健太郎: 日本気象学会2018年秋季大会、仙台 (2018) 大気海洋結合モデルを用いたエアロゾル排出量変化による気温変化の解析
- 22) R. XING, T. HANAOKA, Y. KANAMORI, H. DAI, T. MASUI: EcoBalance 2014, Tsukuba, Japan (2014) Towards a low-carbon future in China's rural residential sector
- 23) 芳村圭: 日本気象学会2015年度春季大会 (2015) 全球高解像度シミュレーションに向けた地表面過程モデリング
- 24) K. YOSHIMURA: EGU Leonardo conference 2016, Ourense, Spain (2016) Data assimilation with stable water isotope information.
- 25) K. YOSHIMURA: AOGS2018, Honolulu (2018) Data Assimilation of Water Isotope Information for Constraining Hydrometeorological Processes.

7. 研究者略歴

研究代表者

中島 映至

東北大学理学部卒業、東北大学大学院理学研究科 地球物理学専攻 博士課程 単位修得退学、理学博士、東北大学理学部地球物理学科 技官、東北大学理学部 附属超高層物理学研究施設 助手、東北大学理学部附属 大気海洋変動観測研究センター 助手、同センター助教授、東京大学気候システム研究センター 助教授、同センター 教授、同センター長、東京大学大気海洋研究所 地球表層圏変動研究センター長、宇宙航空研究開発機構 第一宇宙技術部門 地球観測研究センター長 兼宇宙科学研究所 特任教授、現在、同センター 参与

研究分担者

1-1) 大原 利真

北海道大学大学院工学研究科博士後期課程修了、工学博士、静岡大学工学部教授、現在、国立研究開発法人国立環境研究所企画部フェロー

1-2) 永島 達也

東京大学大学院理学系研究科博士課程修了、博士(理学)、現在、国立環境研究所地域環境研究センター大気環境モデリング研究室主任研究員

1-3) 清水 厚

京都大学大学院理学研究科博士後期課程修了、博士(理学)、現在、国立環境研究所地域環境研究センター広域大気環境研究室主任研究員

1-4) 黒川 純一

東京大学大学院理学系研究科修士課程修了、九州大学大学院総合理工学府より学位取得、理学博士、現在、一般財団法人日本環境衛生センターアジア大気汚染研究センター上席研究員

1-5) 眞木 貴史

京都大学理学部卒業、理学博士、気象庁地球環境・海洋部環境気象管理官付化学輸送モデル開発推進官、現在、気象研究所全球大気海洋研究部第三研究室長

2-1) 増井 利彦

大阪大学大学院工学研究科博士後期課程修了、博士(工学)、現在、国立環境研究所 社会環境システム研究センター統合環境経済研究室室長

2-2) 花岡 達也

慶應大学理工学部卒業、東京大学大学院工学系研究科博士後期課程修了、博士(工学)、現在、国立環境研究所 社会環境システム研究センター統合環境経済研究室主任研究員

2-3) 日比野 剛

東京理科大学大学院理学部研究科修了、修士(理学)、現在、みずほ情報総研株式会社環境エネルギー第1部次長

2-4) 島田 洋子

京都大学大学院工学研究科博士後期課程修了、博士(工学)、現在、京都大学大学院工学研究科准教授

2-5) 倉田 学児

京都大学大学院工学研究科博士後期課程修了、博士(工学)、京都大学大学院工学研究科教授、2017年6月逝去

3-1) 竹村 俊彦

東北大学理学部卒業、東京大学大学院理学系研究科修了、博士(理学)、九州大学応用力学研究所助手、同研究所准教授、現在、同研究所教授

3-2) 須藤 健悟

東京大学理学部卒業、東京大学大学院理学系研究科修了、博士(理学)、海洋研究開発機構研究員、現在、名古屋大学大学院環境学研究科准教授

3-3) 上田 佳代

北海道大学医学部卒業、山口大学大学院医学研究科、博士(医学)、国立環境研究所主任研究員、現在、京都大学大学院工学研究科准教授

3-4) 増富 祐司

大阪大学理学部卒業、京都大学大学院地球環境学舎修了、博士(地球環境学)、埼玉県環境科学国際センター主任、現在、茨城大学農学部准教授

3-5) 渡辺 真吾

九州大学理学部卒業、九州大学大学院理学府修了、博士(理学)、海洋研究開発機構主任技術研究員、現在、同機構シームレス環境予測研究分野分野長

3-6) 中田 真木子

東北大学理学部卒業、東京大学大学院理学系研究科修了、博士(理学)、現在、近畿大学総合社会学部准教授

4-1) 芳村 圭

東京大学工学部卒業、同大大学院工学系研究科修了、博士(工学)、科学技術振興機構技術員、東京大学生産技術研究所助手、カリフォルニア大学サンディエゴ校スクリプス海洋学研究所科学者、東京大学大気海洋研究所准教授、現在、東京大学生産技術研究所准教授

4-2) 鈴木 健太郎

東北大学理学部卒業、東京大学大学院理学系研究科、博士(理学)、コロラド州立大博士研究員、NASAジェット推進研究所研究員、現在、東京大学大気海洋研究所准教授

II. 英文Abstract

Evaluation of SLCP Environmental Impact and Promotion of Climate Change Countermeasures through Seeking the Optimal Pathway

Principal Investigator: Teruyuki NAKAJIMA

Institution: Earth Observation Research Center (EORC)
Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)
2-1-1 Sengen, Tsukuba, Ibaraki 305-8505
Mail: nakajima.teruyuki@jaxa.jp
Tel: +81-(0)50-3362-2479
Fax: +81-(0)29-868-2961

[Abstract]

Key Words: Global warming, Air pollution, Short-lived climate pollutants, SLCP, Aerosol, Black carbon, Ozone, Emission inventory, Emission scenario, Climate effects, Environmental effects, Health impact, Agricultural impact

Air pollution poses a serious global problem, particularly in Asia. Therefore, the society must promote pressing actions for developing countermeasures. Air pollutants include black carbon (BC), tropospheric ozone, methane, hydrofluorocarbons (HFCs), and other compositions collectively called short-lived climate pollutants (SLCPs) that warm the earth's system, thereby accelerating global warming. The reduction of SLCPs represents an important action for mitigating global warming. Toward that end, we must lower the large uncertainty involved in estimating the climate impacts of SLCPs resulting from their complex characteristics and distributions.

This project aims at reducing the uncertainty of SLCP impact estimates through the following activities for seeking optimum SLCP pathways and effective countermeasures for impact reduction: (1) Cause and effect analysis of atmospheric quality change events and construction of an evaluation system; (2) Improvement of integrated models and their application in developing future scenarios; (3) Impact assessment of climate and environmental effects using numerical models; (4) Development of an integrated operational system; and (5) Evaluation of the environmental effects and promotion of countermeasures to climate change.

The project found that a reduction of BC will cause only a small decrease in the mean global surface air temperature through counter effects of clouds caused by lower atmospheric heating by BC. It is also possible to increase the surface air temperature by significantly reducing nitrogen oxides (NO_x), resulting in a higher atmospheric methane concentration through reduction of hydroxide anion (OH). Based on this finding, we showed that an effective SLCP reduction is only possible by a reduction scenario entailing a suitable reduction combination of BC, methane, carbonaceous substances (CO and VOC), and NO_x. Creating such a scenario requires quantitative knowledge about the complex direct and indirect climate effects of SLCPs; thus, we developed an integrated operational system for SLCP assessment. This system consists of an improved SLCP emission inventory construction system with a combined

satellite inverse method, SLCP climate simulation system with a coupled atmosphere-ocean climate model (MIROC-ESM), and a next-generation nonhydrostatic icosahedral atmospheric model (NICAM) implemented with aerosol and atmospheric chemistry process models of SPRINTARS and CHASER. This assessment system was used for detailed quantitative simulations of SLCP impacts on climate, health, agriculture, and water circulation. The simulation results have thus become a solid base of improvement for the SLCP process of the Asia-Pacific Integrated Model (AIM) regarding the selection of technology for reducing SLCPs and creating an optimal SLCP reduction scenario.

Reducing the surface air temperature on the order of 0.5°C has become an important target toward achieving the 2°C goal and 1.5°C effort under the Paris agreement. However, SLCP impacts on the earth's climate are not well understood even among the professionals. As a simple large reduction of air pollutants may result in accelerating global warming, an effective method of reducing SLCPs must be found by using a suitable reduction combination of BC, methane, carbonaceous substances (CO and VOC), and NO_x. We studied the performance of various SLCP scenarios using the integrated operational system and found an optimal one that can reduce the global surface temperature on the order of 0.5°C, while simultaneously mitigating environmental damage.