

A-0803 革新的手法によるエアロゾル物理化学特性の解明と気候変動予測の高精度化に関する研究

(4) 大気大循環モデルによる直接放射強制力の推定に関する研究

国立大学法人 東京大学大気海洋研究所

中島映至

<研究協力者>

国立大学法人 東京大学大気海洋研究所 五藤大輔、Nick Schutgens、及川栄治、鶴田治雄

平成20～22年度累計予算額 8,645千円 (うち平成22年度予算額 2,730千円)

予算額は、間接経費を含む。

[要旨] エアロゾルによる直接効果の放射強制力評価の改善のために、標準版エアロゾル放射輸送モデルSPRINTARSに、硝酸塩過程 ( $\text{SO}_4\text{-NH}_4\text{-NO}_3$ 系の熱平衡モデル)を新たに組み込んだ。すなわち、硫酸塩 ( $\text{SO}_4$ )過程の時間積分で起こる非線形反応の取り込み、液相反応に関する過酸化水素の予報変数化、前駆物質の二酸化硫黄 ( $\text{SO}_2$ )の乾性沈着過程の植生・地面依存性の考慮、などの改良を行った。その結果、地表面付近で生成されすぎていた  $\text{SO}_4$ が減少すると共に、比較的濃度の低い  $\text{SO}_2$ における  $\text{SO}_4$ 生成速度が増加することによって、 $\text{SO}_4$ が遠方・上層にも輸送されるようになった。これらにより、人為起源  $\text{SO}_4$ の直接効果の放射強制力は、標準版モデルによる  $-0.2 \text{ W m}^{-2}$ から  $-0.3 \text{ W m}^{-2}$ になり、さらに硝酸塩の考慮も合わせると人為起源エアロゾルの直接効果の放射強制力は、大気上端で  $-0.5 \text{ W m}^{-2}$ となり、IPCC第4次報告書など他のモデルによる評価に近い値が得られた。つぎに、地上の放射観測結果を用いて、エアロゾルの光学的厚さ (AOT)、単一散乱アルベド (SSA)などのエアロゾル光学パラメータを検証し、改良版モデルの評価を行った。放射観測網AERONET観測全地点に対応する年平均値では、AOT (440nm)は、標準版モデルでは0.15だったが、改良版ではエアロゾル成分が増加したことで0.22となり、地上観測結果 (0.26)により近づいた。また、改良前はSSAの年平均値が0.87だったが、改良による散乱成分の増加に伴ってSSAは増加して0.91となり、地上観測結果 (値は0.92)により近づいた。さらに、ブラックカーボン (BC)のエージング効果を取り扱ったパラメタリゼーションを改良版SPRINTARSに組み込むことで、BCの発生源から離れるにつれて、親水性のBCの割合が増加し、観測値との対応が良くなった。また、アンサンブルカルマンフィルターを用いたエアロゾルのSPRINTARS同化システムを開発し、逐次観測データを取り込むことにより、全球規模での海上でのAOTが、同化しないモデルにくらべて大きく改良されたことがわかった。

[キーワード] 大気エアロゾル、SPRINTARSモデル、光学的厚さ、単一散乱アルベド、放射強制力

## 1. はじめに

エアロゾルの直接効果と間接効果による放射強制力の評価は、使用するモデルに大きく依存しており、IPCCの第4次報告書でも、その不確定性は±70%程度と非常に大きい (図40)。日本型モデルCCSR/NIES/FRCGC-AGCM (以下、単にMIROCと呼ぶ)による直接効果は世界の平均値より絶対値で小さく ( $-0.1 \text{ W m}^{-2}$ )、第一間接効果は世界の平均値と同じくらい ( $-0.6 \text{ W m}^{-2}$ )である。一方、

大気下端では、図40に示すように、温室効果ガスの放射強制力は小さく、エアロゾルが支配的であることがわかる。地表面放射収支の報告が少ないために、ここではMIROCのみの結果を示したが、MIROC自身の実験でも、このような地表面の直接放射強制力は、モデルに使われているエアロゾルの光学的厚さと一次散乱アルベドに大きく依存するため、値はまだ確定的では無い。このように、エアロゾルの放射強制力の見積もりは現時点でも大きな不確定性を含んでおり、その低減を図る必要がある。本サブ課題(4)はこのような問題意識のもとに計画された。

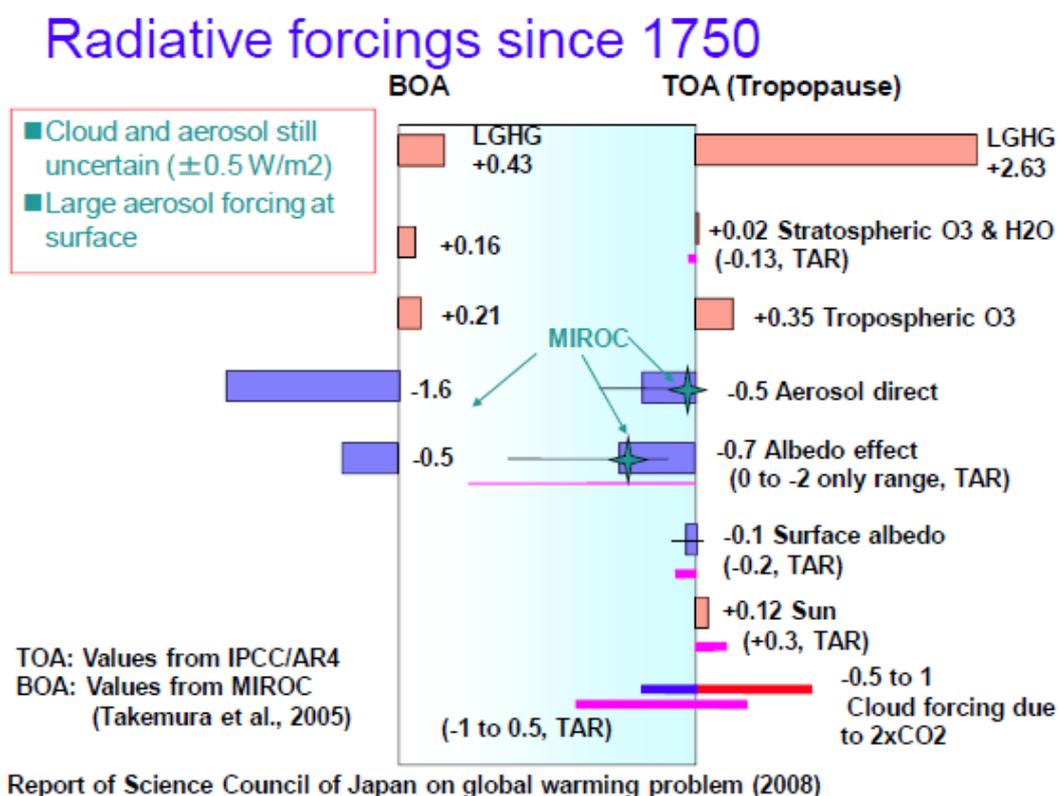


図40. 1750年から2005年の期間における種々の気候変動要因による対流圏界面（右、IPCC-AR4による）と地表面（左）における放射強制力。LGHGは長寿命温室効果ガス。大気上端の値はIPCC-AR4より。地表面の値はTakemura et al. (2006)<sup>9)</sup>を示し、誤差幅は付けていない。（学術会議、2009<sup>1)</sup>）

## 2. 研究目的

本研究課題全体の目的は、高精度エアロゾル計測技術、広域観測、気候モデルの系統的な連携により、これまで扱いが不十分であった直接効果を厳密に扱い、大気大循環モデルによる直接放射強制力の推定を高精度化することである。そこで、本サブ課題(4)では、気候大循環モデルであるMIROCに組み込まれているエアロゾル放射輸送モデルSPRINTARSの改良と、それを利用したシミュレーションを行うとともに、地上でのエアロゾルの化学特性と光学特性の観測結果との比較を行う（図41）。

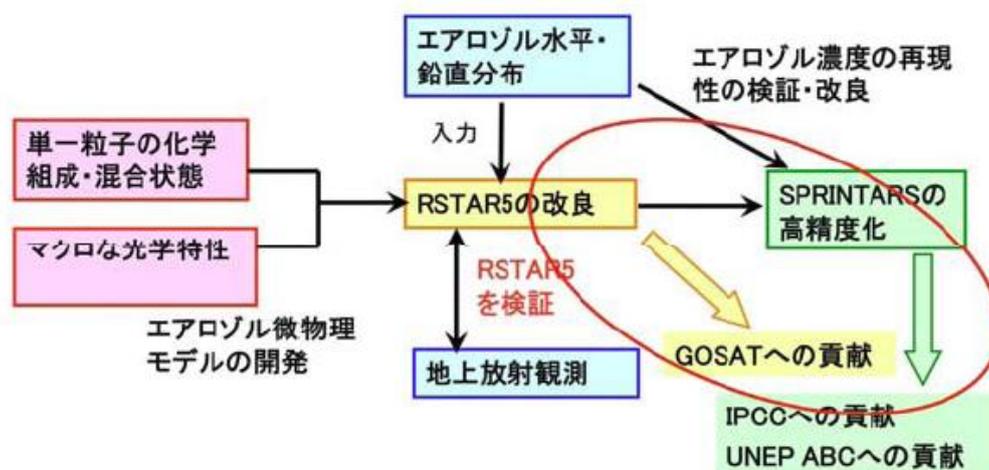


図41. 本サブ課題(4)の研究範囲。

(1) MIROCモデルに組み込まれている標準版SPRINTARSエアロゾル放射輸送モデルでは、エアロゾルの硝酸塩過程( $\text{SO}_4\text{-NH}_4\text{-NO}_3$ 系の熱平衡モデル)が含まれていなかったため、その過程を付け加え、また他サブ課題の観測結果による知見も導入して、標準版の改良を行う。

(2) 改良したモデルによる数値実験を行い、エアロゾルによる直接放射強制力の全球分布を求める。

(3) ブラックカーボン(BC)のエージング効果を取り入れる手法を開発し、より現実的な効果をAGCMに反映させる。

(4) BCのエージング効果を組み込んだ改良版モデルを用いて、タイのピマイで通年観測された化学特性と光学特性との比較検討を行う。

(5) 不確定性を少なくして精度のよいエアロゾル推定のために、エアロゾル観測データを随時取り込んだエアロゾル同化手法を開発する。

### 3. 研究方法

これらの目的を研究する方法を、次に述べる。

#### (1) SPRINTARSモデルの改良

SPRINTARSモデルにおける二酸化硫黄( $\text{SO}_2$ )から硫酸塩( $\text{SO}_4$ )を生成する過程(Takemura et al., 2000<sup>8)</sup>; 以下標準版と呼ぶ)の改良と、Metzger (2000)<sup>3)</sup>による方法を基にした硝酸塩過程

( $\text{SO}_4\text{-NH}_4\text{-NO}_3$ 系の熱平衡モデル)の導入を行った(図42)。硫酸塩生成過程の改良では、雲の中で $\text{SO}_2$ と反応する $\text{H}_2\text{O}_2$ は外部データとして与えられていたが、本研究では $\text{HO}_2$ と $\text{H}_2\text{O}$ の化学反応過程を解くことによって予報変数とし、より物理化学的に表した。その場合、 $\text{HO}_2$ と $\text{OH}$ の濃度の3次元分布は全球化学輸送モデルCHASER(Sudo et al., 2002<sup>4)</sup>)の結果を使用する。さらに、大循環モデルにおける計算時間ステップ(20分)の間に起こる $\text{SO}_4$ イオンの生成反応の非線形性を取り入れることによって、 $\text{SO}_2$ の高濃度状態における $\text{SO}_4$ の生成が抑制される効果を実証した(図43)。また、 $\text{SO}_2$ の乾性沈着を植生等、土地区分によって変化するようにした。これらの改良によって、汚染源域における $\text{SO}_2$ の酸化反応が抑制され、同時に比較的 $\text{SO}_2$ 濃度が低い場所での $\text{SO}_4$ 生成効率が増加し、

結果的に $\text{SO}_4$ がより上層、及び広域に輸送されるようになった。また、硝酸生成過程の導入によって、標準版では予報されていなかったアンモニウムイオン ( $\text{NH}_4$ ) と硝酸イオン ( $\text{NO}_3$ ) も計算できるようになった。

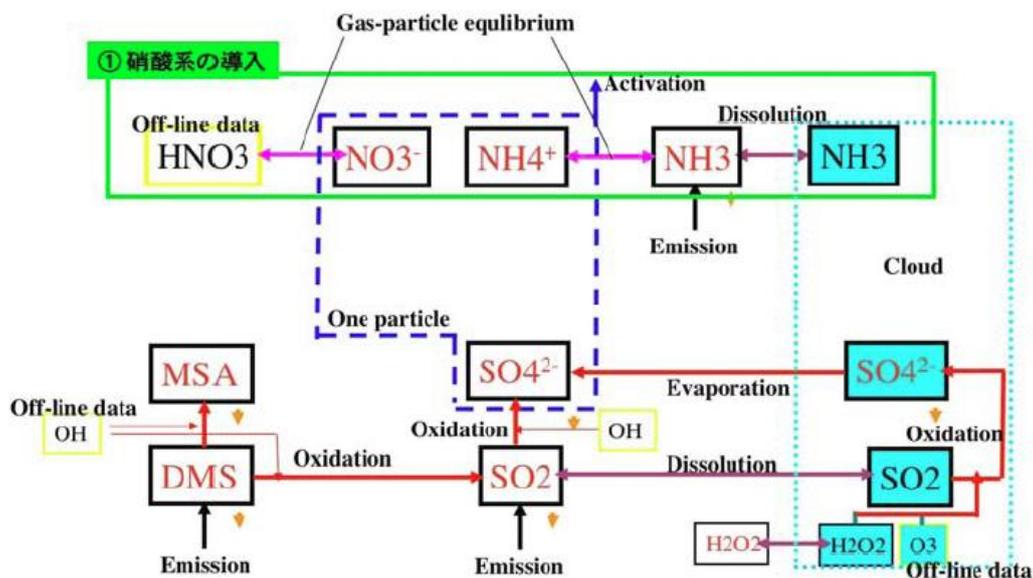


図42 硝酸系の反応過程を導入した改良版モデルにおける $\text{SO}_4$ - $\text{NH}_4$ - $\text{NO}_3$ 系の反応経路

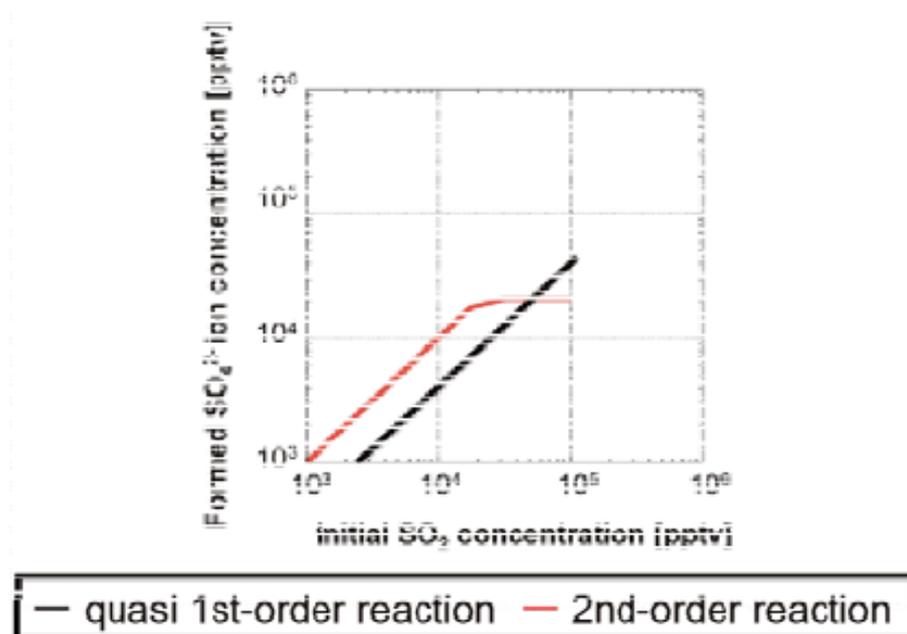


図43 標準モデル(黒)と改良モデル(赤)による初期 $\text{SO}_2$ 濃度と液相中で生成される $\text{SO}_4$ 濃度との関係。

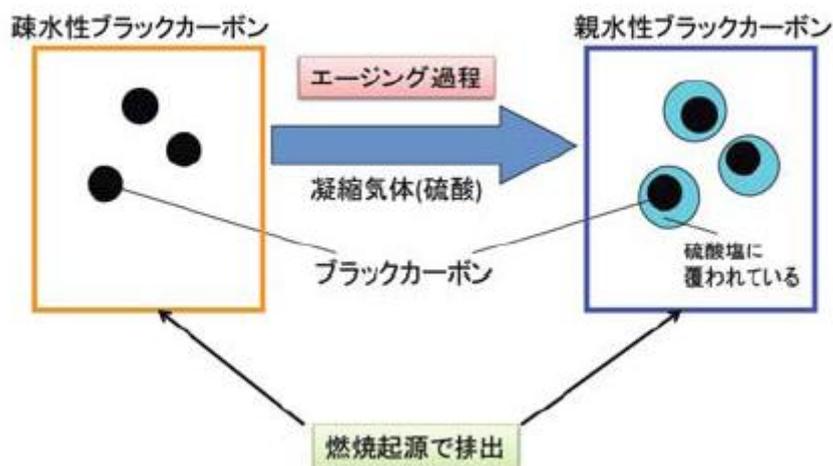


図44 疎水性BCから親水性BCへのエイジング過程のモデル化

計算された $\text{SO}_4$ 濃度などの結果を検証する観測値は、北米でのIMPROVE (Interagency Monitoring of Protected Visual Environments)、ヨーロッパでのEMEP (Cooperative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-range Transmission of Air Pollutants in Europe), および東アジアでのEANET (Acid Deposition Network in East Asia) 観測網で得られたデータを用いた。

(2) 改良版SPRINTARSを用いて計算された光学パラメータの検証。

改良版モデルで光学パラメータを見積もるにあたり、エアロゾルの消散係数を求める計算を、各モードのエアロゾルに対して、エアロゾルのサイズ分布を加味し、より実大気下でのエアロゾル放射特性を反映させるようにした。今回比較した光学パラメータは、440nmでのエアロゾル光学的厚さ(AOT)、440nmでの単一散乱アルベド(SSA)を対象とした。これらの物理量の観測データは、スカイラジオメータによる観測を世界中で行っているNASAのAERONET観測網(Aerosol Robotic Network: Holben et al., 2001<sup>2)</sup>; <http://aeronet.gsfc.nasa.gov/>)で、2001年から2005年の期間のデータを使用した。なお、数値実験では、気象場(気温、風、比湿)のNCEP再解析データを6時間毎に外挿しながらモデルを走らせた。また、バイオマス燃焼由来の炭素性エアロゾルの排出データはMODISのファイアマップを基に作成したデータ(T. Diehl, 2009, personal)を用い、各年毎のデータを使用した。他の燃焼由来の排出量データは2000年時のものを使用した。また、人工衛星Terraに搭載されているMODISセンサーで観測されたAOTとも比較した。

(3) 改良版モデルと観測による地表面での放射収支の比較

改良版モデルで得られた地表面付近での放射収支を観測値と比較するために、地表面に到達する太陽放射の全球観測ネットワークの一つである、Baseline Surface Radiation Network (以下BSRNと表記する)で得られたデータを用いた(Ohmura et al., 1998<sup>6)</sup>)。BSRNは世界気候研究計画

(World Climate Research Programme : WCRP)によって1992年より観測が開始され、2011年1月現在で59地点の観測ステーションが設置されている。観測は全天日射計などを用いて、全天日射、直達日射、散乱日射、および下向き地球放射などの物理量が観測されており、今回は全天日射量 (GR)、直達日射量(DR)を使用した。なお、時間分解能は多くの地点で1分間隔である。

#### (4) 改良版モデルによる地球全体の直接放射強制力の推定

前述した(1)、(2)、(3)で行う比較検証をふまえて、MIROC-改良版(および標準版)SPRINTARSモデルによる、全球でのエアロゾル直接放射強制力を数値実験で求め、他のモデルによる結果との比較を行った。

#### (5) BCのエージング効果

さらに、BCのエージング効果をモデルで加味するために、Oshima and Koike [in preparation]<sup>7)</sup>のパラメタリゼーションを、改良版SPRINTARSに組み込んだ。このパラメタリゼーションは、疎水性と親水性の二種類のBCを仮定したときの、疎水性から親水性への変換時定数を計算するもので、BCに凝縮する主成分である硫酸の濃度と、BC濃度に依存した関係を有している。その模式図を図44に記した。この効果を組み込んで、東アジア地域における疎水性BC/(疎水性BC+親水性BC)の割合を求め、観測と比較した。

#### (6) BCのエージング効果を組み込んだ改良版モデルと地上でのエアロゾル観測結果との比較。

比較した観測データは、タイのピマイの大気研究観測所(Observatory of Atmospheric Research, 15.18° N、102.57° E)で1年間(2007年7月～2008年6月)実施した、大気エアロゾルの化学特性と光学特性の観測結果である。地上観測による化学特性と光学特性データでは、エアロゾル中の化学組成(元素状炭素(BC)と有機炭素(OC)、硫酸塩(SO<sub>4</sub>)、硝酸塩(NO<sub>3</sub>)、アンモニウム(NH<sub>4</sub>)、土壌粒子(ダスト)と海塩粒子)と、スカイラジオメータを用いて連続的に観測されているエアロゾルのAOT(500nm)、SSA(500nm)を使用した。

#### (7) エアロゾル同化システムの開発

逐次型データ同化手法の一つであるアンサンブルカルマンフィルターは、すでに気象庁の数値予報で取り入れられている。本サブ課題では、大気エアロゾルのより現実的な推定に利用するため、アンサンブルカルマンフィルターを用いて、数値計算の途中で随時、MODISやAERONET 観測データを取り込んで推定値を修正して推定誤差を少なくする同化システムを開発した(図45)。またアンサンブルカルマン smootherを用いて、観測データだけでなく、大気汚染物質の排出量データも随時取り入れて、精度のより良い排出量推定も行った。

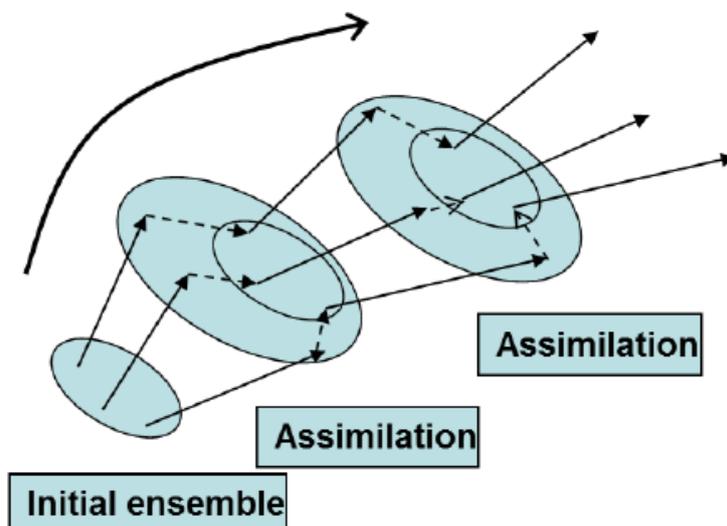
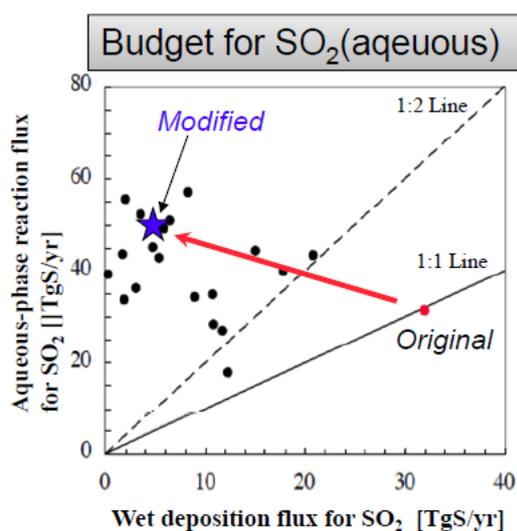
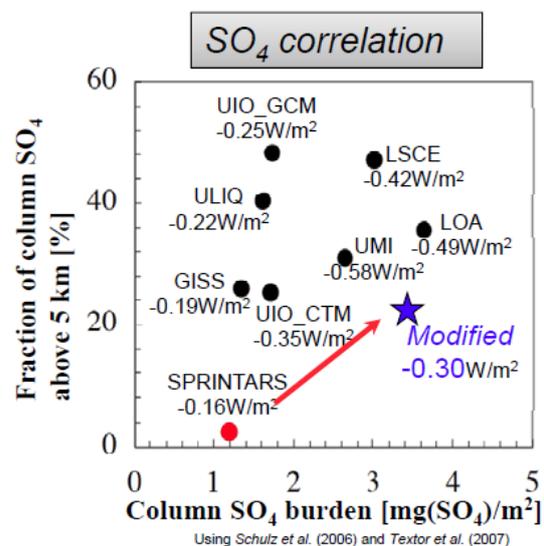


図45 同化手法のイメージ

## 4. 結果と考察

## (1) SPRINTARS改良版モデルによる硫酸塩濃度と他のモデル及び地上観測結果との比較

改良版では、液相中での $\text{SO}_2$ から $\text{SO}_4$ への反応過程を入れたことにより、 $\text{SO}_2$ の年間湿性沈着量が、標準版の約1/6と小さくなり、他のモデルの結果と同程度となった(図46)。またその改良に伴い、自由対流圏での $\text{SO}_4$ の生成量が多くなり、 $\text{SO}_4$ の気柱全量に占める高度5km以上の割合は標準版の2%から約20%と増加し、また $\text{SO}_4$ による放射強制力は $-0.30 \text{ W m}^{-2}$ となり、他のモデルの結果と近くなった(図47)。このように、改良版モデルを用いることにより、標準版モデルは大きく改変された。

図46 複数のエアロゾルモデルによる液相中 $\text{SO}_2$ の湿性沈着フラックスと液相反応フラックスとの関係図47 複数のエアロゾルモデルによる大気柱湿 $\text{SO}_4$ 量と高度5 km以上の気柱に占める $\text{SO}_4$ 量の割合(数値は $\text{SO}_4$ による直接放射強制力)

次に、地表付近のエアロゾル中の年平均SO<sub>4</sub>濃度について、標準モデルおよび改良モデルと、北アメリカ、ヨーロッパ、および東アジアにおける観測結果と比較した。図48に示すように、改良版モデル(Modified)は、標準版モデル(Original)よりも観測値とよく対応するようになった。

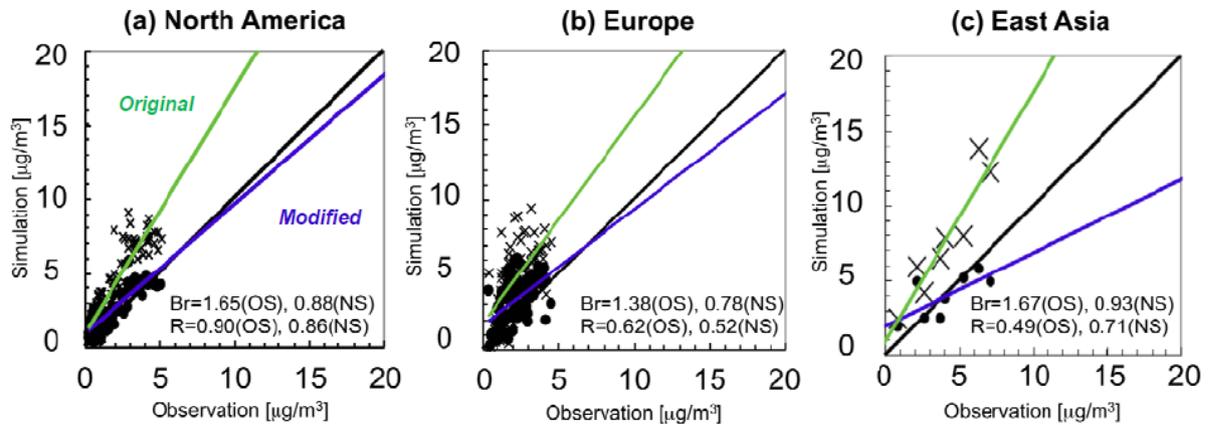


図48 観測と標準版モデル(OriginalあるいはOS)と改良版モデル(ModifiedあるいはNS)による地表付近の年平均SO<sub>4</sub>質量濃度の散布図。(a)北アメリカ(IMPROVE観測地点)、(b)ヨーロッパ(EMEP観測地点)、(c)東アジア(EANET観測地点)。

なおあらたに硝酸系が改良版モデルに導入されたことにより、人間活動によるアンモニア排出量の多い地域では、硝酸ガスがNO<sub>3</sub>やNH<sub>4</sub>濃度を決定することにより、AOTを変化させることが示唆された。

## (2) 改良版SPRINTARSを用いて計算された光学パラメータの検証。

エアロゾルの光学的厚さ(AOT)について、人工衛星Terra/MODISによる観測結果との比較を行った。図49に示すように、東アジアやインドおよび北太平洋、またアフリカ中部などで、とくに改良モデルの方が標準モデルよりもAOTが大きくなってMODISの結果に近づき、再現性が良くなった。

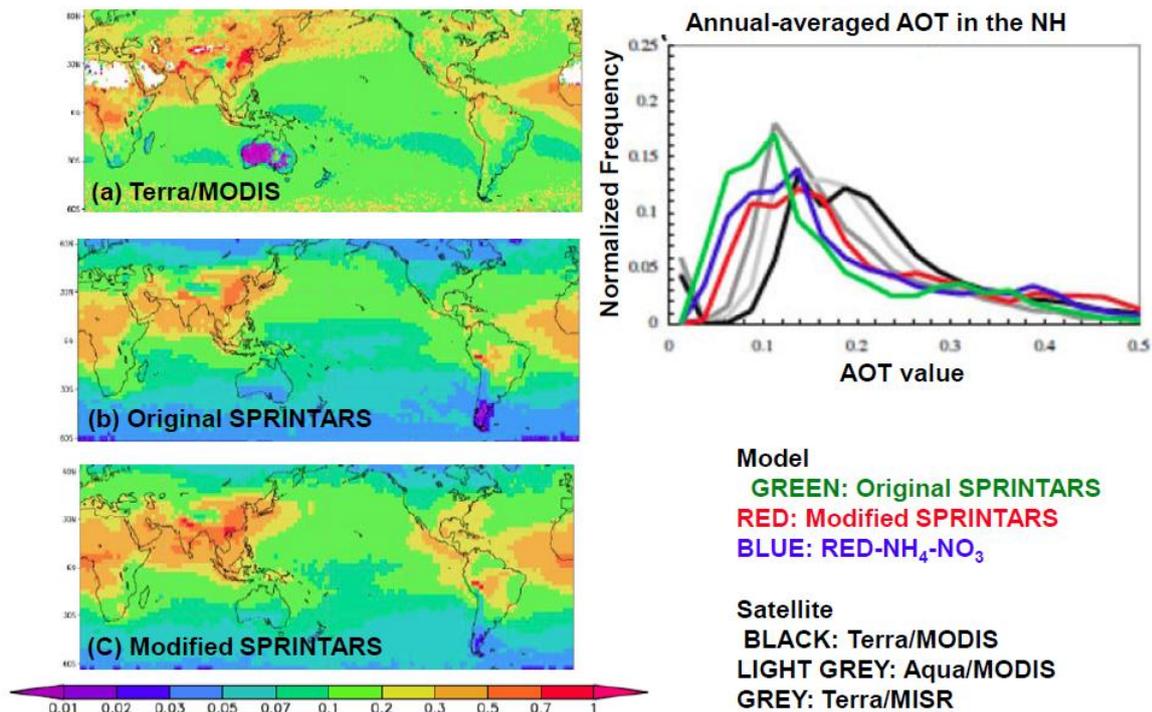


図49 Terra/MODIS(a)、標準版モデル(b)、および改良版モデル(c)による年平均AOTの全球分布

つぎに、モデルによるAOTとSSAの結果と、地表でのAERONET観測結果との比較を図50に示す。AERONET観測全地点における年平均値のAOT(440nm)は、標準版SPRINTARSでは0.15であったが、改良版SPRINTARSではエアロゾル成分が増加したことでその値が0.22となり、地上AERONET観測から得られた値(0.26)により近づいた。しかし改良版モデルでもまだ過小評価であり、この結果がBCのエージング効果を取り入れて改良する研究を進めた、一つの動機になっている。またSSA(440nm)は、標準版では値が0.87であったが、改良による散乱成分の増加に伴って増加し(値は0.91)、地上観測結果(値は0.92)により近づいたことがわかった。エアロゾル直接効果放射強制力はAOTとSSAに大きく依存するので、改良版によるこれらの物理量の改善は、改良版モデルによる放射強制力の推定値の信頼性を高めることとなった。また、エアロゾル粒径の指標の一つであるオンゲストローム指数(Alfa)は、改良前(値は0.37)も改良後(値は0.51)でも、地上観測結果(値は1.28)との差が大きかった。そこで、硫酸塩のサイズ分布関数のもつ標準偏差を、これまでの気候学的値として報告されていた値(2.03)から、Omar et al. [2005]<sup>5)</sup>によるAERONET観測網の解析結果から得た値(1.5)に変更したところ、著しく結果が改善され、その値が0.98になった。なお、この変更は、硫酸塩の輸送自体には関与しないものであり、AOTやSSAにもほとんど影響しなかった。そこで、これから先の計算では、すべて改良版Bを用いて行った。

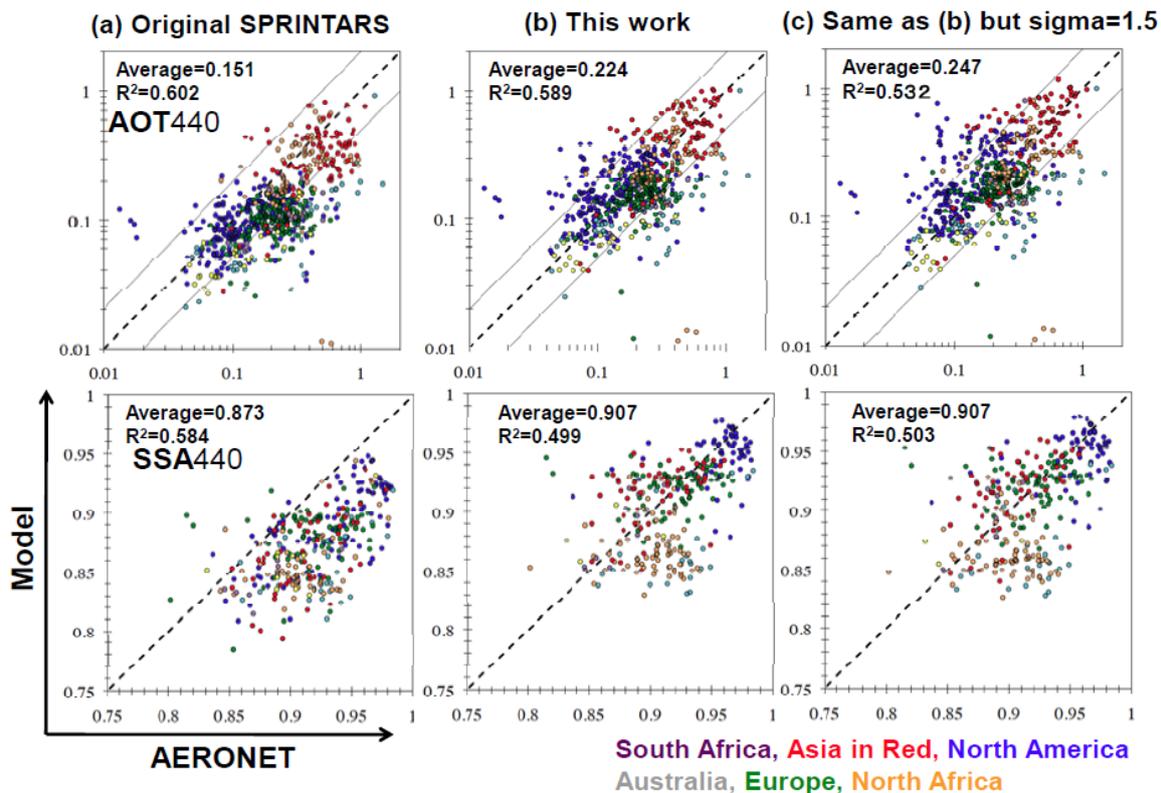


図50 AERONET観測値とモデル値（標準版(a)、改良版(b)、改良版B(c)の3つの結果で、改良版Bは硫酸塩のサイズ分布関数の標準偏差を1.5としたもの）との光学パラメータ（上段は440nmにおけるAOT、下段は440nmにおけるSSA）の比較結果。期間は2001-2005年。

### (3) 地表面における放射収支の改良版モデルと地上観測結果との比較。

図51は、改良版モデルと、BSRNネットワークでの観測値とによる、全天日射量(GR)および直達日射量(DR)の比較である。これらから、全地点、北アメリカ、およびヨーロッパともに、改良版モデルは観測値とよく対応していることがわかった。なお、バイアス分だけモデルがやや過大評価であるが、これは、エアロゾルや雲量（とくに厚さの薄い雲）が少ないためであり、前述したAOTが改良版モデルでも過小評価であることと、対応している。一方、DRは、全地点および北アメリカともに、データのばらつきおよびバイアスも大きく、平均値の比（モデル値/観測値）も、0.81および0.88で両者の差が大きい。この原因として、観測誤差、雲スクリーニング、従来から指摘されている異常吸収問題など、様々なものが存在しており、今後、観測データ、放射モデルに関する精査が必要である。なお、ヨーロッパでは、全地点および北アメリカと比較すると、モデル値と観測値はよく対応していた。

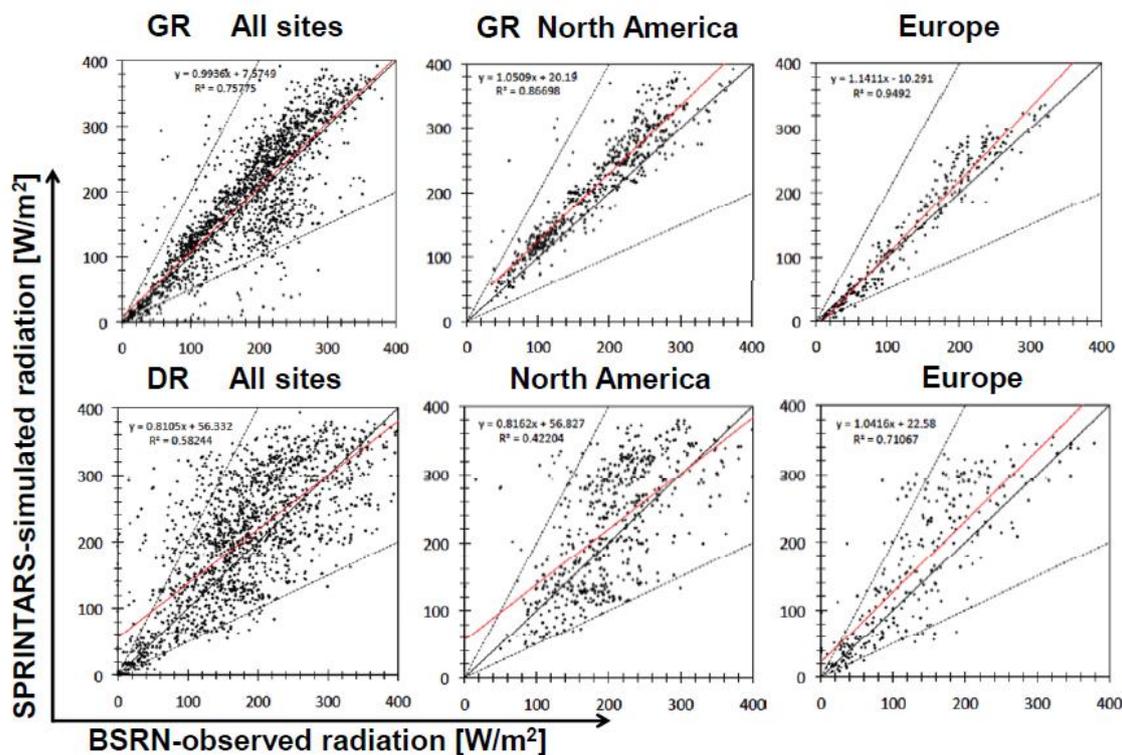


図51 BSRNネットワークによる観測値と改良版モデルによる日射量の、全地点(左図)、北アメリカ(中央図)、およびヨーロッパ(右図)での比較。GR：全天日射量(上段)、DR：直達日射量(下段)。

#### (4) 改良版モデルによる地球全体の直接放射強制力の推定

本サブ課題の最も重要な目的である、改良版SPRINTARS-MIROCモデルによる、全球でのエアロゾルの直接放射強制力(ADRF)の計算結果を、図52に示した。SO<sub>4</sub>の改良だけを用いた改良版モデル(SPRINTARS-A)によってADRFは、標準版モデルでの結果に比べて、アジアで小さくなったが、北アメリカやヨーロッパでは大きくなった。これはSO<sub>4</sub>の鉛直量の変化による。またNH<sub>4</sub>とNO<sub>3</sub>の導入によって、ADRFは工業地域を中心に増加し、特にアジアでの増加が大きかった。これらの結果をもとに求めた、全球でのADRFの平均値は、表4に示すように、改良版モデル(SPRINTARS-B)では-0.49 W m<sup>-2</sup>となり、標準版モデルによる0.21 W m<sup>-2</sup>よりも小さくなり、IPCC第4次報告書の値とほぼ同じとなった。このように、改良版モデル(SPRINTARS-B；なお本文中で記術されている改良版モデルとはすべて、このSPRINTARS-Bに対応する)を用いることにより、エアロゾル直接放射強制力の値は、他のモデル結果に近い値が得られた。

表4 エアロゾル直接放射強制力(ADRF)のモデル間の比較

モデル	硫酸塩(SO <sub>4</sub> )	アンモニウム-硝酸塩(NO <sub>3</sub> )	直接放射強制力 (W m <sup>-2</sup> )
改良版SPRINTARS-B	○*	○	-0.49
改良版SPRINTARS-A	○*	×	-0.30
標準版SPRINTARS	○	×	-0.21
AeroCom <sup>a</sup>	○	×	-0.35
IPCC第4次報告書(AR4)	○	×	-0.4 ±0.2
IPCC第4次報告書(AR4)	○	○	-0.5 ±0.3

<sup>a</sup>Schulz et al. [2006]

\*標準版を改良

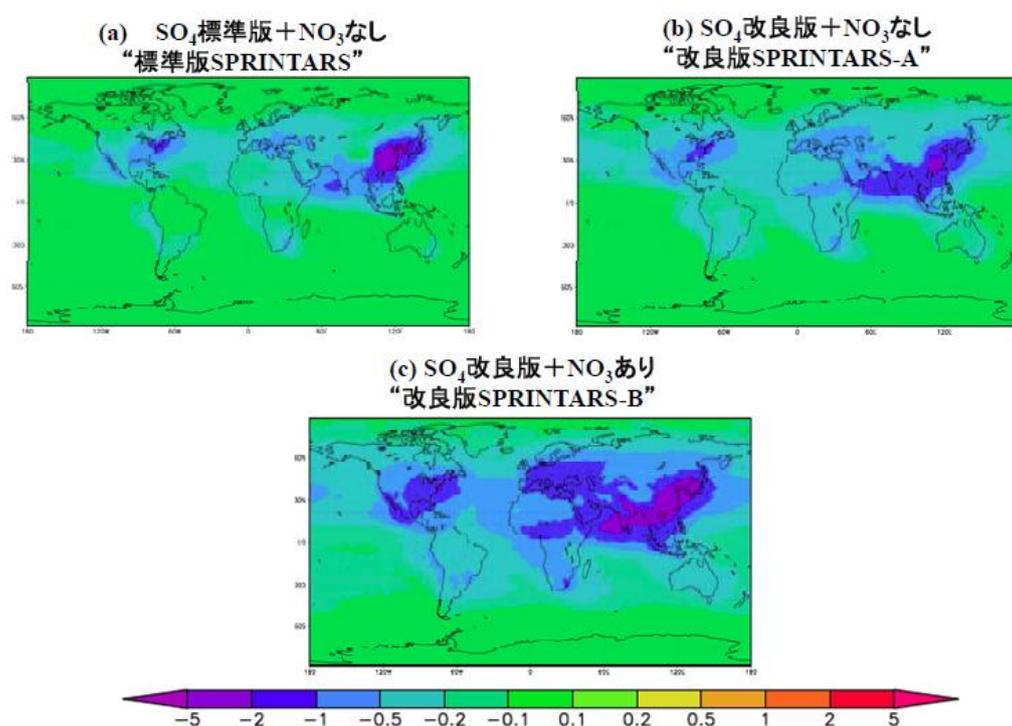


図52 SPRINTARS-MIROCモデルによる直接放射強制力の全球年平均値分布。(a)標準版SPRINTARSモデル、(b)SO<sub>4</sub>過程だけの改良版SPRINTARS-Aモデル、(c)SO<sub>4</sub>過程改良とNO<sub>3</sub>過程を組み込んだ改良版SPRINTARS-Bモデル

#### (5) ブラックカーボン(BC)のエージング効果

BCのエージング効果の有無による全BC量に対する疎水性BCの比について、東アジアの地表付近の年平均値の水平分布を図53に示した。標準版モデルでは、疎水性BC発生源近傍での降水による親水性BCの除去の影響が大きいため、発生源から遠い地域では疎水性BCが大気中から除去されにくいため、相対的に疎水性BCの割合が60%以上と非常に大きかった。しかし改良版モデルでは、大気中でBCがエージングされるために遠方に行くほど、その比は小さくなり、遠隔地域では10%以下と小さくなった。このような発生源から遠方までのBCの特性変化の結果は、観測事実と同様

の傾向にあり、BCのエージング効果をSPRINTARSモデルに組み込むことが、重要であることがわかった。

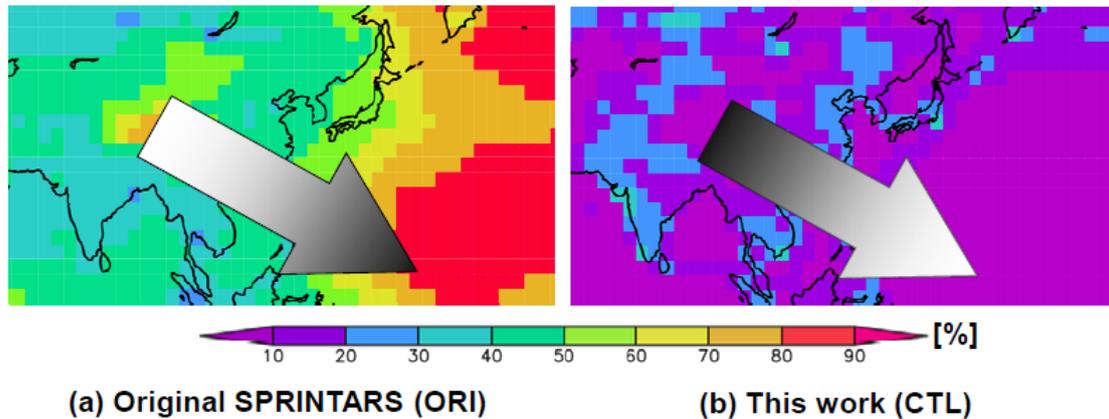


図53 標準版モデル(左)と改良版モデル(右)による東アジアでの全BC濃度に占める疎水性BC濃度の年平均割合(%)

(6) BCのエージング効果を組み込んだ改良版モデルと地上でのエアロゾル観測結果との比較。

タイのピマイで1年間測定された大気エアロゾルの化学成分値と、改良版モデルを用いた値との比較では、図54に示すように、BCは、乾期(2007年10月～2008年4月)では観測値がモデル値よりも高い場合もその反対の場合もあったが、雨期ではモデルのほうが常に高かった。硫酸塩とアンモニウムは、ばらつきはあるものの、観測値とモデル結果はほぼ対応していた。OCと海塩粒子は雨期・乾期ともに改良版モデルのほうが高かったが、モデルで考慮しているエミッション値の不確かさが原因であるとともに、観測側でも測定できないOCが存在することや、また、大気汚染物質との反応に伴う塩素の消失による海塩粒子の変質をモデルでは考慮していないため、と推定される。またダストは、雨期では常にモデルのほうが観測よりも高かった。モデルでは、雨期のダストは中近東付近からの長距離輸送と推定されるので、その発生源地域でのダストの生成過程の検証が必要である。

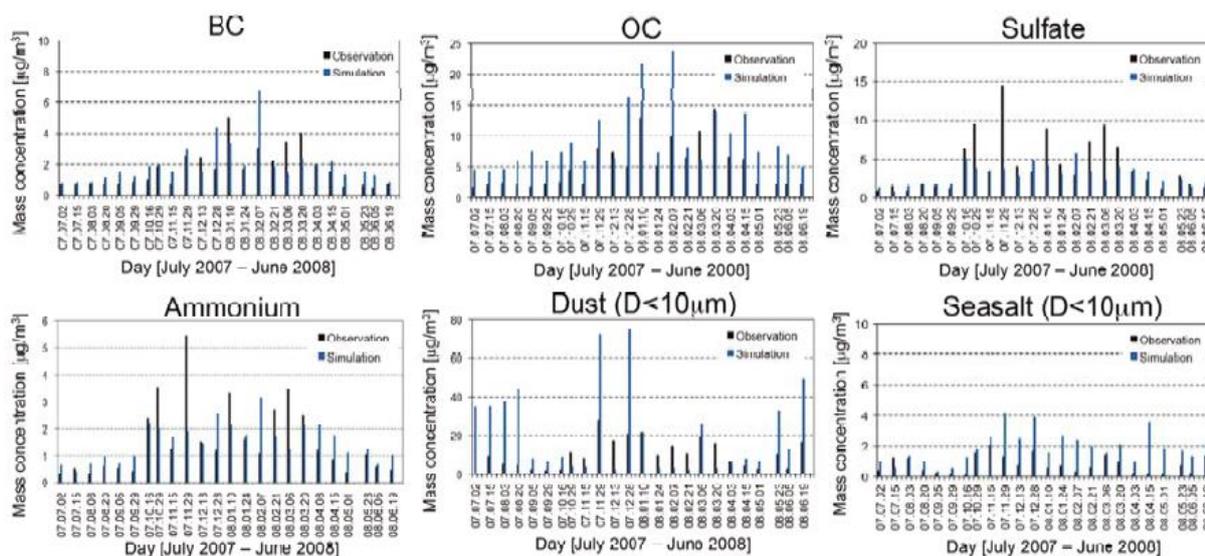


図54 ピマイの大気エアロゾル(BC、OC、硫酸塩(Sulfate)、アンモニウム、ダスト、海塩粒子(Seasalt))の観測値と改良版モデル結果の時系列(2007年7月～2008年6月)

改良版モデルによるAOTは、図55に示すように、炭素系粒子と硫酸塩粒子の影響が最も大きく、ダストの寄与は0.2と小さく、海塩粒子の寄与はさらに小さかった。ダストの影響が小さいのは、日本を含む東アジアでは、黄砂に代表される大規模なダストストームによりしばしば輸送されるので、そのAOTへの影響は大きい、東南アジアへは大規模なダストがほとんど輸送されないことが、改良版モデルと観測結果から、明らかになったためである。なお、東南アジアの乾期では、改良版モデルによるAOTは、MODISによるAOTよりも小さかった。次に乾期のSSAは、図56に示すように、ピマイ域での特徴的なメソスケールの気象現象に対応する変動もよくとらえられているが、改良版モデルのほうが、地上でのスカイラジオメータ観測結果よりも大きく、今後その原因を追究して行きたい。また、スカイラジオメータによるSSAの不確実性も指摘されており、観測値の精査も必要である。BCのエージング効果がSSAに与える影響は、時期によって0.05程度となり、エージングを考慮していない結果よりも小さくなった。これは、BCが硫酸塩で被覆されるために吸収性が大きくなったためであり、観測結果に近い値を得るためには、少なくともBCのエージング効果を組み込むことの重要性が明らかになった。年間を通した大気エアロゾルの化学特性と光学特性の観測結果と改良版モデルおよび人工衛星観測結果との総合的な比較および検証作業は、今回初めて実施したばかりで、現在、詳細にその結果を検討中である。

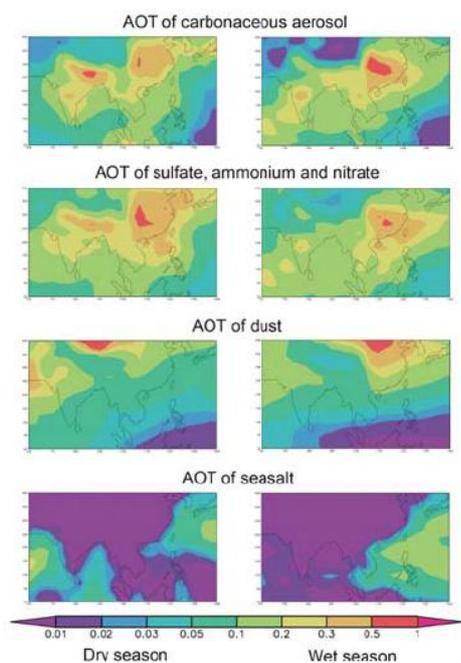


図55 改良版モデルによる乾期と雨期のAOT分布  
 (上段から下段に向かって：炭素系粒子、硫酸塩+アンモニウム+硝酸塩、ダスト、海塩粒子)

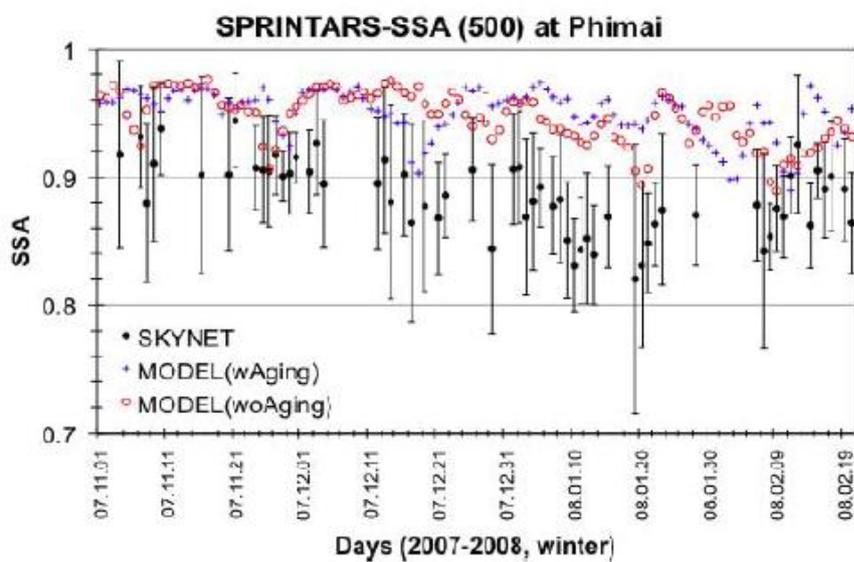


図56 光学特性観測結果と改良版モデル(BCのエージング効果の有(wAging)無(woAging)の場合とによるSSAの時系列

## (7) エアロゾル同化システムの開発

MIROC-標準版SPRINTARSモデルによる海上でのAOTは、MODISによるAOTよりも小さかったが、陸上でのAERONETによるAOTの解析から、海上の雲量と風速によって補正した新しいAOTを用いて同化することにより、大きく改良された（図57左）。

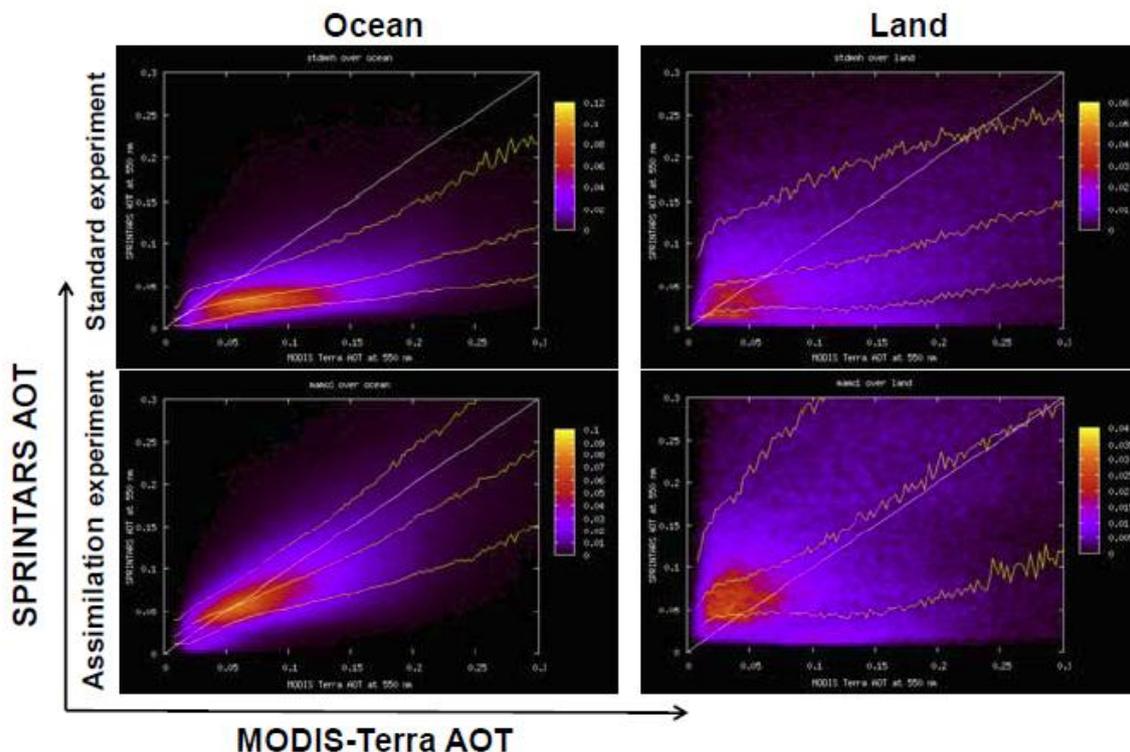


図57 海上(左図)と陸上(右図)におけるMODISによるAOTとSPRINTARモデルによるAOTとの関係。標準版モデル（上段）と同化モデル（下段）

また、標準版モデルで使用された2009年1月の固定されたSO<sub>2</sub>排出量分布を、カルマンスムーザーを用いて、数日ごとに排出量分布を再計算したものの1ヶ月平均排出量分布と比較すると、特に中国での分布が異なっており、より現実に即した排出量分布と推定された（図58）。

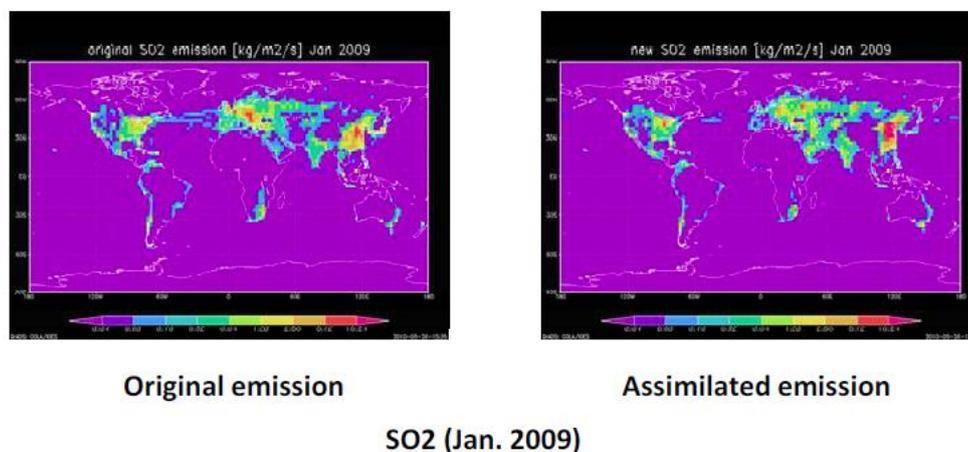


図58 標準版モデル(左)と同化モデル(右)による2009年1月平均SO<sub>2</sub>排出量分布(kg m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)。

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

- ・標準版SPRINTARSモデルでは取り入れてなかった硝酸塩過程を組み込み、また硫酸塩過程を改善した改良版SPRINTARSモデルでは、 $\text{SO}_2$ や $\text{SO}_4$ が上層にも輸送されるようになり、標準版モデルよりも観測結果に近づいた。
- ・改良版モデルの検証を、MODIS衛星や地上AERONETサンホトメータネットワーク、またBSRN地上日射量ネットワークなどから得られるエアロゾルの光学的厚さや日射量を用いて、地上検証班とともにを行い、改良版モデルが妥当であることが示された。
- ・BCのエイジング効果のパラメタリゼーションのSPRINTARSモデルへの取り込みを、BC測定班とともにおこなった。その結果、BCの発生源から離れるにつれて、親水性のBCの割合が増加し、観測値との対応が良くなり、被覆されたBCエアロゾルの割合が東アジア域全域でほぼ一定になる結果が得られた。これは、エアロゾルが引き起こす放射強制力の評価に取って重要な知見である。
- ・硫酸塩、硝酸塩、黒色炭素に関する改良を行ったモデルによって、最終的な放射強制力の評価をおこなった。それによると本研究による改良型モデルによる大気上端での放射強制力は、IPCC-AR4による評価やAEROCOMグループによる評価に近い値を得た。
- ・東アジアにおける厚い人為起源エアロゾル層による地表面日射量の減少が地表面を冷やし、モンスーン循環などの大気大循環を変化させる新しいメカニズムの可能性を示した。シミュレーション結果によると中国南部、中東部、北部における近年観測されている雲量と降水量の長年変化は、エアロゾルの直接効果、間接効果、および前述した大循環の変化を通じた複雑な効果によることを示した。
- ・タイのピマイにおける年間を通じた大気エアロゾルの地上観測により、乾期の前半は東アジアとくに中国からの化石燃料の燃焼の影響が、また後半はバイオマス燃焼の影響が大きいことが、初めて明らかになった。また、これらの観測結果は改良版モデルでほぼ再現された。
- ・アンサンブルカルマンフィルターを用いたエアロゾルのSPRINTARS同化システムを開発し、逐次観測データを取り込むことにより、全球規模の海上でのAOTが、同化しないモデルに比べて大きく改良された。

### (2) 環境政策への貢献

- ・日本学術会議の地球温暖化問題に関わる知見と施策に関する分析委員会（主査：中島映至）の対外報告書における「地球温暖化問題解決のために一知見と施策の分析、我々の取るべき行動の選択肢」の図を作る際には本研究を参照した。
- ・Joint IPCC-WCRP-IGBP Workshop: New Science Directions and Activities Relevant to the IPCC AR5 (3-6 March 2009, Hawaii) において本成果を発表し、IPCCの第5次報告書(AR5)において検討すべき研究テーマとして指摘した。
- ・SPRINTARSモデルは、文部科学省の予測革新プロジェクトや環境省推進費のS-5等における温暖化現象評価にも使われているが、これらの研究チームと密接な連絡を取りながら、本研究結果を標準版の改良に反映させる努力も行っている。
- ・環境省のGOSAT衛星のデータからの温室効果ガス気柱量を正確に求めるためには、エアロゾルに

よる大気放射の寄与を補正しなければならない。そのための解析補助のためにCAIイメージャーからによるエアロゾル光学的厚さの導出、およびMIROC+SPRINTARS気候モデルにモデル計算値を、国立環境研究所のGOSATチームに提供している。

- ・ IPCC-AR5の放射強制力のLead Author、世界気候研究計画（WCRP）の合同科学者委員会委員として、本研究の成果を含むエアロゾルの気候影響に関する知見を、その評価報告書や現在行われつつあるWCRP組織体の将来構想立案において役立てている。

- ・ 本研究によって確立したエアロゾルモデルとSPRINTARSエアロゾル気候モデル、同化システムは、平成22年度から始まった文部科学省の気候変動適応研究推進プログラムの中での、適応政策の研究にも使われる。

- ・ 研究期間中に12件のマスメディアの取材に応じ、エアロゾルの気候影響、太陽出力変化の影響、大気汚染と気候の関係などについて、わかりやすく正しい知識の発信に努めた。

## 6. 引用文献

- 1) 学術会議、地球温暖化問題解決のために一知見と施策の分析、我々の取るべき行動の選択肢一、地球温暖化問題に関わる知見と施策に関する分析委員会対外報告書、日本学術会議、pp74、2009
- 2) Holben, B. N., D. Tanré, A. Smirnov, T. Eck, I. Slutsker, N. Abuhassan, W. W. Newcomb, J. S. Schafer, B. Chatenet, F. Lavenu, Y. J. Kaufman, J. Vande Castle, A. Setzer, B. Markham, D. Clark, R. Frouin, R. Halthore, A. Karneli, N. T. O' Neill, C. Pietras, R. T. Pinker, K. Voss, and G. Zibordi, An Emerging Ground-Based Aerosol Climatology: Aerosol Optical Depth from AERONET, *J. Geophys. Res.*, 106, 12067-12097, 2001.
- 3) Metzger, S. M., Gas/aerosol partitioning: A simplified method for global modeling, Ph. D. thesis, Univ. of Utrecht, Utrecht, Netherlands, 2000.  
( <http://igitur-archive.library.uu.nl/dissertations/1930853/inhoud.htm>)
- 4) Sudo K., M. Takahashi, J. Kurokawa, and H. Akimoto, CHASER: A global chemical model of the troposphere: 1. Model description, *Journal of Geophysical Research* 107(D17), 4339, doi:10.1029/2001JD001113, 2002.
- 5) Omar, A. H., J.-G. Won, D. M. Winker, S.-C. Yoon. O. Dubovik, and M. P. McCormick, Development of global aerosol models using cluster analysis of Aerosol Robotic Network (AERONET) measurements, *J. Geophys. Res.*, 110, D10S14, doi: 10.1029/2004JD004874, 2005.
- 6) Ohmura, A. E. G. Dutton, B. Forgan, C. Fröhlich, H. Gilgen, H. Hegner, A. Heimo, G. König-Langlo, B. McArthur, G. Müller, R. Philipona, R. Pinker, C. H. Whitlock, K. Dehne, and M. Wild, Baseline Surface Radiation Network (BSRN/ WRMC), a new precision radiometry for climate research, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 79, 2115 - 2136, 1998.
- 7) Oshima, N. and M. Koike, Parameterization of a black carbon aging process in the atmosphere, in preparation.
- 8) Takemura, T., H. Okamoto, Y. Maruyama, A. Numaguti, A. Higurashi, and T. Nakajima, Global three-dimensional simulation of aerosol optical thickness distribution of various

origins. *J. Geophys. Res.*, 105, 17853-17873, 2000.

- 9) Takemura, T., Y. Tsushima, T. Yokohata, T. Nozawa, T. Nagashima, and T. Nakajima, Time evolutions of various radiative forcings for the past 150 years estimated by a general circulation model. *Geophys. Res. Lett.*, 33, L19705, doi: 10.1029/2006GL026666, 2006.

## 7. 国際共同研究等の状況

- UNEPが2002年から組織しているABC(Asian Brown Cloud:アジアの褐色雲)プロジェクトの、ABC-Asiaサイエンスチーム長として、2009年11月に韓国で開催されたサイエンスチーム会合で、東アジアのエアロゾルと放射収支の観測に関するとりまとめ、および農作物などへの影響評価に関するとりまとめのアドバイスを行った。また、あらたに立ち上げた、モデリンググループ、広域データ解析センターグループの、今後の活動に関して議論し、アドバイスを行った。2010年10月にタイのバンコクで開催された、第3回観測およびモデリンググループ会合で、アジアのエアロゾルと放射収支に関する各地点での観測に関するとりまとめ、モデリンググループと広域データ解析センターグループのそれまでの活動経過を紹介し、今後の活動計画を立案して、議論し承認された。さらに、2011年3月21-24日までネパールのカトマンズで開催される、ABCサイエンスチームの会合に、ABC-Asiaサイエンスチーム長として参加し、アジアだけでなく、ABCプログラム全体の今後の計画を議論するとともに、ABC-Asiaプログラムを紹介する。
- JAXA-ESA-NICT共同のEarth Explorer/EarthCAREミッションの日本側代表研究者として、全球のエアロゾルと雲の観測、およびそれによる放射収支の評価に関する計画を立案し、2009年6月10-12日に京都で、国際ワークショップを組織して、開催した。2010年度は、EarthCARE衛星から得られるデータの解析アルゴリズムの開発と、データを放射伝達理論によってシミュレーションするアルゴリズムのNASAとの共同開発を行った。その中で、本研究によって得られたBCエアロゾルに関する知識が利用された。
- インド気象局が2010年に14台のプリード社のスカイラジオメータ(中島が開発)を導入した。それに伴い、そのデータ解析、黒色エアロゾルの放射モデル化、気候モデルシステムの確立について、アドバイスをインド気象局の研究者に対して行った。

## 8. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

1. Mukai M., Nakajima T., Potentiality of aerosols in changing the precipitation field in Asia. *SOLA*, 5, 97-100, doi:10.2151/sola.2009-025, 2009.
2. Nakajima T., Murakami H., Hori M., Nakajima T.Y., Yamamoto H., Ishizaka J., Tateishi R., Aoki T., Takamura T., Kuji M., Nguyen D. D., Ono A., Fukuda S., Muramatsu K., Overview and science highlights of the ADEOS-II/GLI project. *J. Remote Sens. Soc. Japan*, 29, 11-28, 2009.
3. Nakajima T.Y., Higurashi A., Nakajima T., Fukuda S., Katagiri S., Development of cloud and aerosol retrieval algorithms for ADEOS-II/GLI mission. *J. Remote Sens. Soc. Japan*, 29, 60-69, 2009.

4. Nakajima T.Y., Masunaga H., Nakajima T., Near-global scale retrieval of the optical and microphysical properties of clouds from Midori-II GLI and AMSR data. *J. Remote Sens. Soc. Japan*, 29, 29-39, 2009.
5. Nakajima T.Y., Nakajima T., Yoshimori K., Mishra S.K., Tripathi S.N., Development of a light scattering solver applicable to particles of arbitrary shape on the basis of the surface integral equations method of Müller-type. I. Methodology, accuracy of calculation, and electromagnetic current on the particle surface. *Appl. Opt.*, 48, 3526-3536, 2009.
6. Ota Y., Higurashi A., Nakajima T., Yokota T., Matrix formulations of radiative transfer including the polarization effect in a coupled atmosphere-ocean system. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 111, 878-894, 2009.
7. Suzuki, K., T. Nakajima, T.Y. Nakajima, A.P. Khain, A study of microphysical mechanisms for correlation patterns between droplet radius and optical thickness of warm clouds with a spectral bin microphysics cloud model. *J. Atmos. Sci.*, 67, 1126-1141, 2010. (謝辞は推進費B-4、代表者 中島、平成14-18年度であるが、この研究で開発した衛星手法が本研究に使われている)
8. Katagiri, S., N. Kikuchi, T.Y. Nakajima, A. Higurashi, A. Shimizu, I. Matsui, T. Hayasaka, N. Sugimoto, T. Takamura, and T. Nakajima, Cirrus cloud radiative forcing derived from synergetic use of MODIS analysis and ground-based observations. *SOLA*, 6, 025-028, doi: 10.2151/sola.2010-007, 2010.
9. Schutgens NAJ, Miyoshi T, Takemura T, Nakajima T, Applying an ensemble Kalman filter to the assimilation of AERONET observations in a global aerosol transport model. *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 2561-2576, 2010.
10. Schutgens NAJ, Miyoshi, T., Takemura, T., T. Nakajima, Sensitivity test for an ensemble Kalman filter aerosol assimilation, *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 6583-6600, 2010.
11. Suzuki K., Nakajima T., Nakajima T.Y., Khain A.P., A study of microphysical mechanisms for correlation patterns between droplet radius and optical thickness of warm clouds with a spectral bin microphysics cloud model. *J. Atmos. Sci.*, 67, 1126-1141, 2010.
12. Goto, D., Review of up-to-date global aerosol models with higher-performance computers, *Eurozol Kenkyu*, 25(4), 331-335, 2010 (in Japanese).
13. Badarinath, K. V. S., D. Goto, Shailesh Kumar Kharol, D. V. Mahalakshmi, Anu Rani Sharma, T. Nakajima, M. Hashimoto and T. Takemura, Influence of natural and anthropogenic emissions on aerosol optical properties over tropical urban site - a study using sky radiometer and satellite data, *Atmos. Res.*, (accepted)

<その他誌上発表（査読なし）>

1. Nakajima, T., and M. Schulz, 2009: What do we know about large-scale changes of aerosols, clouds, and the radiation budget?, Chap 17, *Struöngmann Forum Report: Clouds in the Perturbed Climate System. Their Relationship to Energy Balance, Atmospheric Dynamics,*

- and Precipitation*, Eds. Jost Heintzenberg and Robert J. Charlson, MIT Press., Cambridge, 597pp, ISBN 978-0-262-01287-4.
2. Ramanathan, V., M. Agrawal, H. Akimoto, M. Aufhammer, S. Devotta, L. Emberson, S. I. Hasnain, S. I. Hasnain, M. Iyengararasan, A. Jayaraman, M. Lawrance, T. Nakajima, T. Oki, H. Rodhe, M. Ruchirawat, S.K. Tan, J. Vincent, J.Y. Wang, D. Yang, Y.H. Zhang, H. Autrup, L. Barregard, P. Bonasoni, M. Brauer, B. Brunekreef, G. Carmichael, C.E. Chung, J. Dahe, Y. Feng, S. Fuzzi, T. Gordon, A.K. Gosain, N. Htun, J. Kim, S. Mourato, L. Naeher, P. Navasumrit, B. Ostro, T. Panwar, M.R. Rahman, M.V. Ramana, M. Rupakheti, D. Settachan, A. K. Singh, G. St. Helen, P. V. Tan, P.H. Viet, J. Yinlong, S.C. Yoon, W.-C. Chang, X. Wang, J. Zelikoff and A. Zhu, 2008: Atmospheric Brown Clouds: Impacts on Regional Climate Change, Agriculture and Human Health: First Regional Assessment Report with Focus on Asia, Published by the United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya.
  3. 中島映至・早坂忠裕編、2008：エアロゾルの気候影響と研究の課題。気象研究ノート、日本気象学会、218巻、177pp。
  4. 中島映至、2008：エアロゾルの気候影響と研究の課題。気象研究ノート、中島映至・早坂忠裕編、日本気象学会、218巻、1-10。
  5. Nakajima, S.-C. Yoon, and V. Ramanathan, eds., 2008: Special Issue for Asian Aerosol Studies from the First Phase Regional Experiments of Atmospheric Brown Cloud (ABC) Project., *J. Geophys. Res.*
  6. 中島映至（監修）、気候科学の冒険者～温暖化を測るひとびと、tanQブックス 5、技術評論社、ISBN-13: 978-4774140940, 2009.
  7. 中島映至、竹村俊彦、新用語解説「放射強制力」、天気、56, 997-999, 2009.
  8. 中島映至、井上豊志郎監訳、2009：変わりゆく地球、衛星写真にみる環境と温暖化、丸善株式会社、ISBN: 978-4-621-08110-5 C3044、384pp, 2009.
  9. Nakajima, T., and M. Yamasoe, Eds., Current Problems in Atmospheric Radiation (IRS2008). American Institute of Physics, Melville, New York, 2009, AIP Conference Proceedings, 1100, ISBN 978-0-7354-0635-3, 2009
  10. Nakajima, T., and M. Schulz, What do we know about large-scale changes of aerosols, clouds, and the radiation budget?, Chap 17, *Strütingmann Forum Report: Clouds in the Perturbed Climate System. Their Relationship to Energy Balance, Atmospheric Dynamics, and Precipitation*, Eds. Jost Heintzenberg and Robert J. Charlson, MIT Press., Cambridge, 597pp, ISBN 978-0-262-01287-4, 2009.
  11. 学術会議、2009：地球温暖化問題解決のために一知見と施策の分析、我々の取るべき行動の選択肢一、地球温暖化問題に関わる知見と施策に関する分析委員会対外報告書、主査 中島映至、pp74.
  12. 中村 尚、遊馬芳雄、寺尾 徹、中島映至（2009）：日本気象学会・日本学術会議IAMAS小委員会共同実施「若手研究者アンケート」第1次集計結果の分析、天気、56、575-585.
  13. 鶴田治雄, Jinchula Chotpitayasunon, Boossarasiri Thana, Pradeep Khatri, 高村民雄、須藤重人、米村正一郎、世良耕一郎、斉藤義弘、白砂裕一郎、平野耕一郎、早坂忠裕、中島

映至：タイのピマイにおける大気エアロゾルの化学成分の特徴、NMCC共同利用研究成果報文集、15、75-86、2009.

14. Masunaga, H., T. Matsui, W.-K. Tao, A.Y. Hou, C.D. Kummerow, T. Nakajima, P. Bauer, W.S. Olson, M. Sekiguchi, T.Y. Nakajima, 2010: Satellite Data Simulator Unit (SDSU): A multi-sensor, multi-spectral satellite simulator package. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, December 2010, 1625-1632.
15. Nakajima, T., 2010: IPCC and social responsibility of scientists. *Japan Geoscience Letters*, 2010, No. 4.
16. 中島映至、関口美保：光と地球環境、「からだどひかり事典」、大西武雄編、朝倉書店、2010.
17. 鶴田治雄、Jinchula Chotpitayasunon, Boossarasiri Thana, 高村民雄、須藤重人、米村正一郎、世良耕一郎、斉藤義弘、白砂裕一郎、平野耕一郎、早坂忠裕、中島映至：タイのピマイにおける大気エアロゾルの化学成分の特徴(その2)----化石燃料燃焼とバイオマス燃焼及び表層土壌の寄与----、NMCC共同利用研究成果報文集、16、70-80、2010.

(2) 口頭発表 (学会など)

1. Nakajima, T., A study of aerosol climate effects with use of satellite and climate model. *Meteorology, Air Quality and Health Impact in Singapore and other Asian Cities*, National University of Singapore, May, 2008, Singapore. (招待講演)
2. 中島映至、地球環境問題に地球惑星科学が果たす役割、*日本地球惑星科学連合大会ユニオンセッション*、5月、2008年、幕張。
3. 中島映至、地球温暖化現象の理解とIPCC第4次報告書、*日本地球惑星科学連合大会特別セッション*、5月、2008年、幕張。
4. 五藤大輔、竹村俊彦、中島映至、全球エアロゾル輸送モデルによる海洋上清浄大気におけるエアロゾルー雲の相関の再現性、*日本地球惑星科学連合2008年大会*、5月、2008年、幕張。
5. 五藤大輔、中島映至、竹村俊彦、GCMと地上・衛星観測を用いた海洋性清浄大気におけるエアロゾルの特性の考察、*日本気象学会2008年度春季大会*、5月、2008年、横浜。
6. 鶴田治雄、Jinchula Chotpitayasunon, Boossarasiri Thana, Pradeep Khatri, 高村民雄、早坂忠裕、中島映至：ピマイ(タイ)における大気エアロゾルの化学組成と光学特性、*日本気象学会2009年度春季大会*、5月、2009年、東京。
7. Nakajima, T., A link between aerosols and the climate in Asia. *The First International Conference: From Deserts to Monsoons*, June, 2008, Crete. (招待講演)
8. Goto D, T. Nakajima, T. Takemura, An evaluation of AGCM for marine aerosols in the region of 40S-60S, UAW2008, July, 2008, Maihama, Japan.
9. Goto D, T. Nakajima, T. Takemura, A. Higurashi, T. Y. Nakajima, A comparison of correlation between aerosols and low-level clouds using a GCM and satellites measurements (MODIS and GLI) in the region of 40S-60S, APRS2006, August, 2008, Iguas, Brazil.
10. Goto D, T. Nakajima, T. Takemura, Impacts of marine organic aerosols on marine aerosol and cloud fields, IGAC2008, September, 2008, Anncey, France.

11. Nakajima, T., Modeling of the Earth's Climate and Environmental Issues. *International Workshop on Climate Environment System*, Sept. 2008, Seoul National University, Seoul.  
(招待講演)
12. Nakajima, T., Mechanisms of the earth's climate change and the role of human activities. International Union of Pure and Applied Physics (IUPAP) General Assembly, Oct. 2008, Tsukuba. (招待講演)
13. Nakajima, T., Possible links between human activities and the earth's climate change. *Beijing Forum*, Peking University, Beijing Municipal Commission of Education and The Korea Foundation for Advanced Studies, Nov. 2008, Beijing. (招待講演)
14. 五藤大輔、中島映至、竹村俊彦、三次元全球エアロゾル輸送モデルによる海洋性有機炭素エアロゾル：1. 清浄海洋大気(南緯40-60度)領域での影響、日本気象学会2008年度秋季大会、11月、2008年、仙台。
15. Nakajima, T., A study of aerosol interaction with cloud system using satellite remote sensing and high resolution modeling. *Third Workshop on High-resolution and Cloud Modeling, Tropical Cyclones and Climate*, Dec. 2008, Hawaii.
16. 五藤大輔、中島映至、竹村俊彦、南緯40-60度領域のエアロゾル場：全球エアロゾル輸送モデルと衛星観測による解析、第31回極域気水圏シンポジウム、12月、2008年、板橋。
17. Nakajima, T., Evaluation of the radiative forcing of climate change factors and its effects to the climate system. *Joint IPCC-WCRP-IGBP Workshop*, March 2009, Hawaii.
18. Schutgens N. A. J., Nakajima T., Mukai M., Miyoshi M., Takemura T., 2009: A global aerosol assimilation system. *Proceedings EarthCARE workshop 2*, p. 267-272, June, 2009, Kyoto.
19. Nakajima, T., T. Takamura, P. Khatri, M. Campanelli, V. Estellés, B. J. Sohn, C. Huizheng, 2009: On the calibration of skyradiometers. *AERONET Workshop*, August, 2009, Hangzhou, China.
20. Nakajima, T., Invited Plenary Lecture 'Climate Effects of Aerosols: A Link to Cloudiness and Precipitation', 2nd Integrated Land Ecosystem-Atmosphere Processes Study Science Conference, GEWEX-iLEAP Session, Invited Plenary Lecture, August, 2009, Melbourne, Australia.
21. Nakajima, T., Lecture 'Mechanisms of the earth's climate change and the role of human activities', ICSU Regional Meeting, September, 2009, Penang, Malaysia.
22. 藤井友香、須藤靖、樽家敦史、中島映至、福田悟、E. L. Turner、地球型惑星の反射光の時間変動とバイオマーカー、日本天文学会、5月、2009年、東京。
23. Nakajima, T., An analysis of satellite remote sensing and simulation by several models for understanding the role of aerosol and clouds in the climate formation process. 19th UN/IAF Workshop on Integrated Space Technologies and Space-based Information for Analysis and Prediction of Climate Change, October, 2009, Daejeon, Korea.
24. Nakajima, T., Lecture 'Overview of ABC', WMO Committee on Atmospheric Sciences XV, November, 2009, Incheon, Korea.
25. Nakajima, T., Issues in understanding the aerosol-cloud-radiation interaction

- processes. 4th Japan-China-Korea Joint Conference on Meteorology, Invited paper, November, 2009, Tsukuba, Japan.
26. 鶴田治雄、Jinchula Chotpitayasunon, Boossarasiri Thana, Pradeep Khatri, 高村民雄、早坂忠裕、及川栄治、井上豊志郎、中島映至：ピマイ(タイ)における大気エアロゾルの化学組成と光学特性(第2報)、日本気象学会2009年度秋季大会, 11月、2009年、仙台。
  27. 五藤大輔、中島映至、Nick Schutgens、竹村俊彦、全球エアロゾルモデルとAERONET観測網を用いたエアロゾル光学特性の比較研究、日本気象学会2010年度春季大会、5月、2010年、代々木。
  28. 鶴田治雄、Jinchula Chotpitayasunon, Boossarasiri Thana, Pradeep Khatri, 高村民雄、竹村俊彦、杉本伸夫、竹内渉、早坂忠裕、及川栄治、井上豊志郎、中島映至：ピマイ(タイ)の大気エアロゾルの化学組成と光学特性(第3報)----乾期における化石燃料燃焼、土壌、及びバイオマス燃焼起源による影響----、日本気象学会2010年春季大会、5月、2010年、東京。
  29. 五藤大輔、中島映至、竹村俊彦、全球規模での対流圏硫酸エアロゾルモデルの改良、日本地球惑星科学連合2010年大会、5月、2010年、幕張。
  30. Tsuruta, H., T. Takemura, J. Chotpitayasunon, B. Thana, P. Khatri, T. Takamura, N. Sugimoto, E. Oikawa, T. Inoue, T. Hayasaka, T. Nakajima, Comparison of chemical/optical properties of atmospheric aerosol at Phimai between a field study and the SPRINTARS model, Japan Geoscience Union Meeting 2010, May, 2010, Makuhari, Japan.
  31. Goto D, T. Nakajima, N. A. J. Schutgens, T. Takemura, Uncertainty of simulated aerosol optical properties derived from prescribed optical parameters in Asian region, Japan Geoscience Union Meeting 2010, May, 2010, Makuhari, Japan.
  32. Nakajima, T., K. Suzuki, T. Y. Nakajima, M. Mukai, E. Oikawa, and D. Goto, 2010: A consideration on the relative strengths of aerosol direct and indirect forcings on the earth's climate system. Oral talk, Joint Session between the AMS 13th Conference on Cloud Physics and the 13th Conference on Atmospheric Radiation. July 2010, Portland, USA.
  33. Goto D, T. Nakajima, T. Takemura, Radiative impact of ammonium-sulfate-nitrate aerosols in a general circulation model, The 13<sup>th</sup> conference on atmospheric radiation, July, 2010, Portland, USA, .
  34. Goto D, T. Nakajima, T. Takemura, Evaluation of the anthropogenic sulfate direct radiative forcings in a general circulation model, The 13<sup>th</sup> conference on atmospheric radiation, July, 2010, Portland, USA, .
  35. Nakajima, T., 2010: Aerosol, Cloud, and Radiation. *Invited lecture, International Seminar on Climate System and Climate Change (ISCS)*, China Meteorological Administration, July 2010, Beijing.
  36. Goto D, T. Nakajima, T. Takemura, Implementation of BC aging process into SPRINTARS, Radiation, Cloud, Aerosols, and Climate workshop, August, 2010, Sendai.
  37. Nakajima, T., E. Oikawa, D. Goto, and K. Suzuki, 2010: A discussion on the aerosol direct and indirect forcings on the earth's climate system. Asian Pacific Radiation

- Symposium (APRS), Invited plenary talk, August 2010, Seoul, Korea.
38. Goto D, T. Nakajima, T. Takemura, Uncertainty of simulated aerosol optical properties derived from mixing states of black carbon in Asia, APRS2010, August, 2010, Seoul, Korea.
  39. Tsuruta, H., T. Takemura, J. Chotpitayasunon, B. Thana, P. Khatri, T. Takamura, T. Hayasaka, T. Nakajima, Comparison of Chemical and Optical Properties of Atmospheric Aerosols at Phimai in Thailand between a Field Study and the SPRINTARS Model, APRS2010, August, 2010, Seoul, Korea.
  40. Nakajima, T., 2010: The role of the satellite observation for climate change issues. *International Academy of Astronautics 50th Anniversary Celebration Symposium on Climate Change / Green Systems*, oral talk, August 2010, Nagoya, Japan.
  41. 五藤大輔、大島長、中島映至、竹村俊彦、BCの大気変質過程のパラメタリゼーションの全球モデルへの導入、日本気象学会2010年度秋季大会、10月、2010年、京都。
  42. Goto D, T. Nakajima, T. Takemura, A modeling study of ammonium-sulfate-nitrate aerosols in terms of radiative forcings, 2010 AGU Fall Meeting, December, 2010, San Francisco, USA.

(3) 出願特許

特に無し

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

1. *Science Council of Japan (SCJ) Professional Meeting for Global Warming Issues*, 23-24 June 2008, Sapporo. (組織委員会)
2. *IAMAS International Radiation Symposium*, 3-7 Aug., Brazil (委員長)
3. *The Earth/CARE Workshop 2009*, 10-12 June 2009, Kyoto, Japan (科学委員会)
4. *The 3<sup>rd</sup> Asia Pacific Radiation Symposium (APRS) 2010*, 25-28 August 2010, Seoul, Korea (国際組織委員会)

(5) マスコミ等への公表・報道等

1. 中島映至、2008：「ネーチャーウォッチ：黄砂 乾燥進み飛来早まる」でコメント、日本経済新聞、4月27日。
2. 中島映至、2008：「ネーチャーウォッチ：大陸から増える流入」でコメント、日本経済新聞、5月4日。
3. 日本学術会議、2008：「日本学術会議：現実的な政策早急に」でパネリストとしての意見、朝日新聞、6月27日。
4. 中島映至、2008：「温暖化予測、日本に期待：大気汚染物など浮遊じんから」、日経新聞 8月7日夕刊。
5. 中島映至、2008：「太陽元気なし」で温暖化との関連に関するコメント、朝日新聞、11月21日朝刊。

6. 中島映至、2009年5月18日朝刊 「「褐色雲」が発生、アジアで被害深刻」でアジアの褐色雲についてコメント。
7. 毎日新聞、2010年1月11日「温暖化の研究者と市民の対話」、気候科学の冒険者 ~温暖化を測るひとびと、tanQボックス 5、技術評論社の書評。
8. 中島映至、2010年4月18日 日本経済新聞 「アイスランド噴火で気温低下？ 太陽光を遮断／農作物に影響も」、火山噴火の気候影響についてコメント。
9. 中島映至、2010：テレビ朝日番組「報道ステーション」にて、火山噴火に関する気候影響の説明、4月19日。
10. 中島映至、2010年4月20日 日本経済新聞 「噴煙が日傘役、気温低下も、火山灰東京ドーム110杯分」、火山噴煙の高度についてコメント。
11. 中島映至、2010：「改善必要でも結論覆らない。」、IPCC報告書の温暖化データ誇張疑惑に関する意見。朝日新聞、8月5日朝刊、私の視点。
12. プリード、2010：太陽光から気候変動を測る。日経ビジネス、2010年11月22日号、52-53。プリードが販売するスカイラジオメータの開発経緯についてコメント。

(6) その他

特に無し