

平成 21 年 3 月 31 日現在

研究種目：若手研究（A）

研究期間：2006～2008

課題番号：18681002

研究課題名（和文） 大気エアロゾル予報モデルの開発

研究課題名（英文） Development of forecast model for atmospheric aerosols

研究代表者

竹村 俊彦（TAKEMURA TOSHIHIKO）

九州大学・応用力学研究所・准教授

研究者番号：90343326

研究成果の概要：本研究課題では、これまでに研究代表者が中心となり開発してきた全球エアロゾル輸送・放射モデル SPRINTARS をベースとして、全球エアロゾル分布予測モデルを構築し、数日先までの予測を 1 日 1 回計算して公開することを目的とした。その結果、精度の高いエアロゾル予測システムが構築され、ホームページ（<http://sprintars.net/>）で公開している。また、環境省と気象庁の共同ポータルサイトである「光化学オキシダント関連情報提供ホームページ」（<http://www.data.kishou.go.jp/obs-env/oxidant/>）からリンクが張られ、一般向けへ情報を発信している。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
2007年度	5,400,000	1,620,000	7,020,000
2008年度	4,800,000	1,440,000	6,240,000
年度			
年度			
総計	14,900,000	4,470,000	19,370,000

研究分野：気象学・大気環境学

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：環境質定量化・予測，環境変動，気象学，気候変動，モデル化，エアロゾル，PM10，PM2.5

## 1. 研究開始当初の背景

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)でも指摘されているように、大気浮遊粒子状物質（エアロゾル）は気候変動を誘発する物質であるとして、世界中の研究者が観測やシミュレーションモデル等を用いたアプローチで、その定量的影響評価を行っているところである。一方、エアロゾルは人類及び他生物の呼吸器系等に悪影響を及ぼすため、先進国を中心に工業活動起源の物質に関しては排

出規制が強化されつつある。また、火山・森林火災から突発的に大量に排出・生成されるエアロゾルは、航空機運航の障害になることなども指摘されている。エアロゾルには、自然起源と人為起源があり、自然起源には、砂漠・耕作地等からの土壌粒子、火山灰や火山性ガスから生成される粒子、海塩粒子等がある。一方、人為起源には、工場や自動車等から直接粒子として大気中に排出される物質や排出気体が粒子化する物質、生活上必要な

燃料消費から排出される物質等がある。また、森林火災には自然発火の場合と人為的に起こる場合とがあり、砂漠化進行による土壌粒子の増加は人為起源と言える。このように大気中には様々な化学組成・発生源を持ったエアロゾルが混在しており、また、気体とは異なり大気滞留時間が短いため、その大気中の分布は非常に不均質である。そのため、10年程前まではエアロゾルの時空間分布を把握することが非常に困難であった。しかし、地球環境衛星の進歩やシミュレーションモデルの構築により、データが存在する期間の時空間分布を定量的に把握することが徐々に可能となってきた。例えば、地球規模のエアロゾル分布をシミュレートするモデルが開発され、人工衛星・地上・航空機観測のデータとの比較の結果、妥当なシミュレートを行っていることが確認されている。

前述のように、人類が社会的活動を営む上でエアロゾルの影響は多大である。したがって、エアロゾル分布の予測が可能となれば、健康被害の他、経済的損失を最低限に抑える効果が期待できる。しかし、通常天気予報のように定期的に高頻度で詳細なエアロゾル全球予測を行い、それを公開している事例は国内には存在せず、国外でも存在しないかごく少数であると思われる。国内では地域モデルにより数日先までのエアロゾル分布予測を行っている事例がある。エアロゾルは大気滞留時間が短いため、一般的に排出源に近い場所で濃度が高いことから地域モデルで十分である場合もあるが、人為起源物質による大陸間の越境汚染や黄砂の長距離輸送が確認されていることから推察できるように、どのような気象条件やエアロゾル排出条件でも対応可能なように全球モデルを用いることが理想である。また、気象庁が全球モデルを用いて黄砂予報を行っているが、全ての主要エアロゾルを扱うことのできる予測モデルが必要である。

## 2. 研究の目的

本研究では、これまでに研究代表者が主開発者として開発してきた全球エアロゾル輸送・放射モデル **SPRINTARS** をベースとして、全球エアロゾル分布予報モデルを構築し、数日先までの予測を1日1回程度計算して公開することを目的とする。予報計算結果をweb等により公開する場合、気象業務法により許可を得る必要が想定されるが、研究代表者は気象予報士の資格を取得済であるため、許可申請を行い、国内向けに一般公開することも可能であると考えている。

エアロゾル予報は、学術上では、集中観測の直前計画の資料として活用できる他、数年～数十年スケールのエアロゾル気候影響の

将来予測精度を高めることに繋がる。また、エアロゾルの学術的観測例が急増した1990年頃から現在までのエアロゾル・雲に関するシミュレーション結果も同時にwebで公開することを予定しており、観測結果の検証材料として国内外の研究者に周知し、今後の共同研究に繋げることを目指す。

## 3. 研究の方法

SPRINTARSは、東京大学気候システム研究センター／国立環境研究所／地球環境フロンティア研究センターにより開発されている大気大循環モデル(CCSR/NIES/FRCGC AGCM)と結合しており、エアロゾルの輸送過程(発生・移流・拡散・硫黄化学反応・湿性沈着・乾性沈着・重力落下)や直接効果(太陽放射・赤外放射の散乱・吸収)・間接効果(雲凝結核・氷晶核の機能を通じた雲・降水特性の変化)を計算する。取り扱うトレーサは、対流圏主要エアロゾルである黒色炭素・有機炭素・硫酸塩・土壌性・海塩の各粒子と、硫酸塩の前駆物質である二酸化硫黄・硫化ジメチルである。標準的に用いる分解能は、水平方向がT106(約 $1.1^\circ$ )もしくはT42(約 $2.8^\circ$ )、鉛直方向が $\sigma$ 座標でL56(56層)もしくはL20(20層)であるが、本研究で開発する予測システムでは、計算コストと要求される水平分解能を考慮して、当面T106L20とする。SPRINTARSは全球モデルであるが、例えば東アジア域の黄砂輸送や越境大気汚染を適切に表現することが確認されている。

予測システムは、毎日08JSTには予測結果がホームページを通して試験提供されるように運用されている。SPRINTARSは大気大循環モデルであり、風速・気温等が予報変数であるため、予測精度の向上を求めなければ気象データを必ずしも準備する必要はないが、精度向上のために、気象データとしてアメリカ海洋大気局(NOAA)のGlobal Forecast System(GFS)の風速および気温のデータを取得し、ナッジングを掛けながら計算を行っている。また、海面温度にもGFSのデータを与える。時空間変動の大きい森林火災の排出量分布に関しては、人工衛星搭載センサから得られる準リアルタイムのホットスポットのデータFIRMSを用いて、日々変化を考慮する。計算は、九州大学応用力学研究所のNEC SX-9F(4CPU)の他、予備としてAMD Dual Core Opteron x4(8CPU)を搭載したサーバでも行い、計算期間は予測を行う前々日の12UTCから8日間である。初期値として、前日に計算を行った際に出力しておいた該当日時のデータを使用する。計算終了後には、結果の図化およびhtml化を行い、ホームページサーバへ転送される。以上、GFS・FIRMSデータの取得およびファイル形式変換・シミュレーション

ョン・図および html ファイルの作成は、すべて自動化されている。

#### 4. 研究成果

予測結果を提供するホームページ (<http://sprintars.net/>) には、一般向けの「簡易版」と専門家向けの「詳細版」とを準備している。簡易版の日本語ページでは、エアロゾルの種類を黒色炭素・有機炭素・硫酸塩エアロゾルの合計である「大気汚染粒子」と、土壌性エアロゾルである「黄砂」とに大別し、東アジア域の週間予測動画を掲載している他に、日本を 12 地域におおよそ分割して、当日と翌日は 6 時間毎、6 日後までは 1 日毎の大気汚染粒子および黄砂の濃度を、「少ない」「やや多い」「多い」「非常に多い」の 4 段階で表示している (図 1 参照)。動画と 4 段階表示は、モデル最下層から  $\sigma=0.9$  (高度約 1km) までの平均質量濃度から作成している (図 2 参照)。なお、エアロゾルの高濃度の状態を注意喚起するという観点から、1 日毎の週間予測は、1 日平均値ではなく、6 時間平均値 (00-06JST, 06-12JST, 12-18JST, 18-24JST) のうち最大値を採用して表示している。また、携帯電話対応のサイトも構築しており、4 段階表示の情報を閲覧することができる。注意点として、水平分解能は約  $1.1^\circ$  であるため、日本各地全般の高濃度および他の地方・国からの越境汚染はシミュレーションにより表現しているものの、分解能以下の現象 (例えば幹線道路沿いの高濃度エアロゾル等) は表現していないことを挙げておく。簡易版の英語ページでは、4 段階表示は行っ



図 1 一般向けホームページのエアロゾル濃度予測の 4 段階表示の一例

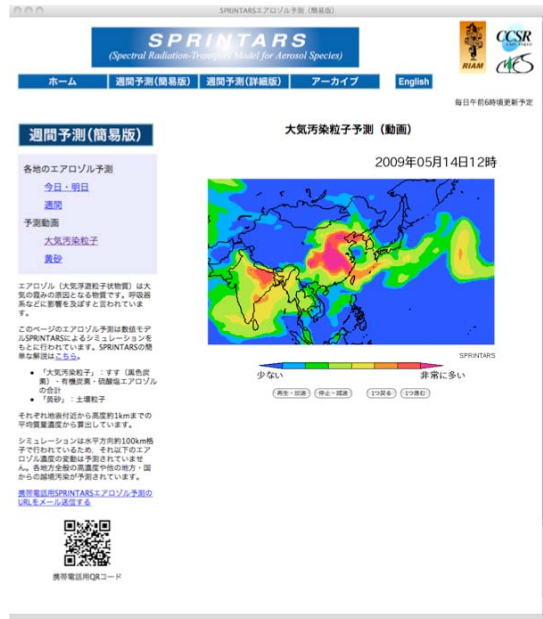


図 2 一般向けホームページの大気汚染粒子予測の動画表示の一例

ていない一方、全球の大気汚染粒子と土壌性エアロゾルの動画を提供している。詳細版は日本語・英語ページにおいて内容は共通であり、エアロゾルの光学特性パラメータ (光学的厚さ・オンゲストローム指数・1 次散乱アルベド)・濃度・沈着量・直接効果放射強制力と雲の微物理特性パラメータの予測動画を、全球および東アジア拡大で閲覧が可能である。

入手可能なエアロゾルの観測データを用いて、日本域の予測精度の検証を行ったところ、大気汚染粒子は 4 日後まで、黄砂粒子は 5 日後までは高精度で予測可能であることが確認された。予測期間が長くなると精度は落ちてくるが、少なくとも「少ない」と判定された場合にはエアロゾルは高濃度にはならない可能性が非常に高いことが示された。このことは、予測に基づいた注意喚起の観点から重要である。

研究開始当初は、予測結果の web 公開にあたり、気象業務法に則り予報許可申請を行うことを想定していたが、気象庁と相談の結果、気象庁・環境省合同ポータルサイトである「光化学オキシダント関連情報提供ホームページ」 (<http://www.data.kishou.go.jp/obs-env/oxidant/>) へ参画する形で一般公開することとした。独自のホームページだけではなく、より広く認知されているサイトへ参画することで、一層情報が活用されることが期待される。

今後は、予測精度を向上させるために、いくつかの課題に取り組むべきであると考えられる。1 つは、初期値アンサンブル予測の導入である。短期的な予測は初期値に大きく

依存するため、少しずつ数値の異なる初期値を用いたシミュレーションを複数行い、それらをアンサンブル平均することにより、より起こりうる可能性の高い予測を出すことができることが期待される。また、可能な限りリアルタイムのエアロゾル観測値を収集し、シミュレーションと観測値とを融合するデータ同化手法を用いることにより、予測精度が高まることが考えられる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

- ① 竹村俊彦、大気エアロゾル予測システムの開発、天気、56、印刷中、2009、査読有
- ② Takemura, T., M. Egashira, K. Matsuzawa, H. Ichijo, R. O'ishi, and A. Abe-Ouchi, A simulation of the global distribution and radiative forcing of soil dust aerosols at the Last Glacial Maximum, Atmospheric Chemistry and Physics, 9, 3061-3073, 2009, 査読有
- ③ Takemura, T., Y. J. Kaufman, L. A. Remer, and T. Nakajima, Two competing pathways of aerosol effects on cloud and precipitation formation, Geophysical Research Letters, 34, L04802, doi:10.1029/2006GL028349, 2007, 査読有
- ④ Takemura, T., Simulation of aerosol effects on climate system by aerosol climate model, Proceeding of AMS 12th Conference on Atmospheric Radiation, 7.4, 2006, 査読有

[学会発表] (計20件)

- ① 竹村俊彦、21世紀のエアロゾルの分布と放射強制力の予測、日本気象学会 2008年秋季大会、2008年11月20日、仙台
- ② Takemura, T., Distributions and radiative forcings of aerosols during the 21st century, 7th AeroCom Workshop, 2008年10月8日、Reykjavik, Iceland
- ③ Takemura, T., Aerosol effects on climate system: past, present, and future, Conference on Air Pollution and Climate Change: Developing a Framework for Integrated Co-benefits Strategies, 2008年9月17日、Stockholm, Sweden
- ④ Takemura, T., Evaluating climate effects and developing forecast

system of atmospheric aerosols, Sino-Japan International Symposium on the East Asian Environmental Problems, 2008年8月26日、上海、中国

- ⑤ Takemura, T., Simulation of aerosol effects on climate system in Asia, A-Train Symposium, 2007年10月25日、Lille, France
- ⑥ 竹村俊彦、全球エアロゾル予報システムの開発、日本気象学会 2007年秋季大会、2007年10月15日、札幌
- ⑦ 竹村俊彦、全球モデルによるエアロゾル分布予報、第24回エアロゾル科学・技術研究討論会、2007年8月9日、和光
- ⑧ Takemura, T., Changes in cloud and precipitation formations by anthropogenic aerosols in Asian region, General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG2007), 2007年7月5日、Perugia, Italy
- ⑨ Takemura, T., A study of aerosol effects on climate system and time evolutions of various radiative forcings with a global climate model, Yoram J. Kaufman Symposium, 2007年5月31日、Greenbelt, MD, USA
- ⑩ 竹村俊彦、全球モデルへのエアロゾル・氷雲相互作用のパラメタリゼーションの導入、日本気象学会2007年春季大会、2007年5月16日、東京
- ⑪ Takemura, T., Simulation of aerosol effects on climate system by aerosol climate model, AMS 12th Conference on Atmospheric Radiation, 2006年7月12日、Madison, WI, USA
- ⑫ Takemura, T., Analysis of aerosol effects on climate system with a aerosol climate model, 5th AeroCom Workshop, 2006年10月19日、Virginia Beach, VA, USA

[その他]  
ホームページ

SPRINTARS

<http://sprintars.net/>

SPRINTARS エアロゾル予測

<http://sprintars.net/forecastj.html>

SPRINTARS エアロゾル予測 (携帯)

<http://sprintars.net/m/>

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

竹村 俊彦 (TAKEMURA TOSHIHIKO)

九州大学・応用力学研究所・准教授

研究者番号：90343326