

アジアのエアロゾル・雲・降水システムの観測・モデルによる 統合的研究

Integrated studies of aerosol-cloud-precipitation system
in Asia based on measurements and model calculations

近藤 豊 (KONDO YUTAKA)

東京大学・大学院理学系研究科・教授



研究の概要

エアロゾル・雲・降水過程は、将来の気候変動予測における最大の不確定要因の一つである。本研究では、エアロゾルの数濃度・粒径分布を中心軸として、雲粒の数・粒径、雲粒の衝突併合により生成する降水を、素過程に基づき統合的に理解する。そのために最先端の計測技術を用いてエアロゾル・雲の航空機・地上観測を行い、鍵となるプロセスの理解を格段に進展させる。また、それらのプロセスを正確に表現した数値モデルを開発し、各要素を段階的に検証し、エアロゾルの雲・降水への影響を高精度で推定する。

研究分野：大気化学

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：環境変動

1. 研究開始当初の背景

最新の IPCC 報告書でも明確に述べられているように、地球温暖化を引き起こす放射強制力の最大の不確定要因は、エアロゾル（大気中に浮遊する微粒子）の雲への影響（エアロゾルの間接効果）に関わるものである。また、光吸収性のブラックカーボン（BC）エアロゾルは太陽光を強く吸収して大気を加熱する一方、光散乱性エアロゾル（硫酸塩・有機化合物）および BC は太陽光を減光し地表面を冷却する。これらのプロセスは、大気の安定度を増加/減少させ、対流活動の変化を通して、雲・降水過程に影響を及ぼすと考えられている（準直接効果）。

これらの効果を精度良く理解するためには、エアロゾル・雲・降水を統合的かつ実証的に理解する研究が不可欠である。第一に、エアロゾルの間接効果の鍵となるエアロゾルの数濃度と粒径分布、また準直接効果の鍵となるエアロゾルの混合状態や単位質量あたりの光吸収率などを直接観測により把握し、それらを支配する要因（生成される全エアロゾル数に対する BC の相対的寄与など）を理解することが必要である。第二に、観測と比較でき、かつアジアスケールでのエアロゾルの雲・降水への影響を詳細に評価できる領域スケールモデルを開発し、エアロゾルからの雲粒生成や湿性沈着など、鍵となるプロセスを表現したモジュールを新たに導入す

ることが必要である。このように一段階ずつ着実に実証的な研究を積み上げていくことにより、エアロゾルの雲・降水への影響（感度）が初めて評価可能となる。

2. 研究の目的

本研究では、エアロゾルの数濃度・粒径分布を中心軸として、雲粒の数・粒径、雲粒の衝突併合により生成する降水を、素過程に基づき統合的に理解する。鍵となるプロセスを正確に表現した数値モデルを開発し、各要素を段階的に検証し、エアロゾルの雲・降水への影響を高精度で推定する。このために最先端の計測技術を用いてエアロゾル・雲の航空機・地上観測を行い、鍵となるプロセスの理解を格段に進展させる。気候変動を予測し対策を講ずるための基盤となる科学的方法論を確立する。

3. 研究の方法

1) 航空機観測

早春と夏にエアロゾル・雲の航空機観測を日本海・東シナ海を中心に 25°-45°N 緯度範囲で実施する。この観測ではこれまで開発・改良してきた測定器を用い、エアロゾルの間接効果・準直接効果の鍵となる諸パラメータを観測する。また、本研究の観測のために、新たな測定器の導入や各測定器のさらなる改良を実施する。

2) エアロゾル地上観測

航空機観測期間を含むより長期間にわた

り、エアロゾルの間接効果・準直接効果を評価するための地上観測を沖縄・長崎福江島で実施する。

3) 数値モデル開発

エアロゾルの混合状態を表現したスキームの開発、新粒子生成率を計算するスキームの開発、エアロゾルや雲の放射影響や大気加熱率を精度良く計算するための放射伝達モデルの開発、雲粒-雨粒変換を詳細に計算できるビン法雲物理モデルの開発を行う。

4. これまでの成果

1) 新たな測定装置の開発・改良

粒径 60 - 1000 nm のエアロゾルの数濃度・粒径分布を測定可能な装置(UHSAS)と粒径 10 nm 以下の粒子数濃度を測定する極微小粒子カウンタ (UCPC)の導入・改良を行った。これらの装置の性能評価を実験室および航空機によるテスト観測によって行った。

2) 航空機観測の実施 (A-FORCE-2013W)

平成 24 年の 2 - 3 月に東シナ海・黄海上空において (0 - 9 km の高度領域)、BC の微物理特性 (質量濃度・混合状態・粒径分布)、エアロゾルの粒径分布・数濃度、雲粒数、CO の混合比について、高精度航空機観測 (A-FORCE-2013W) を実施した。観測は鹿児島空港を拠点に合計 13 フライトを行った。

3) 混合状態を表現したスキームの開発

エアロゾルの粒径と BC の混合状態を表現した 2 次元ビンモデルを開発し、領域三次元気象化学結合モデル WRF-chem に導入した。このモデルを東アジア域の計算に適用し、BC の混合状態の取り扱いに伴う大気加熱率の感度など、混合状態の光学・放射特性に対する影響を評価した。

4) 新粒子生成スキームの開発

数値モデルにおけるエアロゾルの数濃度の表現を改善するために、新粒子 (気体から生成される 1 nm 程度の粒子) の生成と成長を理論的に計算するスキームを作成した。東アジア域の計算を行い、A-FORCE 航空機観測との比較・検証を行った。

5) 放射伝達モデルの開発

BC の放射影響を精密に評価するためには、BC の形状や混合状態の放射場への影響も評価する必要がある。そのため、放射伝達モデルに入力するための消散係数・単散乱アルベド・散乱位相関数について、任意の混合状態と形状を持った BC の光散乱・吸収断面積・散乱位相関数を計算することが可能なコードを離散双極子近似 (Coupled Dipole Approximation: CDA) の理論に基づいて開発した。

5. 今後の計画

平成 25 年 6 ~ 7 月にエアロゾル・雲の航空機観測を日本海・東シナ海を中心に実施する。また、沖縄・福江島でエアロゾル地上観測を継続して実施する。さらに、数値モデル開発を継続して行うとともに、これまでに開発し

てきたモデルを、エアロゾル、放射、雲微物理の全ての要素について検証し、必要に応じて改良を行う。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

○2012 年 12 月第 40 回地球化学研究協会学術賞「三宅賞」受賞

○2012 年秋の紫綬褒章受章

Kondo, Y., N. Oshima, M. Kajino, R. Mikami, N. Moteki, N. Takegawa, R. L. Verma, Y. Kajii, S. Kato, and A. Takami, Emissions of black carbon in East Asia estimated from the observations at a remote site in the East China Sea, *J. Geophys. Res.*, 116, D16291, doi:10.1029/2011JD015637, 2011.

Matsui, H., M. Koike, Y. Kondo, N. Takegawa, A. Wiedensohler, J. D. Fast, and R.A. Zaveri, Impact of new particle formation on the concentrations of aerosols and cloud condensation nuclei around Beijing, *J. Geophys. Res.*, 116, D19208, doi:10.1029/2011JD016025, 2011

Oshima, N., Y. Kondo, N. Moteki, N. Takegawa, M. Koike, K. Kita, H. Matsui, M. Kajino, H. Nakamura, J. S. Jung, and Y. J. Kim, Wet removal of black carbon in Asian outflow: Aerosol Radiative Forcing in East Asia (A-FORCE) aircraft campaign, *J. Geophys. Res.*, 117, D03204, doi:10.1029/2011JD016552, 2012.

Moteki, N., Y. Kondo, N. Oshima, N. Takegawa, M. Koike, K. Kita, H. Matsui, and M. Kajino, Size dependence of wet removal of black carbon aerosols during transport from the boundary layer to the free troposphere, *Geophys. Res. Lett.*, 39, doi:10.1029/2012GL052034, 2012.

Koike, M., N. Takegawa, N. Moteki, Y. Kondo, H. Nakamura, K. Kita, H. Matsui, N. Oshima, M. Kajino, and T. Y. Nakajima, Measurements of regional-scale aerosol impacts on cloud microphysics over the East China Sea: Possible influences of warm sea surface temperature over the Kuroshio ocean current, *J. Geophys. Res.*, 117, D17205, doi:10.1029/2011JD017324, 2012.

ホームページ等

<http://www-sys.eps.s.u-tokyo.ac.jp/>