

## 航空機観測に基づくアジアのブラックカーボンの気候影響の 解明に関する研究

Studies on impacts of black carbon aerosol based on  
aircraft observations

近藤 豊 (KONDO YUTAKA)

東京大学・先端科学技術研究センター・教授



### 研究の概要

ブラックカーボンの気候影響を研究する上で鍵となる粒径分布、被覆量、光吸収率の測定を高精度で測定できる測定器を開発する。またその測定器を用いて航空機観測を行い、アジアにおけるブラックカーボンの粒径分布、被覆過程を解明し光吸収を定量化する。数値モデルを用いてエアロゾルが引き起こす気候変動を評価する。

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：エアロゾル、ブラックカーボン (BC)、航空機観測、アジア、気候影響

### 1. 研究開始当初の背景

ブラックカーボン (BC) は、太陽光を強く吸収し大気を加熱する (正の直接効果)。この加熱により、大気の鉛直安定度が増し、対流が抑制される結果、雲の生成・降雨が抑制される (準直接効果)。また BC は他のエアロゾル成分が凝集する核として作用するため、雲物理量への影響を通じて、雲の反射率、雲量、降水量などの変化も引き起こす。これまで BC の気候影響を研究する上で鍵となる粒径分布、被覆量、光吸収率の測定が全く行われてこなかった。このため、数値モデルで、BC の気候影響を評価する際に大きな不確定性要因となっていた。

### 2. 研究の目的

BC の濃度および微物理量を高精度で測定できる測定器を開発する。またこれらの測定器を用いて航空機観測を行い、アジアおよび北極における BC の粒径分布、被覆過程を解明し光吸収を定量化する。また数値モデルを用いて、エアロゾル直接効果による放射強制力を計算し、BC が引き起こす気候変動を評価する。

### 3. 研究の方法

個々の BC 粒子の質量・形状・被覆状態を測定する先端的な技術を開発し、その多くを論文として出版した。鍵となる技術はレーザー誘起白熱法 (Laser induced incandescence) に基づく Single particle

soot photometer (SP2)の開発である。SP2は、キャビティーを用いて発生させた強いレーザービーム中に BC 粒子を導入し、レーザーエネルギーの吸収により BC を 4000 K 近くまで加熱し、放射される白熱光 (黒体放射光) 強度から BC 質量を推定する。また光散乱強度から BC を被覆している他成分の量を推定する新たな方法も開発した。

2008年の春にアラスカのフェアバンクス、夏にカナダのコールドレイクを基地として NASA DC-8 機に開発した SP2 測定器を搭載して、NASA-ARCTAS 北極航空機観測計画で BC の高精度測定を行った。2009年の春季に、SP2 測定器、無機・水溶性有機エアロゾル化学組成測定器、エアロゾル粒径分布測定器、雲粒子測定器を航空機に搭載し、高度 8 km までの境界層と自由対流圏におけるブラックカーボンの微物理特性 (粒径分布、被覆量など) の広域分布を東シナ海上で測定した (A-FORCE 航空機観測)。

### 4. これまでの成果

SP2 測定器は BC 以外のエアロゾル成分の影響を受けないことを明確に示した。大気中のブラックカーボンを 400 °C 加熱インレットで抽出するという絶対校正法を考案し、SP2 で測定される BC の質量を、不揮発性の BC 粒子として明確に定義し、BC の校正基準となる方法を確立した。この手法は、BC 測定の世界的標準となるものである。

開発した SP2 測定器を用いた室内実験に

より、BCの被覆がBCの光吸収を2倍程度まで増幅することを初めて測定した。さらにこのSP2測定器を用いて発生源近傍（東京）でのブラックカーボンの微物理特性（粒径分布、被覆量）を明らかにした。

北極で初めて高精度のBCの測定を行い、シベリア・アメリカ・カナダの森林火災から発生するBCと他のトレーサー（一酸化炭素、二酸化炭素、シアン化メチル）との相関を詳細に調べ、この相関の傾きから、森林火災による発生源付近での放出比を求めた。この値は森林火災から放出されるブラックカーボンの量を推定する為に鍵となる知見である。森林火災から発生するBCは厚く被覆されており、光吸収効果が大きいと推定された。また、夏季の自由対流圏でのBC濃度は春に比べ大きく低下することを見出した。この主な原因は、詳細な気象解析から降水によるBCの除去によると推定することができた。この季節変動はBCが北極の気候に与える効果を評価する上で、重要な知見である。この観測と、多くの気候モデルで計算されたBCの値を比較し、モデルのBC濃度予測の不確定性を評価した。

春季、中国からの汚染空気塊の流出が顕著な東シナ海・黄海上空を中心にA-FORCE観測を行い、この領域におけるエアロゾルの粒径分布・濃度・混合状態の高度分布を明らかにした。また、測定されたBCの高度分布を、アジア大陸上での放出量と鉛直輸送の観点から解析し、BCの輸送効率を推定した。さらに、中国からの汚染空気塊中において気体成分の凝縮によりBCが被覆されていく過程・進行速度を明らかにした。特に、BCを被覆する無機エアロゾル成分および二次有機エアロゾルの相対的寄与を調べた。凝集によりBCの平均直径が増大していくという重要な過程も明らかにした。

## 5. 今後の計画

ARCTASデータから、北極エアロゾルの光学特性（光吸収係数、散乱係数）を調べる。また、バイオマス燃焼で放出されたBCの自由対流圏への輸送過程・輸送効率を調べる。これは特にBCの輸送効率を推定する上で重要である。より精密な化学輸送モデルによりBCの雪氷面への沈着量を見積もる。

A-FORCEのデータから、BCの微物理量の経時変化を解明する。その一方で、これらの微物理量をexplicitに組み込んだ数値モデルで、時間発展を計算する。また中国の大発生源から放出されるBCのこれまでの放出量の推定の検証を地上の連続観測データを用いて行う。さらに、航空機のデータから、降水によって除去されるBCの割合、アジアから東方に向かって輸送されるBCをモデル計算する。

アジアや北極での我々の観測データをもとに国際的な共同研究により、グローバルモデルによるBCの放射強制力の高精度の評価を進める。BCの直接・間接効果の推定と共にそれらの誤差も評価する。

6. これまでの発表論文等  
2009年 アメリカ地球物理学連合(AGU)のFellowに選出された。

Koch, D., Y. Kondo, et al., Evaluation of black carbon estimations in global aerosol models, *Atmos. Chem. Phys.* *9*, 9001-9026, 2009.

Shiraiwa, M., Y. Kondo, T. Iwamoto, and K. Kita, Amplification of light absorption of black carbon by organic coating, *Aerosol Sci. Tech.*, *44*, 46-54, 2009.

Oshima, N. M. Koike, Y. Zhang, Y. Kondo, et al, Aging of black carbon in outflow from anthropogenic sources using a mixing state resolved model: 1. Model development and evaluation, *J. Geophys. Res.*, *114*, D06210, doi:10.1029/2008JD010680, 2009.

Kuwata, M., Y. Kondo, and N. Takegawa, Critical condensed mass for activation of black carbon as cloud condensation nuclei, *J. Geophys. Res.*, *114*, D20202, doi:10.1029/2009JD012086, 2009.

Moteki, N., Y. Kondo, et al., Directional dependence of thermal emission from nonspherical carbon particles, *J. Aerosol Sci.*, *40*, 790-801, 2009.

Kondo, Y. al., Stabilization of the mass absorption cross section of black carbon for filter-based absorption photometry by the use of a heated inlet, *Aerosol Sci. Tech.*, *43*, 741-756, 2009.

Moteki, N., and Y. Kondo, Method to measure time-dependent scattering cross sections of particles evaporating in a laser beam, *J. Aerosol Sci.*, *39*, 348-364, 2008.

Shiraiwa, M., Y. Kondo, et al., Radiative impact of mixing state of black carbon aerosol in Asian outflow, *J. Geophys. Res.*, *113*, D24210, doi:10.1029/2008JD010546, 2008.

ホームページ等  
<http://noysun1.atmos.rcast.u-tokyo.ac.jp/>