

ARCTAS航空機観測による北極圏のブラックカーボンの発生源と変動・除去過程に関する研究

Source, variation, and removal of black carbon in the Arctic during the ARCTAS aircraft campaign

松井 仁志^{1*}, 近藤 豊¹, 坂本 弘美¹, 茂木 信宏¹, Lokesh K. Sahu¹, 竹川 暢之¹

Hitoshi Matsui^{1*}, Yutaka Kondo¹, Hiromi Sakamoto¹, Nobuhiro Moteki¹, Lokesh K. Sahu¹, Nobuyuki Takegawa¹

¹東京大学先端科学技術研究センター

¹RCAST, University of Tokyo

ブラックカーボン (BC) は、大気中のエアロゾルのうち例外的に太陽放射を吸収する成分であり、バイオマスや化石燃料の燃焼によって放出される。特に、北極圏のBCは大気の加熱や雪氷面アルベドの変化を通して放射収支および気候変動に大きな影響を与えられている。しかしながら、北極圏におけるBCの高精度・広域的・長期の観測はこれまでなく、その動態の観測的な理解は極めて限られている。本研究では2008年4~7月に北極圏と北アメリカを中心に行われたNASA-ARCTAS (Arctic Research of the Composition of the Troposphere from Aircraft and Satellites)航空機観測の結果を用いて、北極圏における春季および夏季の1) BC濃度とその鉛直構造、2) BCの発生源領域と発生過程、3) BCの輸送中の湿性除去過程について観測から明らかにすることを目的とした。ARCTAS航空機観測では、SP2 (Single Particle Soot Photometer) 測定器によってBCの質量・個数濃度とそのサイズ分布が高精度・高時間分解能で測定された。本研究では、北極圏を北緯70度以北の領域と定義し、それらに着目して解析を行った。また、同時測定された様々な汚染気体・エアロゾル成分の測定結果もあわせて使用した。特に、BCと発生源が類似している一酸化炭素 (CO) を汚染大気の指標として用い、バックグラウンド濃度 (温位10 Kごとの観測値の5パーセントイルと定義) からの濃度増分dBC、dCOを解析に用いた。

北極圏におけるdBC濃度の中央値は春36.5 ng/m³、夏4.86 ng/m³であり、春の方が1桁程度大きい濃度であるのに対して、dCO濃度の中央値は春10.2 ppbv、夏16.4 ppbvであり、BCとは反対の傾向が見られた。また、鉛直分布に着目すると、dBC、dCOはともに上空にいくほど濃度が増大していた。これらは北極圏の地表付近に発生源が非常に少ないことと対流圏上部への中高緯度からの汚染大気の長距離輸送を反映していると考えられる。

そこで、後方粒跡線の計算を行い、観測空気塊をヨーロッパ、ロシア、アジア、アラスカ・カナダ、アメリカなど各大陸・国に分類した。dCOは春・夏ともにロシア・アジア・ヨーロッパ起源の濃度が他の起源の濃度に比べて高かった (中央値が20~80 ppbv)。一方、dBCは春季についてはdCOと同様にロシア・アジア・ヨーロッパ起源の濃度が高かったのに対して (中央値が50~100 ng/m³)、夏季は全ての起源について20ng/m³以下の低濃度であった。また、発生源領域の高度ごとの寄与を見てみると、低高度ではカナダやアメリカといった観測点に近い起源のデータが多いのに対し、上空にいくにつれてロシアやアジアといった観測点から遠方からの影響が増大する傾向が見られ、これらの起源からの長距離輸送が強く示唆された。

次に、全球降水気候計画 (GPCP) のデータを用いて、各観測空気塊について後方粒跡線上の積

算降水量を見積もった。積算降水量とdBC/dCO比の関係を見たところ、積算降水量が増大するにつれてdBC/dCO比が急激に減少する様子が両季節について見られた。また、北極圏内の全空気塊の積算降水量は夏季の方が春季に比べ約2倍多く、これらが季節間のdBC/dCO比およびBC濃度の明瞭な違いを作り出す大きな要因となっていることがわかった。また、積算降水量が多い期間においては、水溶性成分の濃度や粒径の大きな（200 nm以上）BCの減少が顕著であり、BCの輸送中の湿性除去過程が多面的に明らかとなった。

最後に、エアロゾル質量分析計を用いて測定された有機エアロゾルと硫酸エアロゾル濃度の比率（Org/SO₄比）を用いて汚染大気発生過程（化石燃料の燃焼とバイオマス燃焼）の選別を行った。これらの解析は汚染大気濃度が高い観測データ（dCO > 20 ppbv）についてのみ行った。化石燃料起源（FF）とバイオマス起源（BB）の後方粒跡線を見ると、FFはアジア起源、BBはロシア起源の空気塊が相対的に多く、FFの方がBBよりも発生源が遠方（低緯度）で、北極に至るまでにより長距離の輸送を経ていることがわかった。そのため、FFの方がBBに比べ積算降水量やBCの輸送中の除去率が大きく、北極圏における観測高度も高いことが示唆された。また、積算降水量が極めて小さい（0～5 mm）空気塊についてFFとBBのdBC/dCO比を比べてみると、BBの方がFFより両季節とも1.5～2倍程度大きく、発生源におけるBC/CO比がBBとFFで異なる可能性も示唆された。これらの要因に伴って、平均的なdBC/dCO比はBBの方がFFより春季が約2倍、夏季が約4倍大きくなった。COの化石燃料とバイオマスの起源の比率に比べ、BCはバイオマス燃焼起源の寄与が相対的に大きくなることが示唆された。

キーワード:エアロゾル,ブラックカーボン,北極圏,長距離輸送

Keywords: aerosol, black carbon, Arctic, long-range transport