

論文審査の結果の要旨

氏名 森 樹大

気候変動の問題において、特に大きな不確実性をもたらしているもののひとつは大気エアロゾルである。大気エアロゾルには太陽光を吸収して地球を温める効果を持つものがあり、その代表格がブラックカーボン粒子（以下、BC 粒子）である。BC 粒子は大気を直接加熱することで安定度を変調させて降水量を変化させるはたらきもあるため、気温だけでなく水循環への影響も重要視されている。実際、気候変化の将来予測において、全球降水量の変化は BC 粒子の排出シナリオに顕著に依存することが知られており、BC 粒子の動態の理解が不十分であることが、気候モデルによる降水量変化予測の不確実性を生む一因であることが近年明らかとなっている。特に大きな不確実要因は大気安定度への影響を左右する BC 粒子の鉛直分布であり、これは雲・降水による湿性除去過程の知見が著しく不足していることによる。本研究はこのような状況に対して、観測的アプローチによって BC 粒子の湿性除去メカニズムを明らかにする目的で行なわれた。

本論文は4章からなる。問題点を整理した第1章のイントロダクションに続き、第2章では本研究で採られた手法が記述されている。まず、章の前半では本研究で新たに開発された BC 粒子の測定手法について記述されている。本研究では降水の雨滴中に分散する BC 粒子の粒径別数密度の測定法を確立するとともに、捕集した降水試料や分析装置内で BC 粒子の分裂や凝集による粒径変化が起こらないことを実験的・理論的に確認している。これにより、雨滴中に含まれる BC 粒子と地上大気中での BC 粒子の粒径別数密度を同時に観測でき、両者を定量的に比較することで BC 粒子の湿性除去効率を粒径別に求めることが可能となった。章の後半ではこのような測定から得られるデータを解析する手法について述べられている。すなわち、主な湿性除去メカニズムである雲粒化（核形成）・雲粒との衝突・雨粒との衝突の各々の寄与を観測データにもとづいて定量化するために、核形成のケーラー理論などを含む雲パーセルモデルの理論的枠組みを構築し、直接観測できないパラメータを観測データから逆推定する手法を考案した。具体的には、上昇流速度と BC 粒子の雲内での滞在時間を推定することで、観測データと適合する3つの湿性除去メカニズムの寄与率を粒径別に決定する。

第3章では、東京（本学本郷キャンパス）と沖縄（辺戸岬）において実際に観測を実施し、第2章の観測手法・解析手法を適用した結果について述べられている。これら2地点ではBC粒子発生からの変質（エイジング）の進行度が異なることに着目し、BC粒子の被覆状態の違いによる湿性除去メカニズムへの影響も調べた。その結果、湿性除去の支配的なメカニズムは雲粒化（核形成）であり、東京と沖縄では被覆状態の違いによって核形成の効率を決める親水性が異なるため、雲粒化による除去効率の粒径依存性が顕著に異なることを見出した。このことは、異なる変質過程を経た東京と沖縄とでは、自由対流圏への粒径別の鉛直輸送効率が大きく異なることを意味している。

第4章では、研究のまとめと本研究の成果を踏まえた今後の課題および展開について述べられており、特に本研究で得られた観測的知見にもとづいて数値モデリングの不確実性を軽減するための方策が提言されている。

本研究は、BC粒子の粒径別数密度を降水試料中と地上大気中の両方で同時に測定できる手法を確立した上で実際の観測に適用し、得られた観測データを必要十分に活かして湿性除去過程の情報を引き出すための解析手法の提案、その結果にもとづいてBC粒子の輸送効率の定量化にまで至る完成度の高い研究であると評価できる。本研究の特にユニークな点は、BC粒子の湿性除去効率を粒径別に測定する手法を確立したこと、それを理論モデルと組み合わせることでこれまでモデル化が遅れてきた湿性除去過程に関する物理的理解が定量的に得られた点である。また、本研究から得られた東京と沖縄での粒径別鉛直輸送効率の顕著な違いは、数値モデルにおいて不確実性の大きいBC粒子の鉛直分布およびその支配プロセスを拘束する上で極めて重要な知見であり、高く評価できる。本研究で確立された測定手法・解析手法を今後さらに様々な地点での観測に適用することで、BC粒子の広域での動態把握に質的な進歩がもたらされることが期待される。

なお、本研究の第2章および第3章の一部は、茂木信宏・大島長・宮崎雄三・東久美子・岩崎綾・松井仁志・近藤豊・小池真・大畑祥の各氏との複数の共著論文として既に出版済みであるが、論文提出者が主体となって問題の設定、測定手法の確立、理論解析を行なったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。従って、論文提出者に博士（理学）の学位を授与できると認める。