

論文審査の結果の要旨

氏名 松井 仁志

本論文は、領域三次元化学輸送数値モデルを用いて、北京および東京のエアロゾルの質量濃度と光学特性の変動過程を、総観規模気象場にたいする1次および2次エアロゾルの変動の違いという観点から体系的に示したものである。論文は5章からなり、第1章はイントロダクション、第2章では北京周辺のエアロゾル質量濃度変動に関する研究、第3章では北京周辺のエアロゾルの光学特性に関する研究、第4章では東京周辺のエアロゾルの質量・光学特性変動と北京の結果の比較研究、そして第5章はまとめを記述している。

東アジアでは近年の急速な経済発展に伴って、エアロゾルとその前駆気体などの汚染物質の排出量が著しく増加している。本論文では、夏季の硫酸塩エアロゾル濃度が東京の3-10倍にもなる、東アジアのメガシティのひとつである北京に着目して研究を行なった。最先端の領域三次元化学輸送モデル WRF-CMAQ および WRF-chem を用いて、北京周辺域におけるエアロゾル各成分の濃度場の計算を実施した。計算結果は、2006年夏季に北京市内周辺で集中観測が実施された CareBeijing-2006 観測キャンペーンのデータおよび人工衛星 MODIS の観測により検証した。

検証されたモデル計算結果の解析により、1次エアロゾル（エアロゾルとして直接大気へ放出されるもの）の濃度空間分布は気象場に関わらずほぼ排出源強度分布に対応し、夜間に境界層高度が下がることなどにより夜中から明け方に最大となる顕著な日変動が引き起こされていたことが明らかとなった。一方、2次エアロゾル（大気中に放出された気体から大気中で生成するエアロゾル）は大気中での前駆気体からの継続的な生成が蓄積するため、移動性擾乱の通過に伴い約一週間を周期として1000kmスケールの高濃度領域を形成していることが示された。北京は人為起源物質の排出量が大きい大華北平原の北端に位置するため、高気圧の影響下においてこの汚染大気は2次エアロゾルの濃度を増加させながらゆっくりと北上していく様子が明らかとなった。感度実験と、この研究で新たに導入された各成分毎に定義できる空気塊年齢を解析することにより、北京の1次エアロゾル濃度は局所的な（北京周辺100kmかつ24時間以内の）排出源によってほぼ決定されているのに対して、2次エアロゾルは広域（高濃度イベント時には周辺500kmかつ3日程度以内）の排出量が影響を及ぼしていることが定量的に示された。このような1次と2次のエアロゾルの生成プロセスの違いに基づいて、その空間分布や一地点で見たときの時間変動を観測と整合的かつ体系的に解釈した研究はほとんどなく、その学術的な意義が評価できる。

本論文ではさらに数値モデル計算により得られたエアロゾル光学特性が、北京周辺で得られた各種の観測結果の特徴を良く再現していることを示した。エアロゾル光学特性の領

域・時間変動は1次・2次エアロゾルの質量濃度またはその割合の領域・時間変動と良く対応していることが明らかとなった。さらにエアロゾルの鉛直積算された光学的な厚みについては、大気境界層上端付近を中心として2次エアロゾルの生成とエアロゾル相の水の寄与が重要であることを定量的に示した。このような都市・領域スケールでのエアロゾルの質量濃度と光学特性を変動過程について統合的な解釈を示した研究は東アジアでは初めてであり、その意義が認められる。

最後に、同じく東アジアを代表する都市域である東京におけるエアロゾル質量濃度・光学特性パラメータとの比較を行った。感度実験等から、両都市間のエアロゾル濃度の4-5倍にもなる差異は、主としてエアロゾルやその前駆気体の排出源の空間スケールの違いによることが明らかとなった。一方、エアロゾルの生成速度に関しては都市間で顕著な差は見られず、計算期間中において都市間の差を作り出す主要な要因とはならないことが明らかとなった。また境界層上端付近での2次エアロゾルの生成やエアロゾル相の水の寄与の重要性など、都市に共通した重要な要素が確認された。

以上のように本論文は、これまで独立に研究されてきた都市・領域スケールでのエアロゾルの質量濃度と光学特性の変動過程について統合的な解釈を示し、総観規模気象場にたいする1次および2次エアロゾルの変動の違いという観点から体系的な描像を与えたものとして評価できる。

なお、本論文の第2、3、4の各章の主要な内容は共同研究に基づいたものであり、それぞれ学術論文誌 *Journal of Geophysical Research* などに発表済み、あるいは発表予定であるが、いずれの論文も論文提出者が第一著者であり、主体となって解析・解釈を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

従って、博士（理学）の学位を授与できると認める。