

論文内容の要旨

論文題目 **Modeling studies on aerosols and their optical properties
around mega-city regions in east Asia**

(東アジアの都市域におけるエアロゾルと
その光学特性に関する数値モデル研究)

氏名 松井 仁志

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。これらの汚染物質はエアロゾルの生成を通して、発生源やその下流域において直接的および間接的に気候・気象や健康等に影響を及ぼすと考えられている。特に大都市域はこのような汚染物質の大きな発生源として注目されている。本研究では、東アジアの最も大きな都市域の1つである北京に着目した。最先端の領域3次元モデル(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と検証を行い、これまで行われてこなかったエアロゾル各成分の質量濃度および光学特性パラメータの空間分布と時間変動要因について解析・解釈を行った。比較・検証には 2006 年夏季に北京大学構内等で行われた集中観測(CAREBEIJING-2006 campaign)と人工衛星観測(MODIS)の結果を用いた。

およそ1ヶ月の観測期間中に、移動性の低気圧に伴う前線通過などにより5回のエアロゾルの高濃度イベントが北京で観測された。モデル計算によってこのようなエアロゾル変動の要因となる気象場は良く再現され、またエアロゾル各成分の質量濃度および光学特性パラメータの時間変動も概ね再現された。さらにモデル計算結果は、北京においてライダー観測等により得られたエアロゾルの消散係数の鉛直分布および鉛直積算の光学的厚み(AOD)や、人工衛星 MODIS により得られた AOD の時空間分布を概ね良く再現した。

この検証された数値モデル計算の結果を詳しく解析することにより、北京周辺域におけるエアロゾル各成分の領域・時間変動の要因を調べた。モデルは日変動が卓越する1次エアロゾル(直接粒子として大気中に放出されるエアロゾル)と、数日周期の日々変動が卓越する2次エアロゾル(大気中の酸化反応等によって気体から生成されるエアロゾル)の時間

変動をそれぞれ良く再現したが、これらの濃度変動は異なったプロセスにより生じていることが明らかとなった。1次エアロゾルの質量濃度の空間パターンはほぼ排出源強度に対応し、夜間に境界層高度が下がることなどによって濃度が増大する顕著な日変動が引き起こされていた。一方、2次エアロゾルは大気中での前駆気体からの生成と蓄積のため、総観規模の気象場(高低気圧の移動など)によって引き起こされる1000kmスケールの高濃度領域の南北方向への移動に伴って、数日スケールの変動が生じていた。

このようなエアロゾル濃度変動の時空間スケールをより定量的に評価するために、北京でのエアロゾル濃度に対する各場所・各時間での排出量の寄与を見積もる感度実験を行った。この結果、1次エアロゾルは局所的(北京周辺100km、直前1日以内)な排出量によって北京の濃度がほぼ決定されているのに対して、輸送の過程で生成される2次エアロゾルは広域(高濃度イベント時には周辺500km、直前3日程度)の排出量が北京の濃度に有意に影響を及ぼしていた。また、微小粒子の質量濃度は主として2次エアロゾルにより決まっていたことから、北京周辺域の大気質の改善には領域(~500km)スケールでの排出量コントロールが必要となることが示唆された。

これらのエアロゾル濃度変動の理解に基づいて、エアロゾルの光学特性(吸収・散乱)について数値モデル計算を用いた解析を行った。光学特性パラメータの領域・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た。この結果は、光学特性パラメータの変動過程が局所的に変動する1次エアロゾルと領域的に変動する2次エアロゾルの重ね合わせとして解釈可能であることを示している。また、エアロゾルの消散係数に占める各成分の寄与の鉛直的な変化に注目すると、大気境界層上部において、地表面付近と比べて2次エアロゾルとエアロゾル相の水の寄与が大幅に増大していることがわかった。北京周辺域のAODは2次エアロゾルの上空での生成によって平均で40%増大し、エアロゾル相の水によってさらに110%増大するという結果が得られた。これらの効果は、最先端のモデルにおいても正しく考慮することが困難な2次有機エアロゾルを含めるとさらに増大すると考えられる。このような増大は北京周辺域の広い範囲で見られ、特に2次エアロゾルの濃度と相対湿度が共に高くなる前線の温暖側や北京南方において顕著に見られた。

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。東京のモデル計算結果は2003年夏季に東京大学構内で行われた集中観測(IMPACT2)によって検証され、質量濃度の絶対量や時間変動は概ね良く再現された。北京と東京では全質量濃度、消散係数、AODの絶対量に4~5倍の大きな違いがあるとともにその組成比や発生源の領域・時間スケールも大きく異なっていた。感度実験等から、これらの違いはエアロゾルやその前駆気体の排出量およびその排出源の空間分布が、2つの都市の間で異なっていることが主な要因であることが明らかとなった。一方、化学的な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な要因とはならないことが明らかとなった。また、東京においても1次エアロゾルに比べて2次エアロゾルの発生源の方が広域的であること、2次エアロゾルの生成やエアロゾル相の水の寄与が上空に行くにつれ増大すること、など北京と本質的に共通した大気中の過程が確認された。これらの過程は東アジアに限らず都市大気で一般に成り立つことが期待される。