

# 論文審査の結果の要旨

氏名 竹村 俊彦

本論文は5章からなり、組成の異なるエアロゾルの分布を発生源、輸送過程、変質、除去過程を考慮したモデルでシミュレーションし、その光学的特性や太陽・赤外領域にわたる放射過程の計算を行い、エアロゾルの直接効果放射強制力を評価する研究が述べられている。各章の概要を以下に示す。

## 第1章

大気中の浮遊粒子状物質（エアロゾル）は、太陽・赤外放射を散乱・吸収したり（直接効果）、雲のアルベドや寿命を変化させたり（間接効果）することによって、気候システムに重大な影響を及ぼすことが指摘されている。しかし、2001年に発表された気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第3次報告書においても、エアロゾルによる気候変動の定量的評価は依然として信頼度が低い。そこで、本研究では、対流圏主要エアロゾルすべてを同時に扱うことのできる全球3次元エアロゾルモデルを開発し、主に近年得られ始めた衛星や地上からの光学観測との比較を詳細に実施しながら定量的に妥当なシミュレーションを行う。

## 第2章

本研究で開発したモデルは、大気大循環モデル(CCSR/NIES AGCM)をベースに、炭素性（黒色炭素・有機物）・硫酸塩・土壌性・海塩の各エアロゾルの輸送・放射過程を取り扱う。主な輸送過程は発生・移流・拡散・化学反応（硫黄）・湿性沈着・乾性沈着・重力落下である。放射過程では、エアロゾルの粒径分布・吸湿成長・複素屈折率の種類毎の違いを考慮した光学的厚さ・オングストローム指数を計算する。

シミュレーション結果は、光学的厚さの観測結果と比較して妥当なものであることが確認された。アフリカ北部やアラビア半島周辺では土壌粒子が、アフリカ中南部やアマゾンでは森林火災起源の炭素性エアロゾルが卓越して光学的に厚い。衛星観測によると、サハラ西岸の大西洋で光学的厚さが最大となる緯度に季節変動が見られるが、これはサハラダストだけではなくアフリカ中部の森林火災起源エアロゾルを考慮すると説明できることが本研究で示された。また、北半球中緯度では、従来から考えられてきた人為起源硫酸塩エアロゾルの他に、人為起源炭素性エアロゾルを考慮することによって観測値に近い光学的厚さが得られることが分かった。硫酸塩と炭素粒子の光学特性は大きく異なることから、炭素粒子の重要性が示されたことで、気候変動評価にも影響することが考えられる。

本章は、本人が第1著者であるJ. Geophys. Res.に掲載された論文に加筆・修正を行ったものである。投稿論文の共著者は、岡本創（東北大学大学院理学研究科）、丸山 祥宏（富士通株式会社）、沼口敦（元北海道大学大学院地球環境科学研究科・故人）、日暮明子（国立環境研究所）、中島映至（東京大学気候システム研究センター）である。土

壤粒子の輸送過程のモデリング以外は本人が中心となってモデルを構築し、論文も本人が執筆した。

### 第3章

本章では、まず、エアロゾルの1次散乱アルベドをシミュレーションし、観測との比較を行った。光学的厚さと1次散乱アルベドという重要な光学パラメータを観測と比較した後、太陽・赤外領域にわたって放射過程を計算し、エアロゾルの直接効果による放射強制力の算出を行った。全球的には負の放射強制力の地域が多いが、砂漠域やチベット・極域では地表アルベドが高いことや吸収性エアロゾルの存在のために正の強制力となった。但し、標準的な複素屈折率を用いているにもかかわらず土壌粒子の太陽放射吸収が観測と比較して過大となっていることから、砂漠域での正の強制力は過大評価の可能性があり、今後の検討課題である。また、アフリカ中南部から放出される森林火災起源エアロゾルの放射強制力は、雲水量や雲の鉛直分布により正にも負にもなり得ることが示された。本研究による人為起源エアロゾルの直接効果による全球平均放射強制力は $-0.19\text{W/m}^2$ と計算され、IPCCによる最新の評価( $-0.5\text{W/m}^2$ )よりも冷却効果が小さいという結果となった。

本章は、本人が第1著者であるJ. Climateにほぼ受理される状況の論文に加筆・修正を行ったものである。投稿論文の共著者は、中島映至（東京大学気候システム研究センター）、O. Dubovik, B. N. Holben, S. Kinne (NASA/GSFC)である。GSFCの3名から観測値の提供を受けた他は、シミュレーション・論文執筆共に本人が行った。

### 第4章

IPCCによる最新の汚染物質排出量予測であるSRESシナリオを用いて将来のエアロゾル分布予測実験を行った。その結果、今後数十年間で大気中の炭素性エアロゾルは世界各都市で増加し、特にアジア域での増加率が高いことが示された。また、硫酸塩エアロゾルはヨーロッパや北米では減少傾向であるが、東アジアでは今後も増加していくことが示唆された。東アジアでの今後の経済発展に伴い、日本でのエアロゾル濃度も越境汚染により増加する可能性があり、近隣諸国との包括的な環境対策の必要性を指摘した。

本章は、本人が第1著者であるJ. Meteor. Soc. Japanにほぼ受理される状況の論文を引用したものである。投稿論文の共著者は、中島映至（東京大学気候システム研究センター）、野沢徹（国立環境研究所）、青木一真（北海道大学低温科学研究所）である。グリッド化された排出量分布と観測値の提供を受けた他は、シミュレーション・論文執筆共に本人が行った。

### 第5章

本研究のまとめとエアロゾル間接効果の定量的評価研究の重要性を記述した。

なお、2章、3章、4章は共著として公表されているが、論文提出者が主体となって執筆したもので、論文提出者の寄与が十分であることと判断する。

したがって、博士（理学）を授与できると認める。