

論文審査の結果の要旨

氏名 中島 孝

本博士論文は申請者がこれまで9年余にわたって研究をしてきた、地球大気中の雲の微物理構造に関する、人工衛星からの定量リモートセンシングに関する研究をまとめたものである。中島氏は1994年3月に東京大学大学院理学系研究科地球惑星物理学科修士課程を修了後、宇宙開発事業団において人工衛星による地球観測の実務と研究に携わってきた。その間、分光放射計による雲のリモートセンシング・アルゴリズムの開発、解析システムの構築、衛星搭載センサーの仕様設計等に関する研究を行っている。本論文は、その中の特に雲のリモートセンシングに関する4編の査読付き論文（うち3編が第一著者、1編が第2著者）を中心に構成されている。

第1章の General Introduction につづき、第2章では、著者が開発してきた雲の光学的厚さと有効粒子半径のインバージョン・アルゴリズムの詳細と、それに基づく NOAA/AVHRR 衛星搭載イメージャーのデータを解析した結果が述べられている。本アルゴリズムは 0.64 ミクロンの赤色チャンネルと 3.7 ミクロン近赤外チャンネル、および 11 ミクロン熱赤外チャンネルで測られた放射輝度を放射伝達方程式に基づいて解析することによって、雲の光学的厚さと有効粒子半径を推定するものである。このようなアルゴリズムの研究はそれまでに数件報告されているが、イメージャーによって得られる広範囲の領域を放射輝度の角度依存性を補正しながら解析する手法としては論文発表当時、初めてのものであった。このような工夫によって著者は、夏季のカリフォルニア沖に発達する海洋性層積雲の微物理構造の広域分布を得ることができた。その結果、大陸気団の影響を受ける雲と海洋性気団の影響を受ける雲では、光学的厚さと有効粒子半径の統計が顕著に異なることを定量的に示すことができた。このような雲の微物理構造の違いは、特に、船舶から排出される煤煙によって活性化される航跡雲の中と外では顕著である。本研究では、煤煙による雲核の増加で引き起こされる粒径の減少に反比例して起こる雲の光学的厚さの増加（これをエアロゾルの第一間接効果と呼ぶ）以上に、雲の光学的厚さが増加する第二間接効果が観測領域で起こっていることを定量的に示すことができた。

さらに著者等は、このような近赤外波長を利用した雲微物理構造の推定アルゴリズムを、マイクロ波放射輝度解析に組み合わせることによって、多量に霧雨粒子を伴う雲の同

定に世界で初めて成功した。このような検知アルゴリズムを利用することによって、エアロゾルによって霧雨粒子が消滅する領域を全球規模で特定することができた。このような手法と知見は、現在問題となっている人為起源エアロゾルによる日傘効果の大きさ評価のための強力な研究手段になるものと思われる。

第3章では、著者が宇宙開発事業団において携わってきた ADEOS-II/GLI 衛星搭載イメージャーに関する研究成果が示されている。GLI や TERRA/MODIS と言った新しい多波長イメージャーは、3.7 ミクロンばかりでなく、1.6 ミクロンや 2.2 ミクロンの近赤外窓領域のチャンネルも有しており、AVHRR に比べると画期的に多くの大気情報を提供することができる。しかし、一方でそのチャンネル仕様は、多くの大気放射伝達現象を考慮して決定する必要がある。著者は様々な状況を想定した放射伝達計算を利用して、36 チャンネルもある GLI のセンサー仕様を GLI サイエンスチームの他メンバーと協力して決定し、解析システムを構築する作業で指導的役割を發揮した。著者の主要な貢献は、第2章で行った研究を基礎として雲のリモートセンシング・チャンネルの仕様決定と解析システムの作成であった。それによると、ある程度波長幅のあるセンサーでは 3.9 ミクロンよりも 3.7 ミクロン帯の方が良いことなどが示された。著者は作成された GLI 解析システムを運用中の MODIS のデータに適用できるように拡張して、2.2 ミクロンの波長と 3.7 ミクロンの波長からそれぞれ低層雲の有効雲粒子半径を導出した。その結果、主に陸域で 2.2 ミクロン波長からの有効粒子半径が系統的に大きくなる現象を発見した。このような現象は雲粒子の粒径分布の鉛直プロファイルが海陸で大きく異なる場合に引き起こされる。その検証には今後の詳細な現場観測が必要であるが、学会の議論を喚起する問題提起ができたことは評価できる。

第4章では、以上のような研究を温度の低い雲にも適用する手法を論じている。このような雲は非球形の氷晶雲粒子を含んでいるために、非球形散乱理論が必要となる。著者はまず幾何光学散乱理論を基礎に、様々な形状の粒子の光散乱を計算するツールを作成した。それを可視波長に適用することによって氷晶雲の光学的厚さの全球分布を求めた。しかし同時に、有効粒子半径の推定に必要な近赤外窓領域波長では幾何光学近似が使用できないことも明らかになった。そこで、著者はマクスウェル方程式を任意の3次元粒子による光散乱問題に適用した第2種フレッドホルム型拡張境界要素法に基づく数値解析コードを作成した。このコードによって六角柱に対する散乱解を調べたところ、サイズパラメーターが20程度でも22度ハロー現象が存在することを発見した。

結論として、著者の長年の研究成果の基づいた本論文は、雲のリモートセンシングの理論的基礎から衛星搭載センサーの仕様設計に到るまでの多くの成果を提供しており、高いレベルにあると言える。今後、作成された非球形粒子散乱コードが大粒子に適用できる

ようになれば、氷晶雲の解析も可能になるので将来性も大きい。従って、博士論文として十分なレベルに達しており、博士（理学）の学位を授与できると結論する。