

# 論文審査の結果の要旨

氏名 田中 佐

人口衛星に搭載されたセンサーで、地球大気からの放射を観測し、大気中の物質の物理量を求める衛星リモートセンシングでは、大気中の放射伝達を司る放射伝達方程式を逆に解く、逆問題を解かねばならない。本研究は、地球大気中における放射伝達を支配するチャンドラセカール型の微積分方程式の解を、光学的厚さの級数解として導出する研究を行った。近年、人工衛星による地球観測が発達するなかで、放射伝達方程式を精度良く解く問題が急速に増加しており、その解法に関する多くの研究が行われてきた。しかし、これらの研究のほとんどが、数値計算を前提とした定式化を目的とするものであった。例えば、ディスクリート・オーディネート法やマトリックス・オペレーター法などが開発され、人工衛星受信放射輝度のシミュレーションに多く使われてきた。これらの方法では、例えば、解は光学的厚さの明示的な関数では表現されておらず、数値的に問題を解く以外に解の光学的厚さ依存性を知ることができない。しかし、一方で、大気浮遊微小粒子（エアロゾル）が含まれる大気からの散乱光は、エアロゾルが顕著な光吸収をしない場合、その光学的厚さの一次関数に近い依存性を持っていることが経験的に知られており、その事実はエアロゾルの光学的厚さを求めるリモートセンシングアルゴリズムに暗黙に使われている。しかし、単純な一次散乱近似では説明ができない比較的厚い大気に対してもこの近似は成り立っている。

本研究ではこれらの解の性質を詳細に調べるために、放射伝達方程式を光学的厚さがゼロの近傍でテーラー展開を行ない、解に含まれる級数解の収束性を確認した。その過程の中で、新しい積分の定式化などの工夫を行った。さらに、これらの級数解をもとに、等方散乱問題では光学的厚さに関する3次近似まで、また、

一般の非等方散乱問題の場合には2次近似まで考慮して、光学的厚さに関する解析解を求めた。等方散乱の解を調べてみると、2次近似で誤差が大きくなるが、3次近似を取り込むと解は光学的厚さが0.5付近まで1次近似に非常に近くなることを容易に確認することができた。また、非方法散乱問題として、海洋性エアロゾルが含まれる問題に関する放射輝度の値を解析的に求めた。さらに、この値を数値計算的に厳密に求めた解と比較した結果、本研究で得られた解が妥当な精度を有していることを確認した。すなわち、光学的厚さが0.2以下では7%の精度で解を現している。

このような解の性質は当然、計算機が発達していなかった1970年代頃まで盛んに調べられたが、本研究で得られたような光学的厚さの対数と級数解によって2次、3次近似まで厳密に求めたものは無い。たとえば、光学的厚さに関する指数積分を含む積分形式によって解を与えるものが多かったために、放射伝達解が光学的厚さゼロのところで持つ特異点に起因する多重解を許していた。一方、本研究では、得られた解が物理的に意味がある唯一の解であることも示すことができた。

以上、示したように本研究は放射伝達解を光学的厚さに関する解析解によって求めており、解の特性を新しい角度から調べることを可能として、1%以下の精度を持つ数値計算法が実用化されている現代においても、このような研究は、数値計算のための実験計画、散乱パラメーターの影響評価、教育の場面などで、非常に役立つと思われる。従って、本研究の大気放射学や衛星リモートセンシングに関する貢献は大きく、博士論文として十分なレベルに達していると考えられる。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。