

論文審査の結果の要旨

氏名 大方 めぐみ

雲の放射強制力は地球のエネルギー収支に大きく影響するが、その定量的評価には不確実性が大きい。これは、空間的に不均質な雲の放射場への影響評価が難しいことが一因である。そのため、雲の3次元(3D)性の放射伝達への影響を近似的に表す方法が提案されてきたが、多くの先行研究では理想化されたモデル雲や数学的なランダム雲にもとづいており、実観測データに基づいて放射フラックスを定量的に評価した研究は非常に少ない本論文は、雲の放射強制力の評価において重要となる、雲の3次元的な構造の放射伝達効果について、数値モデル計算と衛星データ解析により定量化したものである。

本論文は6章からなる。第1章はイントロダクションであり、地球の短波・長波放射の収支と、その推定における雲の3次元的な構造の重要性が述べられている。

第2章では、論文提出者が開発した広波長域の太陽放射と赤外放射フラックス計算を取り扱う3次元モンテカルロ放射伝達コード(*MCstar*)について述べられている。*MCstar*はBackward型とForward型の光線追跡機能を有し、衛星輝度を高速計算するTMS法や非線形相関 k 分布法によるガス吸収パラメータも実装されている。また赤外放射伝達を高速かつ精度よく計算できる新たな摂動アルゴリズムを開発した。このコードは第4章以降の雲の3次元構造の影響評価や、新しい近似法の評価などに使用可能な高精度かつ高速計算可能である点で評価できる。また3次元雲場の赤外放射広帯域放射フラックス算定に関する研究は世界でもほとんど前例がなく、高く評価できる。

第3章では、論文提出者が開発した*MCstar*を適用するための3D実観測雲場(水雲)を得るために、NASA/A-Train衛星群に含まれるCloudSat衛星搭載のCPRとAqua衛星搭載のMODISイメージの雲プロダクトを組み合わせた新しいアルゴリズム(MIDPM)について述べられている。これはCloudSat衛星軌道直下で得られる1次元の鉛直プロファイルを、水平2次元的に得られるMODIS雲プロダクトを用いて軌道の外側に外挿する手法である。このアルゴリズムは放射伝達計算における現実の雲の3次元構造の影響を評価する上で、重要な成果であると評価できる。

第4章では、理想化された3次元構造をもつ雲を対象として、従来広く使用されている平行平面近似(PPA)やその問題を改善した他の方法(IPA法やTIPA法)の放射伝達の誤差の推定と、論文提出者が開発した新しい近似法(SIPA法)について述べられている。SIPA法は太陽天頂角を仮想的に固定する(Virtual Solar Zenith Angle (VSZA))方法であり、従来のIPA法やTIPA法と比較して広い太陽天頂角において誤差が小さいことが確かめられた。SIPAの開発は放射伝達計算の精度の高い近似法として評価できる。

第5章では、論文提出者が構築した3次元雲場(第3章)について、開発した*MCstar*(第2章)により太陽放射と赤外放射の広波長域積分計算を行った結果を示し、それらの現実的な雲構造において開発した新しい近似法(SIPA法、第5章)の評価を実施した結果が述べられている。この結果、SIPA法はこれまで提案されてきた種々の平行平板近似法よりも精度の高い近似計算となることを示した。さらに、雲の3次元効果によるこれらの近似法の誤差を理解するための指標を導

入した。この結果、平行平板近似誤差の太陽天頂角依存性に着目すると、これらの雲場は3つのタイプの3次元効果に分類できることが明らかになった。

第6章には結論が述べられている。

以上のように本研究では、雲の放射強制力推定の大きな不確定要素である3次元構造をもつ雲の放射伝達効果を近似する新しい平行平板近似法 SIPA を開発した。そしてその妥当性を実観測雲データを用いて構築した3次元雲場と高精度の放射伝達計算により検証した。これらの成果は、気候モデルの高精度化などに対して大きな貢献があると評価できる。さらに本研究では太陽放射フラックスの定量的な誤差評価の結果を、理想化された3つの雲タイプによって特徴づけられることを初めて示し、今後のこの分野の研究の方向性を示す重要な貢献があったと認められる。以上のことから、本研究の結果は地球惑星科学、特に大気物理学に大きく貢献する成果であると判断され、審査委員全員一致で合格と判定した。

なお、本論文の内容に関連した内容の一部は、学術論文誌 Journal of Geophysical Research – Atmospheres の論文として発表済みであるが、この論文は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。