

論文審査の結果の要旨

氏名 関 口 美 保

近年の地球温暖化現象や環境変化の問題に関するモデリングや観測的な研究は、高性能の放射伝達コードを要求するようになってきた。たとえば、地球温暖化現象の研究では、人為起源の温室効果ガスやエアロゾルと言った様々な汚染物質が作り出す放射強制力を 0.2 W/m^2 程度の精度で求めることが要求されている。また、雲と放射の相互作用を同様の精度で計算することも要求されている。本研究はこのような大気大循環モデル (AGCM) などの力学計算に必要な波長積分されたブロードバンド放射エネルギーフラックスと加熱率を精度良く、かつ高速に計算するためのブロードバンド型放射伝達コードの改良を目的としている。

このような力学計算用のブロードバンド型放射伝達コードには、東京大学気候システム研究センターと国立環境研究所が共同開発した大気大循環モデル CCSR/NIES AGCM に用いられている放射伝達コード `mstrn8` があるが、これは約8年前に開発されたものであり、もっとも正確なライン・バイ・ライン (LBL) 放射伝達コードと比較して加熱率に 10%程度の誤差を含むことが知られている。本研究ではこの `mstrn8` 放射伝達コードの光吸収過程の改良を行った。本論文の第一章では、研究のための背景と研究の目的を議論し、2章では用いたモデルとデータについて説明し、3章では新しい吸収線パラメータデータ・気体吸収帯の導入、4章では吸収計算法の改良と最適化法について詳細に説明し、その効果について考察している。5章では3、4章で検討した改良点を `mstrn8` に導入した `mstrnX` コードを作成し、その性能を検討した。さらに `mstrnX` を CCSR/NIES AGCM に導入してその影響を評価した。6章では中高層大気への拡張手法について検討し、7章でまとめと全体の考察を行っている。

まず、論文では、`mstrn8` に用いられていたアメリカ空軍地球物理科学研究所の気体吸収線データベース HITRAN92 と LOWTRAN-7 に基づく連続吸収係数を、最新の HITRAN2000 と連続吸収計算プログラム MT CKD 1 によるものに変更した。その結果、 $10\mu\text{m}$ から $50\mu\text{m}$ の波長域における水蒸気による光吸収の改訂に伴って対流圏で 0.3K/day 程度の赤外放射加熱率の改良が見られた。

大気組成ガスが作り出す非常に変化の激しい放射吸収スペクトルを含む放射伝達方程式を精度良くかつ高速に波長積分するために、`mstrn8` および本研究では相関 k -分布法を用い

ている。この方法において、それぞれの気体吸収帯が持つ影響を定量的に評価するためにフラックスと加熱率の誤差からなる評価関数を導入し、あるしきい値以上の値を持つ吸収帯を取り扱う客観的な選択則を導入した。更に、影響が大きくない吸収帯の裾どうしが重なっている部分についてはバンド領域の境界を動かし最も誤差が小さいところに決定した。さらに、本研究では波長求積点の位置、点数、重みを客観的に最適化するために逐次二次近似法を利用したアルゴリズムを提案した。目的関数は LBL を基準としたフラックスと加熱率の誤差を組み合わせたものを利用し、より一般的な初期値からの最適化も考慮した。また、放射コードの最大適用高度は mstrn8 では 30km までであったが、本研究では 50km まで拡張し中層大気での精度にも留意した。その際、吸収係数をテーブル化して温度・圧力で内挿する手法を導入することにより内挿誤差を軽減した。さらに、mstrn8 では連続吸収帯をバンド内で平均して取り扱っていたが、新しいアルゴリズムでは吸収係数の波長変化を取り込むように連続吸収帯についても線吸収と同様に相関 k-分布法を適用することにした。

以上のアルゴリズムを基に開発された新しい放射伝達コード mstrnX を LBL 放射伝達コードと比較したところ、大気上端と地表面フラックスの平均誤差は 18 バンドモデルで 1.2 W/m^2 (長波)、 1.0 W/m^2 (短波)、17 バンドモデルで 1.9 W/m^2 (長波)、 2.4 W/m^2 (短波) に減少した。加熱率についても mstrn8 で見られた誤差は大幅に減少した。更に、最適化を行う高度を 50km に拡張したことで 30km 以上での誤差が長波領域で 1.0K/day 以下、短波領域で 0.2K/day 以下となった。このようにして改良された mstrnX を CCSR/NIES AGCM に導入したところ、圏界面で見られた低温バイアスが大幅に改善された。

中上層大気では吸収線の形が鋭く変化するため、今までのブロードバンド型放射伝達コードで精度よく計算するには積分点を増加せざるを得なかった。本研究では低層と中上層で積分点の位置を変えたハイブリッド型 k-分布パラメータ法を導入することで吸収線の急激な変化に対応した。この時、解くべき放射伝達問題の単色性を失わないように考慮した。この手法を二酸化炭素の $15\mu\text{m}$ 帯で検証した所、加熱率プロファイルはほぼ同じ精度を保ち、計算時間を 4 割程度削減することができた。

本論文によって提案されたアルゴリズムは、力学計算に必要なブロードバンド型放射伝達コードをより高効率・高精度化するために有効と言える。特に、これまで職人技を必要としてきた k-分布パラメータの決定をほぼ客観的に行えるようにしたことが評価できる。研究の過程において、最適化を行っていない大気や二酸化炭素の倍増大気に対しては長波領域で誤差が大きいことも明らかになったが、これは、最適化過程にこれらのより多くの大気モデルを導入すれば良いので、提案されたアルゴリズムの本質的な欠点ではない。世界のブロードバンド型放射伝達コードにおいてこのような手法を採用しているものは存在

せず、その意味において独創性とインパクトの高い研究になっている。従って、本論文は博士論文として十分なレベルに達していると結論できる。