

# 気象庁全球大気モデルにおける散乱を考慮した長波放射スキームの開発

藪 将吉 (気象研究所気候研究部)

## 1. はじめに

気象庁の全球大気モデルの長波放射スキーム (村井・藪、2005) では大気分子や雲・エアロゾルによる吸収・射出過程のみを計算している。また band-emissivity 法によるフラックス計算ではモデルの鉛直層数のおよそ2乗に比例した透過率計算が必要であり、鉛直高解像度化する場合にコストがかさむ。本研究では雲による散乱の効果を考慮でき、かつ現業モデルで利用可能な程度に高速かつ高精度な長波スキームの開発を行った。

## 2. 長波放射スキームの概要

雲による散乱過程を考慮するために、フラックスの計算手法を従来の band-emissivity 法から Li and Fu (2000) を参考にした stream 法へ変更した。新スキームでは長波に対する雲の散乱効果を吸収近似解に対する摂動として取り扱うが、多重散乱計算を伴うタイプの散乱スキームに比べて計算精度の劣化は小さく計算コストの面で優れている。方向数は2または4とし、それぞれに対し吸収近似版と散乱考慮版を作成した。図1にバンド構成や考慮する吸収気体などについて示す。大気分子による吸収に関しては2種類の k-分布法による計算方法に変更した。成層圏における Doppler 型吸収が大きいバンド (吸収気体) に対しては相関 k-分布法を用い、吸収線データベース (HITRAN) を元に対流圏から中間圏にわたる 26 の代表気圧に対する吸収係数テーブルを作成した。各バンドにおける サブ (k-) バンド数は Doppler 型の尖鋭な吸収型をよく近似するように 16 とした。他方、成層圏での吸収が小さいバンド (気体) に対しては、対流圏を代表する気圧 (500 hPa) における k-分布パラメータのみを作成し、他の気圧・気温状態においては Lorentz 型吸収を仮定した気圧 (・気温) スケーリングにより吸収係数を得る。この"スケーリング" k-分布法は各バンドに対し最大6サブバンドで吸収を考慮でき、計算コストが安くすむため、今回は相関 k-分布法と併用した。なお、水蒸気の連続吸収についても、連続吸収帯モデル (MT-CKD) を元に (線吸収と見做して) スケーリング k-分布法を用いて計算した。同一バンド内の複数の吸収の重ね合わせについては、標準大気プロファイルに対するラインバイライン (LBL) との比較を行いながら、各バンドの吸収に対し、完全相関、無相関、または部分相関 (Zhang et al. 2003) のいずれかの仮定を用いた。ただし、第3バンド (15 $\mu$ m 帯) の水蒸気と二酸化炭素の吸収の重ね合わせについては、いずれの仮定によっても十分な計算

精度が得られなかったため、両者を混合した仮想気体についての相関 k-分布テーブルを作成した。

その他、従来のスキームでは不要だった雲粒の長波散乱パラメータ (単一散乱アルベド、非対称因子) については (消散係数を含めて) 水雲は Lindner & Li (2000) を、また氷雲は Fu et al.(1998) をそれぞれ参照した。

## 3. 大気プロファイルに対する計算精度

CIRC (Continual Intercomparison of Radiation Codes, Oreopoulos and Mlawer,2010) の指定大気プロファイルに対して新および現行スキームによる計算を行い、大気加熱率 (単位は K/day) について Line by Line の計算値との比較を行った (図2・3、縦軸は気圧 [hPa]、実線は新 (2方向吸収近似) スキーム、破線は現行気象庁スキーム)。晴天プロファイルに対して (図2)、新スキームは現行スキームに比べ、成層圏をはじめ概ね LBL との差が減少している。厚い水雲を 800hPa 付近から下に配置した例でも (図3)、雲頂の放射冷却が CIRC のリファレンス値よりやや大きい (相対誤差で約7%)、現行スキームに比べてやや差が減少した。

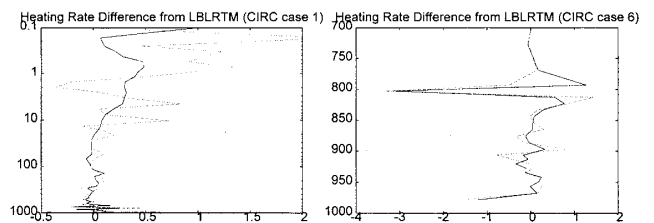


図2 LBL との大気加熱率の差 (晴天プロファイルの例) 図3 LBL との大気加熱率の差 (厚い水雲の例)

## 4. さいごに

現在、気象庁の全球モデルに新しいスキーム (2方向吸収近似 (2AA)、または4方向散乱考慮 (4AAS)) を実装して、モデルの気候場や放射場に対する予測特性について評価を行っている。なお、計算時間については TL159L60 (水平解像度 110km、鉛直 60 層) のモデルでは、日立 SR16000 上の並列計算機において、2AA 版は放射部分が約 45 %、モデル全体で 1 割程度高速化された。2AA 版から 4AAS 版へ変更すると計算時間は、放射部分が 92 %、モデル全体では 7 %の増加となった。

| バンド番号     | 1          | 2         | 3a          | 3b        | 3c        | 4          | 5          | 6           | 7           | 8           | 9           |
|-----------|------------|-----------|-------------|-----------|-----------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 波数範囲(/cm) | (25-340)   | (340-540) | (540-620)   | (620-720) | (720-800) | (800-980)  | (980-1100) | (1100-1215) | (1215-1380) | (1380-1900) | (1900-3000) |
| 主要吸収気体    |            |           |             |           |           |            |            |             |             |             |             |
| H2O(線吸収)  | C-k (16)   |           | C-k (16,cg) |           |           | S-k (6)    | S-k (6,pf) | S-k (6,pf)  | S-k (4)     | C-k (16)    | S-k (6)     |
| CO2       |            |           |             |           |           |            |            |             |             |             |             |
| O3        |            |           |             |           |           | C-k (16)   |            | C-k (16)    |             |             |             |
| H2O(連続吸収) | S-k (6,pt) |           |             |           |           | S-k (6,pf) |            | S-k (6,pf)  | S-k (4,pf)  | S-k (6,pt)  | S-k (6,pf)  |
| マイナー吸収気体  |            |           |             |           |           |            |            |             |             |             |             |
| CO2       |            |           |             |           |           | S-k (6,pf) |            |             |             |             |             |
| N2O       | S-k (6,pf) |           |             |           |           | S-k (6,pf) |            | S-k (2,no)  |             |             |             |
| CH4       |            |           |             |           |           |            |            | S-k (2,no)  |             |             |             |
| CFCs      |            |           |             |           |           |            |            | S-k (6,pf)  |             |             |             |
| 計算バンド数    | 16         | 16        | 16          | 16        | 16        | 6          | 16         | 16          | 16 (=4x2x2) | 16          | 6           |

図1 新しい長波放射スキームのバンド構成および吸収気体。C-k は相関 k-分布法、S-k はスケーリング k-分布法で計算。括弧内の数字は計算に要するサブバンド数、続く記号は (記号のない) 主要吸収に対するオーバーラップの仮定を表し、pf:完全相関、pt:部分相関、no:無相関。なお cg は仮想混合気体の意味。