

三次元離散雲の放射収支算定に関わる放射伝達解法の研究 (2) A study of the earth radiation budget using a 3D Monte-Carlo radiative transfer code (2)

大方 めぐみ^{1*}; 中島 映至¹
OKATA, Megumi^{1*}; NAKAJIMA, Teruyuki¹

¹ 東京大学 大気海洋研究所

¹ University of Tokyo, Atmosphere and Ocean Research Institute

本研究は、Earth Explore/EarthCARE ミッションで打ち上げられる EarthCARE 衛星で、大気上端の放射フラックスを 10Wm^{-2} 以下の精度で見積もるために、3次元 Monte Carlo 放射伝達コード (MCstar) の開発を行い、また EarthCARE 衛星に搭載される4センサー (CPR, Lidar, MSI, BBR) を用いて3次元の雲場を構築し、MCstar を用いて放射収支の算定を行うことを目的としている。

MCstar は Forward 型と Backward 型を開発しており、両者とも相関 k 分布法も導入しており (Sekiguchi and Nakajima 2008)、Forward 型は広帯域の放射フラックスを算定でき、Backward 型は広帯域の放射輝度を算定できる。

3次元の雲場の構築には2つの方法を用いた。1) 最適雲情報プロファイリング法 (MIDPM) (Barker and Donovan et. al., 2011)、2) ビン法を用いた雲微物理モデルと結合した非静力学モデルによる数値シミュレーションの結果を用いたものである。

MIDPM では、Cloudsat/CPR と AQUA/MODIS のプロダクトによる観測パラメータのペアのライブラリを作成した。この観測パラメータのライブラリは CPR のレーダー反射因子 $\text{dBZe}(z)$ の鉛直分布と MODIS の多波長イメージャー MSI のスペクトル放射輝度、雲の光学的厚さ (COT)、粒子の有効半径 (RE)、雲頂温度 (T_c) である。CPR の軌道上にない MODIS のピクセルでの MODIS の雲パラメータをライブラリのものと比較し、偏差が最小となる組を選択し、最も一致するレーダー反射因子の鉛直プロファイルを選び出した。ここでは、2007年7月2日のカリフォルニア沖での夏の層雲のデータを用いた。

2つめの雲構築法は、気象庁 NHM 非静力学モデルにビン法雲モデルを組み込んだモデルを用いたカリフォルニア沖での夏の層雲の数値シミュレーションによって行われた (Iguchi et al., 2008; Sato et al., 2009, 2011)。数値シミュレーションは、 $30\text{km} \times 30\text{km} \times 1.5\text{km}$ の周期境界条件の領域で、水平、鉛直グリッドが $100\text{m}, 20\text{m}$ と $300\text{m}, 20\text{m}$ の解像度で行われた。それぞれの分解能で2つの異なるセルシステムは、異なる凝結核 (CCN) 濃度でシミュレーションされた。分解能 100m の場合、領域平均した雲の光学的厚さ $\langle \text{COT} \rangle$ と標準偏差は、雲核数のすくない Pristine Case では 3.0 と 4.3 であり、雲核数の多い Polluted Case では 8.5 と 7.4 である。

改良した MCstar (Forward 型) では光路長を消散と散乱の透過率で決める2つのコードを開発し、両者を用いて2つの手法で構築した離散雲場の放射収支を再度見積もった。それらと Plane Parallel Approximation (PPA) (Cahalan et al., 1994) と Independent Pixel Approximation (IPA) との比較を行った。全ての結果を反射率の差で考察を行った。3次元離散雲場での放射収支の見積もりと PPA との差は雲の離散的であるほど大きくなり、また分解能が細かいほどその差は大きくなった。 ΔR (3D-PPA) の最大値は 0.080 で、放射フラックスに換算すると 70Wm^{-2} であった。

一方で、IPA は平均の消散係数が 5 から 8km^{-1} であると、衛星のようなキロメートル単位の分解能の場合、IPA 近似には十分に厚い光学的厚さである。この場合、 ΔR (3D-IPA) は 0.010 以下で放射フラックスに換算すると 10Wm^{-2} であった。一方で、モデルシミュレーションの場合では IPA 近似では光学的に薄く、 ΔR (3D-IPA) は最大で 0.070 であった。このように、3次元雲の放射収支をより精度よく見積もるために、3次元雲システムの解明が重要である。

キーワード: 三次元放射伝達解法, 最適雲情報プロファイル, モンテカルロ
Keywords: 3D radiative transfer, MIDPM, Monte Carlo