

降水の落下過程への Semi-Lagrangian 法の適用

岡崎 豪 (東京海上リスクコンサルティング(株))

肖 鋒 (東京工業大学創造エネルギー専攻)

佐藤 正樹 (地球フロンティア研究システム)

1. はじめに

大気気象予報モデルの解像度はコンピューターの演算処理能力の向上に伴い、従来の数百 km (水平方向) から 10~20km に改善されつつあり、今後は積雲対流の再現などに期待が高まっている。しかし高解像度の大気気象予報モデルを構築する為には、Parameterization (低解像度の問題から再現の難しい現象を経験的な定式化により表現する手法) の改善、CLF 条件 (物理現象を離散的な数値情報で処理しているために生じる計算手法上の条件) の問題を検討する必要がある。

2. 降水の落下過程について

大気数値予報モデルの降水の落下過程は降雨を再現する重要な物理過程であり、以下の式によって表される。

$$\frac{\partial(\rho q)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho q V_z)}{\partial z} = 0$$

ここで $q[\text{kg}/\text{kg}]$ は降水の混合比、 $\rho[\text{kg}/\text{m}^3]$ は気体の密度である。また鉛直方向 z の速度成分 V_z は Kato(1995)¹⁾、Kessler(1969)²⁾によって定義された以下の式を用いる。

$$V_z = -V_c (\rho q)^{\frac{1}{8}} \exp\left(\frac{kz}{2}\right)$$

$$V_c = 12.1115[\text{m}/\text{s}], k = 90.8236, \rho = 1.0$$

3. 降水の落下過程の計算手法について

Kato(1995)¹⁾はこの過程に対する計算手法として、Box-Lagrangian 法を提案した。この手法は高い CFL 数に対しても物理量を保存し、かつ振動を抑えた結果が得られる反面、1次精度の補間関数であるため、解の発散が抑えられない問題がある。本稿ではこの降水の落下過程に Xiao and T.Yabe(2001)³⁾によって開発された Conservative and oscillation less semi Lagrangian 法 (CSL 法) を適用した。

CSL 法は保存性を保証する Semi-Lagrangian 法であり、3次関数の補間関数 $F_i(x)$ を4つの制限条件 (補間関数の左の境界値 f_{i-1} 、補間関数の右の境界値 f_i 、セル中心点の微分値 $d_{i+1/2}$ 、セル積分値 $\rho_{i+1/2}$) から構築する (図1)。境界値 f_{i-1} 、 f_i を Semi-Lagrangian 法によって求めているため、CFL 条件に制約されない特徴がある。

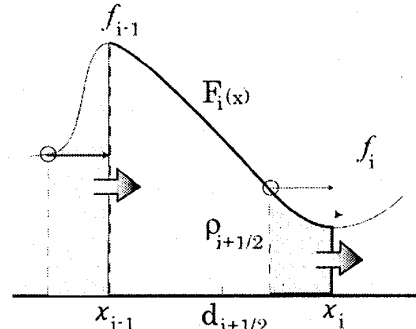


図1 CSL法の補関数と変数の定義

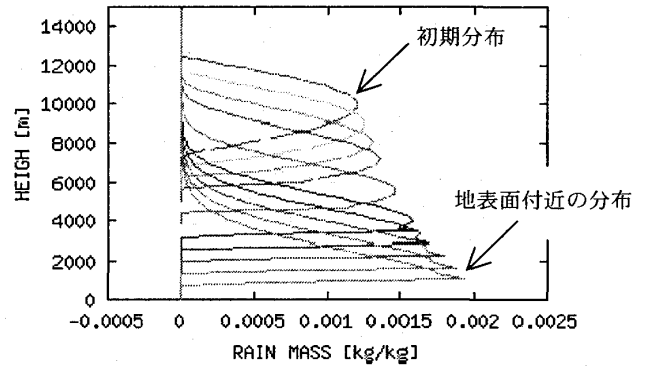


図2 降水分布の落下過程

4. 結果

高度 10km を中心とした降水分布が時間と共に地表面に落下する過程を再現した結果を図2に示す。この落下過程での CFL 数は最大で約 1.2 であるが、地表面への落下に至るまで分布に振動や発散が見られず安定した結果が得られた。

5. まとめ

降水の落下過程に保存性を保証する Semi-Lagrangian 法である CSL 法を適用することで、高い CFL 数に対してもより良い精度で降水の落下過程を再現することが可能となった。

(参考文献)

1)T. Kato, 1995: A Box-Lagrangian Rain-Drop Scheme, *J. Met. Soc. Japan*, 73, 241-245
 2)Kessler, E., 1969: On the Distribution and Continuity of Water Substance in Atmospheric Circulations. *Meteor. Monogr.*, 32, *Amer. Meteor. Soc.*, 84pp
 3)F. Xiao, and T.Yabe, 2001: Completely conservative and oscillation less semi-Lagrangian schemes for advection transportation. *J. Comput. Phys.*, 170, 498-522