

非静力モデル MSSG によるマルチスケールシミュレーション

*彭 新東, 高橋 桂子
(海洋研究開発機構 地球シミュレータセンター)

1. はじめに

地球シミュレータセンターでの地球非静力モデル MSSG の開発は 5 年目に入った。この 5 年間、地球環境シミュレーション分野では、より現実に忠実な物理過程モデルの開発、より精確かつ超並列の高速計算が可能な数値計算が注目されてきた。一方、モデルの高度化に伴い、各モデルコンポーネントが複雑になり、計算コストが大きくなる問題も潜在している。モデルの解像度が高くなるほど計算量は指数関数的に増大し、計算機いくら速くなっても満足できない事態になるのも、それほど遠い将来ではない可能性がある。現実的な計算コストで、かつ精確なシミュレーションを行うためには、マルチスケールをどう扱うか、についてのモデル開発と計算技術開発が必要となる。

MSSG モデルは Yin-Yang グリッド系を用いた完全圧縮非静力大気モデルと海洋大循環モデルを結合したモデルである。計算力学の立場からは、MSSG は M-grid (Xiao et al. 2006) 変数配置を適用することによって、地衡流への調整過程に対して大きな改善が示された。大小さまざまなスケールにおいて、解析値と一致する波の周期を再現できる。CIP スキームの性質もサブグリッドスケール現象に優れたスキームであることが示されている (Yabe et al. 2001) ので、これらのスキームを MSSG に適応することで、複数のスケール間を対象とするマルチスケールシミュレーションが、より精度よい計算が可能である。

2. Yin-Yang におけるマルチスケール計算手法

MSSG モデルに対しマルチスケールシミュレーション向けの最重要の数値手段の一つである M-grid 変数配置については、第 7 回非静力モデルに関するワークショップにおいて発表 (彭ほか、2005) した Arakawa-A と C を組み合わせた変数配置である。その分散関係も Arakawa-A と C 両方の特性を維持しており、低解像度と高解像度の両方のモデルに適応する。その変数の分布は図に示した。解像度による Multi-moment 計算法に最適な配置である。CIP 法は Multi-moment 法の一つであり、M-grid 配置に対しても適用可能である。複数のモメントの応用により、より精度の向上が期待できる。

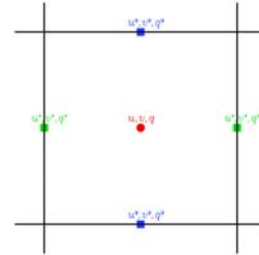


図 1 M-grid 変数配置概念図

3. 水物質の CIP 移流計算

MSSG の水物質については、CIP-CSLR を実装している。このスキームは保存性と非負性という特徴があるので、物質輸送に対して適した計算手法である。

$$\frac{\partial \rho_d q}{\partial t} = -\frac{1}{G^{\frac{1}{2}} a \cos \varphi} \left(\frac{\partial \left(G^{\frac{1}{2}} \rho_d q u \right)}{\partial \lambda} + \frac{\partial \left(G^{\frac{1}{2}} \cos \varphi \rho_d q v \right)}{\partial \varphi} \right) - \frac{\partial (\rho_d q w^*)}{\partial z^*} + S$$

上記の方程式に示されるように、水物質 q の収支が三次元の移流とローカルなソース項で決定し、前者は移流スキーム CIP-CSLR を用いて計算し、ソース項は物理過程で決定される。移流項は三次元の dimensional splitting 法で計算し、その検証を行った。Yin-Yang グリッド上においても、その計算効果をベンチマーク実験における計算によって確認した。CIP-CSLR スキームの場合、モメントの間は完全に独立ではないので、計算量の増加が著しくないことも、その特長である。

4. 実例シミュレーションの結果

本研究では、2006 年 7 月 20-24 日の九州梅雨豪雨を中心にマルチスケールシミュレーションの効果と結果を紹介する。シミュレーションは 20km 全球、11km 領域と 5km ネストの計算を、複数の条件ケースで実行した。5km 全球の積分は、現在も実行中である。降水強度とその分布、梅雨前線の構造の解析により、マルチスケール現象シミュレーションにおける物理的性能評価を行う。

今回の数値実験では Reisner 微物理過程、簡易放射、水物質の CIP-CSLR 移流と他の量の 5 次風上差分スキームを使用し、7 月 20 日 12UTC の GPV グローバル解

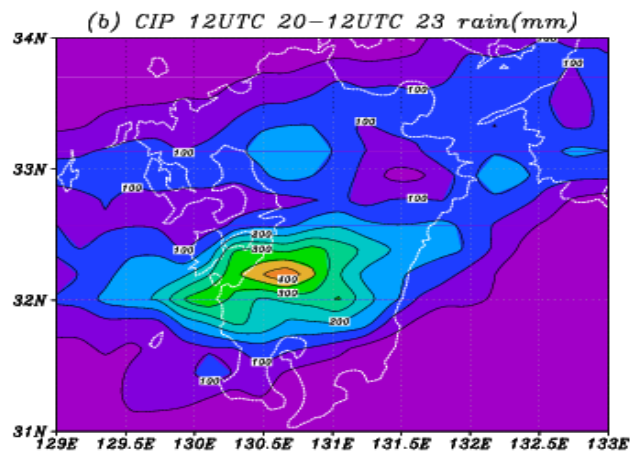
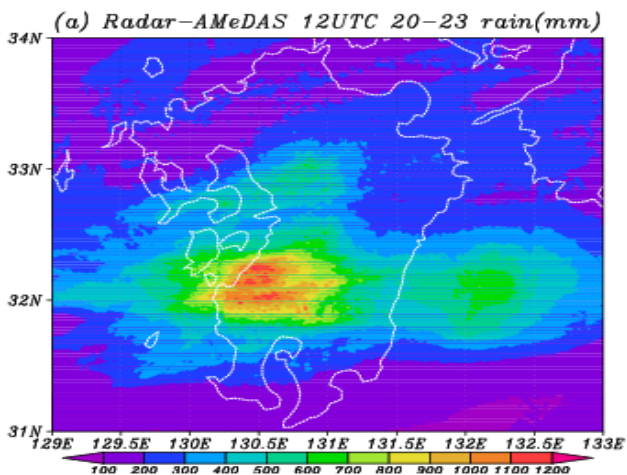


図3 2006年7月20日からの72時間の降水分布。(a)Radar-AMeDAS観測、(b)MSSGシミュレーション結果

析場を初期値にして積分を行った。地球シミュレータ上で、24ノードを使用した。

図3は20km全球モデル72時間の九州地方の降水量積量とRadar-AMeDASの観測による積算量である。降水中心の場所と梅雨前線帯の分布が観測とが、よく一致している。さらに広範囲の降水分布は、20kmの粗い解像度においても、梅雨前線全体の降水が雲画像とよく一致することが確認された。前線の内部の上昇気流、暖湿コアと前線南北の乾湿特性が再現されている。相当温位の鉛直断面を図4に示す。梅雨前線内部の対流と対流不安定が見られる。

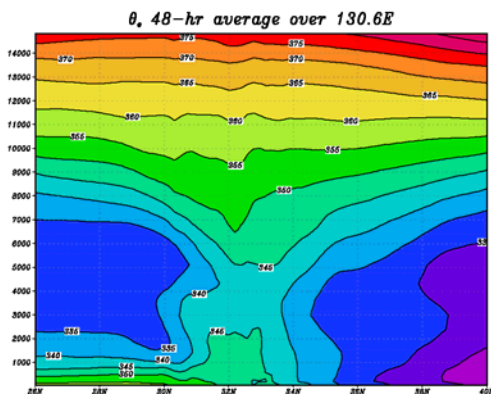


図4 九州付近の相当温位の48時間平均断面

同じケースのネスティングシミュレーションを、全球11kmモデルに日本域で5.5kmのネスティング領域を実行した。5kmの全球シミュレーションもシミュレータの240ノードでの実行が調整中で、本講演で発表する予定である。

5. まとめ

MSSGモデルで梅雨前線のようなマルチスケール現象のシミュレーションでは新しい計算技術とスキームの応用で、マルチスケールシミュレーションを試した。結果としてはM-gridの採用で20kmの粗い解像度モデルでも梅雨降水と前線構造を再現できた。全球大気非静力モデルMSSGの力学フレームを改良する目的でM-grid、CIP-CLSRや新しいスキームの投入と開発を続けて力入れる。特性線法の開発と応用は近い将来の目標とし、重力波の精度高い計算を実行する。

参考文献

- Xiao F., X. Peng and X. Shen, 2006, A finite-volume grid using multi-moments for geostrophic adjustment, *Mon. Wea. Rev.*, 134, 2515-2526.
- Yabe, T., R. Tanaka, T. Nakamura and F. Xiao, 2001, An exactly conservative semi-Lagrangian scheme (CIP-CSL) in one dimension, *Mon. Wea. Rev.*, 129, 332-344.
- 彭新東、肖鋒、高橋桂子、球面上Mグリッド配置と浅水波方程式の数値解、第七回非静力モデルに関するワークショップ、P39.