

動径基底関数に基づく大気大循環モデルを用いた傾圧不安定波実験
 Baroclinic Instability Experiments Using an Atmospheric General Circulation Model
 Based on Radial Basis Functions

Recently, high-resolution atmospheric general circulation models (AGCM) based on finite volume (FV) discretization have been developed. Since the computational cost of FV-based AGCM is low, the model can achieve 1-km order resolution. However, the convergence rate of FV is low, therefore an alternative method with high convergence rate is required for the next step.

We applied the Radial Basis Functions generated Finite Difference (RBF-FD) to the dynamical core of AGCM. RBF-FD is a meshless method and can be made highly accurate by changing the stencil size. Our AGCM using RBF-FD is validated with the baroclinic instability test case. The vorticity error on day 12 is compared between the RBF-FD model with 25600 nodes and the spectral model using spherical harmonics. The relative error of vorticity field is 2×10^{-1} , twice as that of T85 spectral model.

1. はじめに

近年、計算機の高速化に伴い大気大循環モデル (AGCM, Atmospheric General Circulation Model) の高解像度化が進んでいる。高解像度化に伴い、計算速度が高く保存性が優れている有限体積法を用いた AGCM が各国で開発されている。一方で高解像度化の次のステップとして高精度化が求められている。広く使われている有限体積法は高速で保存性が良い一方で高精度化が難しい欠点がある。そこで本研究では動径基底関数を用いた有限差分法 (RBF-FD, Radial Basis Functions generated Finite Difference) の生成 (Flyer et al. 2012) を離散化手法として採用する。RBF-FD は高次の収束が可能であり、計算量も節点数を N とすると $O(N)$ であり高解像度化が可能である。本研究では RBF-FD でプリミティブ方程式モデルを構

築し、傾圧不安定の実験を行い、精度を検証する。参照解には球面調和関数を用いた高解像度スペクトルモデルの結果を用いる。

2. 実験設定

本研究では傾圧不安定の実験 (Polvani et al. 2004) を行う。初期場は北半球の中緯度のみジェット (Fig. 1) があり、ジェットの領域で気温場 (Fig. 2) の南北勾配がある。節点配置は Maximum determinant 節点 (Womersley 2020) の 25600 点 (水平解像度約 140 km) を用いる。参照解は、球面調和関数を使ったスペクトルモデルの切断波数 T341 (水平解像度約 40 km) の結果を、球面調和関数を用いた双 3 次内挿 (Enomoto 2008) を使って内挿した。誤差は 12 日目の渦度場で評価する。

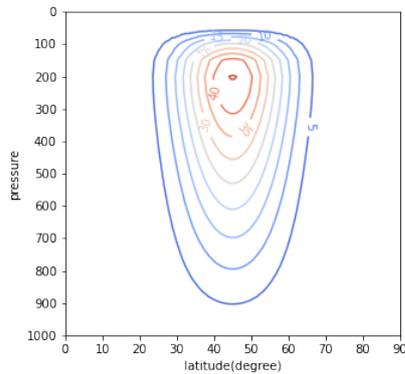


Fig.1 Initial state of wind (m/s).

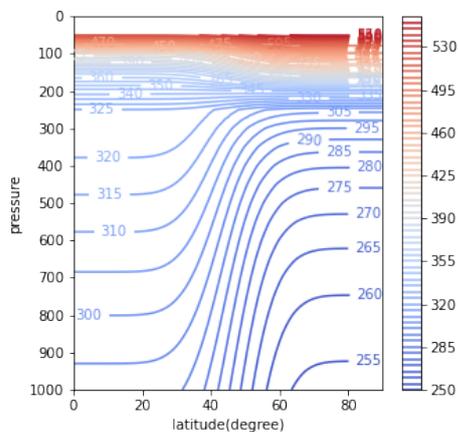
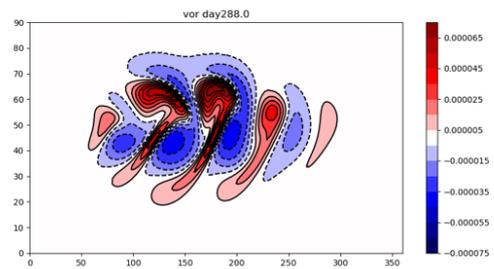


Fig.2 Initial state of potential temperature (K).

3. 実験結果

12日目の渦度場と T341 の参照解から求めた誤差を Fig. 3 に示す。正規化された全球誤差平均は 2×10^{-1} であり T85 (水平解像度約 155 km) の誤差 1×10^{-1} の 2 倍に抑えられている。

(a)



(b)

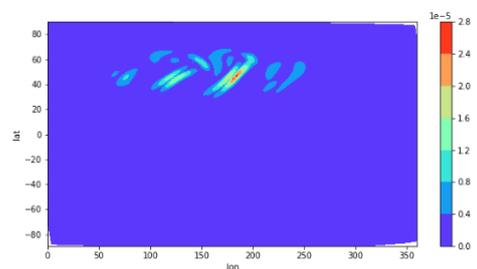


Fig.3 12-day integration of the RBF-FD model.

(a) Vorticity field and (b) absolute error.

参考文献

- Enomoto, T. 2008: Bicubic interpolation with spectral derivatives, *SOLA*, **4**, 5–08.
- Flyer, N., E. Lehto, S. Blaise, G. B. Wright, and A. St-Cyr, 2012: A guide to RBF-generated finite differences for nonlinear transport: Shallow water simulations on a sphere. *J. Comput. Phys.*, **231**, 4078–4095.
- Polvani, L. M., R. K. Scott, and S. J. Thomas, 2004: Numerically converged solutions of the global primitive equations for testing the dynamical core of atmospheric GCMs. *Mon. Wea. Rev.*, **132**, 2539–2552.
- Womersley, R. S. and I.H. Sloan: Interpolation and cubature on the sphere, <https://web.maths.unsw.edu.au/~rsw/Sphere/>.