



**動径基底関数を用いた
大気大循環モデルによる気象予報実験
Hindcast experiments with
atmospheric general circulation model
using radial basis functions**

令和 6 年 5 月

May 2024

研究代表者 小笠原宏司

Coordinator Koji Ogasawara

1. 背景・目的

動径基底関数を用いた有限差分法の生成 (Radial Basis Function-generated finite difference: RBF-FD) は簡単、高精度、かつ節点配置に制約がない手法である。球面における双曲線型偏微分方程式に RBF-FD を適用する場合は準一様な節点配置 (できるだけ均等に配置した節点) が使用できる。準一様な節点配置を使用すると、CFL 条件が緩和され、オイラー移流で移流計算を行う際には他のスペクトル手法と比較して長い時間積分幅が取れる。

大気分野において、RBF-FD は移流モデル (Fornberg and Lehto 2011) と浅水波方程式モデル (Flyer et al. 2012) に適用されている。移流モデルでは他のスペクトル手法と競合できる精度であることが報告されており、浅水波方程式モデルでは高精度スペクトル手法と比較して、より少ない節点数で急な勾配を有する場を再現できることが報告されている。RBF-FD は 3 次元球殻モデルにおいても他のスペクトル手法と競合できる精度であることが期待されるが、3 次元大気モデルへの適用は報告されていない。

そこで研究代表者は RBF-FD を水平離散化手法とし、鉛直方向は有限差分法 (Arakawa and Suarez 1983) を適用したプリミティブ方程式モデルを開発した。開発したモデルは標準テストケース (Polvani et al. 2004) に適用され、球面調和関数を用いたスペクトル変換法を適用したモデルと整合的な結果が得られた。

本研究では、より現実的な場合における比較を行うため、RBF によるプリミティブ方程

式モデル (以降 PEM-RBF) に対し物理過程を実装し気象予報実験を行い、精度や安定性を調べる。

2. 研究手法

気象予報実験をするために水蒸気の式と物理過程をプリミティブ方程式モデルに実装する。PEM-RBF は既存のメッシュとは異なるため、既存のツールをそのまま利用することができない。そこで、初期値、気候値、地形データを作成するためのプログラムを開発する (図 1)。最後に作成したデータを与え、再予報実験を行う。

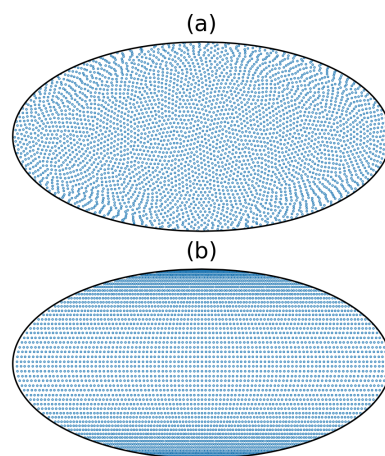


図 1 節点配置。
(a) PEM-RBF の節点 (b) ガウス格子

3. 研究成果

令和 5 年度は PEM-RBF の開発において精度を検証し、安定性解析を行うため、(1) 基

盤的なプログラムの開発し、(2) テスト実験を実施した。以下内容について述べる。

(1) 基盤的な技術開発

はじめに簡易的な大気大循環モデル

SPEEDY.f90 (Molteni et al. 2003, Kucharski et al. 2006, Kucharski et al. 2013) の物理過程を実装した。

次に水蒸気の予報方程式を PEM-RBF に実装した。水平方向の離散化に RBF-FD、鉛直方向の離散化に有限差分法を適用した手法を定式化し、PEM-RBF に実装した。

次に地形、初期値、気候値の作成プログラムを開発した。地形作成プログラムは最近傍探索法を用いて節点上の地形を作成する。初期値作成プログラムは再解析データを取得し、内挿手法で節点上のデータを作成する。気候値作成プログラムは Molteni et al. 2003 の APPENDIX の手法を参考に気候値を作成する。

(2)テスト実験

SPEEDY.f90 のテストケースとして用意されている 1982 年 1 月 1 日から 1982 年 1 月 10 日まで再予報実験を行った。入力データとして地形、気候値、初期値を PEM-RBF 用に作成した。国土地理院の標高データ

(<https://globalmaps.github.io/el.html>) を使用し、地形データを作成した（図 2）。気候値と初期値は ERA5（Hersbach et al. 2023）からデータを作成した。図 3 に作成した地表面気圧を示す。

図 4 に地表面気圧の計算結果と ERA5 を PEM-RBF の節点に内挿したデータとの比較を示す。ERA5 が 31 km 格子に対してテストケースの節点配置の解像度はおよそ 380 km であるため再解析データを正確に計算できない。

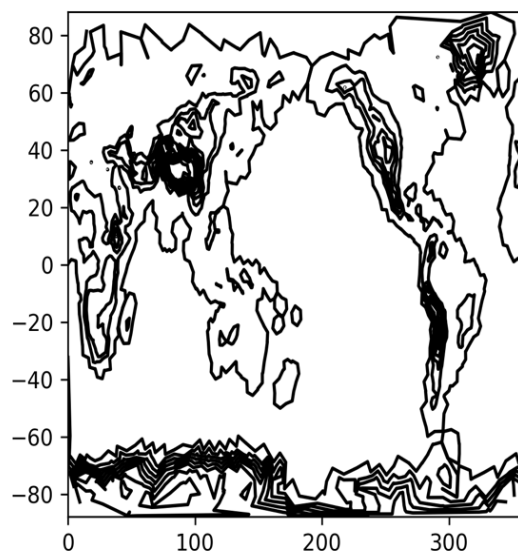


図 2 モデルの地形。

(a) SPEEDY.f90 (b) PEM-RBF.

コンターは 0,1,500,1000,1500,...6000 [m]となっており、500 以降の間隔は 500 である。

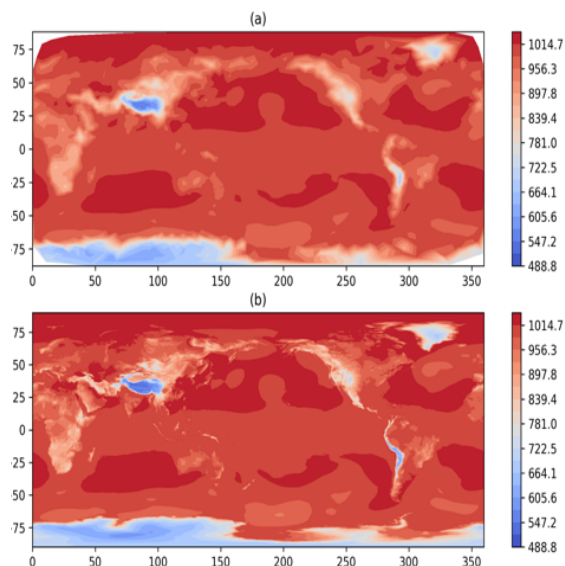


図 3 地表面気圧の初期値。

(a) PEM-RBF の初期値, (b) ERA5。

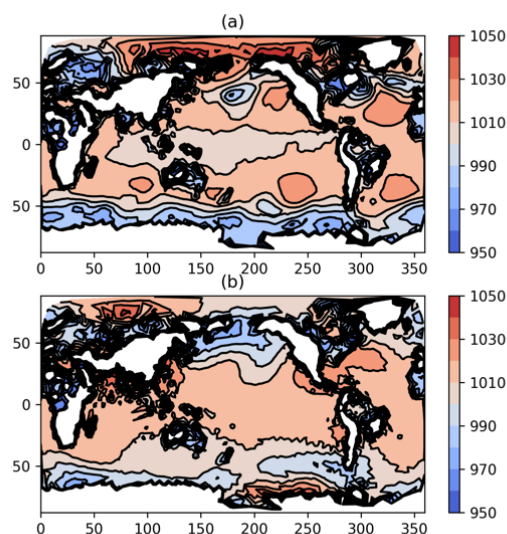


図 4 1982 年 1 月 10 日の地表面気圧。

(a) ERA5 を PEM-RBF の節点に内挿した地表面気圧。(b)計算結果。950[hPa]以下は色をつけていない。

参考文献

- Arakawa, A., and Suarez M., 1983: Vertical Differencing of the Primitive Equations in Sigma Coordinates., Mon. Weather Rev., 111, pp. 34–45.
- Flyer, N., Lehto E., Blaise S., Wright G. B., and St- Cyr A., 2012: A guide to RBF-generated finite differences for nonlinear transport: Shallow water simulations on a sphere., J. Comput. Phys., 231, pp. 4078–4095.
- Fornberg, B., and Lehto E., 2011: Stabilization of RBF-generated finite difference methods for convective PDEs., J. Comput. Phys, 230, pp. 2270- 2285.
- Kucharski, F., Molteni, F. & Bracco, 2006: A. Decadal interactions between the western tropical Pacific and the North Atlantic Oscillation. Climate Dynamics 26, 79–91.
- Kucharski, F., Molteni, F., King, M. P., Farneti, R., Kang, I., & Feudale, L., 2013: On the Need of Intermediate Complexity General Circulation Models: A “SPEEDY” Example. Bulletin of the American Meteorological Society, 94(1), 25-30.
- Molteni, F., 2003: Atmospheric simulations using a GCM with simplified physical parametrizations. I: model climatology and variability in multi-decadal experiments. Climate Dynamics 20, 175–191.
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Biavati, G., Horányi, A., Muñoz Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Rozum, I., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Dee, D., Thépaut, J-N. 2023: ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS).
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Biavati, G., Horányi, A., Muñoz Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Rozum, I., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Dee, D., Thépaut, J-N. 2023: ERA5 hourly data on pressure levels from 1940 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS).

4. 主な発表論文等

(投稿論文)

- ・小笠原宏司・榎本剛, 2023: 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. 京都大学防災研究所年報, 66B, 151–158, <http://hdl.handle.net/2433/286676>.

(学会発表)

- ・Ogasawara, K. and T. Enomoto, Baroclinic instability tests using a global primitive equation

model based on radial basis function generated
finite difference discretizations. Workshop on
partial differential equations on the sphere 2023, 4
July 2023, IMAG / Laboratoire Jean Kuntzmann,
Grenoble, France. Poster.

・小笠原宏司・榎本剛, D406 動径基底関数
を用いたプリミティブ方程式モデル, 日本
気象学会秋季大会, 2023 年 10 月 26 日, 仙台
国際センター (宮城県仙台市) .

・小笠原宏司・榎本剛, 立方体格子の痕跡の
ない球面上の移流スキーム. 京都大学防災研
究所一般研究集会 2023WS-07 「異分野融合に
よる東アジアの天候に係わる気候システム研
究の更新」, 2023 年 1 月 26 日, 京都大学宇治
キャンパス (京都府宇治市) .

・小笠原宏司・榎本剛, 立方体球面に投影し
た高精度移流スキーム. 地球流体にみられる
多様な現象に伴う流れの形成の力学, 2024 年
3 月 5 日, 東京大学大気海洋研究所 (千葉県
柏市) .