

回転球殻ダイナモの数値モデルの構築

佐々木洋平(北大・理), 竹広真一(九大・理), 林祥介(北大・理)

1 はじめに

近年の計算機性能の向上に伴い, 天体固有磁場の生成維持機構の解明を目指した三次元回転球殻 MHD ダイナモの数値計算が活発に行なわれつつある。

しかしながら, 現在行なわれている数値計算の多くは, 地球あるいは太陽といった特定の天体を念頭において設計されており, その結果を比較し磁場の空間構造・時間変動の多様性・普遍性を考える, 力学構造の研究に用いることは難しい。

天体固有磁場の多様性を考察し, 個々の実現をその中に位置付けていくためには, 天体を限定しない汎用性とそれぞれの天体に固有の物理過程を組み込みやすい可変性とを併せ持つ数値モデルがあると便利である。

現在, 我々のグループでは, 天体にもなう流体現象の力学的理解のための数値計算ツールとして, SP-MODEL ライブラリ [1] を設計構築しつつある。本研究では, SP-MODEL ライブラリの一環として球殻 MHD ダイナモモデルを構築し, 可変性と汎用性の実現を模索するものである。今回は, ダイナモベンチマーク [2] の設定で計算を行なう事で, モデルの性能を検証した。

2 モデル設定

支配方程式系は回転系でのブシネスク磁気流体の方程式系である。方程式系のうち速度場と磁場をトロイダル-ポロイダルポテンシャルに分解する。それらのポテンシャルと温度を数値的に解く。

空間微分の評価には擬スペクトル法を用いる。水平方向には球面調和関数を, 鉛直方向にはチェビシェフ多項式を用いて展開する。時間積分は拡散項には Crank-Nicolson 法をそれ以外の項には Adams-Bashforth 法を用いる。

SP-MODEL ライブラリにおいては, Fortran 90 による構造的書法を活用し, I/O 構造として gtool4 F90 ライブラリ [3] をもちいることにより, これら関数空間と実空間との変換を容易に行えるように工夫している。

3 計算設定

系に現れる無次元数はエクマン数 E , 修正レイリー数 Ra , プランドル数 Pr , 磁気プラントル数 Pm である。本研究ではダイナモベンチマークの設定にあわせて

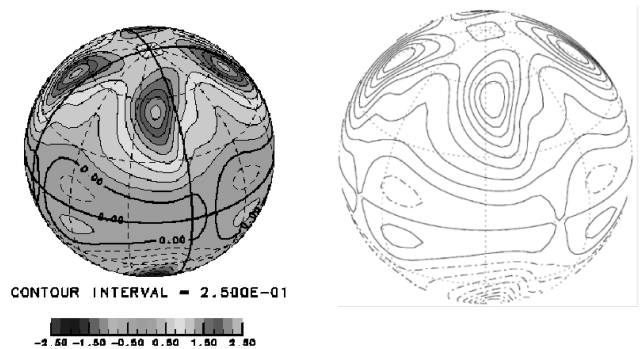
$$E = 10^{-3}, \quad Ra = 100, \quad Pr = 1, \quad Pm = 5 \quad (1)$$

としている。このパラメータ設定では, パターンが東西どちらかに伝播する準定常解が得られる事が知られ

ている。初期値の設定もダイナモベンチマークに従い, 静止場, 東西波数 4 の温度擾乱, 双極子磁場とトロイダル磁場を重ね合わせた分布を与える。

4 結果

図は本モデルとベンチマークのポロイダル磁場の球殻表面での値の比較である。



計算結果とそのベンチマークとの比較を表に示す。ベンチマークと比較した量は, 準定常状態での平均運動エネルギー E_k , 平均磁気エネルギー E_m , 温度 T , 東西流, u_λ , 磁場経度成分 B_φ , そしてパターン伝播の振動数 ω である。このうち $T, u_\lambda, B_\varphi, \omega$ は $u_r = 0, \partial u_r / \partial \varphi > 0$ を満たす球殻中点 $r = (r_i + r_o) / 2$ での値である。我々の球殻 MHD ダイナモモデルは, それほど計算効率を犠牲にすること無く, おおむね良好な計算結果を与えることができているようである。

表: ダイナモベンチマークとの比較。左は本モデル, CWG(T42N33) は本研究と似た計算方法で同程度の解像度, CWG(T64N41) は高解像度計算。

	本モデル T42N32	Christensen et al. (2001)	
		CWG(T42N33)	CWG(T64N41)
E_k	29.8615	30.5015	30.772
E_m	607.53	626.42	626.42
T	0.37461	0.37390	0.37337
u_λ	-7.6726	-7.6427	-7.6250
B_φ	4.8016	4.9358	4.9288
ω	-3.1373	-3.1011	-3.1016

[1] Christensen, et al., 2001: A numerical dynamo benchmark. *Phys. Earth Planet. Inter.*, **128**, 25-34

[2] 竹広ほか, 2002: 階層的地球流体力学スペクトルモデル集。地球流体電脳倶楽部, <http://www.gfd-dennou.org/arch/spmodel>.

[3] 豊田ほか, 2000: gtool4 F90 ライブラリ。地球流体電脳倶楽部, <http://www.gfd-dennou.org/arch/gtool4>.