

階層的地球流体スペクトルモデル集 SPMODEL を用いた惑星磁場ダイナモ計算

佐々木 洋平 [1]; 竹広 真一 [2]; 西澤 誠也 [3]; 林 祥介 [4]; SPMODEL 開発グループ 竹広 真一 [5]
[1] 京大・数学; [2] 京大・数理研; [3] 神戸大・C P S; [4] 神戸大・理・地惑; [5] -

Numerical calculations of planetary MHD dynamos by use of SPMODEL, a series of hierarchical GFD spectral models.

Youhei Sasaki[1]; Shin-ichi Takehiro[2]; Seiya Nishizawa[3]; Yoshi-Yuki Hayashi[4]; Takehiro Shin-ichi SPMODEL Development Group[5]

[1] Dept. Mathematics, Kyoto Univ.; [2] Research Inst. Math. Sci., Kyoto Univ.; [3] CPS, Kobe Univ.; [4] Earth and Planetary Sciences, Kobe University; [5] -

Before computers were developed and became widely available as they now are, "equations and their mathematical manipulations" were the main theoretical tools for obtaining physical descriptions of natural phenomena of the earth and planets. In order to obtain the governing equations of the system of interest by applying physical laws expressed as mathematical formulas, and to understand the behavior of the system, there was no choice but to solve the governing equations analytically by hand. Although the number of problems that could actually be solved by such methodology were quite limited, the understanding of the phenomena achieved by the original researcher could be shared relatively easily with others, since it only involved following the procedures from the formulation to the results by reproducing the "equations and their mathematical manipulations" with pen and paper.

Nowadays, assisted by the advanced computer resources, numerical methods have become the popular method for obtaining solutions of the governing equations. The spectrum of solvable problems has expanded dramatically as a result. On the one hand, however, it has become increasingly difficult to share the results and understanding with others. It is quite difficult to achieve the same level of understandings as the authors only by consulting the figures presented in a paper for some of the results produced by the numerical model. If the reader wishes to achieve a similar level of understanding, they are now generally required to gain experiences to an extent similar to the authors by following the numerical calculations and performing additional experiments by changing parameters, model setups and so on. In order to achieve the level of shared understandings that had been traditionally achieved by theoretical thinking, we need to carry out the reexamination procedures similar to those provided by "equations and their mathematical manipulations" on computers. However, an independent execution of follow-up numerical calculations is generally difficult. Development of a numerical model from scratch is a time-consuming process, while the use of a ready-made model as a black-box does not necessarily provide the desired level of understanding of the results, because it is difficult to figure out what exactly is taking place.

For the purpose of addressing those circumstances and promoting shared understandings in the era of numerical calculations, we are now developing and presenting a series of spectral models suitable for performing standard numerical experiments of geophysical (earth and planetary) fluid dynamics problems (SPMODEL). The following three requirements were given priority in designing the program source codes; 1) allow anyone to read, use, and modify the source codes, 2) readability and understandability of the source codes to permit easy re-building and/or modification, 3) ease in visualization and post-processing of output data. In order to improve readability and modifiability, Fortran90 modules are prepared to provide the subroutines of ISPACK, a FORTRAN77 library for spectral models, as array-valued functions. With the help of the introduction of systematic function naming rules and the use of array-handling features enhanced by Fortran90, program source codes can now be written with a form which is easily deduced from the mathematical expressions of the governing equations. The programming technique realized in this study is expected to save both time and labor in creating numerical models from governing equations, as well as facilitate numerical experiments in the earth and planetary fluid dynamics. As an example of SPMODEL programming and operation, we introduce development and numerical experiments of MHD Boussinesq fluid models in a sphere or spherical shells, which provide fundamental tools for consideration of generation and maintenance processes of intrinsic planetary magnetic fields.

計算機が発達し身近になる以前では、「数式とその変形」が地球や惑星などでの自然現象を物理的にとらえる上での主な理論的手段であった。数式で表現されている物理法則を適応して対象を記述する支配方程式系を得、その振舞を理解するためには、これを解析的に手で解くほかなかった。解ける範囲は決して広くはなかったが、その代わりに紙と鉛筆を用いて「数式とその変形」を再現することによって、誰でも定式化から結果に至るまでの手順を追体験することが可能であり、他人によって得られた理解を共有することは比較的容易にできた。

計算機の発達した今日では支配方程式を数値的に解くことが普通である。このため解ける範囲は広がったが逆にその結果と理解を他者と共有することが難しくなってしまった。数値モデルでなされた仕事を理解するべく論文に揚げられている図だけを見て考えてみても、その仕事をなした人と同じレベルの理解を得るのは困難である。当該数値計算を再現し、パラメータやモデルの設定を変えた実験を行うなどして、著者が行なった理解に至る経験を読者自身も積み重ねることが必要となるだろう。理論的考察が伝統的に提供してきたような理解の共有を実現するためには、「数式とその変形」において行われて来た追体験操作を計算機上でも実行しなければならないのである。しかし、数値計算を独立に追体験することは一般には容易ではない。数値計算のためのモデルを最初から作るのは時間がかかりすぎるし、かといって、出来合いのもの

デルをブラックボックスで走らせても、何が起きているのかがわからないため、結果の理解にはかならずしもつながらない。

このような状況に対応し数値計算時代における理解の共有をはかるべく、われわれは地球惑星流体力学の諸問題における標準的な数値実験を簡便に行なうための一連のスペクトルモデル群、"SPMODEL", を開発している。その設計においては、1) プログラムソースコードは誰でも見ることができて、変更して使えなければならない; 2) プログラムソースコードは可読性が高く理解しやすくなければならない; 3) 計算結果の描画や後処理が簡単に行えなければならない、という点を重点に置いている。プログラムの可読性と可変性を高めるために、FORTRAN77 で書かれたスペクトルモデルのためのライブラリである ISPACK のサブルーチンを Fortran90 の配列を返す関数でくるんだモジュールを作成した。関数に統一的な名前を与える命名ルールを導入し、Fortran90 で強化された配列機能を利用することにより、支配方程式から容易に想像できる表現をもったプログラムソースコードを構築することが可能となった。ここで実現されたスペクトルモデル群のプログラミング技術によって支配方程式から数値モデルを作成するまでの労力と時間が短縮され、地球流体力学的数値実験が容易に実現できるようになることが期待される。その一例として、惑星固有磁場の生成維持過程を考察するための回転球および球殻内の MHD プシネスクダイナモモデルの構築とそのいくつかの数値実験を紹介する。