

准教授 竹広 真一（地球および惑星流体力学の研究）

地球および惑星などの天体での流体现象を記述し考察するための流体力学の研究を行なっている。地球および惑星規模の流れの特徴的な性質を与える主な要因として、惑星が自転していること・重力と密度成層・構成物質の相変化・領域が球形であること、といった点があげられる。惑星大気やマントル・中心核の現象の複雑な状況を単純化したモデルを構成し、その中に登場する自転速度や重力と密度成層の強さ、球の半径などのパラメータを様々に変えて、計算機を用いた数値実験によって流れの様子を求め、さらに数値実験結果に現れた流れの性質を統合的にとらえるための理論を構築することを試みる。このような作業を通じて地球や惑星のさまざまな流体现象に内在する基本的な流体力学的ふるまいを理解することを目指している。また、上記の研究を効率的に行なうための数値計算技法とソフトウェアの開発も行なっている [9]。単純化したモデルを用いて流れの基本的な性質を掌握しておくことは、さまざまな物理過程を取り込んだシミュレーションモデルにおいて表現されるべき流体力学過程を明らかにすることとなり、そのことが地球や惑星の構造とその進化に対する予言能力の獲得につながると期待される。

これまでの具体的な研究テーマの一つとして、木星型惑星大気・太陽大気および惑星中心核の単純化したモデルである回転球殻内での熱対流の研究があげられる。この問題に対してスーパーコンピュータを利用して線形安定性と弱非線形計算を数値的に実行し、球殻の回転角速度や厚さなどのパラメータを広い範囲で変化させて発生する熱対流の構造の変化の様子を調べ、その流れの支配要因の分析を詳細に行った [8,10]。その結果、回転が遅い場合には回転と逆向きに伝播するバナナ型の対流セルが出現すること、回転が速い場合には回転方向と同じ向きに伝播する回転軸に沿った柱状あるいは螺旋状に棚引いた対流セルが出現すること、そしてこの傾向は球殻の厚さに関係なくテイラー数にして 10^4 程度のところで遷移すること、を見出した。そしてバナナ型・柱型・螺旋型といった対流構造と伝播性質が、実は渦度の伸縮に伴う波動運動の性質の違いによるものであることを見出し、従来の単にみかけの形態による対流パターンの分類を力学的な構造に結びつけることに成功した [8]。加えて、対流の存在によって生成される平均帯状流の構造を、同様に広いパラメータ範囲に渡って求めることを行い、さまざまに変化する帯状流分布の生成の仕組みを分類し明らかにした [10]。太陽や木星型惑星の表面の平均帯状流は観測可能な物理量であり、各天体の大気運動を特徴づけるものとし

てそのパターンが以前から注目され、その生成過程を詳細に調べることは地球惑星科学的な面からも重要である。近年は国内外の研究者と共同して、地球中心核とマントルの状況を想定した熱対流 [1,4,5] や磁気流体力学およびダイナモの問題 [6,7]、あるいは太陽および恒星内部の熱対流 [3] や太陽系内外惑星・衛星の大気運動 [2] についても研究を進めている。

参考文献

- [1] Model system for the transient behavior of double diffusive convection in two miscible layers, *Japan Journal of Industrial and Applied Mathematics*, **20** (2023) 449–473 (with T. Ishikawa and M. Yamada)
- [2] Superrotation of Titan’s stratosphere driven by the radiative heating of the haze layer. *Astrophys. J.*, **928** (2022), 149 (18pp). (with M. Sumi, W. Ohfuchi, H. Nomura and Y. Fujii)
- [3] Assessment of critical convection and associated rotation states in models of Sun-like stars including a stable layer. *Astrophys. J.*, **893** (2020), 83 (15pp) (with A. S. Brun and M. Yamada)
- [4] On destruction on a thermally stable layer by compositional convection in the Earth’s outer core, *Front. Earth Sci.* (2018), 6:192. (with Y. Sasaki)
- [5] Effects of radial distribution of thermal diffusivity on critical modes of anelastic thermal convection in rotating spherical shells, *Phys. Earth Planet. Inter.*, **276** (2017), 36–43. (with Y. Sasaki, M. Ishiwatari and M. Yamada)
- [6] Influence of surface displacement on solid state flow induced by horizontally heterogeneous Joule heating in the inner core of the Earth, *Phys. Earth Planet. Inter.*, **241** (2015), 15–20.
- [7] Effects of latitudinally heterogeneous buoyancy flux conditions at the inner boundary on MHD dynamo in a rotating spherical shell, *Phys. Earth Planet. Inter.*, **223** (2013), 55–61. (with Y. Sasaki, S. Nishizawa, and Y.-Y. Hayashi)

- [8] Physical interpretation of spiralling-columnar convection in a rapidly rotating annulus with radial propagation properties of Rossby waves, *J. Fluid Mech.*, **614** (2008) 67-86.
- [9] SPMODEL: A series of hierarchical spectral models for geophysical fluid dynamics, Nagare Multimedia (2006) http://www.nagare.or.jp/mm/2006/index_en.htm (with M. Odaka, K. Ishioka, M. Ishiwatari, Y.-Y. Hayashi and SPMODEL Development Group)
- [10] Mean zonal flows excited by critical thermal convection in rotating spherical shells, *Geophys. Astrophys. Fluid Dyn.*, **90** (1999), 43–77. (with Y.-Y. Hayashi)