

MIS021-P02

会場: コンベンションホール

時間: 5月22日 14:00-16:30

熱フラックス固定境界条件下での回転球殻熱対流の線形安定性 Liner stability of thermal convection in rotating spherical shells with fixed heat flux boundaries

佐々木 洋平^{1*}, 竹広 真一²

Youhei SASAKI^{1*}, Shin-ichi Takehiro²

¹ 京都大学 大学院理学研究科 数学教室, ² 京都大学 数理解析研究所

¹Department of Mathematics, Kyoto Univ., ²Research Inst. Math. Sci., Kyoto Univ.

回転球および球殻内のブシネスク熱対流問題は天体内部流体運動を考察するための基本的な問題としてさかんに研究されてきている。そのほとんどの研究において熱的境界条件に温度固定境界条件が用いられている。しかしながら、熱フラックス固定境界条件は地球物理学的観点から重要であるかもしれない。たとえば、地球流体核内の対流はマントル対流により引き起こされる核-マントル境界での熱流束に支配されているであろうと議論されている。実際、地球流体核を模した回転球殻ダイナモ計算においては、熱フラックス固定境界条件を適用した研究がいくつか行われている(たとえば [1],[2])。しかしながら、それらは解の振舞いに対する熱境界条件の影響には注目しておらず、断片的な知見しか得られていない。

非回転系の平板間の熱対流の場合には、熱的境界条件を変えると対流の構造が変わってしまうことが知られている。温度固定境界条件での熱対流(いわゆるレイリー=ベナール対流)の場合、縦横比が1程度の対流セルが臨界モードとなるのに対して熱フラックス固定条件の下では水平に伸びた横長のセルが臨界モードとなることが示されている [3]。回転系の場合では、回転球殻中の柱状対流のモデルである上下境界面の傾きを伴う円筒モデルを用いた研究が行なわれており [4]、地形性ベータ効果が存在する場合でもやはり東西波数の小さい横長の対流セルが臨界モードとなることが予想されている。しかしながら、完全な球殻の場合はいまだ詳細に調べられていない。

そこで本研究では、熱フラックス固定境界条件下での回転球殻熱対流の線形安定性解析を系統的に行った。プランドル数を1、エクマン数を 10^{-3} に固定し、球殻の厚さ、力学的境界条件、一様内部熱源の有無を系統的に変えて計算を行った。補足的実験として、いくつかの場合についてエクマン数を 10^{-4} に小さくした計算も行った。

結果は以下の通りである:

(1) 内部熱源が存在する場合

力学的境界条件が自由すべり条件の場合には、球殻の厚さによって臨界モードが変わり、球殻が厚い場合には東西波数3-4が臨界モードとなるのに対して、球殻が薄くなると東西波数1のモードが臨界モードとなる。中立曲線は単調ではなく高波数側に極小点を伴っているのが特徴的である。これは回転軸に沿った円筒モデルを用いた記述 [4] と整合的である。

一方、球殻両端が滑り無し条件の場合には、球殻の厚さによらず東西波数1のモードが臨界モードとなり、中立曲線は東西波数とともに単調に増加している。しかしながら、エクマン数を小さくすると、自由すべり条件の場合と同様、中立曲線に極小点が出現するようになる。

(2) 内部熱源が無い場合

力学的境界条件によらず東西波数1のモードが臨界モードとなる。

両端が自由すべり条件の場合には、球殻が厚い場合には中立曲線は波数とともに単調増加するものの、球殻が薄い場合もしくはエクマン数が小さい場合には極小点が出現する。一方、両端が滑り無し条件の場合には球殻の厚さによらず中立曲線は単調増加している。

[1] Sakuraba and Roberts, Nature Geoscience, 2, 802-805 (2010)

[2] Hori et al., Phys. Earth Planet. Inter., 182, 85-97 (2010)

[3] Ishiwatari et al., J. Fluid Mech., 281, 33-50 (1994)

[4] Takehiro et al., Geophys Astrophys. Fluid Dyn., 96, 439-459 (2002)

キーワード: 回転球殻熱対流, 熱境界条件, 熱フラックス固定

Keywords: Thermal convection in a rotating spherical shells, Thermal boundary condition, Fixed heat flux condition