

題目：内核半径の異なる回転球殻における地球ダイナモ維持に必要なレイリー数に関する研究

発表者：西田有輝¹、加藤雄人¹、松井宏晃²、熊本篤志¹ (¹東北大・理・地球物理、²UC デービス)

要旨：

地球は固有磁場を有する惑星である。古地磁気研究から地球磁場は少なくとも過去 35 億年間現在と同程度の強度を維持してきたと考えられている [e.g., Biggin et al., 2015]。また熱史研究から過去 10 億年かけて内核が現在の大きさまで成長してきたと議論されている [e.g., O'Rourke & Stevenson, 2016]。地球ダイナモは熱または組成勾配による浮力を受けた外核中の磁気流体の対流によって起きると考えられている。内核半径 r_i に対する外核半径 r_o の比 r_i/r_o は現在 0.35 であり、この設定での磁気流体対流の特徴はこれまで詳細に調べられている。一方、過去地球環境に対応する半径比 $r_i/r_o < 0.35$ のシミュレーションはあまり例がなく、理解が十分進んでいない。過去の地球の状態を探るため、 $r_i/r_o < 0.35$ におけるダイナモ過程を調べることは重要である。本研究では数値ダイナモコード Calypso [Matsui et al., 2014] を使用して、現在の内核より小さいサイズの内核設定で熱対流とダイナモに関する一連の数値実験を行なった。ダイナモ過程の対流の特徴を調べるため、本研究ではレイリー数依存性に着目した。レイリー数 Ra は浮力に関係するパラメータであり、対流の駆動力である。 Ra のみ変数として扱い、他のパラメータのエクマン数 E 、プラントル数 Pr 、磁気プラントル数 Pm はそれぞれ $E=10^{-3}$, $Pr=1$, $Pm=5$ と固定した。

ダイナモシミュレーションにおいて、ダイナモ作用の onset 付近の Ra の性質は様々な半径比において明らかになっている [Heimpel et al., 2005]。特に現在の半径比 $r_i/r_o=0.35$ におけるダイナモ作用の傾向はかなり詳細に調べられている [Christensen and Aubert, 2006]。しかし、現在より小さい半径比における Ra に関するダイナモの振る舞いは十分に理解されていない。そこで本研究では半径比が $r_i/r_o=0.15, 0.25, 0.35$ の場合に $1.9 Ra_{crit} < Ra < 9.7 Ra_{crit}$ の範囲でダイナモシミュレーションを行い、内核が小さい場合の傾向について定量的に評価した。ここで、 Ra_{crit} とは臨界レイリー数のことである。 $r_i/r_o=0.25$ の結果より、ダイナモ作用の onset より少し大きい Ra で dipole が卓越するダイナモが維持され、それよりも大きな Ra で dipole より高次の non-dipole のダイナモが維持され、 $Ra > 8.1 Ra_{crit}$ においてダイナモは維持されない、ということがわかった。流体の磁気エネルギーはダイナモの onset で最大となり、 Ra が大きくなるにつれて減少していくことが明らかとなった。このことは、今回の設定では対流が激しい場合にダイナモが維持されやすいわけではないことを示唆する。今回見られた傾向は半径比が $r_i/r_o=0.15$ の場合にも当てはまると予想される。また、同じレイリー数 $Ra/Ra_{crit}(=3.6)$ の場合の比較から、磁気双極子モーメントは内核サイズが小さい方が小さい値になることがわかった。このことは、dipole が支配的になるダイナモになりやすい対流は内核が小さい場合に起きにくいことを表している。さらに本研究では、dipole が支配的になる Ra の範囲が、内核が小さいほど狭くなることを見出した。この結果は過去の地球において取りうる Ra が非常に選択的であることを示唆する。さらに、シミュレーション結果を現実の物理量で解釈するため、コア-マントル境界と内核境界における平均温度の差 ΔT を算出した。 $r_i/r_o=0.25$ における ΔT は $r_i/r_o=0.35$ のときより大きくなった。これより、dipole が支配的な

ダイナモを維持するのに必要な浮力は内核が小さいほど大きくなると結論された。