

M10c α^2 ダイナモのスケーリング則が示唆する磁場の飽和の物理

政田洋平 (神戸大学), 佐野孝好 (大阪大学)

既存の太陽ダイナモモデルは、激しい対流そのものが磁場形成を担うと考える distributed dynamo (Brandenburg 2005) と、対流層ではなく静穏な tachocline 層で磁場が形成されると考える tachocline dynamo (e.g., Charbonneau 2005) の 2 種類に大別される。我々が注目する α^2 型のダイナモ機構は、回転成層対流の持つ実効的ヘリシティが大局的磁場形成の種になっており、前者に分類される。

我々はこれまで太陽内部を 2 層ポルトロープで定性的に模擬したシミュレーションで、回転成層対流とその中で励起される α^2 型のダイナモ機構を詳しく調べてきた (Masada & Sano 2014 a,b)。2014 年の秋季年会では、対流ダイナモの系統的なパラメータサーベイを行い、大局的磁場の極性反転周期 (τ_{cyc}) が (a) 上部冷却層の磁気拡散時間 ($\tau_{\text{diff}} \equiv 10d_{\text{conv}}d_{\text{top}}/\eta_0$) と (b) Alfvén 横断時間 ($\tau_{\text{Alf}} \equiv d_{\text{top}}/v_{\text{Alf}}$) に比例することを明らかにした (ここで d_{conv} は対流層の厚み、 d_{top} は冷却層の厚み、 v_{Alf} は飽和磁場のアルフベン速度である)。

今回はスケーリング則が示唆する大局的磁場の飽和の物理について考察する。スケーリング則から $\tau_{\text{cyc}} \simeq \tau_{\text{diff}} \simeq 10^3 \tau_{\text{Alf}}$ が成り立つことがわかる。 τ_{diff} と τ_{Alf} の関係から、 $d_{\text{conv}}/\eta_0 = 10^2/v_{\text{Alf}}$ (式 1) が得られる。一方、エネルギースペクトルより、典型的なエネルギー注入と散逸の波数の間には $k_{\text{diss}}/k_{\text{inject}} \simeq 10$ の関係が成り立つので、これを用いて式 (1) を $\eta_0 k_{\text{diss}}^2 = v_{\text{Alf}} k_{\text{inject}}$ と書き換える事ができる (ここで $k_{\text{diss}} \propto 1/\Delta x \propto N$, $k_{\text{inject}} \propto d_{\text{conv}}$, Δx は計算グリッド幅、 N は空間分割数である)。これは磁気エネルギーの生成と散逸のバランスを表す式であり、飽和磁場強度が計算グリッドサイズの磁気拡散に依存し、解像度 N に比例して増加することを示唆する。ポスターではスケーリング則についてまとめるとともに、星の内部で期待される物理的な飽和についても議論する。