

降着円盤内の磁気乱流過程理解のための大局的数値実験

鈴木 建 (名古屋大学)

利用カテゴリ XT4A

高密度星や原始星の周囲には、降着円盤が形成されることが知られている。降着円盤内では、角運動量が外側に輸送されることにより、ガスが(動力学時間に比較して)ゆっくりと中心へと降着していくと考えられている。この角運動量の輸送には、差動回転に起因する磁気回転不安定性などの様々な不安定性により励起された、磁気流体乱流が重要な役割を果たしている。磁気流体乱流過程では非線形性が本質的な役割を果たすため、数値実験が非常に強力な手法となる。本研究では、このような降着円盤における、磁気流体乱流の物理機構の理解を目指し、大局的な数値実験を行なっている。座標系には極座標系を使用し、 $(r, \theta, \phi) = (1 - 20, \pm 0.5, 0 - 2\pi)$ (低解像度用) もしくは $(1 - 20, \pm 0.5, 0 - \pi)$ (高解像度用) の計算領域内に、初期に中心星の重力と釣り合う力学平衡状態にある降着円盤を設定する。弱い縦(円盤に垂直方向)磁場を置き、差動回転円盤の時間進化を数値実験する。降着円盤内の磁気流体乱流の研究は、これまで円盤の一部分を取り出した局所円盤系では、申請者も含めこれまで数多くの仕事が行われているが、本研究で扱うような磁気乱流を解像するような大局円盤の計算は、計算の困難さもあり、あまり数多くはなされていない。本研究においても、乱流発展を見るために長計算時間が必要であること、および、3次元数値データ解析の困難さという2つの要素があり、2011年度は論文を執筆することができず心苦しく感じている。しかしながら、安定に長時間の計算が走っており、順調に数値データも取得できているので、2012年度のうちに、結果報告のための論文を執筆する所存である。これまでに得られている、主な結果を以下に列記する。

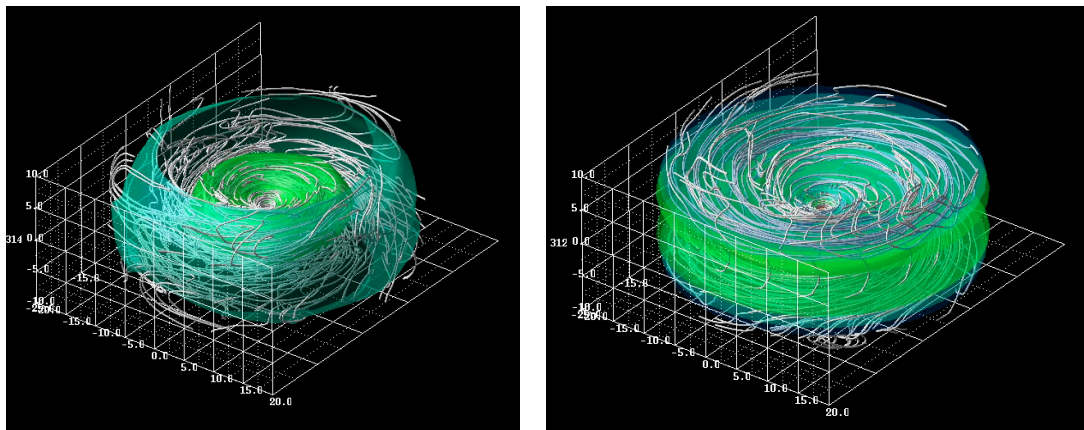


図 1: 数値実験のスナップショット。色が密度、白線が磁力線を表す。左図が温度分布が一様の場合の結果であり、右図が温度分布が $1/r$ に比例する場合である。温度分布が一様の場合には円盤に垂直方向には差動回転していないが、温度分布が一様で無い場合は円盤に垂直方向に差動回転している場合が平衡状態となる。このため、左図では乱流的な磁場が卓越しているのに対し、右図ではより大局的な磁場が見受けられる。

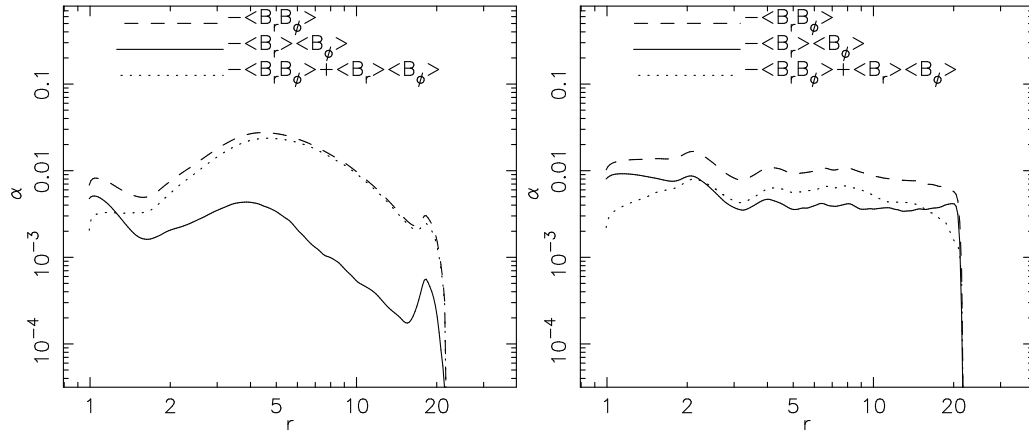


図 2: 角運動量輸送率の時間平均値。左図、右図は図 1 と同じものである。破線が全角運動量輸送率であり、実線がそのうちの大局的な磁場成分によるもの (磁気制動)、点線が乱流成分によるものである。左図 (円盤に鉛直方向に差動回転が無い場合) では磁気乱流が支配的な役割を果たしているのに対し、右図では磁気制動も同程度重要になることが分かる。

1. 角運動量の輸送には、局所円盤計算で精力的に調べられてきた磁気乱流過程だけでなく、大局的な磁場による磁気制動機構も効果的であることが判明した。特に、円盤の温度分布が一様でない場合は一般に円盤に垂直方向に差動回転することになるが、このような場合、磁気制動が磁気乱流機構と同程度角運動量輸送に寄与することが判明した。
2. 質量降着速度は、赤道面付近に比較して、円盤表面付近の方がかなり大きくなるという結果が得られた。この理由は、表面付近の方がガス圧に対する磁気圧の比が大きくなり、特に磁気制動による外側の角運動量輸送が効果的になるため、質量の内側への降着速度も大きくなるのが、主なものである。このような層状の降着によっても円盤に垂直方向の差動回転運動が励起され、大局磁場の生成機構の 1 つとなっていることが判明した。
3. 局所円盤の数値実験では、回転角方向磁場の反転がしばしば見られるが、上記 1,2 の大局磁場の影響により、磁場の反転が若干弱まるという結果が得られた。
4. 全周計算 (ϕ 方向に $0 - 2\pi$) を行った場合は、 $m = 1$ (1 本腕) の渦状腕の励起が見られている。外側の境界条件の影響を注意深く考察し、実際に物理的な不安定性が関係しているのか今後精査が必要である。