

降着円盤における磁気不安定性と磁氣的活動性

Magnetic instabilities and magnetic activities in accretion disks

松元 亮治[1]

Ryoji Matsumoto[1]

[1] 千葉大・理・物理

[1] Dept. Physics, Fac. Sci., Chiba Univ.

<http://www.c.chiba-u.ac.jp/~matumoto>

降着円盤の大局的な3次元磁気流体数値実験を行った。方位角方向の弱い初期磁場がある場合、磁気回転不安定性の成長によって円盤部の磁気エネルギーが指数関数的に増大し、磁気圧がガス圧の10%程度の準定常状態に至る。円盤内部では磁気乱流が発達し、角運動量が効率的に輸送される。円盤が光学的に薄い場合、磁気リコネクションによってX線強度が1/fノイズ的に変化する。磁気圧がガス圧程度の場合、パーカー不安定性により磁束が流出し、磁気ループが形成される。中心天体と降着円盤を結ぶ磁気ループが円盤の回転によって捻られて大規模なフレアが発生することも明らかになった。

重力中心のまわりを回転するガス円盤（降着円盤）は中心天体に降着する物質の重力エネルギーを解放することにより、X線放射、ジェット生成等、種々の活動的現象の起源になっていると考えられている。これらの活動性に、磁場が重要な役割を果たしていることが明らかになってきた。本講演では降着円盤における磁氣的不安定性の非線形時間発展と磁気乱流の生成、磁場増幅と維持（ダイナモ）、磁気エネルギーの解放とジェット形成等について、3次元磁気流体数値実験の結果を交えてレビューする。

標準的な降着円盤理論では角運動量輸送について現象論的なパラメータアルファを導入して理論が構築されていた。アルファの値は0.01から0.1程度と見積られている。しかし、流体乱流によって上記のような角運動量輸送率を得ることは困難であることが明らかになってきた。これにかわって有望になってきたのが磁気不安定性による磁気乱流の生成機構である。Balbus and Hawley(1991)は、磁場に貫かれたシア回転（差動回転）円盤において回転のタイムスケールで成長する磁気不安定性（磁気回転不安定性）が存在することを指摘した。この不安定性は回転軸方向の磁場に貫かれたシア回転する円筒プラズマの安定性に関してVelikhov(1959)によって発見されていたが、降着円盤における重要性は見落とされていた。

磁気回転不安定性の非線形時間発展が、円盤の一部を取り出した3次元磁気流体（MHD）数値実験によって調べられ（Hawley et al. 1995; Matsumoto and Tajima 1995; Brandenburg et al. 1995）、初期磁場が弱い場合、磁気回転不安定性の成長とともに磁場が増幅されること、円盤内部で磁気乱流が発達し、アルファ \sim 0.01程度の角運動量輸送率が得られることが明らかになった。しかしながら、局所的なシミュレーションには計算結果が計算領域のサイズに依存する等の問題点があった。そこで、我々は回転平衡状態にあるトーラスを初期条件とし、計算領域にトーラス全体を含めた大局的な3次元磁気流体数値実験を実施した(Matsumoto 1999)。角運動量一定のトーラスを初期条件としたシミュレーションの結果、初期磁場が弱く、方位角方向を向いている場合、磁気エネルギーが指数関数的に増大した後、ガス圧と磁気圧の比 \sim 10の準定常状態に至ること、磁気乱流が発達しアルファ=0.01-0.1の角運動量輸送率が得られることが確認された。効率的な角運動量輸送により、トーラス物質は円盤状に中心

天体に降着する。角運動量分布はケプラー回転に近づく。また、円盤内部に局所的に磁気圧優勢な領域がフィラメント状に形成されることも明らかになった。磁気圧優勢領域で磁気リコネクション等により磁気エネルギーが解放されるとX線強度が激しく変動することが期待される。シミュレーション結果をもとにX線強度の時間変動のパワースペクトルを求めてみたところ、ブラックホール候補天体で観測されている $1/f$ ノイズ的な時間変動が再現された (Kawaguchi et al. 2000)。

初期の方位角磁場が強く磁気圧がガス圧程度の場合、磁気浮力によって駆動される磁気不安定性 (パーカー不安定性) により、磁束がトラス内部から流出する。シミュレーションの結果、磁束流出によってトラス内部は磁気圧がガス圧の10%程度の準定常状態に至ることが明らかになった。トラス内部から流出した磁束は円盤表面に太陽コロナに類似した磁気ループ構造を作る (Machida et al. 2000)。これらの磁気ループは円盤の差動回転によって捻られ、太陽フレアに類似した活動性を示すであろう。中心天体と降着円盤が磁力線によって結ばれている場合には、より大規模なフレアが期待される。我々は、中心星の双極磁場と降着円盤の相互作用の数値実験を実施し、円盤からの磁気捻れの注入により中心星と円盤を結ぶ磁気ループが膨張し、その内部に形成される電流シートで磁気リコネクションが発生してプラズマが加熱、加速されることを明らかにした。この機構により原始星で観測されているX線フレアと光学ジェットを説明することができる (Hayashi et al. 1996)。