

降着円盤における磁気回転不安定性の成長性に関する研究

Study on growth potential of magneto-rotational instability at an accretion discs

小岩 良 [1]; 飯島 雅英 [2]; 小野 高幸 [3]
Ryo Koiwa[1]; Masahide Iizima[2]; Takayuki Ono[3]

[1] 東北大・理・地物; [2] 東北大・理・地物; [3] 東北大・理

[1] Department of Geophysics, Tohoku Univ; [2] Geophysical Inst., Tohoku Univ.; [3] Department of Astronomy and Geophysics, Tohoku Univ.

<http://stpp1.ppp.geophys.tohoku.ac.jp/>

原始星や近接連星系、活動銀河中心核の周囲で観測される降着円盤はガスやダストで構成されている。それらの物質は重力エネルギーを開放し、同時に角運動量を円盤の内側から外側へ輸送することで中心天体へと落ち込んでゆくと考えられているが、これがどういった機構によるものなのかははっきりとしていなかった。

この問題に1つの解を与えたのが磁気乱流による角運動量輸送であり、盛んにこの磁気回転不安定性と物質の降着が議論されるようになった。最初に大きな降着円盤中の粘性の起源として磁気応力の重要性を示唆したのはLynden-Bell(1969)である。その後Balbus and Hawley(1991)によって弱磁化した円盤中で大きな成長率を見せるMHD不安定性(磁気回転不安定性)が再発見された。この不安定性はその物理機構としてはVelikhov(1959)やChandrasekhar(1961)によって発見されていたものであるが、この機構が降着円盤において有効であることをBalbus and Hawley(1991)が初めて指摘したものである。その後、この不安定性によって作られた乱流は、ブラックホール周辺の降着円盤において特定の物理条件下では十分な量の角運動量を輸送し得ることが三次元シミュレーションにより確かめられた(Stone et al., 1996)。しかし一方で原始星については形成される降着円盤の電離度が低いことから磁気回転不安定性による乱流形成に疑問が投げかけられている(西村,2006)。

原始惑星系円盤において、観測的には一番の乱流状態であるはずのクラスでは、ダストの存在がこの不安定性を妨げていることがSano et al.(2000)によって示され、ダストが赤道面に沈殿したクラスにならないと有効には働かないのではないかという反論がなされた。ダストが質量の多くを担うため、ダストを含めた原始星円盤に角運動量が輸送されない限り、現在の太陽系に見られる角運動量分布の謎を解くことはできない。また、活動銀河中心核や近接連星系の降着円盤は完全電離プラズマとして取り扱われてきたが、高エネルギー状態のプラズマにみられる異常抵抗は考慮されていない。

以上のことを背景とし、本研究では磁気回転不安定性について、その基本的プロセスから改めて再吟味し、完全電離プラズマを基本としつつ磁気拡散(クーロン衝突と異常抵抗によるもの)、粘性を考慮した方程式系を用いてその妥当性を検討した。またこれまでではディスクを垂直に磁場が貫き、その磁場に平行に伝播するモードの不安定性のみが論じられてきたが、この点についても角度依存性について検討を行った。

その結果、磁場と波数ベクトルは降着円盤に対して共に垂直であるとき、最も不安定性の成長率が高いことが判明した。これは降着円盤の半径方向に擾乱が成長してゆくアルフベン波の特性を反映したものである。完全電離プラズマの抵抗と粘性の影響を、磁気レイノルズ数とレイノルズ数をもちいて評価した。抵抗が卓越してくると線形成長率のピークが小さくなり、正の線形成長率を持つ波数領域も小さくなる。粘性が卓越した状態でも同様に線形成長率のピークが落ち込んできた。しかし抵抗の場合と異なるのは、正の線形成長率をもつ波数領域は余り変化しないことである。なお、磁気回転不安定性の線形解析において、得られた分散関係から今回の解析結果に共通して言えるのは、磁場の強度はある適切な範囲内でなければならず、密度にも同様のことがいえる。異常抵抗について検討した結果、その影響は、クーロン衝突による抵抗を大きく上回ることが示された。降着円盤においてマイクロな不安定性に基づく異常抵抗は、励起されるプラズマ波動、特に静電的プラズマ波動の強度や波長に大きく依存するが、この異常抵抗の影響は無視しえない影響を与えることが示された。

以上のことから多様な物質環境の下に存在する降着円盤の活動性を支える角運動量輸送の問題を解決するためには、磁気回転不安定性のみではなく他のMHD的な不安定性(パーカー不安定性)や1流体のMHDでは記述されない効果(ホール効果など)、円盤の不均一に起因する不安定性(ドリフト不安定性など)、さらにはプラズマの運動論的不安定性を吟味する必要があると思われる。