

学位論文題名

Collapse of Magnetized Rotating
Molecular Cloud Cores

(回転している星間分子雲コアの重力崩壊過程における磁場の影響)

学位論文内容の要旨

星間分子雲の中で、どのような質量の星がどれくらい形成されるのかは非常に興味深い問題である。この問題は星形成過程と深く関連していると考えられている。

星は星間分子雲の密度の高いコアにおいて形成されていることが最近の赤外線観測から明らかにされている。このことから、高密度の分子雲コアが自己重力によって収縮し、星形成がおこると考えられている。しかし、その重力収縮過程は単純ではない。その理由は、重力収縮を妨げる磁場と回転が見つかっているからである。Zeeman splitting や 偏光の観測によって分子雲には磁場が存在することが示されている。また、近年になって回転している原始惑星系ガス円盤が発見され、この円盤のペアレント分子雲も回転していると期待されている。従って、星形成過程を明らかにするためには回転と磁場のある分子雲コアの自己重力収縮過程を明らかとすることが必要である。

これまで、分子雲の回転のみを考慮した自己重力収縮過程、あるいは磁場のみを考慮した自己重力収縮過程について主に研究されてきた。磁場と回転の両方を考慮した自己重力収縮過程の研究は少なく、これまで十分には行われていなかった。回転のある分子雲の自己重力収縮過程の研究からは自己重力収縮によって disk が形成され、いくつかの高密度な clump に fragment する条件が明らかにされている (例えば、Miyama et al. 1984)。また、磁場のある分子雲の自己重力収縮過程の研究からは磁場のある分子雲は磁場に沿った向きに収縮して disk 状となり、この disk が分裂する条件が示されている (Nakano and Nakamura 1978)。回転と磁場の両者を考慮した分子雲収縮過程の研究としては Dorfi (1982) が 3 次元の数値シミュレーションを行い、自己重力収縮によって disk 状になることを示している。しかし、形成された disk が fragment するかどうかについては明らかにできなかった。これは彼の計算がこの disk をレゾルブできるほどの空間精度を持っていなかったためである。さらに彼の計算では磁束の保存が破れていたり、角運動量の人工的な輸送が起きているなどの問題点もあった。

そこで、我々は磁場と回転の両者を考慮した分子雲の自己重力収縮過程を高い精度の数値電磁流体 (MHD) シミュレーションによって調べることにした。空間精

度を高めるために軸対称性を仮定した。座標系は円筒座標系を用いた。初期の分子雲は、一様な密度・温度の球状で、剛体回転しているとした。この分子雲の周囲には分子雲と圧力が等しい希薄なガスをおき、初期に静止しているとした。磁場は初期には一様で分子雲の回転軸方向を向いているとした。このような初期条件のもとで流体については一種の Lagrange 法である軸対称 SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) コード、磁場についてはメッシュ法である 2 次精度の風上差分法で、自己重力については SLOR (Successive Line Over relaxation) 法を用いた。これらは、いずれもスーパーコンピュータにおける高ベクトル計算用に独自に開発したものである。

回転と磁場をもつ cloud の場合 ($\alpha = 0.6$, $\beta = 0.3$, $\gamma = 0.3$) について計算した。比較のために回転しているが磁場のない cloud の場合 ($\alpha = 0.6$, $\beta = 0.3$, $\gamma = 0.0$) についても計算した。後者のパラメータでは cloud は fragment せずに、重力崩壊が起こることが Miyama ら (1984) によって示されている。ここで、 α 、 β 、 γ はそれぞれ、熱エネルギー、回転エネルギー、磁場のエネルギーを重力エネルギーで無次元化した model パラメーターである。

磁場のない回転 cloud の場合の計算結果は、中心に disk が形成され中心密度が時間とともに増大することが明らかとなった。これは、Miyama ら (1984) の結果とよい一致を示している。また、この一致から、我々のコードは角運動量の保存が非常によく成り立っていることも明らかとなった。

つぎに、回転と磁場の両方をもつ cloud の場合には、磁場によって角運動量が効果的に輸送され、ガスが中心部に集中する様子が明らかとなった。このガス集中の結果、磁場のない回転 cloud の場合と比較して、より高密度で扁平な disk が cloud の中心部に形成された。この disk の fragment 不安定性を評価してみると fragment が起こる条件を満たしていることが明らかとなった。つまり、磁場がない場合 fragment せずに重力崩壊する cloud が磁場が存在することによって角運動量が輸送され fragment が起こりうる disk が形成されることが明らかになった。

以上の結果、磁場と回転をもつ cloud は磁場をもたない回転 cloud よりも高密度で薄い disk が中心部に形成されることが明らかとなった。この disk は fragment の条件を満たしていることを示した。このことは、このような磁場と回転をもつ cloud が自己重力収縮する場合、cloud 中心に disk が形成されそれが fragment して、より質量の小さな分子雲コアへ分裂することを意味している。以上の結果は、磁場と回転をもつ cloud では形成される星の質量が磁場のない時に比べて非常に減少することを示唆している。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 石 川 健 三
副 査 助 教 授 羽 部 朝 男
副 査 助 教 授 兼 古 昇

学 位 論 文 題 名

Collapse of Magnetized Rotating Molecular Cloud Cores

(回転している星間分子雲コアの重力崩壊過程における磁場の影響)

近年、星形成に関する研究が盛んに行われている。星形成は分子雲において主に起こっていることが分かってきた。星形成にいたる基本的な物理過程の一つとして星間分子雲の密度の高い領域の自己重力収縮過程がある。星の質量は、星形成過程で起こる分子雲の自己重力収縮過程によって決定されると期待されるため、この過程の研究が盛んである。最近の観測によって、分子雲は一般に回転しており又磁場も持っていることが明らかになってきた。しかしながら、従来の分子雲の自己重力収縮過程の研究の多くは、分子雲の回転のみ、あるいは磁場の効果のみを考慮しており、これら二つを同時に考慮した研究は、十分なされていなかった。その理由は、分子雲の収縮過程で密度や回転速度分布などが大きく変化するさい、磁場がこれらの物理量の変化に大きく影響し、その物理過程を複雑にすることにあった。

本研究は、このような現況にある分子雲の自己重力収縮過程に関して、分子雲の回転と磁場の両方を考慮して、分子雲の自己重力収縮過程における磁場による角運動量輸送過程に注目して行われた。この研究のため、著者は精度が高く角運動量輸送についても正確に取り扱える数値電磁流体力学計算コードを新しく開発した。本研究で用いたこの数値電磁流体計算コードは、スーパーコンピュータで効率よく計算が可能であるよう工夫されている。このことによって高精度の計算を高速で行うことを可能とし、それによって従来明らかではなかった分子雲の自己重力収縮過程における磁場による角運動量輸送過程の特徴が明らかになった。それをまとめると、

1) 分子雲が回転しながら収縮するにつれて磁場をねじり上げ、分子雲の角運動量は磁場のテンションによって周りのガスに輸送される。

2) 角運動量が輸送された結果、分子雲は、角運動量が輸送されない場合と比較して、より高密度状態へ収縮し分子雲の中心に密度が高く薄いガス円盤が形成される。

3) 形成された高密度円盤の自己重力不安定性を検討すると、この円盤は分裂しながら収縮する条件にあることが明らかになった。

以上から、分子雲の磁場のエネルギーが分子雲の自己重力エネルギーと同程度であれば角運動量を効率よく輸送することが出来、その結果、単調に自己重力収縮するはずの分子雲が分裂可能な分子雲へと進化することが明らかになった。このように、分裂可能な分子雲へと進化することは、磁場による角運動量輸送の影響によって分子雲がより小質量星の形成を可能とする状態へ進化することを示唆する。また、この結果は、かなりの星は連星系として形成されると言う観測事実を説明する可能性をあたえている。

これを要するに、著者は宇宙物理学における星形成の基本過程である、角運動量を持つ星間分子雲の自己重力収縮過程における角運動量輸送過程に関する磁場の影響について新しい知見を得たものであり、宇宙物理学における星形成の研究に対して貢献するところだいなるものがある。

よって審査員一同は、著者が北海道大学博士（理学）の学位を授与される資格あるものと認める。