

輻射磁気流体シミュレーションによる星周円盤進化および

ガス惑星形成過程の研究

塚本裕介(名古屋大学)

利用カテゴリ XT4B

本年度は研究計画に基づき

- 1,乱流場のある分子雲コア内での原始星および円盤の形成進化の研究
- 2,輻射流体力学を用いた円盤分裂によって形成したガス片(クランプ)の軌道および熱進化の研究
- 3,smoothed particle magnetohydrodynamics(SPMHD)コードの開発及び、オーム散逸のSPMHD向けの定式化と実装に関する研究を行った。以下で個々の研究成果について述べる。

成果1:乱流場のある分子雲コア内での原始星、円盤進化

原始星および円盤は分子雲コアの重力崩壊によって形成すると考えられている。したがって初期に分子雲コア内のガスがどのような速度構造を持っているかは形成、進化過程を考えるうえで本質的である。

今までの研究では多くの場合分子雲コアは剛体回転しているという仮定のもと研究がおこなわれてきた。しかしながらBurkert & Bodenheimer 2000などが指摘しているように分子雲コア内の速度場は乱流的であるということが指摘されていた。乱流場と剛体回転速度場では角運動量分布も大きく異なるため乱流場中での原始星、円盤進化がどのようなになるかを調べることは本質的である。

そこで我々は乱流場を持つような分子雲コア内の原始星進化、円盤進化を三次元流体シミュレーションで調べた。その結果(1)乱流のよどみ点周囲で重力不安定が速く進むため、剛体回転しているときのように高速回転したファーストコアは形成しないこと、(2)円盤は形成初期には小さく、原始星形成後に周囲のフィラメント構造からの質量降着によって形成すること、(3)円盤面は分子雲コアの力学的時間程度で動的に進化すること、を見出した。この結果は MNRAS誌に掲載された。(業績1)

成果2:輻射流体力学を用いた円盤分裂によって形成したガス片(クランプ)の軌道および熱進化の研究

十分に重い星周円盤が重力不安定によって分裂し、10木星質量程度のクランプが形成する過程は遠方惑星や褐色矮星、連星形成過程として注目を集めている。先行研究から円盤分裂によって形成したクランプの初期質量や中心星からの距離は初期円盤のモデルに大きく依存することが示されており、現実的な円盤の形成進化モデルに基づく円盤分裂の研究が望まれていた。また、いままでの研究ではクランプが形成後どのような軌道、熱進化をするかも明らかではなかった。

そこで、我々は分子雲コアを初期条件とする三次元輻射流体力学シミュレーションによって円盤の形成進化過程とその分裂、そしてクランプの軌道および熱進化 を一つのシミュレーションで首尾一貫して調べた。その結果、(1)円盤分裂は原始星形成以後数千年程度の時期に起きること、(2)クランプは数千年程度 で原始星(あるいは原始惑星)に進化すること、(3)クランプは数軌道周期で中心星に落下すること、が明らかになった。この結果は日本天文学会で発表され るとともに(業績2)、現在論文を執筆中である。

成果3:磁気流体シミュレーションコードの開発とオーム散逸のSPMHD向け定式化と実装

原始星や円盤の形成進化過程ではコア内の磁場が一般に無視できない。例えば磁場による角運動量輸送は円盤の進化に大きな影響があると考えられており、円盤 分裂を考える場合にも無視できない影響を与えると考えられている。さらに円盤などの高密度領域ではオーム散逸が効き始めることがわかっており、非理想 MHDシミュレーションが必要になる。

そこで我々はIwasaki & Inutsuka2011に基づくSPMHDコードの開発と並列化を行い、さらにオーム散逸のSPMHD向けの定式と実装を行った。現在大規模シミュレーションのための並列化も終了しており、三次元の重力崩壊のテスト計算では先行研究の格子シミュレーションの結果と整合的なアウトフローの生成が確認された(図1)。また、オーム抵抗の定式化は世界初であるため、これに関する論文を執筆し現在共同研究者に回覧中である。