

連星系周りのガス円盤の長時間進化

国立天文台 今枝 佑輔
京大理 犬塚 修一郎

イントロダクション

連星形成時、連星系周りには Circumbinary Disk とよばれるガス円盤が存在することが知られている。連星とガス円盤が長時間にわたって潮汐相互作用する結果、ガス円盤にどのような密度速度構造が形成されるか調べた。特に、多くの連星が楕円軌道をまわっていることが知られているので、連星の軌道離心率の効果について調べた。

数値計算結果

初期に連星軌道の4倍程度より外側に等密度構造の Circumbinary Disk を置き、連星との重力相互作用による進化を改良SPH法を使って計算する。典型的なマッハ数は20。円盤運動の初期条件はケプラー円軌道。その結果、軌道離心率がある場合には主星の近点方向から計って270度方向に定常的な密度ピークが形成されることがわかった。(図1)

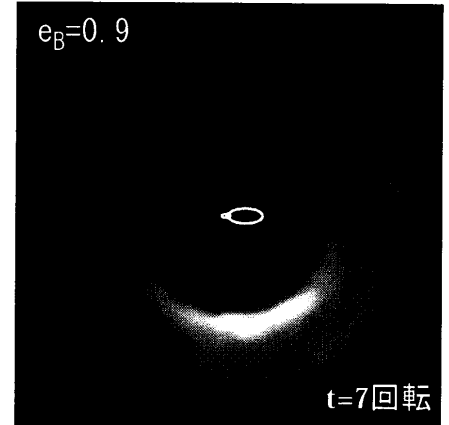


図 1

解析的解釈

連星に軌道離心率があると、時間的に定常な $m=1$ の非軸対称ポテンシャル成分が摂動重力として存在する。この $m=1$ の摂動重力がガス円盤の軌道離心率を上げ下げする。一方、連星重力の一成分として含まれる $m=0$ の摂動重力は楕円軌道の近点方向を precession させる。この結果、ガス円盤の長時間軌道進化は図2のようになる。

数値計算は初期に円盤のすべての部分が円運動をしているところからはじめた。従って、 $m=1$ の摂動重力によって軌道が楕円に移行すると、近点方向が90度方向に現れることがわかる。円盤の内側ほど早く軌道が変形する結果、ガス運動の近点側(90度方向)では動径方向に膨張が、逆に遠点側にあたる270度方向では動径方向に圧縮が生じる。これが $m=1$ の密度構造を作る。

この解析的解釈を使うと、数値計算の範囲で一見定常的に見える $m=1$ の円盤密度構造は、実はより長時間のタイムスケールで precession していくことが期待される。つまり数値計算の結果は長時間進化の最初の一瞬を捕らえていると解釈される。

以上の議論では初期状態によって円盤構造が決定されることになる。しかしガス円盤の粘性の効果を考えて最終的な定常状態について議論ができる。粘性の効果として α 粘性を考えると円盤の軌道離心率の時間変動が抑えられる。その結果、粘性進化のタイムスケールでガス運動の近点方向が伴星の近点方向に近い位置に揃う(図3)。これは、特に近接連星系において Circumbinary Disk の内縁が伴星の近点方向と揃った軌道をとることを示して

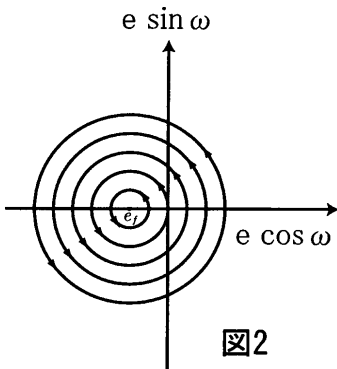


図2

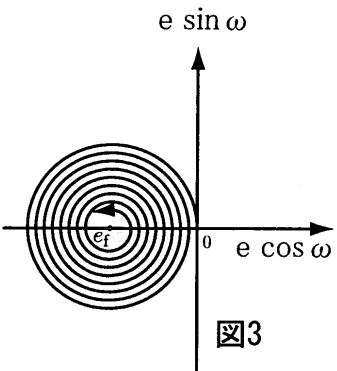


図3

まとめ

楕円軌道を通る連星は、その重力ポテンシャルとして時間変動しない $m=1$ と $m=0$ の成分を持つ。この結果、ガス円盤の運動は precession のタイムスケールで楕円軌道化し、かつ precession する。このため、円盤には $m=1$ の密度構造が現れ、これもまた precession する。円盤粘性の効果を考えて、この軌道離心率の変動の振幅は粘性進化のタイムスケールで小さくなり、最終的に Circumbinary Disk の運動は近点方向が伴星の近点方向に揃った楕円運動となることが期待される。

参考文献

Imaeda and Inutsuka Proceedings of the 33rd Symposium on Celestial Mechanics, 2001, 91
Imaeda, Inutsuka, and Kokubo 2003, Submitted to ApJ.