

中心星の進化と太陽系外短周期惑星の軌道安定性

Survival of extrasolar short-period planets during stellar contractions

長沢 真樹子[1]; Lin Douglas[1]

Makiko Nagasawa[1]; Douglas Lin[1]

[1] UCO/Lick

[1] UCO/Lick

太陽系外では、百を越える惑星が発見され、太陽のような星の一割程度が惑星をともなっていることが観測的にわかってきている。しかし、惑星の検出に、主にドップラーシフトの技法が用いられていることもあって、その軌道や大きさは太陽系の惑星のものとかかなり異なっている。これら太陽系外の惑星の形成方法や軌道の起源についてはまだ謎が多い。その中の一つに、中心星のごく近傍を回っている木星型惑星の問題がある。これらの惑星は、外側で形成されたものが、原始惑星系円盤との相互作用などによって、中心星近くに移動してきたものだと考えられている。しかし、その停止のメカニズムは今のところはっきりしてはいない。ただ、中心星方向に移動してくる惑星が、何らかのメカニズムによってこれらの位置に停止しうるものとする、理論的に予想される短周期惑星は、現在の10倍程度の頻度で発見されなければならない。短周期惑星が少ない原因として考えられるのは、1)ほとんどの惑星は停止できずに中心星に落下する。あるいは2)短周期惑星が停止した後にこれが排除される仕組みがある。などの可能性である。

我々は、後者の可能性を検証するために、中心星近傍の短周期惑星の星の進化や円盤散逸に対する安定性を数値計算によって研究した。周期が6日以内の短周期惑星の特徴の一つとして、その軌道がほぼ円軌道であることが挙げられる。これは、中心星との潮汐的な相互作用によるものである(Rasio et al. 1996)。ただし、あまりに離心率が大きくなると、この潮汐相互作用によるエネルギー散逸の過程で、膨張と質量放出が引き起こされ、惑星はそこに存在できなくなってしまう(Gu et al. 2003)。我々は、この効果に着目した。惑星は、前主系列星のほとんどが伴っている原始惑星系円盤内で形成される。そのため、星が主系列に向かうときの自転速度の変化や原始惑星系円盤の散逸などの背景のポテンシャル変化によって、短周期惑星の軌道は形成後も変化する。自転によって星が扁平して生み出すポテンシャルは、現在の太陽の回転速度程度ではあまり問題とならないが、主系列以前の時代には、星は速い回転を持っており(Stassun et al. 1999)、その半径の大きいこともあって、短周期の惑星の運動に大きな影響を及ぼす。そこで、この回転速度をパラメーターとして計算を行った。水星の近日点の移動にみられる相対論的な効果、中心星との潮汐的な散逸の効果も計算に含めた。原始惑星系円盤は一番外側の惑星の軌道より外側に残っているものが一様に散逸するものと仮定した。また、アンドロメダ座ウブシロン星の惑星系のように、集積によって作られる惑星は複数あるだろうという考えから、短周期惑星の外側にも惑星があると仮定し、その惑星の重力も含めた。

我々の計算は、複数惑星系にある短周期惑星は中心星の進化や原始惑星系円盤の散逸などの背景のポテンシャルの変化に対してあまり強くないという結果を示した。原始惑星系円盤のポテンシャルの摂動の影響は外側の惑星に強く、相対論的な効果や中心星の自転による摂動の効果は内側の惑星に強い。中心星の回転が遅い場合、円盤の効果のほうが顕著である。円盤が次第に散逸していくと、その影響が弱まり、両者が釣り合う段階が訪れる。ここにおいて、二つの惑星が互いに共鳴して、エネルギー交換が起きる。外側の惑星の質量や離心率が大きいと、潮汐相互作用の影響で円軌道に近かった内側の惑星の軌道は、容易に大きな離心率を持ったものとなり、その後の円軌道化の過程で質量放出を起こすことになる。惑星質量が同程度の場合、円盤散逸と、中心星の半径、回転速度の変化の時間スケールの兼ね合いが問題となる。この場合、その後のスピンドアウンの過程における共鳴によって失われる可能性も高い。軽い短周期惑星が離心率上昇を免れるためには、中心星の回転はかなり速くなくてはならない。これは、常に短周期惑星への摂動が強い必要からである。例えばアンドロメダ座ウブシロン星の惑星 b (0.06AU) が存在するためには、初期の中心星の回転周期は3日よりも短くなければならない。この系のように惑星が3体以上ある系では、複数の共鳴があるため、中心星の回転とQ値にかなり厳しい制約が課せられることになる。

参考文献

Rasio, F. A., Tout, C. A., Lubow, S. H., & Livio, M. 1996, ApJ, 470, 1187

Gu, P. G., Lin, D. N. C., & Bodenheimer, P. H. 2003, ApJ, 588, 509

Stassun, K. G., Mathieu, R. D., Mazeh, T., & Vrba, F. J. 1999, AJ, 117, 2941