

## 惑星円盤間相互作用と惑星形成

### Disk-Planet Interaction and Planet Formation

# 田中 秀和[1], William R. Ward,[2]

# Hidekazu Tanaka[1], William R. Ward[2]

[1] 東工大・理・地球惑星, [2] サウスウエスト研究所

[1] Earth and Planetary Sci., Tokyo Inst. of Tech., [2] Southwest Research Institute

原始惑星系ガス円盤と惑星間の相互作用により、惑星軌道半径は急速に減少すると考えられている。この惑星軌道半径の急激な減少は、その形成途中で惑星が太陽に落下してしまうという本質的な問題を引き起す。この「惑星落下問題」は、現在惑星形成理論が解決しなければならない重要な課題の1つである。本研究では、現実的な惑星ガス円盤間の相互作用過程を研究することにより、惑星形成理論における「惑星落下問題」の再検討を行った。具体的には、惑星ガス円盤間相互作用の3次元計算を行い、次にガス円盤内における音波の伝播と散逸過程について調べた。

原始惑星系ガス円盤と惑星間の相互作用により、惑星軌道半径は急速に減少すると考えられている。この惑星軌道半径の急激な減少は、その形成途中で惑星が太陽に落下してしまうという本質的な問題を引き起す。この「惑星落下問題」は、現在惑星形成理論が解決しなければならない重要な課題の1つである。従来、惑星ガス円盤間重力相互作用の研究では、(1)ガス円盤を無限に薄い2次元円盤として扱おう、又(2)ガス円盤に励起された音波は、円盤内で十分散逸し、円盤端からの反射は無視する、という2つの自明でない単純化がなされていた。しかし、(1)の単純化は、惑星ガス円盤間相互作用では、惑星から円盤の厚み程度の範囲にあるガスとの相互作用が主に効くことより、明らかに非現実的なものである。また、(2)で無視した円盤端からの反射波の効果は、惑星ガス円盤間相互作用を定性的に変えうるものであり、より詳細な研究が必要とされていた。我々は、上で述べた2つの単純化をはずし、現実的な惑星ガス円盤間の相互作用過程を研究することにより、惑星形成理論における「惑星落下問題」の再検討を行っている。本講演では、(1)惑星ガス円盤間相互作用の3次元計算と(2)ガス円盤内における音波の伝播と散逸過程についての結果を報告する。(1)惑星ガス円盤間相互作用の3次元計算原始惑星系ガス円盤を厚みのある現実的な3次元円盤として扱い、惑星重力摂動によりガス円盤に励起される擾乱(音波)の3次元流体線形計算を行なうことで、擾乱が惑星に及ぼす反作用による惑星軌道進化を計算した。惑星ガス円盤間の重力相互作用では、惑星は、その軌道に対して円盤の内側部分から正のトルク、外側部分からは負のトルクを受け、この2つのトルクの相殺の結果、正味のトルクを受ける。計算結果から以下の3点で3次元重力相互作用における内側と外側のトルクは2次元の場合と異なる事が分かった。(a)3次元円盤では厚みの効果により、内外それぞれの片側トルクの強さが弱まる。(b)2次元の場合では、圧力勾配により、外側部分からのトルクが相対的に強められ惑星が負の強い正味のトルクを受ける一因となっていたが、3次元円盤ではその厚みのために、この圧力勾配の効果は大幅に弱められる。(c)原始惑星系ガス円盤は、内側では薄く、外側にいくほど厚くなる。この円盤の厚みの変化により、外側部分からのトルクは相対的に弱められる。この効果は3次元円盤に特有なものである。これらの効果を総合した結果、惑星がガス円盤から受ける正味のトルクは依然負であったが、トルクの強さは、ここで述べた3つの効果により、2次元の場合に比べて約40%になることが明らかになった。これに伴い惑星落下速度も40%になるが、依然、惑星落下速度は惑星形成過程に深刻な効果をもたらす。(2)ガス円盤内における音波の伝播と散逸過程惑星によって励起された擾乱(音波)の散逸過程は、(a)音波が励起された地点と円盤の端の間を伝播する際の散逸と(b)円盤の端で反射する際の散逸の2つに分類される。本研究では、まず第一歩として、円盤内での音波伝播の3次元計算を行い、音波の振幅が円盤のどの部分で大きくなるかをみることにより、(a)の伝播する際の散逸を調べた。計算の結果から、惑星から円盤内側に伝播する音波は、円盤表面で非常に強い振幅を持つようになり、衝撃波が立つほどになることが明らかになった。一方、外側に伝播する音波は、赤道面近くで大きな振幅を持つようになるが、その振幅はそれほど大きくならない。この結果、内側に伝播する音波だけに対し、衝撃波を立てることで伝播中に散逸が起こる。仮に、円盤外側に伝播した音波が、円盤の外端で減衰しきらず反射し、惑星に戻ってくれば、円盤外側からのトルクは弱められ、惑星落下速度は、(1)の研究で求めたよりも大幅に減少する。今後、このトルク減少の程度を明らかにするため、円盤外端付近での音波の散逸過程について調べる予定である。