

3次元惑星系円盤との重力相互作用による惑星軌道進化

Orbital evolution of a planet due to tidal interaction with a three-dimensional protoplanetary disk

田中 秀和 [1], 竹内 拓 [1]

Hidekazu Tanaka [1], Taku Takeuchi [2]

[1] 東工大・理・地球惑星

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

惑星とガス円盤との重力相互作用については、過去に多くの研究がなされてきたが、それらのほとんどにおいて、ガス円盤は2次元、すなわち、無限に薄いと近似されてきた。惑星の移動速度は、自身より内側部分の円盤から受ける正のトルクと外側部分から受ける負のトルクの微妙な打ち消し合いで決まるため、3次元の効果で移動速度は大きく変わる可能性がある。一方、3次元ガス円盤との重力相互作用を調べた研究では、局所近似をしているため、トルクの打ち消し合いで決まる惑星移動速度を求めることはできなかった。本研究では、彼らが局所近似により無視した効果を考慮し、3次元ガス円盤との重力相互作用による惑星移動の速度を求める。

惑星形成理論は、現在の太陽系の特徴をある程度説明することに成功したが、未だ以下の「惑星落下問題」と呼ばれる重大な問題を残している。惑星形成時に存在した原始惑星系円盤(ガス円盤)内で、惑星はガス円盤との重力(潮汐)相互作用により徐々に角運動量を失い、長い間には太陽へ落下していく。この効果による地球質量程度の惑星の軌道半径の半減時間は約10万年と報告されており、惑星形成理論から導き出される地球質量の惑星の形成時間よりも一桁程短い。すなわち、惑星は、その形成中に太陽に落下してしまうことになるのである。

一方、1995年の秋以来、次々と発見されている太陽系外の惑星の起源に対しては、「惑星移動」が必要だとされている。発見された系外巨大惑星には、中心星に非常に近いものが多く、中には心星からの距離が0.1AU以下というものも幾つか発見されている。このような惑星は、巨大惑星を数AUで形成した後、内側に「移動」したと考えなくては説明ができない。従来、太陽系の惑星形成を考える時、「惑星落下問題」の困難さのため「惑星移動」の効果は無視されてきた。しかし、「惑星移動」が必要な系外惑星系が多数発見された今、「惑星落下問題」を解決し、系外惑星系と我々の太陽系両方を統一的に説明するモデルの構築が必要とされている。

本研究では、その第一歩として、惑星と3次元ガス円盤との重力相互作用を線形近似のもとで調べ、惑星が太陽へ移動する速度を正確に求める。惑星とガス円盤との重力相互作用については、もちろん過去に多くの研究がなされてきたが、それらのほとんどにおいて、ガス円盤は2次元、すなわち、無限に薄いと近似されてきた。惑星は自身から実際のガス円盤の厚さ程度離れた範囲までのガスから主に重力を受けるので、この近似は適当でなく、3次元ガス円盤との重力相互作用を調べる必要がある。惑星の移動速度は、自身より内側部分の円盤から受ける正のトルクと外側部分から受ける負のトルクの微妙な打ち消し合いで決まるため、3次元の効果により移動速度が大幅に変わる可能性があるのである。3次元ガス円盤との重力相互作用を調べた研究は、竹内、観山(1997)や、三由ら(1999)があるが、そこでは局所近似をしているため、トルクの打ち消し合いで決まる惑星移動速度を求めることはできなかった。本研究では、彼らが局所近似により無視した効果を考慮し、3次元ガス円盤との重力相互作用を計算することにより、惑星移動の速度の算出を可能にした。

惑星移動速度は、惑星付近のガス円盤の性質(面密度、音速やそれらの動径方向の勾配)に依存する。本研究では、これらパラメータの広い範囲に対して、惑星移動速度を求め、我々の太陽系の原始ガス円盤だけでなく、系外惑星系に対しても、応用できるようにする。