

Characteristic radius of circumplanetary disk and its dependence on planetary mass

波々伯部, 広隆

<https://doi.org/10.15017/1931714>

出版情報 : 九州大学, 2017, 博士 (理学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

氏 名 : 波々伯部 広隆

論 文 名 : Characteristic radius of circumplanetary disk and
its dependence on planetary mass
(周惑星円盤の典型的半径と惑星質量に対する依存性)

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

星周円盤中の原始ガス惑星はその重力で周囲のガスを捕獲することで成長する。捕獲されたガスは角運動量を持っているため、その大部分は惑星に直接降着せず周惑星円盤(Circumplanetary Disk; CPD)と呼ばれる円盤状構造を形成する。惑星の成長に伴ってより多くのガスが星周円盤から集められることで CPD も同時に成長する。したがって CPD は星周円盤中に形成中の原始ガス惑星が存在することの証拠であると同時に原始ガス惑星の様々な情報を持っている。CPD を観測することで惑星の形成過程を理解することができるため、CPD は次の世代の大型望遠鏡による観測対象として有望である。そこで本研究では Nested-grid 法を用いた高解像度三次元流体シミュレーションを行うことで、形成される CPD の規模と構造が惑星質量に対してどのように依存するかを調べた。

CPD の空間スケールは惑星の公転半径に対して十分に小さいため、局所回転座標系を用いた。このとき無次元 Hill 半径をパラメータとすることで、その値に整合的な中心星質量、惑星質量、および軌道半径の任意の組み合わせについての結果を同時に得ることができる。また、惑星表面に到達したガスは速やかに惑星に降着すると仮定して、惑星の座標に隣接する計算点から毎時間ステップ質量を取り除いた。この計算法を sink セル法と呼ぶ。取り除く質量は、惑星近傍の圧力場が連続になるように計算中に動的に決定した。既存の研究では計算の崩壊を防ぐために、しばしば惑星近傍で重力を緩和するパラメータが導入されている。緩和パラメータの影響は CPD のスケールでは十分に減衰できず誤った結果を導くことがある。sink セル法を導入することで、緩和パラメータを用いずに計算の崩壊を防ぎ、より信頼できる計算結果を得ることができる。

まず方位角方向に平均した速度および面密度の時間進化を観察したところ、速度についてはどの位置でも惑星の公転周期よりも短い時間で各物理量がほぼ一定の値に収束することがわかった。面密度分布については惑星が重い場合には Hill 半径に近い半径位置では完全な収束には至らなかったものの、ある半径より内側ではすべての計算パラメータで収束した。したがって惑星が重い場合には収束する半径より内側を、それ以外の場合には Hill 半径内全体を、形成中の原始ガス惑星および CPD の、ある時点での状態を表す準定常解と見做すことができる。ただしここで収束とはある位置の物理量の時間変動が一定の幅におさまることであり、物理量は収束後も時間平均を中心に変動を続ける。その変動の程度は位置によって異なる。CPD のガス流は最も高速な位置ではほぼケプラー角速度をもっているが、惑星から離れるにしたがってケプラー速度から乖離する。収束の程度によって CPD は半径方向に三つの領域に区分できることがわかった。もっとも内側の領域では角速度はほぼ完全に時間平均の値に収束しており、その領域ではガスの角速度はケプラー角速度の 80%以上であった。それより外側では時間平均値に対して変動があり、そ

の変動幅は半径に応じて増大する。この傾向は角速度がケプラー角速度の 50%程度になるまで続く。それより外側では変動幅は急激に拡大する。動径方向速度成分の時間変動幅が増大する位置は角速度の変動よりも明瞭で、その位置は、時間平均した角運動量の勾配がゼロになる位置に対応しているとともに、角速度がケプラー角速度の 80%になる位置とよく一致していた。以上のことから角速度がケプラー角速度の 80%になる位置を CPD の典型的半径とし、その傾向を調べると、その半径はヒル半径の冪で表現できることがわかった。この結果を太陽系の巨大惑星に適用すると、大型の規則衛星の軌道はほぼこの範囲に収まった。惑星の衛星が CPD 内部で形成されたと仮定すると、CPD の規模を妥当に推定できていると言ってよい。本研究の結果を用いることで、星周円盤中の CPD の観測からその惑星の質量を推定することができる。