

原始衛星系円盤の形成：原始惑星系円盤からのガス降着流の解析

谷川 享行^{1,2}、大槻 圭史^{1,3}、町田 正博⁴

¹ 惑星科学研究センター、² 北大低温研、³ 神戸大理、⁴ 九大理

巨大ガス惑星の周りに存在する衛星系のほとんどは規則衛星、つまり惑星の赤道面付近をほぼ円軌道で回っていることから、衛星は惑星周りにかつて存在していた周惑星円盤 (= 原始衛星系円盤) の中で形成したと考えられている。また、近年の数値流体シミュレーションにより、ガス惑星が原始惑星系円盤ガスの降着によって成長する時に、必然的に惑星の周りにガス円盤が形成されることが明らかになってきた。しかし、それらの研究は衛星形成に主眼を置いていないために、周惑星円盤構造に対する詳しい解析は行われていない。そこで本研究では、ガス惑星形成時に出来る周惑星円盤構造を高解像度で求め、周惑星円盤構造に着目して流れ場を詳しく解析した。

衛星形成は主に惑星半径の数十倍 (惑星の軌道半径の数百分の一) 以内で行われ、その領域を十分に空間的に分解するために、惑星近傍のみを効率よく高空間分解能で計算可能な多重格子法を用い、かつ惑星近傍のみを切り出した局所近似回転座標系を採用した。得られた流れ場を解析した結果、惑星への実質的なガス降着は、原始惑星系円盤の比較的上空 (円盤スケールハイト程度より上) から周惑星円盤外縁部を飛び越えて一気に惑星近傍の周惑星円盤へと落下していることが明らかになった (図1)。一方、中心面付近のガスについては、原始惑星系円盤から周惑星円盤へ流入することができず、逆にヒル圏内からラグランジュポイント L_1 , L_2 を通って流出していることが分かった。さらに、上空から周惑星円盤への降着流に関して、質量と角運動量の降着フラックス分布を惑星からの距離の関数として数値計算より求め、それらをべき関数でのフィットを行った。この結果、衛星系形成モデルで最近の標準となりつつあるモデル (Canup and Ward 2002, AJ, 124, 3404) の分布に比べて中心集中するようになることが明らかとなった。また得られた降着フラックス分布を、動径方向1次元粘性円盤モデルに適用することで、本研究のような高解像度数値計算では得ることのできない周惑星円盤の長期進化を追うことが可能となり、衛星形成環境の時間進化を調べることも可能となる。

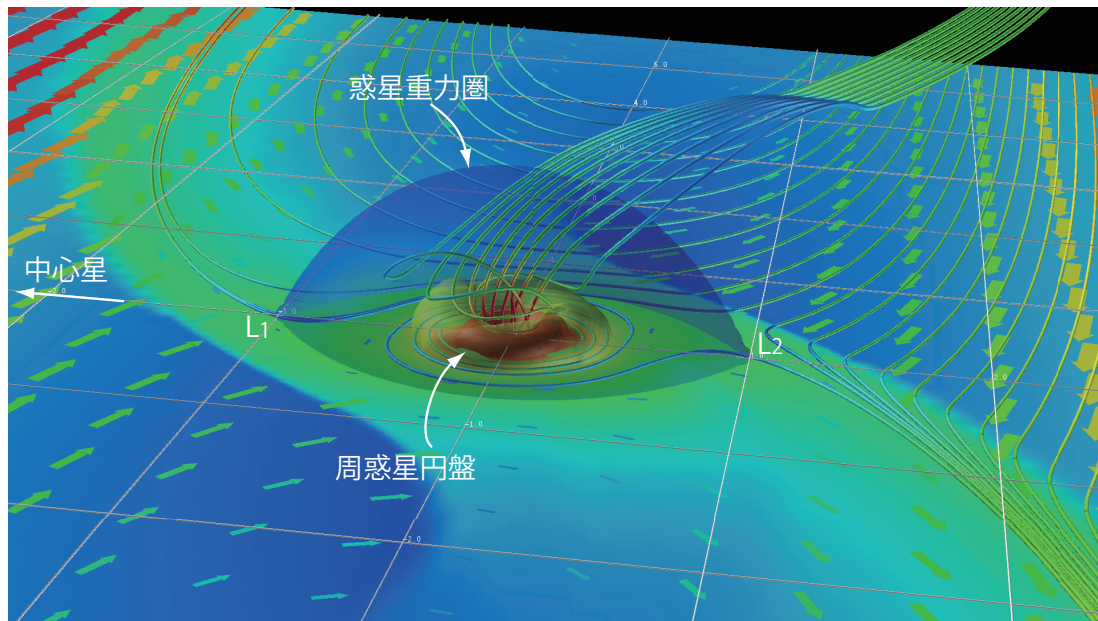


図1：原始惑星系円盤中でガスを捕獲して成長しつつあるガス惑星周囲のガスの流れ．中心面より上半分のみ作画．中心面の色はガス密度，色のついた線は中心面と上空（原始惑星系円盤の1スケールハイトの位置を始点）の流線で，流線の色は流速，青い半透明のレモン形状の面はヒル圏（惑星重力圏），黄色と赤の半透明の面は等密度面．中心面のヒル圏の外側で密度が急激に変化している部分（青から緑）は衝撃波面（の中心面断面）．ケプラーシア（太陽周りの公転半径が違うことによる速度差）で惑星重力圏に超音速で近づいてきたガスが惑星重力圏にぶつかることにより立つ弧状衝撃波で，実際には中心面を先端として上空に向かって反った形状をしている（流線の速度が急激に減少している位置が衝撃波面）．中心面をヒル圏へ近づくガスは衝撃波面で速度が急激に減少したあと，惑星重力圏内に降着することができず，再び原始惑星系円盤中をヒル圏から遠ざかっている．上空のガスはヒル圏の外の衝撃波面を斜めに通過するために，水平方向の運動量が大きく減少せず，ヒル圏の中に侵入し，その後惑星重力により強く引っ張られて中心面へ向かって落下し，周惑星円盤表面で衝撃波を立てる．