

原始惑星系円盤から巨大ガス惑星へのガス降着流

谷川 享行¹, 渡邊 誠一郎²

¹名古屋大学理学研究科、²名古屋大学環境学研究科

背景：木星型惑星のような巨大ガス惑星の形成過程において、その質量の大部分を占めるガスがどのような流れで惑星へ降着したかを知ることは、特に以下の2点に関して重要である。(1) 惑星の落下問題：惑星は、それを産み出す母体である原始惑星系円盤と重力相互作用を起こすことにより角運動量を失いかなり短いタイムスケールで中心星へ落下すると考えられており、その移動時間を求めるためには惑星周囲のガスの密度分布を正確に求める必要がある。(2) 衛星系の起源：木星型惑星に多く存在する衛星の起源として2つ大きな説（降着円盤起源説、捕獲説）があげられているが、いずれの起源を考える上で惑星周りの円盤の構造を正しく求めることが必要である。この問題に対して、これまでいくつかの2次元計算による惑星への降着流を示した研究が存在するが、ヒル圏（惑星重力圏）では原始惑星系円盤の厚みとヒル半径の大きさが同程度であるため2次元近似は良くないと考えられる。そこで本研究では、原始惑星系円盤中を回転する惑星に円盤ガスがどのように降着するかを3次元数値流体シミュレーションを用いて調べた。

計算手法：3次元計算で、かつ惑星近傍で高解像度を実現するための我々の計算の特徴として以下の2点が挙げられる：(1) 原始惑星系円盤の惑星近傍のみを切り出す局所近似回転座標系、(2) 必要な領域だけ計算の解像度を上げることができる数値計算法である多重格子法。ガスの運動方程式は非粘性・非自己重力で、状態方程式は等温で行った。惑星大気の重力不安定後の状態を表現するために、0.1ヒル半径内に入ったガスは一定の割合で系から除去するようにした。計算領域は惑星を中心として半径方向に12ヒル半径、回転角方向に24ヒル半径、鉛直方向には中心面から3ヒル半径をとった。また、多重格子は今回4層の格子を設定し、最小グリッド間隔は0.025ヒル半径である。計算は流れがほぼ定常状態になるまで行った。

結果：まず今回行った3次元計算による結果を従来の我々の2次元計算と比較することにより、ヒル圏より外の密度分布はほぼ2次元的であるのに対しヒル圏内に関しては2次元近似は良くないことが明らかとなった。また、ヒル圏内のガスはアスペクト比が0.1程度のディスク形状になっており、惑星周りのケプラー速度に近い速さで順行向きに回転していることが明らかとなった。また、2次元では惑星へガスが降着するためには、ヒル圏内を回転しながら惑星周りのスパイラルショックで角運動量を失いながら徐々に内側へ落下していたが、3次元計算からは、原始惑星系円盤のスケールハイトの0.3倍の高さより上空のガスは直接ヒル圏のかなり内側（0.1ヒル半径以内）へ落下できるガスが多く存在することが明らかになった。

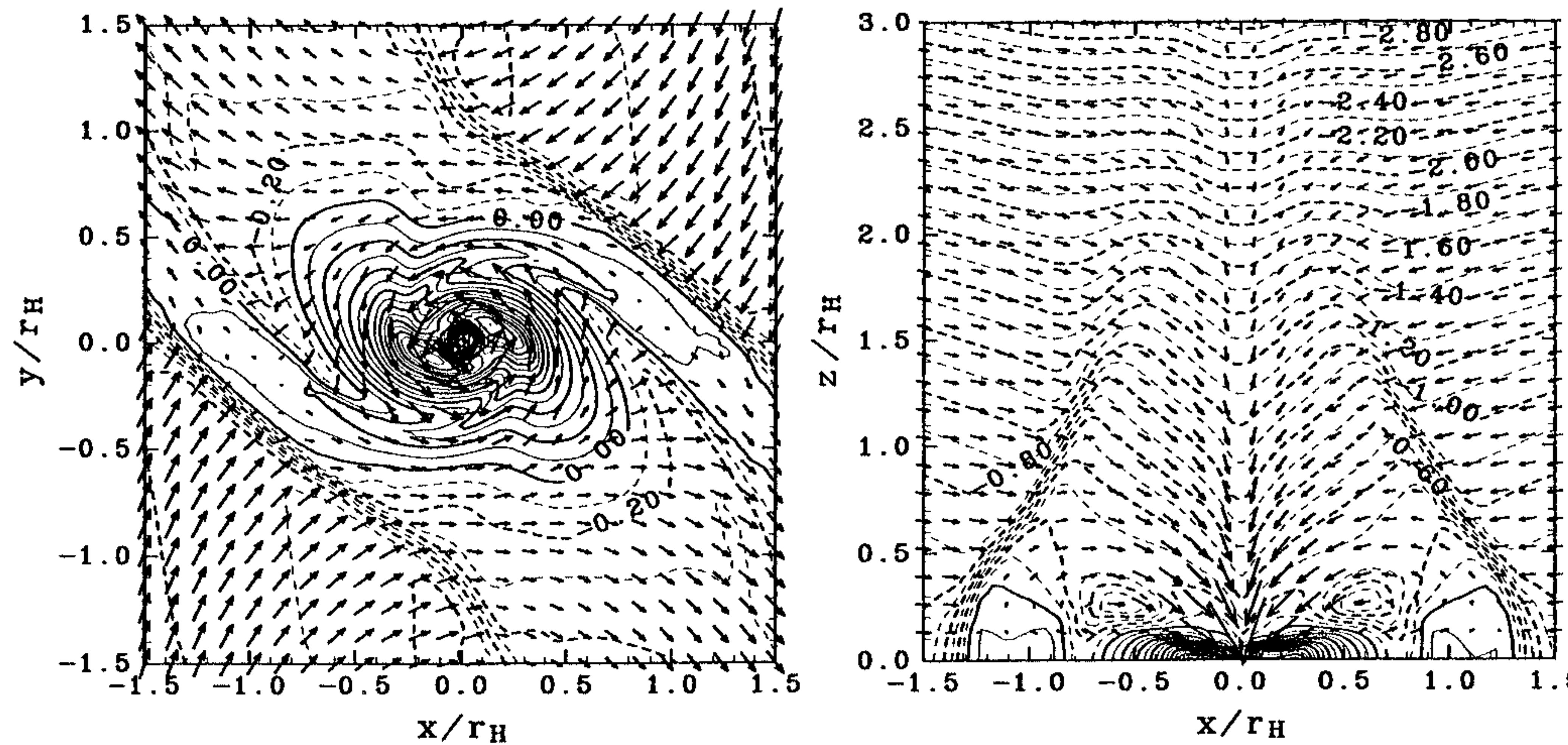


Figure 1: 3次元計算から得られた密度コンターと流速ベクトルを重ねた図で、左が $z = 0$ 面、右が $y = 0$ 面の断面図で、原点に惑星がある。惑星質量が約 130 地球質量の時の流れで、右の図から惑星の周りにディスク上の構造が形成されていることが分かる。