

## P218b 円筒座標系での見かけの特異点を取り除いた数値シミュレーション法

花輪知幸, 松本洋介 (千葉大)

若い星やブラックホール候補天体では、ガスの降着、回転円盤、アウトフローが共存している。円筒座標系  $(r, \varphi, z)$  はこのような系の物理を記述するのに適しているが、3次元数値シミュレーションに利用すると、いくつかの技術的な問題をもたらす。具体的には、(1) 遠心力  $(v_\varphi^2/r)$  が  $z$  軸で大きくなるため、 $z$  軸を横切る流れを追うのが困難となる。(2) 角度分解能  $\Delta\varphi$  を固定すると、半径  $r$  の小さいところで数値セル幅が小さくなり、時間ステップ  $(\Delta t)$  が極端に短くなる。本発表ではこれらの問題を本質的に取り除く数値差分法を紹介する。

提案する差分法では、 $r, \varphi, z$  方向にそれぞれ  $\Delta r, \Delta\varphi, \Delta z$  の幅を持った円弧状の数値セルを考える。このセルに対して、保存形の (磁気) 流体力学方程式を体積積分し、差分式を得る。この際に  $\varphi$  方向のセル表面では、 $r$  の向きが  $\Delta\varphi/2$  だけセル中心での向きからずれていることを考慮する。このように考えると、遠心力は  $\varphi$  方向のセル表面からの動圧の一部が  $r$  方向に働くためと定式化される。他の座標系の曲率による力も全て運動量流束テンソルの成分で書き表される。得られた差分式からは源泉項が消え、打ち切り誤差がなくなる。また  $z$  軸と接する領域では  $\Delta\varphi = \pi/3$  の分解能で精度の良い結果が得られるので、縦横比の良い ( $r\Delta\varphi \simeq \Delta r = \Delta z$ ) 数値格子を利用することができる。従って特に短い時間ステップが必要なセルはなくなる。

この差分法の優位性を示す例として、平面衝撃波問題 (Sod) や、一様流、原点を横切る球面波、などの試験結果を示す。いずれの試験でも流れは  $z$  軸を横切り、その際に  $v_r, v_\varphi$  が変化するが、これを極めて少ない誤差で追うことができる。また原始惑星円盤へ限られた方位角からだけガスが降着する場合のシミュレーション結果も示す。この例では、降着したガスの一部が軸方向のアウトフローへと転じる様子が示される。