

W25b ブラックホール降着円盤の大局的・長時間計算に向けた Local Adaptive Time Stepping 法の実装

朝比奈雄太 (筑波大学)

ブラックホール (BH) などのコンパクト天体近傍には回転するガスの降着による降着円盤が形成される。ガスの質量降着によって解放された重力エネルギーは、アウトフローや輻射のエネルギー源になっていると考えられており、降着円盤の構造やアウトフロー駆動機構を調べるために多くの数値計算が実施されている。近年 Kitaki et al. (2021) らの大局的な BH 降着円盤の計算によって、遠方まで到達できる従来のアウトフロー構造に加えて、降着円盤に再合流するアウトフロー構造が発見された。また、2022 年秋と 2023 年春の天文学会では、降着円盤の歳差運動によって観測されている光度の準周期振動や歳差ジェットを説明しうる可能性を報告した。しかし、計算コストの関係で歳差運動の一部のみの結果の報告であり、光度変動やアウトフローの歳差運動の詳細を得るためには長時間計算が必須である。以上のように大規模・長時間計算の需要が高まりつつある。

そこで我々は Local Adaptive Time Stepping 法を実装することで計算コストの削減に成功した。1 ステップの間に進めることのできる時間 Δt はグリッドの幅に比例する。球座標では BH 近傍や軸付近でグリッド幅が小さいため Δt も小さくする必要がある。それに対して BH 遠方ではグリッド幅が大きくなるため Δt は大きくとることができる。この手法は、BH 近傍や軸付近は小さな Δt でステップ数を多くし、遠方は大きな Δt でステップ数を少なくすることで計算コストを削減する、という手法である。この手法を実装することでグリッド数が 300x300 の降着円盤の計算では 1.6 倍程度、200x180x64 の計算では 6 倍程度の高速化に成功した。また、グリッド数やグリッドの取り方によっては数十倍程度の高速化が見込めることを示した。