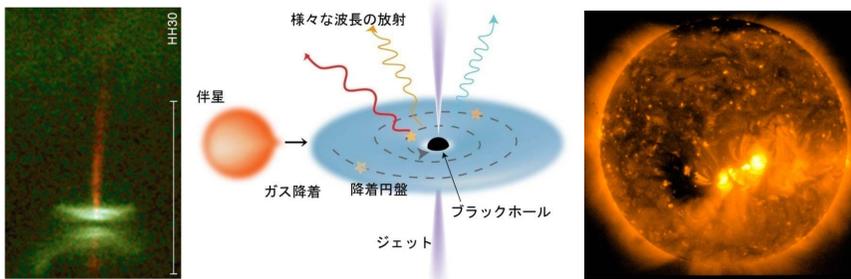




1. 研究目的

様々な天体現象で重要になる輻射と磁気流体の相互作用をシミュレートする輻射磁気流体コードの並列効率を高め、超並列計算機を用いた宇宙現象の大規模シミュレーションに適用することを目的とする。



星形成と原始星円盤 (Burrows 1995)

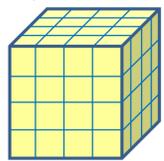
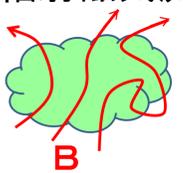
降着円盤とジェット

太陽活動

輻射と磁気流体の相互作用が重要になる天体現象の例

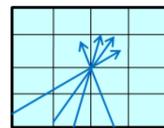
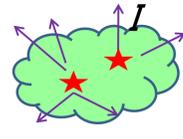
2. 磁気流体から輻射磁気流体へ

磁気流体
ρ(t,x,y,z), v(t,x,y,z), P(t,x,y,z)+B(t,x,y,z)



演算量 ∝ N³ × N_step

輻射流体
輻射磁気流体
+ I(t,x,y,z,v,θ,φ)



N⁶ × N_step

(1/c * d/dt + n · ∇) I(x, t; n, ν) = σ_a^ν B(x, t, ν) - σ^ν I(x, t; n, ν) + σ_s^ν ∫ g(n, n') I(x, t; n', ν) dn'

3. Flux Limited Diffusion 近似に基づくシミュレーション

輻射流束(F)とストレステンソル(P)を輻射エネルギー(E)の関数とする
0次のモーメント方程式だけを解く

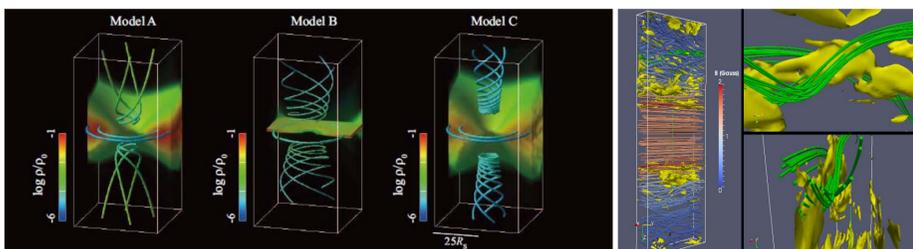
F = [-cE ∇E / |∇E| (optically thin limit), -c/3χ ∇E (optically thick limit)]

∂ρ/∂t + ∇ · (ρv) = 0
ρ ∂v/∂t + ρ(v · ∇)v = -∇p + (∇ × B) × B / 4π + ρg + (κ + σ/c) F_0
∂B/∂t = ∇ × (v × B - η ∇ × B)
∂ρ ε/∂t + ∇ · (ρ ε v) + p ∇ · v = Q_J + Q_vis - 4πκB + cκE_0
∂E_0/∂t + ∇ · (E_0 v) = -∇ · F_0 + 4πκB - cκE_0 - ∇v : P_0

輻射と物質の相互作用

輻射による加熱と冷却

輻射エネルギー密度の変化

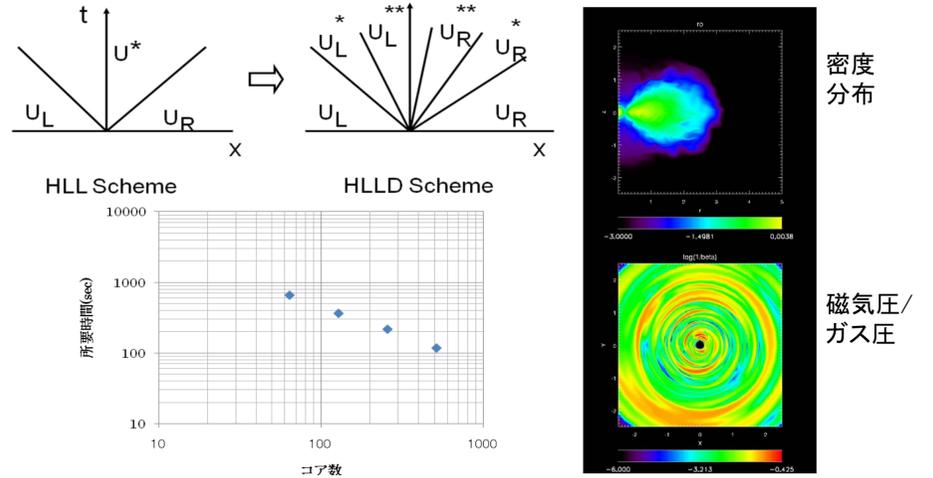


Ohsga and Mineshige (2011) によるブラックホール降着流の軸対称2次元輻射磁気流体シミュレーション結果。密度分布と磁力線。

Hirose and Turner (2011)による原始惑星系円盤の3次元輻射磁気流体計算結果。

輻射の時間スケールが短い場合に必要になる陰的差分を解くマトリクスソルバーの並列効率を高め、大規模3次元計算を実施したい。

4. HLLD法に基づく円筒座標系磁気流体コードの実装



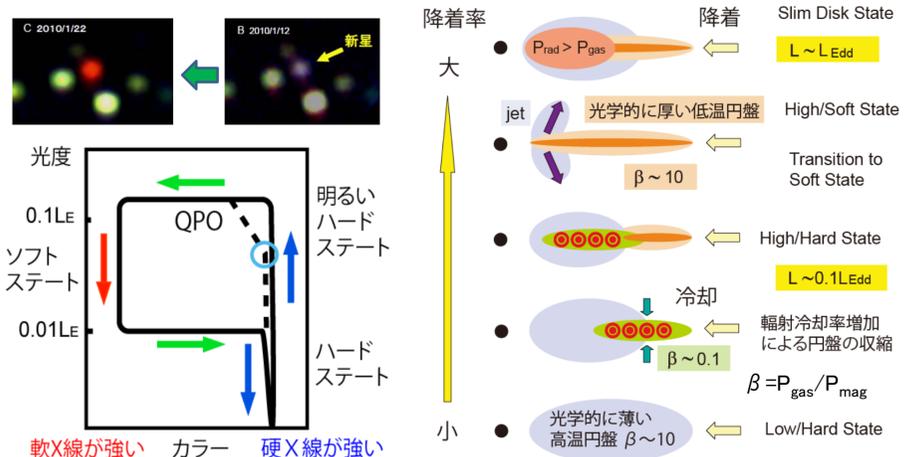
HA8000に実装したHLLD法 (Miyoshi and Kusano 2005)に基づく円筒座標系3次元磁気流体コードの並列効率とシミュレーション例

5. 輻射輸送方程式の1次モーメント式を解く(M1解法)

∂_t E_r^ν + ∇ · F_r^ν = σ_a^ν (4πB - cE_r^ν)
∂_t F_r^ν + c² ∇ · P_r^ν = -(σ^ν - g_1 σ_s^ν) c F_r^ν P_r^ν = DE_r^ν

ブラックホール近傍ではこれらを陽的に解く解法が適用可能。
相対論的輻射磁気流体に拡張したコード(高橋ら2011)を実装する

6. ブラックホール候補天体の状態遷移への適用



国際宇宙ステーションの日本実験棟「きぼう」搭載の全天X線監視装置MAXIで観測されたブラックホール候補天体XTE J1752-223の状態遷移 (Nakahira et al. 2010)とその理論モデル。

このような進化を輻射磁気流体シミュレーションによって再現したい。

7. 共同研究メンバーと役割分担

Table listing researchers and their roles in the project, including names like 松元亮治, 廣瀬重信, 横山央明, etc.