

ブラックホール降着円盤風で駆動する層雲の運動特性

大阪教育大学 仲井琢哉

研究背景

観測では青方偏移した吸収線が見られ、それらはアウトフローが原因であると考えられる。

○BAL(Broad absorption line)

- ・ CIV, SiIV などによる吸収線
- ・ アウトフロー速度 $\sim 10,000 \text{ km s}^{-1}$
- ・ クェーサーの $\sim 20\%$ で検出

○UFO(Ultra fast flow)

- ・ FeXXV, FeXXVI による吸収線
- ・ アウトフロー速度 $\sim 0.1c-0.3c$
- ・ Seyfert 銀河の約半数で検出

研究目的

アウトフローの構造を調べることを目的とする。

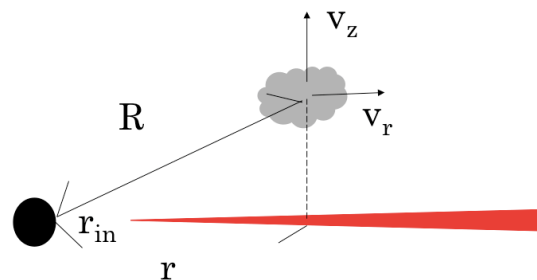
アウトフローを降着円盤風と仮定し、降着円盤放射で駆動する層雲モデルを考察する。

研究内容

降着円盤放射で駆動する、層雲の軌跡、層雲の脱出条件を調べる

仮定

- ・ 半透明な層雲
- ・ 光学的厚みは有限
- ・ Near disk 近似
- ・ Kepler 回転



基礎方程式

$$\text{半径方向運動方程式} \quad m \frac{d}{dt} (\gamma v_r) = -m \frac{d\phi}{dr} + m \frac{v_\phi^2}{r} + \frac{S}{c} \gamma \cdot 4\pi H_0$$

$$\text{垂直方向運動方程式} \quad m \frac{d}{dt} (\gamma v_z) = -m \frac{d\phi}{dr} + \frac{S}{c} \gamma \cdot 4\pi H_0$$

$$\text{角運動量保存} \quad \frac{m}{r} \frac{d}{dt} (\gamma r v_\phi) = 0$$

$$\text{角運動量} \quad \gamma r v_\phi \equiv l$$

$$\text{ディスク光度} \quad \Gamma d \equiv \frac{L_d}{L_E} = \frac{\kappa_e \dot{M}}{8\pi c r_{in}}$$

$$\text{輻射力} \quad \frac{S}{c} \gamma \cdot 4\pi H_0 = \frac{S}{c} \pi l^* \cdot \frac{\gamma}{3} \left[6 - 16\beta + 6\beta^2 - \frac{4}{4+3\tau_c} (6 - 17\beta + 4\beta^2 + 6\beta^3 - 2\beta^5) \right]$$

計算式

r_g c で規格化し整理した式で計算を行った。

$$\frac{d}{d\hat{t}}(\gamma\beta_r) = -\frac{\hat{r}}{2(\hat{R}-1)^2\hat{R}} + \frac{\hat{l}^2}{\gamma^2\hat{r}^2}$$

$$\frac{d}{d\hat{t}}(\gamma\beta_z) = -\frac{\hat{r}}{2(\hat{R}-1)^2\hat{R}} + \frac{1}{\tau_c} \frac{3\hat{r}_{in}}{2r^3} \Gamma_d \left(1 - \sqrt{\frac{\hat{r}_{in}}{\hat{r}}}\right) \cdot \frac{\gamma}{3} [6 - 16\beta + 6\beta^2 - \frac{4}{4+3\tau_c} (6 - 17\beta + 4\beta^2 + 6\beta^3 - 2\beta^5)]$$

脱出条件の判断

$$E = \gamma \sqrt{1 - \frac{1}{R}} \quad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v_r^2}{c^2} - \frac{l^2}{c^2 r^2} - \frac{v_z^2}{c^2}}}$$

十分に時間が経過した後で、 $E > 1$ となると脱出と判断した。

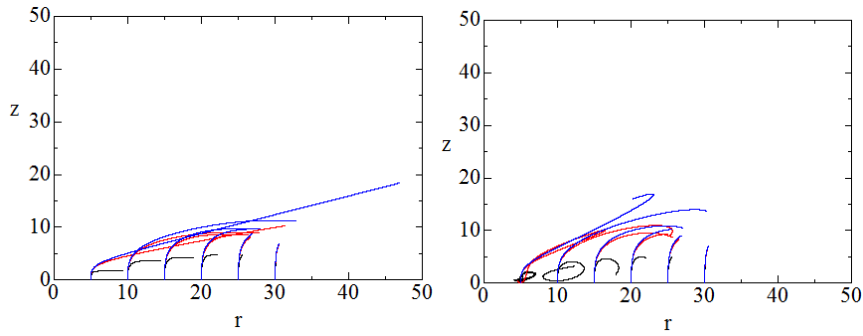
研究結果

計算結果を特殊相対論を考慮 (SR) とニュートニアン (N) として以下に示す。

$\tau_c = 1$ $\tau_c = 0.1$ $\tau_c = 0.01$ とする。

○層雲の軌跡

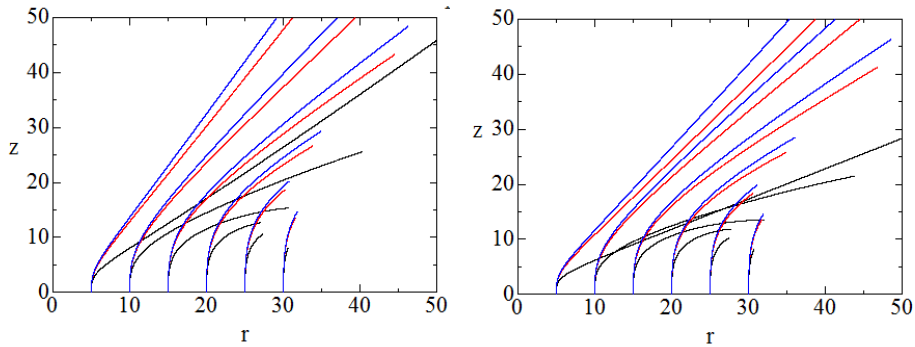
$\Gamma d = 0.5$



SR

N

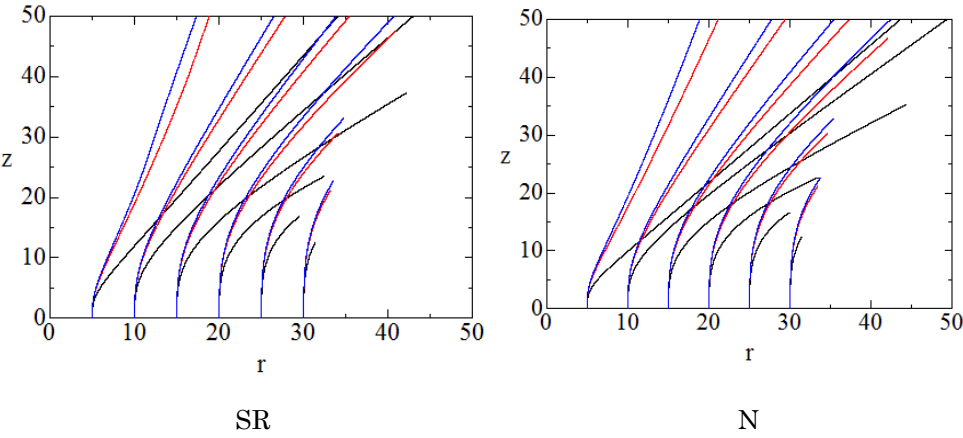
$\Gamma d = 1$



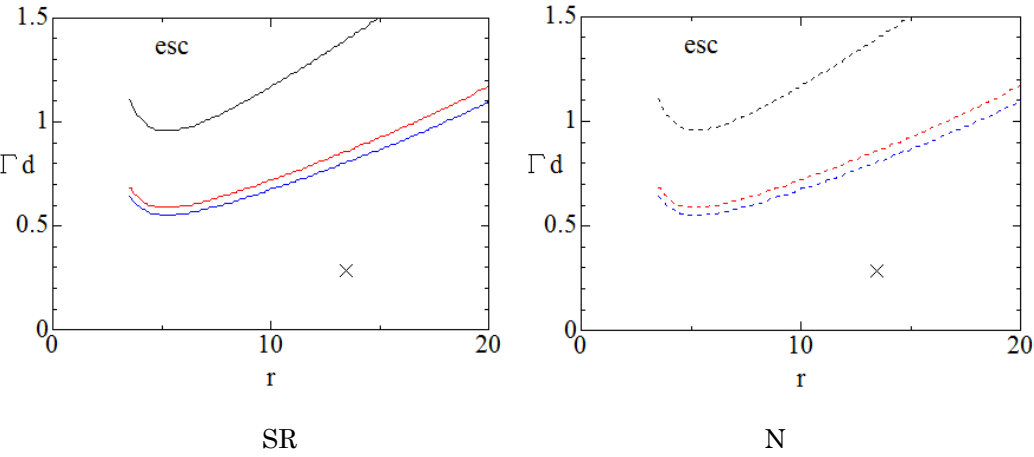
SR

N

$$\Gamma d = 1.5$$



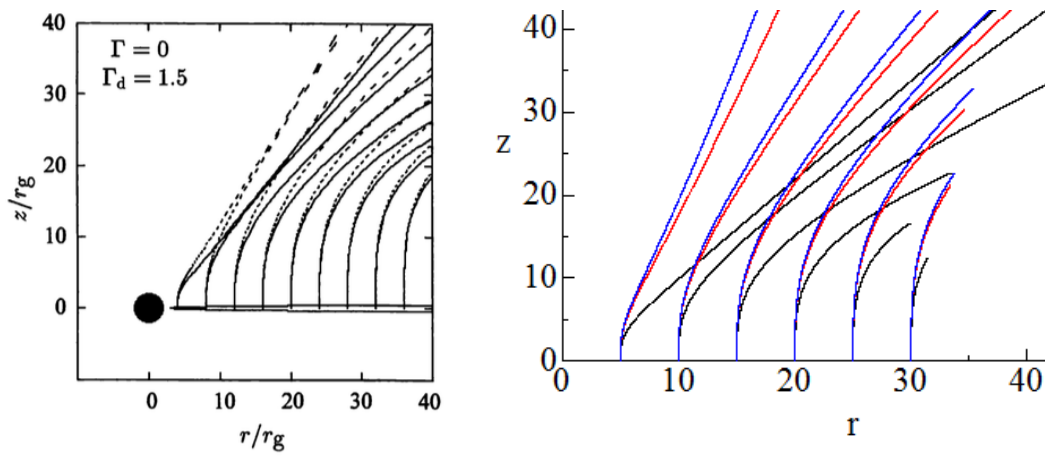
○層雲の脱出条件



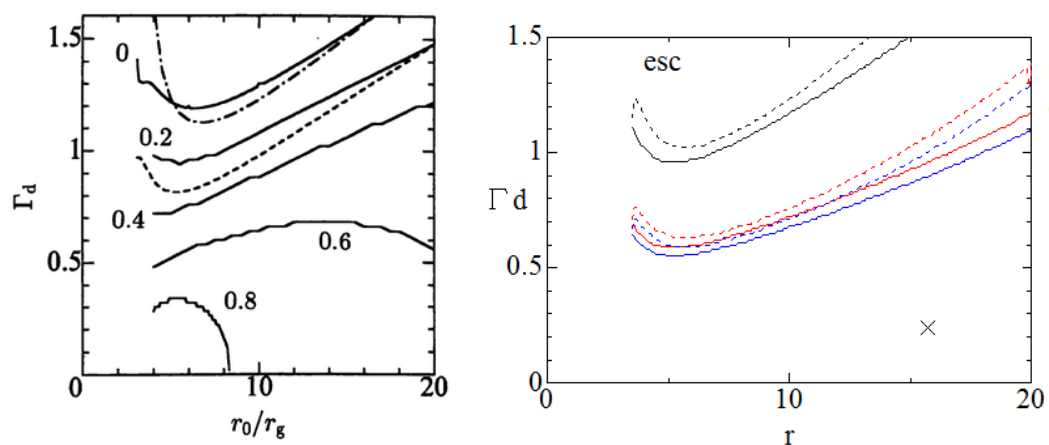
考察

先行研究との比較を行った。

○層雲の軌跡



○層雲の脱出条件



光学的厚み τ_c が小さくなると z 方向へ加速されやすくなる。

層雲の方が粒子よりも低光度で脱出できる。

今後の展望

Near disk 近似ではディスクからの高度が高くなると、誤差を生じてしまうので円盤全体の輻射を考慮して計算を行う。