

超臨界ブラックホール降着円盤の一般相対論的輻射磁気流体シミュレーション；放出されるエネルギーの成分調査

井上雅貴 (筑波大学) Email: masaki@ccs.tsukuba.ac.jp

共同研究者: 大須賀健(筑波大学), 高橋博之(駒澤大学), 朝比奈雄太(駒澤大学・筑波大学)

Introduction

高光度コンパクト天体 (特に超高輝度X線源など) のエネルギー源の候補 ⇒ **超臨界降着円盤**
 磁場を介したブラックホール (BH) の**回転エネルギーの抽出 (BZ機構)**は, 超臨界降着円盤でも効くのか?

➡ **スピン, 質量降着率 & BH質量依存性**について調査

Method and Model

計算コード “UWABAMI + INAZUMA” を用いて2次元軸対称一般相対論的輻射磁気流体計算を実施

基礎方程式

質量保存則

$$(\rho u^\nu)_{;\nu} = 0$$

エネルギー・運動量保存則

$$(T_\mu^\nu + M_\mu^\nu)_{;\nu} = G_\mu$$

誘導方程式

$$\partial_t [\sqrt{-g}(b^i u^t - b^t u^i)] = -\partial_j [\sqrt{-g}(b^i u^j - b^j u^i)]$$

エネルギー・運動量保存則 (M1 closure)

$$(R_\mu^\nu)_{;\nu} = G_\mu$$

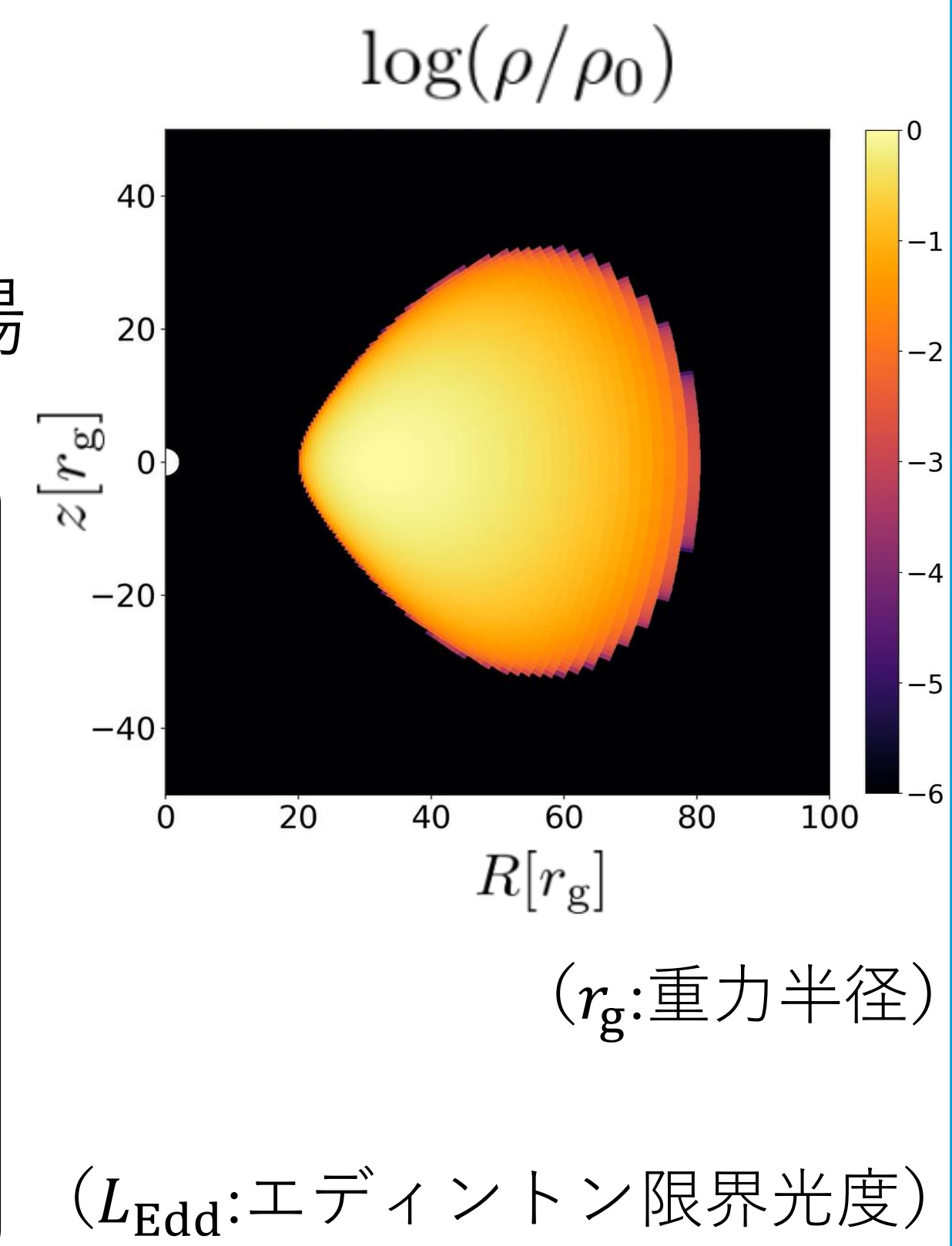
磁気流体

初期条件

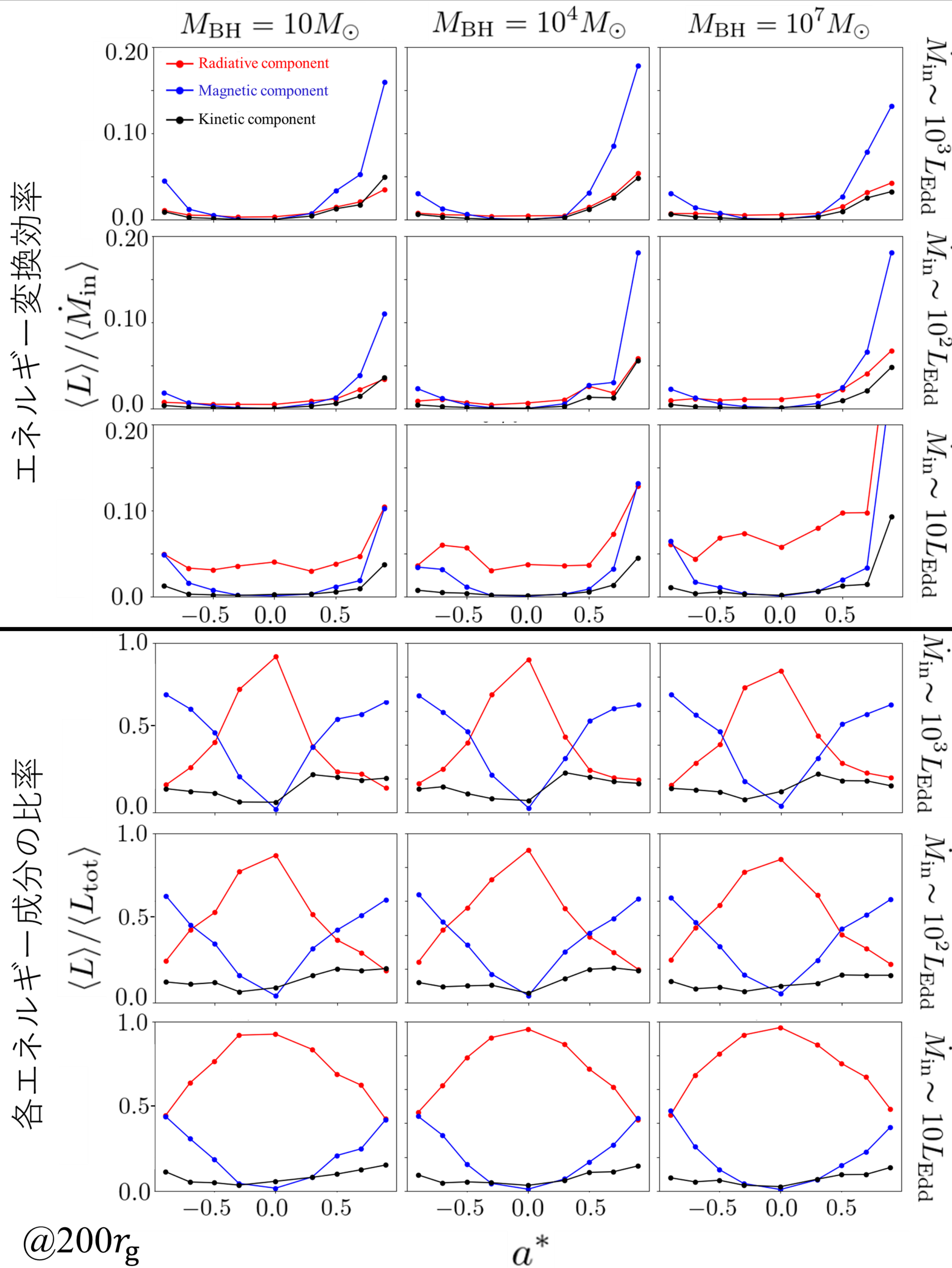
- 平衡トーラスを仮定 (右図) (Fishbone & Moncrief 1976)
- トーラス内に弱いポロイダル磁場

パラメータ (計81モデル)

- BH質量
 $M_{\text{BH}} = 10, 10^4, 10^7 M_\odot$
- 降着率 (初期トーラス最大密度)
 $\dot{M}_{\text{in}} \sim 10, 10^2, 10^3 L_{\text{Edd}}$
- BHスピン
 $a^* = 0, \pm 0.3, \pm 0.5, \pm 0.7, \pm 0.9$



Results



Jet領域から解放されるエネルギー成分の スピン・質量降着率・BH質量依存性

エネルギー変換効率 (左図上) と各エネルギー成分の比率 (左図下) のBHスピン依存性をまとめた。
 並んだ図の横方向はBH質量, 縦方向は質量降着率依存性を示す。

Radiative component

- $|a^*|$ の増加に伴い変換効率は増加。
- $\dot{M}_{\text{in}} \sim 10^{2-3} L_{\text{Edd}}$ では $-0.3 < a^* < 0.3$ で支配的。一方, $\dot{M}_{\text{in}} \sim 10 L_{\text{Edd}}$ では $-0.7 < a^* < 0.7$ で支配的。
- $\dot{M}_{\text{in}} \sim 10 L_{\text{Edd}}$ では, BH質量の増加に伴い変換効率が増加。

Magnetic component

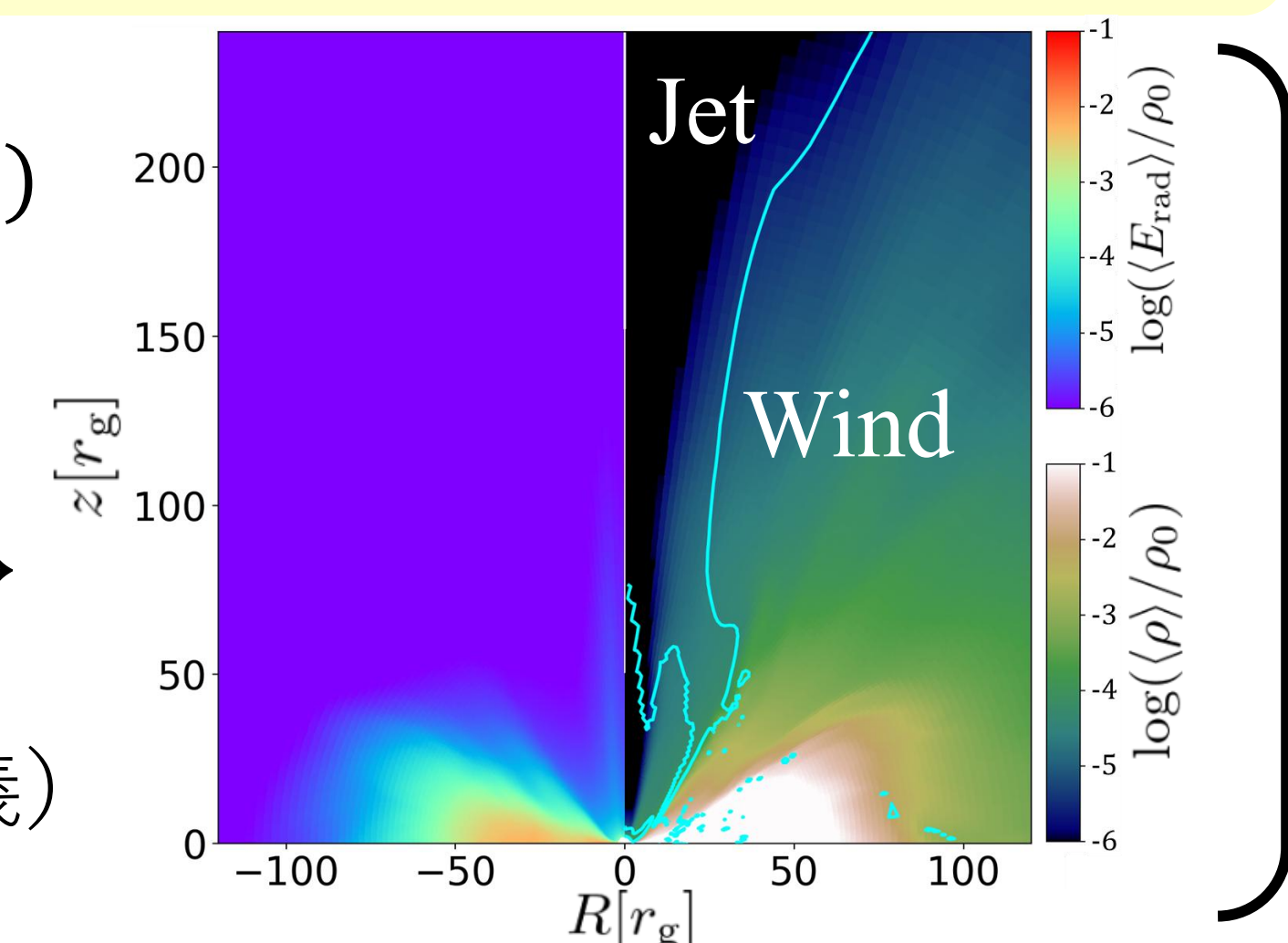
- $|a^*|$ の増加に伴い変換効率が増加。
- $\dot{M}_{\text{in}} \sim 10^{2-3} L_{\text{Edd}}$ では, $|a^*| \geq 0.5$ で支配的。 $\dot{M}_{\text{in}} \sim 10 L_{\text{Edd}}$ ではどのスピンでも支配的にならない。
- 変換効率・比率のBH質量依存性は見られなかった。

Kinetic component

- $|a^*|$ の増加に伴い変換効率が増加。
- 変換効率・比率の質量降着率依存性は見られなかった。
- 変換効率・比率のBH質量依存性は見られなかった。

準定常状態となっている3000~5000 $t_g (= r_g/c)$ の時間平均データを用いている

BHから解放されるエネルギーの大半は → Jet領域から噴出 (JetとWindの境界はBernoulli parameterで定義)



Conclusions

- 超臨界降着円盤において, Jet領域から解放されるエネルギーのRadiative, Magnetic, Kinetic成分を調べた。
- $|a^*|$ が大きいほど全てのエネルギー成分の変換効率が高くなる。
- $|a^*| \leq 0.5$ ではRadiative成分が卓越し, $|a^*| \geq 0.5$ ではMagnetic成分が卓越する。 $\dot{M}_{\text{in}} \sim 10 L_{\text{Edd}}$ の場合, スピンに依らずRadiative成分が卓越する。
- $\dot{M}_{\text{in}} \sim 10 L_{\text{Edd}}$ の場合, BH質量が大きいほど, Radiative成分のエネルギー変換効率が高くなる。