

# 超臨界降着円盤からのジェットパワーと光度の ブラックホール質量・質量降着率・スピン依存性

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

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)

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

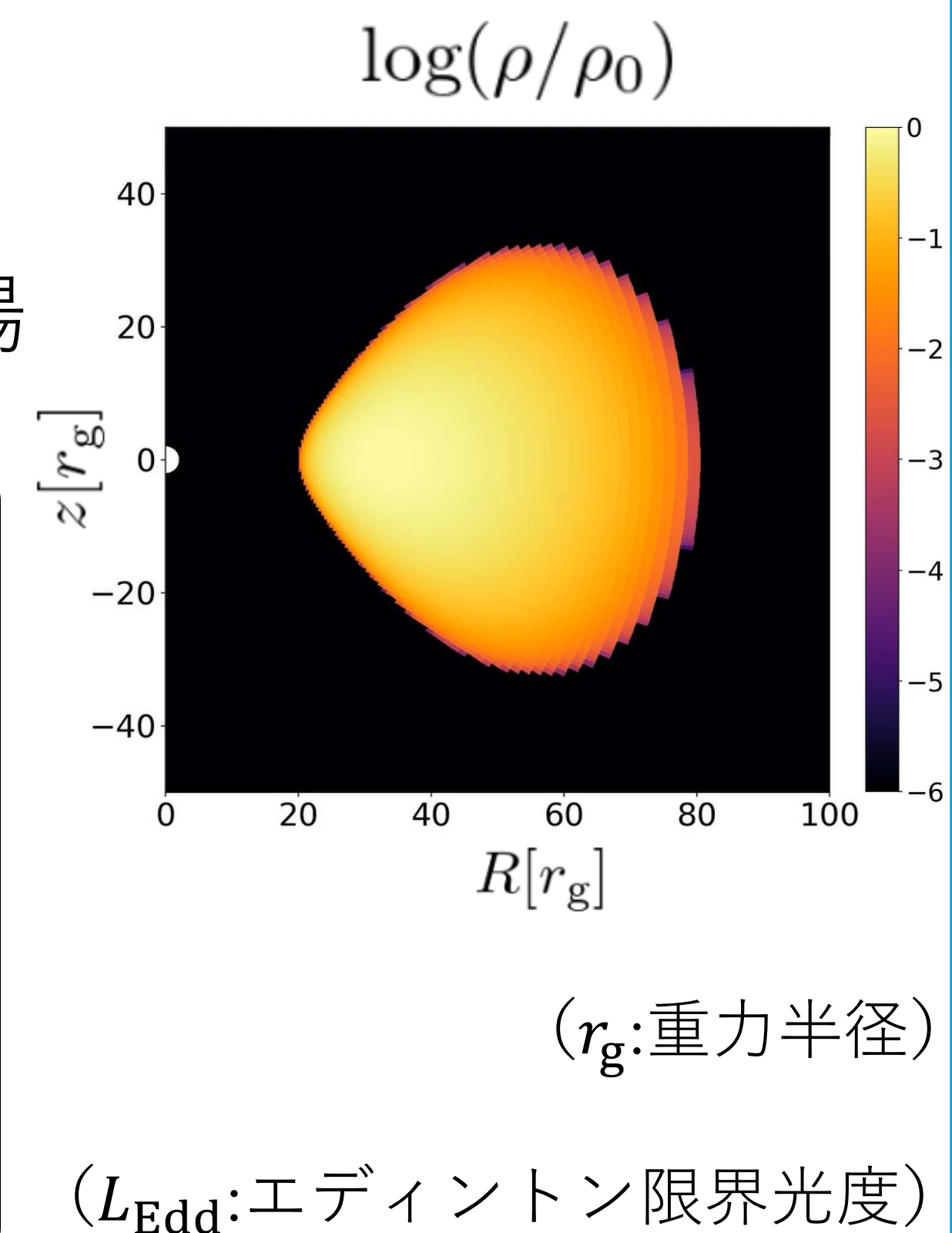
### 磁気流体

### 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

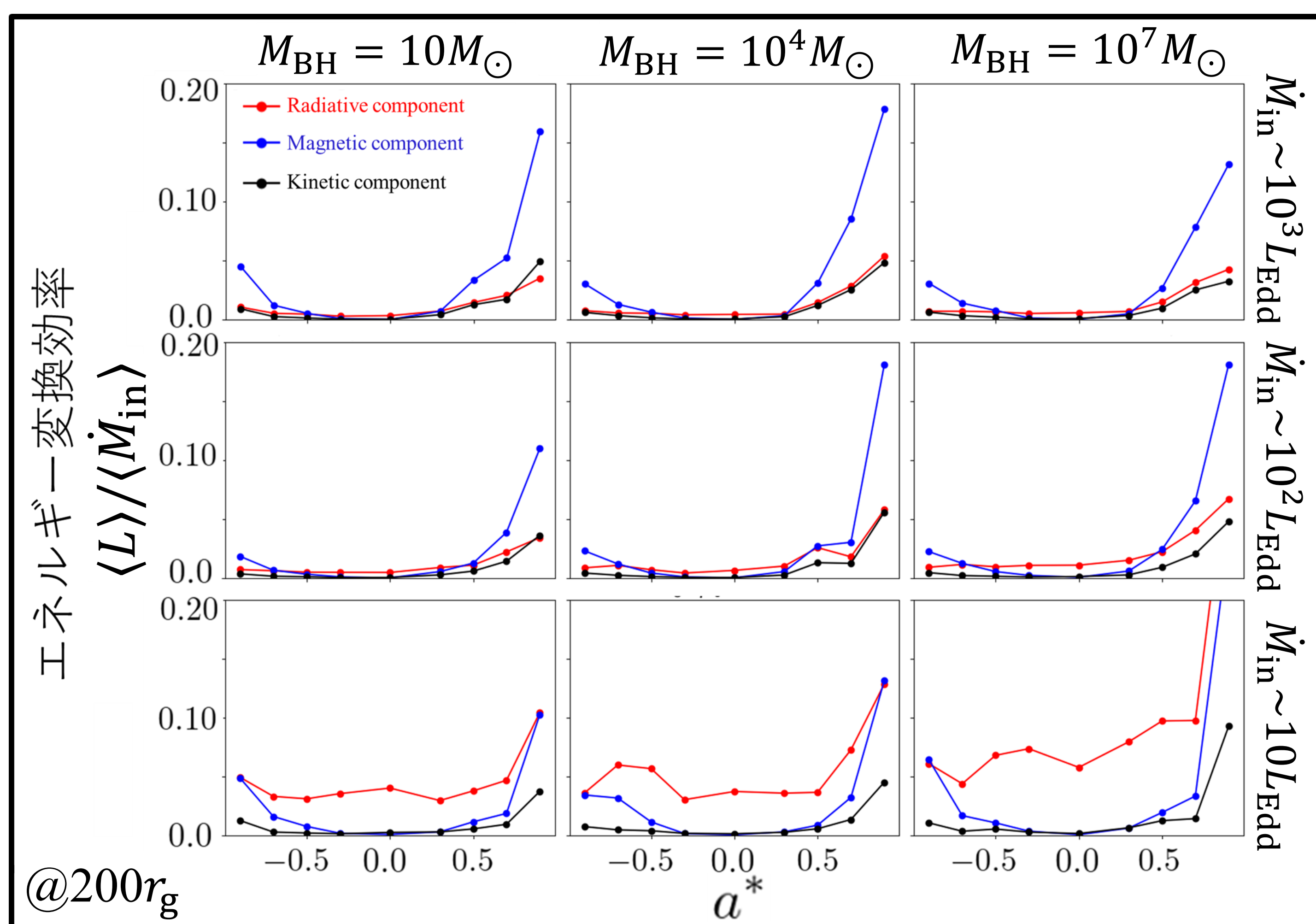
### パラメータ (計81モデル)

- 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各エネルギー成分の 変換効率のスピン・質量降着率・BH質量依存性



上図にエネルギー変換効率の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。
- $\dot{M}_{\text{in}} \sim 10 L_{\text{Edd}}$ 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,  $|a^*| \geq 0.7$ 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。

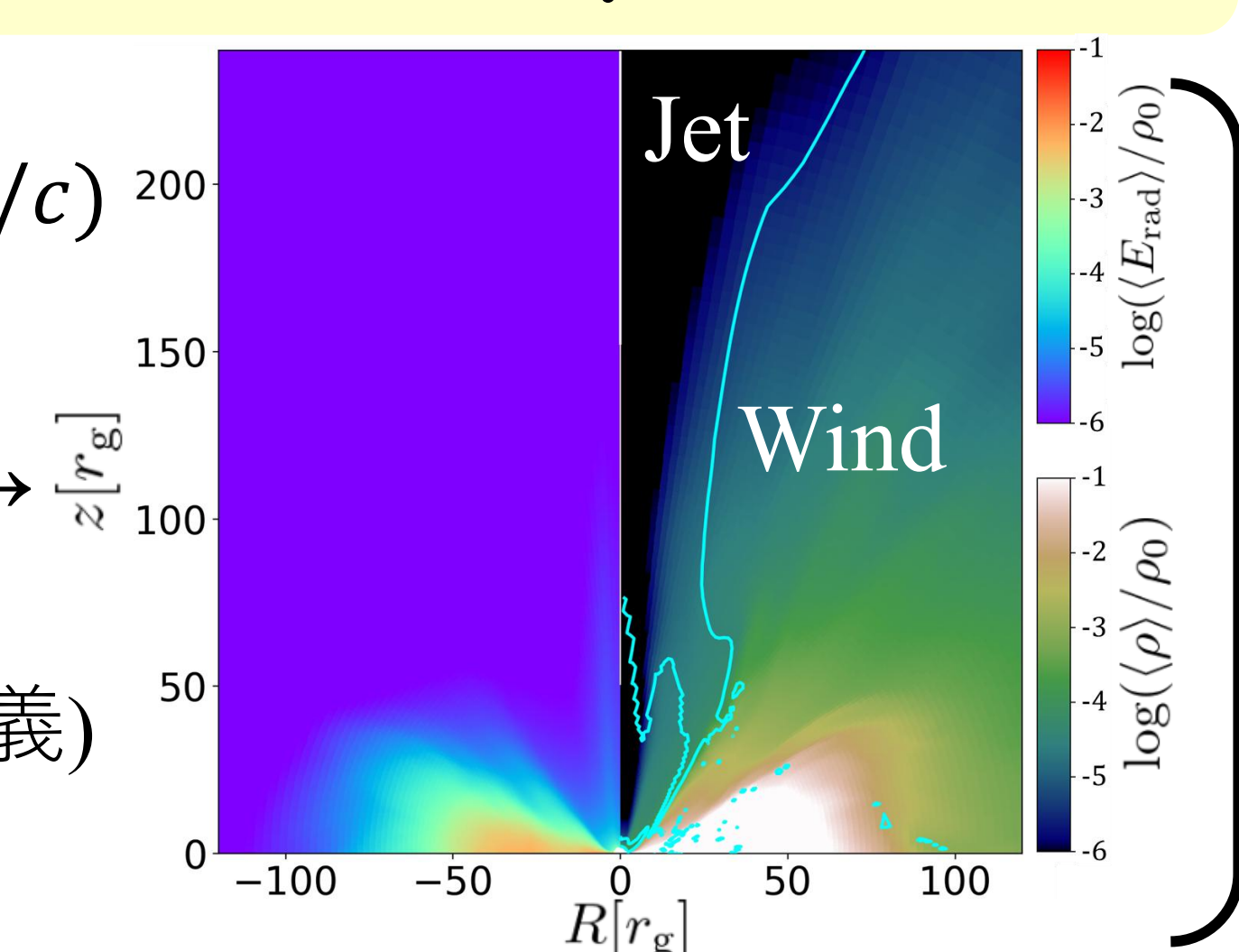
### Kinetic component

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

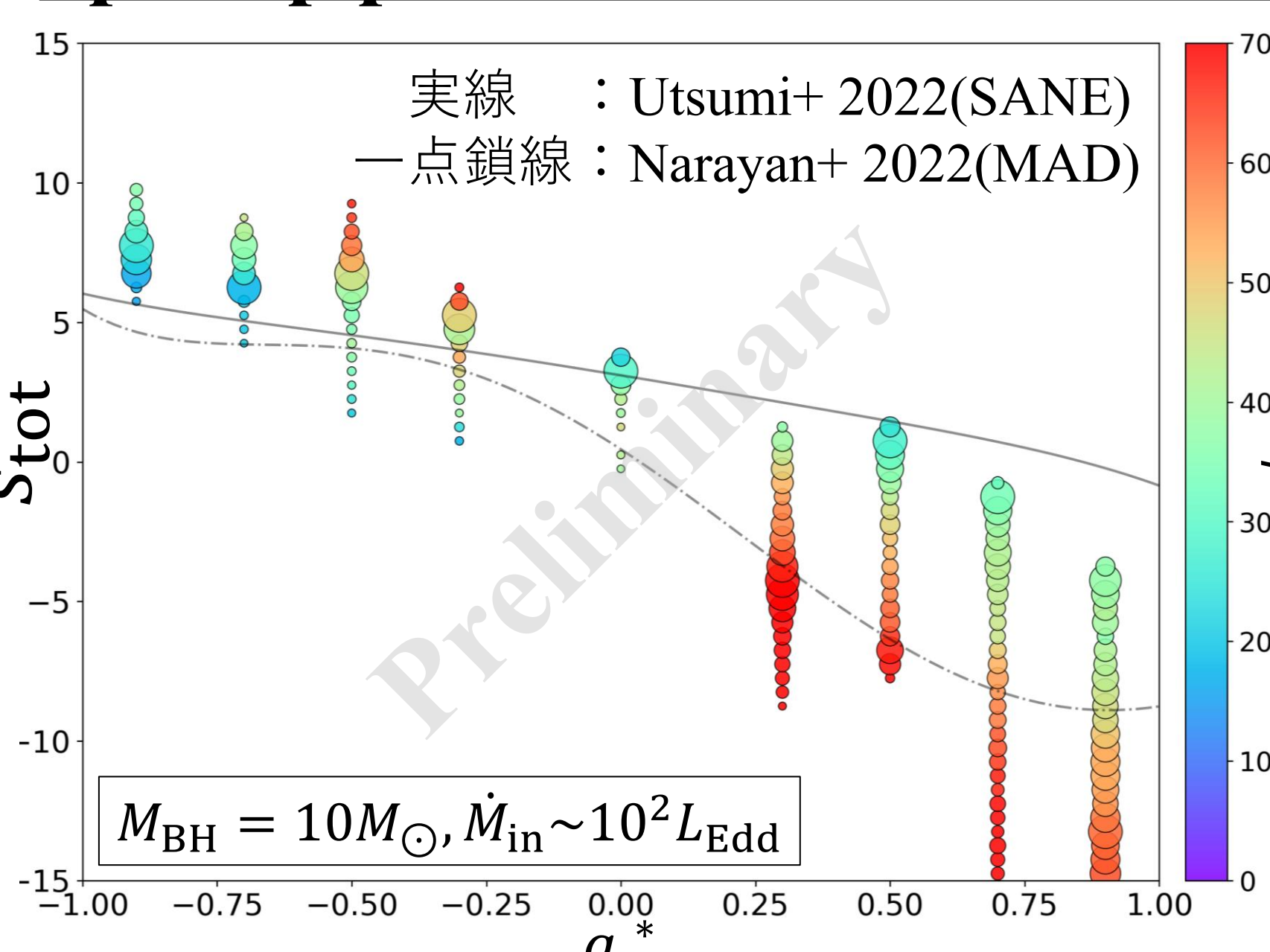
BHから解放されるエネルギーの大半は → Jet領域から噴出

(JetとWindの境界はBernoulli parameterで定義)



## Discussions

### Spin-up parameterのスピン・磁場強度依存性



- $a^*$ が大きいほど, spin-up rateは減少する。
- $|a^*| \geq 0$ では, 磁場強度が強いほど, より spin downされる傾向が見られる。
- 一点鎖線(RIAF)と比較すると,  $|a^*| \geq 0.7$ でspin-up rateがより小さい値をとるのは, 超臨界降着特有の効果か?

## 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。
- $|a^*| \leq 0.7$ ではRadiative成分が卓越し,  $|a^*| \geq 0.7$ 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。
- Spin-up rateは  $a^*$ が大きいほど減少し, 特に強磁場下では, より spin downされる傾向にある。