

ブラックホール風の見かけの光球と
熱化面とスペクトル
: 波長依存性を考慮した計算

大阪教育大学大学院

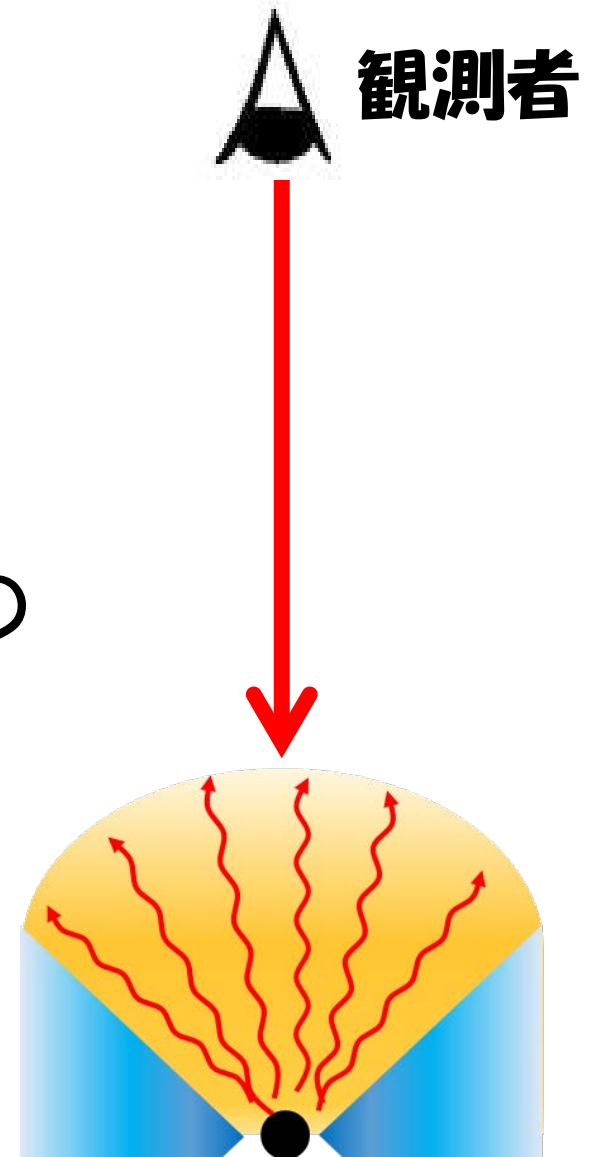
天文学研究室

富田瑞穂 福江純

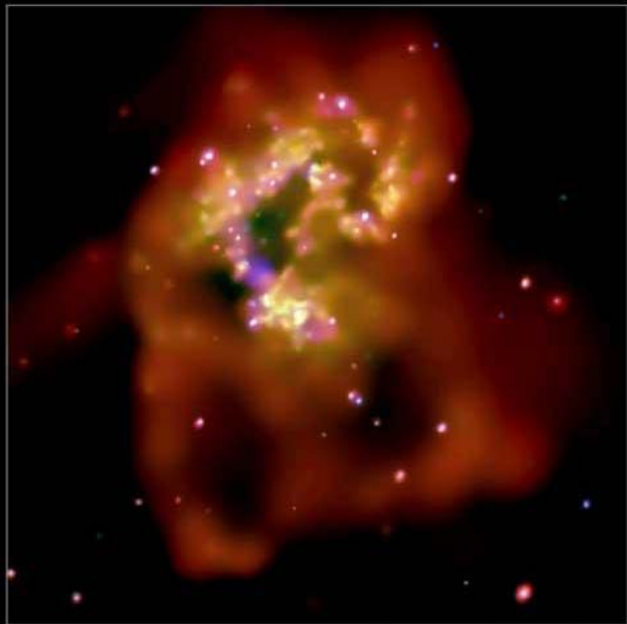
本研究の目的

光学的に厚く相対論的な
ブラックホール風を
球対称として仮定し計算

★波長依存性を考慮した場合の
観測的特徴を研究



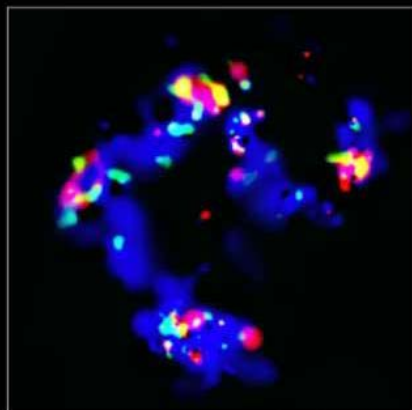
本研究に適用できる可能性のあるもの



3-COLOR, FULL FIELD



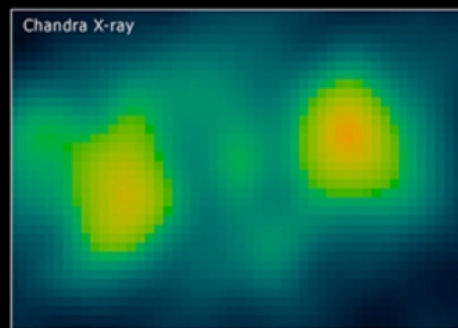
DIFFUSE EMISSION



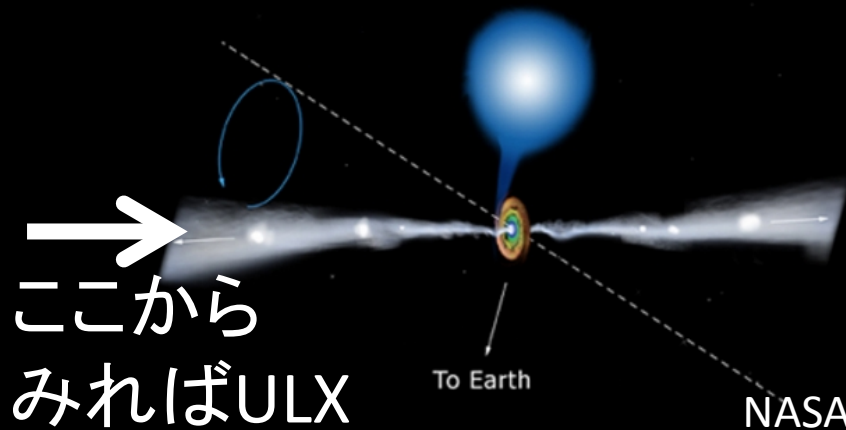
ELEMENT MAP

超大光度X線源 ULX

理論的な上限エディントン光度を大きく上回るX線を出している



Micro
Quasar
SS433



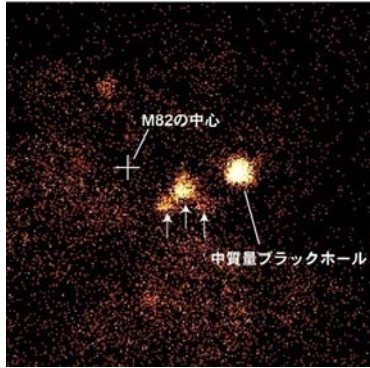
ここから
みればULX

NASA

ULX 中心コンパクトオブジェクトの候補

中間質量BH + 標準円盤

従来の理論①



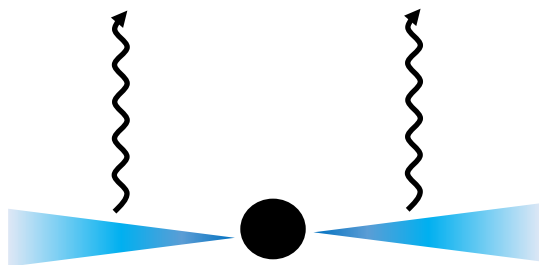
$\geq 10^3 M_{\odot}$

質量が大きい → 明るい

WINDがない

円盤が直接見える

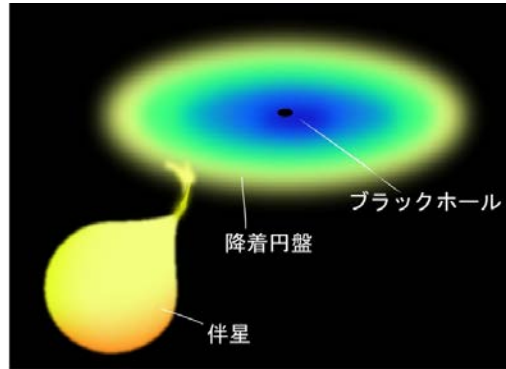
本当に存在するのか？



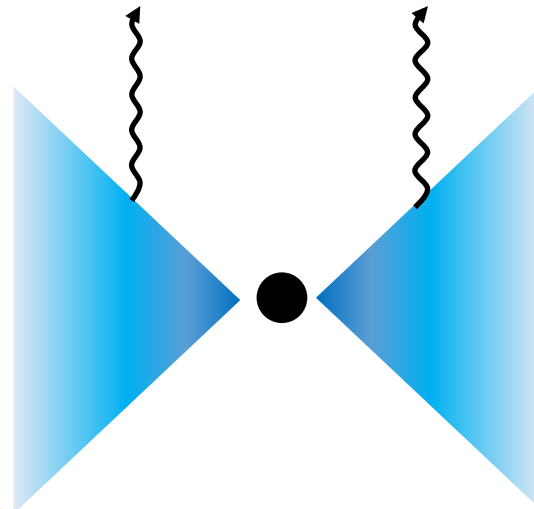
恒星質量BH + 超臨界降着円盤

従来の理論②

WINDがない
超臨界で明るい



$20-30 M_{\odot}$



より正しい理論へ...

WINDがある

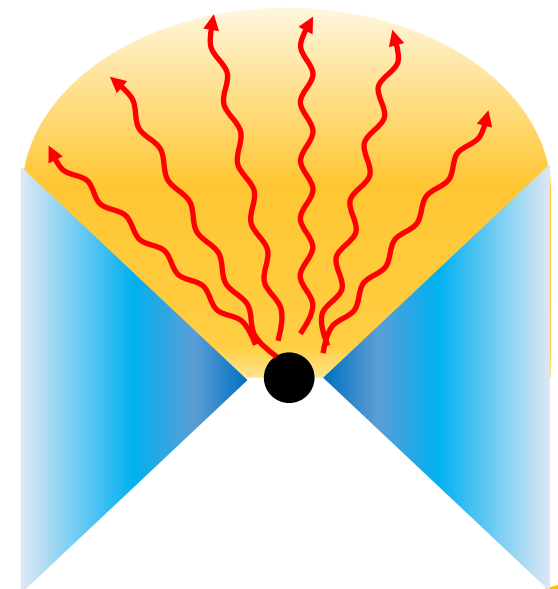
円盤は見えない

(WINDで隠される)

WINDの内部の

どこかを見ている

→じゃあどこか??



ブラックホール風のモデル

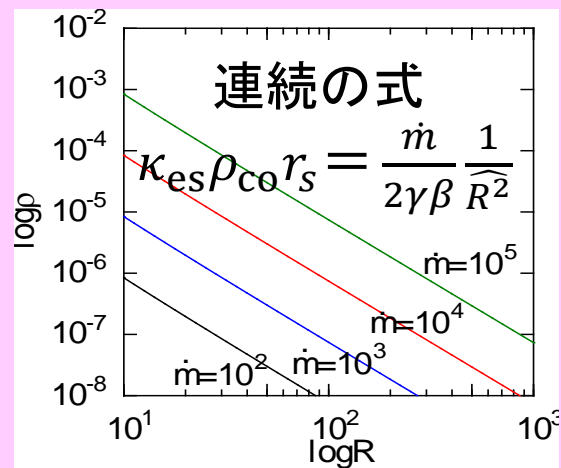
【仮定】

- 一定の球対称風(ブラックホール風)を考える。
- 中心付近で十分に加速され、無限遠で一定の終端速度 β_∞ になるとする。
- 質量放出率は一定とし、光度はエディントン光度に固定する。

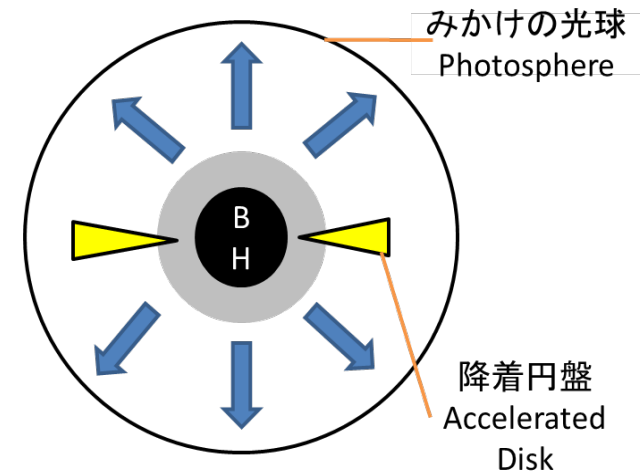
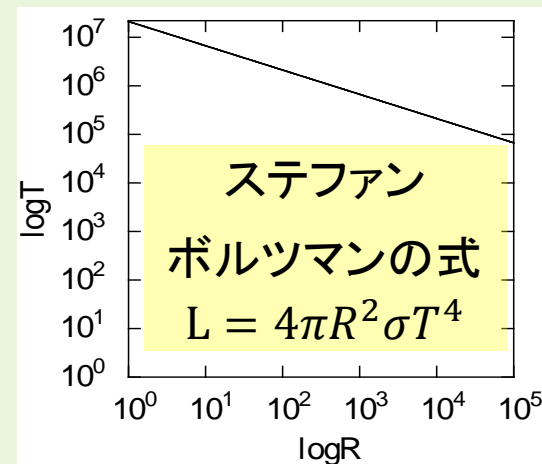
領域内で加速されるWindの速度勾配

$$\beta = v/c = \beta_0 + (\beta_\infty - \beta_0) \left(1 - \frac{r_0}{R}\right)$$

密度分布

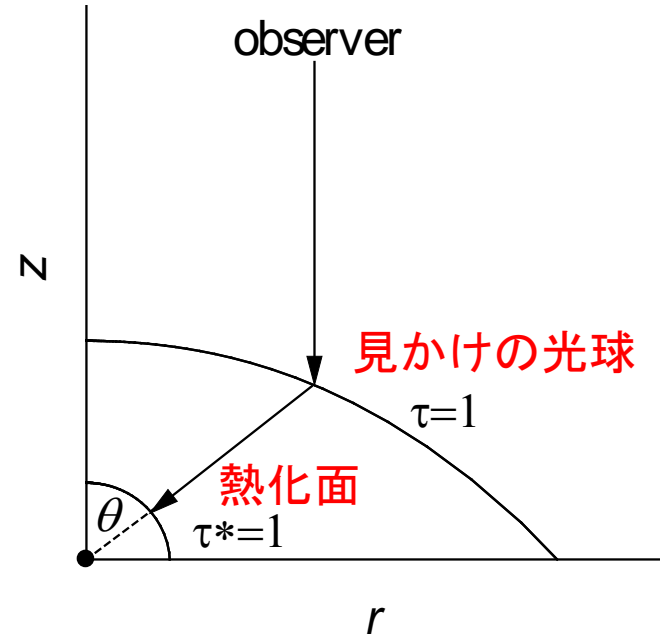


温度分布



ブラックホール風のイメージ図

見かけの光球と熱化面



見かけの光球($\tau = 1$) **最終散乱面**

$$\tau_{ph} = - \int_{\infty}^{z_{ph}} \gamma(1 - \beta \cos \theta) (\kappa_{ff} + \kappa_{es}) \rho_{CO} dz = 1$$

熱化面($\tau_* = 1$)

光子が生まれるところ

$$\tau_* = - \int_{R_{ph}}^{R_*} \gamma(1 - \beta) \sqrt{\kappa_{ff}(\kappa_{ff} + \kappa_{es})} \rho_{CO} dR = 1$$

κ_{ff} : 自由-自由吸収の不透明度
 κ_{es} : 電子散乱の不透明度

見かけの光球の重要性

球対称に吹いている風でも、見かけの光球は球対称でなくなる
 ⇒ 中心から外側に行くにつれて、密度が減少するため

熱化面の重要性

光子は内部深くの熱化面で黒体放射により生まれて、
 温度を保ったまま電子散乱により見かけの光球まで散乱される

先行研究と本研究の違い

電子散乱の不透明度 $\kappa_{es} = 0.40 \text{ cm}^2/\text{g}$

自由-自由吸収の不透明度

先行研究 $\bar{\kappa}_{ff} = 0.64 \times 10^{23} \rho T^{-3.5} \text{ cm}^2/\text{g}$

本研究 $\kappa_{ff}(\mathbf{v}) = 1.5 \times 10^{25} \rho T^{-3.5} \times \frac{1 - e^{-h\nu/kT}}{(\frac{h\nu}{kT})^3} \text{ cm}^2/\text{g}$

(1) 光学的に厚く相対論的なブラックホール風を
球対称風で評価

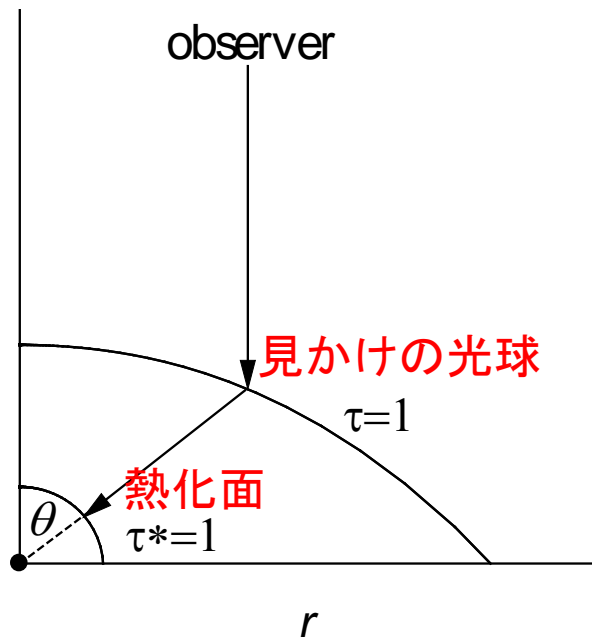
King, A.R. and Pounds, K.A. 2003, MNRAS, 345, 657

(2) (1)に対して光球面を考慮し計算

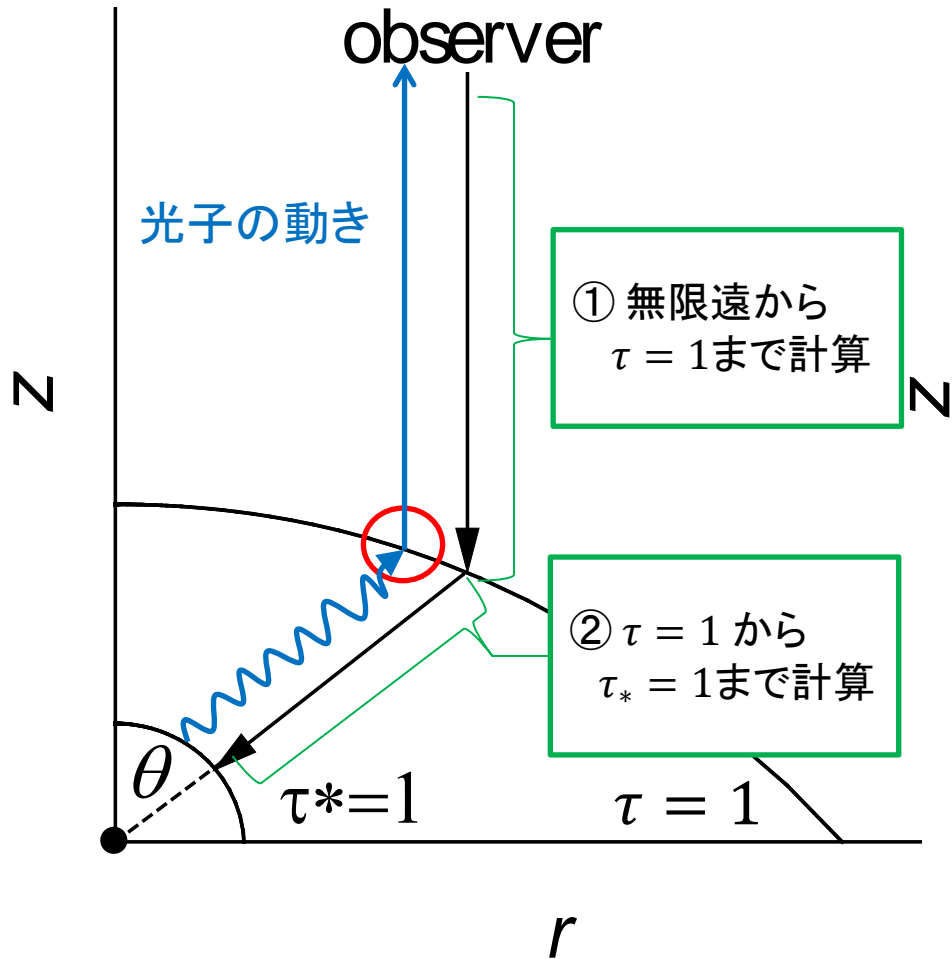
Fukue, J. and Sumitomo, N. 2009, PASJ, 61, 615

(3) (2)に熱化面を定義し、電子散乱の項をいれて計算

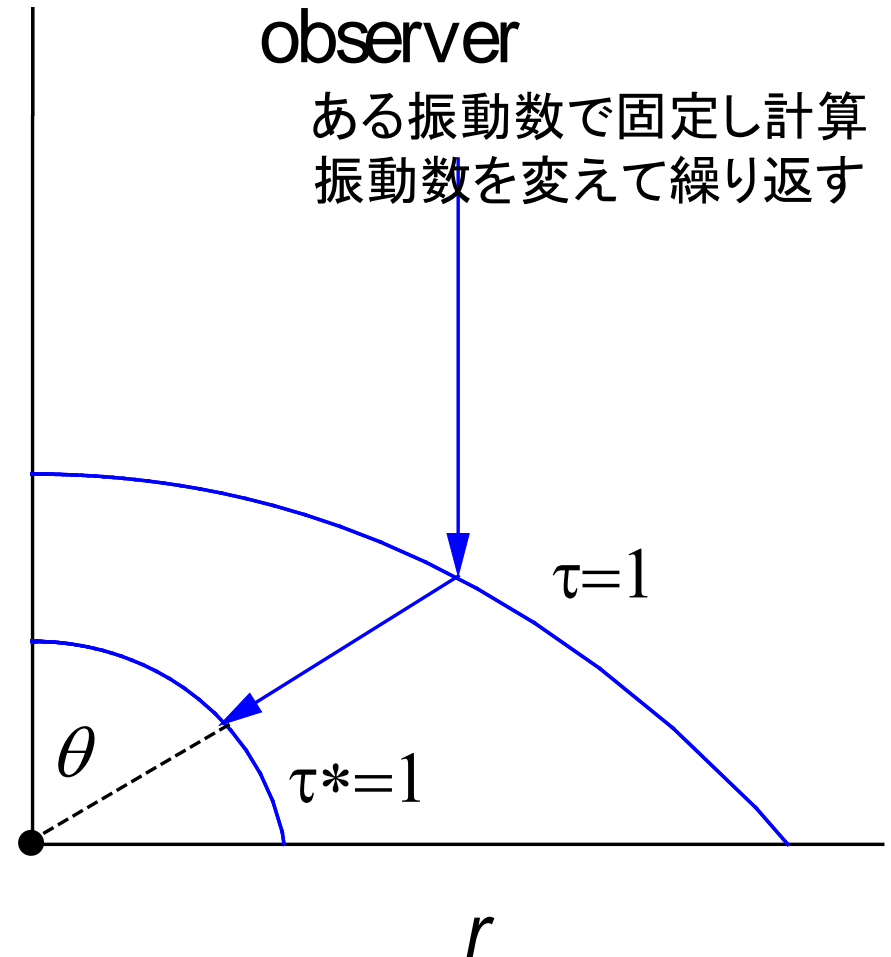
Ogura, K. and Fukue, J. 2013, PASJ, 65, 92



モデルと計算方法

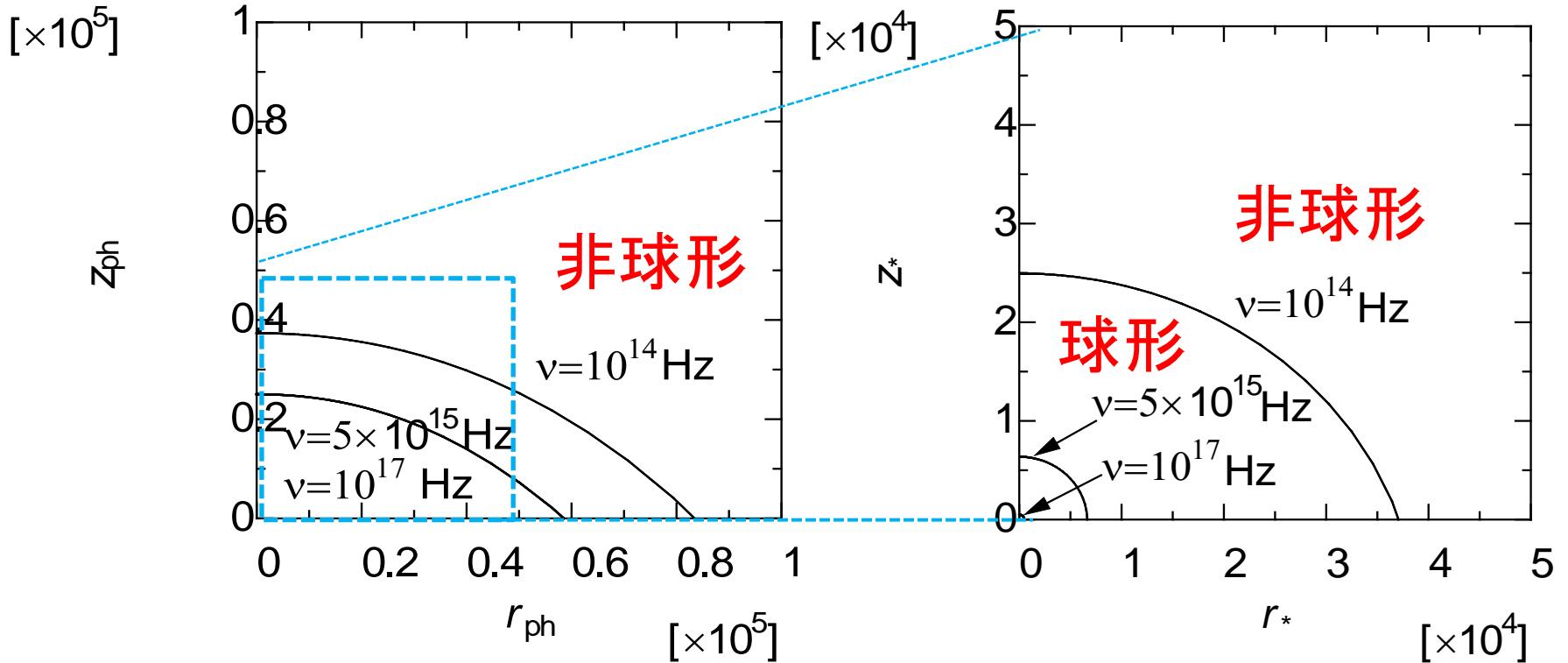


先行研究の計算方法



本研究の計算方法
各振動数ごとに計算

結果 見かけの光球と熱化面



みかけの光球

非球形に見えた 周縁減光効果がみられた

熱化面

振動数の低いところ 非球形に見えた

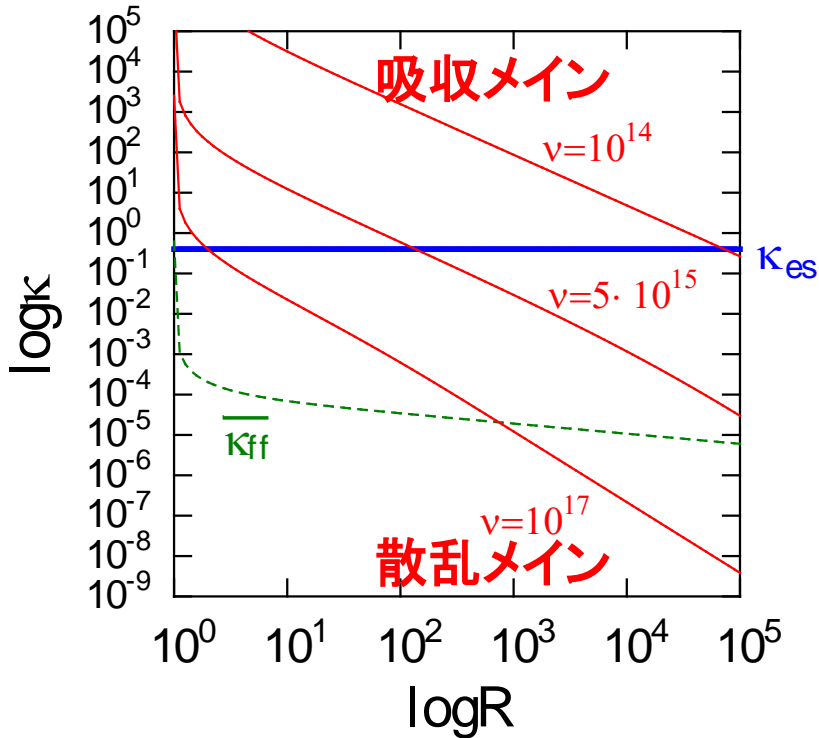
振動数の高いところ 球形に見えた

振動数が高いほど内側に入ってきた

スペクトル

黒体放射とは異なった形

考察 不透明度分布



半径に対する不透明度の違いを
振動数ごとに示した図

電子散乱の不透明度 $\kappa_{es} = 0.40 \text{ cm}^2/\text{g}$

自由-自由吸収の不透明度

先行研究

$$\bar{\kappa}_{ff} = 0.64 \times 10^{23} \rho T^{-3.5} \text{ cm}^2/\text{g}$$

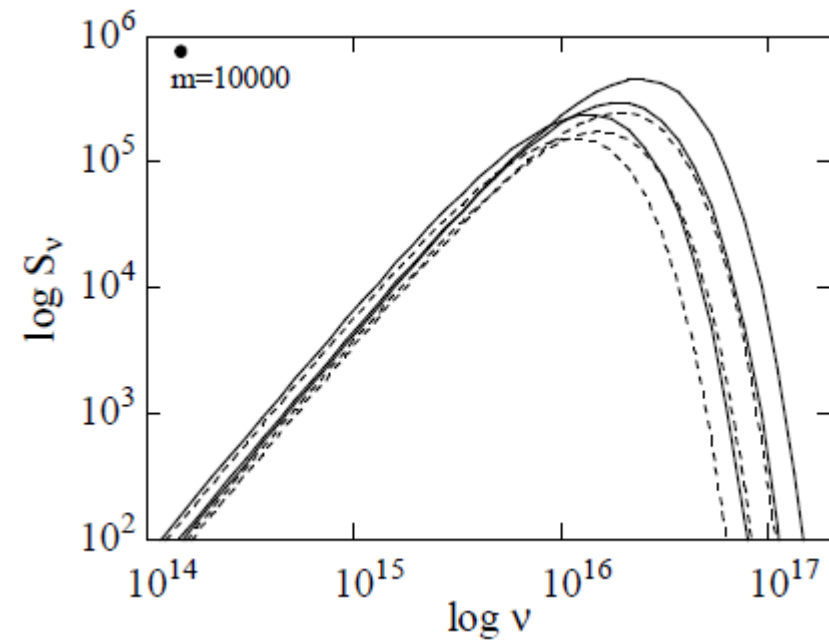
本研究

$$\kappa_{ff}(\nu) = 1.5 \times 10^{25} \rho T^{-3.5} \times \frac{1 - e^{-\frac{h\nu}{kT}}}{\left(\frac{h\nu}{kT}\right)^3} \text{ cm}^2/\text{g}$$

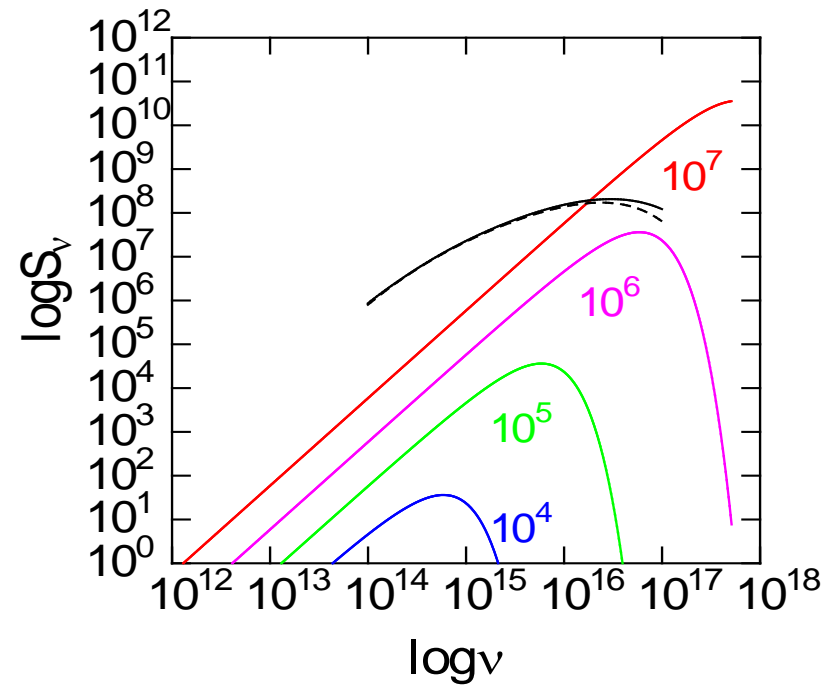
見かけの光球 $\tau_{ph} = - \int_{\infty}^{z_{ph}} \gamma(1 - \beta \cos \theta) (\kappa_{ff} + \kappa_{es}) \rho_{CO} dz = 1$

熱化面 $\tau_* = - \int_{R_{ph}}^{R_*} \gamma(1 - \beta) \sqrt{\kappa_{ff}(\kappa_{ff} + \kappa_{es})} \rho_{CO} dR = 1$

結果 スペクトル

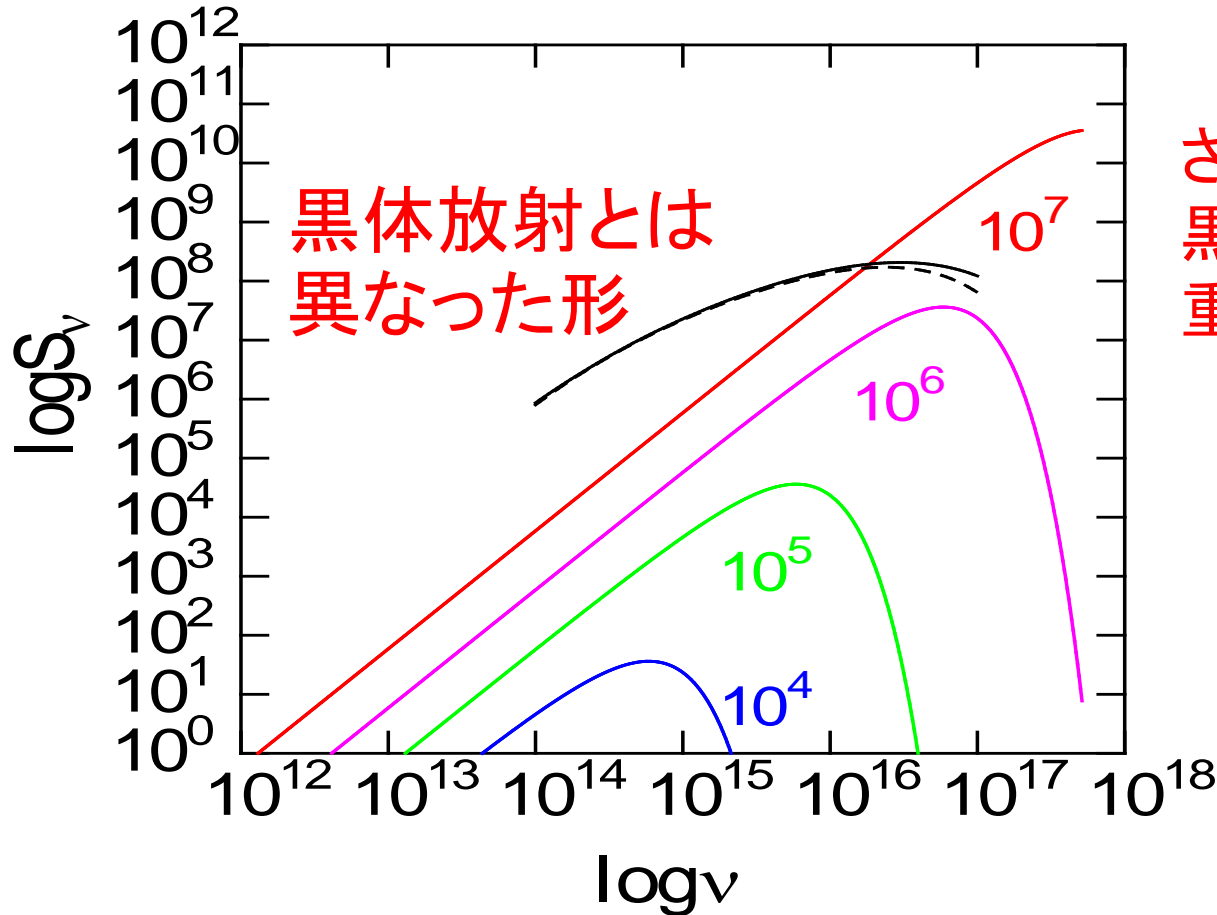


先行研究
(Ogura&Fukue2013)
単一温度の黒体放射



本研究(波長依存性を考慮)
黒体放射とは異なった形

結果 スペクトル



さまざまな温度の
黒体放射の
重ね合わせになる

Parameter

BHの質量 = $10 M_\odot$

初速度 $\beta_0 = 0$

終端速度 $\beta_\infty = 0.5$

加速度半径 $r_0 = 10 r_s$

質量放出率 $\dot{m} = 10^5$

見かけの光球が球形ではなく、
温度分布が一様ではないため

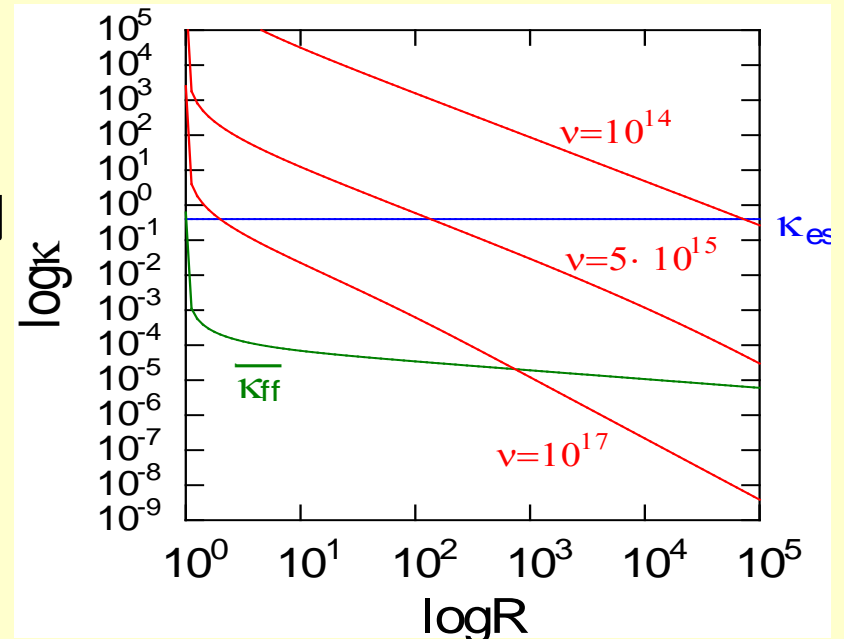
本研究でわかったこと

見かけの光球 ($\tau=1$) から熱化面 ($\tau^*=1$) の間

- 振動数が 10^{14} と低いと**吸収がメイン**
⇒ 熱化面外側に広がる
- 振動数が 10^{17} と高いと**散乱がメイン**
⇒ 内側に入ってくる

スペクトル

★さまざまな温度の黒体放射の重ね合わせになった



今後の展望

ULXの観測値をスペクトルに
フィッティングして
このモデルが適用し評価する

