

超臨界降着円盤から吹く
ブラックホール風のスペクトル



超光度X線源に対して超臨界降着
円盤モデルを適用する方法の見直し

*Black-Hole Winds from
Supercritical Accretion Disks*

福江純(大阪教育大学)



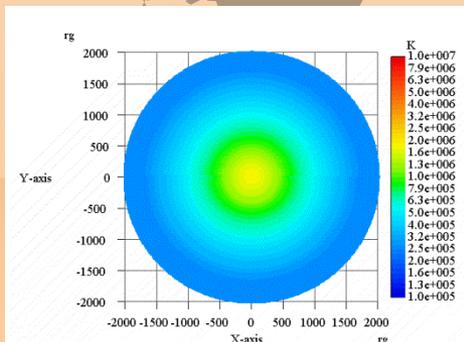
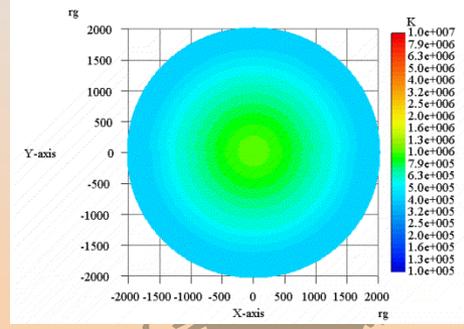


かつて誰も考えなかった ブラックホール風の“見た目”



ブラックホール風with超臨界降着円盤の スペクトルはどうなるか？

- 1 ブラックホール風のスペクトル
- 2 超臨界降着円盤のスペクトル
- 3 **ブラックホール風with超臨界降着円盤**
- 4 今後の課題





ものごとは“見た目”が大事

天体は“見た目”が10割

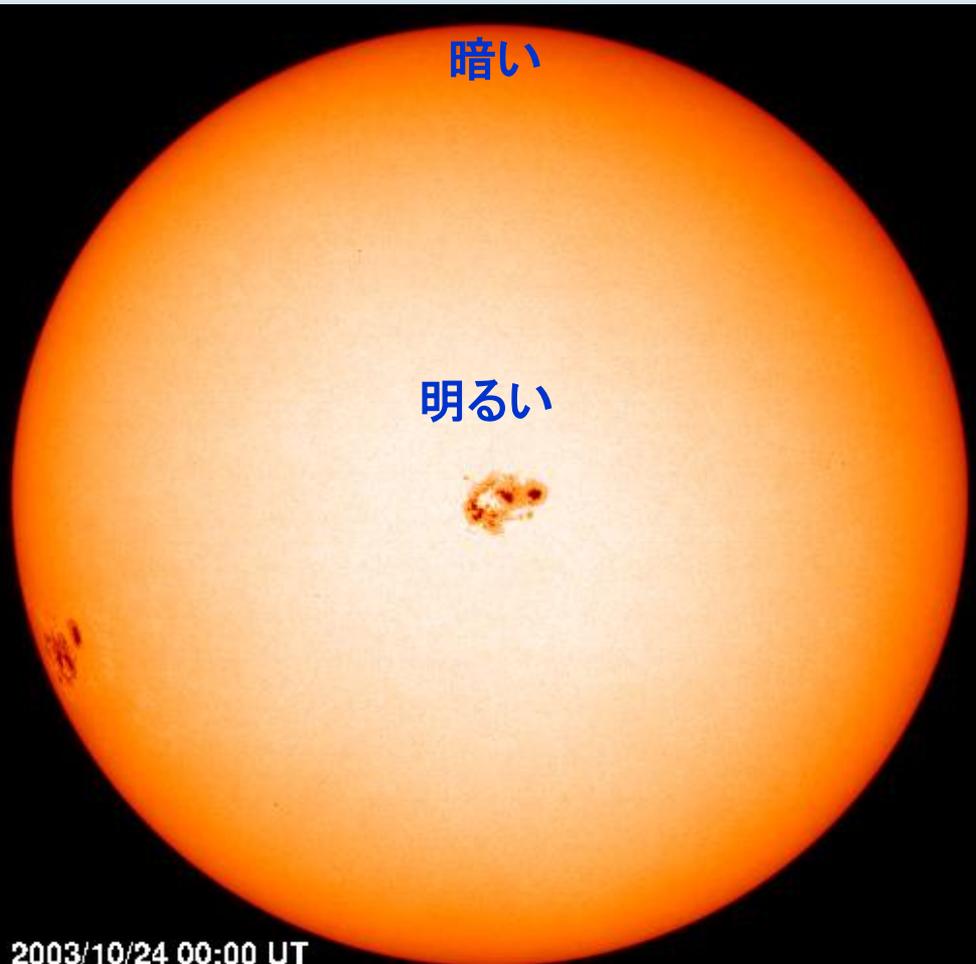
全体像(積分像)から詳細像(分解像)へ

- ❁ 固有系における見かけ上の“光球”
 - 周縁減光効果
 - 光学的厚みへの相対論的影響
- ❁ 観測系における“見た目”
 - 光行差
 - ドップラー効果
 - 重力赤方偏移 & 光線の彎曲

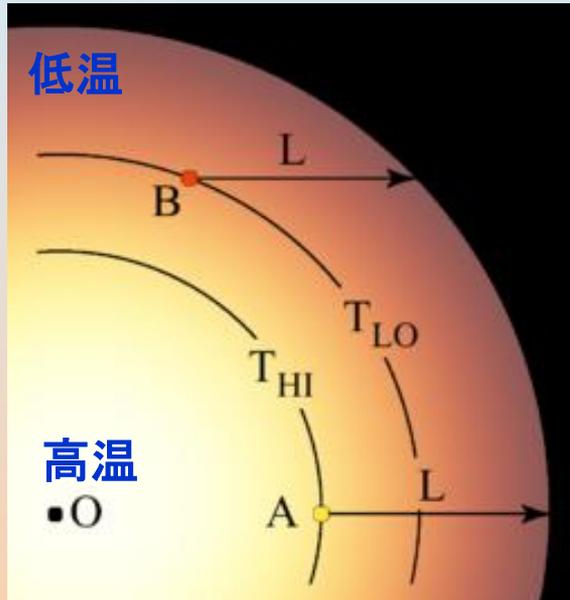


太陽の周縁減光効果

❁ 太陽の正面写真



❁ 太陽の断面図



周縁部
浅い場所
低温
暗い

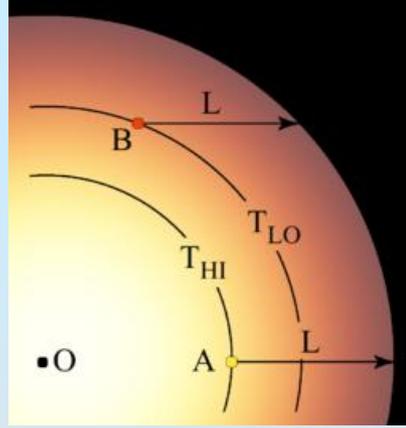
中央部
深い場所
高温
明るい

❁ どこを視ているのか

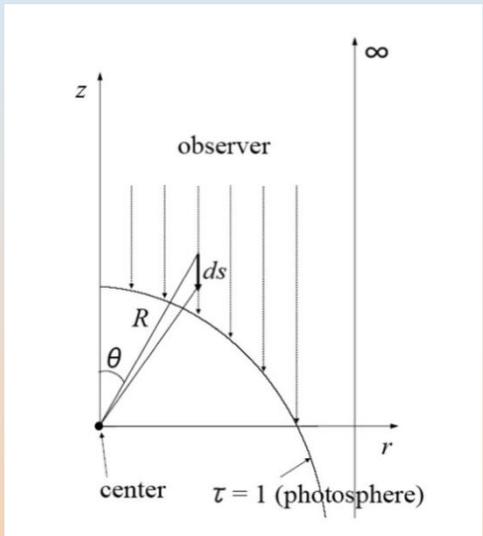




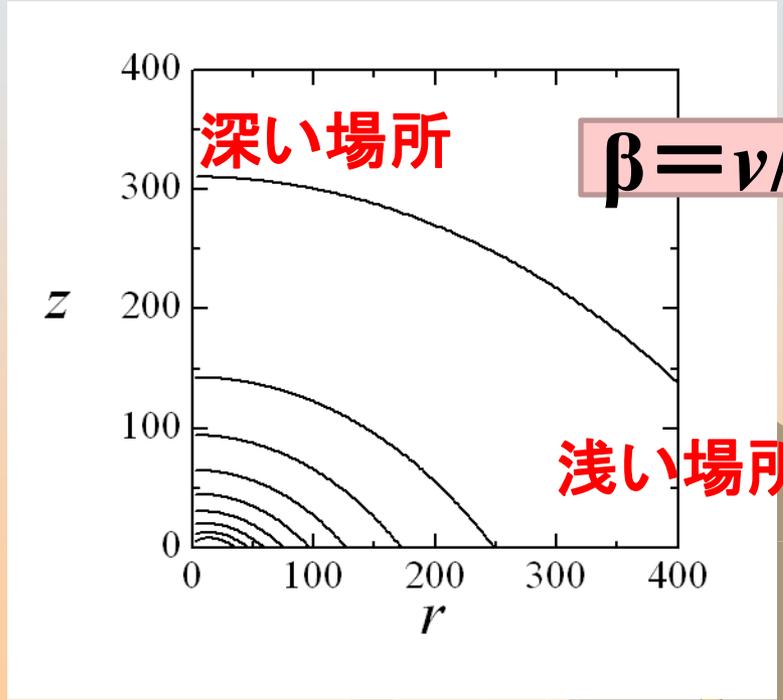
見かけの光球面



観測者は $z = \infty$ にいる



見かけの光球の高さ



β 小: 周縁減光効果

β 大: 光球面収縮

β 大 ($> 2/3$): 中央で凹



— Abramowicz et al. 1991

見かけの光球面の形状。速度は β が0.2から0.95まで0.05ずつ増えている。





ローレンツ=フィッツジェラルド



短縮

- ❁ 行程 λ は、ローレンツ=フィッツジェラルド短縮で変わる
- ❁ 光学的厚み $d\tau$ は相対論的不変量
- ❁ 亜光速プラズマ流では、下流方向に向かって光学的厚み τ は見かけ上は小さくなる。
– Abramowicz et al. 1991

$$\lambda = \frac{1}{\gamma(1 - \beta \cos\theta)} \lambda_0$$

$$\beta = \text{速度 } v / \text{光速 } c$$

$$\gamma = \text{ローレンツ因子}$$

$$\cos\theta = \text{方向余弦}$$

$$d\tau = d\tau_0 = \kappa_0 \rho_0 ds_0$$

$$= \gamma(1 - \beta \cos\theta) \kappa_0 \rho_0 ds$$

$$\kappa_0 = \text{不透明度}$$

$$\rho_0 = \text{共動系でのガス密度}$$

$$ds_0 = \text{共動系での光路長}$$

$$ds = \text{静止系での光路長}$$





2 球対称ブラックホール風 モデル



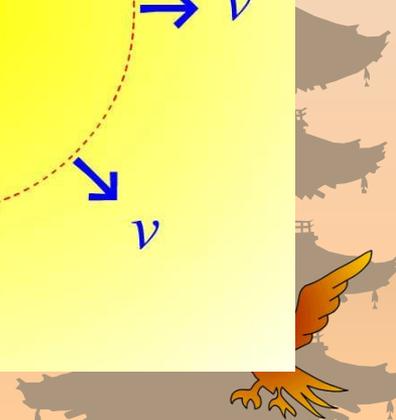
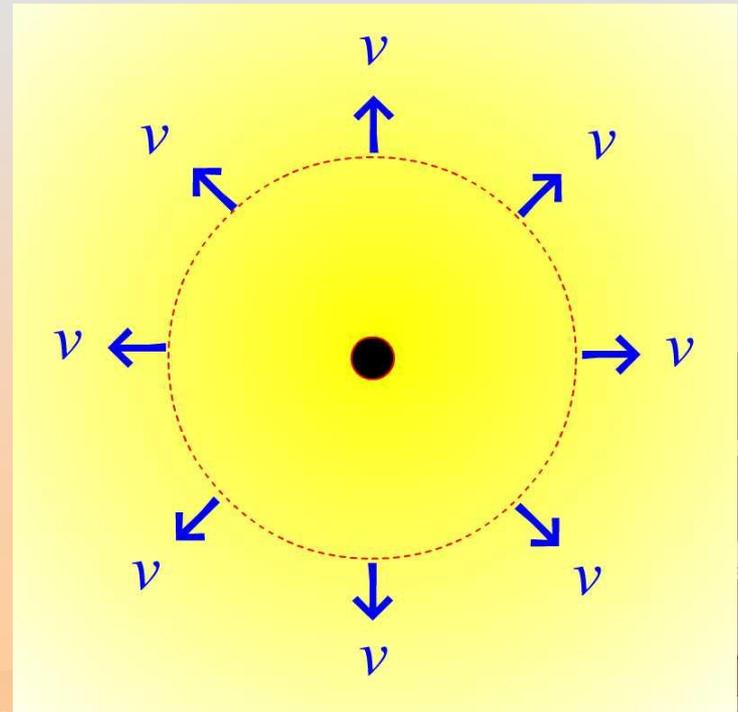
❁ 仮定

- 定常
- 球対称 (R)
- 重力なし
- 速度一定 ($v = c\beta = \text{const}$)
- 光度一定 ($L = 4\pi R^2 \sigma T_0^4$)

- ❁ 中心(ブラックホール)から周囲の四方八方へ球状に風が吹いている

❁ 密度分布と温度分布

$$\rho_0 = \frac{\dot{M}_0}{4\pi\gamma R^2} \quad T_0 = \left(\frac{L}{4\pi\sigma R^2} \right)^{1/4}$$



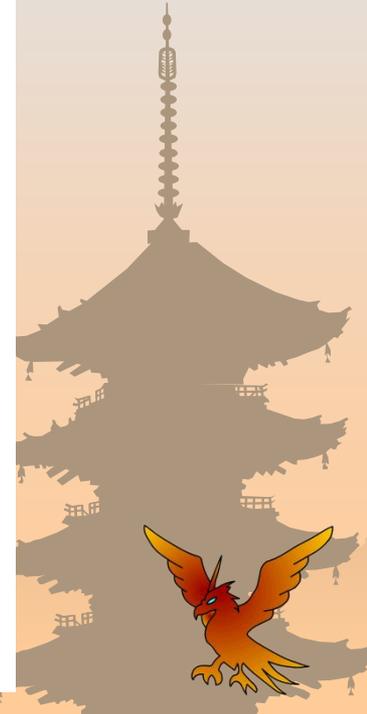
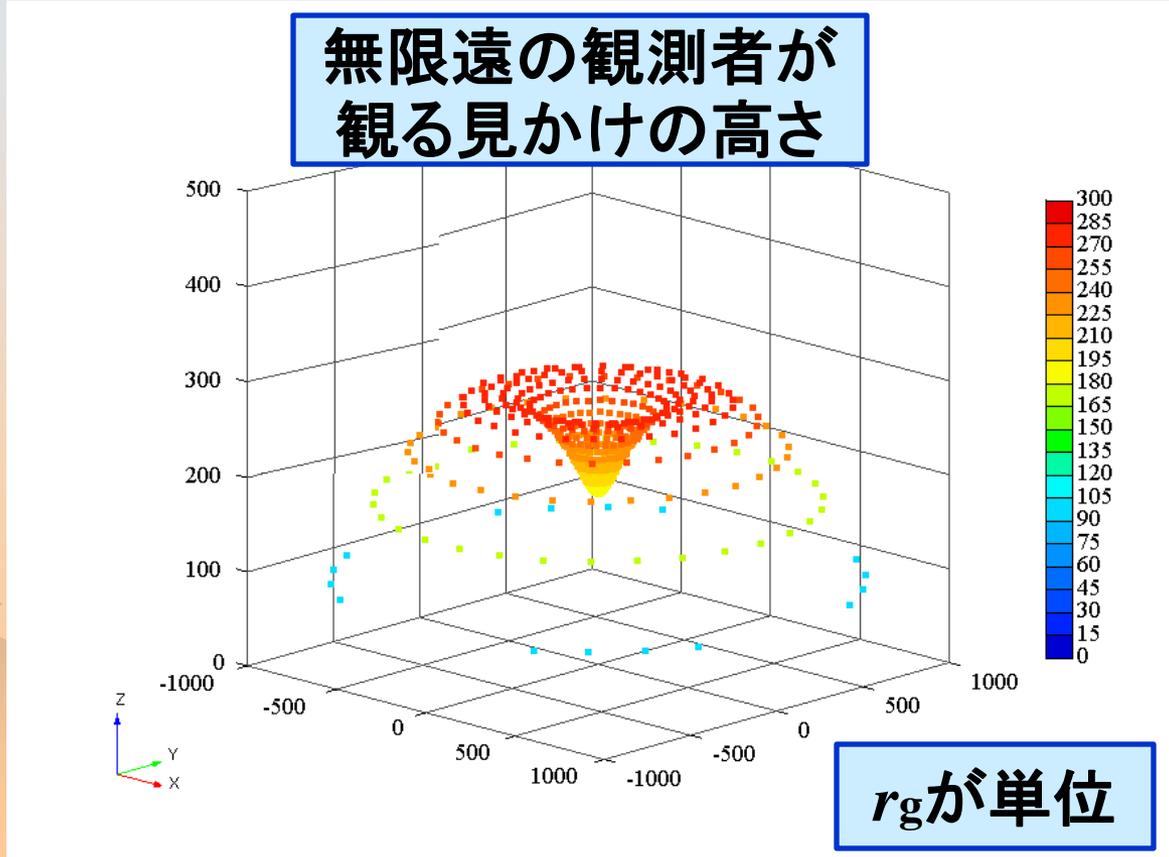


2 球対称ブラックホール風 見かけの光球面の形状



$$\dot{m} = 1000$$

$$\beta = 0.9$$





2 球対称ブラックホール風 共動系と観測系の温度分布

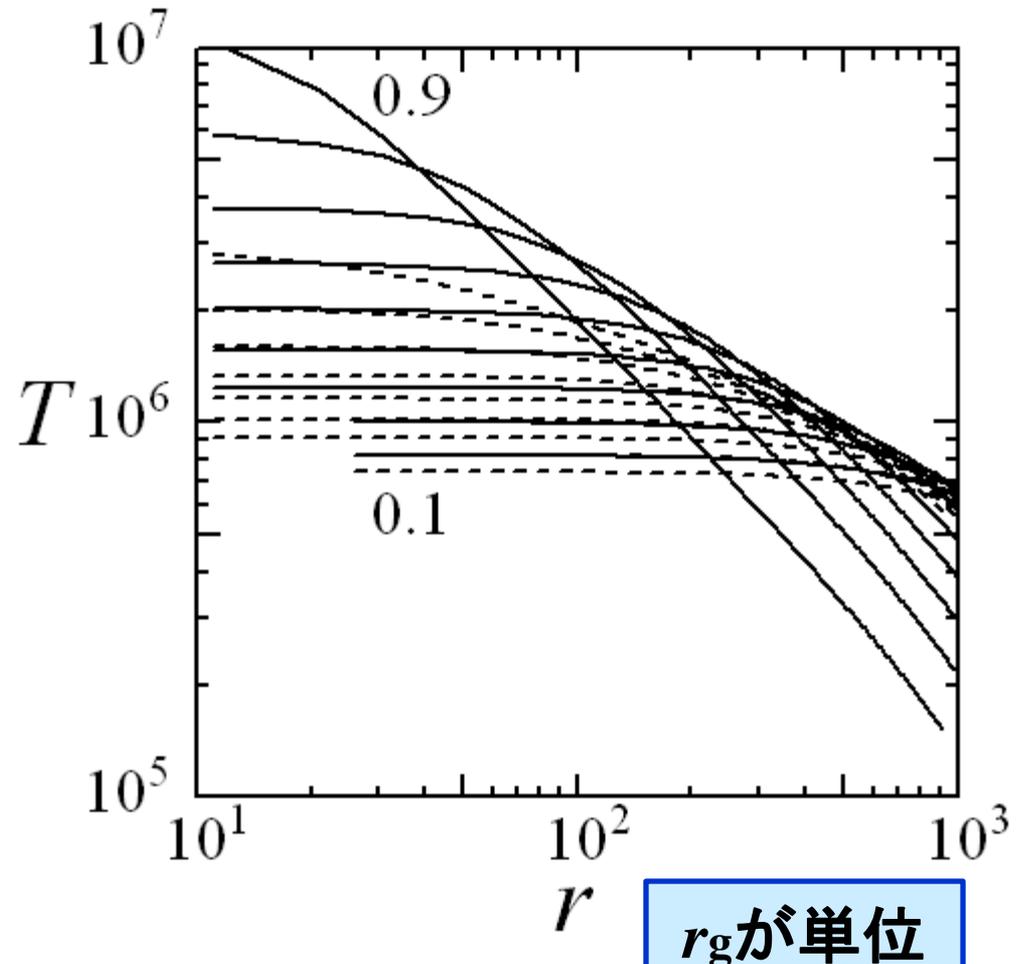
$$\dot{m} = 1000$$

$$\beta = 0.1 - 0.9$$

- 破線: 共動系
- 実線: 観測系

$\beta = 0.9$ のとき

$$T_{\text{obs}} = r^{-6/5}$$





2 球対称ブラックホール風 スペクトル



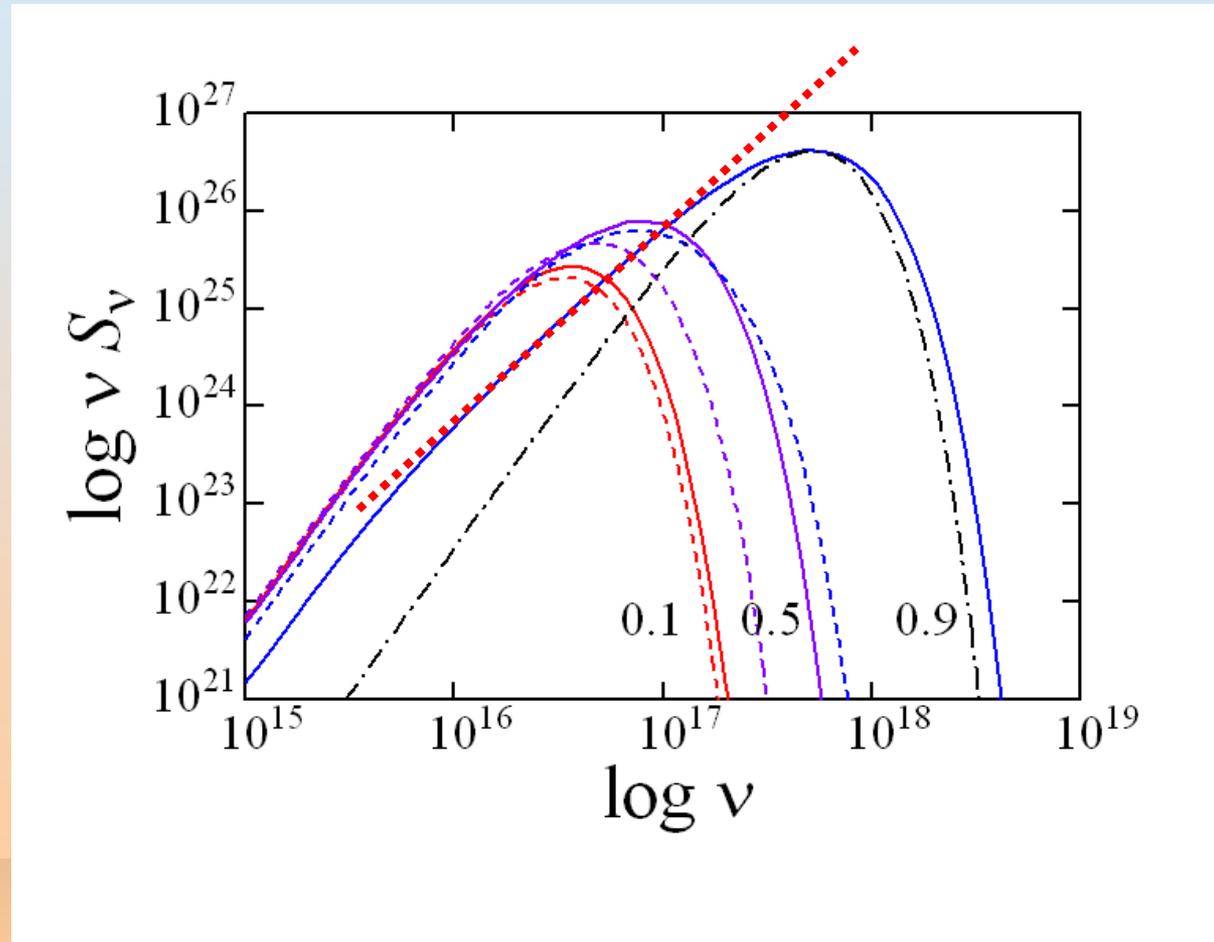
$$\dot{m} = 1000$$

$$\beta = 0.1, 0.5, 0.9$$

- ❁ 破線：共動系
- ❁ 実線：観測系
- ❁ 一点鎖線：黒体

$\beta = 0.9$ のとき

$$\nu S_\nu = \nu^{7/5}$$





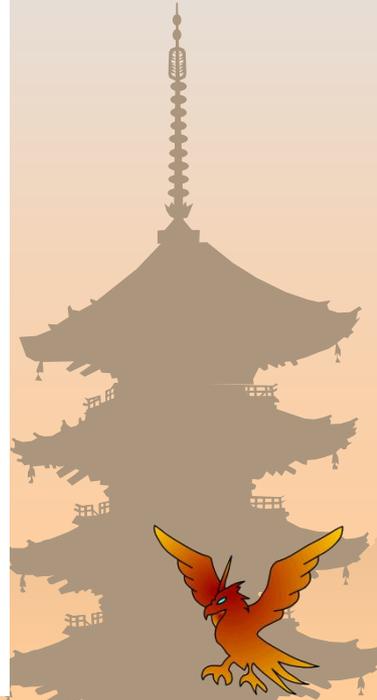
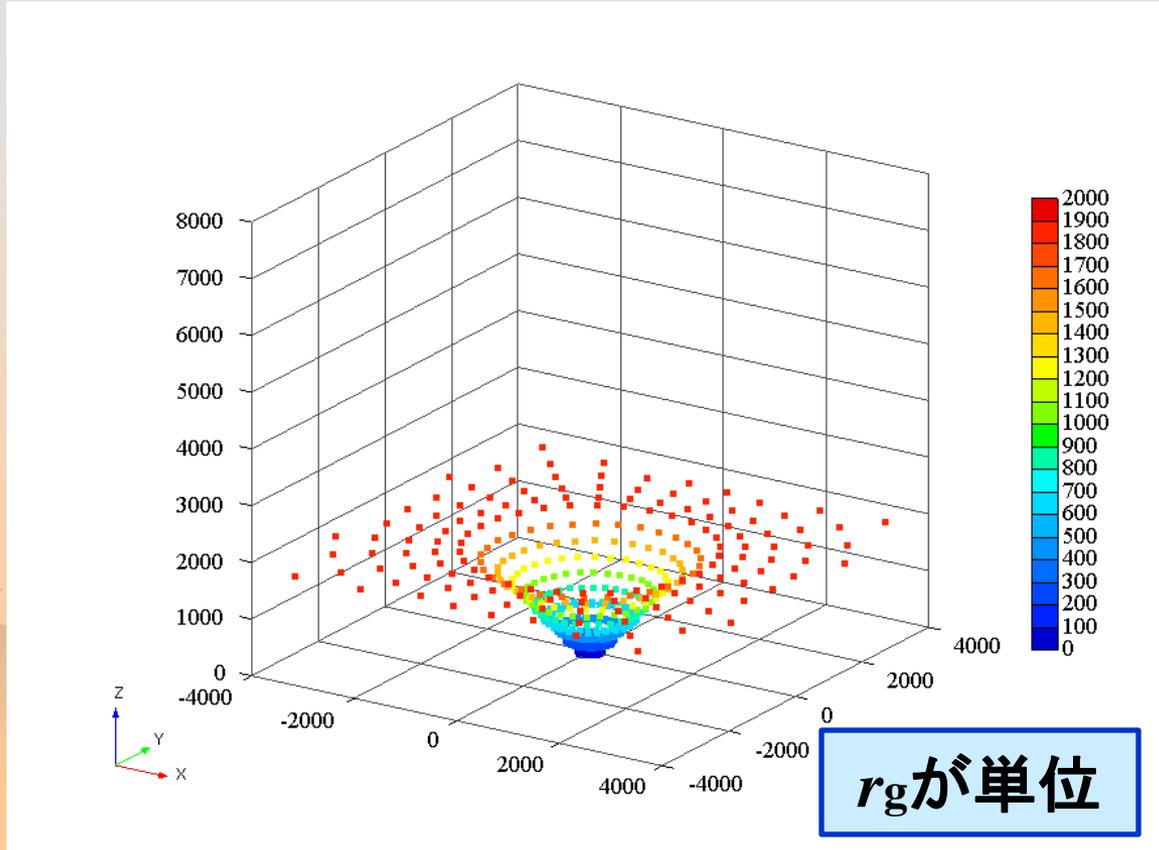
3 超臨界降着円盤

臨界部 + 標準部

$$\dot{m} = 1000$$

$$r_{cr} = 2000$$

- 臨界部: 円錐状
- 標準部: 平坦



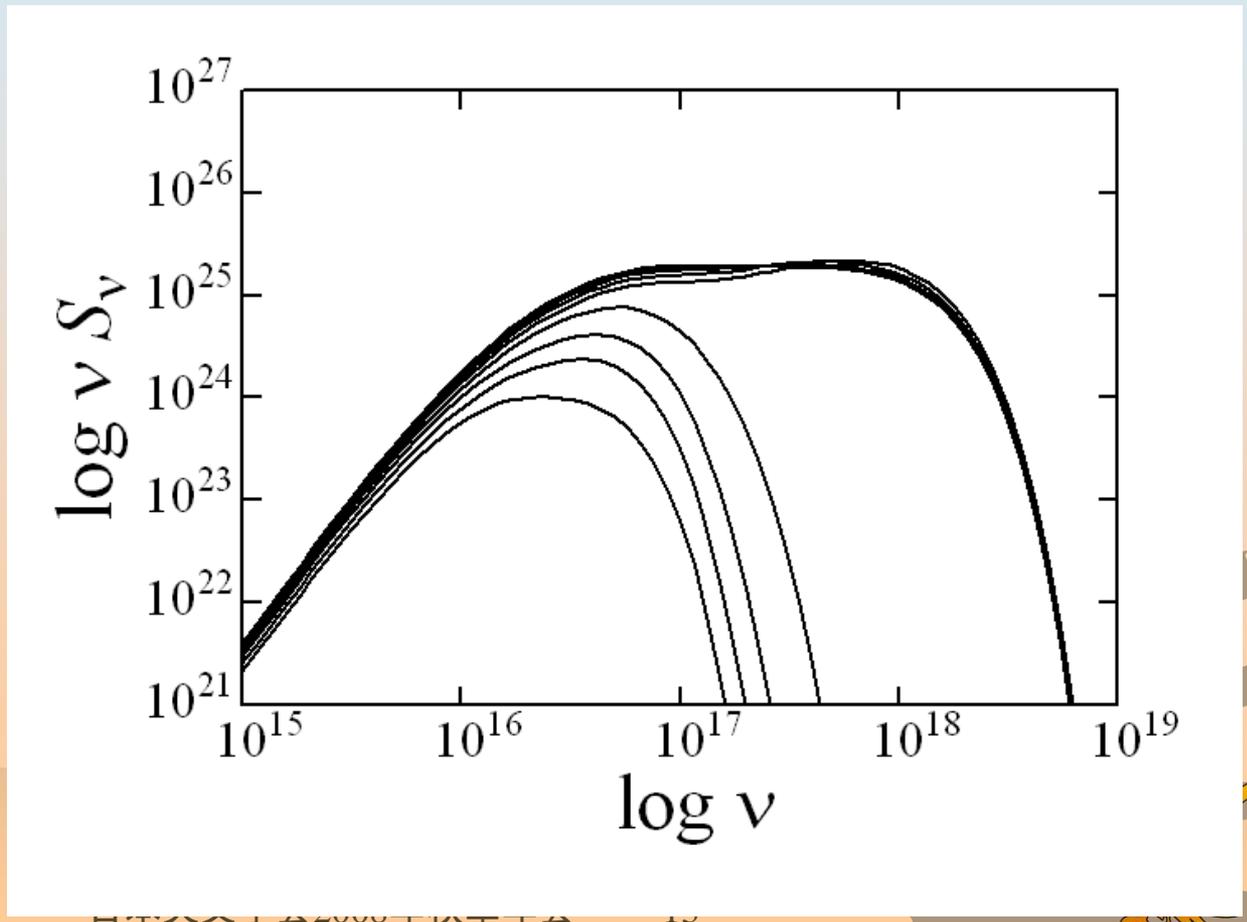


3 超臨界降着円盤 スペクトル

$m = 10$

$i = 0^\circ - 80^\circ$

pole-on
flat SED





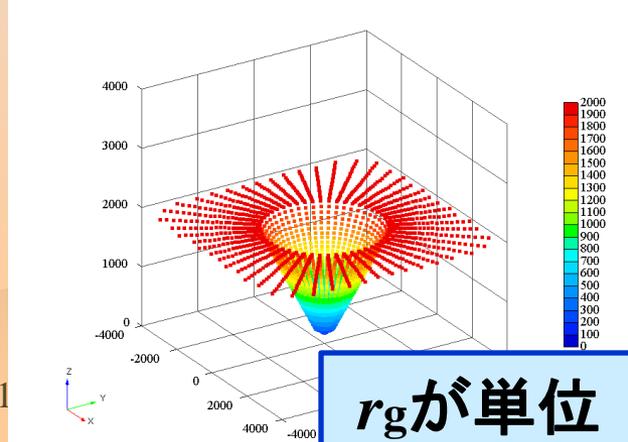
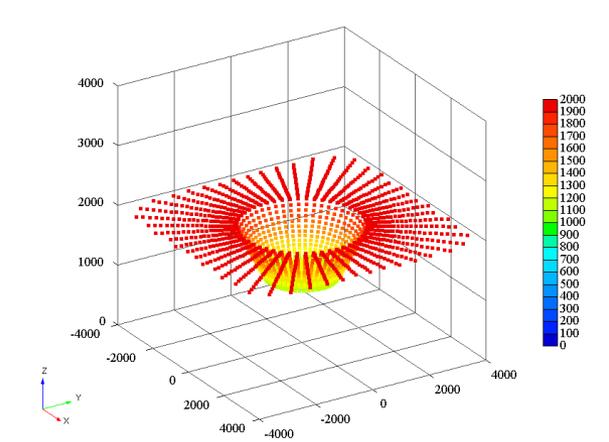
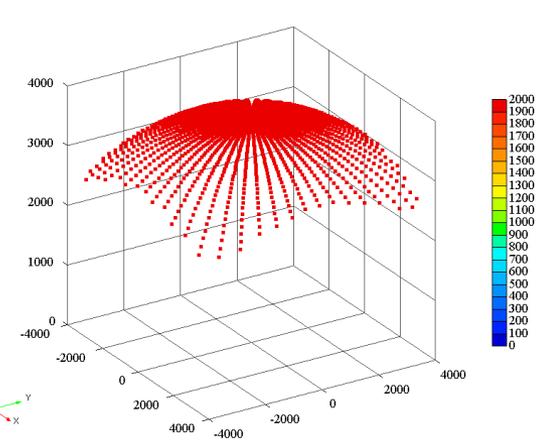
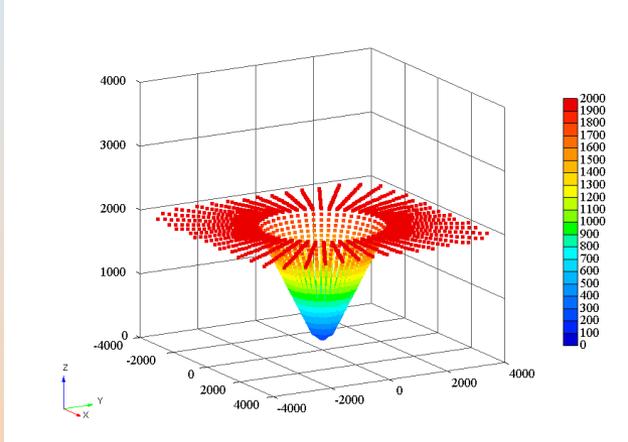
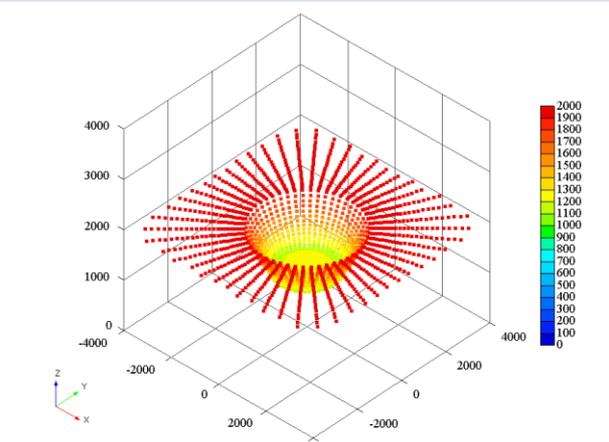
4 ブラックホール風w円盤 見かけの光球面の形状

$\dot{m} = 1000$

$\beta = 0.1, 0.5, 0.9$

$i = 0^\circ$

無限遠の観測者が
観る見かけの高さ



r_g が単位



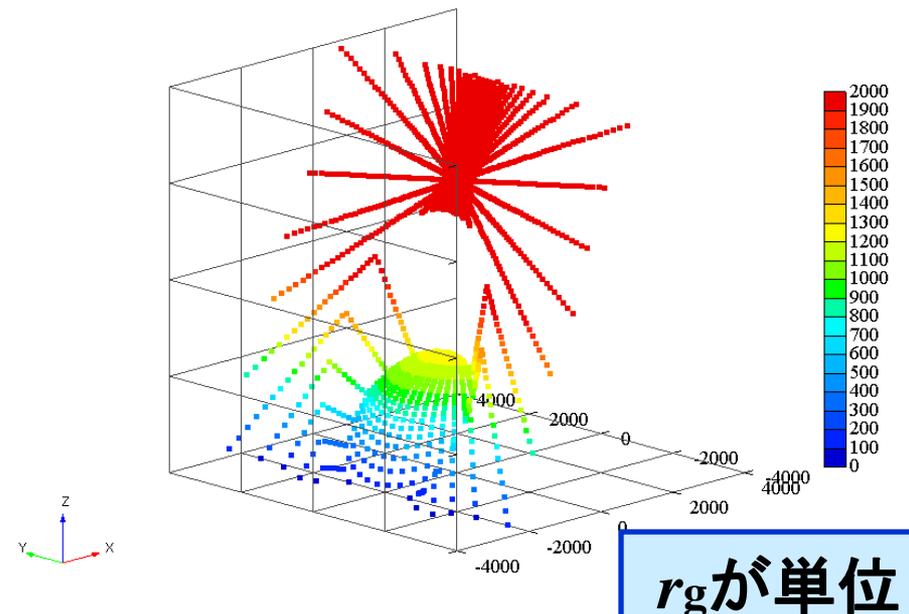
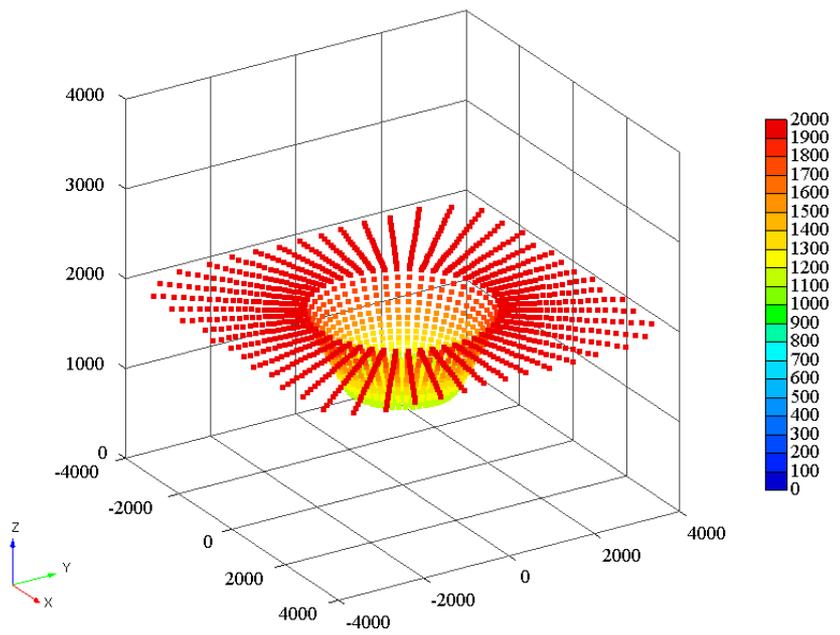
4 ブラックホール風w円盤 見かけの光球面の形状

$\dot{m} = 1000$

$\beta = 0.5$

$i = 0^\circ, 50^\circ$

無限遠の観測者が
観る見かけの高さ



r_g が単位



4 ブラックホール風w円盤 スペクトル

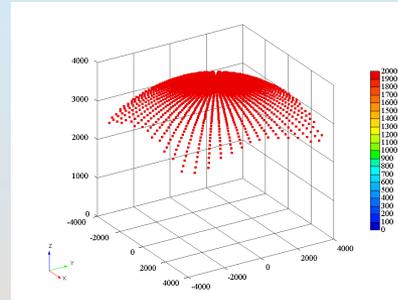


$$\dot{m} = 1000$$

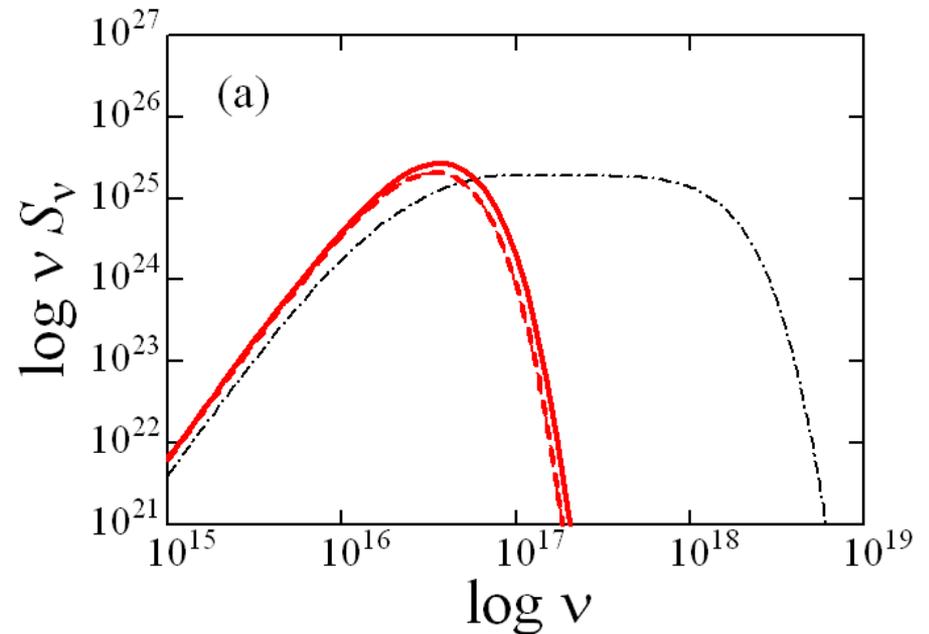
$$\beta = 0.1$$

BH風の光球によって、
臨界部はすべて覆わ
れている

ドップラーブースト=小
黒体的



破線: 共動系
実線: 観測系
細い破線: BH風の共動系
細い実線: BH風の観測系
一点鎖線: 超臨界円盤





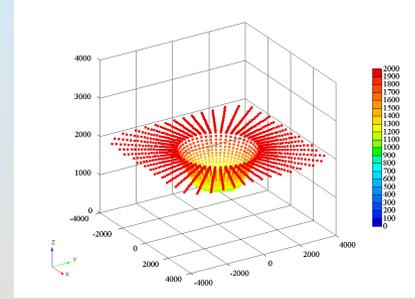
4 ブラックホール風w円盤 スペクトル



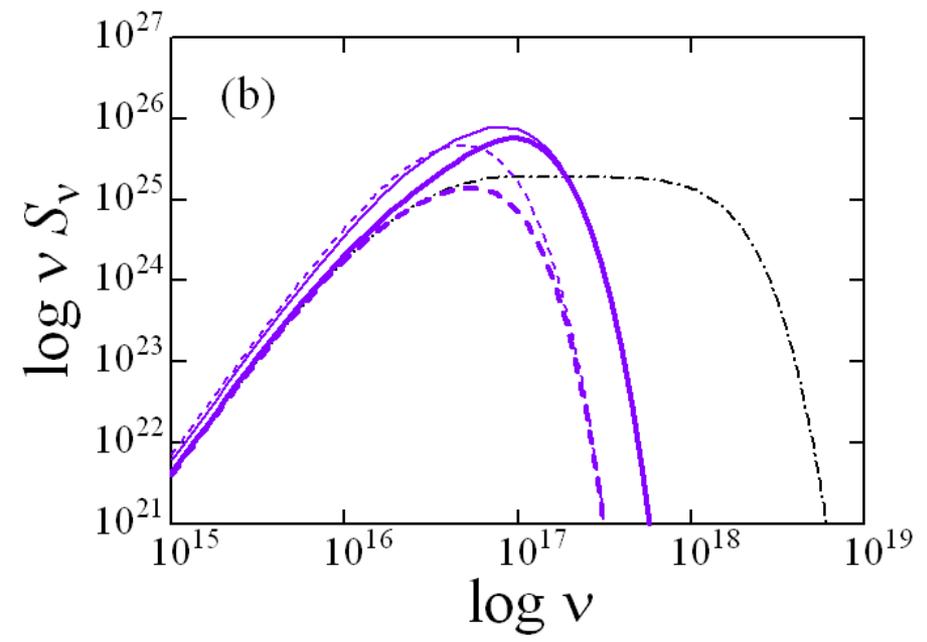
$\dot{m} = 1000$
 $\beta = 0.5$

BH風の光球は小さくなるが、臨界部はまだかなり隠されている

ドップラーブースト = 中
黒体からのずれ



破線: 共動系
実線: 観測系
細い破線: BH風の共動系
細い実線: BH風の観測系
一点鎖線: 超臨界円盤





4 ブラックホール風w円盤 スペクトル



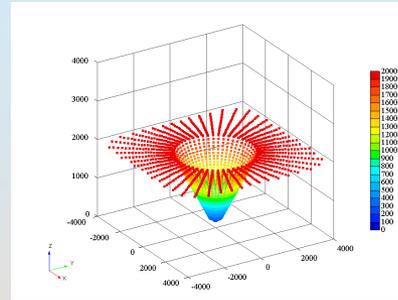
$$\dot{m} = 1000$$

$$\beta = 0.9$$

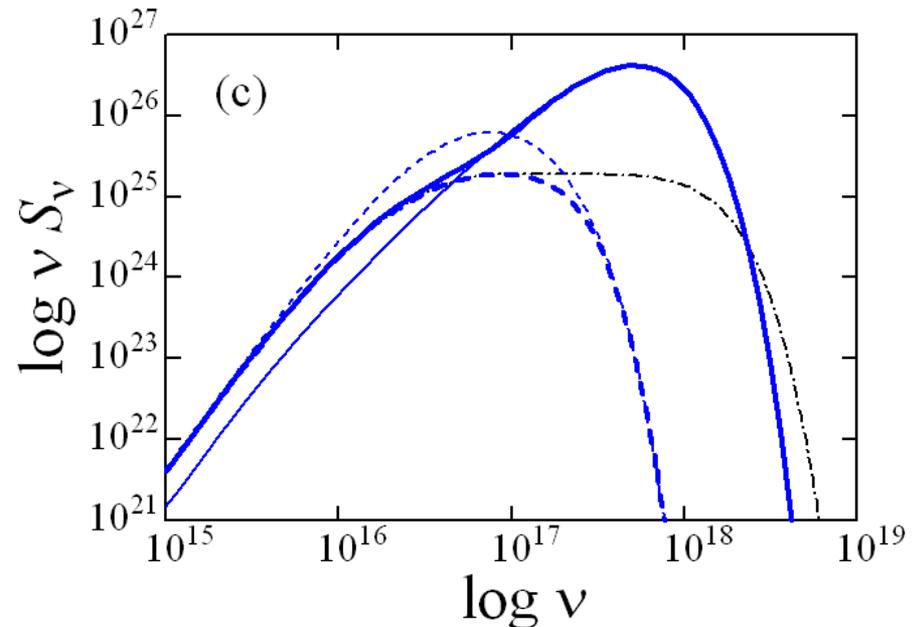
BH風の光球は凹面で、
臨界部周辺はみえる、
中心部はみえない

ドップラーブースト=大

臨界円盤+BH風とのハイブリッド



破線: 共動系
 実線: 観測系
 細い破線: BH風の共動系
 細い実線: BH風の観測系
 一点鎖線: 超臨界円盤

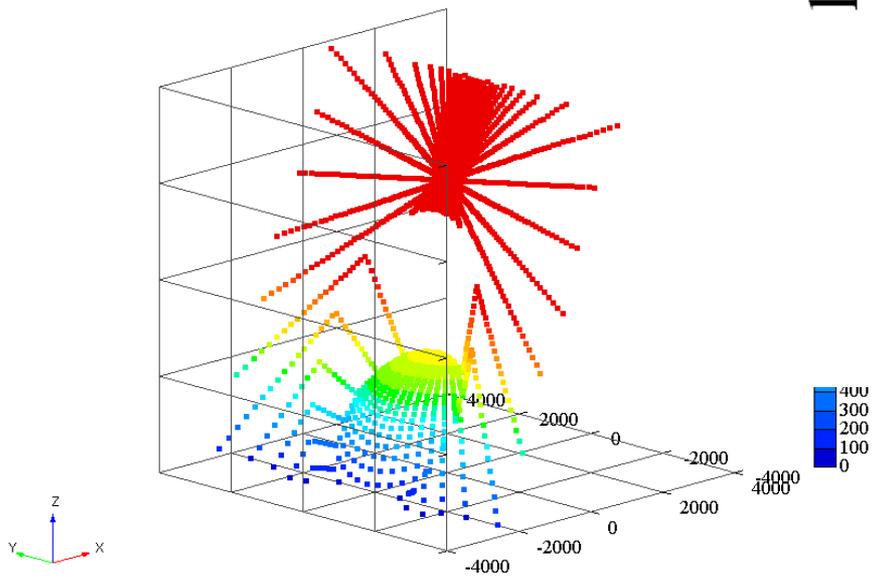
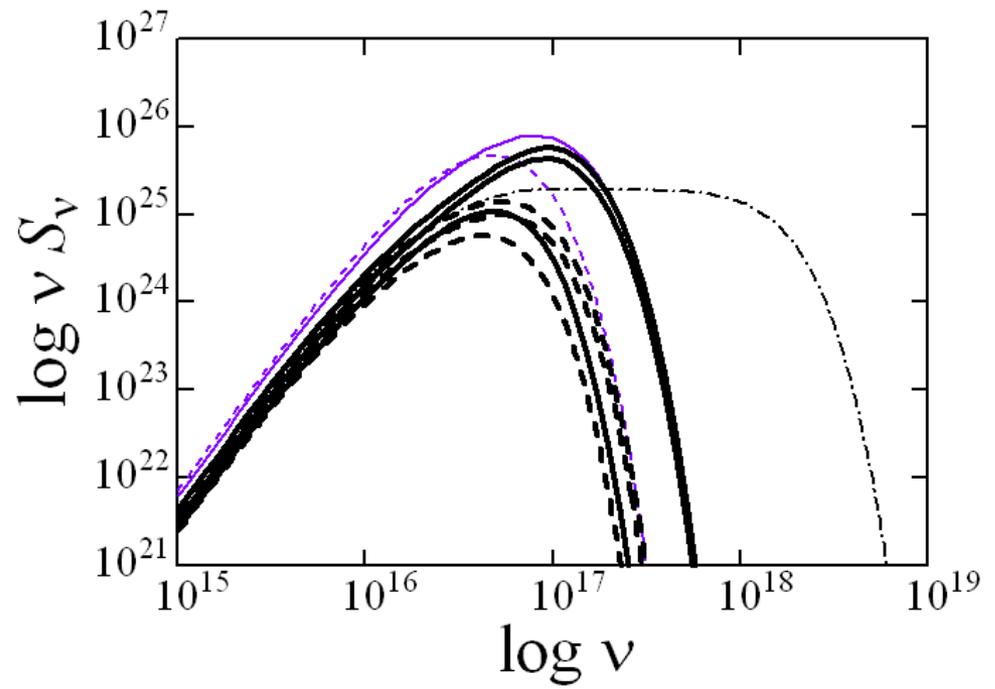




4 ブラックホール風w円盤 傾いている場合



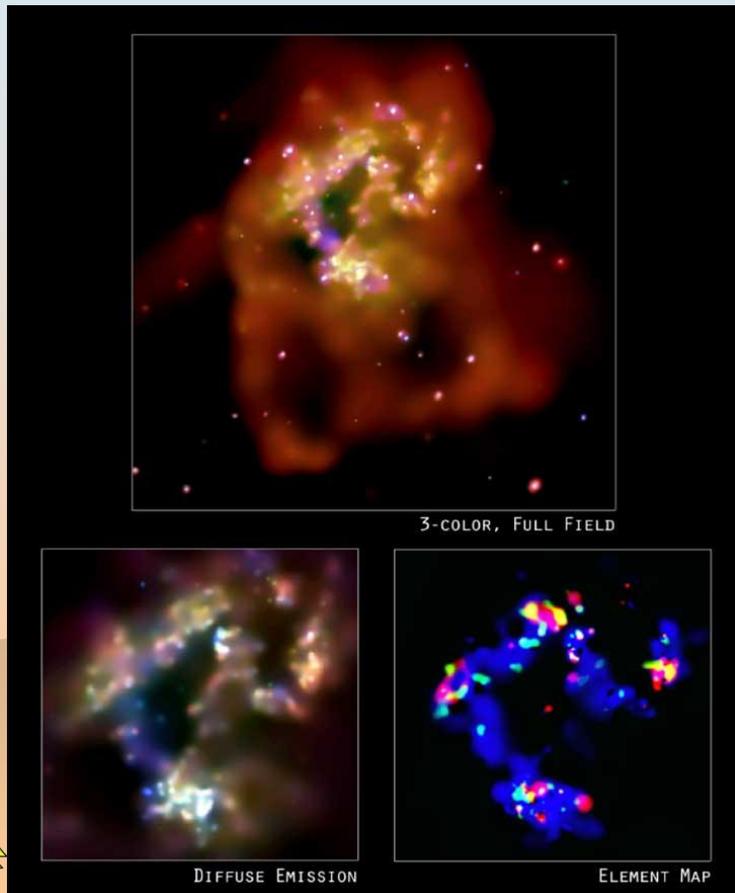
$i=50^\circ$



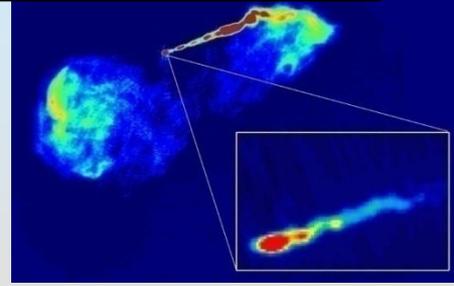


ブラックホール風・ジェット

超光度X線源
Antennae/NGC4038



活動銀河 M87



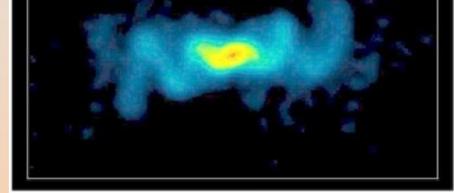
クェーサー 3C273



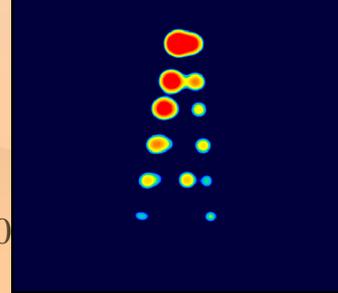
X線星 Cyg X-1



マイクロクェーサー
SS433



マイクロクェーサー
GRS1915



ガンマ線バースト





まとめ

- ❁ 超臨界降着円盤の中心部から光学的に厚いブラックホール風が吹いていると、BH風の光球で中心は隠されてしまい、典型的なflat SEDはみえない
- ❁ 従来、スペクトル的な見地から、超臨界降着円盤モデルでNL-Seyfert 1やULXsなどを説明できると考えてきたが、そのような方法論については、根本的に再検討する必要があるだろう。





今後の課題

- BH風モデルなどの精密化
- 相対論的輻射輸送を解く
- ULXsへの応用
- Blazarなどへの応用

