

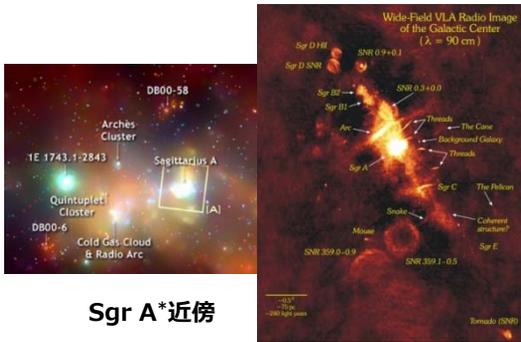
光学的に薄いブラックホール近傍における流れの観測的特徴

'10/08/02-08/05 夏の学校 コンパクト36a 大阪教育大学M2 齊藤 秀樹

未解決問題 !?

Black Holeを考える上で欠かすことができない流れの現象がある、降着流（降着円盤）& 相対論的天体風・ジェットの種類である。しかし我々の住む銀河系（Sgr A*）を考えた場合、降着流はoptically thinのADAF/RIAFモードであると考えられるが、もう一つの重要な流れであるジェットのようなOutflowは今現在でも観測されたという報告はどこにもない。また、近年の観測技術の発達により、今まで誰も見たことがなかったBlack Hole天体をこの目で直接観測することができるかもしれないと期待されている今日、BHの描像を考える必要がある。

そこで我々は、共動系/静止系という立場の違う系からBHを観測した場合、見た目によどのような影響が出るのか、またスペクトルの違いについて報告する。



Sgr A*近傍

天体の見た目って何？

太陽などの恒星を詳細に見る（太陽は見ちゃダメ！）と、中心から距離が離れると星の大気の密度が減少すると、中心部分に比べ温度が減少する二つの効果で中心部と外縁部で明るさが異なる（周辺減光効果）。実際に私たちが見る天体の輪郭はOptical Depth $\tau=1$ の所を見ている。

もし、球対称に風が吹いていると仮定し、その風が私たちに向かって来る場合、相対論的效果を考慮したOptical Depthは、

$$d\tau = \frac{l_0}{l} d\tau_0 = \gamma(1 - \beta \cos \theta) d\tau_0$$

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

光学的に厚い場合である (Fig. 1. Abramowicz & Novikov (1991)) .

- > 球対称風からの輻射は透過しやすくなる
- > 球対称降着流からの輻射は出にくくなる

光学的に薄い場合は、Approaching Part, Receding Part (Counter Part) の両方を考えなければならない。

相対論的天体風・ジェットの必要性

M87など中心にBHが存在するであろうと言われている活動銀河核 (AGN) には、Outflowが確認されているにも関わらず、Sgr A*には観測したという報告はない。しかし、ここ最近Sgr A*のOutflowの存在を肯定するような観測が報告されている (Fig. 2. Yusef-Zadeh+(2006)) . **このことから我々はSgr A*にもOutflowが存在する可能性があるとし、降着と噴出の流れを考えたモデルを考える必要があると示唆する。**

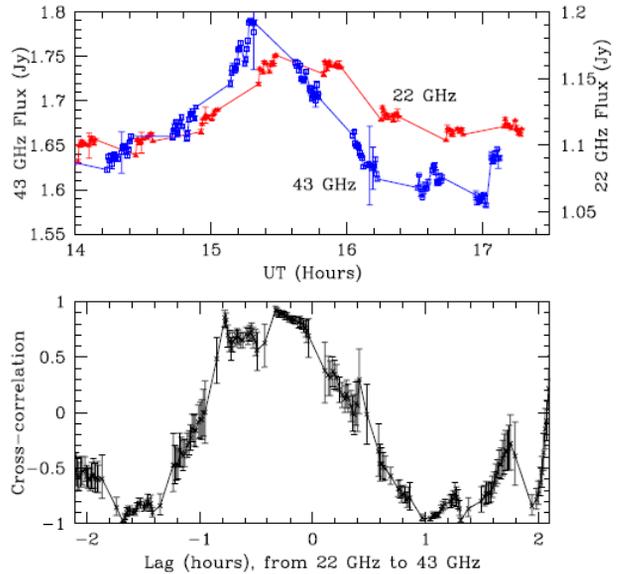


Fig. 2. 43GHzと22GHzの電波領域で Time lagが見つかった。

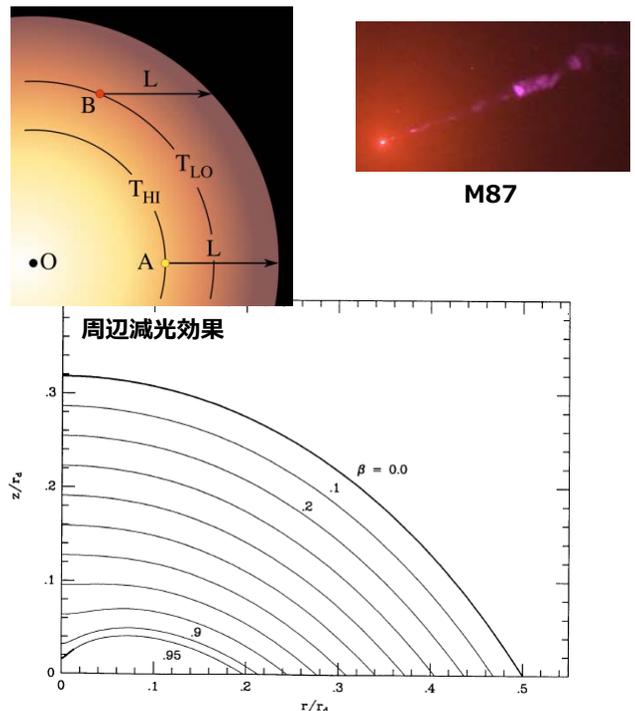


Fig. 1. 球対称風を仮定し、風が向かって来る場合、風速度が光速に近づくとき中心部が凹面になる（深部を見ることになる）。

我々の仕事

- 相対論的球対称モデルを仮定し、風&降着を計算
- 共動系/静止系の観測的特徴(見た目)、スペクトルを考える
- 相対論的効果を考慮することで、今までの見積りに新たな解釈をつける

Model

- Hybrid electron components : thermal & nonthermal
- Radiative process : Synchrotron emission
- The infinite observer located in the pole-on like direction ($i = 0^\circ$).
- Schwarzschild Black Hole of radius $1r_g$

Initial condition

$M_{BH} = 10^9 M_\odot$: Black Hole mass
 $T_c = 10^{12} [K]$: Central temperature
 $\dot{M} = 10^{-3} \dot{M}_E$: Mass loss rate
 $\hat{R}_0 = 1.0$: Initial radius

$\beta = v/c$

$\beta_0 = 0.1$: Initial velocity

Wind part Equations

$$\beta_w = \beta_0 + (\beta_\infty - \beta_0) \left(1 - \hat{R}_0/\hat{R}\right)^\alpha$$

$$T_w = T_c \times \left(1/\hat{R}\right)^{4/3}$$

β_w : wind velocity
 β_∞ : terminal velocity
 T_w : wind temperature

$1/\hat{R} = r_g/R$

Accretion Part Equations

$$\beta_a = -\sqrt{1/\hat{R}}$$

$$T_{vir} = m_p c^2 / 3k_B \times 1/\hat{R}$$

β_a : free-fall velocity
 T_{vir} : virial temperature

□ Spherically symmetric wind

Viewing angle $i = 0^\circ$

The comoving frame The inertial frame

$\beta_\infty = 0.1$

$\beta_\infty = 0.9$

The luminosity of the inner region in the inertial frame is much higher than that in the comoving frame. This is because the **Doppler boost**. In the accelerating velocity case, this is much remarkable.

In additional, the observed spectrum decreases when strong winds blow. This is because, in the optically thin case, the receding-part (counter-wind) effectively observed. Moreover, the observed brightness in luminous objects may be a little overestimated when there is strong relativistic winds.

□ Spherically symmetric accretion

Viewing angle $i = 0^\circ$

The comoving frame The inertial frame

The external region is low density, while the central region is high density. Hence, the observed luminosity is high at the central region. As a result, the **limb-darkening effect** is more prominent than the wind case.

In this case, we found that the spectral energy distribution (SED) of accretion becomes **smoother** than the SED of wind, because superposition of thermal components.

□ Wind & Accretion

Viewing angle $i = 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 90^\circ$

The comoving frame The inertial frame

$i = 0^\circ$

$i = 30^\circ$

$i = 90^\circ$

Accretion Only **Wind Only**

For this images (upper panels), the calculated accretion volume is more larger than the calculated wind volume. As a result, the **SED of accretion is dominant**.

まとめ

- 光学的に薄い相対論的効果を含んだ、観測的なイメージの作成に成功
- Windを含むModelでは**Doppler boost**により中心部の光度が高くなる (速度大 \Rightarrow 深部を見ている)
- 強い風の場合、観測された光度を**過大評価**しているかもしれない
- Accretionのスペクトルはthermal成分の重ね合わせで**滑らかに**
- それぞれのModelで**周辺減光効果**がみられた