

楕円銀河におけるブラックホールへの Bondi 降着率と ジェットパワーの相関

国沢 佑介 (大阪大学大学院 理学研究科 宇宙地球科学専攻 宇宙進化グループ M1)

Abstract

銀河の中心には巨大ブラックホールがあるとされるが、この巨大なブラックホールへ周辺のガスが降着することにより、強力なジェットが噴出すると考えられている。この相関に関するメカニズムは今も活発に議論されている。このメカニズムを確かめるためには、ガスの降着率と噴出するジェットのパワーの間に相関があることを調べればよく、そのような考えに基づき、ごく近傍の楕円銀河について、X 線観測データを解析したところ、Bondi 降着率とジェットのパワーに相関があったという報告がなされている (S.W.Allen et al. (2006))。

しかしながらこの観測では、Bondi 半径を分解できていない。そのため Bondi 降着率を見積もるのに必要な、Bondi 半径でのガスの温度と密度を推定するのに、単純なべき則での外挿を行っており、不定性が大きいと考えられる。実際、いくつかの研究では、その相関関係から外れているものがあり、他のメカニズムの存在も議論されている (B.R.McNamara et al. (2011))。本研究では、単純なべき則での外挿ではなく、ガスの静水圧平衡を仮定して Bondi 半径でのガスの温度と密度を推定し、その結果から Bondi 降着率を見積もり、ジェットのパワーと比較する。この方法は、近傍の楕円銀河以外についても適用可能なので、S.W.Allen et al. (2006) よりもより大きなサンプルで、Bondi 降着率とジェットのパワーとの相関について議論できる。

1 Introduction

宇宙に存在する銀河のいくつかは活動銀河核 (AGN) と呼ばれるものを持つ。これはその中心に大質量のブラックホール ($\sim 10^8 - 10^9 M_\odot$) を持っており、それゆえに、周辺の星間ガスはこのブラックホールへ降着する。一方、この銀河核からは相対論的ジェットが噴出されていることが確認されており、そのメカニズムは今も議論されている。今回は、噴出される相対論的ジェットのパワーと質量降着率の静止エネルギーによるパワーとに相関があるかどうかという点に着目した。ただし、アブストラクトでも述べたように、質量降着率を求める際に必要な、Bondi 半径での星間ガスの温度と密度を、べき則の外挿ではなく、銀河中心に行くときーリング等の効果より温度は下がる、というのと、Bondi 半径外では星間ガスは静水圧平衡の状態にある、という 2 つの仮定を用いて推定した。また、今回参照した銀河は 21 個であり、すべて B.Balmaverde et al. (2013)

の中から引用したものである。

2 Methods

ブラックホールへの質量降着は球対称におこるとし、測定した銀河は楕円銀河でもあるため、ガスの角運動量は非常に小さく、無視できるものとする。Bondi 降着率は、流体の運動方程式、連続の式等より、

$$\dot{M}_B = 4\pi\lambda(GM_{BH})^2 c_s^{-3} \rho_B = \pi\lambda c_s \rho_B r_B^3 \quad (1)$$

と表される。ここで、 \dot{M}_B は Bondi 降着率、 G は万有引力定数、 M_{BH} はガスが降着するブラックホールの質量、 r_B は Bondi 半径、 c_s は Bondi 半径での音速、 ρ_B は Bondi 半径でのガスの密度で、Bondi 半径は、ブラックホールによる重力が効き始める距離で $r_B = 2GM_{BH}/c_s^2$ と表される。また音速 c_s は温度に依存し、 $c_s = \sqrt{\gamma k_B T(r)/(\mu m_P)}$ である。 $\mu = 0.6$ は平均分子量で、降着するガスは断熱的であると仮定すると $\gamma = 5/3, \lambda = 0.25$ をとる。

Bondi 半径における温度の推定は銀河核で、ビリアル平衡による平衡温度に近づくという仮定から

$$T(r) = T_0 + (T_{obs} - T_0) \frac{\tanh(\frac{r}{Re})}{\tanh(\frac{r_{obs}}{Re})} \quad (2)$$

という温度モデルを用いる。(Fujita et al. (2014))
ここで r_{obs} は観測限界半径、 T_{obs} は r_{obs} での温度、 T_0 は銀河核周辺の温度で、銀河の速度分散 σ を用いると $T_0 = \mu m_P \sigma^2 / k_B$ と表すことができる。また Re は全光度の半分が収まる領域の半径を表す。ブラックホールの質量は速度分散から観測的に求まるため、 $T(r)$ が求まると、数値解析から Bondi 半径が求まる。なおブラックホールの質量は B.Balmaverde et al. (2013) から引用した。

次に Bondi 半径より外では、星間ガスは静水圧平衡であるという仮定から、流体の運動方程式は、

$$\frac{dP}{dr} = \rho g \quad (3)$$

となる。状態方程式を考慮すると上式は密度 ρ の 1 階微分方程式、

$$\frac{d\rho}{dr} = -\frac{\rho}{T} \left(\frac{\mu m_P}{k_B} g + \frac{dT}{dr} \right) \quad (4)$$

となる。 $T(r)$ は既に求まっているので、数値計算から Bondi 半径での密度が求まる。ここで $g(r)$ はブラックホールによる加速度、

$$g_{BH} = \frac{GM_{BH}}{r^2} \quad (5)$$

と、その銀河自体の質量による重力加速度、

$$g_{gal} = \frac{GM_{gal}}{(r + r_h)^2} \quad (6)$$

から

$$g(r) = g_{BH} + g_{gal} \quad (7)$$

と求まる。 M_{BH} は銀河の質量であり、スケール長 r_h は数値計算より $r_h \approx Re/1.853$ である。(Lars (1990))
つまり、 M_{BH} , M_{gal} , Re , σ , と境界条件として r_{obs} と r_{obs} での温度と密度、 $T(r_{obs})$, ρ_B から Bondi 半径 r_B と Bondi 降着率 \dot{M}_B が求まる。Bondi 降着率によるパワー P_B は、 $P_B = \eta \dot{M}_B c^2$ から求まる。一般的に η は 0.1 をとるが、今研究では相関を見たいだけなので、単純に $\eta = 1$ をとることとする。

また、相対論的ジェットによるパワー P_{jet} は、B.Balmaverde et al. (2013) から引用した。

3 Results/Discussion

図 1 に求まった P_B と P_{jet} のグラフを示す。

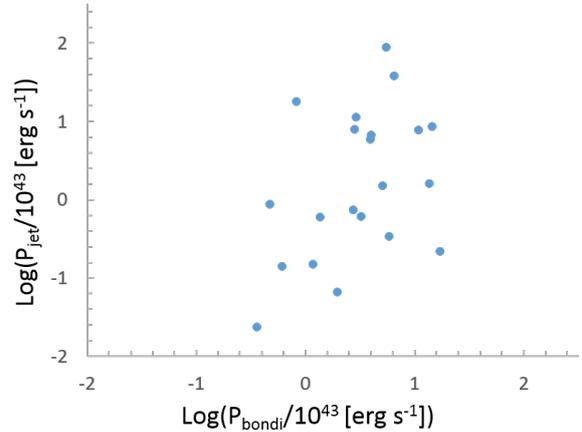


図 1: P_B と P_{jet} のグラフ

グラフの縦軸は $\log(P_{jet}/10^{43}[\text{ergs}^{-1}])$ 、横軸は $\log(P_B/10^{43}[\text{ergs}^{-1}])$ を表す。グラフからは、必ずしも先行研究のように線形な相関があるとはいえない。他のモデルの存在が考えられる。たとえば、ブラックホール自身のスピンと相対論的ジェットが関連しているというモデル (B.R.Mcnamara et al. 2011) 等があるが、単純に降着物質のパワーと相対論的ジェットのパワーに相関があるわけではなく、複数の要因が入り混じっていると思われる。また、今回、 P_{jet} は B.Balmaverde et al. (2013) から引用したが、これは銀河の光度から見積もっておりそこに不定性がある可能性も考えられる。別の方法として、相対論的ジェットにより膨らむ、銀河中心にあるバブルの成長過程から P_{jet} を見積もることができるので (S.W.Allen et al. (2006))、そこから算出した P_{jet} と、 P_B の関連性を見るとまた結果が変わってくるかもしれない。

4 Conclusion

P_B を見積もるのに必要な $T(r_B)$ と ρ_B を外挿による推定ではなく、温度降下のモデルと、 $r_B < r$ における静水圧平衡の仮定から求め、観測による P_{jet} の

値と比較した。その結果、単純な線形の関係がある
とはいえず、他のモデルの存在や、今回のモデル、
用いたパラメータに不定性があると考えられる。な
ので将来展望としては、今挙げた点を追及してより
物理的に厳密なモデルを作成していくことが求めら
れる

Reference

- S.W.Allen, R.J.H.Dunn, A.C.Fabian, G.B.Taylor and
C.S.Reynolds.(2006), MNRAS, 372, 21
- B.Balmaverde, R.D.Baldi, and A.Capetti (2013), A&A,
486, 119
- B.R.McNamara, Mina Rohanizadegan, and P.E.J.
Nulsen.(2011), ApJ, 727, 39
- Yutaka Fujita, Nozomu Kawakatu, and Isaac Shlosman.
arXiv:1406.6366
- Lars hernquist.(1990), ApJ, 356, 359