

カーブラックホールの周りの降着円盤からの放射とスピンの測定

林 峰至 (立教大学大学院 理学研究科)

Abstract

典型的な銀河は、大質量星の超新星爆発の残骸である恒星質量ブラックホール (BH) や、超巨大 BH を数千
万個含むと考えられている。両者は周囲からガスを降着させている。周囲のガスが BH に落ち込み降着円盤
を形成し、BH の周囲を回転しながら落ち込む。近年、降着円盤からの X 線放射を理論的に予言することによ
り、両者のスピンを測定することができるようになりつつある。1980 年代より、連続 X 線による BH のスピ
ンの測定の研究がなされていた。今は DISKBB として知られているシンプルな nonrelativistic multicolor
disk model を適用し、内縁半径 R_{in} での color temperature T_{in} が分かっている [1]。Zhang は relativistic
disk model と放射輸送の効果の補正を使い、内縁半径による BH のスピンの観測を明らかにした [2]。
本発表では [1] についてのレビューを行う。スピンの測定には Fe $K\alpha$ method と continuum-fitting (CF)
method の二つの方法が用いられているが、両方とも半径が質量と BH のスピンにしか依存しない降着円盤
の内縁半径が重要になる。発表では、CF method とその恒星質量 BH への適用を強調しながら、両者の方法を
比較する。

1 Introduction

BH の周りでは、その連星からのガスが螺旋軌道
で落下しながら降着円盤を形成しており、ガス同士の
摩擦により重力エネルギーを解放している。これに
より、降着円盤からのスピンを測ることができる。有
限質量粒子の可能な最も安定な円軌道である、最内安
定円軌道 (ISCO) は重要な情報であり、回転している
BH(kerr BH) においては以下のようなになる [3][4]。

$$r_{ISCO} = r_g[3 + A_2 \pm (3 - A_1)(3 + A_1 + 2A_2)^{1/2}] \quad (1)$$

$$r_g = \frac{GM}{c^2} \quad (M : BH \text{ mass})$$

$$A_1 = 1 + (1 - a_*^2)^{1/3}[(1 + a_*^2)^{1/3} + (1 - a_*)^{1/3}]$$

$$A_2 = (3a_*^2 + A_1^2)^{1/2}$$

$$a_* = \frac{a}{r_g} = \frac{J}{r_g M c} \quad (J : \text{angular momentum})$$

$$-1 \leq a_* \leq 1$$

+は prograde disk で、-は retrograde disk である。

2 Disk emission from a kerr black hole binary

降着円盤からの放射をモデル化するにあたっては、
円盤が geometrically thin, で optically thick であり、
kerr BH の赤道面を周回していると仮定する。この
モデルは NT モデルと呼ばれており、disk 表面から
の放射が円軌道の中心からの距離 r の関数として以
下のようなになる [3][4]。

$$F(x) = \frac{3\dot{M}c^6}{8\pi M^2 G^2} \frac{1}{x^4(x^3 - 3x + 2a_*)} \left[\begin{aligned} &x - x_0 - \frac{3}{2}a_* \ln\left(\frac{x}{x_0}\right) \\ &- \frac{3(x_1 - a_*)^2}{x_1(x_1 - x_2)(x_1 - x_3)} \ln\left(\frac{x - x_1}{x_0 - x_1}\right) \\ &- \frac{3(x_2 - a_*)^2}{x_2(x_2 - x_1)(x_2 - x_3)} \ln\left(\frac{x - x_2}{x_0 - x_2}\right) \\ &- \frac{3(x_3 - a_*)^2}{x_3(x_3 - x_1)(x_3 - x_2)} \ln\left(\frac{x - x_3}{x_0 - x_3}\right) \end{aligned} \right] \quad (2)$$

\dot{M} : mass accretion rate

$$x = \left(\frac{r}{r_g}\right)^{1/2}$$

$$x_0 = \left(\frac{r_{ISCO}}{r_g}\right)^{1/2}$$

$$x_1 = 2 \cos\left(\frac{1}{3} \cos^{-1} a_* - \frac{\pi}{3}\right)$$

$$x_2 = 2 \cos\left(\frac{1}{3} \cos^{-1} a_* + \frac{\pi}{3}\right)$$

$$x_3 = -2 \cos\left(\frac{1}{3} \cos^{-1} a_*\right)$$

Reference

- [1] Jeffrey E. McClintock et al. 2011, arXiv:1101.0811
- [2] S.N.Zhang et al. 1997, Astrophys.J.482L155
- [3] Don N. Page, and Kip S. Thorne 1974, Astrophys.J.191:455
- [4] James M. Bardeen et al. 1972, Astrophys.J. 178:347

3 CF method

Fe K α method は、恒星質量 BH と超巨大 BH の両方に適用し、相対論的に広がった鉄輝線のプロファイルモデル化し、重力赤方偏移した鉄輝線の red wing をみる。continuum-fitting (CF) method は、これまで恒星質量 BH のみに適用されていて、降着円盤の X 線の連続スペクトルをモデル化する手法である。

4 Results

表 1: Spin Results to date for Eight Black Holes

Source	Spin a_*	Reference
1 GRS 1915+105	> 0.98	McClintock et al. 2006
2 LMC X-1	$0.92^{+0.05}_{-0.07}$	Gou et al. 2009
4 M33 X-7	0.84 ± 0.05	Liu et al. 2006
3 4U 1543-47	0.80 ± 0.05	Shafee et al. 2006
5 GRO J1655-40	0.70 ± 0.05	Shafee et al. 2006
6 XTE J1550-564	$0.34^{+0.20}_{-0.28}$	Steiner et al. 2010b
7 LMC X-3	$< 0.3^b$	Davis et al. 2006
8 A0620-00	0.12 ± 0.18	Gou et al. 2010

5 conclusion

スピンの測定は、No hair theorem の検証や、BH の形成、相対論的ジェットなどの天体現象を解き明かす鍵となる。CF method は、まだ Fe K α method との誤差が大きい。よってさらなる研究が必要だ。