

球対称ブラックホール降着流：臨界降着率での観測的特徴

☆ **Abstract** ☆ 大阪教育大学天文学研究室 修士1回 小林 弘@夏の学校

観測技術の進歩によりブラックホールの存在を認める観測が可能になってきている。昨年、夏にはブラックホールが恒星を吸い込む瞬間の観測がMAXIチームによって行われた(Relativistic Jet from the Tidal Disruption of a Star by Massive Black-Hole)。しかし、ブラックホールは非常に大きな重力ゆえに光さえ抜け出せないと言われている。つまり、私たちがブラックホールを直接観測することは実質的に不可能なのである。では何を観測するのか？その答えが降着円盤やジェット、さらには本研究のテーマでもあるブラックホール降着流の存在である。本研究ではまだまだ解明されていないブラックホール降着流を、私たちが観測したらどのように見えるのか、その観測的特徴について理論的な方面から調べる。

☆ Introduction ☆

○ ブラックホールと降着円盤 ○

重力が大きすぎて光ですら抜け出せないような天体がブラックホールである。そして、ブラックホールのように、非常に大きな重力を及ぼす天体の周りにガスが降ってきたときガスはその天体を中心として降り積もり、粘性を通じて重力エネルギーを解放して光輝く。このようなガス円盤を降着円盤という。



Fig.1 ブラックホール降着円盤のイメージ

○ ボンヂ降着 ○

降着円盤を考えると、供給されるガスは大抵もともと回転している（角運動量を持っている）のでガスの降着流は円盤状になる。

本研究では、ガスの降着流が球対称になるボンヂ降着をモデルとして使用した。また、降着流と降着円盤の違いは、前者はガスの動的な振る舞いそのものなのに対して、後者はガス内の発熱や角運動量輸送等を含めたものを言う。

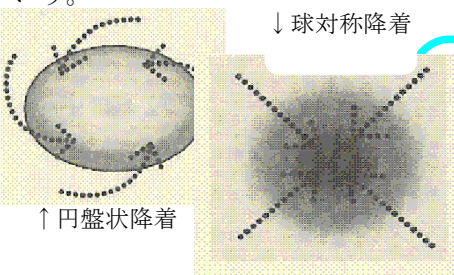


Fig.2 降着流のイメージ

光学的厚み

～実際の見え方のイロイロ～

周縁減光効果

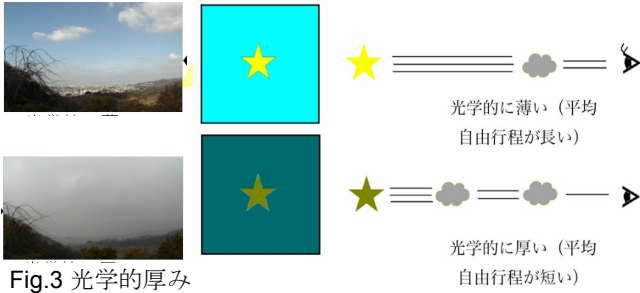


Fig.3 光学的厚み

晴れている空の太陽はつい目をそらしてしまうが、曇っている日に見ると、ぼんやりとして雲しか見えない。

これは光が、私たちに届く間にある何らかの物質によって伝わり方が変わるため、その違いを表すの指標となるのが光学的厚みである。

私たちが星（太陽などのガス天体）を見たとき中心が明るく、周縁ほど暗くなっているように見える。

これは中心では表面から深いところを、周縁では浅いところを観測しているからで、中心に向かうほど温度が高くなっていることを表す。また、光学的厚みが1になるところを『見かけの光球』とし、Fig.4では黄線がそれにあたる。

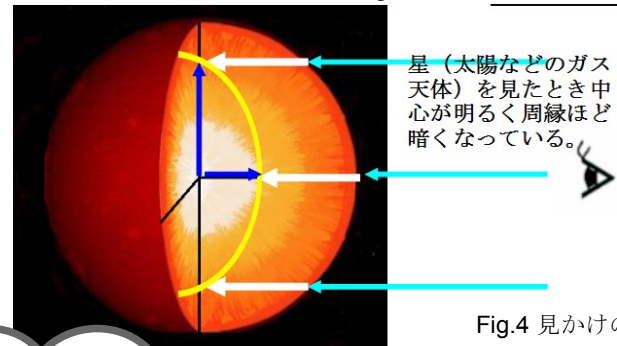


Fig.4 見かけの光球

☆ Calculation ☆

○ 光球の形状 ○

$$d\tau = \frac{1}{2} \gamma (1 + \beta \cos \theta) \dot{M} R^{-\frac{3}{2}} dz = 1$$

質量降着率： $\dot{M} = 4\pi R^2 \rho v$

自由落下の運動： $v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$

～ガスの密度～

$$\rho \approx \frac{1}{2} \frac{\dot{M}}{R^{\frac{3}{2}}}$$

～光学的厚み～

$$d\tau = \gamma \rho (1 + \beta \cos \theta) dz$$

○ 温度分布とスペクトル ○

Stefan-Boltzmann lawから $T_0(R) = \left(\frac{L_E}{4\pi\sigma R^2}\right)^{1/4}$

ある半径 r での表面温度 $T(r)$ とすると、黒体放射スペクトルは

$$B_\nu(T(r)) = B_\nu(r) = \frac{2h}{c^2} \frac{\nu^3}{\exp[\frac{h\nu}{kT(r)}] - 1}$$

各半径から円盤全体で積分したものが円盤全体のスペクトルとなるので

$$S_\nu = \int_{r_{in}}^{r_{out}} B_\nu(r) 2\pi r dr$$

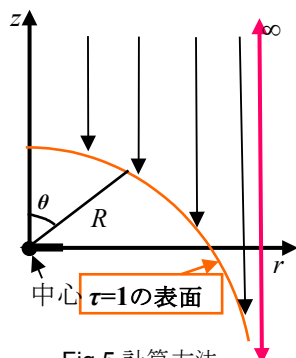


Fig.5 計算方法

☆ Signification ☆

* 観測者にとって光学的厚みが1になる面は球状にならず、特に相対論的な流れにおいてはそれが顕著になる。

(Abramowicz et al. 1991)

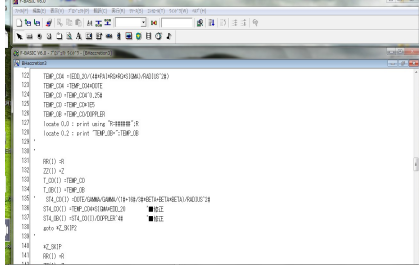
* スペクトルに関しては、輻射圧によって光学的に厚い球対称風が吹いている場合について検討すると、黒体輻射とは大きくずれ、べき乗型を示す。

(Sumitomo et al. 2007; Fukue and Sumitomo 2009; Fukue and Iino 2010)

臨界降着率近傍の球対称降着流ではどうなるのか?

☆ Software ☆

* F-BASIC (数値計算ソフト)



* Sma4Win (グラフ作成ソフト)

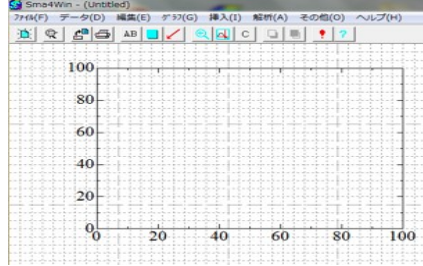
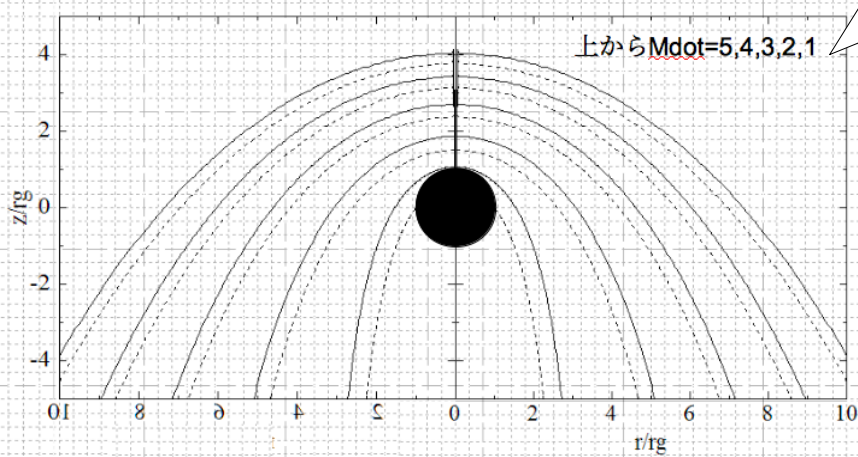


Fig.6 Software

☆ Result and Discussions ☆

○ 光球の形状 ○



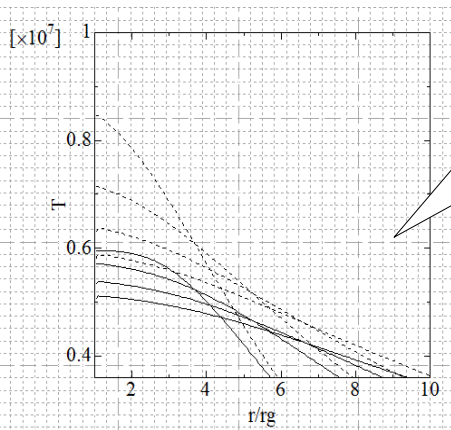
* 全体的に周縁減光効果が働いている

* \dot{M} が小さくなると光球が縮み、1のところでブラックホールが現れる

* 相対論の場合は、ローレンツフィッツジェラルド効果で、落下するガスを見ると長さが伸びるので、光学的厚みが大きくなり、光球が少し大きくなる

Fig.8 質量降着率による見かけの光球の形状
上から $\dot{M} = 5, 4, 3, 2, 1$ 実線：相対論、破線：非相対論
縦、横軸ともにシュバルツシルト半径で規格しており、 $0 < x < 1$ の範囲にブラックホールがあるものとしている。

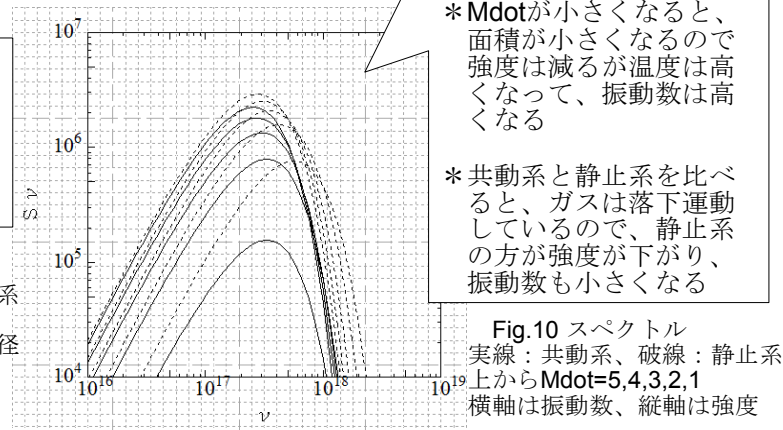
○ 温度分布とスペクトル ○



* 全体的に周縁減光効果が働いている

* \dot{M} が小さいほど、中心の温度が高くなる

Fig.9 温度分布
実線：共動系、破線：静止系
上から $\dot{M} = 5, 4, 3, 2, 1$
横軸はシュバルツシルト半径で規格、縦軸は温度



* 周辺減光効果により、単一温度の黒体の場合とは異なる

* \dot{M} が小さくなると、面積が小さくなるので強度は減るが温度は高くなって、振動数は高くなる

* 共動系と静止系を比べると、ガスは落下運動しているので、静止系の方が強度が下がり、振動数も小さくなる

Fig.10 スペクトル
実線：共動系、破線：静止系
上から $\dot{M} = 5, 4, 3, 2, 1$
横軸は振動数、縦軸は強度

☆ Review ☆

○ 臨界降着率 ○

天体は、光度が大きくなると、最終的に輻射圧が重力より大きくなり、天体のガスが輻射圧で吹き飛ばされてしまうので、天体の光度には限界がある
→エディントン光度

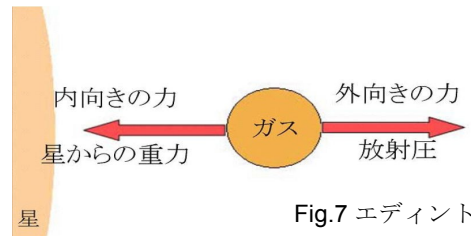


Fig.7 エディントン光度

また、ガスが降着する、中心天体の質量を固定したとき、質量降着率が増えると、円盤の明るさも明るくなり、エディントン光度に相当する質量降着率は、臨界質量降着率と呼ばれる

☆ まとめ ☆

* 質量降着率が臨界降着率近傍になると、見かけの光球面は小さくなり、落下速度も大きくなるので、相対論的效果が強く働いてくると考えられる

* 光球の形状および光球面での温度分布ともに周縁減光効果が強く効く

* スペクトルに関しては光学的に厚い球対称風が吹いている場合と同じような結果になった