

コンプトン散乱を考慮した超臨界降着流の2次元輻射流体シミュレーション

Two-dimensional Radiation-hydrodynamic Simulations of Supercritical Accretion Flows with Comptonization

○川島朋尚, 千葉大理, 千葉市稲毛区弥生町 1-33, E-mail: kawashima-t@astro.s.chiba-u.ac.jp

大須賀健, 理研, 和光市広沢 2-1, E-mail: ohsuga@crab.riken.jp

高部英明, 阪大レーザー研, 吹田市山田丘 2-6, E-mail: takabe@ile.osaka-u.ac.jp

松元亮治, 千葉大理, 千葉市稲毛区弥生町 1-33, E-mail: matumoto@astro.s.chiba-u.ac.jp

Tomohisa Kawashima, Chiba Univ., 1-33 Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba

Ken Ohsuga, RIKEN, 2-1 Hirosawa, Wako, Saitama

Hideaki Takabe, ILE Osaka Univ., 2-6 Yamadaoka, Suita

Ryoji Matsumoto, Chiba Univ., 1-33 Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba

We performed two-dimensional radiation-hydrodynamic simulations of supercritical accretion onto a black hole including Compton scattering. We confirmed that the gas temperature in the outflow region decreases from $10^9 - 10^{11}$ K for the model without Comptonization to about 10^8 K by the Compton cooling. It is found that Compton y-parameter increases with the mass supply rate, so the photon spectrum becomes harder when the luminosity is higher.

1. ブラックホール超臨界降着流

近年、超大光度 X 線源 (Ultraluminous X-ray sources 以下 ULXs) と呼ばれる天体が注目を集めている。ULXs とは恒星質量ブラックホール (10 太陽質量程度のブラックホール) のエディントン光度を超える光度で輝く天体である (エディントン光度とは、球対称降着を仮定したとき、中心天体からの重力と輻射圧が釣り合う光度であり、中心天体の質量に比例する)。ULXs の大光度の起源は恒星質量ブラックホール周りの超臨界降着流 (エディントン光度以上の光度で輝く降着流)、あるいは中間質量ブラックホール (100-1000 太陽質量のブラックホール) 周りの亜臨界降着流 (エディントン光度以下の光度で輝く降着流) であると解釈できる。

超臨界降着流が、エディントン光度の何倍程度の光度で輝く事が出来るのかを明らかにすることにより、ULXs の中心天体質量を見積もることが出来る。これは宇宙物理学の最重要課題であり、超臨界降着流の物理を明らかにすることは重要である。

2. 2次元輻射流体シミュレーションおよび逆コンプトン散乱の重要性

超臨界降着流では輻射圧が優勢になる。よって輻射による運動量およびエネルギー輸送がガスのダイナミクスに大きく影響を与えるため、輻射流体シミュレーションを行う必要がある。Ohsuga et al. (2005) ⁽¹⁾ は超臨界降着する降着円盤の準定常状態が実現する事を世界で初めて2次元輻射流体シミュレーションによって示した。光度はエディントン光度の3倍程度になった。またこのシミュレーションにより超臨界降着円盤の上空では 10^9 K を超えるアウトフローが放出される事が見出された。このような高温プラズマ中では逆コンプトン散乱が輻射過程として重要であるが、大須賀らのシミュレーションでは考慮されていなかった。よって今回、そのシミュレーションコードに逆コンプトン散乱の効果を追加し、2次元輻射流体シミュレーションを実施した。

3. 2次元輻射流体シミュレーションコード

2次元輻射流体シミュレーションコードは大須賀が作成したものを利用した。そのコードは、輻射輸送計算は Flux-Limited Diffusion 近似 ⁽²⁾ (以下 FLD 近似) を、流体計算は Virginia Hydrodynamics One (以下 VH1) を基に作成したものである。

FLD 近似とは、光学的に薄い極限で因果律を破らないように flux-limiter を導入する拡散近似である。計算コストが軽減でき、尚且つ光学的に薄い極限と光学的に厚い極限で良い計算精度が得られる。VH1 は PPM を基に作られた流体コードである。

輻射輸送は、輻射とガスのエネルギー相互作用項のステップを陰解法で、輻射エネルギー流束発散項および輻射エネルギーの移流項のステップを陽解法を用いて計算した。また流体は陽解法で計算した。

4. 結果

逆コンプトン散乱の効果を追加すると、降着率は 70% 程度、粘性加熱率は 20% 程度増加した。光度はあまり変化しなかった。ガス温度を比較すると、コンプトン散乱を考慮しない場合アウトフロー領域で $10^9 - 10^{11}$ K と高温だったのに対し、コンプトン冷却により 10^8 K 程度まで減少した (Fig. 1)。これにより、コンプトン y パラメータの値は観測される光子スペクトルから指定されていた値とほぼ一致した。またパラメータである外部境界からの質量注入率を変化させてシミュレーションを行い、y パラメータを計算した。その結果、光度が高いとき光子スペクトルがハードになる事が分かった。これは一部の ULXs の時間変動の際に現れる特徴と一致する。

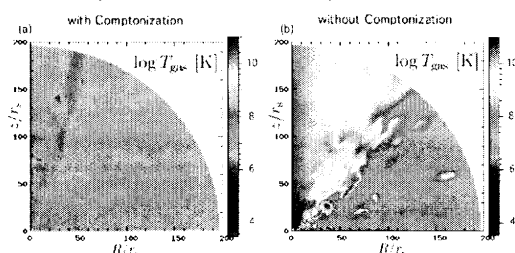


Fig. 1 ガス温度分布

参考文献

- (1) Ohsuga, K., Mori, M., Nakamoto, T., & Mineshige, S., 'Supercritical Accretion Flows Around Black Holes: Two-dimensional, Radiation Pressure-dominated Disks with Photon Trapping', ApJ, 628(2005), pp. 368-381
- (2) Levermore, C. D., & Pomraning, G. C., 'A Flux-limited Diffusion Theory', ApJ, 248(1981), pp. 321-334