

ブラックホール超臨界降着流の 輻射流体シミュレーションと輻射スペクトル計算

川島朋尚 (千葉大学)

利用カテゴリ XT4MD

近年、超高光度 X 線源という謎の天体が多数発見されている。超高光度 X 線源では恒星質量ブラックホールへの超臨界降着 (エディントン光度に対応する臨界降着率を超える質量降着) が起こっている可能性があるが、超臨界降着流の詳細な輻射スペクトルは明らかになっていない。そこで本研究ではまずブラックホール超臨界降着流の構造を求めめるために輻射流体シミュレーションを実施し、次にシミュレーション結果を用いてモンテカルロ法に基づく輻射スペクトル計算を実施した。

コンプトン冷却を考慮した軸対称 2 次元輻射流体シミュレーション結果を図 1 に示す。超臨界降着流・噴出流は (1) 輻射圧優勢円盤、(2) やや高温な ($T_{\text{gas}} \sim 10^{7.5-8}$ K) 低密度な準相対論的速度のファンネル・ジェット、(3) 冷たく ($T_{\text{gas}} \sim 10^{6.5}$ K) 高密度な低速アウトフロー、(4) 高温な ($T_{\text{gas}} \sim 10^8$ K) 反射衝撃波で構成されることがわかった。噴出流は輻射圧により駆動される。

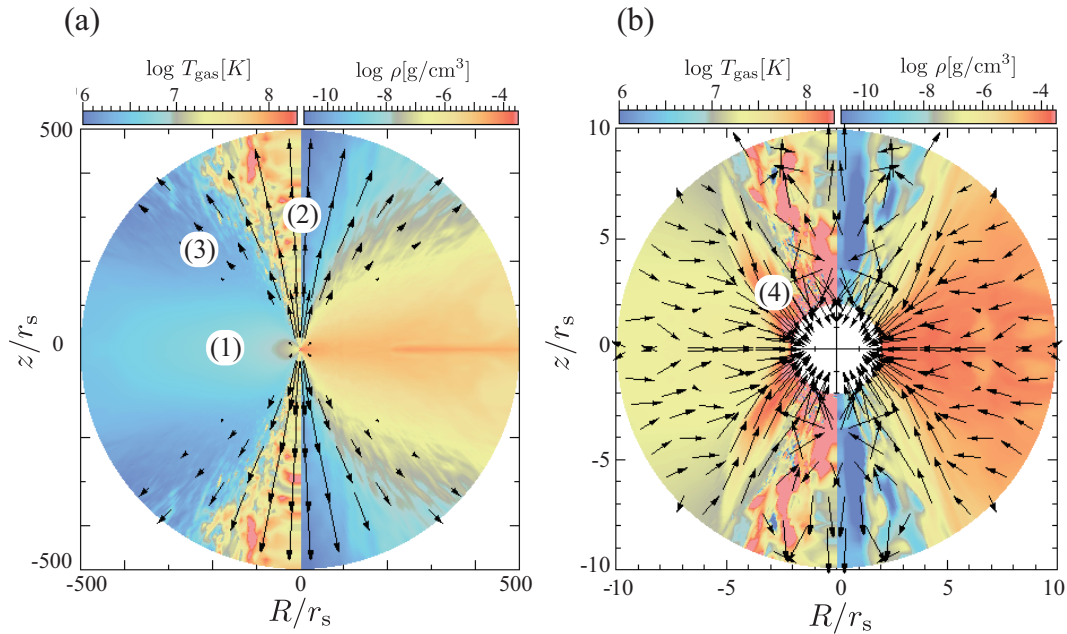


図 1: (a) 輻射流体シミュレーション結果を時間平均したガス温度と質量密度の分布 (質量降着率 $\dot{M} \approx 200L_E/c^2$)。矢印は $\log v_p$ (v_p は流体のポロイダル速度で $v_p > 10^{-5}c$ だけを描いた)。 (b) ブラックホール近傍のガス温度および質量密度分布 (時刻 $t = 52.5s$ のスナップショット)。

この輻射流体シミュレーションで得られた密度、温度、速度を用いて実施したモンテカルロ法に基づく輻射スペクトル計算結果を図 2 に示す。観測者はほぼ円盤回転軸方向に位

置すると仮定した。図 2(a) は 3 つの質量降着率モデルの X 線スペクトルを表す。いずれの場合も ~ 10 keV 以下で折れ曲がる硬い幕が現れている。質量降着率が上昇するとファンネルの開口角が小さくなり、光子が低温アウトフロー領域 (図 1 の (3) 領域) に侵入しやすくなるため、熱的コンプトン散乱により折れ曲がりの位置が低エネルギー側 (~ 5 keV) に移る。図 2(b) はコンプトン散乱の輻射スペクトルへの影響を表す。熱的コンプトン散乱を考慮すると輻射スペクトルはブラックホール近傍の衝撃波加熱領域 (図 1 の (4) 領域) での逆コンプトン散乱により硬くなる。バルクコンプトン散乱も考慮すると準相対論的な降着流による光子エネルギーの叩き上げが起こり、加えてビーミング効果で衝撃波加熱領域に光子を導きやすくなるためスペクトルは熱的コンプトン散乱のみを考慮した場合よりもさらに硬くなる。

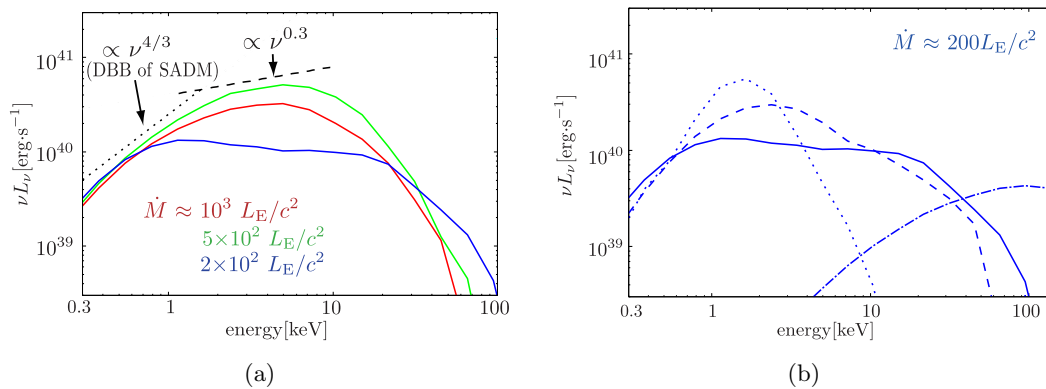


図 2: (a) 3 つの質量降着率モデルの輻射スペクトル。点線は標準降着円盤モデルの多温度黒体輻射の幕を、破線は超高光度 X 線源の典型的な幕を表す。(b) コンプトン効果による輻射スペクトル硬化 (質量降着率 $\dot{M} = 200L_E/c^2$)。点線はコンプトン散乱を考慮しない場合、実線は熱的コンプトン散乱とバルクコンプトン散乱を考慮した場合、破線は熱的コンプトン散乱だけを考慮した場合の輻射スペクトルを表す。一点鎖線はブラックホールに吸い込まれた光子の輻射スペクトル (熱的およびバルクコンプトン散乱を考慮した)。

本計算結果は超高光度 X 線源にみられる輻射スペクトルの特徴 (硬い幕と ~ 10 keV 以下での折れ曲がり) を再現しており、超高光度 X 線源で恒星質量ブラックホールへの超臨界降着が起こっている可能性が高いことを示している。