

Beamer 向け講義ノート向けのサンプル

qiita 用のサンプルとして

山田真也

首都大学

2019 年 4 月 27 日

目次

① 基礎方程式
標準降着円盤モデル
高温降着流 ADAF

② 基礎方程式
標準降着円盤モデル
高温降着流 ADAF

基礎方程式

標準降着円盤モデル
高温降着流 ADAF

基礎方程式

標準降着円盤モデル
高温降着流 ADAF

基礎方程式 I

標準円盤モデルは、以下の近似および簡単化をしている。

- ① 円筒座標系 (r, ϕ, z) を用いる
- ② 円盤は定常である： $\partial/\partial t \Rightarrow 0$
- ③ 円盤は軸対称である： $\partial/\partial \phi \Rightarrow 0$
- ④ 円盤は幾何学的に薄い。 $H \ll r$ ： (r, z) 2次元 \Rightarrow $(1+1)$ 次元化
- ⑤ 円盤はケプラー回転 (遠心力 = 重力) する
- ⑥ 円盤は光学的に厚い： $\tau \gg 1$
- ⑦ 円盤は黒体放射する
- ⑧ 円盤表面単位面積からの単位時間当たりの放射エネルギー量は、放射拡散近似で、

$$F [\text{erg/cm}^2\text{s}^{-1}] = \int (ac/3\kappa\rho)(dT^4/dz)dx \approx 4\sigma T^4/3\tau \quad (1)$$

と書ける。ここで、

- 輻射密度定数 $a = \pi^2 k^4 / 15 c^3 \hbar^3 = 7.57 \times 10^{-15} \text{ erg/cm}^3 \text{ K}^{-4}$,
- シュテファン-ボルツマン定数 $\sigma = ac/4 = 5.67 \times 10^{-5} \text{ erg cm}^{-2} \text{ K}^{-4} \text{ s}^{-1}$

である。

- ⑨ 円盤において、粘性加熱率と放射冷却率がバランスする。

まとめると、

- 未知の物理量は 10 個 ($\rho, \Sigma, H, v_r, c_s, \Omega, P, T, \tau, \nu$)

基礎方程式

標準円盤モデル

高温降着流 ADAF

基礎方程式

標準円盤モデル

高温降着流 ADAF

基礎方程式 II

- 基本方程式は 10 本
- パラメータは、 M, \dot{M}, α の 3 つ。

で式が閉じて、各物理量が r の関数として決定できる。

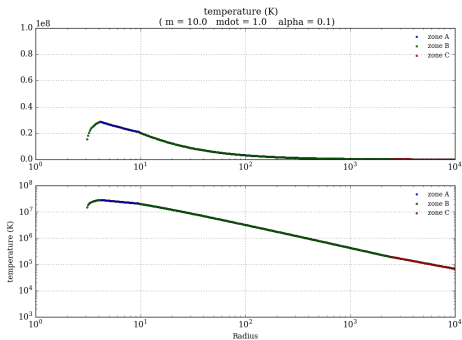


図 1: 計算結果の例

基礎方程式

標準降着円盤モデル
高温降着流 ADAF

基礎方程式

標準降着円盤モデル
高温降着流 ADAF

基礎方程式 III

ADAF モデルは、以下の近似および簡単化をしている。

- ① 円筒座標系 (r, ϕ, z) を用いる
- ② 円盤は定常である： $\partial/\partial t \Rightarrow 0$
- ③ 円盤は軸対称である： $\partial/\partial \phi \Rightarrow 0$
- ④ 円盤は幾何学的にやや厚めである。 $H < r$ ： (r, z) 2次元 $\Rightarrow (1+1)$ 次元化
- ⑤ 円盤は非ケプラー回転 (遠心力 $<$ 重力) する
- ⑥ 円盤は光学的に薄い： $\tau < 1$
- ⑦ 円盤は熱制動放射や逆コンプトン散乱, シンクロトロン放射で光る。
- ⑧ 円盤において、粘性加熱率と移流冷却率がバランスする。

まとめると、

- 未知の物理量は 10 個 ($\rho, \Sigma, H, v_r, c_s, \Omega, P, T, \tau, \nu$)
- 基本方程式は 10 本
- パラメータは、 $M, \dot{M}, \alpha, l_{in}$ の 4 つ。(アウトフローがある場合はさらに r_{disk} と p が加わる)

ここで、 l_{in} は、ブラックホールに吸い込まれるガスのもつ、単位質量当たりの角運動量を表す。標準円盤との大きな違いは、運動方程式 (4) とエネルギー方程式 (6) に現れる。ともに、微分を含んでいることが解析を困難にし、数値的に解く必要がある。適当な境界条件を与えると、微分方程式が解けて、密度や温度などの物理量が r の関数として決定できる。

基礎方程式

標準降着円盤モデル
高温降着流 ADAF

基礎方程式

標準降着円盤モデル
高温降着流 ADAF

基礎方程式 I

標準円盤モデルは、以下の近似および簡単化をしている。

- ① 円筒座標系 (r, ϕ, z) を用いる
- ② 円盤は定常である： $\partial/\partial t \Rightarrow 0$
- ③ 円盤は軸対称である： $\partial/\partial \phi \Rightarrow 0$
- ④ 円盤は幾何学的に薄い。 $H \ll r$ ： (r, z) 2次元 \Rightarrow $(1+1)$ 次元化
- ⑤ 円盤はケプラー回転 (遠心力 = 重力) する
- ⑥ 円盤は光学的に厚い： $\tau \gg 1$
- ⑦ 円盤は黒体放射する
- ⑧ 円盤表面単位面積からの単位時間当たりの放射エネルギー量は、放射拡散近似で、

$$F [\text{erg}/\text{cm}^2\text{s}^{-1}] = \int (ac/3\kappa\rho)(dT^4/dz)dx \approx 4\sigma T^4/3\tau \quad (2)$$

と書ける。ここで、

- 輻射密度定数 $a = \pi^2 k^4 / 15 c^3 \hbar^3 = 7.57 \times 10^{-15} \text{ erg}/\text{cm}^3 \text{ K}^{-4}$,
- シュテファン-ボルツマン定数 $\sigma = ac/4 = 5.67 \times 10^{-5} \text{ erg cm}^{-2} \text{ K}^{-4} \text{ s}^{-1}$

である。

- ⑨ 円盤において、粘性加熱率と放射冷却率がバランスする。

まとめると、

- 未知の物理量は 10 個 ($\rho, \Sigma, H, v_r, c_s, \Omega, P, T, \tau, \nu$)

基礎方程式 II

- 基本方程式は 10 本
- パラメータは、 M, \dot{M}, α の 3 つ。

で式が閉じて、各物理量が r の関数として決定できる。

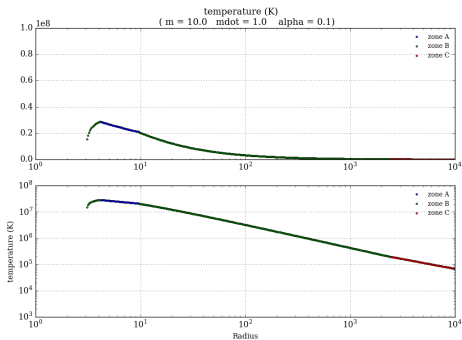


図 2: 計算結果の例

基礎方程式 III

ADAF モデルは、以下の近似および簡単化をしている。

- ① 円筒座標系 (r, ϕ, z) を用いる
- ② 円盤は定常である： $\partial/\partial t \Rightarrow 0$
- ③ 円盤は軸対称である： $\partial/\partial \phi \Rightarrow 0$
- ④ 円盤は幾何学的にやや厚めである。 $H < r$ ： (r, z) 2次元 $\Rightarrow (1+1)$ 次元化
- ⑤ 円盤は非ケプラー回転 (遠心力 $<$ 重力) する
- ⑥ 円盤は光学的に薄い： $\tau < 1$
- ⑦ 円盤は熱制動放射や逆コンプトン散乱, シンクロトロン放射で光る。
- ⑧ 円盤において、粘性加熱率と移流冷却率がバランスする。

まとめると、

- 未知の物理量は 10 個 ($\rho, \Sigma, H, v_r, c_s, \Omega, P, T, \tau, \nu$)
- 基本方程式は 10 本
- パラメータは、 $M, \dot{M}, \alpha, l_{in}$ の 4 つ。(アウトフローがある場合はさらに r_{disk} と p が加わる)

ここで、 l_{in} は、ブラックホールに吸い込まれるガスのもつ、単位質量当たりの角運動量を表す。標準円盤との大きな違いは、運動方程式 (4) とエネルギー方程式 (6) に現れる。ともに、微分を含んでいることが解析を困難にし、数値的に解く必要がある。適当な境界条件を与えると、微分方程式が解けて、密度や温度などの物理量が r の関数として決定できる。