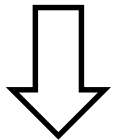


Sombrero銀河に銀河風は 存在するのか？

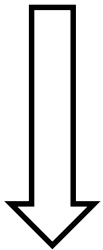
五十嵐朱夏(筑波大)、森正夫(筑波大)、新田伸也(筑波技大)

銀河風の駆動メカニズム

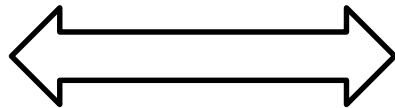
駆動するエネルギーは？



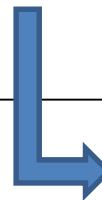
先行研究：超新星爆発(主にII型)



星形成銀河



Sombrero銀河に銀河風？
(Li et al. 2011)



星形成銀河ではない！

Sombrero銀河：X線観測

Chandra X-ray observatory

広がった高温ガス → 銀河風？

(Li et al. 2011)

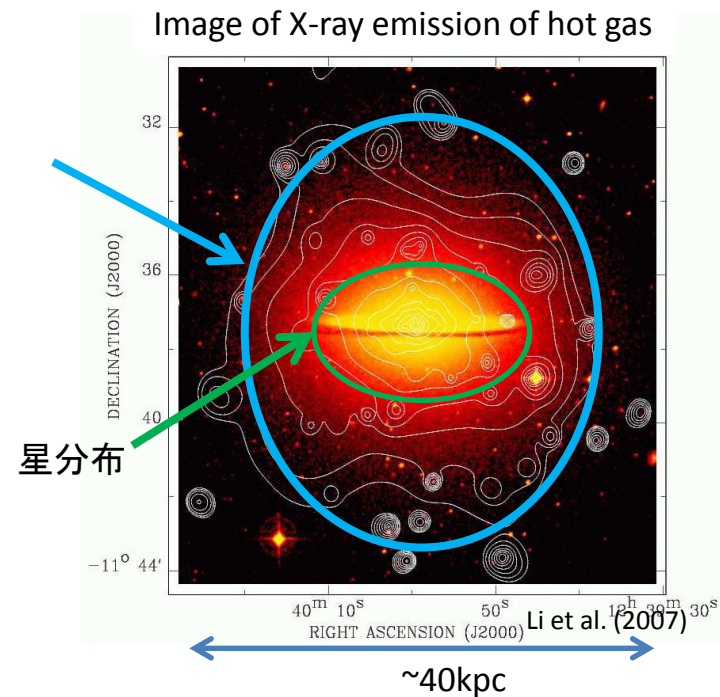


ガス密度は静水圧平衡に近い

(Li et al. 2011)

低い星形成率($\sim 0.06 M_{\odot}/\text{yr}$)

(Li et al. 2007, Kennicutt 1998)



新しい銀河風モデルが必要

新しい銀河風モデル

先行研究: 高い星形成率



本研究のモデル: 低い星形成率

星間ガス自体が持つ熱エネルギーで駆動
(Tsuchiya et al. 2013, Igarashi et al. 2014)

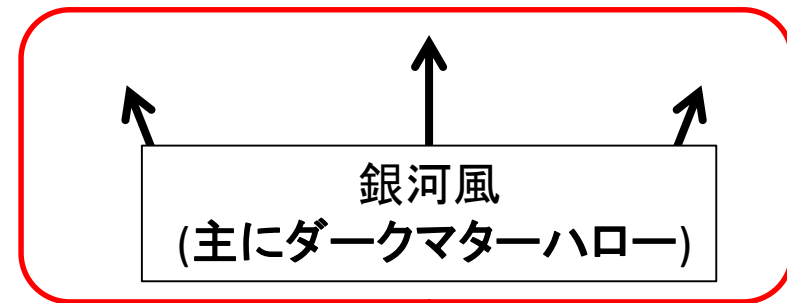
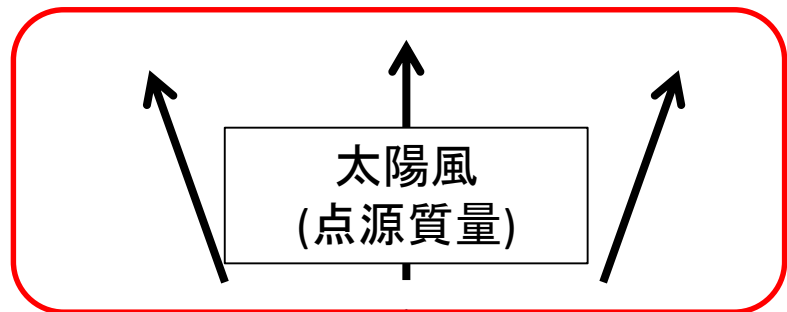
質量分布
(DM Halo + SMBH)

圧力勾配



遷音速銀河風

銀河風モデル (Tsuchiya et al. 2013)



≈ 静水圧平衡

遷音速点

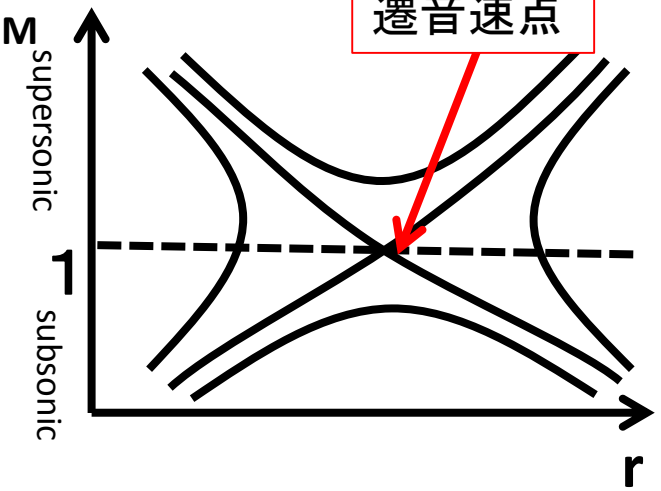
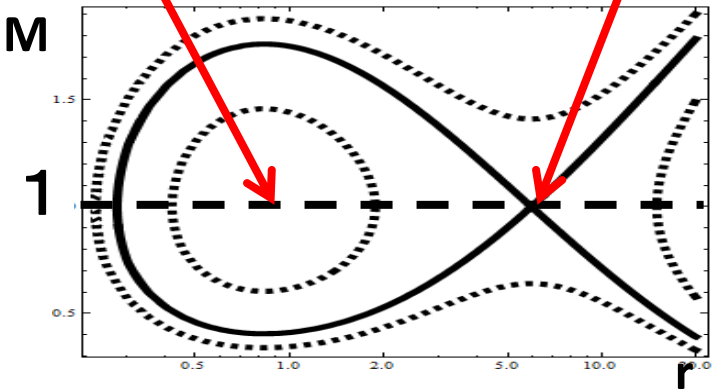
$$4\pi \rho v r^2 = \text{const.}$$

$$v \frac{dv}{dr} = -\frac{c_s^2}{\rho} \frac{d\rho}{dr} - \frac{d\Phi(r)}{dr}$$

遷音速解は
エントロピー最大

O-point

遷音速点



DM HaloとSMBHの重力場における銀河風

(igarashi et al. 2014)

等温球対称定常モデル

Mass conservation $4\pi \rho v r^2 = \text{const.}$

Momentum conservation $v \frac{dv}{dr} = -\frac{c_s^2}{\rho} \frac{d\rho}{dr} - \frac{d\Phi(r)}{dr}$



$$\frac{dM^2}{dx} = \frac{\frac{4}{x} - \frac{2}{c_s^2} \frac{d\Phi}{dx}}{1 - \frac{1}{M^2}}$$

DM Halo

SMBH

$$\frac{1}{2c_s^2} \Phi(x) = - \left[K_{DMH} \frac{\log(x+1)}{x} - K_{BH} \frac{1}{x} \right]$$

質量分布

DM Halo + SMBH



DM Halo profile

$$\rho_{DMH} = \frac{\rho_d r_d^3}{r(r+r_d)^2}$$

(NFW model)



$$M_{BH}$$

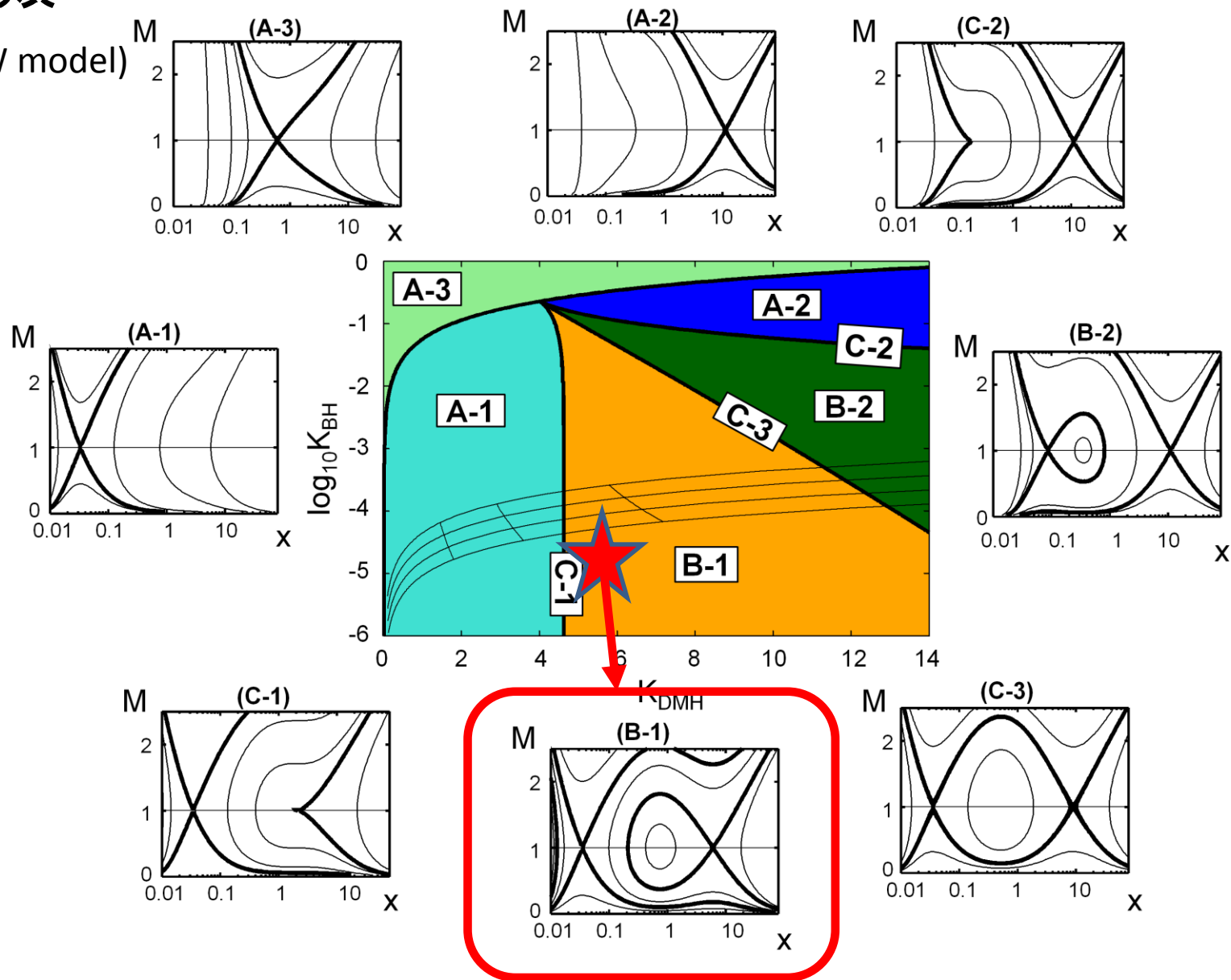
+

$$K_{DMH} = \frac{2\pi G \rho_d r_d^2}{c_s^2} \approx \frac{\text{DMH gravitational energy}}{\text{thermal energy}}$$

$$K_{BH} = \frac{GM_{BH}}{2r_d c_s^2} \approx \frac{\text{SMBH gravitational energy}}{\text{thermal energy}}$$

解の種類

例: $\alpha=1$ (NFW model)

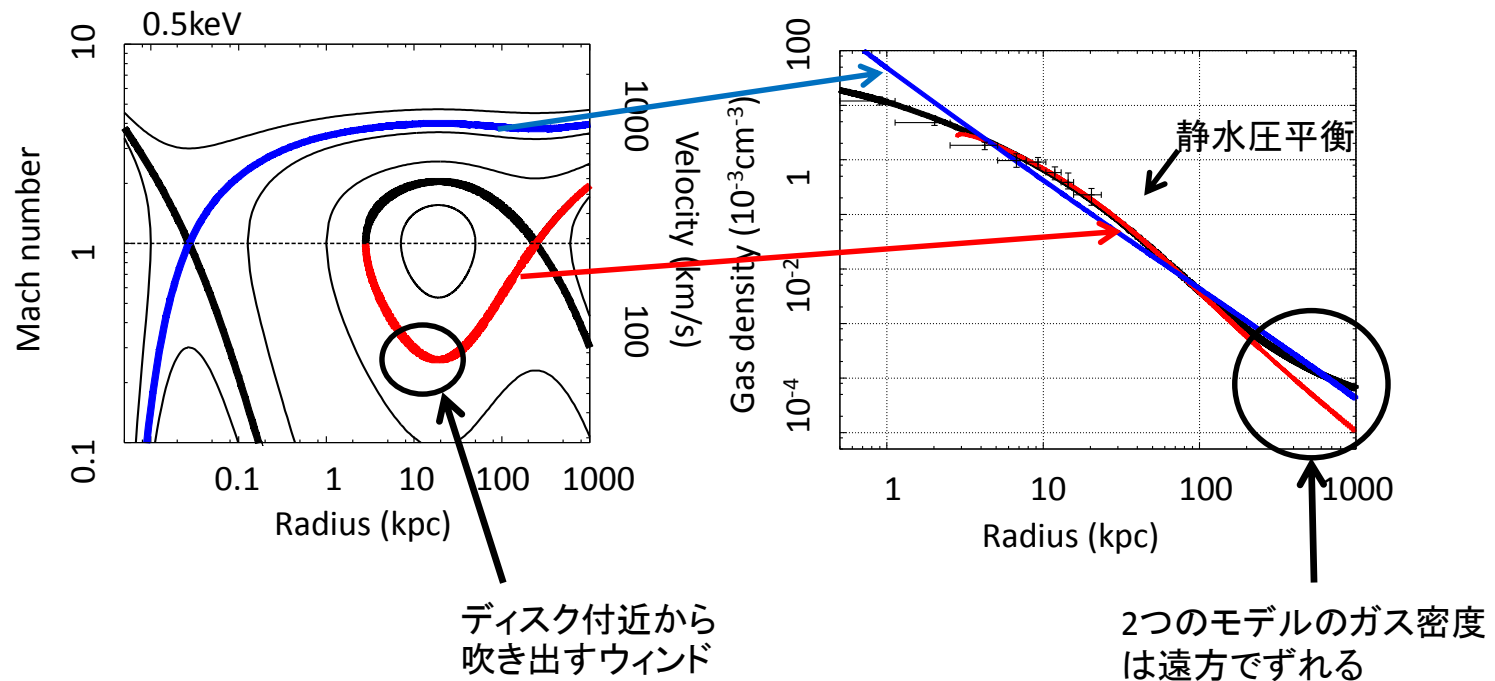


Sombrero銀河

Sombrero銀河への適用

ガス密度の観測値 (<25kpc) にフィッティング

(Li et al. 2011, Bridges et al. 2007, Kormendy et al. 1996).



外側の遷音速点を通る解がガス密度をよく再現する

➡ “遷音速銀河風” と “静水圧平衡に近いガス密度” が共存可能

ディスクから吹き出す銀河風 -> X線ハロー

議論(1/4)

- 一方、質量流束は星からの供給量($0.3-0.4M_{\odot}\text{yr}^{-1}$)よりも大きい($1.8M_{\odot}\text{yr}^{-1}$)



等温仮定に問題？
(エネルギー：無限)



ポリトロピックモデルの導入
(エネルギー：一定)

議論(2/4)

• ポリトロピック球対称定常モデル

Mass conservation	$4\pi \rho v r^2 = \text{const.}$ $v \frac{dv}{dr} = -\frac{1}{\rho} \frac{dP}{dr} - \frac{d\Phi(r)}{dr}$ $\frac{v^2}{2} + \frac{c_s^2}{\gamma-1} + \Phi(r) = E$ $P \propto \rho^\gamma$
Momentum conservation	
Energy conservation	
Polytropic relation	

r : radius

ρ : density

v : velocity

c_s : sound speed

M : Mach number

P : pressure

γ : polytropic index

Φ : potential

E : total energy

$$\frac{M^2 - 1}{M^2 \{(\gamma - 1)M^2 + 2\}} \frac{dM^2}{dr} = \frac{2}{r} - \frac{\gamma + 1}{2(\gamma - 1)} \frac{1}{E - \Phi} \frac{d\Phi}{dr}$$

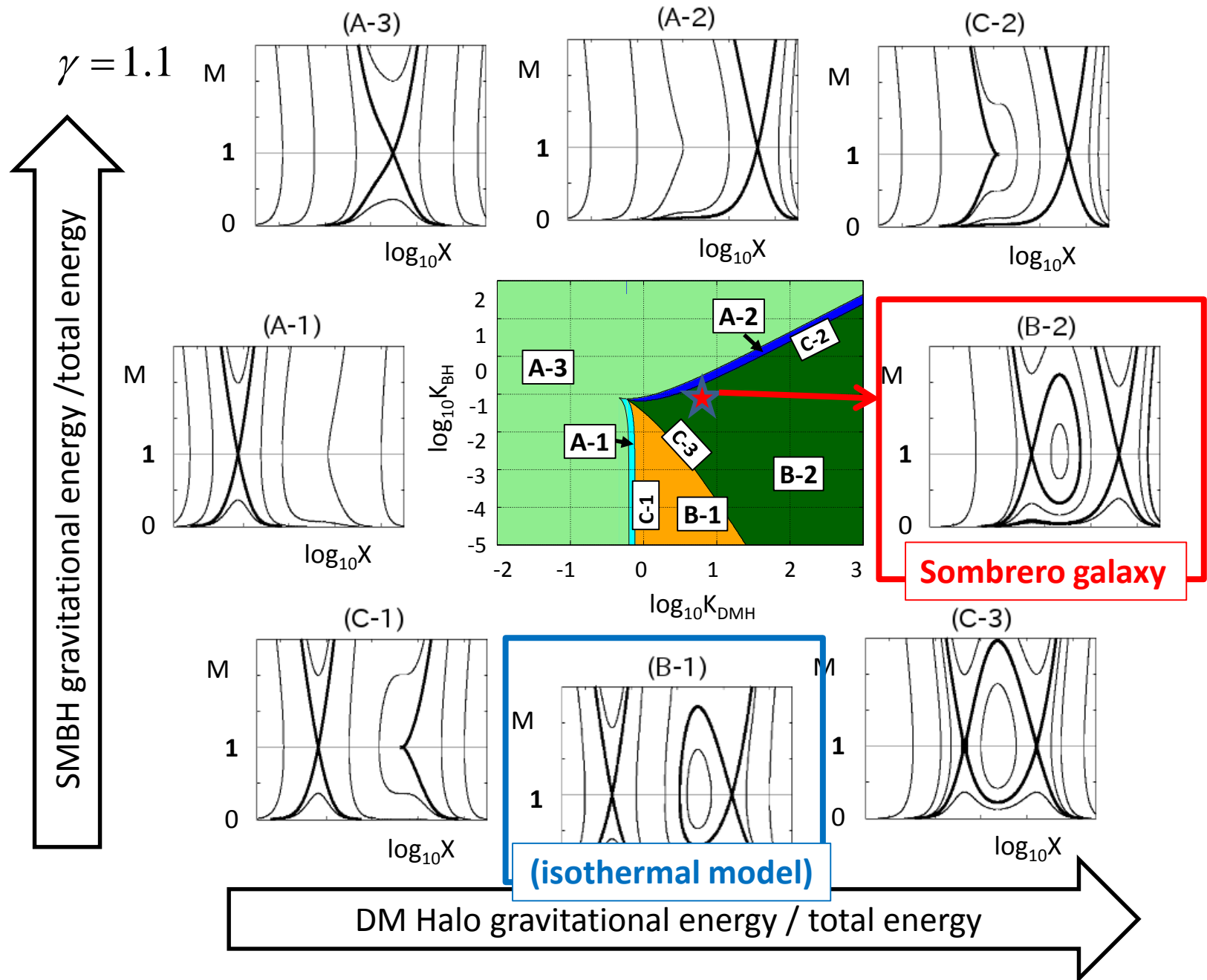
DM Halo

SMBH

$$\frac{1}{2E} \Phi(x) = - \boxed{K_{DMH} \frac{\log(x+1)}{x}} - \boxed{K_{BH} \frac{1}{x}}$$

$K_{DMH} = \frac{2\pi G \rho_d r_d^2}{E} \approx \frac{\text{DMH gravitational energy}}{\text{total energy}}$
$K_{BH} = \frac{GM_{BH}}{2r_d E} \approx \frac{\text{SMBH gravitational energy}}{\text{total energy}}$

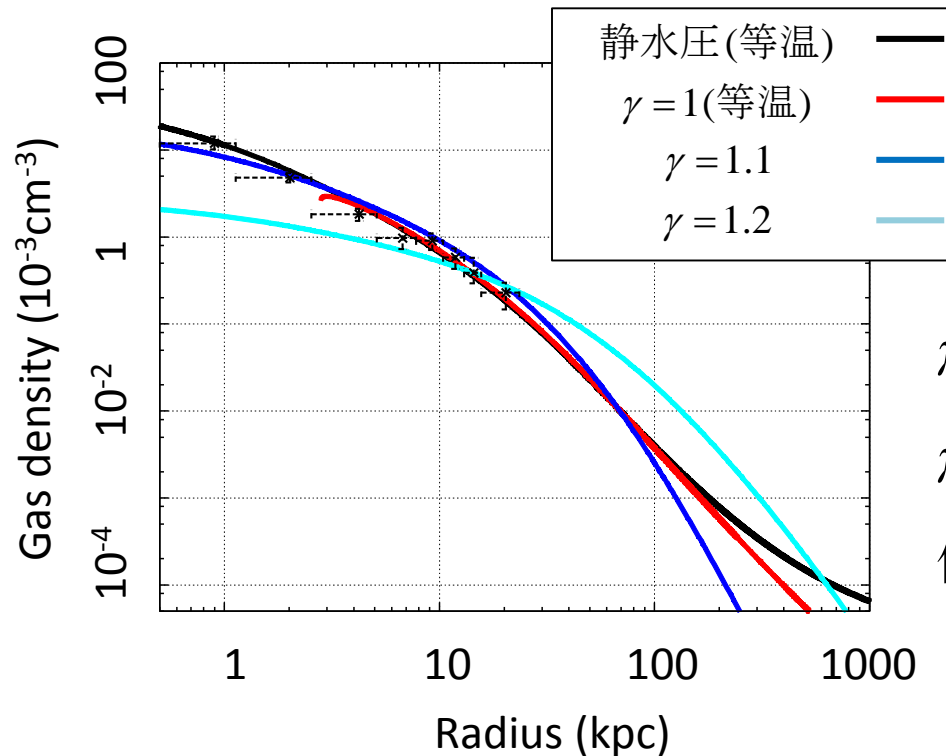
議論(3/4) (Igarashi et al. in prep.)



議論(4/4)

ガス密度の観測値 (<25kpc) にフィッティング

(Li et al. 2011, Bridges et al. 2007, Kormendy et al. 1996).



$$\gamma = 1.1: \dot{M} = 1.41 M_{\text{solar}} / \text{yr}, \sqrt{E} = 270 \text{ km/s}$$

$$\gamma = 1.2: \dot{M} = 0.15 M_{\text{solar}} / \text{yr}, \sqrt{E} = 43.7 \text{ km/s}$$

$$\text{供給量} : \dot{M} = 0.3 - 0.4 M_{\text{solar}} / \text{yr}$$

遠方の遷音速点を通る解がガス密度分布と質量流束をよく再現する

まとめ

- Sombrero銀河に等温モデルを適用すると、外側の遷音速点を通る解が静水圧平衡に近いガス密度を再現できる。これは、激しい星形成がなくとも、ビリアル平衡に近い星間ガスの持つエネルギーで、銀河風が発生可能であることを示唆する。
- ポリトロピックモデルでは質量流束が減少し、星からの供給量に近くなる。

今後の予定

- 銀河風速度分布 \Leftrightarrow 銀河重力場
- 銀河風 \Leftrightarrow (銀河内、銀河間空間の)化学進化