2014年1月初代星初代銀河研究会

ダークマターハローと銀河中心ブラックホールの重力場における球対称定常銀河風解析

◎五十嵐朱夏(筑波大)
森正夫(筑波大)
新田伸也(筑波技術大)

銀河風とは？

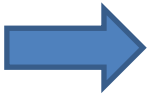
- 銀河から星間ガス(高温のガス)が流出する現象
- 銀河進化に影響
- 銀河間空間の重元素汚染に影響

遷音速銀河風モデル

星間ガス中の熱エネルギーで駆動(Thermal winds)
(Tsuchiya et al. 2013)

質量分布
(DM Halo + SMBH)

圧力勾配



遷音速銀河風

本研究では遷音速銀河風の質量分布の関係を調べる

遷音速解とは？

質量保存
運動量保存

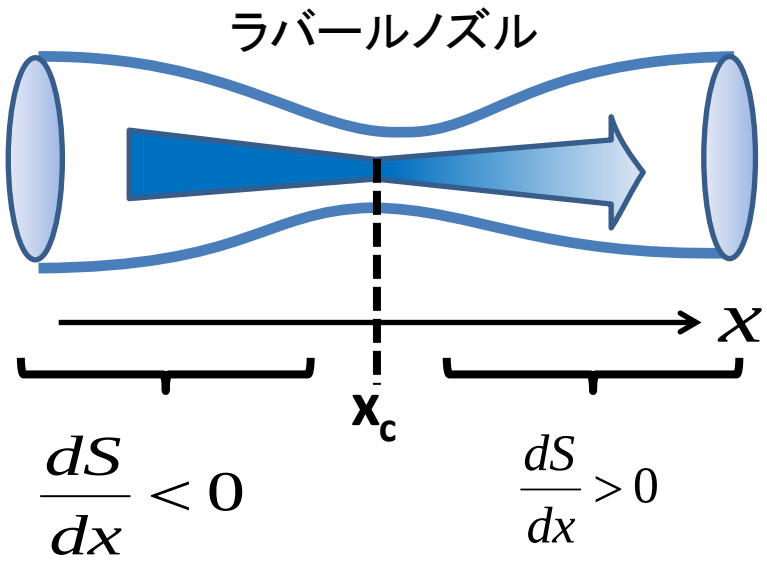
$$\rho v S = const.$$

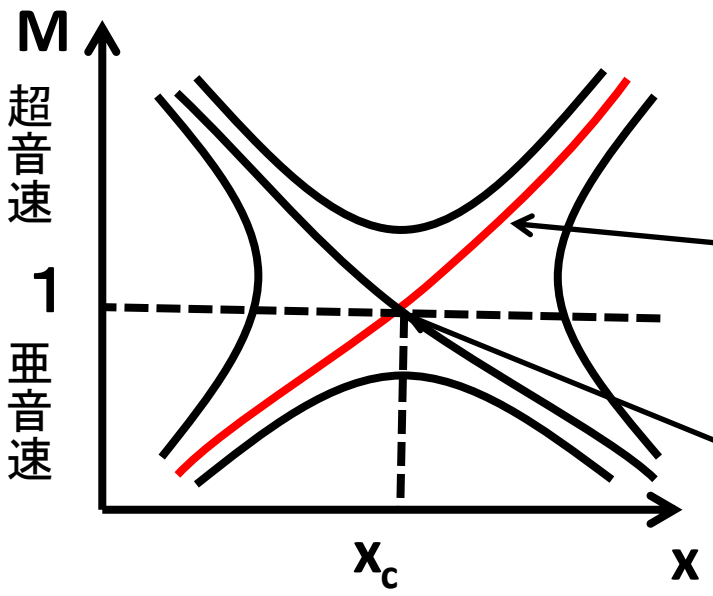
$$v\frac{dv}{dx} = -\frac{1}{\rho}\frac{dp}{dx} = -\frac{c_s^2}{\rho}\frac{d\rho}{dx}$$

$$\frac{1}{M}\frac{dM}{dx} = \frac{\frac{1}{S}\frac{dS}{dx}}{M^2 - 1}$$

M : マッハ数

S : 断面積





亜音速から超音速に移行する解は1つだけ

遷音速解

遷音速点 $\frac{dS}{dx} = 0$

遷音速銀河風モデル (Tsuchiya et al. 2013)

太陽風(Parker 1958)
(点源質量)

銀河風
(主にダークマターハロー)

質量・エネルギー

コロナ

太陽

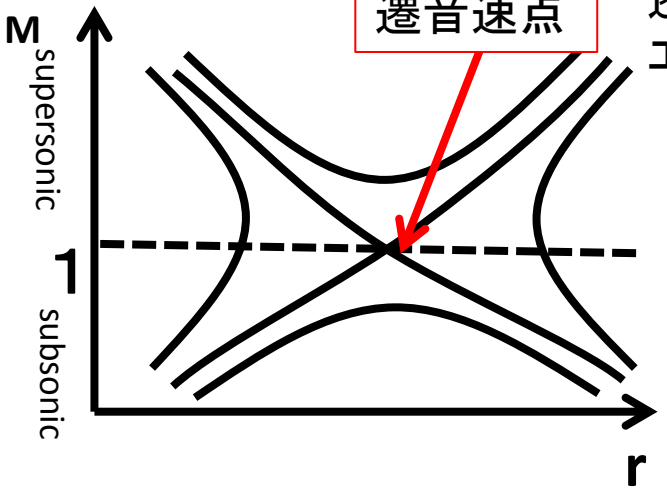
≃ 静水圧平衡

星間ガス

銀河

遷音速点

遷音速解で
エントロピー最大

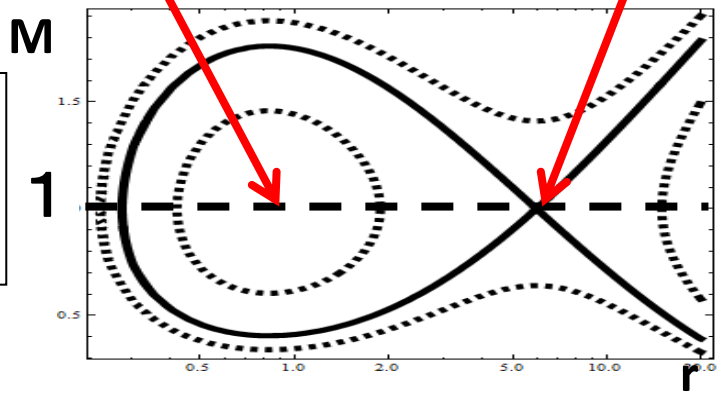


$$4\pi \rho v r^2 = const.$$

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

O-point

遷音速点



DM halo重力場における銀河風

等温球対称定常モデル(Tsuchiya et al. 2013).

質量保存
運動量保存

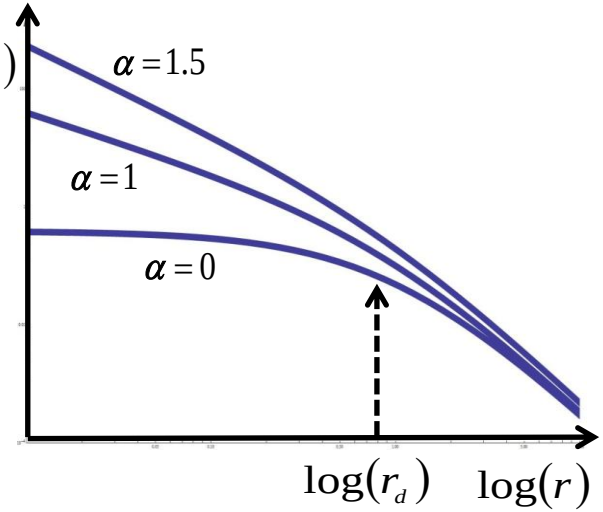
$$4\pi\rho v r^2 = const.$$

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

DM halo 質量分布

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

α：中心集中度を示す
(α=1でNFWモデル)

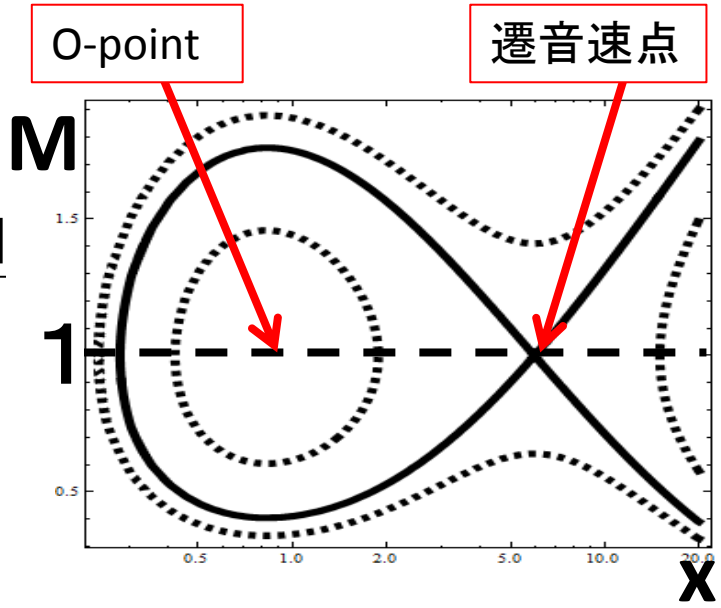


$$\frac{dM^2}{dx} = \frac{\frac{4}{x}N(x;K_{DMH},\alpha)}{1-\frac{1}{M^2}},$$

M:マッハ数
${}_2F_1$[a,b,c ; x]:超幾何関数

$$N(x;\alpha,K_{DMH}) = 1 - K_{DMH}\,x^{2-\alpha}\frac{{}_2F_1[3-\alpha,3-\alpha,4-\alpha;x]}{3-\alpha}$$

$$K_{DMH} = \frac{2\pi G\rho_d r_d^2}{c_s^2}$$



DM HaloとSMBHの重力場における銀河風

(igarashi et al. in prep.)

質量保存
運動量保存

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

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

質量分布

DM Halo + SMBH

DM Halo profile

$$\rho_{DMH} = \frac{\rho_d r_d^3}{r^{\alpha}(r+r_d)^{3-\alpha}} + M_{BH}$$

α : 中心集中度を示す
(α=1 でNFWモデル)

$$\frac{dM^2}{dx} = \frac{\frac{4}{x}N(x;\alpha,K_{DMH},K_{BH})}{1-\frac{1}{M^2}},$$

DM Halo　SMBH

$$N(x;\alpha,K_{DMH},K_{BH}) = 1 - K_{DMH}x^{2-\alpha}\frac{{}_2F_1[3-\alpha,3-\alpha,4-\alpha;x]}{3-\alpha} - \frac{K_{BH}}{x}$$

$$K_{DMH} = \frac{2\pi G\rho_d r_d^2}{c_s^2} \approx \frac{\text{DMH重力ポテンシャルエネルギー}}{\text{熱エネルギー}}$$

$$K_{BH} = \frac{GM_{BH}}{2r_d c_s^2} \approx \frac{\text{SMBH重力ポテンシャルエネルギー}}{\text{熱エネルギー}}$$

(M:マッハ数
${}_2F_1$[a,b,c ; x]:超幾何関数)

K_{DMH} と K_{BH} の範囲

- ビリアル温度を仮定し、実際の銀河でのK_{DMH}とK_{BH}の値を予想する

$$c_s^2 \approx \gamma \frac{GM_{DMH}}{r_{vir}}$$

$$K_{DMH} = \frac{2\pi G \rho_d r_d^2}{c_s^2} = \frac{c}{2\gamma}\left[\int_0^c x^{2-\alpha}(x+1)^{\alpha-3}dx\right]^{-1}$$

$$K_{BH} = \frac{GM_{BH}}{2r_d c_s^2} = \frac{c}{2\gamma}\frac{M_{BH}}{M_{DMH}}$$

γ : ビリアル温度からのずれ
c :concentration parameter

- c, M_{DMH} と M_{BH}の関係はシミュレーションの予想値と観測値を用いる

$$c = \frac{r_{vir}}{r_d} = a \times \left(\frac{M_{DMH}}{10^{12} M_\odot}\right)^b$$

a=12.8, b=-0.13 (Bullock et al. 2001)
a=9.35, b=-0.094 (Maccio et al. 2008)

$$\frac{M_{BH}}{10^8 M_\odot} = 0.10 \times \left(\frac{M_{DMH}}{10^{12} M_\odot}\right)^{1.65}$$

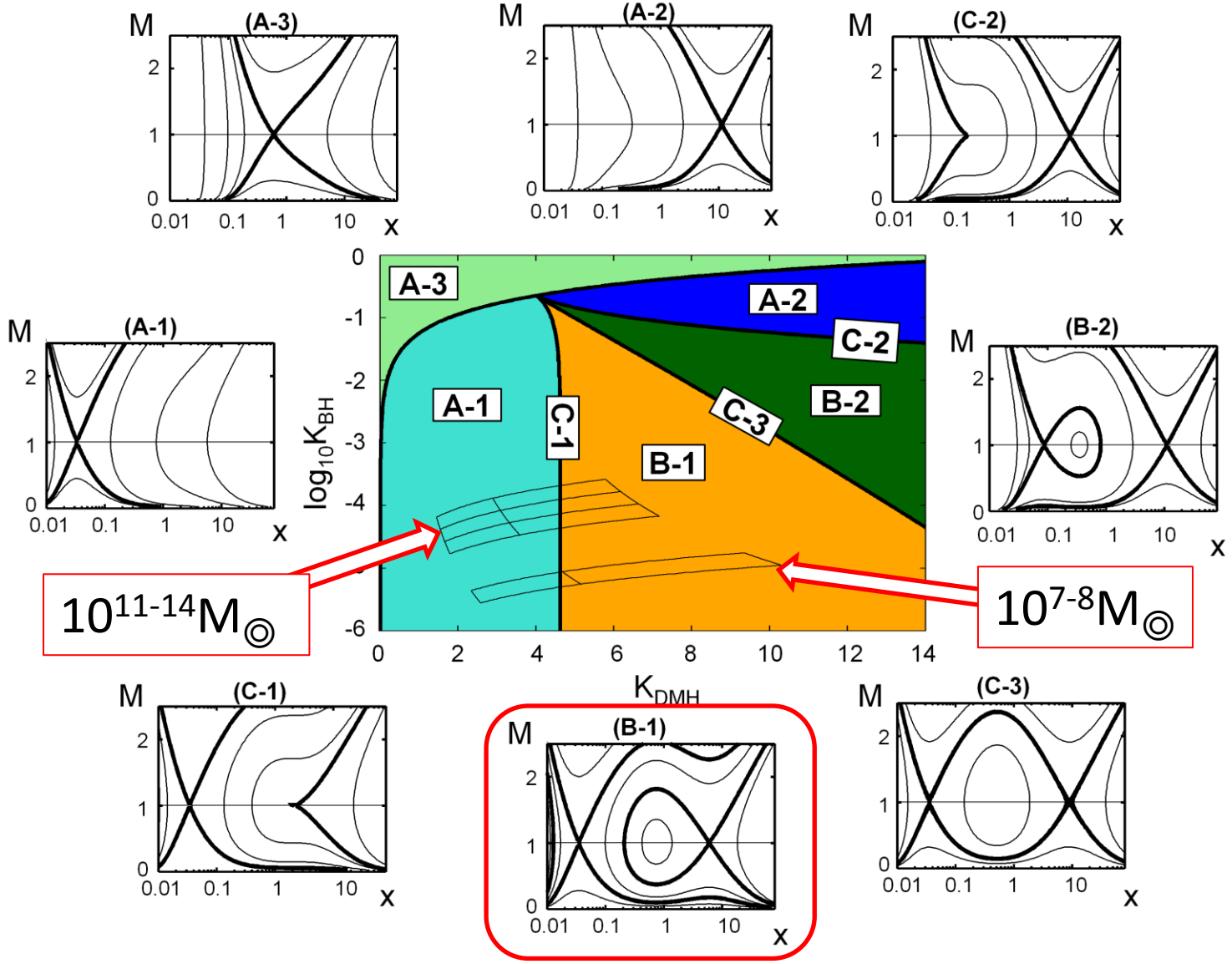
(Baes 2003)

解の種類

例：α=1 (NFW model)

K_{DMH} ≈ DMH重力ポテンシャルエネルギー / 熱エネルギー

K_{BH} ≈ SMBH重力ポテンシャルエネルギー / 熱エネルギー



質量流束の比

B-1では解が2つ存在するが、
実現するのはその一方

⇩

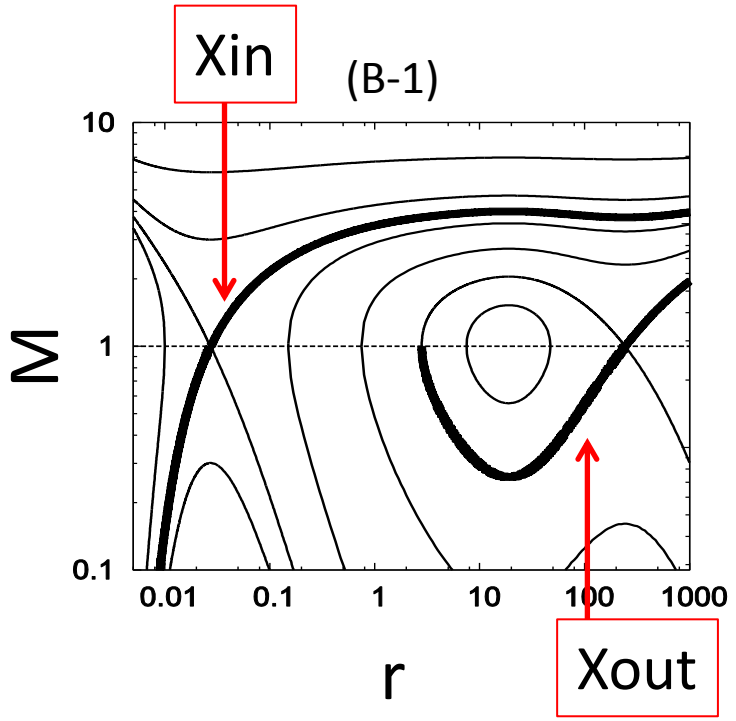
質量流束 $\dot{M}$ が異なる

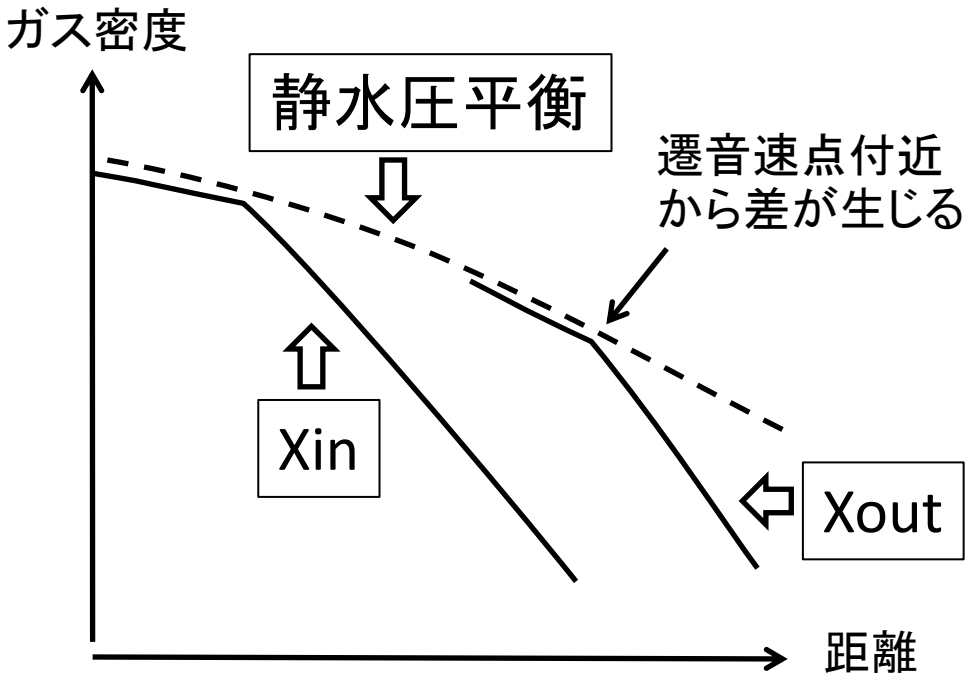
⇩

質量流束の比 ξ を求める

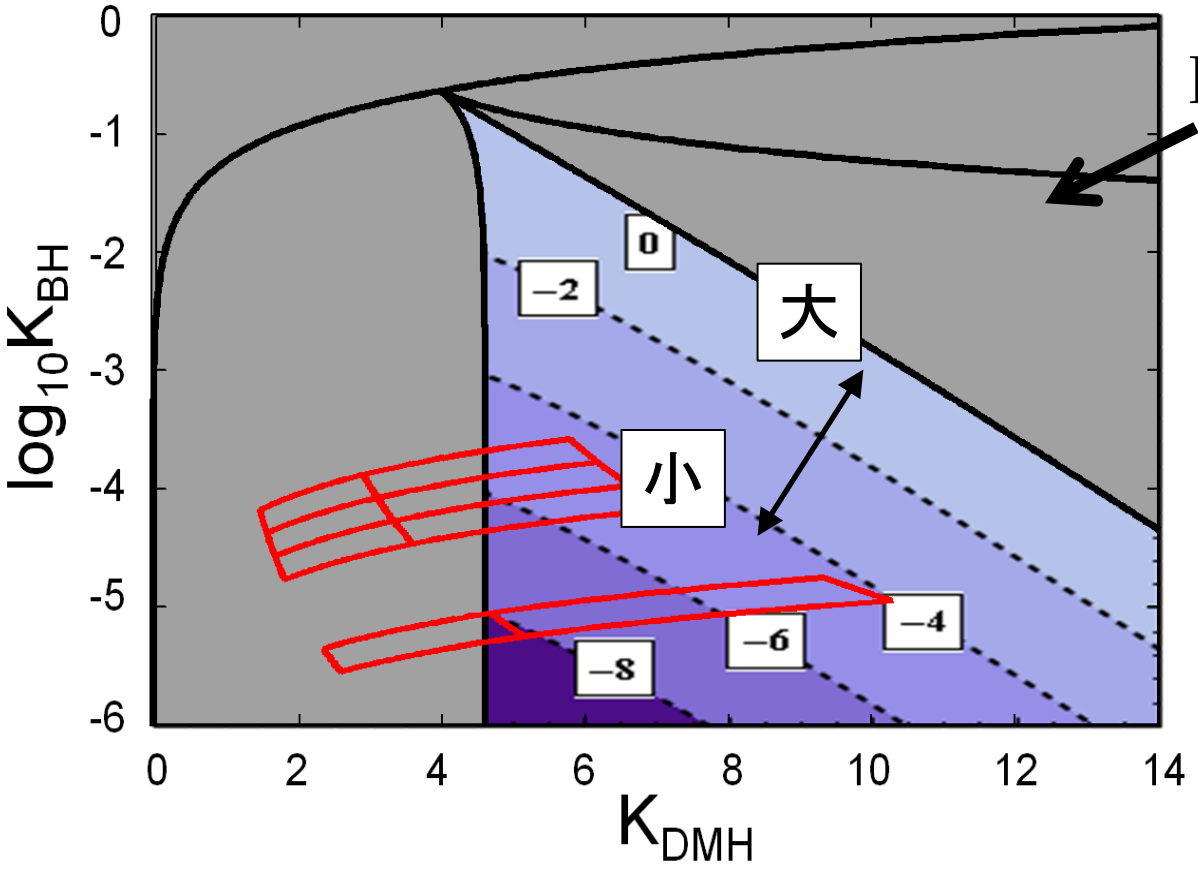
$$\xi = \dot{M}_{Xin} / \dot{M}_{Xout}$$

亜音速領域のガス密度が静水圧平衡状態と同じと仮定して計算

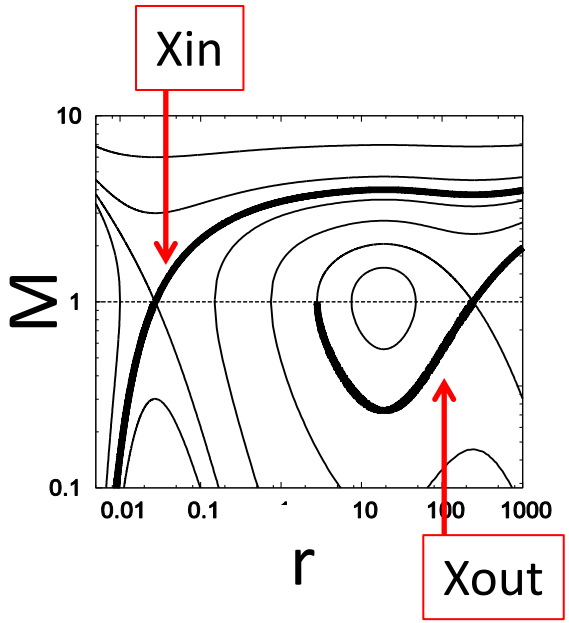




質量流束の比



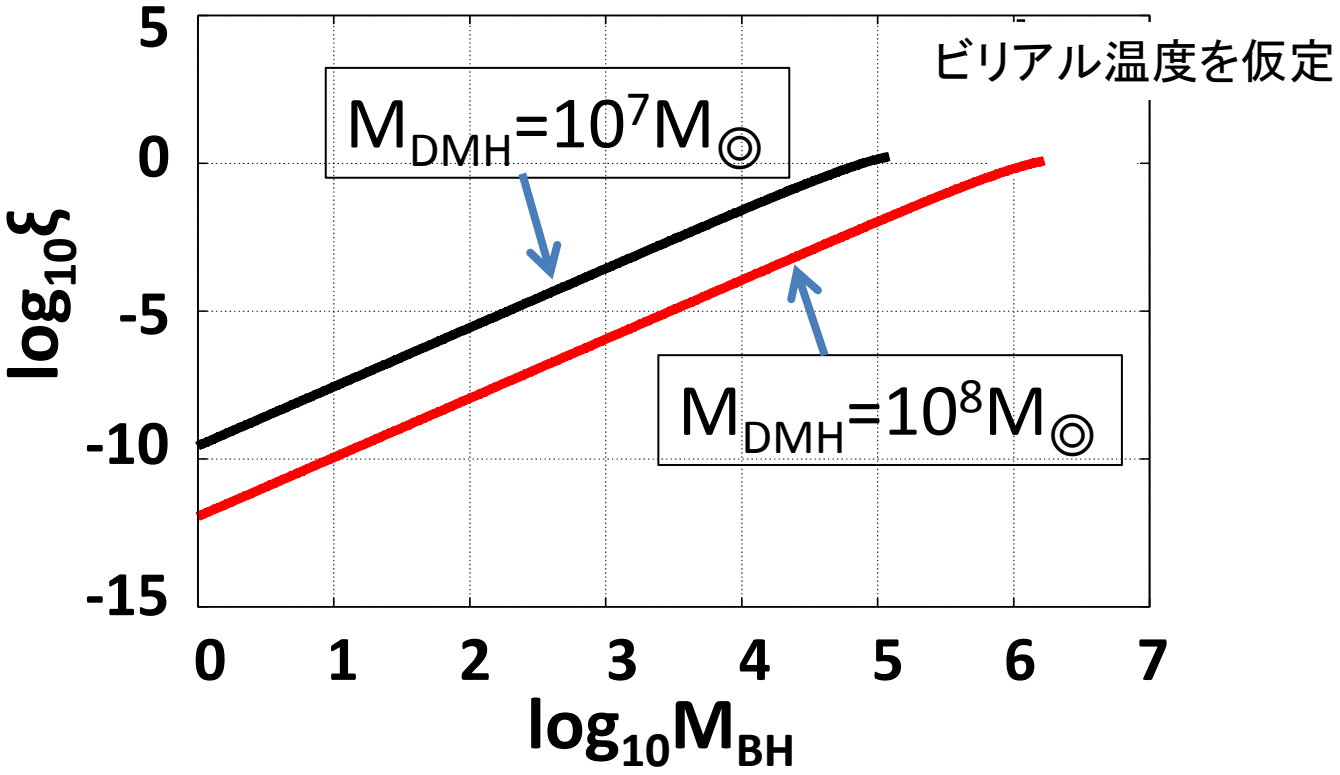
$$\log_{10}\xi = \log_{10}\dot{M}_{Xin}/\dot{M}_{Xout}$$



比はDMH質量とSMBH質量に比例して大きく変化する

Discussion1：質量流束と質量分布

$$\xi = \dot{M}_{Xin} / \dot{M}_{Xout}$$



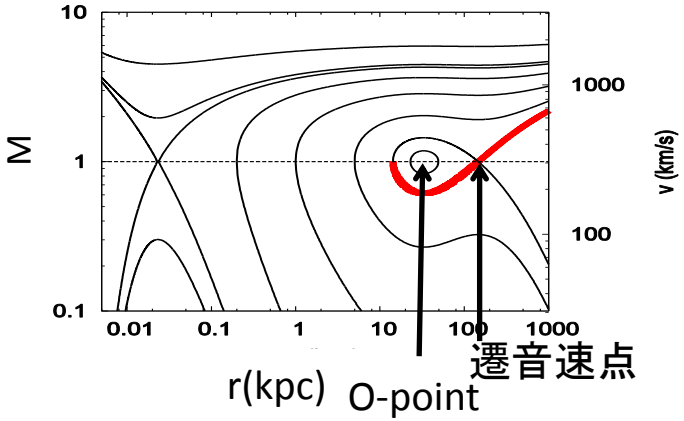
ξはM_{BH}-M_{DMH}関係の変化を反映

⇨ M_{BH}の成長を抑制する可能性について検討する予定

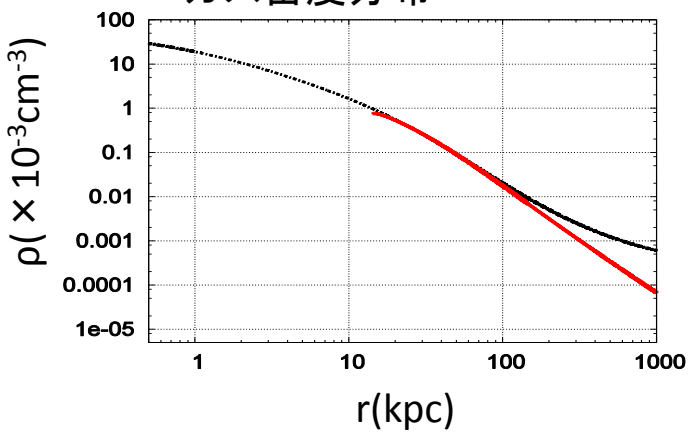
Discussion2 :
Sombrero 銀河のX線強度分布

- Sombrero銀河で広がったhot gas が観測されている
  ➔ 今回のモデルを適用

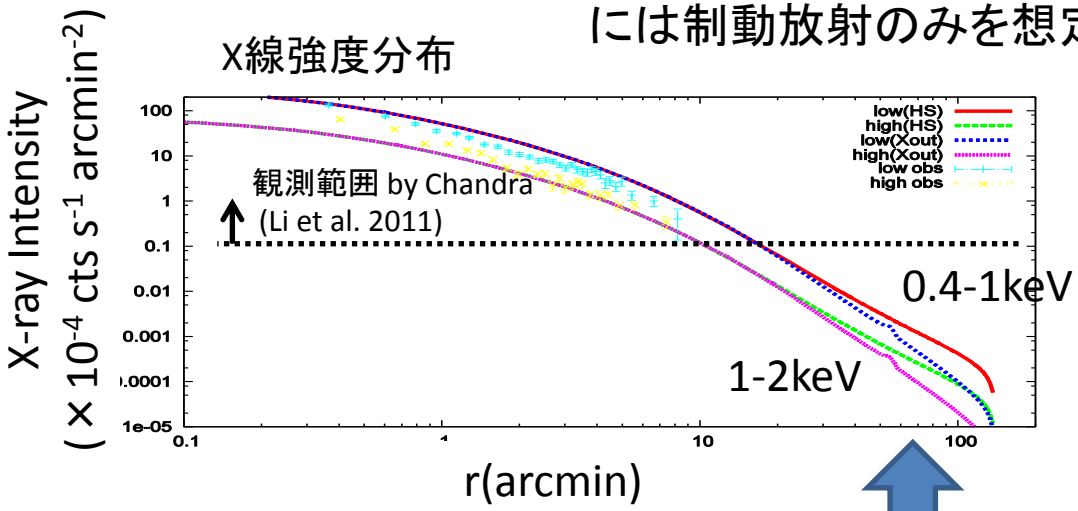
速度分布



ガス密度分布



X線強度分布



簡単のため、X線放射過程には制動放射のみを想定

質量流束は$10M_{\odot}yr^{-1}$

遠方で静水圧平衡と差が生じる

Discussion3：銀河間空間への重元素放出

- 新しい銀河風による銀河間空間への重元素放出量を見積もる

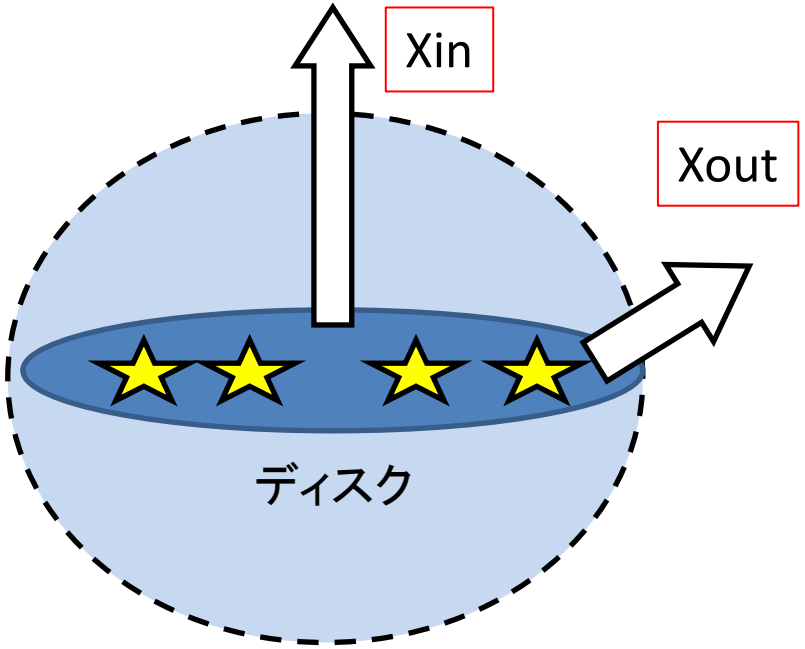
Sombrero銀河では、[Fe/H]がおよそ-1.4なので、予想される質量流束$10M_{\odot}yr^{-1}$と合わせると、10Gyrで$7.9\times10^{7}M_{\odot}$のFeが放出される。すると、銀河間空間の平均金属量はおよそ[Z]=-3程度になる。

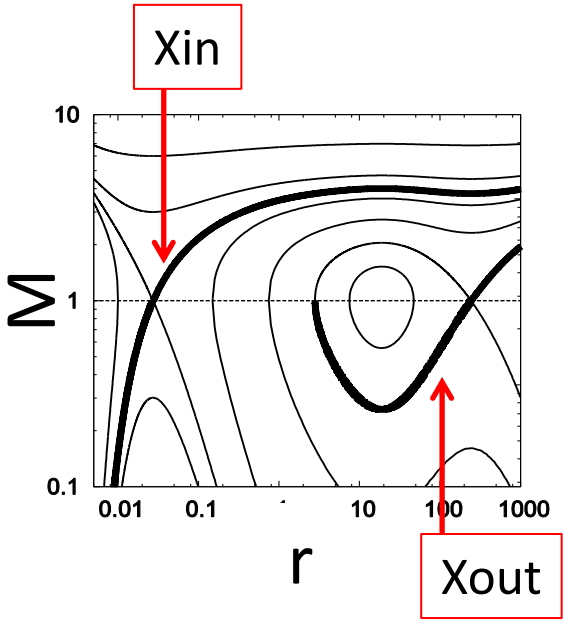
低質量流束で長時間の放出

銀河間空間の化学進化への影響

Discussion4：
disk銀河での異方性と遷音速解

- disk銀河における異方性と2つの遷音速解に適用できるかもしれない





まとめ

- ダークマターハローと銀河中心ブラックホールの重力場における遷音速解はトポロジーによって分類できる。
- 2つの遷音速解が存在し、大きく異なる質量流束をもつ。

Future Work

- 等温球対称から断熱2(3)次元へ
- 銀河間空間の化学進化に対する影響
- 銀河風速度からの質量分布推測