

宇宙論的流体シミュレーションによる 超新星爆発 feedback モデルの検証

大阪大学大学院 理学研究科
宇宙地球科学専攻
藤田勝美

共同研究者

長峯健太郎, 清水一紘 (大阪大)
Nao Suzuki (IPMU)

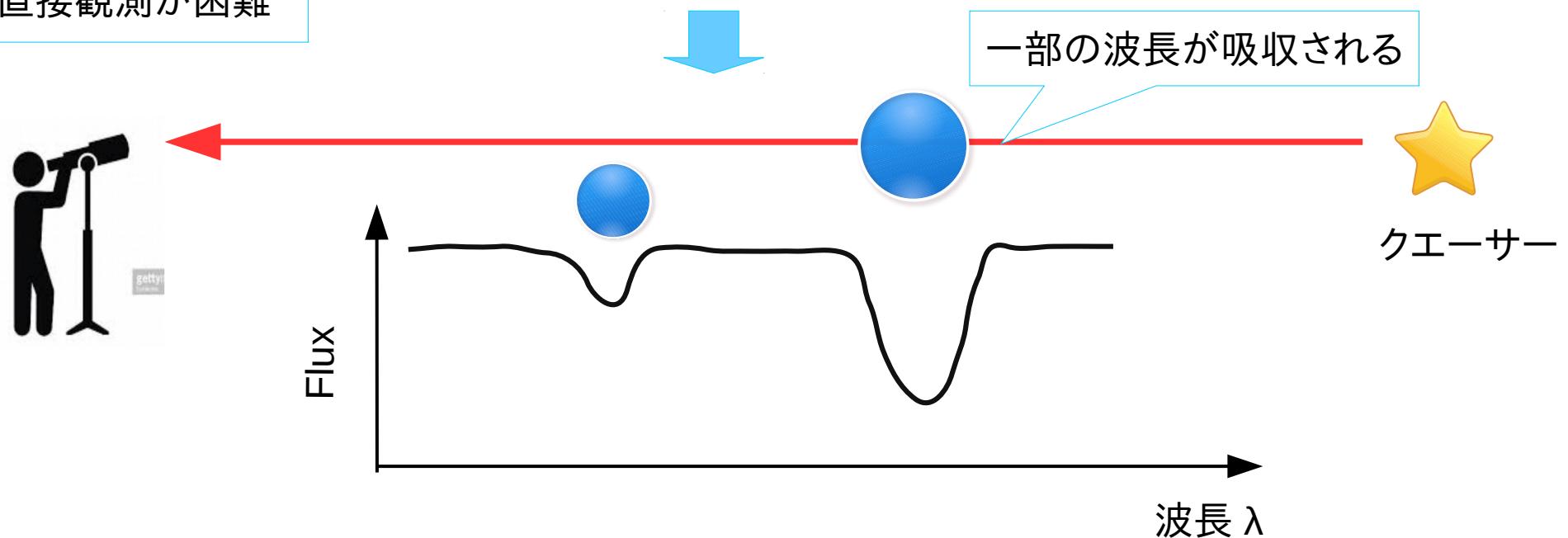
IGM・CGMの観測

IGM・CGMの物質分布を知る方法

(無バイアスだというメリットがある)

自分で光らないので
直接観測が困難

観測では吸収線系が広く用いられている

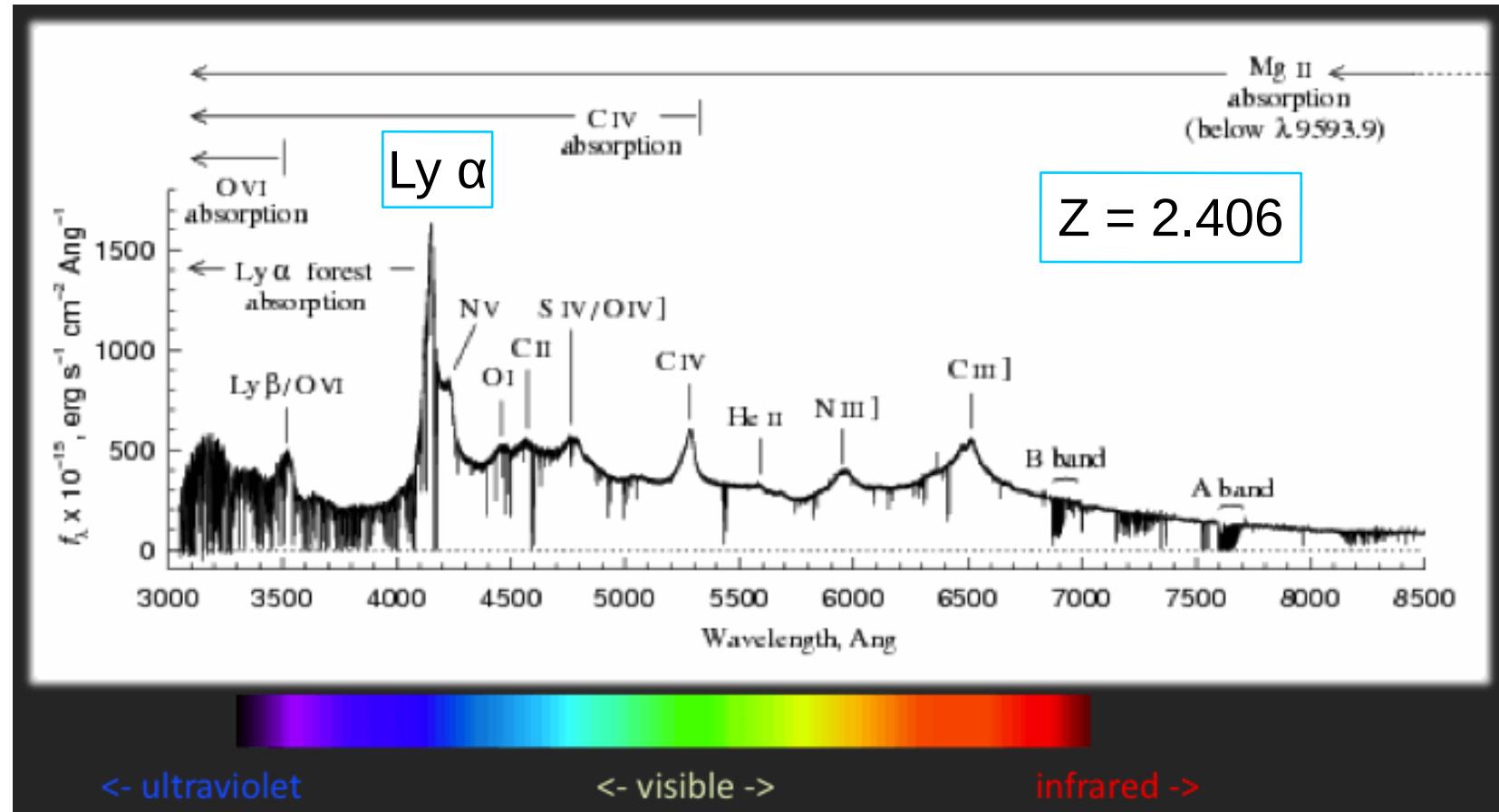


水素のLy α 輝線 波長 $\lambda = 1216 \text{ \AA}$

宇宙膨張を考慮すると … $\lambda_{Ly\alpha}^{obs} = \lambda_{Ly\alpha}(1 + z)$

Redshift による波長のズレ

$$\lambda_{Ly\alpha}^{obs} = \lambda_{Ly\alpha}(1 + z)$$



<http://astronomy.nmsu.edu/cwc/Group/QALsims/>

Z ~ 2 では可視・紫外でLyαが観測される

すばる PFS による観測

2020年~

すばる超広視野分光器 Prime Focus Spectrograph
(PFS)

広い領域を観測

紫外(0.38μm)～赤外(1.3μm)の波長を一度に分光

観測する 吸収線	水素のLy α	CIV・Mg II
わかること	IGM・CGMの 分布	IGM・CGM内の 重元素分布

PFSにより広範囲のIGM・CGM・重元素分布がわかる

目的

IGM・CGMにおける物質循環

→ シミュレーションで調べることができる

物質循環にはfeedback効果が大きく影響する

feedback効果を取り入れたモデルを使ってシミュレーションする

feedback効果を含むモデルは数多く提案されている



すばるPFSの観測により
モデルに制限をつけることができる

理論的に観測を予言、最適なモデルの検証を試みる

方法

星形成とfeedback効果を含むモデルでシミュレーション
今回は水素のLy α 吸収線を計算

使用したコード Gadget3 (radiative cooling, heating, 星形成, SN feedback)

使用したモデル constant wind model (Springel and Hernquist 2003)

Osaka model (Aoyama et al. 2016, Shimizu et al. 2017 in prep)

密度パラメータ

$$\Omega_0 = 0.3089$$

宇宙定数

$$\Omega_\lambda = 0.6911$$

バリオン密度パラメータ

$$\Omega_b = 0.04860$$

ハッブル定数

$$H_0 = 67.74$$

密度ゆらぎの振幅

$$\sigma_8 = 0.8159$$

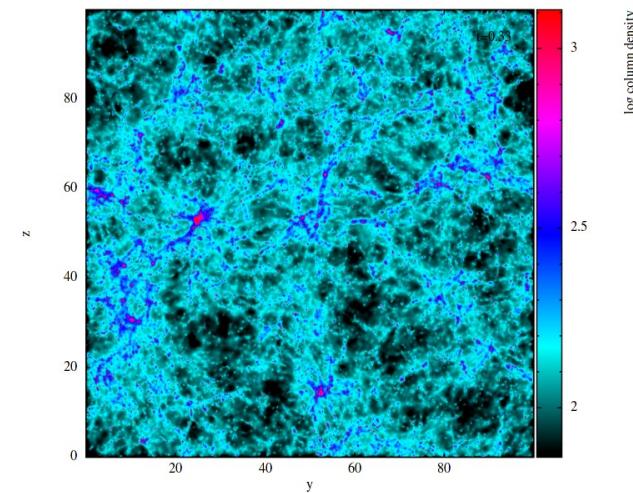
(Planck 2015 より)

Box 一辺 100 cMpc/h

ガス粒子 256^3

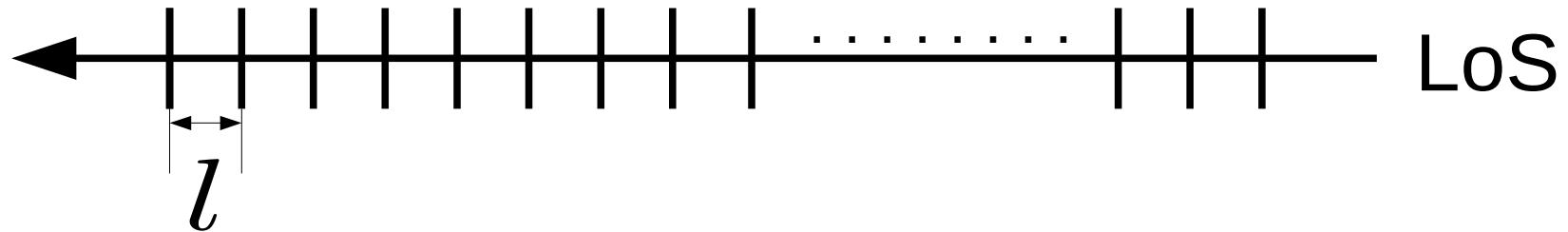
ダークマター粒子 256^3

ガスMass $8.039 \times 10^{-2} M_{\odot}$



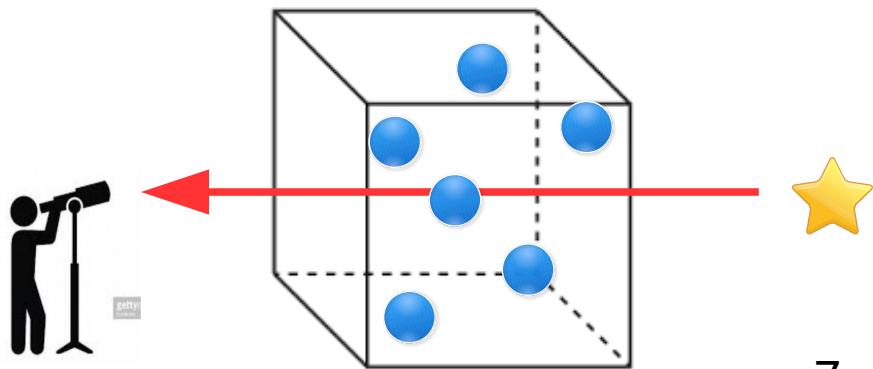
Optical depth

1. ランダムにLine of Sight (LoS)を1000本打つ
2. 一本のLoSを1000分割
3. 各ピクセルにおけるガス粒子の寄与を計算する



τ Optical depth
 n 数密度
 σ 散乱断面積
 l 距離

$$\tau = n\sigma l$$



散乱断面積

散乱断面積 σ

$$\sigma_{\nu_{Ly\alpha}} = B_{12} \frac{h\nu_{Ly\alpha}}{4\pi} \phi(\nu_{Ly\alpha})$$

B_{12} : アインシュタイン係数
 h : プランク定数
 $\nu_{Ly\alpha}$: Ly α の振動数

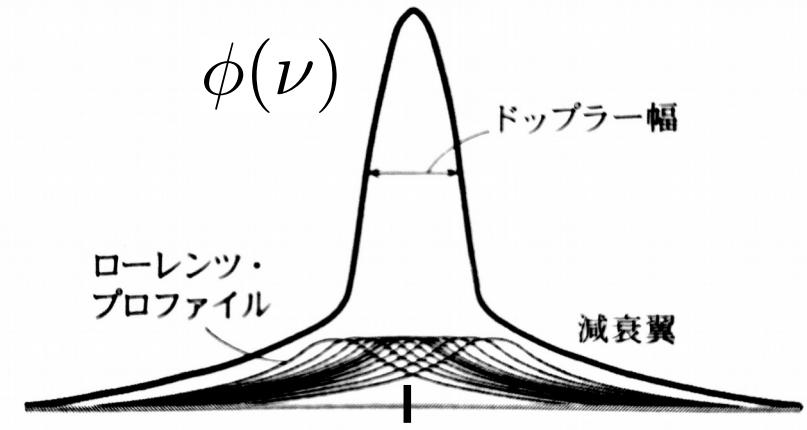


図 8.9 フォークト・プロファイル。

「輻射輸送と輻射流体力学」梅村雅之 他 著 (2016)

Profile function ϕ

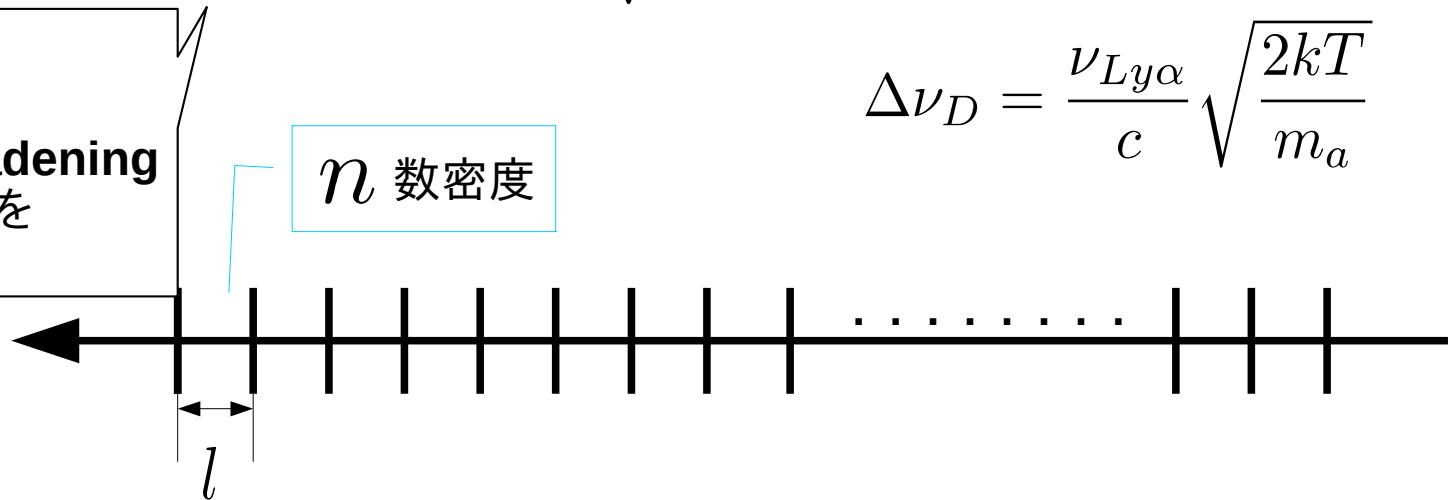
$$\phi(\nu_{Ly\alpha}) = \frac{1}{\Delta\nu_D \sqrt{\pi}} e^{-(\nu - \nu_{Ly\alpha})^2 / (\Delta\nu_D)^2}$$

- Redshift
- Peculiar velocity
- ガスの thermal broadening による中心波長のズレを考慮している

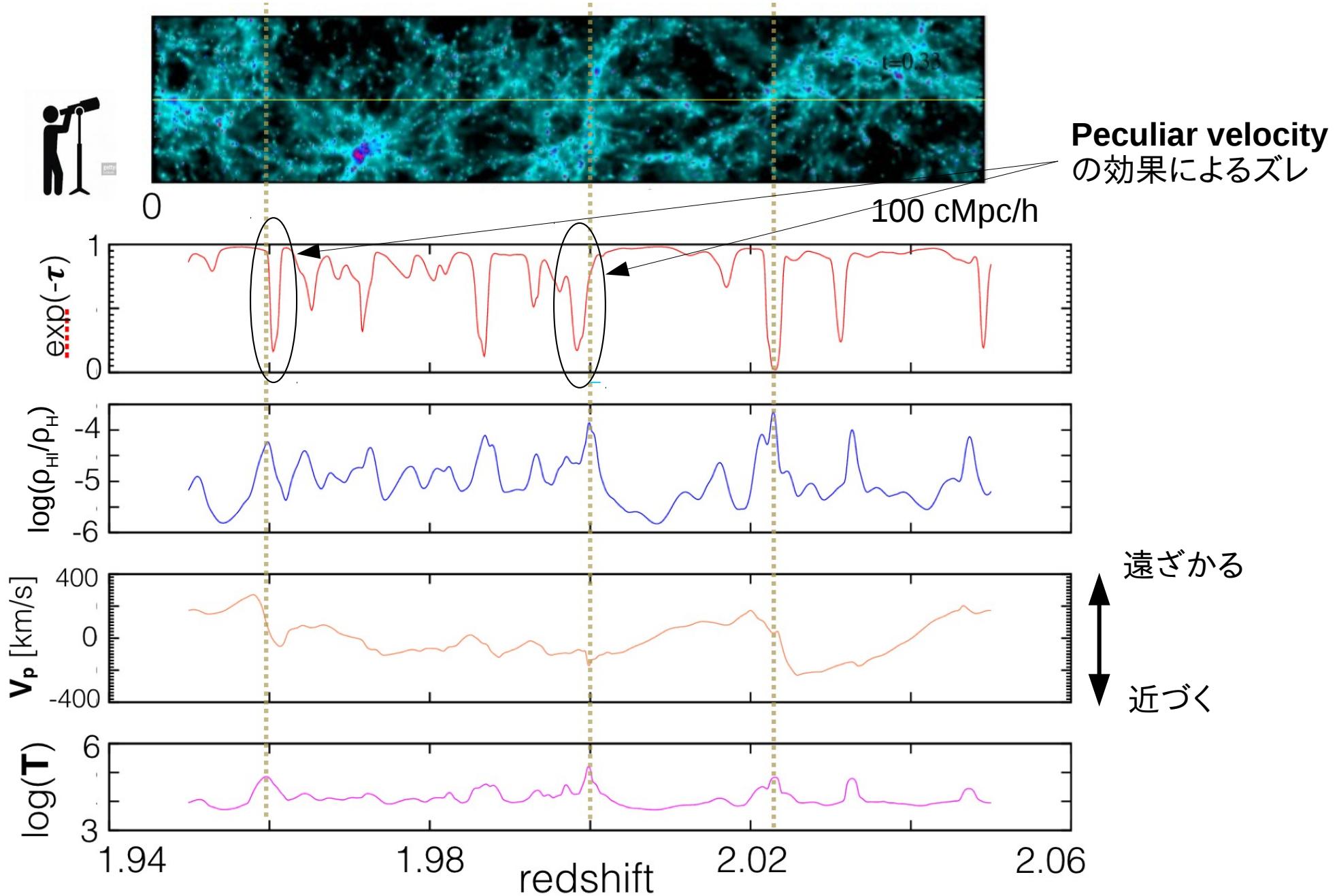
n 数密度

$$\Delta\nu_D = \frac{\nu_{Ly\alpha}}{c} \sqrt{\frac{2kT}{m_a}}$$

$$\tau = n\sigma_{\nu_{Ly\alpha}} l$$



結果



Flux decrement PDF

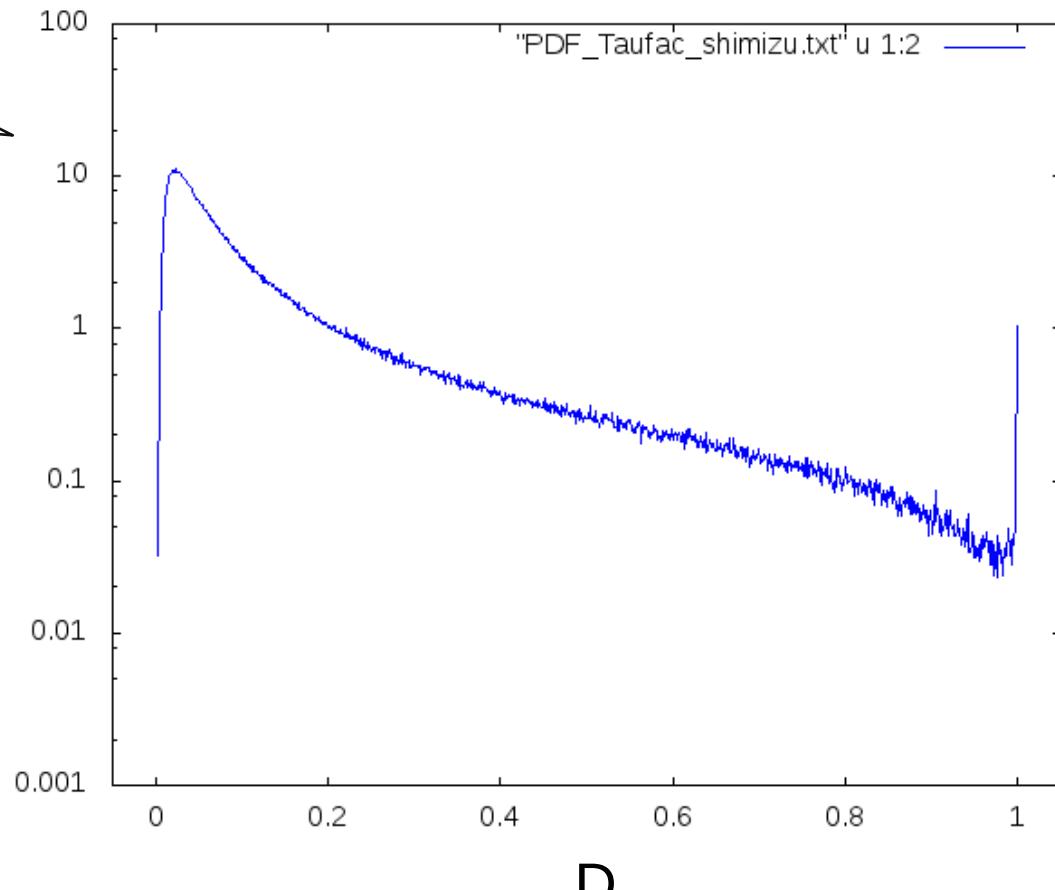
Flux decrement (D)

$$D = 1 - e^{-\tau}$$

1000本のLoSを使用

全体として吸収
が小さいものが多い
傾向にある。

$P(D)$



τ 小さい

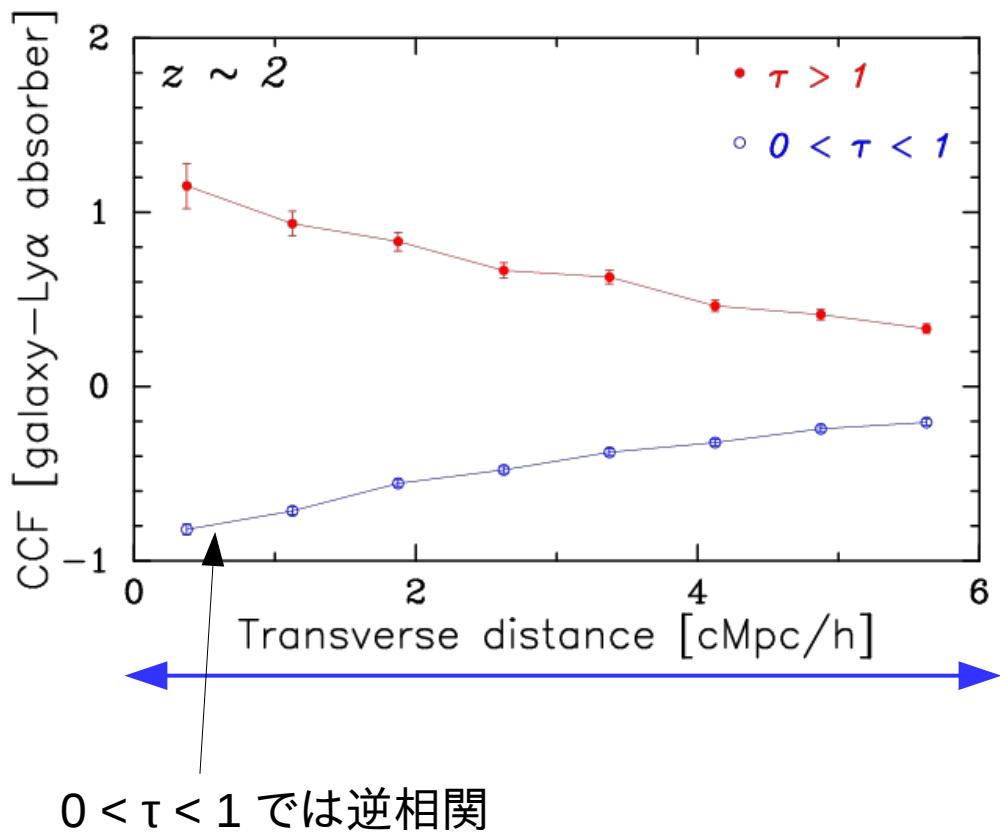


τ 大きい

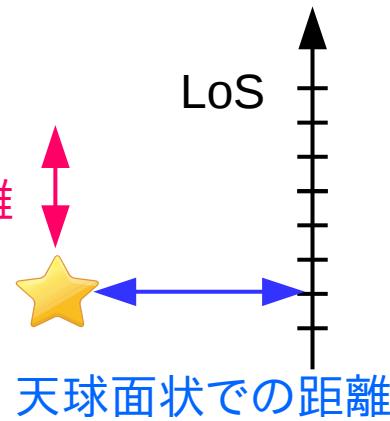
相関関数

2体相関関数

$$\xi(\mathbf{r}) = \langle \delta_{\text{gal}}(\mathbf{x}) \delta_{\text{Ly}\alpha}(\mathbf{x} + \mathbf{r}) \rangle$$

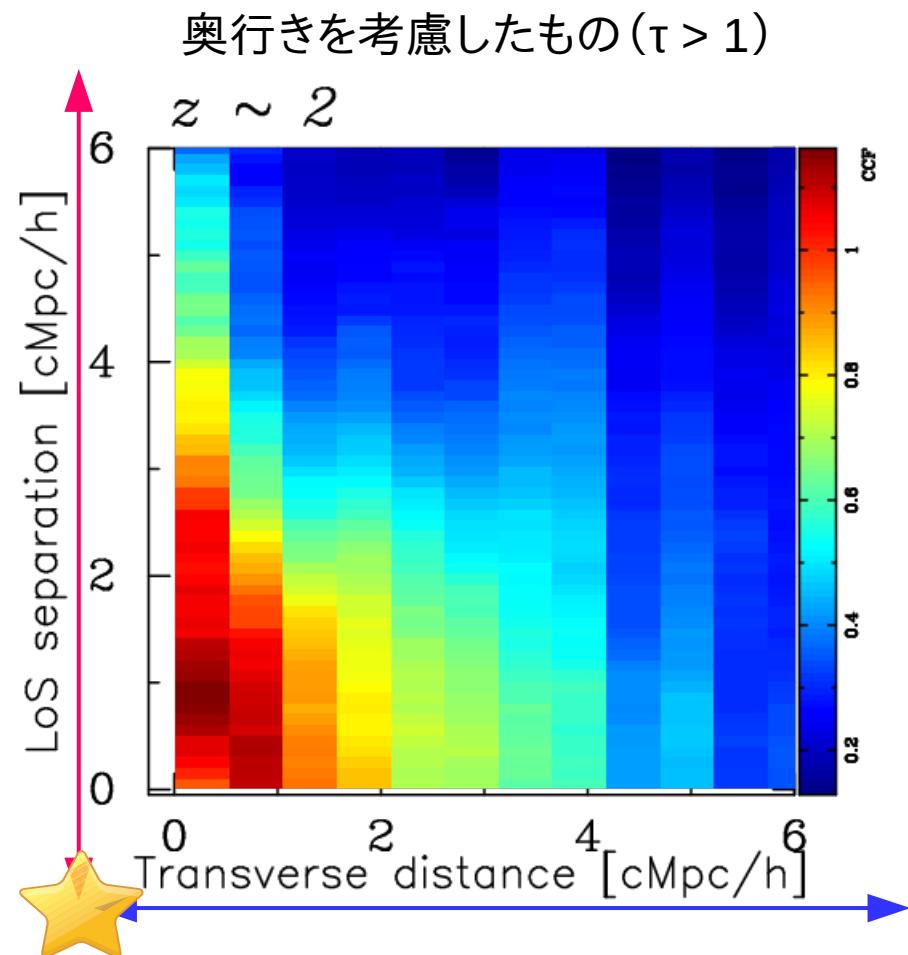


視線方向での距離

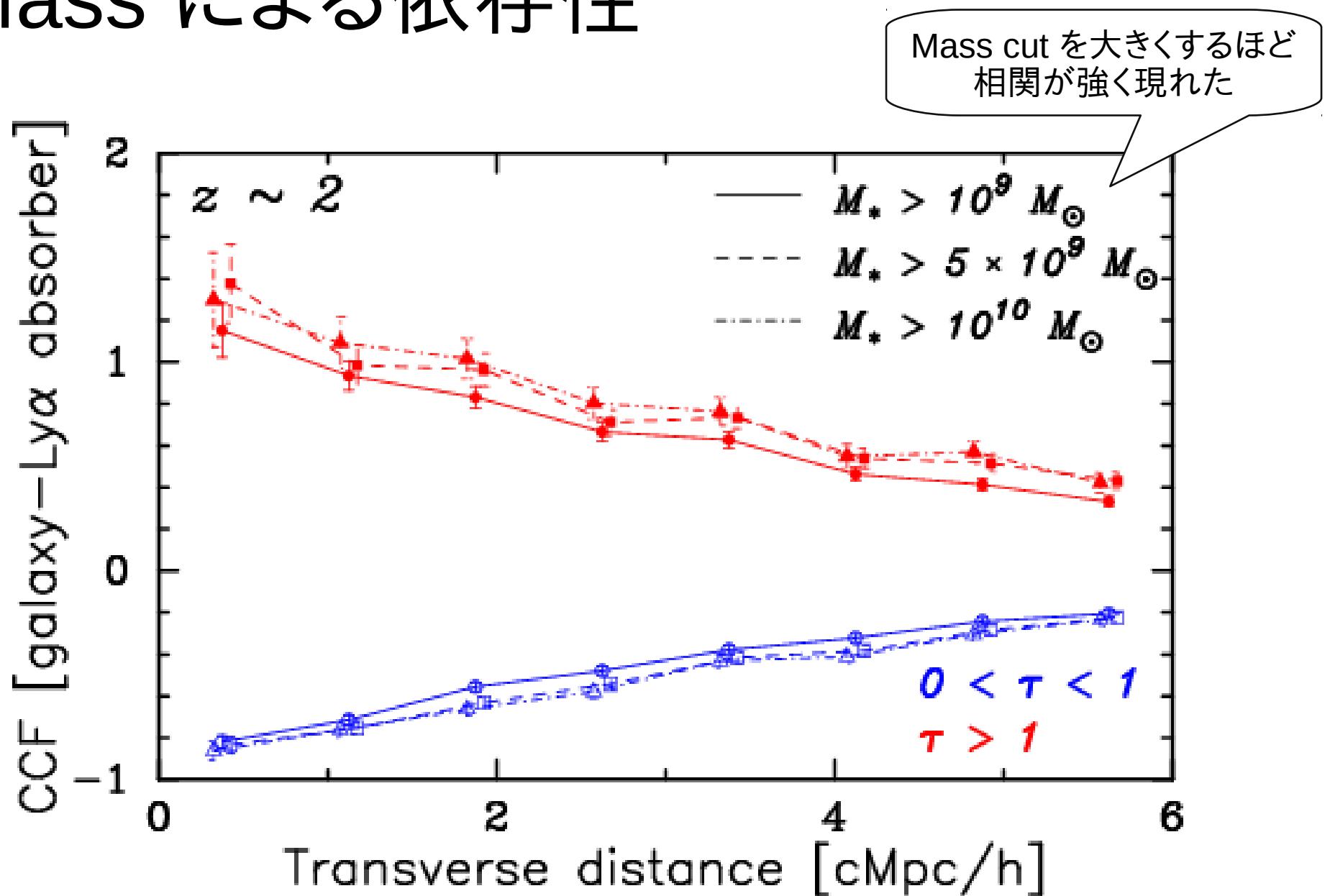


Osaka model

$M_* > 10^9 \text{ Msun}$



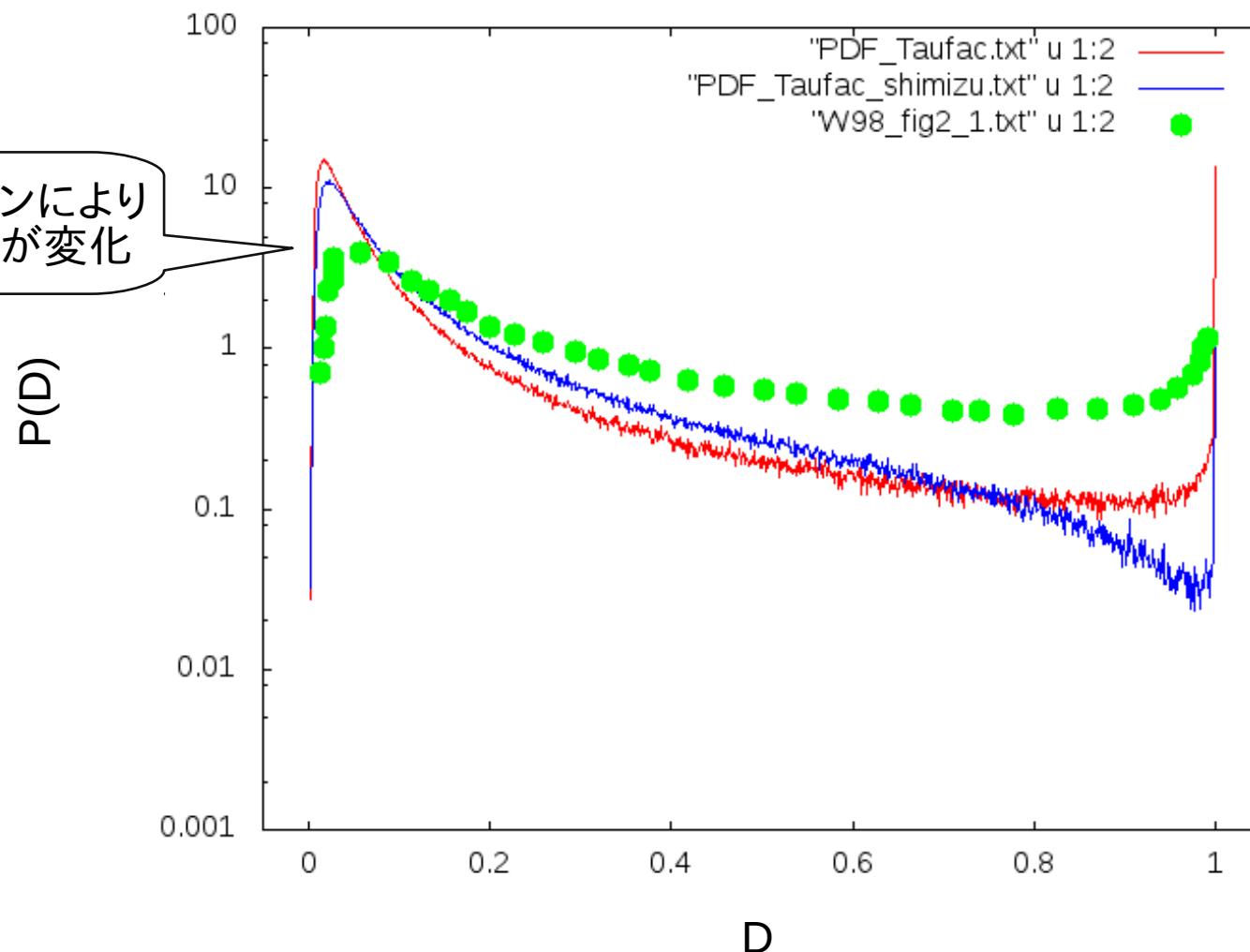
Mass による依存性



モデルの比較

Constant wind model
Osaka model
Weinberg et al.1998

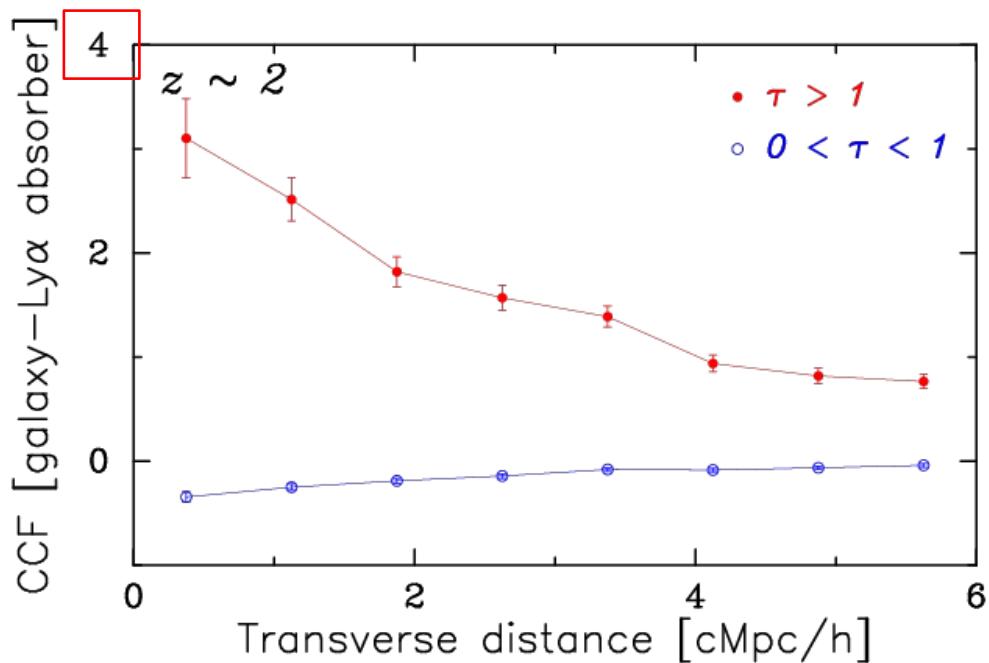
Flux decrement (D) $D = 1 - e^{-\tau}$



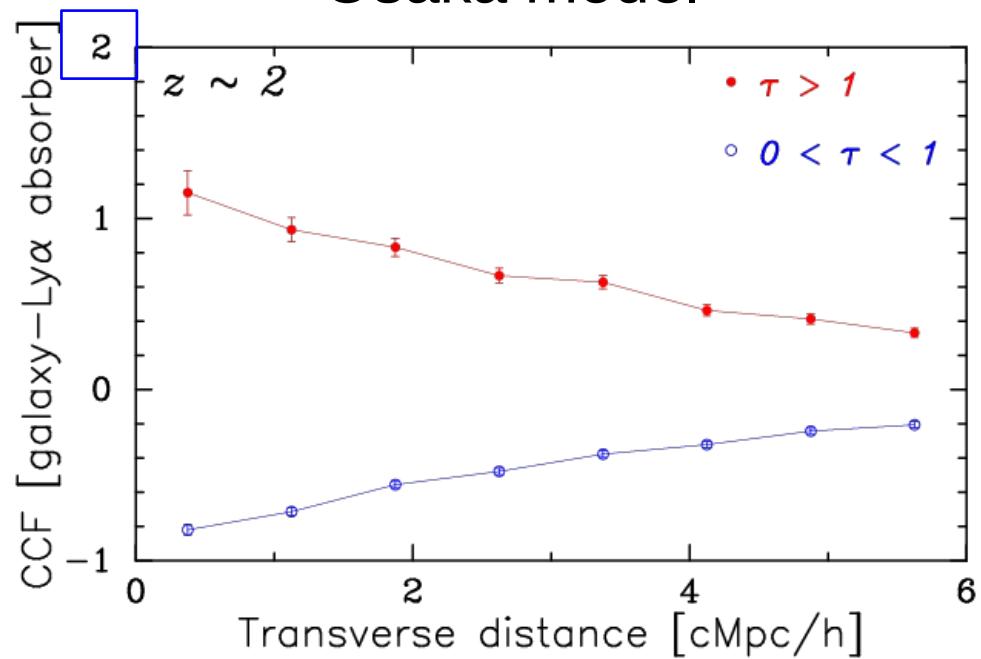
モデルの比較

相関関数

Constant wind model



Osaka model



結果まとめ

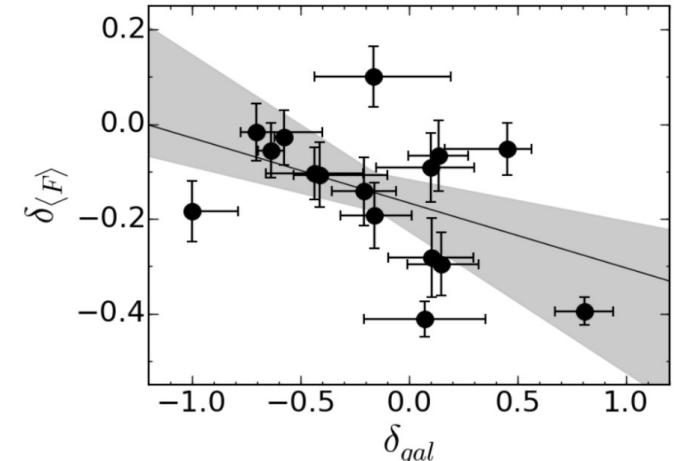
- 銀河と Ly α absorber には相関が見られる
 - 銀河の質量が大きいほど相関が大きくなる
- constant wind model, Osaka model では
結果に違いが見られた
→ 今後、観測と比較することで
様々なモデルの検証に使える

今後の予定

レゾリューションを変化させて計算

- ・観測に即して計算し、観測結果と比較
- ・銀河の構造を分解できるまで

レゾリューションを上げ、IGM・CGMの分布を理解



観測結果例
Mukae et al. 2016

比較に使用するモデル

- ・ Constant wind model
- ・ Osaka model
- ・ multicomponent variable velocity (MVV) wind model
(Choi and Nagamine 2011)
- ・ No feedback model

重元素 (CIV, Mg II) の吸収線