

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

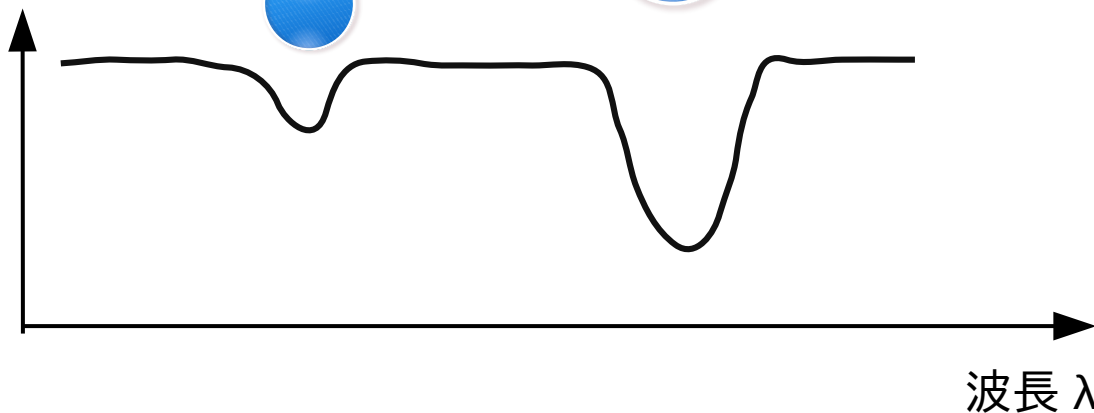
(無バイアスだというメリットがある)

観測では吸収線系が広く用いられている

自分で光らないので
直接観測が困難



Flux



一部の波長が吸収される



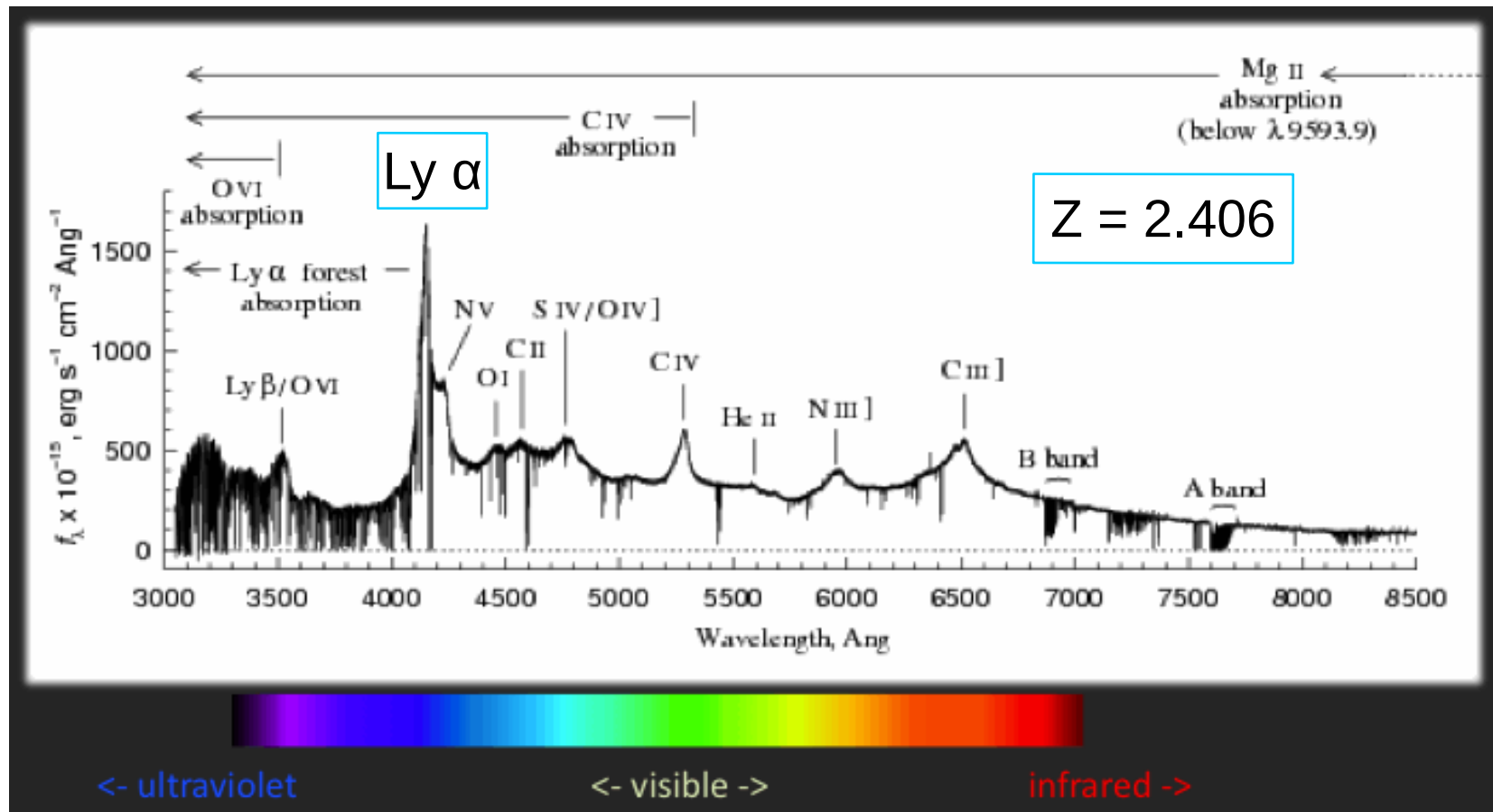
クエーサー

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

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

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/>

$z \sim 2$ では可視・紫外で Ly α 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($0.38\mu\text{m}$)～赤外($1.3\mu\text{m}$)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)

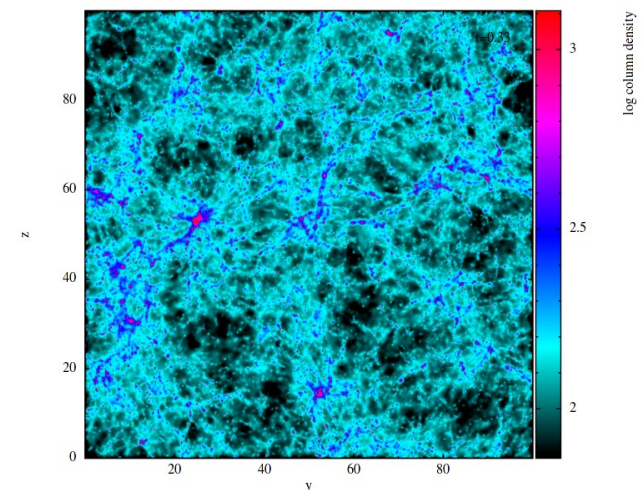
使用したモデル constant wind model (Springel and Hernquist 2003)

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	$\sigma_8 = 0.8159$

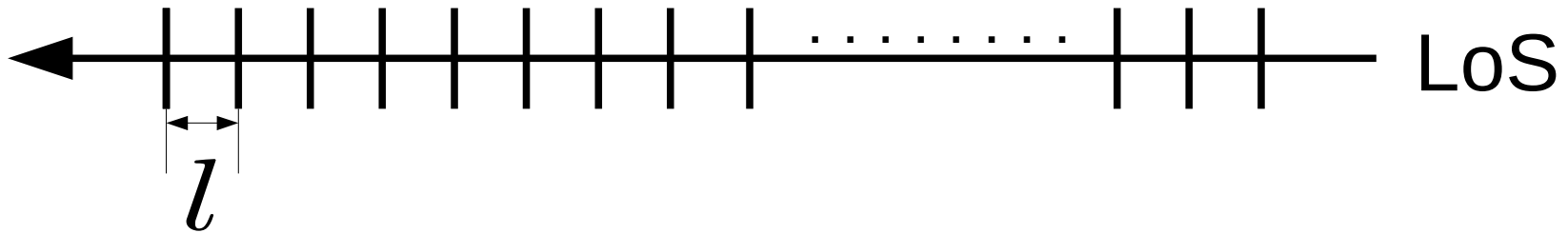
(Planck 2015 より)

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	$8.039 \times 10^{-2} \text{Msun}$



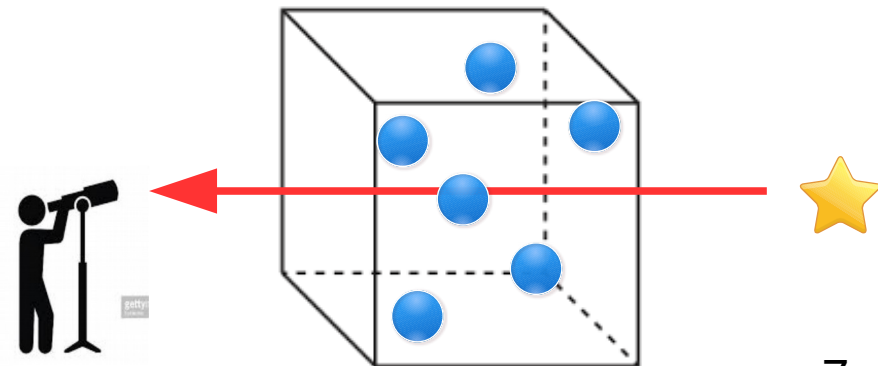
Optical depth

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

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

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

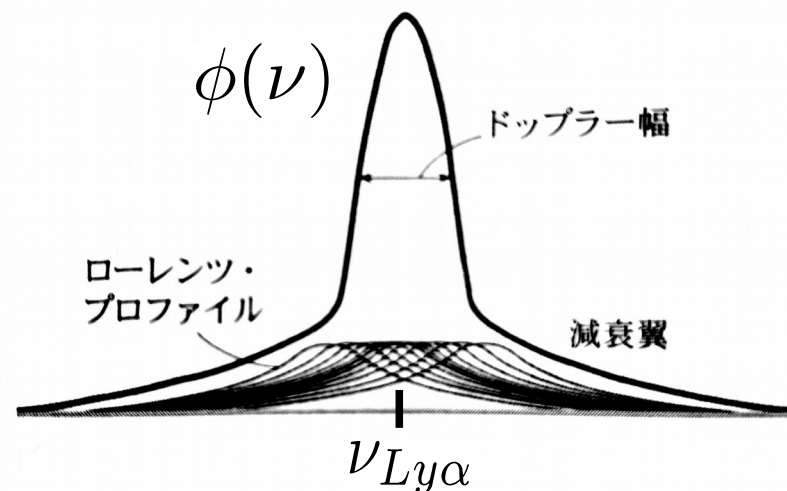
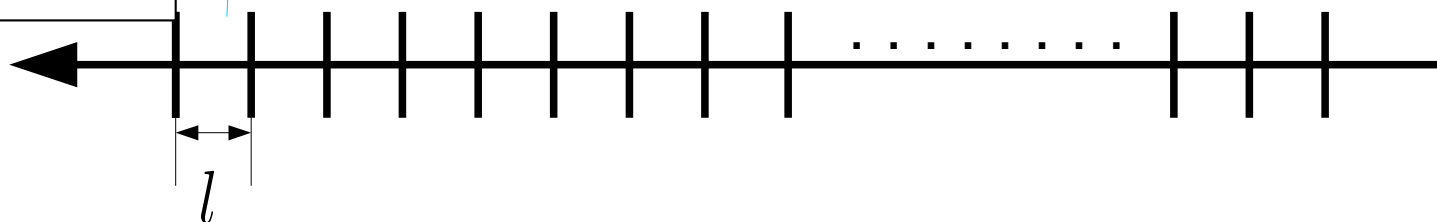
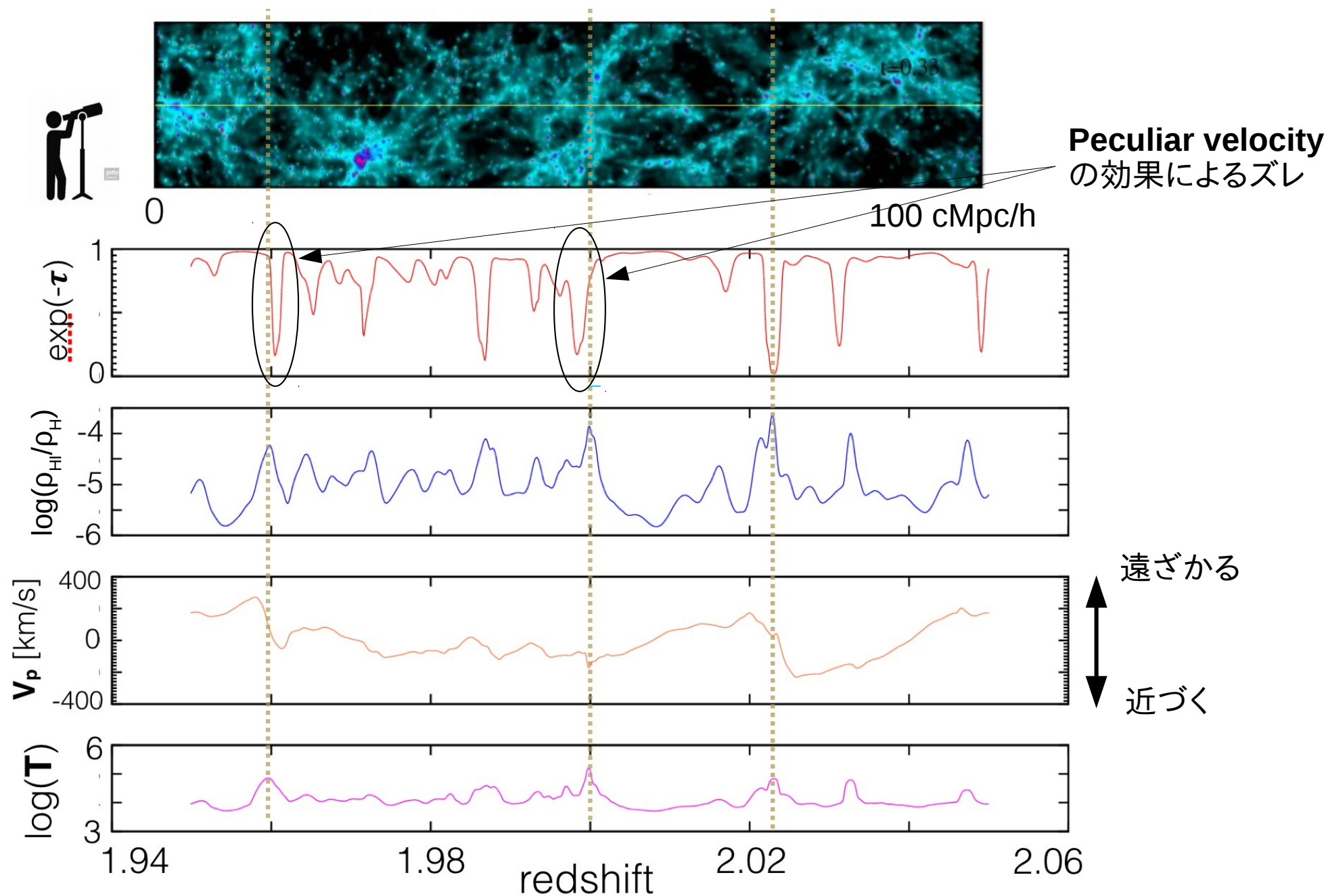


図 8.9 フォークト・プロファイル.

「輻射輸送と輻射流体力学」梅村雅之 他 著 (2016)

結果



Flux decrement PDF

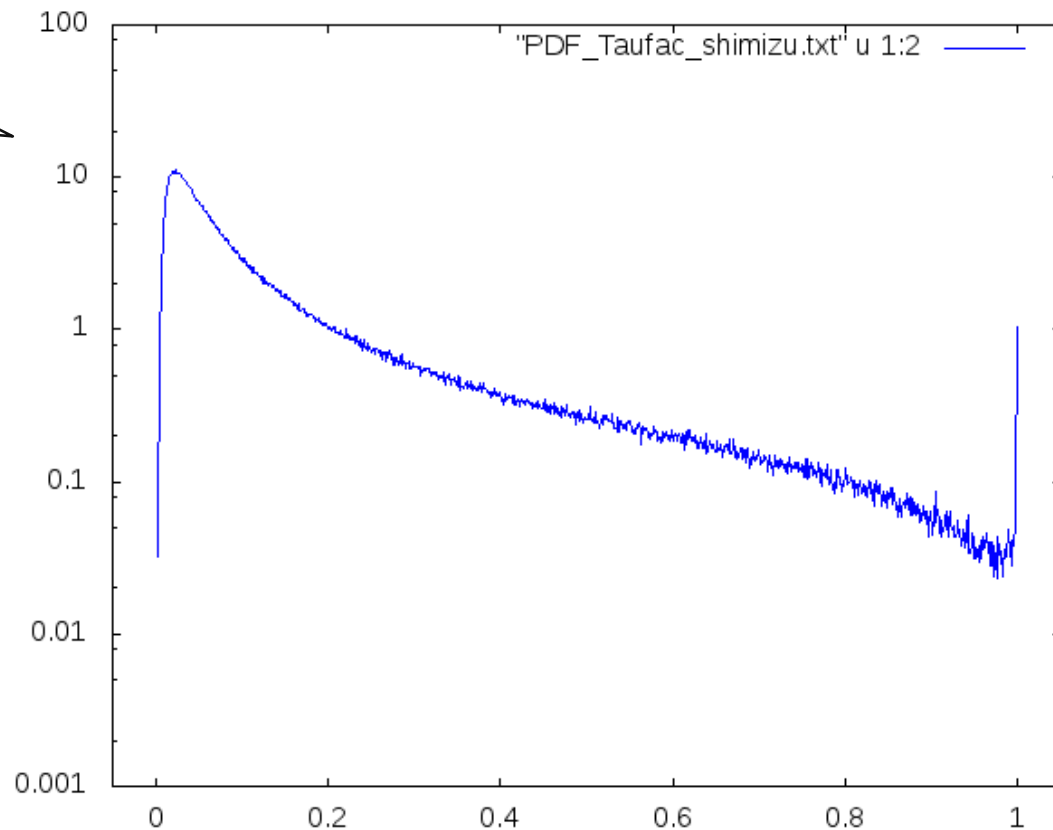
Flux decrement (D)

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

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)



D

τ 小さい

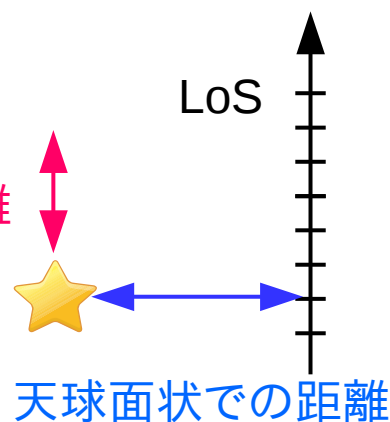
τ 大きい

相関関数

2体相関関数

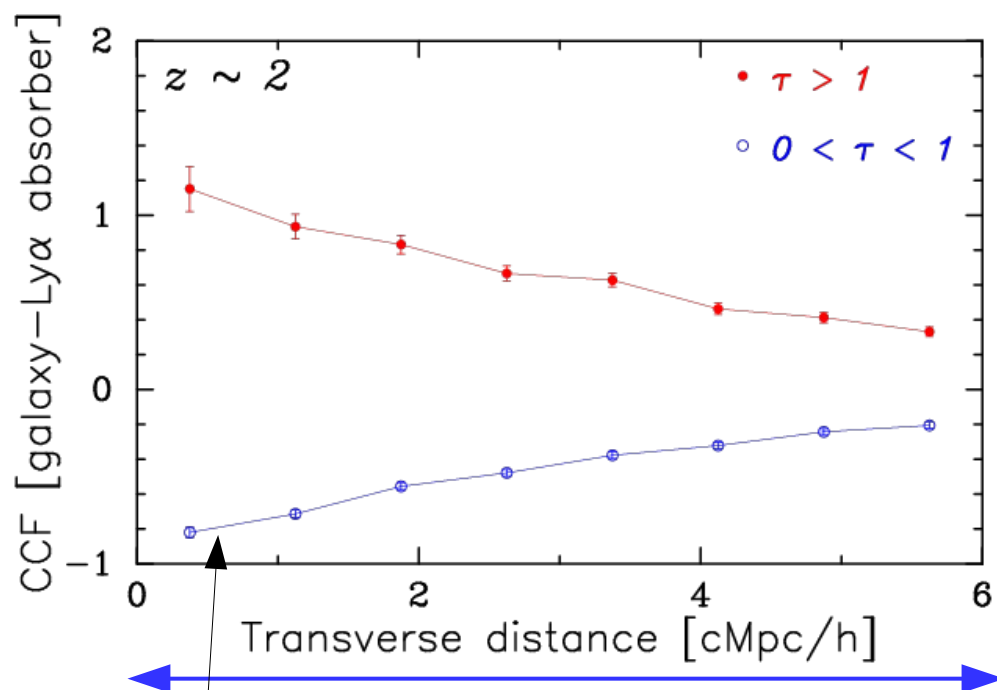
$$\xi(\mathbf{r}) = \langle \delta_{\text{gal}}(\mathbf{x}) \delta_{\text{Ly}\alpha}(\mathbf{x} + \mathbf{r}) \rangle$$

視線方向での距離



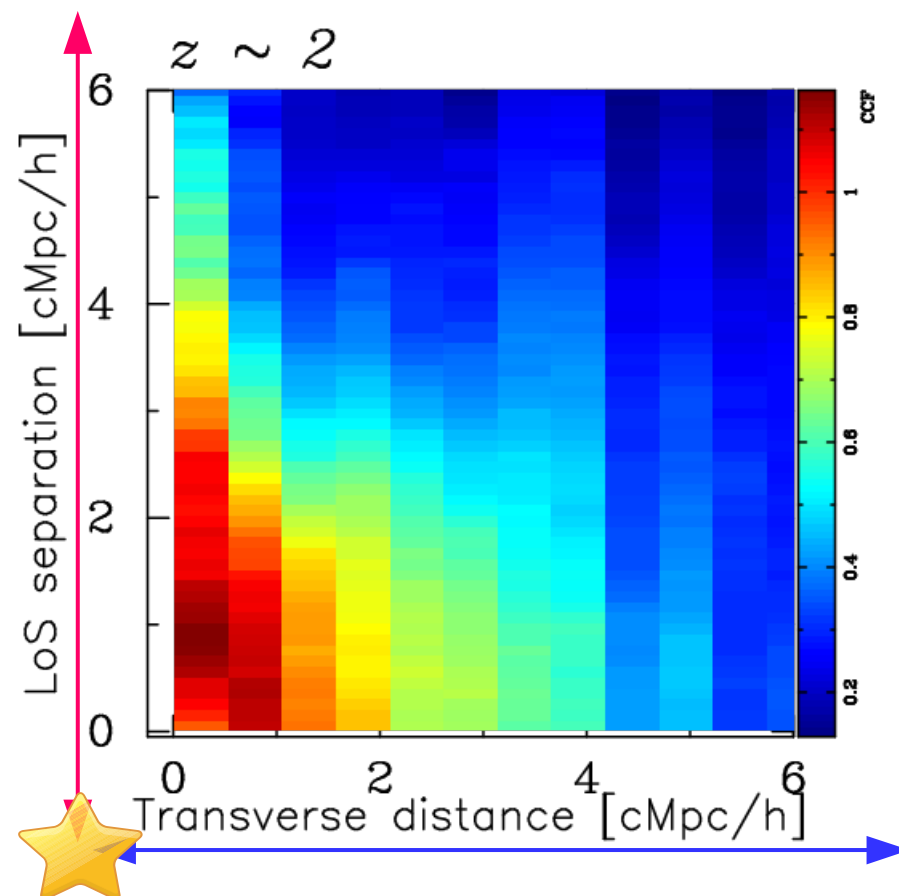
Osaka model

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



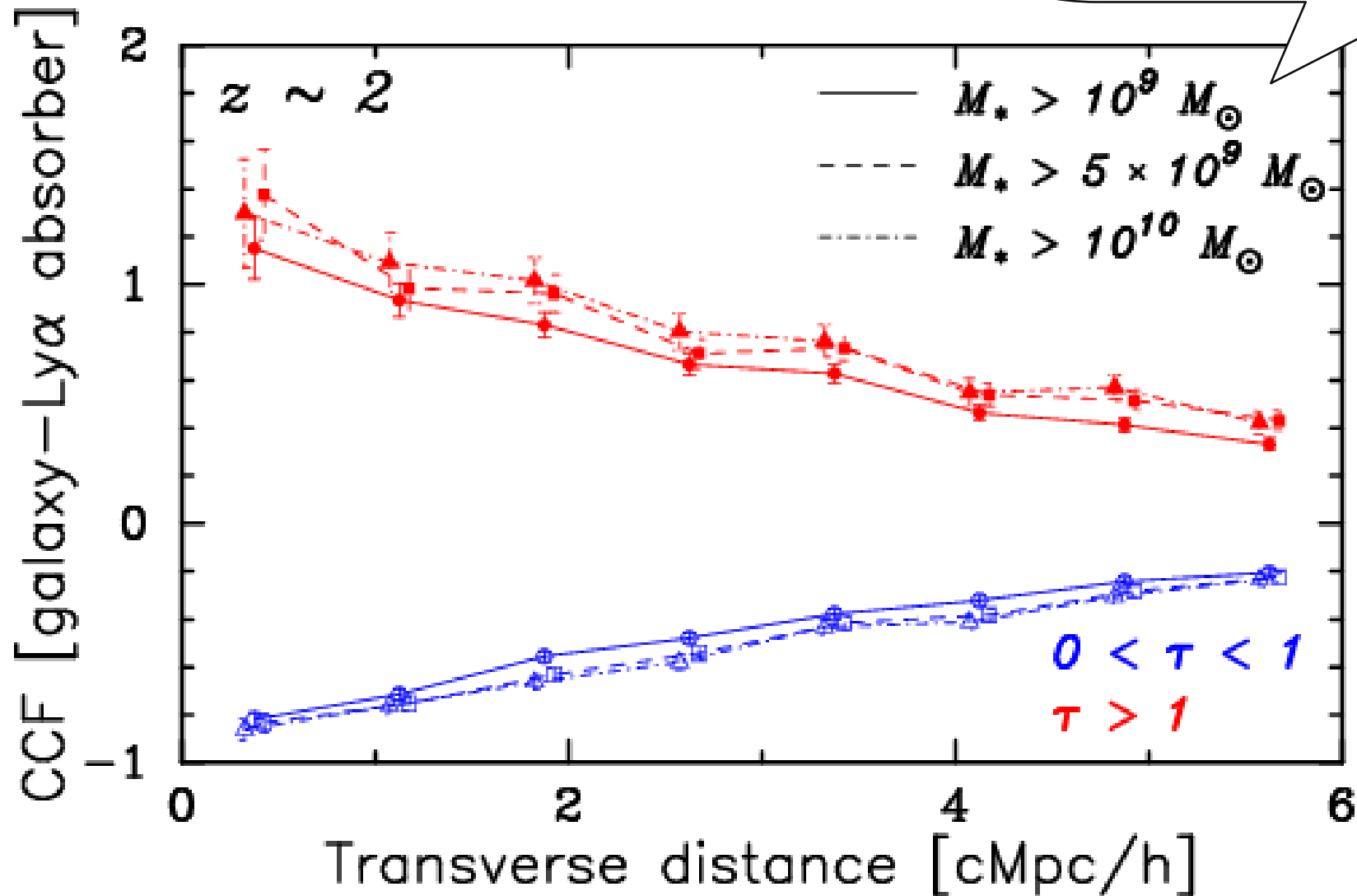
$0 < \tau < 1$ では逆相関

奥行きを考慮したもの ($\tau > 1$)



Mass による依存性

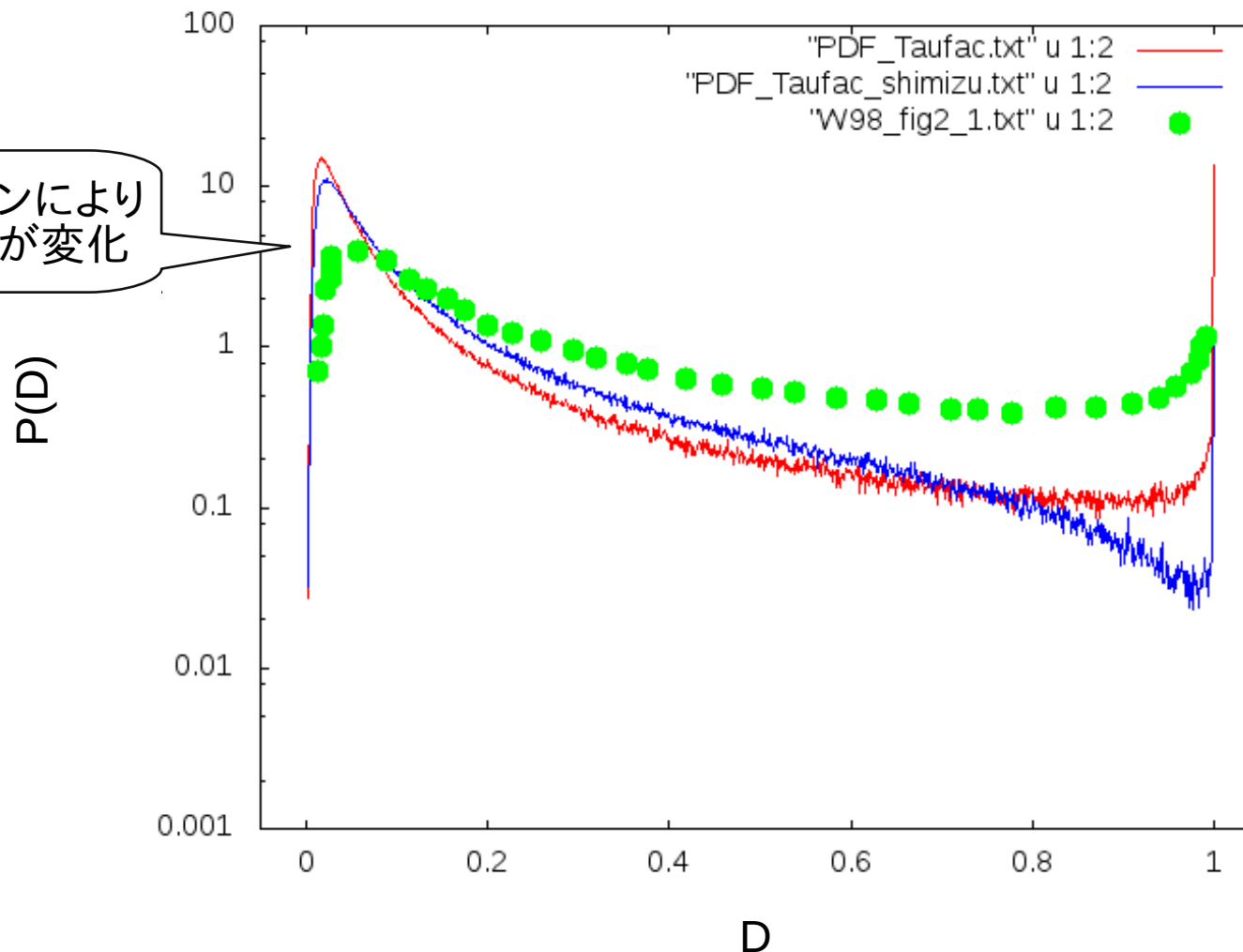
Mass cut を大きくするほど
相関が強く現れた



モデルの比較

Constant wind model
Osaka model
Weinberg et al.1998

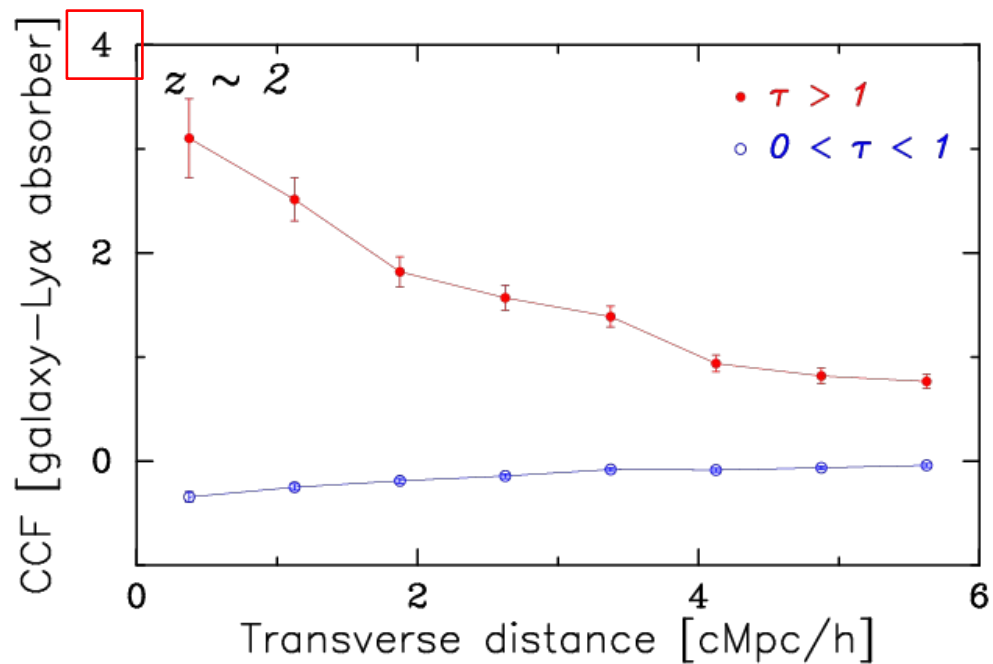
Flux decrement (D) $D = 1 - e^{-\tau}$



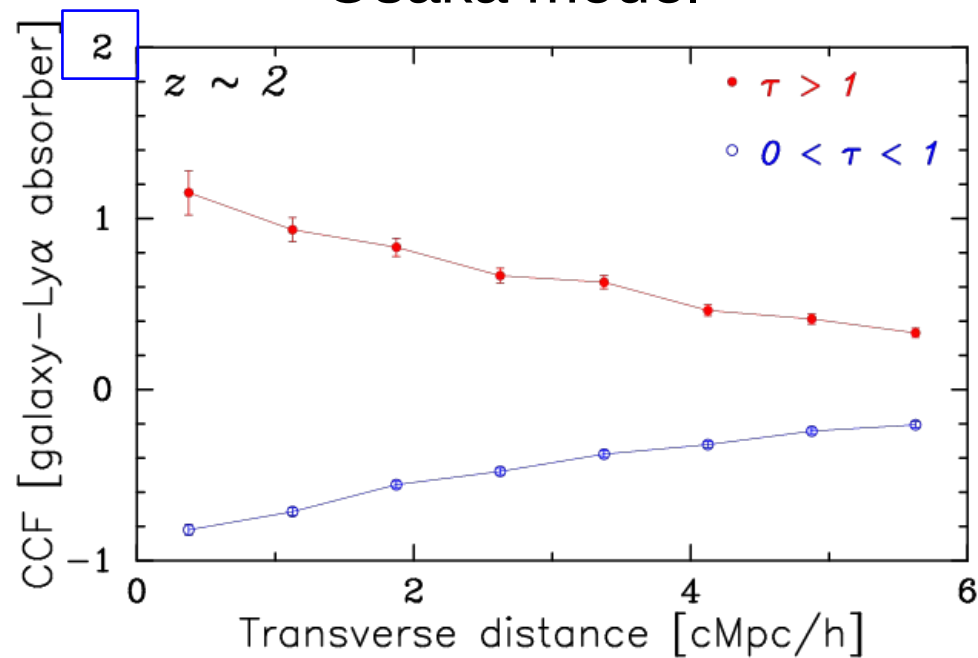
モデルの比較

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

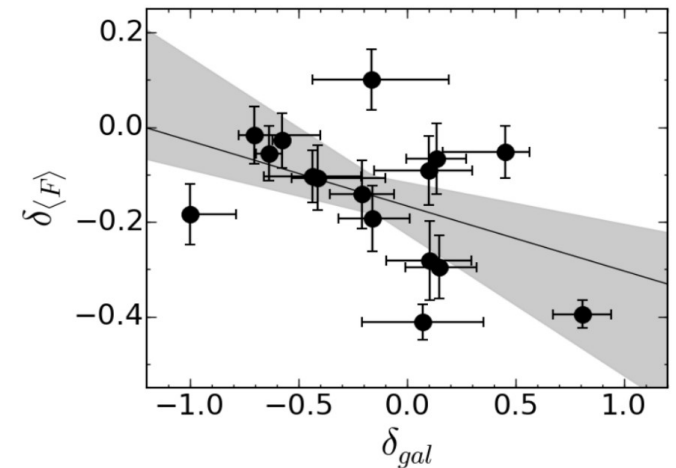
- ・銀河の構造を分解できるまで

レゾリューションを上げ、IGM・CGMの分布を理解

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 (C IV, Mg II) の吸収線



観測結果例
Mukae et al. 2016