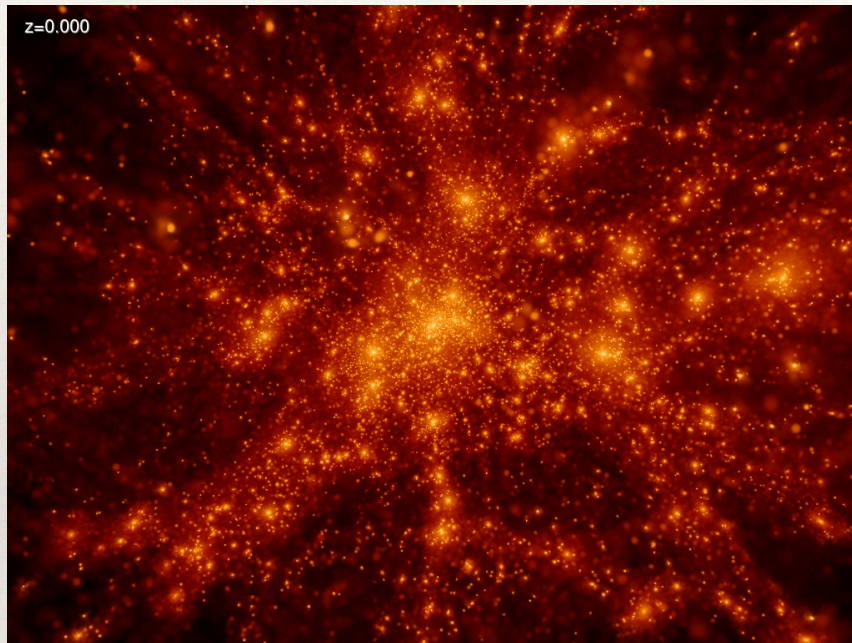

redMaPPer銀河団カタログにおける
観測とN体シミュレーションの比較

砂山朋美 (カブリIPMU)

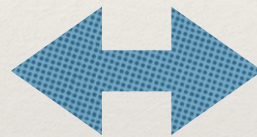
共同研究者：Surhud More
(カブリIPMU)

シミュレーションと観測における銀河団は同じなのか？

N体シミュレーション



CosmoSim



観測



すばるHSC

- ❖ N体シミュレーション：形成過程、時間進化を詳しく調べることができる
- ❖ ハローと銀河の観測量の対応関係は一对一ではない。
- ❖ この研究では、シミュレーションと観測のより直接的な比較を目指す。

redMaPPerとは？なぜ、シミュレーションでredMaPPerを 再現したいのか？

- ❖ redMaPPerはスローン・デジタル・スカイ・サーベイで赤い銀河をもとに銀河団を特定するアルゴリズム
- ❖ 目的：シミュレーションに適用できるredMaPPerの開発および、観測とシミュレーションにおける銀河団、そしてハローアセンブリバイアスのより直接的な比較
- ❖ 動機：redMaPPerカタログの銀河団から世界で初めてハローアセンブリバイアスの検出がされたが、検出シグナルがシミュレーションで予想されたよりも大きく、これが系統誤差によるものなのか、新しい物理によるものなのかを特定するため

概要

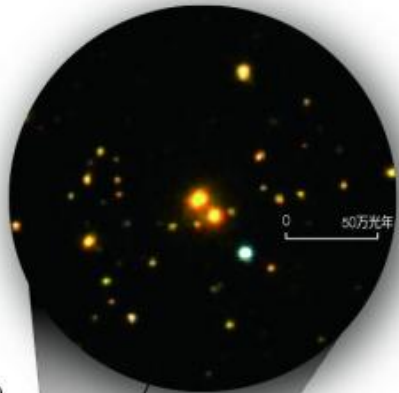
- ❖ ハローアセンブリバイアスとは？
- ❖ アセンブリバイアスの検出・非検出
- ❖ アセンブリバイアス検出への反例→その反例への反例
- ❖ redMaPPerアルゴリズムの開発とそこから分かったこと

ハローアセンブリバイアス

バイアスが質量だけでなく、その他の観測量
(中心集中度, 形成時間, etc.)に依存する

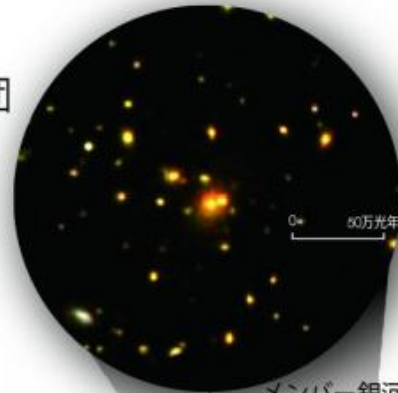
中心集中度が小さい

最近形成された



同じ質量の銀河団

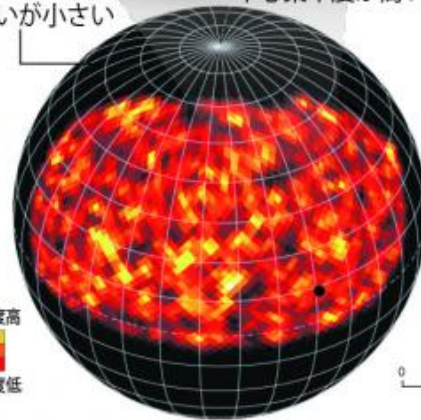
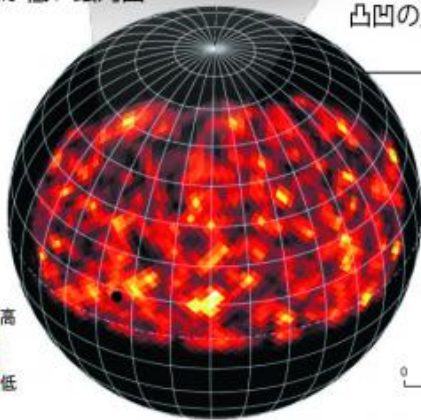
=



中心集中度が大きい

初期に形成された

バイアスが大きい

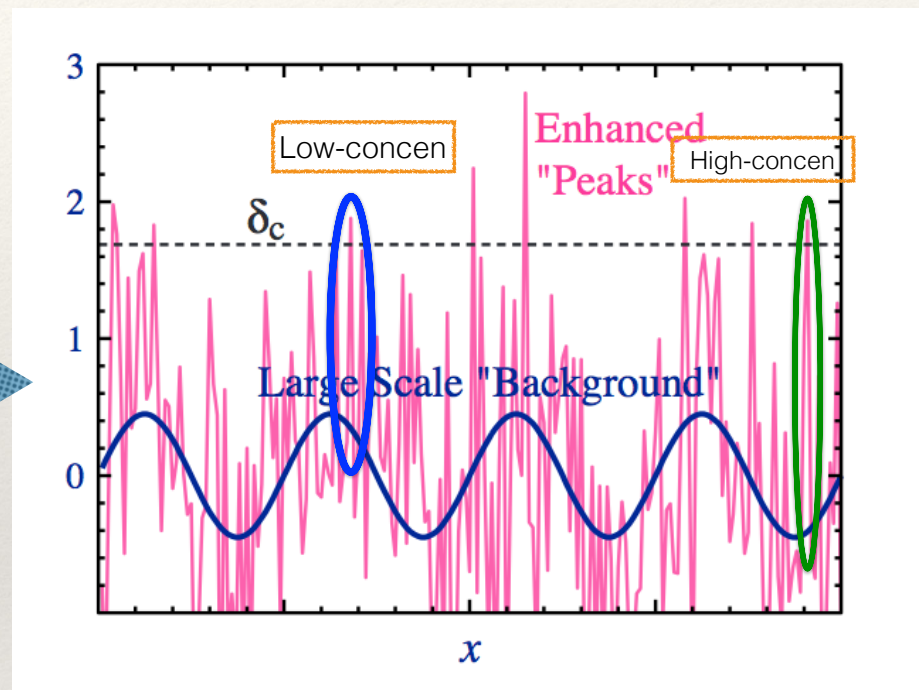
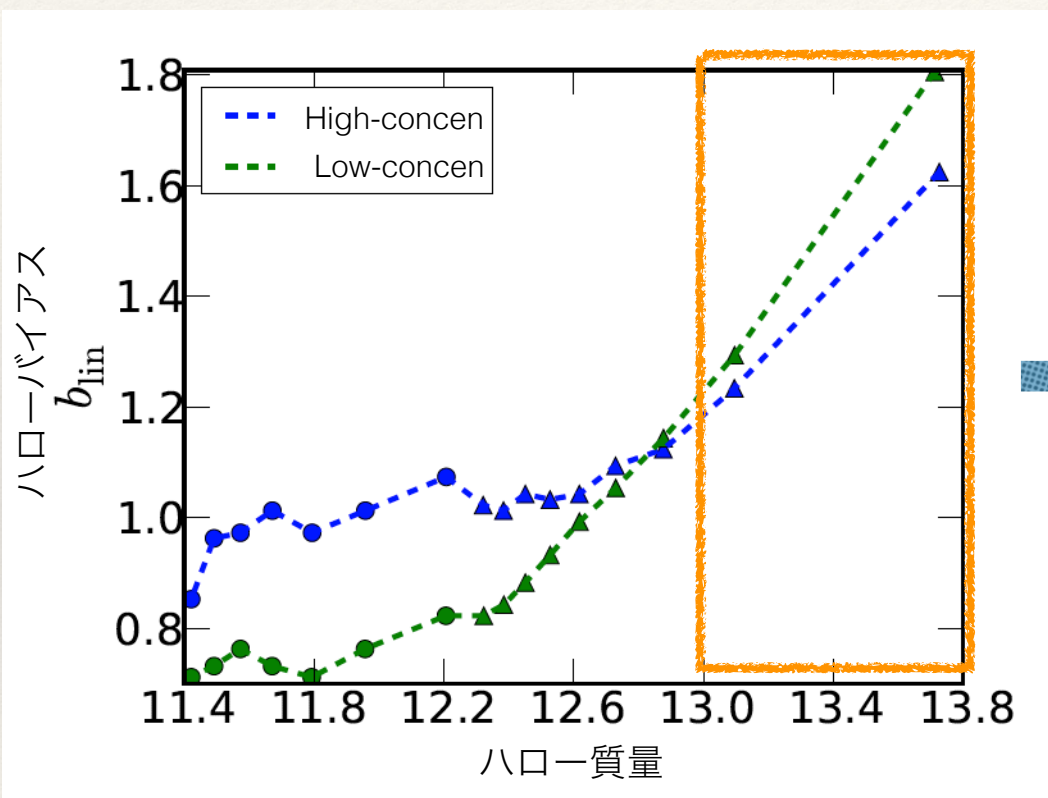


バイアスが小さい

天球上の銀河団の分布の地図

銀河団スケールのハローアセンブリバイアス

銀河団の内部構造と周辺宇宙の大規模構造の物理的相関



Dalal et al. 2008

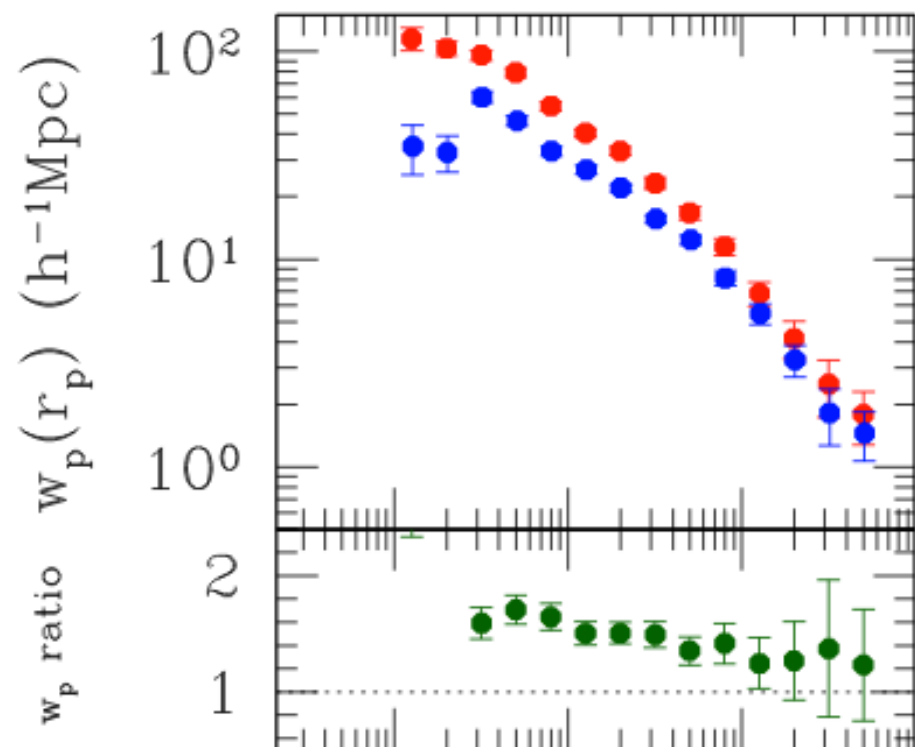
- 銀河団の内部構造と長波長スケールの物質分布の間には物理的相関が生じ、逆に銀河団の内部構造を詳細に調べることで、初期密度揺らぎの長波長ゆらぎの影響を調べることが可能

概要

- ❖ ハローアセンブリバイアスとは？
- ❖ アセンブリバイアスの検出・非検出
- ❖ アセンブリバイアス検出への反例→その反例への反例
- ❖ redMaPPerアルゴリズムの開発とそこから分かったこと

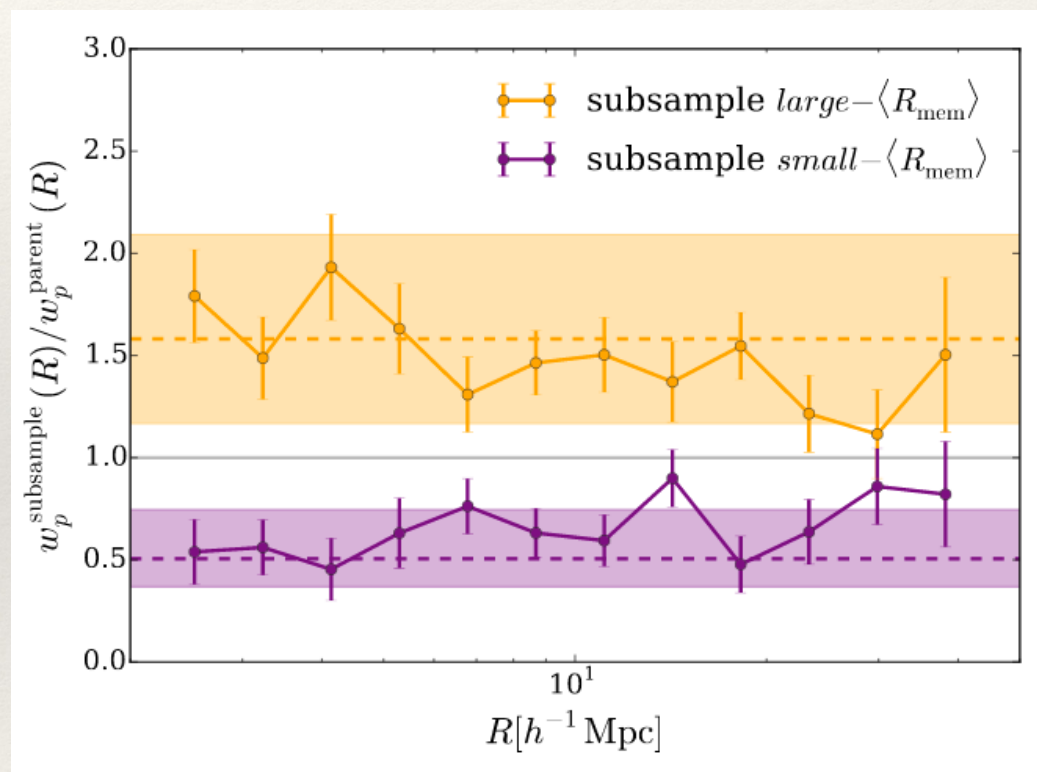
ハローアセンブリバイアスの検出・非検出

非検出



Lin et al. 2015

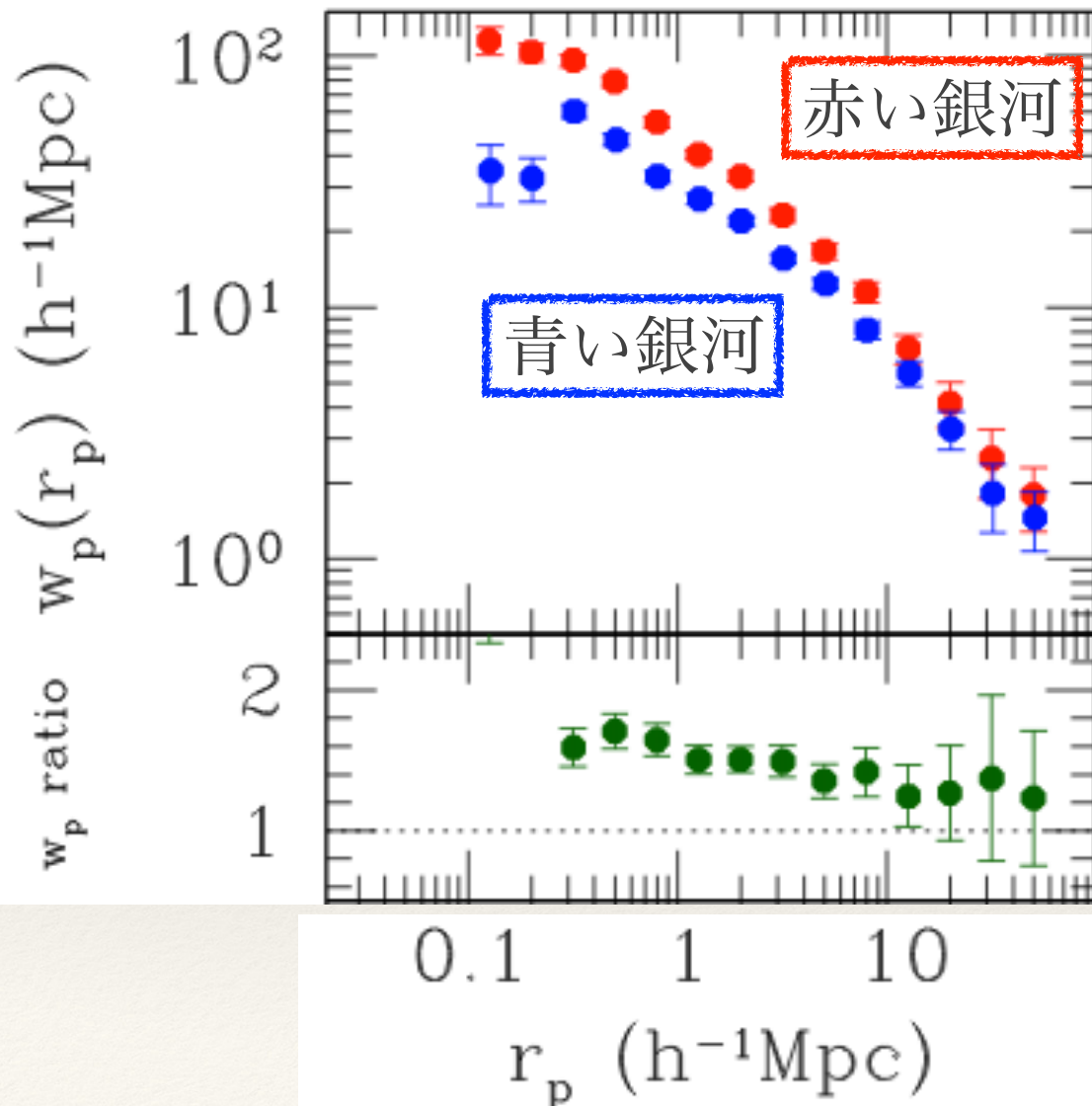
検出



Miyatake et al. 2015

この二つの研究結果は、全く異なる手法を用いているので、結果自体が矛盾するわけではない

アセンブリバイアスの非検出



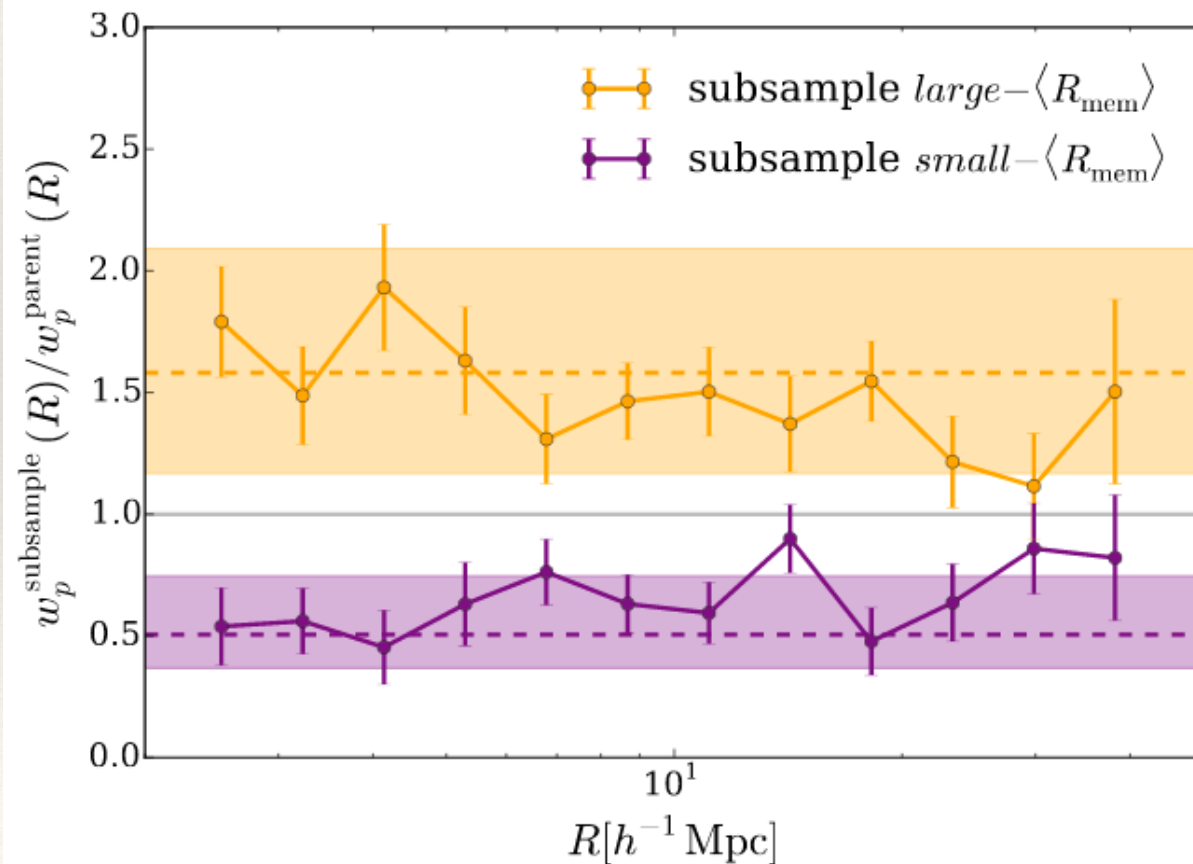
- ❖ 同じ質量の中心銀河の星形成率をもとに二つのグループに分け、バイアスを測定。
- ❖ 赤い銀河 = early-formed
- ❖ 青い銀河 = late-formed
- ❖ 二つのグループのハロー質量が同じではない。
- ❖ アセンブリバイアスの検出では、二つのグループのハローの質量が同じである必要がある。

アセンブリバイアスの検出

平均空間距離

$$\langle R_{\text{mem}} \rangle = \frac{\sum_i p_{\text{mem},i} R_{\text{mem},i}}{\sum_i p_{\text{mem},i}}$$

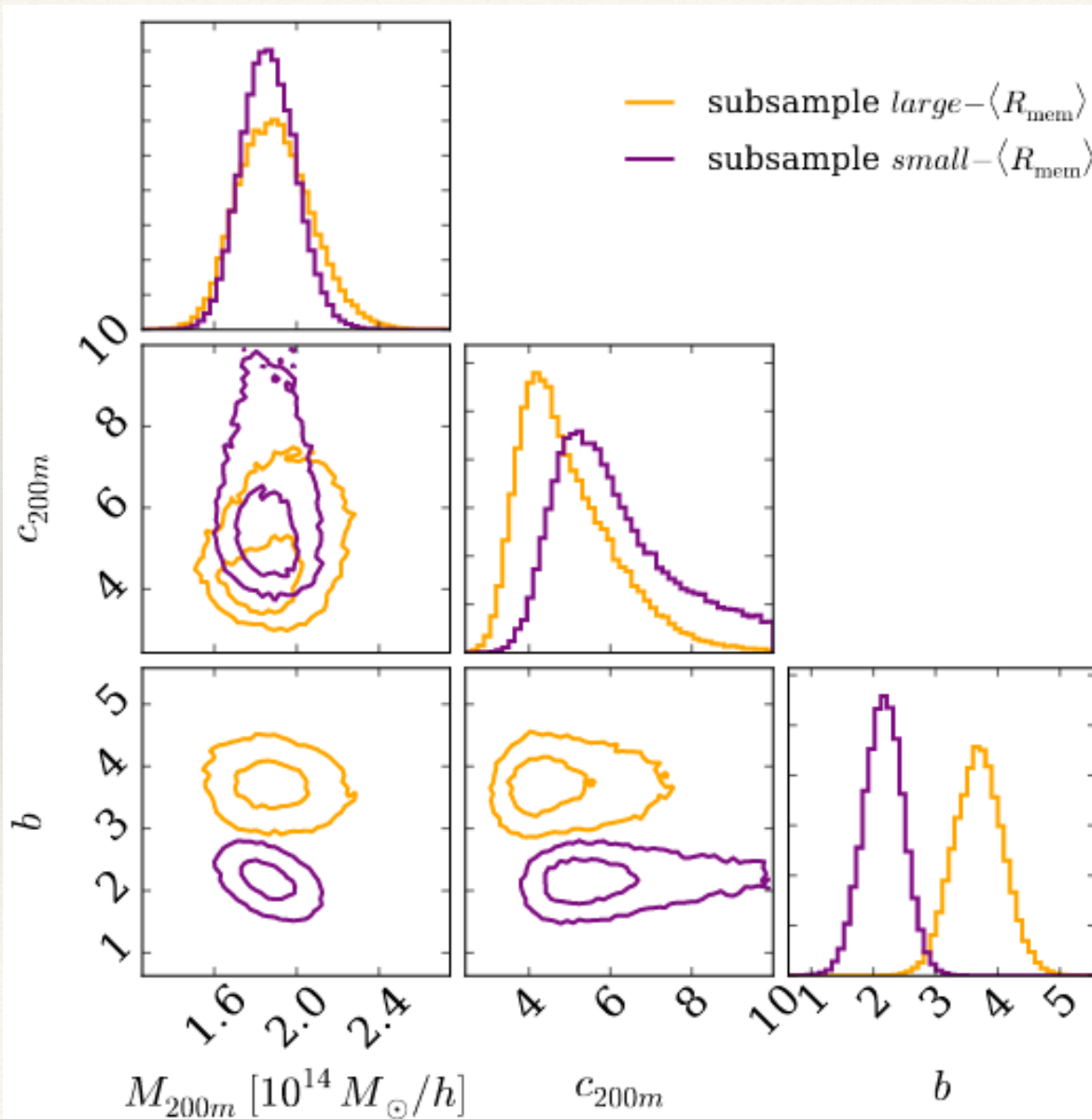
中心集中度



- ❖ シミュレーションでは、銀河団スケールのハローのアセンブリバイアスは10%
- ❖ 観測では60%！！！！

○ Miyatake et al. 2015

ハローアセンブリバイアスの検出：
二つのグループのハロー質量の分布は、ほぼ同じ

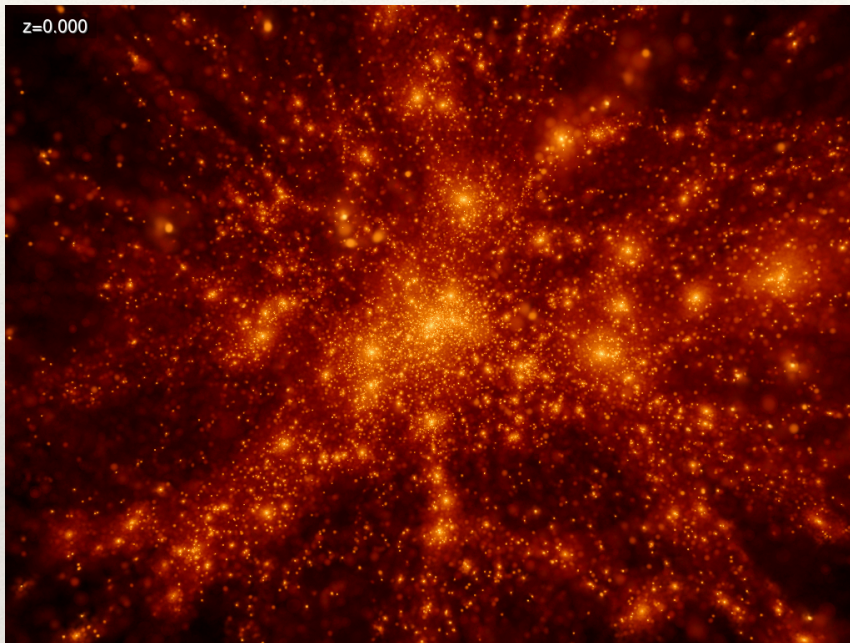


- 二つのグループのハロー質量分布の違いからは、検出されたシグナルの大きさは説明できない

- Miyatake et al.2015

シミュレーションで同じ観測量を用いた場合、
観測と同じ結果を得られるのか？

N体シミュレーション

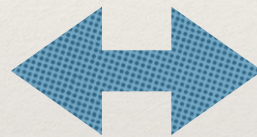


CosmoSim

観測



すばるHSC



サブハローの数 ~~ハロー質量~~



リッチネス：メンバー銀河数

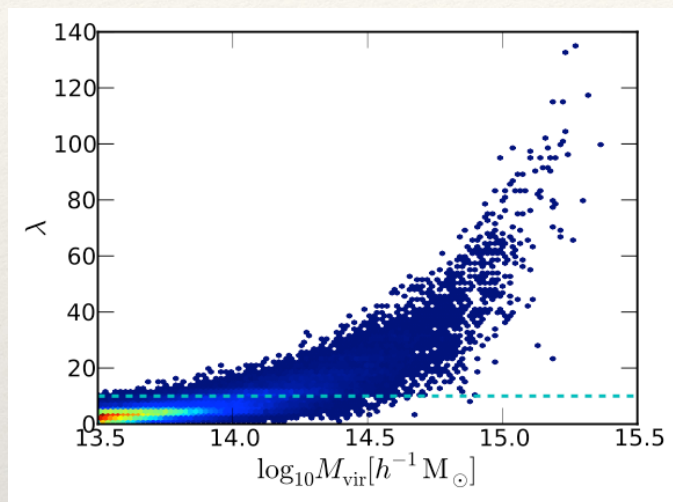
平均空間距離 ~~中心集中度~~



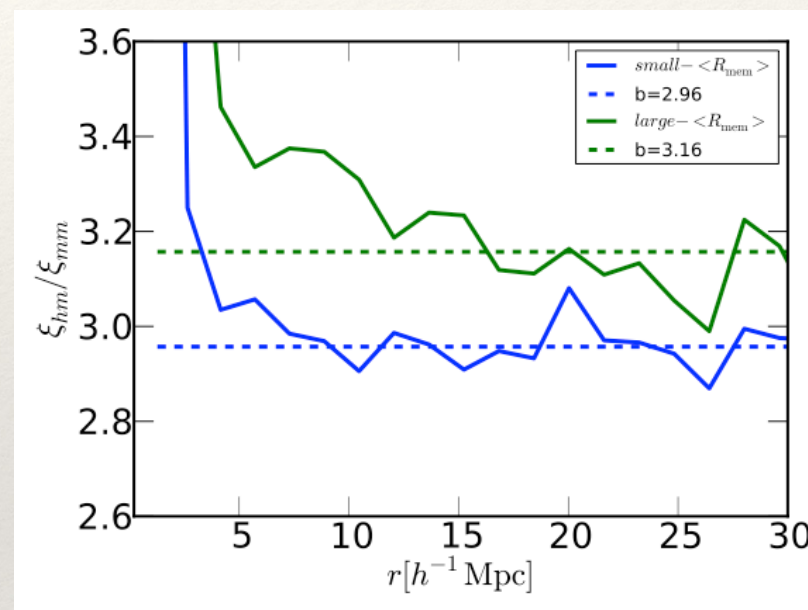
平均空間距離

シミュレーションを使うと・・・

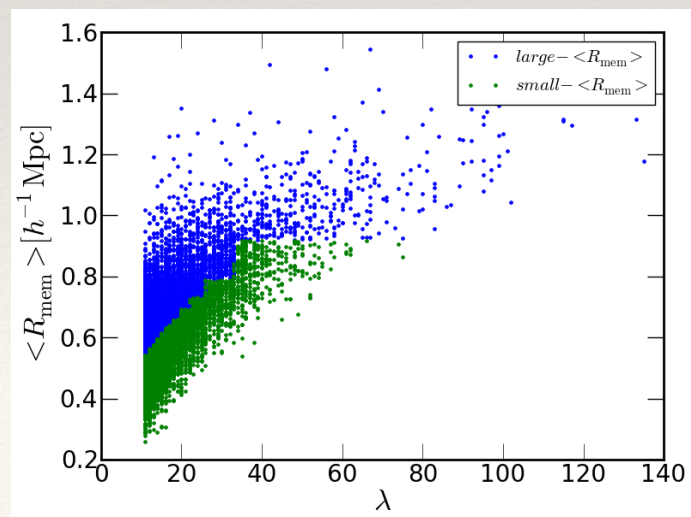
mass-richness relation



アセンブリバイアスは、わずか6.8%!

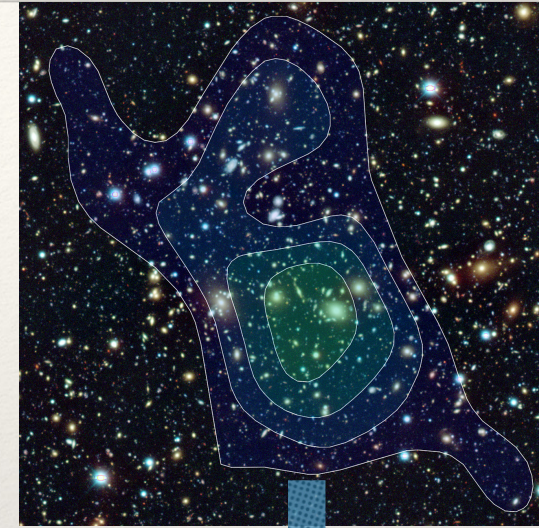
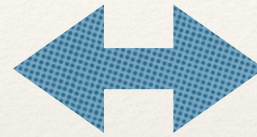
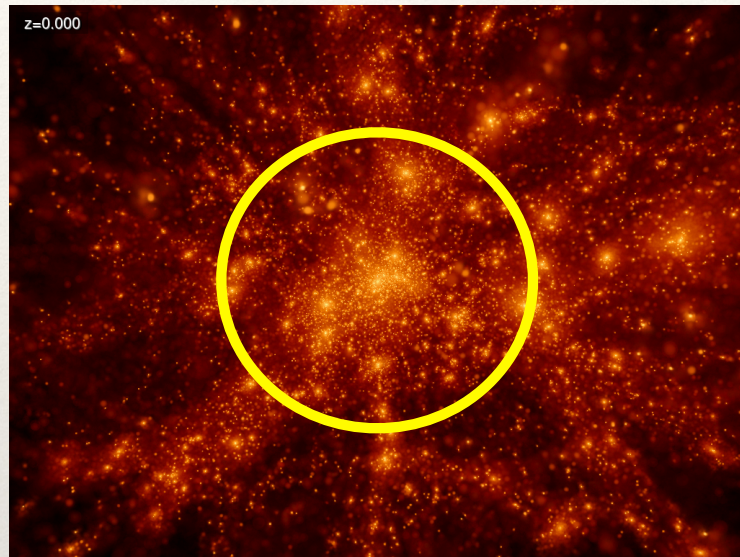


richness-Rmem relation

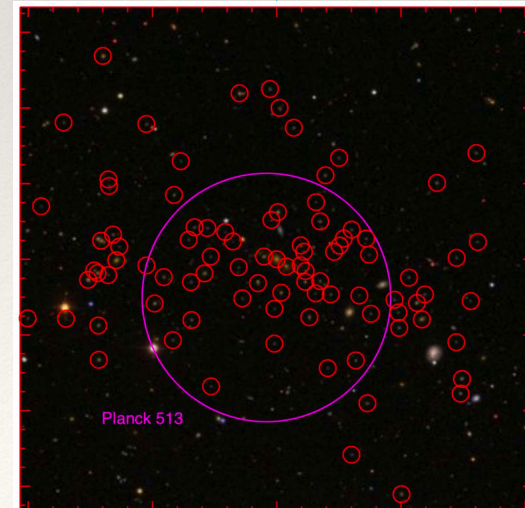


なぜ、観測ではアセンブリバイアスのシグナルが大きいのか？

私たちは何を比べているのか？



redMaPPer

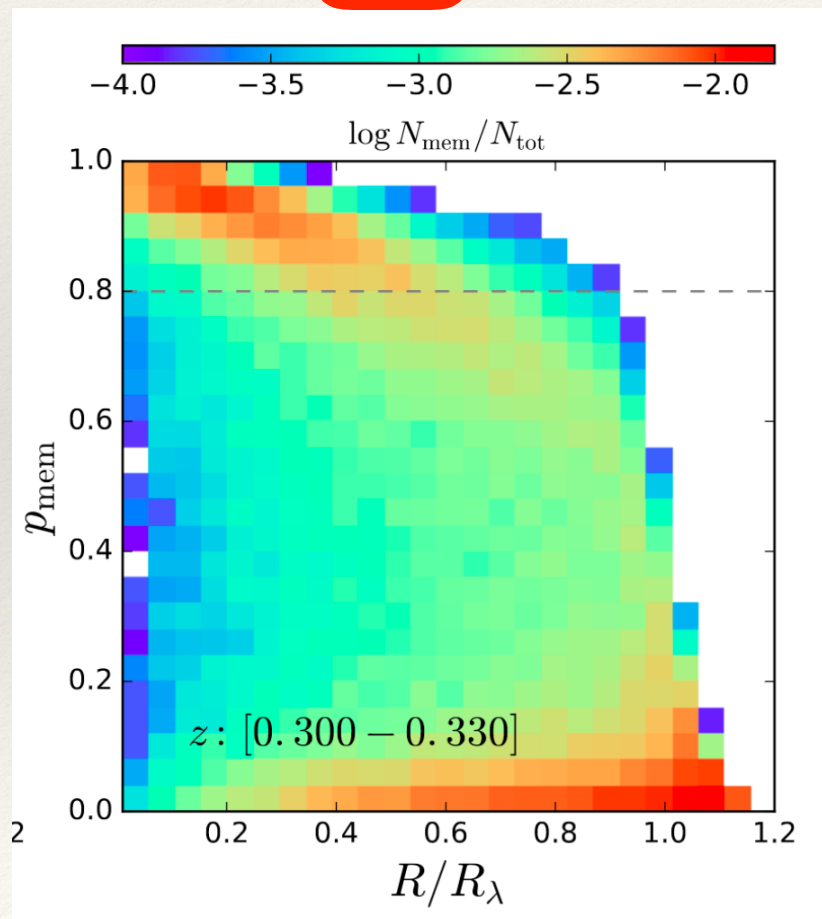


シミュレーションの銀河団スケールのハローと観測された銀河団は同じ対象と考えて良いのか？

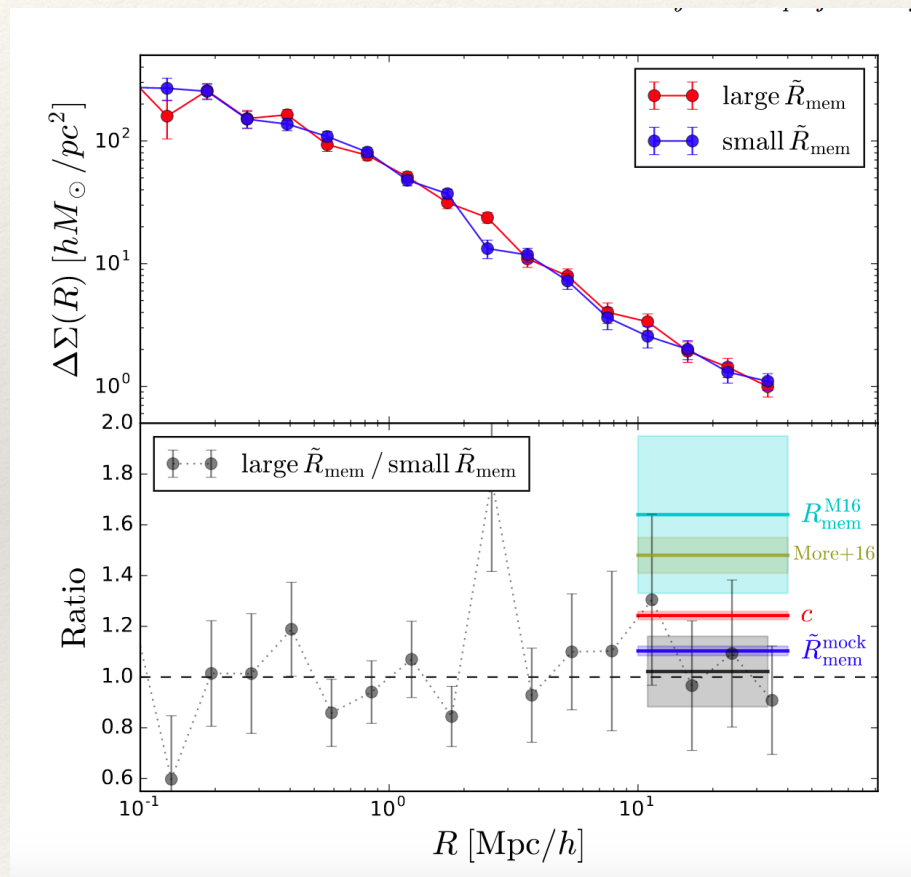
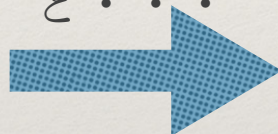


反例 1 : メンバーである確率の低い銀河を使わずに平均空間距離を定義すると、アセンブリバイアスは検出されない

$$\langle R_{\text{mem}} \rangle = \sum_i p_{\text{mem},i} R_{\text{mem},i} / \sum_i p_{\text{mem},i},$$

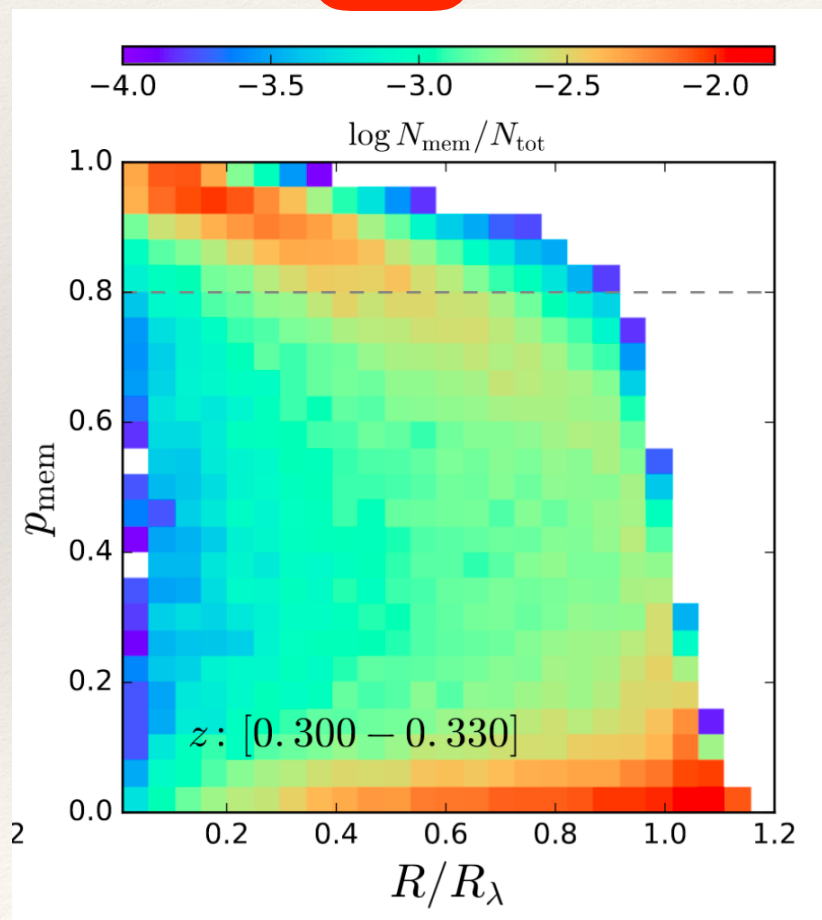


確率の高い
メンバー
のみを使う
と . . .

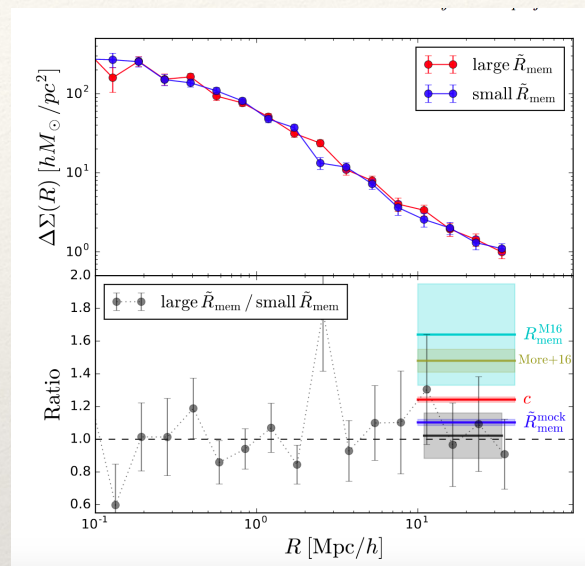


反例 1 : メンバーである確率の低い銀河を使わずに平均空間距離を定義すると、アセンブリバイアスは検出されない

$$\langle R_{\text{mem}} \rangle = \sum_i p_{\text{mem},i} R_{\text{mem},i} / \sum_i p_{\text{mem},i}$$



確率の高い
メンバー
のみを使う
と・・・

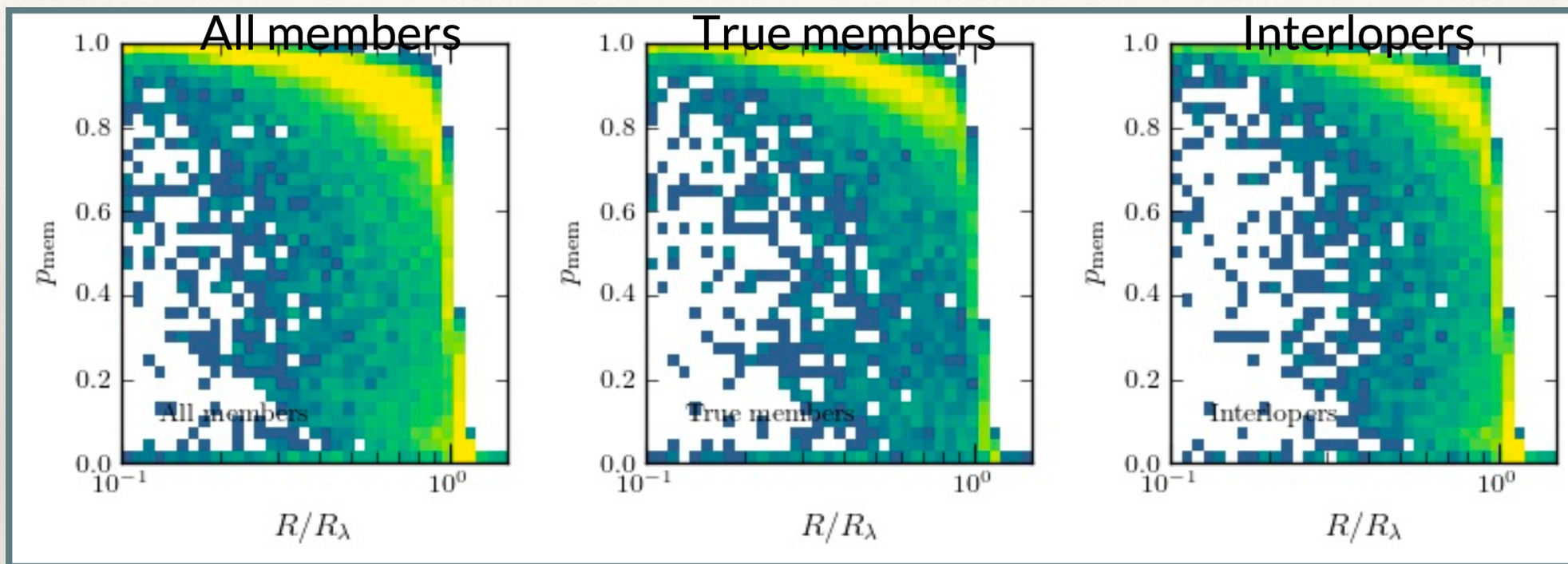


メンバーである確率と銀河団中心からの距離には相関関係がある
→中心に近い銀河のみで平均空間距離を定義している

→中心集中度を図るには、
外側のメンバーの分布が重要

この方法では、中心集中度が正確に測定されない！

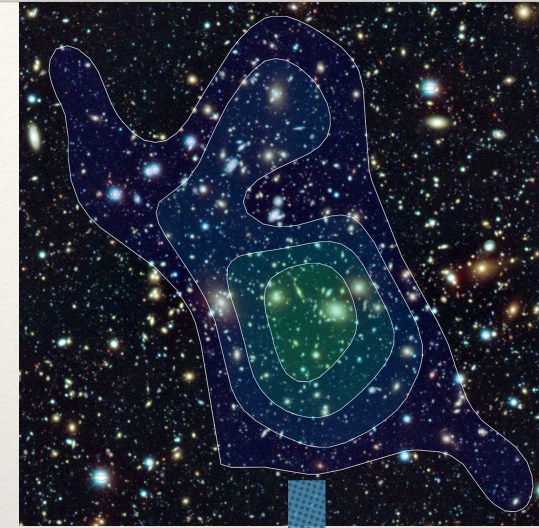
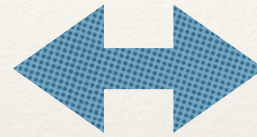
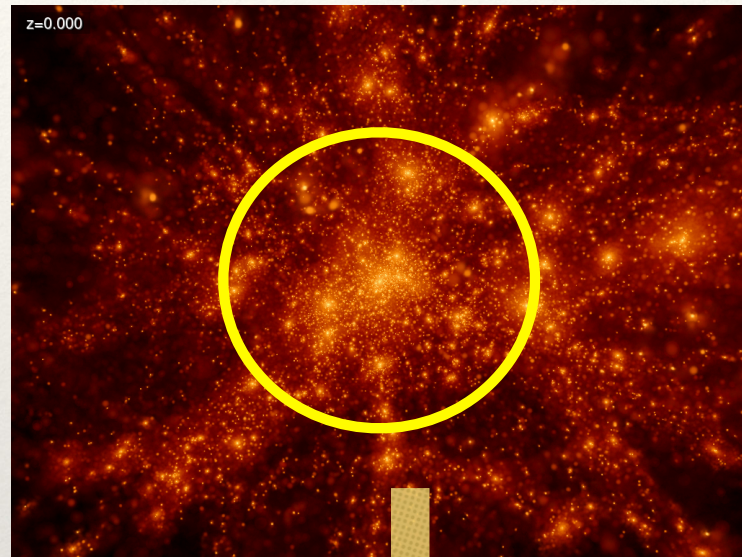
メンバー銀河のメンバーである確率が、
必ずしも高いわけではない



More et al., in prep.

確率の高いメンバーを選ぶことが、正しいメンバーを選ぶことにつながらない

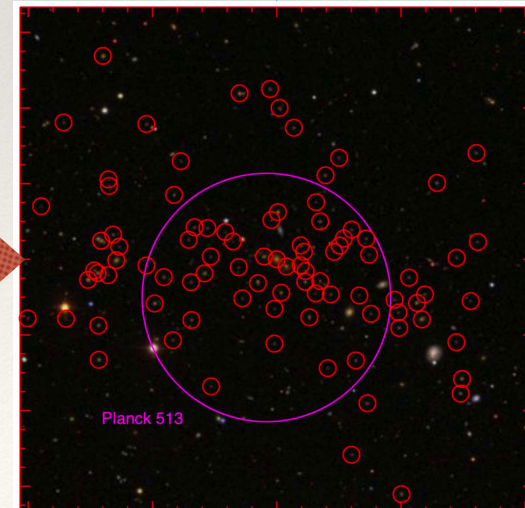
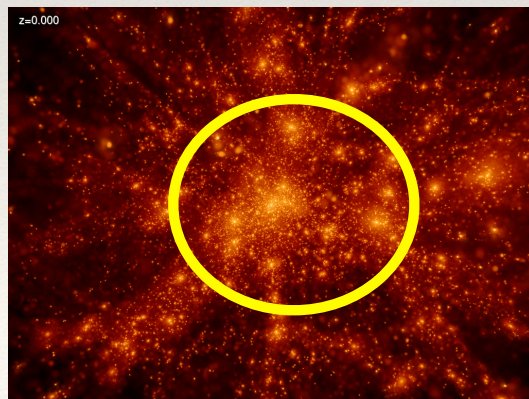
私たちは何を比べているのか？



redMaPPer-like



redMaPPer



反例 2 : アセンブリバイアスは 投射効果によるものである

アルゴリズム

$$R_c(\lambda) = 1.0 \left(\frac{\lambda}{100} \right)^{0.2} h^{-1} \text{Mpc}. \quad (1)$$

Starting with $\lambda = 1$ and $R_c(1)$,

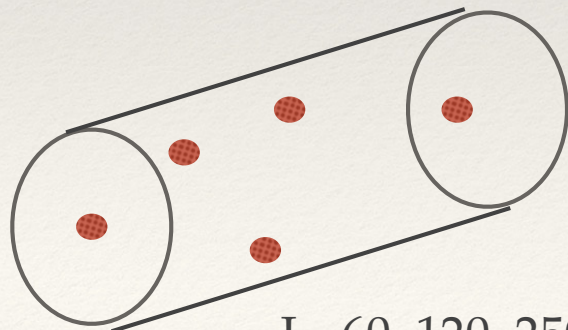
(i) we consider as possible members the N_g red galaxies which lie within R_c and have a (redshift space) depth offset below Δz_m ,

(ii) we calculate \bar{N} , the expected number of uncorrelated ("background") galaxies within R_c and Δz_m ,

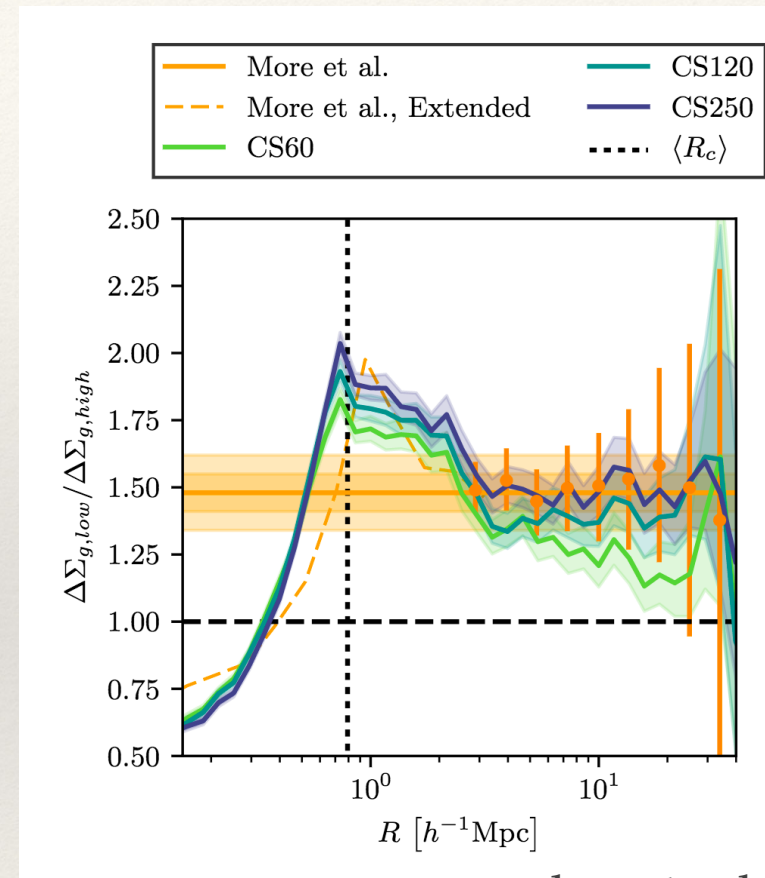
(iii) we update $\lambda = N_g - \bar{N}$ and $R_c(\lambda)$,

(iv) we check whether the current central galaxy still has a higher stellar mass than any other cluster member, otherwise we delete it as a potential central and move to the next one,

(v) we start the next iteration at (i) if λ has increased, otherwise we stop.



$L=60, 120, 250 \text{Mpc}/h$

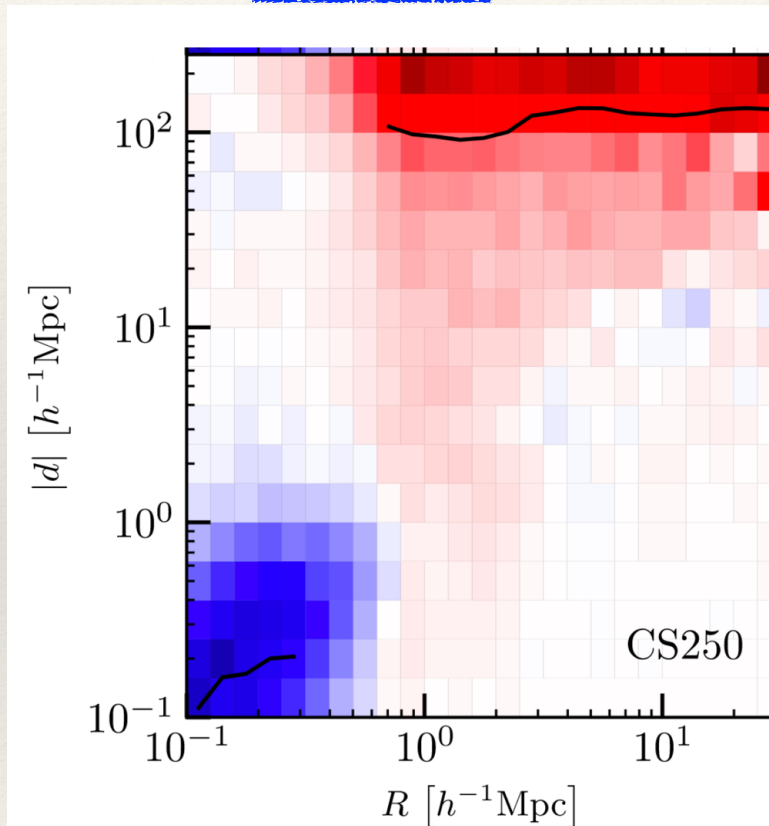


Busch and White 2017

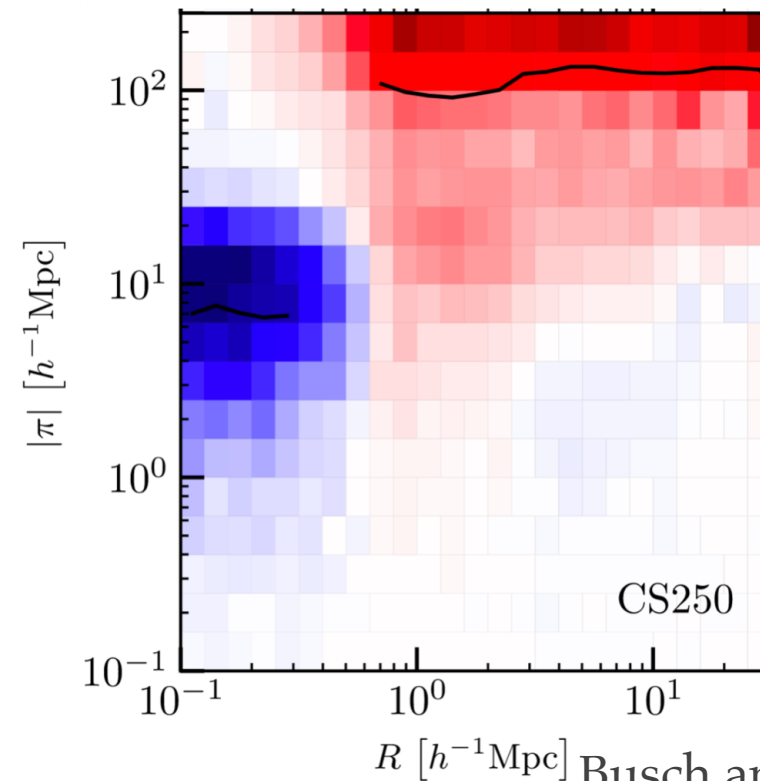
投射の長さによって、アセンブリバイアスの大きさが変わる

実空間では遠くにある銀河が、赤方偏移空間では近くなる

実空間



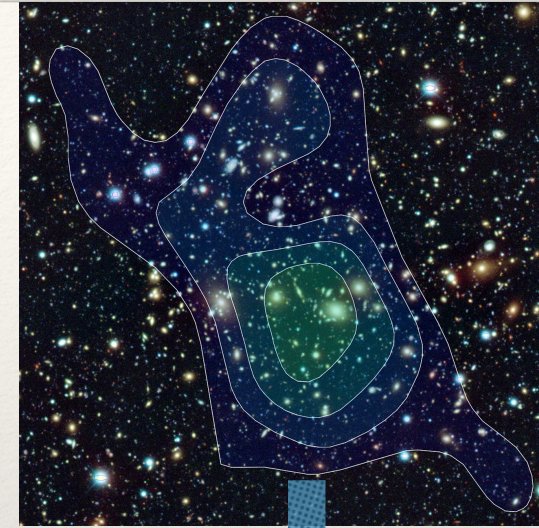
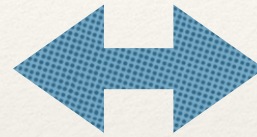
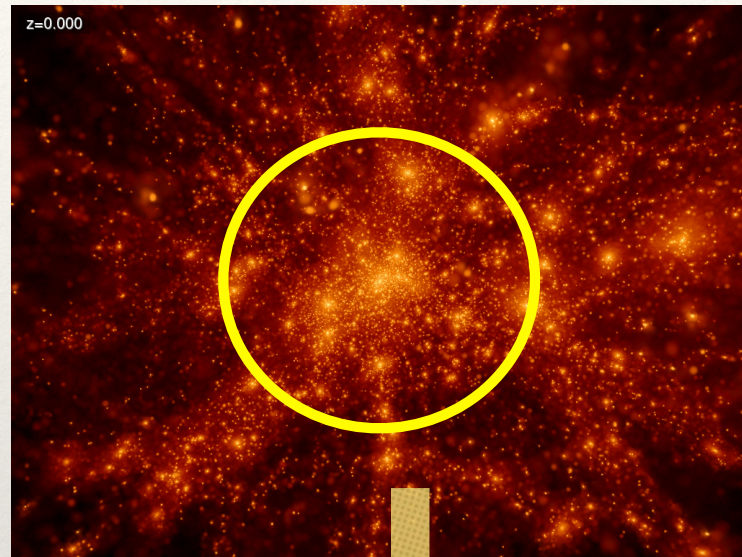
赤方偏移空間



Busch and White 2017

アルゴリズムがredMaPPerに比べて簡略化されすぎていて、
どれくらいの効果が投影効果によるものなのか判別し難い

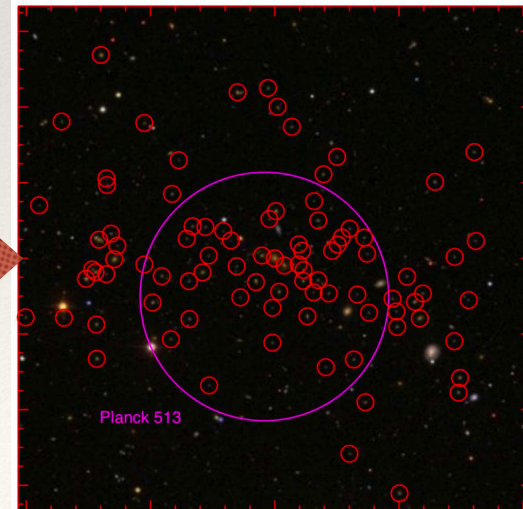
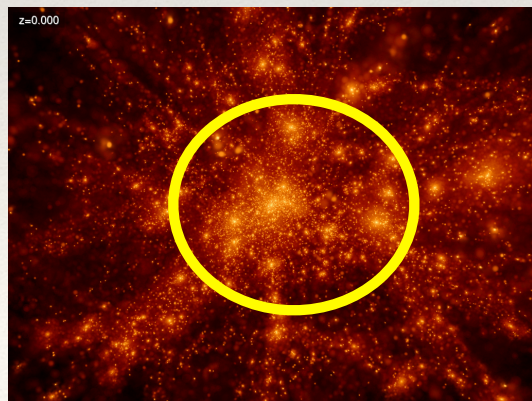
私たちは何を比べているのか？



redMaPPer-like



redMaPPer



redMaPPer アルゴリズムの開発および比較方法

- ❖ redMaPPerのアルゴリズムの手順
- ❖ 観測データとの比較：アルゴリズムの妥当性
- ❖ 比較方法：シャッフルカタログを用いる
- ❖ 結果および観測結果との比較

redMaPPer アルゴリズムの手順

1. Given cluster number i in the list, recompute λ and z_λ based on the percolated galaxy catalog. At the beginning of the percolation, the percolated galaxy catalog is simply the input galaxy catalog.
2. Determine the cluster center and centering probability via the method outlined in Section 8.
3. Perform a final calculation of λ and z_λ with respect to the new central galaxy.
4. Update the percolated galaxy catalog by masking out galaxies based on their membership probabilities.
5. Remove all lower-ranked possible centers that have a membership probability $p_{\text{mem}} > 0.5$ of being a member of cluster i . Note these galaxies are still allowed to provide membership weight to lower-ranked clusters as part of the percolated galaxy catalog.
6. Repeat Step 1 for the next cluster galaxy in the ranked list.

中心銀河の位置を使用

$$\lambda = \sum p(\mathbf{x}|\lambda) = \sum_{R < R_c(\lambda)} \frac{\lambda u(\mathbf{x}|\lambda)}{\lambda u(\mathbf{x}|\lambda) + b(\mathbf{x})}$$

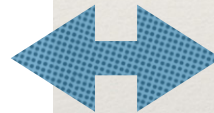
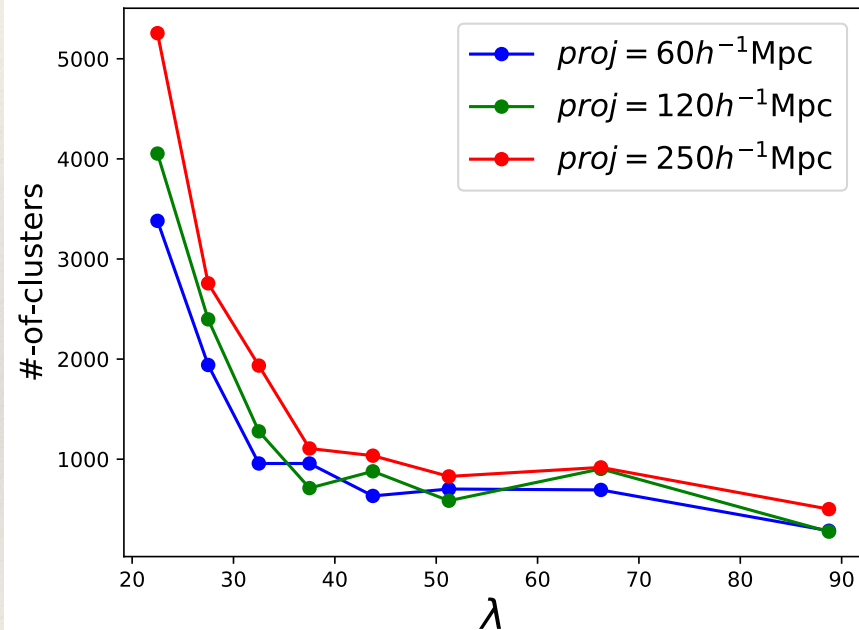
$$p_{\text{mem}} = p(\mathbf{x}) = \frac{\lambda u(\mathbf{x}|\lambda)}{\lambda u(\mathbf{x}|\lambda) + b(\mathbf{x})}$$

Photometric redshift:

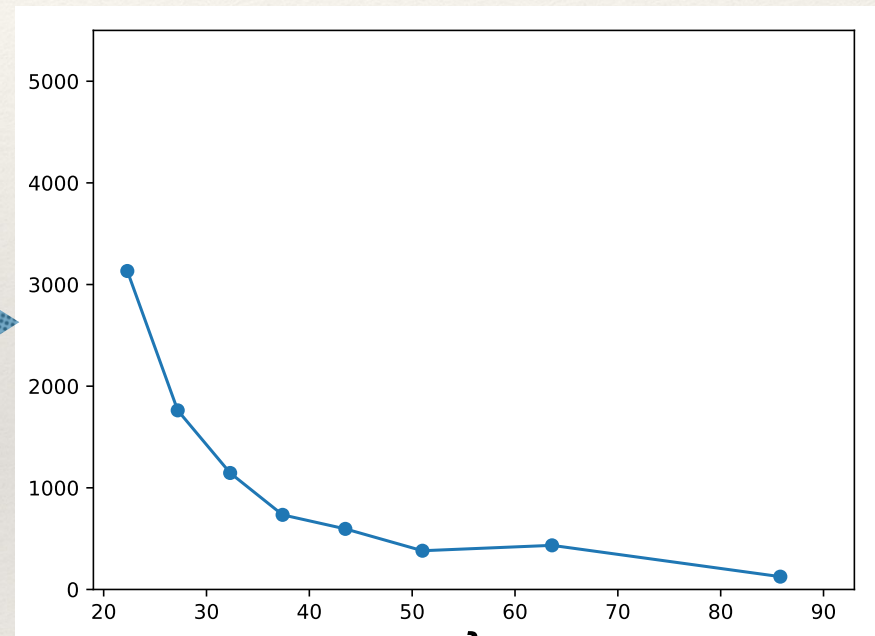
60, 120, 250 Mpc/h の投射効果を仮定

アルゴリズムの整合性：特定された銀河団の数

シミュレーション



観測

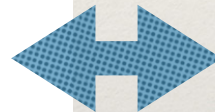
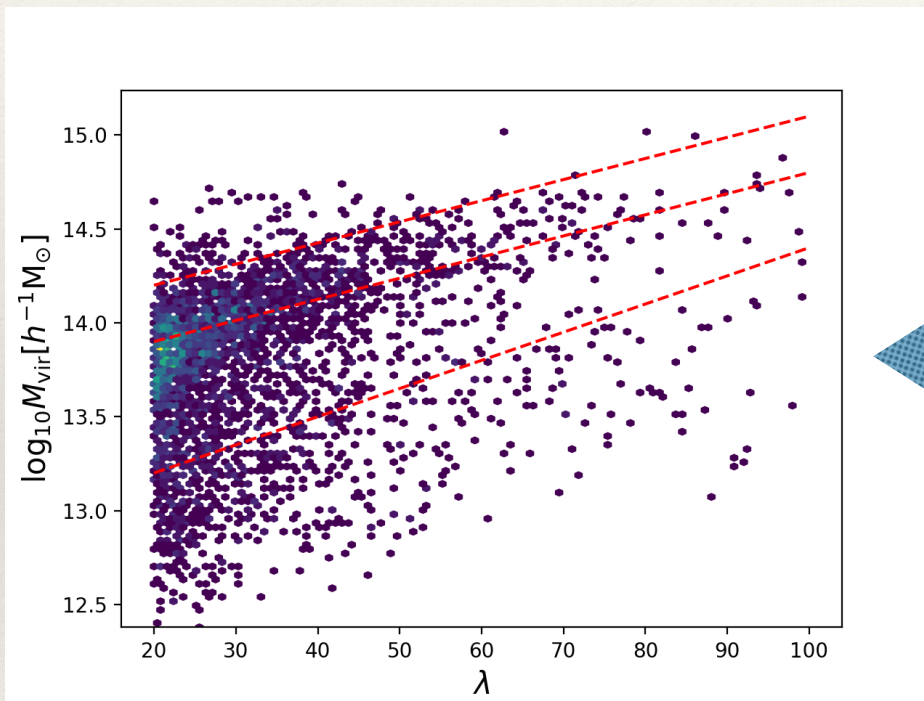


Murata et al., 2017

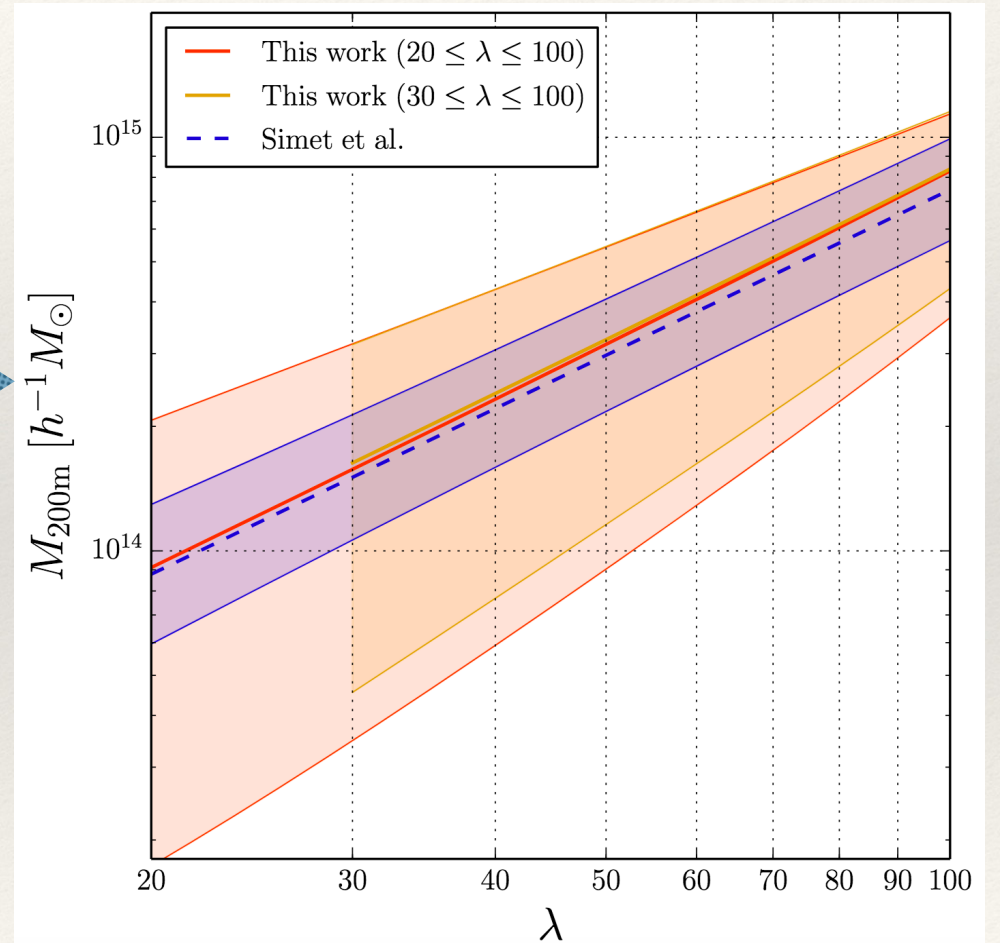
アルゴリズムの整合性：

観測における mass-richness relation との比較

シミュレーション



観測

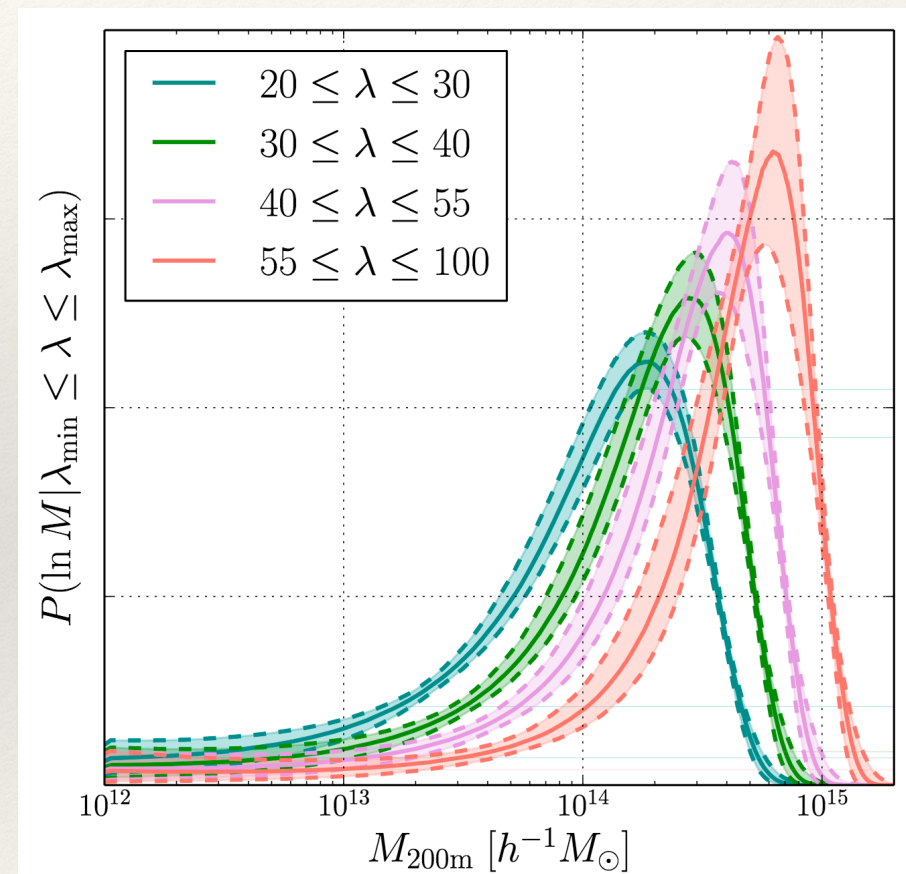
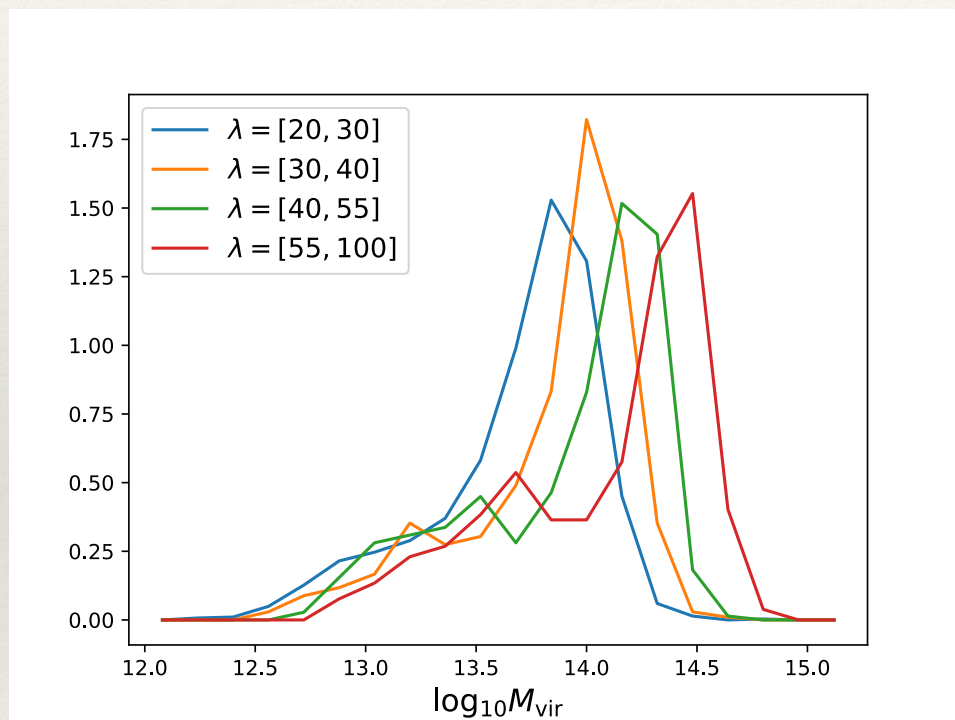


Murata et al., 2017

アルゴリズムの整合性：
リッチネスごとの質量分布における比較

シミュレーション

観測

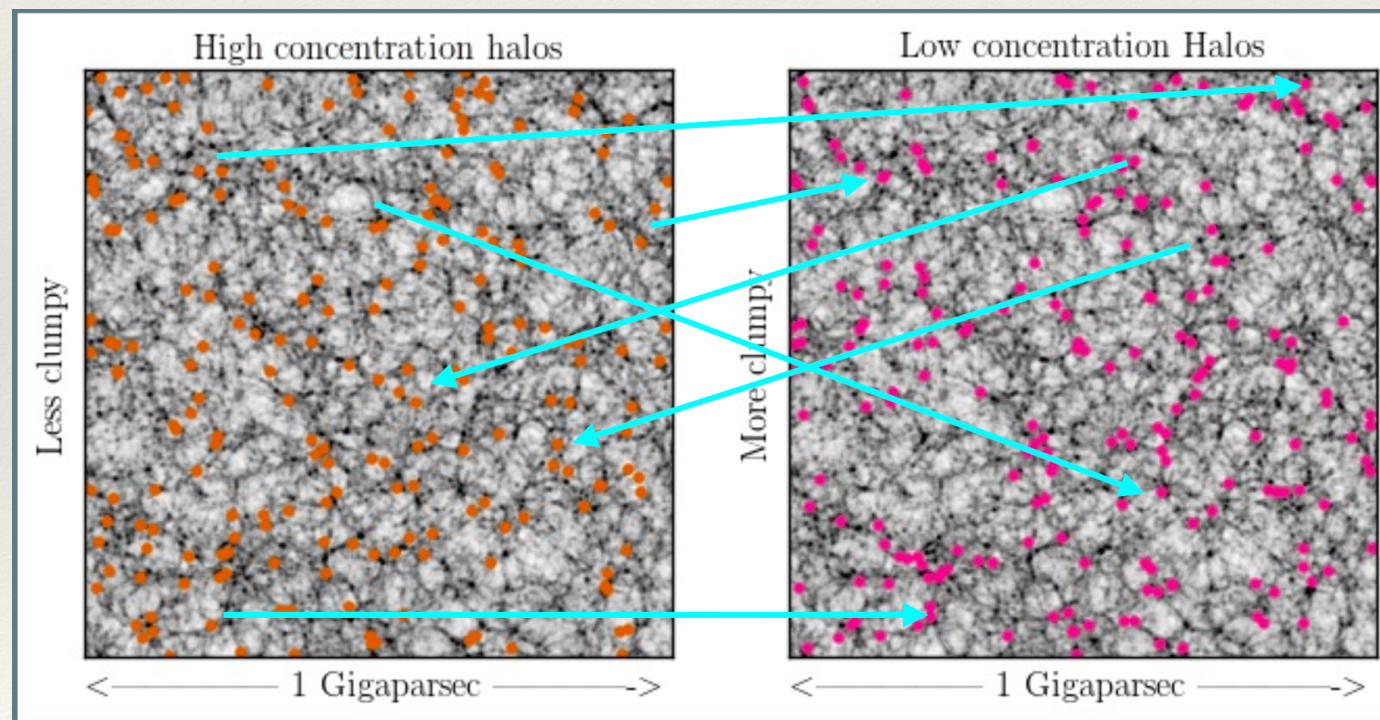


redMaPPer アルゴリズムの開発および比較方法

- ❖ redMaPPerのアルゴリズムの手順
- ❖ 観測データとの比較：アルゴリズムの妥当性
- ❖ 比較方法：シャッフルカタログを用いる
- ❖ 結果および観測結果との比較

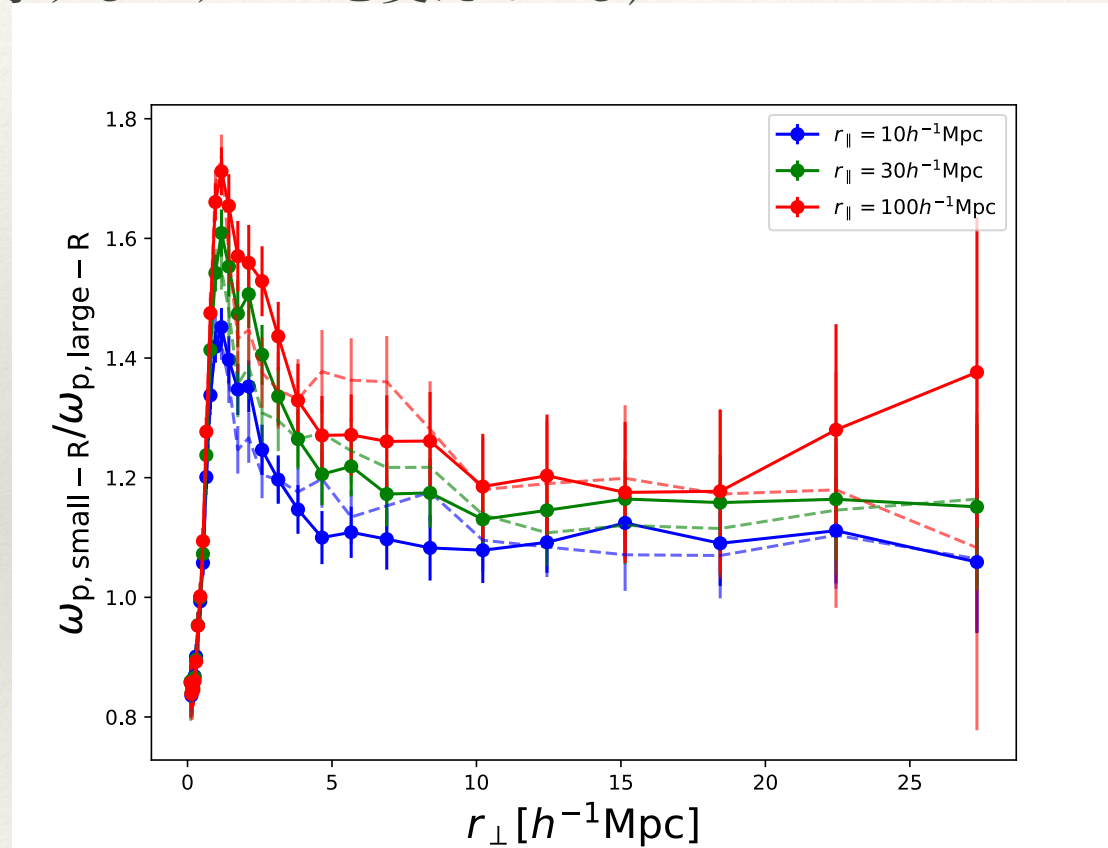
シャッフルカタログを用いて、アセンブリバイアスが 投射効果によるものなのかを検証

- ❖ シャッフルカタログとは、アセンブリバイアスの効果を消したカタログ
- ❖ シャッフルカタログとそうでないカタログで、同じシグナルが検出されるのならば、検出されたシグナルはアセンブリバイアスによるものではない



結果：large-scale assembly bias

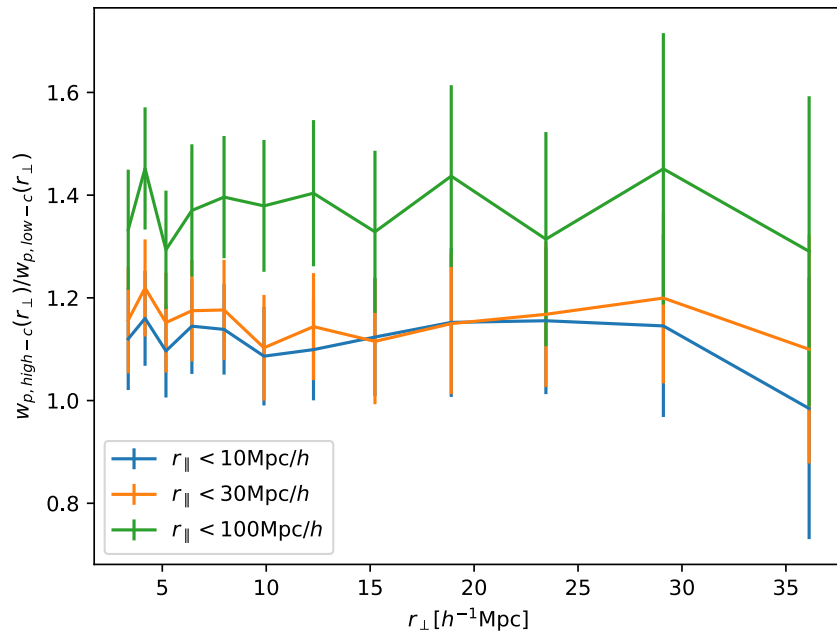
redMaPPer-likeアルゴリズムによって特定された銀河団と周辺銀河の投射相関関数
(視線方向の積分するスケールを変えている)



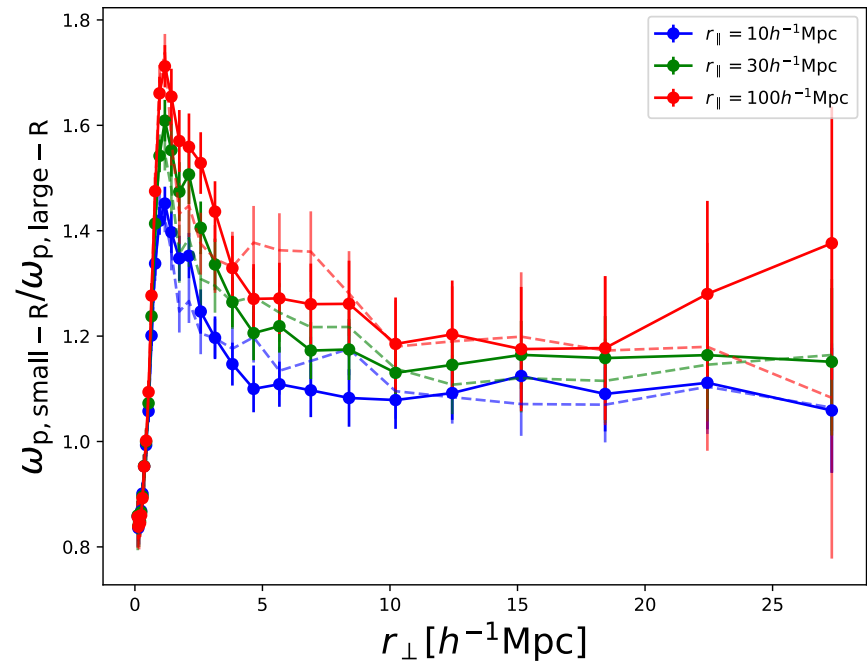
実線がシャッフルされていないカタログからの相関関数
破線がシャッフルカタログからの相関関数

観測における結果との比較

観測

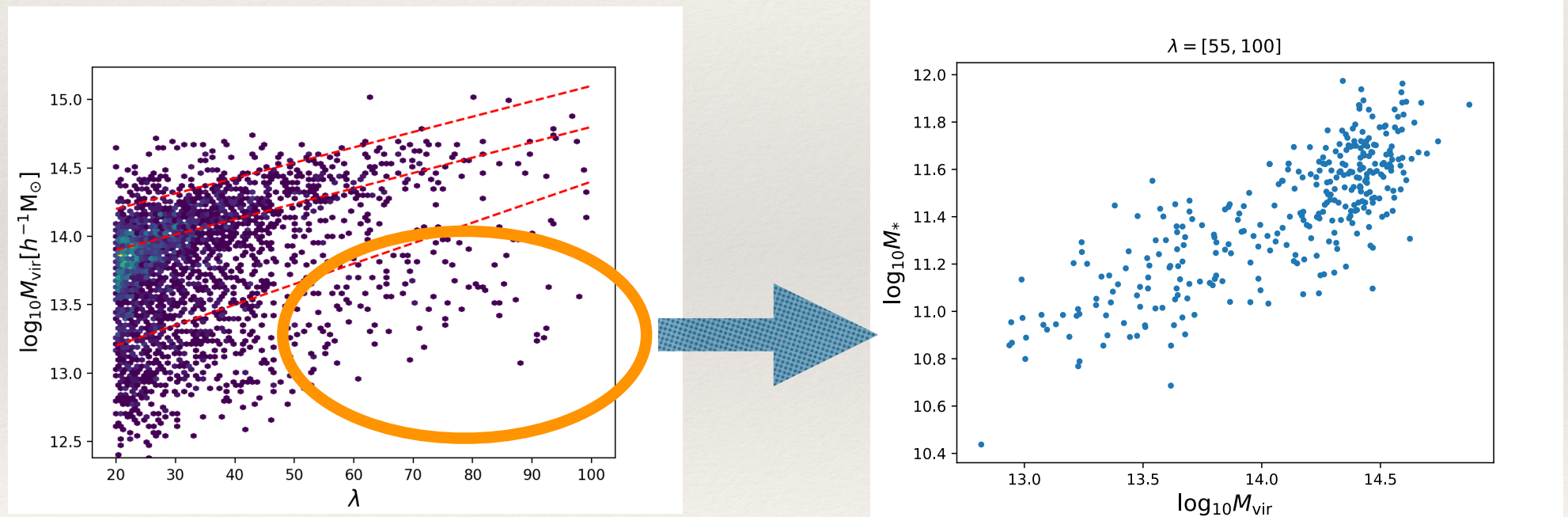


シミュレーション



結論

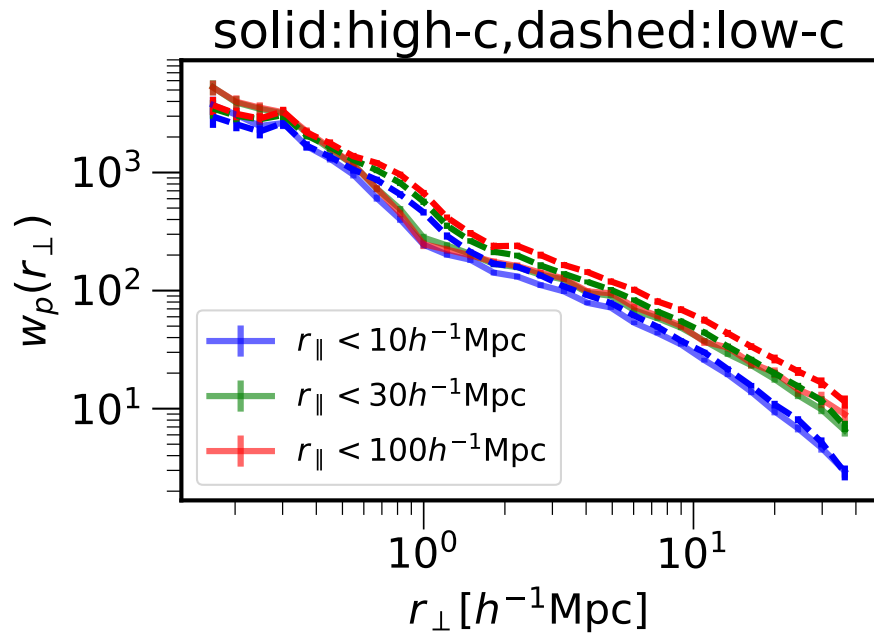
- ❖ アセンブリバイアスの検出は投射効果によるもの
- ❖ シミュレーションと観測のより直接的な比較ができることで、シミュレーションから仮説および予測を立てられる



リッチネスの大きい銀河団において銀河の質量とハローの質量には相関関係がある
→ 銀河の質量をもとに、より正確に銀河団を特定することも可能

Next Step

観測



シミュレーション

