

銀河特異速度の無モデル測定法

加用一者（名古屋大学）

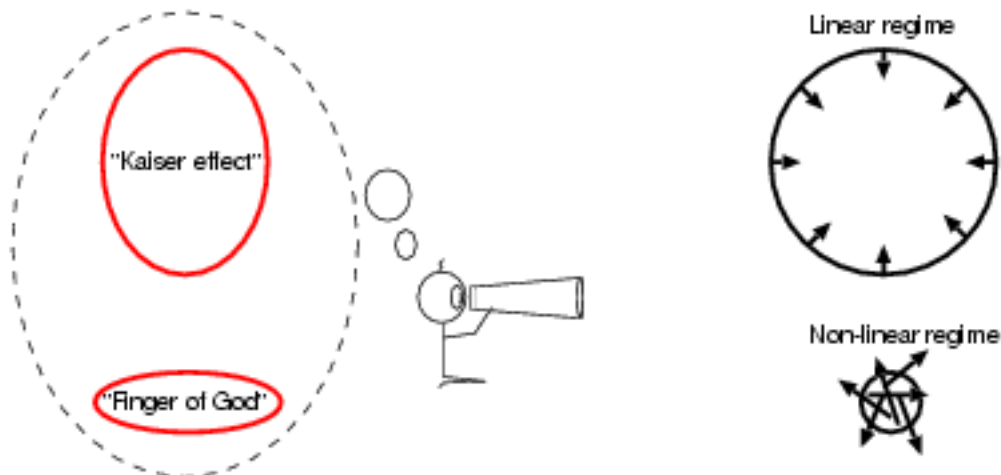
アブストラクト： 銀河の特異速度分散を、速度分布関数を仮定することなく測定する方法を新たに開発した。この手法を SDSS 銀河に適用し、速度分散の絶対光度依存性を調べた。その結果、Jing & Börner 2004 で発見された non-monotonic な絶対光度依存性を確認した。この絶対光度依存性は「速度バイアス」の存在を示唆し、銀河形成モデルへの新たな制限となる。

イントロダクション

- ✓ ものの運動を記述する2つの要素
 - 「位置」と「速度」
- ✓ 天体の位置は、天球上の位置と赤方偏移から測定できる。では速度は？
- ✓ 天体の特異速度は赤方偏移に影響を及ぼし天体分布を変更する。これを測れば速度の情報が得られる。
- ✓ 特異速度による天体分布の変更
 - 天体分布の統計量に対する**赤方偏移歪み**

銀河の二点相関関数に対する**赤方偏移歪み**から銀河の速度情報を得よう

二点相関関数に対する 赤方偏移歪み

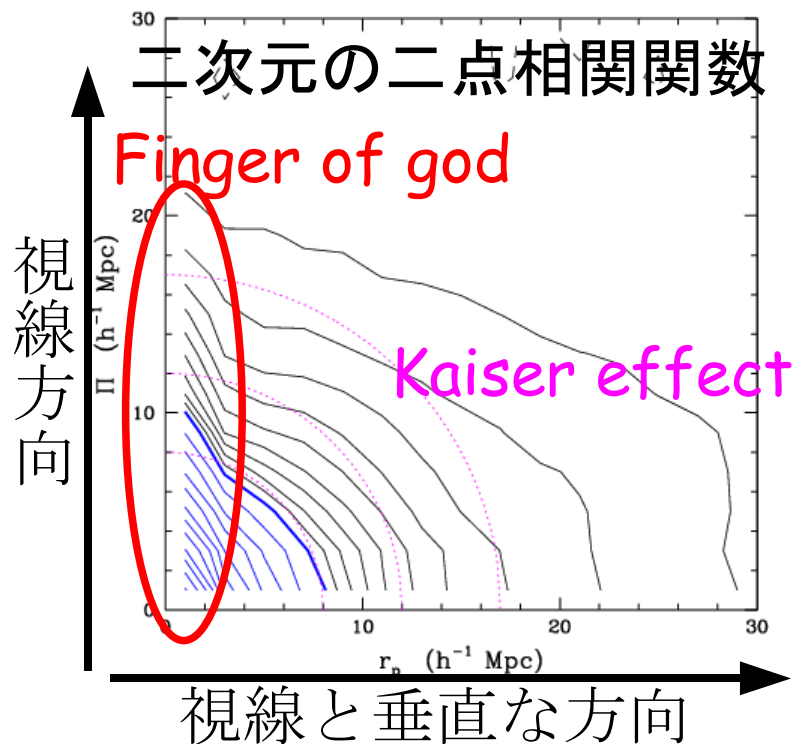


✓ 大スケール

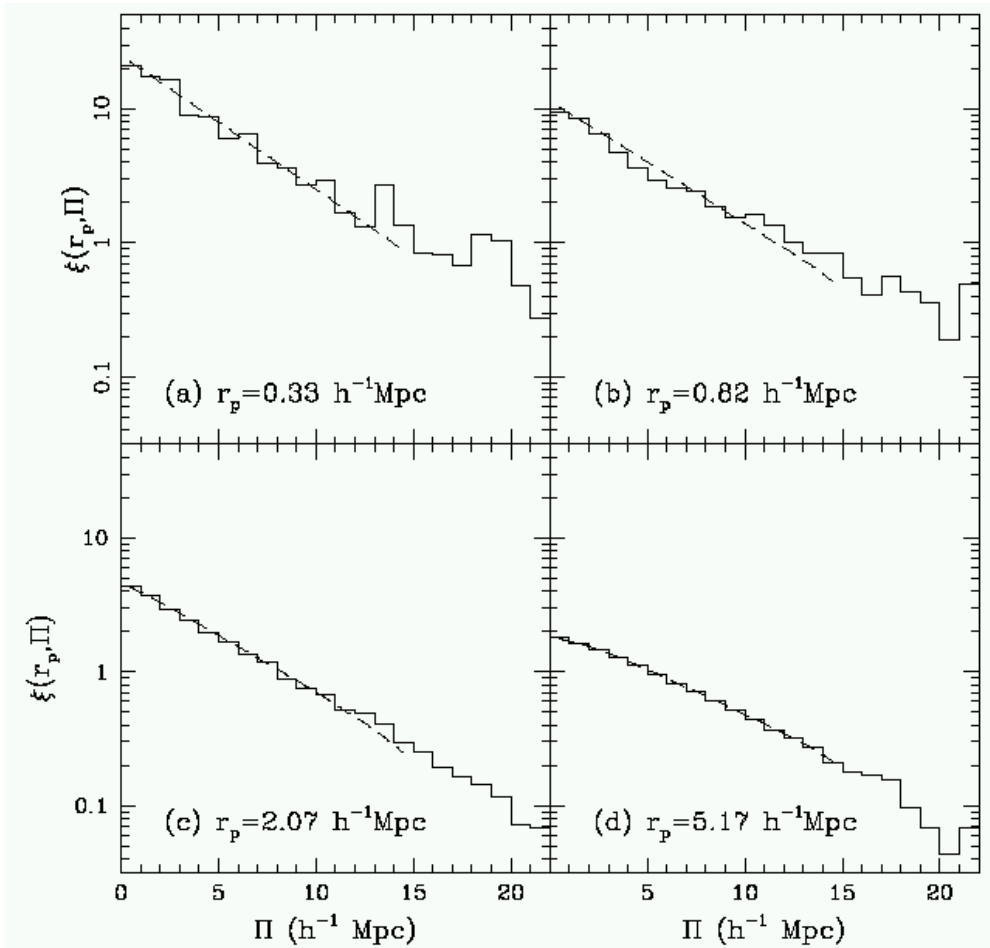
- 統計的には、銀河ペアはポテンシャルに落ち込む系統的な運動をする。結果、視線方向に潰れたような分布に見える (Kaiser 効果)。

✓ 小スケール

- ビリアル化し、ランダムな速度分布を持つ。結果、視線方向に伸びた分布に見える (Finger of god 効果)



従来の方法



銀河特異速度分布関数を仮定
例えば Exponential 型

$$f(v_{12}) = \frac{1}{\sqrt{2}\sigma_{12}} \exp\left(-\frac{\sqrt{2}}{\sigma_{12}}|v_{12} - \langle v_{12} \rangle|\right)$$

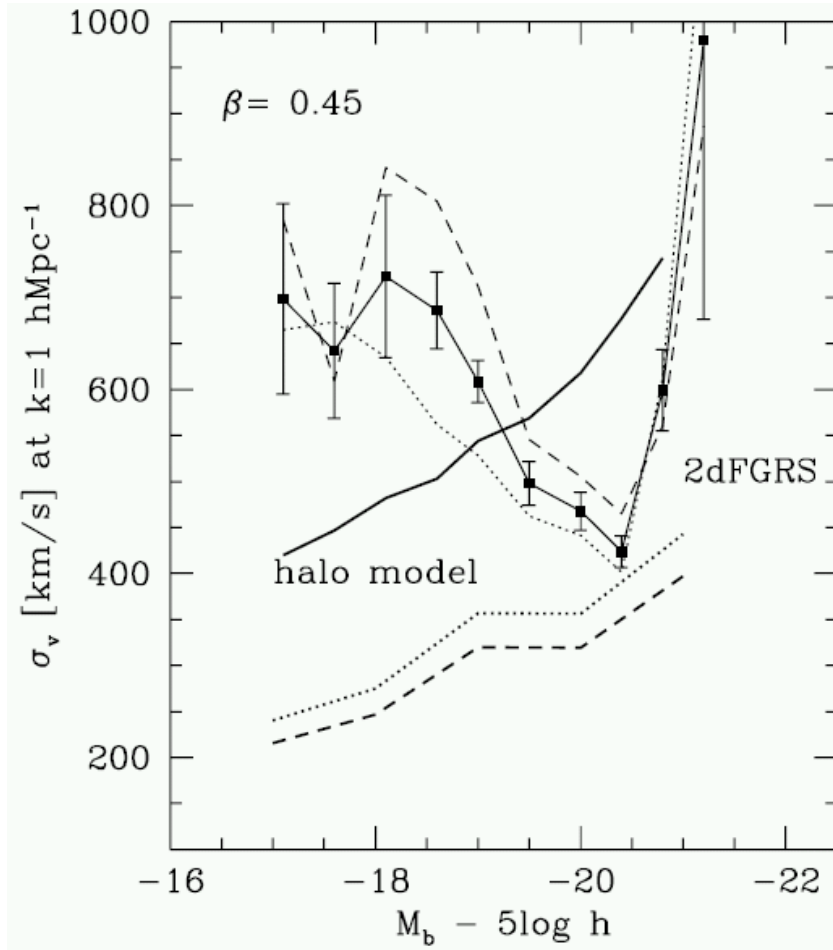
Davis & Peebles (1983)

where,

$$\langle v_{12} \rangle(r) = \frac{H_0 \pi - v_{12}}{1 + \xi(r)}$$

(self-similar infall model)

Jing & Börner 2004



- ✓ 2dF データの解析から、non-monotonic な絶対光度依存性を発見 (Li et al. 2005 も SDSS データで追確認)
- ✓ 簡単な銀河形成モデルと矛盾！

独立な方法でチェックする必要がある重要な結果である。
出来るだけモデル依存の無い方法論が望ましい！

古くて新しい方法

✓ Peebles (1980) に基づく

- 速度成分は、Kaiser effect による streaming motion 成分と、銀河団内部などの dispersion 成分に分けられると仮定
- dispersion 成分は等方的と仮定

$$1 + \xi(r_p, \pi) = \int f(v_{12}) [1 + \xi(\sqrt{r_p^2 + (\pi - v_{12}/H_0)^2})] dv_{12}$$

新しい速度分散の測定法

$$1 + \xi_s(r_p, \pi) = \int dv_{12} f(v_{12}; r_p) [1 + \xi(\sqrt{r_p^2 + (\pi - v_{12}/H_0)^2})]$$

$$\xi_s(r_p, \pi) = \int dv_{12} \tilde{f}(v_{12}; r_p) \xi_K(r_p, \pi - v_{12}/H_0)$$

Kaiser 効果のみを含む
二点相関関数

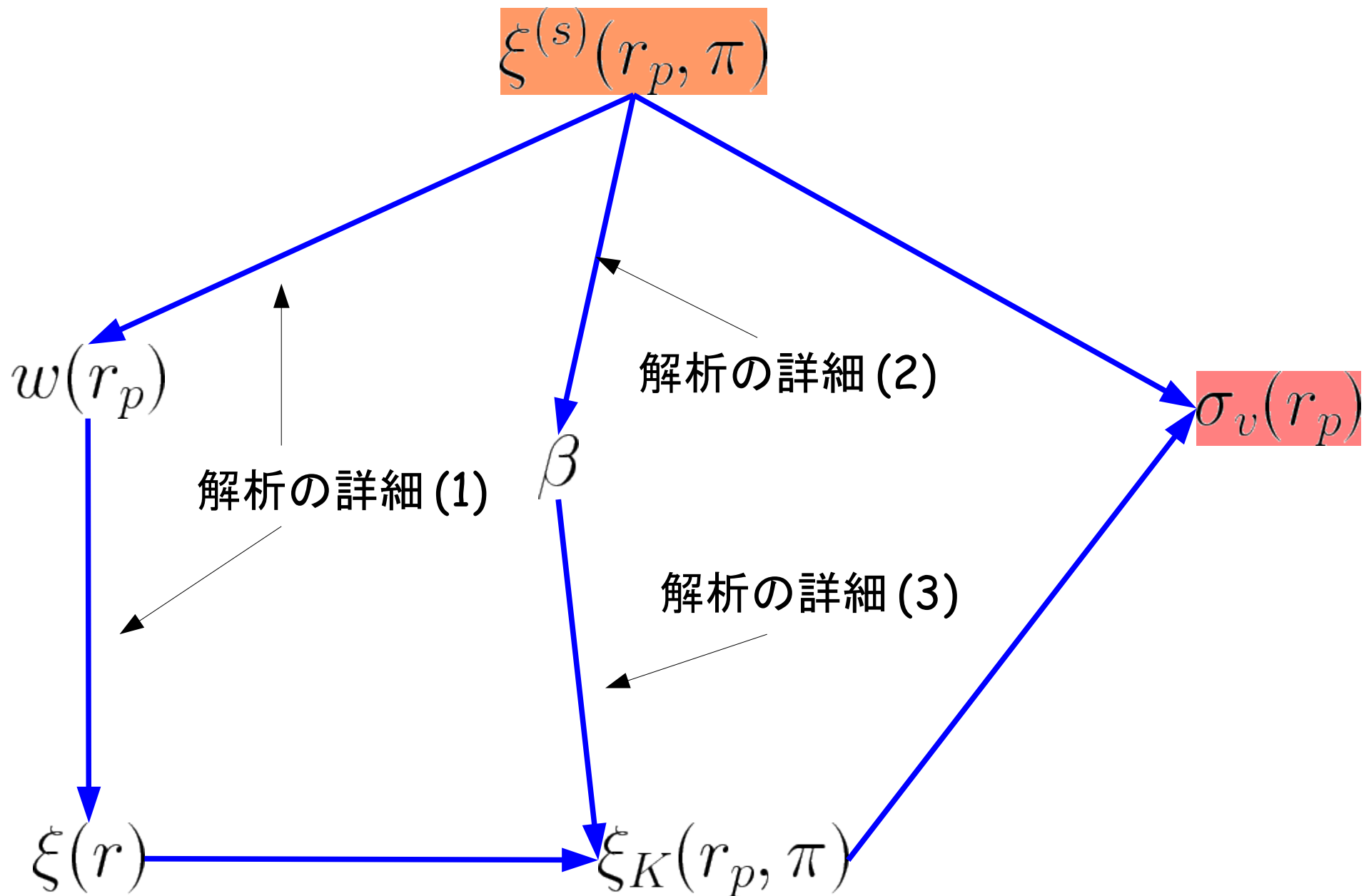
$$\begin{aligned} \int d\pi \pi^2 \xi_s(r_p, \pi) &= \int d\pi \pi^2 \int dv_{12} \tilde{f}(v_{12}; r_p) \xi_K(r_p, \pi - v_{12}/H_0) \\ &= \int dy \int dv_{12} \tilde{f}(v_{12}; r_p) (y + v_{12}/H_0)^2 \xi_K(r_p, y) \quad y \equiv \pi - v_{12}/H_0 \\ &= \int d\pi \int dv_{12} \tilde{f}(v_{12}; r_p) (\pi + v_{12}/H_0)^2 \xi_K(r_p, \pi) \\ &= \int d\pi \int dv_{12} \tilde{f}(v_{12}; r_p) (\pi^2 + v_{12}^2/H_0^2) \xi_K(r_p, \pi) \quad \tilde{f}(v_{12}) = \tilde{f}(-v_{12}) \\ &= \int d\pi \pi^2 \xi_K(r_p, \pi) + \int d\pi \xi_K(r_p, \pi) \frac{1}{H_0^2} \int dv_{12}^2 v_{12}^2 \tilde{f}(v_{12}; r_p) \end{aligned}$$

$$\sigma_{12}^2(r_p) = \frac{H_0^2 \int d\pi \pi^2 [\xi_s(r_p, \pi) - \xi_K(r_p, \pi)]}{\int d\pi \xi_K(r_p, \pi)}$$

これこそが速度分散！

無モデル測定の公式

解析のフローチャート



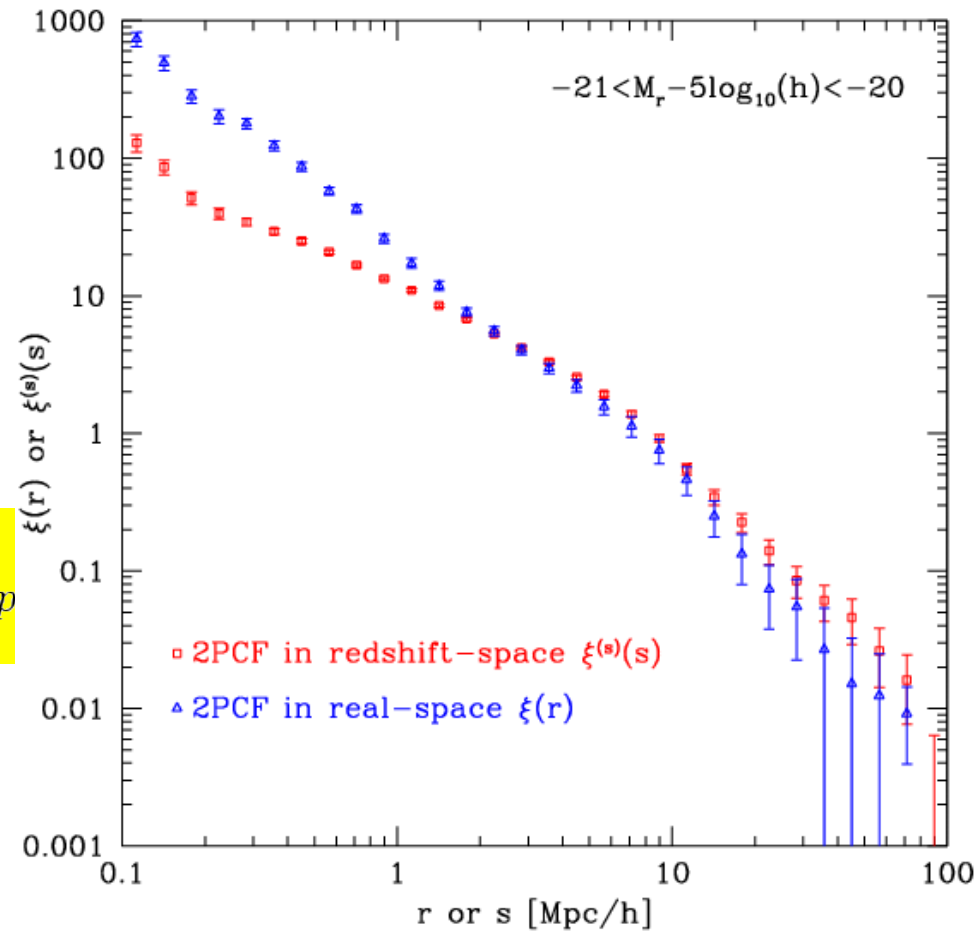
解析の詳細 (1)

2次元二点相関関数を視線方向に射影し赤方偏移歪みを消す。

$$w(r_p) = \int_{-\infty}^{\infty} d\pi \xi^{(s)}(r_p, \pi)$$

一旦射影した二点相関関数を等方性を仮定して Abel 逆積分する。

$$\xi(r) = -\frac{1}{\pi} \int_r^{\infty} \frac{dw(r_p)}{dr_p} (r_p^2 - r^2)^{-1/2} dr_p$$



解析の詳細 (2)

$\xi^{(s)}(r_p, \pi)$ をルジャンドル展開する。

$$\xi^{(s)}(r_p, \pi) = \sum_l \xi_l^{(s)} \mathcal{P}_l(\mu)$$

$$\xi_l^{(s)}(x) = \frac{2l+1}{2} \int_{-1}^1 \xi^{(s)}(r_p, \pi) \mathcal{P}_l(\mu) d\mu$$

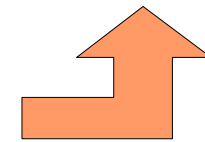
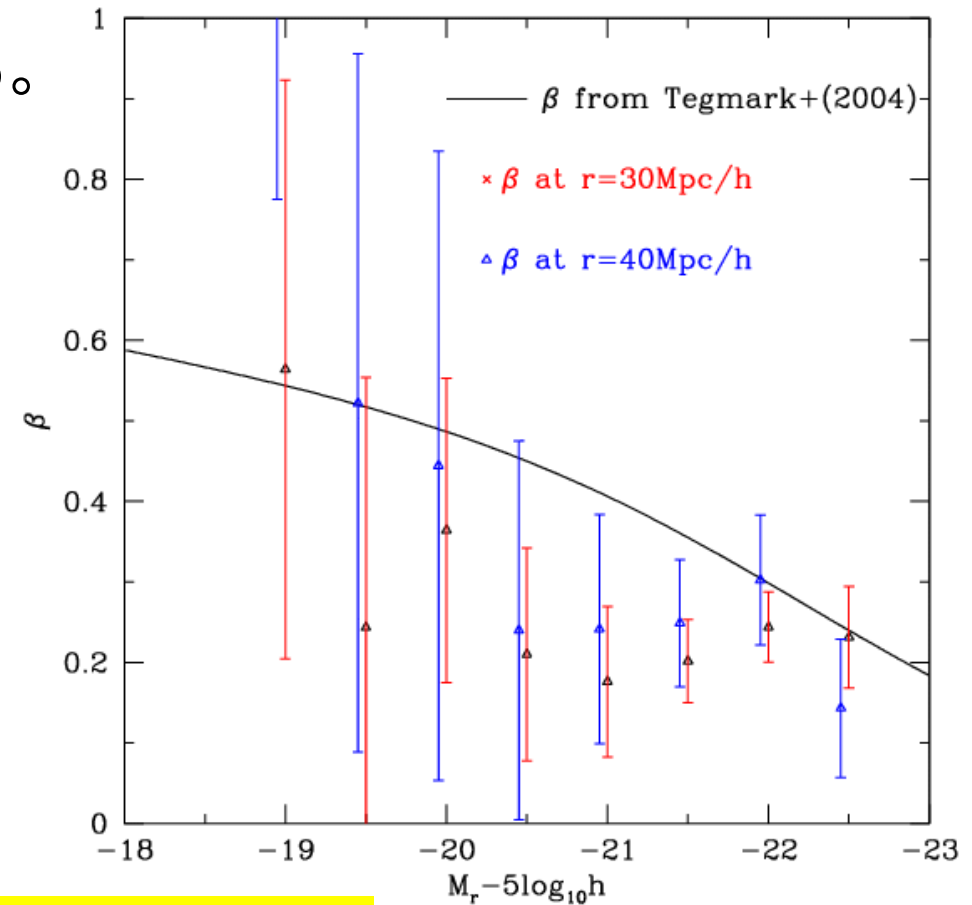
線形領域においては、展開項と β

$$\beta \equiv \frac{1}{b} \left| \frac{d \ln D(z)}{d \ln a} \right|_0 \sim \frac{\Omega_m^{0.6}}{b}$$

のあいだに

$$\frac{\xi_0^{(s)}(x) - \frac{3}{x^3} \int_0^x \xi_0^{(s)}(s) s^2 ds}{\xi_2^{(s)}(x)} = \frac{1 + \frac{2}{3}\beta + \frac{1}{5}\beta^2}{\frac{4}{3}\beta + \frac{4}{7}\beta^2}$$

なる関係式がある。



解析の詳細 (3)

求めた大スケールの β を用いて,
Kaiser 効果のみが含まれた二点相関関数を求める。

$$\xi_K(r_p, \pi) = \xi_0^{(s)}(x)\mathcal{P}_0(\mu) + \xi_2^{(s)}(x)\mathcal{P}_2(\mu) + \xi_4^{(s)}(x)\mathcal{P}_4(\mu)$$

$$\xi_0^{(s)}(x) = \left(1 + \frac{2}{3}\beta + \frac{1}{5}\beta^2\right) \xi(x) \quad \bar{\xi}(x) = \frac{3}{x^3} \int_0^x \xi(r)r^2 dr$$

$$\xi_2^{(s)}(x) = \left(\frac{4}{3}\beta + \frac{4}{7}\beta^2\right) \{\xi(x) - \bar{\xi}(x)\} \quad \bar{\bar{\xi}}(x) = \frac{5}{x^5} \int_0^x \xi(r)r^4 dr$$

$$\xi_4^{(s)}(x) = \frac{8}{35}\beta^2 \left\{ \xi(x) + \frac{5}{2}\bar{\xi}(x) - \frac{7}{2}\bar{\bar{\xi}}(x) \right\}$$

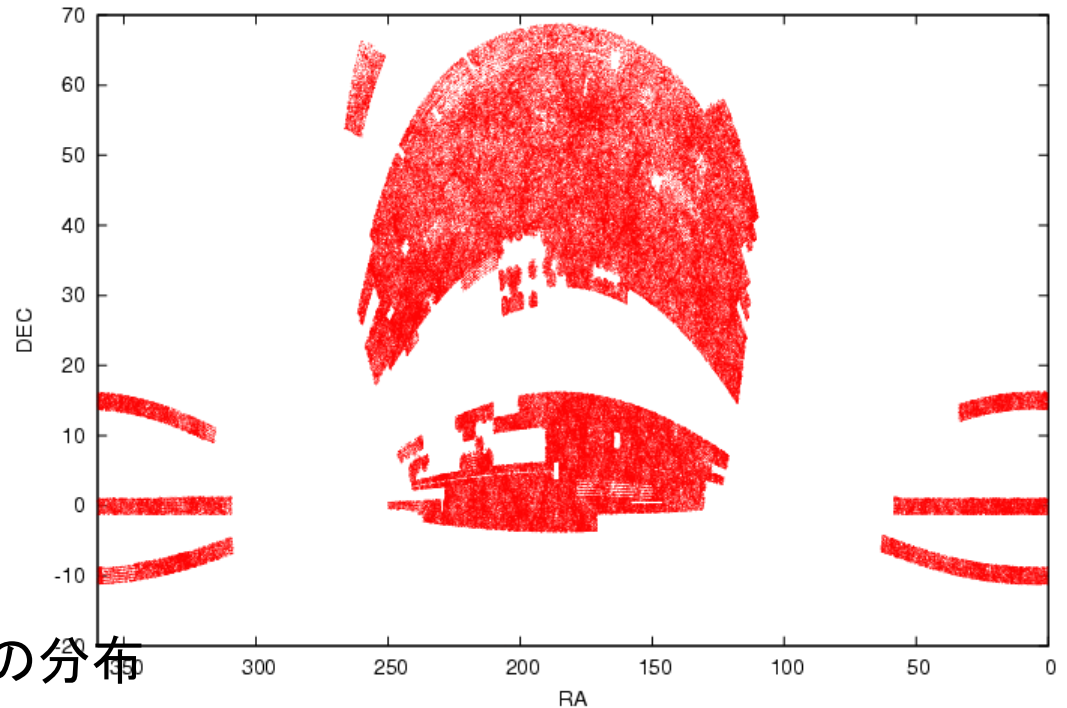
以上を組み合わせて

$$\sigma_v^2(r_p) = \frac{H^2 \int d\pi \pi^2 [\xi^{(s)}(r_p, \pi) - \xi_K(r_p, \pi)]}{\int \pi \xi^{(s)}(r_p, \pi)}$$

SDSS 銀河サンプル (1)

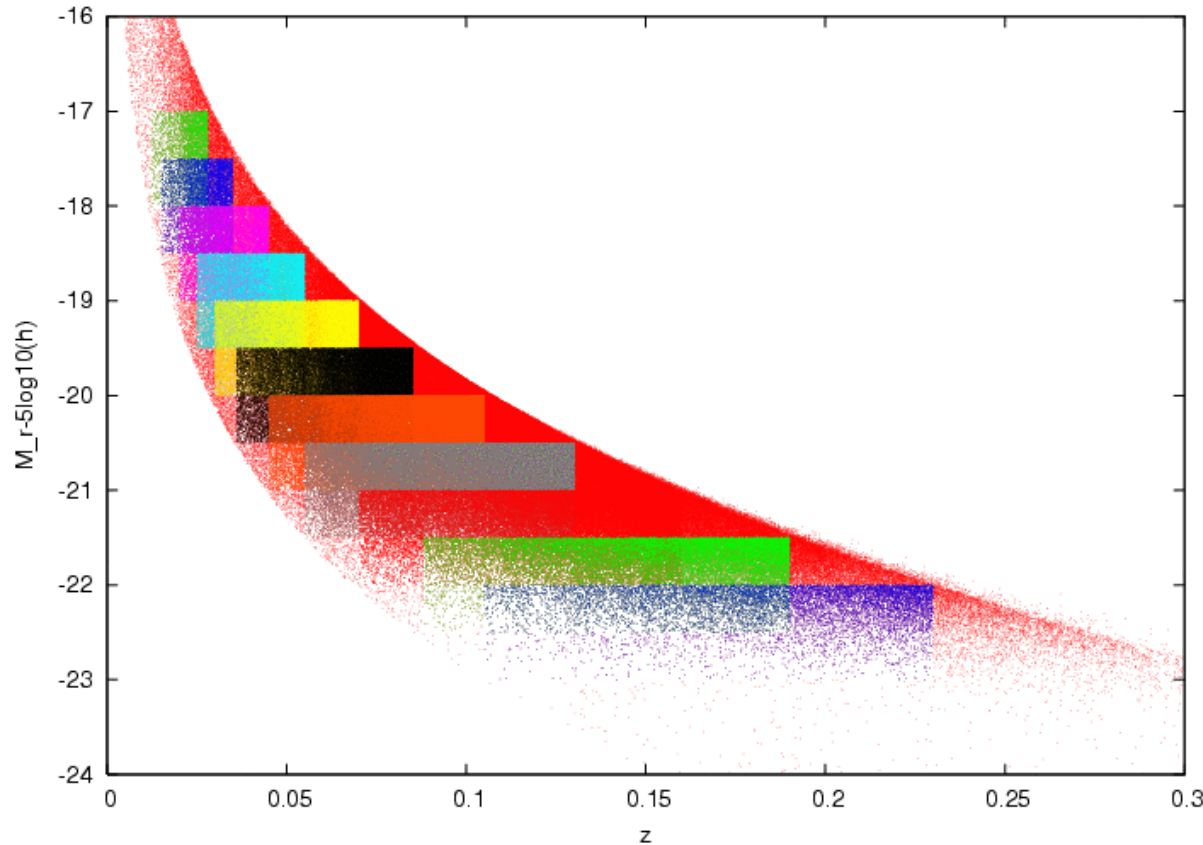
✓ NYU Value-Added Galaxy Catalog

- <http://www.astro.physics.nyu.edu/blanton/vagc/>
- 現在 DR4 (~ 4700 sq.deg) を公開
- 本解析では SDSS 内部カタログである" dr4plus" (~ 5700 sq.deg) をベースに volume-limited サンプルを作成



サンプルの天球上の分布

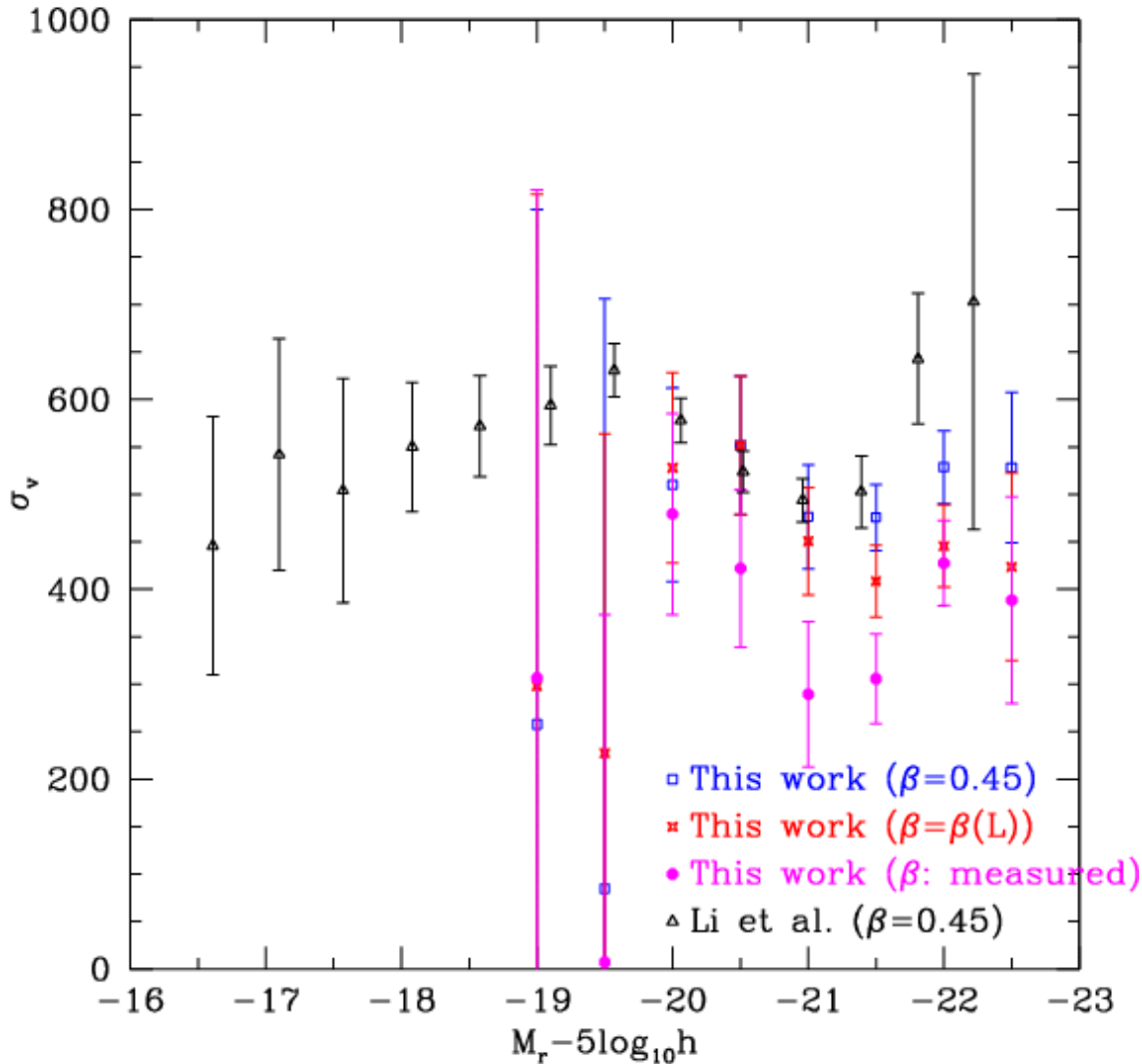
SDSS 銀河サンプル (2)



✓ r-band 絶対等級で
1刻みの Volume-
limited サンプルを
作成

- 利点: 二点相関関数の測定に不定な点がない (c.f. magnitude-limited サンプル)
- 欠点: 銀河数が制限される

結果



- ✓ $M_r = -20 \sim -22$ 付近での速度分散の落ち込みは、今回の測定でも見られるようである。
- ✓ しかし、Large-scale にウェイトをかける計算なので、 β の詳細に強く影響される

課題

- ✓ Volume-limited では、サンプルが小さすぎる
 - Magnitude-limited を使う
 - Hikage (in preparation) の新しい相関関数計算法を用いる
- ✓ β 依存が大きい " 不具合 "
- 大スケールでの不定性の除去を工夫
- ✓ シミュレーションを用いたチェックとビン幅調整