

N 体シミュレーションを用いた 線形成長率 f の評価法の開発

石川敬視 (京大宇物 D1)、戸谷友則、住吉昌直 (京大)、
吉田直紀、西道啓博 (東大 Kavli IPMU)、高橋龍一 (弘前大)

修正重力理論の制限

大規模銀河赤方偏移サーベイを行い銀河の分布図を作成すると、銀河個々の特異速度のため視線方向に分布の非等方性が現れる。これを赤方偏移空間歪み (RSD : Redshift space distortion) と呼ぶ。RSD の解析から得られる線形成長率 $f(= d\ln D/d\ln a)$ は宇宙大規模構造の成長スピードの指標であり、重力理論毎に異なる値が予言されている。したがって、線形成長率を精確に測定することにより、種々の修正重力理論に対して制限を与えることができる。

線形成長率は、銀河サーベイから測定された非等方パワースペクトルに対して Kaiser formula (Kaiser 1987) 等の RSD 公式を利用してフィッティングで求める方法が一般的であるが、線形公式では大きな系統誤差が残ることが知られている。そこで、小スケールでの重力非線形成長を高次の項まで考慮したより正確な RSD モデルの構築が行われたり (Taruya, Nishimichi & Saito 2010)、銀河バイアスの非自明な影響に対して、スケール依存性を考慮したりといった研究が観測とシミュレーションの両方の面から進められている (Cole et al. 2005, Nishimichi & Taruya 2011)。

本研究の目的と手法

本研究では N 体シミュレーションを用いて、線形成長率 f の解析・測定における様々な系統誤差を [フィッティングモデル、ハローバイアスの大きさ (ハローの質量下限 M_{min})、redshift、フィッティングに用いる波数領域の上限 k_{max}] を変えて網羅的に調べ、各解析モデルの有用性と適用可能範囲を検証した。具体的には、

- ・ N 体シミュレーションによりダークハロー分布を構築
- ・ 様々なハローの選択条件の下で 2 次元パワースペクトル $P(k, \mu)$ を測定

これに対して、

- ・ 線形公式 (Kaiser formula) / 高次の項を考慮した公式 (TNS モデル, Taruya et al. 2010)
 - ・ スケール依存しない一定バイアス / スケール依存性をもつ Q-model バイアス (App. を参照)
- のそれぞれの組み合わせについて、フィッティングに用いる波数の上限を変えながら RSD の各種パラメータ (線形成長率 f , 銀河速度分散 σ_v , ハローバイアスの振る舞いに関連するパラメータ $[b, Q, A]$) のベストフィットを求めた。

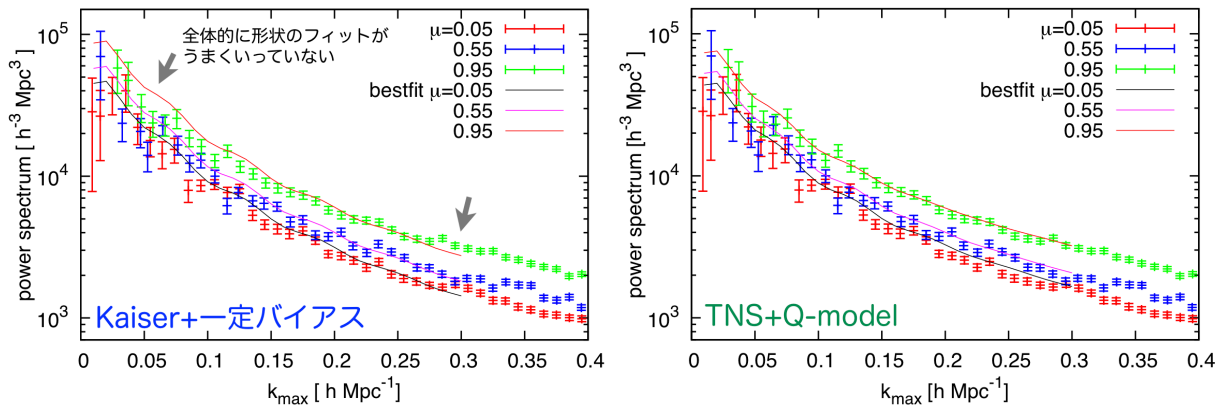


Fig.1 : N 体シミュレーションによるハローの $P(k, \mu)$ (プロット点, $z = 1.35$, $M_{halo} > 200 \times 10^{10} M_{\odot}/h$) とそれに対するベストフィット曲線の例。(左 : Kaiser formula と一定バイアス、右 : TNS model と Q-model バイアスの組み合わせ)

結果と考察

- ・線形モデルを用いた場合には、重いハローほど、また、 k_{max} を大きくする (小スケールの情報をより用いる) ほど f を overestimate した。
- ・TNS model + 一定バイアス : f を underestimate した。
- ・TNS model + Q-model : fiducial な f に対し、広い波数領域からの情報を用いて percent level での系統誤差内での線形成長率測定が可能。

非線形重力成長は、 k が大のところ (より小スケールのところで)、同じ k であれば μ が大においてよりパワースペクトルを enhance するセンスを持ち、Kaiser formula ではそのパワースペクトルの μ 依存性を f 大とすることにより補おうとするため overestimate されることが分かった。

TNS model + Q-model を用いれば、今回調べた範囲では、ハローの質量やフィッティングに用いる波数領域 k_{max} に依らず、シミュレーションから測定されたパワースペクトル $P(k, \mu)$ をよくフィッティングすることができた (Fig.1,2)。

TNS model + 一定バイアスにおける f の underestimate については引き続き考察中である。

まとめ

大規模銀河サーベイを念頭においた RSD 解析の系統誤差を N 体シミュレーションを用いて網羅的に調べた。小スケールでの非線形成長/バイアスのスケール依存性の効果の考慮は系統誤差を小さくする上で必須であることが分かった。現在の観測の統計誤差は $\sim 10-15\%$ 程度と見積もられているが、解析に TNS+Q-model バイアスを採用することにより、これに対して十分系統誤差の小さい f 評価が可能であることが検証できた。

・ M_{halo} への依存性 ($z=1.35$)

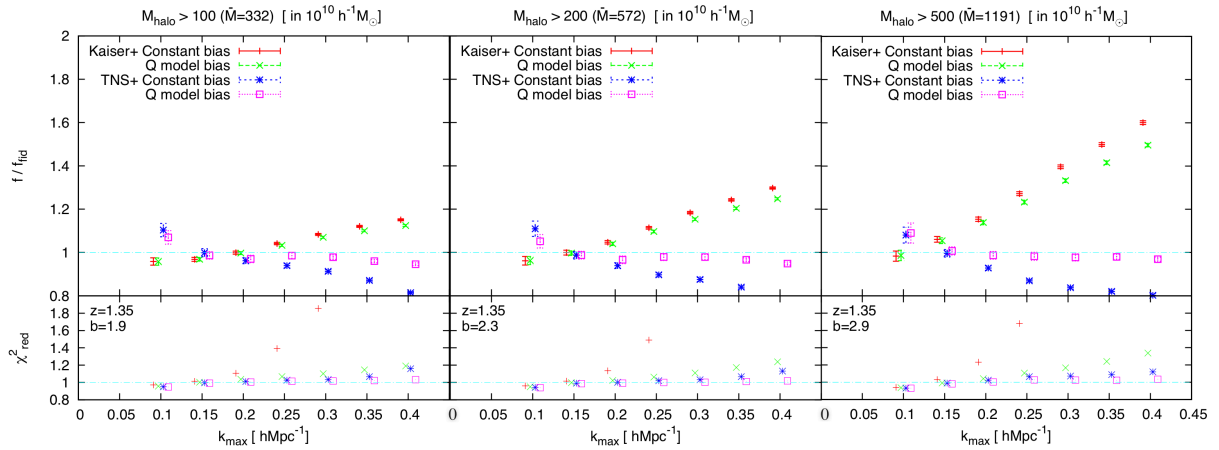


Fig.2: 選択するハローの種類 (質量) への依存性。線形公式や一定バイアスを採用する場合には質量が大きくなるほど系統誤差が大きくなる。TNS+Q-model で M_{halo} や k_{max} に依らず fiducial な f の値をリカバーできる。

Appendix

今回使用したフィッティングモデルの表記は以下の通りである。

- ・ Kaiser formula (Kaiser 1987)

$$P(k, \mu) = b^2(1 + \beta\mu^2)^2 P(k), \quad \beta = f/b$$

- ・ TNS model (Taruya, Nishimichi & Saito 2010, Nishimichi & Taruya 2011)

$$P(k, \mu) = D_{\text{FoG}} \times b^2 [P_{\delta\delta}(k) + 2\beta\mu^2 P_{\delta\theta}(k) + \beta^2 \mu^4 P_{\theta\theta}(k) + bA(k, \mu; \beta) + b^2 A(k, \mu; \beta)],$$

$$D_{\text{FoG}} = 1/(1 + (k\mu f\sigma_v)^2/2)^2$$

バイアスは線形バイアス $\delta_{\text{gal}/\text{halo}} = b\delta_{\text{matter}}$ を仮定し、

- ・ 一定バイアス

$$b = \text{Const.}$$

- ・ Q-model バイアス (Cole et al. 2005, Nishimichi & Taruya 2011)

$$b = b_0 \sqrt{\frac{1 + Qk^2}{1 + Ak}}$$

について検証した。