

赤方偏移空間歪みサーベイによる Λ CDMモデルの検証

京都大学理学研究科宇宙物理学教室
理論グループ M1 舎川元成

0. 本文書について・謝辞

この文書は、2011年度天文・天体物理若手の会夏の学校で著者が発表した内容をまとめたものである。

以下の内容は、“The WiggleZ Dark Energy Survey: the growth rate of cosmic structure since redshift $z=0.9$ ” (Blake et al. 2011)を基にしている。

なお、私が夏の学校に参加するにあたっては、多くの方々、機関、企業からの賛助があり、そのお陰で貴重な経験を得ることができました。この場を借りて御礼申し上げます。

1. ダークエネルギー問題

Ia型超新星の距離測定をはじめとする、1990年代以降の様々な観測事実によって、現在宇宙は加速膨張期にあることが示されてきた。一方で、この加速膨張を引き起こす原因“ダークエネルギー”にはいくつかの説があり、ダークエネルギーを含めて宇宙を記述するモデルは、現在の所確定されていない。

これらの理論を観測的に見分ける1つの方法として、宇宙の大規模構造の形成速度を測定するというものがある (Kaiser 1985)。

構造の形成スピードを表す量として、線形成長率 f がよく用いられる。

$$f \equiv \frac{d(\ln D)}{d(\ln a)}$$

a はスケールファクター、 D は線形成長因子と呼ばれ、物質の密度ゆらぎの全体的な時間発展を表す量である。

幅広い宇宙モデルにおいて、宇宙の密度パラメータ Ω_m を用いて $f \sim \Omega_m^\gamma$ とパラメトライズできることが知られている (Linder 2005)。

γ の値はモデルによって異なるため、線形成長率を計算することで、宇宙モデルに制限を加えることができる (図1)。

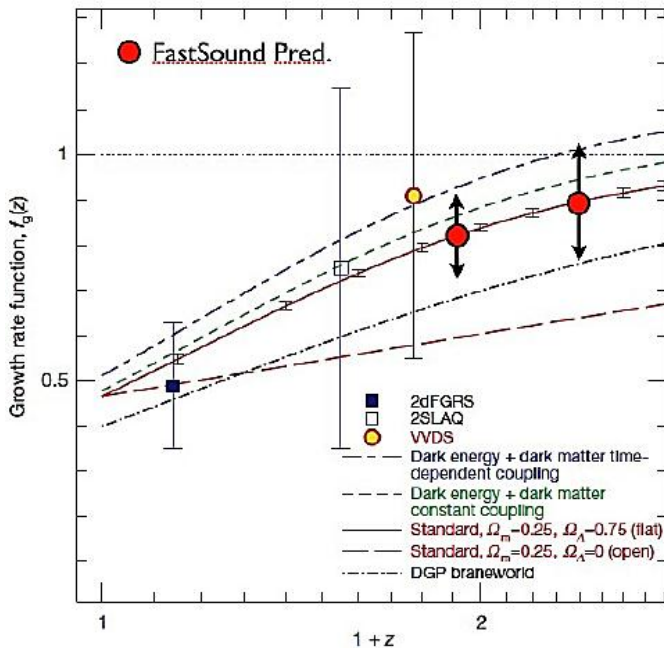


図1 f の宇宙モデル依存性。

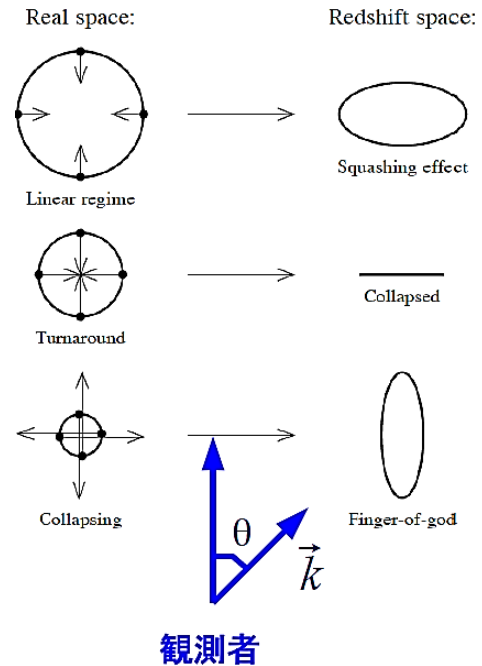


図2 赤方偏移空間歪みの概念図。
(Hamilton 1998 より改変)

2. 赤方偏移歪みを用いた構造形成速度の測定

遠方の天体の距離を測定する際、一般には天体を分光観測し、輝線の宇宙論的赤方偏移から距離を求める。しかし天体は宇宙の膨張による後退以外にも、他の天体やダークマターとの相互作用による固有運動を有するため、観測される赤方偏移は、宇宙論的赤方偏移に固有運動によるドップラー効果から生じる波長のずれを加えたものになる。このずれを赤方偏移空間歪み効果 (Redshift Space Distortion/RSD) と呼ぶ。

赤方偏移空間歪み効果によって、観測される銀河のパワースペクトルは、本来のパワースペクトルからずれることになる。Kaiser によれば、銀河本来のパワースペクトルと観測されるパワースペクトルは、線形成長率を用いて以下のように関係づけられる。 b は線形バイアス、 μ は視線方向とゆらぎの波数ベクトルの余弦である (図2参照)。

$$P^{obs}(\vec{k}, \mu) = b^2 \left(1 + \frac{f\mu^2}{b} \right)^2 P^{real}(\vec{k})$$

ずれの因子は $b^2 \left(1 + \frac{f\mu^2}{b} \right)^2$ であり、銀河サーベイからパワースペクトルのずれを観測することで、 f を計算することができる。(ただし、この式は波数 k が十分小さい領域でしか使えない式であり、 k が大きい領域では、少し補正する必要がある。例えば、Jennings et al.(2011)など。)

赤方偏移歪みは正しく距離を測定する際には邪魔になるが、この効果を逆に利用することで、構造形成の速さ f を測定することができるのである。

3. WiggleZ Dark Energy Survey による線形成長率の測定

WiggleZ とよばれる、オーストラリア天体望遠鏡を用いた大規模赤方偏移サーベイが 2006 年～2011 年に行われた。このサーベイは上述の RSD サーベイと、バリオン音響振動(BAO) のサーベイを目的としており、 $z \sim 0.6$ の比較的遠方の領域で、 1000deg^2 という広い領域をカバーしているのが特徴である。観測は既に終了しており、 $z \sim 0.9$ までの天体約 24 万を分光観測した。

2010 年 5 月までに得られたデータについて赤方偏移歪み効果を用いて、線形成長率を測定した結果が図 3 である。赤線は Λ -CDM モデルによる理論予測を示している。

理論曲線は測定結果をよく再現しており、 Λ -CDM モデルの妥当性を示していると言える。

4. 今後の RSD サーベイ

すばる望遠鏡の分光観測装置 FMOS を用いて $z = 1.2 - 1.6$ の領域で RSD サーベイを行う計画が現在進んでいる (FastSound 計画)。宇宙論サーベイにおいては、なるべく幅広い赤方偏移の範囲でデータ点を得ることが大切であり、この計画が完了すれば、宇宙モデルについてさらに強い制限を加えることができるものと思われる (図 1 参照)。

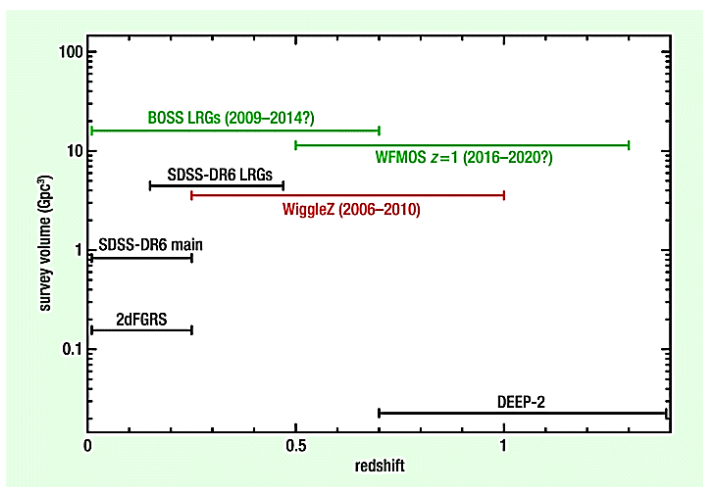


図 3 WiggleZ Survey のカバーする赤方偏移と領域。

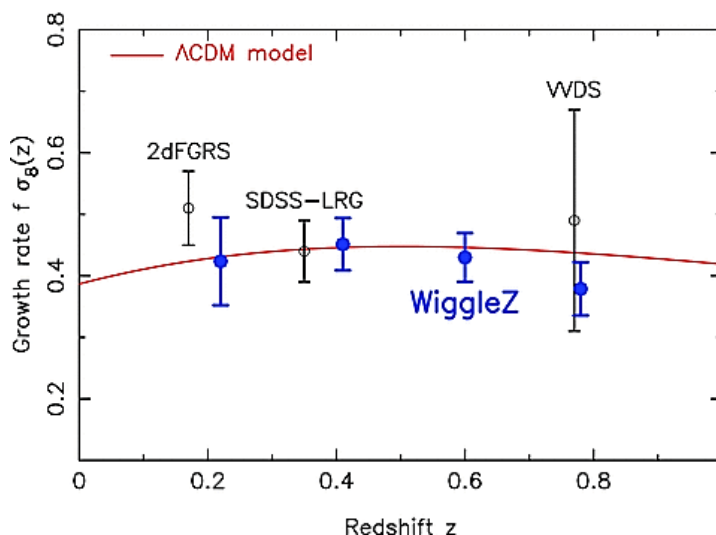


図 4 WiggleZ survey による線形成長率の測定結果。黒の実線は WiggleZ Survey 以前のサーベイ。