



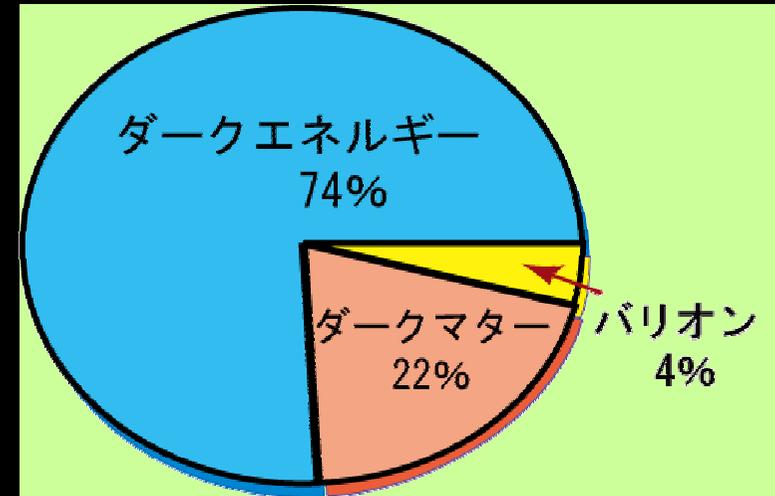
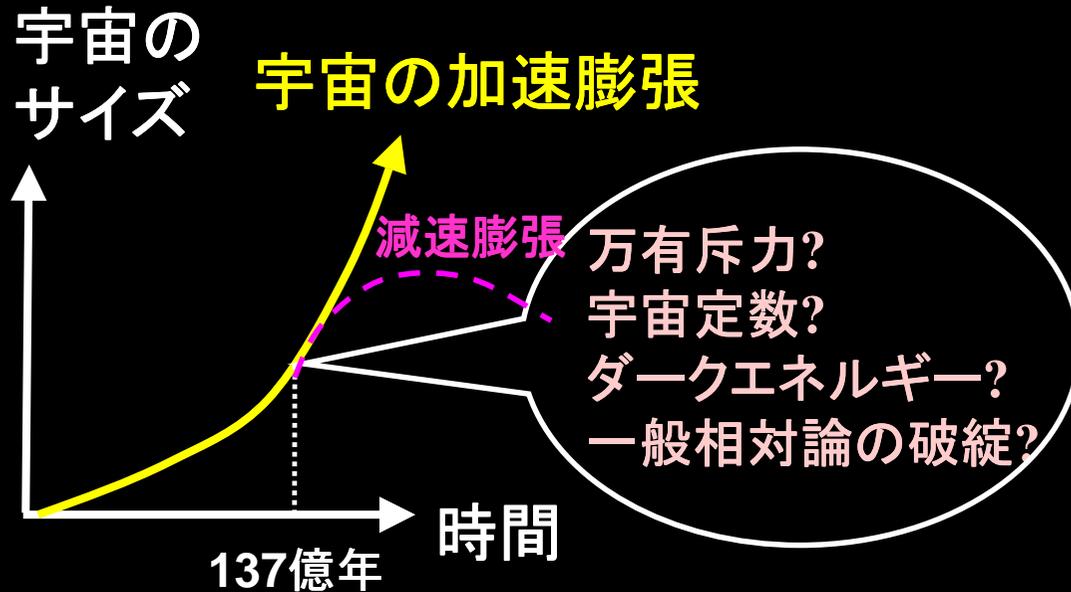
WFMMOSで期待される サイエンス (ダークエネルギー編)



2008年度 光学赤外線天文連絡会 シンポジウム
『地上大型望遠鏡計画:2020年のための決心』
2008年8月22日@国立天文台

東京大学 大学院理学系研究科物理学専攻 須藤 靖

ダークエネルギーと21世紀の物理



- **宇宙の加速膨張の原因は何か？**
 - 万有斥力を及ぼす奇妙な物質(ダークエネルギー)?
 - アインシュタインの宇宙定数(1917年)?
 - 「真空」がもつエネルギー? 21世紀のエーテル?
 - 宇宙論スケールでの一般相対論(重力法則)の破綻
- いずれであろうと**21世紀の物理学を切り拓く鍵**

ダークエネルギーと宇宙の状態方程式

■ 宇宙の状態方程式

- 圧力とエネルギー密度の比が $w \Rightarrow p = w \rho$
- $w=0$: ダークマター、 $w=1/3$: 輻射、 $w=-1$: 宇宙定数

- 相対論ではポアソン方程式は

$$\Delta \phi = 4 \pi G (\rho + 3p) = 4 \pi G \rho (1 + 3w) \quad \text{なので}$$

$$w < -1/3 \Rightarrow \text{万有斥力}$$

- w が時間に依存しなければ $\rho(t) \propto a(t)^{-3(w+1)}$
- $-1 < w < 0$: (一般の)ダークエネルギー
- ここまでくると、 w が定数である理由すらなくなる

$$w = w(t)$$

$w = -1$ or not: that is the question

- 単なるパラメータ化 (物理なし):

$$w(a) = w_0 + w_a(1-a) \quad \text{ここで } a = 1/(1+z)$$

- 宇宙定数 ($w_0 = -1$ & $w_a = 0$) ???
 - $w_a = 0$ or $\neq 0$???
 - $w_0 = -1$ or $\neq -1$???
- まっとうな物理的モデルがほしいところだが、
 - DGP (Dvali-Gabadadze-Porrati) モデルとやらは、おおまかには以下で近似できるらしい

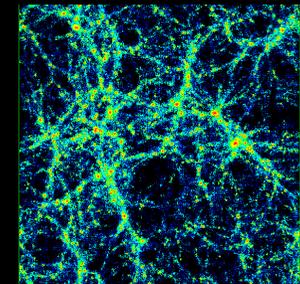
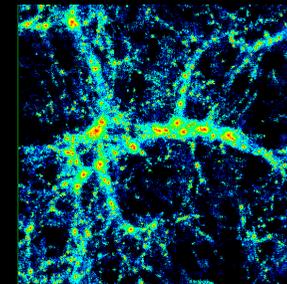
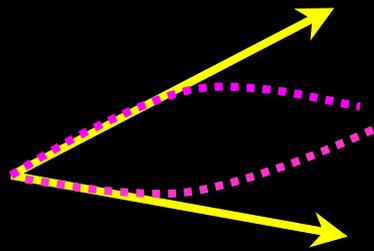
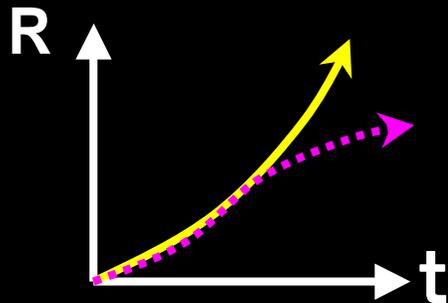
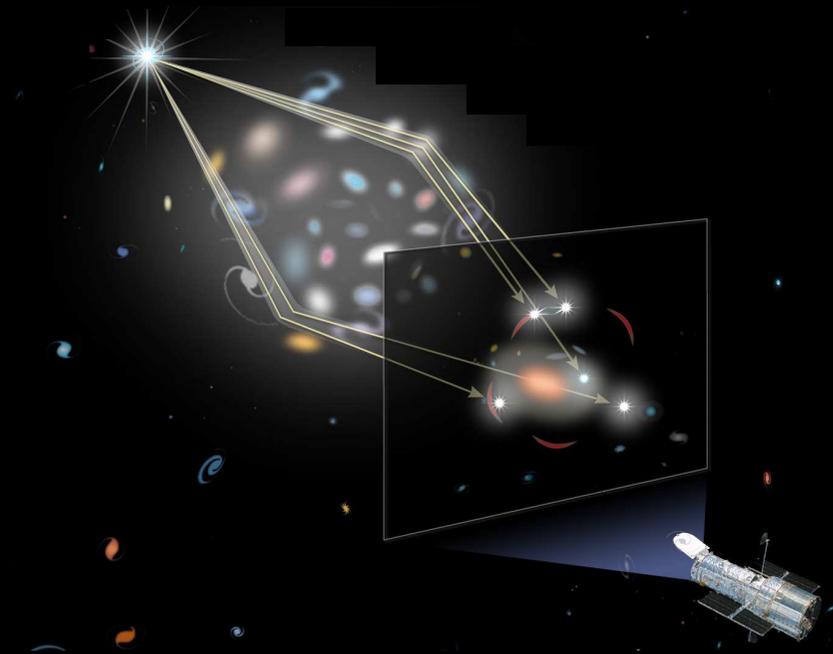
$$w(a) = -\frac{1}{1 + \Omega_m(a)} \quad \text{where} \quad \Omega_m(a) = \frac{\Omega_m}{a^3} \left(\frac{H_0}{H(a)} \right)^2$$

$$\Rightarrow w_0 = -0.78, w_a = 0.32 \quad \text{for} \quad \Omega_m = 0.27$$

重力レンズ \propto (宇宙の幾何) \times (宇宙の構造)

ダークエネルギーの “見え方”

- 宇宙膨張を加速させる
- 宇宙の幾何学を変える
- 宇宙構造の進化を変える
 - 超新星
 - マイクロ波背景輻射
 - 重力レンズ
 - バリオン振動(BAO: Baryon Acoustic Oscillation)



バリオン振動 (BAO)

- 光子流体振動の近似解

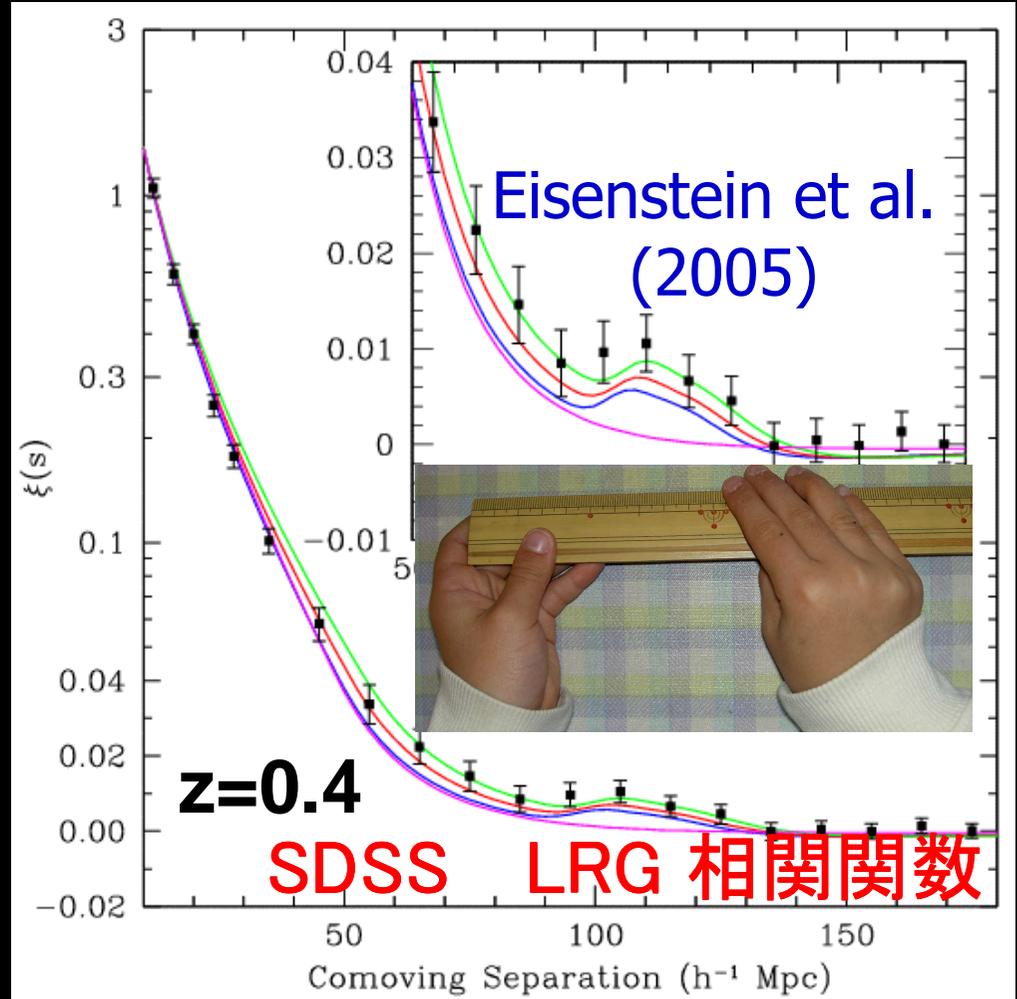
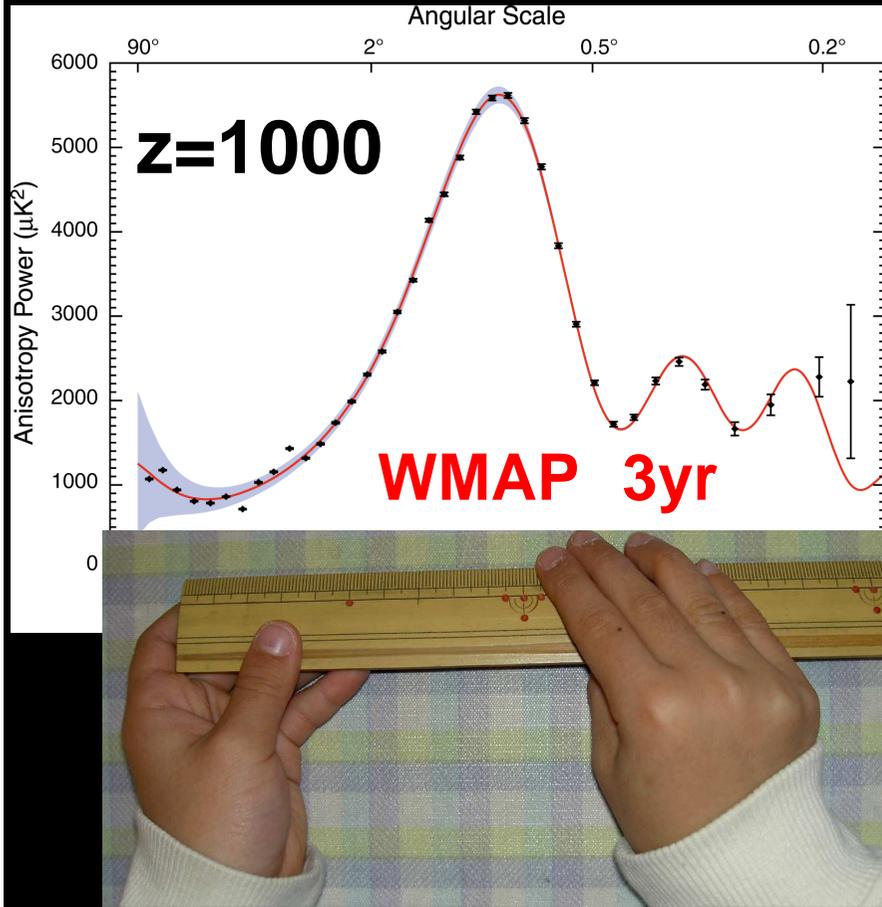
$$\tilde{\Theta}_0(k, \eta) \approx A(k) \cos[kr_s(\eta)]$$

- トムソン散乱を通じて、光子振動が脱結合時のバリオン密度揺らぎに振動成分を付け加える

$$\tilde{\delta}_{baryon}(k, \eta_{dec}) \approx \underbrace{\tilde{\delta}_{baryon,0}(k, \eta_{dec})}_{\text{振動なし}} - \underbrace{\varepsilon(k) \sin[kr_s(\eta_{dec})]}_{\text{振動モード}}$$

- その後、重力を通じてバリオン振動が、全物質 (CDM+バリオン) の密度ゆらぎスペクトルに振動成分の痕跡を残す

CMBとバリオン振動(BAO)

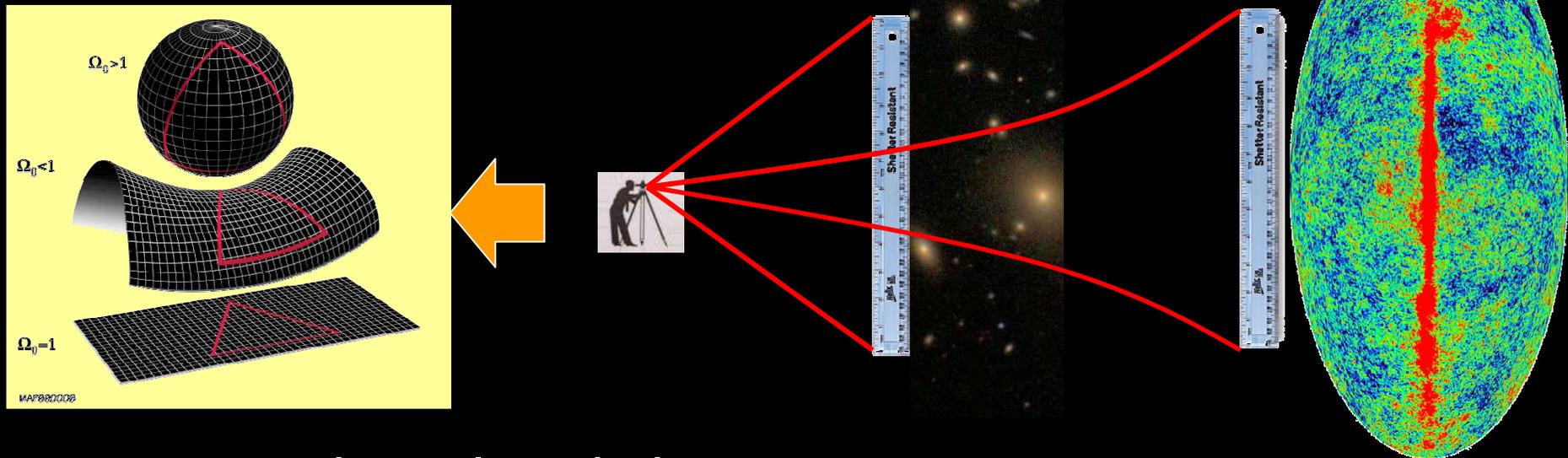


$$147 \left(\frac{0.13}{\Omega_m h^2} \right)^{0.25} \left(\frac{0.024}{\Omega_b h^2} \right)^{0.08} \text{ Mpc}$$

標準ものさしとしてのBAO

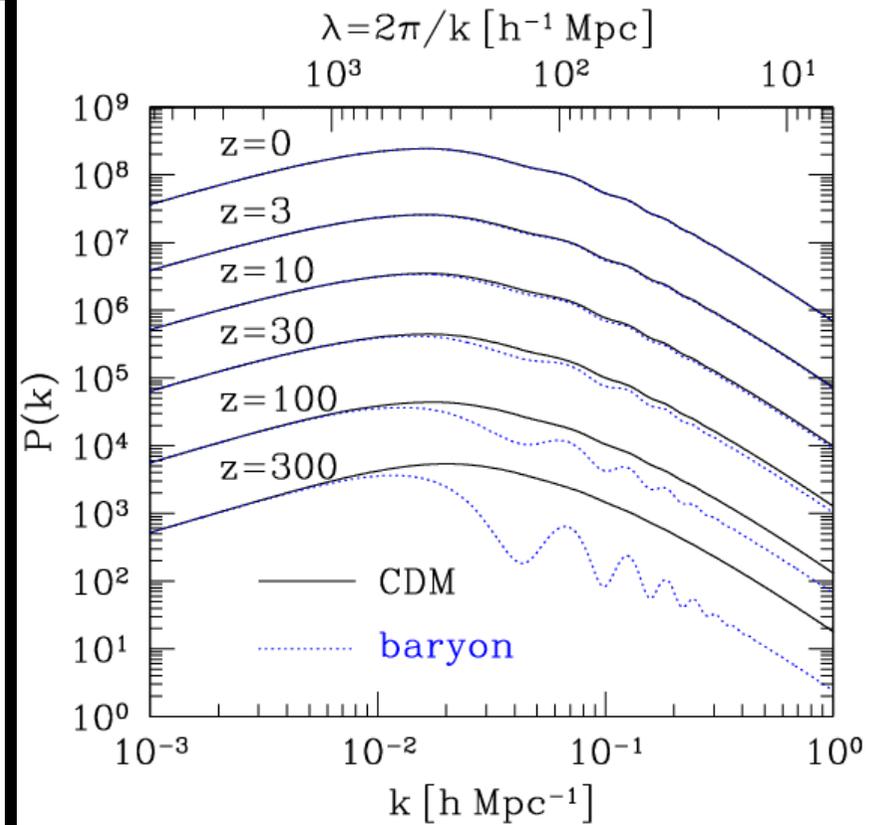
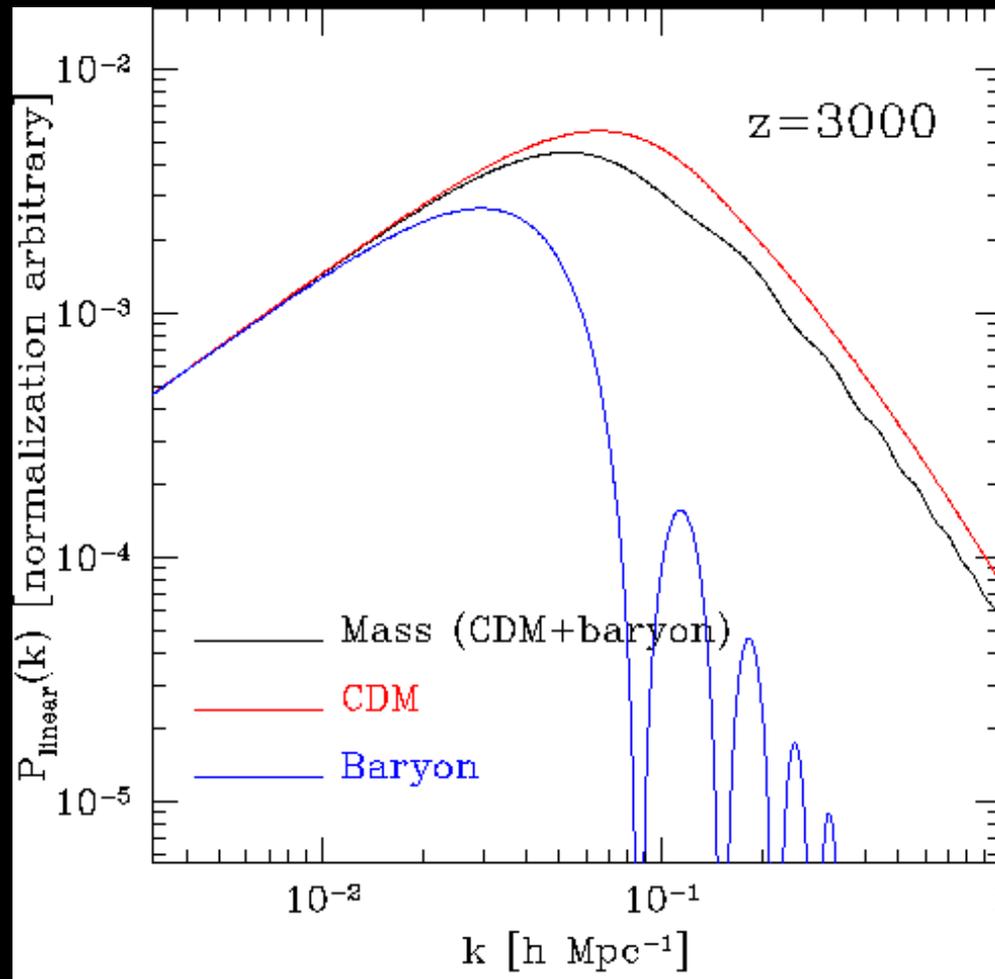
$$r_s = 147(0.13/\Omega_m h^2)^{0.25} (0.024/\Omega_b h^2)^{0.08} \text{ Mpc}$$

- 異なる時刻の宇宙までの距離を測定
- 観測的にダークエネルギーを制限する有力な方法



Picture credit: Bob Nichol

バリオン振動と3Dパワースペクトルの進化



CMBFAST/CAMBによる
結果 (東大:樽家篤史、
西道啓博)

WF MOSの概略

■ 方法:

- 多天体ファイバー分光器@すばる主焦点
- FoV1.5度内に約4000本のファイバー

■ 目的:

- $z=1\sim 3$ の銀河サーベイによる宇宙論、特にバリオン振動を用いたダークエネルギーパラメータの決定
- 銀河系の星のサーベイで銀河系形成史を再構築

■ 国際競争力:

- 8m望遠鏡、主焦点、多天体分光サーベイ、という3つの特徴を兼ねそなえた他に類をみないプロジェクト

WF MOS: ダークエネルギーの探求

- 4000天体分光器による赤方偏移サーベイ
 - $0.5 < z < 1.3$: emission line galaxies
 - 2×10^6 個/2000平方度 \Rightarrow 1400ポイントング (900時間)
 - $2.3 < z < 3.3$: Lyman-break galaxies
 - 6×10^5 個/300平方度 \Rightarrow 200ポイントング (800時間)
- 銀河空間分布のバリオン振動スケールを決定し、 $H(z)$, $D_A(z)$ を $< 1\%$ レベルで決定
 - CMB、超新星、重力レンズ、銀河団と相補的
- w を $\pm 3\%$ の精度で決定
 - \Rightarrow ダークエネルギーを観測的に絞り込む

研究体制

- 現在、Hyper-Suprime Camに参加している常勤研究者約30名@国立天文台、東京大学、東北大学、名古屋大学、広島大学+台湾+プリンストン大学
- Gemini 天文台連合(アメリカ、カナダ、イギリス?、オーストラリア、ブラジル、など)
- 理論および観測関係の国内研究者は十分確保できる
- 分光器開発にどのようにかかわっていくかは今後検討すべき大きな課題
- 国内外で大きな期待がよせられているのは事実



COSMOLOGY NEAR & FAR: SCIENCE WITH WFMOS

2008年5月19日~21日@コナ 参加者約85名(うち日本人約40名)



年次計画

- 2009年5月： 国立天文台とGemini共催の国際会議@京都で、日本側のYes/Noを伝える
 - 2009年3月： WFMOS概念設計レビュー
 - 2009年1月： すばるユーザーズミーティングをめぐりにコミュニティーの意見を集約する必要あり
 - If Yes, 直ちに日本WFMOSグループの正式立ち上げ
- 2016年をめぐりにハードウェアを完成
- 2018年から(300–500)晩/(5年間)のサーベイを開始(すばる戦略プログラム+Gemini望遠鏡とのシェアプログラム)

特記すべき点

- 「10年後」にすばるが何を指すのかを熟慮して、早急に何らかの決断をすべき
 - でないと結局は時機を逸してしまう
 - 30m望遠鏡時代における「one of 8m望遠鏡s」の役割という視点
- 多天体分光器は有望な選択肢
 - 日本は銀河観測と宇宙論理論の研究者層が厚い
 - 物理学コミュニティからのサポートの強さ
 - HSCが建設中である現在、科学的+建設コストの観点からの相乗効果も大きく、すばるの特色を最大限に生かせる
- 10年後の天文学の予期できぬ進展にも対応できる普遍性
 - 2008年現在、ダークエネルギーと銀河考古学は旬のテーマ
 - しかしこれらに決して特化する必要はない
 - 多天体分光サーベイは天文学の王道の一つ

(質疑応答 — Q:質問, A:回答, C:コメント — 氏名無しは発表者の発言, 敬称略)

(Q) 京都会議で WFMOS 受け入れの yes/no を議論するのか？京都会議は WFMOS 受け入れの可否を伝えるための場所ではない。 (太田)

(A) 京都会議はコミュニティとしての決心の deadline だと考えている。意見の集約は 2009 年 1 月のすばる UM で行うべきだろう。

(Q) WFMOS がすばるについている間、交換で時間が得られた Gemini に取り付ける観測機器を考える必要があるのではないか？ (青木け)

(A) 2009 年 1 月までに、300 晩をどうするかは考える必要がある。 (高見)

(A) Gemini には、WFMOS の代わりに時間を compensate するように交渉する予定。今の Gemini とすばるの time exchange がうまく行っていないことが気にかかる。 (本原)