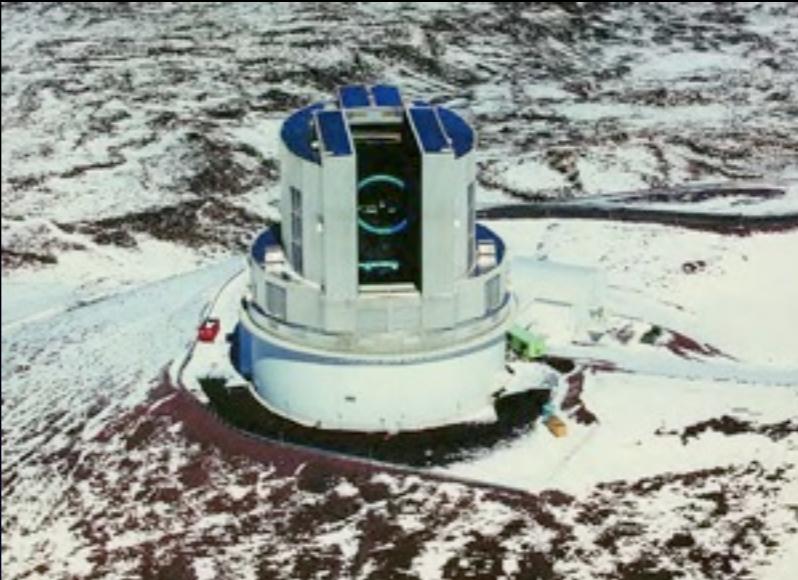




INSTITUTE FOR THE PHYSICS AND
MATHEMATICS OF THE UNIVERSE



東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO

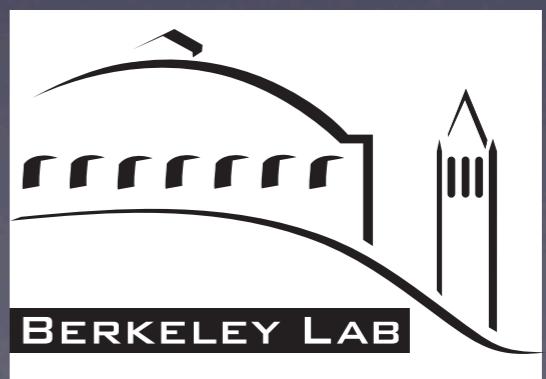


暗黒エネルギーとすばる

村山 齊

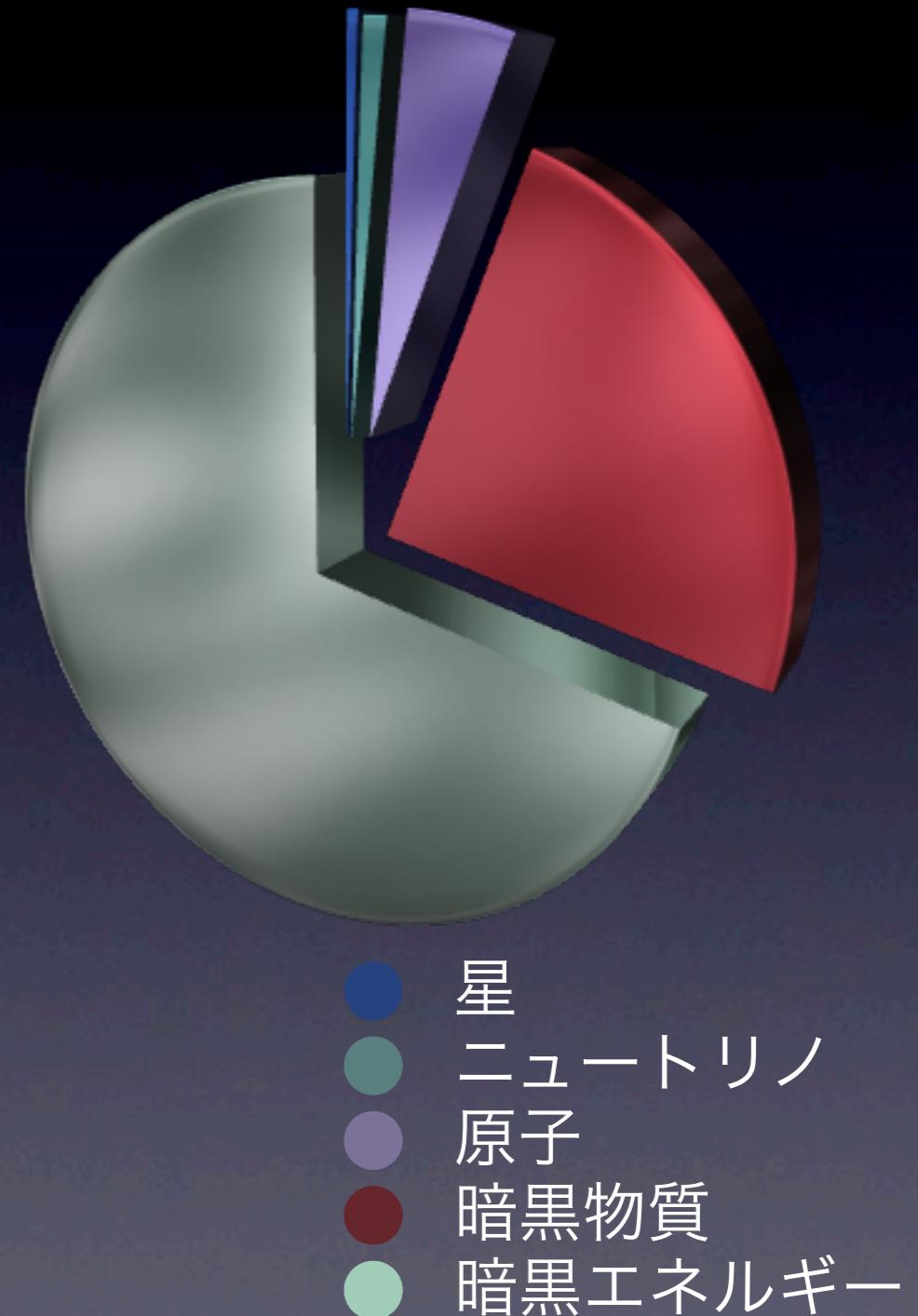
(東京大学数物連携宇宙研究機構、UC Berkeley)

2010年4月10日高エネルギー将来計画検討小委員会



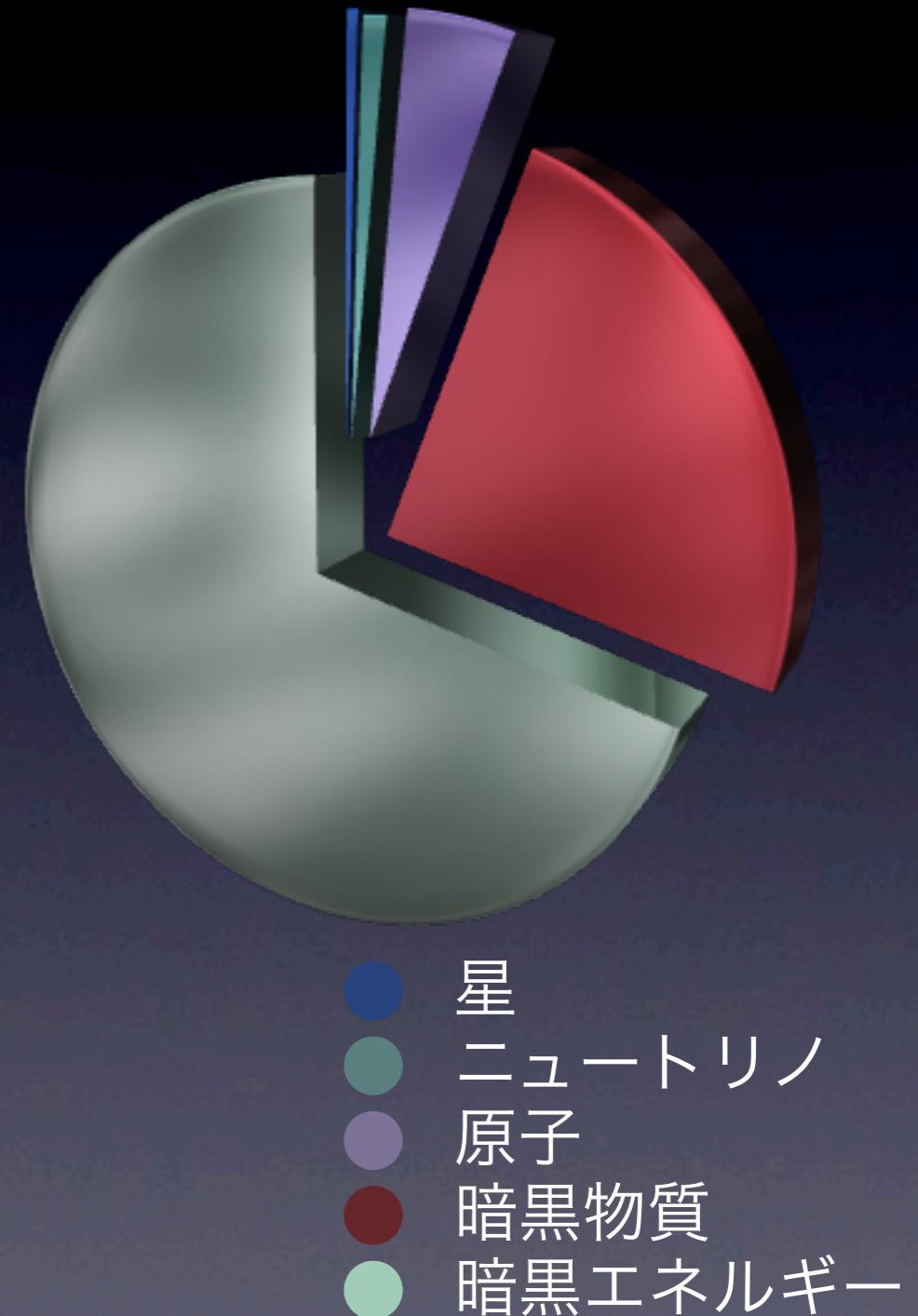
エネルギーの内訳

- 星と銀河はたったの ~0.5%
- ニュートリノ ~0.1-1.5%
- 普通の物質（原子） 4.5%
- 暗黒物質 22%
- 暗黒エネルギー 74%
- 反物質 0%

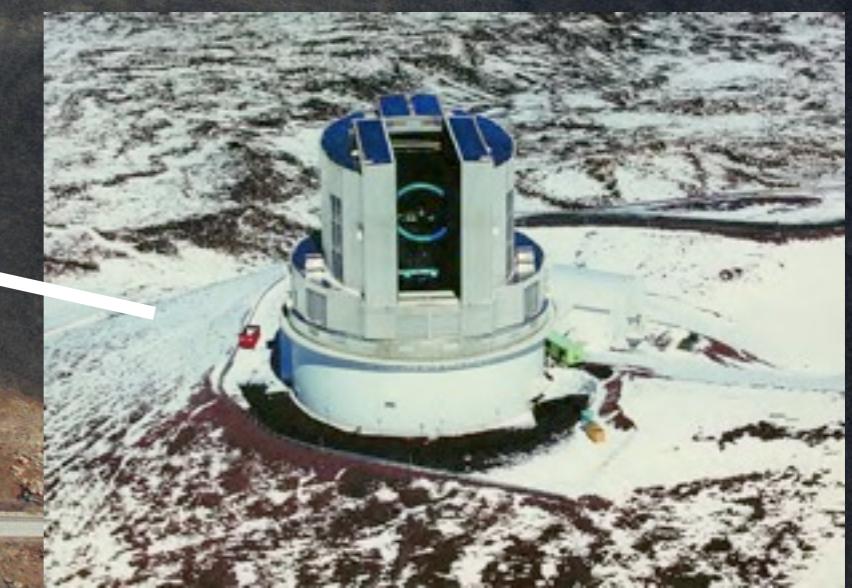
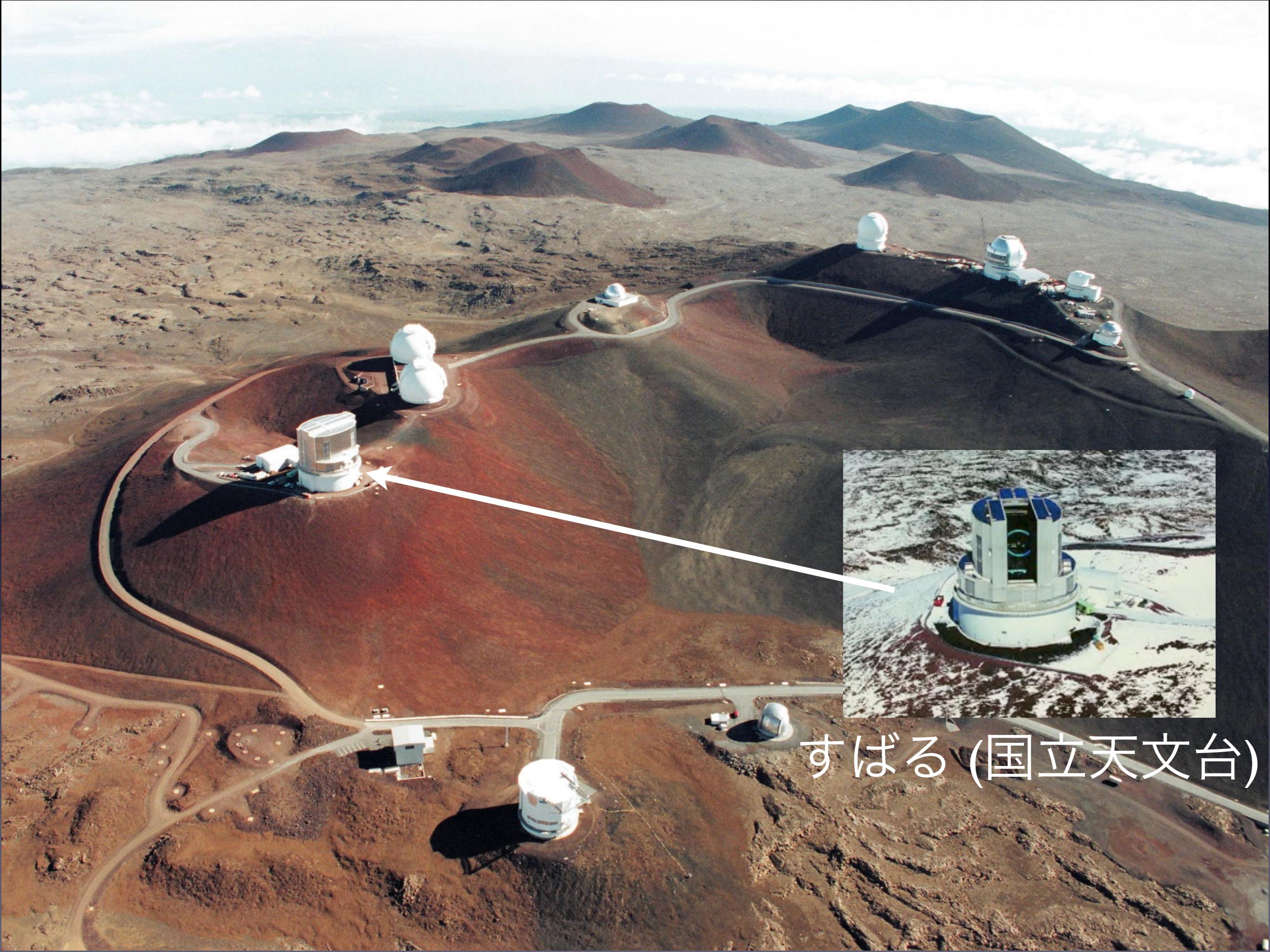


エネルギーの内訳

- 星と銀河はたったの ~0.5%
- ニュートリノ ~0.1-1.5%
- 普通の物質（原子） 4.5%
- 暗黒物質 22%
- 暗黒エネルギー 74%
- 反物質 0%







すばる(国立天文台)

Cameras & Spectrographs

IRCS (AO188)
Infrared imager and spectrograph ($\lambda/\Delta\lambda=20,000$)

HiCIAO (AO188)
Coronagraphic imager with differential imaging techniques

AO188
188-element curvature sensing adaptive optics system with a laser guide star capability

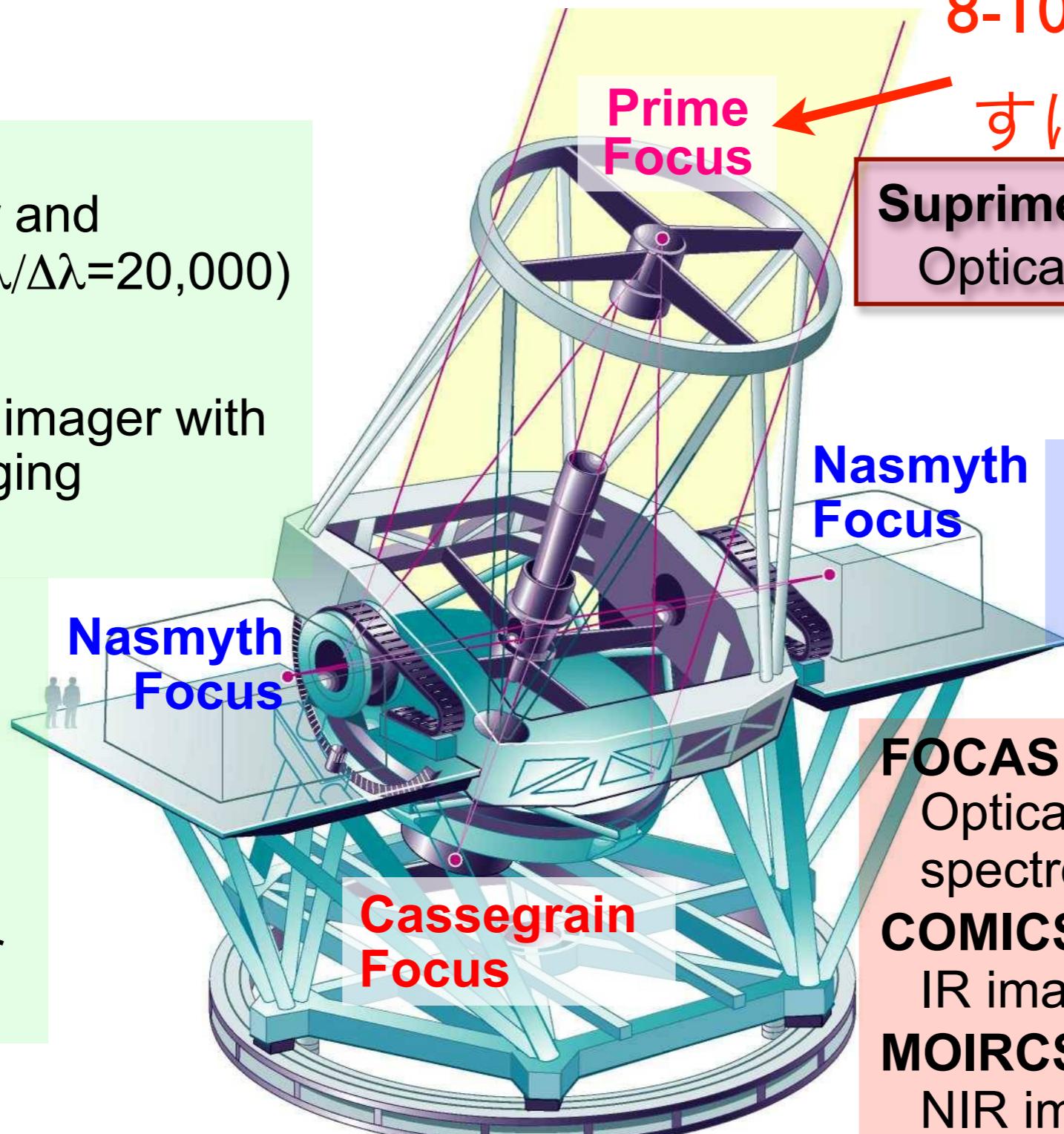


Illustration by Takaetsu Endo,
taken from Nikkei Science 1996

8-10m classで

すばるだけ

Suprime-Cam
Optical imager ($34' \times 27'$)

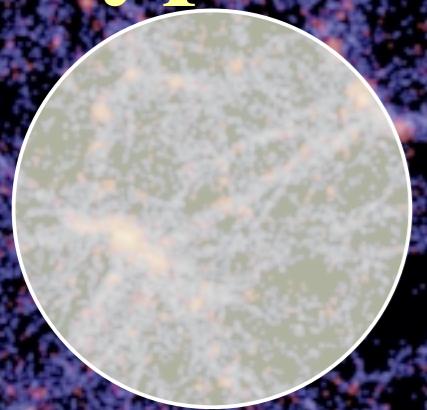
HDS
Optical spectrograph
($\lambda/\Delta\lambda=100,000$)

FOCAS
Optical imager and spectrograph

COMICS
IR imager and spectrograph

MOIRCS
NIR imager ($7' \times 4'$) and multi-object (50) spectrograph

Hyper-SC



SC



■
Other 8m Tels

~100Mpc(~300M light year)@z~0.5~5deg

大規模構造を見るには

広視野が必要

宇宙の歴史を見るには

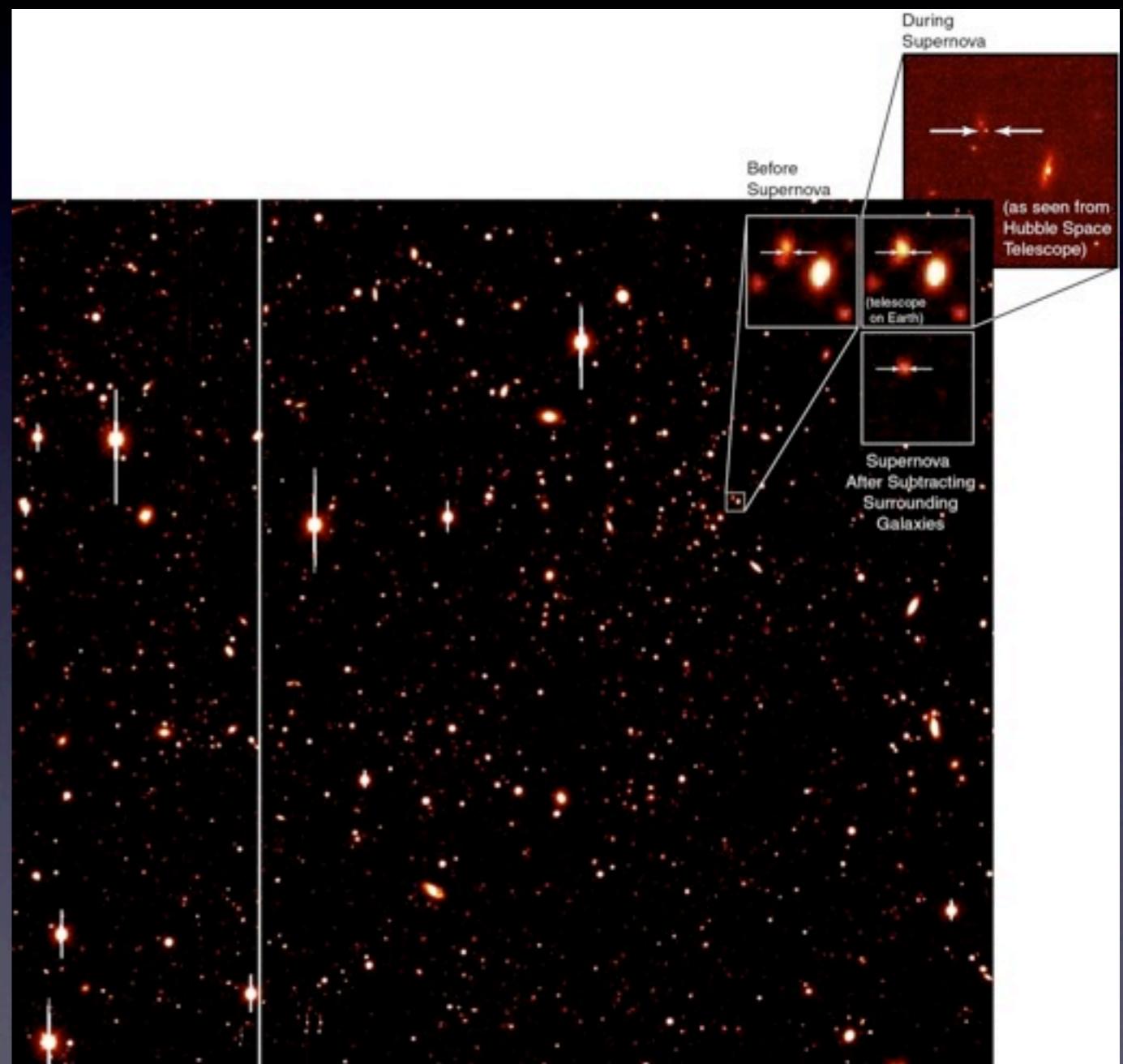
深く見られる大口径が必要

宇宙の暗黒面を探るのに

最適な望遠鏡

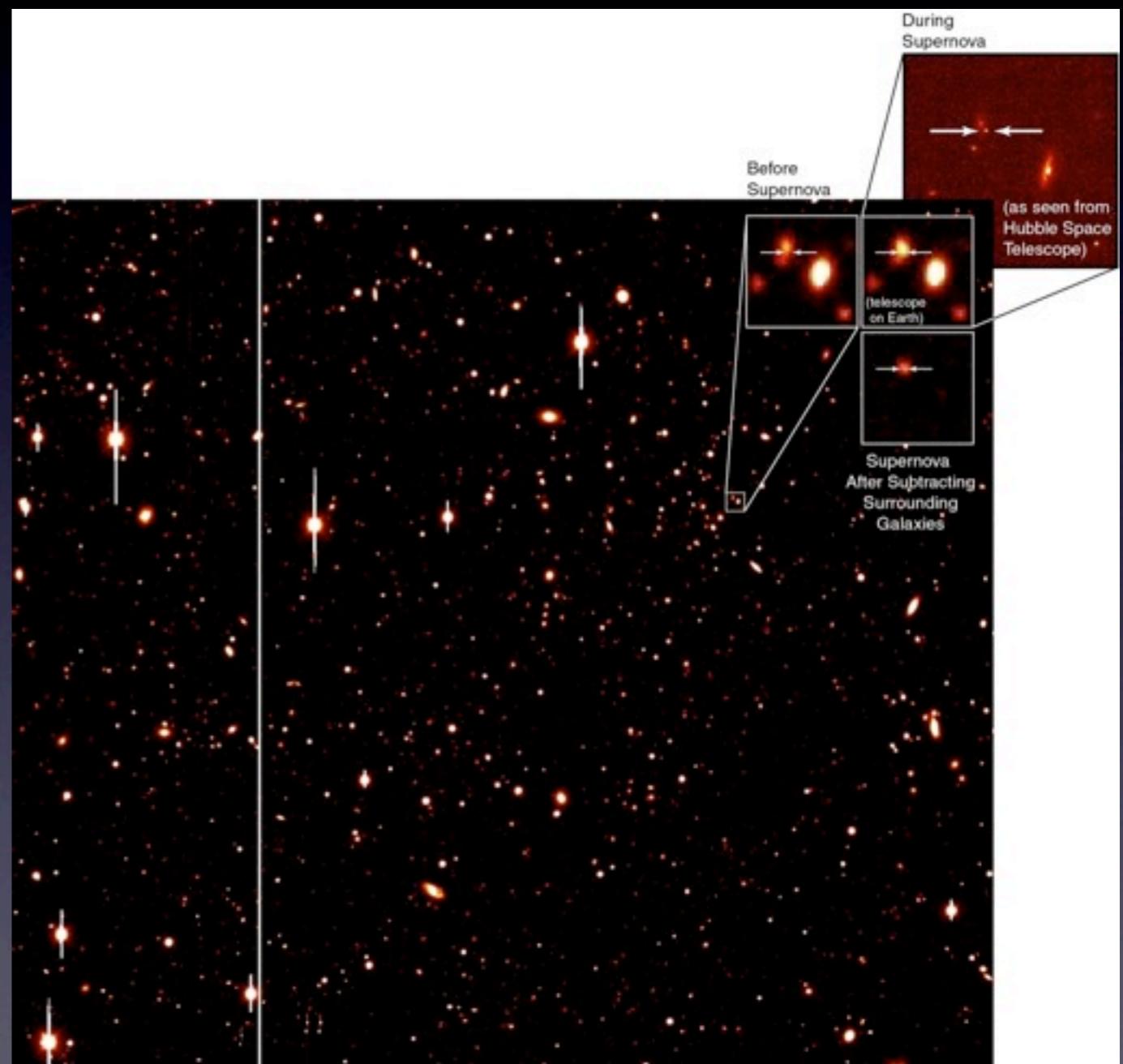
暗黒エネルギーの 発見

Ia型超新星



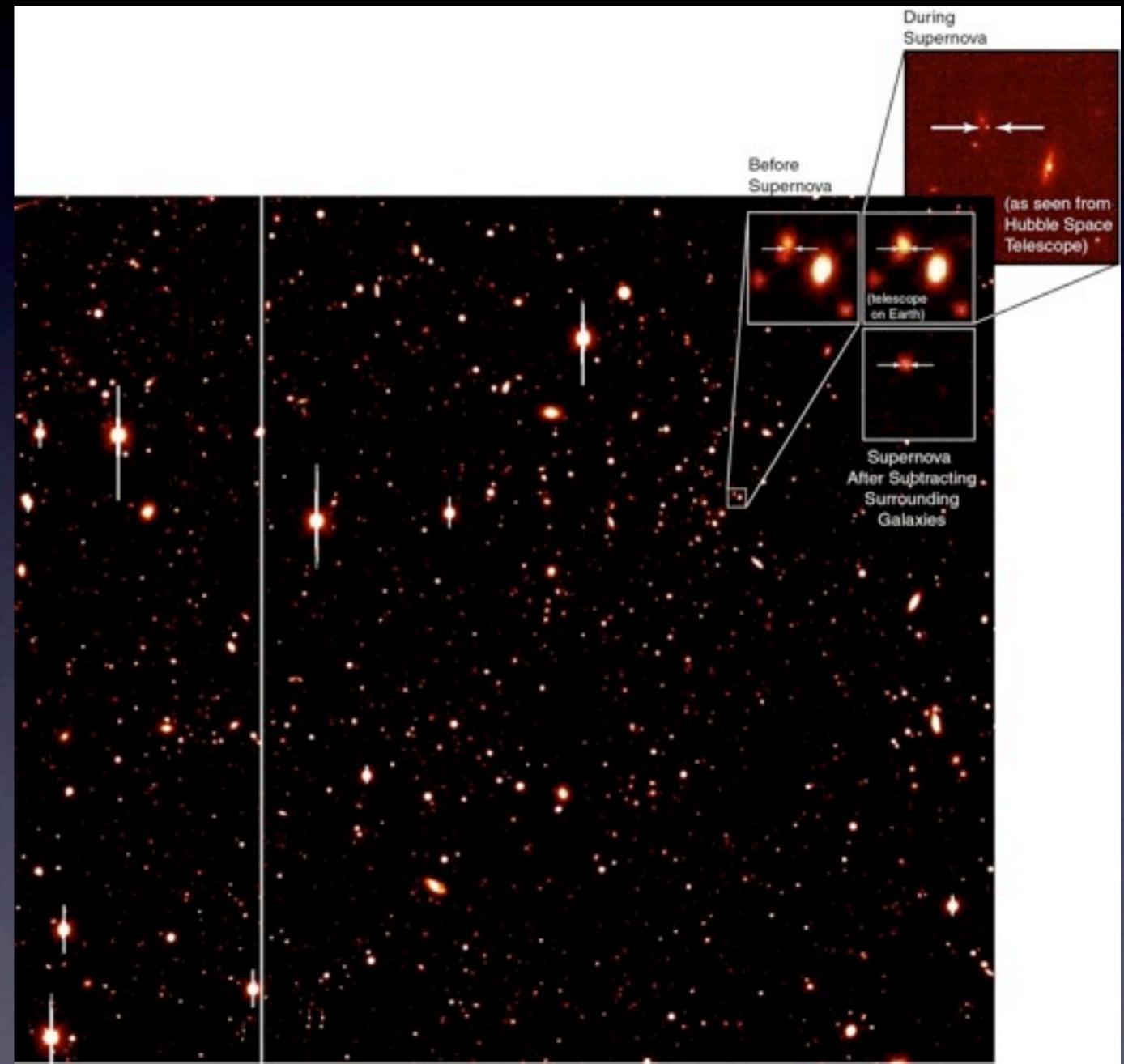
Ia型超新星

- Ia型超新星は星が銀河全体よりも明るくなる



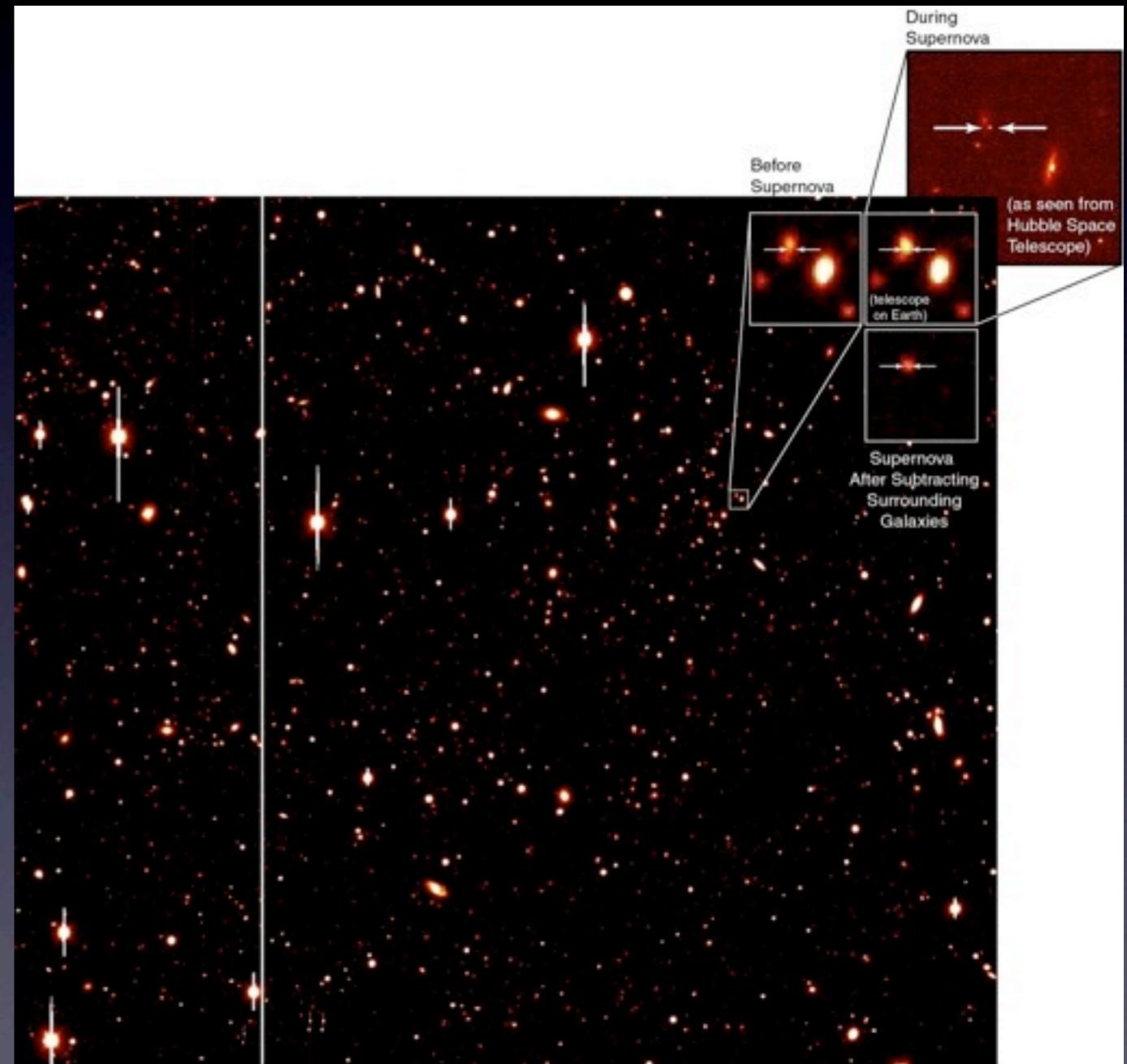
Ia型超新星

- Ia型超新星は星が銀河全体よりも明るくなる
- 本当の明るさを知っている



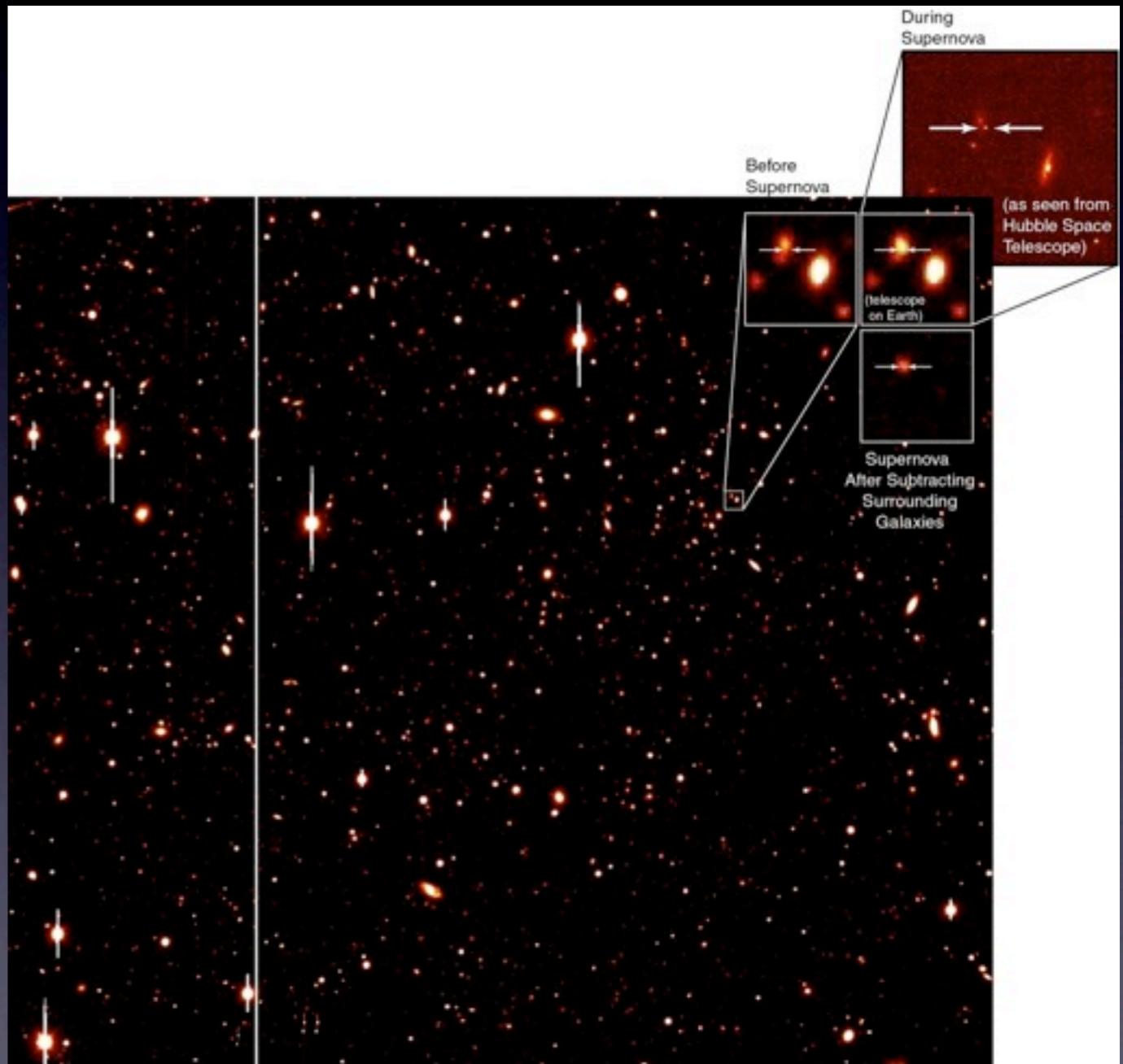
Ia型超新星

- Ia型超新星は星が銀河全体よりも明るくなる
- 本当の明るさを知っている
- どれだけ明るく見えるか
⇒ 距離（時間）



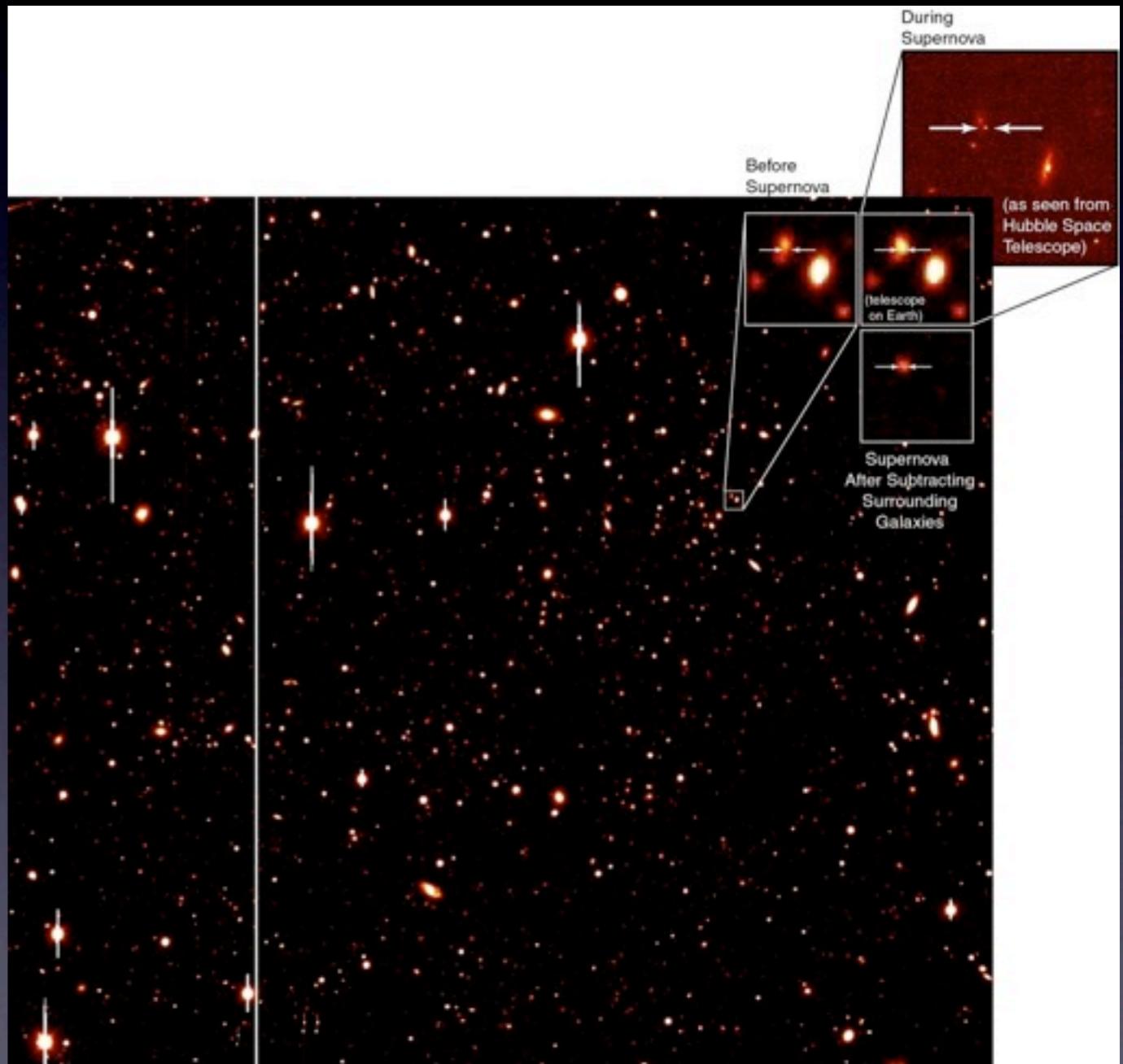
Ia型超新星

- Ia型超新星は星が銀河全体よりも明るくなる
- 本当の明るさを知っている
- どれだけ明るく見えるか
⇒ 距離（時間）
- どれだけ赤く見えるか
⇒ 宇宙の膨張

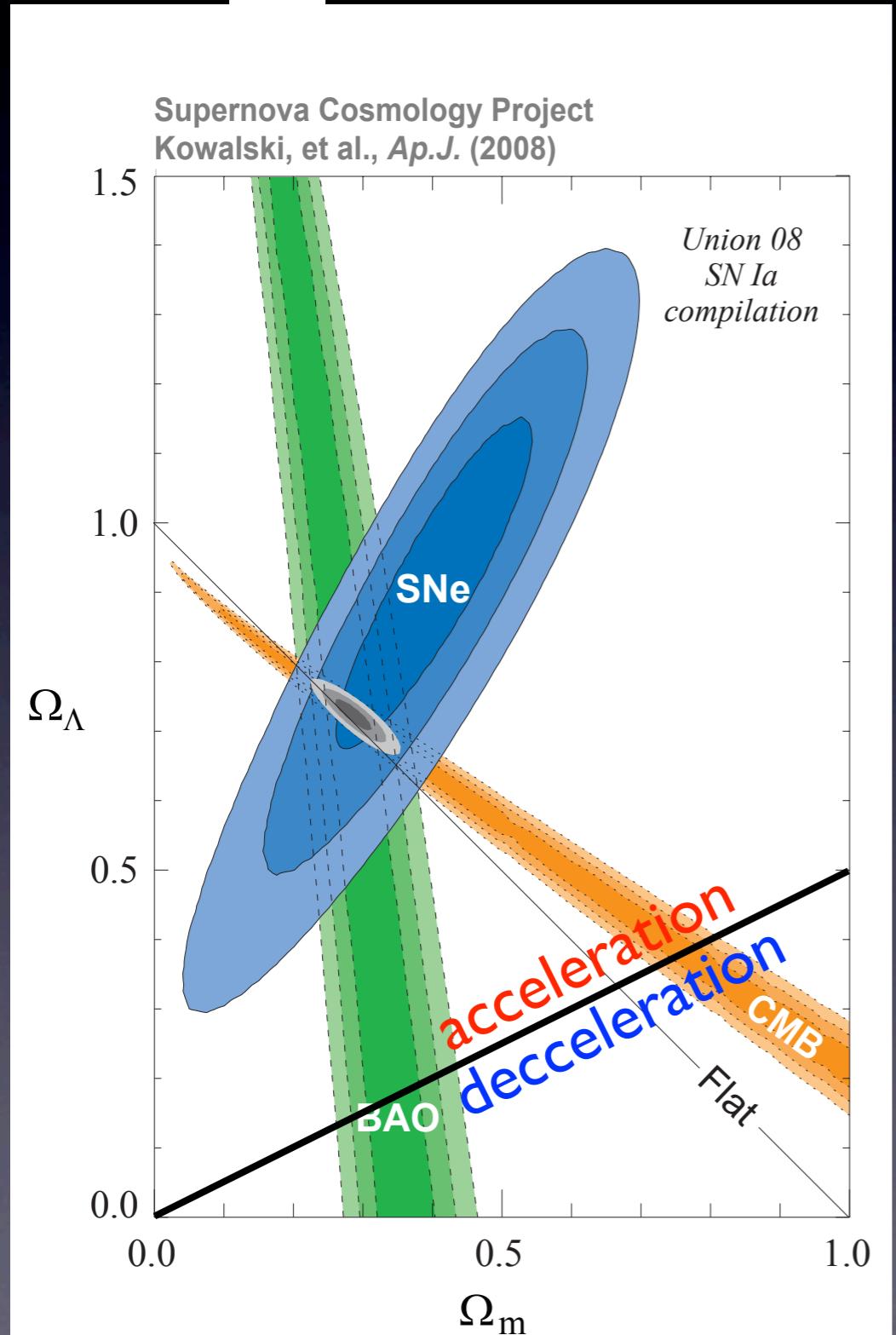


Ia型超新星

- Ia型超新星は星が銀河全体よりも明るくなる
- 本当の明るさを知っている
- どれだけ明るく見えるか
⇒ 距離（時間）
- どれだけ赤く見えるか
⇒ 宇宙の膨張
- 宇宙の膨張し方はどんどん速くなっている！



加速宇宙



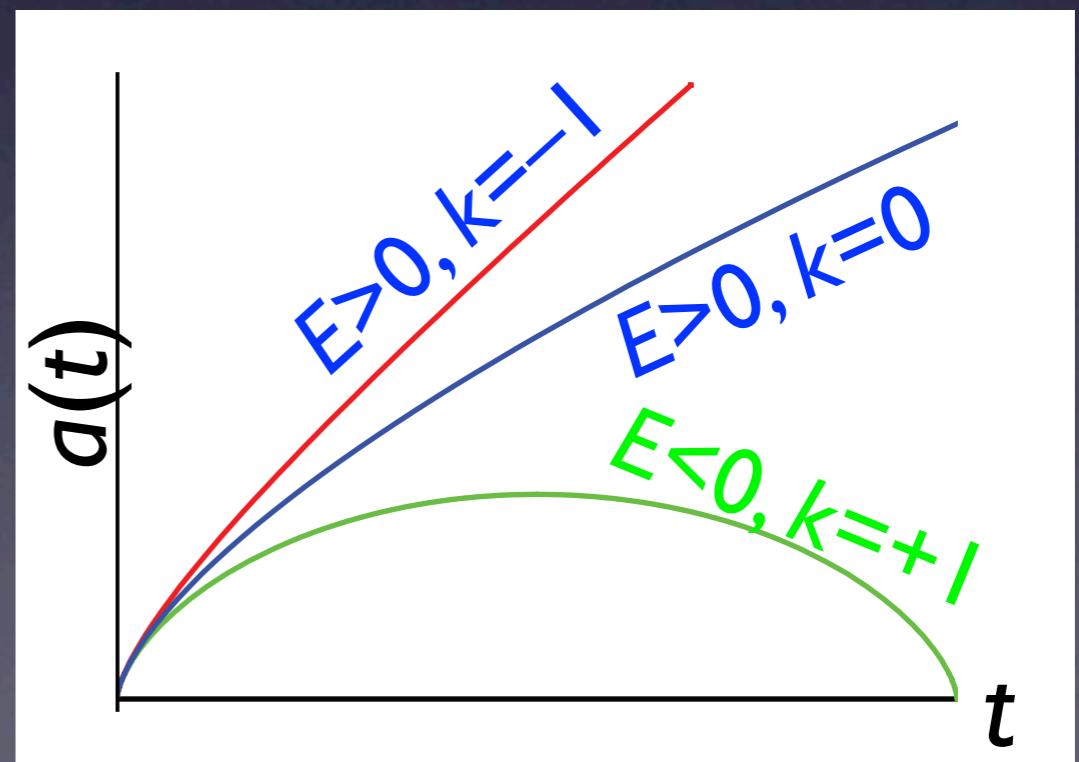
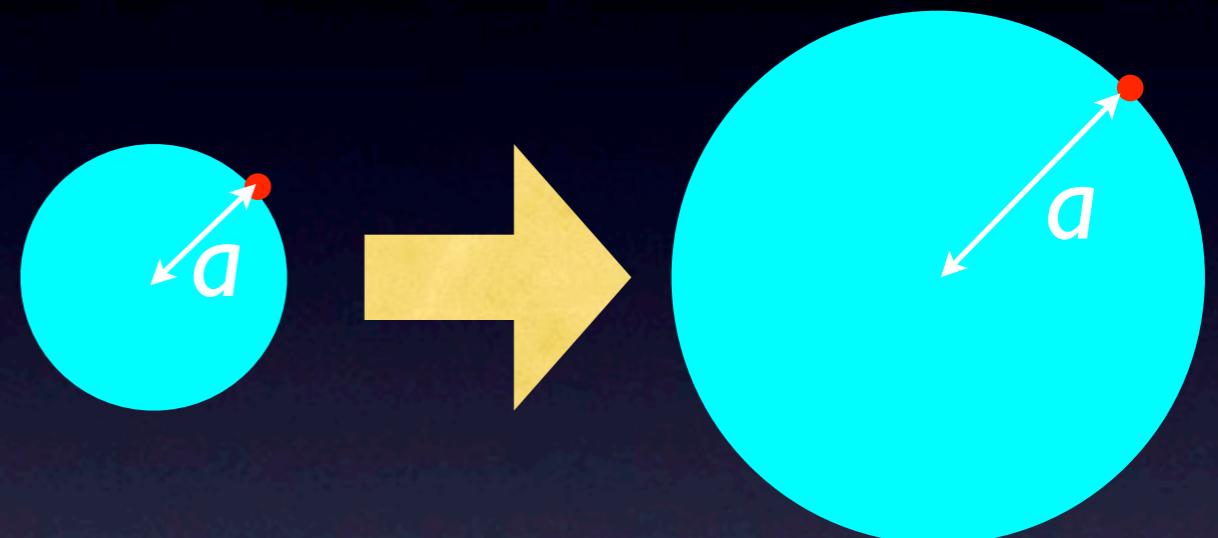
- アインシュタイン方程式：
宇宙の広がり方の速さはどれだけ
エネルギーがあるかで決まる
- 宇宙が広がってエネルギーが薄ま
ると、遅くなるはず
- でも速くなっている？？？
- 宇宙が広がっても薄まらない不思
議なもので満ちている
- 何だかわからない
- 「暗黒エネルギー」

学校で習った宇宙膨張

$$E = \frac{1}{2}m\dot{a}^2 - \frac{G_N m}{a} \frac{4\pi}{3} a^3 \rho_m$$

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi}{3} G_N \rho_m - \frac{k}{a^2}$$

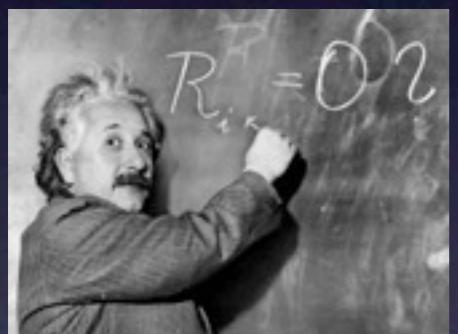
- 三つの運命
- 全て減速膨張



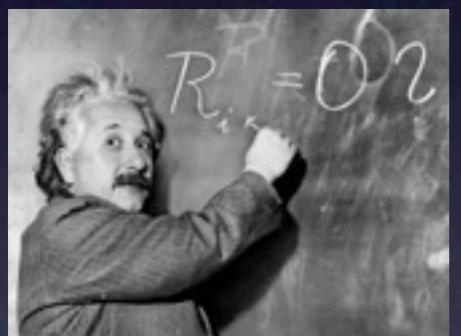
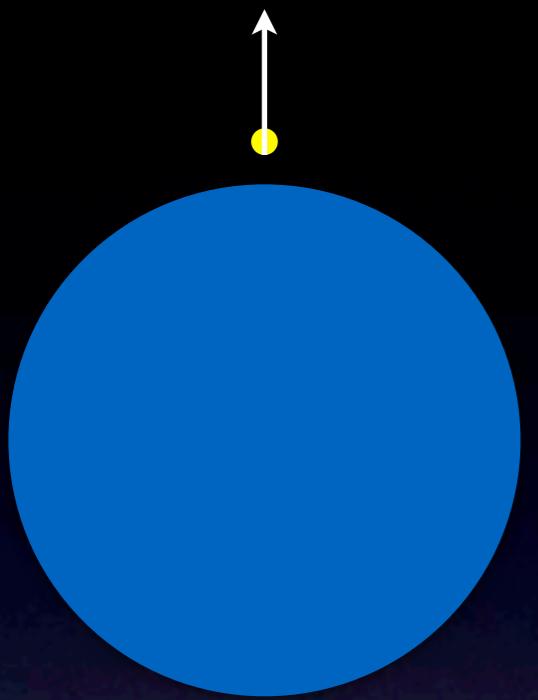
宇宙膨張



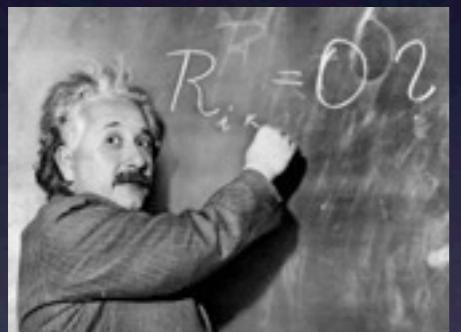
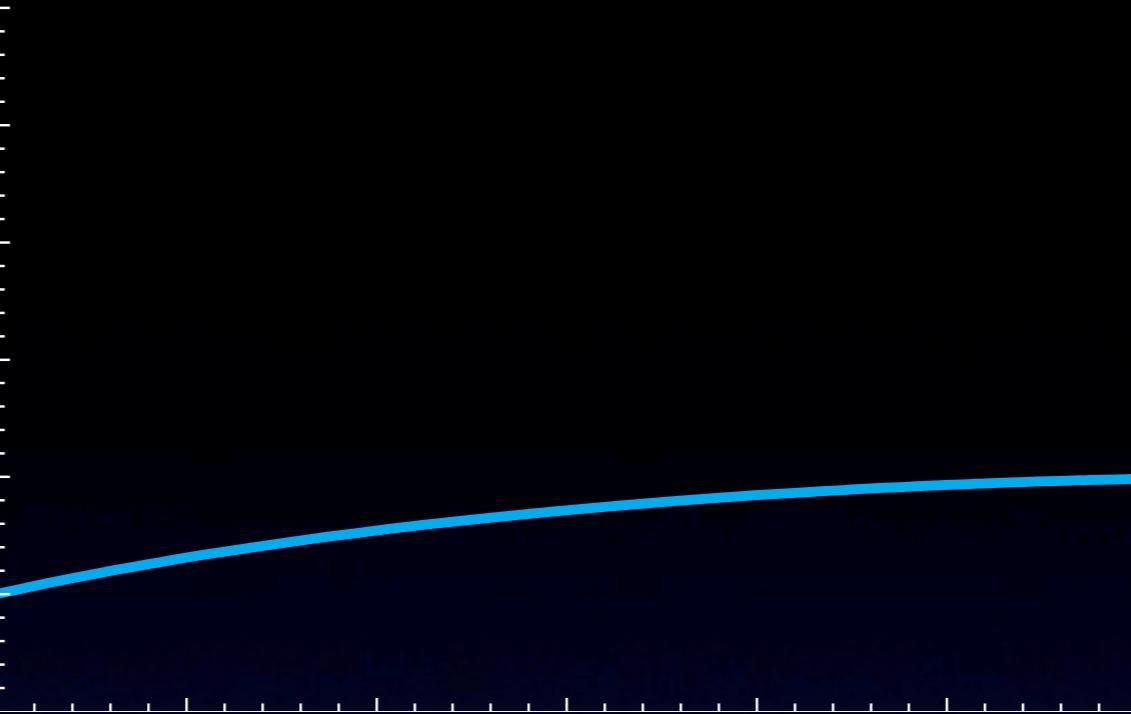
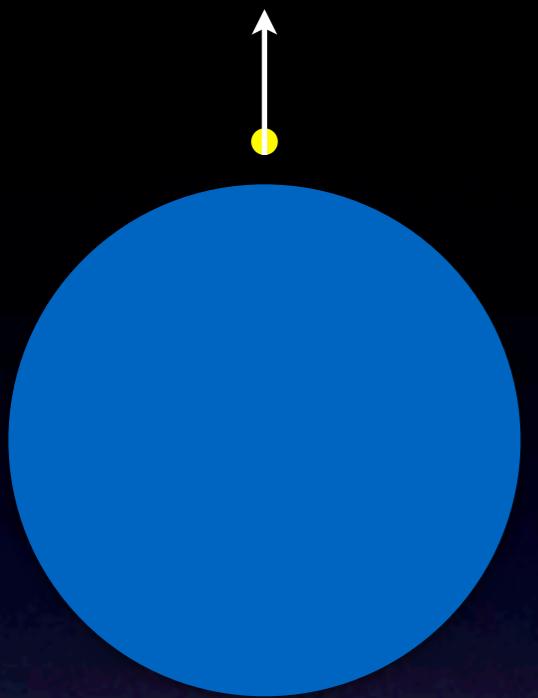
宇宙膨張



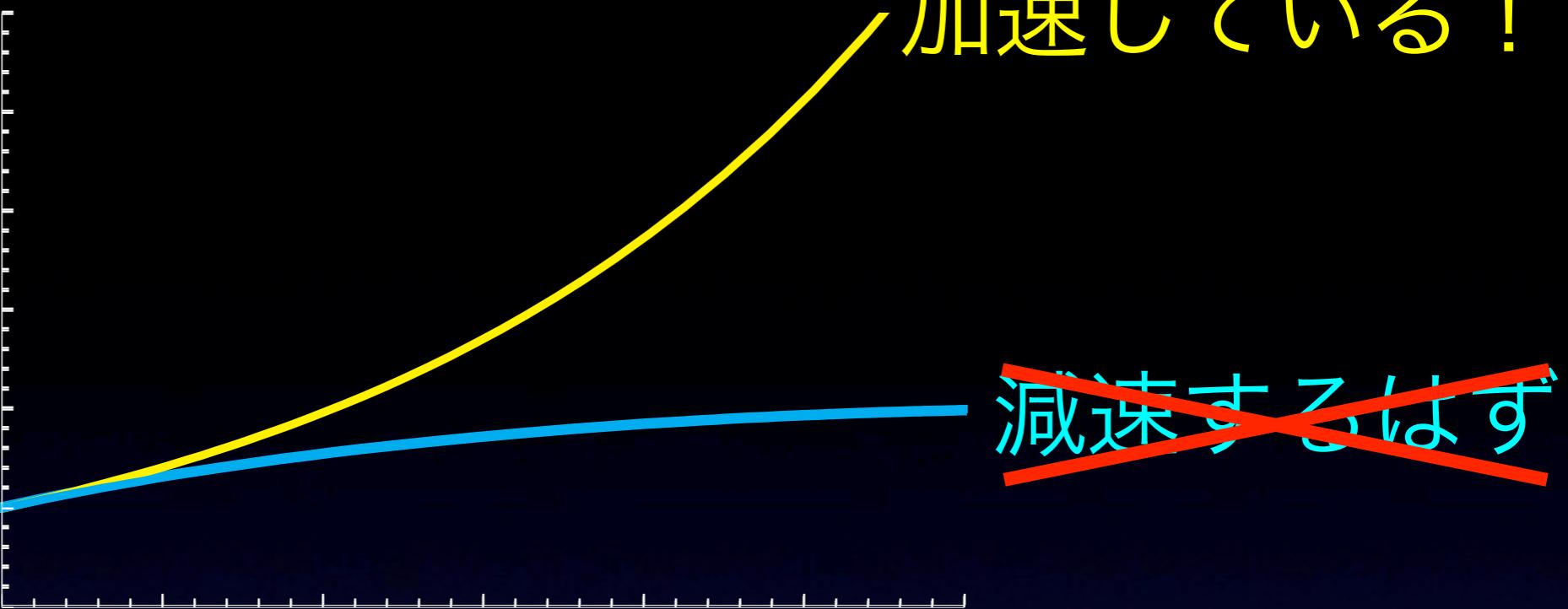
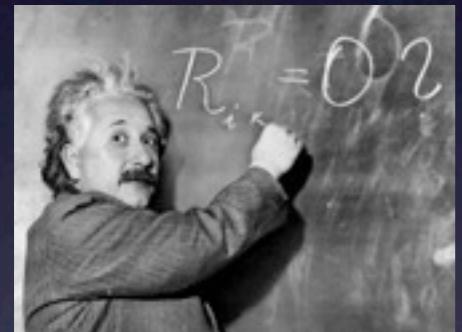
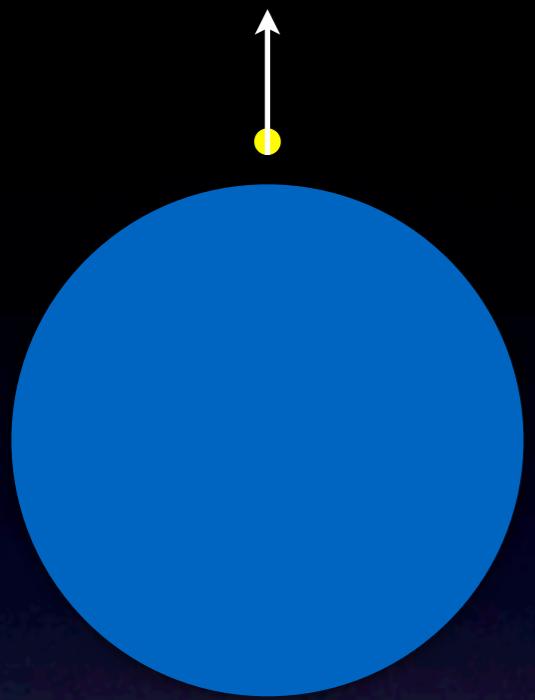
宇宙膨張



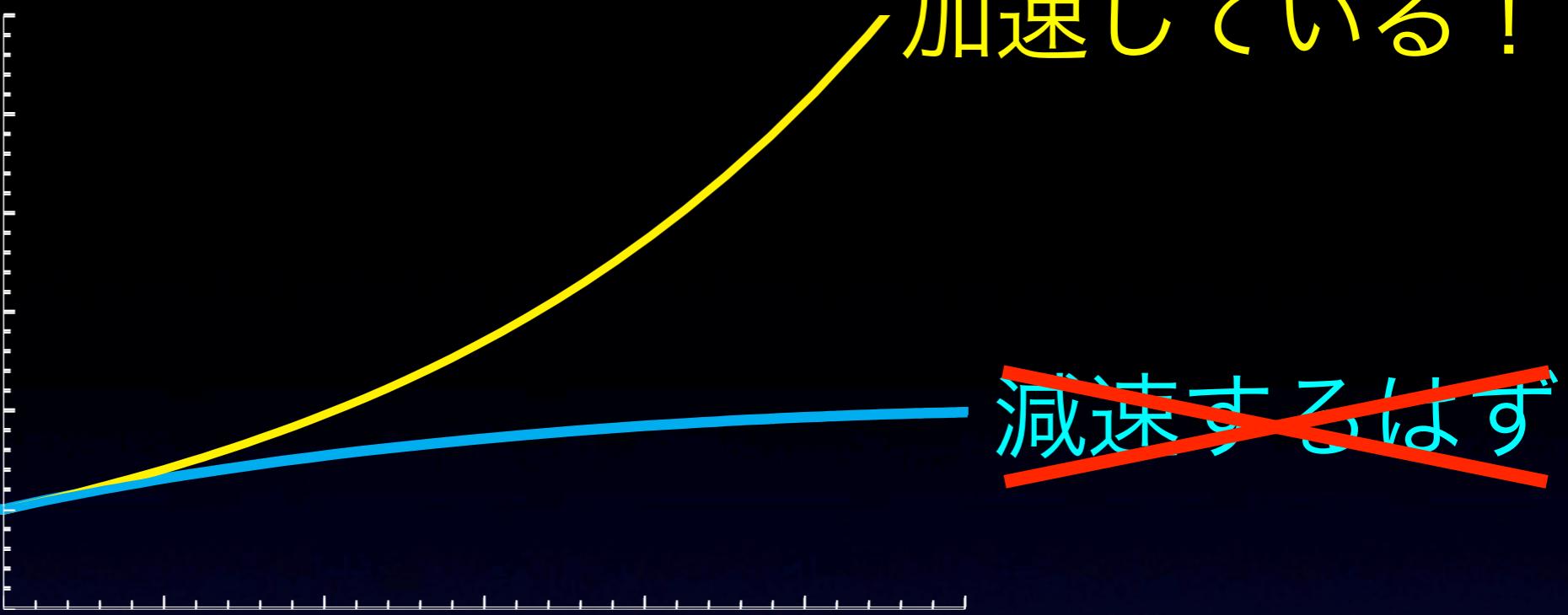
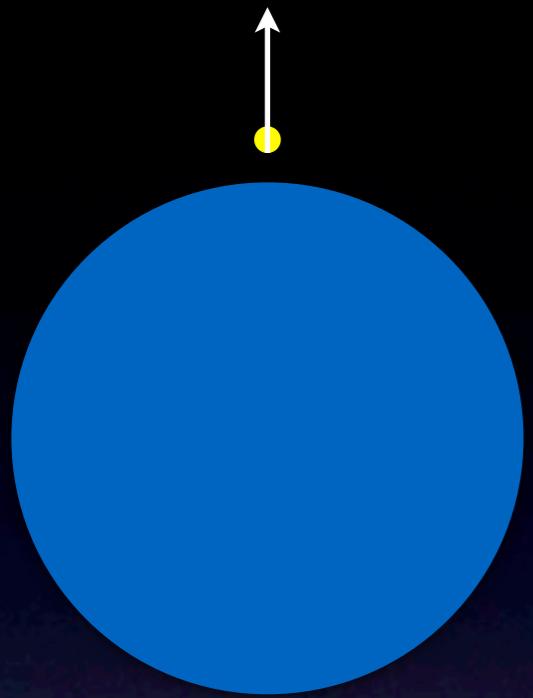
宇宙膨張



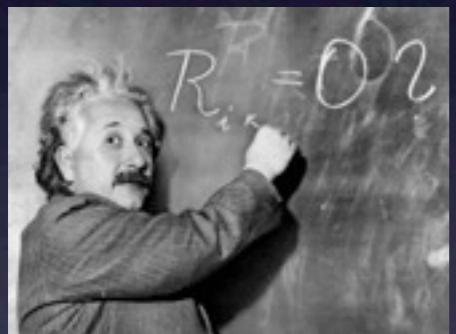
宇宙膨張



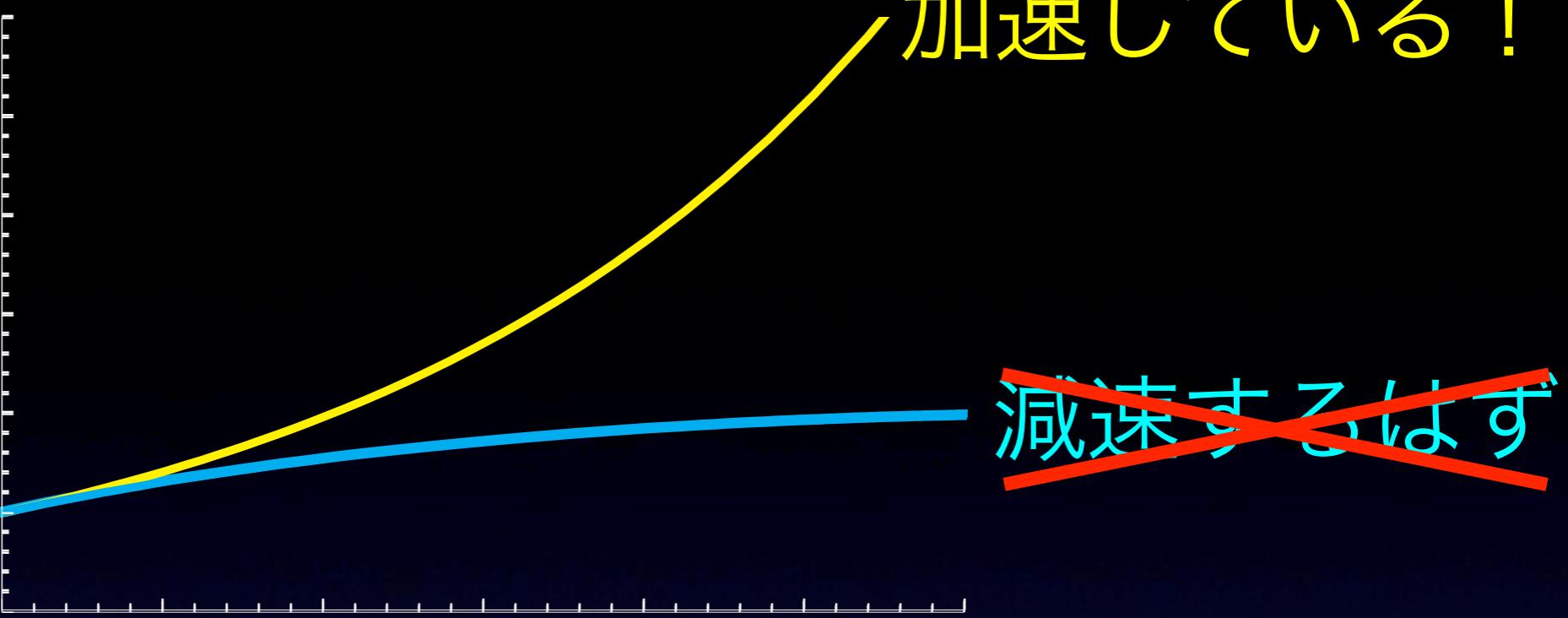
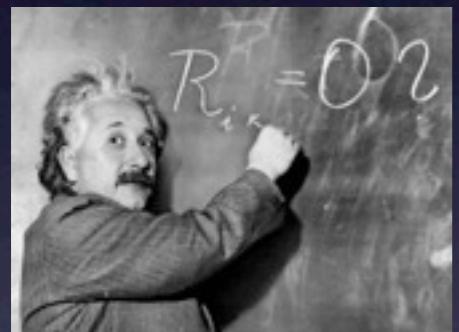
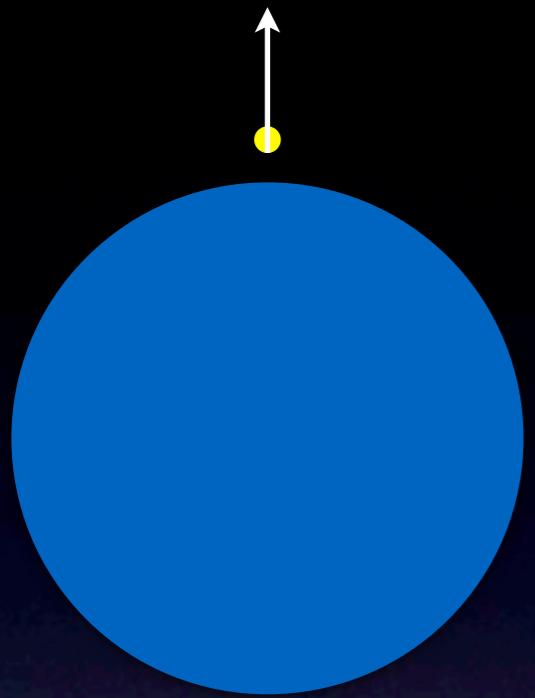
宇宙膨張



- 宇宙の膨張が最近(約70億年前)加速し始めた

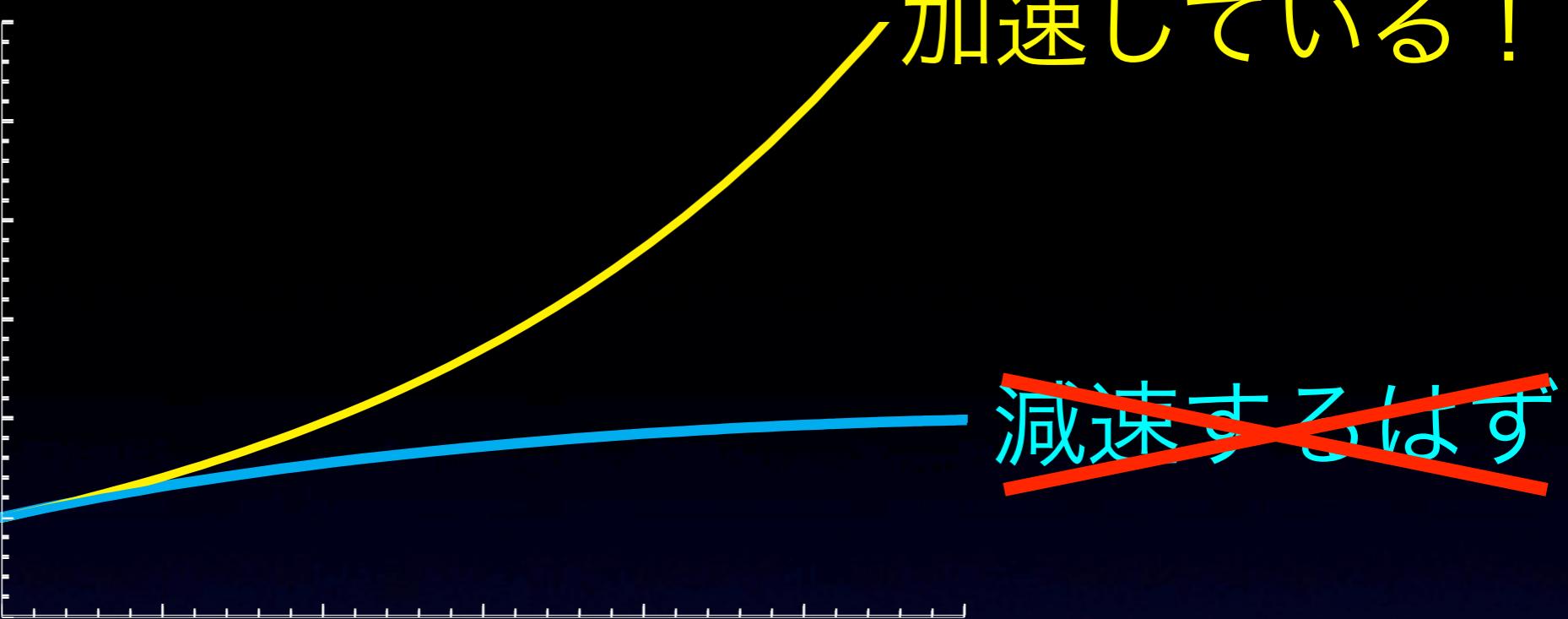
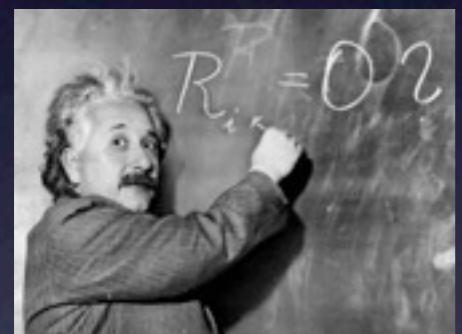
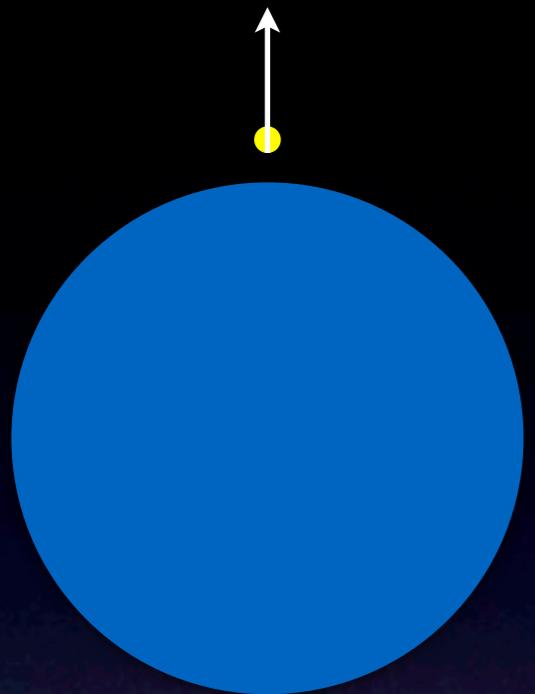


宇宙膨張



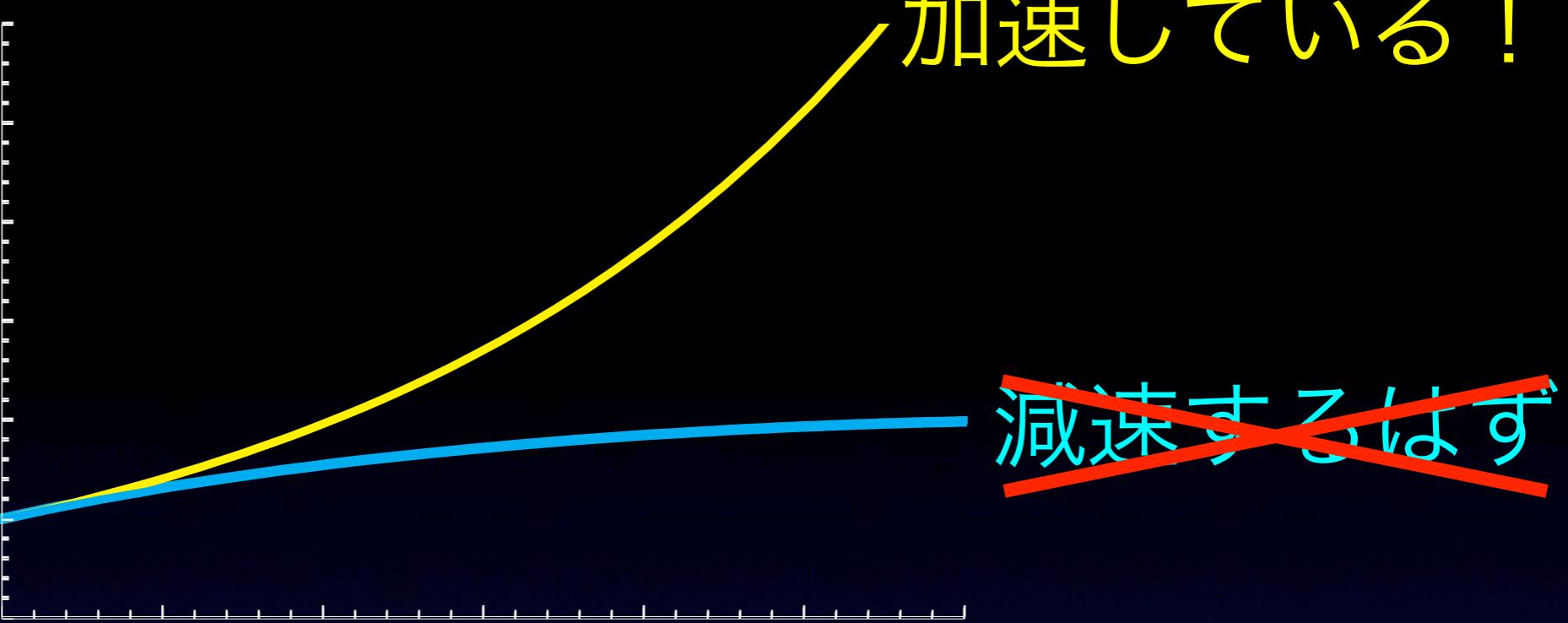
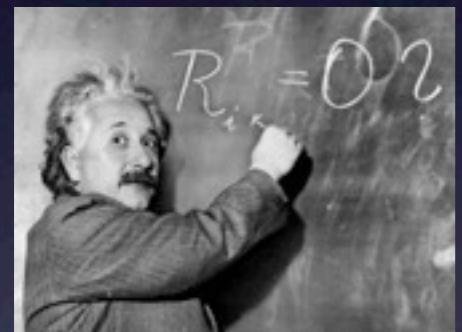
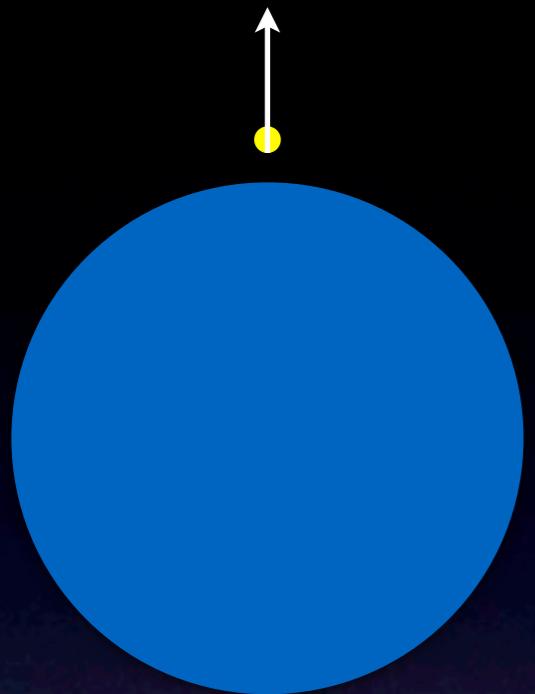
- 宇宙の膨張が最近(約70億年前)加速し始めた
- エネルギーが増えている！

宇宙膨張



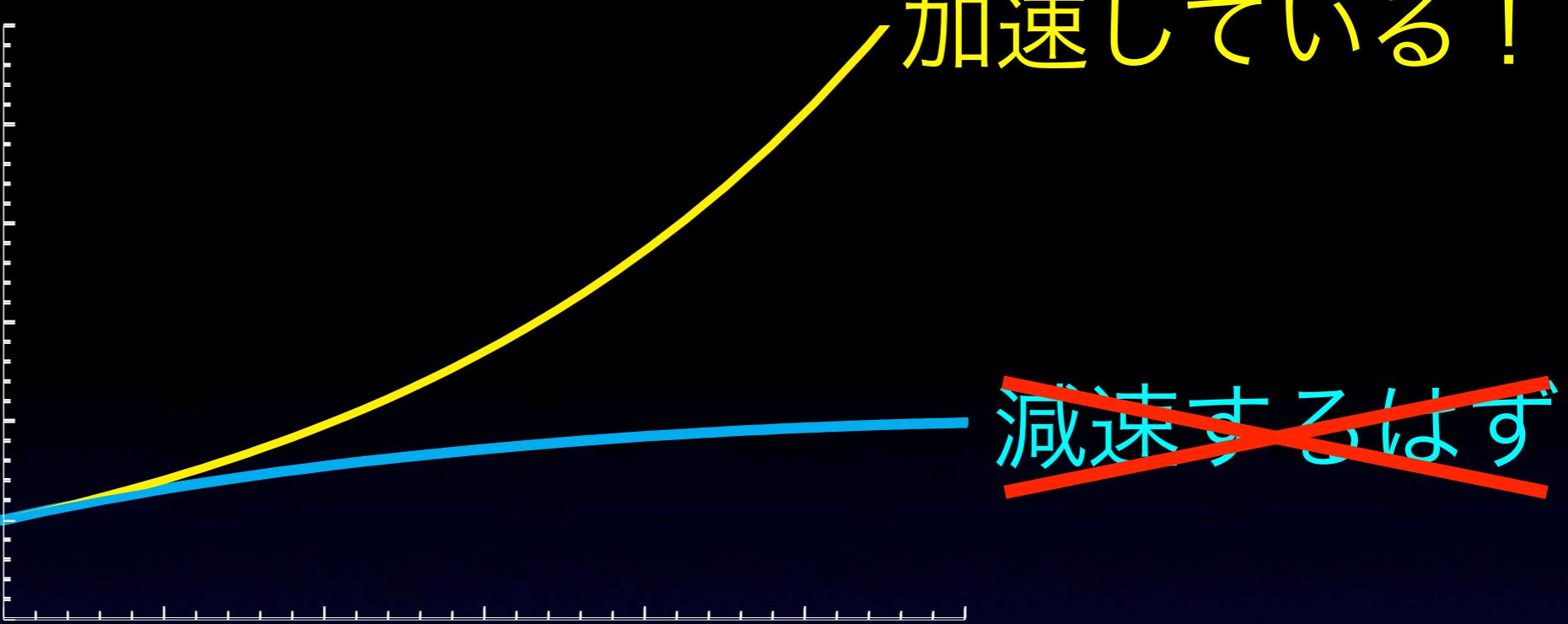
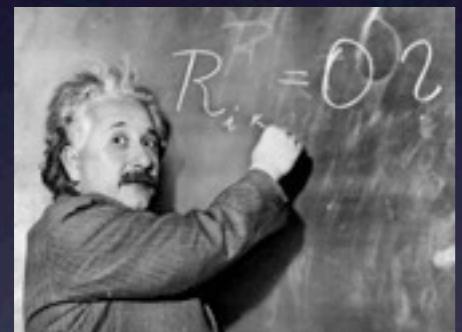
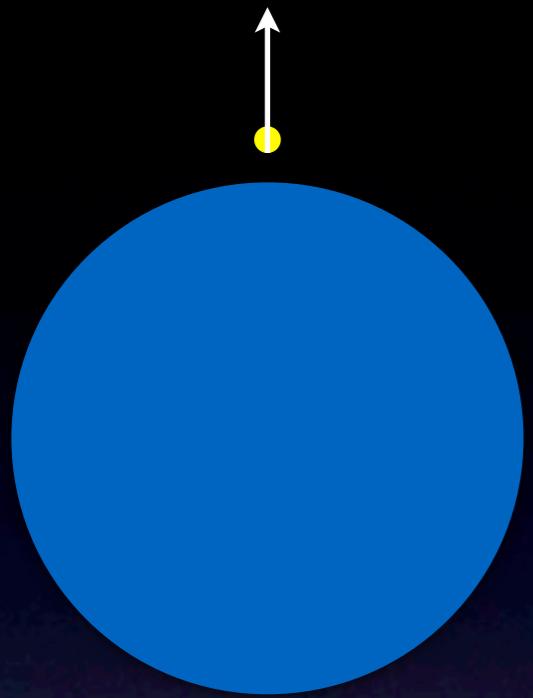
- 宇宙の膨張が最近(約70億年前)加速し始めた
- エネルギーが増えている！
- 無尽蔵のエネルギー源？？暗黒エネルギー

宇宙膨張



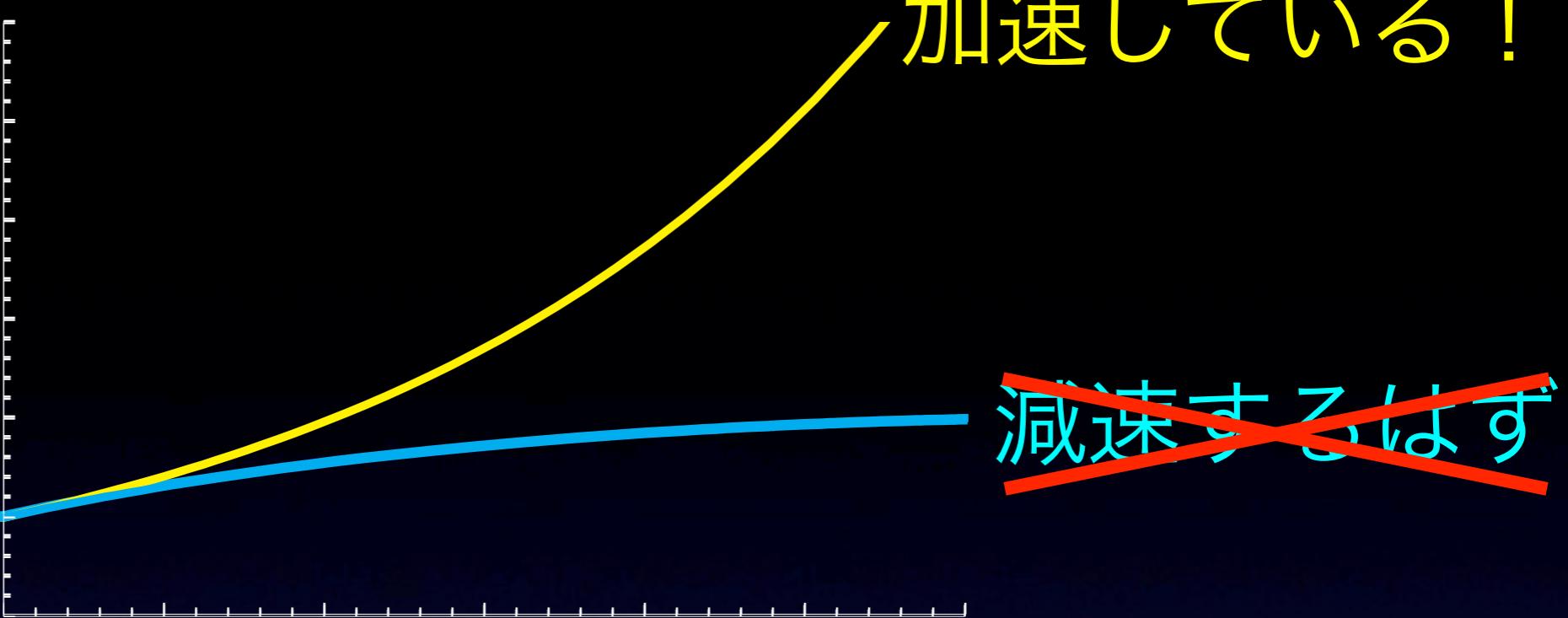
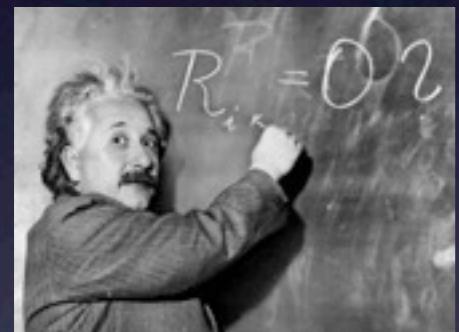
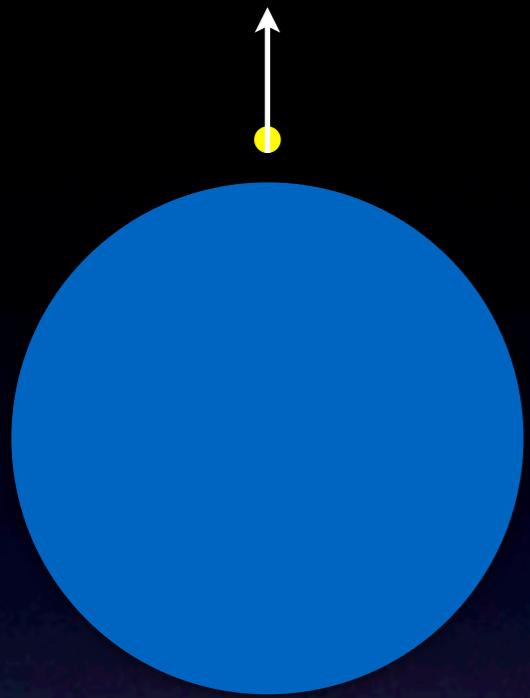
- 宇宙の膨張が最近(約70億年前)加速し始めた
- エネルギーが増えている！
- 無尽蔵のエネルギー源？？暗黒エネルギー
- アインシュタインの間違い？？

宇宙膨張



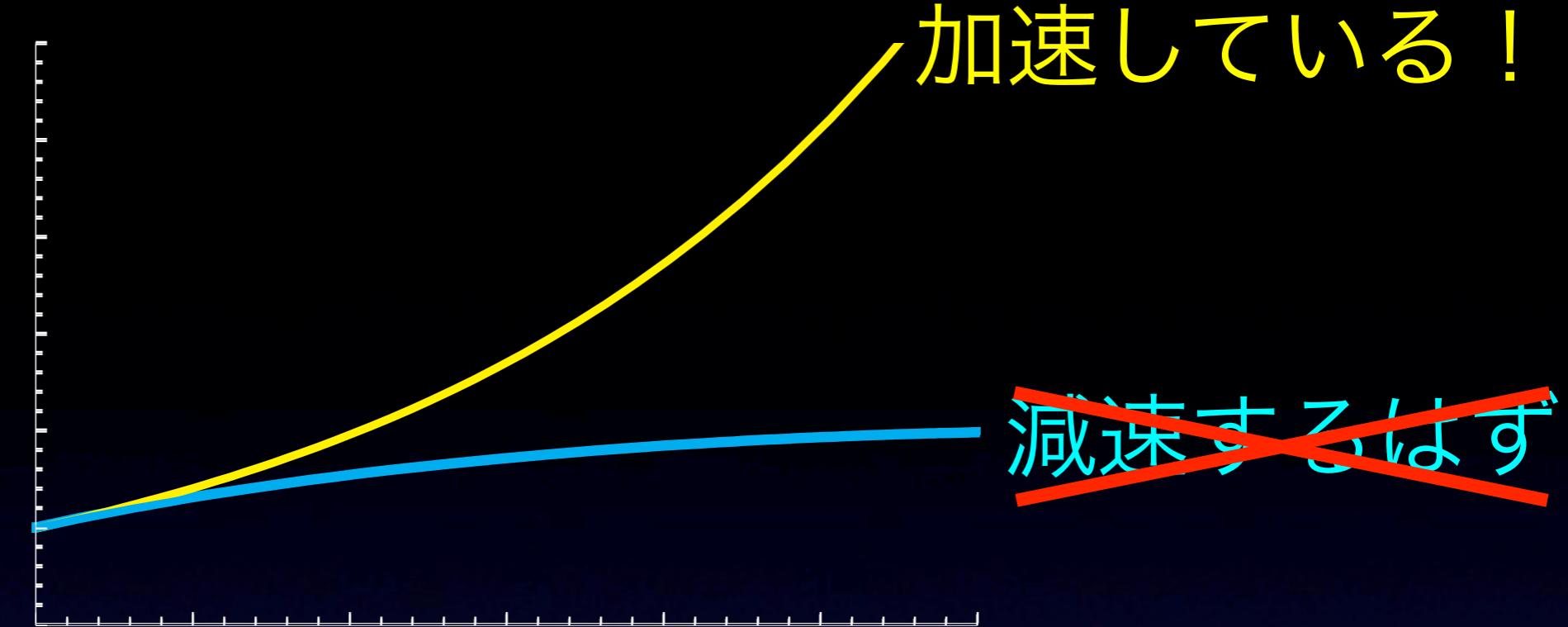
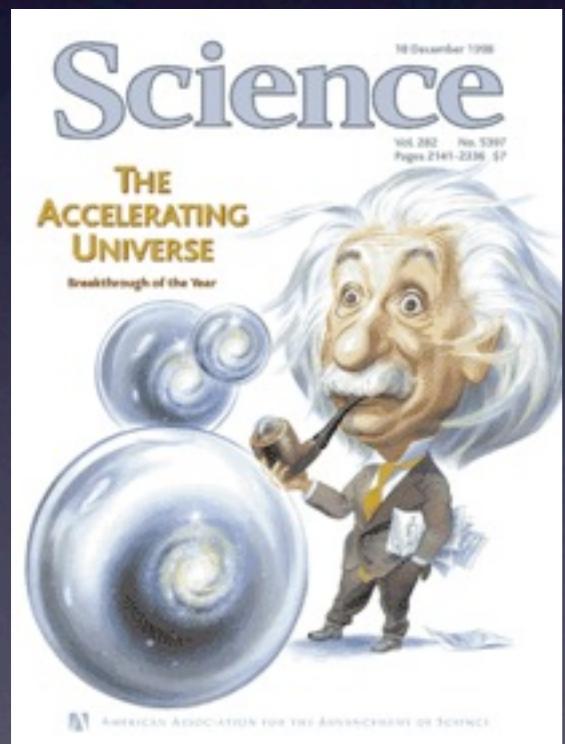
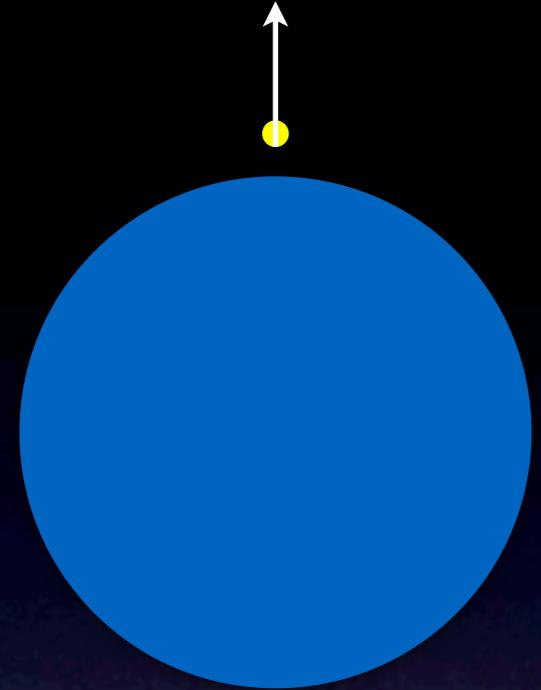
- 宇宙の膨張が最近(約70億年前)加速し始めた
- エネルギーが増えている！
- 無尽蔵のエネルギー源？？暗黒エネルギー
- アインシュタインの間違い？？
- 新しい宇宙像、基本法則

宇宙膨張



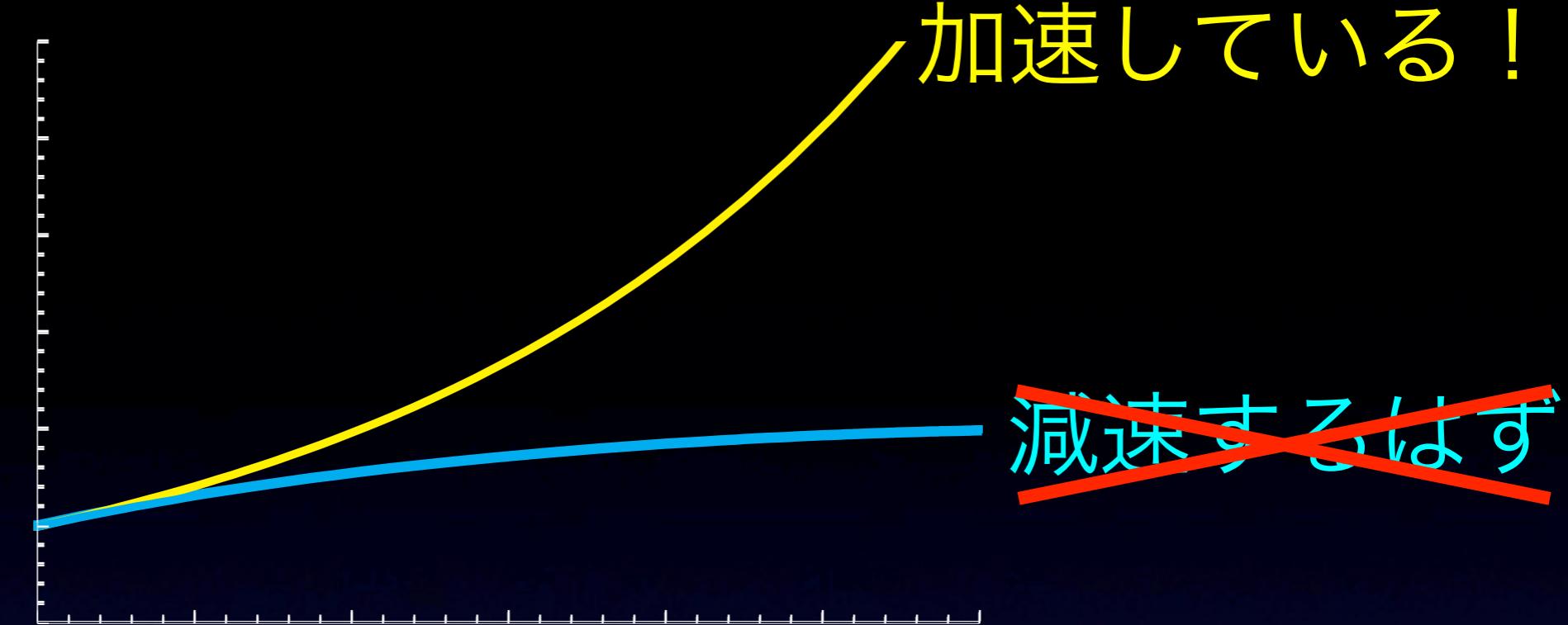
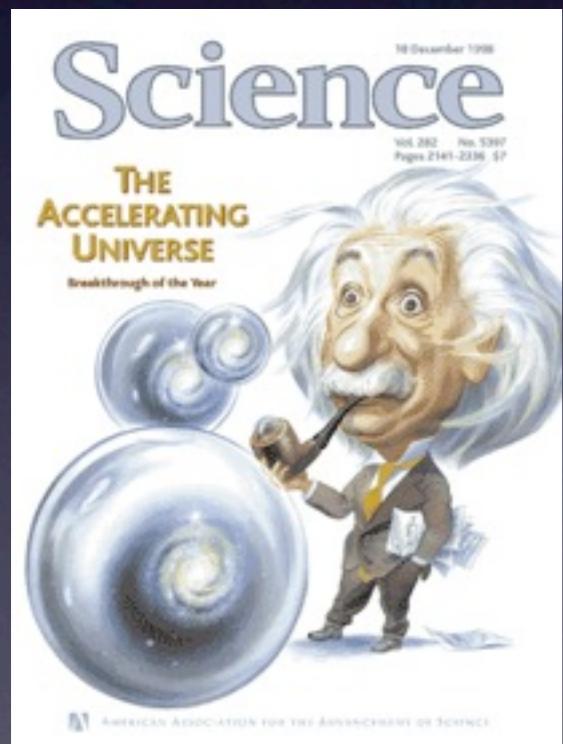
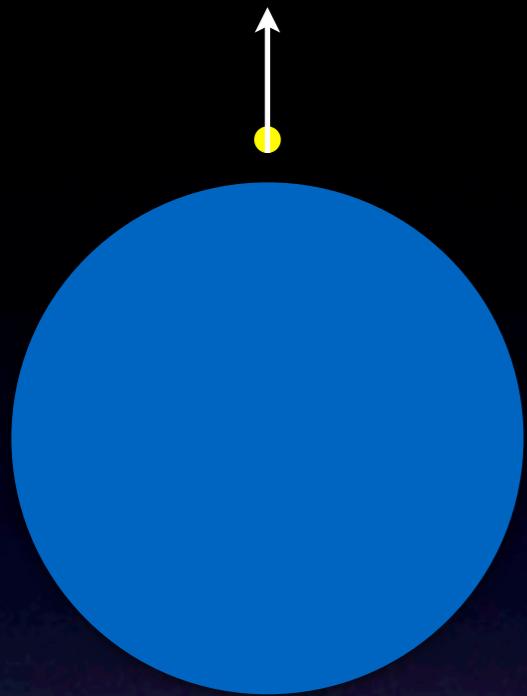
- 宇宙の膨張が最近(約70億年前)加速し始めた
- エネルギーが増えている！
- 無尽蔵のエネルギー源？？暗黒エネルギー
- アインシュタインの間違い？？
- 新しい宇宙像、基本法則
- エネルギーの増え方が速いと、いずれ膨張速度が無限大に ⇒ 宇宙が終わる？？

宇宙膨張



- 宇宙の膨張が最近(約70億年前)加速し始めた
- エネルギーが増えている！
- 無尽蔵のエネルギー源？？暗黒エネルギー
- アインシュタインの間違い？？
- 新しい宇宙像、基本法則
- エネルギーの増え方が速いと、いずれ膨張速度が無限大に ⇒ 宇宙が終わる？？

宇宙膨張



- 宇宙の膨張が最近(約70億年前)加速し始めた
- エネルギーが増えている！
- 無尽蔵のエネルギー源？？暗黒エネルギー
- アインシュタインの間違い？？
- 新しい宇宙像、基本法則
- エネルギーの増え方が速いと、いずれ膨張速度が無限大に ⇒ 宇宙が終わる？？



基礎科学でもっとも根源的な謎だ
(ウィルチェック、ノーベル賞)



解きたい問題のナンバー・ワンだ
(ウィッテン、フィールズ賞)



Friedmann方程式

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi}{3}G_N\rho - \frac{k}{a^2} + \frac{\Lambda}{3}$$
$$= H_0^2 \left(\frac{\Omega_{rad}}{a^4} + \frac{\Omega_m}{a^3} + \frac{\Omega_k}{a^2} + \frac{\Omega_{DE}}{a^{-3(1+w)}} \right)$$

- 宇宙の中のエネルギー
が増え続けることで膨張を加速
- $$\dot{\rho} = -3H(p + \rho) = -3H(w + 1)\rho$$
- $$\rho = \rho_0 a^{-3(w+1)}, \quad \rho a^3 = \rho_0 a^{-3w}$$
- $$\dot{a} \propto a^{-(1+3w)/2}$$
- $$\ddot{a} \propto -(1 + 3w) > 0 \rightarrow w < -\frac{1}{3}$$



未来の研究者

- 遠くの銀河はどんどん遠ざかって見えなくなっていく
- いづれは銀河系だけ
- 観測で宇宙論を研究できるのはいまだけ！



未来の研究者

- 遠くの銀河はどんどん遠ざかって見えなくなっていく
- いづれは銀河系だけ
- 観測で宇宙論を研究できるのはいまだけ！



早く予算を付けましょう！

宇宙に終わりはあるか？



宇宙に終わりはあるか？

- もしエネルギーを生み出す度合いがあまりに速い ($w < -1$) と、加速が進んで膨張速度が無限大になり宇宙は終わる。

宇宙に終わりはあるか？

- もしエネルギーを生み出す度合いがあまりに速い ($w < -1$) と、加速が進んで膨張速度が無限大になり宇宙は終わる。
- 銀河も引き裂かれ、いざれは星、原子までばらばらに

宇宙に終わりはあるか？

- もしエネルギーを生み出す度合いがあまりに速い ($w < -1$) と、加速が進んで膨張速度が無限大になり宇宙は終わる。
- 銀河も引き裂かれ、いざれば星、原子までばらばらに

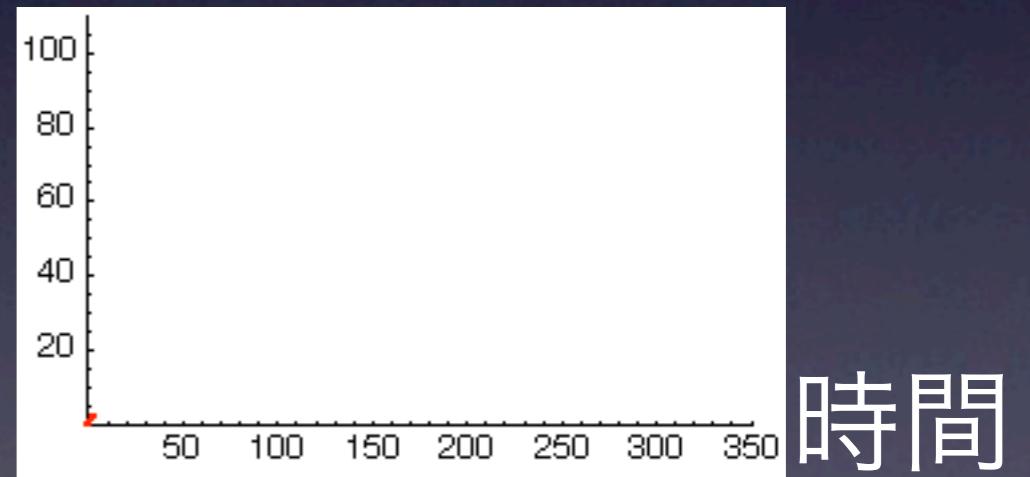
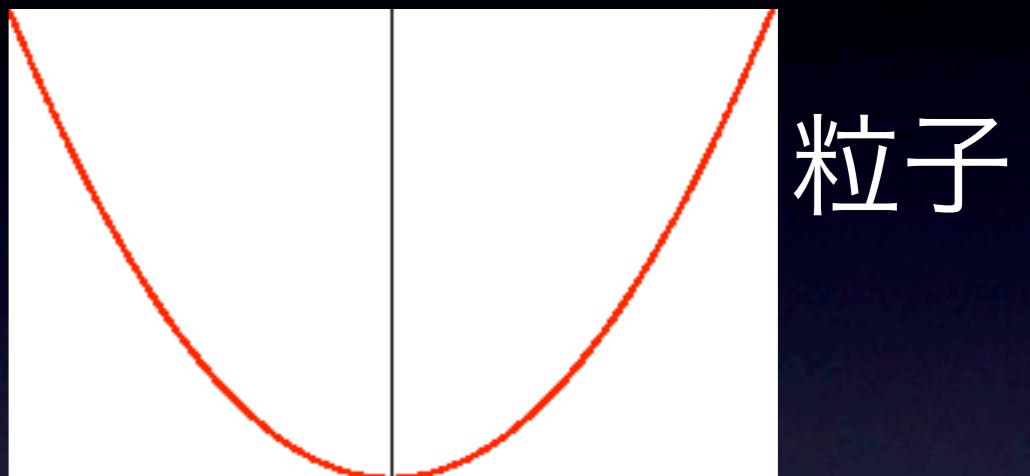
Big Rip

インフレーション其の二？

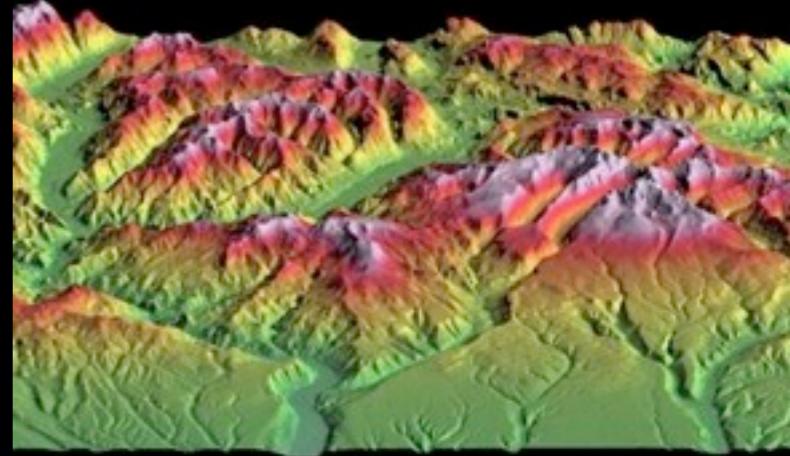
- スカラー場がゆっくり坂を降りている
- “quintessence”
- $m \approx H_0 \approx (TeV^8/M_{Pl}^6)$
 $\approx 10^{-84} \text{GeV}$
- hierarchy problem????
- $w > -1$

坂

やや大きな
坂



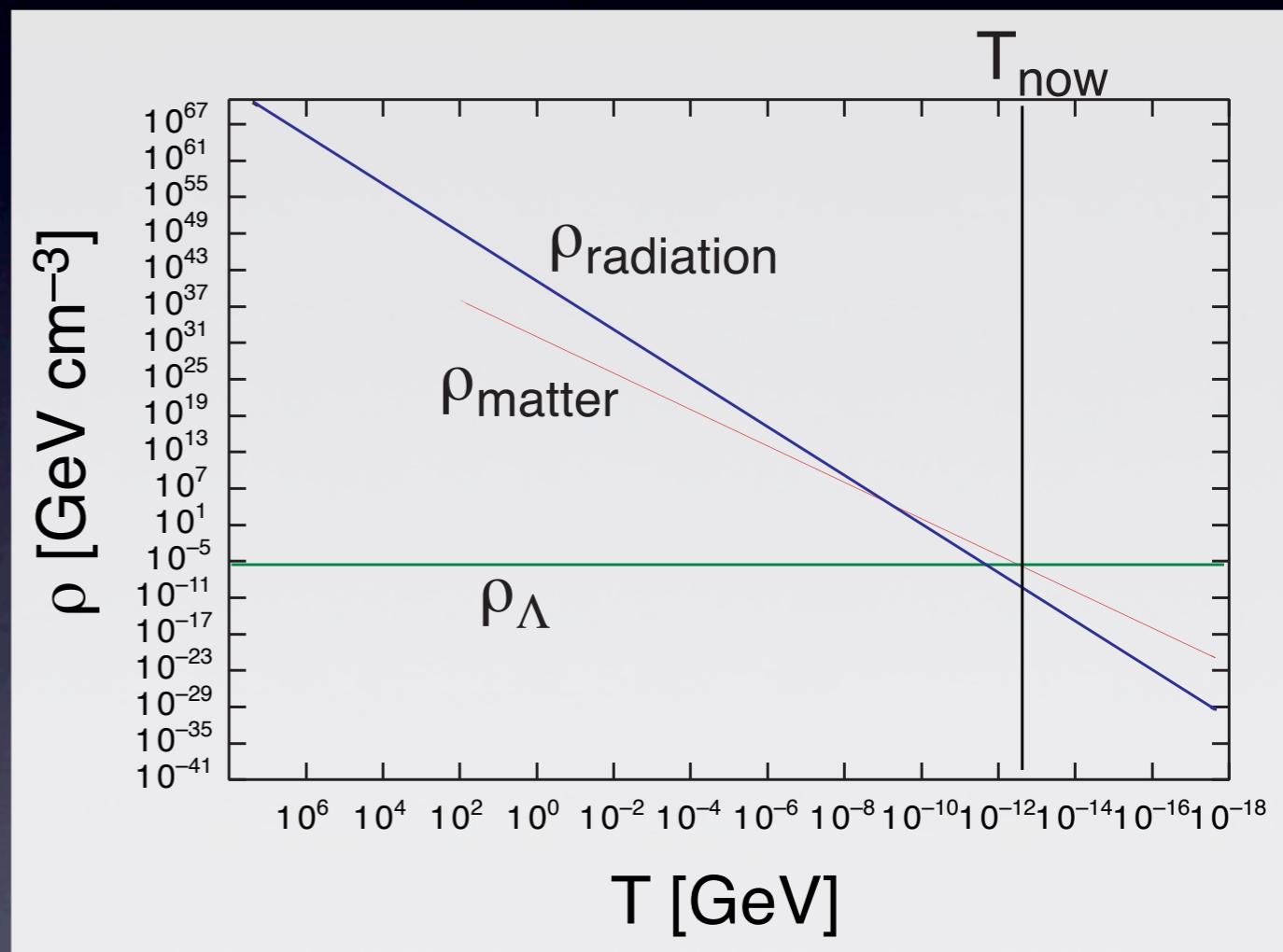
landscape



- 宇宙のほとんどは $\rho_\Lambda \approx M_{Pl}^4 \approx 10^{120} \rho_{\Lambda obs}$
- 宇宙は生まれてすぐ引き裂かれて構造
ができず、人間が生まれない。
- 知的生命体が宇宙論を出来るのは
 $\rho_\Lambda < 20 \rho_{\Lambda obs}$ の宇宙のみ
- 宇宙が 10^{500} 個あればそういう宇宙も充
分あっていい

Cosmic Coincidence Problem

- $\rho_\Lambda \approx (2\text{meV})^4 \approx (\text{TeV}^2/M_{Pl})^4$
- DMがTeV-scale WIMP
- $\rho_m \approx (\text{TeV}^2/M_{Pl}) T^3$
- だとすると、 $T \approx (\text{TeV}^2/M_{Pl}) \approx 10\text{K}$ で一致
- 今三つの別の成分がほぼ同じであることは「自然」？？



モデル

- 何にも分かっていない
- しかし、データをフィットするにはモデルが必要
- 一般に $w=-p/\rho=w(a)$ は未知の関数
- Dark Energy Task Force (NASA+DOE+NSF panel) のparameterization
$$w(a) = w_0 + w_a(1 - a)$$

モデル

- 何にも分かっていない
- しかし、データをフィットするにはモデルが必要
- 一般に $w=-p/\rho=w(a)$ は未知の関数
- Dark Energy Task Force (NASA+DOE+NSF panel) のparameterization

$$w(a) = w_0 + w_a(1 - a)$$



暗黒エネルギーの 測り方

暗黒エネルギー

- 宇宙の膨張の歴史がわかれればよい
- 膨張=redshift 分光で測れる
 - $a/a_0 = 1/(1+z)$
- 時間または距離をどう測る?
 - standard candle: SNe
 - standard ruler: BAO

宇宙の距離

$$ds^2 = dt^2 - a(t)^2 \left[\frac{dr^2}{1 - kr^2} + r^2 d^2\Omega \right]$$

- comoving (proper) distance

$$ds^2 = 0 \rightarrow d = \int \frac{dr}{\sqrt{1 - kr^2}} = \int \frac{dt}{a(t)} = \int \frac{dz}{H(z)}$$

- luminosity distance

$$d_L = d(1 + z)$$

- angular diameter distance

$$d_A = d/(1 + z)$$

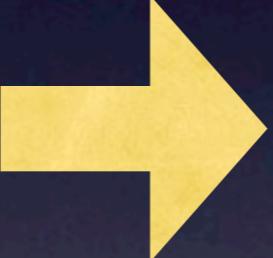
宇宙の構造

- growth factor $g(z)$
$$\ddot{g} + 2H\dot{g} = 4\pi G_N \rho_m g = \frac{3\Omega_m H_0^2}{2a^3} g$$
- 宇宙膨張 H は「摩擦」
- 膨張がなければexponentialに成長
- 基本的にmatter dominantでしか成長しない
- 膨張の歴史が構造の成長を決める

4つの方法

- SN (Type-Ia supernovae)
- CL (cluster survey)
- WL (weak lensing)
- BAO (baryon acoustic oscillation)

4つの方法

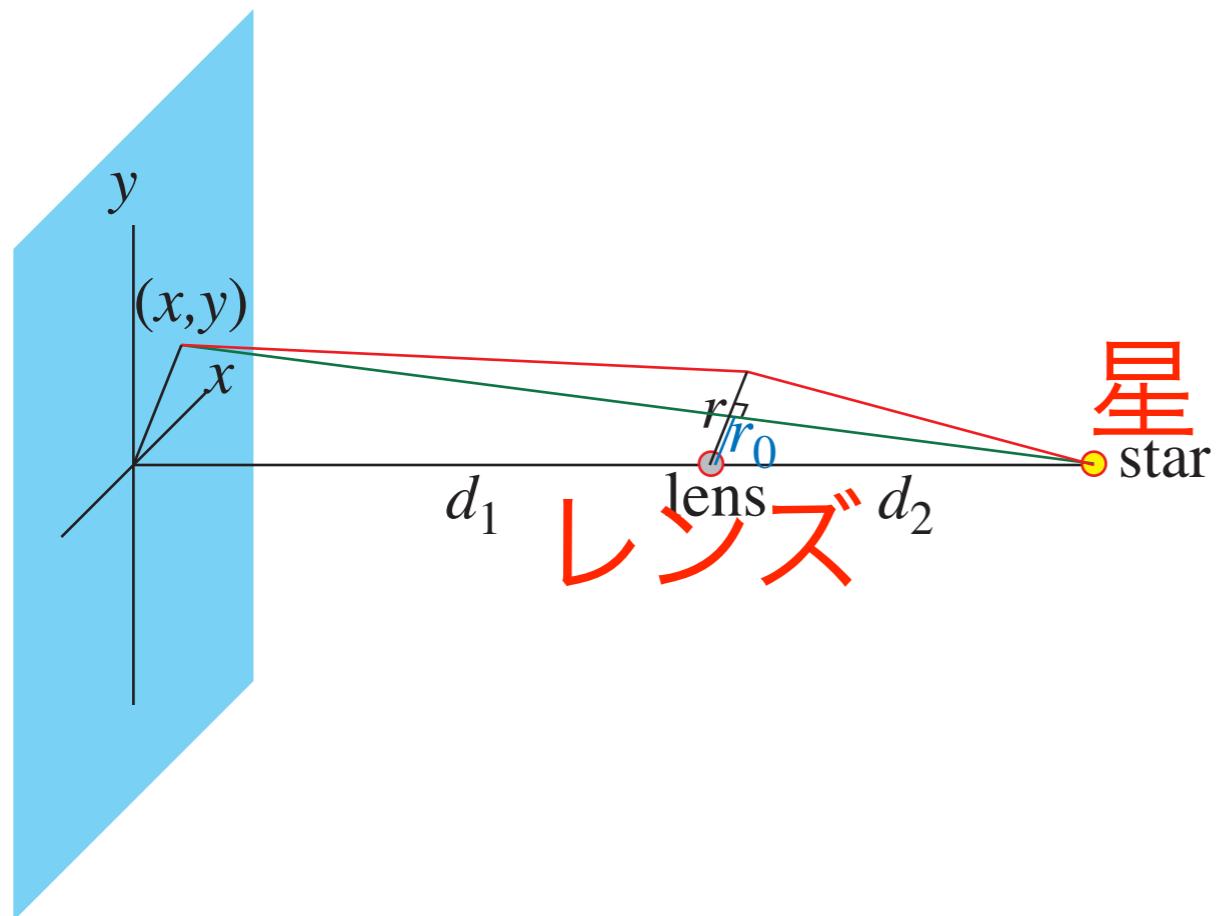
- SN (Type-Ia supernovae)
 - CL (cluster survey)
 - WL (weak lensing)
 - BAO (baryon acoustic oscillation)
- 
- 一番systematicsが
問題 (DETF)

Weak Lensing

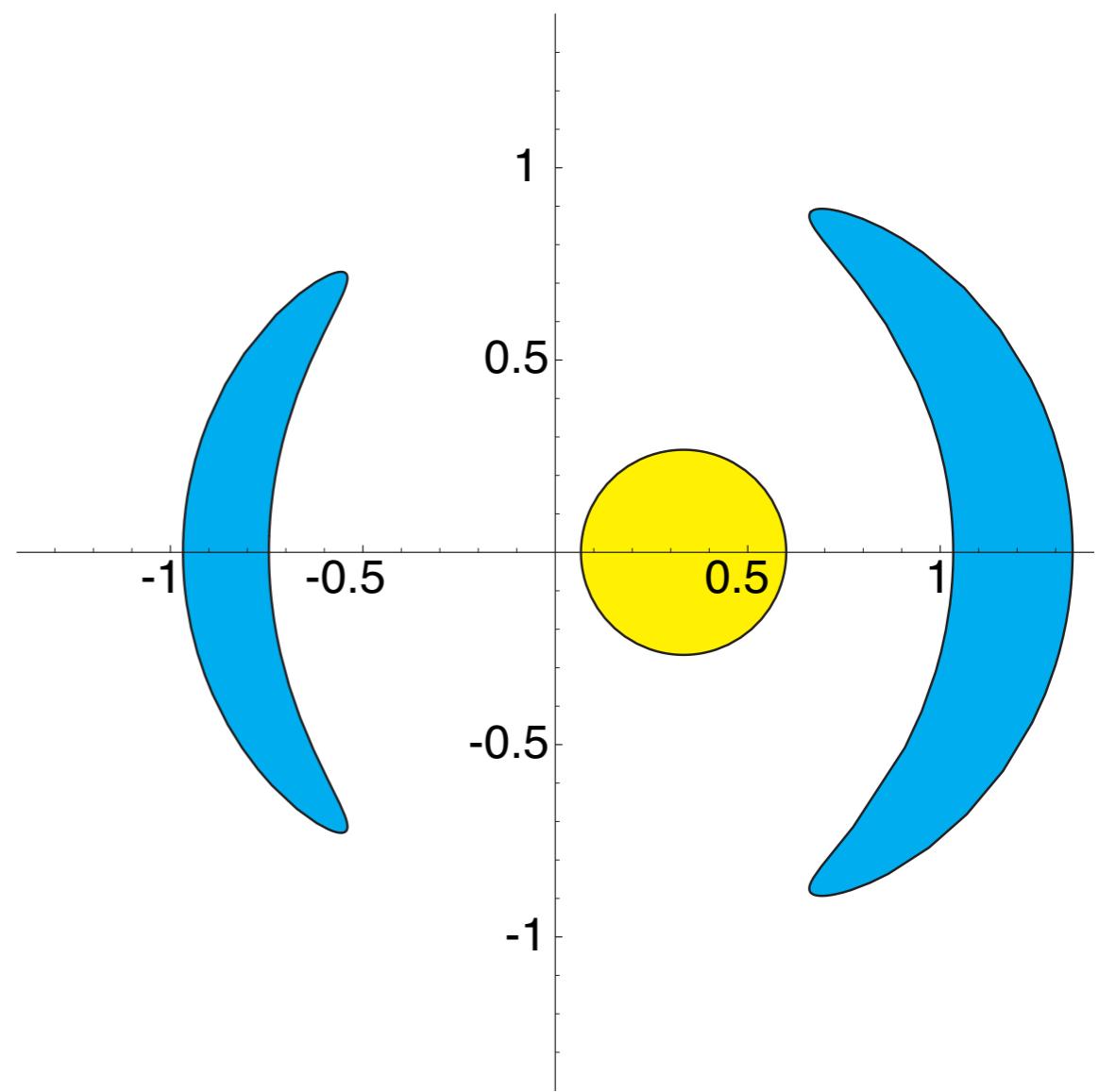
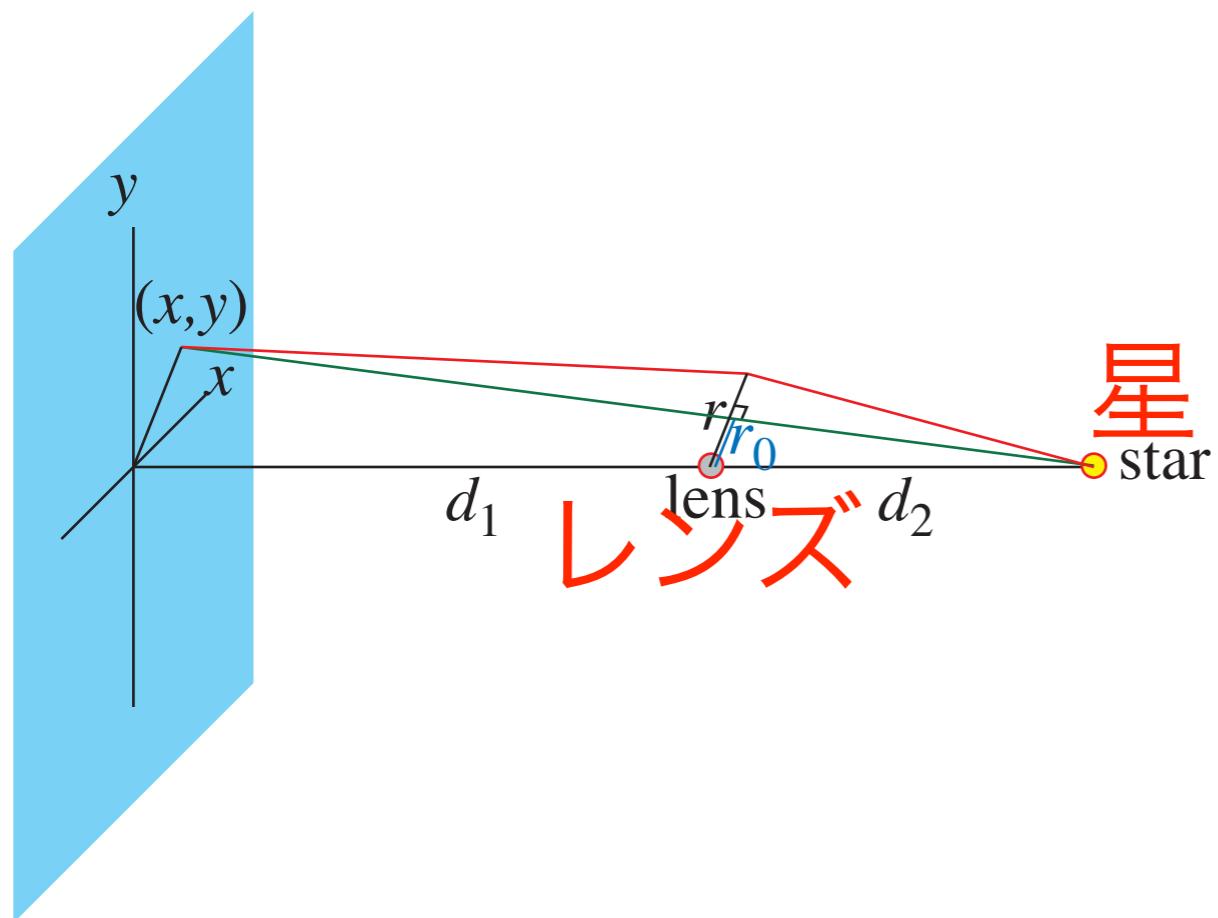
Abell 銀河団

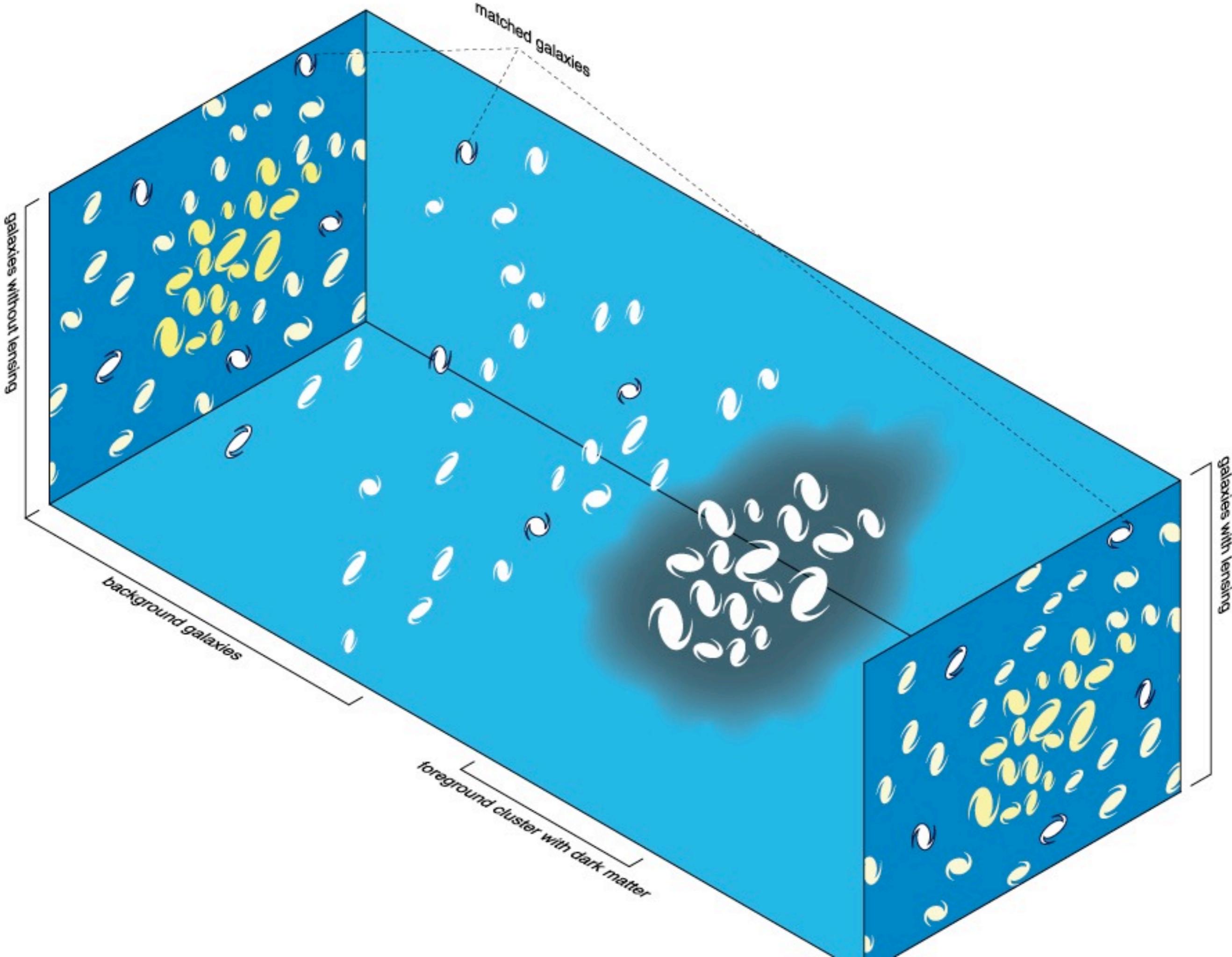


重力レンズ



重力レンズ





見えない暗黒物質を見る



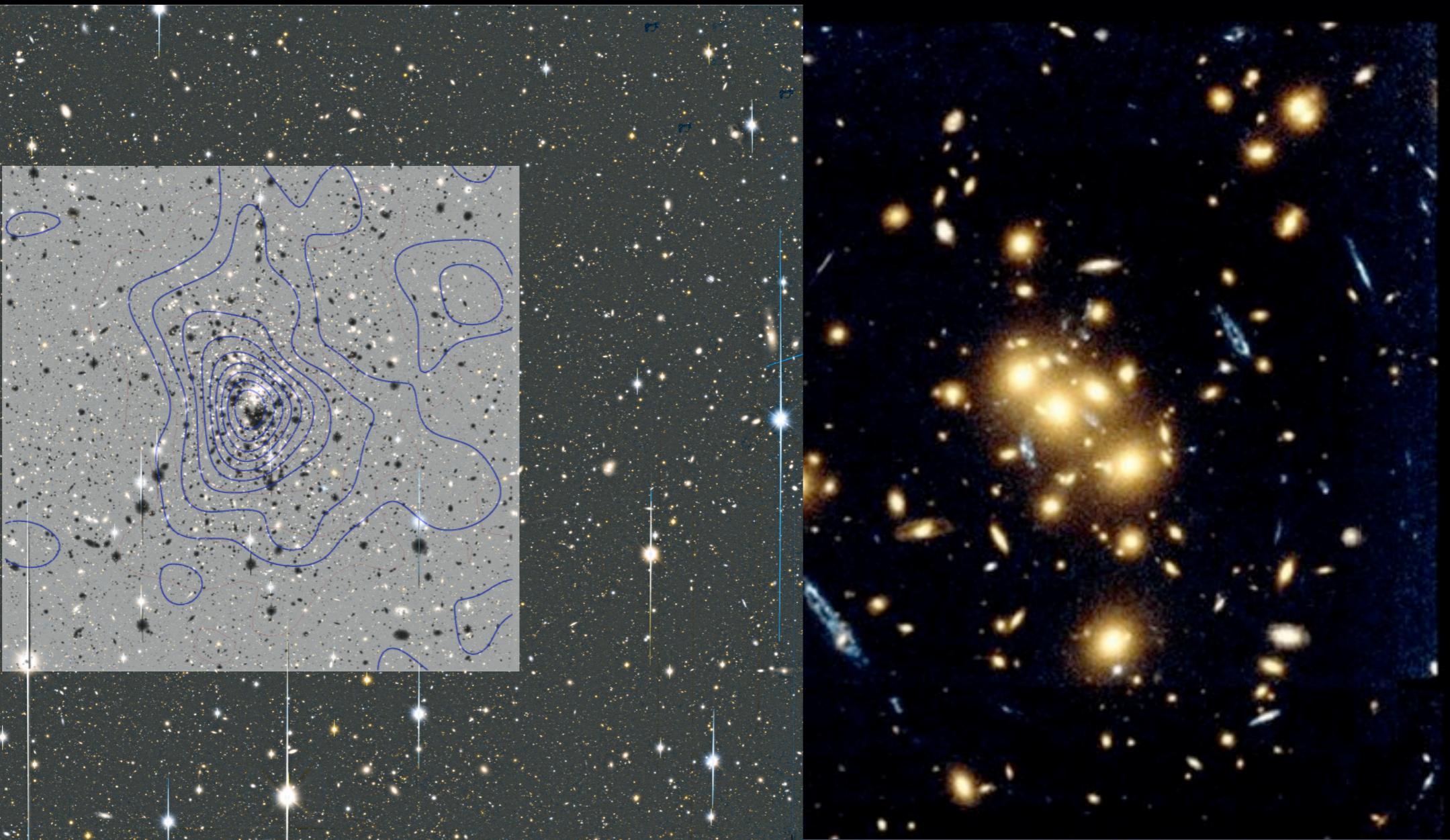
歪みの大きさは~10%程度

見えない暗黒物質を見る



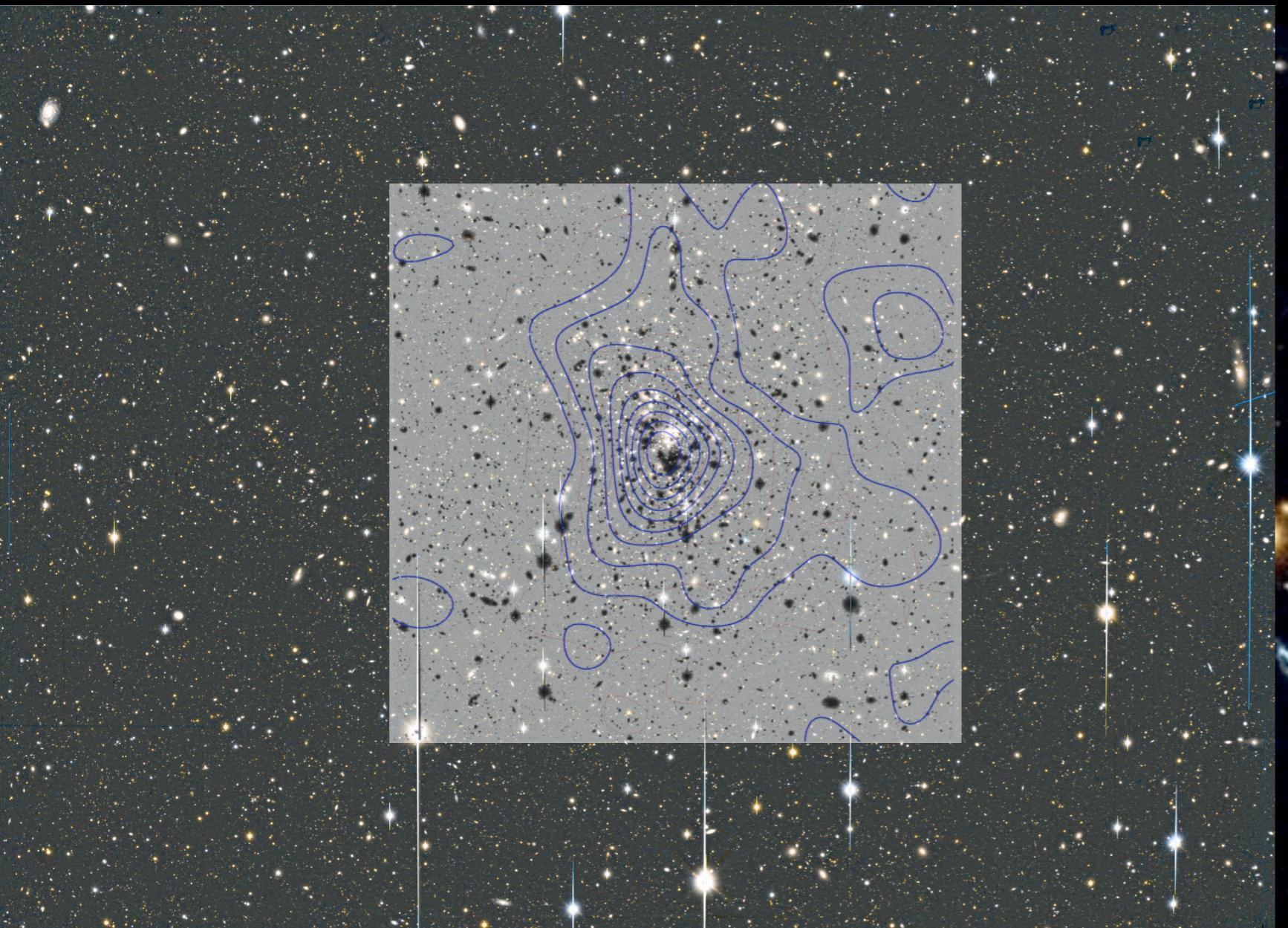
← →
2000万光年
歪みの大きさは~10%程度

見えない暗黒物質を見る



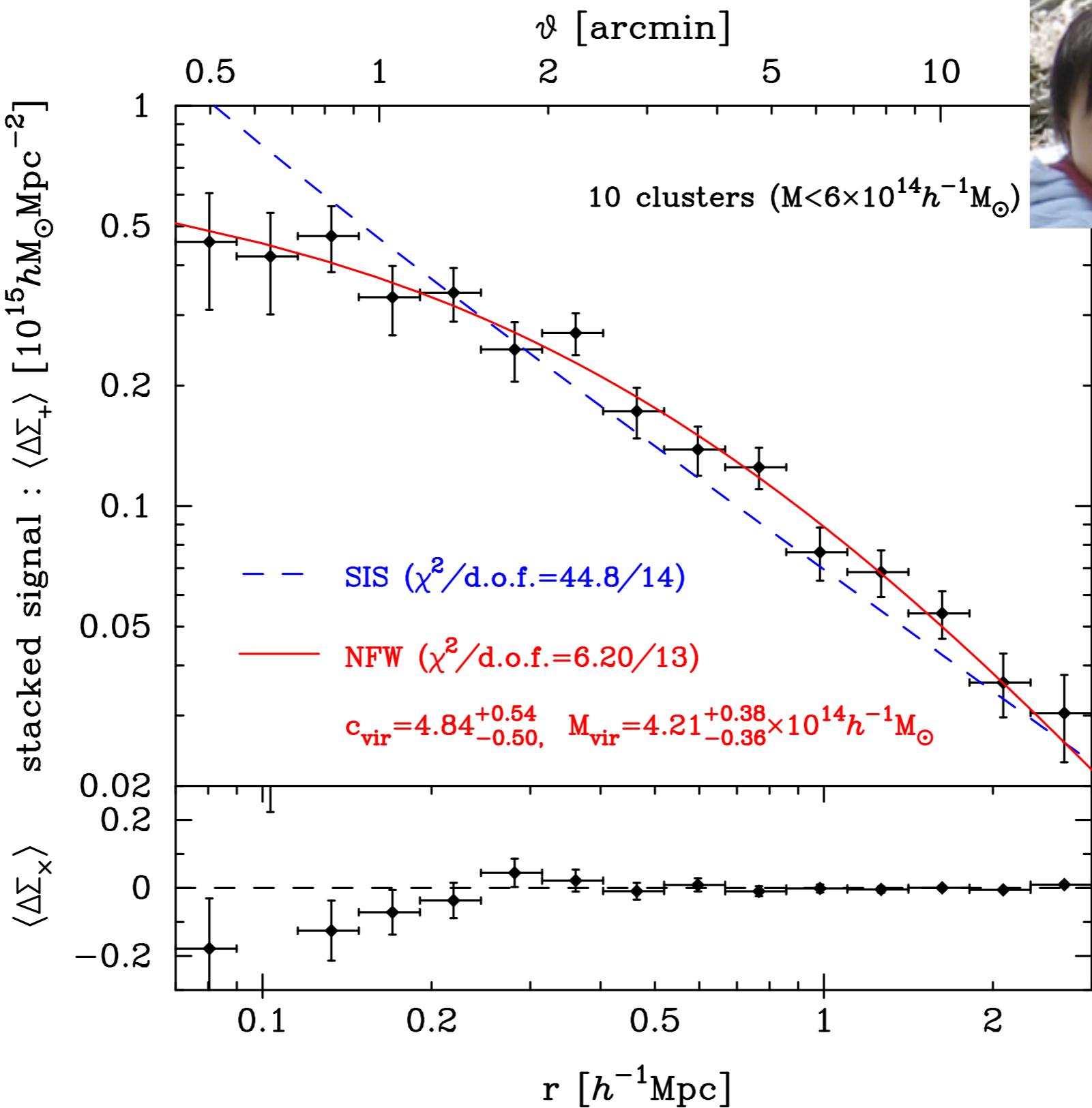
← →
2000万光年
歪みの大きさは~10%程度

見えない暗黒物質を



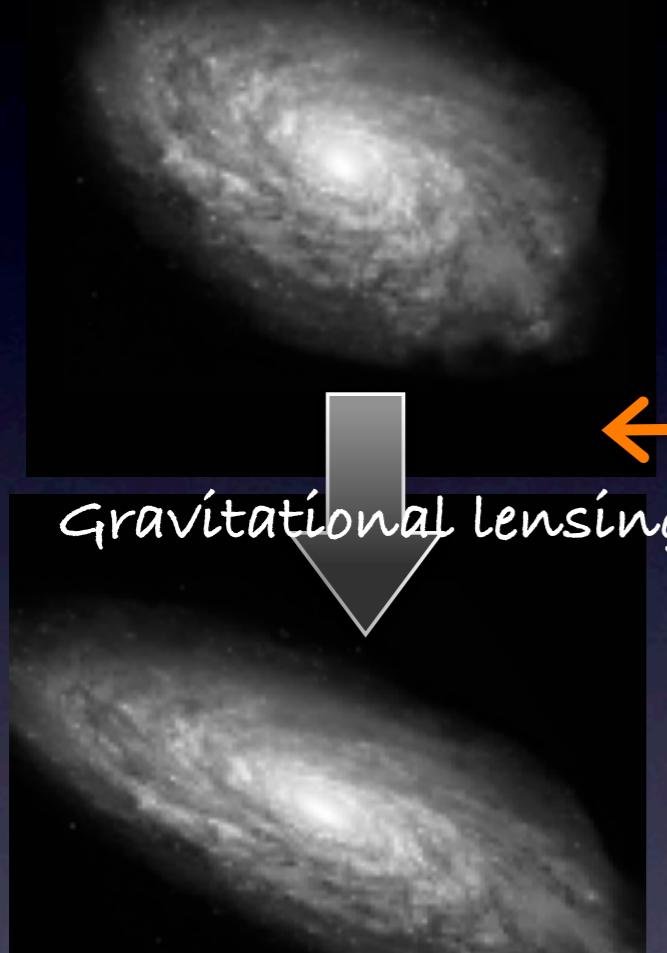
← →
2000万光年
歪みの大きさは~10%程度

銀河団の形



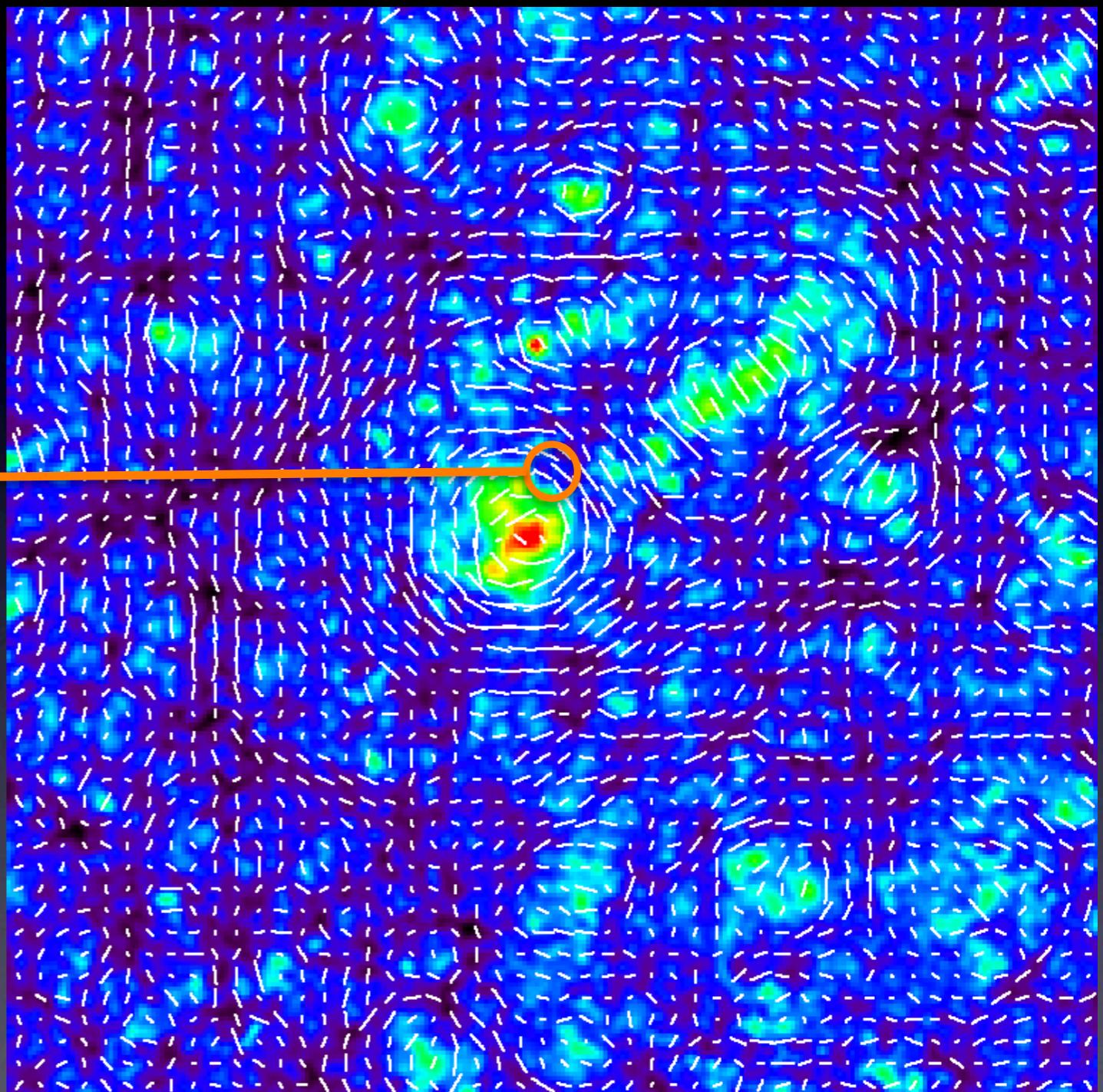
“Weak” Gravitational Distortion

Intrinsic shape of a background galaxy ($\epsilon \sim 0.3$)



Galaxy shape actually seen after GL: $\epsilon^{\text{obs}} \sim \epsilon + \gamma^{\text{GL}}$

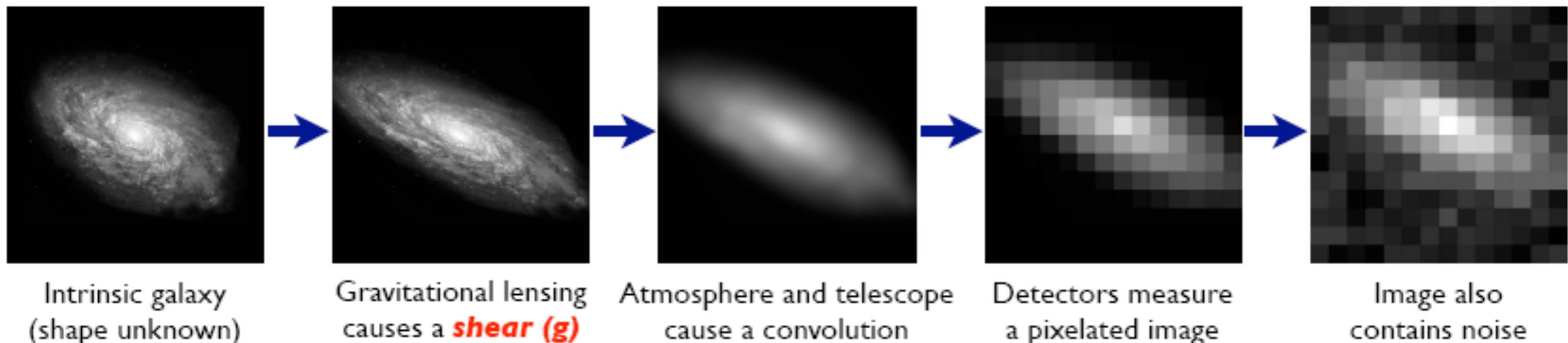
Simulated lensing map



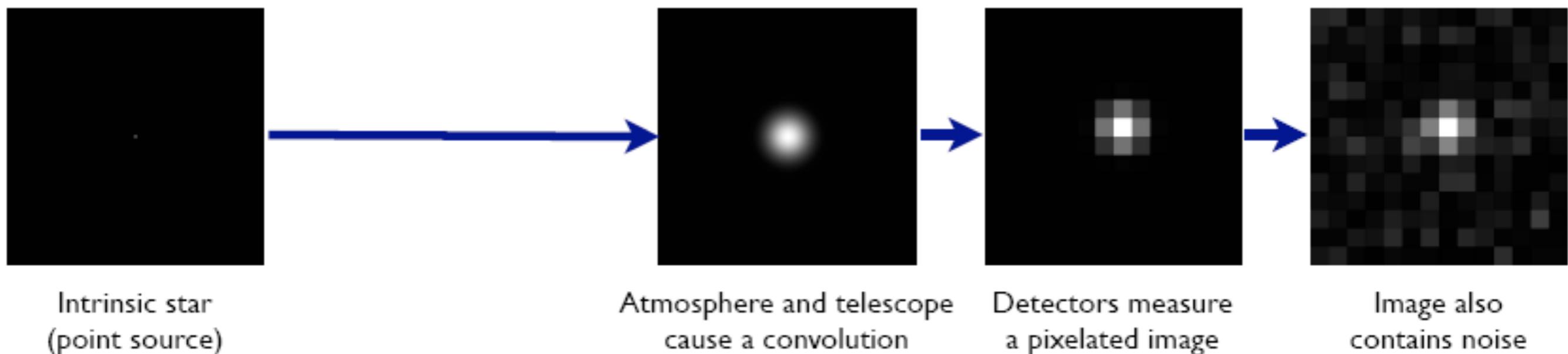
- ✓ The distortion signal of interest is tiny: $\gamma^{\text{GL}} \sim 0.01 - 0.1$
- ✓ Indeed this coherent signal is statistically measurable
need ~ 10 galaxies per point

The Forward Process.

Galaxies: Intrinsic galaxy shapes to measured image:



Stars: Point sources to star images:



cosmic shear

- 2次元に投影したlensing power

$$\gamma(\theta) \propto \Omega_{m0} \int_0^{z_S} dz_L \frac{d_{LS}(z_L, z_S) d_L(z_L)}{d_S(z_S)} \delta(z_L, \theta)$$

- 距離と揺らぎ：膨張の歴史の依存性
- このpower spectrum, bispectrum etc
- いわば暗黒エネルギーの性質と、重力による構造の成長の組み合わせ

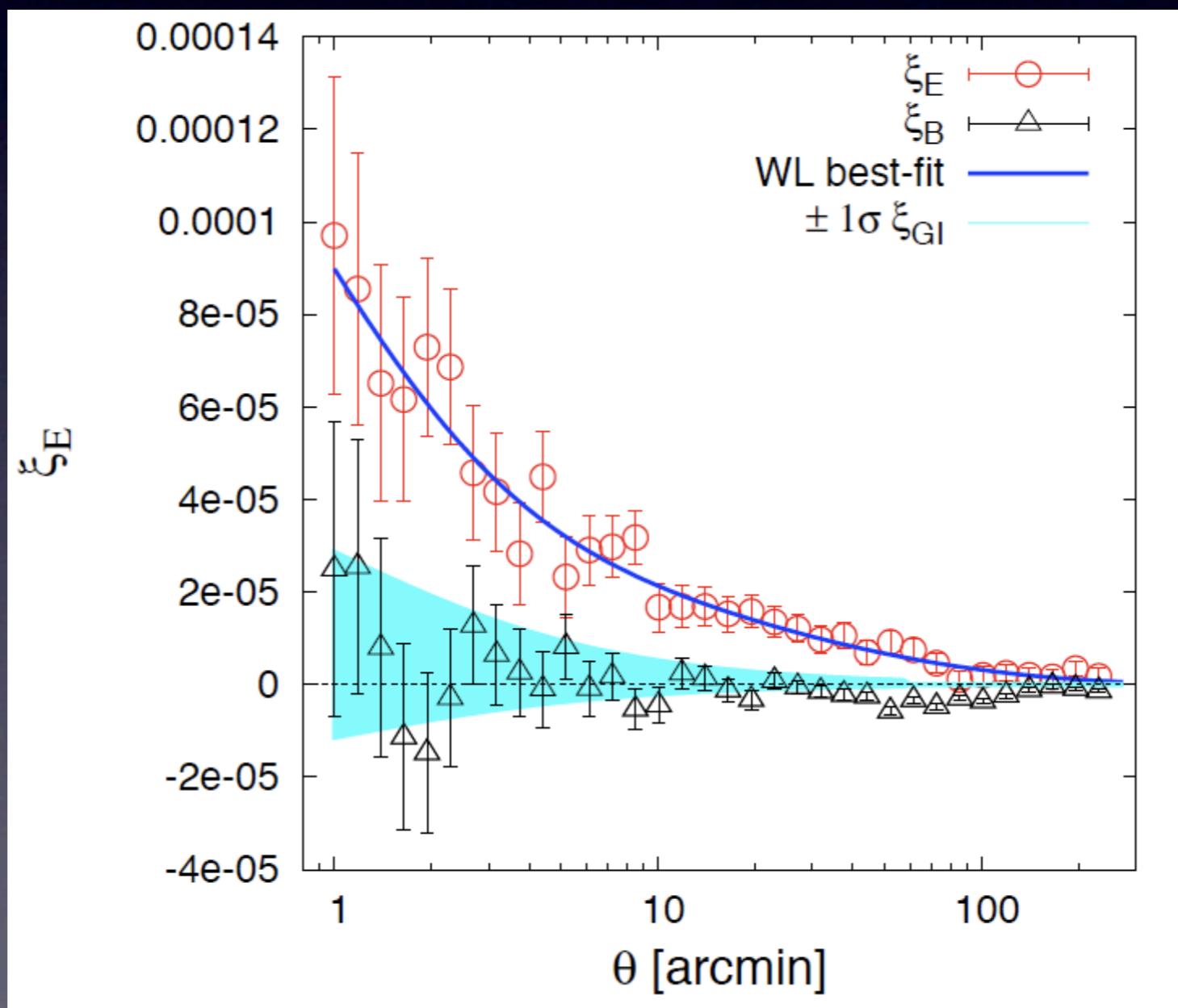
歪みの大きさは~1%程度

10^8 個の銀河が必要

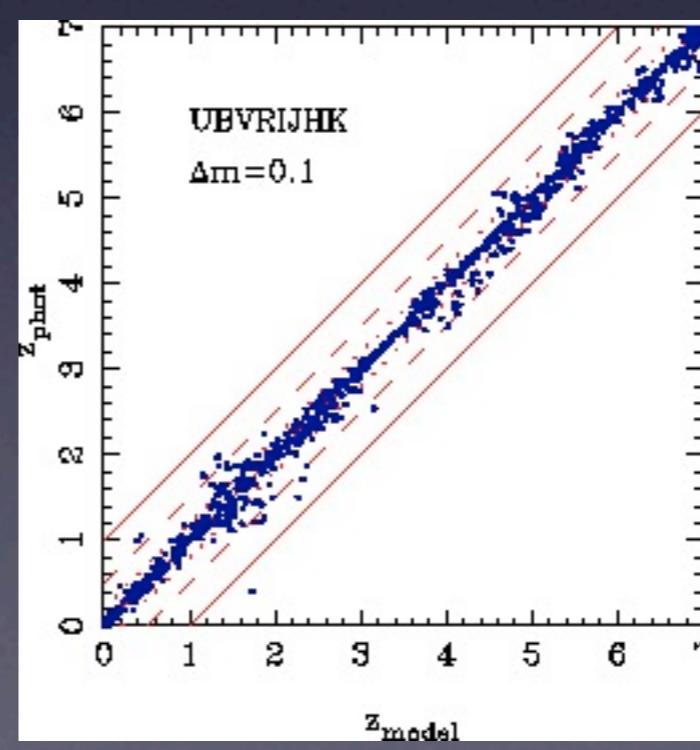
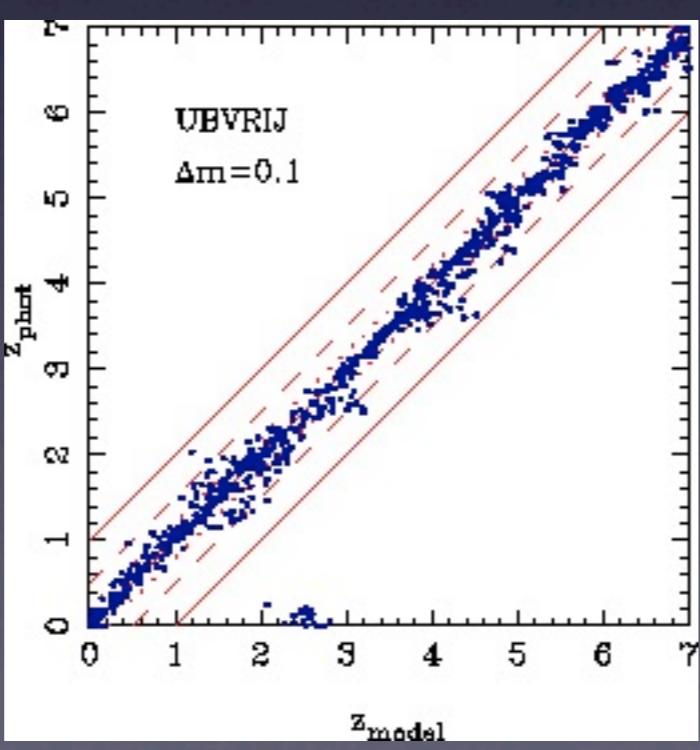
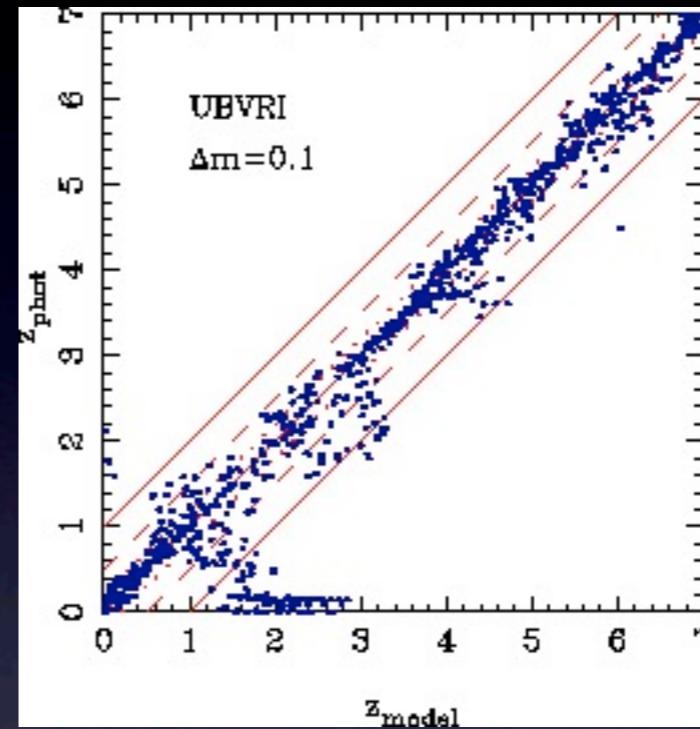
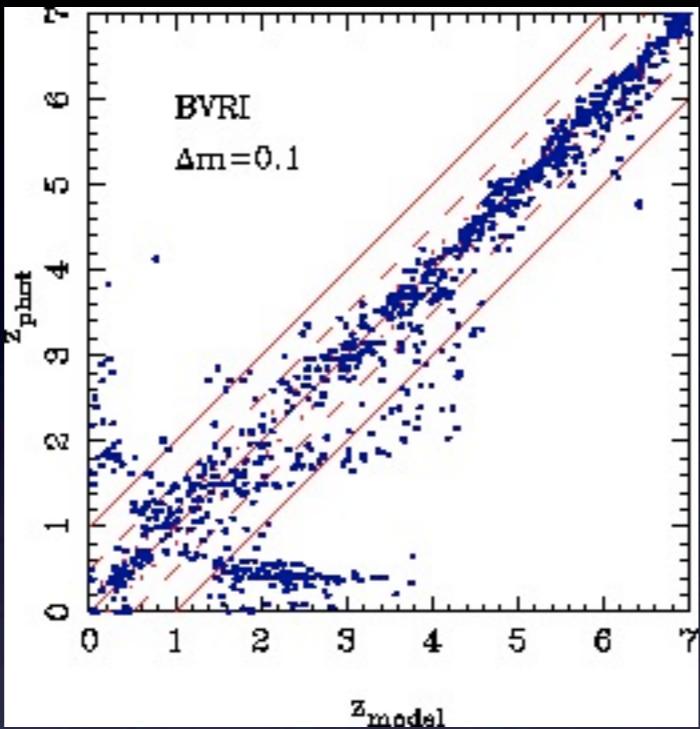
state of the art

CFHT (4m)

$$\xi_\gamma(\theta) = \langle \gamma(\phi)\gamma^*(\phi + \theta) \rangle \xrightarrow{F.T.} C_\gamma(l)$$



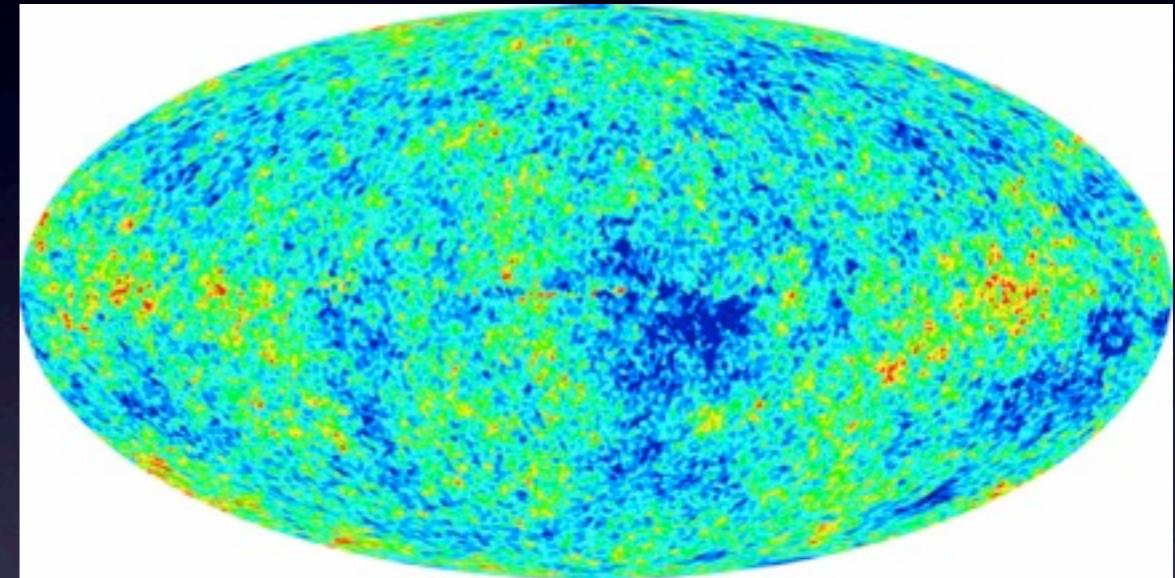
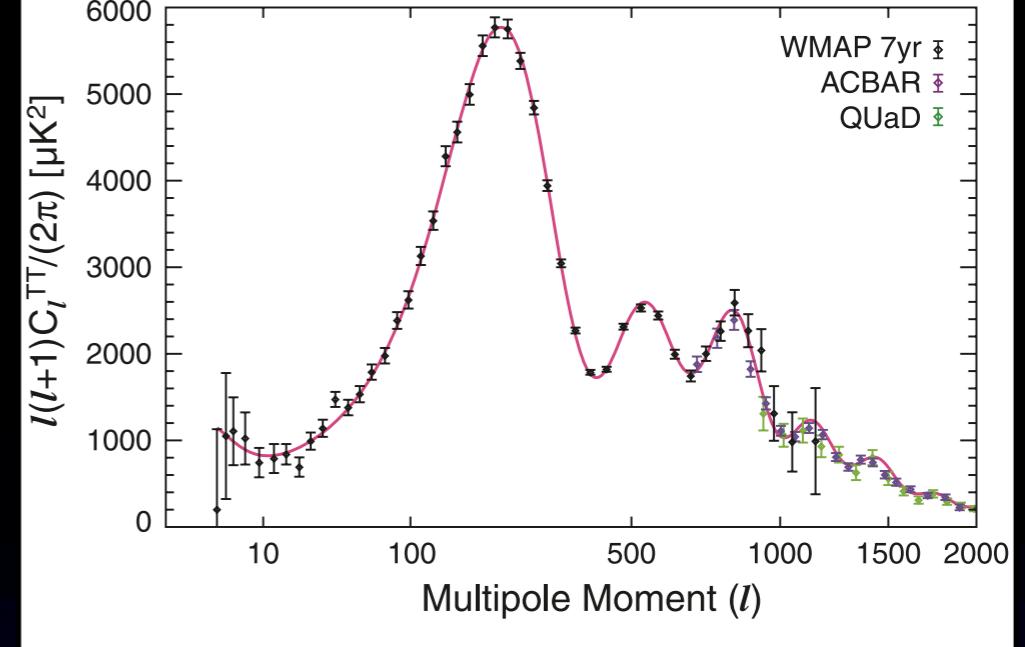
photometric redshift



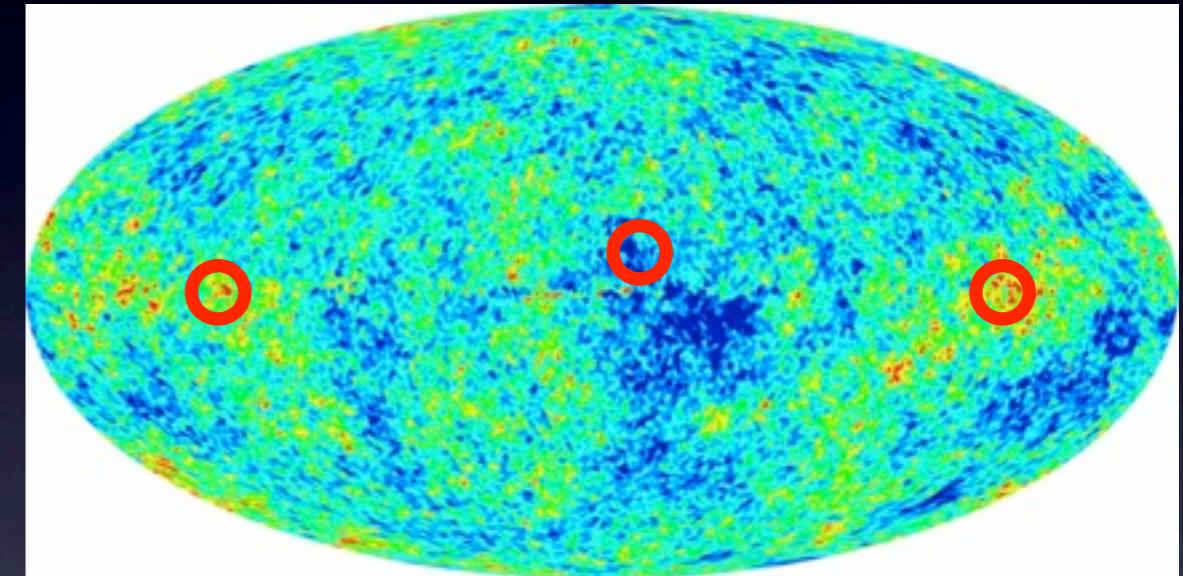
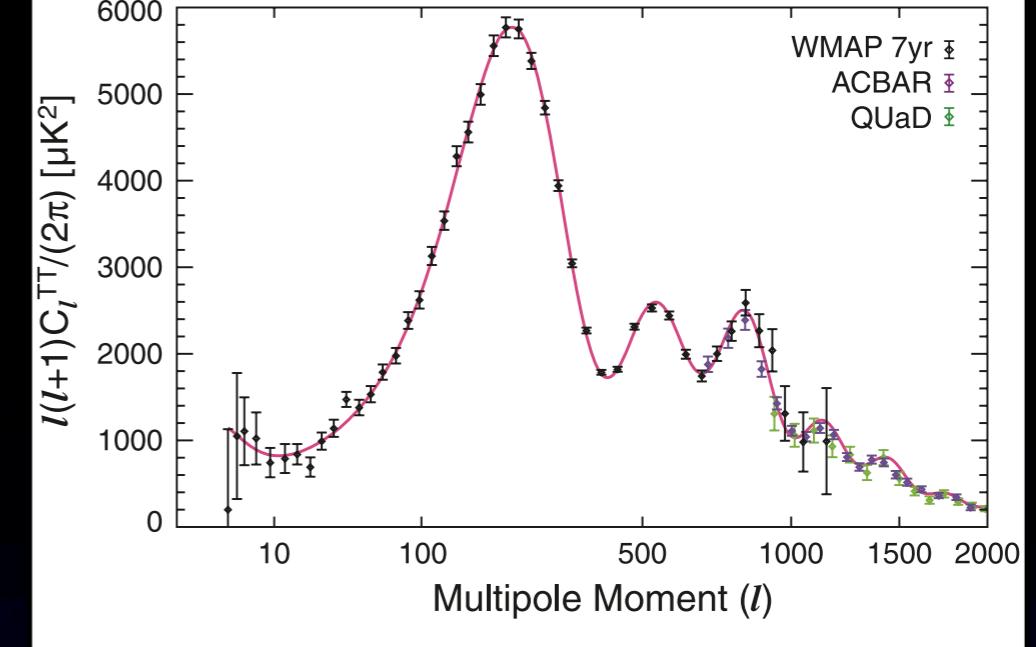
分光を
あきらめて
数を稼ぐ

Baryon Acoustic Oscillation

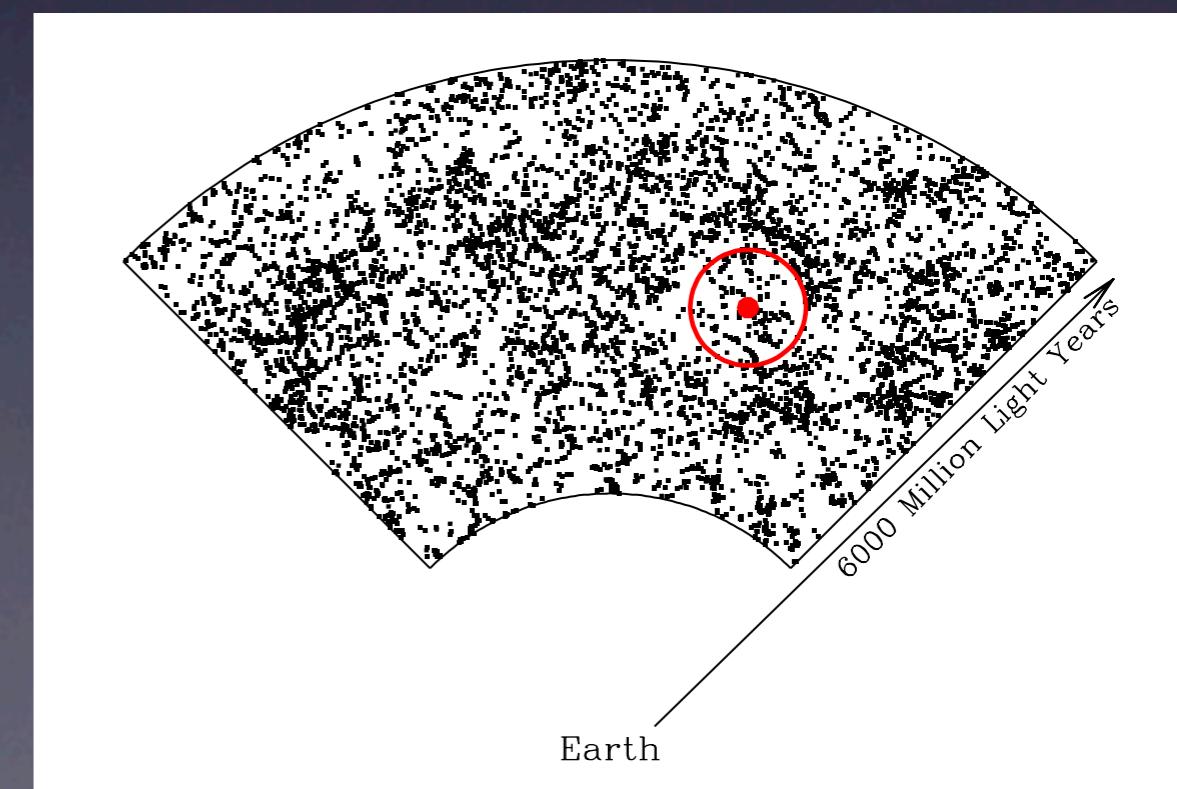
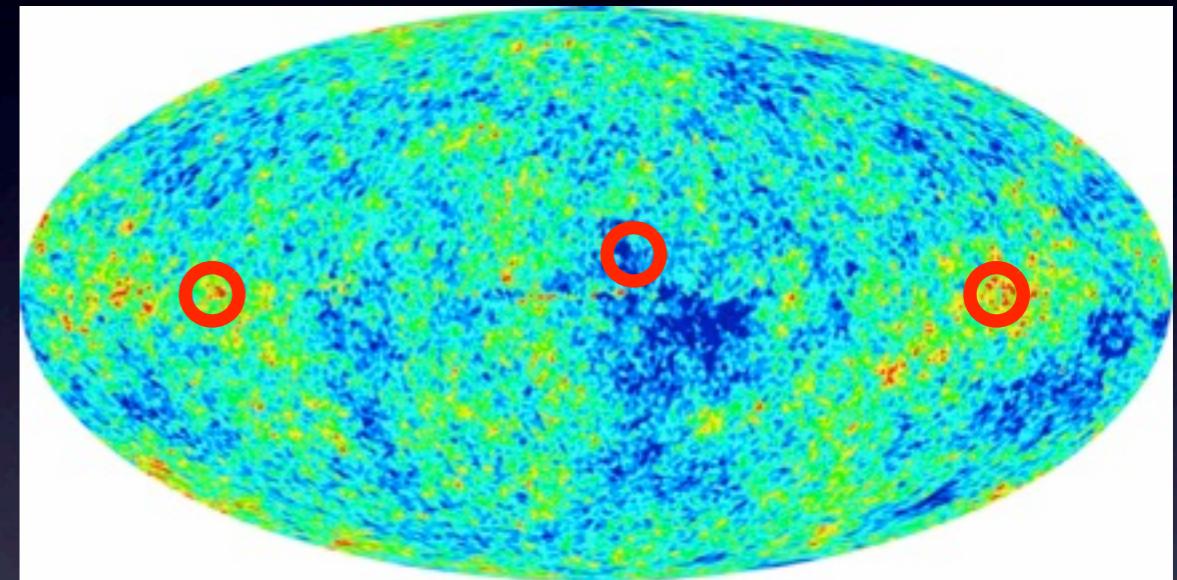
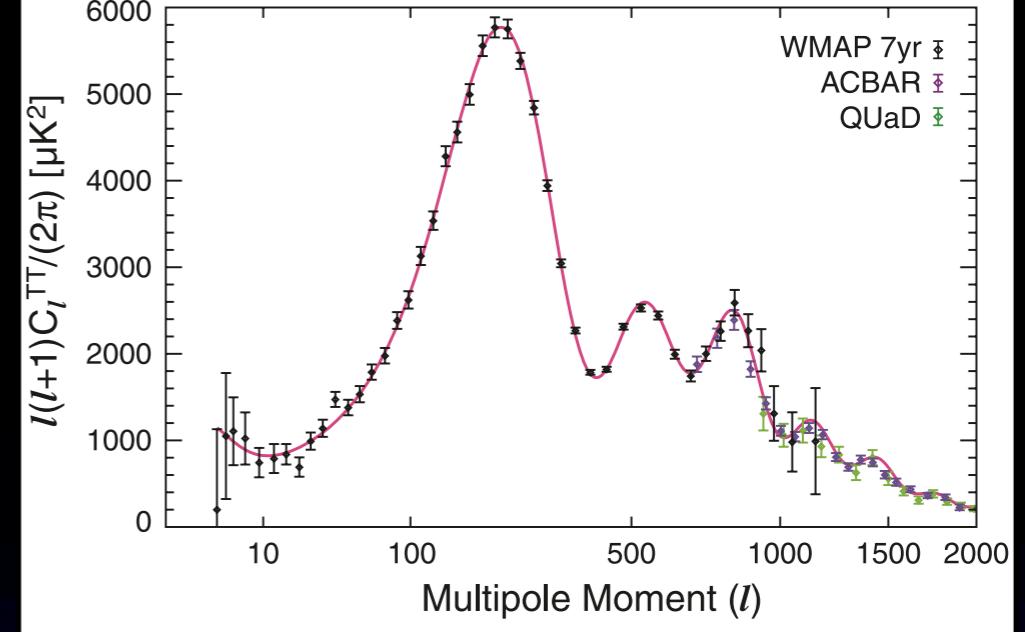
BAO



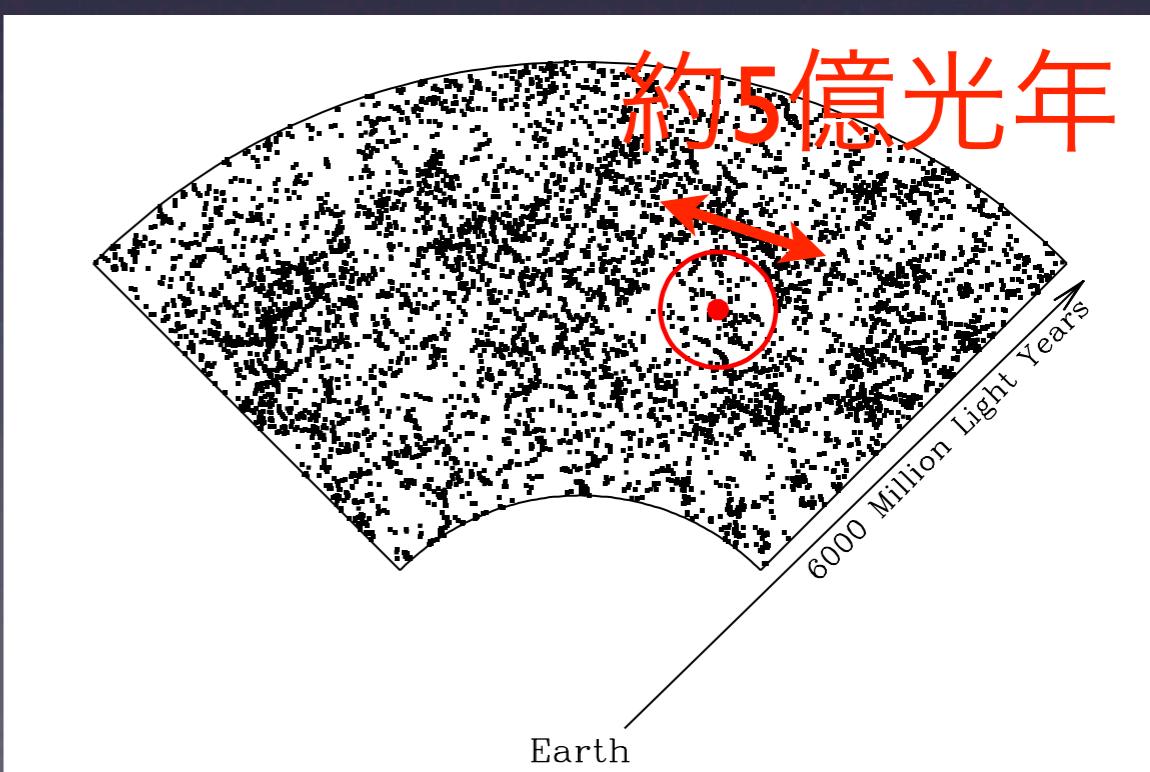
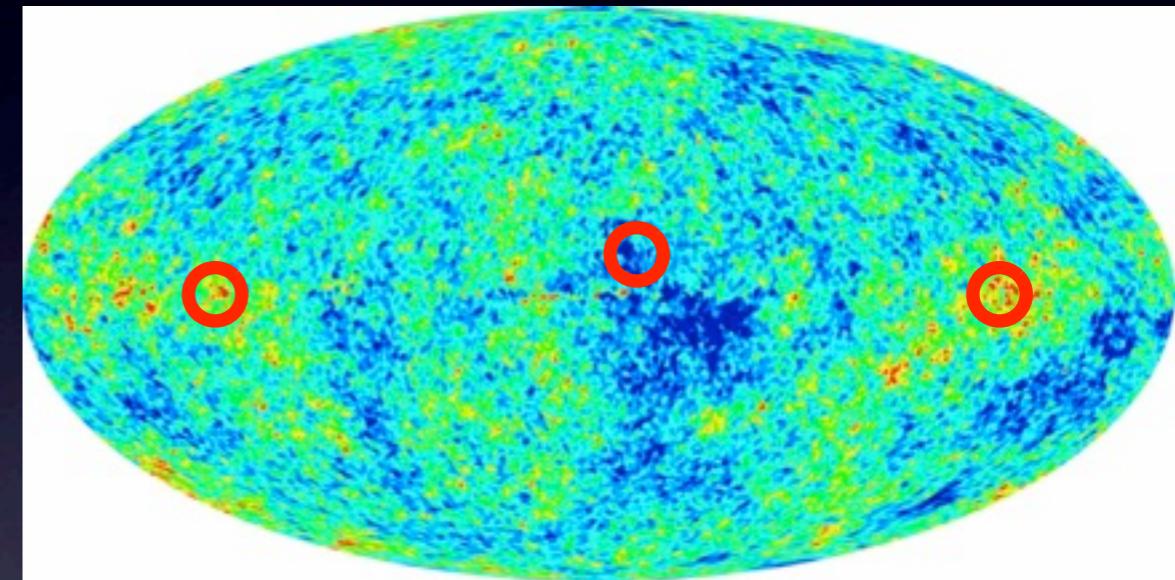
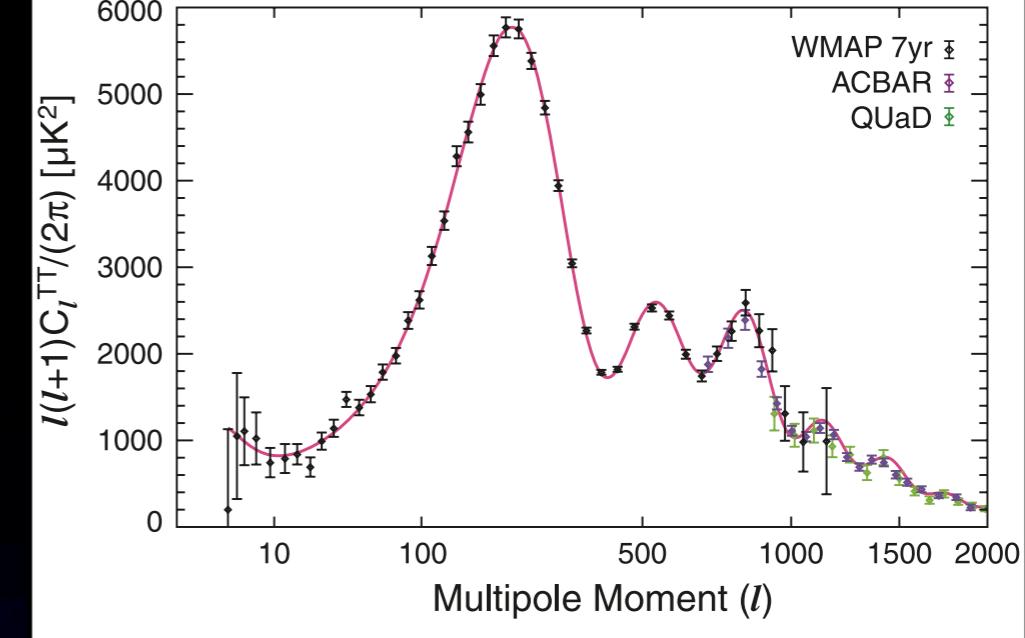
BAO



BAO

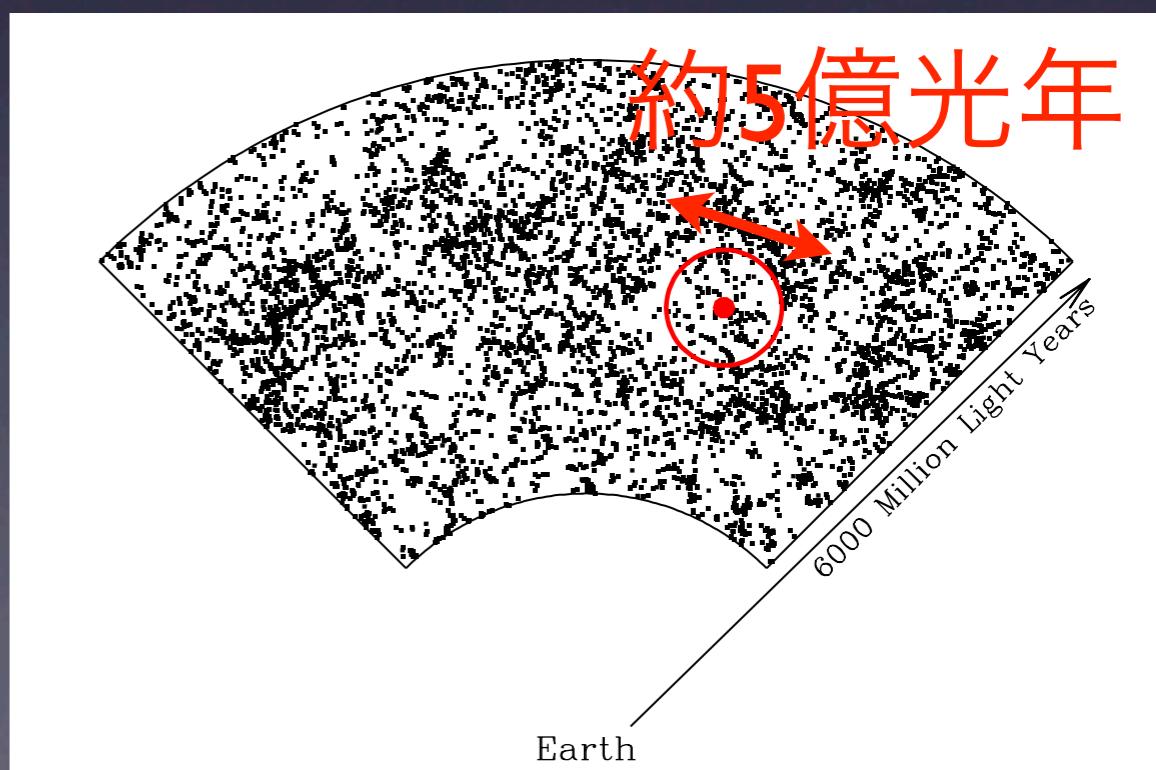
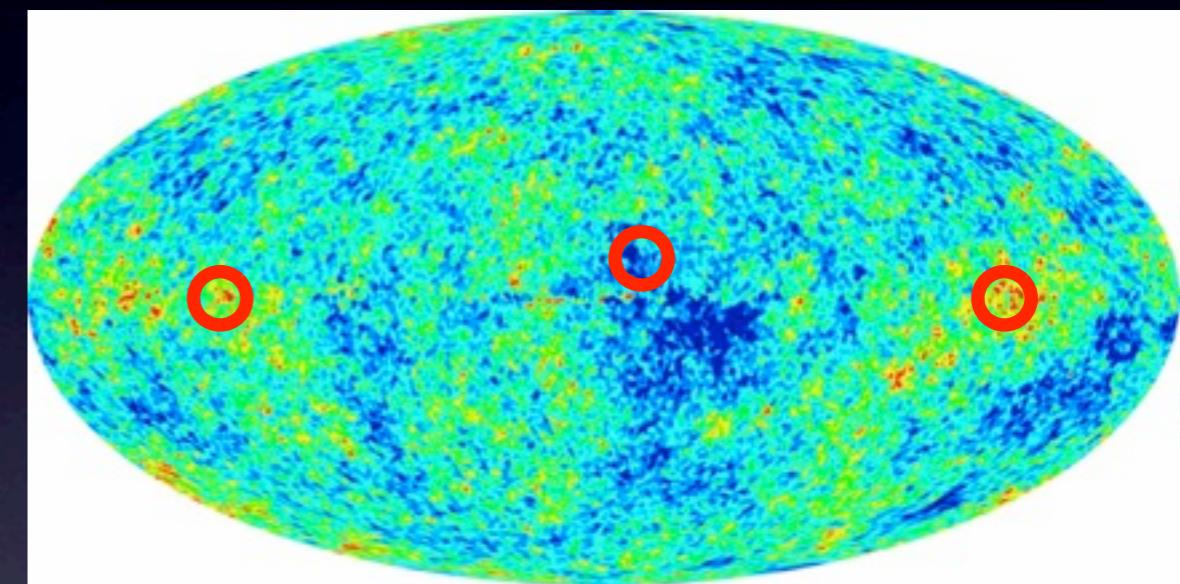
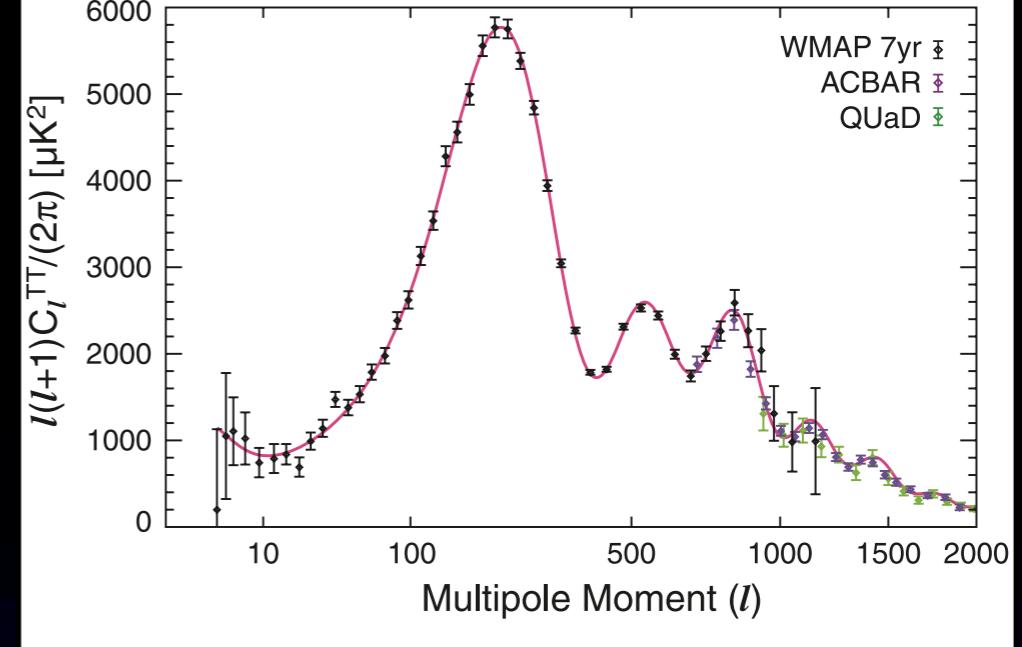


BAO



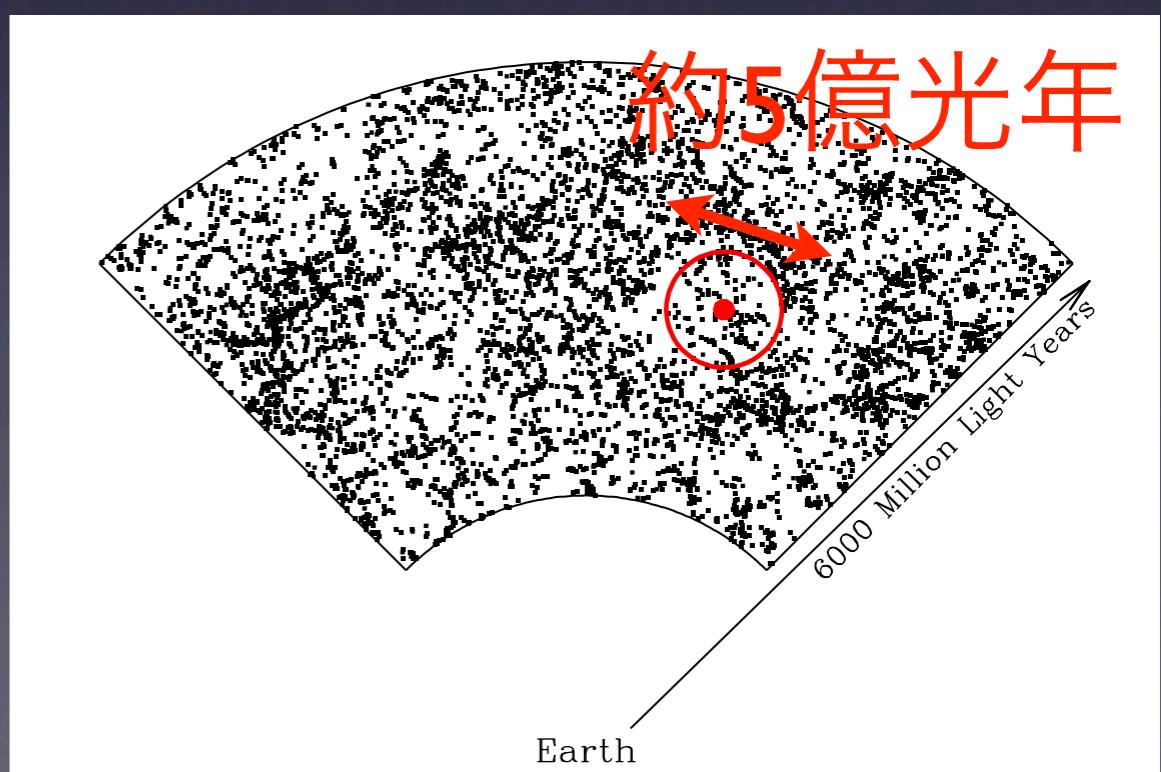
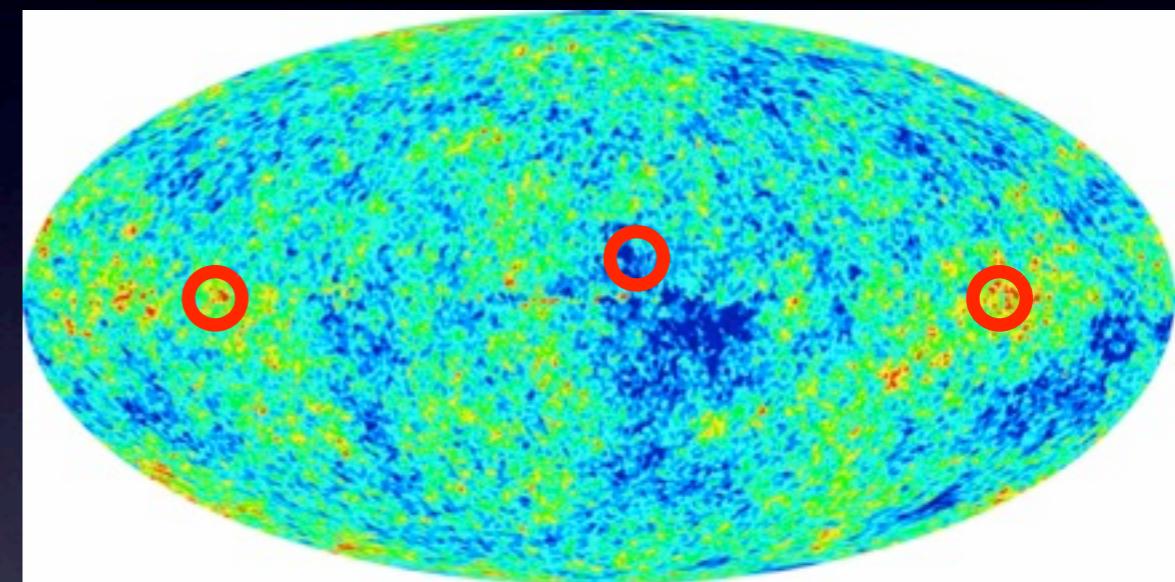
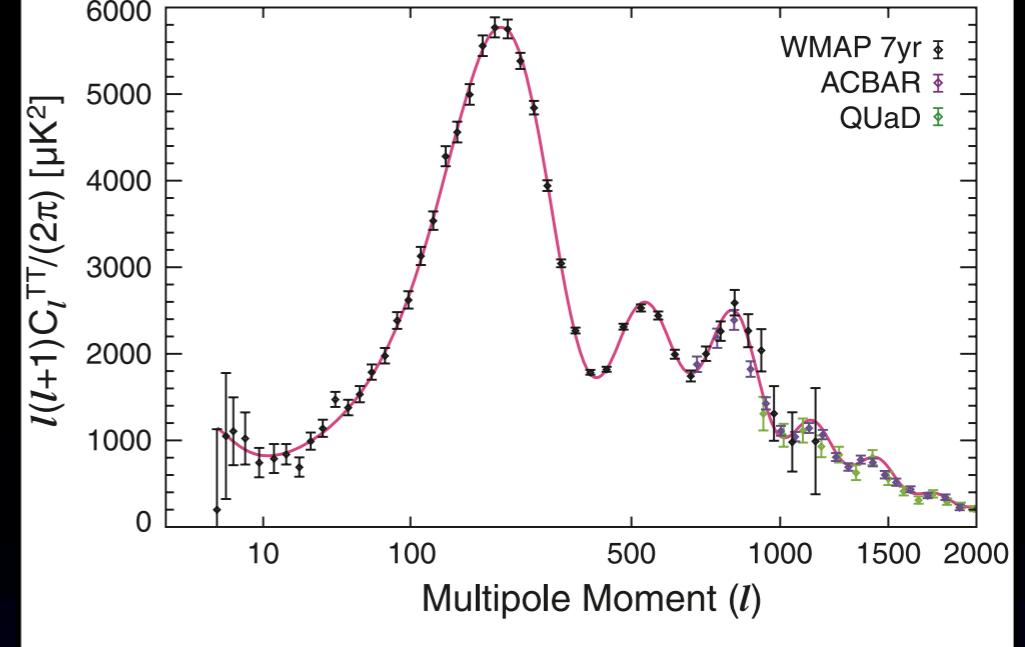
BAO

- 銀河の集まり方には特徴的な距離 (148 ± 3 Mpc)



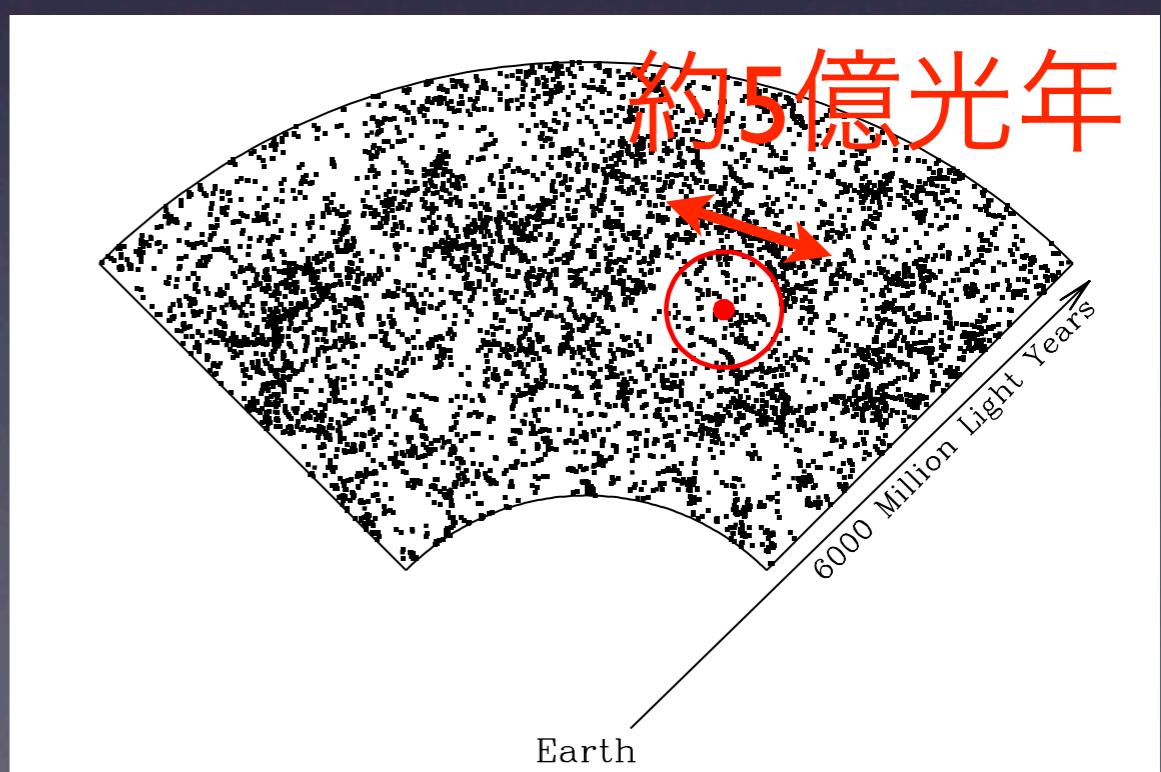
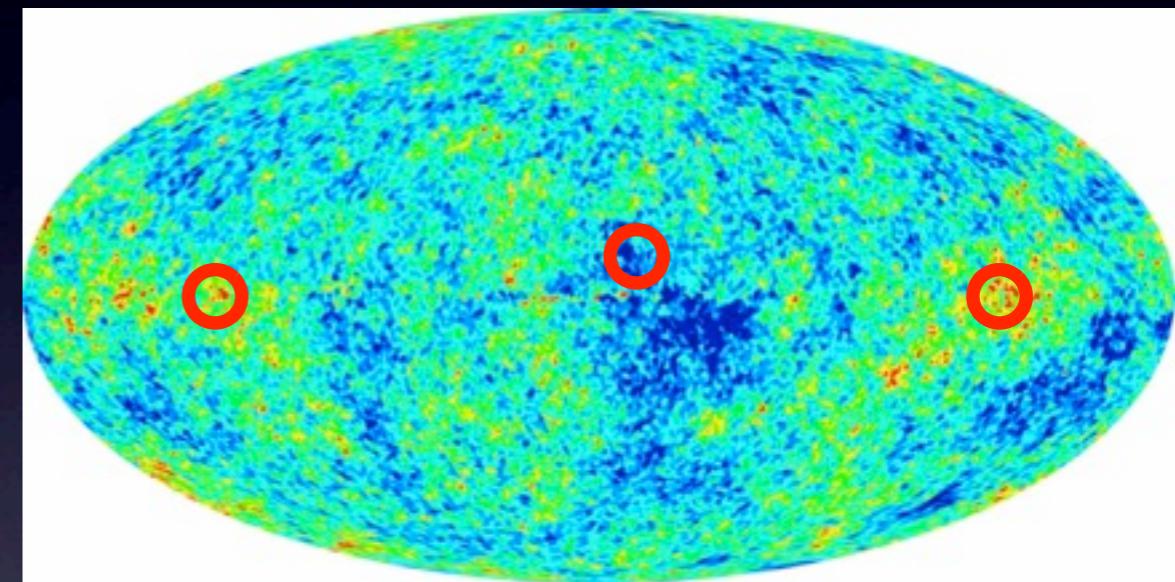
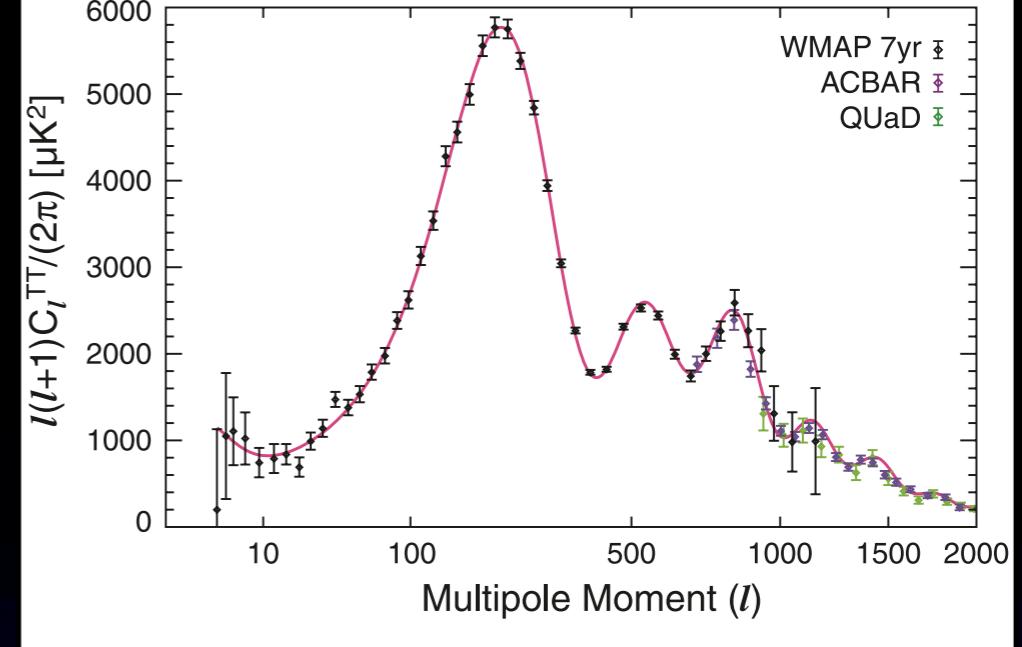
BAO

- 銀河の集まり方には特徴的な距離 (148 ± 3 Mpc)
「バリオン振動」



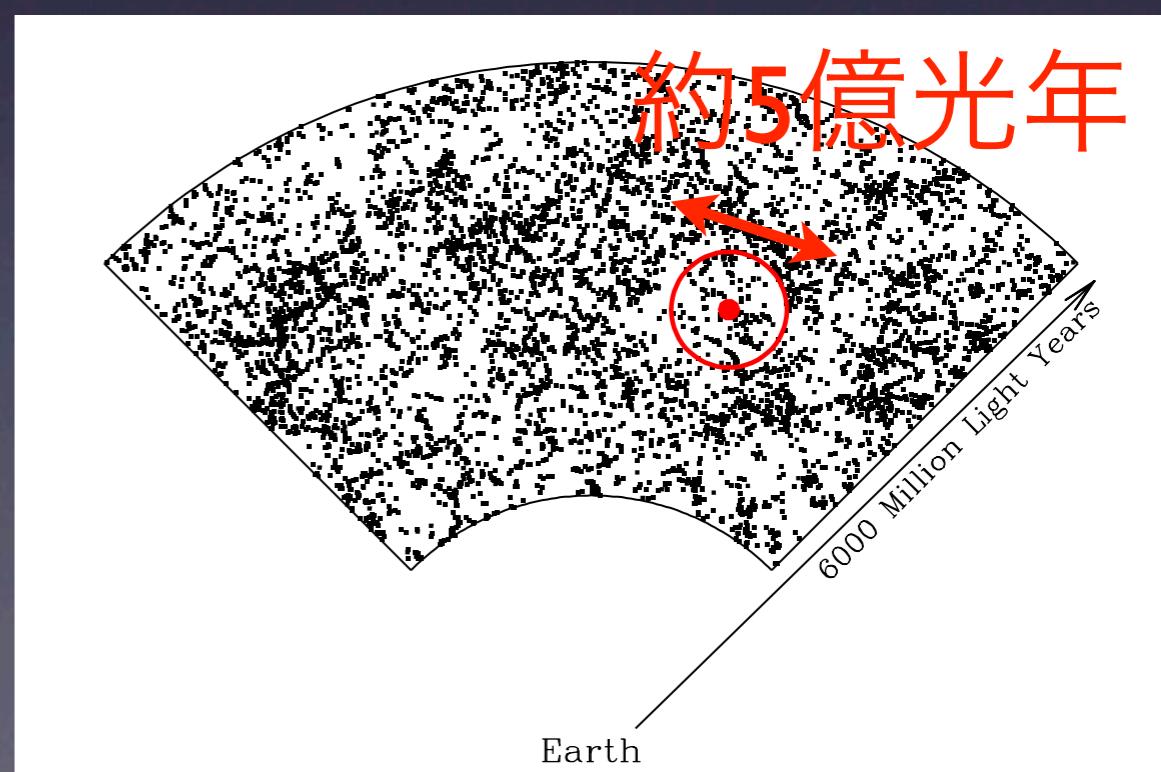
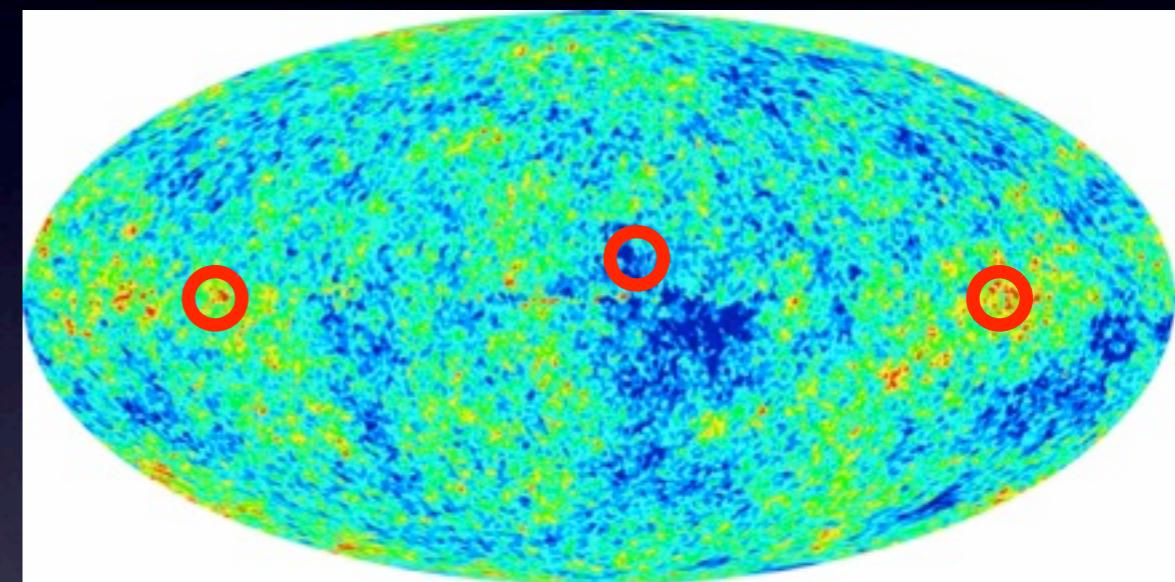
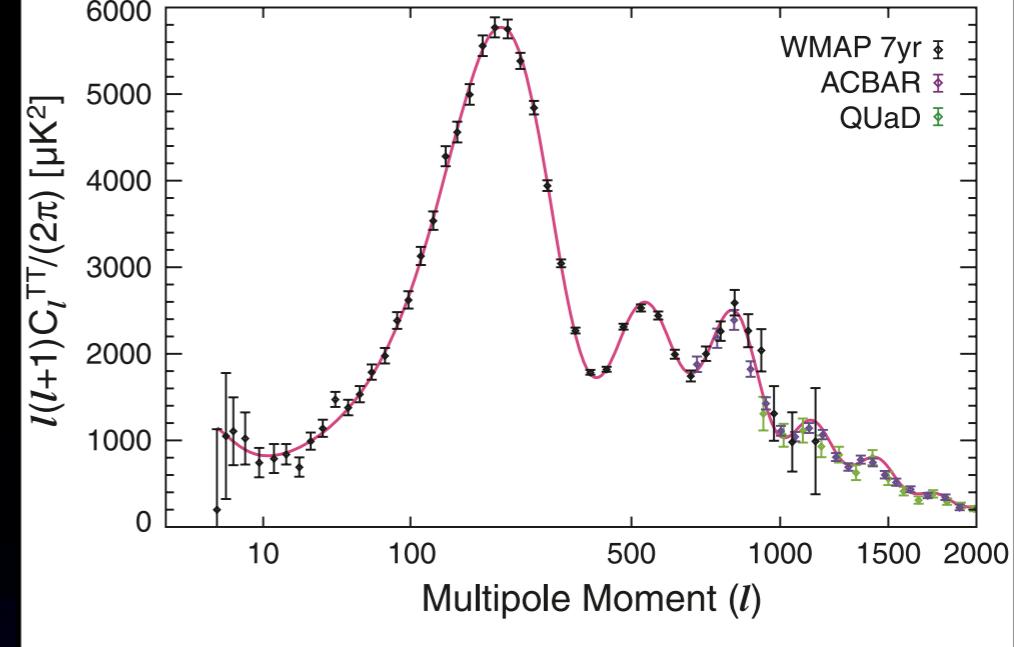
BAO

- 銀河の集まり方には特徴的な距離 (148 ± 3 Mpc)
「バリオン振動」
- 分光器で宇宙膨張の速さ



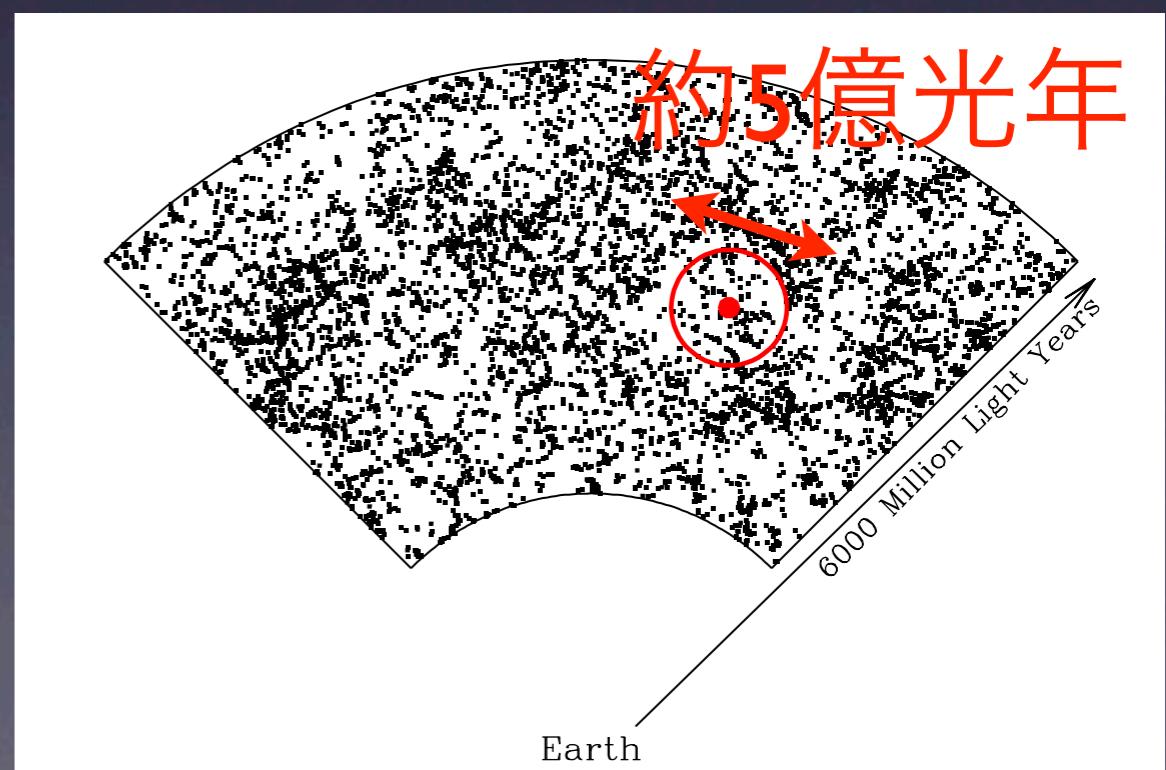
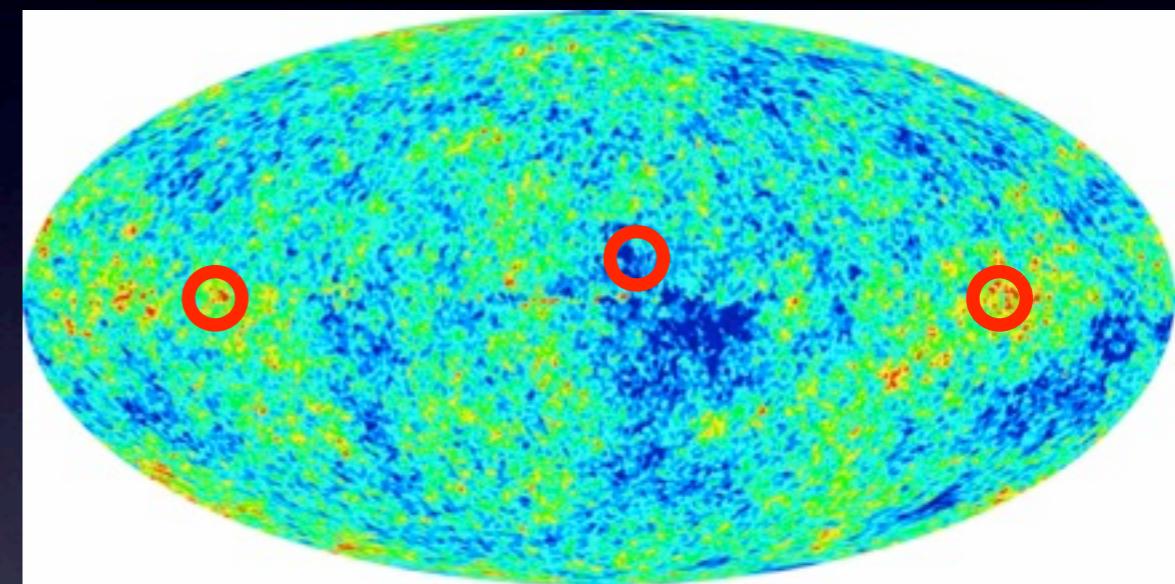
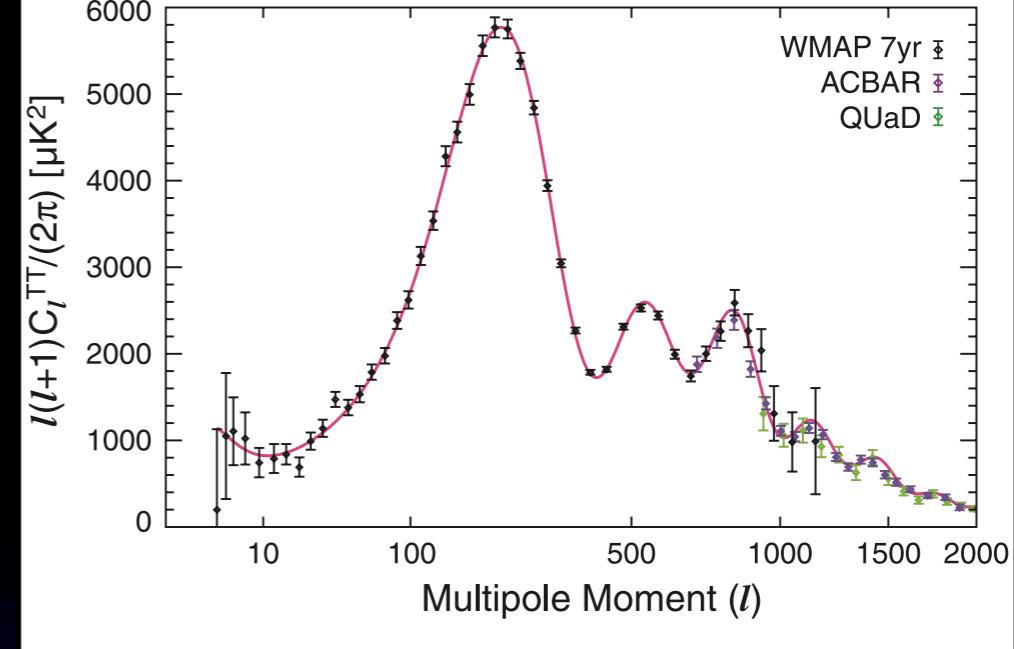
BAO

- 銀河の集まり方には特徴的な距離 (148 ± 3 Mpc)
「バリオン振動」
- 分光器で宇宙膨張の速さ
- 膨張と距離を組合わせると宇宙膨張の歴史が測れる



BAO

- 銀河の集まり方には特徴的な距離 (148 ± 3 Mpc)
「バリオン振動」
- 分光器で宇宙膨張の速さ
- 膨張と距離を組合わせると宇宙膨張の歴史が測れる
- 暗黒エネルギーの正体を暴く



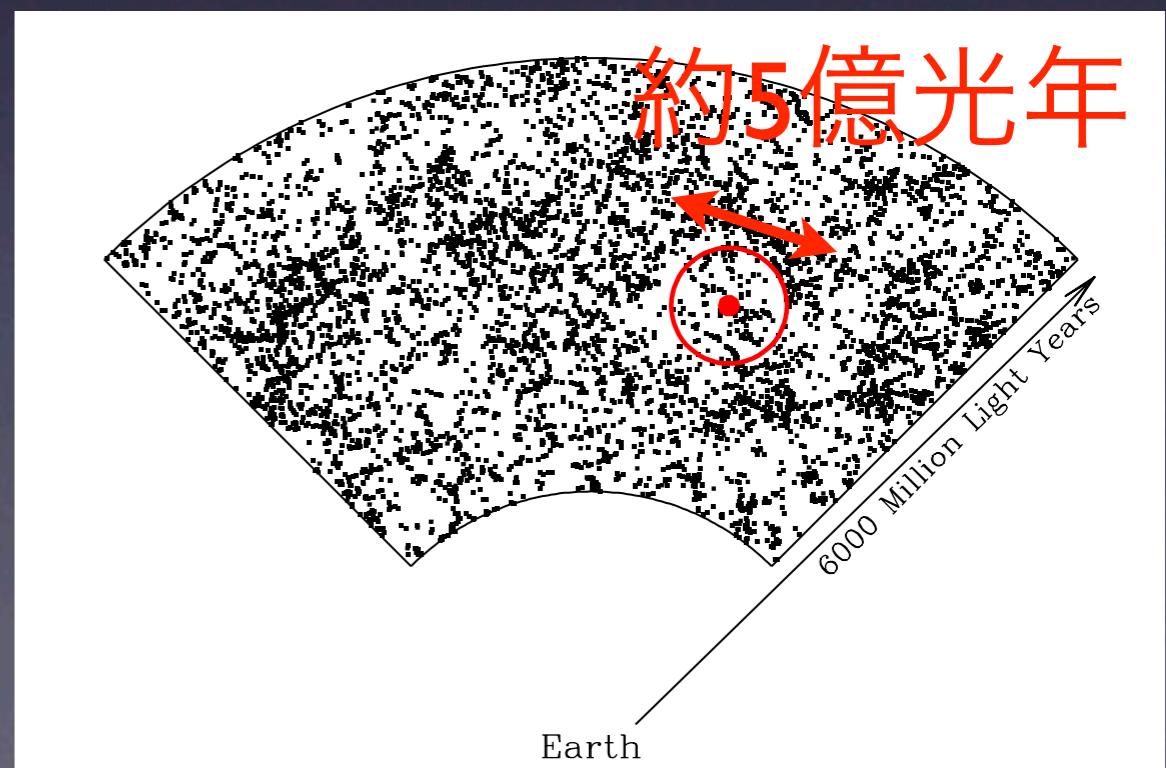
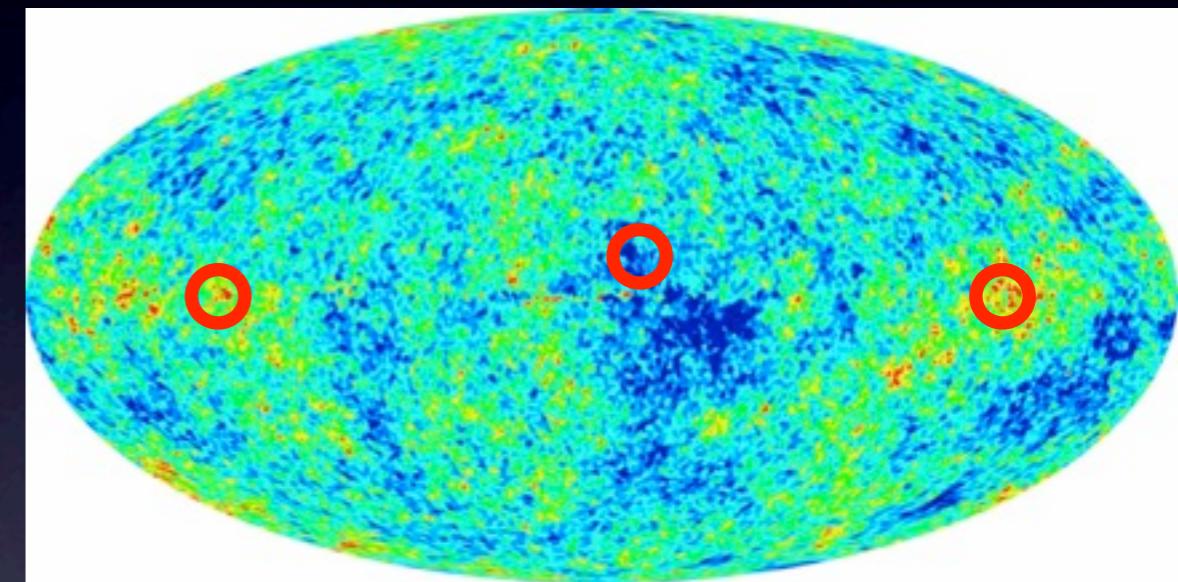
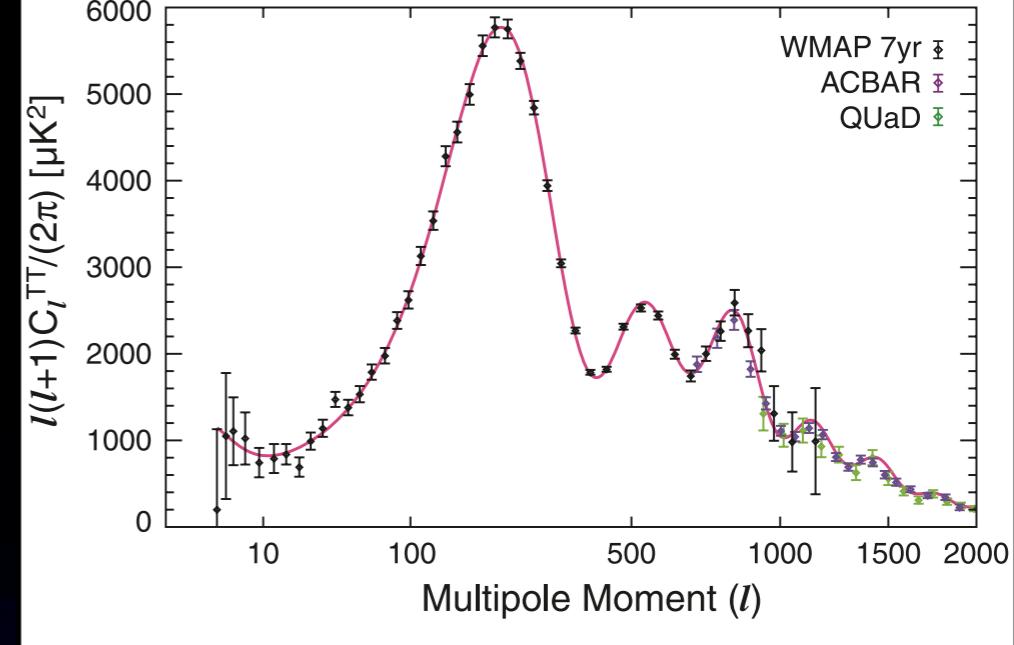
BAO

- 銀河の集まり方には特徴的な距離 (148 ± 3 Mpc)
「バリオン振動」

- 分光器で宇宙膨張の速さ
- 膨張と距離を組合わせると宇

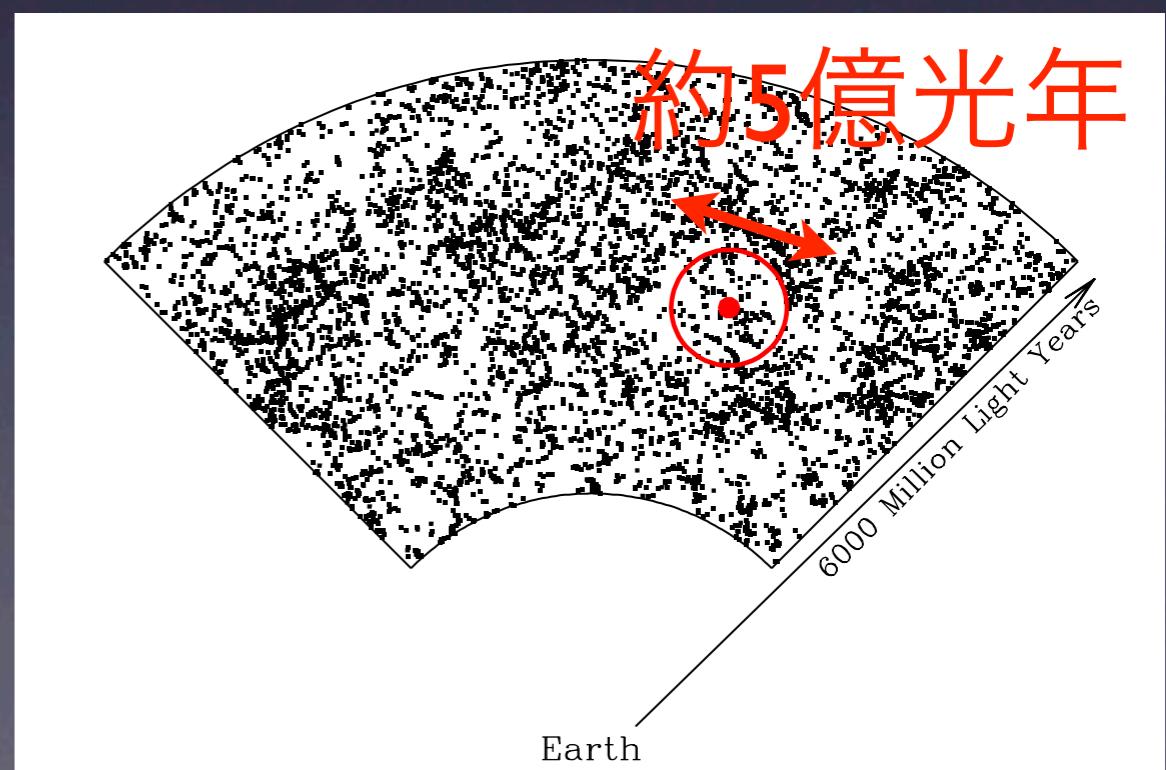
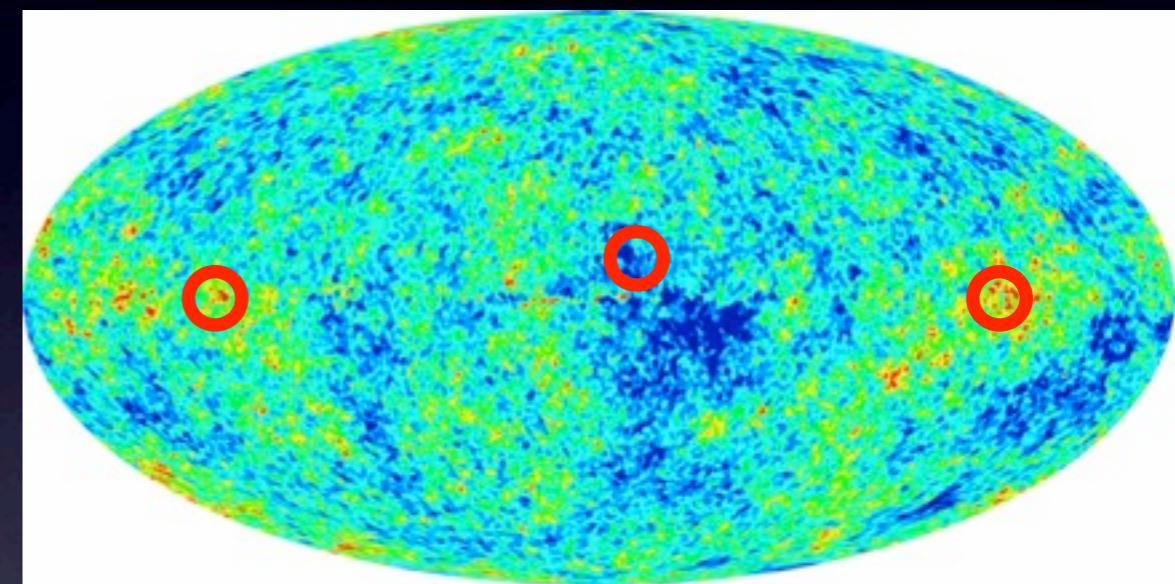
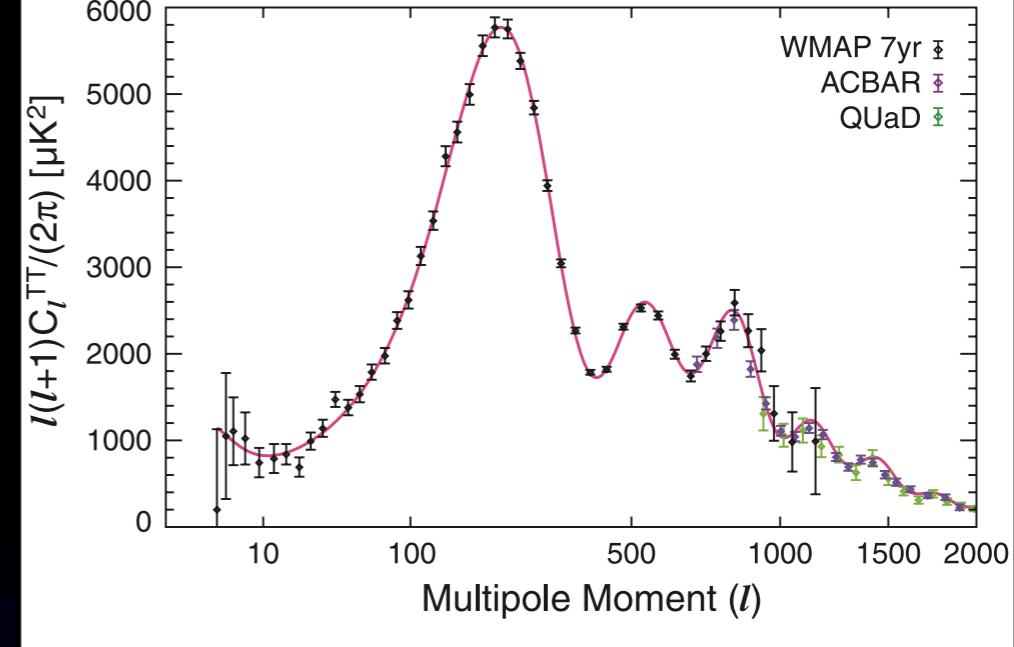
宙膨張の歴史が測れる

- 暗黒エネルギーの正体を暴く
- 膨張の将来を予測

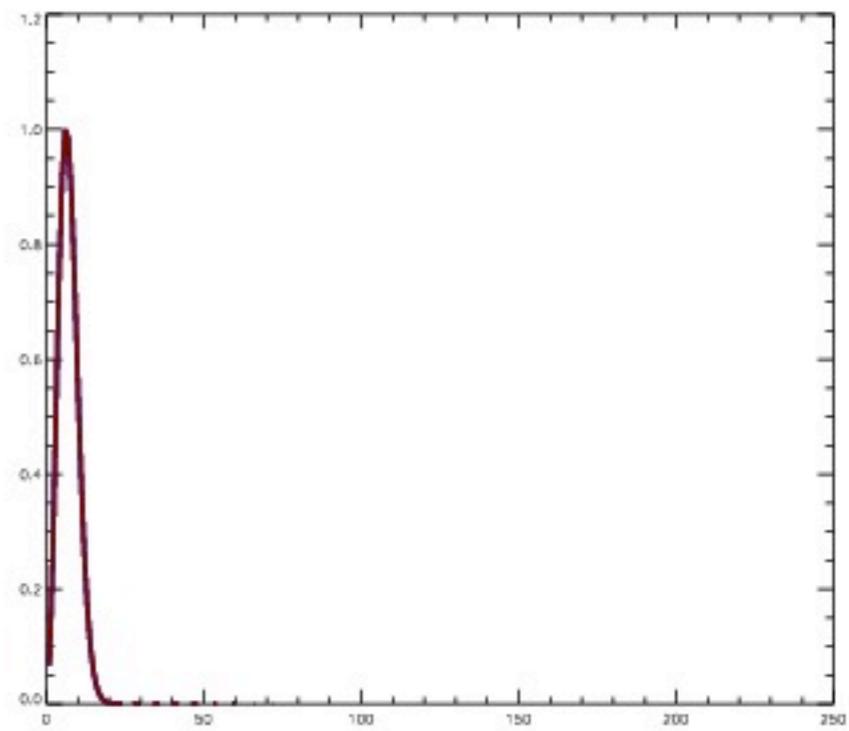
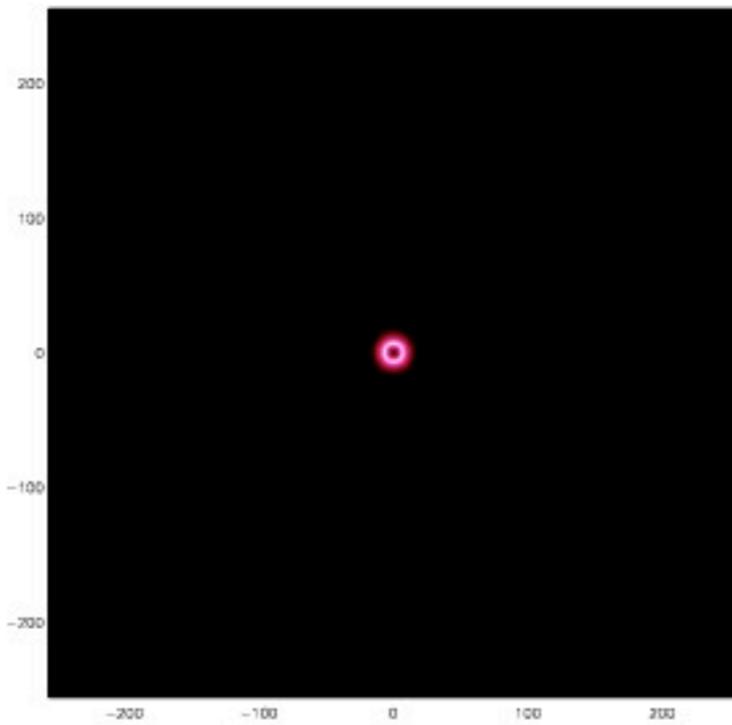
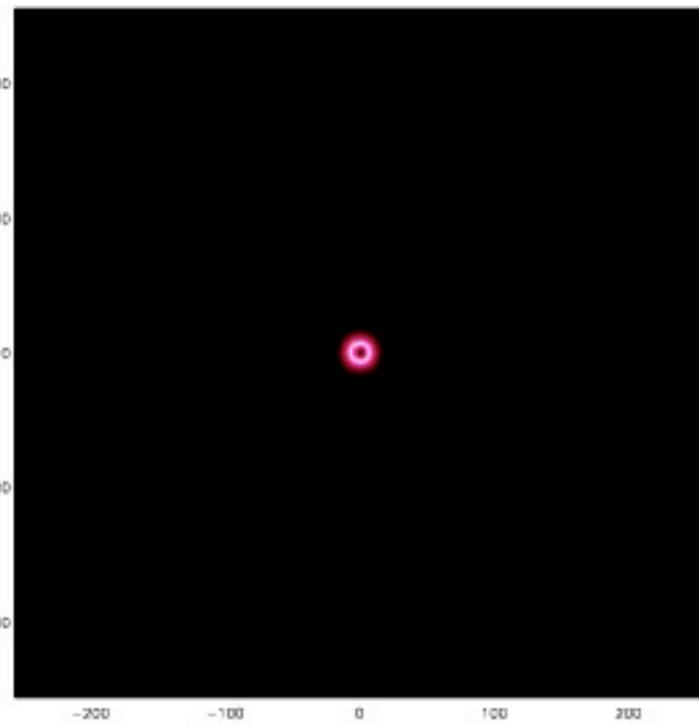


BAO

- 銀河の集まり方には特徴的な距離 (148 ± 3 Mpc)
「バリオン振動」
- 分光器で宇宙膨張の速さ
- 膨張と距離を組合わせると宇宙膨張の歴史が測れる
- 暗黒エネルギーの正体を暴く
- 膨張の将来を予測
- 宇宙に終わりがあるか？

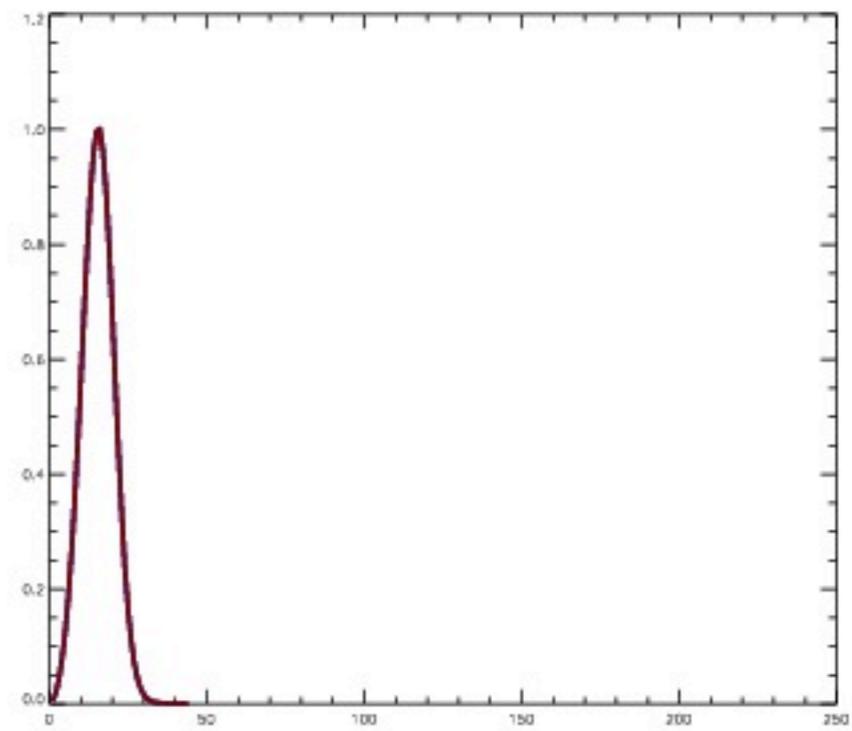
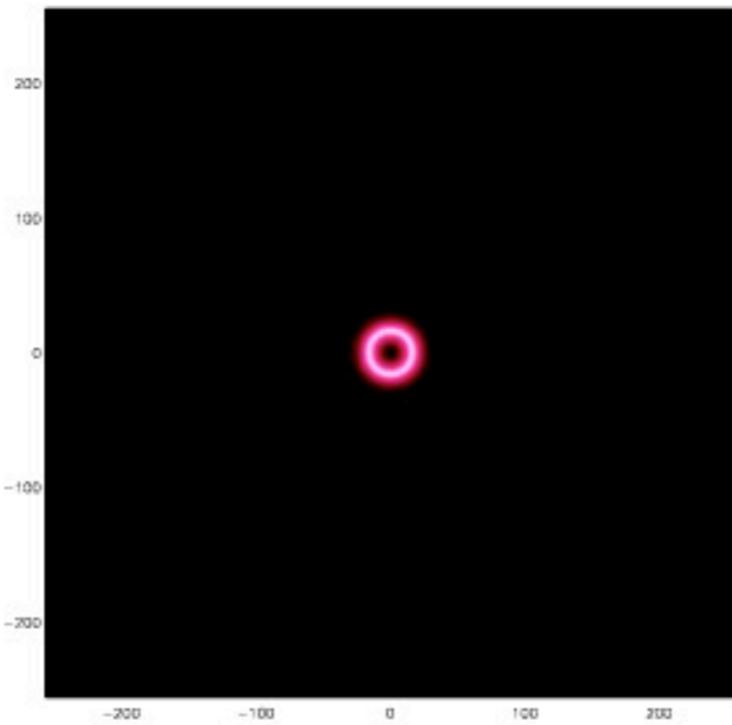
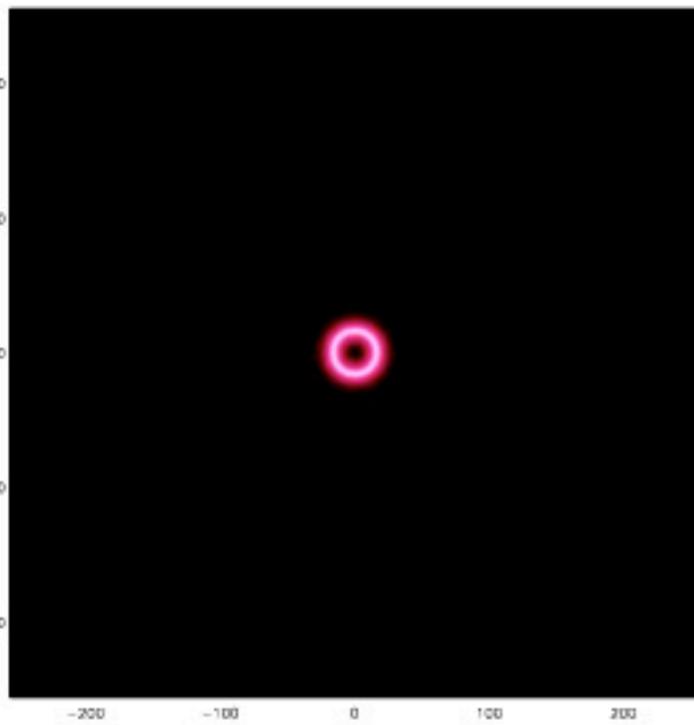


sound horizon



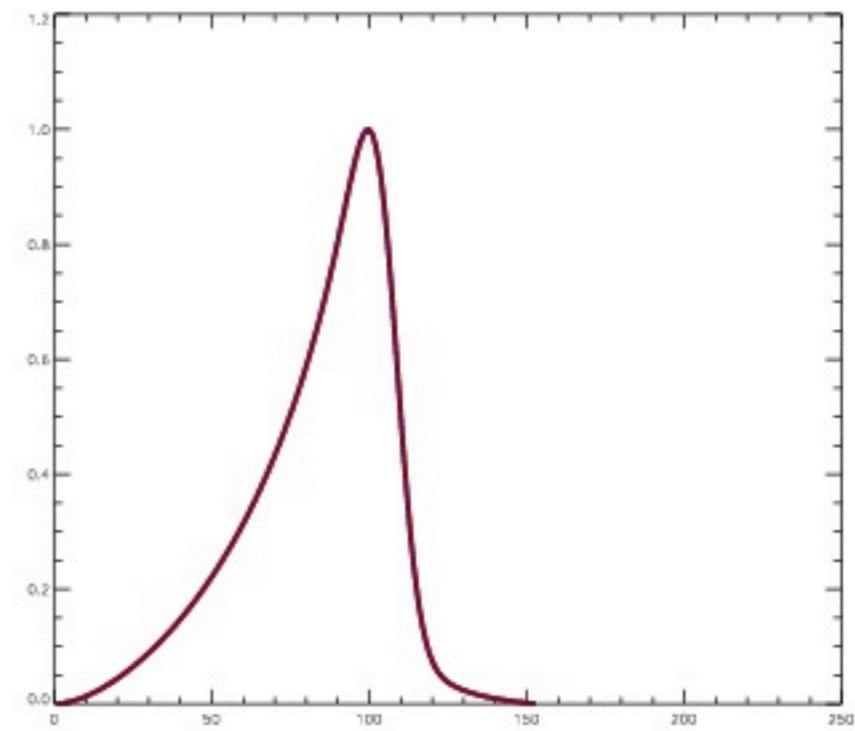
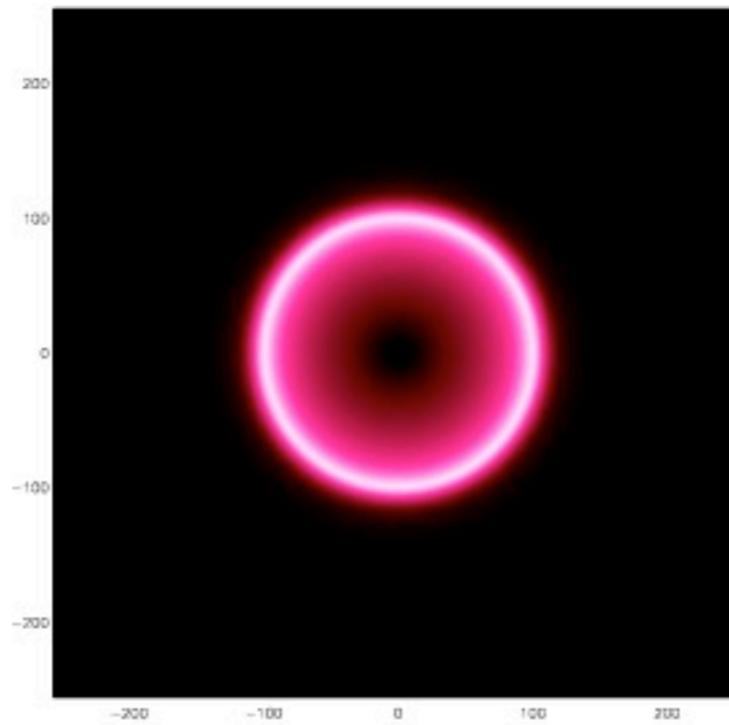
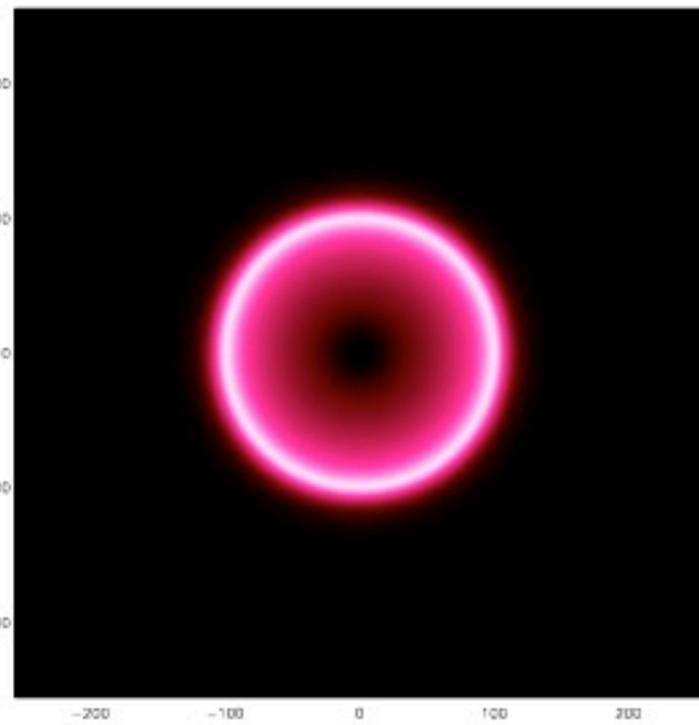
<http://astro.berkeley.edu/~mwhite/bao/>

sound horizon



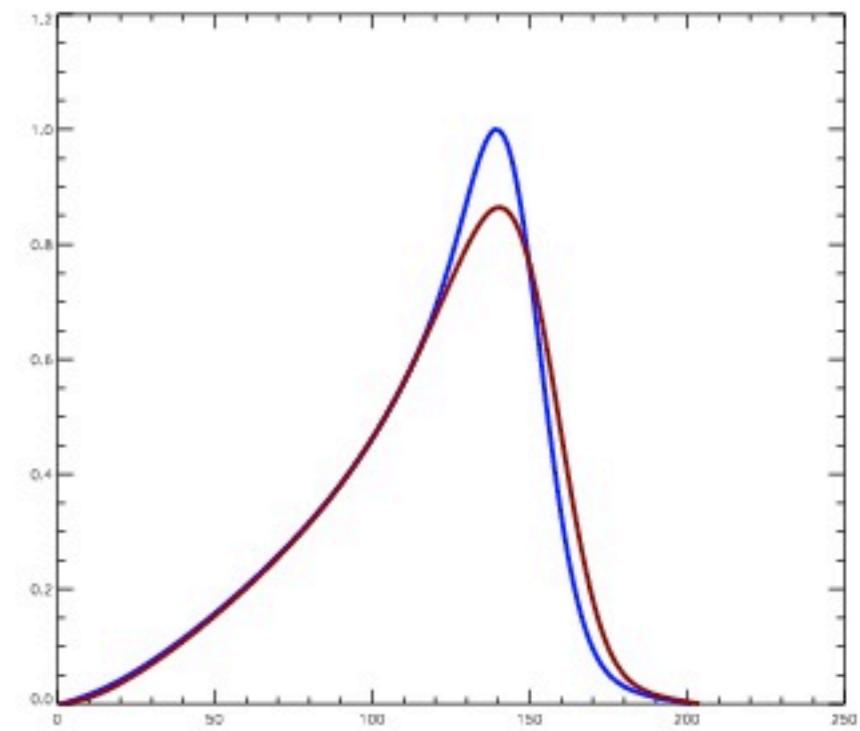
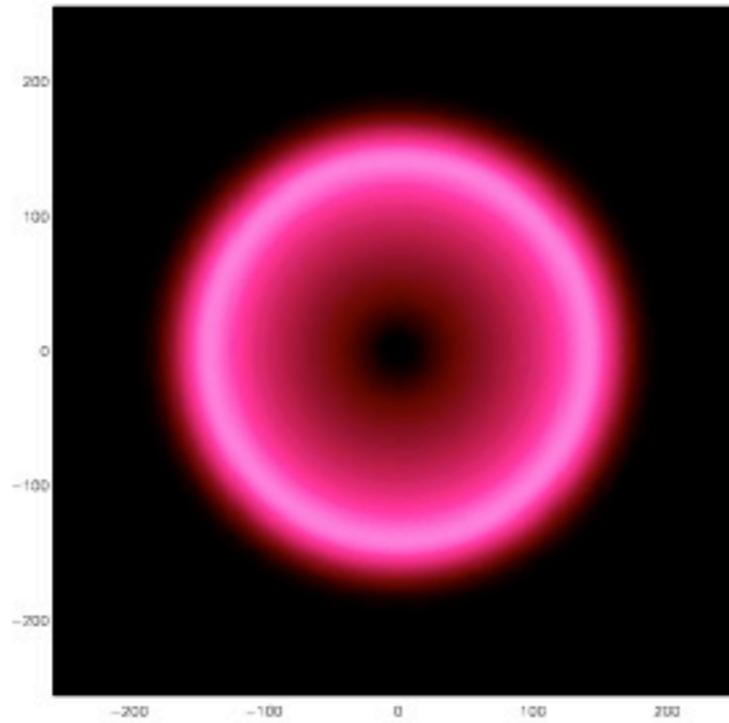
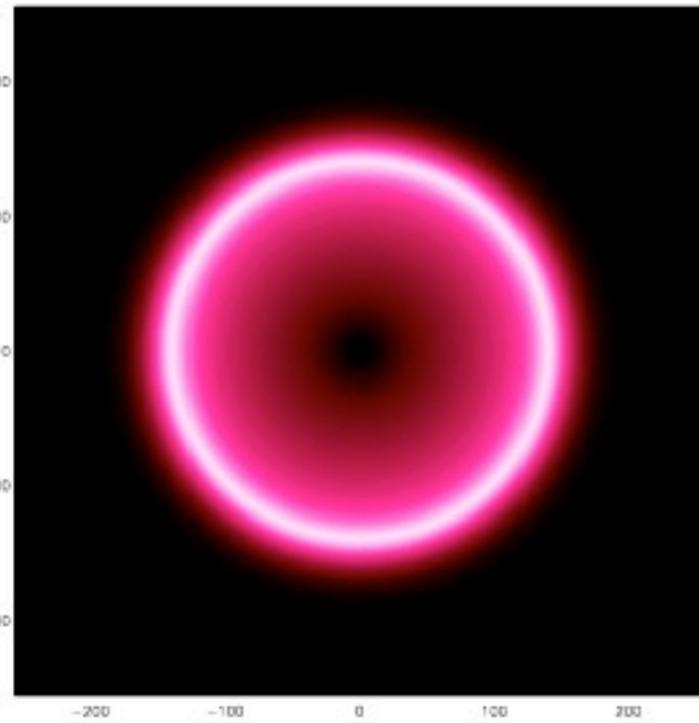
<http://astro.berkeley.edu/~mwhite/bao/>

sound horizon



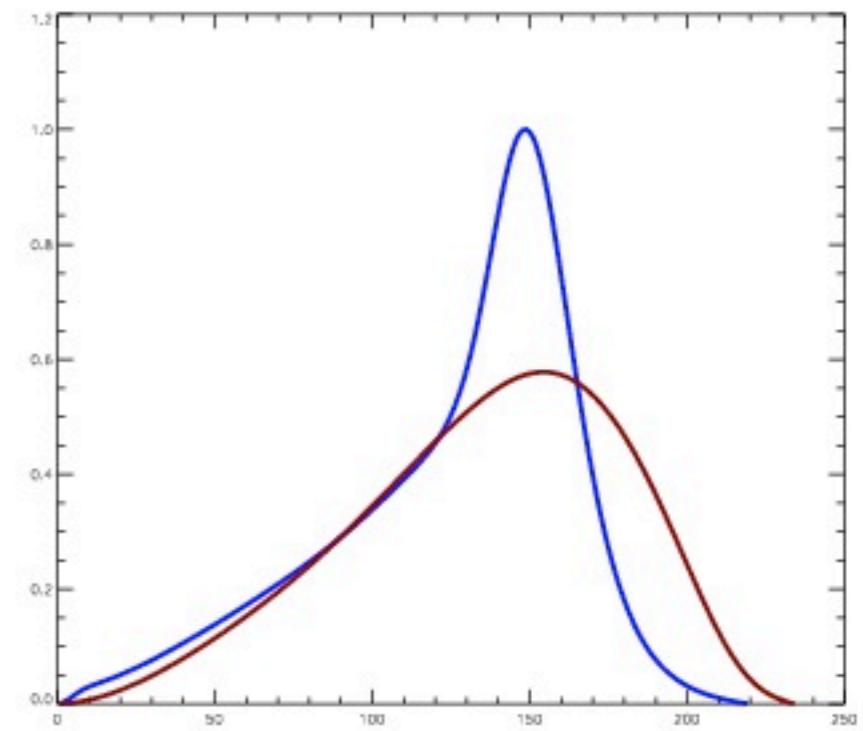
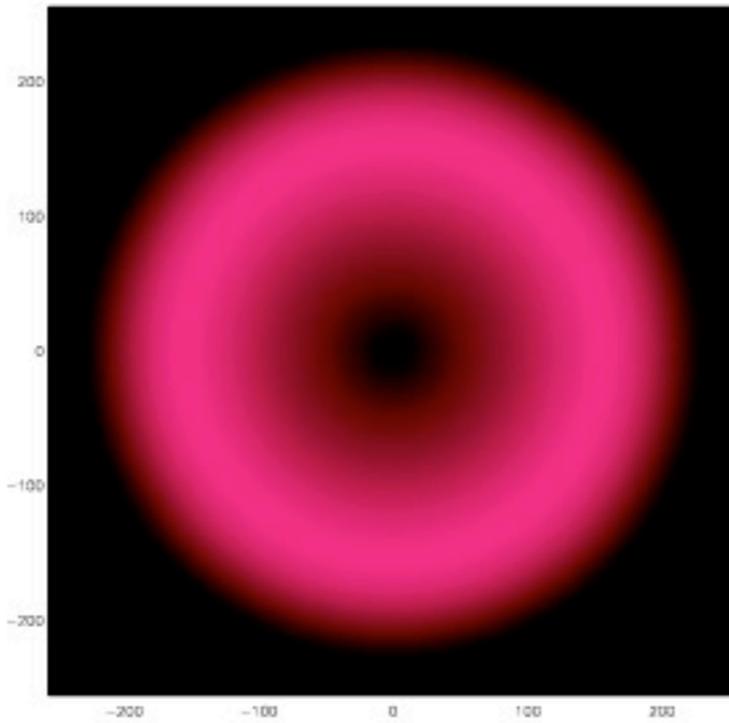
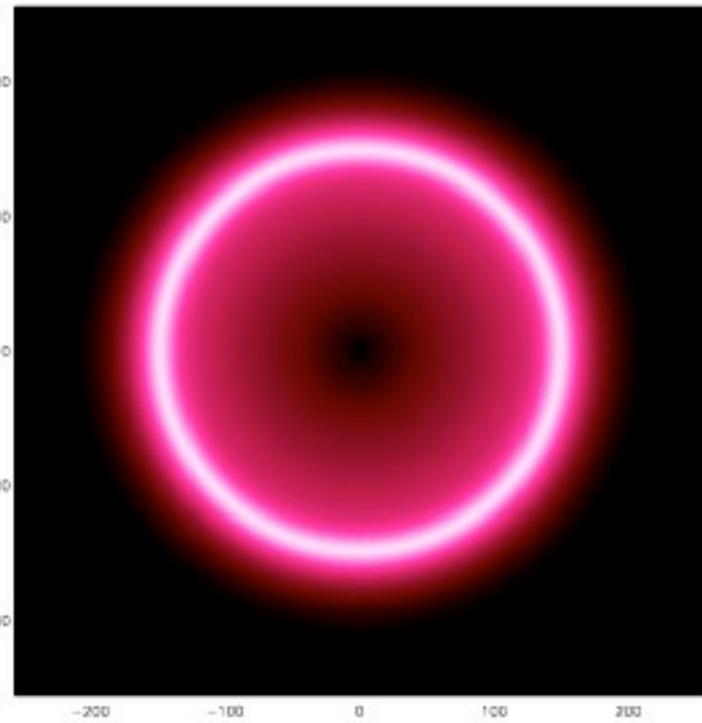
<http://astro.berkeley.edu/~mwhite/bao/>

sound horizon



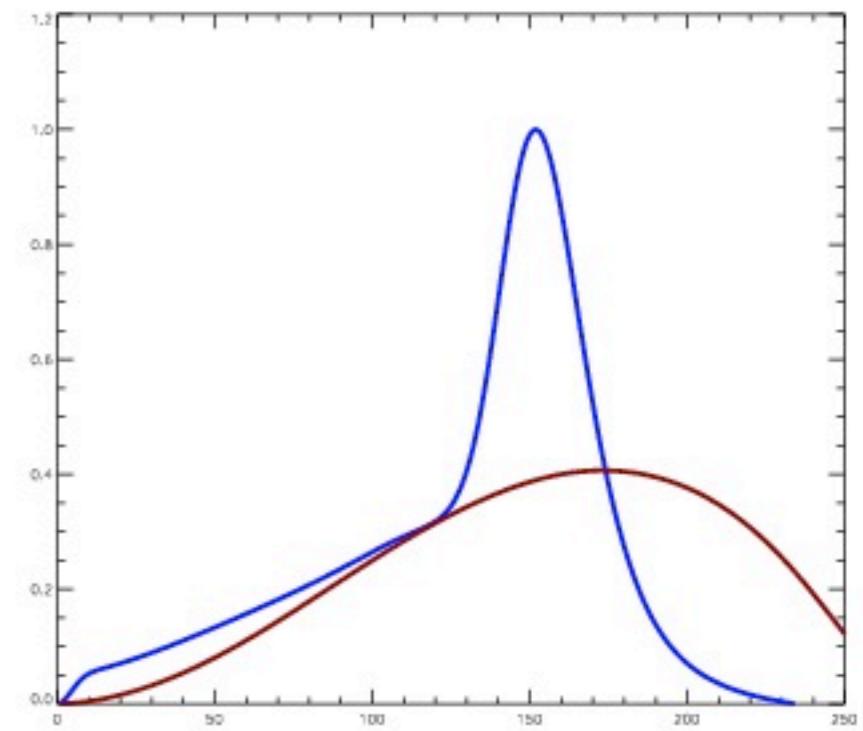
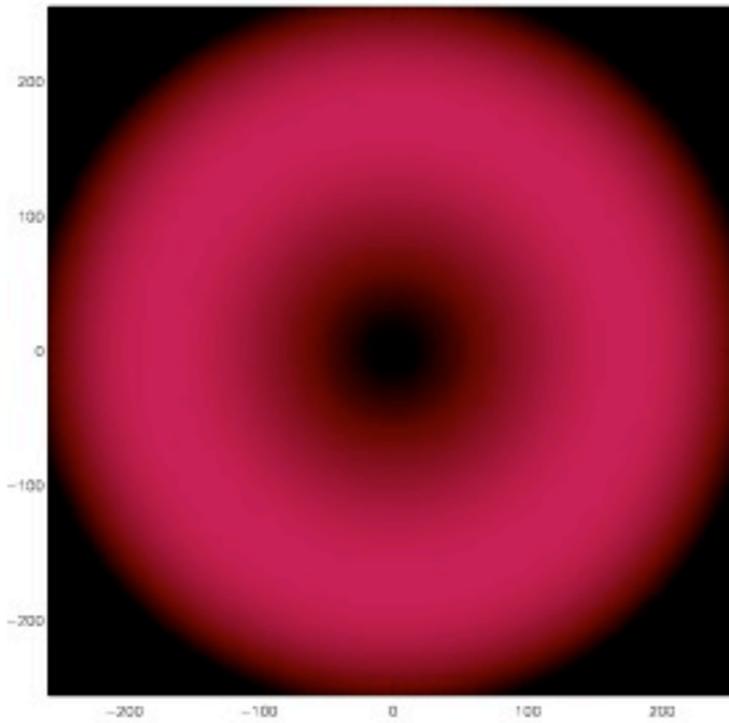
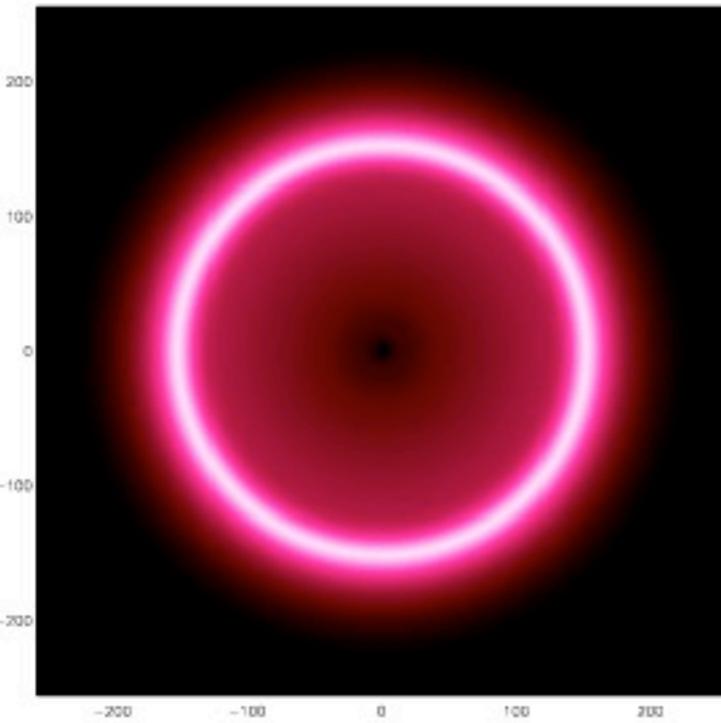
<http://astro.berkeley.edu/~mwhite/bao/>

sound horizon



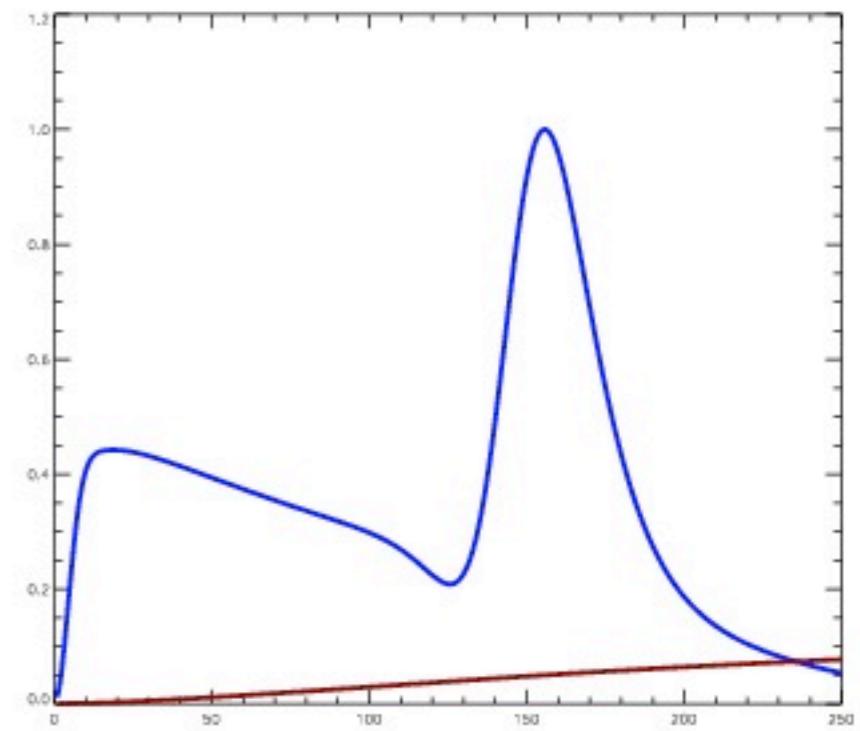
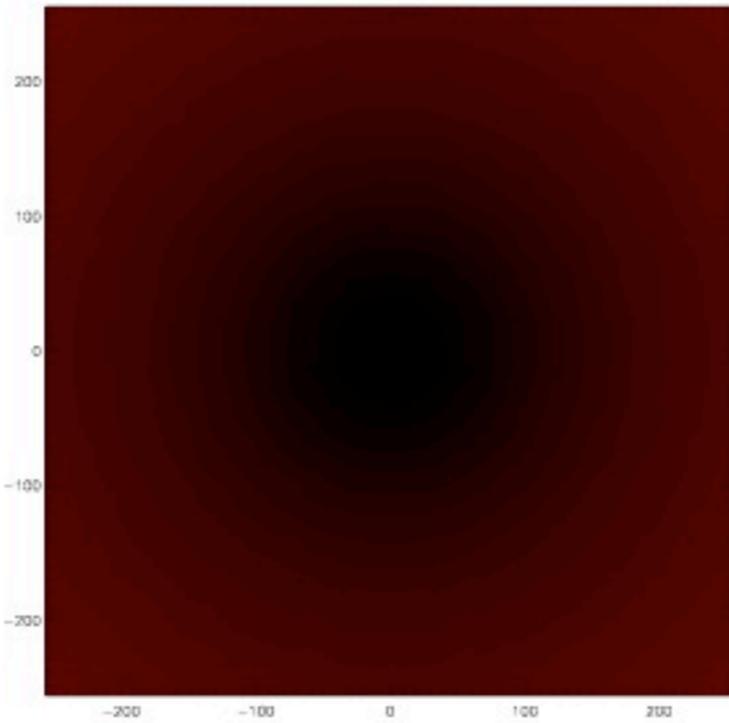
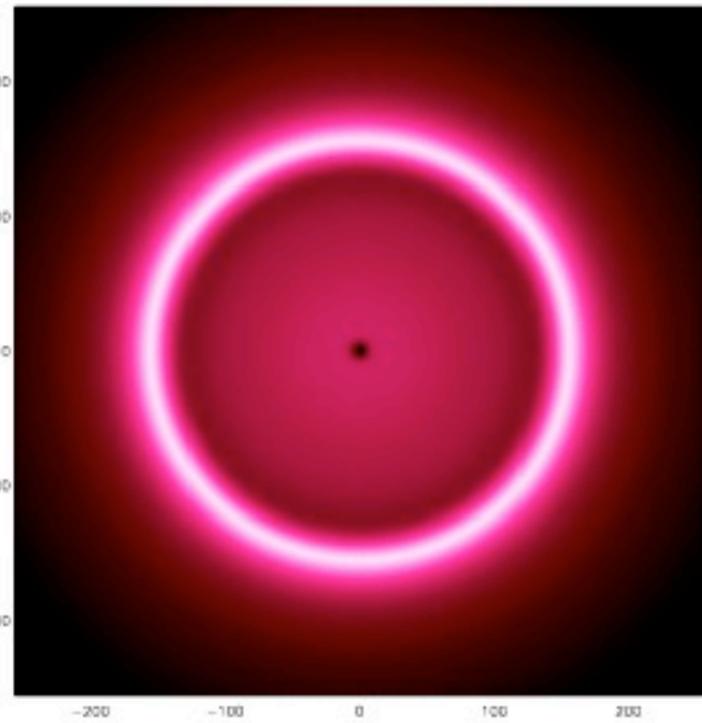
<http://astro.berkeley.edu/~mwhite/bao/>

sound horizon



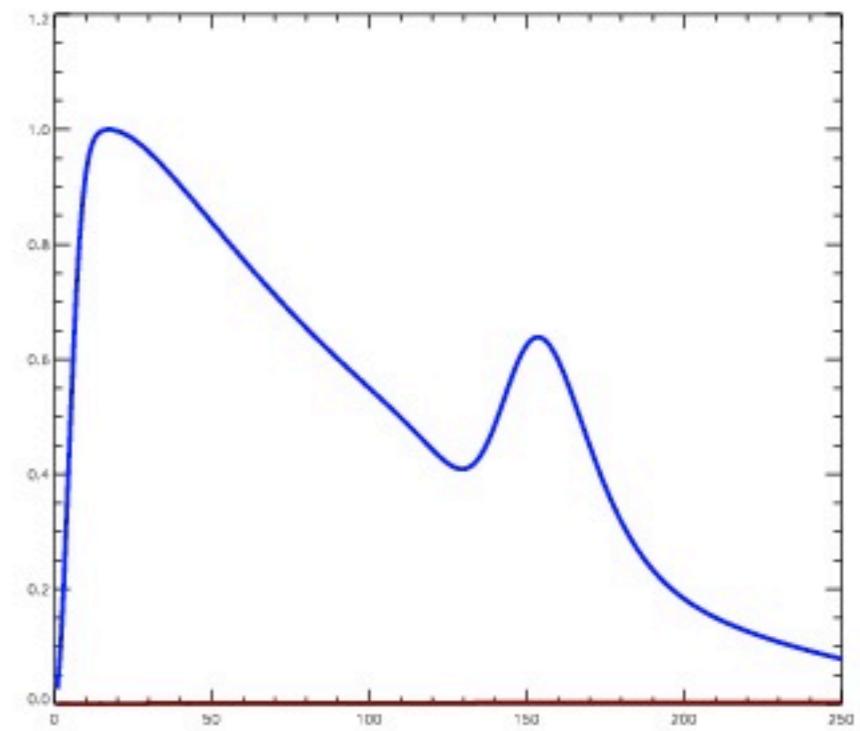
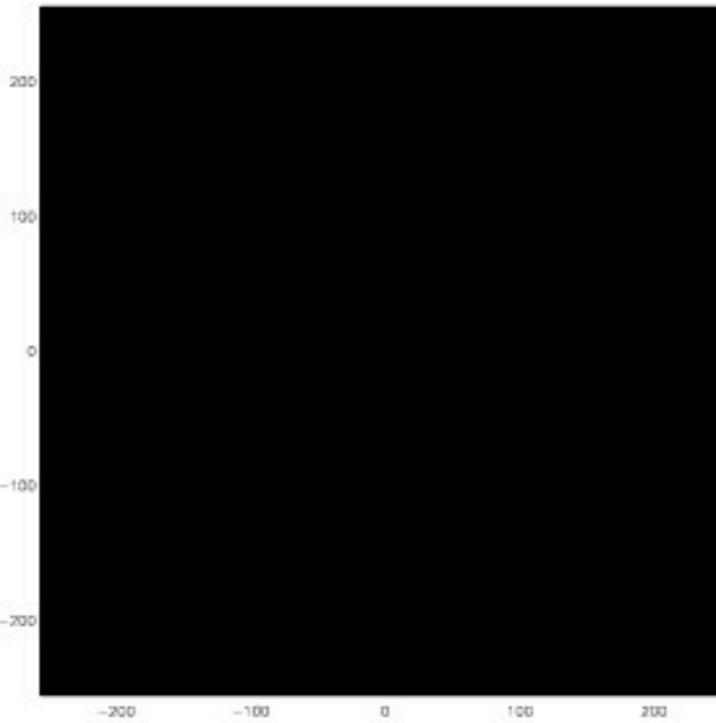
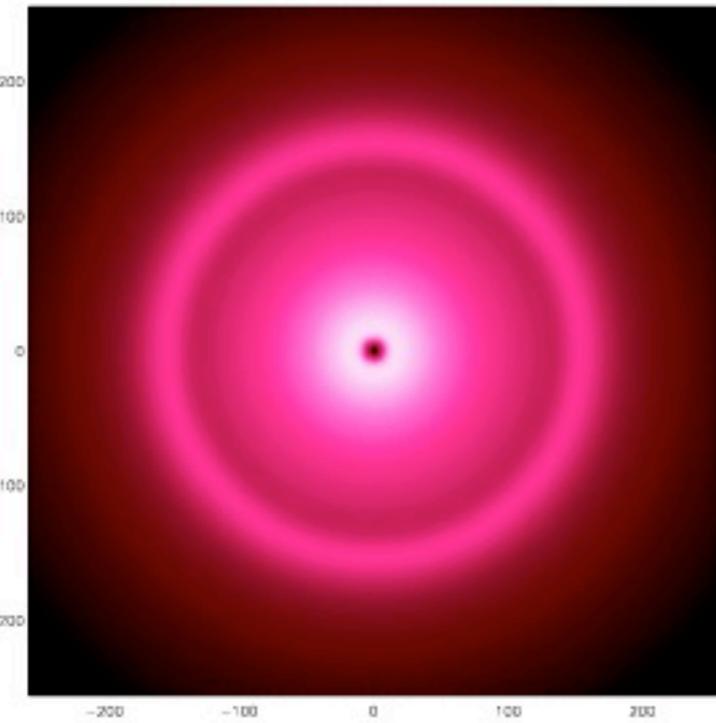
<http://astro.berkeley.edu/~mwhite/bao/>

sound horizon



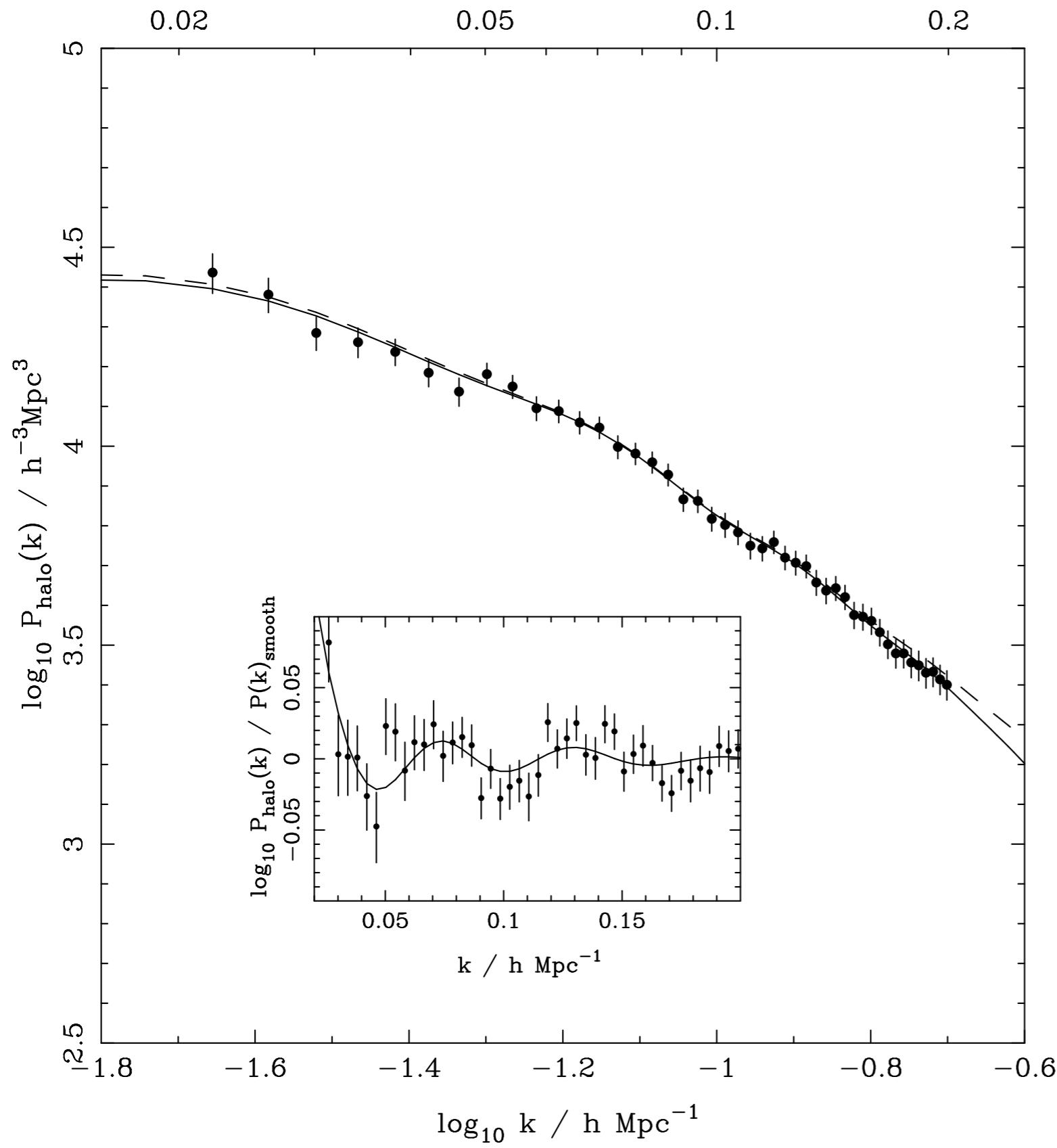
<http://astro.berkeley.edu/~mwhite/bao/>

sound horizon

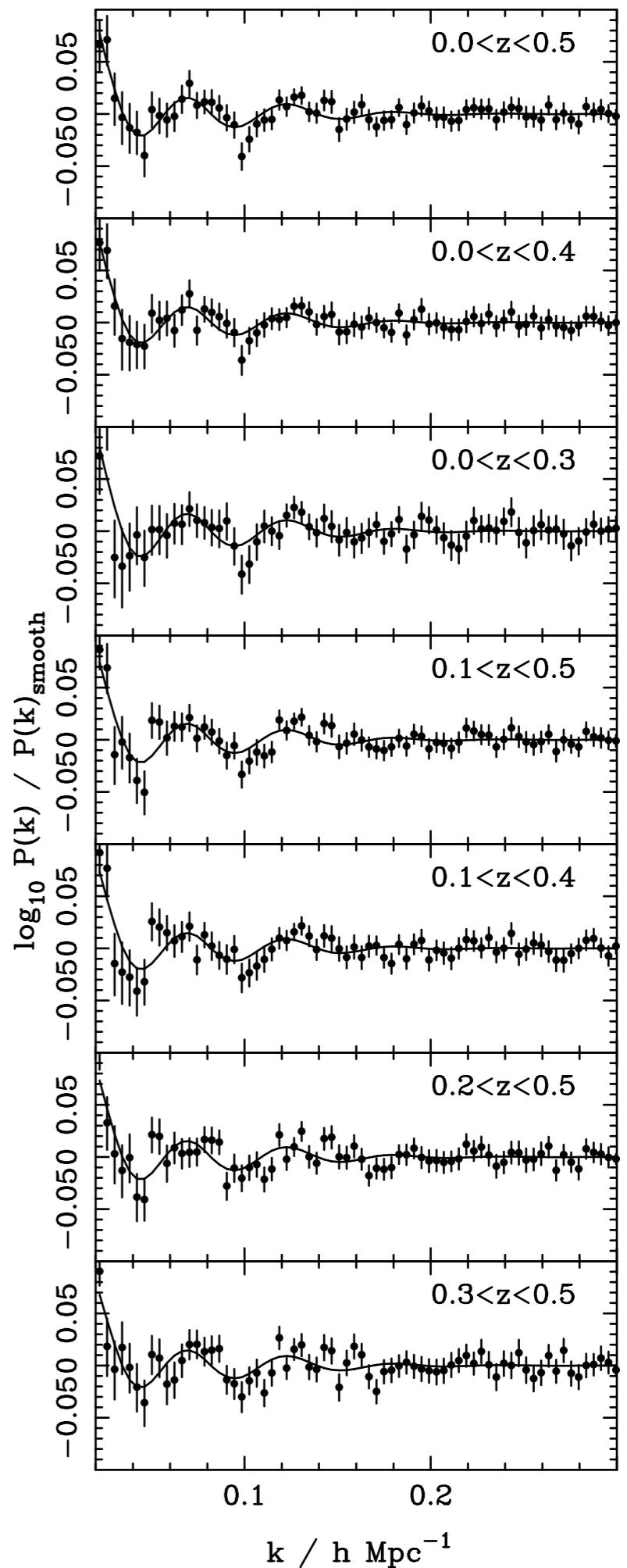
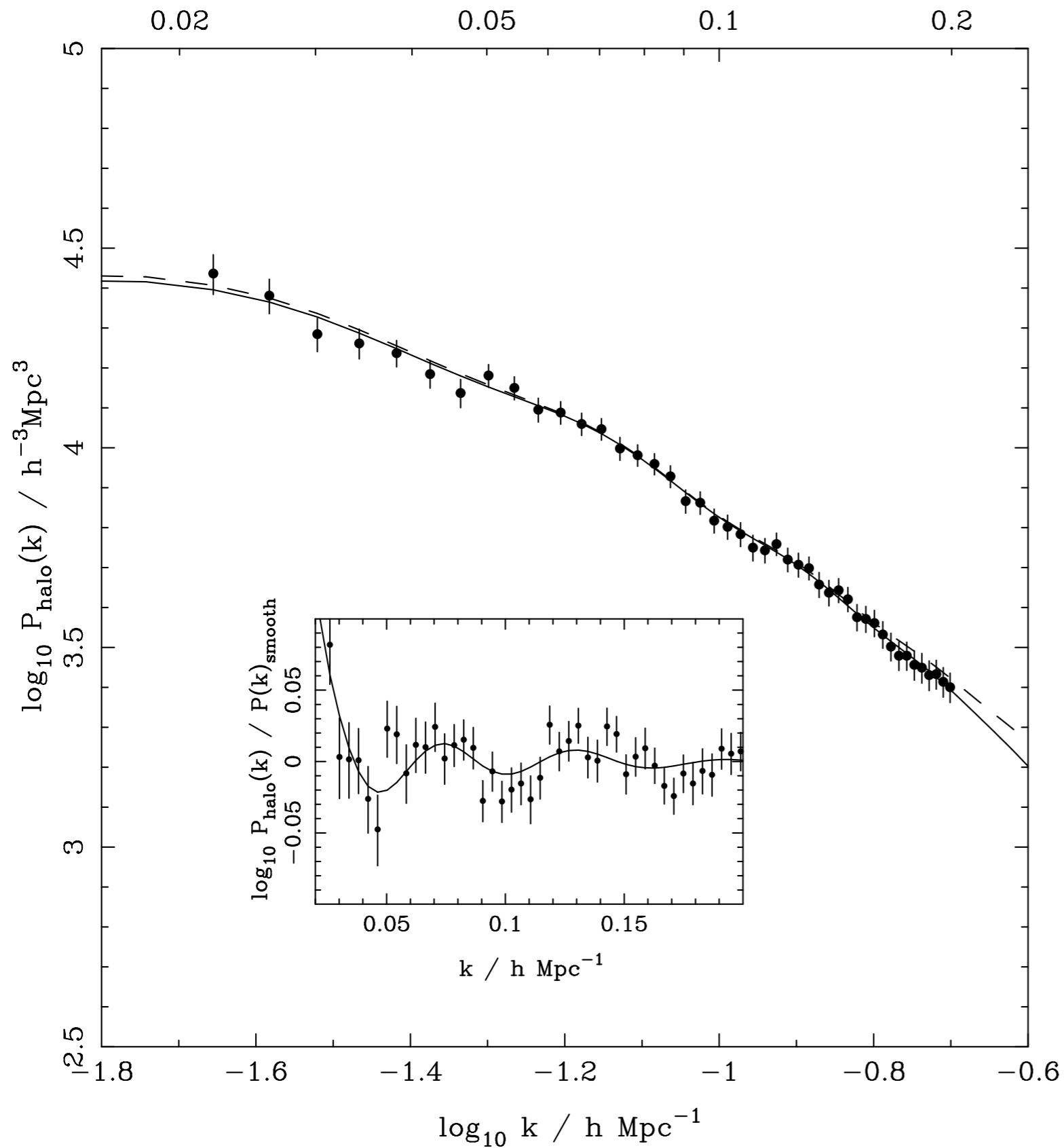


<http://astro.berkeley.edu/~mwhite/bao/>

SDSS DR7

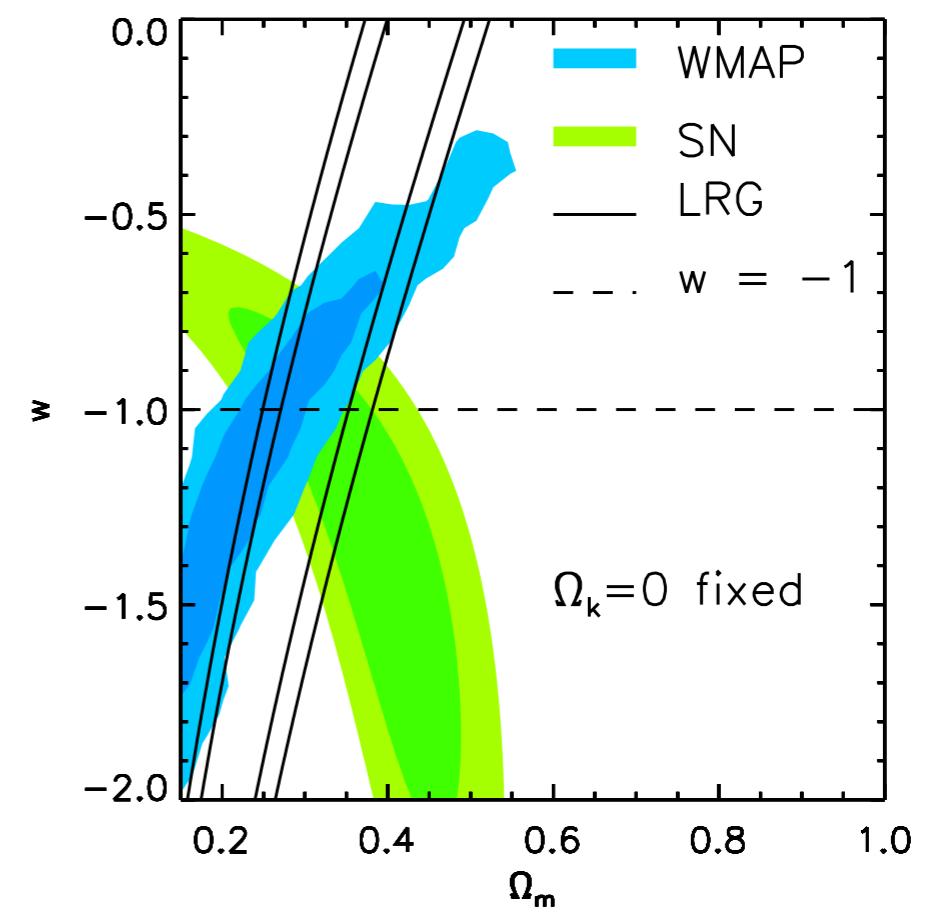
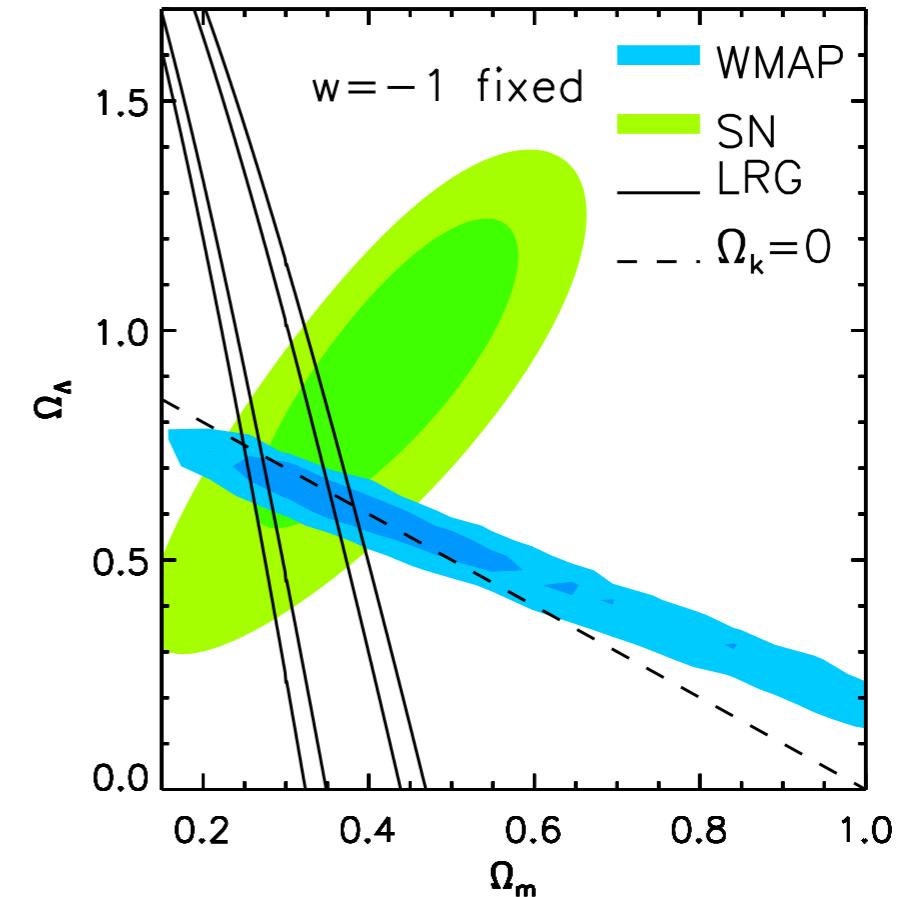


SDSS DR7



BAOで既に 宇宙論

SDSS DR7
~1M galaxies



高校の幾何

- 大きさを知っているものが遠くにある
- 見かけの大きさ - 角度をはかる
- 距離がわかる
- あとは分光と比較して膨張の歴史を
- 最もsystematicsの小さい方法だと考えられている (DETF)

すばる

SuMIRe

- まずはイメージングの力
メラ
- 9億ピクセル、約3トン
- そして分光器で距離、宇宙膨張の測定
- 一度に約3000の銀河を同時に観測
- 宇宙の起源と運命を探る



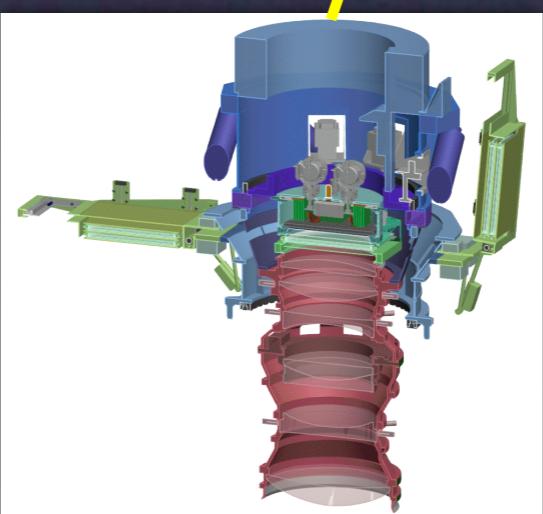
すばる (国立天文台)

SuMIRe

- まずはイメージングの力
メラ
- 9億ピクセル、約3トン
- そして分光器で距離、宇宙膨張の測定
- 一度に約3000の銀河を同時に観測
- 宇宙の起源と運命を探る



すばる(国立天文台)

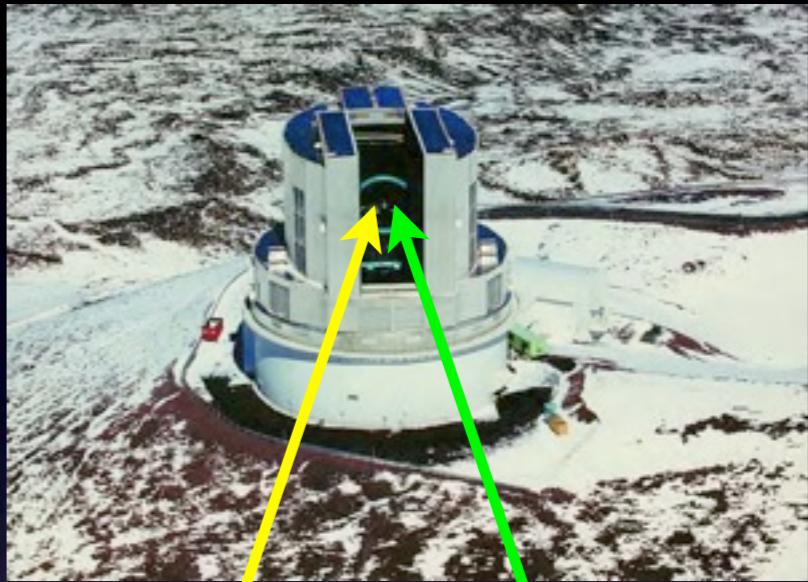


超広視野カメラ

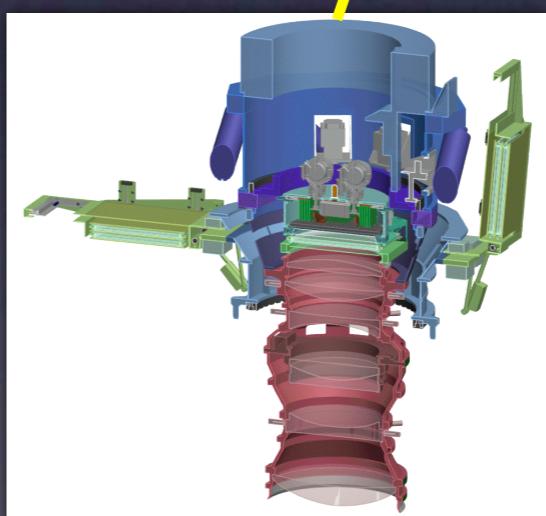
HSC

SuMIRe

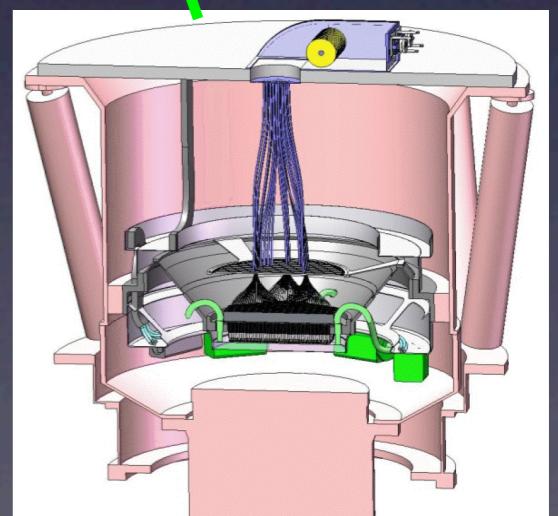
- まずはイメージングの力
メラ
- 9億ピクセル、約3トン
- そして分光器で距離、宇宙膨張の測定
- 一度に約3000の銀河を同時に観測
- 宇宙の起源と運命を探る



すばる(国立天文台)



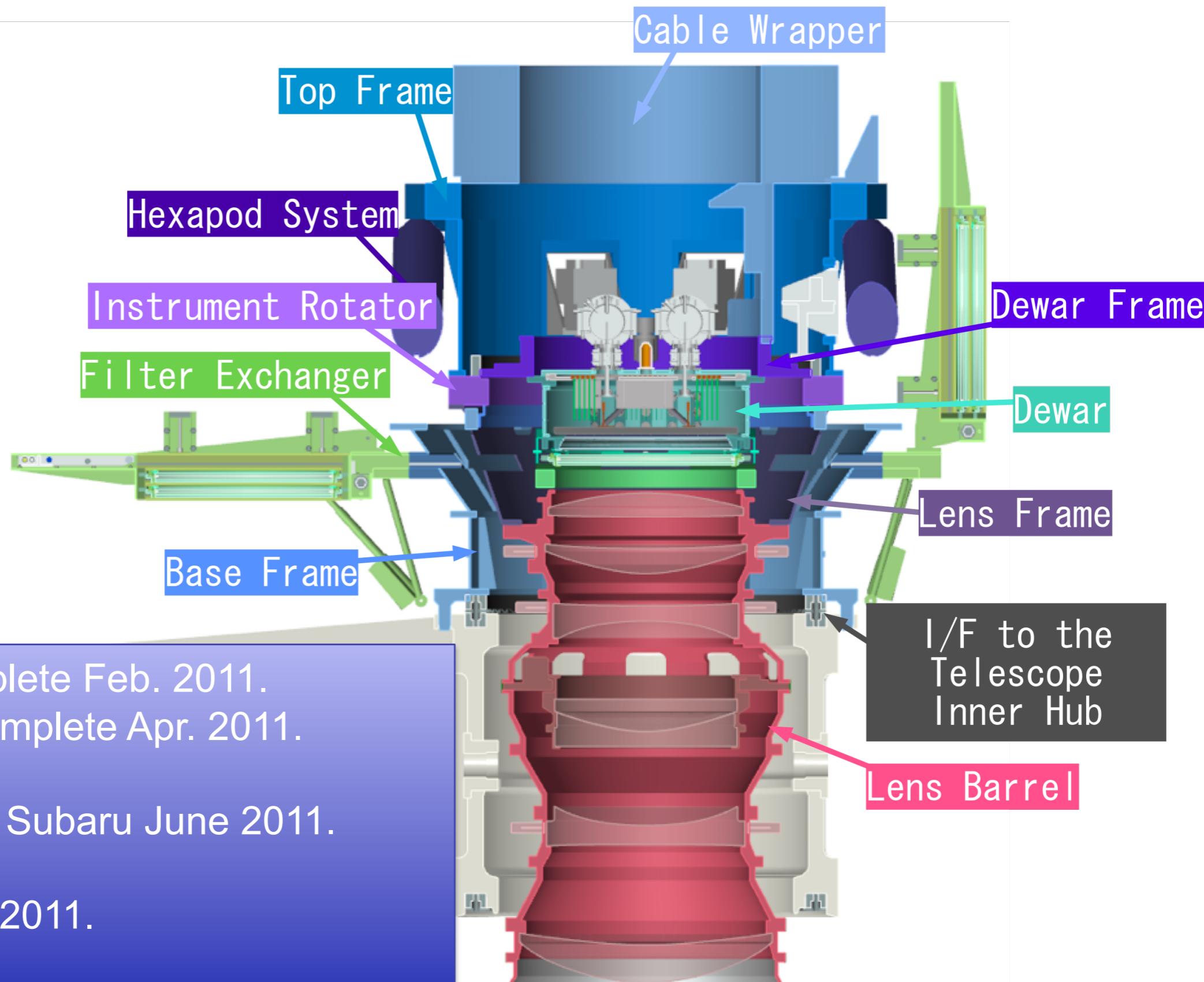
超広視野カメラ

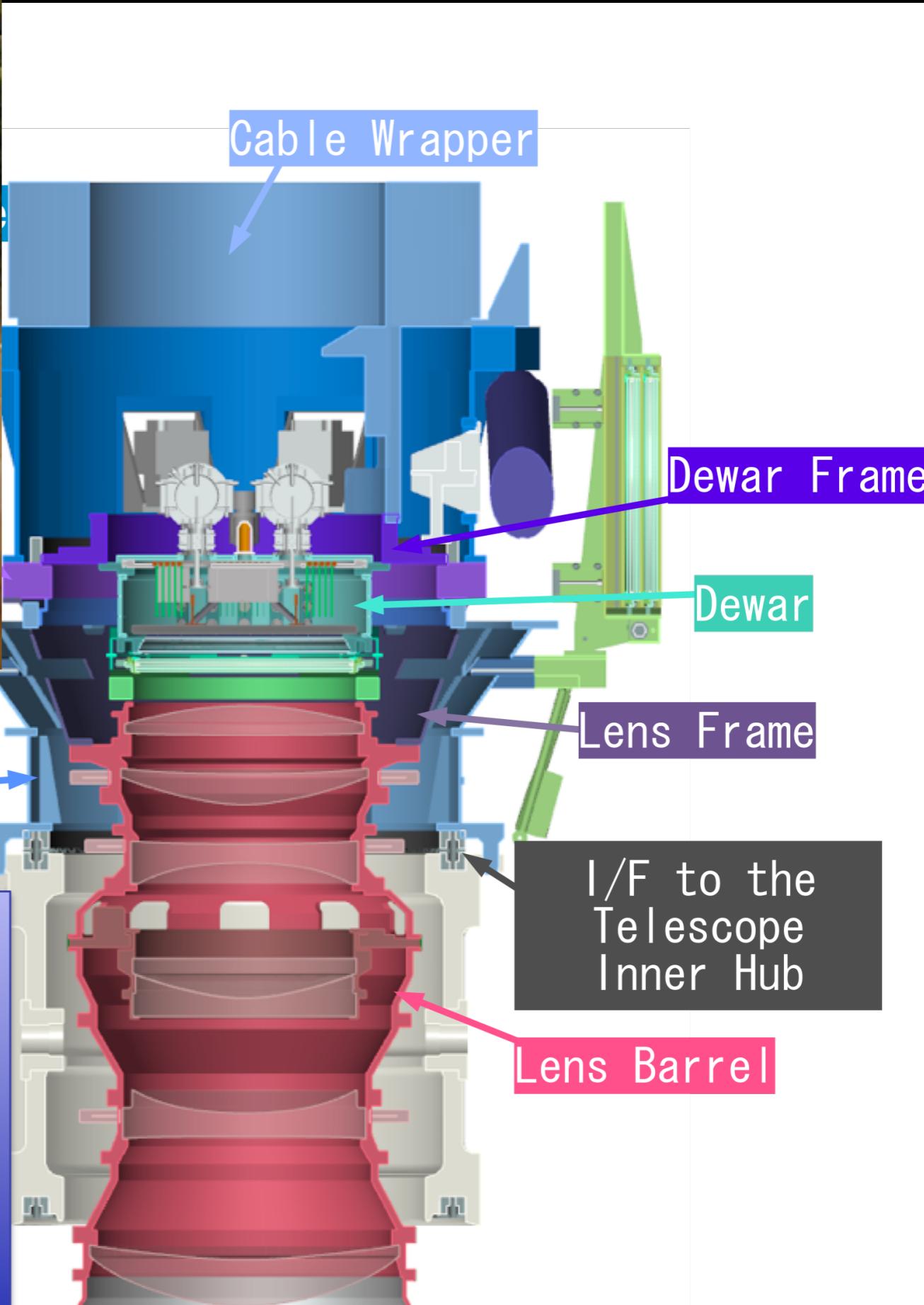


超広視野分光器

HSC

PFS



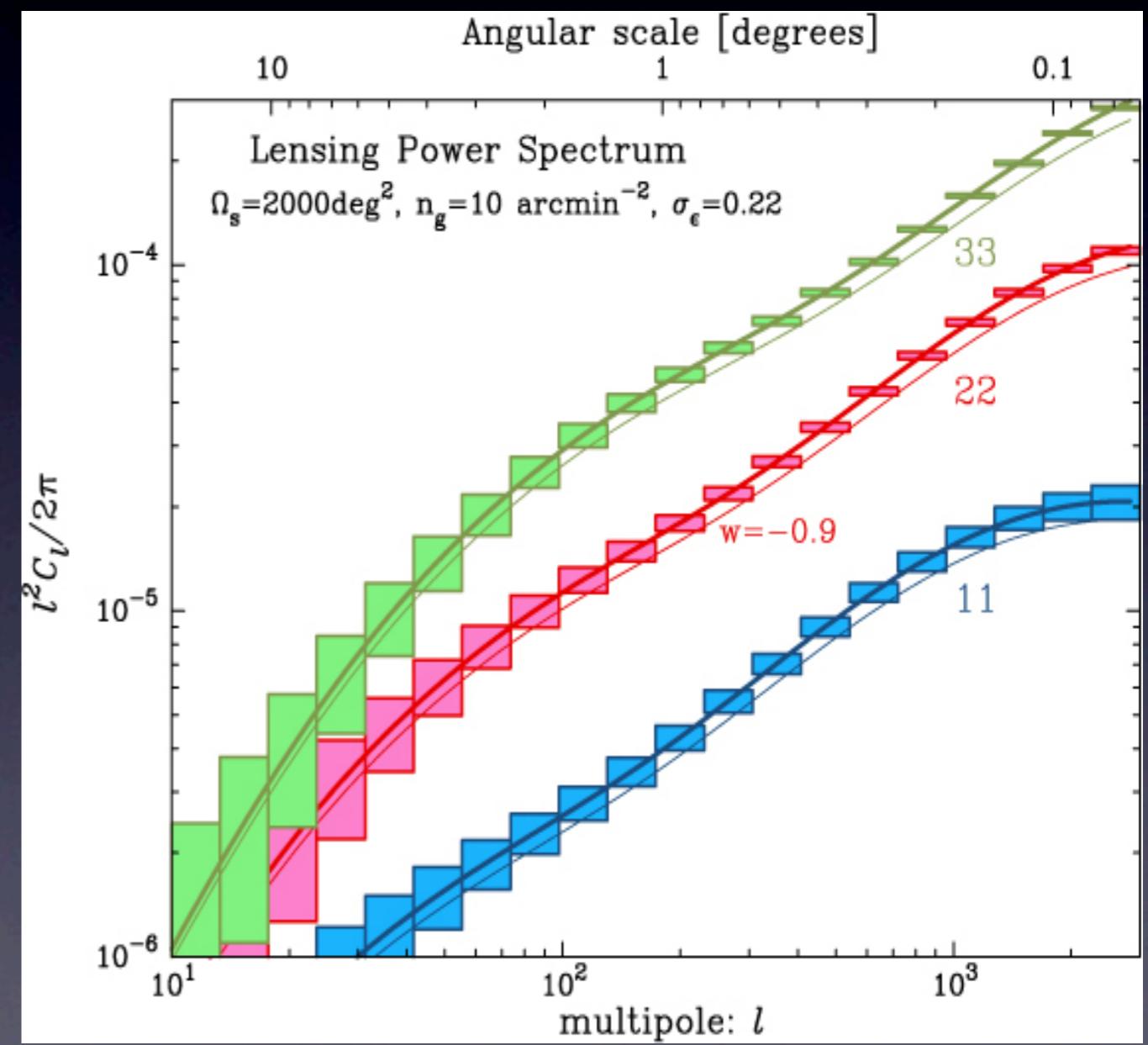
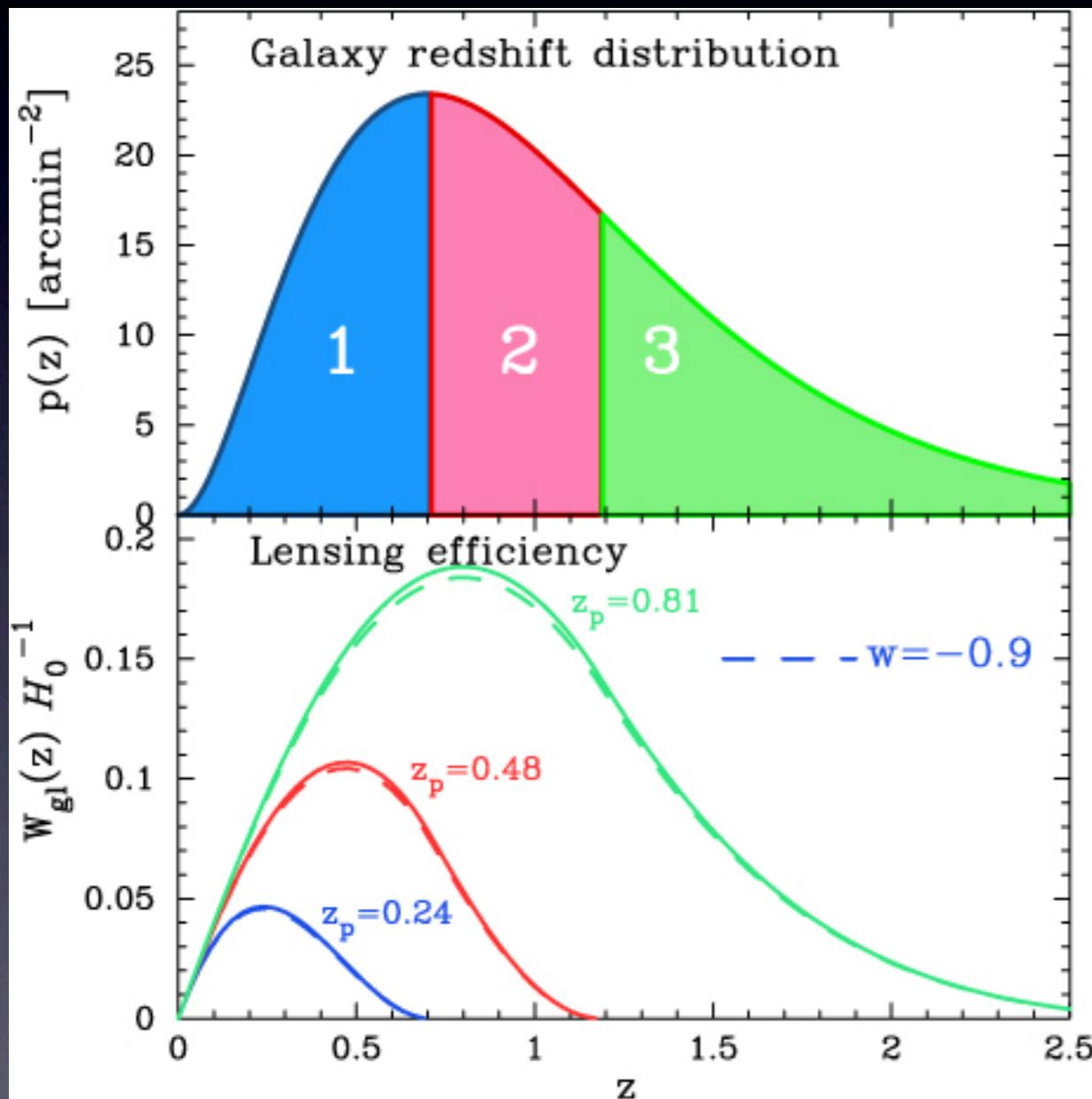


Lens Barrel to complete Feb. 2011.
The HSC unit to complete Apr. 2011.

The unit to arrive at Subaru June 2011.

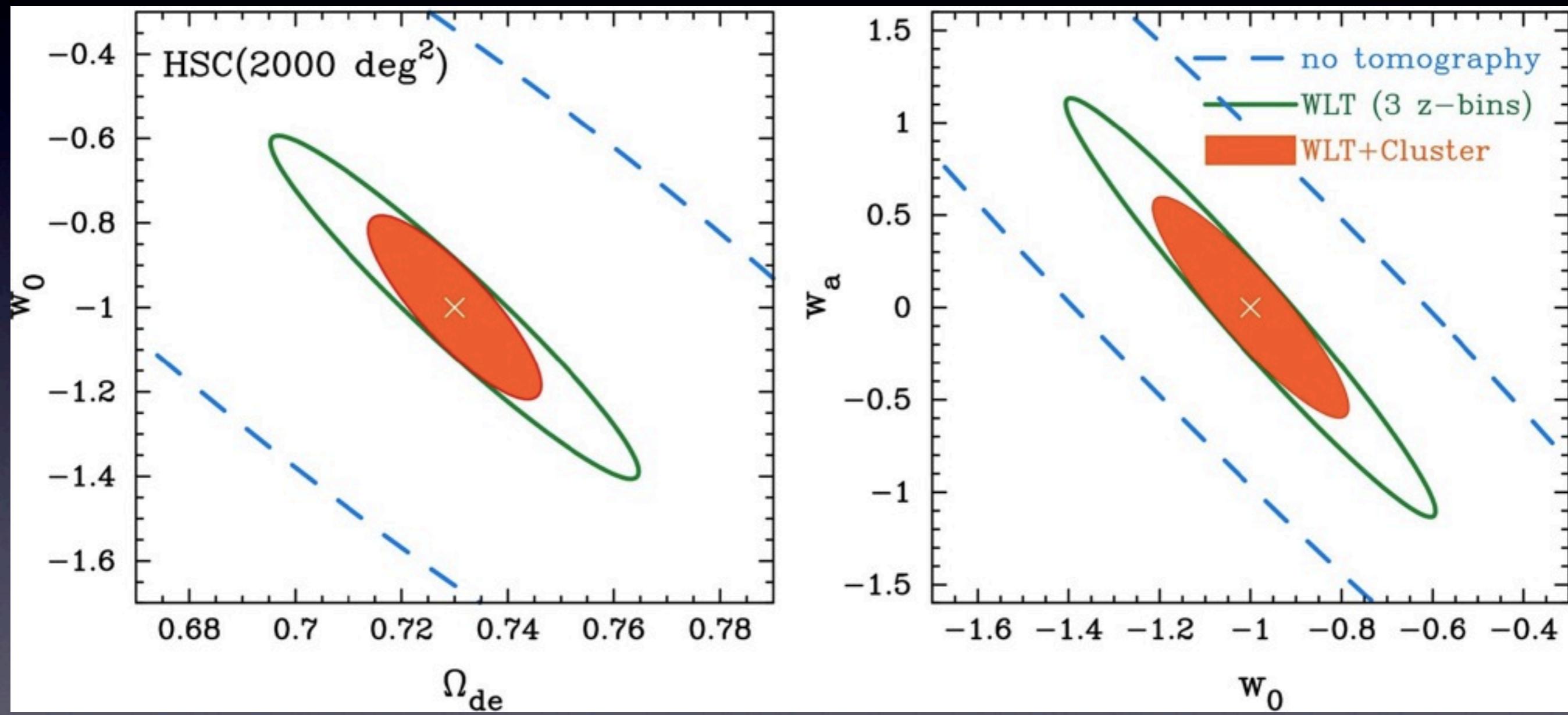
First light : October 2011.

HSC



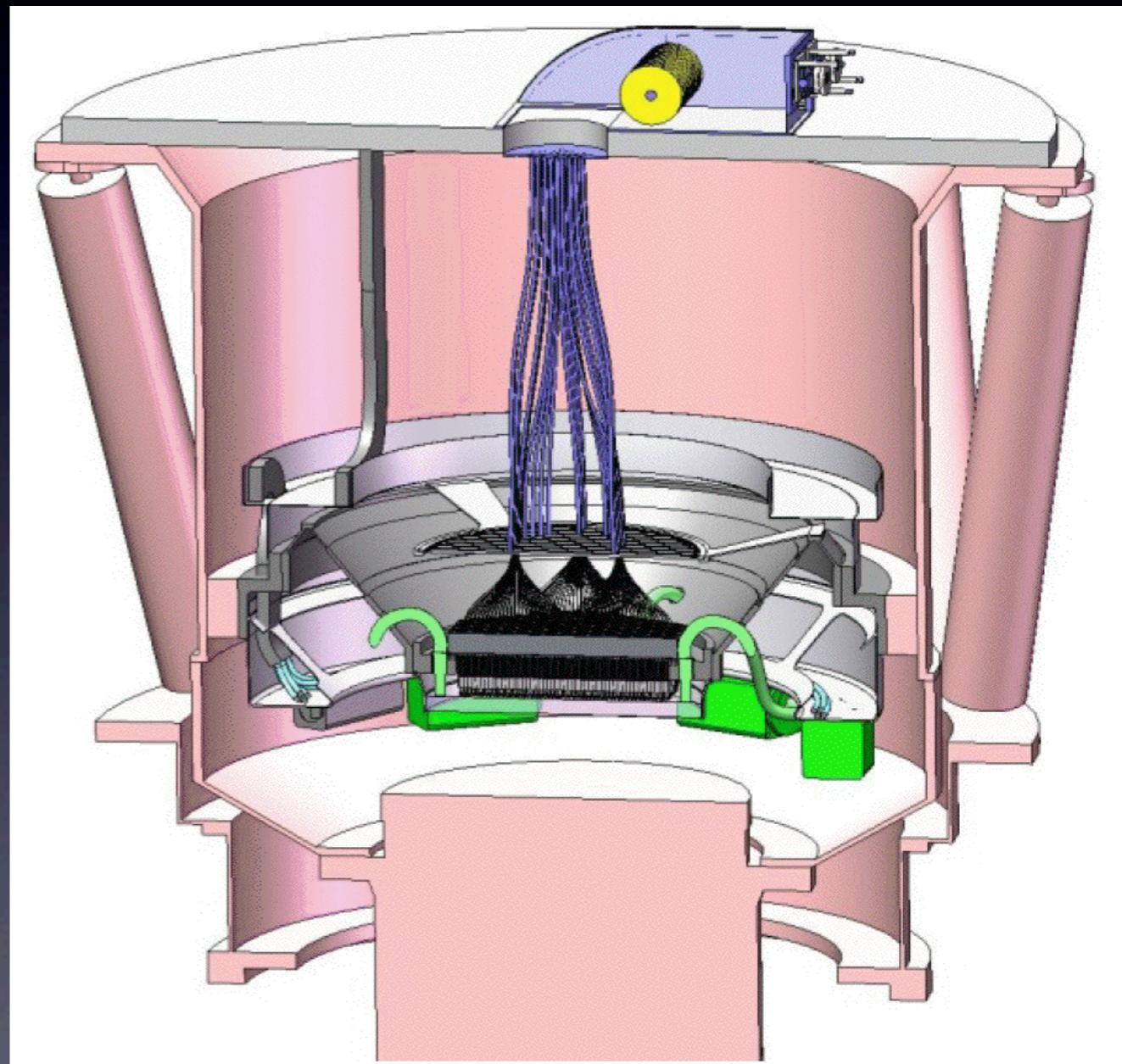
$\approx 300M$ galaxies

HSC

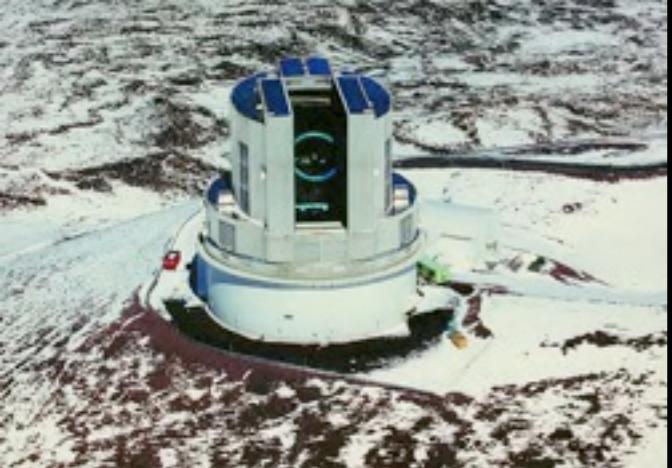


PFS

- 2000–3000天体を同時分光
- HSCの観測で天体を選んでおく
- fiber positionerで一分以内に照準を定める
- 1時間程分光観測
- これを繰り返す



$\approx 3M$ galaxies



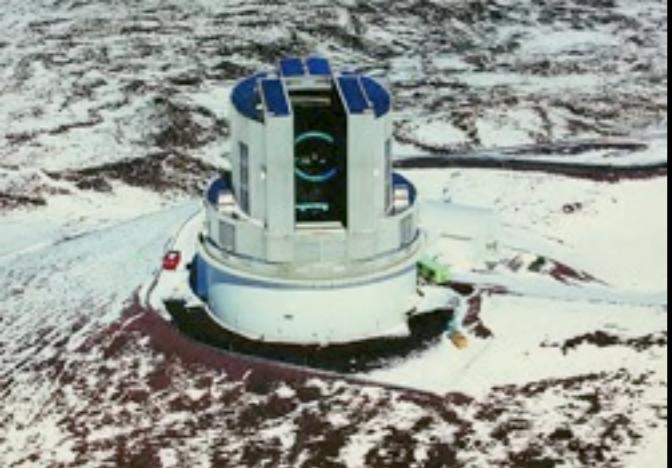
宇宙の起源と運命





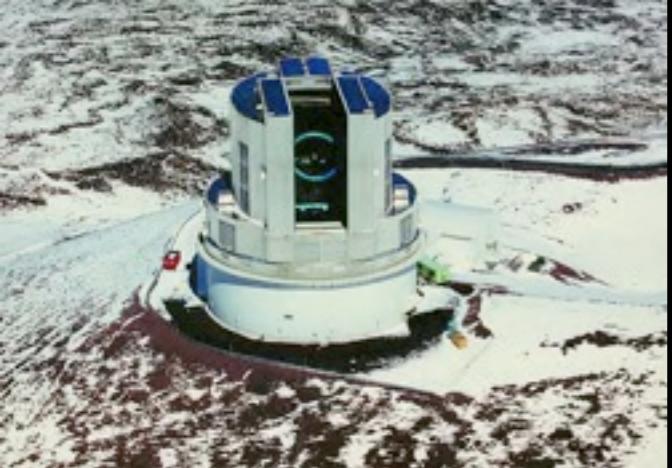
宇宙の起源と運命

- 光の速さは有限



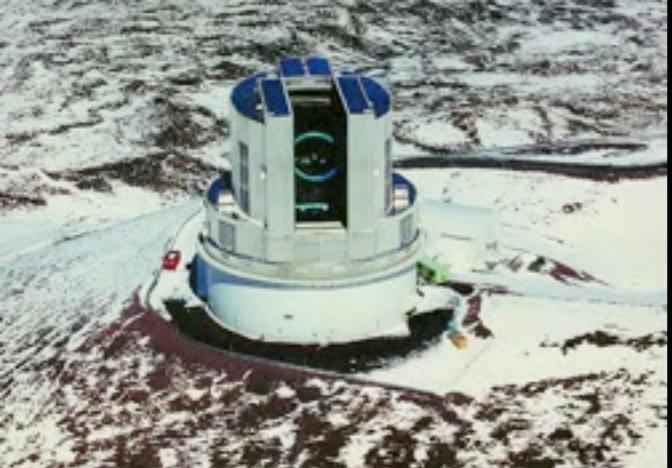
宇宙の起源と運命

- 光の速さは有限
- 遠くを見る=過去を見る



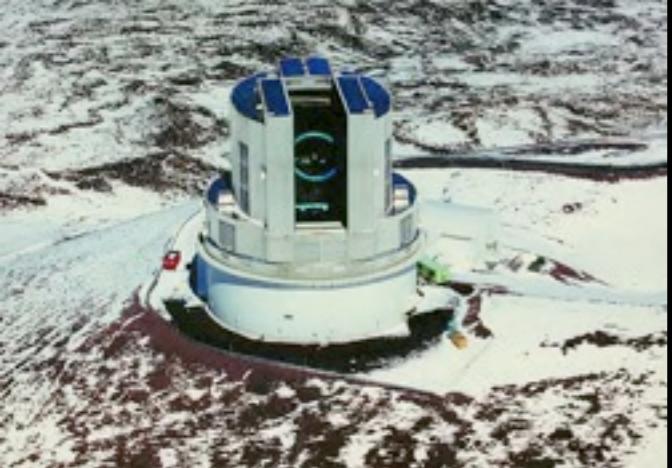
宇宙の起源と運命

- 光の速さは有限
- 遠くを見る=過去を見る
- 出来るだけ遠くの宇宙までの地図を作れば宇宙の起源・進化の歴史が見えて来る



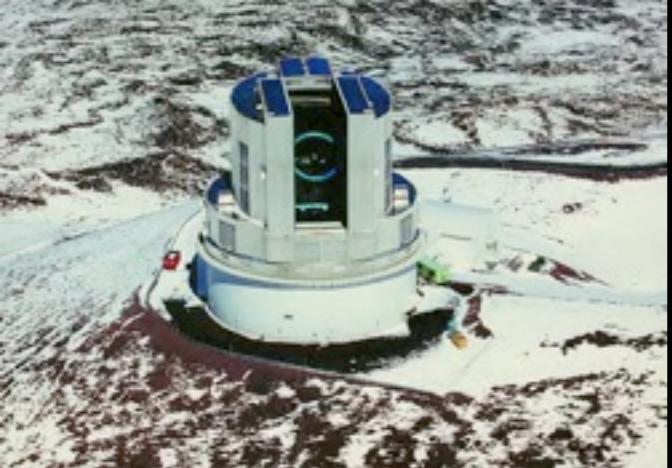
宇宙の起源と運命

- 光の速さは有限
- 遠くを見る=過去を見る
- 出来るだけ遠くの宇宙までの地図を作れば宇宙の起源・進化の歴史が見えて来る
- 宇宙の物質の8割は見えない**暗黒物質**



宇宙の起源と運命

- 光の速さは有限
- 遠くを見る=過去を見る
- 出来るだけ遠くの宇宙までの地図を作れば宇宙の起源・進化の歴史が見えて来る
- 宇宙の物質の8割は見えない暗黒物質
- しかし見えない暗黒物質の地図を作る方法がある：イメージングと分光

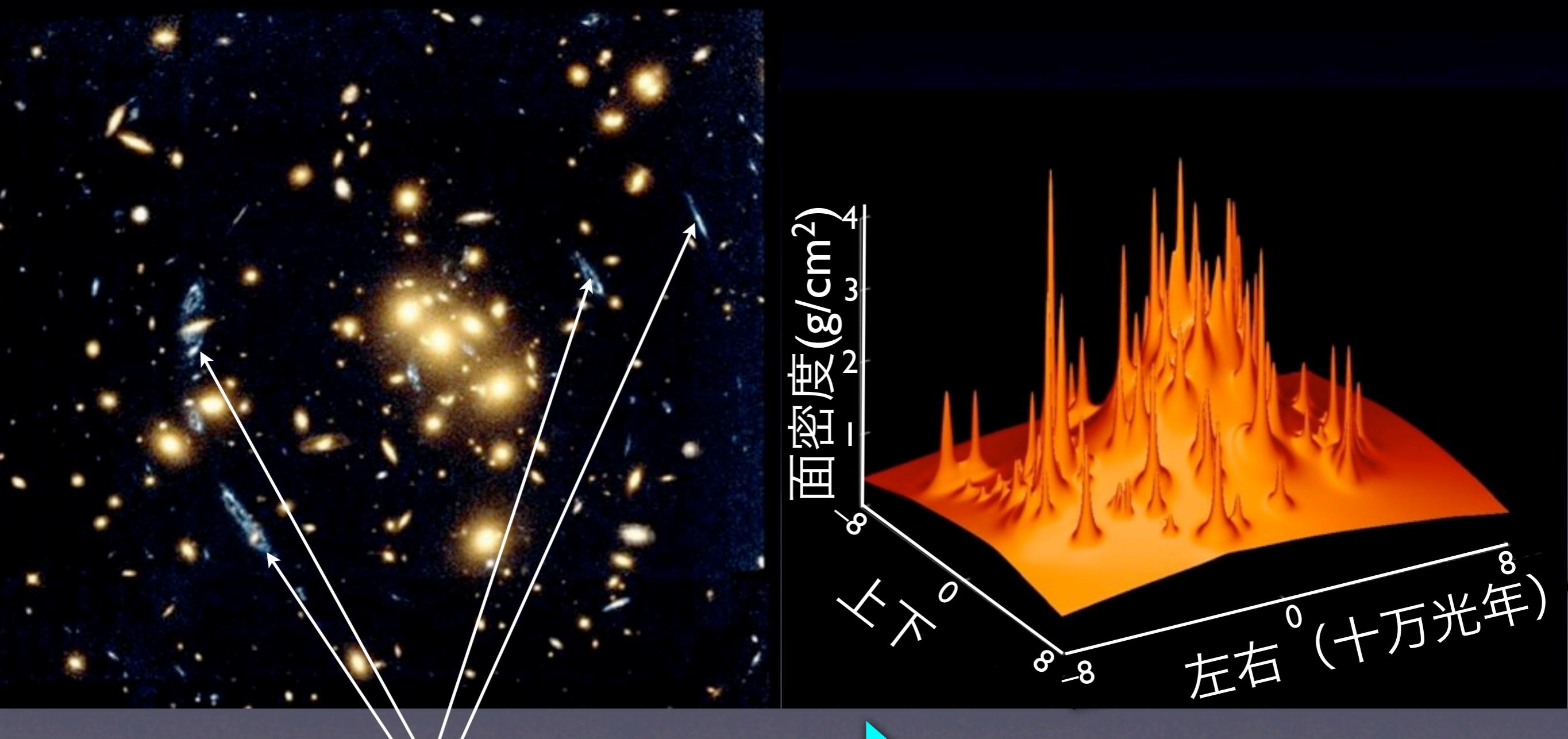


宇宙の起源と運命

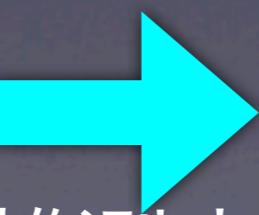
- 光の速さは有限
- 遠くを見る=過去を見る
- 出来るだけ遠くの宇宙までの地図を作れば宇宙の起源・進化の歴史が見えて来る
- 宇宙の物質の8割は見えない暗黒物質
- しかし見えない暗黒物質の地図を作る方法がある：イメージングと分光

宇宙のゲノム計画

宇宙の暗黒物質地図



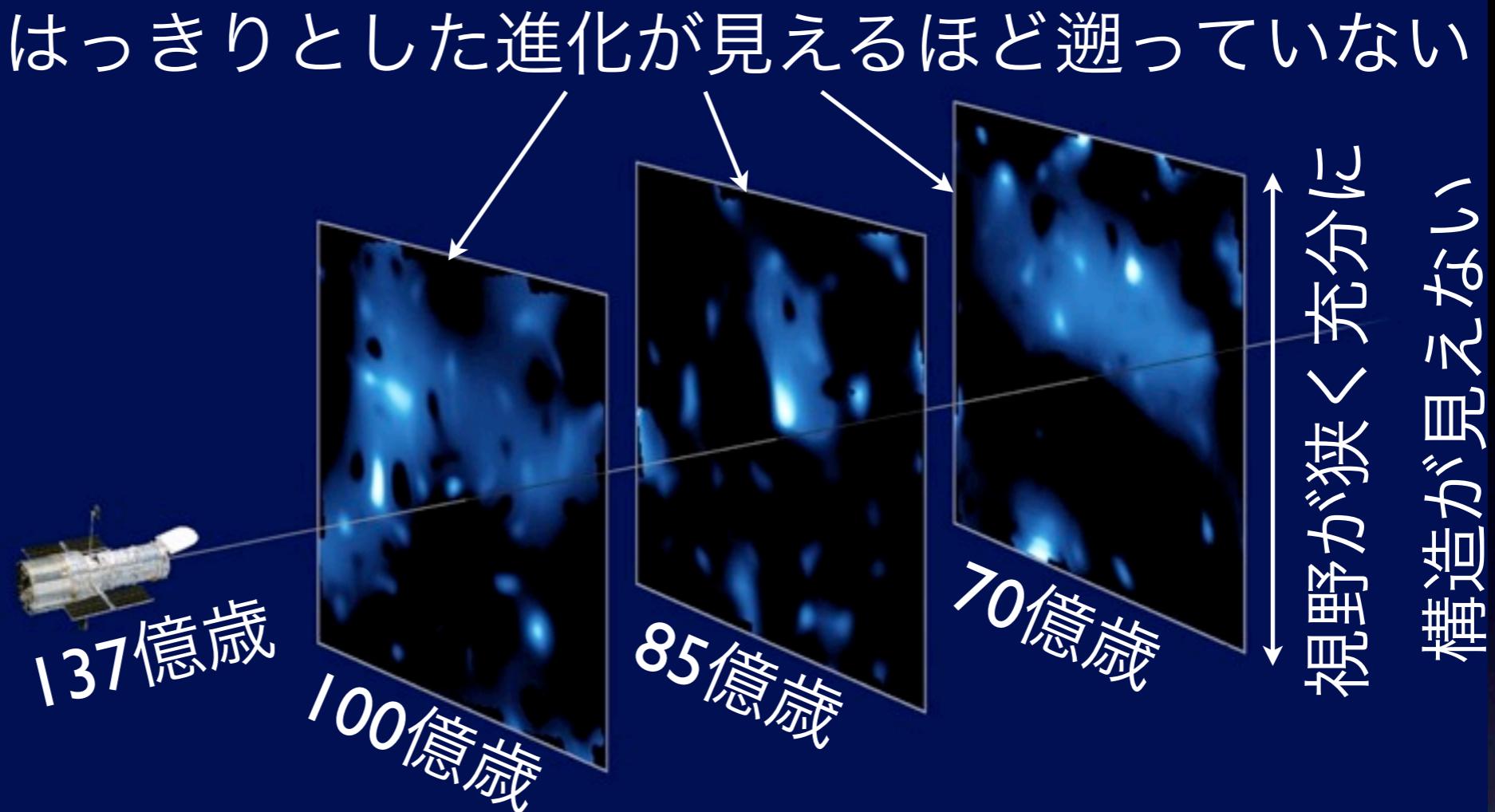
背後の銀河のイメージの歪み



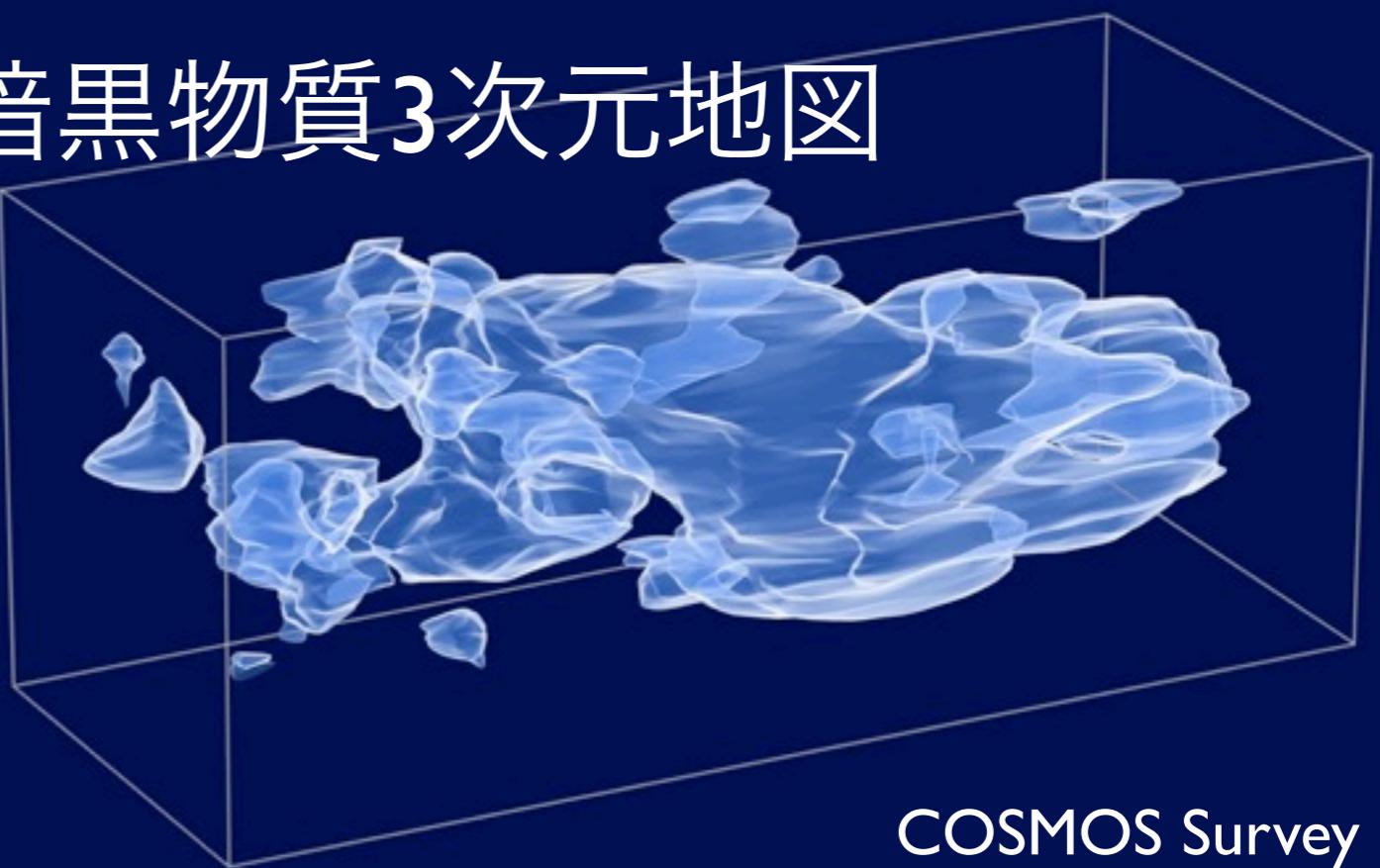
暗黒物質2次元地図

更に分光による距離測定で3次元地図

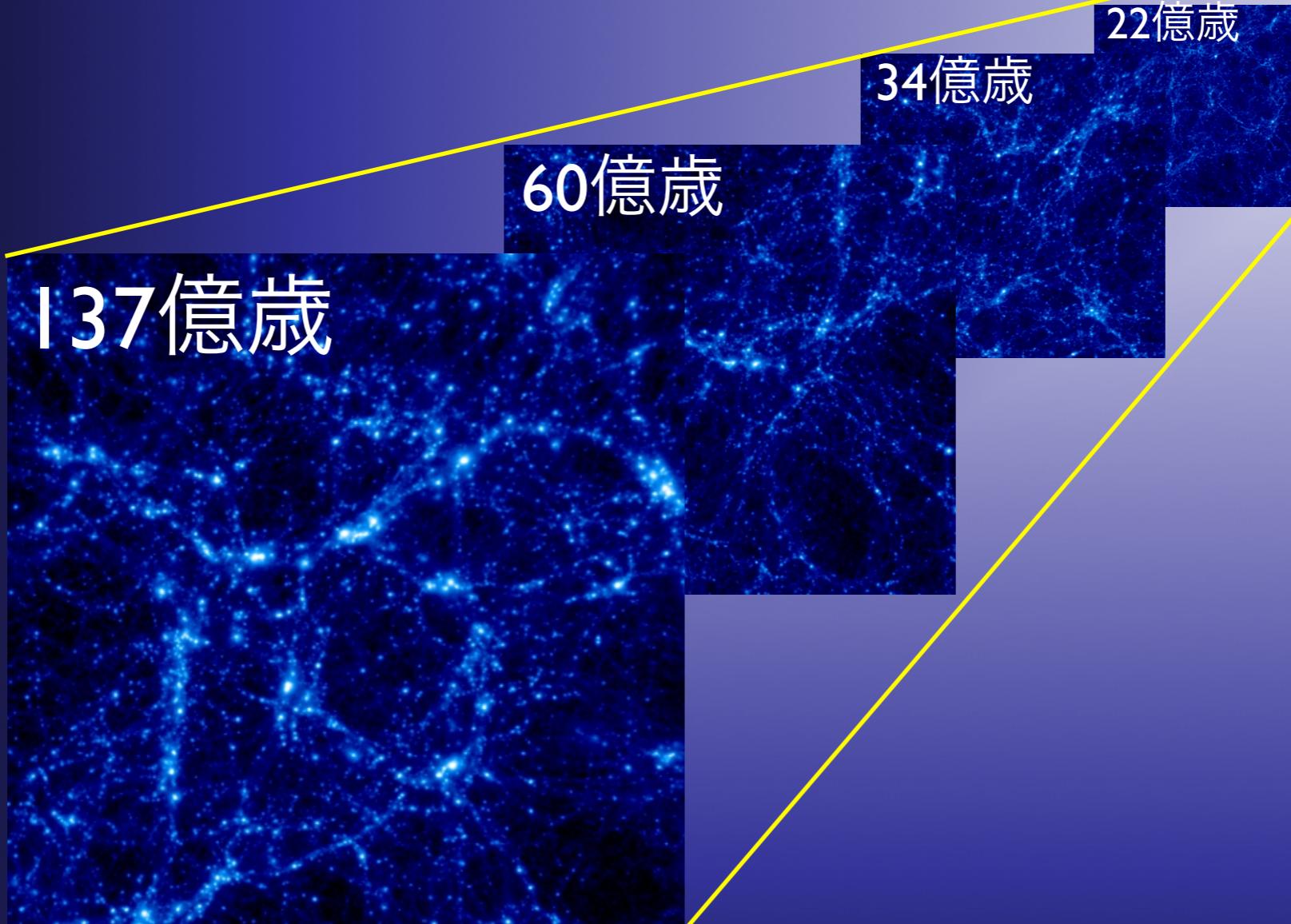
現在の世界トップ
ハッブル望遠鏡
まだ狭く浅い



暗黒物質3次元地図



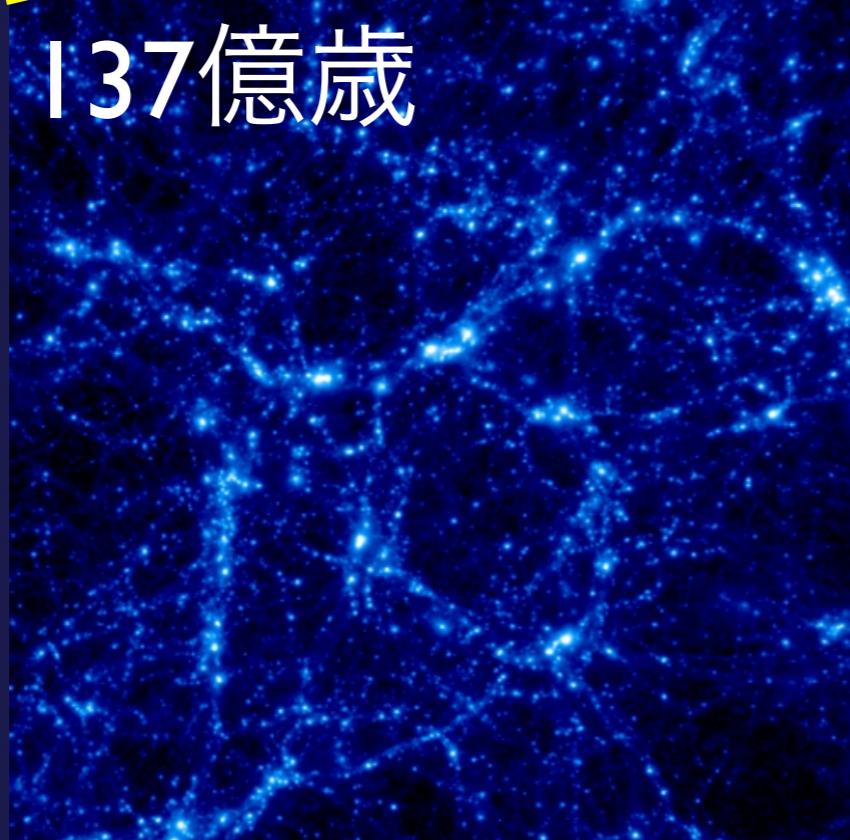
Big
Bang!



広さ: 2000 平方角

ハッブルの千倍以上
視野が広く充分に

構造が見える



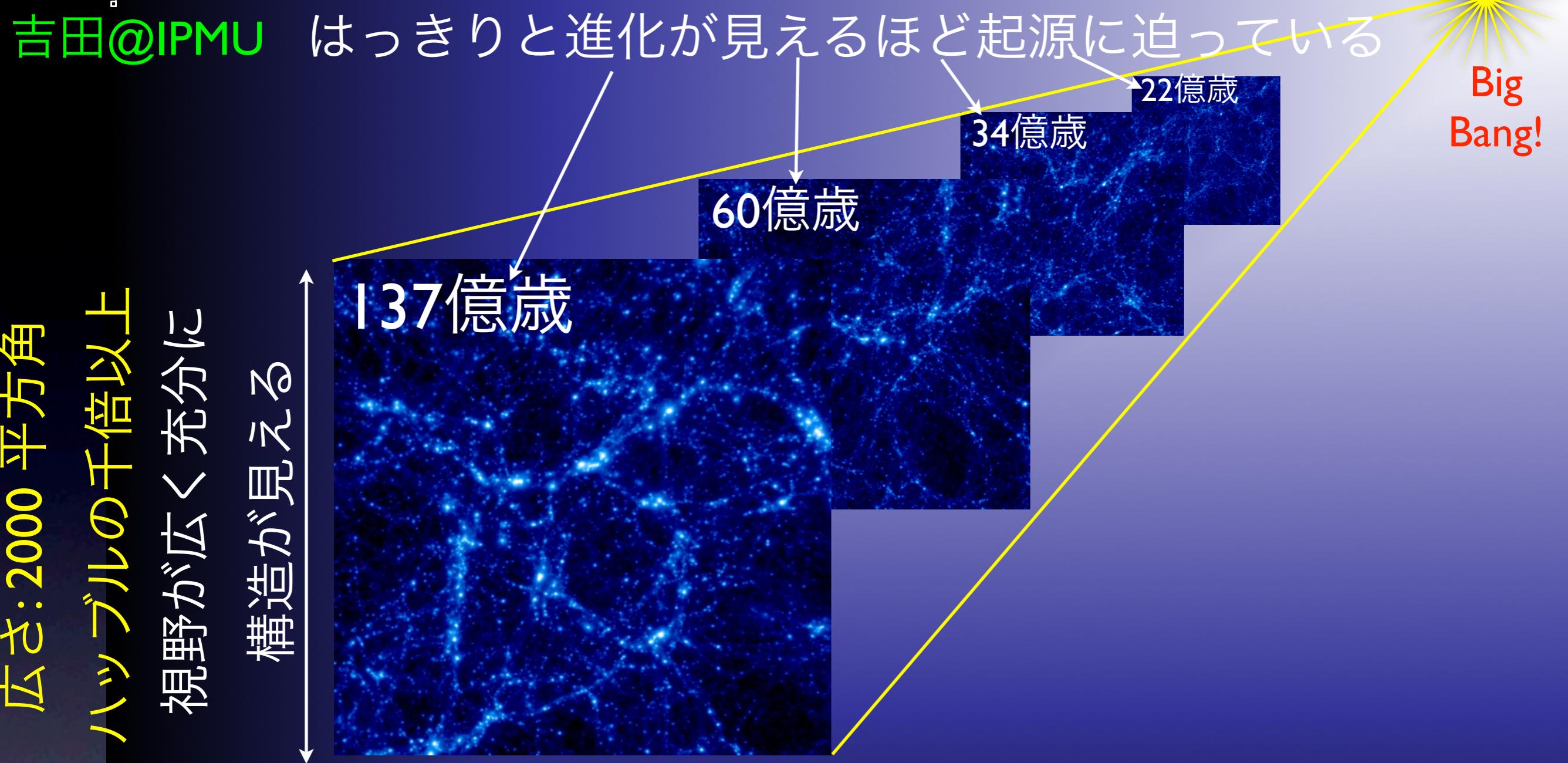
60億歳

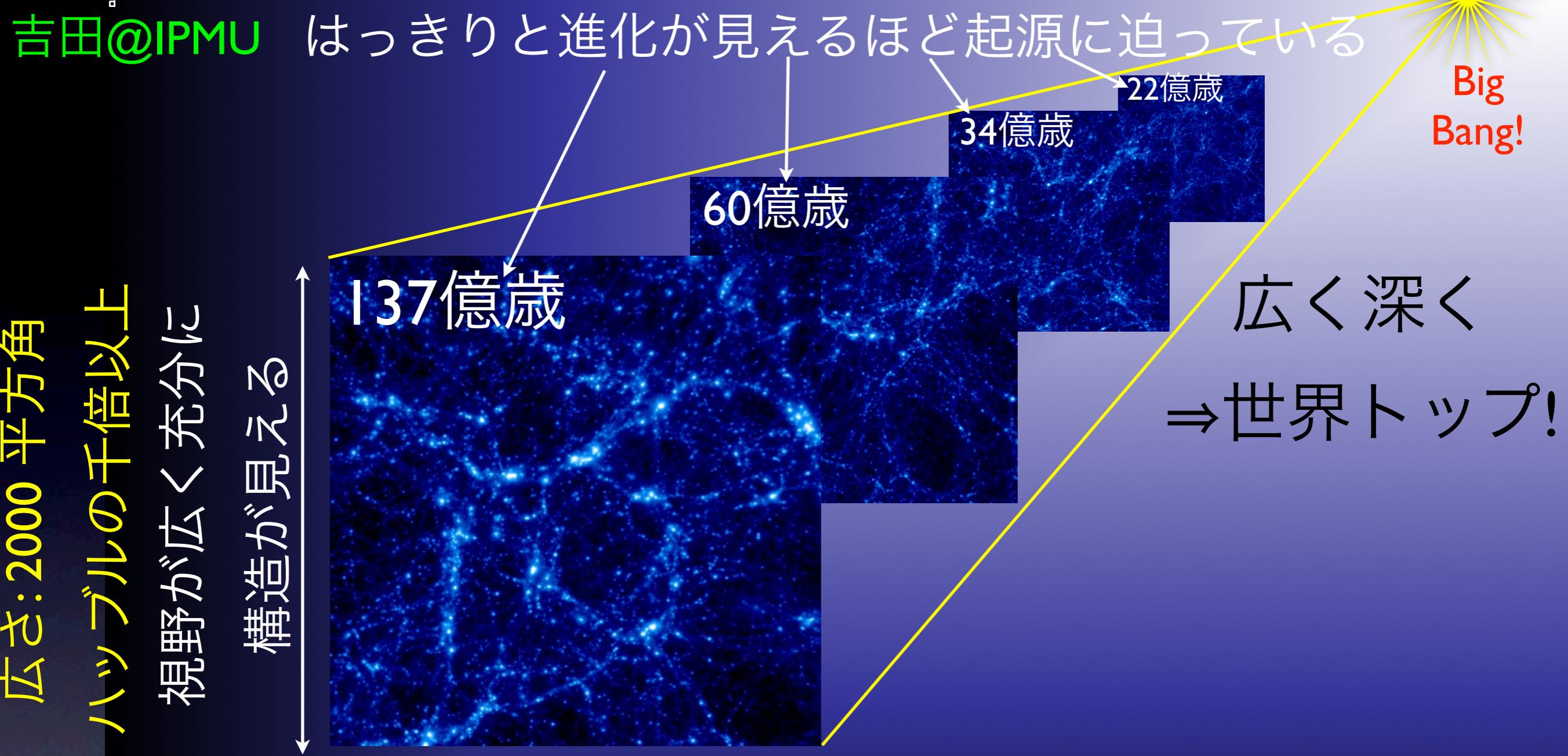
34億歳

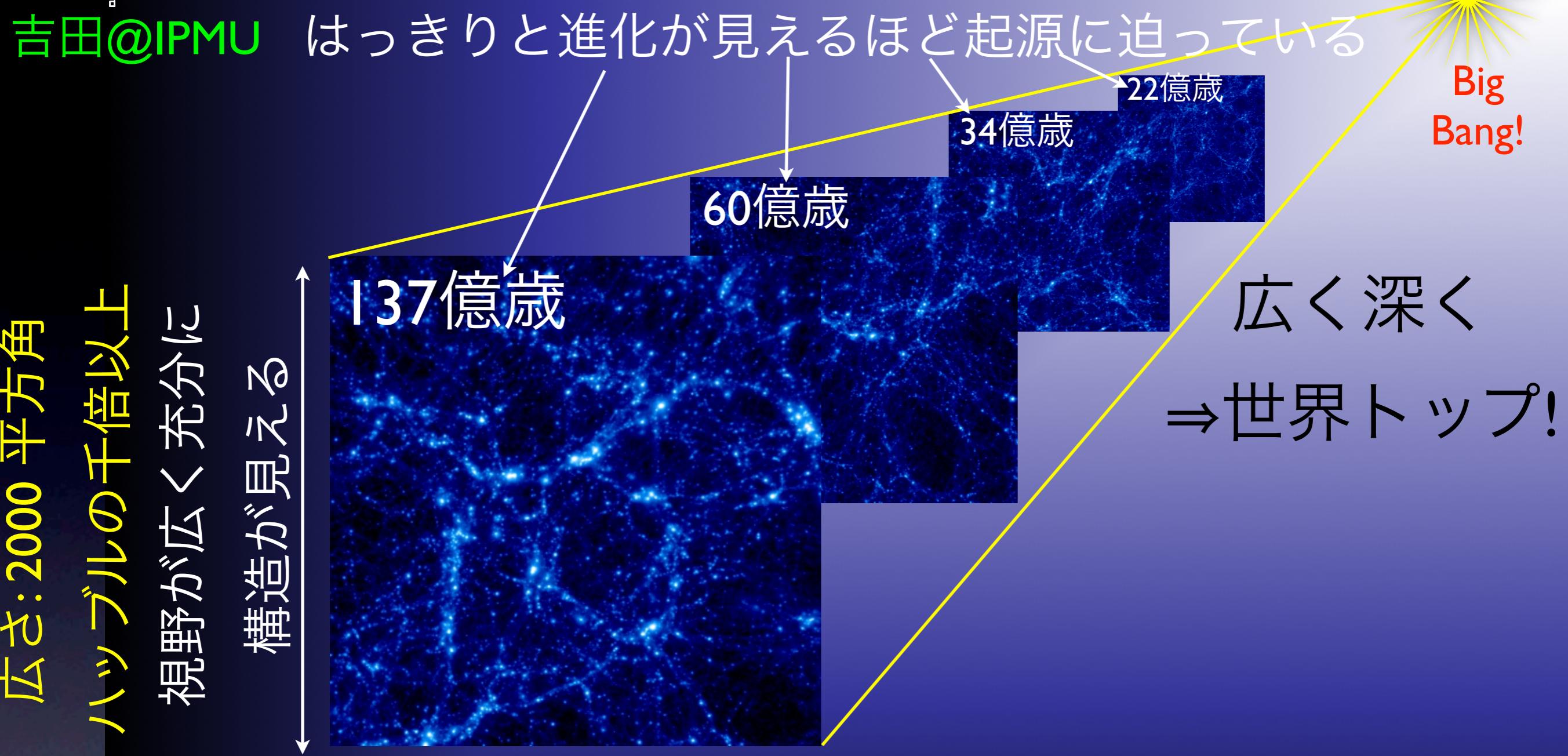
22億歳

137億歳









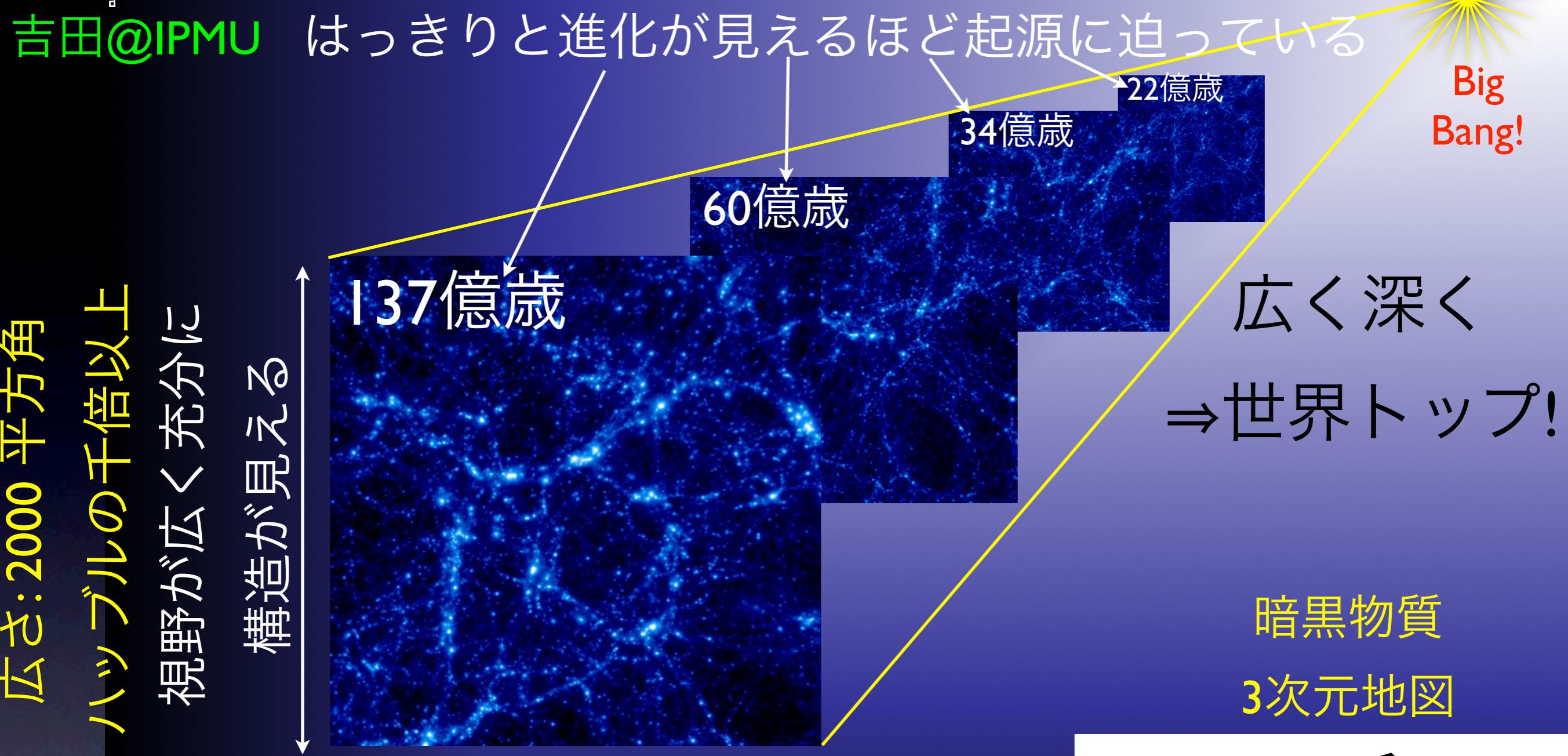
宇宙初期は物質分布のむらが
少なく、その後構造が成長して
来たことを証明できる

広さ: 2000 平方角

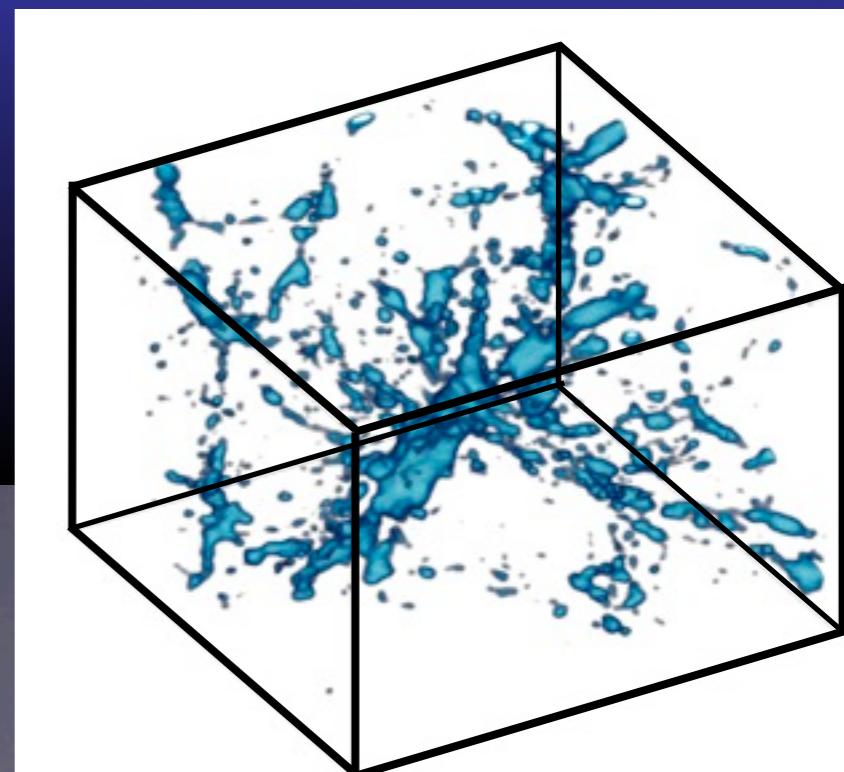
ハッブルの千倍以上
視野が広く充分に

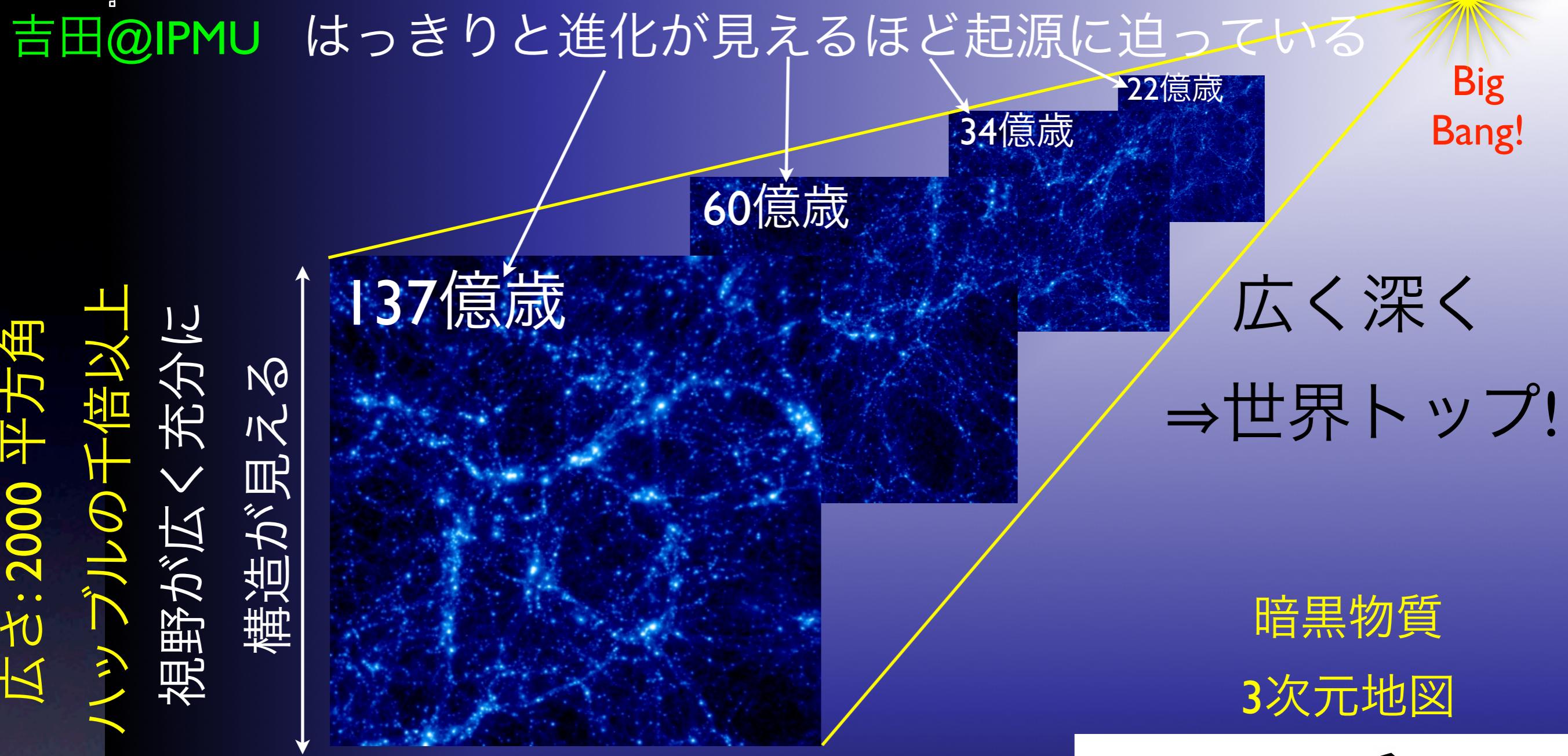
構造が見える





宇宙初期は物質分布のむらが
少なく、その後構造が成長して
来たことを証明できる

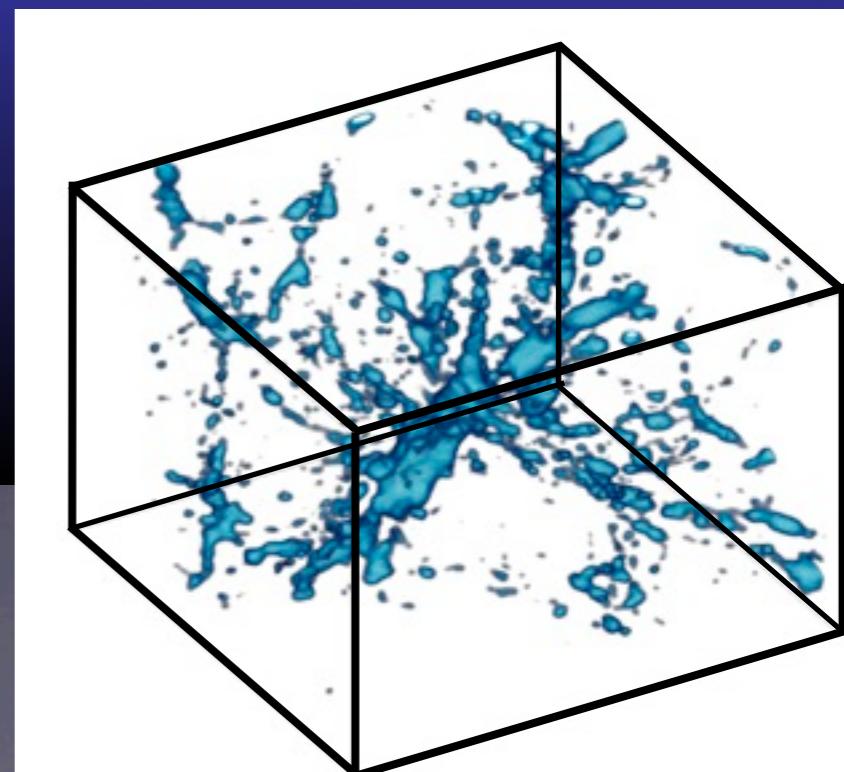




宇宙初期は物質分布のむらが
少なく、その後構造が成長して
来たことを証明できる

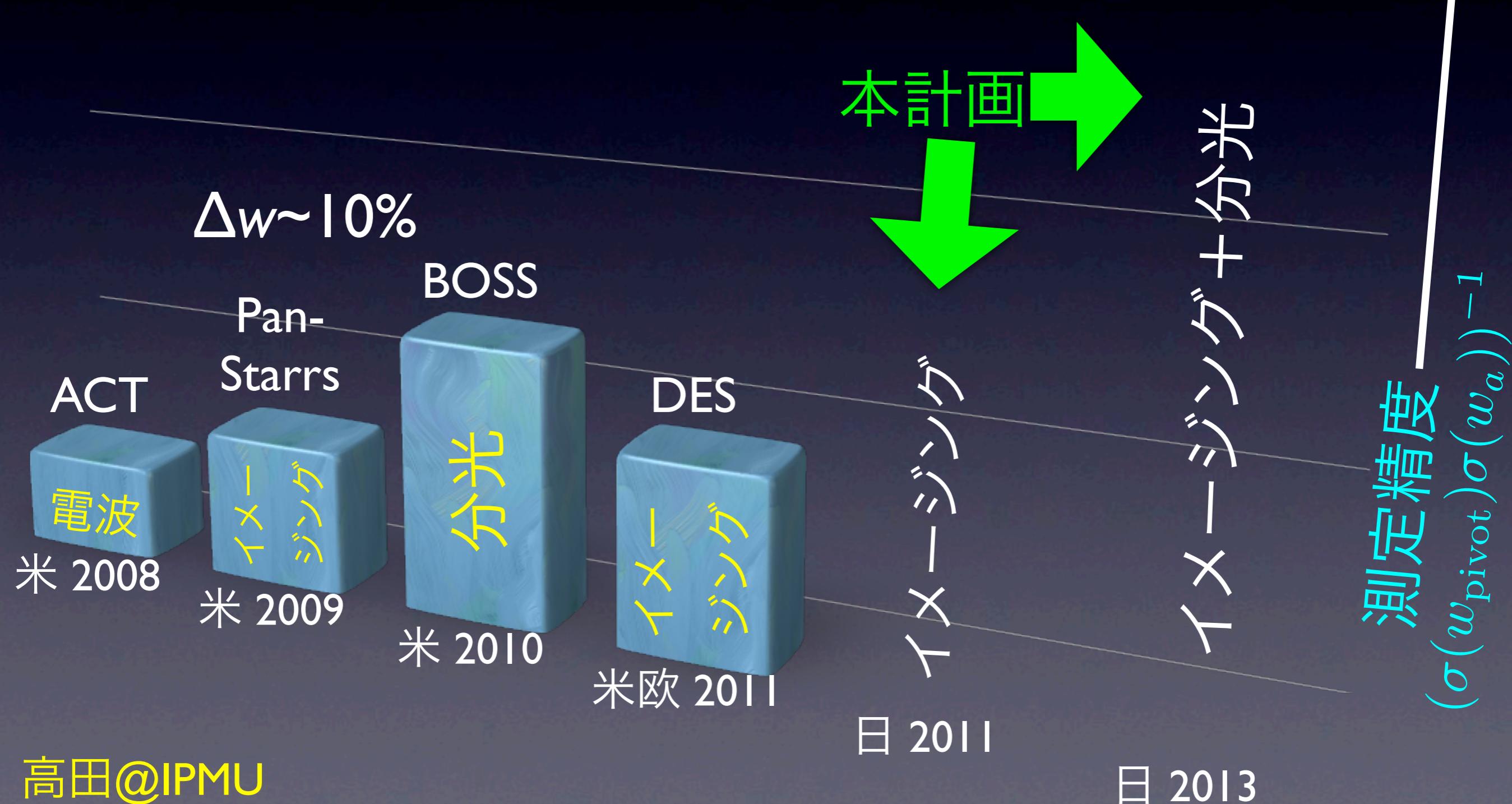


世界最大級(8.2m)の口径をもち視野も広い
すばる望遠鏡だけがここまで起源に遡れる



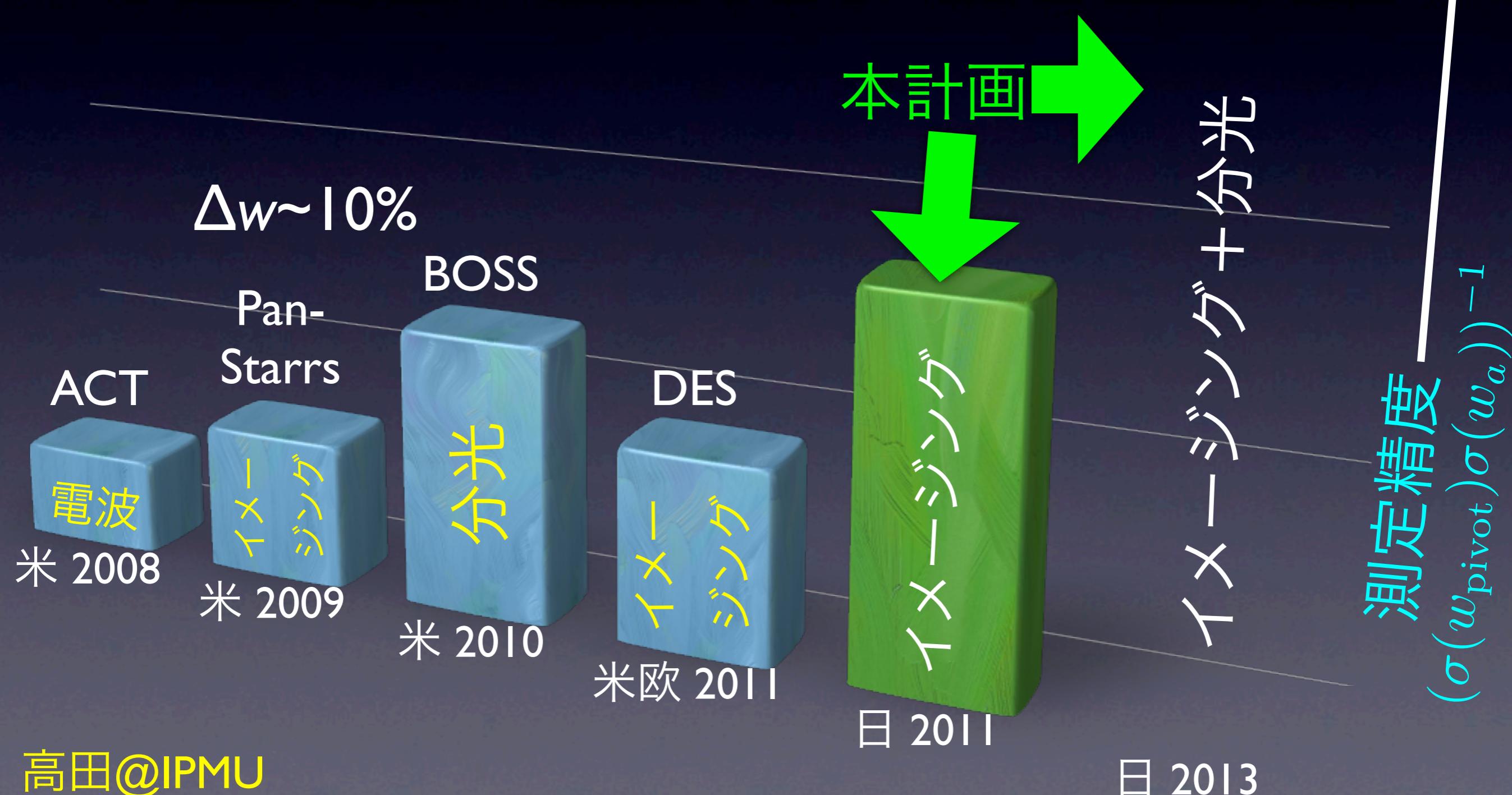
本計画の世界競争力

暗黒エネルギーの測定精度



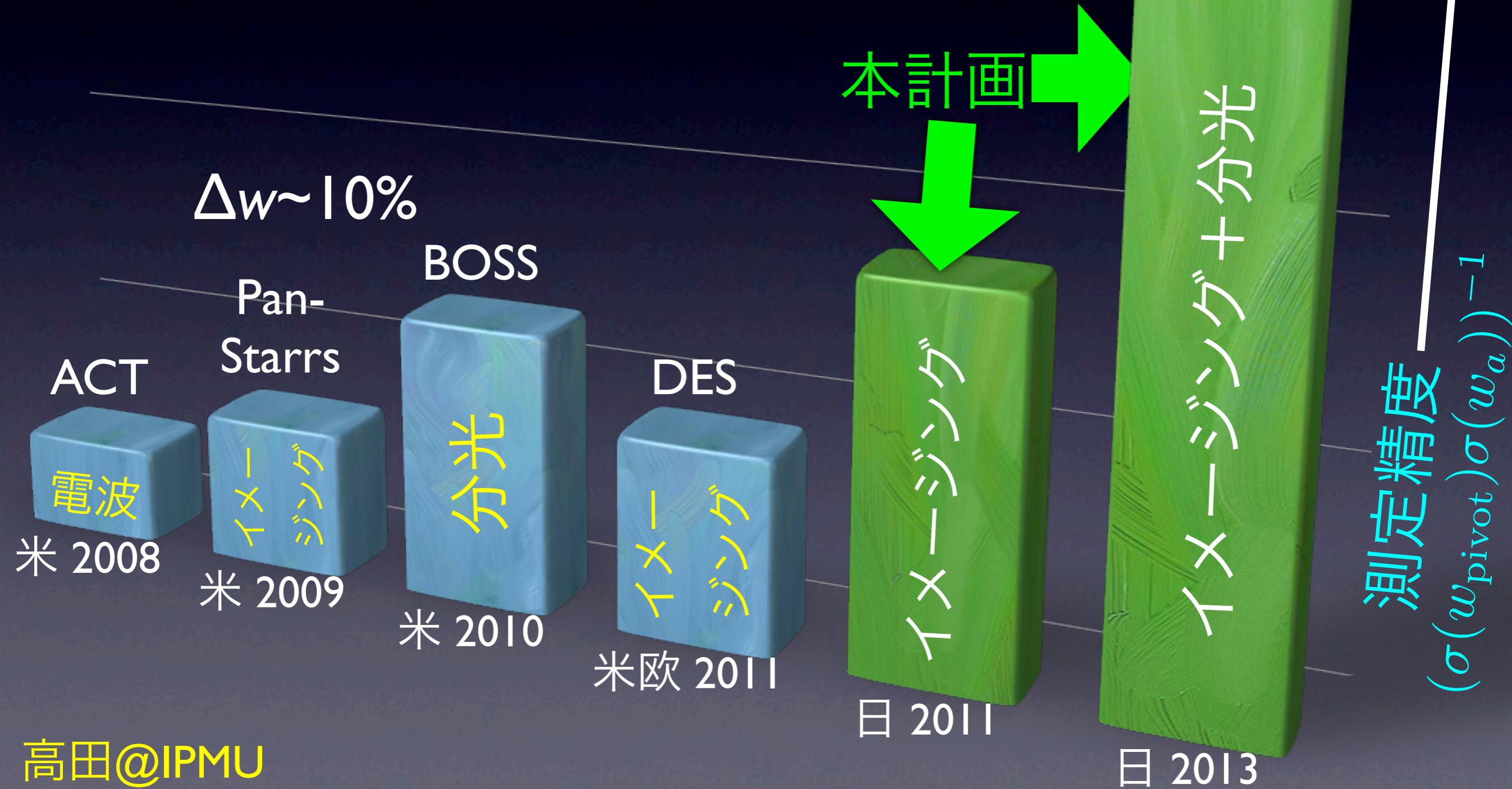
本計画の世界競争力

暗黒エネルギーの測定精度



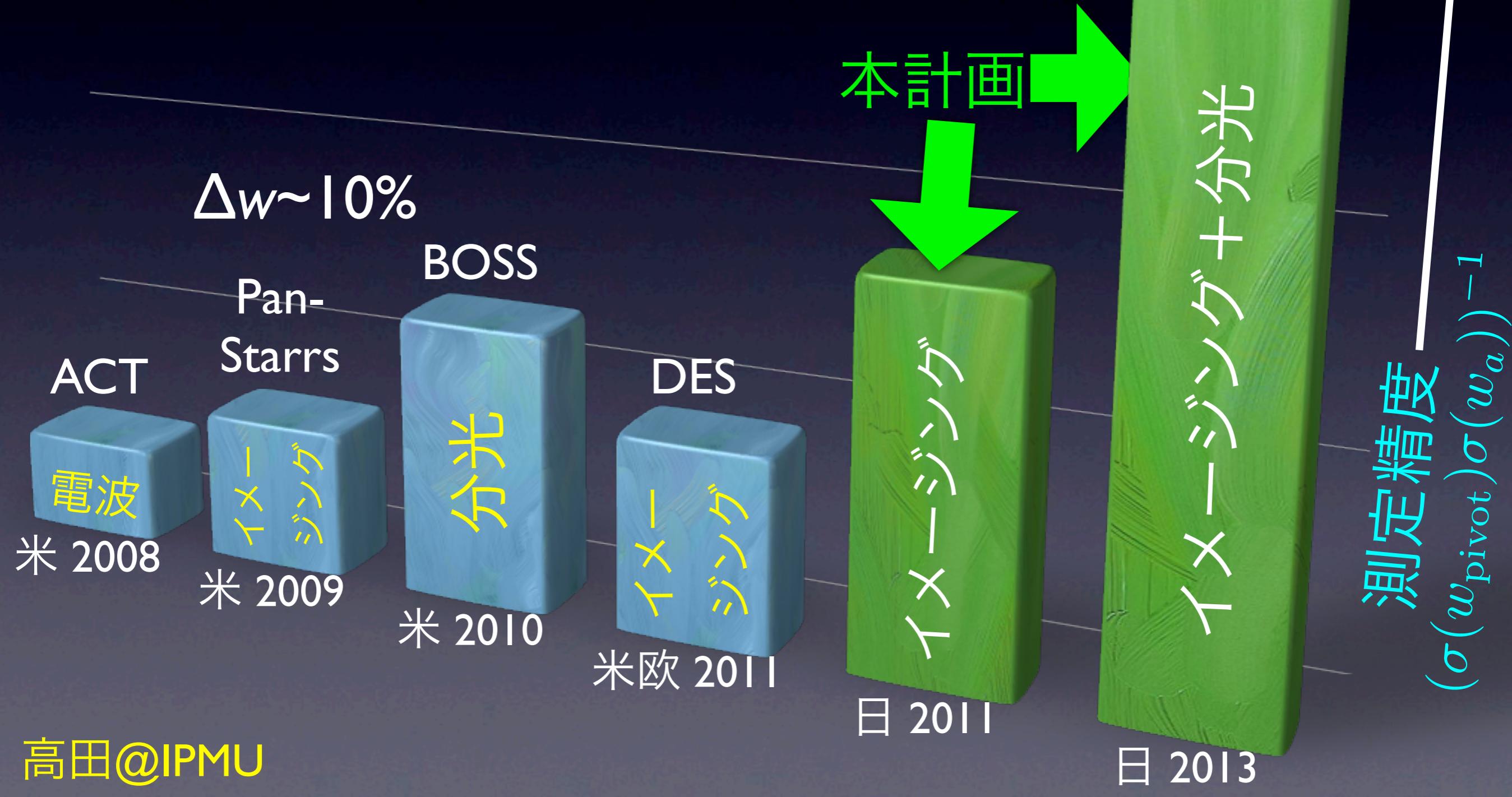
本計画の世界競争力

暗黒エネルギーの測定精度



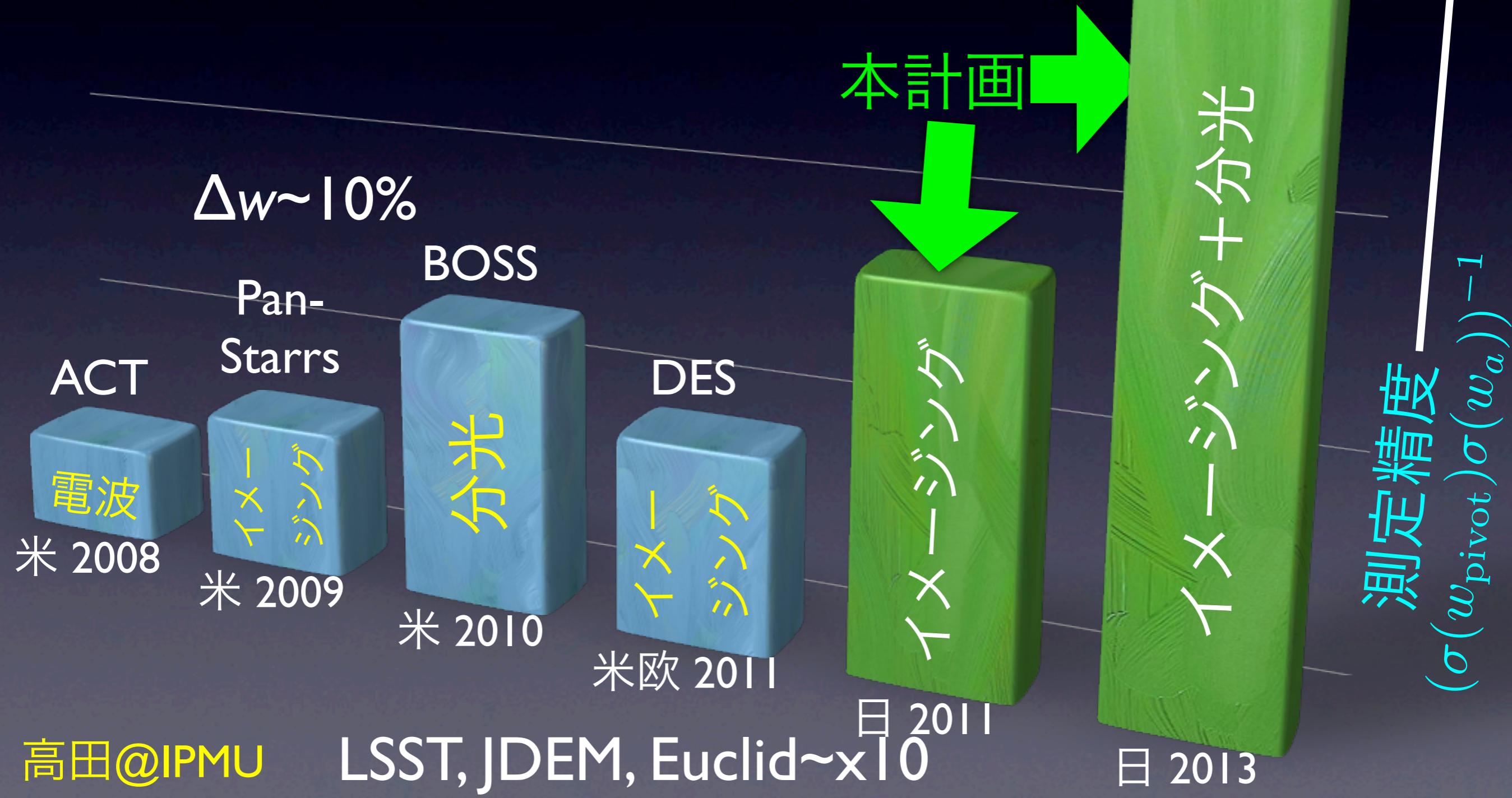
本計画の世界競争力 $\Delta w \sim 3\%$

暗黒エネルギーの測定精度



本計画の世界競争力 $\Delta w \sim 3\%$

暗黒エネルギーの測定精度



予算

予算は、公的機関が、一定の期間（通常は1年）の運営資金を計上するための財政計画です。予算は、収入と支出の両面から構成され、収入には歳入（税金や賦課料金など）、支出には歳出（人件費や設備費など）が含まれます。予算は、公的機関の運営資金を適切に管理するための重要なツールです。

予算

- 最先端研究開発支援プログラム⇒30人

予算

- 最先端研究開発支援プログラム⇒30人
- 申請額95億円

予算

- 最先端研究開発支援プログラム⇒30人
- 申請額95億円
- 「採択」、額不定

予算

- 最先端研究開発支援プログラム⇒30人
- 申請額95億円
- 「採択」、額不定



予算

- 最先端研究開発支援プログラム⇒30人
- 申請額95億円
- 「採択」、額不定
- 再度「精査」



予算

- 最先端研究開発支援プログラム⇒30人
- 申請額95億円
- 「採択」、額不定
- 再度「精査」
- 27億円



予算

- 最先端研究開発支援プログラム⇒30人
- 申請額95億円
- 「採択」、額不定
- 再度「精査」
- 27億円
- 結局国際協力のパートナー探しに奔走



将来

- optical frequency combを使うと、redshiftから1cm/secまで速度を決められる
- 10年後に同じ銀河を見て、実際に宇宙膨張が $c t H_0 \approx 15$ cm/secほど加速しているかどうかを直接測る
- TMTで可能？

