

# 銀河の誕生と成長の謎にせまる

太田耕司

(京都大学 大学院理学研究科 宇宙物理学教室)

Spiral Galaxy NGC 3370



# 今日の話

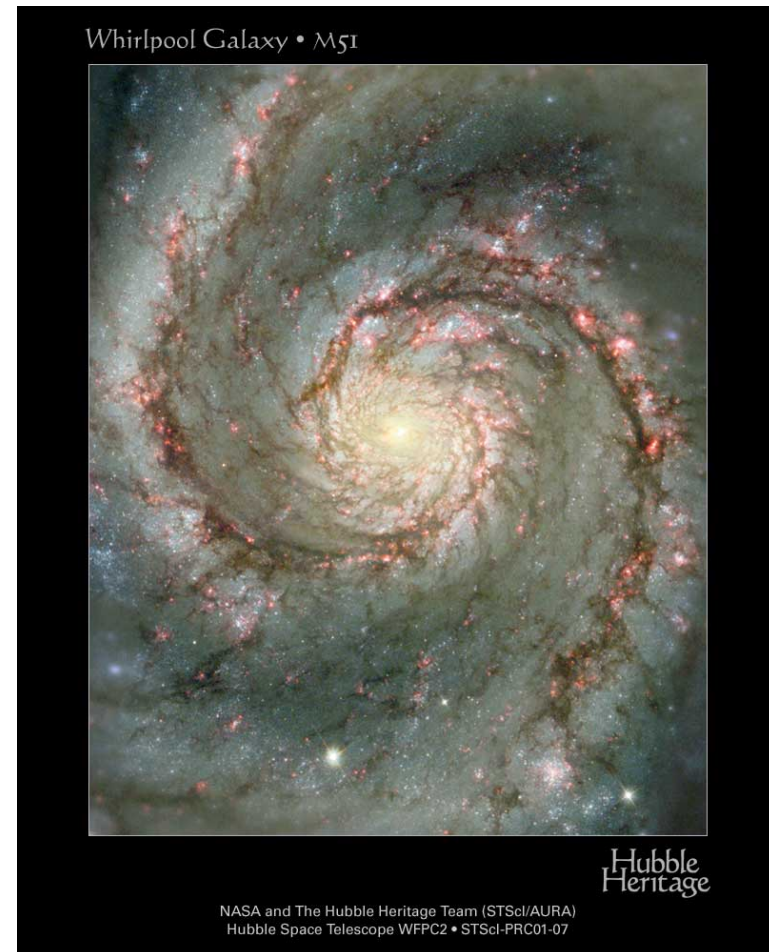
1. 銀河とは？
2. 銀河の成長と誕生
3. うまれたての銀河を探す

# M31 (アンドロメダ大銀河と伴銀河)



1996年 8月15日, 25時12分 (JST)

# 渦巻き(円盤)銀河



# 渦巻き(円盤)銀河 横からみると

NGC4565 (かみのけ座にあるエッジオン銀河)



1998年 5月21日, 23時20分 (JST)

口径50cmカセグレン式反射望遠鏡 (F12), 液体窒素式冷却CCDカメラ (Astromed 3200シリーズ)  
露出時間: 6分×10, フィルタ: Iバンド, 疑似カラー処理, 画像範囲: 14.01×9.53  
観測場所: 国立天文台 (三鷹)

H. Fukushima 国立天文台 天文情報公開センター 広報普及室

NGC 891 (アンドロメダ座にあるエッジオン銀河)



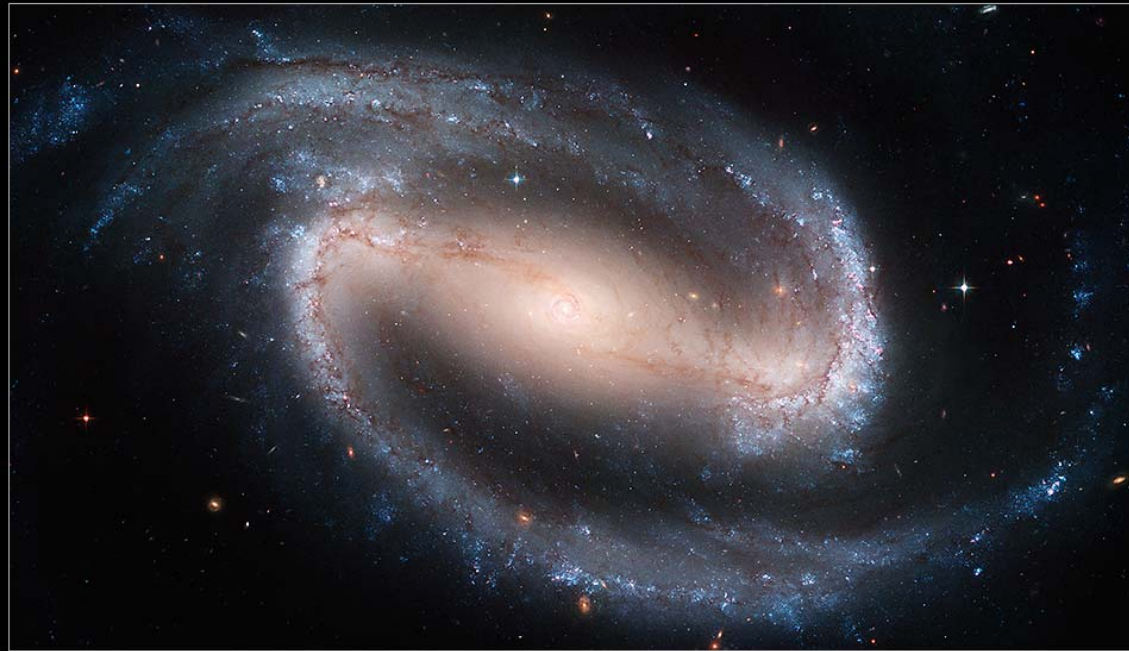
1996年 10月16日, 25時45分 (JST)

口径50cmカセグレン式反射望遠鏡 (F12), 液体窒素式冷却CCDカメラ (Astromed 3200シリーズ)  
露出時間: 6分×8, フィルタ: Iバンド, 疑似カラー処理

H. Fukushima 国立天文台 広報普及室

# 棒渦巻き銀河

Barred Spiral Galaxy NGC 1300

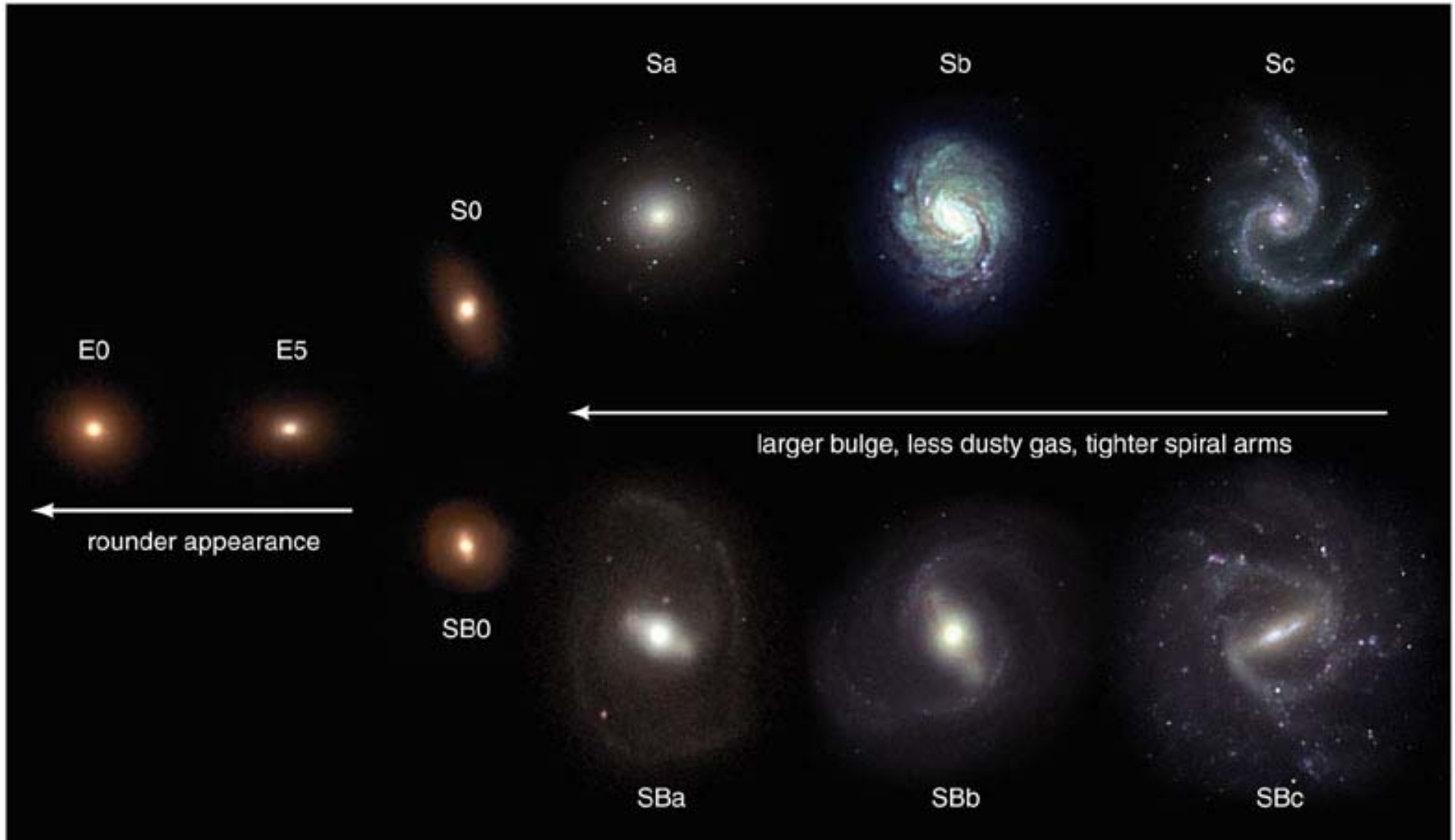


Hubble  
Heritage

# 橢圓銀河

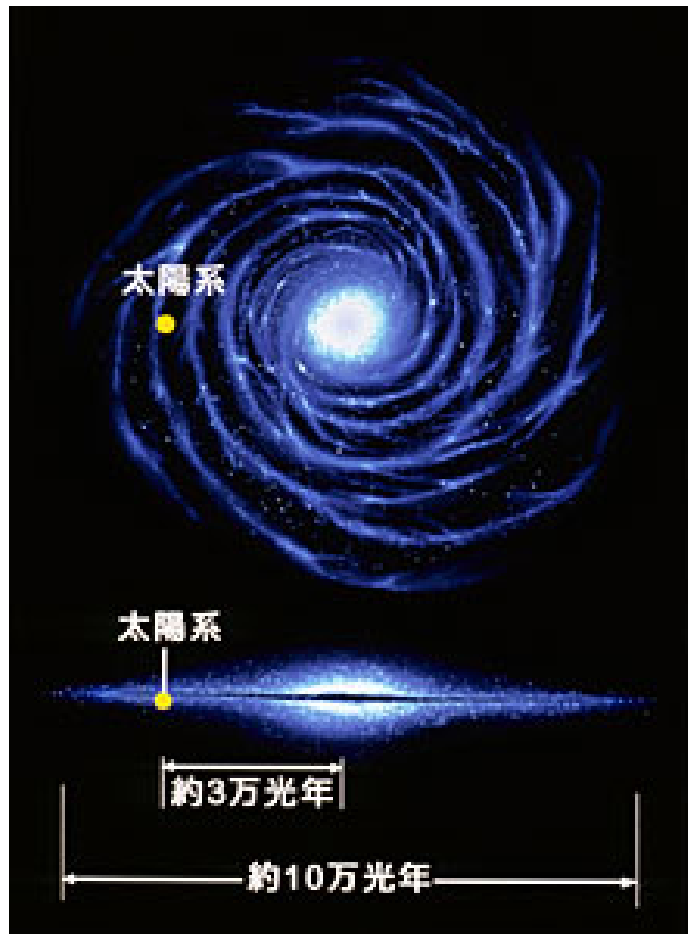


# いろいろな銀河





# 銀河とは：星の大集団



大きさは、約10万光年

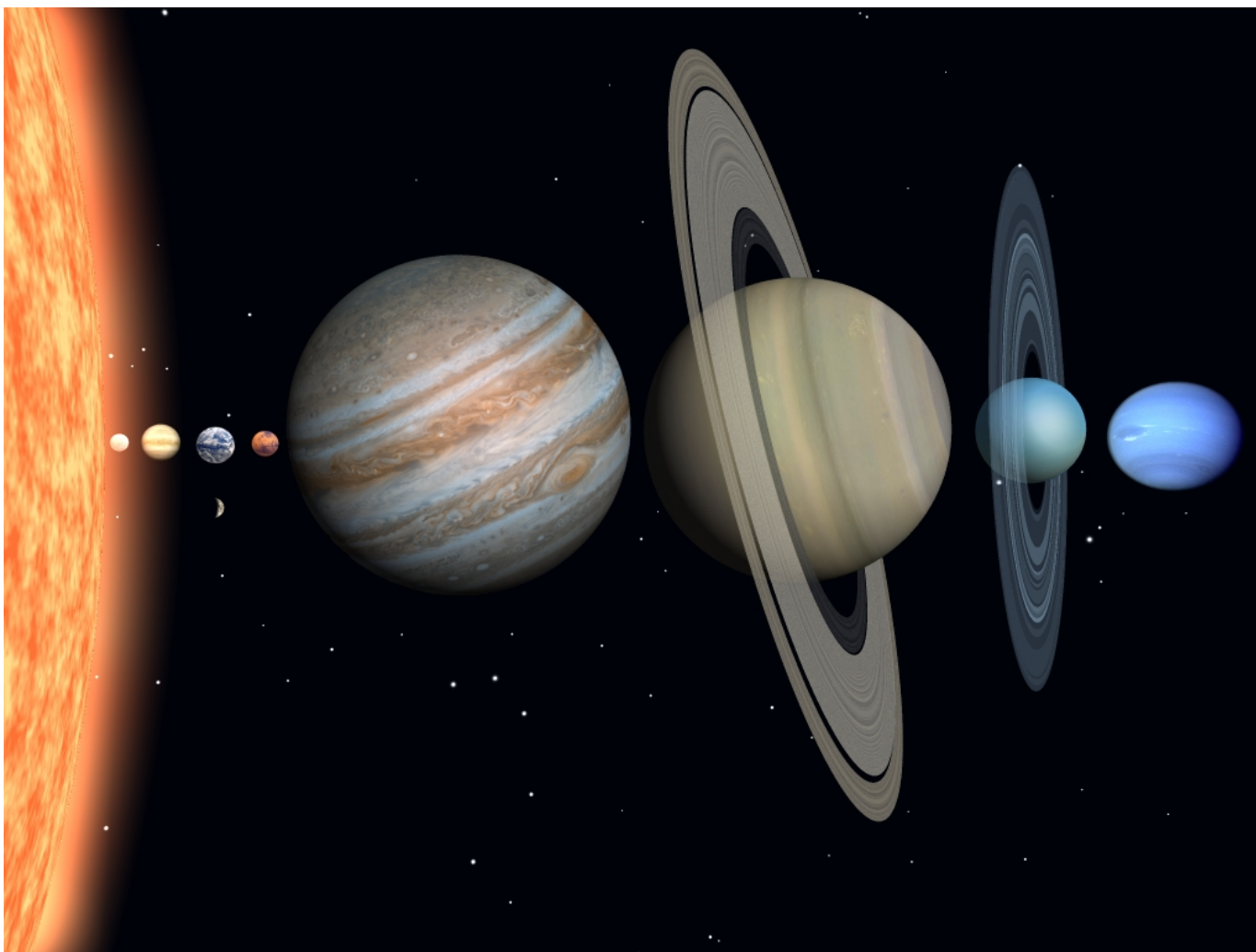
太陽のようにみずから輝く星が、  
約1000億個集まっている

問題：

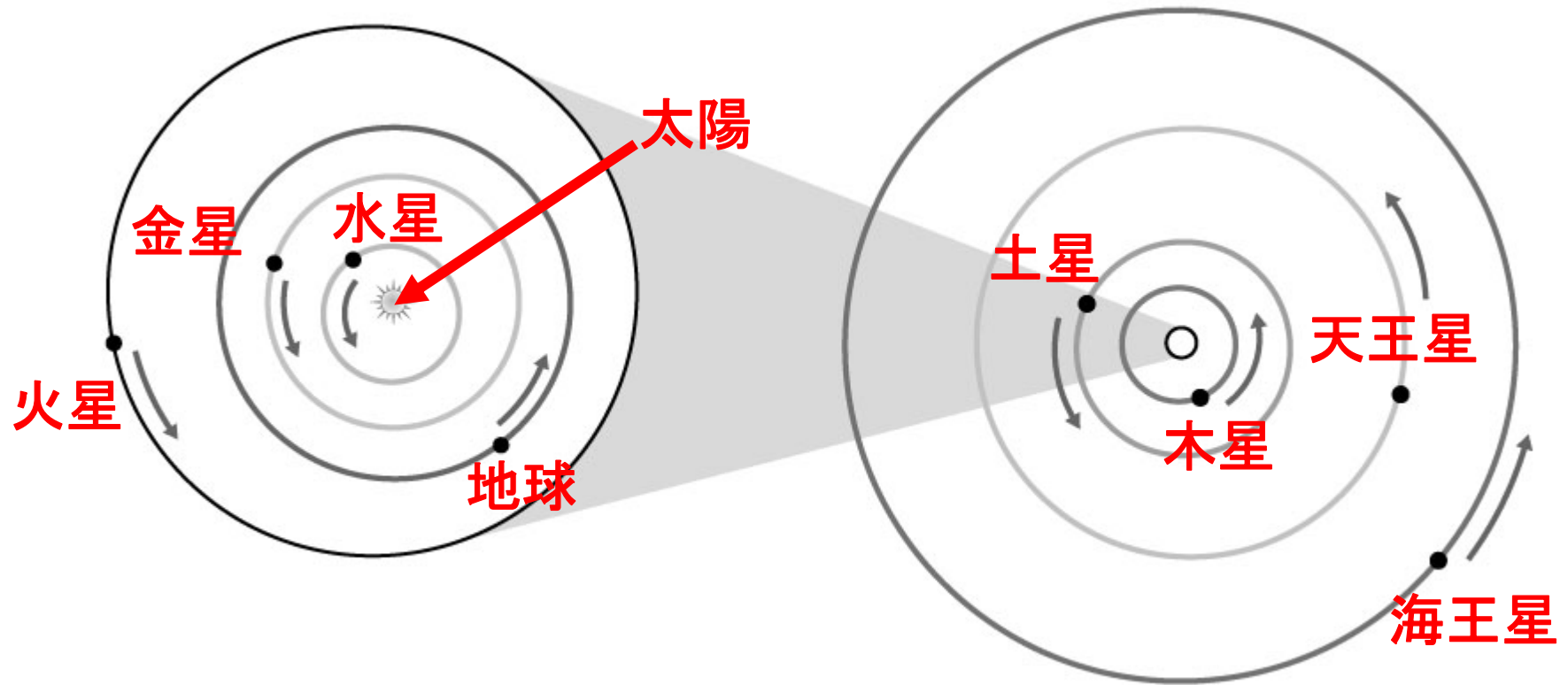
銀河は、いつ、どのようにでき、  
どのようにして現在の姿に  
なったのだろうか？

とはいえ、  
まずは、宇宙の概観を

# 太陽系：太陽と惑星



# 太陽系の姿



# 太陽系はスカスカ

太陽の大きさを、直径30cmのすいか玉に縮めると、、、

	太陽からの距離	惑星の大きさ
水星	12m	1mm
金星	13m	3mm
地球	32m	3mm
火星	49m	1.5mm

# 太陽系はスカスカ

太陽の大きさを、直径30cmのすいか玉に縮めると、、、

	太陽からの距離	惑星の大きさ
木星	168m	3cm
土星	308m	3cm
天王星	619m	1cm
海王星	971m	1cm

# 太陽に一番近い恒星までの距離は？

- 1: 京都駅くらい
- 2: 東京くらい
- 3: ハワイくらい
- 4: 地球の反対側(ウルグアイとかアルゼンチン)くらい

正解: 4 地球の裏側より少し手前

9, 000km

(この縮尺では、銀河内の遠い星は: 太陽-地球間程度～  
太陽系くらいの広がり)



これでは想像しにくいので、、、  
太陽の大きさを0.1mmとしたら  
銀河の大きさは地球の5倍くらい

あるいは:

太陽の大きさが1 Å (水素原子位)なら  
銀河の大きさは50mくらい

想像しにくいのでさらにずっと、小さくして：  
銀河をピザ（Lサイズ：直径30cm）とすると  
となりの銀河（M31, アンドロメダ銀河）  
までの距離は？

- 1: 6－7m先のピザ
- 2: 6－7km先のピザ
- 3: 6000－7000km先のピザ  
（地球の裏側）

正解： 意外なことに 1

# 銀河はときどきぶつかる

Galaxies NGC 2207 and IC 2163



Hubble  
Heritage

# 銀河団ではよくぶつかる



# 一番遠い銀河は？

- 125億光年とすると、90km先のピザ  
(昔なのでサイズはLサイズより小さい)
- ピザの数は1千億とかそんな感じ  
(暗い銀河をどこまで数えるか)

# 今日の話

1. 銀河とは？
2. 銀河の成長と誕生
3. うまれたての銀河を探す

# 銀河の育ち方： 星間ガス ⇒ 星

ガスのかたまりから  
だんだん星がうまれて  
銀河として成長していく

Whirlpool Galaxy • M51



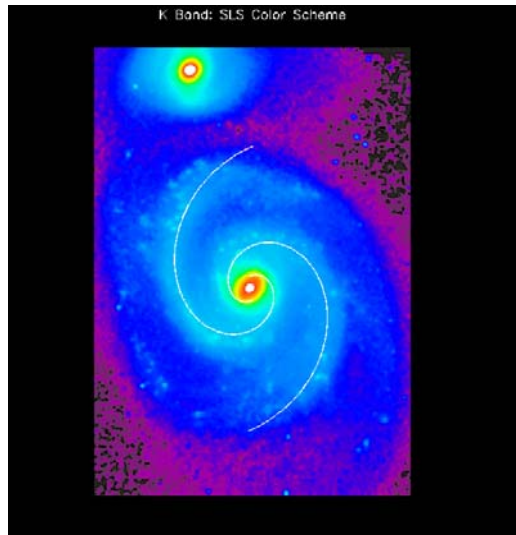
通常の成長  
じわじわ成長モード

水素のガスから  
星が生まれてくる

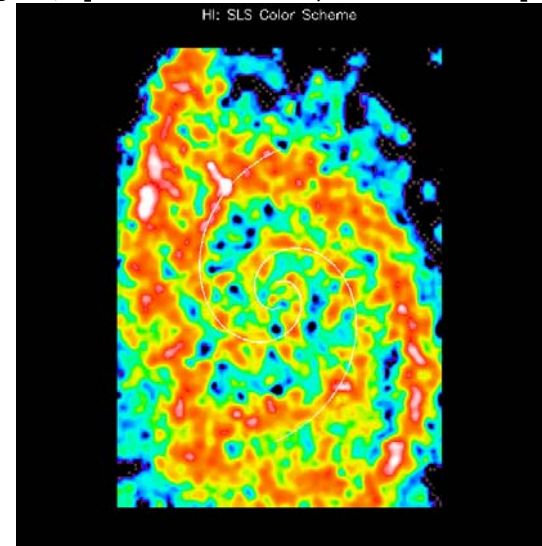
赤い部分は  
星が生まれている  
場所



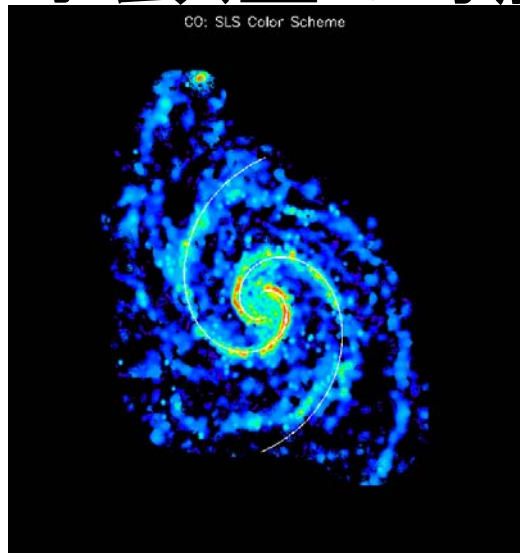
# 星の分布



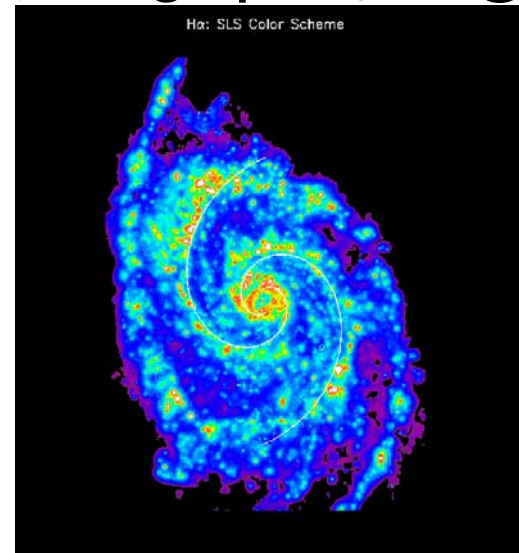
# 水素ガス(星の材料)



# 分子雲(星の母胎)

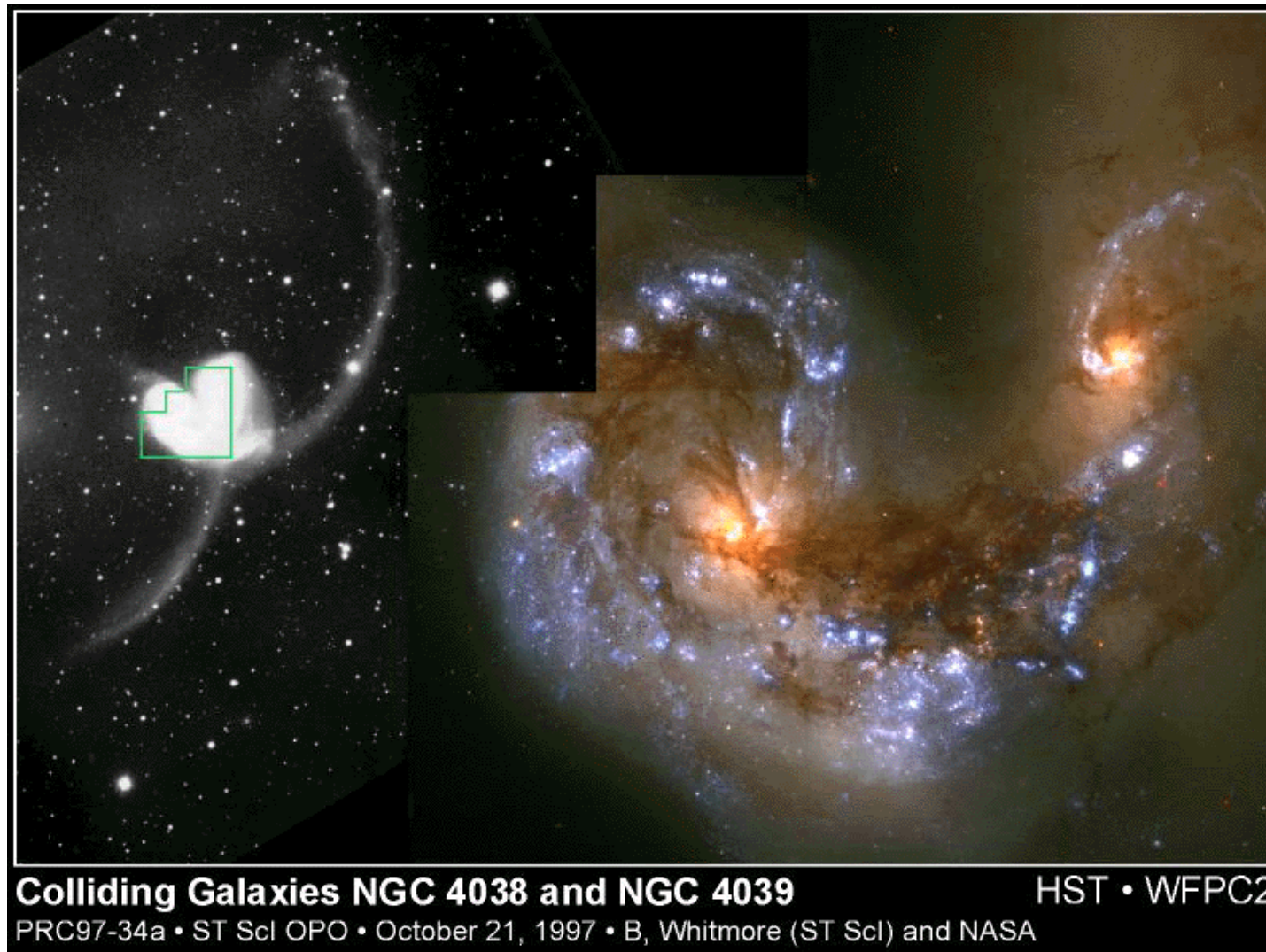


# 星の生まれているところ



## 急激成長モード

銀河同士がぶつかりるとガスが圧縮されて星形成が盛んになる(ことが多い)

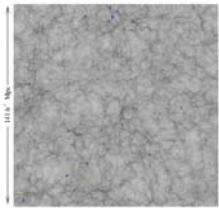


# 銀河の誕生と成長のシナリオ

- 宇宙は、初期にはガスのみ
- ガス分布は一様だけど密度揺らぎがあり  
(正確にはダークマターによる密度揺らぎ)
- 密度の高いところは重力的に引き合って、  
ますます密度が上がる
- 星の形成
- だんだんとガス=>星に転換しながら  
銀河として成長していく
- こういう姿をみてみたい！ 銀河形成進化絵巻

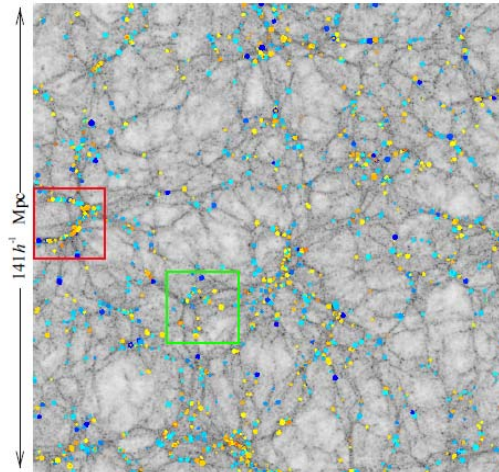
# 銀河形成シミュレーションの例

宇宙年齢  
10億年



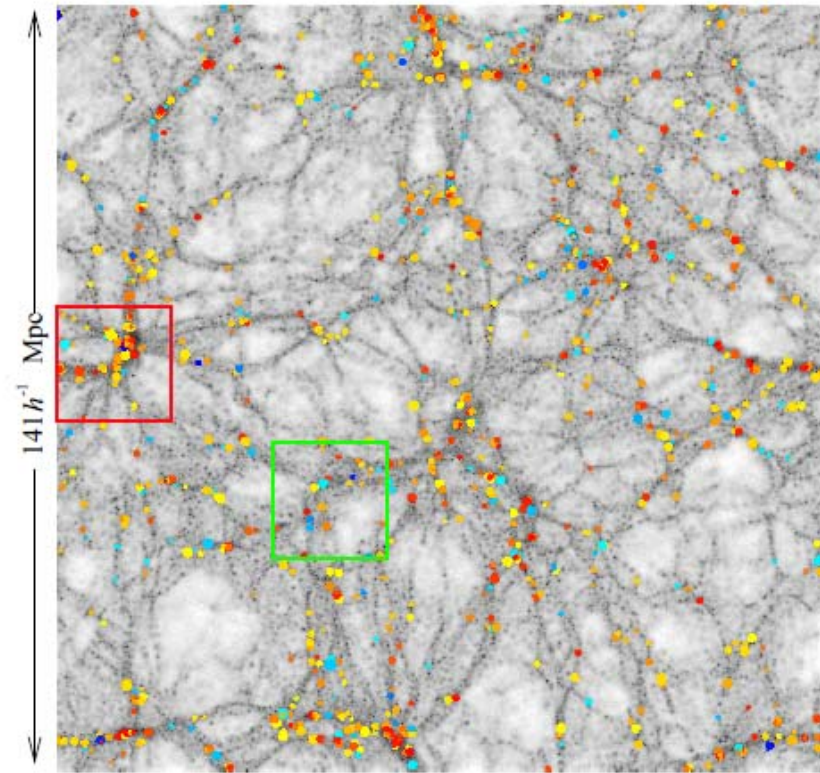
1億光年

宇宙年齢  
60億年

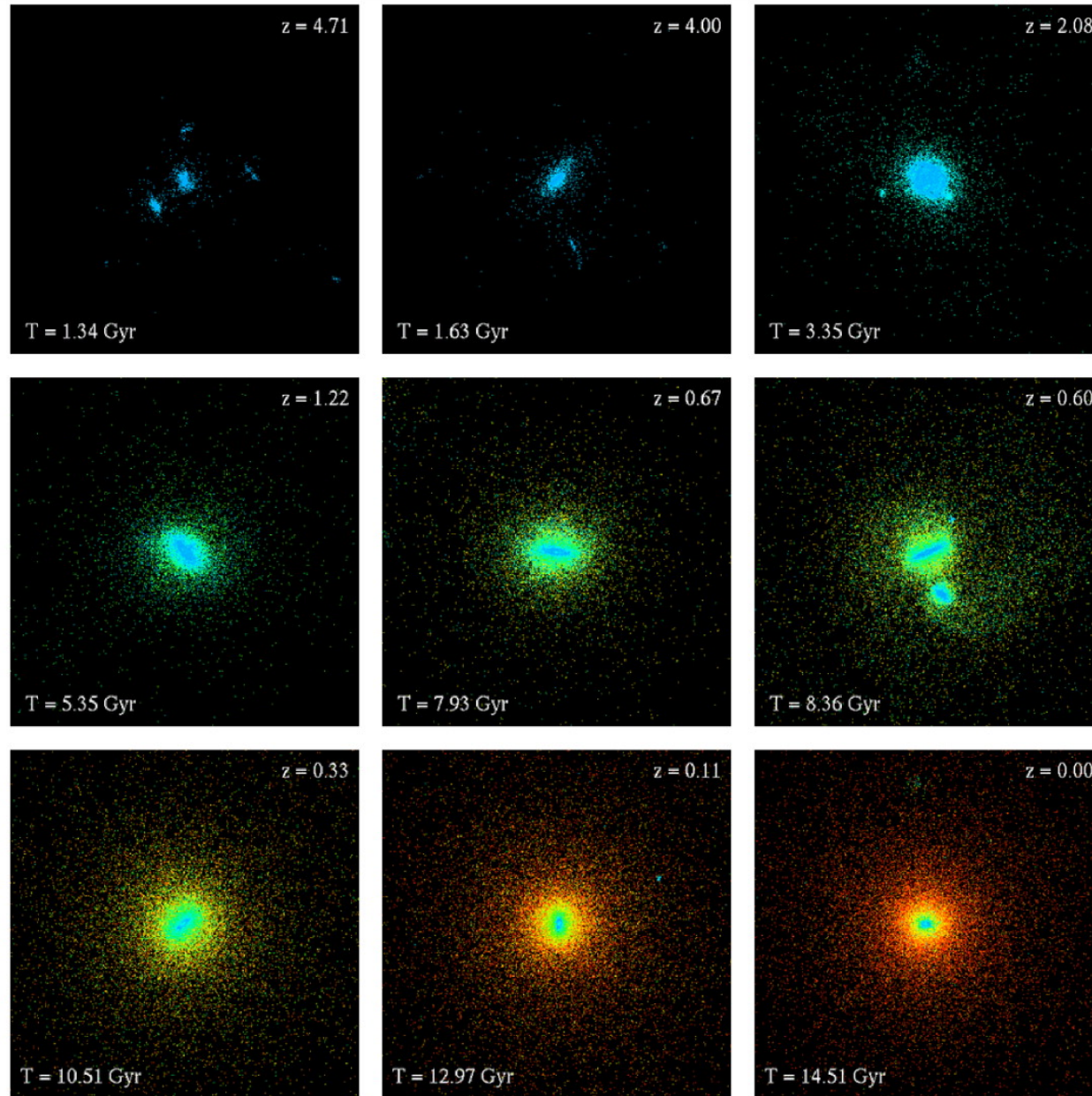


3.5億光年

宇宙年齢  
137億年 (現在)



7億光年



コンピュータ  
シミュレーション  
による銀河の進化

Meza et al. ApJ 519,  
619, 2003

# 今日の話

1. 銀河とは？
2. 銀河の成長と誕生
3. うまれたての銀河を探す

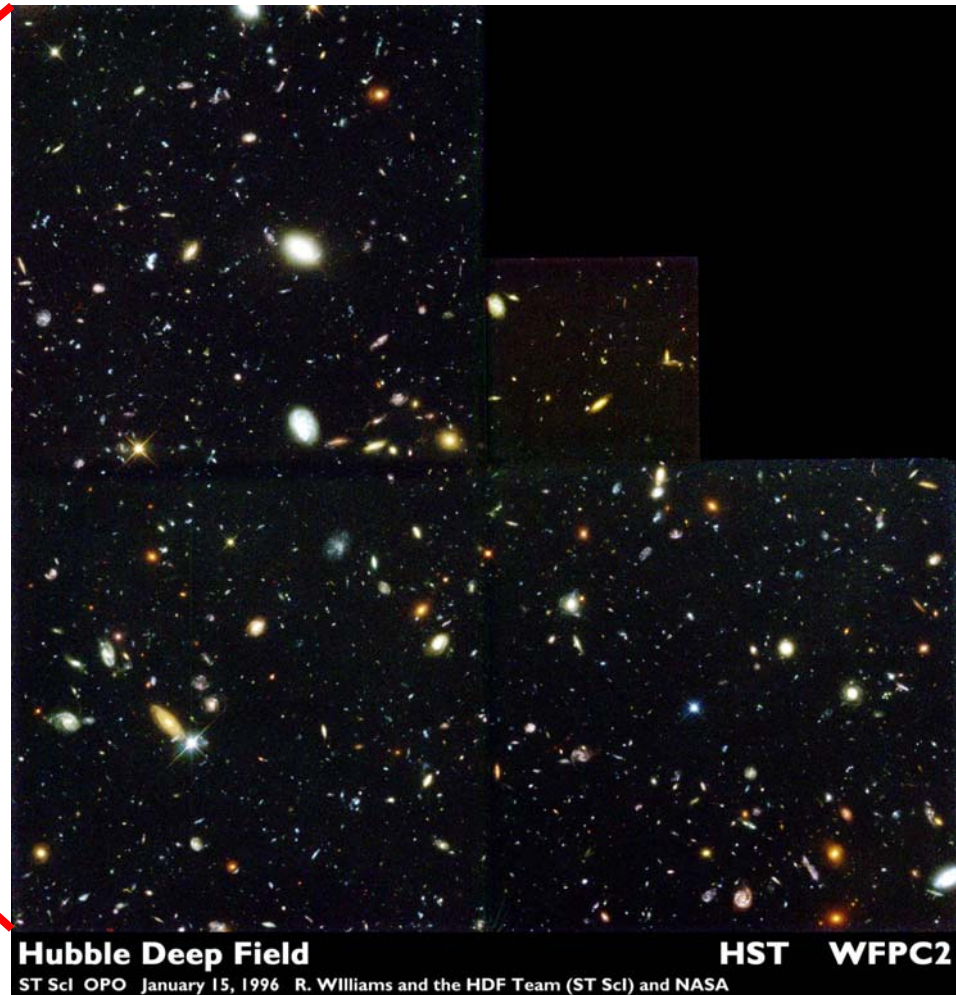
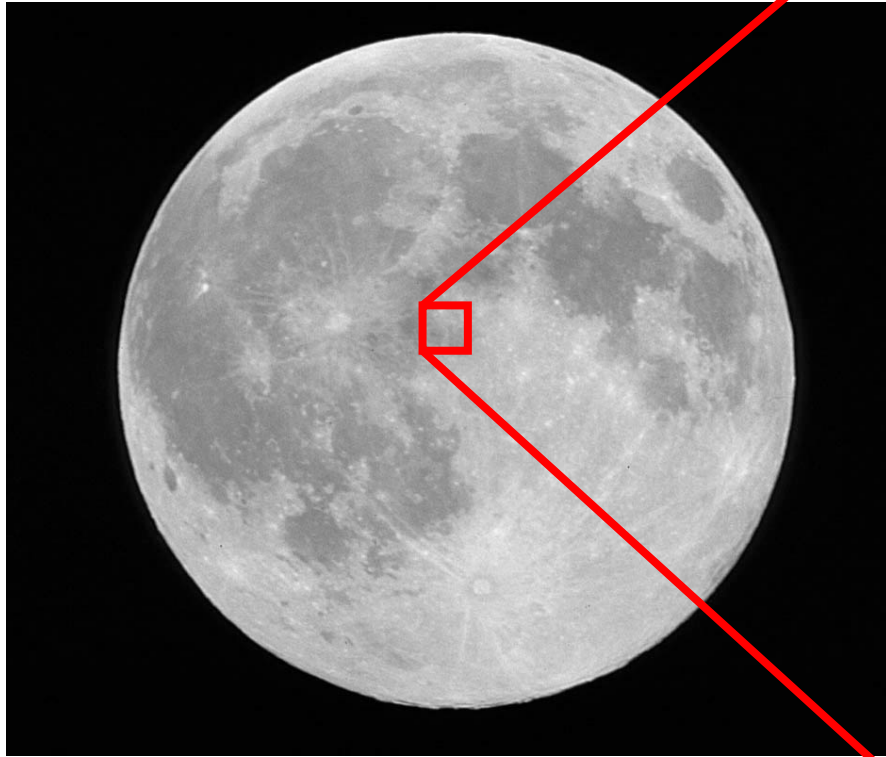
# 生まれたての銀河を探せ！

- 遠くの宇宙を見ることは、昔の宇宙を見ること
- 遠くの銀河をみれば、銀河の誕生・進化を直接見ることができる
- しかし、そう簡単に遠くの銀河を調べることはできない
- どうやって探す？
- 暗い銀河を調べればいい？

# 暗い銀河は、「星の数」ほどある！

月の1/100の面積に数千個の銀河！

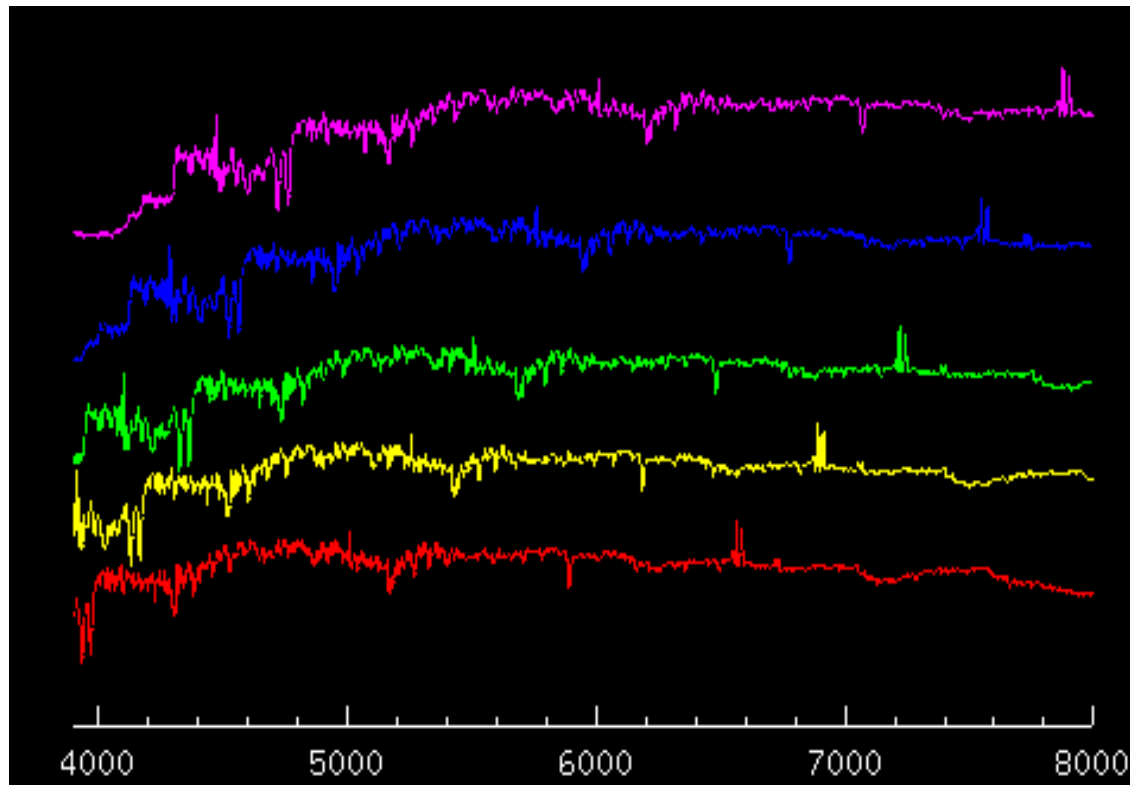
どれが遠い(=昔)の銀河？





# 銀河までの距離の普通の測り方

宇宙膨張によって波長が長くなる(赤方偏移):  
分光観測によって波長のずれ量を測定し、距離を求める



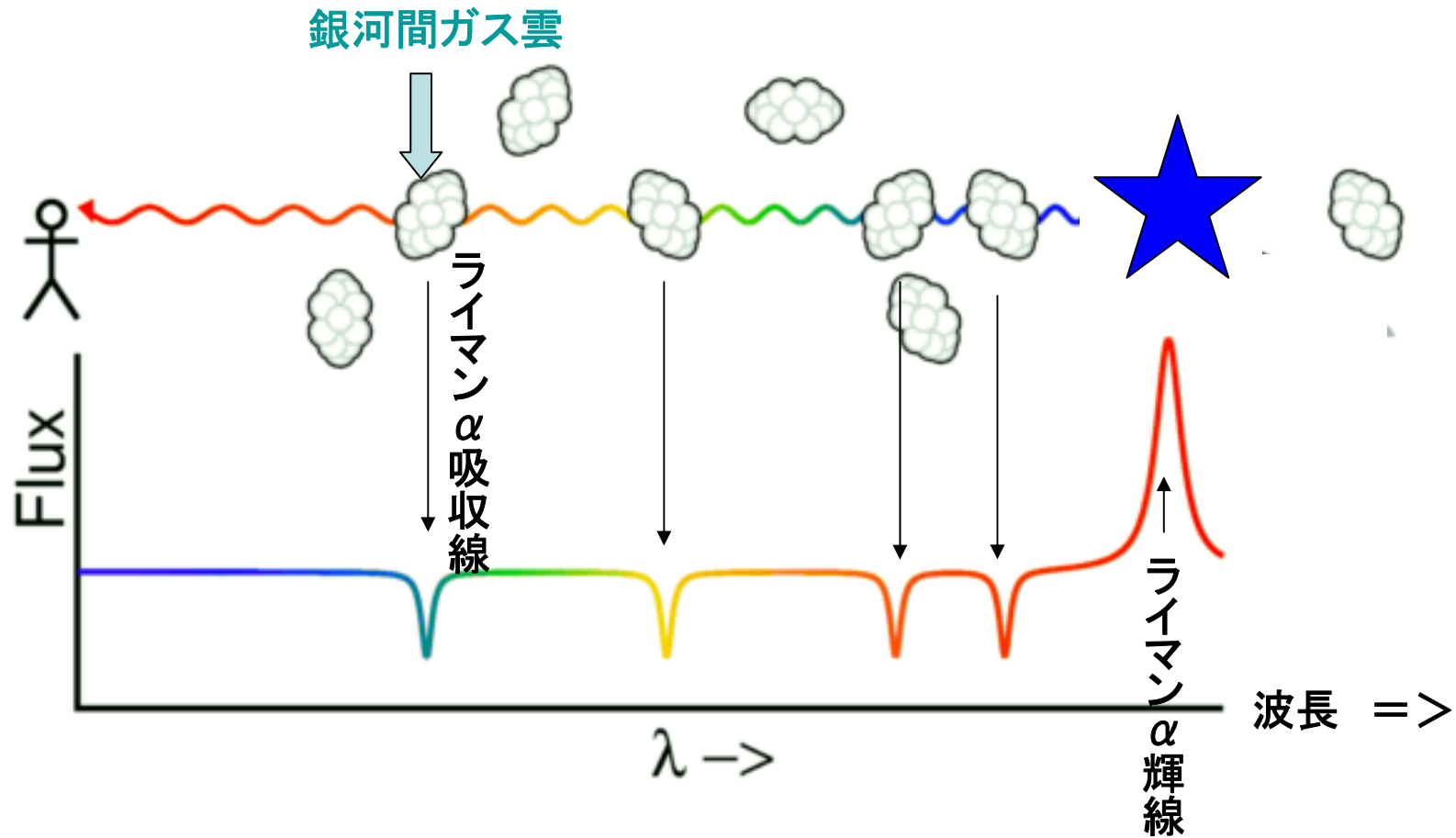
遠い天体

近い天体

1個1個の銀河のスペクトルをとってでは、‘日が暮れてしまう’

# 銀河までの距離のおおまかな測り方

銀河間ガスによる吸収を利用して、  
一気にたくさんの遠方銀河を撮像観測で見つけよう

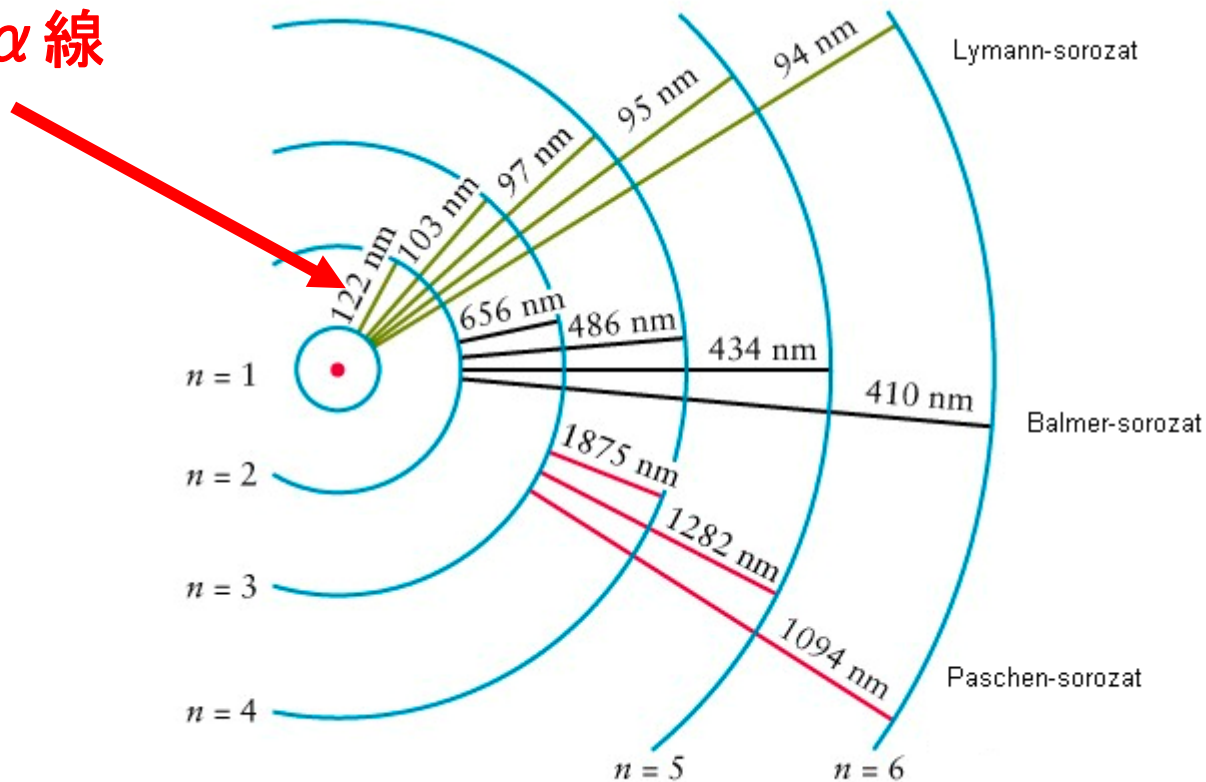


ライマンα線よりも短波長側では、天体の光はほとんど我々に届かない

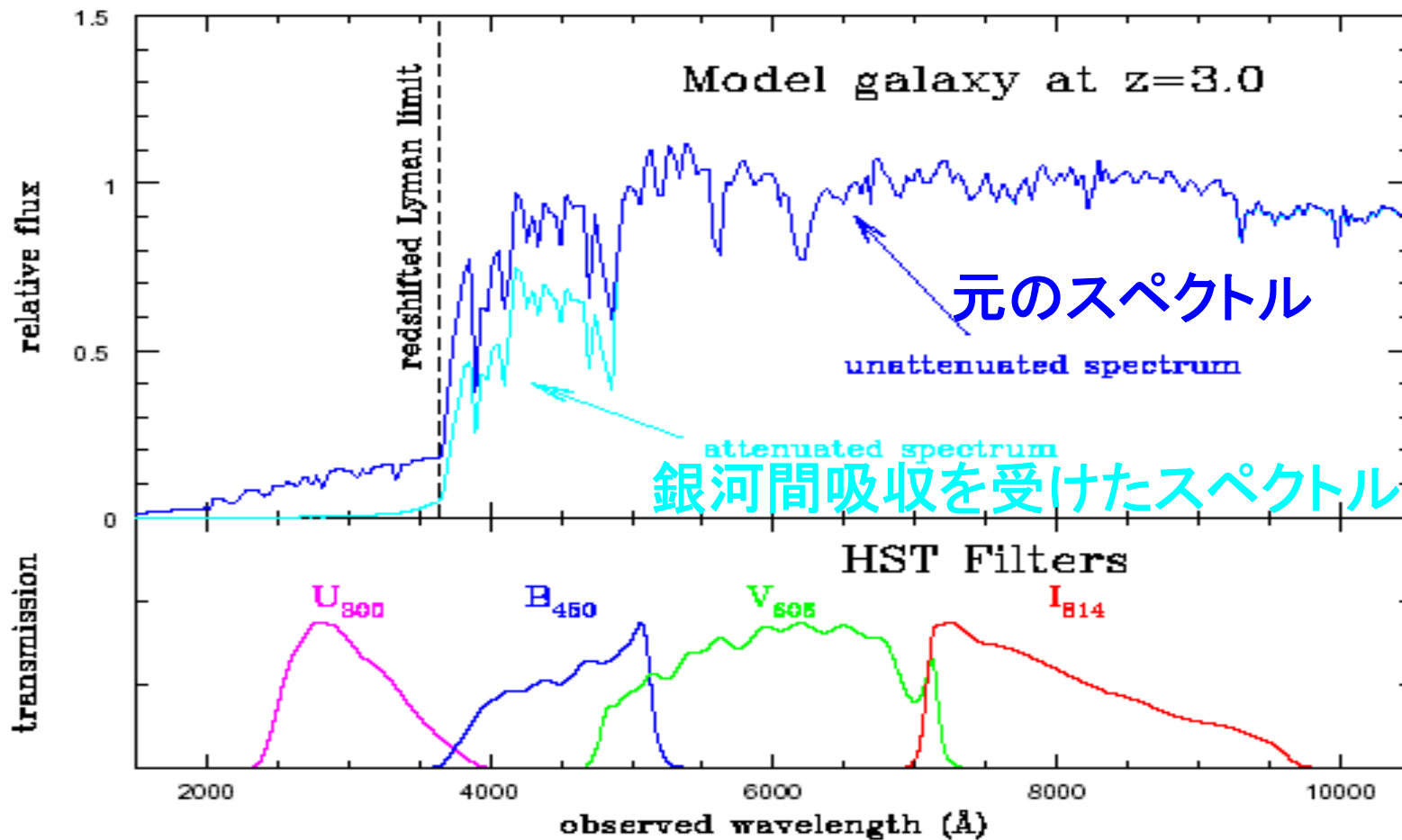
# ライマン $\alpha$ 線

## 水素原子

ライマン  $\alpha$  線

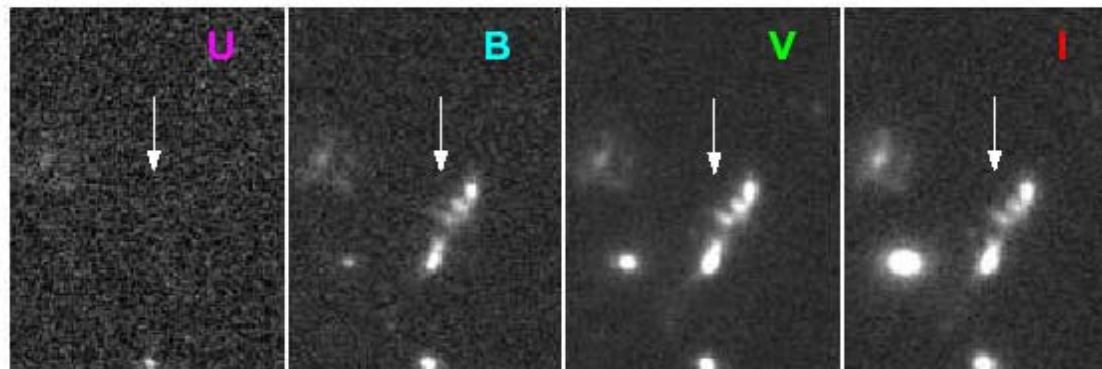


例



短い  $\leftarrow$  観測波長  $\rightarrow$  長い

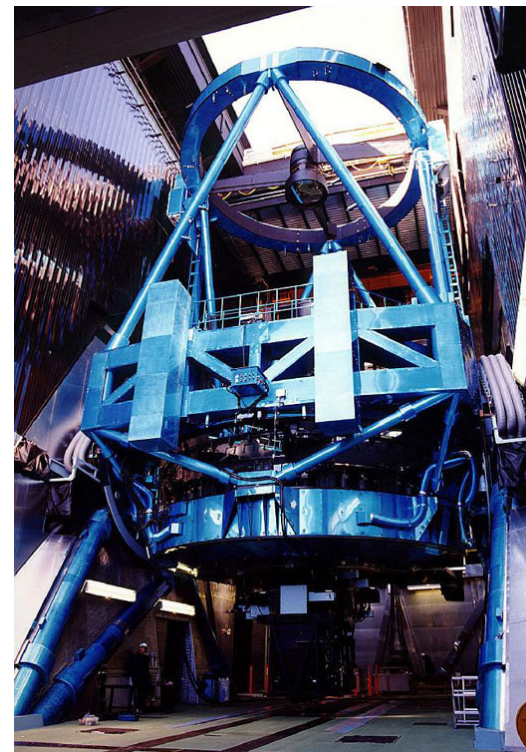
観測される  
銀河の像



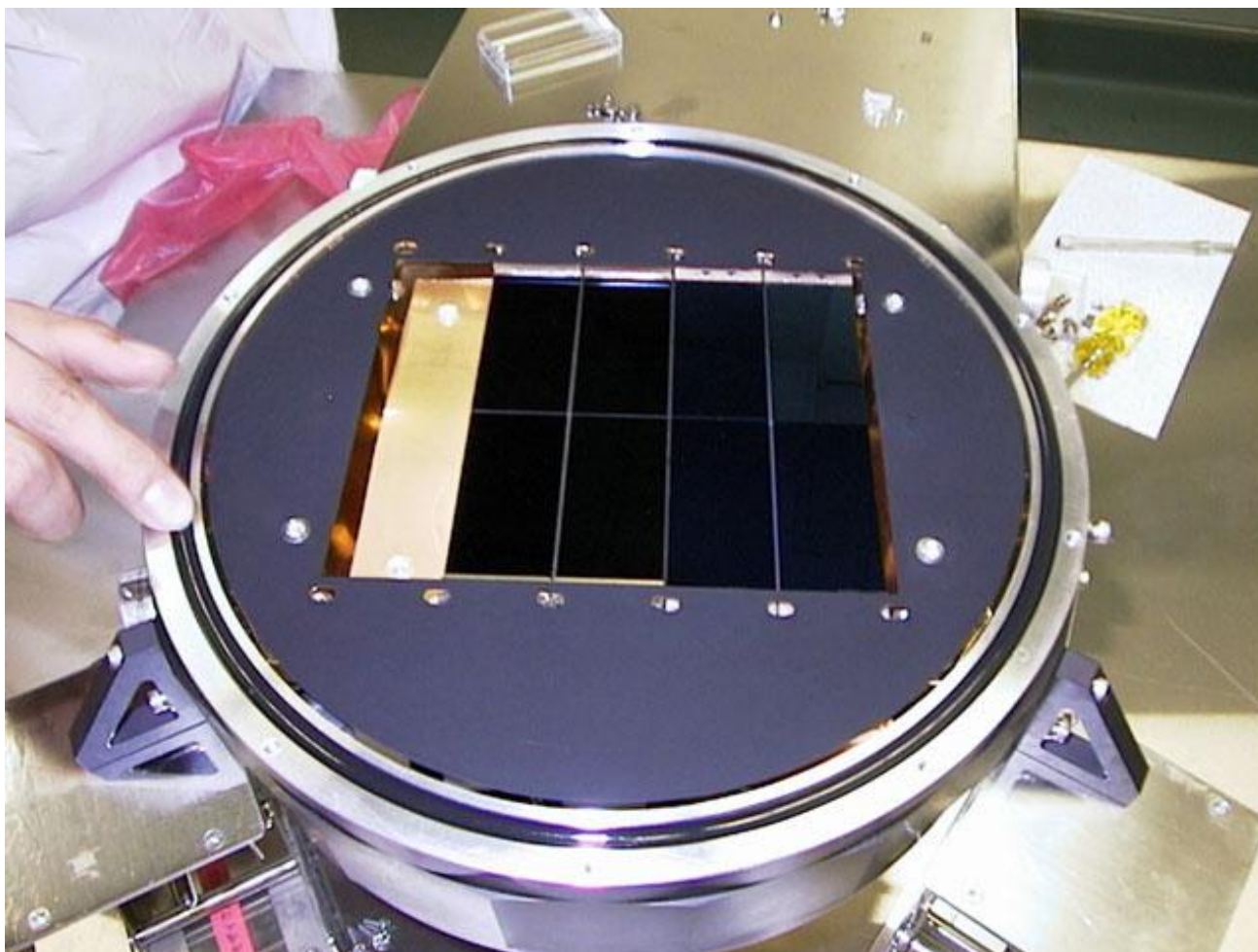
- 撮像観測で、一気にたくさんの遠くの銀河  
（＝昔の銀河）を探しだす
- （とはいえ）  
大望遠鏡と視野の広いカメラが必要
- すばる望遠鏡の得意とするところ
- ここ10年で飛躍的進展

# 125億光年の銀河を探す！ (宇宙年齢約10億年)

すばる望遠鏡@ハワイ島  
マウナケア山山頂(4200m)



# 特大CCDカメラ



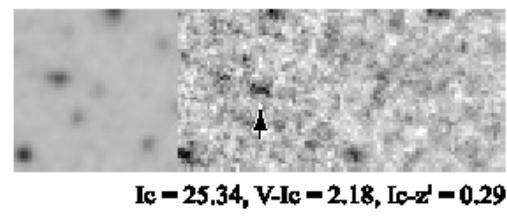
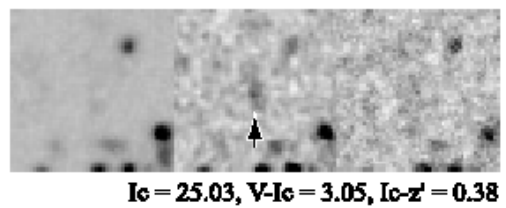
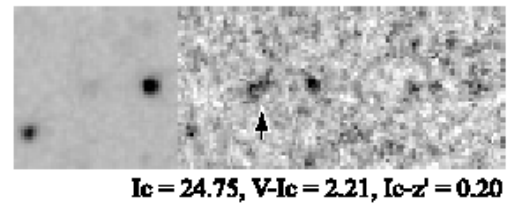
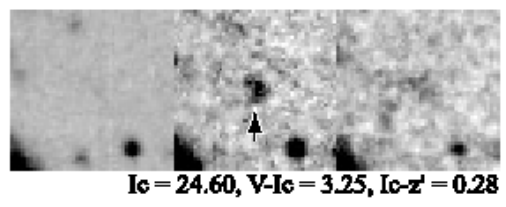
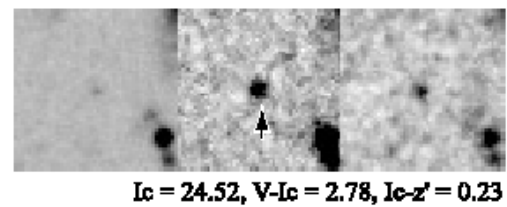
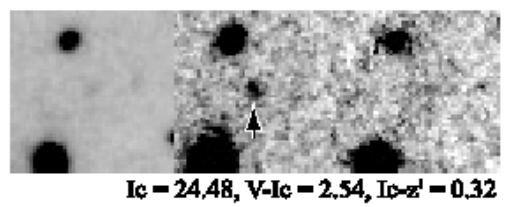
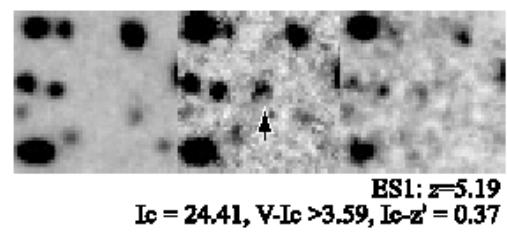
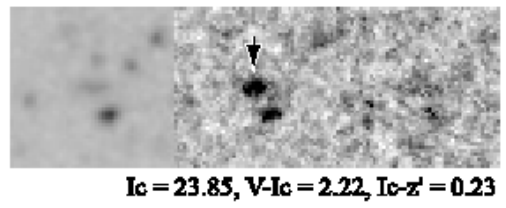
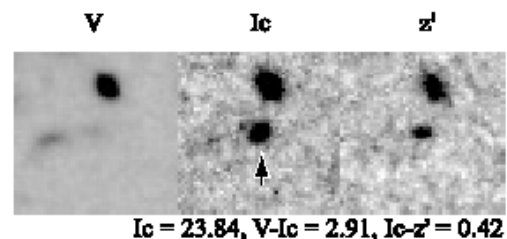
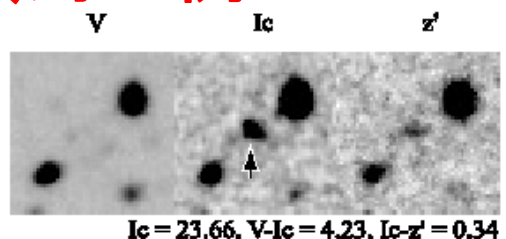
# 觀測風景





# 約125億光年の銀河の例

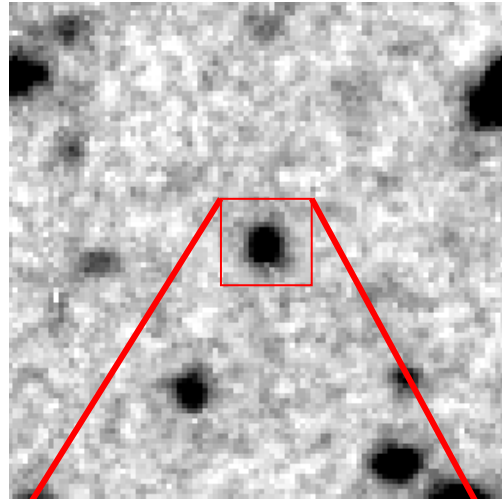
1000個  
近く見つけることに  
成功



# 誕生後間もない銀河のクローズアップ例

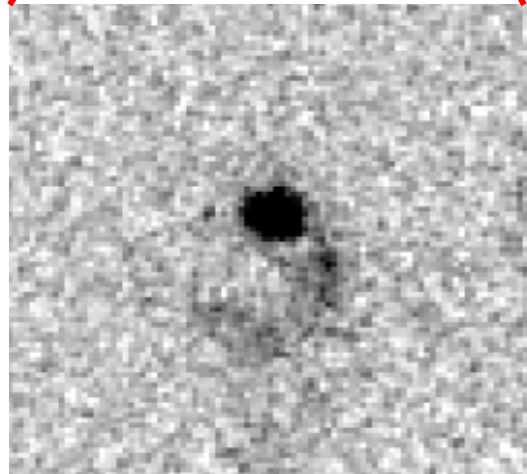
144200

すばる望遠鏡による画像



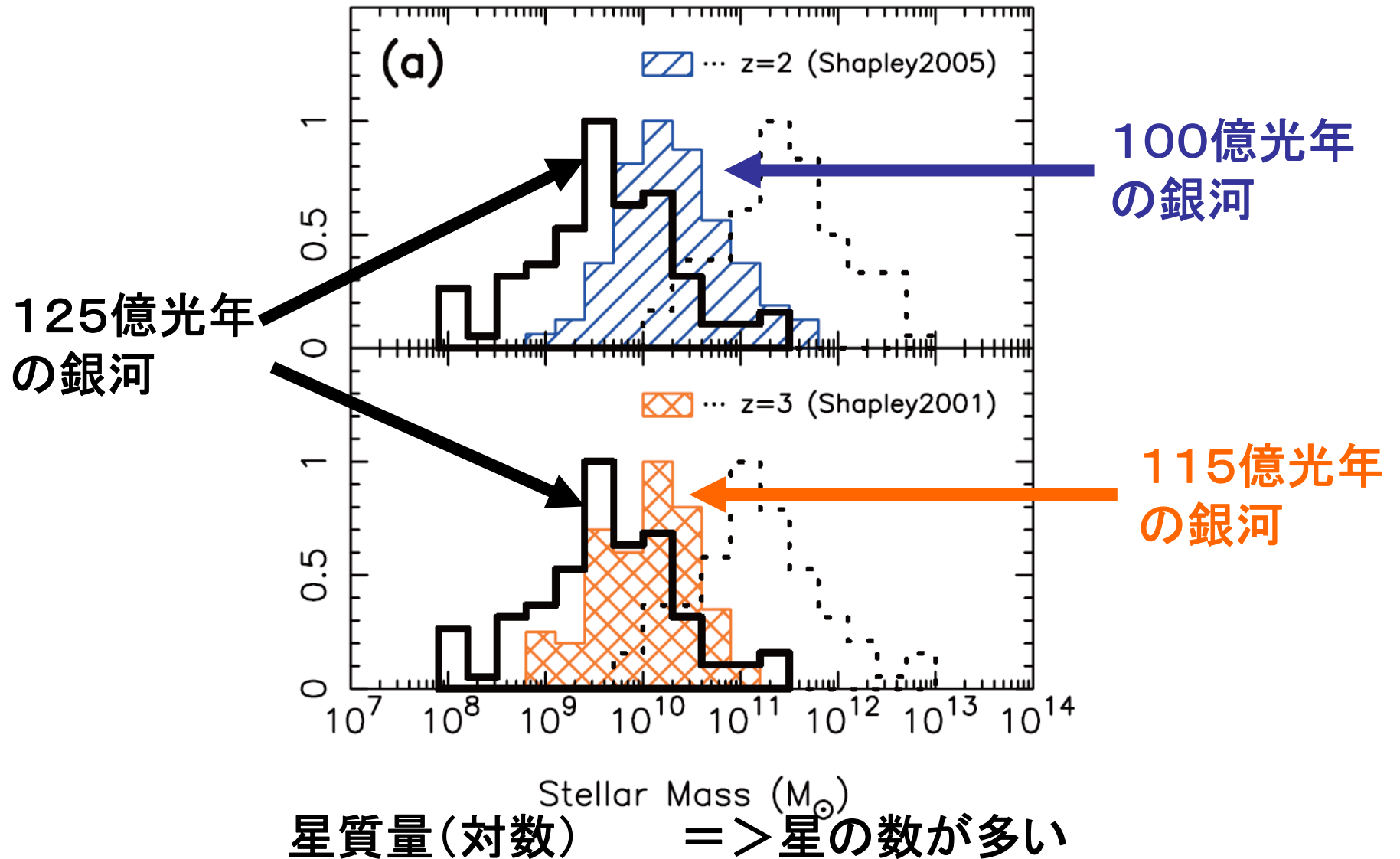
スピッツァー宇宙望遠鏡による  
中間赤外線撮像観測等から  
推定年齢 1000万年  
推定星の数 約60億  
激しく星形成中

ハッブル宇宙望遠鏡による  
拡大写真。  
しっぽのような  
形が見える。  
衝突後の銀河  
かも！



星の数は、現在の銀河の  
20分の1くらい  
サイズは5分の1くらい  
人間でいえばまさに赤ん坊くらい

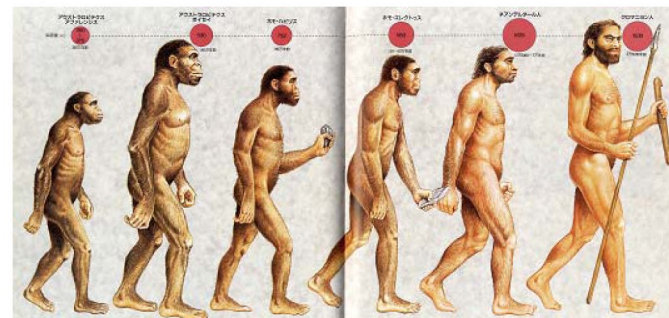
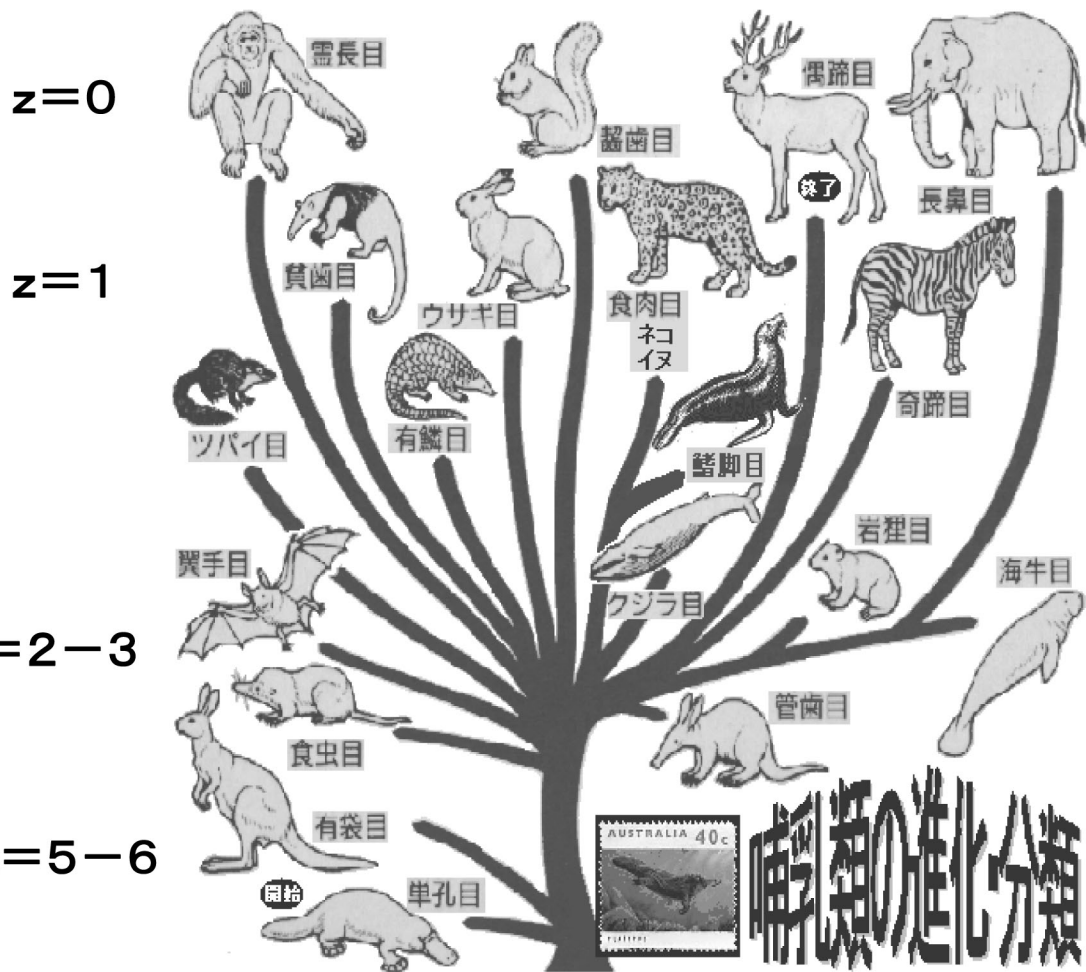
# 宇宙初期における銀河の成長： 銀河の星質量の増加



# 125億光年の銀河の成長段階

- 星の数は、まだ太陽の100億程度まで  
=>これから10倍くらい多くなる？
- 激しい星形成活動(現在の宇宙の100倍？)
- 現在より小さくて変な形のものも多い  
=> 現在のどんな銀河に成長していくのか？  
などなど

# 宇宙年齢10億年頃から 現在までの進化は??



出所：別冊日経サイエンス151「人間性の進化」

# 今後の課題

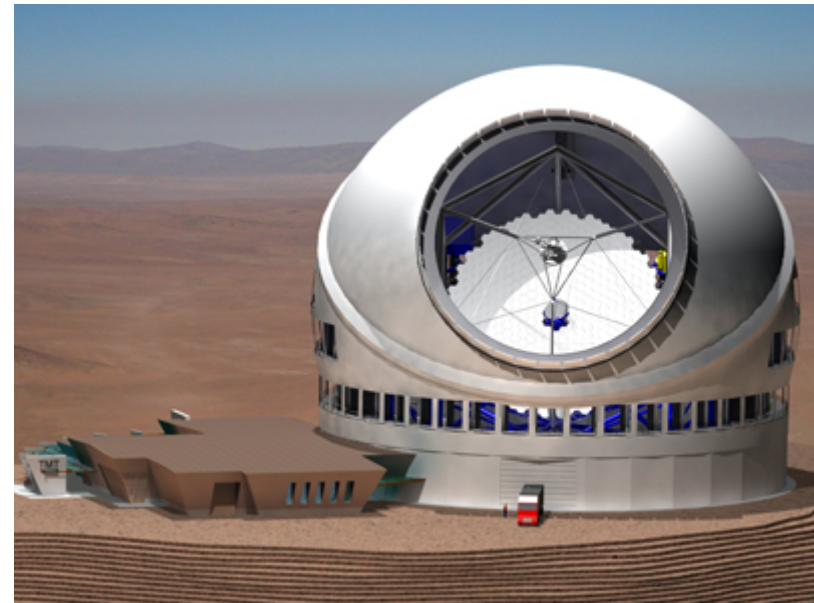
- 10億年の時代の銀河の性質を明らかに！
- さらに昔の銀河を探して誕生に迫る！  
    本当に生まれたての銀河はどこに？
- 現在の銀河への成長過程は？
- まだまだ謎だらけ、、、

# 世界の望遠鏡計画

- ALMA ミリ波サブミリ波干渉計  
=> 遠方銀河のガスやダストを調べる
- 30m光赤外線望遠鏡  
=> 遠方銀河中の星や星形成に伴う電離ガスを調べる
- スペース6.5m 近・中赤外線望遠鏡  
=> 地上では到達できない遠方銀河を探す
- スペース3.5m 遠赤外線望遠鏡  
=> 遠方銀河の星間物質を調べる  
等



ALMA想像図



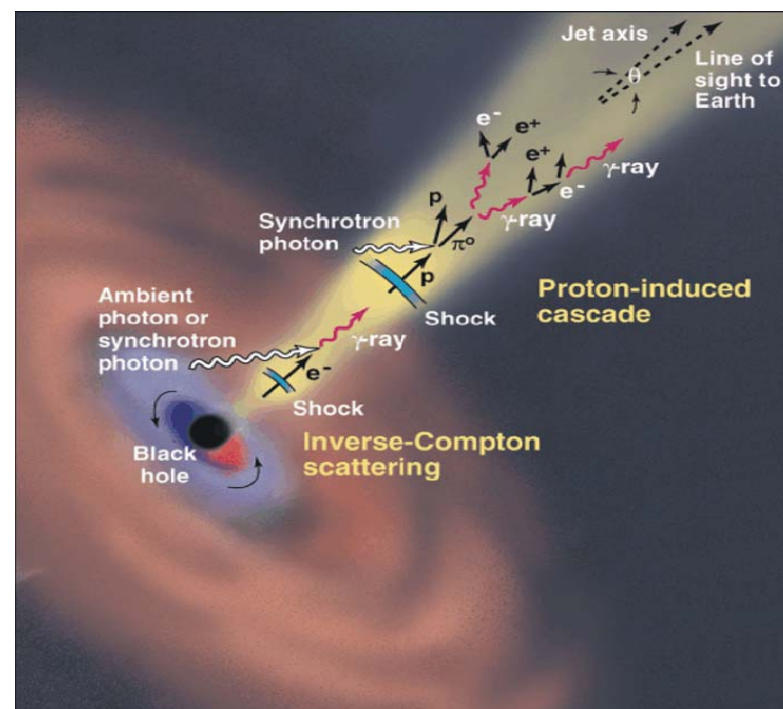
30m望遠鏡 想像図





# ガンマ線バースト(GRB)とは？

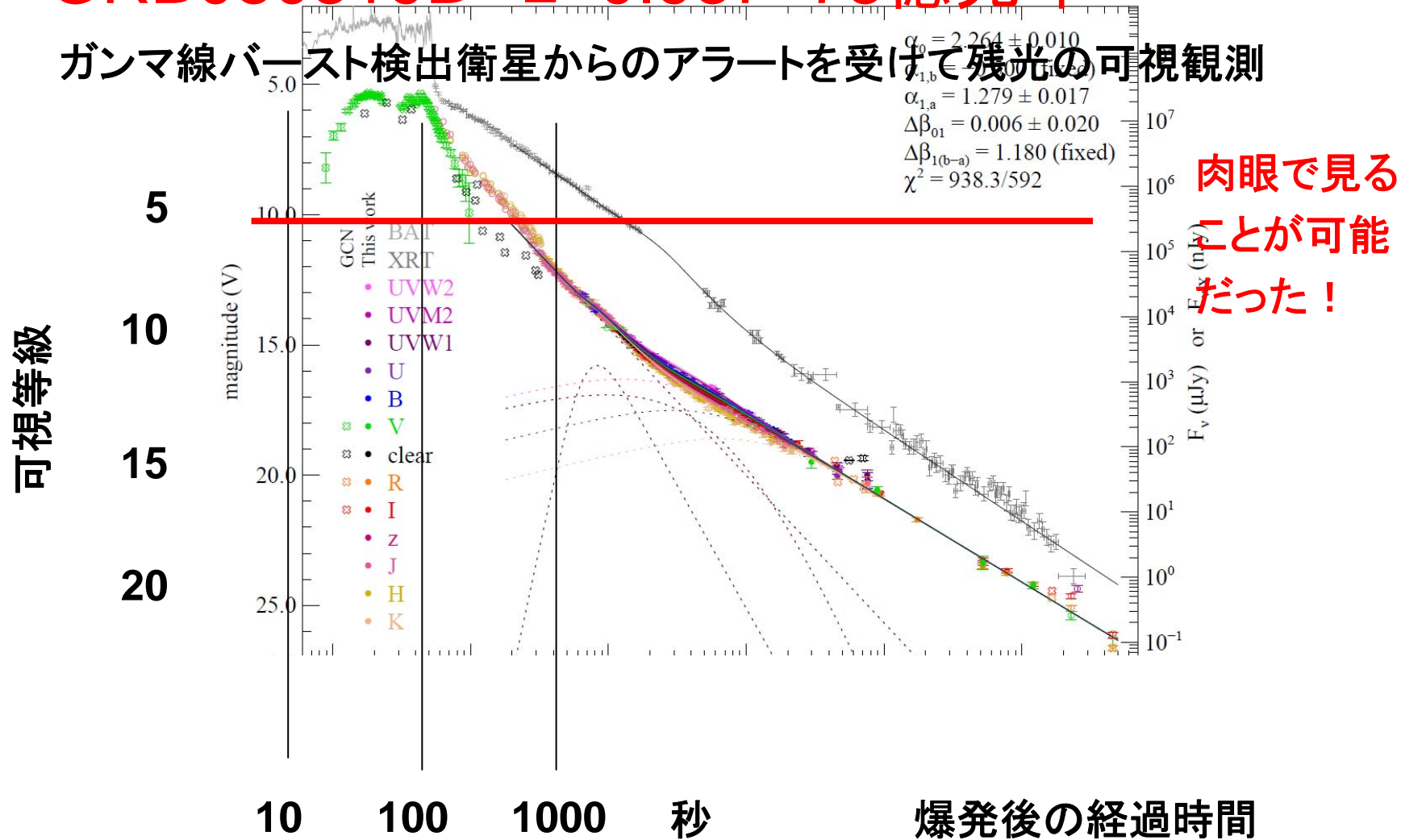
- 重い星の最期の大爆発
- 一種の超新星爆発  
超高速ジェットを伴う
- 極めて明るい
- X線・可視などで明るい  
残光を残すことがある



# 非常に明るい残光の例！

## GRB080319B $z=0.937$ 75億光年

ガンマ線バースト検出衛星からのアラートを受けて残光の可視観測



# 25cm望遠鏡+CCDでとらえた 128億光年( $z=6.3$ )のGRB (GRB050904)

- 25cm望遠鏡
- フィルターなしCCD
- 爆発3-10分後
- 露出時間 1-2分
- 14-15等級

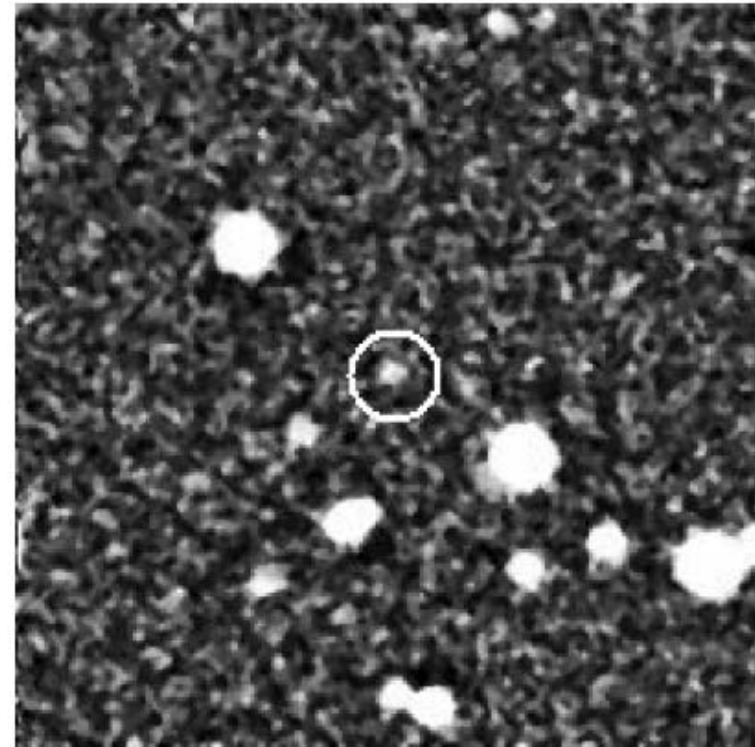


FIG. 1.—Image of the field of GRB 050904 from TAROT. We co-added all frames from 150 to 978 s after the *Swift* trigger. This interval covers the prompt gamma-ray emission as well as the X-ray flash event. The size of the image is  $6' \times 6'$  centred on R.A. =  $00^{\text{h}}54^{\text{m}}50^{\text{s}}.9$ , decl. =  $+14^{\circ}05'09''$  (J2000.0). North is up, and east is left. The spatial sampling is  $3.3 \text{ arcsec pixel}^{-1}$ . The afterglow is visible within the white circle.

Boer et al. ApJ 638, L71 (2006)

# GRB距離分布と宇宙の暗黒時代

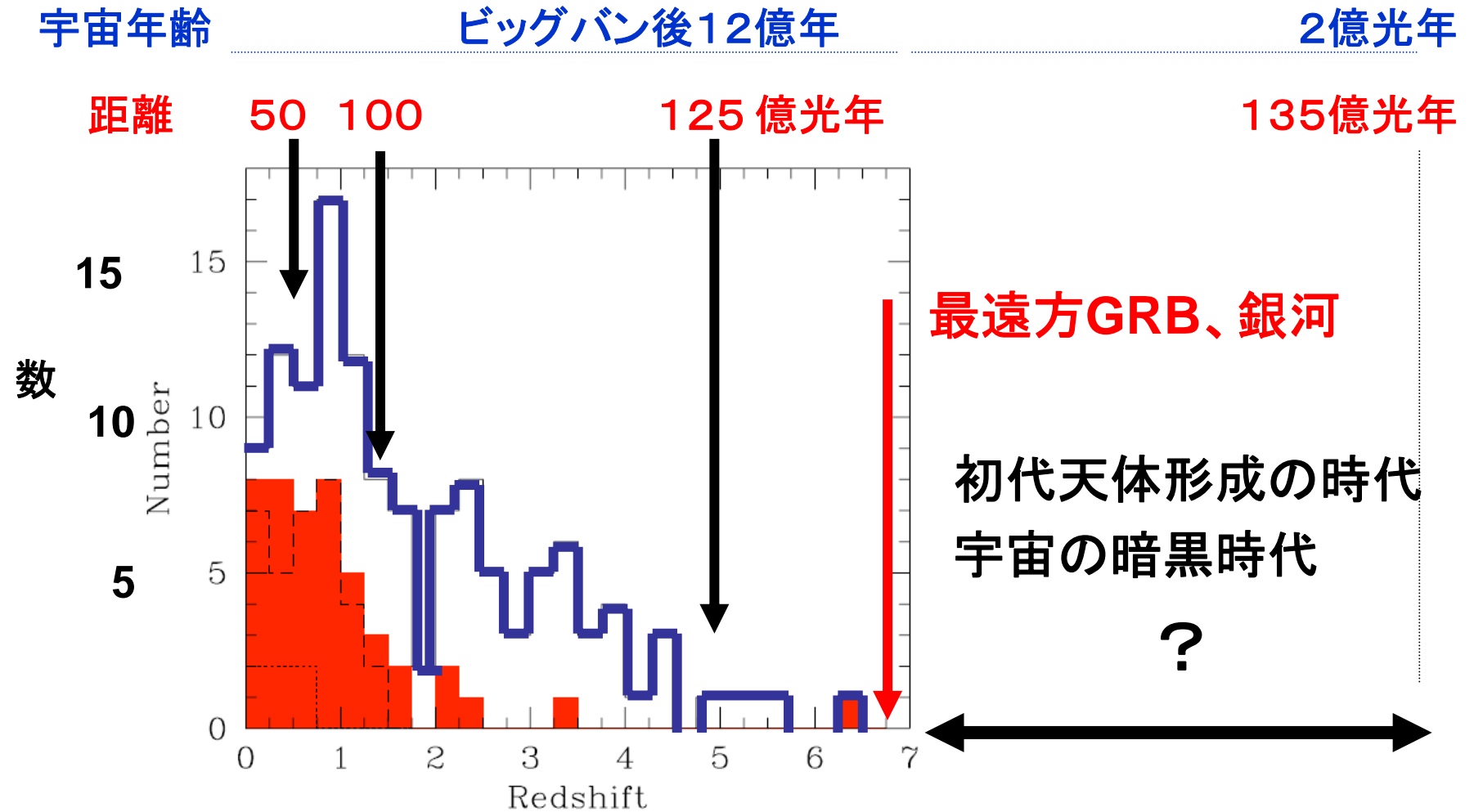


FIG. 1.— Histogram of the total sample of GRBs with measured redshift (128 objects, solid line), for the GRB hosts studied in this work (46 objects, filled histogram). The dashed line represent the subsamples of hosts with