

宇宙の星・銀河形成史  
と超新星爆発

新納悠 (国立天文台 光赤外研究部)



# 目次

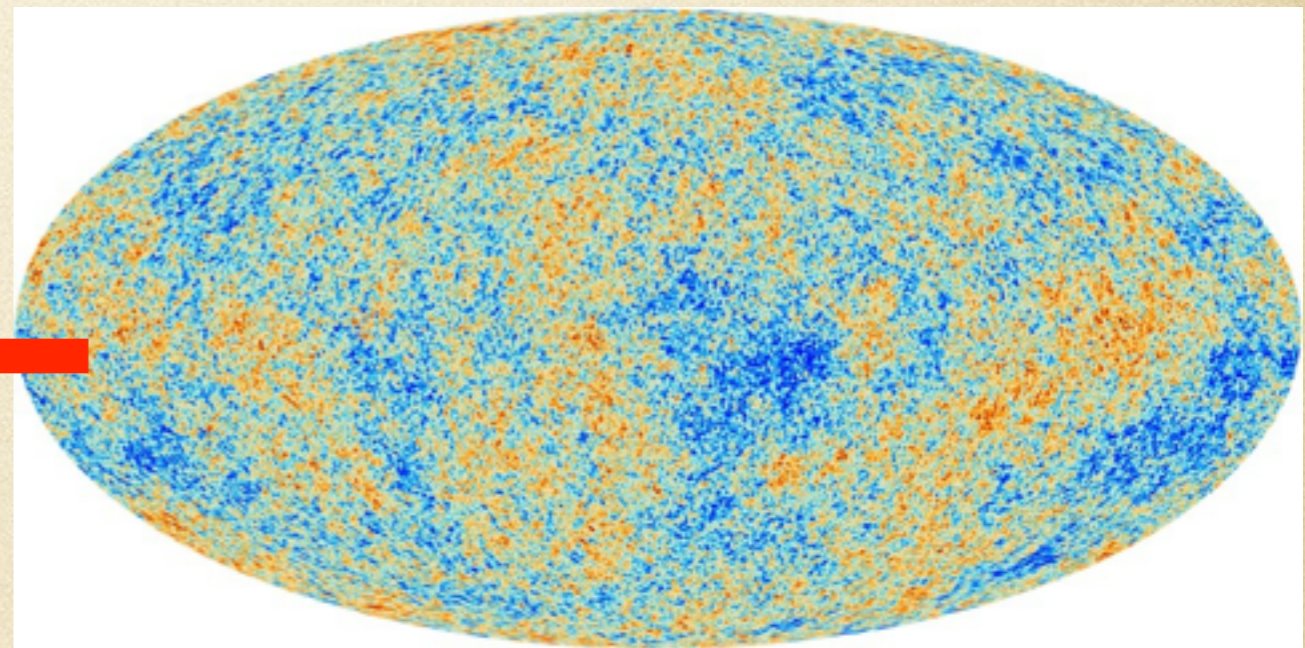
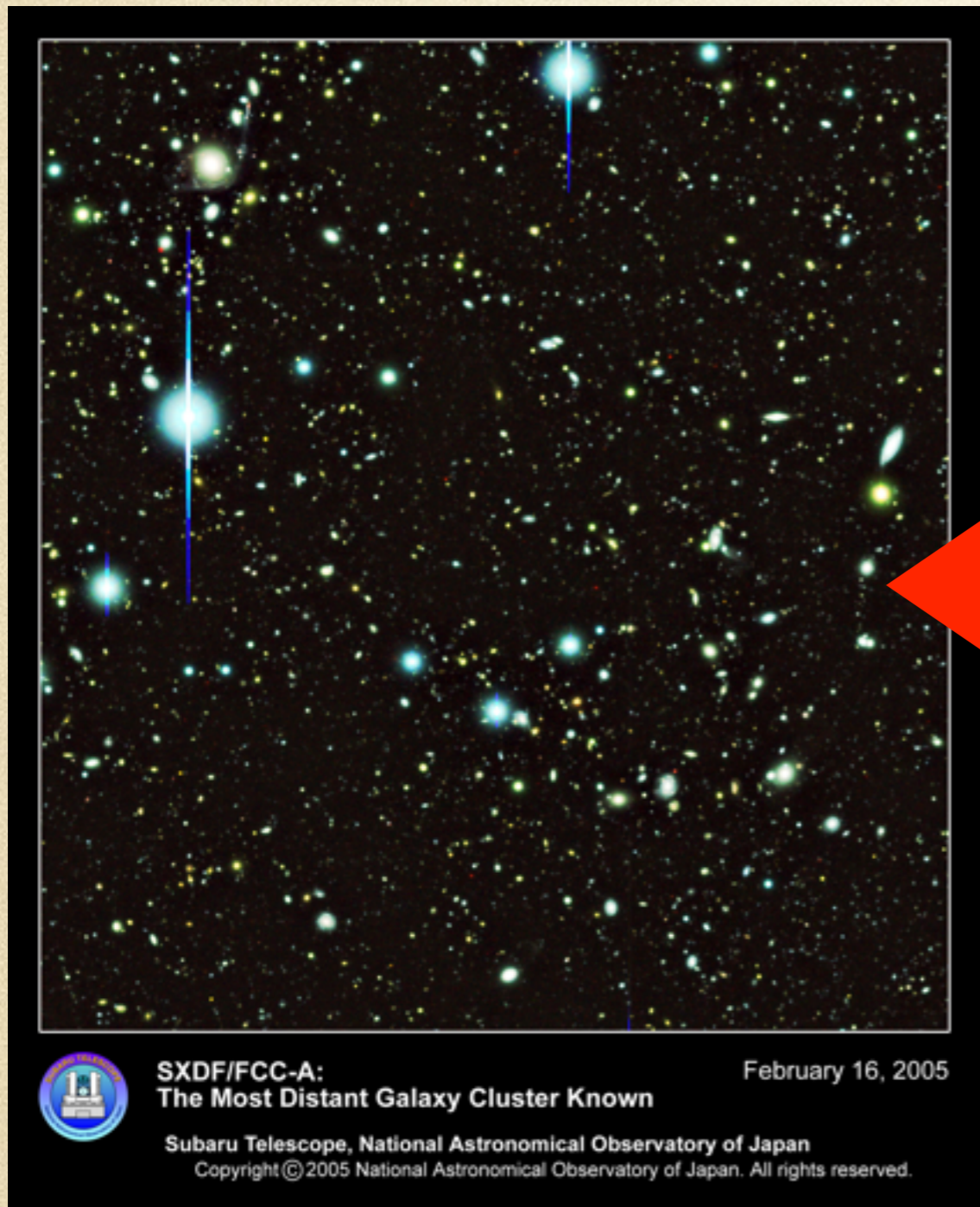
- 星・銀河形成史の概観
- 天文観測的アプローチと未解決問題
- 星生成と天体爆発現象  
(超新星・ガンマ線バースト)
- 金属量
- 星の初期質量と回転



星・銀河形成史の概観



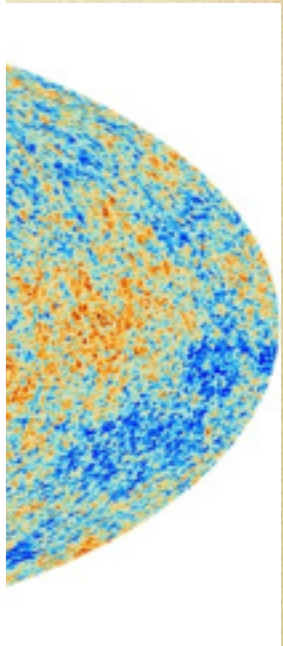
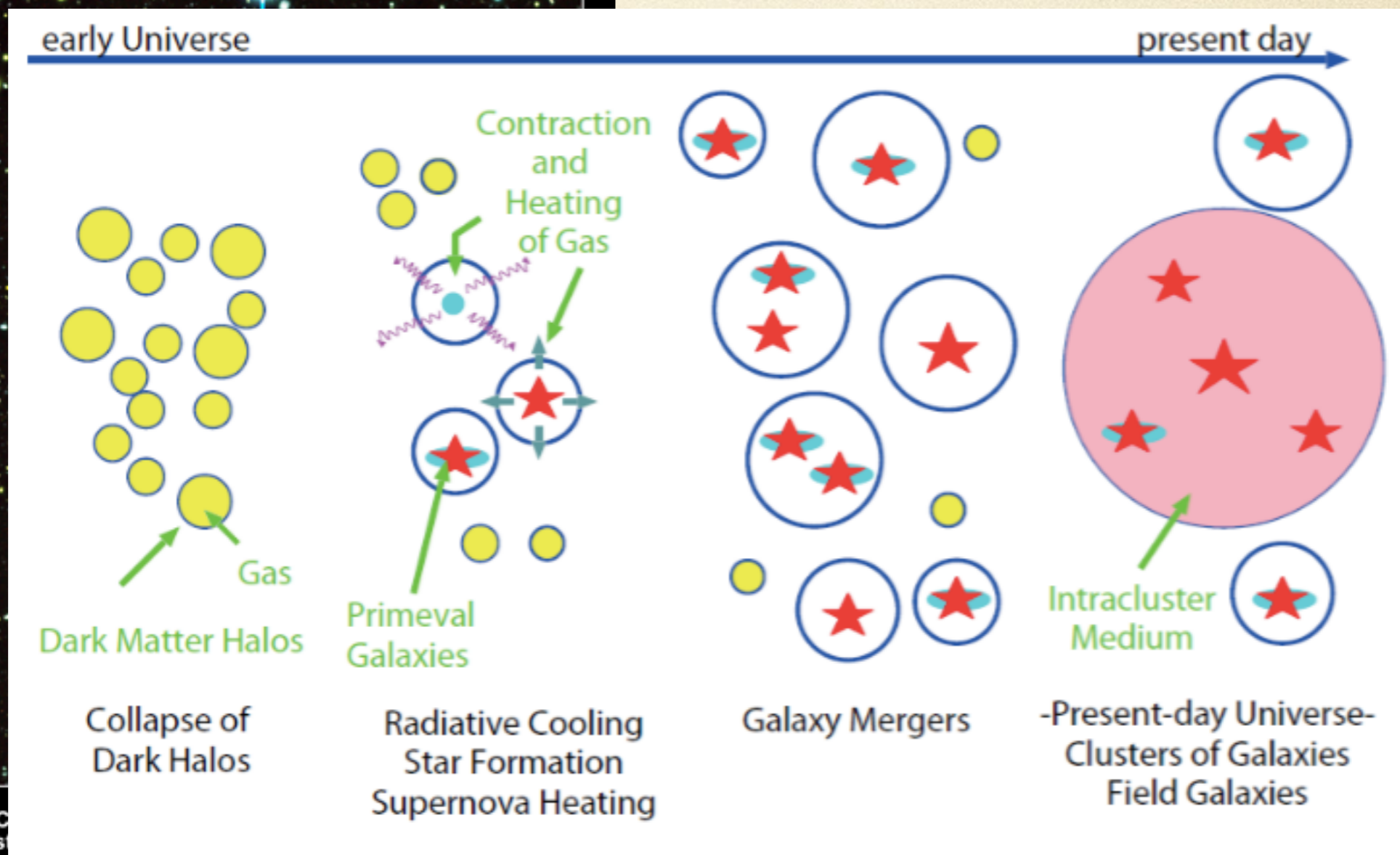
# 星・銀河形成史概観



ESA Planck



# 星・銀河形成史概観



A Planck



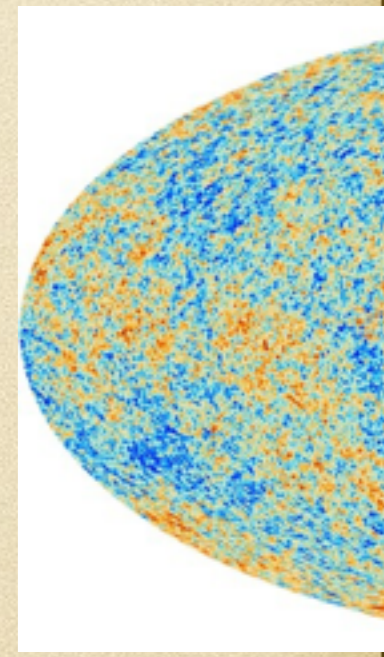
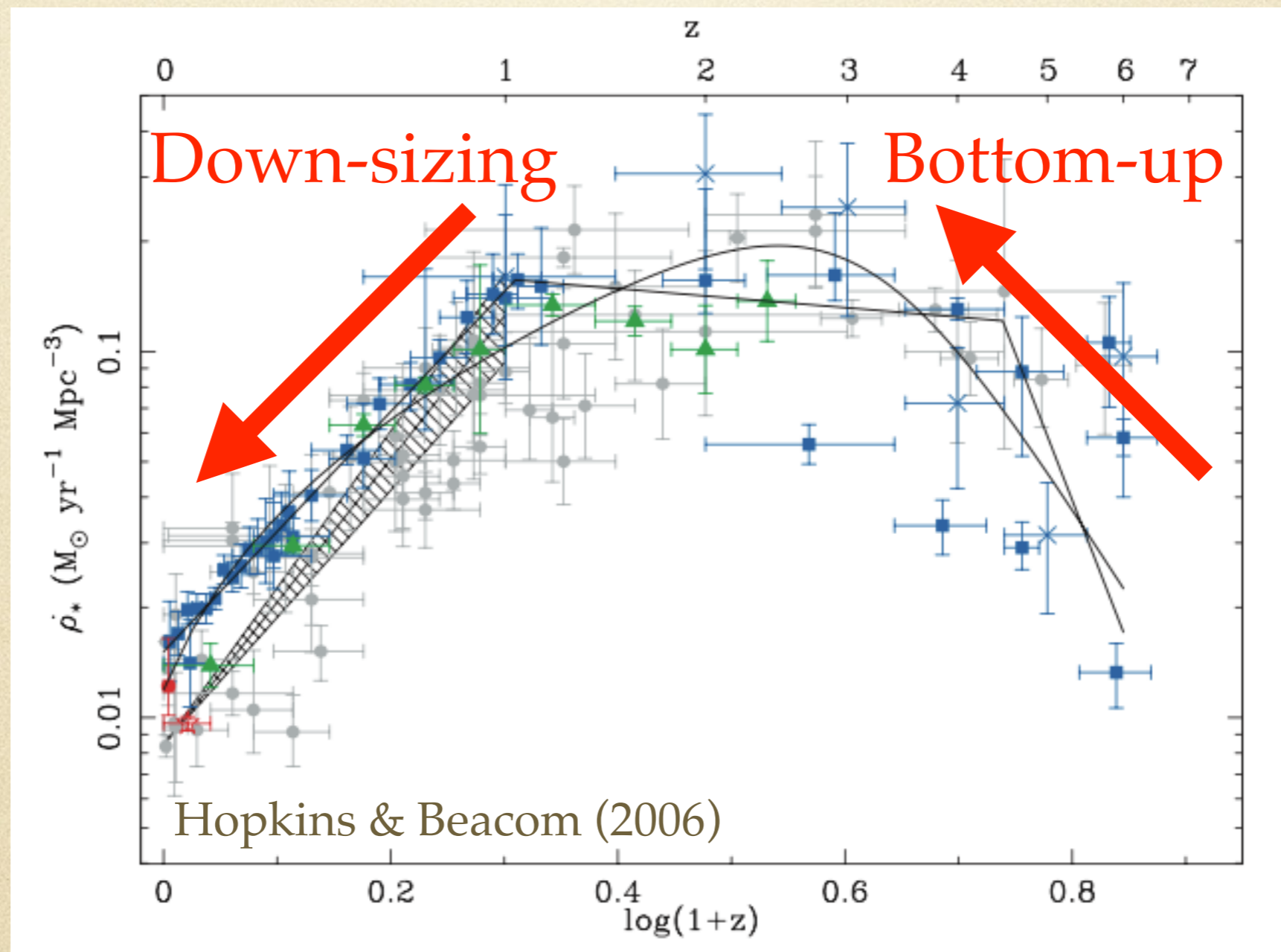
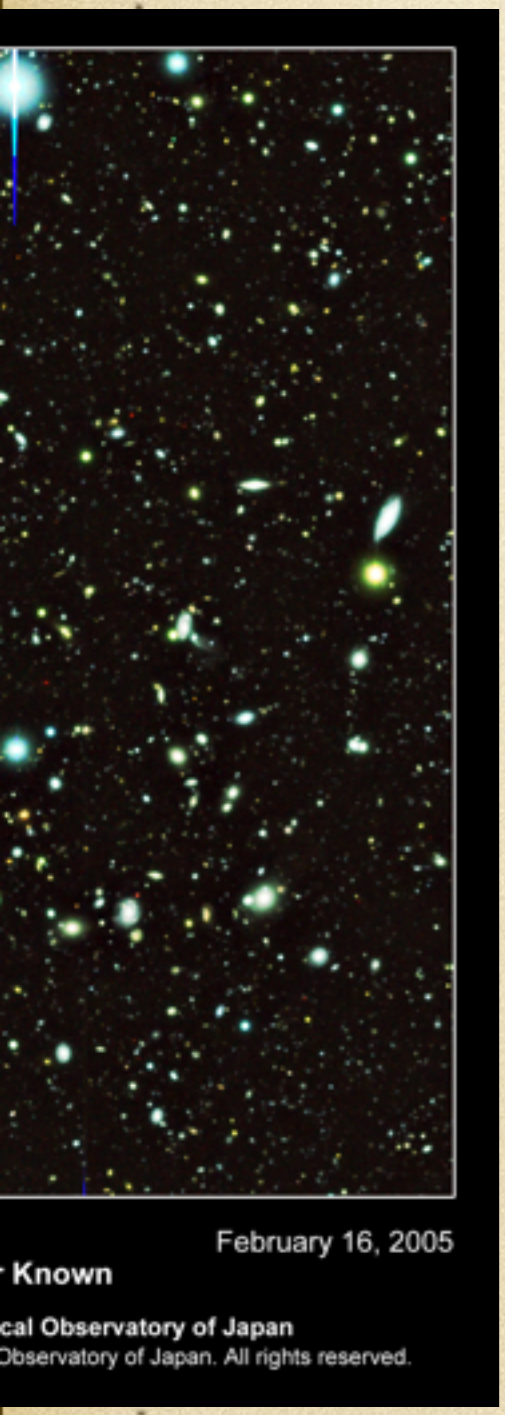
SXDF/FC  
The Most

Subaru Telescope, National Astronomical Observatory of Japan  
Copyright © 2005 National Astronomical Observatory of Japan. All rights reserved.

図 : M. Nagashima

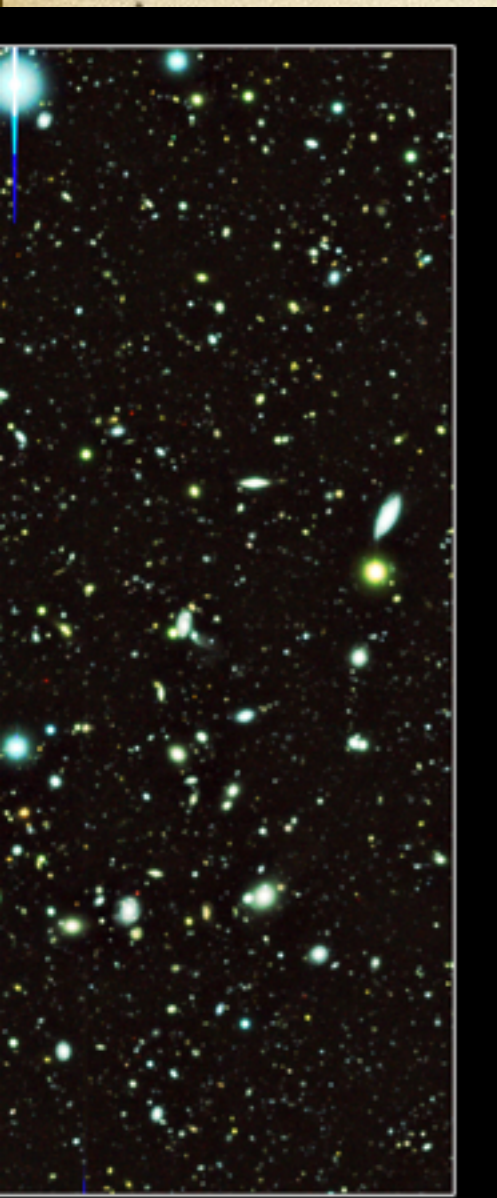


# 星・銀河形成史概観





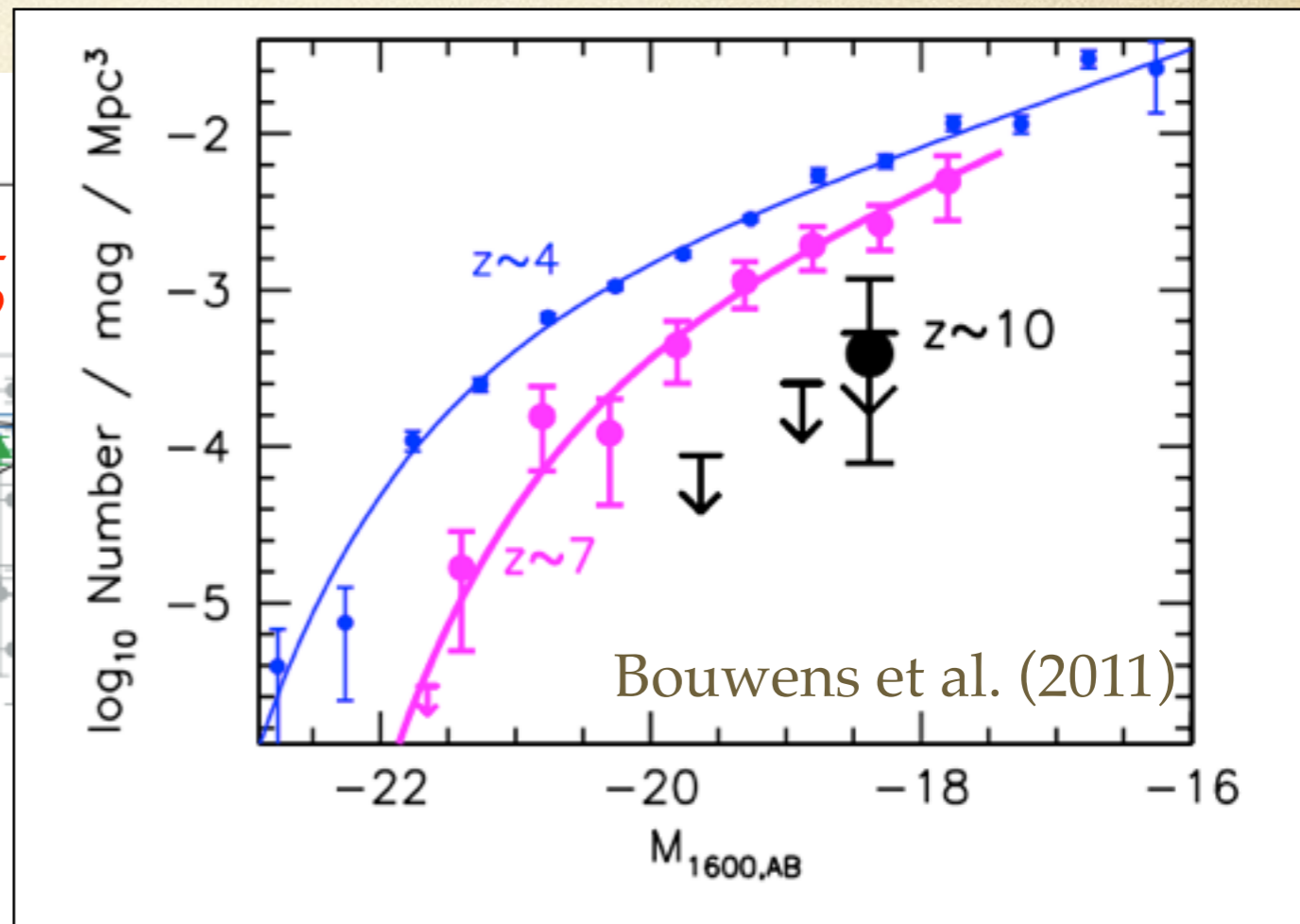
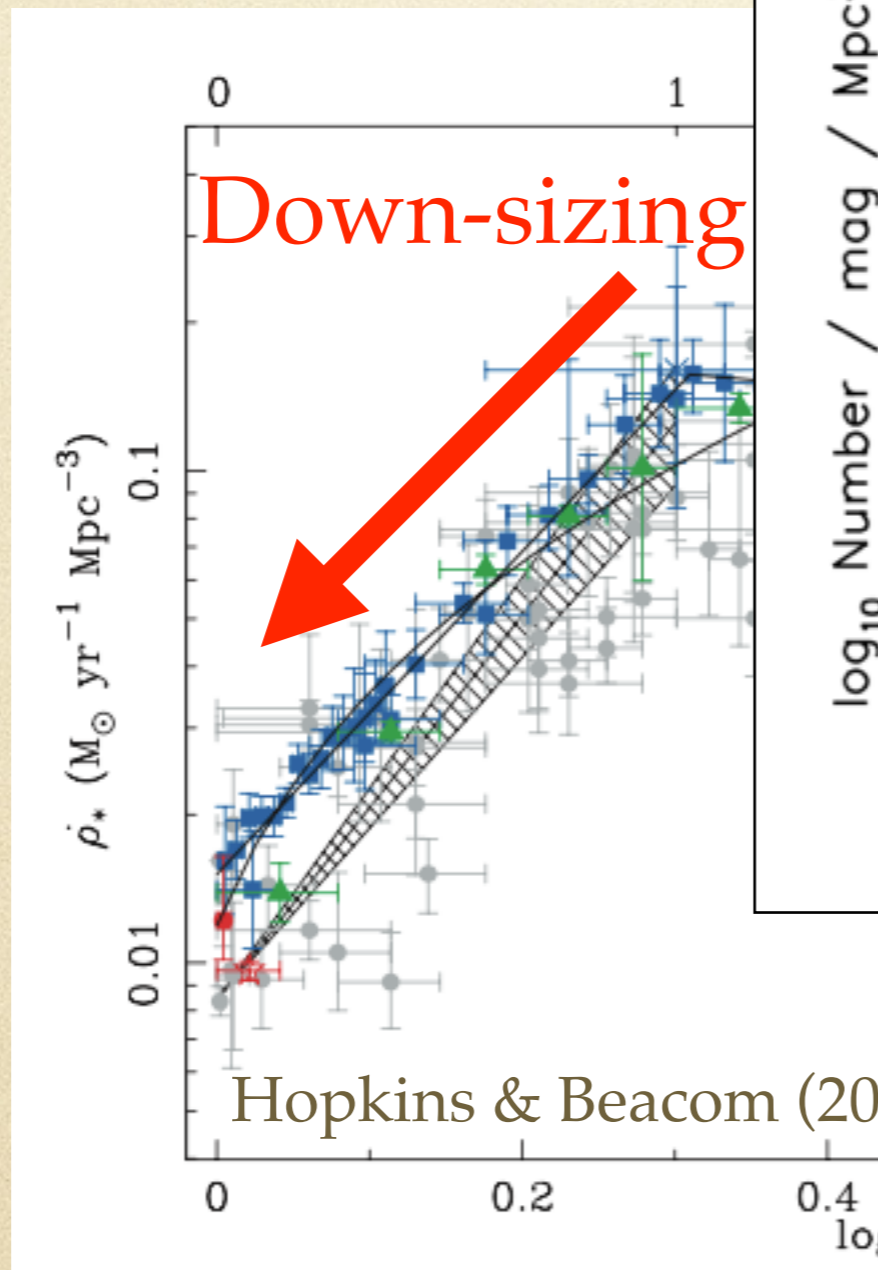
# 星・銀河形成史概観



February 16, 2005

Known

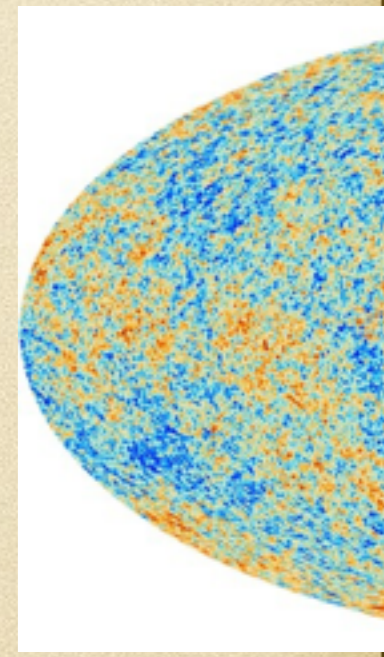
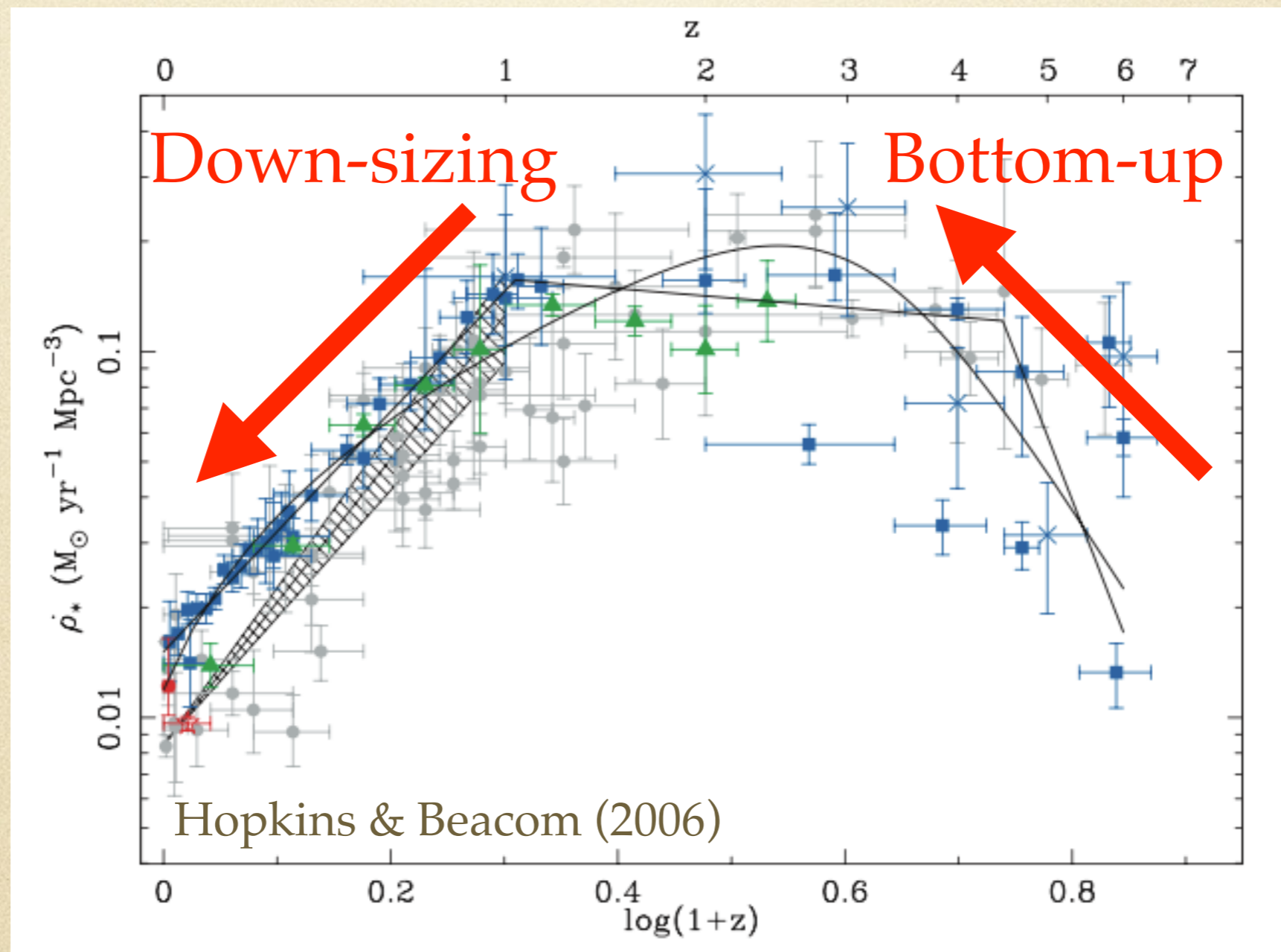
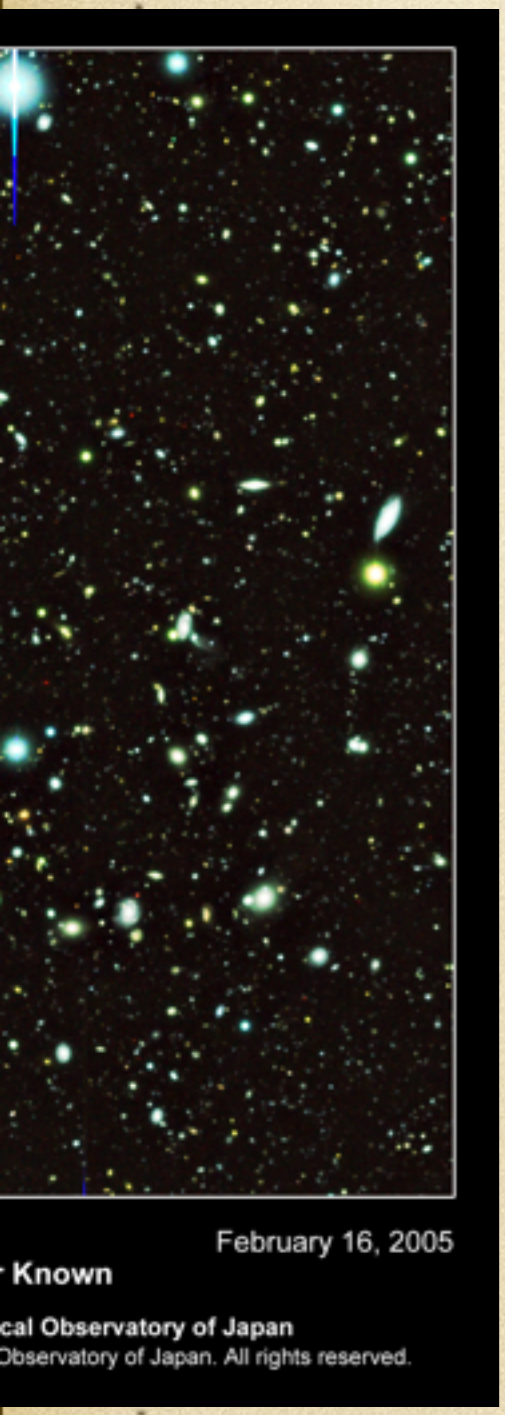
National Astronomical Observatory of Japan  
Observatory of Japan. All rights reserved.



- Bottom-up構造形成
  - 小質量銀河が先に生まれる
  - 小質量銀河が合体しながら成長し大質量銀河を作る

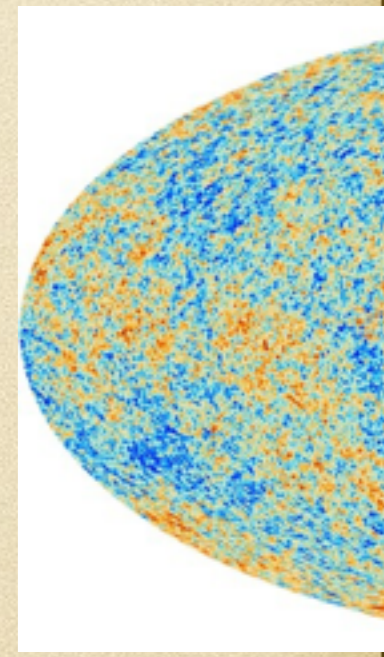
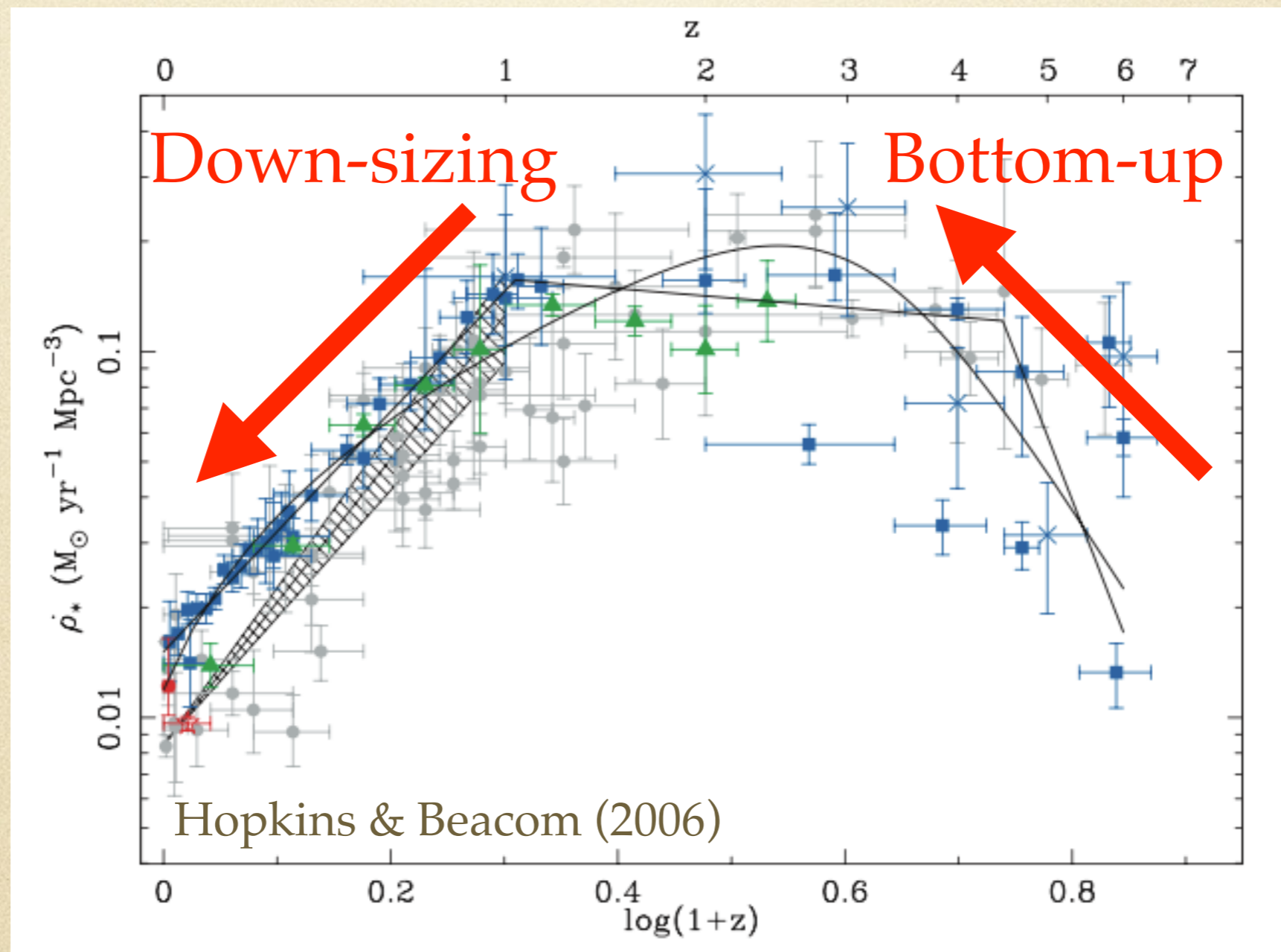
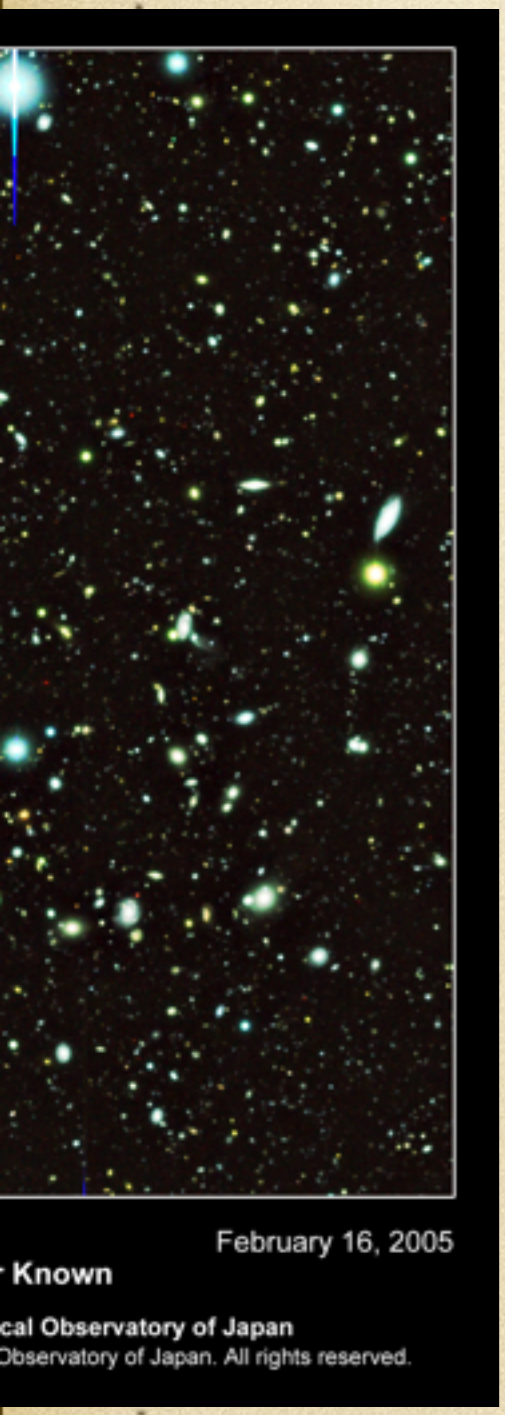


# 星・銀河形成史概観



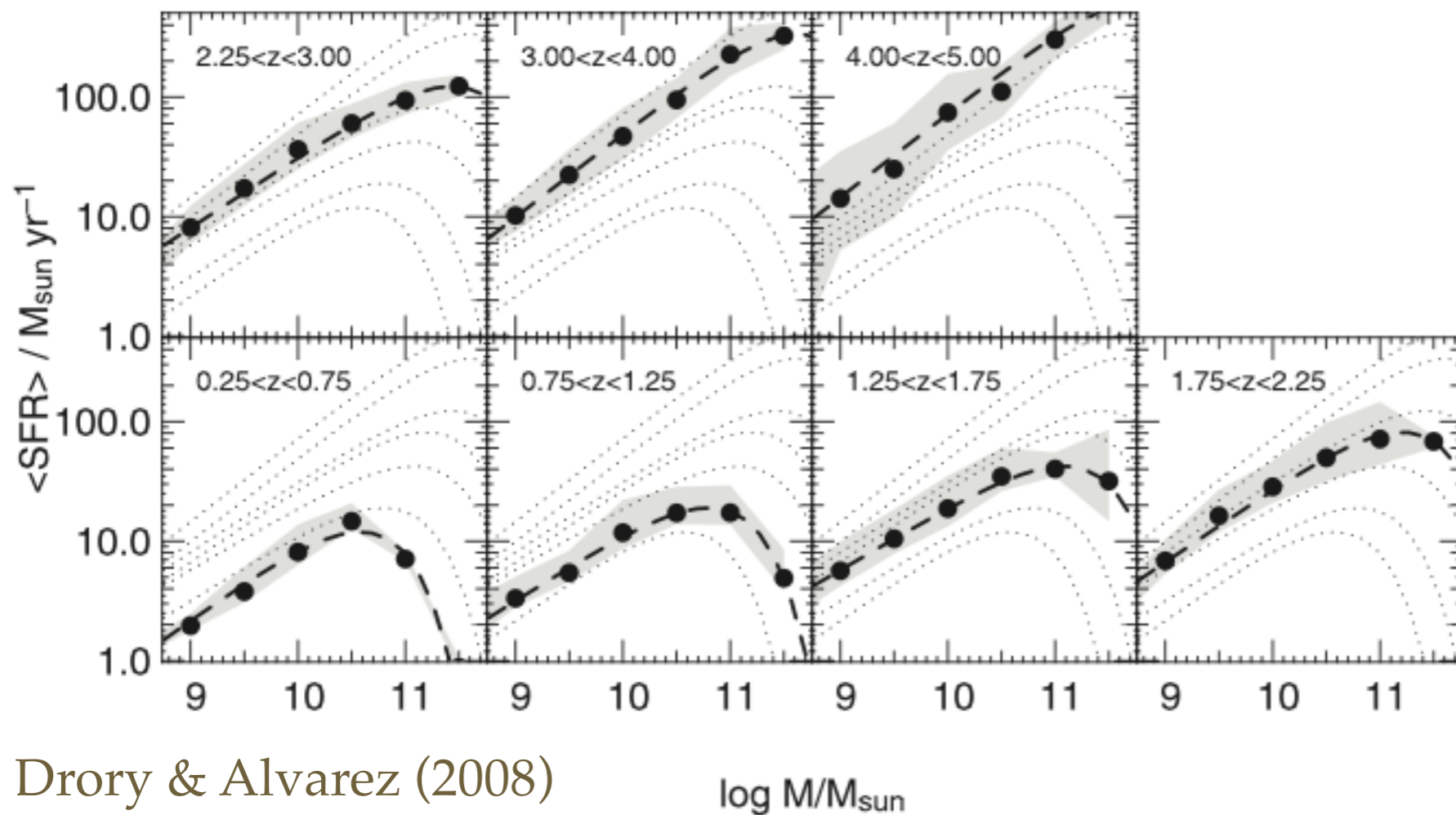


# 星・銀河形成史概観

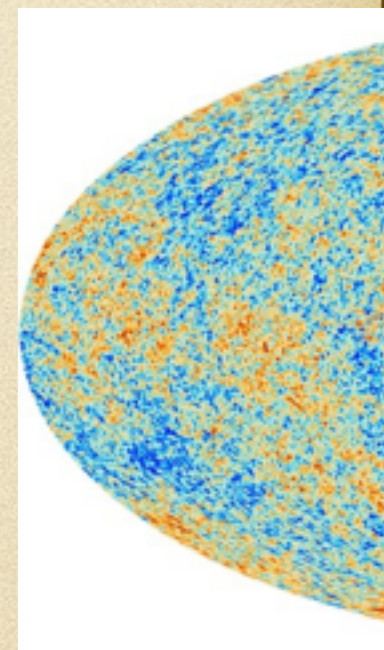
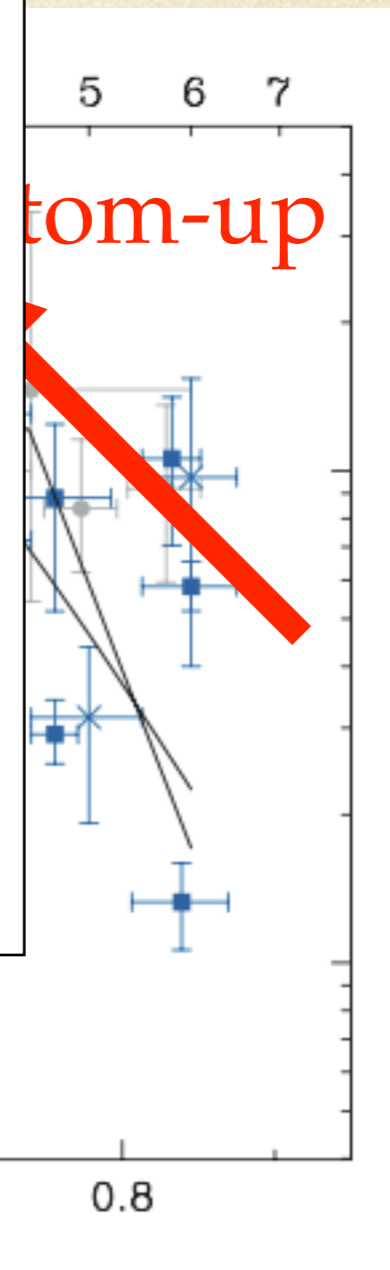




# 星・銀河形成史概観



Drory & Alvarez (2008)



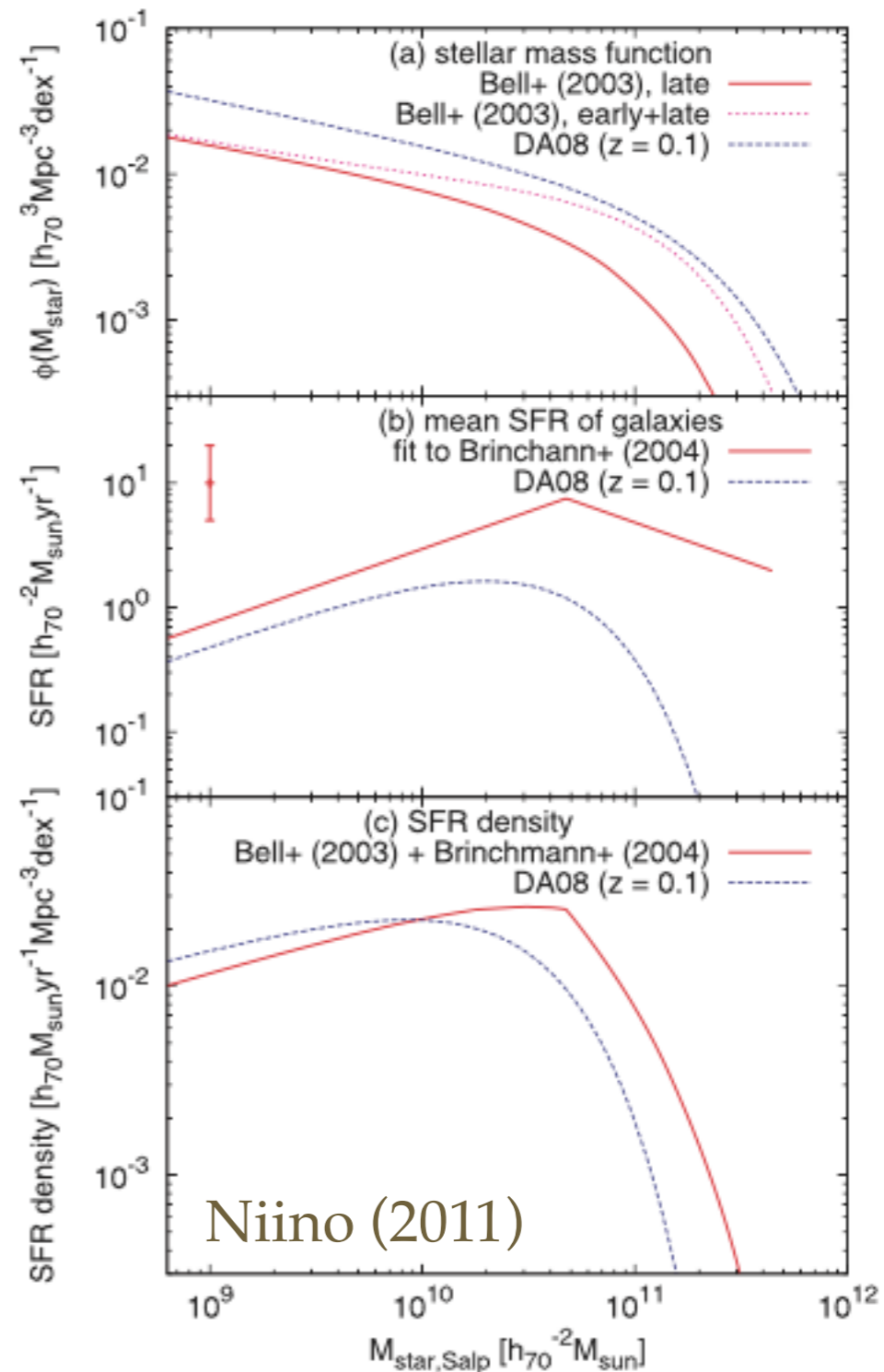
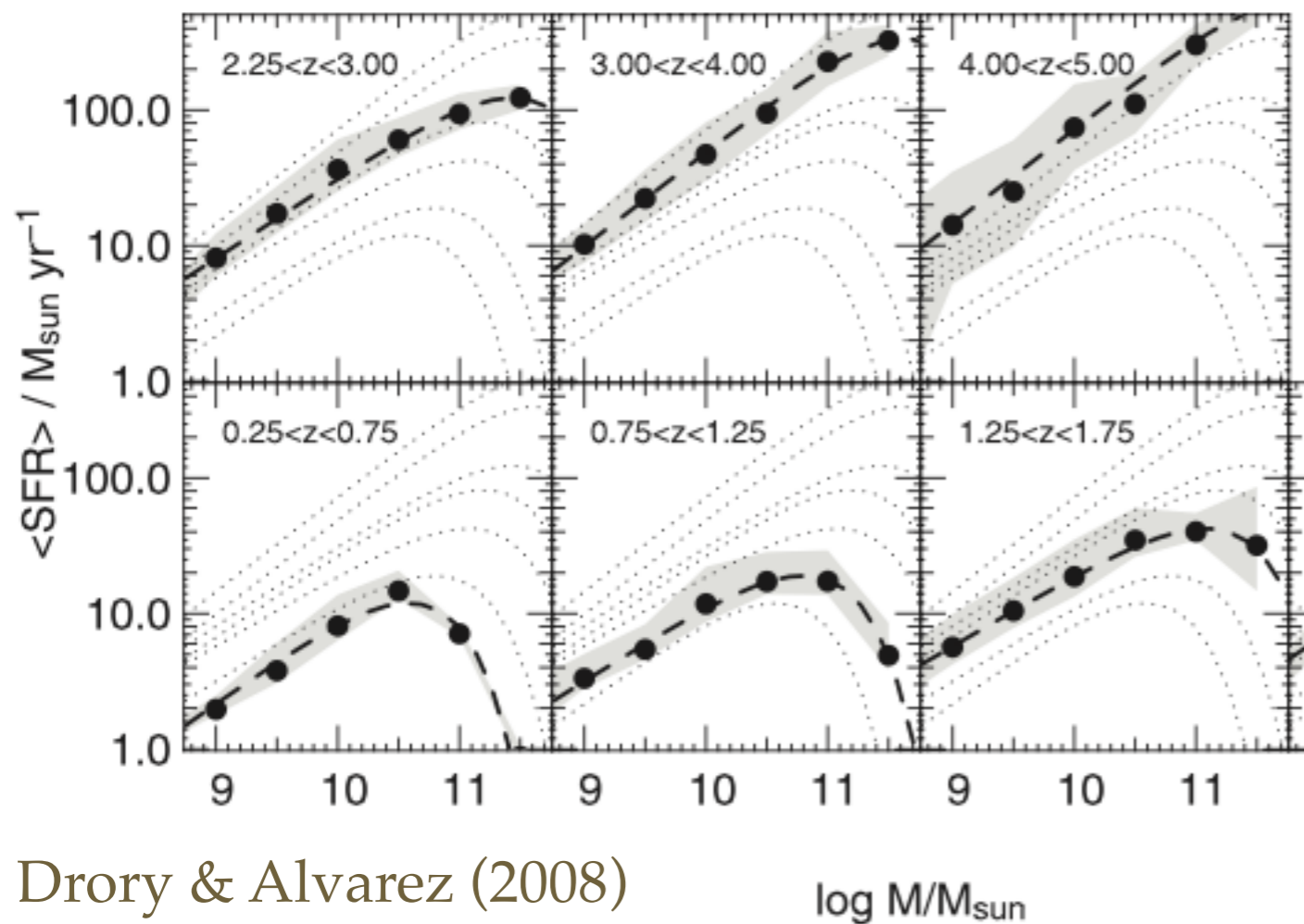
- 星生成銀河のDown-sizing
  - 大質量銀河から星生成を終える。
  - 近傍宇宙の星生成の「主役」は天の川のような銀河。

(2006)

0.4 0.6 0.8  
log(1+z)

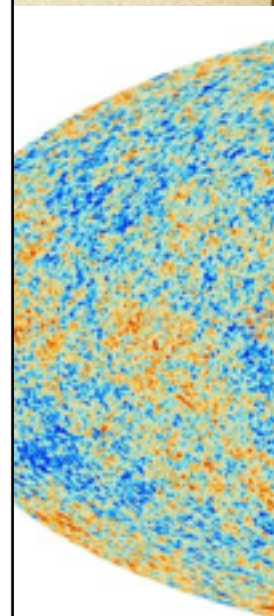


# 星・銀河形成史概観



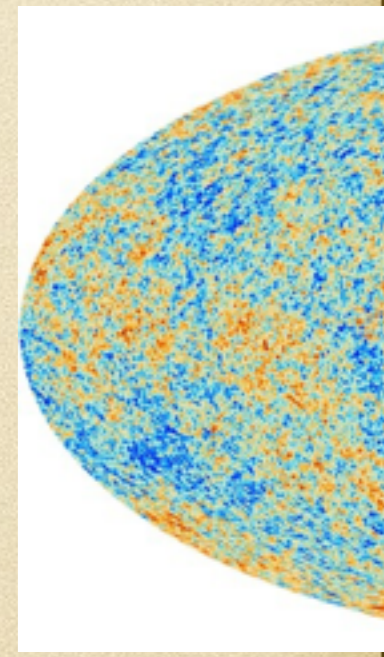
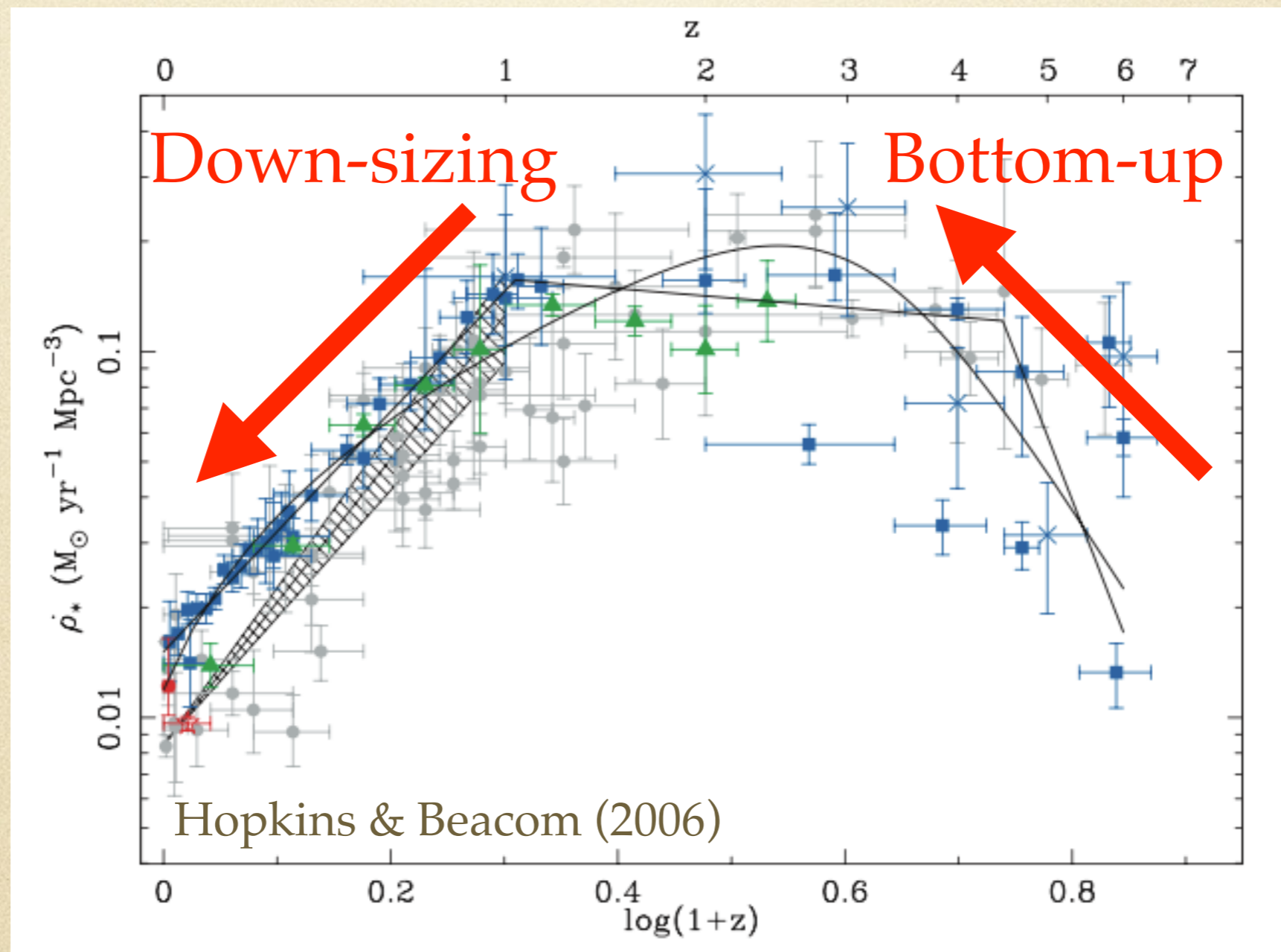
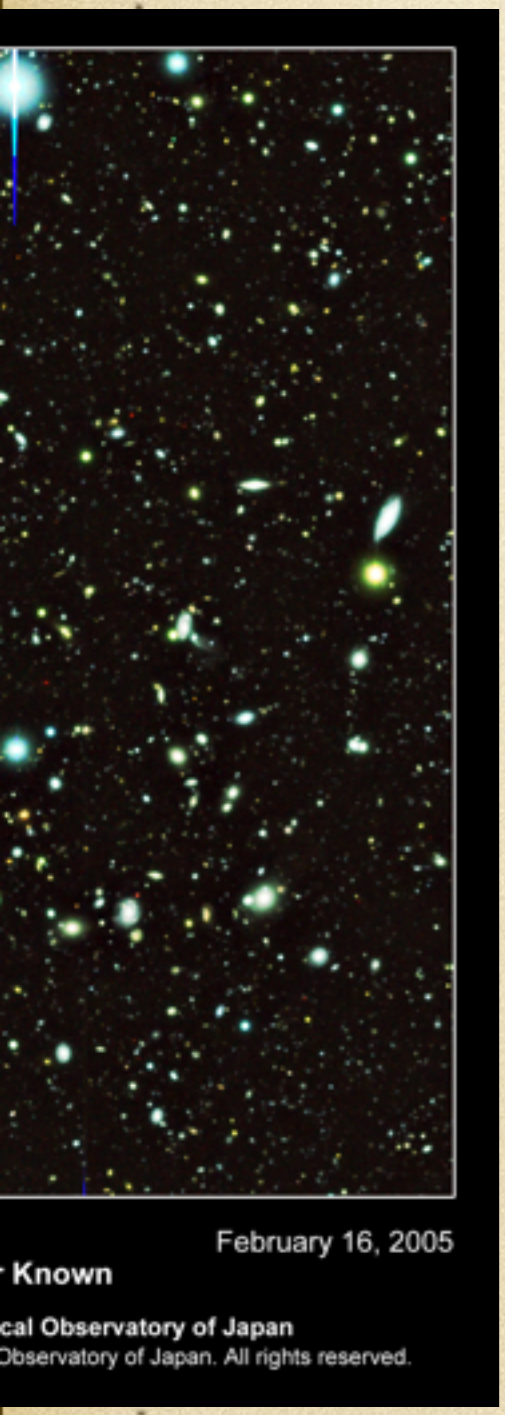
- 星生成銀河のDown-sizing
  - 大質量銀河から星生成を終える。
  - 近傍宇宙の星生成の「主役」は天の川のような銀河。

(200  
0.4  
log(





# 星・銀河形成史概観



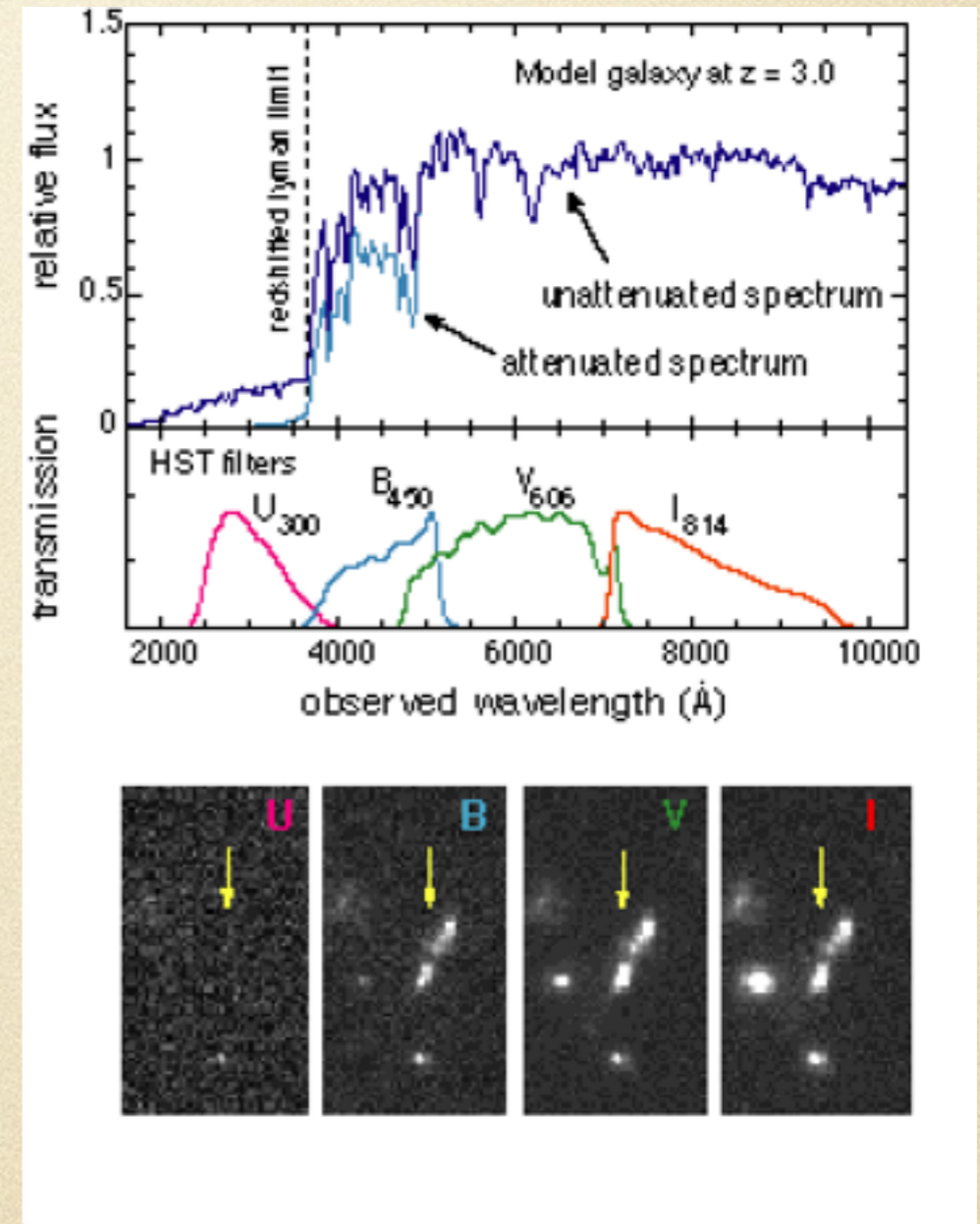


天文観測的アプローチと  
未解決問題



# 銀河の色選択

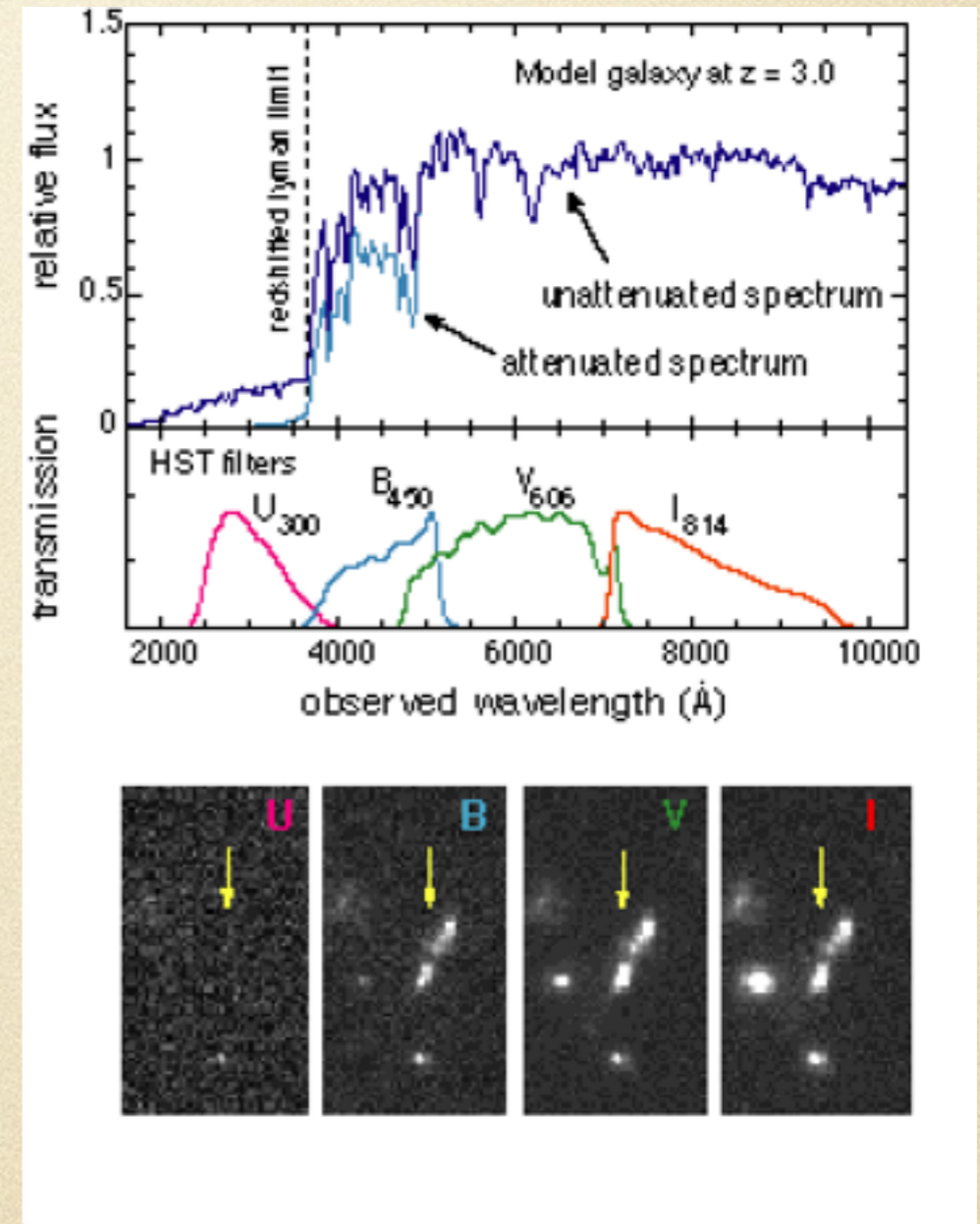
- 赤方偏移の確認には分光が必要
- 視野内の全天体の分光は（通常）非現実的
- 複数色の画像を撮り、目標赤方偏移の候補天体を探す
- どの方法も特定赤方偏移の全銀河は拾えない





# 銀河の色選択

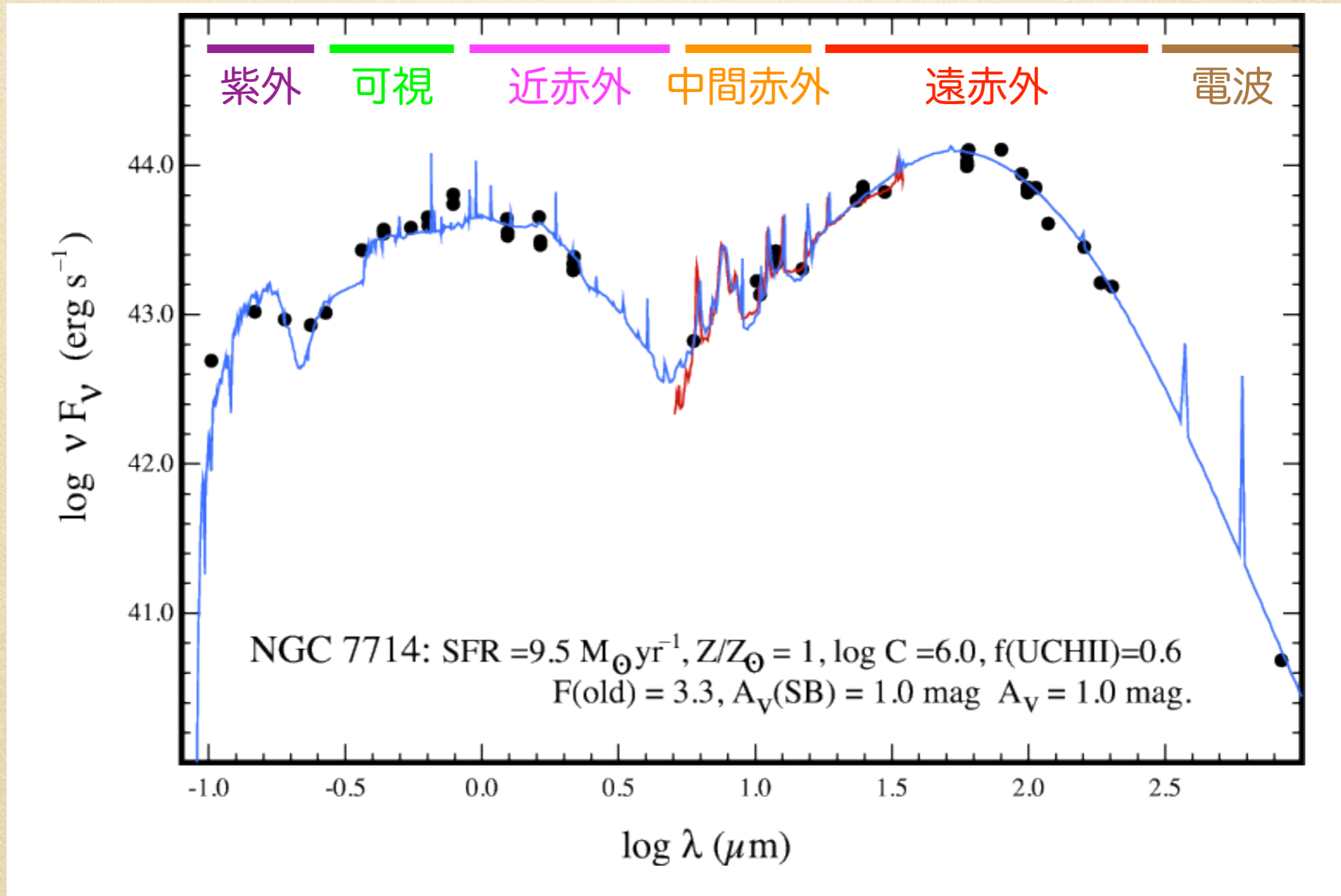
- 赤方偏移の確認には分光が必要
- 視野内の全天体の分光は（通常）非現実的
- 複数色の画像を撮り、目標赤方偏移の候補天体を探す
- どの方法も特定赤方偏移の全銀河は拾えない





# 銀河の

# Spectral Energy Distribution



Groves et al. (2007)

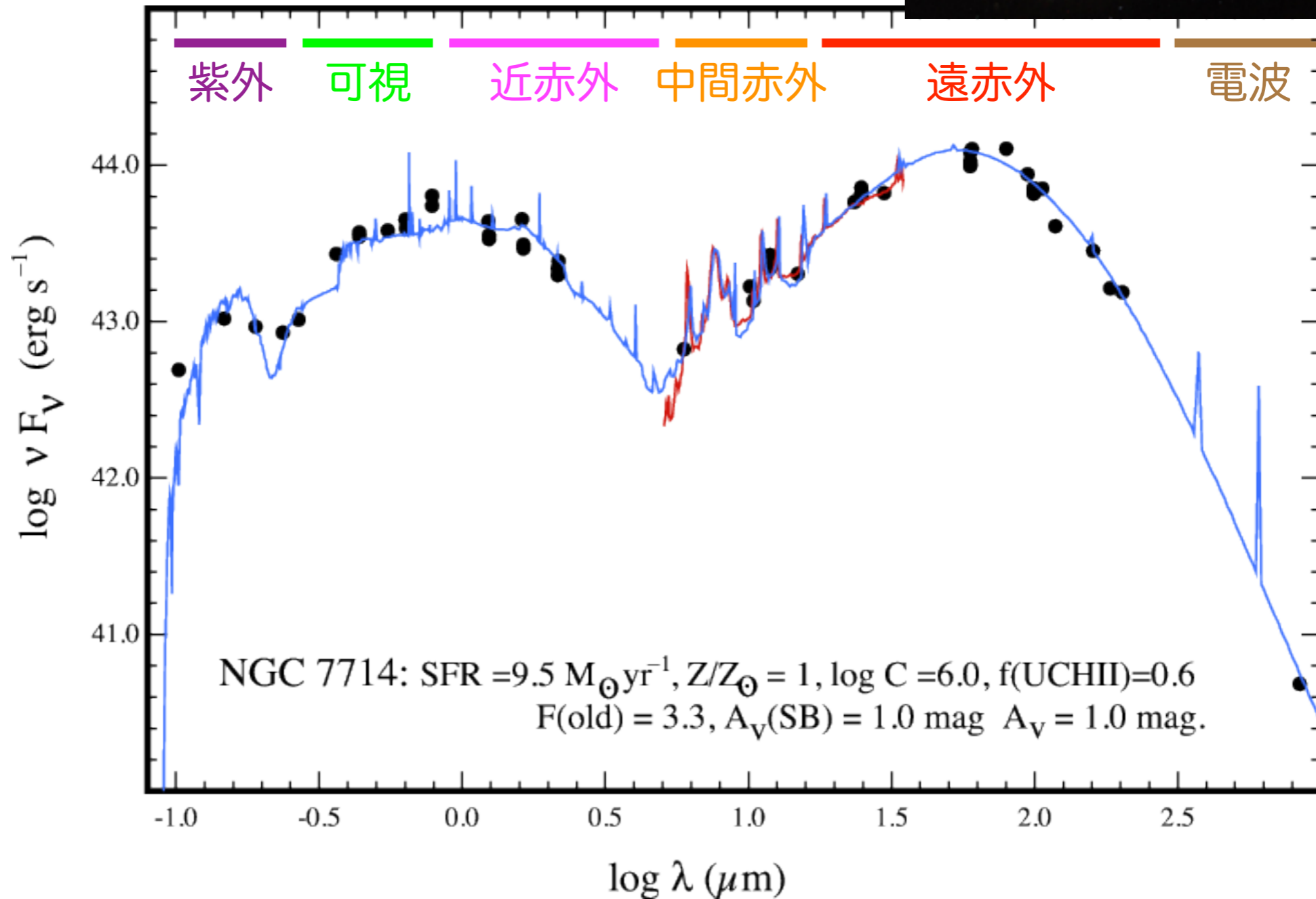


# 銀河の

# Spectral Energy Di



ESA/NASA



Groves et al. (2007)

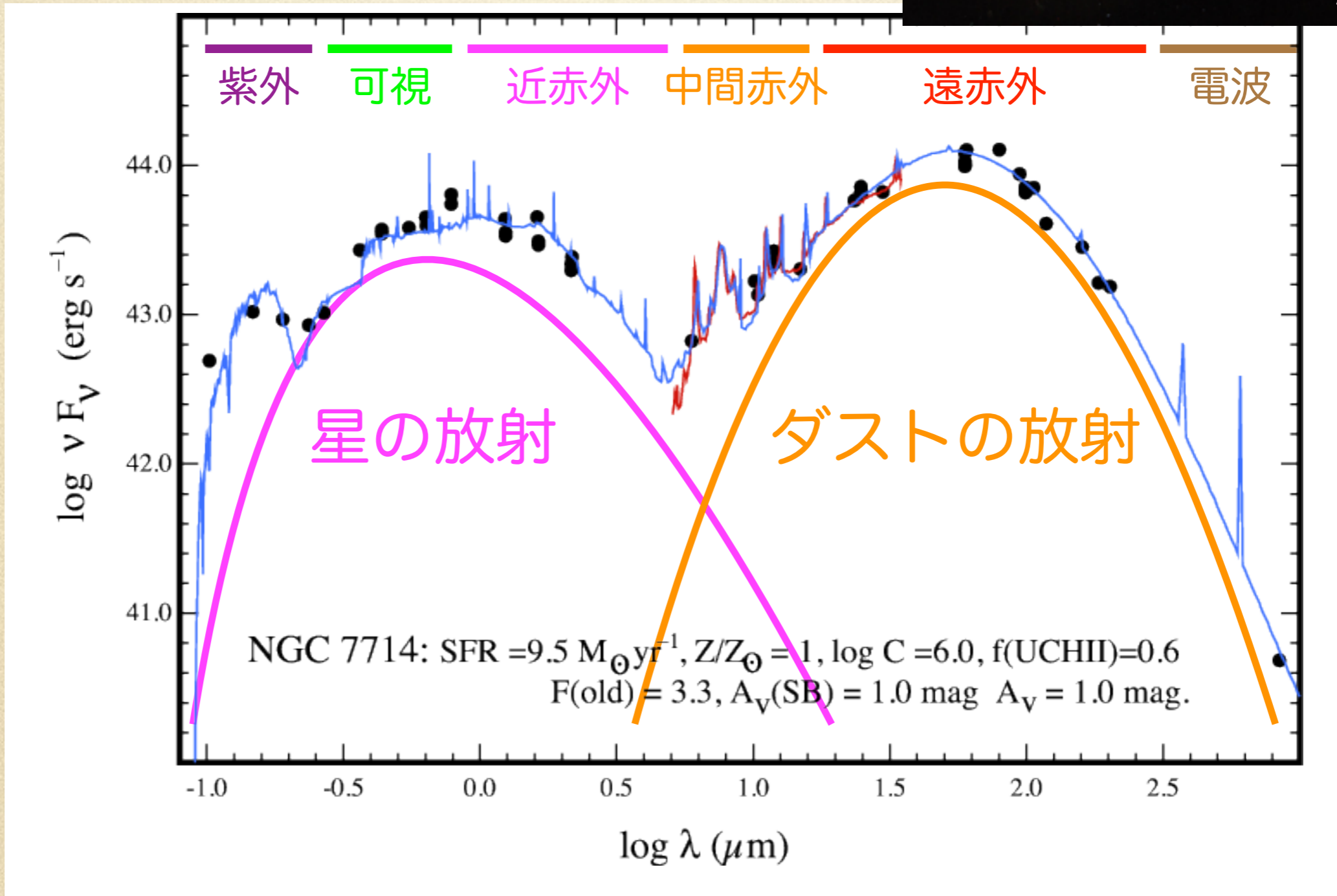


# 銀河の

# Spectral Energy Di



ESA/NASA

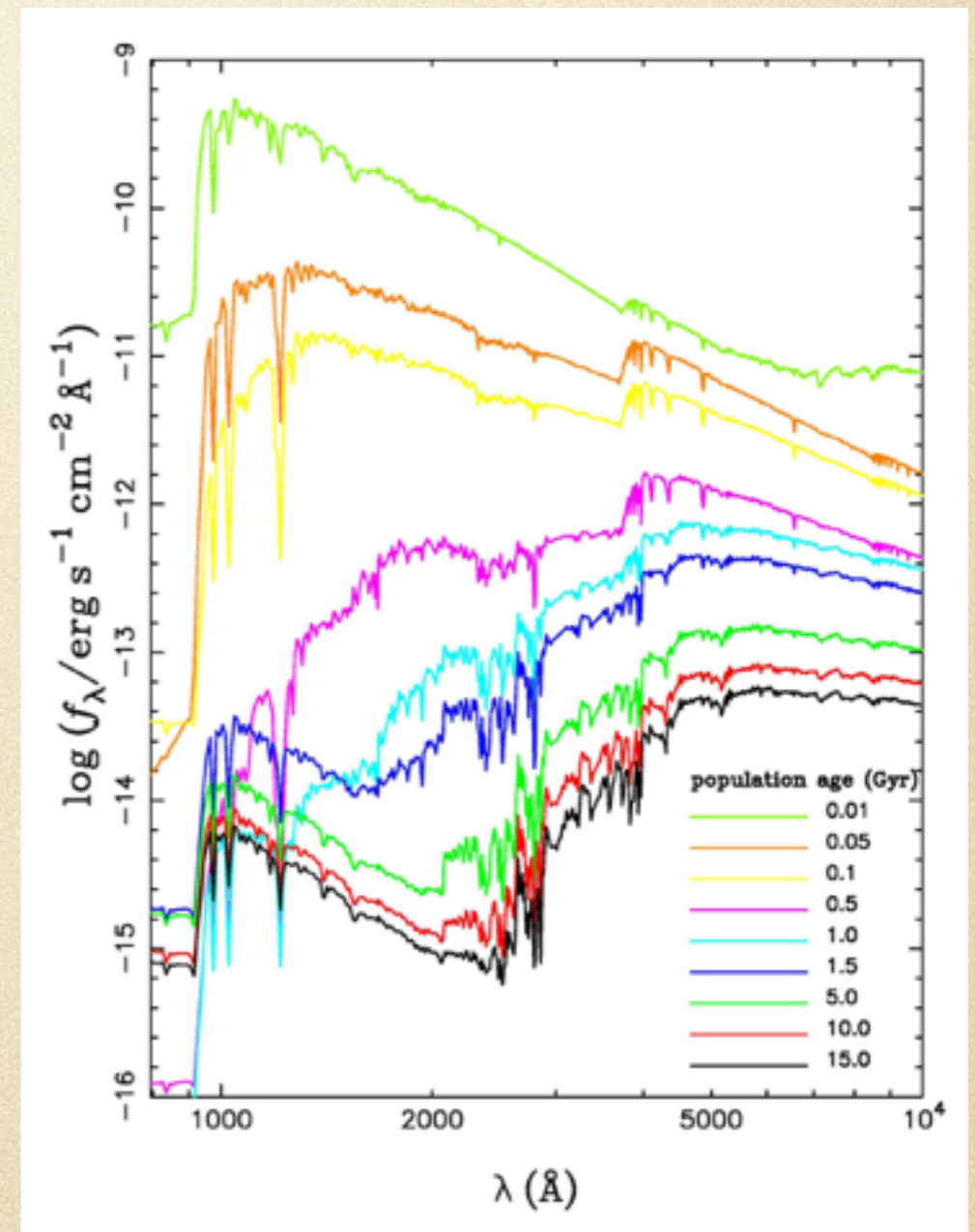
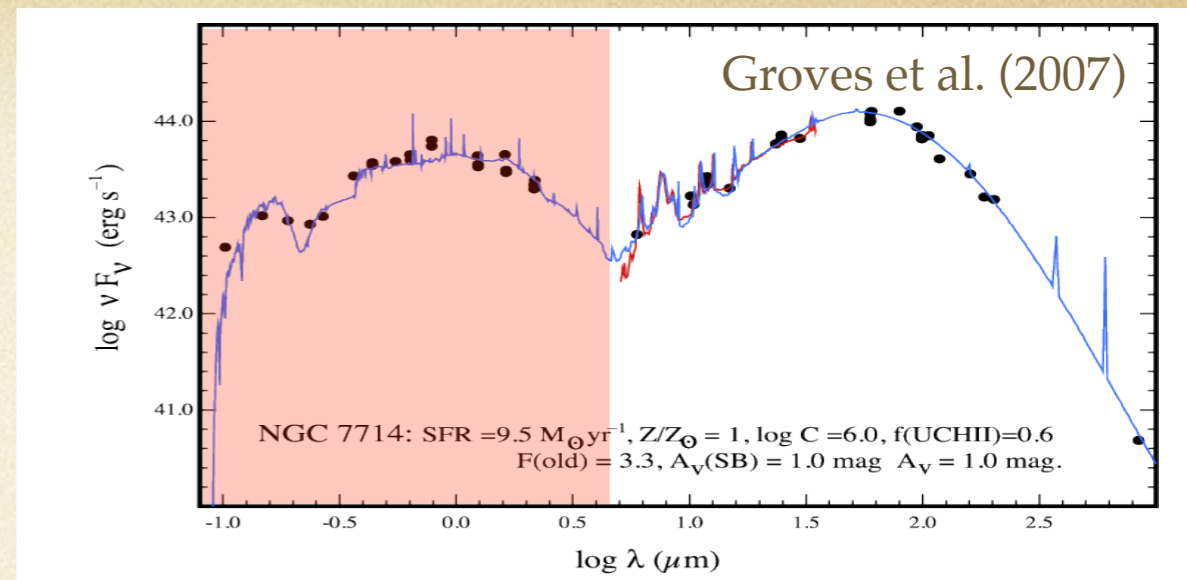


Groves et al. (2007)



# 星の放射

- 大質量星
  - 高温→短波長で明るい
  - 短寿命 ( $\approx 100$  Myr)
- 小質量星
  - 低温→短波長で暗い
  - 長寿命
- 短波長（紫外）光は星生成率（SFR）の指標
- 長波長（近赤外）は星質量の指標

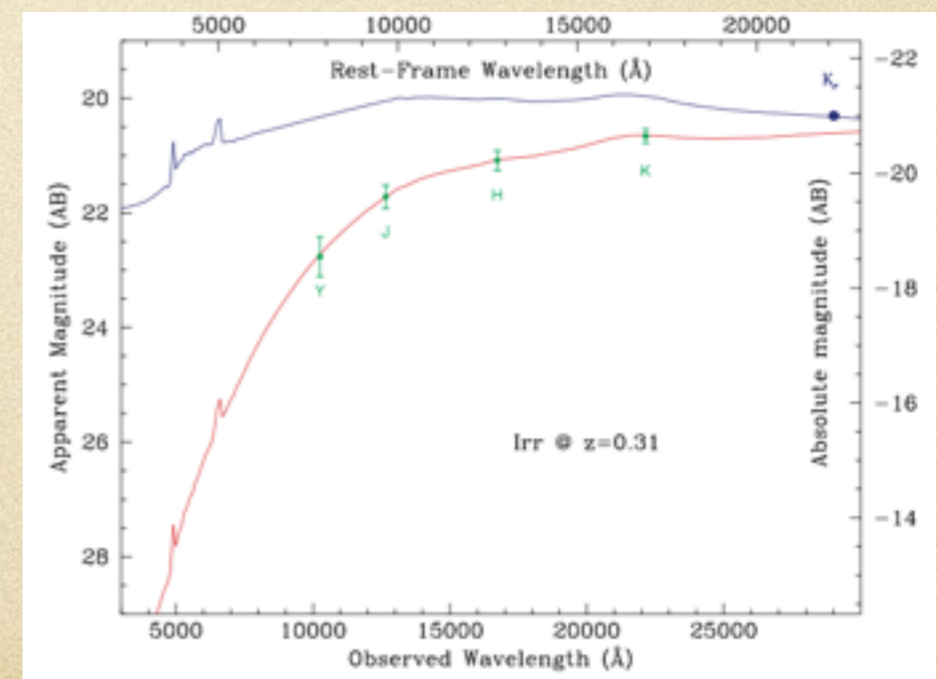
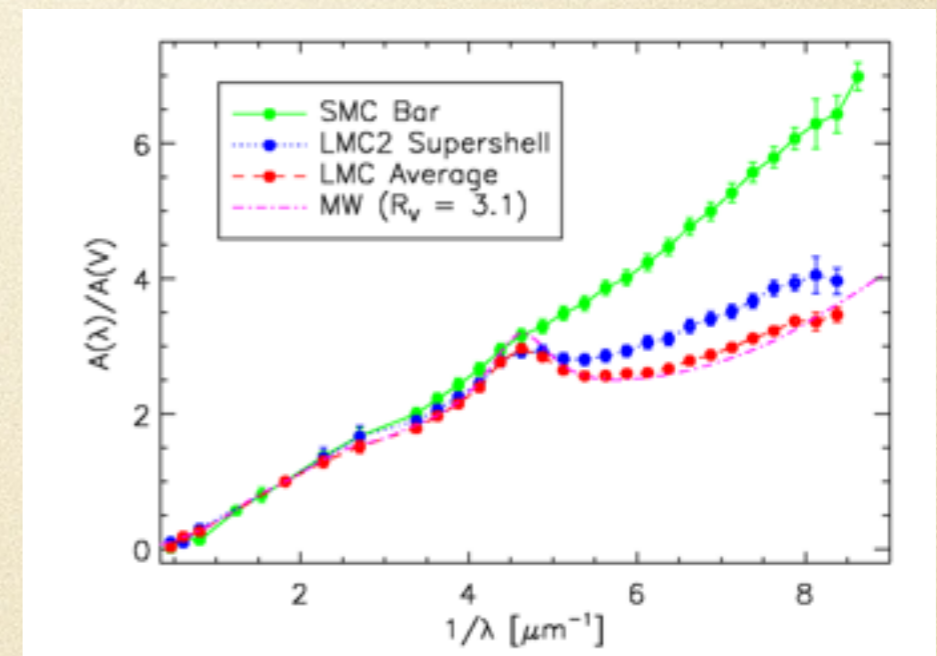
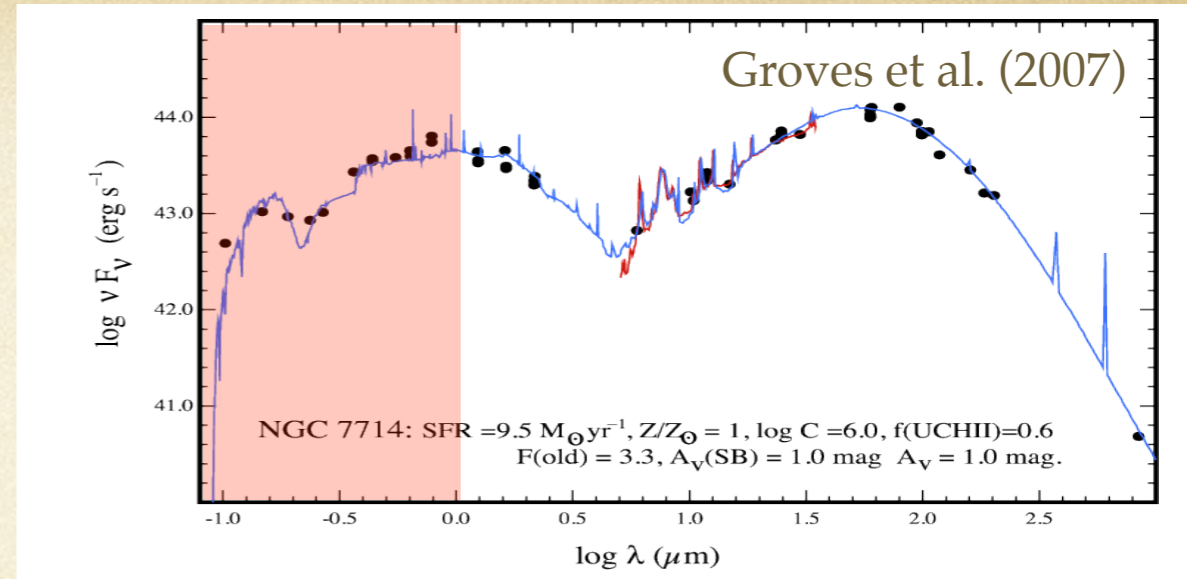


Han et al. (2007)



# ダスト減光

- 星間空間の塵は光を吸収
- 短波長ほど吸収が大きい
  - 波長と吸収量の関係は多様
- 星からの紫外線放射を星生成率の指標とする場合には大きな問題
  - 近傍で約5割、 $z \sim 1$ で約8割の紫外線が吸収



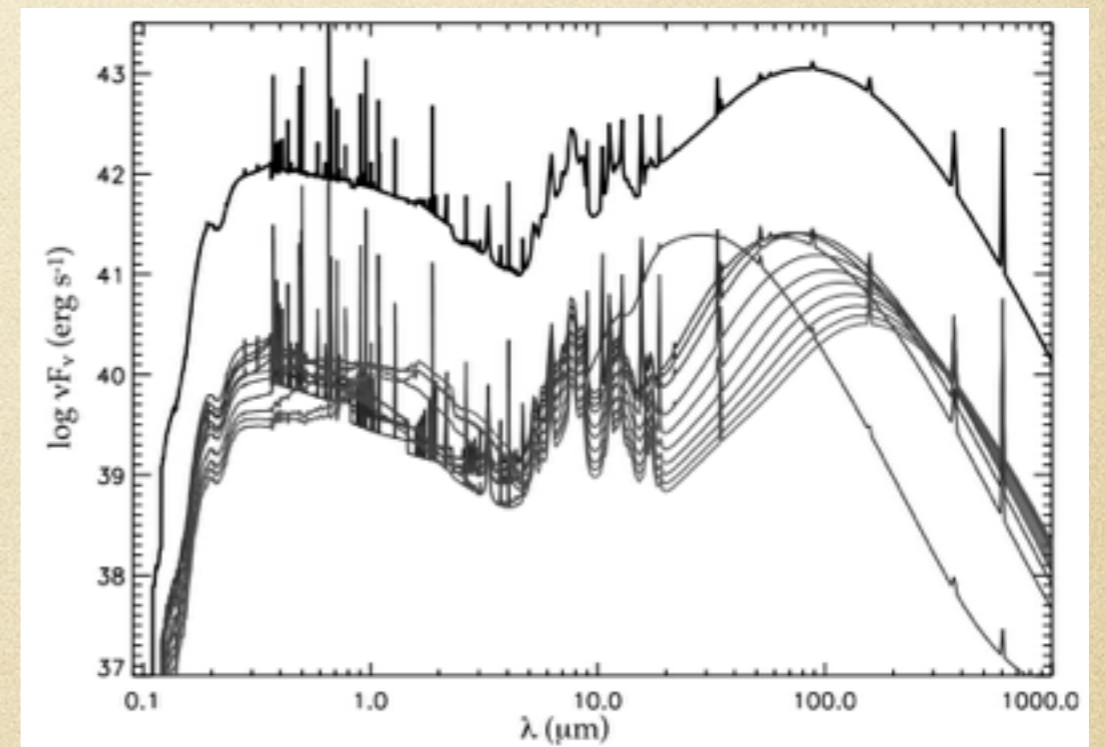
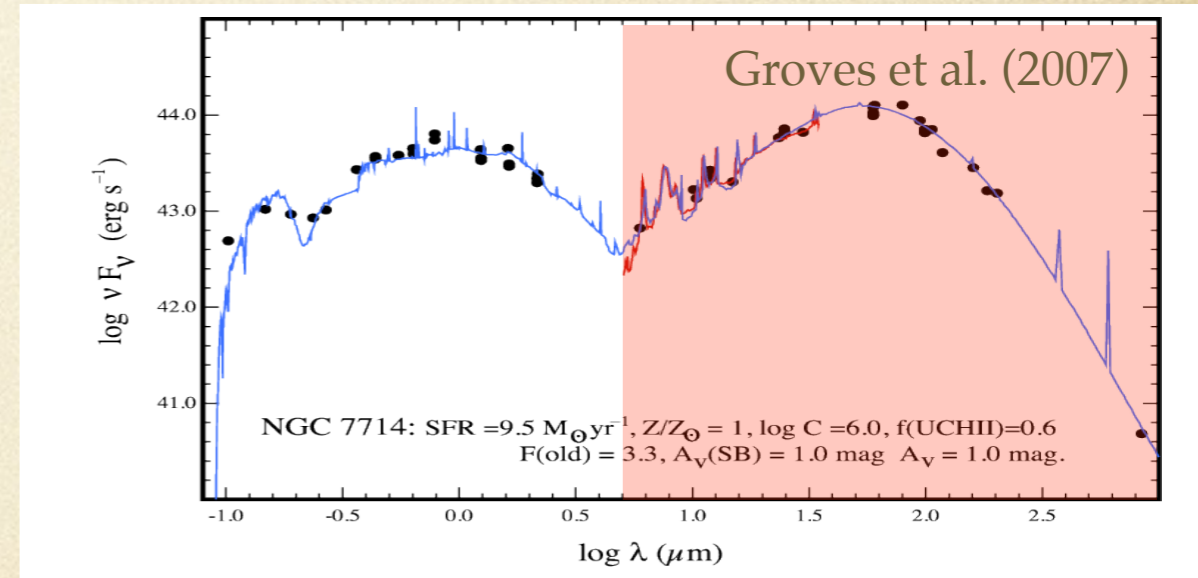
Gordon et al. (2003)

Götz et al. (2007)



# ダスト放射

- ダスト減光で吸収した光の熱的再放射
- 各銀河内に複数の温度成分
- 単純な黒体放射ではない  
(銀河ごとの個性あり)
- ダストを加熱しているのは主に紫外線 ( $\propto$  星生成率)
- ダスト放射も星生成率指標になる
- 紫外線とダスト放射を足せば信頼性が高いはず

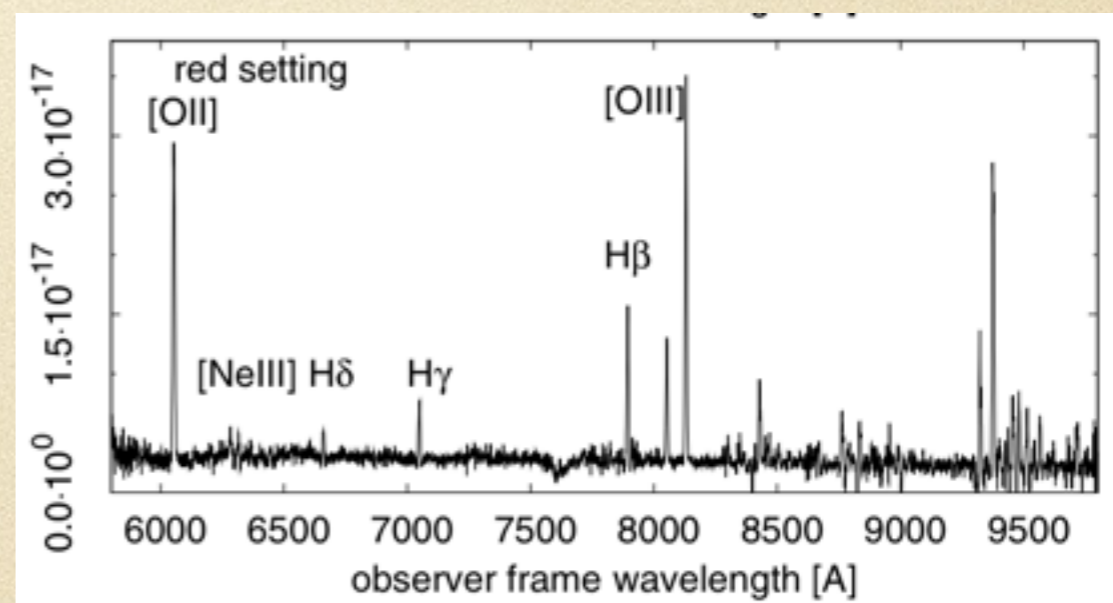
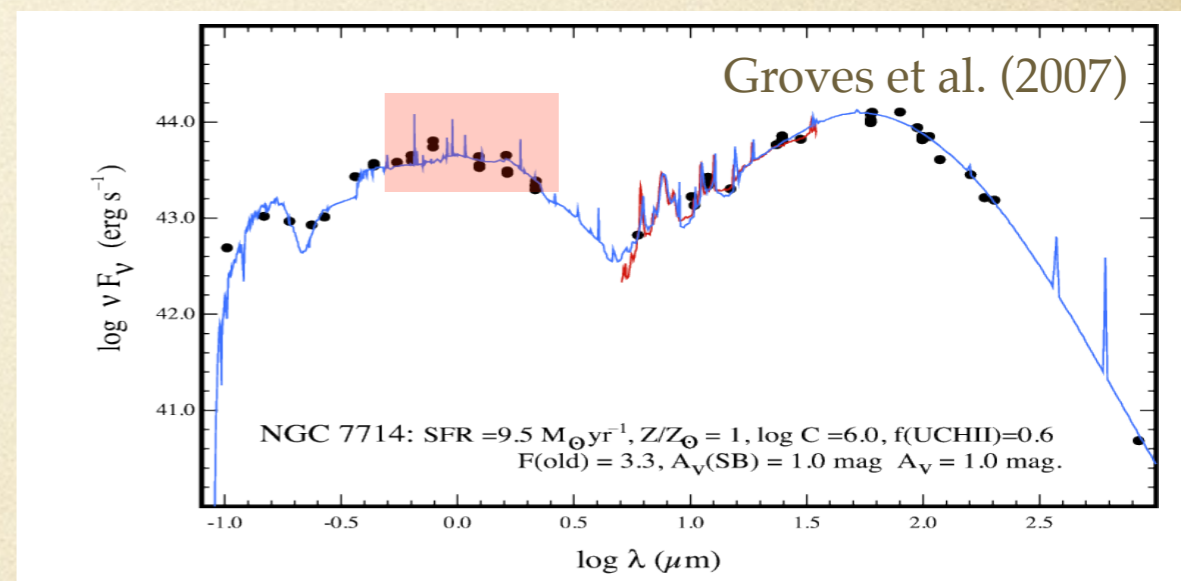


Groves et al. (2007)



# ガスの放射 (輝線)

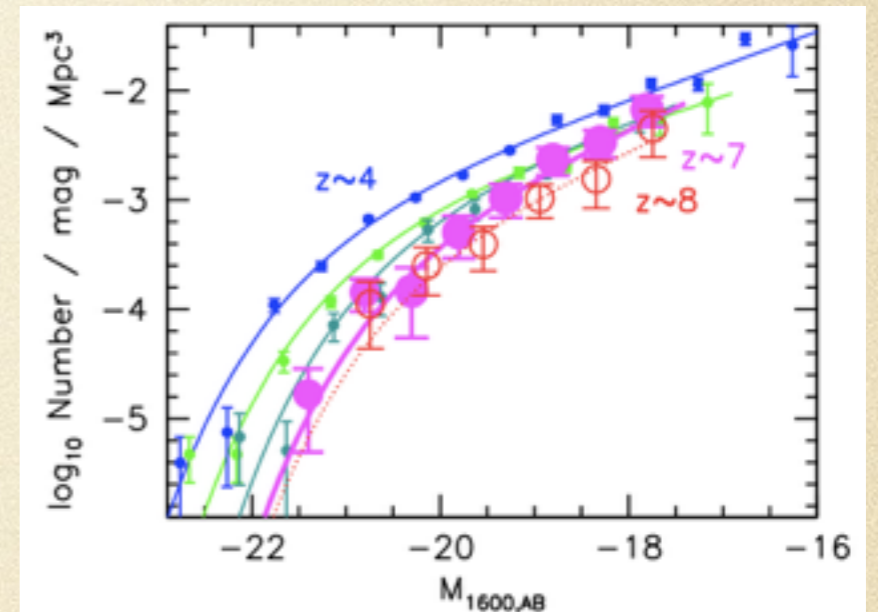
- 紫外線 (Hの場合  $< 912 \text{ \AA}$ ) で電離された原子の再結合輝線
- 星生成率の指標
- 紫外線そのものよりダストの吸収を受けにくい
- 基本的に分光観測を要する
- ダスト減光の評価にも使える



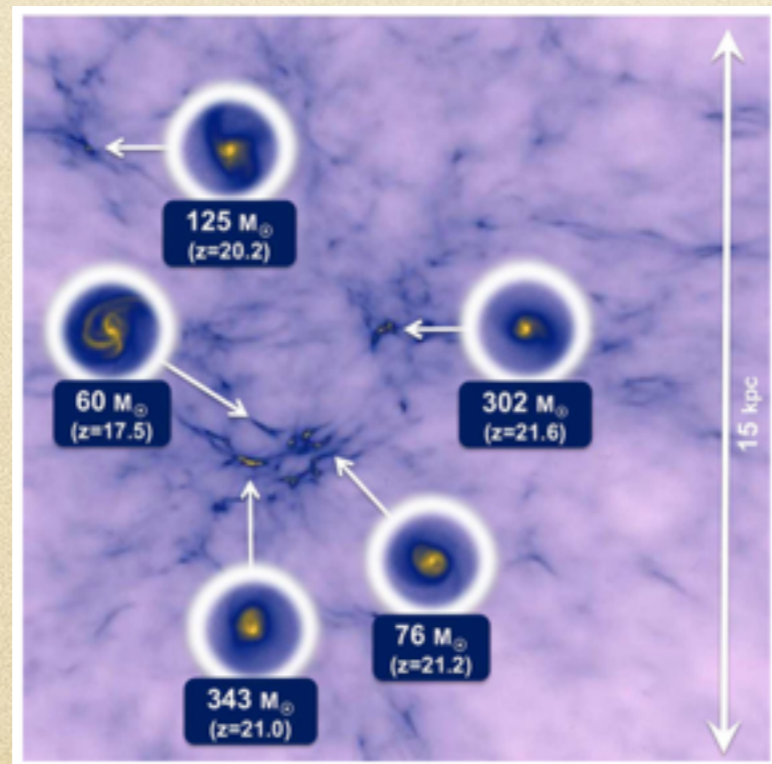


# 高赤方偏移へ

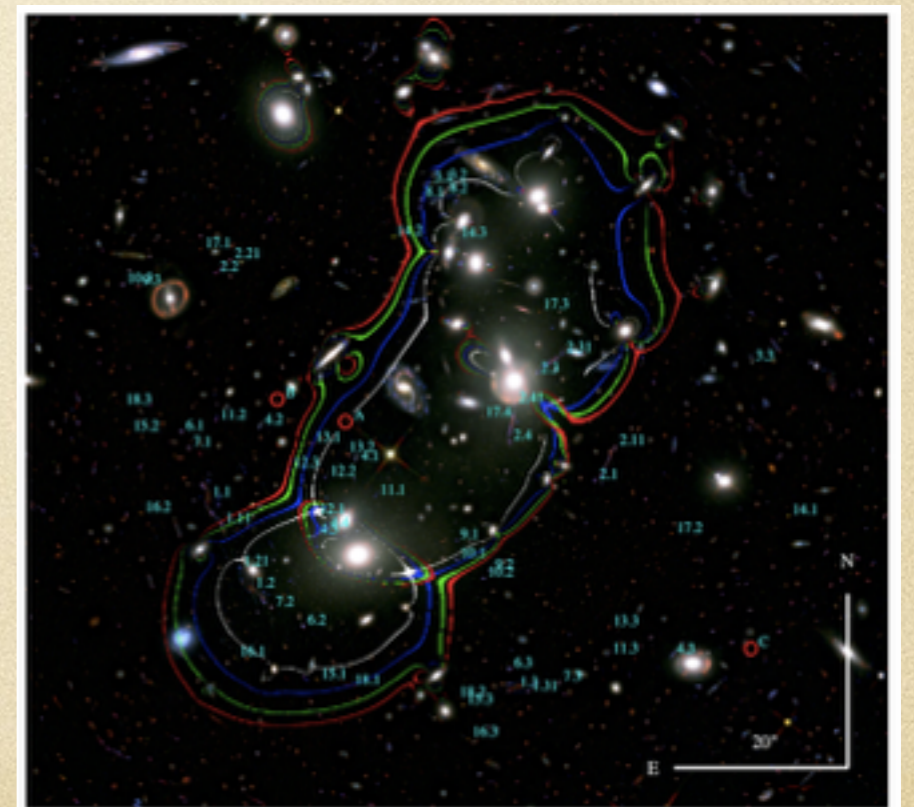
- 主にHSTの観測によって  $z \sim 8-10$  の銀河候補の発見が可能になってきた。
  - 分光確認はまだ困難
  - 見えているのは氷山の一角
- 宇宙の初代星形成は  $z > 20$ ?



Bouwens et al. (2011)



Hirano et al. (2014)

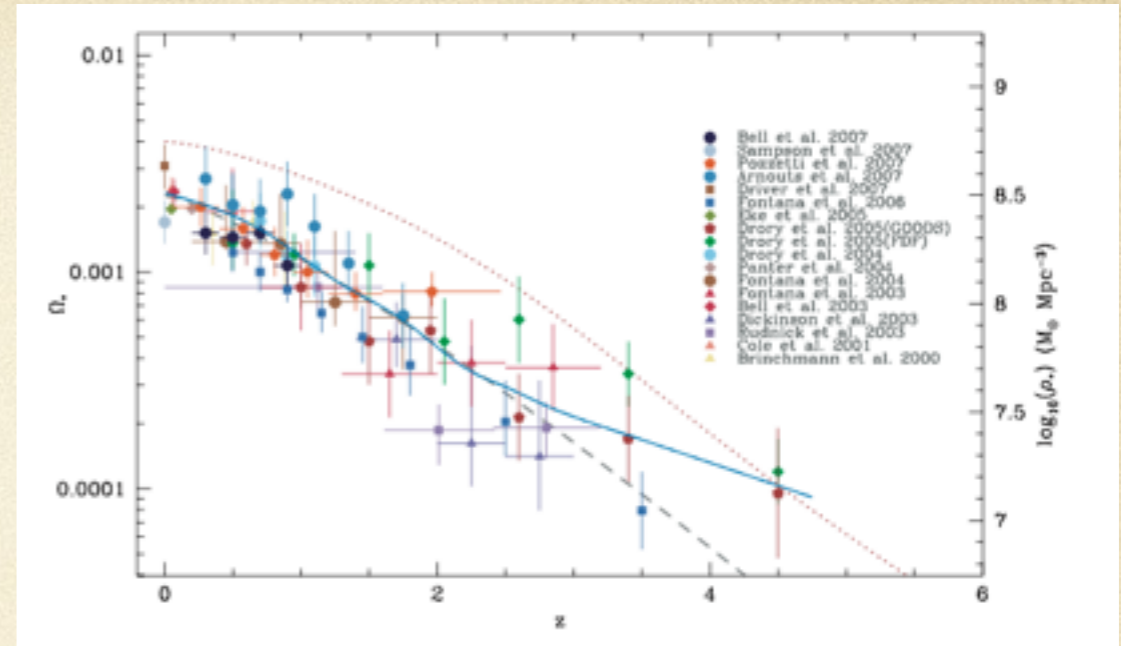


Zitrin et al. (2014)

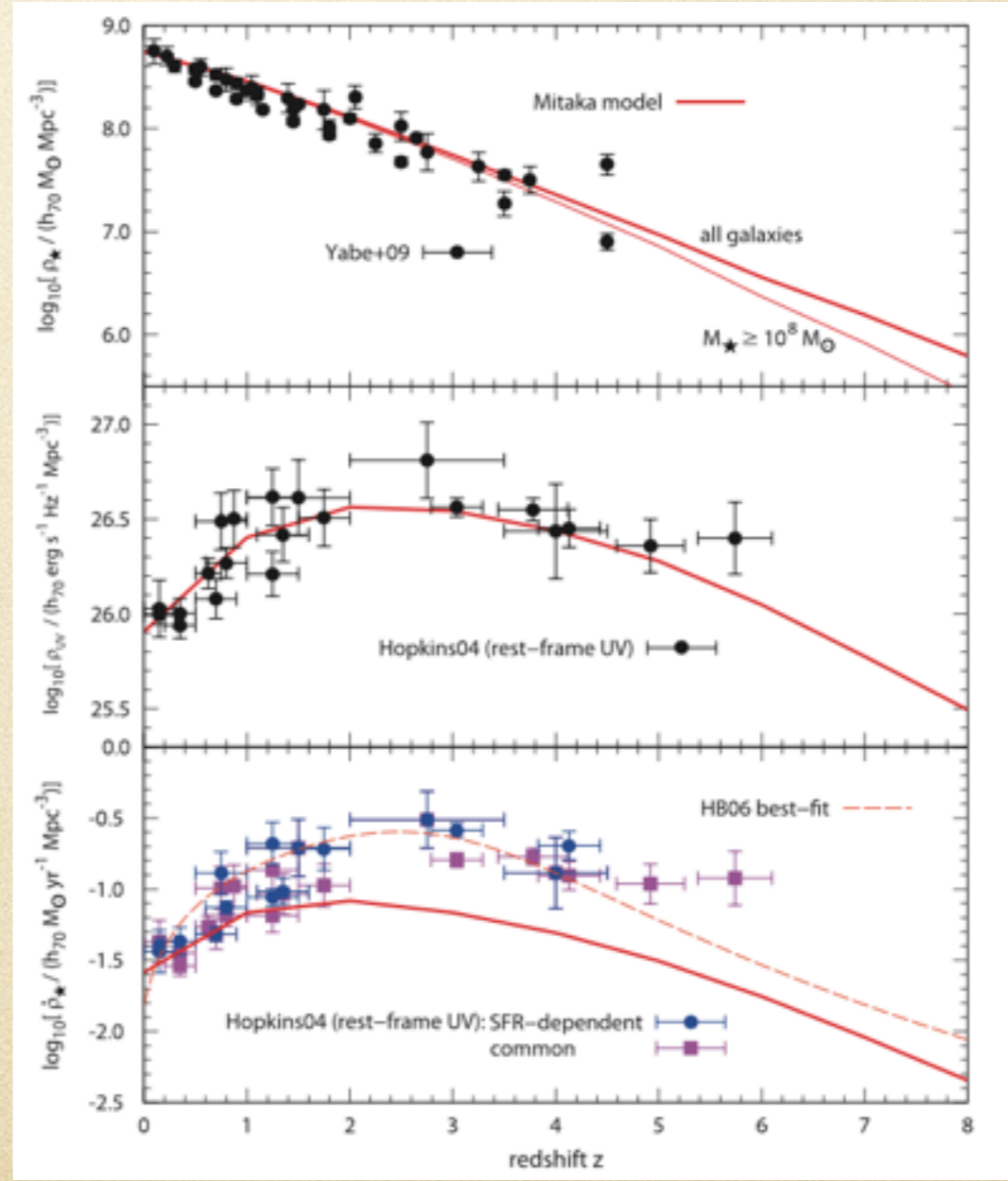


# 問題点

- 各赤方偏移での星質量密度を計算すると星生成率と矛盾
  - 銀河選出の取りこぼし?
- 理論モデルの予想と観測にもズレがある
  - 星生成過程の理解が不十分?
  - 観測値からSFRの変換に問題あり?



Wilkins et al. (2008)



Kobayashi et al. (2012)

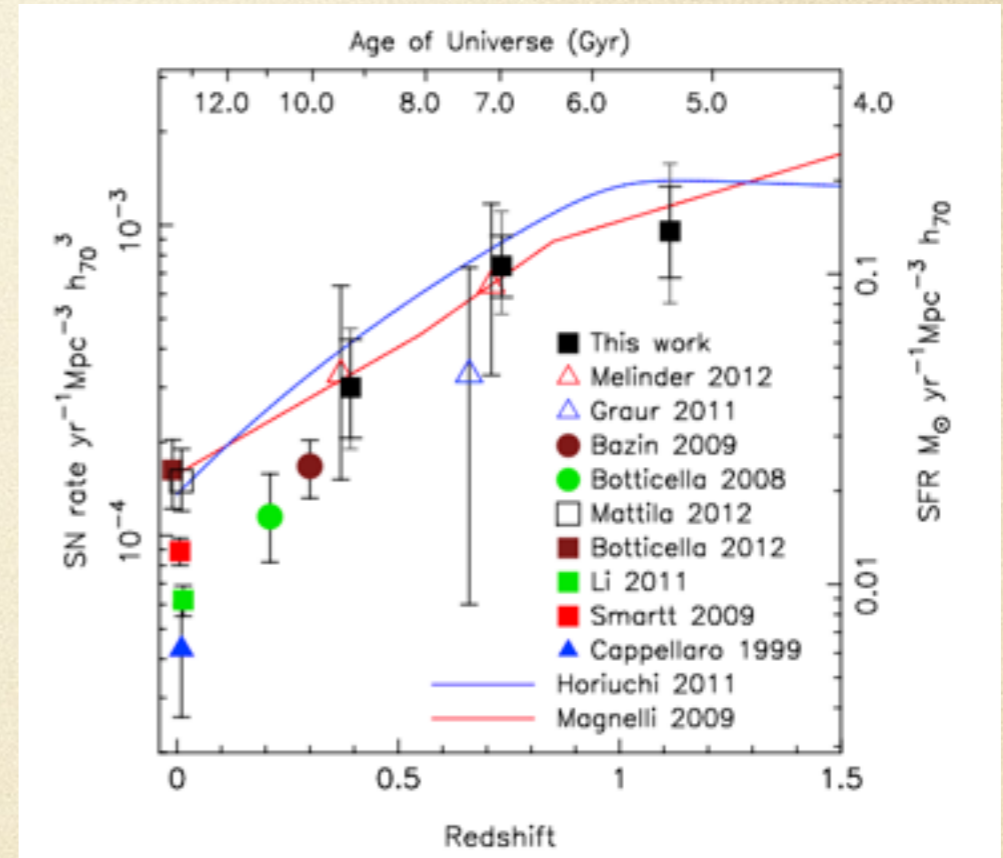


# 星生成と天体爆発現象

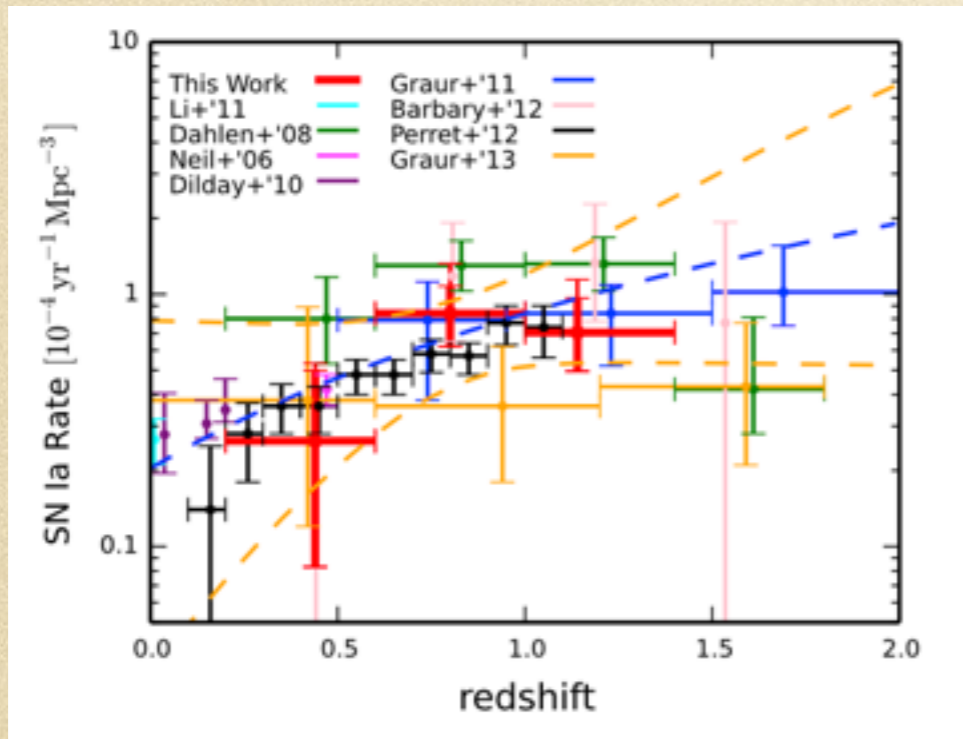


# 星生成史と天体爆発

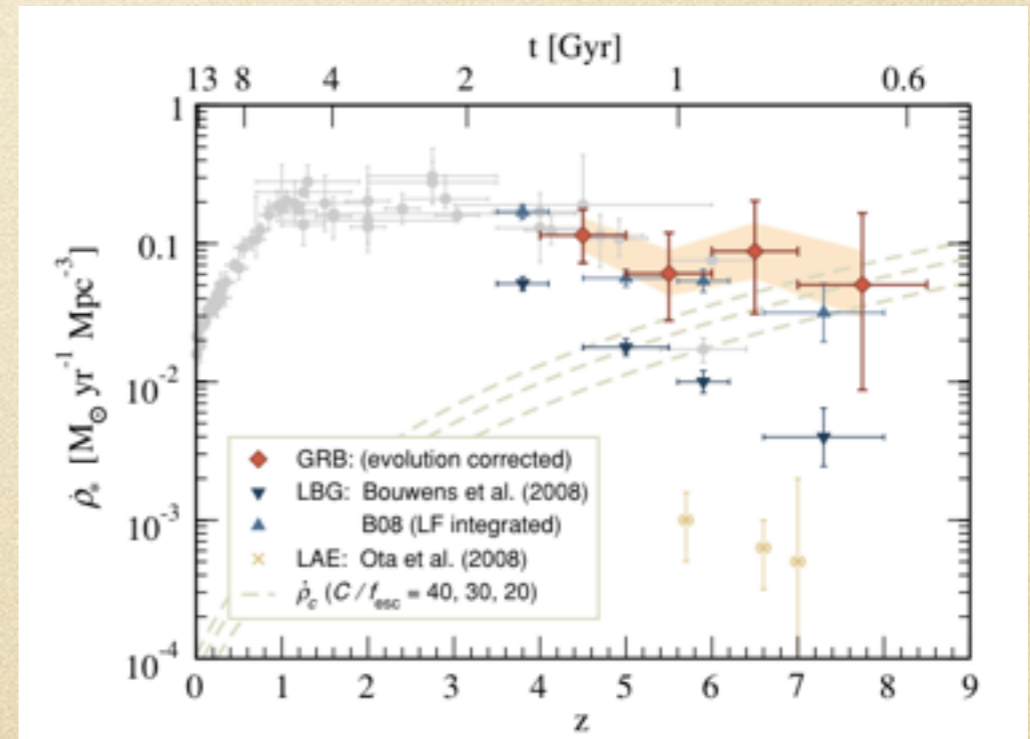
- CC SN rate: ほぼSFRに比例
- long GRB rate: 大体SFRに比例
  - 高赤方偏移のSFR測定
- type-Ia SN: 星生成から爆発までに有意な時間差あり



Dahlen et al. (2012)



Okumura et al. (2014)

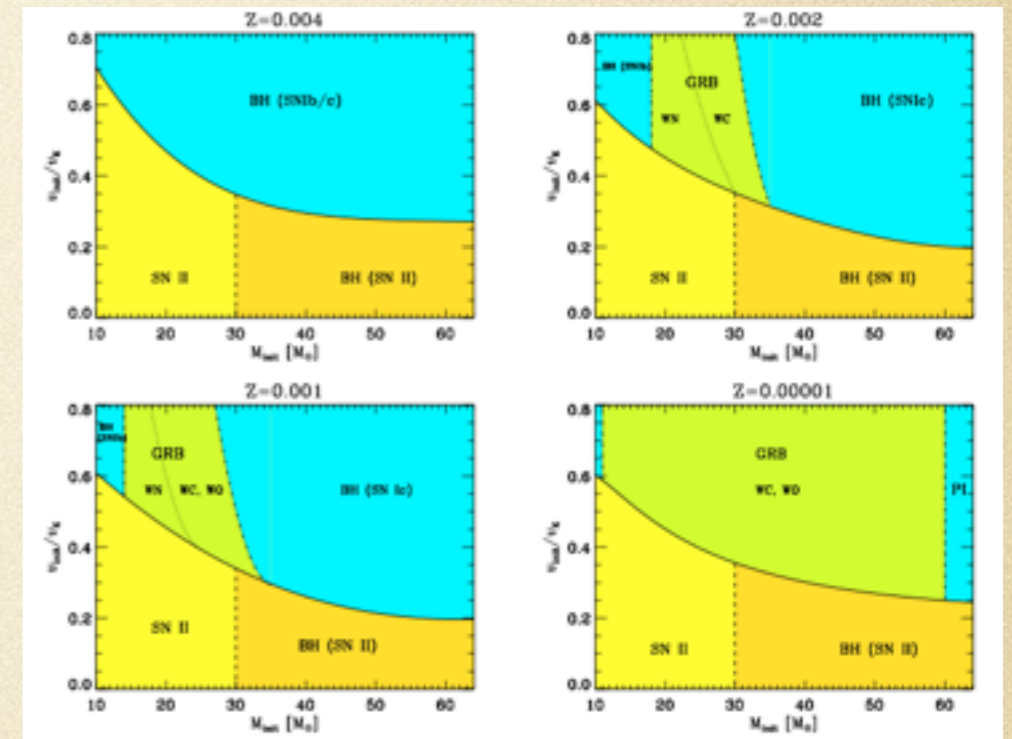


Kistler et al. (2009)

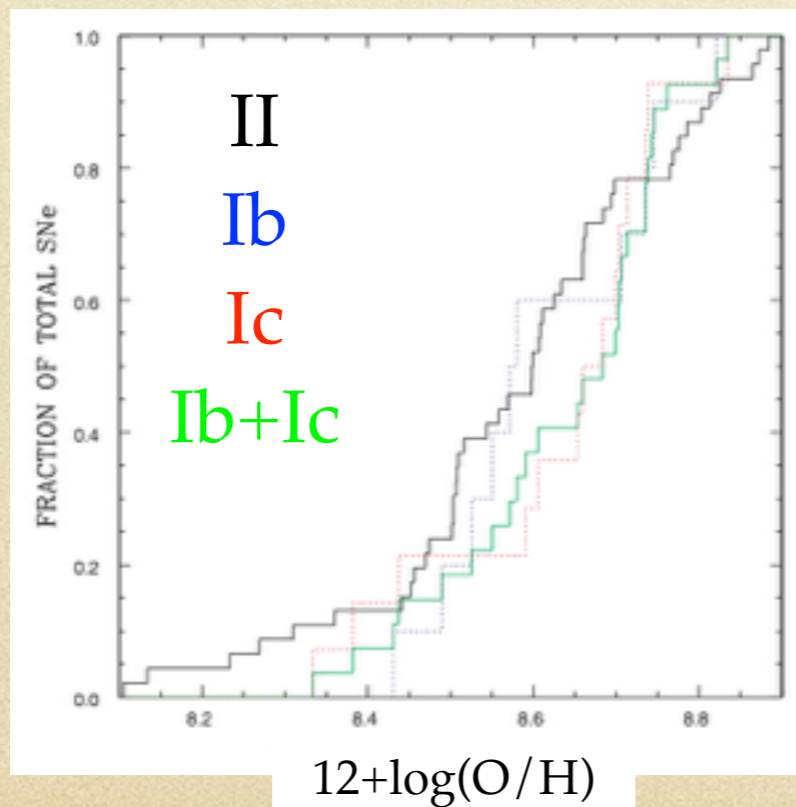


# 天体爆発と金属量

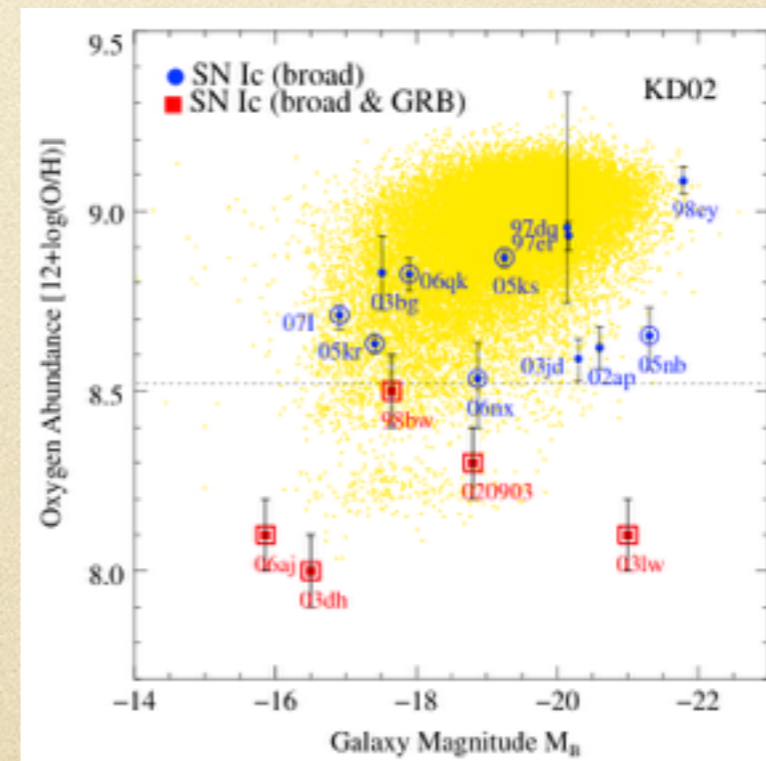
- 恒星の進化は星の質量だけでなく金属量にも影響される。
- 高金属環境ではtype-Ibcが起きやすく、long GRBは起きにくい？



Yoon et al. (2006)



Anderson et al. (2010)

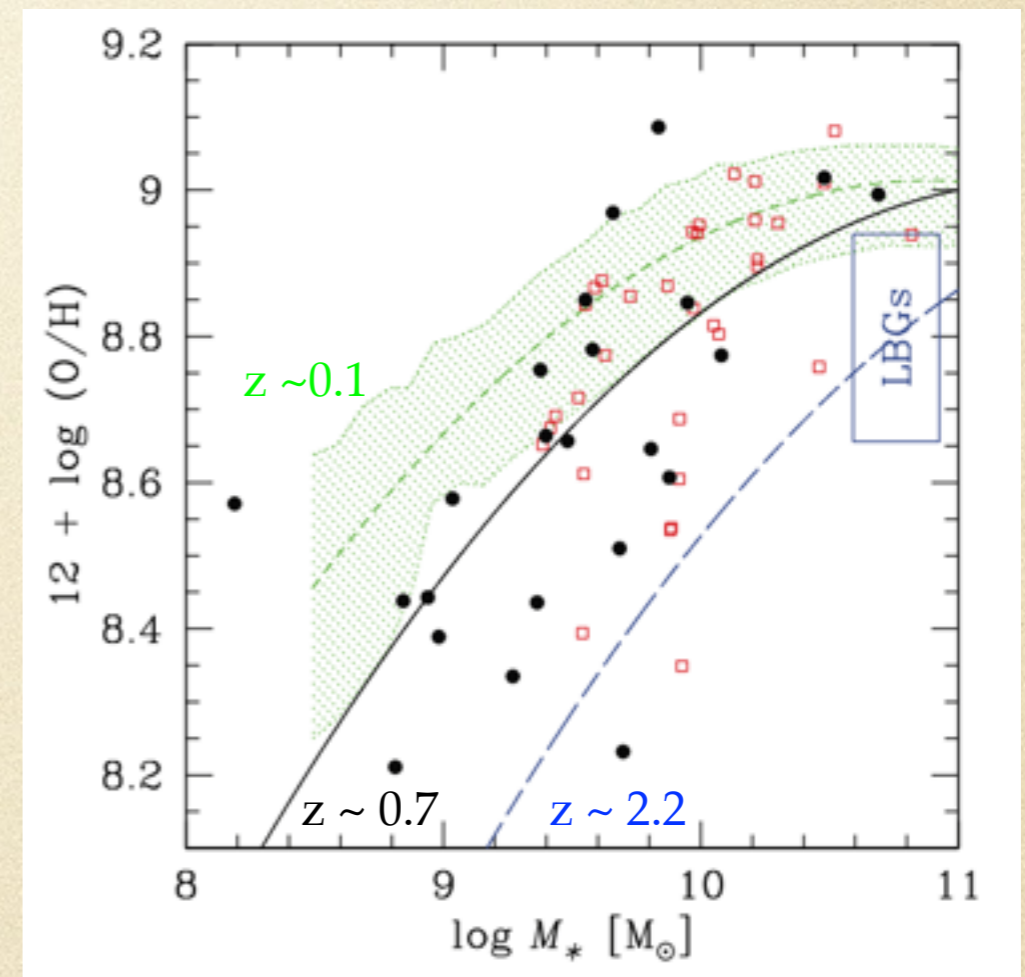


Modjaz et al. (2008)



# 金属量進化

- 元素合成は星生成とともに進む
- mass-metallicity relation とその進化
- core-collapse event rateが同じでもその種族は時代と場所が変わるはず

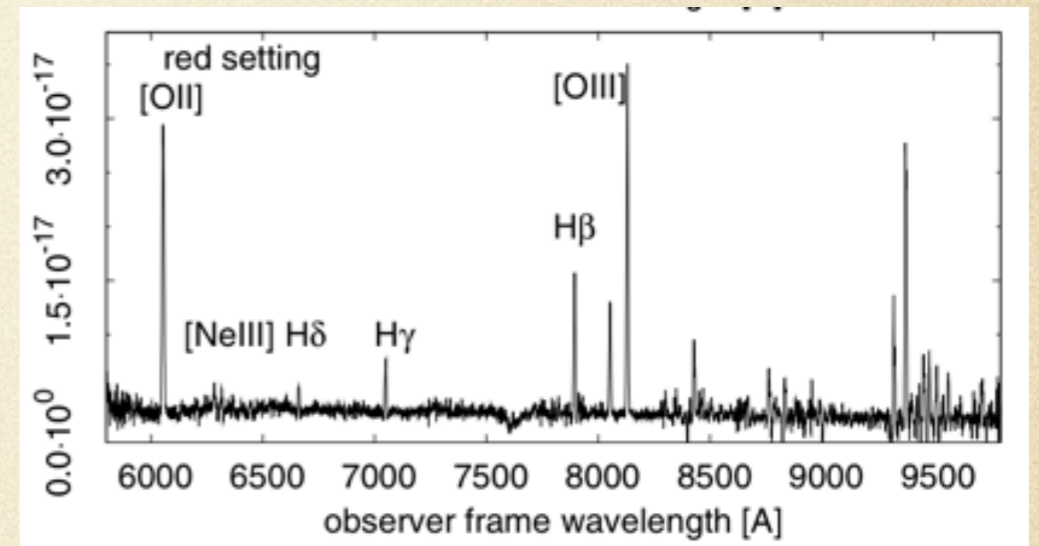


Savaglio et al. (2005)

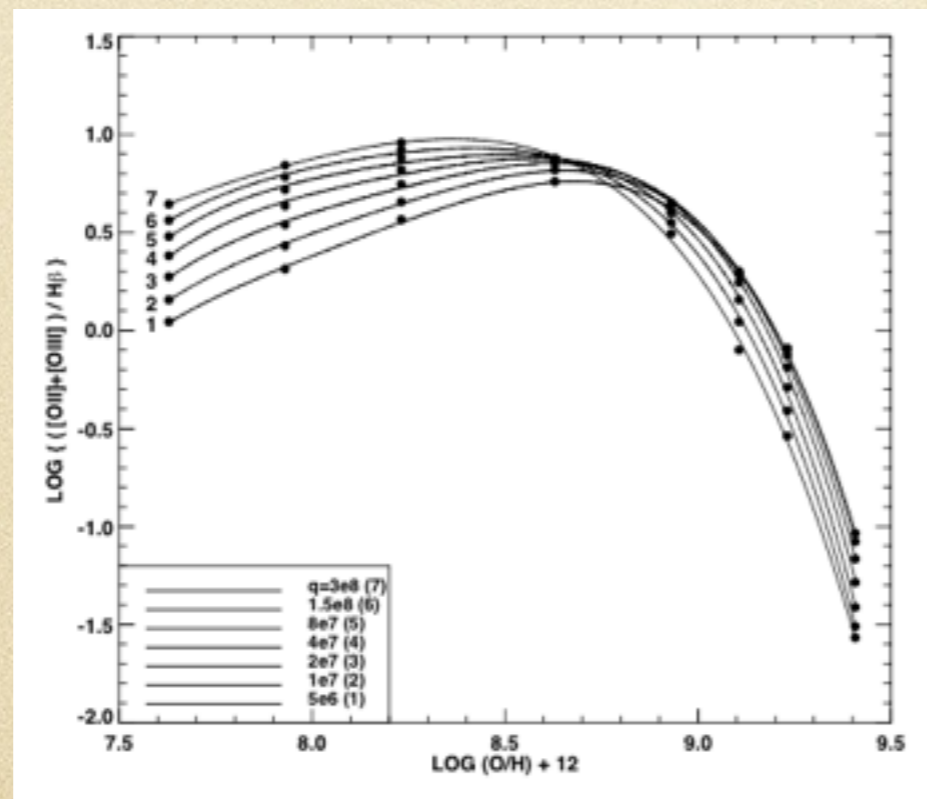


# 星間ガス金属量測定

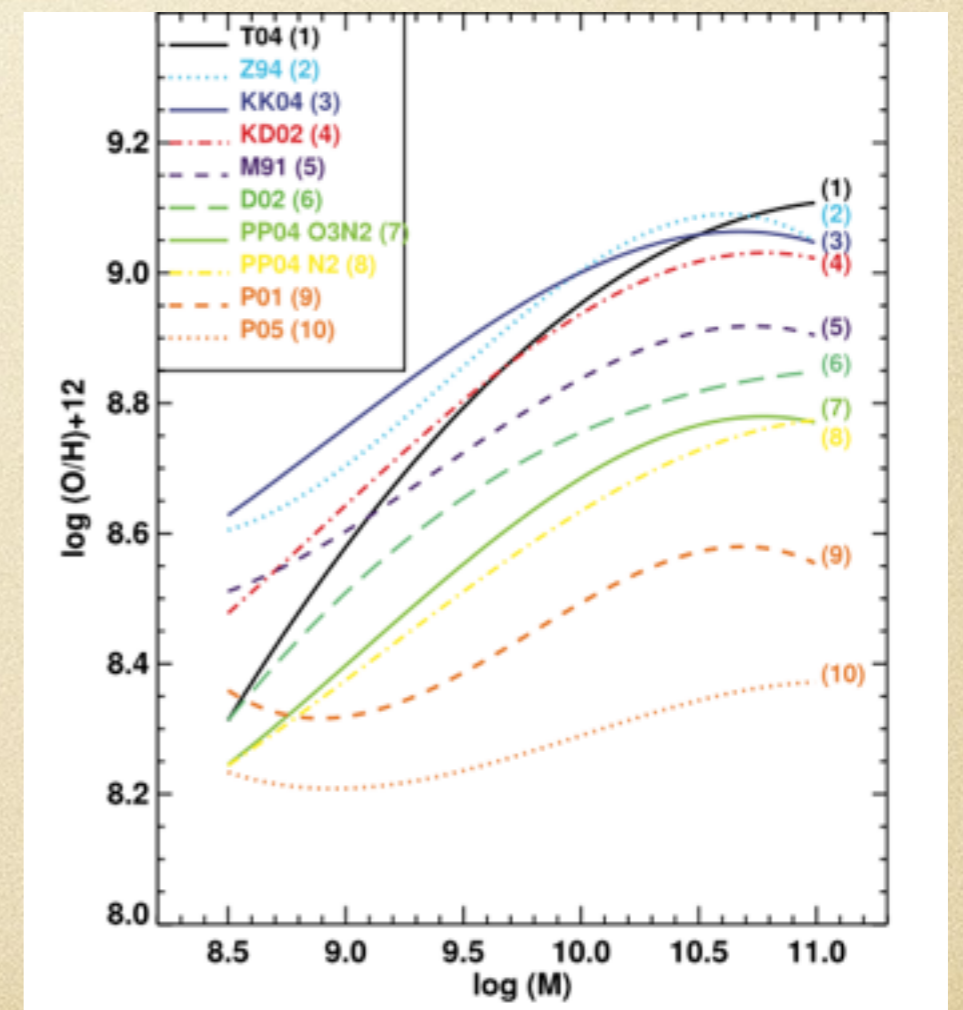
- 星生成領域のガス金属量は輝線観測で測定できる。
- 現状：手法ごとに結果が一致しない。
  - 同じ手法同士の相対的な比較は可能
  - 絶対値の評価は難しい
- 同じ手法でも赤方偏移で変わるかもしれない。



Nino et al. (2012)



Kewley & Dopita (2002)

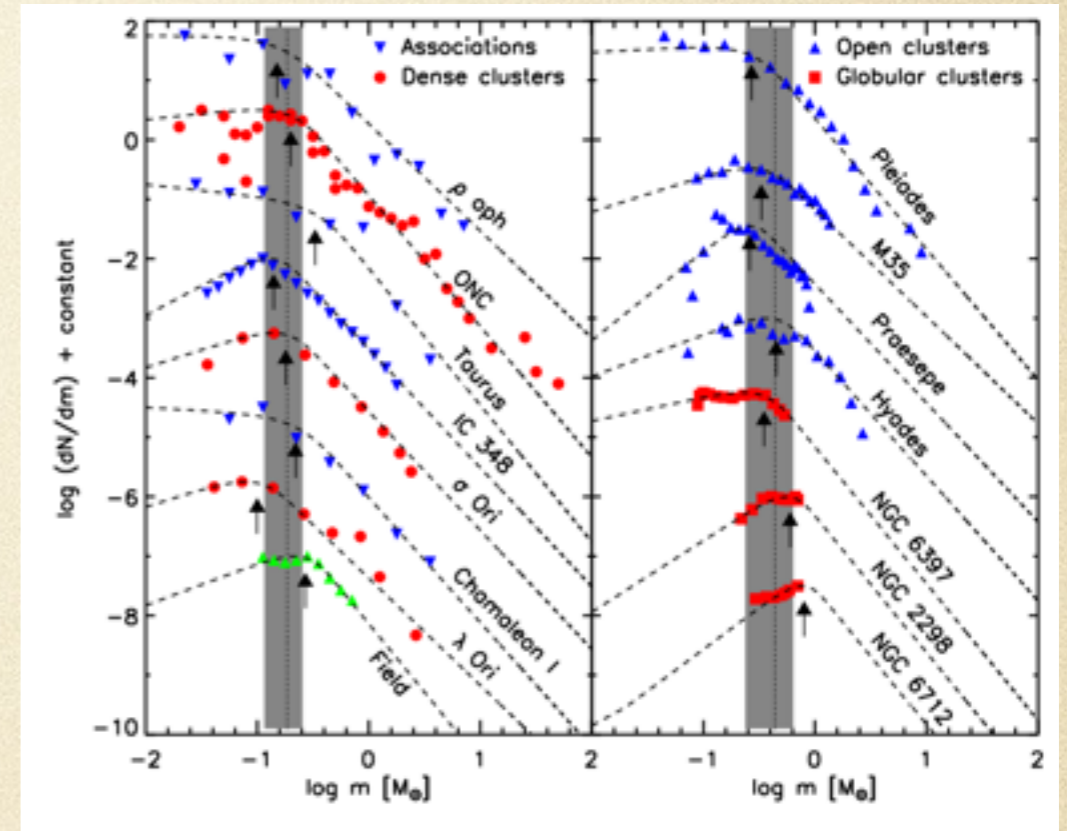


Kewley & Ellison (2008)

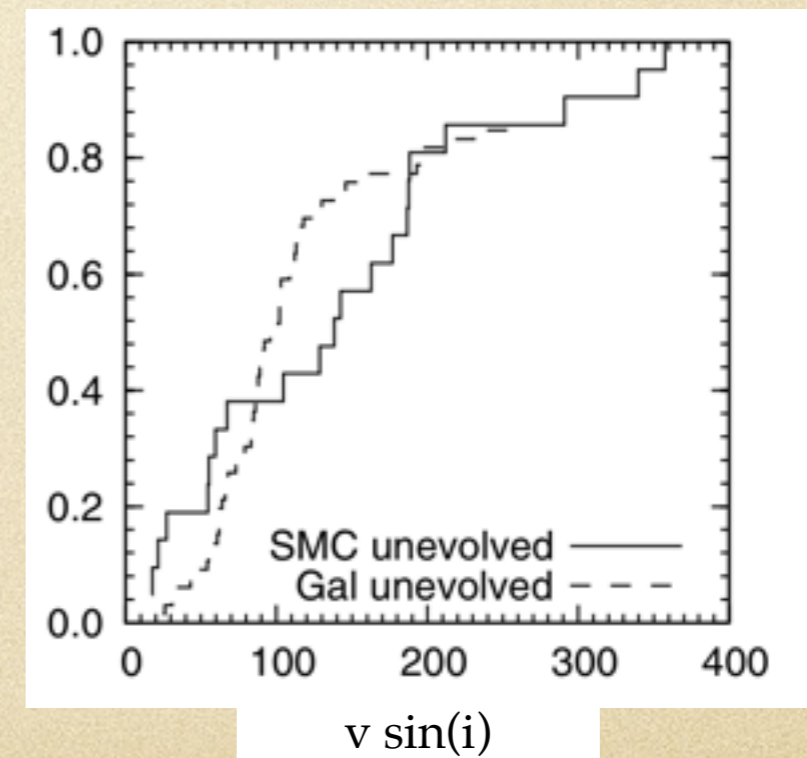


# 星の初期質量と回転

- 星の初期質量関数 (IMF)
  - 星生成率の測定・SN頻度の予想の両方に効く
  - ある程度はキャンセル?
  - high-mass endについては進化を示す確たる証拠はない
    - 進化がないとも言えない
- 星の初期回転分布
  - IMF以上に測定困難



Bastian et al. (2010)



Mokiem et al. (2006)



# まとめ

- 宇宙の星・銀河形成の歴史は様々な観測的指標を用いて測定され、 $z = 0 \sim 10$  で一定の結果が出ている。
  - 星質量測定との矛盾、理論モデルとの不一致などの問題も残っている。
- 重力崩壊イベントの発生は基本的に星生成に追従するが、その種族は環境に依存して変化する。
  - 金属量進化の理解はいまだ発展途上
  - IMFはもっとわからない
  - 初期回転分布はさらにわからない