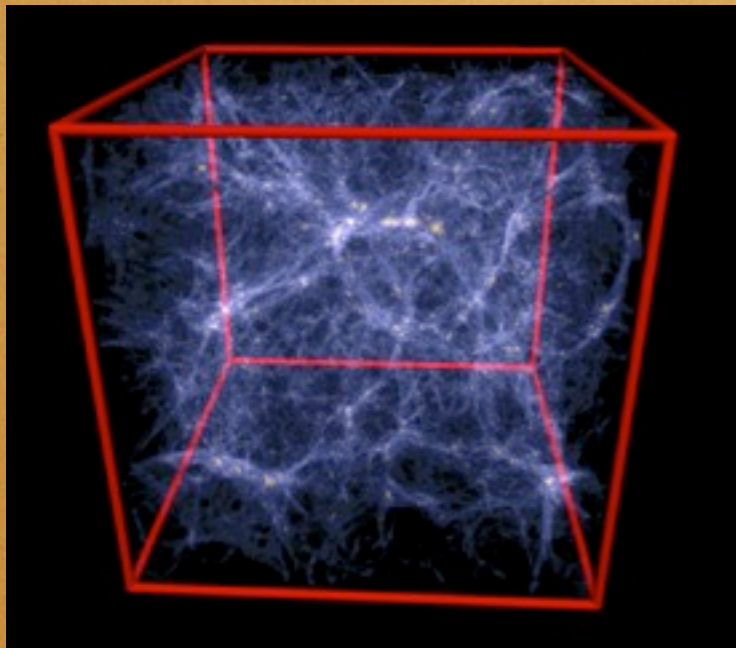


ガンマ線バーストの金属量依存性 と母銀河の光度分布

新納 悠 京都大学宇宙物理学教室

2010.12.21 理論懇シンポジウム



共同研究者

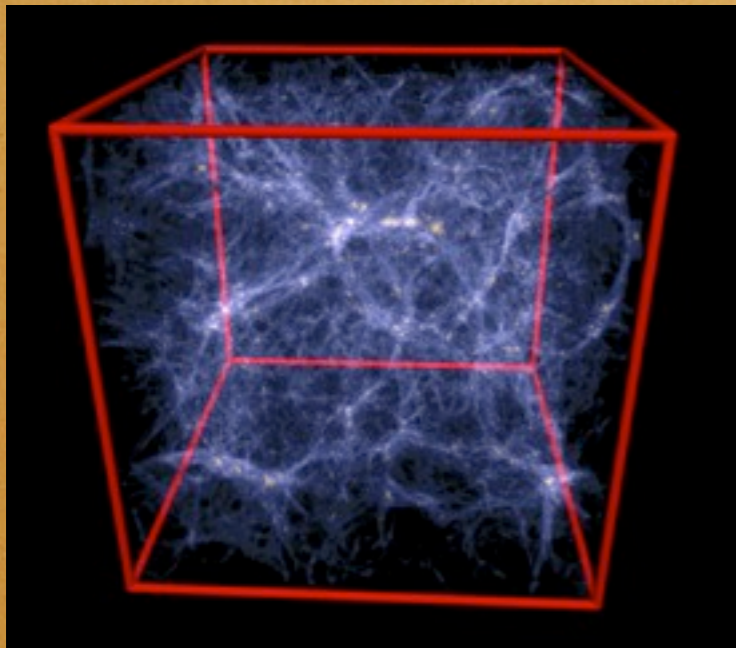
J.-H. Choi, 小林正和

長峯健太郎, 戸谷友則 & B. Zhang

ガンマ線バーストの金属量依存性 と母銀河の光度分布

新納 悠 京都大学宇宙物理学教室

2010.12.21 理論懇シンポジウム



共同研究者

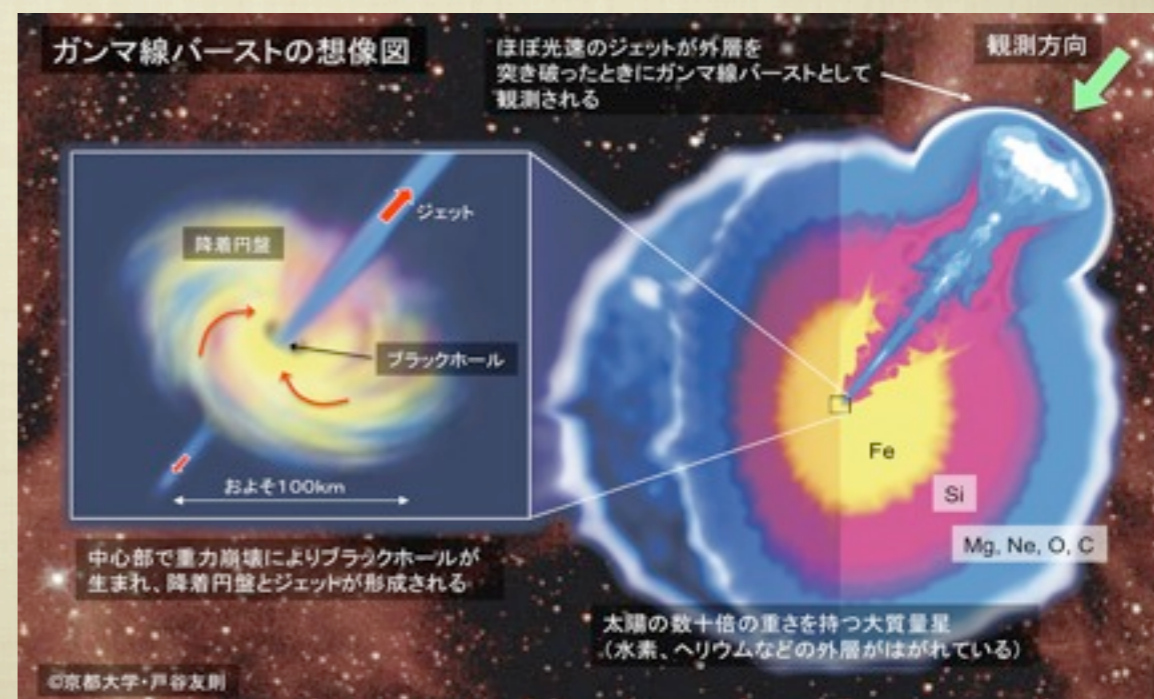
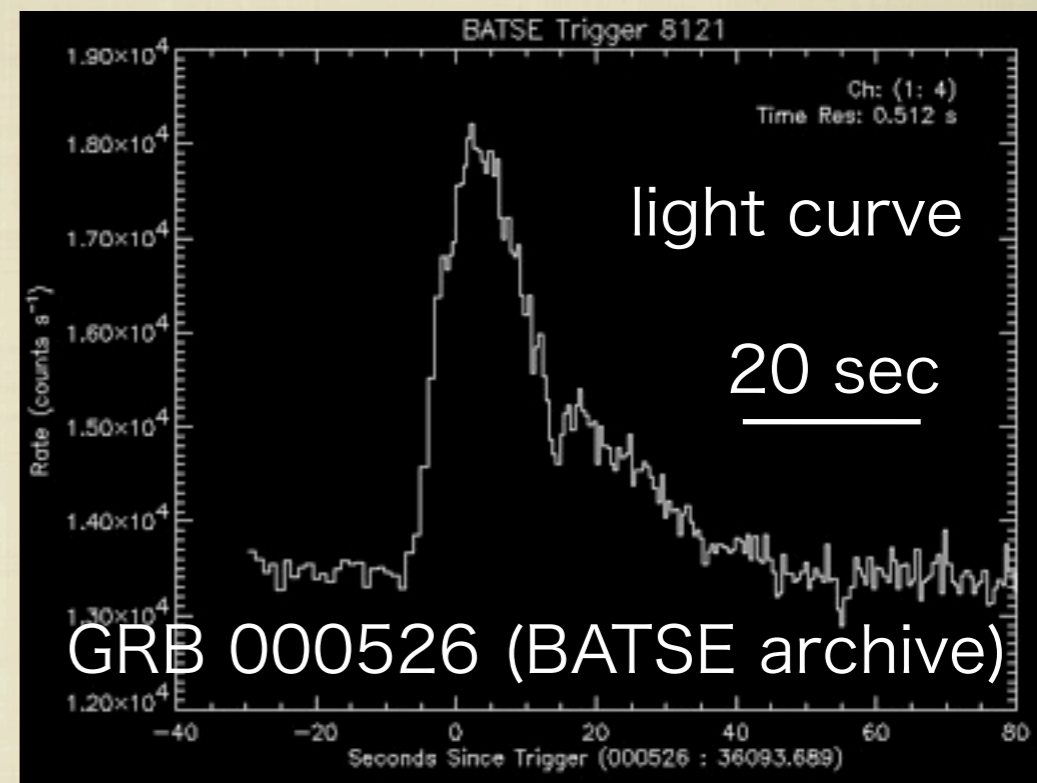
J.-H. Choi, 小林正和

長峯健太郎, 戸谷友則 & B. Zhang

Introduction

Gamma-Ray Burst とは

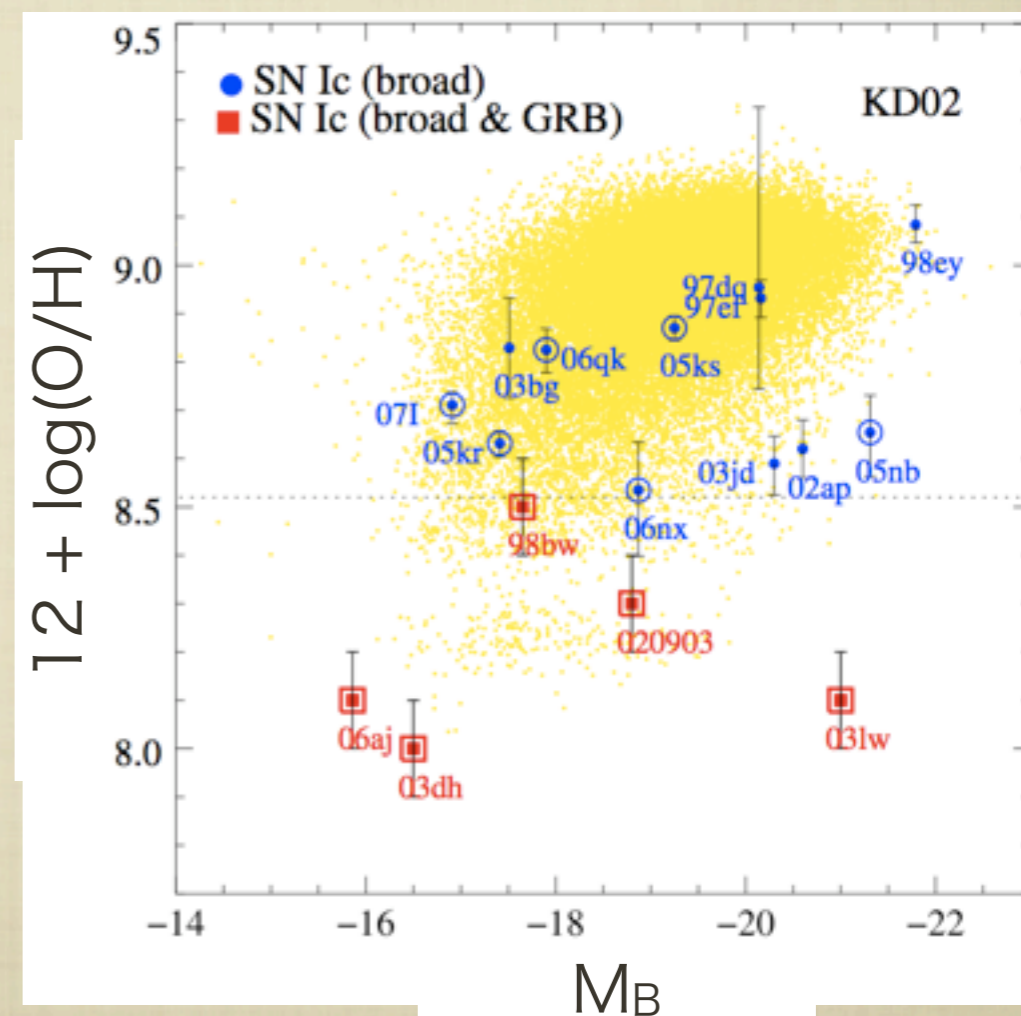
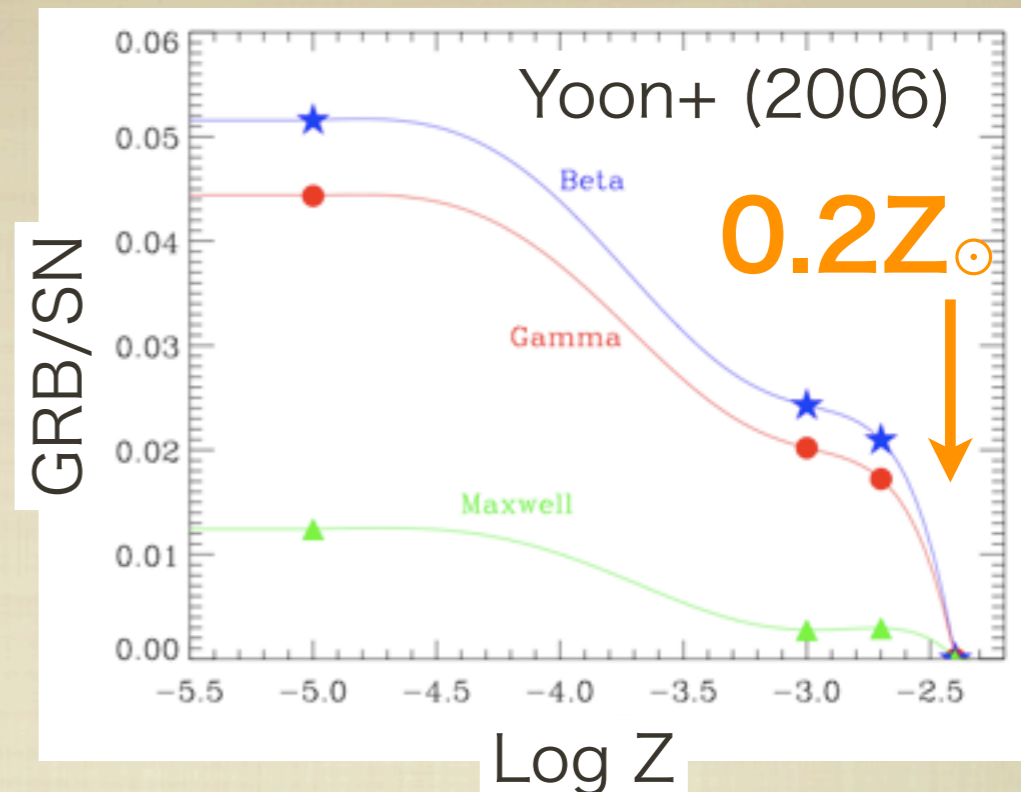
- Gamma-ray burst (GRB)
 - 数百 keV 程度の軟 γ 線で $0.1 - 10^2$ 秒程度観測される突発天体
 - short- と long- の少なくとも2種族がある
 - この発表の話題は long GRBs
- Long GRB は大質量星の重力崩壊に伴うと考えられている。
- 発生頻度は一般の重力崩壊型超新星 (CC SN) の $1/1000$ 程度
- 重力崩壊によって GRB が引き起こされるための条件は？



戸谷さんのホームページ

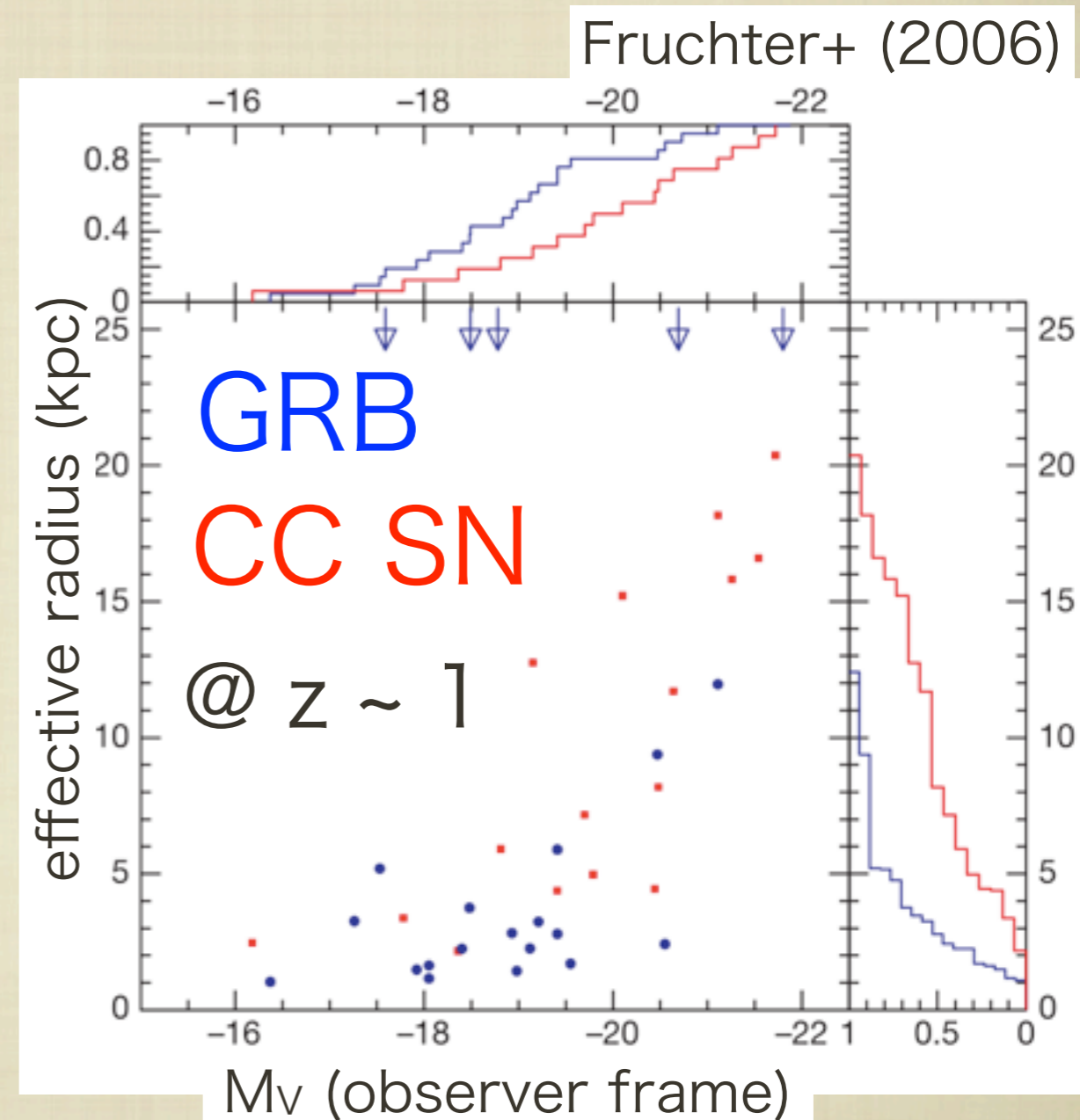
GRB起源天体の金属量

- 中心エンジンの形成には角運動量が必要
- 角運動量の維持には低金属量が必要？
- 恒星進化モデルを用いた研究
 - $Z \lesssim 0.1 Z_{\odot}$
 - 不定性は大きい
 - 高金属でも可能なモデルもある
 - 連星モデル
- GRB母銀河の観測も低金属を示唆
 - e.g. Modjaz+ (2008)
 - 分光観測による金属量は比較的赤方偏移 ($z \lesssim 1$) のみ。
- 遠方GRB頻度の予言にも影響



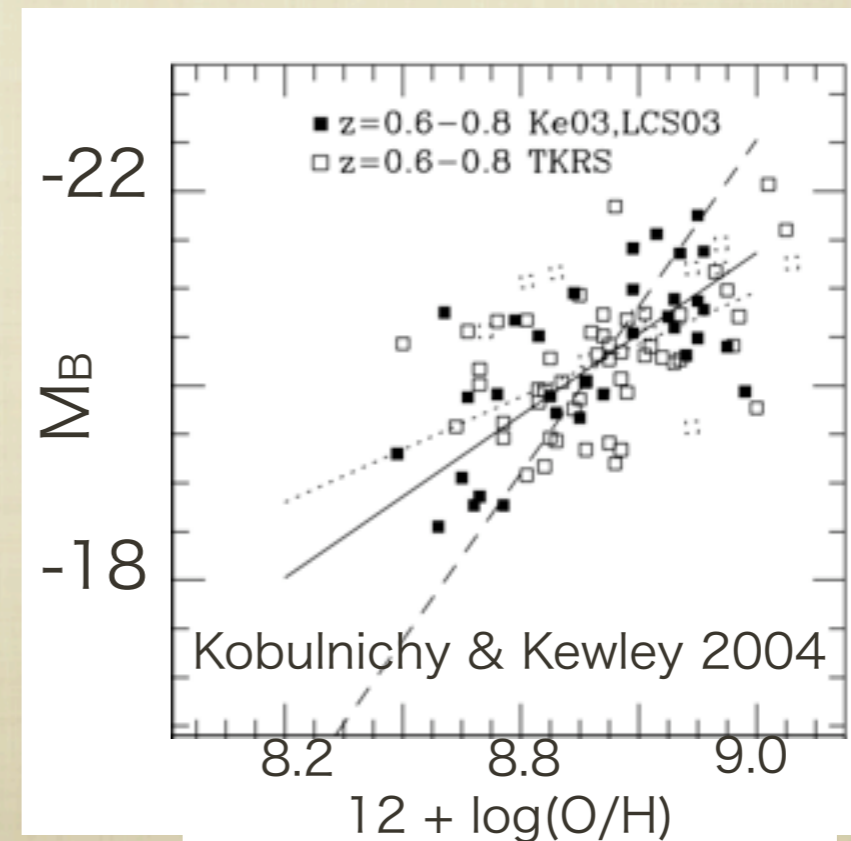
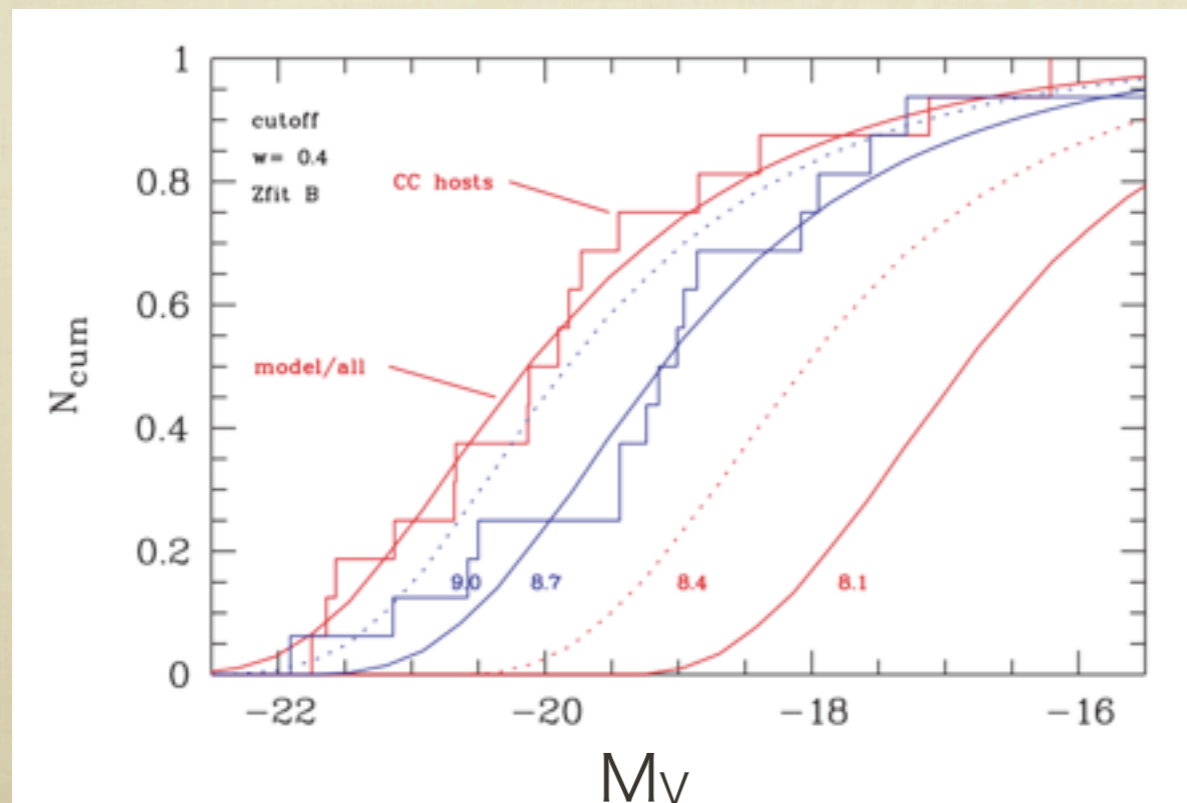
母銀河の光度/大きさからの示唆

- GRB母銀河はCC SN母銀河に比べて暗く小さい (Fruchter+ 2006)。
- $\Delta M_V \sim 1$ mag
- 同程度の赤方偏移で比較
- 一般的に星質量の大きい銀河は金属量が高い。
- GRBの低金属星モデルに定性的に合致



母銀河光度分布の定量的解釈

- Wolf & Podsiadlowski 2007
 - 銀河の性質に関する経験則 (e.g. L-Z関係) を用いてGRB母銀河の光度分布を再現
 - GRBが $\sim Z_{\odot}$ でも起きると考えた方が観測に合う
 - 恒星進化モデルとは異なる示唆
- ただし、L-Z関係などの経験則は $z \sim 1$ ではよく分かっていない。



Our Work

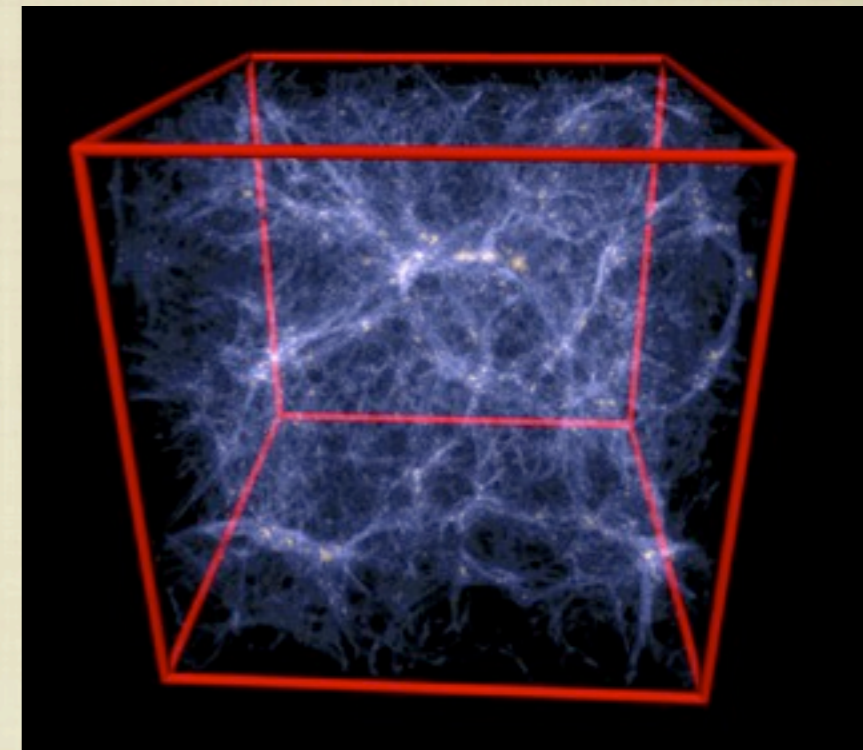
目的と手法

- GRB母銀河の光度分布からGRB起源天体の金属量を制限したい。
- 宇宙論的流体シミュレーションを使用
- GRBがさまざまな金属量の星生成をトレースする場合について、期待される母銀河の光度分布を観測と比較

Models

Cosmological Simulation

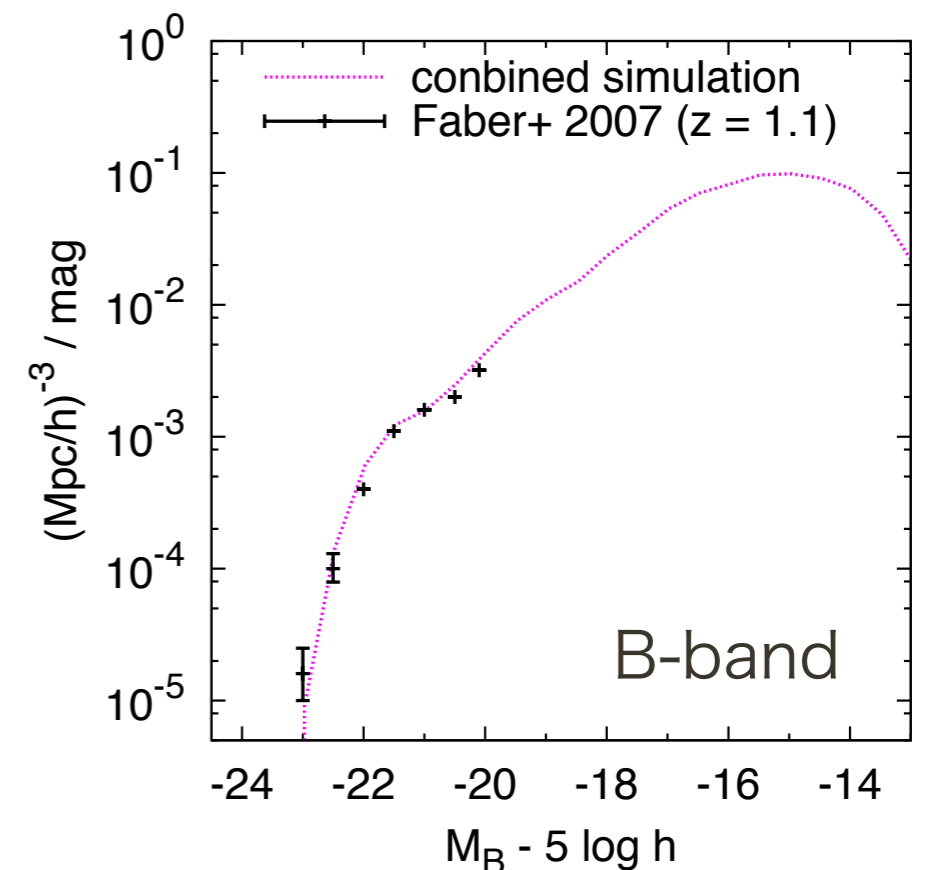
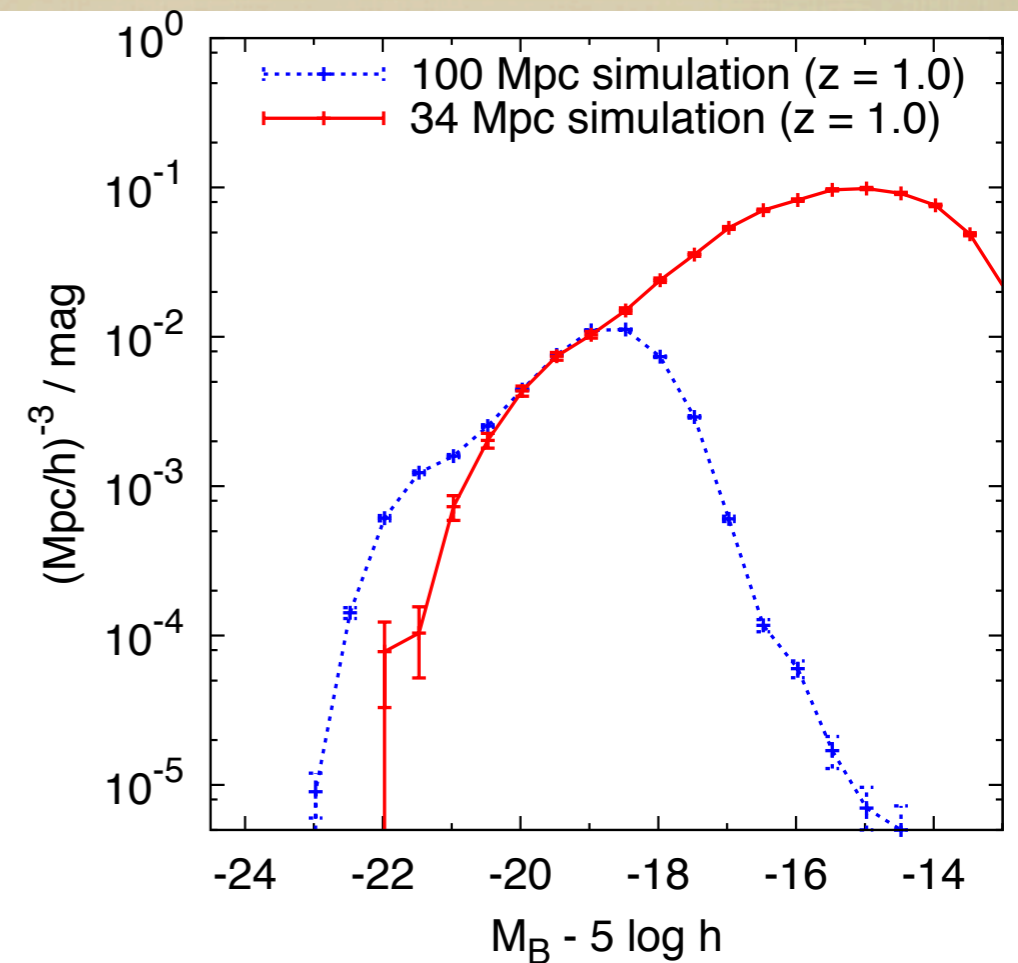
- 粒子を使った流体計算 (SPH) コードを使う
 - GADGET-3 (updated Springel 2005)
 - metal cooling を追加 (Choi & Nagamine 2009)
- シミュレーションボックス: 34, 100 Mpc
 - ガス及びダークマター粒子: 各 400^3
 - 1 粒子あたり $10^{7-9} M_{\odot}$
 - 最大空間解像度 ~ 1 kpc
- 星生成およびフィードバック (エネルギー + 金属) はモデルを仮定して同時に計算
- あるしきい値以上のバリオン密度をもつバリオンの集団を銀河と見なす。
 - $\rho_{\text{th}} = 10^{-26} \text{ g/cm}^3 \sim 10^3 \rho_{\text{crit}} \sim 10^{-2} \text{ cm}^{-3}$



an illustration of cosmological SPH simulation, taken from the website of GADGET-2

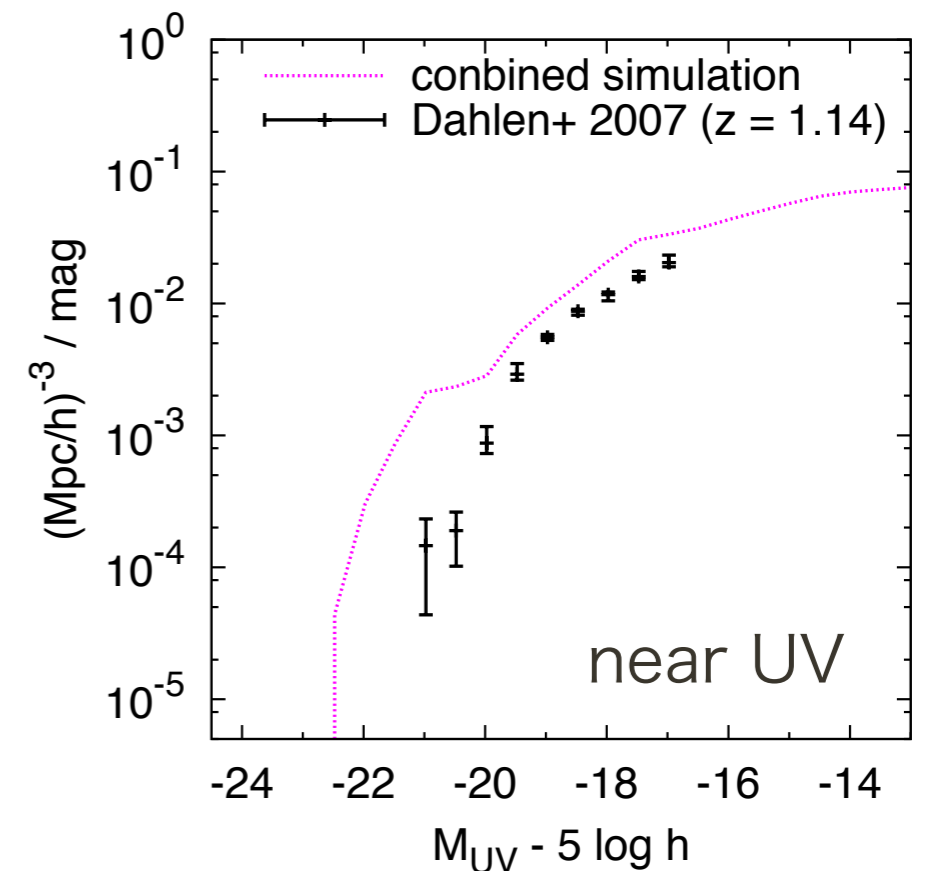
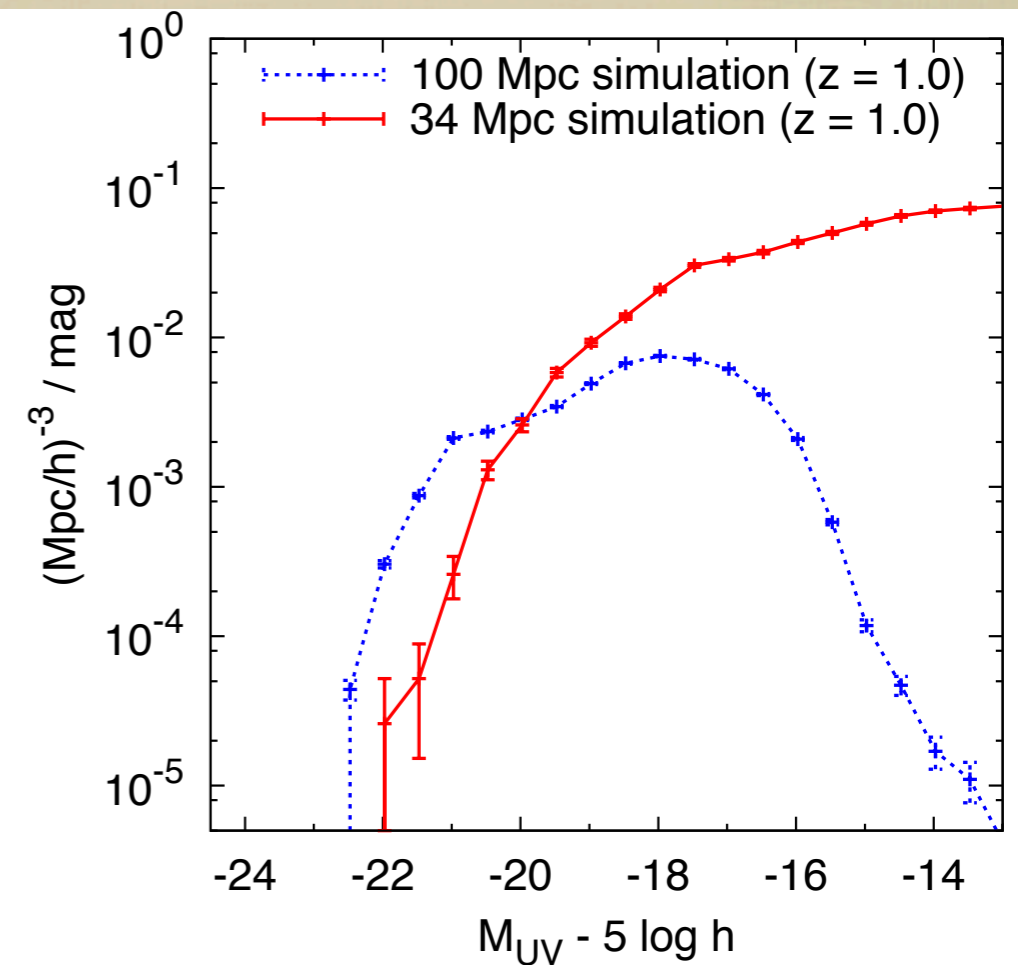
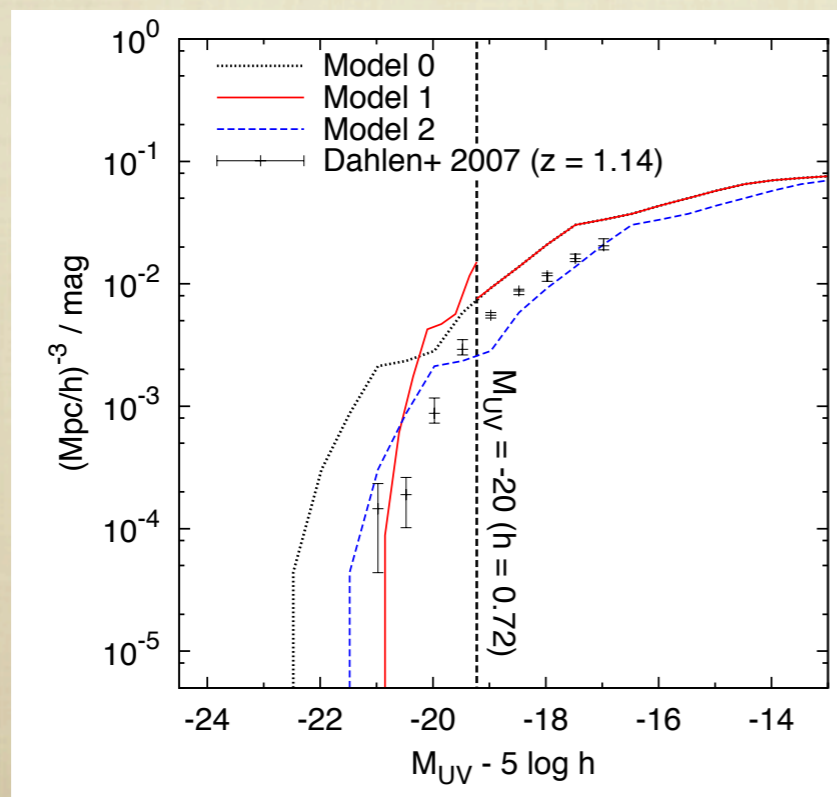
銀河の光度

- 各星粒子のスペクトルを銀河ごとに合計
- Bruzual & Charlot (2003) のモデル
- 星粒子の年齢と初期金属量できまる
- 減光は簡単なモデルを仮定する
 - $A_V \propto$ 金属柱密度
- 大きいシミュレーションボックスは大規模構造を再現できるが、解像度は悪い。
- 小さいシミュレーションボックスは解像度はいいが、大規模構造を再現しない。
- B-band で観測とよく合う



銀河の光度

- rest UV ではbright-end を過大評価
- 考えられる原因
 - AGN フィードバックが無いので大質量銀河で星生成率が高すぎる？
- ad hoc なテストによると結果への影響は少ない



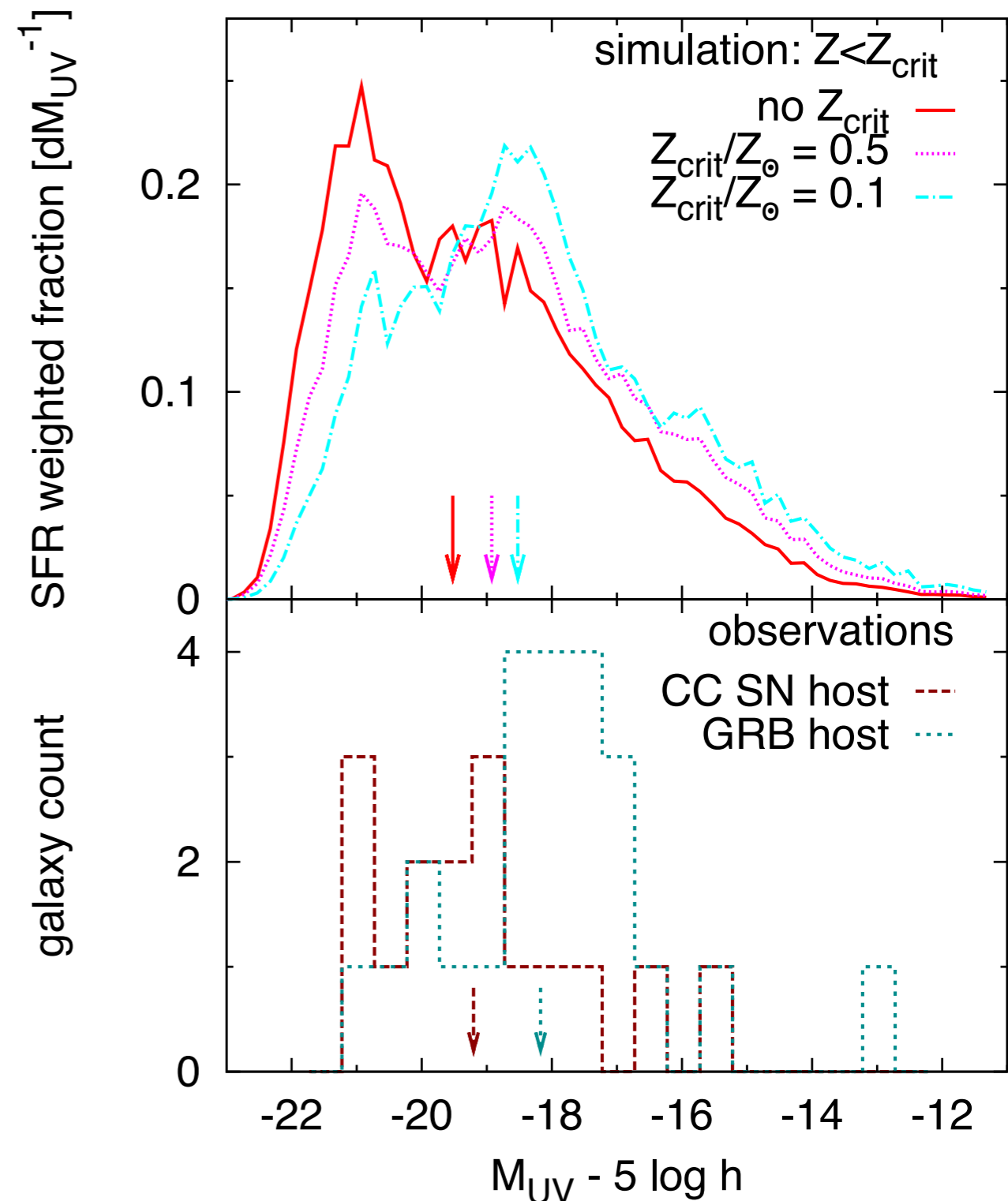
各銀河内でのGRB発生頻度

- シミュレーションの各銀河は $\sim 30 - 1000$ のガス粒子を含み、各粒子がSFR の情報を持つ
- ある Z_{crit} 以下のガスからの星生成がGRB 頻度を決定
 - $R_{\text{GRB}} \propto \sum_{Z < Z_{\text{crit}}} \text{SFR}_{\text{particle}}$
- $R_{\text{GRB}}/\text{SFR}$ の比は銀河ごとに異なり、主に金属量に依存する。
- シミュレーション銀河の光度分布を R_{GRB} で重みづけ

Results

母銀河の光度分布

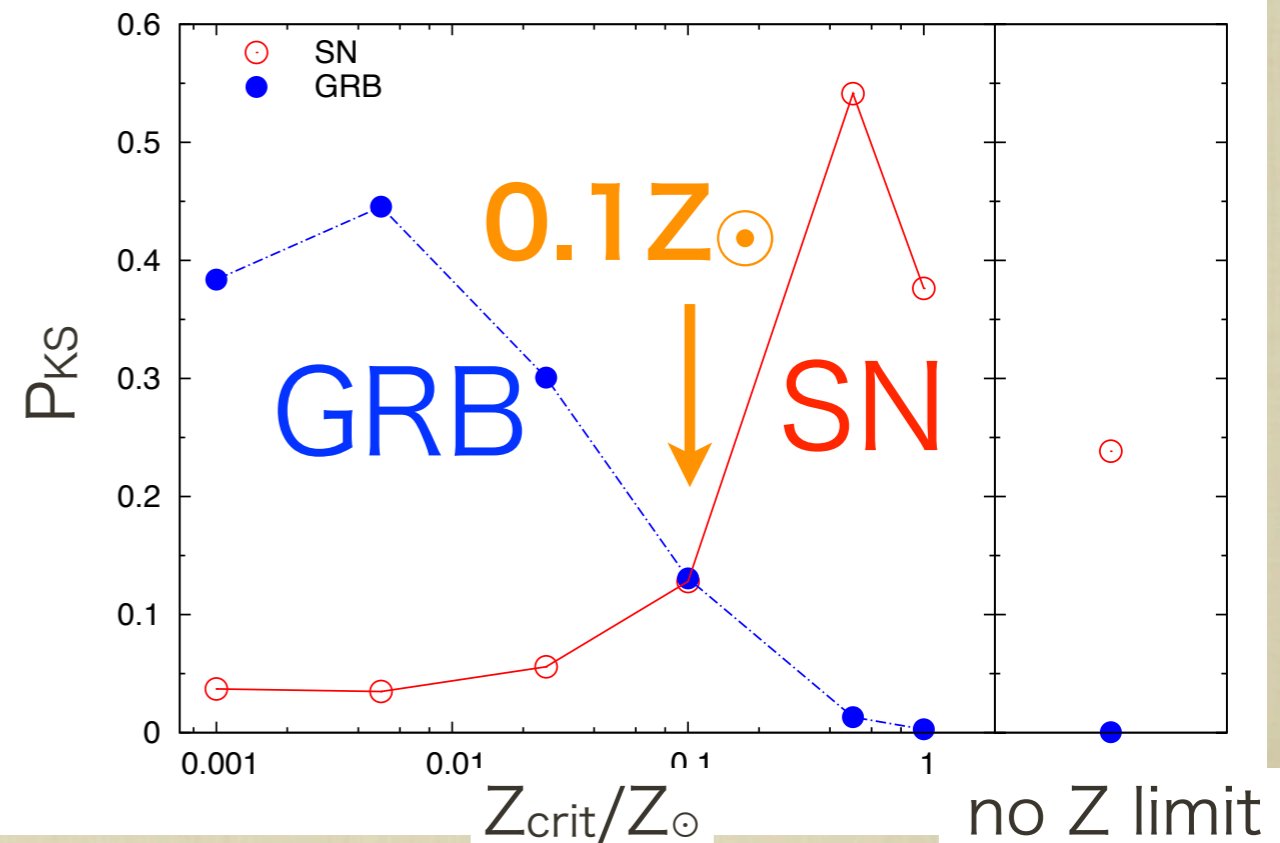
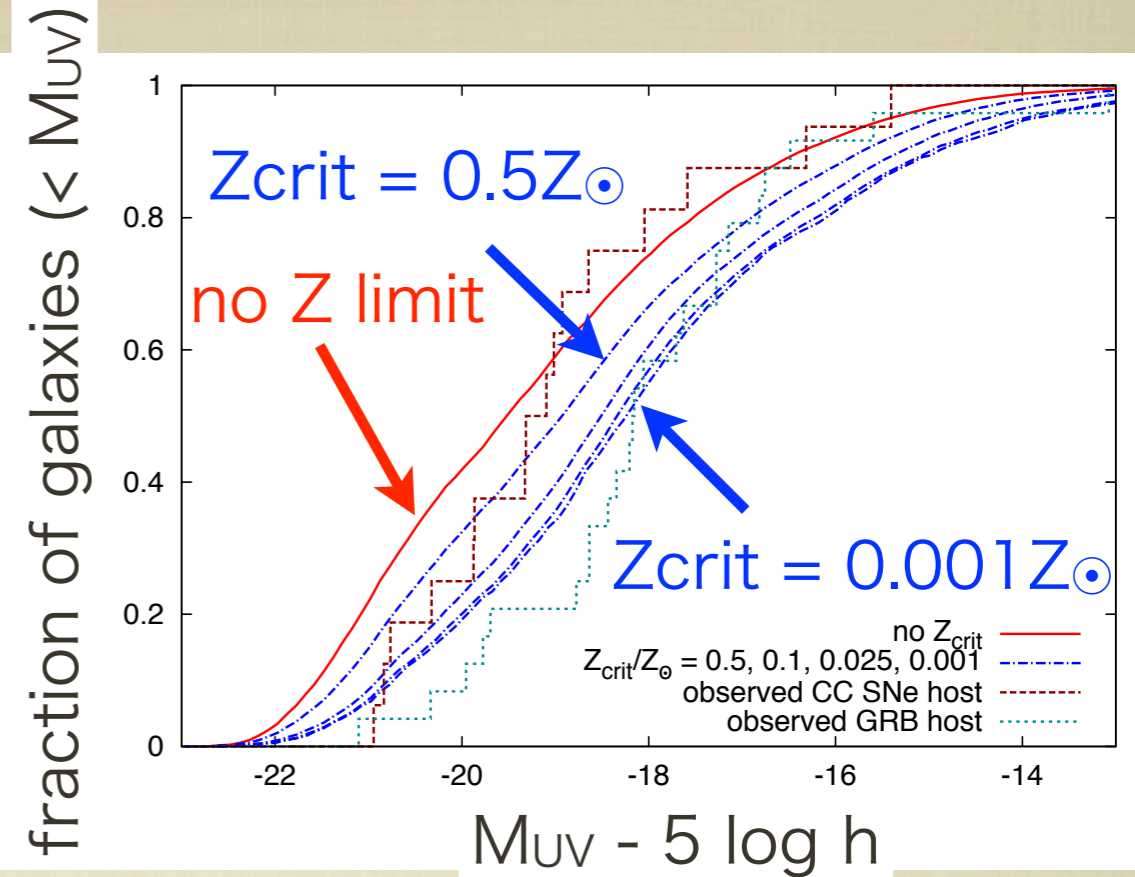
- シミュレーション銀河の光度分布を R_{GRB} で重みづけ
- Z_{crit} が小さいほど母銀河の光度は暗くなる
- Z_{crit} 無しと $Z_{\text{crit}} = 0.1Z_{\odot}$ で1等程度の違い
- CC SN 母銀河とGRB 母銀河の違いに一致



観測との比較

- 累積分布をプロットし、Kolmogorov-Smirnov (KS) 検定を行う。
- $Z_{\text{crit}} > 0.1 Z_{\odot}$: SN host
- $Z_{\text{crit}} \leq 0.1 Z_{\odot}$: GRB host

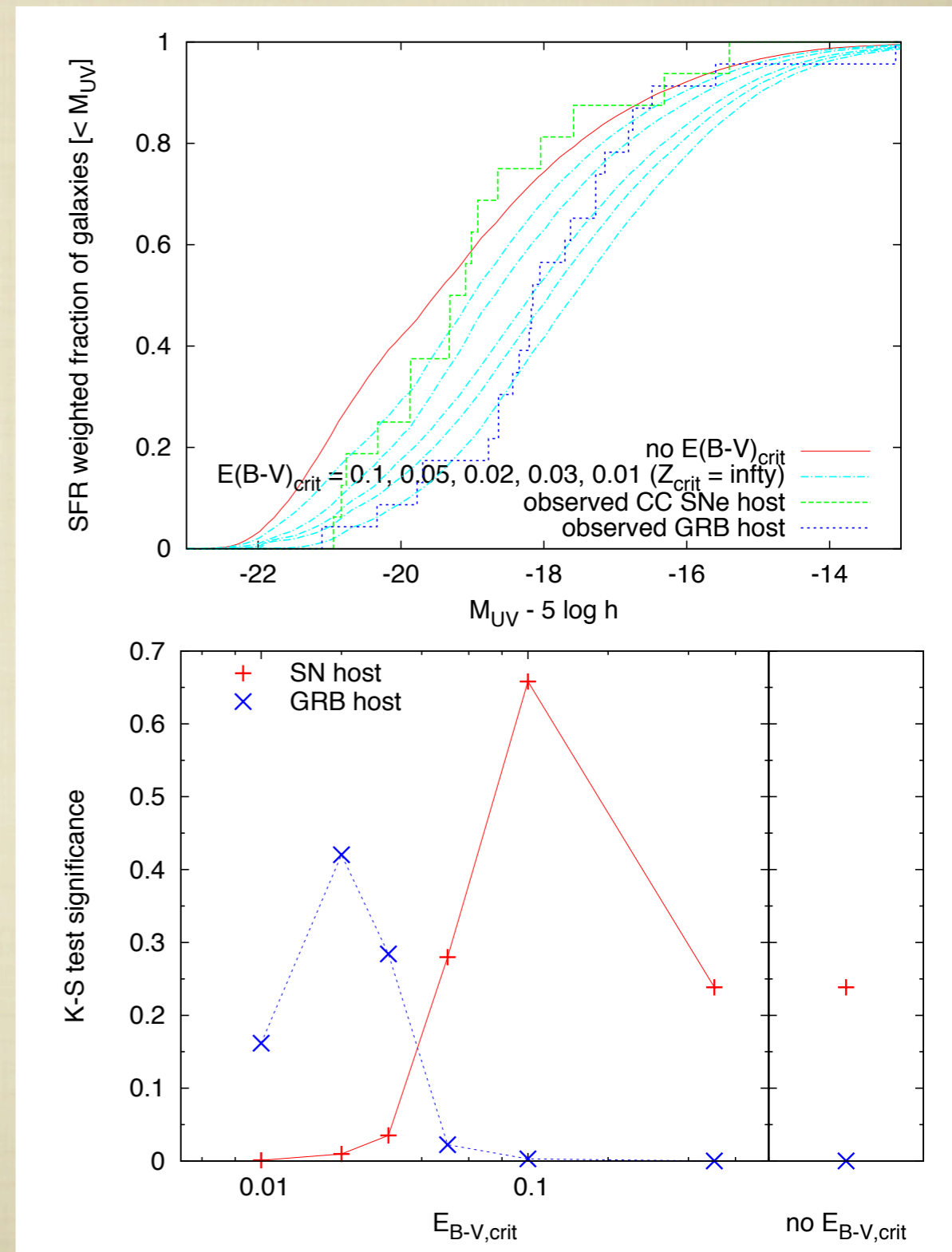
恒星進化の理論研究の結果を支持する。



議論

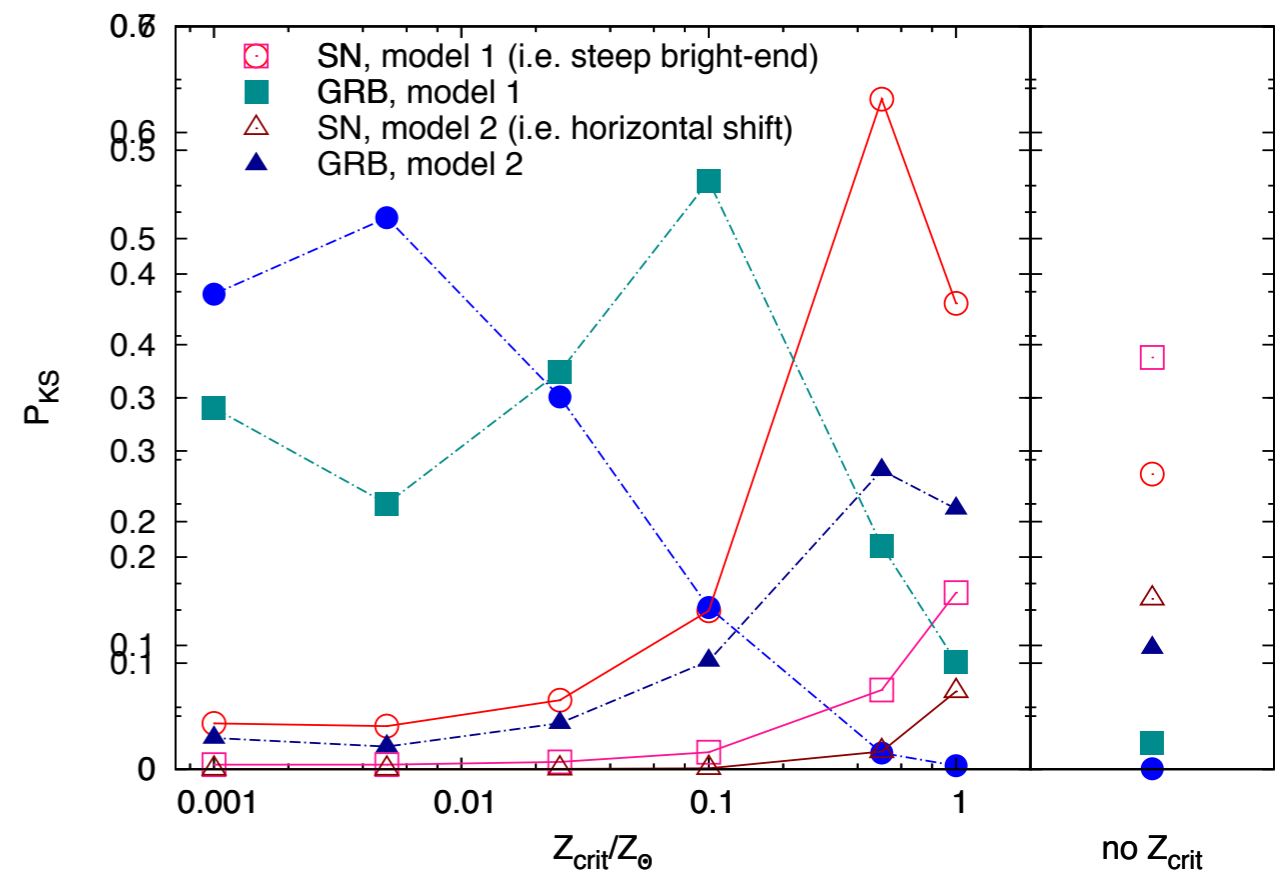
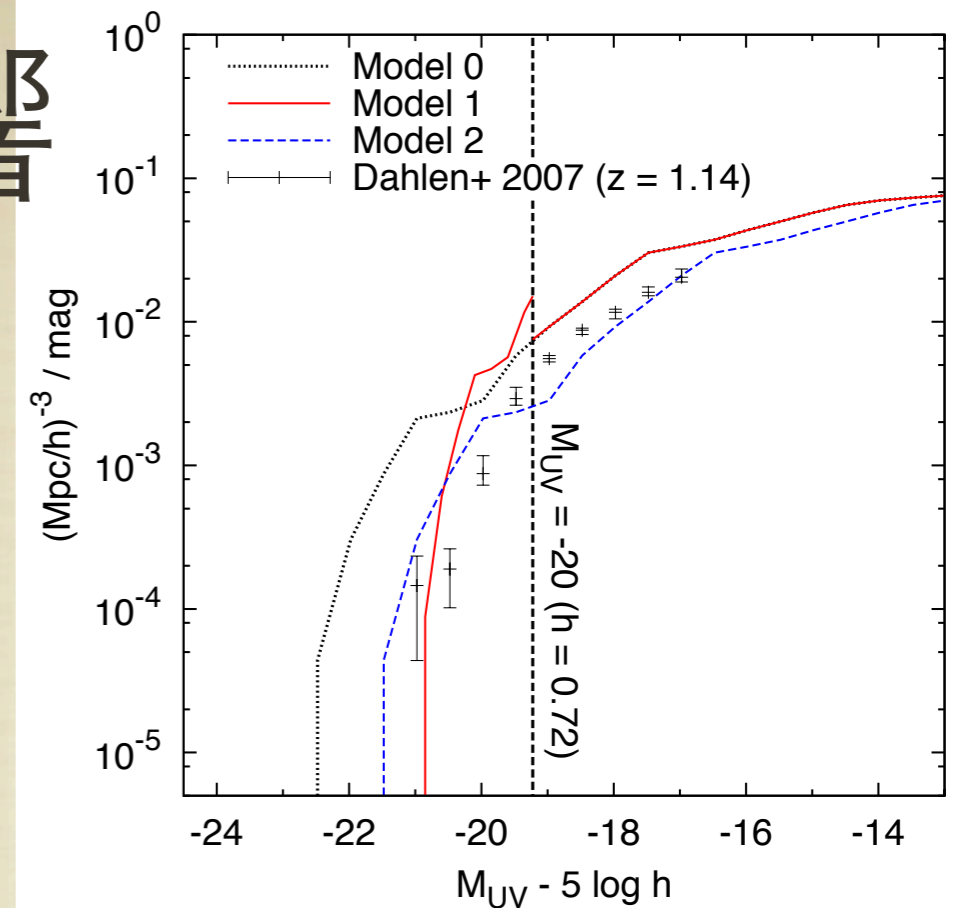
ダスト減光の効果

- 金属量の代わりに、母銀河のダストのしきい値を考える
- $E_{B-V} \propto$ 金属柱密度
- $E_{B-V} < E_{B-V,crit}$
- 各銀河で $R_{GRB} \propto SFR$
- $E_{B-V,crit} > 0.1$ はほぼ影響無し
- 観測と比較： $E_{B-V,crit} \sim 0.03$
- 銀河全体より小さいスケールでの減光は考慮されていない。



UV光度過大評価の影響

- 明るい側でのUV光度分布関数の過大評価の影響を調べたい。
- 普通の銀河のUV光度分布が観測にあうように銀河の光度を手で直して、GRB母銀河のUV光度分布の変化を見る。
- Model 1: bright-end slopeの傾きを2倍にする
- Model 2: 全ての銀河を $\Delta M_{UV} = 1.0$ だけ暗くする
- やはりGRBには $Z_{crit} \leq 0.5Z_{\odot}$ がいい。

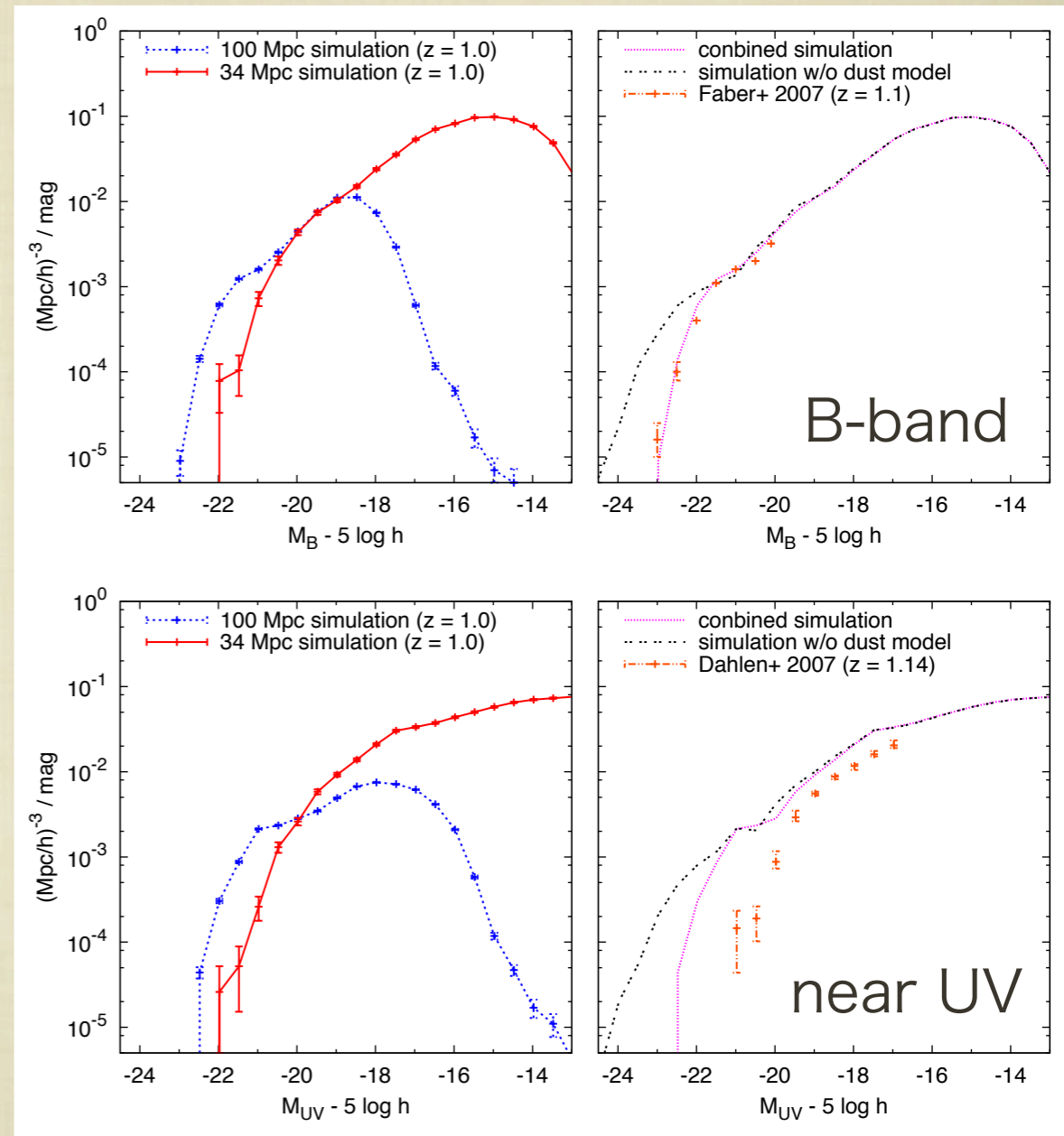


まとめ

- 宇宙論的流体シミュレーションの結果を用いてGRB 母銀河 ($z \sim 1$) の光度分布を計算
- GRBは低金属の星生成 ($Z < Z_{\text{crit}}$) をトレースする
 - Z_{crit} 果無しの場合と $Z_{\text{crit}} = 0.1Z_{\odot}$ の場合で1 mag の違い
 - GRB母銀河の光度分布はGRB金属量の指標になる
 - 現在の観測サンプルは理論予言と無矛盾
- 銀河スケールのダストによる観測バイアスには影響されにくい。

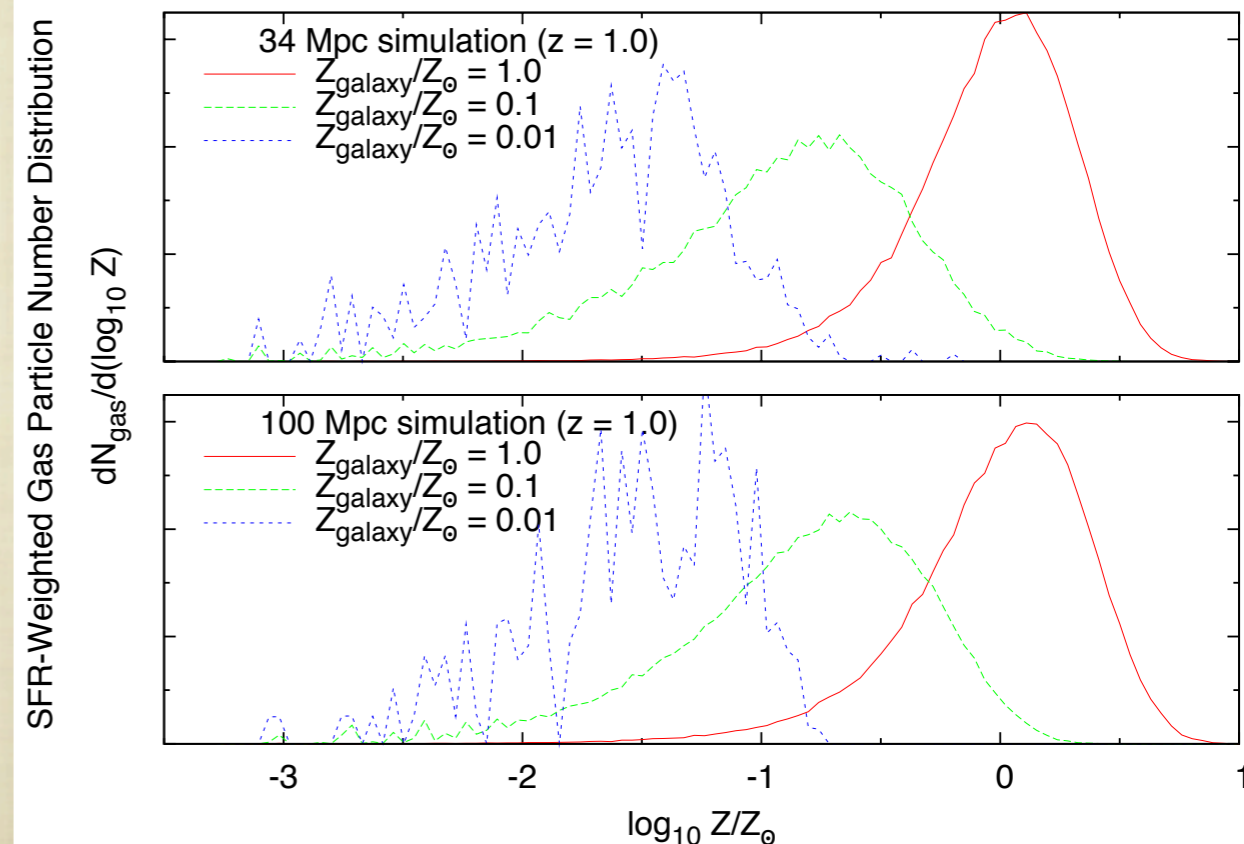
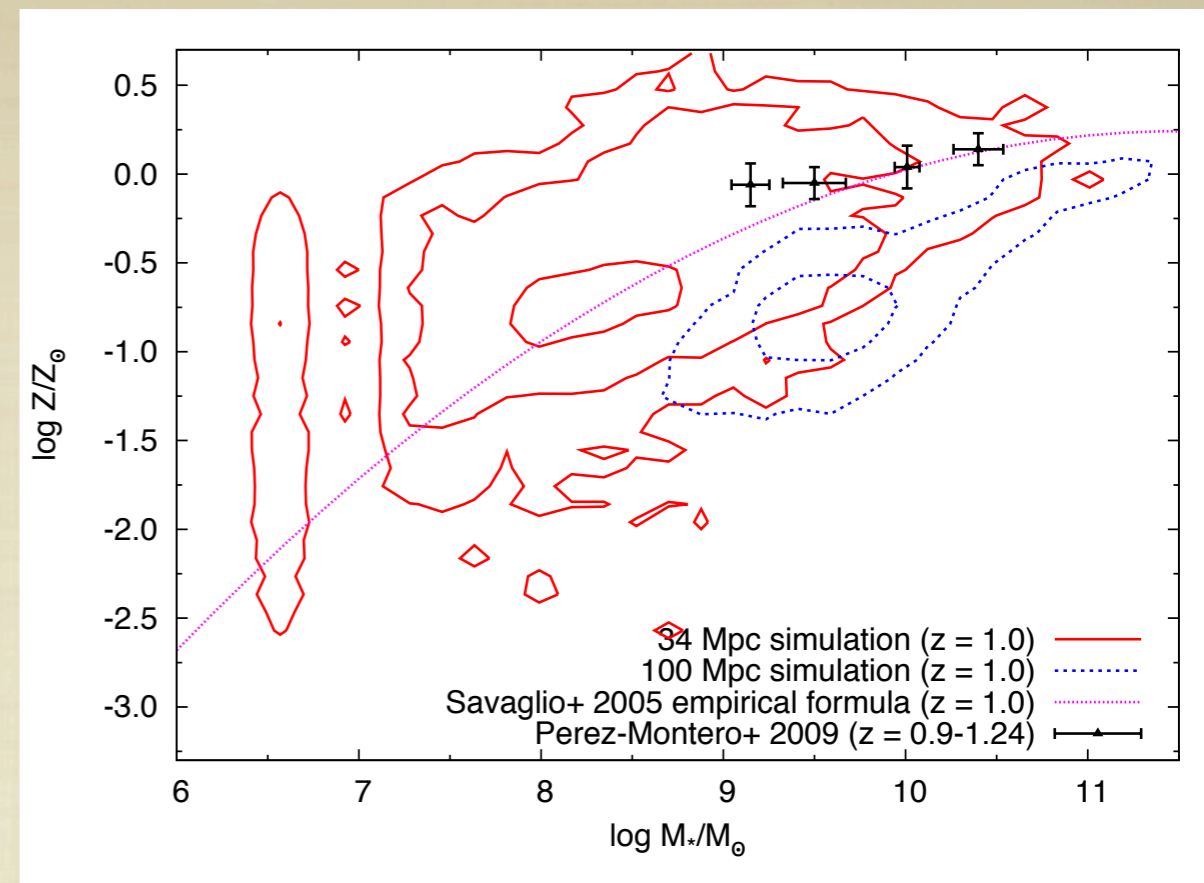
銀河の光度

- 各星粒子のスペクトルを銀河ごとに合計
 - Bruzual & Charlot (2003) のモデル
 - 星粒子の年齢と初期金属量できまる
- 減光は簡単なモデルを仮定する
 - $A_V \propto$ 金属柱密度
- 大きいシミュレーションボックスは大規模構造を再現できるが、解像度は悪い。
- 小さいシミュレーションボックスは解像度はいいが、大規模構造を再現しない。
- B-band では観測とよく合う
- rest UV ではbright-end を過大評価



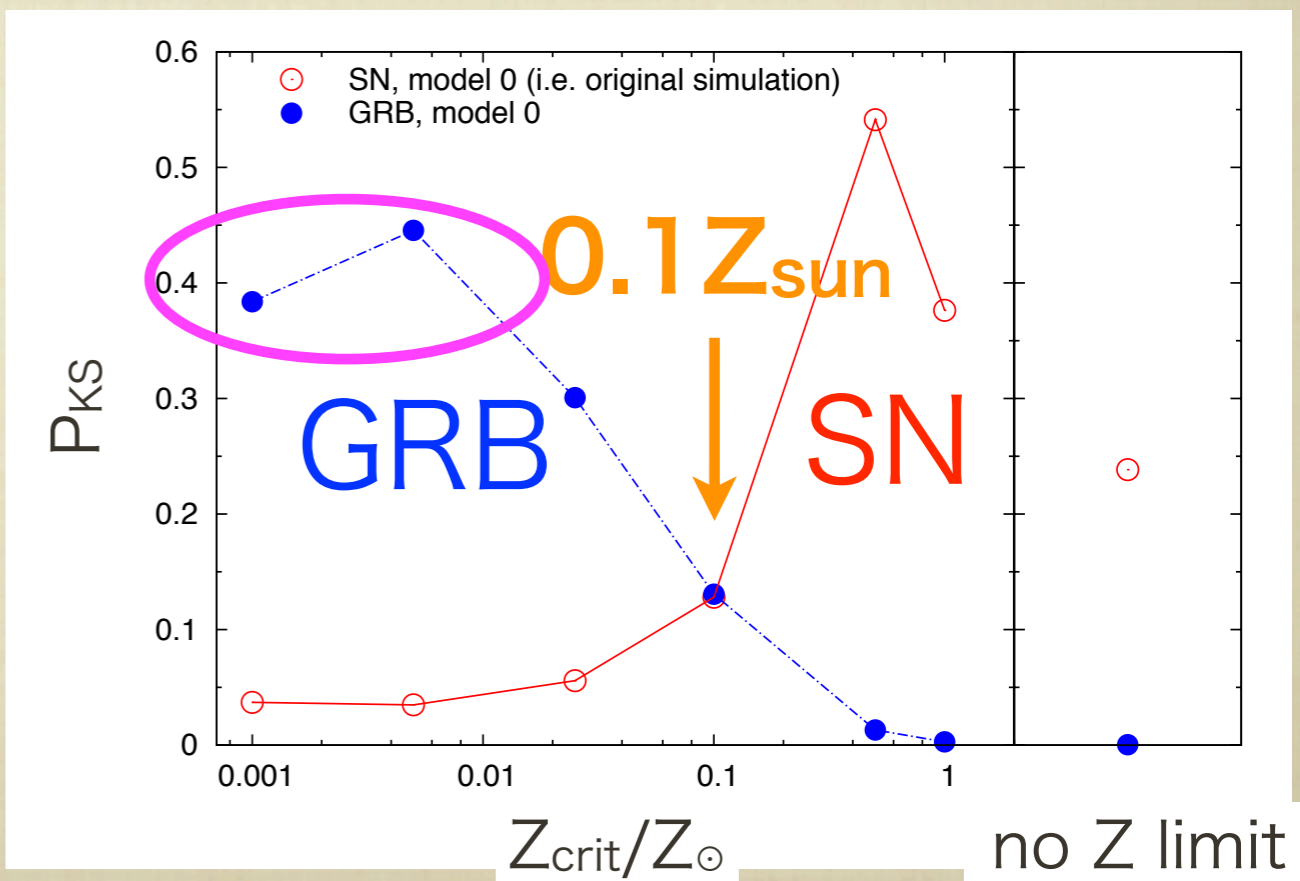
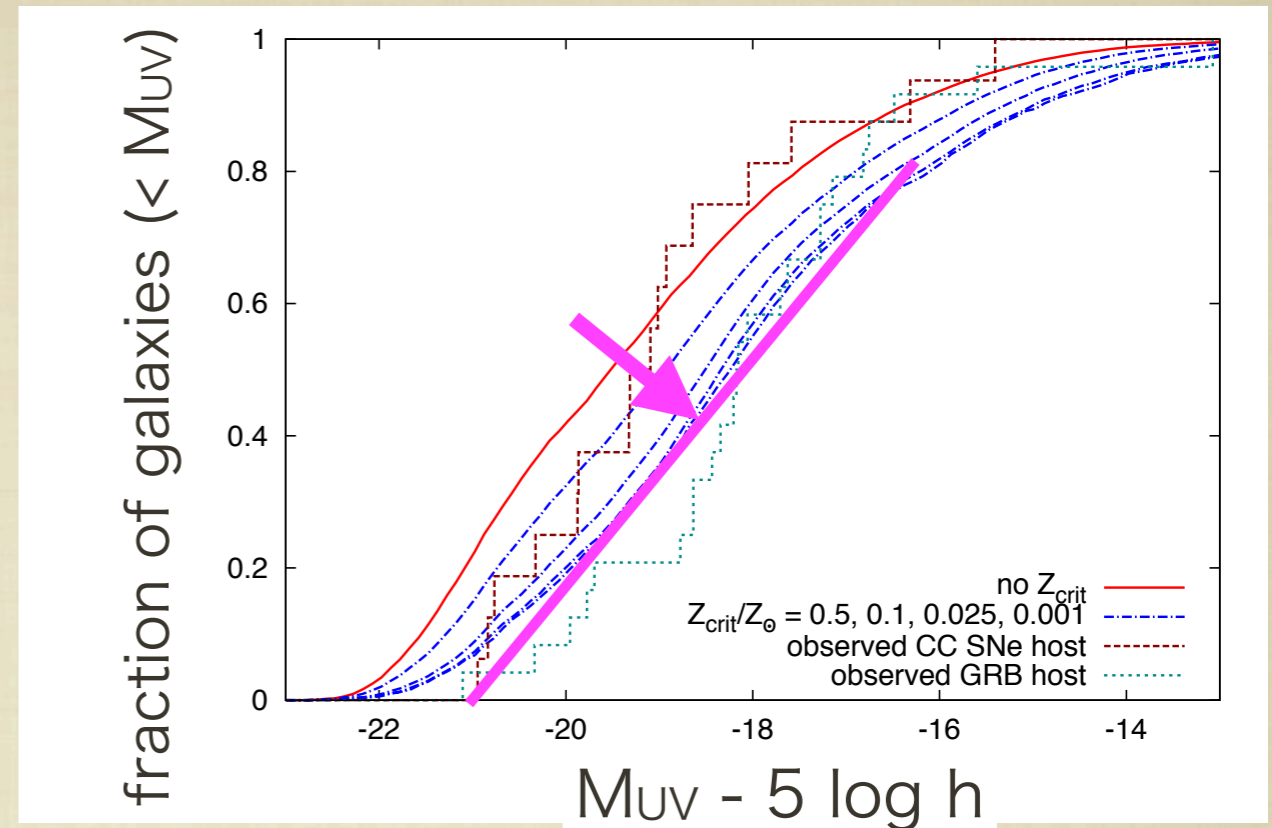
銀河の金属量

- シミュレーションの中の化学進化に問題がないか確認
- M_{\star} - Z relation を調べる
 - Z : 銀河内でガスに含まれる金属の質量割合
 - M_{\star} : 各銀河の全星質量
- 二つのボックスの結果を合わせれば観測と無矛盾



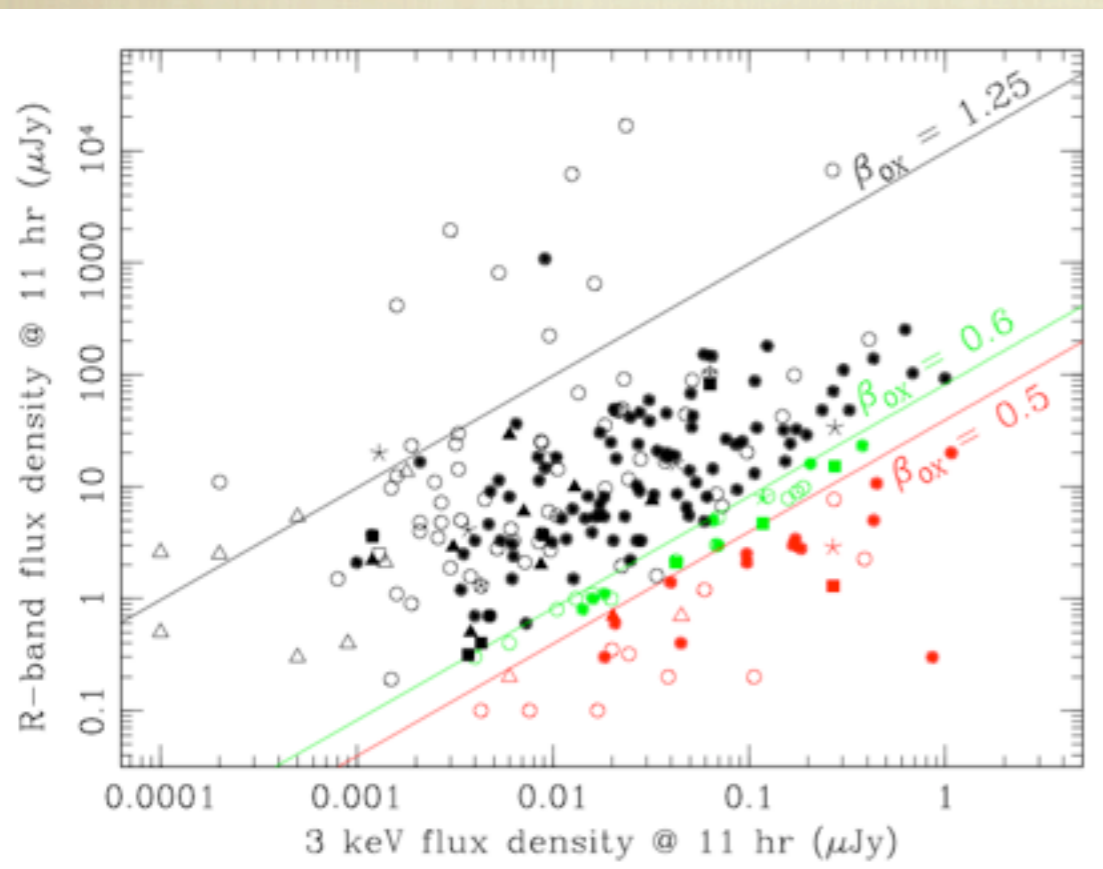
低金属側での注意

- $Z_{\text{crit}} < 0.1 Z_{\odot}$ では母銀河の光度分布はあまり変わらない
- これは解像度の制限による効果かもしれない (違うかもしれない)
- 我々のシミュレーションでは質量の非常に小さい銀河は作れない ($< 10^7 M_{\odot}$)。
- 非常に小さい金属量しきい値 ($Z_{\text{crit}} \leq 0.01 Z_{\odot}$) が観測と本当に矛盾しないか、我々のモデルでは分からない。



“Dark” GRBs

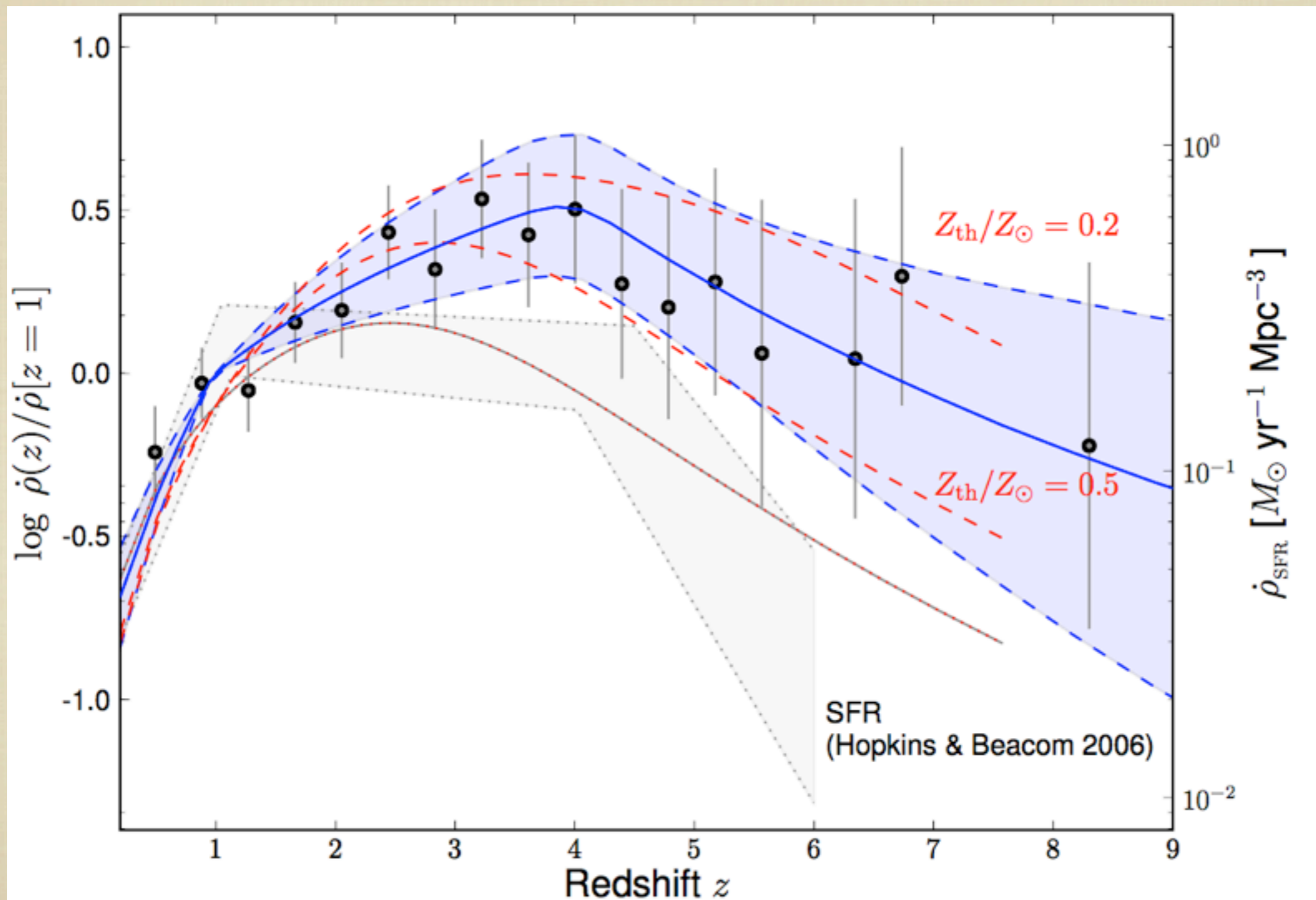
- 可視残光 (OA) の暗いGRBを”dark” GRB とよぶ ($\beta_{\text{ox}} < 0.5$) 。
- 母銀河内のダスト or 高赤方偏移での中性IGM による減光？
- Swift GRB の10-50% (no detection of OA: $\sim 40\%$ of Swift GRBs)



Zheng+ (2009)

- 赤化の強い (あるいは高金属な) 母銀河は (said to be) “dark” GRB の母銀河である事が多い。
- ダスト減光を受けたGRBについて赤方偏移や母銀河の同定が難しい。
- 母銀河の観測サンプルがダストの少ない銀河に偏っているかもしれない。

赤方偏移分布



Butler+ (2010)