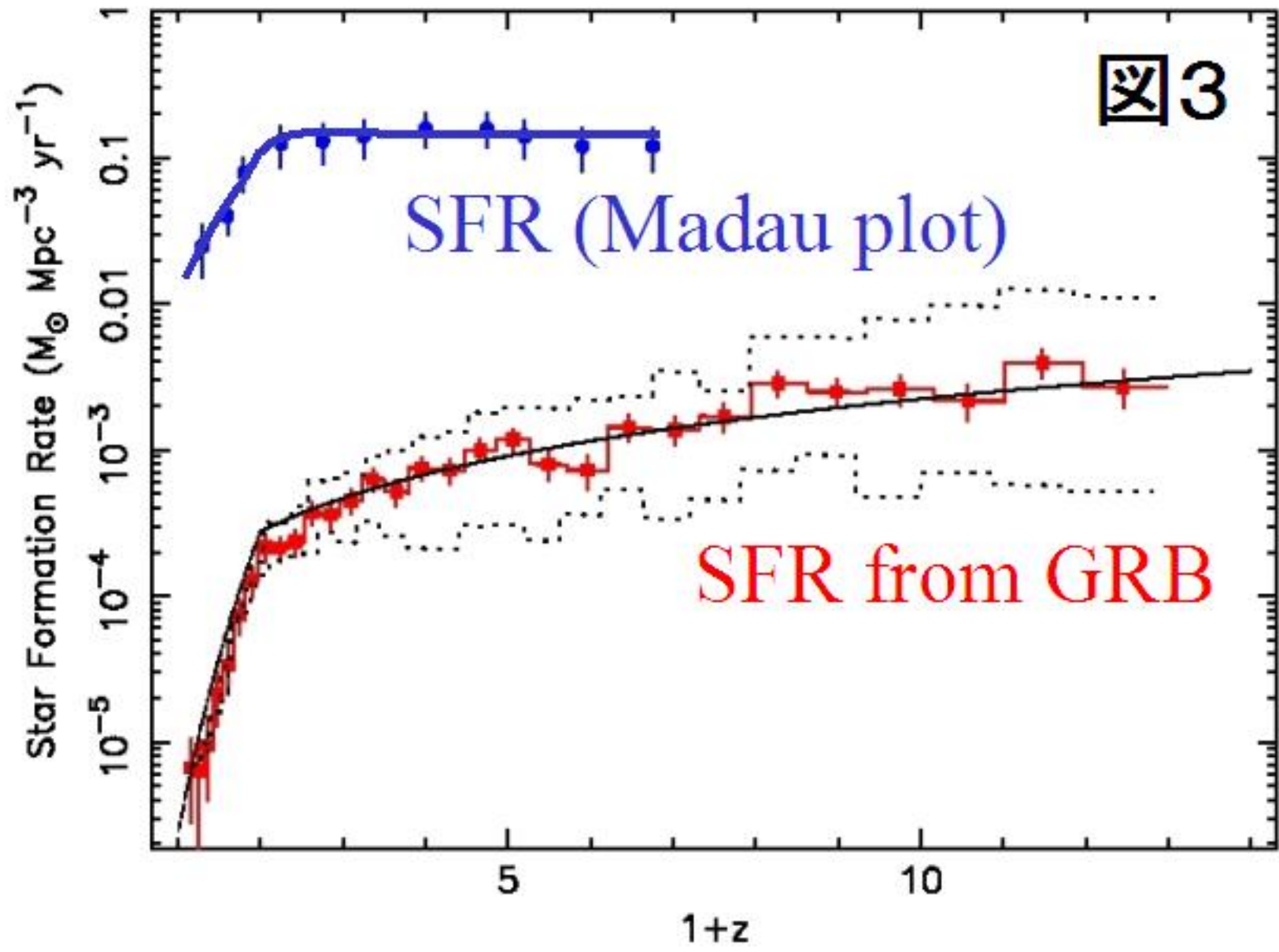
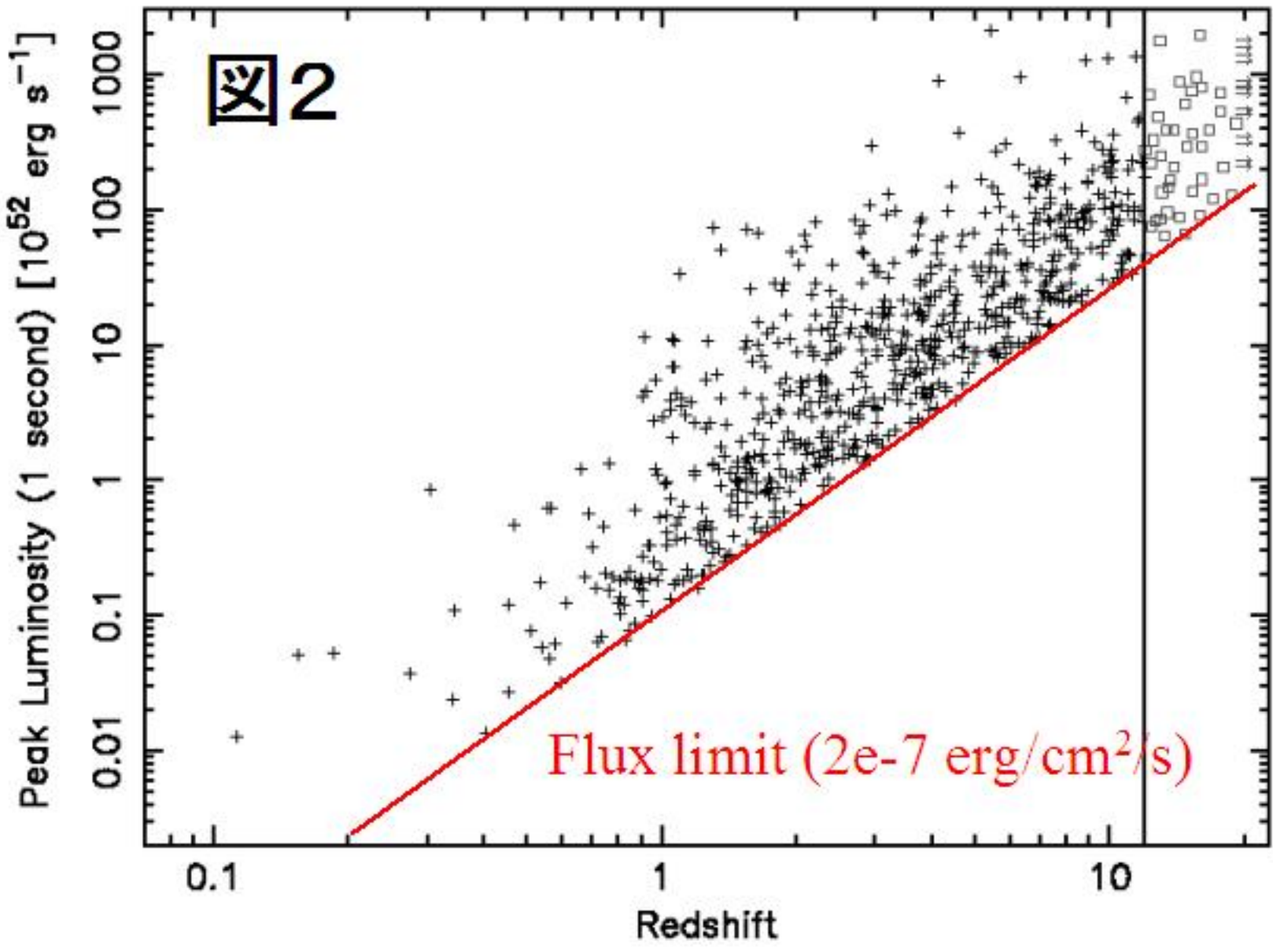
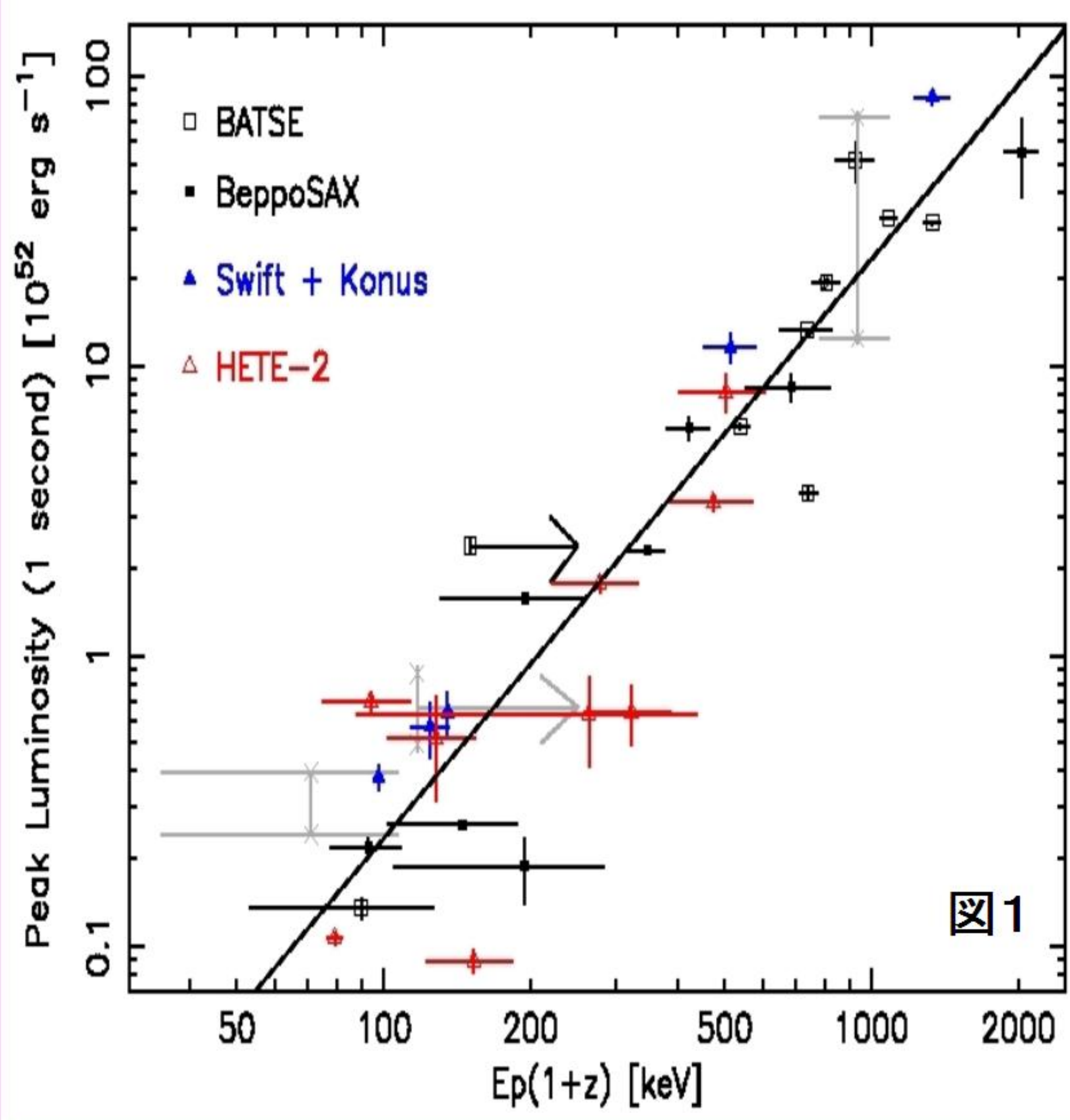


ガンマ線バーストで探る宇宙進化

金沢大学 米徳大輔、村上敏夫

これまでの研究で、ガンマ線バースト(GRB)のスペクトルには、ピークエネルギーとピーク光度の間に強い相関があることを示してきた。図1に示す E_p – Luminosity 関係が全てのGRBに適用されると考えると、GRBの距離指標として利用することができる。すなわち、距離のわからないGRBに対して、 E_p – Luminosity 関係を用いて「距離推定」が行えるのである。本講演では、 E_p – Luminosity 関係をベースに導出した GRB 発生率から、「宇宙再電離」、「銀河間空間の金属汚染」、そして最近注目を集めている「赤外線背景放射」について議論する。また、その中に潜在する問題点について明確にし、これまでの理論的枠組みで修正されるべき点を考える。

Ep – Luminosity Relation (Yonetoku et al. 2004)



GRBの νF_ν スペクトルには強度が最大になるピークエネルギー(E_p)が存在する。この E_p と、時間変動の中に見られる最大光度(L_p)の間には図1に示すような強い相関関係があることを見つけている。その相関関係は $L_p \propto [E_p(1+z)]^{2.0}$ であり、観測者の系での E_p とフラックス(F_p)を用いて次のようにあらわせる。

$$\frac{d_L^2}{(1+z)^{2.0}} = \frac{2.34 \times 10^{47}}{4 \pi F_p} E_p^{2.0}$$

d_L は光度距離、 z は赤方偏移

図1の相関が全てのGRBに存在すると考える限り、 E_p と F_p を観測してGRBまでの距離が推定できる。

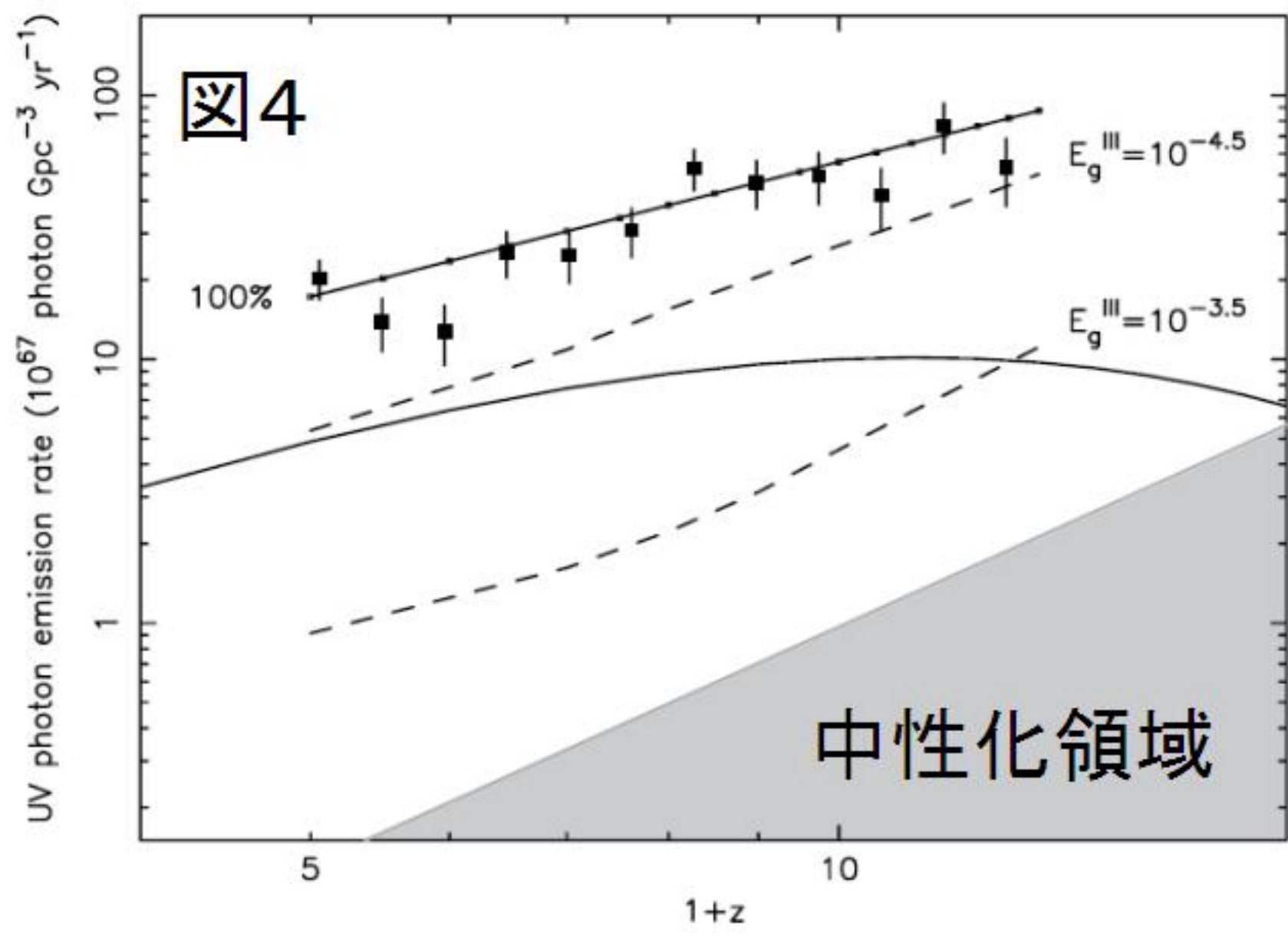
BATSE 検出器が観測した700例ほどの明るいGRBについて、上記の方法で距離と光度を推定したものが図2である。また、図2の赤方偏移分布から単位 comoving volume あたり、単位時間あたりのGRB発生率を計算したものが図3(赤線)である。この結果から、 $z > 10$ のような初期宇宙では現在と比べて100倍以上もGRBレートが高かったと考えられる。図3(青)は紫外・可視・赤外線観測から得られた星生成率で、いわゆるMadau plotと呼ばれるものである。赤線と青線でfactor 300 程度のギャップがあるのは、大質量星の全てがGRBを起こすのではなく、1/300程度でしかないと解釈できる。

(1) 宇宙再電離

宇宙で最初に輝く第一世代星(Population-III star)は $T = 10^5$ K の黒体放射で輝く。また、その光度は限りなくエディントン光度に近いとされている。図3(赤線)のSFRから、紫外線光度を見積もったものが図4のデータプロットである(Murakami et al. 2005)。

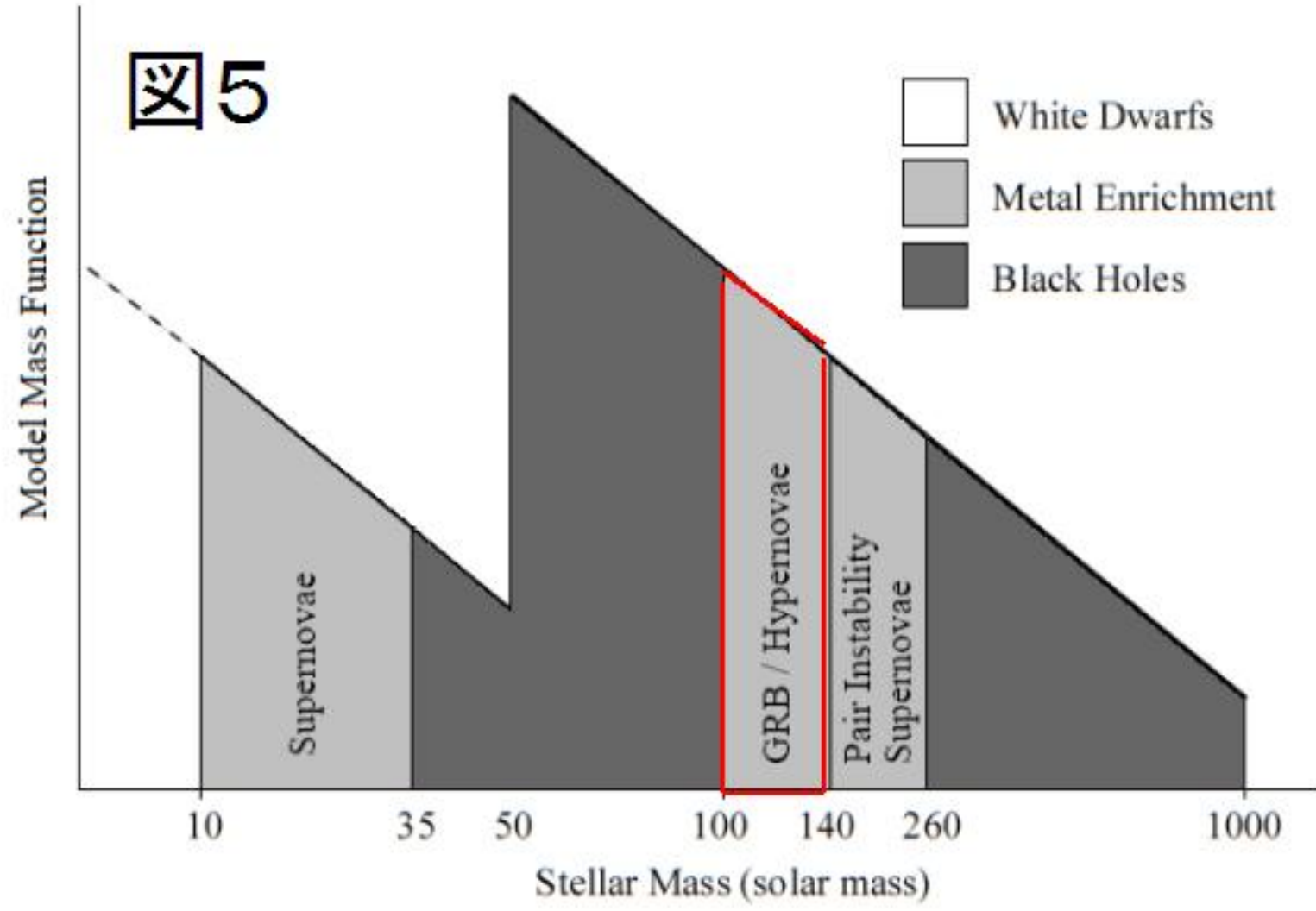
グレーは再結合時間から考えて、確実に中性化する領域。実曲線は密度ムラ(Clumping Factor)から予想される中性化領域で、これよりも紫外線強度が強いと電離状態が維持される。2本の点線はPop-IIIの進化モデルを含めた結果。

初期宇宙で再電離は可能であるが、Pop-IIIの進化によっては再中性化される。



(2) 銀河間空間の金属汚染量

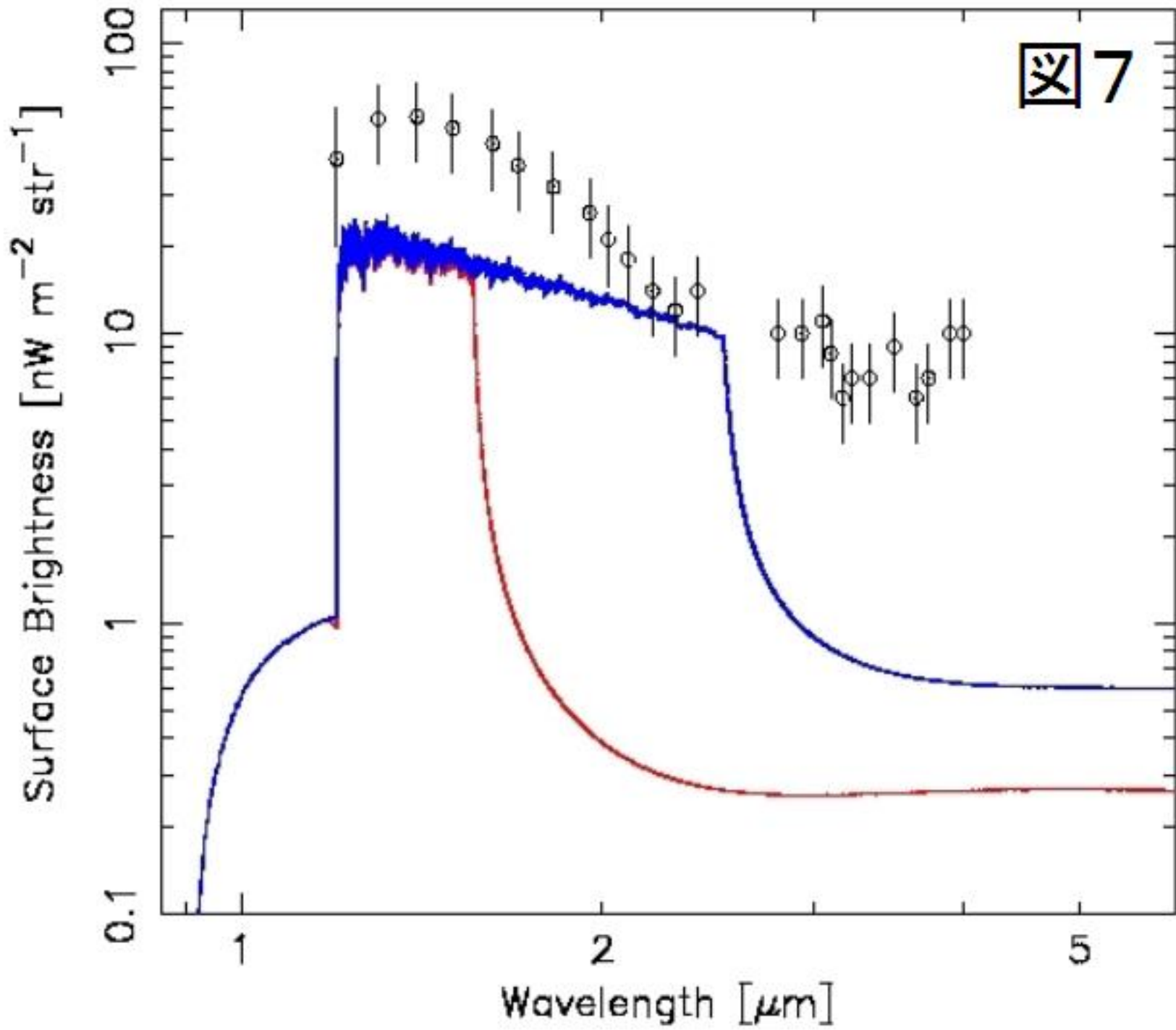
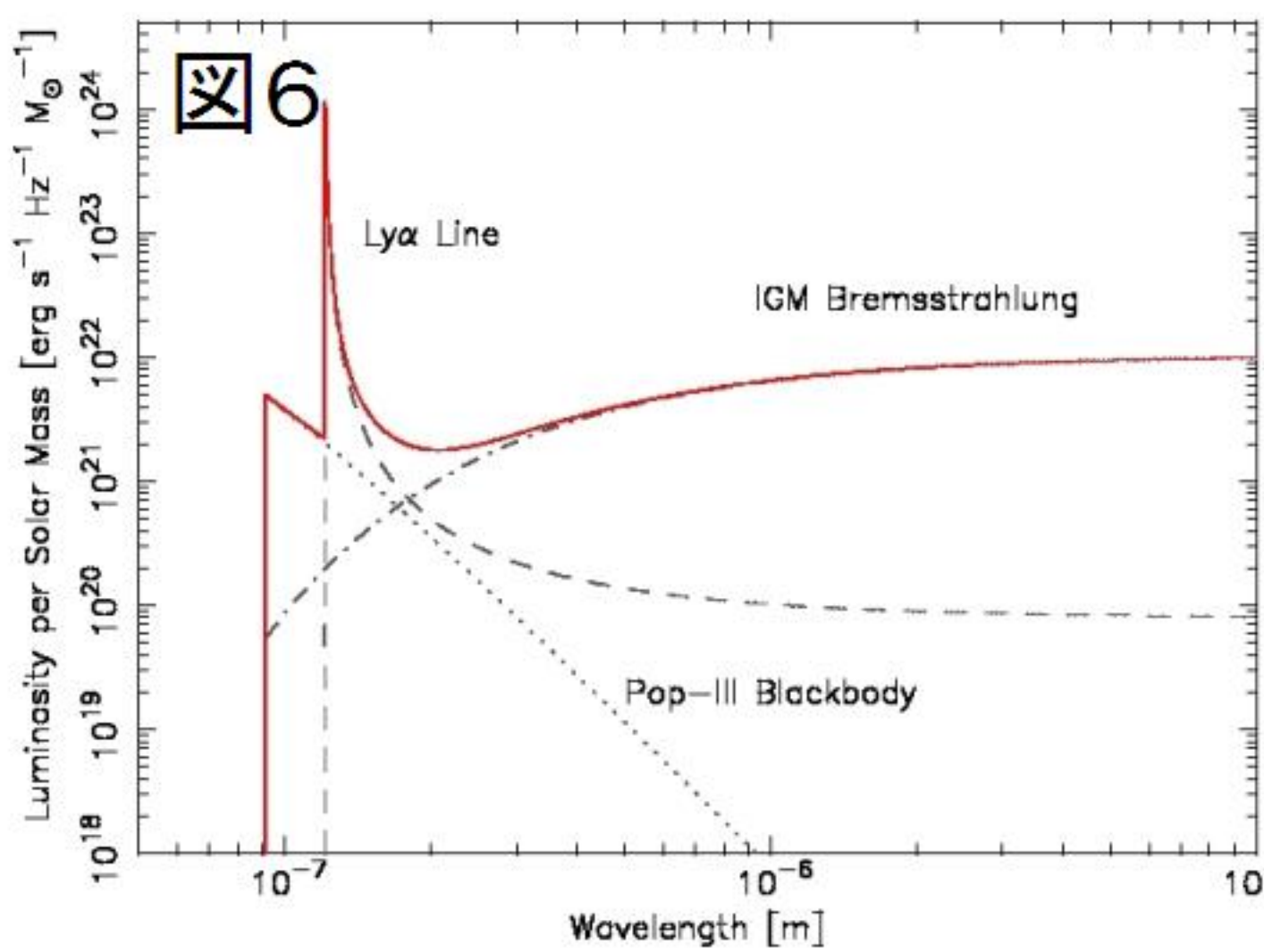
Nakamura & Umemura (2002)に代表される初期質量関数(IMF)によれば、Pop-IIIの大部分は $50 M_{\text{sun}}$ 以上の大質量星であり、図5のようなtop-heavy型。Heger et al. (2002)によれば、
● GRB 発生可能な mass range は $100 - 140 M_{\text{sun}}$ 、爆発時の金属放出量 10%
● Pair Instability SNe のmass range は $140 - 260 M_{\text{sun}}$ 、金属放出量 50%
図3(赤線)のSFRを用いて、放出される金属量を計算することができる。



Pop-IIIの生存時間が 10^7 yr程度あれば、QSO観測で知られているメタルアバundance $Z = 10^{-4} Z_{\text{sun}}$ が達成される。

(3) 赤外線背景放射

Pop-IIIからの黒体放射のうち、13.6eV以上の光子は水素に吸収されてLy α 線を出す。また、電離プラズマからの制動放射が出るので図6のようなスペクトルがPop-III近傍から発せられる。図3(赤線)をベースに $z = 9$ から12の間で積分したものが図7の赤線であり、図3(青線)に規格化したのが図7の青線である。



Pop-III生成量が図3赤のレベルならば、赤外線背景放射は説明できない。図3青に規格化するならば、factor 2程度足りないが、説明可能なレベル。

ここで一つの矛盾が生じる。赤外線放射を説明可能な場合は、金属汚染量が300倍ほどオーバーアバundanceになり、金属量を満足させようとすると赤外線放射は1/300の強度しか得られない。再電離はどちらの場合も可能。
[1] 赤外線背景放射の精密測定 → ソーラー電力セイル衛星(2011年度)による黄道光フリーの背景放射観測。
[2] 銀河間空間金属量の見直し → あらゆる電離状態の元素の精密測定。図5のPop-III爆発理論の再構築。
[3] Pop-III SFRの見直し → GRBも、紫外・可視・赤外のSFRも高赤方偏移まで精密に観測。 E_p – Luminosity 関係の拡張。