

発生頻度と母銀河の相関から探る Ia型超新星の起源天体

M1 奥村純（京都大学）

共同研究者：戸谷友則（京都大学）、井原隆(東京大学)、
諸隈智貴(NAOJ)、土居守、安田直樹(東京大学)

Ia型超新星とは？

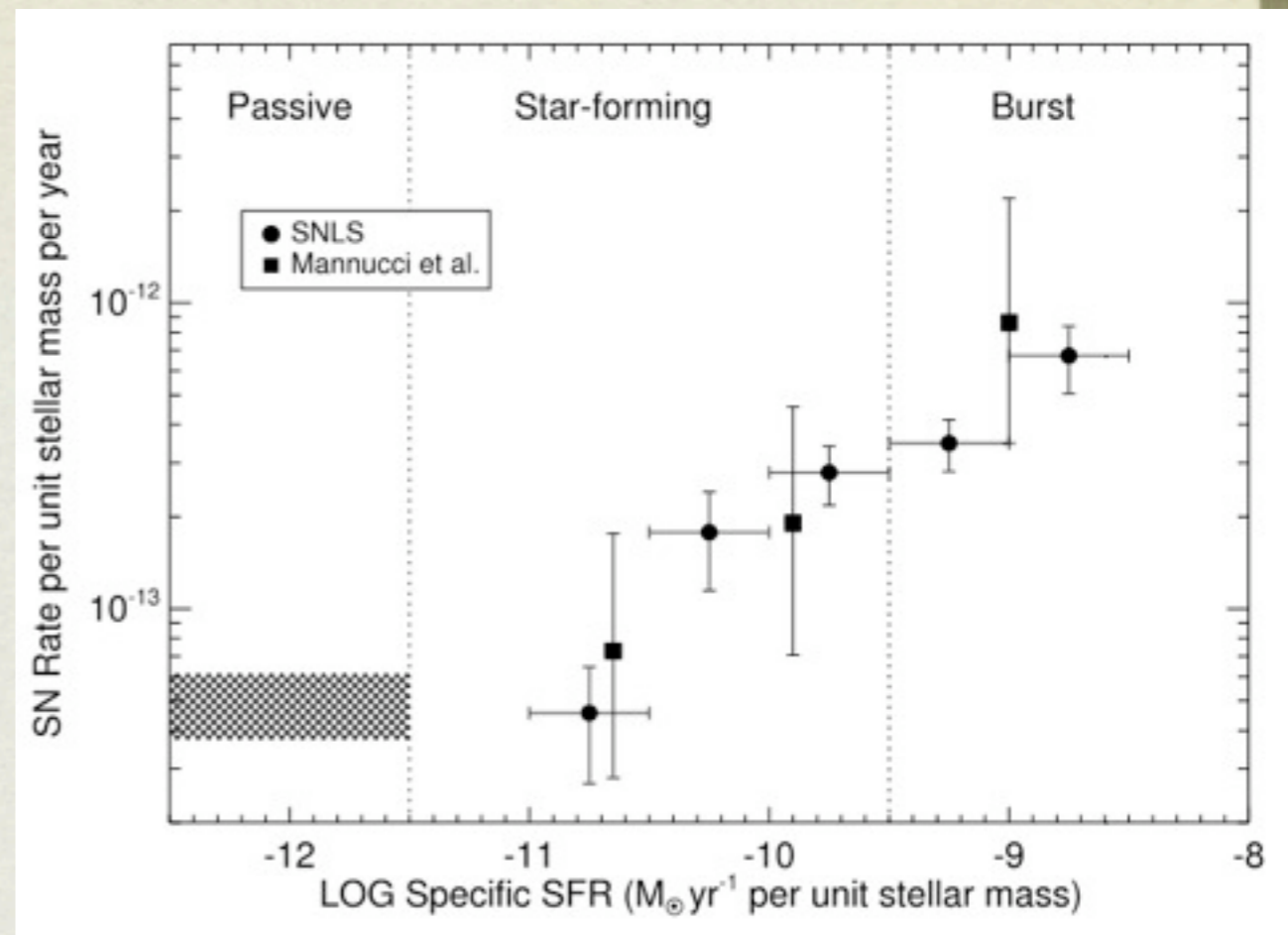
- 連星系をなす白色矮星 (White Dwarf, WD)
- 伴星からの質量降着によってChandrasekhar質量($\sim 1.38M_{\odot}$)に達したWDの暴走的な核燃焼
- 母銀河はearly-typeからlate-typeまで様々
 - 星形成から爆発までにかかる時間 (Delay Time) が多様

1. 標準光源 (明るい $M_B \sim -19$ mag, 減光幅 → 絶対等級)
2. 銀河の化学進化 (Feを大量に作る)

★ 起源天体は未だはっきりしていない(WD+RG? WD+MS? WD+WD?)
爆発メカニズム (Detonation? Deflagration? Delayed-Detonation?)

SN Ia RATE と母銀河の相関

- Supernova Legacy Survey(SNLS)
遠方 ($0.2 < z < 0.75$) の124SNe Ia



1. 星形成の盛んな銀河ほどSN Rate大

→Delay Timeの短いSN Iaが卓越!?

SSFR小
early type

SSFR大
late type

2. 近傍の結果 (Mannucci+05) とともconsistent

(Sullivan+06)

SN Ia Rateと母銀河の性質には相関がある

DELAY TIME DISTRIBUTION

観測から直接DTDを求める (Totani+08)

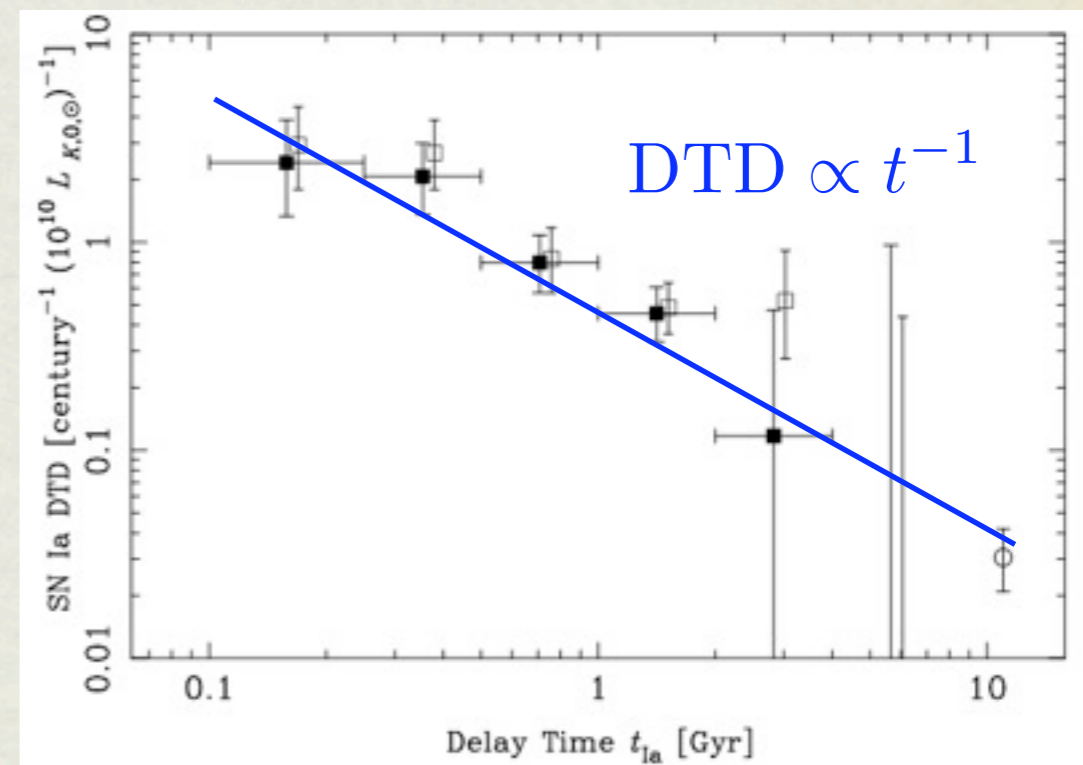
- Subaru/XMM-Newton Deep Survey (SXDS)
- **passiveな銀河** (90%以上星形成を終えている銀河) サンプル
 - * 星形成を行っている若い銀河は、年齢の不定性が大きい

$$\langle t_{\text{Ia}} \rangle = \frac{\int_0^{t_{\text{ga}}} t_{\text{Ia}} \psi(t_{\text{ga}} - t_{\text{Ia}}) f_D(t_{\text{Ia}}) dt_{\text{Ia}}}{\int_0^{t_{\text{ga}}} \psi(t_{\text{ga}} - t_{\text{Ia}}) f_D(t_{\text{Ia}}) dt_{\text{Ia}}}$$

$\psi(t)$: Star Formation History

f_D : Delay Time Distribution


- power-law (0.1 ~ 10 Gyr)



DD scenario (WD+WD) のgeneric predictionとよく一致

SDの場合はモデルパラメータスペースに強い制限

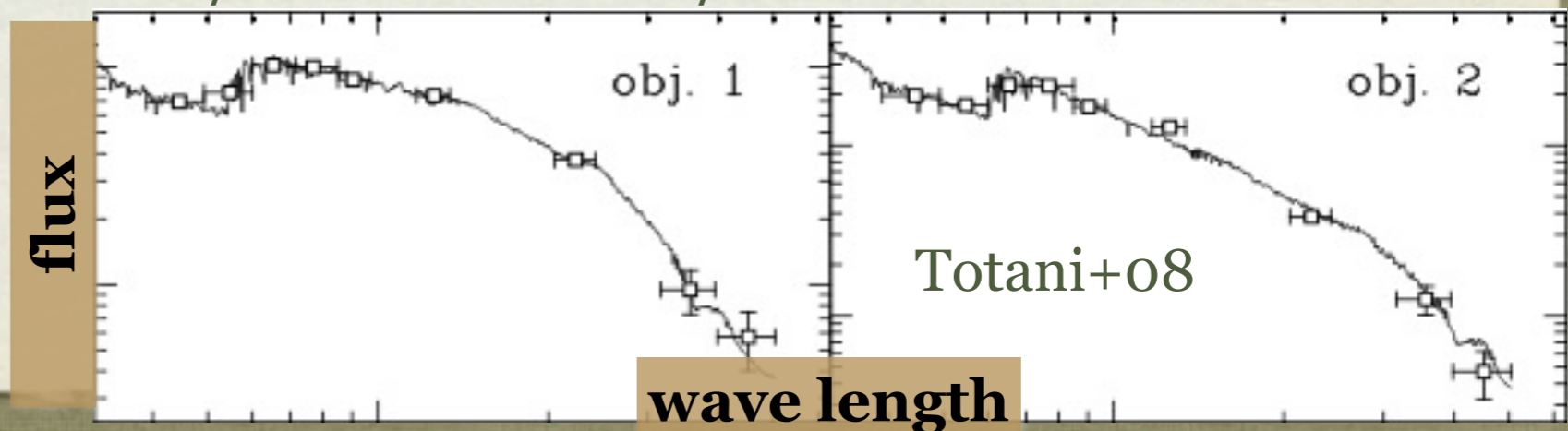
本研究のモチベーション

- SN Iaはその起源天体が未解明である
 - Delay Timeの短いSN Iaがある
 - SN Iaの起源に迫るためには、DTDの情報が必要
- ❖ これまでの研究は、仮定したDTDが観測を再現するか調べる事でDTDに制限を与えていた
- 
- Totani+08ではpassiveな銀河サンプルを使ってDTDを導いた

このDTDが他の銀河に対しても成り立つのか確かめたい

DATA - GALAXY

- Subaru/XMM-Newton Deep Survey (SXDS)
- $\sim 1\text{deg}^2$ に渡る広域・多波長・Deepサーベイ
 - Optical: B,V,Rc,i',z' (Subaru/Sprime-Cam)
 - NIR: J,K (UKIDSS survey)
 - IR: $3.6\mu\text{m}$, $4.5\mu\text{m}$, $5.8\mu\text{m}$, $8.0\mu\text{m}$ (Spitzer/IRAC)
 - X-ray: 0.5-2.0, 2.0-100 keV (XMM-Newton/EPIC)
- ~ 3 年間で ~ 10 回の観測を行い 10^4 個の変動天体を検出(Morokuma+08)
- SED fitting \rightarrow 各銀河のSFH / stellar mass / A_v
- 69159 galaxies

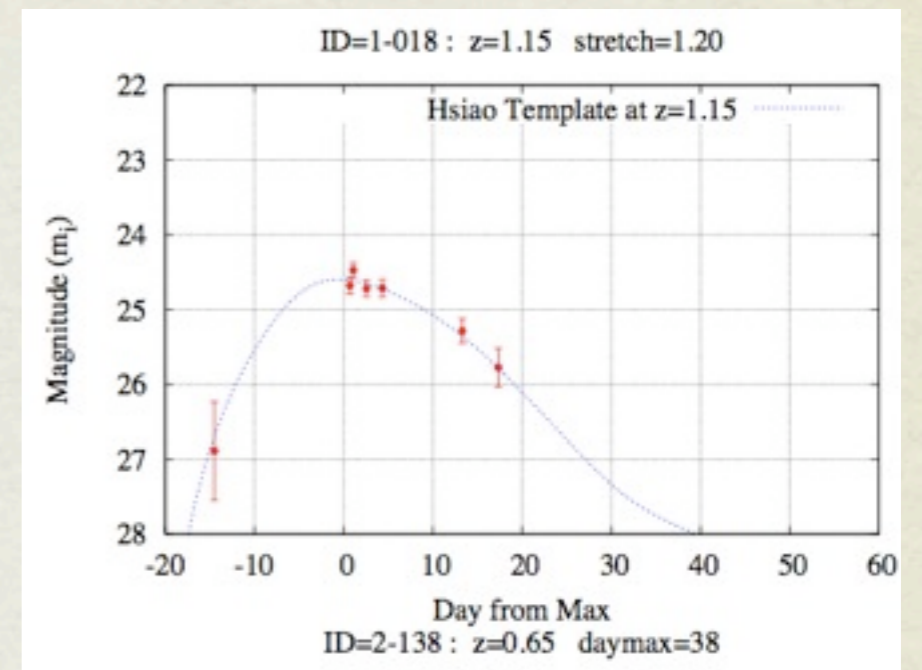


DATA - SN Ia (Ihara+10, in prep)

- 観測されたLight Curve (LC)と template LC (Hsiao+08) を fit
- free parameter: 最大光度、stretch、redshift
 - 46個をSN Iaとして同定 ($0.2 < z < 1.3$)
 - $3.6\mu\text{m}$ の観測がある39個を使う

本研究の新しい点

1. Totani+08ではpassiveな銀河で銀河中心から外れた変動天体をIa候補としたが、今回は**LC fitting**でIaと同定されたものを使った
2. **$z\sim 1.3$** までのSN Iaサンプル (過去の研究は $z\sim 0.75$)
3. Rateの計算に**extinction**の効果を入れた



RATE CALCULATION

観測

- control time (CT): SNを観測器で検出できる時間

$$\text{SNR} = \frac{N_{obs}}{\sum \text{CT}_i(z, A_V)}$$

SNR: Supernova Rate

モデル

- DTDモデル

$$\text{SNR} = \int_0^t \psi(t') \text{DTD}(t - t') dt'$$

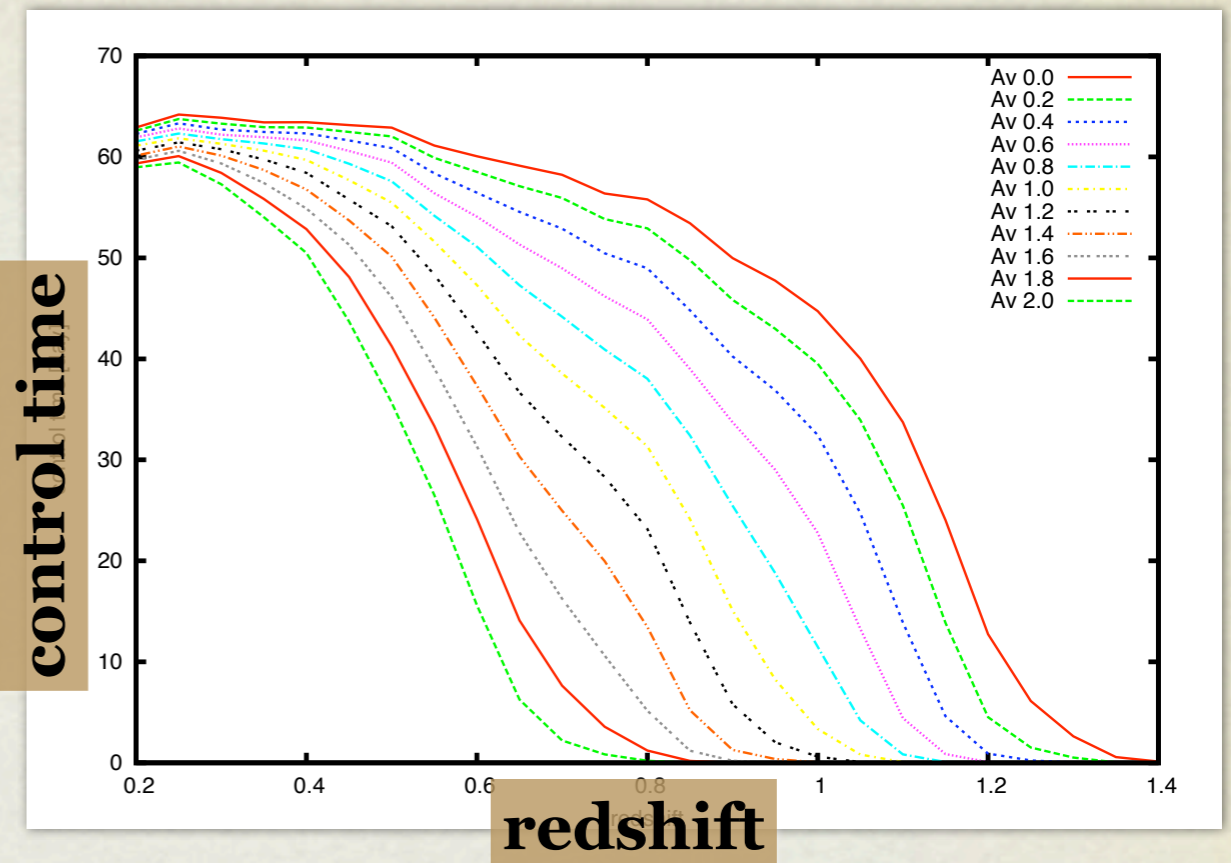
$$\text{DTD} \propto t^{-1} (\text{Totani} + 08) \quad \text{DTD} \propto t^{-0.5} (\text{Pritchett} + 08)$$

- 二成分モデル (A+B model, Scannapieco&Bildsten+05)

$$\text{SNR} = \boxed{AM_{tot}(t)}_{\text{delayed}} + \boxed{B\psi(t)}_{\text{prompt}}$$

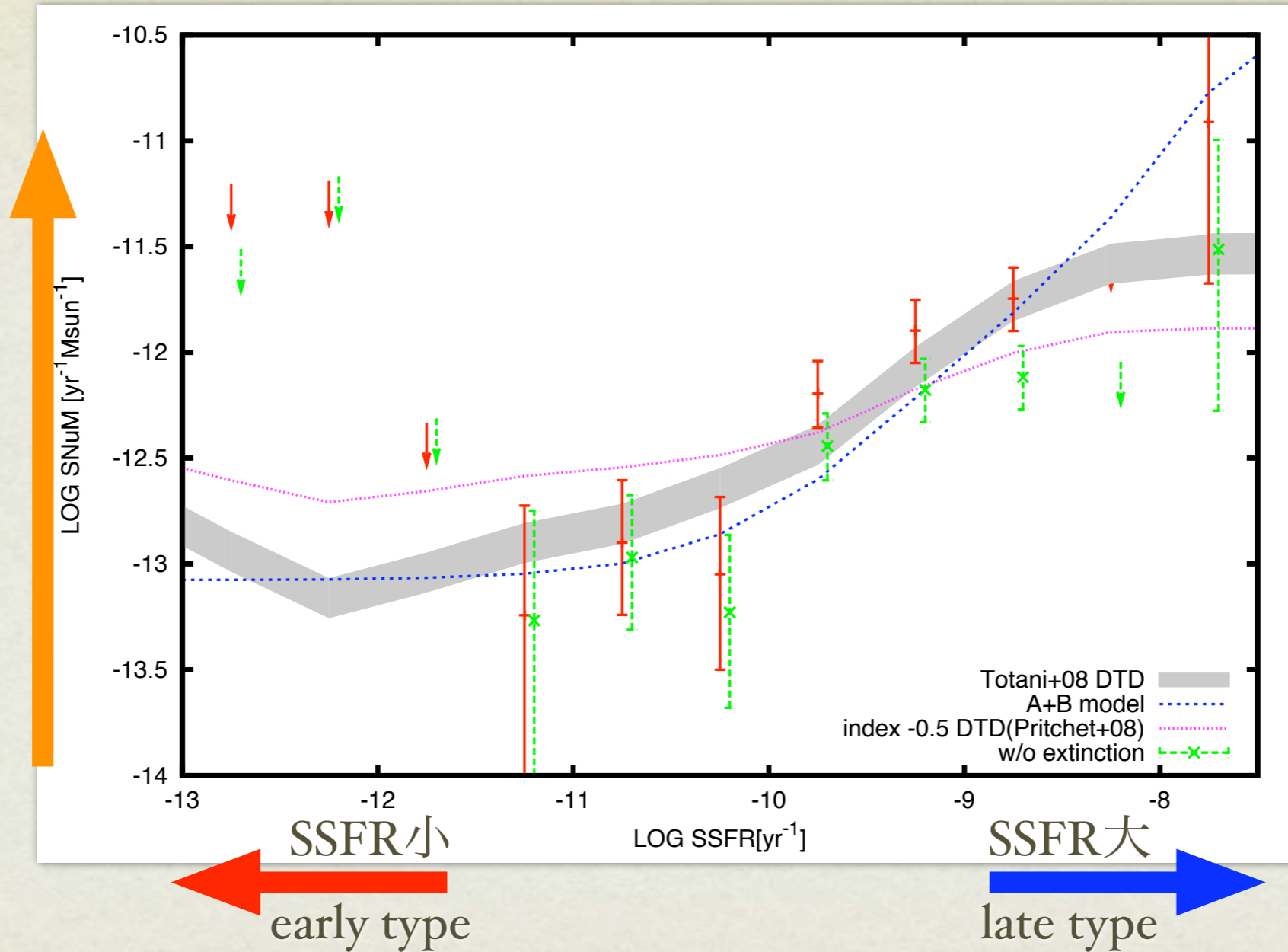
$$A = 8.7 [10^{-14} \text{yr}^{-1} M_{\odot}^{-1}]$$

$$B = 8.9 [10^{-4} M_{\odot}^{-1}]$$

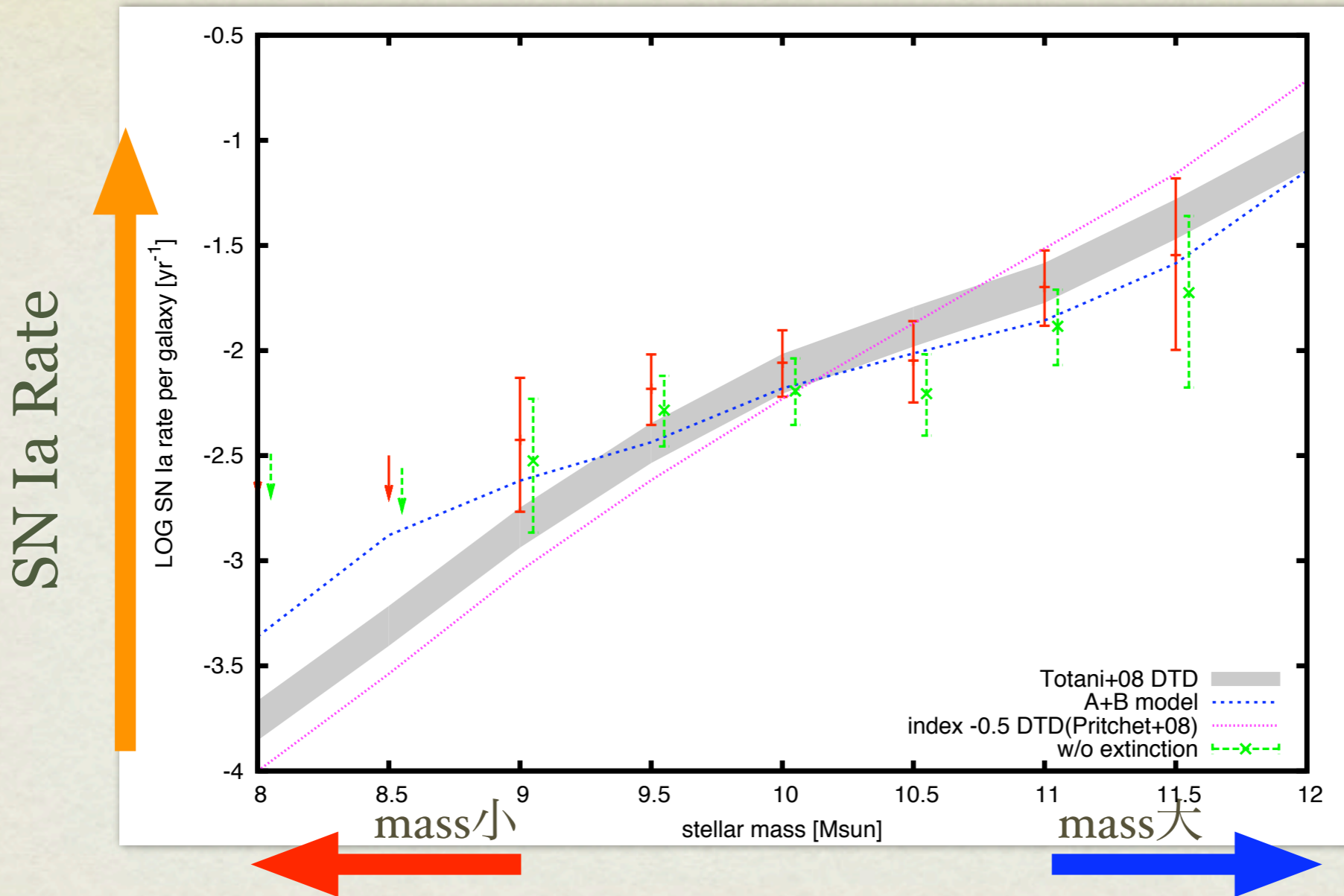


結果 - SSFR

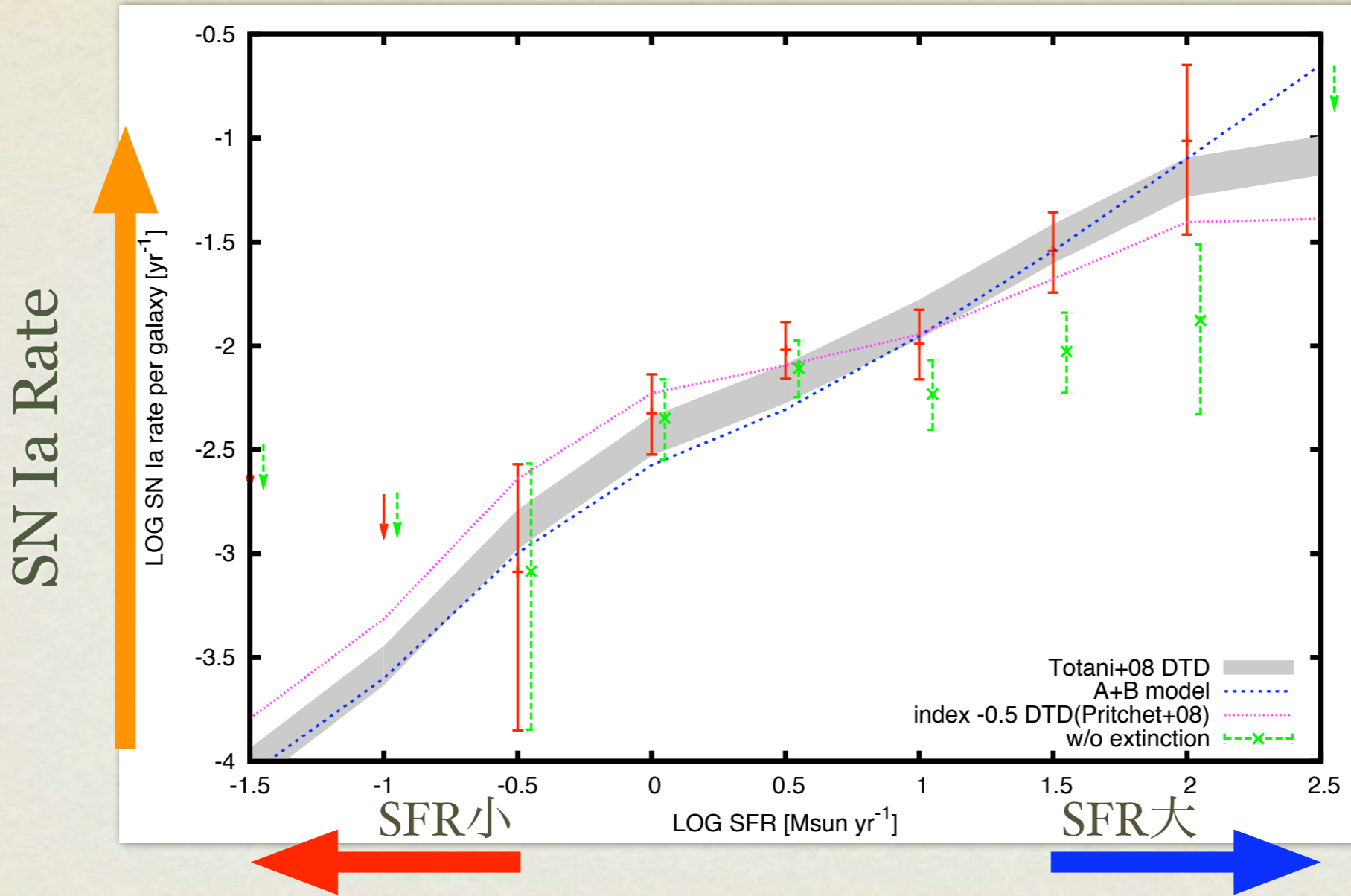
単位質量辺りのSN Ia Rate



結果 - STELLAR MASS



結果 - SFR



まとめ

- SXDSの銀河/SN Iaサンプルを用いて、SNRと母銀河の相関 (SSFR, SFR, M) を調べた
- passiveな銀河から導かれたDTDモデルと観測を比較した
 1. 過去の研究より遠い $z \sim 1.3$ までで相関を確認
 2. SN Ia Rateの計算の際には、extinctionの効果が必要
 3. passiveな銀河から導かれたDTD (Totani+08) は他の銀河を含めても観測 (母銀河との相関) を説明している
 4. Pritchett+08のDTD($\propto t^{-0.5}$)はあまり合わない
 5. A+B modelでも合わせられるが、係数は過去の研究と比べるとバラバラ → A+B modelがuniversalなDTDではないことを示唆

終

A+B MODEL

- 二成分モデルの係数

$$A = 8.7 [10^{-14} \text{yr}^{-1} M_{\odot}^{-1}]$$

$$B = 8.9 [10^{-4} M_{\odot}^{-1}]$$

Sullivan+06

$$A = 5.3_{-1.2}^{+1.2}$$

$$B = 3.9_{-0.7}^{+0.7}$$

Neil+06

$$A = 1.4_{-1.0}^{+1.0}$$

$$B = 8.0_{-2.6}^{+2.6}$$

Scannapieco&Bildsten05

$$A = 4.4_{-1.4}^{+1.6}$$

$$B = 26_{-11}^{+11}$$

- A+B modelでも合わせられるが、係数は過去の研究と比べるとバラバラ→A+BがuniversalなDTDではないことを示唆
- 違うサーベイの違う population に対してA+Bをfitするとこのような事が起こりうる

RATE CALCULATION

観測

- control time (CT): SNを観測器で検出できる時間

$$\text{SNR} = \frac{N_{obs}}{\sum \text{CT}_i(z, A_V)}$$

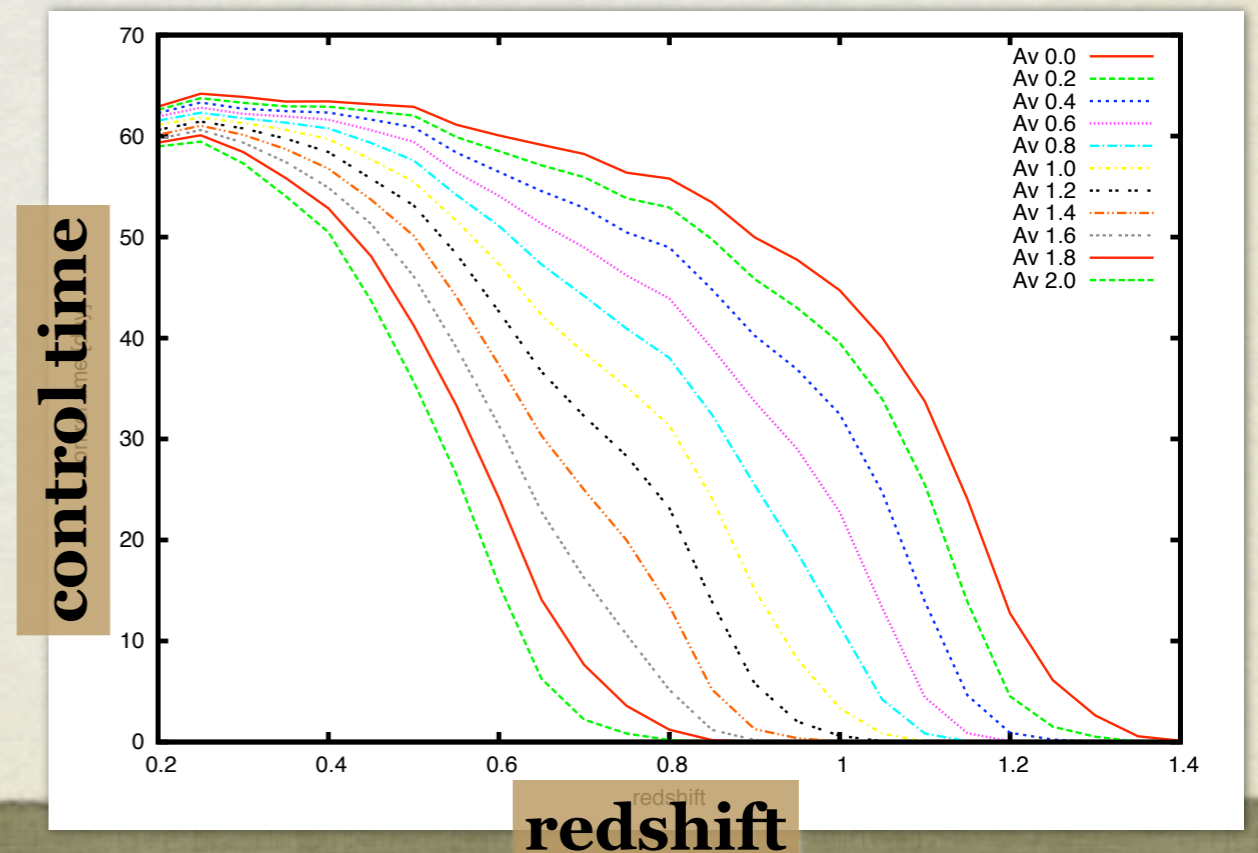
$$\text{SNuM} = \frac{N_{obs}}{\sum \text{CT}_i(z, A_V) \cdot M_i}$$

SNR: Supernova Rate

SNuM: Supernova Rate per unit mass

- host dust extinction

Milky Way (Cardelli+89)

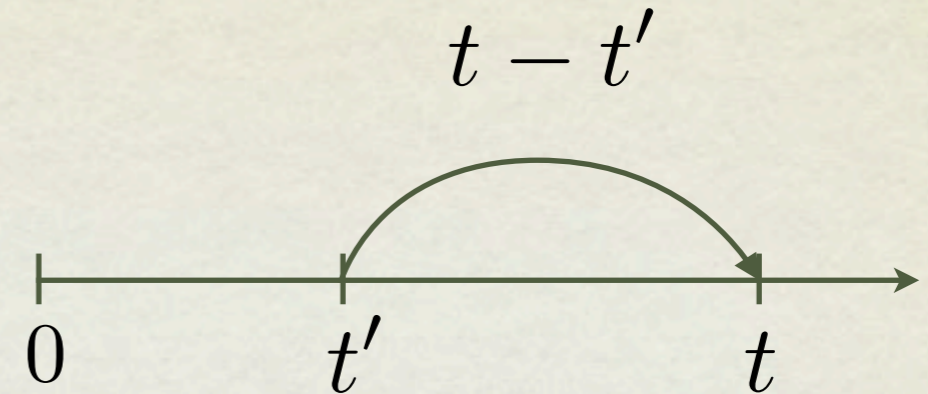


RATE CALCULATION

モデル

- DTD model

$$\text{SNR} = \int_0^t \psi(t') \text{DTD}(t - t') dt'$$



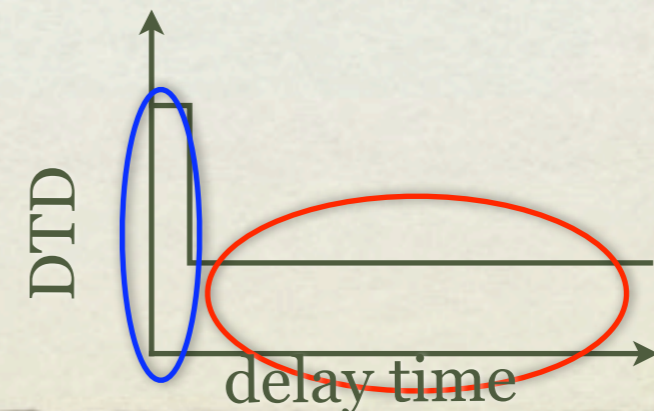
$$N_{\text{exp}} = \sum \text{SNR}_i \cdot \text{CT}_i$$

- 本研究のサンプル : $N_{\text{exp}} = 37.61$ (Nobs = 39)
- extinctionを考慮に入れないと : $N_{\text{exp}} = 71.87$

- 二成分モデル (A+B model) (Scannapieco&Bildsten+05)

$$\text{SNR} = \boxed{AM_{\text{tot}}(t)} + \boxed{B\psi(t)}$$

delayed prompt



SN Ia RATE と母銀河の相関

● 近傍 (~100Mpc) の136 SNe

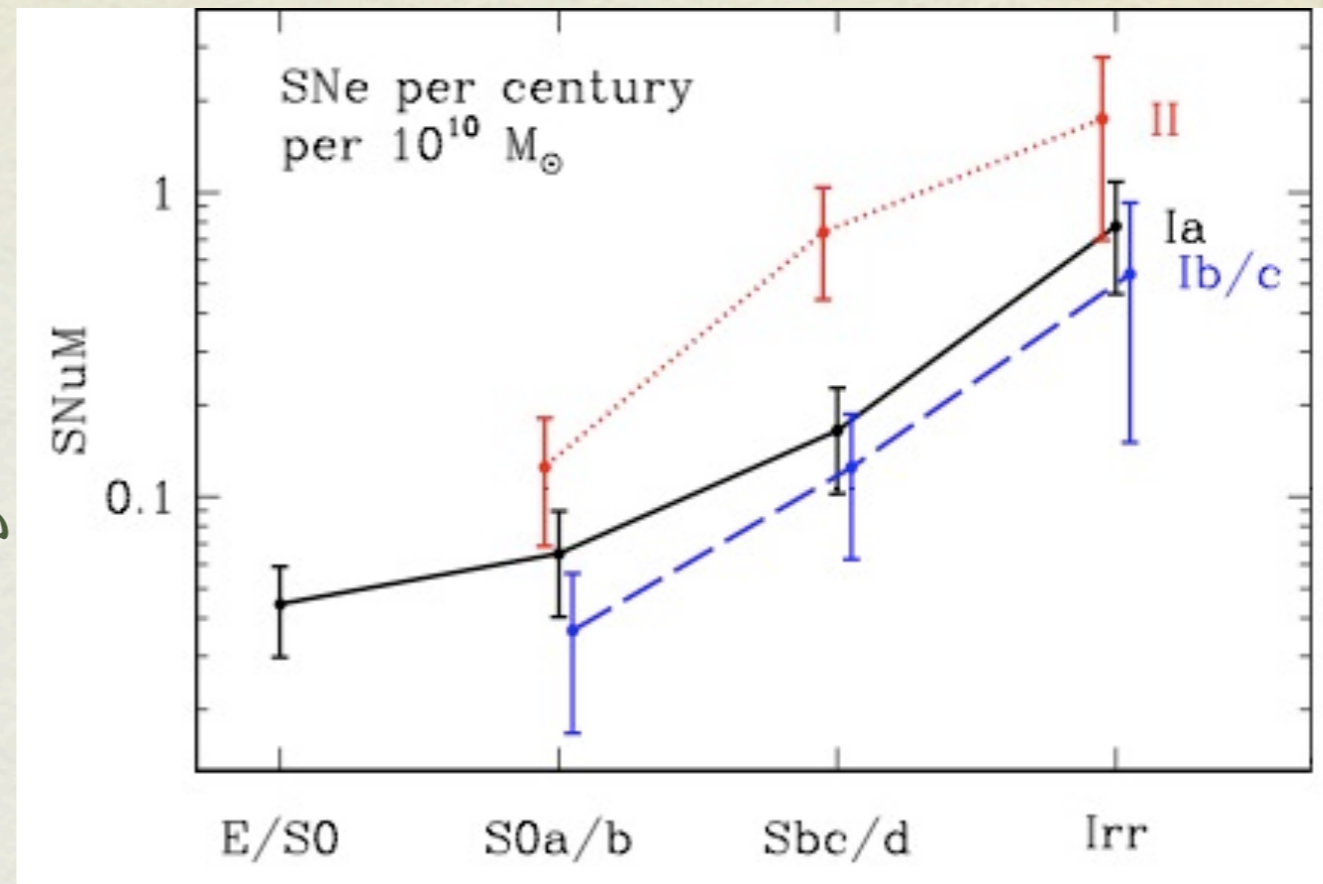
1. CC SNはearly typeで起きていない

2. SN Iaは銀河の形態によらず存在

→幅広いDelay Timeを示唆

3. 星形成の盛んな銀河ほどSN Rate大

→Delay Timeの短いSN Iaが卓越! ?

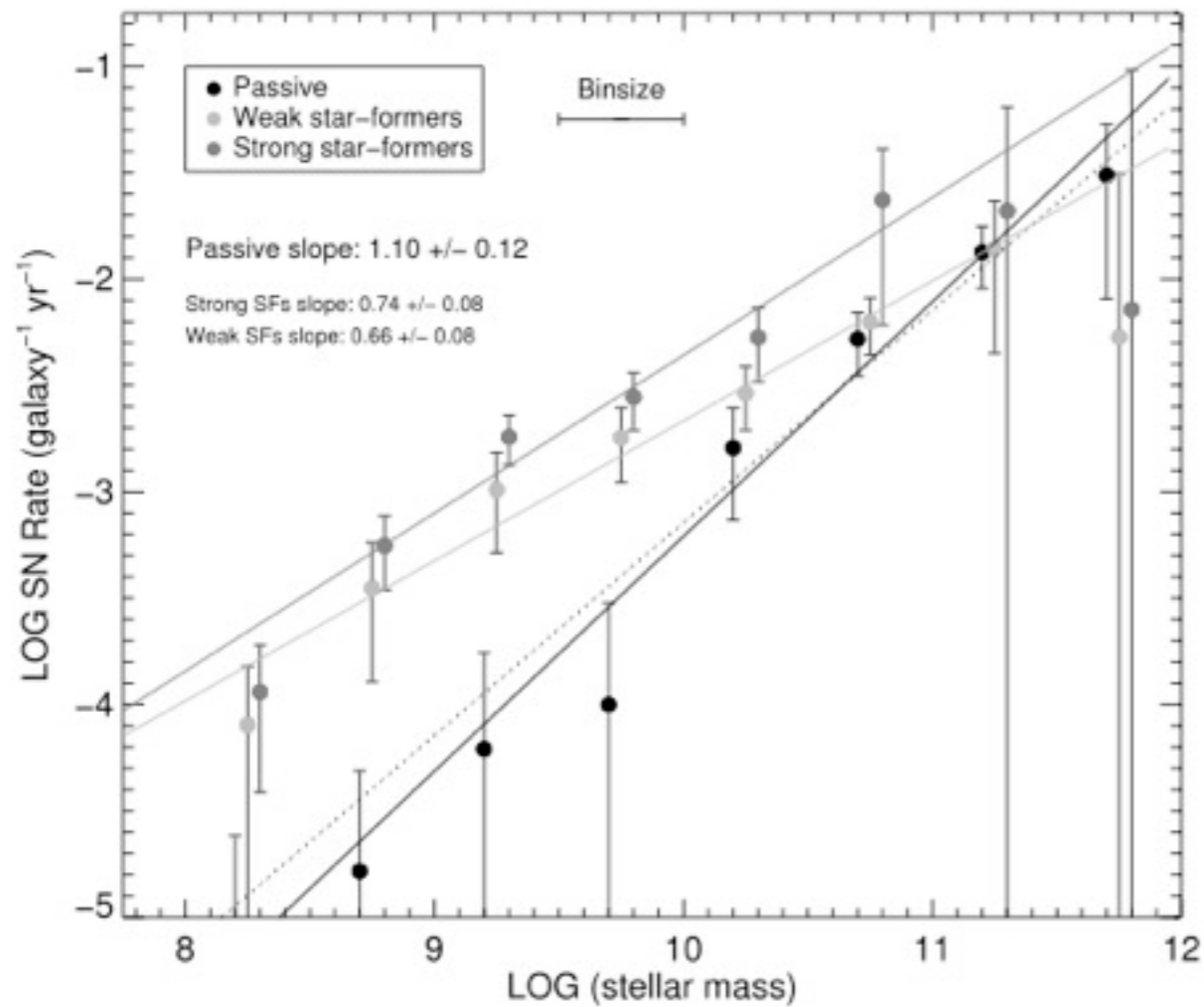


SFR小 ← early type SFR大 → late type
(Mannucci+05)

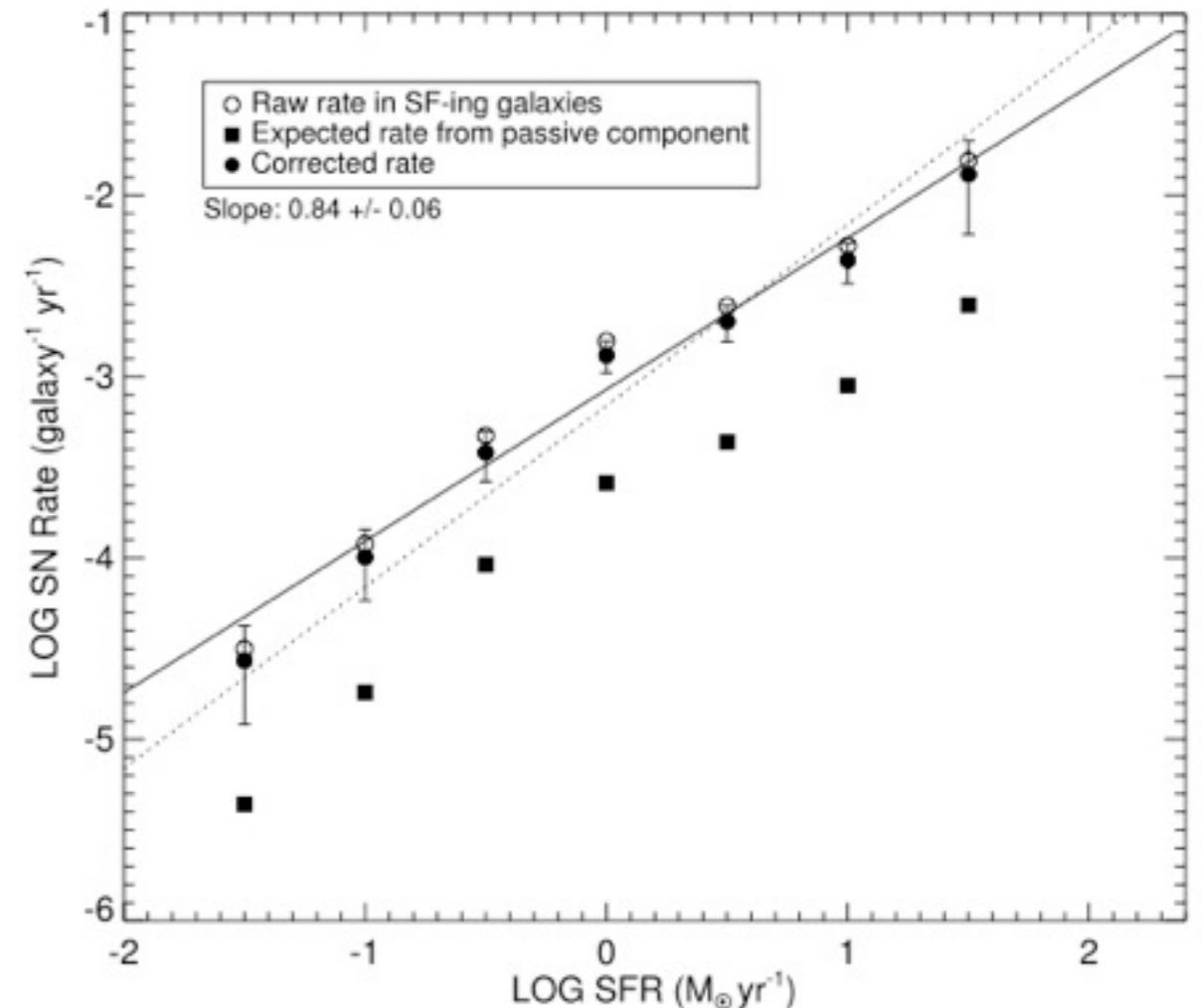
SN Iaの発生頻度 (SN Ia Rate) と母銀河の性質には相関がある

SULLIVAN+06

stellar mass



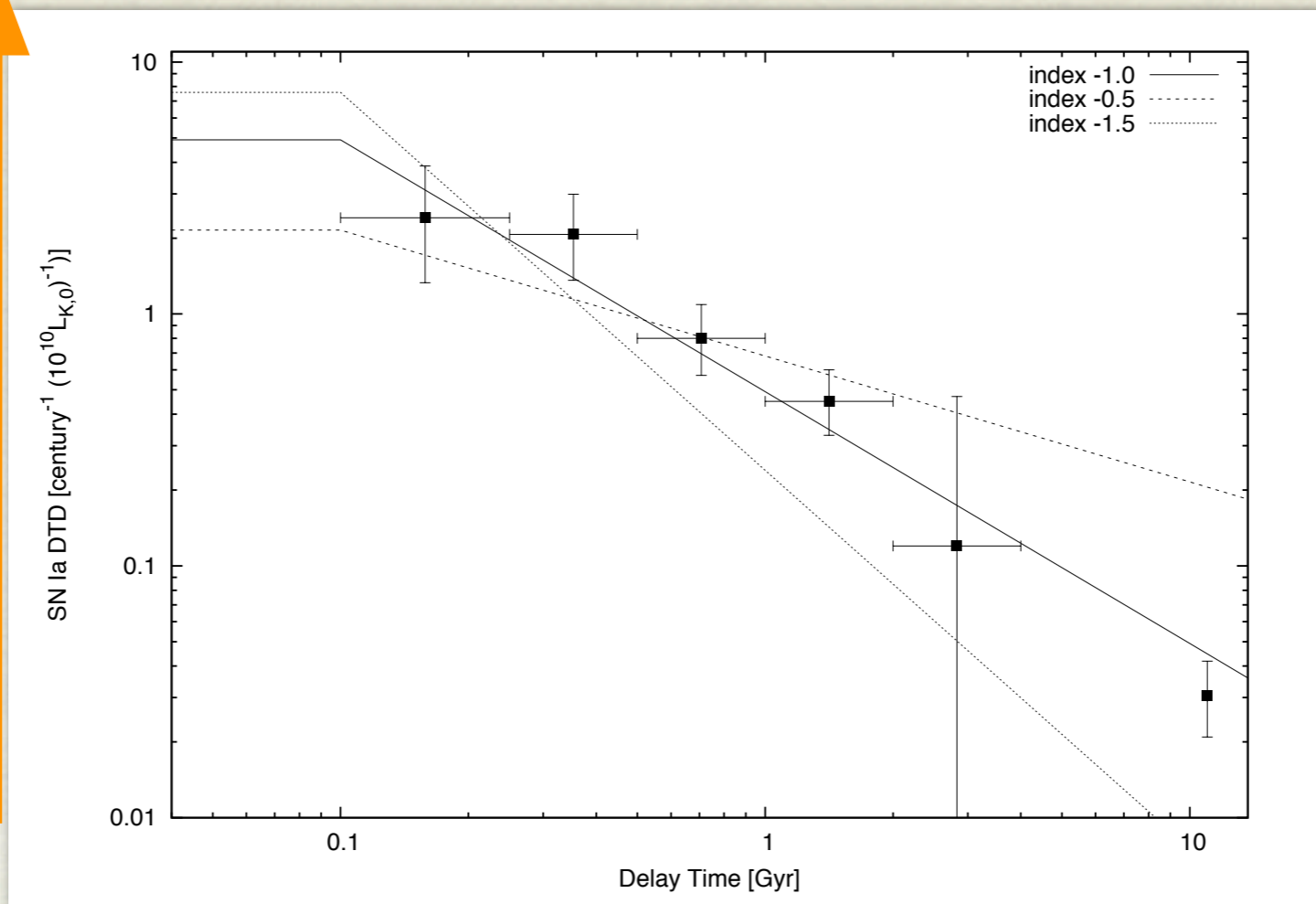
SFR



SNR と Mass / SFR には相関がある

DTD

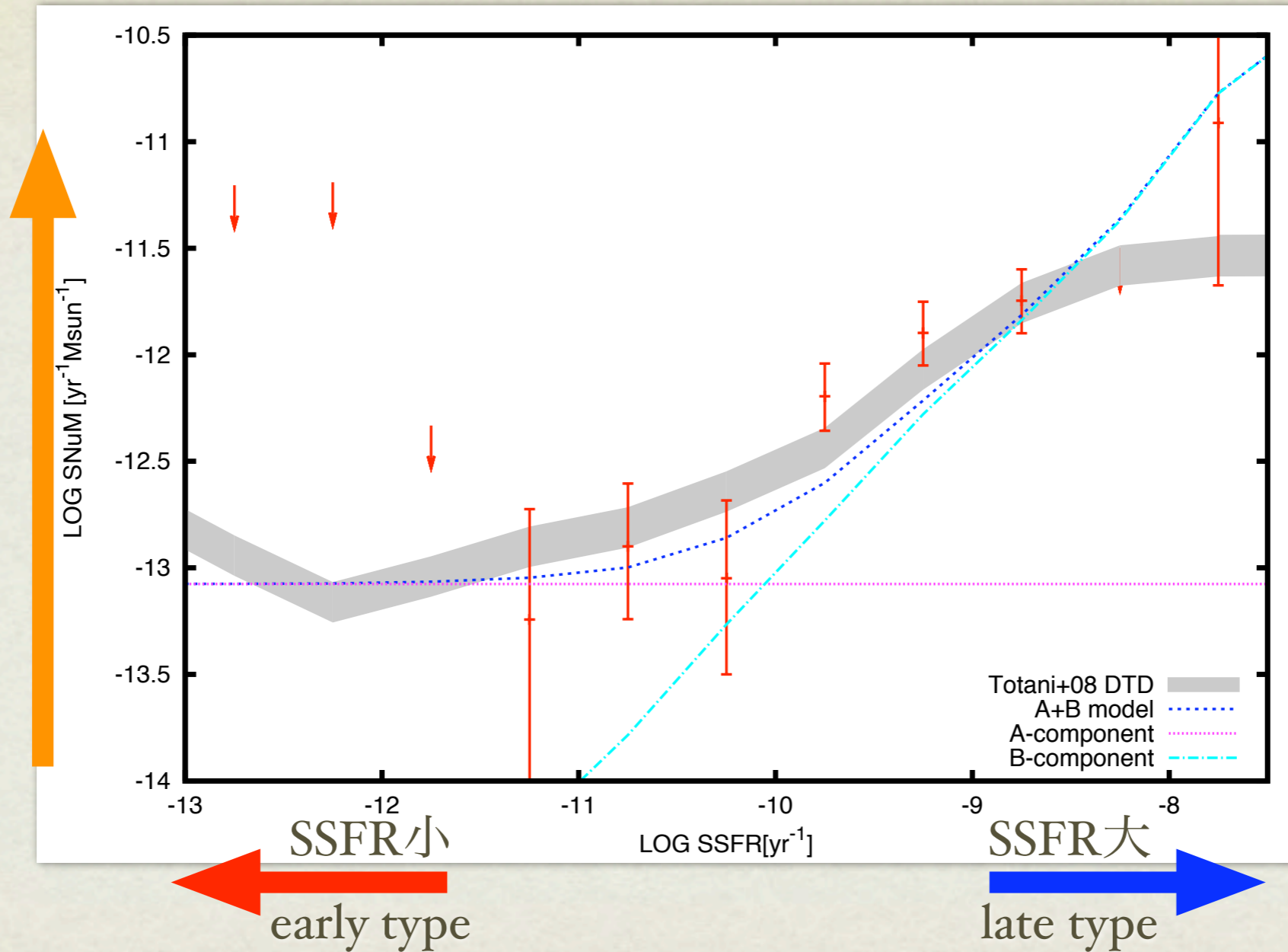
Delay Time Distribution



DTD models

結果 - SSFR

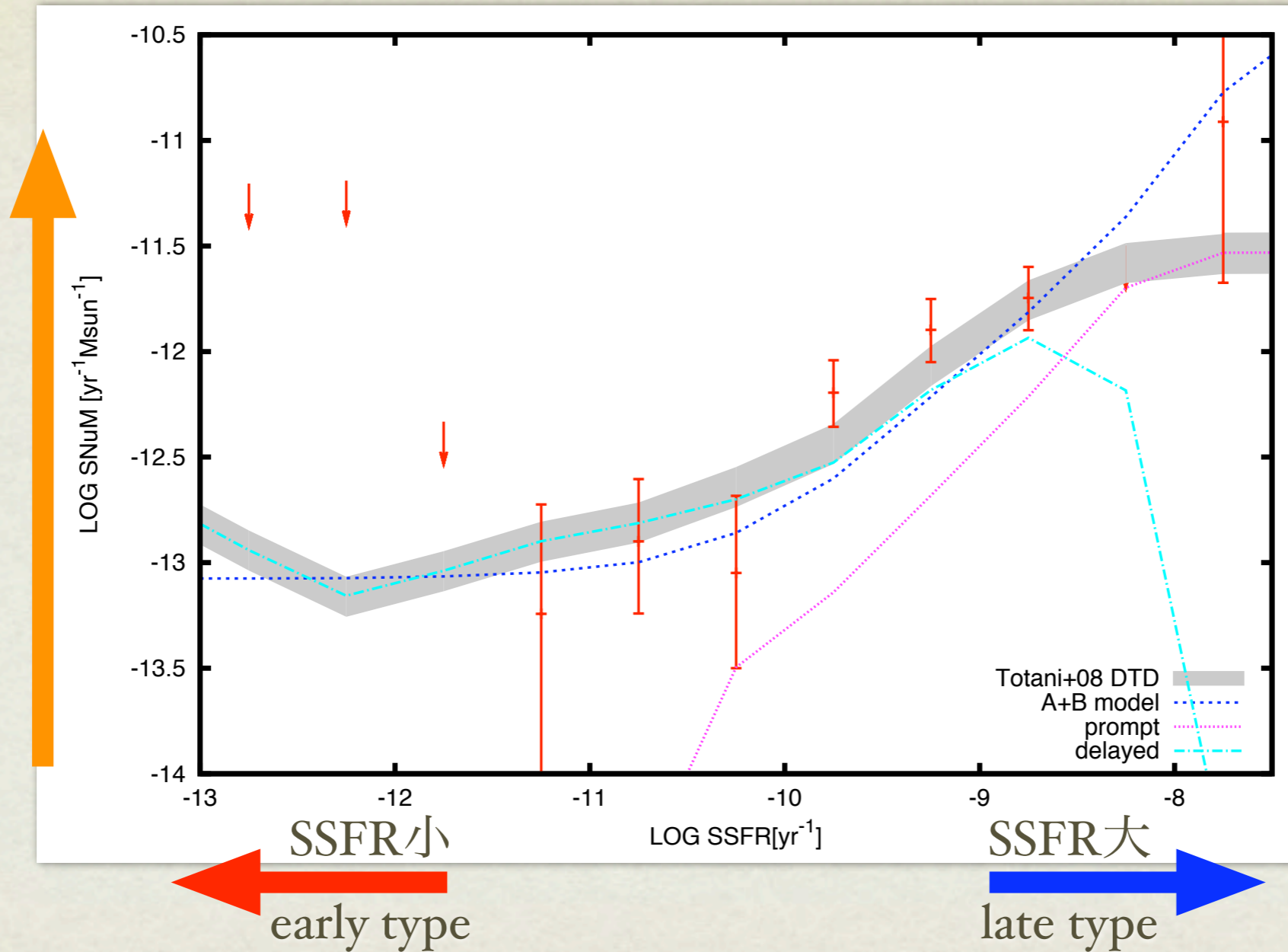
単位質量辺りのSN Ia Rate



A & B components

結果 - SSFR

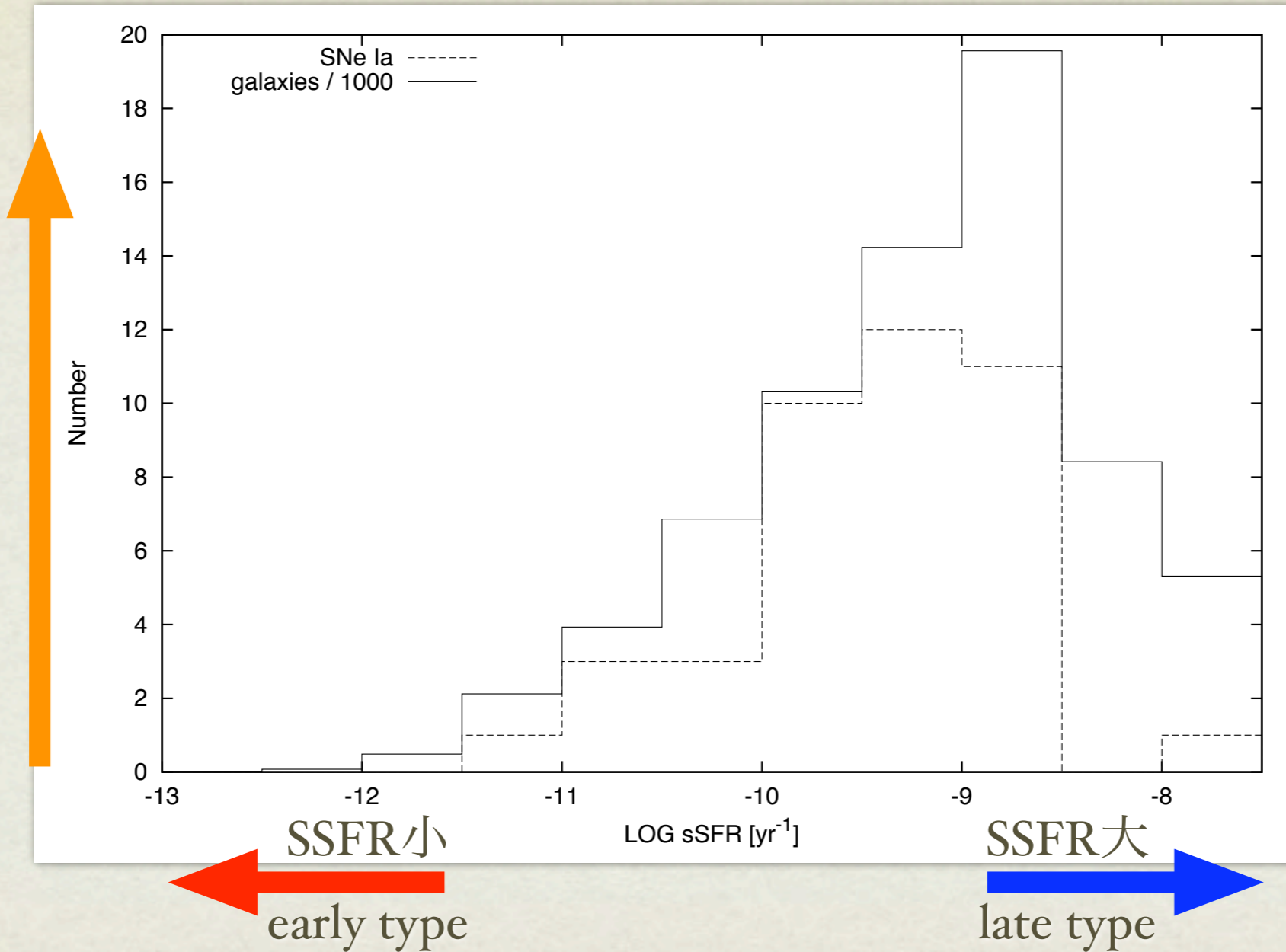
単位質量辺りのSN Ia Rate



prompt & delayed components

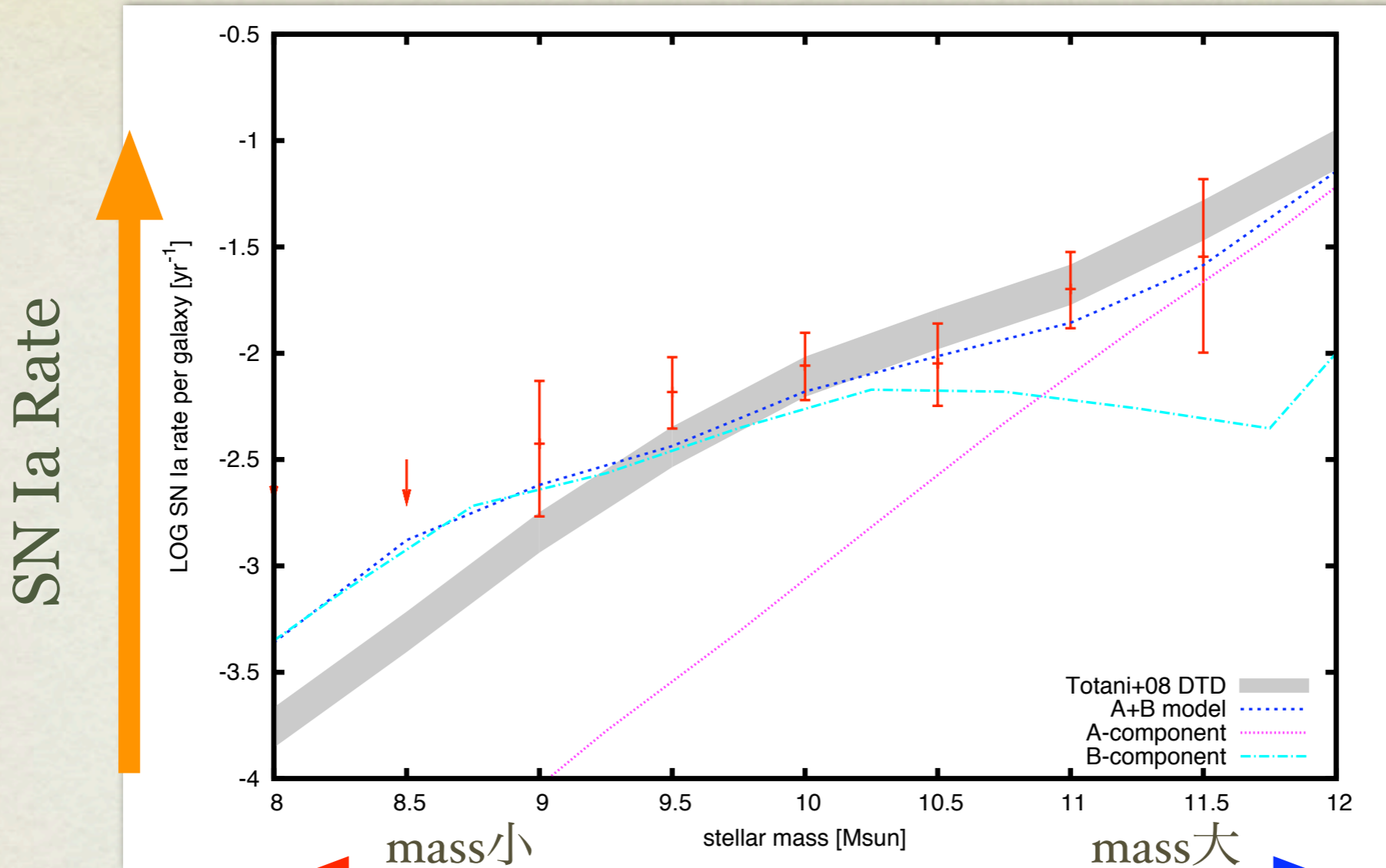
結果 - SSFR

単位質量辺りのSN Ia Rate



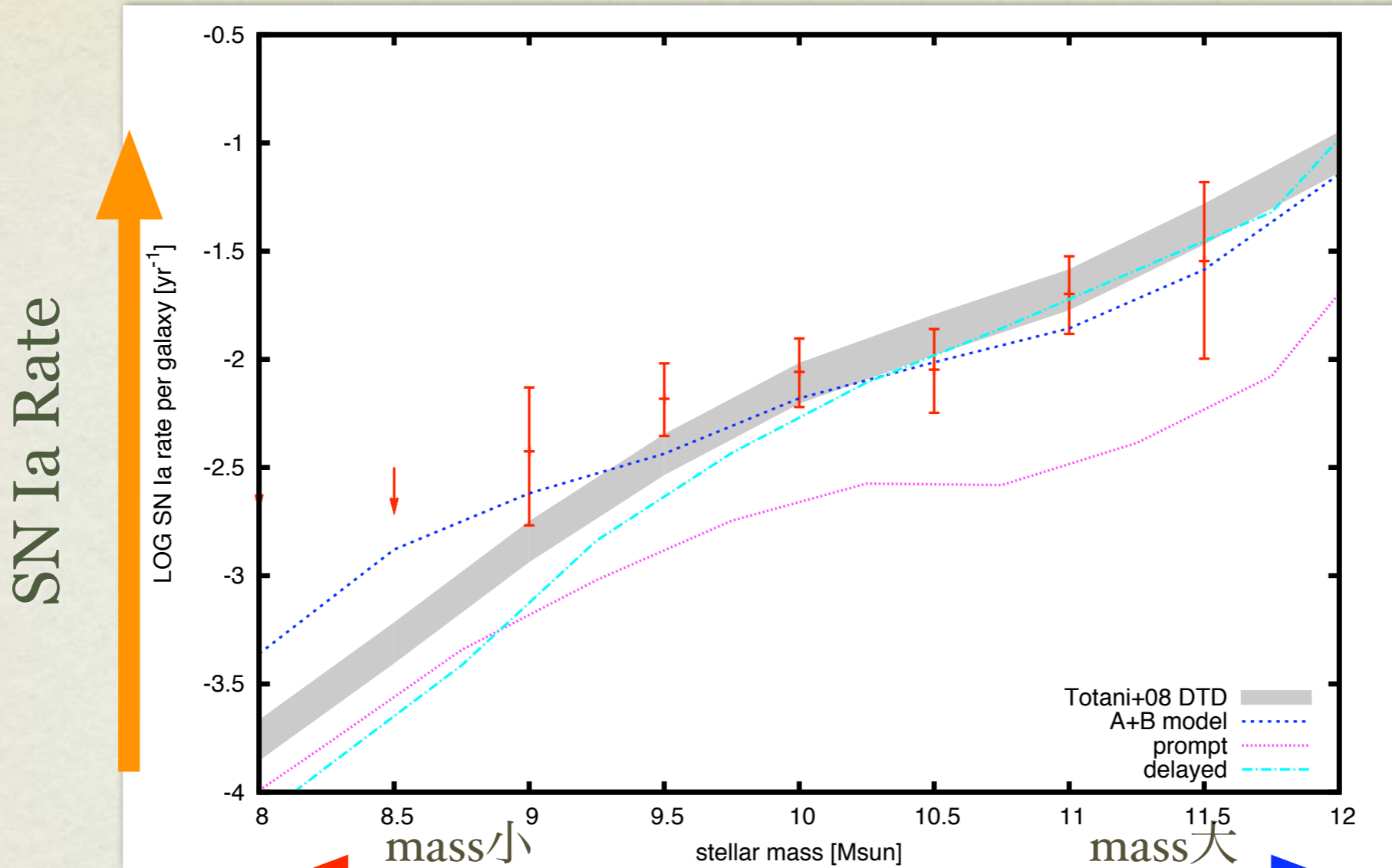
SSFR histogram

結果 - STELLAR MASS



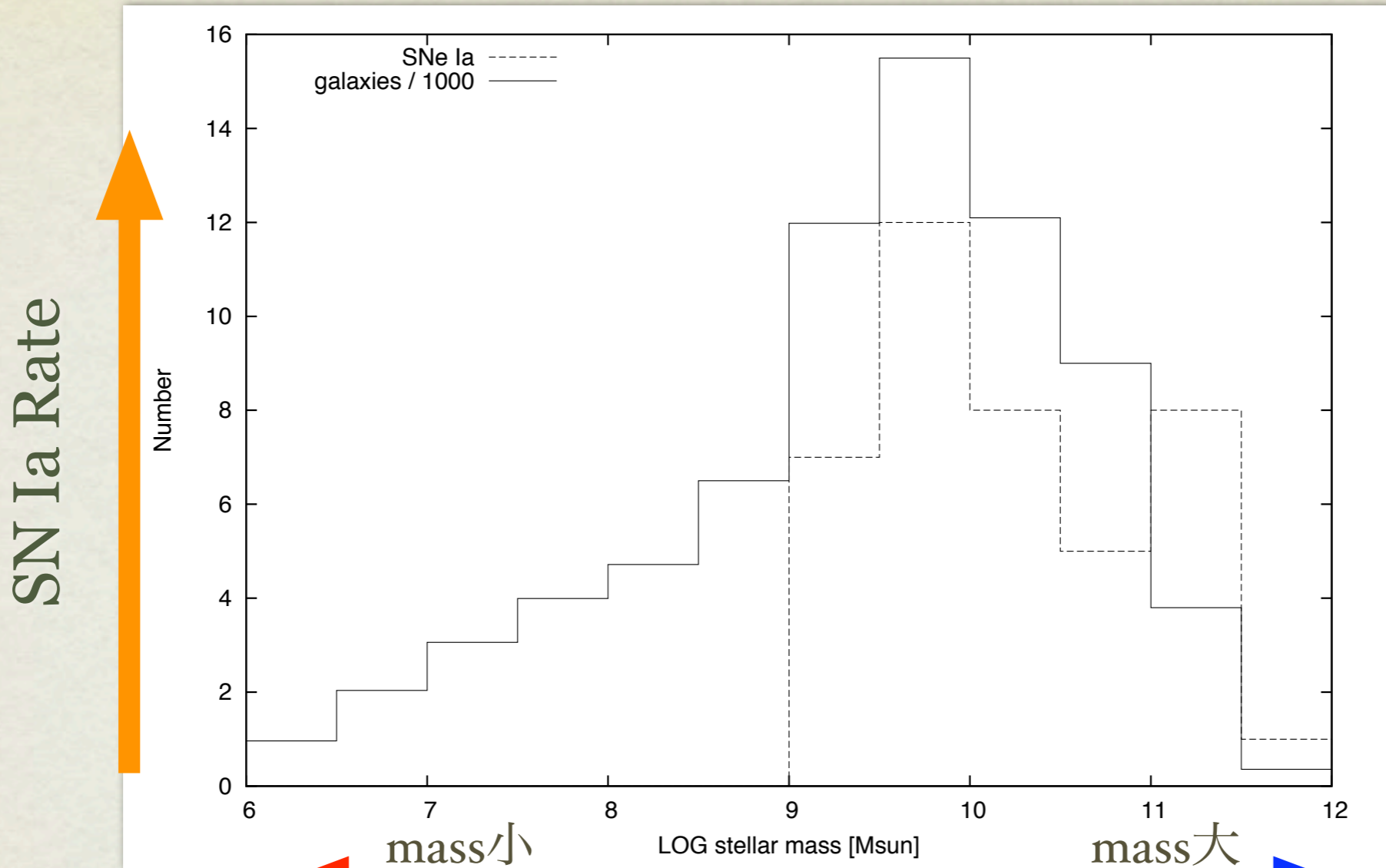
A & B components

結果 - STELLAR MASS



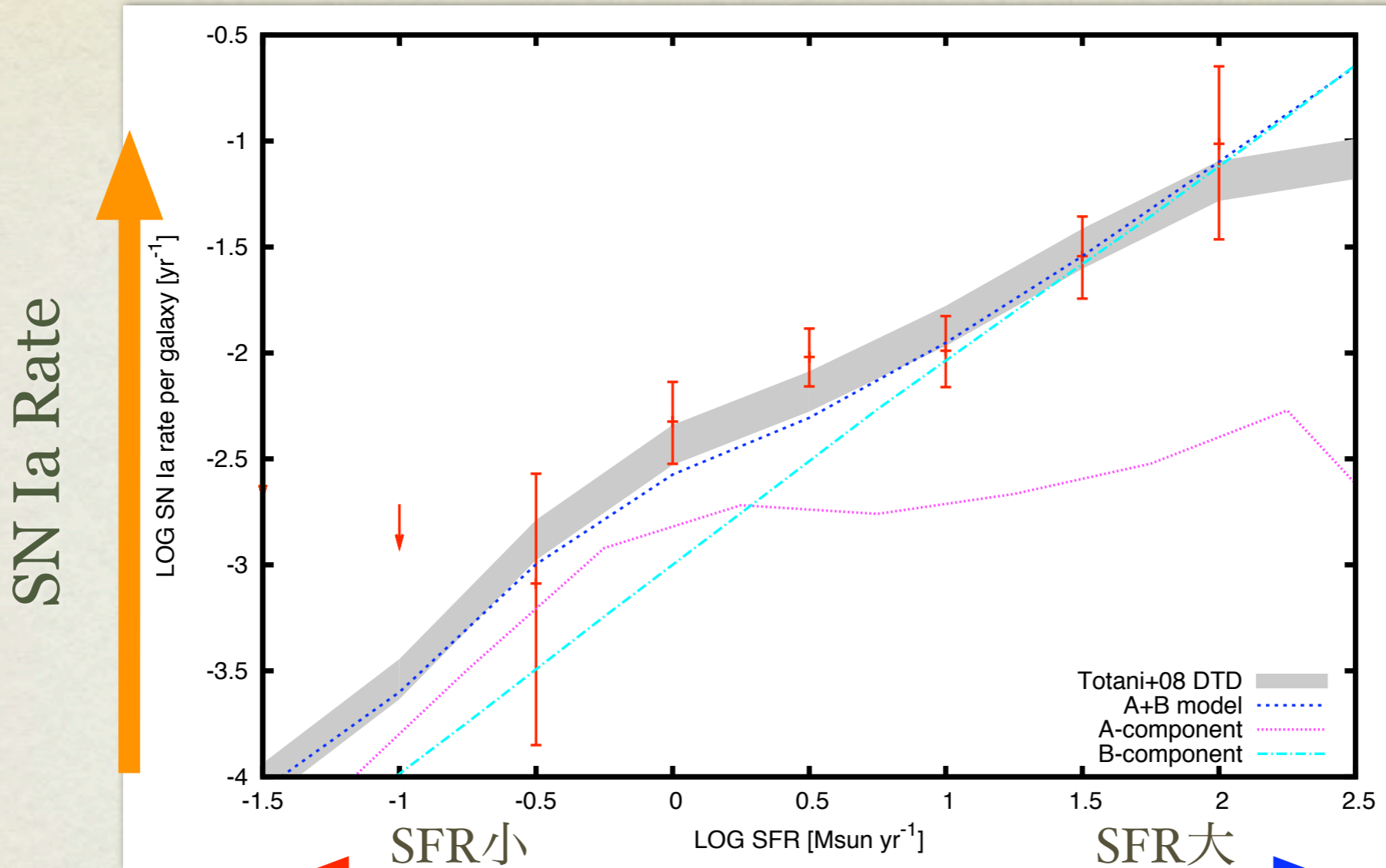
prompt & delayed components

結果 - STELLAR MASS



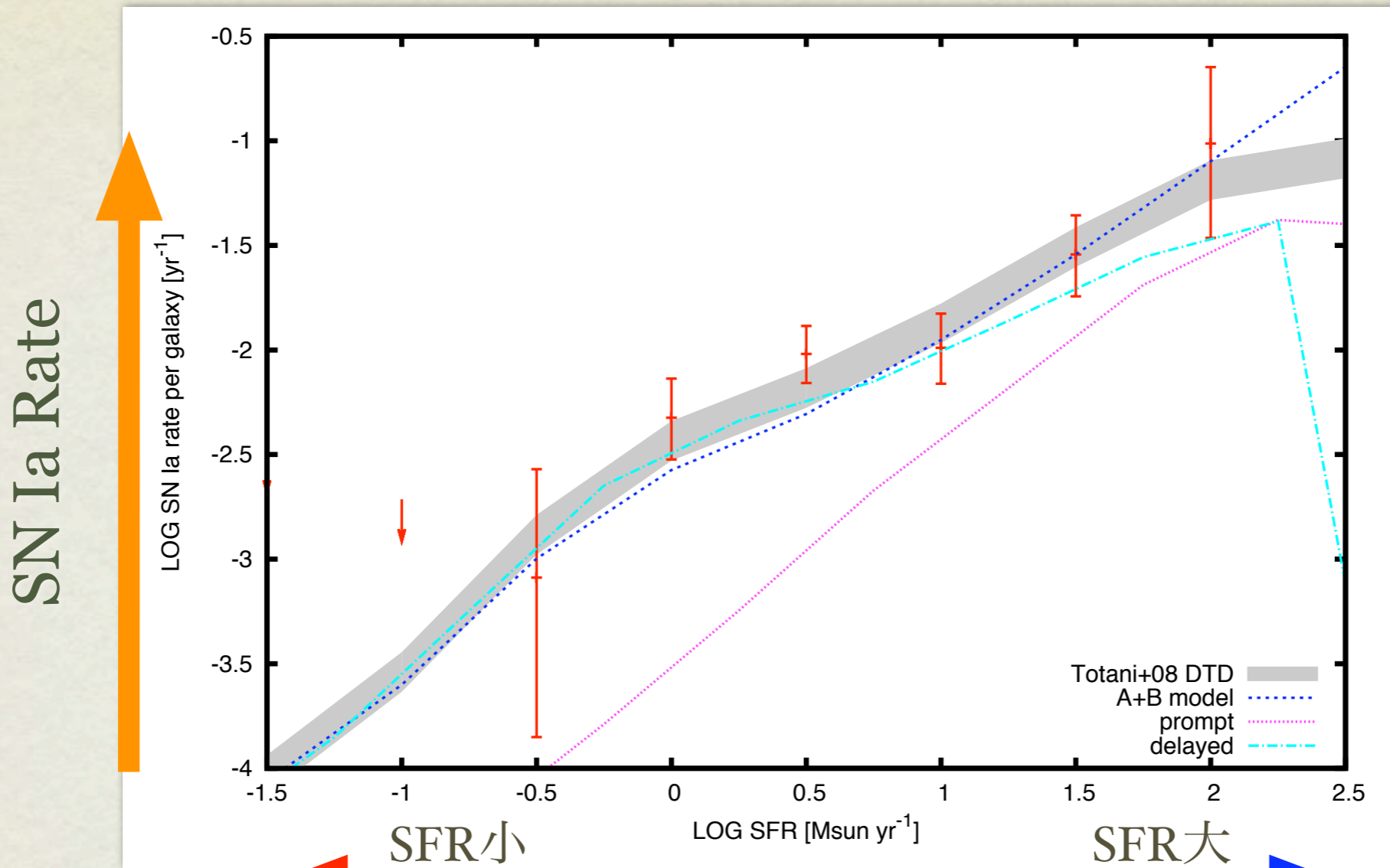
stellar mass histogram

結果 - SFR



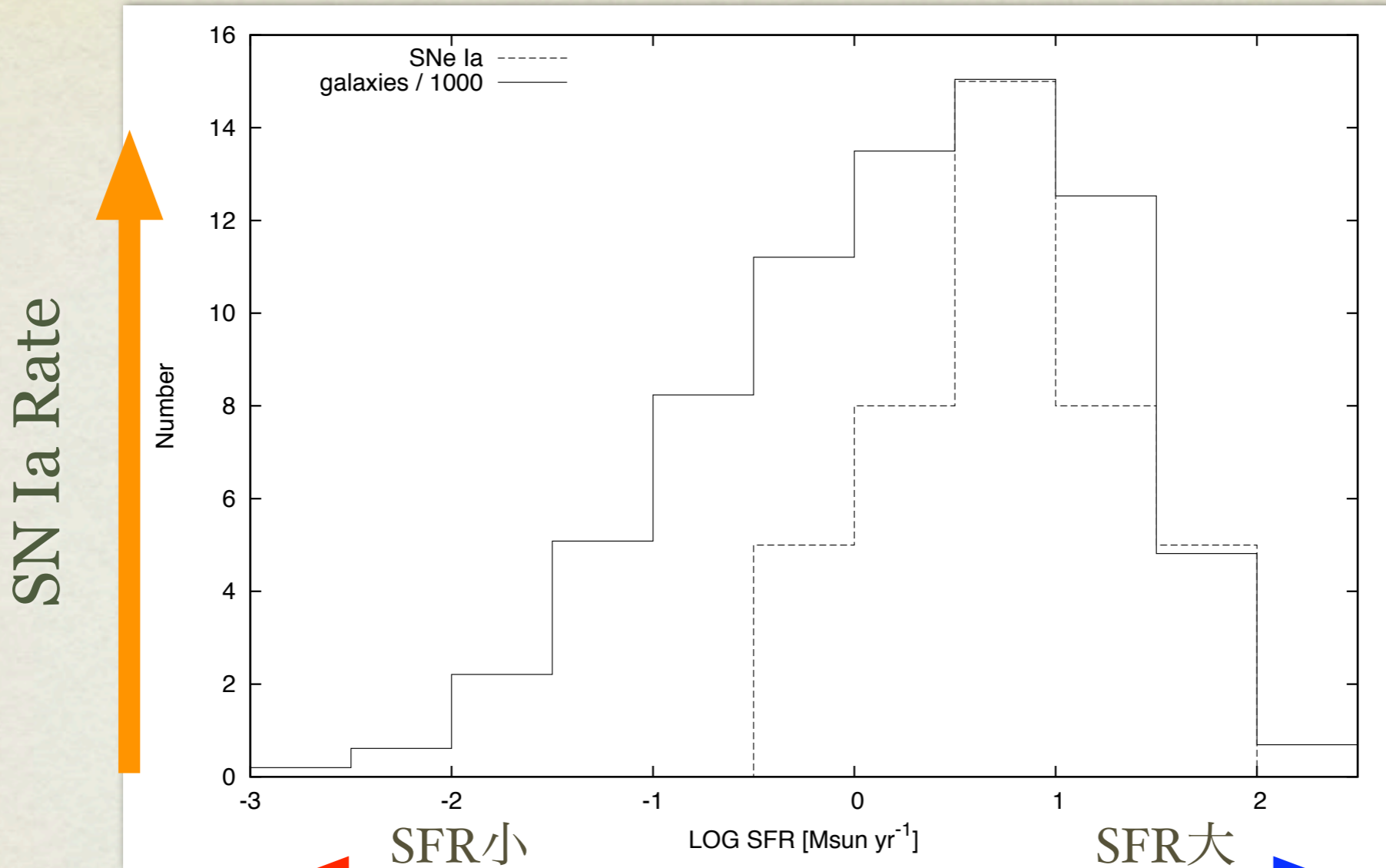
A & B components

結果 - SFR



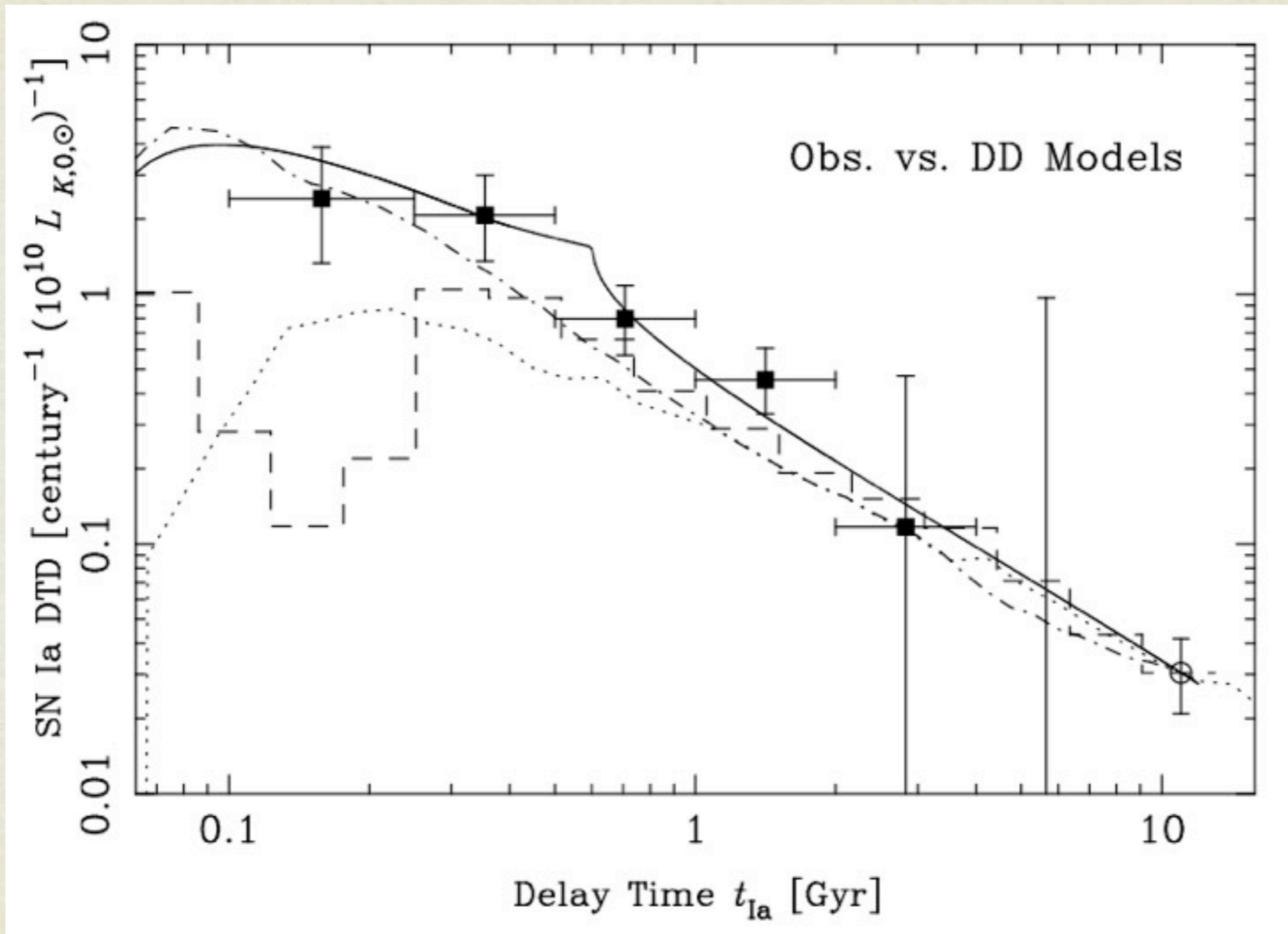
prompt & delayed components

結果 - SFR

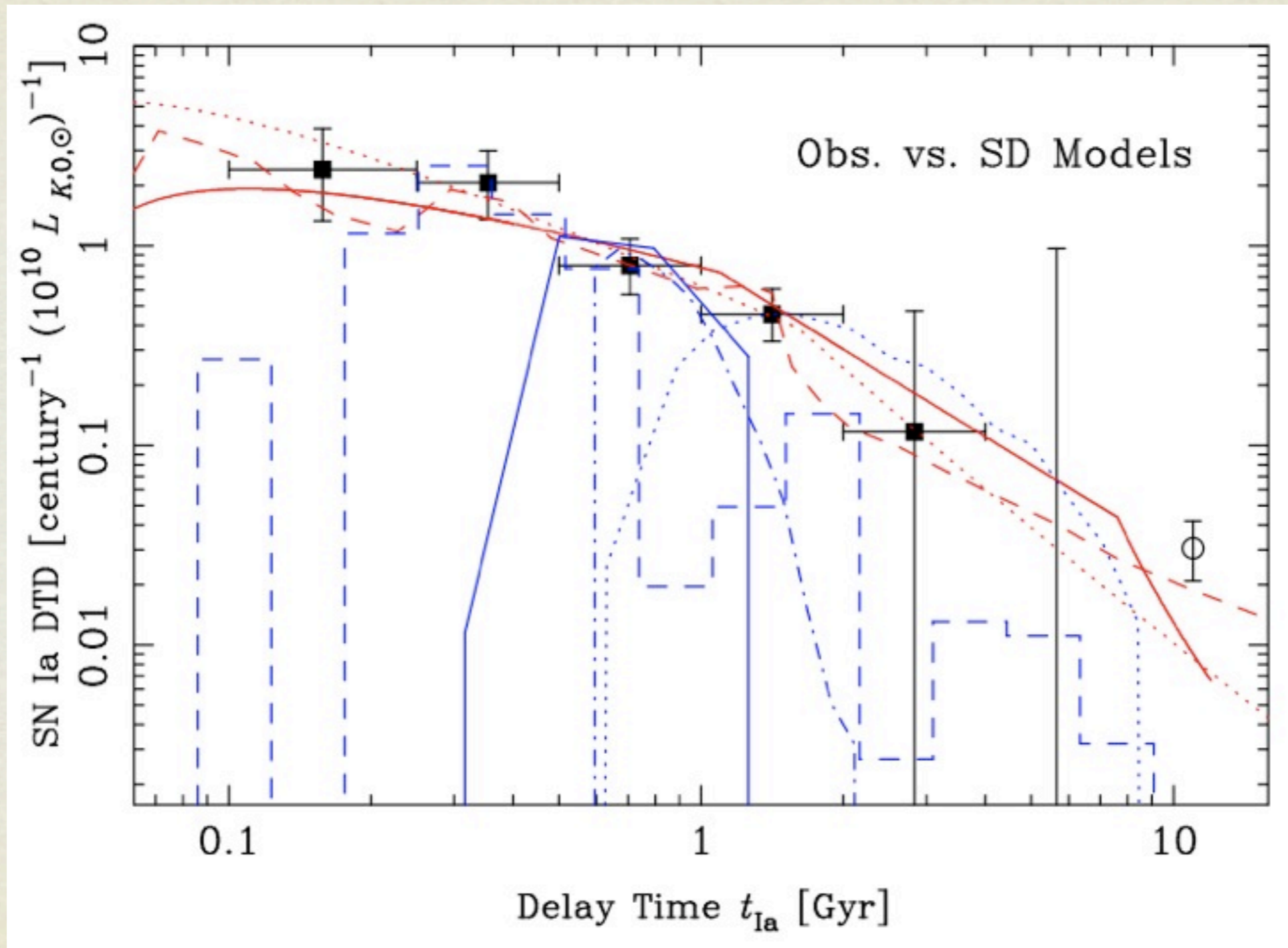


SFR histogram

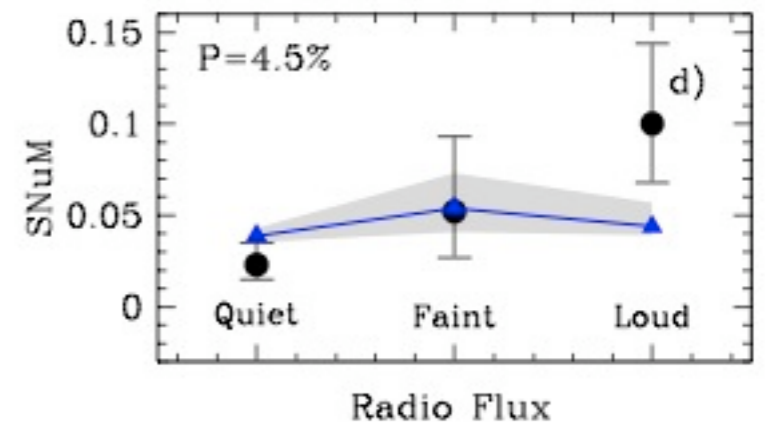
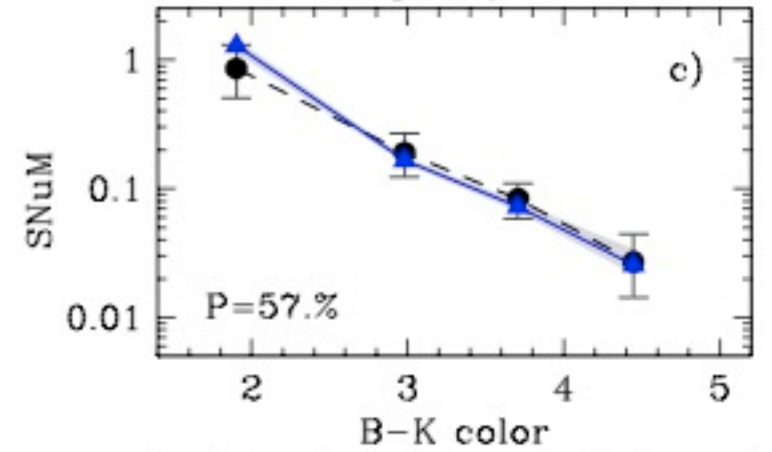
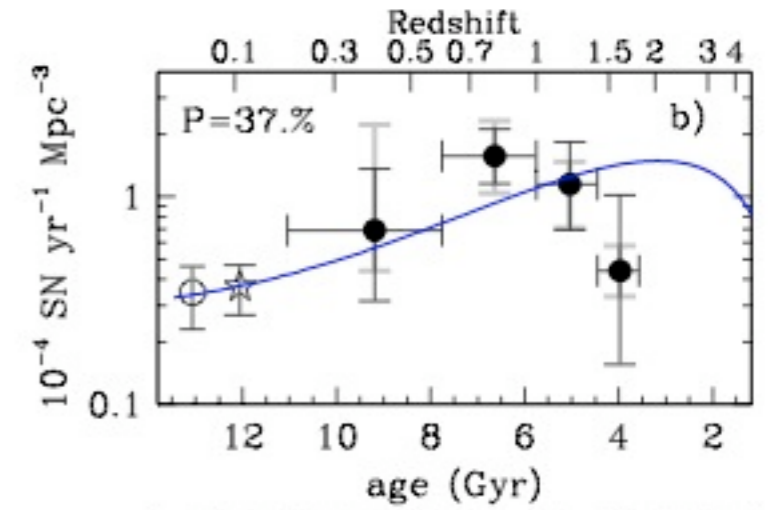
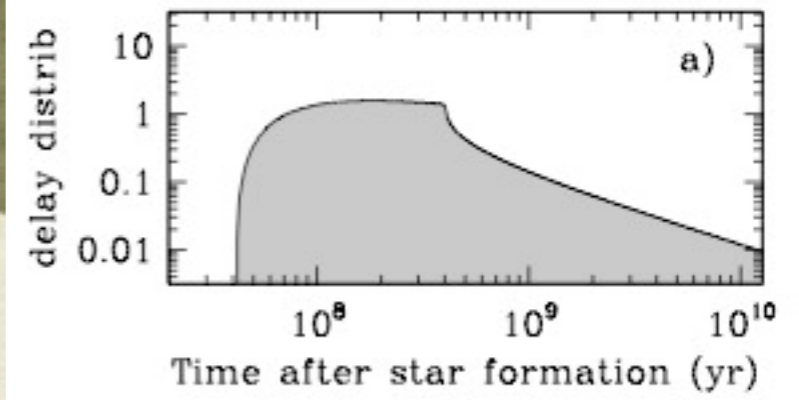
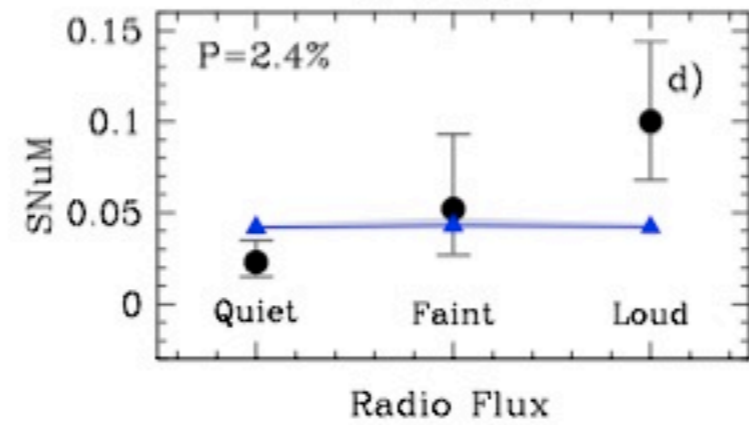
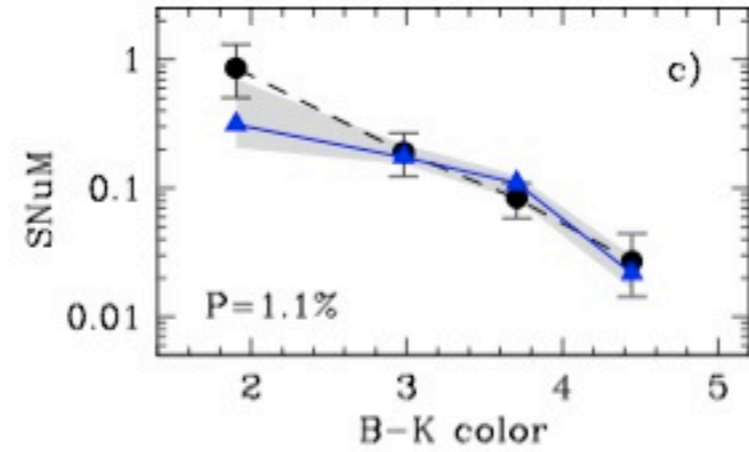
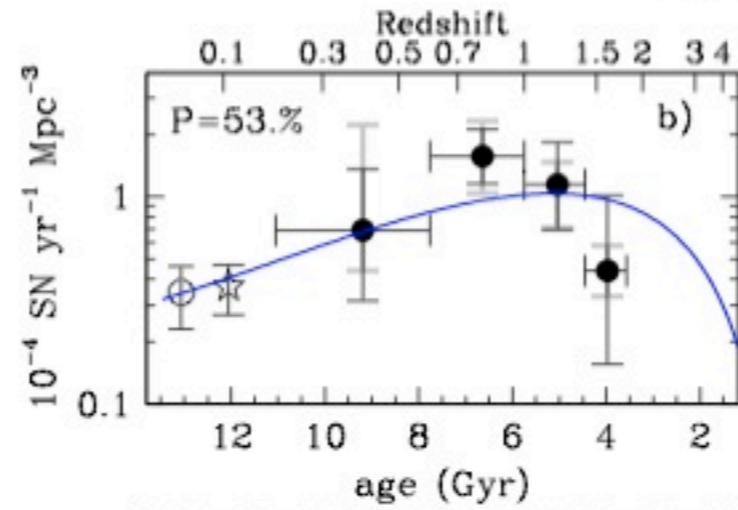
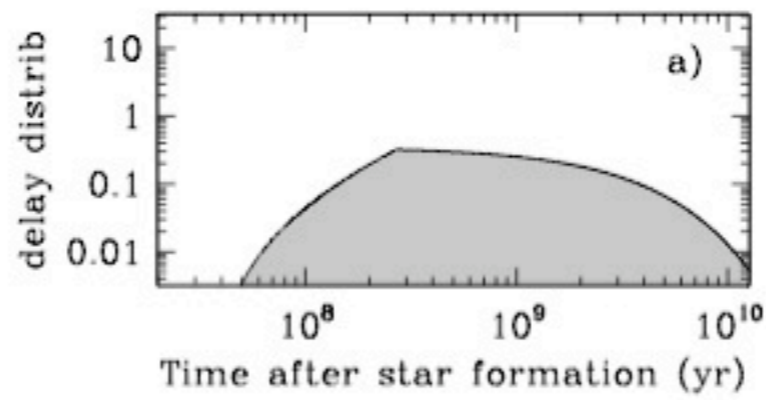
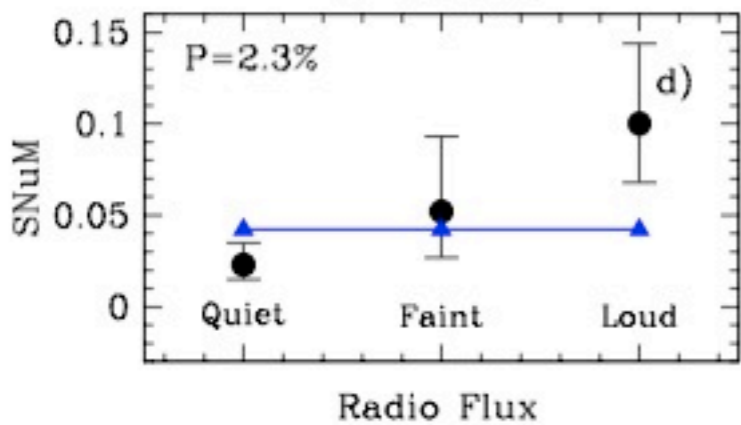
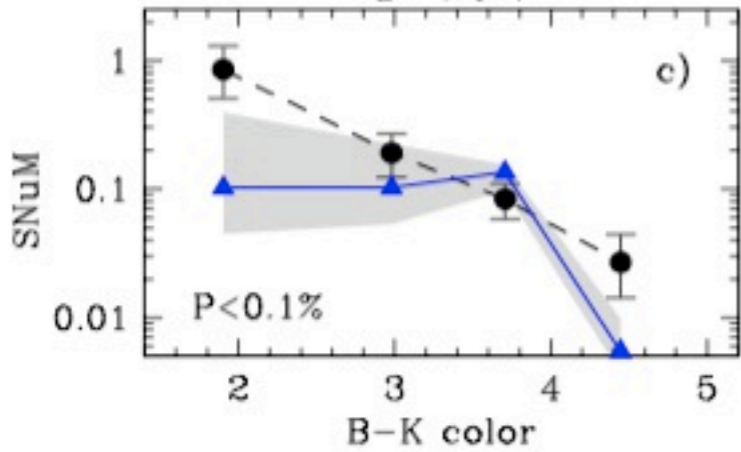
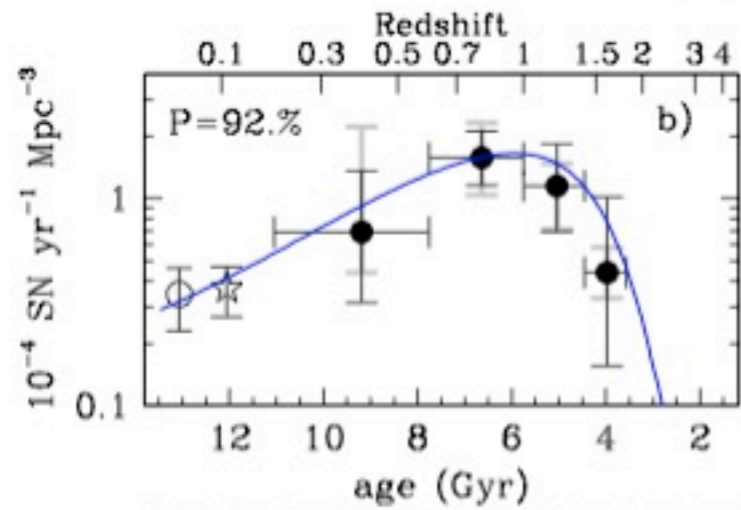
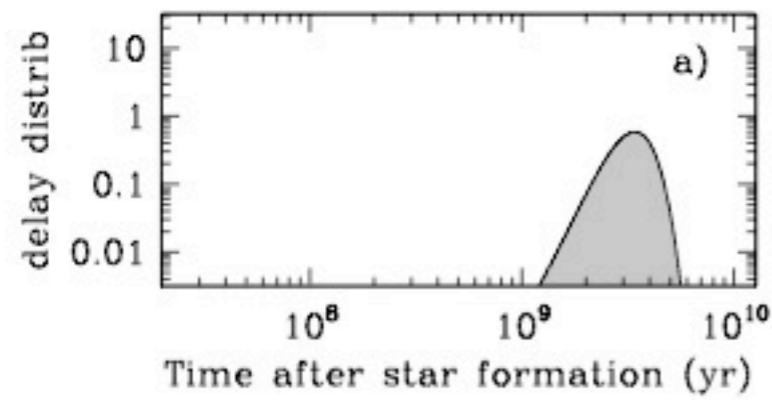
DTD - DD MODELS



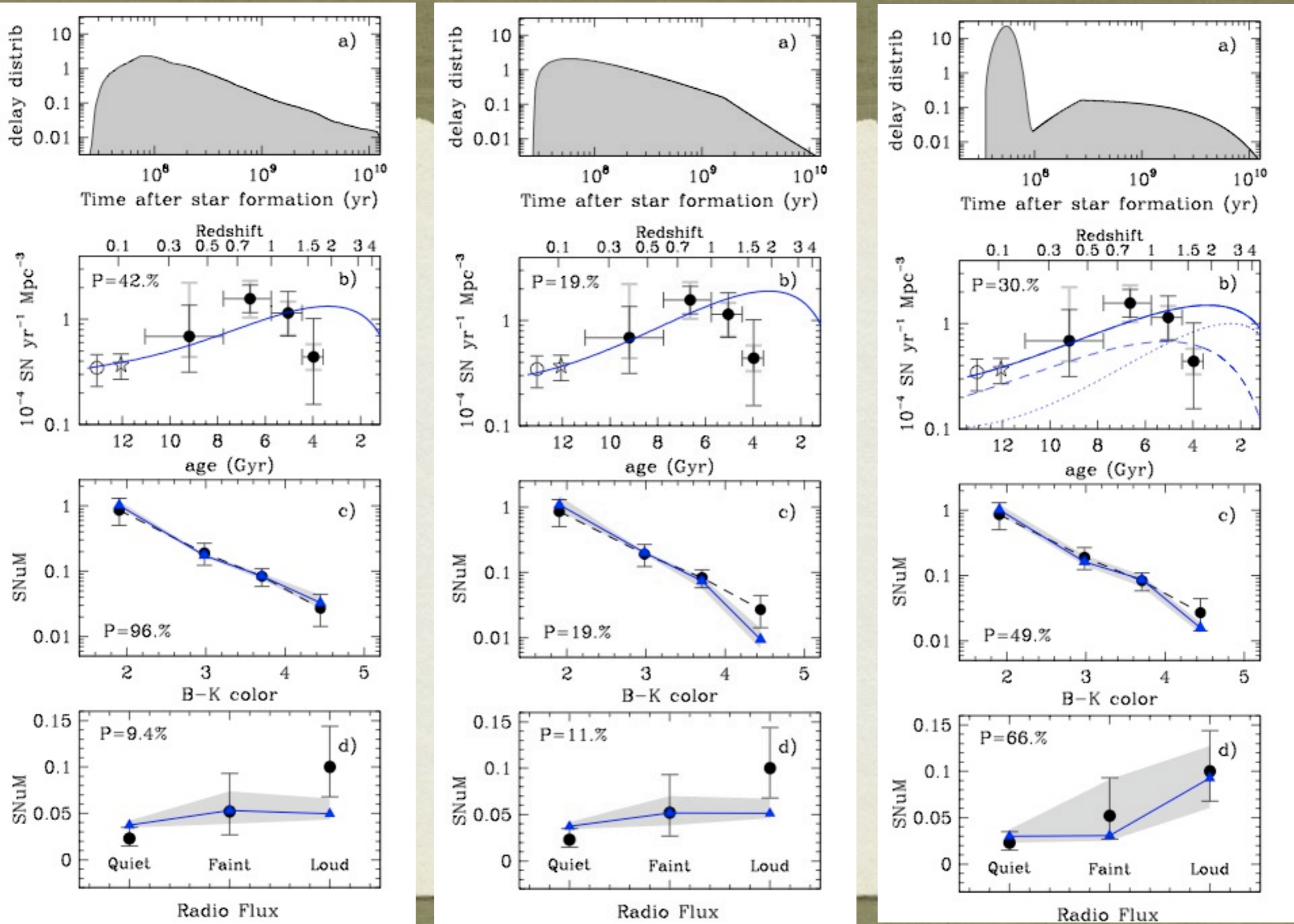
DTD - SD MODELS



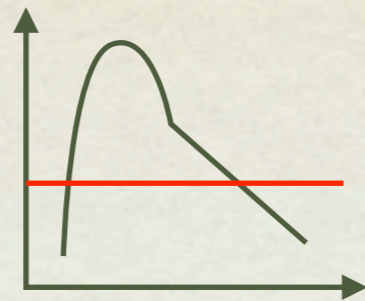
MANNUCCI+06



MANNUCCI+06



RATE CALCULATION



60 days

SNを1個検出

$$\text{SNR} = 1/60 \text{ days} \sim 6/\text{yr}$$

- control time (CT): SNを観測器で検出できる時間

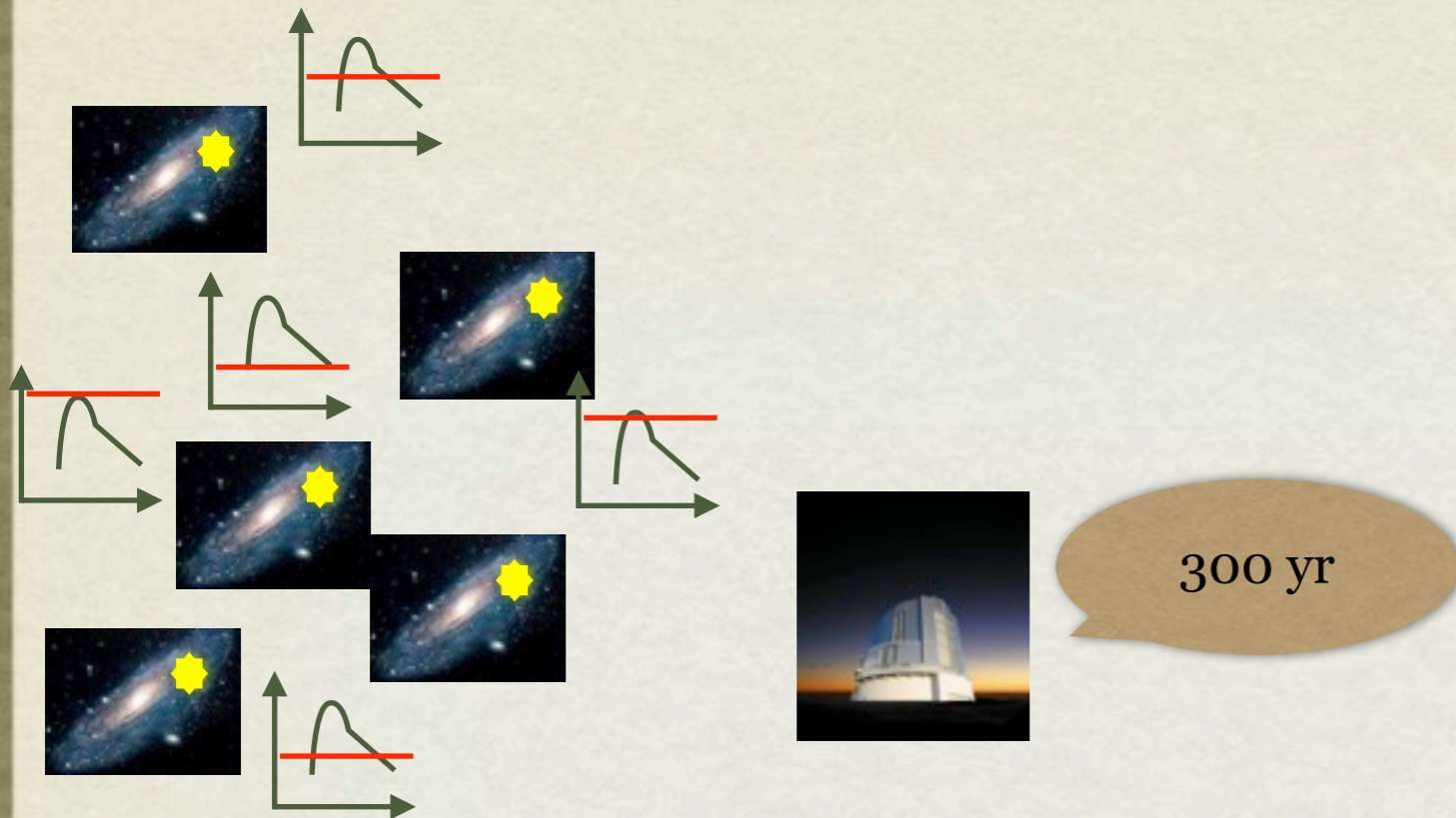
$$\text{SNR} = \frac{N_{obs}}{\text{CT}(z, A_V)}$$

$$\text{SNuM} = \frac{N_{obs}}{\text{CT}(z, A_V) \cdot M}$$

SNR: Supernova Rate

SNuM: Supernova Rate per unit mass

RATE CALCULATION



SNを30個検出

$$\text{SNR} = 30/300\text{yr} \sim 0.1/\text{yr}$$

- control time (CT): SNを観測器で検出できる時間

$$\text{SNR} = \frac{N_{obs}}{\sum \text{CT}_i(z, A_V)}$$

$$\text{SNuM} = \frac{N_{obs}}{\sum \text{CT}_i(z, A_V) \cdot M_i}$$

SNR: Supernova Rate

SNuM: Supernova Rate per unit mass

SED-SFR VS UV-SFR

