

第27回 理論懇シンポジウム

電波で明るい極超新星と それに付随する光学プリカーサ

仲内 大翼(京都大, D3)

檜山 和己(UC Berkeley), 長倉 洋樹, 諏訪 雄大, 中村 卓史(京都大)



Wed. 24 Dec. 2014 @ NAOJ



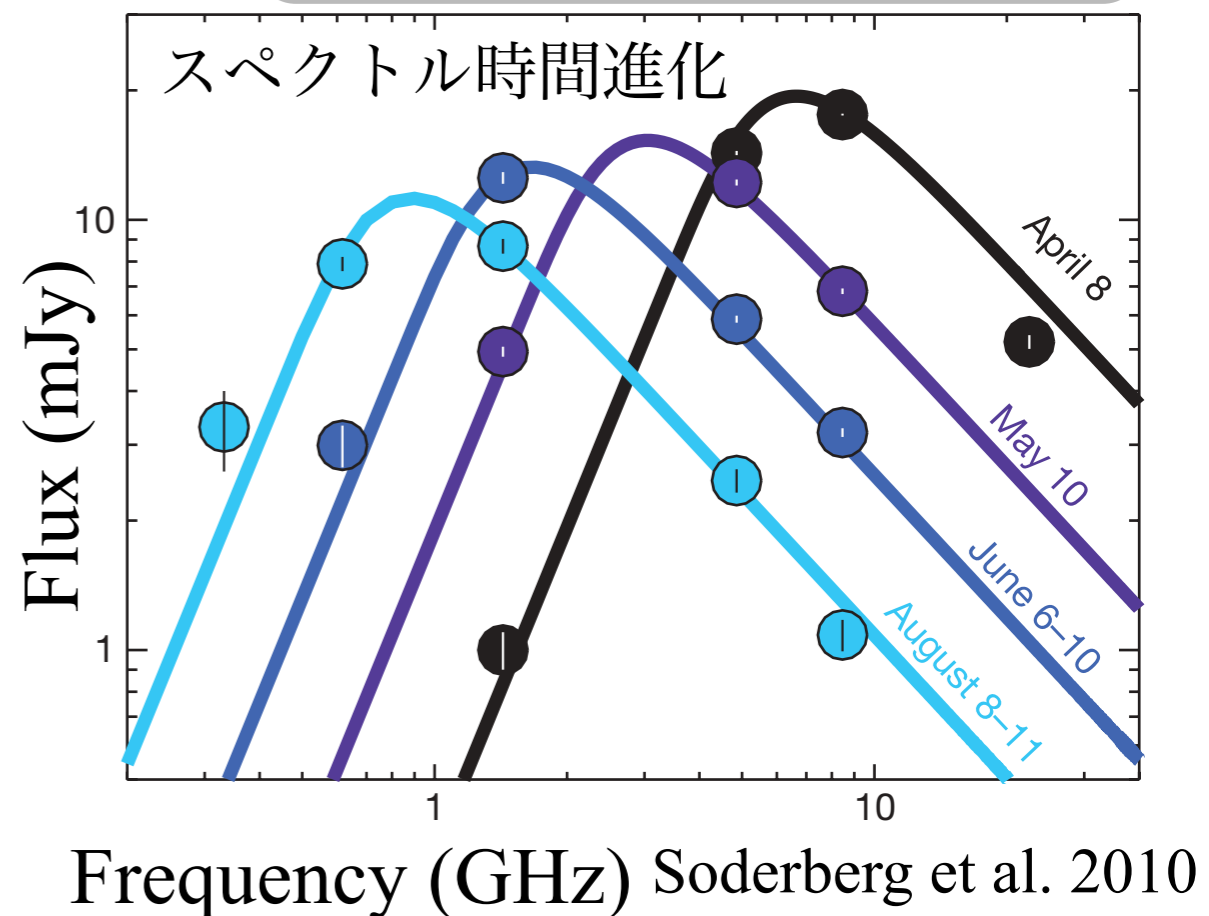
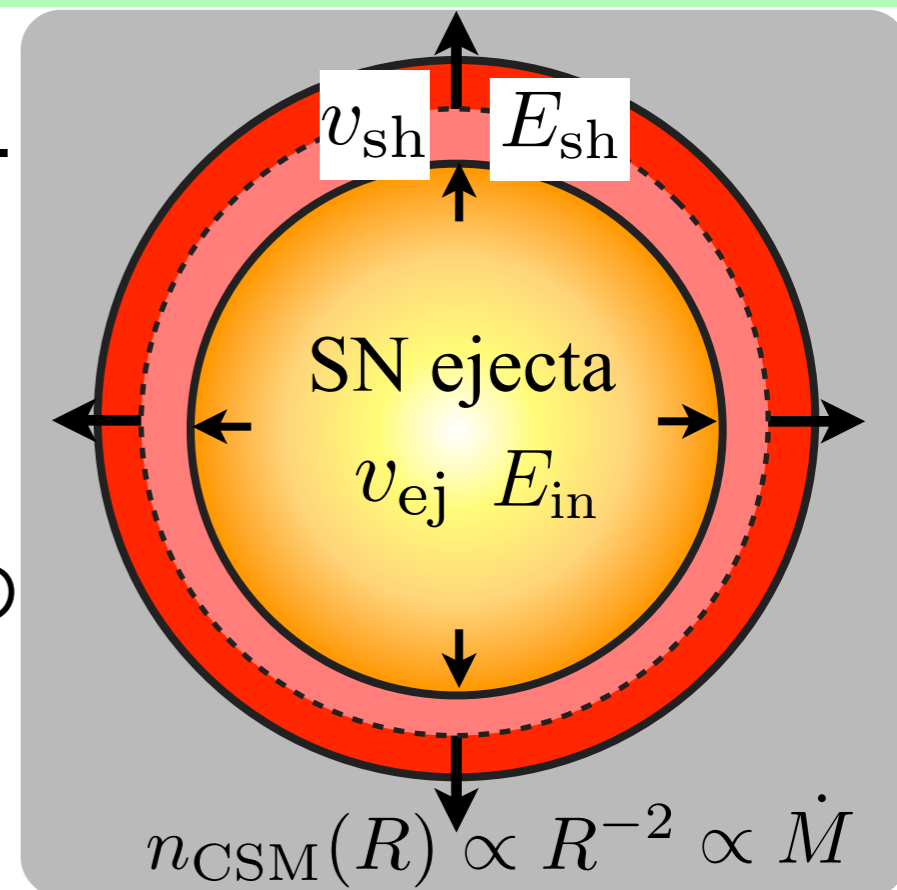
1. Introduction

Radio Supernovae (SNe)

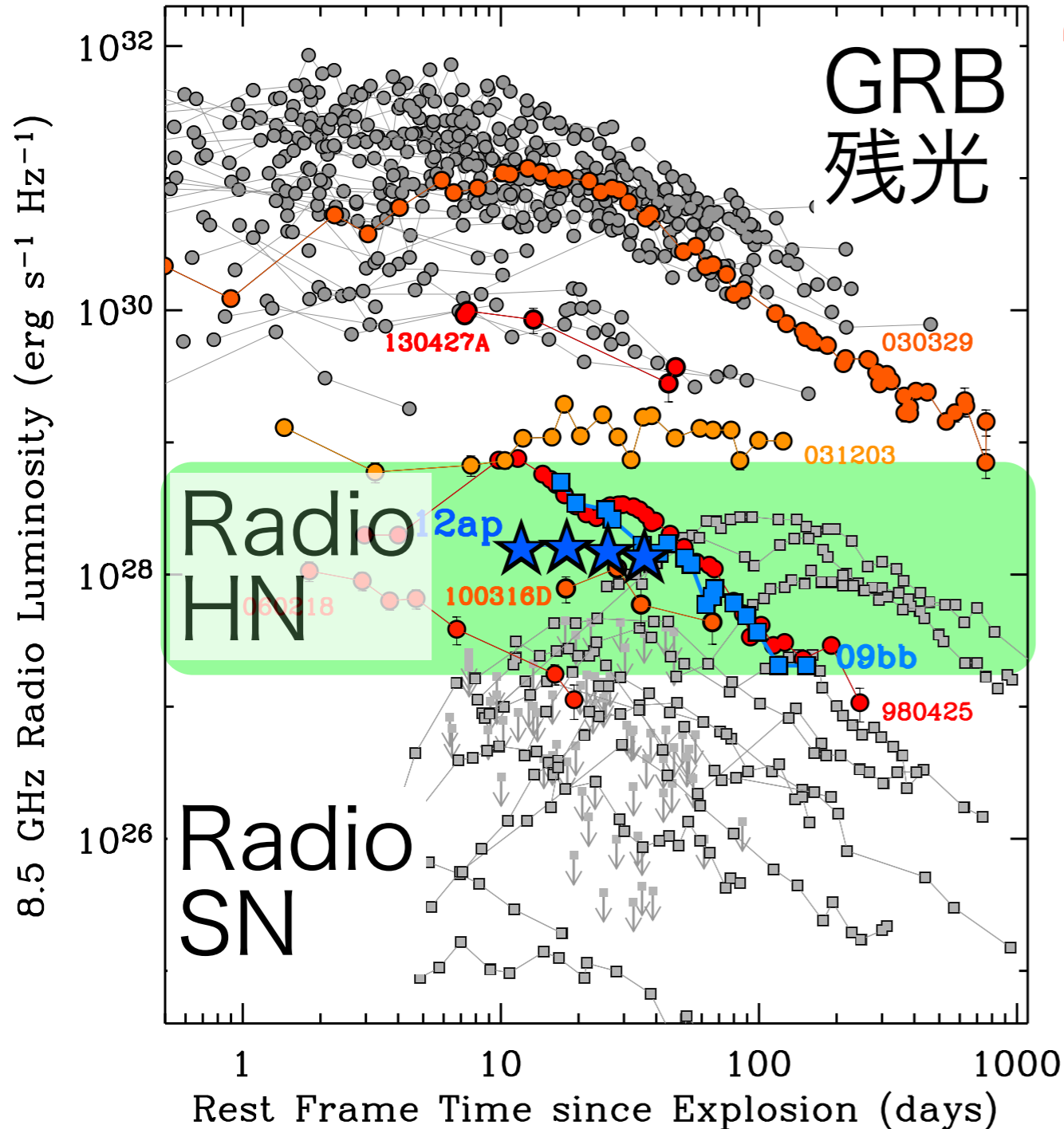
- 一部のI b/c型SNには電波の対応天体が付随.
“Radio SN”と呼ばれる.
- SN ejectaが星周物質(CSM)中を進行.
- Shock領域で加速された相対論的電子からの synchrotron放射モデル. Chevalier 98

➡ shock領域の速度: v_{sh}
shock領域のエネルギー: E_{sh}
CSM密度(質量放出率): \dot{M}

• c.f. SNの可視光観測
➡ Ejecta bulkな速度: v_{ej}
全運動エネルギー: $E_{in} \sim 10^{51}$ erg



Radio SNe & HNe



“Radio Hypernova(HN)”

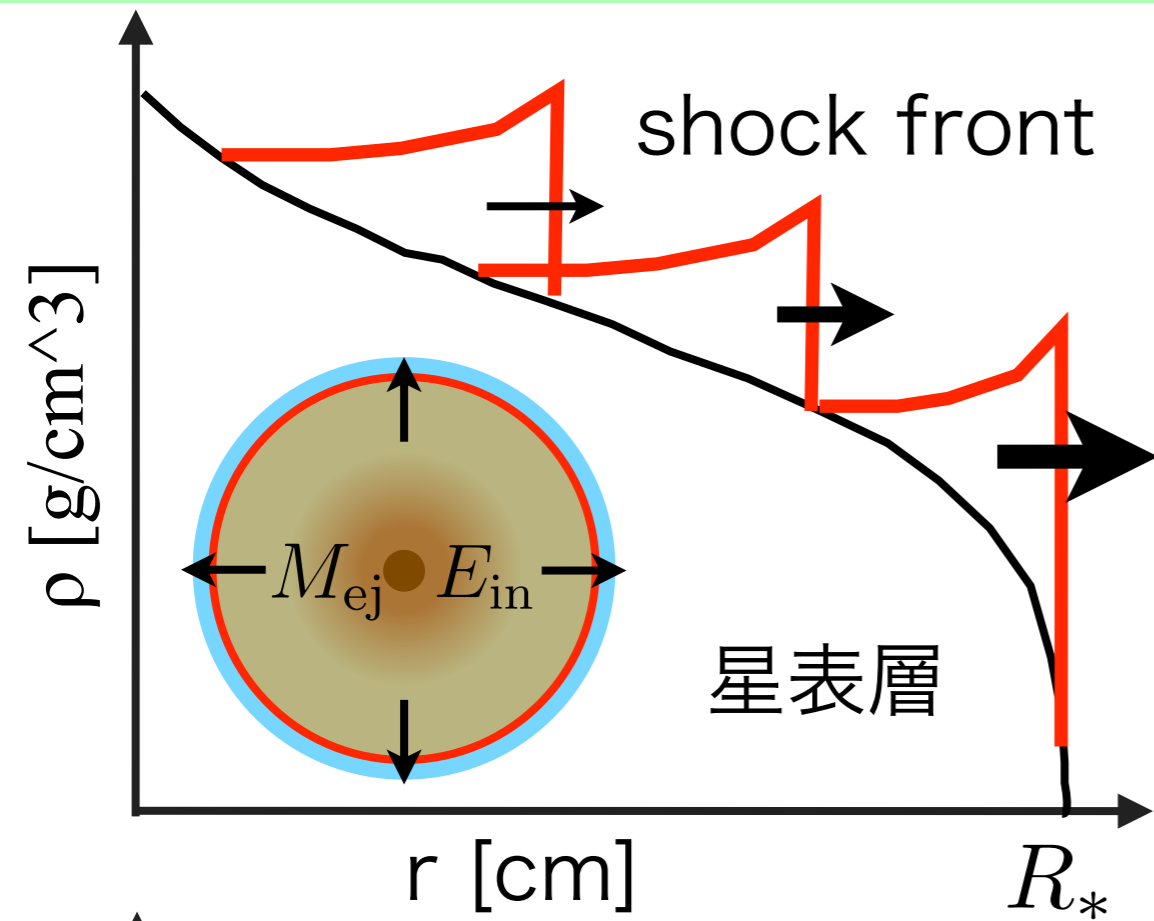
- Hypernova: $E_{\text{in}} \sim 10^{52}$ erg.
- Radio SNより~10倍明るい.
~SN Ib/cとGRBの中間の性質.
- ➔ GRB-SN相関考える上で重要.
- γ 線放射はない(GRBでない)が,
 $v_{\text{ej}} \sim c$ のejectaの存在を示唆.
- ➔ ジェット起源のSN(初)?

Soderberg et al. 10 Margutti et al. 14

Refreshed shock modelに従い, 上記解釈を再考する.

2. Refreshed Shock Model

Dynamics of SN Shock Breakout



球状爆発でも $v_{ej} \sim c$ は存在しうる。

星表層における shock 面の加速

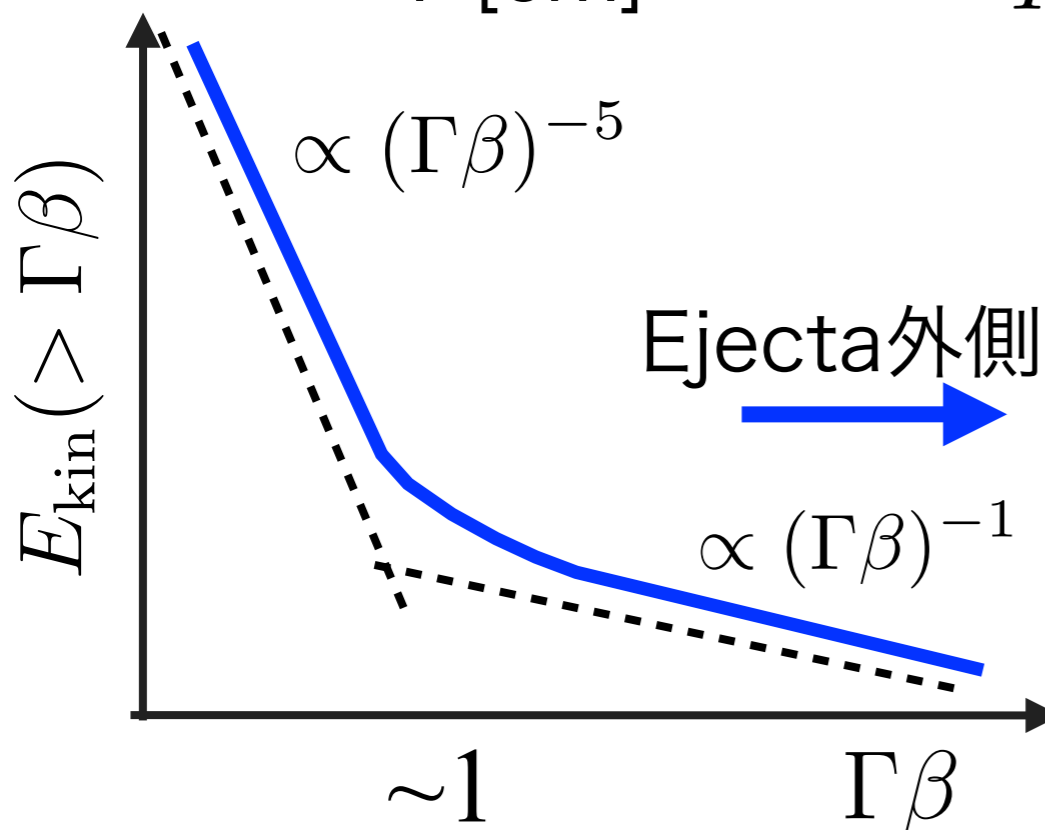
Sakurai 60, Johnson&McKee 71

一部は相対論的速度にまで加速される。

Shock breakout後も

internal energy \rightarrow kinetic energy
によりさらなる加速。

Matzner&McKee 99
Tan et al. 01



非一様速度構造をもつ ejecta の形成。

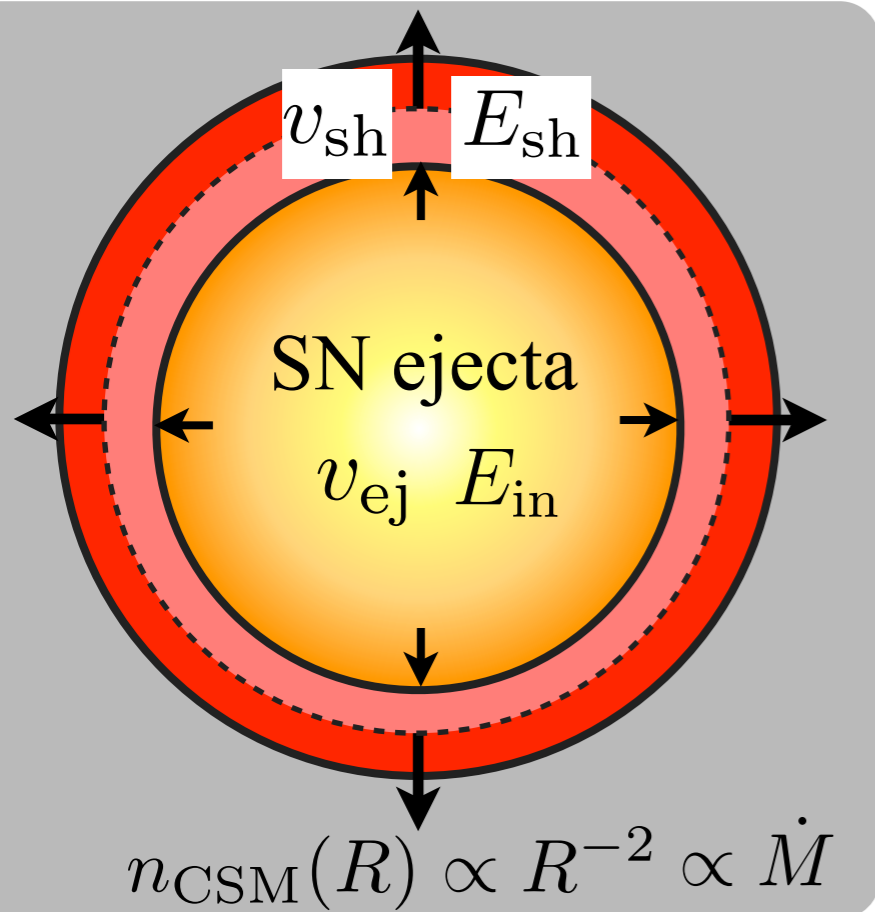
$$E_{kin}(> \Gamma\beta) \propto \tilde{E} [(\Gamma\beta)^{-0.94} + (\Gamma\beta)^{-0.2}]^{5.5}$$

外側ほど速いが, kinetic energy は小

非一様な速度構造をもつ ejecta が
CSM に衝突して減速する様を見る。

Dynamics of Decelerating Ejecta

Sari et al. 98
Rees&Meszaros98
Sari&Meszaros00



(外側の)速いshellから順に減速.

(内側の)遅いshellが追いつき, shock領域のエネルギーが増す.

“Refreshed shock model”

Forward shock速度:

Kinetic energyの大半がinternal energy
に変わった → 減速段階に入る.

$$E_{kin}(> \Gamma\beta) \sim E_{sh}(\Gamma\beta, R) \Rightarrow \Gamma\beta = \Gamma\beta(R)$$

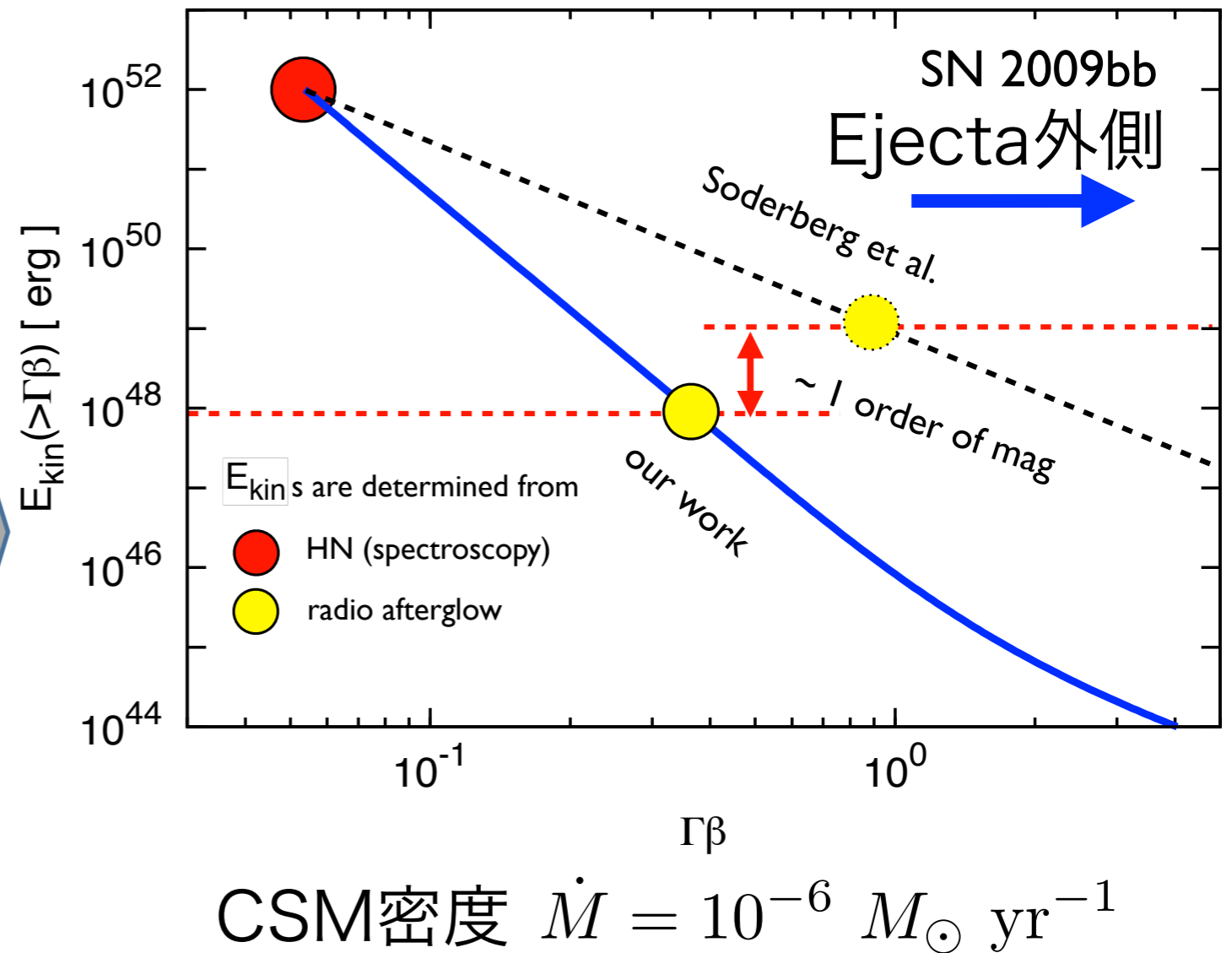
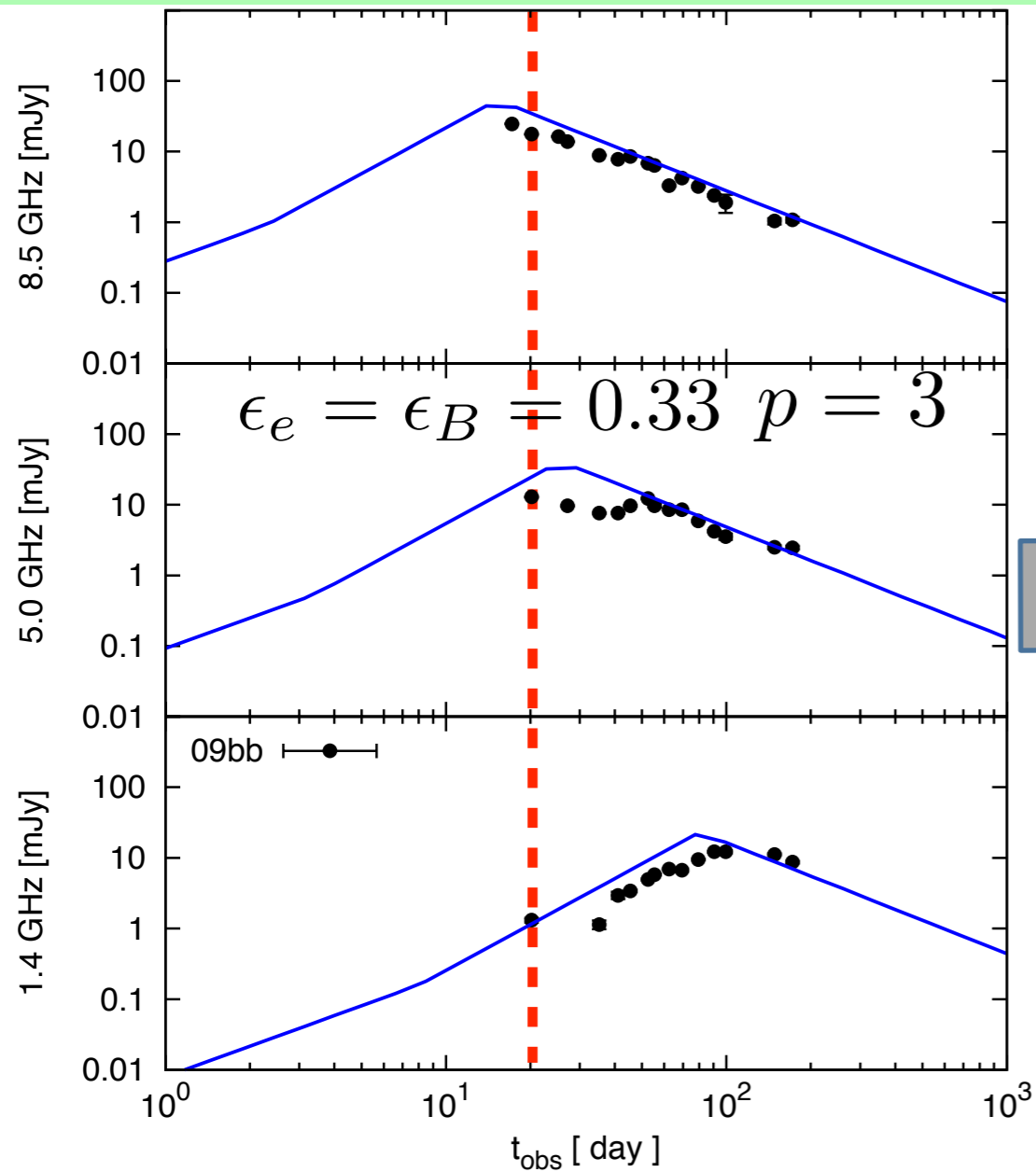
$$E_{sh}(\Gamma\beta, R) = R^3 (\Gamma\beta)^2 n_{CSM}(R) m_p c^2 \left[\frac{8\pi}{9} \beta^2 + \frac{9}{4\alpha_2} (1 - \beta^2) \right]$$

De Colle et al. 12

Shock領域で加速された電子からのsynchrotron放射を考える.

3. Results

SN2009bb, A Radio HN



球状爆発をしたhypernova(HN)であるという解釈と無矛盾.

ジェット成分が存在するとは必ずしも言えないようである.

先行研究に比してエネルギーの見積もりに約1桁のずれ.

Model Difference

- 相対論的電子個数のエネルギー分布に関する仮定が両者で異なる.

$$N(\gamma_e) = n_0 \gamma_e^{-p} \quad (\gamma_m \leq \gamma_e)$$

先行: $\gamma_m = 1$

今回: $\gamma_m = \epsilon_e (\Gamma - 1) \frac{m_p}{m_e} \frac{p - 2}{p - 1} > 1$

➡ エネルギーの見積もりに約 1 桁のずれ

- Synchrotron放射(opt. thin)

$$(I) F_\nu = \frac{2\pi R^3}{3D^2} c_5 N_0 B^{(p+1)/2} \left(\frac{\nu}{2c_1}\right)^{-(p-1)/2}, \quad \nu > \nu_p$$

- Opt. thick for self absorption

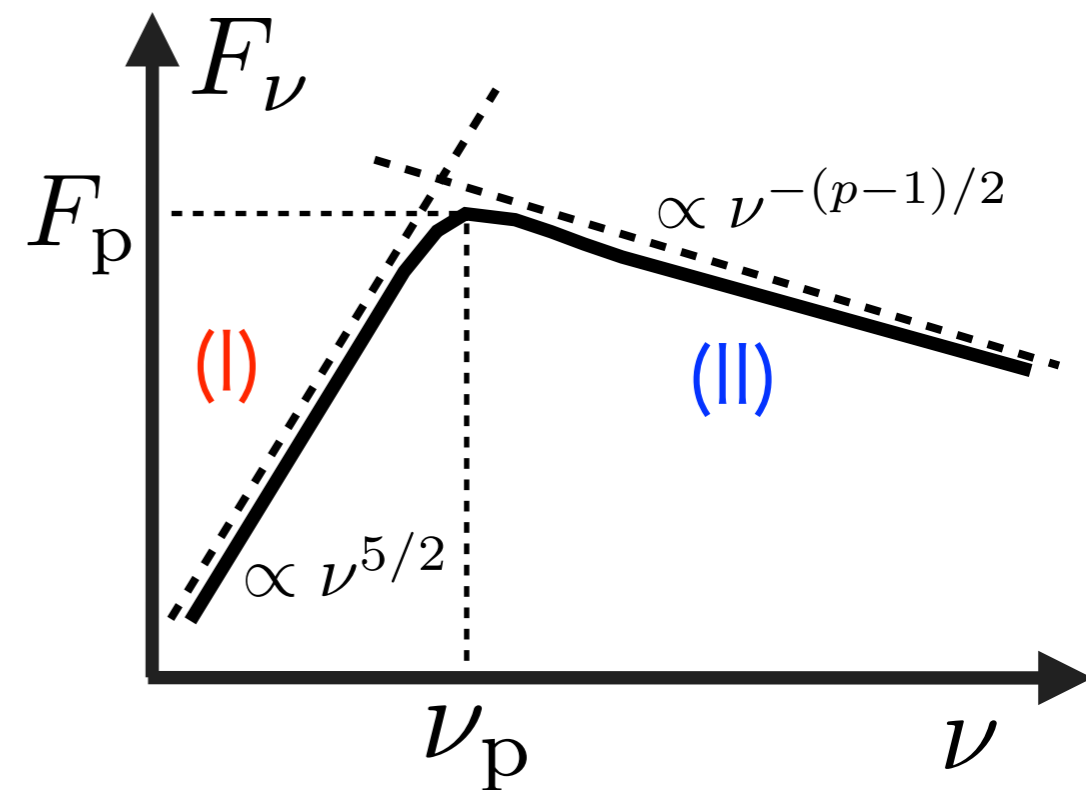
$$(II) F_\nu = \frac{\pi R^2}{D^2} \frac{c_5}{c_6} B^{-1/2} \left(\frac{\nu}{2c_1}\right)^{5/2}, \quad \nu < \nu_p$$

- F_p & ν_p を特定.

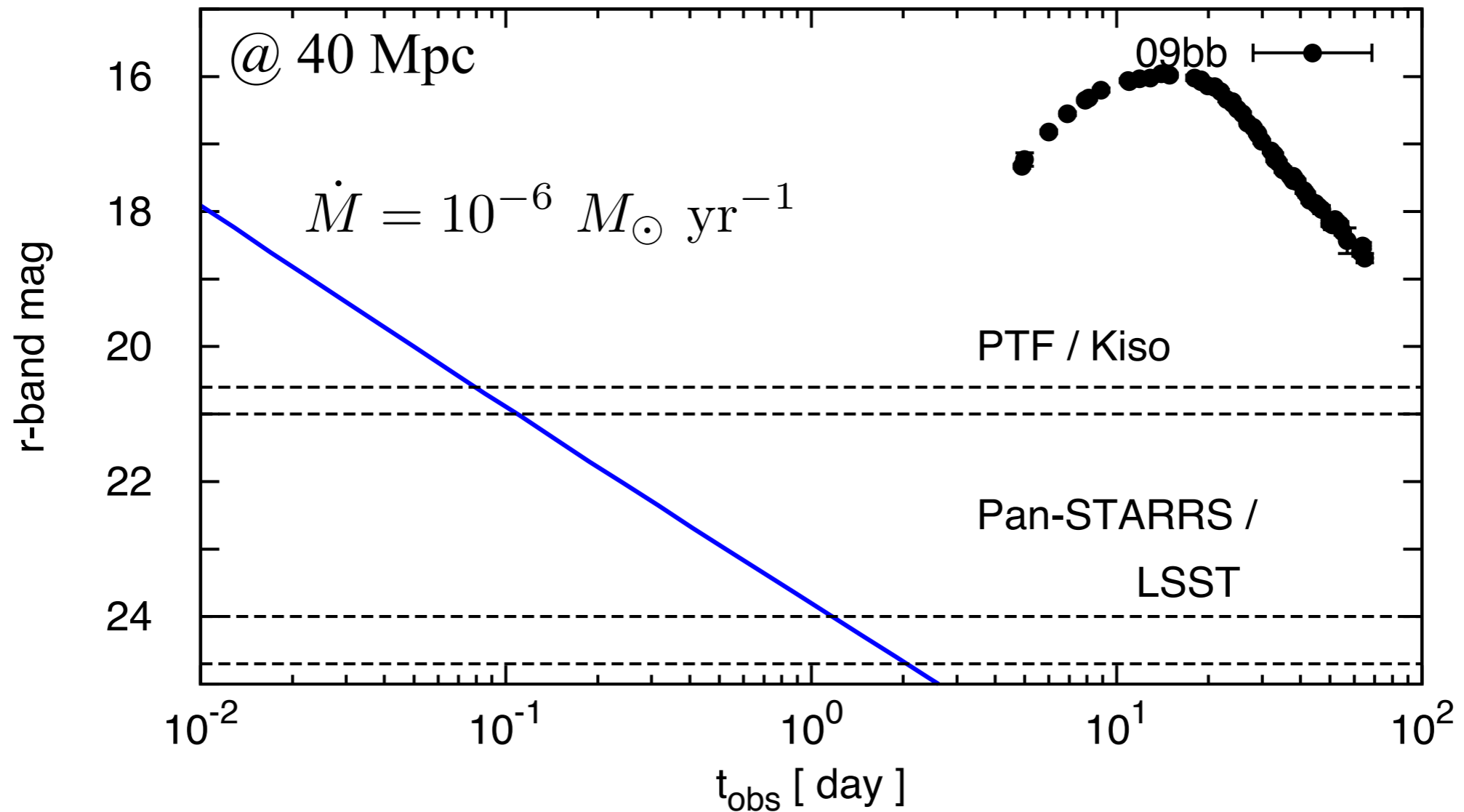
➡ $R_p \propto \gamma_m^{-1/19} \quad B_p \propto \gamma_m^{-4/19}$

➡ $E_{sh} \propto R_p^3 B_p^2 \propto \gamma_m^{-11/19}$

$\gamma_m \sim 30 \quad @ \quad t_{obs} \sim 20 \text{ day}$

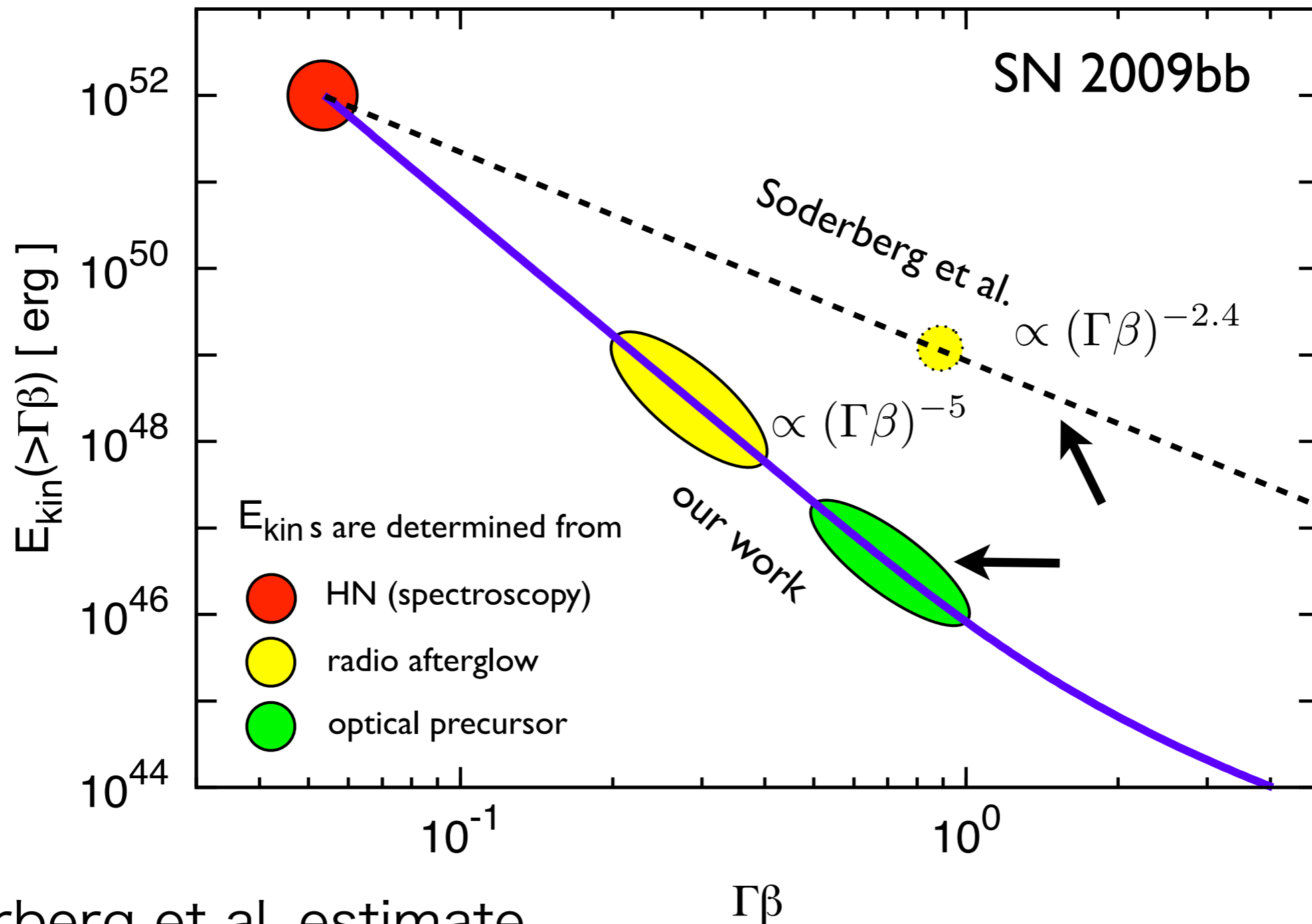


Optical Synchrotron Precursors



- 可視光でSNに対するsynchrotron precursorが存在する可能性.
- < 0.1 dayでは現行の望遠鏡の感度を上回るかもしれない.
- いずれのHNにもoptical precursorが付随しうる.

The Utility of Optical Precursors



Soderberg et al. estimate

➡ ナイーブにはより明るいoptical precursorが期待される。

Optical precursorが2つのモデルを区別する上で有用かもしれない。

4. Summary & Discussion

- Radio HNはGRB-SN相関を考える上で重要な現象.
- ジェット起源のSNである可能性が指摘されていた.
- Refreshed shock modelに従い, 上記解釈を再考した.
- 球状爆発をしたhypernova(HN)であるという解釈と無矛盾.
- ジェット成分をもつとは必ずしも言えないようである.
- 相対論的電子個数分布に関する仮定が両者で異なることに起因する.
- 可視光でSNに対するsynchrotron precursorの存在が予言される.
- < 0.1 dayでは現行の望遠鏡の感度を上回るかもしれない.
- Optical precursorが2つのモデルを区別する上で有用かもしれない.