

超新星観測からわかること

富永望
(甲南大学)



30th Nov 2014

2014年度連星系・変光星・低温度星研究会

目次

- 超新星爆発とは
- 超新星爆発の物理量
- いくつかのトピック

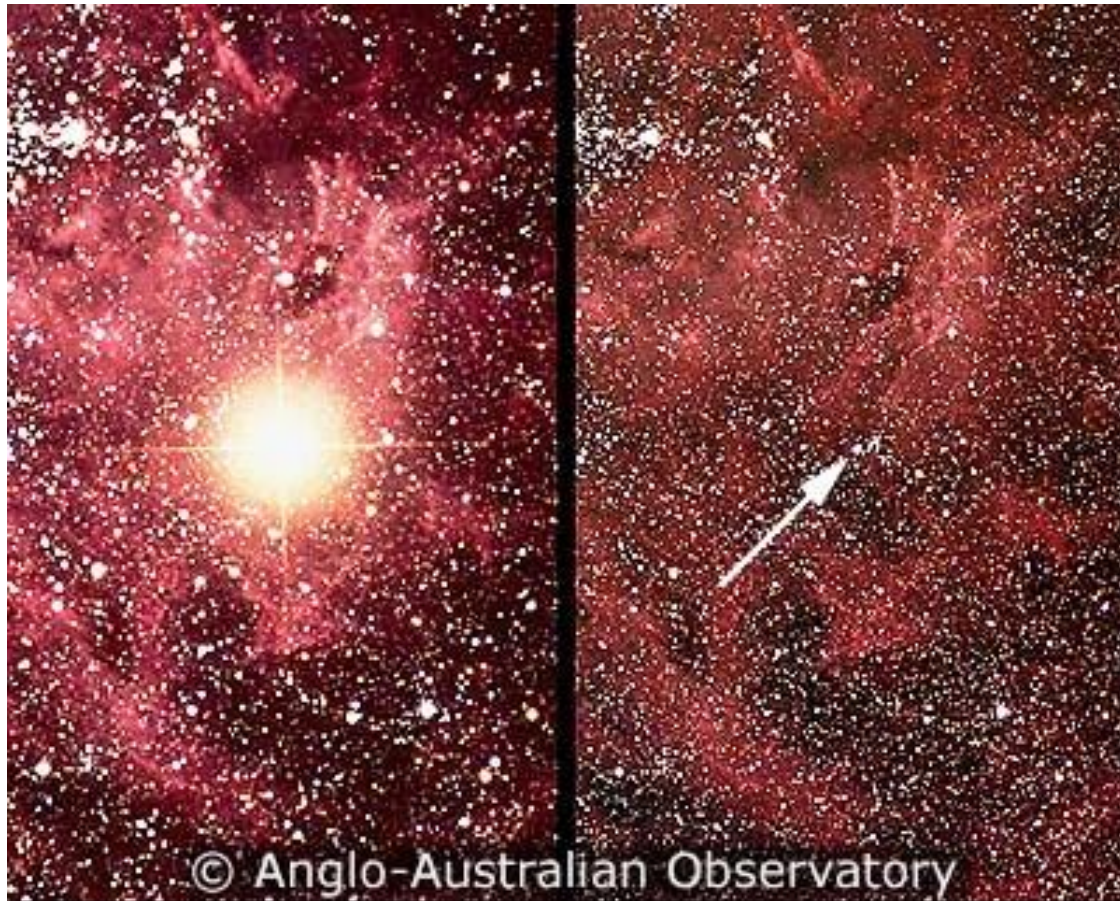
超新星爆発

非常に明るい

$L \sim 10^{42} \text{erg/s} \sim 10^9 L_{\odot}$

大きなエネルギー

$E_K \sim 10^{51} \text{erg}$



SN1987A

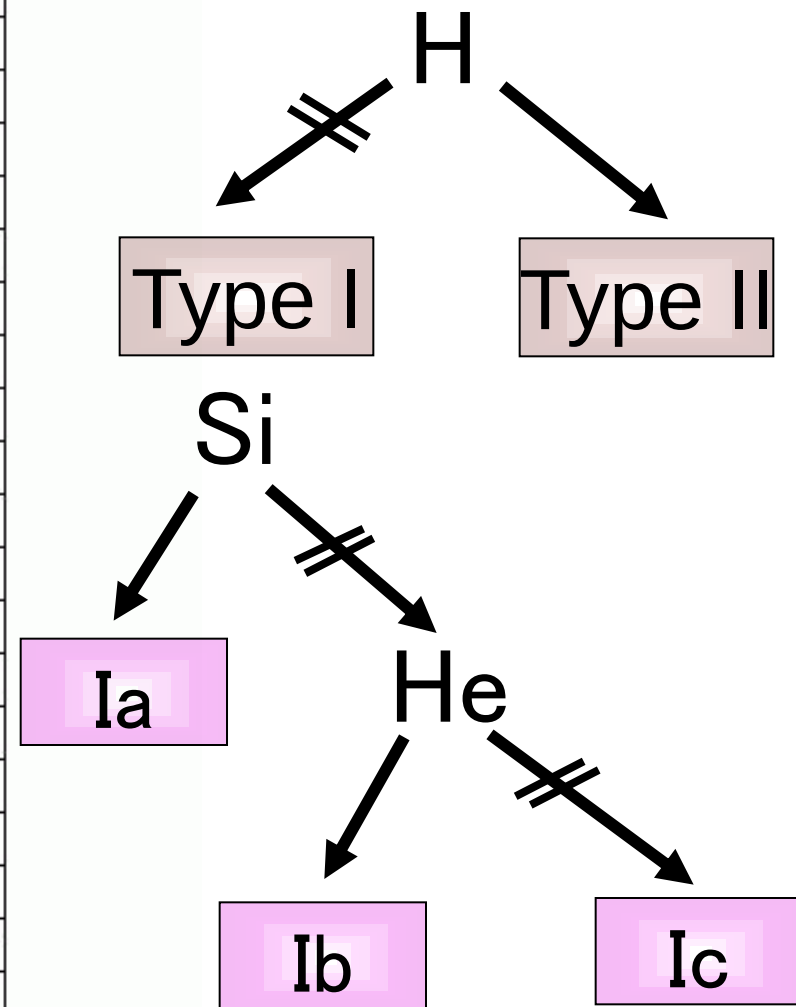
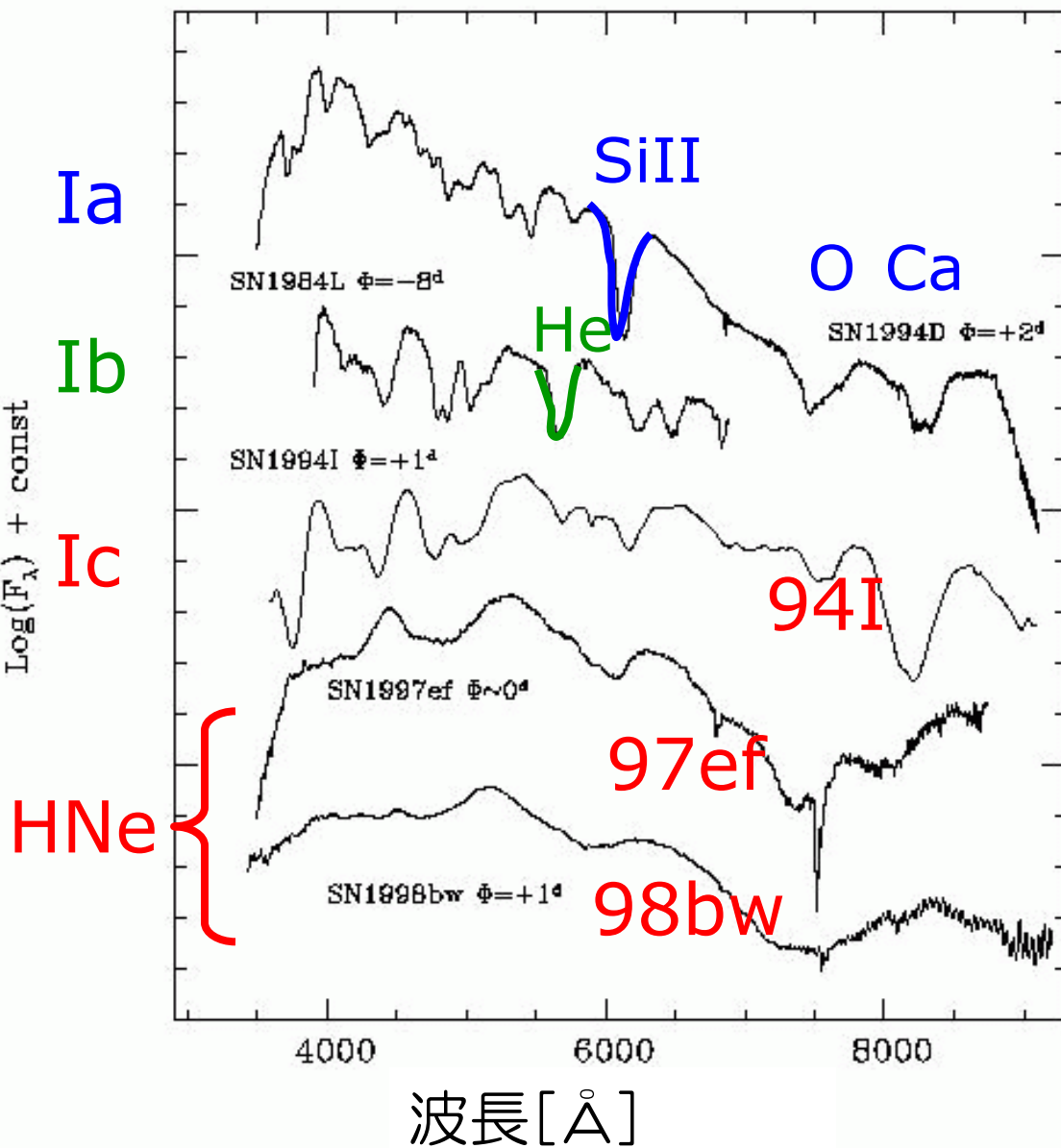
超新星爆発の光度曲線

©SCP

~1month
↔



超新星の分類 -スペクトル-



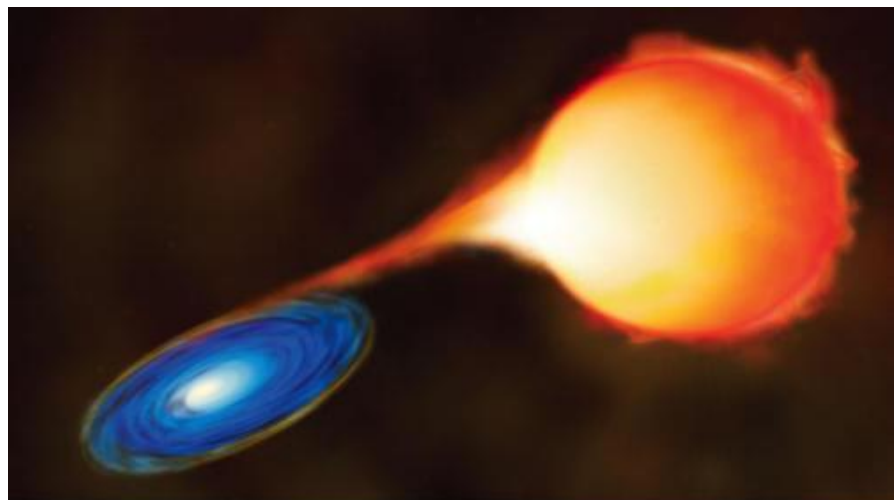
Ia型超新星の爆発メカニズム

- 白色矮星の核爆発(核融合エネルギー)
- 白色矮星 + 伴星

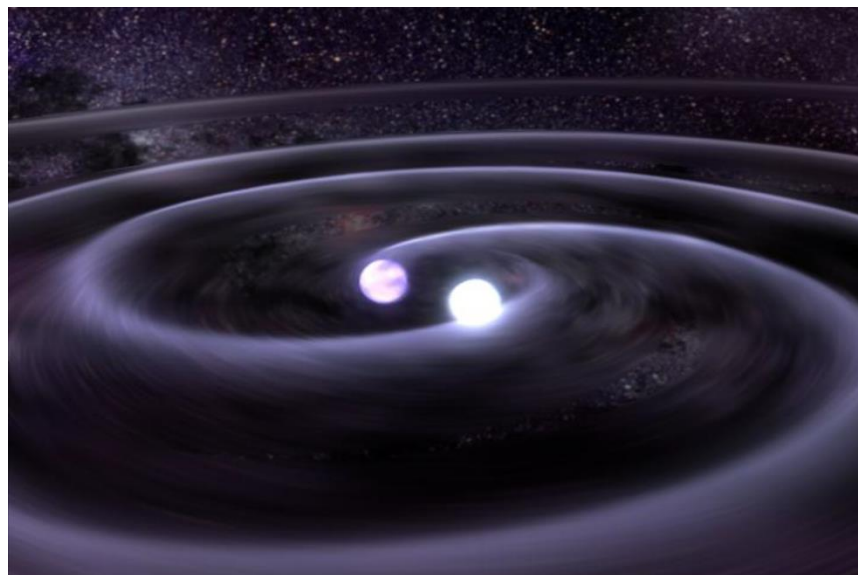
伴星の種類

主系列星または赤色巨星

白色矮星



© 2007 Thomson Higher Education

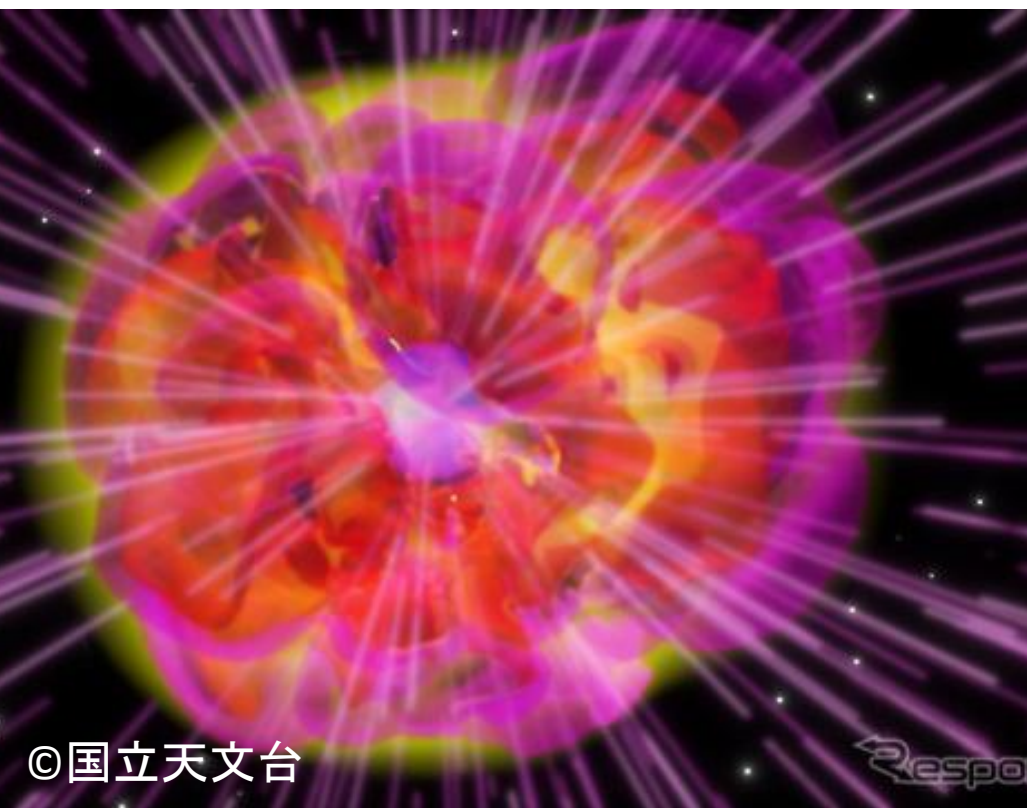


重力崩壊型超新星の爆発メカニズム

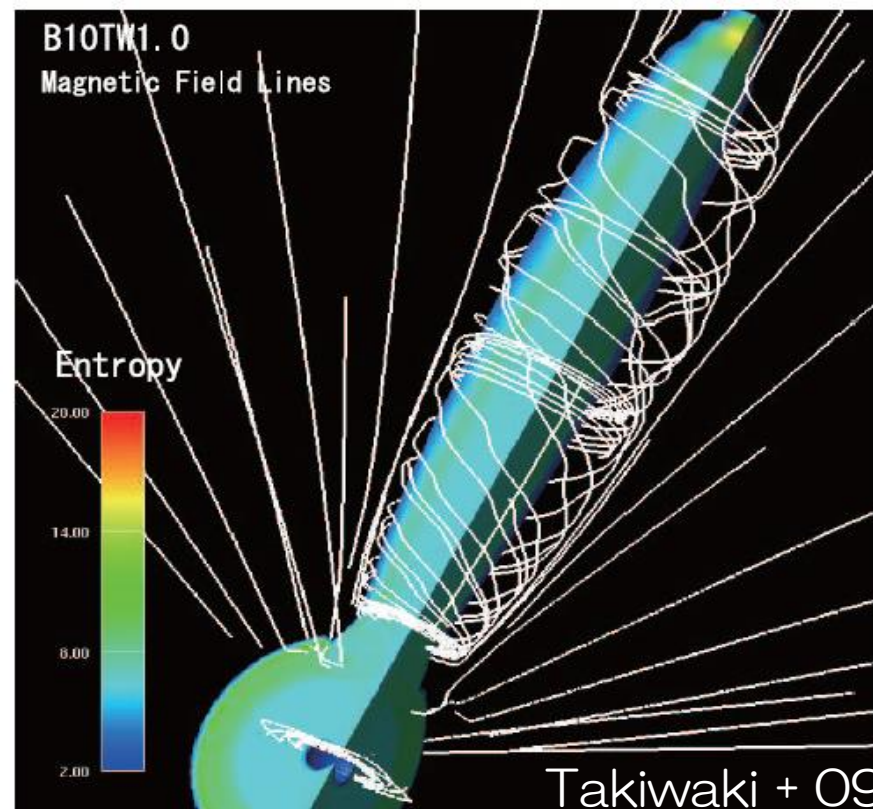
- 大質量星($>8M_{\odot}$)の爆発(重力エネルギー)

爆発エネルギーへ変換

ニュートリノ



磁場

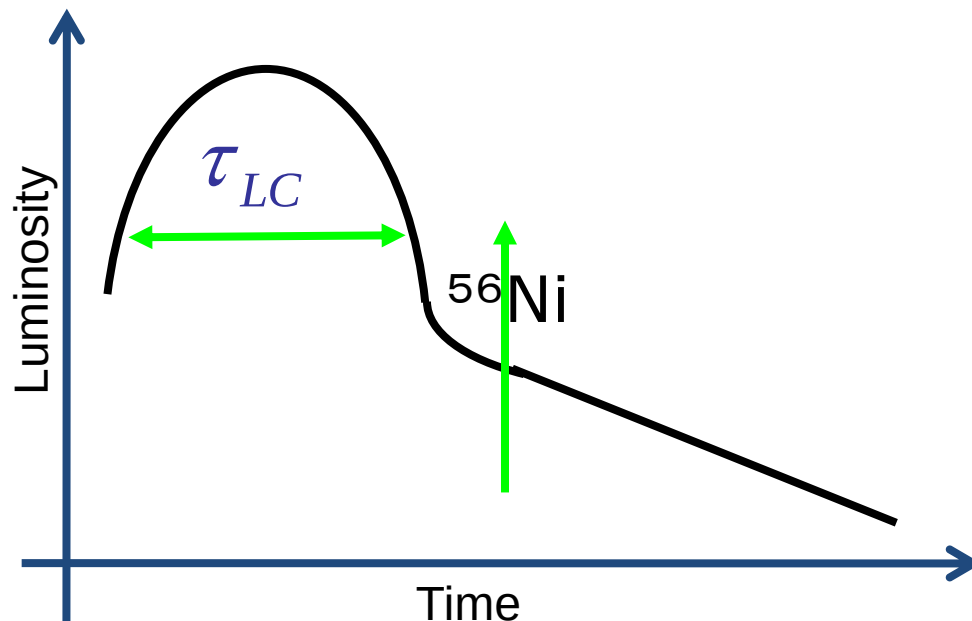


超新星爆発の物理量

I型超新星の場合-1

- 輻射のエネルギー源： ^{56}Ni の放射性崩壊

光度曲線

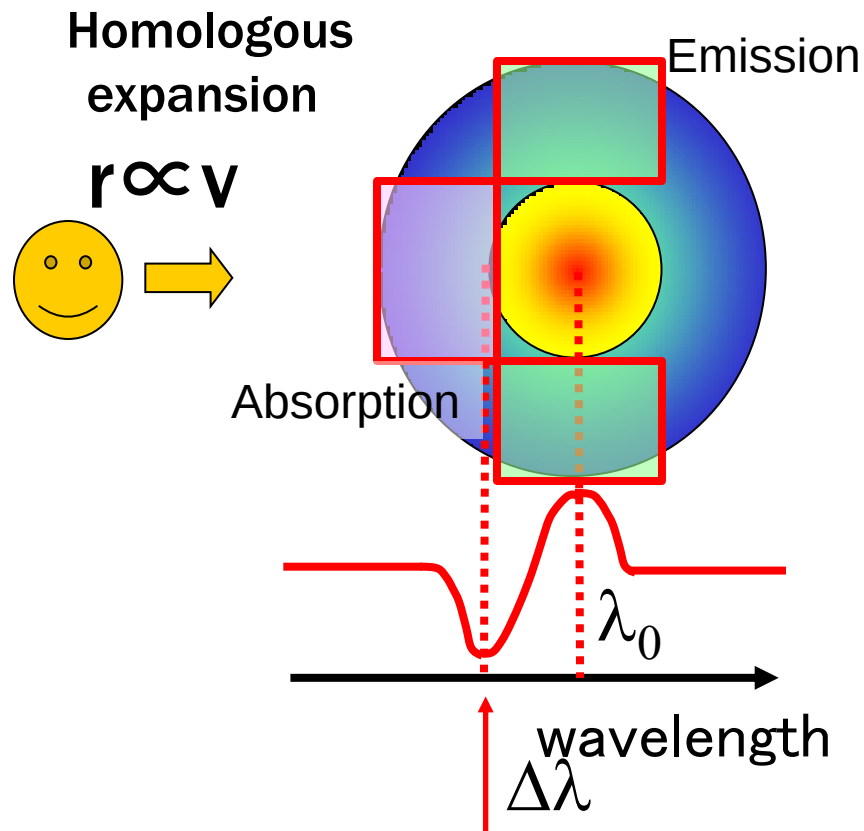


$$\tau_{LC} \sim (\tau_{dyn} \cdot \tau_{diff})^{1/2} \\ \sim \left[\frac{R}{V} \frac{\kappa M_{ej}}{R c} \right]^{1/2}$$

$$\tau_{LC} \propto \frac{\kappa^{1/2} M_{ej}^{3/4}}{E^{1/4}}$$

I型超新星の場合-2

スペクトル



line velocity: $v = c\Delta\lambda/\lambda_0$

©Masaomi Tanaka

$$v_{ph} \propto (E / M_{ej})^{1/2}$$

$$\tau_{LC} \propto \frac{\kappa^{1/2} M_{ej}^{3/4}}{E^{1/4}}$$

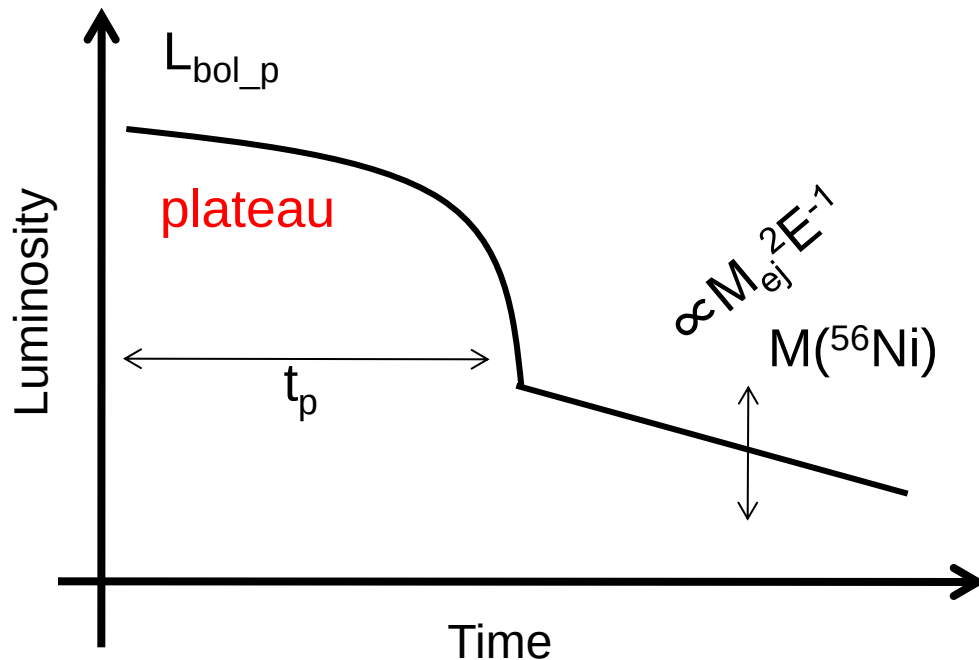
$$M_{ej}, E, M(^{56}\text{Ni})$$

II型超新星の場合

- 輻射のエネルギー源: 衝撃波加熱(初期)

^{56}Ni の放射性崩壊(後期)

光度曲線



$$L_{bol_p} \propto R_{preSN}^{2/3} M_{env}^{-1/2} E^{5/6}$$

$$t_p \propto R_{preSN}^{1/6} M_{env}^{1/2} E^{-1/6}$$

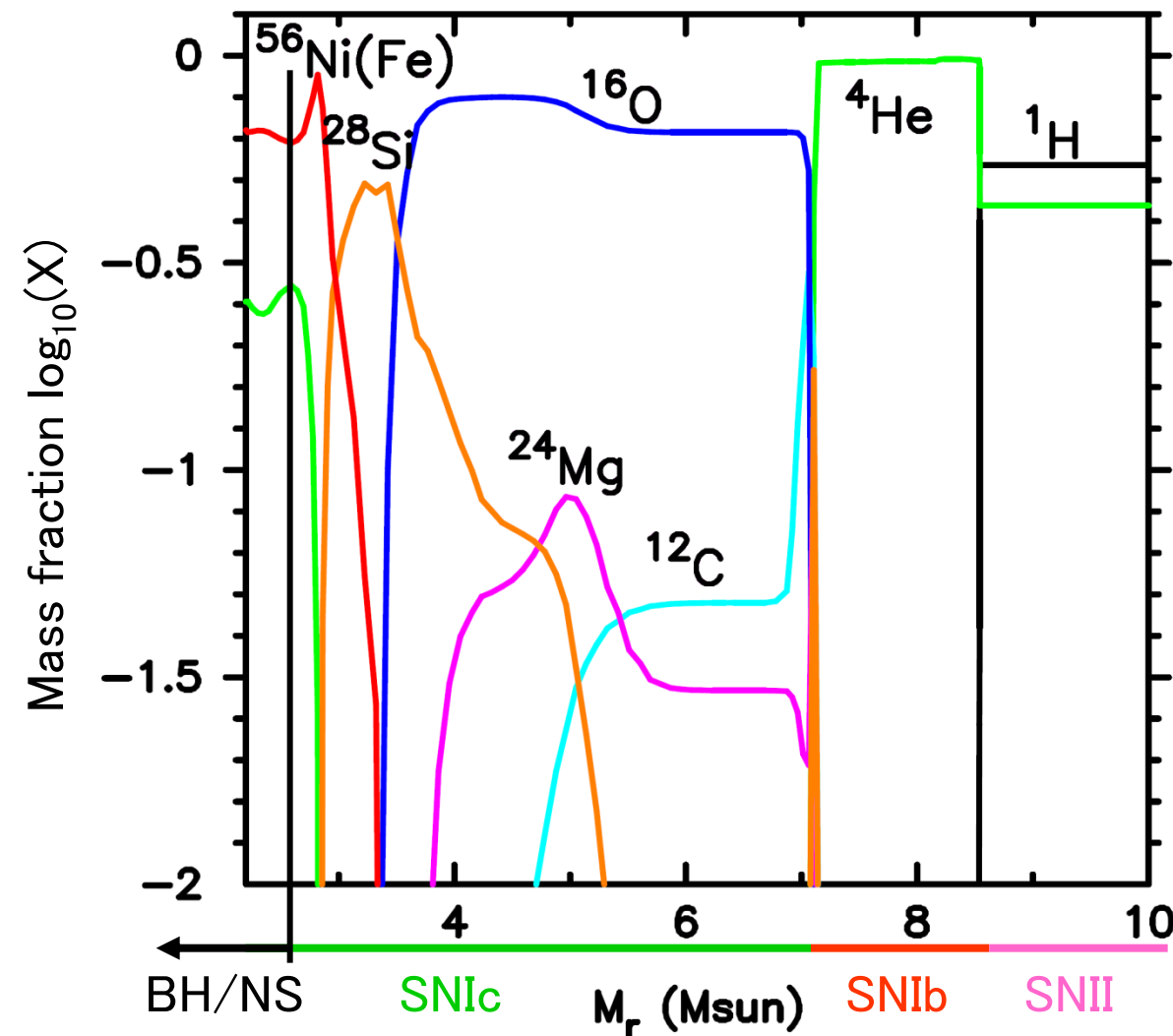
Popov 93

$$M_{ej}, E, M(^{56}\text{Ni}) \\ + M_{env}, R_{preSN}$$

重力崩壊型超新星の親星の質量

1次元球対称モデルを使って

超新星爆発後の元素組成分布



光度曲線 & スペクトル

↓
 M_{ej} , E , & $M(^{56}\text{Ni})$

↓ 元素合成計算

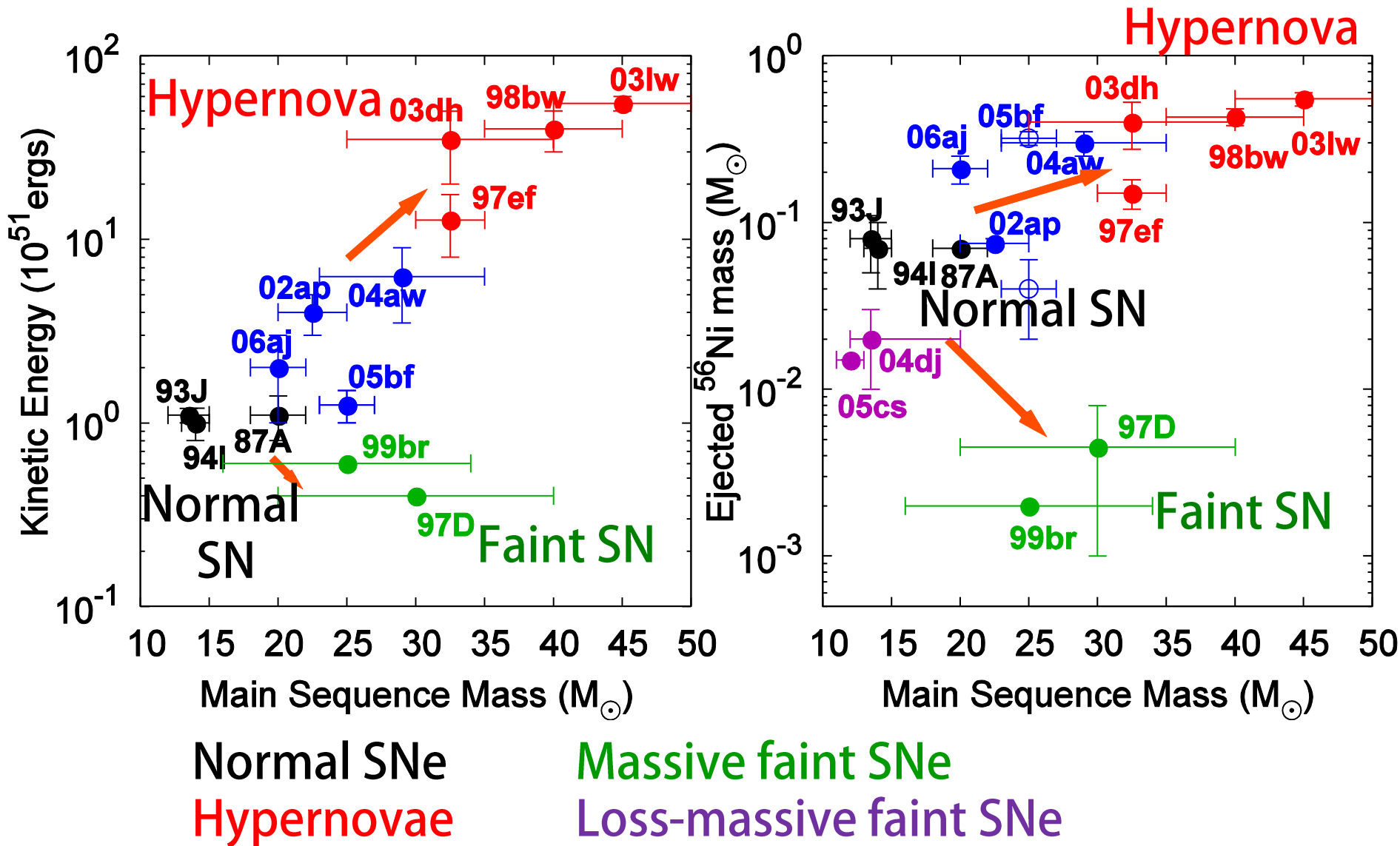
M_{rem}
(E & $M(^{56}\text{Ni})$)

↓
 $M_{\text{C+O}}$ or M_{He}
($= M_{\text{ej}} + M_{\text{rem}}$)

↓ 星の進化計算

M_{ms}

重力崩壊型超新星の多様性



ここまでのまとめ

- 超新星爆発の観測

- 光度曲線
- スペクトル



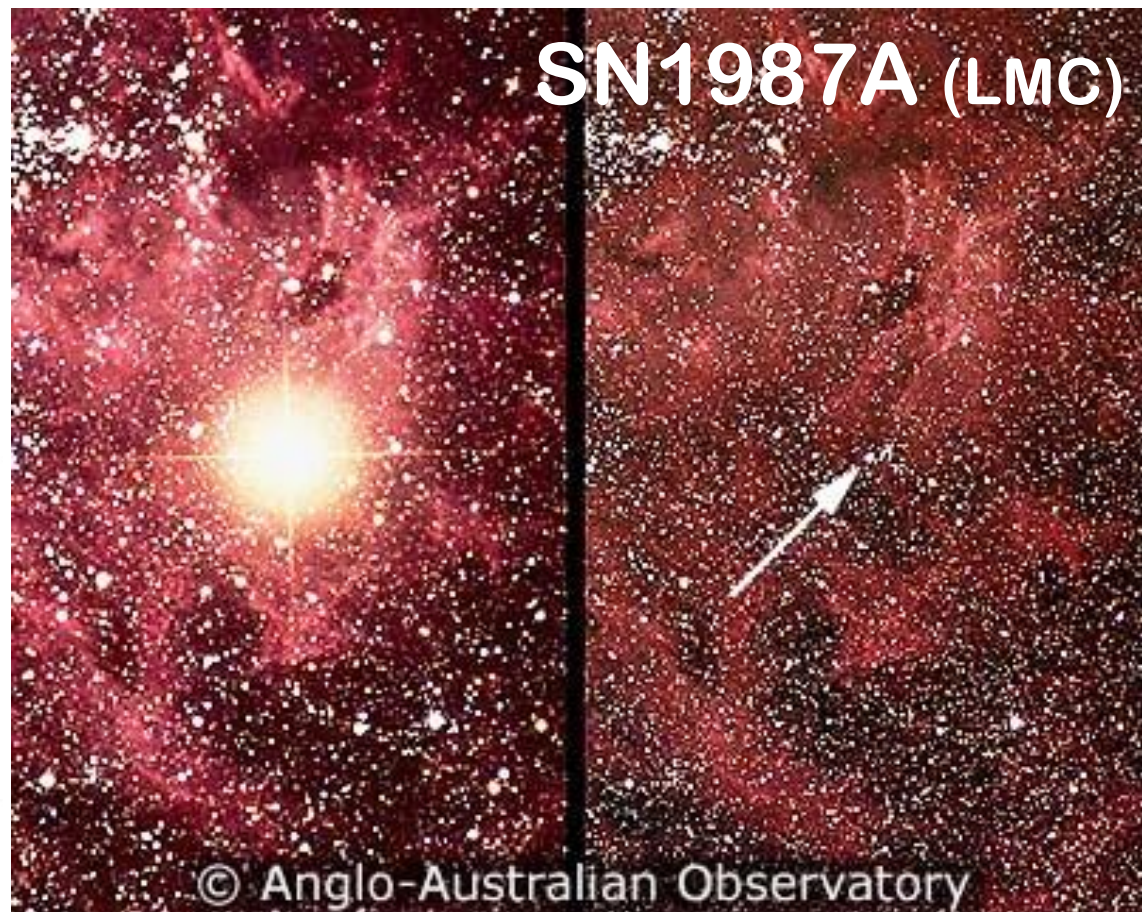
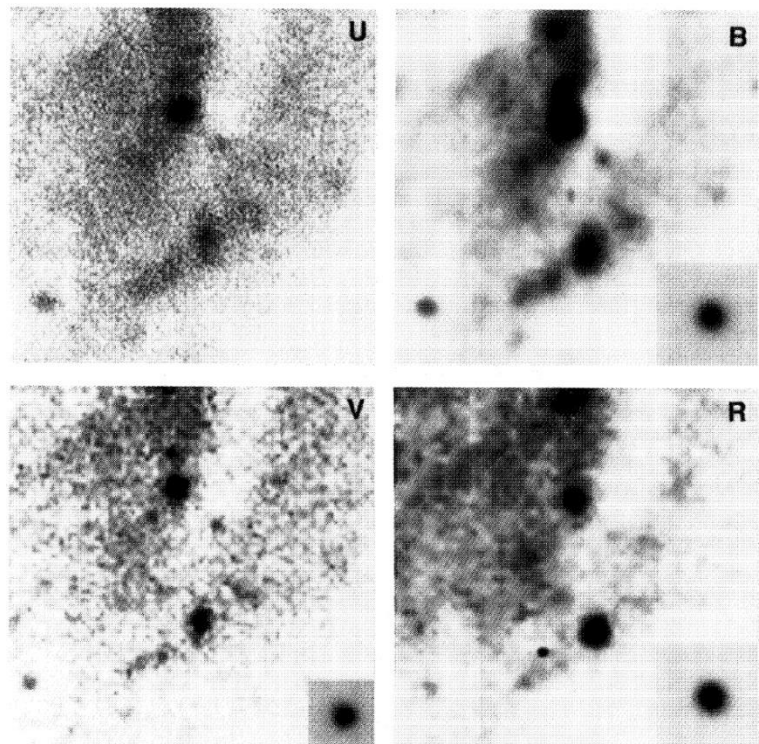
- 超新星爆発の物理量

- 放出物質の質量
- 爆発エネルギー
- ^{56}Ni の質量
- 水素層の質量
- 星の半径
- (親星の質量)

いくつかのトピック

重力崩壊型超新星の親星の観測

SN1993J progenitor
(M81, $d \sim 3.6 \text{ Mpc}$, Aldering+94)



SN1987A: 青色超巨星 (Sk-69 202; $M_{\text{ms}} \sim 20 M_{\odot}$)

SN1993J: 赤色超巨星 (伴星あり)

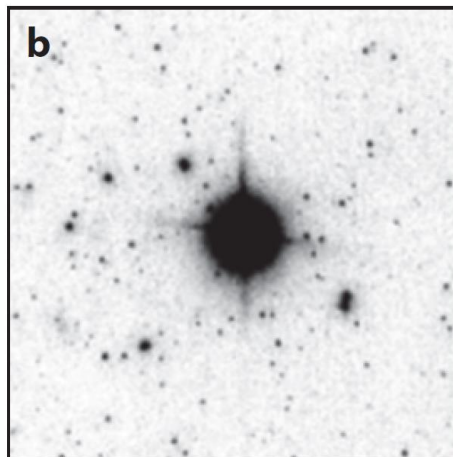
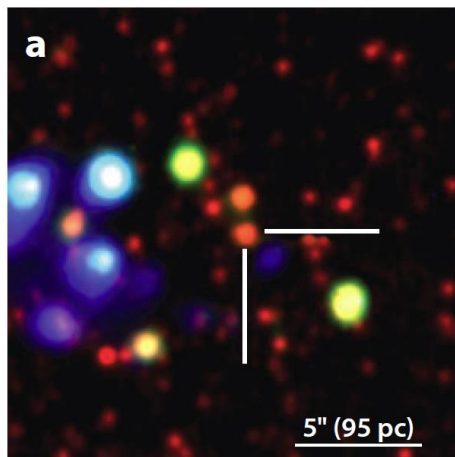
($M_{\text{zams}} = 15 M_{\odot}$, Maund+04)

II型超新星親星の観測

FORS BVI and ISAAC K SN2008bk

NACO K

Smartt 09



赤色超巨星は青色超巨星やWolf-Rayet星より明るいはず。

しかし3例しか見つかっていない。

SN2005cs

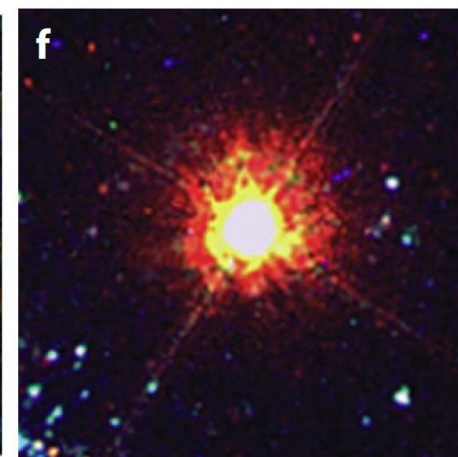
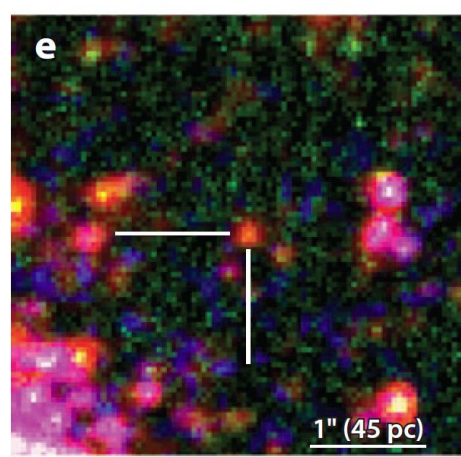
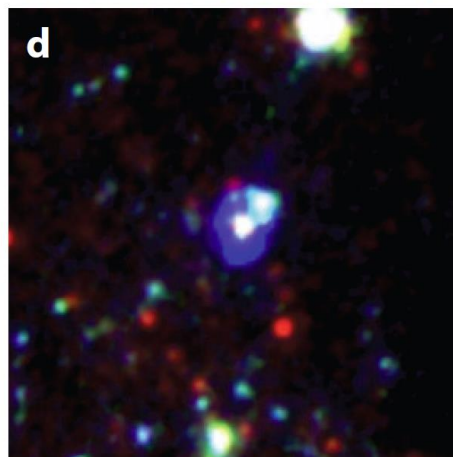
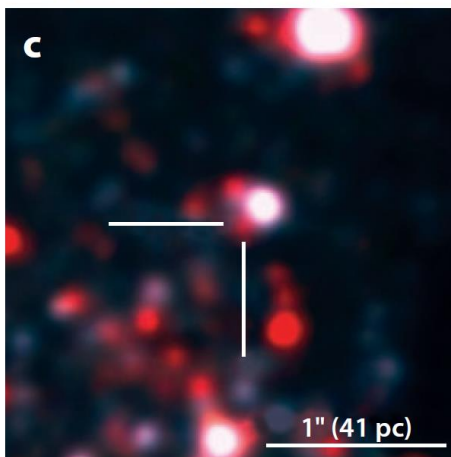
SN2003gd

WFC F439W, F555W, F814W

ACS HRC F330W, F555W, F814W

WFPC2 F300W, F606W, F814W

ACS HRC F435W, F555W, F814W

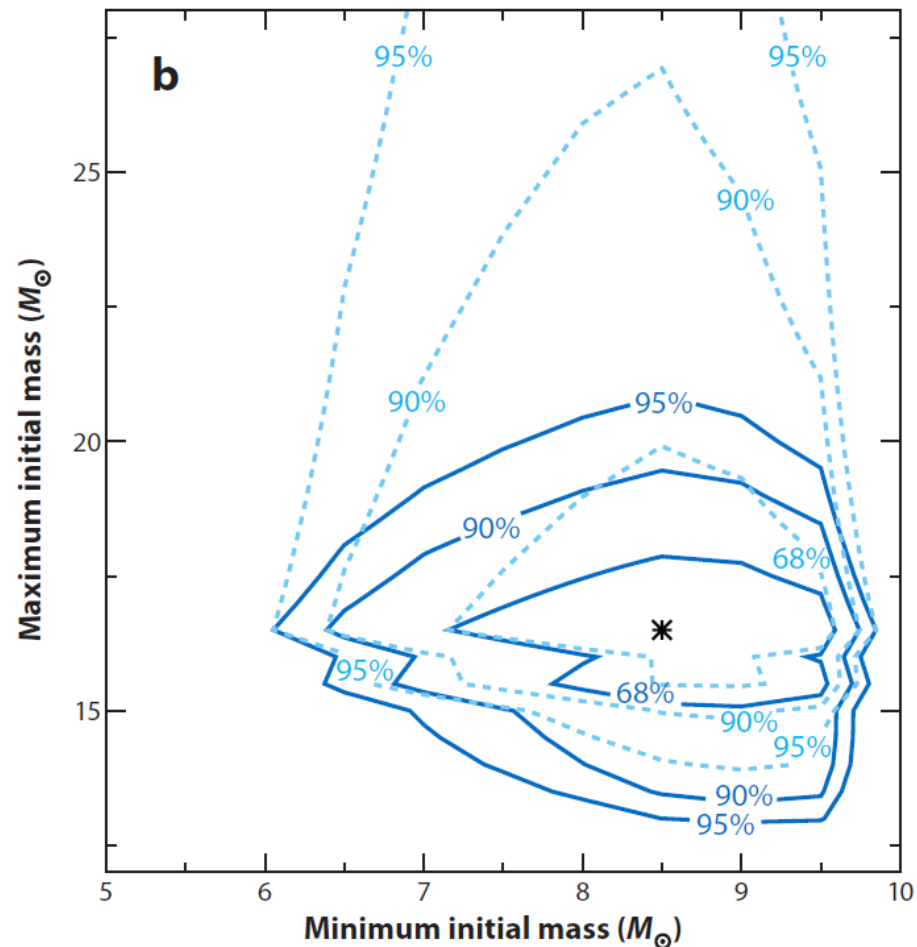
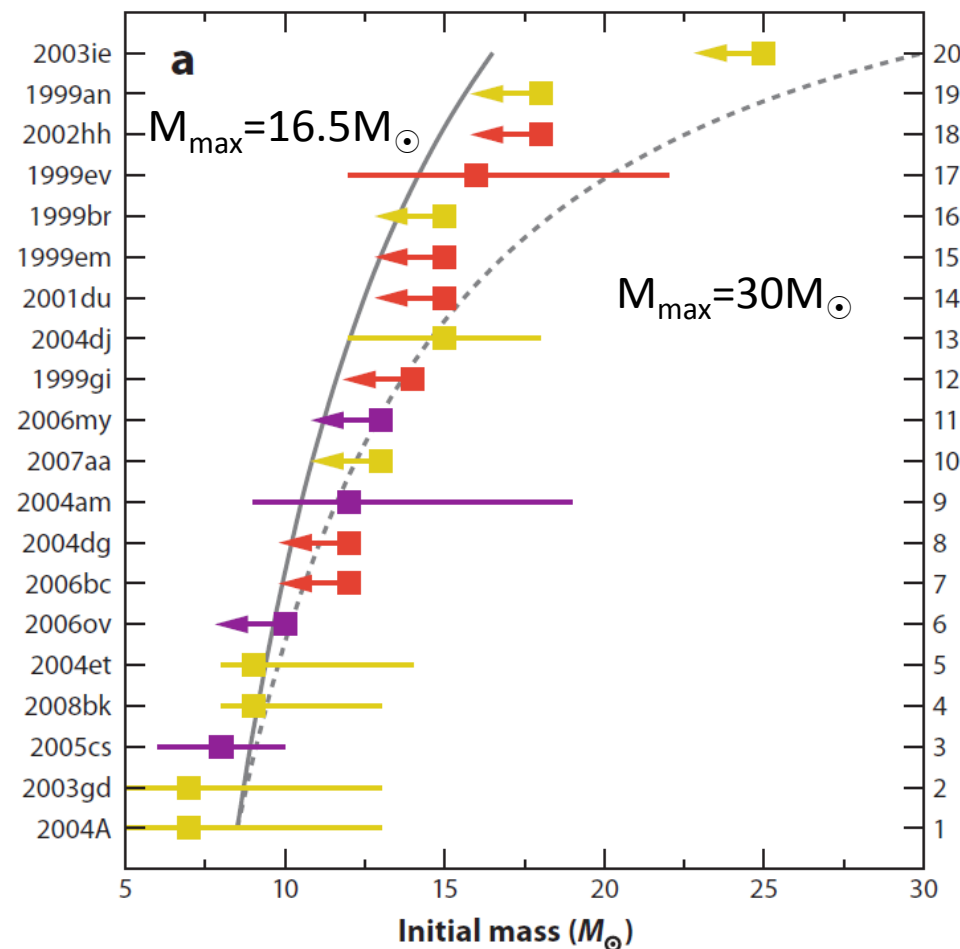


II型超新星親星の質量には上限あり

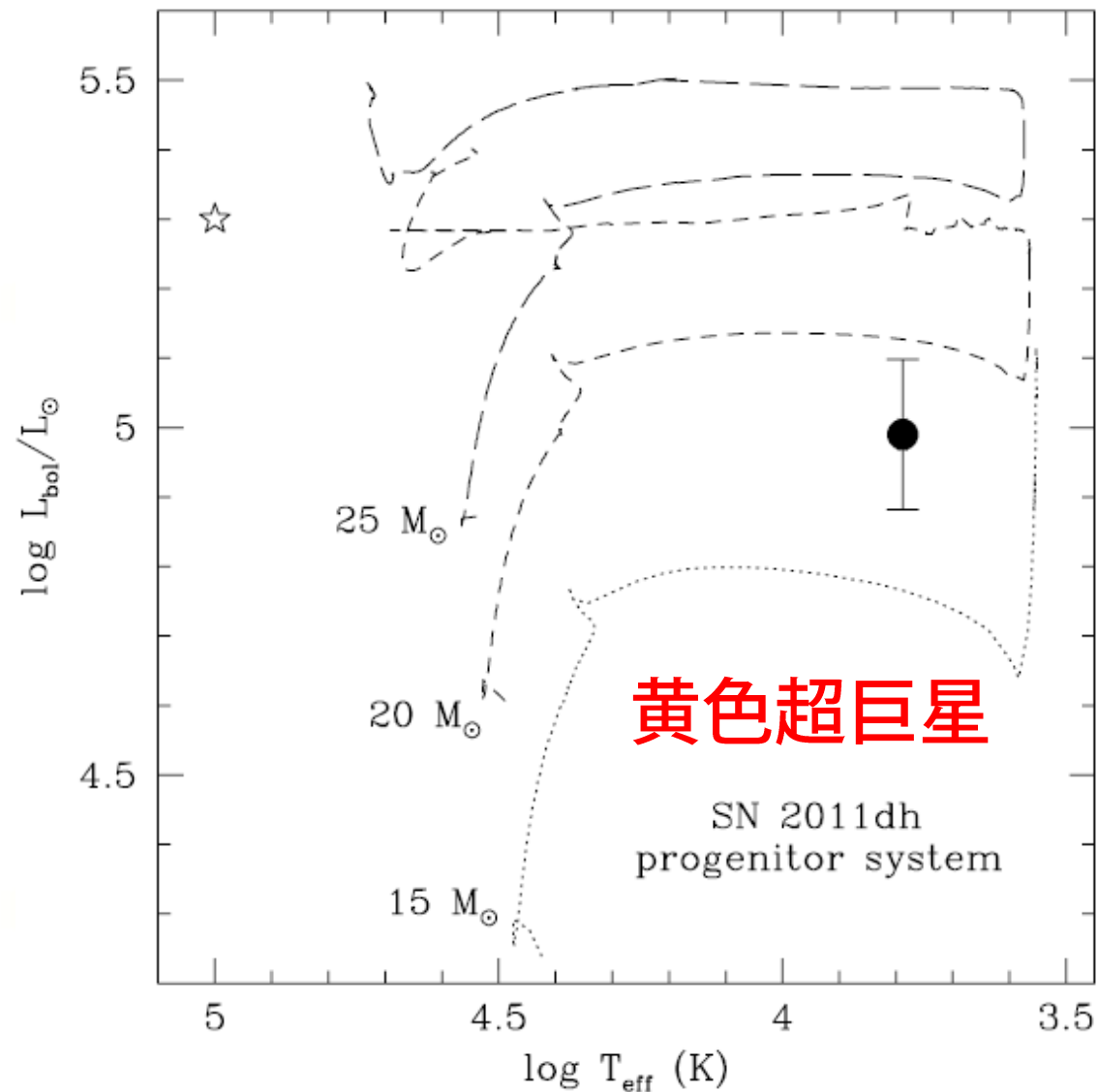
Smartt+09

$$M_{\min}=8.5^{+1}_{-1.5}M_{\odot}, M_{\max}=16.5\pm1.5M_{\odot}$$

理論予言より低い。激しい質量放出を示唆？

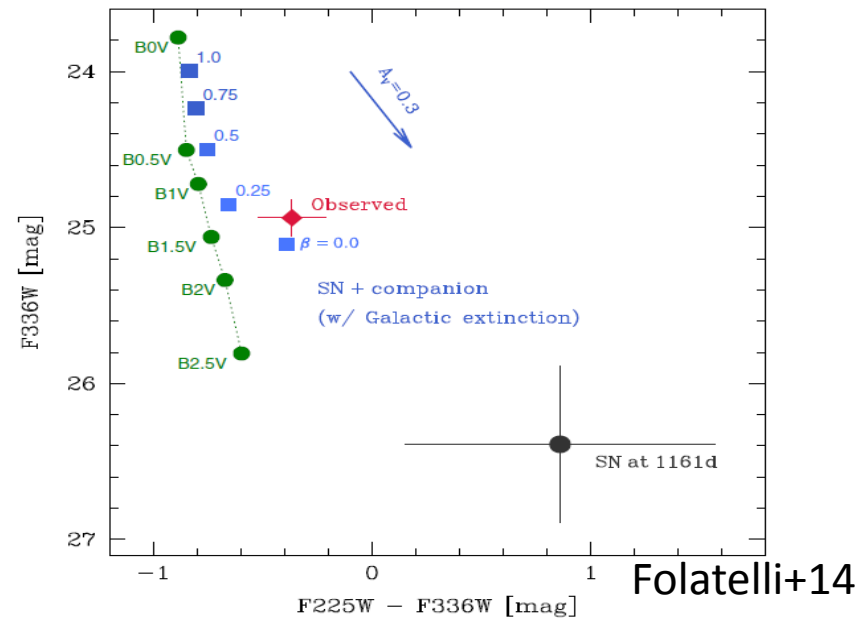
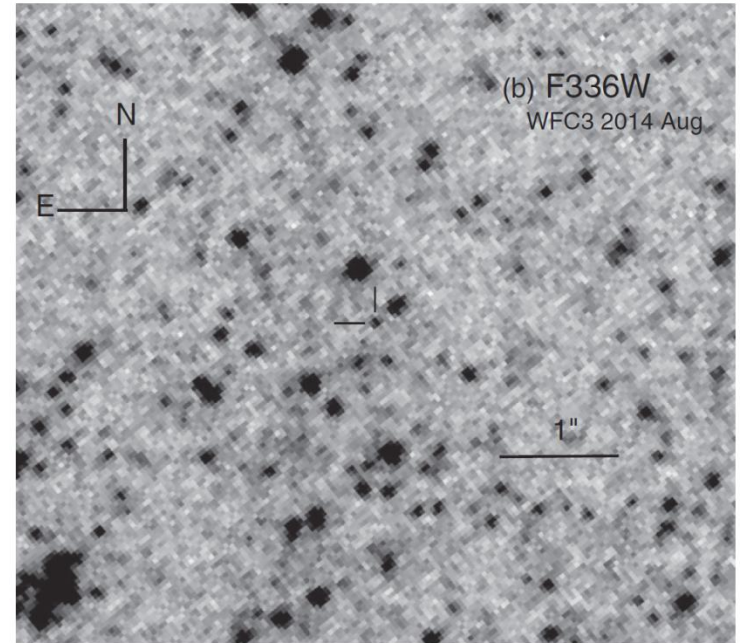
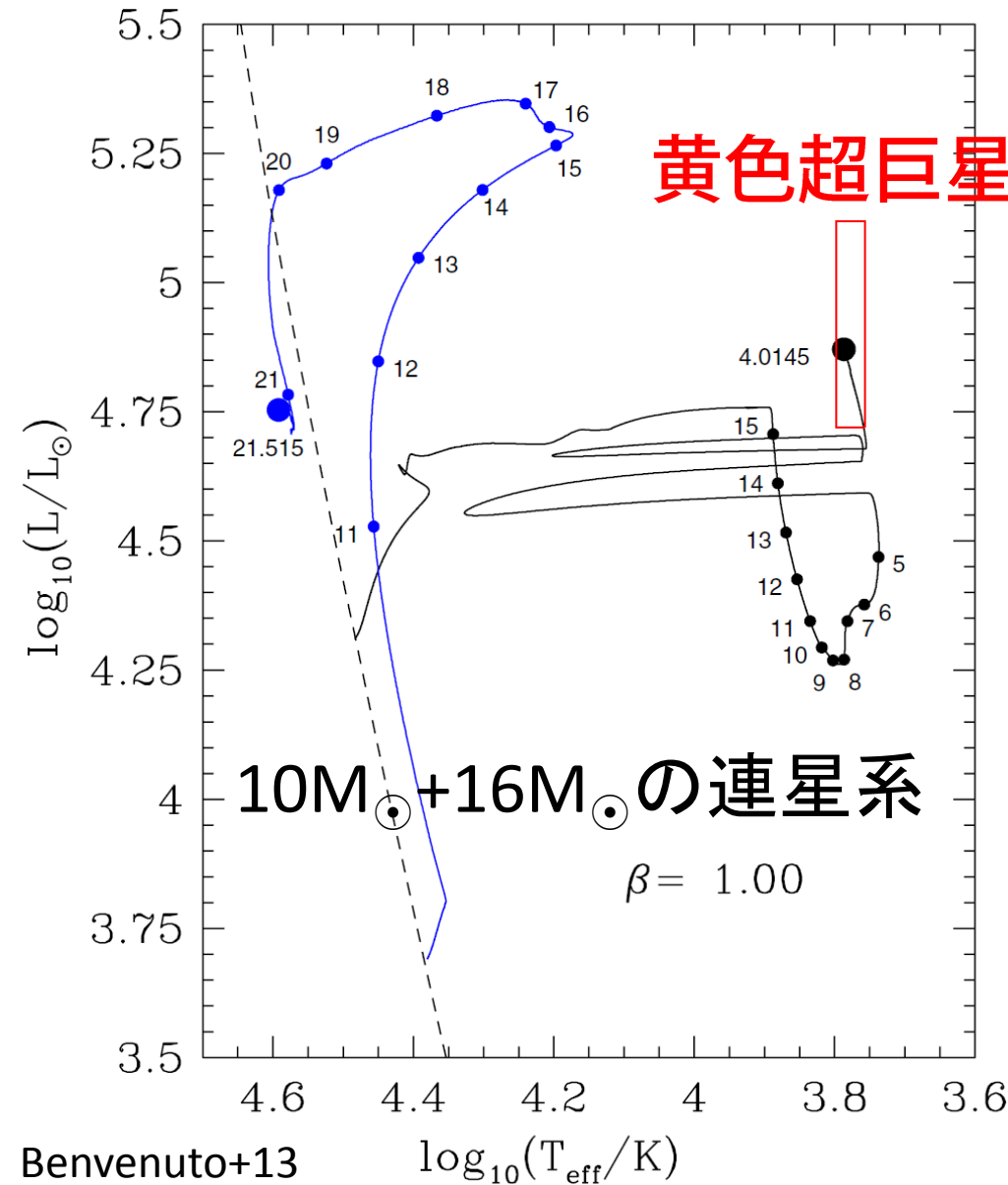


I Ib型超新星2011dhの親星

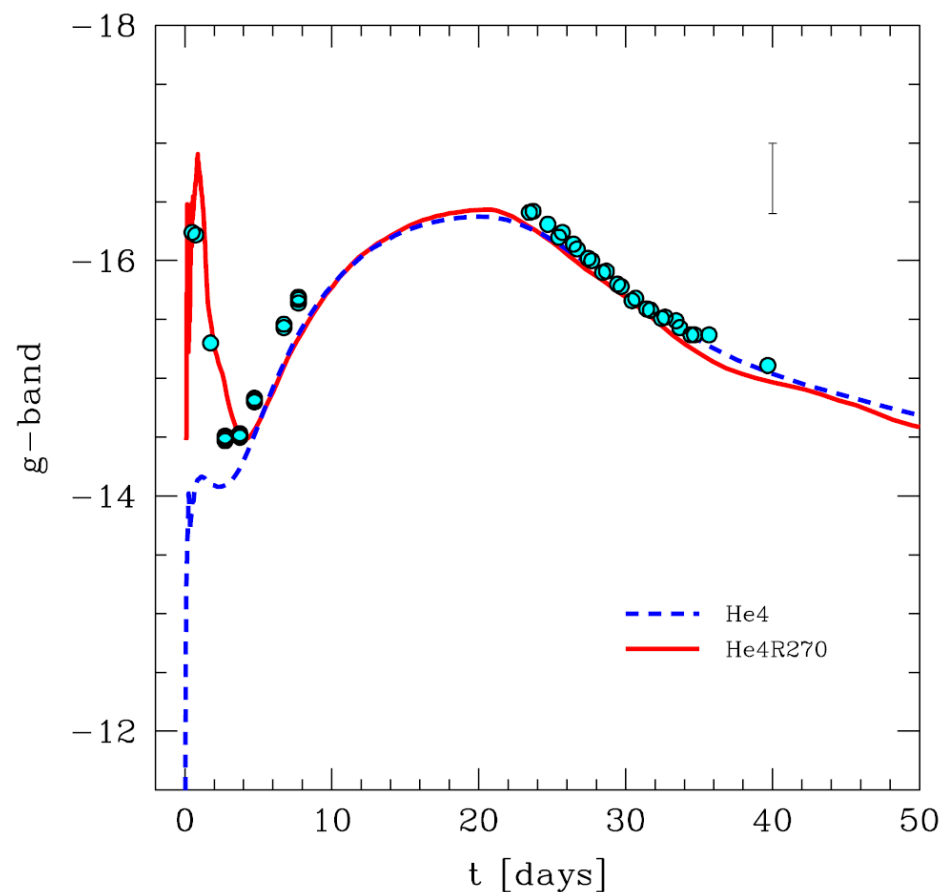
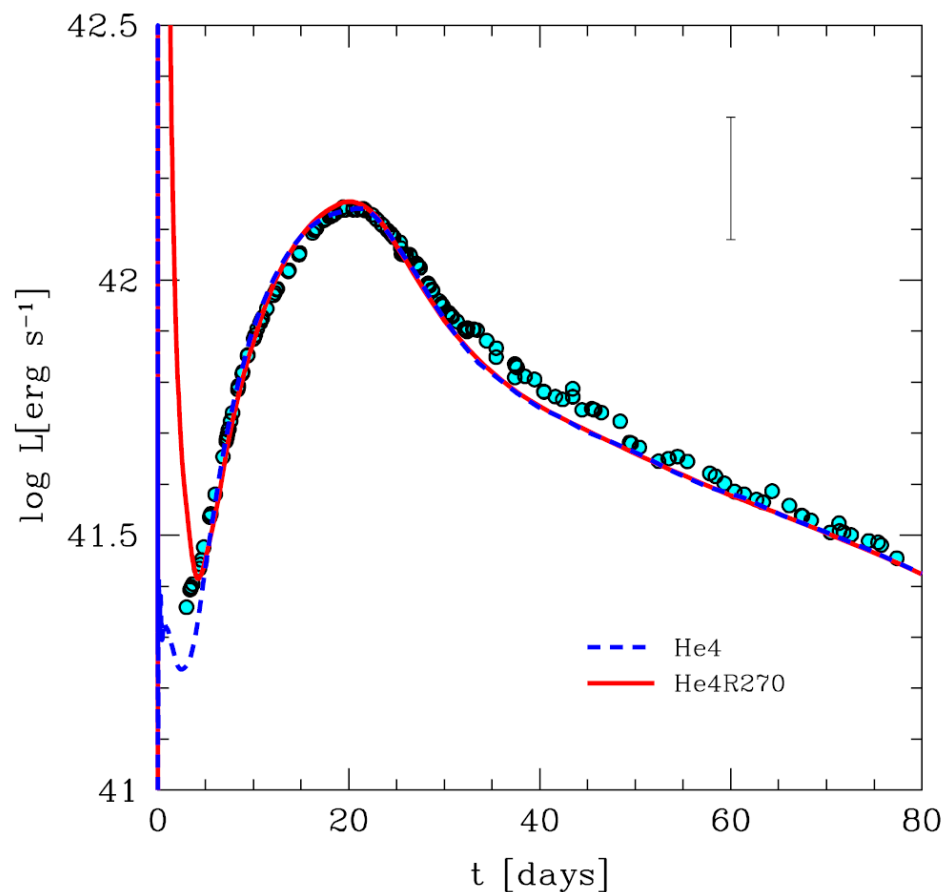


VanDyk+11; Maund+11

連星系の進化

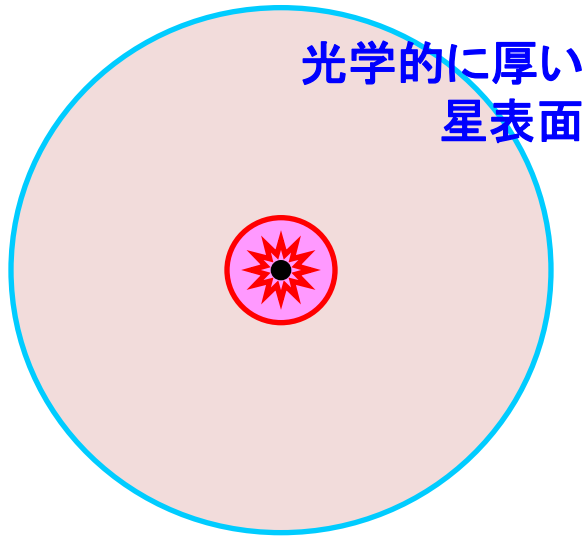


I Ib型超新星2011dhの光度曲線

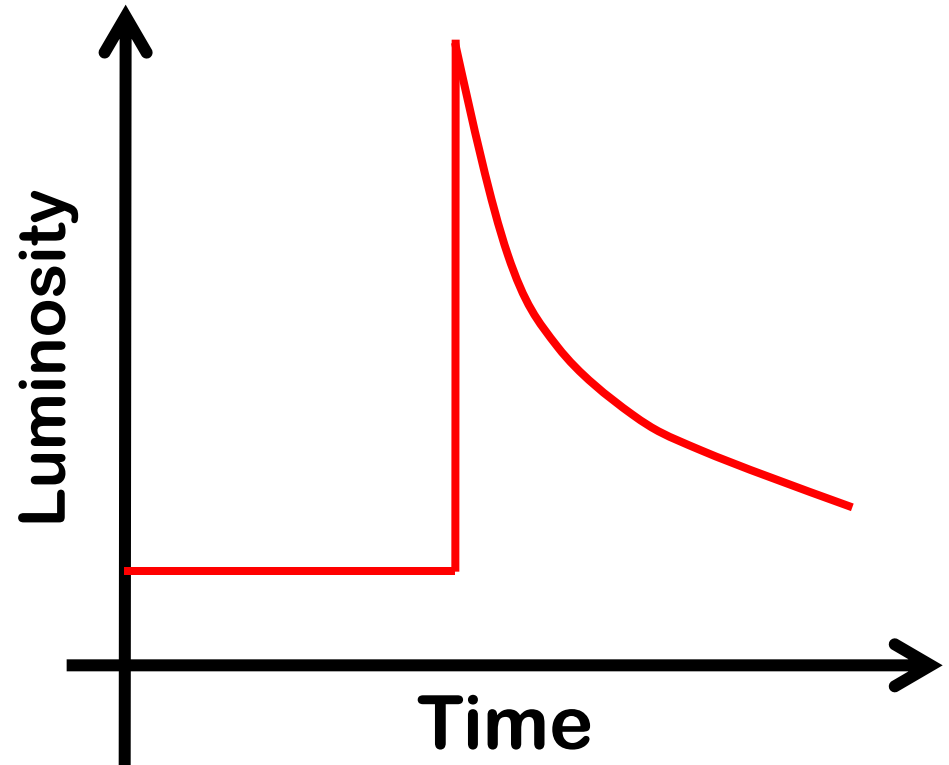


Wolf-Rayet星ではなく広がった外層を持つ星の爆発であった

ショックブレイクアウト



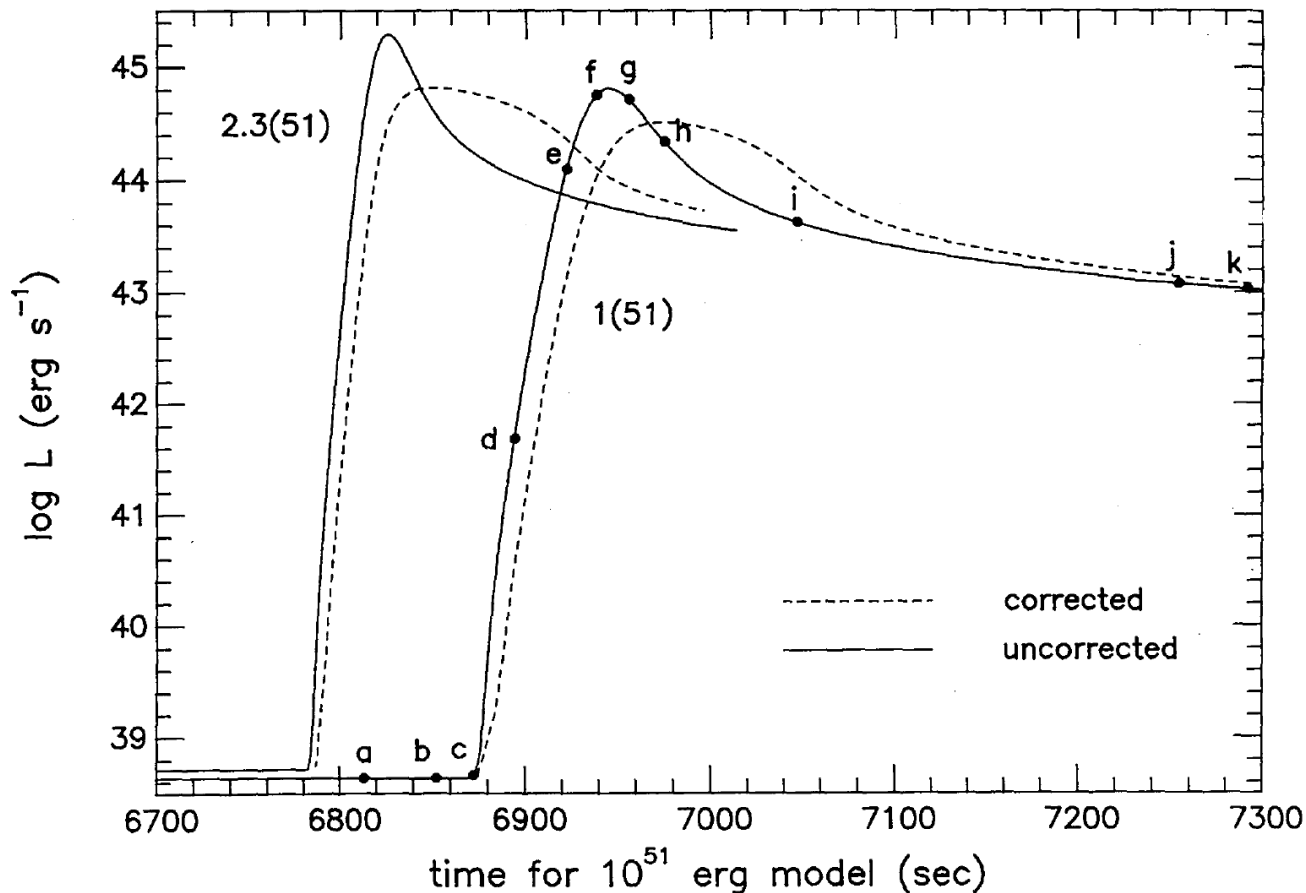
Core collapse



ショックブレイクアウト

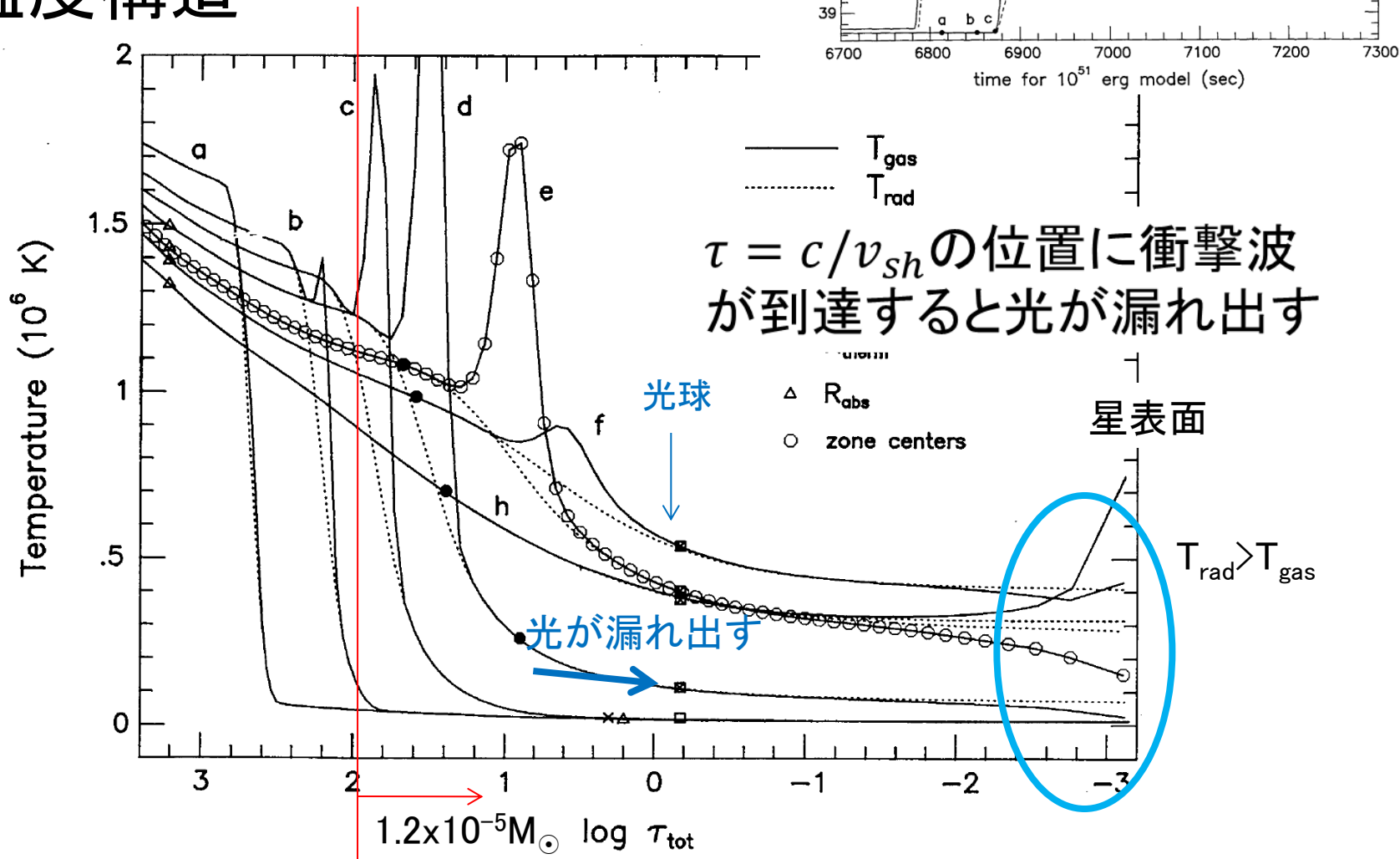
(Ensmann & Burrows 92)

- 光度曲線 (SN1987A[青色巨星]の場合)



ショックブレイクアウト (Ensmann & Burrows 92)

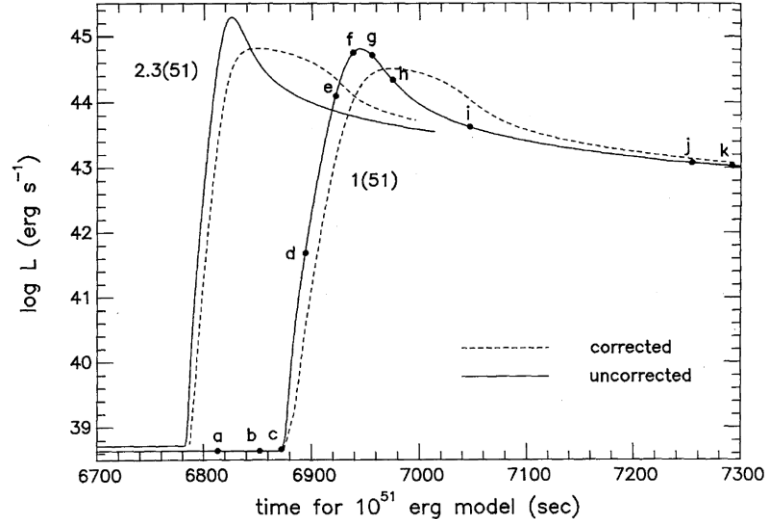
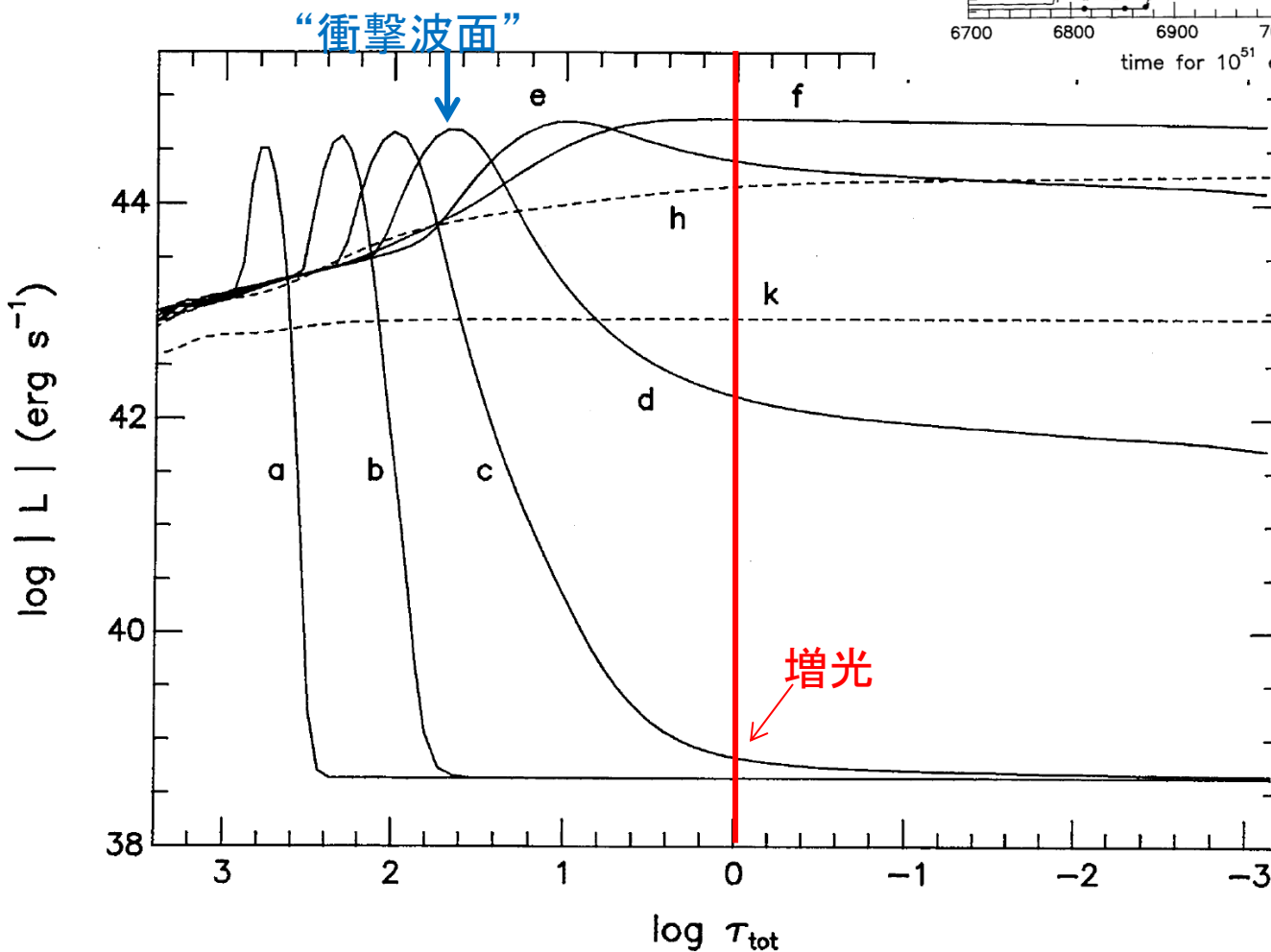
• 温度構造



ショックブレイクアウト

(Ensmann & Burrows 92)

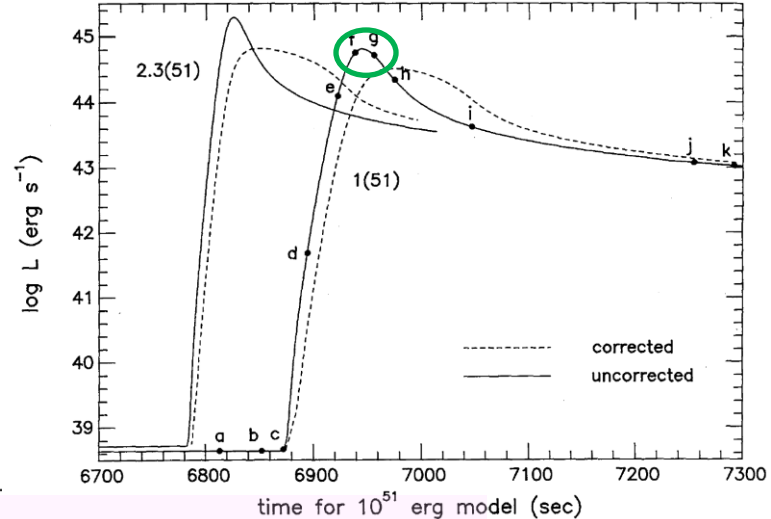
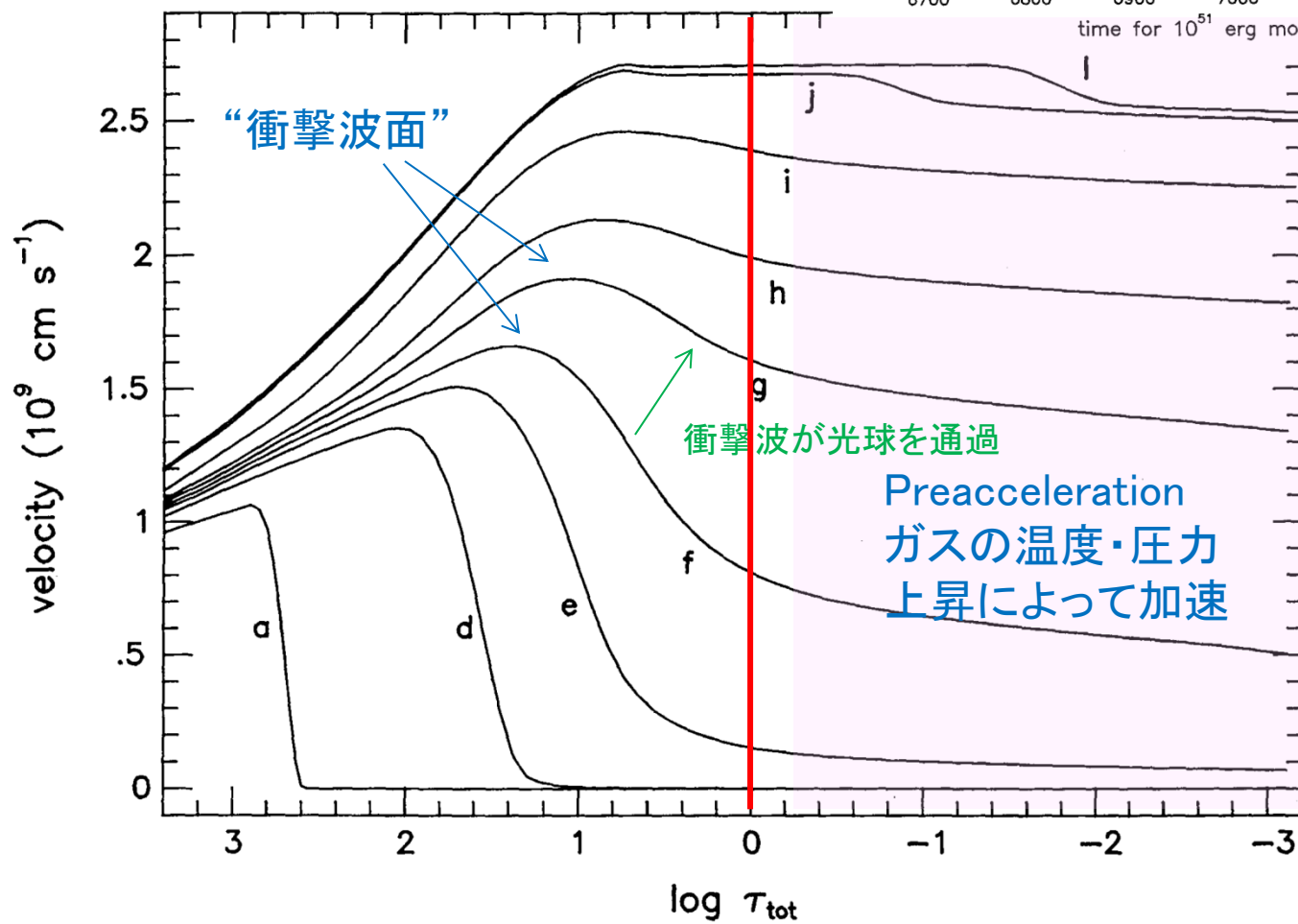
- 光度構造



ショックブレイクアウト

(Ensmann & Burrows 92)

- 速度構造



親星の半径 ← ショックブレイクアウト

星表面から衝撃波が出現

II

親星半径と同じ半径で温度が上がる

衝撃波の温度: $T \propto R^{-3/4} E^{1/4} \sim 10^5 \text{ K}$

超新星の明るさ: $L \propto R^2 T^4 \sim 10^{44} \text{ erg/s}$

典型的特徴

継続時間 ($t \sim R/v_{sh}$): 1秒~1日

ピーク波長 ($\lambda \sim 2.9 \text{ mm}/T$): 軟X線~紫外線

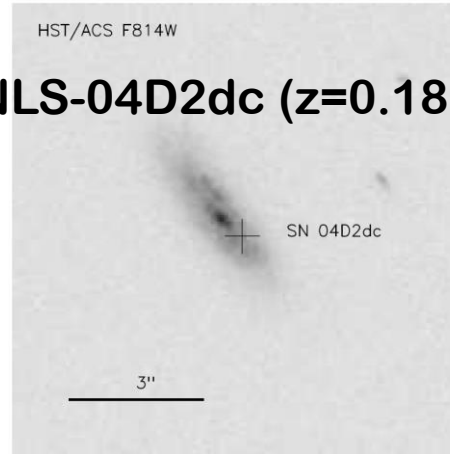
ショックブレイクアウトの観測

-SNLS-04D2dc & SNLS-06D1jd-

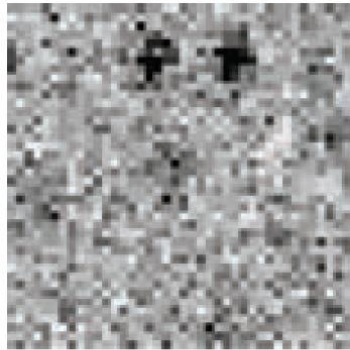
SNLS SuperNova Legacy Survey



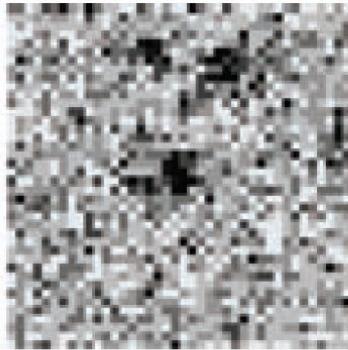
SNLS-04D2dc ($z=0.1854$)



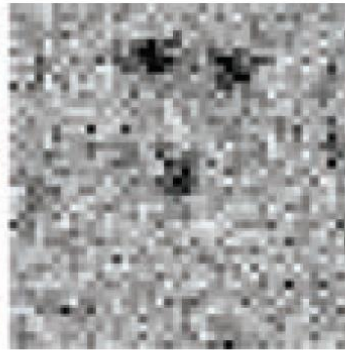
Schawinski et al. 08
Gezari et al. 08



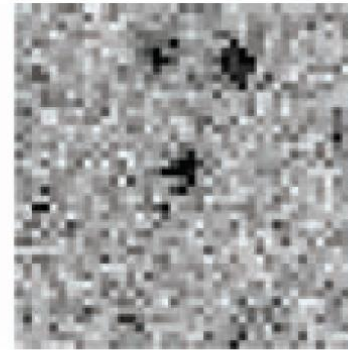
Before shock
breakout



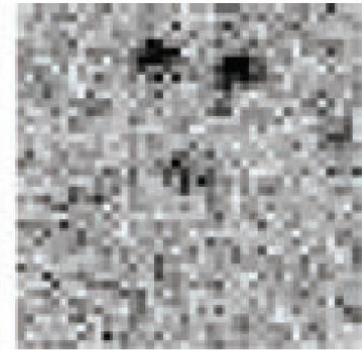
Peak of
Radiative Precursor



Minimum
between peaks



Post shock
breakout peak



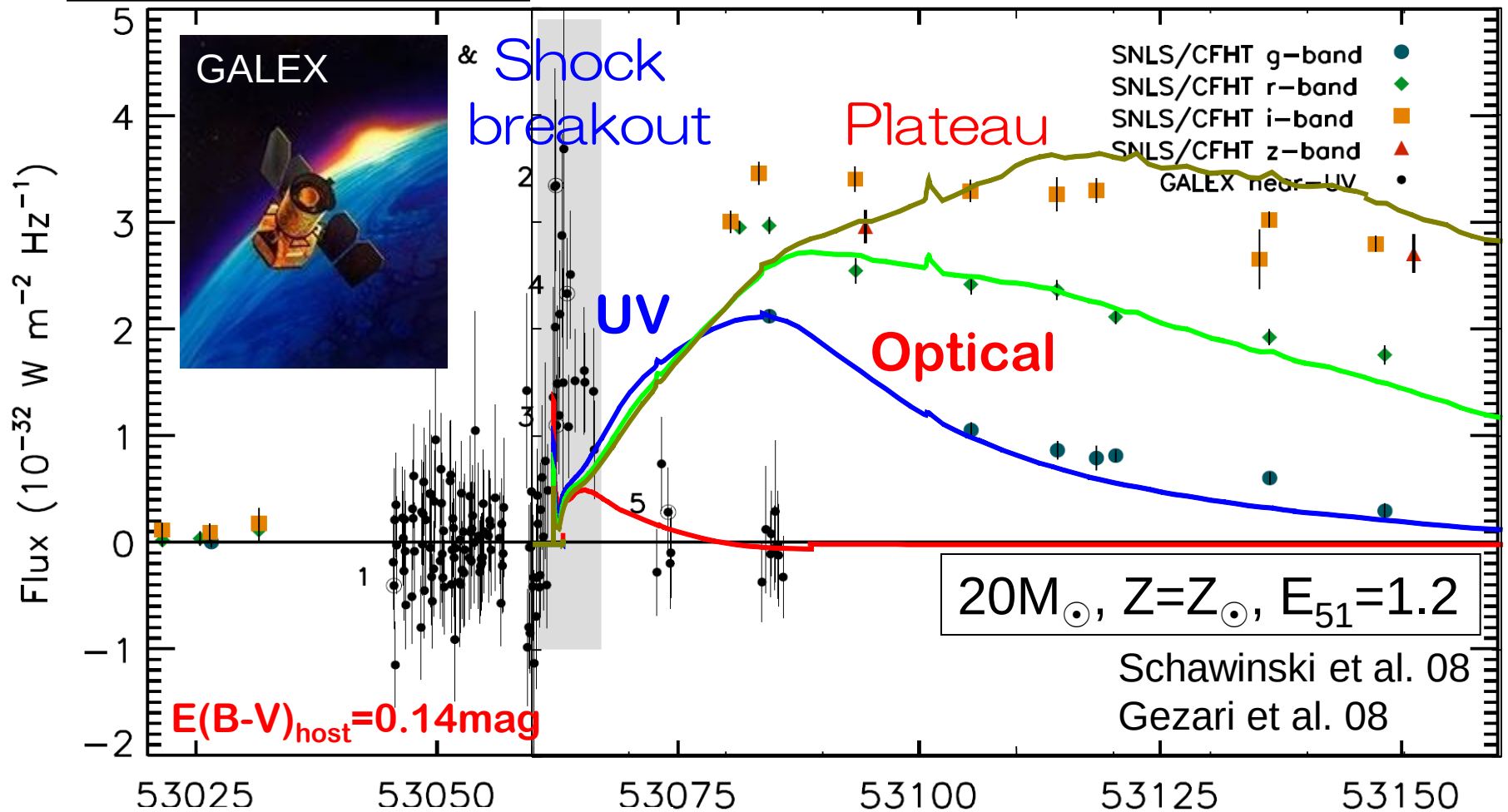
After near-UV
peak

ショックブレイクアウトの理論モデル

SNLS-04D2dc

SNLS

SuperNova Legacy Survey



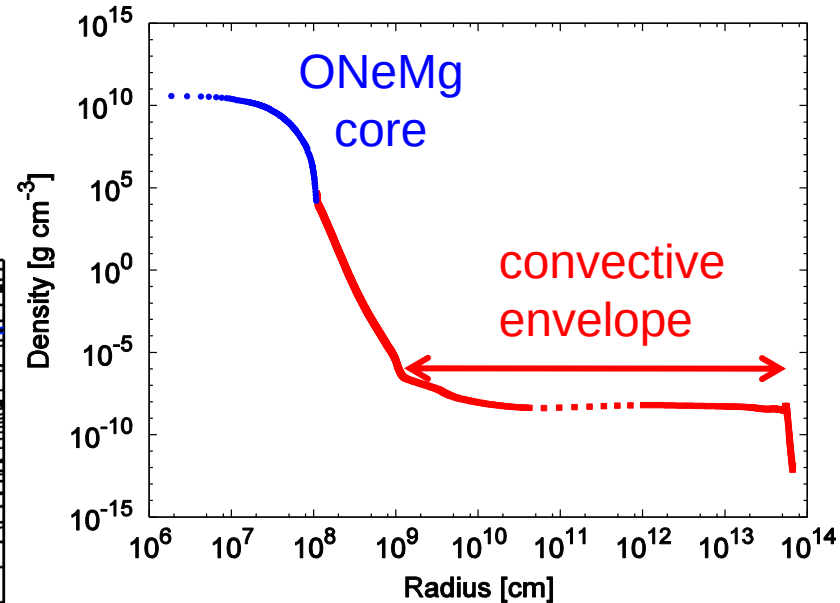
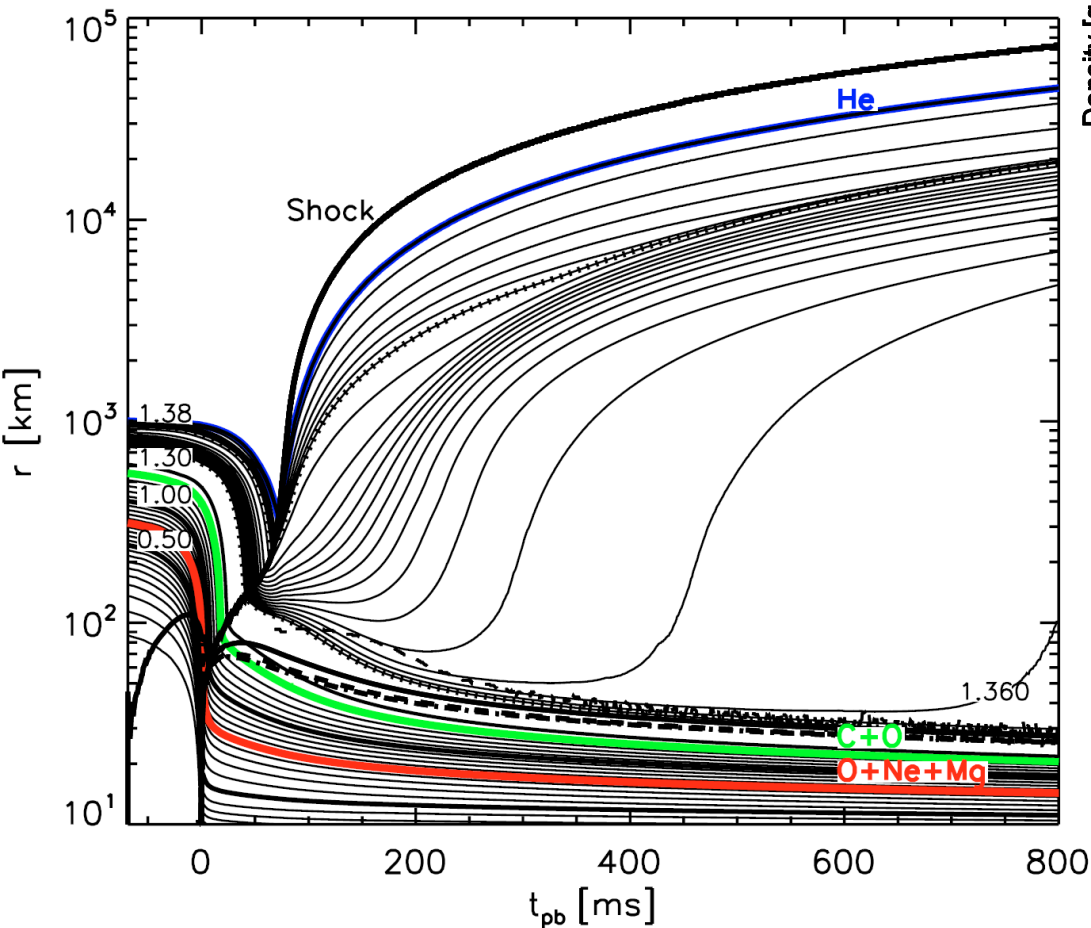
電子捕獲型超新星爆発

-理論的に爆発した初めての超新星-

Kitaura + 06

Janka + 08

Wanajo + 09



Explosion energy

$E \sim 10^{50} \text{ ergs}$

Neutron star

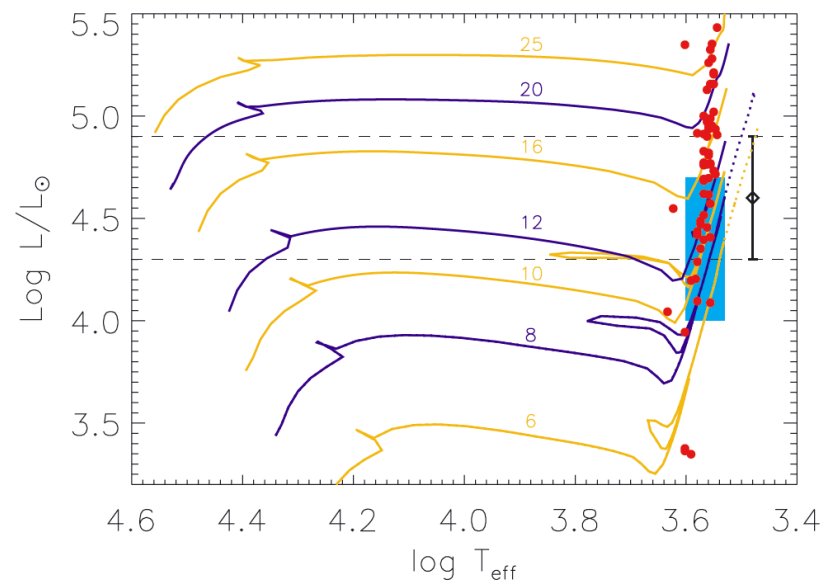
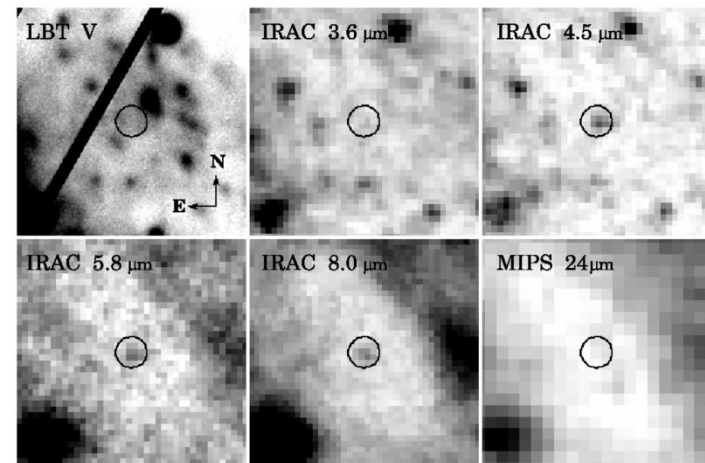
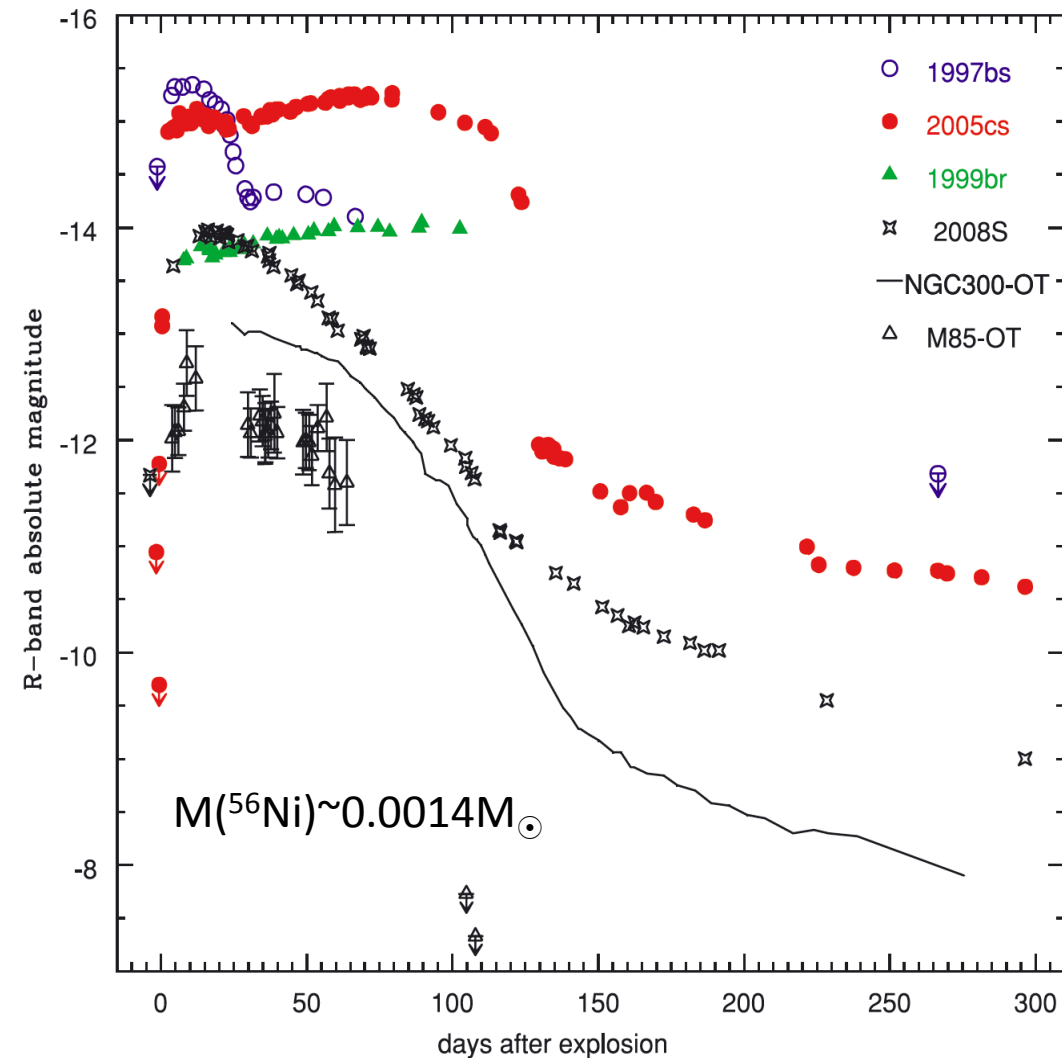
$M_B \sim 1.36 M_{\odot}$

Ejected ^{56}Ni mass

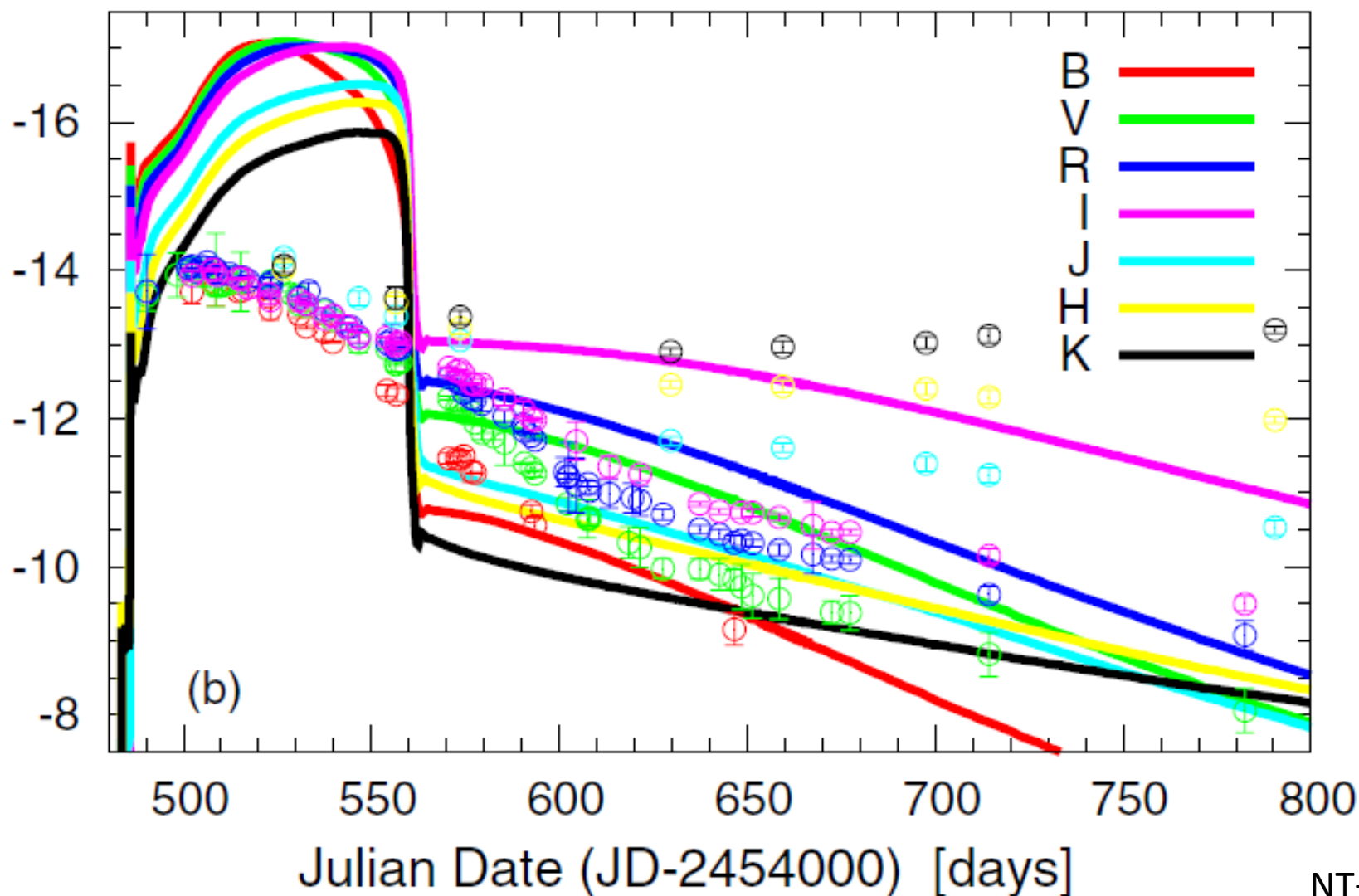
$M(^{56}\text{Ni}) \sim 0.002 - 0.004 M_{\odot}$

電子捕獲型超新星2008S?

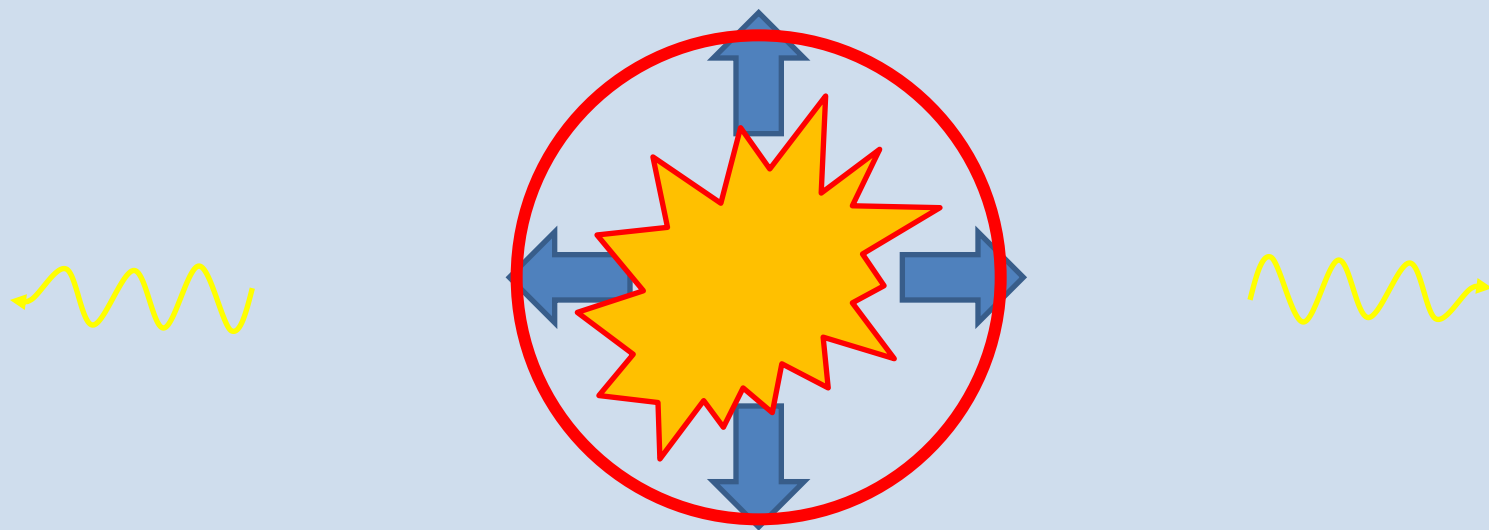
ダストに囲まれた親星の発見



電子捕獲型超新星ではなさそう

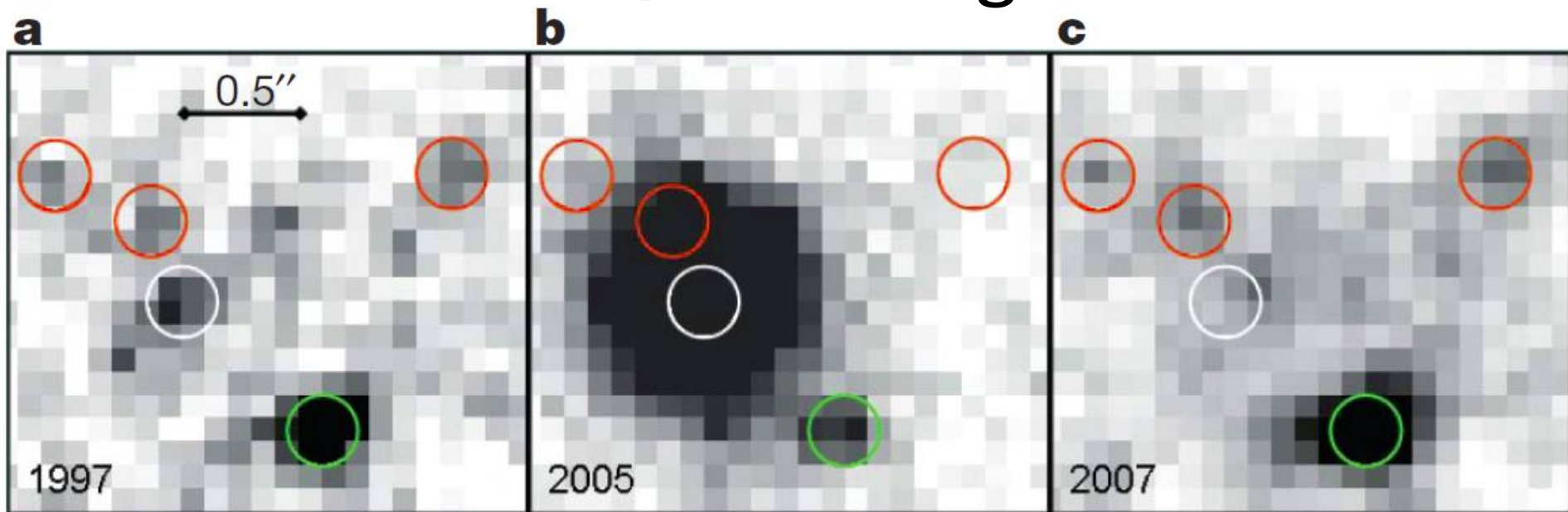


星周物質との相互作用

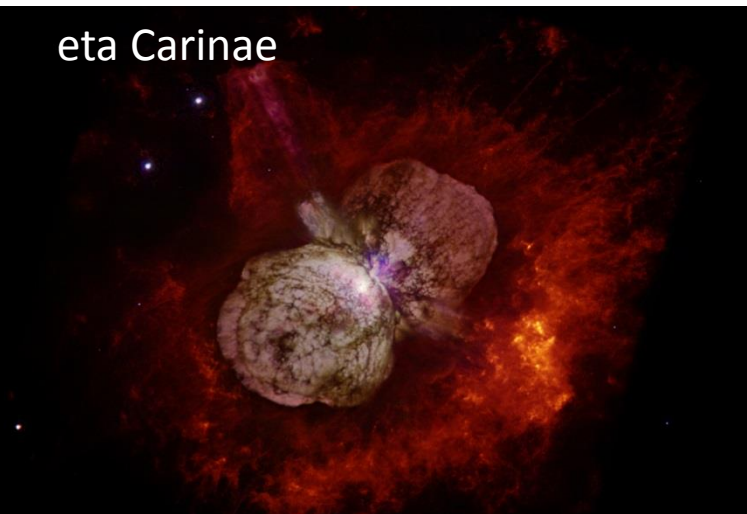


質量放出

Luminous Blue Variable の爆発 -超新星2005gl-



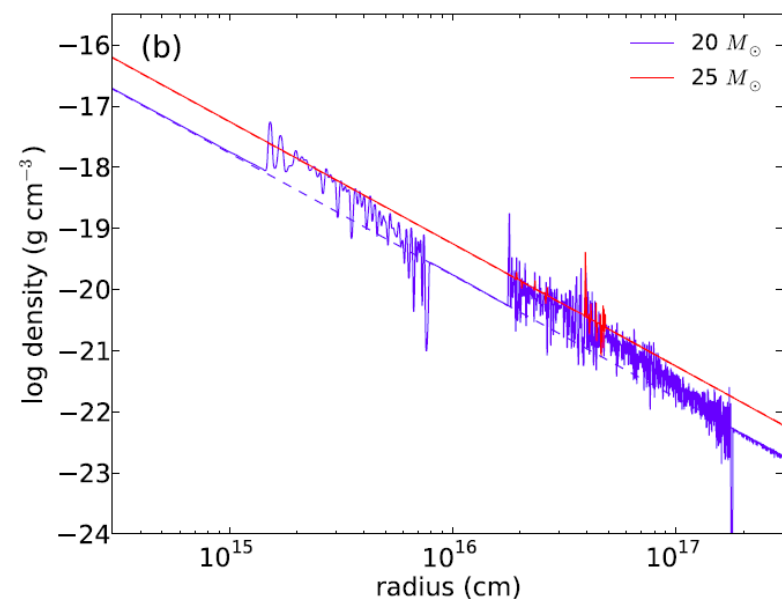
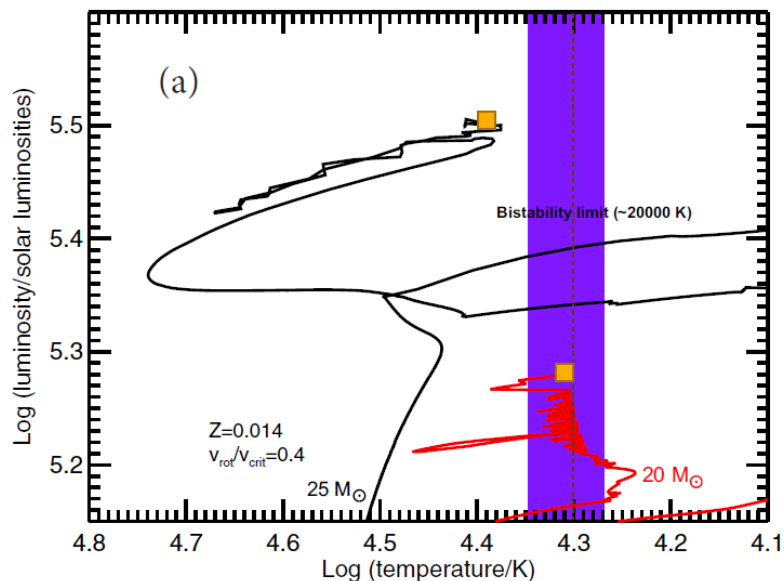
eta Carinae



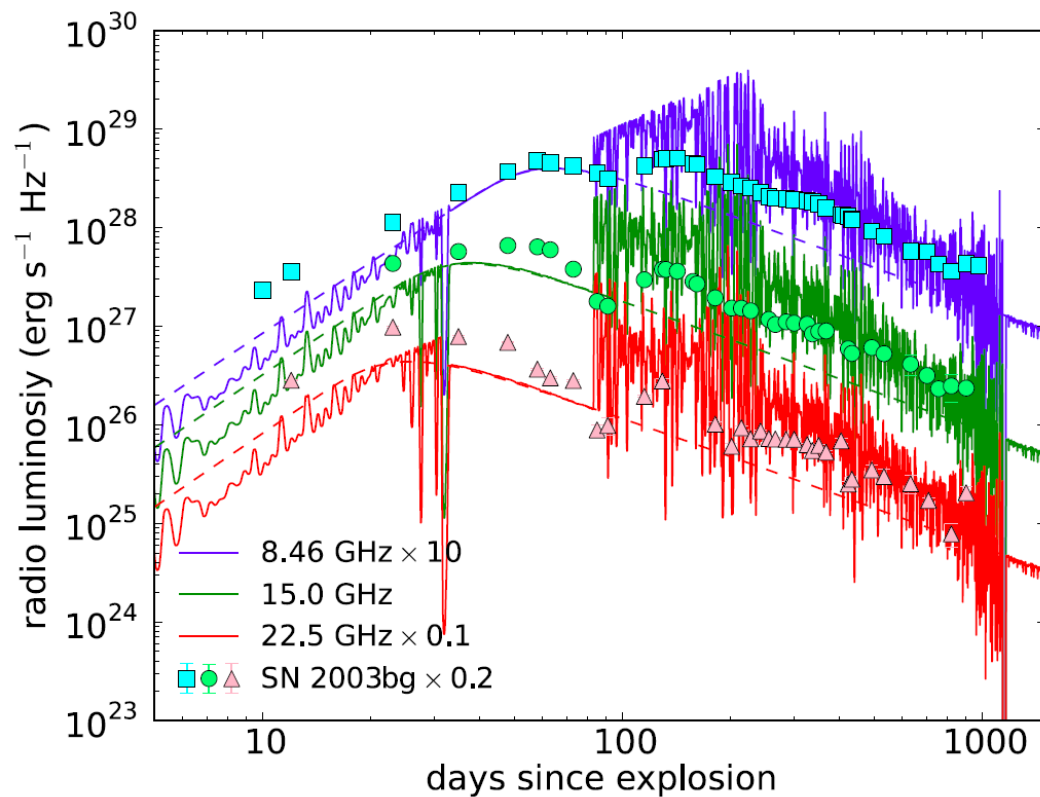
LBV は WR 星への進化の途上？

超新星爆発直前ではないと
思われていた。

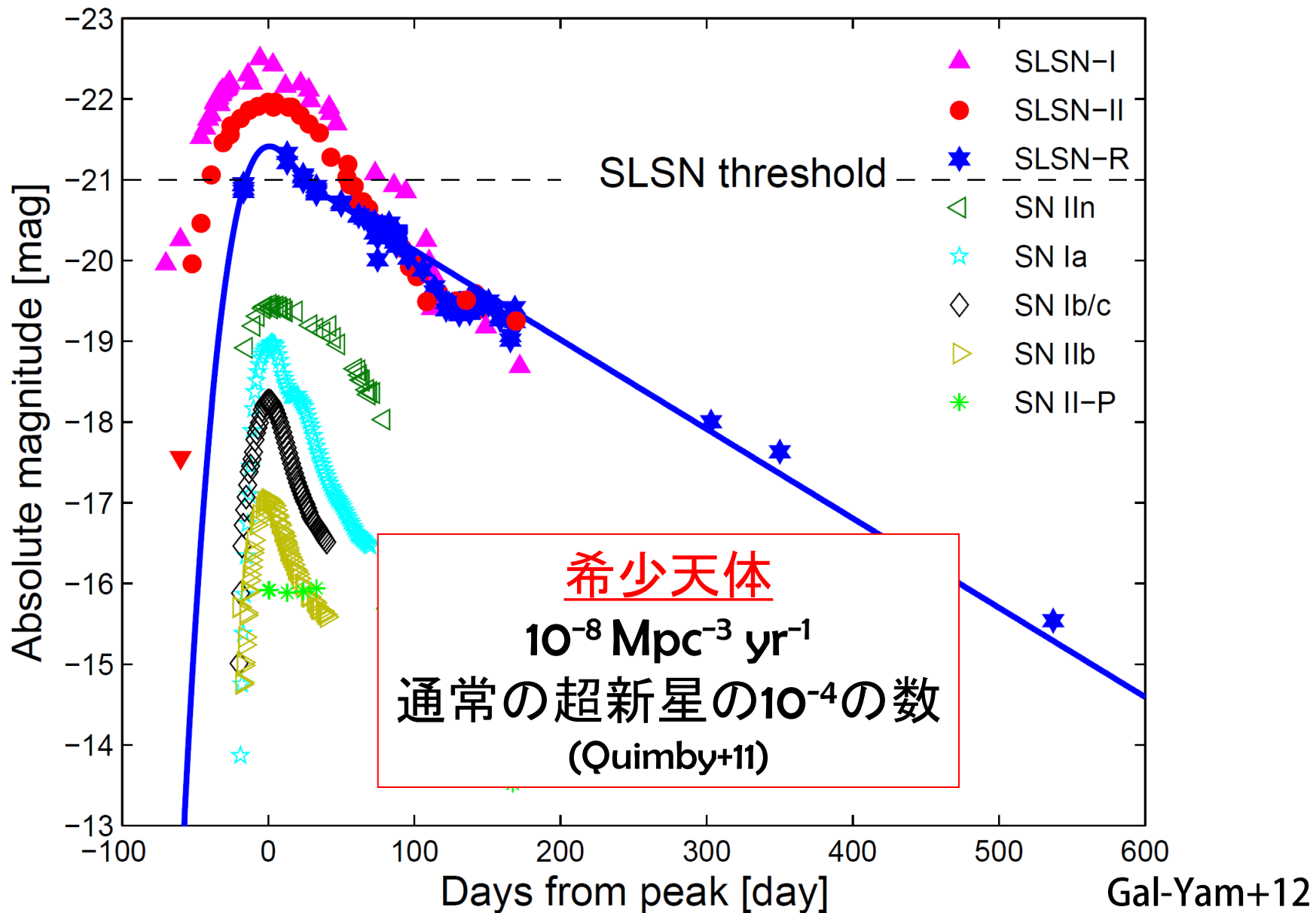
星の質量放出と光度曲線



$$\nu L_{\nu} \approx \pi R_{\text{sh}}^2 V_{\text{sh}} n_{\text{rel}} \left(\frac{\gamma_{\nu}}{\gamma_{\text{min}}} \right)^{1-p} \gamma_{\nu} m_e c^2 \left[1 + \frac{t_{\text{sync}}(\nu)}{t} \right]^{-1}$$

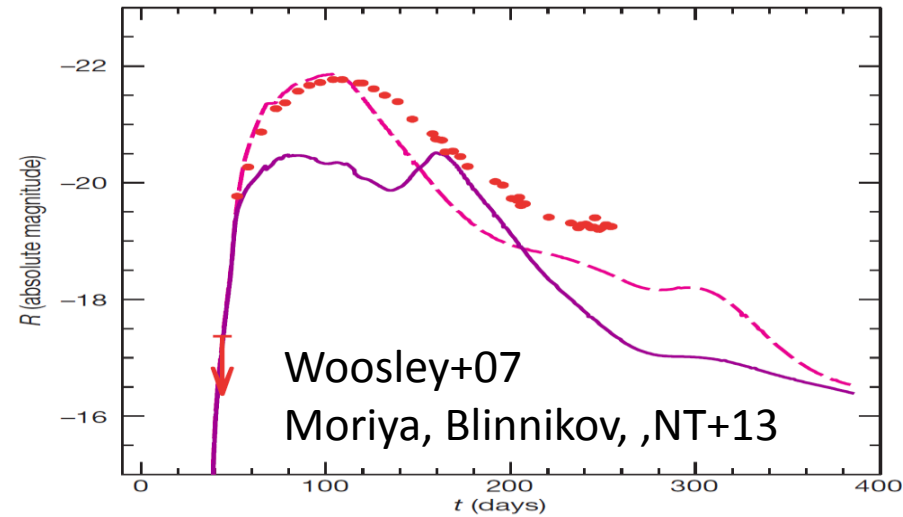


超高輝度超新星

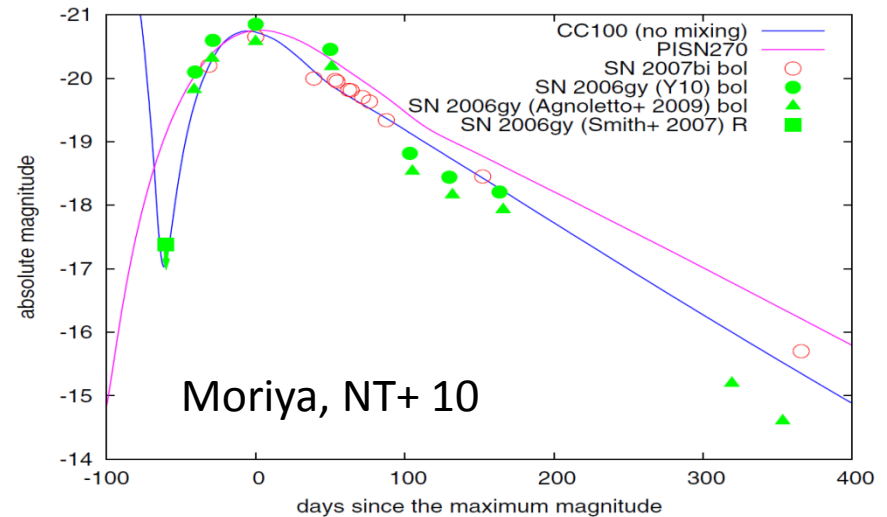


超高輝度超新星の起源

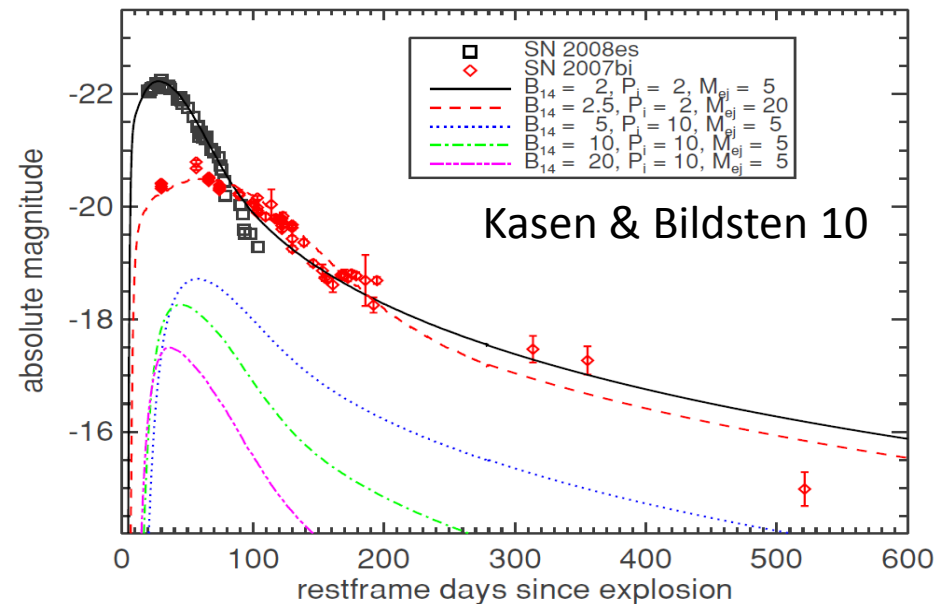
星周物質との相互作用



大量の ^{56}Ni 生成

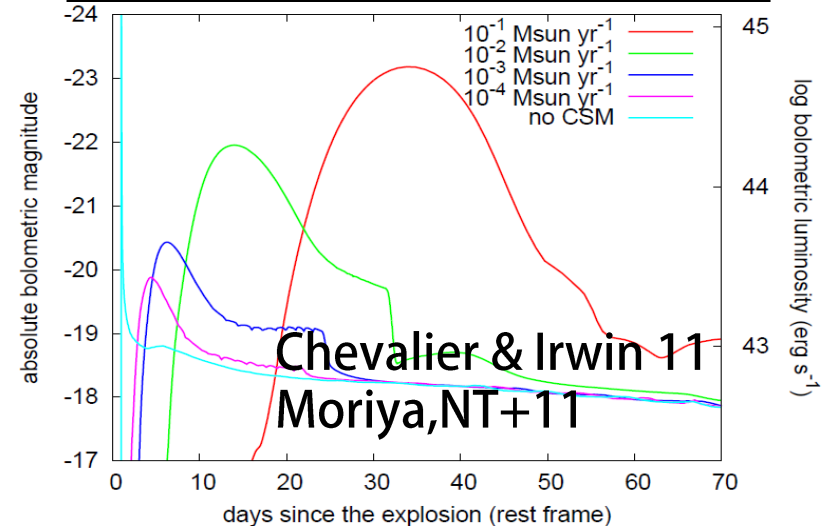


マグネターの形成



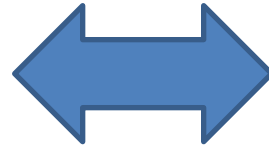
星周物質からの

ショックブレイクアウト

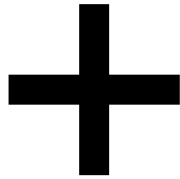


まとめ

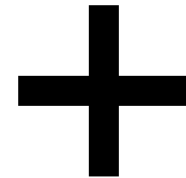
超新星爆発の観測
光度曲線
スペクトル



超新星爆発の物理量
放出物質の質量
爆発エネルギー
 ^{56}Ni の質量



親星の観測
爆発直後の観測
星周物質との相互作用



親星の進化
親星の半径
爆発直前の質量放出

超高輝度超新星の発見