

超新星とガンマ線バースト

守屋堯
国立天文台



超新星とガンマ線バースト

超新星とlong GRB

lc-BL型超新星

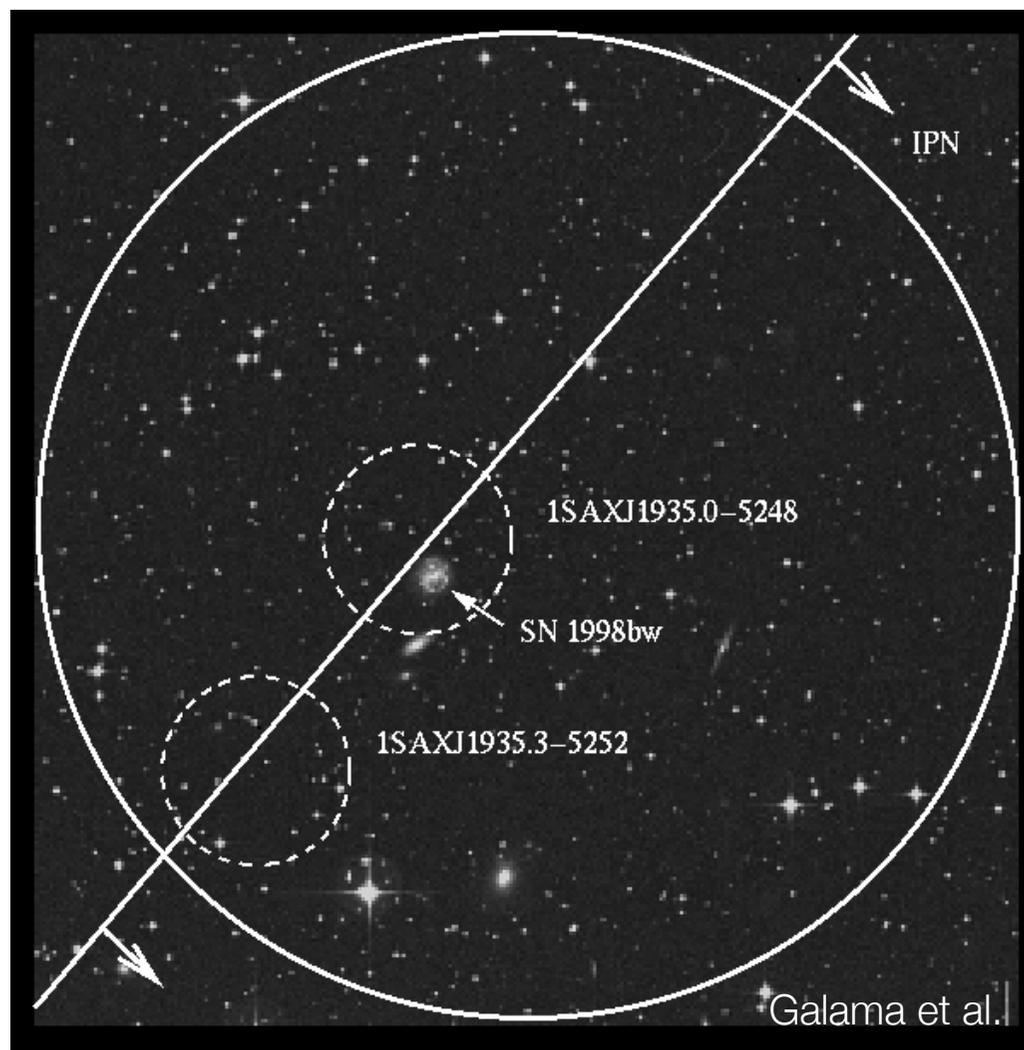
超高輝度超新星

超新星とshort GRB

ultra-stripped超新星

超新星とlong GRB

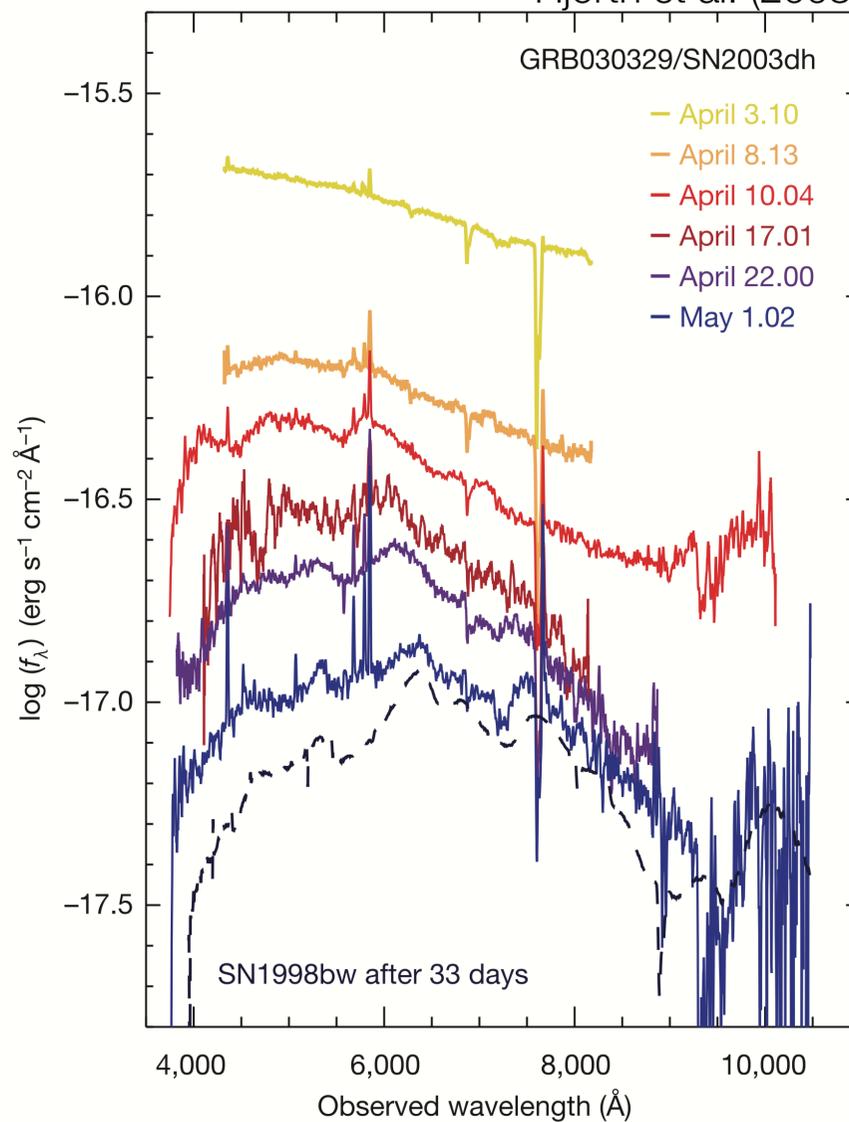
GRB 980425/SN 1998bw



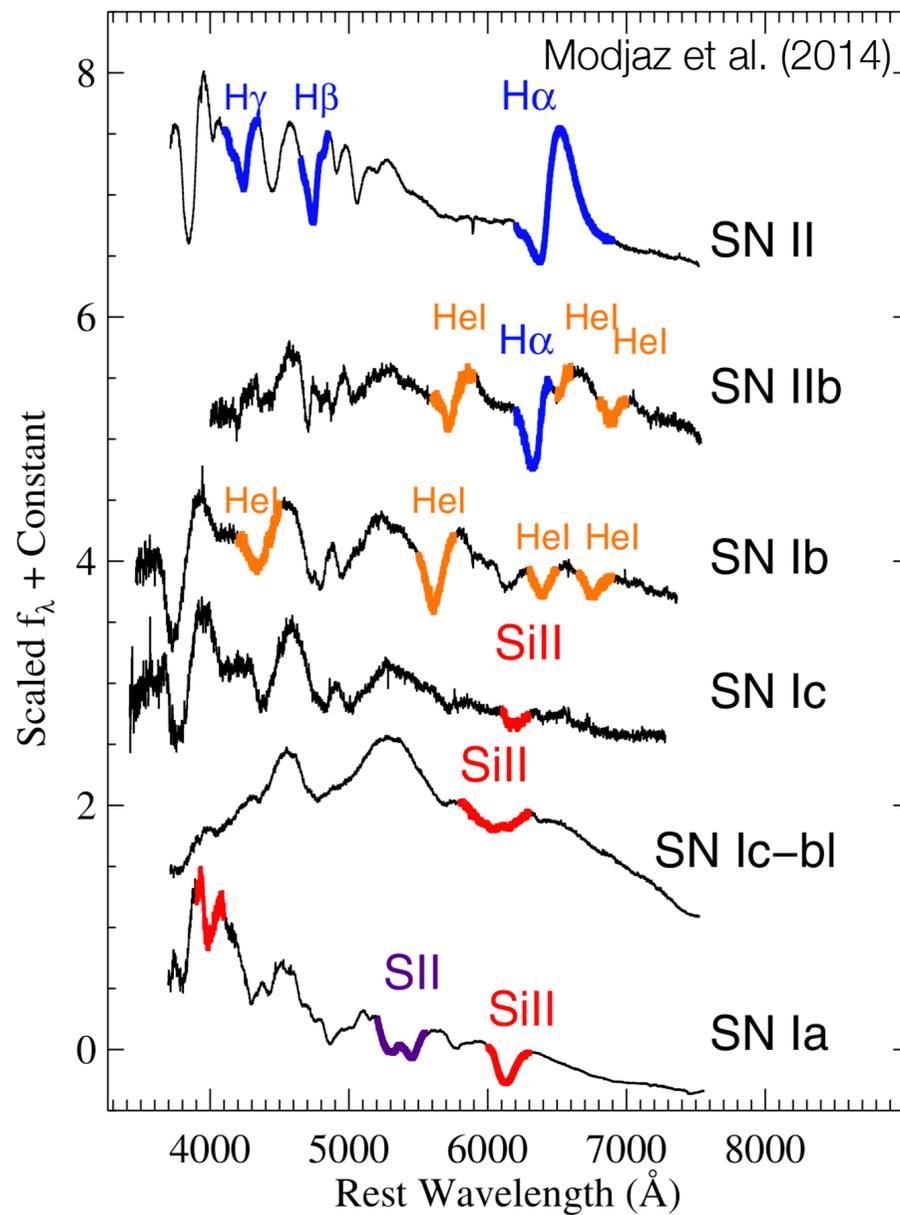
超新星とlong GRB

GRB 030329/SN 2003dh

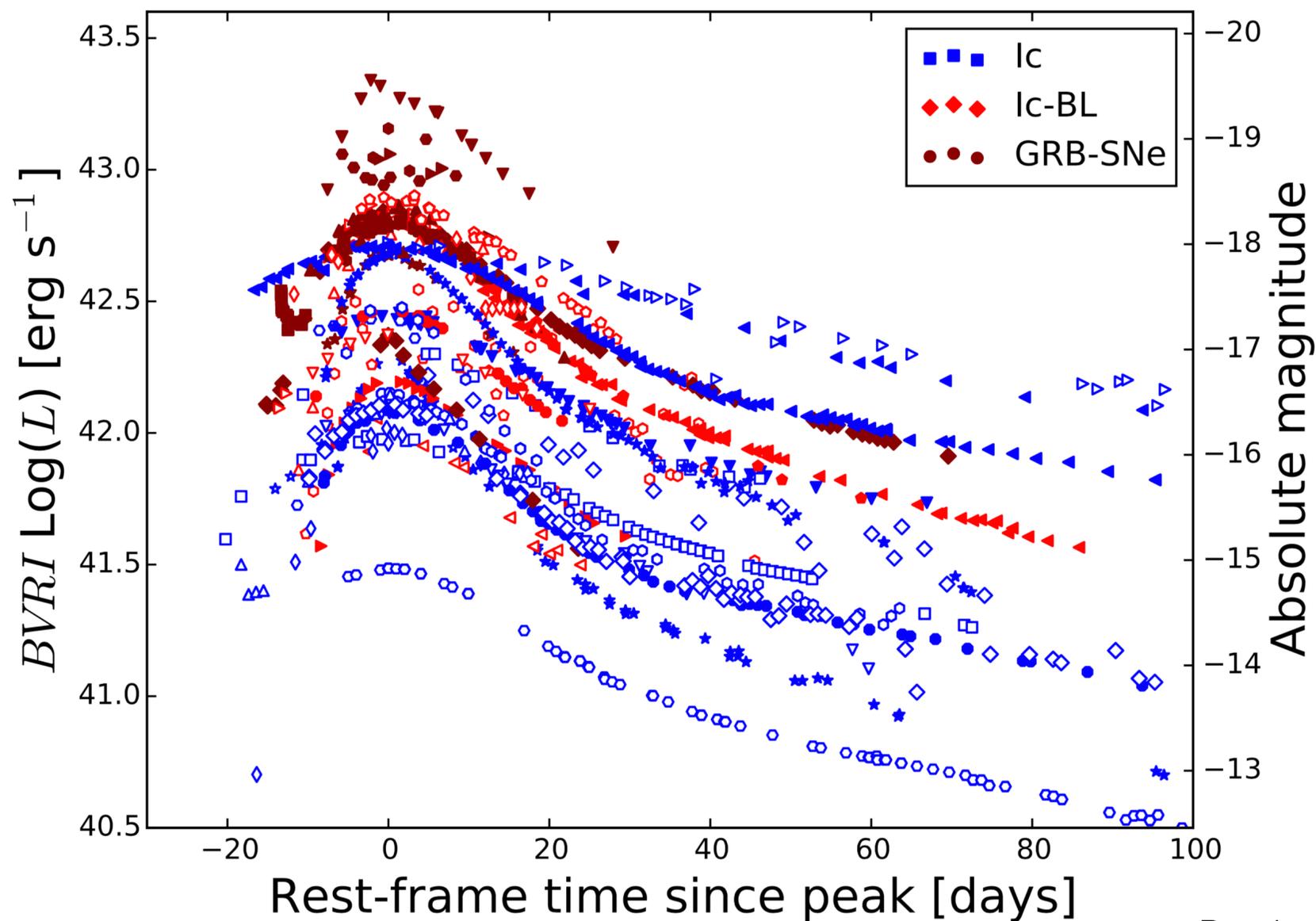
Hjorth et al. (2003)



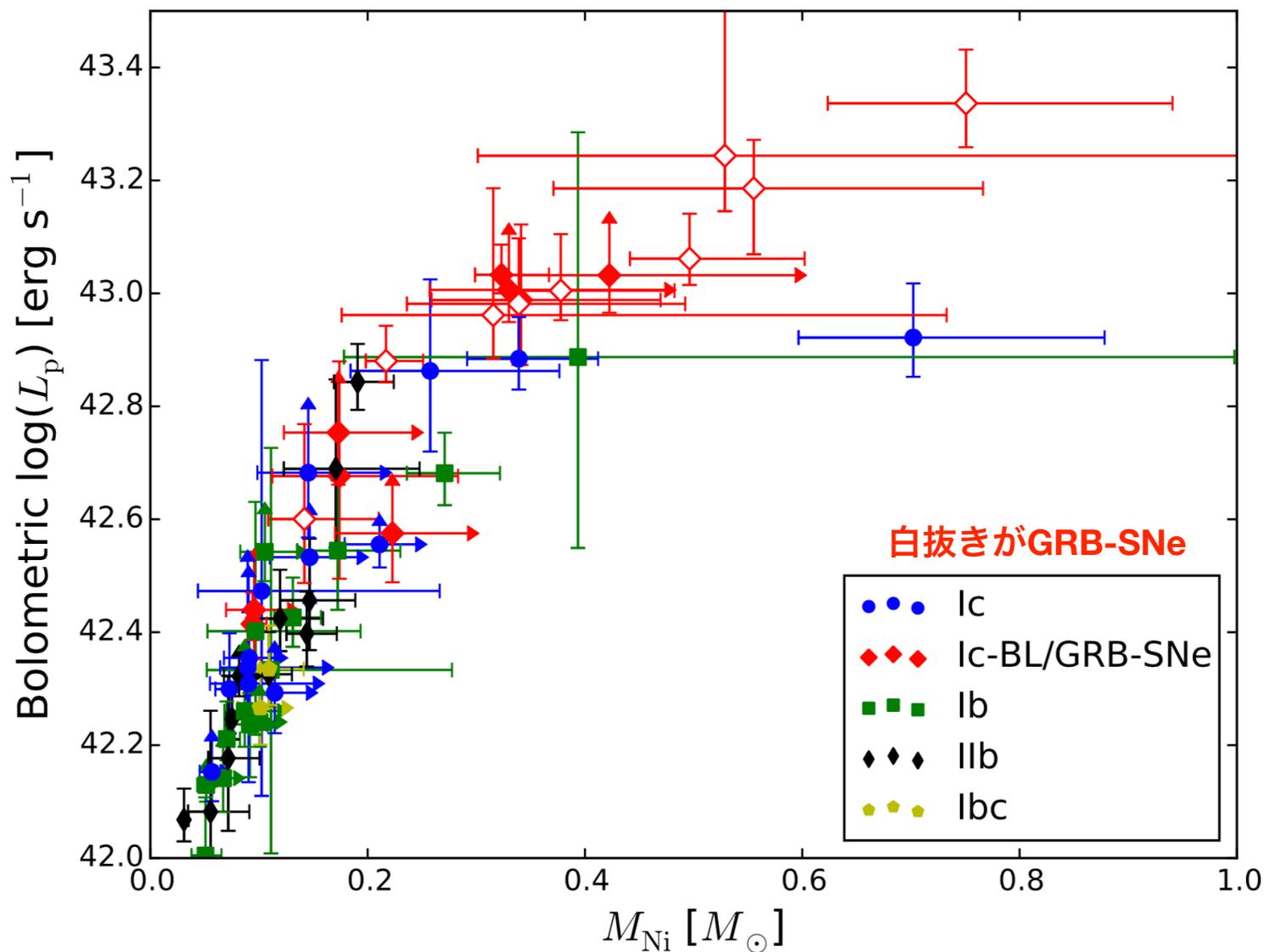
long GRBに付随するIc-BL型超新星



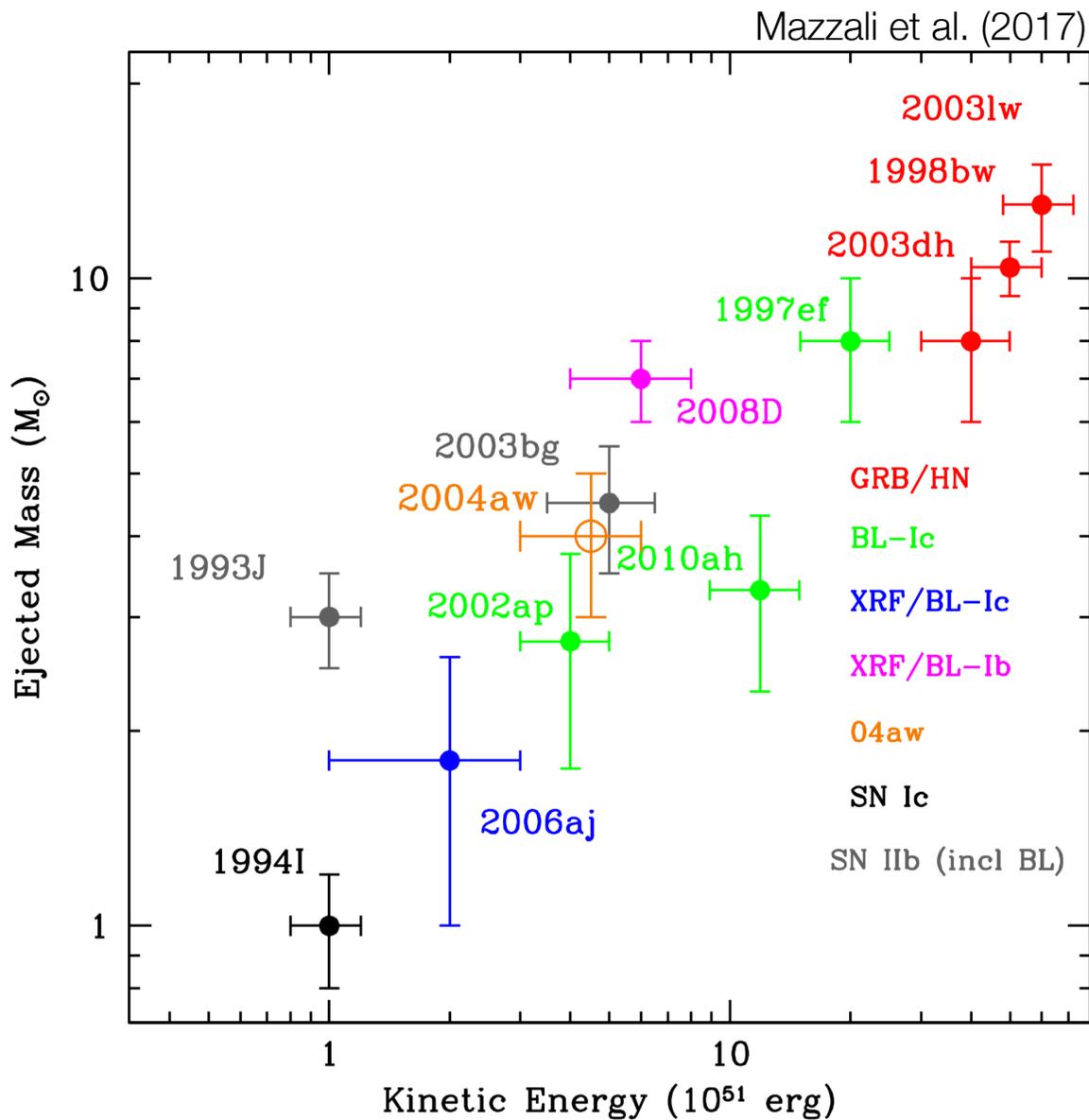
long GRBに付随するIc-BL型超新星



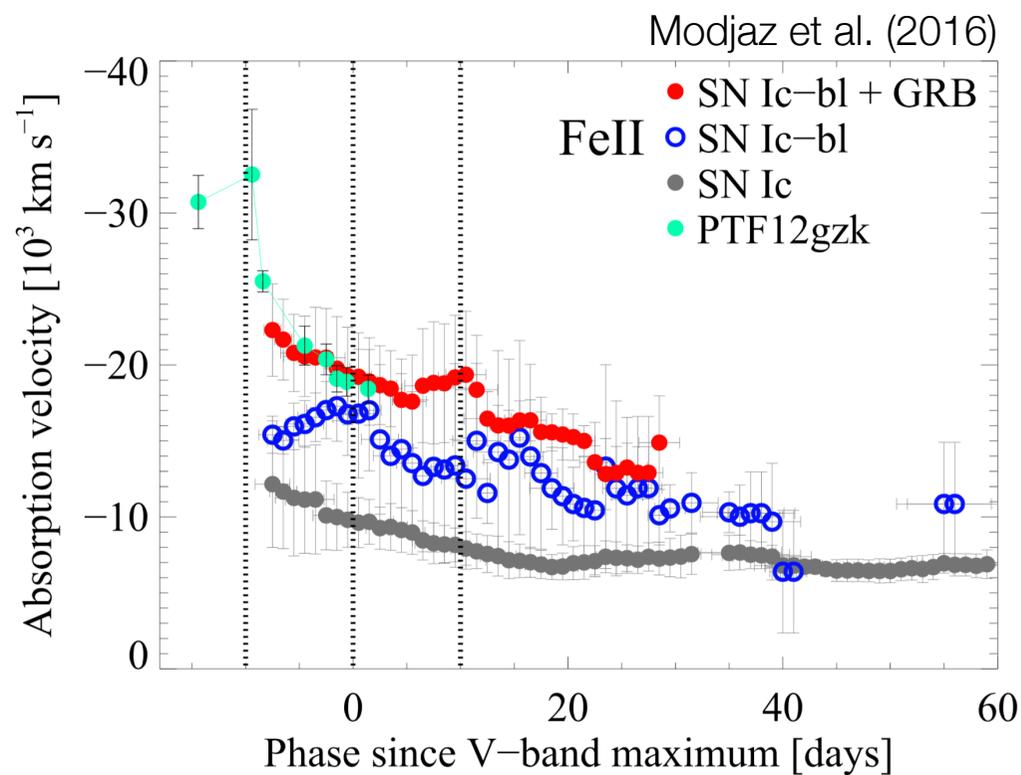
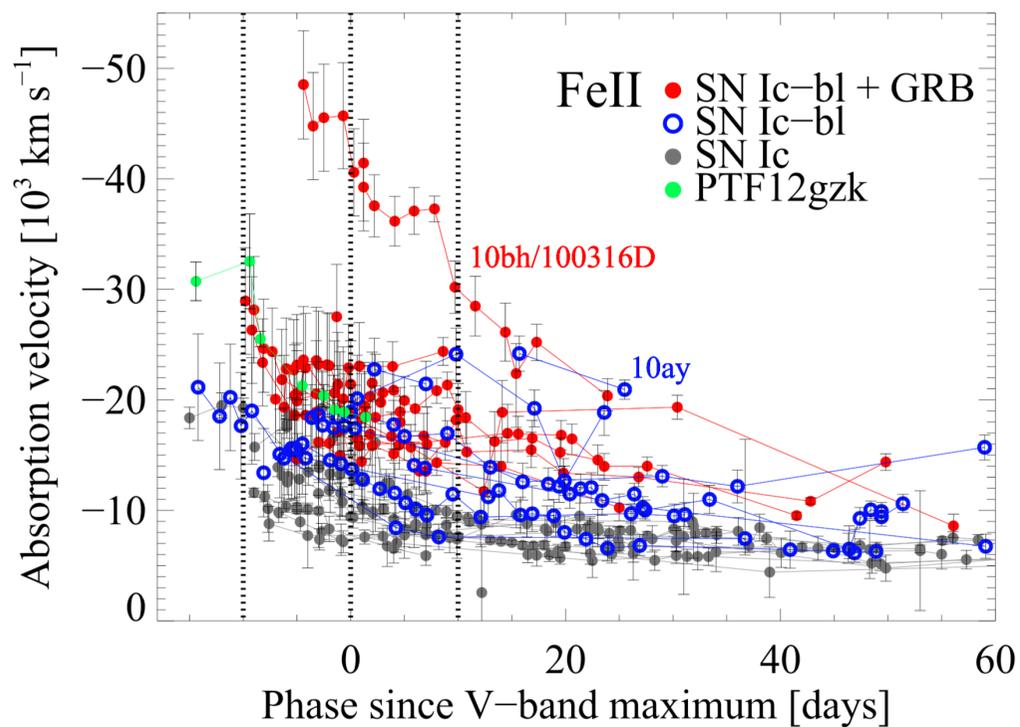
long GRBに付随するIc-BL型超新星



long GRBに付随するIc-BL型超新星

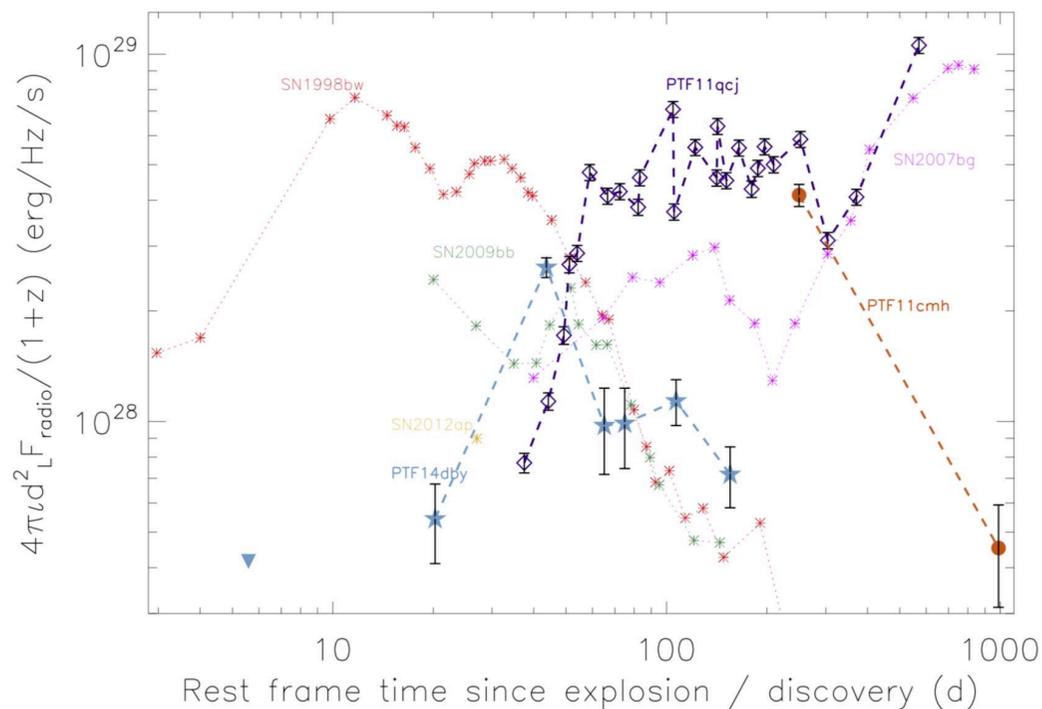
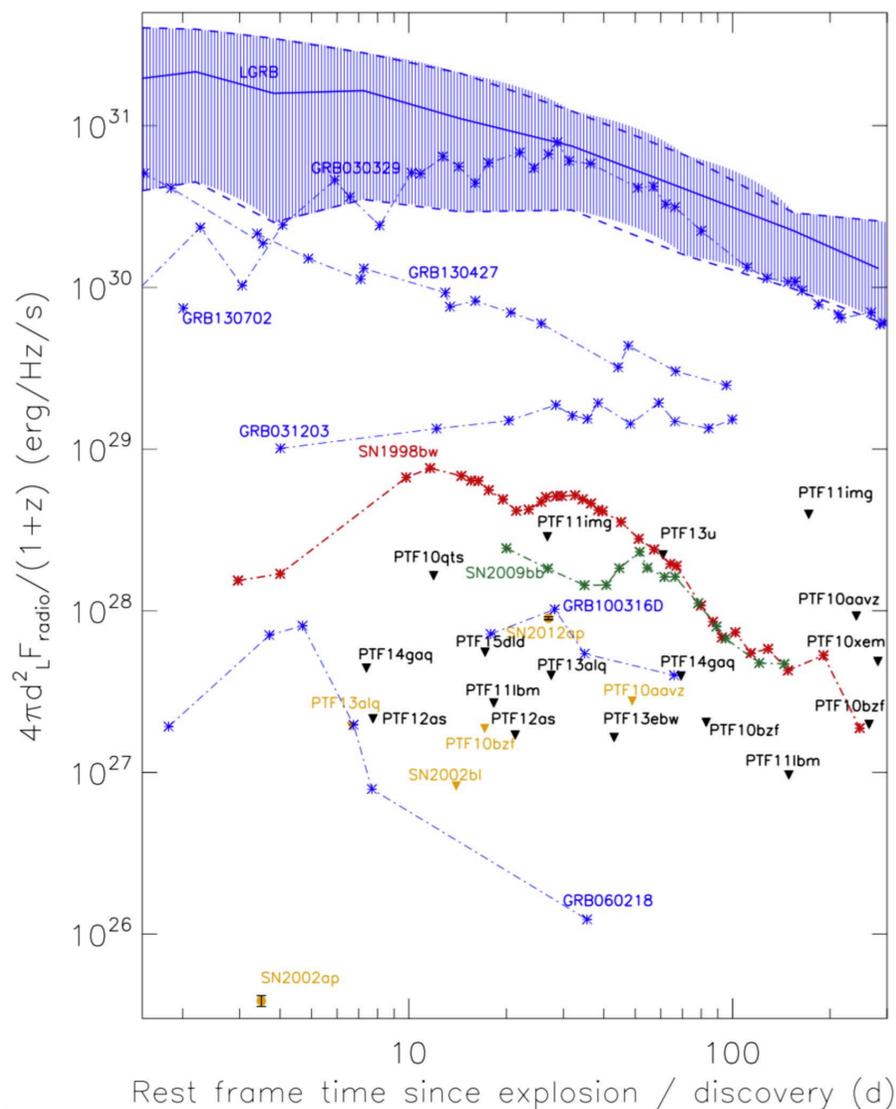


Ic-BL型は全てGRBに付随しているのか？



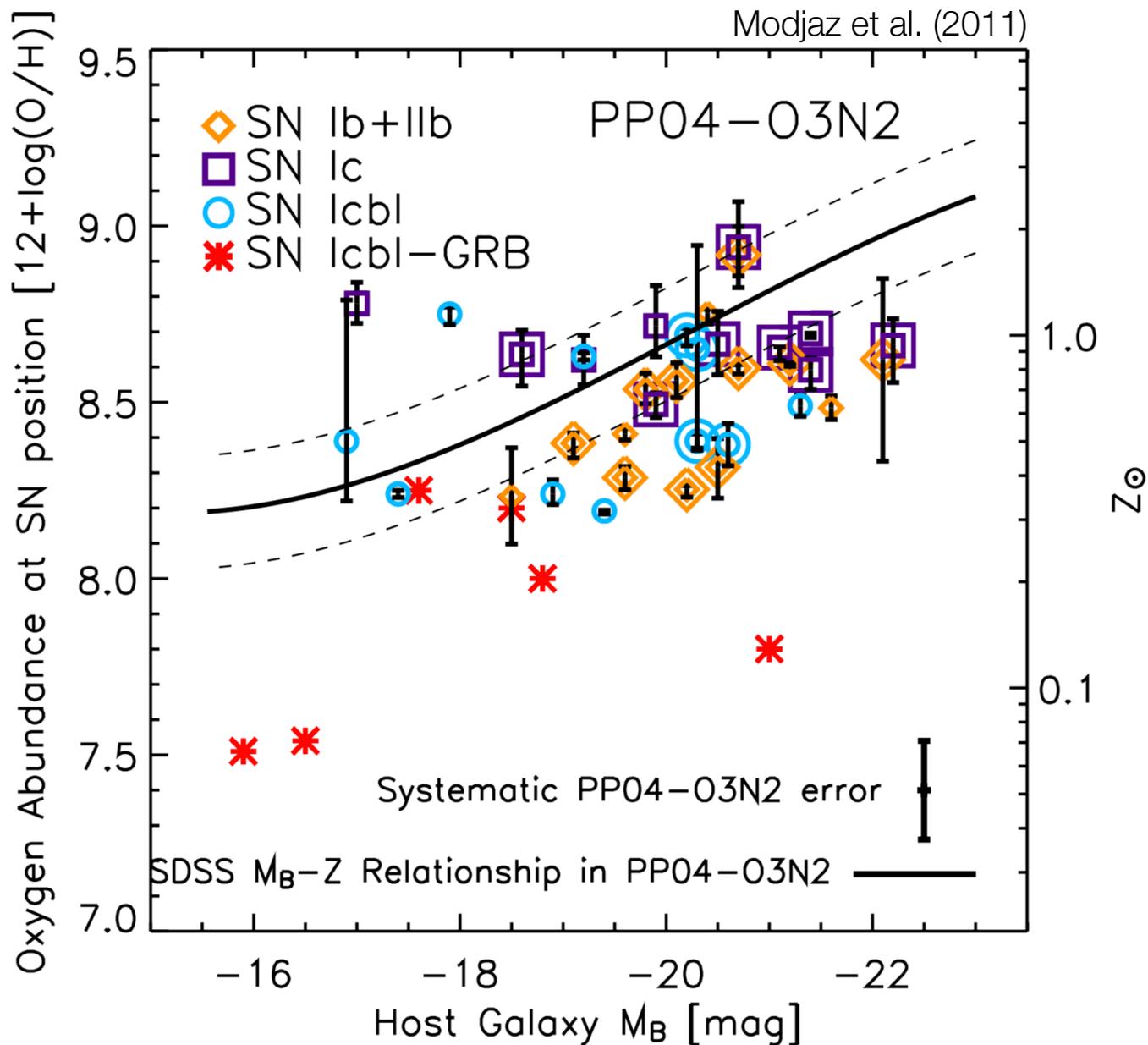
Ic-BL型は全てGRBに付随しているのか？

PTF/iPTFに現れたIc-BLの電波観測 (Corsi et al. 2016)



off-axis GRBを持つIc-BL
 は最大でIc-BLの約85%
 (ISM densityなどの仮定に依存)

Ic-BL型は全てGRBに付随しているのか？



lc-BL型は全てGRBに付随しているのか？

GRB付きで観測されたlc-BL型とGRBなしで観測されたlc-BL型には
多少の違いがある

GRBの付随していないlc-BL型もありそう

GRB有りlc-BL vs GRB無しlc-BL

ジェットの有無？

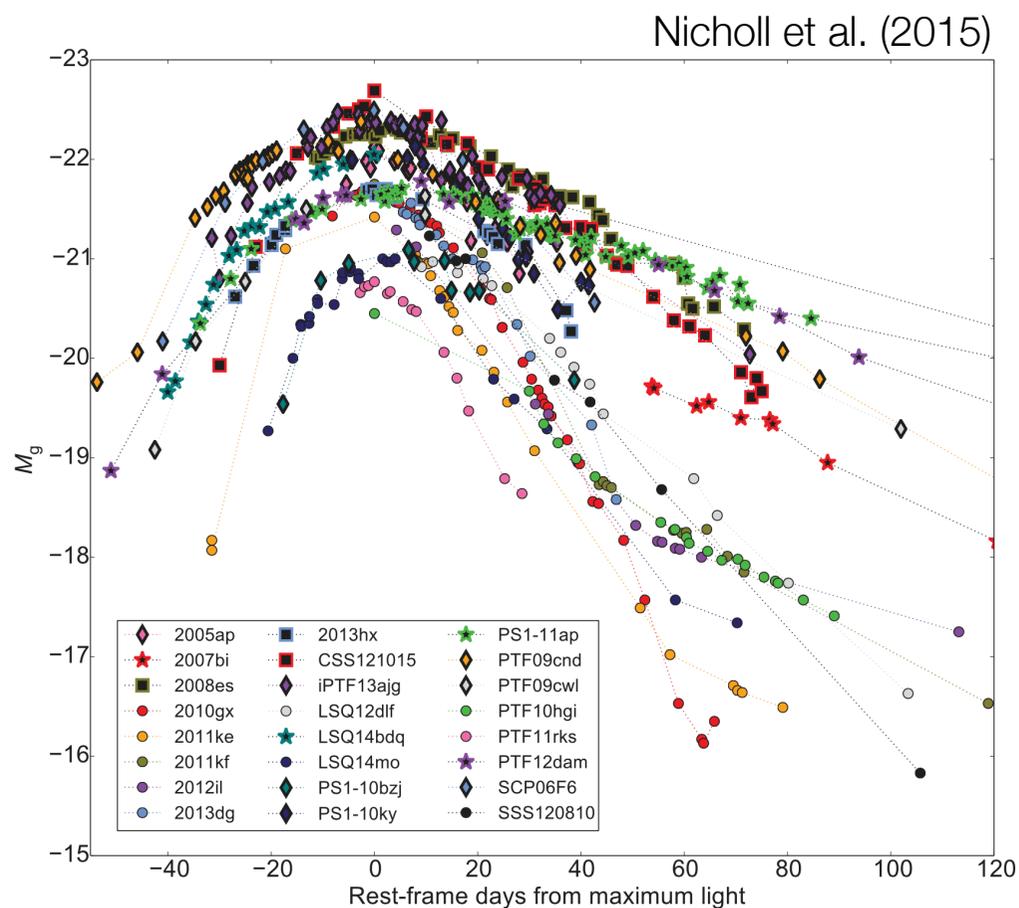
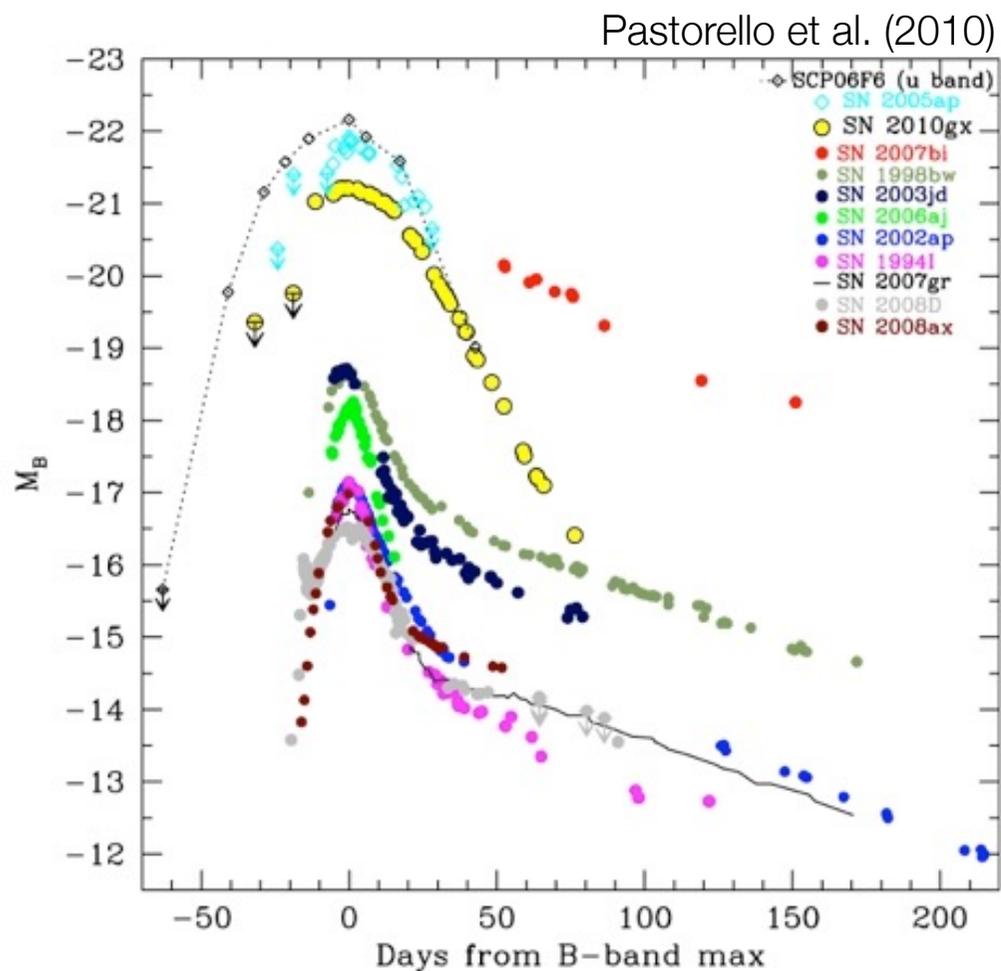
ジェットが親星を突き抜けるかどうか？

GRB無しlc-BLの方がejecta massが小さめ

超高輝度超新星 (superluminous supernovae)

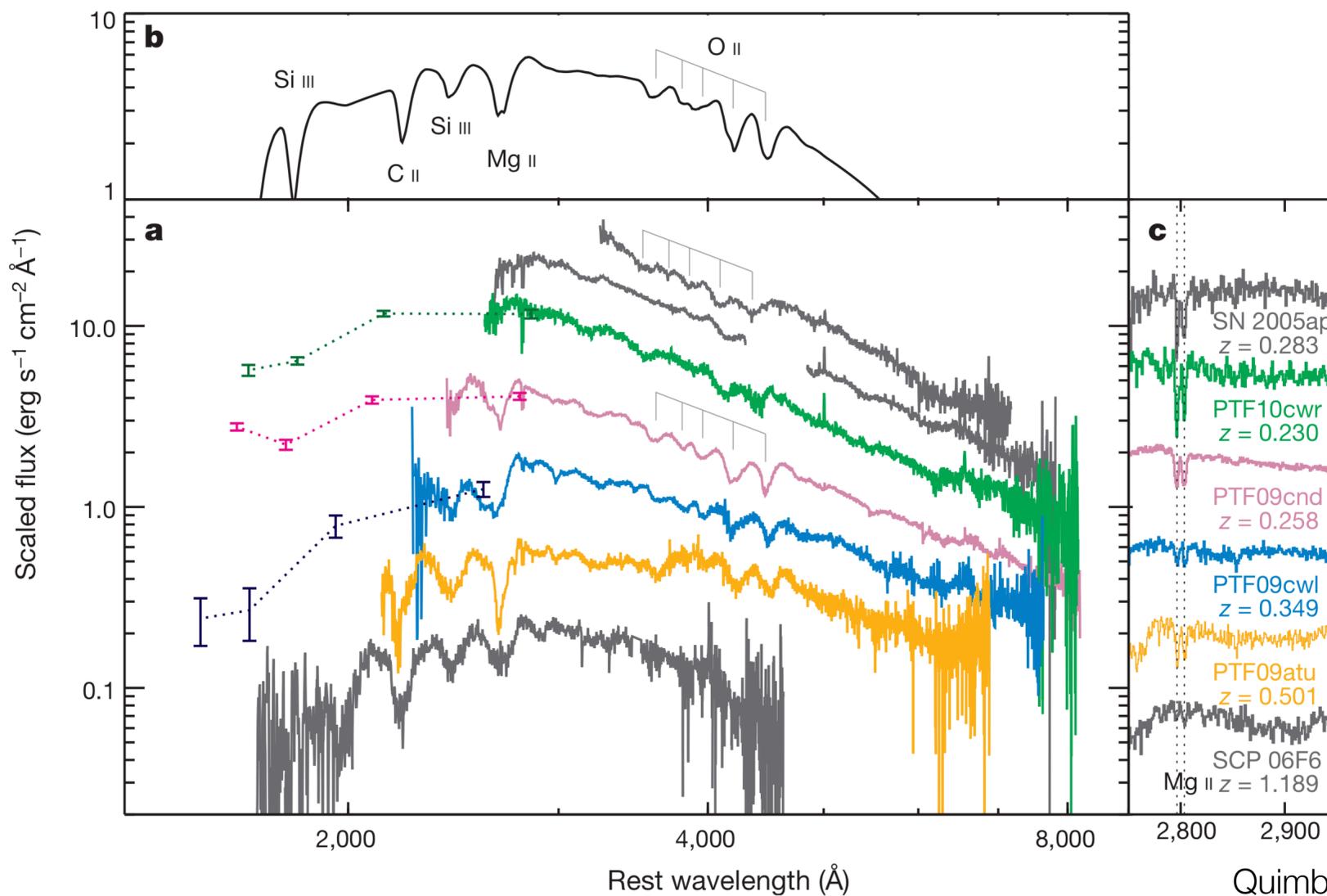
すごい明るい超新星：最大光度約-21等前後（約 $1e44$ erg/s前後）

電磁波で $\sim 1e51$ erg程度放出している



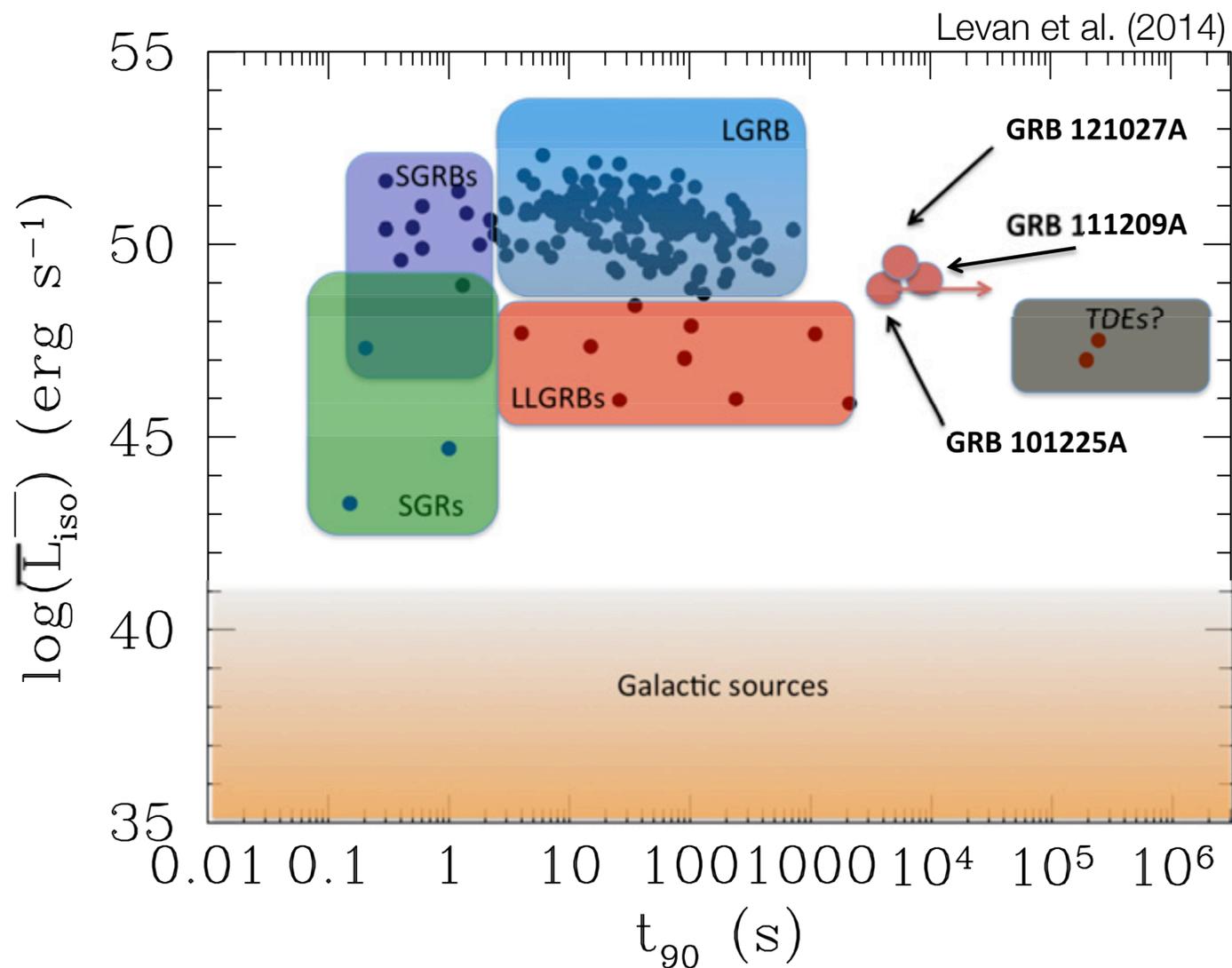
超高輝度超新星 (superluminous supernovae)

Ic型超高輝度超新星



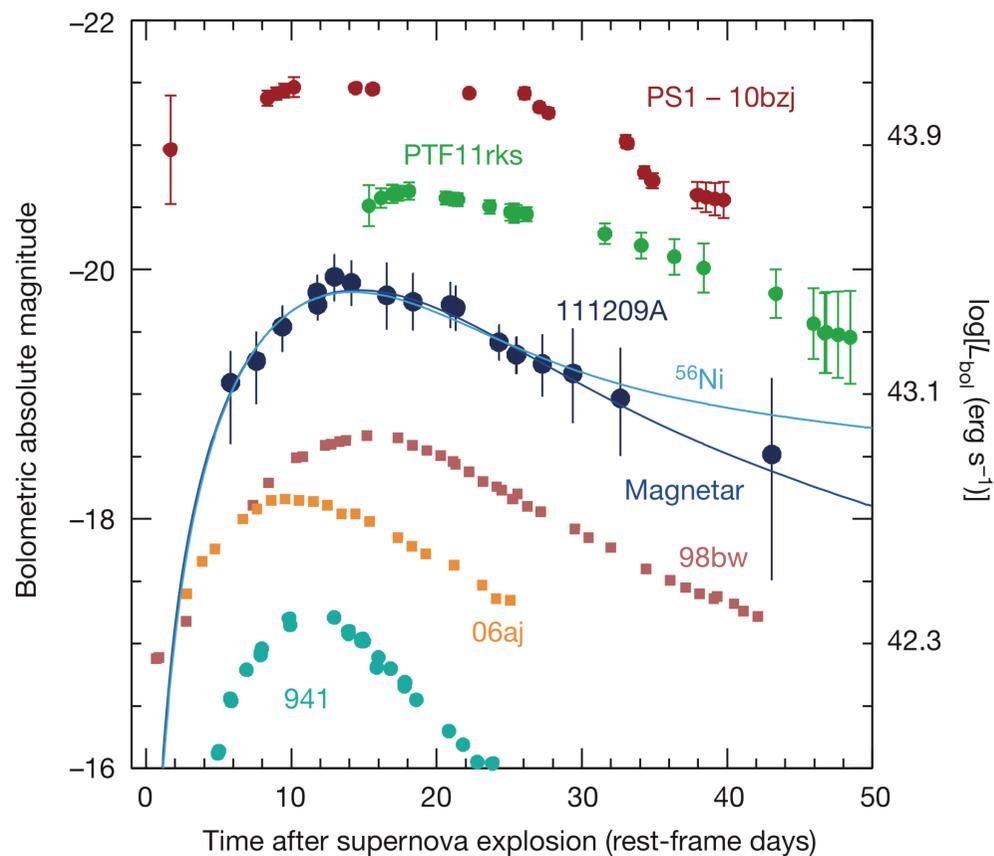
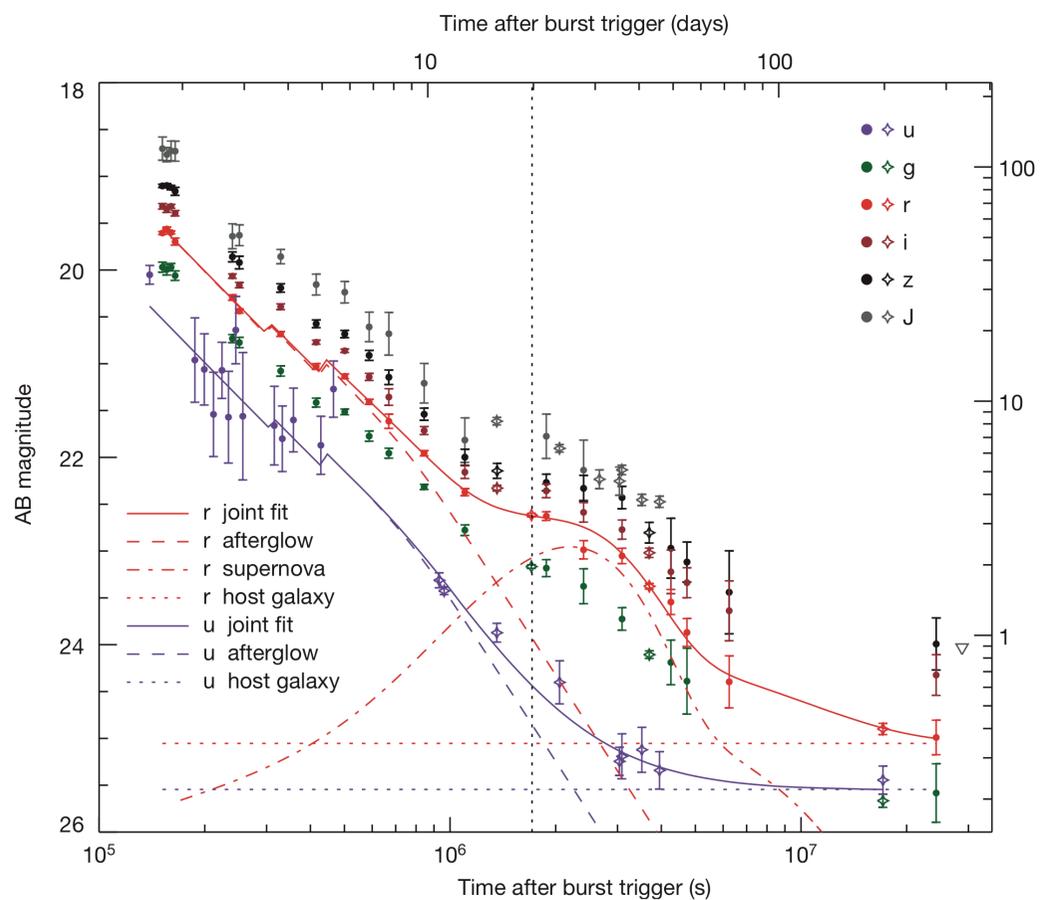
ultra-long GRBと超高輝度超新星

ultra-long GRBs

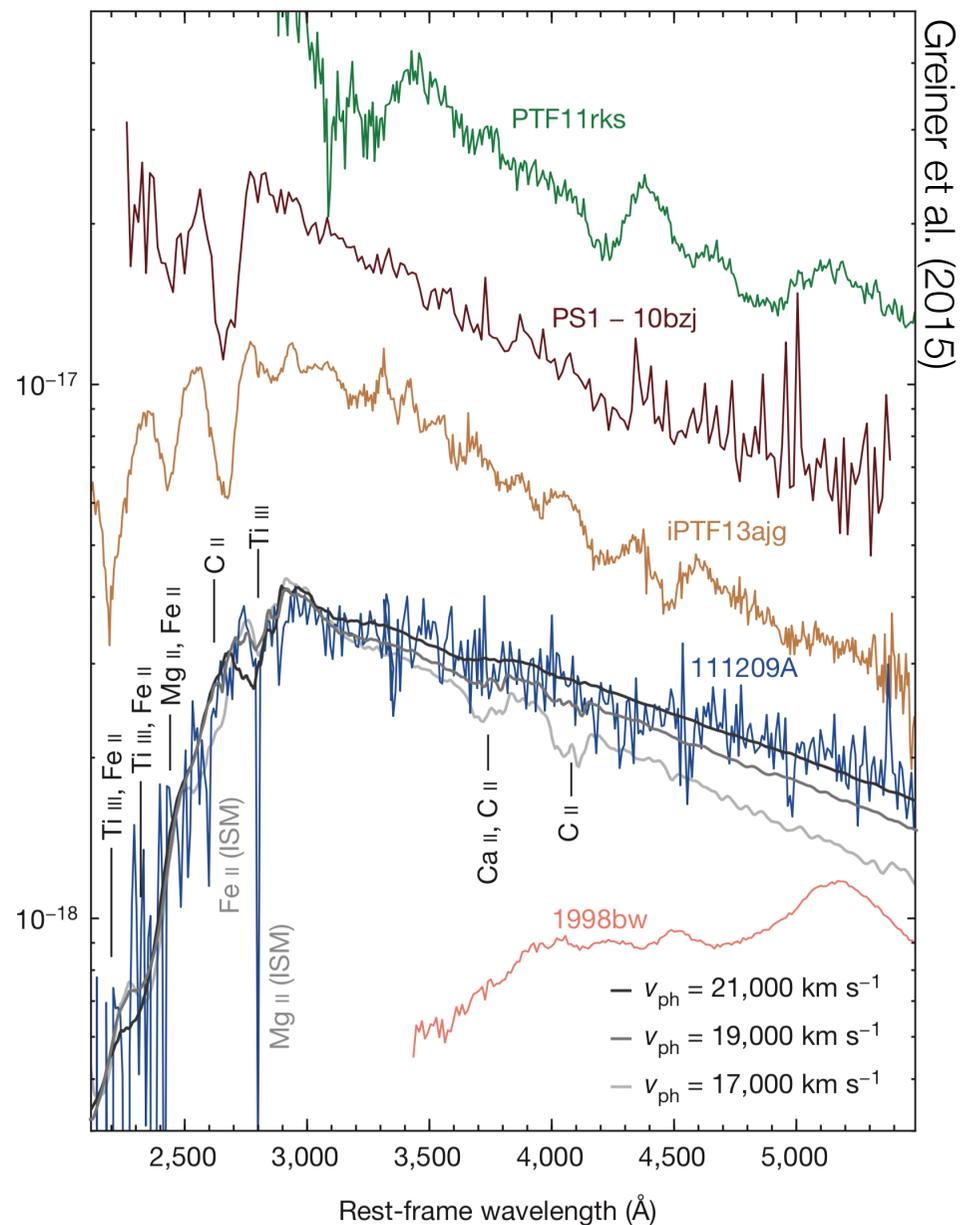
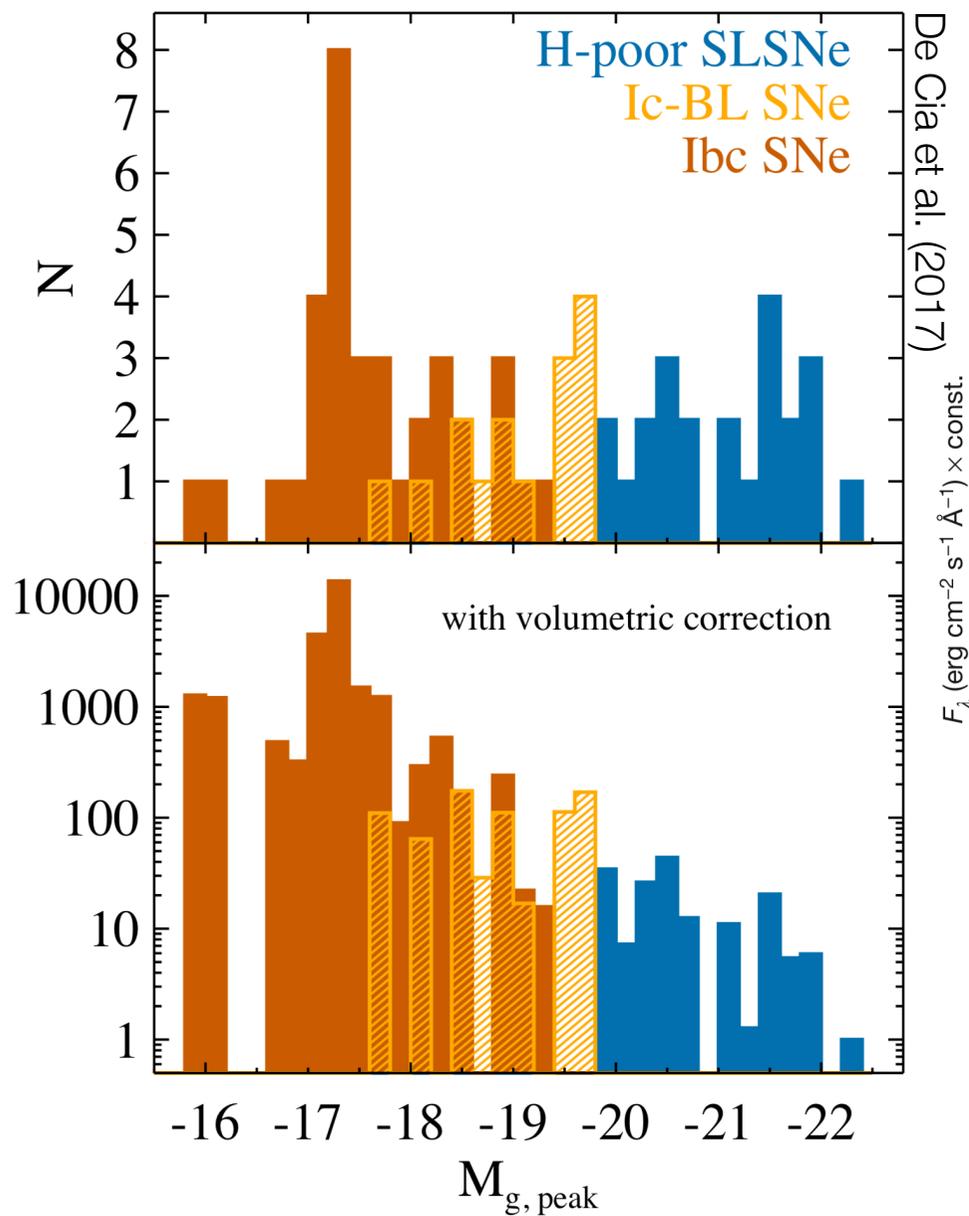


ultra-long GRBと超高輝度超新星

GRB111209A + SN 2011kl



ultra-long GRBと超高輝度超新星

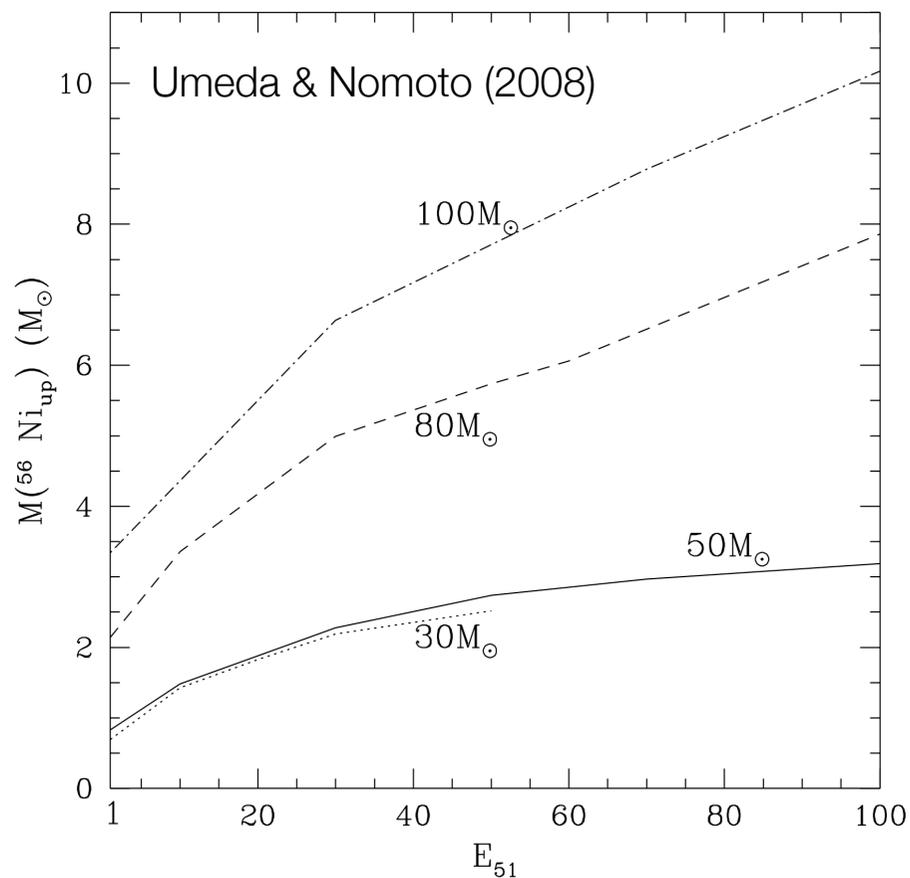
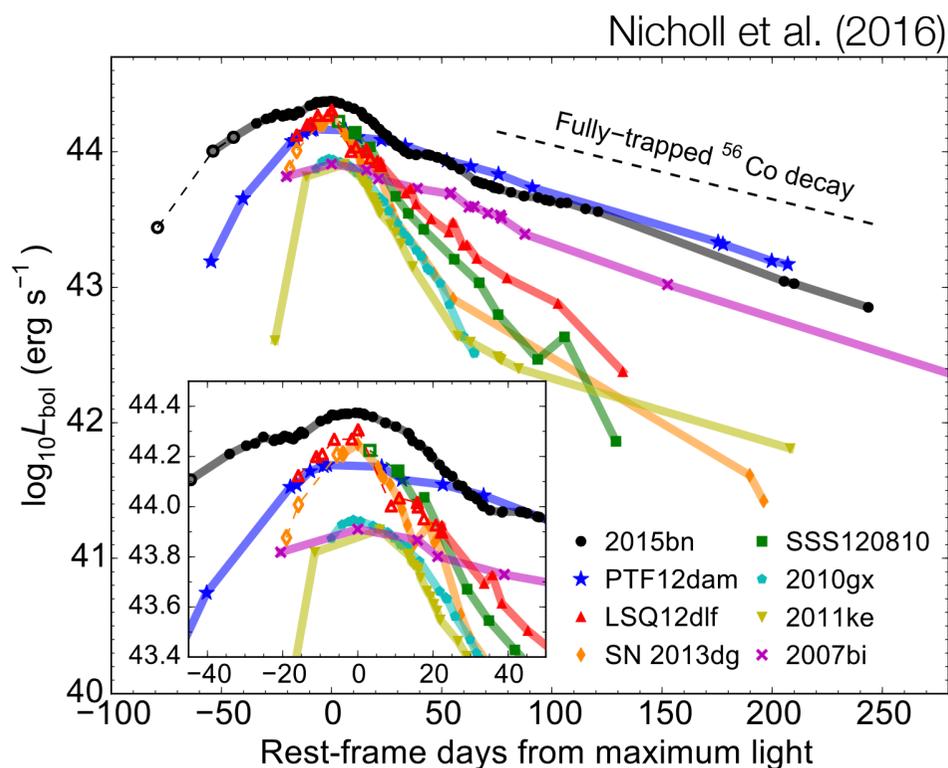


Ic型超高輝度超新星とIc-BL型超新星

エネルギー源がニッケル56だとすると、少なくとも5 Msunは必要

Ic-BL型: 必要なニッケル56は0.5 Msun前後

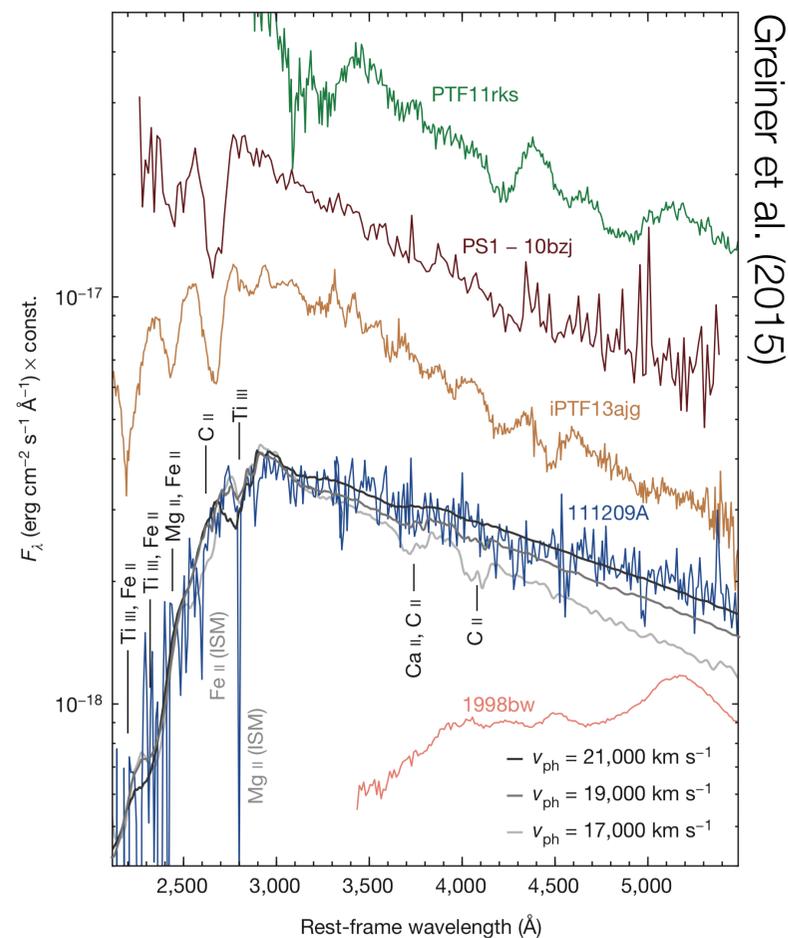
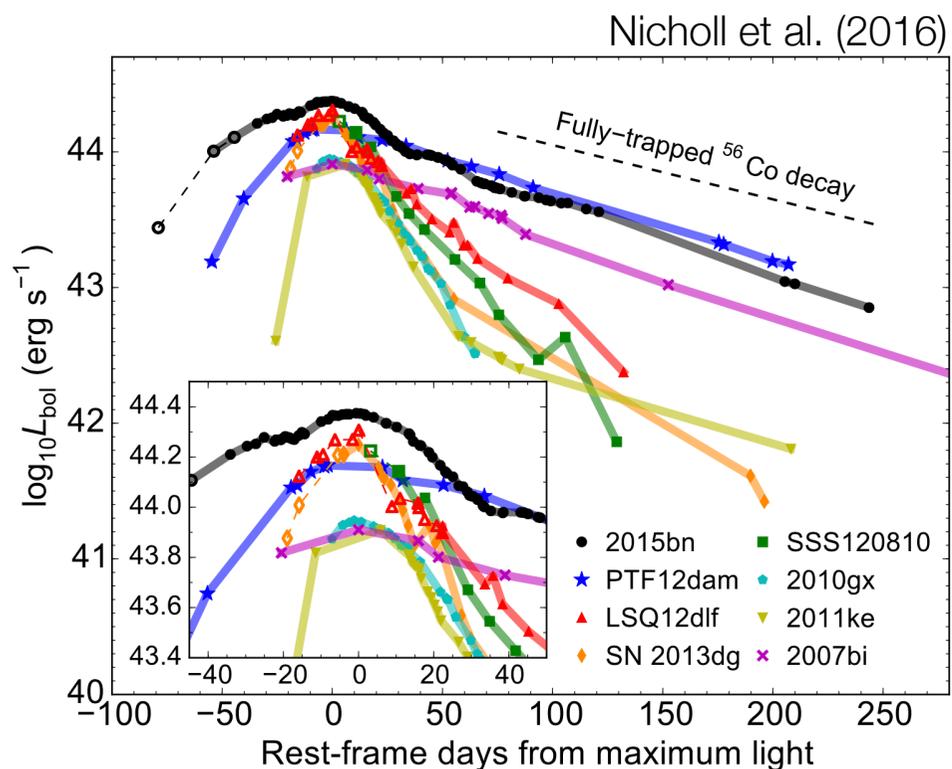
典型的には~10 Msun – 重力崩壊型超新星で作るのはほぼ不可能



Ic型超高輝度超新星とIc-BL型超新星

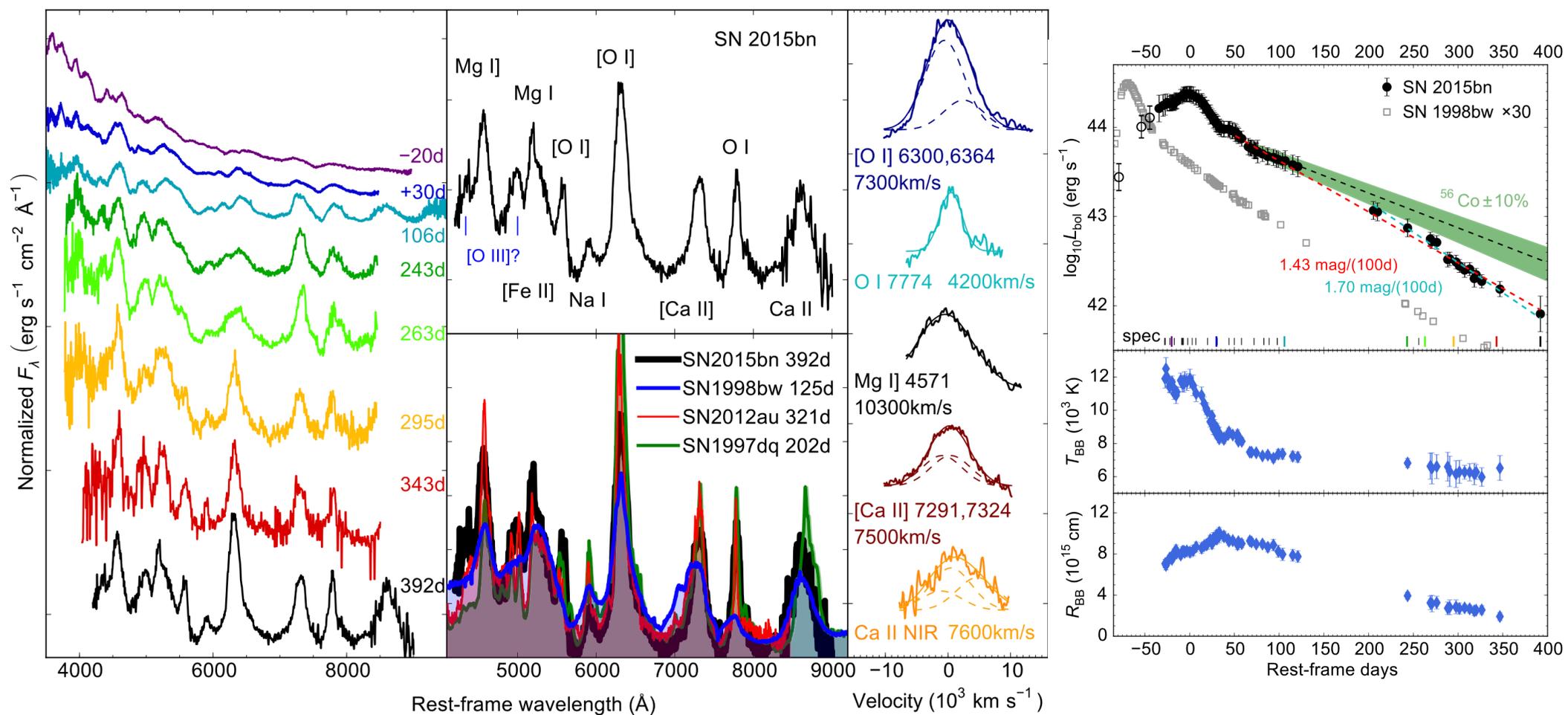
早く暗くなる超高輝度超新星の光度曲線はニッケル56では不可 ejecta massより多くのニッケル56が必要になることもある

ニッケル56が熱源にしては初期スペクトルが青い



Ic型超高輝度超新星とIc-BL型超新星

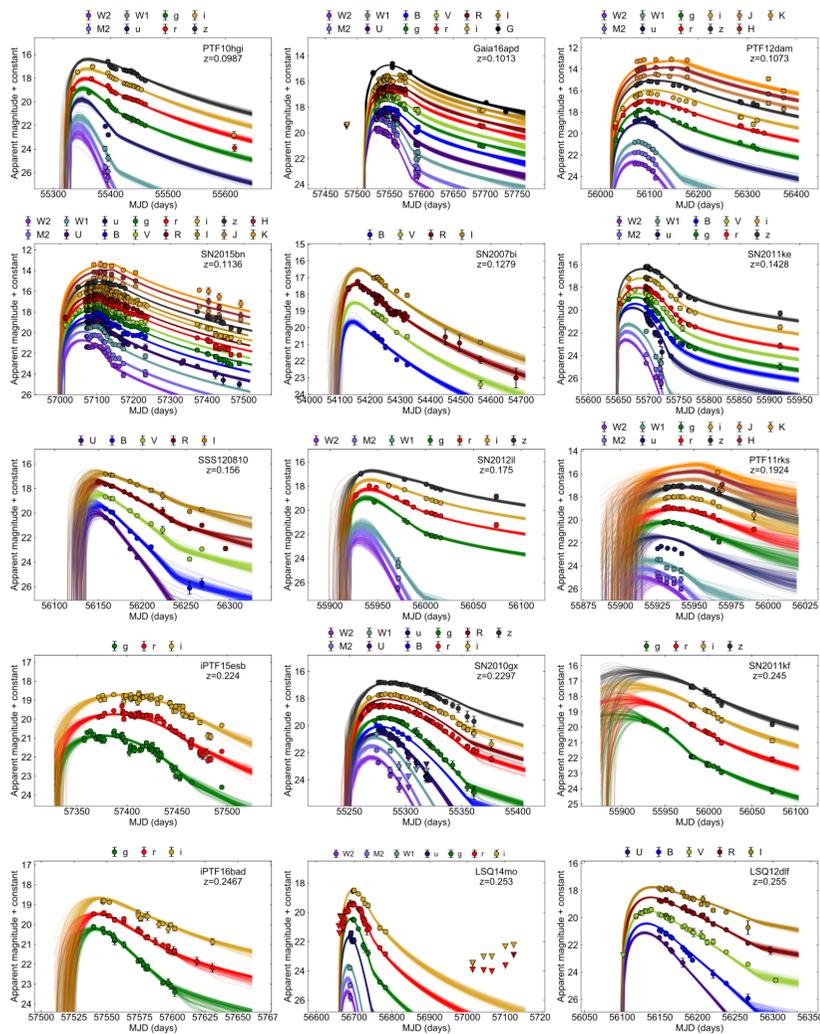
後期スペクトルが良く似ている



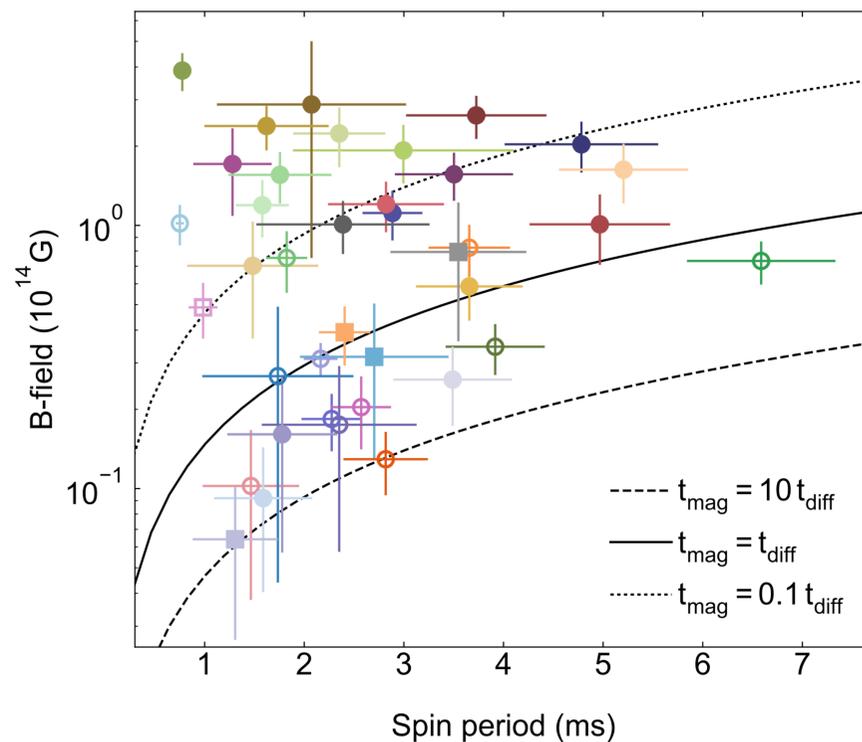
IC型超高輝度超新星の熱源

マグネターモデルが流行っている

なんらかの中心エンジンはありそう？

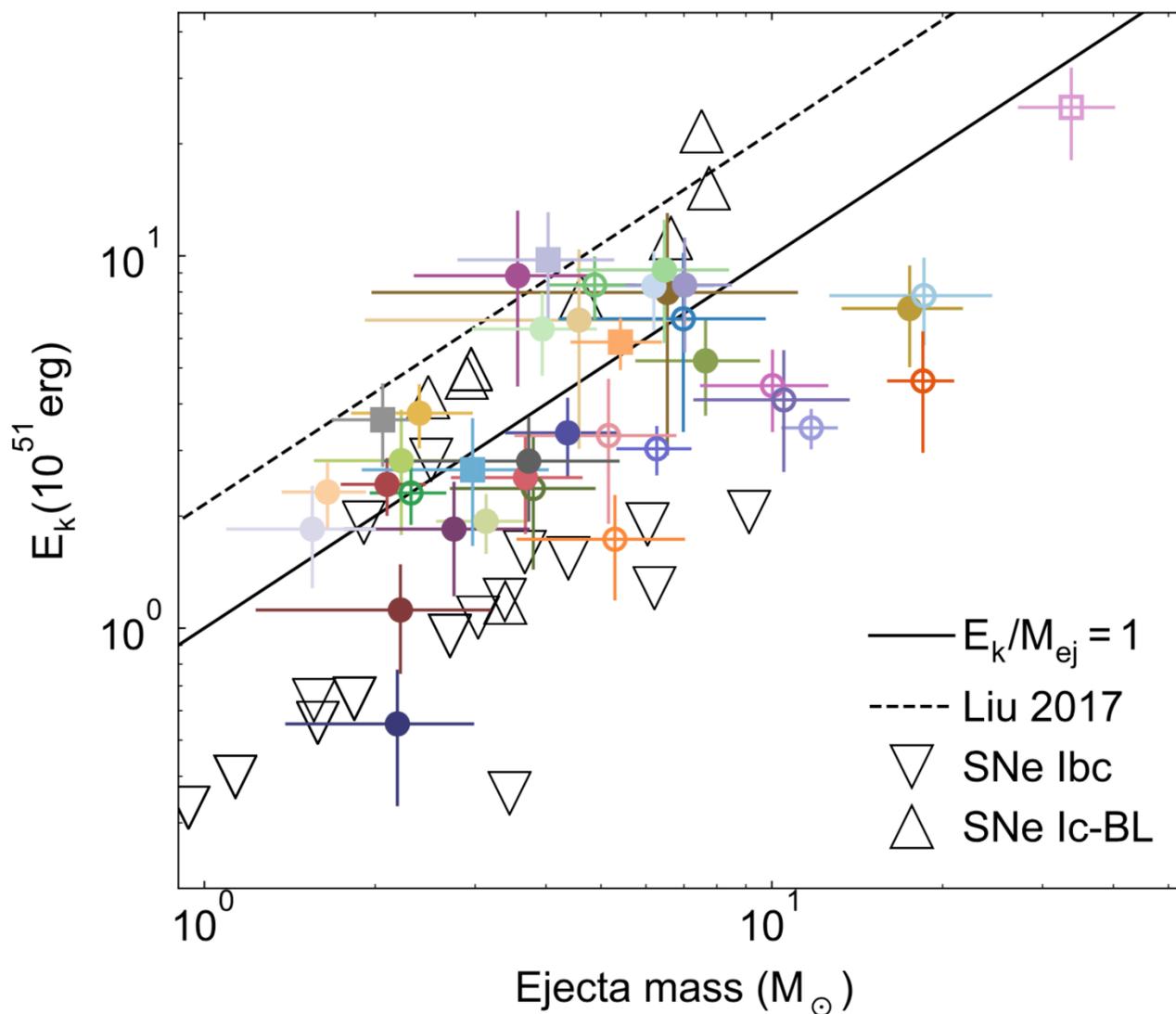


$$L_{\text{mag}}(t) = \frac{E_m}{t_m} \left(1 + \frac{t}{t_m} \right)^{-2}$$

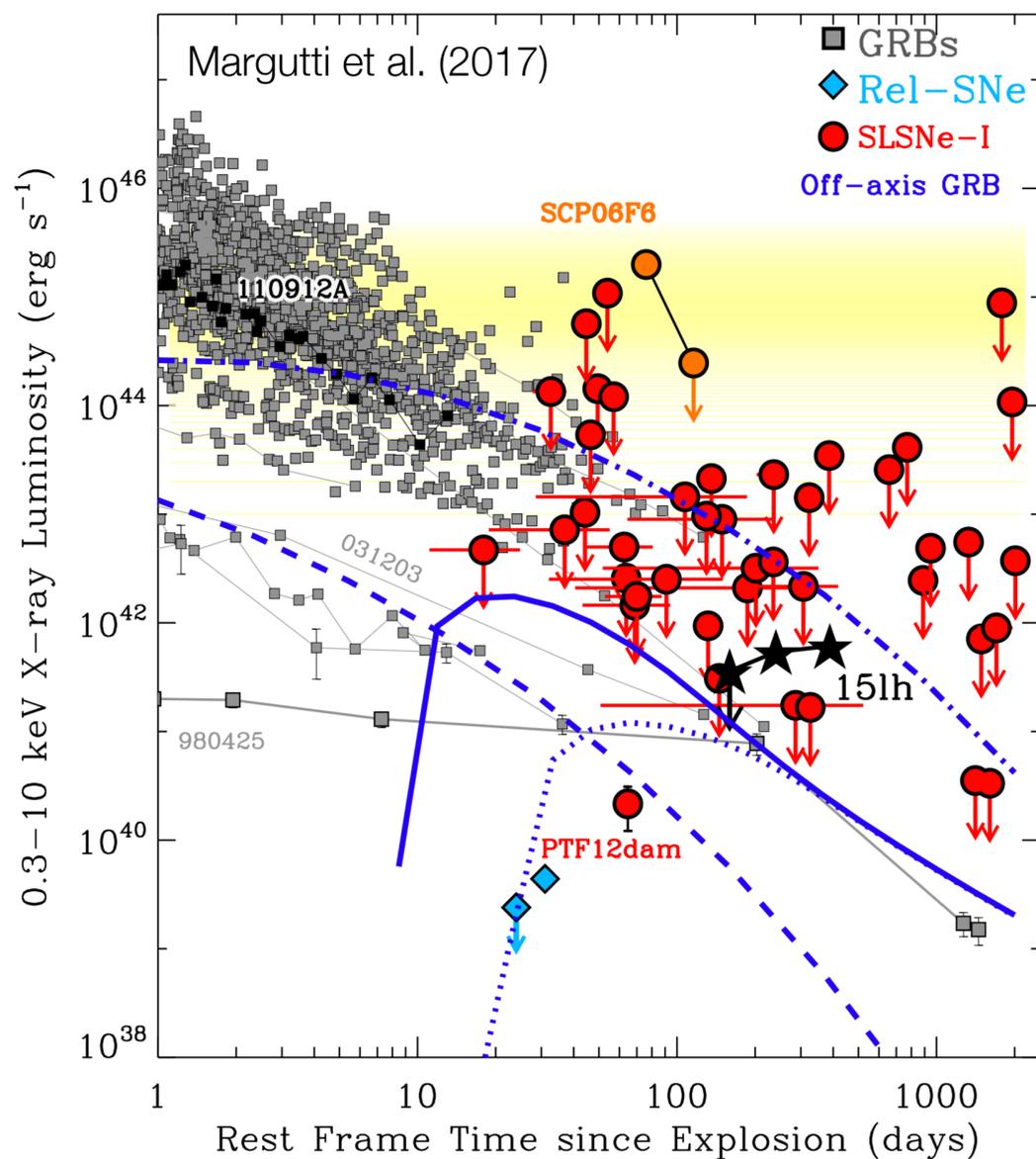


Ic型超高輝度超新星とIc-BL型超新星

ejecta massは小さめ？



超高輝度超新星にGRBは付随しているのか？



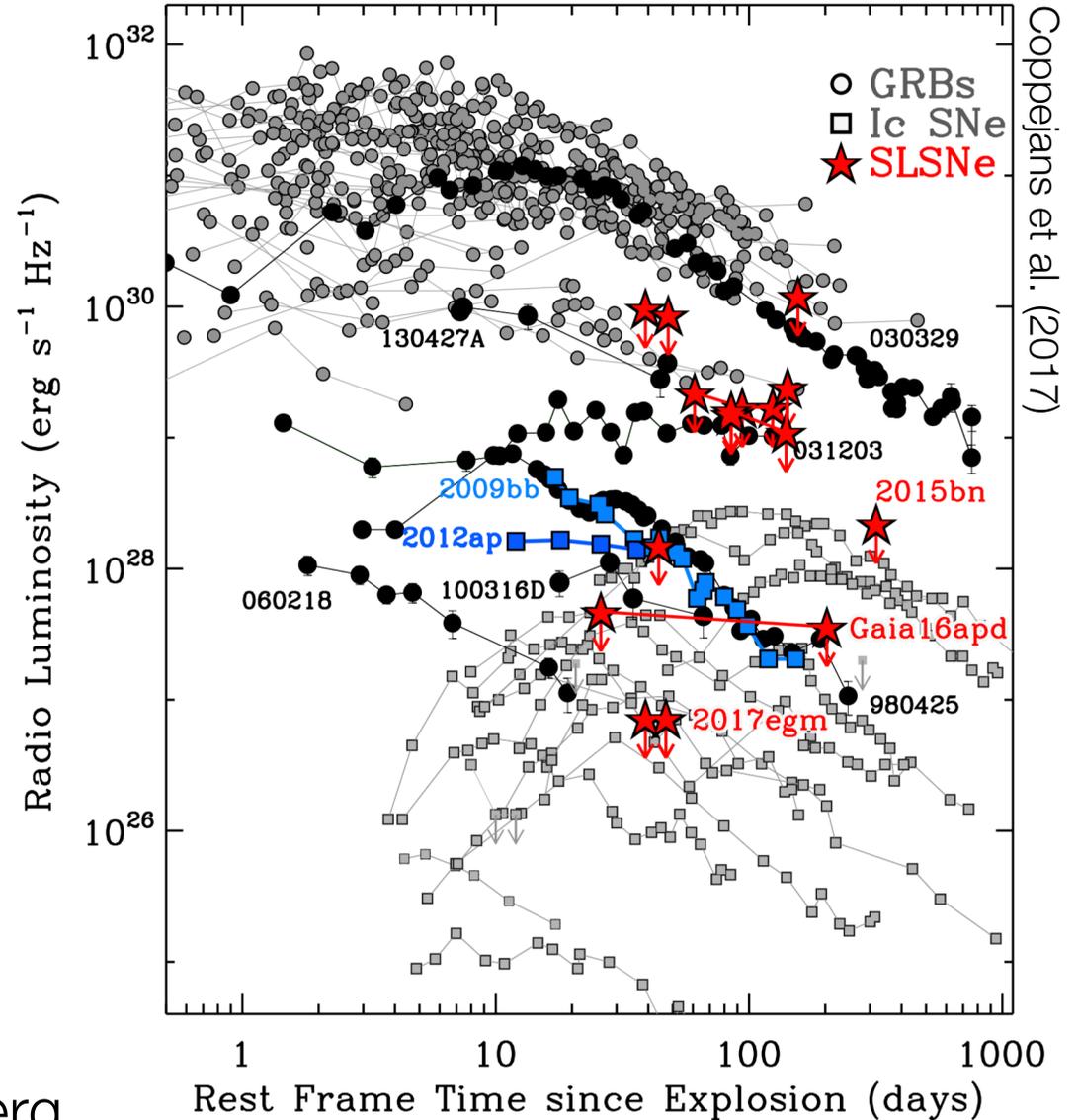
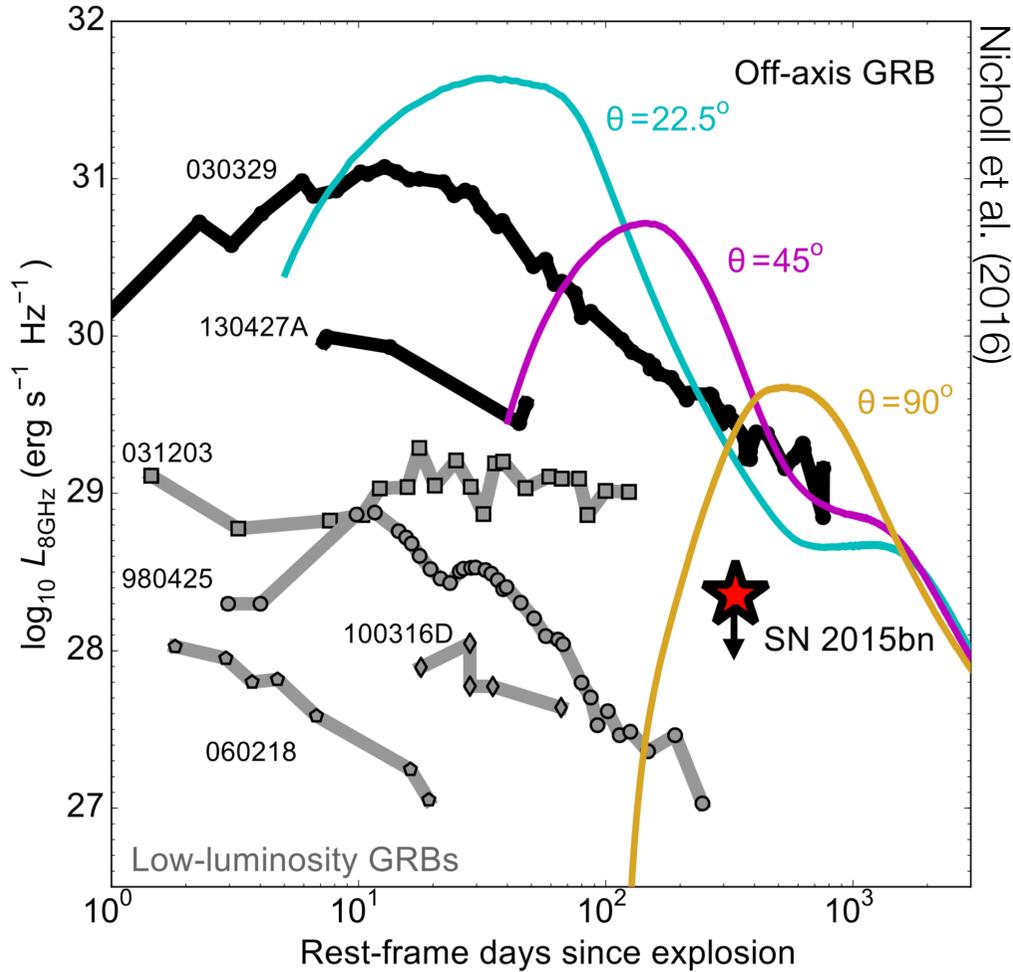
超高輝度超新星はX線でほとんど受からない。

X線の観測例は2例

SCP06F6: 妙に明るい

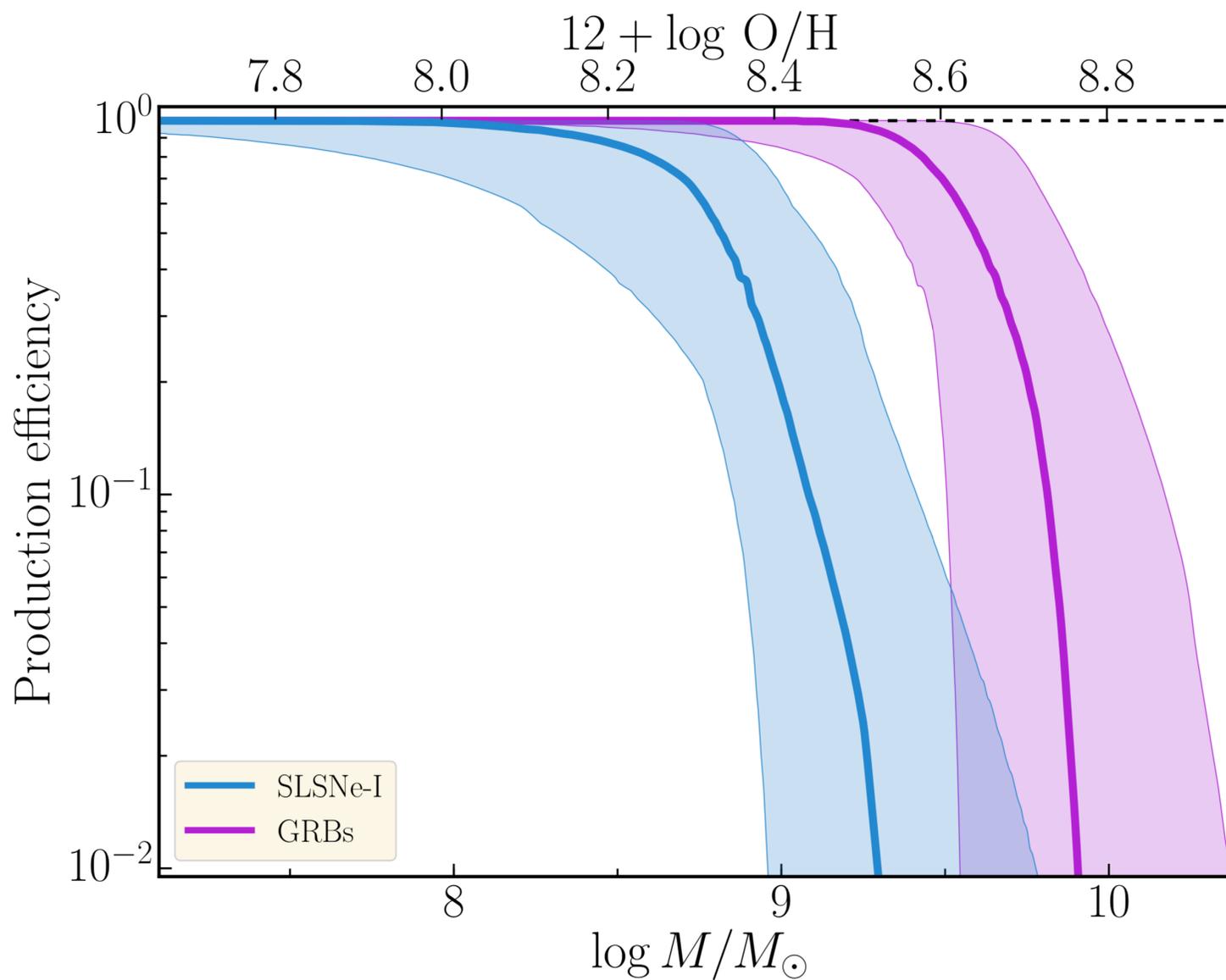
PTF12dam: 暗い。ホスト成分？

超高輝度超新星にGRBは付随しているのか？



$E_k(\text{jet}) = 2e51 \text{ erg}, n = 1/cc,$
 $\epsilon_B = \epsilon_e = 0.1, p = 2.5,$
 $\theta(\text{jet, half}) = 0.2 \text{ rad}, E_{\text{iso}} = 1e53 \text{ erg}$

超高輝度超新星の環境



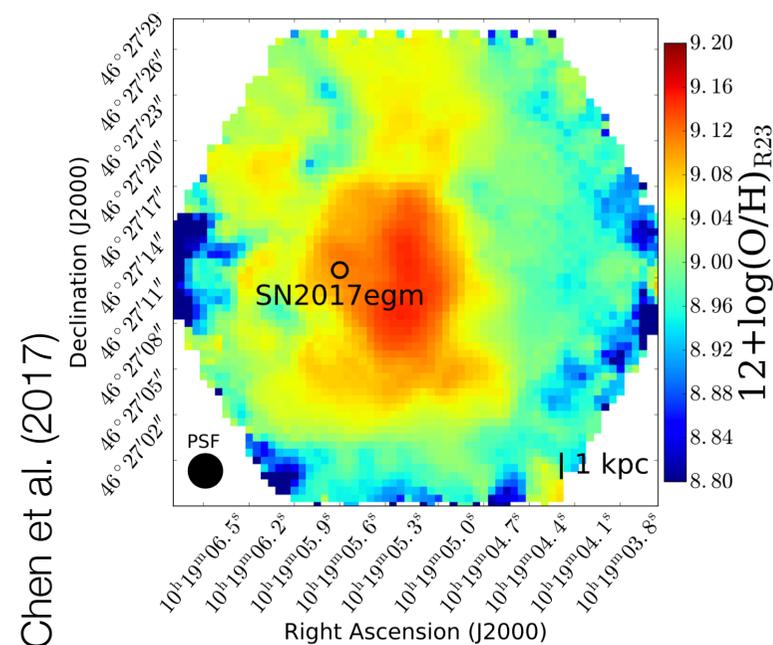
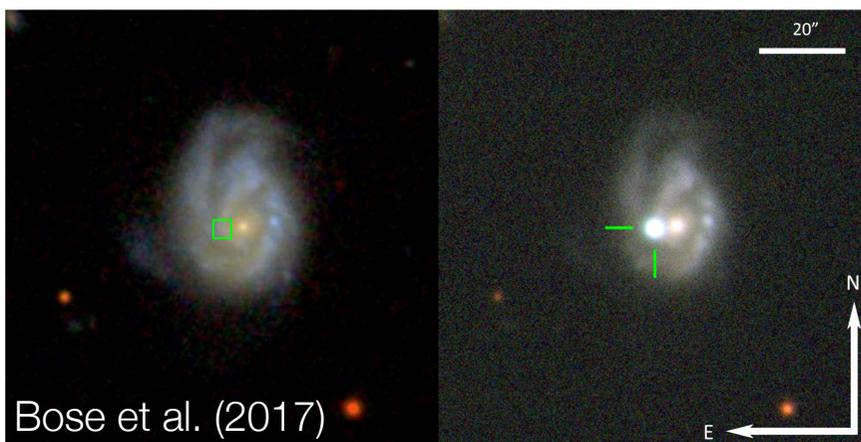
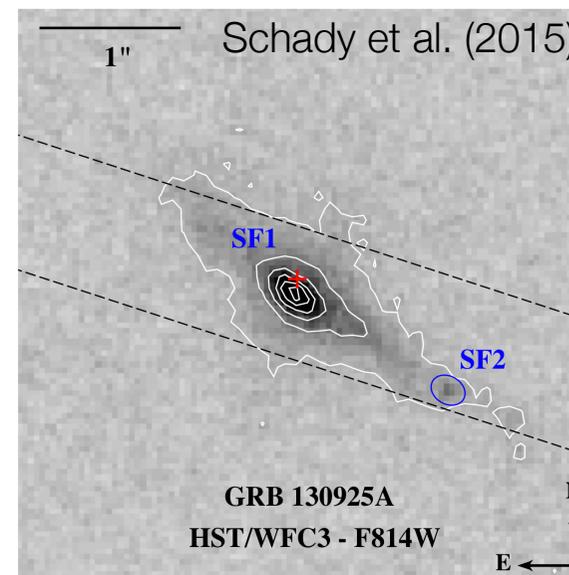
超高輝度超新星の環境

ultra-long GRBはsuper-solar metallicityでも発生している。

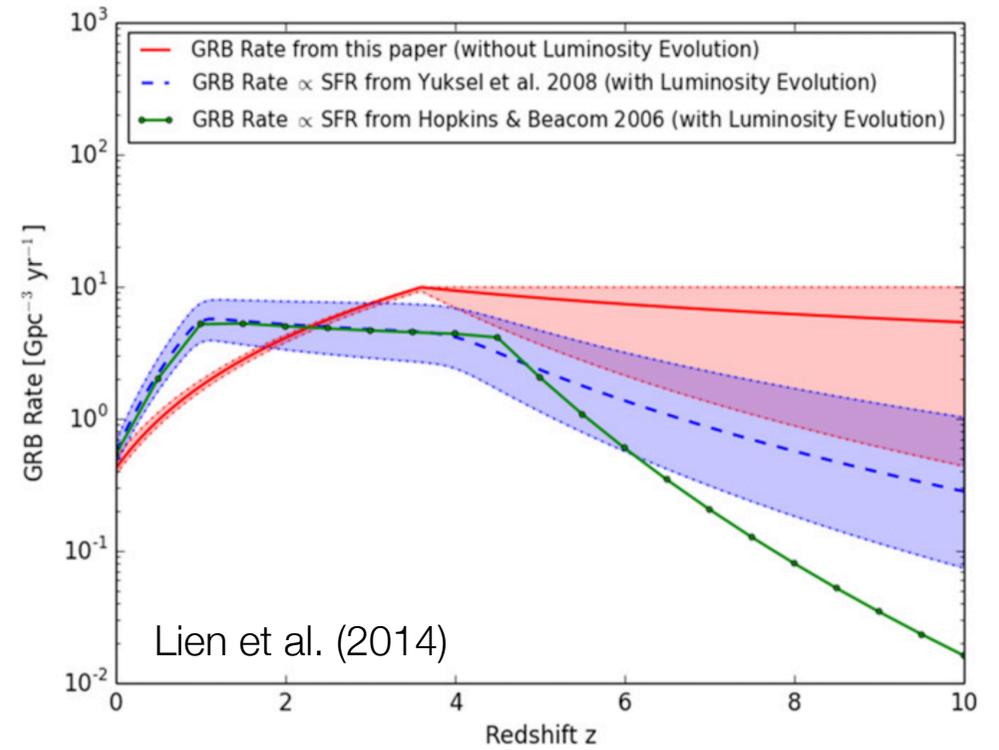
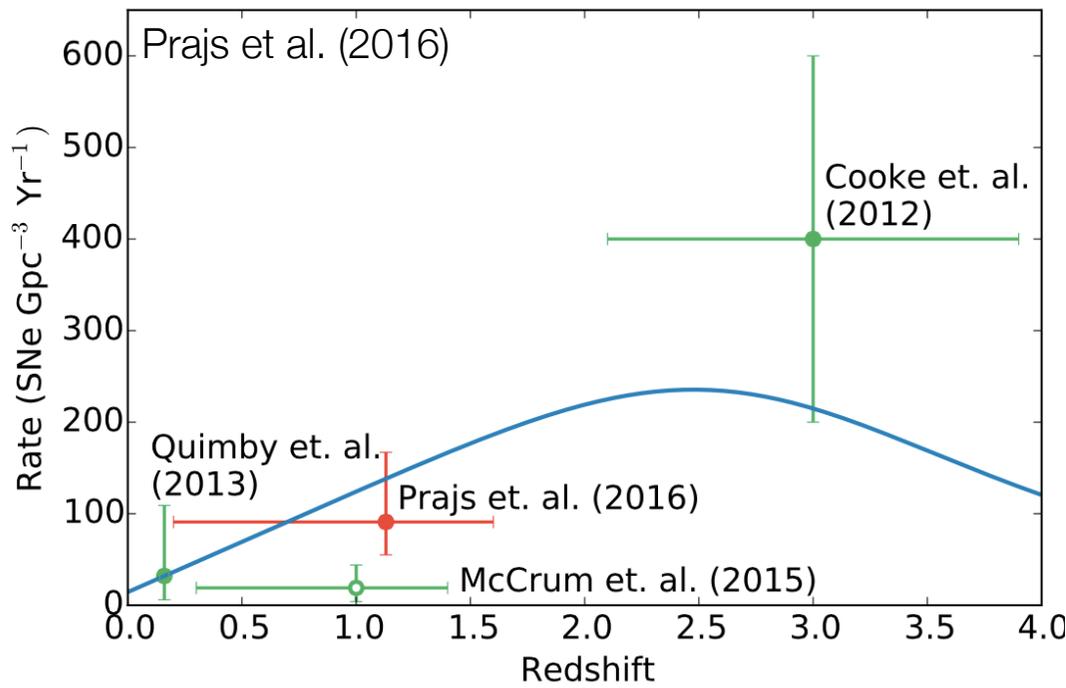
GRB130925Aは約1.5 Z_{sun}

高金属量で発生する超高輝度超新星も見つかり始めている

SN 2017egmは約1 Z_{sun}



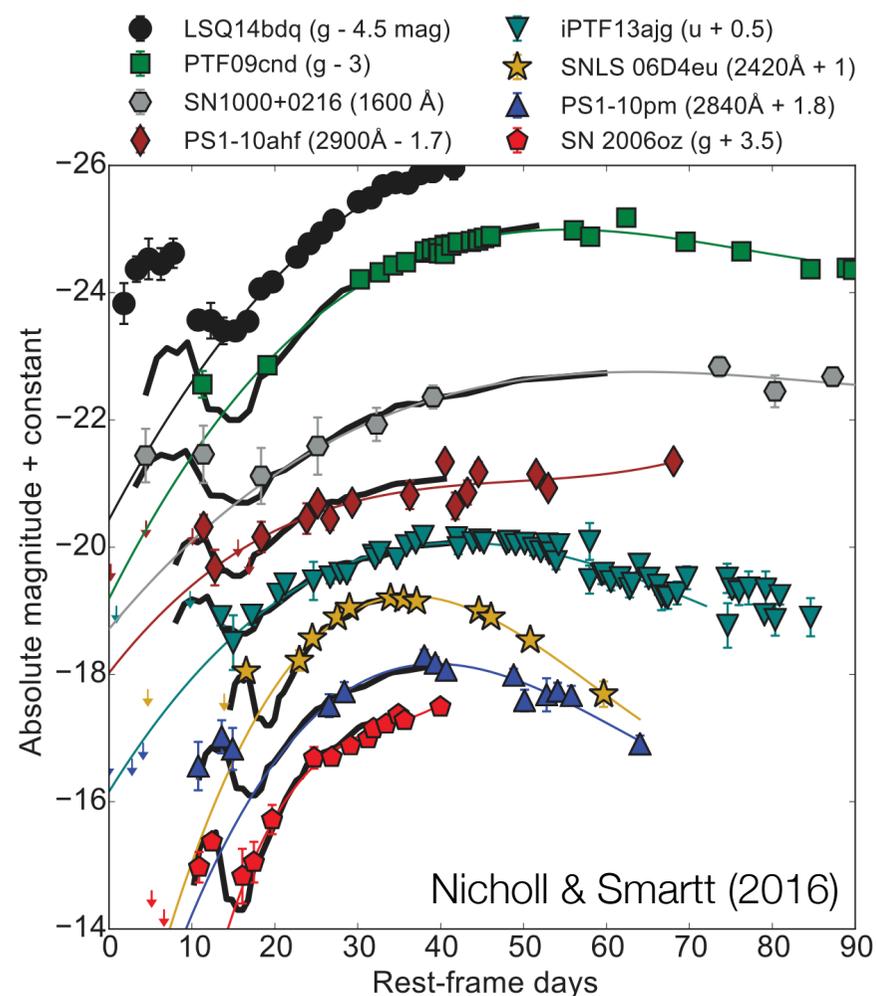
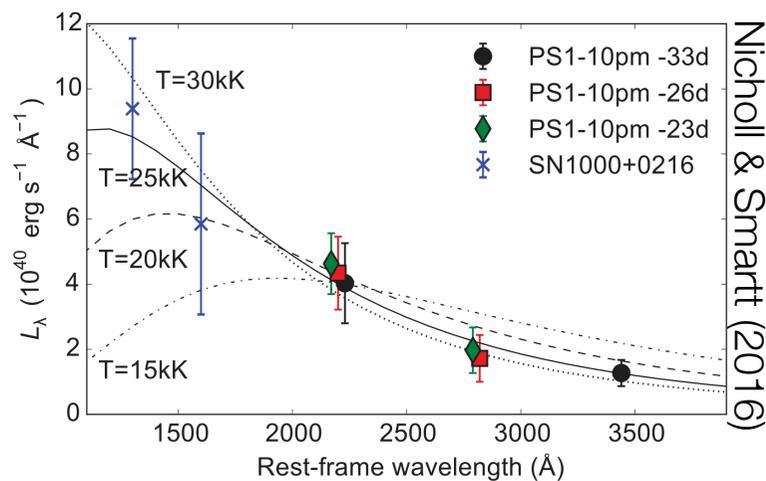
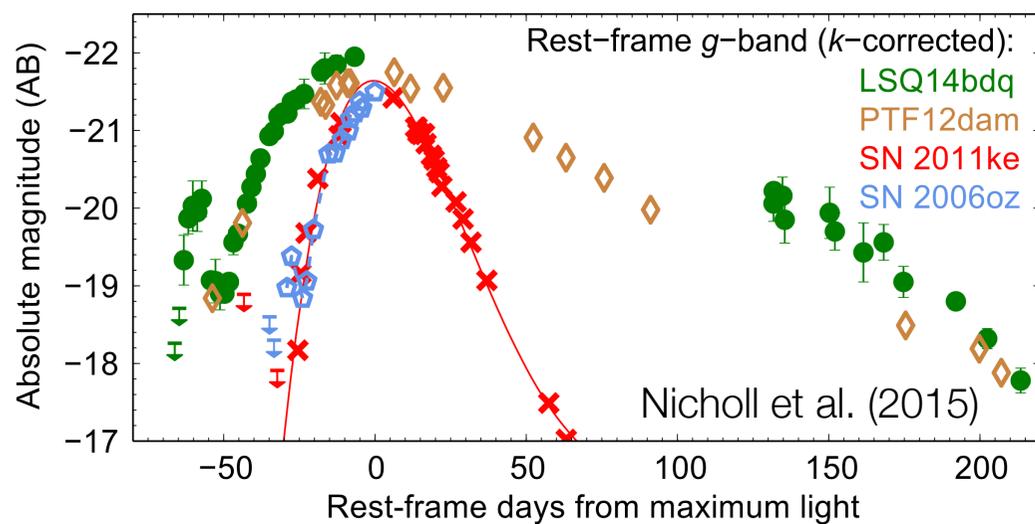
発生率



Ic型超高輝度超新星の謎

謎のプリカーサー

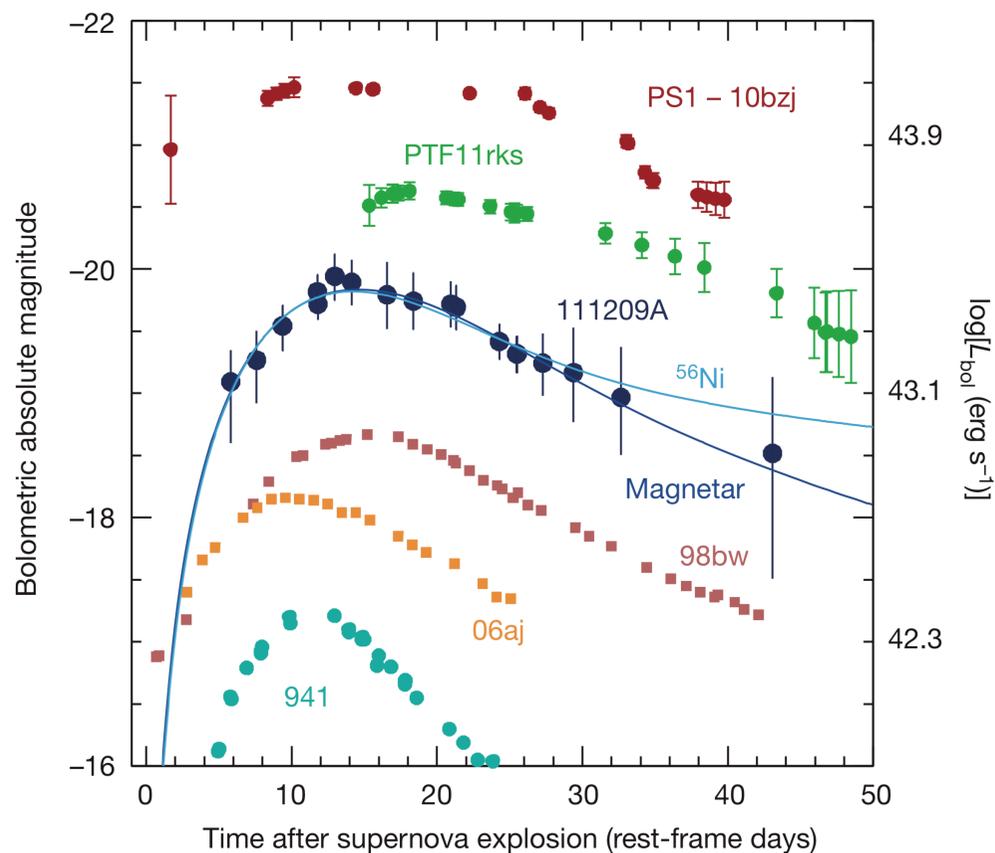
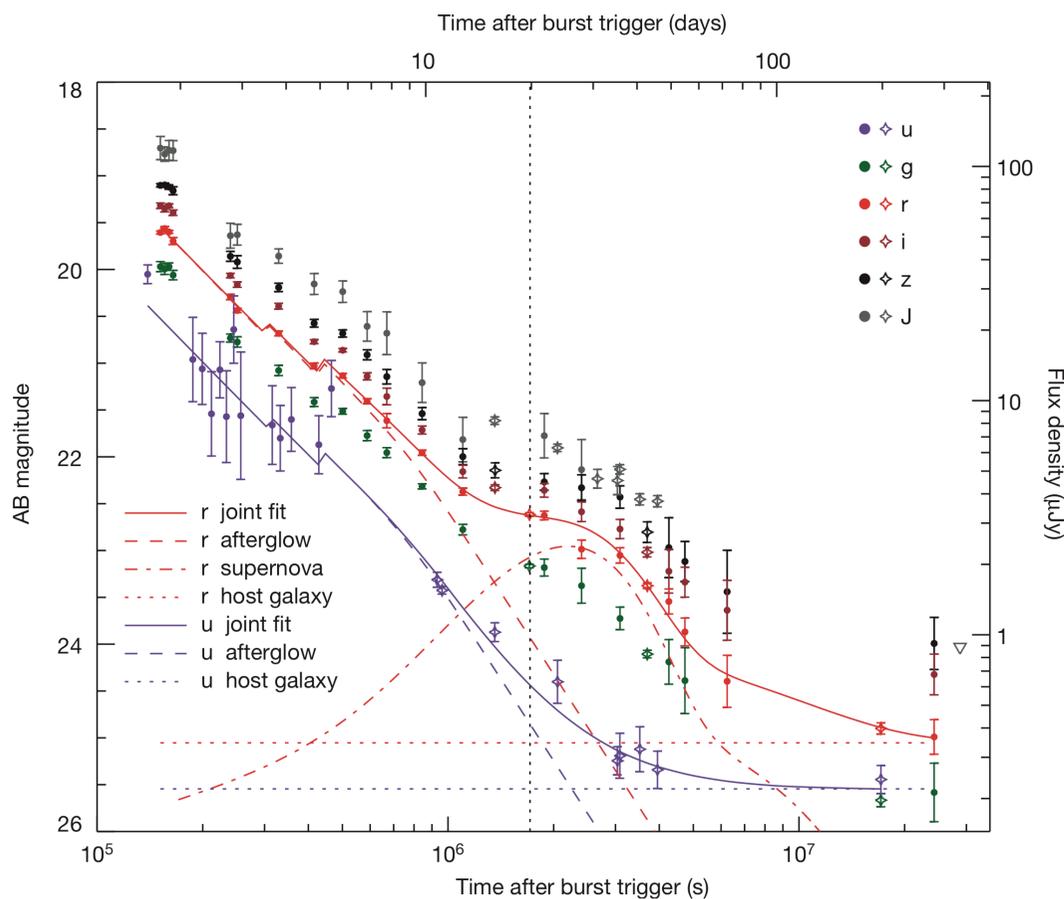
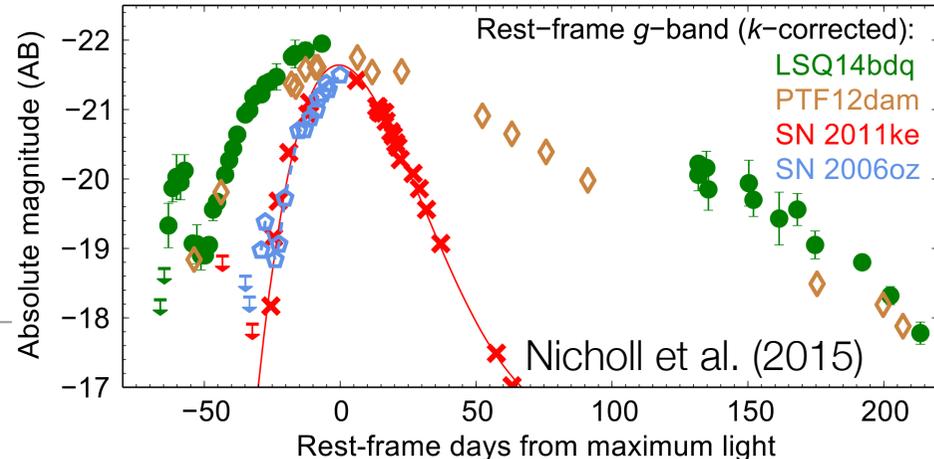
御本尊が現れる前の約10日間既に普通の超新星以上に明るい



IC型超高輝度超新星の謎

謎のプリカーサー

御本尊が現れる前の約10日間既に普通の超新星以上に明るい



GRB/lc-BL vs 超高輝度超新星

関係無し？

ジェットの有無？ジェットが親星を突き抜けるかどうか？

ejectaのエネルギーはあまり高くなくても良い

dense CSMの有無？

中心エンジンの寿命？

共にマグネター由来だとすると、初期磁場強度の違い

超高輝度超新星: $\sim 1e14$ G, GRB: $\sim 1e15-1e16$ G

accretion poweredだと思いと、accretion timeの違い？

direct collapse (lc-BL) v.s. fallback (超高輝度超新星)?

超新星と short GRB

NS merger => short GRB (GW170817)

どうやって double NS close binary system を作るのか

超新星を 2 回起こした後に 2 つの NS を近くに残したい

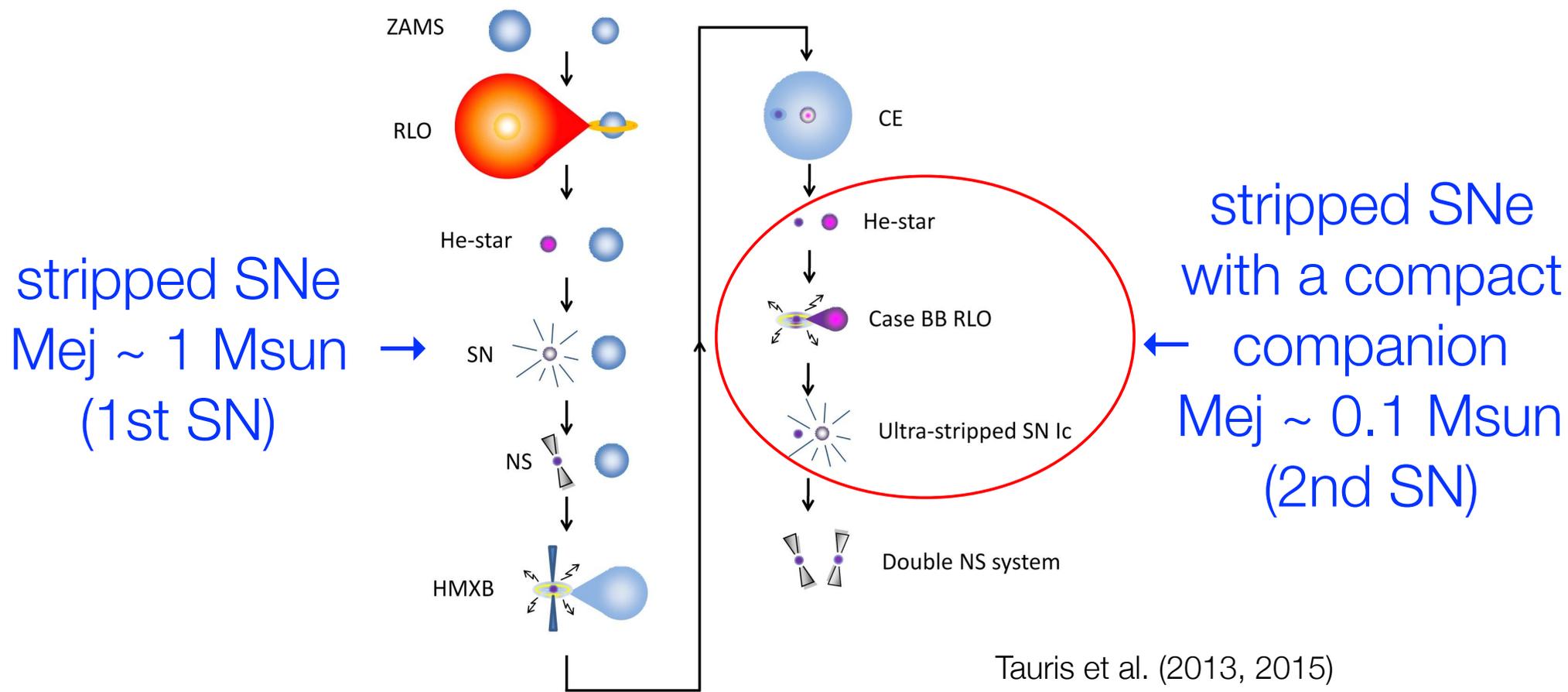
特に 2 回目の超新星後に NS を残すのが難しい

連星系は一度に半分の質量を失うと不安定になる

~ 1.4 Msun の NS を保ちながら大質量星を爆発させたい

ultra-stripped超新星

ultra-stripped超新星



ultra-stripped超新星の爆発シミュレーション

Suwa et al. (2015)

Model	t_{final}^a (ms)	R_{sh}^b (km)	E_{exp}^c (B)	$M_{\text{NS, baryon}}^d$ (M_{\odot})	$M_{\text{NS, grav}}^e$ (M_{\odot})	M_{ej}^f ($10^{-1} M_{\odot}$)	M_{Ni}^g ($10^{-2} M_{\odot}$)	v_{kick}^h (km s^{-1})
CO145	491	4220	0.177	1.35	1.24	0.973	3.54	3.20
CO15	584	4640	0.153	1.36	1.24	1.36	3.39	75.1
CO16	578	3430	0.124	1.42	1.29	1.76	2.90	47.6
CO18	784	2230	0.120	1.49	1.35	3.07	2.56	36.7
CO20 ⁱ	959	1050	0.0524	1.60	1.44	3.95	0.782	10.5

explosion energy
~ 1e50 erg

⁵⁶Ni mass
~ 0.01 Msun

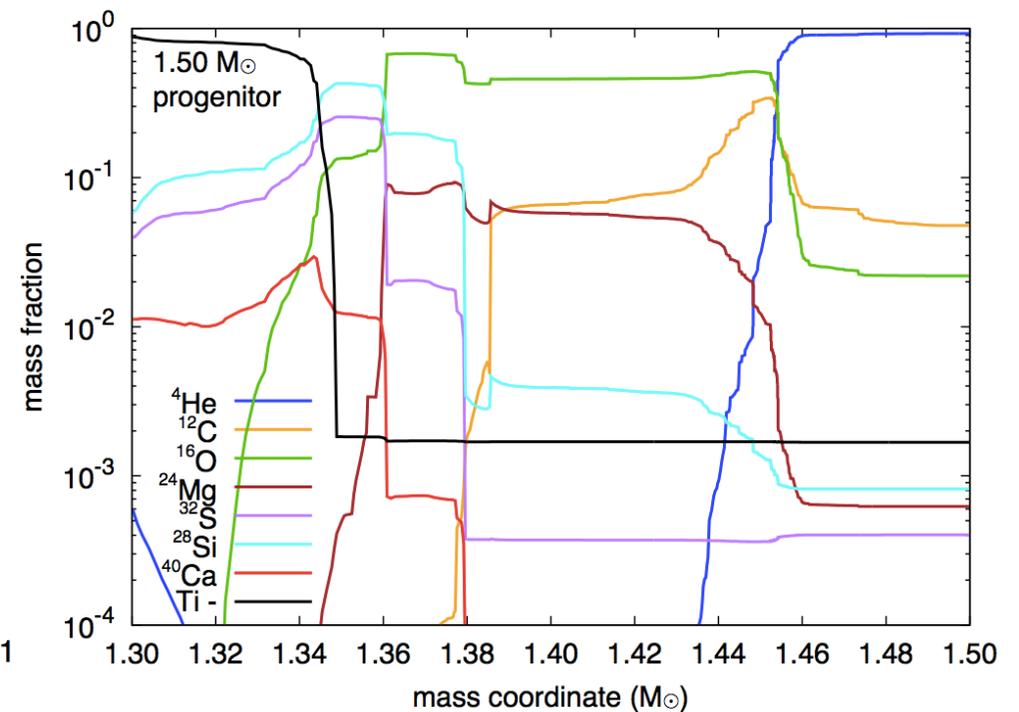
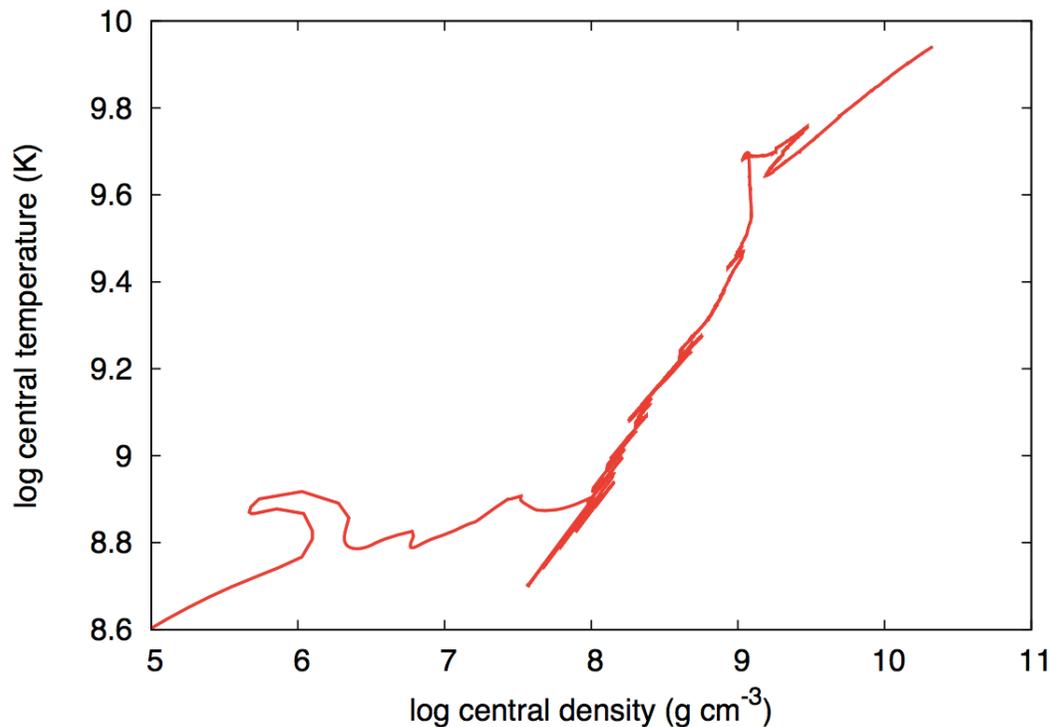
プロジェニター

1.5 Msun He star with 1.35 Msun Fe core

originally 2.9 Msun He star + 1.35 Msun NS with 0.1 d period

two mass cuts: 1.30 Msun and 1.35 Msun

ejecta mass: 0.20 Msun and 0.15 Msun

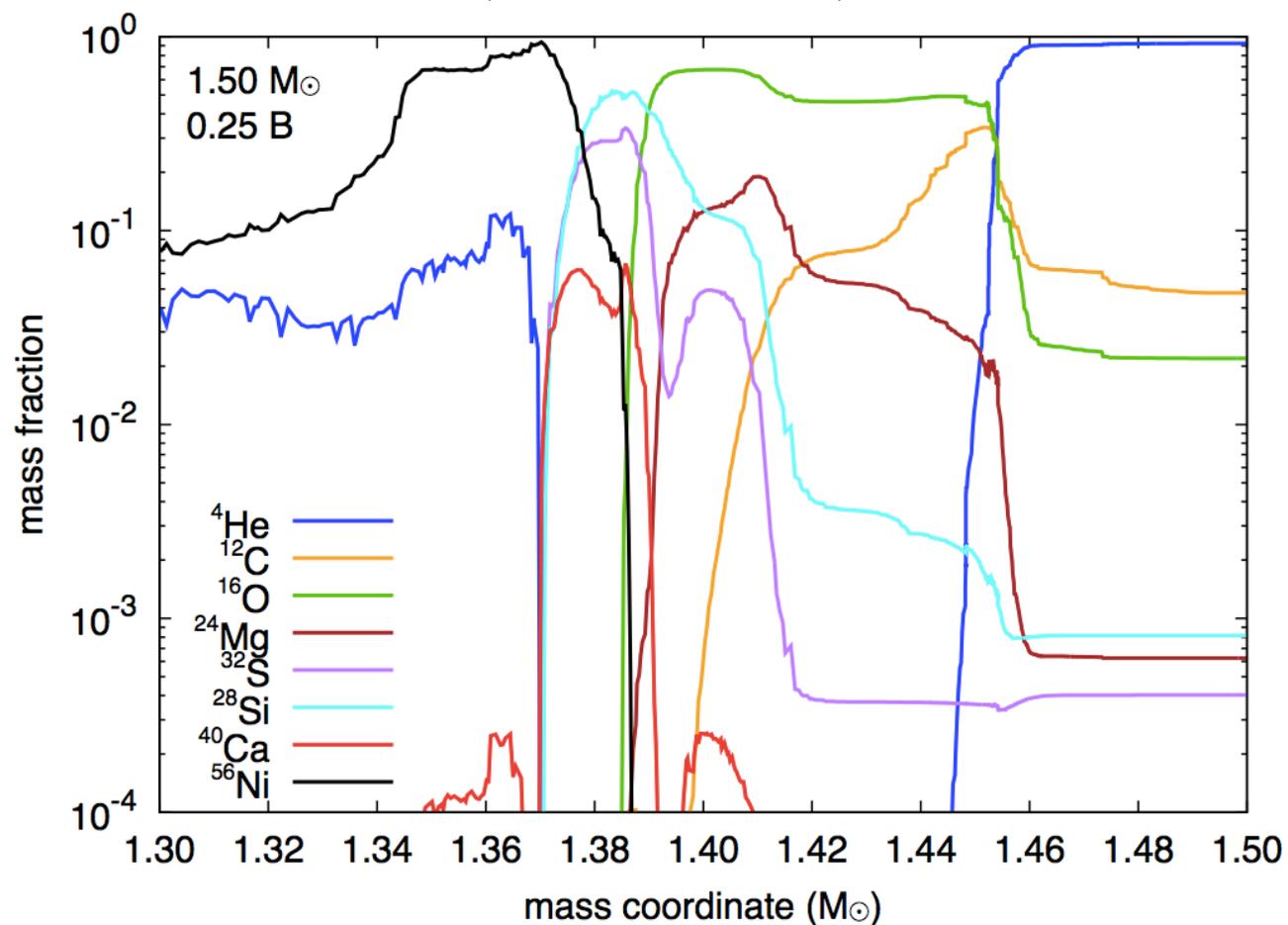


爆発の元素合成

calculated with a nucleosynthesis code by Tominaga et al.

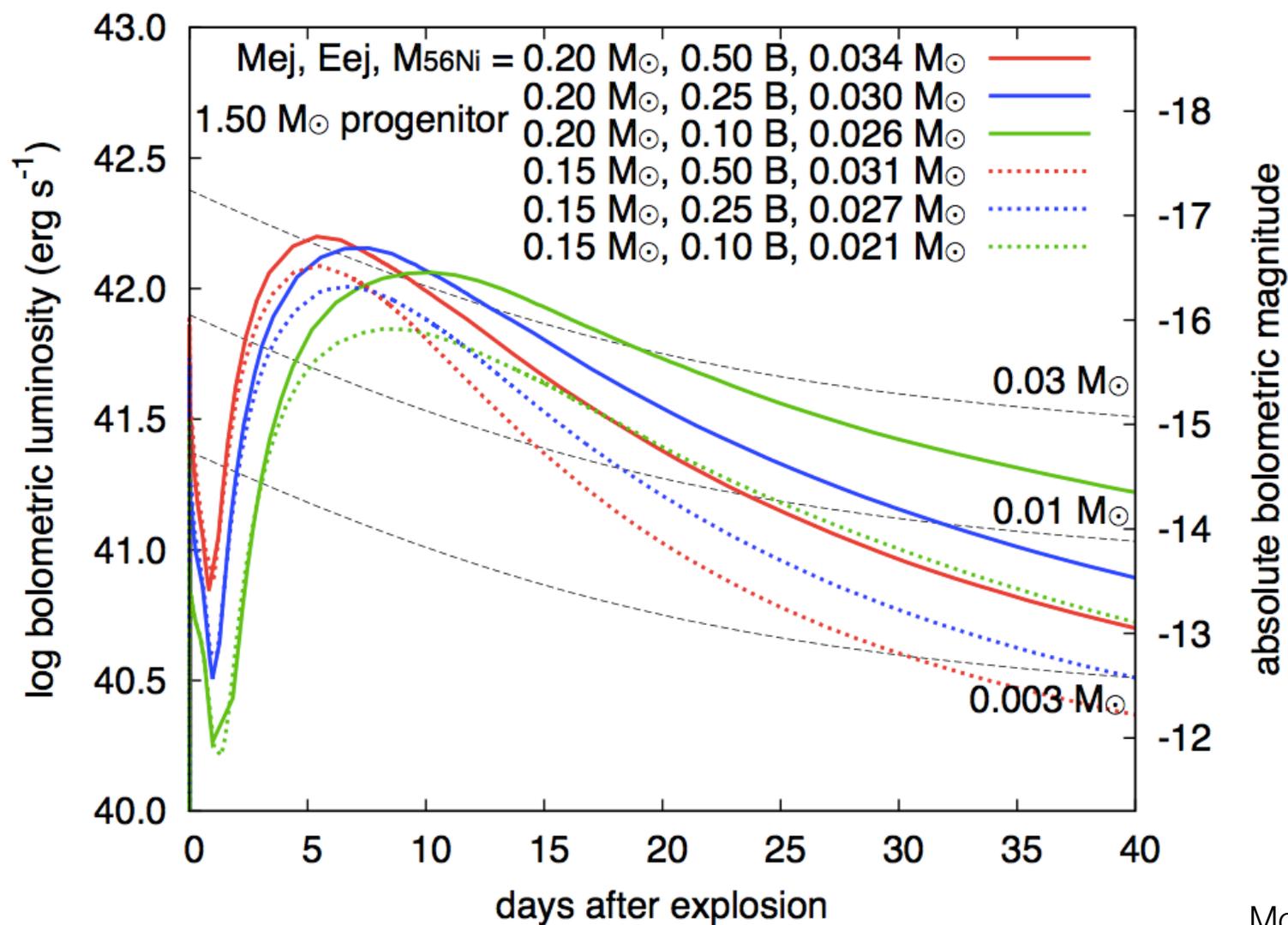
three explosion energies: $1e50$ erg, $2.5e50$ erg, $5e50$ erg

^{56}Ni produced: 0.026 Msun, 0.030 Msun, 0.034 Msun



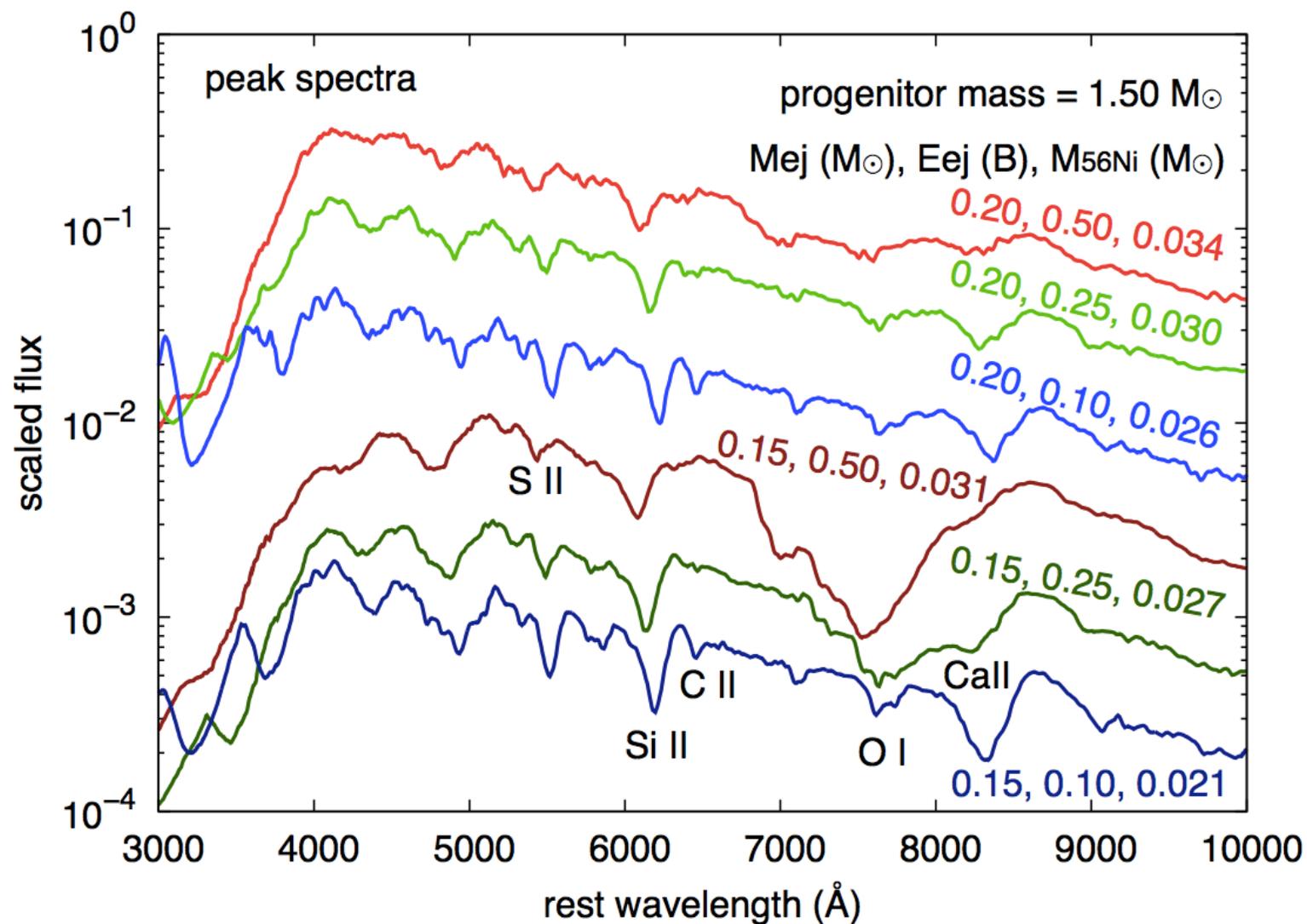
光度曲線

calculated with STELLA code (Blinnikov et al.)



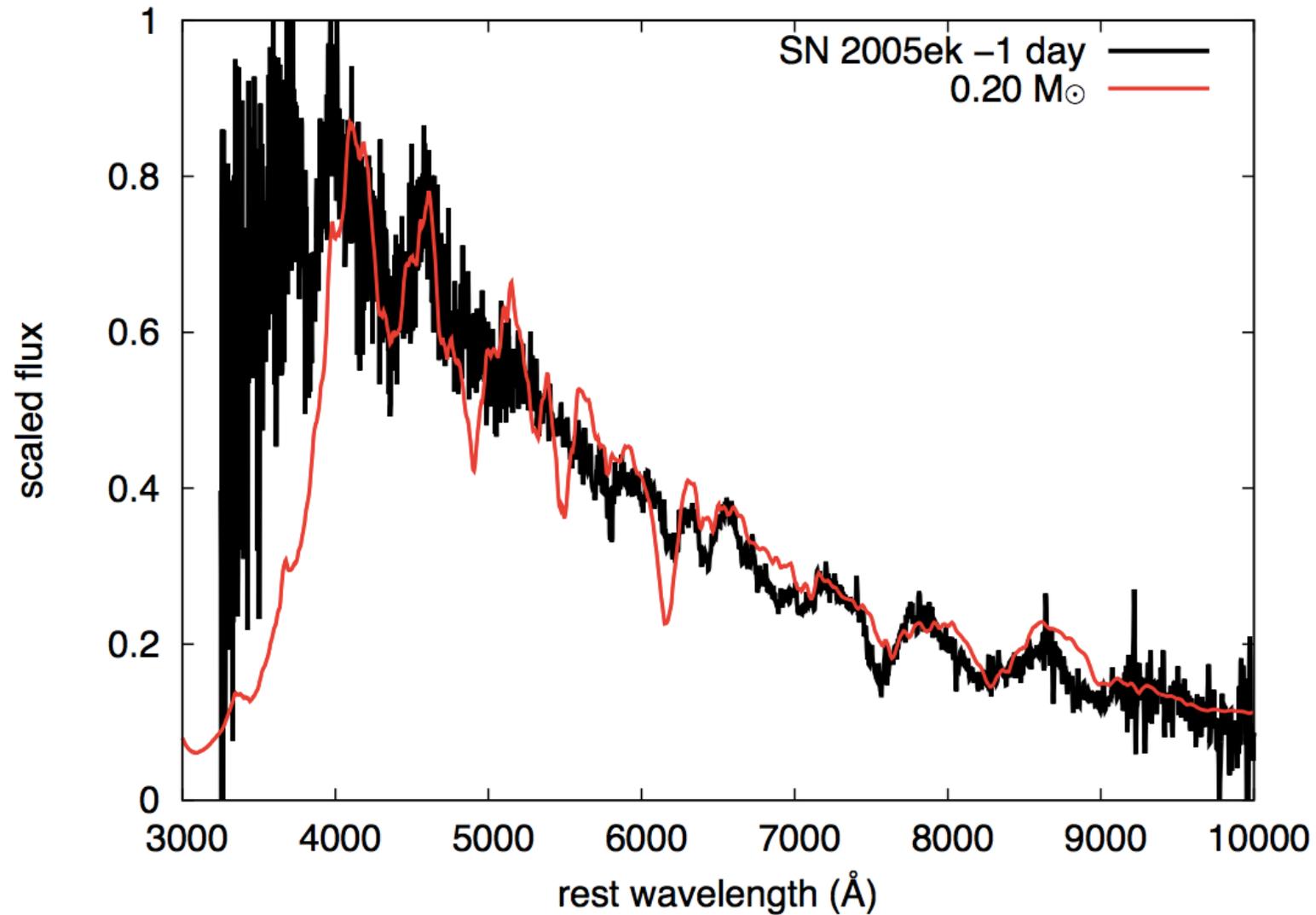
Spectra at luminosity peak

calculated with spectral synthesis code of Mazzali et al.



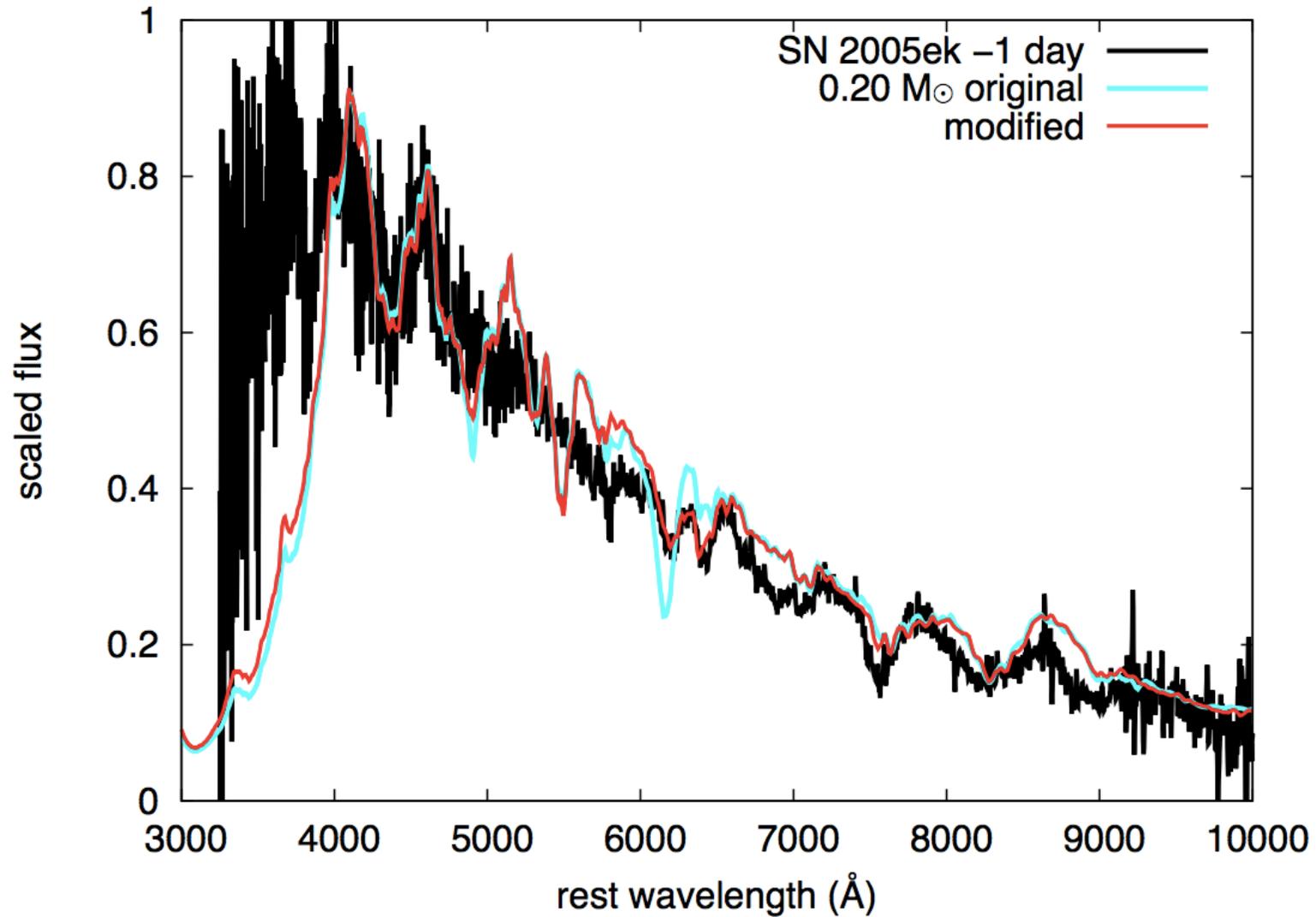
SN 2005ek

Drout et al. (2013)

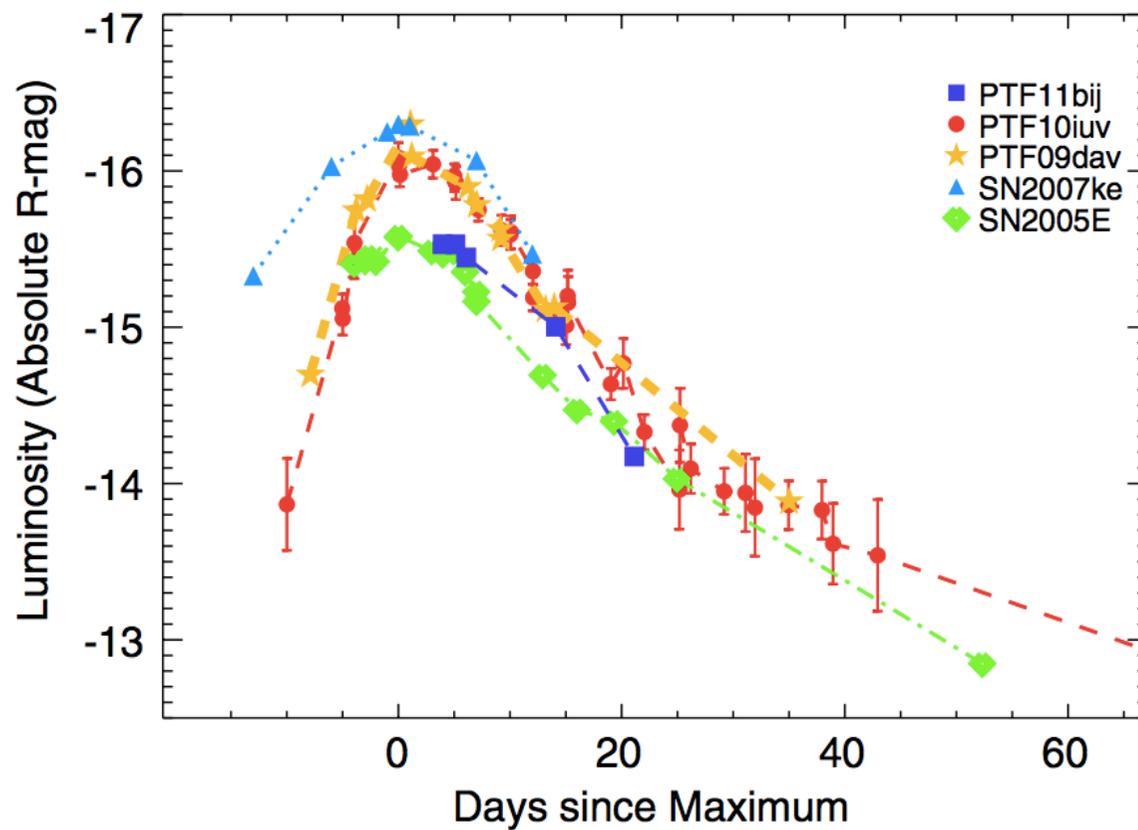
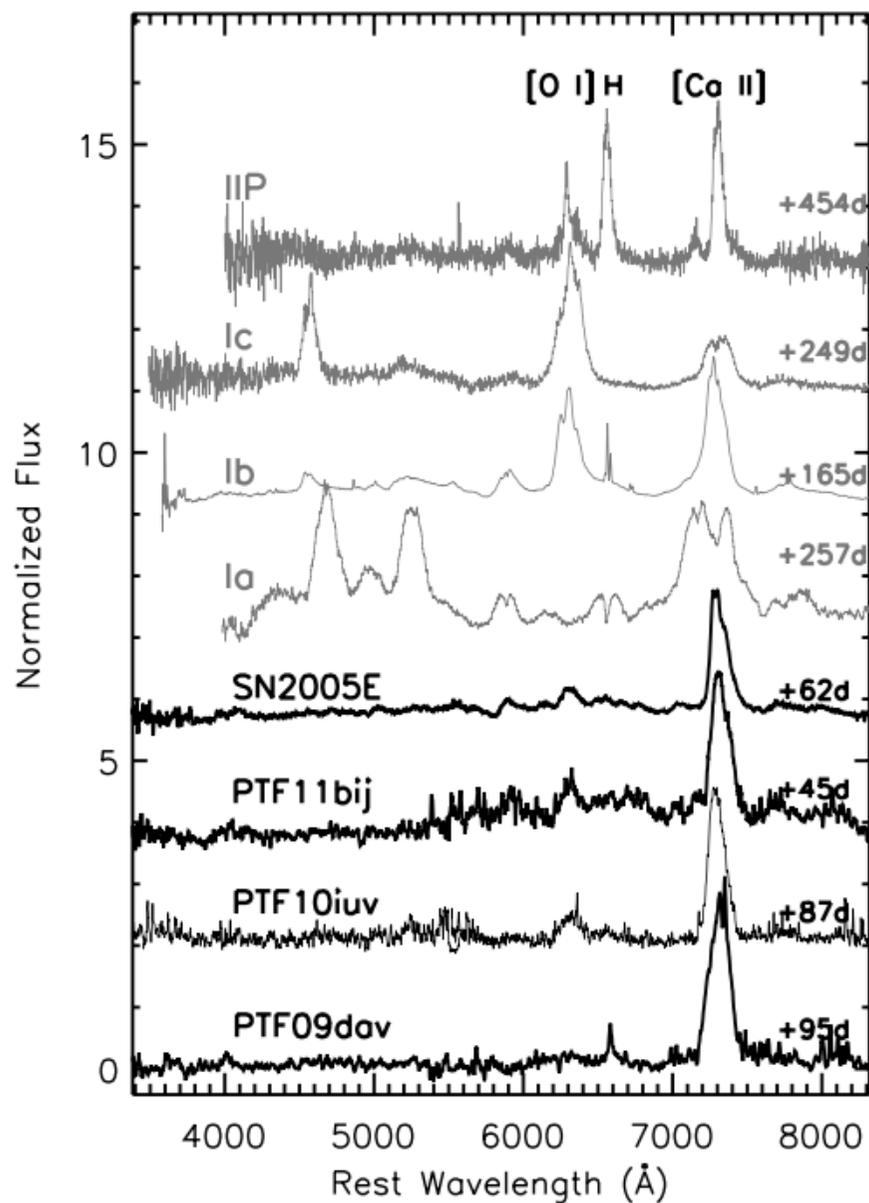


SN 2005ek

Drout et al. (2013)

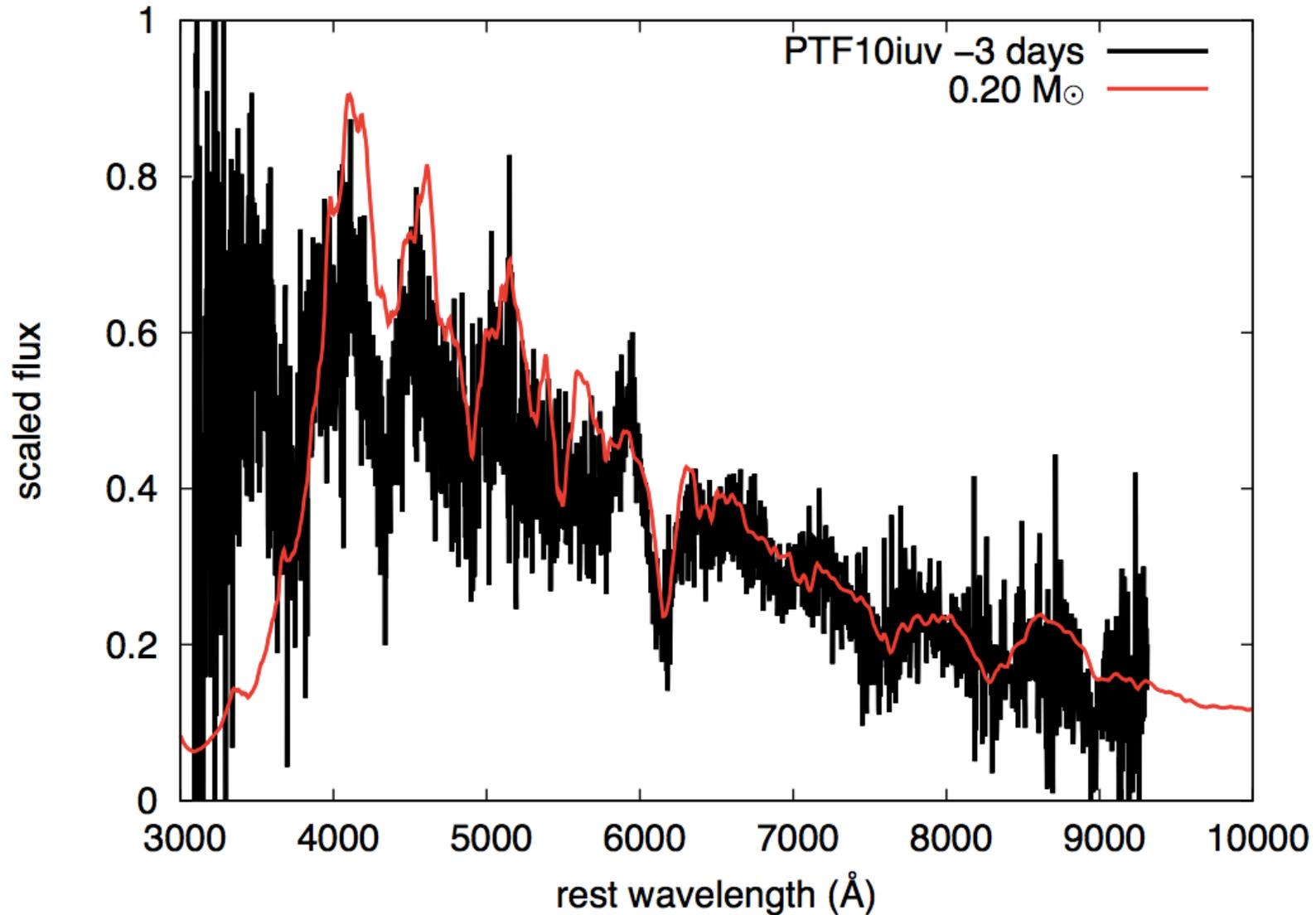


Ca-rich gap transients



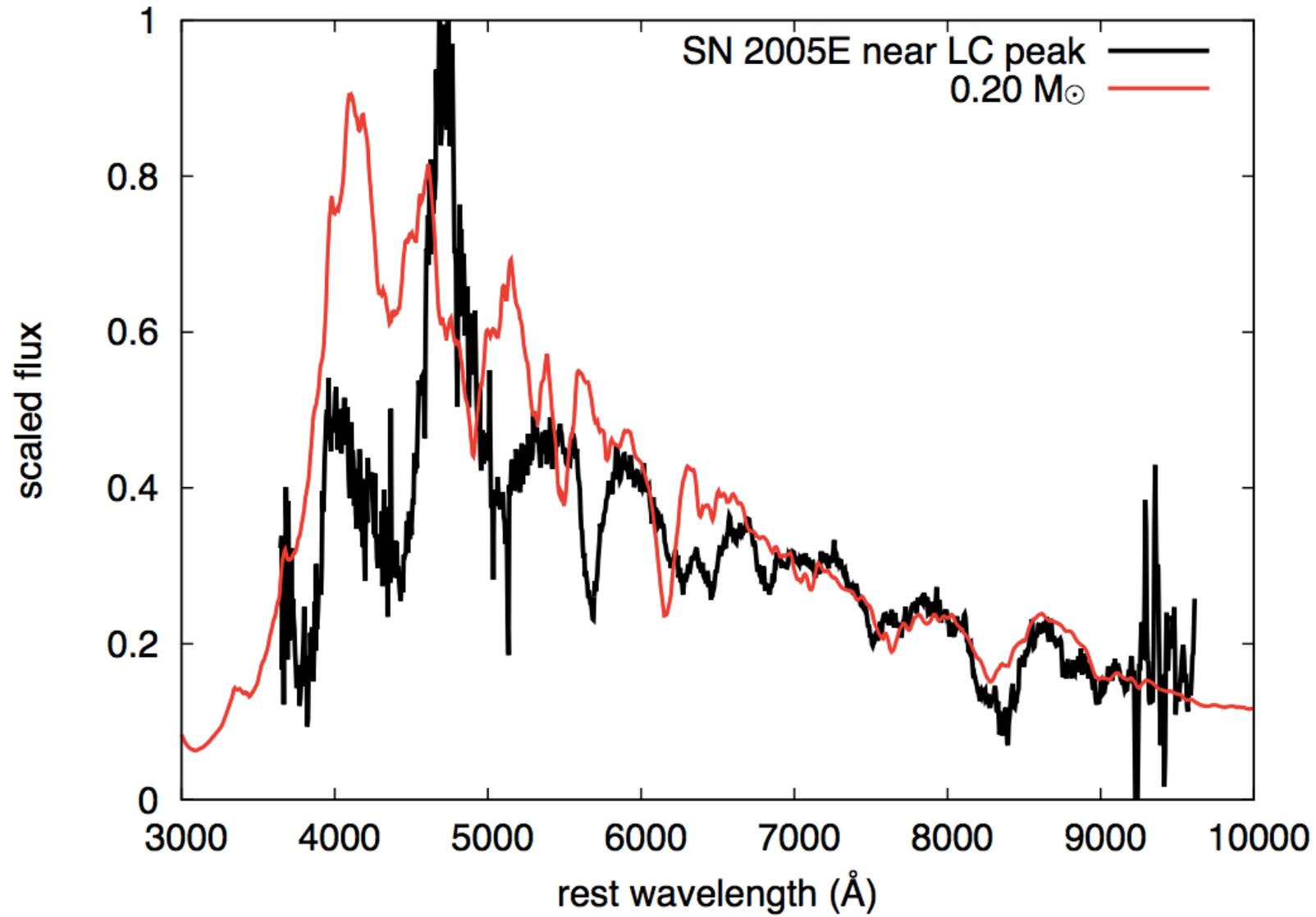
Ca-rich gap transients

PTF10iuv (Kasliwal et al. 2012)



Ca-rich gap transients

SN 2005E (Perets et al. 2010)



Rates

SN 2005ek-like SNe

about a few per cent of stripped-envelope SNe (Drout et al. 2013)

Ca-rich gap transients

about 5% of stripped-envelope SNe in total (Kasliwal et al. 2012)

~ 5% of stripped-envelope SNe

consistent with rough rate estimate of ultra-stripped SNe

~ 0.1-1% of all SNe (Tauris et al. 2013)

NS merger rates coming from GW observatories!

まとめ

超新星とlong GRB

long GRBにはIc-BL型超新星が付随している

long GRBが付随していなさそうなIc-BL型超新星も存在する

ultra-long GRBに超高輝度超新星に近い超新星が付随した例がある

超高輝度超新星とlong GRB/Ic-BLに関係があるのかは不明

超新星とshort GRB

ultra-stripped超新星が近接連星中性子星を作っていると考えられる

ultra-stripped超新星発生後約数万年で合体

ultra-stripped超新星だと考えられる超新星が見つかっている