

恒星進化論

III 章

超新星：光度曲線とスペクトル

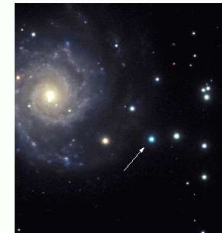
(重力崩壊型)超新星 — 大質量星の死 —

- ⇒ 中心に中性子星またはブラックホールを残して星の大部分を吹き飛ばす大爆発
- ⇒ 太陽の約100億倍の明るさ(銀河系の明るさに匹敵)
- ⇒ 元素の主要な起源と考えられている(爆発で撒き散らす)

M74 - Digital Sky Survey 1990



Mt. Hopkins 1.2m - SN 2002ap Jan 31, 2002

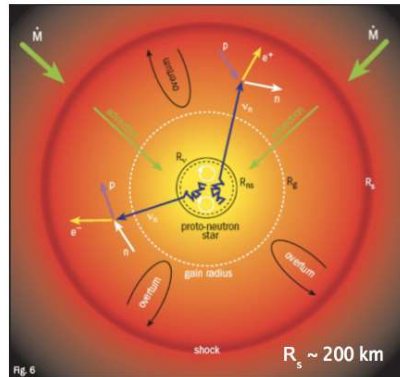


3

Neutrinos & SN Explosion Mechanism

T. Janka 2014

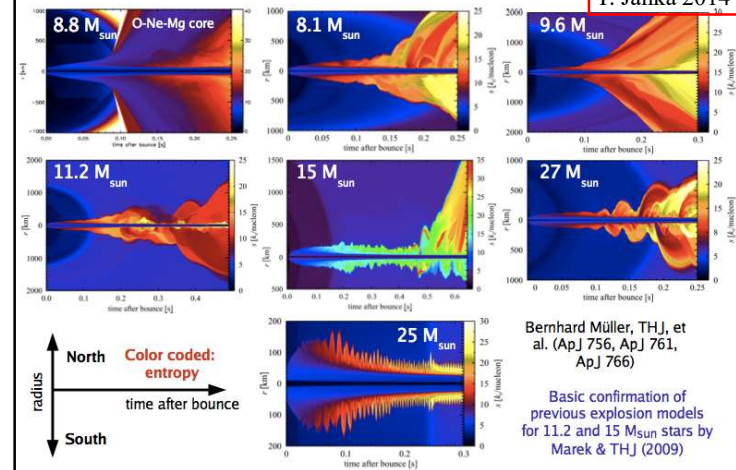
Explosions powered by neutrino heating, supported by violent, large-scale hydrodynamic instabilities in the postshock layer

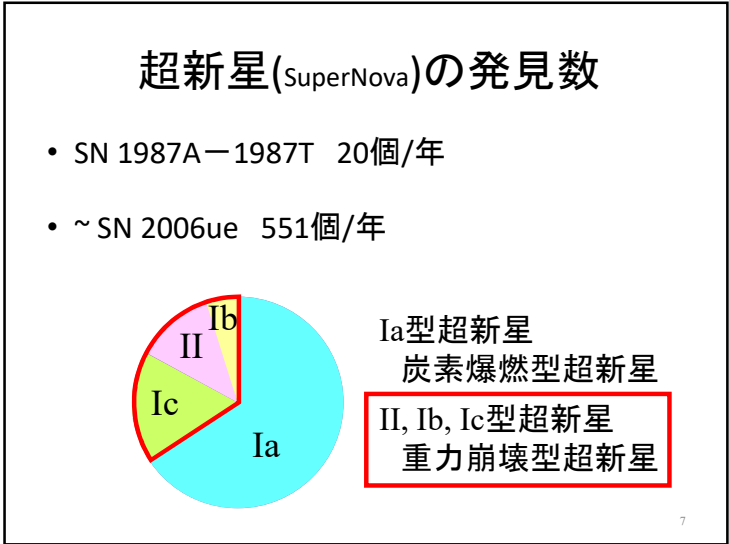


- **“Neutrino-heating mechanism”**: Neutrinos ‘revive’ stalled shock by energy deposition (Colgate & White 1966, Wilson 1982, Bethe & Wilson 1985);
- **Convective processes & hydrodynamic instabilities support heating mechanism** (Herant et al. 1992, 1994; Burrows et al. 1995, Janka & Müller 1994, 1996; Fryer & Warren 2002, 2004; Blondin et al. 2003; Blondin & Mezzacappa 2007; Scheck et al. 2004,06,08, Iwakami et al. 2008, 2009, Ohnishi et al. 2006).

Relativistic 2D CCSN Explosion Models

T. Janka 2014





超新星 1006 Ia型

「一條院 寛弘三年 四月二日 葵西 夜以降
騎官中 有大客星 如螢惑 光明動耀
連夜正見南方 或云 騎陣將軍星本体 増変光」
藤原定家 - 明月記 -

超新星 1006(想像図)

9

超新星爆発の歴史的記録

西暦1006年 SN Ia

西暦1054年 SN II

藤原定家「明月記」や
中国の「宋史」
記された超新星爆発
「天に客星あり」
屋間でも20日間ほど見えた
かに星雲はこの超新星の残骸

西暦1572年 SN Ia

カシオペア座に出現した
「チコの超新星」
テコ・ブラーへによって観測された

西暦1604年 SN Ia

ケプラーの超新星
これ以来、我々の銀河系内では
観測されていない

カシオペアA超新星残骸 1680くらい？
(記録なし) タイプ不明
(SN IIか 今年の発見)

これ以後、我々の銀河には
出現していない が、

10

超新星 SN1987A

徐々に肉眼で見える超新星がマゼラン雲に出現

© Anglo-Australian Observatory

爆発前
1984年2月5日

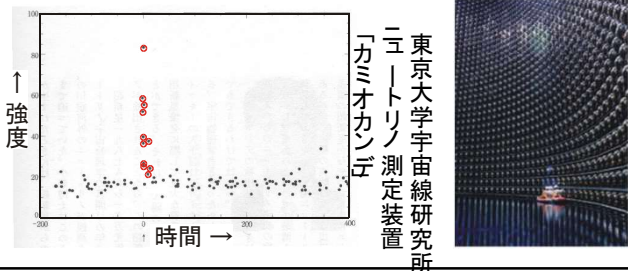
© Anglo-Australian Observatory

爆発後
1987年3月8日

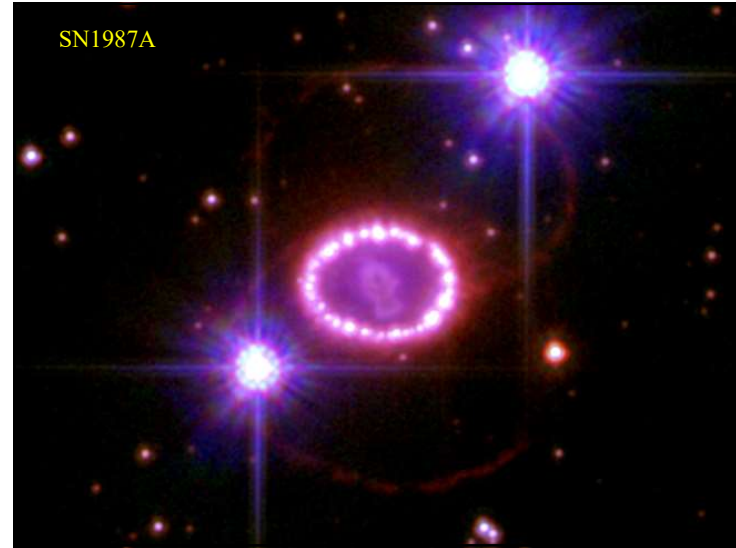
11

SN1987A からのニュートリノ

- ⇒ カミオカンデがSN1987Aから放出されたニュートリノを検出
- ⇒ 13秒間に11個のニュートリノ
地球上に1cm²あたり100億個のニュートリノが降り注いだ
- ⇒ 超新星爆発の理論がほぼ正しいことが実証された!



SN1987A

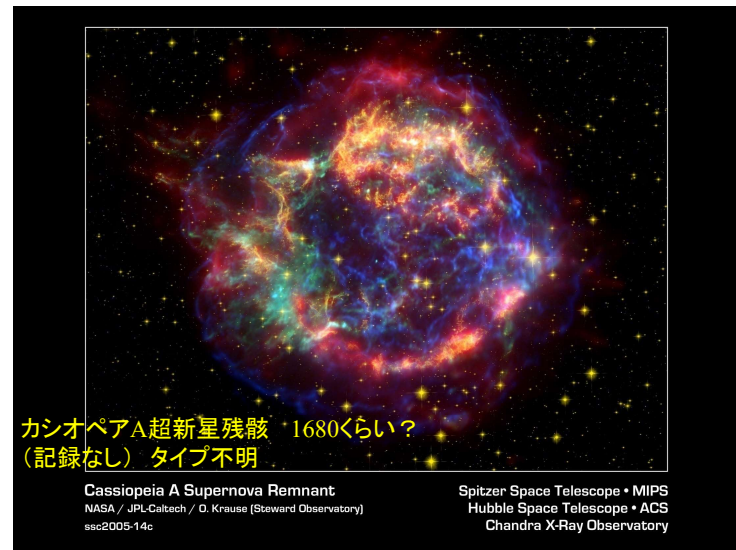
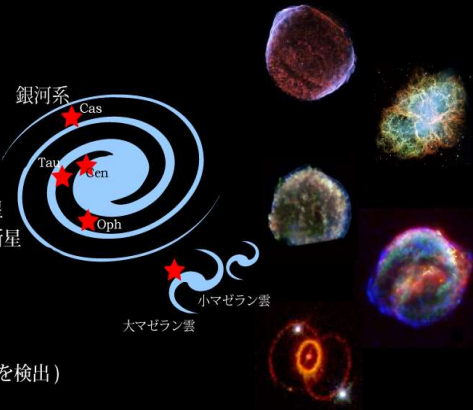


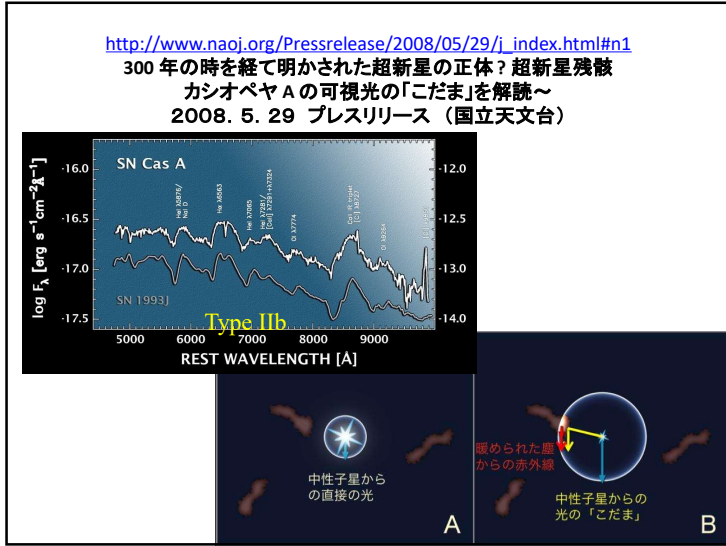
超新星の残骸の現在の姿

SN Ia 1006 SN1006
SN II 1054 かに星雲

SN Ia 1572 ティコの超新星
SN Ia 1604 ケプラーの超新星

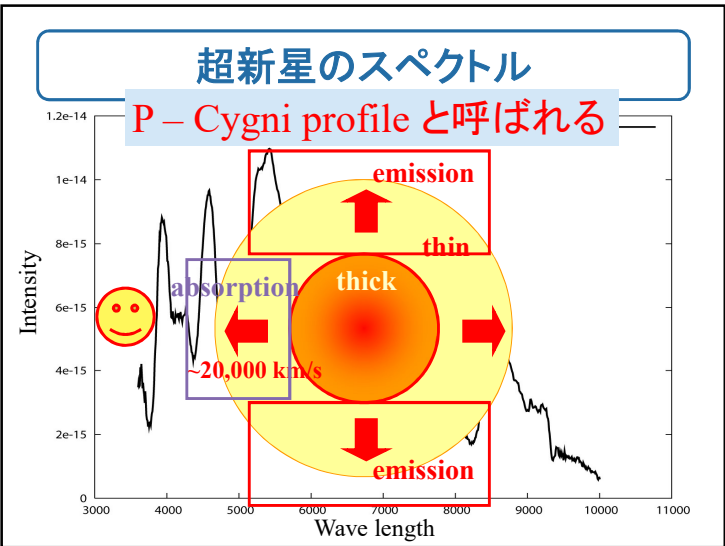
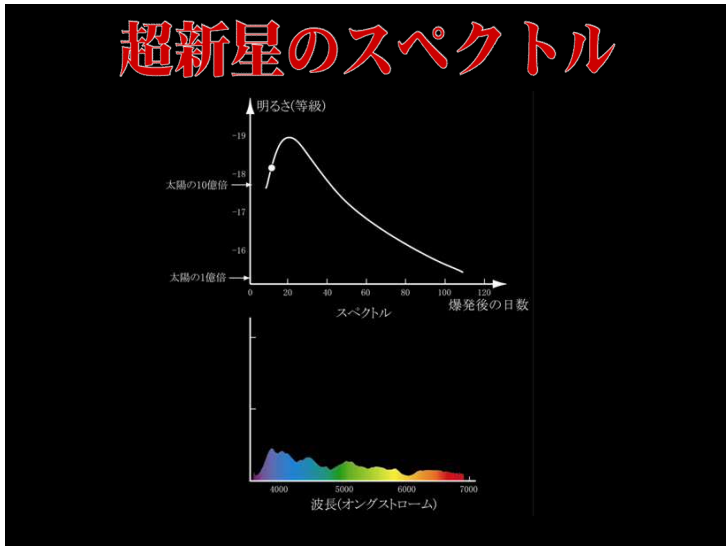
SN II 1987 SN1987A
(ニュートリノを検出)

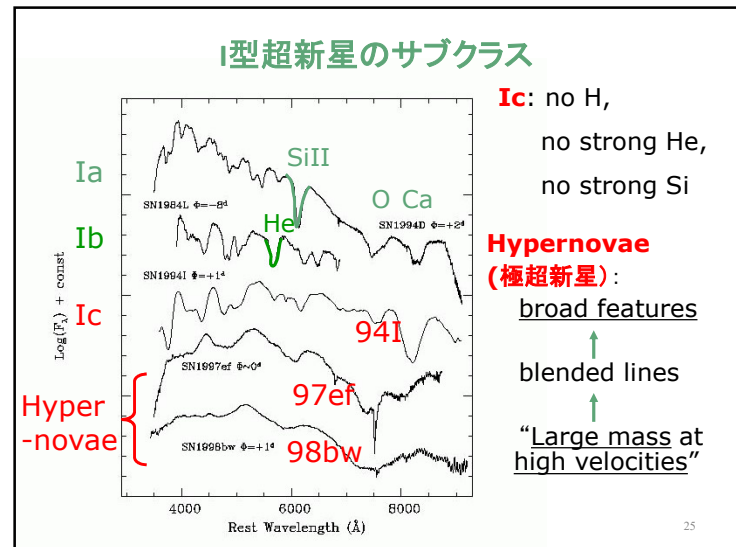
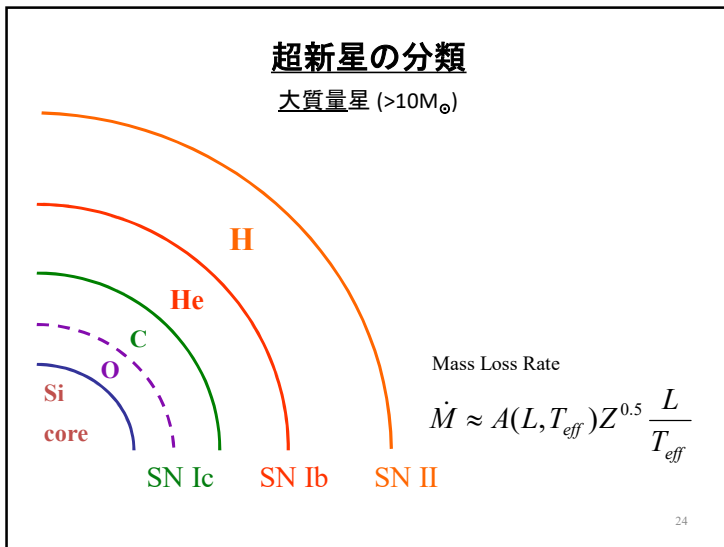
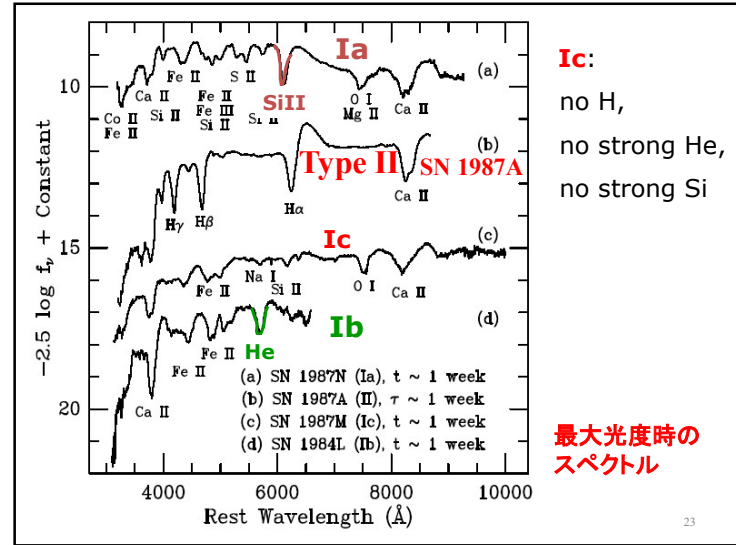
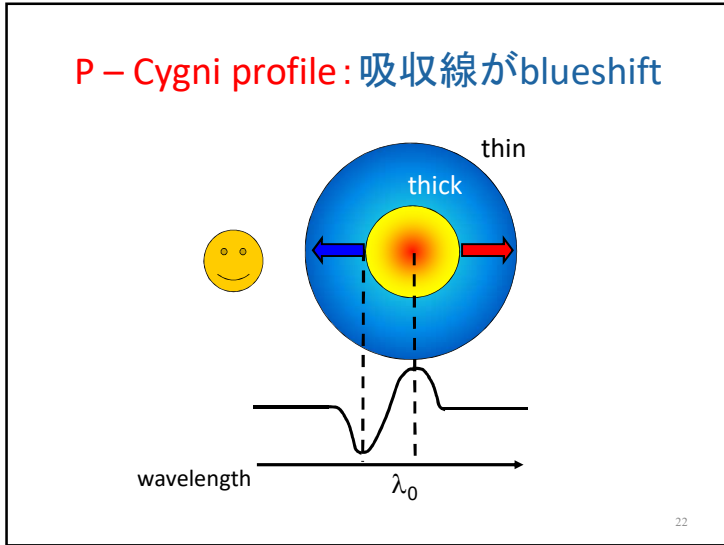


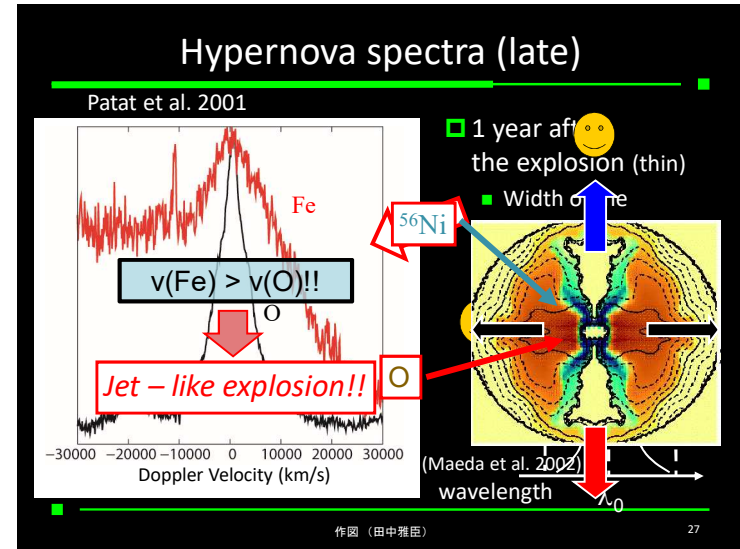
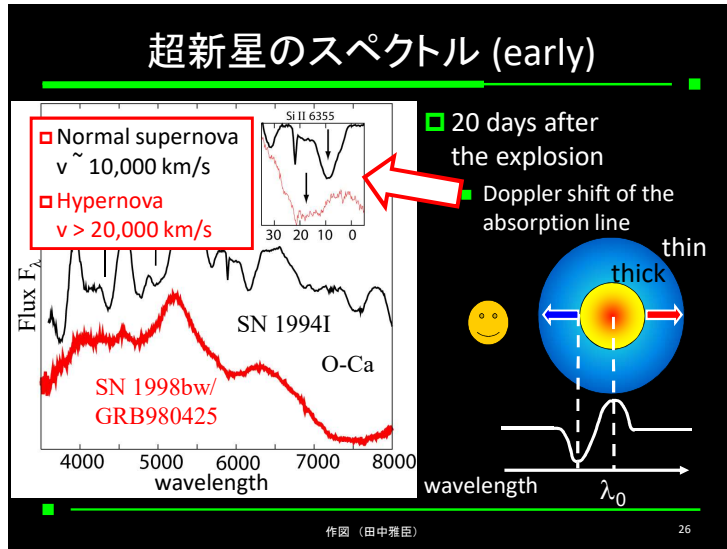


III-I 章

超新星のスペクトル

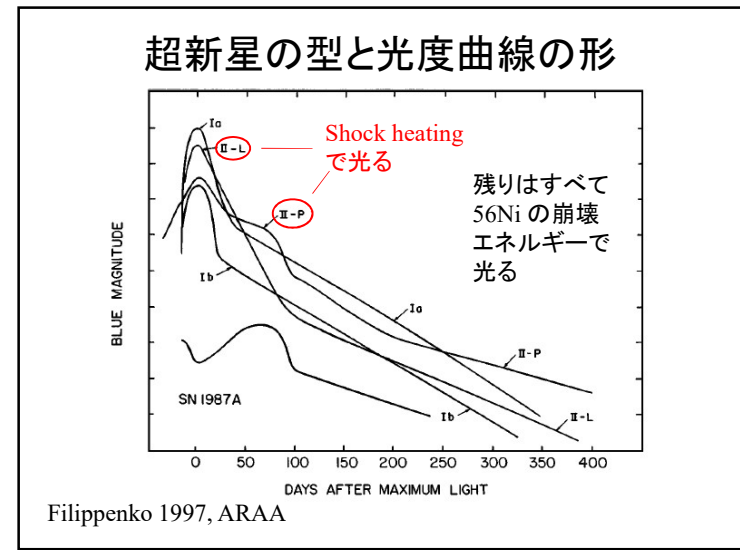






III-II 章

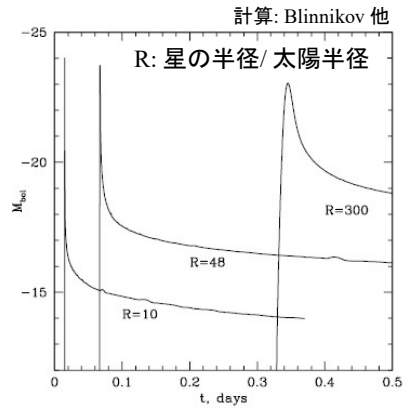
光度曲線



超新星を光らせるもの 1

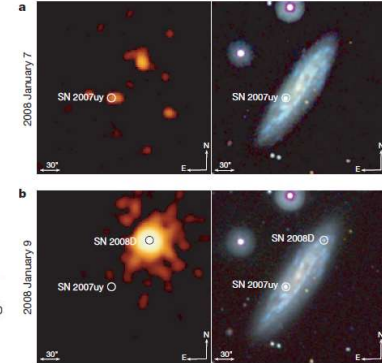
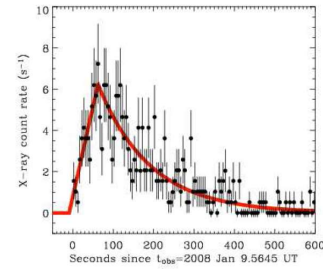
- Shock breakout
 - 超新星の衝撃波が親星の表面を突き抜けるときに閃光が発生
 - Rが大きいほど閃光の持続時間が長い (親星が赤色超巨星であるII型超新星のほうが観測され易いだろう)

まだ、観測にかかったことは無い(ある?)



Example: SN 2008D / X-ray transient 080109

X-ray light curve



Soderberg et al. 2008
Malesani et al. 2008, Modjaz et al. 2008

SNe & GRBs at low z & in the Era of Re-ionization

35

SN 2008D

NATURE | Vol 453 | 22 May 2008

NEWS & VIEWS

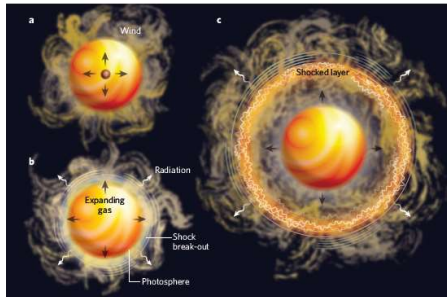
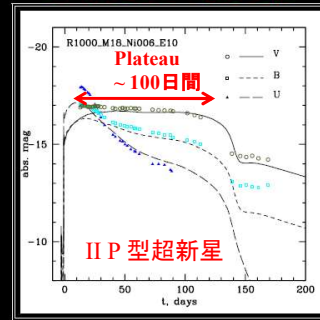


Figure 1 | Shock breakout. Soderberg and colleagues' observations of an X-ray outburst preceding a type-Ibc supernova provide sterling support for prevalent models of how these cosmic explosions occur. **a**, Once its nuclear fuel is exhausted, the core of a massive star collapses in on itself, generating a huge explosion that propagates outwards as a shock wave. The progenitor star is surrounded by a 'wind' of gas previously lost from the star. **b**, After a matter of minutes, the shock wave reaches the surface of the star (the photosphere) and radiation from the explosion that is trailing in its wake escapes, accelerating the surrounding gas outwards. The moment of this 'shock break-out' is what the authors succeeded in capturing. **c**, Days later, a layer of hot gas has developed where the rapidly expanding, but cool, supernova gas impacts on the surrounding wind. This shocked layer is the site of electrons moving close to the speed of light that are responsible for radio and X-ray emission, typical supernova signatures.

超新星を光らせるもの 2

- Shock heating
 - II-P 型超新星の長い Plateauの光源
 - II-P 型超新星の親星は厚い水素層を持った赤色超巨星 (あまりMass Lossをしていない大質量星) = 11~18 M_☉ ぐらいの単独星

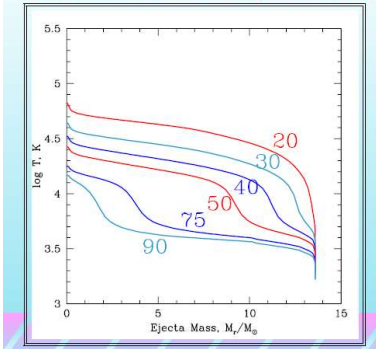
Baklanov et al. (2005)
SN 1999em D= 12.38 Mpc



超新星を光らせるもの2, Shock heating

- II-PのPlateauは、なぜできるのか
- 衝撃波の通過後、電離した厚い水素の外層は徐々に冷え再結合する
- 電離した層は光に対し不透明であり、右図の温度が急激に落ちている場所(recombination front)がほぼphotosphereとなる

Formation of LC plateau - T
Recombination front moving inside in M_r

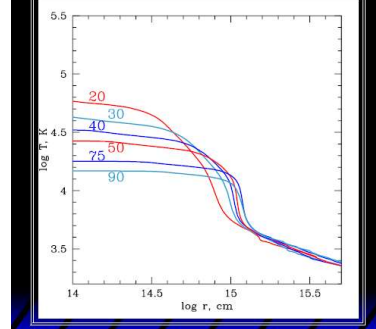


A model for SN 1999em, Baklanov et al.(2005)

超新星を光らせるもの2, Shock heating

- recombination front (photosphereとほぼ一致)は質量座標で見ると内側へ入って行くが、半径で見るとほぼ動かない(右図)
- また、photosphereの温度はほぼ一定であるため、長時間に渡って超新星光度 $L \sim 4\pi R^2 \sigma T_{ph}^4 \sim \text{一定}$ となる。
- II-L型超新星はII-Pと光の源は同じだが水素層が薄いため、明るさが保たれず減光が早いと考えられる

The photosphere at plateau
almost at rest - not much expanding in R

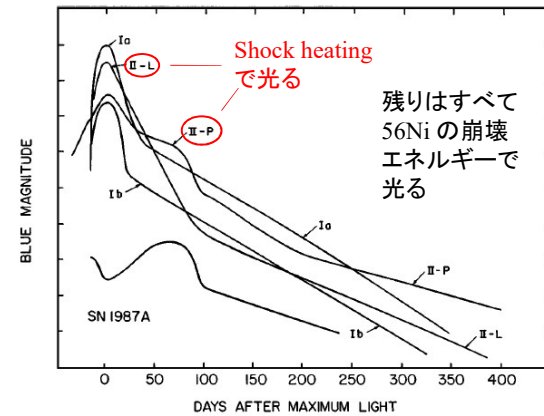


A model for SN 1999em, Baklanov et al.(2005)

超新星を光らせるもの 3

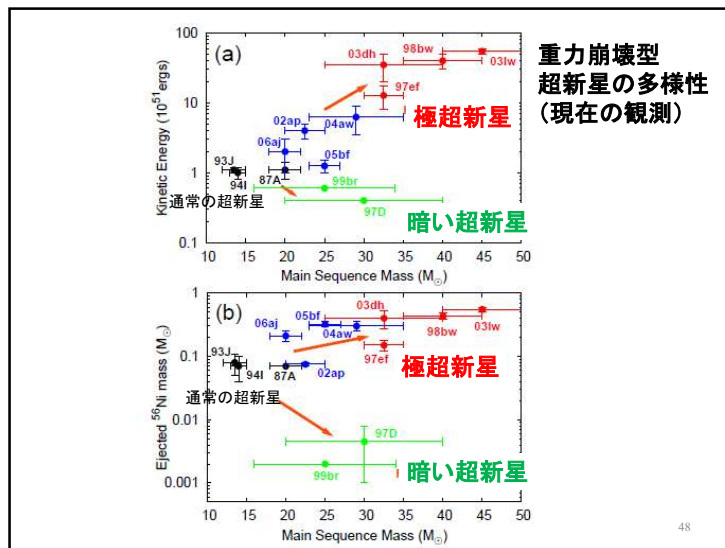
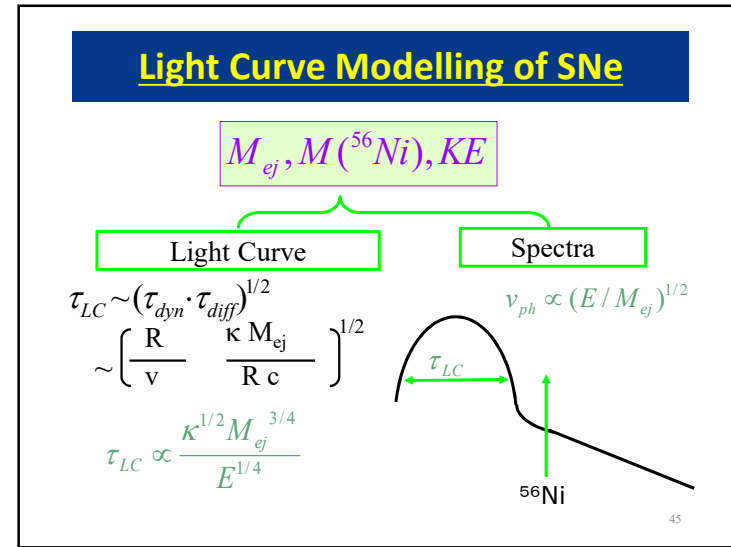
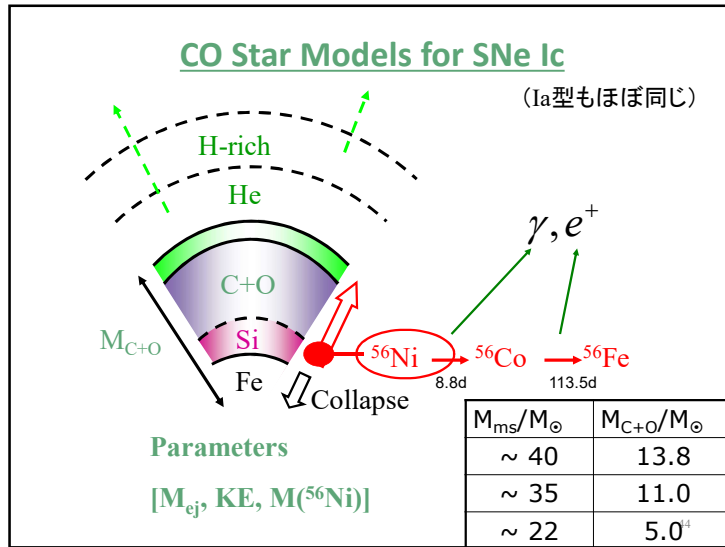
- ^{56}Ni の崩壊エネルギー
 - $^{56}\text{Ni} \rightarrow ^{56}\text{Co} \rightarrow ^{56}\text{Fe}$
 - I(a,b,c)型超新星(次ページ以降に説明)及びII-P, II-L型の後期光度
 - SN87Aは特殊でII型であったにもかかわらず親星が青色巨星であったため水素層の半径が小さく ^{56}Ni が光度のエネルギー源となっていた
- その他、超新星物質と星周物質との相互作用も光源となるIIln型という超新星もある(最近流行: 少しのエネルギーで極めて明るくなるため)

超新星の型と光度曲線の形



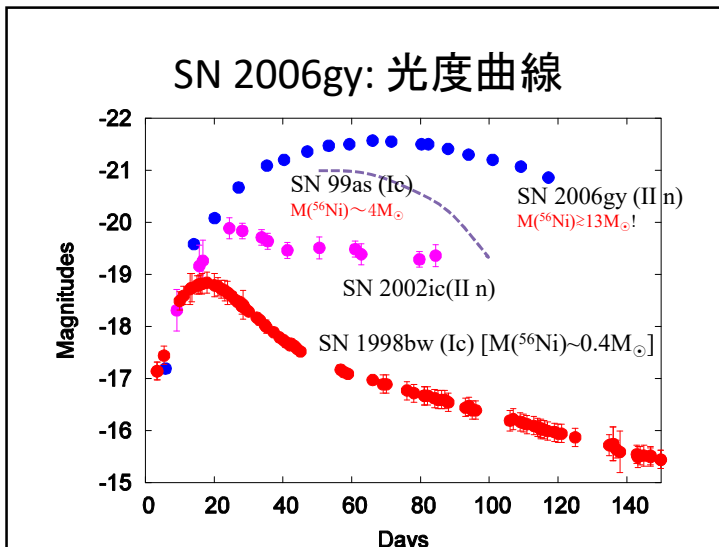
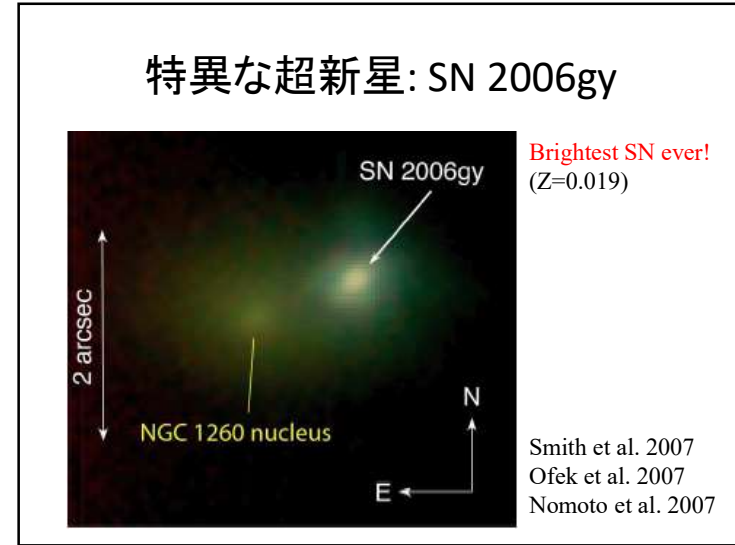
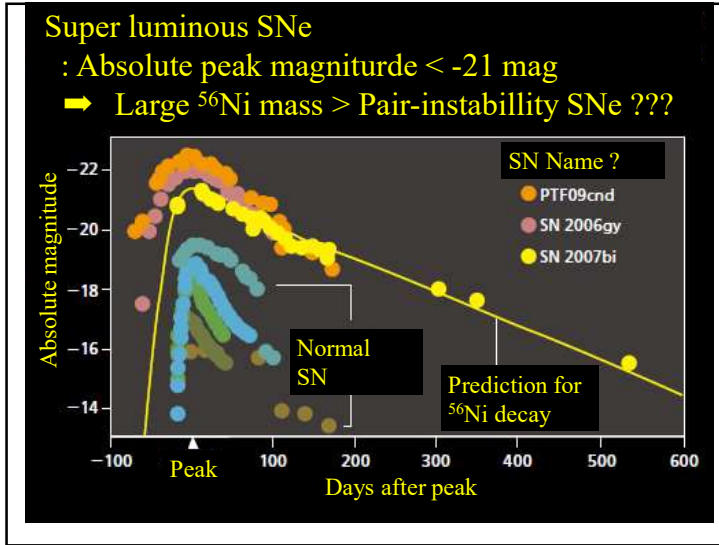
残りはすべて ^{56}Ni の崩壊エネルギーで光る

Filippenko 1997, ARAA



Why does a supernova shine ? : Others

- Interaction of SN ejecta with Circum stellar matter (CSM) \rightarrow Type IIn supernova
- Energy of Magnetar (???)



- II n型は(簡単に)非常に明るくなる
- スペクトルは星周物質と超新星物質との相互作用を示唆。
 - $L = 4\pi\sigma R^2 T_{\text{eff}}^4$ でR が大きいため明るい
 - 大きな爆発エネルギーも大量の ^{56}Ni も不要
 - 光度曲線は似ていないもの多数
 - SN2007bi, SN1999asやPTF09cndはIc型
 —相互作用ではなく大量の ^{56}Ni ??