

軽い鉄コア崩壊型超新星と電子捕獲型超新星の多色光度曲線・判別手法

佐藤大仁(総研大, masato.sato@grad.nao.ac.jp)、富永望、守屋堯(NAOJ)、

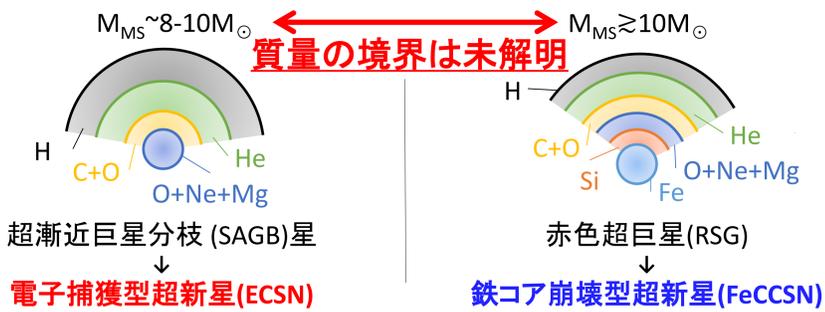
Sergei I. Blinnikov(NRC Kurchatov Institute)、平松大地(Harvard-Smithsonian CfA)

Abstract & Summary

重力崩壊型超新星には、約10太陽質量(M_{\odot})を超える星がFeコアを形成し起こす鉄コア崩壊型超新星(FeCCSN)と、約8-10 M_{\odot} の星がO-Ne-Mgから成る縮退コアを形成し起こす電子捕獲型超新星(ECSN)がある。これらの親星の質量の境界は明らかになっていない。また、今のところECSNの確実な観測例はない。近年、SN 2018zdがECSNと提案された(Hiramatsu et al. 2021)が、軽いFeCCSNとも提案されている(Callis et al. 2021)。ECSNの同定が困難となっているのは、観測的特徴が十分に明らかになっておらず、同定方法が確立されていないことに一因がある。そこで今回、様々な物理量に基づく、軽いFeCCSN、ECSNの多色光度曲線を、多波長輻射流体計算コードSTELLA(Blinnikov et al. 1993)を用いて計算した。その結果、ECSNではプラトーが青いことがわかった。更に、この特徴を用いたECSNの判別手法を考案した。今後、重力崩壊型超新星の低質量限界を理解するため、この手法を活用し、サーベイによる既存観測や、せいめい望遠鏡などを用いた新規観測からECSN候補天体を探し、その親星や元素合成の解明に取り組む。重力崩壊型超新星の低質量限界の解明は、恒星進化理論だけでなく、超新星の爆発機構や元素合成、銀河の化学進化などにも重要である。

1. Introduction

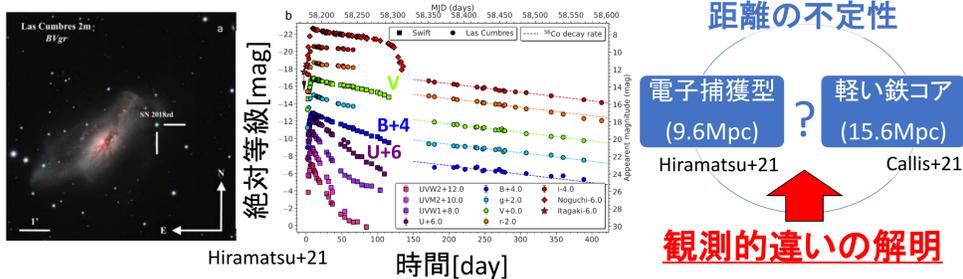
■ 重力崩壊型超新星(CCSN)



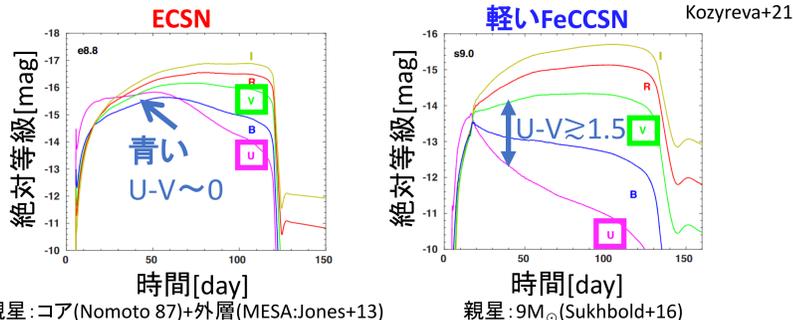
質量の境界は未解明

確実な天体が見つかっていない

■ SN 2018zd: 有力なECSN候補天体



■ ECSN・軽いFeCCSNの光度曲線の違い



星周物質(CSM)が考慮されていない

■ 本研究

- モチベーション:
 - 電子捕獲型の観測を見分け8-10 M_{\odot} の星の進化に迫る。
- 内容:
 - ECSNと軽いFeCCSNの多色光度曲線を計算
 - 幅広いパラメータ (観測から示唆される多様性を考慮)
 - CSM interactionも考慮
 - 電子捕獲型の判別手法を提案、SN 2018zdに適用

2. Model & Method

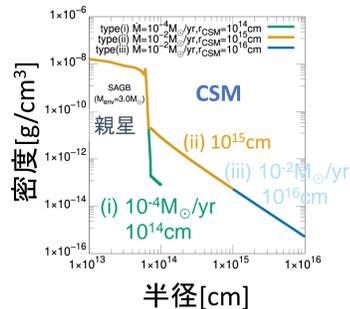
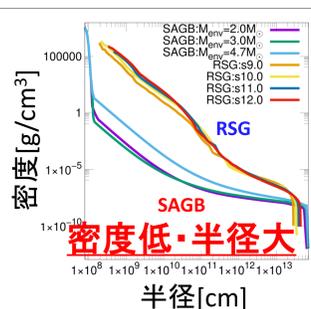
■ 計算コード: 一次元多波長輻射流体計算コードSTELLA (Blinnikov+93)

■ 親星モデル・爆発エネルギー

| 親星 | $E_{\text{exp}} [10^{51} \text{erg}]$ |
|--------------|---|
| FeCCSN (RSG) | $M_{\text{ZAMS}}=9-12 M_{\odot}$ (sukhbold+16) |
| ECSN (SAGB) | $M_{\text{env}}=2.0-4.7 M_{\odot}$, $X(\text{H})_{\text{env}}=0.2-0.7$ (Tominaga+13) |

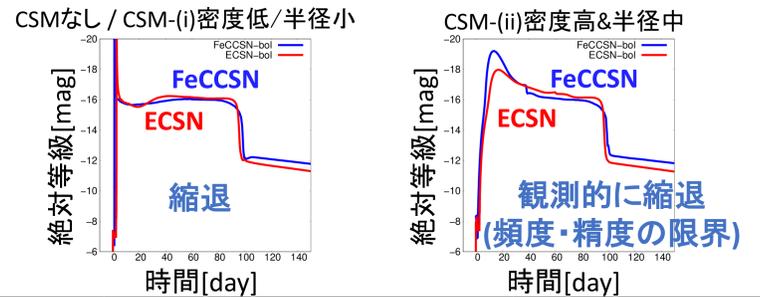
■ CSM 質量放出率 CSM半径

| CSM | $\dot{M} [M_{\odot}/\text{yr}]$ | $r_{\text{out}} [\text{cm}]$ |
|---------------|---------------------------------|------------------------------|
| FeCCSN/ECSN | $10^{-6}-10^{-2}$ | $10^{14}-10^{16}$ |
| (i) 密度低/半径小 | $\sim 10^{-4}$ | $\sim 10^{14}$ |
| (ii) 密度高&半径中 | 10^{-3} | 10^{15} |
| (iii) 密度高&半径大 | 10^{-3} | 3×10^{15} |



3. Results

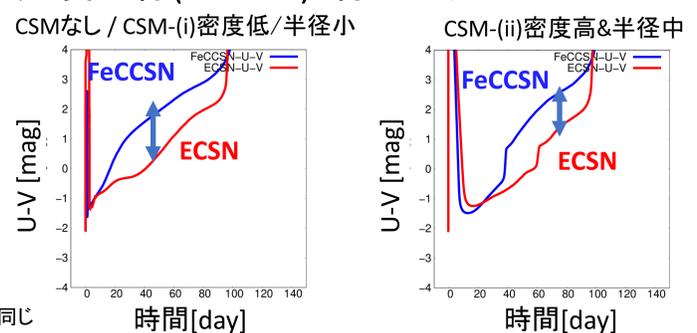
■ Bolometric光度曲線の縮退



| 親星 | FeCC | $M_{\text{ZAMS}}=9 M_{\odot}$ | |
|--------------------------|---------|--|---------------------------------|
| | | 左図 | 右図 |
| | EC | $M_{\text{env}}=3 M_{\odot}, X(\text{H})_{\text{env}}=0.7$ | |
| 爆発エネルギー E_{exp} | FeCC | $1.1 \times 10^{50} \text{erg}$ | $1.0 \times 10^{50} \text{erg}$ |
| | EC | $3.7 \times 10^{50} \text{erg}$ | $3.7 \times 10^{50} \text{erg}$ |
| 質量放出率 \dot{M} | FeCC/EC | CSMなし | $10^{-2} M_{\odot}/\text{yr}$ |
| CSM半径 r_{out} | FeCC/EC | CSMなし | 10^{15}cm |

単バンドの観測ではECSNを同定不可(見つからない原因)

■ 多色光度曲線(色進化): 青いプラトー

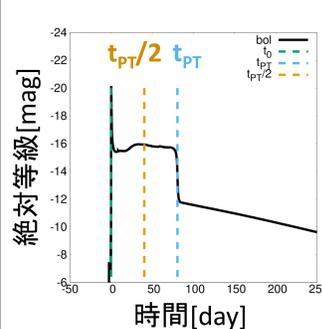


※モデルは bolometricと同じ

CSMを考慮してもECSNはプラトーが青い

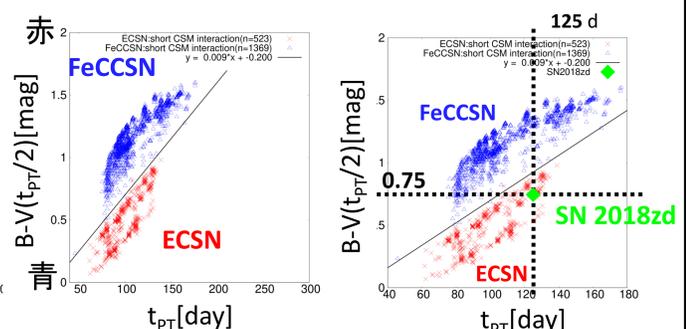
4. Discussion

■ ECSNの判別手法



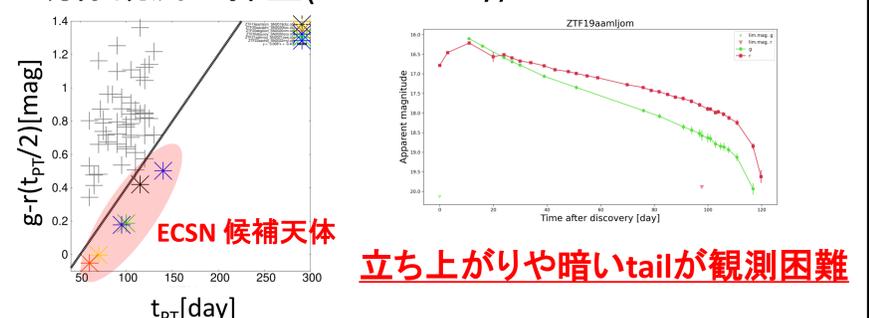
$t_{\text{PT}}, B-V(t_{\text{PT}}/2)$ を用いてECSNを判別

■ SN 2018zd



ECSNと示唆

■ ZTFの既存観測の探査(Preliminary)



立ち上がりや暗いtailが観測困難

■ 新規天体の探査(Future work)

- 判別手法の適用 ← プラトーのスペクトル、色(Seimei)
- CSMの密度構造 ← 光度曲線の立ち上がり(Tomo-e Gozen)
- 元素合成・内部構造 ← Nebular spectra & photometry (Seimei & Subaru)

ECSN候補天体の探査・研究には、Seimeiが必要