

r プロセス元素を合成する 特異な超新星爆発の観測的特徴

長谷川 樹 (東北大学)

田中 雅臣、齋藤 晟、土本 菜々恵 (東北大学)

西村 信哉 (理化学研究所)、川口 恭平 (東京大学)

重元素の起源天体

- 中性子星合体

銀河系内の総量を説明するのに十分なrプロセス元素の放出を確認 ($\sim 0.05 M_{\text{sun}}$) (Hotokezaka et al. 2018など)

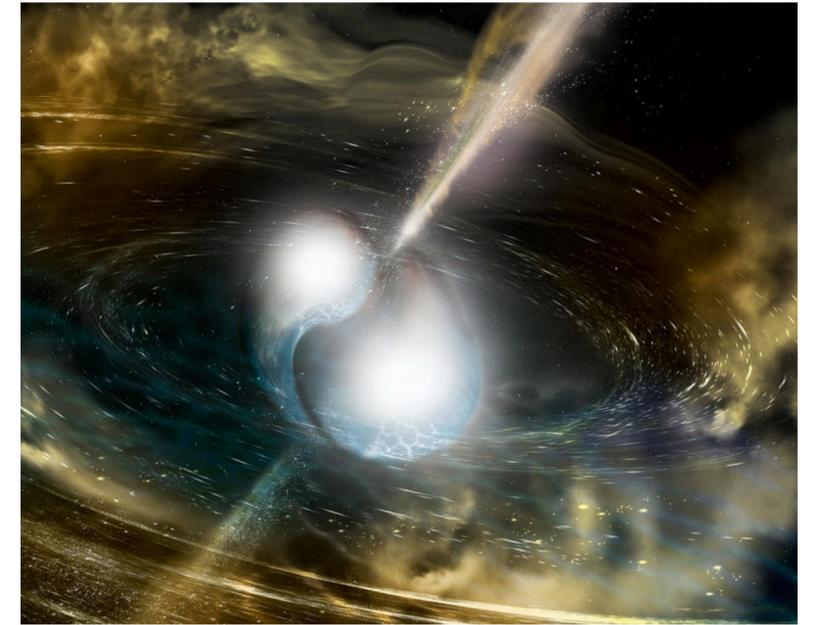
問題：低金属星に存在するrプロセス元素 (Cote et al. 2019など)

- 超新星爆発

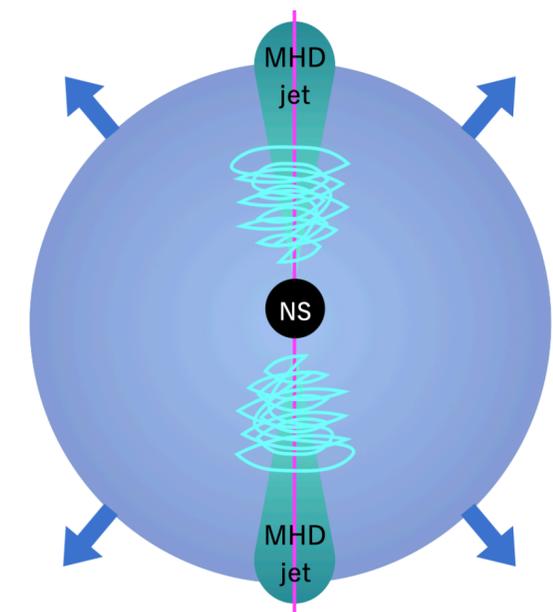
典型的な超新星爆発ではrプロセス元素の合成が難しい

= > **それ以外のメカニズムで爆発する場合、合成する可能性**

ex) MHD Jetによる爆発 (Nishimura et al. 2017など)

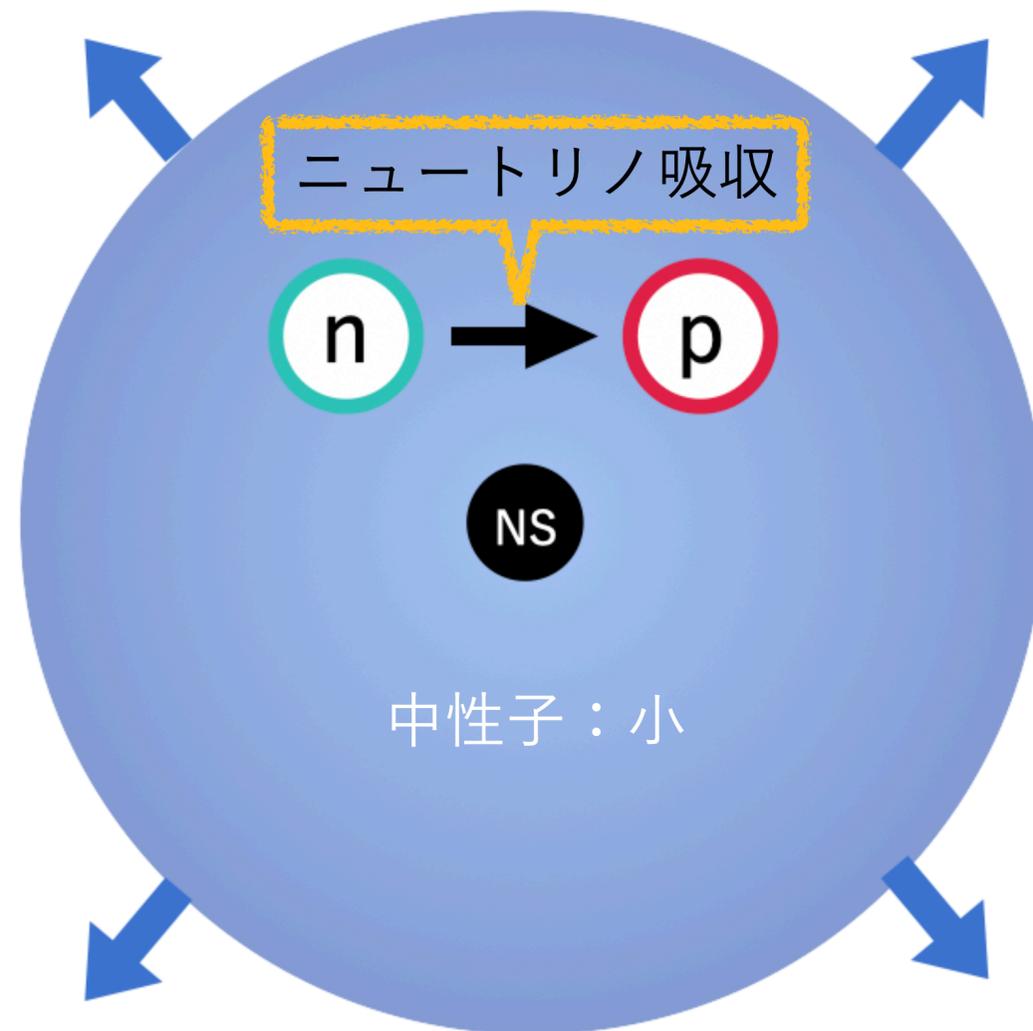


(C) NSF/LIGO/Sonoma State University/A. Simonnet



超新星が重元素を作るシナリオ

普通の超新星

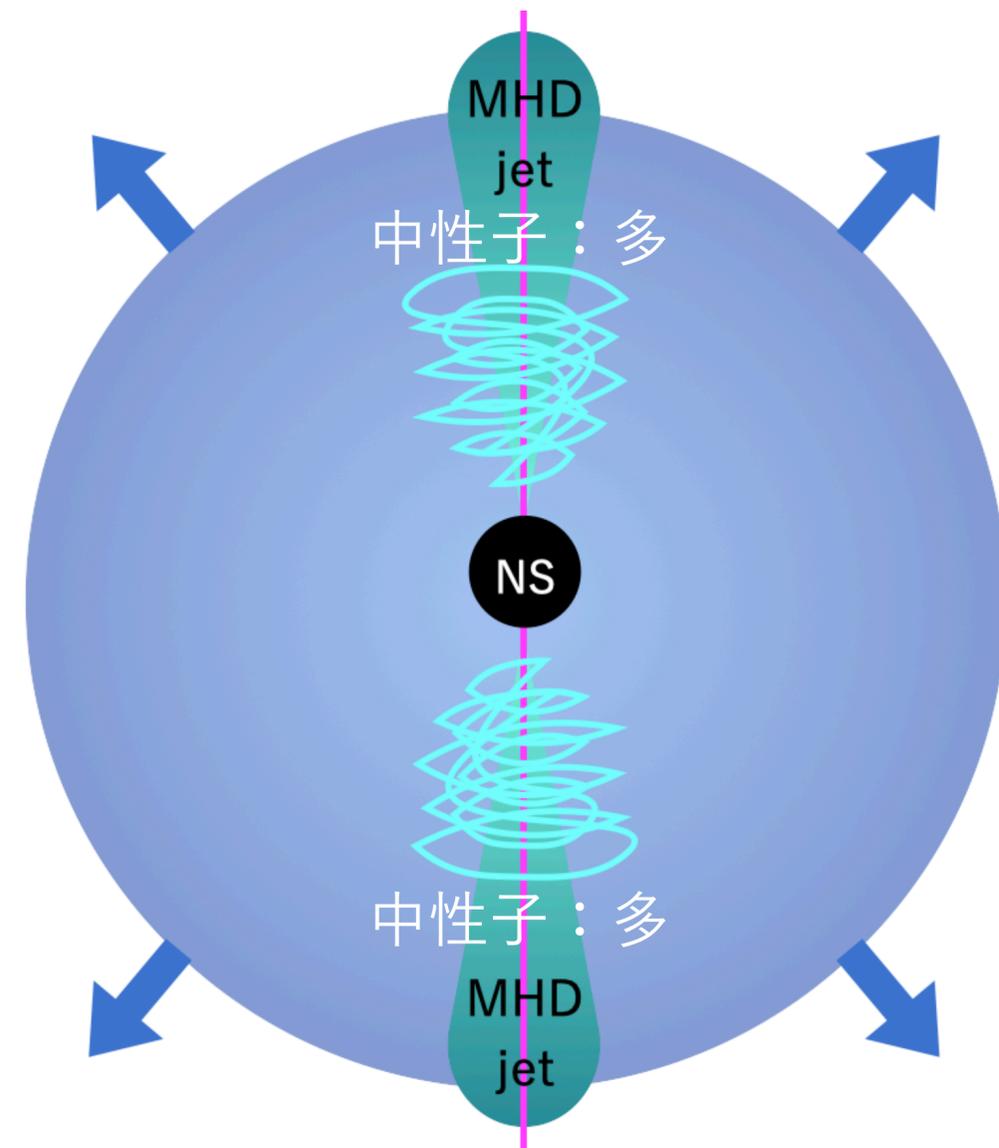


中性子：小

rプロセス：✖

(Muller et al. 2020など)

MHD jet を伴う超新星

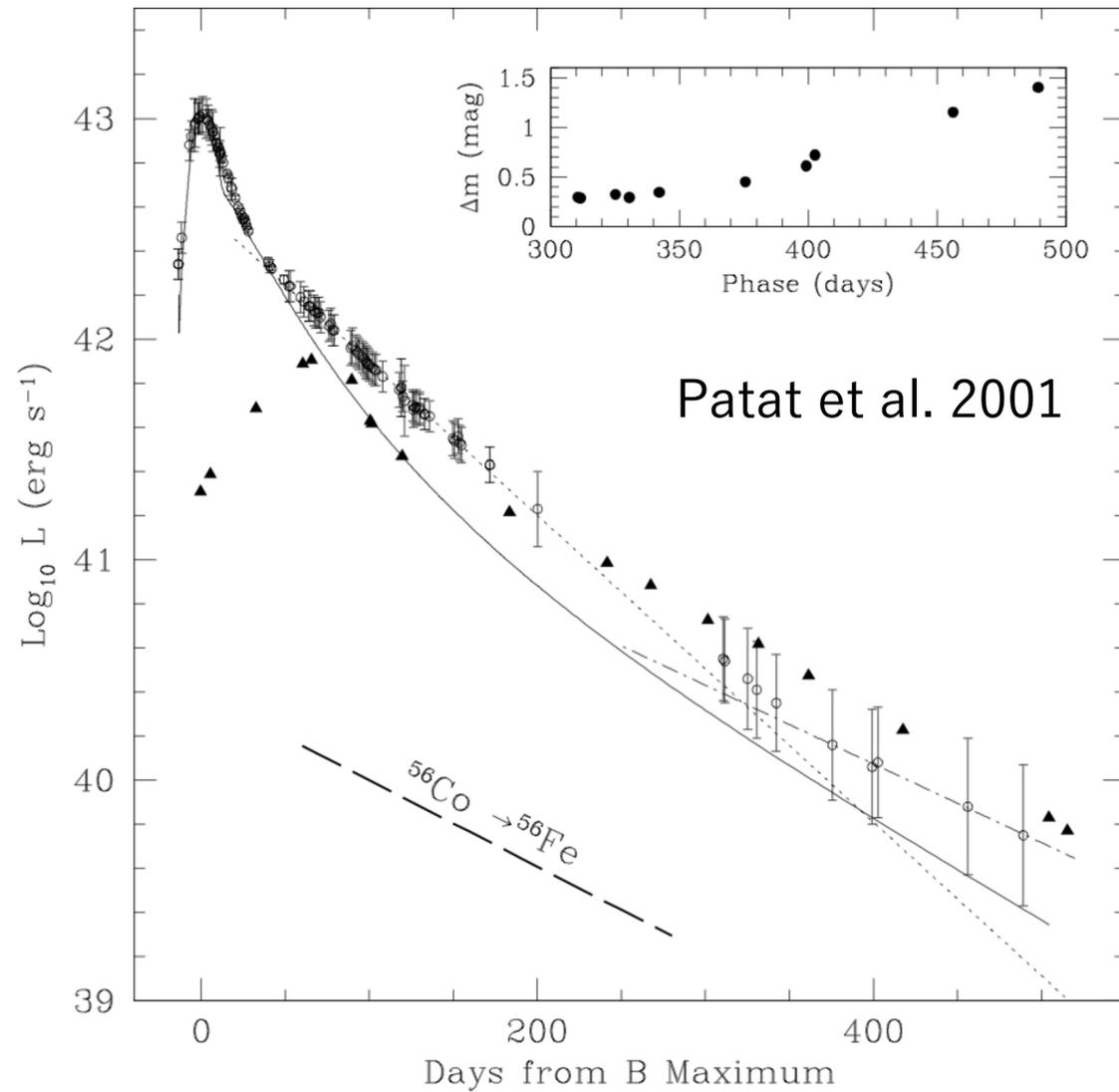


中性子：多

rプロセス：○

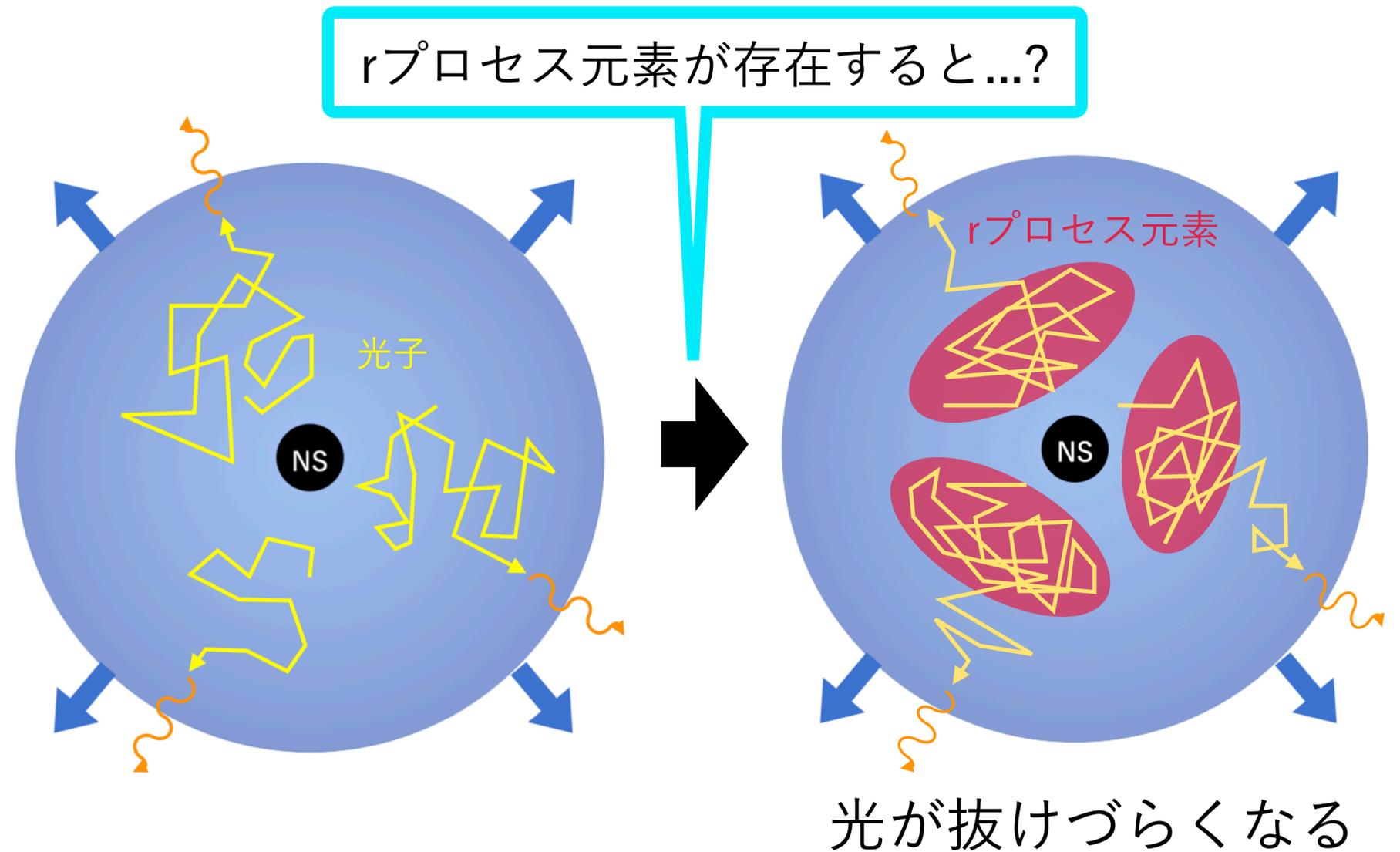
(Nishimura et al. 2018など)

超新星によるrプロセス元素合成は検証できるか？



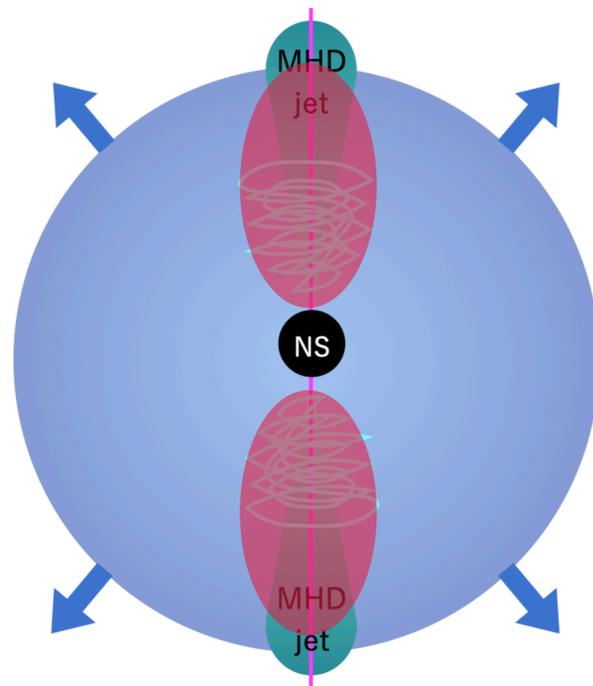
超新星の光度曲線

(^{56}Ni の放射性崩壊により輝く)

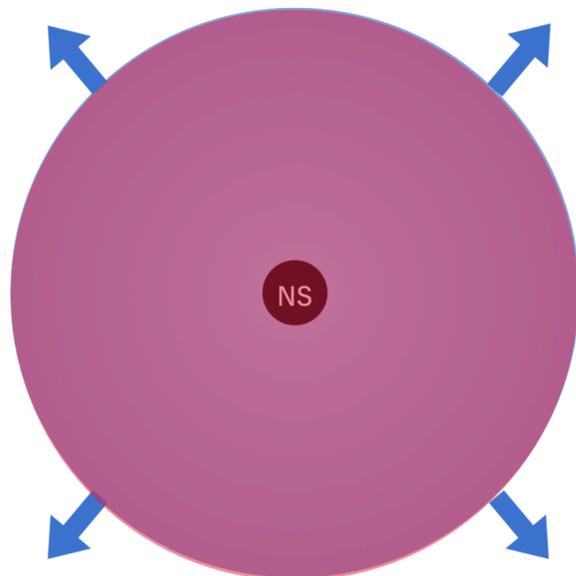


rプロセス元素の有無で観測的特徴が変化するのは？？

モデル



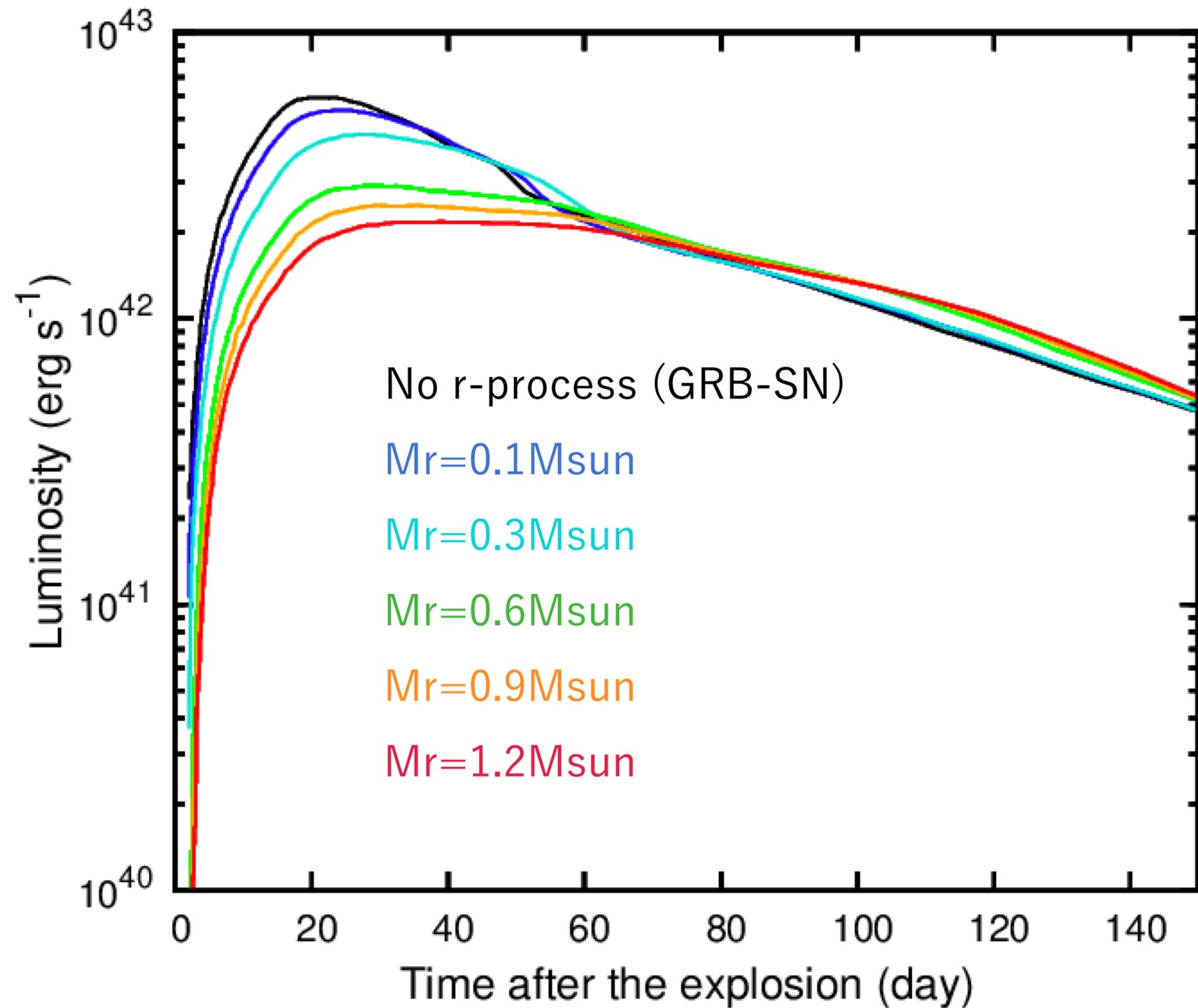
▼ 単純化



親星のモデル (Sukhbold et al. 2016)	ZAMS : 45 Msun 崩壊時の質量 : 13 Msun
1D流体・元素合成計算 (blcode, Ott et al. 2014)	10^{52} erg を注入し爆発させる => $M(^{56}\text{Ni}) \sim 0.3 \text{ Msun}$ (GRB-SNを仮定)
rプロセス元素	太陽組成で一様分布していると仮定

- 一次元輻射輸送シミュレーション (Tanaka & Hotokezaka 2013)
 - 全元素の束縛遷移による吸収係数を各時間で計算
 - LTE(局所熱平衡)を仮定
- $M_r = 0, 0.1, 0.3, 0.6, 0.9, 1.2 \text{ Msun}$ の6パターンについて計算
(Siegel et al. 2019)

結果：Bolometric luminosity



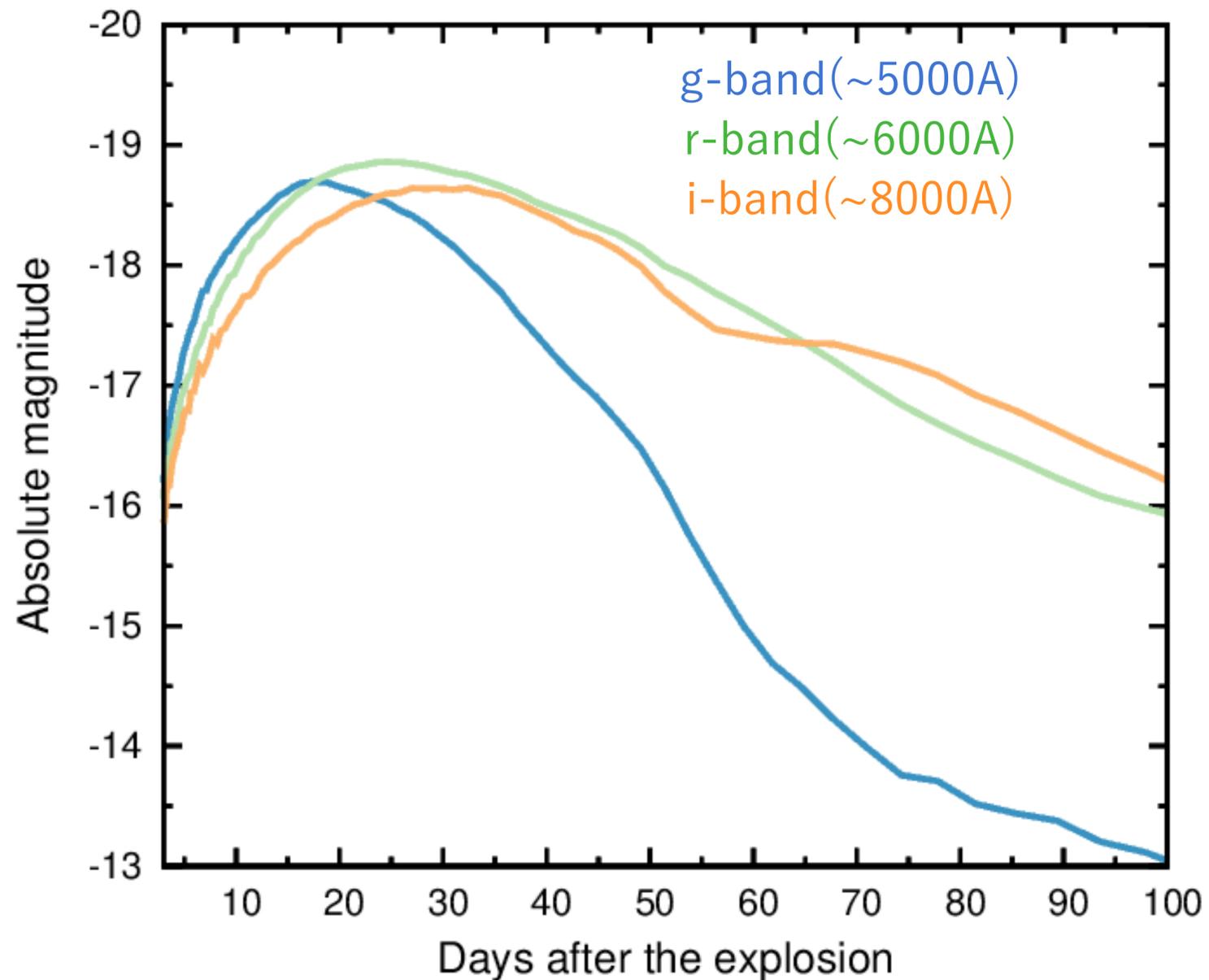
$M_r \sim 0.3 M_{\text{sun}}$ から
光度曲線が大きく
変化する



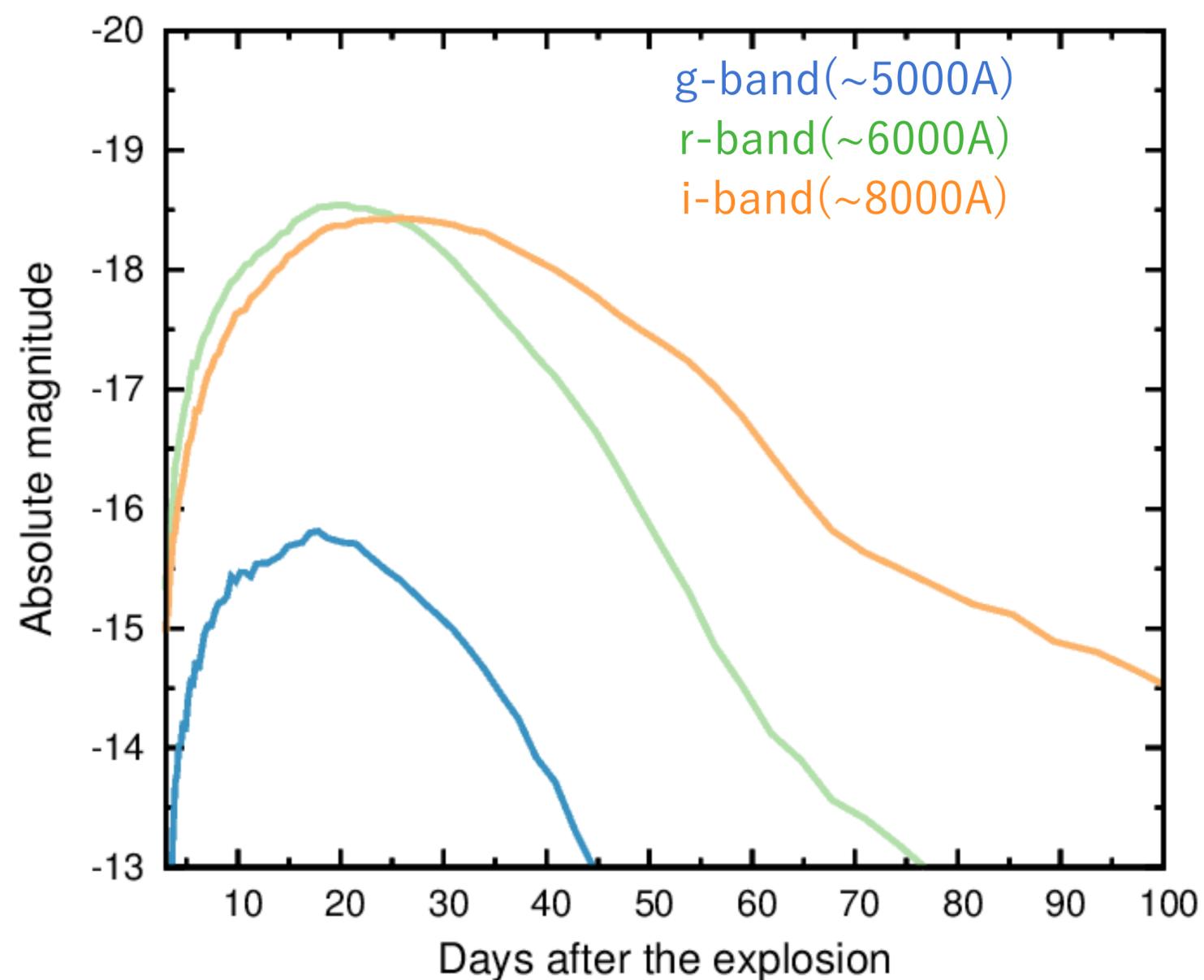
rプロセス元素による影響

結果：各バンドで観測される光度曲線

rプロセス元素なし

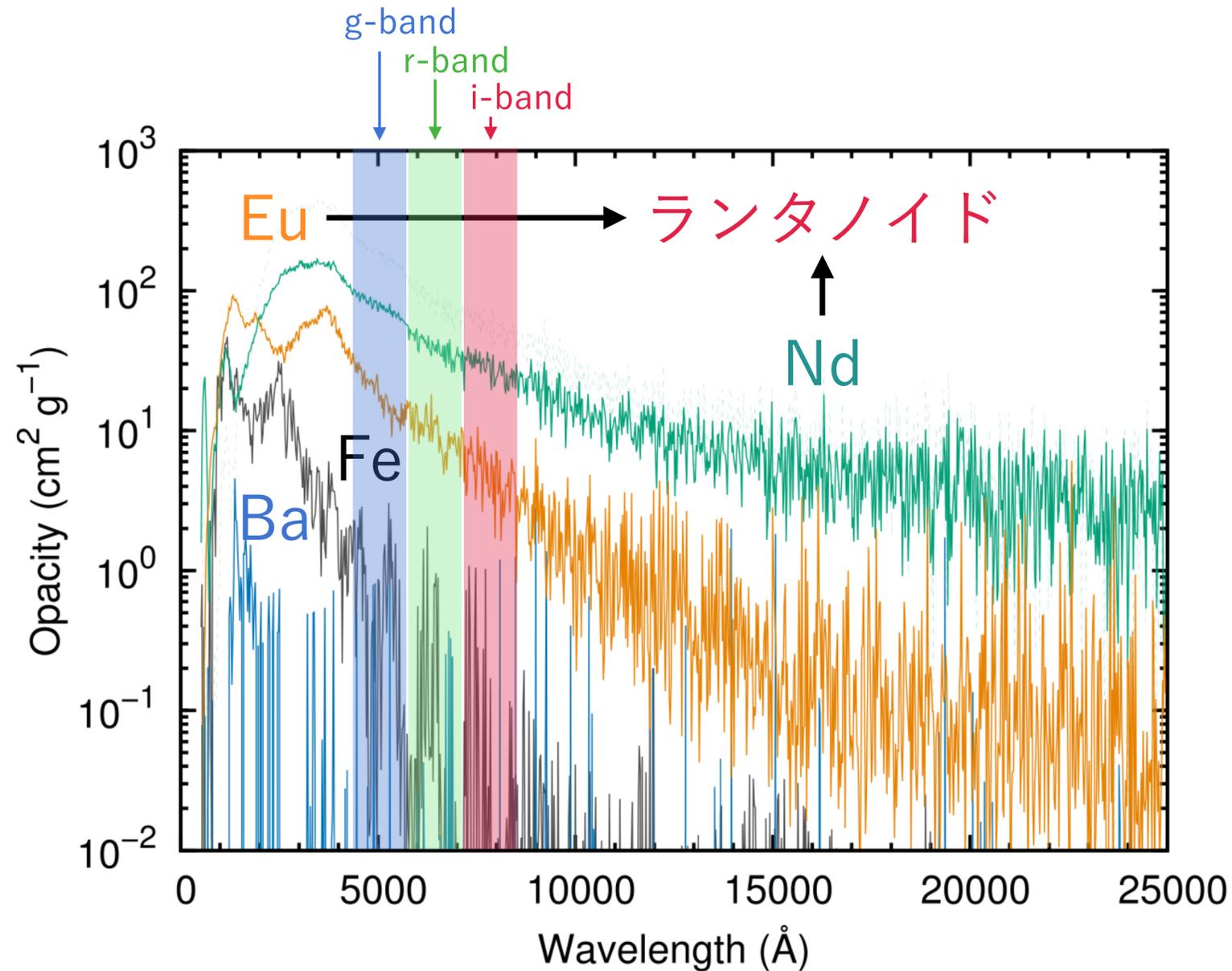


rプロセス元素の質量=0.3Msun



短い波長が顕著に暗くなる

rプロセス元素による光度曲線への影響



Tanaka et al. 2018

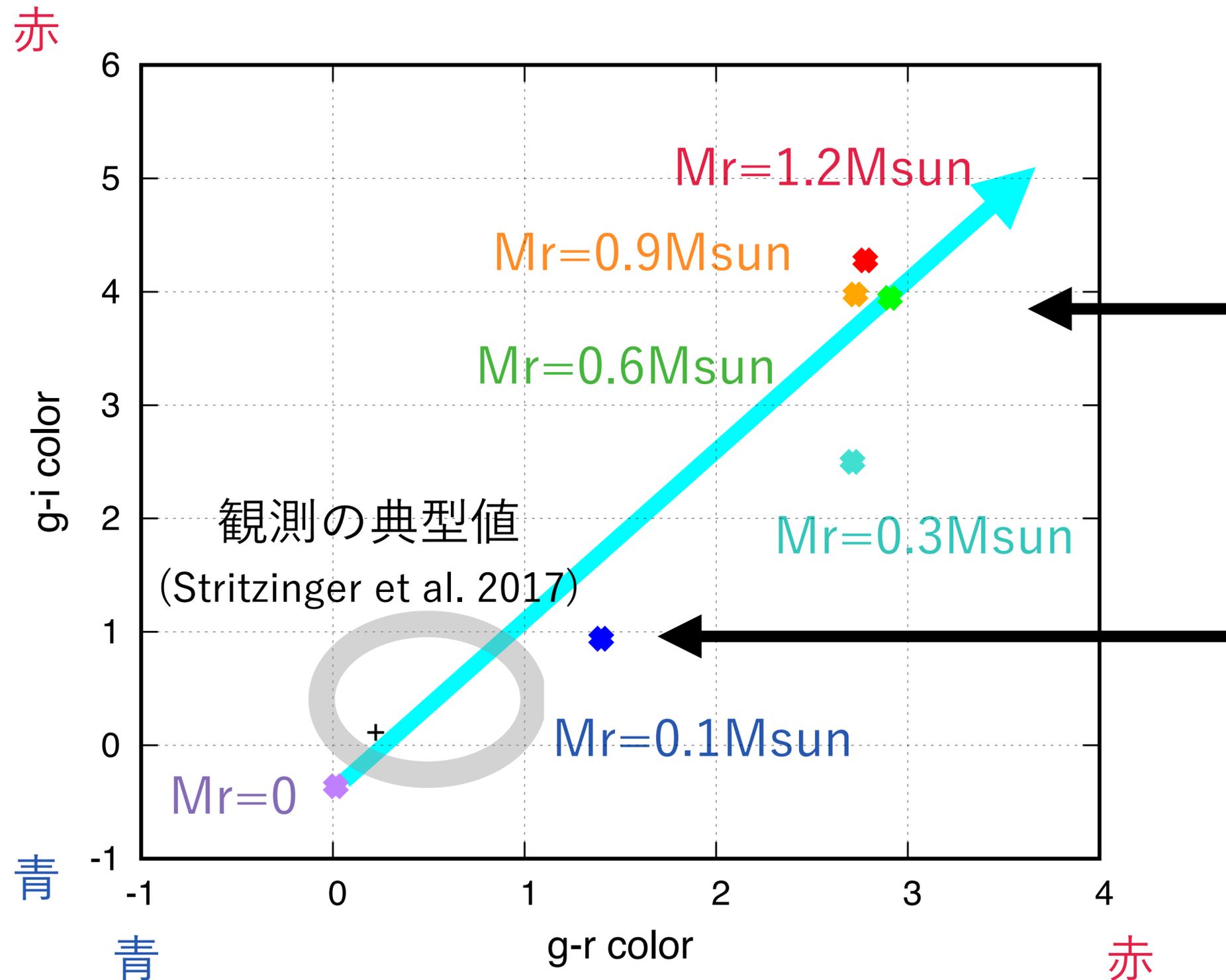
luminosity : 暗

…ランタノイドの吸収係数が大きい

光度曲線(gバンド) : 暗

…短い波長の方が吸収係数が大きい

超新星の観測データとの比較

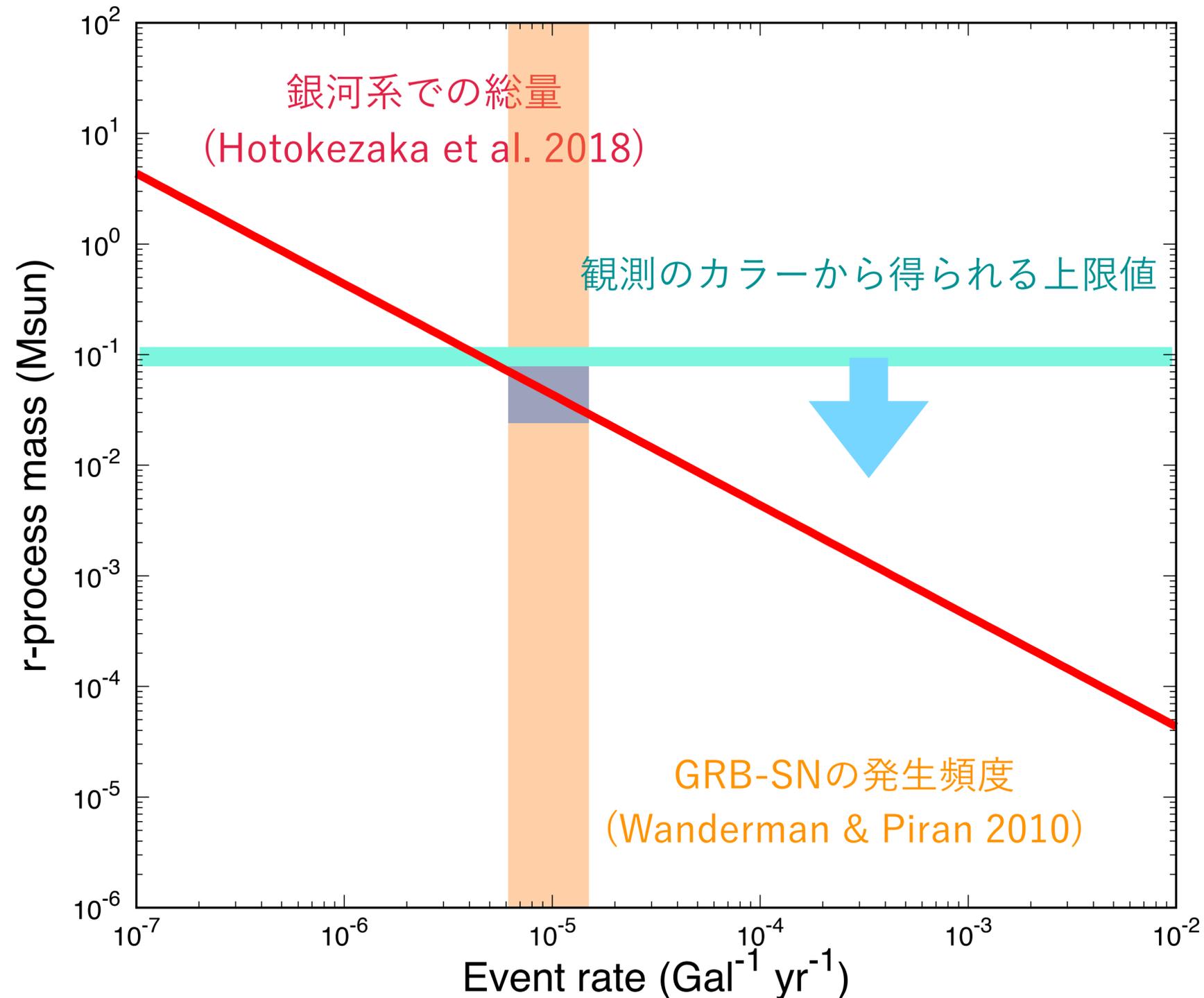


このような超新星は
観測されたことがない

これらは観測されている
超新星と矛盾しない

→ $Mr \sim < 0.1Msun$

SN発生率とrプロセス元素の生成量



1 eventあたりの
rプロセス元素の質量の上限値
は**0.1Msun程度**

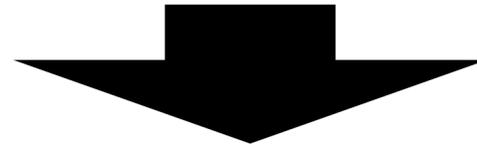


GRB-SNが銀河系全ての
rプロセス元素の起源である場合
： **$M_r \sim 0.03 \text{ Msun}$**

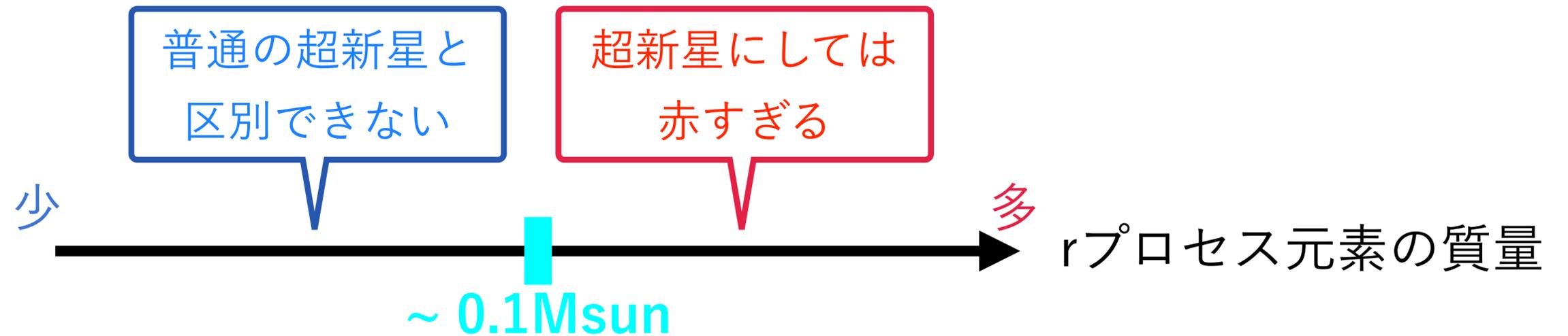
超新星の観測からの制限と**矛盾しない**

まとめ

目的：rプロセス元素を合成する超新星爆発の観測的特徴



結果



- ・ 銀河系内のrプロセス元素をGRB-SN rateで説明するのに必要なrプロセス元素の放出量 ($M_r \sim 0.03 M_{\text{sun}}$)
 - ： 超新星のカラーからの制限と矛盾しない

ご静聴ありがとうございました