

On the possibility of a massive clocked X-ray burster SRGA

J144459.2-604207

土肥 明 (理研ABBL/iTHEMS)

共同研究者



武田朋志 (広大/理研)、西村信哉 (東大/理研)、平井遼介 (理研/モナッシュ大)、
岩切渉 (千葉大)、玉川 徹 (理研)、青山有未来、岩田智子 (理研/理科大)、
榎戸輝揚 (京大/ 理研)、大田尚享 (理研/理科大)、加藤陽、北口貴雄 (理研)、
高橋拓也 (理研/理科大)、三原建弘 (理研)、渡部蒼汰、山崎楓 (理研/理科大)

Dohi et al. PASJ 77, L?, Takeda et al., PASJ 77, L?

NS研究会 2025/5/21 @理研鈴木梅太郎ホール

Implications from clocked X-ray burster SRGA J144459.2-604207

土肥 明 (理研ABBL/iTHEMS)
共同研究者



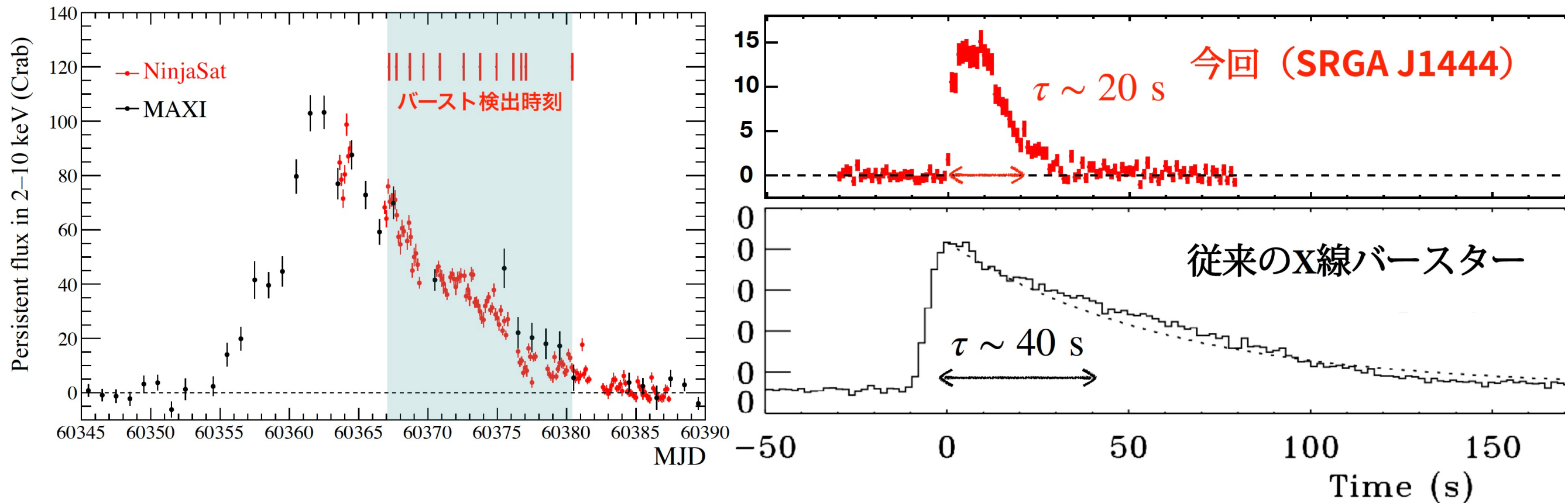
武田朋志 (広大/理研)、西村信哉 (東大/理研)、平井遼介 (理研/モナッシュ大)、
岩切渉 (千葉大)、玉川 徹 (理研)、青山有未来、岩田智子 (理研/理科大)、
榎戸輝揚 (京大/ 理研)、大田尚享 (理研/理科大)、加藤陽、北口貴雄 (理研)、
高橋拓也 (理研/理科大)、三原建弘 (理研)、渡部蒼汰、山崎楓 (理研/理科大)

Dohi et al. PASJ 77, L?, Takeda et al., PASJ 77, L?

NS研究会 2025/5/21 @理研鈴木梅太郎ホール

NinjaSatによるX線バースト観測

(武田トーク)

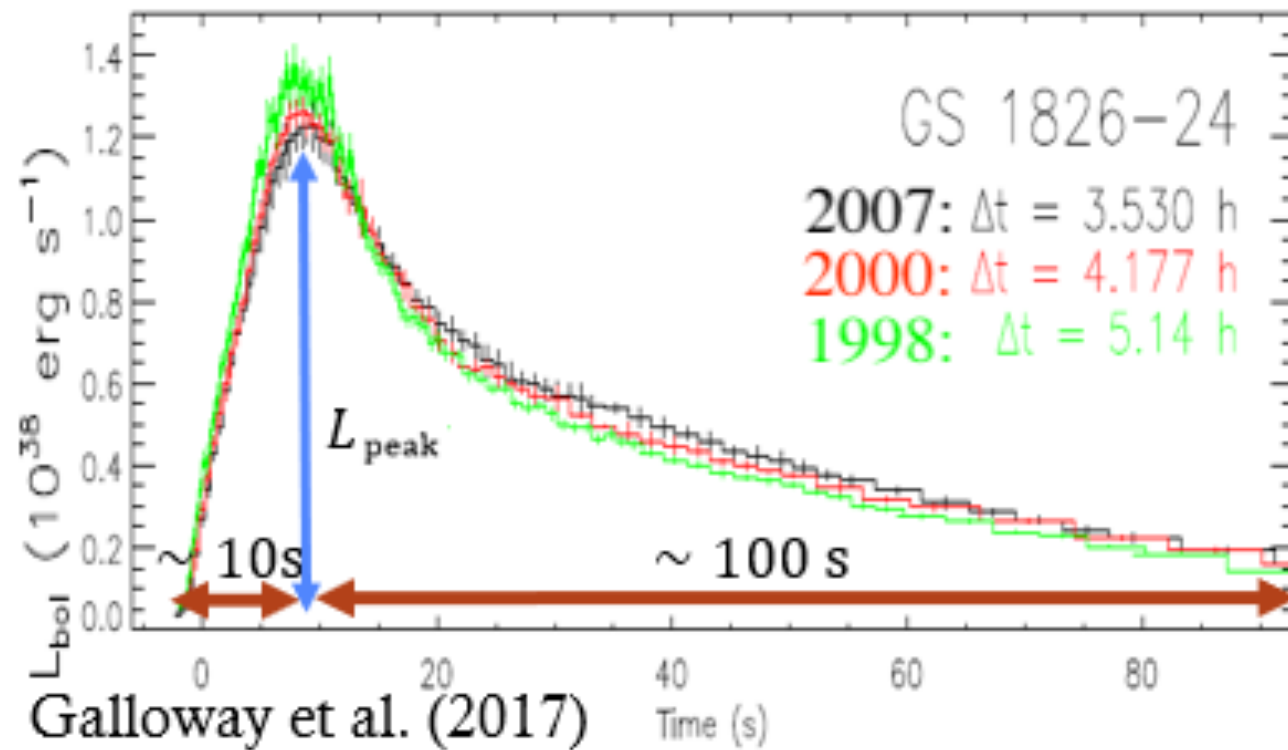


- 25日間の長期モニタリングに成功。NinjaSat初の科学成果！
- 従来のX線バースト天体とは異なる（継続時間、再帰時間 Δt or η ）。
- 今回のSRGA J1444の観測からこういった物理がわかるのか??

バーストの光度曲線 (継続時間) に関して

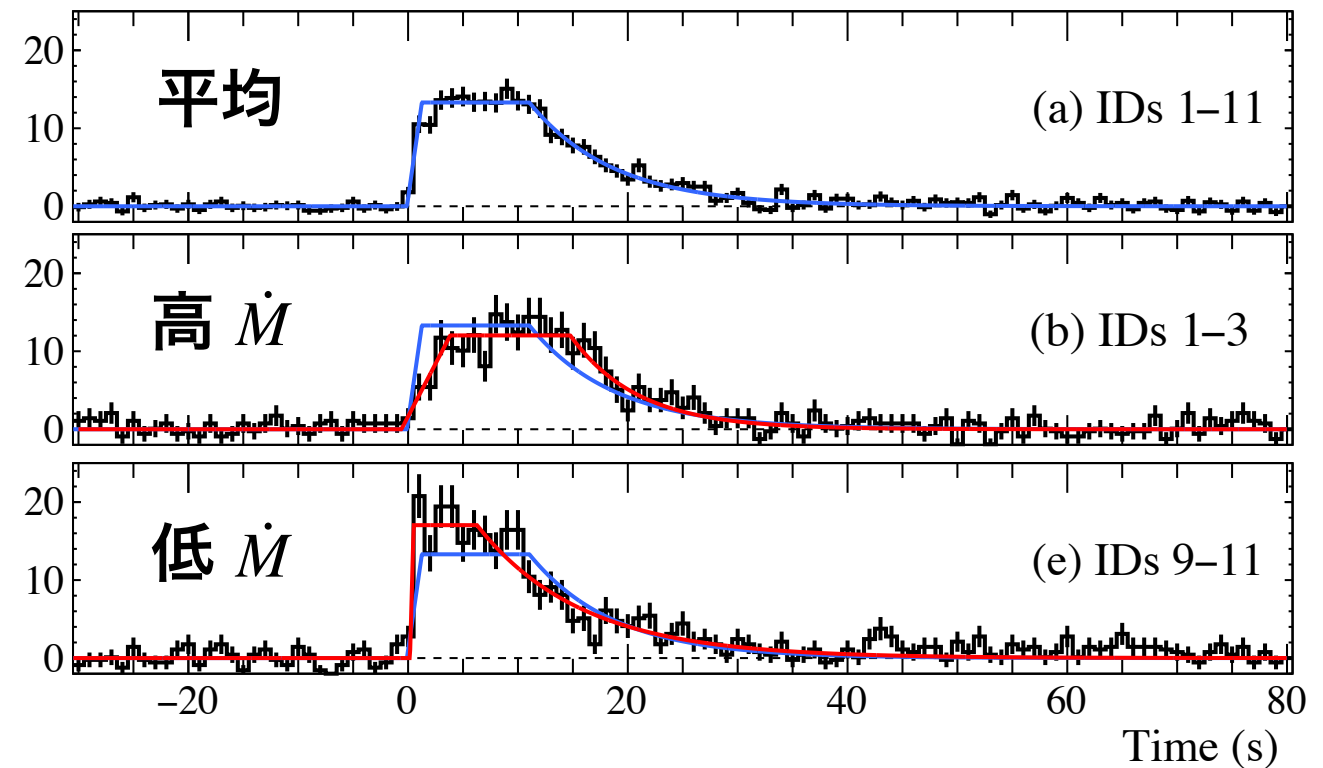
これまでのクロックバー スターとSRGA J1444の違い

- これまで (例: GS 1826-24)



- 線形増光 + slow decay
 → rp過程による加熱が強い。
 つまり、水素リッチ ($X \sim 73\%$)

- 今回 (SRGA J1444)



- プラトー + fast decay
 → rp過程による加熱が弱い。
 つまり、伴星の水素が少なめ？

光度曲線の計算設定

$$\dot{M}_{-9} \equiv \dot{M} / (10^{-9} M_{\odot} \text{ yr}^{-1})$$

- X線バースト計算コード：HERES (Hydrostatic Evolution of RELativistic Stars)
AD+2020, PTEP 2020, 033E02; Zhen+AD+2023, ApJ 950, 110
- 88核種の近似ネットワーク、標準的な熱源を持つ中性子星を考慮

$\dot{M}_{-9}$ の選び方

○ クロック・減衰フェーズに分ける

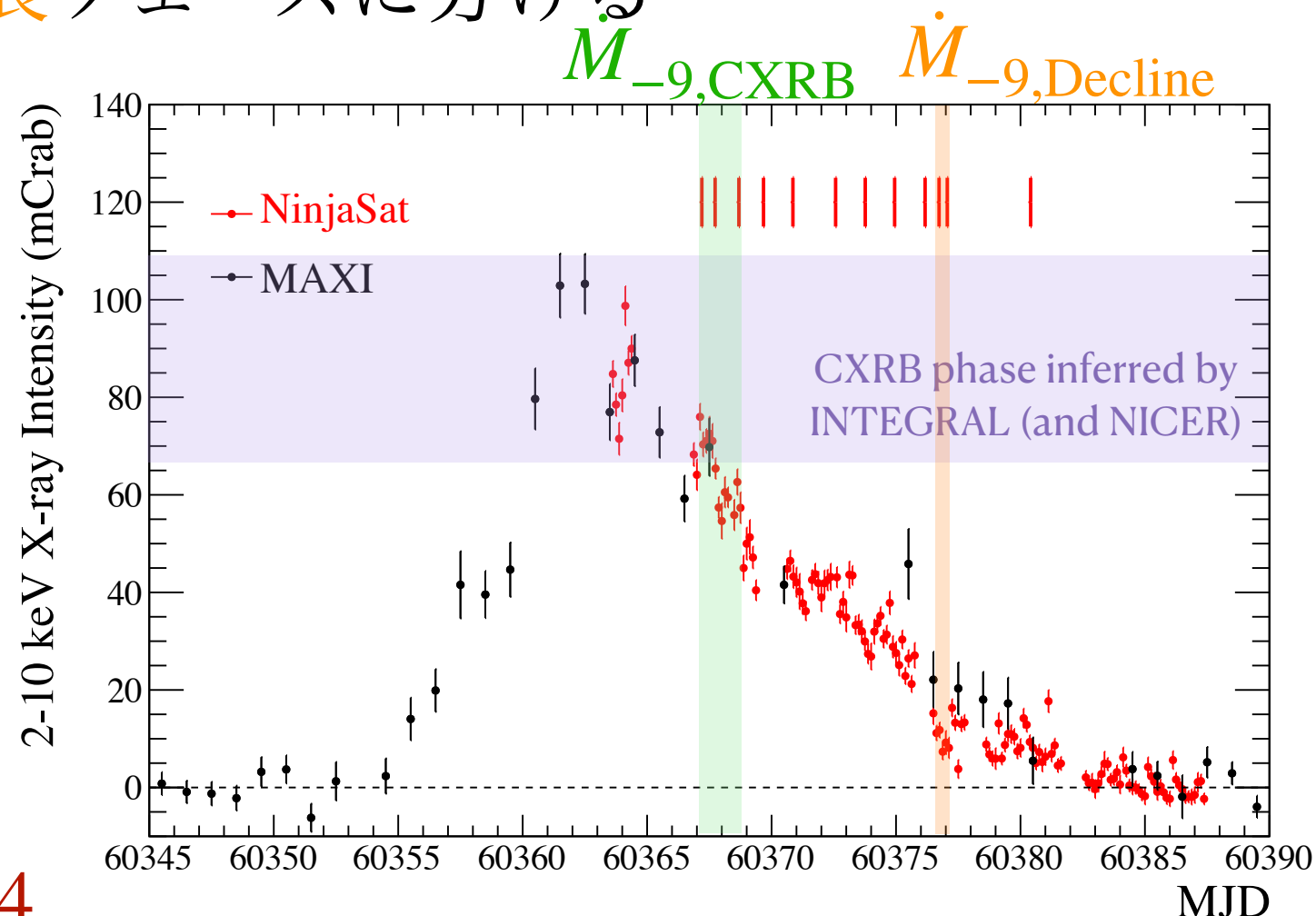
① persistent光度の観測より、

$$\frac{\dot{M}_{-9, \text{Decline}}}{\dot{M}_{-9, \text{CXRB}}} \simeq 0.2 - 0.3$$

② Δt の直接観測より、

$$\Delta t_{\text{CXRB}} = 1.7 \text{ h}, \Delta t_{\text{Decline}} = 7.9 \text{ h}$$

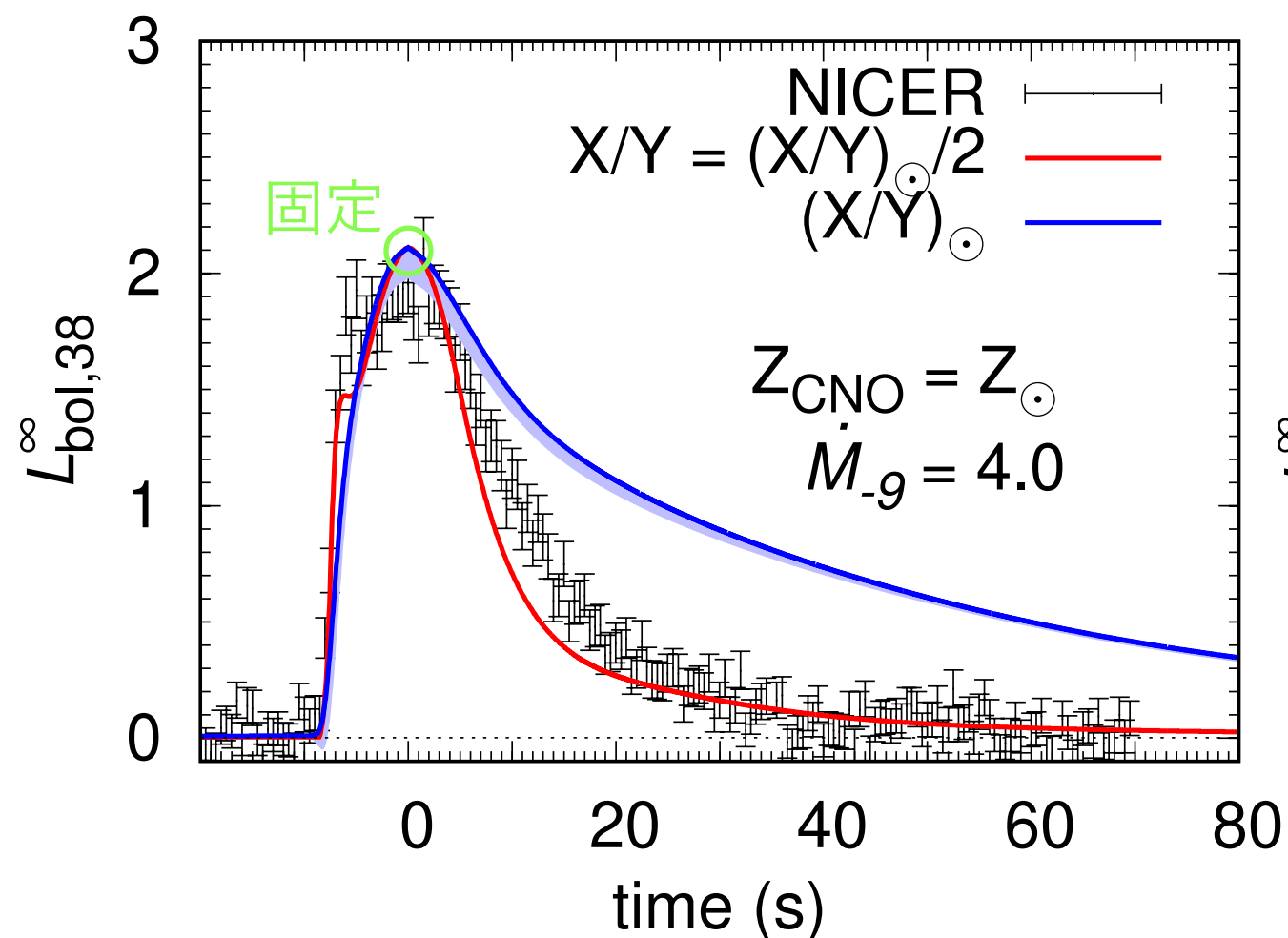
$$\longrightarrow \dot{M}_{-9, \text{Decline}} = 0.9, \dot{M}_{-9, \text{CXRB}} = 4$$



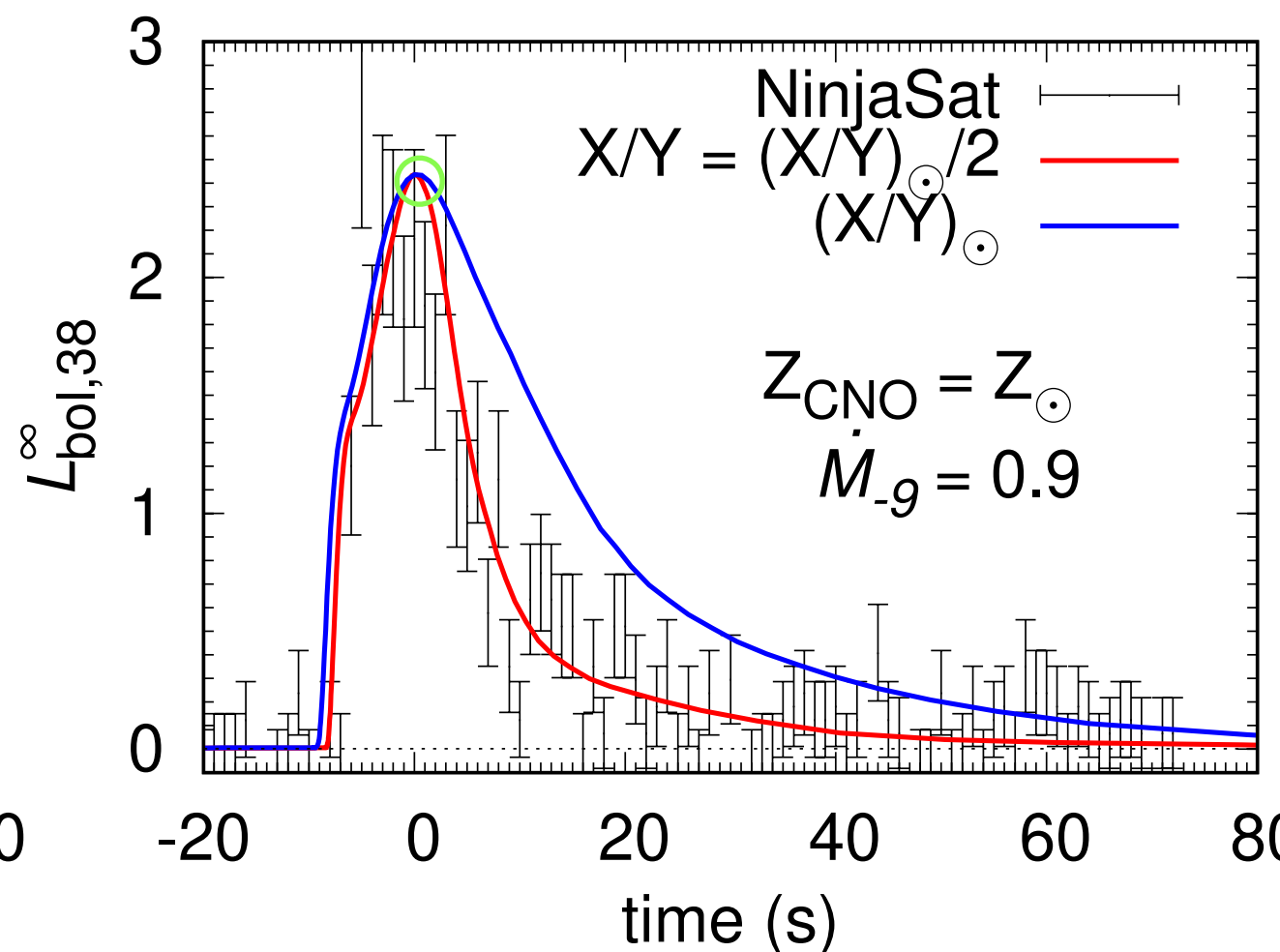
光度曲線の比較：X/Y

* ピーク光度は観測レートのピークに合わせた

- CXRBフェーズ (NICER)

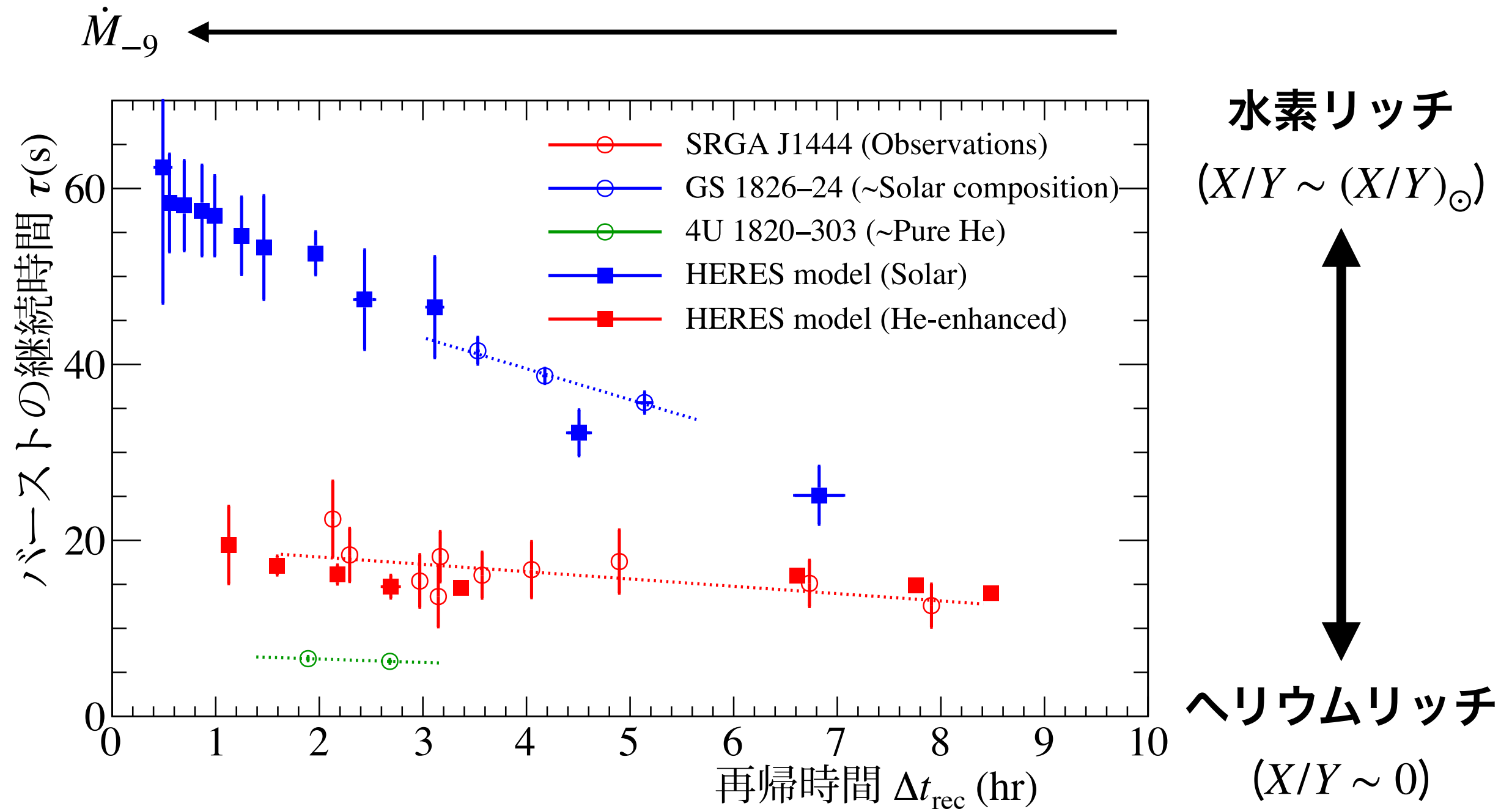


- 減衰フェーズ (NinjaSat)



- Tail部分の比較より、伴星の組成は太陽系よりヘリウムリッチ (rp過程があまり強くないことに対応)

SRGAのNinjaSat観測との比較



- $\dot{M}_{-9} = 0.8 - 5$ のHERESモデルをプロット。
- 伴星がHeリッチな初のクロックバースター。 $X/Y \sim 1.5$ でうまく観測を説明可

応用：伴星の質量進化への示唆

初期の伴星の質量

低質量
($\lesssim 1 M_{\odot}$)

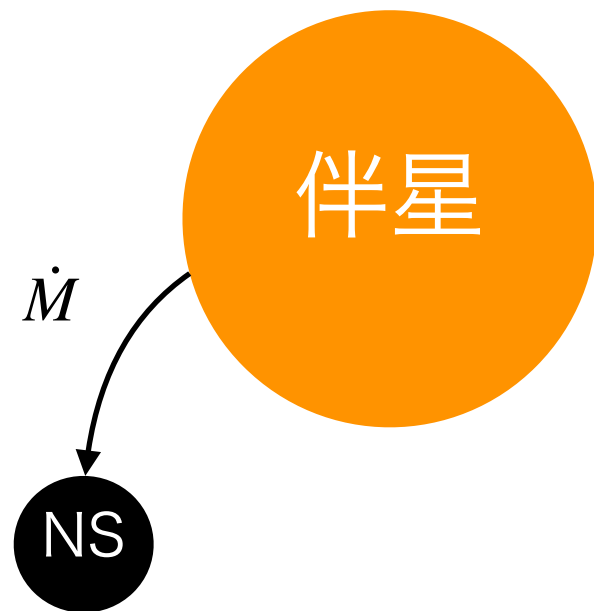
(Vassiliki & Ronald 96 ApJ 458, 301)

水素リッチ (e.g., 太陽系組成)

中質量

(Podsiadowski+02 ApJ 565, 1107)

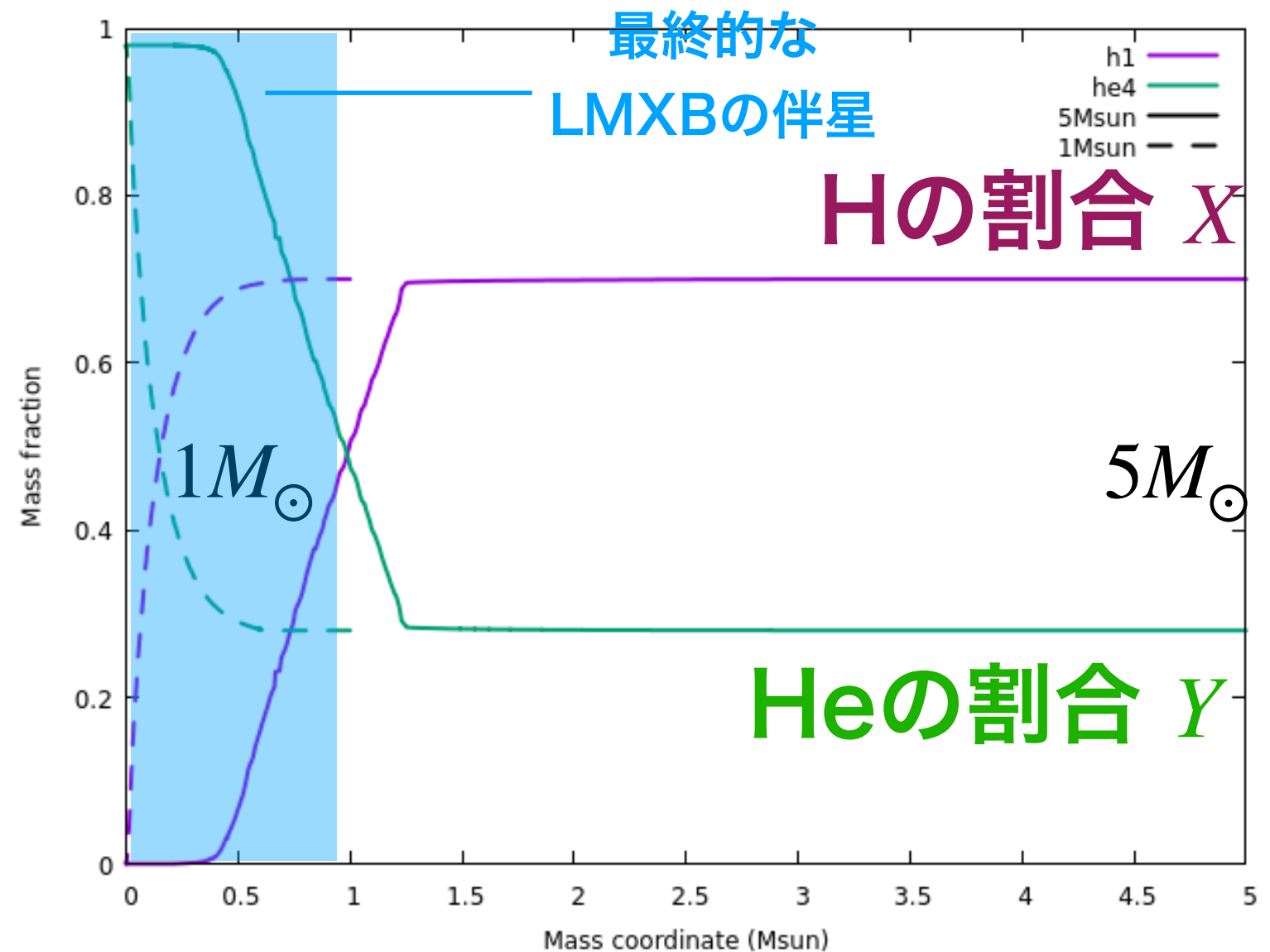
水素欠乏 (Heリッチ)



今回： $X \sim 0.6, Y \sim 0.4$

→ 初期の伴星の質量は
中質量 ($2 - 2.5 M_{\odot}$)

→ SRGA J1444の伴星
の外層が大きく削られた
証拠！



平井遼介氏 (理研・モナッシュ大) の計算

η と中性子星内部 の関連性に関して

中性子星物理のX線バーストに対する影響

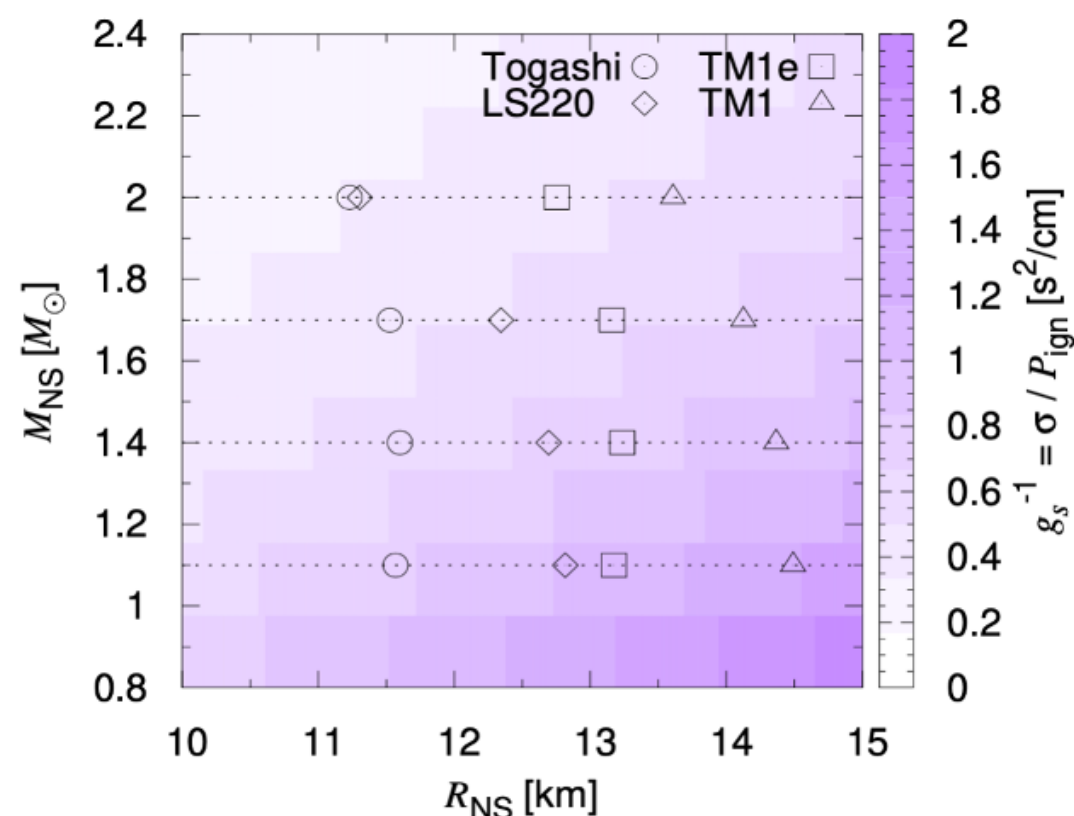
シェル燃焼に必要な柱密度 (Fujimoto+1981)
(1-zoneモデル)

$$\sigma = P_{\text{ign}} / g_s$$

σ : 柱密度 P_{ign} : 点火圧力 g_s : 表面重力

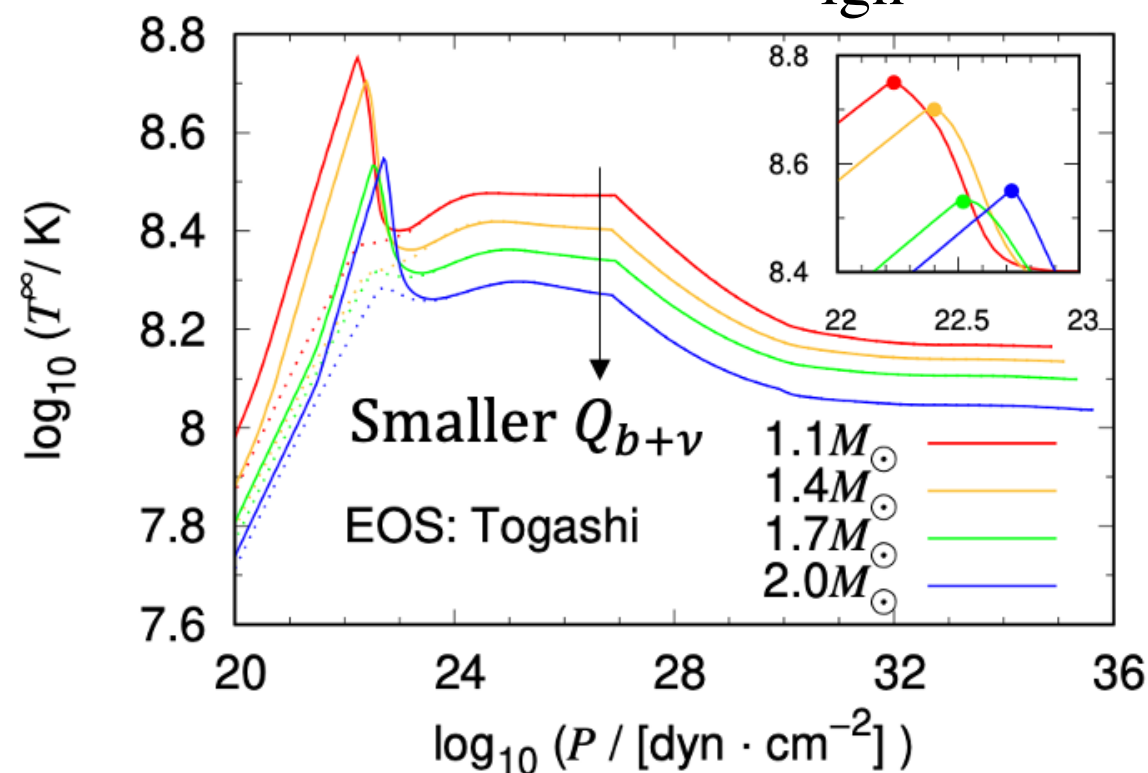
○ 表面重力効果

- 強重力場によって降着が加速。
コンパクトなほど堆積しやすい
→ コンパクトなほど g_s 大 (σ 小)

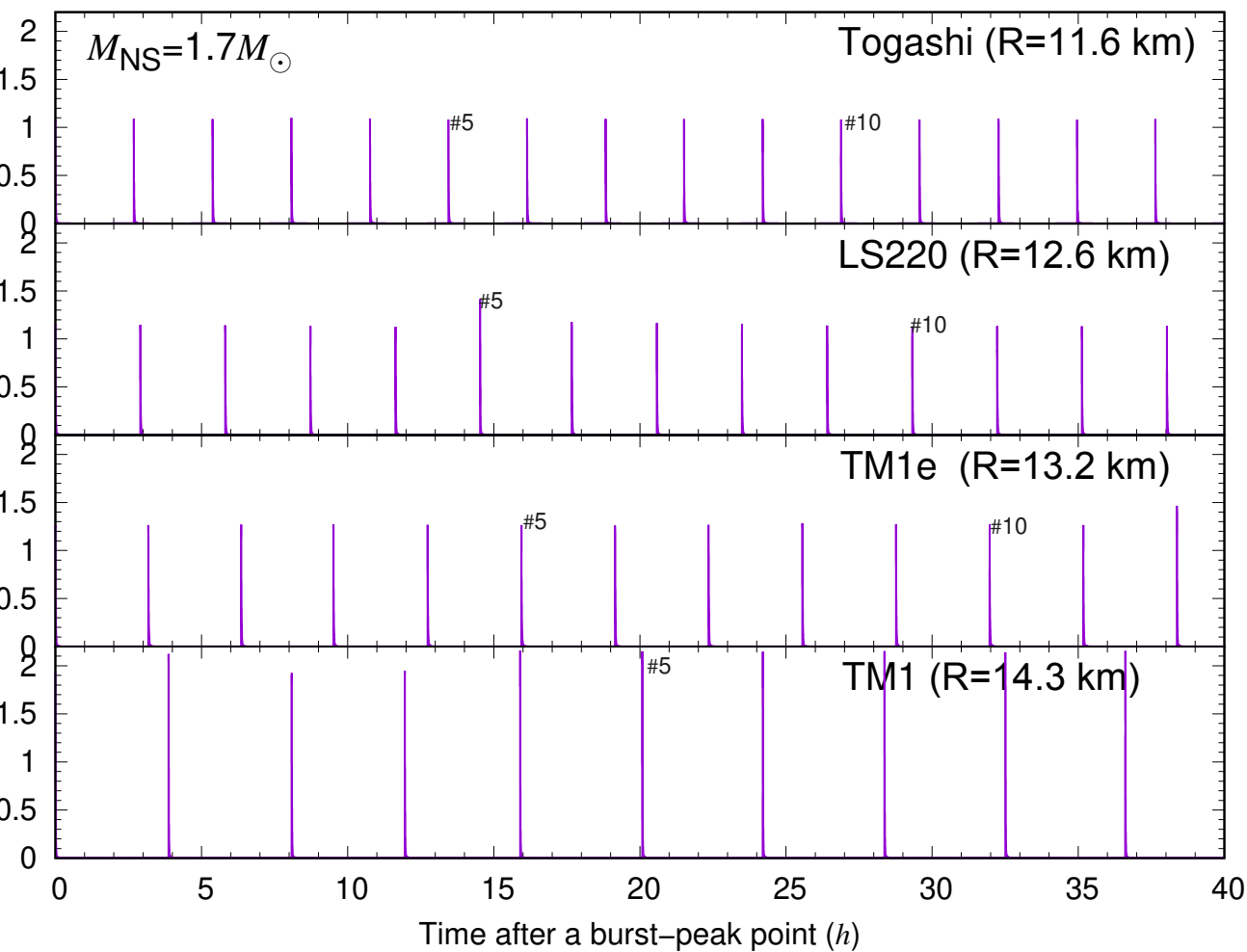


○ 熱源効果 (ν 冷却効果)

- 中性子星は内部物質 (n, p, e) での散乱による ν 放射で冷却
→ コンパクトなほど P_{ign} 大 (σ 大)

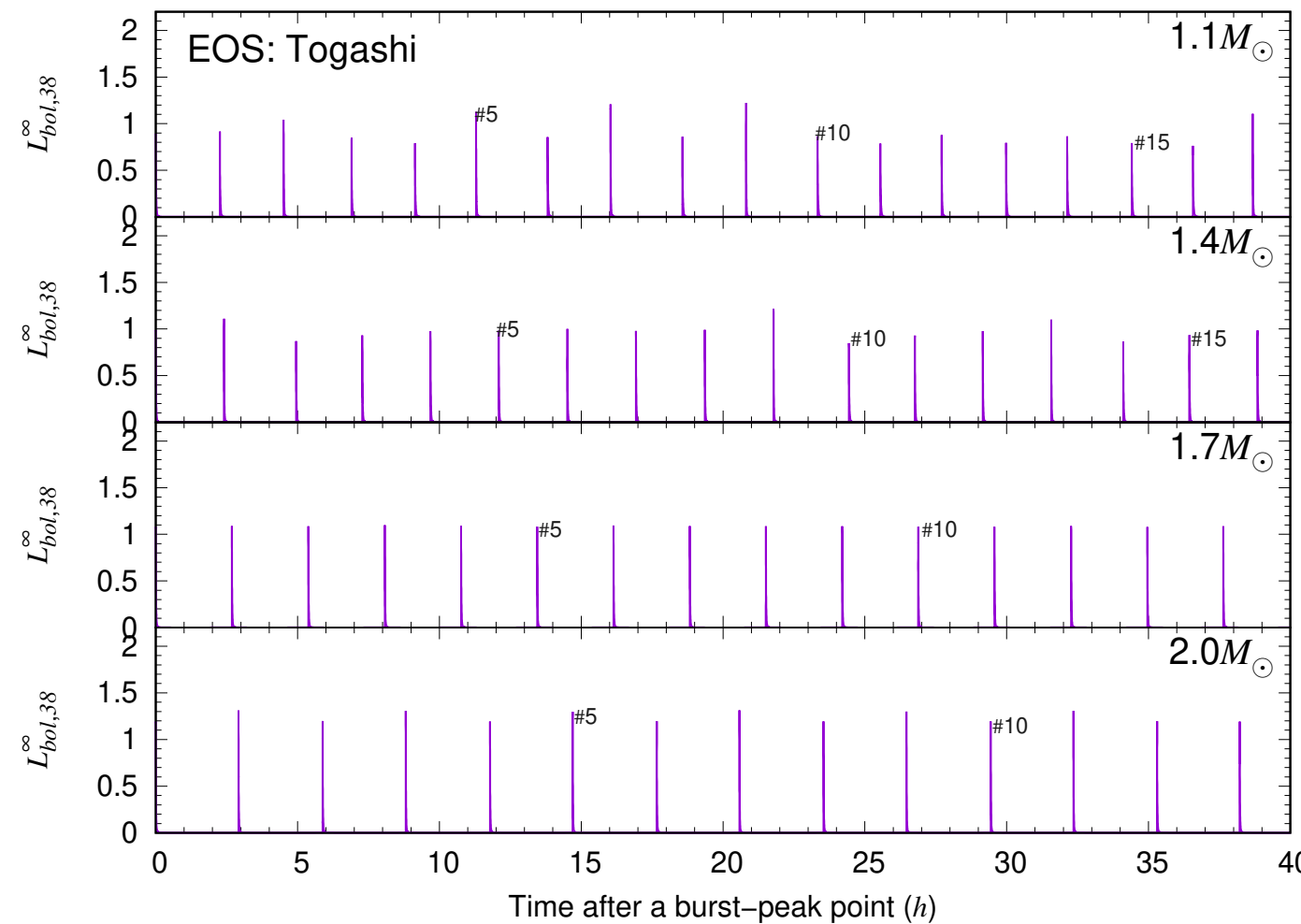


EOS依存性は 基本 g_s の効果



・ 半径大 $\rightarrow \Delta t$ 大 (g_s 大なため)

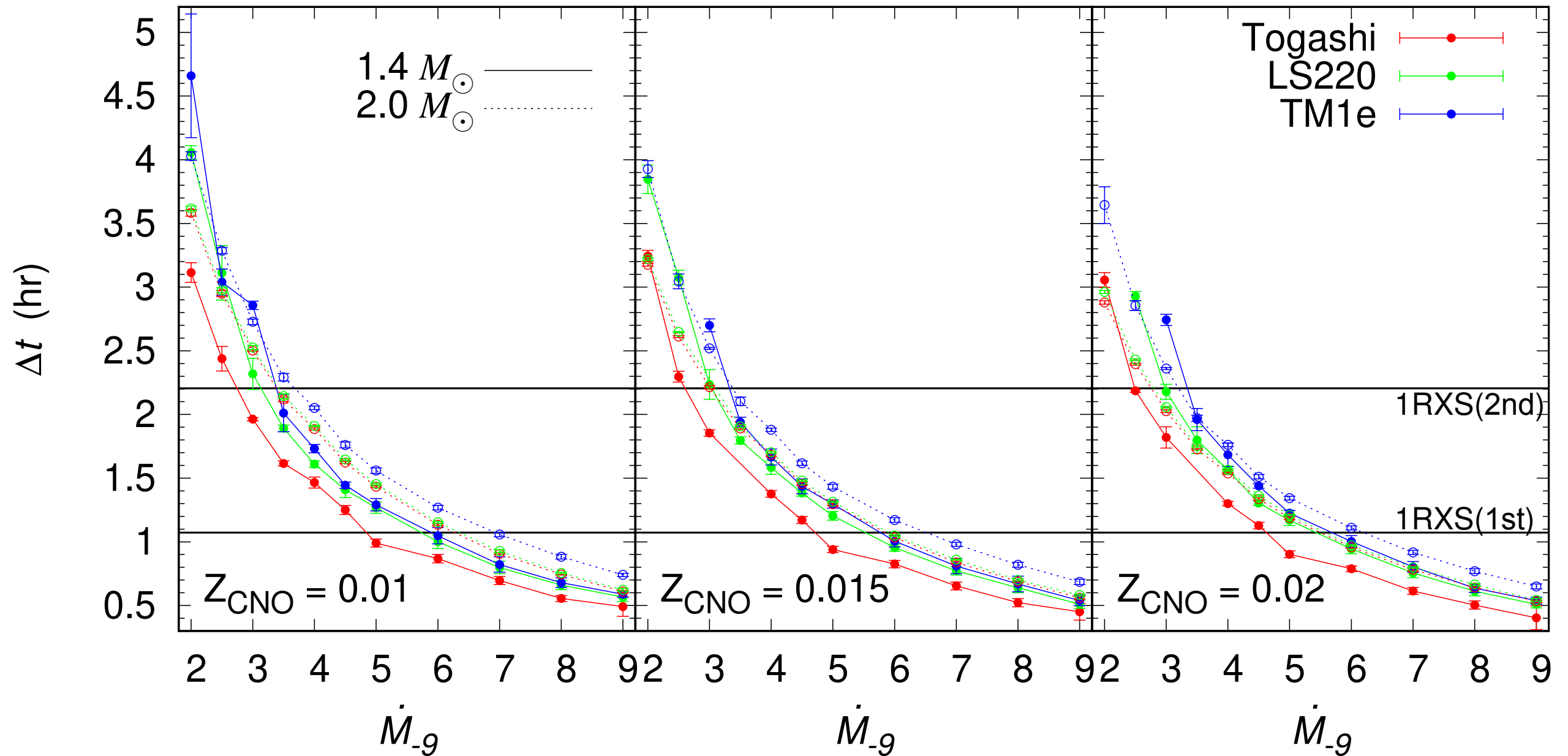
質量依存性は ν 冷却効果



・ 質量大 $\rightarrow \Delta t$ 大 (P_{ign} 大なため)

$\dot{M} - \Delta t$ 関係

Dohi+2024, ApJ 960, 14



- 経験的に、 $\Delta t \propto \dot{M}_{-9}^{-\eta}$, $\eta \sim 1$ になる ($\eta = 1$ だと、 $\dot{M}\Delta t$ なる constantな燃料が存在)。 η は、fittingで求められる。

η のパラメータ依存性

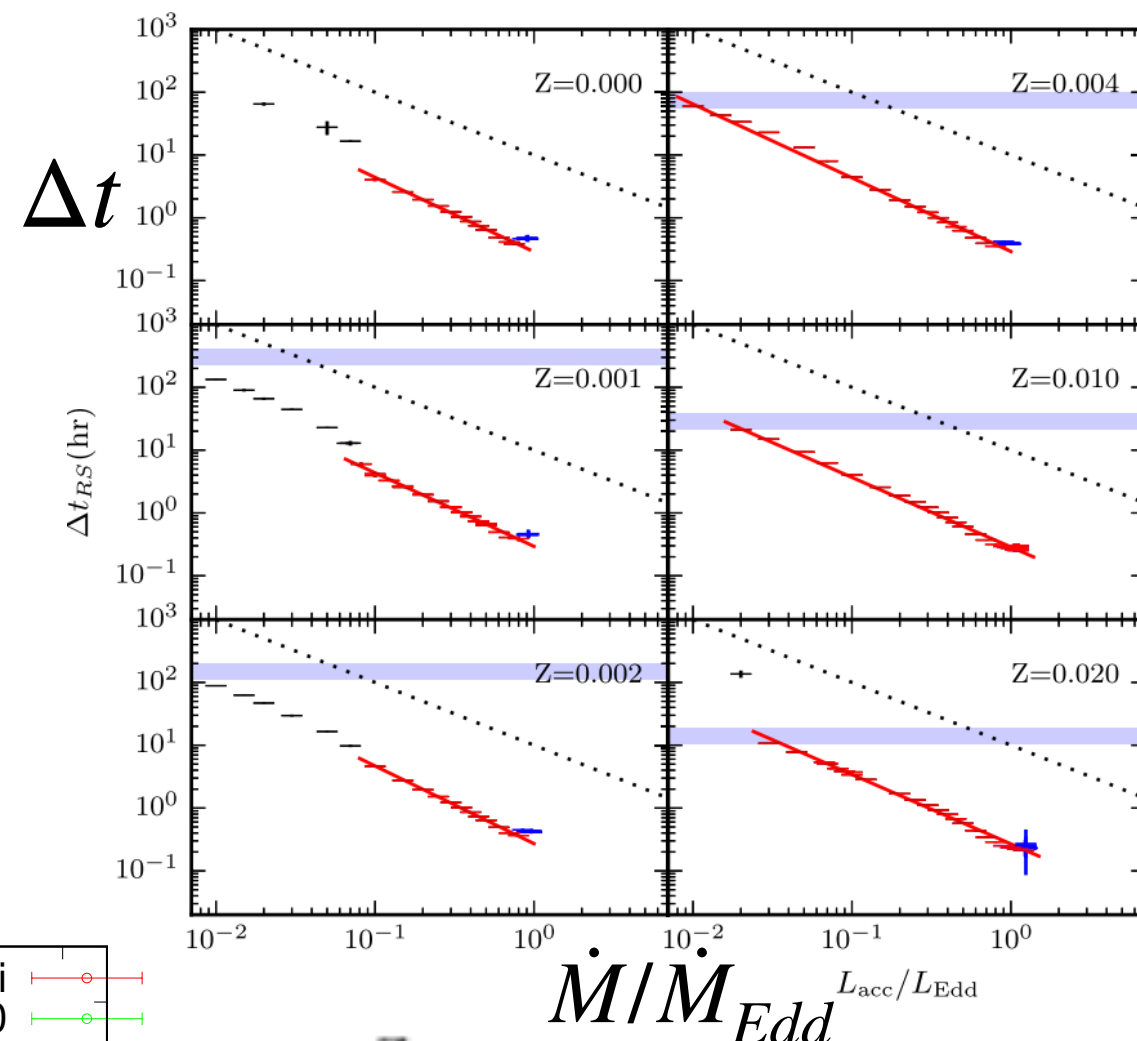
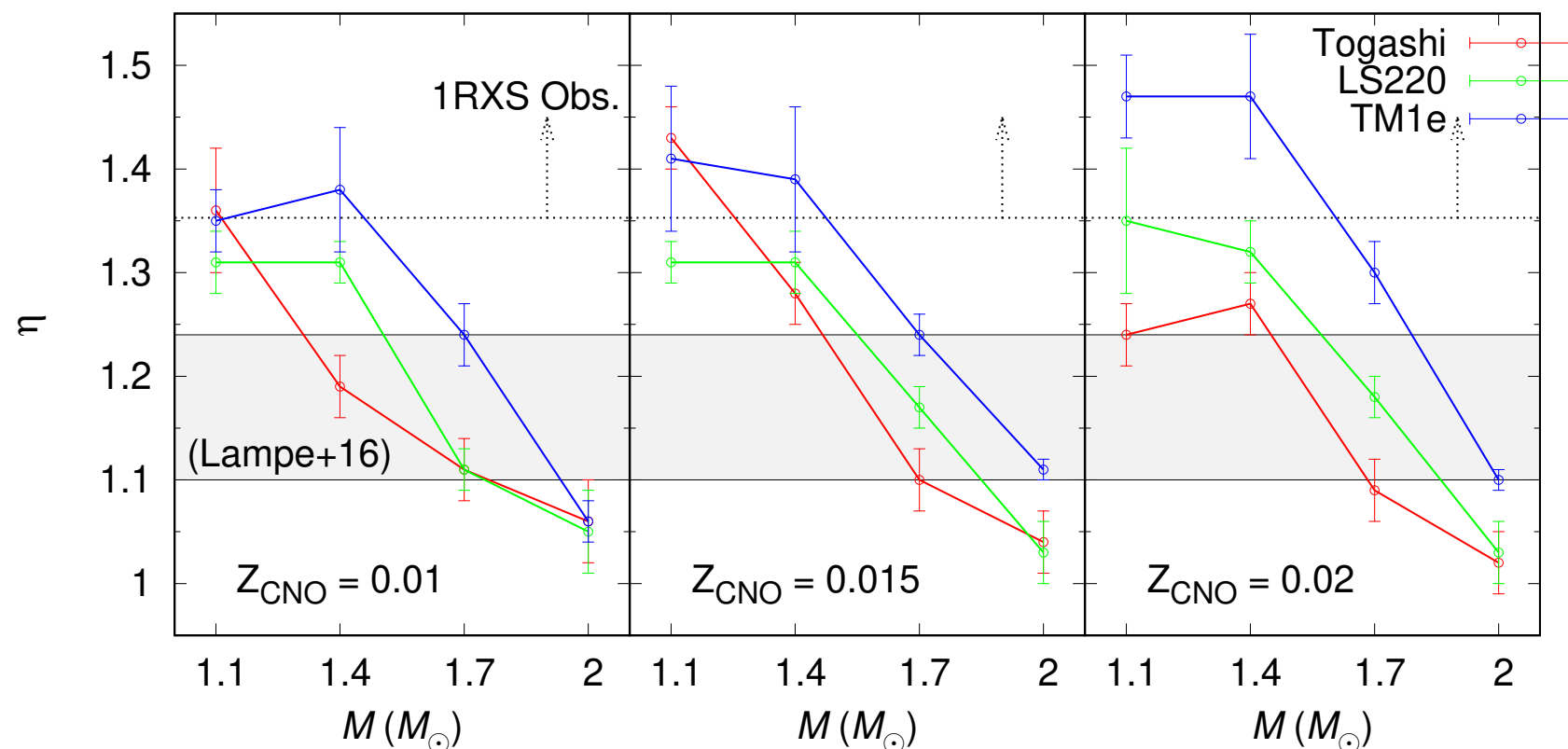
- Lampe+2016:

Z_{CNO} によらず $\eta = 1.1 \sim 1.24$

$M_{\text{NS}} = 1.4M_{\odot}$, $R_{\text{NS}} = 11.2$ kmで固定。

- Dohi+2024, ApJ 960, 14:

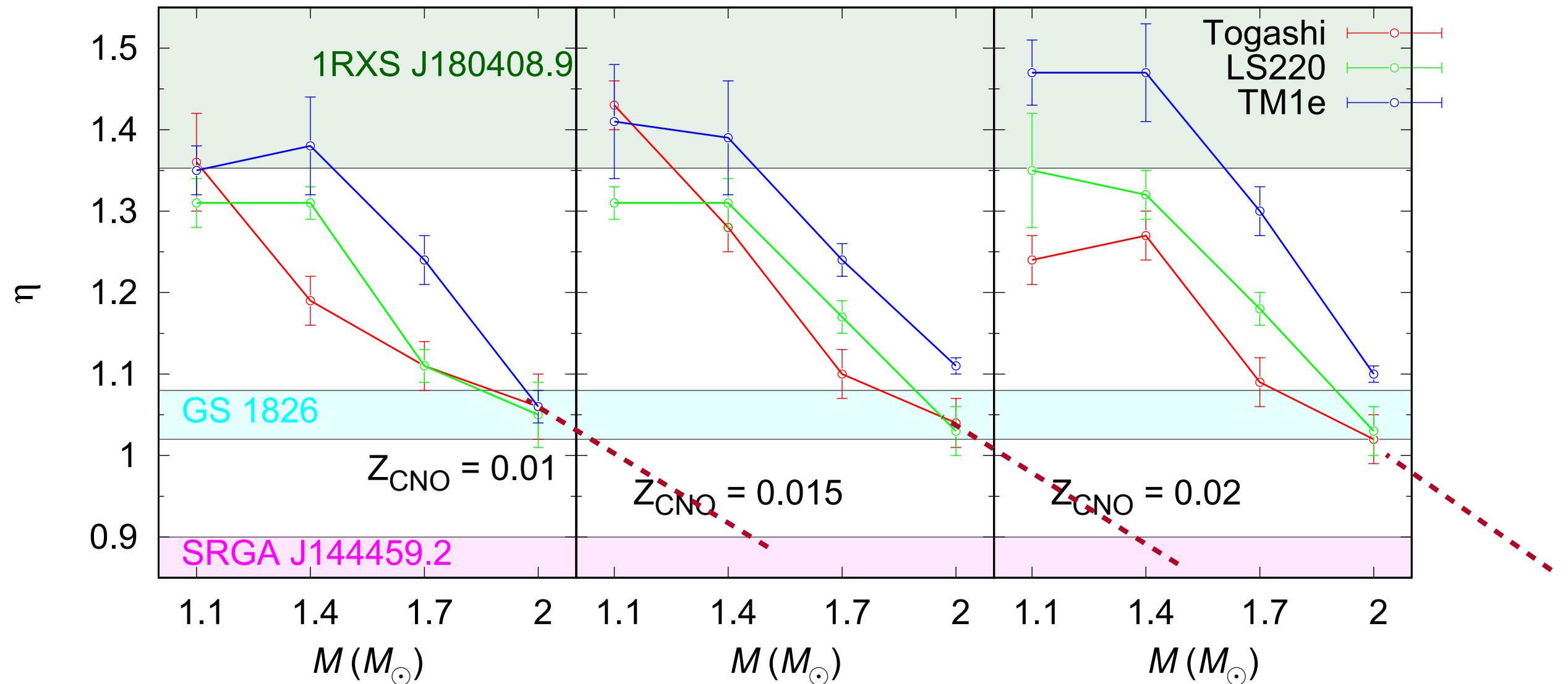
$(M_{\text{NS}}, R_{\text{NS}})$ を変えると η が大きく変化



Z	η
0.000	1.19 ± 0.03
0.001	1.17 ± 0.02
0.002	1.237 ± 0.014
0.004	1.17 ± 0.02
0.010	1.109 ± 0.006
0.020	1.106 ± 0.016
0.040	1.16 ± 0.02
0.100	1.18 ± 0.02
0.200	1.16 ± 0.02

Massive SRGA J1444 ?!

(武田トーク)



- SRGA J1444 is not reproduced by our current models, but allowing extrapolation, SRGA J1444 must be massive with $M_{\text{NS}} > 2 M_\odot$ (our future work for confirmation)

まとめ

まとめ

- NinjaSatで観測されたSRGA J144459のモデリングを行った。従来のクロックバースターと比べて継続時間が約半分で、rp過程は弱いと思われる。
- 組成：X/Y~1.5 → 伴星が大きく削られて進化したことを示唆。
- η はコンパクトなほど下がる。これから、SRGA J144459が $2M_{\odot}$ を超える中性子星であることを示唆している。