

LB-1 like binary formation rate

衣川

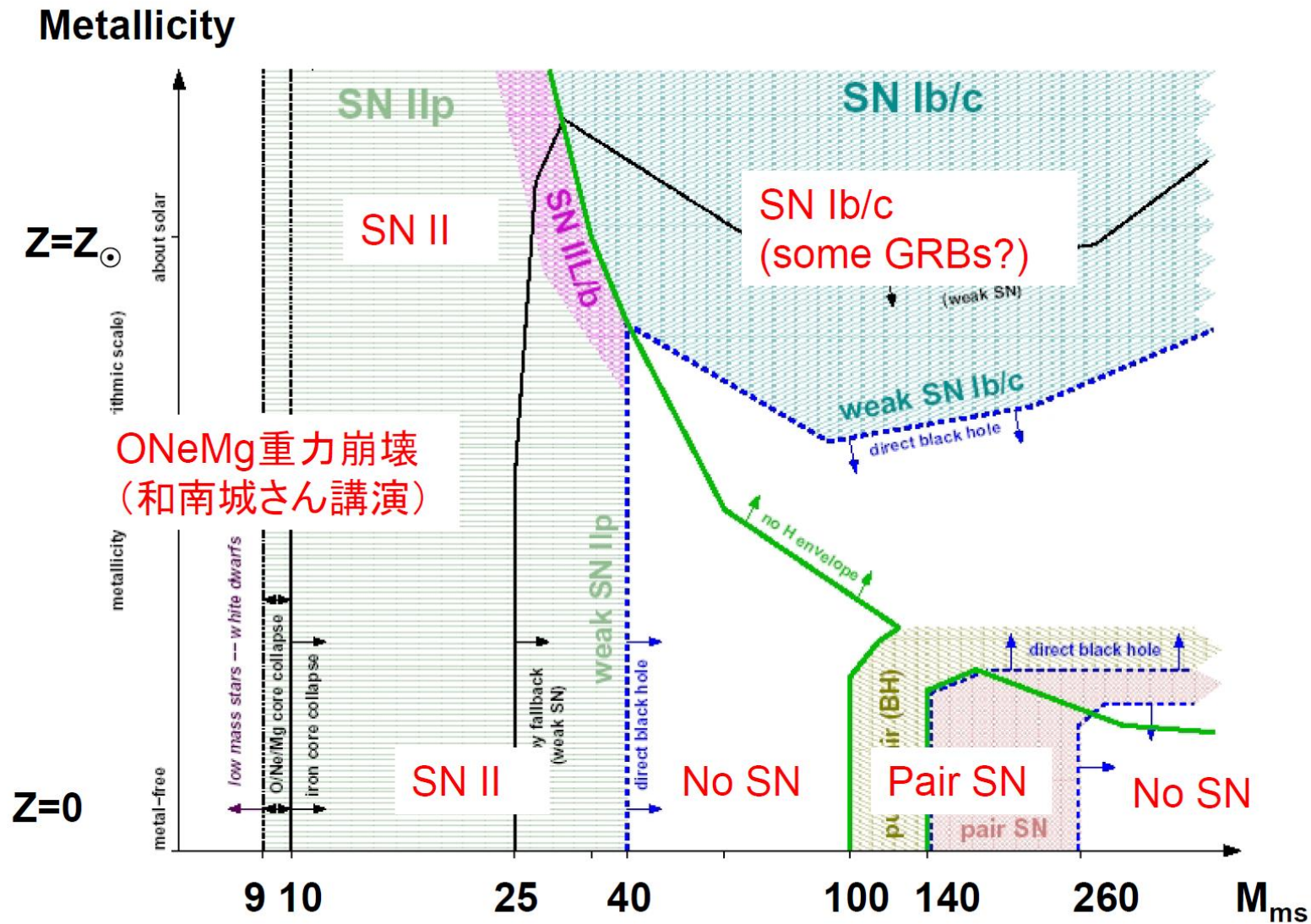
共同研究者：谷川、熊本、藤井



LB-1

- B-type star と70MsunのBHからなる連星系とNatureで報告される
- $e \sim 0.03$, $Z \sim Z_{\text{sun}}$ (Liu et al.2019)
- Pair instability supernovaを考えると ~ 50 -120MsunくらいのBHは通常はできない
- そもそも $Z = Z_{\text{sun}}$ の星では崩壊前に星風でやせ細り、重いBHになれない。

End products of single stars (w/o rotation)



- COcore mass
- 40-60 M_{sun} PPISN
- 60-120 M_{sun} PISN

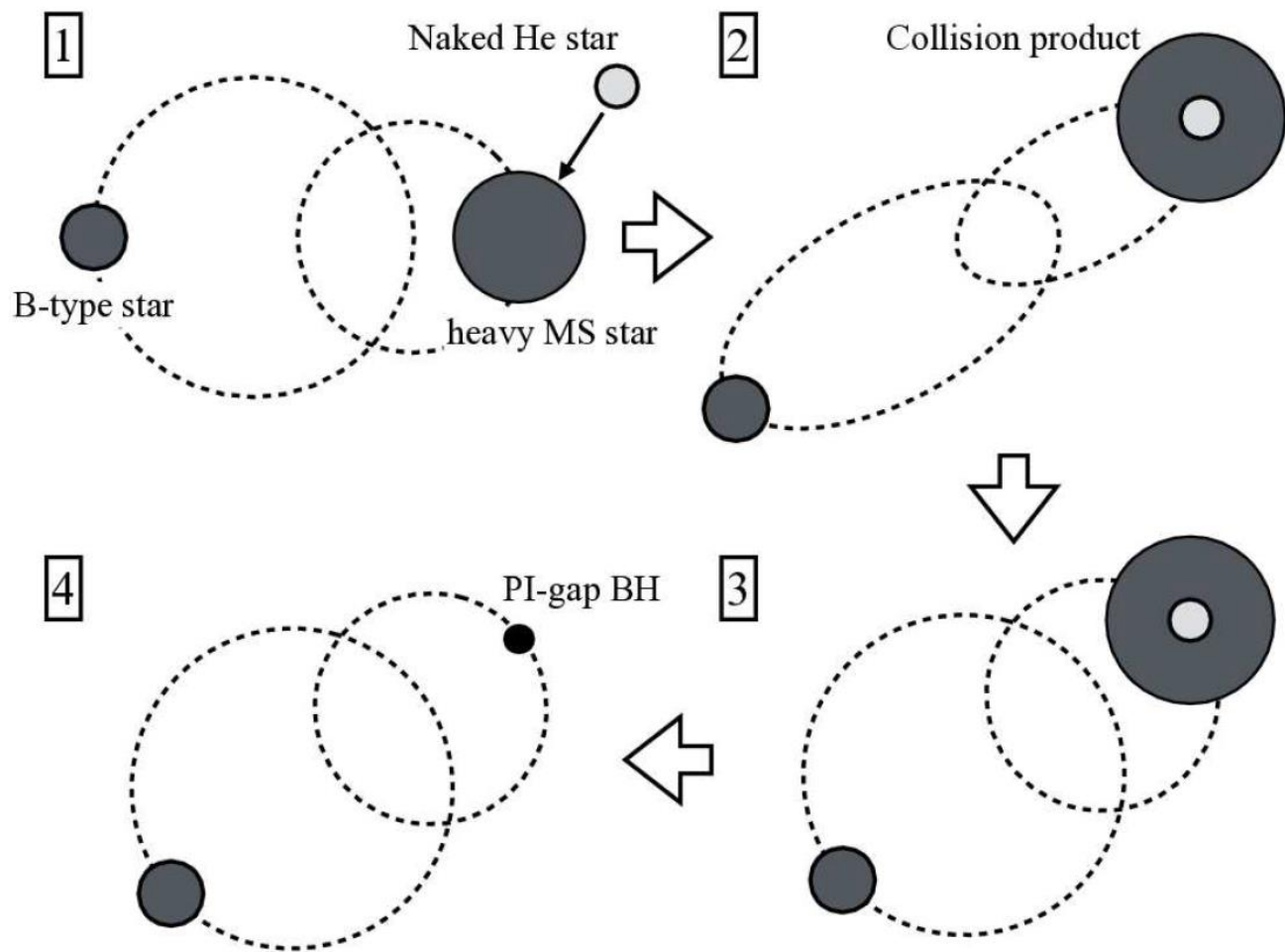
Heger & Woosley 2002 (similar results by other researchers, e.g., Umeda-san)

LB-1

- 報告後、反論多数
- Abdul-Masih et al. 2019: BHからの寄与と思っている成分はB型星の吸収線などの重ね合わせで説明できる。
- El-Badry & Quataert 2020: B型星のテンプレートスペクトルをLB-1のKeck/HIRESスペクトルから差し引くと、BH質量の根拠としてるRV変動の証拠が消える。BHはせいぜい5-20Msun。
- Irrgang et al.2020: 分光観測の結果を解析すると、そもそもB型星と考えていた星がHe星の可能性が高い。その場合伴星の質量は $>2M_{\text{sun}}$ 。BHとは限らない。
- Safarzadeh et al. 2019: ULXの数と比較して、このようなBH連星が系内にあるのは考えづらい
- などなど

そもそも
LB-1 like な連星は
どうやってできるのか？
最も形成率が
高いプロセスは？

B型星と主系列星の
連星にHe星が衝突



- 散開星団内において軌道長半径 1 AU、B型星 8 Msun+主系列 50Msunの連星とHe星20Msunの合体を考える。
- Pl-gap BHの母天体となる連星の形成率
- 形成したとしてTidalで円軌道化が可能か？
- 巨星になってB型星を飲み込まないか？
- ほかの形成プロセスではどうか？

LB-1 like progenitor rate

open cluster

$$\dot{N}_{LB-1,p} = \dot{N}_{PIgap} \frac{\Gamma_{nHe}}{\Gamma_{HeG} + \Gamma_{nHe}}$$

← B型星と連星をくちいる確率

↑
PIgap BHになる
星の生成率

↑
Giant (He燃焼) or naked He星

50 - 120 M_{\odot} He (Giant) CMZ と MS の合体率

$$\rho_{oc} = 10^4 M_{\odot} \text{pc}^{-3}$$

$$\dot{N}_{PIgap}$$

$$= \frac{f_{PIgap}}{f_{oc}} \dot{M}_{mw}$$

↑
OCの割合に
PIgap Prog. になる
割合

↑
OCの星の割合
BH = なる星の割合 [M_{\odot}]

← mWASAR [M_{\odot}/yr]

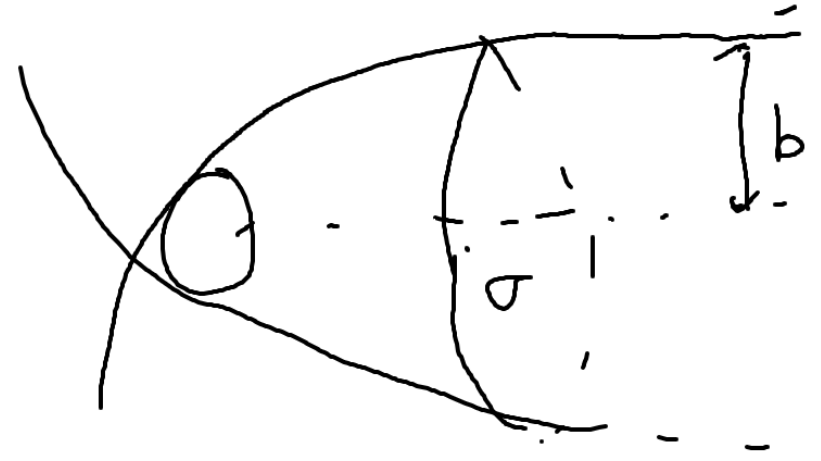
$$\dot{N}_{p \text{ Igap}} \approx 2 \times 10^{-6} \left(\frac{f_{pe}}{0.002} \right) \left(\frac{\eta}{0.003 M_{\odot}^{-1}} \right) \left(\frac{f_{oc}}{0.2} \right) \left(\frac{\dot{M}}{2 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}} \right) [\text{yr}^{-1}]$$

• P 星1が星2にぶつかる率

$$P = N_1 N_2 \sigma_{12} v_{12}$$

\uparrow 数 \uparrow 密度 \uparrow 断面積 \leftarrow 相対速度 $= v_{esc}^2$

$$\sigma_{12} = \pi \frac{(R_1 + R_2)^2}{R_{12}} \left(1 + \frac{2GM_{total}}{R_{12} v_{12}^2} \right)$$



$v_{esc} \gg v_{12}$
 \downarrow
 $10^2 - 10^3 \text{ km/s}$
 \leftarrow ぶつかる速度分散 1 km/s

$$\sim 2\pi R_{12} G M v_{12}^{-2}$$

$$\frac{\Gamma_{\text{He}}}{\Gamma_{\text{G}}} = \frac{N_{1,\text{He}} \cancel{N_{\text{ms}}} M_{12,\text{He}} R_{12,\text{He}} \cancel{V_{\text{He}}^{-1}}}{N_{1,\text{G}} \cancel{N_{\text{ms}}} M_{12,\text{G}} R_{12,\text{G}} \cancel{V_{\text{G}}^{-1}}} = \frac{N_{1,\text{He}} M_{12,\text{He}} R_{12,\text{He}}}{N_{1,\text{G}} M_{12,\text{G}} R_{12,\text{G}}}$$

$$\sim 10^{-2} \left(\frac{N_{1,\text{He}}/N_{1,\text{G}}}{2} \right) \left(\frac{M_{12,\text{He}}/M_{12,\text{G}}}{0.7} \right) \left(\frac{R_{12,\text{He}}/R_{12,\text{G}}}{0.01} \right)$$

DiCarle et al. 2019 v12 $\frac{\Gamma_{\text{He}}}{\Gamma_{\text{G}}} \sim 0.1$

P_b

R_{\pm}^{HII} 伴星 伝わり割合
 $2M_{\odot} - 20M_{\odot}$

$$0 < q < 1$$

$$f(q) = \text{const.}$$

$$\frac{2}{50} < q < \frac{1}{2}$$

$$\sim 10R_{\odot} - 10^0 R_{\odot}$$

$$f(q) \propto \frac{1}{a}$$

$$0.3 - 3 \text{ AU}$$

$$\rightarrow P_b \sim 0.1$$

$$\dot{N}_{LB-1.P} \sim 3 \times 10^{-8} \text{ /yr}$$

・ 円軌道化するか?

・ 半径広がり係数のみで済むか?

Tidal circularization: radiative damping

$$\tau_c = \frac{1}{21} \left(\frac{GM}{R_*^2} \right)^{-\frac{1}{2}} \frac{M_*}{M_B} \left(1 + \frac{M_B}{M_*} \right)^{-\frac{11}{6}} E_2^{-1} \left(\frac{R}{a} \right)^{-\frac{21}{2}}$$

$$E_2 = 1.562 \times 10^{-9} M_*^{2.84} \quad M_* = 70 M_\odot \quad M_B = 8 \quad a = 1 \text{ AU}$$

$$\tau_c \sim 5 \times 10^4 \text{ yr} \left(\frac{R}{100 R_\odot} \right)^{-9}$$

$\tau_{He} \sim 0.2 \text{ Myr} \gg \tau_c$ 円軌道化可能

のみ: $f_{\text{exp}}^{\text{No}}$ かな?

KH time scale $\tau_{\text{KH}} = \frac{GM^2}{RL}$

$$\tau_{\text{KH}} \sim 2 \times 10^5 \text{ yr} \left(\frac{M_{\star}}{70 M_{\odot}} \right)^2 \left(\frac{R_i}{10 R_{\odot}} \right)^{-1} \left(\frac{L_{\star}}{10^5 L_{\odot}} \right)^{-1} \frac{1}{2} M (V_{\text{esc}})^2$$

$\tau_{\text{HHe}} \sim \tau_{\text{KH}}$ (if $\tau_{\text{KH}} < \tau_{\text{HHe}}$)

$\tau_{\text{HHe}} = f_{\text{exp}}^{\text{No}} \tau_{\text{HHe}}$

$\frac{1}{2} M (V_{\text{esc}})^2$
 \downarrow
 $\frac{GM}{R}$
 $\frac{M}{R}$

$f_{\text{exp}}^{\text{No}} \sim 0.1$

$\tau_{\text{c}} < \tau_{\text{HHe}} < \tau_{\text{KH}}$

$$N_{\text{LB-1}} = N_{\text{LB-1.P}} \times f_{\text{exp}}^{\text{No}} \times T_{\text{B}} = \begin{cases} 0.01 & \left(\frac{T_{\text{B}}}{40 \text{ Myr}} \right) [M_{\text{B}} > 8 M_{\odot}] \\ 0.3 & \left(\frac{T_{\text{B}}}{1 \text{ Gyr}} \right) [M_{\text{B}} \sim 2 M_{\odot}] \end{cases}$$

他の可能性

・ 星団の合併 or GWで合併した Pop III or Pop II

星団の Capture

$$\tau_c \sim 10^{13-14} \text{ yr}$$

$$f(e) \ll e$$

L B-1. \rightarrow ULX.