

# 連星ブラックホールGW190521は 初代星起源か？

連星系・変光星研究会 2020

発表者：谷川衝<sup>1</sup>

共同研究者：須佐元<sup>2</sup>, 吉田敬<sup>1</sup>, Alessandro A. Trani<sup>1</sup>, 衣川智弥<sup>1</sup>, 聖川昂太郎<sup>1</sup>, 高橋亘<sup>3</sup>, 梅田秀之<sup>1</sup>

<sup>1</sup>東京大学, <sup>2</sup>甲南大学, <sup>3</sup>マックスプランク研究所

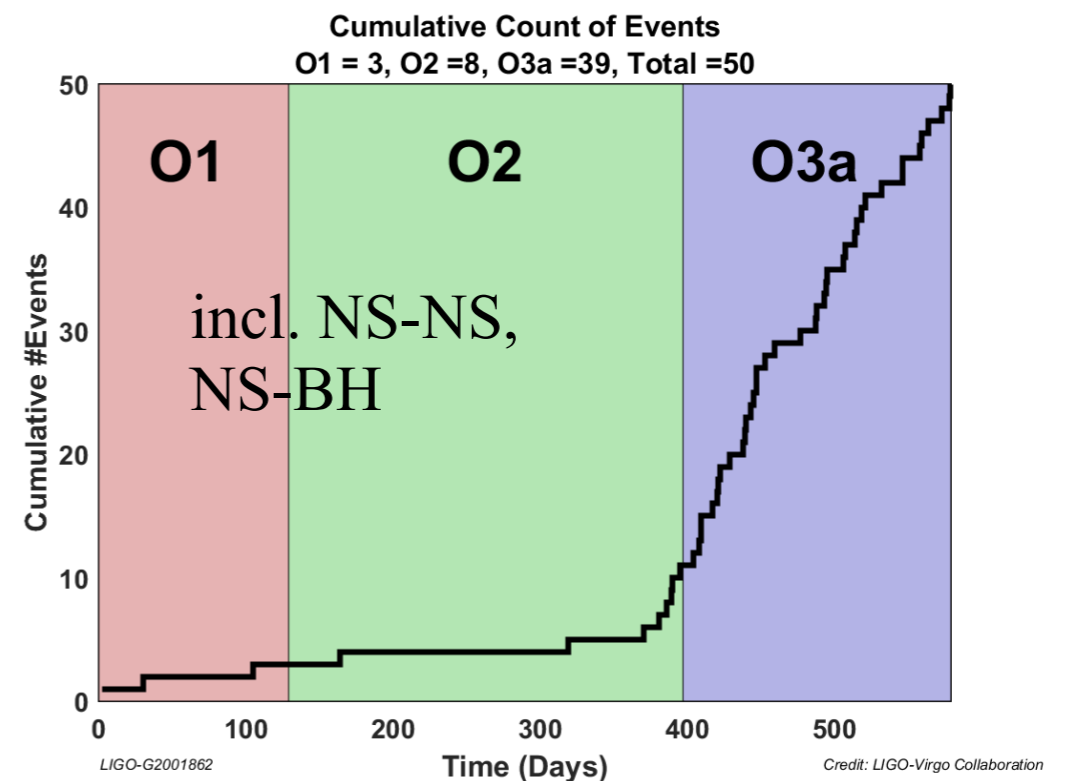
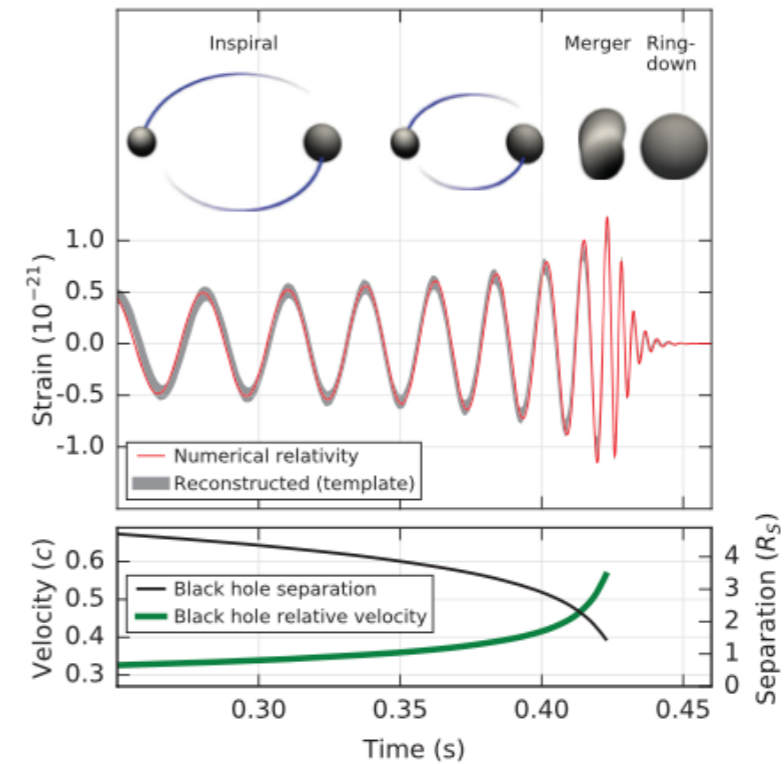
• Tanikawa et al. (2020c, arXiv:2010.07616)

# 概要

- 連星ブラックホール(BH-BH), 特にGW190521
- 劣勢の孤立連星説
- 初代星連星でGW190521を作れるか？

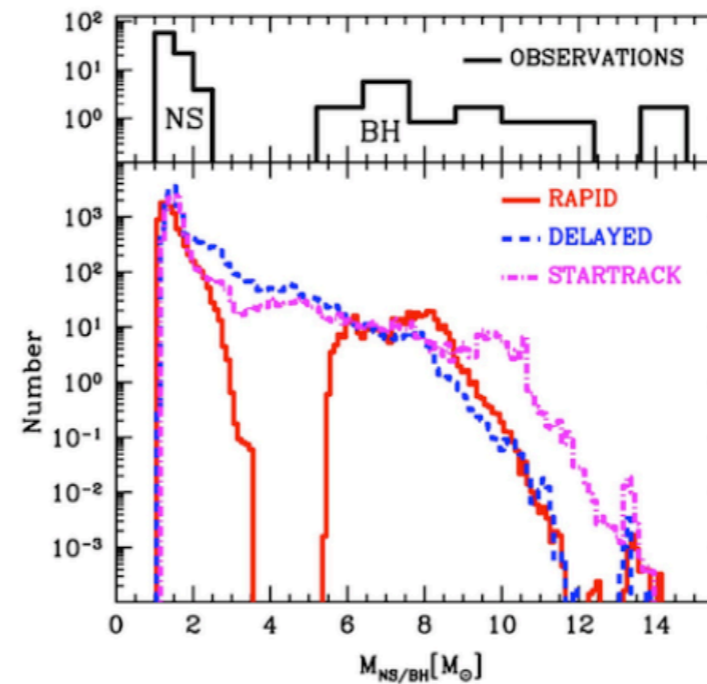
# 重力波とBH-BH

- 2015年にBH-BHを初観測
  - 重力波の初検出
- 2019年秋までに40個以上のBH-BHが観測（公表済）
- 2020年春までの観測でその数はさらに増加（未公表）



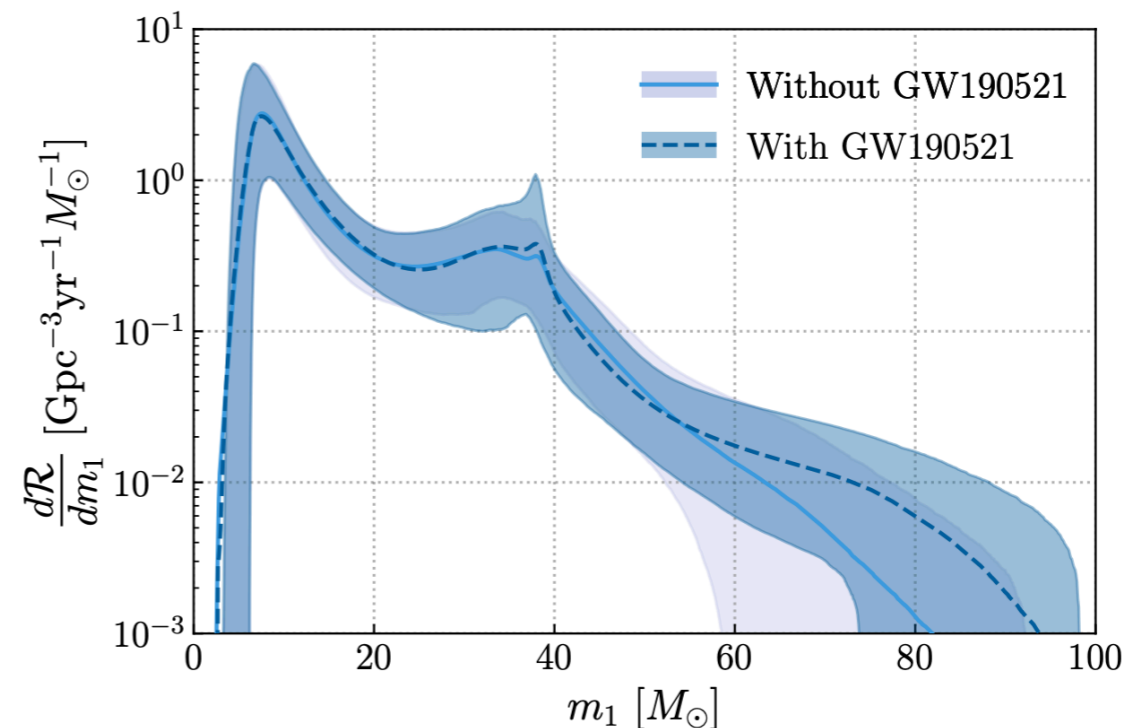
# BH-BHの起源

- X線連星のBH質量:  $5 - 15M_{\odot}$
- BH-BHのBH質量:  $5 - 100M_{\odot}$
- 両者の違いは？
  - 金属量：種族II, 種族III
  - 形成場所：孤立連星, 三連星, 散開星団, 球状星団, 銀河中心
  - 組成：バリオン, ダークマター
  - などなど



X線連星のBHの質量分布  
(Casares et al. 2017)

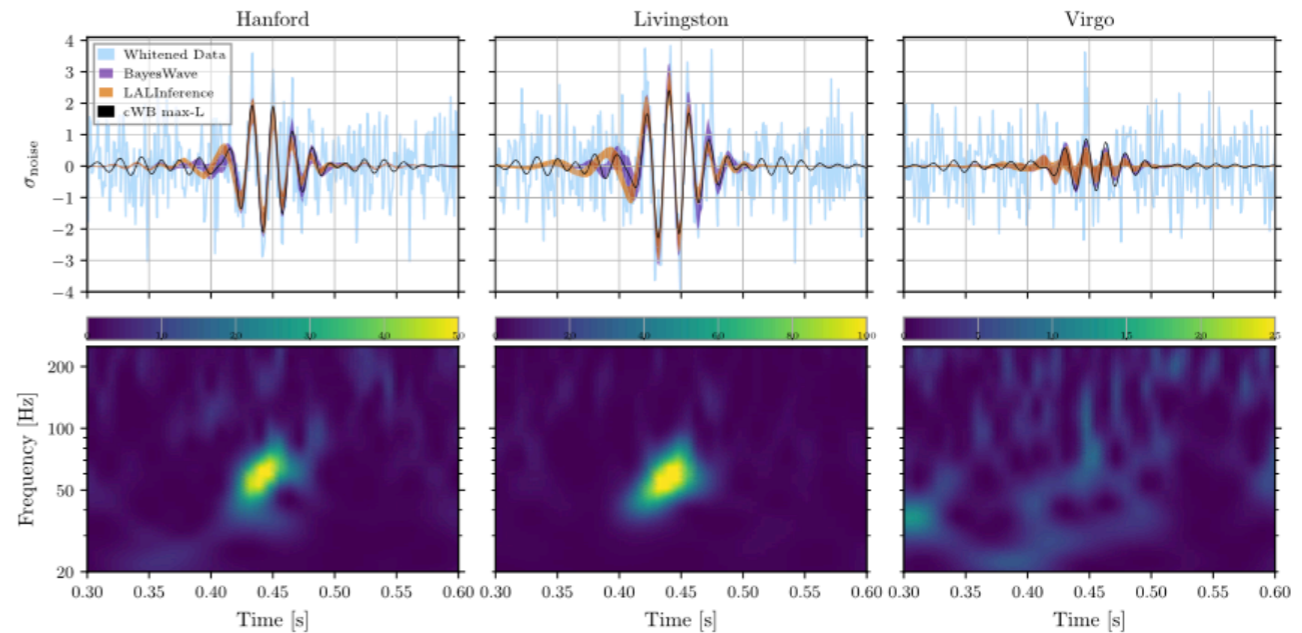
BH-BHの質量分布 (Abbott et al. 2020)



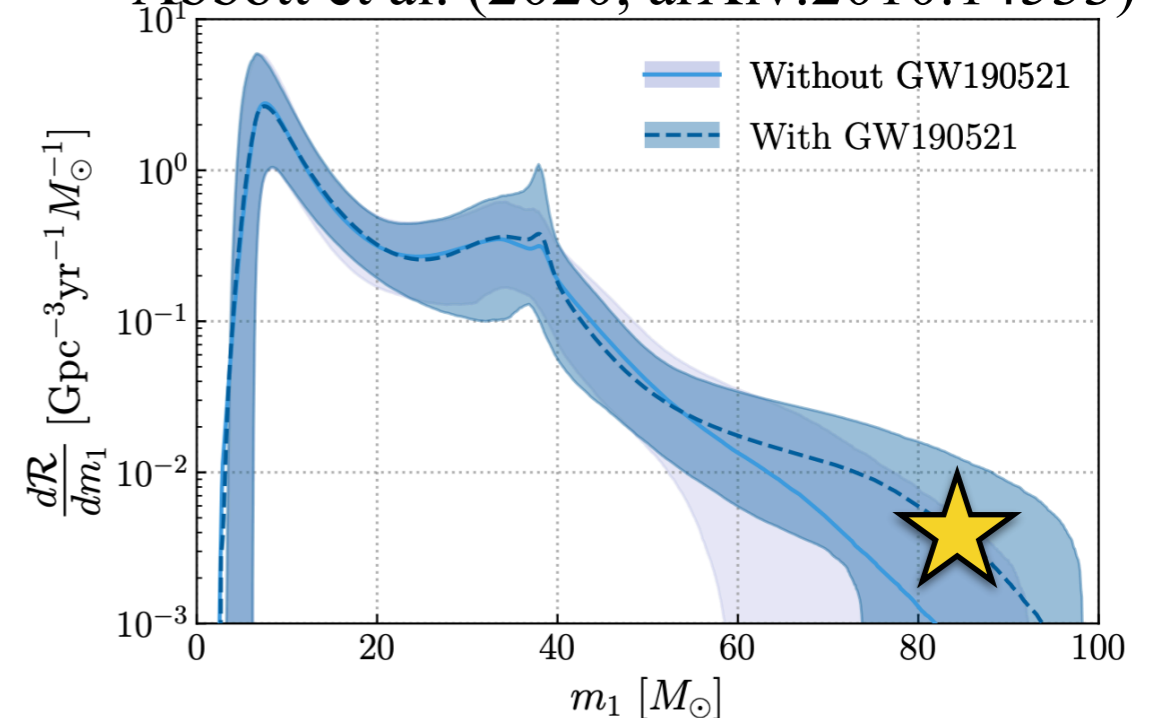
# GW190521

- 過去, 最も重いBHの合体
  - $85_{-14}^{+21} M_{\odot}$  BH と  $66_{-18}^{+17} M_{\odot}$  BH
- 重い方のBHはMass gapと呼ばれる質量の範囲
- 孤立連星で作るのが難しいとされるBH-BH
- 孤立連星説が劣勢に

Abbott et al. (2020, PRL, 125, 101102)



Abbott et al. (2020, arXiv:2010.14533)

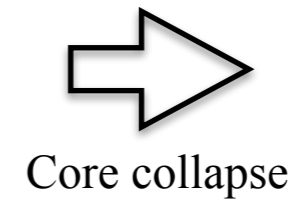
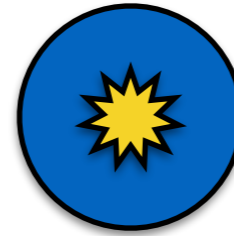


# 孤立連星説が劣勢の理由

- 対生成型超新星による mass gap の形成
- 単星進化による mass gap の緩和
- 連星進化による mass gap の復活

40 – 130 $M_{\odot}$  に BH の存在  
しない範囲 (mass gap)

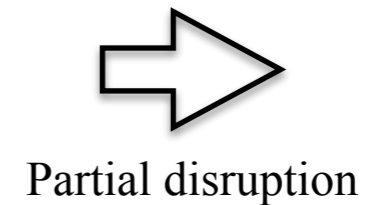
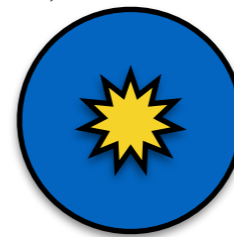
$$M_{c,He}/M_{\odot} \lesssim 40$$



$$M_{bh}/M_{\odot} \lesssim 40$$



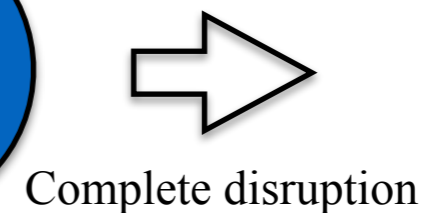
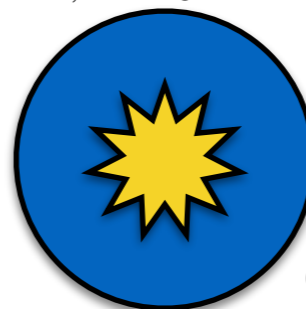
$$40 \lesssim M_{c,He}/M_{\odot} \lesssim 60$$



$$M_{bh}/M_{\odot} \sim 40$$



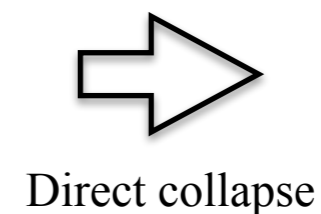
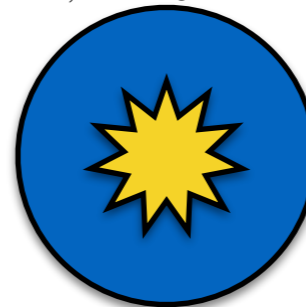
$$60 \lesssim M_{c,He}/M_{\odot} \lesssim 130$$



No remnant



$$M_{c,He}/M_{\odot} \gtrsim 130$$

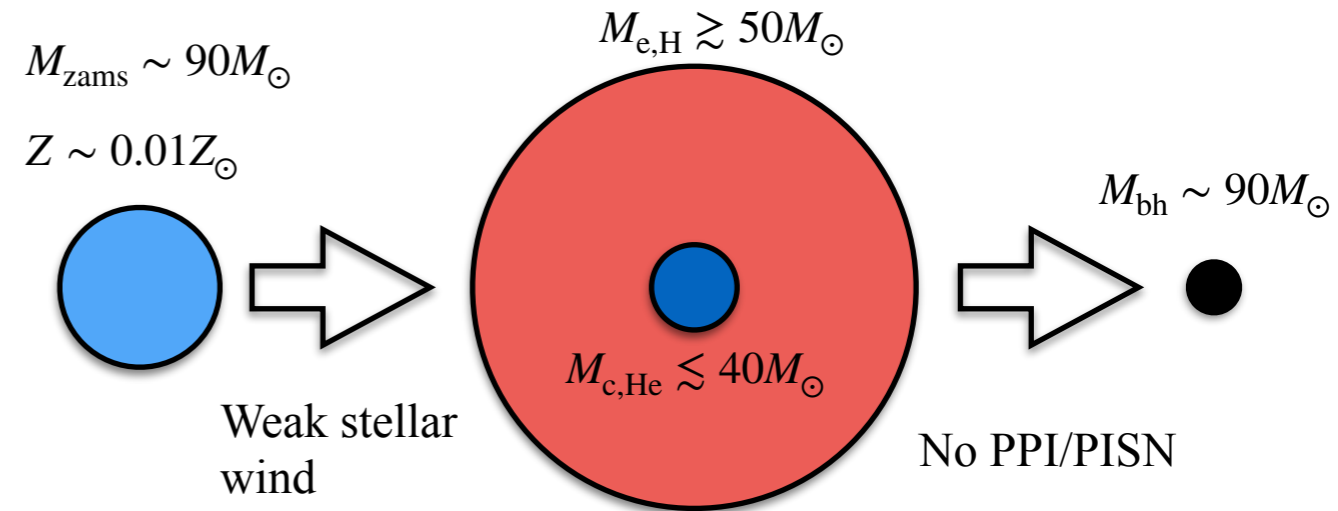


$$M_{bh}/M_{\odot} \gtrsim 130$$

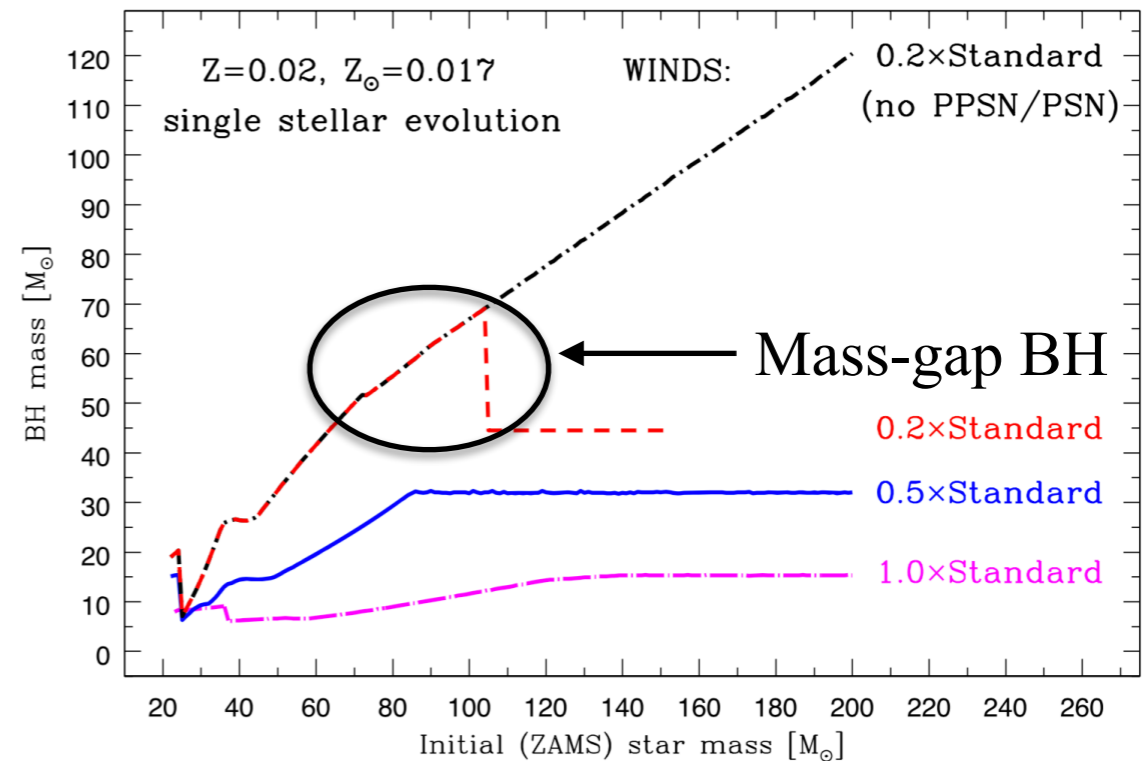


# 孤立連星説が劣勢の理由

- 対生成型超新星による mass gap の形成
- 単星進化による mass gap の緩和
- 連星進化による mass gap の復活



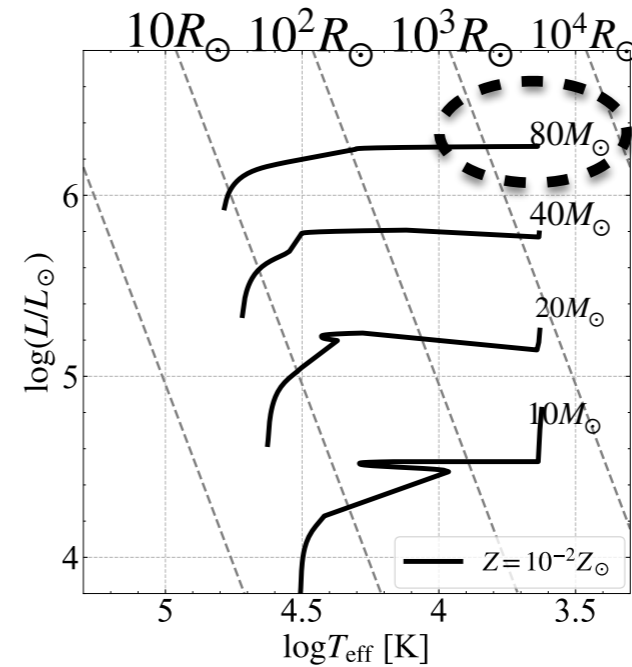
小さいHeコアと大質量のH外層を持った星がmass gapを一部補填



Belczynski et al. (2020)

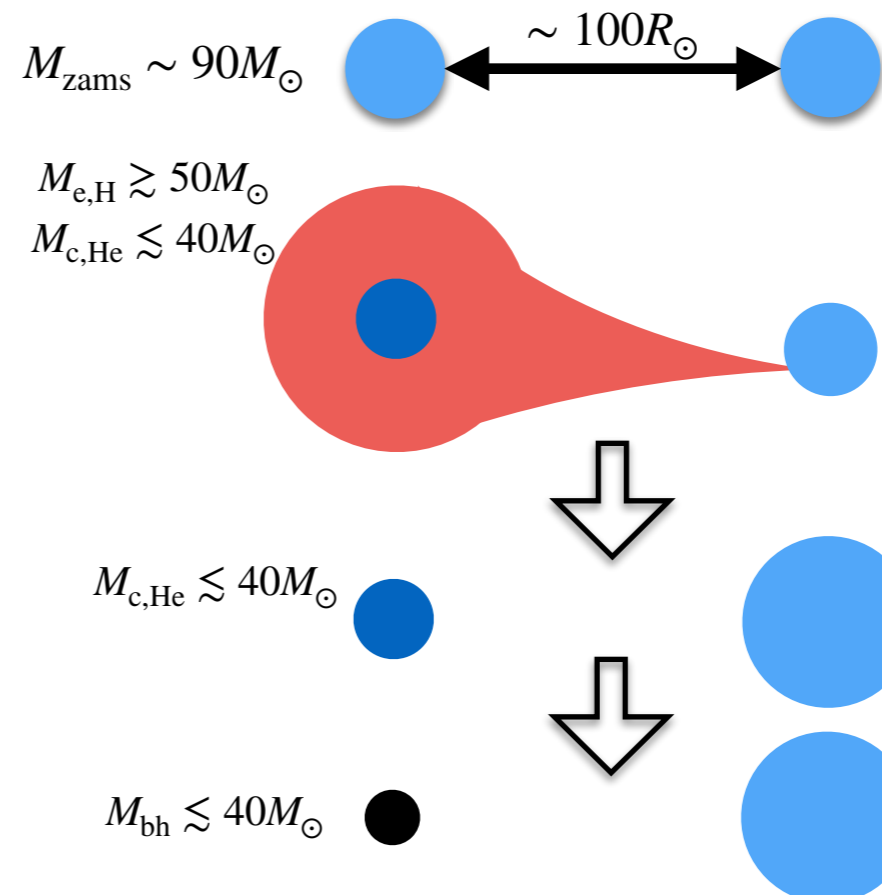
# 孤立連星説が劣勢の理由

- 対生成型超新星による mass gap の形成
- 単星進化による mass gap の緩和
- 連星進化による mass gap の復活



Tanikawa et al. (2020a)

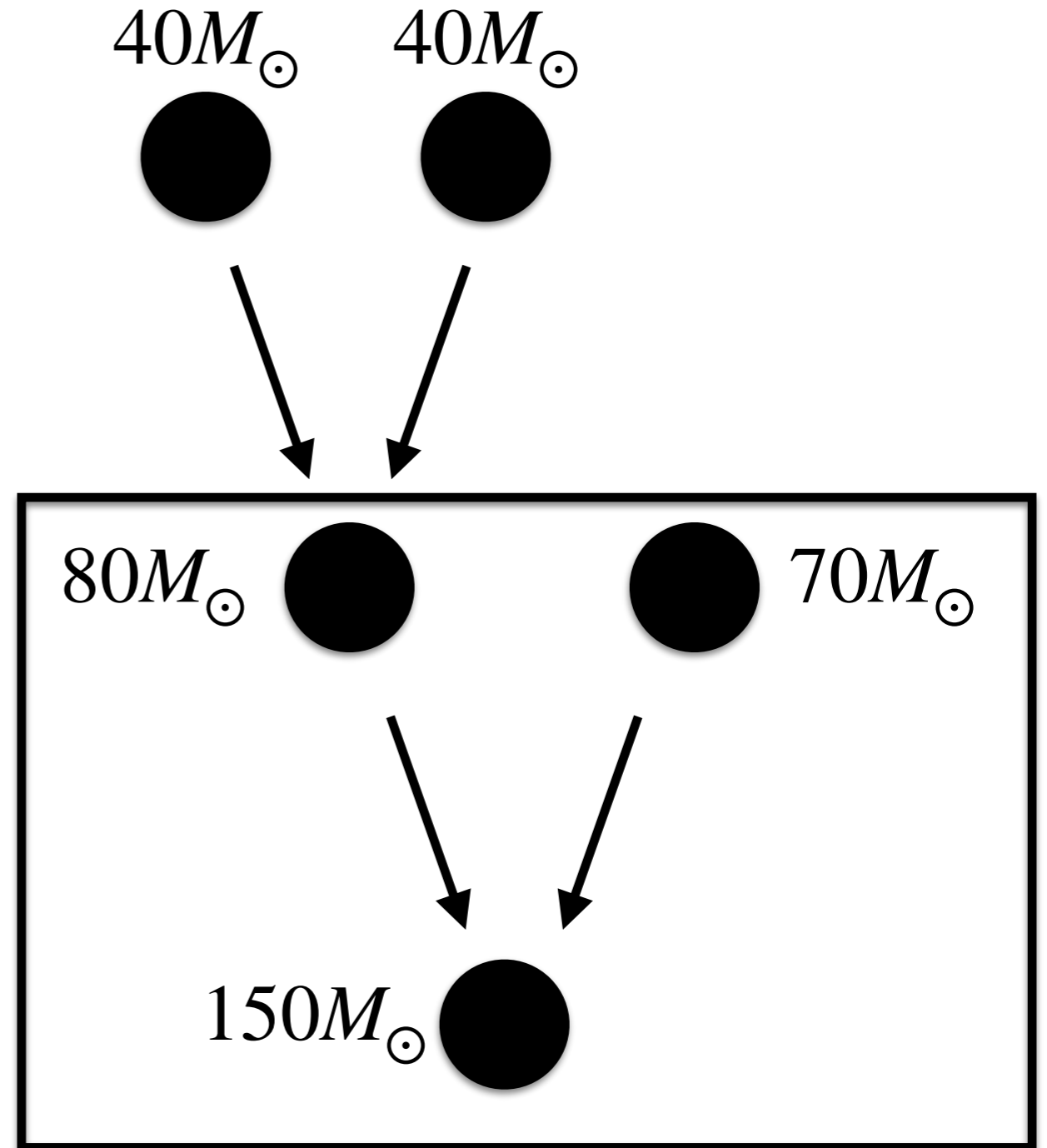
連星進化で必ず大質量のH外層を失うため， mass gapの補填が不可能





# 星団説が優勢に

- 球状星団
- 散開星団
- 銀河中心 (AGNディスク)
- などなど



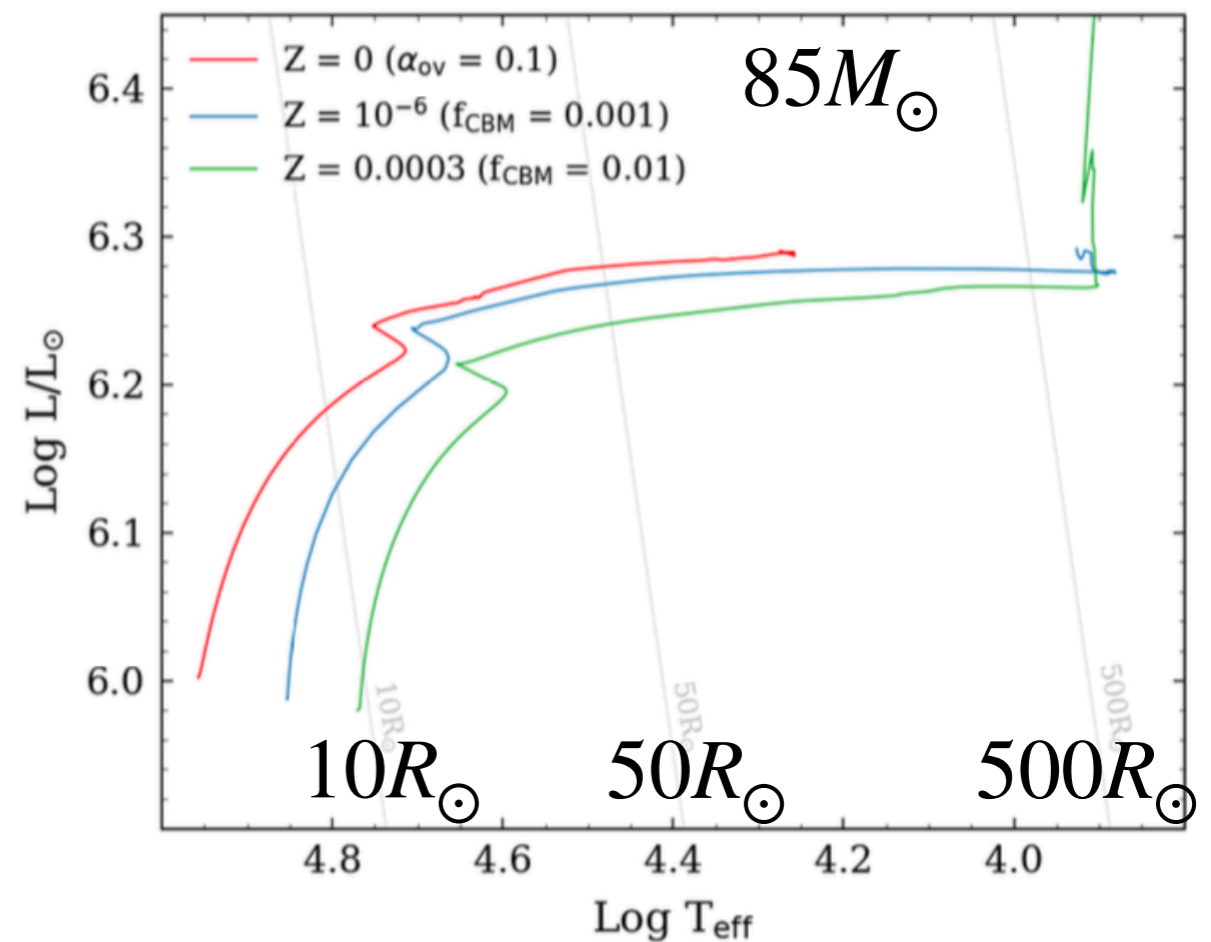
GW190521

# 我々の研究

- 孤立連星説を精査
- 初代星ならどうか？
- その不定性は？

# 初代星連星説の登場

- $85M_{\odot}$  初代星の進化
  - 恒星風による質量損失小
  - 進化中の最大半径  $\sim 160R_{\odot}$
  - 伴星によるH外層の剥ぎ取りを回避
  - Heコア質量  $\lesssim 40M_{\odot}$
  - 対生成型超新星の回避



Farrell et al. (2020)

# 初代星進化モデルの不定性

Yoshida et al. (2019)

- 初代星は未発見
- 近傍星の進化モデルを外装して初代星進化モデルを構築

- 近傍星の進化モデル

**M model**

- 天の川銀河の散開星団中のAB型星を使用 (Ekstrom et al. 2012; Farrell et al. 2020)

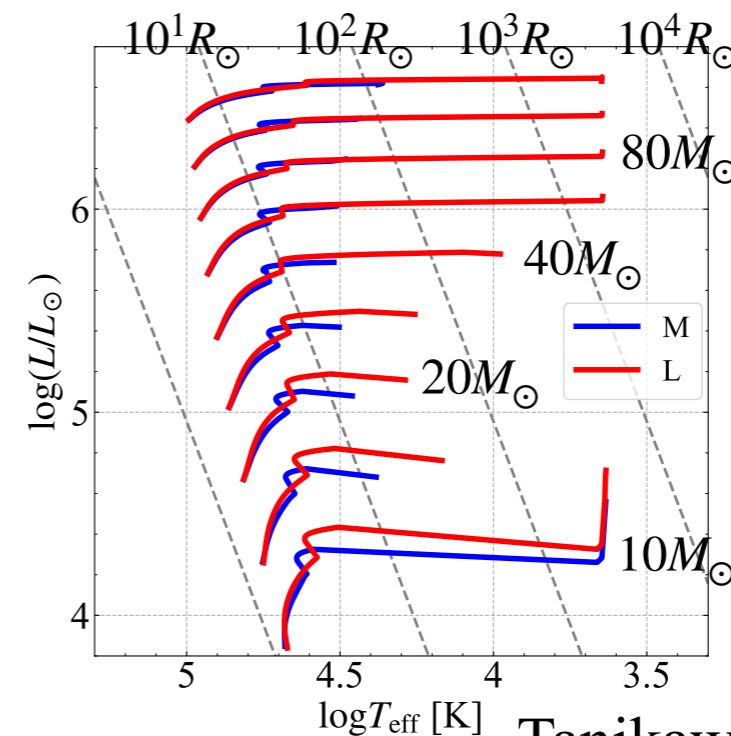
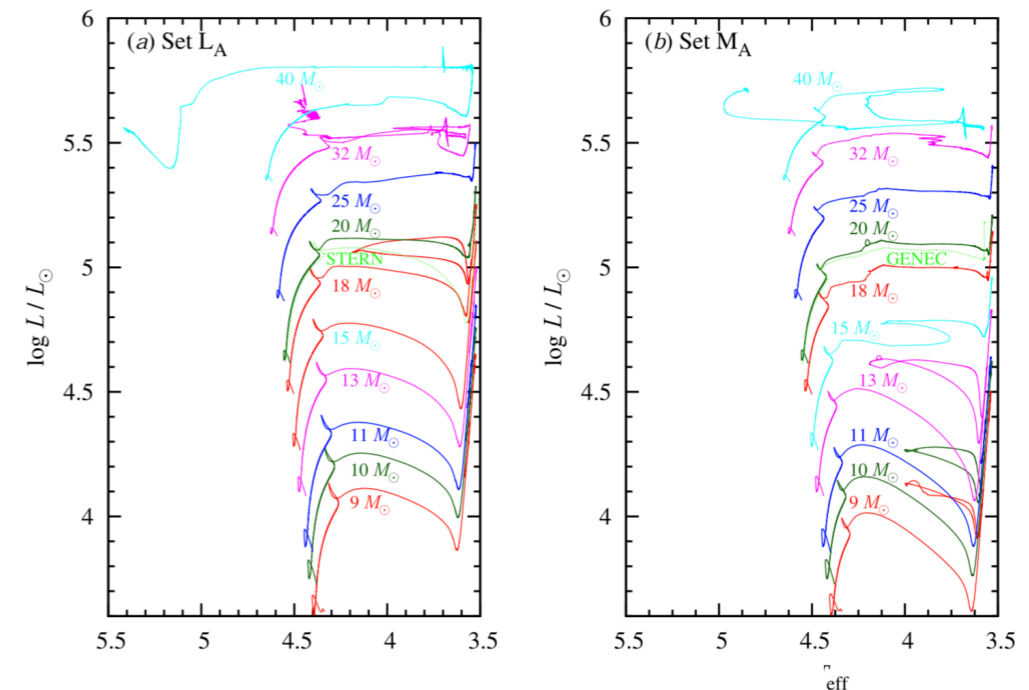
- 大マゼラン雲の早期B型星を使用 (Brott et al. 2011)

**L model**

- $80M_{\odot}$  初代星の最大半径

- M model:  $\sim 40R_{\odot}$  (Farrellと同等)

- L model:  $\sim 3 \times 10^3 R_{\odot}$  (Yoonと同等)



Two Pop. III models

Tanikawa et al. (2020c)

# 対流オーバーシュート

- オーバーシュートパラメータ:

$$f_{ov} \sim 0.02 \text{ (Kippenhahn et al. 1990; 2012)}$$

- $D(z) = D_0 \exp \frac{-2z}{f_{ov} H_P}$

- M model:  $f_{ov} = 0.01$

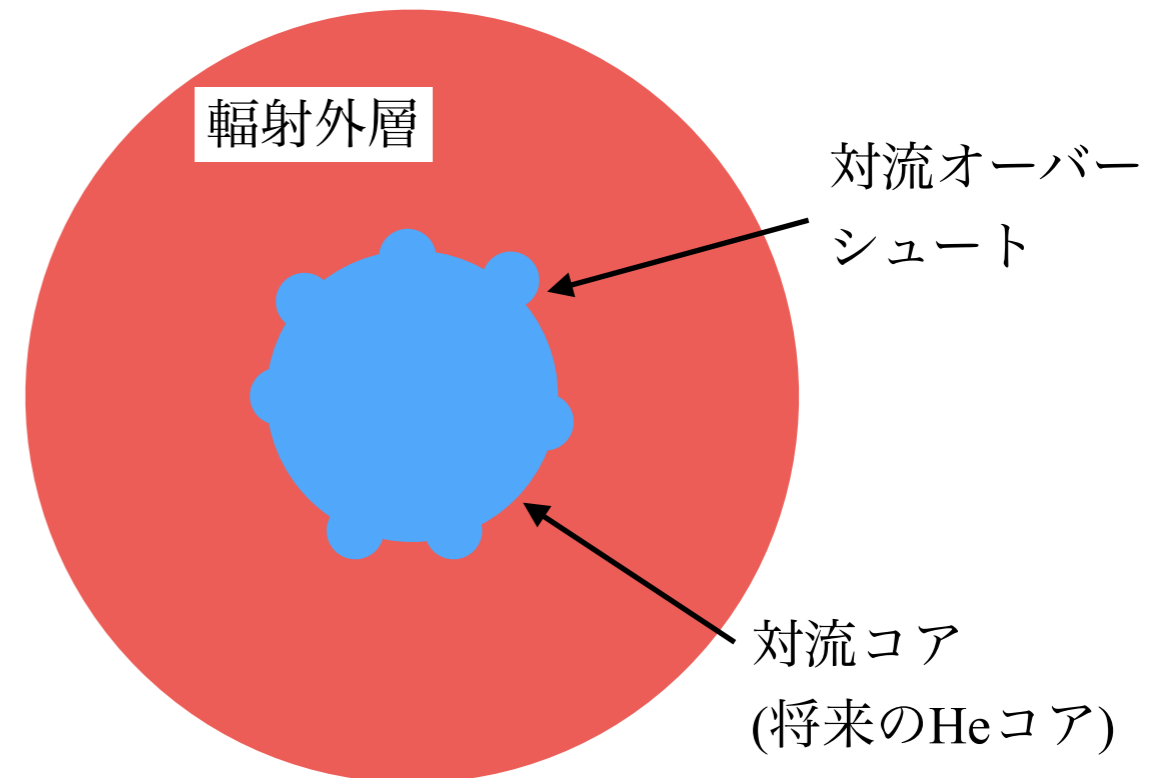
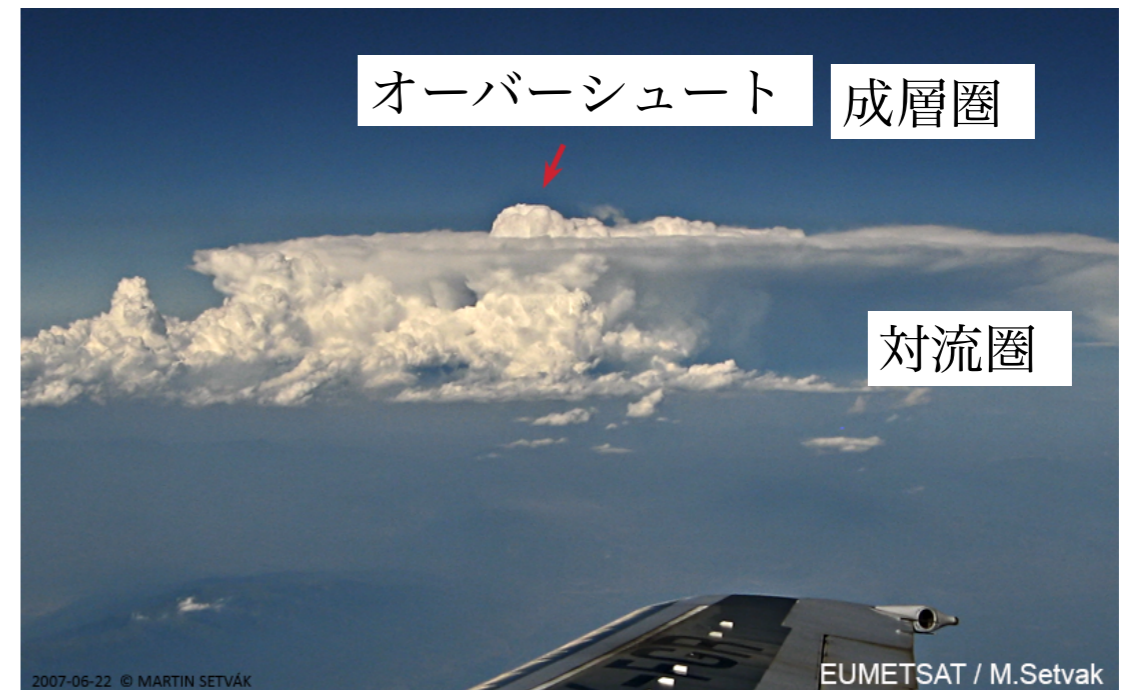
- L model:  $f_{ov} = 0.03$

- 大きいオーバーシュートパラメータ  
(より効率的なオーバーシュート)

- 主系列段階終了時のHeコア大

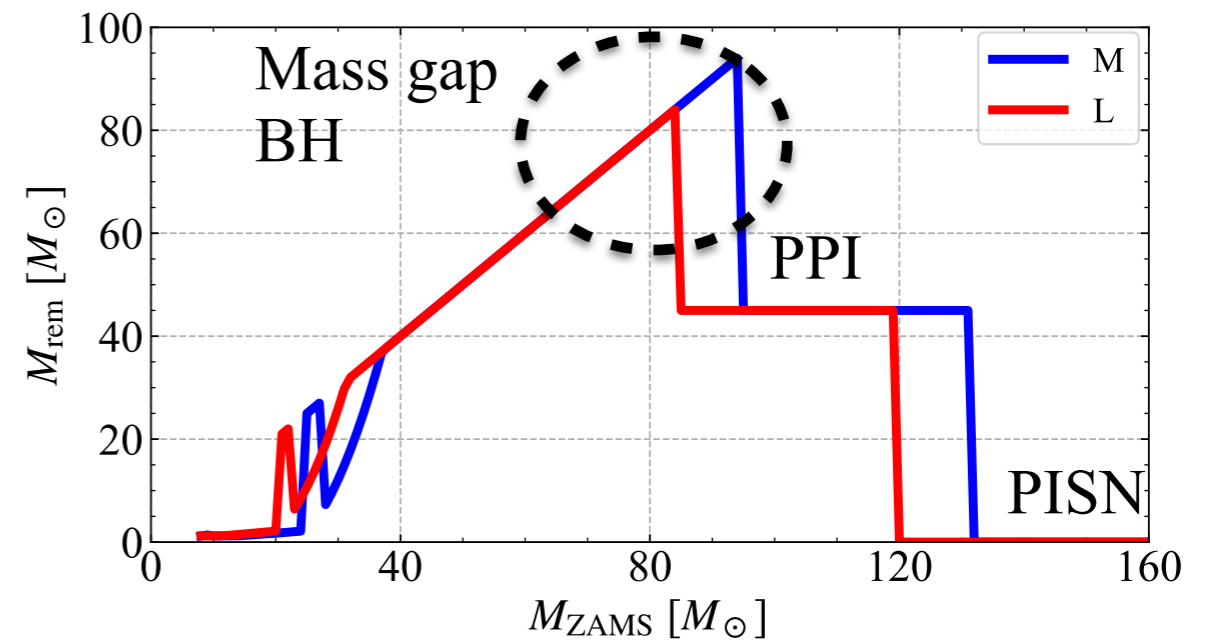
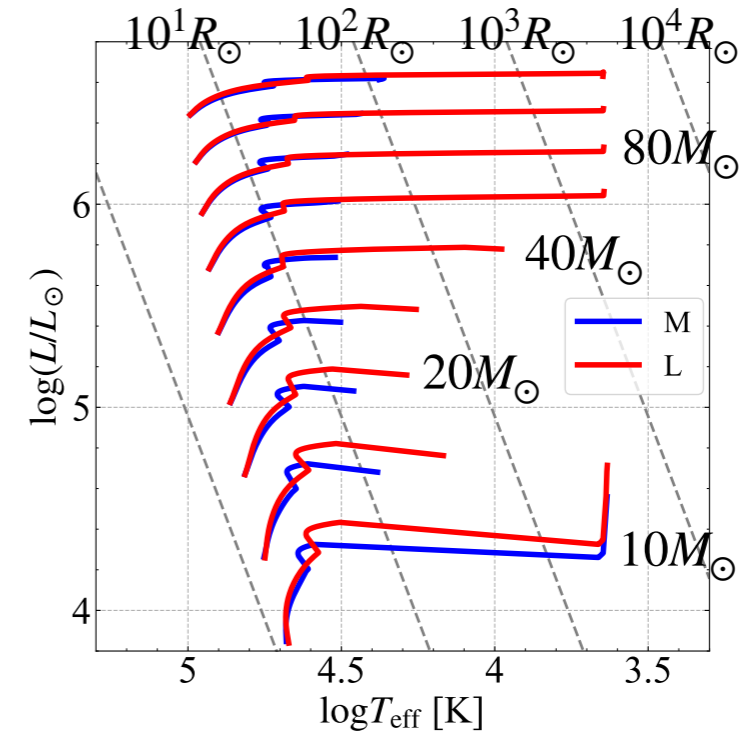
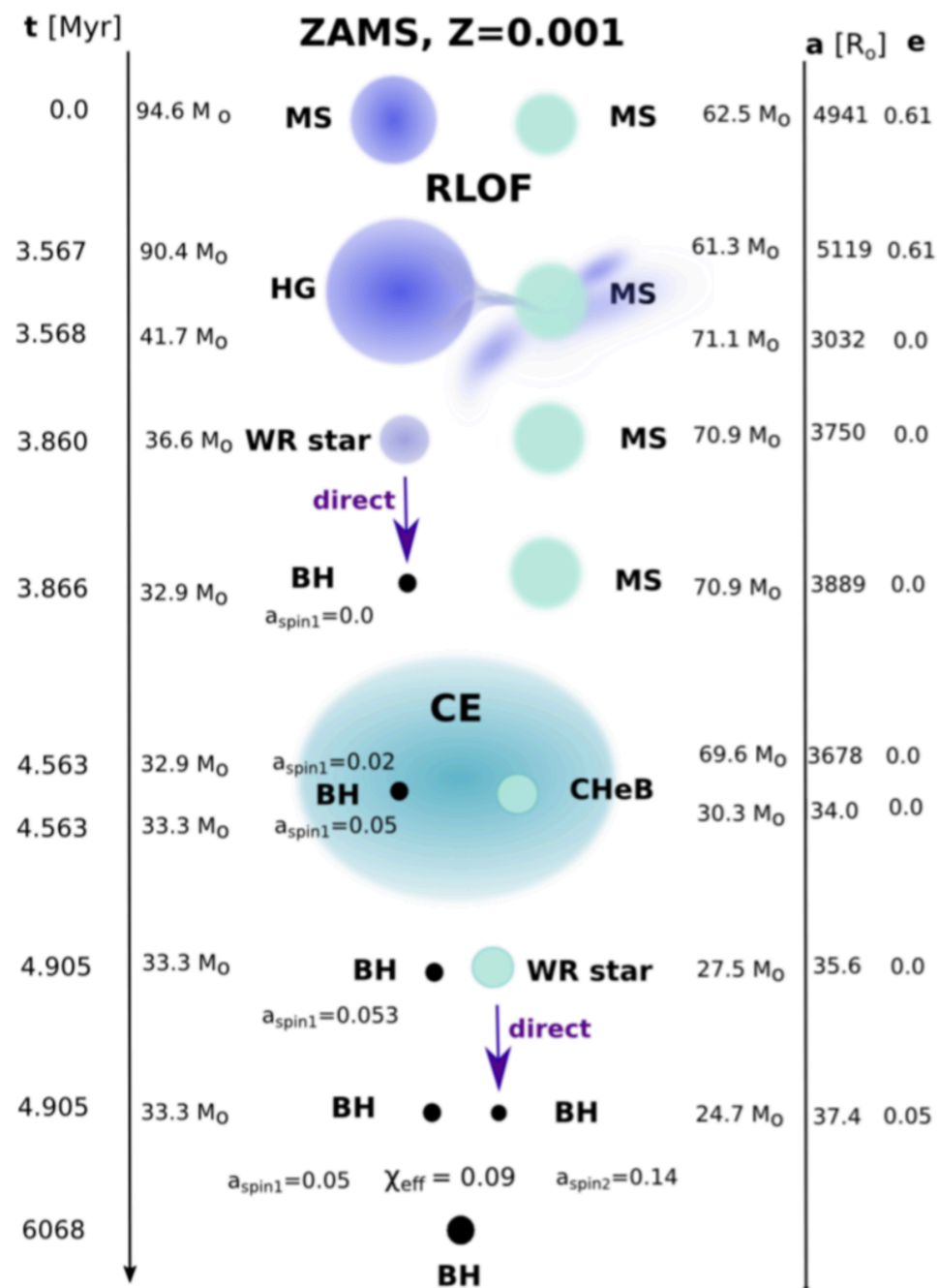
- 主系列段階後の光度大

- 主系列段階後の半径大



# 連星種族合成計算

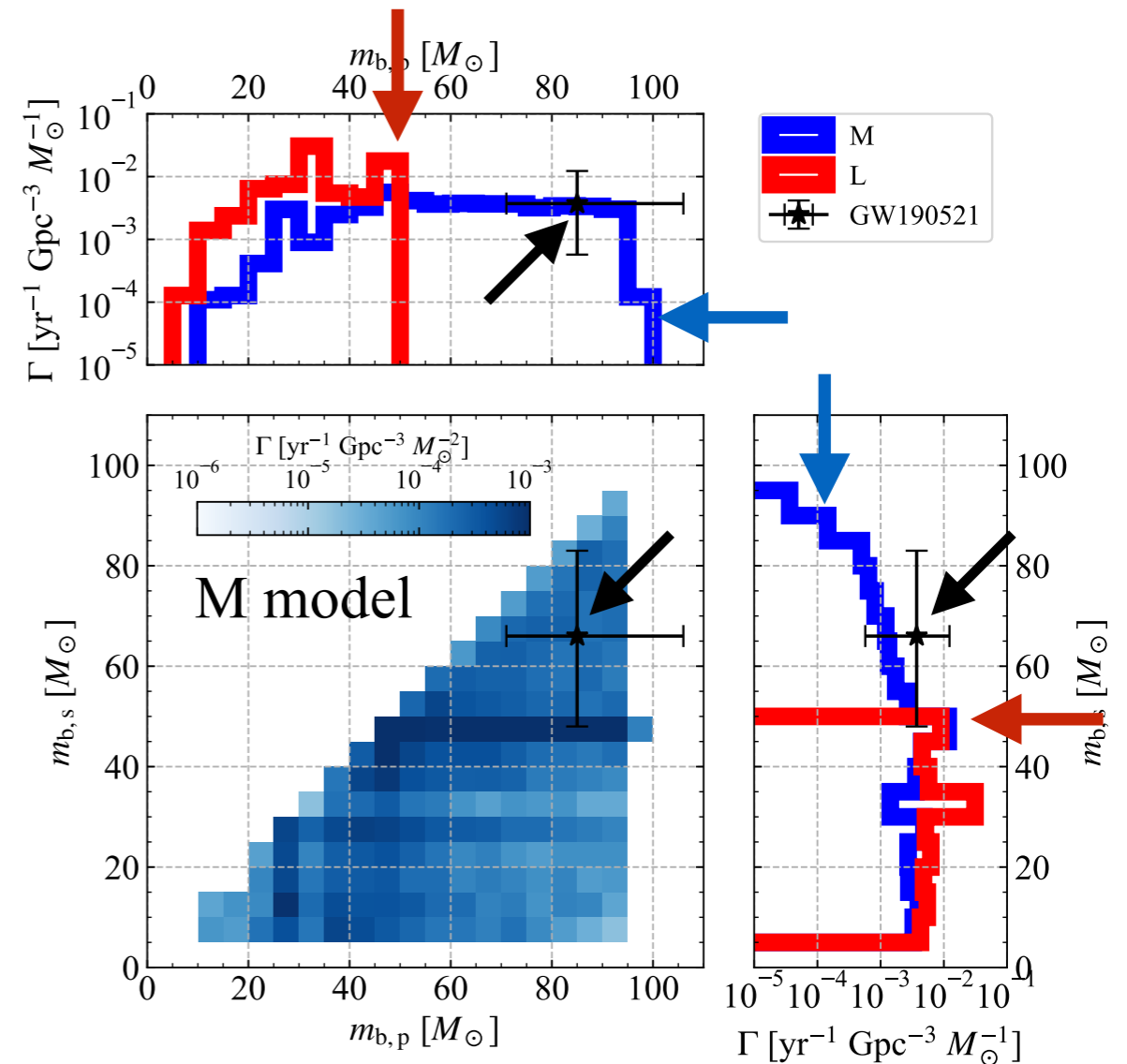
計算例 (Belczynski et al. 2020)



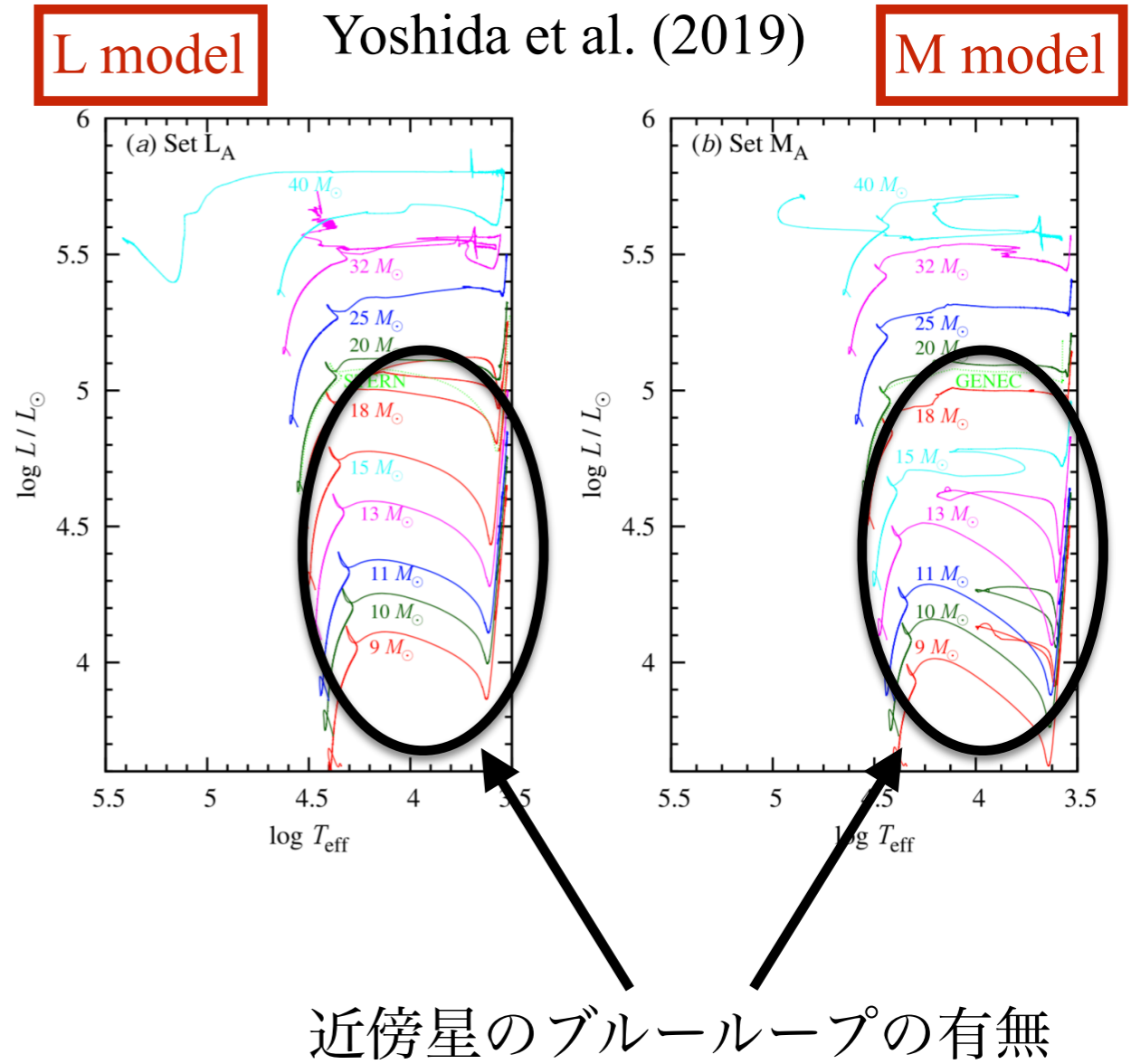
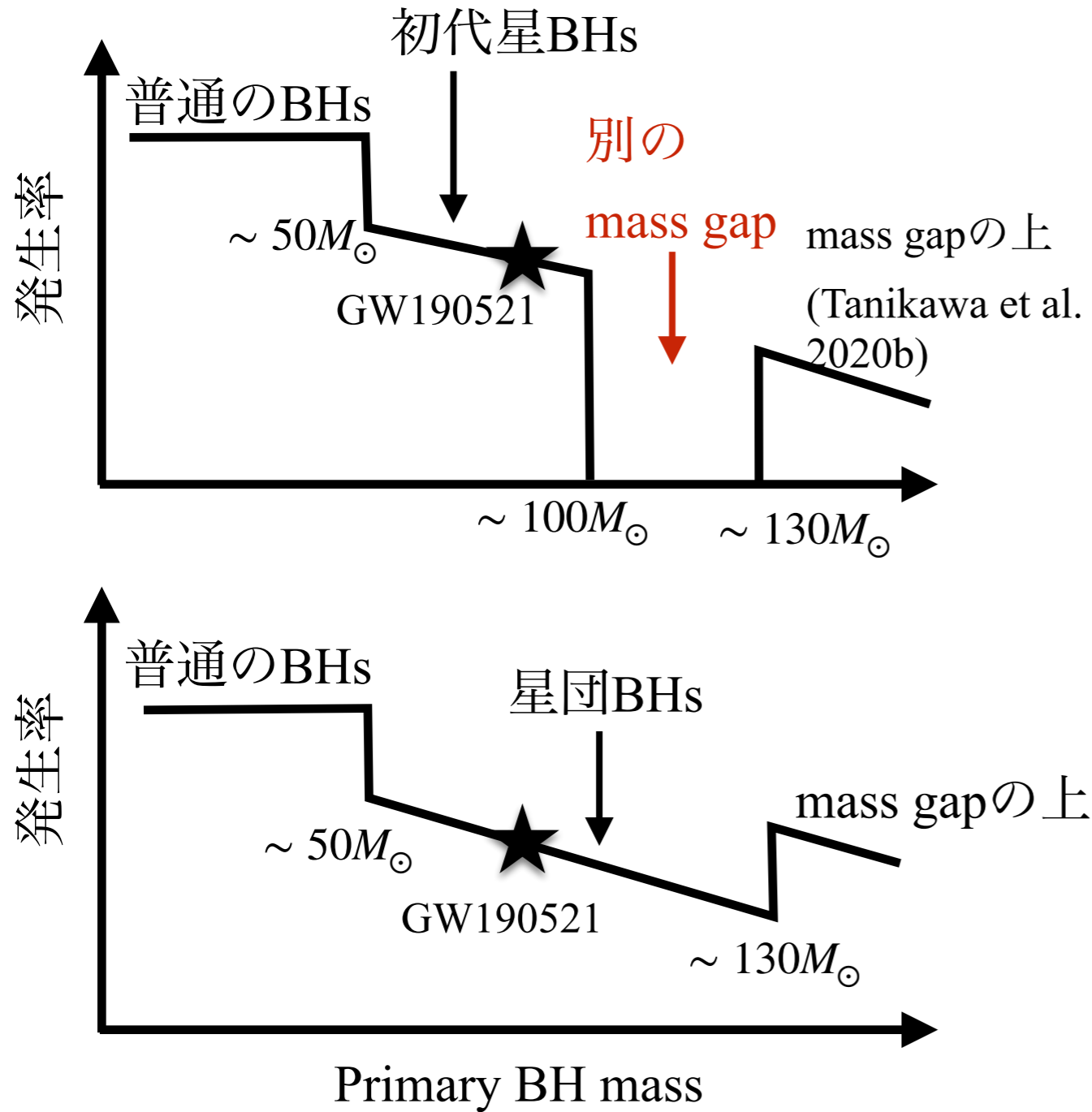
# BHの質量分布

- M model
  - 最大質量： $\sim 100M_{\odot}$
  - 連星相互作用でH外層を失わない
  - GW190521を形成可能
  - Farrell et al. (2020)の主張を支持
- L model
  - 最大質量： $\sim 50M_{\odot}$
  - 連星相互作用でH外層を失う
  - GW190521の形成は不可能

対流オーバーシュートの大きさ次第  
ではGW190521を形成可能



# 議論





# まとめ

- GW190521はmass gap BHを含むBH-BH
- GW190521は孤立連星では形成不可能とされた
- 対流オーバーシュートの大きさによっては，初代星でGW190521を作ることは可能
- 将来的に初代星起源かどうか確かめる方法
  - $100 - 130M_{\odot}$ あたりにmass gapが現れるかどうか
  - 近傍星の観測から対流オーバーシュートの大きさを精査