Rate density of tidal disruption events of white dwarfs in the local universe

日本天文学会2021年秋季年会 2021/09/15

発表者：谷川衝（東京大学）

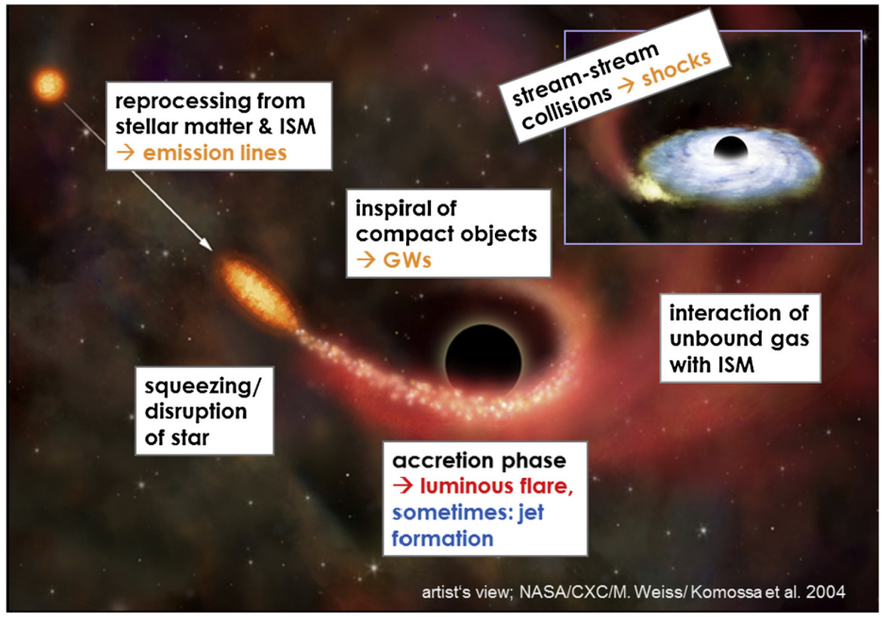
共同研究者：

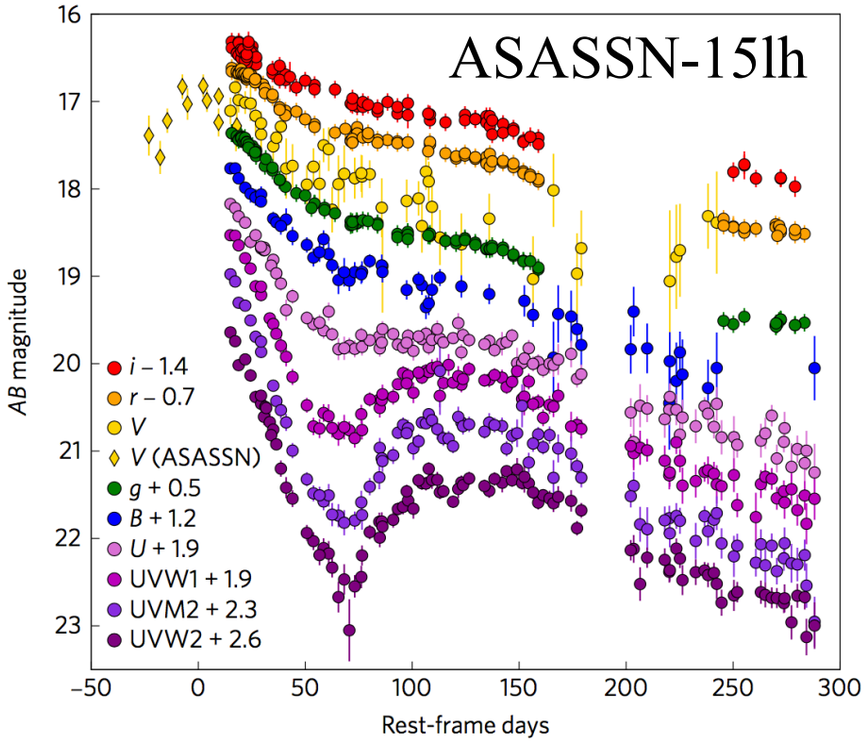
Mirek Giersz (Nicolaus Cpernicus Astronomical Centre)
Manuel Arca Sedda (Astronomisches Rechen-Institut)

Tanikawa et al. (2021, arXiv:2103.14815)

潮汐破壊現象 (TDE)

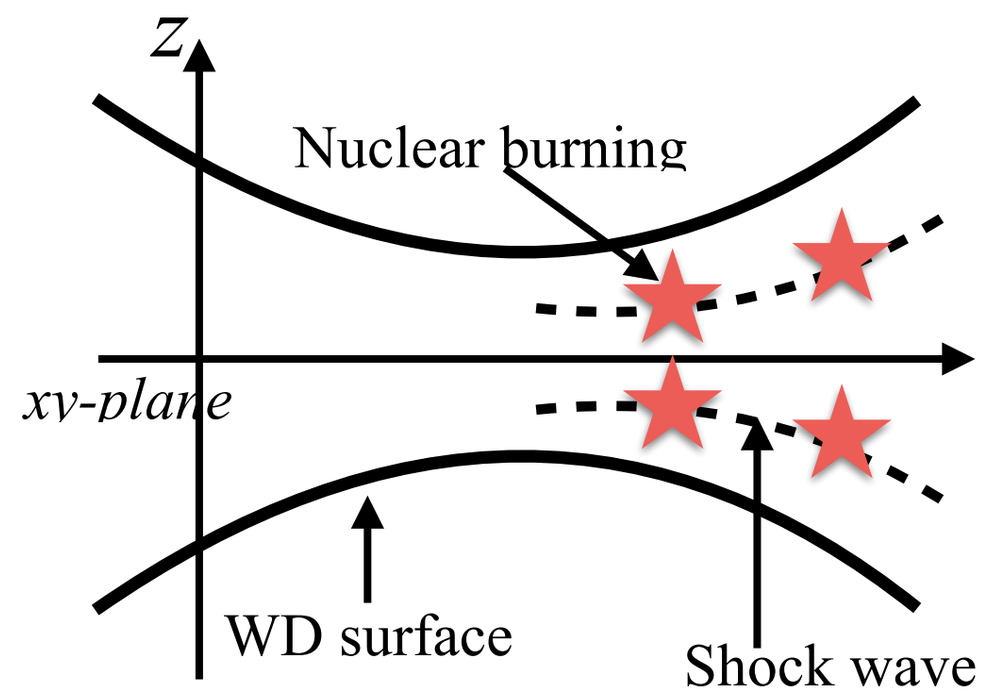
- ブラックホール(BH)による恒星の潮汐破壊
- 残骸の衝突やBHへの降着でフレアが発生
- 数10個の潮汐破壊現象が発見
- AGNとは異なるBHの探査
- 相対性理論の実験場

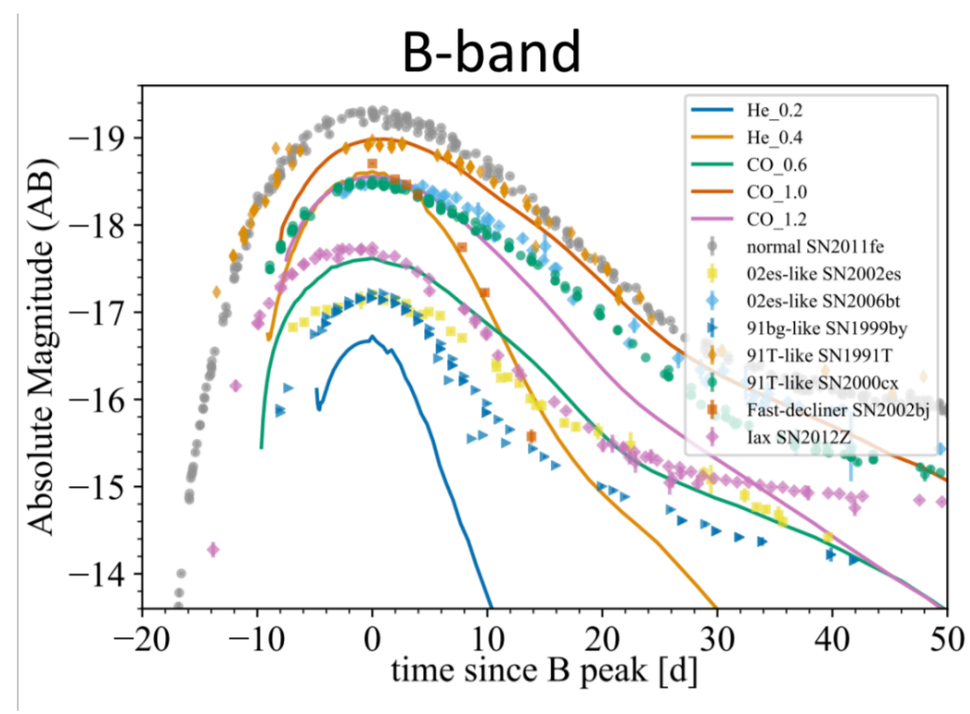




白色矮星(WD)のTDE

- 未発見の天体
- 中間質量BH(IMBH)以下のBHでのみ発生 → IMBHの探査
- 潮汐破壊中の暴走的核融合 → Ia型超新星に似た突発天体(Rosswog+2009; Tanikawa+2017; Kawana+2018)
- マルチメッセンジャー天文学の有望な対象
  - デシヘルツ重力波の放出
  - ニュートリノ？
  - 宇宙線？





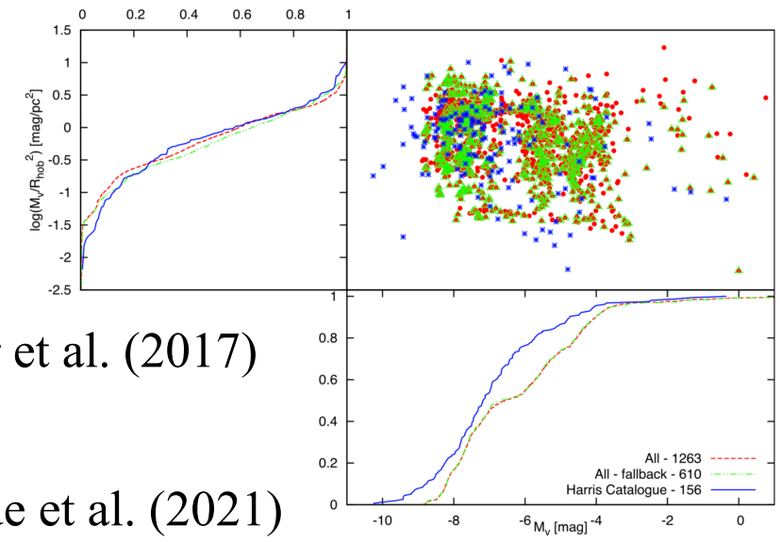
川名（2021年春季天文学会）

本研究の目的

- IMBHの存在場所として球状星団に注目
  - 球状星団の方が矮小銀河よりも数が多い
- WDの潮汐破壊現象の発生率を理論的に導出
- BH質量，WD質量や組成ごとの発生率 ← New!
  - フレアの光度はBH質量に依存
  - Ia型ライクな現象の特徴はWD質量と組成に依存

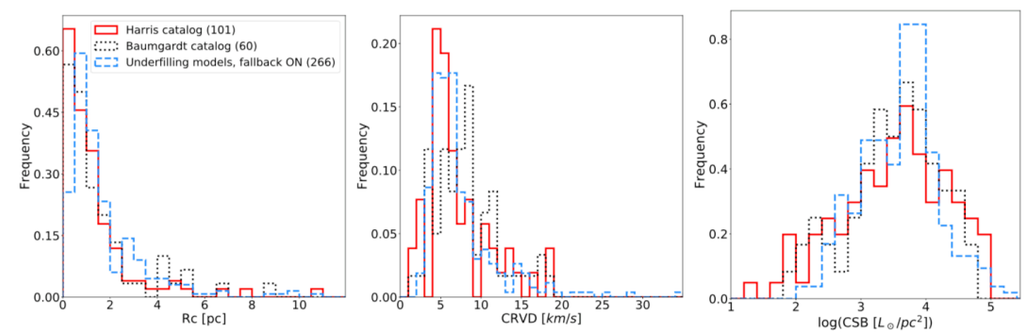
MOCCA-SURVEY Database I

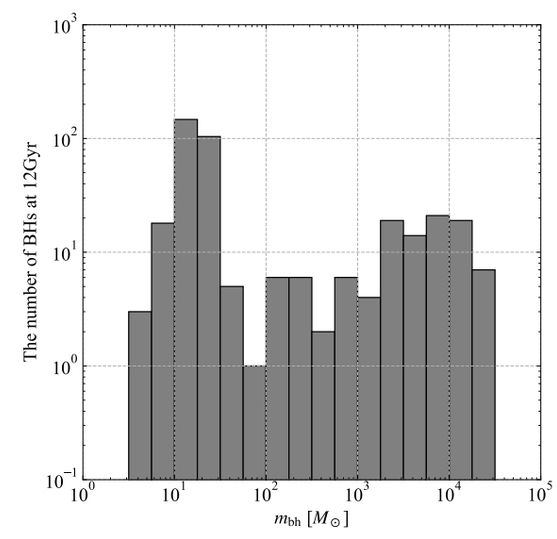
- 2000個以上の球状星団のシミュレーションのデータベース
- 銀河系の球状星団の光度や中心構造を良く再現
- IMBHの存在率
  - $> 10^2 M_\odot$ BH: 19%
  - $> 10^3 M_\odot$ BH: 16%
- 銀河系の球状星団のうち絶対にIMBHを持っていないのは20%程度 → 矛盾しない



Askar et al. (2017)

Leveque et al. (2021)

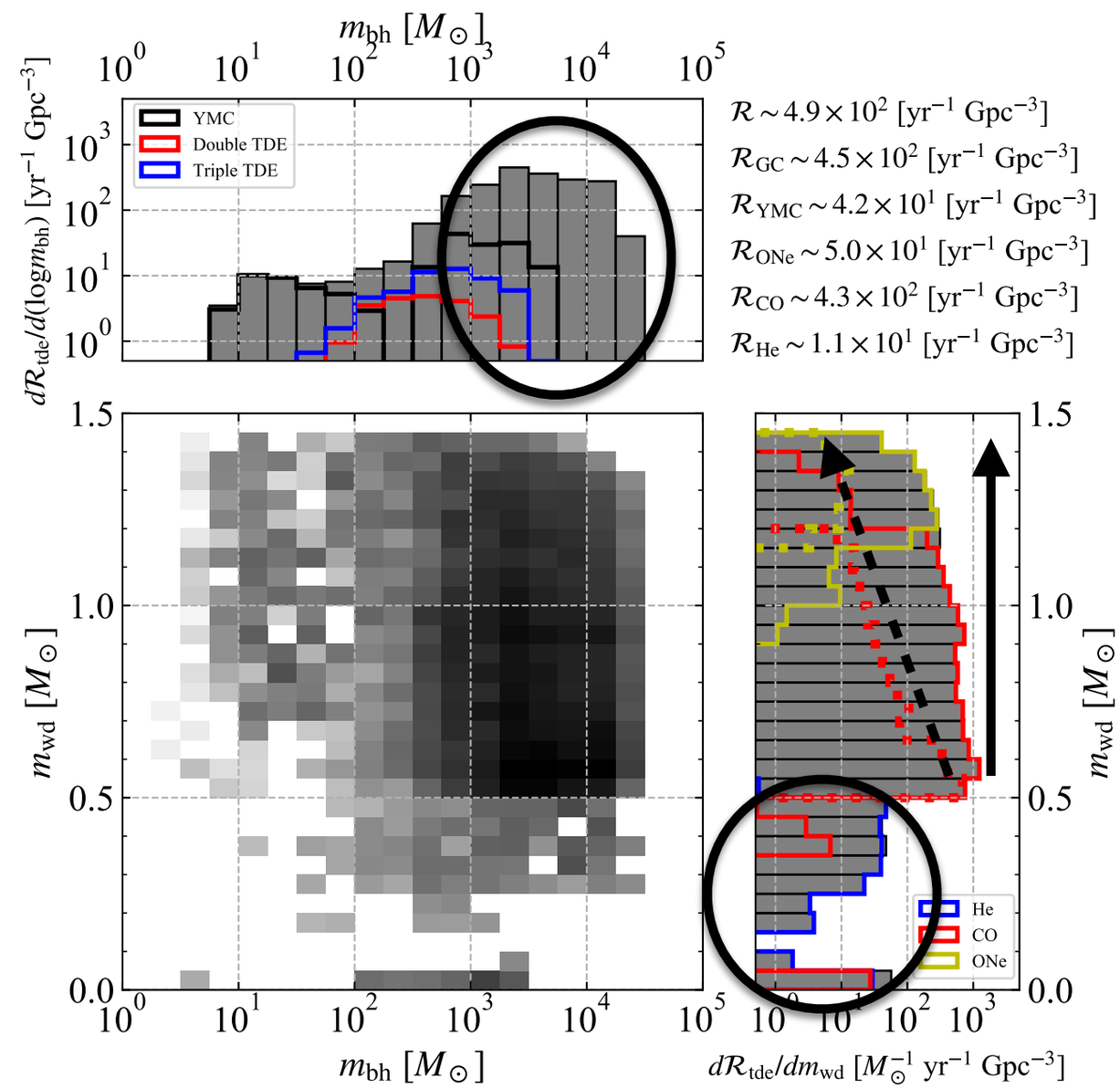




各球状星団内の最大BHの質量分布(12Gyr時点)

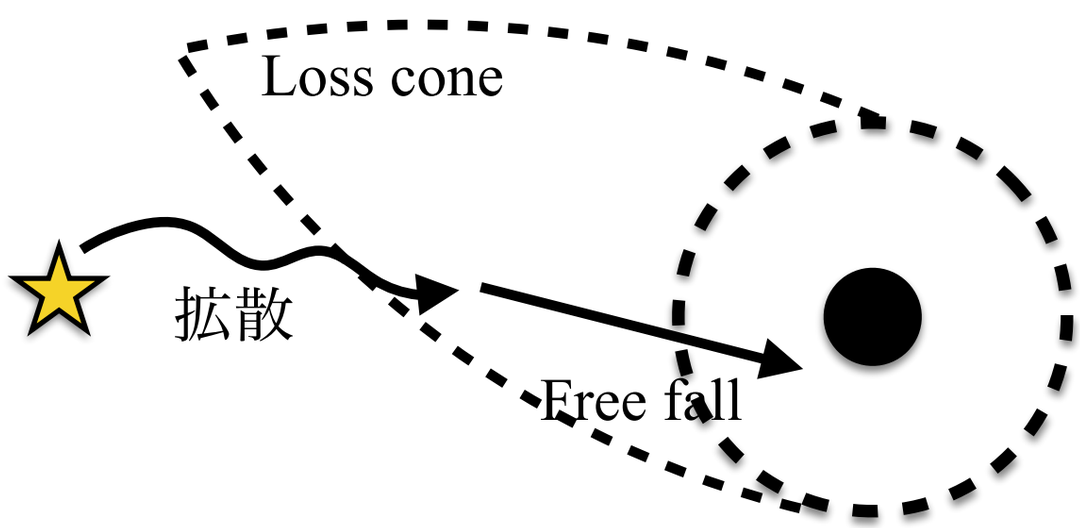
発生率

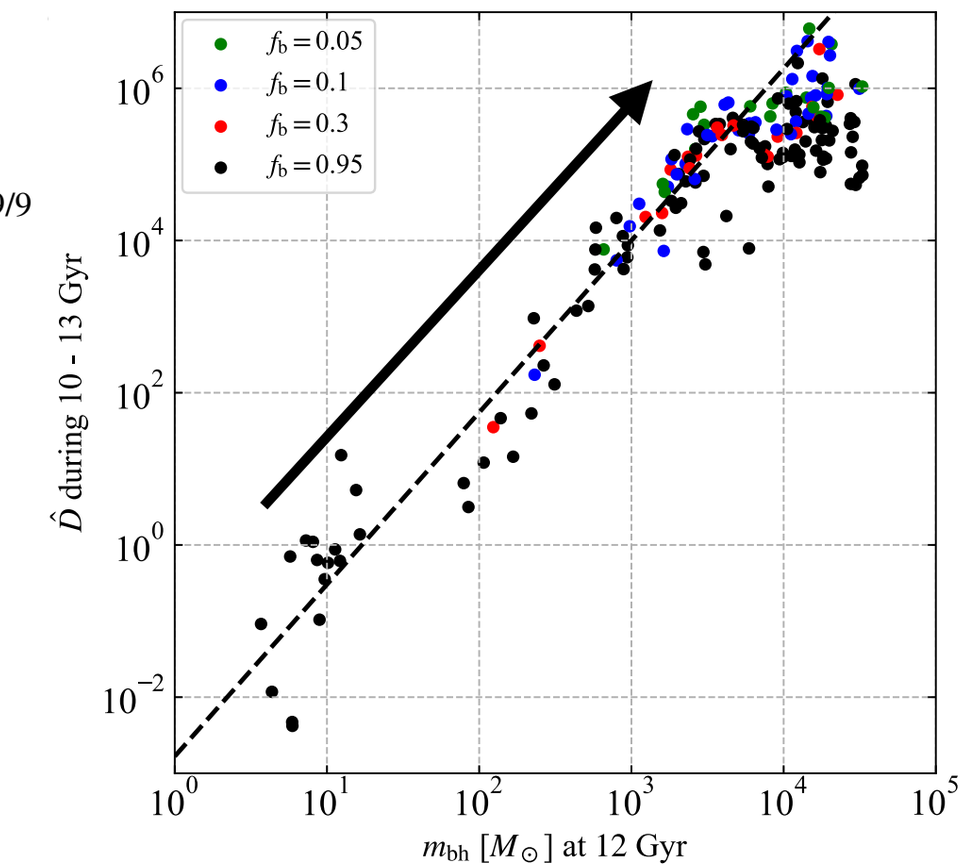
- $\sim 4.9 \times 10^2$ [yr^{-1} Gpc^{-3}]（従来比1000倍）
- 90%以上が$10^3 - 10^4 M_\odot$のIMBHで発生
  - WDの潮汐破壊 → IMBH
- $\gtrsim 1 M_\odot$ WD のイベントレート大（絶対数が少ない割に）
- He WDのイベントレート小



潮汐破壊の恒星系力学

- $D = N_{\mathrm{LossCone}}/t_{\mathrm{FreeFall}}$
- $D \sim 10^4\ \mathrm{Gyr}^{-1} \left(\frac{k_{\mathrm{D}}}{30}\right)\left(\frac{\gamma}{0.3}\right)^{-49/18}\left(\frac{R_*}{1R_\odot}\right)^{4/9}\left(\frac{m}{1M_\odot}\right)^{26/27}$
  $\times\left(\frac{m_{\mathrm{bh}}}{10^3 M_\odot}\right)^{61/27}\left(\frac{n_{\mathrm{c}}}{10^5\mathrm{pc}^{-3}}\right)^{14/9}\left(\frac{v_{\mathrm{c}}}{10\mathrm{km\ s}^{-1}}\right)^{-49/9}$
- $\hat{D} \sim D\left(\frac{R_*}{1R_\odot}\right)^{-4/9}\left(\frac{m}{1M_\odot}\right)^{-26/27}\left(\frac{n_{\mathrm{c}}}{10^5\mathrm{pc}^{-3}}\right)^{-14/9}\left(\frac{v_{\mathrm{c}}}{10\mathrm{kms}^{-1}}\right)^{49/9}$





Baumgardt+(2004)と比較

- Baumgardt+(2004)は（おそらく単純な）ミスで10倍過小評価

$$D = k_D \sqrt{G} \left[\frac{R_*^{9-4\alpha} n_0^7 m^{(16/3)\alpha - 5}}{M_{\rm BH}^{19/3\alpha - 9}} \right]^{1/(8-2\alpha)}$$

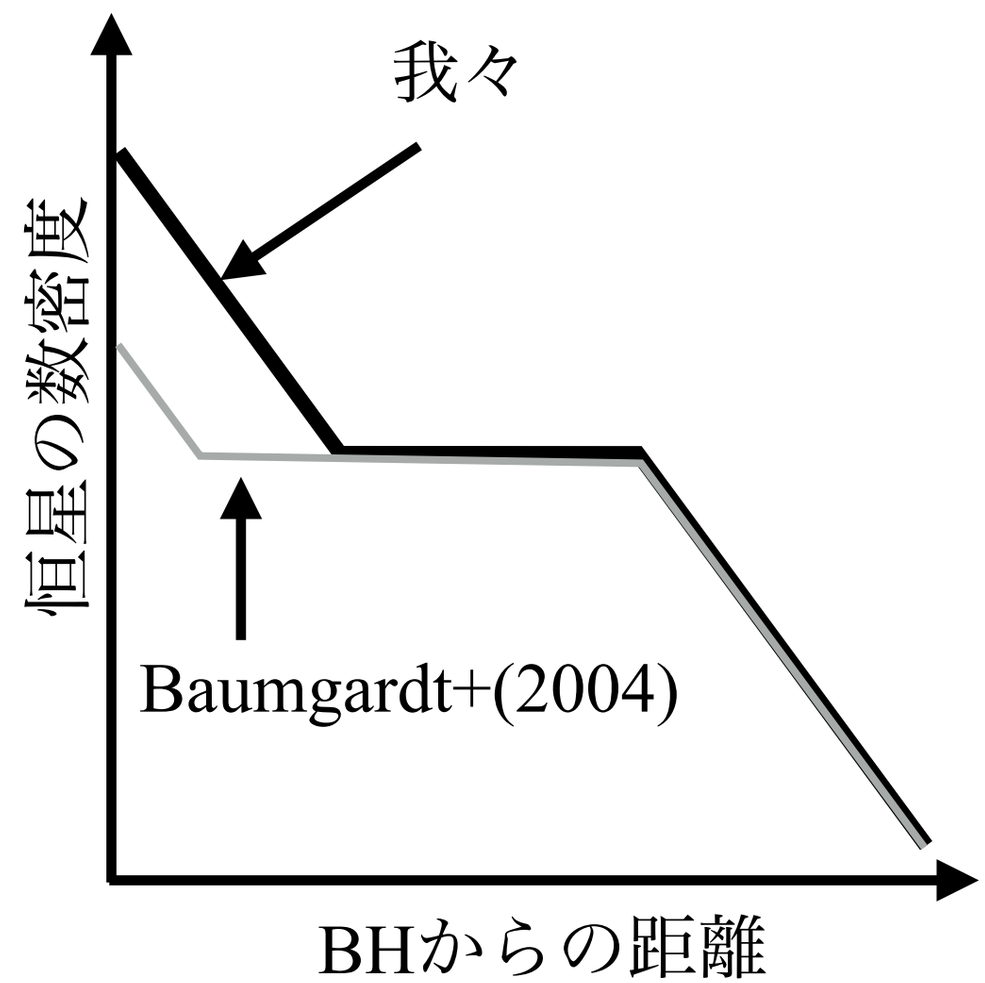
↓

$$D = \frac{\cancel{1.13}\ 17}{100\ {\rm Myr}} \left(\frac{R_*}{R_\odot}\right)^{3/5} \left(\frac{m}{M_\odot}\right)^{3/5} \left(\frac{M_{\rm BH}}{1000\ M_\odot}\right)^2 \times \left(\frac{n_c}{10^5\ {\rm pc}^{-3}}\right)^{7/5} \left(\frac{v_c}{10\ {\rm km\ s}^{-1}}\right)^{-21/5}.$$

- 残りの100倍: 我々のシミュレーションの方がBH周りの星の密度が高い

- 違いの原因は不明（星団の初期条件，恒星モデル，計算手法）

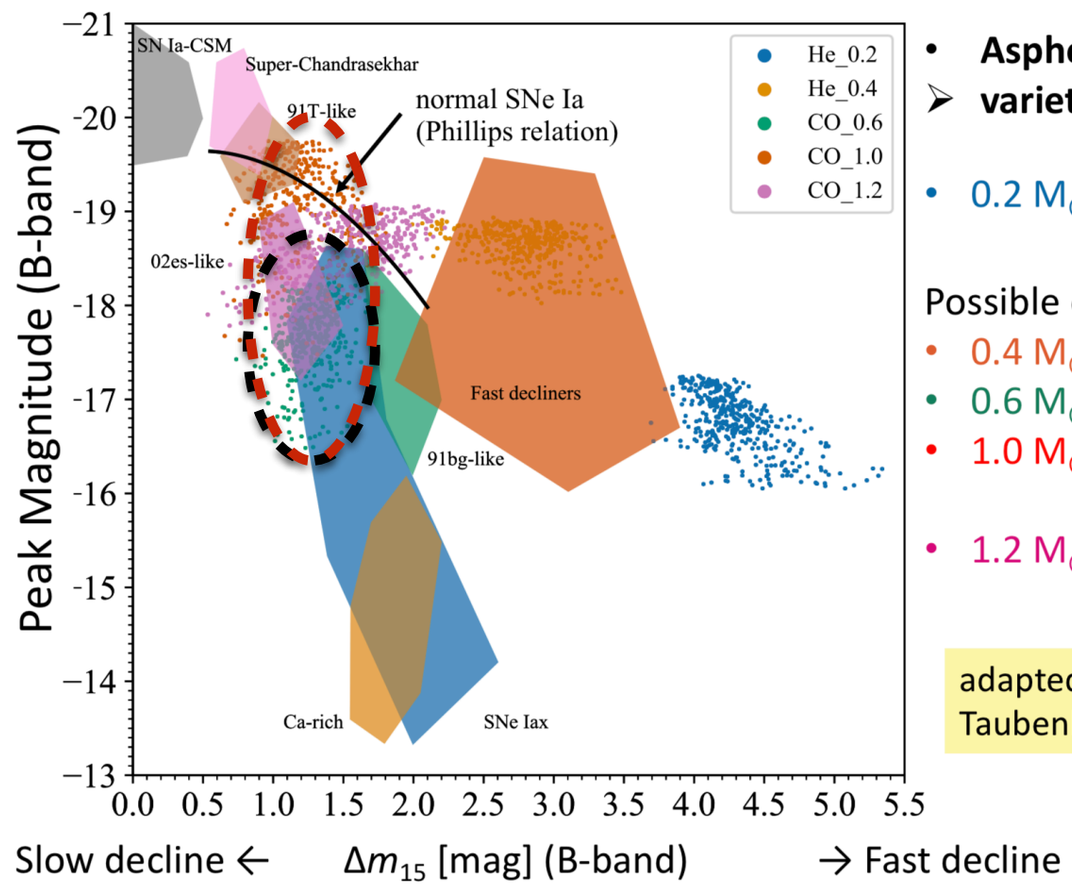
BH質量，星団質量，星団密度などを同一にスケールした星団の密度プロファイル



将来観測への示唆

- 従来予想
  - ほとんど$0.6M_\odot$ CO WD
  - $M_{\mathrm{B,peak}} \sim -16.5$ - -18.5
  - $R_{\mathrm{det}} \sim 10\ \mathrm{yr}^{-1}$ @ LSST
  - 矮小銀河が主要サイト
- 今回のWDの質量関数を考慮
  - $0.6 - 1.2M_\odot$ CO WD
  - $M_{\mathrm{B,peak}} \sim -16.5$ - -20
  - $R_{\mathrm{det}} \sim 10^3\ \mathrm{yr}^{-1}$ @ LSST
  - 球状星団が主要サイト
- ONe WDも調べる必要あり

Comparison with classes of SNe Ia



- **Aspherical ejecta**
  - ➢ **variety by viewing angles**
- 0.2 $M_\odot$: faster and fainter than SNe Ia

Possible candidates

- 0.4 $M_\odot$ ⇔ Fast decliners
- 0.6 $M_\odot$ ⇔ 02es-like, Iax
- 1.0 $M_\odot$ ⇔ normal, 91T-like, 02es-like
- 1.2 $M_\odot$ ⇔ normal, 91bg-like, 02es-like, Iax

adapted from Taubenberger (2017)

川名（2021年春季天文学会）

まとめ

- 球状星団におけるBHによるWDの潮汐破壊現象の発生率
- 全体で $\sim 4.9 \times 10^2$ [yr^{-1} Gpc^{-3}]で,
  - 90%を$10^3 - 10^4 M_\odot$のIMBHが起こしている
  - 絶対数の割に $\gtrsim 1 M_\odot$ WDの潮汐破壊が多い
  - He WDの発生率は小さい
- $\gtrsim 1 M_\odot$ WDの潮汐破壊が多いために，$M_{\mathrm{B,peak}} \sim -16.5$ - -20 と多様なIa型ライクな突発天体が発生