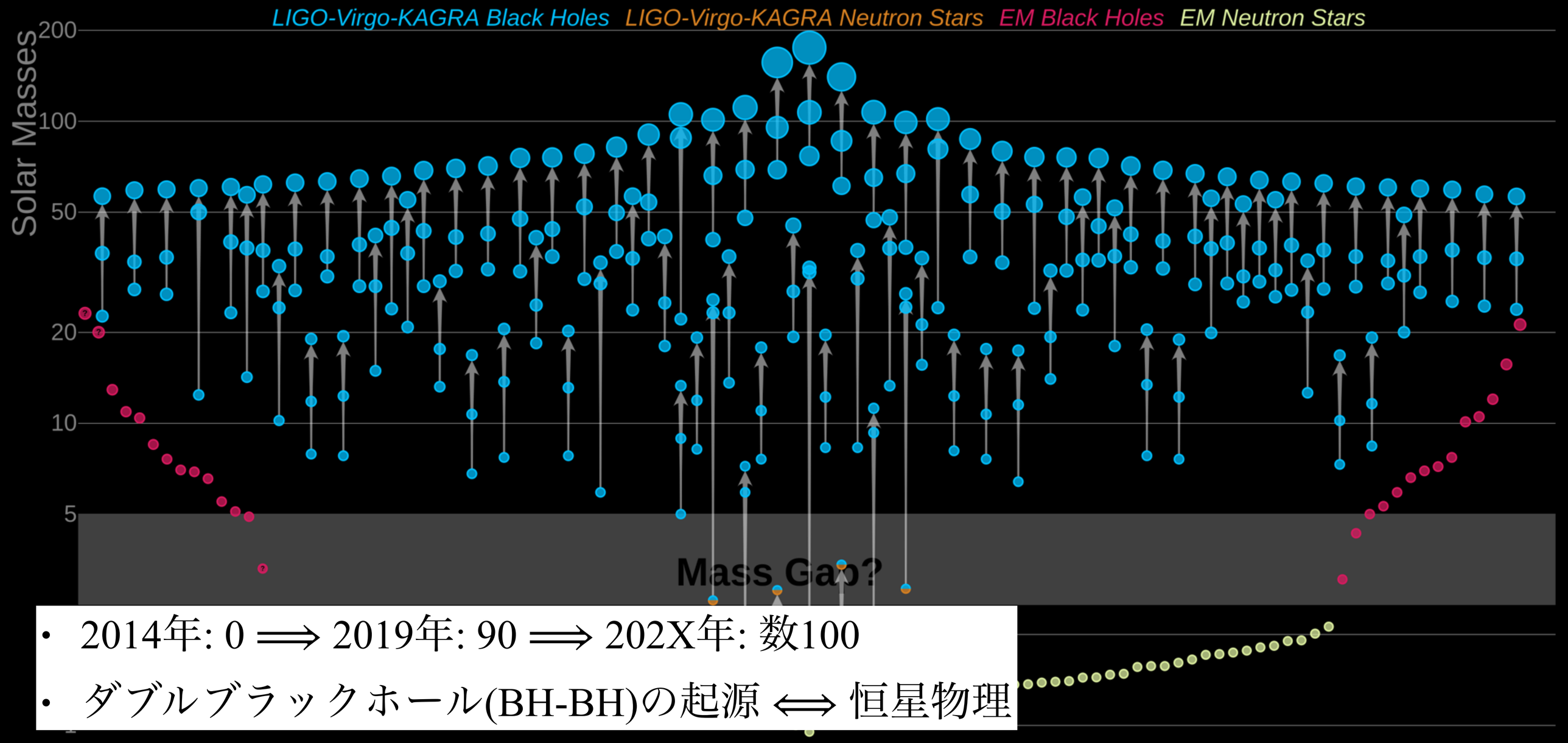
不活性コンパクト連星のフォローアップ分光観測

谷川衝
共同研究者：前原裕之、田實晃人、佐藤文衛、本田敏志

2023年度せいめいユーザーズミーティング

京都大学理学部セミナーハウス, 2023年9月12日

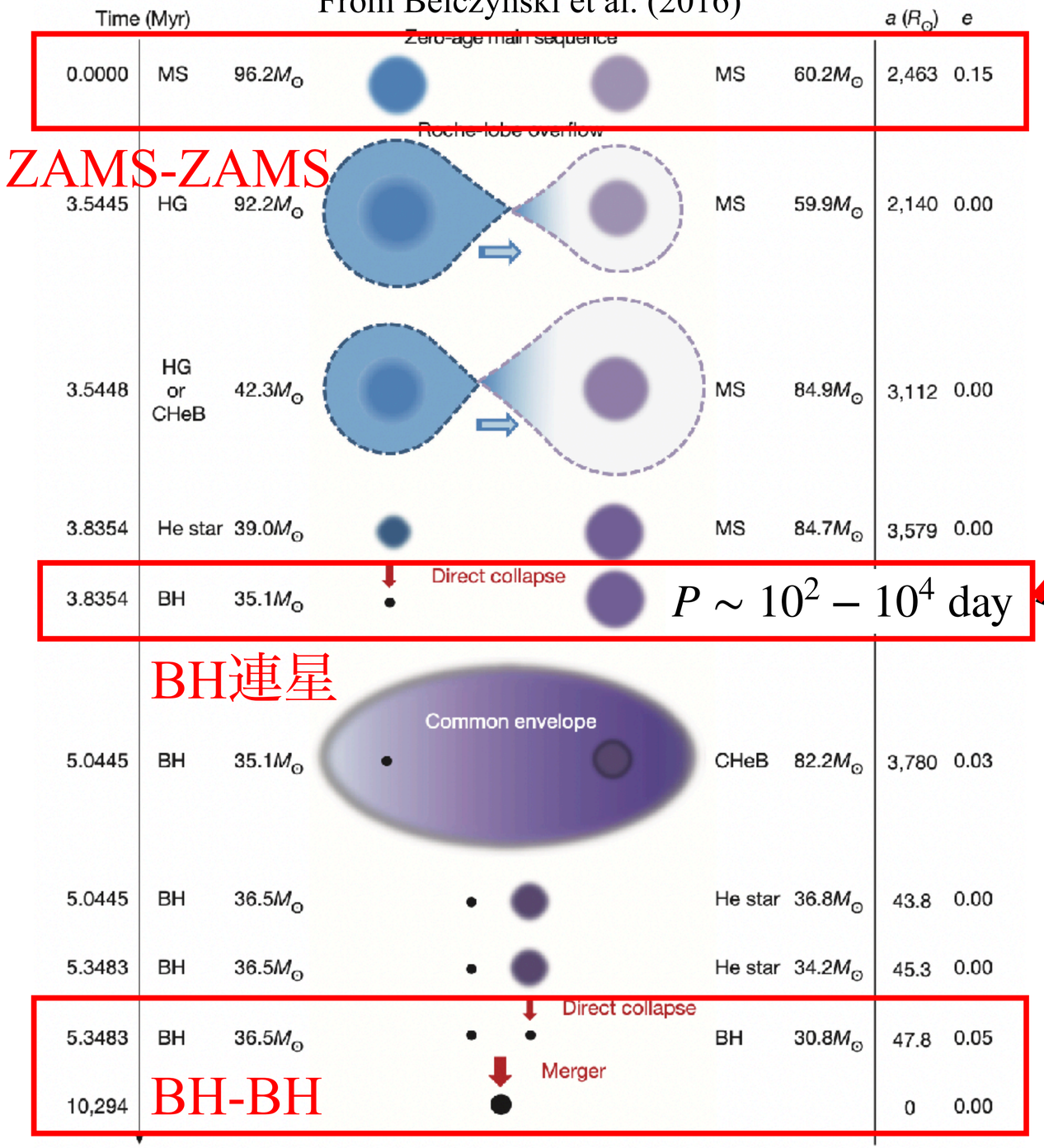
Masses in the Stellar Graveyard



- 2014年: 0 $\Longrightarrow$ 2019年: 90 $\Longrightarrow$ 202X年: 数100
- ダブルブラックホール(BH-BH)の起源 $\Longleftrightarrow$ 恒星物理

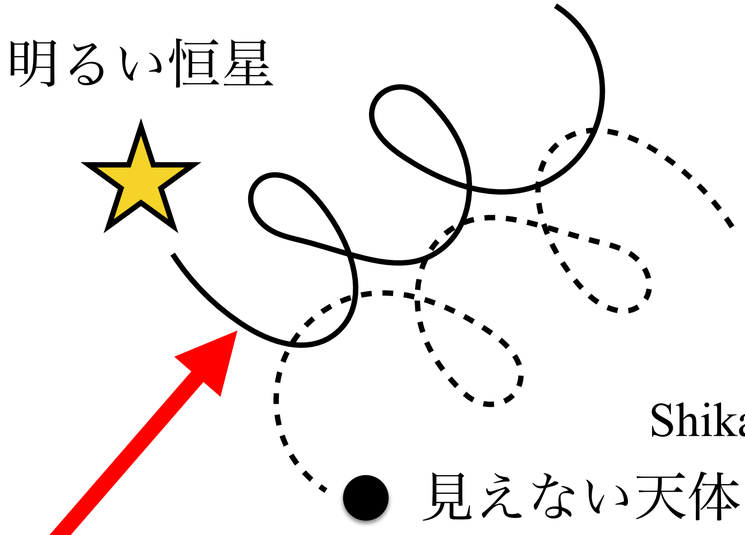
LIGO-Virgo-KAGRA | Aaron Geller | Northwestern

From Belczynski et al. (2016)

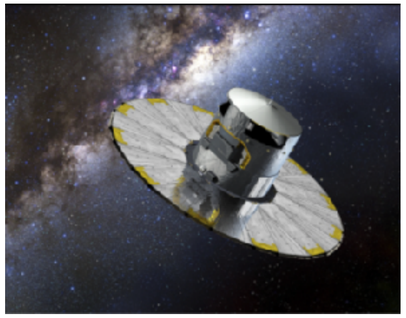


$P \sim 10^2 - 10^4$ day

位置天文連星（周期$10^2 - 10^4$日）

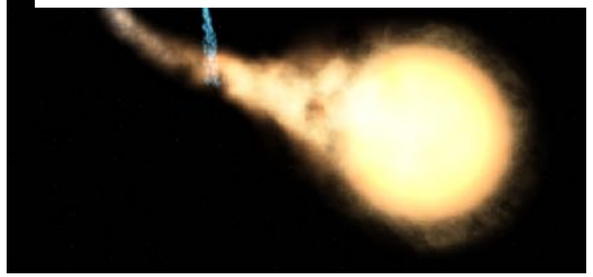


位置天文衛星Gaia



Shikauchi et al. (2020; 2022)

- 時間分解能：60日（観測期間：10年）
- 空間分解能：$\lesssim 0.1$ mas
- $A \sim 5.3\ \mathrm{mas} \left(\frac{P}{10^3\mathrm{day}}\right)^{2/3} \left(\frac{M_{\mathrm{binary}}}{20M_\odot}\right)^{1/3} \left(\frac{D}{1\mathrm{kpc}}\right)^{-1}$

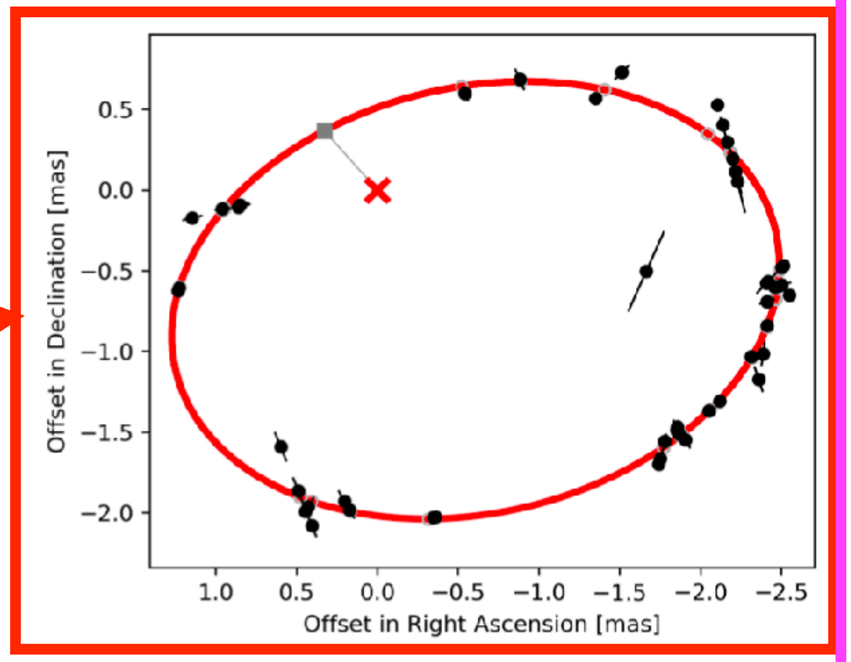


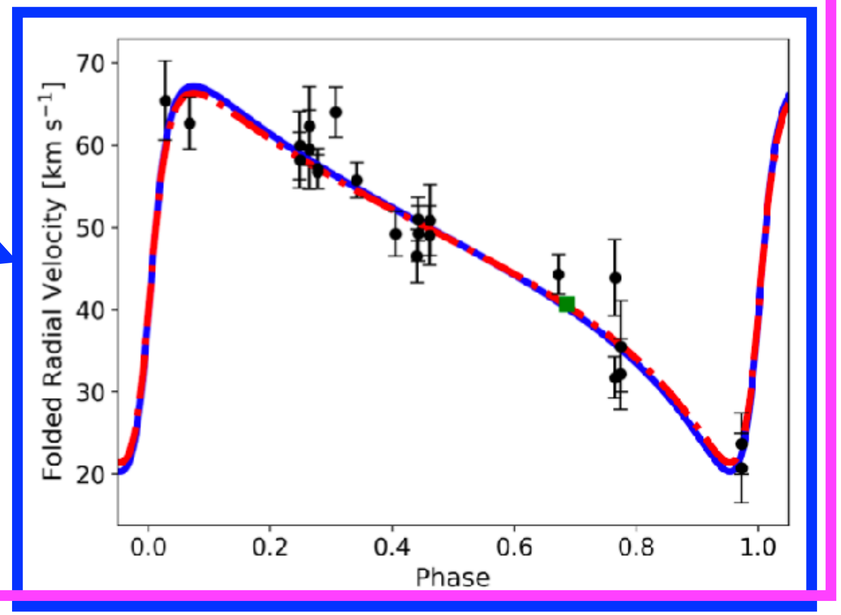
X線連星（周期 $< 10^1$日）

Gaia DR3の連星データ

Table	nss_solution_type	Solutions
nss_acceleration_astro	Acceleration7	246 947
	Acceleration9	91 268
nss_two_body_orbit	Orbital	134 598
	OrbitalAlternative*	629
	OrbitalTargetedSearch*	533
	AstroSpectroSB1	33 467
	SB1 or SB2	186 905
	EclipsingSpectro	155
	ngBinary	86 918
nss_no	greeTrendSB1	24 083
	egreeTrendSB1	32 725
nss_vim_fl	VIMF	870

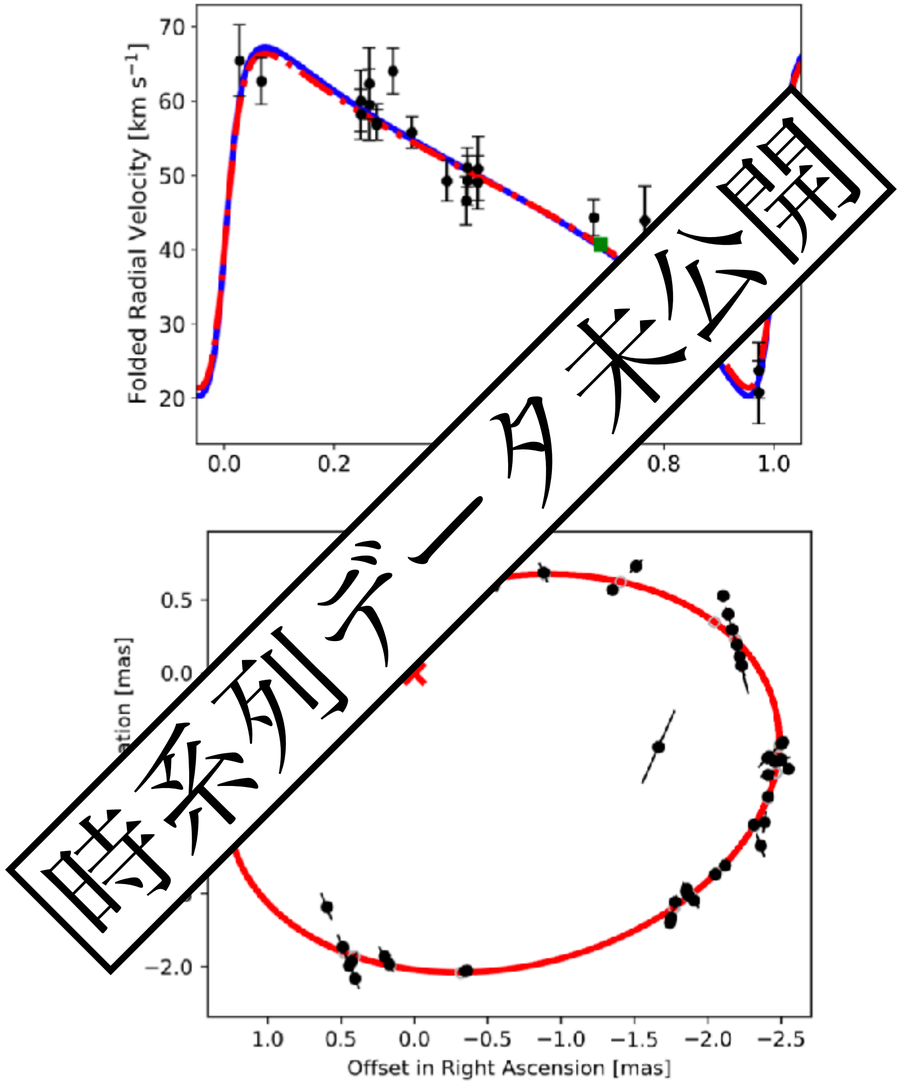
合計で30万



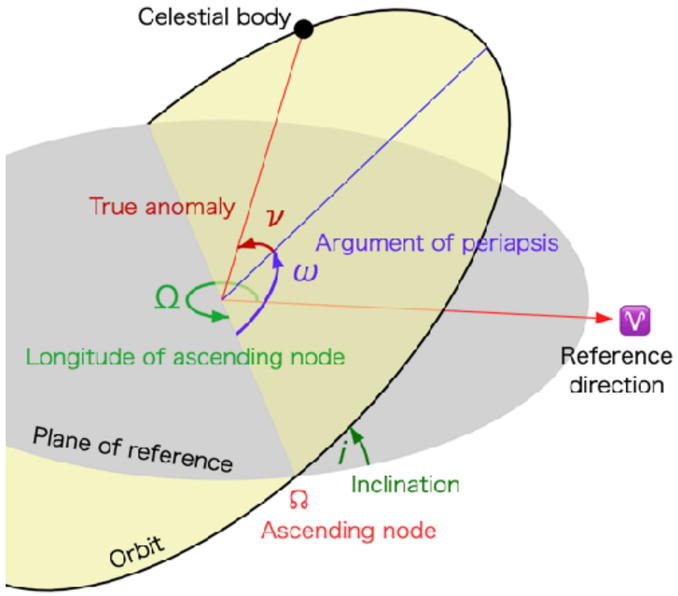


多数の連星⟹いくつかのBH

Gaia DR3の公開データ



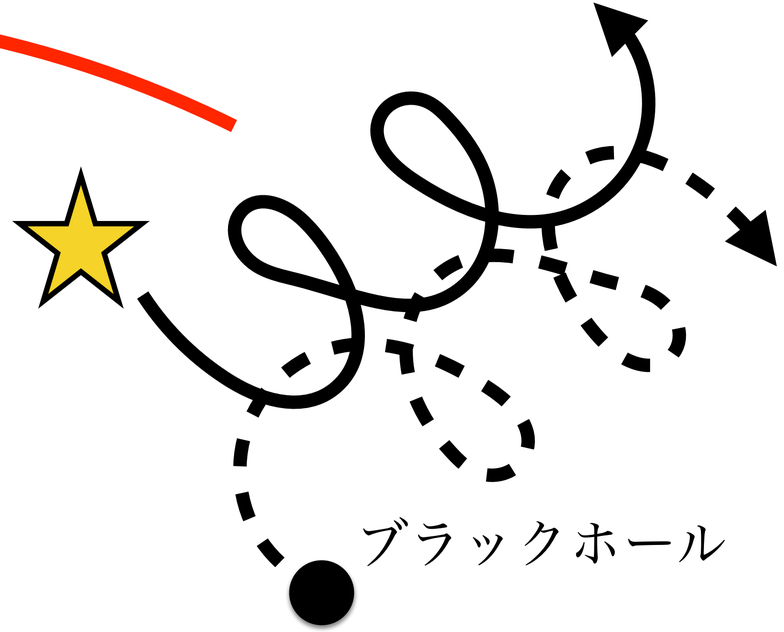
- 軌道要素のみ公開
  - 重心位置・速度
  - 周期、軌道長半径、離心率、軌道傾斜角、昇交点経度、近点引数、近点通過時刻



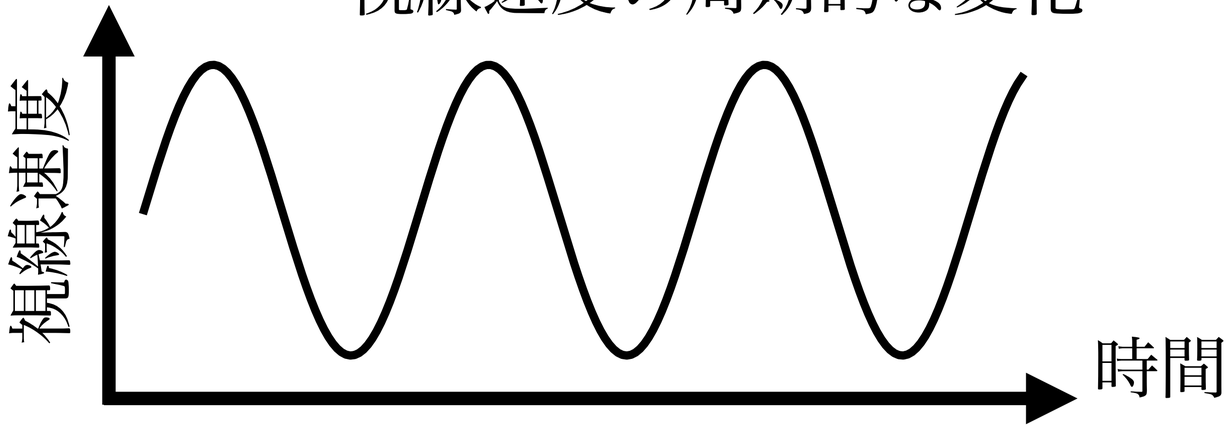
２つの独立したブラックホール質量の推定

$$f_{\mathrm{m,astro}} = 1\left(\frac{\hat{a}}{\mathrm{mas}}\right)^{3}\left(\frac{\varpi}{\mathrm{mas}}\right)^{-3}\left(\frac{P}{\mathrm{yr}}\right)^{-2}\,[M_\odot]$$

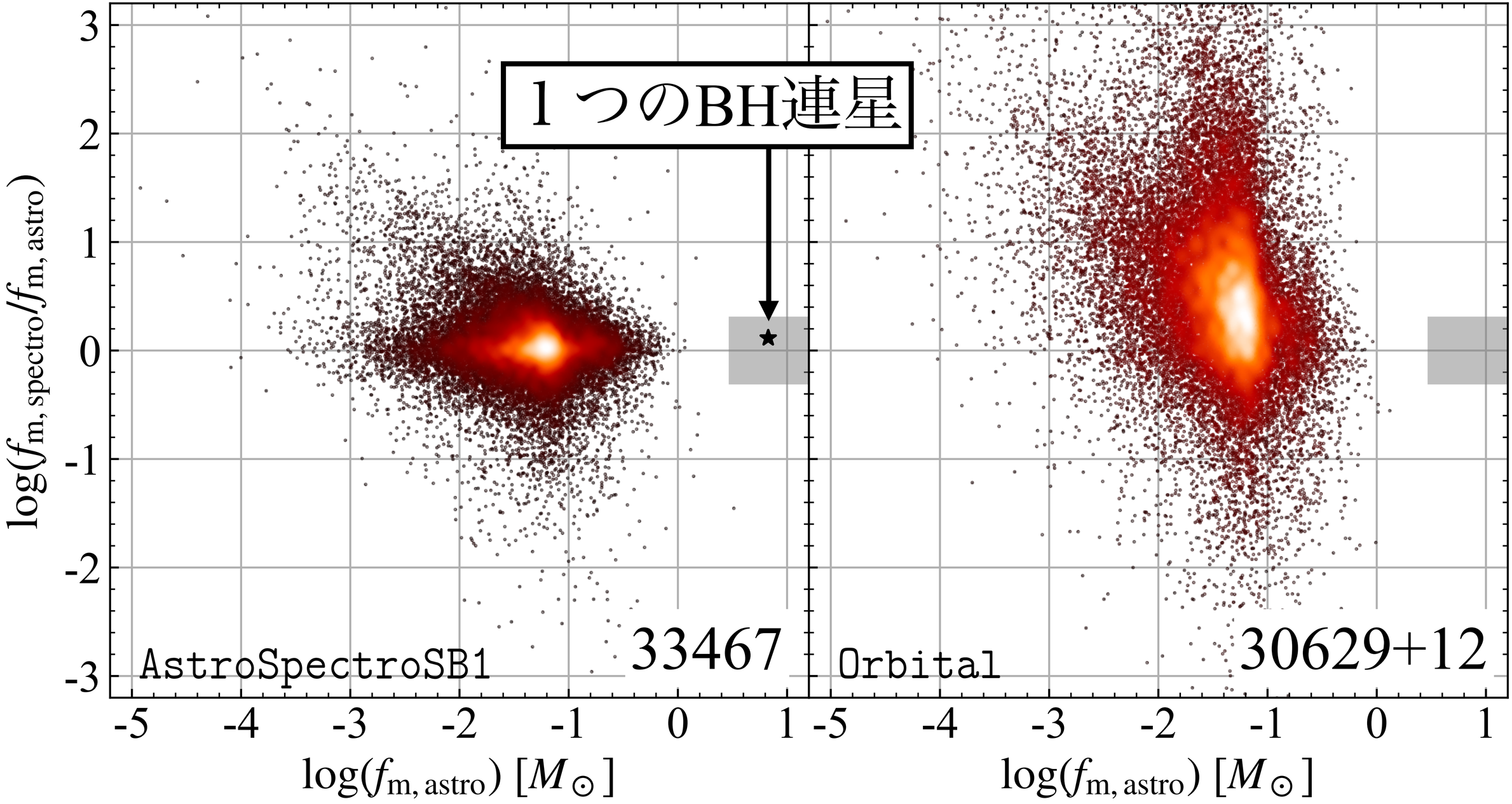
$$f_{\mathrm{m,spectro}} = 3.8\times10^{-5}\left(\frac{K_1}{\mathrm{km\ s^{-1}}}\right)^{3}\left(\frac{P}{\mathrm{yr}}\right)(1-e^2)^{3/2}\sin^{-3} i\,[M_\odot]$$



視線速度の周期的な変化

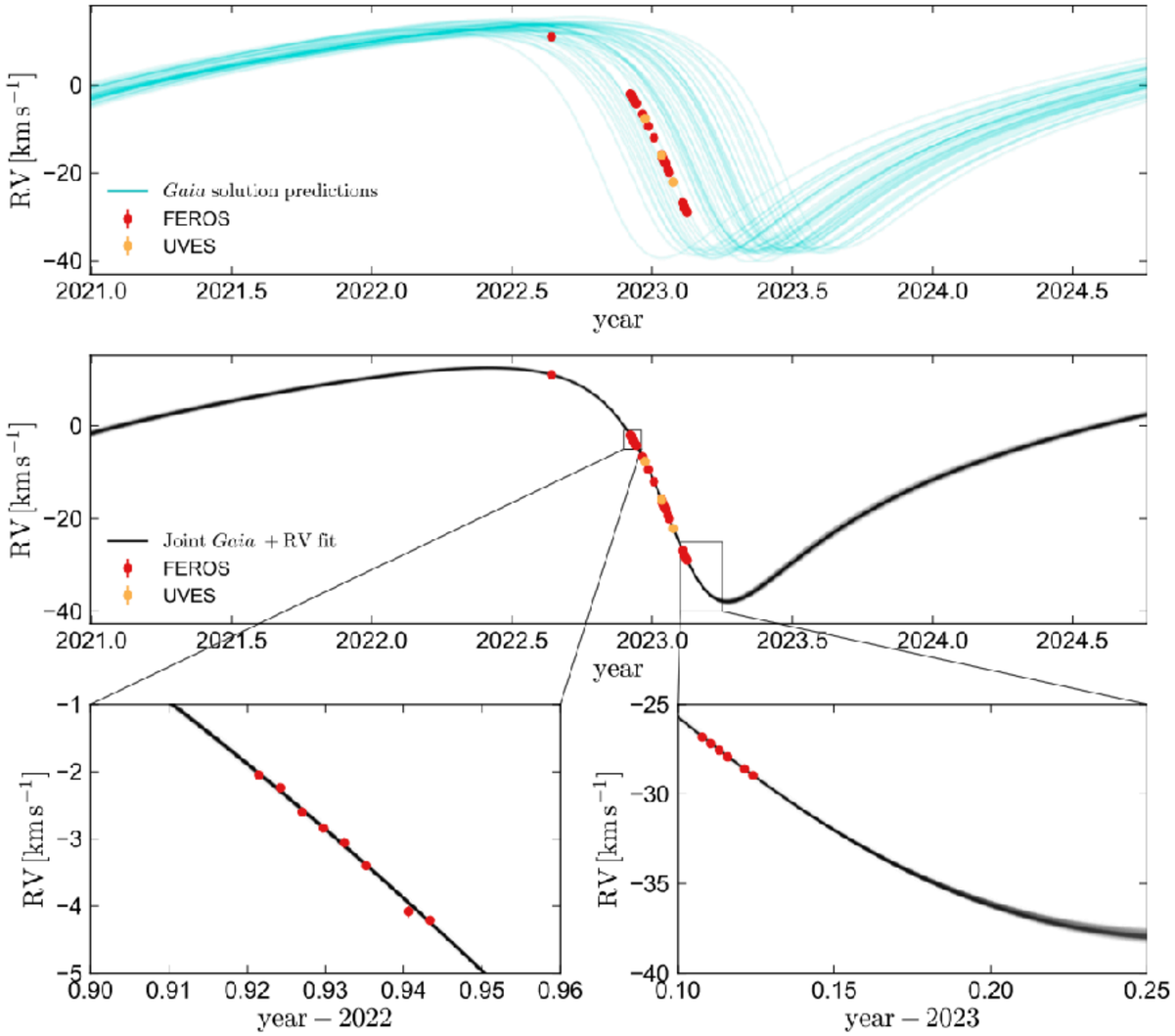


- $f_{\mathrm{m,astro}} \geq 3M_\odot$
- $f_{\mathrm{m,astro}} \sim f_{\mathrm{m,spectro}}$



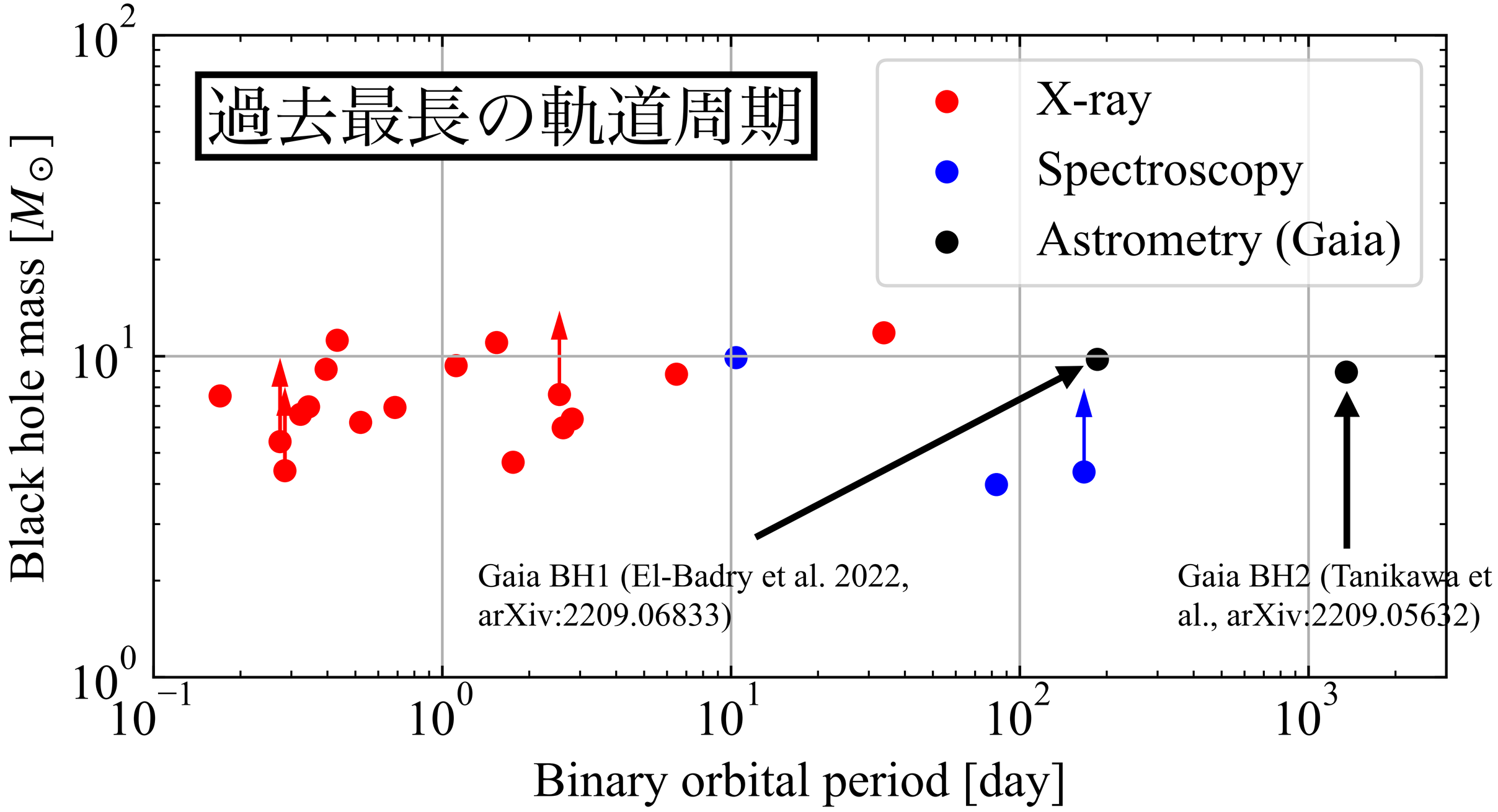
Tanikawa et al. (2023, ApJ, 946, 79)

Gaia BH2として確定 (El-Badry+23)

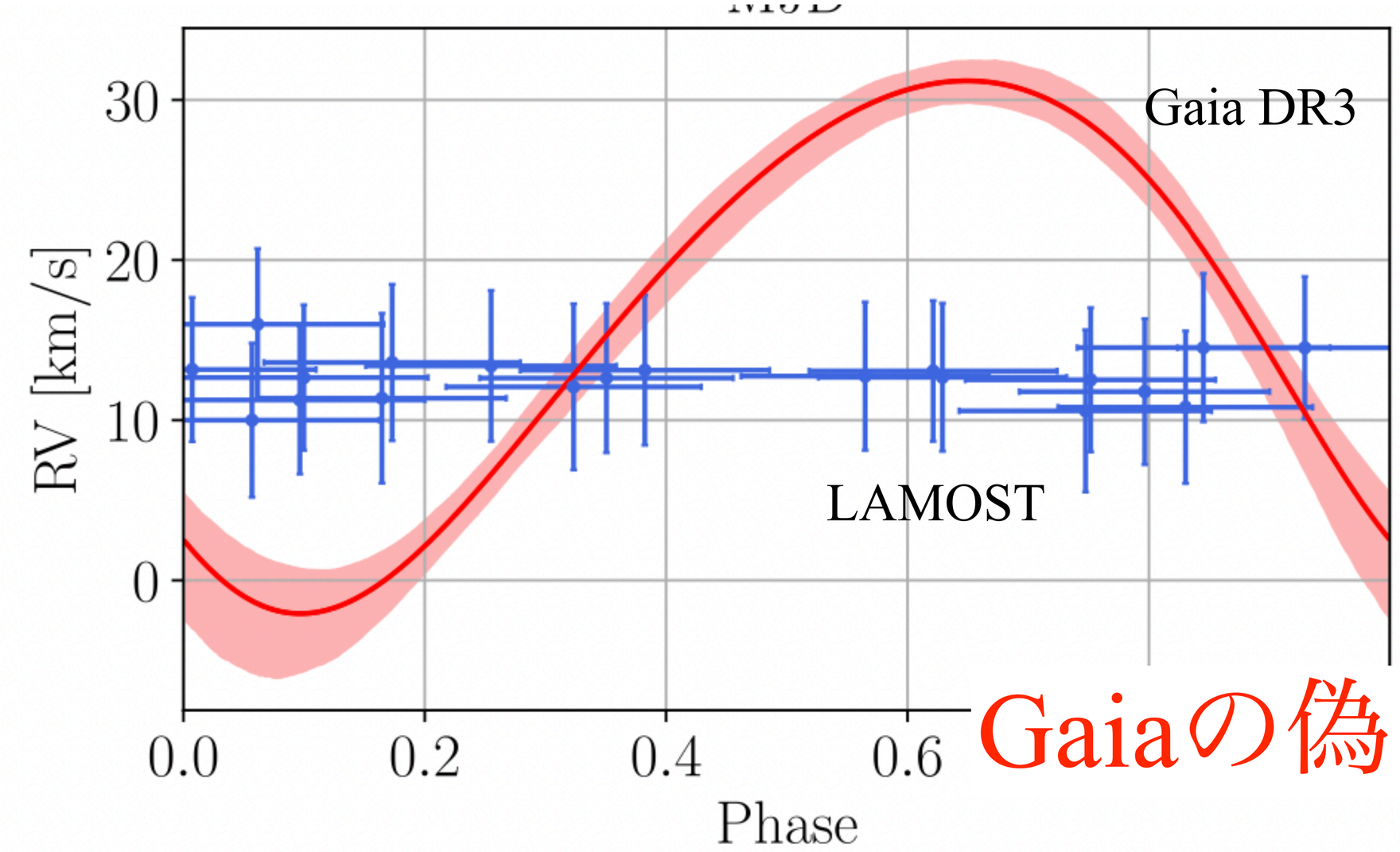


【注意】

- ~~BH-BHの親星~~ (主星質量は$1M_\odot$)
- Gaia DR3にはBH-BHの親星なし
- Gaiaの周期10^2 – 10^4日のコンパクト連星の探査能力を証明

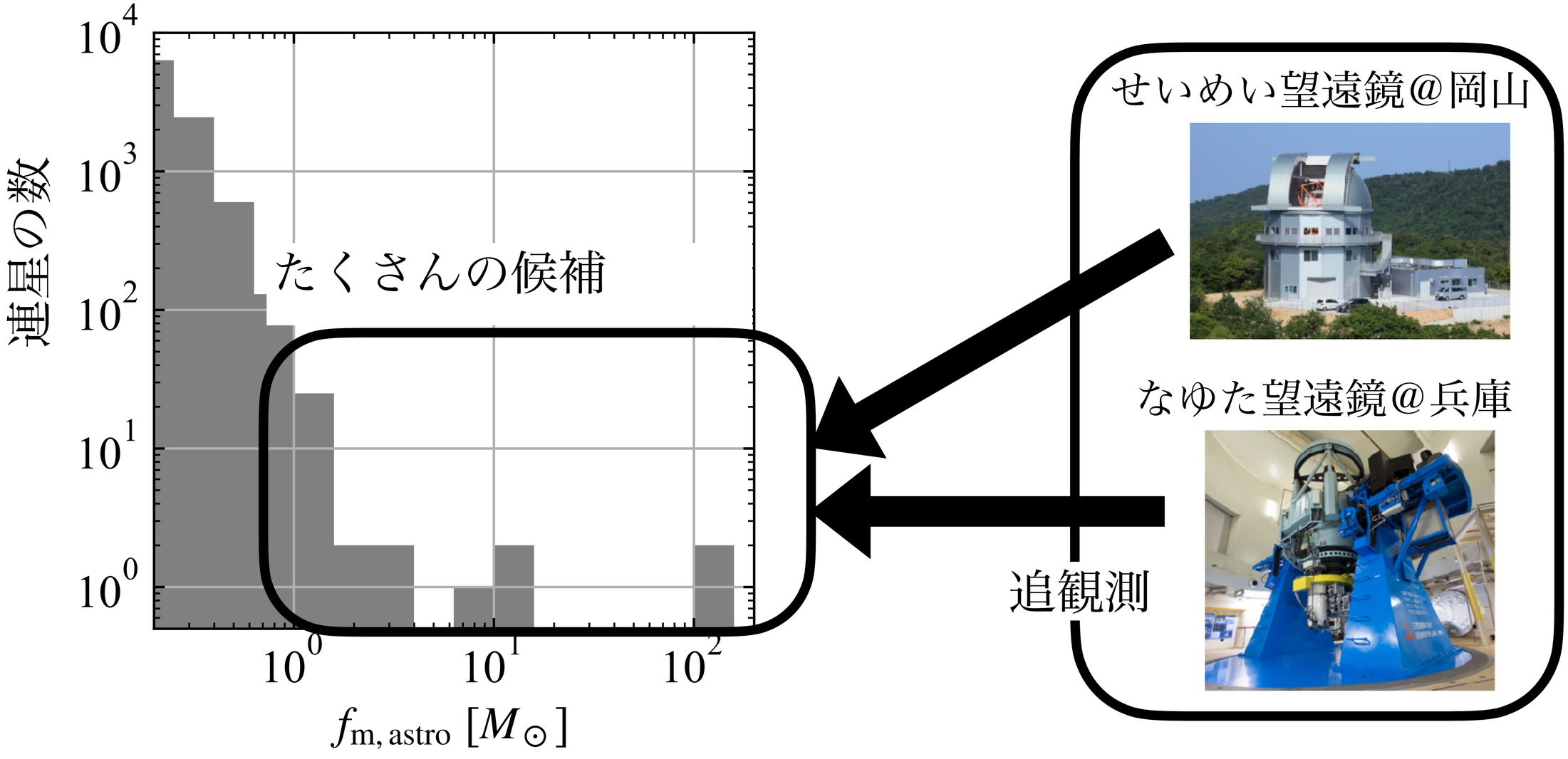

過去最長の軌道周期
X-ray
Spectroscopy
Astrometry (Gaia)
Gaia BH1 (El-Badry et al. 2022, arXiv:2209.06833)
Gaia BH2 (Tanikawa et al., arXiv:2209.05632)
Black hole mass [$M_\odot$]
Binary orbital period [day]
10^2
10^1
10^0
10^{-1}
10^0
10^1
10^2
10^3

追観測の必要性



Gaiaの偽陽性

その他のコンパクト連星候補



まとめ

- Gaiaによって**軌道周期10^2 – 10^4日のコンパクト連星探査**が容易に
- コンパクト連星候補を**せいめいGAOES-RV（観測中）となゆたMALLS（申請中）**で追観測
- 未開拓のパラメータスペースであるため発見自体に意義
- Gaia DR4でBH-BHや連星中性子星の親星の発見へ