

# なゆた望遠鏡MALLSを用いた大質量星の 視線速度変動モニタリング

須田 拓馬 (東京工科大)

共同研究者

森谷 友由希 (国立天文台)

本田 敏志 (兵庫県立大)

茂山 俊和 (東大RESCEU)

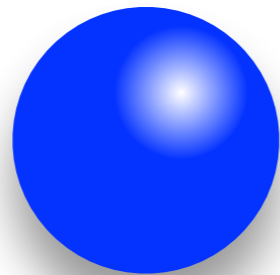
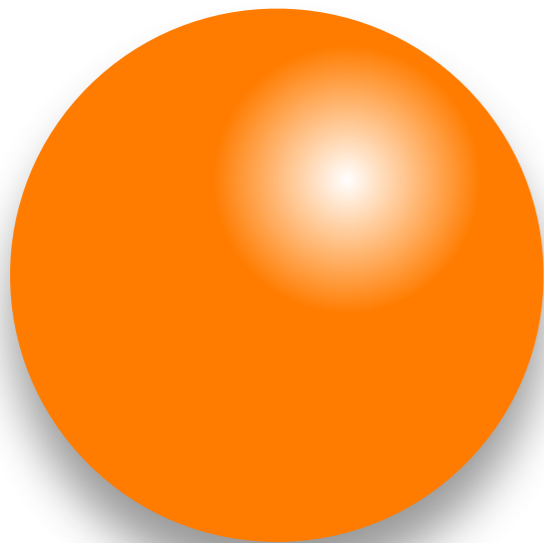
齋藤 貴之 (神戸大)



# なぜOB型星連星なのか？

## 1. 第一世代星の連星形成への制限

第一世代の大質量星



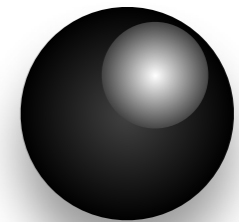
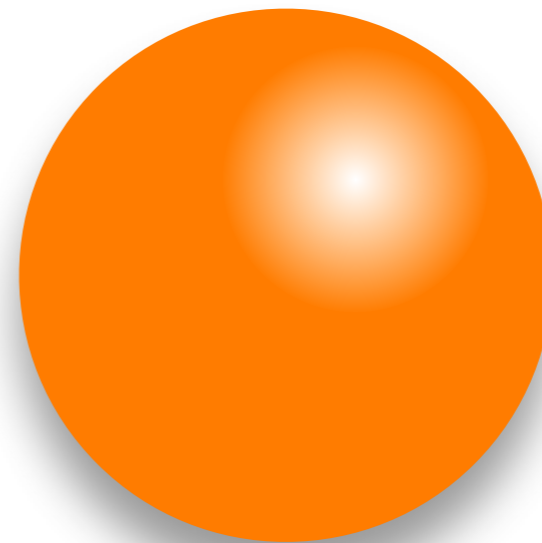
第一世代の小質量星

- ★ 主星の超新星爆発イジェクタが伴星表面に衝突
- ★ 第一世代星に質量比( $q_1/q_2$ )の大きい近接連星ができたのか。

Suda et al. (2021)

## 2. 重力波起源天体の探査

近傍大質量星



ブラックホール  
または中性子星

- ★ 主星(大質量星)が進化するとブラックホール (中性子星) 連星の形成可能性

Moritani et al. (in prep.)

# コンパクト星連星の探査

- **low-mass X-ray binaries**の探査
  - 見つけるのは容易だが、連星進化としてはまれな存在 (Portegies Zwart+97).
  - 50個程度のX-線源がBHを持っているかも (Corral-Santana+16).
- **重力波 (GW) 起源天体**の探査
  - 10個程度のBH-BH, BH-NS, NS-NS 連星(LIGO Collaboration+21)
- **相互作用しないコンパクト星**の探査
  - 2MASS J05215658+4359220 ( $M_{\text{BH}} \sim 3.3 M_{\odot}$ )
  - LB-1 ( $M_{\text{BH}} \sim 68 M_{\odot}$ ), HR 6819 ( $M_{\text{BH}} > 4.2 M_{\odot}$ ) BH伴星が主張されたが棄却
  - Gaia BH1 ( $M_{\text{BH}} \sim 9.8 M_{\odot}$ ), BH2 ( $M_{\text{BH}} \sim 8.9 M_{\odot}$ ) by Gaia DR3
- **銀河系内のBH連星の個数の見積もり**
  - $\sim 10^3$  BH X-ray binaries in MW (Corral-Santana+16)
  - Gaiaを使った銀河系内のBH連星個数の見積もり (Mashian+17, Breivik+17, Yamaguchi+18, Shikauchi+23, etc.)



# 大質量星連星の探査

- Target: 大質量星 (+低質量星)
  - OB星を分光カタログから選定 (Skiff, 2009-2016) 64112個
  - double-lined, eclipse, and visual binariesを除外。(20文献以上探査) 56370個
- 分光連星のうちSB1を取得。 59個
- 8等より明るい星を取得 21個
- Dec. > -25° 14個
- 先行研究の調査で厳選 10個
- 視線速度のmonitoring
  - MALLS on なゆた望遠鏡 (中分散)
    - 2016年後期から30晩以上
  - HIDES on 岡山188cm望遠鏡 (高分散)
    - 6晩 (17A) + 3晩 (2019キューー観測)
  - GAOES on ぐんま天文台150cm (高分散)
    - 2016/11/12-2017/2/4: 7晩

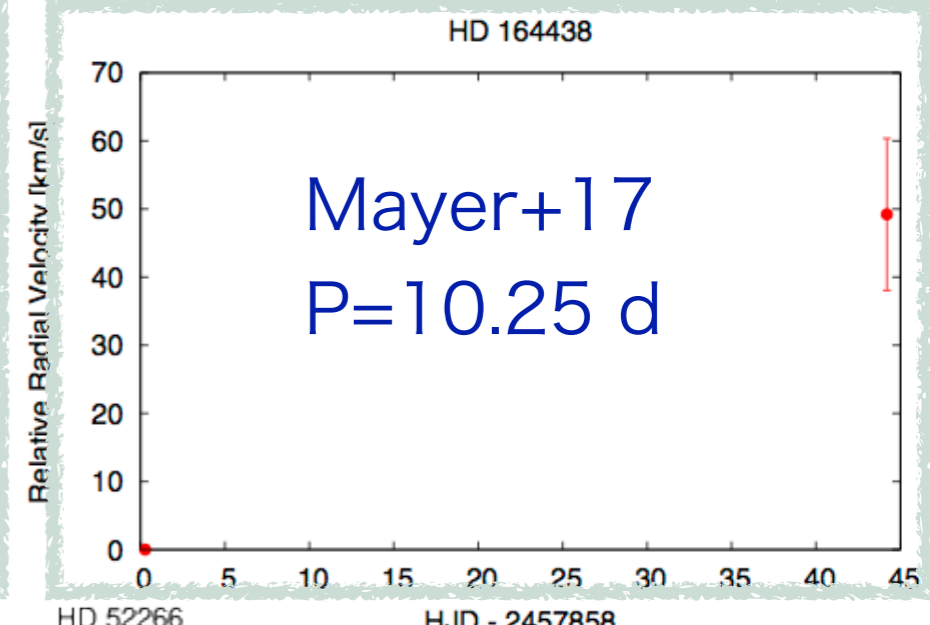
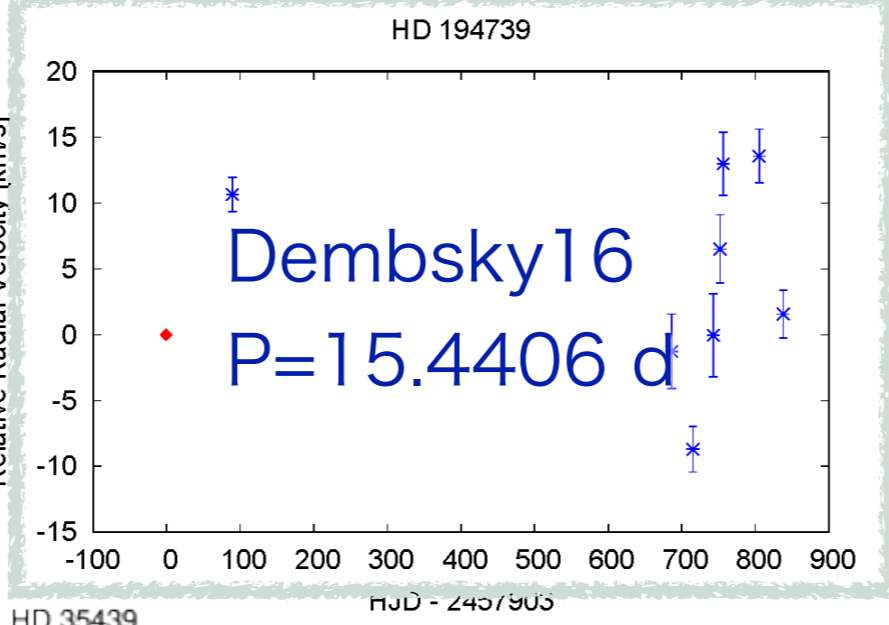
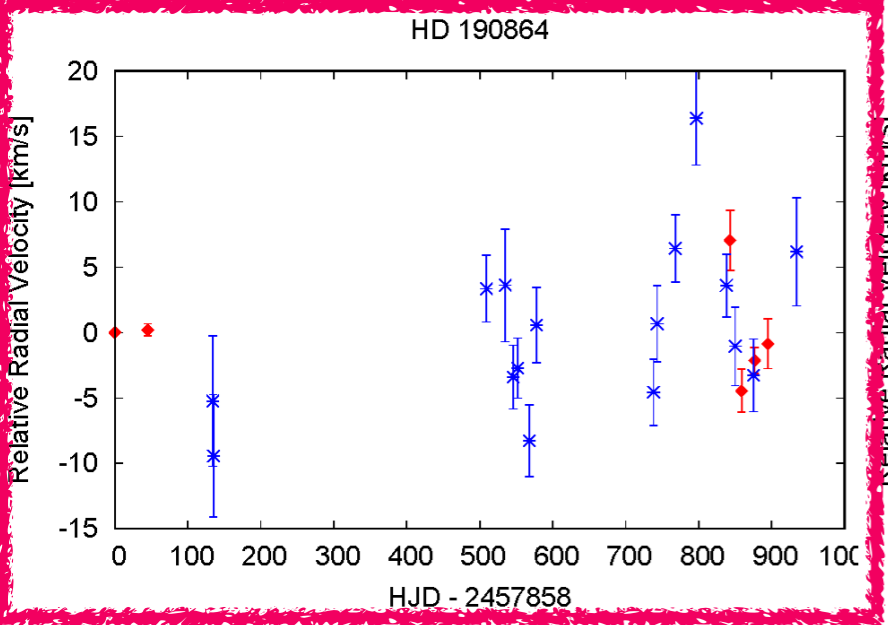
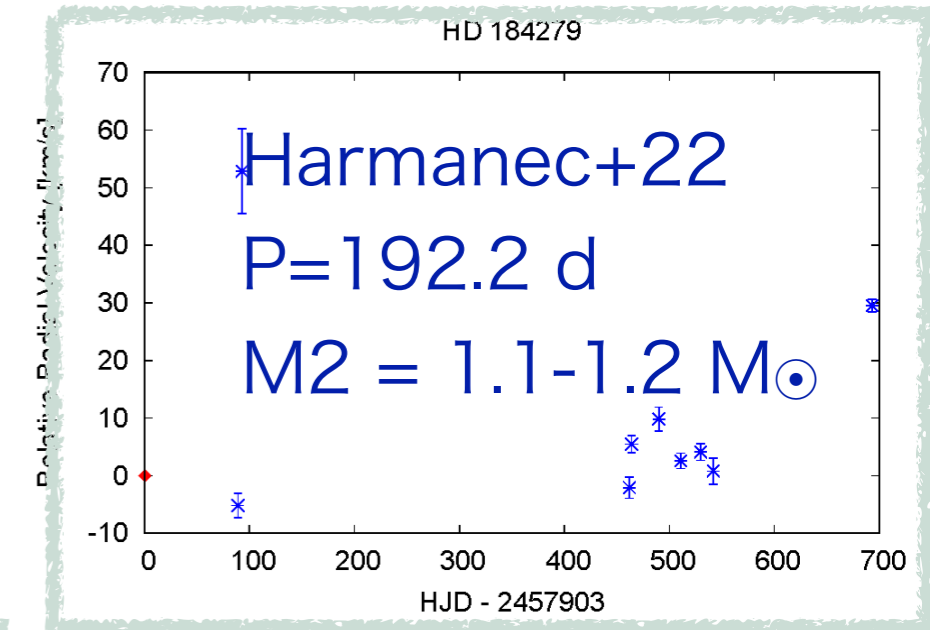
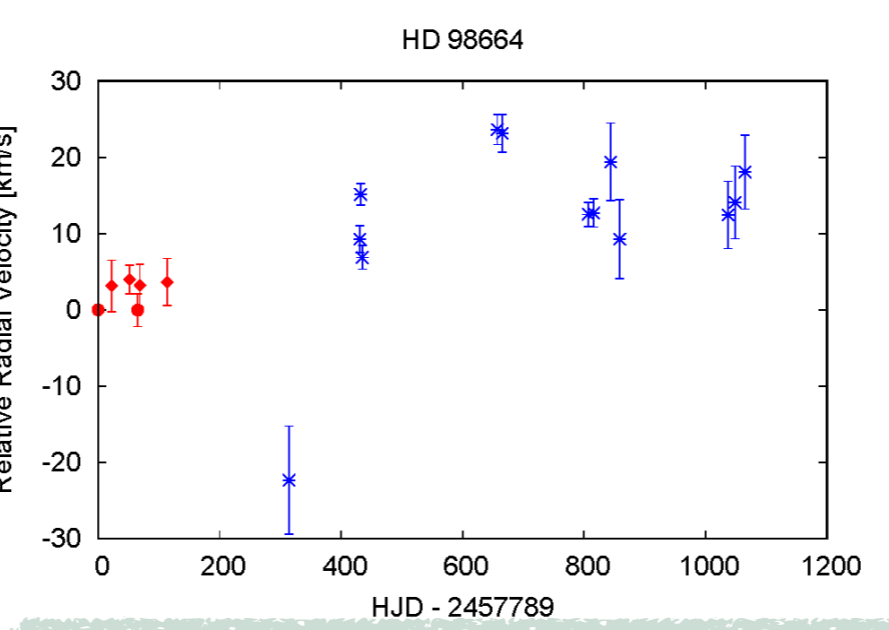
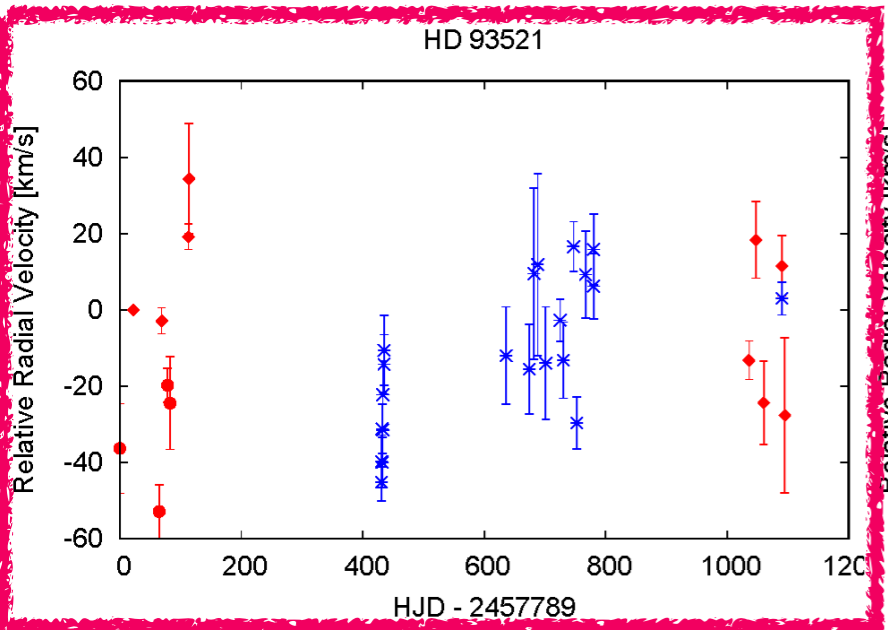
# 観測と解析



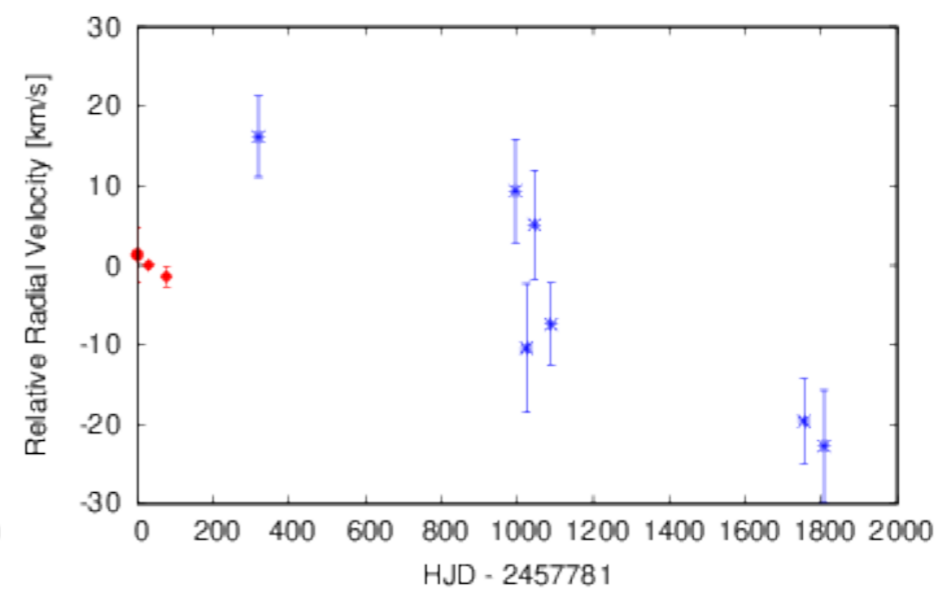
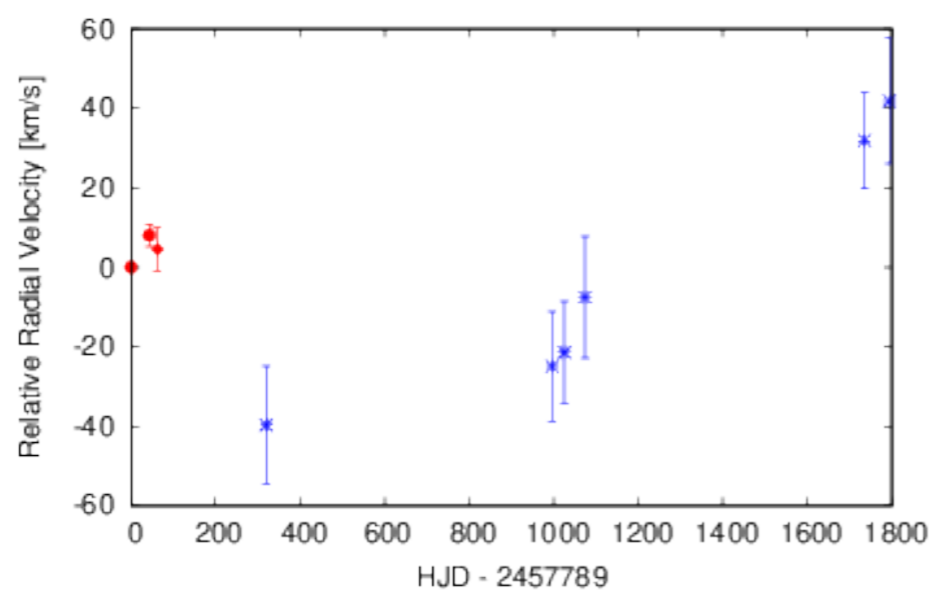
- なゆた望遠鏡MALLS
  - 中心波長: 440 nm, 480 nm
  - 波長分解能:  $R \sim 5000$
  - $S/N > 200$
- ぐんま天文台150cm望遠鏡GAOES、岡山188cm望遠鏡HIDES
  - 波長域: 400-500 nm
  - 波長分解能:  $R \sim 30000$  (GAOES),  $R \sim 60000$  (HIDES)
  - $S/N > 200$
- 解析: IRAF
  - bias subtraction, flat fielding, extraction to 1-d spectrum, wavelength calibration, intensity normalization, and heliocentric correction.
  - cross correlation methodを用いた視線速度変動の検出

Moritani, TS+ (Stars and Galaxies, 1, 1, 2018)

# 視線速度変動を検出できた天体



赤: 高分散  
青: 中分散

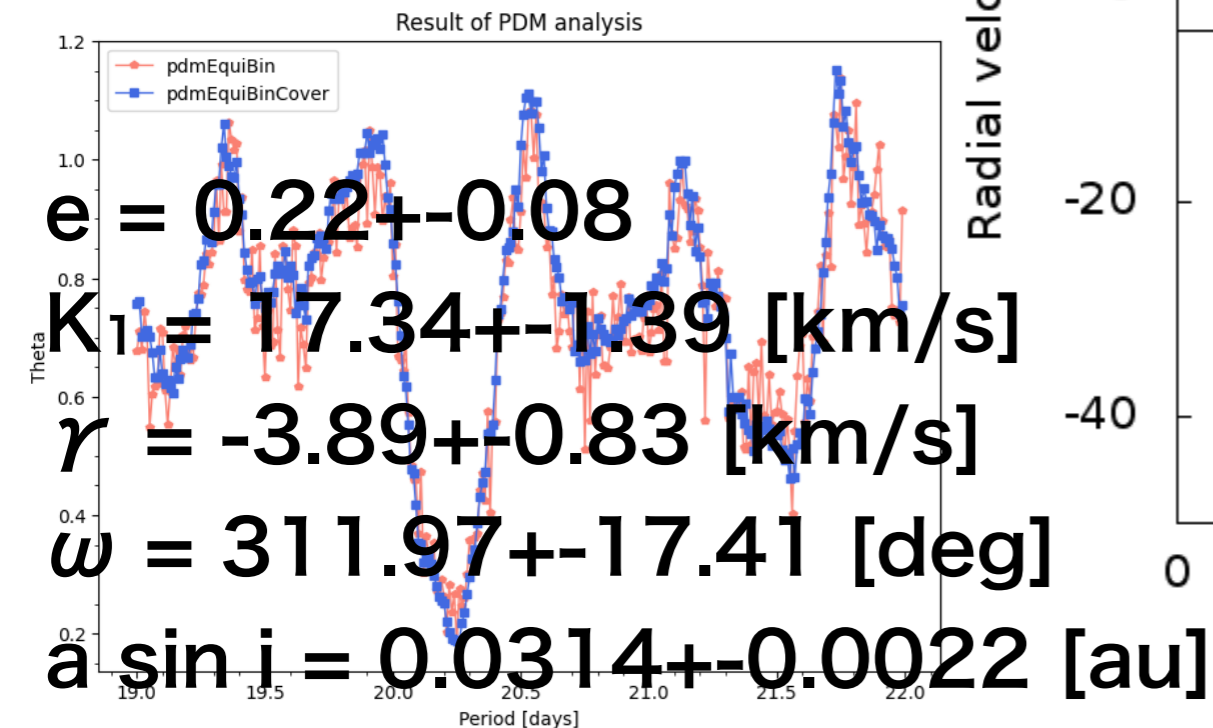
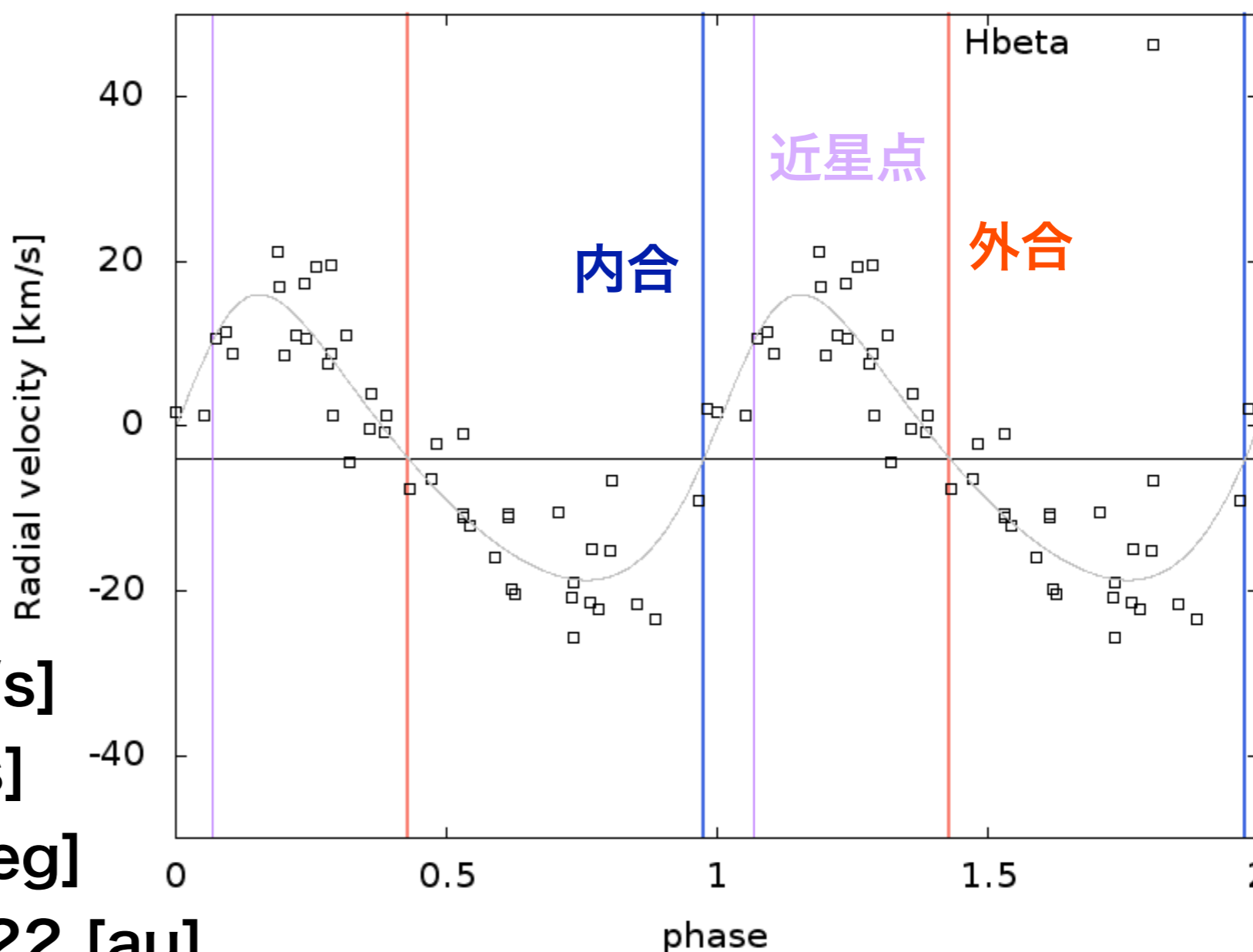
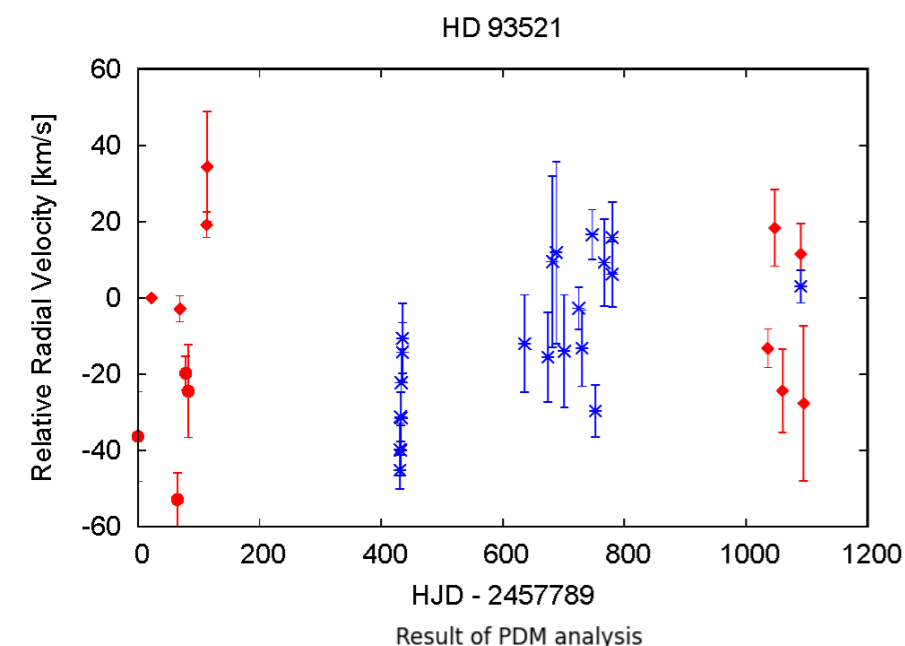




# Binary period of HD 93521

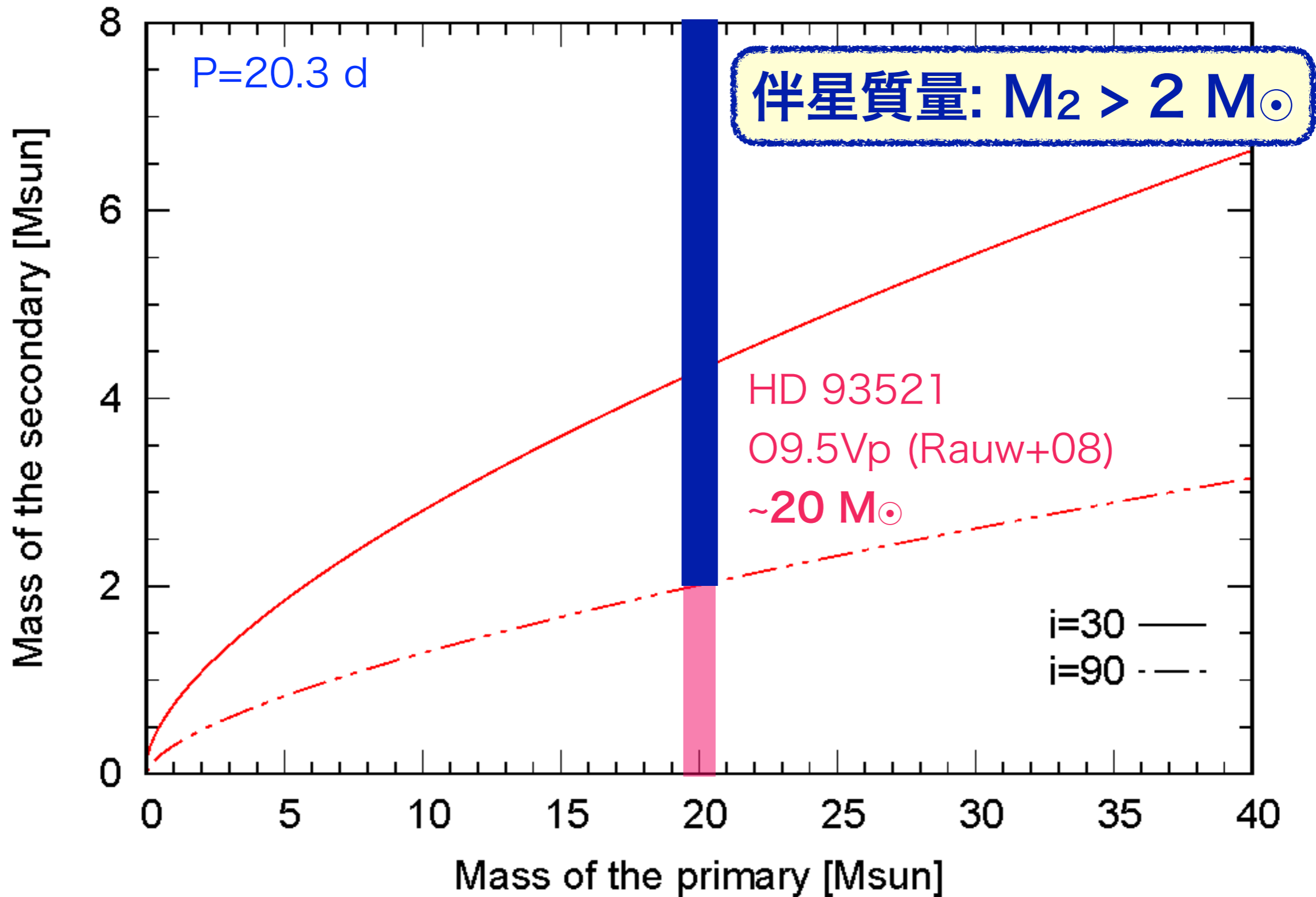
- ★ MALLSの継続観測などを利用。一週間おきのデータや日ごとのデータなどが取れている。
- ★ PDM (Phase Dispersion Minimization) 解析による連星周期と連星パラメタの決定。

周期20.25日で折りたたみ



# 大質量星 + ブラックホール連星?

## 重力波起源天体の可能性





# 大質量星 + ブラックホール連星の検証

## 相互作用をしていない連星系か？

- 潮汐効果による明るさの変化
  - 軌道離心率が大きければ検出しやすいが、HD 93521は離心率小
  - 高精度の測光モニタリング観測が必要
- ブラックホールからのX線放射による大質量星への照射
  - detached binaryの場合検出困難
- 降着円盤の蝕
  - 軌道面の角度に依存するが検出は困難
- コンパクト天体の証拠は見つかっていない。
  - Rauw et al. (2012)によるX線観測
  - “No trace of a compact companion is found in the X-ray data.”
- 主系列伴星由来の線が見えていないだけ？
  - MALLS低分散観測 (2020, 2021)では同時期に0.3 magの光度変化 (恒星活動由来?)が見られたため、結論が出せず。
  - 高分散分光観測で伴星由来の線の有無を検証中 (解析中)



# HD 93521の素性

- 銀河円盤から高緯度( $\sim 1.4$  kpc)に位置する高速度星
  - 連星系における力学的相互作用か超新星イベントによって銀河面から放出された種族Iの星 (Rauw et al. 2012)
- ブラックホールを伴星に持つ連星系
  - 初期型主系列星を主星とするSB1は低質量(A-K型)の伴星を持つとは限らず、 $1-3 M_{\odot}$ の白色矮星、中性子星、ブラックホールを持つ場合も多い。(Moe & Di Stefano 2017)
  - 赤色巨星( $M_1 \sim 2-4 M_{\odot}$ )と伴星( $M_2 > 1.4 M_{\odot}$ )を主張する例がある。(Thompson et al. 2019, Tanikawa+23, El-Badry+23)
- 将来的に重力波を発生する天体か？
  - 大質量星+ブラックホールの観測例は少ない (Casares+14など)
- Gaia DR2には有用な情報なし
  - DR3では視線速度の観測データ公開 (まだ未調査)
- 4番目か5番目に近いブラックホールの可能性
  - Gaia BH1 (480 pc, El Badry+23, Chakrabarti+23), V616 Mon (1.07 kpc), Gaia BH2 (1.16 kpc), Cyg X-1 (1.8 kpc)

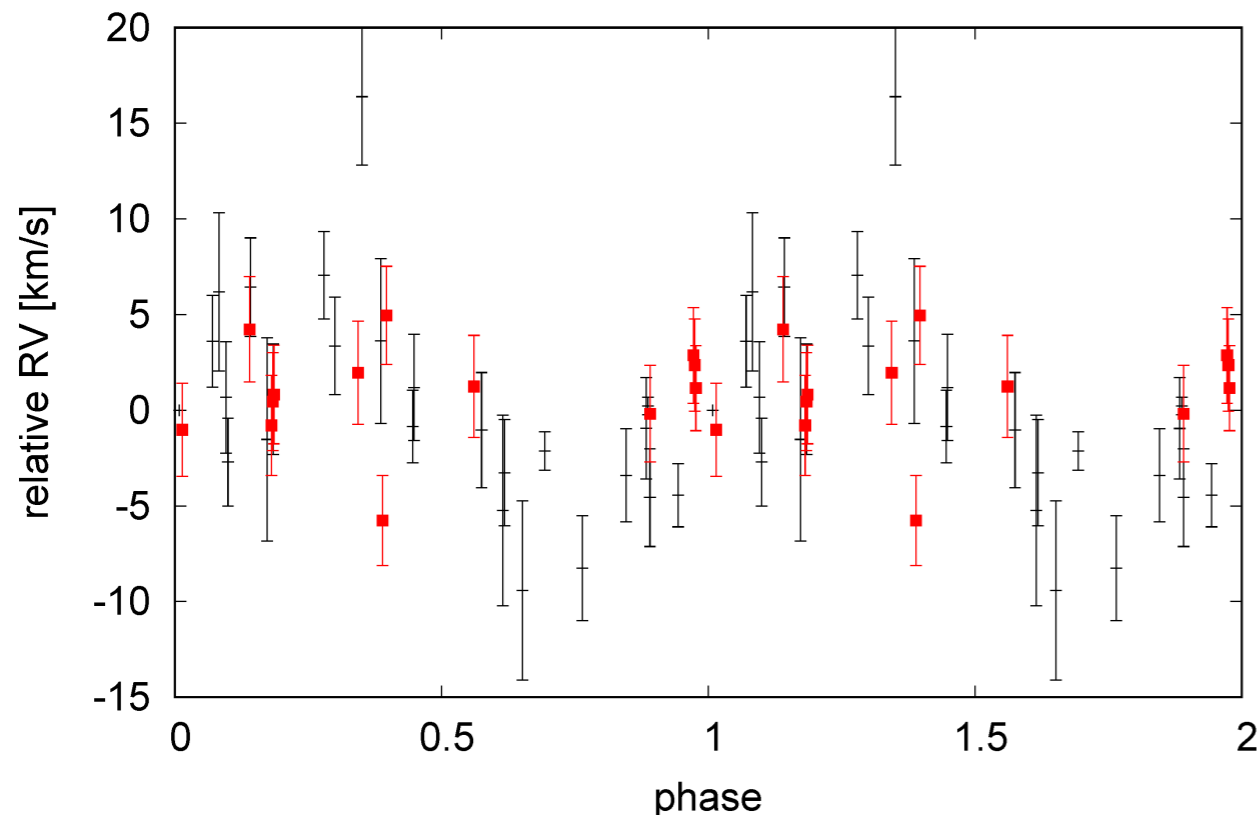


# 周期の絞り込み: HD 190864

- ★ 主星:  $30 M_{\odot}$  (O6)
- ★ 先行研究で連星の報告なし
  - ★ 10年間の17夜の観測でHe II 4686に変動あり (Mahy+13)
  - ★ AOを使った観測で伴星被検出 (Turner+08)
- ★ PDM (Phase Dispersion Minimization) 解析
  - ★  $P = 24$  or 146日 ( $146 \approx 24 * 6$ )
- ★ Gaia DR2+Hipparcosを組み合わせたProper Motion anomaly (PMa)ではbinary flag = 0 (Kervella+19)

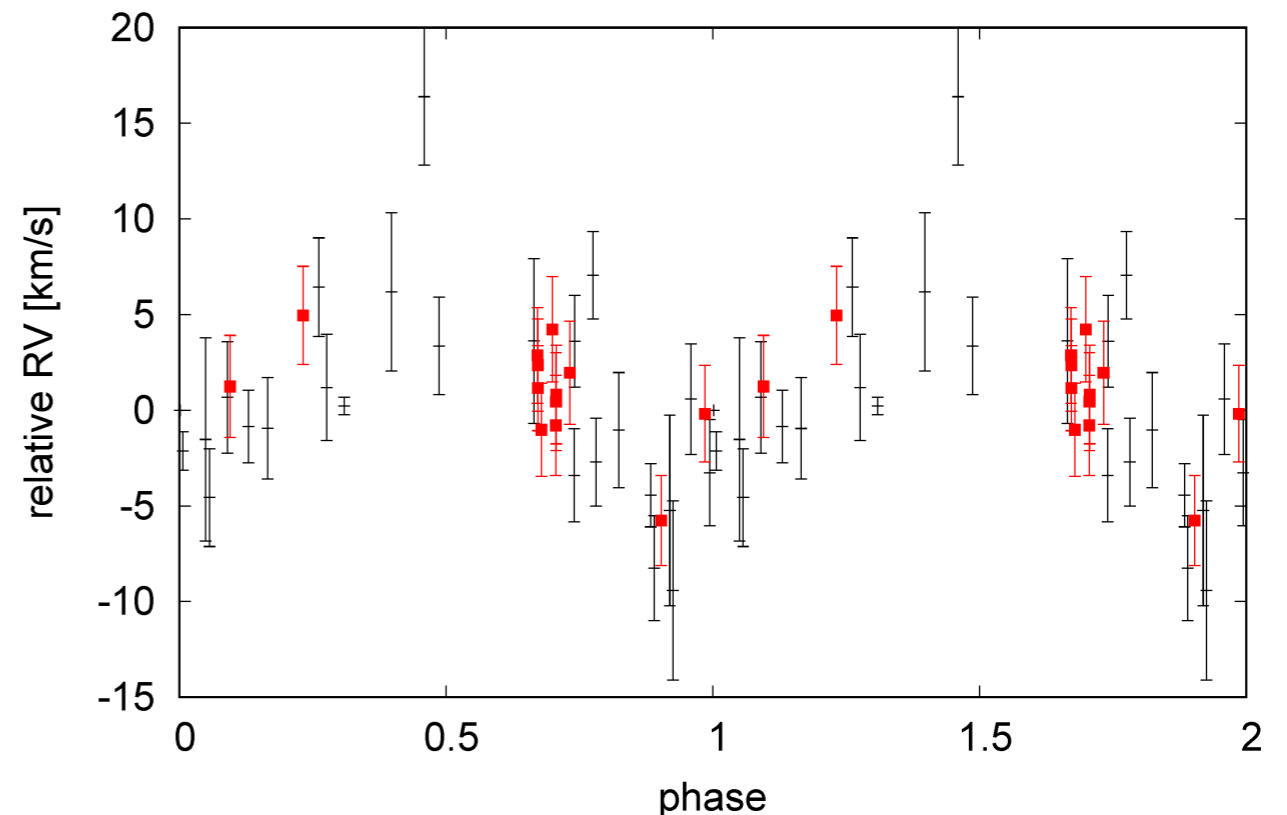
周期23.9日で折りたたみ

HD 190864 (P=23.9 d)



周期146日で折りたたみ

HD 190864 (P=146 d)



## まとめ

- 重力波起源天体の間接的証拠を発見すべく、OB型星の視線速度変動モニタリングを継続している。
- なゆた望遠鏡、ぐんま天文台150cm望遠鏡、岡山188cm望遠鏡の観測を組み合わせ2016年より観測
  - OB星カタログから14個のSB1を観測対象に選定
  - 8天体で視線速度の変動を検出
- HD93521の伴星質量が $2M_{\odot}$ 以上と制限がついた。
  - 主系列星かブラックホールかを判別するのは困難
  - 4-5番目に近いブラックホールの可能性
- HD 190864も連星周期を絞りつつある。
- HD 35439, HD 52266をモニタリング中

