

# なゆた望遠鏡MALLSを用いた 大質量星連星の探査

須田 拓馬 (放送大学 / 東大RESCEU)

森谷 友由希 (東大Kavli IPMU)

茂山 俊和 (東大RESCEU)

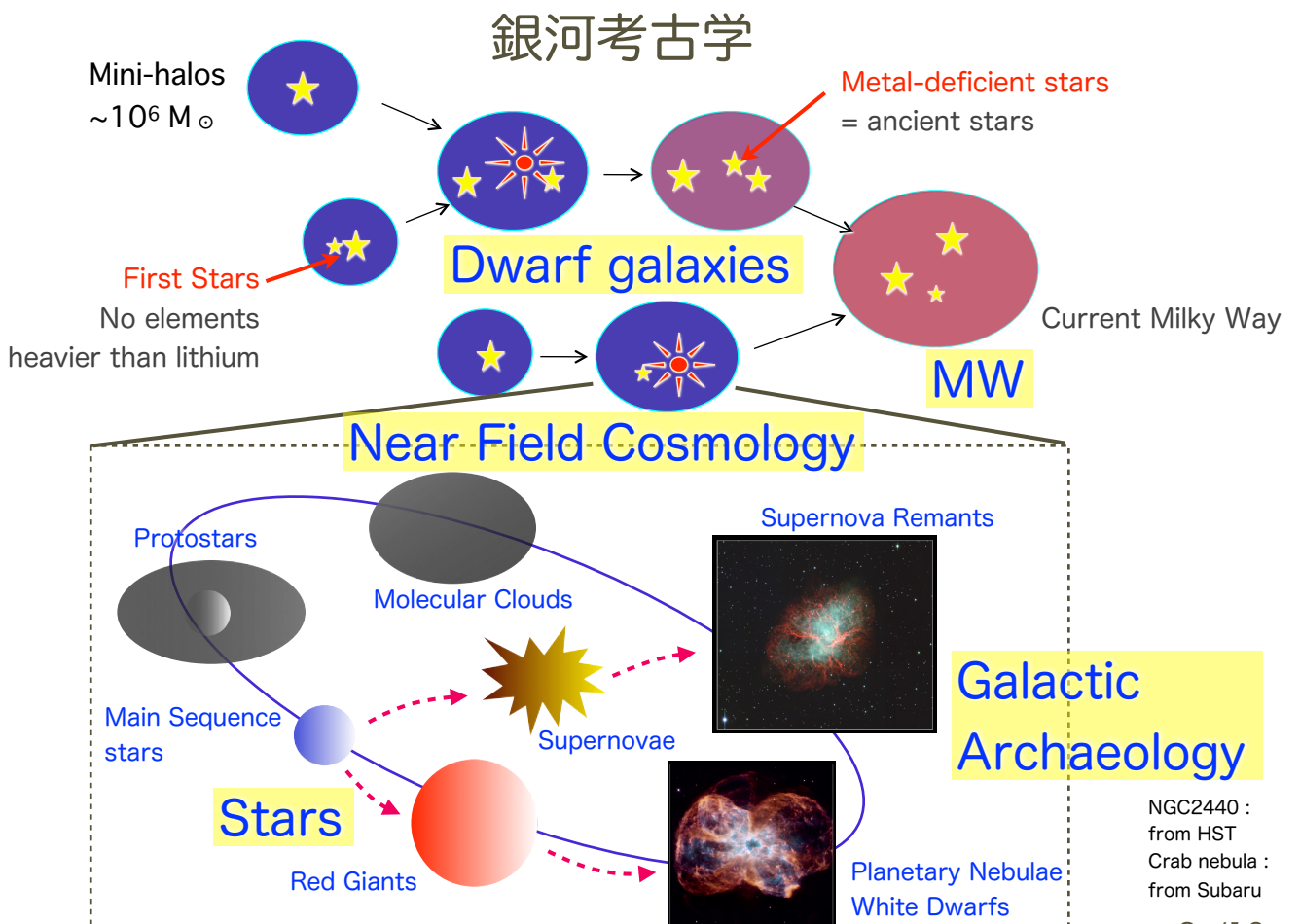
斎藤 貴之 (神戸大)

科研費基盤C「連星系での超新星爆発の影響を受けた星の熱進化」

研究代表: TS、2016-2019年度

1 / 16

なゆた望遠鏡MALLSを用いた大質量星連星の探査: 須田拓馬



2 / 16

# (炭素過剰) 金属欠乏星の起源

## • Mixing and fallback (supernova) models

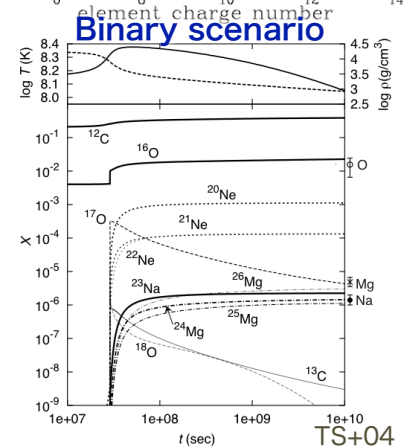
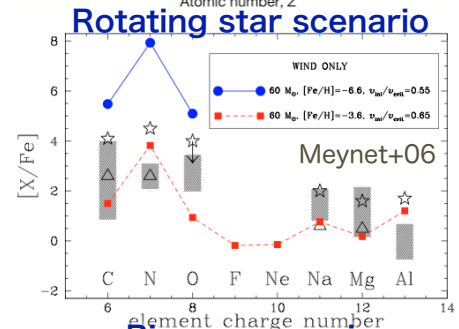
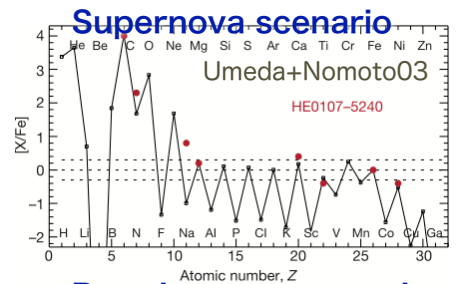
- Mixing regionとfallback parameterを調整することで多くの金属欠乏星の組成パターンを説明可能。(Tominaga+14)
- faint supernovaから次世代の星を作ることができるかどうか議論されている。(Chiaki+16,17)
- すべてのPop. IIIをfaint supernovaと仮定した場合の[C/Fe]と[Fe/H]分布との比較が行われている。(Cooke+Madau14)

## • Fast rotating massive star models

- すべてのPop.IIIがFRMSだと仮定して化学進化モデルの計算。(Chiappini+06)
- Li組成や $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比を説明するためにmixing parameterを調整。(Choplin+17)

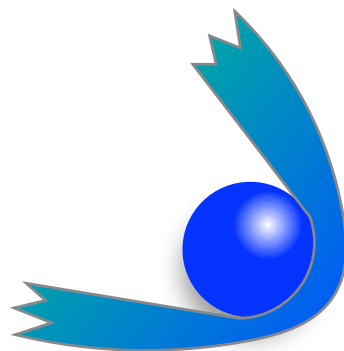
## • Binary mass transfer models

- 金属欠乏AGB星に特有な物質混合(Fujimoto+90,00, Cassisi+96, Schlattl+02, TS+04,07,10, Campbell+08, Iwamoto+04,09, Lau+09, Lugaro+12)
- 連星モデルから星のIMFを予言。(Komiya+07)
- HE0107-5240では連星周期150年を予言。(TS+04)
  - CEMP(-no)星は連星に属していないという観測結果。(Starkenburger+14, Hansen+16)
  - 実際に視線速度変動が検出され周期も理論と整合。(Arentsen+19)



なゆた望遠鏡MALLSを用いた大質量星連星の探査: 須田拓馬

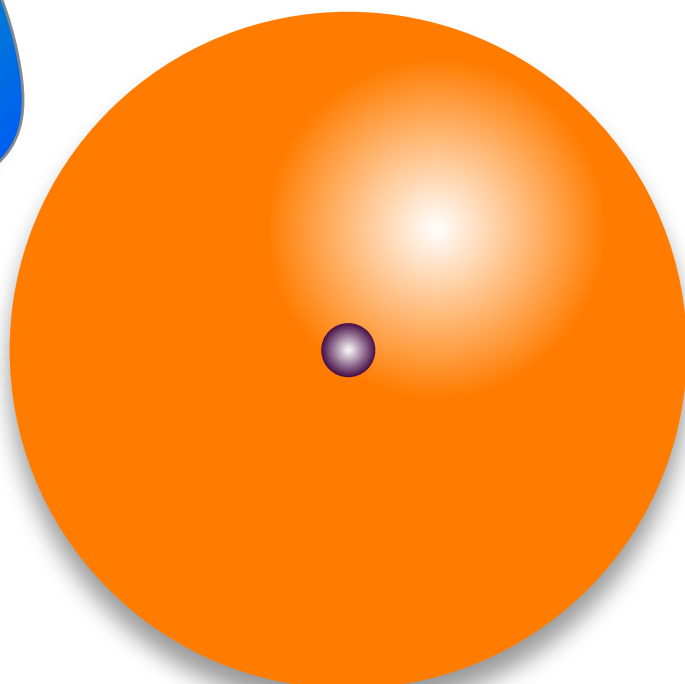
## 第4のシナリオ: 超新星連星シナリオ



第一世代の小質量星

- ★ 伴星表面の剥離
- ★ 超新星イジェクタの降着
- ☆ 連星間距離が小さい必要あり。
- ☆ 赤色超巨星 ( $R > \sim 5 \text{ au}$ ) では成立しないが第一世代星はOK (cf. Marigo+01, Heger+10, Kinugawa+14).

第一世代の大質量星



## 超新星イジェクタと伴星衝突のシミュレーション

- ・ 恒星進化モデル: 一次元球対称静水圧平衡 (Suda+10)
- ・ 超新星爆発モデル: SN1987A (Shigeyama+90)
- ・ SPHシミュレーション: ASURA (Saitoh+08)

- ・ 連星系:  $20 M_{\odot} + 0.8 M_{\odot}$
- ・ 連星間距離:  $\sim 0.05 \text{ au}$  ( $\sim 10 R_{\odot}$ ) or  $\sim 0.1 \text{ au}$  ( $\sim 20 R_{\odot}$ )
- ・ イジェクタ粒子数:  $\sim 16M$ , companion:  $\sim 1M$

- ・ 先行研究: 超新星イジェクタ衝突による剥離
  - ・ Ia: Marietta+00: PPM
  - ・ Ia: Pakmor+08: GADGET
  - ・ Ia: Pan+12: FLASH
  - ・ II: Hirai+14: yamazakura, massive + massive

5 / 16

## 大質量星連星の観測的証拠

- ・ 大質量Pop. IIIは現在まで生き残れない。
  - ・ 近傍のOB starsにcounterpartはいるか?
- ・ 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)
- ・ 分光連星のうちSB1を取得。 **59個** **56370個**
- ・ 8等より明るい星を取得 **21個**
- ・ Dec. >  $-25^{\circ}$  **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)
  - ・ **2** (16B) + **6** (17A) + **4** (17B) + **5** 晩 (18A)
  - ・ + **3** 晩 (18B継続観測) + **3** 晩 (19A継続観測)

- ・ HIDES on 岡山188cm望遠鏡 (高分散)
  - ・ 17A: **6** 晩
- ・ GAOES on ぐんま天文台150cm (高分散)
  - ・ 2016/11/12-2017/2/4: **7** 晩

6 / 16

## 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~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~30000 (GAOES), R~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)

7 / 16

## 観測天体と解析進捗状況 (2017年9月)

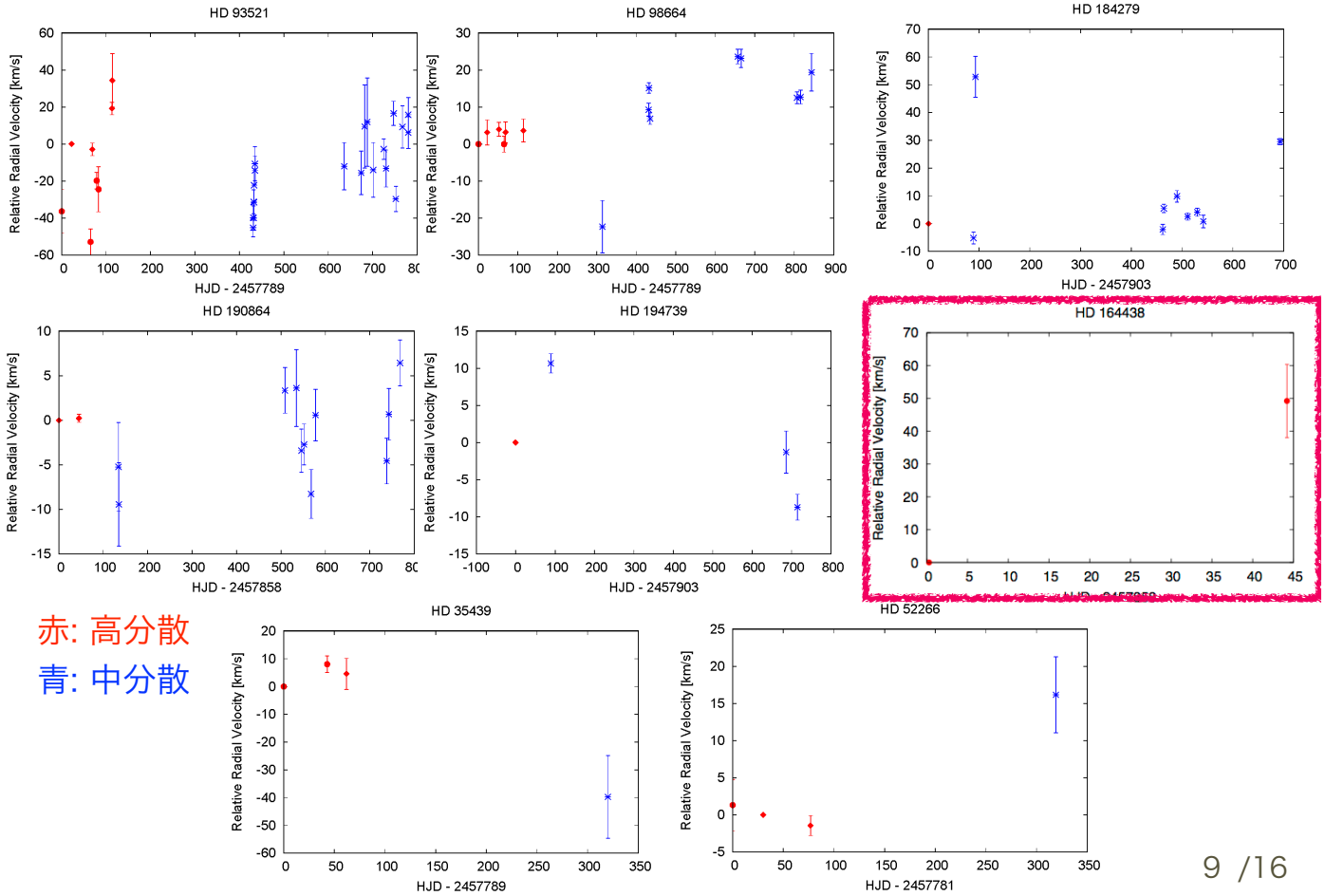
※ 2017/05/28以降未解析

ぐんま、岡山ど  
ちらも含む

Name	RA	Dec	Mag., Sp. Type	High Disp.		Mid. Disp.		Notes
				# obs.	span [d]	# obs.	span [d]	
del-Cet	02 39 28.96	+00 19 42.6	4.1 (V), B2III	4	75			
HD 18326	02 59 23.17	+60 33 59.5	8.0 (V), B0	0		2	3	Not reduced: 2 days
HD 20756	03 21 13.63	+21 08 49.5	5.4 (V), B5	3	106			
HD 35439	05 24 44.83	+01 50 47.2	4.9 (V), B3e	2	62			
HD 52266	07 00 21.08	-05 49 36.0	7.2 (V), O8	3	77			
bet-CMi	07 27 09.04	+08 17 21.5	2.9 (V), B8IV/V	4	94			
HD 93521	10 48 23.51	+37 34 13.1	7.1 (V), B3	5	104			Not reduced: 2 days
HD 98664	11 21 08.19	+06 01 45.6	4.1 (V), B9	5	104			Not reduced: 1 day
HD 164438	18 01 52.28	-19 06 22.1	7.5 (V), B1	2	34			Not reduced: 1 day
HD 184279	19 33 36.92	+03 45 40.8	7.0 (V), B2e	1	n/a	2	4	Not reduced: 1 day (High) and 2 days (Mid)
HD 190864	20 05 39.80	+35 36 28.0	7.8 (V), O6	1	n/a	2	1	Not reduced: 1 day (High) and 2 days (Mid)
HD 194739	20 27 02.14	+09 05 31.7	7.5 (V), B2.5V	1	n/a	2	4	Not reduced: 1 day (High) and 2 days (Mid)
HD 195592	20 30 34.97	+44 18 54.9	7.1 (V), B1e	2	34	1	n/a	Not reduced: 1 day (High) and 1 day (Mid)
HD 204827	21 28 57.76	+58 44 23.2	8.0 (V), O9.5IV	0		2	4	Not reduced: 2 days

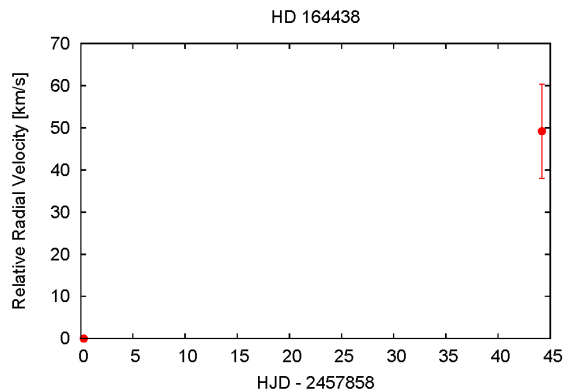
8 / 16

# 視線速度変動を検出できた天体

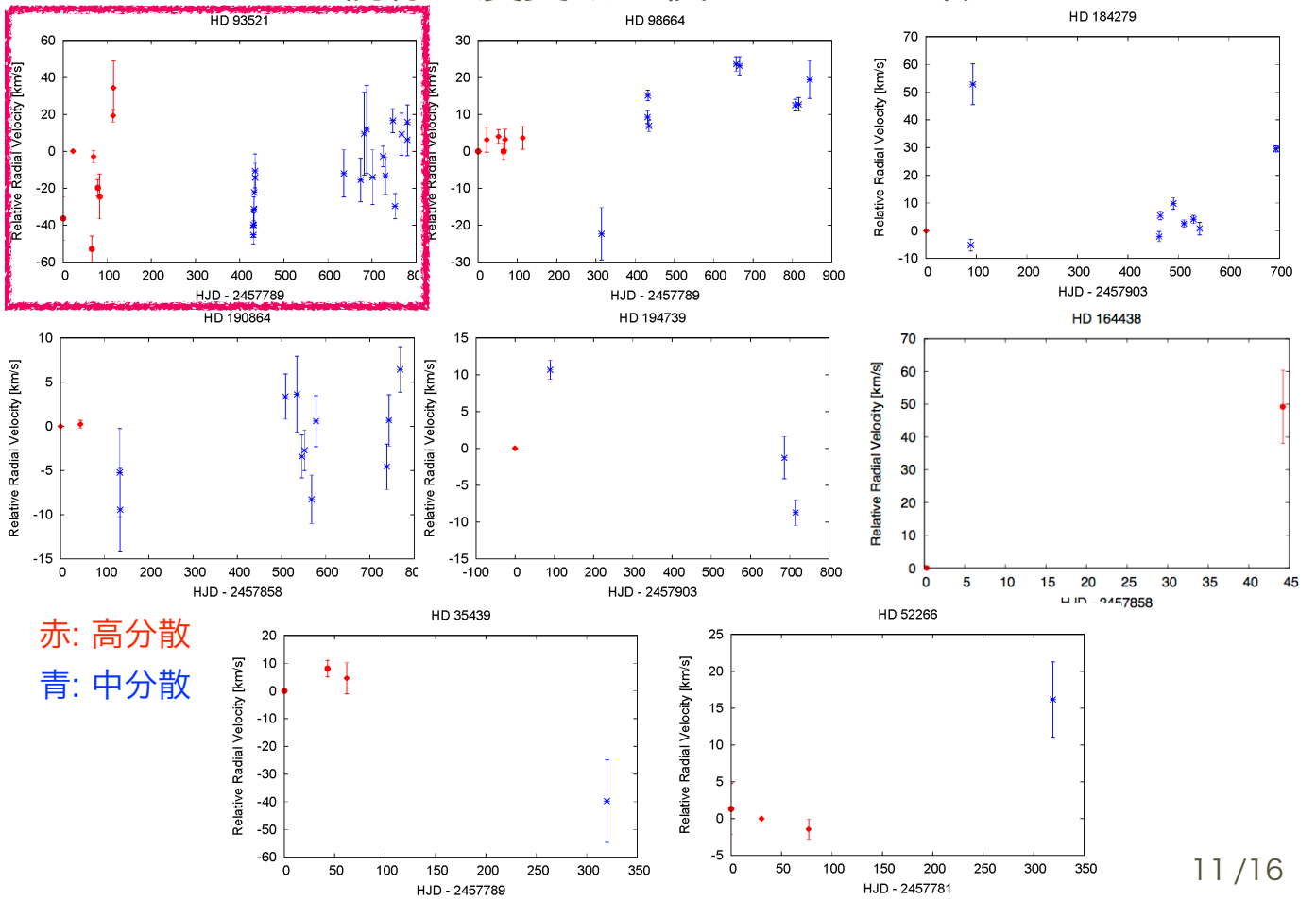


## 短周期連星：HD 164438

- 観測中に詳細な観測結果を報告した論文が出版された。(Mayer+17)
  - 連星周期:  $P = 10.25$ 日
  - 主星質量:  $M_1 = 19 M_{\odot}$
  - 伴星質量:  $M_2 = 2.02-4.32 M_{\odot}$
- 探索中の連星に近い天体と判明。
- 視線速度の変動データとconsistentであることを確認したので観測対象リストから除外。

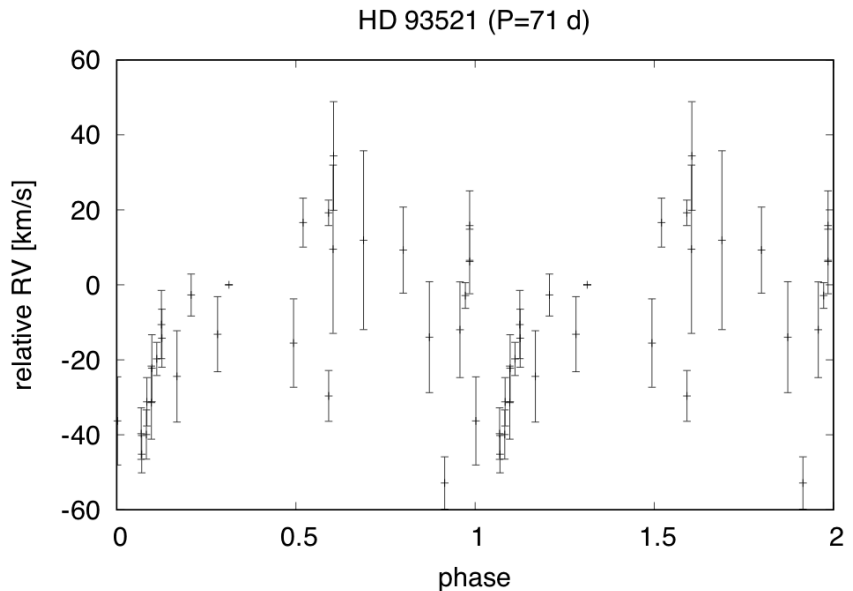
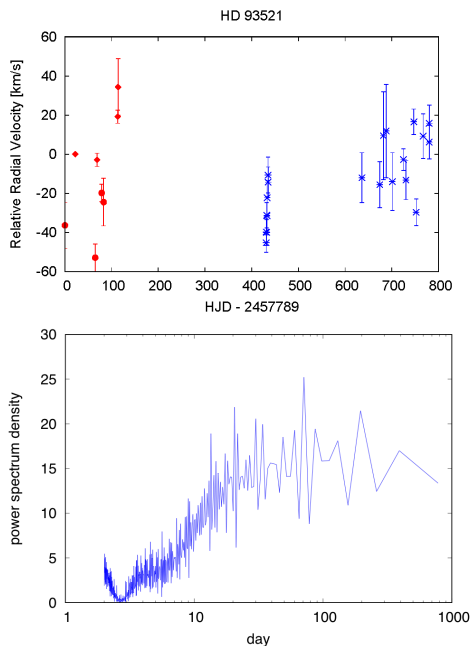


# 視線速度変動を検出できた天体

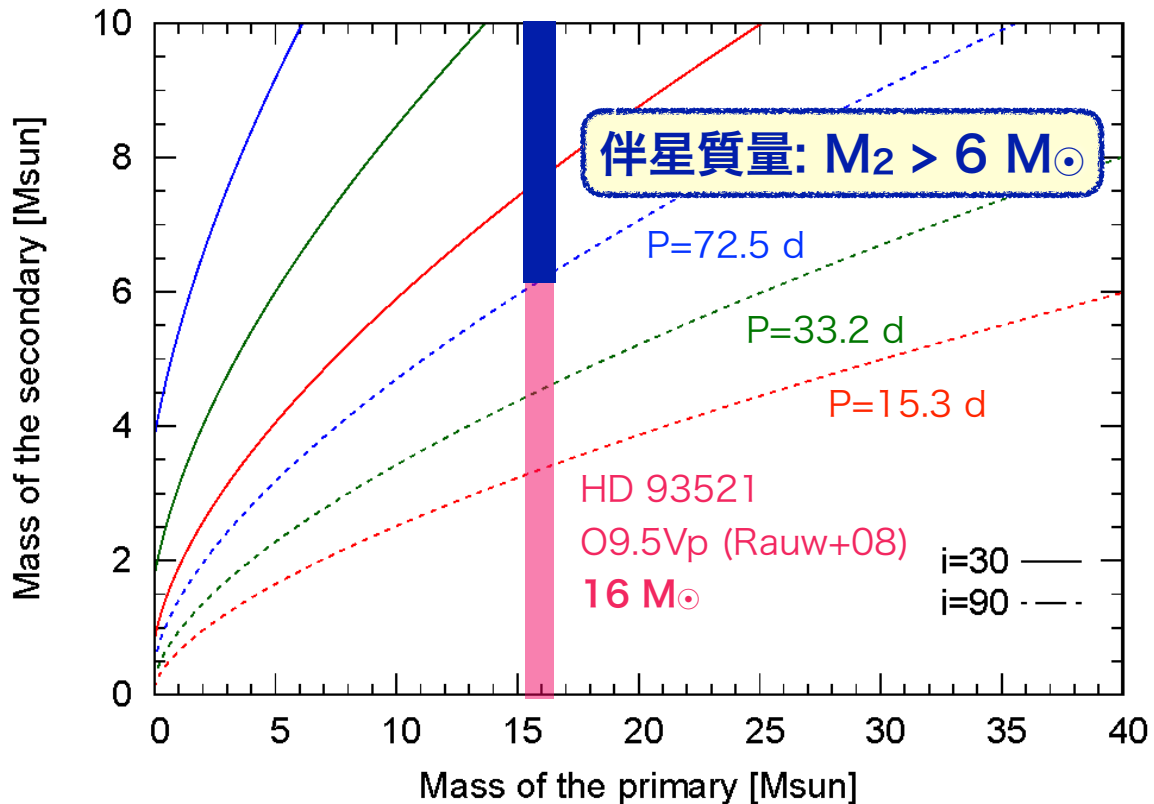


# 周期の絞り込み: HD 93521

- ★ MALLSの継続観測を利用。2018年12月以降4ヶ月間毎週データが取れている。
- ★ Hamming 窓関数を入れてフーリエ解析。
- ☆ ノイズ大だが、位相0.5付近以外OK(?)。



## 大質量星 + ブラックホール連星



13/16

## 大質量星 + ブラックホール連星の検証

- ・ 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.”

相互作用をしていない連星系か？

14/16

## HD 93521の素性

- 銀河円盤から高緯度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( $M_1 \sim 2-4M_{\odot}$ )と伴星( $M_2 > 1.4 M_{\odot}$ )を主張する例がある。(Thompson et al. arXiv:1806.02751)
- 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まだない(はず)
- 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
- 2番目に近いブラックホール(?)
  - いかかくじゅう座X-1 (3000光年)とはくちょう座X-1 ( $6000 \pm 375$ 光年)の間(5447光年、Irvine89)

15/16

## まとめ

- 第一世代の大質量星連星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行った。
  - 金属欠乏星の起源を説明する連星起源説、超新星起源説、回転大質量星起源説に次ぐ第4のシナリオの提案
- 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
- 意図せずブラックホールと思われる伴星を発見
  - 重力波起源天体との関連(?)
  - 見えないブラックホールが近くにたくさんいるかも?

16/16