

Gaia・TESSによる 恒星-コンパクト天体連星の探査

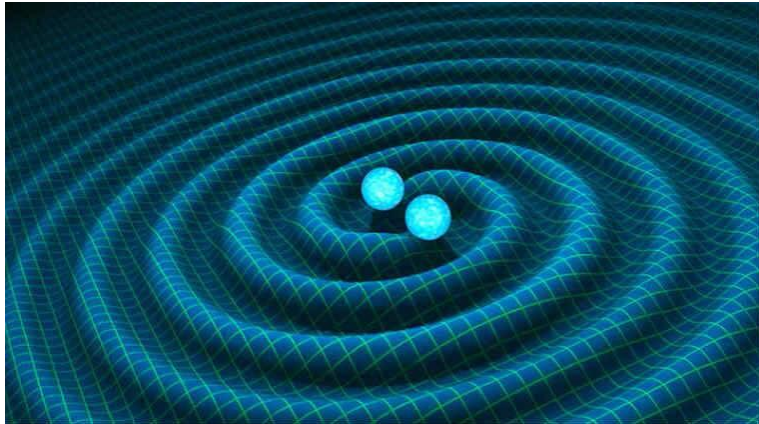
東大ビッグバンセンターD2

白石祐太

共同研究者：東大 仏坂健太, 阪大 増田賢人,
福井県立大 谷川衝,
西はりま天文台 本田敏志,
東工大 佐藤文衛

BHの探し方

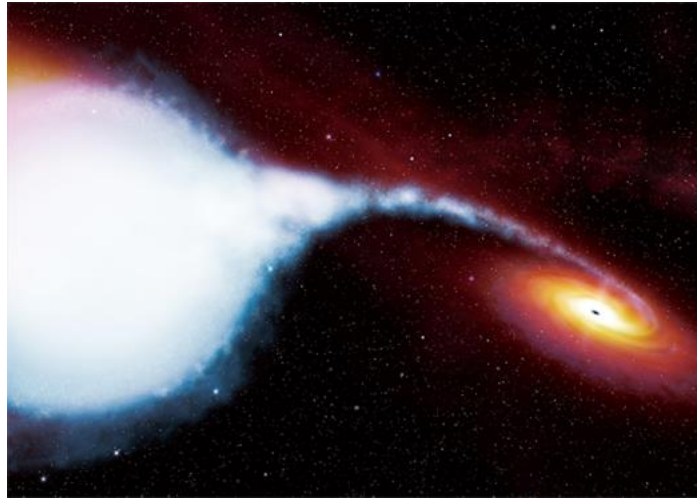
- Gravitational Wave



画像: ネットの拾い物

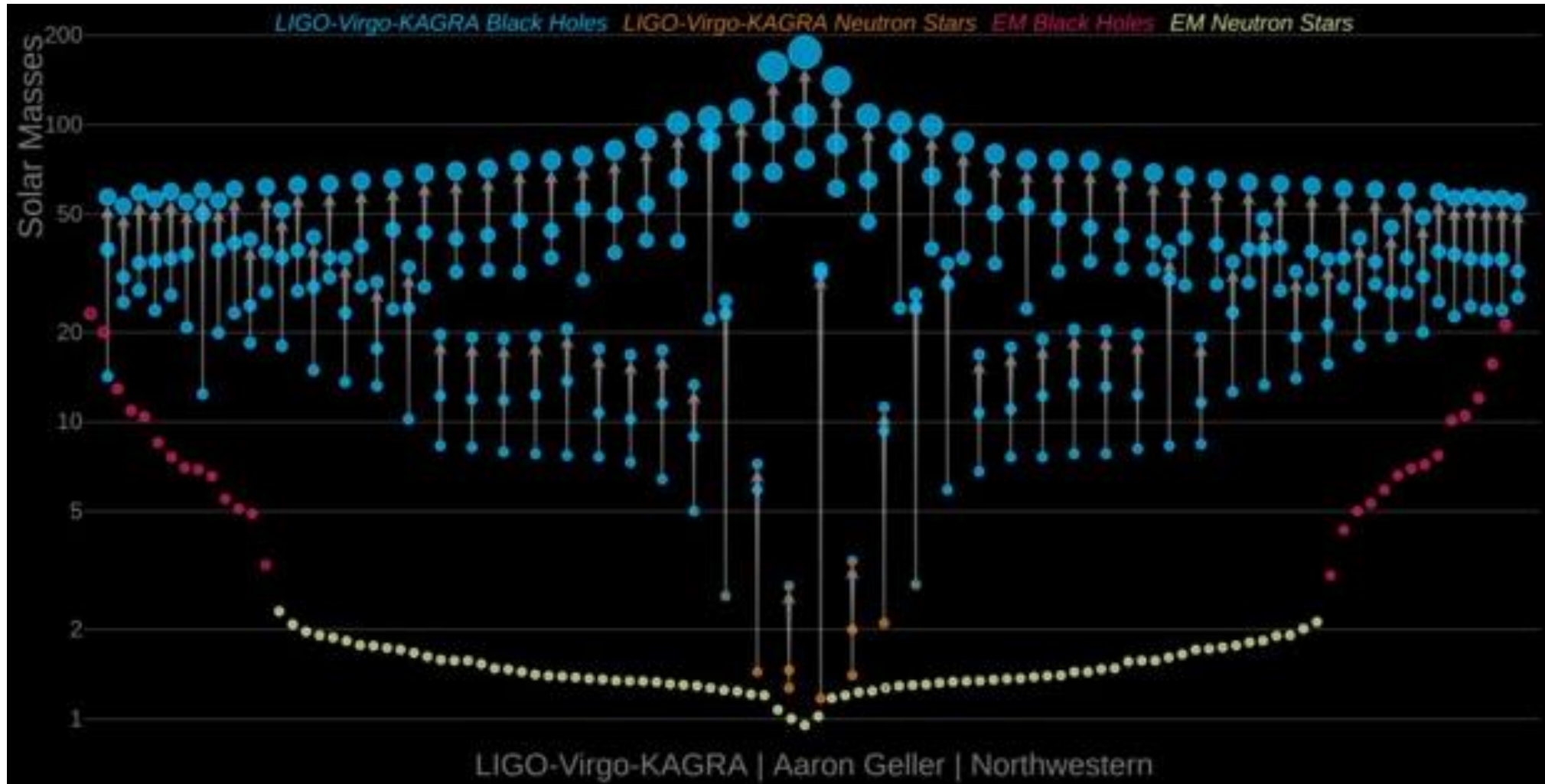
<https://indianexpress.com/article/technology/science/four-new-gravitational-waves-detected-from-black-hole-mergers-5480027/>

- X-ray



画像: 天文学辞典 X線連星系

Black Holes Discovered so far (GW, X-ray)



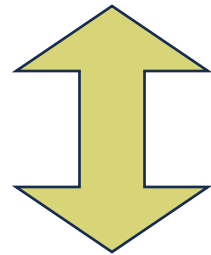
BH、少ない？

- BHは重い星が進化して生まれる

→ 重い星の数だけBHはあるはず

Brown & Bethe 1994,
Shapiro & Teukolsky 1983

(O(10) pcに1つ、天の川で 10^8 個)

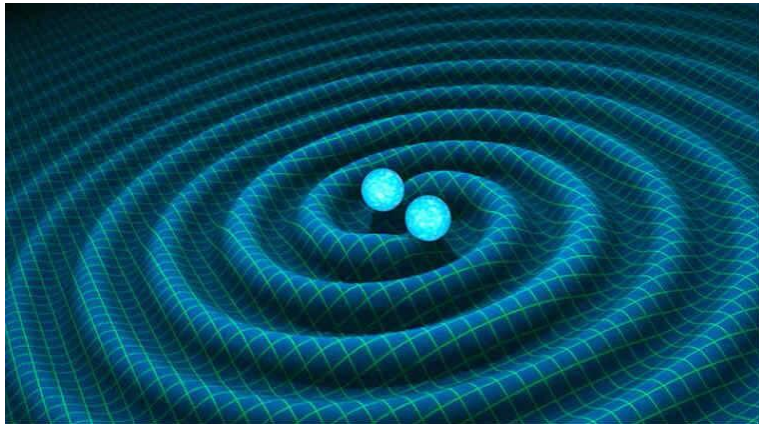


- 天の川で見つかったX線BH：20個

e.g., Remillard & McClintock, 2006

BHの探し方

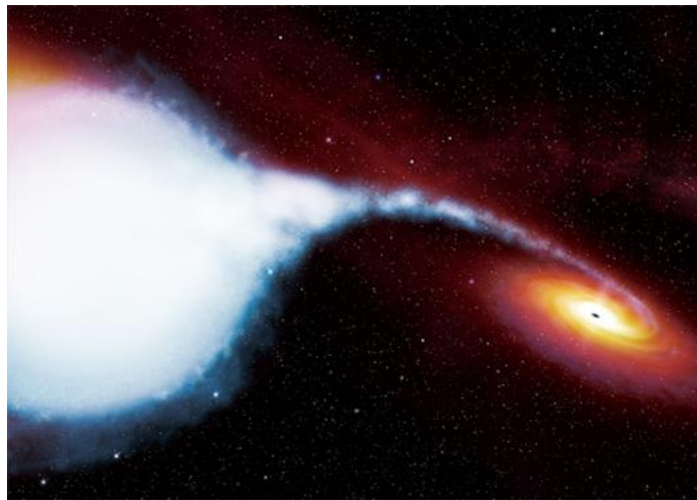
- Gravitational Wave



画像: ネットの拾い物

<https://indianexpress.com/article/technology/science/four-new-gravitational-waves-detected-from-black-hole-mergers-5480027/>

- X-ray



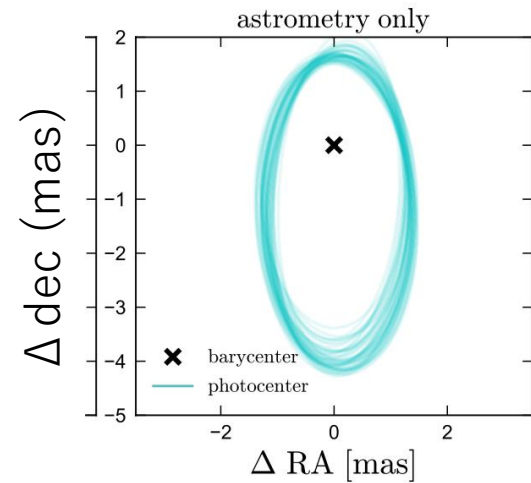
画像: 天文学辞典 X線連星系

- optical (my work)

NO IMAGE

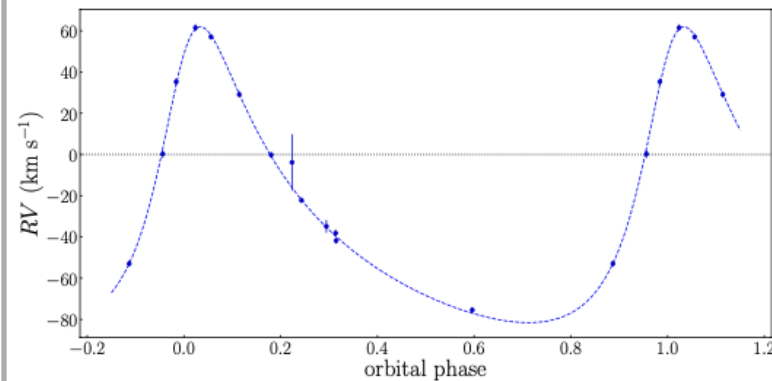
BHの探し方 by 可視光

• astrometry



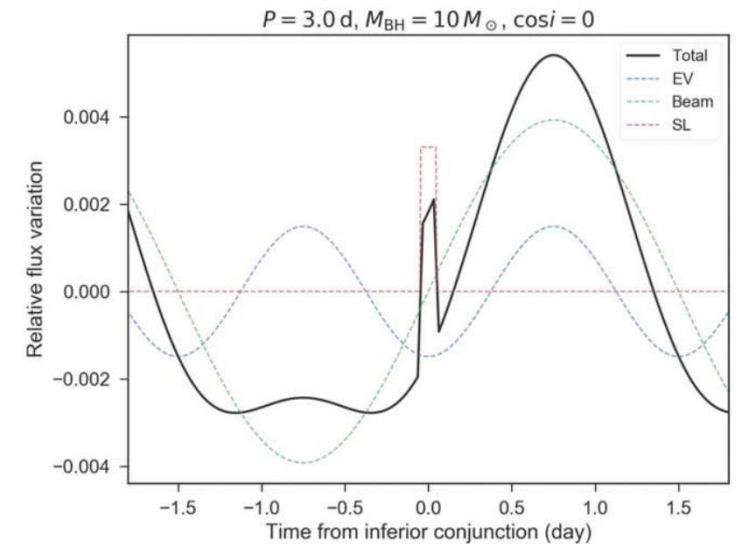
天球上の位置変動のシミュレーション
Gaia BH-1: $M_{BH} \sim 10 M_{sun}$, $P=186d$
(El-badry+22)

• radial velocity



視線速度曲線
HD 130298: $P=14.6d$, O型星 + BH ($>7.7 M_{sun}$)
(Mahy+2022)

• photometry (my work)



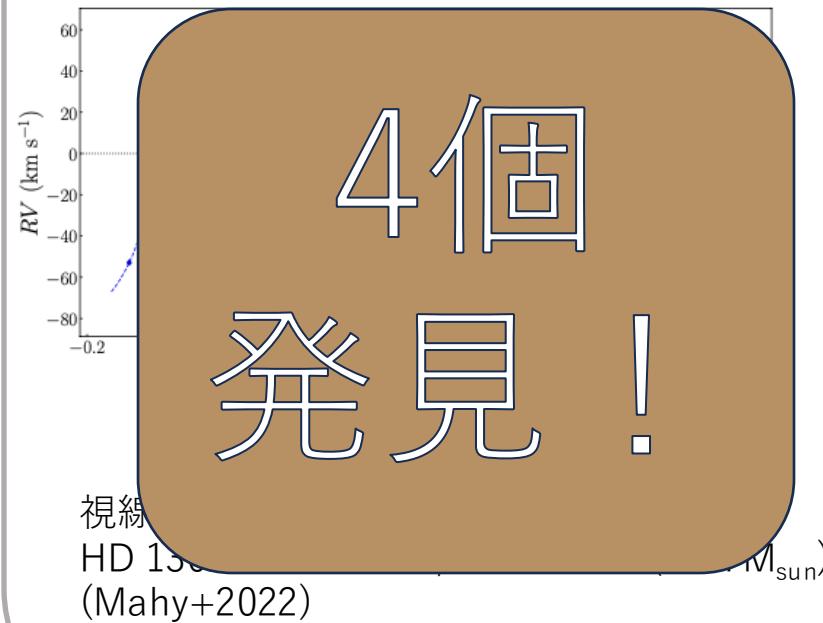
BH-恒星連星のモデル光度曲線
Masuda & Hotokezaka 19

BHの探し方 by 可視光

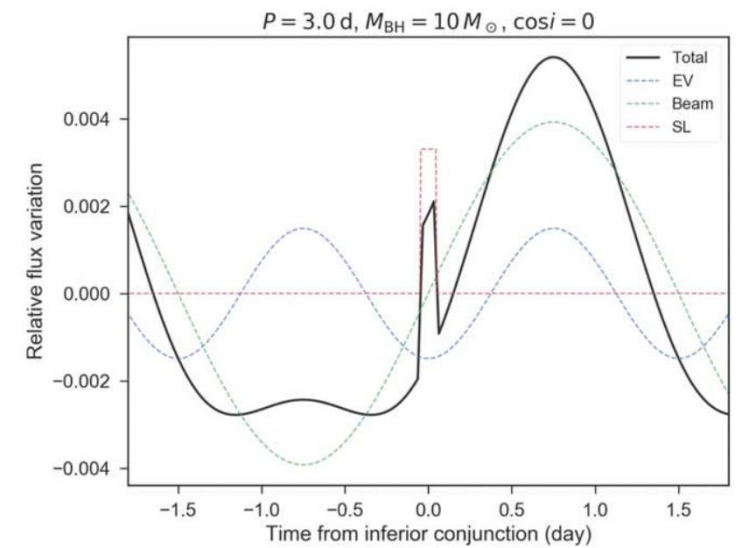
- astrometry



- radial velocity



- photometry
(my work)



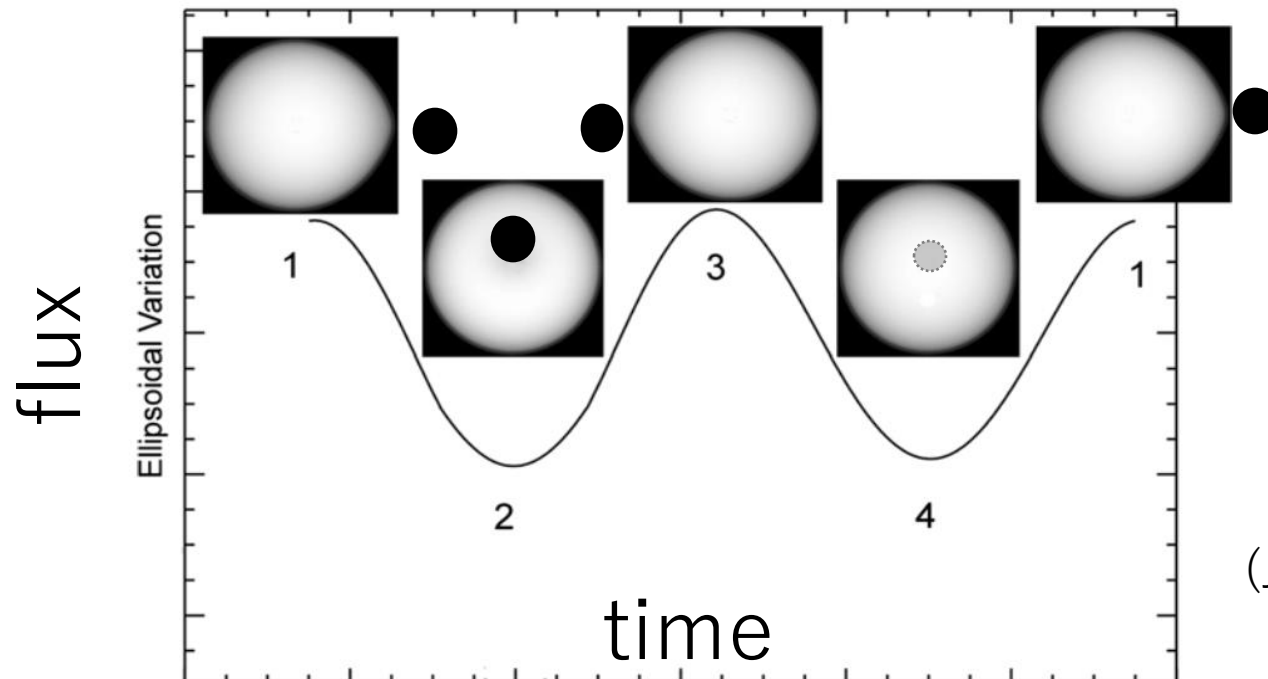
BH-恒星連星のモデル光度曲線
Masuda & Hotokezaka 19

astrometry: El-Badry et al. 2023, Tanikawa et al. 2023, Gaia Collaboration 2024

spectroscopy: Mahy et al. 2022, Shenar et al. 2022, Giesers et al. 2019

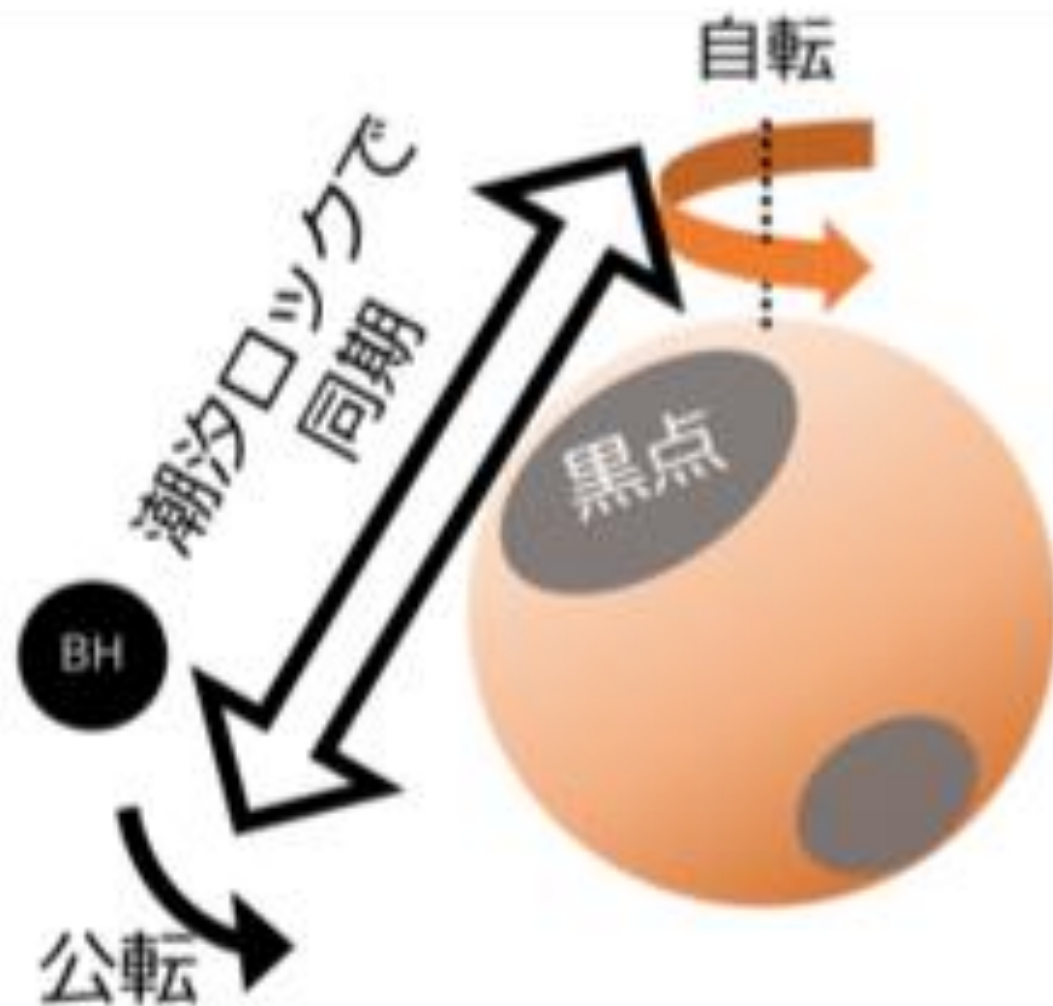
Ellipsoidal Variation

- BHの潮汐力で恒星が変形
- 理屈の上ではBHの質量がわかる



(Jackson+ 2012, modified by presenter)

黒点+潮汐ロック



Selection Criteria

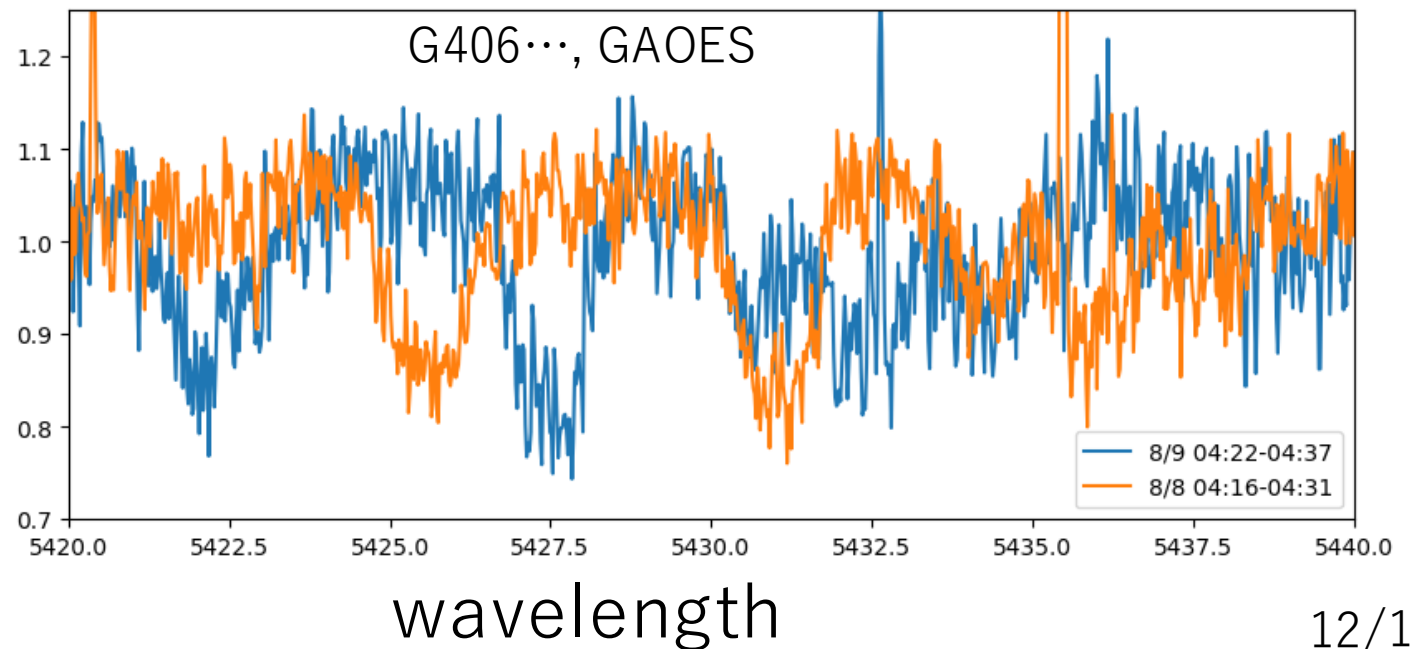
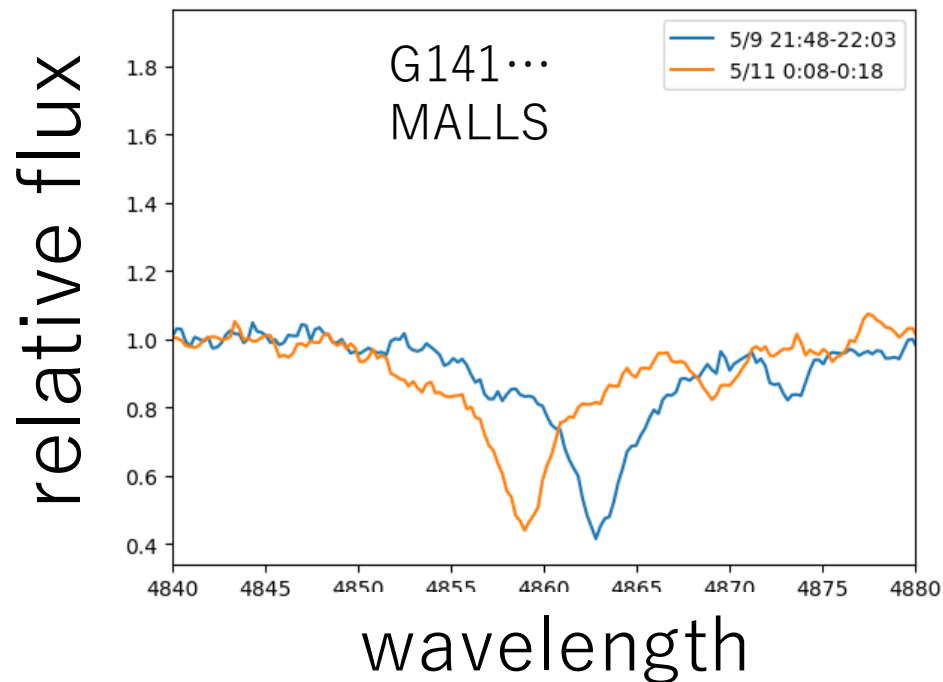
- Gaia DR3 $\delta RV > 100$ km/s
- TESS 光度曲線で周期性を検出 変光周期 < 5 days
- “Binary mass function” $\frac{\delta RV^3 P_{LC}}{8\pi G} \sim \frac{M_{compact}^3 \sin^3 i}{M_{tot}^2}$ が
大きい ($M_{compact} > 1M_{sun}$)

Follow-up Radial Velocity Measurement

- Nayuta telescope/MALLS
($R \sim 7500$, 2 m) 3 nights
- Seimei telescope/GAOES-RV
5 half nights
- LAMOST/APOGEE archive data
(if they exist)

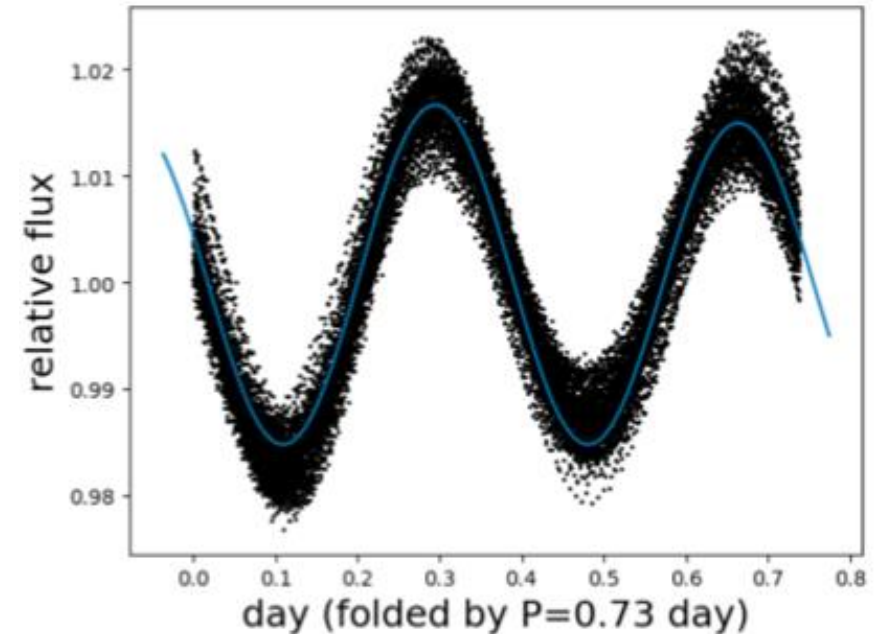
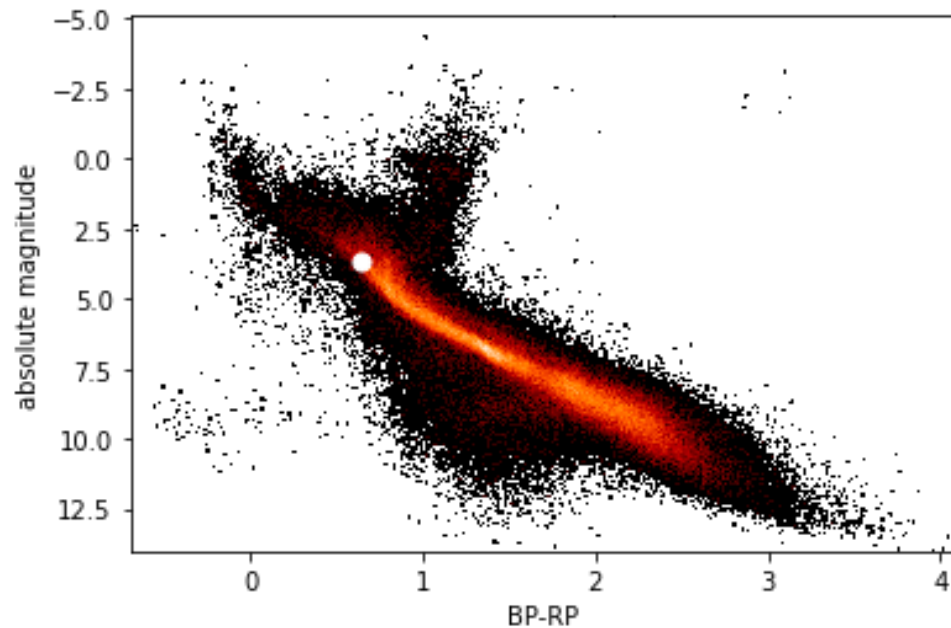
Results

- 10天体のRV変動を検出
- うち1天体の軌道をすでに決定

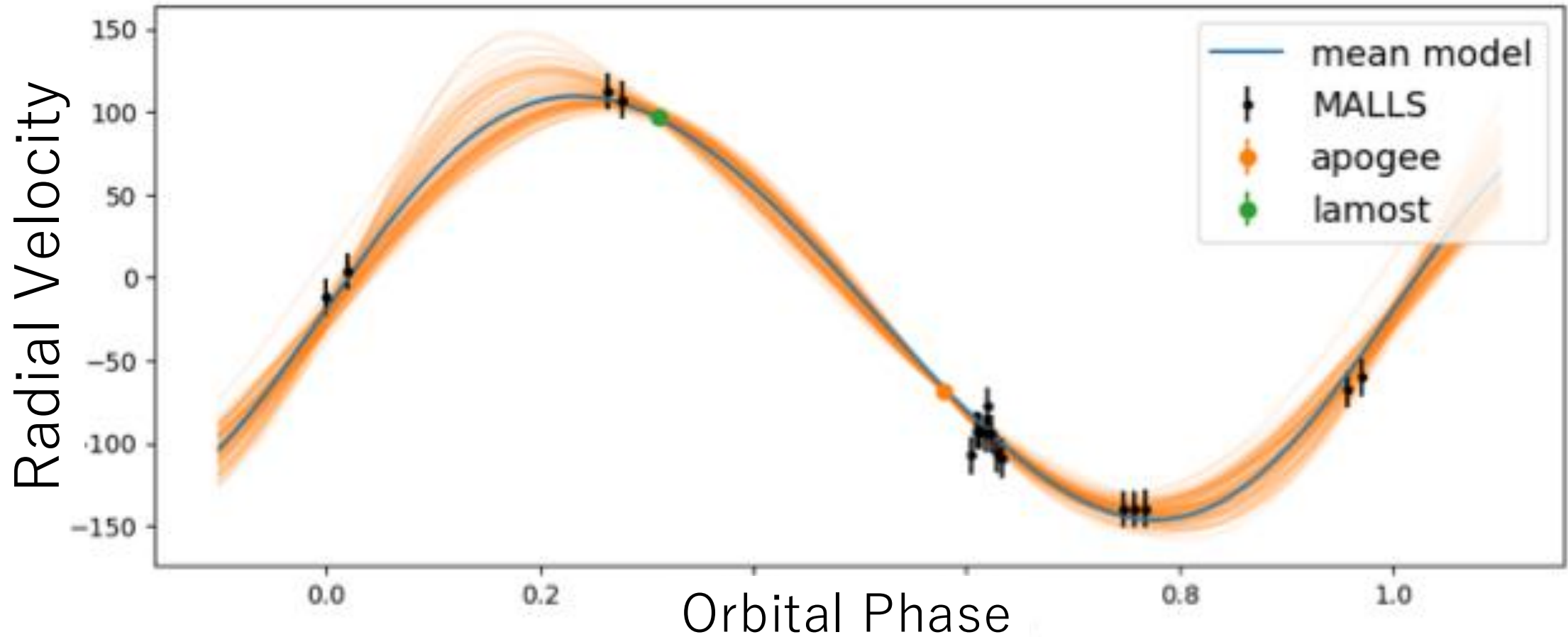


Gaia DR3 211...

- F5 type main sequence star
- 変光周期0.73日、 Gaia $\delta RV \sim 260$ km/s



Gaia DR3 211...



- $\sim 1.2 M_{\text{sun}}$ MS + $> 0.8 M_{\text{sun}}$ Compact Object

Gaia DR3 211...

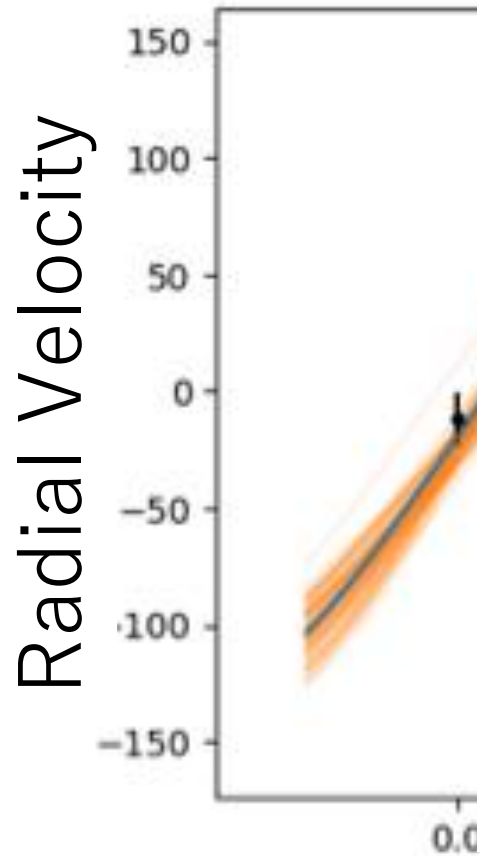
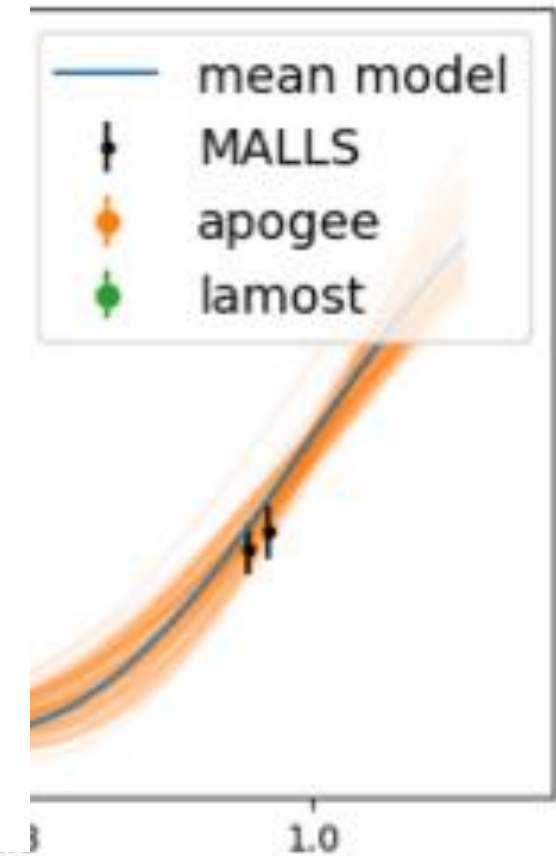


表 2: G211 の軌道要素 (速報値)

軌道周期	0.73 日
視線速度振幅	127^{+8}_{-5} km/s
離心率	$0.05^{+0.08}_{-0.04}$
重心の視線速度	-17^{+2}_{-2} km/s
mass function	$0.15^{+0.03}_{-0.02} M_{\odot}$
伴星の最小質量	$> 0.8 M_{\odot}$

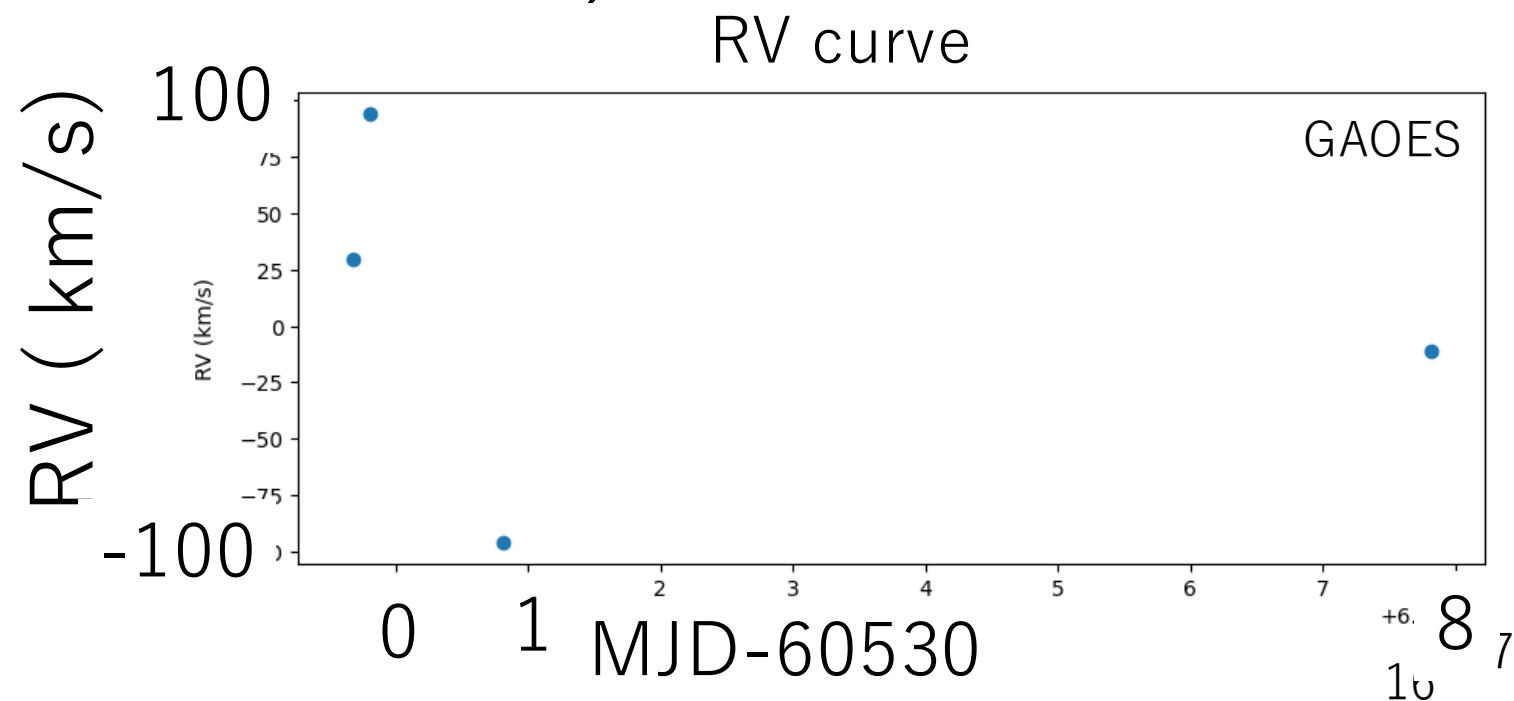
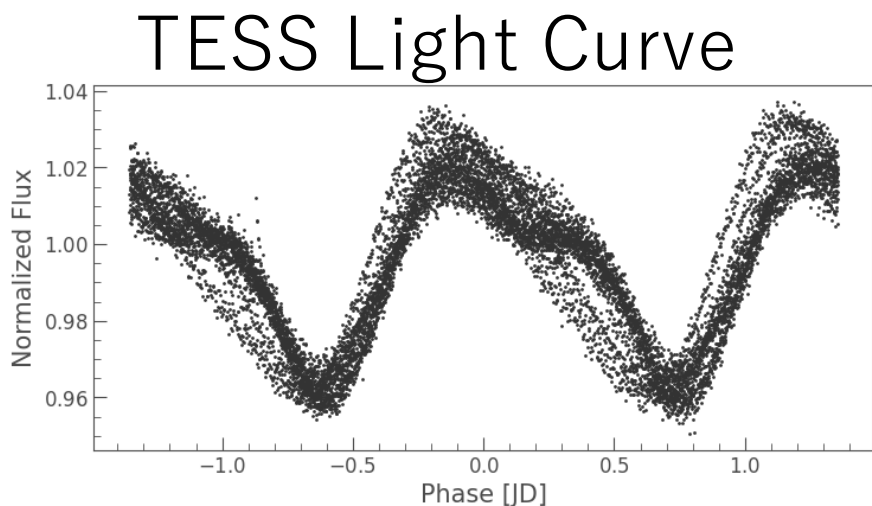


- $\sim 1.2 M_{\text{sun}}$ MS + $> 0.8 M_{\text{sun}}$ Compact Object

G406... (速報)

- $\sim 1.2 M_{\text{sun}}$ F型星
- $\sim 200 \text{ km/s}$ の変動を検出

(Gaia δRV 256 km/s, TESS 変光周期1.35日)



今後の予定・展望

- 9月の下旬にも観測→軌道決定
- コンパクト天体の質量決定
 - 光度曲線から？
 - 自転による線の広がり $v \sin(i)$
 - 潮汐による変形+Rossiter-McLaughlin効果

(Masuda & Hirano 21)