

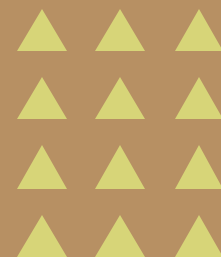
TESSでBH-恒星連星探査

東大ビッグバンセンター D2

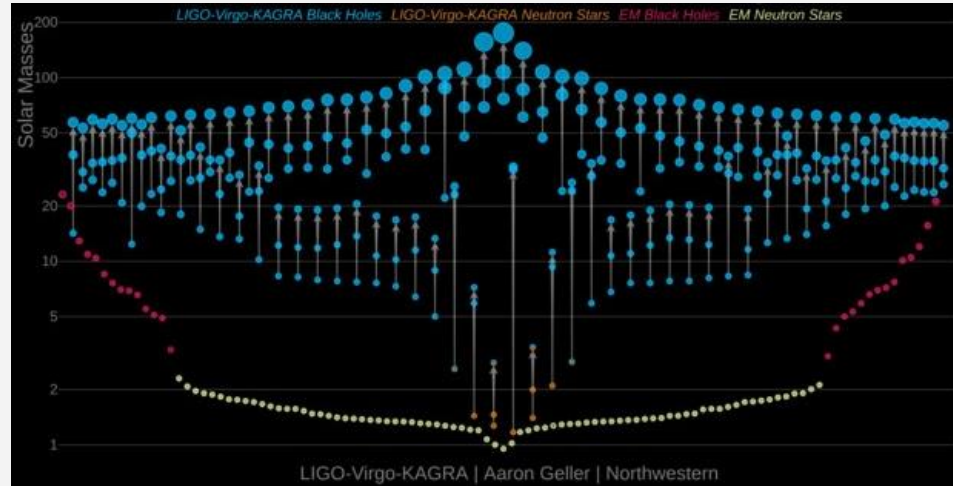
白石祐太

共同研究者

東大 仏坂健太, 阪大 増田賢人,
NHAO 本田敏志, 福井県立大 谷川衝,



これまで見つかったBH

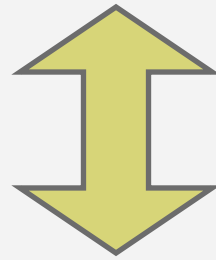


- X線で20個 e.g., Remillard & McClintock, 2006
- 重力波で~200 event e.g., LIGO Collaboration 2021 + 04観測

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
($O(10)$ pcに1つ、天の川で 10^8 個)

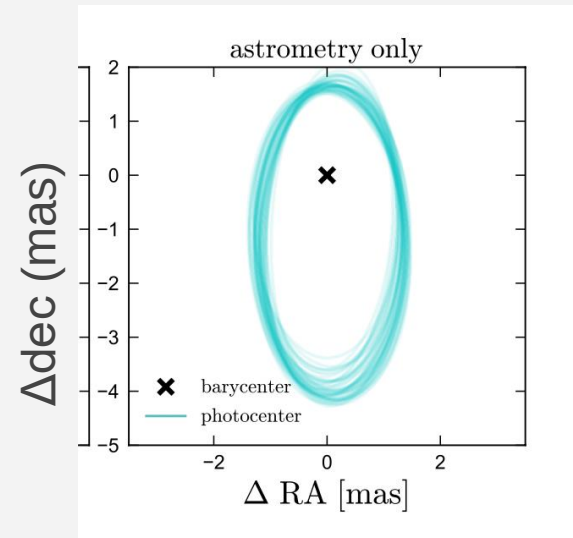
Brown & Bethe 1994,
Shapiro & Teukolsky 1983



- 天の川で見つかったX線BH：20個

BHの探し方 by 可視光 = BHと星の連星を探そう！

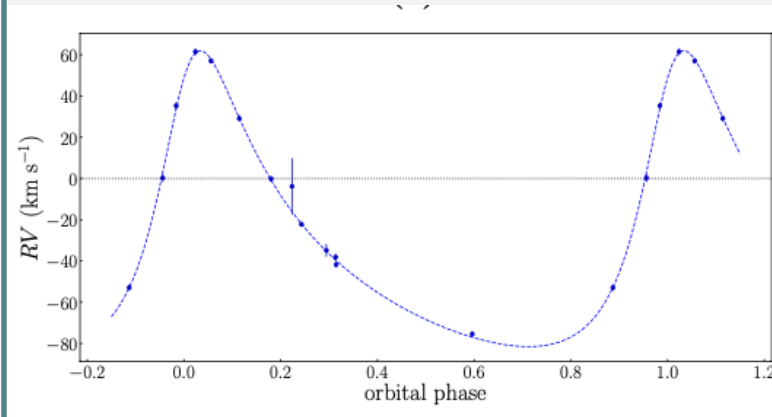
• astrometry



天球上の位置変動のシミュレーション

Gaia BH-1: $M_{\text{BH}} \sim 10 M_{\text{sun}}$, $P=186\text{d}$
(El-badry+22)

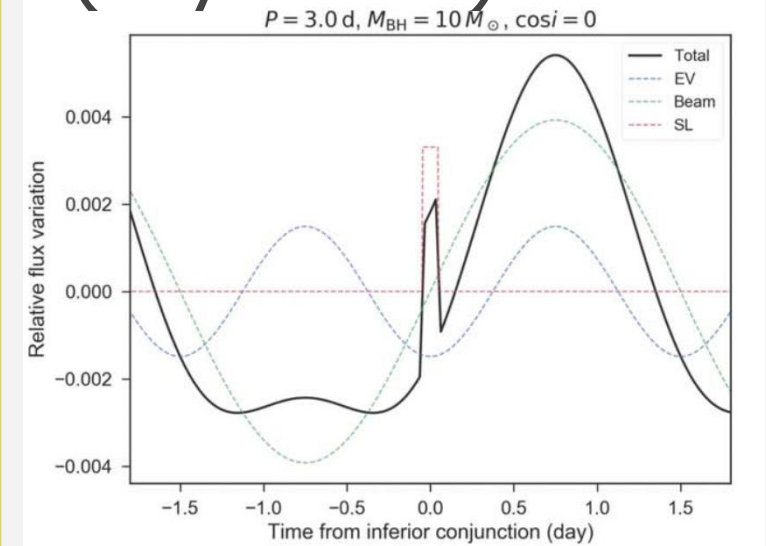
• radial velocity



視線速度曲線

HD 130298: $P=14.6\text{d}$, O型星+ BH($>7.7 M_{\text{sun}}$)
(Mahy+2022)

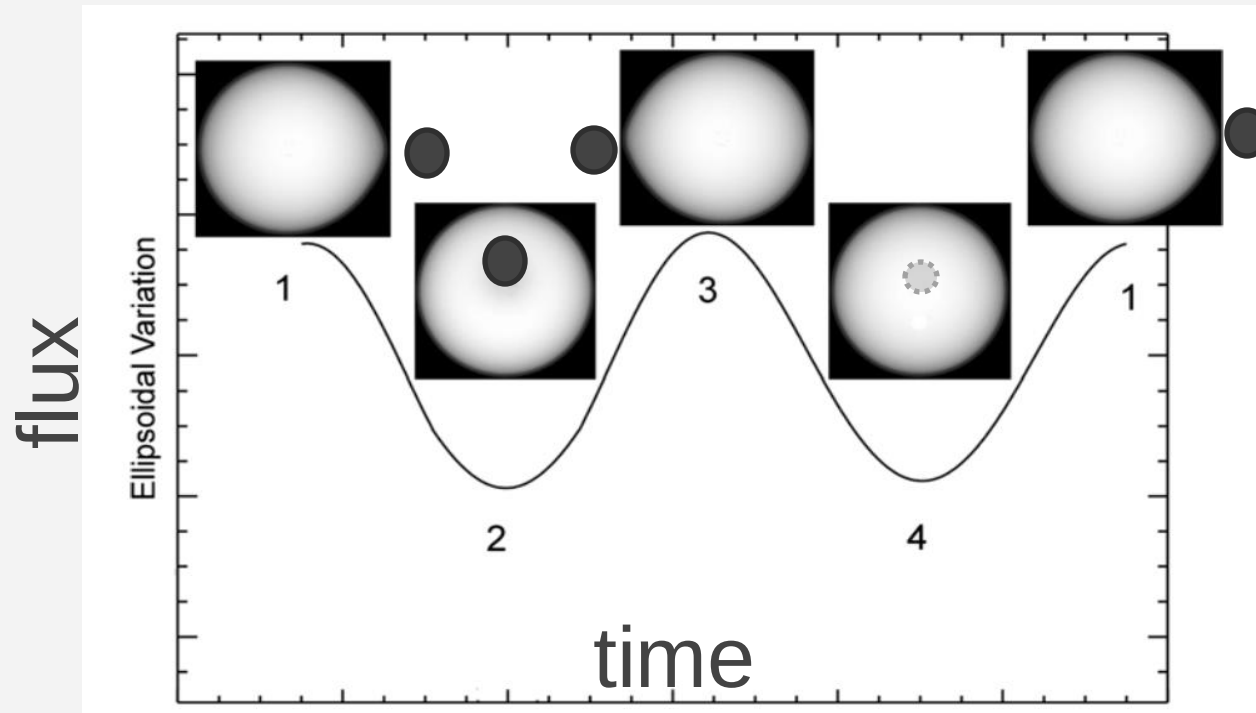
• photometry (my work)



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

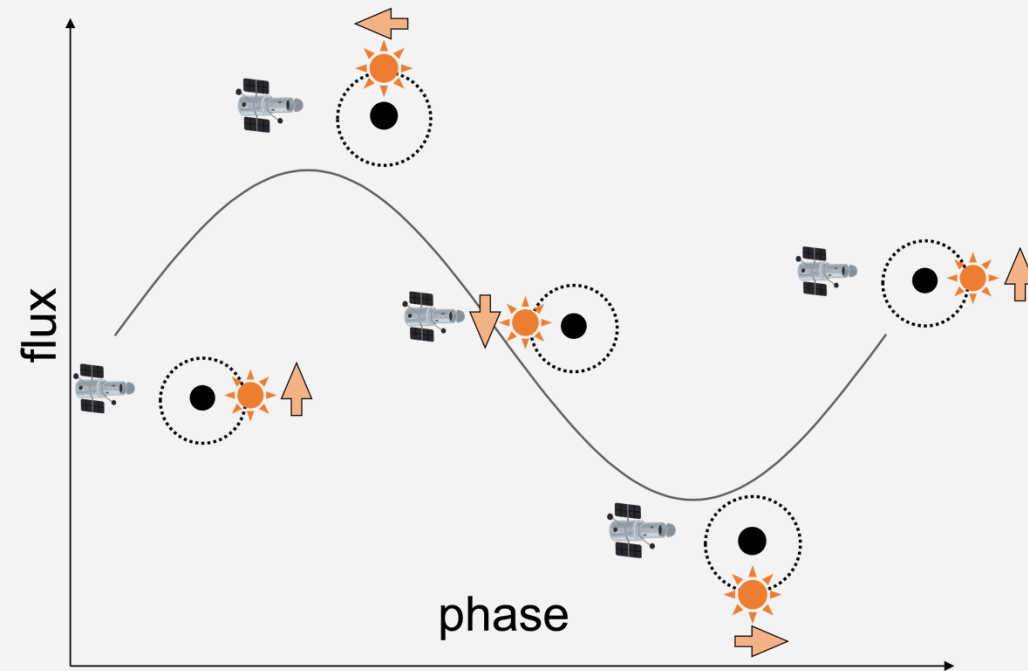
Ellipsoidal Variation

- BHの潮汐力で恒星が変形
- $\sim 1\%$ の変光

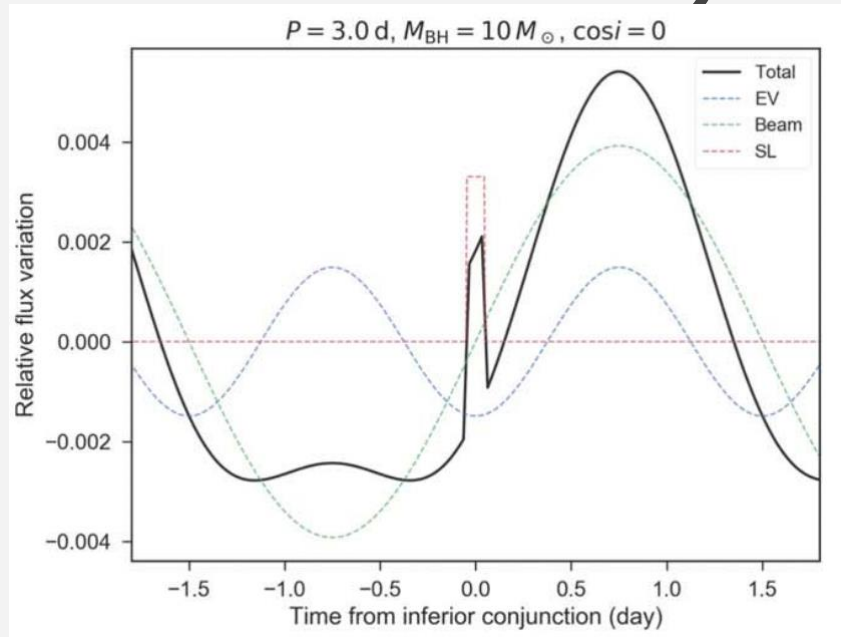


相対論的ビーミング

- ・ 運動する光源からの光は運動方向前方に集中
→ 恒星の軌道運動の方向に伴い増減光
- ・ $\sim 0.1\%$ 程度の変光



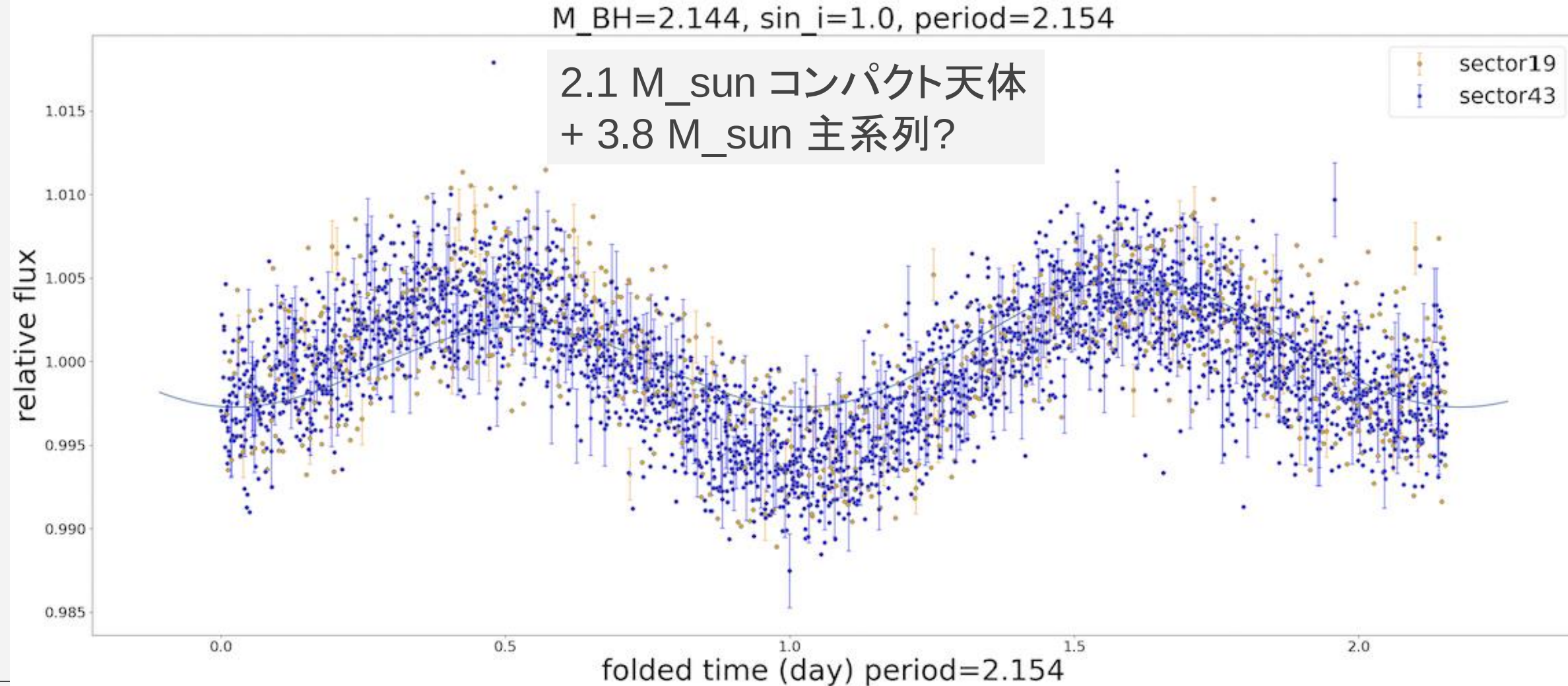
EV(潮汐変形+ビーミング)



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

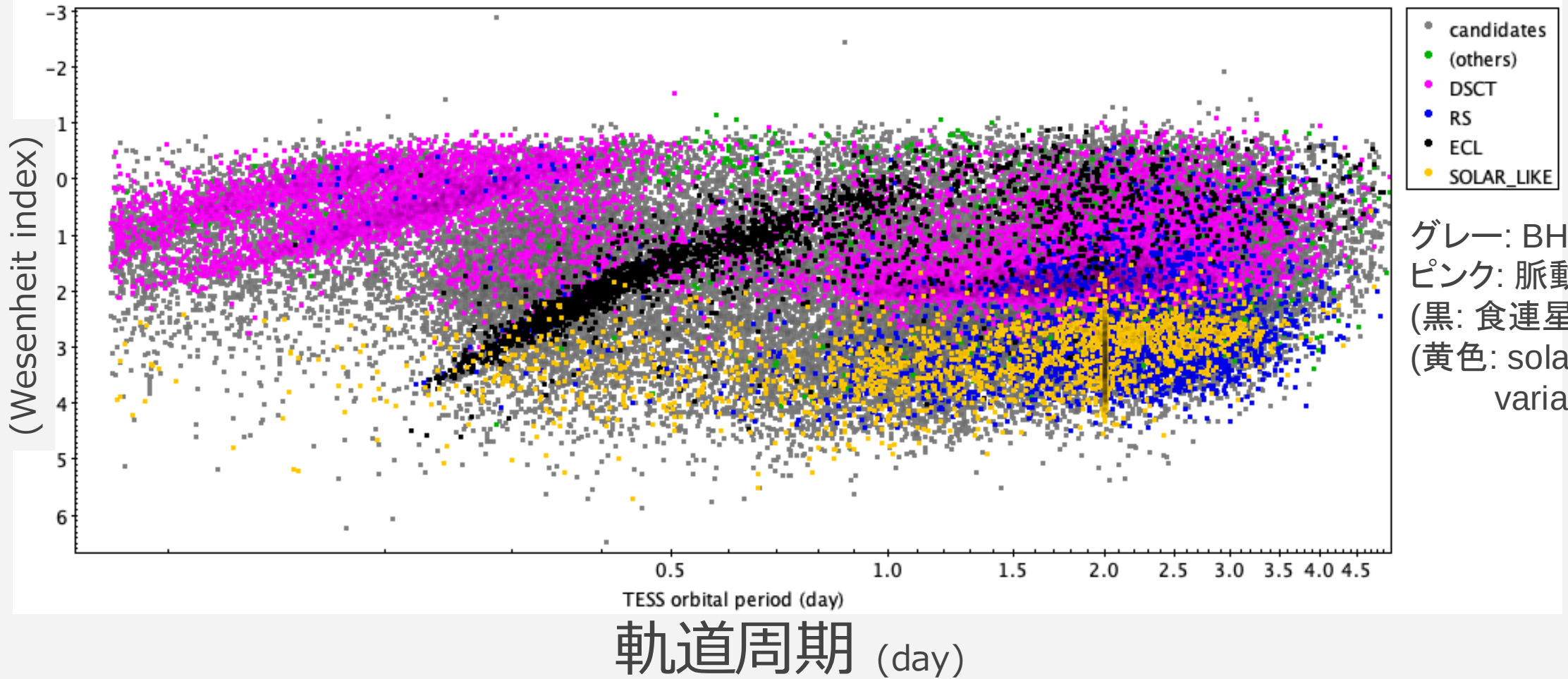
- ターゲット：周期<10日の恒星-コンパクト星連星
- 理屈の上ではBHの質量がわかる
- TESS光度曲線 10^7 個の中から
100個程度発見可能？ Masuda & Hotokezaka 19

TESS光度曲線をフィッティング



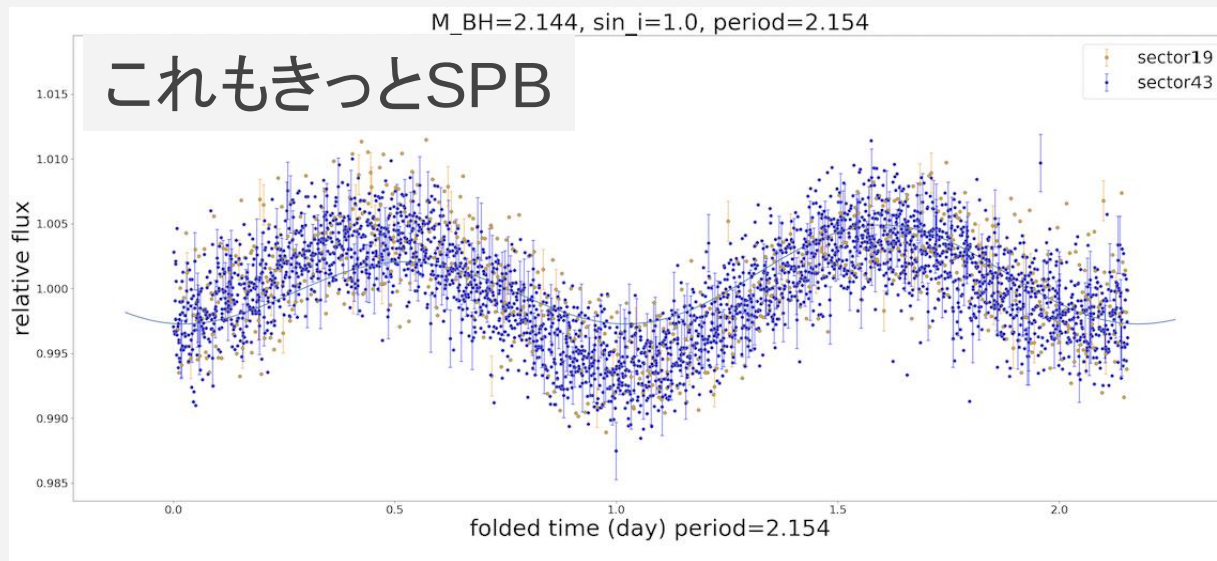
問題①脈動星

絶対等級



問題① 脈動星

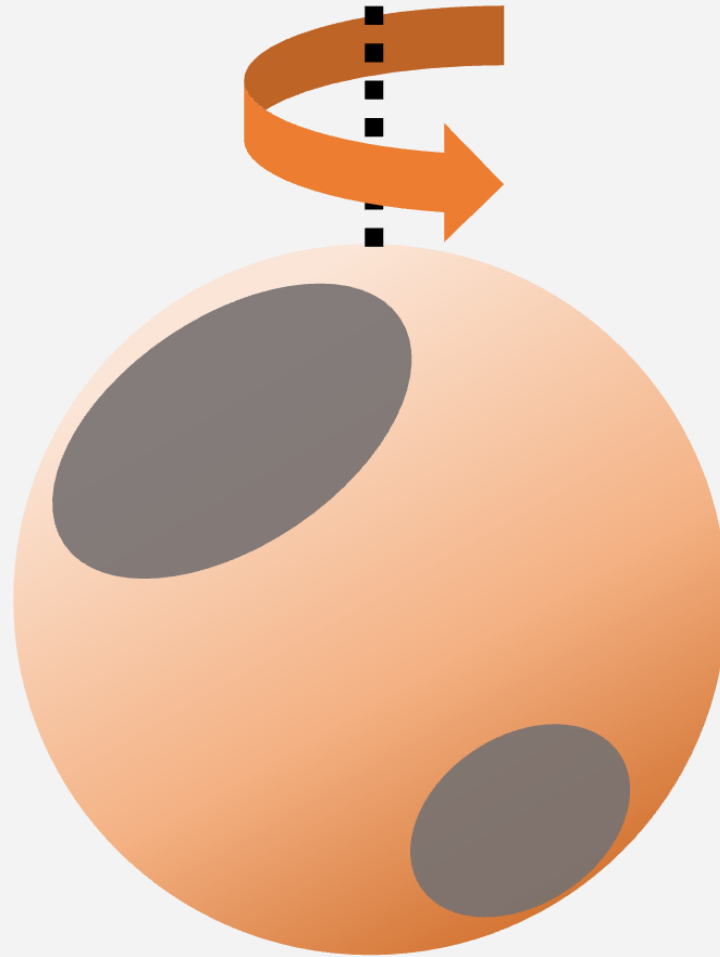
- 脈動星を引っ掛ける
特にSlowly Pulsating B Stars (?)が厄介



問題①脈動星→B型星-BH連星探査の障害

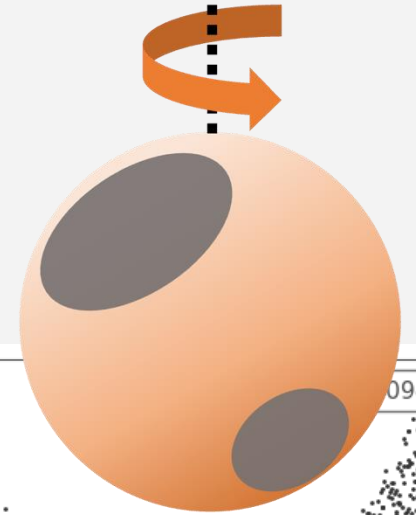
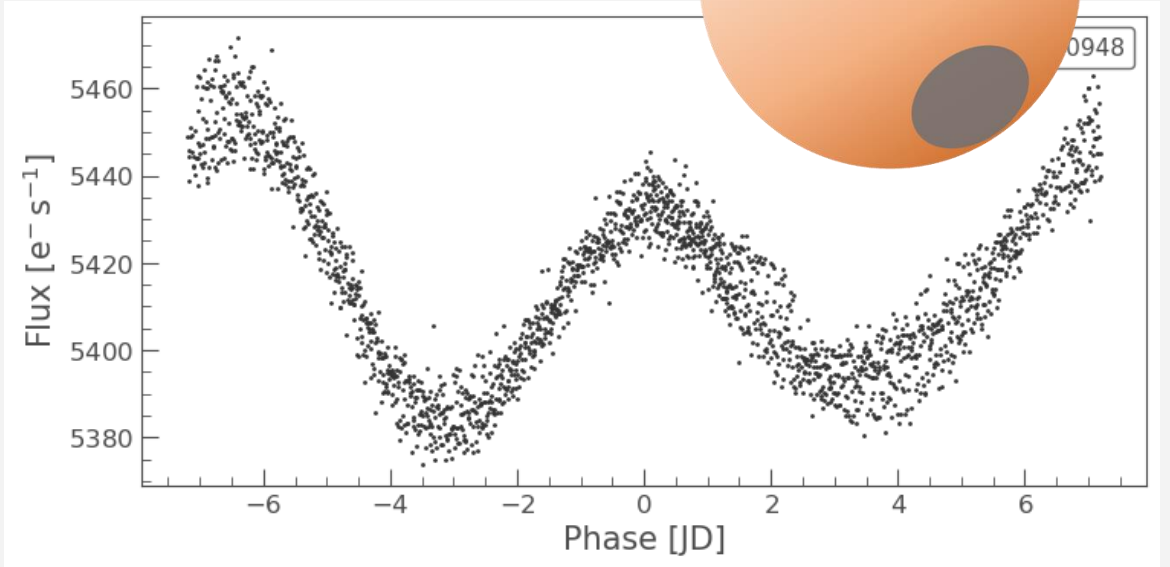
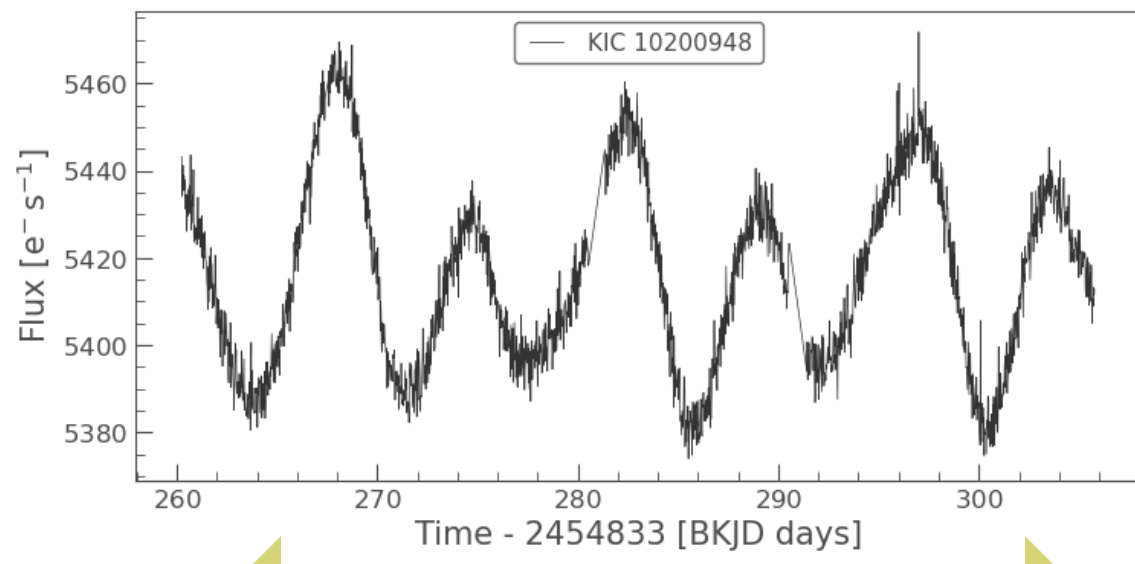
- ・ B (-A-early F)型星のBH-恒星連星を探すには
TESS B型星の脈動星の整理が必要
 - TESS B型星のうちどれくらいが変光星/脈動星？
 - TESS B型脈動星とBH-恒星連星をどう見分けるか？
周期光度関係？光度曲線の形？
- ・ B型星を分光できる分光器が日本にない
 - なゆた・MALLS：青い領域ではスループット・波長分解能が落ちる
 - せいめい・GAOES：波長が赤い領域で固定+Balmer線を見ない
→日本での青い星の中高分散分光は限界等級~12.0等、R~6000程度？

問題②黒点





問題②黒点

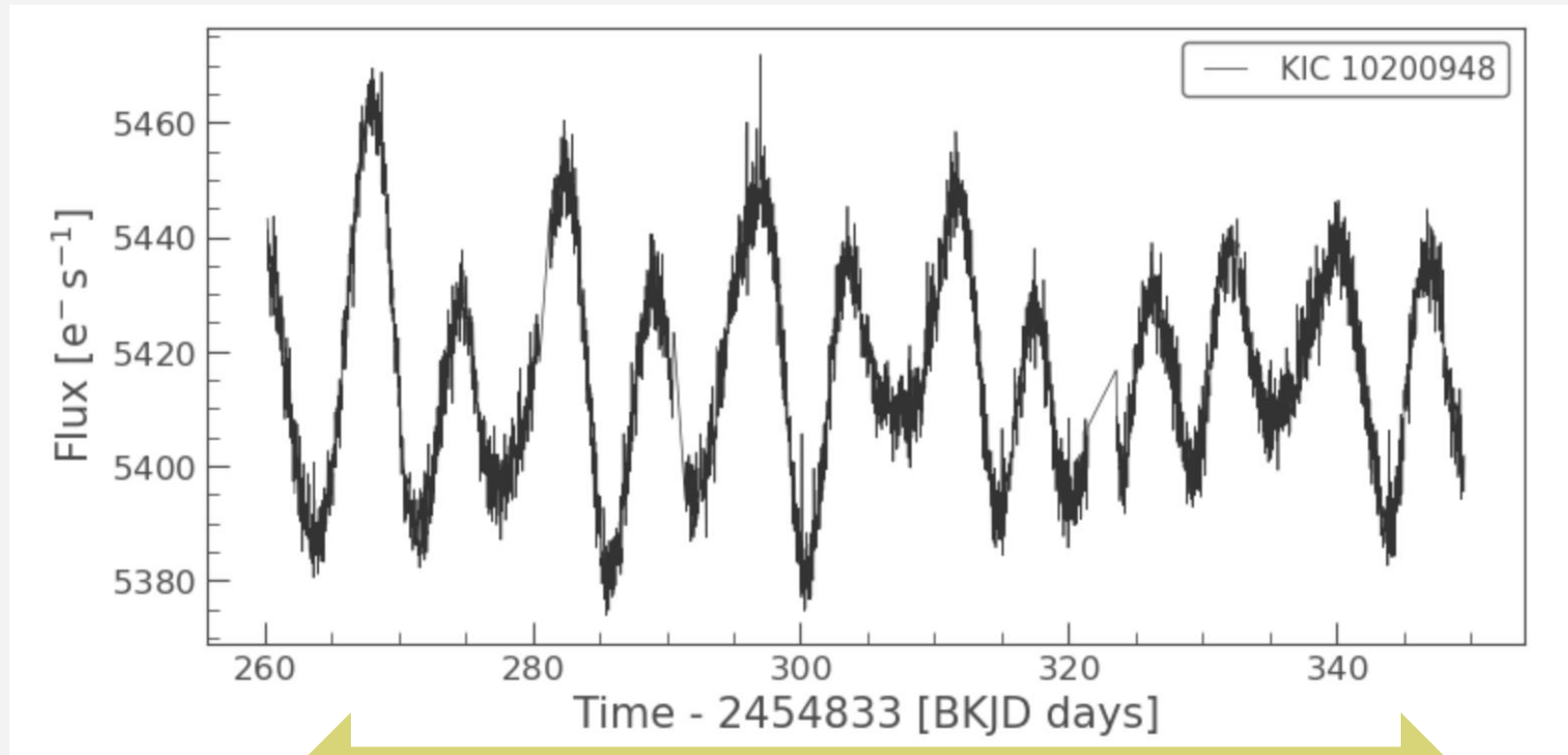


~50 days

a Kepler light curve of spotted rotator KIC 10200948

KIC 10200948 is confirmed as a spotted rotator by e.g., Harrison+ 12

問題②黒点



~90 days

a Kepler light curve of spotted rotator KIC 10200948

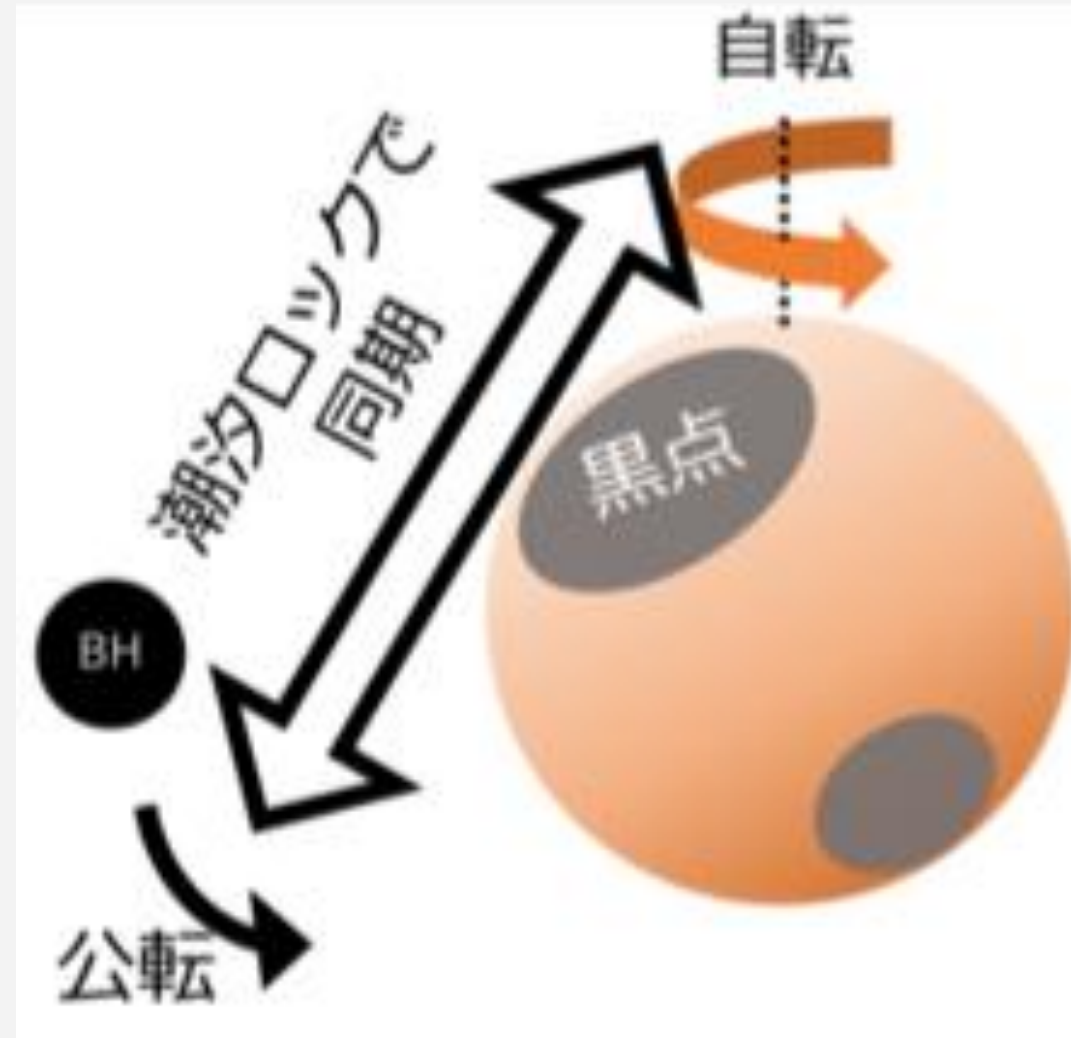
KIC 10200948 is confirmed as a spotted rotator by e.g., Harrison+ 12



問題②黒点→FGKM型星-BH連星探査の障害

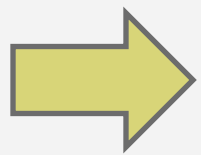
- ・一部の黒点は数年程度 同じ位置・大きさで残る
- ・EV(潮汐変形)・ビーミングと変光が同程度
→EV+ビーミングによる質量推定に系統誤差

黒点恒星-BH連星を探す？



黒点恒星-BH連星を探す？

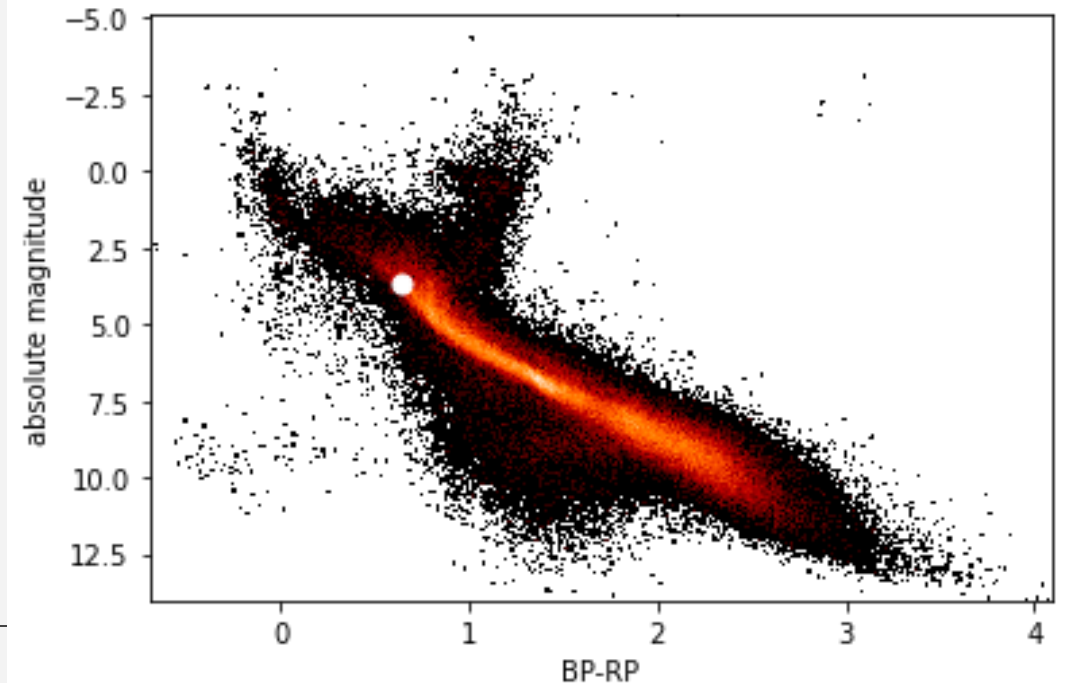
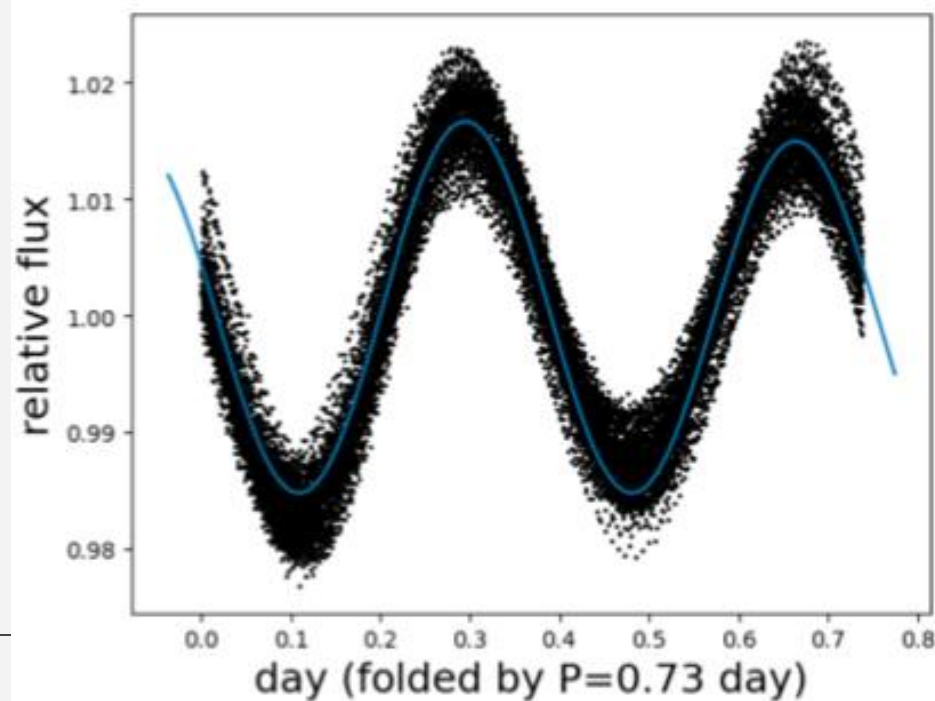
- ・ 潮汐ロックで
黒点恒星の自転周期 = 公転周期
- ・ 大きな視線速度変動が受かっているならば
恒星-コンパクト天体のgood candidate



視線速度サーベイの情報をみよう！
e.g., Gaiaの視線速度変動

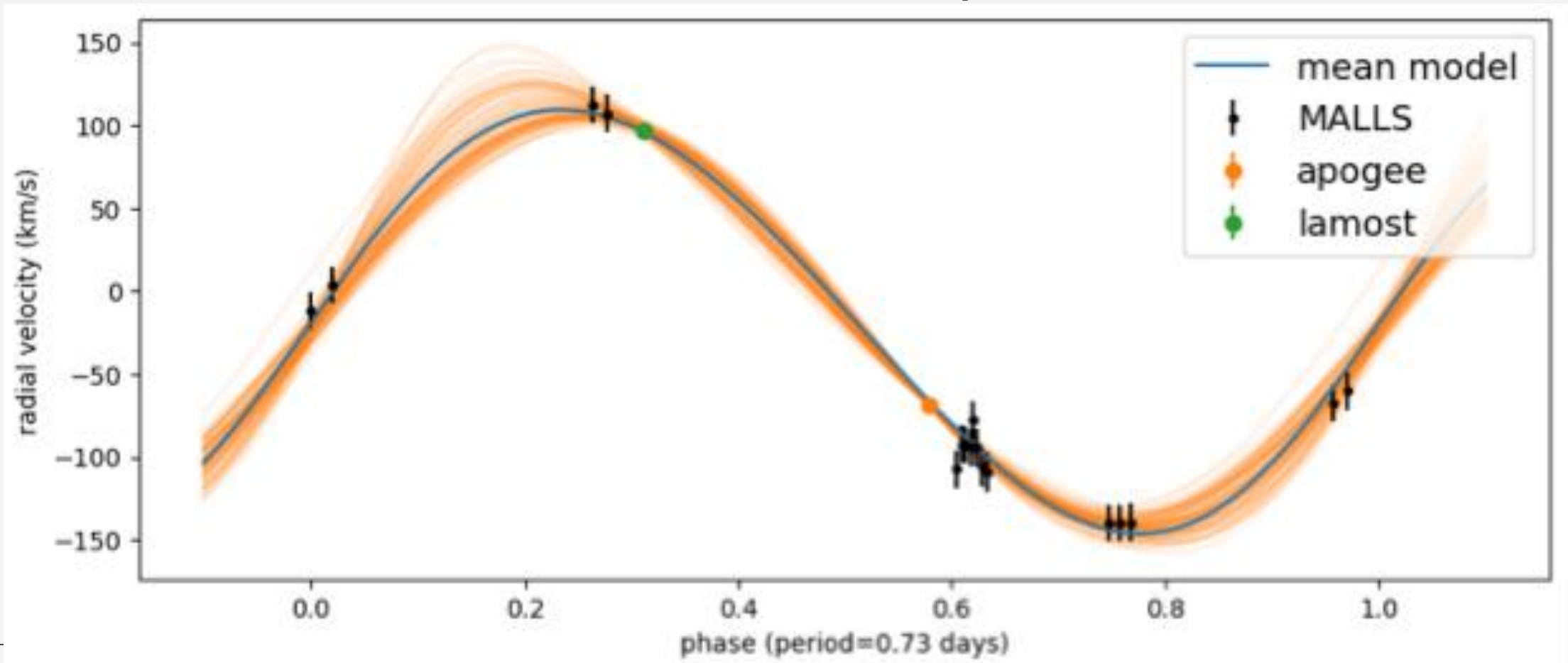
Gaia DR3 211...

- TESS 変光周期 ~ 0.36 日
- Gaia 視線速度変動 ~ 250 km/s
- F型主系列星 $1.2\text{-}1.4$ Msun (速報値)



Gaia DR3 211...

- ・ なゆた・ MALLSでRV follow up



Gaia DR3 211...

- 伴星の質量 $> 0.8 \text{ Msun}$
重めのWD or NS?
- 食を起こしてない
→ $\sim 0.9 \text{ Msun}$ より軽い
主系列ではない
- 光度曲線をEVだと思つと
 $\sim 1.0 \text{ Msun}$ WD?

表 2: G211 の軌道要素 (速報値)

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

結論

- ・ B型星-BH連星：
TESS B型変光星の整理が必要
- ・ FGK型星-BH連星：
黒点が邪魔、工夫が必要
- ・ 黒点星+コンパクト星 tidally locked binary:
多少の分光サーベイデータがあれば探索可能