

K2ミッションで発見された、 三重連星系惑星候補の 光度曲線の解析

東京工業大学 佐藤研 M1
宮川 浩平

佐藤文衛(東工大)、平野照幸(東工大)、成田憲保(東京大)、福井暁彦(国立天文台)

目次

* イン트로

* トランジット解析

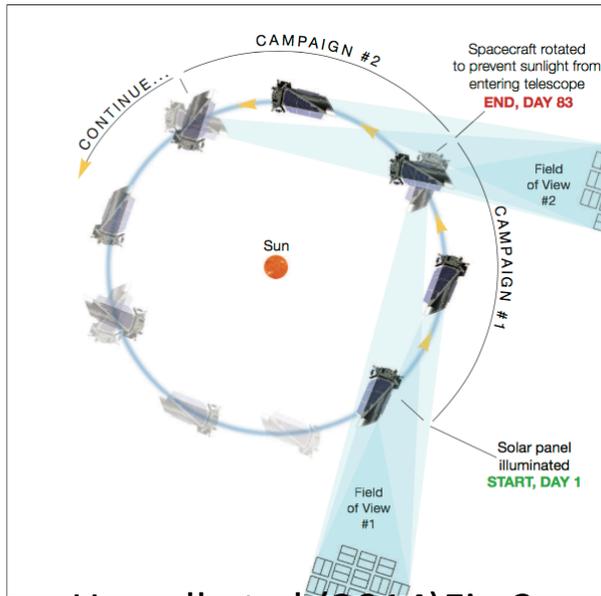
- ・ターゲット
- ・解析・結果
- ・今後の追観測

* トランジットを除いた光度変化解析

- ・解析・結果

* 結論

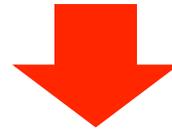
K2ミッション(Kepler宇宙望遠鏡)



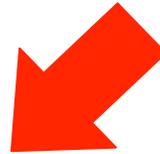
Howell et al.(2014)Fig.2

* Keplerミッション(Borucki et al.,2010)

恒星150,000個をターゲット(2009/3)、トランジット法



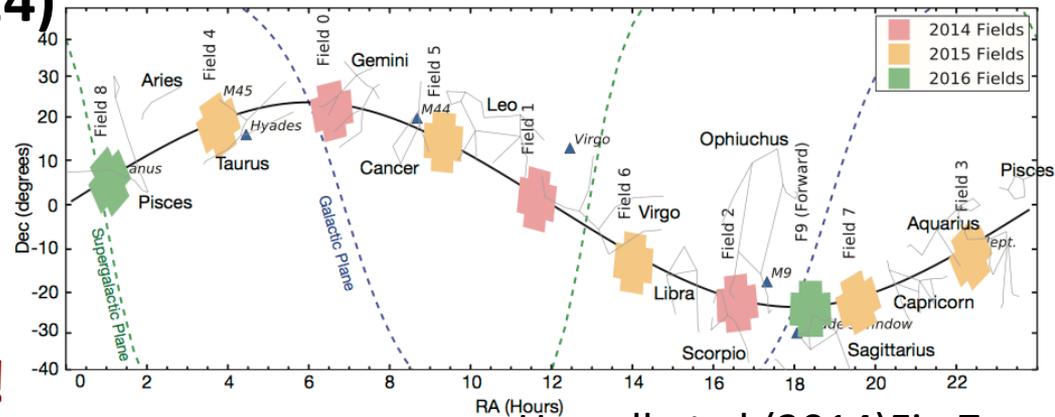
姿勢制御装置の故障(2013/3)



* K2ミッション(Howell et al.,2014)

太陽の輻射圧で姿勢制御(2014/5)
80日ごとにfieldを変更しながら観測

**Kepler望遠鏡によって
微小な光度変化も解析可能に!**



Howell et al.(2014)Fig.7

目次

* イントロ

* トランジット解析

- ・ターゲット
- ・解析・結果
- ・今後の追観測

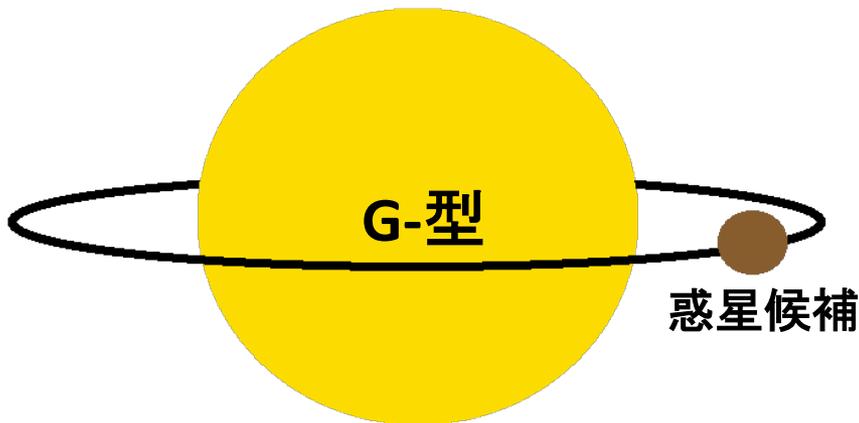
* トランジットを除いた光度変化解析

- ・解析・結果

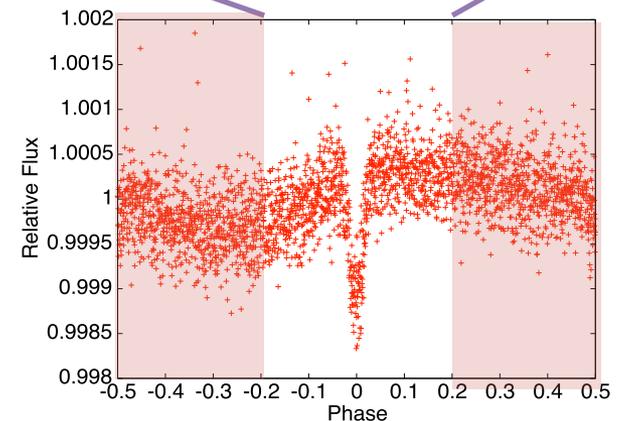
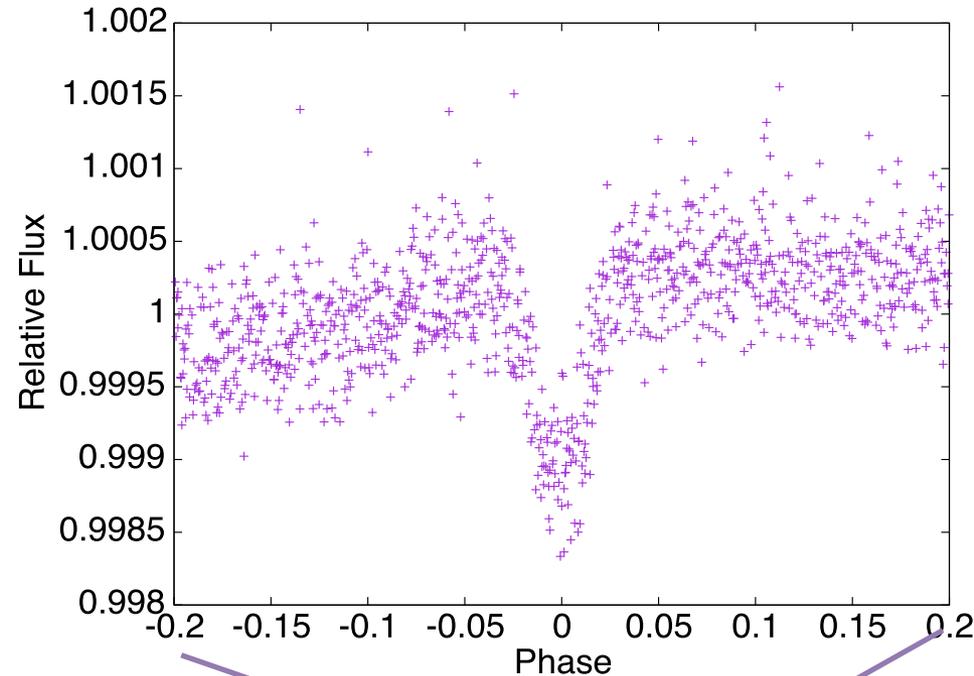
* 結論

EPIC206036749(K2データ)

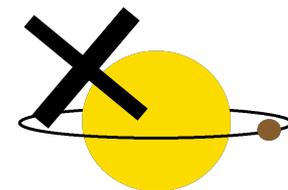
- * K2ミッションのField 3で観測
- * 中心星: G-type, $0.9R_{\text{sun}}$
- * 軌道周期: 1.13day
- * 減光率: **0.1%** (可視光帯Kp)
→ 惑星半径 **0.3 R_{jup}** ??
- * 曲線全体に見られるうねり



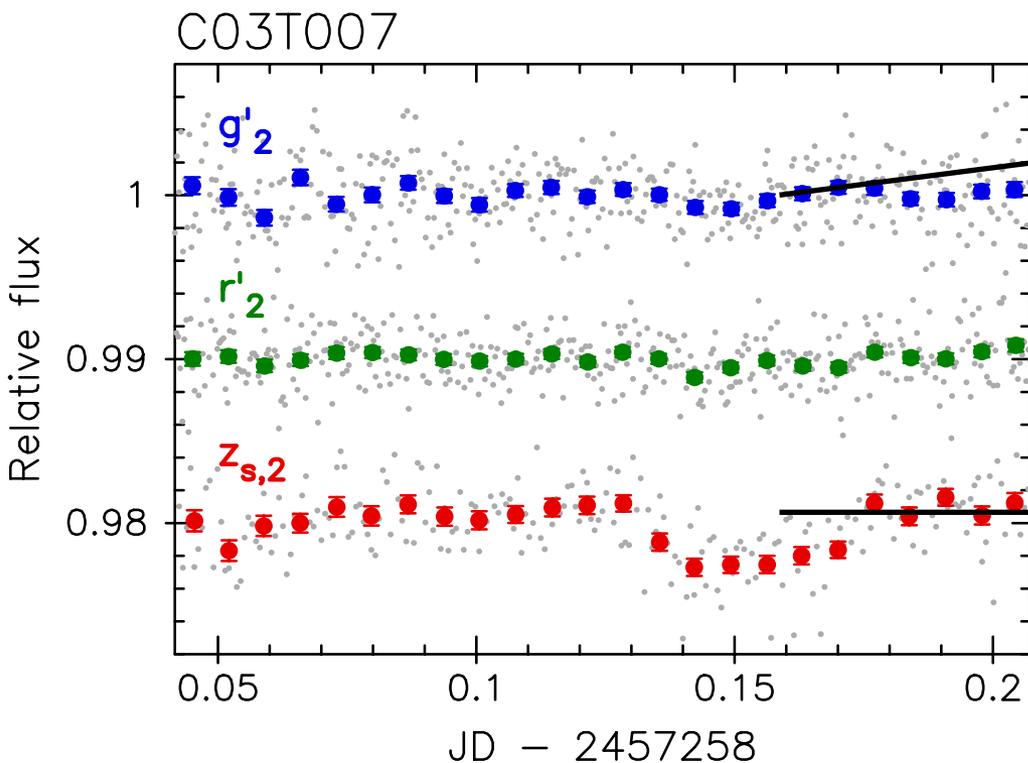
EPIC206036749系 仮定その1



岡山1.88m/MuSCAT データ



* 3つの異なるトランジット減光 → dilution

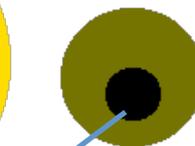


▪ g band



G-型

晩期型星



惑星候補

▪ z band



G-型

晩期型星



惑星候補

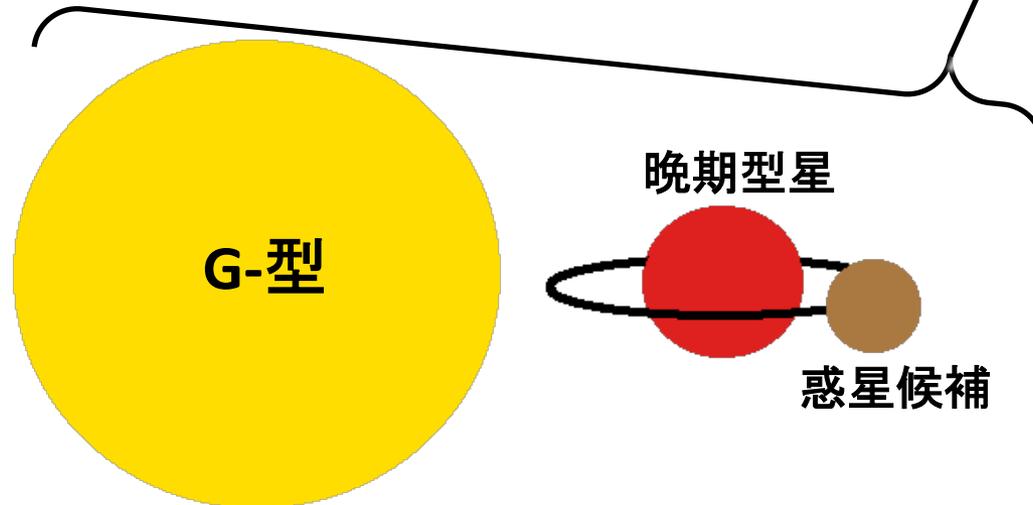
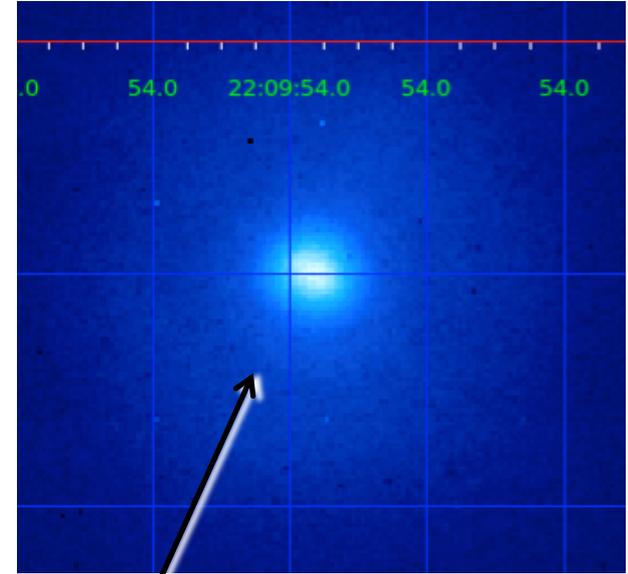
* EPIC206036749の系は、**G型星**(EPIC206036749)と、
もう1つの別のトランジット系を含む

Subaru/HiCIAOデータ

* dilutionが背景星の影響である可能性があるため、
AO観測によって確認

何も確認されなかった

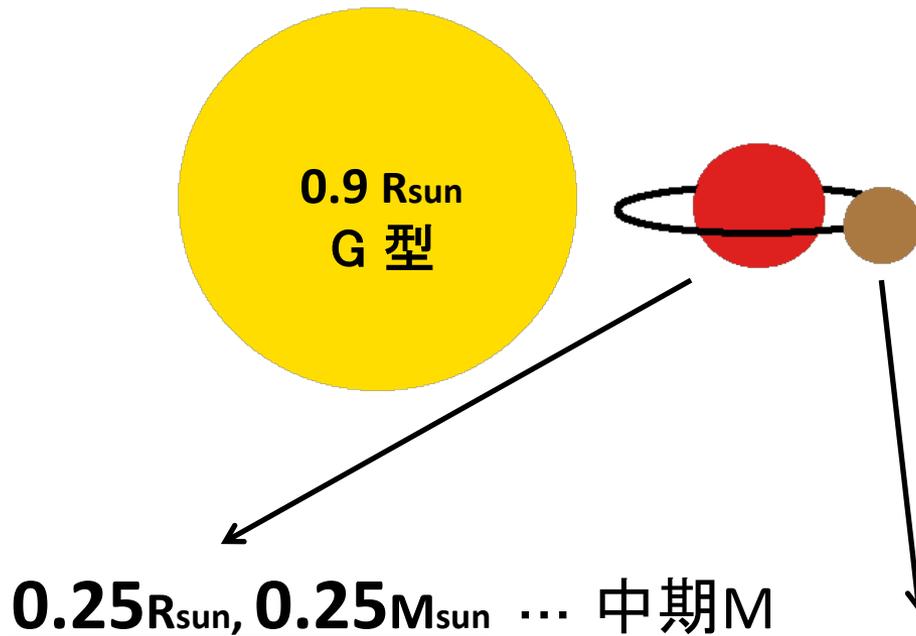
→ { * 背景星なし
* 3天体は束縛しあっている



EPIC206036749 系 仮定その2

解析と結果

* dartmouth isochroneの文献値を用いて、
観測データを満たす各天体の半径、または質量を導出



MuSCAT データ

band	Transit depth (%)
g'_2	0.00 ± 0.05
r'_2	0.10 ± 0.05
$Z_{s,2}$	0.40 ± 0.05

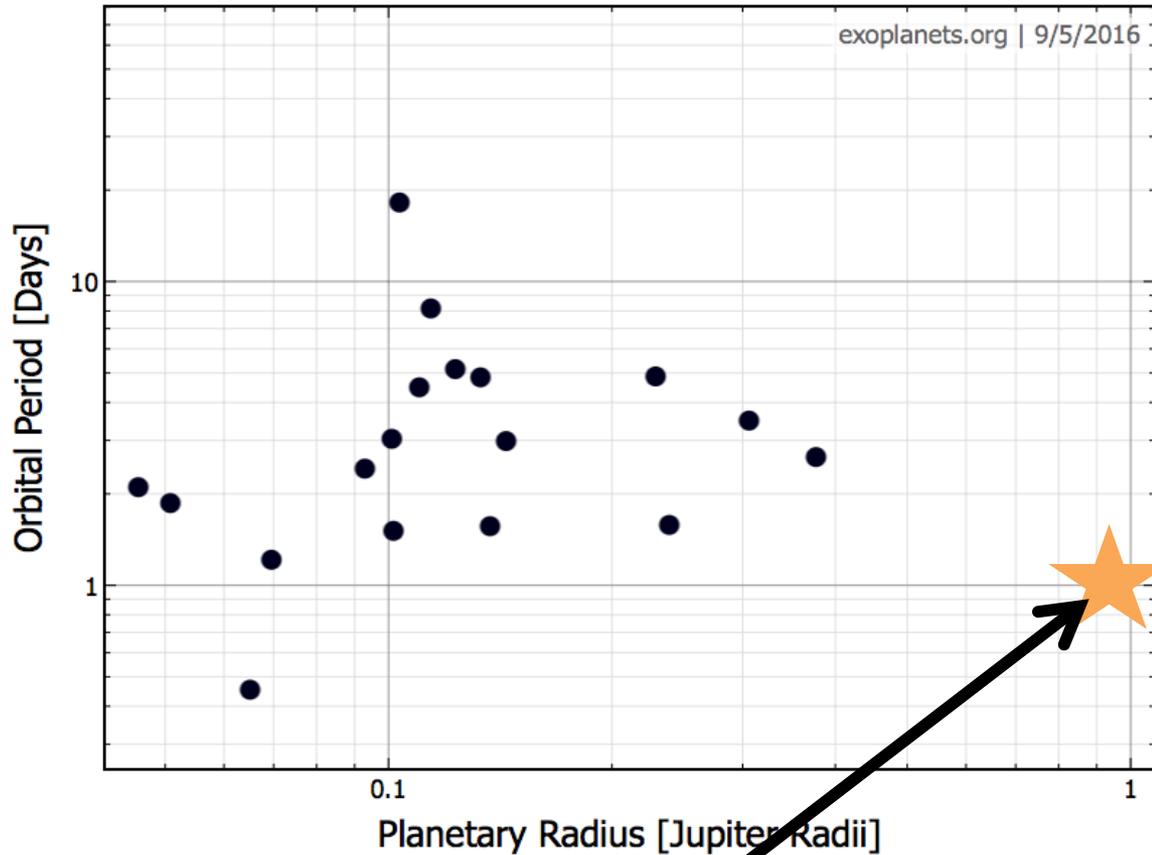
トランジット天体の質量は不明

- * 木星型惑星
- * 褐色矮星
- * 晩期M型星

晩期型星(<3500K)周りの惑星

* 中期M周りの
ホットジュピターの希少性

* 重いG型星でではなく、
中期M周りに天体が
捕縛されている

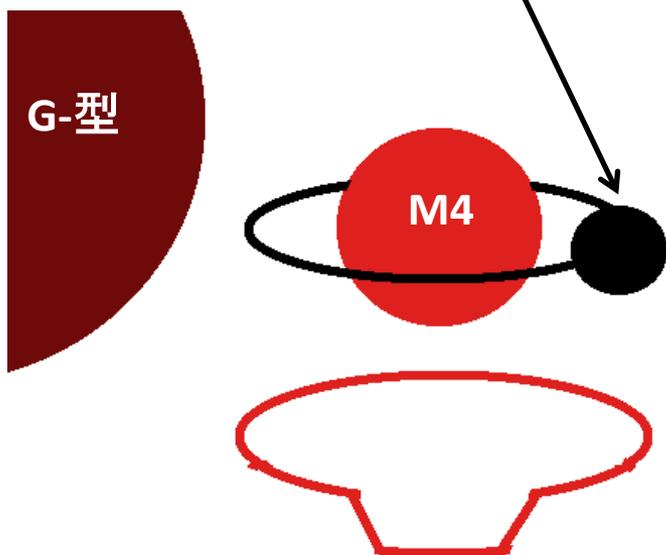


* EPIC206036749惑星候補は、半径 $1.2R_{Jup}$ と軌道周期1.13日

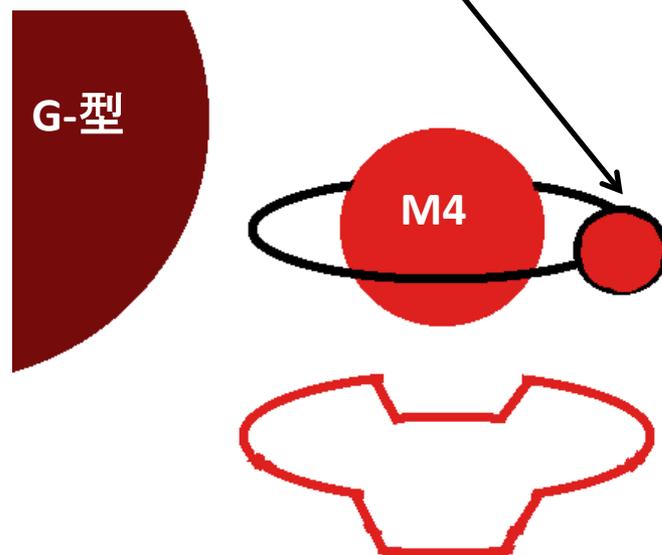
追観測

* 惑星候補の正体を突き止めるため
近赤外での食の追観測を行う(岡山1.88m(ISLE), IRSF(SIRIUS))

(1).惑星or 褐色矮星



(2).晩期M型星



* Hバンド(近赤外)でトランジット 0.7%の観測が期待される。

(1).二次食はほとんど見られない or (2).およそ0.5%

目次

* イントロ

* トランジット解析

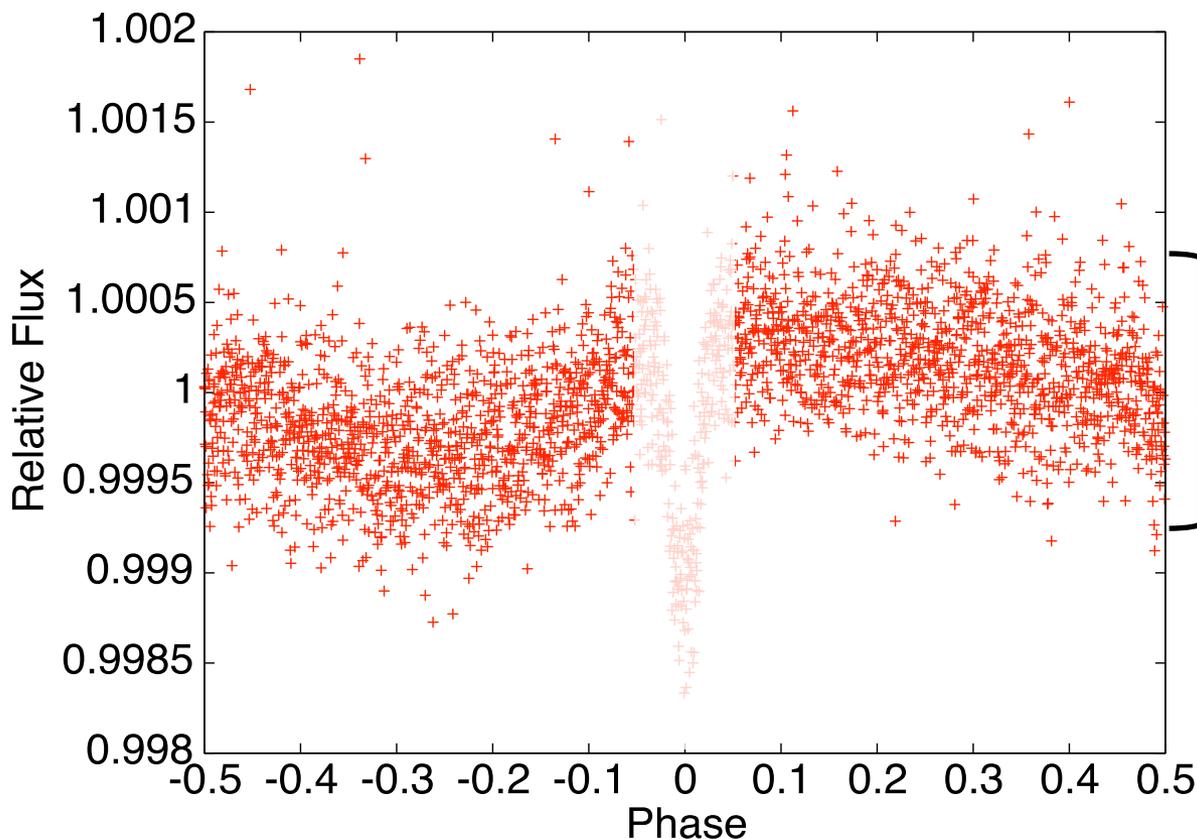
- ・ターゲット
- ・解析・結果
- ・今後の追観測

* トランジットを除いた光度変化解析

- ・解析・結果

* 結論

トランジットを除いた光度曲線の解析

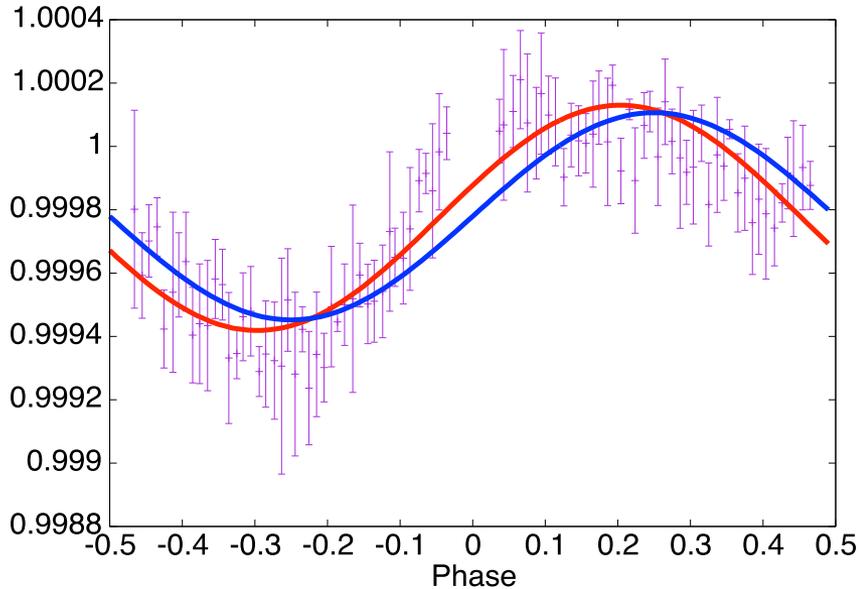


振幅を見積もる！

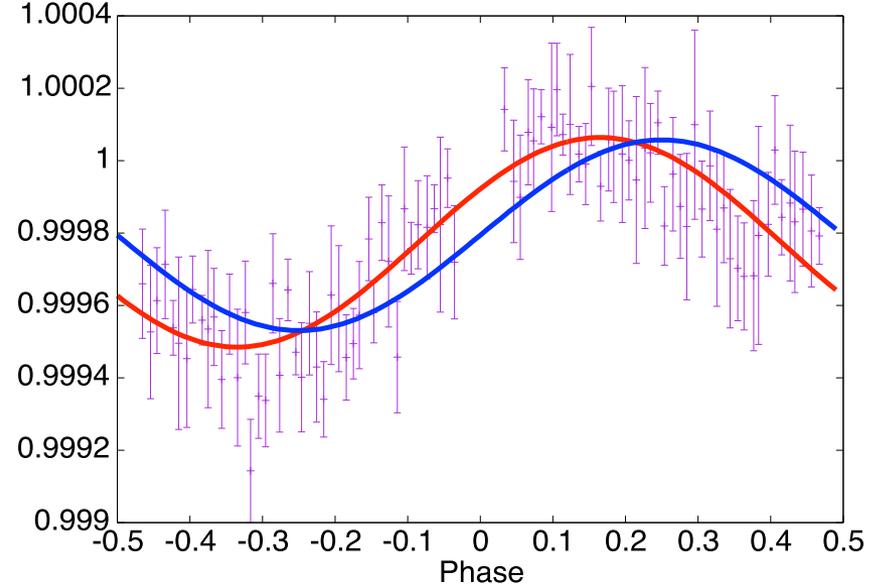
0.1%の食の減光に対して、0.03%程度の振幅
→ Doppler Boosting 等の効果とは考え難い

解析と結果

前半



後半



80日のデータの振幅の時間変動を確認するため、
前後半40日ずつに分けて振幅フィット

振幅	前半(E-04)	後半(E-04)
青	3.27 ± 0.15	2.63 ± 0.21
赤	3.56 ± 0.14	2.89 ± 0.16

3 σ 以上のズレ!

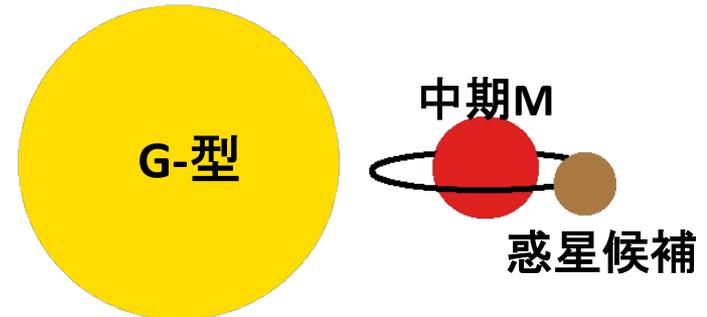
時間変動が見られる(黒点?)

※ 青: 正弦関数
赤: 視線速度関数

結論と今後

トランジット解析

- * G-M-トランジット天体 の三重連星系
- * トランジット天体の正体を制限するため追観測を行う



光度変化

- * 正弦関数的うねりは原因不明
 - 黒点のような時間変遷する要因が含まれている
 - 近接連星系によるガスの影響? → 位相が異なる
- * トランジットを除いて周期解析を行う

トランジット解析詳細

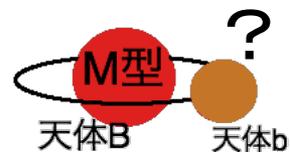
- * 観測値(MuSCAT)と、計算値(dartmouth isochrone(Dotter et al.,2008)より)を比較
- * 計算値は**Kpバンド**(Kepler)の0.1%の減光から
G型星(0.85Rsun)のブレンドを考慮して計算

	Transit Depth(%)					
	観測値			計算値		
B質量(Msun)		0.15	0.19	0.31	0.35	0.50
B半径(Rsun)		0.17	0.21	0.30	0.34	0.47
b半径(Rsun)		0.13	0.12	0.11	0.10	0.08
gバンド	0.00±0.05	0.029	0.031	0.036	0.037	0.044
rバンド	0.10±0.05	0.080	0.082	0.085	0.086	0.090
zバンド	0.40±0.05	0.39	0.37	0.33	0.32	0.26

中心星(B)質量 $\sim 0.2M_{\text{sun}}$ 以下で一致

→ **M型**中心星B(0.2Rsun)と

伴天体b(0.1Rsun)のトランジット系!!!



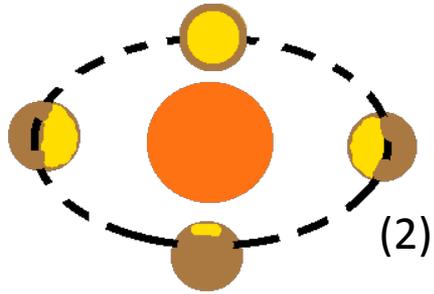
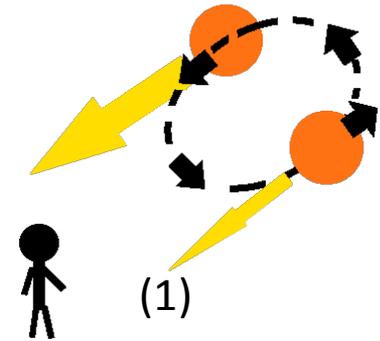
位相光度変化/BEERアルゴリズム

(Faigler&Mazeh,2011)

中心星一伴天体の公転軌道に依存する微小な光度変化

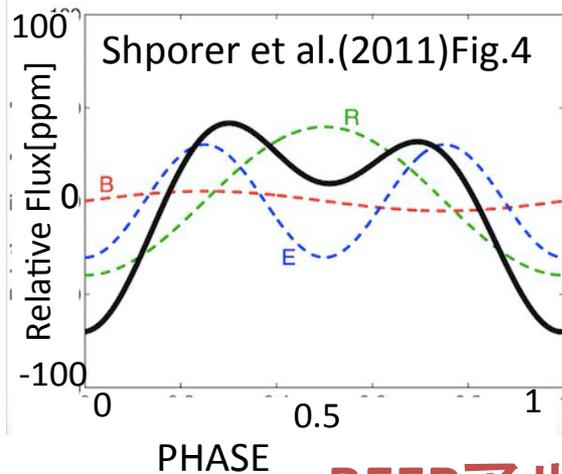
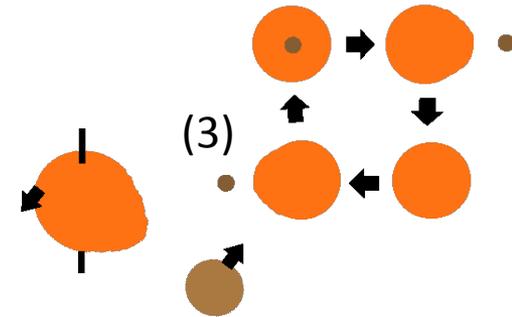
(1) A_{beam} : Doppler Boosting/Beaming

中心星と観測者の間の距離の
変化による相対論的な光度変化
→ 一般的に小さい



(2) A_{refl} : Planetary Reflection/Emission

惑星による反射光、放射光



(3) A_{ellip} : Ellipsoidal Variation

中心星の潮汐変形による光度変化

BEERアルゴリズム→伴天体質量、軌道傾斜角を制限!!

$$M(\theta) = Co \times (1 + \underbrace{A_{beam}} \sin \theta - \underbrace{A_{refl}} \cos \theta - \underbrace{A_{ellip}} \cos 2\theta)$$

低質量伴天体、円軌道近似

BEERアルゴリズム(Faigler&Mazeh,2011)

- ① 低質量の伴天体
- ② 公転軌道が円軌道を仮定した

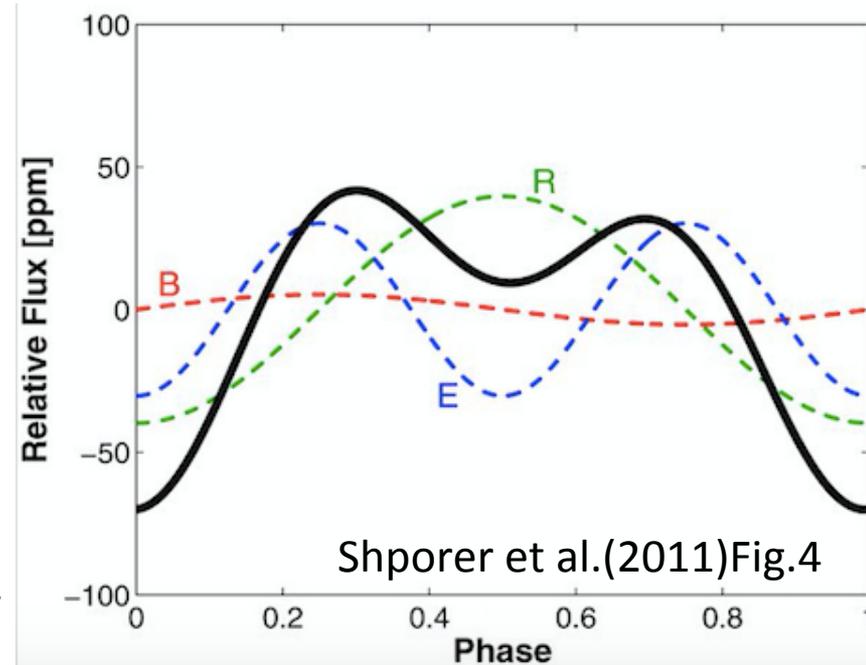
位相光度変化に対するモデル

トランジット系以外にも適用可(Shporer et al.,2011)

(1) Doppler Boosting:
$$A_{beam} = \alpha_{beam} 4 \frac{K_{RV}}{c}$$

(2) Planetary Reflection:
$$A_{refl} = \alpha_{refl} 0.1 \left(\frac{r_2}{a} \right)^2 \sin i$$

(3) Ellipsoidal Variation:
$$A_{ellip} = \alpha_{ellip} \frac{m_2 \sin i}{M_*} \left(\frac{R_*}{a} \right)^3 \sin i$$



→ 伴天体の
質量、軌道傾斜角など決定!

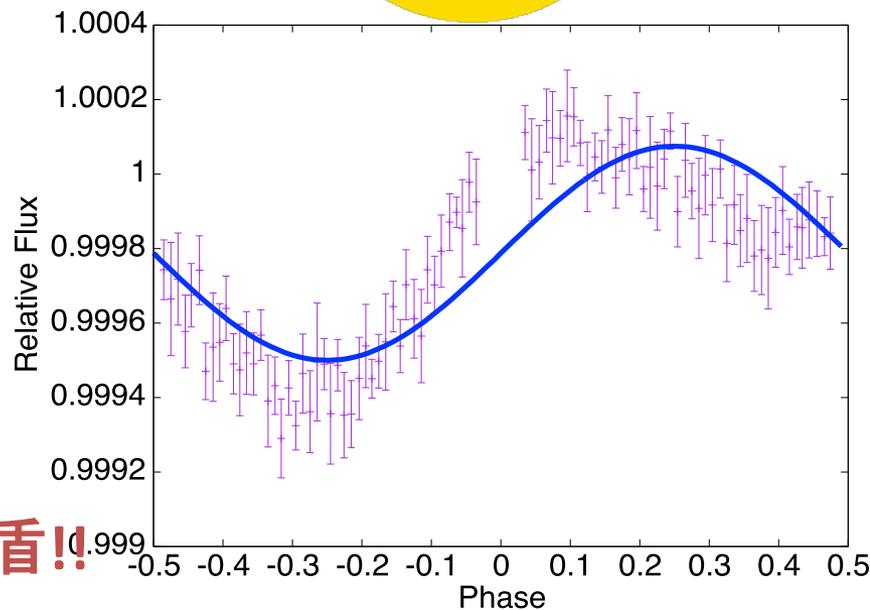
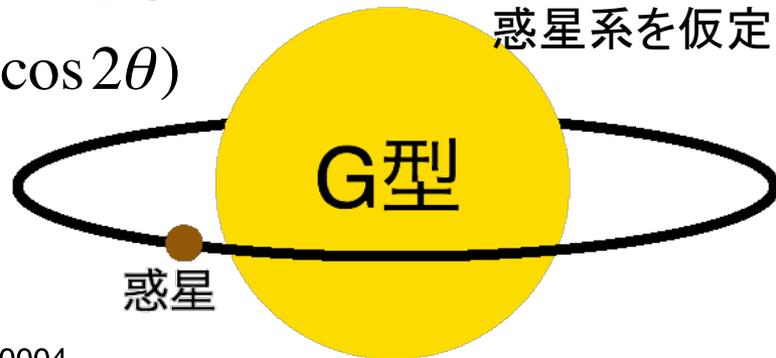
$$M(\hat{t}) = Co \times \left(1 + \underbrace{A_{beam}} \sin \theta - \underbrace{A_{refl}} \cos \theta - \underbrace{A_{ellip}} \cos 2\theta \right)$$

位相光度変化の解析

* BEERアルゴリズムを用いて位相光度変化を解析

$$M(\theta) = C_0 \times (1 + A_{beam} \sin \theta - A_{refl} \cos \theta - A_{ellip} \cos 2\theta)$$

パラメータ	値
Abeam	(2.9±0.2)E-04
Arefl	0±2.7E-04
Aellip	0±1.9E-04
C0	1.0-(2.1±0.1)E-04



$$A_{beam} = \alpha_{beam} 4 \frac{K_{RV}}{c} \text{ より、} m = 110 \pm 7 M_{jup}$$



0.1%のトランジットの深さ(0.3R_{jup})と矛盾!!

- ① 黒点による光度変化が含まれている？
- ② G型星 (EPIC206036749) の光が、トランジット系の光に混ざっている？

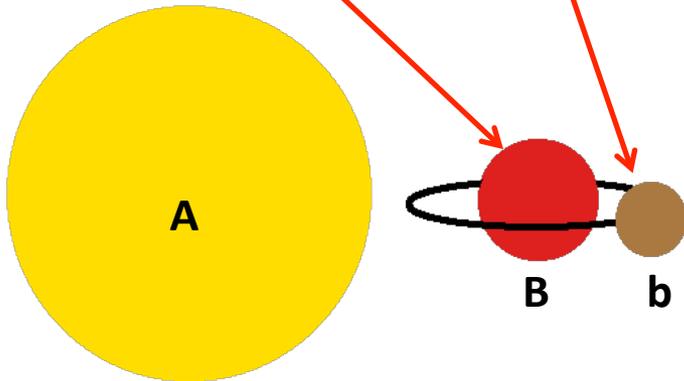
解析と結果

* 仮定その2のもと、G型星のdilutionを取り除き
beamingの振幅からB質量範囲を見積もる

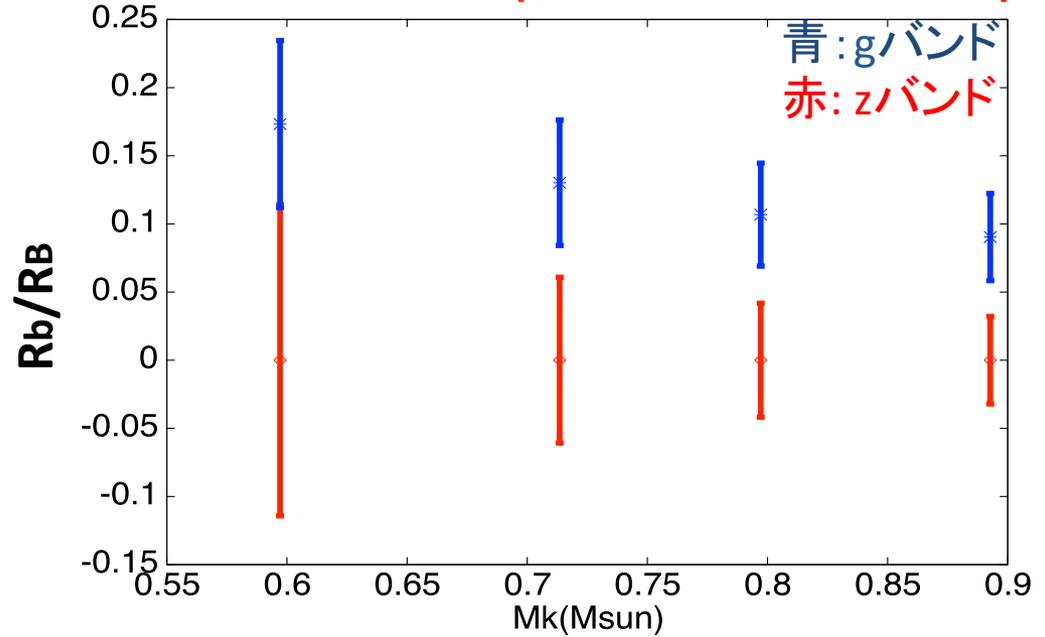
* MuSCATの食の深さから
半径比を導いたものをプロット

B質量(*Msun)	b質量(*Mjup)	質量比(b/B)
0.66	1417±169	2.05
0.71	710±69	0.95
0.75	512±45	0.65
0.80	368±30	0.44
0.89	244±18	0.26

A質量 < B質量 < b質量
となる範囲



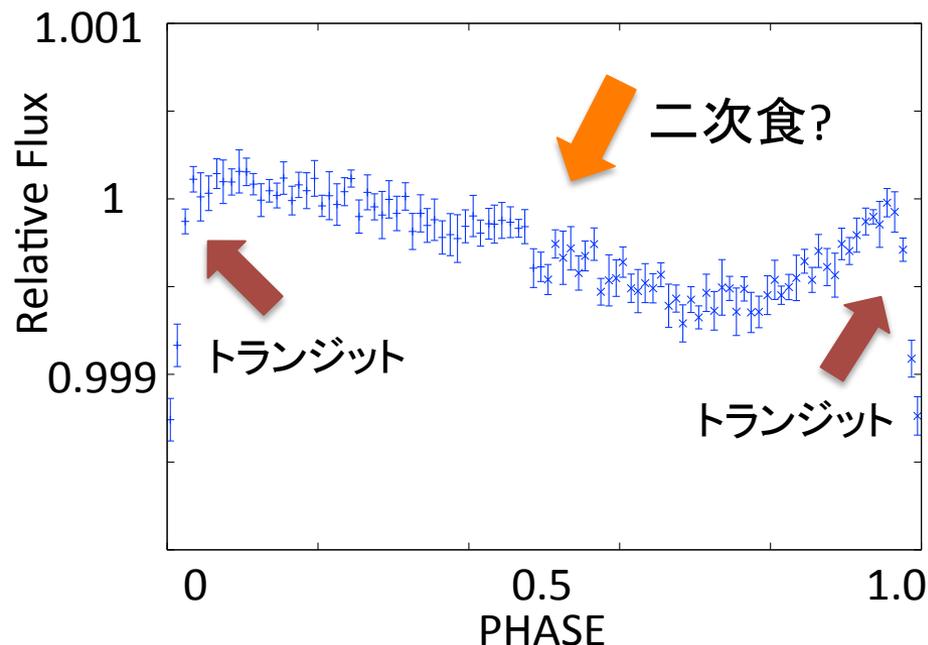
EPIC206036749 系 仮定その2



二次食の解析

* 位相0.5あたりの減光が二次食と仮定(0.01%のスケール)

中心星B質量 (Msun)	伴星b スペクトル型	二次食深さ (%)
0.15	M5	0.0372
	M6	0.0110
	M7	0.00357
0.19	M5	0.0371
	M6	0.0110
	M7	0.00356



中心星は**0.2M_{sun}(M4型)**

伴星は**M5~6型星**の連星系?

