



A型星周りの系外惑星secondary eclipse観測

東京工業大学 修士2年 大貫裕史

佐藤文衛、原川紘季(東工大)、成田憲保(国立天文台)

発表内容

日本初

我々の観測の目的:

**A型星周りのホットジュピターの大気の温度構造を、
惑星の情報が直に得られるSE観測を通して明らかにする。**

本講演では、**2011B期**の我々の観測の実現可能性について発表

- ① secondary eclipse(SE)観測とはどういう観測か？
- ② 過去のA型星周りの系外惑星SE観測について(先行研究紹介)
- ③ SEによる減光率の見積もり
⇒観測に必要な観測精度が分かる
- ④ 実際に必要な観測精度が達成されるのか、試験観測により確認
(2011年3月観測所時間に観測) ←研究成果報告

発表内容

日本初

我々の観測の目的:

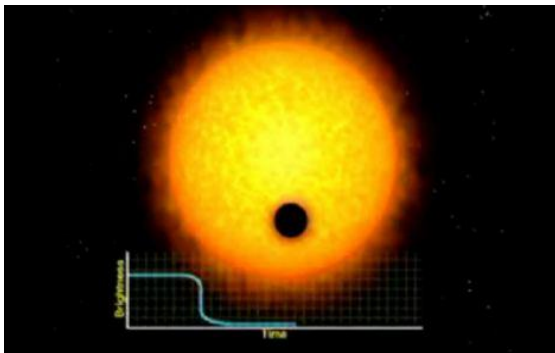
**A型星周りのホットジュピターの大気の温度構造を、
惑星の情報が直に得られるSE観測を通して明らかにする。**

本講演では、**2011B期**の我々の観測の実現可能性について発表

- ① **secondary eclipse(SE)観測**とはどういう観測か？
- ② 過去のA型星周りの系外惑星SE観測について(先行研究紹介)
- ③ SEによる減光率の見積もり
⇒観測に必要な観測精度が分かる
- ④ 実際に必要な観測精度が達成されるのか、試験観測により確認
(2011年3月観測所時間に観測) ←研究成果報告

イントロダクション

トランジット観測（系外惑星の発見法の1つ）



周期的な減光を観測して惑星の存在を示唆



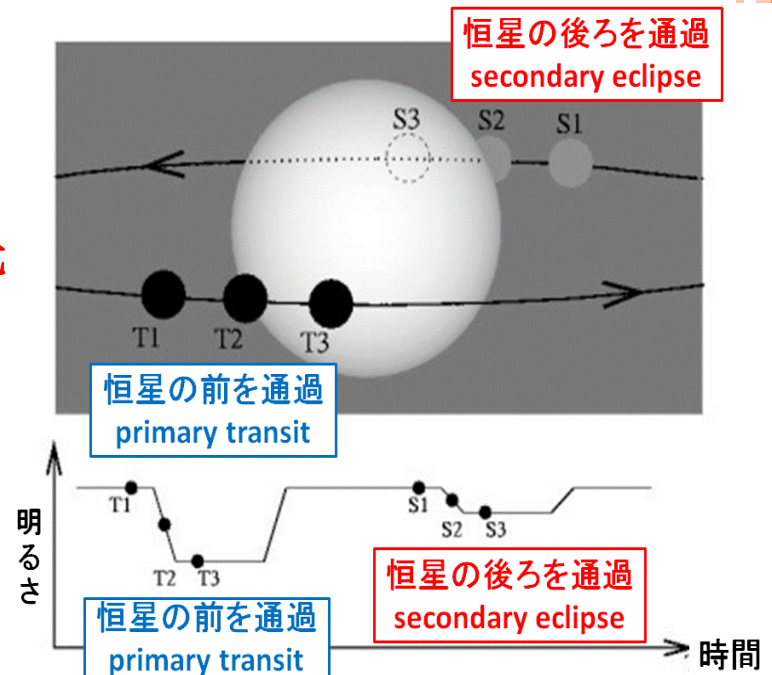
惑星のより詳細な情報を知りたい

secondary eclipse (SE)観測

観測される光

- SE前後…中心星由来の光 + 惑星由来の光
- SE時 …中心星由来の光 のみ

惑星由来の情報を直に取り出せる



SE観測から何が分かるのか？

- いろいろな波長で観測 ⇒ **惑星大気の温度構造** (thermal inversionなど)
(Knutson et al. 2008, 2009)

② primary transitの起こる時刻とSEの起こる時刻との関係から、**軌道離心率**
(Kallrath & Milone 1999; Charbonneau 2003)

③ 差分分光観測により、吸収線の波長から、惑星大気の組成 (Redfield et al. 2008)



イントロダクション3

SE減光率の大きさ

A型星(WASP-33)の場合

減光率の計算式

$$\frac{F_p}{F_*} = \left(\frac{R_p}{R_*} \right)^2 \frac{\int B_p(\lambda) d\lambda}{\int B_*(\lambda) d\lambda}$$

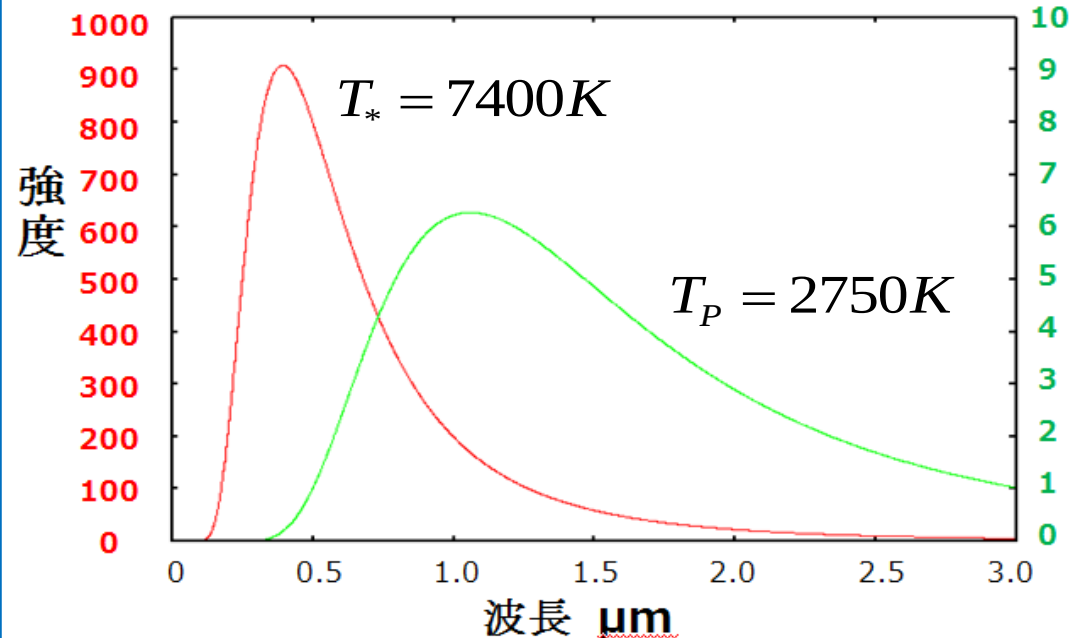
primary transit
の減光率 **0.15%**

惑星の温度は、
黒体を仮定した時の平衡温度

プランク分布

$$B_{P,*}(\lambda) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda k T_{P,*}}\right) - 1}$$

プランク分布

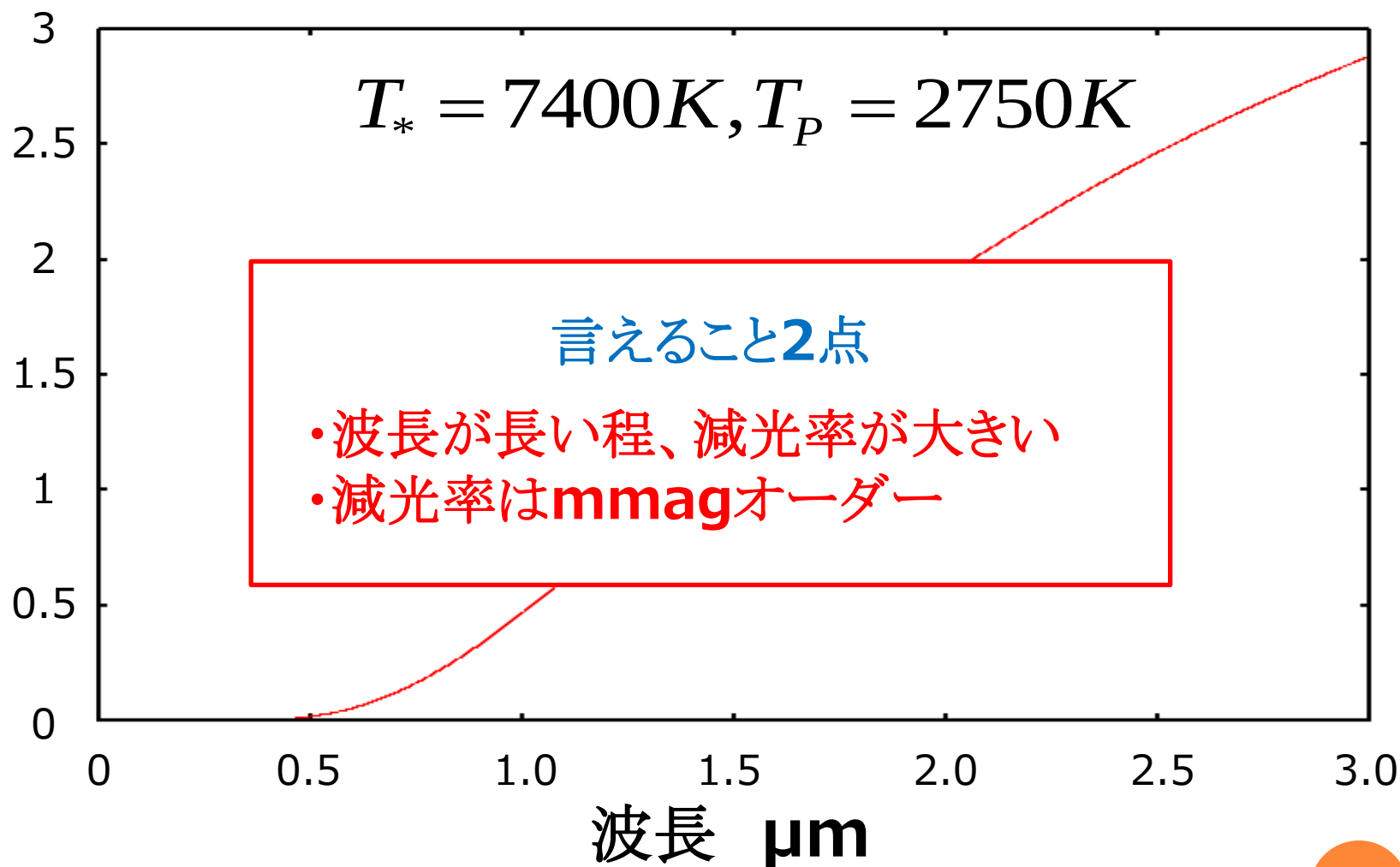


SE減光率と波長の関係

A型星(WASP-33)の場合

$$T_* = 7400K, T_p = 2750K$$

減光率
mmag



発表内容

日本初

我々の観測の目的:

**A型星周りのホットジュピターの大気の温度構造を、
惑星の情報が直に得られるSE観測を通して明らかにする。**

本講演では、**2011B期**の我々の観測の実現可能性について発表

- ① secondary eclipse(SE)観測とはどういう観測か？
- ② 過去のA型星周りの系外惑星SE観測について(先行研究紹介)
- ③ SEによる減光率の見積もり
⇒観測に必要な観測精度が分かる
- ④ 実際に必要な観測精度が達成されるのか、試験観測により確認
(2011年3月観測所時間に観測) ←研究成果報告

先行研究

～唯一のA型星周りの系外惑星のSE観測の論文～

“Thermal emission from WASP-33b, the hottest known planet”

A. Smith et al. 2011

観測日： 2010年10月29,30日

望遠鏡： William Herschel Telescope (WHT) @Spain

観測波長： $0.91\mu\text{m}$ ($9077\text{\AA}$) with ACAM(CCD)

観測精度： $\sim 1\text{mmag}$



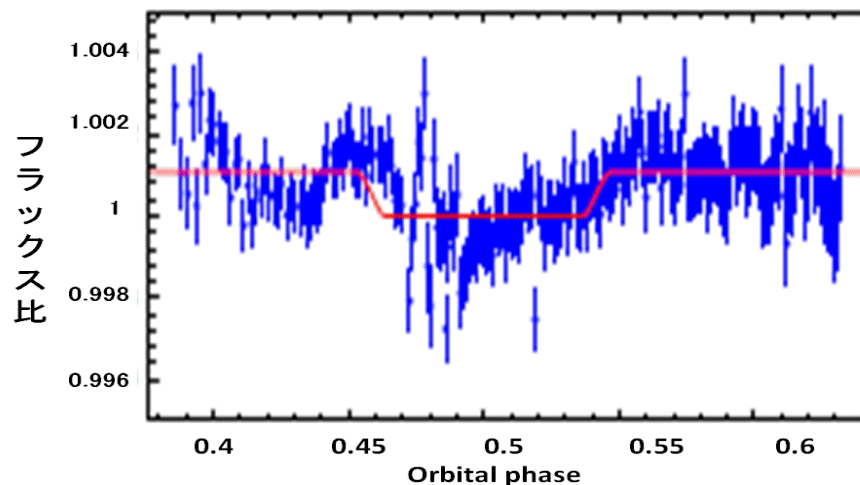
観測データからパラメータを決めようとしたが、うまく定めることができなかった

⇒軌道離心率を0と仮定して、SEの中心時刻や継続時間を仮定

データ解析結果

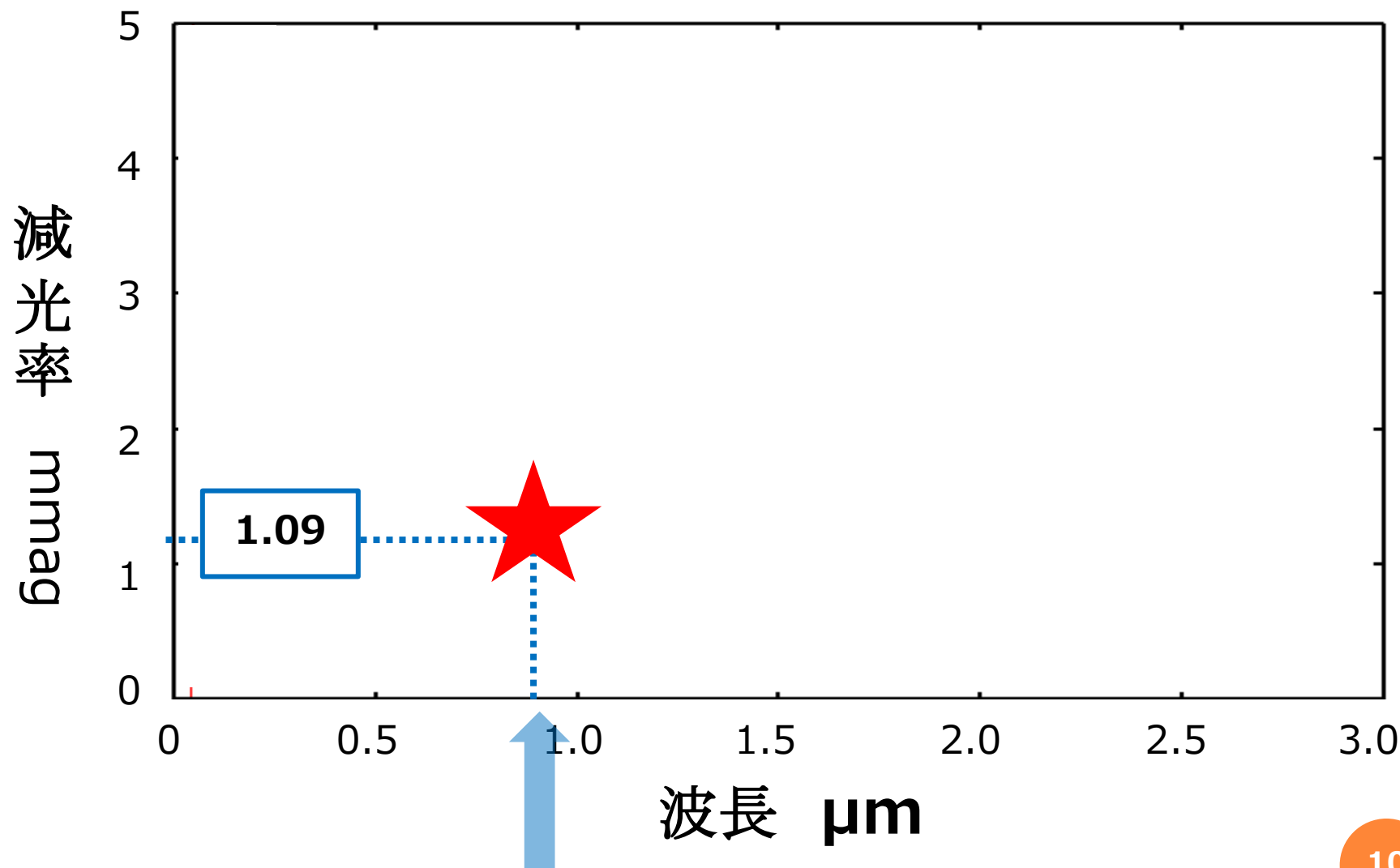
減光率 $1.09 \pm 0.30\text{ mmag}$

($\sim 0.109 \pm 0.030\%$)



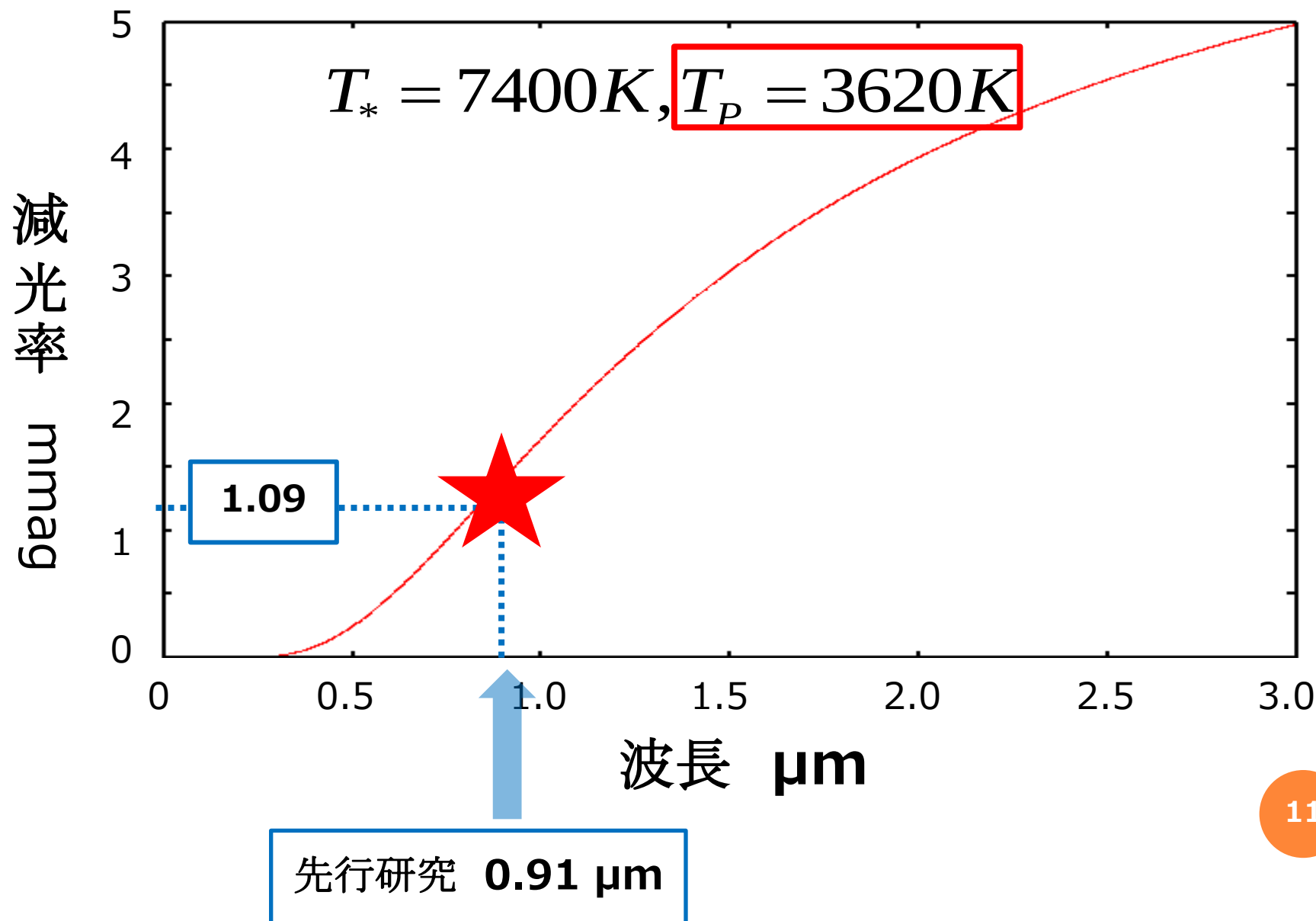
WASP-33b光度曲線 (Smith et al. 2011)

先行研究 減光率から輝度温度を計算

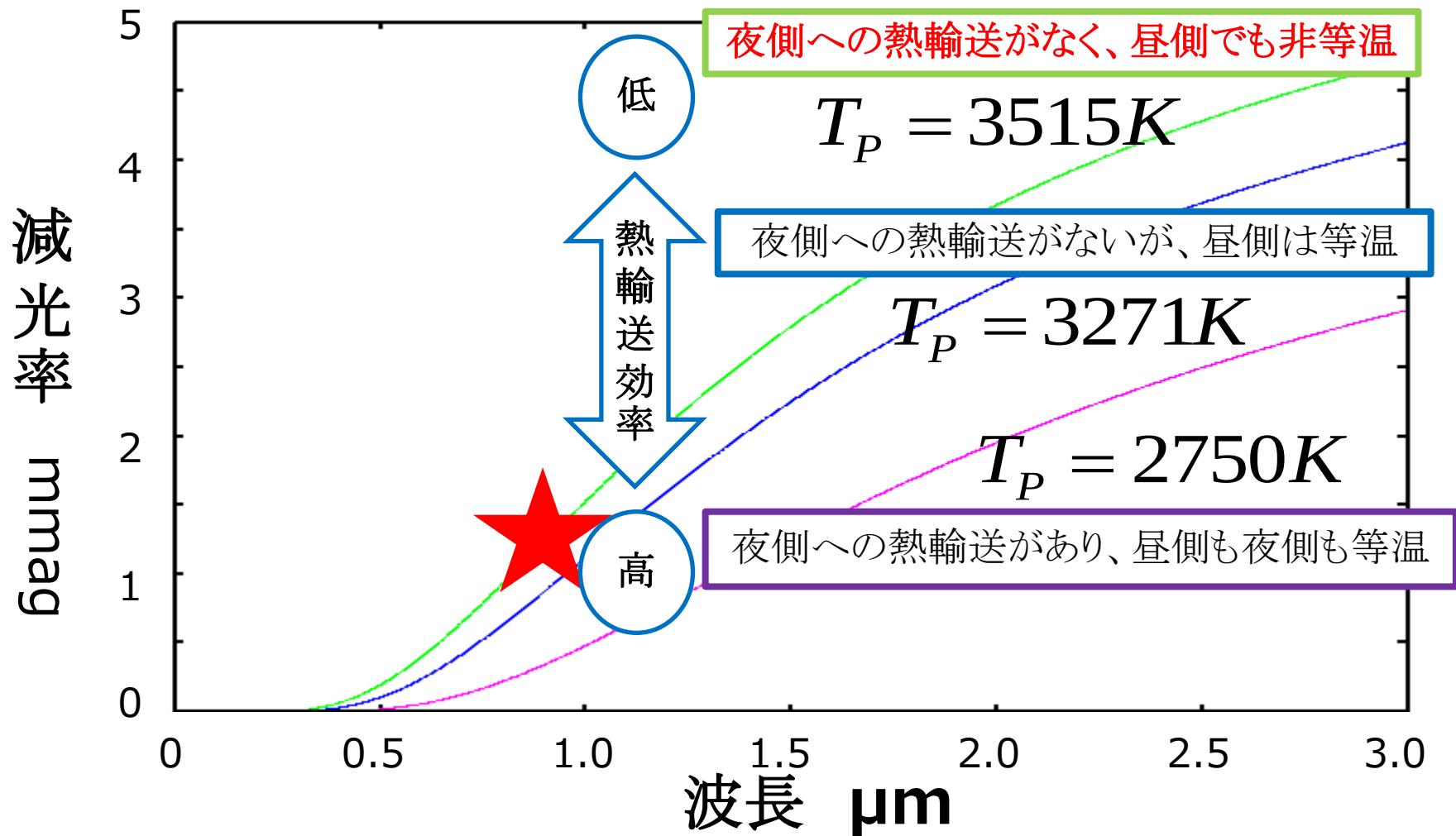


先行研究 0.91 μm

先行研究 減光率から輝度温度を計算



先行研究 (横方向の) 熱輸送効率の考察



$$T_{P,A=0} = f^{\frac{1}{4}} T_{*,eff} \sqrt{\frac{R_*}{2a}}$$

輝度温度3620Kを再現するためには、一番上の最も熱輸送効率が悪い時がよく合う

発表内容

日本初

我々の観測の目的:

**A型星周りのホットジュピターの大気の温度構造を、
惑星の情報が直に得られるSE観測を通して明らかにする。**

本講演では、**2011B期**の我々の観測の実現可能性について発表

- ① secondary eclipse(SE)観測とはどういう観測か？
- ② 過去のA型星周りの系外惑星SE観測について(先行研究紹介)
- ③ **SEによる減光率の見積もり**
⇒観測に必要な観測精度が分かる
- ④ 実際に必要な観測精度が達成されるのか、試験観測により確認
(2011年3月観測所時間に観測) ←研究成果報告

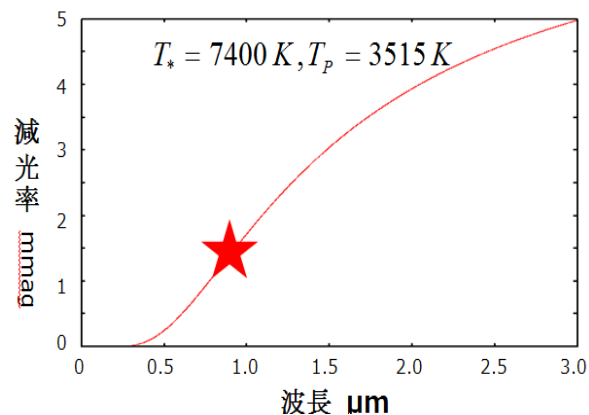
A型星周りの系外惑星の温度構造を知るために

- ✓ 複数の波長域でのSE観測が必要

先行研究 0.91 μm での観測 + 本研究 Ksバンド(2.16 μm)での観測

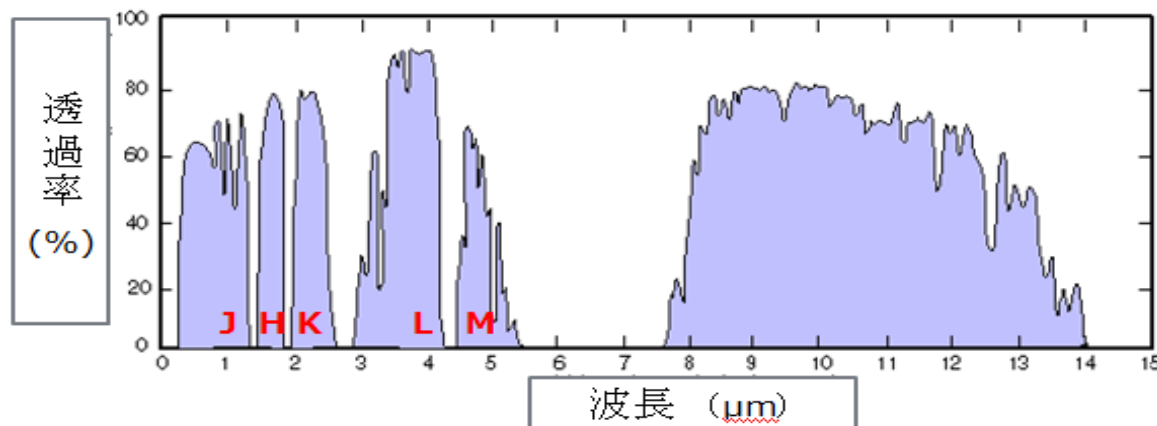
- ✓ 岡山天体物理観測所 188cm望遠鏡/ISLE を利用

SE減光率の見積もり



波長が長い方が有利

大気の窓と各バンド



青色の部分…よく透過する(大気吸収が少ない)

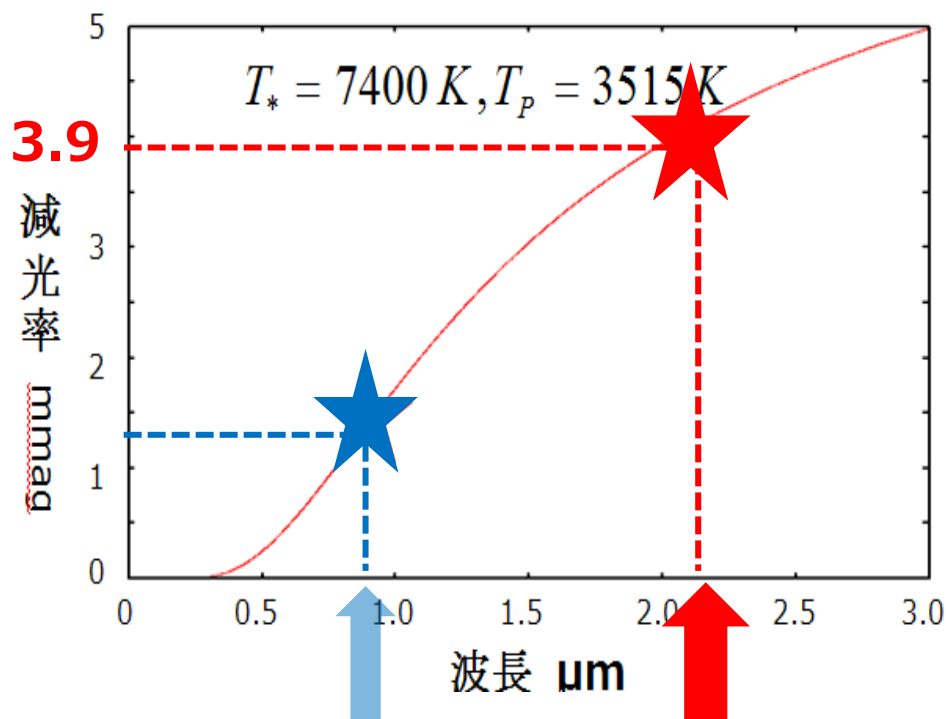
近赤外線域(0.7-2.5 μm)のバンド J=1.25 H=1.65 K=2.2 (μm)

岡山188CM望遠鏡/ISLE

2.16 μm での減光率

昼・夜共、熱輸送なし
(昼側も非等温)

SE減光率の見積もり

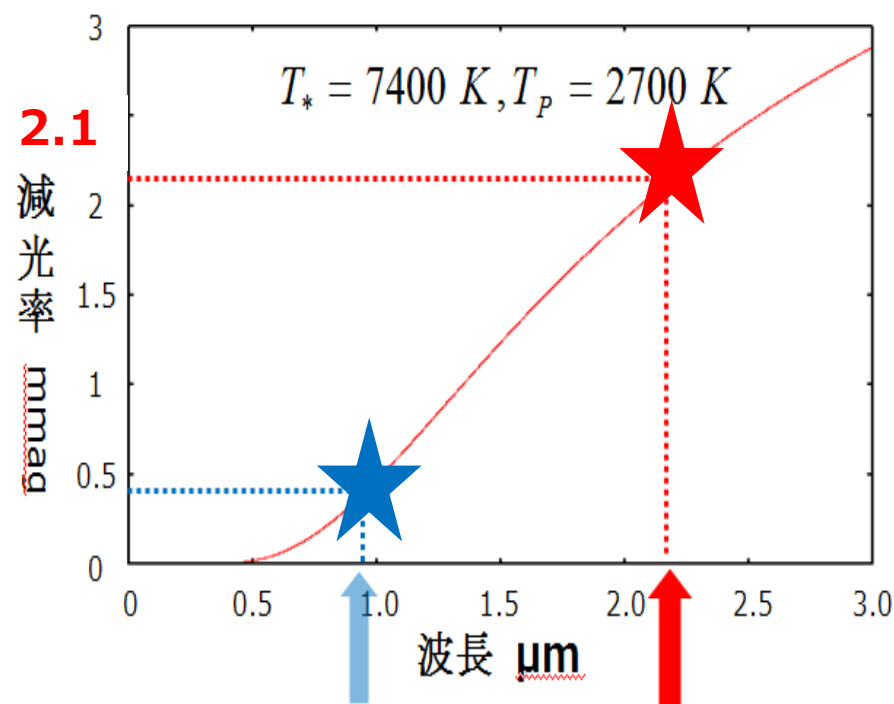


先行研究 0.91 μm

本研究 2.16 μm

夜側への熱輸送あり
(夜側も昼側も等温)

SE減光率の見積もり



先行研究 0.91 μm

本研究 2.16 μm

188cm望遠鏡/ISLEに必要な観測精度の見積もり

	先行研究	本研究
観測波長	0.91 μm	2.16 μm
減光率	1.09 mmag	2.1 mmag / 3.9 mmag (見積もり)
観測精度	1.0 mmag	1.9mmag / 3.6 mmag 以下であれば同程度以上で検出 (見積もり)

そこで、実際に、1.9 mmag / 3.6 mmag より
よい観測精度が達成可能なのか、調べることにした

発表内容

日本初

我々の観測の目的:

**A型星周りのホットジュピターの大気の温度構造を、
惑星の情報が直に得られるSE観測を通して明らかにする。**

本講演では、**2011B期**の我々の観測の実現可能性について発表

- ① secondary eclipse(SE)観測とはどういう観測か？
- ② 過去のA型星周りの系外惑星SE観測について(先行研究紹介)
- ③ SEによる減光率の見積もり
⇒観測に必要な観測精度が分かる
- ④ 実際に必要な観測精度が達成されるのか、試験観測により確認
(**2011年3月観測所時間に観測**) ←研究成果報告

岡山188CM望遠鏡/ISLE

2.16 μ mでの精度評価

- ・トランジット相対測光観測
- ・観測天体:XO-2b
- ・観測日:2011/03/23

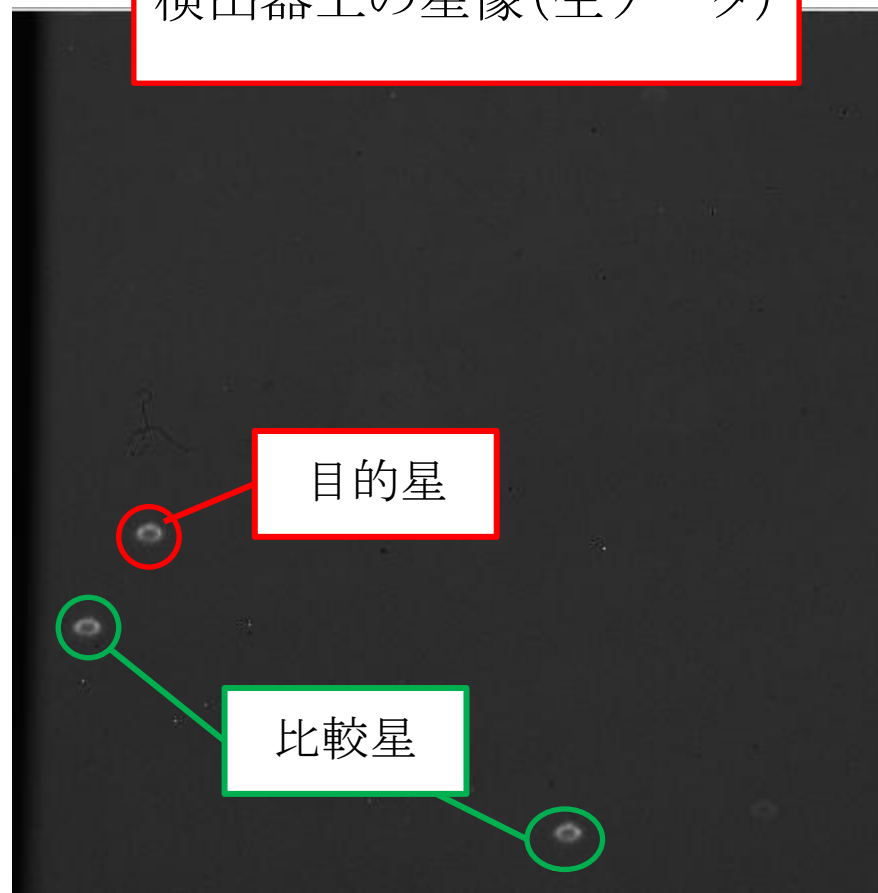
XO-2/XO-2bの特徴

- ・明るさ:9.3等級 (K-band)
- ・周期:2.6日
- ・トランジット継続時間:**162分**
- ・減光率:1.2%
- ・温度:5340/1200K

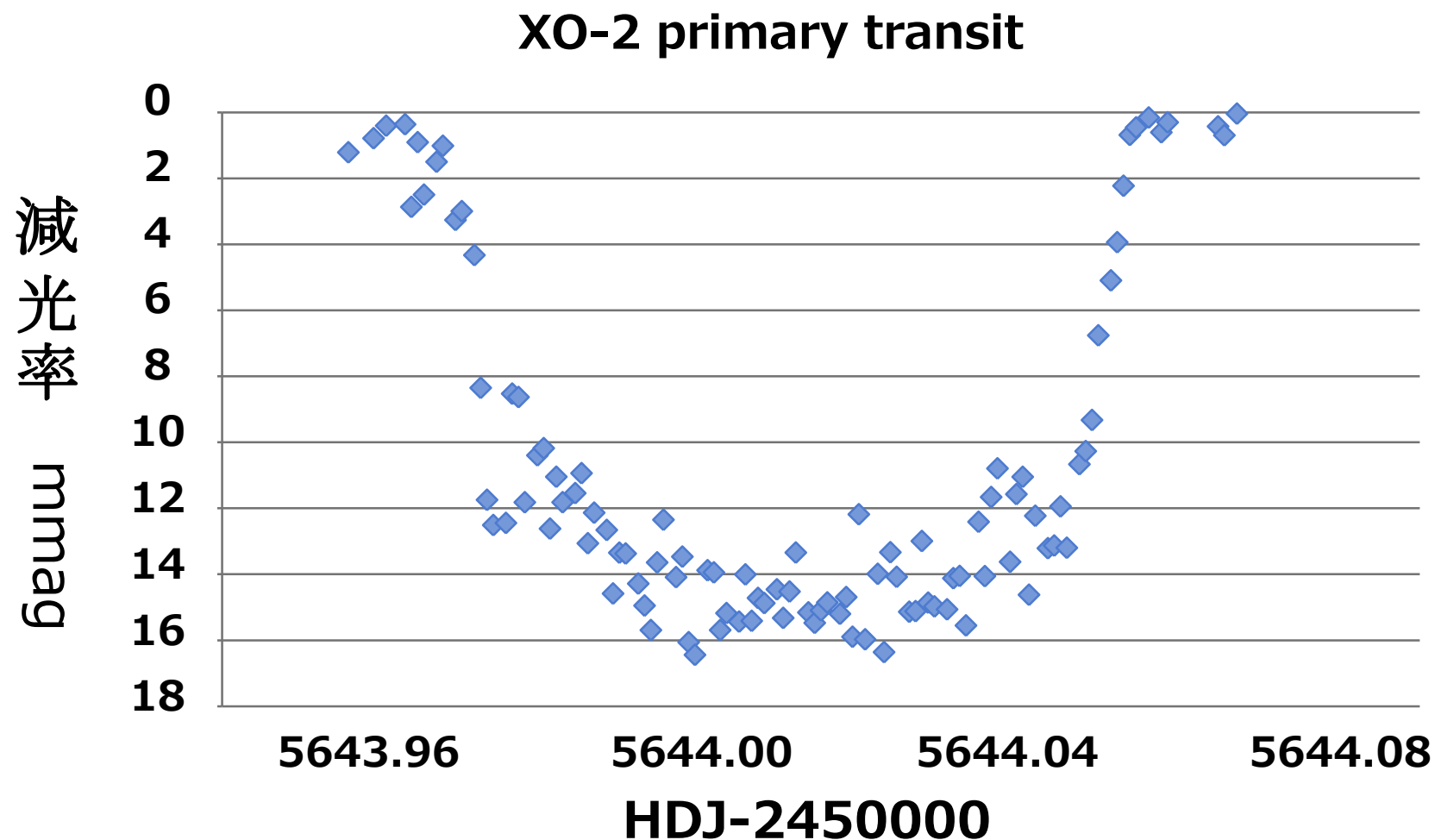
目的星と比較星の特徴

3つの明るさはほぼ同じ

検出器上の星像(生データ)

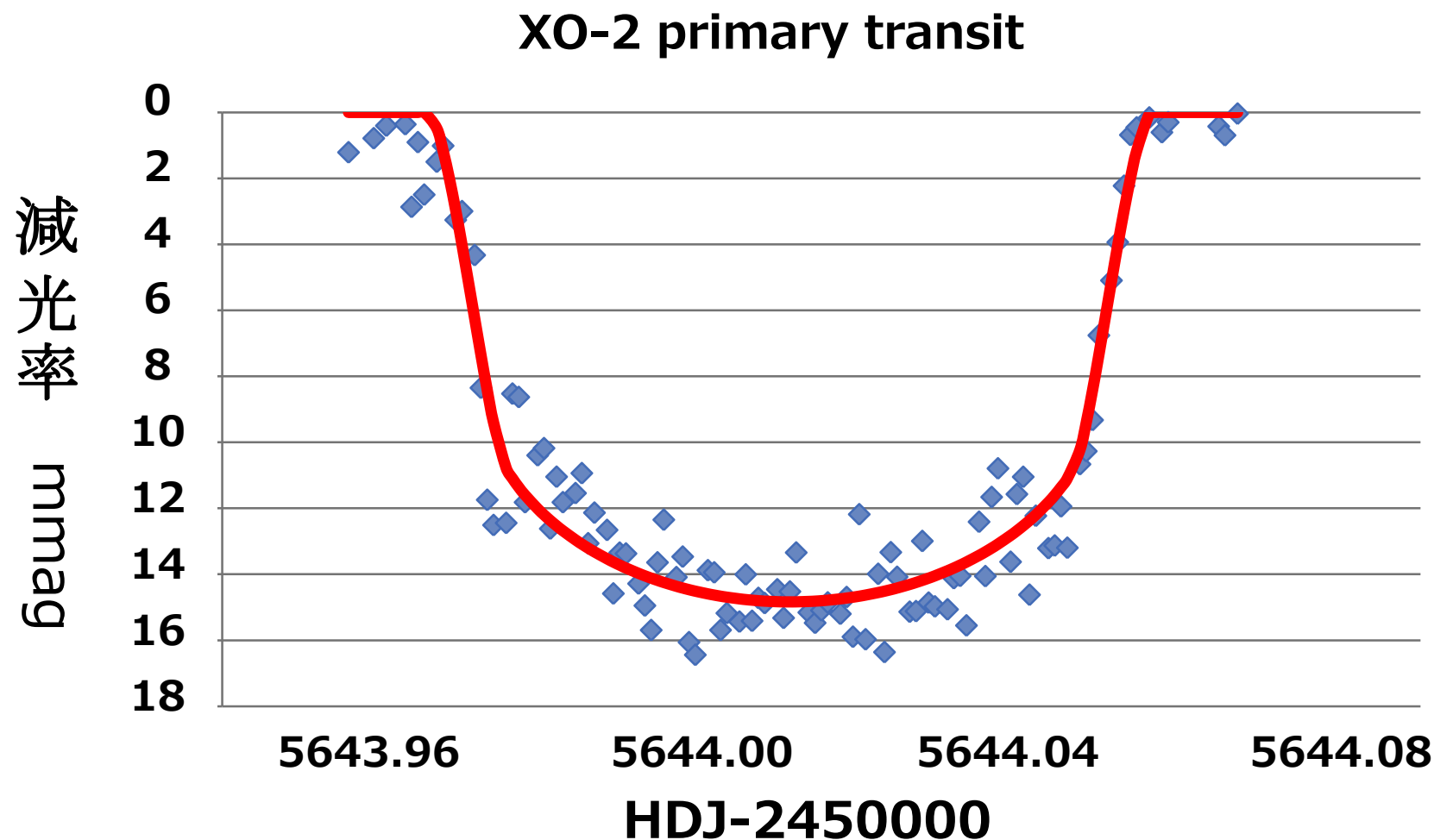


観測精度評価(試験観測) 光度曲線



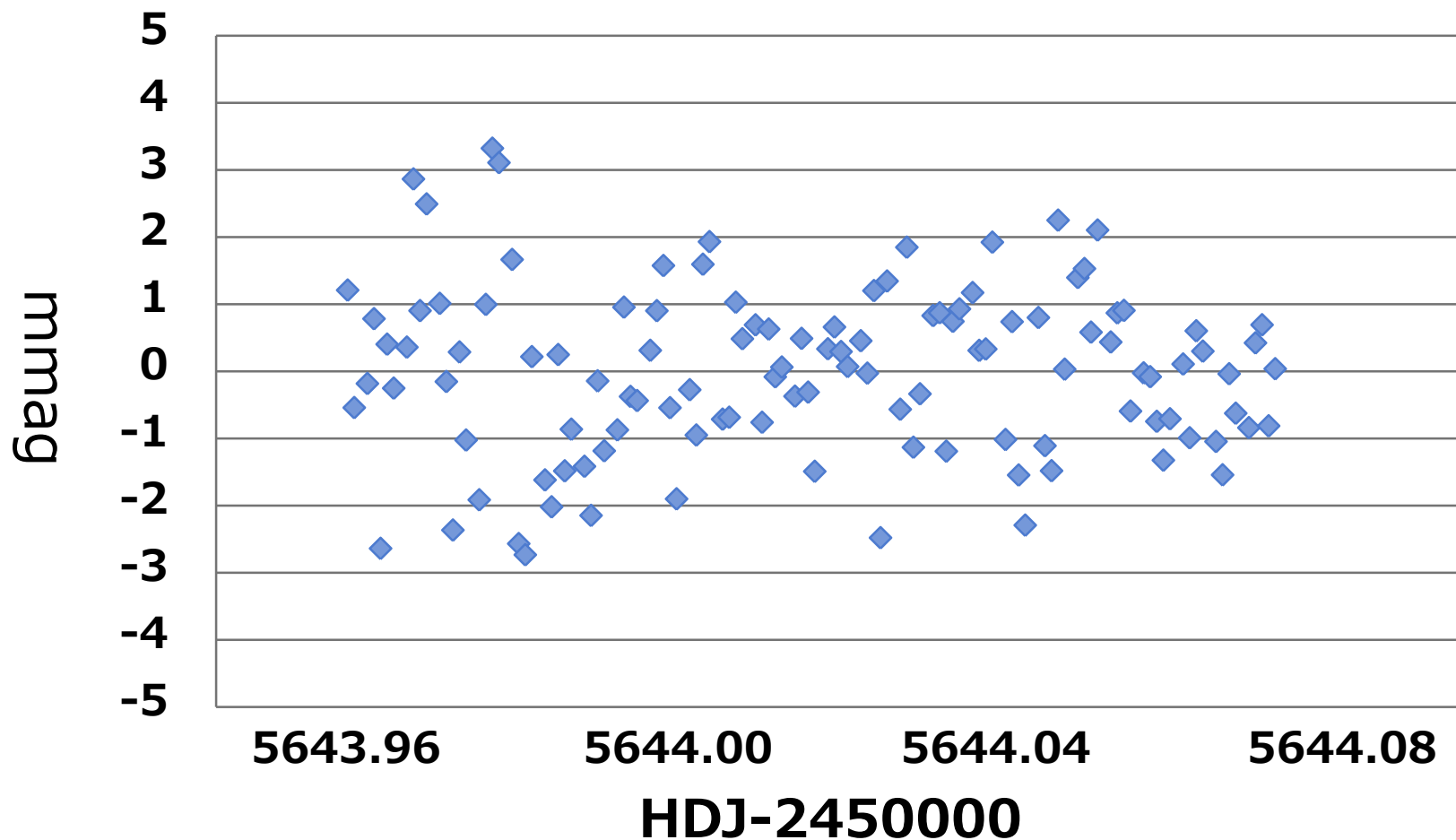
2011年3月23日にKs-bandにおいて観測したデータを解析したもの。

観測精度評価(試験観測) 光度曲線



2011年3月23日にKs-bandにおいて観測したデータを解析したもの。

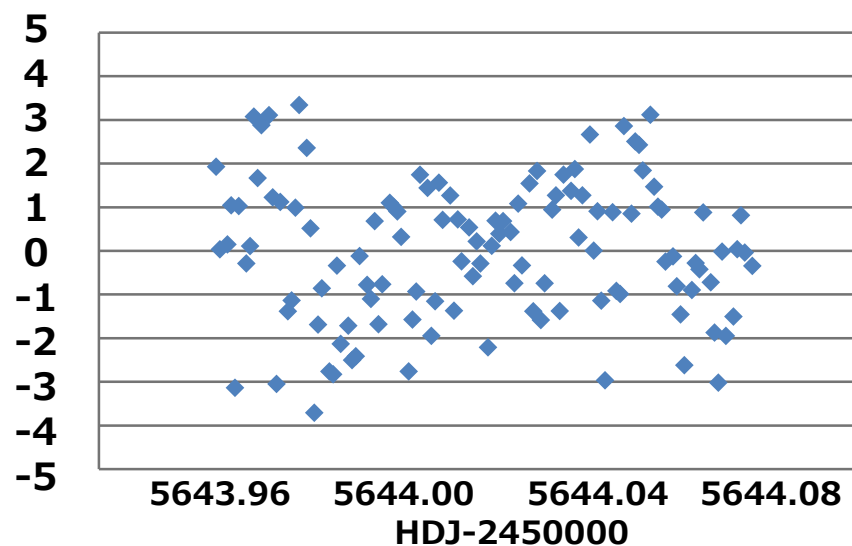
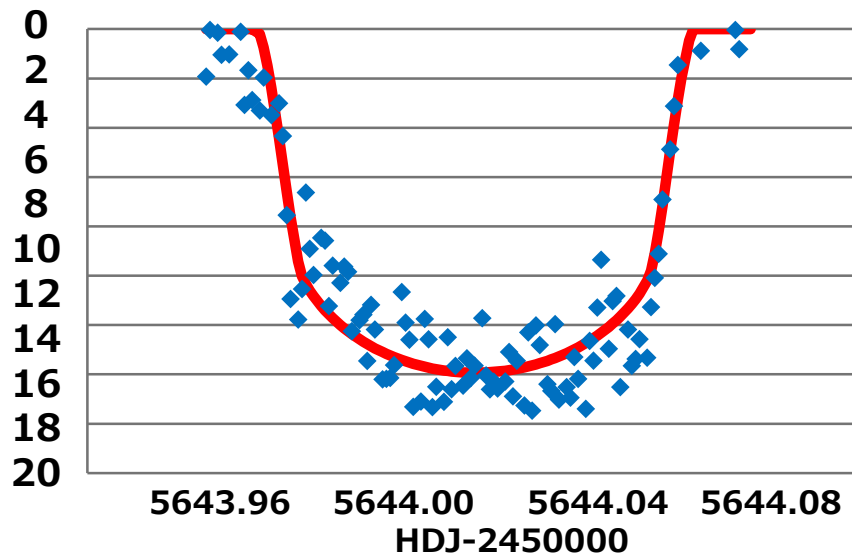
観測精度評価(試験観測) 残差をプロット



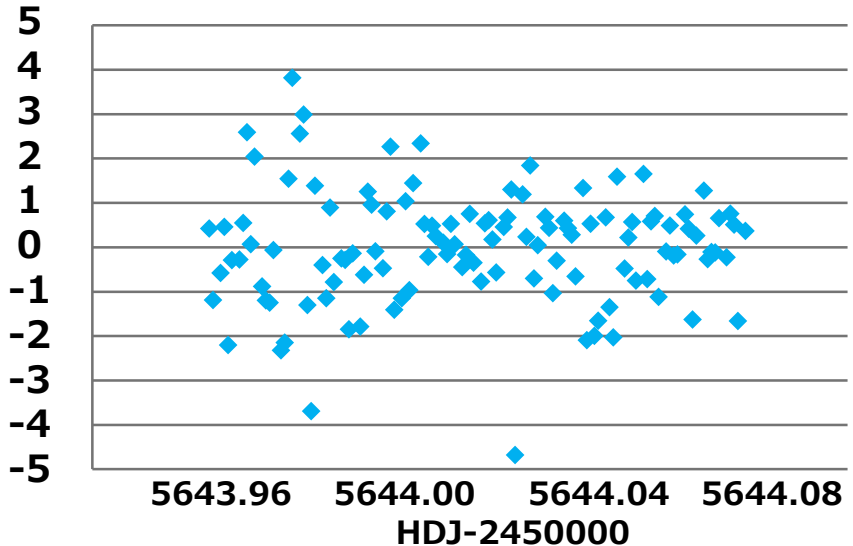
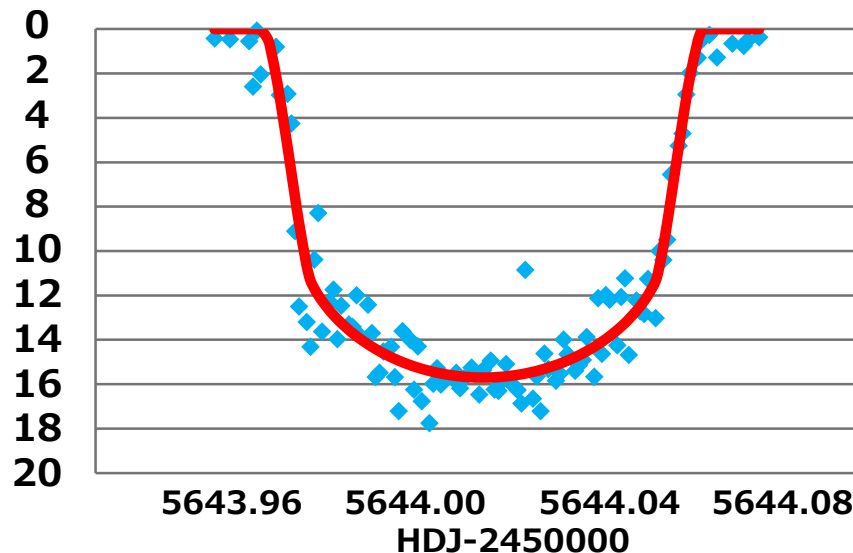
観測全区間での残差の標準偏差(1σ) $\sim 1.0\text{mmag}$

ちなみに、参照星を1つだけ使って相対測光した場合

XO-2S 1.3mmag



もう一方 1.0mmag



まとめと今後

- A型星 (WASP-33) 周りの系外惑星のSEを**Ks-band($2.16\mu\text{m}$)の波長**で検出するのに必要な観測精度を見積もった。
⇒ 3.9mmag (熱輸送なし・先行研究)、 2.1mmag (夜側への熱輸送あり)
- この減光率を検出するのに必要な観測精度が、 $2.16\mu\text{m}$ の波長で達成できるのか試験観測により確認した @岡山天体物理観測所 188cm望遠鏡/ISLE
⇒ **観測精度 $\sim 1.0\text{mmag}$**
- 10月11月3夜ずつ、計6夜の観測時間を割り当てられたので、実際にSE観測を行う
研究課題: “Detection of secondary eclipse with Ks-band”
⇒ 乞うご期待!