

WASP-33bのsecondary eclipse観測

大貫裕史 東京工業大学 D1

佐藤文衛、原川紘季(東工大)、成田憲保(国立天文台)

まずは、
昨年度のUMで発表した内容のおさらい

ISLEのK_sバンドでの精度評価

について

岡山188cm望遠鏡/ISLE

Ksバンド($2.16\mu\text{m}$)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

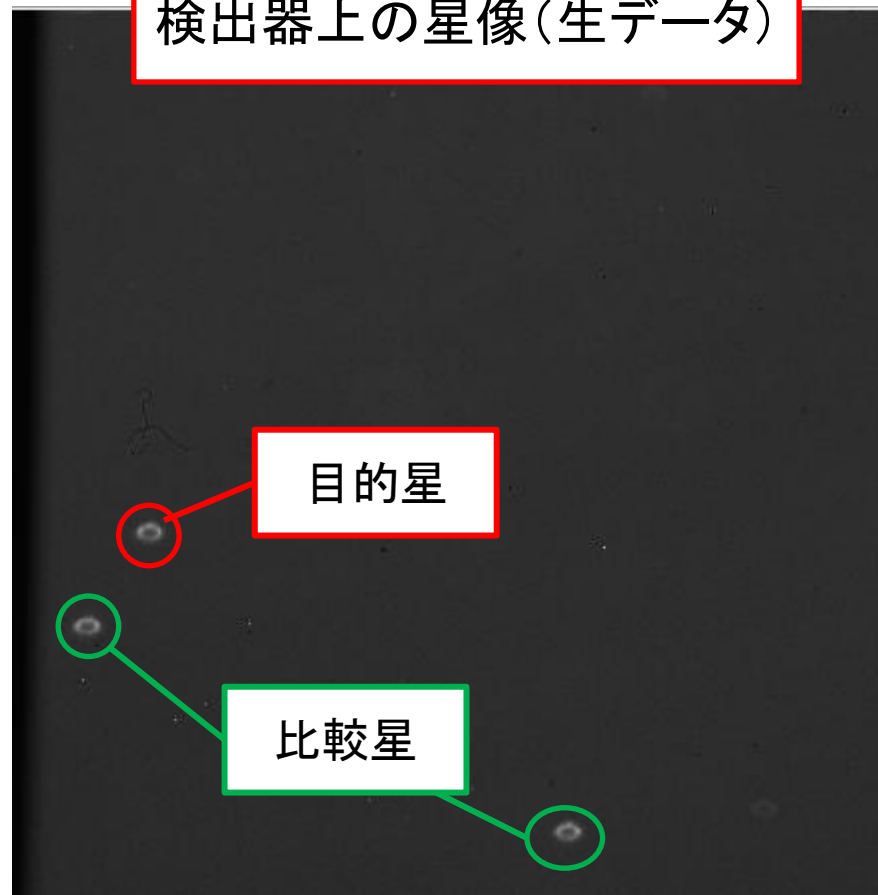
XO-2/XO-2bの特徴

- ・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

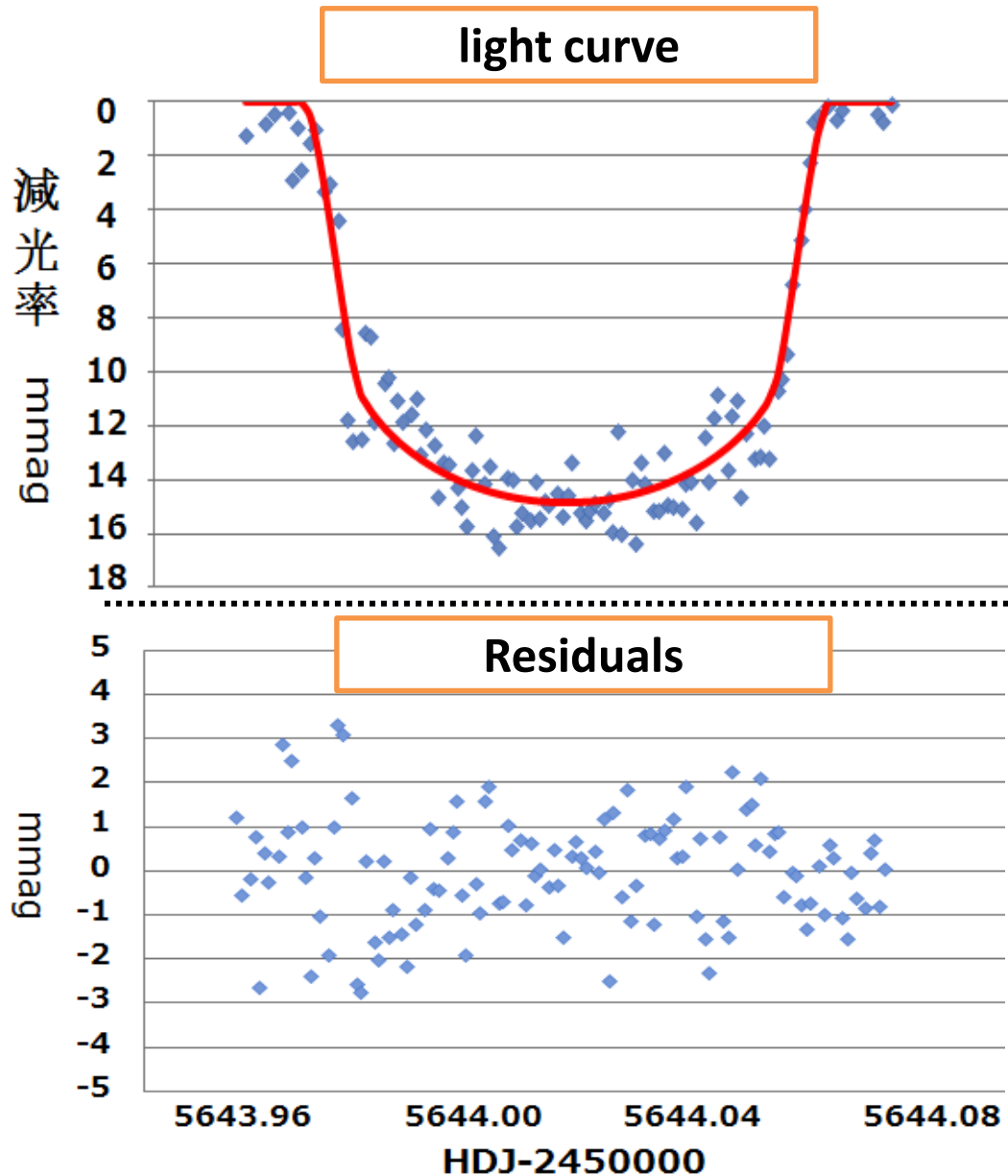
目的星と比較星の特徴

3つの明るさはほぼ同じ

検出器上の星像(生データ)



XO-2 のトランジット観測 with Ks-band



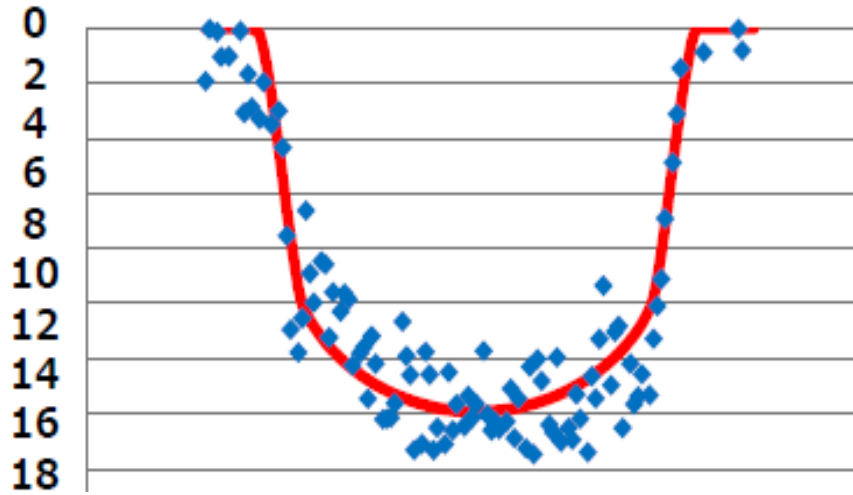
トランジット継続時間: 162分

観測時間: 210分 (3.5 時間)

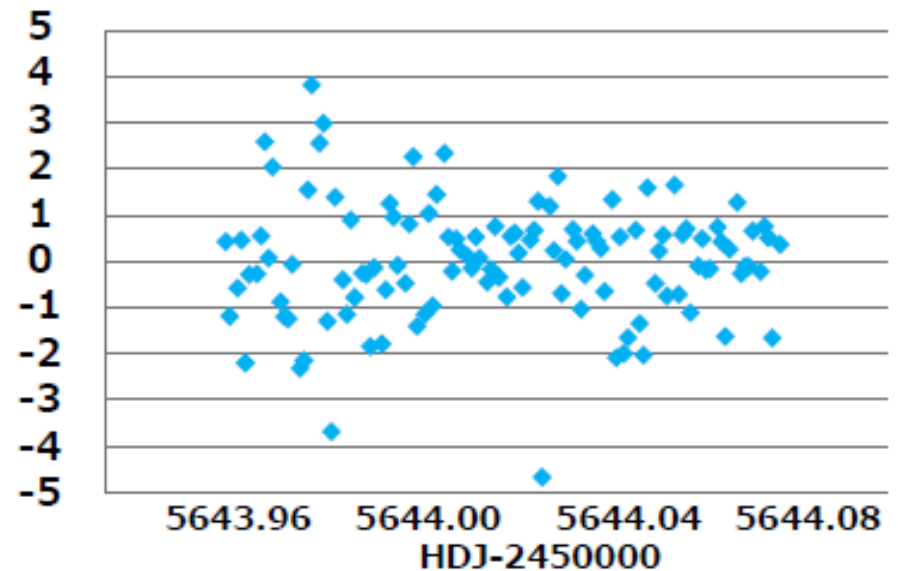
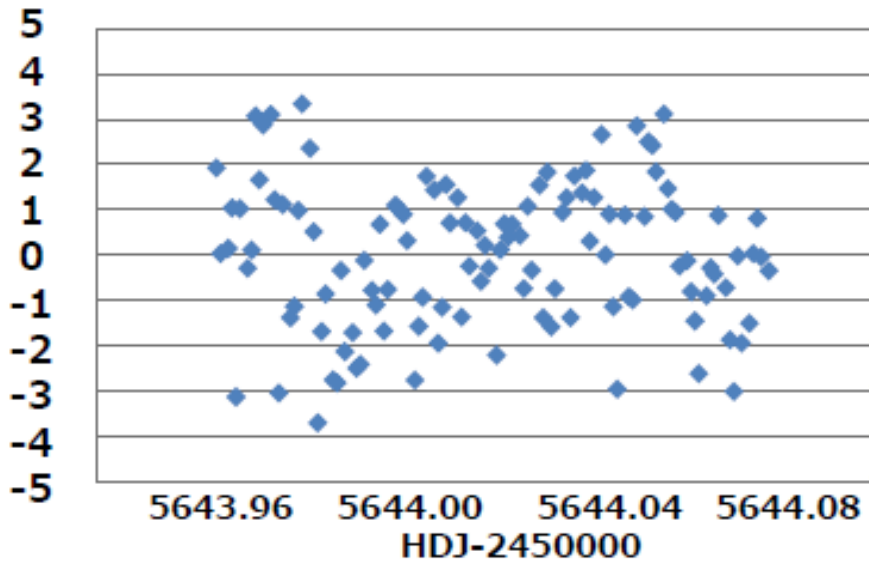
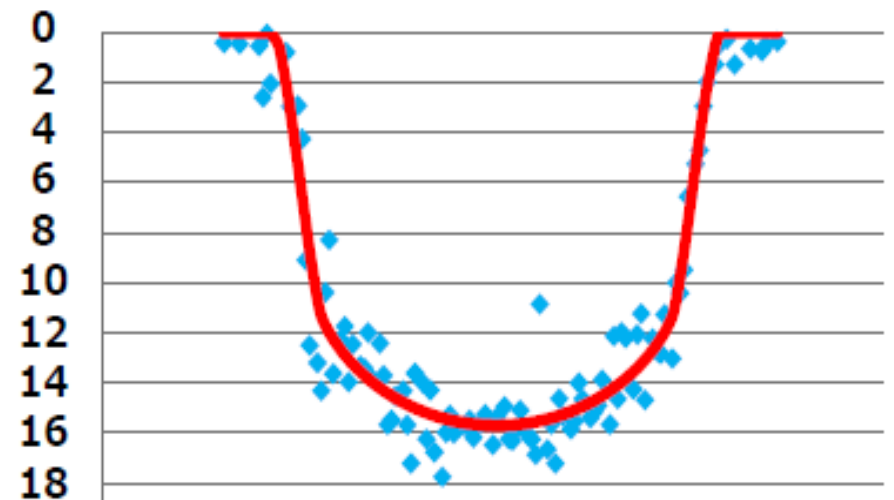
観測精度 $\sim 1\text{mmag}$

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



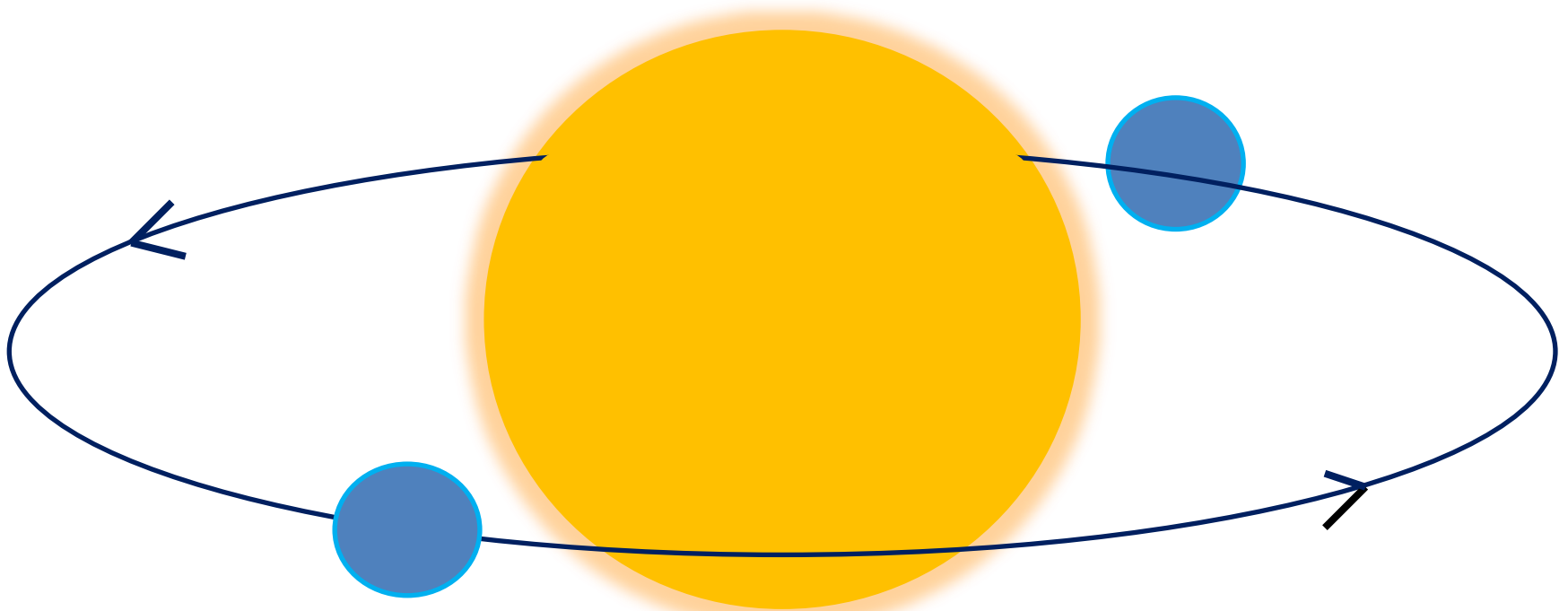
ここからは、2011B期に観測した

WASP-33bのsecondary eclipse観測

について

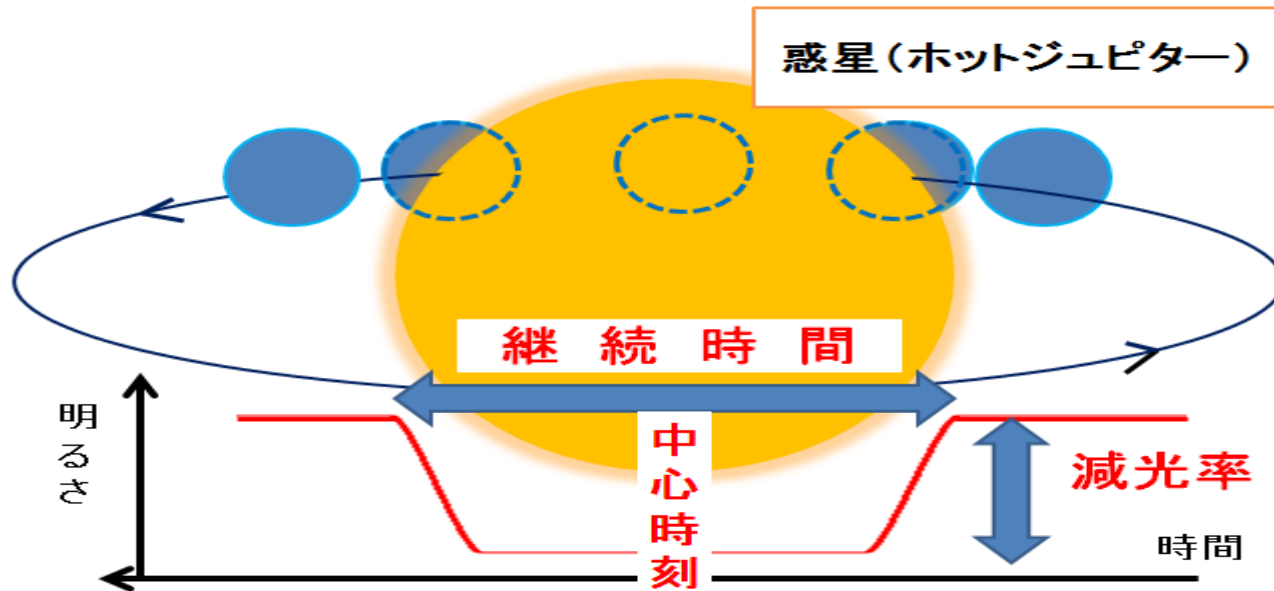
WASP-33bのsecondary eclipse観測

Secondary eclipse



Primary transit

Introduction 1 secondary eclipse (SE) 観測から分かること



本研究で我々が注目

① SEの減光率 ⇒ 惑星の輝度温度
平衡温度との比較 ⇒ 熱輸送効率

② SEの起こるタイミングと継続時間の関係 ⇒ 軌道離心率
(e.g. Charbonneau et al. 2005)

③ いろいろな波長で観測 ⇒ 惑星大気の鉛直構造
(組成+温度構造)
(e.g. Knutson et al. 2008, 2009)

Introduction2 唯一のA型星周りのトランジット惑星WASP-33bのこれまでの観測

・Cameron et al. (2010) (トランジット法+視線速度法) **primary transit 観測**

⇒ 中心星と惑星の基本パラメータ

・Herrero et al. (2010) (トランジット法) **primary transit 観測**

⇒ 中心星が δ Sct型脈動星

・Smith et al. (2011) (トランジット法) **secondary eclipse 観測** ← 先行研究

⇒ 減光率 $0.109 \pm 0.030\%$ (3σ で検出) 惑星の輝度温度 3620^{+300}_{-250} K @ $0.91\mu\text{m}$

<観測上の制約あり>

脈動による光度変化の大きさ と SEによる光度変化の大きさ が同程度($\sim 1\text{mmag}$)

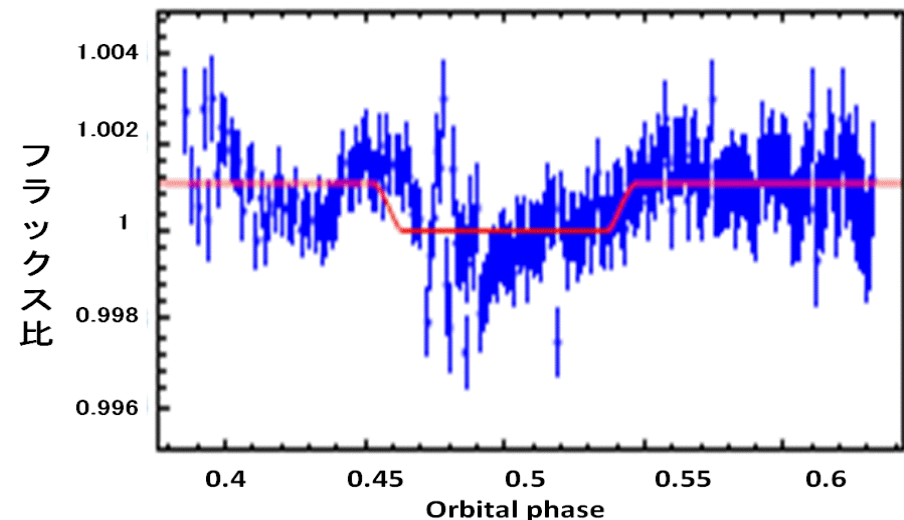
⇒ 時間平均を取ることでSEによる減光率は分かるが、ingress/egressの時刻は分からない

⇒ 継続時間が定まらなかったため、軌道離心率が求まらなかった

惑星半径 $1.5 R_J$
惑星質量 $< 4.1 M_J$
周期 $P = 1.22 \text{ day}$

主星半径 $1.4 R_{\text{sun}}$
主星質量 $1.5 M_{\text{sun}}$
主星温度 7400 K
 δ Sct型脈動星

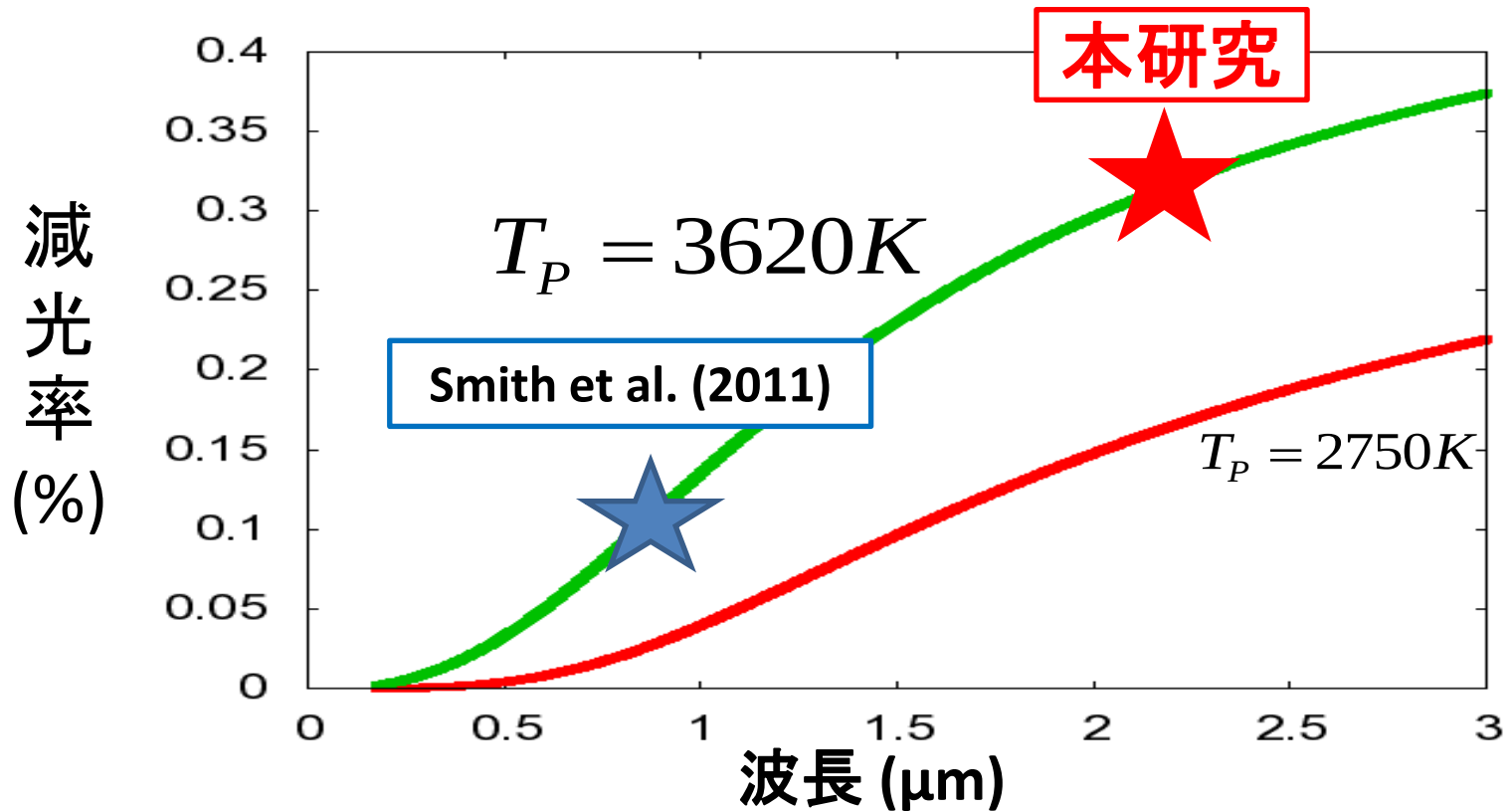
軌道長半径 $a = 0.0256 \text{ AU}$
軌道傾斜角 $i = 87.7^\circ$
軌道離心率 $e = ?$
近点経度 $\omega = ?$



Smith et al. 2011の結果

長波長観測の利点1

- secondary eclipse の減光率が大きくなる



減光率の計算式

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

プランク関数

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

長波長観測の利点2

- 主星の δ Sct型脈動による光度変化は小さくなる

中小望遠鏡による共同観測成果の例 (I)

たて座デルタ型変光星IP Virの連続観測



図:光・赤外線大学間連携事業 資料(2011)より引用

目的

Ksバンドで脈動の影響を抑えた観測をすることで

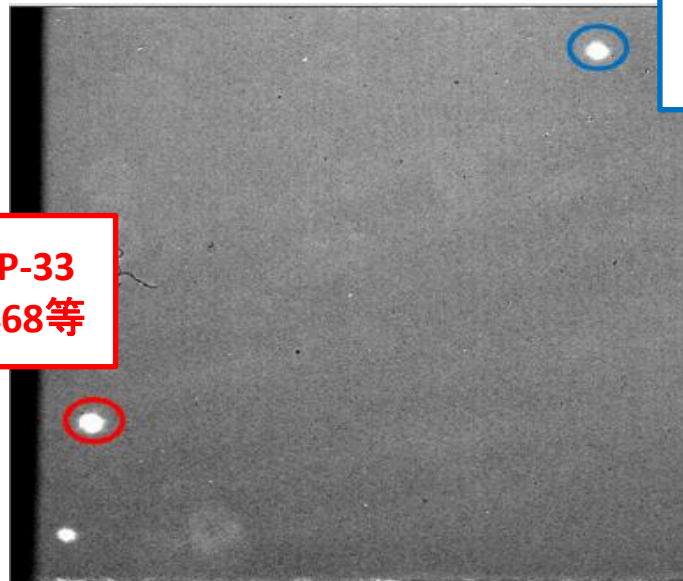
- ① Ks-band で観測して、WASP-33bの輝度温度を測定する
- ② 惑星の軌道を確定する
 - 特に、軌道離心率に強い制約を与える

観測

観測日: 2011年10月17日

望遠鏡: 岡山188cm望遠鏡/ISLE

観測方法: 相対測光



比較星
K=8.304等

WASP-33
K=7.468等

<観測上の工夫>

- ・高精度なピクセル感度補正 (高精度Flat fielding)
 - ・オートガイドを利用
(星像が検出器上で動かないようにした)
- ⇒ **~1mmagの観測精度が達成可能**

岡山188cm望遠鏡



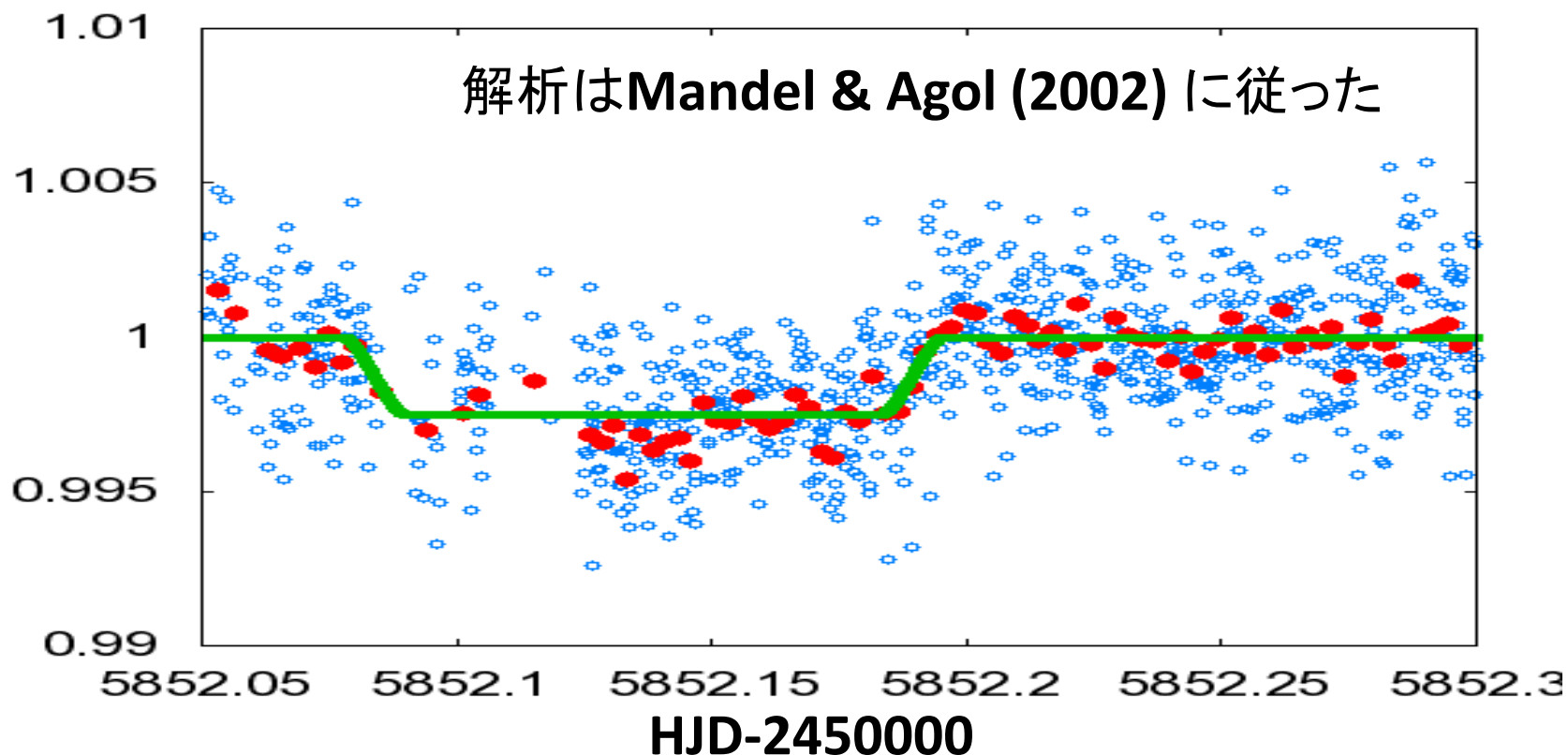
(写真: 岡山天体物理観測所HPより)

ISLE(近赤外撮像・分光装置)

- ・観測波長帯1.0-2.5 μ m
- ・視野4.3分角 $\times$ 4.3分角
- ・検出器HAWAII-1(1024x1024画素)

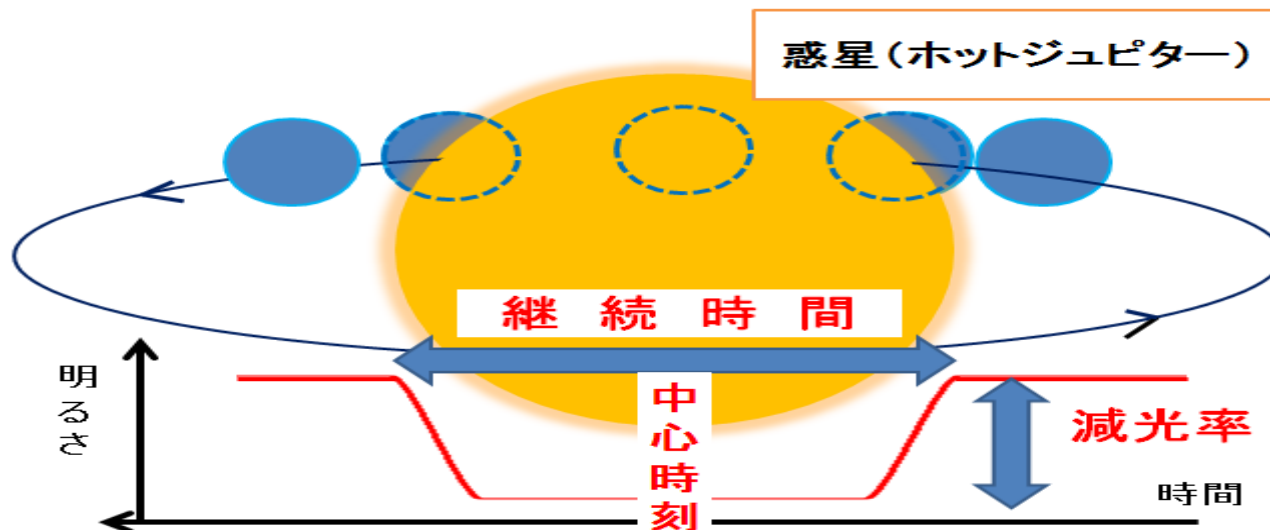
解析結果

フラックス比



- 減光率: $0.249 \pm 0.031\%$ (8σ で検出)
- 中心時刻: $5852.13660 \pm 0.001\text{HJD (+2450000)}$
- 継続時間: $0.1173 \pm 0.0013\text{day}$ ($168.91 \pm 1.87\text{min}$)

Introduction 1 secondary eclipse (SE) 観測から分かること



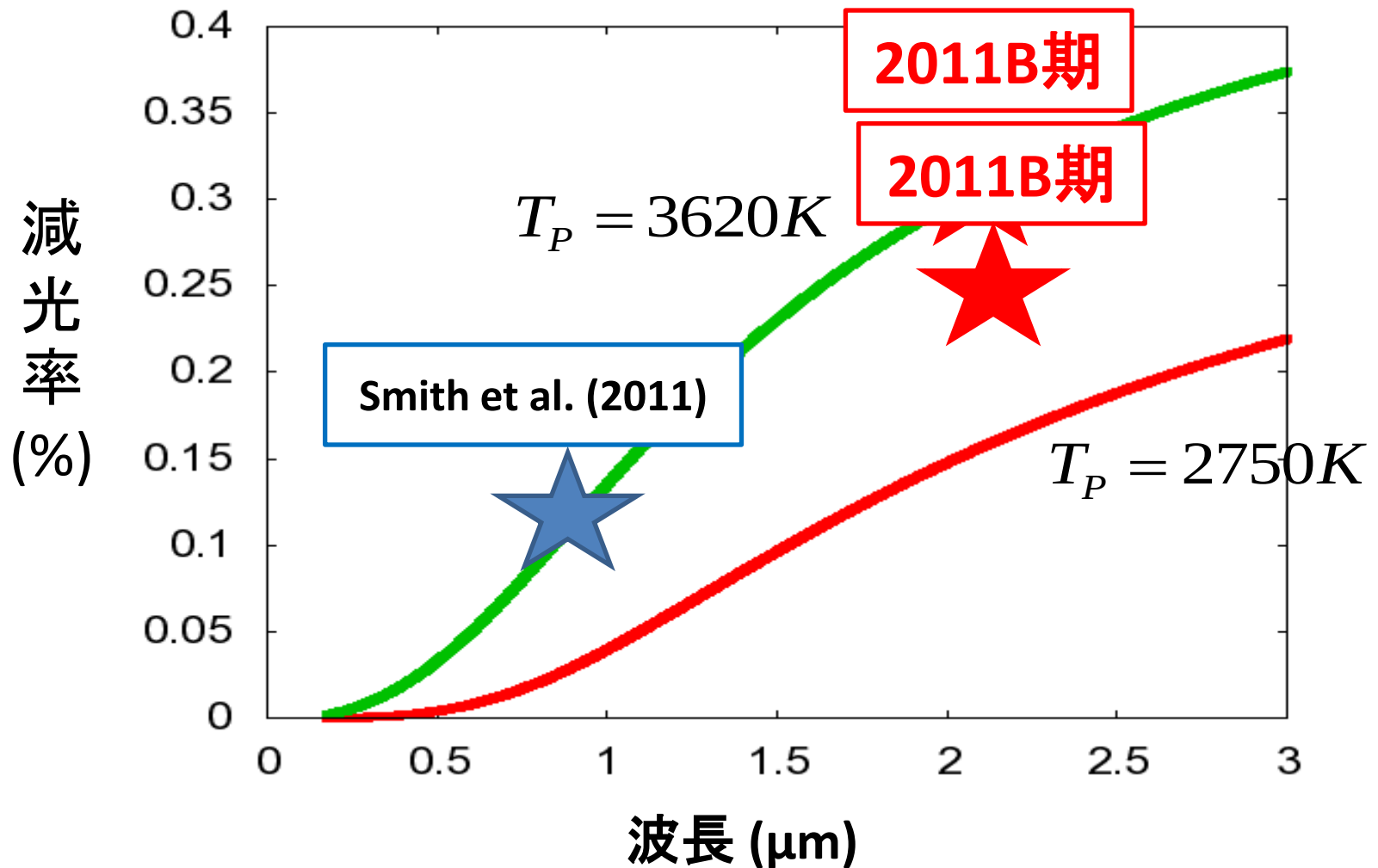
本研究で我々が注目

① SEの減光率 ⇒ 惑星の輝度温度
平衡温度との比較 ⇒ 熱輸送効率

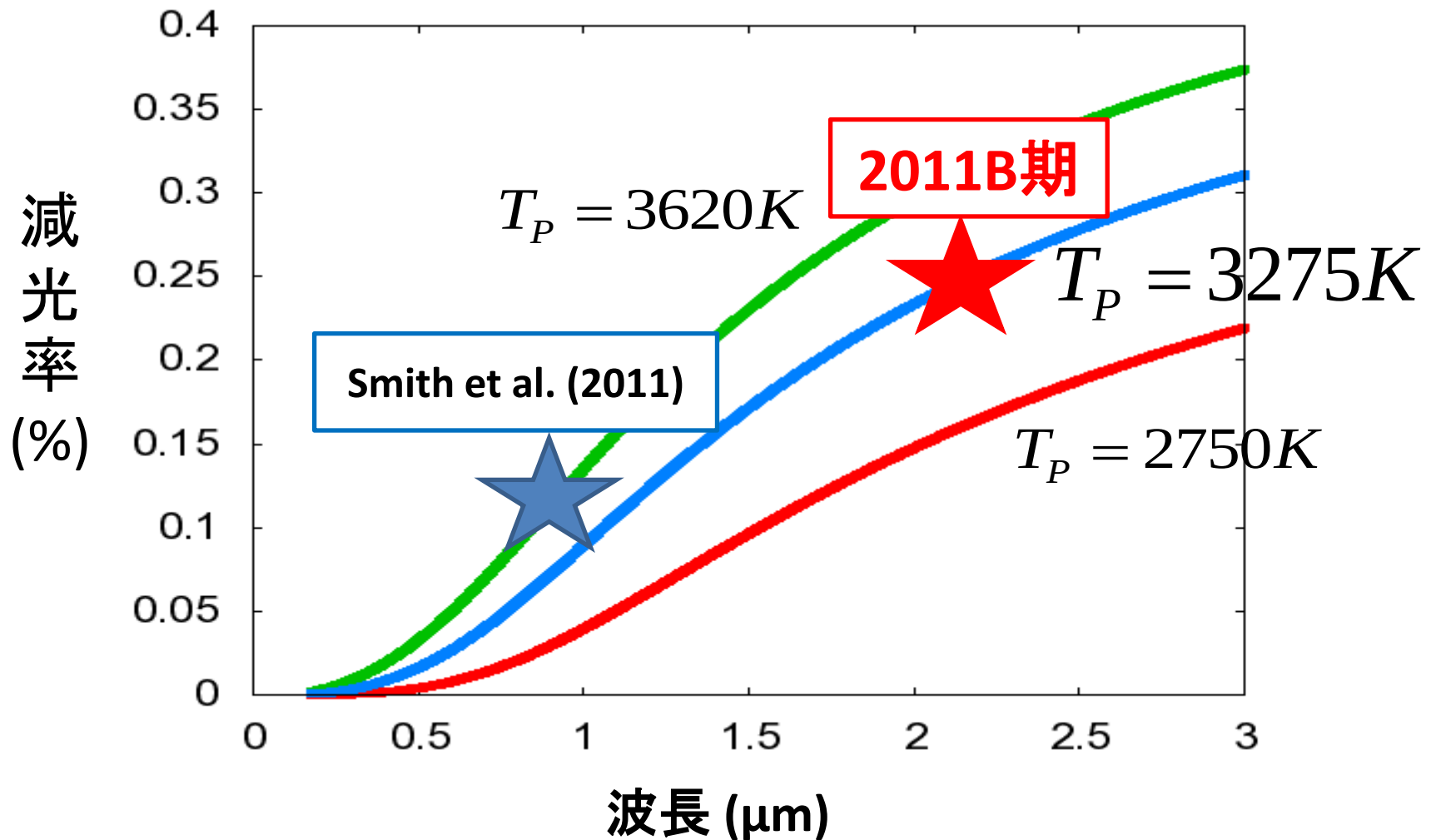
② SEの起こるタイミングと継続時間の関係 ⇒ 軌道離心率
(e.g. Charbonneau et al. 2005)

③ いろいろな波長で観測 ⇒ 惑星大気の鉛直構造
(組成 + 温度構造)

考察1-1: 輝度温度の比較



考察1-1: 輝度温度の比較



考察1-2: 熱輸送効率

本研究

輝度温度: $T_{p,2.16\mu m} = 3275 \pm 150 K$

⇒ 昼側だけからの再放射を仮定した昼側の惑星温度 ($T = 3271 \pm 44 K$) によく一致

先行研究

Smith et al. (2011)の結果 $T_{p,0.91\mu m} = 3620^{+200}_{-250} K$

⇒ 熱の再分配が全く起こらない場合 (zero-redistribution) を仮定した昼側の惑星温度 ($T_p = 3515 \pm 47 K$) に一致

我々の観測からも、昼側から夜側への
熱輸送効率が悪いことが示唆された

考察2: 軌道離心率を求める

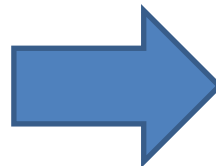
- 中心時刻: $5852.13660 \pm 0.001 \text{HJD} \text{ (-2450000)}$
- 継続時間: $0.1174 \pm 0.0010 \text{day} \text{ (169} \pm 1.44 \text{min)}$

$$e \cos \omega \cong \frac{\pi(T_{c,cal} - T_{c,pre})}{2P} \quad e \sin \omega \cong \frac{D_{primary} - D_{secondary}}{D_{primary} + D_{secondary}}$$

(P: 公転周期、D: PEorSEの継続時間)

(Charbonneau et al. 2005)

$$\begin{aligned} e \cos \omega &= 0.00230 \pm 0.00161 \\ e \sin \omega &= -0.0209 \pm 0.0080 \end{aligned}$$

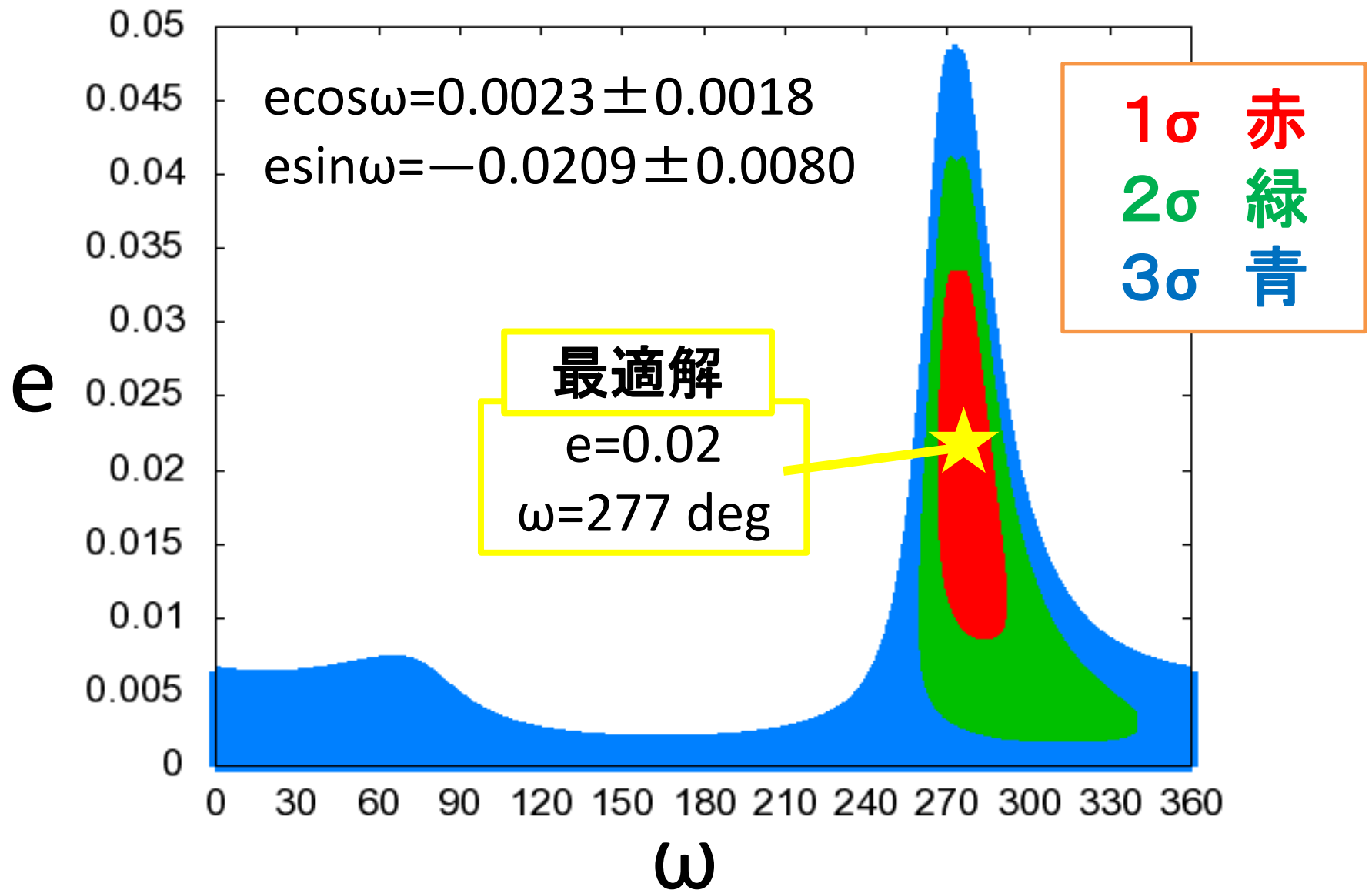


最適解

$$e = 0.02$$

$$\omega = 277 \text{ deg}$$

e- ω マップ



まとめ

- 岡山188cm望遠鏡とISLEを用いてKs-bandにおける WASP-33bのsecondary eclipse観測を行った
- 減光率： $0.249 \pm 0.031\%$ (8σ)
- 輝度温度： $T_p = 3275 \pm 150\text{K}$
⇒ 昼側だけからの再放射を仮定した昼側の惑星温度 ($T_p = 3271 \pm 44\text{K}$) によく一致
- 先行研究では定められなかった軌道離心率 $e = 0.02$ (最適解) と近点経度 $\omega = 277^\circ$ を得た
⇒ 基本パラメータが全て定まった