

ISLEによる Transit Timing Variationsの探索

福井 暁彦 (NAOJ/OAO)

共同研究者:

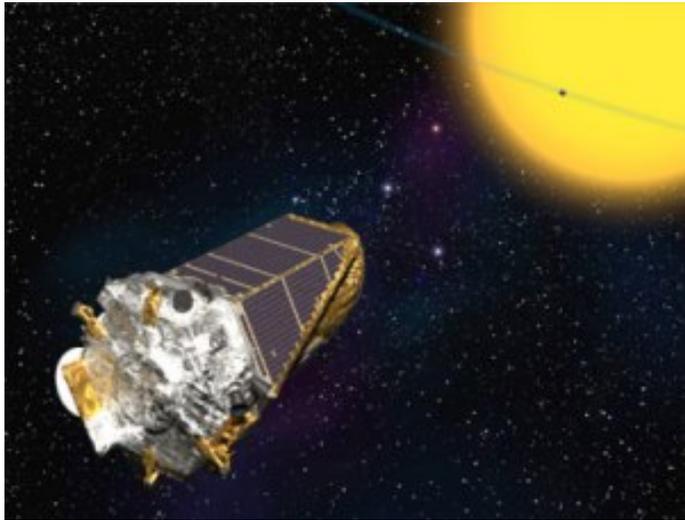
成田 憲保 (NAOJ)、平野 照幸 (東京大)、高橋 安大 (東京大/
NAOJ)、末永 拓也 (総研大/NAOJ)、大貫 裕史 (東工大)

Transit Timing Variations (TTV) 法

- TTV法: TTVの検出から惑星を発見 (物理量を測定)
- 特徴
 - トランジットしていない(傾いた)惑星を発見可能
 - 複数の惑星がトランジットしている系において、お互いの質量や軌道を決定することが可能
 - 軌道共鳴 (公転周期が整数比)の惑星において、TTVの振幅が増大
 - 軌道共鳴惑星は、惑星の軌道進化過程を知る重要な手がかり
 - 共鳴軌道に存在する、地球質量以下の低質量惑星も検出が可能

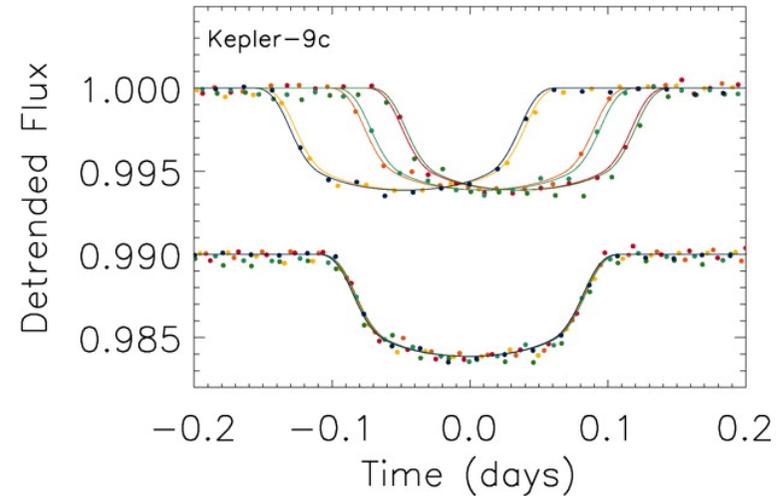
KeplerによるTTVの検出

NASA/Keplerミッション

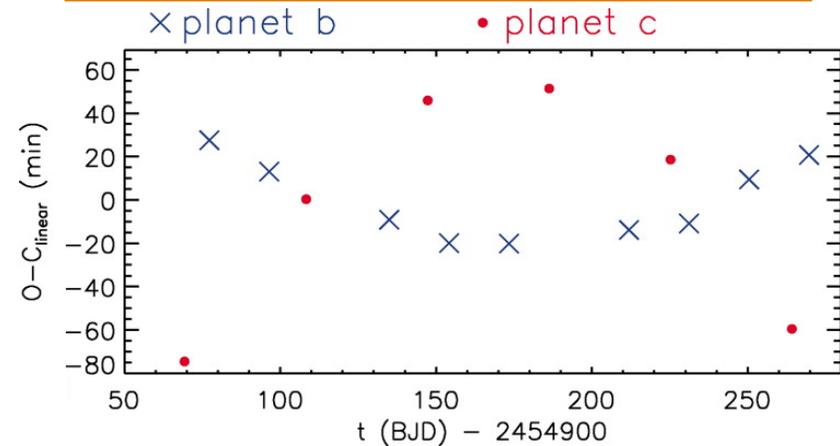


- **トランジット惑星探索用宇宙望遠鏡** (口径0.95m、視野約100平方度)
- **超高精度** (~0.1 mmag/30min)
- **連続測光観測** (2009年~)
- これまでに**74個の惑星**、**2,000個以上**の**惑星候補**を発見

Kepler-9cのトランジット光度曲線



Kepler-9b, 9cで検出されたTTV



Holman+ 2010, Science

これまでに16個の系で
TTVを検出

Keplerの弱点と地上TTV探索の有効性

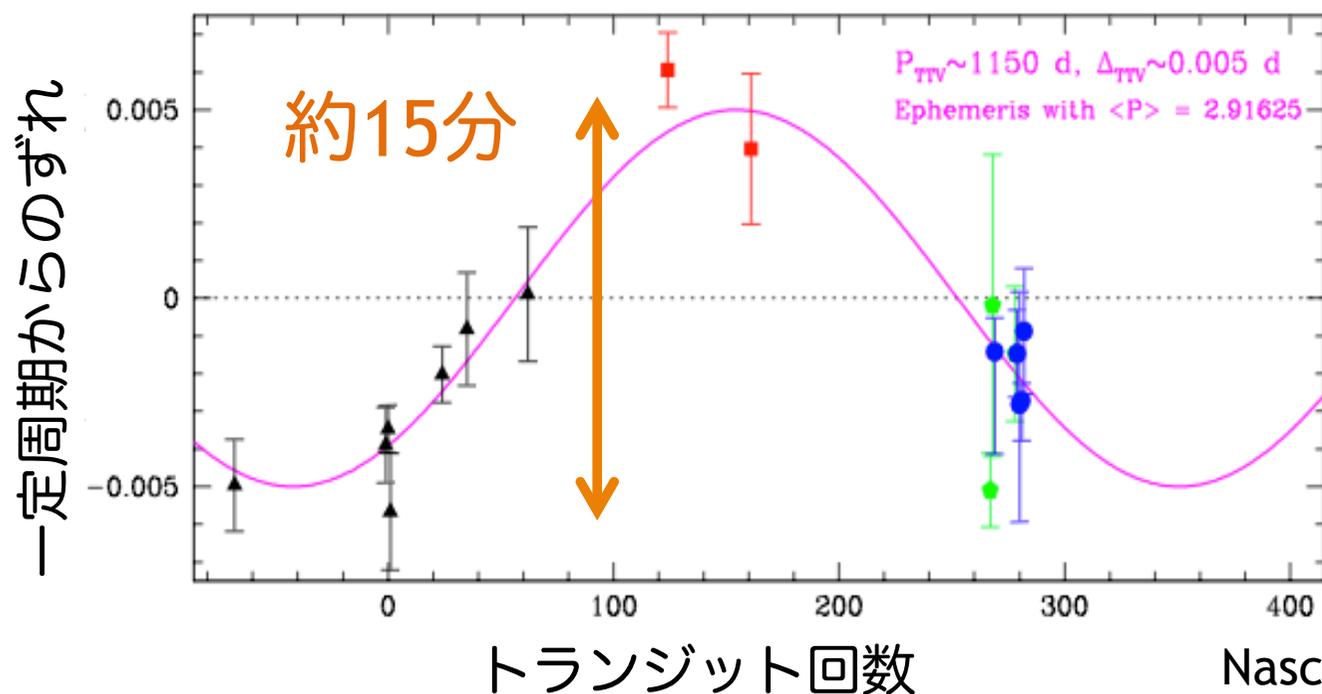
- Keplerのモニターしている系は遠く、主星が暗い
 - 惑星に対する他の詳細観測が困難 (ロシター効果の観測による公転軸の傾き角測定、近赤外観測による惑星大気の熱放射の測定など)
- より近傍で明るい系に対してTTVを検出することで、他の詳細観測の結果との比較議論が可能に
 - 惑星の形成過程の解明に重要
- 地上の中小口径望遠鏡によるTTV探索がなお有効

岡山188cm望遠鏡/ISLEによるTTV探索

- 2010年前期から、ISLEによるトランジット測光観測 (TTV探索)を開始
 - 試験観測により、近赤外で十分高い測光精度($\sim 1\text{mmag}$)が達成可能である事を確認
 - 近赤外では、主星の周辺減光の影響が小さいため、より高い精度でトランジットの時刻決定が可能
- ターゲットとして、TTVの検出が期待される、あるいはTTVの検出が報告されたトランジット惑星を選定
 - HAT-P-13b
 - WASP-10b

HAT-P-13b

- トランジット惑星系において初の複数惑星系
 - HAT-P-13b: 公転周期約2.9日。トランジット惑星。
 - HAT-P-13c, d: 公転周期それぞれ約1.2年および数年以上。視線速度法で発見。
 - HAT-P-13cの重力摂動によるTTVが検出できる可能性 (Bakos+ 2009)
- 2011年2月に、有意なTTVの検出が報告される



- HAT-P-13cでは説明不可
- 別の惑星の存在を示唆

ISLEによるHAT-P-13bの観測

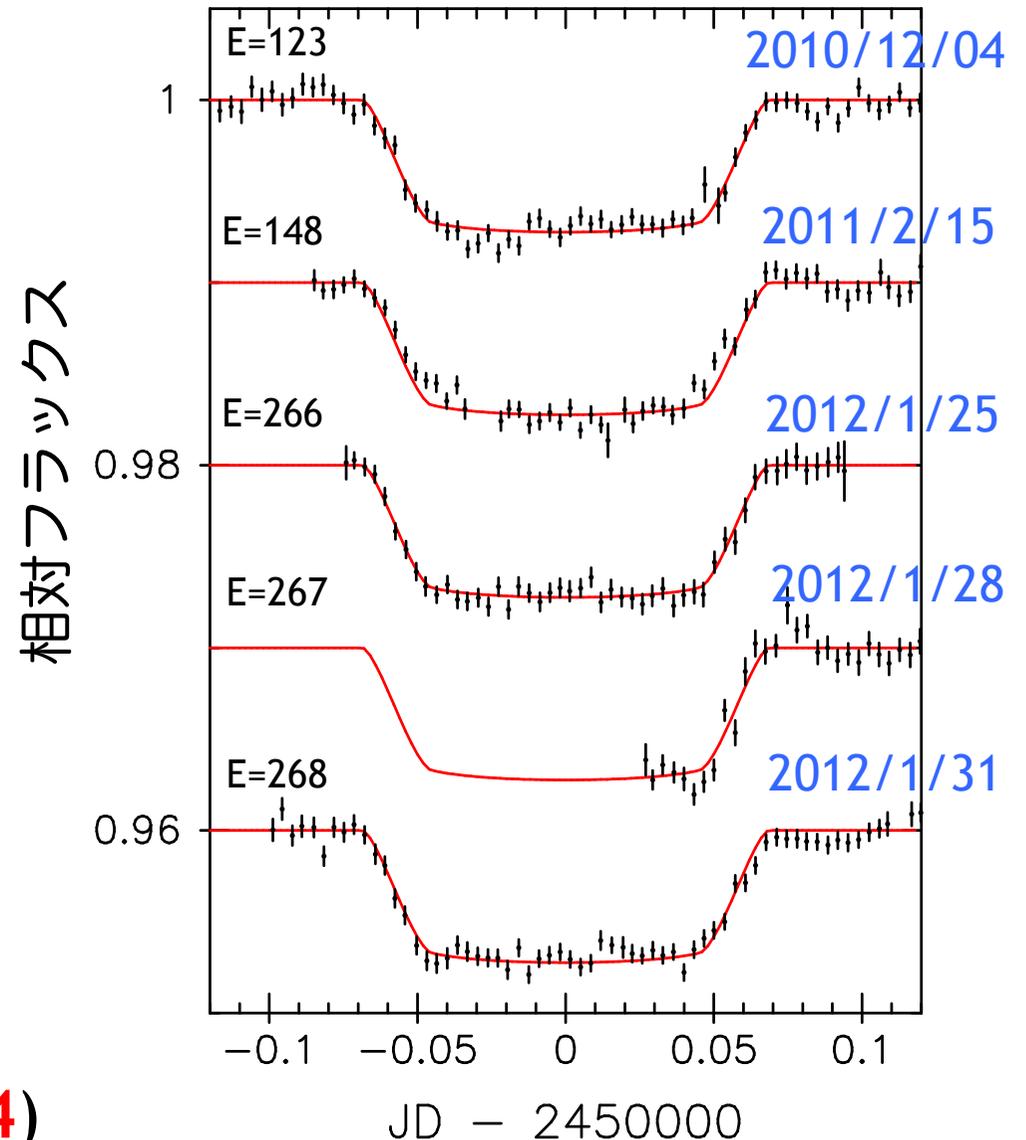
- 2010年前期: **4夜** (PI: 成田)
観測成功 **0回** (+技術的失敗 1回)
- 2010年後期: **2夜** (PI: 末永)
観測成功 **1回**
- 2011年前期: **9夜** (PI: 成田)
観測成功 **1回** (+技術的失敗 1回)
- 2012年前期: **8夜** (PI: 福井)
観測成功 **3回**

観測成功率:

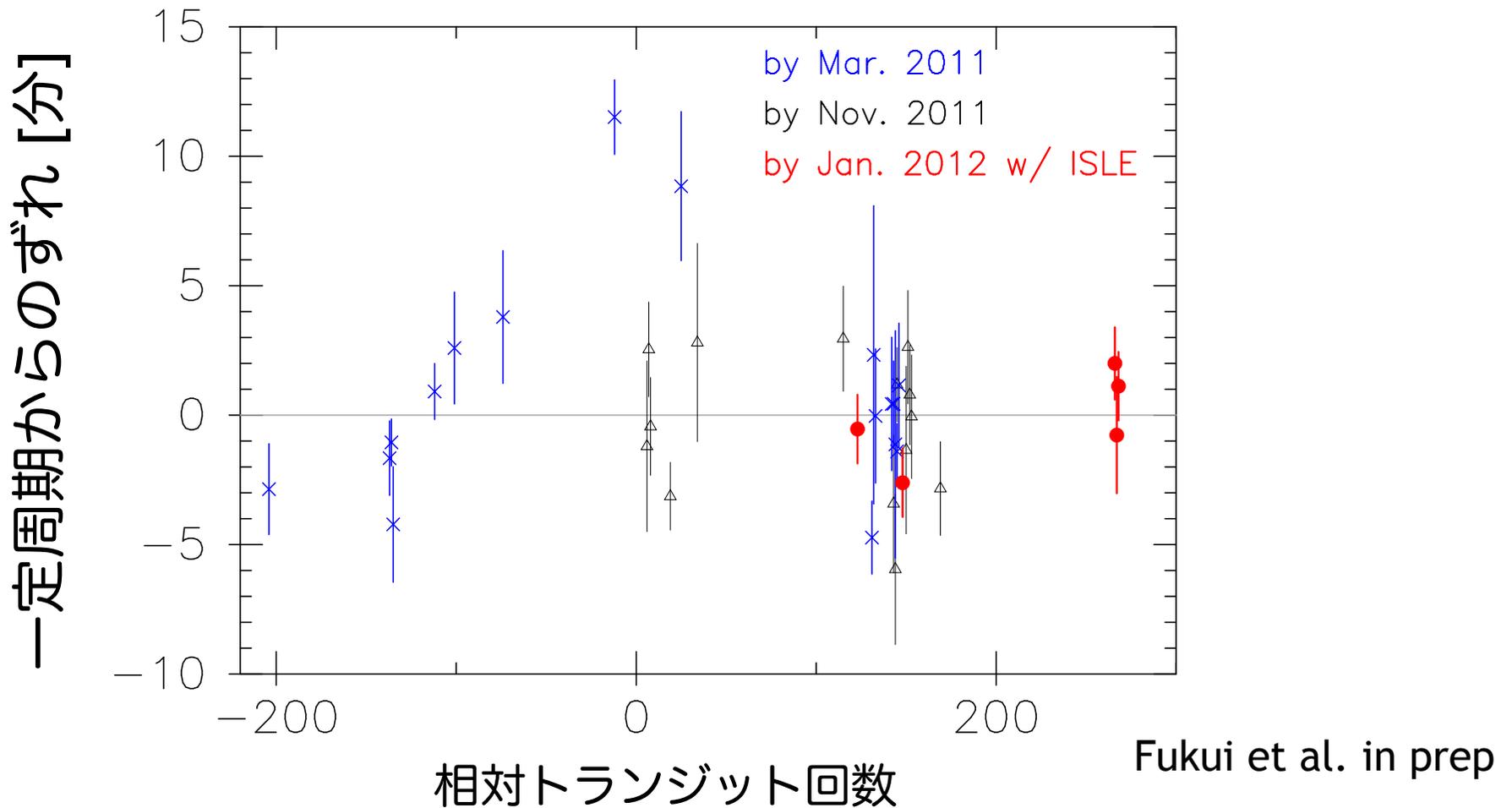
$$5 / 23 = \mathbf{0.217}$$

(技術的失敗がなければ **0.304**)

HAT-P-13b w/ ISLE (J-band)



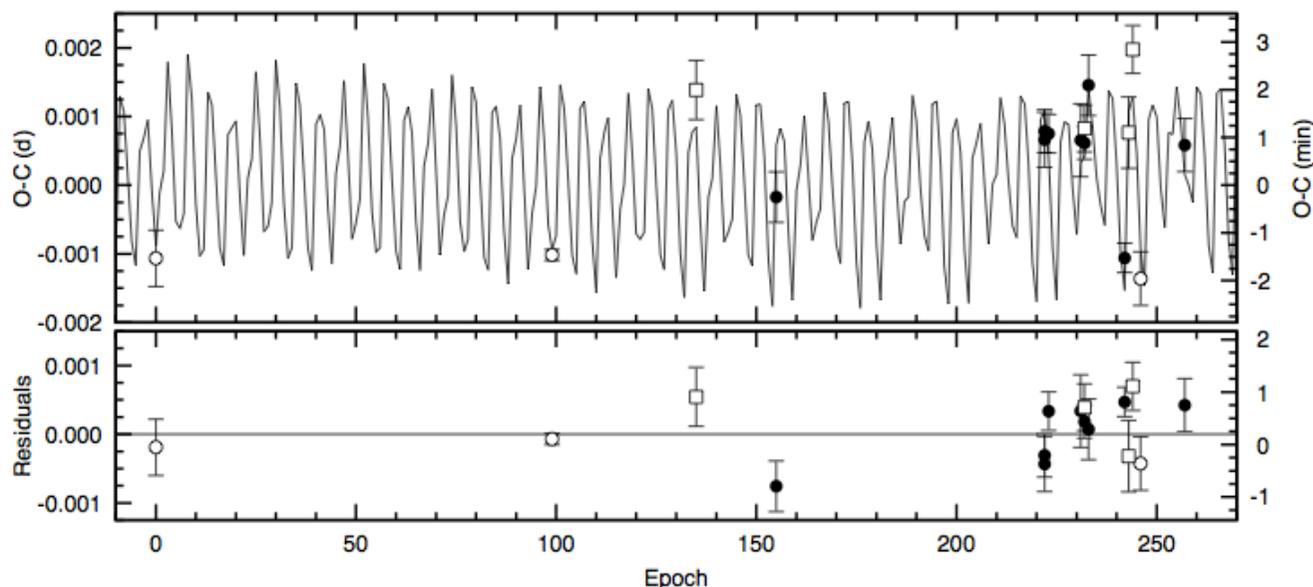
HAT-P-13bのTTVの検証



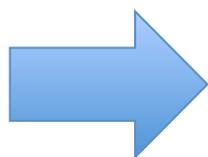
- 報告されたような大きなTTVはみられなかった
→ 外れ値2点に何らかの系統誤差？

WASP-10b

2010年に周期的なTTVの検出が報告される (Maciejewski+ 2010)



このTTV検出の検証を目的として、2011年後期にISLEでの観測を提案、9夜採択 (PI: 福井)



観測成功 0回

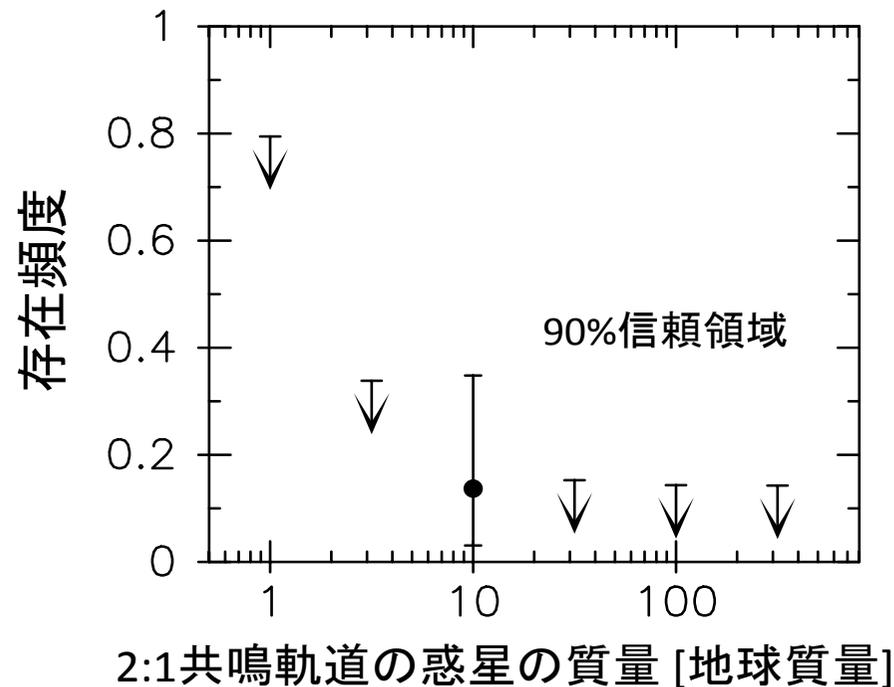
7夜: 曇り

2夜: 望遠鏡不具合による共同利用
キャンセル (2011/7/25, 11/29)

ホットジュピターにおけるTTV未検出の意味

- 地上観測によるTTV探索では、明確なTTVは検出されていない
- 地上観測では、主にホットジュピターがターゲット
- ホットジュピターでのTTV未検出は、その形成過程と関係
 - 巨大惑星が主星近傍に軌道移動する際、まわりの惑星を散乱
 - 軌道共鳴惑星を作るような軌道進化モデルに制限

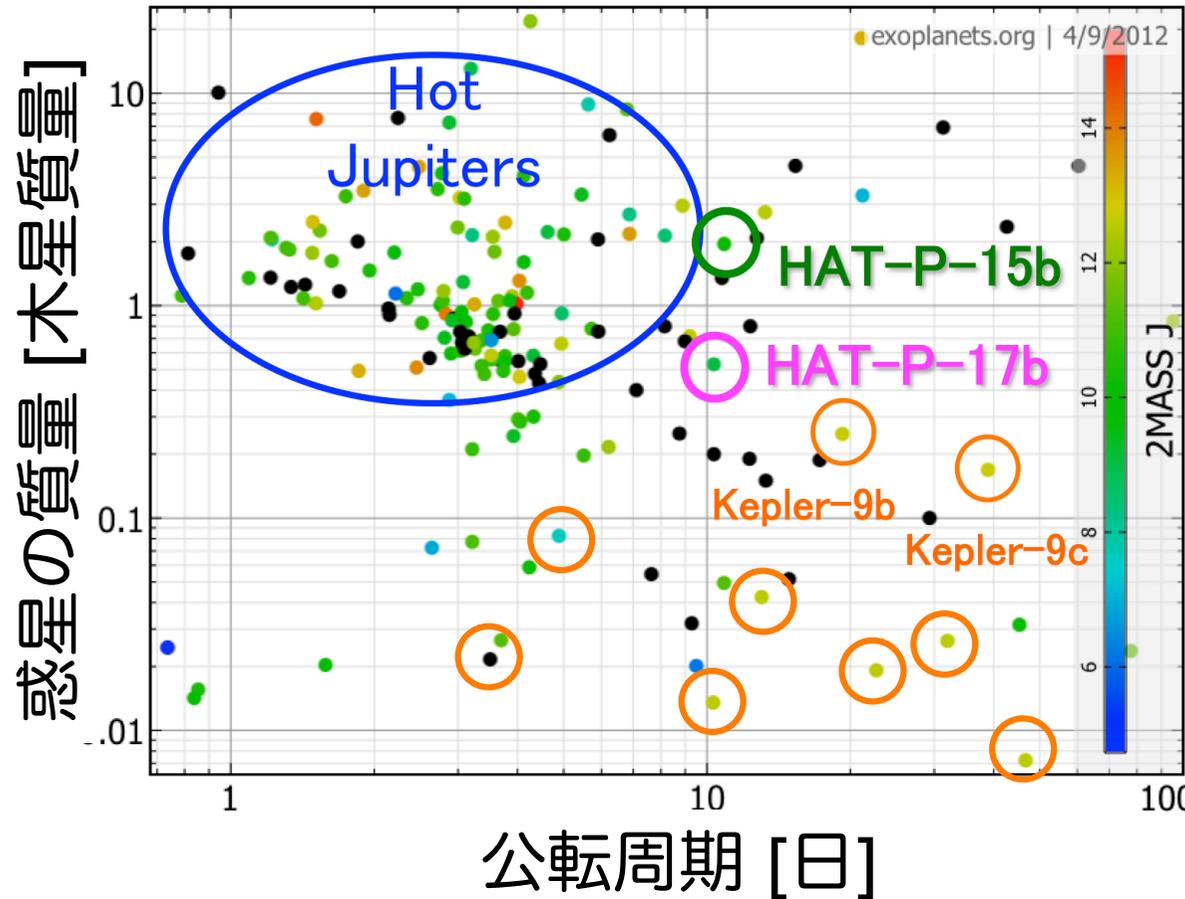
ホットジュピターと
2:1共鳴軌道の惑星
の存在頻度への制限



福井暁彦、
天文月報
2012年3月号

今後のターゲット: 比較的長周期の惑星

トランジット惑星の公転周期-質量分布



ホットジュピター:
明確なTTV検出なし

Kepler惑星:
長周期もしくは低質量の
惑星でTTVを検出

HAT-P-15b, HAT-P-17b:
比較的長周期の惑星
2012年後期のターゲット

比較的長周期(~10日)のトランジット惑星をターゲット

公転周期が長いほど、惑星の複数性が高い + 大きなTTVが発生
巨大惑星の軌道移動過程の解明

まとめ

- ISLEによるTTV探索を2010年前期から開始
- HAT-P-13bのTTV探索を4期に渡って観測。23割当夜中、5回の観測に成功。
- 検出が報告されたHAT-P-13bのTTVは確認されず。
- WASP-10bに対する観測は、9割当夜中一度も成功せず。
- 地上でのTTV探索ではこれまでに検出無し。ホットジュピターの軌道進化モデルに一定の制限。
- 今後は、比較的長周期の惑星をターゲットとし、地上観測初のTTV惑星発見をめざす。