

3.8m望遠鏡+高速CCDカメラを用いた トランジット惑星の高精度観測

真鍋翔、伊藤洋一(神戸大学)
E-mail: s.manabe@stu.kobe-u.ac.jp

トランジットを起こす系外惑星(トランジット惑星)はこれまでに約90個が知られている。トランジット惑星系にさらなる惑星が存在すれば、トランジットの周期が変動することが予想され、そのずれをTTV(transit timing variation)という。TTVを検出するためには、トランジット観測を高精度で行う必要があり、またTTV法による惑星発見のためには、継続的に観測を行えることが重要である。そのため中小口径望遠鏡による高精度の観測が望ましく、現在計画中の京大岡山3.8m望遠鏡+高速CCDカメラの組み合わせはそれらの要件を満たすと考えられる。そこで、これらの装置によるトランジット惑星の高精度観測について検討する。

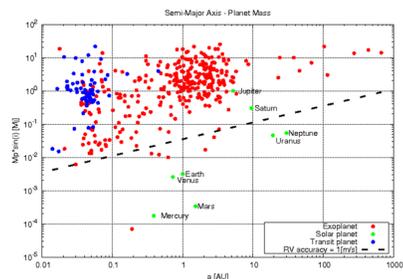
1. イントロダクション

- ◇現在までに400個以上の系外惑星が発見
- ◇約9割がドップラーシフト法による発見

ドップラーシフト法

- ・主星が系の共通重心を公転することによるふらつきから惑星を探索
- ・分光観測により主星のスペクトル変動を検出

●ドップラーシフト法の検出限界



- ・ドップラーシフト法とこれまでに発見された系外惑星
- ・破線は、現在の最も良い精度であるESOのHARPSプロジェクトによる1m/sの検出限界 (Mayor et al. 2009)

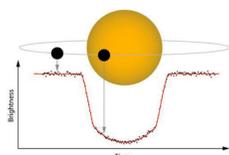
2. 観測手法

●TTV(transit timing variation)とそのメカニズム

- ◇既知のトランジット惑星系を対象に、系内の第2惑星を探索 (既知のトランジット惑星は90個以上)

トランジット法

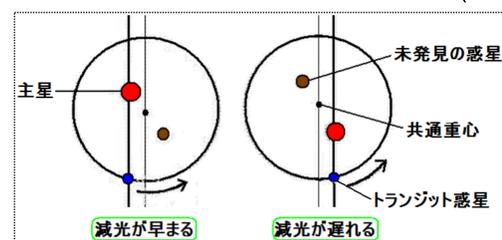
- ・惑星の前面通過による主星の減光から惑星を探索
- ・測光観測により、減光を検出



http://ifa.hawaii.eduより

- ◇トランジット惑星系に、第2惑星が存在すれば...

- 主星の共通重心周りの公転周期 ≠ トランジットによる減光周期
- トランジットのタイミングがずれる(TTV)



$$\sigma = \langle (\delta t)^2 \rangle^{1/2} = \frac{P_p a_{per} M_{per}}{2^{3/2} \pi a_r M_s} \quad (\text{式1})$$

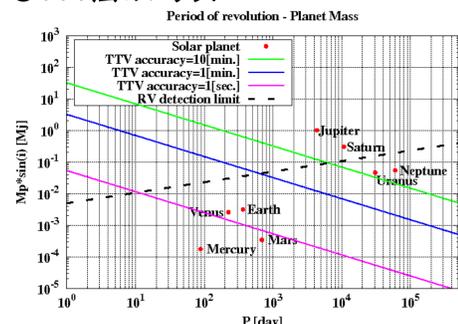
σ : TTVのばらつき(δt の標準偏差)
 δt : TTVの大きさ
 P_p : トランジット惑星の周期
 a_{per} : 第2惑星の軌道長半径
 a_r : トランジット惑星の軌道長半径
 M_{per} : 第2惑星の質量
 M_s : 主星の質量

Agol et al. (2005)

●TTV法による惑星探索の流れ

- ①トランジット観測を行い、トランジット中心時刻(観測)を決定する
- ②トランジット周期から予測される中心時刻(予測)と、トランジット中心時刻(観測)とを比較することで、TTVを検出する
- ③トランジット観測を繰り返し行い、TTVの変動の様子から第2惑星を探索する

●TTV法のメリット



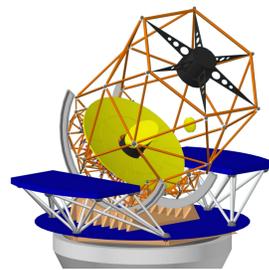
- ・ドップラーシフト法と比べて、より低質量の惑星に感度がある
- ・数秒のトランジット中心時刻決定精度を達成すれば、地球を太陽系外から発見可能

TTV法による検出限界は(式1)より描画

3. 観測装置とメリット

◇京大岡山3.8m新技術望遠鏡

高速測光装置



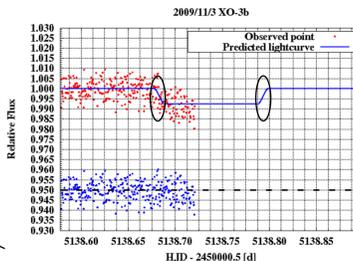
冷却性能	外気温-50°C
飽和電荷量	370,000e-
量子効率	>90%(500~600nm)
露出時間	27.1ms ~ 10s
読み出しノイズ	<1e- ~ 40e-
フレームレート	35.8frame/sec(ビニングなし最速)

岡山3.8m新技術光学赤外線望遠鏡計画書(2010)より

●高速撮像をすることで得られるメリット

- ◇大気変動による測光精度の悪化を抑えることができる

30cm望遠鏡で、XO-3(V=9.8mag)を観測(積分時間:30秒)
(真鍋翔, 2009, 東北大学修士論文)



- ・1点の測光精度は約0.23%
- ・全体の測光精度は約0.46%
- ・この違いは、大気変動が主な原因であると考えられる

- ◇減光/増光過程の測光点数を増やすことができる

露出時間	減光/増光過程の測光点数	上の観測とのS/Nの比較 (1測光点あたり)
27.1ミリ秒	42,960個	約0.37倍
1秒	約1,200個	約2.3倍
10秒	約120個	約7.3倍

※トランジット中心時刻を決めるためには、フラックスが変化する部分(特に傾きが大きい減光/増光過程、それぞれ数分ずつ)にライトカーブをフィッティングする必要がある

- ◇時間分解能が高くなるので、トランジット継続時間が短い(数十分)ターゲットのライトカーブを得るのに有利

- ◇読み出し中にロスするフォトンの量を減らすことができる

●課題点

- ・高精度の測光を行うために、ターゲットと同程度の明るさの参照星を用いて相対測光を行うことが理想である
- ・ターゲットと同程度の明るさの参照星を同時に測光するためには、10'程度の視野が必要である

4. まとめと観測の提案

- ◇これまでの系外惑星はドップラーシフト法による発見が主流であり、発見できる惑星の質量はドップラーシフト法の検出精度に依存している
- ◇より低質量の惑星を発見するために、TTV法が有効である
- ◇3.8m望遠鏡+高速CCDカメラを用いてTTV観測を行うことで、高精度の観測が期待できる

●広島大学かなた望遠鏡(1.5m)+高速測光装置による、高速撮像の測光精度検証のための試験観測を、以下の条件で行いたい

- ・ターゲット: HAT-P-16(V=10.8mag)
- ・露出時間: 3秒程度

※ターゲットは、『ターゲットの近くに、ある程度の明るさを持つ参照星が存在すること』を条件に選定