

埼玉大学40cm望遠鏡を用いた太陽系外惑星のトランジット観測

埼玉大学教育学研究科 大島吾一、大朝由美子

概要

太陽系外惑星のトランジットは、恒星の前面を惑星が横切ることによって発生する。トランジット観測結果を、ドップラーシフト法と合わせることで、惑星の密度などより詳細な物理量を得ることができる。そこで、さいたま市の空で実際にトランジット観測が行えるかを評価することを目的とし、埼玉大学教育学部の40cm望遠鏡とCCDカメラST-9を用いてトランジット観測を行なった。本研究では、既知のトランジット天体を複数の方法で観測し、一次処理解析の方法を比較し、どの観測・解析方法が適しているか検討した。結果、1-2%の精度で既知のトランジット天体の検出に成功した。

イントロダクション

系外惑星

1995年10月、51Pegで初めて発見
その後、系外惑星は現在までに約560個検出されている

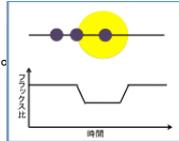
トランジット惑星

- 太陽以外の恒星を周回 → 恒星光を遮蔽 → トランジット
- 現在まで約140個発見されている
- 減光率の式

$$\frac{L - L_T}{L} = \frac{\pi R_p^2 \sigma_{\text{eff}}^4 - \pi (R_s^2 - R_p^2) \sigma_{\text{eff}}^4}{\pi R_s^2 \sigma_{\text{eff}}^4} = \left(\frac{R_p}{R_s}\right)^2$$

- 惑星の半径がわかる
- 惑星のより詳しい物理量(密度など)が得られる。
- 可視光での観測が主
- 赤外や電波での観測も行われ始めた。

トランジットのイメージと光度曲線



観測

観測機器

望遠鏡

40cm反射望遠鏡
(埼玉大学教育学部屋上に設置)

製造	三鷹光器
形式	カセグレン式
主鏡(口径)	40cm
合計焦点距離	5200mm
口径比	F/13



CCDカメラ

SBIG社ST-9XE

型名	ST-9XE
チップサイズ	10.2 × 10.2 [mm]
画素数	512 × 512 [pixel]
ピクセルサイズ	20 × 20 [μm]

実視野

6' 8 × 6' 8

観測天体

トランジット既知天体を観測

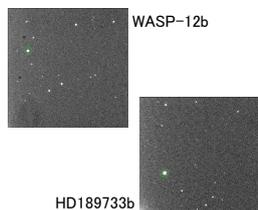
- 減光率1%程度
- 3時間以上観測できる赤経、赤緯
- R<13等

天体	WASP-12b
等級(R)	11.69
周期(日)	1.091
減光時間(分)	180.06
減光率(%)	1.48
スペクトル型	G0V
質量	1.35 (± 0.14) M _{sun}

天体	HD189733b
等級(R)	7.67
周期(日)	2.219
減光時間(分)	109.6
減光率(%)	2.63
スペクトル型	K1-K2V
質量	0.8 (± 0.4) M _{sun}

埼玉大学で観測したトランジット既知天体

天体名	観測日
TRES-1b	2010.11.10/2011.06.28
HAT-P-6b	2010.11.18
WASP-12b	2010.12.17/2011.02.26
XO-2b	2010.12.19
HAT-P-13b	2011.01.21
HAT-P-4b	2011.04.12
TRES-2b	2011.04.20
HD149026	2011.05.19
HD187123	2011.06.21
HD189733	2011.07.14/07.25



解析

IRAFを使用

解析手順

1. ダークフレームを差し引く
2. フラットフレームで割る } 一次処理
3. 天体座標ファイルを作成する
4. 座標ファイルに基づきアパーチャ測光し、各星のフラックスを測定する
5. 時間とフラックス比の時間平均の光度曲線を描く

$$\text{フラックス比} = \frac{\text{トランジット星のフラックス}}{\sum \text{参照星のフラックス}}$$

解析結果

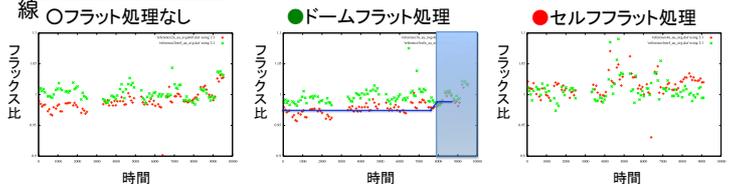
フラット処理による光度曲線の比較

- 3種類のフラットフレームを作成し、それぞれで光度曲線を描き比較
- スカイフラット(トワイライト)…夜明けの空を撮像後、足しあわせ
- ドームフラット…ドーム内で一様光源を撮像後、足しあわせ
- セルフフラット…ディザリング撮像したオブジェクトの足しあわせ

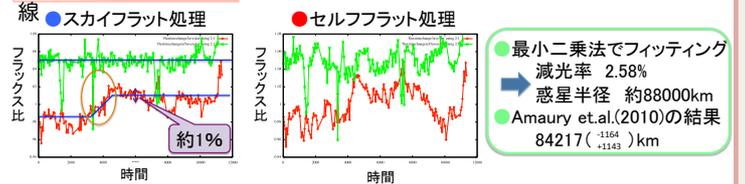


WASP-12bの光度曲線

赤: トランジット星と参照星のフラックス比 緑: 参照星どうしのフラックス比



HD189733bの光度曲線



● 最小二乗法でフィッティング
減光率 2.58%
→ 惑星半径 約88000km
● Amaury et al.(2010)の結果
84217⁺¹¹⁶⁴₋₁₁₄₃ km

スカイフラットを用いて誤差1~2%の測光精度を達成

→ トランジット観測ができる精度

- セルフフラット...
 - 十分な光量が足りない → ディザリングを十分に行う
 - 星像を消しきれていない → 重ねる画像の枚数を増やす
- ドームフラット...
 - 約2%の測光精度 → 撮影方法(光源・撮像対象)の検討
 - 均一光源とできていない

光度曲線の減光率から惑星半径を算出

→ 先行研究結果の誤差範囲内に収まらなかった

- 部分的に分散が大きい為 → 天候変化による天体の光量不足
- 天体座標の決定方法の検討

まとめ

結果

- 埼玉大学望遠鏡を用いて惑星を持つ恒星のトランジット観測を行なった。
- スカイフラットを一次処理に用いることで約1~2%の測光精度を達成できた。
- トランジット天体HD189733のトランジット現象をとらえることに成功した。
- 減光率から惑星半径を求めたところ、先行研究と誤差内では一致せず、約3%のずれがみられた。

今後

- 光度曲線の分散が大きい部分の原因究明
- 更なる精度向上(観測方法、画像処理方法)
- 描いた光度曲線から減光率を求め、物理量(半径、密度)を算出
- 観測・解析の効率化 → ドップラーシフト法の追観測