

Introduction

太陽系外惑星

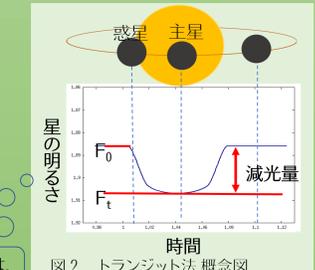
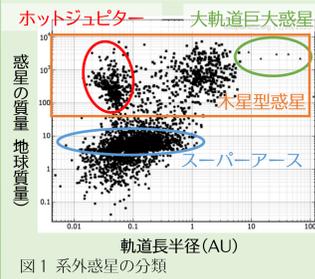
現在まで約4000個見つかリ、地球のような岩石惑星やハビタブル惑星、巨大ガス惑星等、多様な惑星系が明らかになっている。中でも大きい惑星は、質量や半径・軌道長半径の特徴から**ホットジュピター**、**大軌道巨大惑星**、**スーパーアース**などに分類される。これらの多くはトランジット法やドップラー法で検出されている。

トランジット法

惑星が主星の前を横切る際に起こる減光を利用して惑星を検出

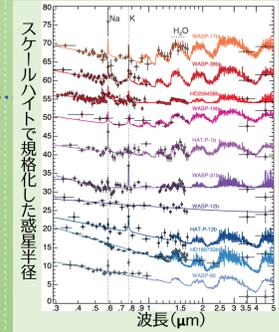
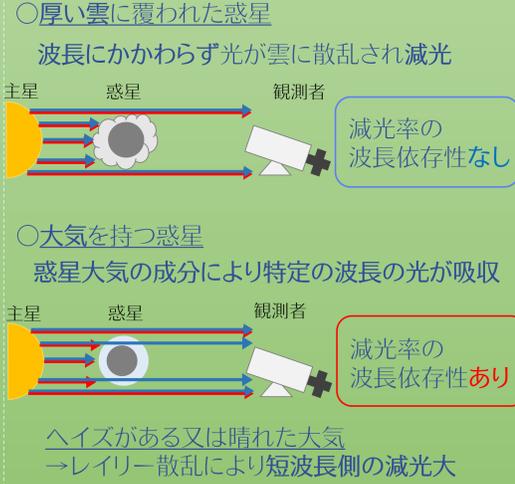
- 惑星半径 (減光率 = $\frac{F_0 - F_t}{F_0} = \frac{R_p^2}{R_s^2}$)
(※Rp: 惑星半径 Rs: 主星半径)
- 軌道長半径 (ケプラーの第三法則 $a = (\frac{4\pi^2}{GM T^2})^{1/3}$)
(※a: 軌道長半径 T: 公転周期)
- 軌道傾斜角 (トランジット継続時間から)

木星による太陽のトランジット現象では、約1%の減光が観測される



トランジット多波長測光

惑星大気を通過した主星の光を多波長で観測すると...



多波長トランジット観測により得られた波長ごとの減光率と惑星大気モデルとの比較から、大気組成を推定(図3)

系外惑星の存在頻度は主星の金属量が高いほど多い(図4)



系外惑星の大気と主星・惑星の物理量に相関関係がある?

本研究では、多波長トランジット測光観測から

- ①トランジット光度曲線から減光率を求め
- ②系外惑星の大気モデルと比較し
- ③主星の有効温度や金属量などによる大気の差異を探る

Observations

F, G, K型星周りのトランジット系外惑星23天体の観測を行なった



望遠鏡	36cm望遠鏡	55cmSaCRA望遠鏡	2mなゆた望遠鏡	Spitzer宇宙望遠鏡
観測装置	Single CCD (FLI/SBIG)	三波長同時撮像装置 (MuSaSHI)	近赤外撮像装置 (NIC)	赤外撮像装置 (IRAC)
観測視野	17'.4 × 17'.8 36'.4 × 24'.2	12'.8 × 12'.4	2'.73 × 2'.73	5".2 × 5".2
観測波長	g' (410-550nm)	r (550-680nm) i (700-810nm) z (820-1000nm)	J (1.18-1.33μm) H (1.48-1.78μm) Ks (1.99-2.30μm)	CH1 (3.18-3.93μm) CH2 (3.99-5.00μm)
観測天体	16天体 (計17晩)	22天体 (計28晩)	4天体	3天体
観測日	2018/3~2020/12	2019/1~2020/12	2020/5~12	2013/3~2018/5 アーカイブデータを解析
露出時間	30~60秒	30~60秒	30秒	2秒

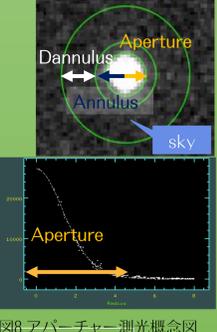


Analysis

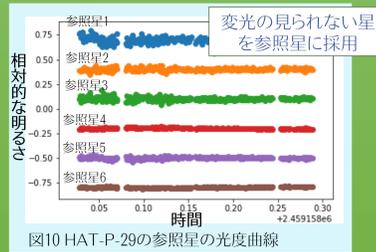
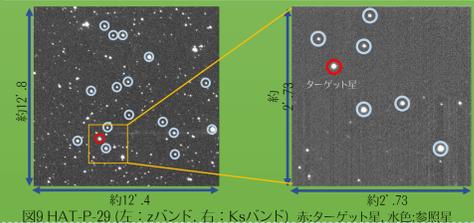
IRAF・Pyrafを用いて解析を行った

- (1) 一次処理 (ダーク引き, フラット補正, sky引き)
- (2) ターゲット星、参照星のアーチャー測光(図8)
- (3) 参照星の変光確認(図10)
- (4) ターゲット星の相対測光
- (5) EXOFAST*1およびPytransit*2を用いて光度曲線を求める(図11, 12)

*1 EXOFAST (Eastman et al. 2013)
*2 PyTransit (Parviainen 2015)

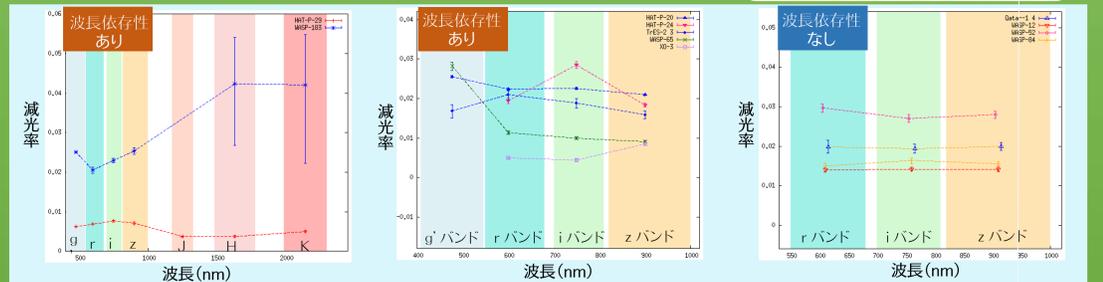


Results & Discussions



減光率の波長依存性

各天体について求めた減光率について、波長依存性の有無を調査(図13)



減光率最大値
減光率最小値
の値を算出

1.1より大きい
波長依存性あり

1.1以下
波長依存性なし

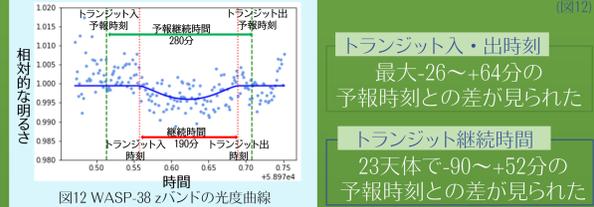
光度曲線のフィッティング

変光していない1-16個の参照星により相対測光を行い、トランジットを有意に検出した23天体28イベントのデータについて①-④の手順で光度曲線を作成した。(図11)

- ① EXOFAST, PyTransitを用いて光度曲線を作成
 - ② 1の曲線から3σ以上外れた値を除く
 - ③ 2のデータについて再度光度曲線を作成
 - ④ 求めたデータについて②③を2σで繰り返す
- トレンドの補正
相対測光値とFWHMやスカイの値との関係を調査
トレンドの補正を行った。

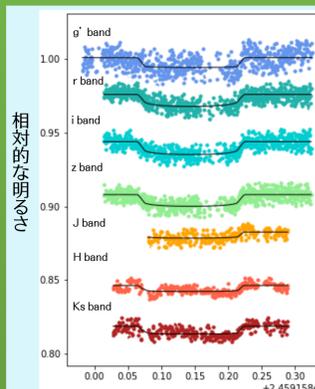
トランジット時間の違い

トランジット予報時刻と実際のトランジット時刻の差異を調査



トランジット入・出時刻
最大-26~+64分の予報時刻との差が見られた

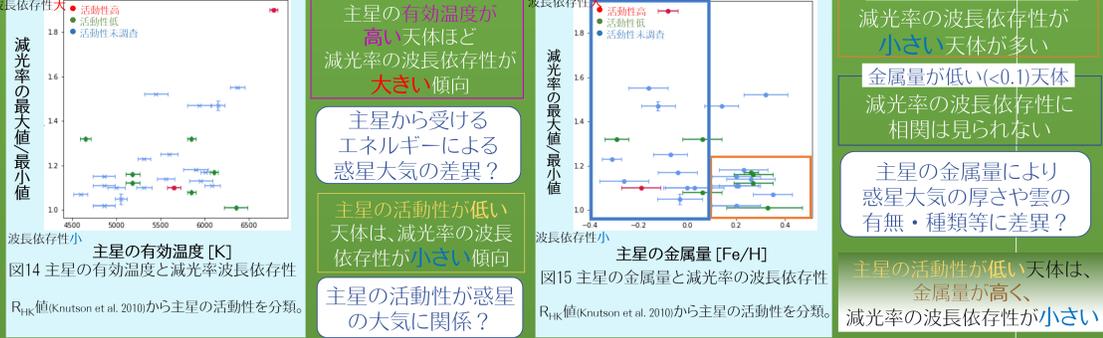
トランジット継続時間
23天体で-90~+52分の予報時刻との差が見られた



EXOFAST/PyTransitで求めた光度曲線から、波長ごとの減光率を算出

減光率の波長依存性と恒星・惑星の物理量

減光率の波長依存性と、恒星・惑星の物理量との関係を調査(図14, 15)



金属量が高い(>0.1)天体
減光率の波長依存性が小さい天体が多い

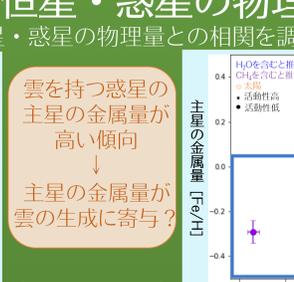
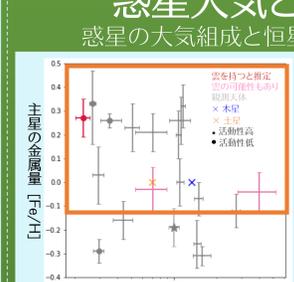
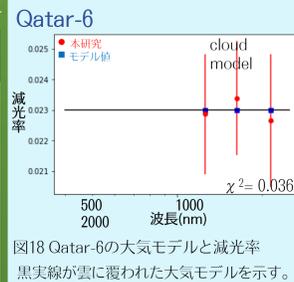
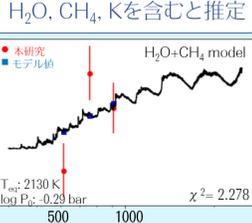
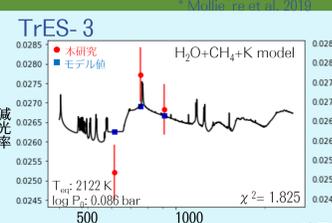
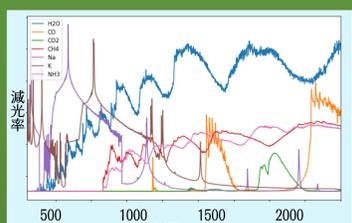
金属量が低い(<0.1)天体
減光率の波長依存性に相関は見られない

主星の有効温度により
惑星大気の厚さや雲の有無・種類等に差異?

主星の活動性が低い天体は、
金属量が高く、減光率の波長依存性が小さい

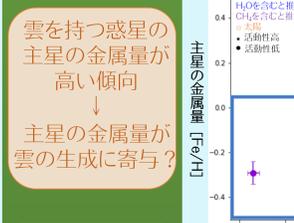
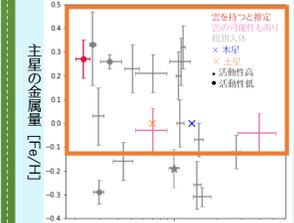
大気モデルと減光率の比較

petitRADTRANS*を用いて大気モデルを作成し減光率と比較(図16-21)



惑星大気と恒星・惑星の物理量

惑星の大気組成と恒星・惑星の物理量との相関を調査(図22, 23)



雲を持つ惑星の主星の金属量が
高い傾向
主星の金属量が
雲の生成に寄与?

H₂O, CH₄を含む
惑星を持つ主星は
主星の金属量・有効温度が低い傾向

Summary & Future Works

SaCRA/MuSaSHI, 36cm望遠鏡/撮像装置, なゆた/NICを用いて2018~2020年に23天体(計29晩)の観測を実施した。Spitzer/IRACデータも解析し、EXOFAST, PyTransitを用いて光度曲線のフィッティングを行った。減光率の波長依存性について調査した結果、

- 減光率の波長依存性が、主星の有効温度や金属量、惑星の密度等に関係する可能性が示唆された。さらにpetitRADTRANSを用いて、大気モデルを求め、減光率との比較から、惑星の大気組成を推定した。
 - H₂O, CH₄を含む惑星の、主星の金属量・有効温度が低い傾向が見られた。
 - 雲を持つと推定された惑星については、主星の金属量が高い傾向が見られ、金属量の違いが雲の生成に差異を起こす可能性が示唆された。
- 本研究では可視・近赤外の多波長トランジットが得られた天体は3つであったため、多波長観測をさらに進め、主星の金属量や有効温度と減光率の波長依存性や惑星大気構造の関係を調べる
□ 主星の活動性を調べ、活動性による惑星大気の違いについて探る

本研究のみ	H ₂ O, CH ₄ , K	本研究のみ	雲	本研究のみ	Na
先行研究のみ	レイリー散乱, K	先行研究のみ	レイリー散乱	先行研究のみ	Na
本研究+先行研究	H ₂ , H ₂ O, CH ₄ , K	本研究+先行研究	H ₂	本研究+先行研究	Na