

トランジット法による系外惑星観測のための赤外線単素子測光器の開発

横山 洋海 (京都大学大学院 理学研究科)

Abstract

系外惑星を検出する方法の中に惑星が主星の前を横切ることでおこる減光を測定する方法(トランジット法)がある。トランジット法による検出は Kepler 衛星や WASP などによって宇宙、地上を問わずに行われており、現在までに 1000 以上の系外惑星がこの方法で確認されている。トランジットによるわずかな減光を精度よく測定するためには、明るい参照星が必要である。トランジット観測には、2次元アレイの検出器がよく用いられる。しかし、この方法では以下の問題が生ずる。1. 目標天体と参照星の出力値を同時に読み出すため、参照星が飽和しないように露出時間が設定される。そのため目標天体に対し、測光精度が高い明るい参照星を使えず、測光精度の向上が図れない。2. 対象となる天体と参照星を同時に観測するために、検出器の大きさによって参照星の数が制限され精度の向上が図れない。

これに対し、我々が開発している測光機は、0.001mag の精度で M 型星の周りをトランジットにより観測することを目指す。本装置は従来のもとは異なり、目標天体と参照星を別の単素子で計測する装置である。これにより、それぞれの星に対し最適な露出時間を選ぶことができ、参照星の明るさの制限もない。加えて、単素子を組み合わせた装置であるため、2次元アレイの装置と比べて安価であり、視野の制限がない。本発表では我々の開発している装置の概要と開発の到達状況と課題について説明する。

1 Introduction

主星が惑星の前を横切るとき、主星からの光は惑星に隠される。そのため地球からは、主星は暗くなくなって見える。この主星の光度の時間的変動により惑星を検出する方法をトランジット法という。1999 年に HD209458 がトランジット法により観測されて以来、1000 以上の惑星がトランジット法により観測されている。(Charbonneau ApJ 2000) トランジット法では、減光の深さから主星と惑星の半径比を求めることができる。また、トランジットを起こすということは、軌道傾斜角がほぼ 90° であるから、視線速度法による観測も可能である場合が多く、これらを組み合わせることによって惑星のほぼ正確な質量も求めることができる。

また、最近では多色でのトランジットの観測も行われている。様々な波長で同じ天体のトランジットを観測すれば、観測した波長の関数として、主星と惑星の半径比がわかる。このとき惑星の周りに大気があると、散乱や吸収を受けるが、その影響は波長により異なる。したがって波長の関数としての半径比により、大気の実在や何らかのモデルを紹介するこ

とにより、おおまかな大気の組成といったことを知ることができる。波長ごとの観測を行う際、主星自身が時間により光度変動することを考慮しなければならない。主星は黒点や自転などの影響で光度が時間により変動する。トランジット法では光度の変動は惑星による掩蔽であるとしているので、主星由来の光度変動は、惑星の見かけの半径を変動させてしまう。そのため、異なる波長をそれぞれ別の時間で観測すると主星自身の光度変動が波長由来の光度変動として、記録され誤った波長依存性を示す恐れがある。そこで、多波長でのトランジットを観測する際は同時に多波長を観測しなければならない。

トランジットの観測に必要なものは、わずかな減光をとらえるための高い測光精度、トランジットの多くの期間を観測するための望遠鏡時間、同時に多波長をとれることである。測光精度の点では、トランジットを観測する際には、参照星を用いた相対測光が行われている。これは、大気によるシンチレーションなどの補正だけでなく、装置のドリフトなどの系統的な誤差を除くことで、精度の向上を図ったものである。現在トランジット法での観測は地上、

宇宙問わず行われている。測光精度の到達点は地上で数 mmag、宇宙で 0.1mmag 以上である。地上での多波長観測による結果が宇宙での観測により否定されていることもあり、地上での観測にはより高い精度 (1mmag 以上) を達成することが求められる。そこで我々は、検出器に工夫を施し測光精度の向上を目指した装置を開発している。

従来の装置は光を検出する素子として 2 次元アレイが用いられる。この場合、相対測光に使うことのできる参照星は、2 次元アレイの大きさによって制限される視野内のものに限られる。そのため、参照星の選択に制限が生じ、精度の向上を阻害する。また 2 次元アレイの検出器は、すべてのピクセルの値を同時に読み出す。そのため、一回あたりの露出時間は最も明るいピクセル (参照星) によって決まる。そのため、目標天体自身の明るさに応じた適切な露出時間を取れない、明るい参照星を用いるのが難しい、といった問題がある。

一方、我々の装置の特徴は光を検出する素子として、2 次元アレイではなく複数の単素子を用いることである。この装置は、目標天体と参照星が結像する位置にそれぞれ別の単素子をおいて相対測光を行うものであり、上記のような問題の解決を図っている。単素子を組み合わせる用いることの長所には以下のことがある。まず第一に参照星と目標天体の値を別個に読み出すことができる。これにより、目標天体と参照星のそれぞれに適切な露出時間をとることが可能になり、明るい参照星を使うことに制限がなくなる。そのため測光精度の高い、明るい星を参照星として利用できるので相対測光の精度向上が図れる。次に、単素子を別々に、また任意の位置に配置することができるので、検出器の大きさによって参照星が制限されるということがなくなる。望遠鏡の視野内にある星を自由に参照星としてとることができるので、このことから参照星の選択による精度の向上が図れる。また、1 ピクセル内での感度ムラについても 2 次元アレイ型のものに比べて、低減することが期待できる。また、この装置は多素子の検出器を必要としないため、非常に安価に作成することが可能なものとなる。

2 Instruments

我々が開発している装置は、H バンドで 8 等より明るい既知のトランジット天体を対象に、京都大学の 40cm 反射望遠鏡に取り付け、1mmag 以上の精度を達成することを目標としたものである。

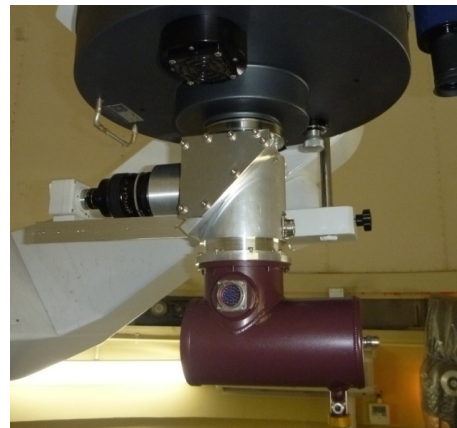


図 1: 装置の全体図

この装置の概念図を図 2 に示す。上述のようにこの装置は単素子を用いるので、それだけでは空間情報が得られず、素子の中に天体の光が入っているかがどうかわからない。そのため、ダイクロイックミラーを用いて可視と赤外を分離し、測光に用いない可視光を用いて天体の位置を CCD でモニタし、回転ステージで単素子に星からの光を入れることができるようになっている。

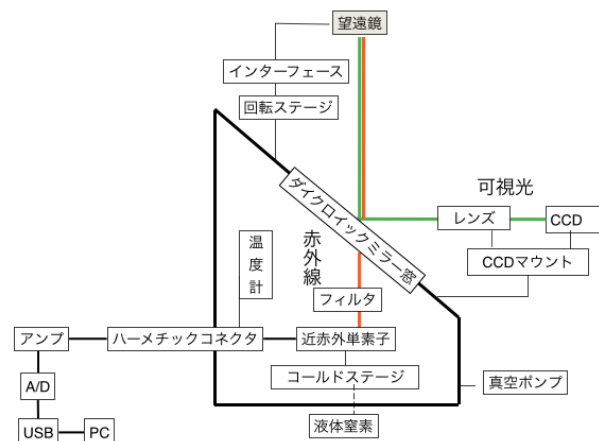


図 2: 装置の概念図

現在は、この測光器の単素子からデータを PC で変換するまでの読み取り部分の作成を行っている。まずは、目標天体を見るための単素子一つだけを用いて、単素子から出た電流を IVC102 (オペアンプ+ コンデンサ) を用いた積分回路で電圧にかえ、LF444 (オペアンプ) を用いて 20 倍に増幅し、PEX-321216 (アナログ入力+ デジタル入出力ボード) を用いて PC に取り込む回路を作成している (図 3)。

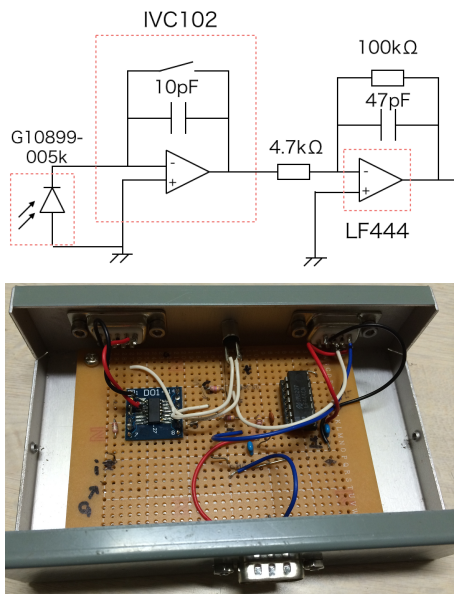


図 3: 回路図 (上) と作成中の写真 (下)

今後は作成した回路の精度が 1mmag を達成できるものであるか、実験室で評価する。具体的には、素子に一樣な光が当たるような光学系を作成する。照射する光の強度を一定に保ち、読み出しリセットを繰り返す。これを強度を変えずに行い、読み出し回路の安定性やノイズの大きさを評価する。そして、参照星を見るための素子を追加、実験室での性能評価、既知の天体を用いた精度の確認、といった手順で開発を進めていく。

3 Conclusion

惑星のトランジットを同時に多色で測光することにより、惑星の大気について調べることができる。そのために装置には、多色を同時に観測できること、長

い望遠鏡時間が確保できること、高い測光精度を持つことが要求される。我々は単素子を用いた測光精度の向上を目指した装置の開発を行っている。現在は読み出し部分の作成を行っているが、それを 1mmag 以上まで精度を向上させることが必要となる。今後は読み出し部分の回路を拡張し参照星を見るための素子を追加、実験室内での相対測光の精度評価を行った上で、既知のトランジット天体を用いた性能評価を行っていく予定である。また、多色化に向けた装置の拡張の検討や、シンチレーションなどを考慮した、より定量的な精度の評価といったことも進めていく。

Reference

- Perryman. 2011. Cambridge University Press
- Jacob L.Bean et al. 2010. Nature
- Charbonneau et al. 2000. The Astrophysical Journal