

## 要 旨

系外惑星TOI-2046bのトランジット観測を行った。解析はExoWorlds Spies(1)の解析ソフトHOPSで行い、解析結果をExoClockプロジェクト(2)に報告した。4回の観測で得られた観測結果—計算値(O-C)は-6.6~2.4分、平均 -1.2分となり観測値と計算値に近い値となった。系外惑星の大きさは、4回の観測で得られた惑星と恒星の半径比(Rp/Rs)より木星半径(R<sub>JUP</sub>) (3)の1.43倍となった。ExoClockプロジェクトに参加することにより、系外惑星の軌道パラメータや解析曲線の精度を上げることに貢献できた。

## 1. はじめに

系外惑星TOI-2046bの基本パラメータはNASA Exoplanet Archive(4)より、恒星半径は太陽半径の1.21倍、R等級は11.2等級、惑星の公転周期は1.497日

系外惑星TOI-2046bのトランジット観測を行い、解析ソフトHOPSでO-CとRp/Rsを求め、ExoClockプロジェクトに報告する。

このプロジェクトはアマチュアの観測者に観測方法を提供し、観測結果をこのプロジェクトに報告することで系外惑星の研究に貢献できる。

系外惑星は遠く離れており、主星に比べて非常に小さいから系外惑星を直接見ることはできない。しかし、系外惑星が主星の前を通過すると、主星の光は弱まる。図1は主星の前を通過する系外惑星と、主星の光が弱まる様子を示した模式図(1)である。この減光を観測するのがトランジット観測である。観測したトランジットの中間時刻と計算値で求めた中間時刻との差からO-Cが求まり、観測したトランジットの減光率よりRp/Rsが求まる。

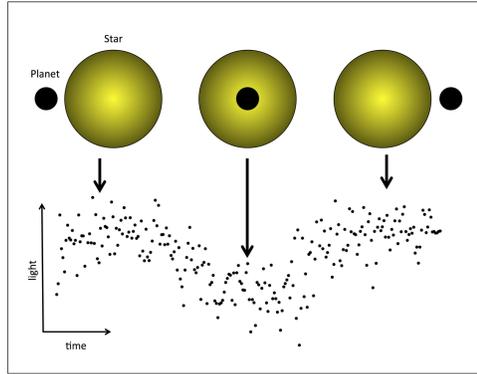


図1 トランジット観測の模式図(1)

## 2. 方法

西村製作所の40cmニュートン式反射望遠鏡、ビットラン冷却CCDカメラ、光電測光用ジョンソンRフィルター、-20℃冷却、2×2ビニング、60秒露出で観測した。

TOI-2046bの観測日時はExoWorlds SpiesのTransit Schedulerにより求めた。観測は2024年11月19日、11月25日、11月28日、12月4日の4回行った。トランジットの時間が2.48時間なので、前後のベースラインを取るため観測時間は約4時間行った。観測結果はExoWorlds SpiesのソフトHOPSで解析しO-CとRp/Rsを求めた。

## 3. 結果

4回の観測の解析結果を図2から図5に示す。図中の●印は観測した測定結果で、赤の実線は観測結果をトランジットモデルでフィッティングした結果を、青の実線は予想された解析曲線(Expected model)を示している。横軸はトランジット中間時刻からの位相を示す。上の図の縦軸は相対的な光度を示す。下の図の縦軸は、トランジットモデルでフィッティングした結果の赤の実線と観測値との残差を示している。残差の標準偏差は4.5%~8.2%となった。

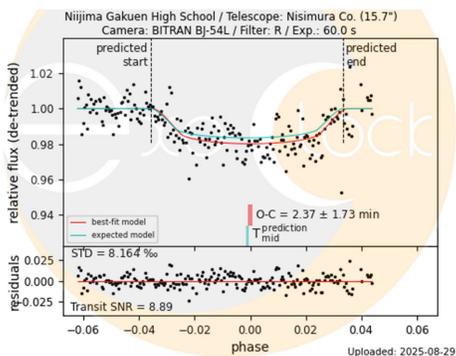


図2 測定結果のライトカーブと解析曲線 (2024年11月19日)

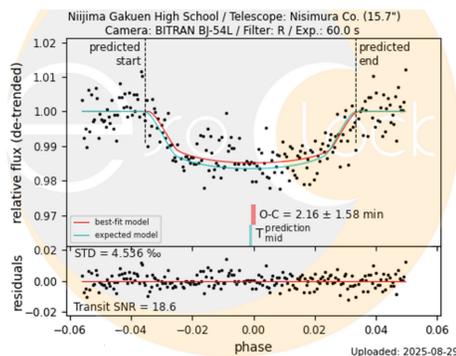


図3 測定結果のライトカーブと解析曲線 (2024年11月25日)

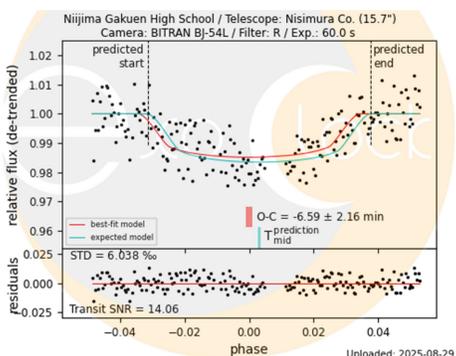


図4 測定結果のライトカーブと解析曲線 (2024年11月28日)

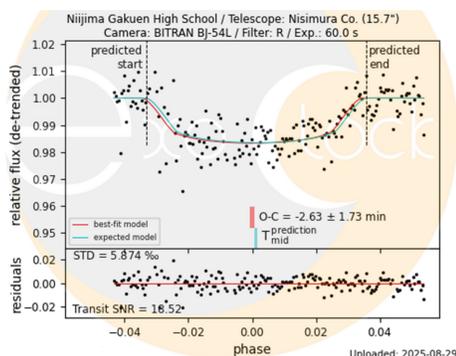


図5 測定結果のライトカーブと解析曲線 (2024年12月4日)

図6から図9にO-Cの結果を示す。図中の黄色い○で囲まれた☆印が今回の解析結果を示し、そのほかの赤●印は他の観測者の解析結果である。横軸は基準とするトランジットからの周期の回数(epochs)、縦軸はO-C(分)を示す。グレーの部分は観測されたトランジット中間時刻の不確か性(Uncertainty)を示し、青色はExoClockプロジェクトが定めた目標の不確か性(Uncertainty)を示す。

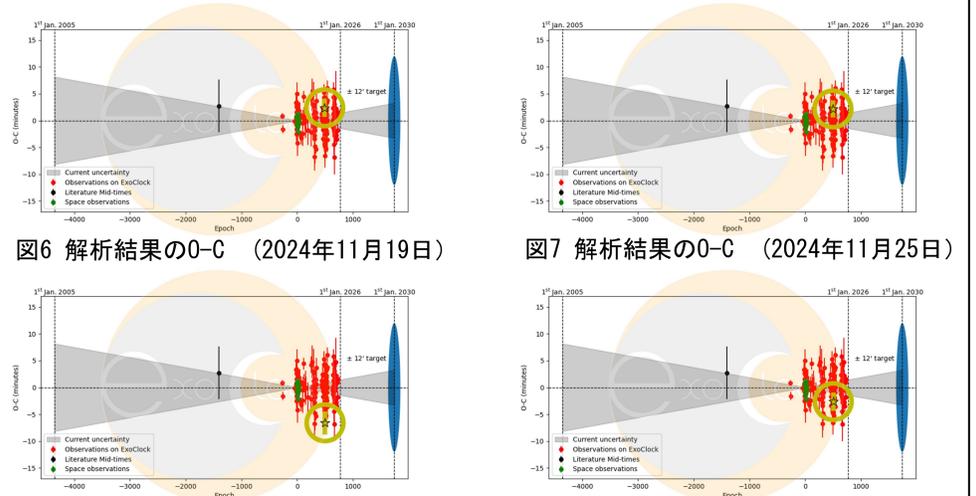


図6 解析結果のO-C (2024年11月19日)

図7 解析結果のO-C (2024年11月25日)

図8 解析結果のO-C (2024年11月28日)

図9 解析結果のO-C (2024年12月4日)

表1に4回の観測についてソフトHOPSで解析した結果を示す。表1のO-Cの結果は-6.6~2.4分、平均-1.2分となり、図7から図10の他の観測者のばらつきの範囲内であった。表1の観測結果のRp/Rsの平均は0.121で、ExoClockプロジェクトの値0.1213 ± 0.0017に近い数字となった。

表1 解析結果のO-CとRp/Rs

観測日	O-C(minutes)	Rp/Rs
2024年11月19日	2.37 ± 1.73	0.1329 ± 0.0075
2024年11月25日	2.16 ± 1.58	0.115 ± 0.0031
2024年11月28日	-6.59 ± 2.16	0.115 ± 0.0041
2024年12月4日	-2.63 ± 1.73	0.1219 ± 0.0033

表1の観測結果のRp/Rsの平均0.121を用いて、太陽系の大きさ(3)を参考に系外惑星の半径を計算する。

太陽半径(R<sub>☉</sub>) : 696000km、木星半径(R<sub>JUP</sub>) : 71492km (赤道半径)  
恒星半径(R<sub>s</sub>)=太陽半径(R<sub>☉</sub>) × 1.21

$$\frac{R_p}{R_s} = \frac{R_p}{696000 \times 1.21} = 0.121$$

$$\therefore R_p = 1.019 \times 10^5$$

$$\frac{R_p}{R_{JUP}} = \frac{1.019 \times 10^5}{71492} = 1.43$$

と木星半径R<sub>JUP</sub>の1.43倍となった。

## 4. 考察

図2から図5のSTD(標準偏差)は4.536%から8.164%で値の改善ができる。大きなSTDの画像の除去やトランジット前後のベースラインを長く観測することにより観測精度が向上すると考える。

Rp/Rsは文献値(2)に近い値となった。系外惑星は木星半径R<sub>JUP</sub>の1.43倍で、大きな惑星が約1.5日で公転している。

ExoClockプロジェクトに送られた観測データをもとに解析曲線などの基本パラメータが見直されている。TOI-2046bは2025年9月以降に見直しが行われ、本報告のデータも解析精度の向上に貢献できた。

## 5. まとめ

系外惑星TOI-2046bを4回観測して、ExoClockプロジェクトに参加することができ、解析曲線データや系外惑星の基本パラメータの精度向上に貢献することができた。

## 6. 謝辞

群馬県立ぐんま天文台の天文係長・西原英治先生とアストロバイオロジーセンターの専任専門員・日下部展彦先生にご指導をいただきました。この場をお借りして厚くお礼申し上げます。

## 7. 参考

- (1) ExoWorlds Spiesホームページ <https://www.exoworldsspies.com/en/>
- (2) ExoClockホームページ <https://www.exoclock.space/>
- (3) 国立天文台 太陽系天体の半径 <https://eco.mtk.nao.ac.jp/koyomi/wiki/CFC7C0B12FC8BEB7C2.html>
- (4) NASA Exoplanet Archive TOI-2046 <https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/overview/TOI-2046>