



ExoClock 計畫

這在幹嘛？有啥意義？怎麼參加？

林彥興 | 2024.08.08 21:00

大綱

- 背景知識和脈絡
 - 一些小故事
 - 系外行星相關常識(?)
 - 凌星測光 Transiting Photometry
- ExoClock 計畫：維護精準星曆的重要性
 - 系外行星觀測方法
 - 光變曲線分析：HOPS
 - 觀測結果的意義

Part 1.1

一些小故事



城郊天文台的機會與挑戰

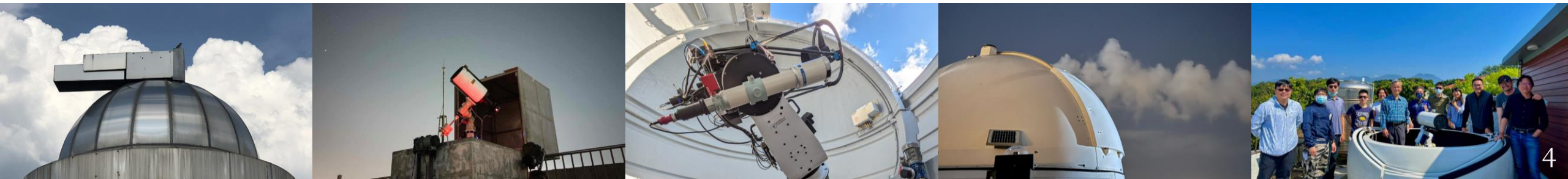
台灣有數量龐大的公營與私人天文台，但多數沒能得到妥善的利用。

原因包括缺乏人力資源、專業技術，以及城市與郊區的強光害。

台灣天文聯合觀測平台 (TOP)

想辦法活化這些珍貴的資源，發揮它們的潛能。

容易且直接的做法：加入 **ExoClock** 計畫，觀測系外行星。




2022 Observer Training Camp: HCHS 2022 觀測員培訓計畫：新竹高中

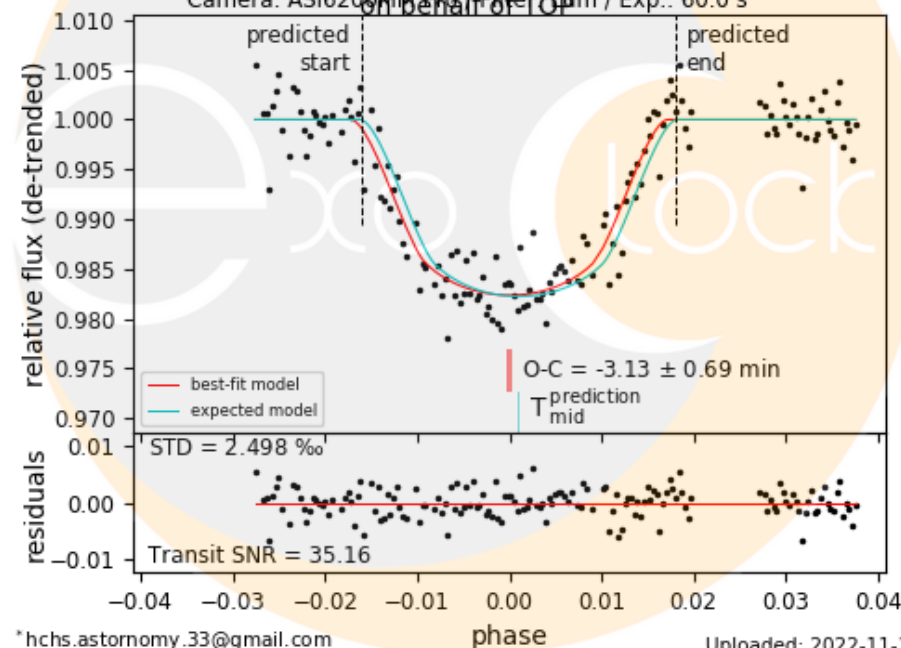
- 找芒果和當時高一升高二天文社幹部，幾天在清大培訓，兩天上觀星園實地觀測。
- 陳文心找我當幾門課的講師，也順便跟營隊。
- 首次知道我們的小望遠鏡也可以拍系外行星。
- 之後清大天文台的遠端觀測日趨完善，我有空就會拍（因為科學分析比深空後製簡單）作為不想做研究的消遣（？



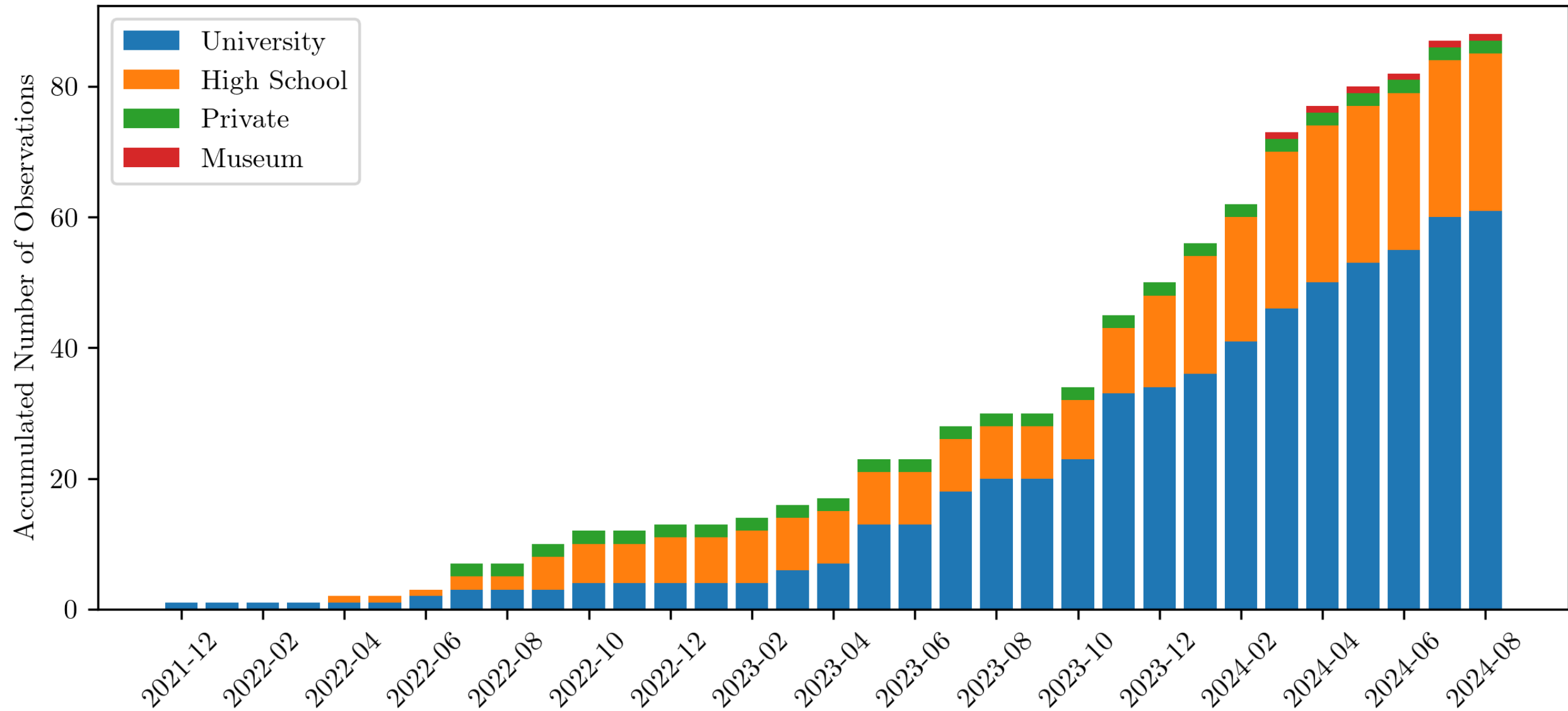
WASP – 2b

2022-07-22

Sheng-Ting Huang* (National Hsinchu Senior High School; Taiwan astronomical Observation collaboration Platform (TOP)), Darwin Ho, Hung-Yu Chuang, Jui-Hsuan Liang, Yun-Chen Hsu, An-Lun Weng Yu, Hung-Chun Hsu, Yun-Shuo Chang (National Hsinchu Senior High School), Shih-Ping Lai,  National Tsing Hua University, NTHU
Camera: ASI6200MM Pro, Filter: 4nm / Exp.: 60.0 s



Accumulated Number of TOP ExoClock Observations by Observatory Type



Part 1.2

系外行星相關常識



Introduction

系外行星

- 太陽系以外的行星
- 與人類自古以來的大哉問緊密連結：
 - 我們從何而來？
 - 我們在宇宙中是孤獨的嗎？
- 如何回答這些問題呢？
 - 觀測：搜尋，而後進一步深入了解各項物理/化學性質。
 - 理論：建立模型與進行數值模擬，與觀測比較。

Exoplanet Detection

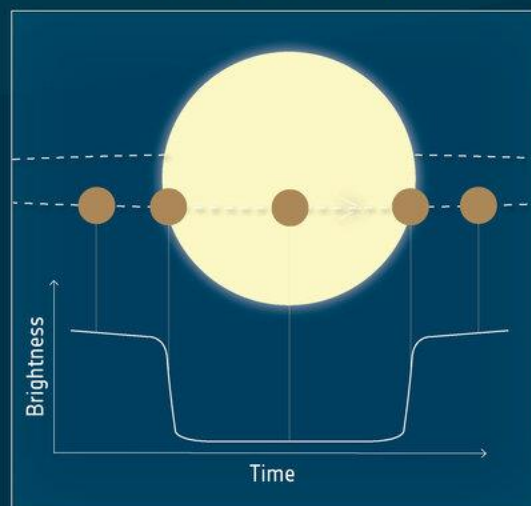
觀測系外行星的根本難題

- 恆星－行星間的亮度對比（contrast）
 - E.g. 太陽大約比地球亮了 10^9 倍
- 恆星－行星間的角距離（angular separation）
 - E.g. 以哈伯太空望遠鏡的解析度，只能在 50 pc 內解析出太陽與木星。
- 觀測系外行星有如觀測燈塔旁的蝴蝶。
- 多數系外行星都是以**間接方法**觀測到。

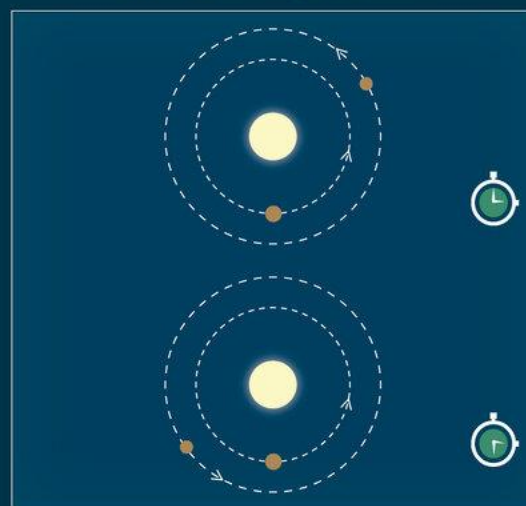


→ EXOPLANET DETECTION METHODS

Transit photometry



Transit-timing variation



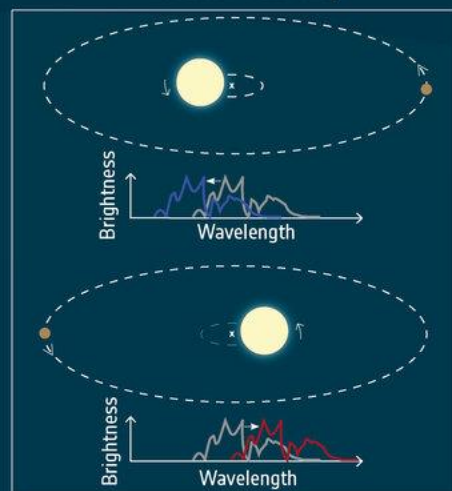
Transit photometry is one of the main techniques used to **discover** exoplanets. Cheops will use this technique to **measure the sizes** of known exoplanets and to start to **characterise** them.



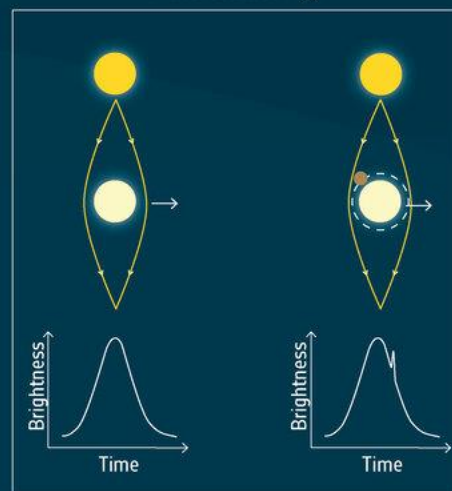
By using the **transit-timing variation** technique, Cheops will be able to **discover** additional, previously unknown planets around some stars, and also determine the planet **masses**.

Other techniques used to discover new exoplanets (not employed by Cheops) are: radial velocity, microlensing, astrometry and direct imaging.

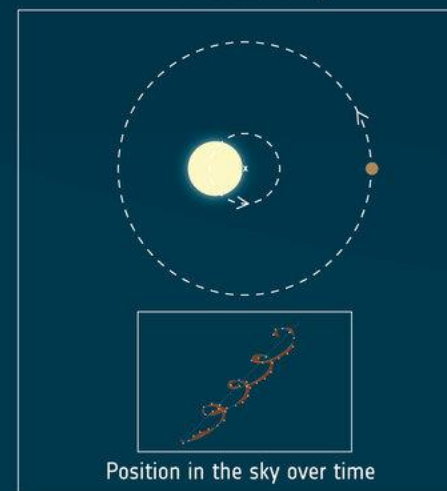
Radial velocity



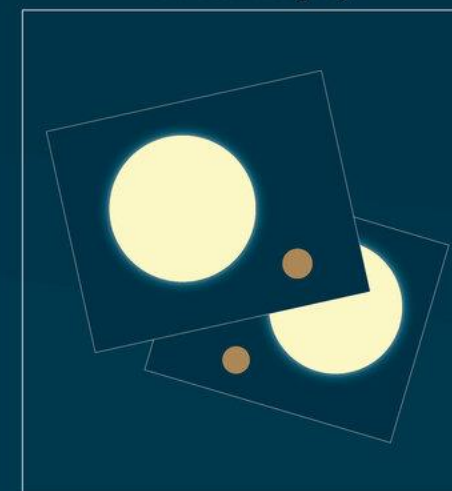
Microlensing



Astrometry

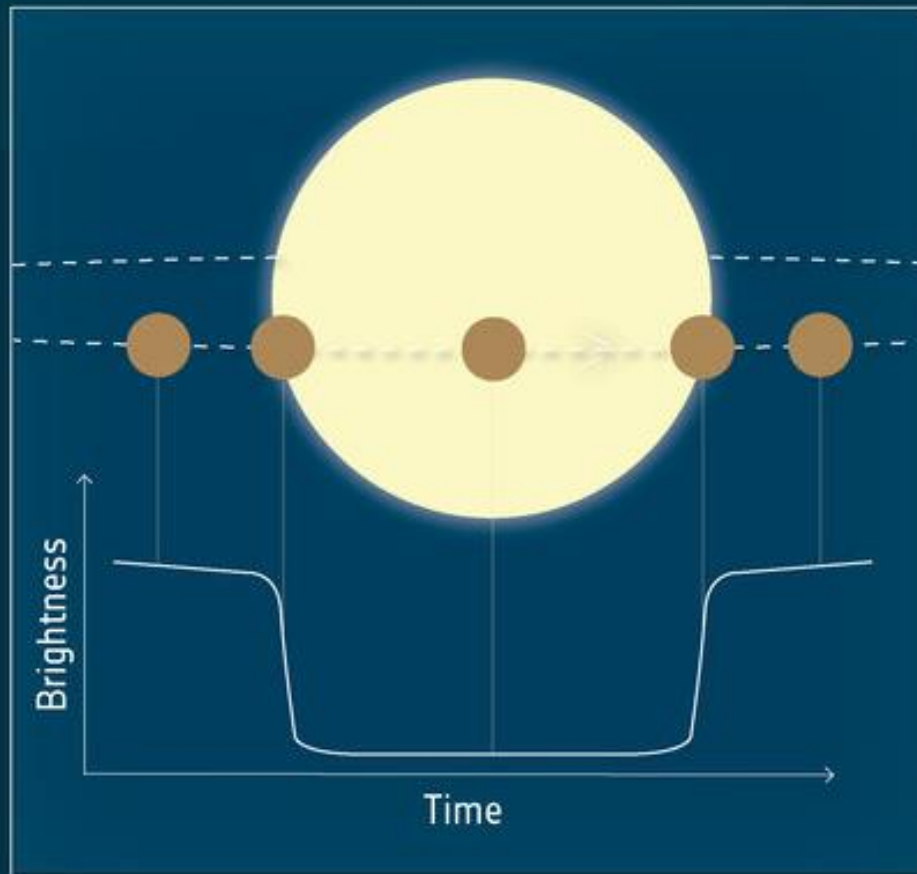


Direct imaging

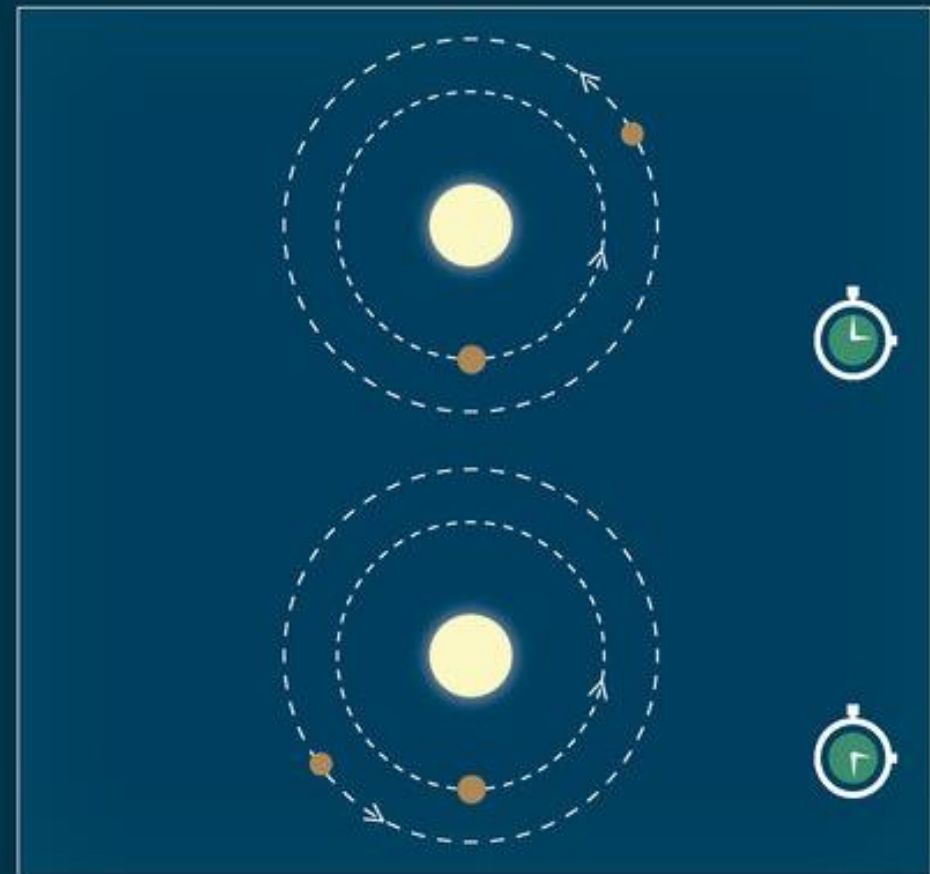


EXOPLANET DETECTION METHODS

Transit photometry



Transit-timing variation

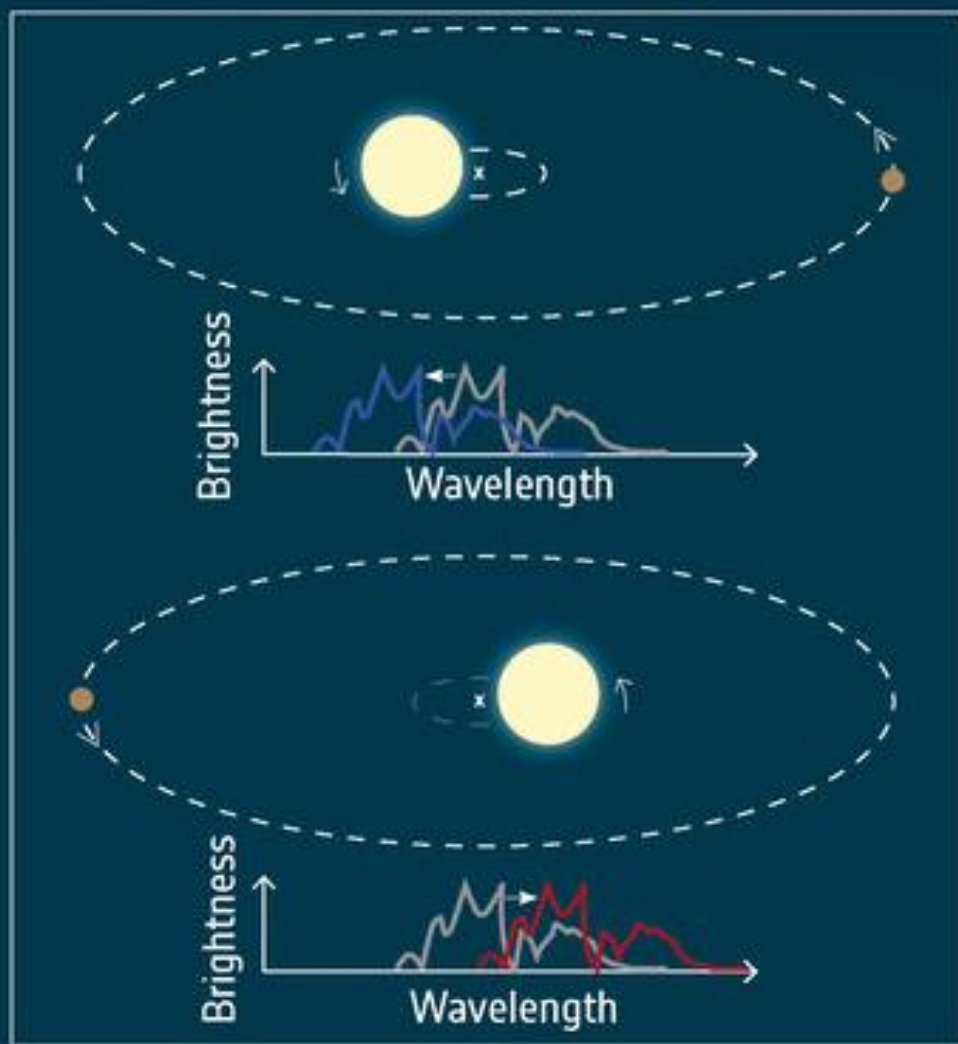


Radial velocity

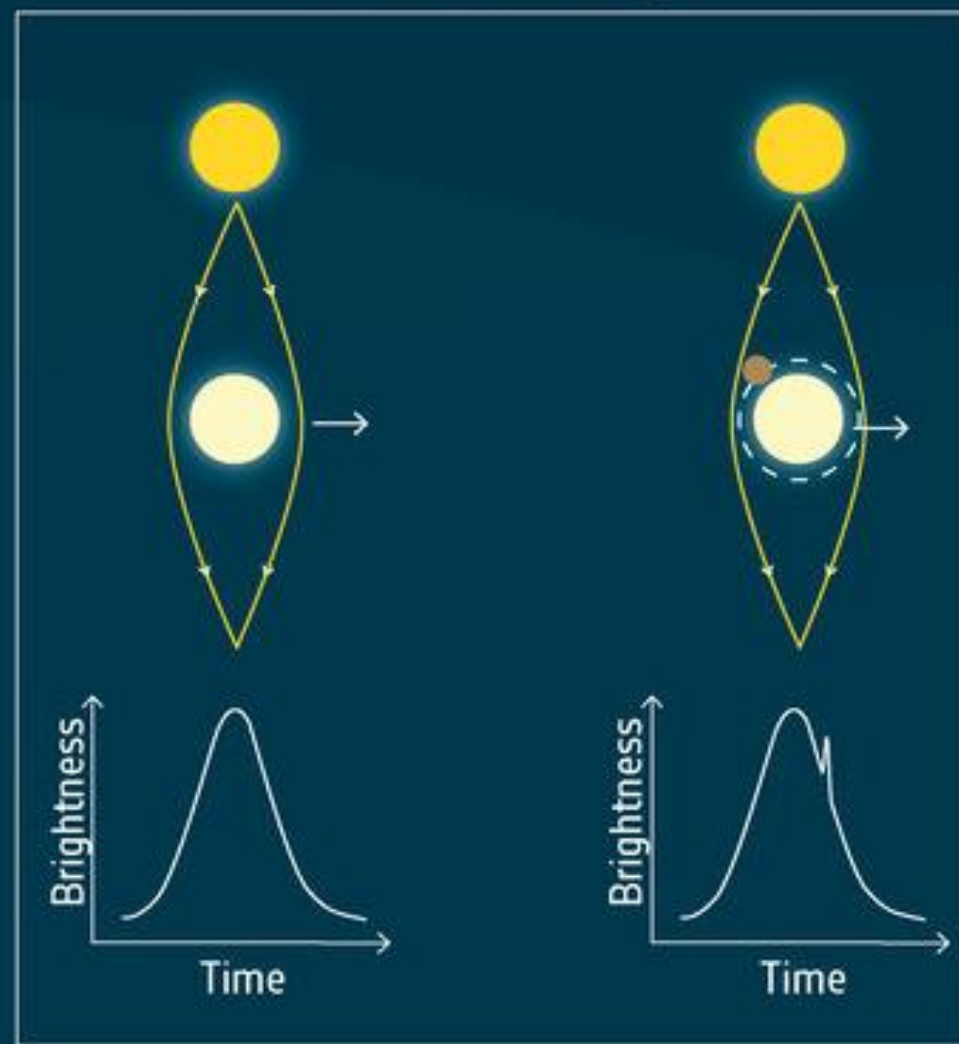
Microlensing

Astrometry

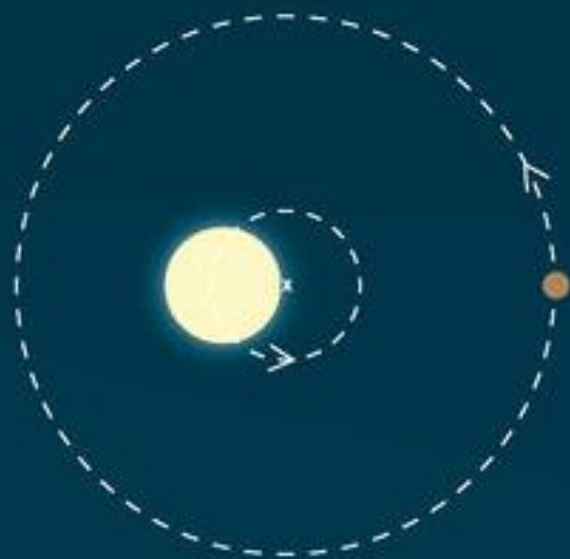
Radial velocity



Microlensing

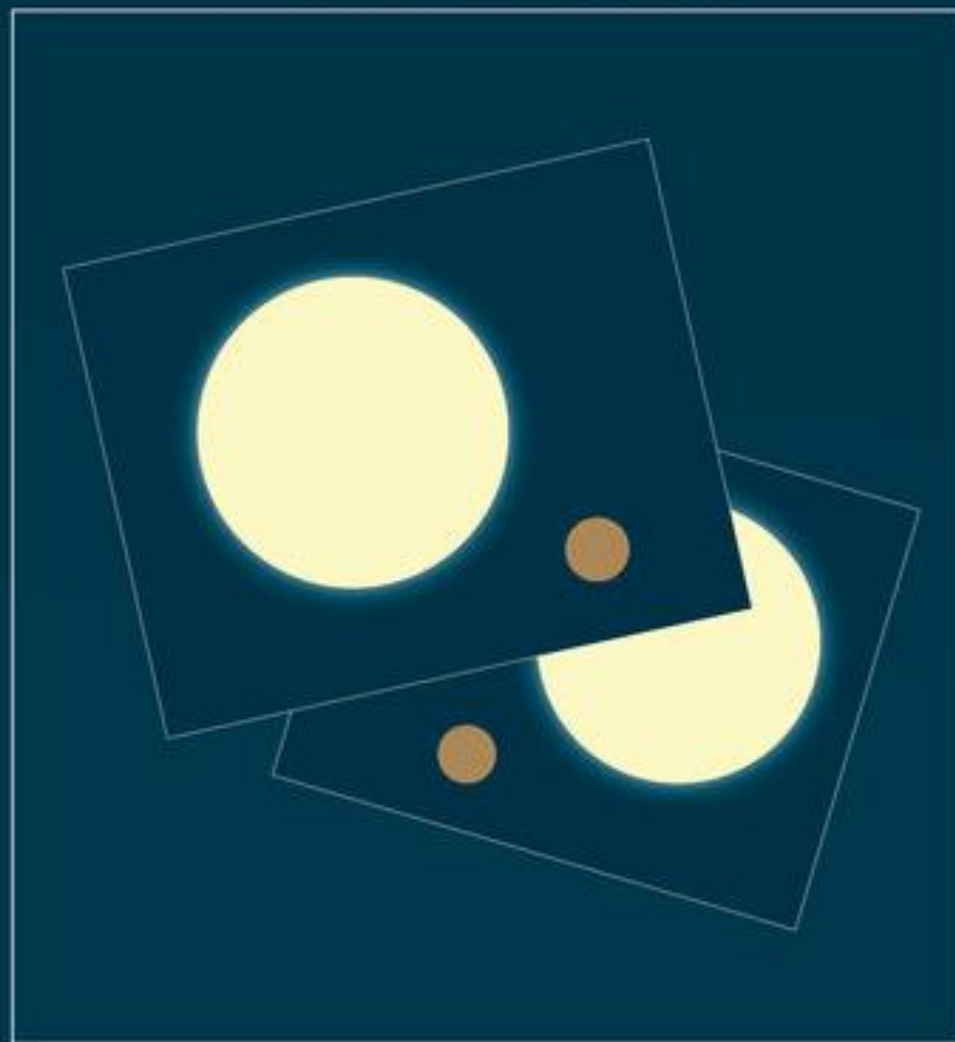


Astrometry



Position in the sky over time

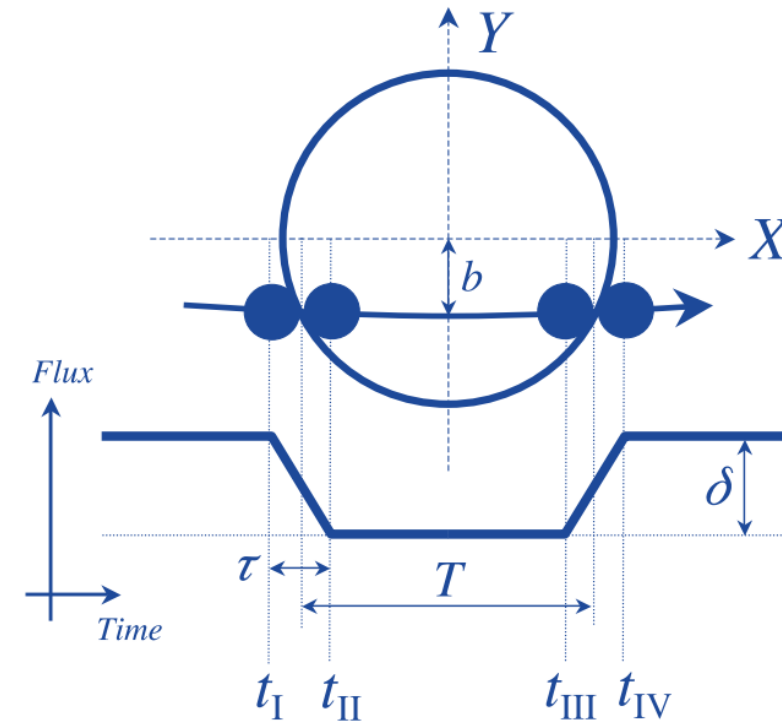
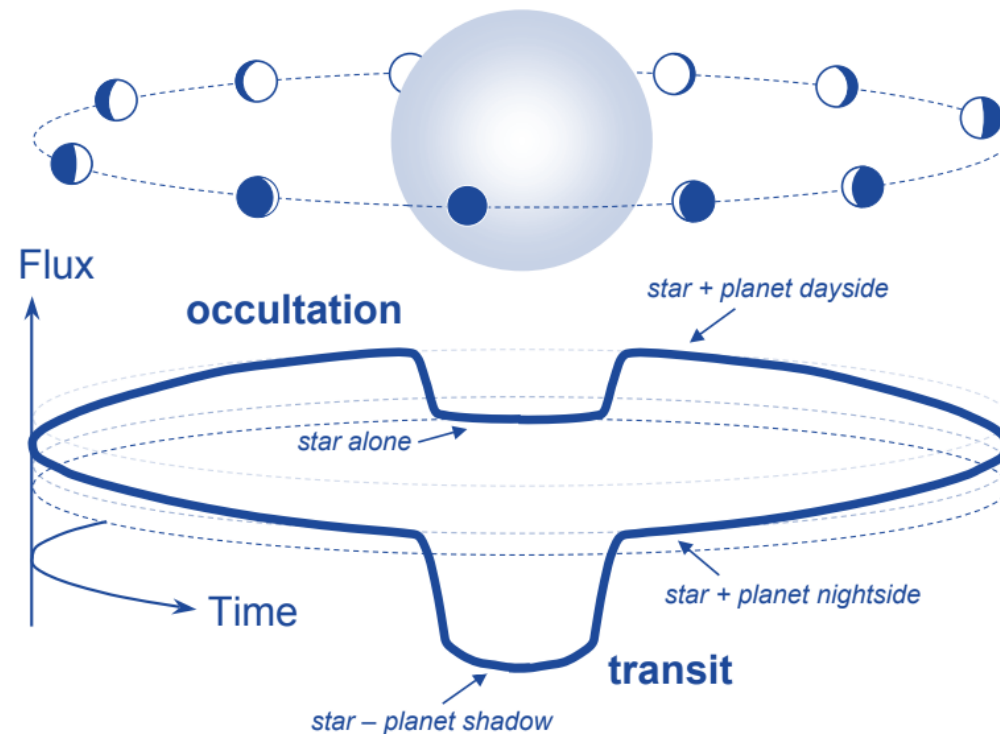
Direct imaging



Exoplanet Detection

凌日法 / 凌星法 Transit method

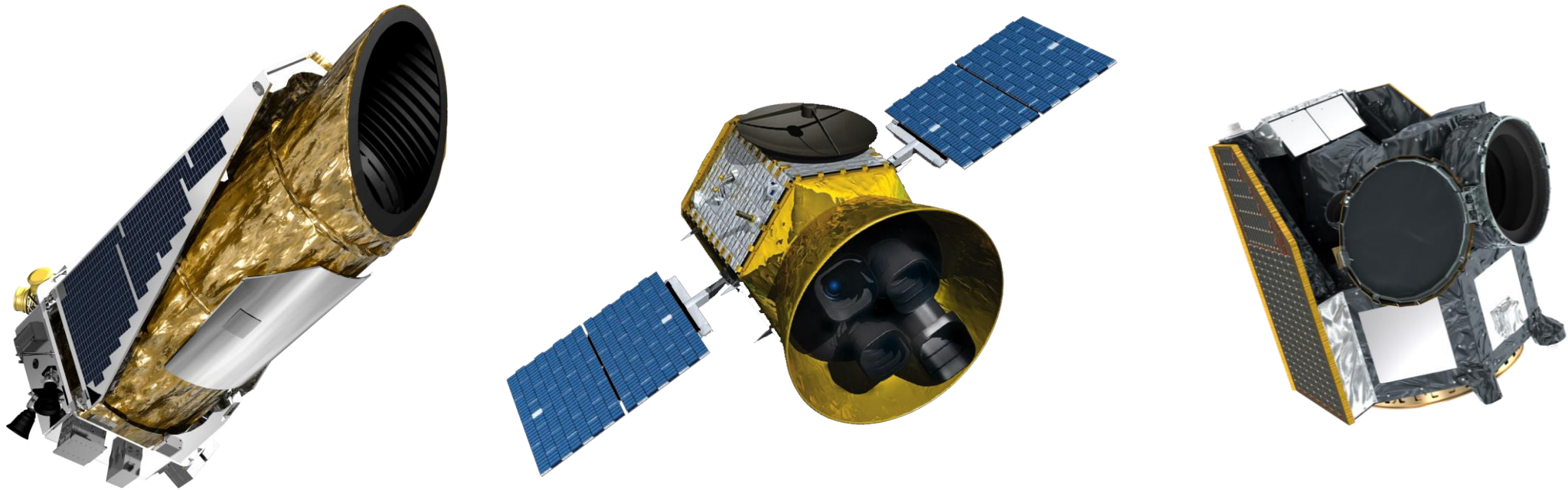
- 目前最有效的系外行星搜尋法。（超過 70% 的已知系外行星都是由此方法發現）
- 地球凌太陽： 10^{-4} 亮度變化 → 遠比直接觀測容易。



Exoplanet Detection

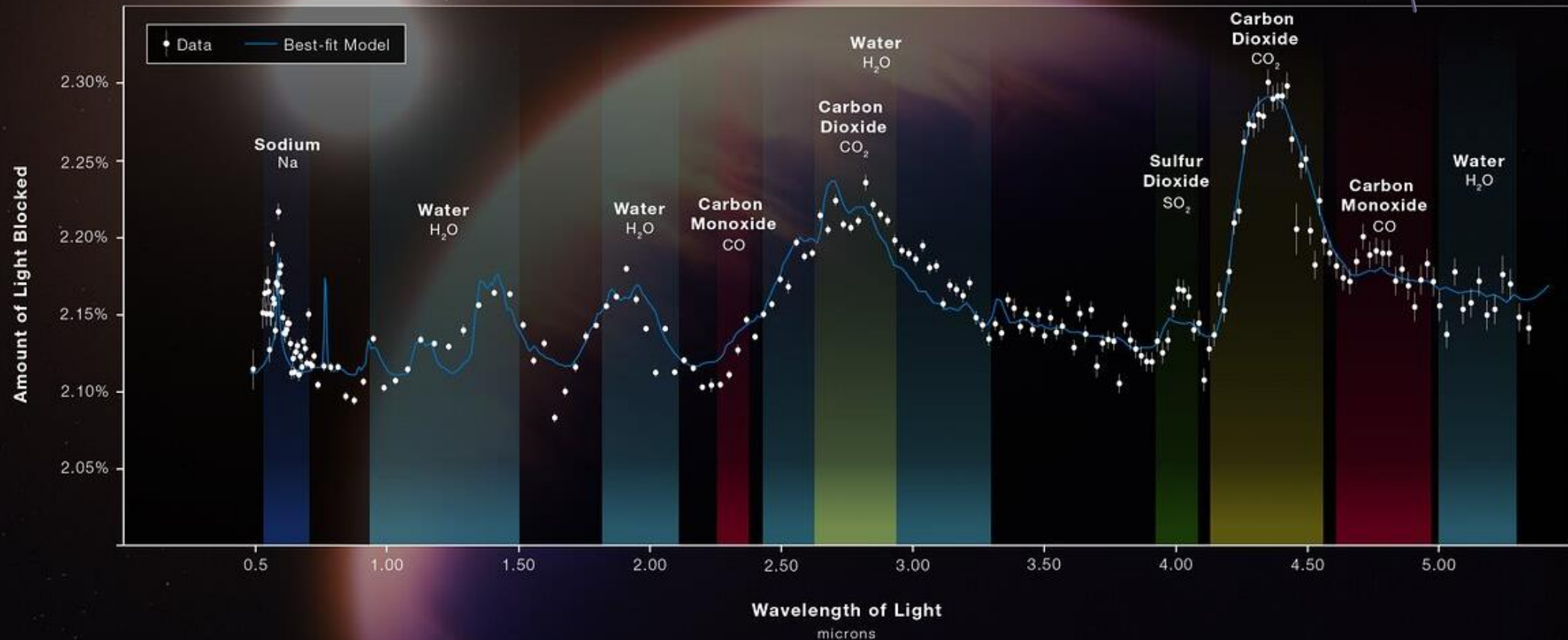
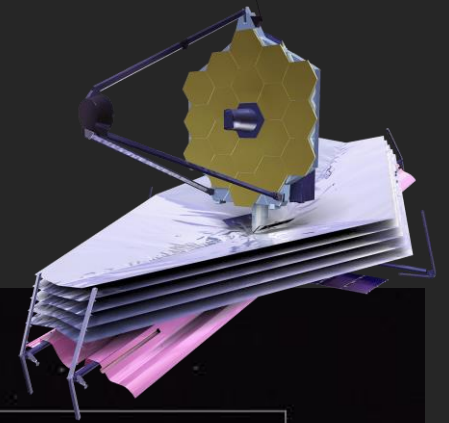
以太空望遠鏡進行凌星觀測

- 在太空沒有日夜、大氣影響，通常比地面更有效率。
- 克卜勒 Kepler：2009 ~ 2018 | TESS：2018 ~ Now | Cheops：2019 ~ Now



Exoplanet Detection

後續的進一步觀測



Exoplanet Types



Gas Giants

The size of Saturn or Jupiter, or much larger. They include "hot Jupiters"- scorching planets in close orbits around their stars.



Neptune-Like

Similar in size to our own Neptune and Uranus, with hydrogen or helium-dominated atmospheres. "Mini-Neptunes," not found in our solar system, are smaller than Neptune but larger than Earth.



Terrestrial

Earth-sized or smaller, mostly made of rock and metal. Some could possess oceans or atmospheres and perhaps other signs of habitability.

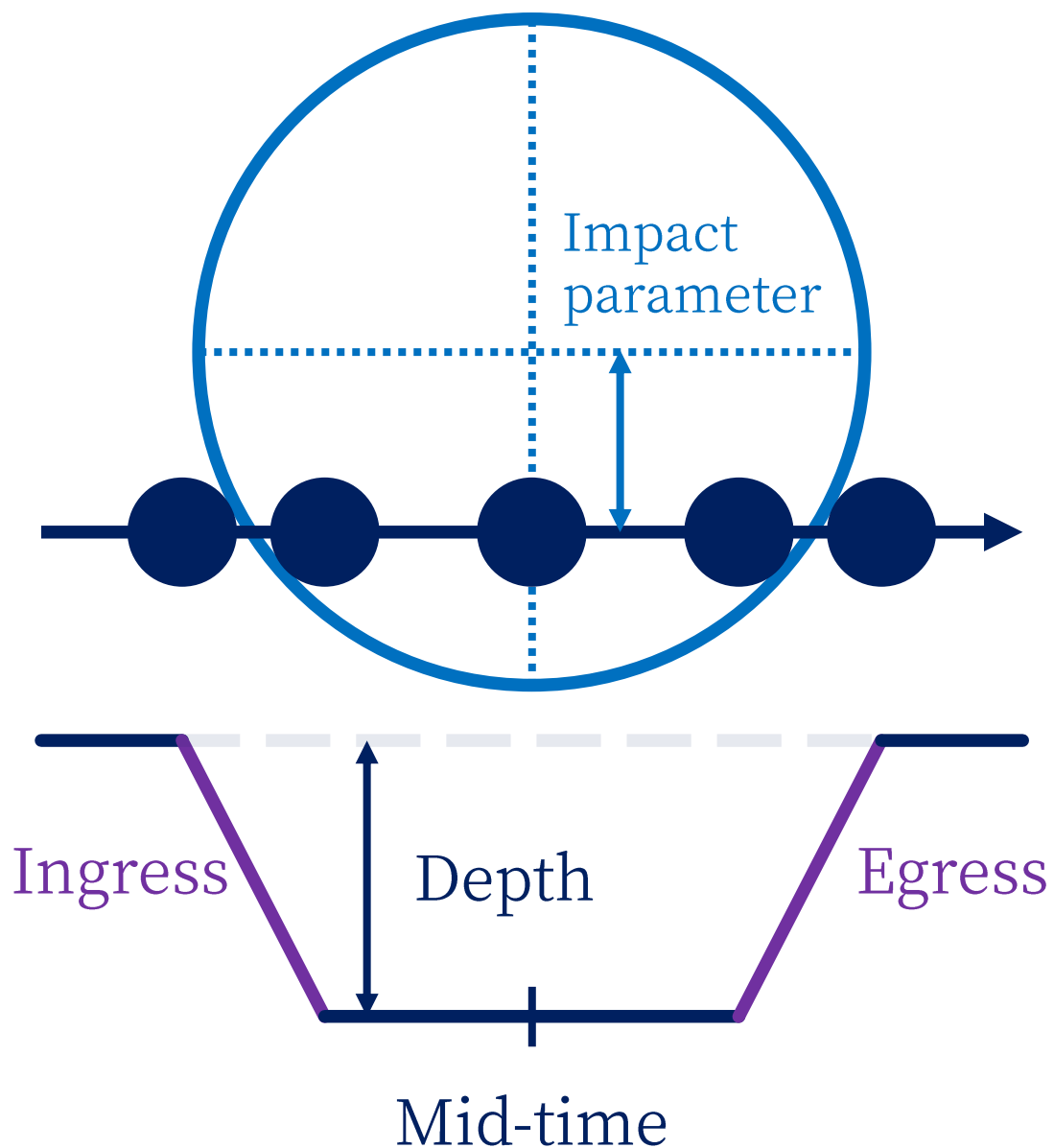


Super-Earth

Typically "terrestrial," or rocky, and more massive than Earth but lighter than Neptune. They might or might not have atmospheres.

Part 1.3

凌星測光 Transit Photometry



Transit Basics

凌星的幾個重要參數

➤ Transit Depth

由行星跟恆星的面積比決定

➤ Transit Duration

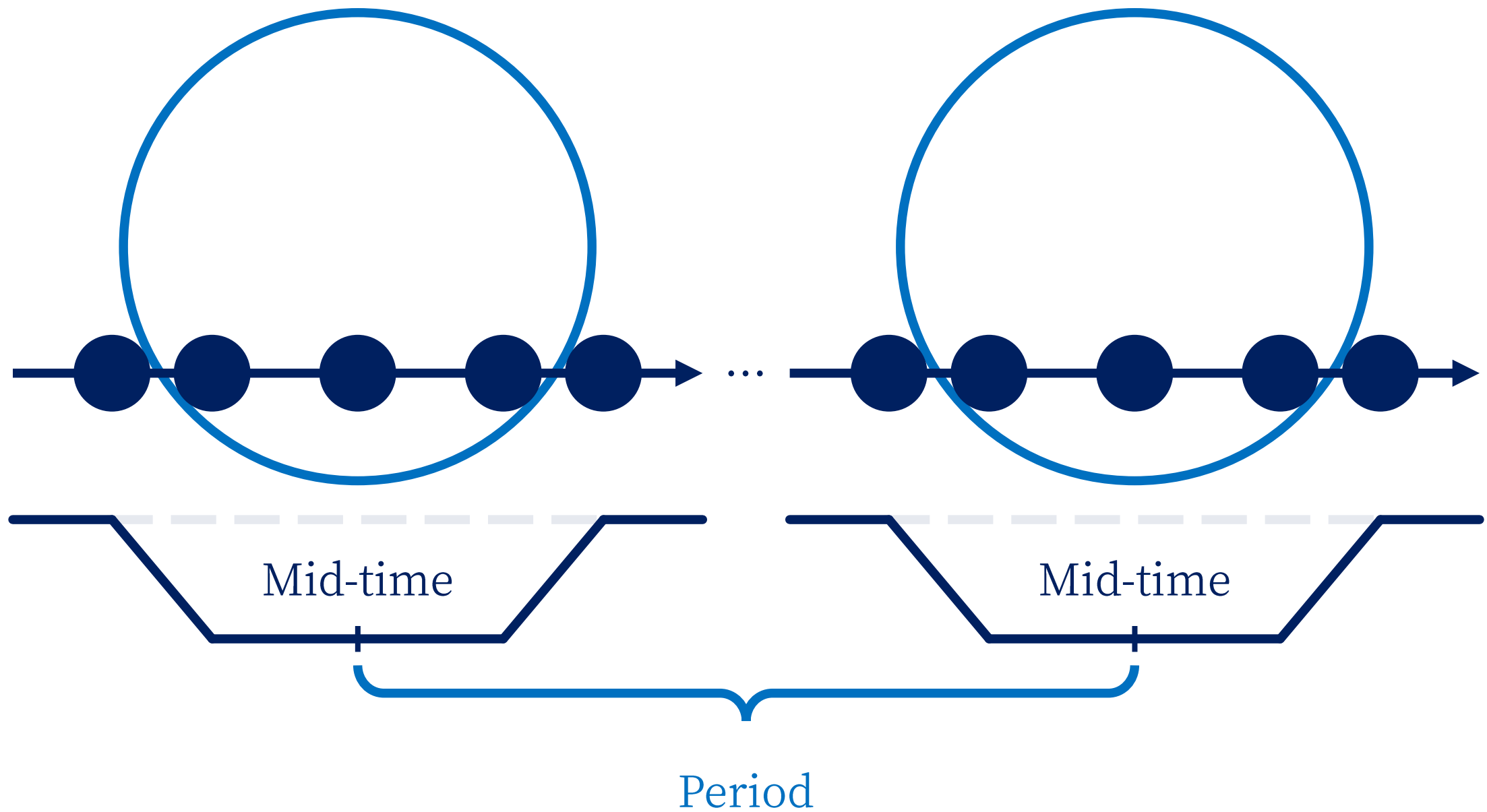
從 ingress 開始到 egress 結束。

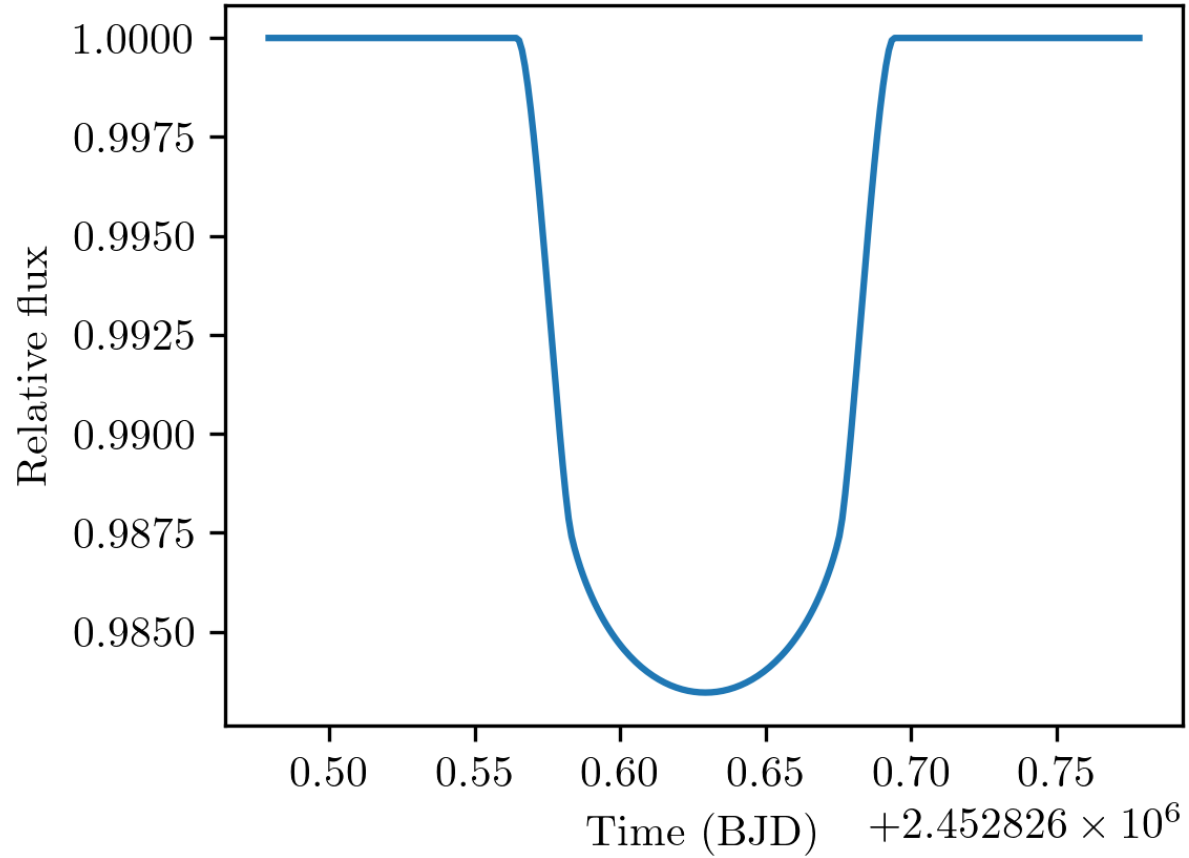
➤ Mid-time

凌星過程中的中心點。

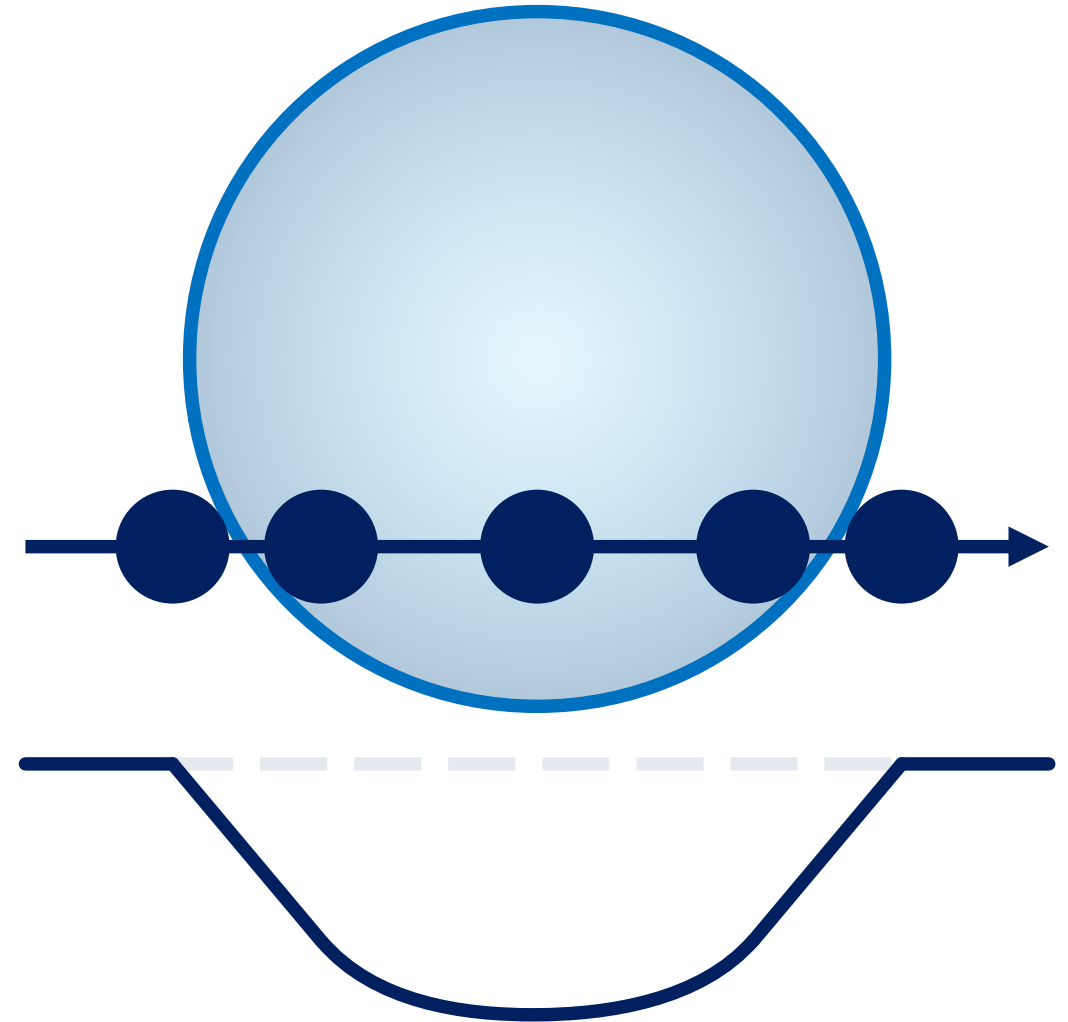
➤ Inclination

軌道傾角影響 impact parameter

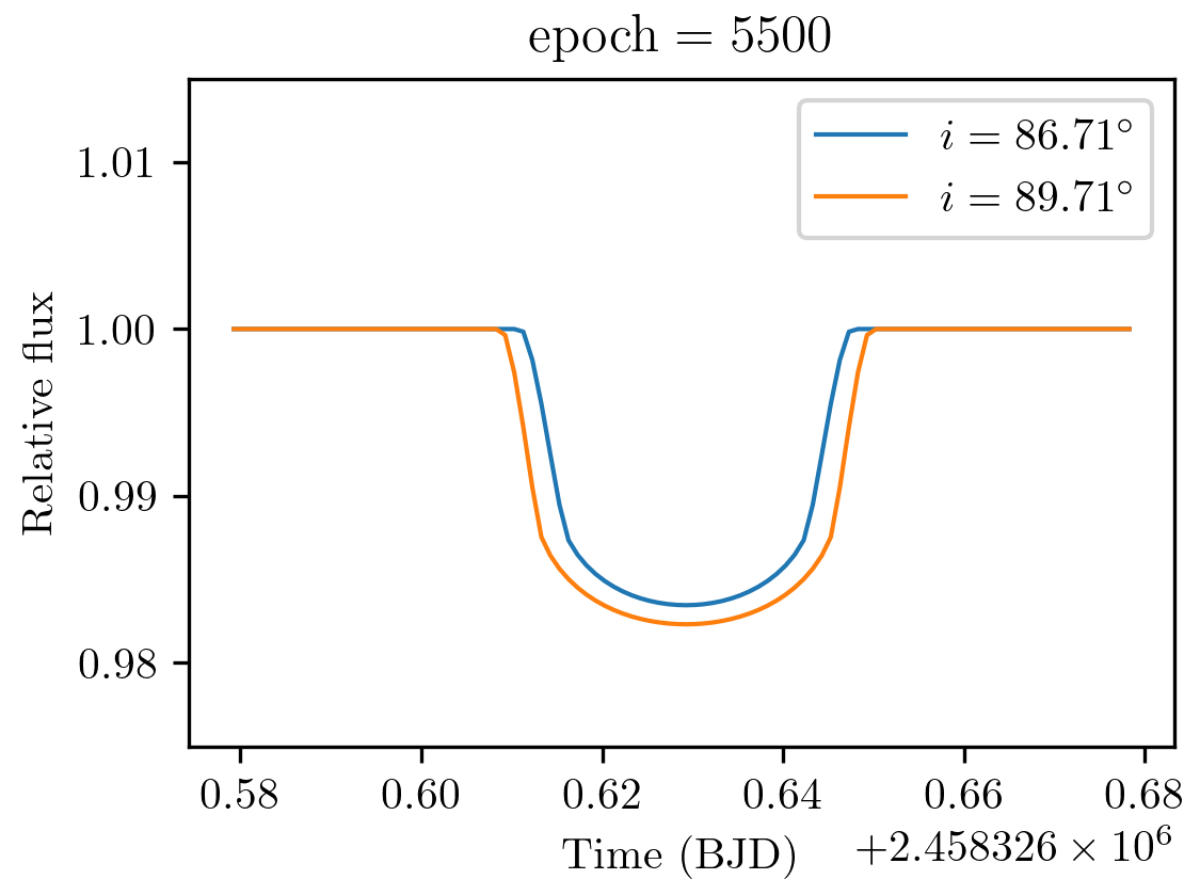
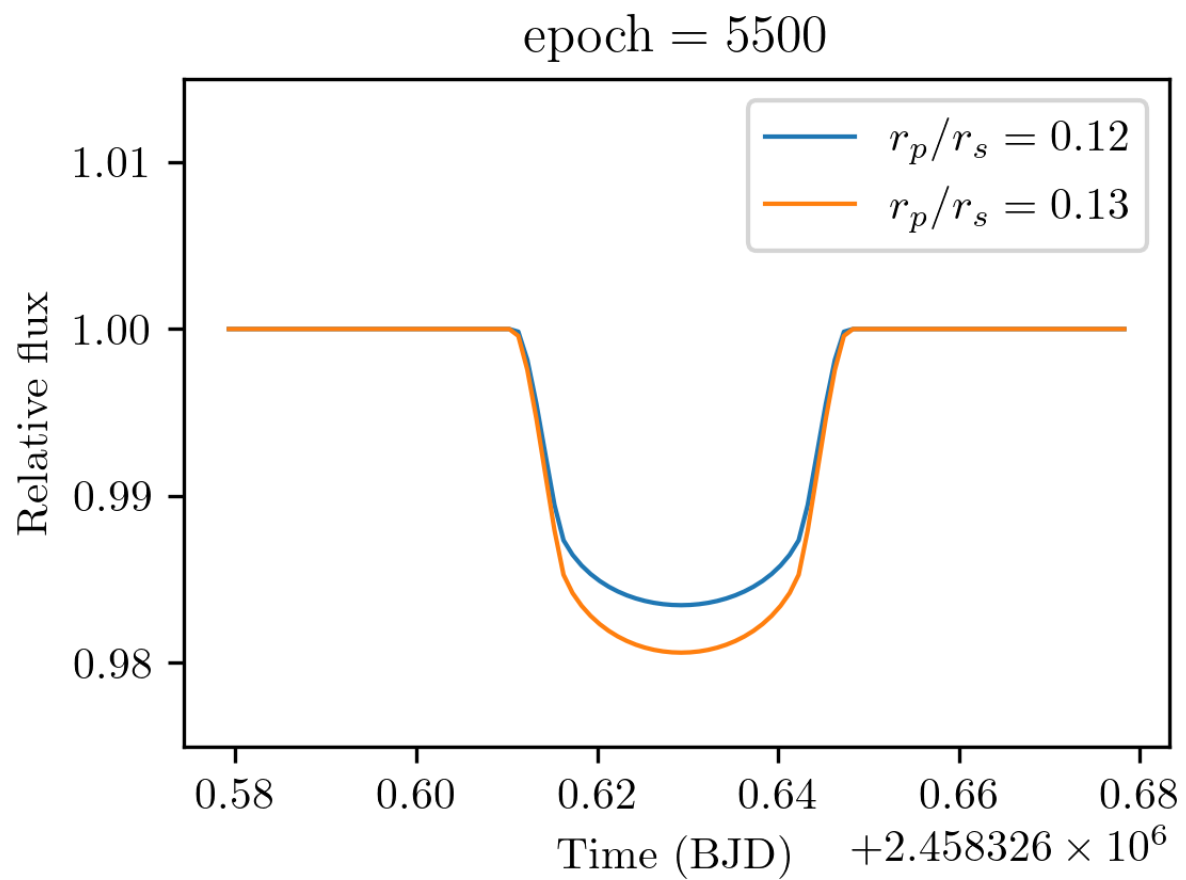


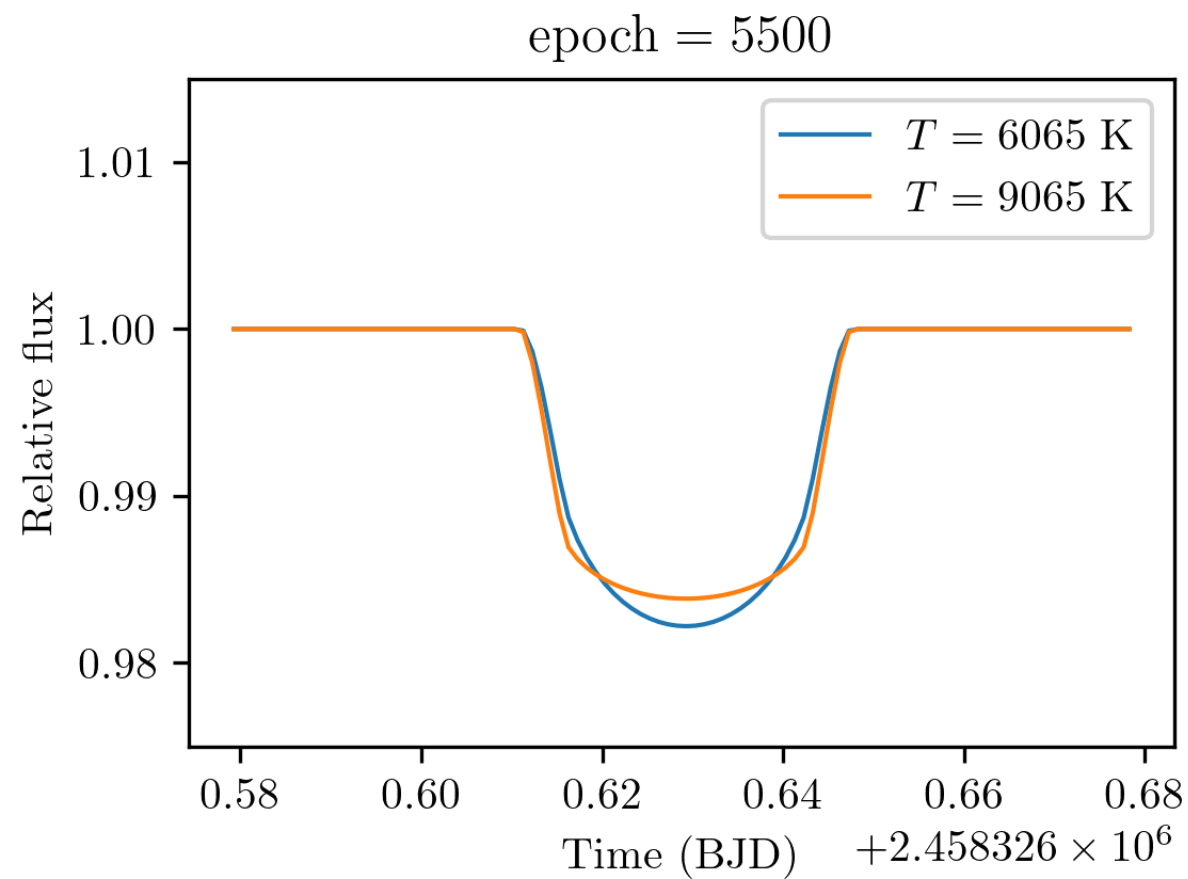
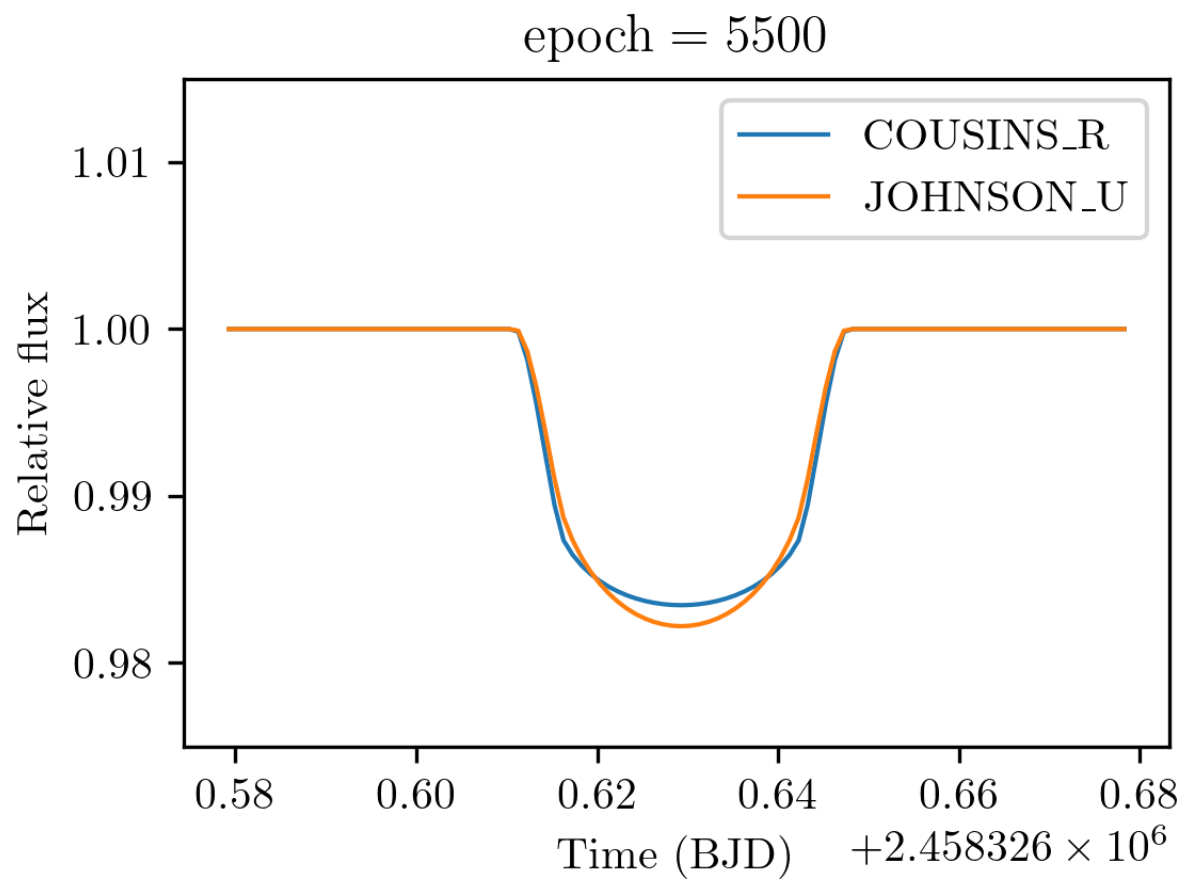


為什麼真實的凌星光變曲線
底部往往不是平的？



周邊減光 Limb Darkening





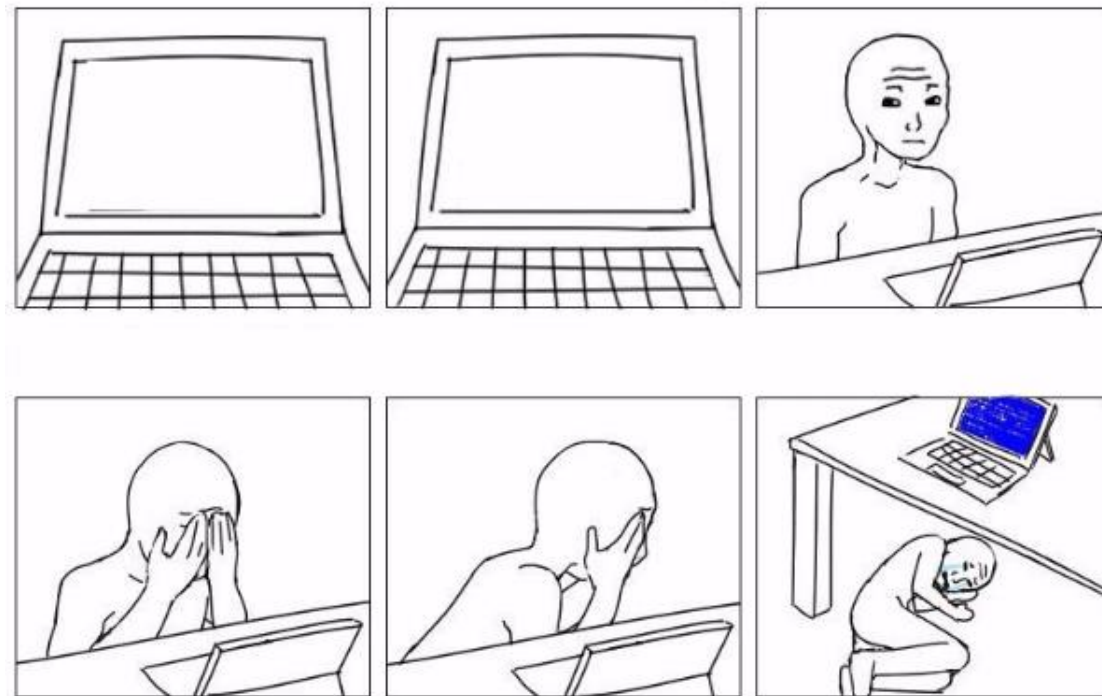
Part 2

ExoClock 計畫：維護精準星曆的重要性

Importance of accurate ephemerides

天文學家的悲慘故事

- 你是個研究系外行星的天文學家。
- 你花了好幾個月的時間廢寢忘食的寫 JWST 觀測計畫，要做四個小時的觀測。
- 經過了激烈的競爭，你的計畫奇蹟般的通過了。重大發現彷彿近在眼前！
- 等了好幾個月，你終於收到了觀測資料。
- 一分析發現.....哭啊，
目標在你觀測的時間根本沒有凌星。



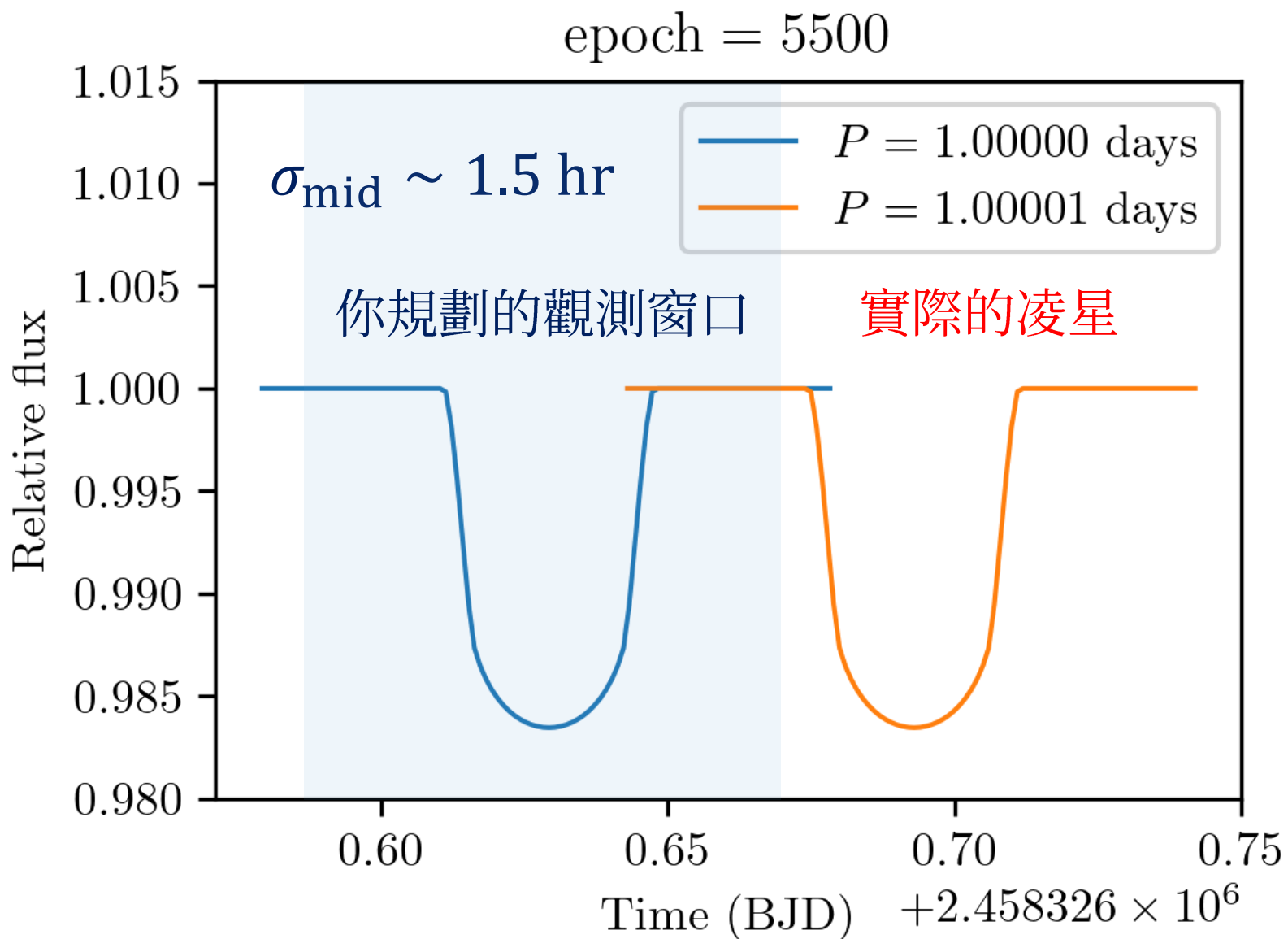
Importance of accurate ephemerides

為什麼會發生這種事？

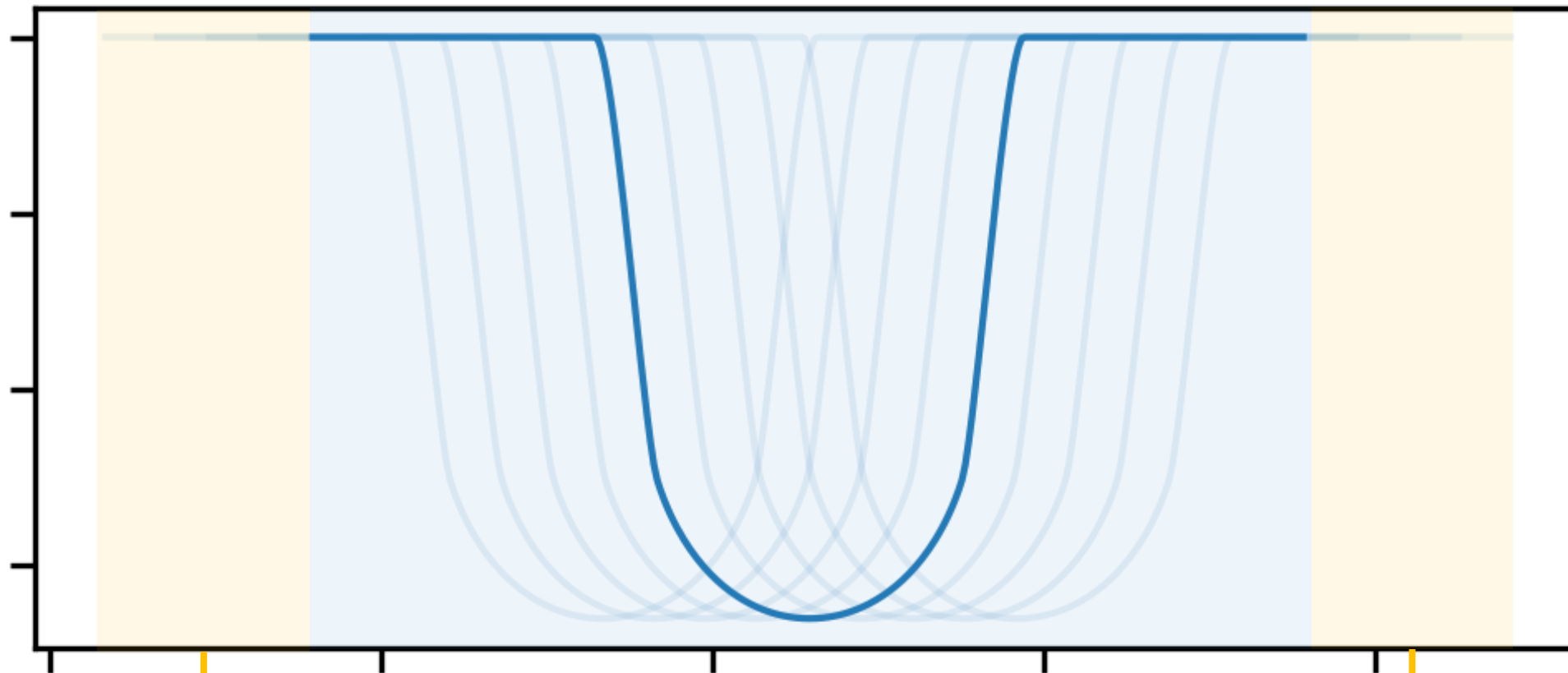
假設你的目標是 2010 年發現，凌星時間 1/1 00:00，並且週期測量精準到一秒鐘。



現在你預計 2025/01/01 再度觀測，請問此時凌星時間的不確定性是多少？



本來只要觀測這裡



現在為確保不會錯過凌星，得花更多時間

Importance of accurate ephemerides

精準星曆的重要性

- 有精準的星曆很重要：要嘛承擔錯過凌星的風險，要嘛花費額外時間。
- 即使初始的週期測量非常精準，隨時間過去誤差仍會累積。

$$T_{\text{mid}}(N) = T_{\text{mid},0} + N \times P$$

$$\sigma_{\text{mid},N} = \sqrt{\sigma_{\text{mid},0} + N \times \sigma_P}$$

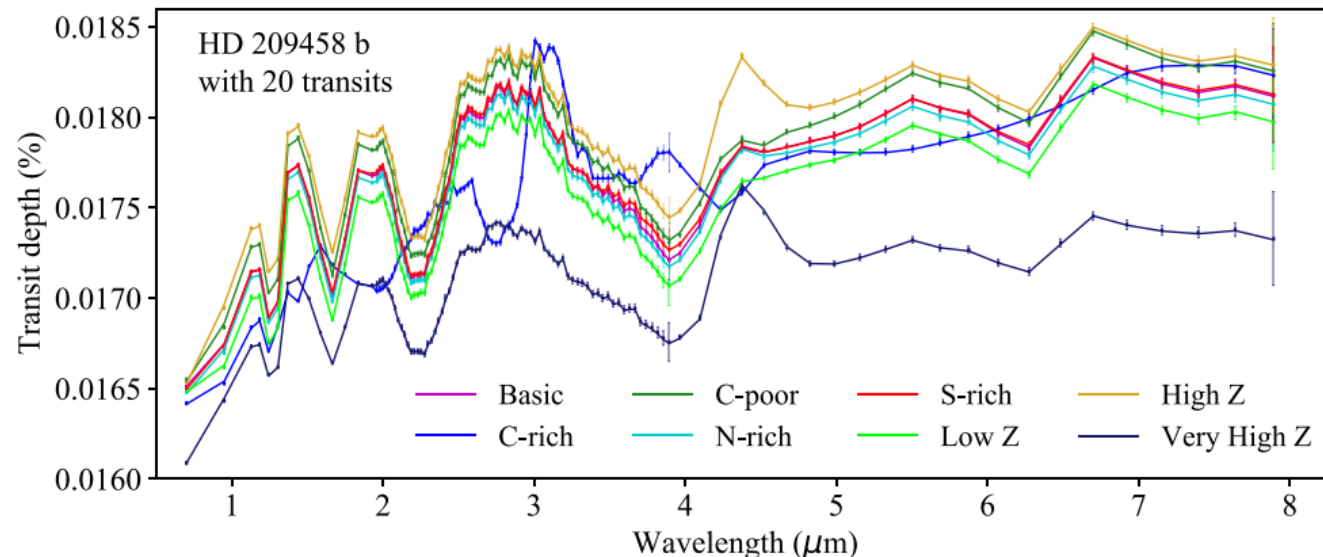
- 星曆不準，對於規劃望遠鏡的觀測窗口影響巨大。
- 如何取得/維護更精準的星曆？需要更多觀測資料填補空缺。

這件事一直有人在做（e.g. ETD, Exoplanet Watch），但現在需求更緊迫。

Importance of accurate ephemerides

Ariel 太空望遠鏡任務

- ESA 的下一代太空望遠鏡，預計 2029 年升空前往日地 L2。
- 以穿透光譜學 (transmission spectroscopy) 在四年間觀測約 1000 顆系外行星大氣層。



- 問題：規劃觀測時程時需要精準的星曆，校正星曆需要大量的觀測。

The ExoClock Project

ExoClock 計畫

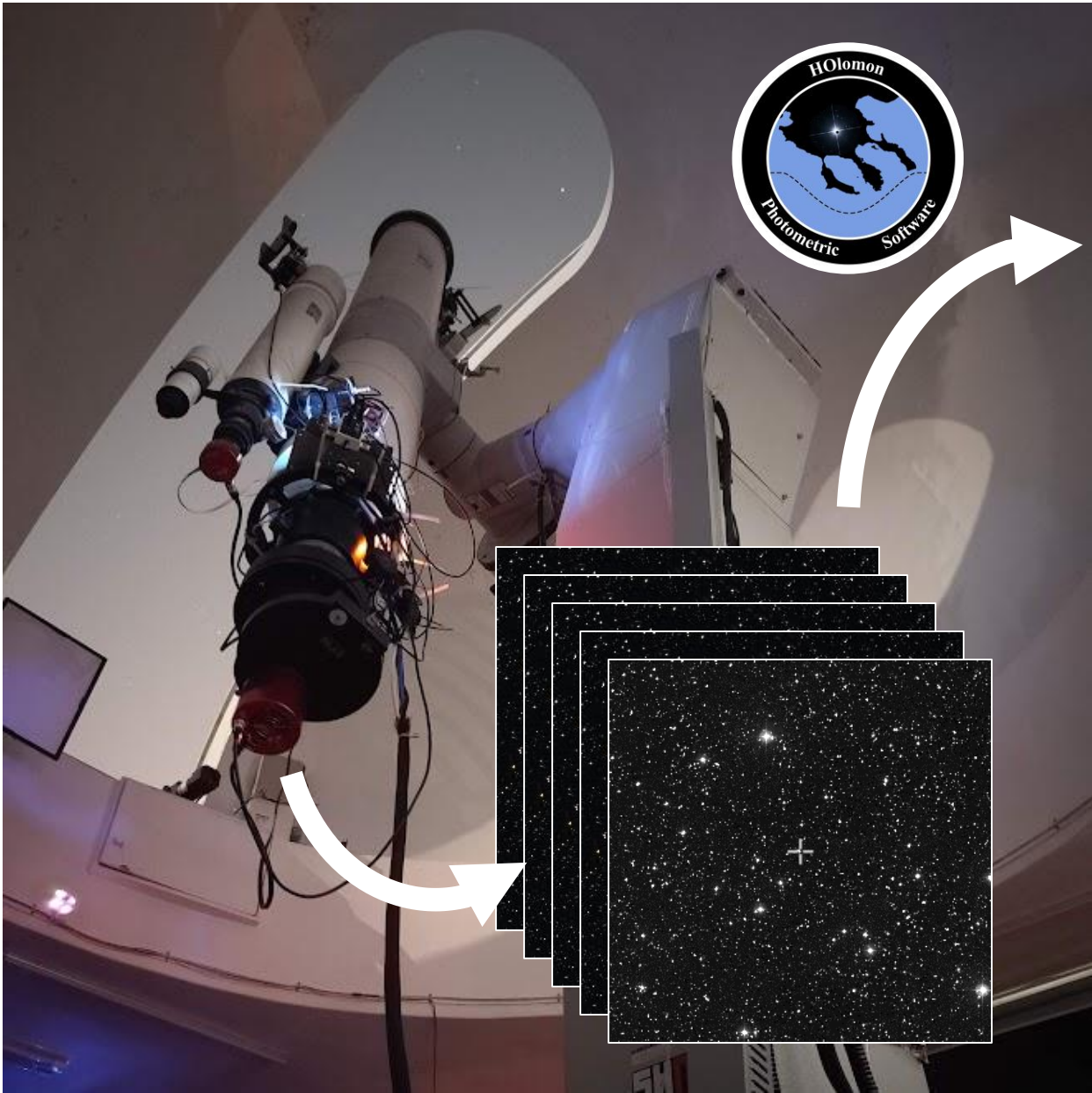


- ESA 旗下的開放科學（Open Science）計畫。
- 聯合全世界的業餘與專業天文台，維護系外行星的星曆。
確保能有效安排 Ariel 的觀測時程，也幫助其他天文學家。
- 每 1~2 年會將資料整理出版（Data Release），發表在學術期刊（e.g. ApJS）。
- 適合各位參加的理由：
 - 學習/參與 天文資料 取得/分析 的完整流程。
這是 OCW 或多數公民科學計畫都無法做到的事。
 - 你的名字會出現在論文作者列表中：人在家中坐，Paper 天上來。

Workflow

流程概述

- 前往 ExoClock 網站註冊帳號並輸入儀器資訊。
- While 有空，天有開：
 - 點開 Schedule 查看今晚（或其他時間）有什麼目標可以拍。
 - 根據目標性質備好儀器和拍攝參數，然後開拍。
 - 使用 ExoClock 提供的 HOPS 程式分析資料。
 - 將分析好的資料上傳給 ExoClock。
 - 審查通過後，你的觀測資料將被收錄進 ExoClock 的資料庫中。
- 爽賺一篇 paper，跟朋友炫耀你也會觀測系外行星。

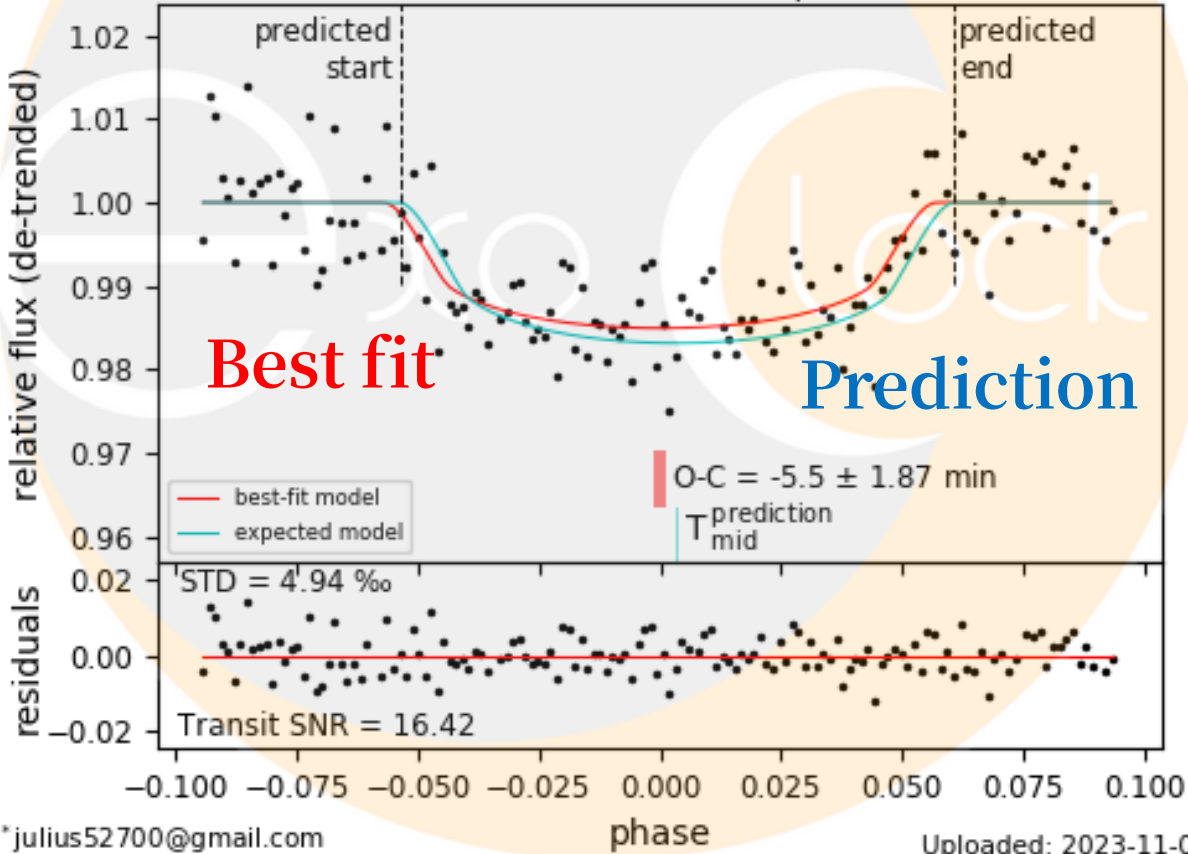


WASP – 12b

2023-11-05

Yen-Hsing Lin* (Institute of Astronomy, National Tsing Hua University), Shih-Ping Lai (Institute of Astronomy, National Tsing Hua University) on behalf of Taiwan astronomical Observation collaboration Platform (TOP)

NTHU Observatory / Telescope: Showa 10 cm (5.0")
Camera: ASI183MC / Filter: Lum / Exp.: 120.0 s



*julius52700@gmail.com

Uploaded: 2023-11-06

Part 2.1

系外行星觀測方法

Target selection tricks

目標選擇的小技巧

- 核心原則：目標不要過曝，連續從頭拍到尾。
- 新手上路，先選簡單的（口徑需求低）累積成功經驗。
- 口徑需求接近時，先挑優先度高的 → 貢獻大。
- 先選暗的目標：
 - 容易找參考星 → 越亮的恆星越稀少。
 - 曝光時間可以適度拉長（ $< 300\text{ s}$ ），降低資料量和分析負擔。
- 選凌星時間短的目標：降低被天氣或其他因素影響的機率。
- 仰角高、光害少等其他有利觀測因素。

Part 2.2

光變曲線分析：HOPS

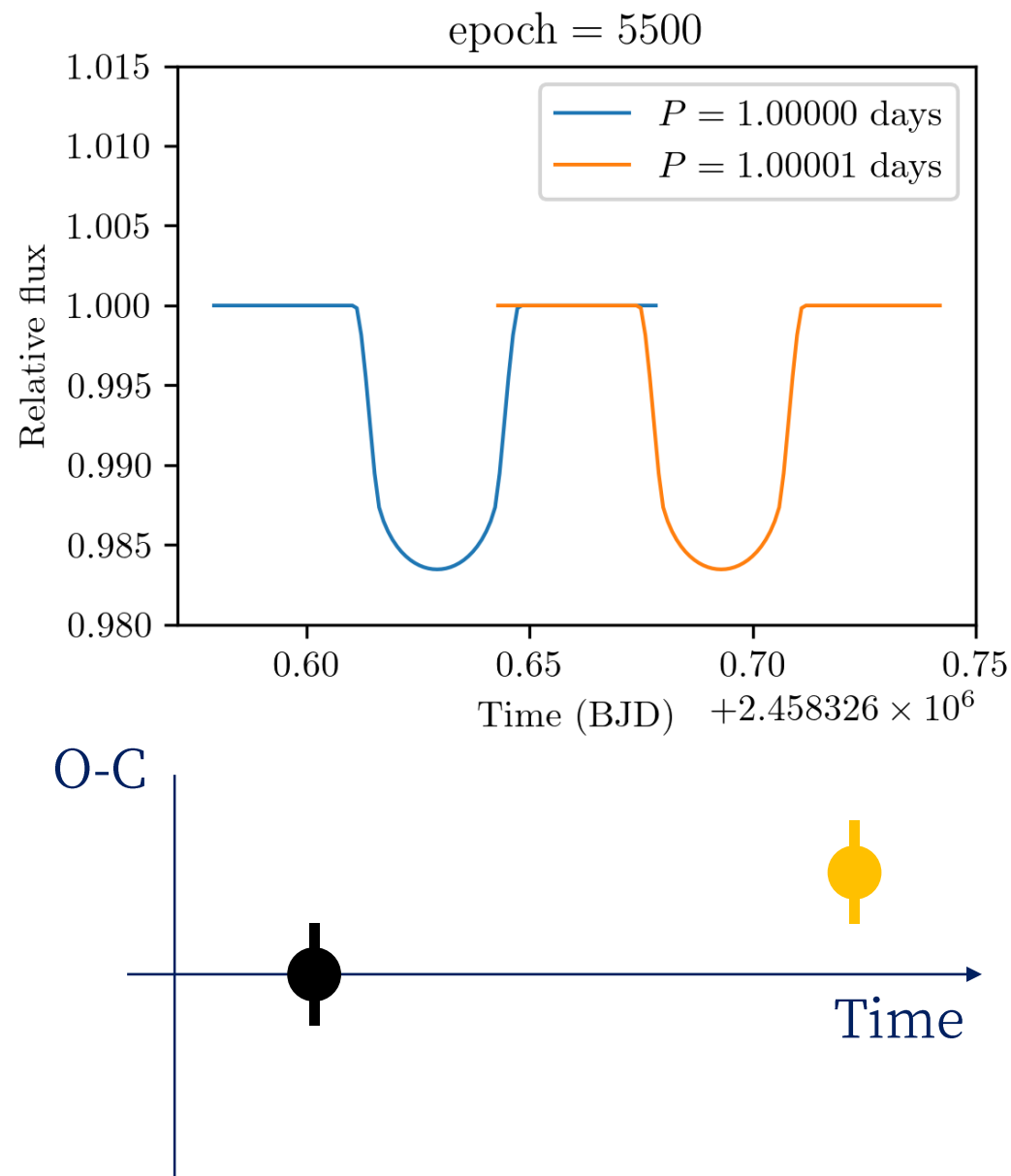
Part 2.3

觀測結果的意義

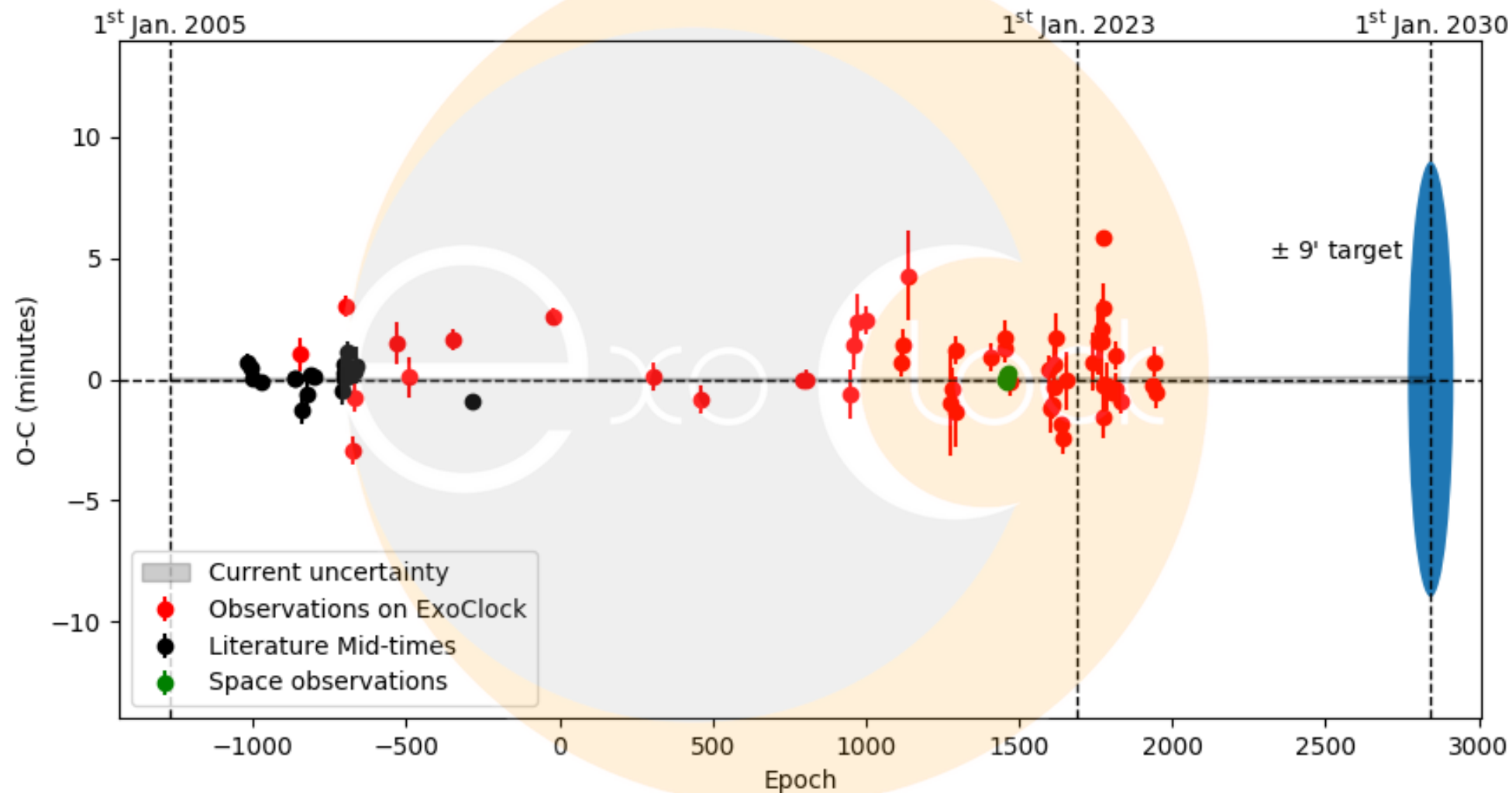
O-C diagram

觀測—計算圖

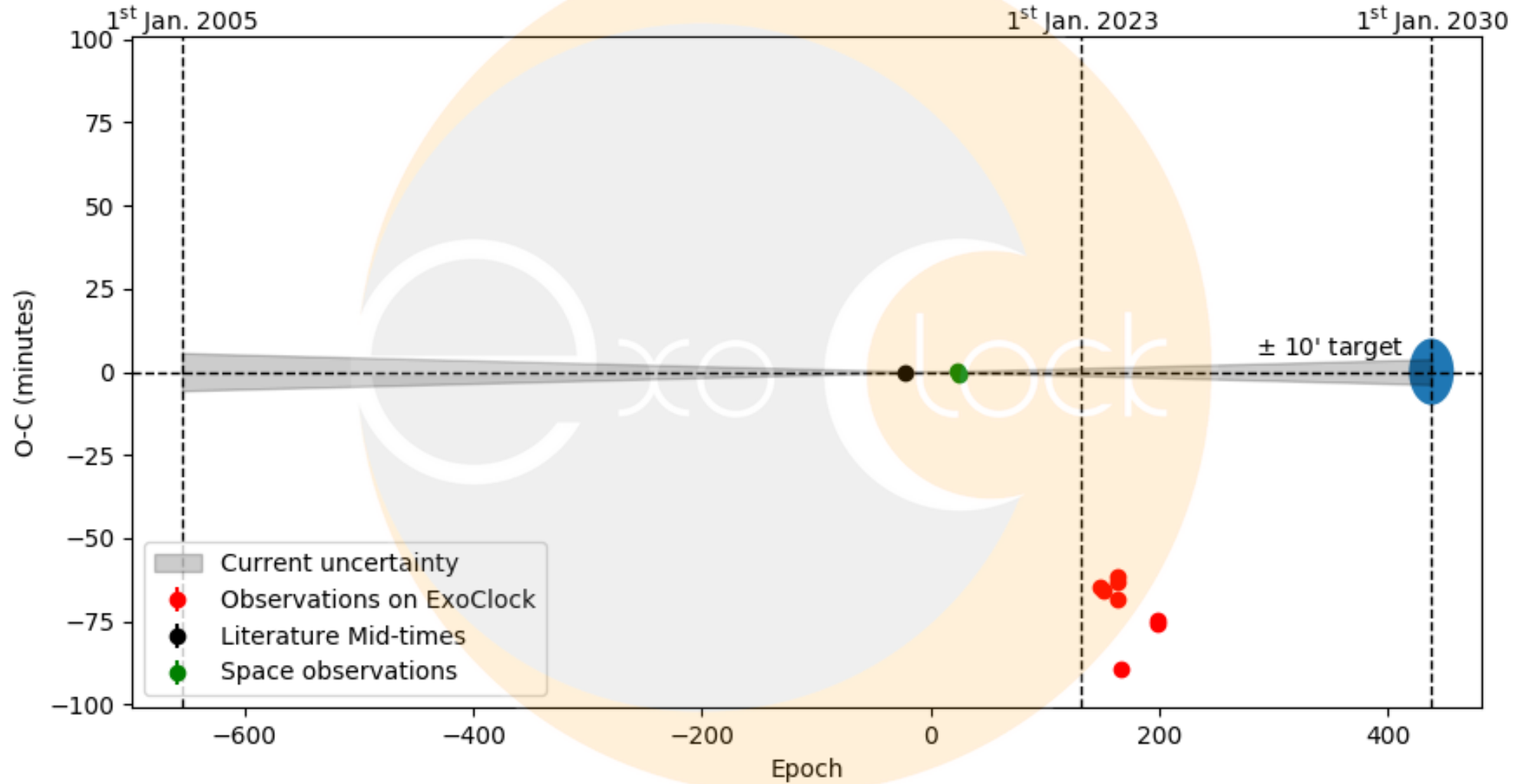
- 如何判斷現有的星曆是否準確？
將現有星曆計算（calculated）出的 mid-time 跟觀測（observed）結果比較。
- $O-C > 0 \rightarrow$ 觀測比預期晚；
 $O-C < 0 \rightarrow$ 觀測比預期早。
- 從 O-C diagram 可以很直觀的看出現有星曆是否存在偏差，也可以看到 TTV —— 比如週期性的震盪或是軌道衰減。



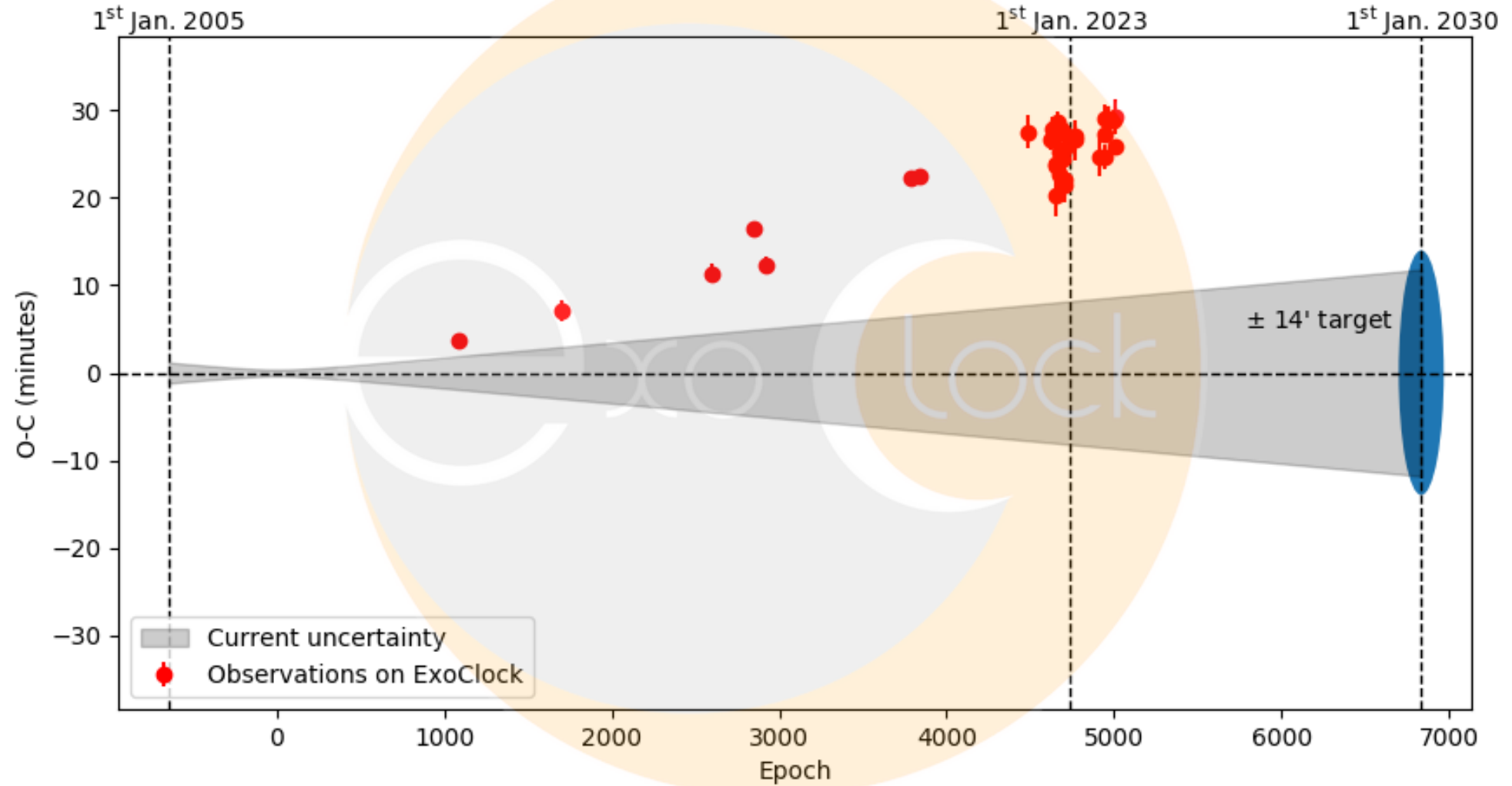
HD189733b (LOW)



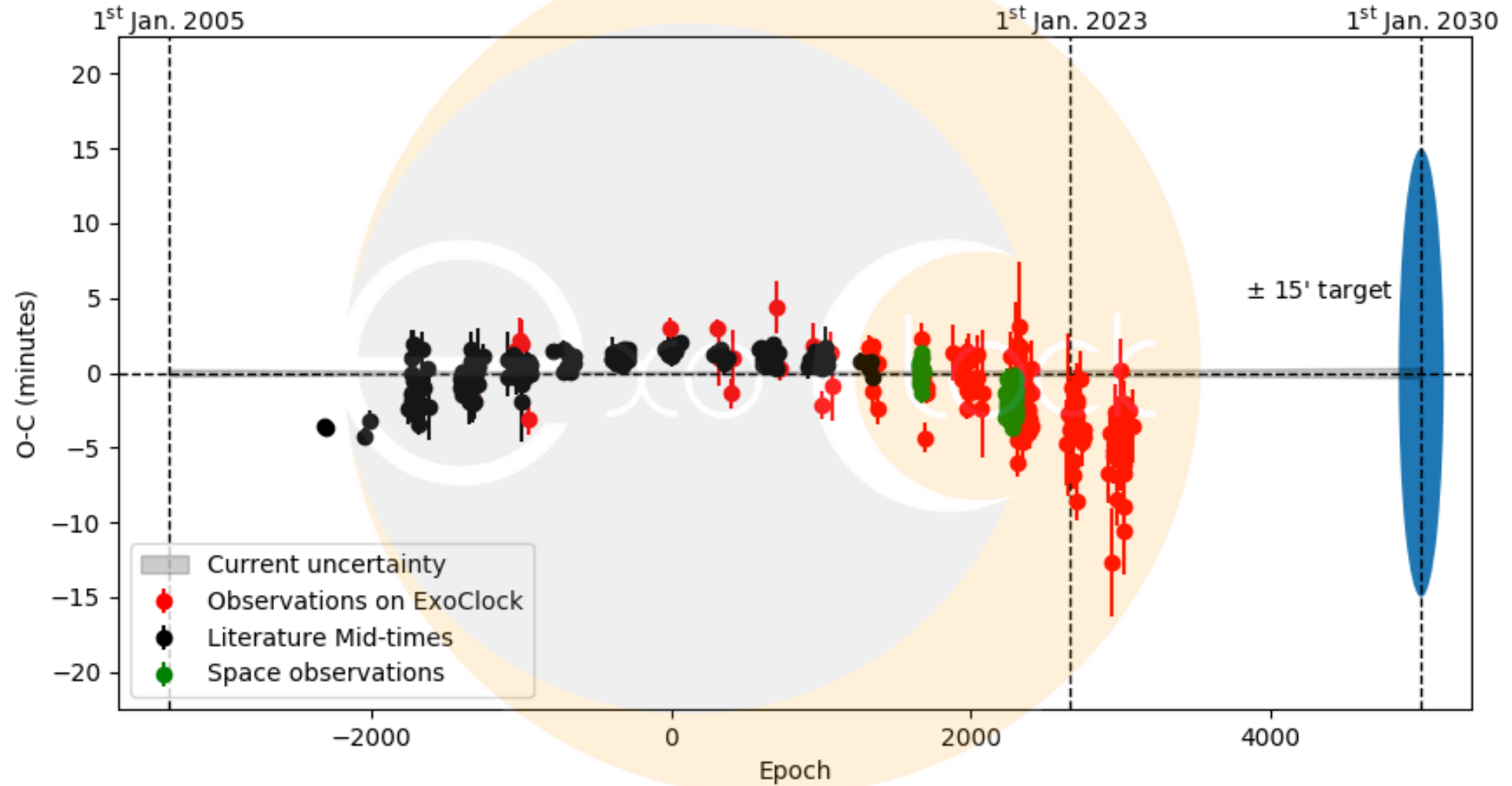
TOI-1130c (ALERT)



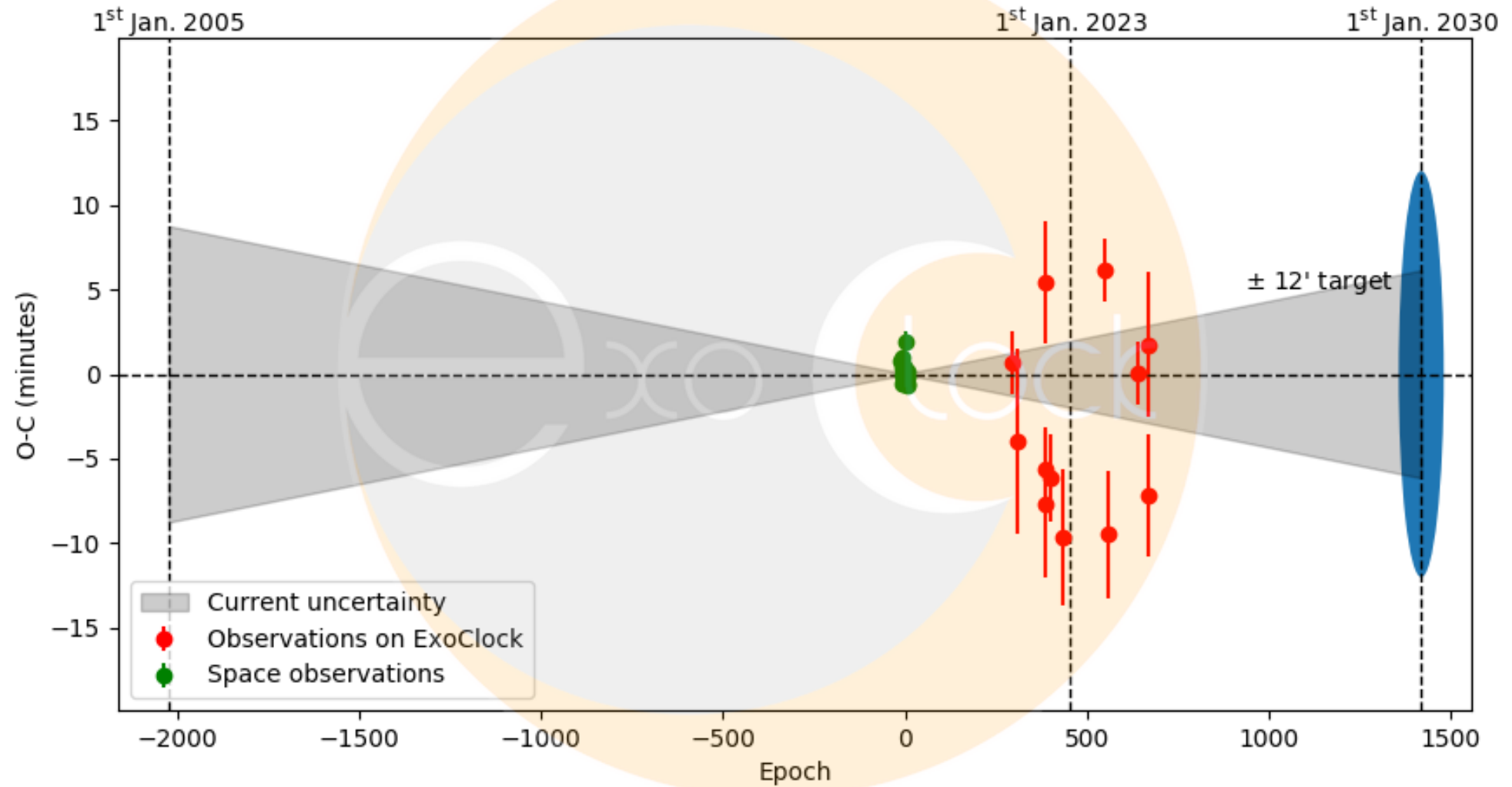
WASP-33b (LOW)



Transit Timing Variation (TTV): WASP-12b



TOI-1431b (LOW)







THE ASTROPHYSICAL JOURNAL

SUPPLEMENT SERIES

OPEN ACCESS

ExoClock Project. III. 450 New Exoplanet Ephemerides from Ground and Space Observations

A. Kokori¹, A. Tsiaras^{1,2} , B. Edwards^{1,3} , A. Jones^{4,5}, G. Pantelidou⁶, G. Tinetti¹ , L. Bewersdorff⁴, A. Iliadou⁶, Y. Jongen^{4,7}, G. Lekkas⁸  [Show full author list](#)

Published 2023 February 14 • © 2023. The Author(s). Published by the American Astronomical Society.

[The Astrophysical Journal Supplement Series, Volume 265, Number 1](#)

Citation A. Kokori *et al* 2023 *ApJS* **265** 4

DOI 10.3847/1538-4365/ac9da4



Article PDF



Article ePub

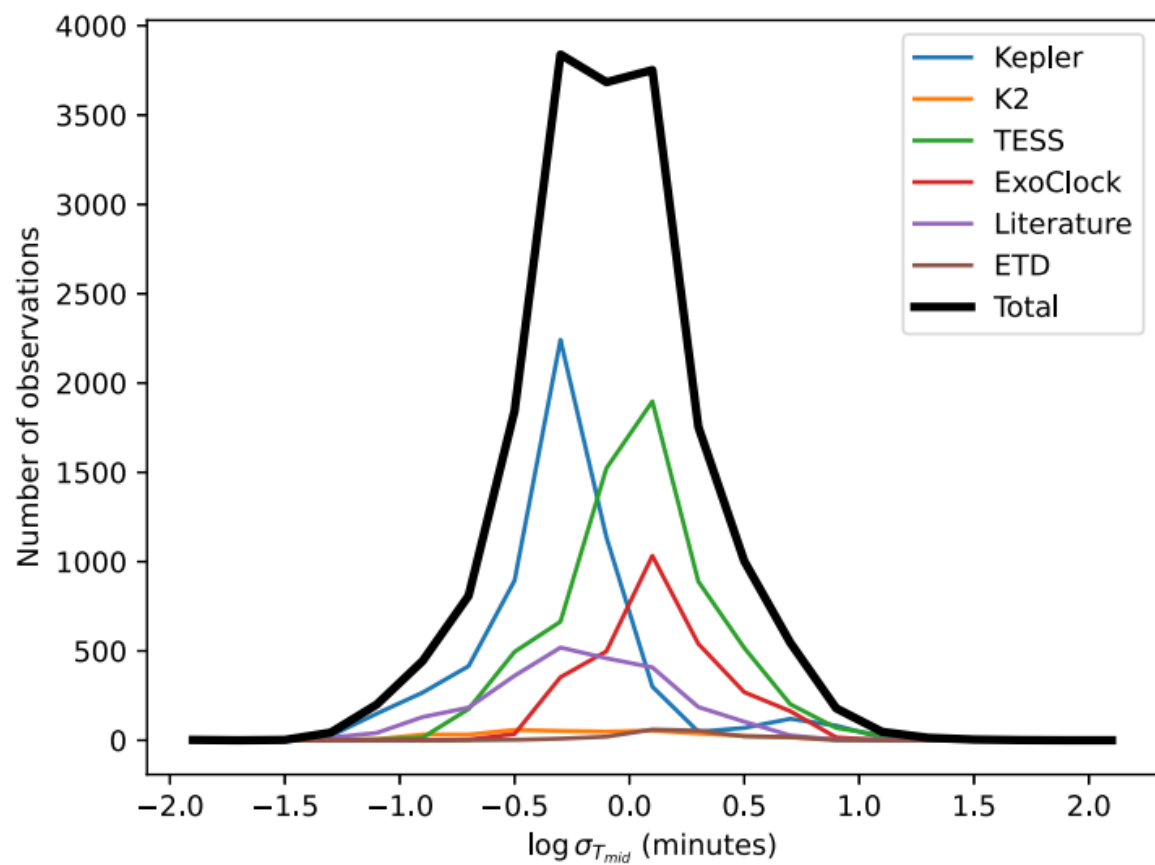


Figure 1. The distribution of the transit midtime uncertainties among the different sources.

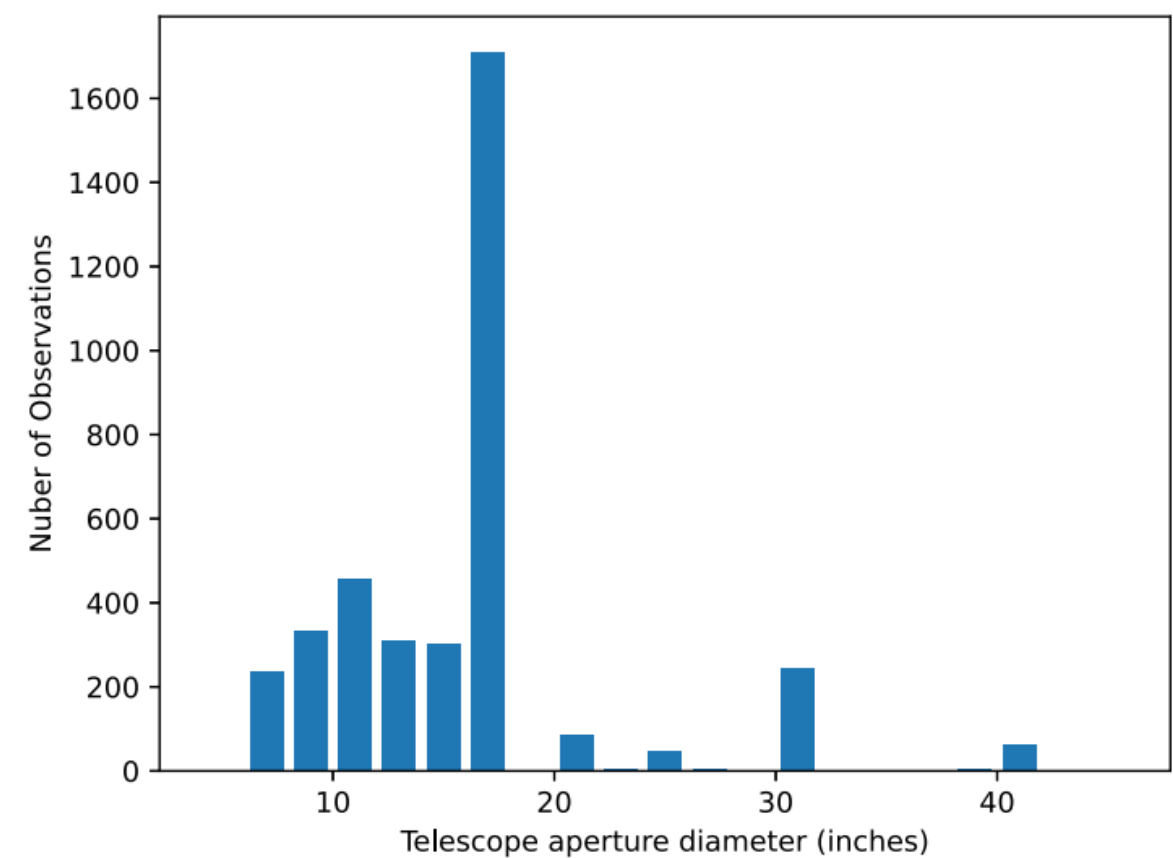
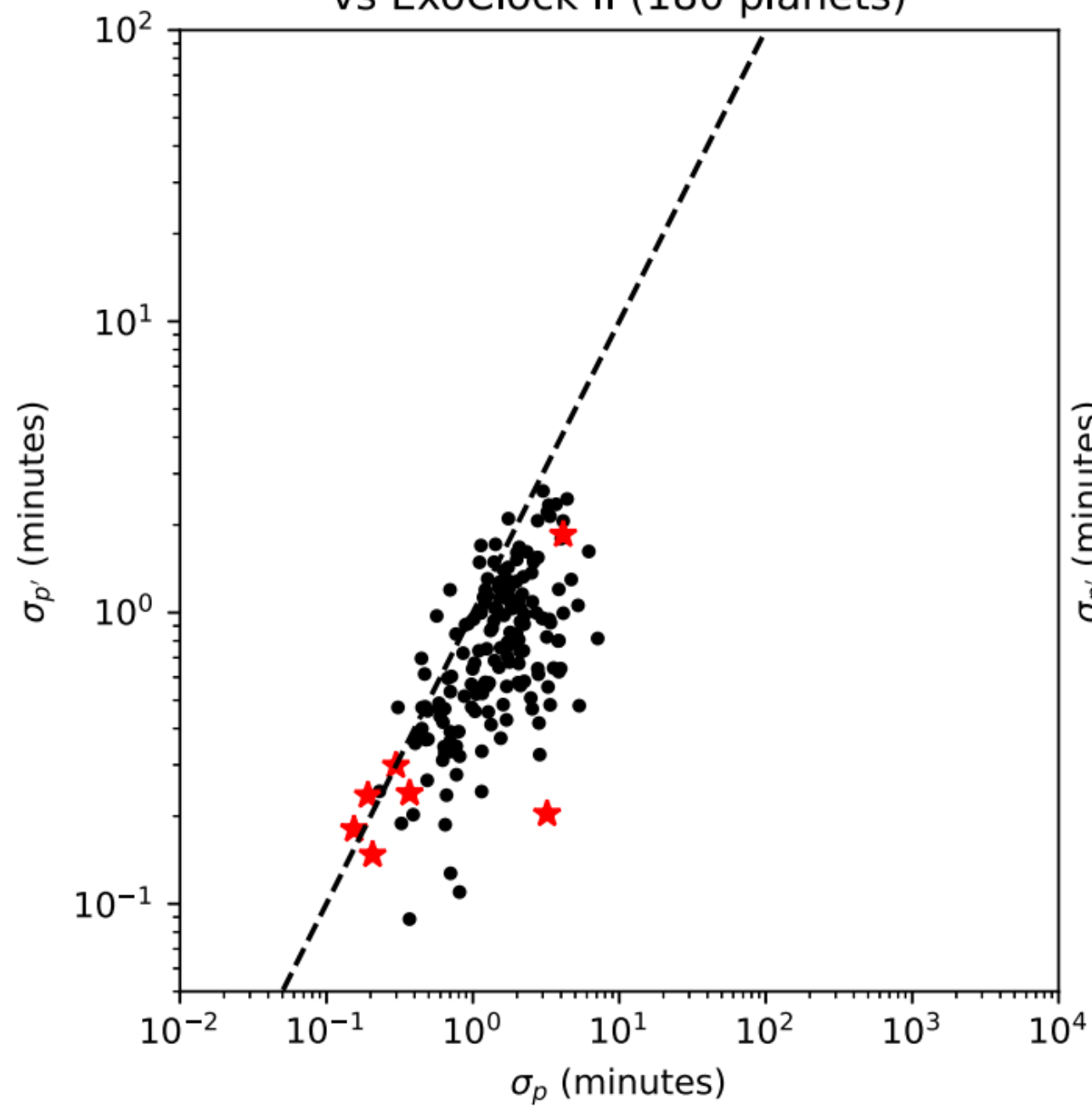
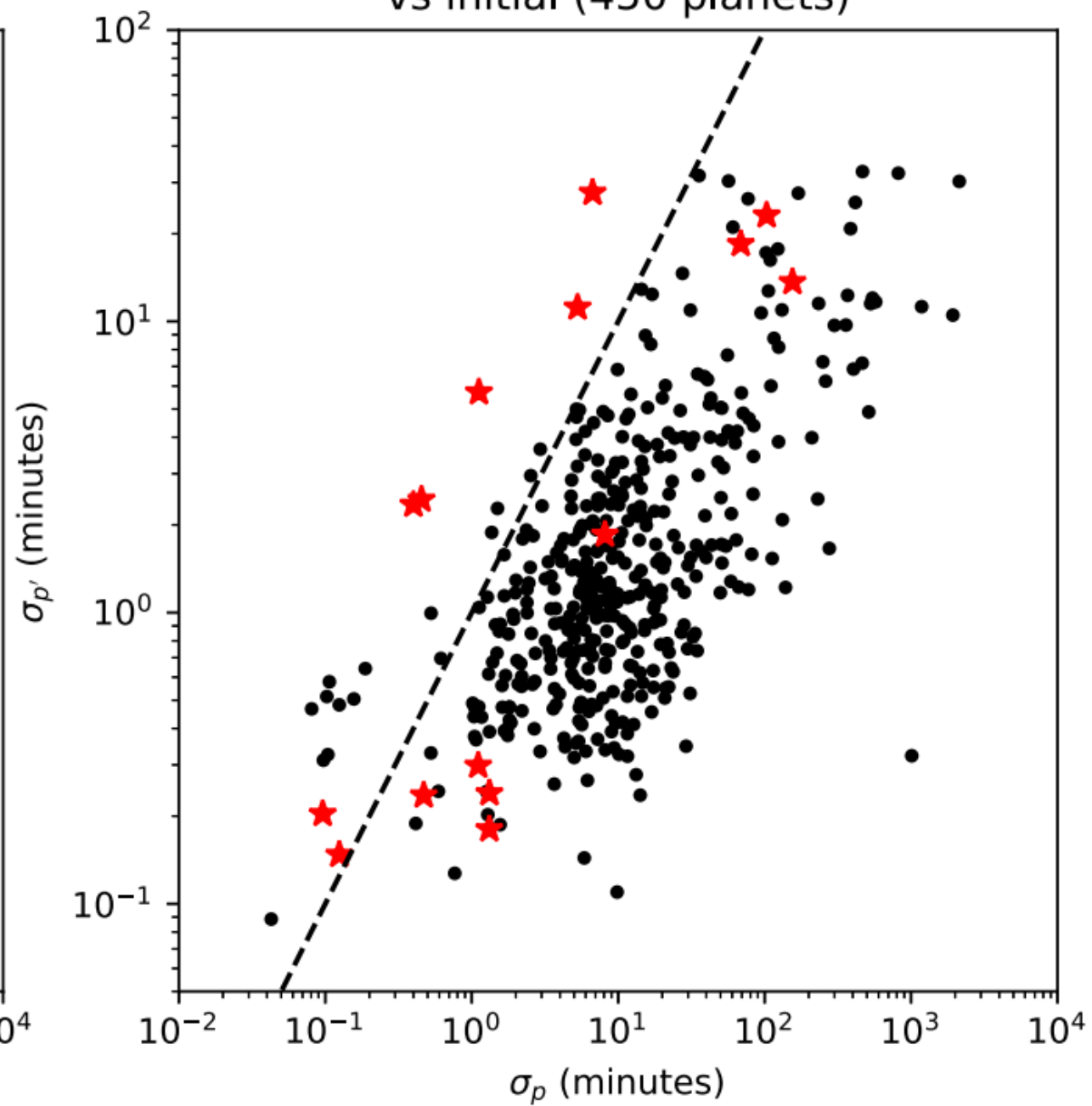


Figure 3. The number of observations received from the ExoClock network, as a function of the telescope size.

vs ExoClock II (180 planets)



vs initial (450 planets)



Part 3

其他事項

Tips for bright targets

高亮度目標處理

➤ 曝光時間被迫縮短：13 等 300 秒 → 8 等 3 秒。

5 小時觀測 with ASI6200MM BIN2: 29 MB/frame

→ 炸硬碟、炸電腦（資料量上升、資料分析成本增加）

➤ 部分解方：

➤ 稍微失焦 → 降低亮度峰值 → 拉長曝光時間。

➤ 濾鏡 e.g. 用 B/V/R 可以讓光子量減到 L 的 $\sim 1/3$ 。

➤ 不要拍它。

Common Question

沒有天文台的大望遠鏡 也可以觀測嗎？

- 可以。
- ExoClock 的最小建議口徑是五吋
→ 但其實更小的望遠鏡也能用。
- 當然口徑小的能觀測的目標就比較少，
但仍有不少目標。
- 如右圖，這是 10 cm 鏡在清大的成果。
FC-100, FSQ102, FLT132, etc

WASP – 12b

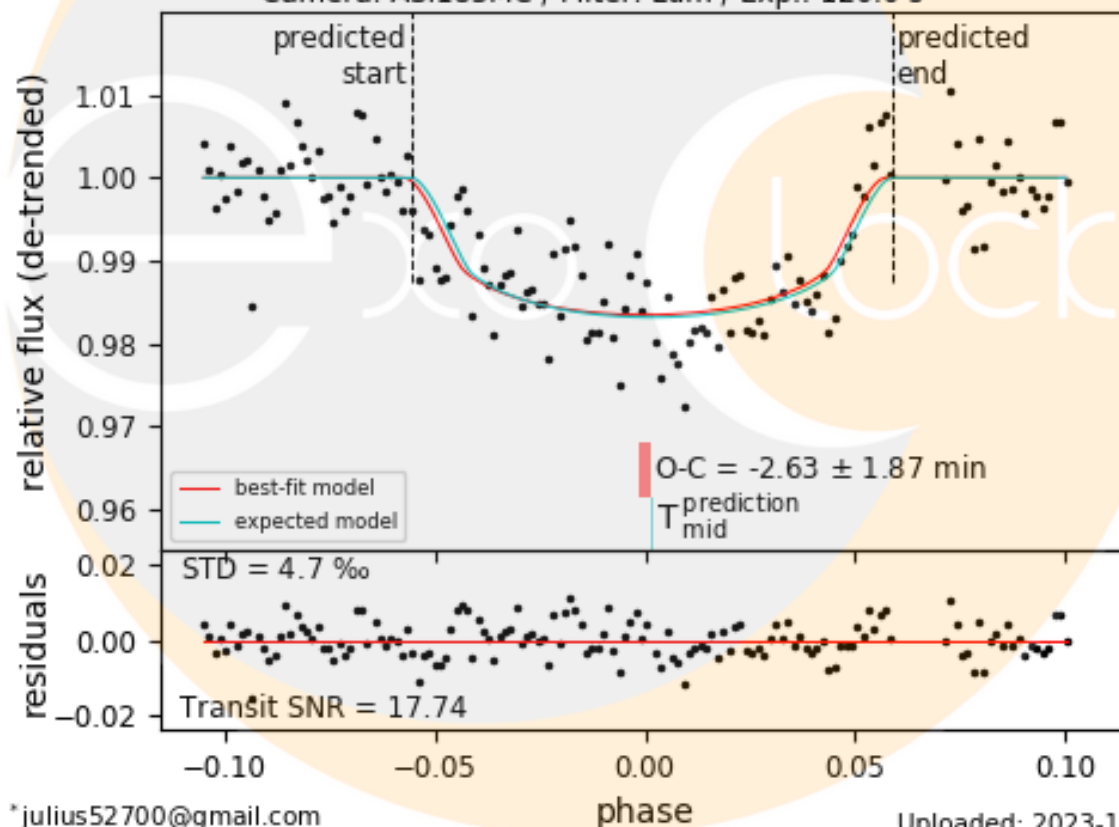
2023-11-17

Yen-Hsing Lin* (Institute of Astronomy, National Tsing Hua University), Shin-Ping Lai (Institute of Astronomy, National Tsing Hua University) on behalf of Taiwan astronomical Observation collaboration

Platform (TOP)

NTHU Observatory / Telescope: Showa 10 cm (5.0")

Camera: ASI183MC / Filter: Lum / Exp.: 120.0 s



*julius52700@gmail.com

Uploaded: 2023-11-17