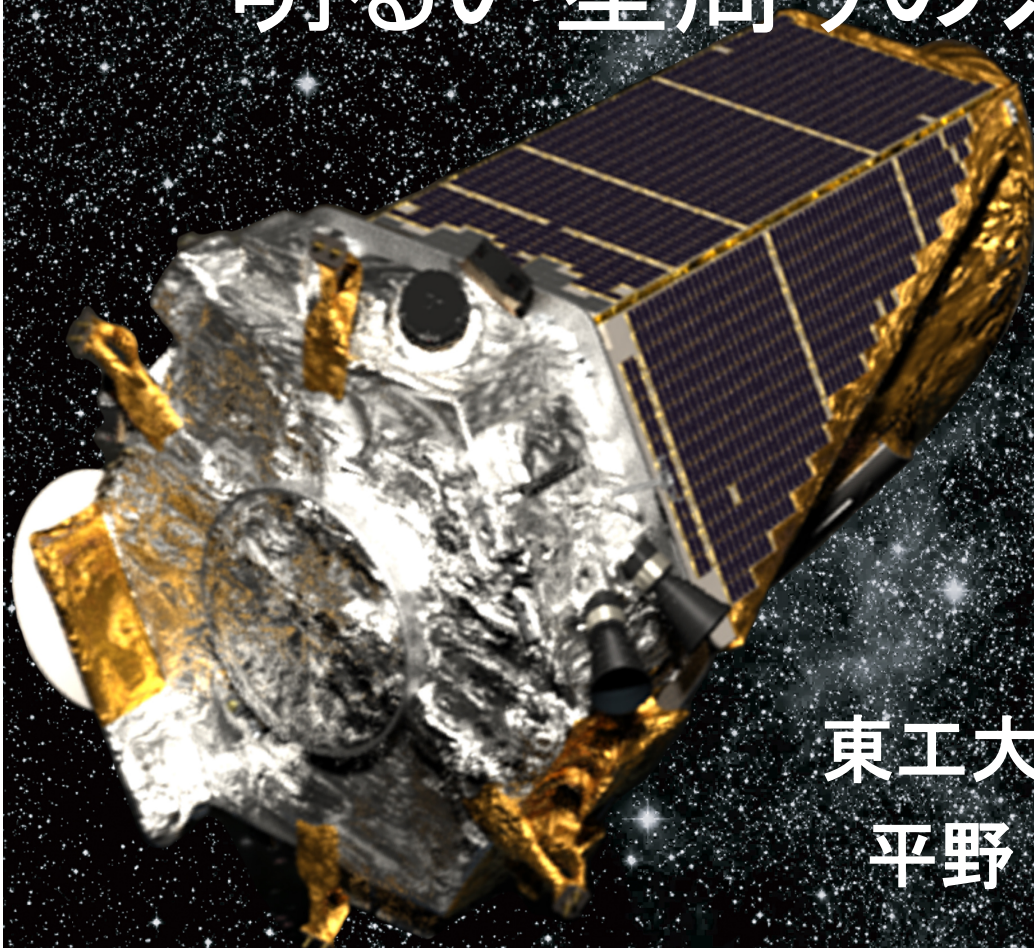


Aug. 18, 2015

@ 岡山UM

# K2ミッションとESPRINTによる 明るい星周りの系外惑星探査



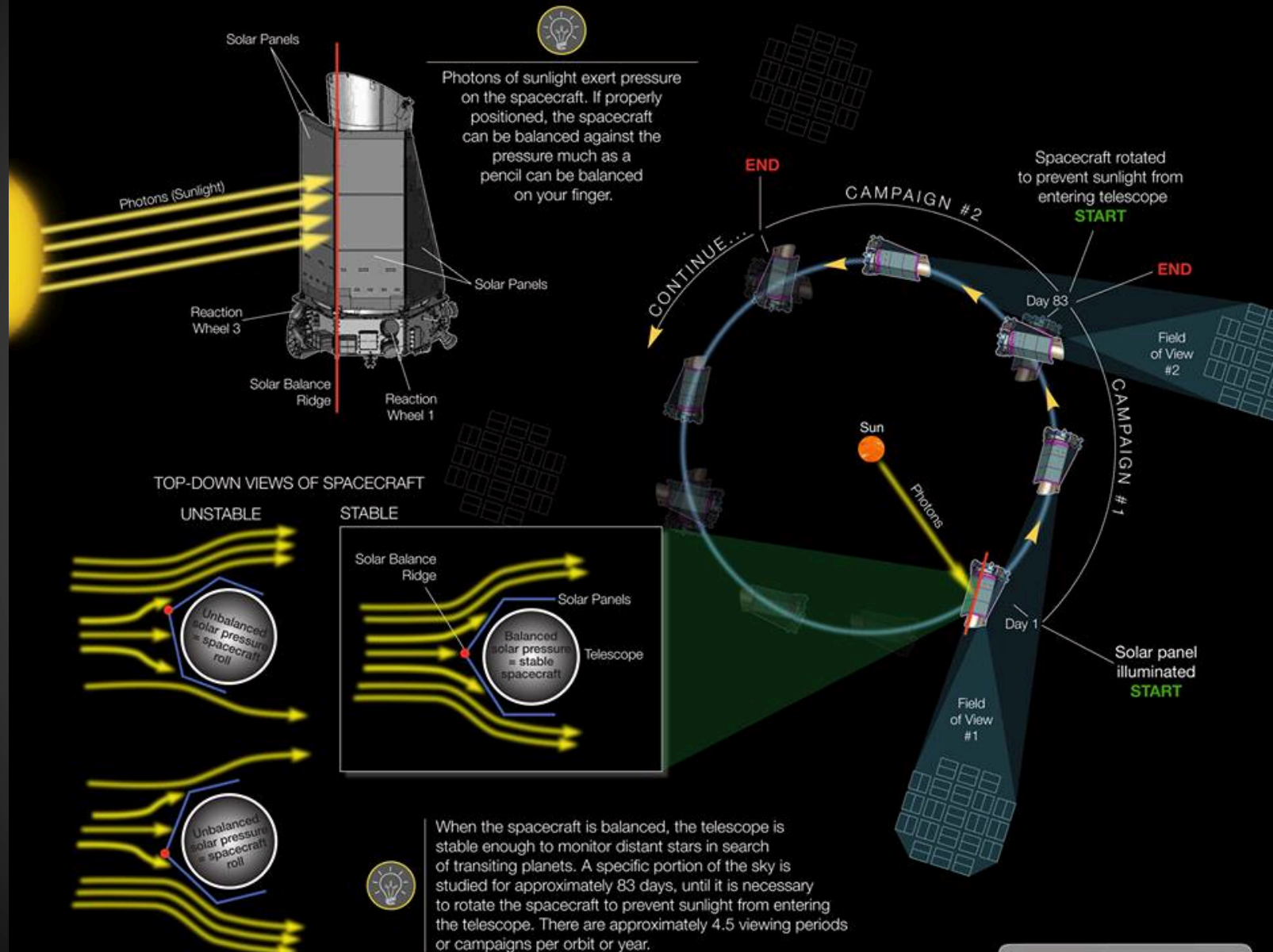
東工大・地惑  
平野 照幸

# イントロダクション

- ✓ 2013年5月に2つめのリアクションホイールの故障により、ケプラーは当初のミッションを終了した(これまでのように同じ領域を観測し続けるのは不可能)
- ✓ 2014年5月、太陽光の輻射圧と残された2つのリアクションホイールを利用し、姿勢制御に必要な3軸を確保してトランジットサーベイを行う「K2」ミッションが正式に承認された
- ✓ 輻射圧を受ける向きの関係からK2では黄道面付近しか観測を行う事が出来ないが、1つのfieldを約83日観測して短周期のトランジット惑星を発見する事が出来る

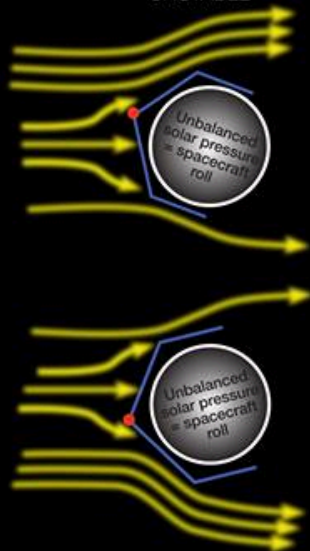


# Kepler's Second Light: How K2 Will Work

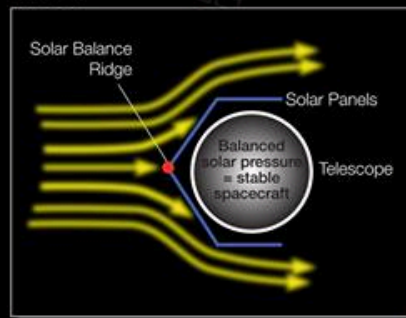


## TOP-DOWN VIEWS OF SPACECRAFT

UNSTABLE



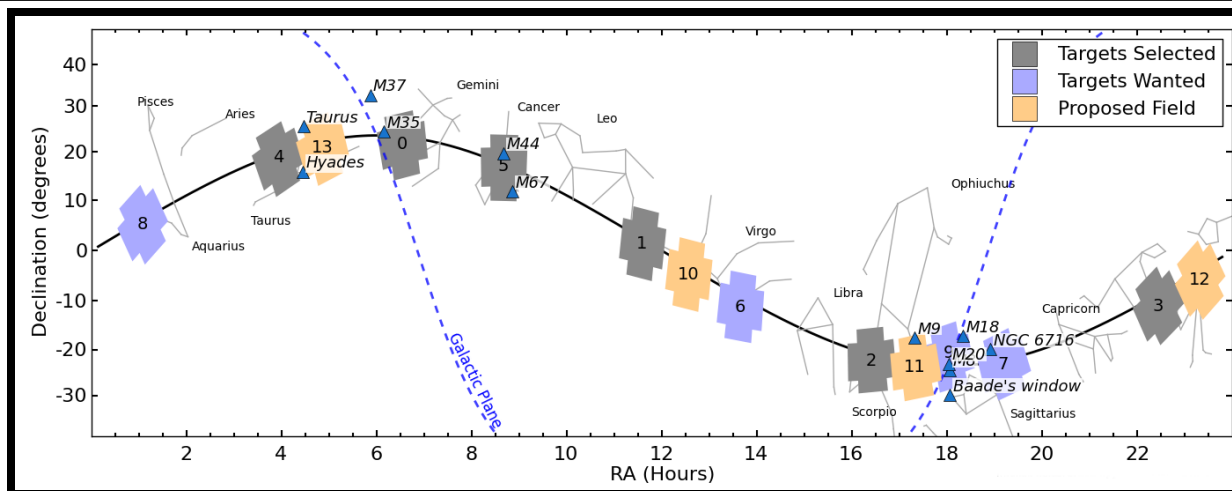
STABLE



When the spacecraft is balanced, the telescope is stable enough to monitor distant stars in search of transiting planets. A specific portion of the sky is studied for approximately 83 days, until it is necessary to rotate the spacecraft to prevent sunlight from entering the telescope. There are approximately 4.5 viewing periods or campaigns per orbit or year.

CONCEPTUAL ILLUSTRATION OF SPACECRAFT SOLAR DISTURBANCE. THE ACTUAL DISTURBANCE IS DUE TO PHOTON PRESSURE, NOT SOLAR WIND.

# K2の観測領域



| Final K2 Campaign Fields |             |             |             |              |         |  |
|--------------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|---------|--|
| Field                    | Start       | Stop        | RA (J2000)  | Dec (J2000)  | Targets | Comments   |
| 0                        | 2014 Mar 08 | 2014 May 27 | 06:33:11.14 | +21:35:16.40 | ✓       | Near Galactic Anti-center, M35, NGC 2158             |
| 1                        | 2014 May 30 | 2014 Aug 21 | 11:35:45.51 | +01:25:02.28 | ✓       | North Galactic Cap                                   |
| 2                        | 2014 Aug 23 | 2014 Nov 13 | 16:24:30.34 | -22:26:50.28 | ✓       | Near Galactic Center, M4, M80, M19, Upr Sco, rho Oph |
| 3                        | 2014 Nov 14 | 2015 Feb 06 | 22:26:39.68 | -11:05:47.99 | ✓       | South Galactic Cap, Neptune                          |
| 4                        | 2015 Feb 07 | 2015 Apr 26 | 03:56:18.22 | +18:39:38.09 | ✓       | M45 (Pleiades), NGC1647, Hyades                      |
| 5                        | 2015 Apr 27 | 2015 Jul 13 | 08:40:37.84 | +16:49:46.61 | ✓       | M44 (Beehive), M67                                   |
| 6                        | 2015 Jul 14 | 2015 Oct 03 | 13:39:27.61 | -11:17:43.29 | ✓       | North Galactic Cap                                   |
| 7                        | 2015 Oct 06 | 2015 Dec 29 | 19:11:18.84 | -23:21:36.07 |         | Near Galactic Center, NGC 6717                       |
| 8                        | 2016 Jan 03 | 2016 Mar 26 | 01:05:21.12 | +05:15:44.45 |         | Uranus   |
| 9                        | 2016 Apr 07 | 2016 Jul 06 | 18:01:25.08 | -21:46:47.32 |         | Galactic Center, Baades Window, M21, M18, M25, M8    |
| 10                       | 2016 Jul 06 | 2016 Sep 21 | 12:27:07.07 | -04:01:37.8  |         | North Galactic cap                                   |

# K2のメリット・デメリット

## メリット

- ✓ 新しいフィールドを観測するため、これまで見つかっていなかった星の周りで惑星を発見できる
- ✓ K2の観測によって「明るい」星周りで特に面白い(地球型)トランジット惑星が多数見つかる事が予想され、他の望遠鏡によるフォローアップが容易( $V < 12$ 等の明るい星は、これまでの10~20倍観測される)

→ Kepler-16, Kepler-91, KIC 1255などの極めて面白い惑星の大気探査などが行える

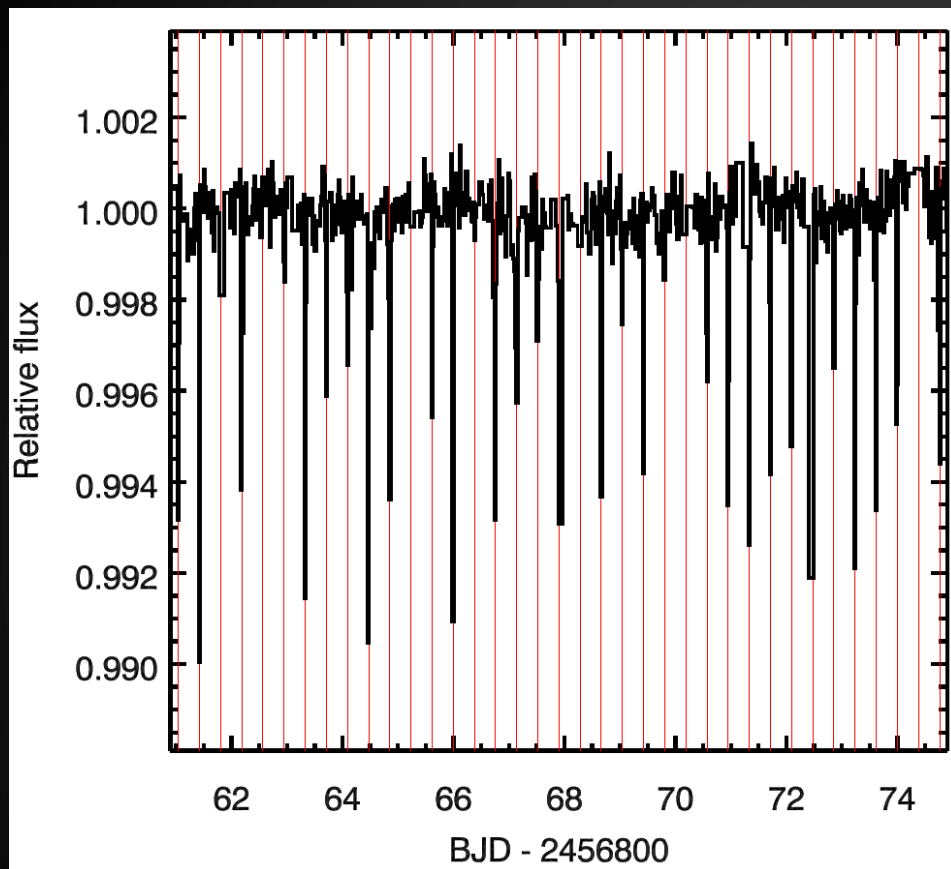
## デメリット

- ✓ 1つのフィールドを82日間しか観測しないため、長周期の惑星の検出が不可能
- ✓ 星像のドリフトなどの影響のため、これまでのケプラーの解析パイプラインがそのまま使えない

# ESPRINT

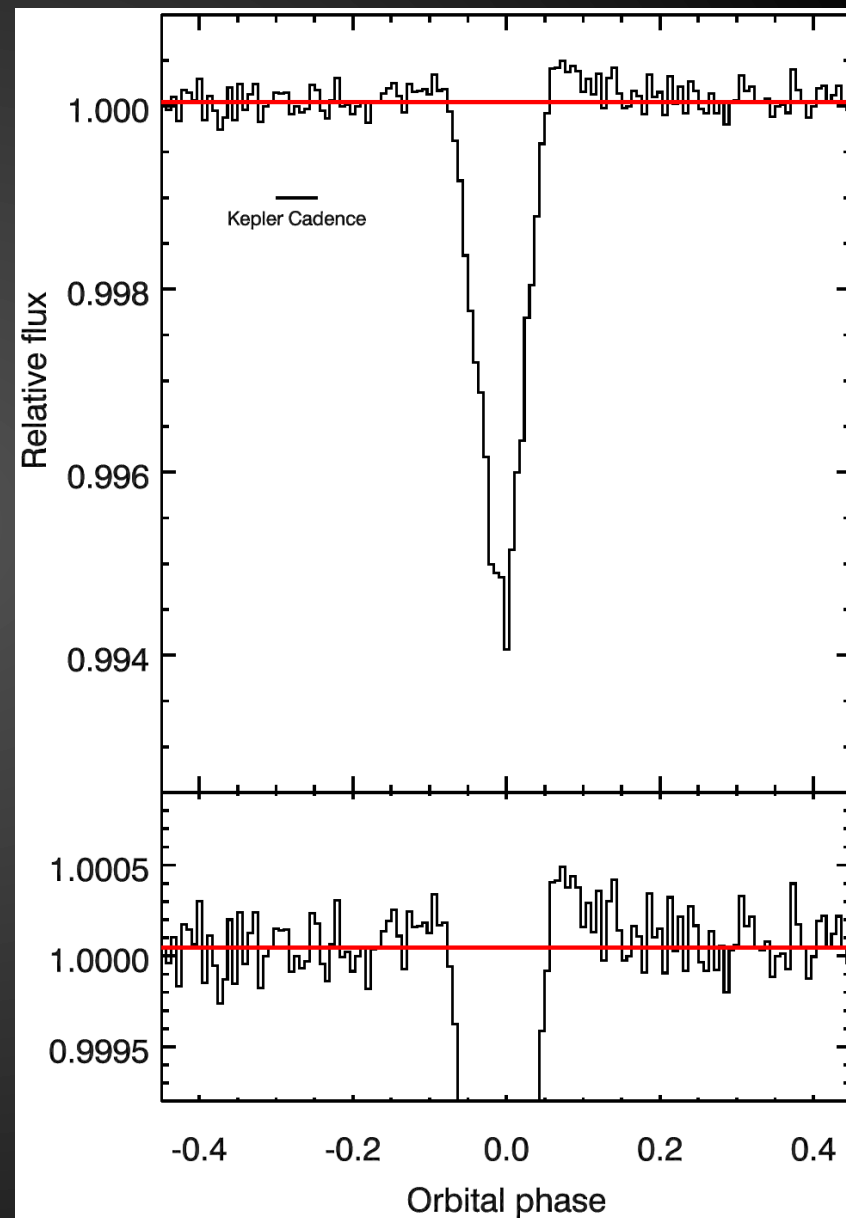
- K2で観測される, 特に面白い惑星系の発見・キャラクタリゼーションを目指して新たにチーム“ESPRINT”を作った(manager: R. Sanchis-Ojeda)
- ESPRINT (Equipo de Seguimiento de Planetas Rocosos Intepretando sus Transitos = Follow-up team of Rocky planets interpreting their Transits)
- ケプラーデータの解析経験 & HARPS, HARPS-N, すばる, NOT, Magellanなどにアクセスのある人たちでCo-PIを構成し, 各観測提案を検討・作成する
- K2のプロポーザルにも採択されており, よく素性の分かった星を優先的に解析する
- K2データを解析する独自のパイプラインを作成も行う

# ESPRINTの最初の成果：蒸発惑星の発見

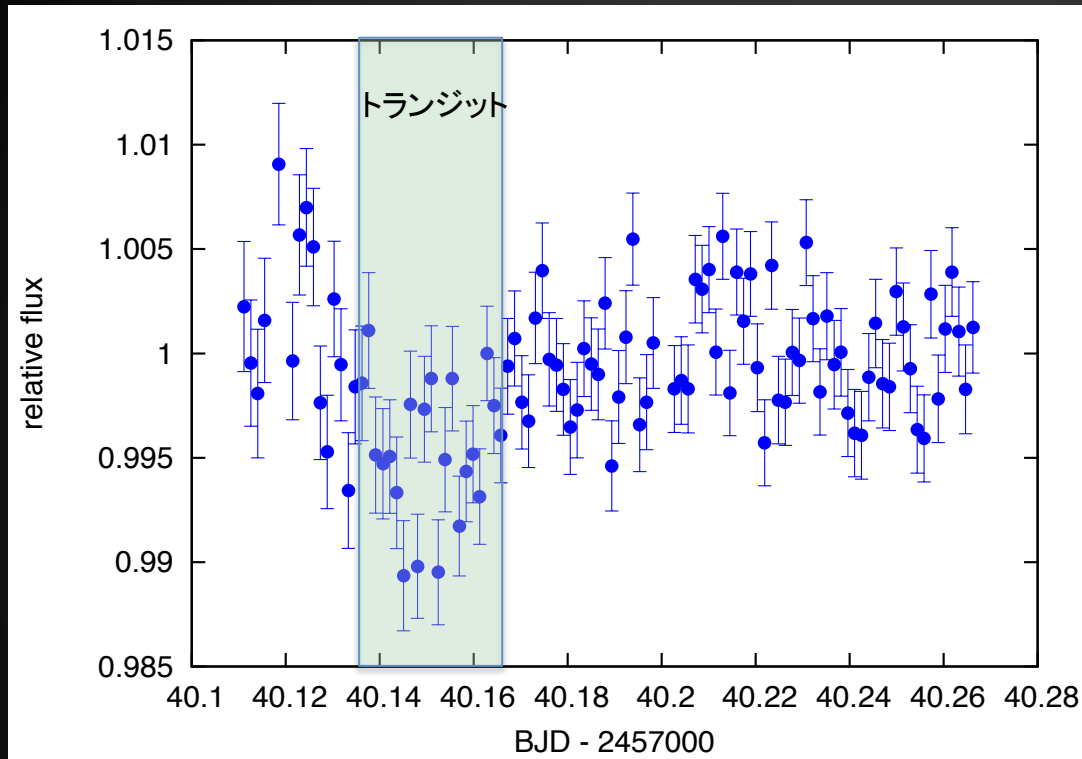


Sanchis-Ojeda et al. 2015

周期9.146時間で、トランジットの深さが毎回変動する惑星の発見  
→ 3例目の蒸発惑星



# トランジット・フォローアップの取り組み

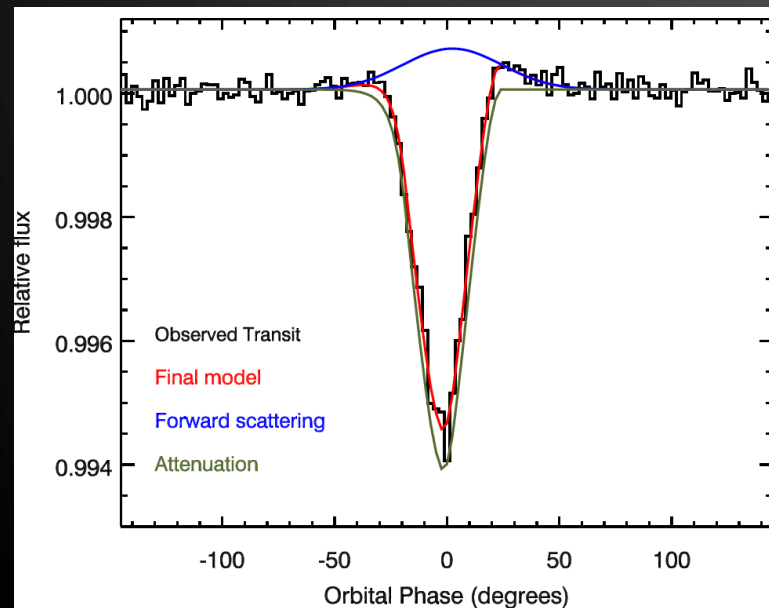
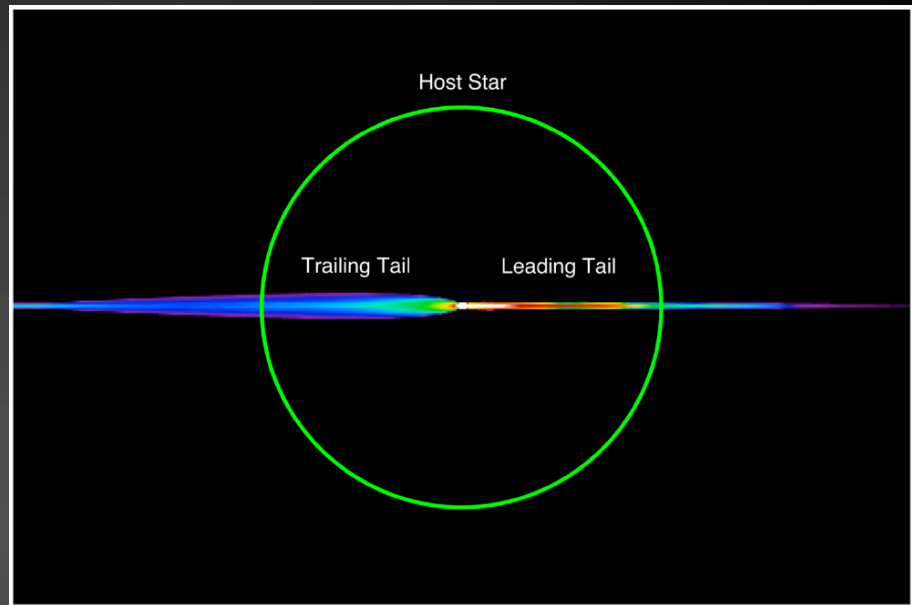
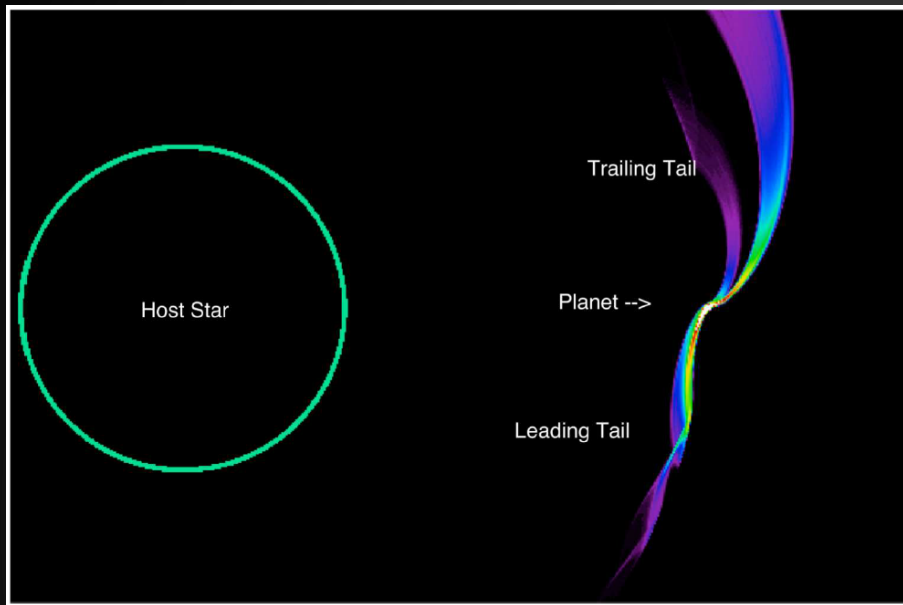


← 岡山1.88m/ISLEで  
field 1の蒸発惑星候補  
(C01T001)のトランジット  
を観測

1. high cadenceの観測により精度よくトランジットパラメータを推定できる
2. 複数のバンドで観測することで食連星のシナリオを検証できる
3. K2の観測から時間をあけて中心時刻を決定することで惑星の周期をより正確に見積もることができる



# C01T001.01のダスト・テイル



ダストの散乱による増光が前後に見えていることから、ダストのテイルが前後ろ両方に伸びていると予想される

# Field 1, 2の候補星のキャラクタリゼーション

Subaru/HDSでfield 1, 2の惑星候補を持つ主星の高分散分光観測を実施し、星の分光パラメータを求めるとともに、分光連星がないか確認した( $V < 14.5$ )

| Name    | $T_{\text{eff}}$ (K) | $\log g$          | [Fe/H]           | $R_s$ ( $R_{\odot}$ )     | $M_s$ ( $M_{\odot}$ )     | $V \sin I_s$ (km s $^{-1}$ ) |
|---------|----------------------|-------------------|------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------|
| C01T002 | $5258 \pm 22$        | $4.407 \pm 0.065$ | $0.15 \pm 0.03$  | $0.910^{+0.027}_{-0.025}$ | $0.919^{+0.014}_{-0.011}$ | $< 0.617$                    |
| C01T004 | $< 4000$             | -                 | -                | -                         | -                         | -                            |
| C01T005 | $5345 \pm 17$        | $4.394 \pm 0.050$ | $0.07 \pm 0.03$  | $0.914^{+0.027}_{-0.027}$ | $0.902^{+0.011}_{-0.011}$ | $0.852^{+0.952}_{-0.852}$    |
| C01T006 | $5549 \pm 15$        | $4.370 \pm 0.040$ | $0.04 \pm 0.03$  | $1.007^{+0.038}_{-0.029}$ | $0.948^{+0.013}_{-0.011}$ | $< 0.953$                    |
| C01T007 | $5646 \pm 20$        | $4.163 \pm 0.050$ | $-0.02 \pm 0.02$ | $1.672^{+0.057}_{-0.223}$ | $1.075^{+0.005}_{-0.034}$ | $0.372^{+1.213}_{-0.372}$    |
| C01T009 | $6132 \pm 35$        | $3.457 \pm 0.075$ | $0.12 \pm 0.04$  | $4.290^{+0.250}_{-0.499}$ | $1.916^{+0.074}_{-0.098}$ | $4.100^{+0.825}_{-0.825}$    |
| C01T012 | $4679 \pm 20$        | $4.207 \pm 0.060$ | $0.07 \pm 0.06$  | $1.506^{+0.039}_{-0.780}$ | $> 0.766$                 | $0.704^{+0.708}_{-0.704}$    |
| C01T016 | $5821 \pm 15$        | $3.974 \pm 0.040$ | $0.20 \pm 0.02$  | $1.908^{+0.110}_{-0.114}$ | $1.250^{+0.042}_{-0.035}$ | $3.132^{+0.607}_{-0.607}$    |
| C01T020 | $6277 \pm 60$        | $4.150 \pm 0.100$ | $-0.18 \pm 0.05$ | $1.516^{+0.210}_{-0.187}$ | $1.183^{+0.049}_{-0.041}$ | $5.129^{+0.659}_{-0.659}$    |
| C01T023 | $< 4000$             | -                 | -                | -                         | -                         | -                            |
| C02T001 | $5652 \pm 20$        | $4.264 \pm 0.050$ | $0.43 \pm 0.03$  | $1.304^{+0.097}_{-0.092}$ | $1.142^{+0.037}_{-0.036}$ | $1.842^{+1.023}_{-1.023}$    |
| C02T002 | $5383 \pm 22$        | $4.410 \pm 0.060$ | $0.21 \pm 0.03$  | $0.964^{+0.027}_{-0.034}$ | $0.947^{+0.015}_{-0.013}$ | $1.777^{+0.863}_{-0.863}$    |
| C02T003 | $< 4000$             | -                 | -                | -                         | -                         | -                            |
| C02T004 | $5318 \pm 20$        | $4.465 \pm 0.055$ | $0.03 \pm 0.04$  | $0.874^{+0.023}_{-0.026}$ | $0.885^{+0.014}_{-0.012}$ | $< 0.298$                    |
| C02T008 | $5424 \pm 30$        | $4.505 \pm 0.075$ | $0.04 \pm 0.03$  | $0.885^{+0.043}_{-0.051}$ | $0.925^{+0.025}_{-0.021}$ | $< 0.649$                    |
| C02T009 | $5684 \pm 30$        | $4.056 \pm 0.075$ | $0.03 \pm 0.04$  | $1.718^{+0.086}_{-0.071}$ | $1.080^{+0.027}_{-0.006}$ | $1.163^{+1.093}_{-1.093}$    |
| C02T010 | -                    | -                 | -                | -                         | -                         | $38.1 \pm 0.1$               |
| C02T011 | $5491 \pm 30$        | $4.377 \pm 0.080$ | $0.27 \pm 0.04$  | $1.047^{+0.081}_{-0.072}$ | $1.003^{+0.022}_{-0.023}$ | $0.282^{+1.110}_{-0.282}$    |

# まとめ・今後の戦略

1. K2をめぐる競争は熾烈であり、今後もNOT, HARPS(-N), PFS, するばる, 岡山1.88mなどを駆使して明るい星周りの(地球型)惑星の発見とキャラクターゼーションを目指す
2. ESPRINTプロジェクトでは、独自のパイプラインによるK2データの解析を行っており、**公開された各fieldで~20個程度の惑星候補を発見している**
3. トランジット・フォローアップ観測は、惑星周期やパラメータの推定を改善する以上に、false positiveかどうかを判断する上で重要であるので、今後も岡山1.88m望遠鏡などで積極的に実施する
4. 特に興味深い晩期型星(M型星)のキャラクターゼーションのため、今後はISLEなどによる中分散分光等も活用したい