

令和 4 年 5 月 31 日現在

機関番号：12601
研究種目：若手研究
研究期間：2020～2021
課題番号：20K14518
研究課題名(和文) Large-scale planet detection with TESS

研究課題名(英文) Large-scale planet detection with TESS

研究代表者

LIVINGSTON JOHN・HENRY (LIVINGSTON, JOHN HENRY)

東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・特任研究員

研究者番号：60848555

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：ケプラーミッション以来、宇宙望遠鏡からの大量のデータを含む惑星発見の新時代が始まりました。TESSミッションからのデータを分析することにより、惑星検索を全天に拡大し、多くの新しい惑星の発見を可能にします。特に、TESSの前例のない規模と精度は、大型の地上望遠鏡を使用したさらなる研究のための多くの優れたターゲットを提供します。最近発売されたJWSTも同様です。そのような詳細な研究を可能にすることによって、惑星形成についての未解決の質問、高性能マシン上で実行される自動化されたパイプラインを構築することによって、人間の挑戦の規模は可能になります。

研究成果の学術的意義や社会的意義

Our understanding of how planets form is undergoing a revolution, allowing us to better understand our home planet and solar system. Furthermore, the discovery of biosignatures in the atmospheres of other planets has the potential to change our understanding of humanity in a universal context.

研究成果の概要(英文)：Since the Kepler mission, a new era of planet discovery has begun, which involves large quantities of data from space telescopes. By analyzing data from the TESS mission we are expanding the planet search to the whole sky, enabling the discovery of many new planets that can be explored in more detail. In particular, the unprecedented scale and precision of TESS provides many excellent targets for further study using large ground-based telescopes as well as the recently launched JWST. By enabling such detailed studies, open questions about planet formation, migration, and evolution can ultimately be addressed. However, to achieve this we need to process large quantities of data, which presents both technical and human challenges. By building automated pipelines that run on high performance machines, the scale of the human challenges can be brought to a reasonable size. For the best planet candidates we discover, the computation of robust parameter estimates can also be done efficiently.

研究分野：Astronomy

キーワード：exoplanets

1. 研究開始当初の背景

At the beginning of this research, the NASA Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS) mission had just begun to provide data. The planet discovery process begins with processing large amounts of data and after several stages of signal detection, vetting of planet candidates, and human vetting, important follow-up observations need to be scheduled to help confirm these newly discovered planets. These activities require timely processing of data and coordination with teams doing analysis and follow-up observations using telescopes around the world. Therefore, to achieve this I aimed to enhance collaboration with astronomers since the NASA K2 mission by building and operating several workstations with which to analyze TESS and follow-up data. The types of computation require parallel processing of large datasets as well as intensive simulation to compute robust parameter estimates. This is not only true for TESS data, but also for ground-based follow-up data, such as from the MuSCAT network of simultaneous multi-band high precision imagers on 1.5-2-meter telescopes around the world.

2. 研究の目的

The purpose of this work is to 1) detect new planets in space telescope data, 2) subject these data to various degrees of scrutiny such that the best candidates can be scheduled for follow-up observations, and 3) perform robust parameter estimates from heterogeneous datasets and synthesize the results into final dispositions and fundamental measurements.

3. 研究の方法

The transit-least-squares (TLS) algorithm can detect planet candidates with lower signal-to-noise ratio (SNR) than traditional methods, such as box-least-squares (BLS). This is especially important for the identification of Earth-like planets, which have smaller radii compared to their host stars, and thus generally lower SNR. We employed TLS to detect transit signals and provide diagnostics and initial parameter estimates, which facilitates candidate vetting as well as more robust parameter estimates afterwards. Markov Chain Monte Carlo (MCMC) methods are used to robustly determine fundamental planet and star parameters using a combination of space telescope and ground-based follow-up data, as well as data from stellar catalogs. A subset of parameter estimation problems can be efficiently computed using more advanced forms of MCMC, such as Hamiltonian Monte Carlo (HMC), which requires the computation of model gradients to explore parameter space. These advanced sampling methods are important because they can compute posterior distributions more efficiently than traditional MCMC methods, which facilitates the robust determination of fundamental parameters on a larger scale, e.g. for the large number of planet candidates we are finding with TESS. Although still not widely adopted due to its technical difficulty, gradient-based approaches such as HMC are a logical next step for advancing the field by taking advantage of modern computing architectures such as the use of graphical processing units (GPUs). It is not always possible or straightforward to achieve better performance this way, however, so sufficiently powerful CPUs are also needed for many tasks. Thankfully, modern compilation architectures can provide a high-level interface for efficient computation on either GPUs or CPUs. As the field progresses, more kinds of computation will be able to be done more efficiently on GPUs, which will result in better fundamental datasets for exoplanet science, e.g., planet demographics using a large sample of planets with robustly determined fundamental parameters.

4. 研究成果

This work has resulted in numerous planet discoveries (see bibliography), but to illustrate some of the results I highlight one recent paper by Mori et al. (2022, in press) [1]. The presence of a shallow transit signal was detected in the light curve of a low mass (type M) star by TLS. The upper panel of Figure 1 shows the raw light curve (gray points) with binned data (black points) and a model for stellar variability in white; the lower panel shows the residuals after subtracting the variability model with the TLS transit model (in blue) showing

the location of the individual transit events.

BJD-2457000

Figure 1. TESS light curve and TLS model.

The period and amplitude of the transit signal can be seen in the TLS periodogram (see left panel of Figure 2). The signal can be better visualized by folding the light curve on the detected orbital period (middle panel of Figure 2). The depth of the individual transits is shown in the right panel of Figure 2 and illustrates a lack of so-called “odd-even” variations, which are indicative of false positive scenarios involving systems of eclipsing binary stars.

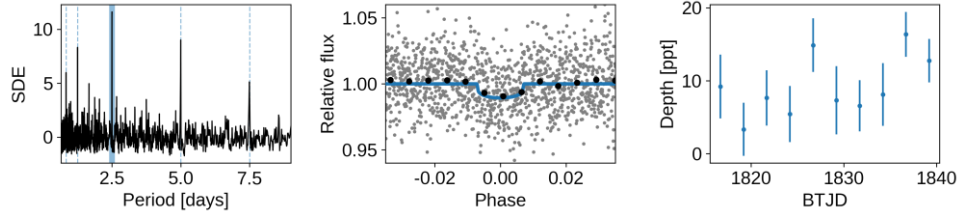


Figure 2. TLS diagnostics.

Finally, a transit of the planet observed simultaneously in different photometric bandpasses is shown in Figure 3. In addition to yielding increased measurement precision of the orbital period, the robust determination of planet radius in different bandpasses further restricts the possibility that the candidate could be a false positive; as such, this kind of robust parameter estimation significantly contributes to the “validation” of a planet candidate.

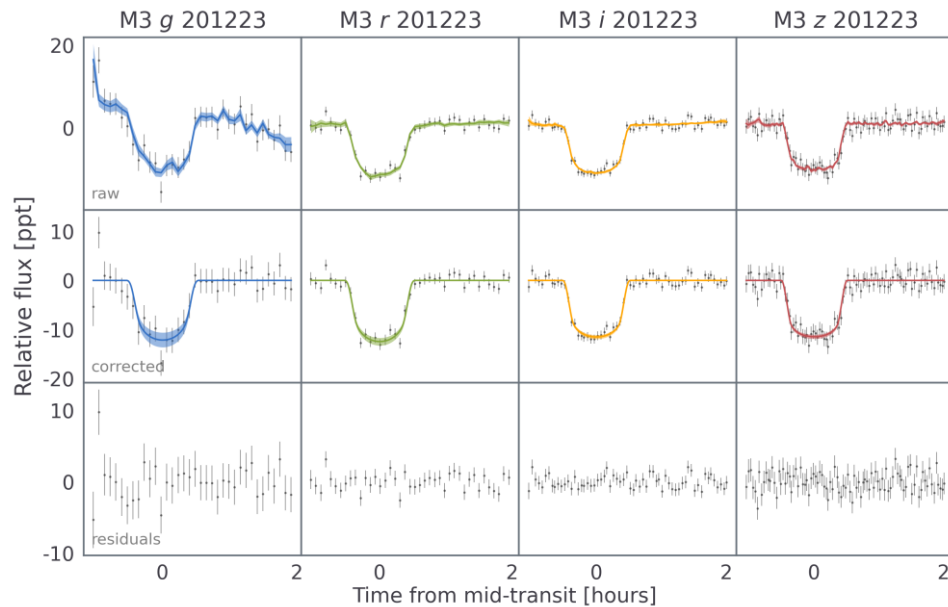


Figure 3. Validation via robust parameter estimation of ground-based data.

<引用文献> (Bibliography)

[1] Mori et al. 2022 (including Livingston), accepted to The Astronomical Journal, eprint arXiv:2203.02694, “TOI-1696: a nearby M4 dwarf with a 3Rearth planet in the Neptunian desert”

[2] Hoyer et al. 2021 (including Livingston), Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 505, 3361, “TOI-220: a warm sub-Neptune discovered by TESS”

[3] Georgieva et al. 2021 (including Livingston), Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 505, 4684, “Hot planets around cool stars? two short-period mini-Neptunes transiting the late K-dwarf TOI-1260”

[4] Murgas et al. 2021 (including Livingston), Astronomy & Astrophysics, 653, A60,

“TOI-674b: An oasis in the desert of exo-Neptunes transiting a nearby M dwarf”

[5] Hirano et al. 2021 (including Livingston), *The Astronomical Journal*, 162, 161, “Two Bright M Dwarfs Hosting Ultra-Short-Period Super-Earths with Earth-like Compositions”

[6] Fukui et al. 2021 (including Livingston), *The Astronomical Journal*, 162, 167, “TOI-1749: an M dwarf with a Trio of Planets including a Near-resonant Pair”

[7] Van Eylen et al. 2021 (including Livingston), *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 507, 2154, “Masses and compositions of three small planets orbiting the nearby M dwarf L231-32 (TOI-270) and the M dwarf radius valley”

[8] Lam et al. 2021 (including Livingston), *Science*, 374, 1271, “GJ 367b: A dense, ultrashort-period sub-Earth planet transiting a nearby red dwarf star”

[9] Giacalone et al. 2021 (including Livingston), *The Astronomical Journal*, 163, 99, “Validation of 13 Hot and Potentially Terrestrial TESS Planets”

[10] Fukui et al. 2021 (including Livingston), *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 74, L1, “TOI-2285b: A 1.7 Earth-radius planet near the habitable zone around a nearby M dwarf”

[11] Gan et al. 2021 (including Livingston), *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 511, 83, “TOI-530b: a giant planet transiting an M-dwarf detected by TESS”

[12] Wilson et al. 2021 (including Livingston), *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 511, 1043, “A pair of sub-Neptunes transiting the bright K-dwarf TOI-1064 characterized with CHEOPS”

[13] Sha et al. 2021 (including Livingston), *The Astronomical Journal*, 161, 82, “TOI-954 b and K2-329 b: Short-period Saturn-mass Planets that Test whether Irradiation Leads to Inflation”

[14] Newton et al. 2021 (including Livingston), *The Astronomical Journal*, 161, 65, “TESS Hunt for Young and Maturing Exoplanets (THYME). IV. Three Small Planets Orbiting a 120 Myr Old Star in the Pisces?Eridanus Stream”

[15] Carleo et al. 2021 (including Livingston), *Astronomy & Astrophysics*, 645, A71, “A pair of hot-Neptunes orbiting the young star TOI-942”

[16] Luque et al. 2021 (including Livingston), *Astronomy & Astrophysics*, 645, A41, “A planetary system with two transiting mini-Neptunes near the radius valley transition around the bright M dwarf TOI-776”

[17] Parviainen et al. 2020 (including Livingston), *Astronomy & Astrophysics*, 645, A16, “TOI-519 b: A short-period substellar object around an M dwarf validated using multicolour photometry and phase curve analysis”

[18] Dreizler et al. 2020 (including Livingston), *Astronomy & Astrophysics*, 644, A127, “LP 714-47 b (TOI 442.01): populating the Neptune desert”

[19] Carleo et al. 2020 (including Livingston), *The Astronomical Journal*, 160, 114, “The Multiplanet System TOI-421”

[20] Bluhm et al. 2020 (including Livingston), *Astronomy & Astrophysics*, 639, A132, “Precise mass and radius of a transiting super-Earth planet orbiting the M dwarf TOI-1235: a planet in the radius gap?”

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計25件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Werner Michael W., Gorjian Varoujan, Morales Farisa Y., Livingston John H., Kennedy Grant M., Akeson Rachel L., Beichman Charles, Ciardi David R., Furlan Elise, Lowrance Patrick J., Mamajek Eric E., Plavchan Peter, Stark Christopher C., Wyatt Mark C.	4. 巻 254
2. 論文標題 SpiKeS: Precision Warm Spitzer Photometry of the Kepler Field	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Supplement Series	6. 最初と最後の頁 11 ~ 11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4365/abea20	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hardegree-Ullman Kevin K., Christiansen Jessie L., Ciardi David R., Crossfield Ian J. M., Dressing Courtney D., Livingston John H., Volk Kathryn, Agol Eric, Barclay Thomas, Barentsen Geert, Benneke Bjørn, Gorjian Varoujan, Kristiansen Martti H.	4. 巻 161
2. 論文標題 K2-138 g: Spitzer Spots a Sixth Planet for the Citizen Science System	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 219 ~ 219
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/abeab0	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Howell Steve B., Matson Rachel A., Ciardi David R., Everett Mark E., Livingston John H., Scott Nicholas J., Horch Elliott P., Winn Joshua N.	4. 巻 161
2. 論文標題 Speckle Observations of TESS Exoplanet Host Stars: Understanding the Binary Exoplanet Host Star Orbital Period Distribution	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 164 ~ 164
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/abdec6	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Carleo Ilaria, Youngblood Allison, Redfield Seth, Barris Nuria Casasayas, et al.	4. 巻 161
2. 論文標題 A Multiwavelength Look at the GJ 9827 System: No Evidence of Extended Atmospheres in GJ 9827b and d from HST and CARMENES Data	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 136 ~ 136
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/abdb2f	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sha Lizhou, Huang Chelsea X., Shporer Avi, Rodriguez Joseph E., et al.	4. 巻 161
2. 論文標題 TOI-954 b and K2-329 b: Short-period Saturn-mass Planets that Test whether Irradiation Leads to Inflation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 82 ~ 82
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/abd187	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Piaulet Caroline, Benneke Björn, Rubenzahl Ryan A., Howard Andrew W., et al.	4. 巻 161
2. 論文標題 WASP-107b's Density Is Even Lower: A Case Study for the Physics of Planetary Gas Envelope Accretion and Orbital Migration	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 70 ~ 70
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/abcd3c	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Newton Elisabeth R., Mann Andrew W., Kraus Adam L., Livingston John H., et al.	4. 巻 161
2. 論文標題 TESS Hunt for Young and Maturing Exoplanets (THYME). IV. Three Small Planets Orbiting a 120 Myr Old Star in the Pisces/Eridanus Stream	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 65 ~ 65
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/abccc6	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Chen G, Pall E, Parviainen H, Wang H, van Boekel R, Murgas F, et al.	4. 巻 500
2. 論文標題 An enhanced slope in the transmission spectrum of the hot Jupiter WASP-104b	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 5420 ~ 5435
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa3555	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kosiarek Molly R., Berardo David A., Crossfield Ian J. M., Laguna Cesar, et al.	4. 巻 161
2. 論文標題 Physical Parameters of the Multiplanet Systems HD 106315 and GJ 9827	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 47 ~ 47
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/abca39	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Mikal-Evans Thomas, Crossfield Ian J. M., Benneke Bj?rn, Kreidberg Laura, et al.	4. 巻 161
2. 論文標題 Transmission Spectroscopy for the Warm Sub-Neptune HD 3167c: Evidence for Molecular Absorption and a Possible High-metallicity Atmosphere	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 18 ~ 18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/abc874	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Carleo I., Desidera S., Nardiello D., Malavolta L., Lanza A. F., Livingston J., et al.	4. 巻 645
2. 論文標題 The GAPS Programme at TNG	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A71 ~ A71
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202039042	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Luque R., Serrano L. M., Molaverdikhani K., Nixon M. C., Livingston J. H., et al.	4. 巻 645
2. 論文標題 A planetary system with two transiting mini-Neptunes near the radius valley transition around the bright M dwarf T01-776	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A41 ~ A41
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202039455	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Parviainen H., Palle E., Zapatero-Osorio M. R., Nowak G., Fukui A., et al.	4. 巻 645
2. 論文標題 TOI-519 b: A short-period substellar object around an M dwarf validated using multicolour photometry and phase curve analysis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A16 ~ A16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202038934	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nishiumi Taku, Narita Norio, Fukui Akihiko, Watanabe Noriharu, Kawauchi Kiyoe, Izumiura Hideyuki, Maehara Hiroyuki, Kusakabe Nobuhiko, Isogai Keisuke, Terada Yuka, Livingston John, Mori Mayuko	4. 巻 11447
2. 論文標題 On-sky examination of optical diffusers installed in MuSCAT	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 SPIE	6. 最初と最後の頁 114476K
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2561286	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Narita Norio, Fukui Akihiko, Yamamuro Tomoyasu, Harbeck Daniel-Rolf, et al.	4. 巻 11447
2. 論文標題 MuSCAT3: a 4-color simultaneous camera for the 2m Faulkes Telescope North	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 SPIE	6. 最初と最後の頁 114475K
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2559947	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 CastroGonzlez A, D?ezAlonso E, Men?ndezBlanco J, Livingston John H, deLeon Jerome P, Su?rezG?mez S L, Gonz?lezGuti?rrez C, Garc?aRiesgo F, Bonavera L, IglesiasRodr?guez F J, Mu?iz R, Everett Mark E, Scott N J, Howell Steve B, Ciardi David R, Gonzales Erica J, Schlieder Joshua E, deCos?Juez F J	4. 巻 499
2. 論文標題 Planetary candidates transiting cool dwarf stars from campaigns 12 to 15 of K2	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 5416 ~ 5441
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa2353	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Dreizler S., Crossfield I. J. M., Kossakowski D., Plavchan P., Jeffers S. V., et al.	4. 巻 644
2. 論文標題 The CARMENES search for exoplanets around M dwarfs	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A127 ~ A127
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202038016	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Fridlund M, Livingston J, Gandolfi D, Persson C M, Lam K W F, et al.	4. 巻 498
2. 論文標題 The TOI-763 system: sub-Neptunes orbiting a Sun-like star	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 4503 ~ 4517
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa2502	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Bouma L. G., Hartman J. D., Brahm R., Evans P., Collins K. A., et al.	4. 巻 160
2. 論文標題 Cluster Difference Imaging Photometric Survey. II. TOI 837: A Young Validated Planet in IC 2602	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 239 ~ 239
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/abb9ab	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nowak Grzegorz, Palte Enric, Gandolfi Davide, Deeg Hans J, et al.	4. 巻 497
2. 論文標題 K2-280?b ? a low density warm sub-Saturn around a mildly evolved star	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 4423 ~ 4435
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa2077	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kemmer J., Stock S., Kossakowski D., Kaminski A., Molaverdikhani K., et al.	4. 巻 642
2. 論文標題 Discovery of a hot, transiting, Earth-sized planet and a second temperate, non-transiting planet around the M4 dwarf GJ 3473 (TOI-488)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A236 ~ A236
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202038967	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Luque R., Casasayas-Barris N., Parviainen H., Chen G., Pall? E., Livingston J., et al.	4. 巻 642
2. 論文標題 Obliquity measurement and atmospheric characterisation of the WASP-74 planetary system	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A50 ~ A50
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202038703	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Carleo Ilaria, Gandolfi Davide, Barrag?n Oscar, Livingston John H., et al.	4. 巻 160
2. 論文標題 The Multiplanet System TOI-421	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 114 ~ 114
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/aba124	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Bluhm P., Luque R., Espinoza N., Pall? E., Caballero J. A., Dreizler S., Livingston J. H., et al.	4. 巻 639
2. 論文標題 Precise mass and radius of a transiting super-Earth planet orbiting the M dwarf TOI-1235: a planet in the radius gap?	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A132 ~ A132
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202038160	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Obermeier C., Steuer J., Kellermann H., Saglia R. P., Henning Th., Riffeser A., Hopp U., Stefansson G., Cañas C., Ninan J., Mahadevan S., Isaacson H., Howard A. W., Livingston J., Koppenhoefer J., Bender R.	4. 巻 639
2. 論文標題 Following the TraCS of exoplanets with Pan-Planets: Wendelstein-1b and Wendelstein-2b	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A130 ~ A130
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202037715	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 Livingston, John
2. 発表標題 Confirmation and Characterization of Exoplanets with NESSI
3. 学会等名 American Astronomical Society meeting #236 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------