

令和 5 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H02871

研究課題名(和文) 重力マイクロレンズ法による雪線以遠の系外惑星の探索

研究課題名(英文) Microlensing Survey for Exoplanets beyond the Snow Line

研究代表者

福井 暁彦 (Fukui, Akihiko)

東京大学・大学院総合文化研究科・特任助教

研究者番号：60632049

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、これまで我々MOAグループが実施してきた重力マイクロレンズ法による系外惑星探索を4(当初計画)+2(繰越期間)年間継続し、新たな系外惑星の探索を行うとともに、大口径望遠鏡を利用して高解像度の追観測を実施し、発見された惑星系の正確な質量の測定を行った。その結果、惑星誕生の現場である数天文単位以遠の軌道で新たに57個の系外惑星を発見した。特に、中途半端な質量(20-90地球質量)をもつ惑星や低質量星を周る超巨大惑星を複数発見し、従来の惑星形成モデルに修正を迫る結果が得られた。さらに、地球質量程度の非常に軽い惑星も複数発見され、低質量側の惑星分布について大きく理解が進んだ。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、雪線(水の固相と気相の境界)より外側の軌道領域の惑星分布が研究開始前と比べてより明らかとなった。その結果、惑星分布が現在の惑星形成理論モデルの予測と合わないことがより鮮明となった。この結果は従来の惑星形成モデルの修正・再構築を促すものであり、大きな意義をもつ。また、本研究期間中に地球質量程度の軽い惑星も複数発見することができた。低質量側の惑星分布がより明らかとなったことで、今後地球のような岩石惑星の形成過程の理解が大きく進むことが期待される。

研究成果の概要(英文)：In this research, we continued the search for exoplanets by the gravitational microlensing method for 4 (original plan) + 2 (carry-over period) years, and also conducted high-resolution follow-up observations using large aperture telescopes to measure the accurate masses of the discovered planetary systems. As a result, we discovered 57 new exoplanets in orbits beyond a few AU, where is thought to be the birth place of planets. In particular, we discovered several intermediate-mass (20-90 Earth masses) planets and supermassive planets orbiting low-mass stars, which require modifications to the current planet formation models. In addition, several very low-mass planets of about the mass of the Earth were discovered, which improved our understanding of the distribution of planets on the low-mass side.

研究分野：太陽系外惑星

キーワード：太陽系外惑星 重力マイクロレンズ 雪線 巨大ガス惑星 岩石惑星

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

研究開始時点で太陽系外惑星は既に 3 千個以上が発見されていたが、その大半は主星近傍の惑星に感度の高い視線速度法もしくはトランジット法によって発見されており、主星から数 au 以上離れた「冷たい」惑星(特に低質量の惑星)の探索はまだ十分に進んでいなかった。一方、標準の惑星形成モデルであるコア集積モデルによると、惑星は雪線(気相と固相の境界)以遠で最も効率的に形成され、その後多様な軌道進化を遂げると考えられている(e.g., Ida & Lin 2004)。そのため、惑星の形成過程およびその後の軌道進化過程を理解する上で、惑星誕生の現場である雪線以遠の惑星分布を明らかにすることが極めて重要であり、当該分野における最重要課題の一つであった。

2. 研究の目的

本研究では、これまでに我々 MOA グループが 2000 年代後半から行ってきた重力マイクロレンズ惑星探索をさらに 4 年間継続し、系外惑星を新たに約 30 個発見するとともに、質量の不定性が大きい惑星系について大口径望遠鏡を用いて主星の明るさを測定し、惑星系の質量を正確に求める事で、雪線以遠の惑星探索を質・量ともに格段に高めることを目指す。これにより、惑星誕生の現場における質量分布をより詳細に描き出し、巨大惑星の形成機構の謎に迫る。

3. 研究の方法

本研究では、雪線以遠の惑星に最も検出感度が高い「重力マイクロレンズ法」を利用する。この手法は、ある恒星(レンズ星)の重力レンズ効果により背景の恒星(光源星)の明るさが増幅する「重力マイクロレンズ現象」を利用し、レンズ星に付随する惑星の重力摂動により生じる光度曲線の「逸脱(アノマリ)」を捉える方法である。一方、重力マイクロレンズ現象は発生確率が大変低いため、星が最も密集した銀河中心方向に対し、広視野望遠鏡を利用して長期間探索する必要がある。そこで、ニュージーランド Mt. John 天文台の広視野望遠鏡 MOA-II を使用して、銀河中心方向の高頻度モニター観測を実施する。これにより、年間約 600 個の重力マイクロレンズイベントを発見する。さらに、個々のイベントの光度曲線を常時モニターし、アノマリを検出したら直ちに世界にアラートを発信するとともに自身の観測頻度を上げることで、確実な惑星発見に繋げる。また質量に不定性のある惑星系に対し、大口径望遠鏡を用いて主星の明るさを測定し、光度曲線データと組み合わせた解析から主星および惑星の質量を正確に求める。年間約 8 個、研究期間内に合計で約 30 個の惑星を新たに発見し、過去に発見された惑星と合わせて惑星の詳細な質量分布を求め、惑星の形成過程について新たな知見を得る。

4. 研究成果

2017 年度から 2019 年度にかけては順調に観測を実施した。一方、2020 年初頭から数年間に渡り発生した新型コロナウイルスの世界的蔓延の影響により、現地に渡航することが出来なくなり、観測に影響を来した。そのため、観測のリモート化を進めるとともに、研究期間の延長(繰越)を 2 度行い、2022 年度まで研究を継続した。また、この間、検出された惑星アノマリイベントの解析を国際協力で精力的に

進めた。その結果、本研究期間中(2017-2022 年度)に合計 57 個の系外惑星を新たに発見することが出来た(図1)。この数は、同期間に同手法により世界で発見された惑星の数(125 個)の半数近くを占める。なお、関連研究を含め、本研究期間中に合計 84 本の論文を欧文査読付き論文誌に発表した。

これらの発見により、雪線の外側領域の惑星分布が研究開始前と比べてより明らかとなった。特に、従来のコア集積モデルでは、巨大ガス惑星は原始惑星が暴走的に円盤中のガスを捕獲して形成されるため、岩石惑星とガス惑星の中間の質量(20-90 地球質量)をもつ惑星は稀であると考えられていたが、予測に反し、そのような中途半端な質量をもつ惑星が複数発見された(e.g., Bhattacharya et al. 2018)。また、主星-惑星の質量比の分布と理論モデルの予測とを詳細に比較した結果、惑星分布が現在の理論モデルの予測と合わないことも明らかとなった(Suzuki et al. 2018)。さらに、低質量星(M型星)の周りでは惑星の材料物質が少ないため超巨大惑星は形成されづらいと考えられていたが、本研究開始前からそのような惑星がいくつか発見されており、本研究期間内でも同様の惑星が複数発見された(e.g., Hirao et al. 2017; Koshimoto et al. 2017)。このように、本研究によって、従来のコア集積モデルの枠組みだけでは惑星分布が説明出来ないことがより鮮明となった。これらの結果は理論モデルの修正・再構築を促すものであり、大きな意義をもつ結果である。さらに、地球質量程度の非常に軽い惑星も複数発見された(e.g., Kondo et al. 2021, Yee et al. 2021)、低質量側の惑星分布についても大きく理解が進んだ。

参考文献

- Ida & Lin 2004, ApJ, 604, 388
Bhattacharya et al. 2018, AJ, 156, 289
Suzuki et al. 2018, ApJL, 869, L34
Hirao et al. 2017, AJ, 154, 1
Koshimoto et al. 2017, AJ, 154, 3
Kondo et al. 2021, AJ, 162, 77
Yee et al. 2021, AJ, 162, 180

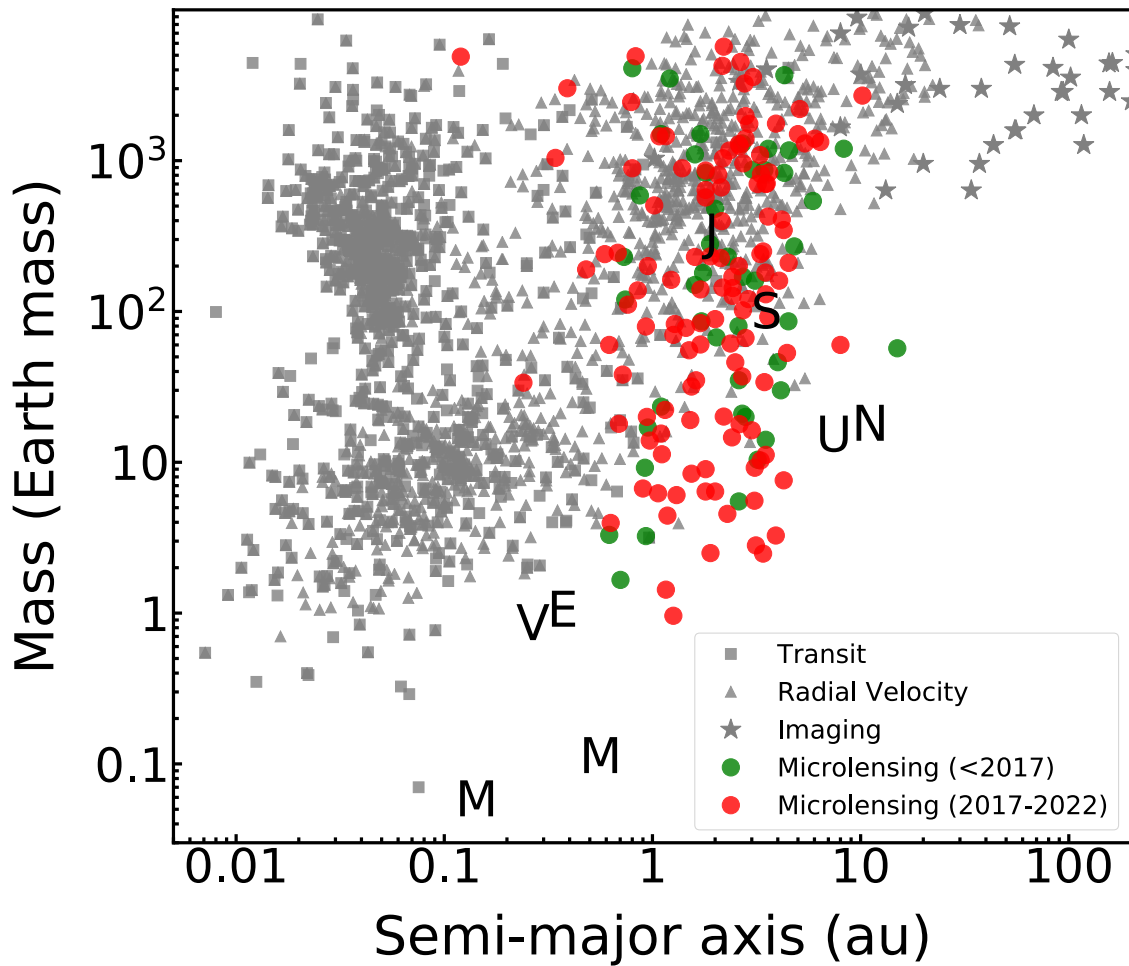


図1. これまでに発見された系外惑星の軌道長半径（横軸）と惑星質量（縦軸）の分布（データは exoplanet.eu より取得）。四角、三角、星、丸はそれぞれトランジット法、視線速度法、直接撮像法、重力マイクロレンズ法で発見された惑星を示す。緑と赤の丸はそれぞれ本研究開始前と本研究期間中に発見された惑星。赤の丸のうち約半数の惑星の発見に本研究が貢献した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計46件（うち査読付論文 46件/うち国際共著 46件/うちオープンアクセス 46件）

1. 著者名 Zang W. et al. (including Fukui A.)	4. 巻 891
2. 論文標題 Spitzer Microlensing Parallax Reveals Two Isolated Stars in the Galactic Bulge	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab6ff8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Miyazaki S. et al. (including Fukui A.)	4. 巻 159
2. 論文標題 OGLE-2013-BLG-0911Lb: A Secondary on the Brown-dwarf Planet Boundary around an M Dwarf	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/ab64de	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Han C. et al. (including Fukui A.)	4. 巻 159
2. 論文標題 OGLE-2018-BLG-1700L: Microlensing Planet in Binary Stellar System	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/ab5db9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Kondo I. et al. (including Fukui A.)	4. 巻 158
2. 論文標題 MOA-bin-29b: A Microlensing Gas-giant Planet Orbiting a Low-mass Host Star	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/ab4e9e	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Nagakane M. et al. (including Fukui A.)	4. 巻 158
2. 論文標題 OGLE-2015-BLG-1649Lb: A Gas Giant Planet around a Low-mass Dwarf	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/ab4881	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Fukui A. et al.	4. 巻 158
2. 論文標題 Kojima-1Lb Is a Mildly Cold Neptune around the Brightest Microlensing Host Star	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/ab487f	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Shin I.-G. et al. (including Fukui A.)	4. 巻 158
2. 論文標題 The 2L1S/1L2S Degeneracy for Two Microlensing Planet Candidates Discovered by the KMTNet Survey in 2017	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/ab46a5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Li S.-S. et al. (including Fukui A.)	4. 巻 488
2. 論文標題 OGLE-2017-BLG-1186: first application of asteroseismology and Gaussian processes to microlensing	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 3308 - 3323
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stz1873	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Han C. et al. (including Fukui A.)	4. 巻 158
2. 論文標題 OGLE-2018-BLG-1011Lbc: Microlensing Planetary System with Two Giant Planets Orbiting a Low-mass Star	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/ab2f74	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Han C. et al. (including Fukui A.)	4. 巻 158
2. 論文標題 Spectroscopic Mass and Host-star Metallicity Measurements for Newly Discovered Microlensing Planet OGLE-2018-BLG-0740Lb	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/ab2df4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Tsapras Y. et al. (including Fukui A.)	4. 巻 487
2. 論文標題 An analysis of binary microlensing event OGLE-2015-BLG-0060	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 4603 - 4614
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stz1404	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Jung Y. K. et al. (including Fukui A.)	4. 巻 158
2. 論文標題 Spitzer Parallax of OGLE-2018-BLG-0596: A Low-mass-ratio Planet around an M Dwarf	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/ab237f	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Ranc C. et al. (including Fukui A.)	4. 巻 157
2. 論文標題 OGLE-2015-BLG-1670Lb: A Cold Neptune beyond the Snow Line in the Provisional WFIRST Microlensing Survey Field	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/ab141b	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Han C. et al. (including Fukui A.)	4. 巻 876
2. 論文標題 OGLE-2018-BLG-0022: First Prediction of an Astrometric Microlensing Signal from a Photometric Microlensing Event	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab1539	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Shan, Y., Yee, J. C., Udalski, A., et al.	4. 巻 873
2. 論文標題 OGLE-2014-BLG-0962 and a Comparison of Galactic Model Priors to Microlensing Data	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab0021	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Calchi Novati, S., Suzuki, D., Udalski, A., et al.	4. 巻 157
2. 論文標題 Spitzer Microlensing Parallax for OGLE-2016-BLG-1067: A Sub-Jupiter Orbiting an M Dwarf in the Disk	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 121
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/ab0106	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Chung, S.-J., Gould, A., Skowron, J., et al.	4. 巻 871
2. 論文標題 Spitzer Microlensing of MOA-2016-BLG-231L: A Counter-rotating Brown Dwarf Binary in the Galactic Disk	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 179
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aaf861	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 OGLE Collaboration, Mroz, P., Udalski, A., Bennett, et al.	4. 巻 622
2. 論文標題 Two new free-floating or wide-orbit planets from microlensing	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Astronomy and Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A201
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/201834557	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Jung, Y. K., Han, C., Bond, I. A., et al.	4. 巻 872
2. 論文標題 OGLE-2016-BLG-0156: Microlensing Event with Pronounced Microlens-parallax Effects Yielding a Precise Lens Mass Measurement	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 175
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab001f	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Bachelet, E., Bozza, V., Han, C., et al.	4. 巻 870
2. 論文標題 First Assessment of the Binary Lens OGLE-2015-BLG-0232	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aaedb9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Bhattacharya, A., Beaulieu, J.-P., Bennett, D. P., et al.	4. 巻 156
2. 論文標題 WFIRST Exoplanet Mass-measurement Method Finds a Planetary Mass of 39 +/- 8 M_Earth for OGLE-2012-BLG-0950Lb	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 289
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/aaed46	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Suzuki, D., Bennett, D. P., Ida, S., et al.	4. 巻 869
2. 論文標題 Microlensing Results Challenge the Core Accretion Runaway Growth Scenario for Gas Giants	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 L34
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/aaf577	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Li, M. C. A., Rattenbury, N. J., Bond, I. A., et al.	4. 巻 480
2. 論文標題 A study of the light travel time effect in short-period MOA eclipsing binaries via eclipse timing	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 4557
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/sty2104	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Han, C., Bond, I. A., Gould, A., et al.	4. 巻 156
2. 論文標題 MOA-2016-BLG-319Lb: Microlensing Planet Subject to Rare Minor-image Perturbation Degeneracy in Determining Planet Parameters	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 226
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/aae38e	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Han, C., Jung, Y. K., Udalski, A., et al.	4. 巻 867
2. 論文標題 OGLE-2017-BLG-0039: Microlensing Event with Light from a Lens Identified from Mass Measurement	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 136
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aae536	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Miyazaki, S., Sumi, T., Bennett, D. P., et al.	4. 巻 156
2. 論文標題 MOA-2015-BLG-337: A Planetary System with a Low-mass Brown Dwarf/Planetary Boundary Host, or a Brown Dwarf Binary	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 136
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/aad5ee	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Bennett, D. P., Udalski, A., Bond, I. A., et al.	4. 巻 156
2. 論文標題 A Planetary Microlensing Event with an Unusually Red Source Star: MOA-2011-BLG-291	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 113
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/aad59c	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Suzuki, D., Bennett, D. P., Udalski, A., et al.	4. 巻 155
2. 論文標題 A Likely Detection of a Two-planet System in a Low-magnification Microlensing Event	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 263
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/aabd7a	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Hwang, K.-H., Udalski, A., Bond, I. A., et al.	4. 巻 155
2. 論文標題 OGLE-2015-BLG-1459L: The Challenges of Exo-moon Microlensing	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 259
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/aac2cb	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Han, C., Hirao, Y., Udalski, A., et al.	4. 巻 155
2. 論文標題 OGLE-2017-BLG-0482Lb: A Microlensing Super-Earth Orbiting a Low-mass Host Star	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 211
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/aabad2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Bennett D. P., Udalski A., Han C., et al. (including Fukui A.)	4. 巻 155
2. 論文標題 The First Planetary Microlensing Event with Two Microlensed Source Stars	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 141 ~ 141
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/aaadfa	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Beaulieu J.-P., Batista V., Bennett D. P., et al. (including Fukui A.)	4. 巻 155
2. 論文標題 Combining Spitzer Parallax and Keck II Adaptive Optics Imaging to Measure the Mass of a Solar-like Star Orbiting a Cold Gaseous Planet Discovered by Microlensing	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 78 ~ 78
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/aaa293	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Udalski A., Han C., Bozza V., et al. (including Fukui A.)	4. 巻 853
2. 論文標題 OGLE-2014-BLG-0289: Precise Characterization of a Quintuple-peak Gravitational Microlensing Event	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical 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) 10.3847/1538-4357/aaa295	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Ryu Y.-H., Yee J. C., Udalski A., et al. (including Fukui A.)	4. 巻 155
2. 論文標題 OGLE-2016-BLG-1190Lb: The First Spitzer Bulge Planet Lies Near the Planet/Brown-dwarf Boundary	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 40 ~ 40
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/aa9be4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Zhu Wei, Udalski A., Huang C. X., et al. (including Fukui A.)	4. 巻 849
2. 論文標題 An Isolated Microlens Observed from K2, Spitzer, and Earth	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 L31 ~ L31
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/aa93fa	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Mroz Przemek, Udalski A., Bond I. A., et al. (including Fukui A.)	4. 巻 154
2. 論文標題 OGLE-2013-BLG-0132Lb and OGLE-2013-BLG-1721Lb: Two Saturn-mass Planets Discovered around M-dwarfs	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 205 ~ 205
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/aa8f98	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Li M. C. A., Rattenbury N. J., Bond I. A., et al. (including Fukui A.)	4. 巻 470
2. 論文標題 The first eclipsing binary catalogue from the MOA-II data base	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 539 ~ 550
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stx1280	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Bond I. A., Bennett D. P., Sumi T., et al. (including Fukui A.)	4. 巻 469
2. 論文標題 The lowest mass ratio planetary microlens: OGLE 2016-BLG-1195Lb	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 2434 ~ 2440
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stx1049	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Wang Tianshu, Zhu Wei, Mao Shude, et al. (including Fukui A.)	4. 巻 845
2. 論文標題 Ground-based Parallax Confirmed by Spitzer: Binary Microlensing Event MOA-2015-BLG-020	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 129 ~ 129
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aa813b	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Bennett D. P., Bond I. A., Abe F., et al. (including Fukui A.)	4. 巻 154
2. 論文標題 MOA Data Reveal a New Mass, Distance, and Relative Proper Motion for Planetary System OGLE-2015-BLG-0954L	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 68 ~ 68
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/aa7aee	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Poleski R., Udalski A., Bond I. A., et al. (including Fukui A.)	4. 巻 604
2. 論文標題 A companion on the planet/brown dwarf mass boundary on a wide orbit discovered by gravitational microlensing	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A103 ~ A103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/201730928	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Han C., Udalski A., Sumi T., et al. (including Fukui A.)	4. 巻 843
2. 論文標題 OGLE-2016-BLG-1469L: Microlensing Binary Composed of Brown Dwarfs	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 59 ~ 59
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aa740e	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Nagakane M., Sumi T., Koshimoto N., et al. (including Fukui A.)	4. 巻 154
2. 論文標題 MOA-2012-BLG-505Lb: A Super-Earth-mass Planet That Probably Resides in the Galactic Bulge	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 35 ~ 35
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/aa74b2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Koshimoto N., Shvartzvald Y., Bennett D. P., et al. (including Fukui A.)	4. 巻 154
2. 論文標題 MOA-2016-BLG-227Lb: A Massive Planet Characterized by Combining Light-curve Analysis and Keck AO Imaging	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 3 ~ 3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/aa72e0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Hirao Y., Udalski A., Sumi T., et al. (including Fukui A.)	4. 巻 154
2. 論文標題 OGLE-2013-BLG-1761Lb: A Massive Planet around an M/K Dwarf	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 1~1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/aa73da	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Jung Y. K., Udalski A., Bond I. A., et al. (including Fukui A.)	4. 巻 841
2. 論文標題 OGLE-2016-BLG-1003: First Resolved Caustic-crossing Binary-source Event Discovered by Second-generation Microlensing Surveys	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 75~75
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aa7057	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計29件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 11件)

1. 発表者名 末松春乃
2. 発表標題 深層学習を用いたMOA-IIマイクロレンズサーベイ画像におけるリアルタイムイベント検出の効率化
3. 学会等名 日本天文学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮崎翔太
2. 発表標題 重力マイクロレンズイベントに対する惑星 (2L1S) モデルと公転軌道の効果を含めた連星ソース (1L2S) モデルの検証
3. 学会等名 日本天文学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 近藤依央菜
2. 発表標題 低質量比の惑星候補イベントOGLE-2018-BLG-1185/MOA-2018-BLG-228の解析
3. 学会等名 日本天文学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山脇翼
2. 発表標題 近赤外重力マイクロレンズ探査計画PRIMEの進展
3. 学会等名 日本天文学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山川竹玄
2. 発表標題 重力マイクロレンズ法による巨大ガス惑星周りの衛星存在確率に対する制限
3. 学会等名 日本天文学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮崎翔太
2. 発表標題 重力マイクロレンズ法を用いたXallarap効果による銀河系バルジの短周期惑星の検出実現性
3. 学会等名 日本天文学会2020年春季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 福井暁彦
2. 発表標題 Tomo-e Gozenサーベイを使った近傍重力マイクロレンズ探索
3. 学会等名 日本天文学会2020年春季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Akihiko Fukui
2. 発表標題 Planned Ground-based Survey for Bright Microlensing Events
3. 学会等名 The 10th OPTICON Gaia Science Alerts workshop (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福井暁彦
2. 発表標題 北天で発見された最近傍マイクロレンズ惑星イベントのフォローアップ観測
3. 学会等名 日本天文学会2018年秋季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 福井暁彦
2. 発表標題 重力マイクロレンズ現象と系外惑星
3. 学会等名 第二回新天体探索者会議 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鈴木大介
2. 発表標題 MOA-2018-BLG-199/KMT-2018-BLG-0359Lb: M型星周りのスーパージュピター
3. 学会等名 日本天文学会2019年春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 近藤依央菜
2. 発表標題 MOA-bin-29Lb : M型星または褐色矮星周りを回る巨大ガス惑星
3. 学会等名 日本天文学会2019年春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮崎翔太
2. 発表標題 MOA-2013-BLG-551Lb:M型星に付随する低質量褐色矮星
3. 学会等名 日本天文学会2019年春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 末松春乃
2. 発表標題 畳み込みニューラルネットワークを用いた星像検出方法の検討
3. 学会等名 日本天文学会2019年春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akihiko Fukui
2. 発表標題 Detailed Analysis of the Kojima Event: Anti-GB Planetary Event with the Brightest Host Star
3. 学会等名 23rd International Microlensing Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Fumio Abe
2. 発表標題 Detailed Analysis of the Kojima Event: Anti-GB Planetary Event with the Brightest Host Star
3. 学会等名 23rd International Microlensing Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takahiro Sumi
2. 発表標題 PRIME
3. 学会等名 23rd International Microlensing Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Dasiuke Suzuki
2. 発表標題 MOA-2018-BLG-199/KMT-2018-BLG- 0359Lb: A super-Jupiter around an M-dwarf host
3. 学会等名 23rd International Microlensing Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoki Koshimoto
2. 発表標題 Evidence of systematic errors in Spitzer 2015 parallax measurements
3. 学会等名 23rd International Microlensing Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Iona Kondo
2. 発表標題 Analysis of the short timescale planetary event MOA-bin-29
3. 学会等名 23rd International Microlensing Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuki Hirao
2. 発表標題 Unpublished binary and planetary events from MOA 9 year analysis
3. 学会等名 23rd International Microlensing Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akihiko Fukui
2. 発表標題 The closest-source microlensing event discovered toward Taurus
3. 学会等名 22nd International Microlensing Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Daisuke Suzuki
2. 発表標題 Planet formation theory
3. 学会等名 22nd International Microlensing Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuki Hirao
2. 発表標題 Analysis of the Planetary Microlensing Event OGLE-2017-BLG-0406 with Spitzer Data
3. 学会等名 22nd International Microlensing Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 永金昌幸
2. 発表標題 MOA-2015-BLG-404 : 低質量星周りの巨大ガス惑星
3. 学会等名 日本天文学会2018年春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮崎翔太
2. 発表標題 巨大ガス惑星に付随するスーパーネプチューンの衛星系、または褐色矮星連星: MOA-2015-BLG-337
3. 学会等名 日本天文学会2018年春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鈴木大介
2. 発表標題 重力マイクロレンズ観測結果と惑星形成モデルとの比較
3. 学会等名 日本天文学会2018年春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鈴木大介
2. 発表標題 低増光率マイクロレンズイベントにおける複数惑星系の初検出：OGLE-2014-BLG-1722
3. 学会等名 日本天文学会2018年春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 越本直季
2. 発表標題 重力マイクロレンズ天体の星像内のコンタミの確率のベイズ推定法の確立
3. 学会等名 日本天文学会2017年秋季年会
4. 発表年 2017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
研究分担者	阿部 文雄 (Abe Fumio) (80184224)	名古屋大学・宇宙地球環境研究所・客員准教授 (13901)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	住 貴宏 (Sumi Takahiro) (30432214)	大阪大学・理学研究科・教授 (14401)	
研究協力者	鈴木 大介 (Suzuki Daisuke) (60807717)	大阪大学・理学研究科・助教 (14401)	

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			
米国	NASA			
ニュージーランド	マッシー大学	オークランド大学	カンタベリー大学	