

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 4 月 22 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23340044

研究課題名(和文) 重力マイクロレンズによる地球質量系外惑星、浮遊惑星の探索

研究課題名(英文) Search for Earth mass exoplanet and free-floating planet via gravitational microlensing

研究代表者

住 貴宏 (Sumi, Takahiro)

大阪大学・理学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：30432214

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円、(間接経費) 4,050,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、我々MOAグループが行っている重力マイクロレンズによる系外惑星探査を3年間継続する事によって、2011,12,13年にそれぞれ、5個、6個、9個、合計20個の系外惑星を発見した。その内の一つ、MOA-2011-BLG-262Lbは、地球質量以下の惑星である可能性が高く、今後の追観測が待たれる。また、MOA-2011-BLG-293Lbは、マイクロレンズでは初めて、ハビタブルゾーンにある惑星の発見である。これらを用いて、スノーラインの外側での系外惑星の分布を見積もり、スノーラインの内側より数倍多い事が分かった。主星を伴わない浮遊惑星も十数個発見した。

研究成果の概要(英文)：We, the MOA collaboration, conducted an exoplanet survey by using gravitational microlensing for three years and found 5,6,9 planets in 2011,12,13, respectively. One of these events, MOA-2011-BLG-262Lb may have a mass of less than the earth to be confirmed near future. The another planet, MOA-2011-BLG-293Lb was the first exoplanet in the habitable zone found by microlensing. we estimated the planetary abundance outside of the snow line and found the abundance is several times higher than that inside the snow line. We also found dozen free floating planet candidates.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：天文学

キーワード：光赤外線天文学 系外惑星

1. 研究開始当初の背景

系外惑星は、1995年に初めて発見されてから、ドップラー、トランジット、直接撮像等により、2010年までに約490個発見されている。これらの惑星の多くは木星質量程度で、最近見つかри始めた海王星質量惑星や数倍地球質量の「スーパーアース」も小軌道半径に限られ、惑星形成はまだ十分理解されていない。そんな中、Microlensing Observations in Astrophysics (MOA) グループはニュージーランドの Mt. John 天文台の 61cm 望遠鏡で重力マイクロレンズによる系外惑星探査を行ってきた。2005年には同天文台に 1.8m 広視野望遠鏡を建設し翌4月から高頻度サーベイ観測を開始した(MOA-II)。

マイクロレンズ法は、惑星からの光を必要とせず、その惑星の重力がレンズの様な働きをして背景天体を一時的に増光させる事を観測する。マイクロレンズは比較的大軌道半径(1-6 天文単位[AU])の地球質量程度の系外惑星まで検出が可能な現在唯一の方法である。この領域は、スノーライン[太陽の様な星の場合 ~ 2.7 AU]と呼ばれる H_2O が氷に凝縮し始める境界の外側で、個体密度が急激に上昇する事で惑星形成が活発になる領域に当たり非常に重要である。

マイクロレンズイベント中の惑星シグナルの継続時間は、数時間から数日と非常に短く、その期間を精度良く連続測光する必要がある。そこで、MOA と OGLE というサーベイグループがマイクロレンズイベントを検出しアラートを出し、追観測グループが高頻度観測する。2003年我々MOAはOGLEと共同で、世界で初めてマイクロレンズを使って木星質量の系外惑星を発見した。さらに当時世界で最も軽い5.5倍地球質量惑星を発見した。また、2008年までに発見された系外惑星10個から、M-K型矮星のスノーラインの外側での質量比関数を初めて求め、海王星質量惑星が木星質量惑星の3倍以上多い事を発見した。これは、この領域で海王星質量惑星は形成されるが、それらにガスが降着して巨大ガス惑星に成長する前にガスが散逸してしまっている事を示し、惑星形成理論に強い制限を与える。また、この領域の惑星存在量はドップラー法で求められた小軌道半径(~ 0.3 AU)での存在量の7倍と非常に多い事が分かった。これは、スノーライン外側で形成された惑星の多くはあまり内側に移動しない事を示している。

2. 研究の目的

上述の様にマイクロレンズでは他の観測方法とは異なる領域の重要な情報を得られるが、まだ統計量が少ない。本研究で統計量

を増やし、より正確に惑星存在量、分布を求める。H21年は4個、H22年は5個の系外惑星を発見し、着実に惑星発見数を増やしている。H23年からは、OGLEがアップグレード(視野はMOAの半分)してMOAを模した高頻度サーベイを開始する事から、異なる経度からの連続サーベイによる相乗効果で年間6個以上の惑星が期待できる。また、H20年に発見されたイベントMOA-2008-BLG-225は2倍火星質量の惑星まで感度があると確かめられている。さらに、地球質量惑星の検出効率は海王星質量の約1/5なので、本研究期間内に地球質量惑星を発見できる可能性は高い。また、他の方法では我々から数百光年以内の惑星系しか検出できないのに対し、マイクロレンズは主星の光を利用しないため20数キロ光年もの遠方(銀河円盤から銀河中心まで)まで感度があり、本研究で初めて銀河系内惑星系分布を求める。

主星の周りを廻っていない浮遊惑星候補は、これ迄数個観測例があるが、星形成領域の非常に若い高温巨大ガス惑星に限られ、星間空間では発見されてない。惑星形成理論では、複数の惑星ができるとそれらの軌道は不安定になり、主星の重力圏からはじき飛ばされる。本研究は、これら主星に付随していない浮遊惑星を検出する。他の方法と違い、マイクロレンズは主星の光を必要とせず、唯一この浮遊惑星を検出できる。H18-19年に我々は主星による増光を伴わない増光タイムスケールが1日程度と非常に短いイベントを10個発見し木星質量の浮遊惑星が多く存在する事が分かって来た。これから、主星周りに残った惑星だけではなく、元々形成された惑星の数が分かり、惑星形成理論研究に非常に重要である。

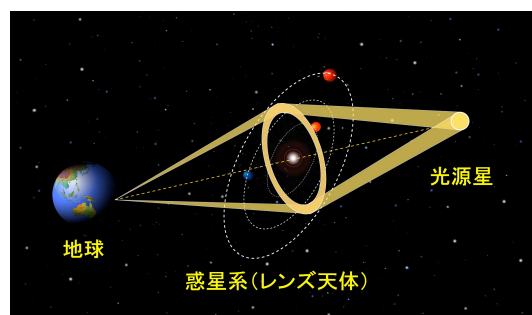


図1：重力マイクロレンズの模式図。光源星の光がレンズ天体の重力で曲げられ増光して見える。レンズ星まわりの惑星がさらにマイクロレンズで増光させる。

3. 研究の方法

背景天体の前を他の星(レンズ天体)が通過すると、その重力がレンズの様な働きをし

て背景天体からの光を一時的に増光し、マイクロレンズイベントとして観測される。実際には、銀河中心バルジ内の比較的奥の星がバルジ内手前や銀河円盤内の星に増光される。この時レンズ天体の周りに惑星があると、この惑星の重力によってさらにレンズを受け、光度曲線は標準的なマイクロレンズの理論曲線から逸脱し、これを観測する事により惑星を検出でき、惑星と主星の質量比、軌道半径等が求まる (図1)

ニュージーランドにある MOA-II 1.8m 望遠鏡の 2.2 平方度という広視野を利用して、銀河系バルジの 50 平方度内の星 1 億個を 15-90 分に 1 回と言う高頻度サーベイをする。さらにタイムスケールが数時間の惑星シグナルをリアルタイムで検出しアラートを出す「惑星アラートシステム」を改良して運用する。これにより世界中の追観測グループが観測して、系外惑星を検出する。

この高い観測頻度により浮遊惑星もリアルタイム検出する。H23 年度は高頻度観測を行いつつ、従来の惑星アラートシステムを運用しながら、平行してアラートシステムを改良し検出効率を上げ、地球質量惑星の発見を目指す。H24 年度以降は、改良したアラートシステムを運用し検出数を増やし、個々の惑星イベントについて解析を進める。最終年度には、全イベントをまとめ、シミュレーションにより検出効率を求めて、系外惑星及び浮遊惑星の存在量、質量分布等を統計的に見積もる。

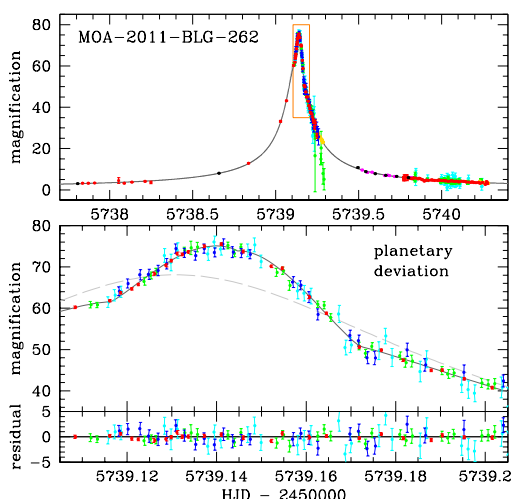


図2：浮遊惑星周りの地球質量衛星の候補 MOA-2011-BLG-262Lb の光度曲線。上段 6 日間。中段：ピークの拡大。実線と破線は伴星(質量比 10^{-4} の月)がある場合とない場合のベストフィットモデル。下段：モデルからの残差。タイムスケールが 3.8 日と短く主星が惑星質量で、伴星が地球質量以下の衛星の可能性はある。

4. 研究成果

本研究では、我々 MOA グループが行っている重力マイクロレンズによる系外惑星探査を 3 年間継続する事によって、約 1800 個のマイクロレンズイベントを発見し、世界中にアラートを発した。それらのイベントの中で、2011, 12, 13 年にそれぞれ、5 個、6 個、9 個、合計 20 個の系外惑星を発見し、当初期待していた(惑星 18 個程度)以上の成果をあげた。

その内の一つ、MOA-2011-BLG-262Lb は、主星が惑星質量程度と非常に軽く、伴星は地球質量以下の衛星である可能性が高い (Bennett et al. 2014)。確認のための今後の追観測が待たれる。また、MOA-2011-BLG-293Lb は、マイクロレンズでは初めて、液体の水が存在可能なハビタブルゾーンにある惑星の発見である (Batista et al. 2014)。さらに、OGLE-2012-BLG-0358L は、褐色矮星周りを廻る 2 倍木星質量の惑星で、これにより褐色矮星の周りでも惑星が形成可能である事が分かった (Han et al. 2013)。これら発見された系外惑星を用い、我々の観測の検出効率をシミュレーションで見積もる事で、スノーラインの外側での系外惑星の質量分布、存在量を見積もった。その結果、スノーラインの外側では、内側より惑星頻度は数倍多い事が分かった。

また、図 3 の様な主星を伴わない浮遊惑星候補も十数個発見した。今後、詳細解析を行い浮遊惑星の頻度をまとめる。

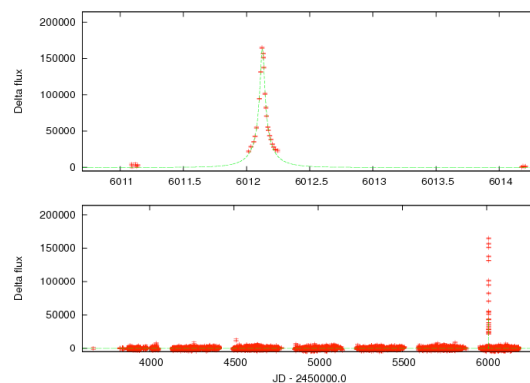


図3：浮遊惑星候補 MOA-2012-BLG-092 の光度曲線。下段：7 年間。上段：増光中の拡大。実線はベストフィットのマイクロレンズ理論曲線。タイムスケールは $t_E=0.2$ 日で、レンズの重さは木星質量程度。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 39 件)

1. “MOA-2011-BLG-262Lb: A Sub-Earth-Mass Moon Orbiting a Gas Giant Primary or a

- High Velocity Planetary System in the Galactic Bulge” , Bennett, D. P., Sumi T. (26), Abe, F. (10) (95authors), ApJ., 785, 155, 13pp (2014), refereed. doi: 10.1088/0004-637X/785/2/155
2. “MOA-2011-BLG-322Lb: a ‘second generation survey’ microlensing planet” , Shvartzvald, Y., Sumi T. (4), Abe, F. (9) (40 authors), Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 439, p.604-610 (2014), refereed. doi: 10.1093/mnras/stt2477
 3. “OGLE-2012-BLG-0455/MOA-2012-BLG-206: Microlensing event with ambiguity in planetary interpretations caused by incomplete coverage of planetary signal” , Park, H., Sumi T. (5), Abe, F. (32) (58 authors), ApJ. accepted. eprint arXiv:1403.1672
 4. “A Super-Jupiter Orbiting a Late-type Star: A Refined Analysis of Microlensing Event OGLE-2012-BLG-0406” , Tsapras, Y. Sumi T. (11) , Abe, F. (101) (125 authors). ApJ, 782, 48, 9 pp (2014), refereed. doi: 10.1088/0004-637X/782/1/48
 5. “MOA-2008-BLG-379Lb: A Massive Planet from a High Magnification Event with a Faint Source” , Suzuki D. Sumi T. (3) Abe, F. (6) (34authors), ApJ, 780, 123, 9 pp. (2014). refereed. doi: 10.1088/0004-637X/780/2/123
 6. “MOA-2011-BLG-293Lb: First Microlensing Planet Possibly in the Habitable Zone” , Batista, V. Sumi T. (8) (9 authors), ApJ. 780, 54, 8 pp. (2014). refereed. doi: 10.1088/0004-637X/780/1/54
 7. “MOA-2010-BLG-328Lb: a sub-Neptune orbiting very late M dwarf ?” , Furusawa, K., *Sumi, T. (3), Abe, F. (11) (122 authors), ApJ. 779, 91, 12 pp. (2013) Refereed. Doi: 10.1088/0004-637X/779/2/91
 8. “The Microlensing Event Rate and Optical Depth Toward the Galactic Bulge from MOA-II” , *Sumi, T. (1), Abe, F. (4) (22 authors), ApJ., 778, 150, 15 pp. (2013). Refereed. Doi: 10.1088/0004-637X/778/2/150
 9. “Interpretation of a Short-term Anomaly in the Gravitational Microlensing Event MOA-2012-BLG-486” , Hwang, K.-H., Sumi T. (4) (81authors), ApJ., 778, 55, 6 pp. (2013), refereed. Doi: 10.1088/0004-637X/778/1/55
 10. “Microlensing Discovery of a Tight, Low-mass-ratio Planetary-mass Object around an Old Field Brown Dwarf” , Han, C., Sumi, T. (4) (70authors), ApJ. 778, 38, 6 pp. (2013). refereed. doi: 10.1088/0004-637X/778/1/38
 11. “Direct Imaging Search for Extrasolar Planets in the Pleiades” , *Yamamoto, K., Sumi, T. (9), (55 authors), PASJ, 65, 90 (2013), Refereed. doi: 10.1093/pasj/65.4.90
 12. “MOA-2010-BLG-311: A Planetary Candidate below the Threshold of Reliable Detection” , *Yee, J. C., Sumi, T. (53), Abe, F. (5), (126 authors), ApJ, 769, 77-89 (2013). Refereed. doi: 10.1088/0004-637X/769/1/77
 13. “Microlensing Discovery of a Population of Very Tight, Very Low Mass Binary Brown Dwarfs” , Choi, J.-Y., Sumi T. (4), ApJ. 768, 129, 7 pp. (2013). Refereed. doi: 10.1088/0004-637X/768/2/129
 14. “A giant planet beyond the snow line in microlensing event OGLE-2011-BLG-0251” , *Kains, N., Sumi, T. (80), Abe, F. (62), (131 author s), A&A, 552, 70 10pp. (2013). Refereed. doi: 10.1051/0004-6361/201220626
 15. “A New Galactic Extinction Map in High Ecliptic Latitudes” , *Kohyama, T., Sumi, T. (4), (4 authors), PASJ, 65, 13 (2013), Refereed. doi: 10.1093/pasj/65.1.13
 16. “Using Orbital Effects to Break the Close/Wide Degeneracy in Binary-lens Microlensing Events” , *Shin, I.-G., Sumi, T. (2), Abe, F. (7), (40 authors), ApJ, 764, 64-69 (2013). Refereed. doi: 10.1088/0004-637X/764/1/64
 17. “MOA-2010-BLG-523: “Failed Planet” = RS CVn Star” , *Gould, A., Sumi, T. (46), Abe, F. (29), (119 authors), ApJ, 763, 141-151 (2013). Refereed. doi: 10.1088/0004-637X/763/2/141
 18. “Microlensing Binaries with Candidate Brown Dwarf Companions” , Shin, I.-G. Sumi T. (5) (155authors), ApJ., 760, 116, 10 pp. (2012), refereed. doi: 10.1088/0004-637X/760/2/116
 19. “MOA-2010-BLG-073L: An M-dwarf with a Substellar Companion at the Planet/Brown Dwarf Boundary” , *Street, R. A., Sumi, T. (8), Abe, F. (22), (133 authors), ApJ, 763, 67-79 (2013). Refereed. doi: 10.1088/0004-637X/763/1/67
 20. “Chemical evolution of the Galactic bulge as traced by microlensed dwarf and subgiant stars. V. Evidence for a wide age distribution and a complex MDF” , *Bensby, T., Sumi, T. (5), (13 authors), A&A, 549, 147-173 (2013). Refereed. doi:

- 10.1051/0004-6361/201220678
21. "A brown dwarf orbiting an M-dwarf: MOA 2009-BLG-411L" , *Bachelet, E., Sumi, T(83), Abe, F. (66) (118 authors), *ApJ*, 547, 55-66 (2012). Refereed. doi: 10.1051/0004-6361/201219765
 22. "Planetary and Other Short Binary Microlensing Events from the MOA Short-event Analysis" , *Bennett, D. P., Sumi, T(2), Abe, F. (5) (27 authors), *ApJ*, 757, 119-135 (2012). Refereed, doi:10.1088/0004-637X/757/2/119
 23. "A New Type of Ambiguity in the Planet and Binary Interpretations of Central Perturbations of High-magnification Gravitational Microlensing Events" , *Choi, J.-Y., Sumi, T. (5), Abe, F. (21) (121 authors), *ApJ*, 756, 48-56, refereed. doi: 10.1088/0004-637X/756/1/48
 24. "OGLE-2008-BLG-510: first automated real-time detection of a weak microlensing anomaly - brown dwarf or stellar binary?" , *Bozza, V., Abe, F. (79), Sumi, T. (96), (106 authors), *MNRAS*, 424, 902-918 (2012), refereed. doi: 10.1111/j.1365-2966.2012.21233.x
 25. "MOA-2011-BLG-293Lb: A Test of Pure Survey Microlensing Planet Detections" , *Yee, J. C., Abe, F. (11), Sumi, T. (30), (77 authors), *ApJ*, 755, 102-115 (2012), refereed. doi: 10.1088/0004-637X/755/2/102
 26. "Characterizing Low-mass Binaries from Observation of Long-timescale Caustic-crossing Gravitational Microlensing Events" , *Shin, I.-G., Sumi, T. (5), Abe, F. (21), (122 authors), *ApJ*, 755, 91-100 (2012), refereed. doi: 10.1088/0004-637X/755/2/91
 27. "MOA 2010-BLG-477Lb: Constraining the Mass of a Microlensing Planet from Microlensing Parallax, Orbital Motion, and Detection of Blended Light" , *Bachelet, E., Sumi, T. (16), Abe, F. (84), (142 authors), *ApJ*, 754, 73-89, (2012), refereed. doi: 10.1088/0004-637X/754/1/73
 28. "A Possible Binary System of a Stellar Remnant in the High-magnification Gravitational Microlensing Event OGLE-2007-BLG-514" , *Miyake, N., Sumi, T. (3), Abe, F. (16) (81 authors), *ApJ*, 752, 82-93, (2012), refereed, doi:10.1088/0004-637X/751/1/41
 29. "Characterizing Lenses and Lensed Stars of High-magnification Single-lens Gravitational Microlensing Events with Lenses Passing over Source Stars" , *Choi, J.-Y., Sumi, T. (6), Abe, F. (38) (151 authors), *ApJ*, 751, 41, (2012), refereed. doi: 10.1088/0004-637X/751/1/41
 30. "A frozen super-Earth orbiting a star at the bottom of the main sequence" , *Kubas, D., Sumi, T. (10), (22 authors), *A&A*, 540, A78, (2012), refereed. doi: 10.1051/0004-6361/201015832
 31. "Microlensing Binaries Discovered through High-magnification Channel" , *Shin, I.-G., Sumi, T. (6), Abe, F. (39) (152 authors), *ApJ*, 746, 127, (2012), refereed. doi: 10.1088/0004-637X/746/2/127
 32. "One or more bound planets per Milky Way star from microlensing observations" , *Cassan, A., Sumi, T. (36), (42 authors), *Nature*, 481, 167-169 (2012), refereed. doi: 10.1038/nature10684
 33. "Discovery and Mass Measurements of a Cold, 10 Earth Mass Planet and Its Host Star" , Muraki, Y. (1) et al., Sumi, T. (18), Abe, F. (23), (131 authors), *The Astrophysical Journal*, 741, 22- (2011). Refereed. doi: 10.1088/0004-637X/741/1/22
 34. "Binary Microlensing Event OGLE-2009-BLG-020 Gives Verifiable Mass, Distance, and Orbit Predictions" , *Skowron, J., Abe, F. (49), Sumi, T. (78), (107 authors), *ApJ*, 738, 87 (2011), Refereed. doi: 10.1088/0004-637X/738/1/87
 35. "Chemical evolution of the Galactic bulge as traced by microlensed dwarf and subgiant stars. IV. Two bulge populations" , *Bensby, T., Sumi, T. (16), (24 authors) , *A&A*, 533, 134 (2011), Refereed, doi:10.1051/0004-6361/201117059
 36. "Unbound or distant planetary mass population detected by gravitational microlensing" , *Sumi, T. (1), Abe, F. (5), (38 authors), *Nature*, 473, 347, 349-352 (2011), Refereed, doi: 10.1038/nature10092
 37. "OGLE-2009-BLG-023/MOA-2009-BLG-028 : characterization of a binary microlensing event based on survey data" , *Hwang, K.-H., Sumi, T. (4), Abe, F. (14), (40 authors), *MNRAS*, 413, 1244-1250 (2011), Refereed. doi: 10.1111/j.1365-2966.2011.18206.x
 38. "MOA-2009-BLG-387Lb: a massive planet orbiting an M dwarf" , *Batista, V., Abe, F. (25), Sumi, T. (52), (140 authors), *A&A*, 529, id.A102 (2011), Refereed.

- doi: 10.1051/0004-6361/201016111
39. "A Sub-Saturn Mass Planet, MOA-2009-BLG-319Lb", *Miyake, N.; Miyake, N., Sumi, T. (2), Abe, F. (23), (123 authors), ApJ. 7 28, Issue 2, article id. 120 (2011), Refereed. doi: 10.1088/0004-637X/728/2/120

[学会発表] (計 17 件)

- Sumi, T., MOA-IIの重力マイクロレンズによる銀河系バー構造の解明、日本天文学会春季年会、2014/3/20、国際キリスト教大学
- Sumi, T., The Microlensing Event Rate and Optical Depth Toward the Galactic Bulge from MOA-II, 18th International Conference on Microlensing, 2014/1/20, The Canary Hotel, Santa Barbara, USA
- Sumi, T., WFIRST Wide-Field Infra-Red Survey Telescope, 2020年代の銀河サーベイ計画とすばる望遠鏡とのシナジー、2014/1/11, 国立天文台
- Sumi, T., 可視光赤外衛星計画 Euclid/WFIRST/WISH, 理論懇シンポジウム, 2013/12/26, IPMU
- Sumi, T., Current and Future of Microlensing Exoplanet Search, The 5th Subaru International conference, 2013/12/12, Sheraton Kona Resort and Spa at Keauhou Bay, Kona, Hawaii
- Sumi, T., MOA-IIによる系外惑星探査: 2013年の経過報告, 日本天文学会秋季年会, 2013/9/11, 東北大学
- Sumi, T., Exoplanet search via gravitational microlensing, Medium-Size Telescope Science Workshop, 2013年6月22日, Dianchi Hotel, 昆明(中国)
- Sumi, T., MOA-IIによる系外惑星探査: 2012年の結果, 日本天文学会春季年会, 2013/3/22, 龍谷大学
- Sumi, T., WFIRST/Euclid, すばるHSCサーベイによるサイエンス, 2012/9/27, 国立天文台
- Sumi, T., MOA-IIによる系外惑星探査: 2012年の経過報告, 日本天文学会秋季年会, 2012/9/20, 大分大学旦野原キャンパス
- Sumi, T., Current and Future of Microlensing Exoplanet Search, IAU XXVIII General Assembly, 2012/8/27, China National Convention Center, Beijing, China
- Sumi, T., Space Microlensing Exoplanet Survey with WFIRST, The 220th AAS(American Astronomical Society) meeting, 2012/6/13, Anchorage, Alaska, USA
- Sumi, T. The wide field Infrared Survey Telescope, Science opportunities with wide-field imaging and spectroscopic surveys, 2012/6/1, IPMU
- Sumi, T., MOA-II 2011 season, 16th International Conference on Gravitational Microlensing, 2011/2/16, Pasadena, CA
- Sumi, T. Free-floating planets may be common, 日本天文学会秋季年会, 2011/9/21, 鹿児島大学
- Recent Results from Gravitational Microlensing, Extreme solar systems II, 2011/9/12, Jackson Lake lodge, Wyoming, USA
- Sumi, T., Free-floating Planets, 2011 Sagan Exoplanet Summer Workshop, 2011/7/26, California Institute of Technology, Pasadena, CA

[その他]

ホームページ等

<http://www.phys.canterbury.ac.nz/moa/publications.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

住 貴宏 (Sumi, Takahiro)

大阪大学・理学研究科・准教授

研究者番号: 30432214

(3)連携研究者

伊藤 好孝 (Itow, Yoshitaka)

名古屋大学・太陽地球環境研究所・教授

研究者番号: 50272521

犬塚 修一郎 (Inutsuka, Shuichiro)

名古屋大学・理学研究科・教授

研究者番号: 80270453

阿部 文雄 (Abe, Fumio)

名古屋大学・太陽地球環境研究所・准教授

研究者番号: 80184224

松原 豊 (Matsubara, Yutaka)

名古屋大学・太陽地球環境研究所・准教授

研究者番号: 80202323

増田 公明 (Masuda, Kimiaki)

名古屋大学・太陽地球環境研究所・准教授

研究者番号: 40173744

大西 浩次 (Ohnishi, Koji)

長野工業高等専門学校・一般科・教授

研究者番号: 20290744

谷 隆志 (Sako, Takashi)

名古屋大学・太陽地球環境研究所・助教

研究者番号: 90324368