

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 10 月 21 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2011～2014

課題番号：23340064

研究課題名(和文) マイクロレンズ追尾観測網による太陽系外惑星の探索

研究課題名(英文) Search for extrasolar planets with microlensing follow-up observations

研究代表者

阿部 文雄 (Abe, Fumio)

名古屋大学・宇宙地球環境研究所・准教授

研究者番号：80184224

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,900,000円

研究成果の概要(和文)：重力マイクロレンズ法による太陽系外惑星の探索は、広視野望遠鏡によるマイクロレンズ事象の探索と、様々な望遠鏡による発見された事象の追観測によってなされる。本研究は、ニュージーランド・マウントジョン天文台の61cm望遠鏡や、南アフリカ天文台の1.4m赤外望遠鏡による追観測を実施して、太陽系外惑星を発見し、惑星形成の理解を目指すものである。

研究は順調に行われ、本研究期間中に発見された惑星は29個に上る。この中には、連星の一方をまわる地球の2倍程度の惑星などが含まれ、多くの成果をあげた。マイクロレンズ法による惑星は46個となり、惑星形成を理解すべく統計処理による惑星の分布の研究も進行中である。

研究成果の概要(英文)：Microlensing method in planet hunting is done by wide field survey to find microlensing events then follow-up observations to find anomaly caused by the planet. This study is aimed to conduct follow-up observations with telescopes including Mt John 61 cm B&C and SAAO 1.4 m IRSF. The planets discovered are expected to use understanding formation of the planets.

The progress of the study was fairly good. Total number of planets discovered in the period of this study is 29. In those planets, there were several interesting discoveries including two earth mass planet orbiting a member of M dwarf binary. Including those planets, the number of planets discovered with microlensing become 26. Statistical analyses are in progress to understand formation of planets.

研究分野：宇宙物理

キーワード：太陽系外惑星 重力レンズ 光学赤外線天文学

1. 研究開始当初の背景

地球の様な惑星はどの様に誕生したのだろうか？惑星形成は、18世紀にカント、ラプラスによって提唱された星雲説以来、300年の論争を経て、1970年代に林らによって提唱された、コア集積モデルが標準モデルとして受け入れられている。このモデルでは、原始星の周りにできた原始惑星系円盤(ガスと塵でできた円盤)の中で、塵が集積して微惑星、原始惑星へと成長し、最終的に惑星となったとされている。しかし、このモデルはもともと太陽系の惑星の起源として提唱されたものであり、他の惑星系にも適用可能かどうかは不明だった。

1990年代から始まった太陽系外惑星の発見は、天文学に衝撃を与えた。次々と発見される"ホットジュピター"や"エキセントリック・プラネット"は、宇宙には太陽系に似た惑星系は、ほとんど無いのではないかと推測を呼び起こした。コア集積モデルは、試練に立たされた。しかし、視線速度法やトランジット法は主星に近接した惑星を選択的に発見するバイアスがあり、直接撮像法は主星から遠く隔たった巨大惑星しか発見できないといった、観測手法ごとのバイアスが大きかった。当初、ホットジュピターが多数発見されたのは、この観測バイアスによるものと考えられる。2010年頃には1000個を越え、発見の時代は終わり、惑星の性質や分布などを議論する段階と見られる様になって来た。

マイクロレンズ法による太陽系外惑星発見は、我々MOA共同研究によって2004年に初めて成功した。この方法は、他の手法と異なり、大口径望遠鏡や特殊な観測機器(広視野カメラを除く)を必要とせず、1mクラスの望遠鏡で惑星を発見できる。さらに、他の手法では困難な主星から1-4天文単位程度隔たった地球質量程度の惑星まで発見可能である。この付近は、ちょうど木星の様な巨大ガス惑星の生成する領域にあたっており、惑星形成の理解に重要と考えられている。また、マイクロレンズ法は、他の手法と比較して、観測バイアスが全く異なり、その程度も比較的評価しやすいと考えられている。このことは、統計処理による惑星分布から惑星形成モデルとの比較が期待されている。

しかし、稀にしか起きない現象を利用するため、他の手法に比べて発見数が少なく、年1,2個程度であることが問題とされていた。統計精度を上げて惑星の物理パラメータ(質量、酒精からの距離など)の分布から惑星形成の謎に迫るためには、発見数の増加が課題となっていた。

2. 研究の目的

マイクロレンズ法による惑星発見は、まず広視野望遠鏡によるサーベイ観測を行ってマイクロレンズ効果による増光事象を発

見する必要がある。この事象発見数は、年間数100個程度である。それらの事象を引き続き観測して、光度曲線に現れる惑星による歪み(アノマリー)を検出することによって惑星が発見される。しかし、サーベイ観測だけではまばらな観測しか行えず、惑星検出のための十分なデータが得られないことがあった。

一方、一般の望遠鏡による観測は、視野が狭いため事象探索は行えず、サーベイ観測で発見された多数のマイクロレンズ事象の追観測も、どれを観測すれば良いのか判断するのが困難だった。

本研究は、MOA共同研究が行っているサーベイ観測やリアルタイム解析と連携して、一般の望遠鏡によるマイクロレンズ事象の追観測を実施することにより、事象ごとの観測頻度を上げてデータを増やし、それらの詳細な解析を行うことにより、惑星の発見数を増やすことを目的とする。惑星数の増加に伴い、統計処理が可能となり、惑星分布を惑星形成モデルのシミュレーションと比較可能となることが期待される。

3. 研究の方法

上記の様に、MOA II 1.8m 広視野望遠鏡などによる広域サーベイ観測は、事象発見に有効だが観測頻度が低い。また、悪天候などのため、観測できない時間帯ができてしまう。このため、アノマリーを見落とすことがある。アノマリーが発見されても、限られた観測では事象のパラメータが正確に決まらず、惑星と判定できない場合もある。しかし、発見された事象に対しても継続的に観測して事象の性質を調べ増光率やピークの日時を知ることができる。また、光度曲線(明るさの時間変化)から、アノマリーが発見される場合もある。サーベイ観測では、リアルタイム解析を行っており、事象の進行中にこれらの情報を得ることが可能である。

一方、追観測に使用するニュージーランドの61cm B&C望遠鏡や南アフリカの1.4m赤外望遠鏡(IRSF)など一般の望遠鏡は、特定の事象を高頻度で観測できるが、多くの事象を俯瞰することができない。このため、増光率やアノマリーなどの情報が無ければ、どの事象を観測すべきか躊躇してしまう。しかし、惑星事象の可能性が高いとわかった場合は、その事象を集中的に観測することが可能である。また、地理的に離れた場所の望遠鏡を複数組み合わせれば、時間帯や気象条件の影響を受けず、24時間事象を監視することが可能となる。

サーベイ観測のリアルタイム解析を利用すれば、惑星発見の可能性が高い高増光率の事象かどうかをピークに達する前に知ることができる。また、サーベイ観測のリアルタイム解析は、進行中のアノマリー発見を可能とする。そこで、これらを利用したタイムリーな追観測を行うことにした。具体的に

は、リアルタイム解析から高増光率の事象を選び出して、そのピーク付近を集中的に追観測する、リアルタイム解析でアノマリーが発見された事象を集中的に観測する、などである。レンズ現象を引き起こした天体に惑星があった場合、アノマリーは高増光率事象のピーク付近に現れやすいことが知られている。また、実際にアノマリーがあった事象は惑星である可能性があるためである。

これらの情報は、ネットワークを通じて MicroFUN, MiNDSTEp, RoboNet など、追観測を行っている研究グループとも共有し、観測を呼びかけるなどしてより効率的な観測体制を構築した。これによって、こうした惑星発見の可能性が高い事象を 24 時間監視することが可能となった。

4. 研究成果

本研究のねらいであるリアルタイム解析と集中的な追観測は多くの事象は成功し、高増光率の事象のピーク付近の集中的観測を実施し、リアルタイムで検出したアノマリーの集中的な観測を実施した。これにより、アノマリーの観測が増え多くのデータを使ったモデリング解析が可能となった。このため、物理パラメーターの決定精度が良くなり、惑星と判定される事象の数が増加した。リアルタイムで光度曲線を解析して、惑星事象をリアルタイムで判定する試みも行われるようになってきた。惑星発見のペースは、年間 5, 6 個まで増えた。本研究期間中のマイクロレンズ法による発見数は、29 個に上る。

この中には、多くの興味深い惑星も含まれている。OGLE-2013-BLG-0341 事象で連星の一方の星をまわる地球質量の 2 倍程度の惑星が発見 (Gould, et al., 2014,) され、Science 誌に発表した。これまで、近接した連星の周りを大きく周回する惑星は発見されていたが、連星の一方を周る惑星は初めてである。こうした連星では、原始惑星系円盤が、もう一方の星によってはぎ取られてしまうので、生成が難しいと考えられていた。

また、惑星形成の標準モデルとされるコア集積モデルでは、低質量の M 型矮星の周りでは、巨大惑星は生成しないとされている。これは、低質量星の周りに巨大惑星の形成に十分な大質量の原始惑星系円盤が形成される可能性が低いことによる。しかし、マイクロレンズ法によって、MOA-2009-BLG-387Lb, MOA-2011-BLG-293Lb, OGLE-2011-BLG-0251, OGLE-2012-BLG-0406 など、M 型矮星に付随する巨大惑星が複数発見されている。これらはコア集積モデルに不利な材料である。

一方、コア集積モデルの対抗馬であるディスク不安定モデルでは、低質量の惑星を作るのが困難とされている。このモデルでは原始惑星系円盤が重力的に不安定のため分裂して惑星が形成される。しかし、重力不安定による分裂がそんなに低質量まで継続するとは考えにくいためである。しかし、マイク

ロレンズ法によって発見された MOA-2010-BLG-328Lb および MOA-2009-BLG-266Lb は、地球よりやや大きな "スーパーアース" と考えられている。重力不安定による分裂が、これほど低質量まで継続するとは考えにくく、ディスク不安定モデルには、不利な材料となる。これら個別の発見は、それ自身で惑星形成問題を決着させるものではない。しかし、今後発見数が増加するにつれて、統計解析などにより定量的に惑星形成モデルの検証が可能になると考えられる。

本研究期間の発見を含めて、マイクロレンズ法による太陽系外惑星の発見数は、合計 47 個となった。まだ、十分とは言えないが、統計処理による惑星分布に関する議論も行われるようになってきた。従来、視線速度法による惑星分布とマイクロレンズ法による惑星分布で、惑星の質量比分布の傾きに不一致があるとされていたものが、矛盾はないとの結果を Clanton & Gaudi (2014) は得ている。一方、最近の鈴木解析 (20th Microlensing WS, Paris, 2016) では、惑星質量の分布は質量が小さくなるにつれて増加するが、地球質量付近で頭打ちになることが判明した。この様に、将来の惑星形成の理解に向けて前進しつつある。

また、マイクロレンズ法が成功し発見数が増加するにつれて、新しい観望望遠鏡・測機器の参入も相次いでいる。イスラエル・ワイズ天文台の 1m 望遠鏡、タスマニア・グリーンヒル天文台の 1.3m 望遠鏡の他、韓国がチリ、南アフリカ、オーストラリアに設置した KMTnet 1.3m 望遠鏡など、広視野サーベイ型望遠鏡の参入も相次ぎ、マイクロレンズ法による惑星発見数は、さらに増加が見込める状況になった。また、最近 Spitzer, Kepler, Swift などの衛星を利用した宇宙からの観測で、視差を観測して主星・惑星の物理パラメーターを決定することもさかんに行われるようになって来た。これによって、発見された惑星の物理パラメーターの決定精度が増すことが期待される。

2020 年代には、ヨーロッパの Euclid やアメリカの WFIRST などの衛星による、宇宙からのサーベイ観測も予定されている。大気による揺らぎの影響の無い宇宙からの観測で、測光精度が大幅に良くなり、惑星の発見数や物理パラメーターの決定精度が大幅に向上することが期待され、さらに大きな発展が見込まれる。この様に、本研究期間の成果は今後の発展に弾みをつけることとなった。マイクロレンズ法による太陽系外惑星探索の黎明期に本研究が果たした役割は大きいと言える。

マイクロレンズ法による太陽系外惑星の探索では、惑星だけでなく褐色矮星などの天体も副産物として観測される。従来、視線速度法の探索では星の周りをまわる褐色矮星があまり発見されておらず、"褐色矮星砂

漠”などと呼ばれていた。しかし、マイクロレンズ法では、MOA-2010-BLG-073L, OGLE-2013-BLG-0102LA,B, MOA-2007-BLG-197 など、多くの褐色矮星候補が発見されており、褐色矮星砂漠の議論に疑問を呈する状況になっている。今後、統計が増えるにしたがって、褐色矮星砂漠の問題に決着がつくことが期待される。

マイクロレンズ法は、またブラックホールや中性子星など、星としての寿命を終えた天体も検出できる。OGLE-2007-BLG-514 は、中性子星と M 型星の連星と考えられている。MOA II 1.8m 望遠鏡によるサーベイ観測で発見された浮遊惑星(Sumi 他, 2011, ④)を含めて、こうした光をほとんど発しない天体の探索における、マイクロレンズ法の有効性を示すことができた。今後の観測でこうした天体の存在量が明らかになる事が期待される。

以上の様に、本研究は当初の目的である太陽系外惑星の発見で大きな成果をあげたほか、副産物でも多くの成果が得られた。

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 51 件)

Shvartzvald, Y., Abe, F. (17 番目、以下同様), Sumi, T. (4), Yonehara, A. (38), et al. (全 38 人), 2016, MNRAS 457, 4089-4113, 査読有

Bozza, V., Abe, F. (32), Sumi, T. (57), Yonehara, A. (61), et al. (108), 2016, ApJ 820, id. 79,, 1-10, 査読有

Skowron, J., Abe, F. (11), Sumi, T. (29), Yonehara, A. (32), et al. (38), 2016, ApJ 820, id. 4,, 1-13, 査読有

Street, R. A., Abe, F. (75), Sumi, T. (99), Yonehara, A. (103), et al. (109), 2016, ApJ 819, id. 93,, 1-12, 査読有

Zhu, Wei, Abe, F. (22), Sumi, T. (40), Yonehara, A. (45) et al. (49), 2015, ApJ 814, id. 129,, 1-10, 査読有

Rattenbury, N. J., Abe, F. (7), Sumi, T. (3), et al. (33), 2015, MNRAS 454, 946-951, 査読有

Bachelet, E., Abe, F. (57), Sumi, T. (74), Yonehara, A. (77), et al. (101), 2015, ApJ 812, id. 136,, 1-11, 査読有

Fukui, A., Abe, F. (14), Sumi, T. (3), Yonehara, A. (29), et al. (62), 2015, ApJ 809, id. 74,, 1-16, 査読有

Ranc, C., Abe, F. (38), Sumi, T. (17), Yonehara, A. (51), et al. (51), 2015, A&A 580, id.A125,, 1-16, 査読有

Jeong, J., Abe, F. (12), Sumi, T. (30), Yonehara, A. (37), et al. (97), 2015, ApJ 804, id. 38,, 1-11, 査読有

Skowron, J., Abe, F. (22), Sumi, T. (5), et al. (126), 2015, ApJ 804, id. 33,,

1-12, 査読有

Calchi Novati, S., Abe, F. (35), Sumi, T. (43), Yonehara, A. (47), et al. (87), 2015, ApJ 804, id. 20,, 1-25, 査読有

Freeman, M., Abe, F. (3), Sumi, T. (21), et al. (25), 2015, ApJ 799, id. 181,, 1-12, 査読有

Jung, Y. K., Abe, F. (17), Sumi, T. (3), Yonehara, A. (43), et al. (54), 2015, ApJ 798, id. 123,, 1-7, 査読有

Henderson, C. B., Abe, F. (10), Sumi, T. (3), Yonehara, A. (35), et al. (79), 2014, ApJ 794, id. 71,, 1-11, 査読有

Ishiguro, Masateru, Abe, Fumio (25), et al. (34), 2014, ApJ 792, id. 74,, 1-9, 査読有

Gould, A., Abe, F. (33), Sumi, T. (53), Yonehara, A. (60), et al. (64), 2014, Sci 345, 46-49, 査読有

Yee, J. C., Abe, F. (27), Sumi, T. (46), Yonehara, A. (54), et al. (73), 2014, ApJ 790, id. 14,, 1-7, 査読有

Park, H., Abe, F. (32), Sumi, T. (5), Yonehara, A. (58), et al. (58), 2014, ApJ 787, id. 71,, 1-6, 査読有

Bennett, D. P., Abe, F. (10), Sumi, T. (26), et al. (95), 2014, ApJ 785, id. 155,, 1-13, 査読有

⑲ Shvartzvald, Y., Abe, F. (9), Sumi, T. (4), et al. (40), 2014, MNRAS 439, 604-610, 査読有

⑳ Tsapras, Y., Abe, F. (101), Sumi, T. (11), Yonehara, A. (126), et al. (126), 2014, ApJ 782, id. 48,, 1-9, 査読有

㉑ Suzuki, D., Abe, F. (6), Sumi, T. (3), et al. (34), 2014, ApJ 780, id. 123,, 1-9, 査読有

㉒ Furusawa, K., Abe, F. (11), Sumi, T. (3), et al. (121), 2013, ApJ 779, id. 91,, 1-12, 査読有

㉓ Sumi, T., Abe, F. (4), Sumi, T. (21), 2013, ApJ 778, id. 150,, 1-15, 査読有

㉔ Hwang, K.-H., Abe, F. (11), Sumi, T. (4), Yonehara, A. (36), et al. (81), 2013, ApJ 778, id. 55,, 1-6, 査読有

㉕ Han, C., Abe, F. (19), Sumi, T. (4), et al. (70), 2013, ApJ 778, id. 38,, 1-6, 査読有

㉖ Abe, Fumio, et al. (13), 2013, MNRAS 431, 2975-2985

㉗ Yee, J. C., Abe, F. (36), Sumi, T. (53), et al. (127), 2013, ApJ 769, id. 77,, 1-13, 査読有

㉘ Choi, J.-Y., Abe, F. (12), Sumi, T. (4), et al. (125), 2013, ApJ 768, id. 129,, 1-7, 査読有

㉙ Kains, N., Abe, F. (62), Sumi, T. (80), et al. (131), 2013, A&A 552, id.A70,, 1-10, 査読有

㉚ Shin, I.-G., Abe, F. (7), Sumi, T. (2),

et al.(40), 2013, ApJ 764, id. 64,, 1-6, 査読有

③③ Gould, A., Abe, F.(29), Sumi, T.(46), et al.(120), 2013, ApJ 763, id. 141,, 1-11, 査読有

③④ Street, R. A., Abe, F.(22), Sumi, T.(8), et al.(133), 2013, ApJ 763, id. 67,, 1-13, 査読有

③⑤ Shin, I.-G., Abe, F.(20), Sumi, T.(5), et al.(155), 2012, ApJ 760, id. 116,, 1-10, 査読有

③⑥ Bachelet, E., Abe, F.(63), Sumi, T.(79), et al.(119), 2012, A&A 547, id.A55,, 1-12, 査読有

③⑦ Bennett, D. P., Abe, F.(5), Sumi, T.(2), et al.(25), 2012, ApJ 757, id. 119,, 1-17, 査読有

③⑧ Choi, J.-Y., Abe, F.(21), Sumi, T.(5), et al.(121), 2012, ApJ 756, id. 48,, 1-9, 査読有

③⑨ Bozza, V., Abe, F.(80), Sumi, T.(97), et al.(106), 2012, MNRAS 424, 902-918, 査読有

④⑩ Yee, J. C., Abe, F.(11), Sumi, T.(30), et al.(77), 2012, ApJ 755, id. 102,, 1-14, 査読有

④⑪ Shin, I.-G., Abe, F.(21), Sumi, T.(5), et al.(122), 2012, ApJ 755, id. 91,, 1-10, 査読有

④⑫ Bachelet, E., Abe, F.(84), Sumi, T.(16), et al.(142), 2012, ApJ 754, id. 73,, 1-17, 査読有

④⑬ Miyake, N., Abe, F.(16), Sumi, T.(3), et al.(81), 2012, ApJ 752, id. 82,, 1-12, 査読有

④⑭ Choi, J.-Y., Abe, F.(39), Sumi, T.(6), et al.(152), 2012, ApJ 751, id. 41,, 1-14, 査読有

④⑮ Shin, I.-G., Abe, F.(38), Sumi, T.(6), et al.(153), 2012, ApJ 746, id. 127,, 1-13, 査読有

④⑯ Muraki, Y., Abe, F.(23), Sumi, T.(18), et al.(131), 2011, ApJ 741, id. 22,, 1-15, 査読有

④⑰ Toki, Yukiharu, Abe, Fumio(4), et al.(4), 2011, ApJ 740, id. 121,, 1-8, 査読有

④⑱ Skowron, J., Abe, F.(46), Sumi, T.(75), et al.(102), 2011, ApJ 738, id. 87,, 1-21, 査読有

④⑲ Sumi, T., Abe, F.(5), et al.(38), 2011, Natur 473, 349-352, 査読有

⑤⑰ Hwang, K.-H., Abe, F.(14), Sumi, T.(4), et al.(40), 2011, MNRAS 413, 1244-1250, 査読有

51) Batista, V., Abe, F.(24), Sumi, T.(51), et al.(136), 2011, A&A 529, id.A102, 1-16

〔学会発表〕(計 29 件)

住貴宏、他 MOA 共同研究、MOA-II によ

る系外惑星探査：2012年の経過報告、日本天文学会2012年秋季年会、大分大学
鈴木大介、他 MOA、MOA-II による惑星の存在確立への制限、日本天文学会2012年秋季年会、大分大学

滝野奨、他 MOA、重力マイクロレンズサーベイ観測による惑星イベント候補の発見：MOA-2008-BLG-288、日本天文学会2012年秋季年会、大分大学

鈴木浩太、他 MOA、惑星を伴う重力マイクロレンズイベント MOA 2008-BLG-379、日本天文学会2012年秋季年会、大分大学
阿部文雄、他 MOA、重力マイクロレンズによる原始ブラックホール探索、日本天文学会2012年秋季年会、大分大学

鈴木大介、他 MOA、MOA-II による snow line の外側における惑星頻度、日本天文学会2013年春季年会、埼玉大学

住貴宏、他 MOA、MOA-II による系外惑星探査：2012年の結果、日本天文学会2013年春季年会、埼玉大学

和田光平、他 MOA、MOA-II 望遠鏡を用いた重力マイクロレンズ法による惑星イベントの解析、日本天文学会2013年春季年会、埼玉大学

鈴木大介、MOA コラボレーション、MOA-II による系外惑星探査：2013年の結果、日本天文学会2014年春季年会、国際基督教大学

福永大輔、他 MOA グループ、重力マイクロレンズ法による惑星候補イベント OGLE-2012-BLG-0724/MOA-2012-BLG-323、日本天文学会2014年春季年会、国際基督教大学

越本直季、他 MOA コラボレーション、重力マイクロレンズ法による過去の未解析の惑星候補イベント10例の解析

住貴宏、MOA コラボレーション、MOA-II の重力マイクロレンズによる銀河バー構造の解明、日本天文学会2014年春季年会、国際基督教大学

越本直季、他 MOA コラボレーション、MOA-2008-BLG-288Lb: マイクロレンズ法による最も重いM型星回りの惑星、日本天文学会2013年秋季年会、東北大学

鈴木大介、他 MOA グループ、MOA-2008-BLG-379Lb: K型星周りの巨大ガス惑星、日本天文学会2013年秋季年会、東北大学

和田光平、他 MOA コラボレーション、MOA-II 望遠鏡を用いた重力マイクロレンズ法による惑星イベント OGLE-2012-BLG-0950/MOA-2012-BLG-527、日本天文学会2013年秋季年会、東北大学

住貴宏、MOA コラボレーション、MOA-II による系外惑星探査：2012年の結果、日本天文学会2013年秋季年会、東北大学

阿部文雄、系外惑星探索用多重レンズ解析法、日本天文学会2016年春季年会、首都

大学東京

及川仁士、重力マイクロレンズ法による MOA II 望遠鏡を用いた低質量 MACHOs の探索、日本天文学会 2016 年春季年会、首都大学東京

E. Abe, MOA collaboration, New LMC observation strategy, 1st Doha International Astronomy Conference: "Gravitational Microlensing – 101 years from theory to practice", 10-13 Feb. 2013, Qatar

D. Suzuki, MOA collaboration, Planet frequency beyond the snow line from MOA-II observation in 2007-2011, 1st Doha International Astronomy Conference: "Gravitational Microlensing – 101 years from theory to practice", 10-13 Feb. 2013, Qatar

② Abe, Fumio, wormhole hunting : methods and problems, 27-28 Oct. 2012, Rikkyo University, Tokyo

② Takahiro Sumi, MOA collaboration, The microlensing event rate and optical depth toward the galactic bulge from MOA II, 18th International Conference on Gravitational Microlensing, 20-23, Jan. 2014, Santa Barbara

③ David Bennett, MOA collaboration, The MOA project 2013 observation season, 18th International Conference on Gravitational Microlensing, 20-23, Jan. 2014, Santa Barbara

④ Fumio Abe, New calculation method of multiple gravitational lensing system, 18th International Conference on Gravitational Microlensing, 20-23, Jan. 2014, Santa Barbara

⑤ Daisuke Fukunaga, MOA collaboration, OGLE-2012-BLG-0724/MOA-2012-BLG-323: Planetary event by survey, 18th International Conference on Gravitational Microlensing, 20-23, Jan. 2014, Santa Barbara

⑥ Fumio Abe, Wormhole and primordial black hole searches in MOA II, WH and PBH workshop, 25-26 Nov. 2013, Nagoya University, invited

⑦ Fumio Abe, MOA II 1.8 m telescope and future GW follow-up observation, 2nd Symposium ; New Development in Astrophysics through Multi-messenger Observations of Gravitational Wave Sources, 13-15, Jan. 2014, Tokyo Tech

⑧ Fumio Abe, Progress on the algorithm of multiple lens analysis, 20th Microlensing workshop, Institut d'Astrophysique de Paris, France

⑨ Fumio Abe, Optical follow-up observations for GW150914 by MOA, 4th Annual Symposium of the innovative area

of multi-messenger study of gravitational wave sources, 18-20 Feb. 2016, IPMU U Tokyo, Ciba

[その他]
ホームページ等
<http://www.phys.canterbury.ac.nz/moa/>

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

阿部文雄 (ABE, Fumio)
名古屋大学宇宙地球環境研究所・准教授
研究者番号 : 80184224

(2) 研究分担者

米原厚憲 (YONEHARA, Atsunori)
京都産業大学理学部・教授
研究者番号 : 10454472

栗田光樹夫 (KURITAS, Mikio)
京都大学理学研究科・准教授
研究者番号 : 20419527

内藤博之 (NAITO, Hiroyuki)
名古屋大学理学研究科・研究員
研究者番号 : 30547550

(3) 連携研究者

住貴宏 (SUMI, Takahiro)
大阪大学理学研究科・准教授
研究者番号 : 30432214