

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2006～2009

課題番号：18253002

研究課題名(和文)

MOA II 1. 8 m望遠鏡によるマイクロレンズ事象の探索

研究課題名(英文) Microlensing survey with MOA II 1.8 m telescope

研究代表者：

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

研究成果の概要(和文)：

ニュージーランド・マウントジョン天文台に設置した、MOA II 1.8m 望遠鏡による銀河中心およびマゼラン雲方向の高頻度マイクロレンズ探索を実施した。リアルタイム解析により、計1696個のマイクロレンズ事象を発見し、追尾観測網と協力して観測を行った。解析の結果、太陽系に良く似た惑星系や非常に小さな惑星系、軽い主星に付随した巨大惑星など多様な惑星系を発見し、惑星形成理論に影響を及ぼした。また、木星型の巨大ガス惑星に比べて海王星型の氷惑星が大量に存在することを突き止めるなど、惑星の分布に関する議論が始まった。

研究成果の概要(英文)：

High cadence microlensing survey using MOA II 1.8 m telescope installed at Mt. John Observatory, New Zealand have been executed toward Galactic bulge and Magellanic clouds. Using real time analysis, 1696 microlensing candidates have been found and observed collaborating with world wide follow-up network. From the analyses of microlensing events, characteristic planetary system such as solar system analogue, small planet around a small host, and giant planet around a small host. Discussion on the distribution of planets has started. Cool Neptune mass planets were found to be common in our Galaxy.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
2007年度	5,500,000	1,650,000	7,150,000
2008年度	5,900,000	1,770,000	7,670,000
2009年度	5,700,000	1,710,000	7,410,000
総計	20,900,000	6,270,000	27,170,000

研究分野：

科研費の分科・細目：

キーワード：

1. 研究開始当初の背景  
マイクロレンズ法による太陽系外惑星探索は、2003年に最初の惑星発見に成功し、さらに2005年に5.5地球質量の惑星を発見して、その有効性が証明された。MOA II 1.8m 望遠鏡は、ニュージーランド・マウン

トジョン天文台に設置され、2005年に観測を開始した。主焦点に設置した、大型 CCD カメラ MOA-Cam3 による 2.2 平方度の広視野を利用した銀河中心方向の高頻度観測(10分-1時間に1回)を特長としていた。しかし、研究開始時点では、こうした高頻度観

測が惑星発見にどの程度有効かは明らかではなかった。

## 2. 研究の目的

ニュージーランド・マウントジョン天文台に設置された MOA II 1.8m 望遠鏡を使い、銀河中心およびマゼラン雲方向の高頻度マイクロレンズ観測を実施する。これにより、できるだけ多くのマイクロレンズ事象を発見するとともに、世界的な追尾観測網と協力して発見された事象の追尾観測を実施する。得られたデータを解析して、太陽系外惑星の発見、ダークマター候補天体 (MACHO) の発見などを行う。

## 3. 研究の方法

MOA II 1.8 m 望遠鏡による、銀河中心方向約 50 平方度、大マゼラン雲 30 平方度、小マゼラン雲 4 平方度を観測する。銀河中心の 4 平方度と大マゼラン雲の中心付近 6 平方度は、観測頻度を上げ、それぞれ 10 分おき、1 時間おきに観測する。これによって、それぞれ地球質量の惑星 (銀河中心)、低質量 MACHO (マゼラン雲) の発見を目指す。リアルタイム解析を実施し、事象を発見し追尾観測網に通知する。高増光率事象やアノマリ (惑星などによる変位) が観測されれば、速やかに追尾観測網と連絡をとり、集中的な観測を行う。こうして取得したデータは、互いに持ち寄り、徹底的な解析を行う。

## 4. 研究成果

### 1) 観測・リアルタイム解析

観測は、上記の通り実施した。銀河中心が見える時間帯は、銀河中心の観測をし、見えない時間帯はマゼラン雲の観測を行った。リアルタイム解析の結果、2006年には168個、2007年488個、2008年477個、2009年には高頻度観測の領域を増やして563個の事象を銀河中心方向に発見した。これらの事象は、ただちにメールで関係機関に通知するとともに、ホームページに公開し、追尾観測を促した。また、2009年には、マゼラン雲のリアルタイム解析により、2個の事象候補を発見した。

リアルタイム解析は改良を重ね、事象発見の効率を上げるとともに、検出した事象を早期に公開できる様にして行った。さらに、2007年からは、観測の約10分後には光度曲線のチェックが可能となり、すでに発見された事象にアノマリが発生していないか、リアルタイムでチェックできるようになった。OGLE 2007-BLG-368 事象では、いち早くアノマリを発見し、追尾観測網との連携でスーパーアース (地球よりやや重い惑星) の発見に成功した (図1)。

高頻度観測とリアルタイム解析は、大きな成功をおさめたとと言える。

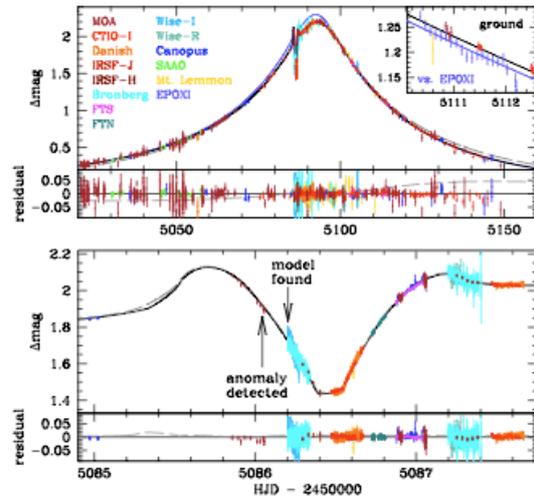


図1 リアルタイムで惑星が発見されたマイクロレンズ事象 MOA-2009-BLG-266 の光度曲線

### 2) 太陽系外惑星

OGLE-2006-BLG-109Lb, c は、太陽の半分程度の質量の主星の周りを回る木星、土星よりやや軽い2つの惑星から成る惑星系で、太陽系のミニチュア版と考えられる。これまでに発見された、太陽系外惑星系は太陽系に似ていないものばかりで、太陽系は特殊な惑星系とも言われていた。しかし、この発見により、従来の結果は観測バイアスによるものである可能性も出てきた。

MOA-2007-BLG-192Lb は、水素燃焼可能な下限ぎりぎりの質量の主星の周りに3地球質量程度のごく軽い惑星が回っている惑星系で、主星・惑星とも発見当時最低質量のものだった。この事象は、200倍もの高増光率で、事象の進展が速く、発見されたときには極大とアノマリが終了しており、追尾観測ができなかった。それにもかかわらず、ほとんど MOA のデータだけで惑星が発見できたことは、MOA の高頻度観測の威力を示したと言える。

OGLE-2005-BLG-071Lb は、太陽の半分程度の質量の M 型矮星の周りを回る木星質量の3倍もの巨大惑星である。惑星形成の標準理論であるコア集積モデルでは、こうした低質量星の周りでは巨大惑星が成長しにくいとされており、惑星形成過程が標準理論通りになっているかどうか、問題を投げかけることになった。

この様に、特徴ある惑星系の発見に成功し、惑星形成理論にも影響を及ぼした。

### 3) 惑星分布

発見された惑星数の増加に伴い、惑星の分布をめぐる議論が活発になってきた。OGLE-2008-BLG-279 は、約1600倍にまで増光した高増光率事象である。惑星は、発見されなかったが詳細な解析の結果、アインシュタイン半径付近に惑星が存在していれば、火星質量まで検出可能だったことがわかり、改めてマイクロレンズ法の威力を示した。

OGLE-2007-BLG-368Lb は、地球の20倍程度の質量のスーパーアースであることが判明し、これまで発見された惑星から、惑星分布のベキが-0.68 であることが判明した。すなわち、木星型の巨大惑星に比べて、海王星型惑星は非常に多く存在していることになる。マイクロレンズ法で観測される主星の多くは、太陽質量の半分以下のM型矮星である。海王星型が圧倒的に多いということは、こうした低質量星の周りでの惑星形成に強い示唆を与える。

MOA-2008-BLG-310Lb は、詳しい分析の結果、銀河中心付近にある土星よりやや軽い惑星と判明した。これまでに発見された、最遠方の惑星であり、銀河中心とディスクでどちらがより多く惑星が存在するかといった議論に火をつけることになった。

また、2006年と2007年のデータを詳細に解析した結果、タイムスケールが2日以下の非常に短い事象が10個発見された。これらは、木星質量程度の浮遊惑星によって引き起こされたと考えられる。

この様に、まだ数は少ないが惑星の分布をある程度議論できる様になって来た。今後、惑星形成理論との比較が期待される。

### 4) MACHO 探索

2006年4月以来の大マゼラン雲のデータ解析を行った。これまでに、4個のマイクロレンズ事象候補を発見した。さらにもう1個、ブルーバンパーと呼ばれる変光星の領域にそれらしい事象を発見した。これらの結果については、公表に向けてなお詳細な解析を行っている。

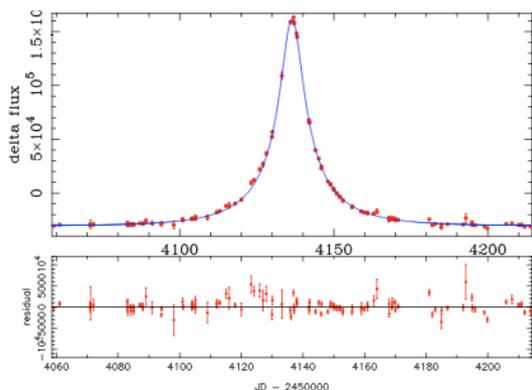


図2 大マゼラン雲のマイクロレンズ事象候補の光度曲線

### 5) 副産物

銀河中心方向には、マイクロレンズ事象が頻発している。その中には、惑星以外にも面白い事象が観測されている。OGLE-2007-BLG-224 は、2000倍以上に増光した高増光率の事象であり、またタイムスケールが6.9日と短かった。増光のピーク付近では、地球上の複数の観測点でタイミングがずれる地球視差が観測され、距離や質量が決定された。その結果、レンズ天体は525pc離れた太陽質量の5.6%程度の褐色矮星であることが判明した。この様な、孤立した褐色矮星の観測は、マイクロレンズ法以外では困難である。

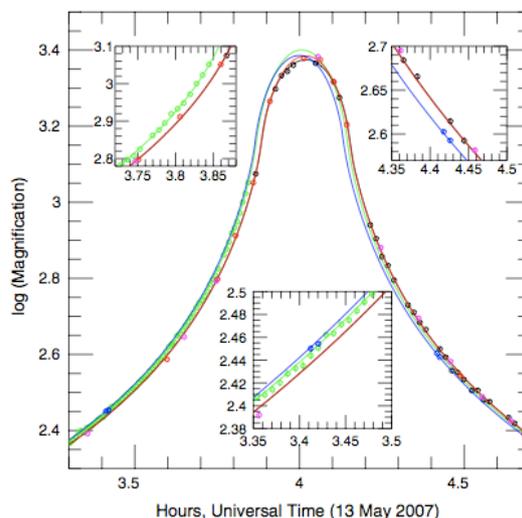


図3 OGLE-2007-BLG-224 の光度曲線。地球上の複数の観測点の間で時間のずれが観測された。

また、MOAによる観測ではないが、2006年にカシオペア座に発見された、いわゆる多胡事象の光度曲線の解析を行い、これが極めて珍しい星のまばらな領域で発生したマイクロレンズ事象であることを確認した。

### 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 12 件)

- ① "Sub-Saturn Planet MOA-2008-BLG-310Lb: Likely to be in the Galactic Bulge", Janczak, Julia, Abe, F. (13 番目), Matsubara, Y. (25

- 番号), Ohnishi, K. (31 番号), Saito, T. (35 番号), 他 (全 66 人), *The Astrophysical Journal*, 711, 731-743 (2010). 査読付
- ② "A Cold Neptune-Mass Planet OGLE-2007-BLG-368Lb: Cold Neptunes Are Common", Sumi, T., Abe, F. (15 番号), Matsubara, Y. (27 番号), Ohnishi, K. (32 番号), Saito, T. (36 番号), 他 (全 103 人), *The Astrophysical Journal*, 710, 1641-1653 (2010). 査読付
- ③ "Extreme Magnification Microlensing Event OGLE-2008-BLG-279: Strong Limits on Planetary Companions to the Lens Star", Yee, J. C., Abe, F. (39 番号), Matsubara, Y. (53 番号), Ohnishi, K. (58 番号), Saito, T. (62 番号), 他 (全 85 人), *The Astrophysical Journal*, 703, 2082-2090 (2009). 査読付
- ④ "OGLE-2005-BLG-071Lb, the Most Massive M Dwarf Planetary Companion?", Dong, Subo, Abe, F. (24 番号), Matsubara, Y. (35 番号), Ohnishi, K. (39 番号), Saito, T. (42 番号), 他 (全 84 人), *The Astrophysical Journal*, 695, 970-987 (2009). 査読付
- ⑤ "A Low-Mass Planet with a Possible Sub-Stellar-Mass Host in Microlensing Event MOA-2007-BLG-192", Bennett, D. P., Abe, F. (5 番号), Matsubara, Y. (17 番号), Ohnishi, K. (22 番号), Saito, T. (26 番号), 他 (全 47 人), *The Astrophysical Journal*, 684, 663-683 (2008). 査読付
- ⑥ "Discovery of a Jupiter/Saturn Analog with Gravitational Microlensing", Gaudi, B. S., Abe, F. (27 番号), Matsubara, Y. (38 番号), Ohnishi, K. (43 番号), Saito, T. (46 番号), 他 (全 69 人), *Science*, 319, 927- (2008). 査読付
- ⑦ "Observation of the First Gravitational Microlensing Event in a Sparse Stellar Field: The Tago Event", Fukui, A., Abe, F. (2 番号), Ohnishi, K. (18 番号), 他 (全 20 人), *The Astrophysical Journal*, 670, 423-427 (2007). 査読付
- [学会発表] (計 51 件)
- ① 住貴宏、「Cold neptunes are common」、日本天文学会春季大会、広島大学、2010 年 3 月 27 日
- ② 古澤圭、「最小質量比惑星イベント候補 MOA-2009-BLG-266 の解析」、日本天文学会春季大会、広島大学、2010 年 3 月 27 日
- ③ 三宅範幸、「惑星マイクロレンズイベント : MOA-2009-BLG-319」、日本天文学会春季大会、広島大学、2010 年 3 月 27 日
- ④ Sumi, T., MOA II observation in 2009 season, 14<sup>th</sup> workshop on gravitational microlensing, Auckland, January 18, 2010.
- ⑤ Miyake, N., Planetary microlensing event MOA-2009-BLG-319, 14<sup>th</sup> workshop on gravitational microlensing, Auckland, January 18, 2010.
- ⑥ Bond, I. A., Delivering microlensing data access the internet, 14<sup>th</sup> workshop on gravitational microlensing, Auckland, January 20, 2010.
- ⑦ Furusawa, K., The analysis of planetary candidate MOA-2009-BLG-266, 14<sup>th</sup> workshop on gravitational microlensing, Auckland, January 20, 2010.
- ⑧ Fukui, A., Measurements of transit timing variations of OGLE-TR-10 in the MOA II field, 14<sup>th</sup> workshop on gravitational microlensing, Auckland, January 20, 2010.
- ⑨ 保坂俊、「MOA-II による複数レンズイベント MOA-2008-BLG-428 の解析」、日本天文学会秋季大会、山口大学、2009 年 9 月 16 日
- ⑩ 福井暁彦、「口径 1.8m MOA-II 望遠鏡を用いた OGLE-TR-10b の Transit Timing Variations (TTVs) の観測」、日本天文

- 学会秋季大会、山口大学、2009年9月16日
- ⑪ 福井暁彦、「MOA-I データを用いたトランジット惑星の探索」、日本天文学会春期大会、大阪府立大、2009年3月27日
- ⑫ 保坂俊、「MOA-II による重力マイクロレンズ法を用いた系外惑星の探索」、日本天文学会春期大会、大阪府立大、2009年3月27日
- ⑬ 永治舞衣子、「重力マイクロレンズによる系外惑星の存在確率の見積もり」、日本天文学会春期大会、大阪府立大、2009年3月27日
- ⑭ Abe, F. Upgrade plan of the MOA 1.8 m telescope, 13<sup>th</sup> Microlensing workshop, Paris, January 19, 2009.
- ⑮ Sumi, T., Planetary microlensing event OGLE 2007-BLG-368, 13<sup>th</sup> Microlensing workshop, Paris, January 19, 2009.
- ⑯ Bennett, D. P., Constraints on the orbital mortion of OGLE-2007-BLG-109Lc, 13<sup>th</sup> Microlensing workshop, Paris, January 21, 2009.
- ⑰ Kamiya, K., Search for low mass objects in short time scale events, 13<sup>th</sup> Microlensing workshop, Paris, January 21, 2009.
- ⑱ 住貴宏、「MOA-II による系外惑星探査：2007年の結果と2008年の経過報告」、日本天文学会春期大会、岡山理科大、2008年9月12日
- ⑲ 神谷浩紀、「MOA-II による重力マイクロレンズを用いた浮遊惑星および大軌道惑星探査」、日本天文学会春期大会、岡山理科大、2008年9月12日
- ⑳ 三宅範幸、「MOA-II による重力マイクロレンズ法を用いた褐色矮星探査」、日本天文学会春期大会、岡山理科大、2008年9月12日
- ㉑ 阿部文雄、「マイクロレンズ追観測による太陽系外惑星探査」、日本天文学会春期大会、岡山理科大、2008年9月12日
- ㉒ 伊藤好孝、「MOA 1.8m 広視野望遠鏡による高頻度重力マイクロレンズ観測」、日本天文学会春期大会、岡山理科大、2008年9月12日
- ㉓ 福井暁彦、「MOA 61cm 望遠鏡による Transit Timing Variations (TTVs) の観測」、日本天文学会春期大会、岡山理科大、2008年9月12日
- ㉔ Sumi, T., MOA-II microlensing survey, Manchester microlensing conference, Manchester, January 21, 2008.
- ㉕ 住貴宏他、「MOA-II による太陽系外惑星探査：2007年の結果」、日本天文学会春期大会、東京、2008年3月25日
- ㉖ 永治舞衣子、「重力マイクロレンズによる系外惑星の検出効率」、日本天文学会春期大会、東京、2008年3月25日
- ㉗ 古澤圭、「MOA-II における系外惑星探査のためのアラートシステム」、日本天文学会春期大会、東京、2008年3月25日
- ㉘ 三宅範幸他、「MOA II による太陽系外惑星探査」、特定領域研究「太陽系外惑星科学の展開」第4回大研究会、東京大学、2008年3月5日
- ㉙ 神谷浩紀、「MOA II による浮遊惑星探査」、特定領域研究「太陽系外惑星科学の展開」第4回大研究会、東京大学、2008年3月5日
- ㉚ Abe, F. MOA II microlensing survey – A new age of microlensing -, JGRG17, Nagoya, December 2007.
- ㉛ 福井暁彦他、「MOA データベースを用い

たトランジット系外惑星探索」、日本天文学会秋期大会、岐阜大学、2007年9月28日

- ③② 阿部文雄他、「MOA II マイクロレンズ探索：2007年の観測」、日本天文学会秋期大会、岐阜大学、2007年9月28日
- ③③ 神谷浩紀他、「MOA-IIによる重力マイクロレンズを用いた浮遊惑星探索」、日本天文学会秋期大会、岐阜大学、2007年9月28日
- ③④ 奥村卓大、「MOA データベースを用いたダークマターの探索」、日本天文学会秋期大会、岐阜大学、2007年9月28日
- ③⑤ 住貴宏、「重力マイクロレンズによるMACHO探索」、「暗黒物質と銀河構造」研究会、伊勢市、2007年9月29日

〔図書〕（計 0件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0件）

○取得状況（計 0件）

〔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・太陽地球環境研究所・准教授  
研究者番号：80184224

### (2) 研究分担者

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

大西 浩次 (OHNISHI KOUJI)  
長野工業高等専門学校・一般科・教授  
研究者番号：20290744

齋藤 敏治 (SAITO TOSHIHARU)  
東京都立産業技術高等専門学校・ものづくり工学科・教授  
研究者番号：40259833

### (3) 連携研究者 なし