

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20340052

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地球型惑星の探索

研究課題名(英文) Search for extrasolar terrestrial planets by the microlensing follow up network

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)：

世界的なマイクロレンズ観測網により、マイクロレンズ事象の追尾観測を実施した。MOA-2007-BLG-192Lb, MOA-2008-BLG-310Lb, MOA-2009-BLG-319Lb など新たな惑星を発見した。一方、これまで発見された惑星事象の分布解析から、海王星に似た低温の低質量惑星が多数存在することを突き止めた。副産物として、B&C 望遠鏡の空き時間を活用した新しい Transit Timing Variations (TTV)法による太陽系外惑星の探索を実施し、WASP-5 の第2の惑星の存在に制限を付けたことがあげられる。

研究成果の概要(英文)：

Follow up observations of microlensing events were executed by world-wide observation network to find extrasolar planets. New planets (MOA-2007-BLG-192Lb, MOA-2008-BLG-310Lb, MOA-2009-BLG-319Lb) have been discovered. From the analysis of the distribution of planets, it is concluded that cold neptunes are common. As a by-product of microlensing observation, planet search with Transit Timing Variation method was done using B&C telescope. Then, a limit on the existence of second planets was imposed for WASP-5.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	4,000,000	1,200,000	5,200,000
2009年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2010年度	2,800,000	840,000	3,640,000
総計	9,600,000	2,880,000	12,480,000

研究分野：素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

科研費の分科・細目：宇宙物理

キーワード：宇宙物理、光学赤外線天文学、惑星起源・進化

## 1. 研究開始当初の背景

2005年にMOA II 1.8m 望遠鏡によるマイクロレンズ事象探索が開始、2007年にはリアルタイムアラートが開始された。こうした、広視野サーベイと連携した追尾観測により、低質量惑星発見への期待が高まった。

## 2. 研究の目的

世界的なマイクロレンズ追尾観測網により、MOA II 1.8m 望遠鏡によるマイクロレンズ

探索と連携して追尾観測を実施する。また、これらのデータを解析することにより、太陽系際惑星特に地球に似た低質量惑星を発見する。

## 3. 研究の方法

マウントジョン天文台の61cm 望遠鏡 (B&C) や南アフリカ天文台の1.3m 赤外望遠鏡 (IRSF) をはじめ、世界的な観測網を利用して、マイクロレンズ追尾観測を実施する。得

られたデータを解析して、太陽系外惑星特に地球に似た低質量惑星の発見を目指す。

#### 4. 研究成果

##### 1) 大規模な国際協力の成功

大規模な国際協力が成功し、世界的なマイクロレンズ追尾観測網（図1）による追尾観測を実施した。

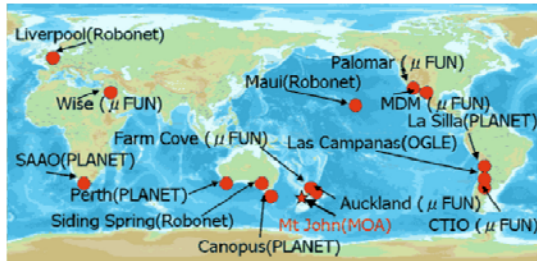


図1 世界的なマイクロレンズ追尾観測網。「バブルの沈む事のない観測ネットワーク」を形成した。

MOA II 望遠鏡のリアルタイムアラートとの連携は、極めて有効に機能し、惑星発見へとつながった。特筆すべき事象は、MOA-2009-BLG-266（図2）であり、リアルタイムで低質量惑星が発見された。また、データ解析においても、互いに連絡をとり合い協力して実施する体制を構築した。

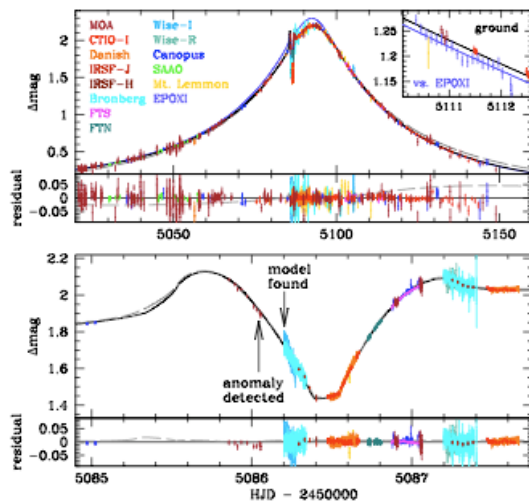


図2 リアルタイムで惑星が発見されたマイクロレンズ事象 MOA-2009-BLG-266 の光度曲線

##### 2) 低質量惑星の発見

データ解析も進み、低質量惑星 MOA-2007-BLG-192Lb、OGLE-2007-BLG-368Lb の他、土星よりやや軽い惑星 MOA-2008-BLG-310Lb および

MOA-2009-BLG-319Lb が発見された。これにより、マイクロレンズ法による太陽系外惑星の発見数は11個となった。これらを含めた、太陽系外惑星の惑星質量-軌道長半径分布を図3に示す。

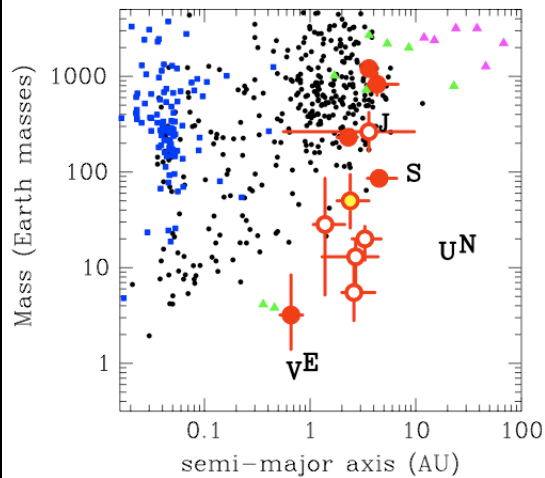


図3 太陽系外惑星の惑星質量（縦軸）-軌道長半径（横軸）分布。黒点は視線速度法、青点はトランジット法、赤点はマイクロレンズ法を示す。

マイクロレンズ法は、アインシュタインリング近傍にある惑星を効率よく発見可能であり、これは銀河中心方向では1-4天文単位にあたる。これは、他の手法では困難な氷境界のすぐ外側をまわる氷惑星を捉える有効な手法であることを示している。

標準理論では、この領域は水が固化した氷が出すとの主成分となり、巨大なコアが成長する。こうした大質量（地球の10倍程度）のコアは、引力で周りの円盤ガスを急速に取り込み、巨大なガス惑星（木星型惑星）が成長する。マイクロレンズ法は、こうしたプロセスを理解する上で有効な手法である。

また、MOA-2007-BLG-192Lb および OGLE-2007-BLG-368Lb は、地球より少し重い程度の「スーパーアース」であり、マイクロレンズ法はこの程度ないしそれ以下の質量まで感度がある。地球質量惑星発見の期待が高まっている。

##### 3) 惑星の分布と惑星形成理論の検証

発見数が増えるにつれて、惑星の分布に関する議論も活発化している。Sumi 他, 2010 では、惑星の質量分布のベキが-0.68 と求められ、海王星型の氷惑星が多数存在することが明らかとなった。マイクロレンズ法で観測される主星の多くが、低質量のM型矮星であることを考え合わせると、こうした星の周りで木星型惑星の生成は稀であり、木星になりそ

こなった残骸（海王星型）が多数のこっていることを裏付けている。また、Gpuld 他, 2010 では、銀河内の星が惑星を持つ確率が求められ、従来視線速度法から推定されているよりも多いことがわかった。

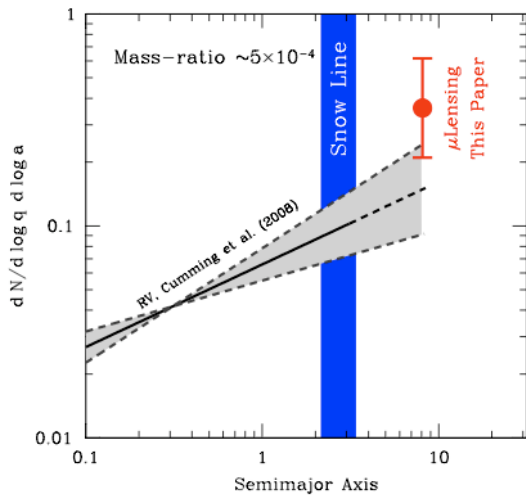


図3 惑星の存在量（縦軸）と軌道長半径（横軸）

また、Dong 他, 2010 により、OGLE-2005-BLG-071Lb は、太陽質量の半分程度の主星をまわる木星質量の3倍もの巨大惑星であることがわかった。惑星形成の標準モデルであるコア集積モデルでは、こうした低質量の主星の周りでは巨大惑星は生成しにくいとされており、惑星形成モデルに変更を迫る可能性がある。一方、MOA-2008-BLG-310Lb は、バルジと呼ばれる銀河中心付近にあると考えられ、銀河内で中心部と周辺部のどちらが惑星が多く存在するのか、といった議論も始まっている。

#### 4) TTV (Transit Timing Variations)法による太陽系外惑星探索

マイクロレンズ追尾観測の副産物として、B&C 望遠鏡を使いトランジット惑星 WASP-5b の Transit Timing Variation 観測をマイクロレンズ観測の空き時間に実施した。その結果、この星に対する第2の惑星の存在に制限を課すことに成功した。

この手法は、主星に近接した巨大惑星（ホットジュピター）の外側を回る惑星の発見に有効であると考えられる。ホットジュピターの外側に地球型惑星が形成されるというハイブリッド理論の検証に役立つことが期待される。

この他、MOA-2009-BLG-266 などの惑星候補事象があり、精力的な解析が行われている。今後、まとまったものから結果を公表して行く。

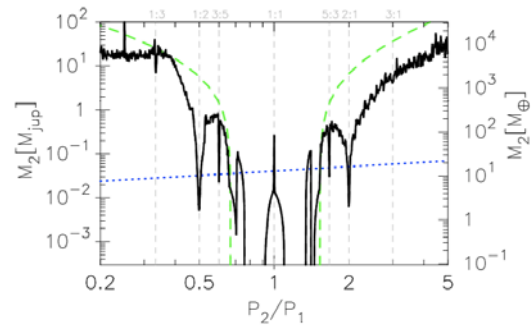


図4 TTV 法によって得られた、WASP-5 星の第2の惑星に対する制限。縦軸が惑星質量、横軸が周期。

#### 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 19 件）

- ① "Measurements of Transit Timing Variations for WASP-5b", Fukui, Akihiko, T. Sumi (4 番目), F. Abe (5 番目), 他(全 37 人), Publications of the Astronomical Society of Japan, 63, 287- (2011). 査読付
- ② "A Sub-Saturn Mass Planet, MOA-2009-BLG-319Lb", Miyake, N., Sumi, T. (2 番目), Abe, F. (23 番目), 他(全 119 人), The Astrophysical Journal, 728, 120- (2011). 査読付
- ③ "Frequency of Solar-like Systems and of Ice and Gas Giants Beyond the Snow Line from High-magnification Microlensing Events in 2005-2008", Gould, A., Sumi, T. (9 番目), Abe, F. (49 番目), 他(全 149 人), The Astrophysical Journal, 720, 1073-1089 (2010). 査読付
- ④ "OGLE-2005-BLG-071Lb, the Most Massive M Dwarf Planetary Companion?", Dong, Subo, Abe, F. (24 番目), Sumi, T. (46 番目), 他(全 84 人), The Astrophysical Journal, 695, 970-987 (2009). 査読付
- ⑤ "Sub-Saturn Planet MOA-2008-BLG-310Lb: Likely to be in the Galactic Bulge", Janczak, Julia, Sumi, T. (10 番目), Abe, F. (13 番目), 他(全 66 人), The Astrophysical Journal, 711, 731-743 (2010). 査読付
- ⑥ "A Cold Neptune-Mass Planet OGLE-2007-BLG-368Lb: Cold Neptunes Are Common", Sumi, T. (1 番目), Abe, F. (15 番目), 他(全 103 人), The Astrophysical Journal, 710,

1641-1653 (2010). 査読付

[学会発表] (計 49件)

- ① 三宅範幸、「惑星マイクロレンズイベント: MOA-2009-BLG-319」、日本天文学会秋期大会、金沢大学、2010年9月23日
- ② 鈴木大介、「最小質量比重力マイクロレンズイベント MOA-2009-BLG-266 の検出効率」、日本天文学会秋期大会、金沢大学、2010年9月23日
- ③ 福井暁彦、「ニュージーランド 61cm 望遠鏡を用いた Transit Timing Variations (TTVs) の観測」、日本天文学会春季大会、広島大学、2010年3月27日
- ④ 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
- ⑤ 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
- ⑥ 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
- ⑦ 神谷浩紀、「MOA-II による重力マイクロレンズを用いた低質量天体探索」、日本天

文学会春期大会、大阪府立大、2009年3月27日

- ⑧ 福井暁彦、「MOA 61cm 望遠鏡による Transit Timing Variations (TTVs) の観測」、日本天文学会秋期大会、岡山理科大、2008年9月12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

住 貴宏 (SUMI TAKAHIRO)

名古屋大学・太陽地球環境研究所・助教授  
研究者番号: 30432214

### (3) 連携研究者 なし