

Title	The Study of Giant Exoplanets beyond the Snow Line by Using Gravitational Microlensing
Author(s)	鈴木, 大介
Citation	大阪大学, 2014, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/34053">https://doi.org/10.18910/34053</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

## 論文内容の要旨

氏名 ( 鈴木大介 )

## 論文題名

The Study of Giant Exoplanets beyond the Snow Line by Using Gravitational Microlensing  
(重力マイクロレンズを用いた氷境界外側の太陽系外巨大惑星の研究)

## 論文内容の要旨

これまでに1000個以上の太陽系外惑星が発見されている。太陽系の惑星を含め、惑星形成過程を解明するためには、惑星の性質と存在頻度を観測的に求める必要がある。実際に成功している太陽系外惑星検出法は数種類あるが、重力マイクロレンズ法は、主星から数AUの軌道領域において地球質量程度の惑星にまで感度が高い探査法である。この軌道領域の惑星は、他の手法（視線速度法、トランジット法、直接撮像法）では検出が難しい。また、最も支持されている惑星形成モデルの一つであるコア集積モデルでは、 $H_2O$ の気相と固相の境界、すなわち氷境界（数AU）の外側で巨大ガス惑星が形成されると考えられているが、この氷境界のすぐ外側では、重力マイクロレンズ法が高感度である。惑星形成モデルに強い制限を与えるためには、氷境界のすぐ外側における惑星頻度を測定することは重要である。

Microlensing Observations in Astrophysics (MOA) グループは、ニュージーランドのマウントジョン天文台にて、口径1.8m、視野2.2平方度のMOA-II望遠鏡を用いて、銀河中心方向の高頻度サーベイ観測を行っている。これまでに検出された全ての重力マイクロレンズイベントを再解析した結果、新しく惑星イベント候補を複数個見つけた。そのうちのひとつ (MOA-2008-BLG-379) は、主星と伴星の質量比が0.0069の惑星イベントであった。詳細解析の結果、地球-レンズ天体間距離は3.3 kpc、主星質量は $0.56 M_{\text{Sun}}$ 、付随している惑星の質量と軌道長半径はそれぞれ4.1木星質量、3.3 AUであった。これらから、レンズ天体は晩期K型星であり、その氷境界の2倍外側付近に巨大ガス惑星が付随していることがわかった。

さらに、氷境界外側の惑星存在頻度に焦点を絞って、6年間にわたるMOAの全観測データから惑星検出感度が高い1492イベントを抽出し、その中から実際に21個の惑星を検出した。質量比関数 $f = A(q/q_0)^n$ を質量比のべき関数として求めた結果、 $\log A = -1.1 \pm 0.1$ 、 $n = -0.69 \pm 0.12$ であった ( $q_0 \equiv 0.001$ )。また、惑星質量関数 $F = F_0(m_p/m_0)^\alpha$ を惑星質量のべき関数として求め、 $\log F_0 = -0.67 \pm 0.10$ 、 $\alpha = -0.78 \pm 0.12$ であった ( $m_0 \equiv 95.2 M_{\text{Earth}}$ )。この惑星質量関数を0.5 - 10 AU、0.3 - 10木星質量の範囲で積分した結果、氷境界の外側における巨大ガス惑星の存在頻度は $15^{+3.4}_{-4}$ %であった。同様に、質量が10 - 30地球質量の惑星存在頻度は $52^{+18}_{-15}$ %であった。また、0.5 - 10 AUにおいて5地球質量 - 10木星質量の惑星存在頻度は、一つの恒星あたり $1.6^{+0.52}_{-0.42}$ であった。これらの結果から、氷境界の外側における巨大ガス惑星存在頻度は、視線速度法から得られたホット・ジュピター（短周期巨大ガス惑星）の存在頻度よりも高いことがわかった。また、本研究で求めた巨大ガス惑星存在頻度は、コア集積モデルの予想よりも有意に高い。一方で、氷境界の外側に巨大ガス惑星よりも10地球質量程度の惑星が多いという傾向は、コア集積モデルの予想と一致している。

このように重力マイクロレンズ法による大量の観測データの統計的解析により、惑星形成過程の解明にとって重要な知見を得ることができた。

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 鈴木 大介 )	
	(職) 氏 名
論文審査担当者	主 査 教 授 芝 井 広
	副 査 教 授 佐々木 晶
	副 査 教 授 寺 田 健太郎
	副 査 准教授 住 貴 宏
	副 査 准教授 藤 田 裕

## 論文審査の結果の要旨

これまでに 1000 個以上の太陽系外惑星が発見されている。検出法は数種類あるが、重力マイクロレンズ法は、主星から数 AU の軌道領域において地球質量程度の惑星にまで感度が高い探査法である。この軌道領域の惑星は、他の手法（視線速度法、トランジット法、直接撮像法）では検出が難しい。

申請者らは、ニュージーランド・マウントジョン天文台の口径 1.8m、視野 2.2 平方度の MOA-II 望遠鏡を用いて銀河系中心方向の高頻度サーベイ観測を行っている。申請者はこれまでに検出された全ての重力マイクロレンズイベントを再解析した結果、数個の惑星イベント候補を新しく検出した。そのうちの一つ (MOA-2008-BLG-379) は、地球から 3.3 kpc の距離に、主星質量が太陽の 0.56 倍、惑星が木星の 4.1 倍、軌道長半径が 3.3 天文単位の惑星系であった。すなわち、晩期 K 型星の氷境界の 2 倍外側付近に、巨大ガス惑星が付随しているという例であり、質量比が大きい点で現在標準と考えられている惑星形成過程理論では説明が容易ではない点で重要である。

さらに、水が固相になる「氷境界」外側の惑星存在頻度に焦点を絞って、6 年間にわたる全観測データから惑星検出感度が高い 1492 イベントを抽出し、その中から 21 個の惑星を検出した。この結果から、氷境界の外側における巨大ガス惑星の存在頻度は 15 (+3, -4) %であった。同様に、質量が 10・30 地球質量の惑星存在頻度は 52 (+18, -15) %であった。また、0.5–10 AU において 5 地球質量–10 木星質量 (3000 地球質量) の惑星存在頻度は、一つの恒星あたり 1.6 (+0.52, -0.42) 個であった。これらの結果から、氷境界の外側における巨大ガス惑星存在頻度は、視線速度法から得られたホット・ジュピター（短周期巨大ガス惑星）の存在頻度よりも高いことがわかった。また、本研究で求めた巨大ガス惑星存在頻度は、コア集積モデルの予想よりも有意に高い。一方で、氷境界の外側で巨大ガス惑星よりも 10 地球質量程度の惑星が多いという傾向は、コア集積モデルの予想と一致している。

このように重力マイクロレンズ法による大量の観測データの統計的解析により、惑星形成過程の解明にとって重要な知見を得ることができた。

このように申請者の研成は高い価値を有すると考えられ、博士（理学）の学位を授与するにふさわしいと判断した。