

『重力マイクロレンズ法による最小質量比惑星イベント MOA-2009-BLG-266 の検出効率』

1 Introduction

我々 MOA(Microlensing Observations in Astrophysics) グループは、ニュージーランドの Mt. John 天文台にある口径 1.8m の MOA-II 望遠鏡を用いて、重力マイクロレンズ法による系外惑星探査を行っている。重力マイクロレンズ法は、他の惑星探査方法よりも観測バイアスが低いので、検出効率を見積もることで惑星の存在確率を議論することがきる。地球質量の約 9 倍の惑星が付随していた MOA-2009-BLG-266 は質量比 (m_p/M_L) がこれまでに重力マイクロレンズで見つかった惑星の中で最小で、低増光率という重力マイクロレンズの特徴から検出効率が低いことが予想される。先行研究では、検出効率が高いと予想される高増光率のイベントのみを系統的に選び統計的な議論を行っている。低増光率イベントの検出効率を正しく見積もる研究はまだ行われていない。

2 MOA-2009-BLG-266

2009 年 9 月、MOA のサーベイ観測により単星レンズモデルからの「ずれ」が発見され、その後フォローアップグループによる高頻度観測が行われた。このイベントでは、重力マイクロレンズにおける特殊効果が二つ (有限ソース効果、パララックス効果) 現れているため、レンズ天体の物理量が求まっている。

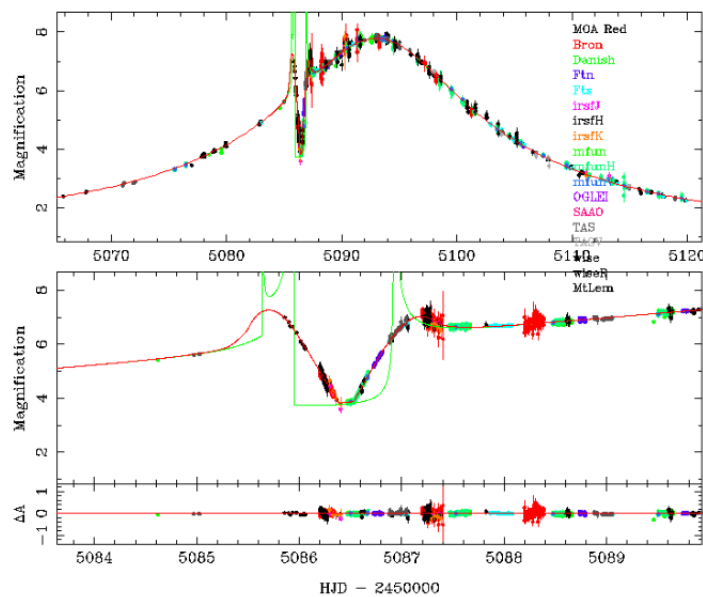


図 1 MOA-2009-BLG-266 のベストフィットモデル。データ点の色の違いは、望遠鏡とフィルターの違いによる。

t_0	t_E	u_{\min}	q	d	α	M_L	M_p	D_L	a
5093	63.0	-0.12	5.3×10^{-5}	0.92	5.4	0.52 M_{SUN}	9 M_p ***	3.0 kpc	3.1 AU

表1 ベストフィットモデルの各パラメータ

3 Method

ある惑星の3個のパラメータ (q, d, α ; ただし、質量比を q 、レンズ平面に射影した軌道長半径を d 、ソース天体の入射角度を α とする) を仮定して、MOA-2009-BLG-266 が実際に観測された条件で、それらを検出できるか検証する。

検出条件：仮定した惑星イベントの人工光度曲線をシングルレンズフィットして、 $\Delta\chi^2$ がクライテリアを満たせば「ずれ」の検出とする。

$$\Delta\chi^2 = \chi_{\text{Single}}^2 - \chi_{\text{Binary}}^2 \quad (1)$$

$$\Delta\chi^2 \geq \chi_{\text{criteria}}^2 = 500 \quad (2)$$

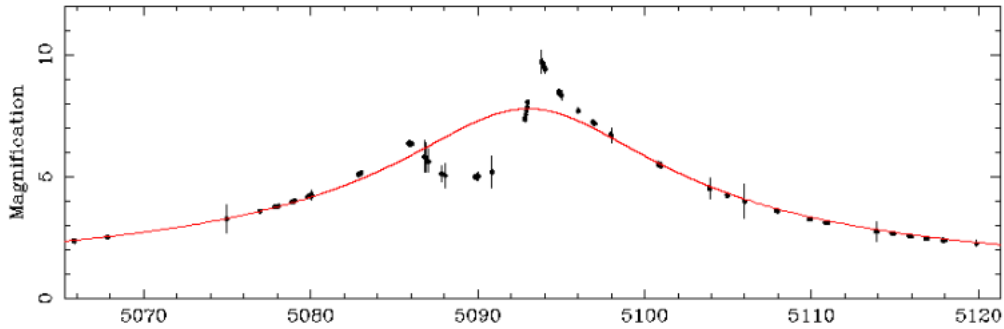


図2 赤のラインがシングルレンズモデル、黒の点が人工光度曲線を表す。あるパラメータの場合、図のようにモデルからのずれが大きく検出できる。

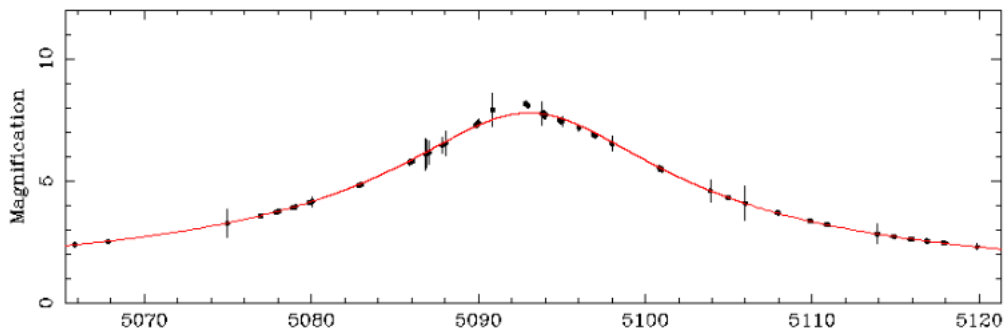


図3 このパラメータの場合、ピーク付近でモデルからずれているが、 $\Delta\chi^2$ が小さく検出できない。

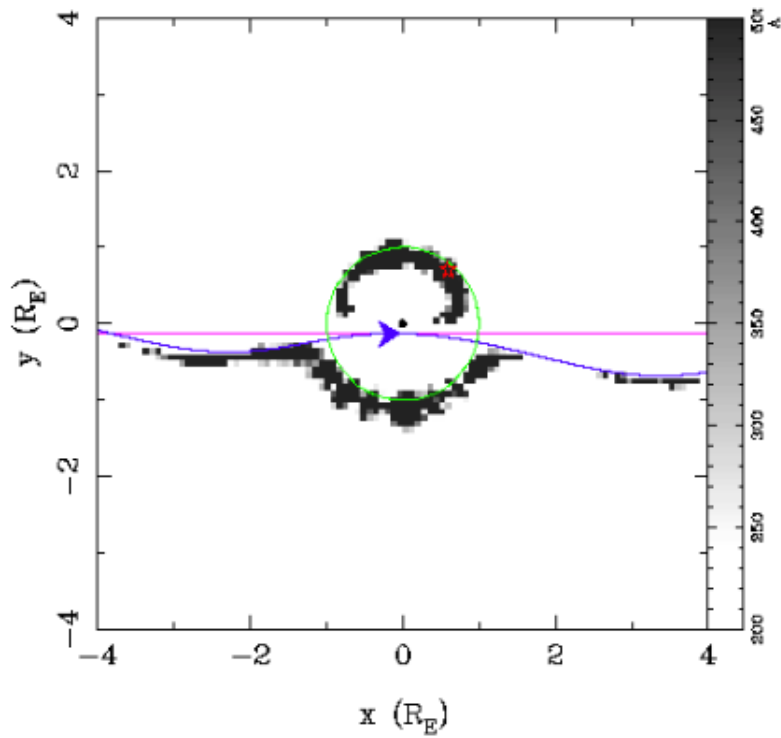


図4 $q = 1 \times 10^{-3}$ としたときの惑星の配置と $\Delta\chi^2$ の分布。ソース天体がレンズの主星に最も近づいたときの軌跡と x 軸を平行にとった。桃線は、パララックス効果なしの、青線はパララックス効果を考慮したときのソース天体の軌跡。赤星は、実際に観測された MOA-2009-BLG-266 に付随する惑星の位置 (ただし、質量比は異なる)。また、緑円はアインシュタインリングを表す。

4 Detection efficiency

ある q 、ある d の $\Delta\chi^2$ を、ソース天体の入射角度について積分すると、図4が得られる。この図から今回見つかった惑星の検出効率は約 10% だとわかった。惑星のパラメータを求める際は、フォローアップグループのデータも入れているが、今回の検出効率の解析では、MOA のデータしか入っていない。今後は他の望遠鏡のデータも考慮していく予定である。また、クライテリアを暫定的に 500 にしているが、正確な値を採用していく。さらに、検出効率の高い高増光率イベントのデータと合わせて、惑星の存在確率、質量?軌道長半径分布に制限をつけていく予定である。

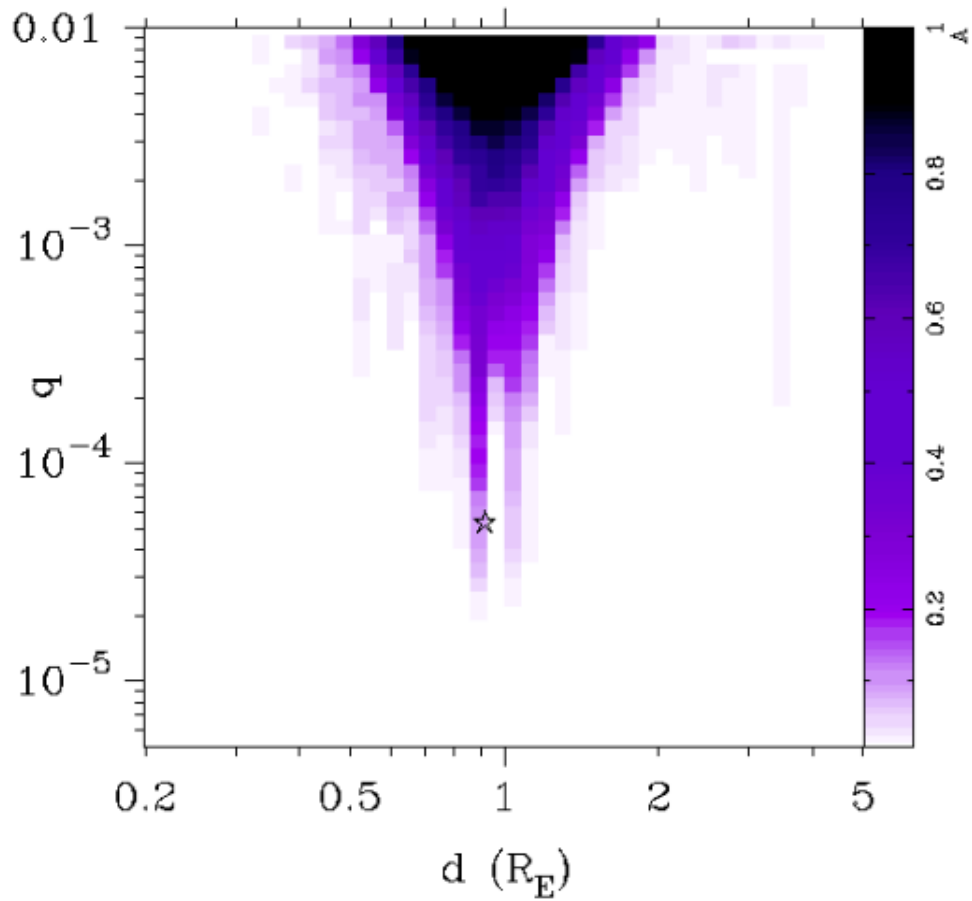


図5 検出効率の分布。横軸はアインシュタインリングの大きさを規格化した軌道長半径、縦軸は質量比を表す。色が濃い領域をほど検出効率が高い。アインシュタインリング付近に惑星の感度がある。また理論的には、低質量比の場合アインシュタインリングのほぼ真上で、惑星の感度が落ちることがわかっているが、図にはそれが現れている。星は、今回見つけた惑星の位置を示す。