

2010年7月22日現在  
2010

# 重力マイクロレンズ効果による 系外惑星の探索

名古屋大学大学院 理学研究科

素粒子宇宙物理学専攻

宇宙地球物理系

太陽地球環境研究所

宇宙線研究室

修士一年

神原周平



## イントロダクション

- 1993年、初めて太陽系外の惑星が発見された。  
それ以来、現在に至るまで453個(2010年7月22日現在)の惑星が  
みつまっているが、ほとんどがガス状の木星程度の惑星であ  
り、未だ地球質量程度の惑星というものはみつかっていない。

太陽系形成のメカニズムを明らか  
にすること、また系外の生命発見の  
ために「第二の地球」を見つける事  
は、非常に価値のある発見になるで  
しょう。

我々の重力マイクロレンズ効果を用  
いた系外惑星の探索、目標とする「第二の地球」発見につい  
てお話しさせていただきます。



### 目次

- 重力マイクロレンズについて P2
- MOA グループについて P3
- 重力マイクロレンズ効果による惑星探索 P5

# 重力レンズ効果とは

このリングを  
アインシュタインリング  
と呼びます。

アインシュタインの  
一般相対性理論により  
「重力場により光は曲げられる」  
ということが示されました。

この写真で  
中心の  
銀河による  
重力で光が  
曲がってリング状になっている  
のがお分かりになるでしょう。

重力マイクロレンズの前に  
重力レンズのお話です。  
まずこの写真をご覧ください。

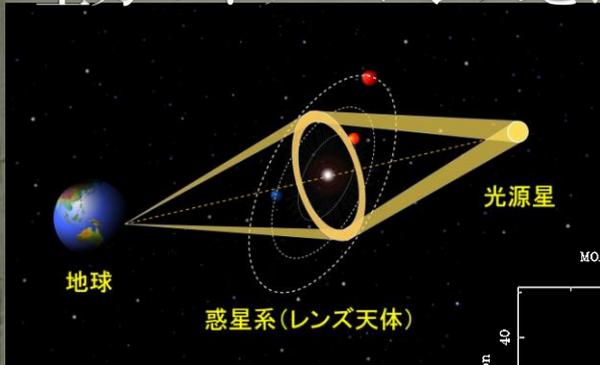
Galaxy Cluster Abell 2218

HST • WFPC2

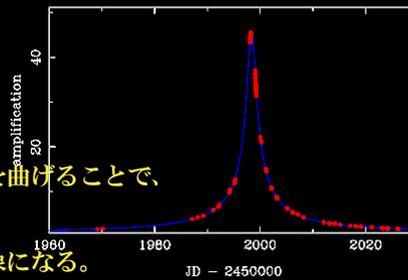
NASA, A. Fruchter and the ERO Team (STScI, ST-ECF) • STScI-PRC00-08

# 重力マイクロレンズとは

重力レンズ現象



MOA-2001-BLG-2 = ngb1-3-2868



重力マイクロレンズ現象

・光源と地球の間にある星が、重力で光を曲げることで、  
まるでレンズのような役割することで  
光源がリング状に見えるはずである。  
しかしその分離角が小さいので増光現象になる。

## 重力マイクロレンズ効果観測の特徴

- 観測対象を選ばない。
- レンズ天体の明るさに依存せず質量のみに依存。  
(ブラックホールからM型星、惑星まで)

- 非常にまれな現象である。

*Of course, there is no hope of observing this phenomenon directly -  
Albert Einstein (1936)*

確率・・・ $10^{-6}$ /yr程度

→ 100万個以上の星を見る必要がある。

・・・1996年

我々MOAプロジェクトが始まる。

## MOA II 望遠鏡



NZの南島

Mt. John天文台にある我々の望遠鏡

### • MOA II 望遠鏡DATA

- ▶ Mirror : 1.8m
- ▶ CCD : 8k × 10k pixels
- ▶ FOV : 2.2 deg<sup>2</sup>



## MOA II 望遠鏡による観測

- 観測フィールド

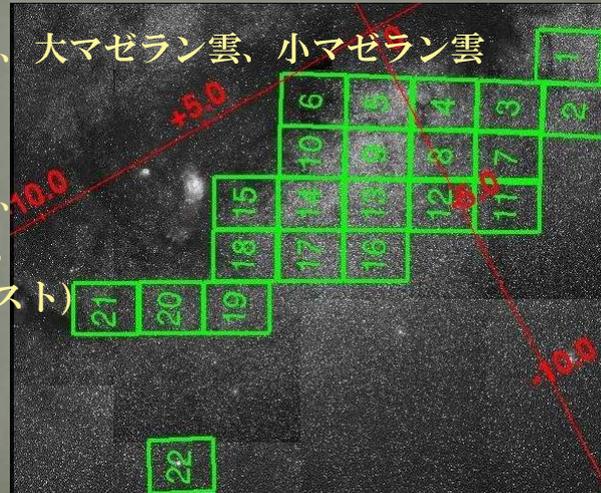
銀河中心方向、大マゼラン雲、小マゼラン雲

- 主な観測目的

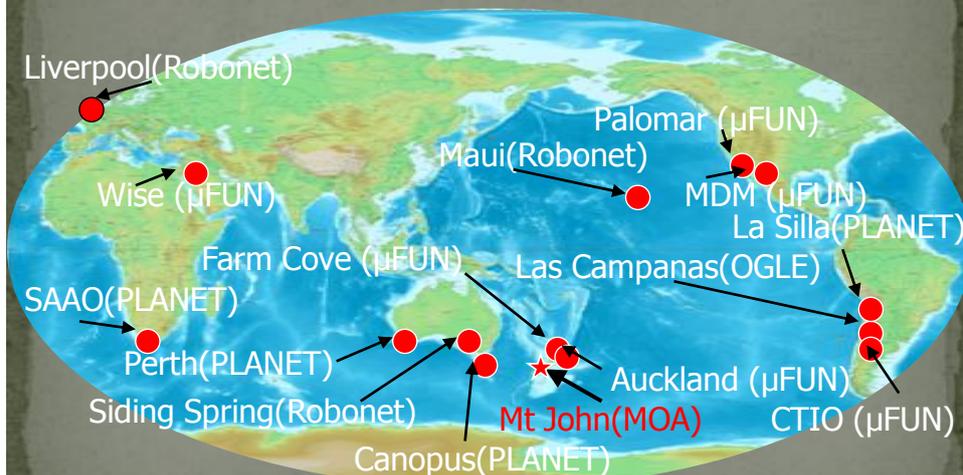
系外惑星探査、

MACHO探査、

GRB(γ線バースト)



## マイクロレンズ観測ネットワーク



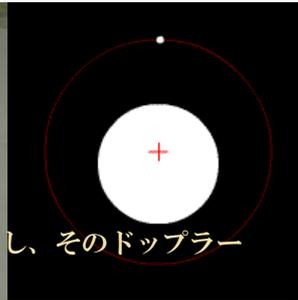
南アフリカやアメリカ、その他大小様々な世界中の望遠鏡と協力し、日夜マイクロレンズイベントを追っている。

惑星の存在によるシグナルが出ている期間は数時間から数日と短いので、リアルタイムでのフォローアップ観測が不可欠となります。現在、我々MOA や OGLE のサーベイグループの他に μFUN、PLANET といったフォローアップグループがあり、世界中の望遠鏡を用いて観測が行われています。

# 主な惑星探査方法

- 視線速度法

惑星の重力によって主星がふらつくことを利用し、そのドップラー効果を観測することで惑星を探す方法。



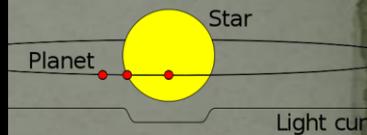
- トランジット法

惑星が恒星の前を横切る際、星食によっておこる減光を観測することで惑星を探す方法。

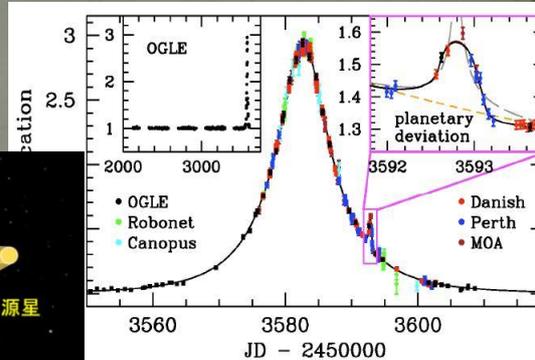
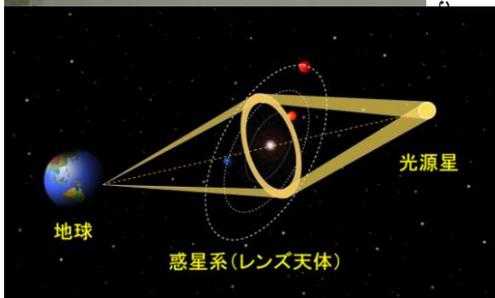
- 直接撮像法

主星と伴星を分けて直接撮像する方法。

- 重力マイクロレンズ法



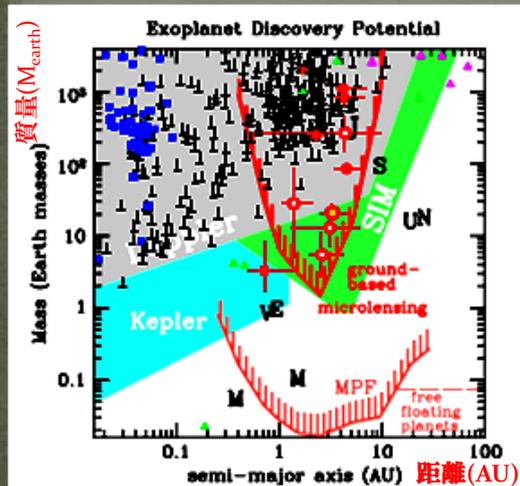
# 重力マイクロレンズ法による惑星探査



図の様にレンズ天体が惑星を伴っている場合、その惑星の重力により、増光曲線 (Light Curve) にずれが見られる。

右にあるライトカーブ (増光曲線) にこぶのようなもの見えますか。それが惑星の存在を示す証拠となるのです。

## 他の方法との比較



視線速度法

トランジット法

直接撮像法

重力マイクロレンズ法

重力マイクロレンズの特徴

●発見数こそ少ないが、他と比べてユニークな領域を見ている。

●地球質量程度の惑星に感度がある。

縦軸が主星と惑星との距離で、縦軸が惑星の質量、アルファベットは太陽系の惑星を示しています。図のプロットの色は右の各探査法の色と対応しています。

## 重力マイクロレンズ法によって惑星探査をすること

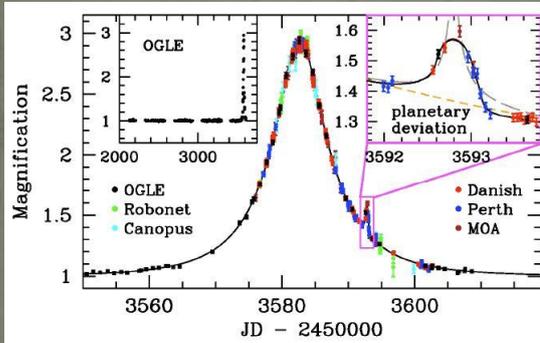
- 主星の明るさに依存しない。



- 長軌道半径惑星：スノーライン外側
- 軽い惑星：地球質量
- 暗い主星：M-dwarf
- 遠い主星：銀河内分布
- 浮遊惑星：主星なし

に感度がある。

## 実際に見つかった例 (OGLE-2005-BLG-390Lb)



### DATA

惑星質量 ..... 5.5地球質量  
 主星からの距離 ..... 2.6AU  
 主星質量 ..... 0.2太陽質量  
 (M-dwarf)

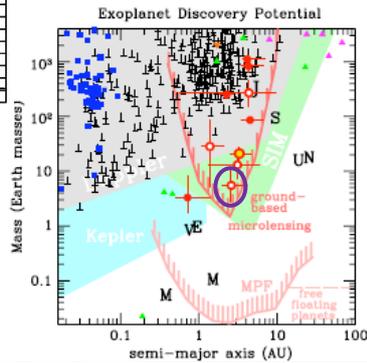
## super-Earth

表面温度  $-220^{\circ}\text{C}$   
 岩石や水でできている  
 可能性がある。



地球によく似た惑星かも

Illustration: NASA, ESA and G. Bacon (STScI)



## 最後に

- 重力マイクロレンズによる惑星探査  
 →主星から離れたところにある地球質量程度の惑星にも感度がある  
 唯一の方法。
- 現在、10個の惑星が重力マイクロレンズによって見つかった。  
 他の方法とは違うユニークな発見が多い。
  - 5.5倍地球質量で主星から数AUの惑星。
  - Cold-Neptune ([OGLE-2007-BLG-368Lb](#))
  - スノーラインの外側に太陽系の土星、木星の様な惑星を持つ  
 Multi-planet Solar system ([OGLE-2006-BLG-109L b,c](#))

→地球質量程度の惑星発見も近い・・・

