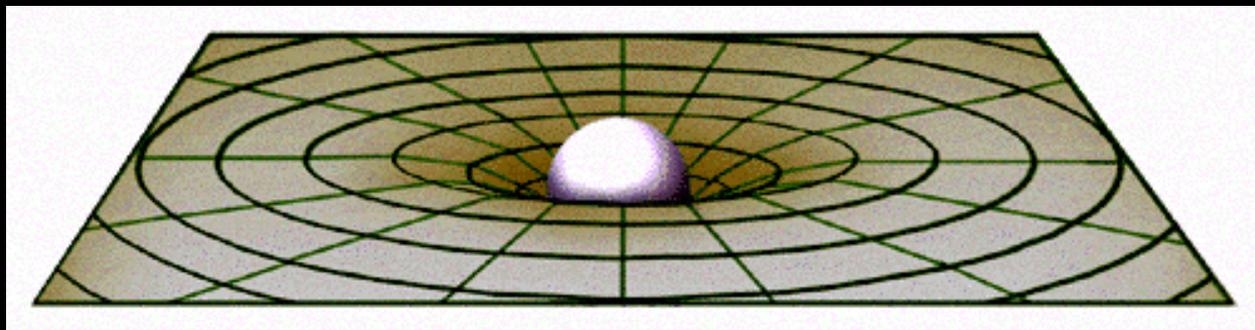
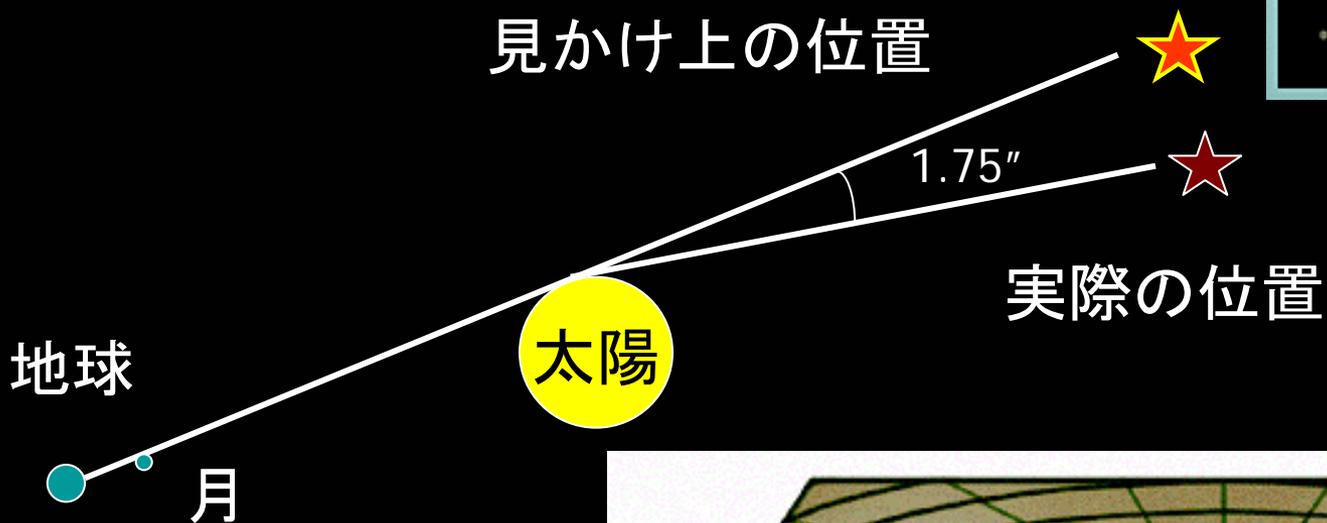
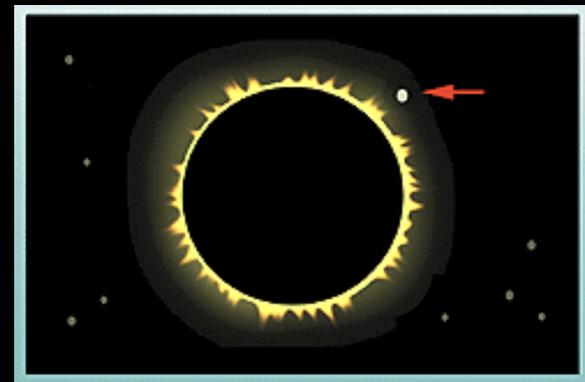




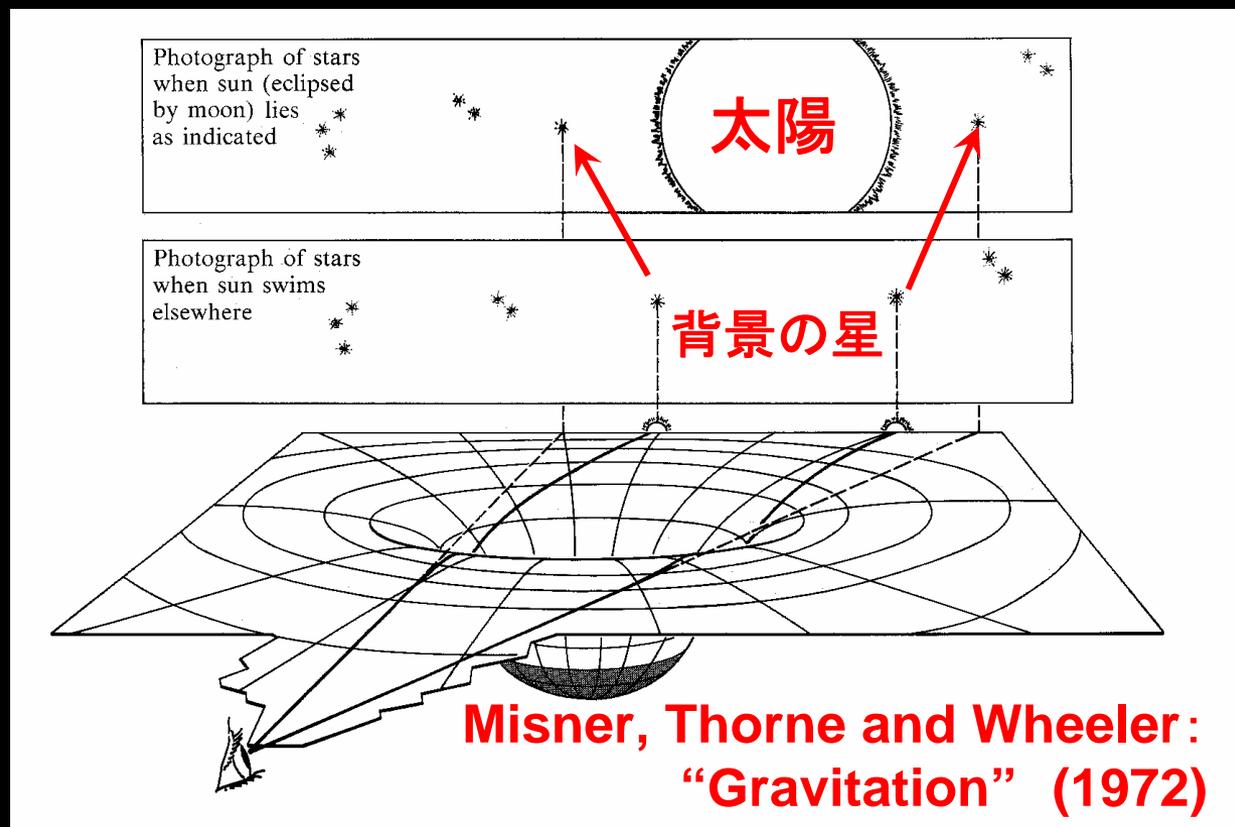
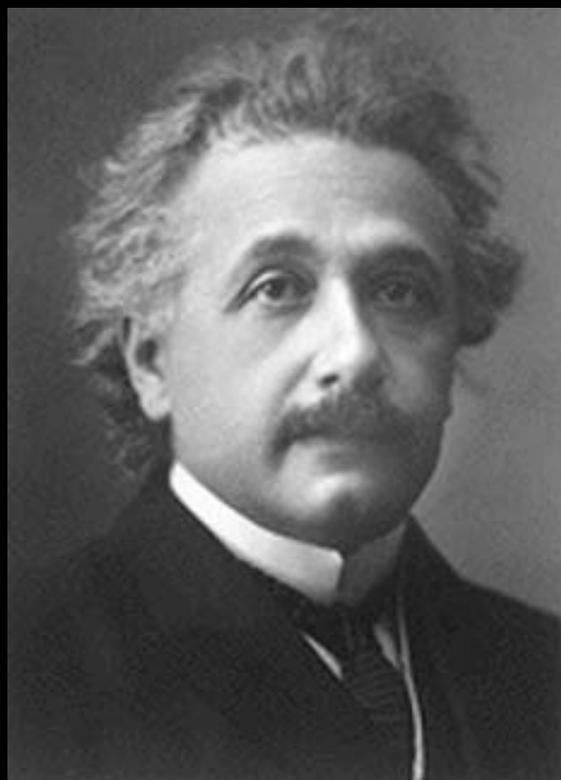
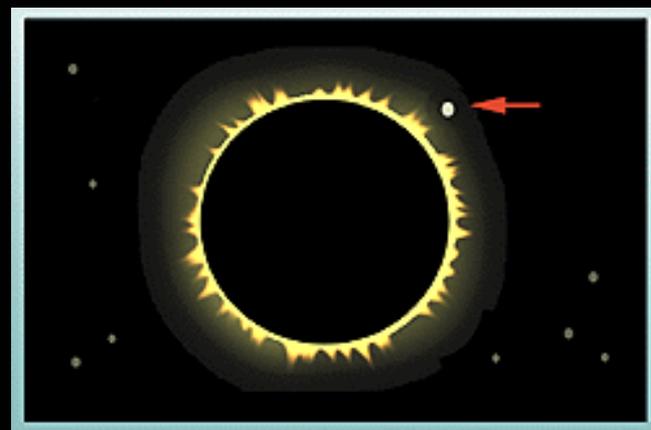
# 重力＝時空の曲がり

THE EINSTEIN FIELD EQUATION

$$G_{\mu\nu} = 8\pi T_{\mu\nu}$$



# 重力による時空の 曲がり



# 皆既日食 部分日食

2009年7月22日

## 皆既日食が 見られる地域

### 屋久

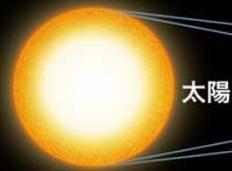
食の始め 09時37分06秒  
皆既の始め 10時56分10秒  
食の最大 10時58分07秒  
皆既の終り 11時00分05秒  
食の終り 12時22分37秒

### 悪石島

食の始め 09時35分25秒  
皆既の始め 10時53分16秒  
食の最大 10時56分28秒  
皆既の終り 10時59分41秒  
食の終り 12時21分26秒

### 奄美

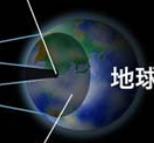
食の始め 09時35分21秒  
皆既の始め 10時55分58秒  
食の最大 10時56分53秒  
皆既の終り 10時57分48秒  
食の終り 12時22分26秒



太陽



月



地球

皆既日食が見られる

部分日食が見られる

国立天文台 天文情報センター

### 福岡

食の始め 09時37分39秒  
食の最大 10時56分05秒  
食の終り 12時17分48秒



### 仙台

食の始め 09時59分09秒  
食の最大 11時12分52秒  
食の終り 12時26分24秒



### 東京

食の始め 09時55分33秒  
食の最大 11時12分58秒  
食の終り 12時30分20秒



### 那覇

食の始め 09時32分50秒  
食の最大 10時54分07秒  
食の終り 12時20分19秒



皆既日食が見られる

屋久

悪石島

奄美

部分日食の間、木漏れ日が三日月型になる

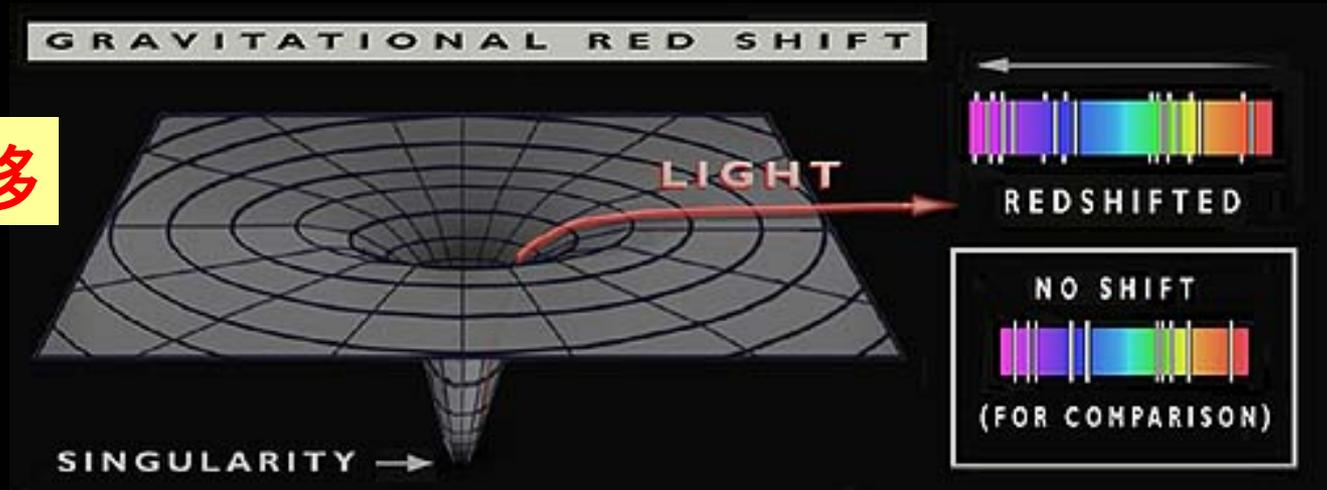
2008年8月1日 皆既日食@中国酒泉 柴田一成氏撮影  
(京都大学、世界天文年全国同時七夕講演会実行委員会委員長)



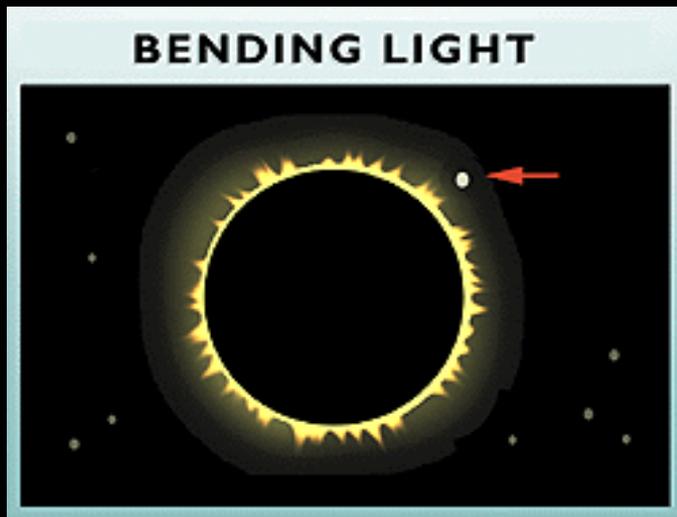
2008年8月1日  
皆既日食@中国酒泉  
柴田一成氏撮影  
(京都大学、世界天文年  
全国同時七夕講演会実行  
委員会委員長)

# 一般相対論の検証

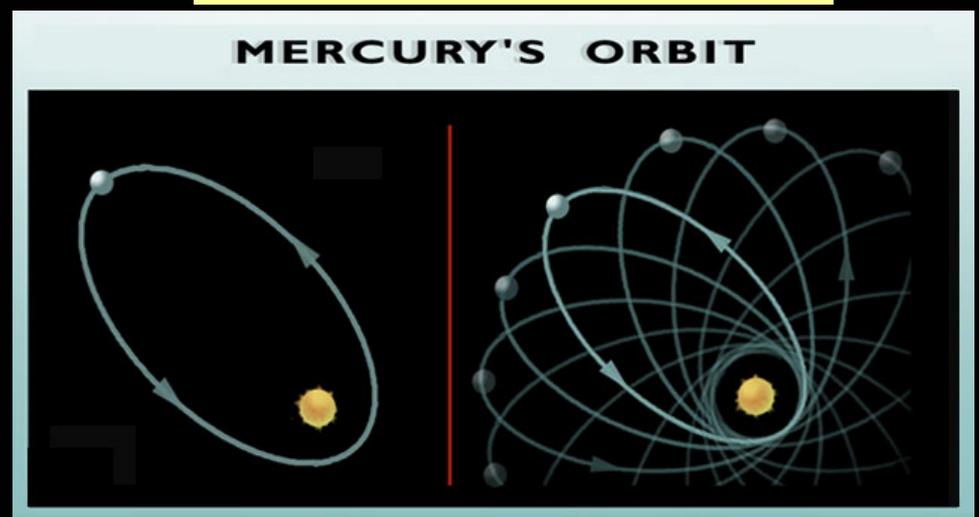
## 重力赤方偏移



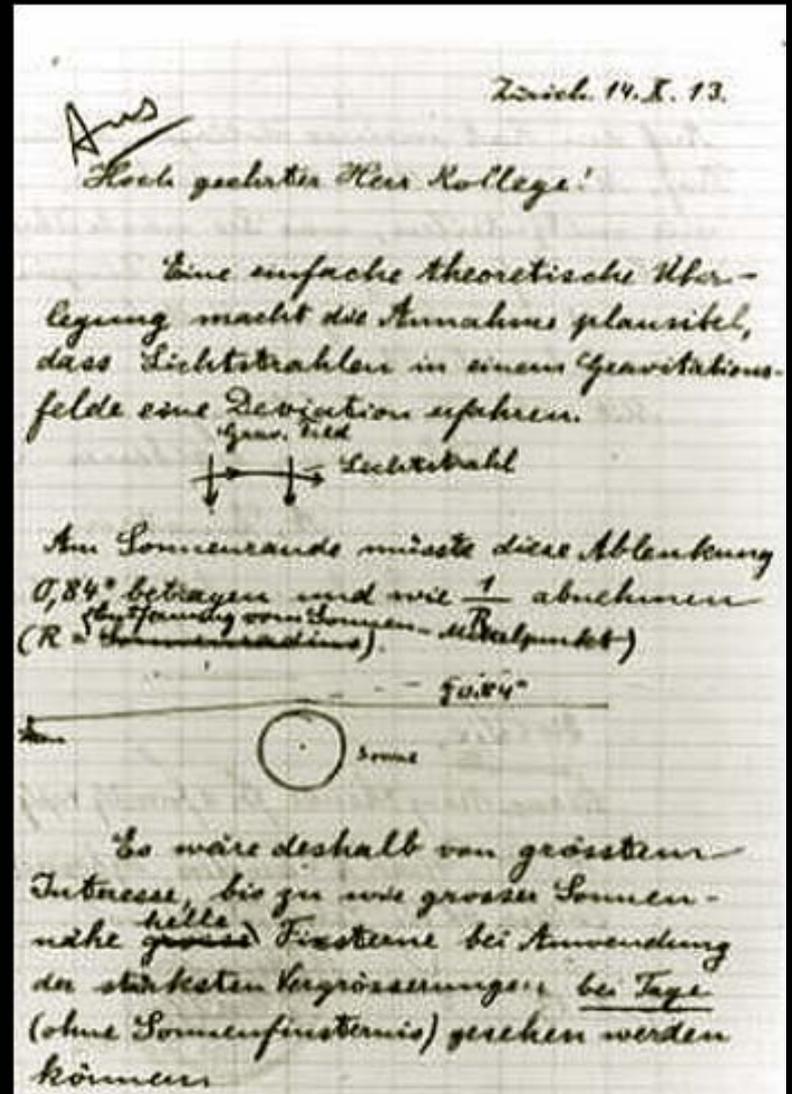
## 太陽の周りの光線の湾曲



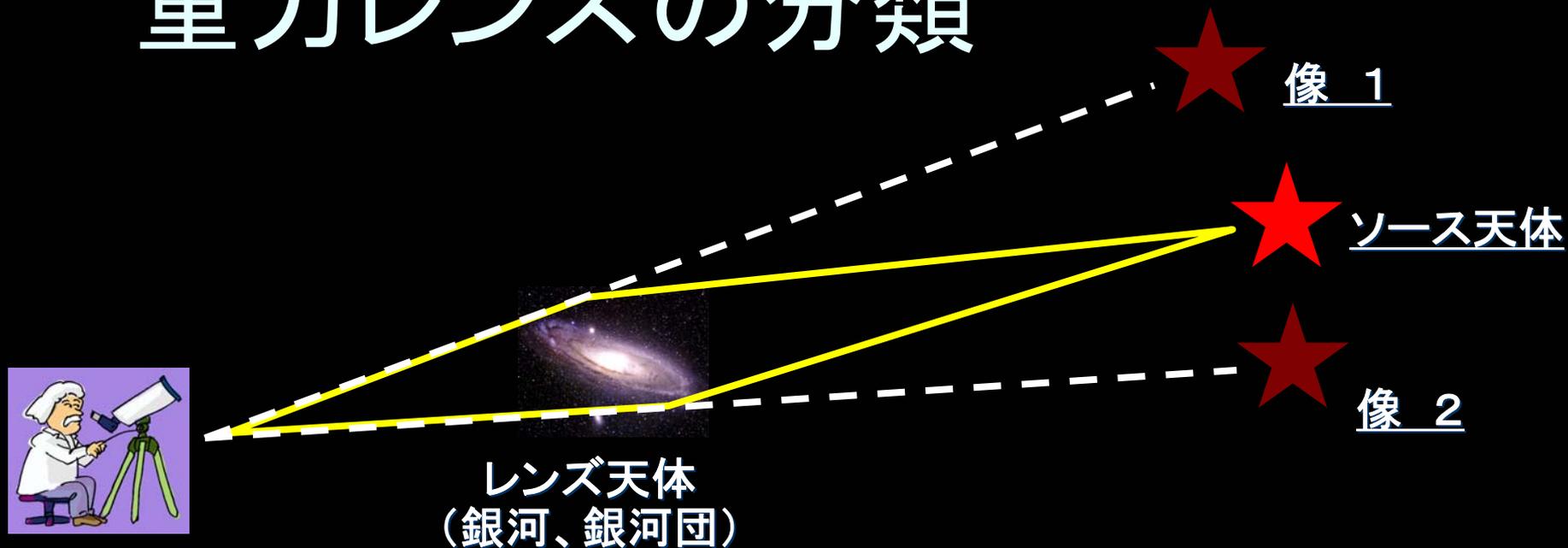
## 水星の近日点移動



# 重カレンズ



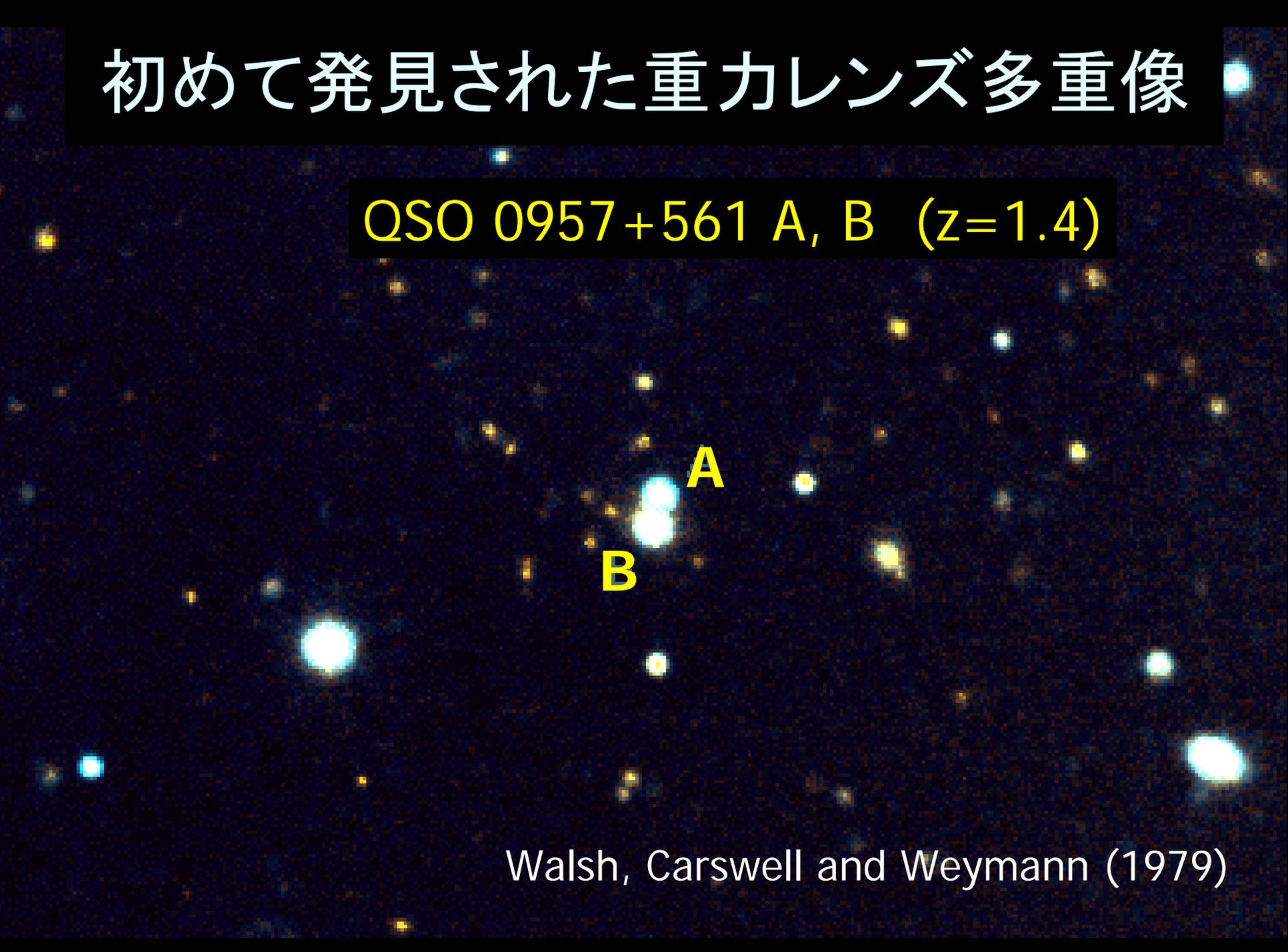
# 重力レンズの分類



- 光線は重力場によって曲げられる
  - 天体が多重像をつくる(強い重力レンズ)
  - 天体の形状が変形を受ける(弱い重力レンズ)
  - 天体の見かけの明るさが増光する(マイクロレンズ)

# 初めて発見された重力レンズ多重像

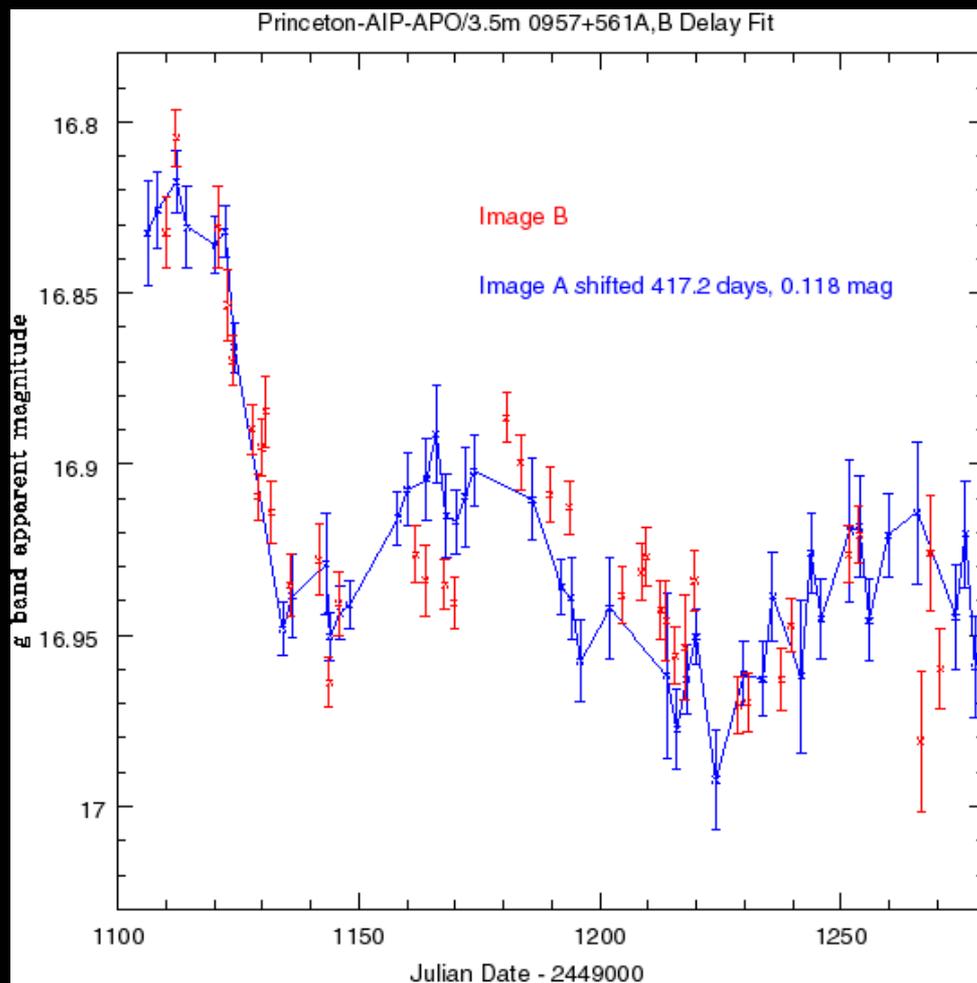
QSO 0957+561 A, B ( $z=1.4$ )

The image shows a field of stars and galaxies. Two specific points of light are highlighted with yellow labels 'A' and 'B'. Image A is a bright, slightly blueish-white point of light. Image B is a slightly dimmer, more yellowish-white point of light. They are positioned close to each other, illustrating the effect of gravitational lensing on a distant quasar.

A  
B

Walsh, Carswell and Weymann (1979)

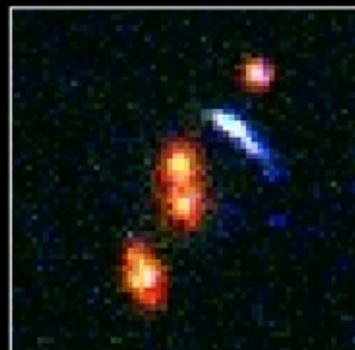
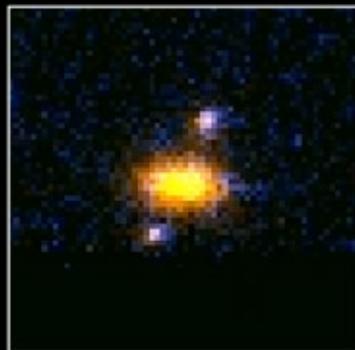
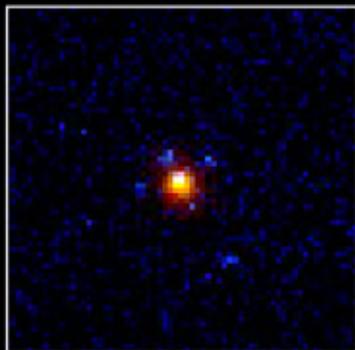
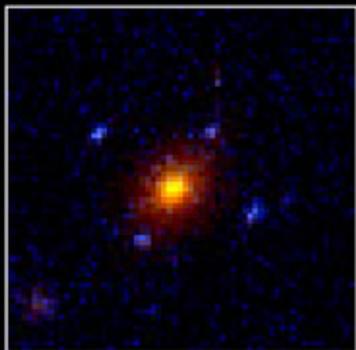
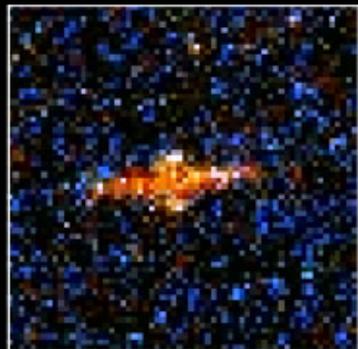
# 0957+561 A, Bの光度曲線と時間差



- QSOの明るさの時間変化より、Bイメージが約一年遅れていることがわかる
- 理論モデルとの比較より、ハッブル定数が推定できる (Kundic et al. 1997)

$$H_0 = 64 \pm 13 \text{ km/s/Mpc}$$

# 強い重力レンズの観測例 (HST)



Gallery of Gravitational Lenses

PRC99-18 • STScI OPO • K. Ratnatunga (Carnegie Mellon University) and NASA

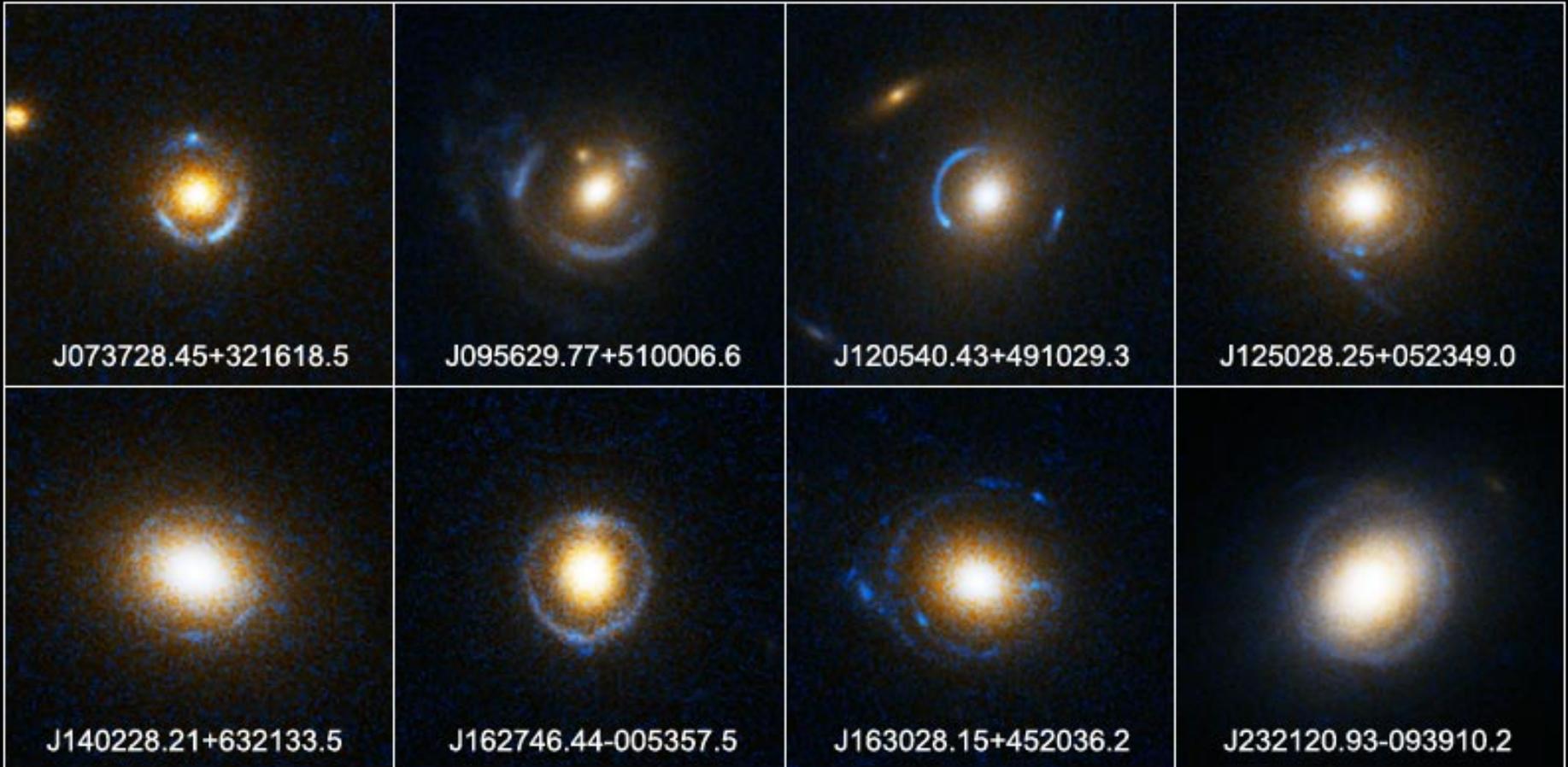
HST •

Gravitational Lens G2237+0305

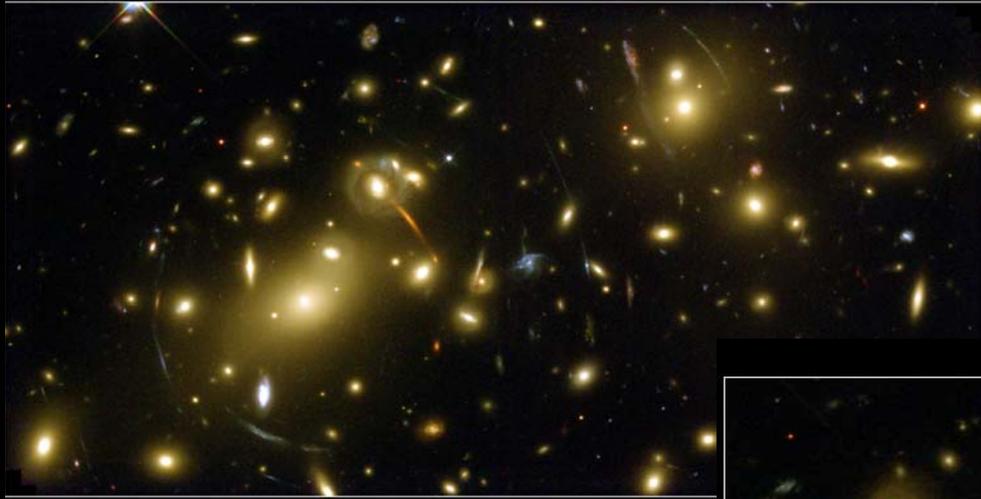
# アイシュタインリング

**Einstein Ring Gravitational Lenses**

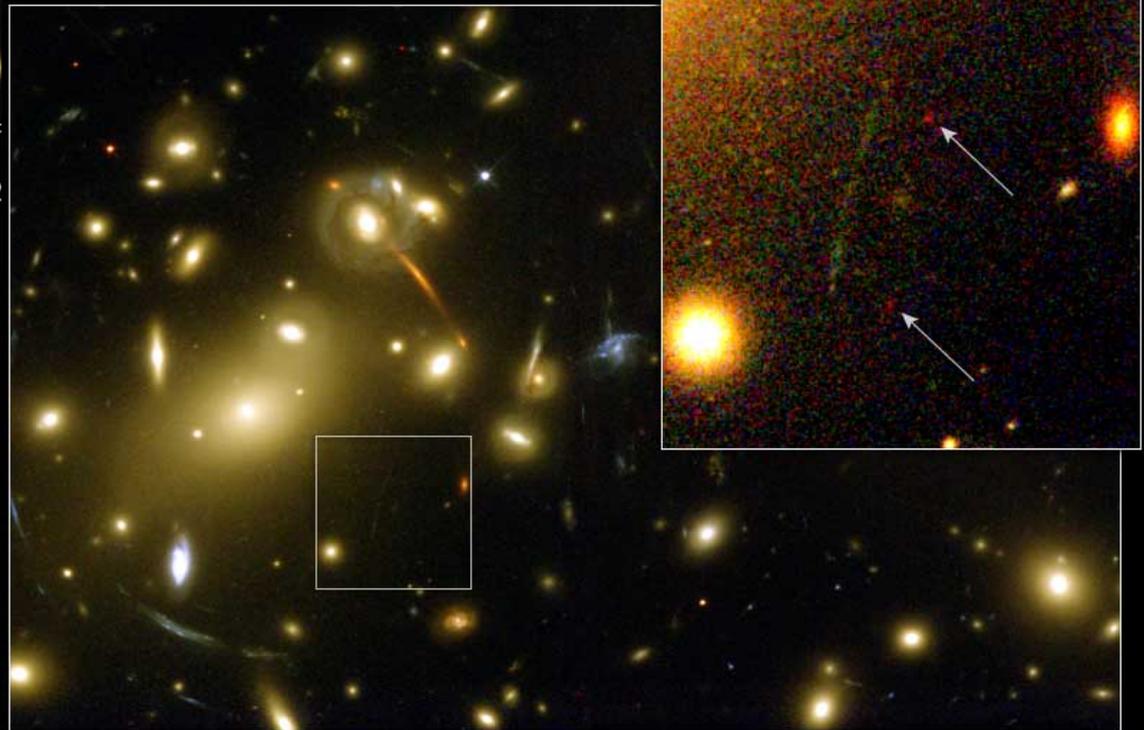
*Hubble Space Telescope* ■ ACS



# 銀河団 Abell 2188



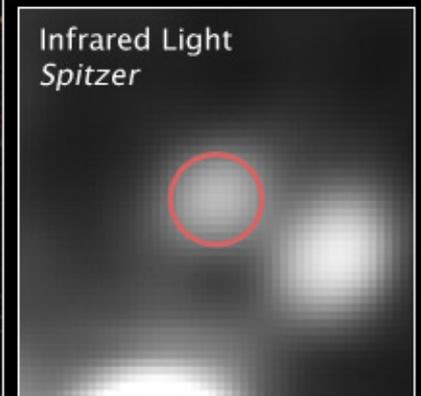
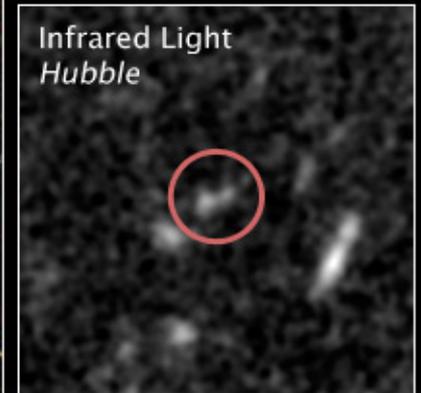
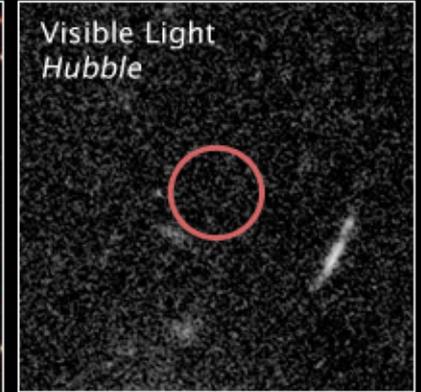
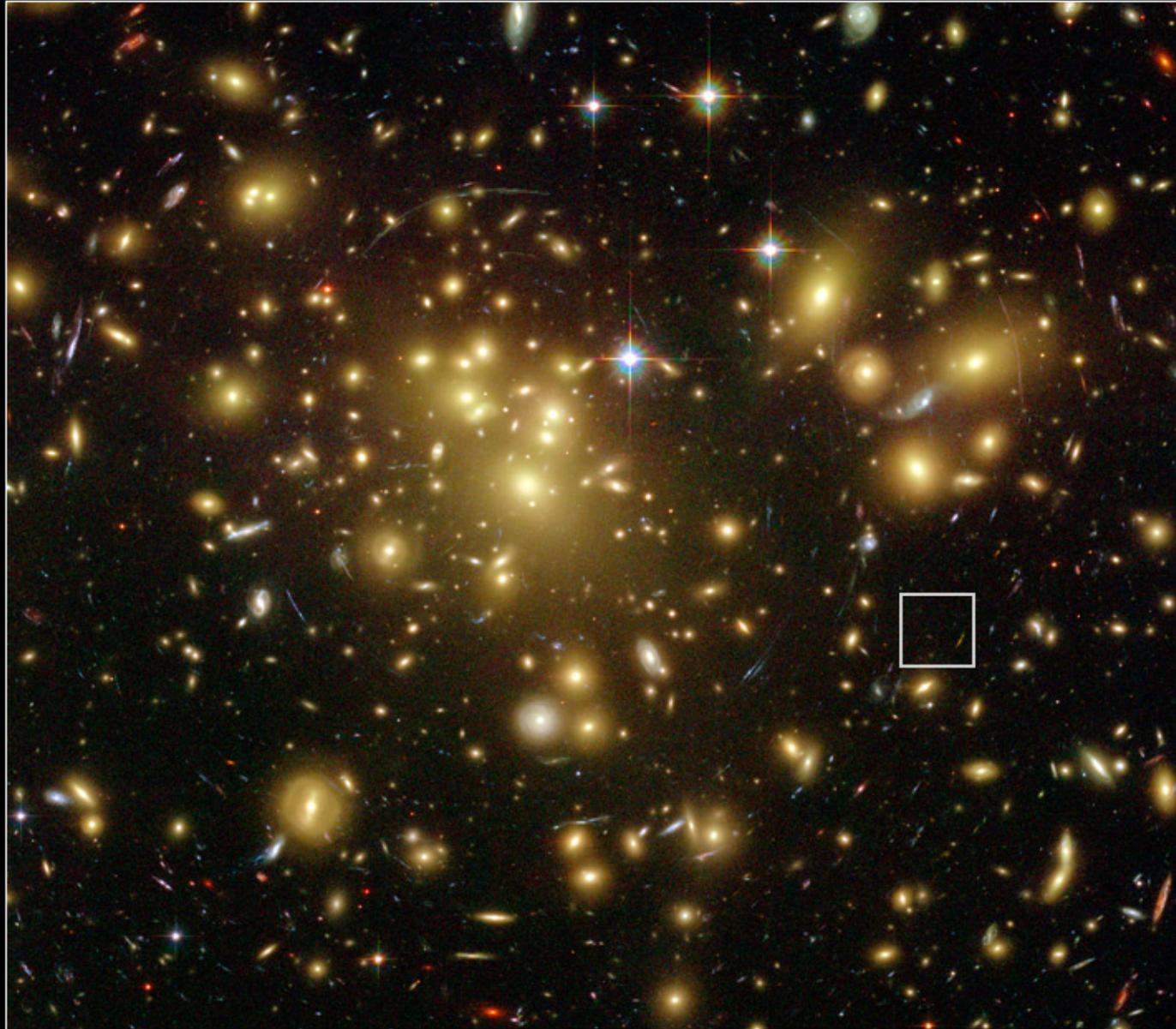
Galaxy Cluster Abell 2218  
Hubble Space Telescope • WFPC2



Distant Object Gravitationally Lensed by Galaxy Cluster Abell 2218 HST • WFPC2  
NASA, ESA, R. Ellis (Caltech) and J.-P. Kneib (Observatoire Midi-Pyrenees) • STScI-PRC01-32

Distant Gravitationally Lensed Galaxy  
Galaxy Cluster Abell 1689

Hubble Space Telescope  
ACS/WFC NICMOS

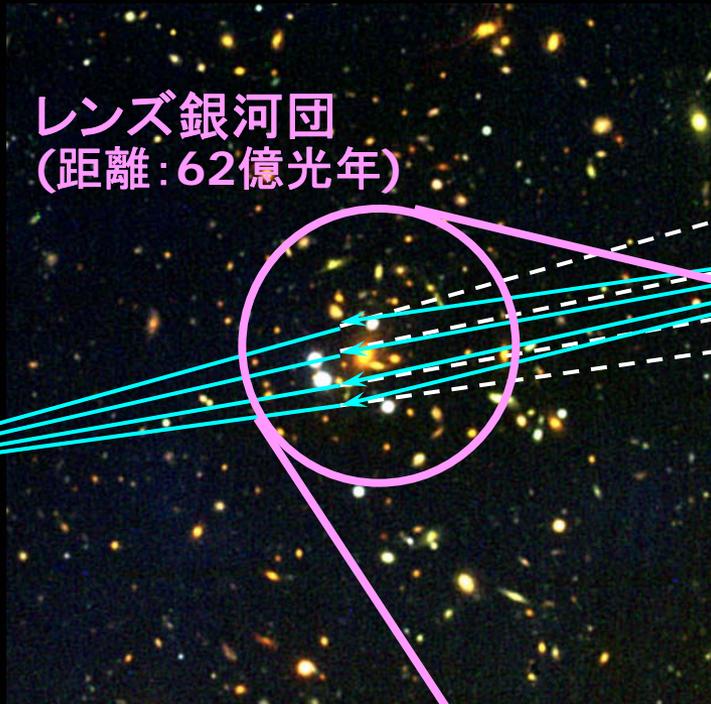


# すばるが見た最大のクエーサー重力レンズ

すばる 8.2m  
望遠鏡



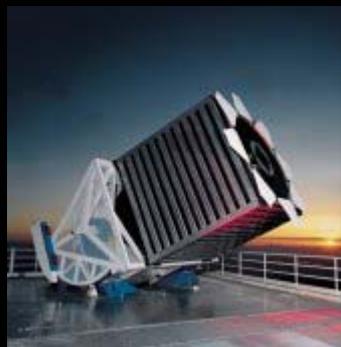
すばる望遠鏡の画像



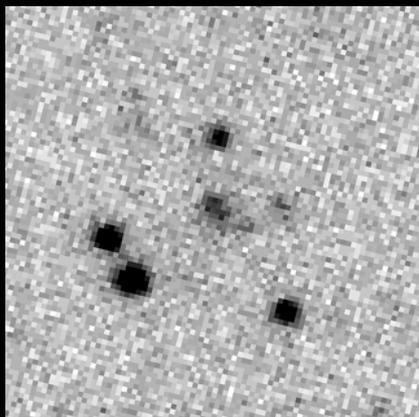
レンズ銀河団  
(距離: 62億光年)

稲田、大栗ほかSDSSグループ  
Nature 426 (2003) 810

クエーサー  
SDSS J1004  
(98億光年)

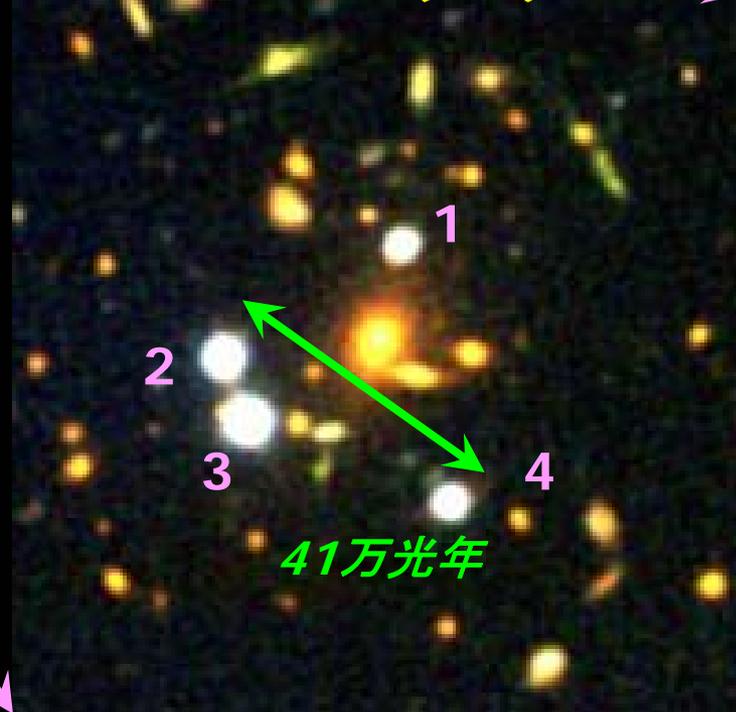


SDSS専用  
2.5m望遠鏡



SDSSの画像

すばる望遠鏡の画像(拡大)



41万光年

# ハッブル宇宙望遠鏡で観測した 重カレンズ SDSS J1004+4112

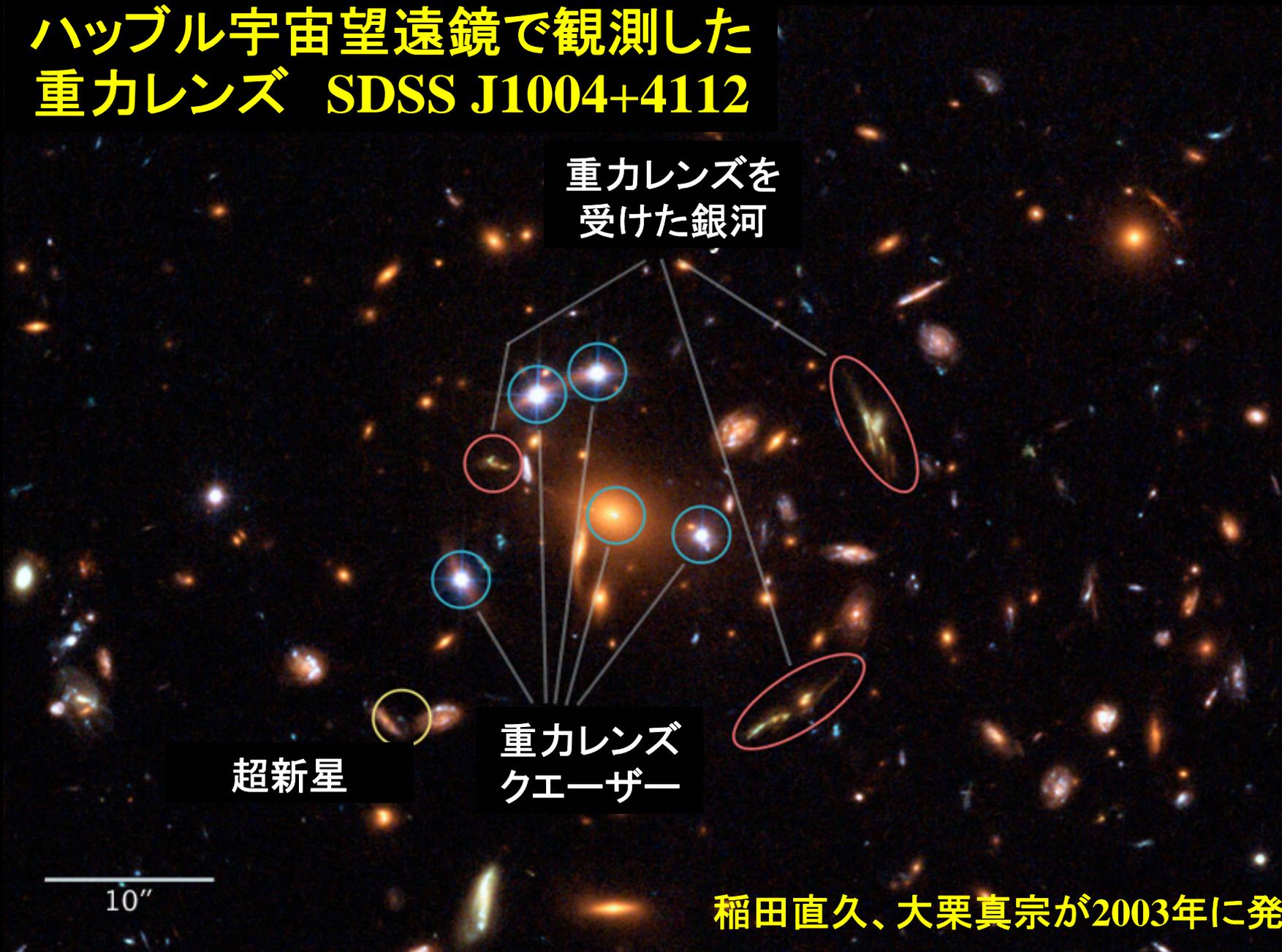
重カレンズを  
受けた銀河

重カレンズ  
クエーザー

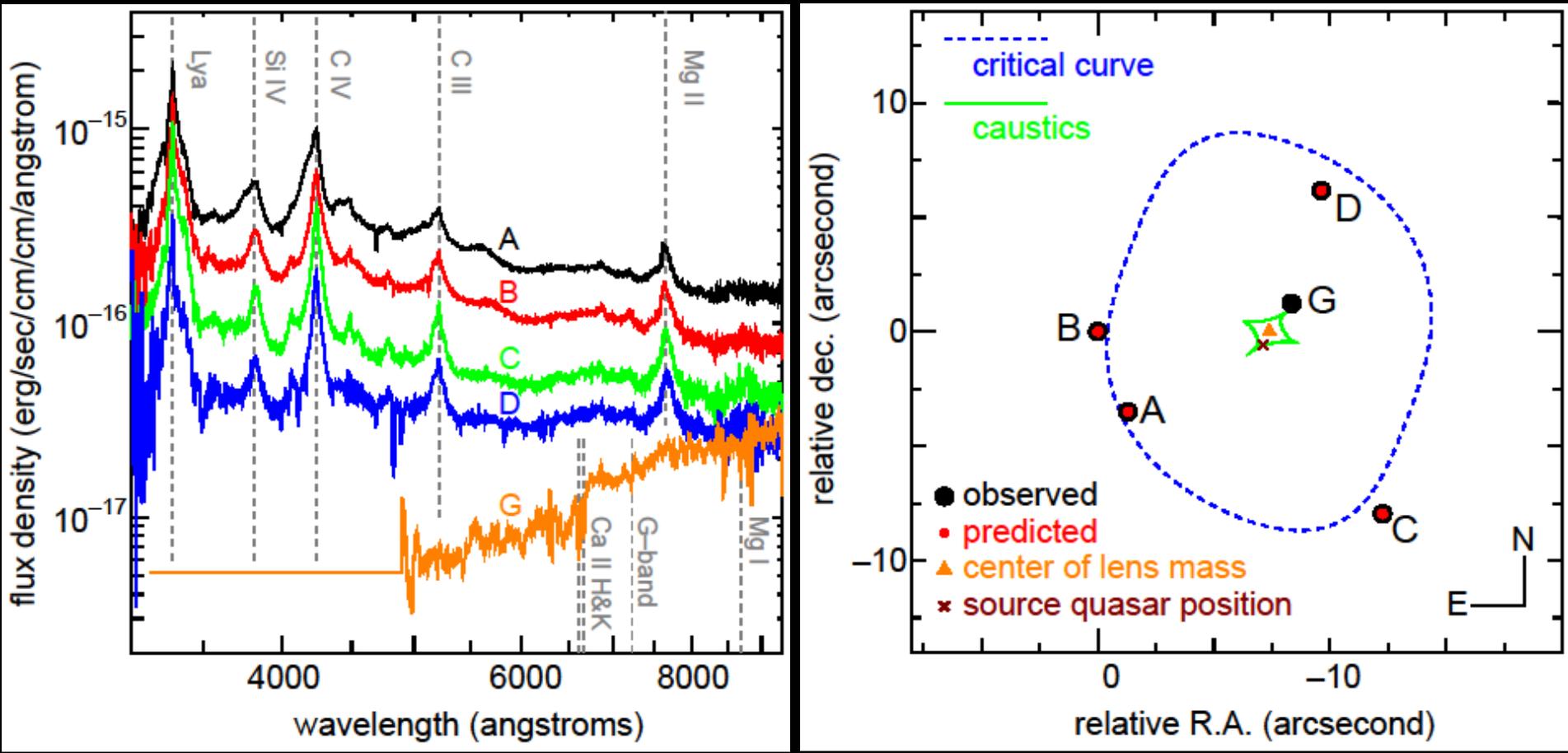
超新星

10''

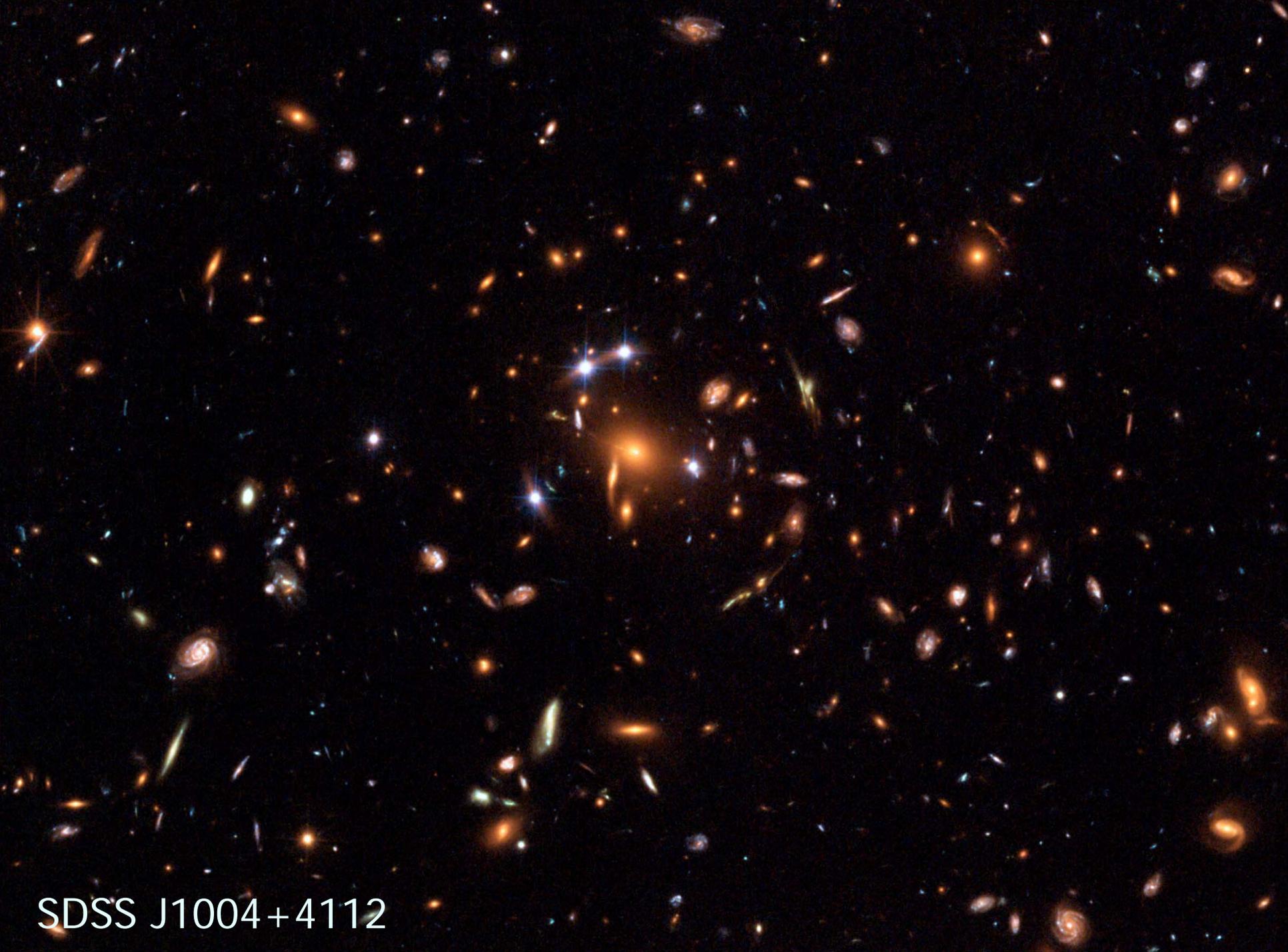
稲田直久、大栗真宗が2003年に発見



# SDSSJ1004+4112のスペクトルとレンズモデル

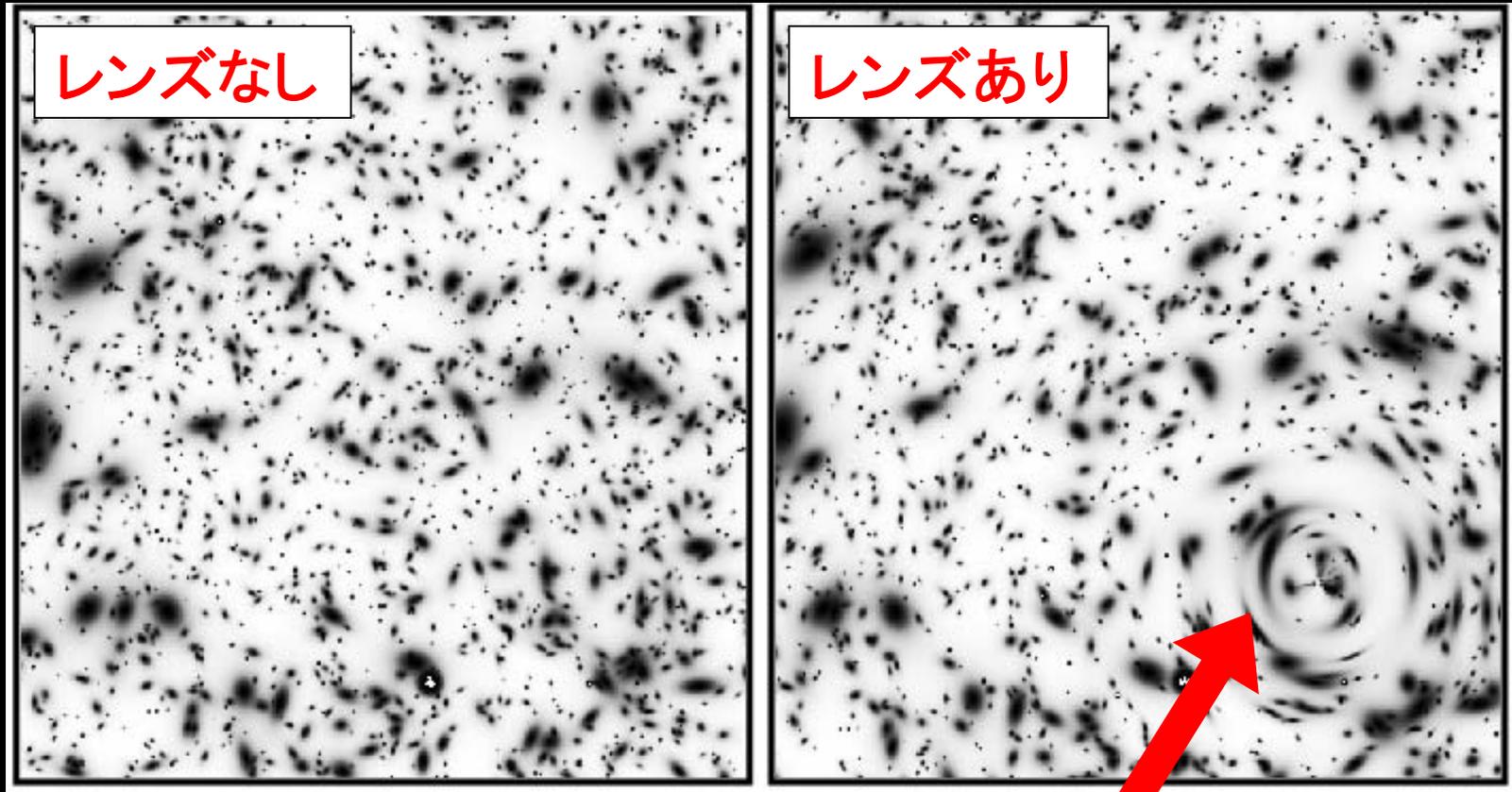


Inada et al. Nature 426 (2003) 810



SDSS J1004+4112

# 弱い重力レンズ

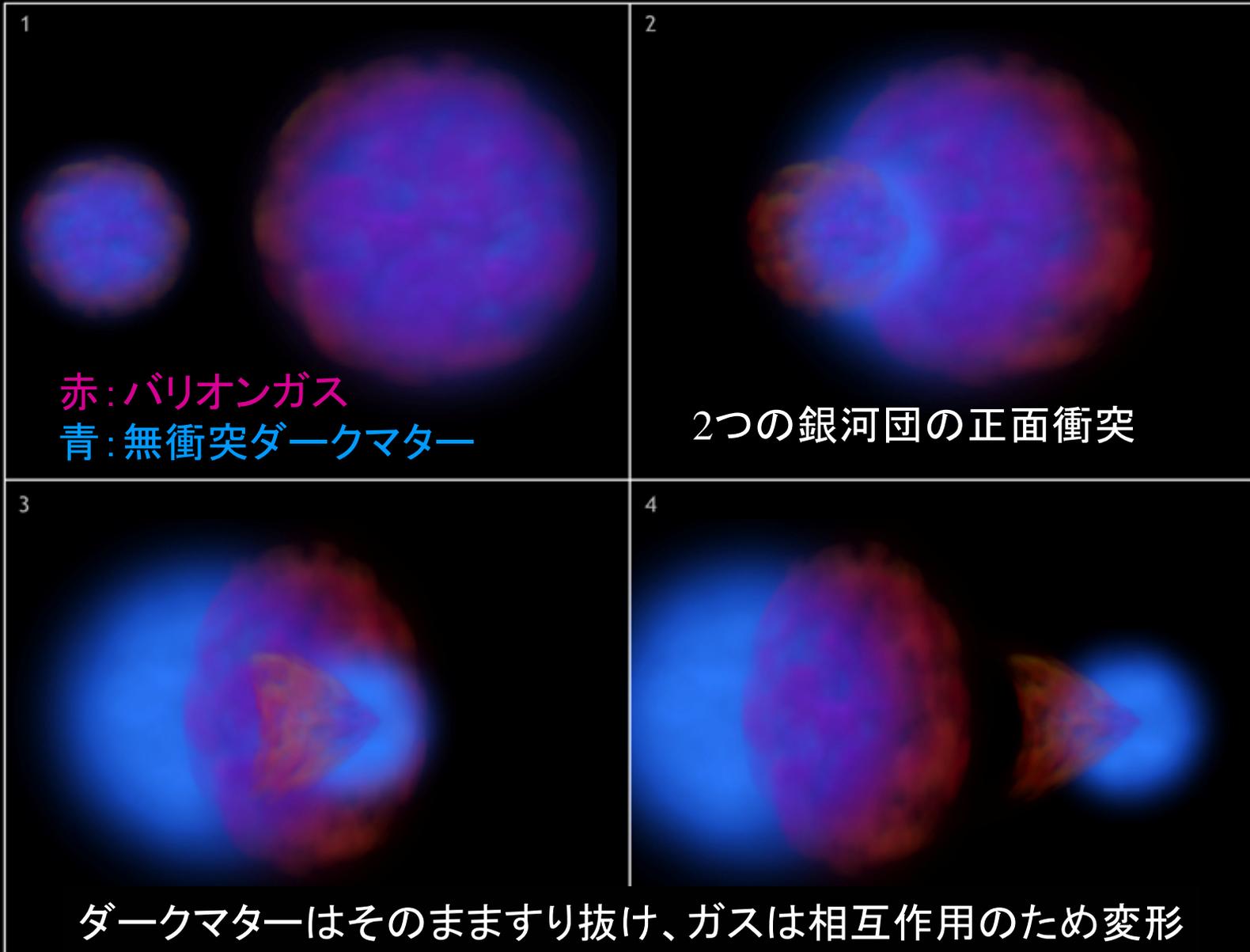


$z=0.3$ に $10^{14}$ 太陽質量の重力レンズ天体がある場合に予想されるイメージ

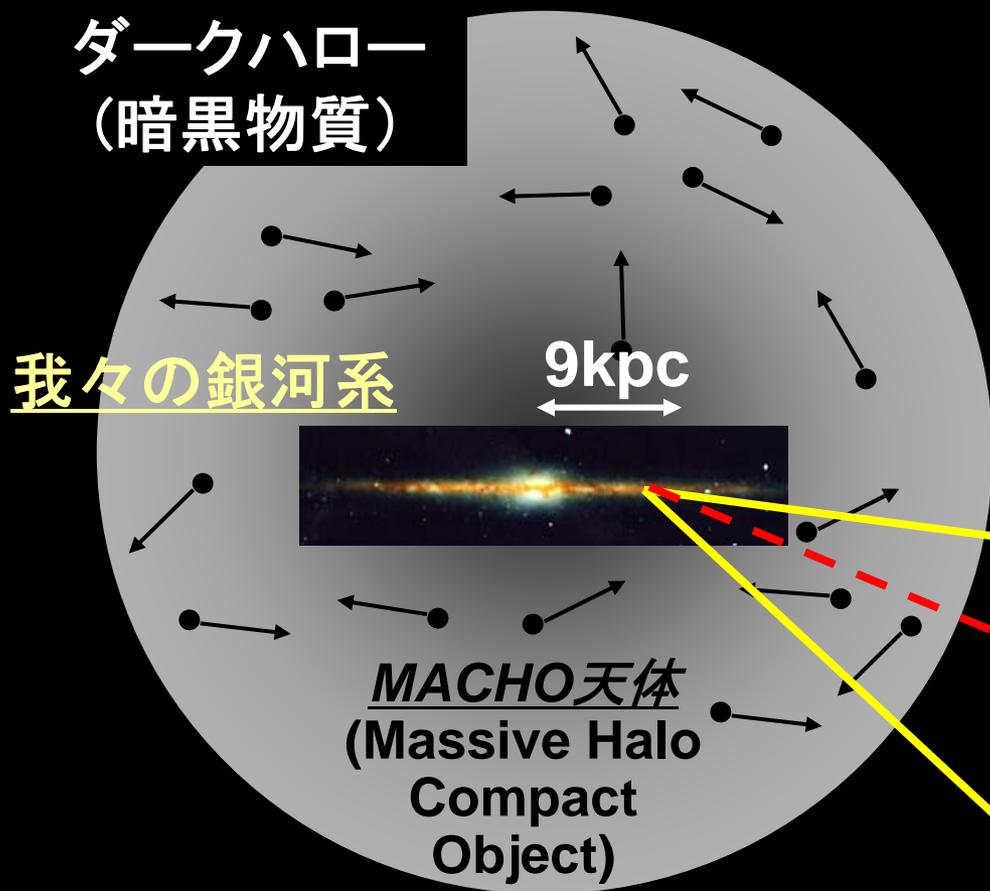
# 衝突銀河団



# ダークマター存在の証拠



# 重カマイクロレンズによるMACHO探査

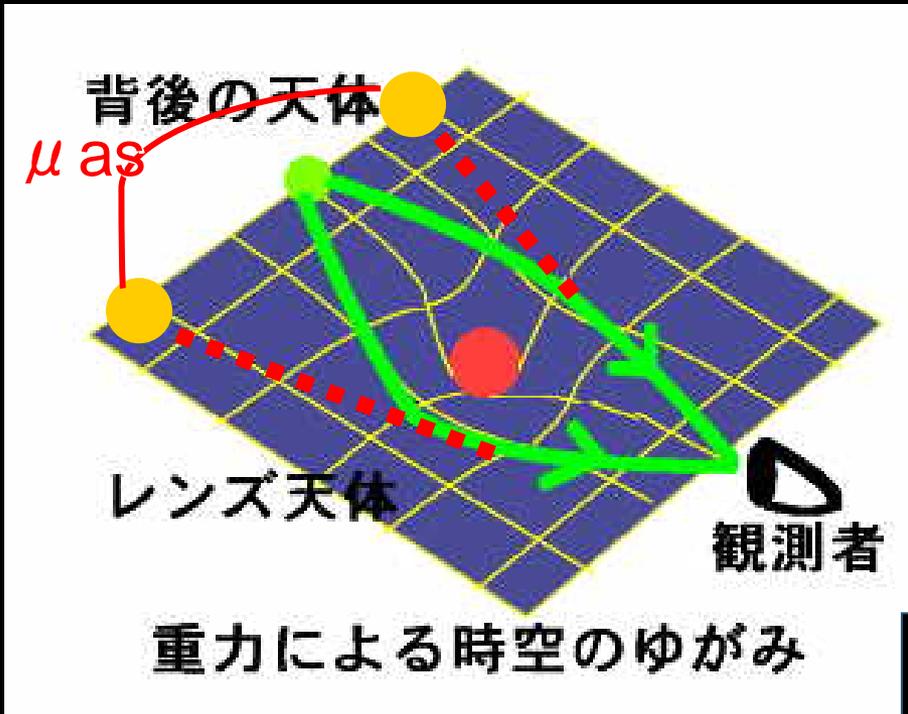


- 銀河系ハローのMACHO天体による重カマイクロレンズ現象で大マゼラン星雲の星が増光する兆候を探す

50kpc



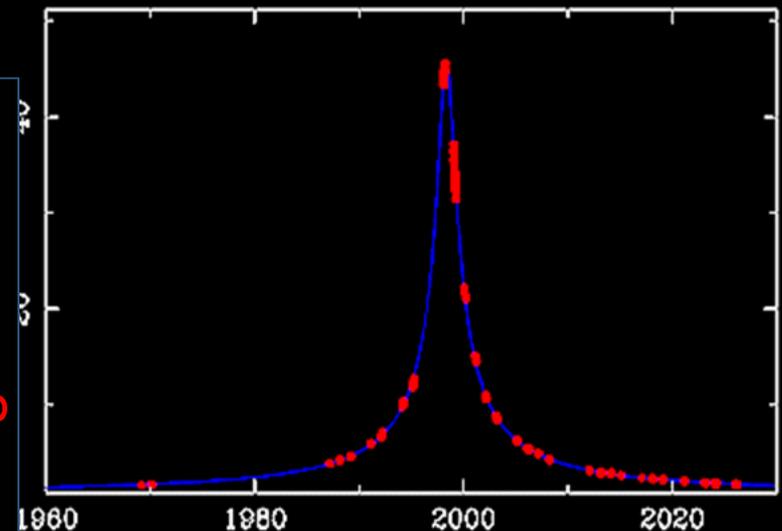
# 重力マイクロレンズによる増光



- $M_{lens} \sim M_{\odot} \rightarrow$  離角  $\sim \mu arcsec$
- 増光だけ見える

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

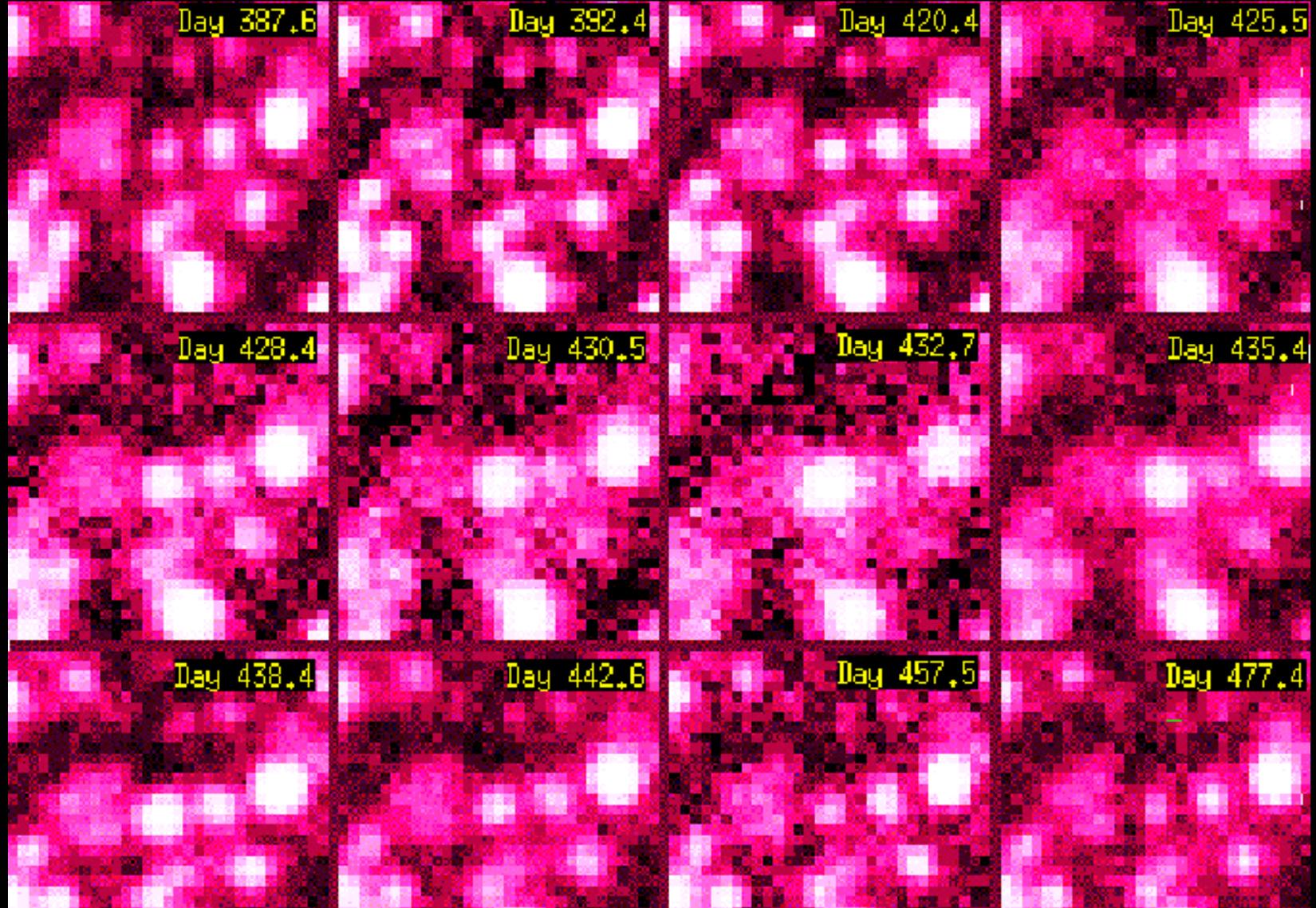
Magnification



(名古屋大学 住貴宏氏)

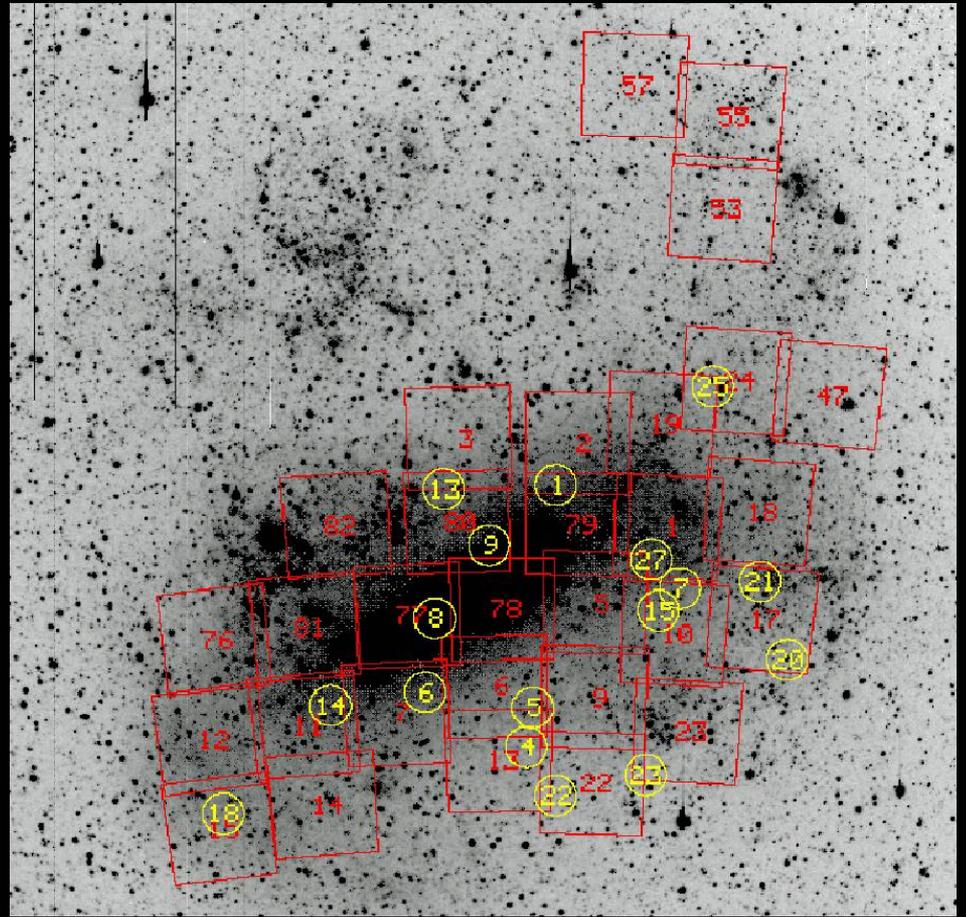
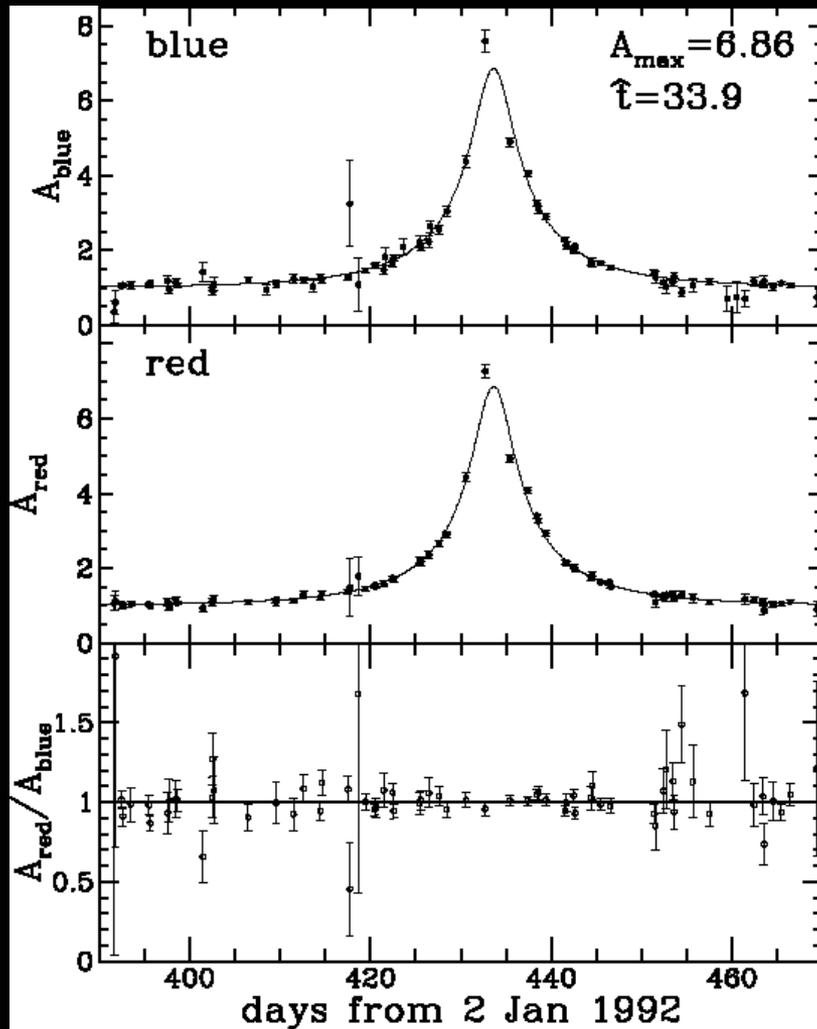
time (day)

# Massive Compact Halo Objectの発見

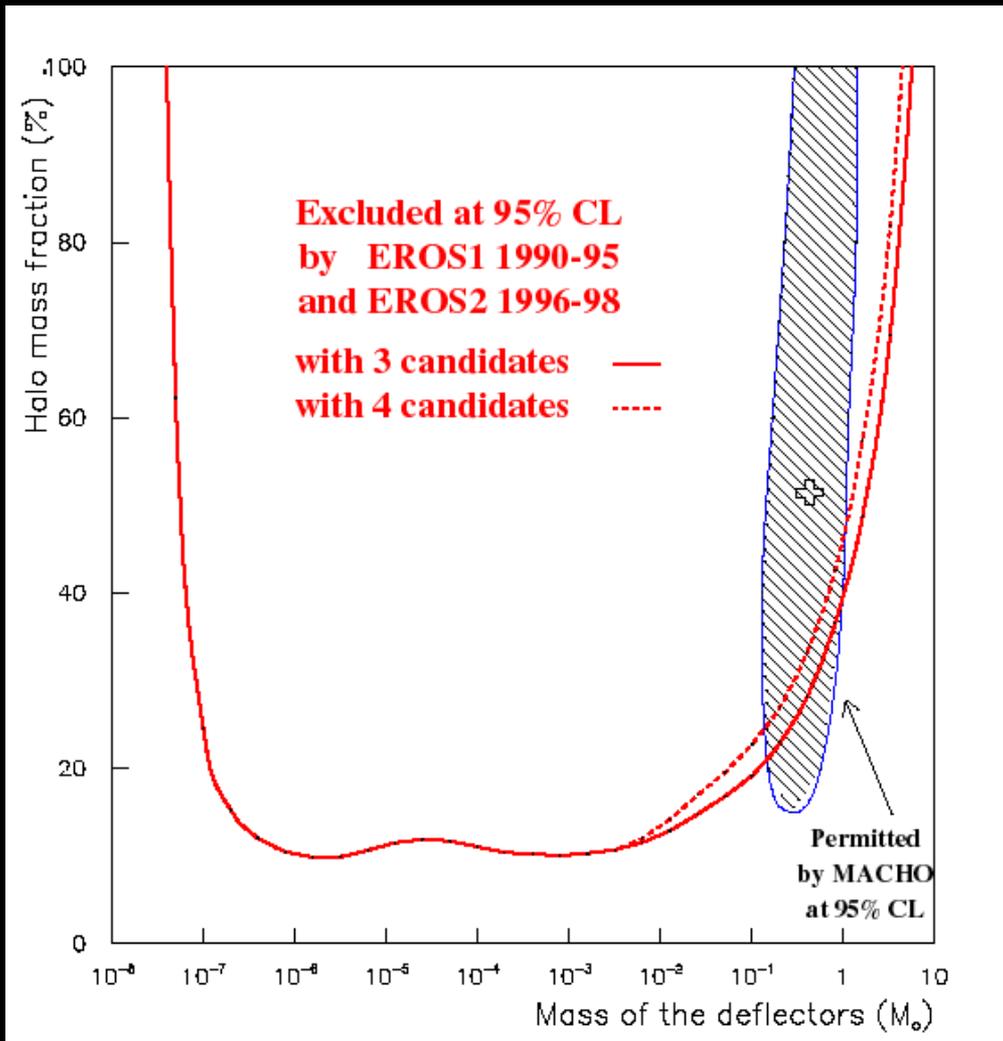


最初に発見された重カマイクロレンズ現象 (Alcock et al. 1993)

# MACHOイベントの光度曲線



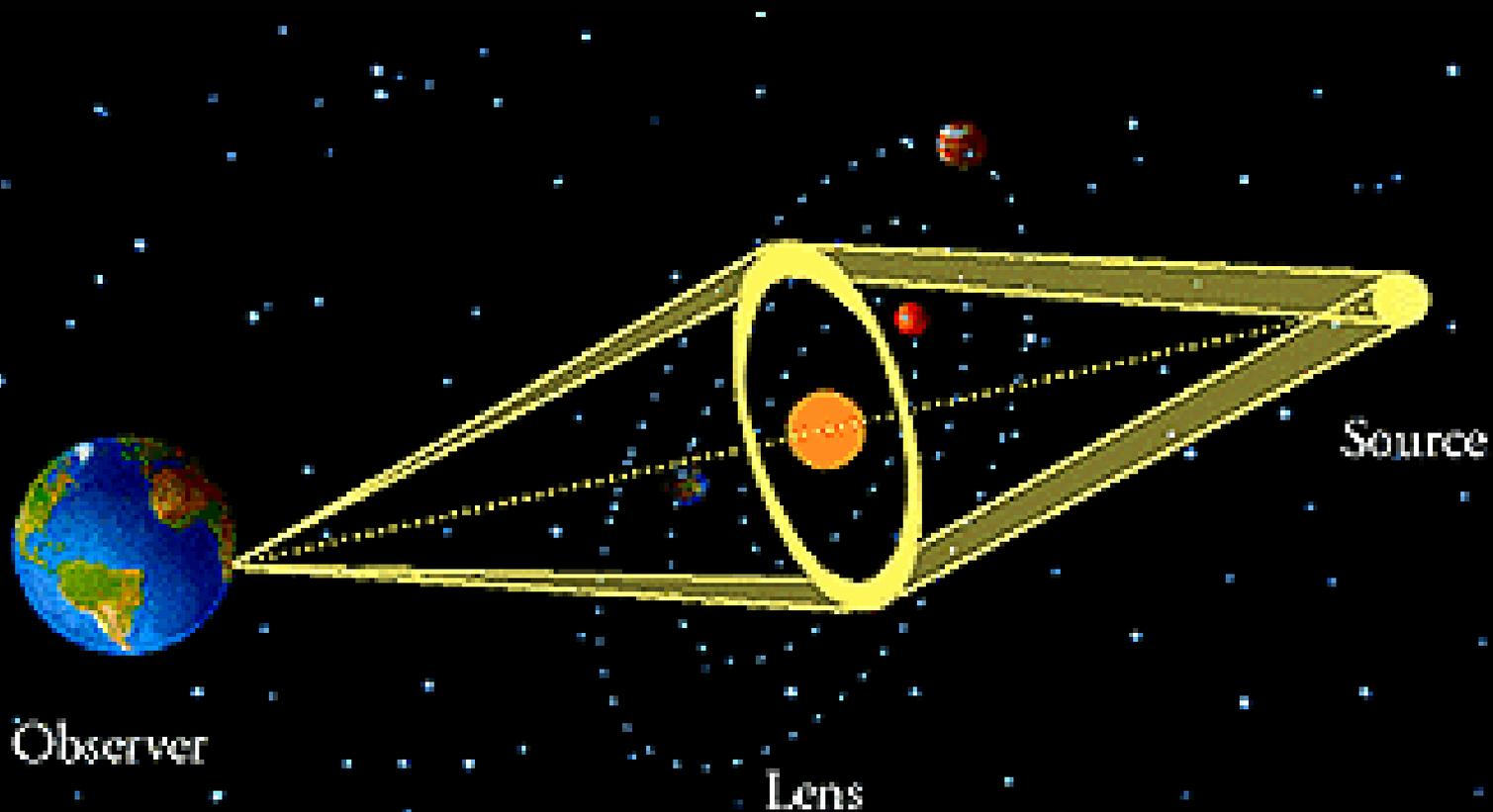
# 銀河系ダークマターの組成



- 銀河系ハローには確かにMACHOが存在する
- 質量は太陽の0.1から1倍程度
- ハロー全体に占める質量は2割程度(つまり、それ以外のダークマターも存在する)

**MACHO mass fraction**  
**Lasserre et al. (2000):**  
**EROS collaboration**

# マイクロレンズを用いた系外惑星探査

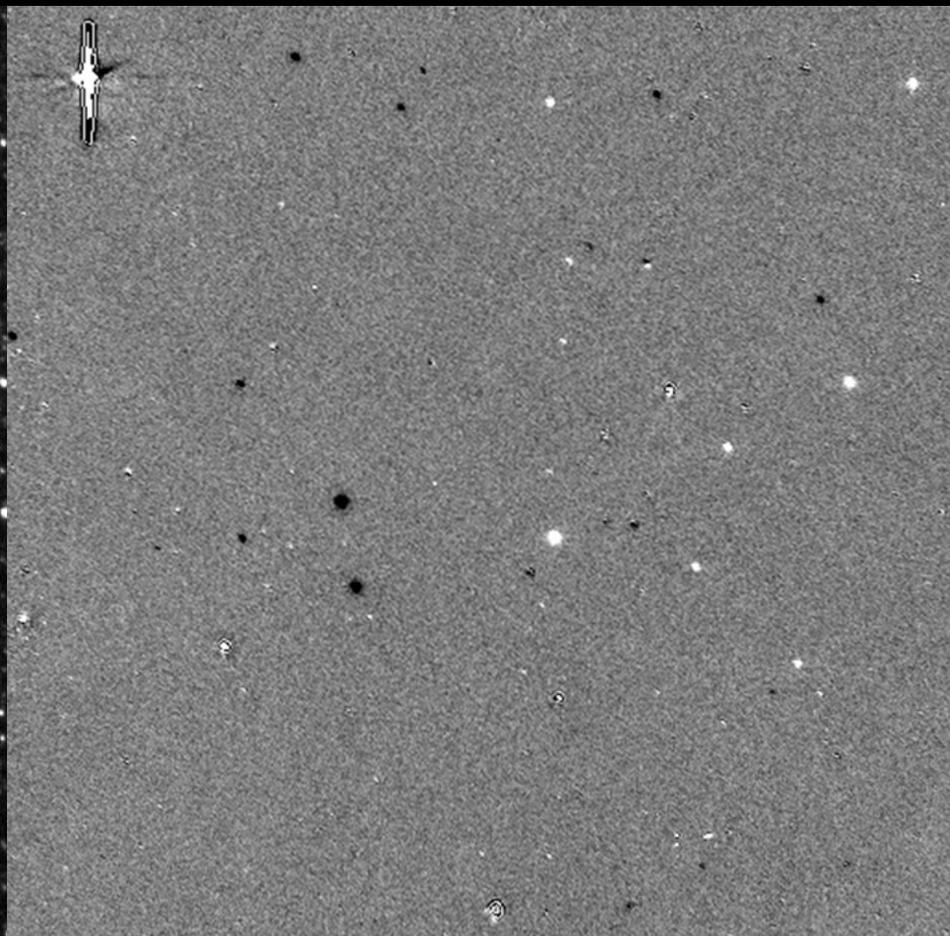


(名古屋大学 住貴宏氏)

# 差分イメージ解析

観測

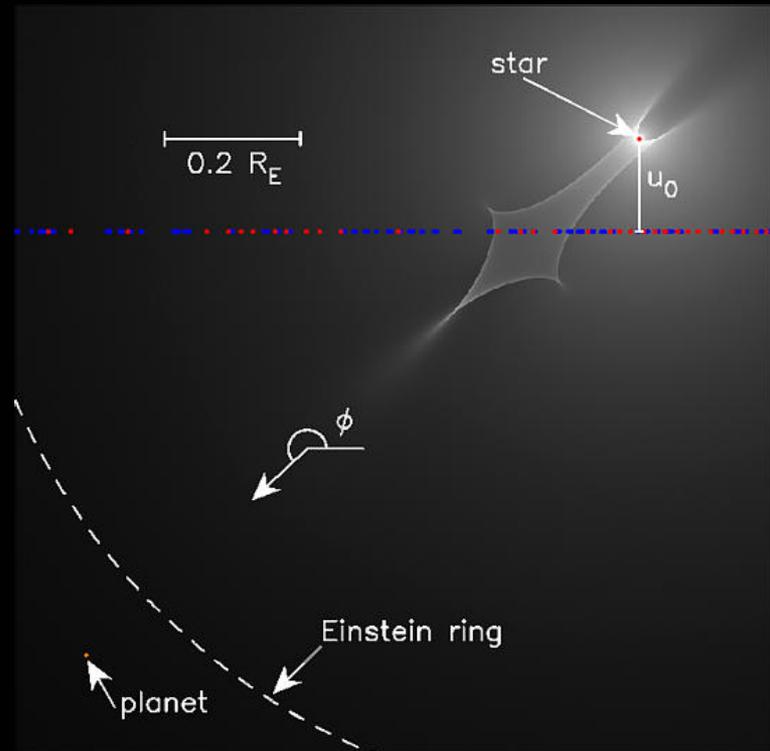
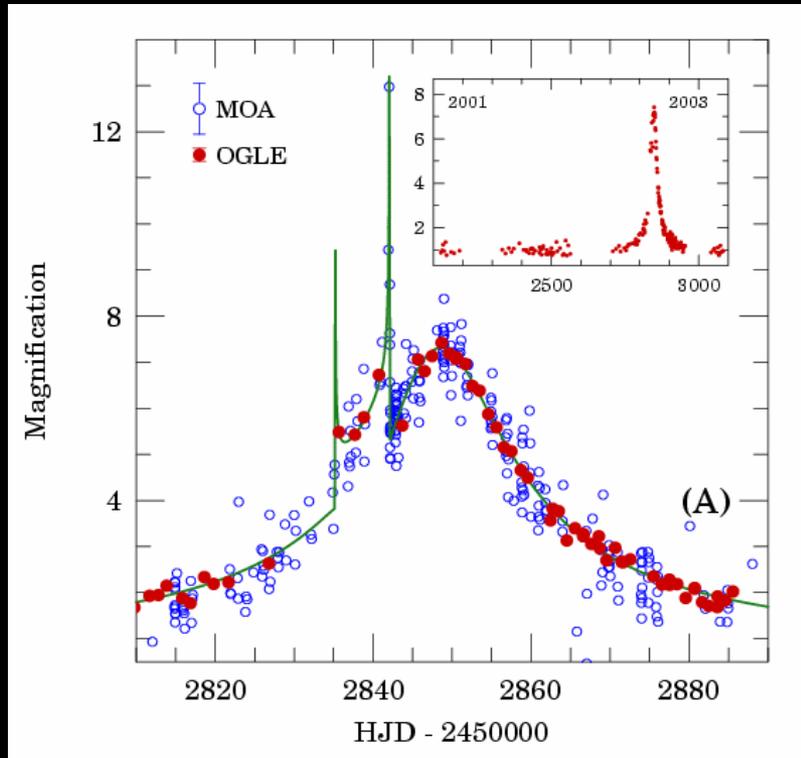
差分



(名古屋大学 住貴宏氏)

# マイクロレンズで発見された最初の系外惑星

## OGLE 2003-BLG-235/MOA 2003-BLG-53



惑星質量:  $\sim M_{\text{木星}}$  公転半径:  $\sim 3\text{AU}$

OGLEが2003年6月22日に、MOAが2003年7月21日に観測  
(名古屋大学 住貴宏氏)

# 重力レンズのまとめ

- 一般相対論的現象にもかかわらず、目で見えるため直感的で面白い
- 宇宙の光っていない成分を探れるユニークな手段を提供する
  - ダークマター
  - 暗くて見えない遠方天体
  - 系外惑星