

Tomo-eによる 近傍重力マイクロレンズ探索の可能性



Observer



Source

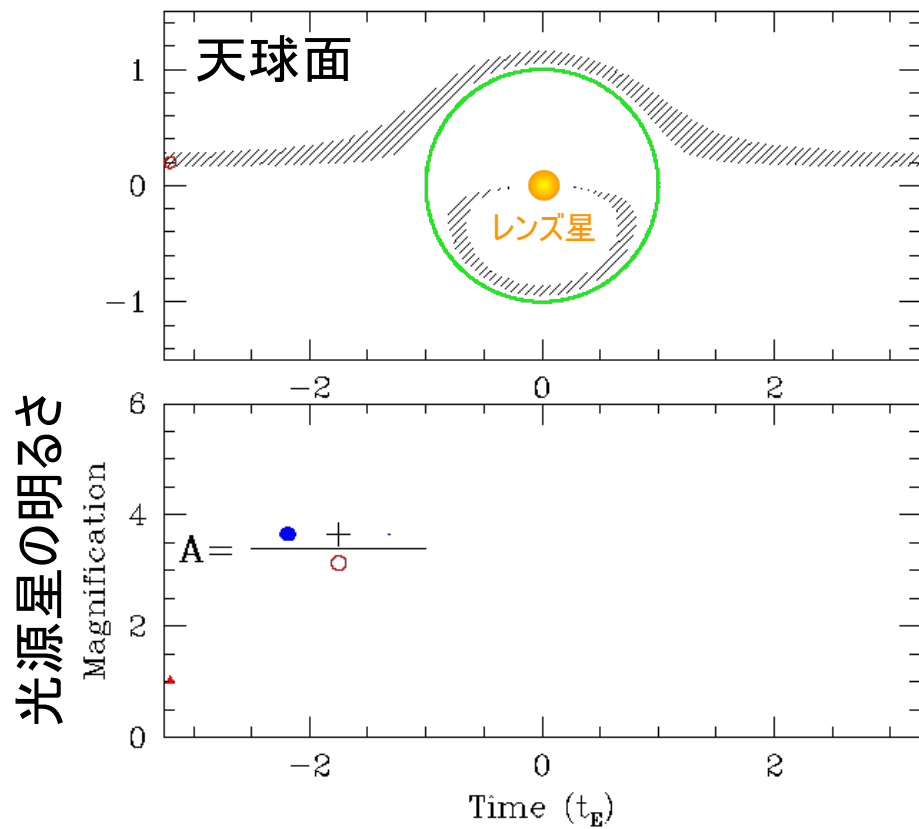
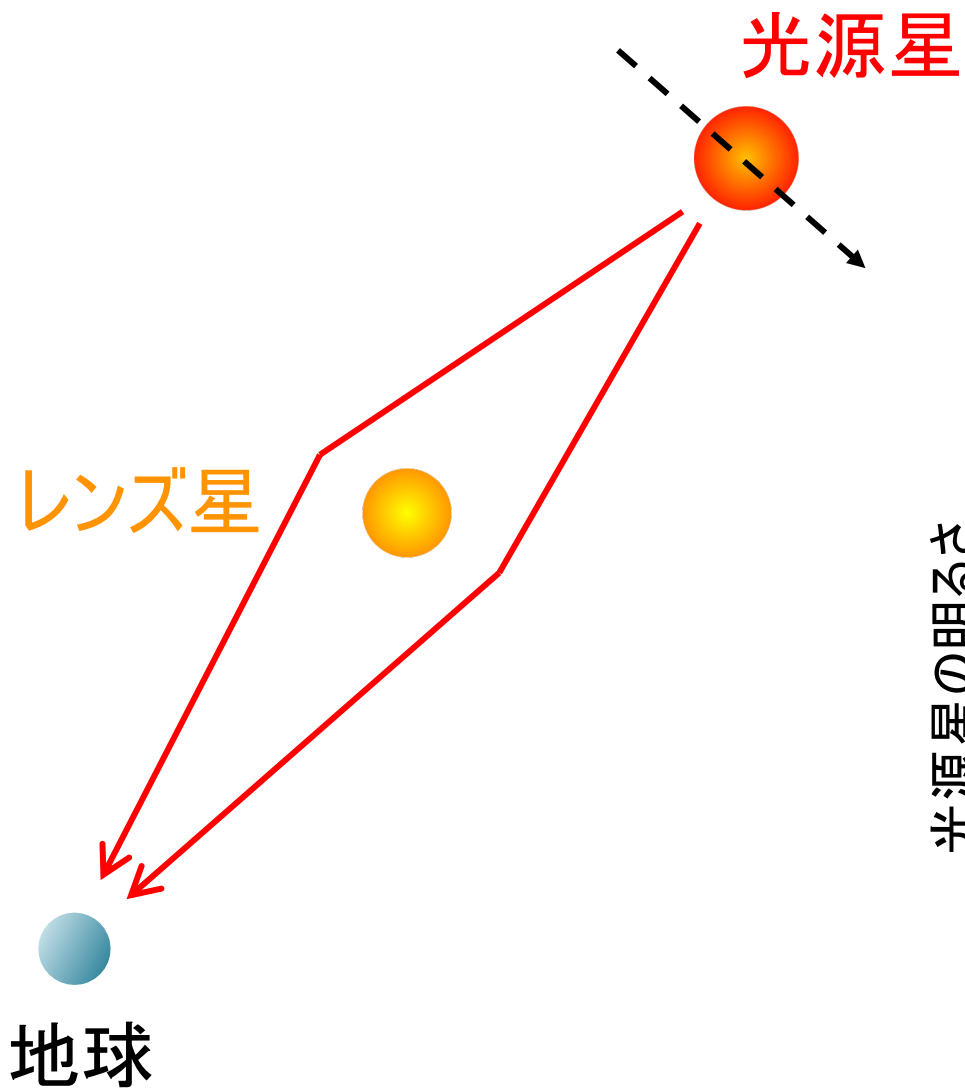
東京大学大学院理学系研究科

地球惑星科学専攻

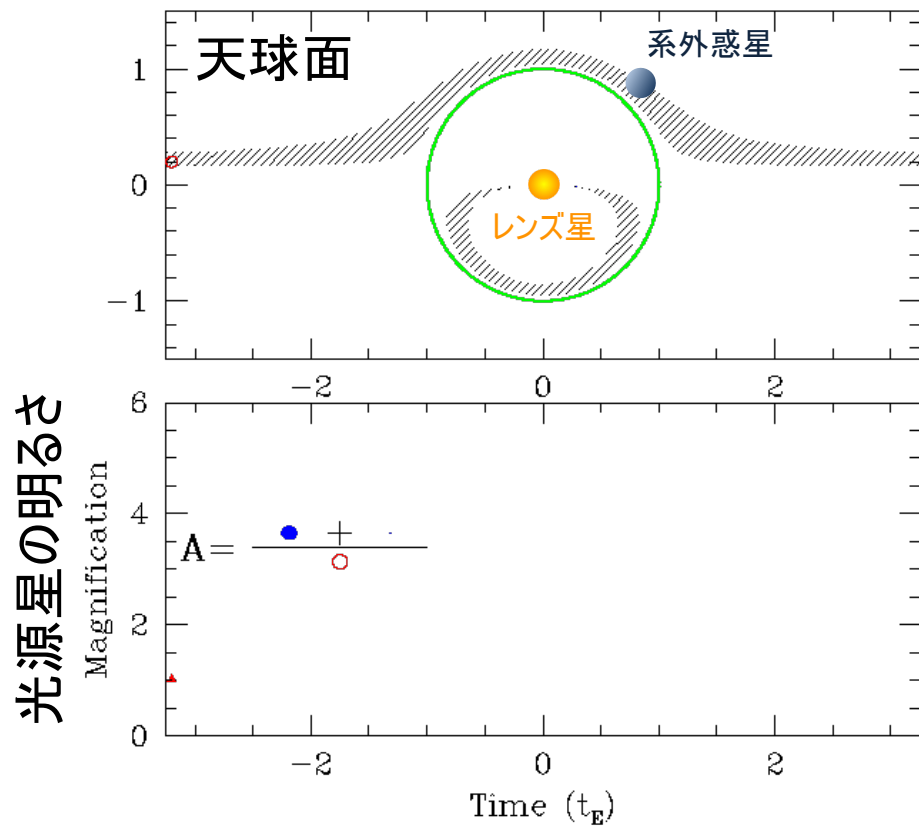
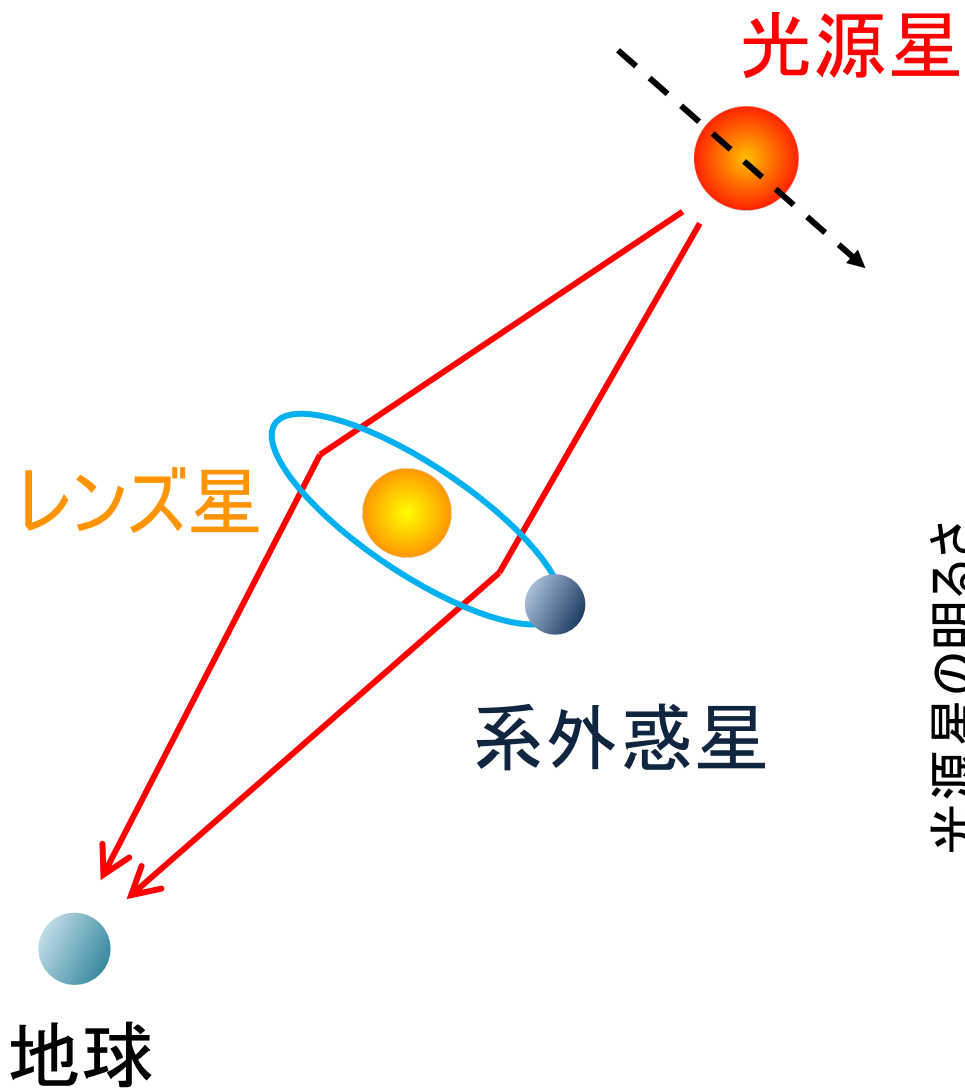
福井暁彦



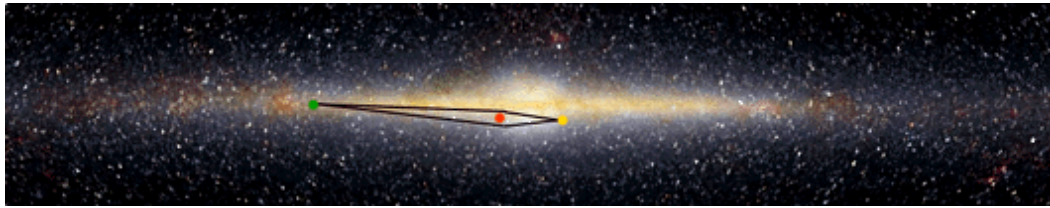
重力マイクロレンズ現象



重力マイクロレンズ現象



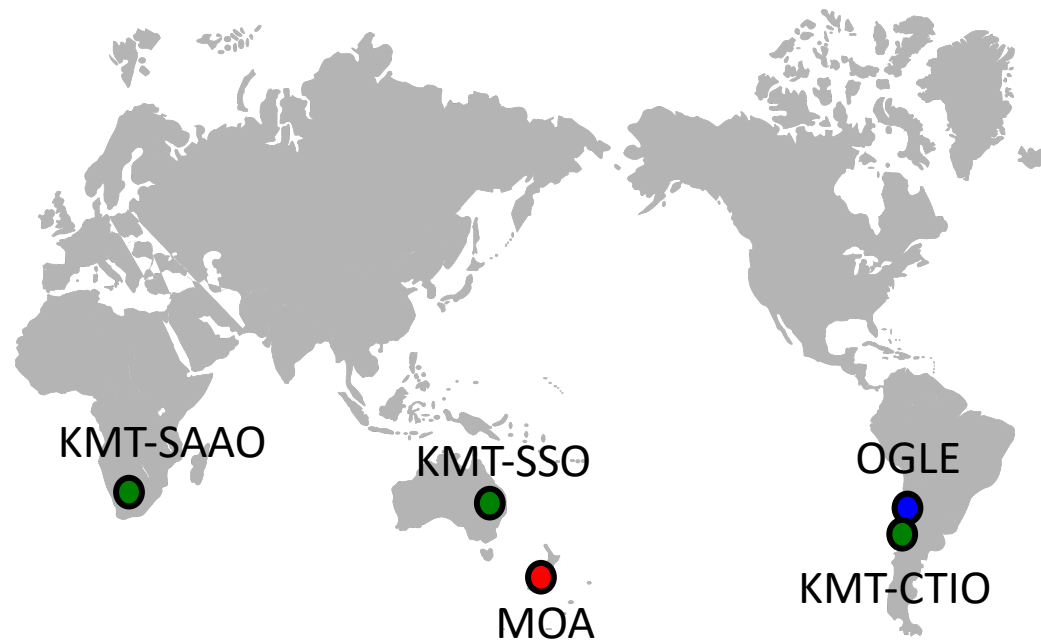
重カマイクロレンズサーベイ



2天体が $\sim 1\text{mas}$ 以下の場合に増光

- Fieldでは極めて稀 ($\sim 10^{-8}$)
- 確率 \propto 星の個数密度の2乗

サーベイは専ら銀河中心方向



OGLE

- OGLE-I ('92-'95, 1m, 0.06 deg²)
- OGLE-II ('96-'00, 1.3m, 0.06 deg²)
- OGLE-III ('01-'09, 1.3m, 0.12 deg²)
- **OGLE-IV (2010-, 1.3m, 1.4deg²)**

MOA

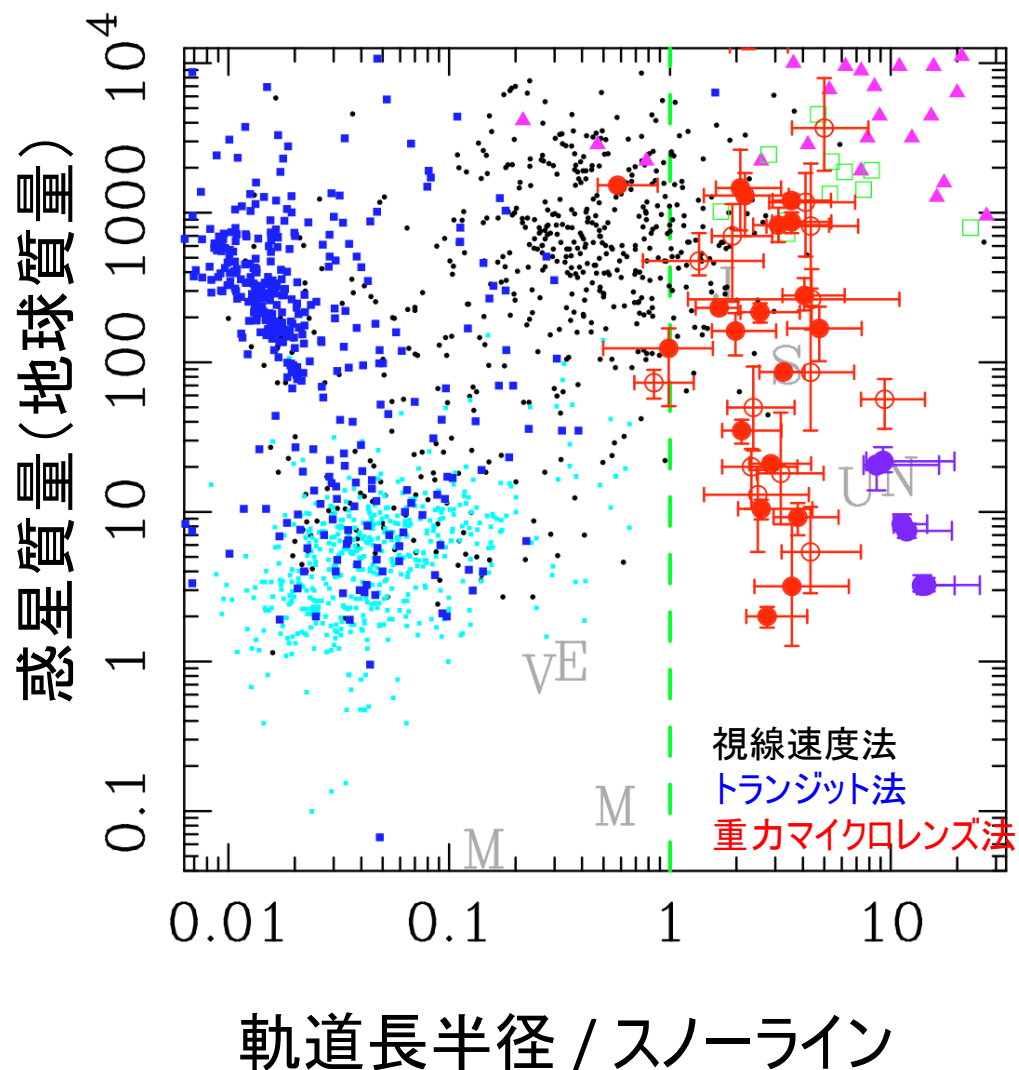
- MOA-I ('99-'05, 0.6m, 1.3 deg²)
- **MOA-II (2005-, 1.8m, 2.4 deg²)**

KMT

- **KMTNet-SSO, SAAO, CTIO (2016-, 1.6m x 3, 4 deg²)**

- 単星レンズイベント: ~ 1000 イベント/年
- 惑星イベント: ~ 10 イベント/年

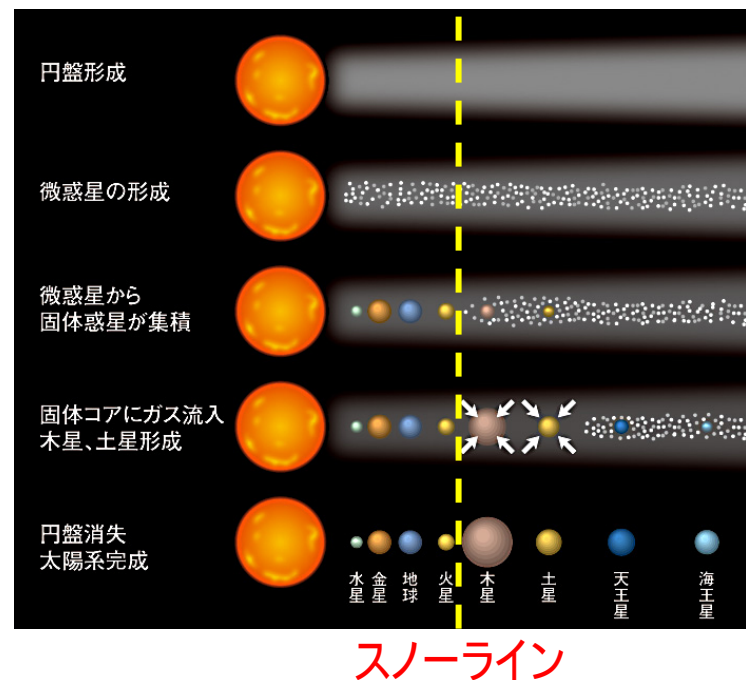
発見された系外惑星の分布



スノーライン以遠の惑星を多数
発見 (>70個)

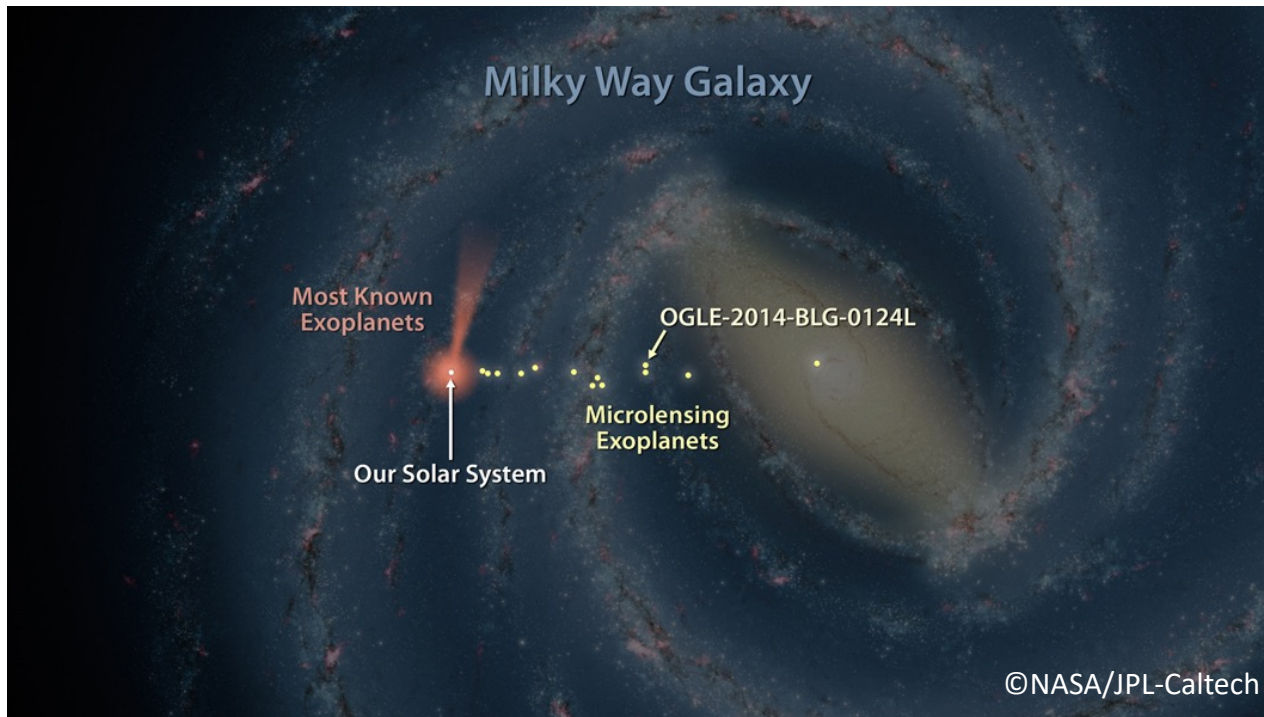
=> 惑星形成の現場

惑星形成標準シナリオ



重力マイクロレンズ法の欠点

- レンズの距離と質量の決定が難しい
 - 約半数のイベントで、レンズ天体の距離と質量が縮退
- フォローアップ観測が困難
 - 惑星系の距離が遠い(数kpc)ため、**他の手法での観測が困難**



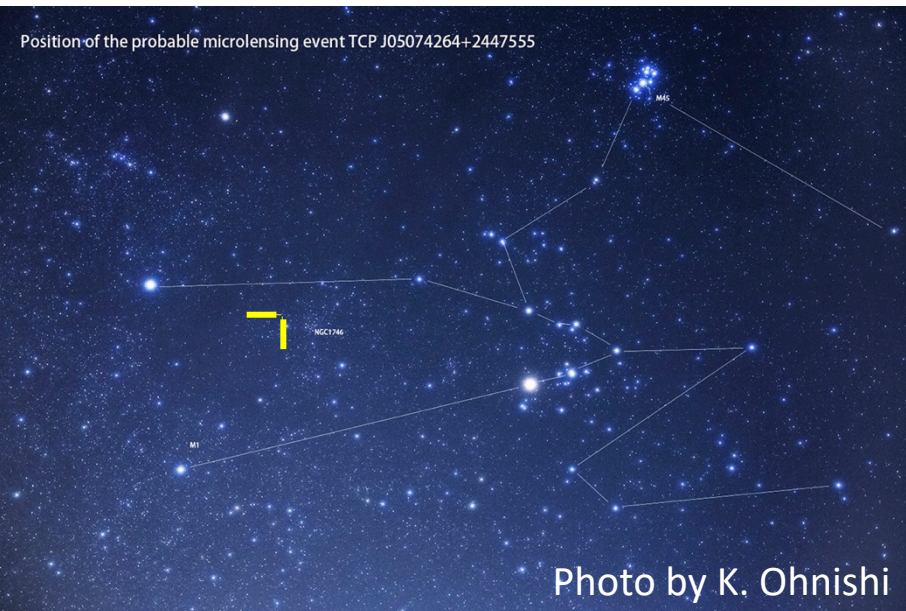
小嶋イベント (TCP J05074264+2447555)



小嶋正氏

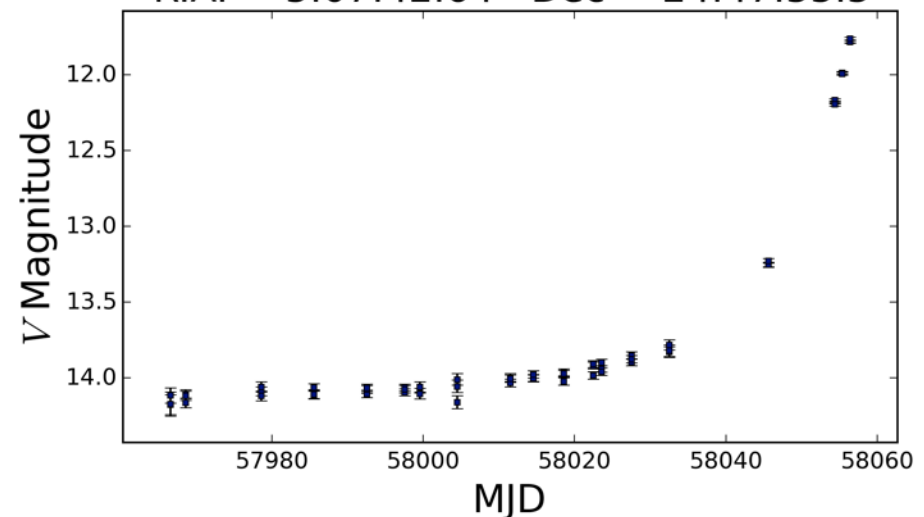
(天文月報2018年11月号より)

- 2017年10月31日、アマチュア天文家の小嶋正氏が新星探索中におうし座方向で増光天体を発見
 - V=13.9等 ⇒ 約11等
 - 機材 : Canon EOS 6D + 135mm f3.2 lens
- 分光・測光フォローアップにより、重カマイクロレンズ現象であることが判明
 - 光源星の距離 : 約800pc (最近傍)

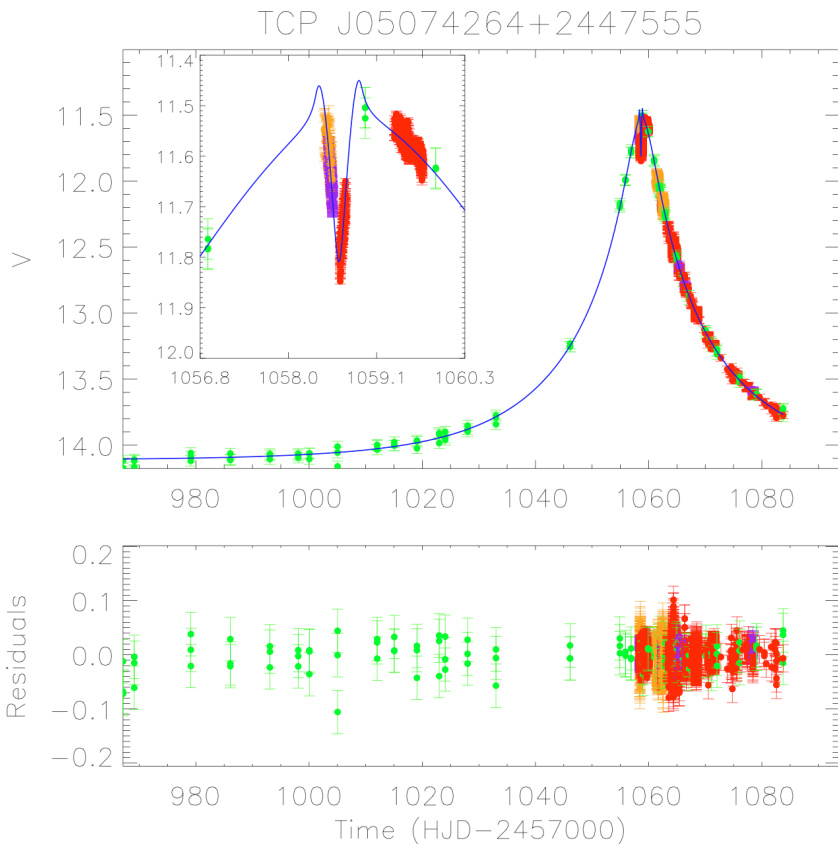


ASAS-SN light curve at the time of discovery

R.A. = 5:07:42.64 Dec = 24:47:55.5



惑星アノーマリの検出

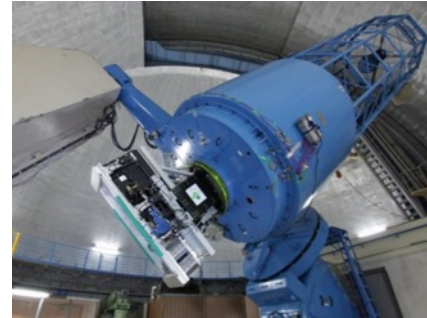


Nucita et al. 2018

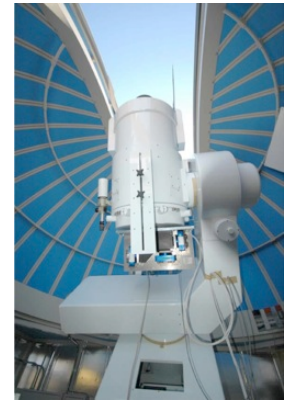
- 欧州のアマチュア/研究者がピーク付近で**光度曲線の逸脱**を検出
 - イタリアのチームが解析 (Nucita et al. 2018)
 - 主星-伴星質量比: 1×10^{-4} → **惑星**
- レンズの距離と質量が縮退
 - 銀河モデル(質量関数、個数密度分布、速度分布)を使って確率的に推定
 - ⇒ 約380pcのM型星(約 $0.25M_{\text{sun}}$)をまわるスーパーアース($9 \pm 7M_{\text{Earth}}$) ?

我々のフォローアップ観測

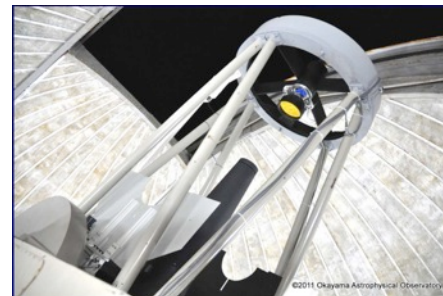
- 可視高分散分光 (光源星の半径)
 - 岡山188cm/HIDES
- 可視低分散分光 (光源星のスペクトル型)
 - LCO 2m/FLOYDS
- AO撮像 (ブレンディングの排除)
 - Keck/NIRC2
- 多色測光 (ライトカーブモデルの決定)
 - 岡山188cm/MuSCAT (g, r, z)
 - 岡山91cm/OAOWFC (K)
 - 岡山50cm (g, Rc, Ic)
 - JAXA/ISAS 1.3m (I, J)
 - 京産大1.3 m (g, Rc)
 - カナリア諸島1.52m/MuSCAT2 (g, r, i, z)



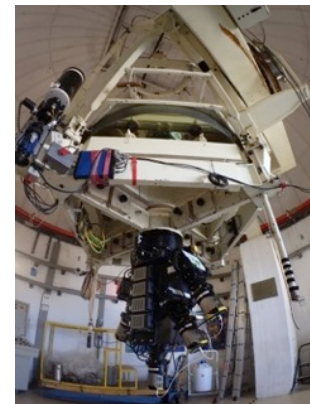
岡山188cm



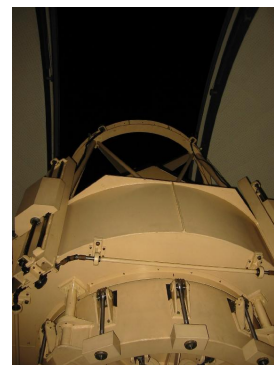
岡山50cm



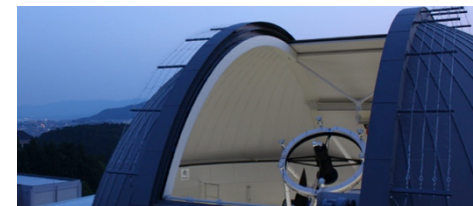
岡山91cm



カナリア諸島1.52m

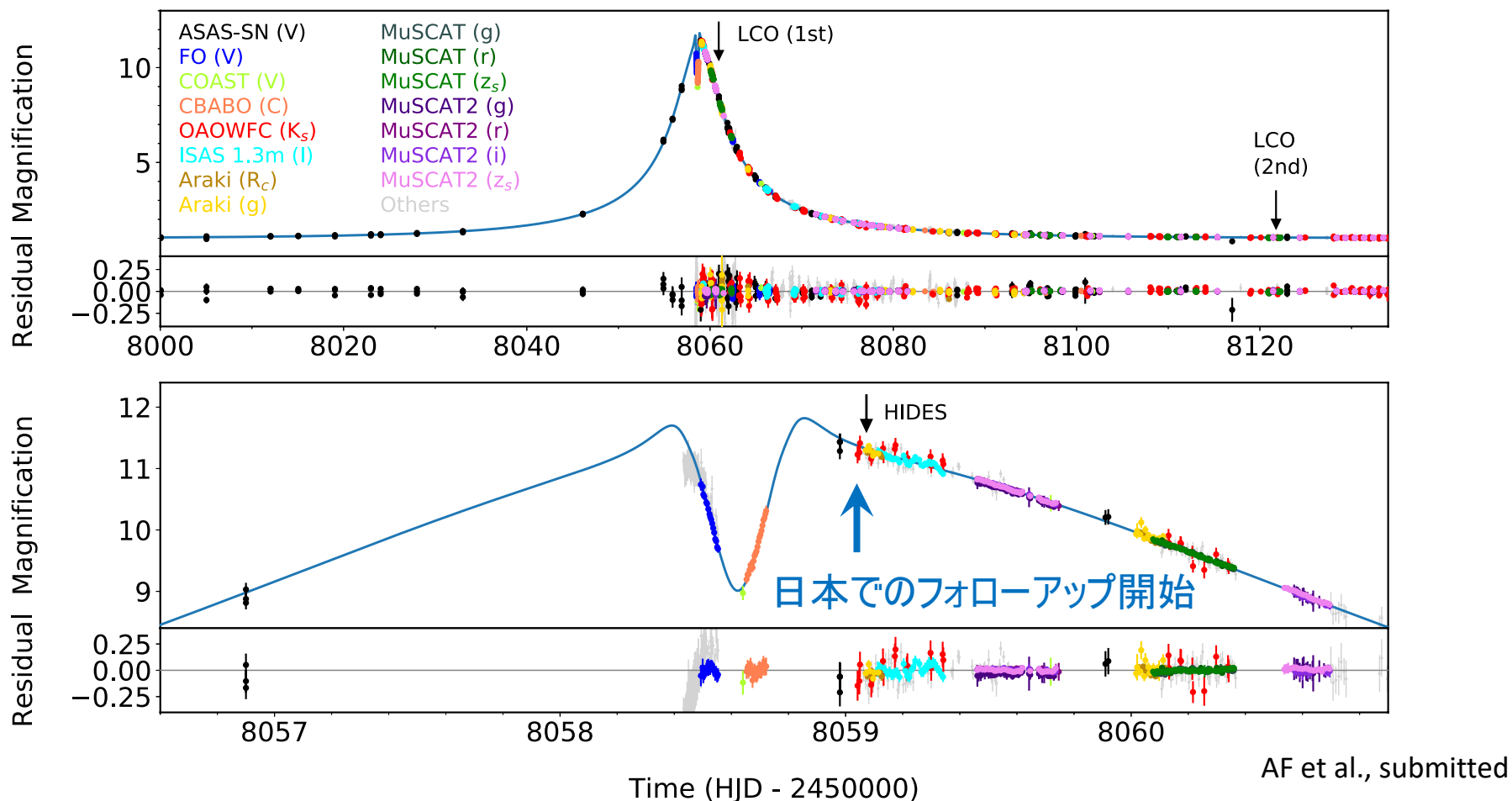


JAXA/ISAS 1.3m



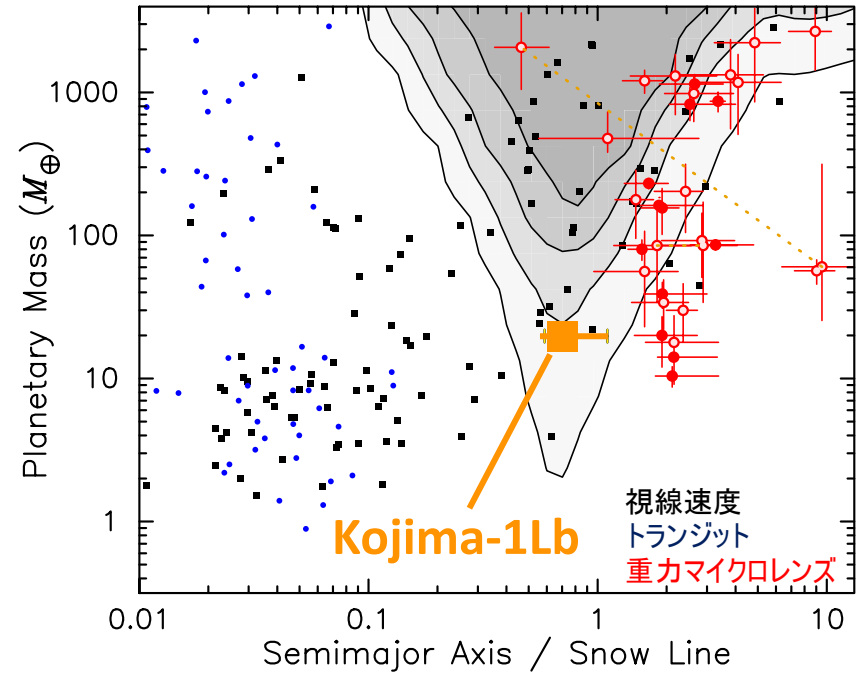
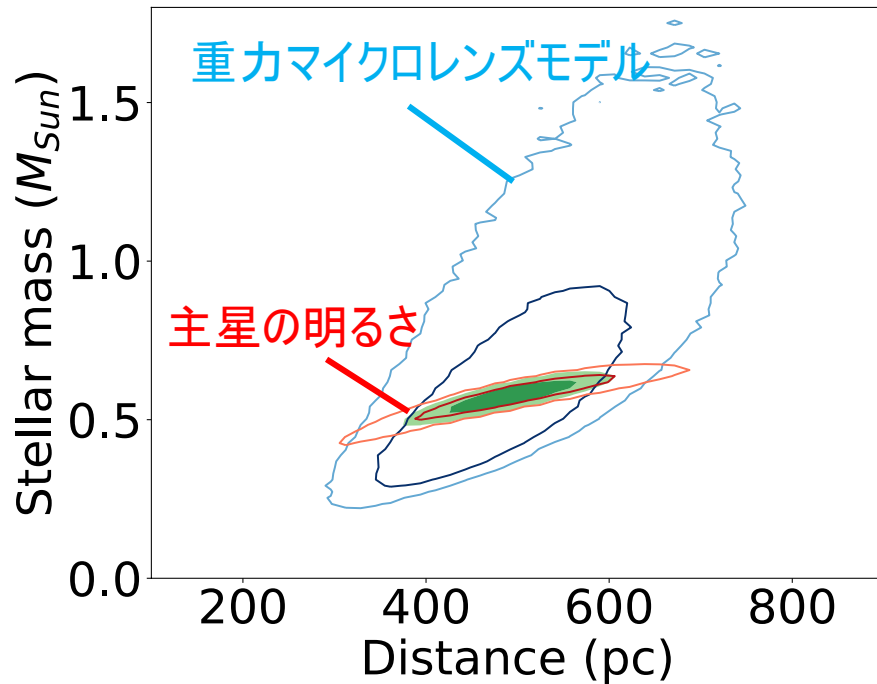
京都産業大学1.3m

フォローアップライトカーブ



- 惑星アノーマリは(半日の差で)捉えられず。
- ライトカーブモデルを改善
- 可視～近赤外でレンズ星(主星)の明るさを検出

惑星系の物理量



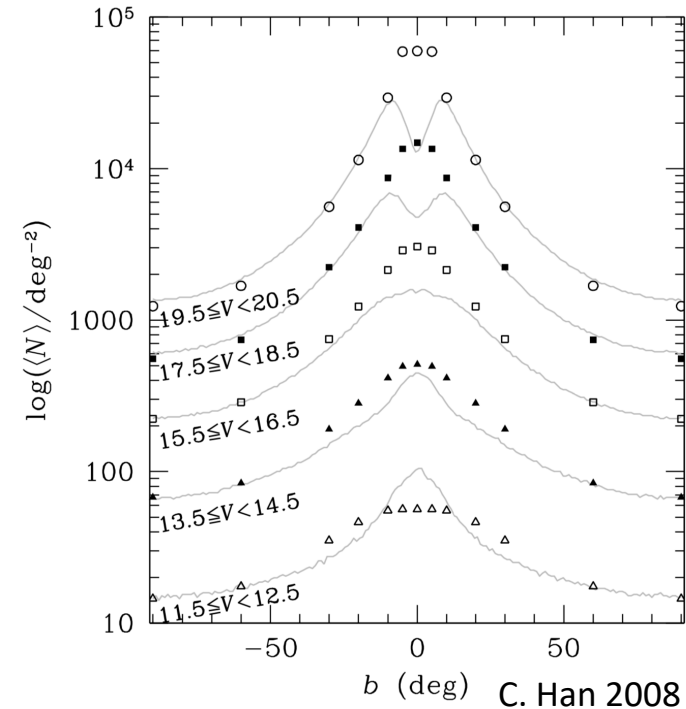
AF et al., submitted

- 主星は $0.5M_{Sun}$ のM/K型星、惑星は $20M_{Earth}$ の海王星質量惑星
- 惑星の軌道半径は約1AU。スノーライン付近に位置。
- 主星が最も明るく(K=13.7等)、近い将来主星の分光観測が可能。

近傍重カマイクロレンズイベントの発生頻度

- 今回と同等に明るい ($V_{\text{base}} < 14 \text{ mag}$) & 高増光率 (> 10 倍) イベントは稀
 - 全天で**約10年に1回** (Han 2008)
 - e.g., 多胡イベント(2006年)
- 暗い & 低増光率イベントはそこそこ発生
 - $V_{\text{base}} < 18 \text{ mag}$ & 増光率 > 1.34 の場合、全天で**約23イベント/年** (Han 2008)
- 近傍イベントの大半は**銀河面**で発生
 - 星の個数密度の2乗に比例

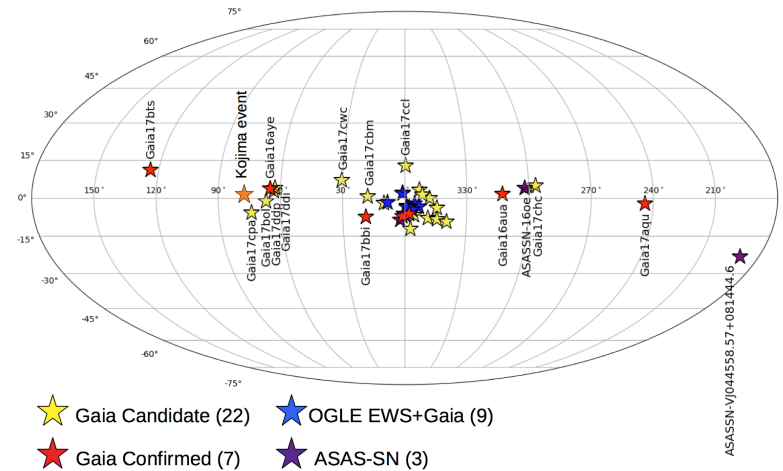
銀緯に対する星の個数密度分布



近傍重カマイクロレンズ探索の現状

- Gaia
 - これまでに計31個の候補をアラート ($V_{\text{base}}=20.5 - 14.7 \text{ mag}$)
 - 観測頻度が低く(約1回/月)、取りこぼしが多い(e.g., 小嶋イベント)
- ASAS-SN
 - 全天を1～数日に一回の頻度でモニター
 - たまに明るい重カマイクロレンズを発見
 - 口径14cm。V < 14 mag程度の明るいイベントのみ発見可能
- OGLE-IV
 - 南天の銀河面を探索
 - 現時点でアラート発信なし

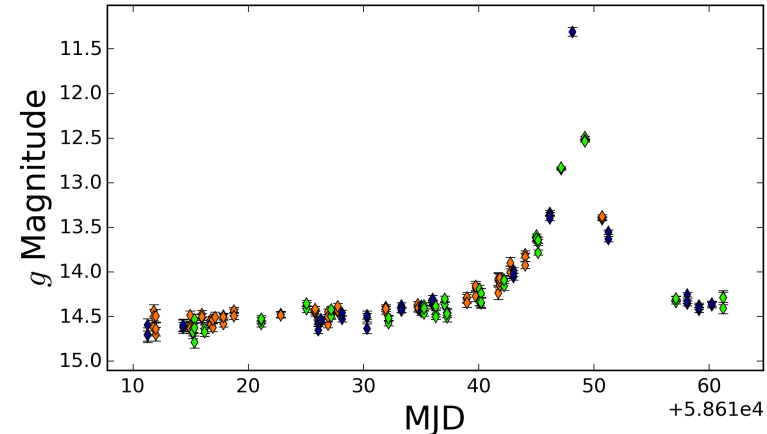
Gaia Science Alertsで発見/確認された重カマイクロレンズイベントの分布 (2018.1時点)



From K. Kruszyńska

ASASSN-19pq

R.A. = 15:35:16.97 Dec = -46:21:36.5

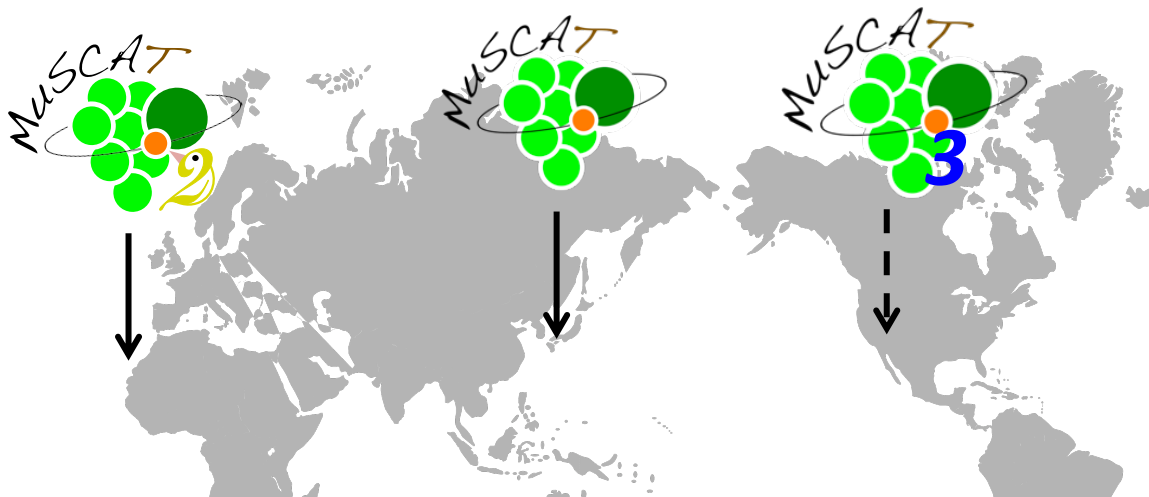


Tomo-eによる近傍イベント探索の可能性

- Tomo-eによる中口径 & 広視野 & 高頻度の銀河面観測により、近傍 μ レンズ探索が可能
 - $V < 18 \text{ mag} (?)$
 - $|\text{銀緯}| < 10^\circ$, 1000平方度(?)
 - 数日に数回(?)のサーベイ + フォローアップ
- ⇒ **~5個/年**の単星レンズイベントを検出可能
- ⇒ **3-5年で~1個**の惑星イベントを検出可能

Tomo-eによる近傍イベント探索の可能性

- 解析&イベント検出
 - SN/GW用のパイプライン(差分画像法)で変光星検出？
 - 河原さんチームのパイプライン(相対測光)で精度改善？
 - 専用の解析サーバ？
- フォローアップ
 - MuSCATネットワーク(多色測光)
 - μ レンズネットワーク(測光、分光)
 - OISTER？



まとめ

- 重力マイクロレンズ法はスノーラインの外側の系外惑星を発見出来る強力な手法。しかし、銀河中心方向で発見される惑星系は詳細観測が難しい。
- 2017年におうし座方向で偶然近傍惑星イベントが発見。フォローアップ観測により距離と質量を決定。惑星はスノーライン上に位置する海王星質量惑星。
- Tomo-eにより北天の近傍重力マイクロレンズ探索が可能。適切な解析+フォローアップ体制により、**~5イベント/年**の単星レンズイベント、**~1イベント/3-5年**の惑星イベントの発見が期待。