

WISHによる太陽系外惑星の探索

福井暁彦 (国立天文台/岡山観測所)

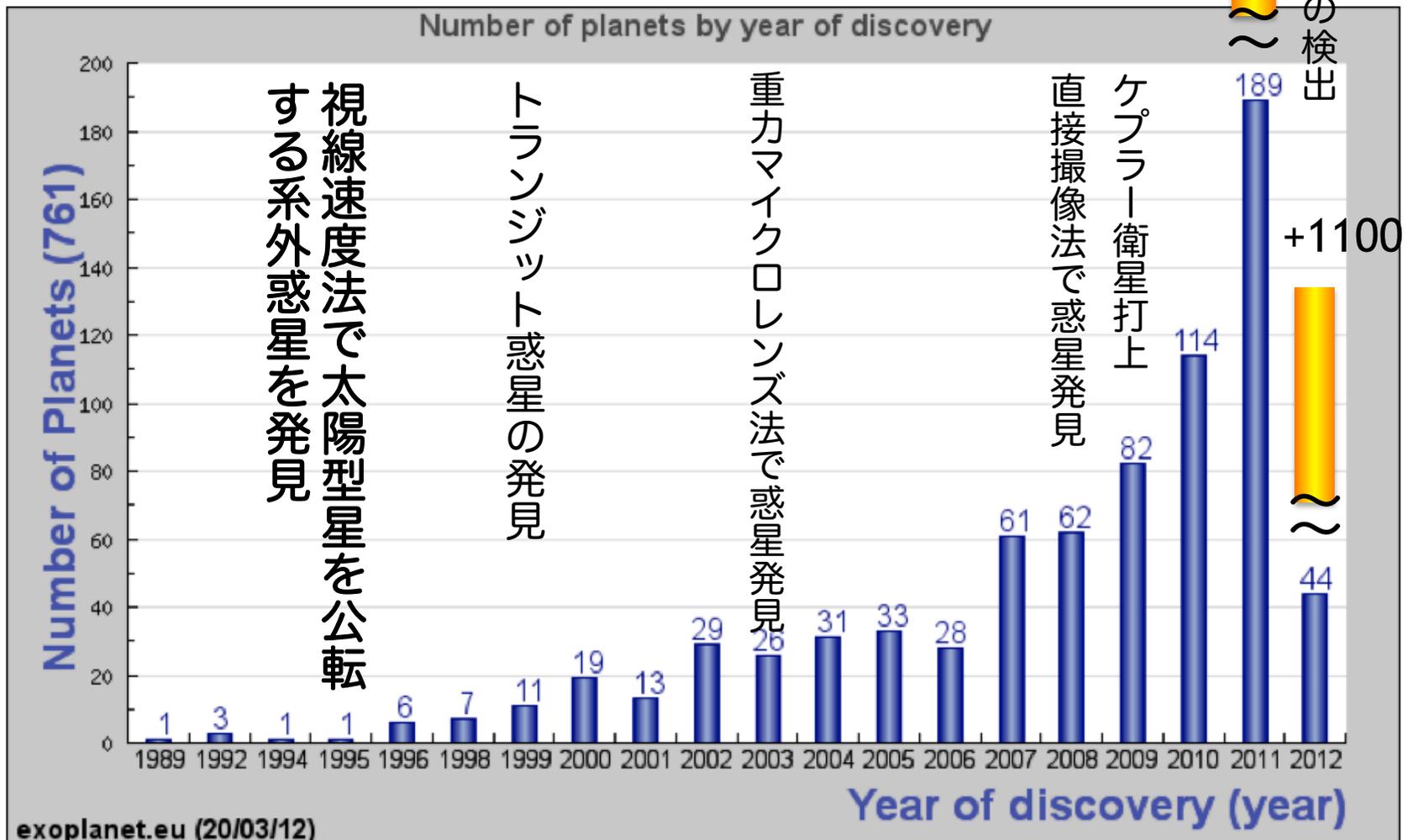
提案書共著者: 成田憲保(国立天文台)、住貴宏、鈴木大介(阪大)

2012.7.19

WISH Science WS @三鷹

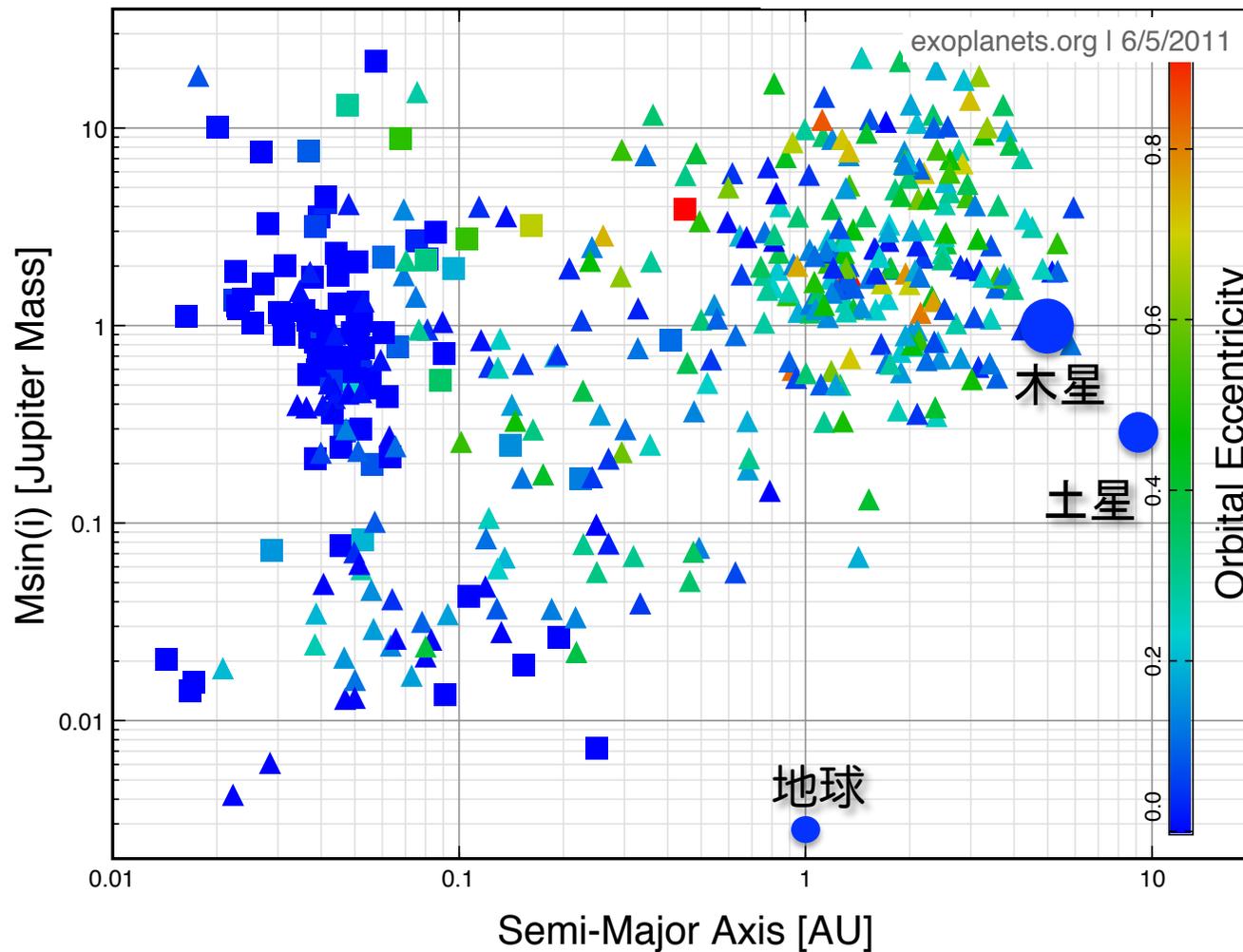
太陽系外惑星の研究

- 目的: 第二の地球探し, 惑星形成過程の解明
- ここ17年ほどで急速に発展



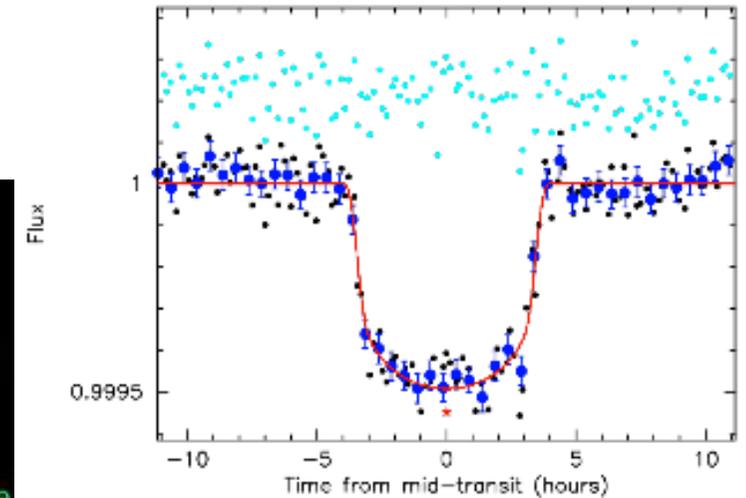
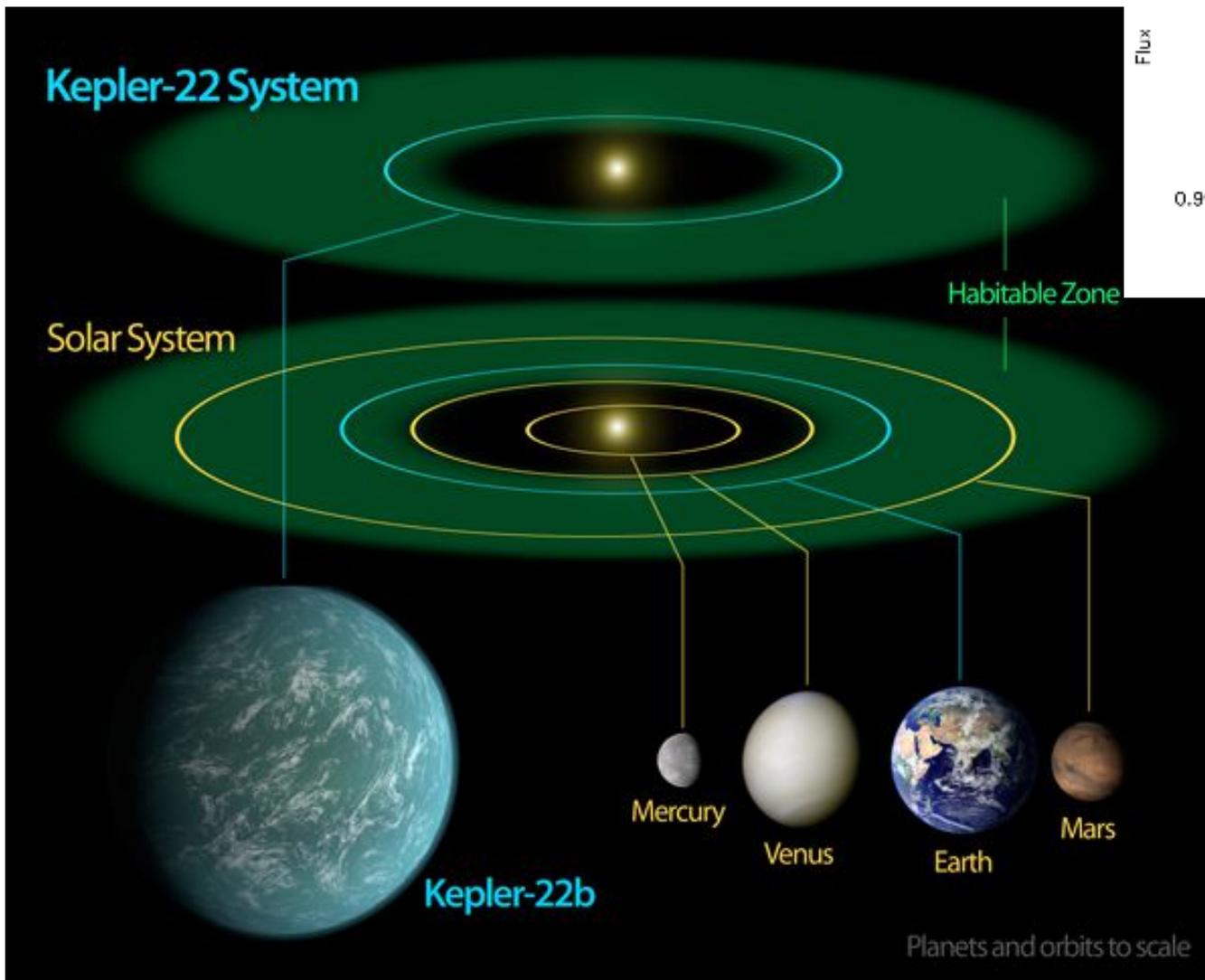
惑星の多様性

▲視線速度法
■トランジット惑星



- ◆ ホットジュピター
 - 主星近傍の巨大惑星
 - 軌道移動
- ◆ エキセントリック・プラネット
 - 大軌道離心率惑星
 - 惑星散乱
- ◆ ホット・スーパーアース
 - 主星近傍の軽い惑星
 - 軌道移動 + 惑星衝突

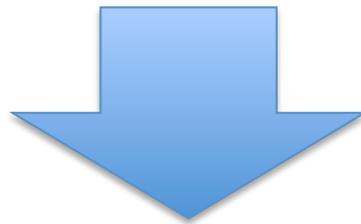
Kepler-22b: 太陽型星まわりのハビタブル惑星候補



$$P = 290 \text{ 日}$$
$$R_p = 2.4 R_{\text{Earth}}$$
$$T_p = 262 \text{ K}$$

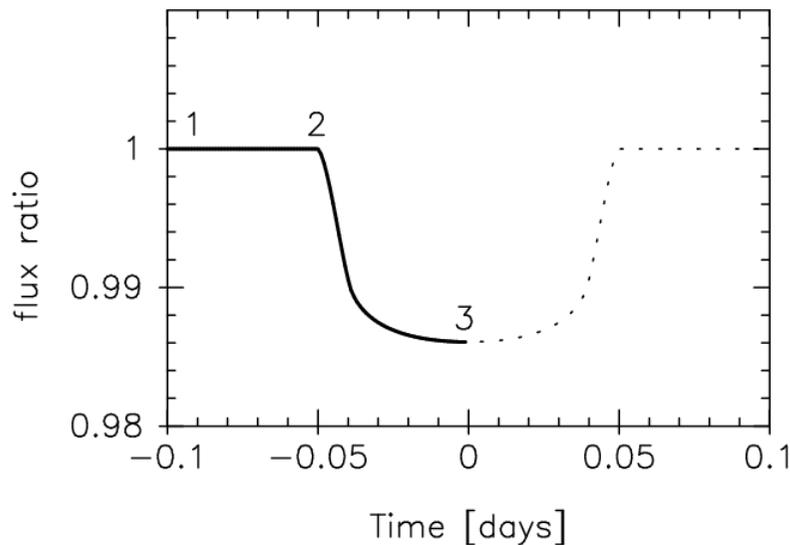
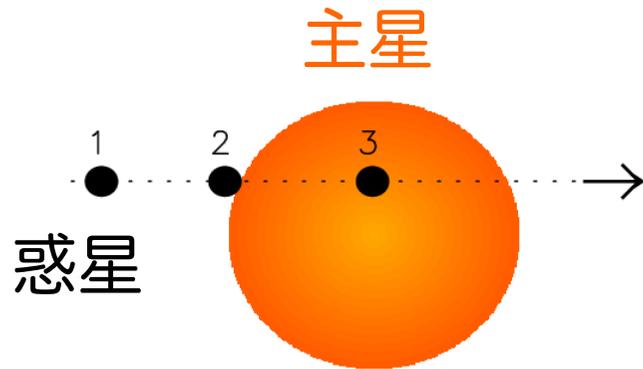
次にすべきこと

- 個々の惑星のキャラクタリゼーション
 - 惑星の形成過程の解明、ハビタブル性の議論
- ハビタブル惑星の発見数を増加
 - 存在頻度見積もり、将来の直接撮像ターゲット



➤ WISHを用いて、「トランジット法」および「重力マイクロレンズ法」による惑星探索／惑星の詳細観測を行う

トランジット法



主星の光度曲線

- 惑星による「食」を観測
- 主星の減光 → 主星と惑星の半径比
- +視線速度法 → **惑星の密度**
- **さまざまな詳細観測が可能**
 - 惑星大気成分の検出、惑星表面温度の測定、主星自転軸に対する公転軸の傾斜角測定、惑星同士の力学的相互作用など

トランジット惑星は貴重！

スペースでのトランジット惑星探索/観測計画

トランジット惑星探索

ミッション	口径 [m]	波長域	特徴	観測時期
Kepler	0.95	可視	~100 deg ² 連続観測	2009 - 201?
CoRoT	0.3	可視	2方向を探索	2006 - 201?
TESS	小口径x6台	可視	全天サーベイ	2016? -

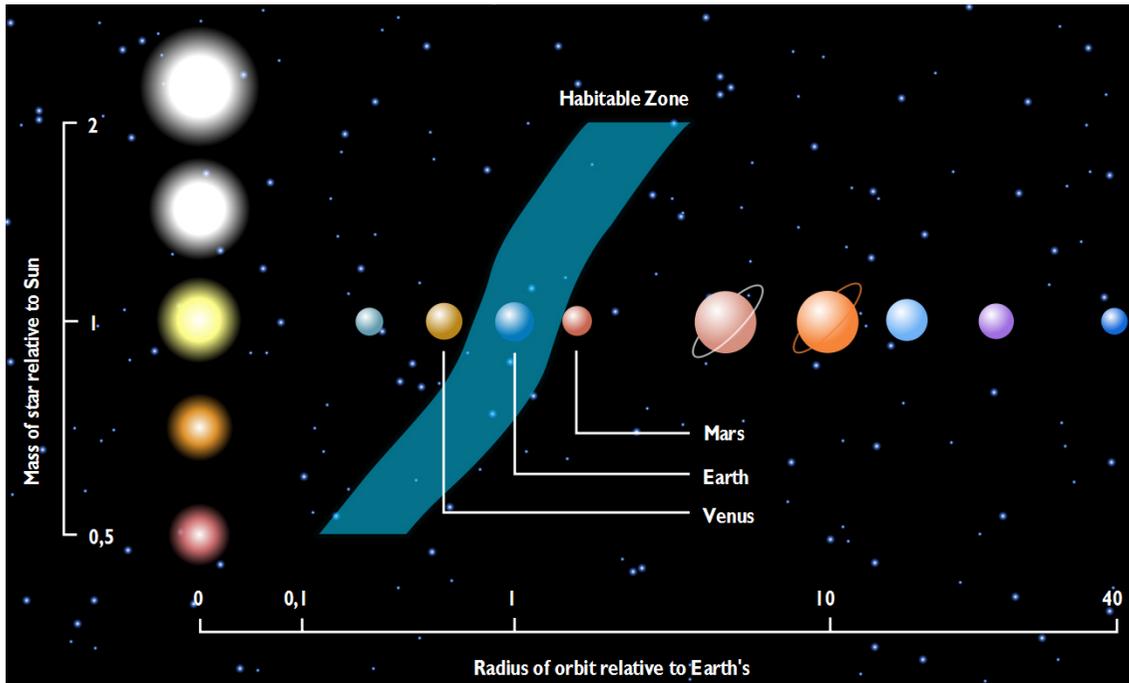
※ 近赤外でのスペース・トランジットサーベイ計画は今のところ無い

トランジット惑星追観測

ミッション	口径 [m]	波長域	特徴	観測時期
Spitzer	0.85	中間赤外	惑星の熱放射を観測	2003 - 20??
Hubble	2.4	近赤外	惑星大気分光	1990 - 201?
EChO	~1	赤外	惑星大気分光	202? -
FINESSE	~1	赤外	惑星大気分光	2016? -
JWST	~6.5	可視-遠赤外	惑星の直接撮像	2018? -
SPICA	~3.5	中間-遠赤外	惑星の直接撮像	2017? -

WISHによるトランジット惑星の観測 (1)

M型星まわりのハビタブル・トランジット惑星の探索



◆ 低質量星ほど、ハビタブル・トランジット惑星の検出が容易

- トランジット減光率: 大
- トランジット確率: 大
- 主星の視線速度: 大

◆ これまでに発見されたハビタブル・トランジット惑星候補

- 太陽型星まわり: **1個** (Kepler-22b)
- M型星まわり: **1個** (GJ667Cc)

WISHによるトランジット惑星の観測 (1)

WISHで期待されるハビタブル・トランジット惑星の発見個数

- 主星: M型星 (0.35 太陽質量)
- 惑星: スーパーアース (2 地球半径)
- 軌道: ハビタブルゾーン内 (軌道周期20日)

を検出するために必要な観測:

- 60日間連続観測 (3回のトランジットを観測)
- 10秒積分で~1%の測光精度 ($H < 17$ の星で可能)

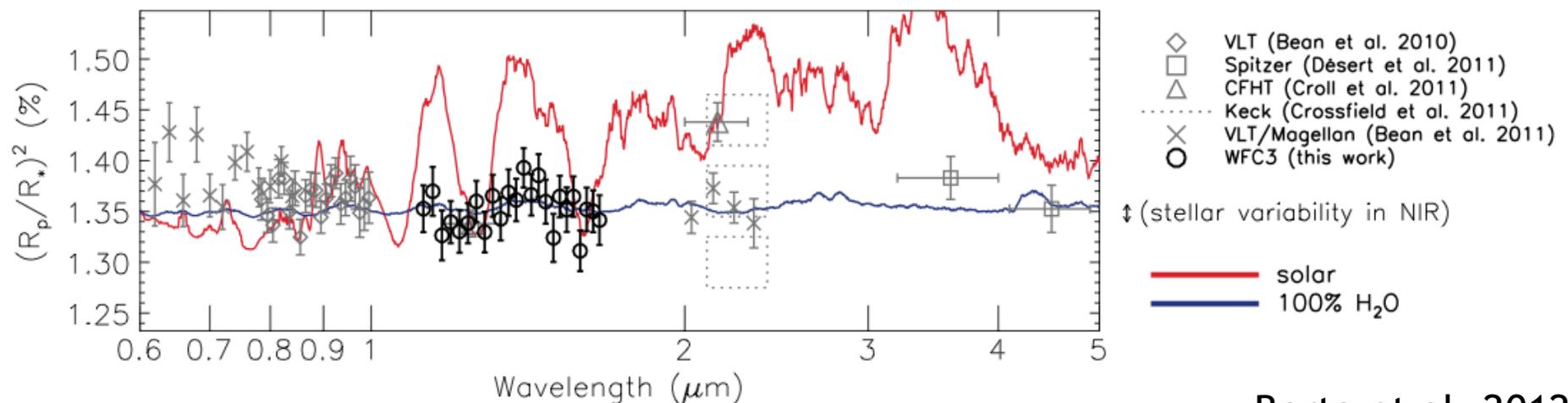
- 1視野 (0.23平方度)に含まれるM型星 ($H < 17$): 約1,000個
 - 10%のM型星がハビタブル惑星をもつと仮定
 - ハビタブルゾーン内の惑星がトランジットを起こす確率: 1-2 %
- 60日間の連続観測で、1-2個のハビタブル惑星を検出可能
(ハビタブル以外の惑星: 数十個)

WISHによるトランジット惑星の観測 (2)

既知の惑星系の詳細観測

- i. 減光率の波長依存性を測定し、惑星の大気成分を調査

M型星まわりのスーパーアース・GJ1214bの減光率の波長依存性



Berta et al. 2012

- ii. 既知のトランジット惑星系に対する連続測光観測から、追加のトランジット惑星を探索

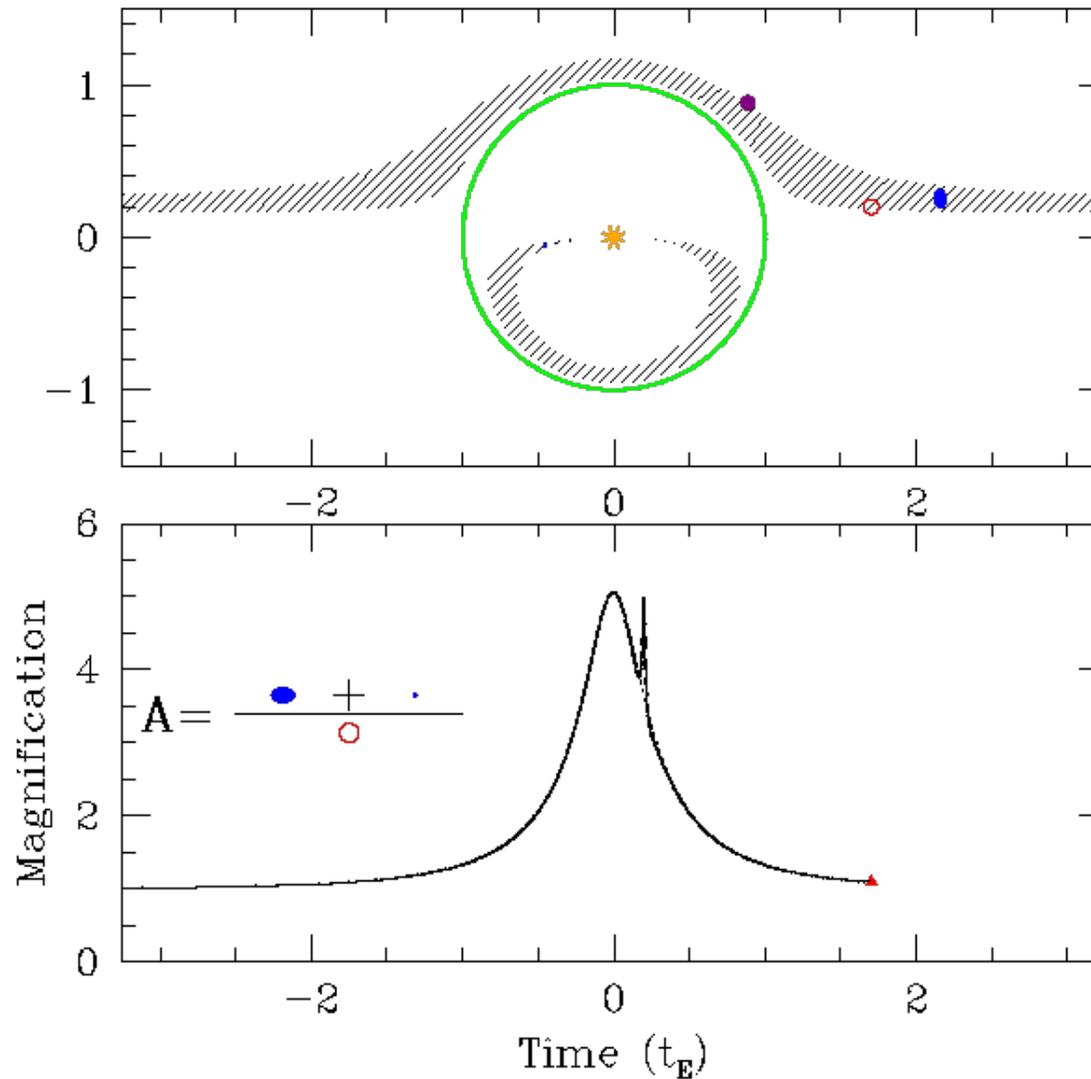
要求

- デフォーカス機構
 - 比較的明るいターゲット天体が検出器上で飽和しないように、デフォーカス機構が必要。
- 姿勢安定性
 - 検出器上での星像の位置変化が測光精度に影響
 - 現在の仕様である $0.07''/300\text{sec}$ が達成できれば十分。
- より広域のフィルター
 - 光量を稼ぐために $1\text{-}2\mu\text{m}$ 程度のより広域のフィルターを使用する事が望ましい。

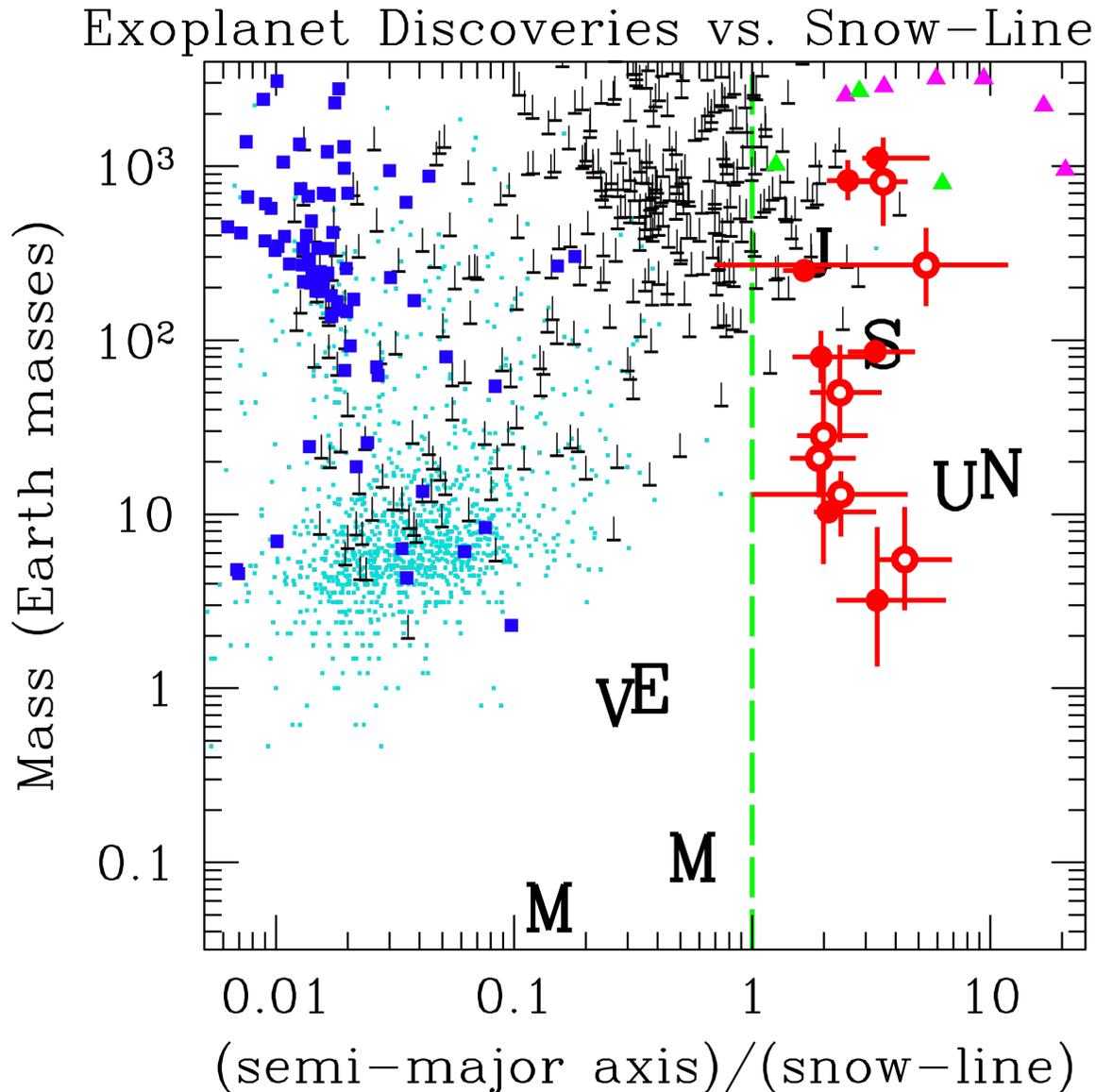
重力マイクロレンズ法

重力マイクロレンズ現象

- ★ レンズ星(主星)
- 惑星
- 光源星
- 光源星の像
- アインシュタイン半径



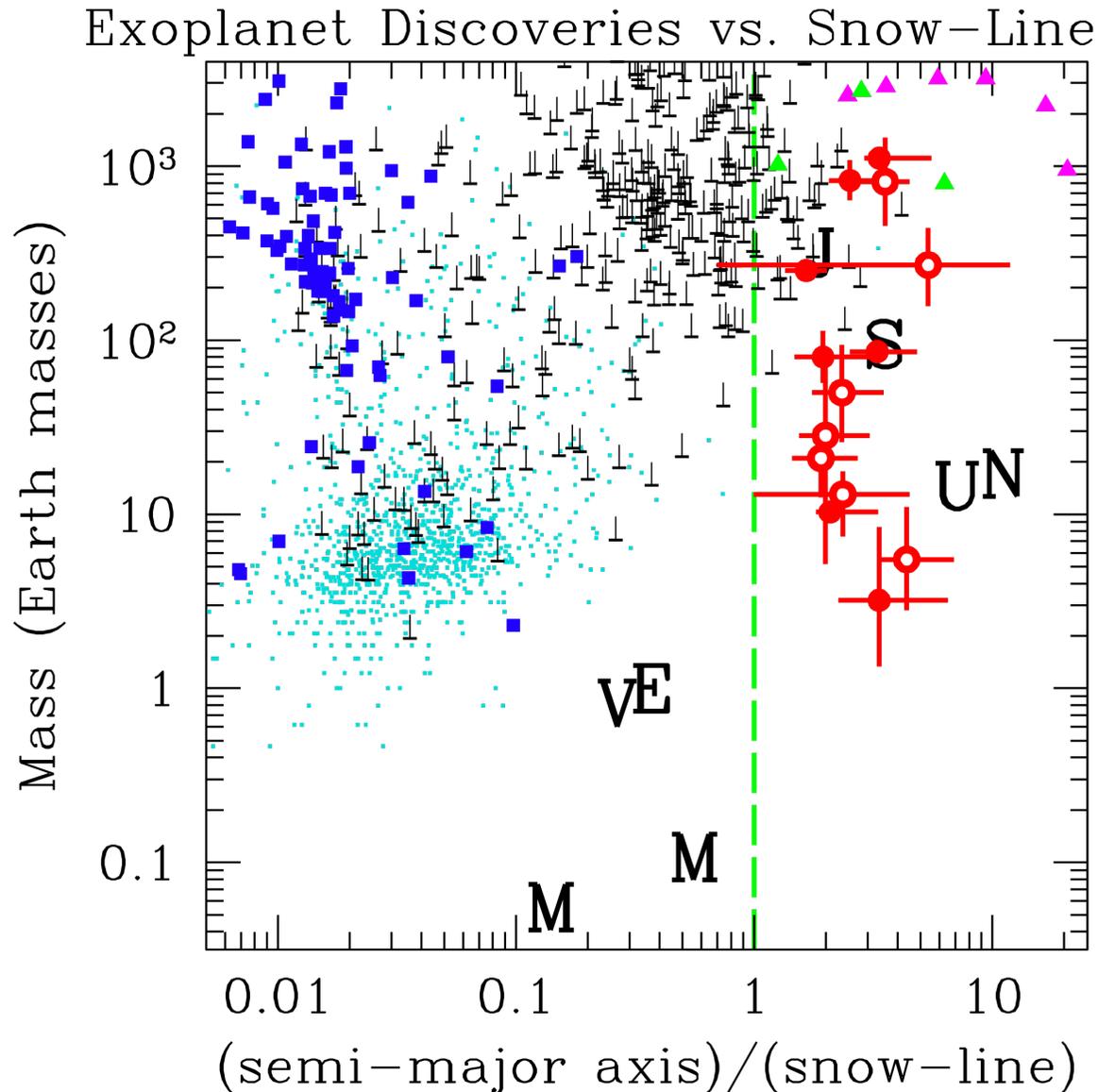
マイクロレンズ法の検出感度領域



- 視線速度法
- トランジット法
- 直接撮像法
- 重カマイクロレンズ法
- ケプラー惑星候補天体

➤ スノーライン (H_2O が凝固する境界)よりも外側の領域に高感度

マイクロレンズ法の検出感度領域



- 視線速度法
- トランジット法
- 直接撮像法
- 重カマイクロレンズ法
- ケプラー惑星候補天体

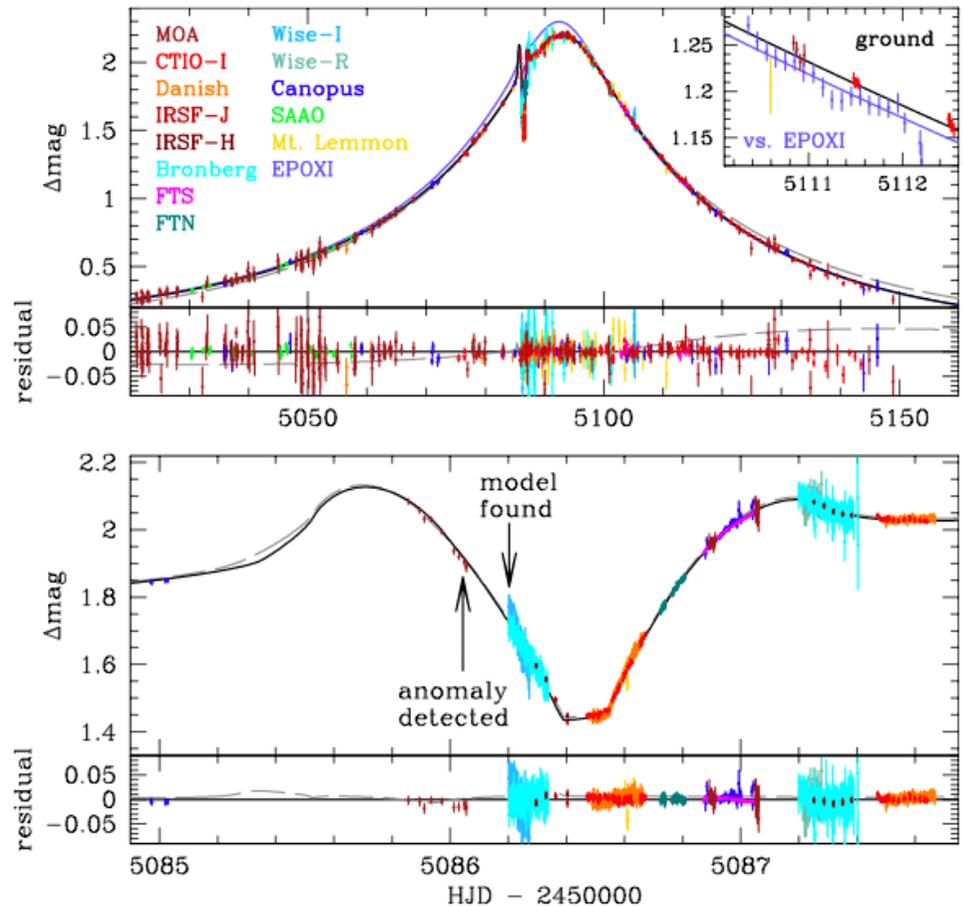
➤ スノーライン (H_2O が凝固する境界)よりも外側の領域に高感度

➤ 数が最も豊富なM型星において見つかりやすい

マイクロレンズ惑星探索の現状

- 地上の広視野望遠鏡を用いて、銀河中心方向を高頻度観測
 - ブレンディングが頻繁
- 光度曲線に現れる短時間の惑星シグナルを捉えるため、アラート発信/追観測の態勢
 - 天候、観測者に依存
- 約半数の惑星イベントでは、惑星系の物理量を完全に解けない
 - 銀河モデルを使って確率的に算出
 - 完全に解くには、光度曲線に現れる高次の効果や、主星の放射光の検出が必要

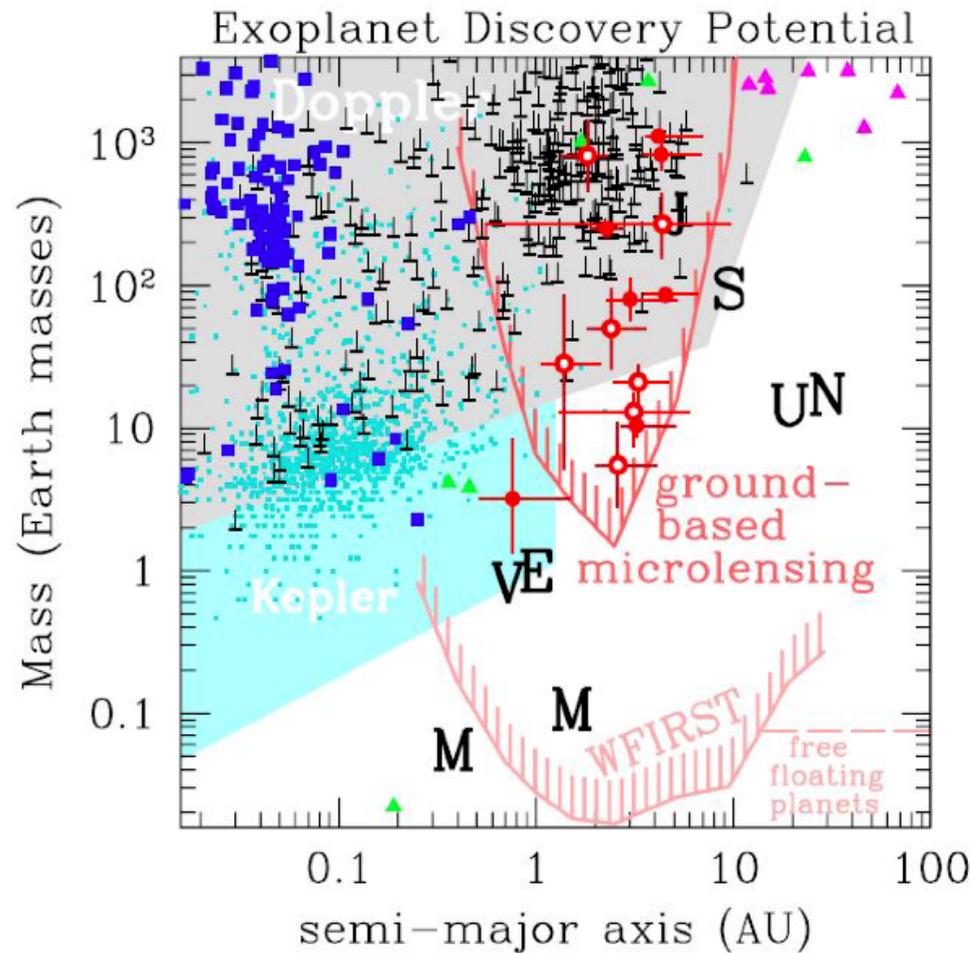
惑星イベントMOA-2009-BLG-266の光度曲線



スペース近赤外サーベイの利点

- **連続観測**
 - 惑星シグナルの検出効率上昇
 - 一定のサーベイ→統計的議論が容易
- **高空間分解能**
 - 検出効率上昇
 - 主星からの放射光を検出可
- **近赤外観測**
 - ダストによる吸収減→効率上昇
- **地上観測との連携**
 - 地上望遠鏡と同時観測することで、高次の効果 (パララックス効果)を検出可能

WFIRST計画



- NASAの次期近赤外広視野サーベイミッション
- 宇宙の加速膨張や構造進化の解明、銀河面サーベイ、及び重カマイクロレンズ法による系外惑星探索が目的
- ハビタブル惑星を含む広範囲の惑星の検出が可能
- アメリカの2010年Decadal Reportでトップにランクされるも、昨年度の議会で予算がつかず、計画が延期。
- 現在、2020-2021の打上予定。

惑星発見数の期待値比較

	WFIRST	Euclid	WISH
口径 [m]	1.3 (or 1.1 or 2.4)	1.2	1.5
視野 [deg ²]	0.291	0.54	0.23
波長域 [μm]	0.97 - 2.0	0.55 - 0.9 / YJH	0.9 - 4.5 (6 band)
惑星探索プログラム期間 [日]	500 (72 x 7)	90 (30 x 3)	120 (60 x 2) (仮)
惑星発見数	3,300	590	790
ハビタブル惑星発見数	27	5	6
浮遊惑星発見数	2,100	370	500
打ち上げ予定	2020 - 2021	2019	2019

WISHで観測すれば、WFIRSTに先駆けて成果を上げることが可能

要求

- 空間分解能
 - ブレンディングの影響を減らすため、0.3秒角以下の分解能が必要
- より広域のフィルター
 - 光量を稼ぐために、1-2 μm 程度のより広域のフィルターを使用する事が望ましい。
- 連続観測期間
 - 銀河中心方向で60日間程度(最低30日間)の長期連続観測が望まれる。
 - ミッション初期と、~5年後の2回の観測が望ましい。レンズ星と光源星の分離観測が可能になる。

まとめ

- 「トランジット法」と「マイクロレンズ法」による系外惑星探索/詳細観測を提案
- トランジット法
 - M型星まわりのハビタブル惑星探索
 - WISHで60日間の連続観測から1-2個の発見期待値
 - 減光率の波長依存性から惑星大気を調査
 - 既知のトランジット惑星系の追加惑星を探索
- 重力マイクロレンズ法
 - スペース近赤外サーベイにより、ハビタブル惑星を含む多数の惑星検出が可能
 - 120日 (60日×2) の連続観測から、6個のハビタブル惑星を含む約790個の惑星を発見可能