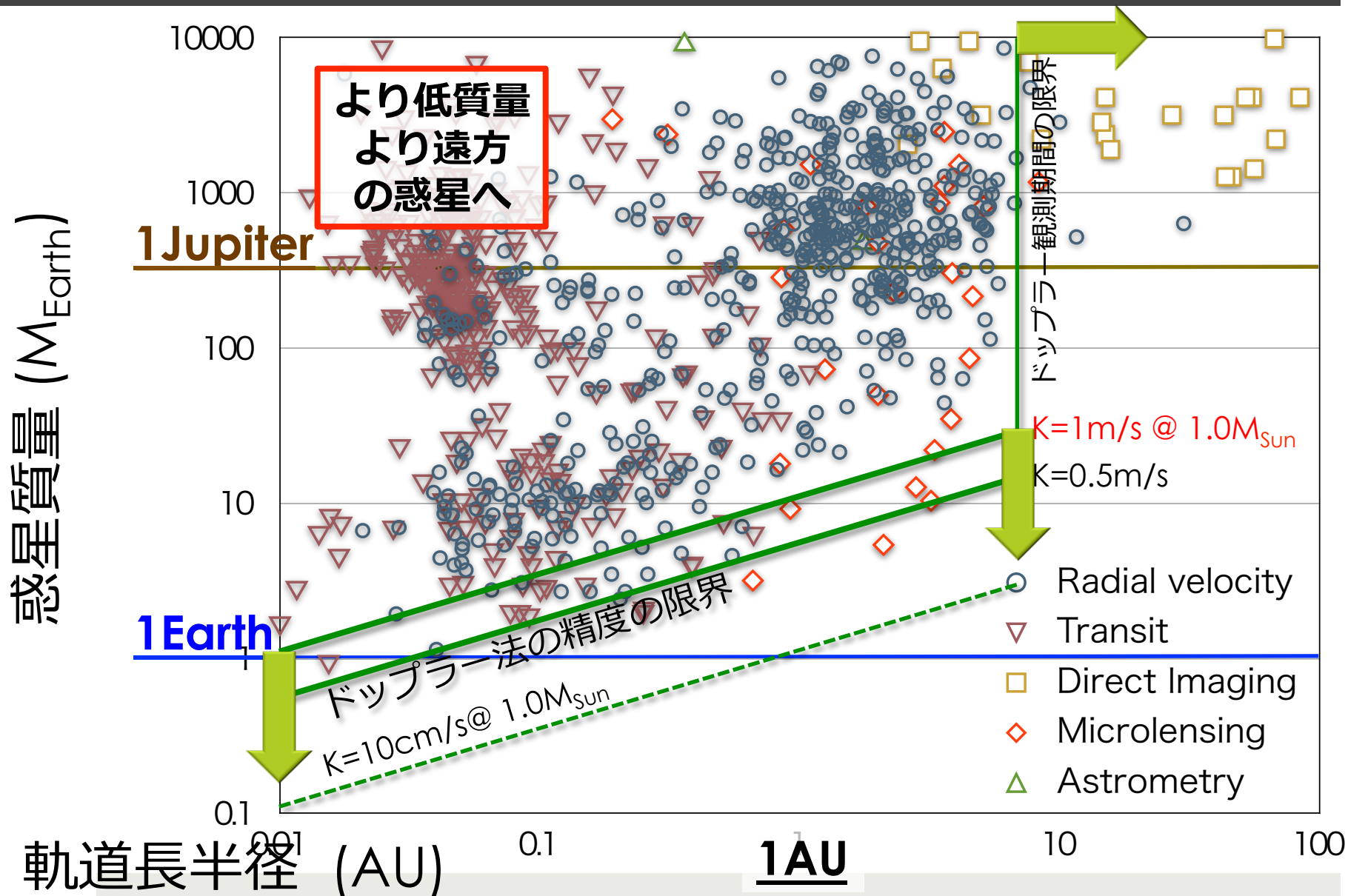


2014/5/22  
大宮 正士

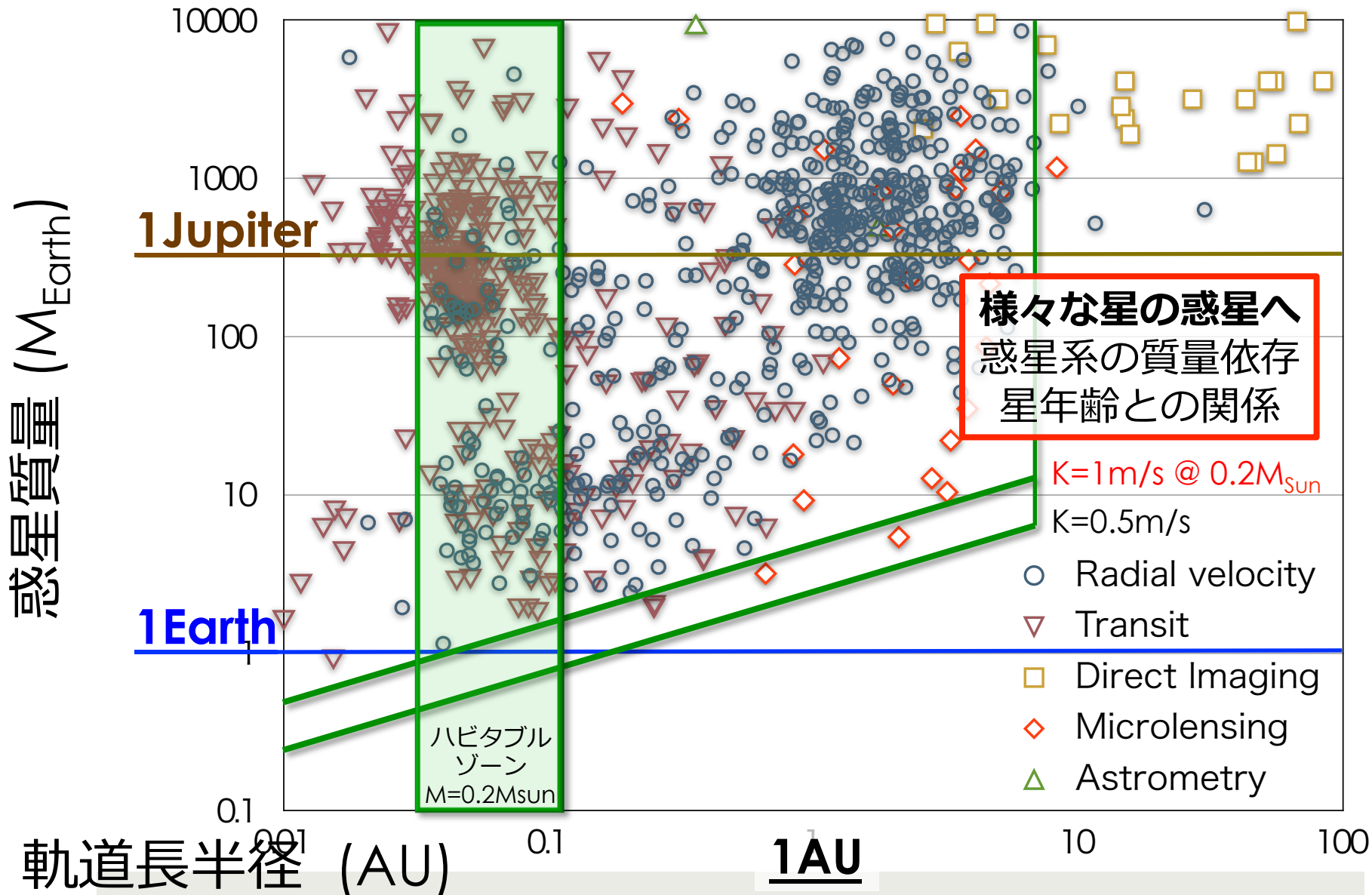
# 近赤外ドップラー装置による 晩期型星周りの惑星サーベイ

1. INTRODUCTION:ドップラー法での地球型惑星探し
2. *Subaru IRD-Doppler survey*
3. 3.8m用ドップラー探索での2つのアプローチ  
IRD惑星候補の高頻度フォローアップ  
若い晩期型星における巨大惑星探索
4. SUMMARY

# ドップラー法での惑星の検出限界



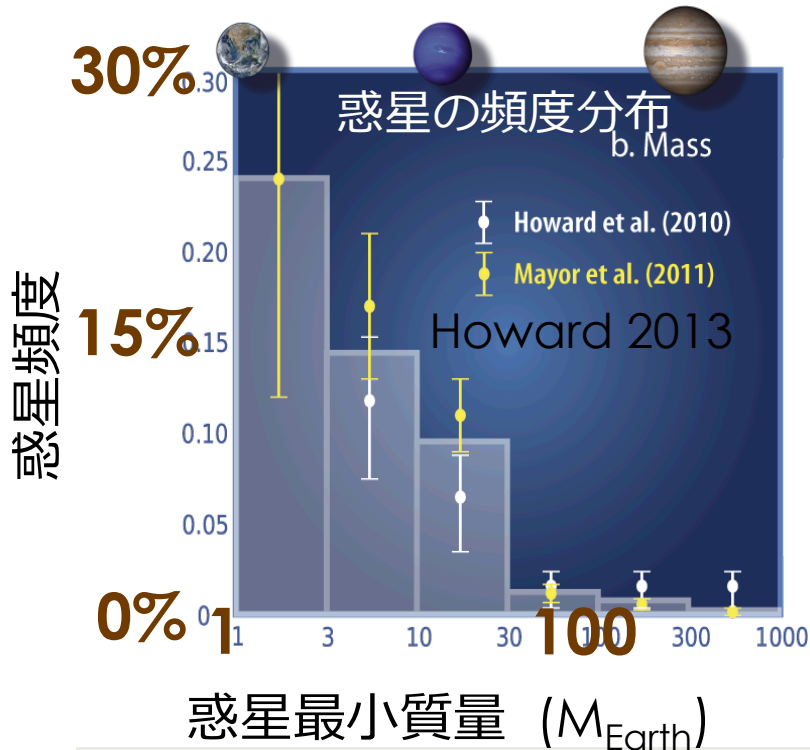
# M型矮星における検出限界と ハビタブルゾーン (HZ)



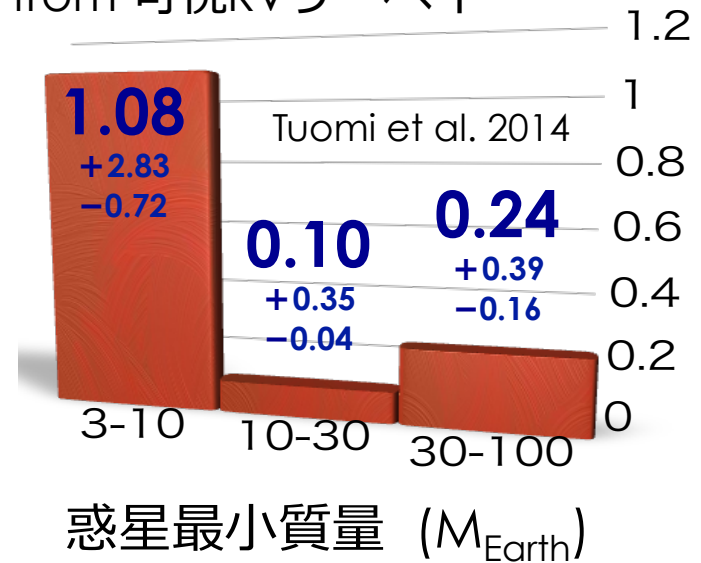
# 地球質量惑星検出への動向

- 太陽型星周りのドップラー探索
  - California、HARPSサーベイ ~2011
  - HARPS-S,Nでの地球型惑星探し 2009~
    - $1.16M_{\text{Earth}}$ , a Centauri B b の発見
  - Rocky Planet Finder @Lick obs. 2006~
  - ESPRESSO (~10cm/s) @VLT 2016~

- M型矮星のドップラー探索
  - California サーベイ (Marcy+)
  - HARPS サーベイ (Bonfils+)
    - $1.86M_{\text{Earth}}$ , GJ581 e の発見
  - McDonald サーベイ (Endl+)
  - M2K サーベイ (Fischer+)
  - NIRSPEC (Blake+ etc.)
  - CRIRES & IRCS (Seifahrt+)



惑星頻度@M型矮星  
from 可視RVサーベイ



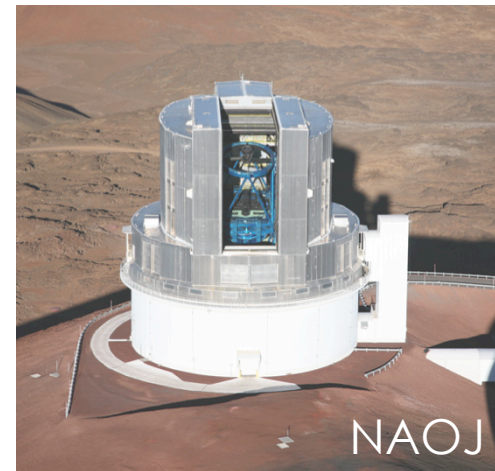
星1個あたりの惑星期待数

# Subaru IRD-Doppler survey

## Searching for Earths around Late-M dwarfs

- IRD : InfraRed Doppler instrument
    - 望遠鏡 : すばる望遠鏡 (口径8.2m)
    - 観測波長域 : 0.97-1.75 $\mu\text{m}$  (Y, J, H-band)
    - 波長分解能 : 70,000 (3ピクセルサンプリング)
    - 波長校正 : アストロ・コム (レーザー周波数コム)
- 1m/sの精度で視線速度測定を可能にする

ドップラー法で地球型惑星を狙える観測装置!



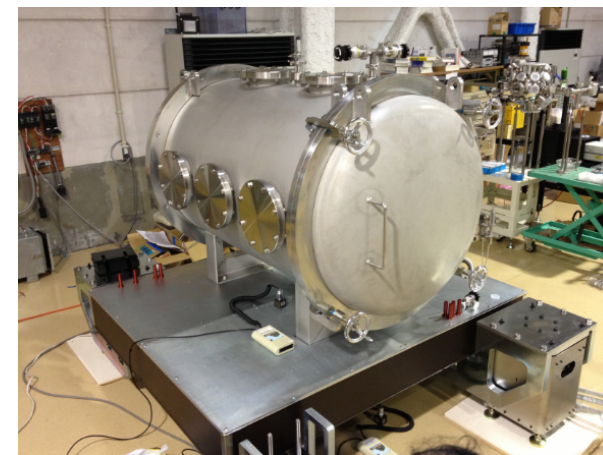
### Subaru IRD-Doppler survey

- 1m/sのRV精度 & 100星の大規模サンプル
- 戦略1: 観測ターゲットの厳選
- 戦略2: 視線速度 & 表面活動同時観測
- 戦略3: 高頻度多回数観測

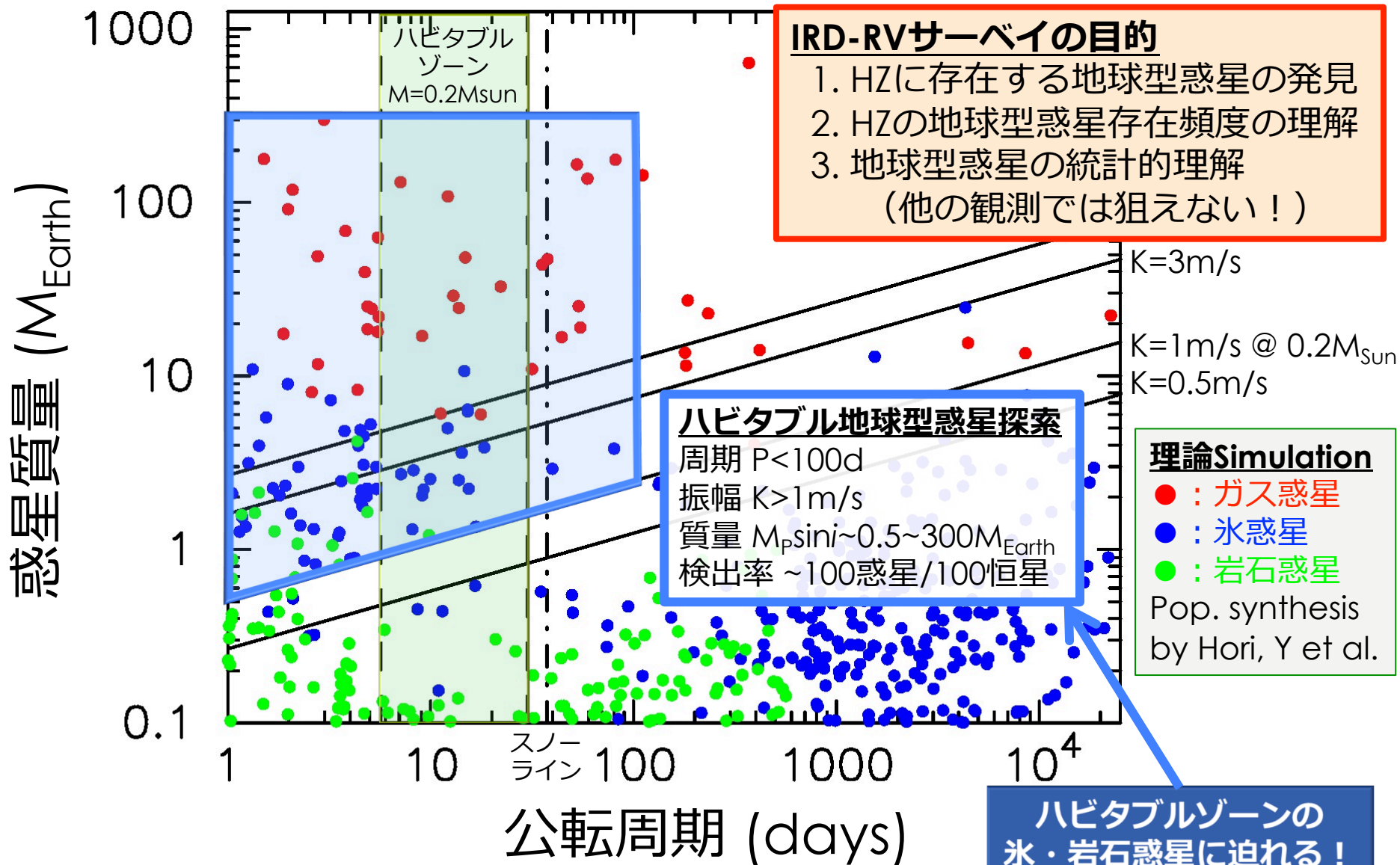
→ 世界で初めて地球型惑星の統計的理解に迫れる!

+ フォローアップ体制 + 理論研究との協力 + フレキシブルで豊富な観測時間

→ 地球型惑星の特徴と形成とハビタビリティに迫る



# IRDのサイエンス・ターゲット



# M型矮星周りのドップラー惑星探索

分光器	望遠鏡 (口径)	波長分解能	波長校正	RV精度	サンプル 星数	観測開始 (夜数)
HIRES (M2K)	Keck (10m)	70,000	I2Cell	1-5m/s	K7-M4 ~600	2009
CRIRES	VLT (8.2m)	100,000	telluric (CO2), NH3 cell	5-10m/s	M5-L1 ~36	2009
IRCS	Subaru (8.2m)	20,000	NH3 cell	~30m/s	M4-L0 ~60	2010
<b>CARMENES 可視&amp;近赤</b>	<b>Calar Alto (3.5m)</b>	<b>82,000</b>	<b>Uranium-Neon lamp</b>	<b>1m/s</b>	<b>M0-M6 ~300</b>	<b>2014 (~750)</b>
<b>HZPF (近赤)</b>	<b>HET (9.2m)</b>	<b>50,000</b>	<b>Uranium-Neon lamp / LFC</b>	<b>1-3m/s</b>	<b>M4-M9 ~300</b>	<b>2015 (~200)</b>
SPIRou (近赤)	CFHT (3.6m)	75,000	U/N lamp / LFC Fabry-Perot	1-3m/s	M4-M7? 400-600	2017 (300-600)
ESPRESSO (可視)	VLT (8.2m)	134,000	ThAr / LFC	40cm/s	-M5?	2016?
<b>IRD (近赤)</b>	<b>Subaru (8.2m)</b>	<b>70,000</b>	<b>LFC</b>	<b>1m/s</b>	<b>M4-M9 ~100?</b>	<b>2015 (200?)</b>

LFC: laser frequency comb

# ドップラー法での二つのアプローチ

## □ 長期高頻度ドップラーサーベイ

# 観測時間が必要であるため、他の惑星探しでも観測可能天体数が限られる

### □ IRD惑星候補の高頻度フォローアップ

- IRDでの観測回数は最大で100程度 → 低質量星なら地球質量惑星検出可能
- IRDで発見した惑星候補の超高頻度観測により、晩期M型矮星で地球質量の惑星を検出を目指す
- 天体数を絞って観測を行い、振幅 $K=0.5\text{m/s}$ のハビタブル惑星を検出する

### □ 晩期型星周りの地球質量惑星の探索

- 観測があまり進んでいない晩期K-早期M型星における地球型惑星の検出
- 観測天体を絞って、長期間のモニター観測を行う

## □ 可視&近赤外同時ドップラー観測

# OAO1.88m/HIDESとの同時観測が有効

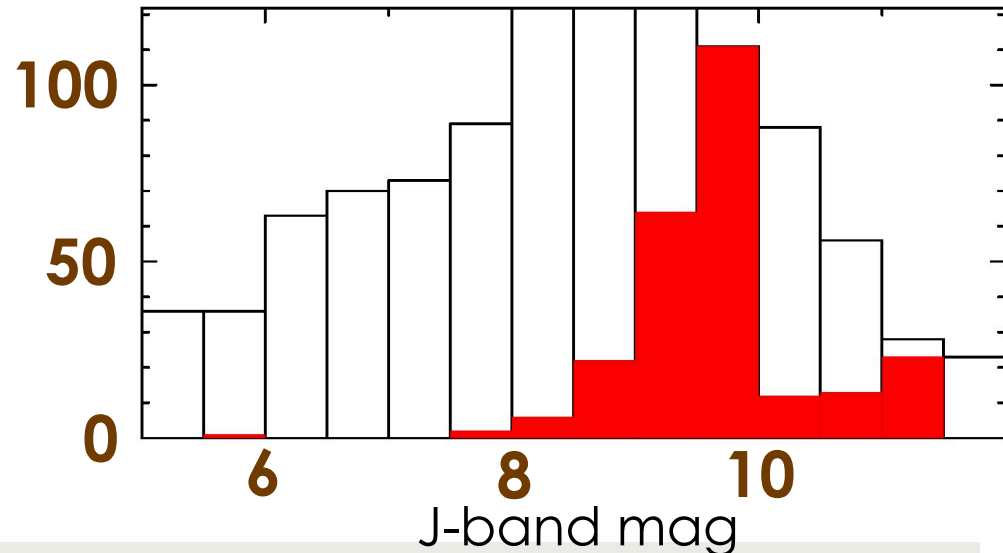
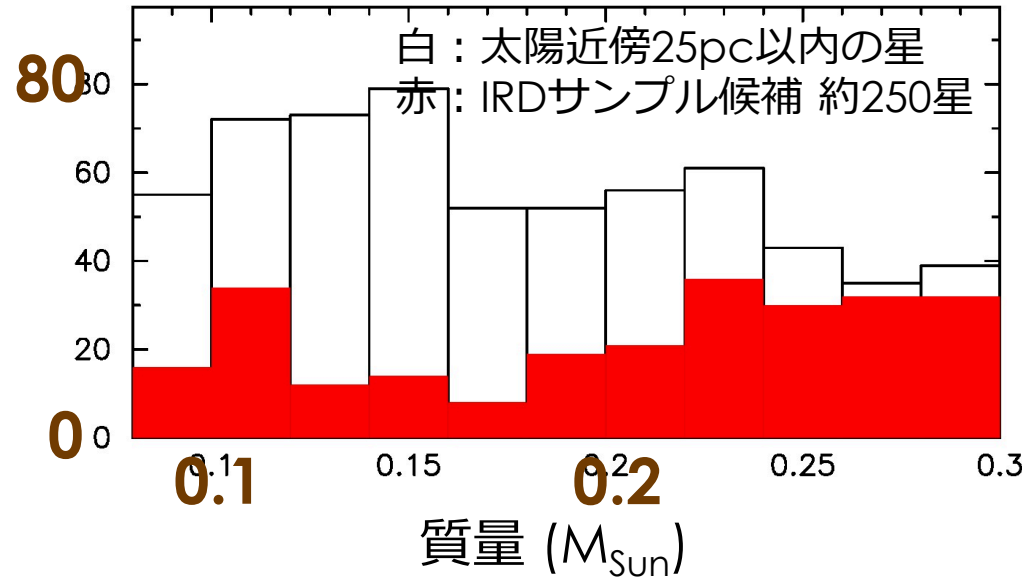
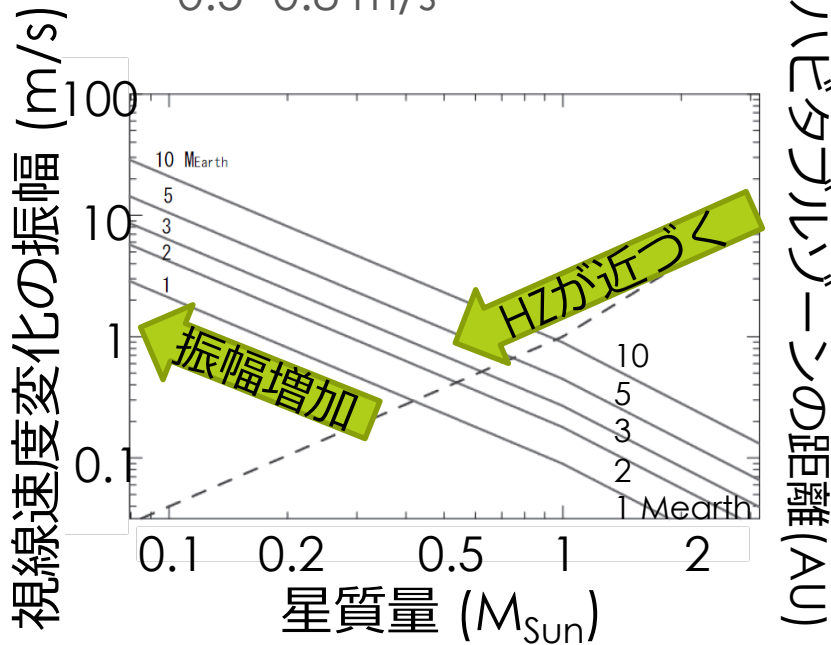
### □ 若い晩期型星における巨大惑星の探索

- 惑星系の年齢依存を明らかにする（1000万年~1億年程度の若い星）
  - 惑星形成において、惑星系が1000万年（円盤ガス消失）~1億年（巨大惑星の力学的移動）の間にどのように変わるかは重要
- 可視&赤外観測で黒点の視線速度への影響を評価することができる

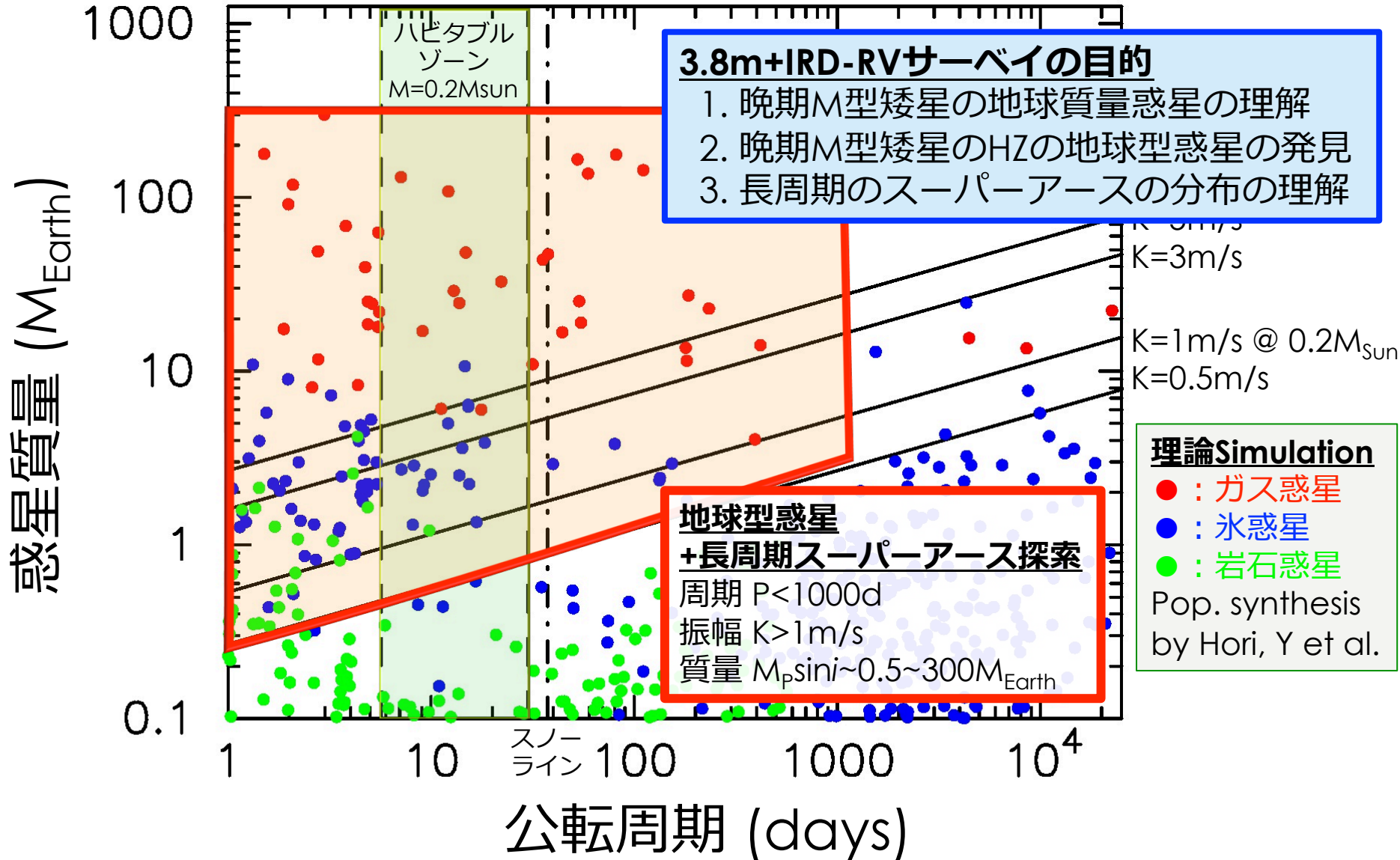


# IRD惑星候補の高頻度フォローアップ

- IRDの惑星候補から、有望そうな天体をフォローアップする
  - 500回観測/各星 → 5~10?星
- 特にJ<9~10等程度の星を対象
  - 主に、0.2~0.3Msun
  - HZにある地球型惑星の振幅 0.5~0.8 m/s



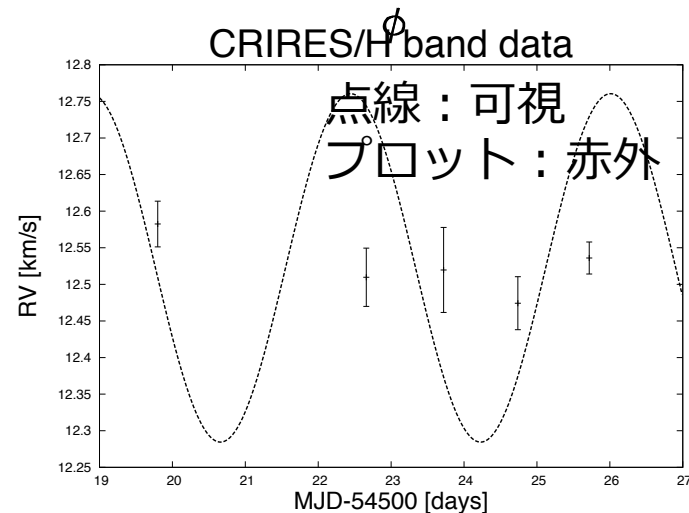
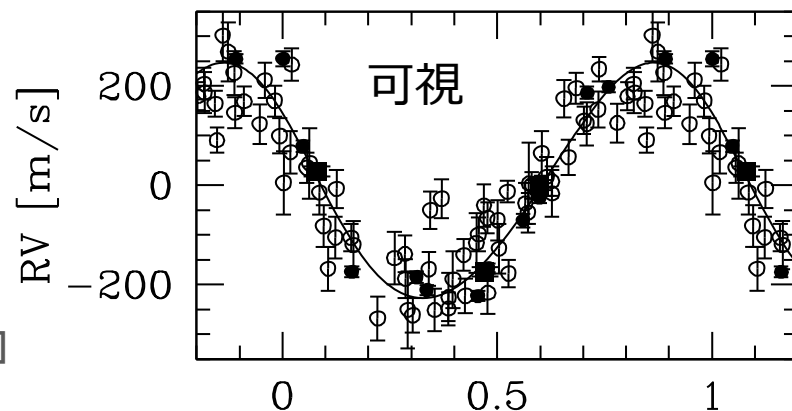
# 3.8m+IRDのサイエンスターゲット



# 若い晩期型星における巨大惑星探索

- 若い星は表面活動が強い (=黒点が多い) ので、惑星の変化が見られたとしても、惑星と結論するのが難しい
  - 若い星でのホットジュピターの発見の報告はあったが、黒点の影響と否定されている
    - Setiawan+08, Huélamo+08
- 近赤外 & 可視の同時観測
  - 黒点の影響を見積もる
    - 可視に比べて近赤外だと黒点と光球のコントラストが小
    - 黒点によるRV変化なら、波長によってかわる → 惑星なら変わらない
  - **可視 + 近赤外で観測しないと惑星と認められない!**
- 観測提案
  - HIDES/OAO1.88mで可視RVサーベイ+3.8m近赤外フォローアップ
  - もしくは、**可視近赤外同時高分散分光観測**
  - 若い太陽型星 ~ 50 星

惑星の存在が否定された TW Hydrae の RV 変化



# まとめ

- 近い将来、IRD等の近赤外ドップラー装置による地球型惑星探索へ
  - IRDが狙うのは、低質量M型矮星の地球型惑星
- 近赤外ドップラー装置の使い方
  - IRD惑星候補の高頻度フォローアップ（IRのみでの観測）
    - 明るい星に絞って観測を行い振幅 $K=0.5\text{m/s}$ のハビタブル惑星を検出する
  - 晩期型星周りの地球質量惑星の探索（IRのみでの観測）
    - 観測があまり進んでいない晩期K型星における地球型惑星の検出
  - 若い晩期型星（太陽型星）における巨大惑星探索（IR+可視での観測）
    - 惑星系の年齢依存を明らかにする（1000万年~1億年程度の若い星）
- 装置要求
  - 地球質量惑星を狙うのなら： RV決定精度 $\sim 1\text{m/s}$ が必要
  - 若い星の惑星探索なら： RV決定精度 $\sim 5\text{m/s}$ が必要
    - 可視近赤同時高分散分光器 + 3.8m望遠鏡で観測
    - HIDES/OAO1.88m + 近赤外高分散分光器/3.8m望遠鏡