

京大岡山3.8m望遠鏡における 太陽系外惑星探査

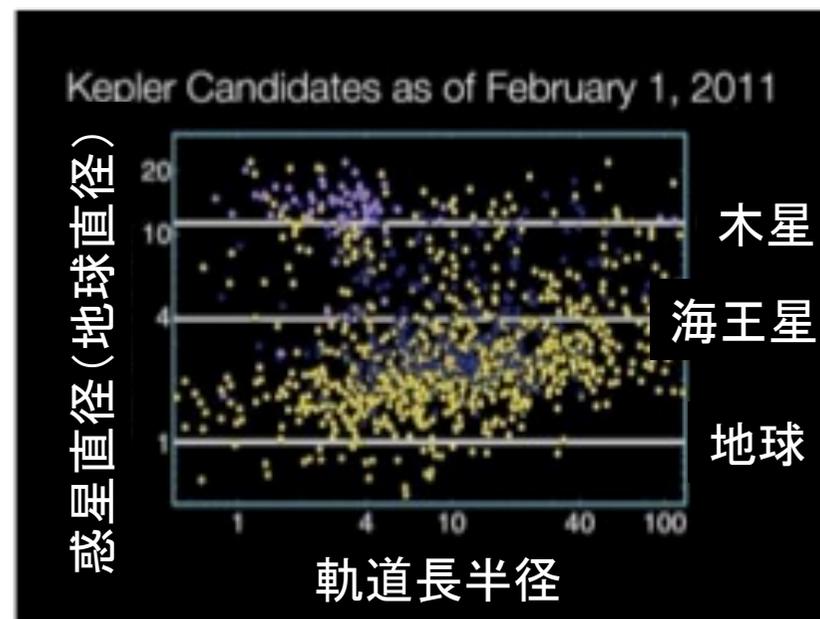
松尾太郎(京都大学)、
京大岡山3.8m望遠鏡グループ、
SEITグループ

系外惑星研究の現状

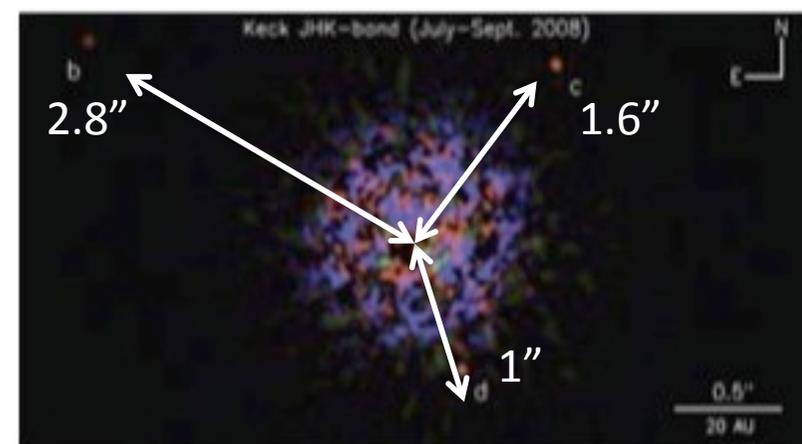
- 1995年の太陽系外惑星の発見以来、ドップラー法などの**間接法により700以上の系外惑星**が検出。
- Kepler望遠鏡の食を利用した観測による**100を超える地球型惑星候補**の検出。
- 2008年に**巨大ガス惑星候補の直接観測**に成功。

現状から言える事:

1. 宇宙において「地球型」惑星は普遍的な存在。
→ 次の最大のマイルストーンは、「**地球型**」惑星の**直接検出とその特徴づけ**(大気組成、表層環境の調査)。
2. **地球型惑星の観測成果は全て欧米によるもの**。
(Kepler望遠鏡は1996年に計画)
→ 将来日本が地球型惑星の直接観測で世界と勝負するには、**この10年の取り組み**が重要。



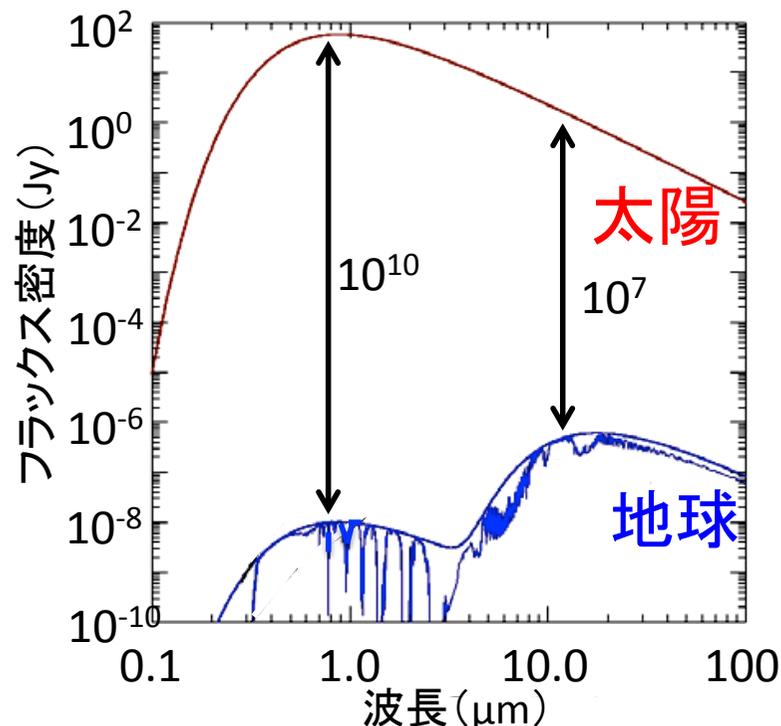
Kepler望遠鏡により発見された惑星の半径と周期



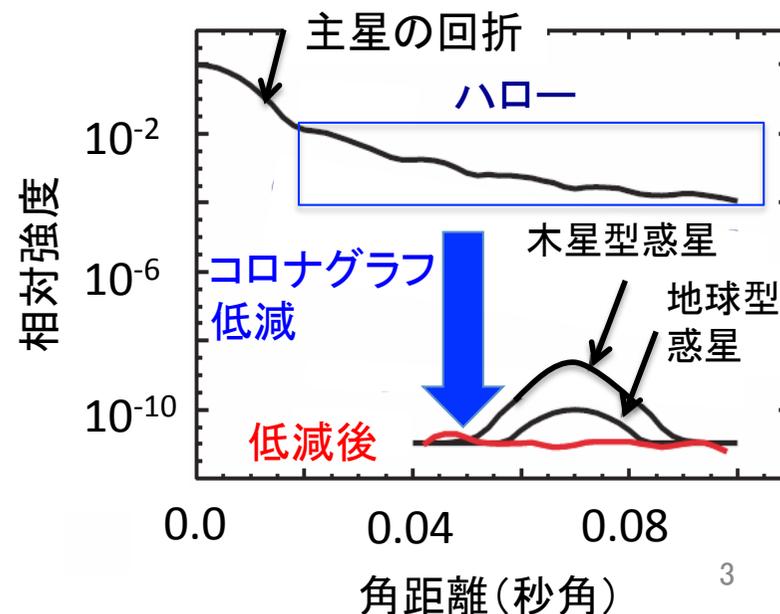
HR8799の周りで直接撮像された巨大ガス惑星 (Marois et al. Science 2008)

直接観測

- 「惑星からの光子」を直接検出
 - 「間接法」で得られない、**惑星の大気組成、表層環境の情報**を得ることができる。
- 地球は可視で反射光により、赤外で熱放射により輝く
- 太陽-地球のコントラスト
 - : 10^{10} @可視光
 - 10^7 @中間赤外線
- 惑星光は主星のハローに埋もれるので、主星のハローだけを低減する特殊な装置が必要

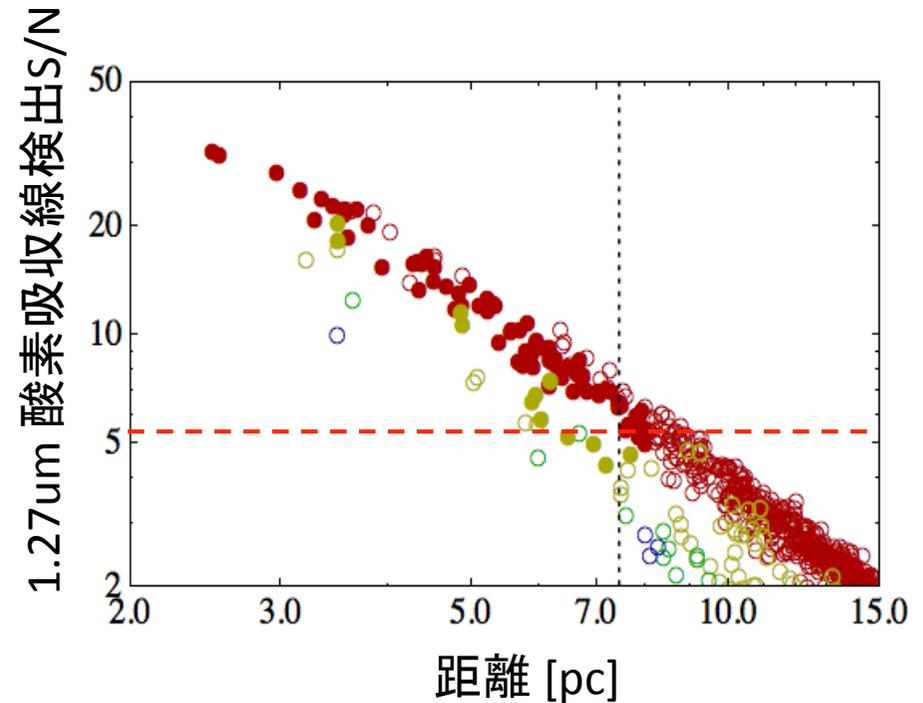
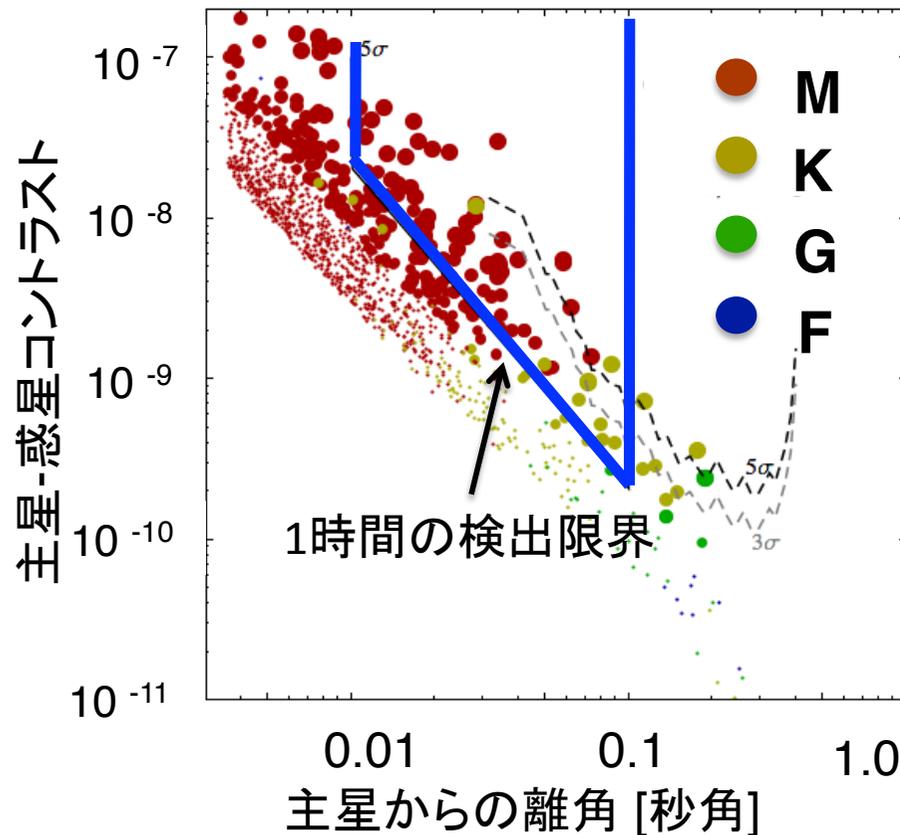


10pcから見た太陽と地球のスペクトル



TMTで地球型惑星を狙えるか？

- 2021年にすばる望遠鏡に続く次世代の大型望遠鏡TMTはファーストライトを迎える。地球型惑星探査ができる最初の実機である。
- TMTに理想的な高コントラスト装置を搭載すれば、K、M型星の周りの**100の地球サイズの惑星を直接観測し、大気分光から酸素の吸収線を検出できる。**

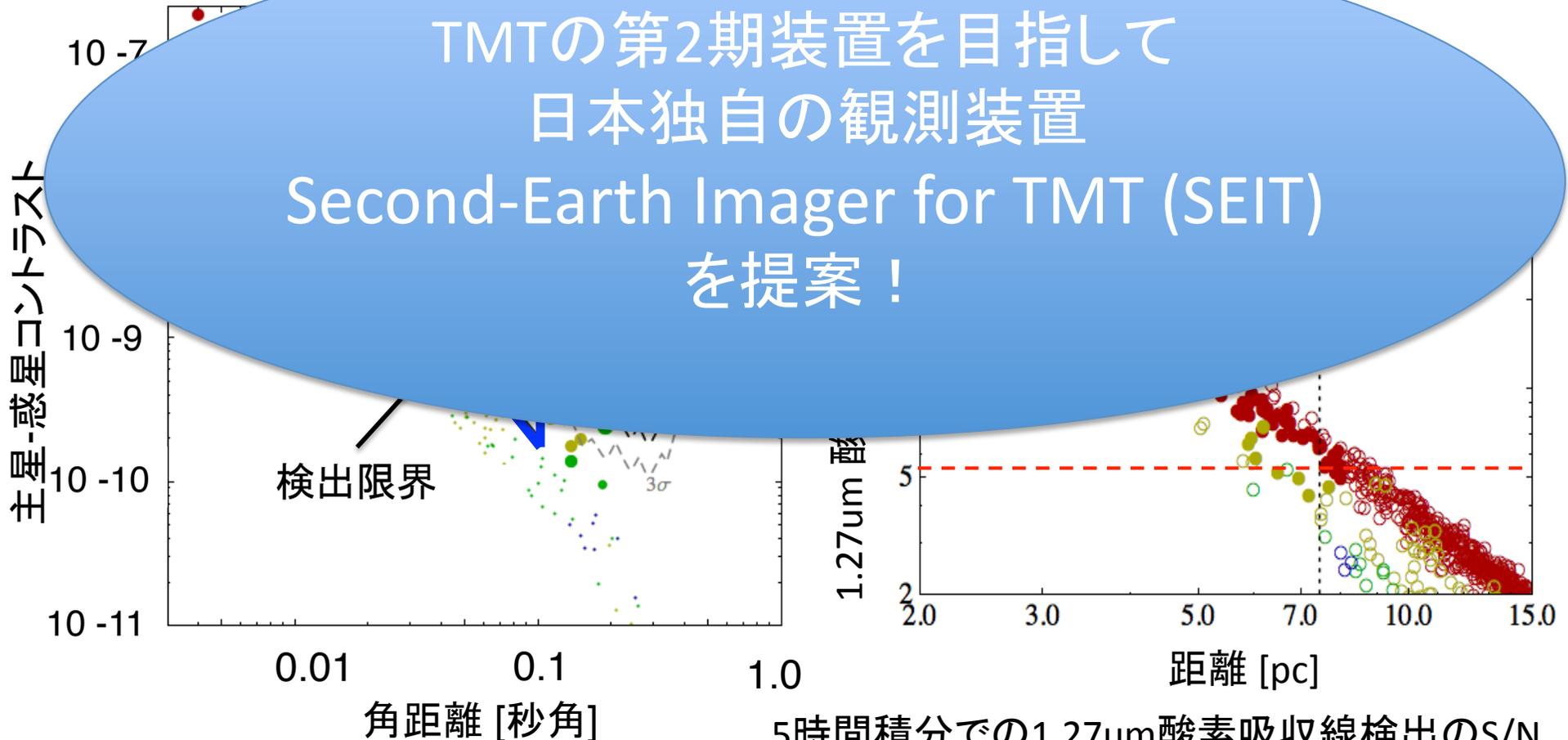


5時間積分での1.27um酸素吸収線検出のS/N

TMTで地球型惑星を狙えるか？

TMTやE-ELTに理想的な高コントラスト装置を搭載すれば、K、M型星の周りの100の地球サイズの惑星を直接観測し、大気分光から酸素の呼吸

TMTの第2期装置を目指して
日本独自の観測装置
Second-Earth Imager for TMT (SEIT)
を提案！



1時間積分での惑星検出感度

5時間積分での1.27 μm 酸素吸収線検出のS/N
Kawahara, Matsuo, Takami, Fujii et al. 2012 (Arxiv:1206.0558)

実現までのシナリオ

2012-2014

2015-2018

2017-

実験室 → 京大3.8m望遠鏡 → TMT

目標：2020年代初頭のファーストライトを目指す

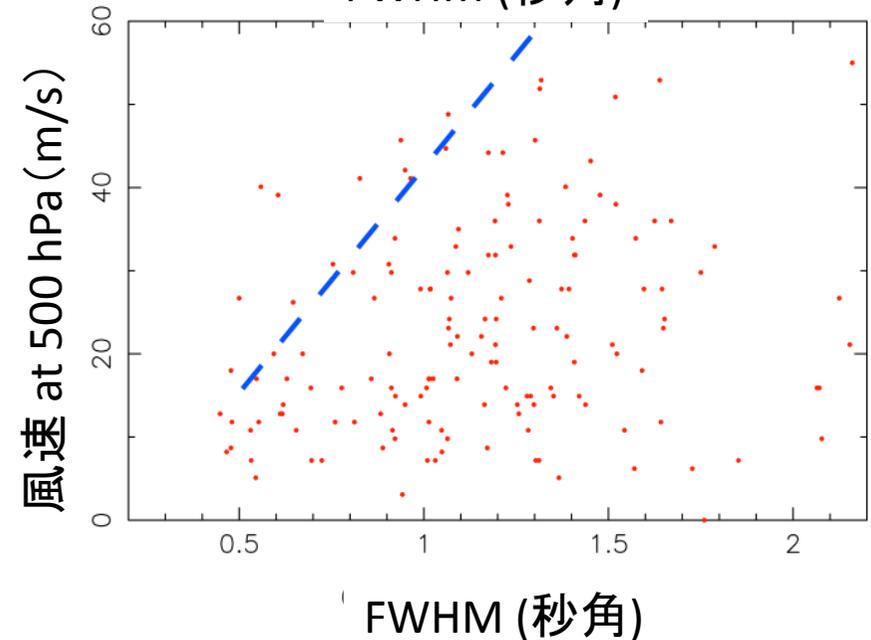
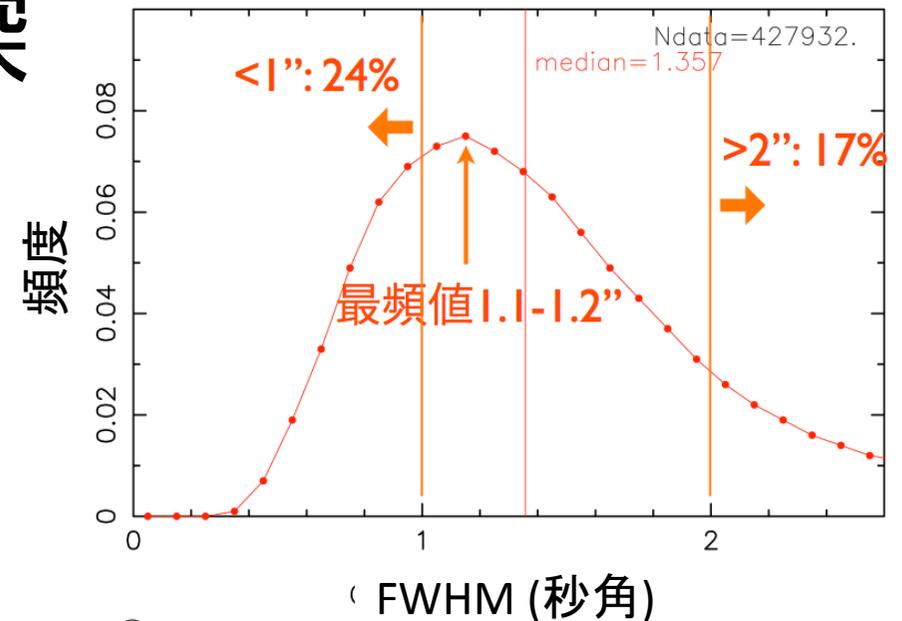
なぜ京大3.8m望遠鏡か？

1. TMTと同じ分割式望遠鏡；
分割式望遠鏡での世界初の高コントラスト実験の実証を目指す。
2. 望遠鏡時間；
Subaru/HiCIAOの観測経験から時間をかけた探査が必要である。

岡山のサイトは惑星探査に適しているか？

- 岡山のseeingは最頻値1.1秒。
→ すばる望遠鏡と京大岡山3.8m望遠鏡の D/r_0 は同程度。
- 対流圏(上空数km)の風速は上限40m/s。
→ (極限)補償光学の補正フレームレートは1kHzで充分。

すばる望遠鏡と同じ性能の補償光学装置を載せれば、同程度の結像性能が得られる。



岩田生 (2005年光天連シンポ)

観測装置構成

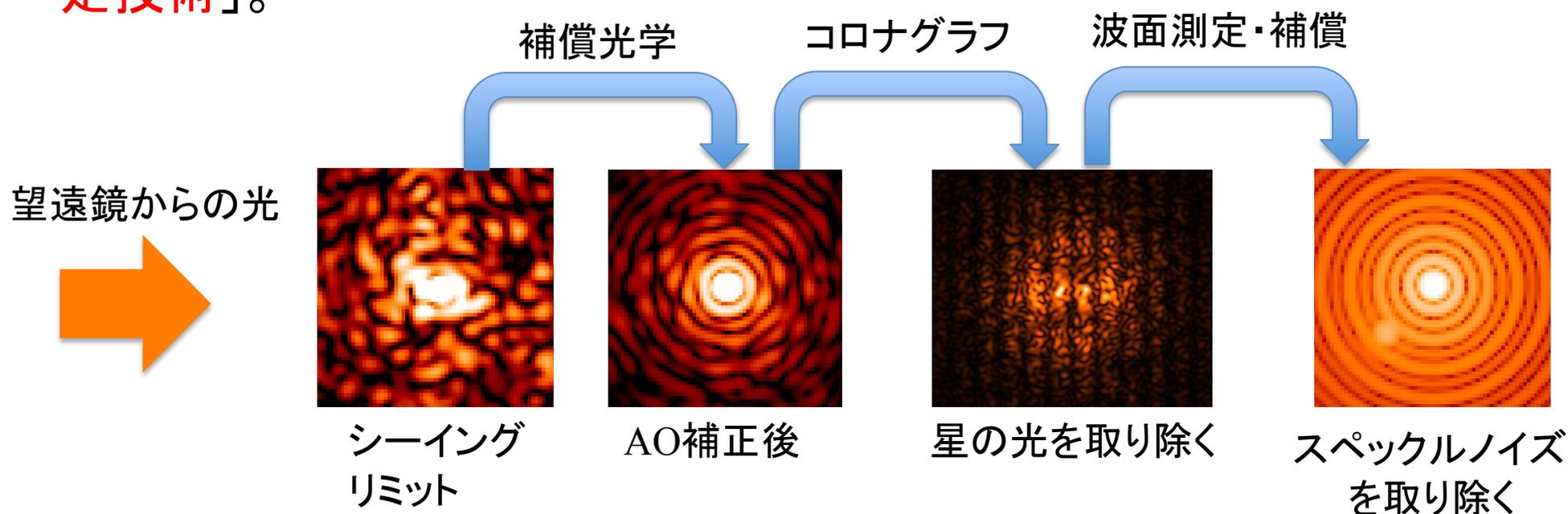
惑星を直接検出するための「高コントラスト装置」は
1. 補償光学、2. コロナグラフ、3. 波面測定の3つから構成。

補償光学: 主星の回折光の成分を増加させる。

コロナグラフ: 主星の回折光の成分を取り除く。

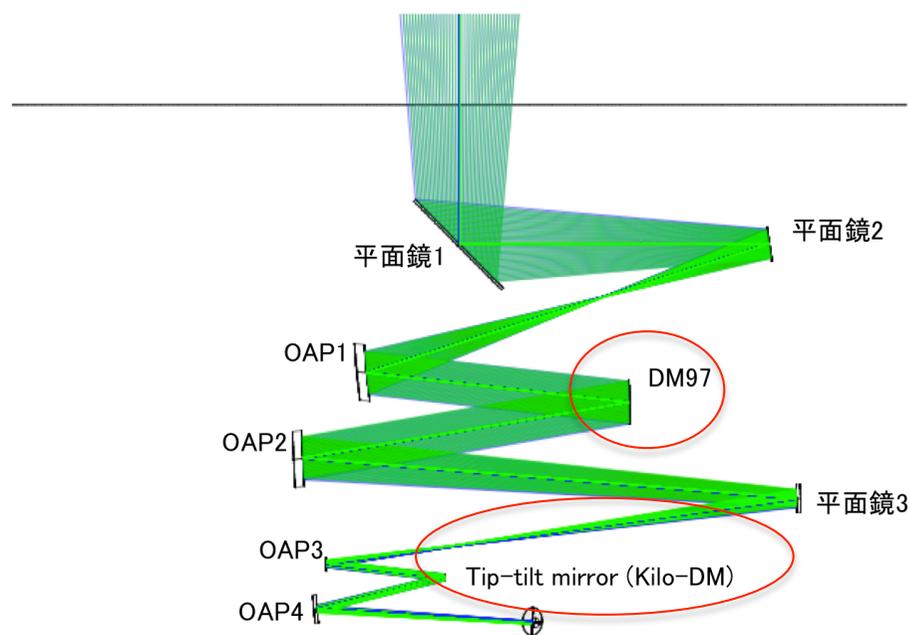
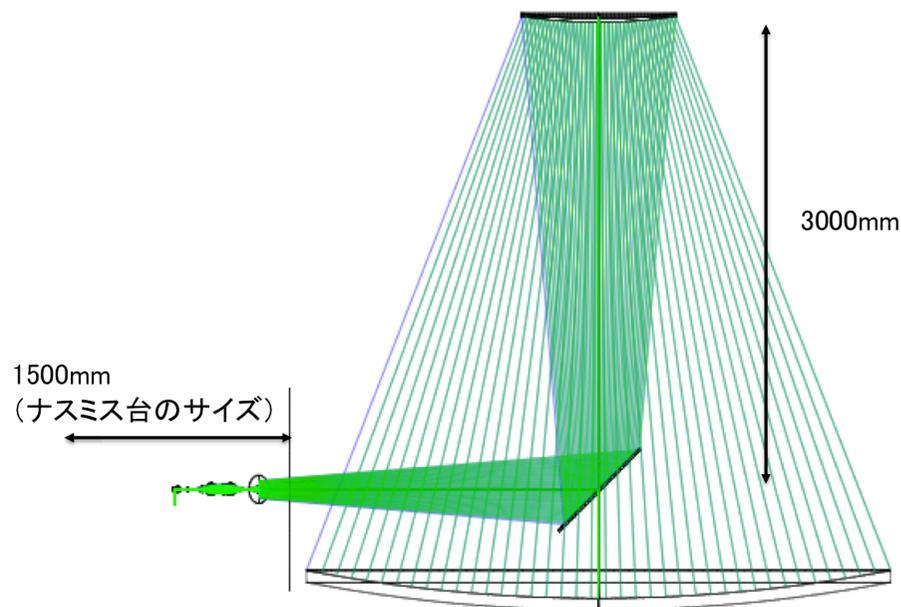
波面測定: 回折光以外のスペックルノイズ起因の波面を測定し、フラットな波面を再生。

高コントラスト観測で鍵になるのが、「**補償光学技術**」と「**精密波面測定技術**」。



補償光学系

- 仕様
 - 観測波長: Y, J, H
 - 空間分解能:
 - 66mas@J band
 - 86mas@H band
 - 限界等級: 10等 @I band
 - 視野10秒角
- 目標
 - シュトレール比: 0.9
- 方式
 - 2段の可変形鏡(Woofler-Tweeter)
 - Pyramid 波面センサー
 - 補正レート: 1kHz



補償光学系の設計図

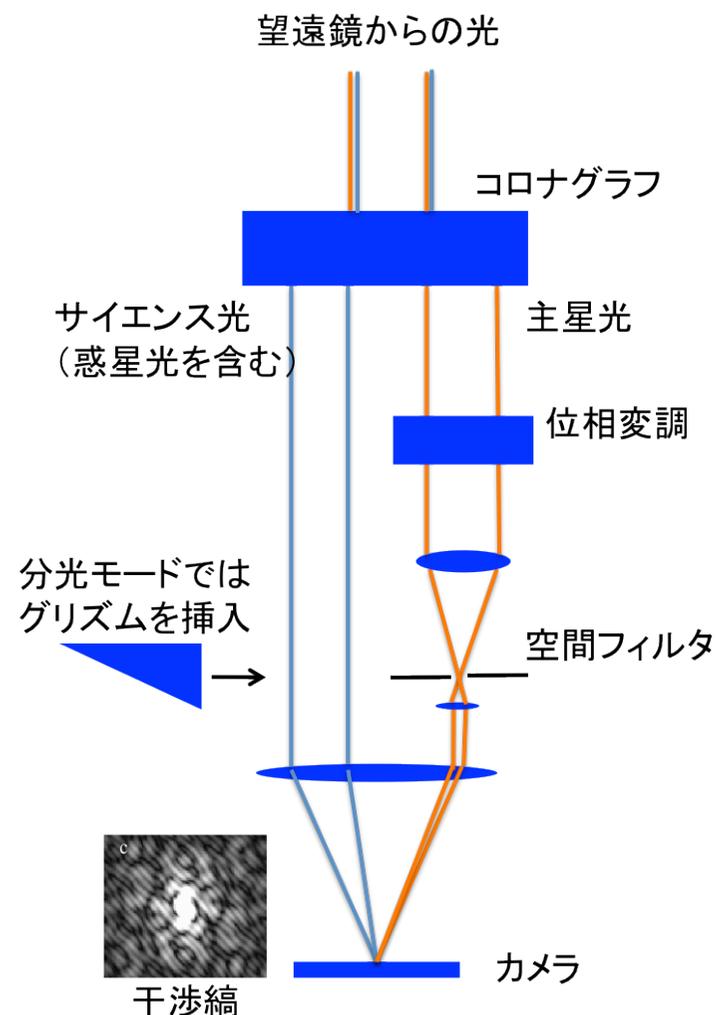
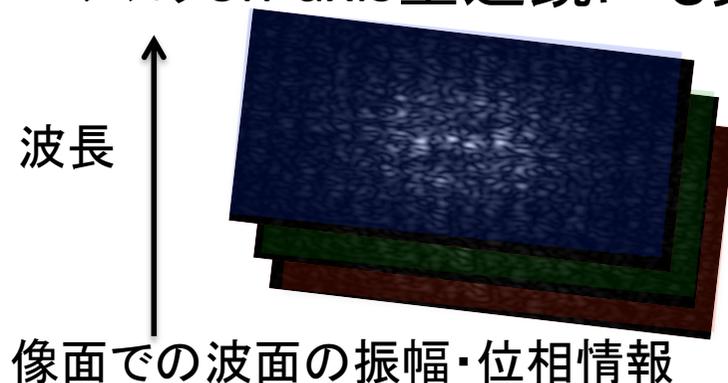
3次元波面測定装置

松尾&村上 準備中

Three = Spatial + Spectral

特徴: 「**検出**」と「**特徴づけ(分光)**」ができる新しい高コントラスト技術

- 検出面で主星の光で干渉縞を作り、**波長方向に分解された波面の乱れ**(振幅・位相)を測定。
- **光学系がシンプル**: 分光モードでは、**グリズムを挿入するだけ**。「**検出モード**」と同じ性能(コントラスト)を維持できる。
- **スペースのon-axis望遠鏡にも発展**

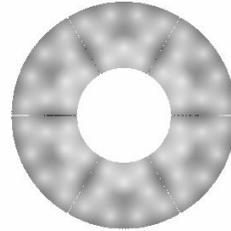


シミュレーション

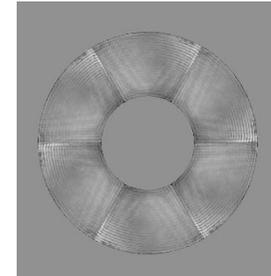


大気の位相マップ
($r_0=10\text{cm}$)

+



鏡の支持構造による変形
(シミュレーション)

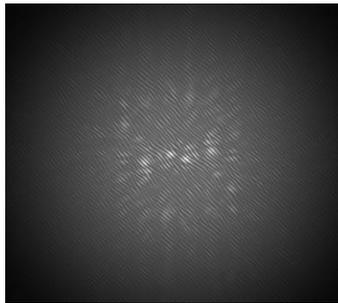


鏡の形状誤差
(2011年12月に製作された内周鏡)



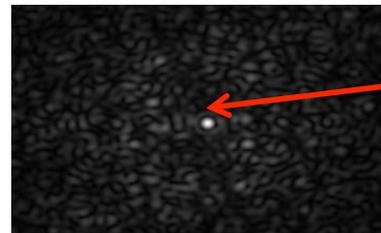
望遠鏡の構造関数

H band (1.50-1.80 μm)



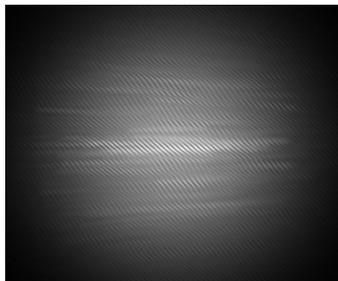
観測像(惑星検出モード)

→
3次元波面測定



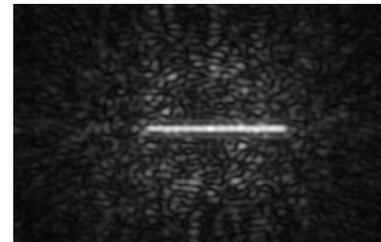
最終像

1秒間の積分で0.2秒角にある
 10^{-4} のコントラストの惑星を検出
→ 1時間の観測で 3×10^{-6}



観測像(惑星分光モード)

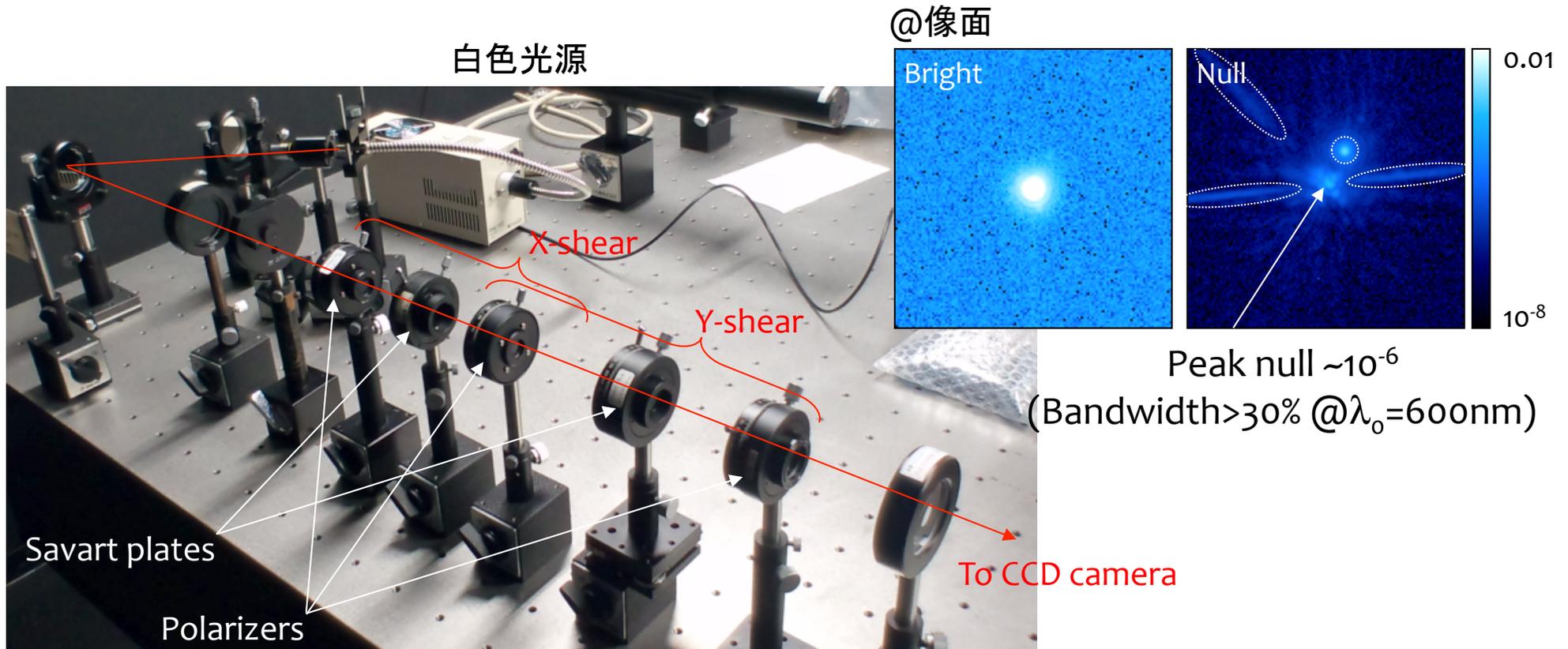
→
3次元波面測定



最終像

コロナグラフの室内実験

Murakami et al. SPIE (2012)



- 広帯域(バンド幅30%)で**コントラスト 10^{-6}** を達成。
- 5時間にわたりコントラストを維持(長期安定性を確認)。
- 今後、3次元波面測定装置をインプリメントする予定。

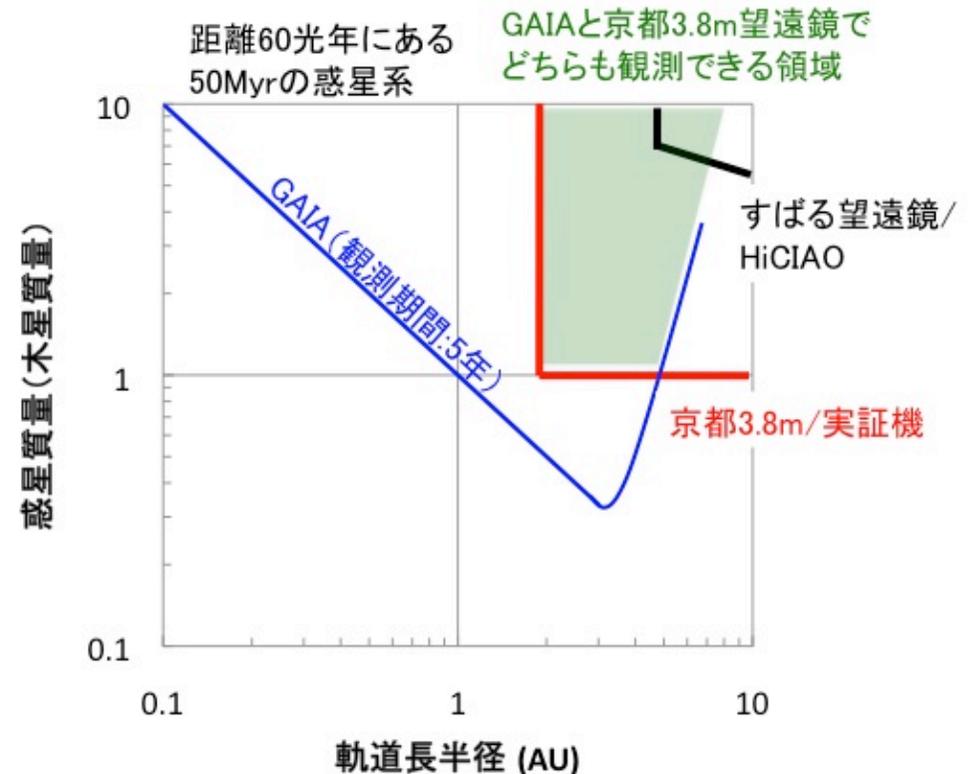
期待される成果 1

「検出」から「特徴づけ」を一通り行なう

- サイエンスケース「検出」
 - 主星近傍(数AU)にある、若い(<1Gyr)木星型惑星の直接検出
 - ターゲット数:~500

特徴:

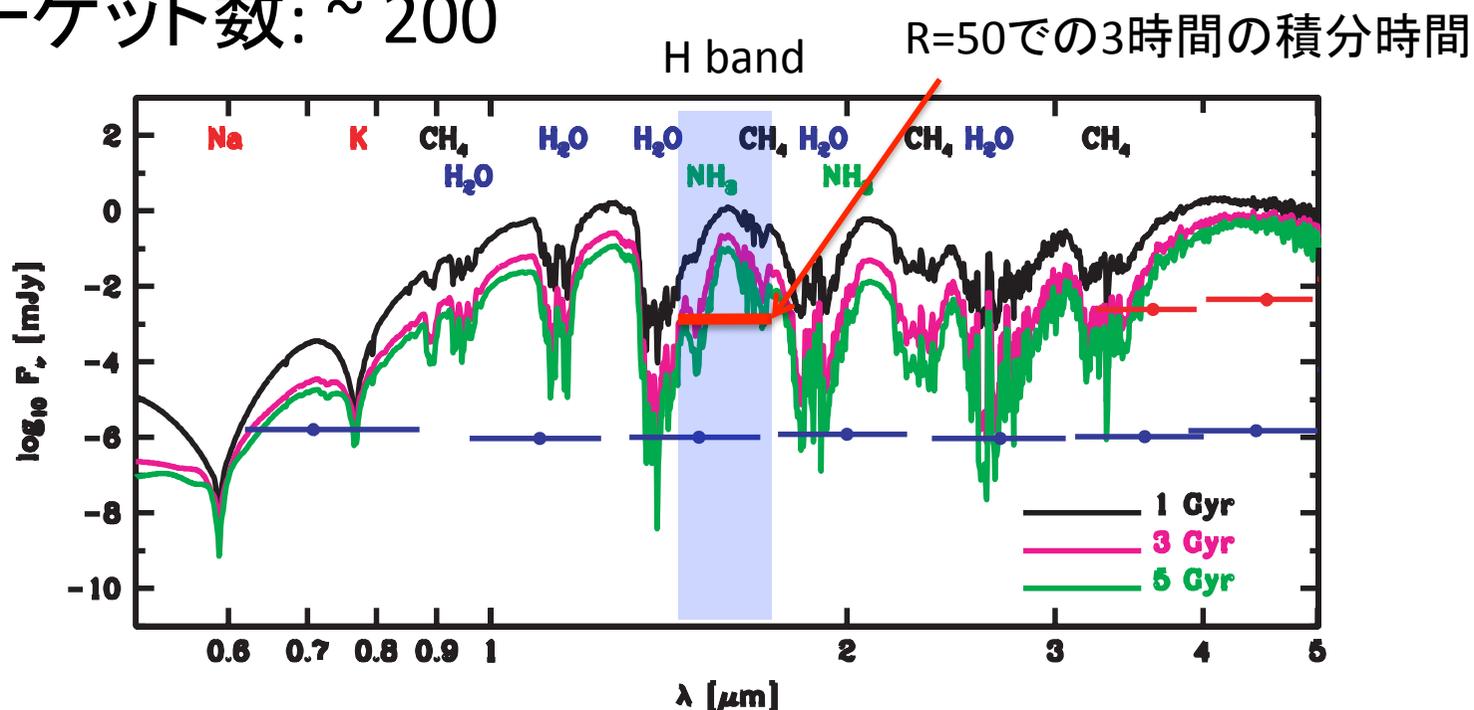
- Subaru/SEEDSは10AU以遠の惑星探査がメインなのに対してより内側を探査できる。
- 視線速度法で観測できない若い(<1Gyr)惑星の探査を通して木星型惑星の形成過程に観測的示唆を与える。



京大3.8m/惑星カメラとSubaru/HiCIAOの検出限界の比較

期待される成果 2

- サイエンスケース「特徴づけ」
 - 「検出」された惑星に対して、大気分光を通してHバンドにある CH_4 , NH_3 の吸収線の検出を目指す。
 - ターゲット数: ~ 200



近赤外線での木星型惑星のスペクトル (Burrows et al. 2003)

スケジュール

緑:現在の獲得予算で実行できるもの

赤:これから申請予定の予算を獲得できれば実行できるもの

- 2012年度
 - 補償光学系 (AO97 + Pyramid波面センサ)を構築 (@京大)
 - 3次元波面測定装置の光学系の構築 (@北大)
- 2013-2014年度
 - 補償光学系のリアルタイム補償
 - 補償光学系のアップグレード: 多素子(1000素子)DMのインプリメント
 - 3次元波面測定装置の高コントラスト化
- 2015年度
 - 補償光学系と高コントラスト光学系の結合 (@京大)
- 2016年度
 - ファーストライト