

2012 年夏の学校@福井県三国観光ホテル

SEEDS 概要：直接撮像による惑星探査

東北大学 M1 水木敏幸

### イントロダクション

SEEDS とは Strategic Exploration of Exoplanets and Disks with Subaru HiCIAO/A0188 の略であり日本語訳すると“Subaru 望遠鏡を使って惑星と円盤を探査する戦略”である。これは Subaru 望遠鏡初の観測枠であり、2009 年秋から始まり 5 年間で 120 夜、500 の天体を観測する予定である。現在 SEEDS 観測で稼働している装置は Subaru 望遠鏡、ハイコントラスト装置 HiCIAO、補償光学装置 A0188 である。

SEEDS の目指すサイエンス

SEEDS の目指すものは

② 星と円盤、二つの探査を行うことで惑星と円盤の関係をもとめる

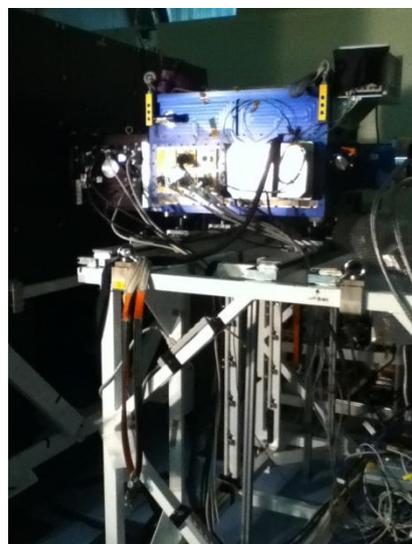
② 惑星形成モデルへの制限を加える

ことにあり。

SEEDS が用いる直接撮像という手法のメリットは 視線速度法、トランジット法では静かで老いた星をターゲットとして選択することが多いが直接撮像では逆に活発で若い恒星の周りの構造（惑星、円盤）を探ることができる。また直接撮像は名前の通り直接惑星、円盤を観測することができるので惑星の色、光度、スペクトル、温度、組成検出をできる。

### SEEDS で使用している装置：HiCIAO

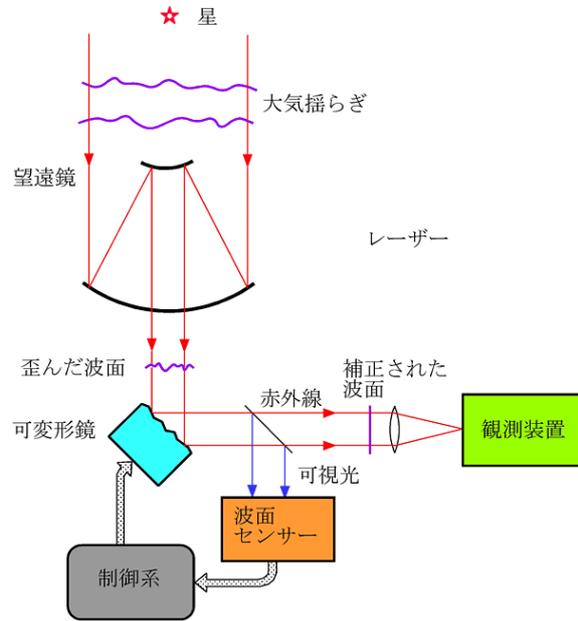
HiCIAO とは High Contrast Instrument for the subaru next generation Adaptivd Optics の略であり、“Subaru 望遠鏡と次世代補償光学を用いたハイコントラスト装置”である。



HiCIAO による簡単な惑星検出方法を紹介しますと 4 段階に分けることができ

① 補償光学 (Adaptive Optics)

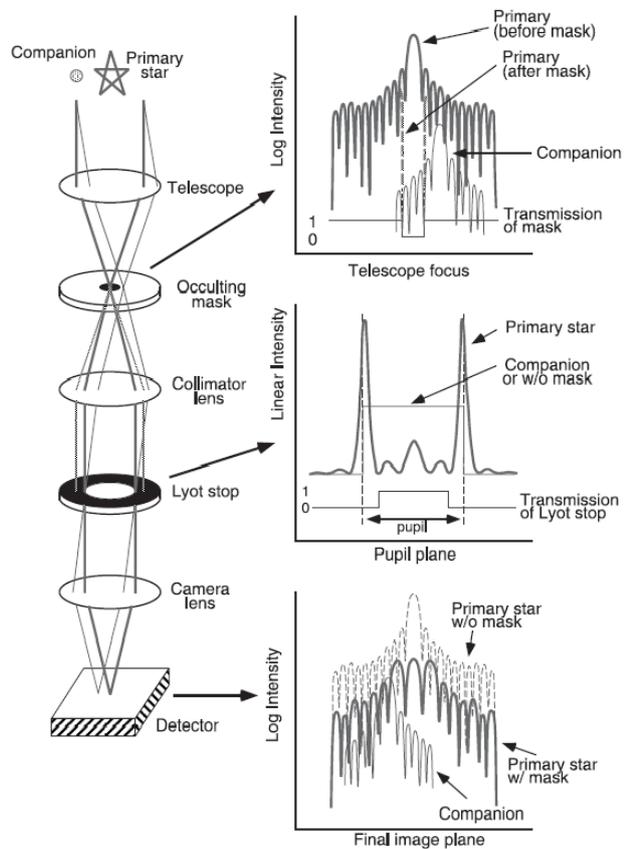
地上望遠鏡で観測する限り、大気ゆらぎにより天体からの光（波面）は乱れてしまう。この乱れを波面センサーで検出し、その情報を制御系に渡し、可変形鏡を波面の乱れを直すように変形させることで、波面を補正することで波面の乱れを補正し回折限界に近い星像を得ることができる。



補償光学系の概念図

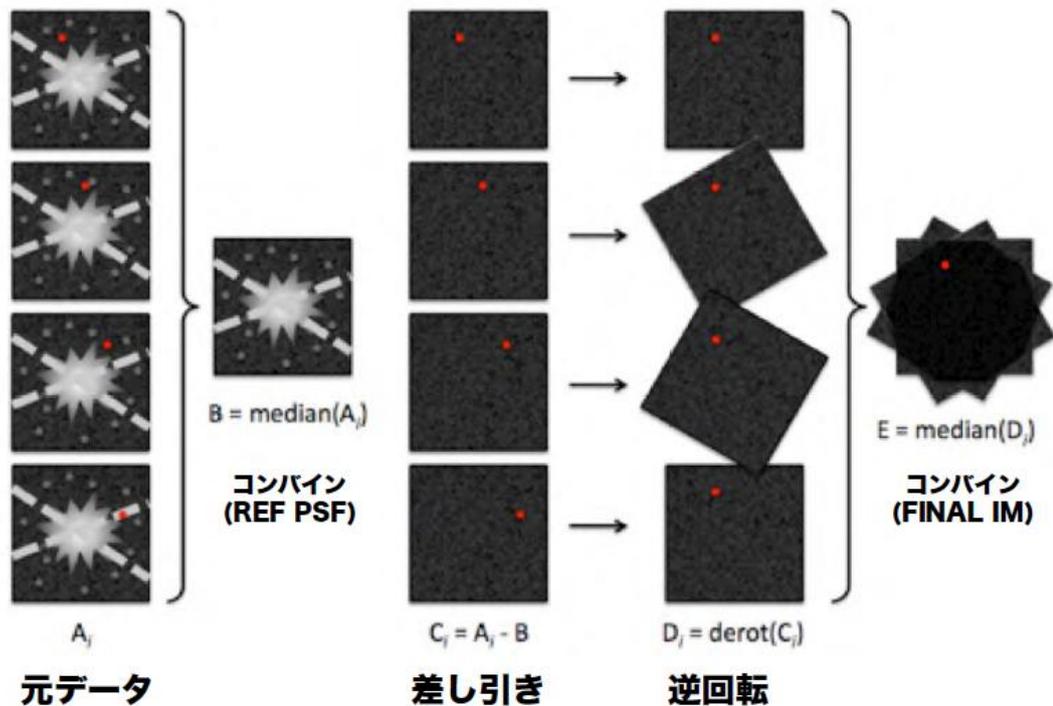
② コロナグラフ

補正された恒星を隠す：望遠鏡の焦点面上で恒星にコロナグラフと呼ばれるマスクをかける。このマスクにより視野内の恒星の位置の intensity は抑えることができるが、肝心の伴星は主星の回折光に埋もれている。ここで瞳面に Lyot stop を置くことでマスクからの回折光遮り、最終的に主星のシグナルを抑えることができ、主星と伴星のコントラストを上げ、惑星を検出できる。この方法で惑星だけではなく明るい星の周辺構造（円盤）を探ることができる。



③ Imaging mode

HiCIAOの直接撮像特有の方法として Angular Differential Imaging モードがある。Subaru 望遠鏡の架台は経緯儀なので天体追尾時に視野が回転する。通常の観測ではイメージローテータでSKYを追尾することで視野の回転を補正するがADIでは瞳面を追尾することで常に同じ光を観測することで安定したPSFを得ることができる。解析の方法としては主星を中心に据えた画像では伴星が観測ごとに画像毎に回転していく。それをmedianでcombineすることにより、伴星が消えた画像を得ることができる。それぞれの元データからmedian画像を引くと今度は伴星だけの画像を得ることができる。これを視野回転と逆回転にして画像を足し合わせることで最終的に安定したPSFの画像を得ることができる。



④ 検出

である。

SEEDS のターゲット

SEEDS の目的の一つは 1000 [Myr] までの惑星系の探査、進化をさぐることである。SEEDS の惑星ターゲットは主に三つのカテゴリー：3段階の年齢に分類され、一番若いカテゴリーが YSO : Young Stellar Object である。YSO は原始惑星系円盤を所持している可能性が高く、これより惑星を形成している段階、または形成されたばかりの惑星が存在すると考えられている。また惑星と褐色矮星は形成されたばかりだと明るいことが予想され、これは数木星質量の低質量惑星の検出のチャンスである。次に若いカテゴリーは散

開星団である。この天体は YSO より古く、かつ若い 100[Myr]程度の年齢をカバーしている。近傍の星は年齢の推定が難しいが、このカテゴリーの天体は惑星系の進化において重要なファクターである年齢の推定が比較的容易である。3つ目のカテゴリーは近傍星である。これは SEEDS の惑星探査のカテゴリの中ではもっとも古く、NS の中では比較的若い者を観測している。NS の中にはさらにサブカテゴリがあり、

- ①太陽型
- ②低質量星 (M 型星)
- ③褐色矮星

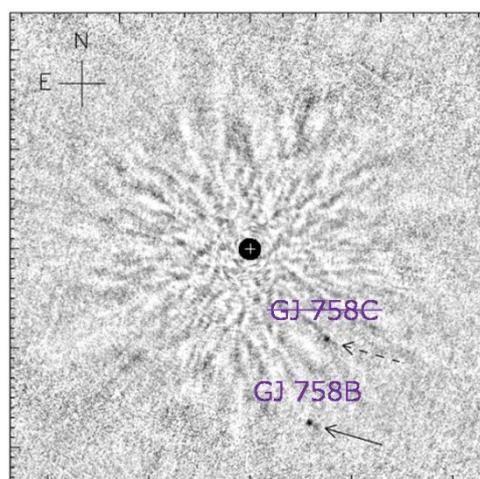
他には他の惑星探査方法で発見されているものの follow-up や将来宇宙望遠鏡で観測されそうな天体もこのカテゴリの中に入っている。

### SEEDS の惑星探査結果

GJ 758 (NS solar-type star)

SEEDS の HiCAIO による惑星系探査により一番最初に発見された伴星は GJ758 である。

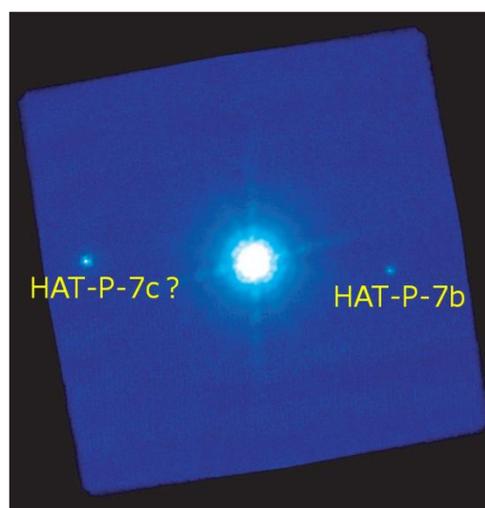
この天体についての一本目の論文は Thalmann et al. 2009 でこの論文の中では主星から投影距離 30[pc]の位置に GJ758B が 発見され follow-up の観測でこの GJ758 が伴星であることが確認された。また B より内側に新たな GJ758C が発見されたが、これは Janson et al. 2010 の follow-up で backgroundstar であるとされた。



Thallman et al. 2009

HAT-P-7(NS known planetary companion)

HAT\_P\_7は過去のトランジット観測で伴星の存在が確認されている天体である。この天体には2つめの companion の存在が示唆されており。直接撮像の観測によりその follow-up がなされた。直接撮像の観測だけで考えると、これはまだ background-star という可能性もあり今後の follow-up によりこれが companion かどうか確認されるだろう。



Narita et al. 2010

## まとめ

SEEDS とは直接撮像を用いた惑星系の大規模サーベイであり、惑星と円盤の関係、年齢で見る惑星の進化を解き明かす、制限をつけることを目標としている。現状は約半分の日程を消化し、観測された円盤、惑星それぞれに考察しモデルに制限をつけている。今後はコロナグラフを用いた極限補償光学：SCexAO(The Subaru Coronagraphic Extreme AO)により新たな天体が観測されることが期待され、また SEEDS が観測を終えたときの統計的な結果を用いた惑星系への制限が期待される。