Second-Earth Imager for TMT (SEIT) 開発の現状と国際協力

- 1. SEITについて
- 2. SEITのプロトタイプ機SEICAについて
- 3. SEIT/SEICAの国際協力について

河原創(東京大学)、小谷隆行(ABC/NOAJ)、 松尾太郎(大阪大学)、村上尚史(北海道大学)、 o山本広大(京都大学)、 田村元秀(東京大学/ABC/NOAJ)

SEIT (Second-Earth Imager for TMT)

- ◆ <u>背景</u>: Keplerによる多数の地球型惑星検出報告やトランジット法/RV法による「ハビタブルゾーン(HZ)内の地球型惑星」の検出報告(Gillon+2016など)
- →惑星の表面温度測定/バイオマーカ検出などの 「キャラクタリゼーション」が必要

◆目的: ハビタブルゾーン内の地球型惑星検出および バイオマーカ検出。とりわけM型星まわりのハビタブル 惑星をターゲットに

◆ <u>手段</u>: TMTの大集光力/高解像 度による惑星の直接撮像/分光 観測

Kepler-186f想像図(NASA Ames)

SEITのターゲット&要求仕様

◆目標:近傍(<10pc)のM型星

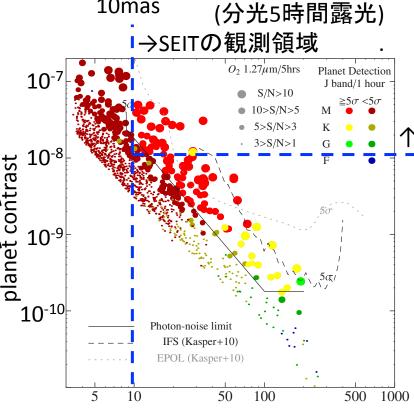
豊富に存在 (N>200)

ハビタブルゾーンが主星に近し (0.1-0.3AU)ので反射光が強し

必要な性能:

1.5λ/D(0".01@J-Band)以遠

10-8よりよいコントラスト



10mas

(点源1時間露光)

Angular Separation [mas]

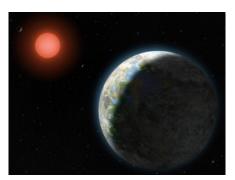
TMTから観測可能な地球近傍星のハビ タブルゾーンに惑星が存在する場合の 惑星検出/酸素検出可能性 (Kawahara+2012)

SEITの基本構成

- 極限補償光学: 波面補正
- ◆ コロナグラフ (ナル干渉計): 主星光を強く低減
- ◆ ポストプロセス装置 (干渉計撮像/高分散分光装置 など):コントラストのさらなる改善 および惑星光のキャラクタリ

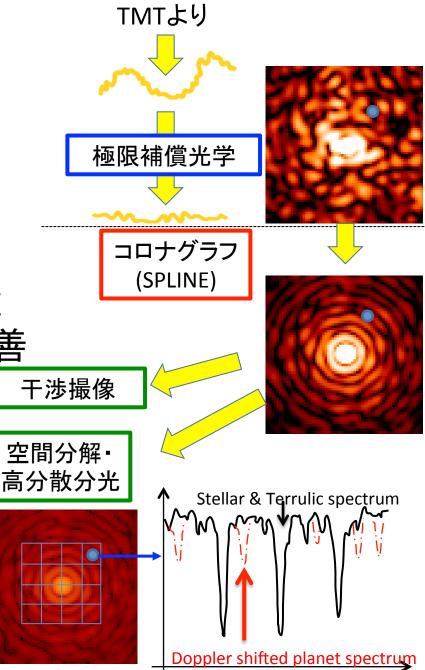
ゼーション

惑星系の再構成



獲得できる情報

- Planetary radial velocity (質量, 軌道)
- Planet spectrum
- Atmospheric characterization
- Albedo, etc

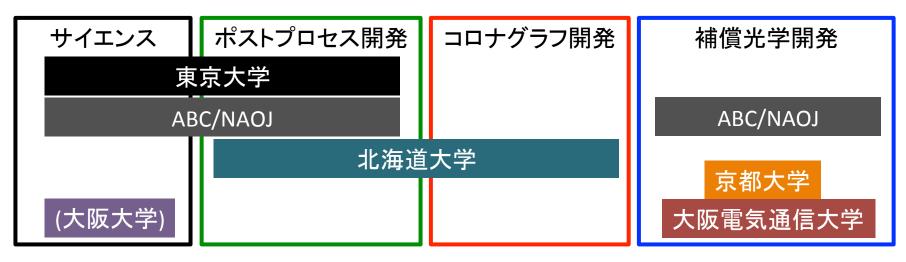


Wavelength

H.Kawahara, N. Murakami, T.Matsuo, T. Kotani 2014, ApJS,212,27

SEITの進捗&組織

- ◆TMT第2期装置として提案中
- ◆SEITコンセプト実証装置の原理実証試験済
- ◆組織:サイエンス+技術開発を5+1の国内 機関で横断的に行っている



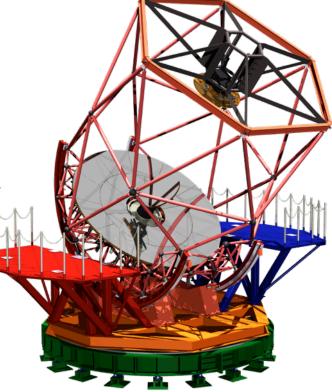
◆SEITへの道のりとして<u>SEICA</u>およびSCExAO をテストベッドとして活用する

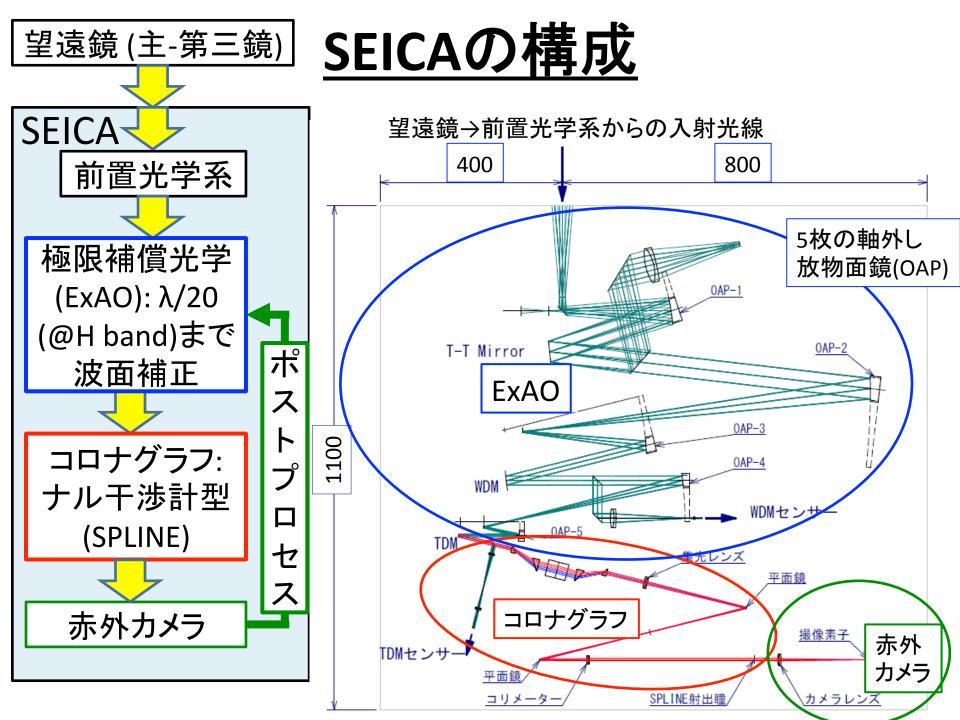
SEICA (Second-generation Exoplanet Imager with Coronagraphic Adaptive Optics)

◆ <u>目的</u>:

- ◆ 0".2(2AU@10pc)以遠で木星型ガス惑星の 検出/キャラクタリゼーション
- ◆ SEITに接続可能な技術のテストベッド
 - ◆ FPGAによる補償光学制御
 - ◆ 位相計測型波面センサ
 - ◆ ナル干渉型コロナグラフ
 - ◆ スペックルナリング
 - ◆ 干渉撮像計
 - ◆ 分割鏡における高コントラスト 技術の獲得 etc....
- ◆ 京大岡山3.8m望遠鏡に搭載予定
 - ◆ TMTと同じく分割主鏡(18枚)
 - ◆ 国内設置のためアクセスが容易

京大岡山3.8m望遠鏡





SEICA-ExAO:仕様と構成

傾斜計測: T/T+Woofer

低速、粗い波面制御

位相計測: Tweeter 高速、高精度波面制御

Tip/Tilt部 視野内で星像 Tweeter部 λ/20程度まで Woofer部 λ/4程度まで 波面補償する を安定させる 波面補償する Woofer DM Tweeter DM T/T 88 actuators 492 actuators コロナ BS₁ BS2 BS3 グラフ・ 望遠鏡 より→ 分光装 λ:0.4-0.5μm λ:0.5-0.7μm λ:0.7-0.9μm 置へ 位相 CPU1 T/T sensor CPU₂ **FPGA SHWFS** 波面センサ Frame rate: 100Hz Frame rate: 1kHz Frame rate: 6kHz Limiting magnitude: 16mag Limiting magnitude: 12mag Limiting magnitude: 7mag

目標

高精度 (λ/20; rms→ストレール比0.9)

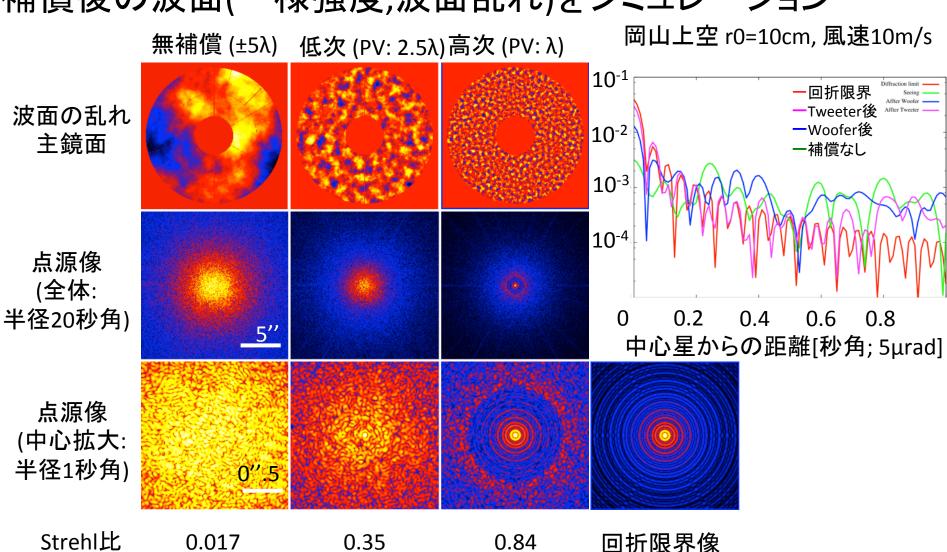
高頻度 (5-10 kHz)

高空間周波数 (1辺24素子)

 \rightarrow 0".2-0".3で10⁵⁻⁶

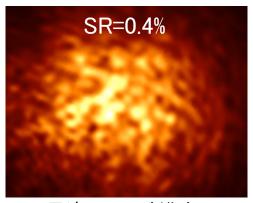
SEICA-ExAO: ExAO後コントラスト

補償後の波面(一様強度,波面乱れ)をシミュレーション



SEICA-ExAO: 進捗

◆低次補償光学(WooferAO)の試験,実機制作: 波面センサ(WFS)52素子/可変形鏡(DM)88/PC制御 →ストレール比0.03—0.1(目標値>0.3)



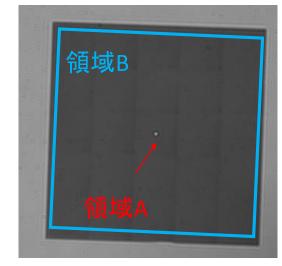
風速 10m/s 制御無し



風速 10m/s 制御周波数900Hz

λ=633nm 風速10m/s 星像モニタ(16秒間平均 26fps)

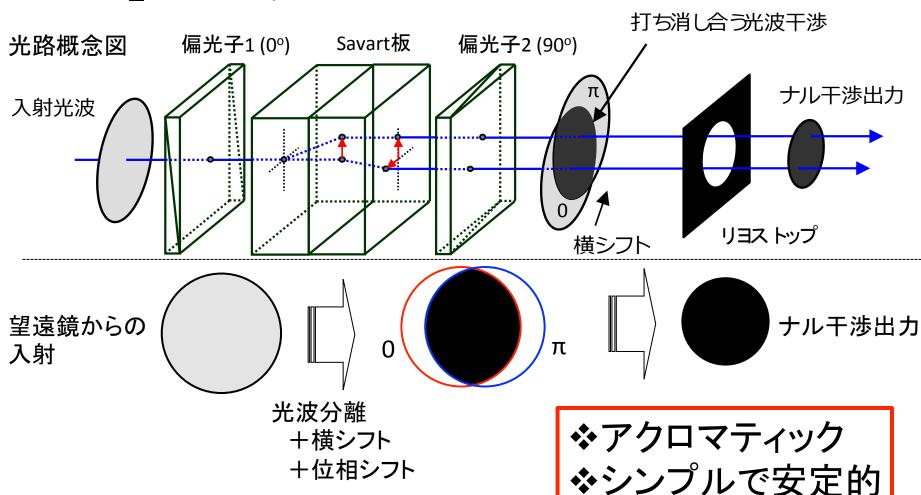
- ◆高次補償光学(TweeterAO)
 - ◆位相計測波面センサ(点源回折干渉計: PDI)の原理実証試験/性能評価中
 - ◆FPGA(Field Programmable Gate Array) 制御器の開発開始



Tweeter波面センサのためのピンホール型偏光 ビームスプリッタ

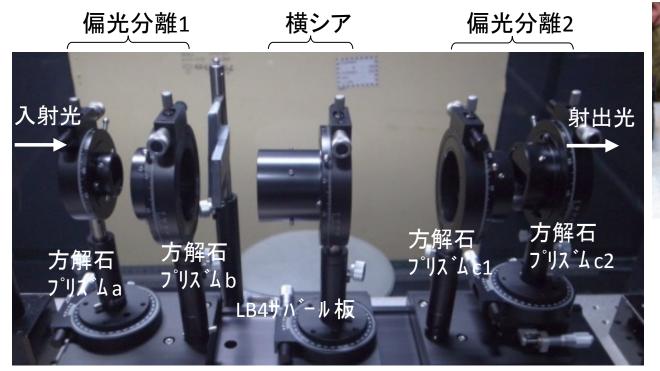
SEICA-コロナグラフ: SPLINE

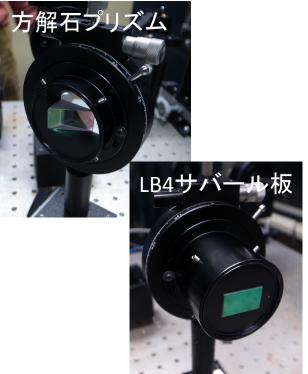
◆SPLINE(<u>Savart-Plate Lateral-shearing Interferometric Nuller</u> for <u>Exoplanets</u>): 共通光路シアリング干渉計



SEICA-コロナグラフ: SPLINE

- ◆SEICA搭載用実機の設計/試験中
 - ◆方解石プリズムによる偏光2チャネル構成→スループット向上
 - ◆SEICA補償光学と組み合わせた目標コントラスト: およそ10-1.5
 - ◆Xeランプ (λ=500-700nm) で1.7×10⁻²のコントラストを実証

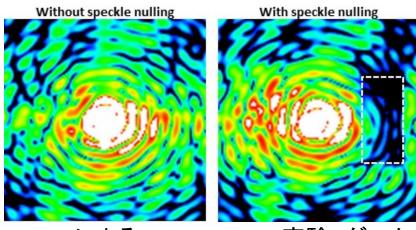




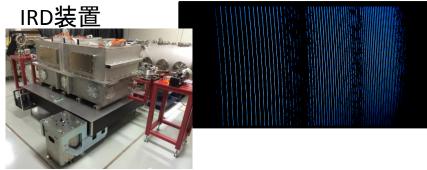
黒田他、日本天文学会2016年秋季年会 V235a/2017年秋季年会(講演予定)

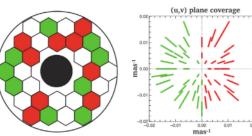
SEICA-ポストプロセス

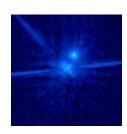
- ◆ Speckle nulling技術
 - ◆ コロナグラフの残留スペックル を光波面制御により低減 (ダークホール形成)
 - ◆液晶空間光変調器 (LCSLM) および可変形鏡 (DM) による 室内試験を推進
- ◆<u>高分散分光器</u>
 - ◆IRDのHeritageを活用
 - ◆新しいアイデアに基づく空間分解能を持つ高分散分光器の実 証試験中
- ◆<u>干渉撮像計</u>(瞳再配置法)
 - ◆光干渉計技術によるポストプロセス技術。三鷹実験室実験や、SCExAO/FIRSTで実証試験中



LCSLMによるspeckle nulling実験。ダークホール形成により、1桁以上コントラストが向上







SEIT/SEICAの国際協力状況と今後

- ◆SEITの国外メンバは現在の所なし
- ◆SEICA-ExAO/FPGA開発でO. Guyon (SCExAO), B. Mazin (UCSB)両氏を共同研究者としてTMT 戦略基礎研究費(H29年度)を獲得
- →採択されたためFPGA開発の共同研究を開始
- ◆SEICA開発をはじめ、SEITと目的の似る SCExAOグループとの合流を検討中



まとめ

- ◆地球近傍のM型星のハビタブルゾーンに存在する地球型惑星の直接撮像/分光観測を目指したSEITを開発中
- ◆SEIT実現に必要な各要素技術の開発を複数 機関の協力により推進中
 - ◆極限補償光学、コロナグラフ、ポストプロセス
- ◆SEITのプロトタイプとしてSEICAを京大岡山 3.8m望遠鏡用に開発中
- ◆SCExAOグループとの共同研究が始まっており、合流も検討中