

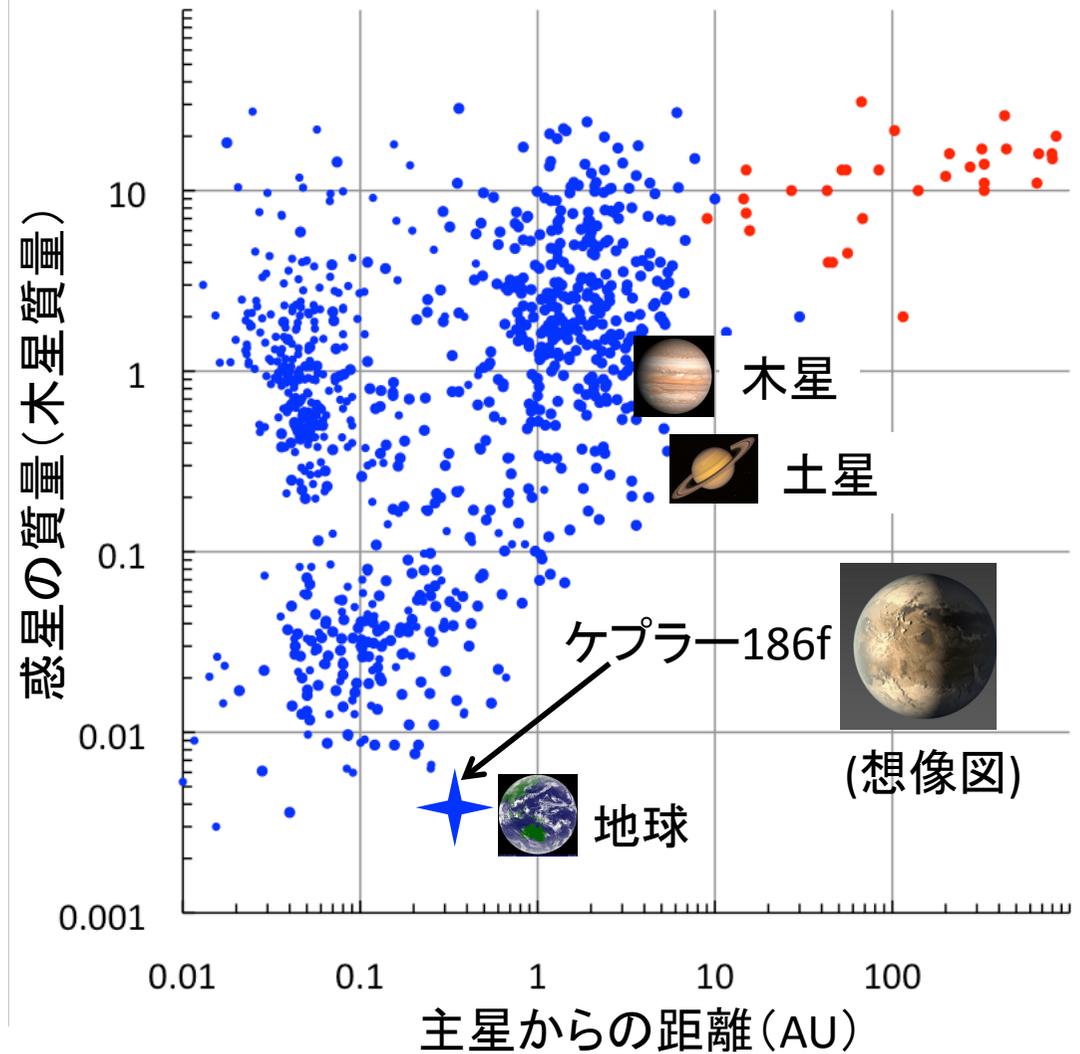
Second-generation Exoplanets Imaging with Coronagraphic Ao (SEICA)

松尾太郎(京都大学)

背景

2014年4月現在

- 1995年に太陽系外で惑星が発見され、現在まで1000を超える惑星が報告.
- 間接的手法によって探査が進展.
- 生命を宿す可能性のある惑星も報告.
例. ケプラー186f

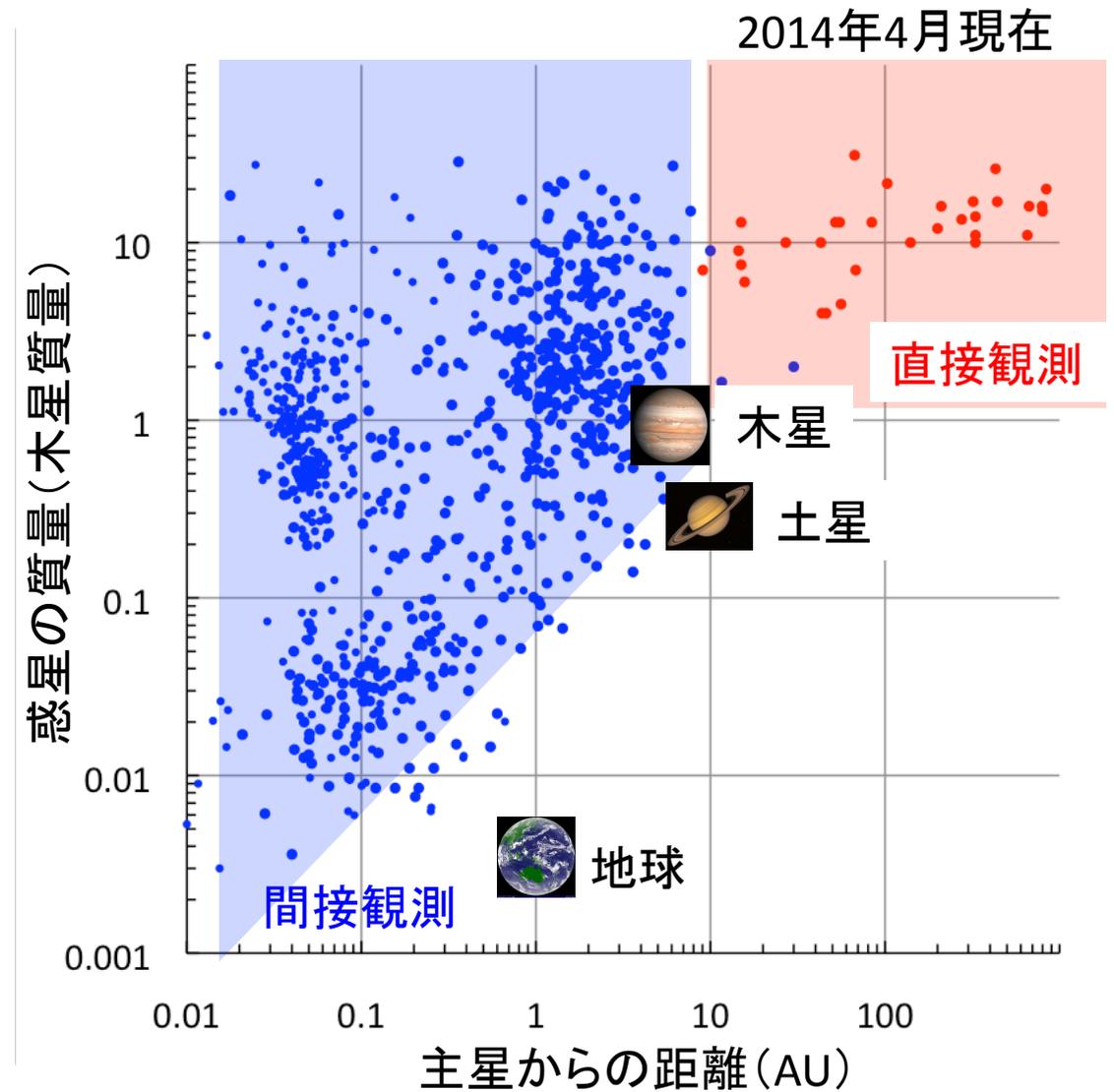


これまでに発見された太陽系外惑星の分布

- : 間接的に発見された惑星
- : 直接観測された惑星

背景

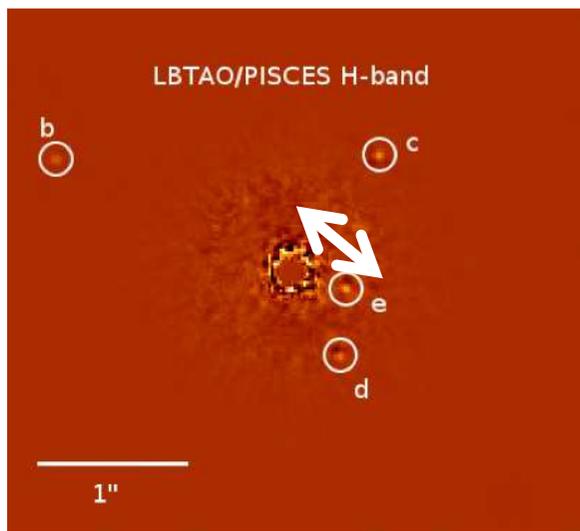
- 2008年に系外惑星（候補）の直接観測に成功.
- 主星から遠方の探査に限定.
- 間接観測と直接観測は探査領域において相補的.



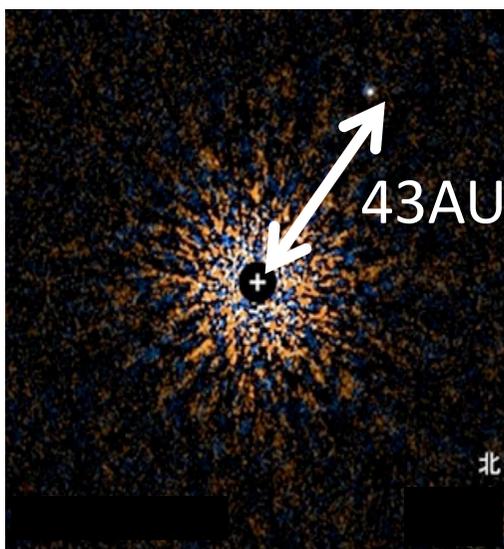
これまでに発見された太陽系外惑星の分布

- : 間接的に発見された惑星
- : 直接観測された惑星

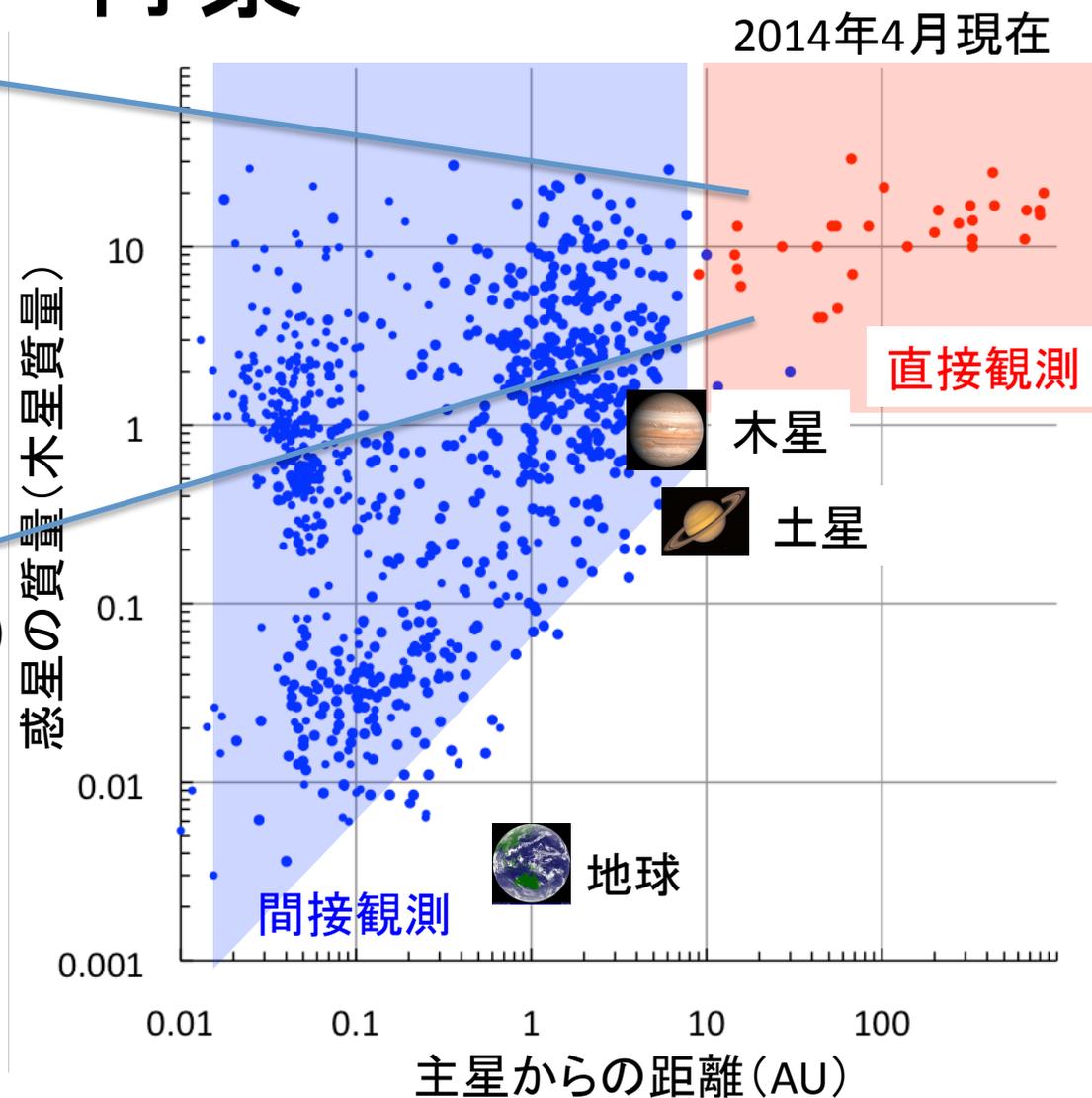
背景



HR8799のHバンド画像 (Skemer et al. 2012)



GJ504のHバンド画像 (Kuzuhara et al. 2013)



これまでに発見された太陽系外惑星の分布

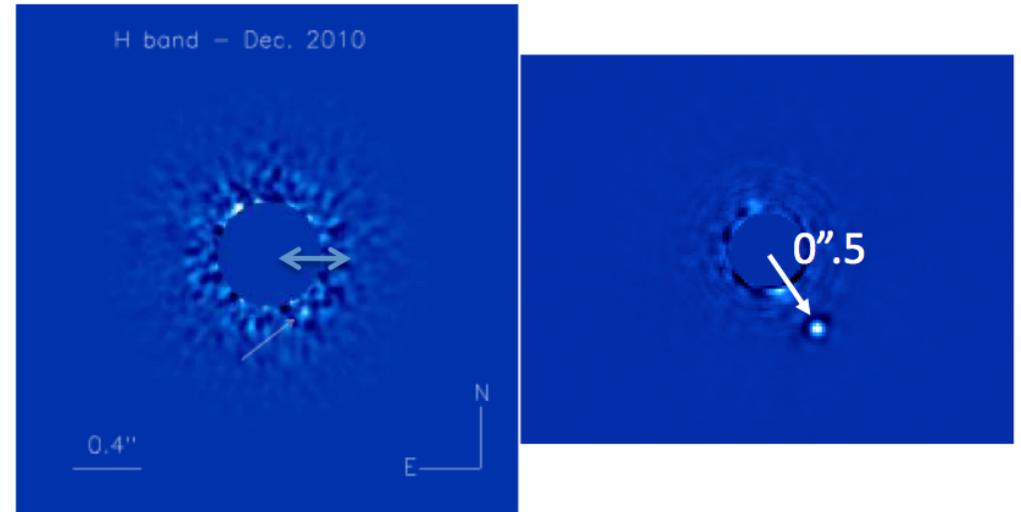
- : 間接的に発見された惑星
- : 直接観測された惑星

稼働中・進行中の補償光学計画

プロジェクト	ピクセル数	波面センサタイプ	計測量	サンプリング
Subaru/AO188(日)	10^2	曲率センサ (CWFS)	形状	1kHz
Keck II/AO(米)	10^2	傾斜センサ (SHWFS)	形状	2kHz
LBT/副鏡AO(米)	10^2	Modulated Pyramid	形状	1kHz 第一世代
Palomar/3000(米)	10^3	傾斜センサ (SHWFS)	形状	2kHz
Gemini/GPI(米・加)	10^3	傾斜センサ (SHWFS)	形状	2kHz
VLT/ SPHERE(欧)	10^3	傾斜センサ (SHWFS)	形状	1kHz
Subaru/SCEXAO(米)	10^3	Non-modulated Pyramid	位相	2kHz
Kyoto3.8m/SEICA(日)	10^3	点源回折干渉計 (PDI)	位相と振幅	20kHz 第二世代

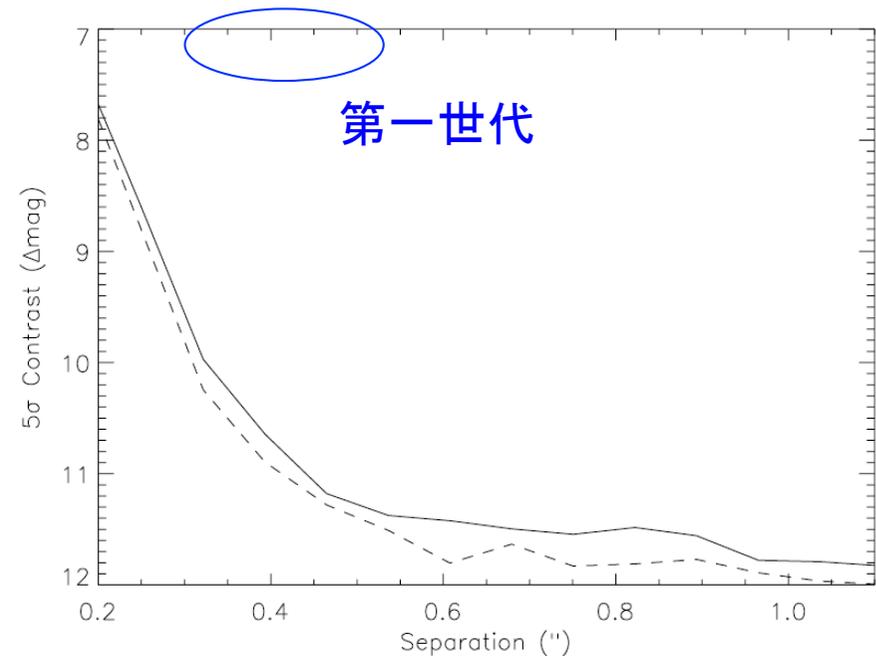
第2世代

- 第2世代高コントラストカメラ (Gemini Planet Imager: GPI)でのファーストライト成功.



VLT NACO (左)とGPI (右)の β Picのイメージ

- 内側での検出限界は、従来装置(SEEDS)に比べて2桁程度のコントラスト改善.
- ➔ (依然として) Self-luminous惑星の探査に留まる.

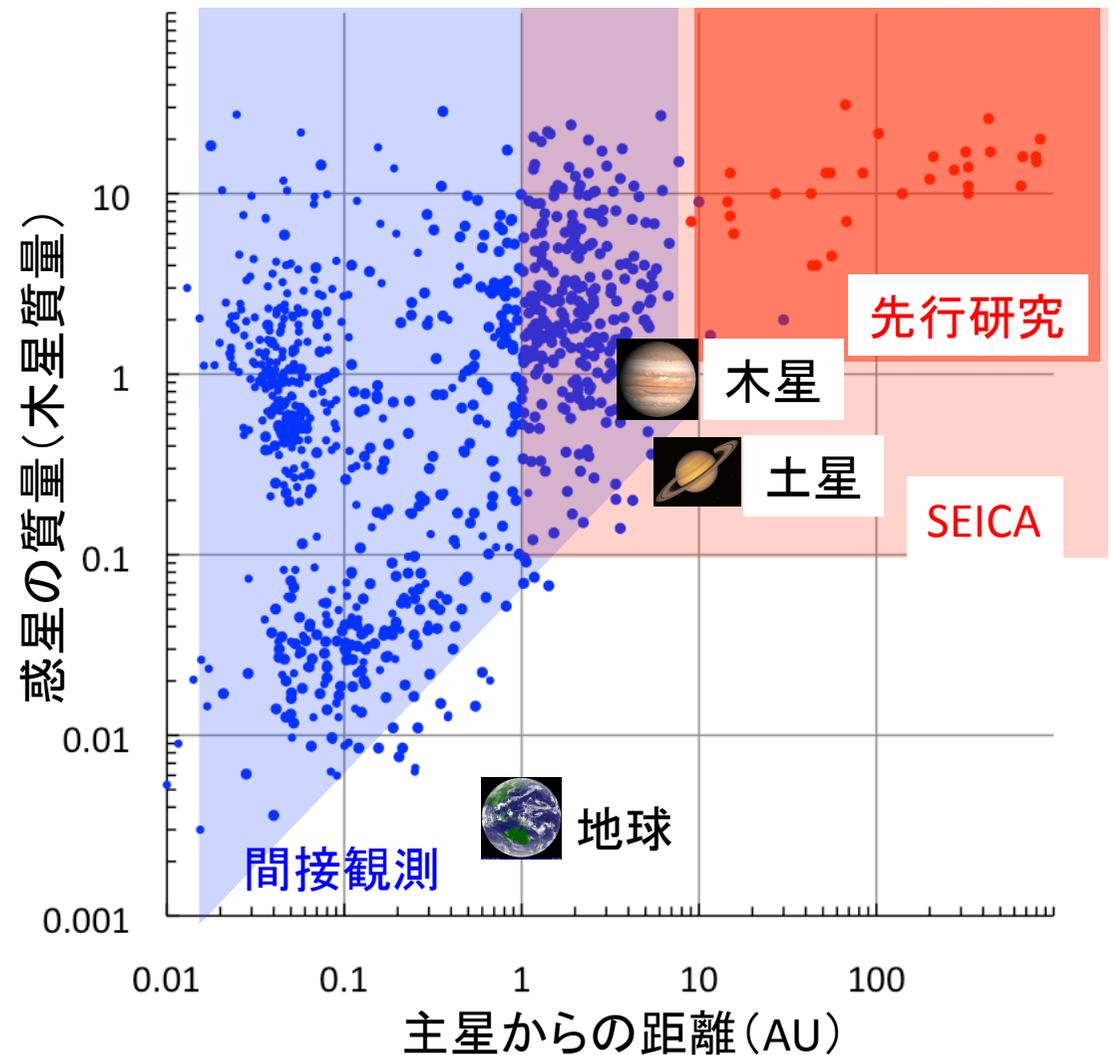


60秒間の5 σ コントラスト(Macintosh et al. 2014)

目的

2014年4月現在

- 究極性能を追求した高コントラスト技術の確立.
- 主星極近傍の高コントラスト化
- 木星や土星軌道にある木星型惑星の観測.
- 統計的研究から各惑星の詳細研究へ



これまでに発見された太陽系外惑星の分布

- : 間接的に発見された惑星
- : 直接観測された惑星

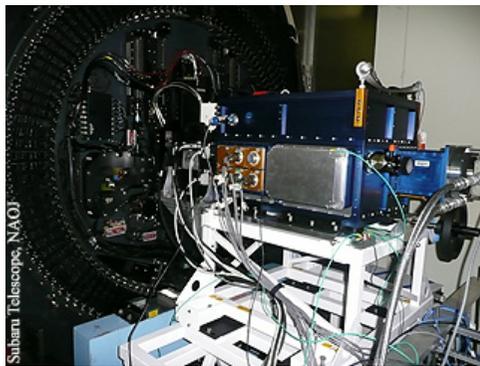
発展

- ・ 極限補償光学技術
- ・ 潤沢な観測時間



SEIT

日本主導による世界初の地球型惑星観測

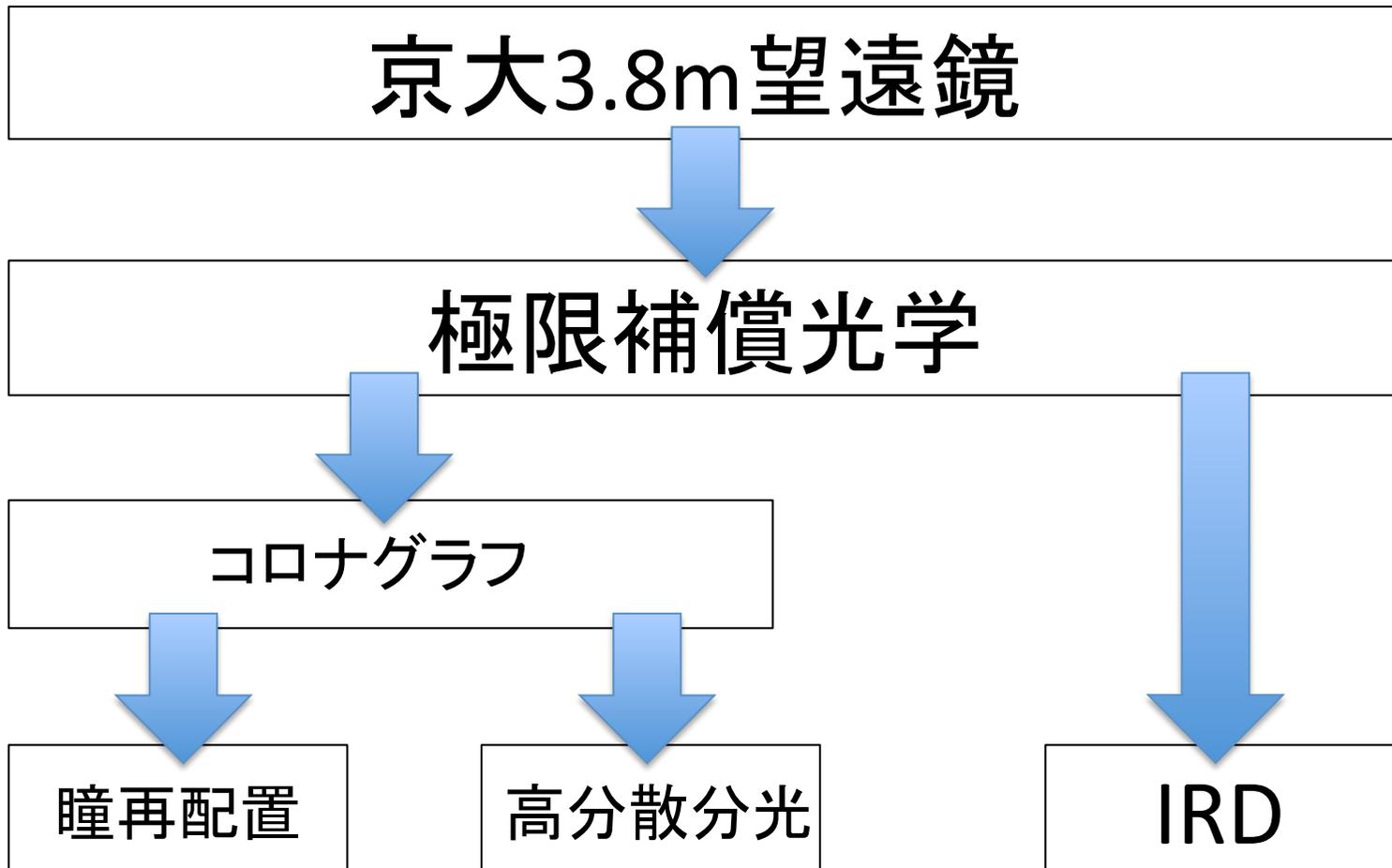


SEICA (2017~)
主星近傍の木星型惑星観測

Subaru/HiCIAO (2009-14)
補償光学の基礎技術を確立
主星遠方の木星型惑星観測

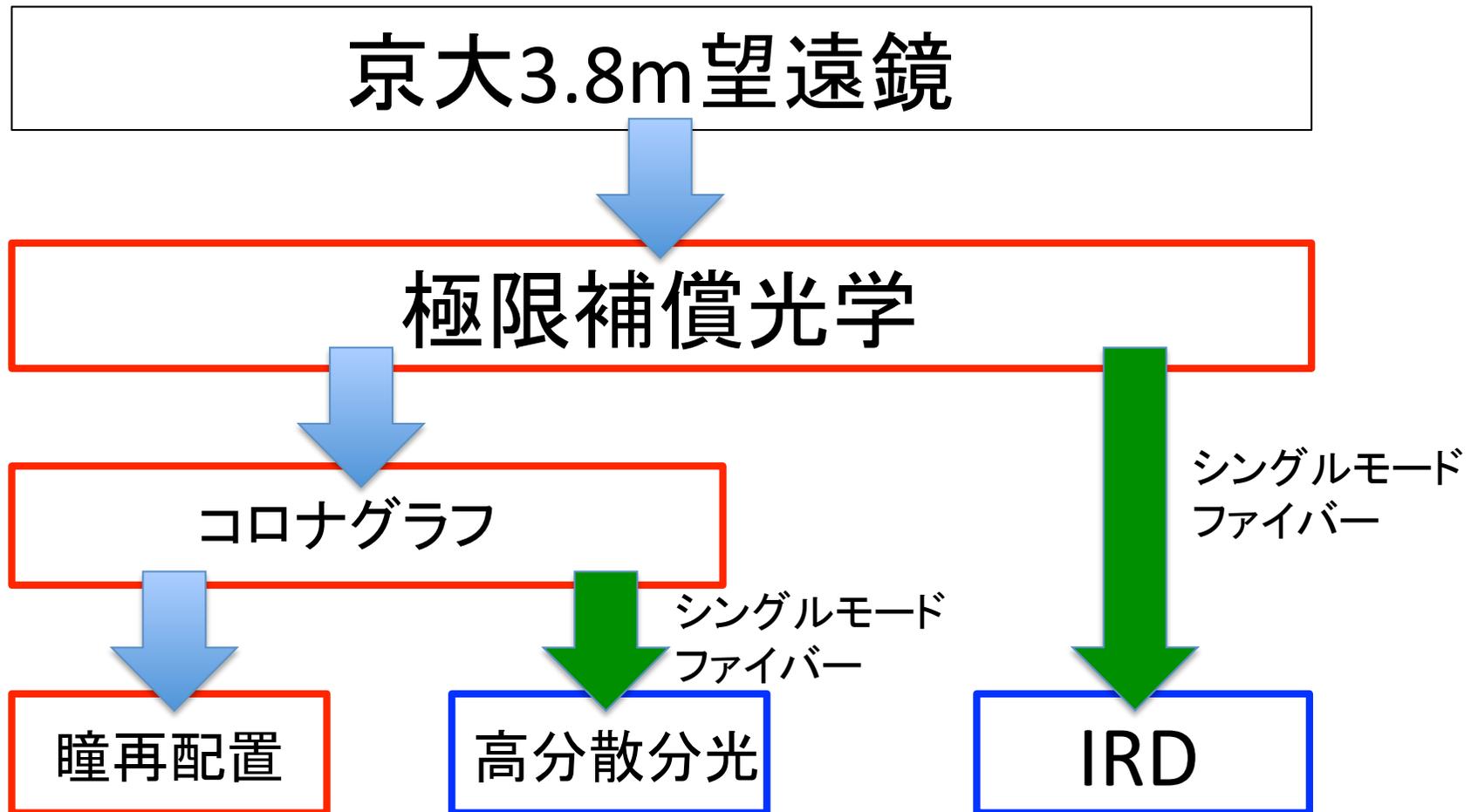
SEICAとは?

- 太陽系外惑星の総合的理解を目指した観測装置
- TMTの地球型惑星検出実現への重要なマイルストーン



SEICAとは?

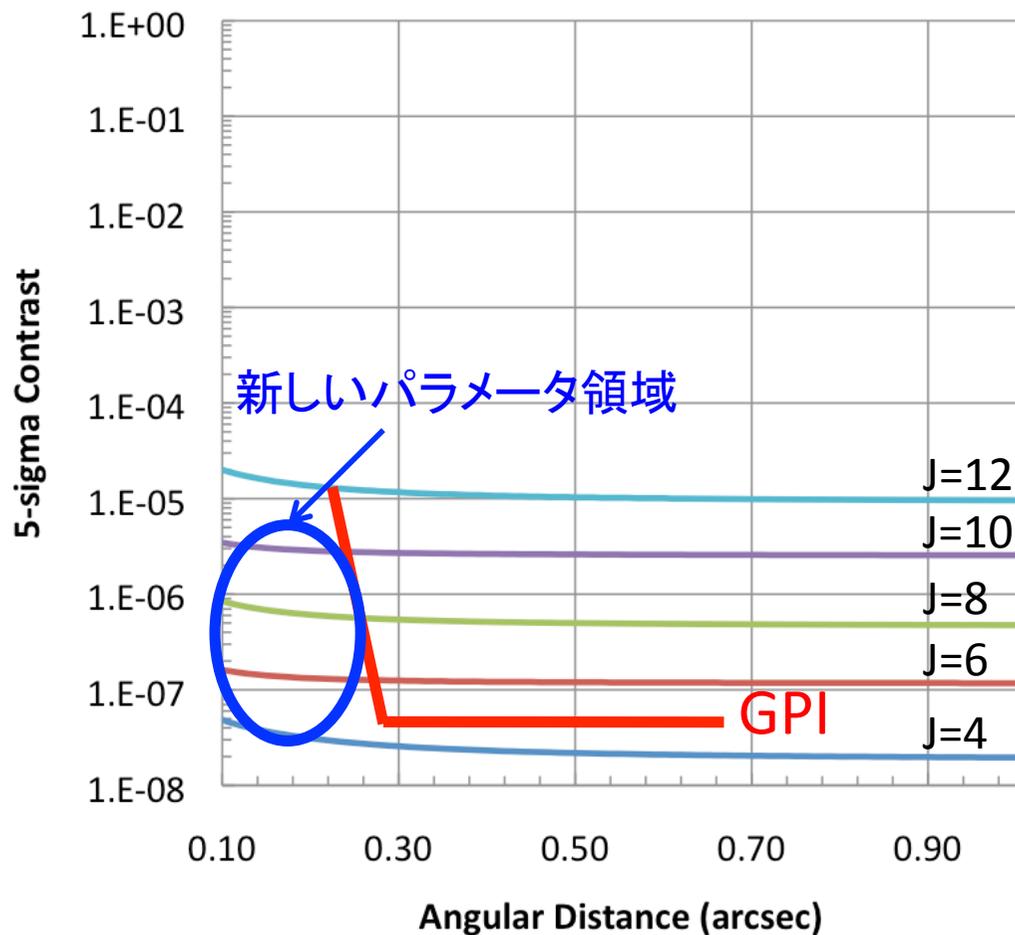
赤: ナスミス台
青: クーデ室



仕様

項目	数値
観測波長	Y、J、H、(K: 検討中)
補償可能な恒星の限界等級	12@J、12 @ H
コントラスト	次ページ参照
Inner Working Angle (IWA)	0".1 @ J、0".13@H
視野	Φ 3".4 (高コントラスト領域) Φ 10".0 (検出器視野)
限界等級 (1時間、S/N=10)	22.9@J、22.1 @H

観測性能



性能評価に用いたパラメータ

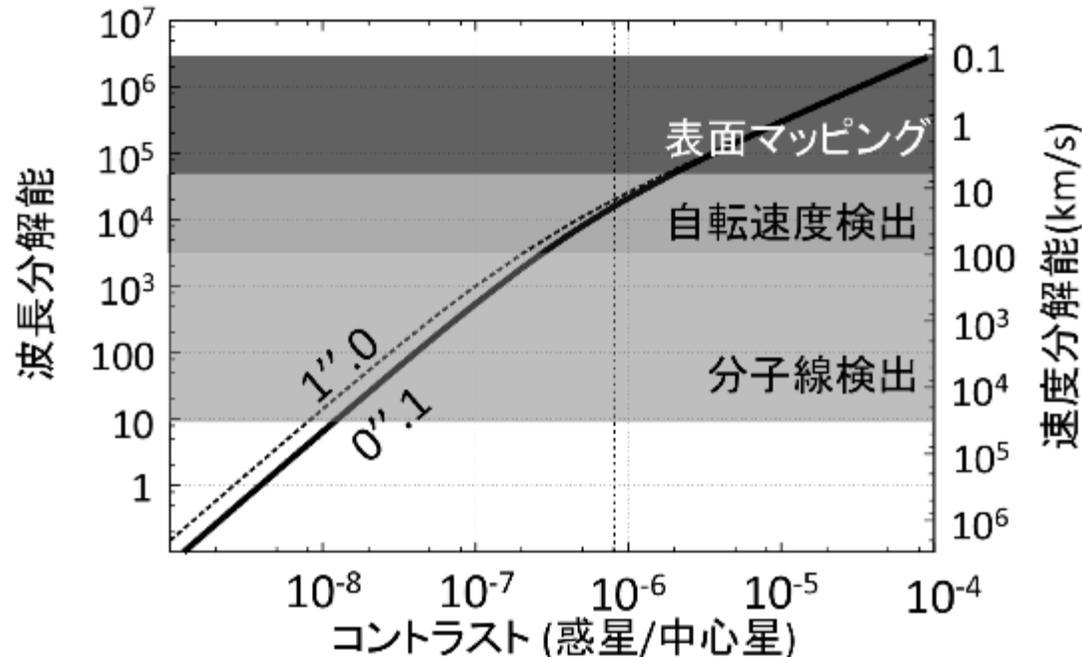
観測波長	J
風速	10m/s
フリード長	10cm @ 550nm

1時間積分での5 σ コントラスト

観測性能

(山本、河原講演参照)

- 高コントラスト化によってキャラクターゼーションへの幅が大きく広がる.
- Subaru/IRIS → Kyoto3.8/SEICA へ

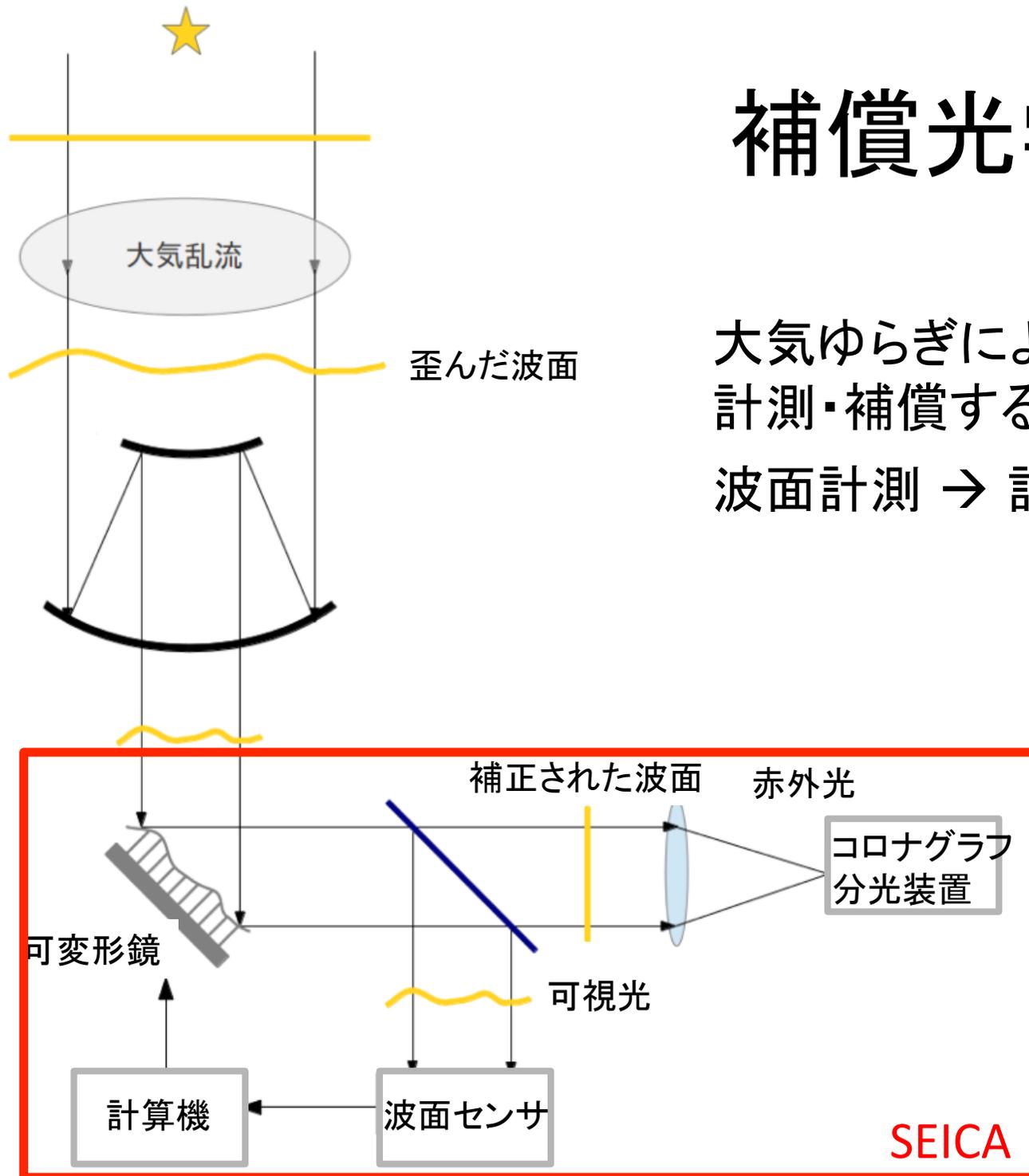


非常に明るい恒星(J=4)を
観測した時の1時間、S/N=5
を達成できる波長分解能.

補償光学装置

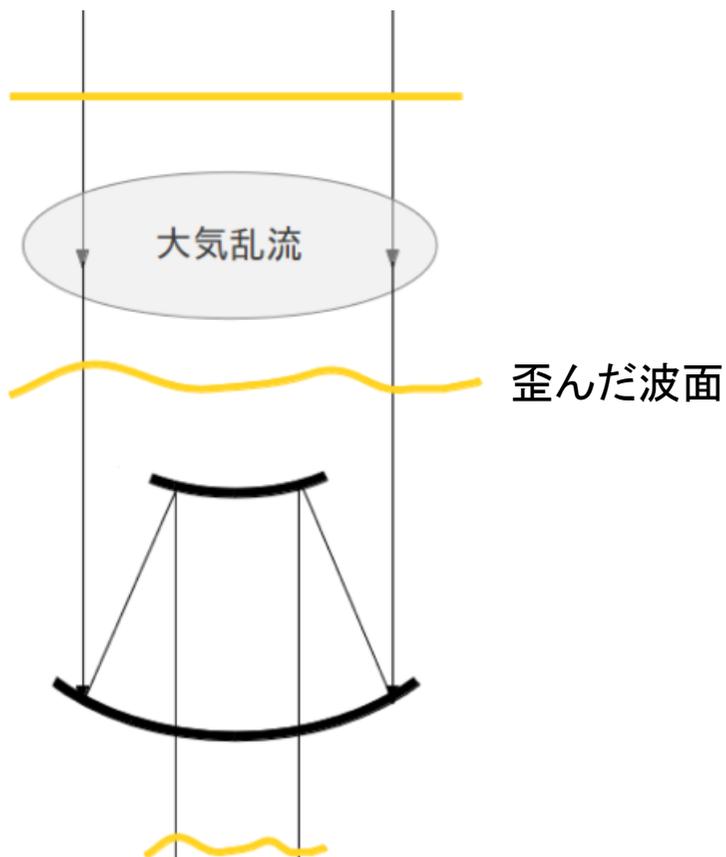
大気ゆらぎにより乱れた波面を
計測・補償するシステム

波面計測 → 計算 → 波面補償

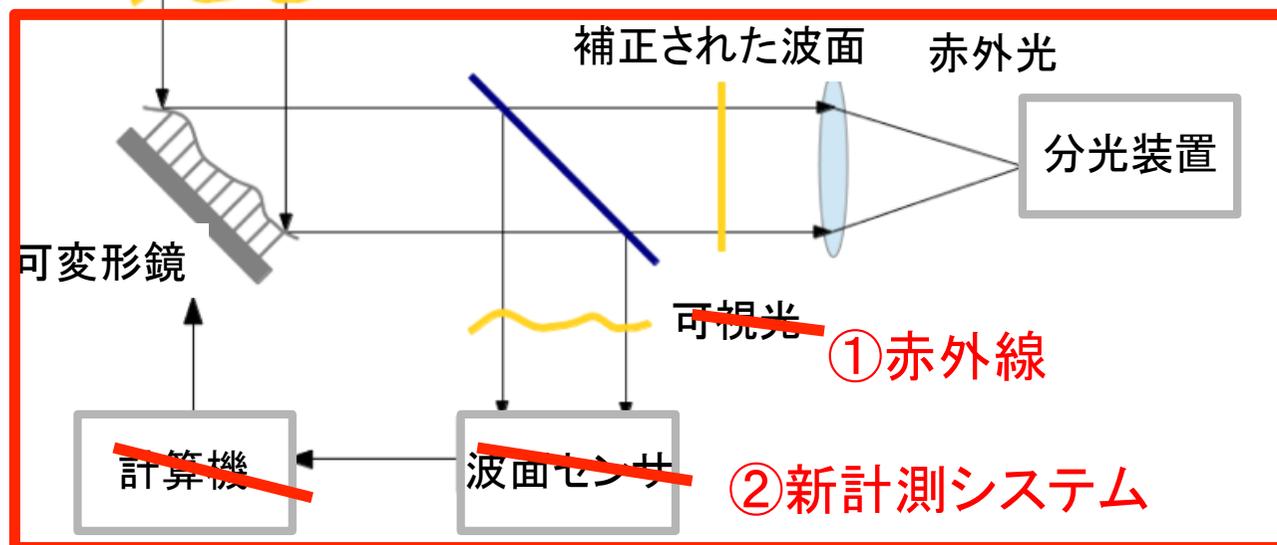


SEICA

3つの極限技術



	本研究	海外の研究
①計測波長	赤外光	可視光
②計測量	振幅・位相	位相
③計測時間	0.00005 秒	0.001 秒



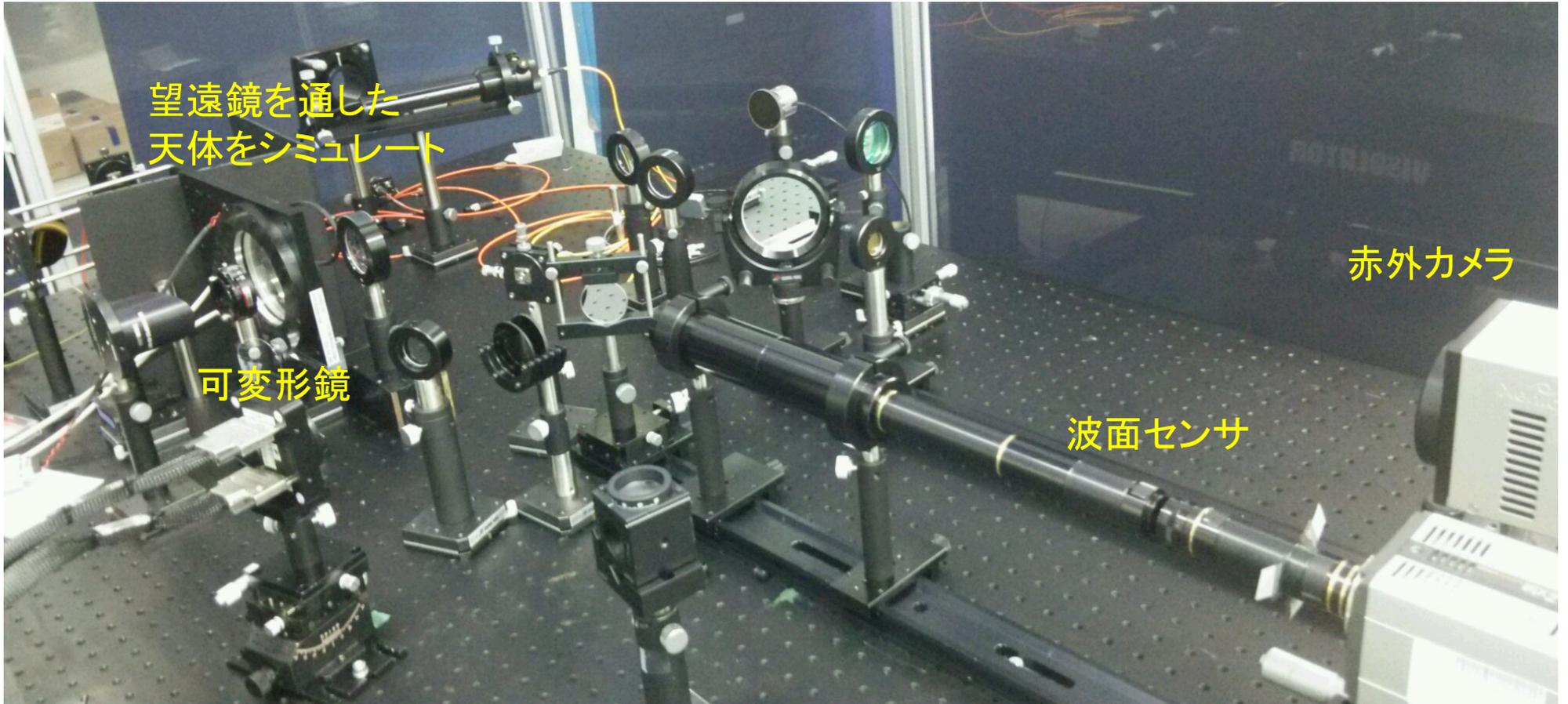
③高速計算機

波面センサ

- 波面計測用の天体微弱光の**高感度・超高速・低ノイズ**読み出し.
- (可視で暗い)赤外線天体へのサイエンスの拡張.
例: 銀河中心、M型矮星・褐色矮星、AGN

	Gemini/GPI	Subaru/SCEXAO	本研究
方式	CCD	MKID	HgCdTe APDアレイ
波長	0.6-0.8 μm	0.9-1.4 μm	1.0-2.5 μm
フォーマット	160 x 160	300 x 300	320 x 240
量子効率	85%	10-20%	90% (最高効率)
フレーム更新周波数	2kHz	2kHz	100kHz (最大)
リードアウトノイズ	1e-	<1e-	0.25e- (最低ノイズ)

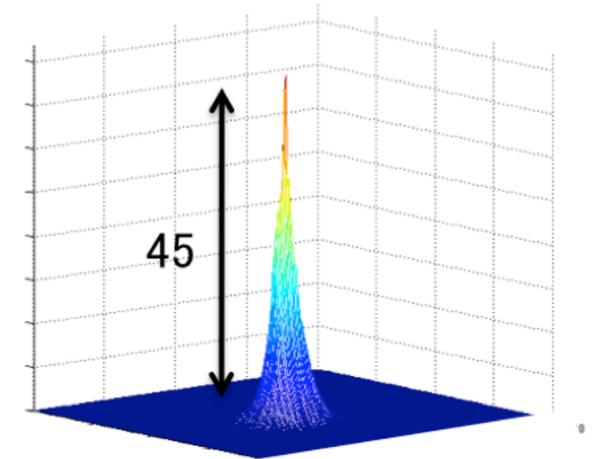
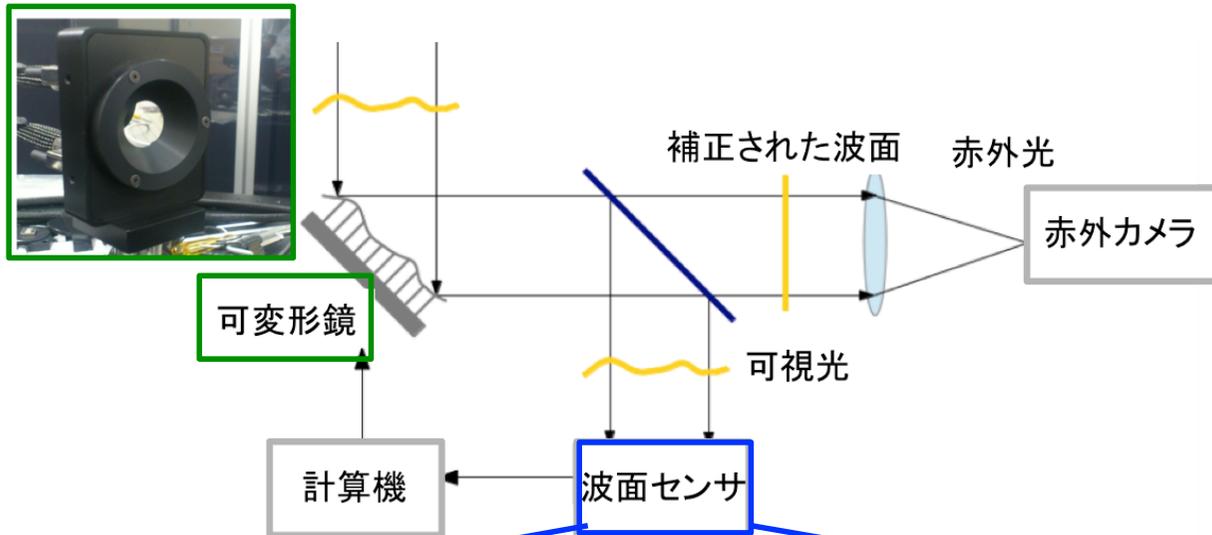
補償光学 予備実験



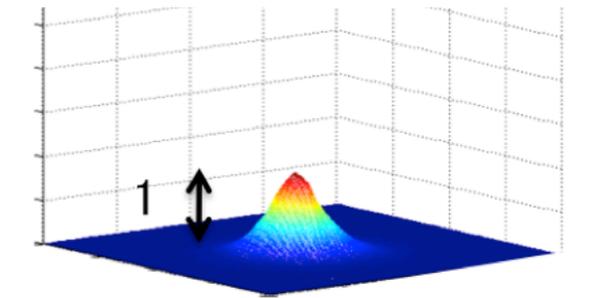
京大宇宙物理学教室
クリーンブース内の光学ベンチ

17/10

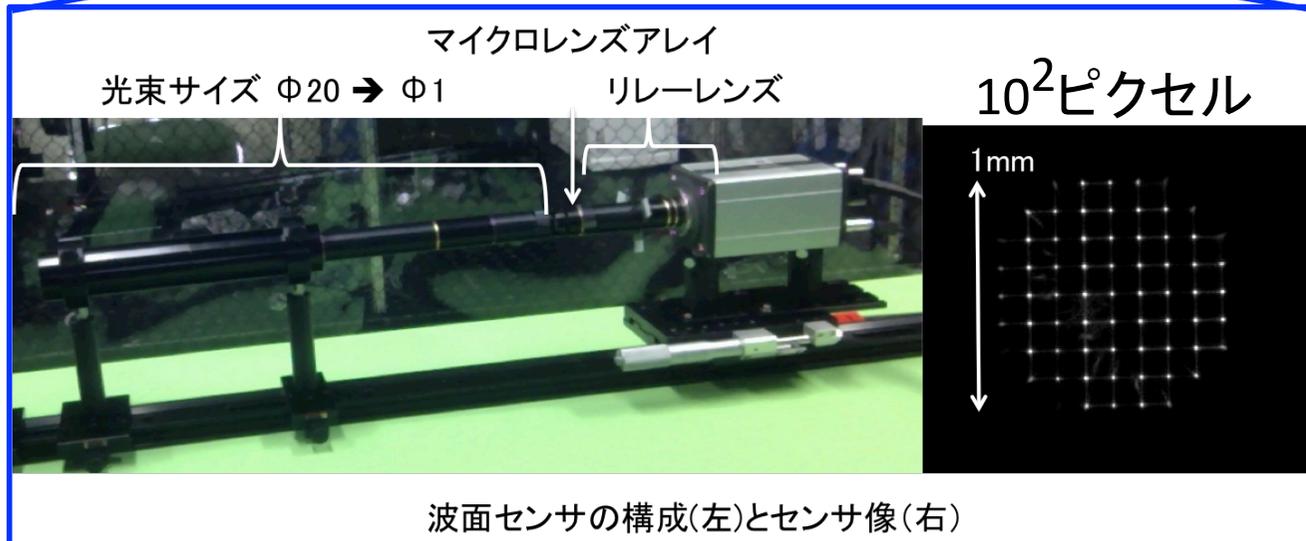
補償光学 予備実験



補償あり



補償なし



ファーストライト (2017~)

赤: ナスミス台
青: クーデ室

京大3.8m望遠鏡

極限補償光学

コロナグラフ

赤外線検出器

機能: 中程度の高コントラスト撮像
サイエンス:
原始惑星系円盤(武藤さん)
残骸円盤(栗田さん)

アップグレード (2018~)

赤: ナスミス台
青: クーデ室

京大3.8m望遠鏡

極限補償光学

コロナグラフ

波面計測

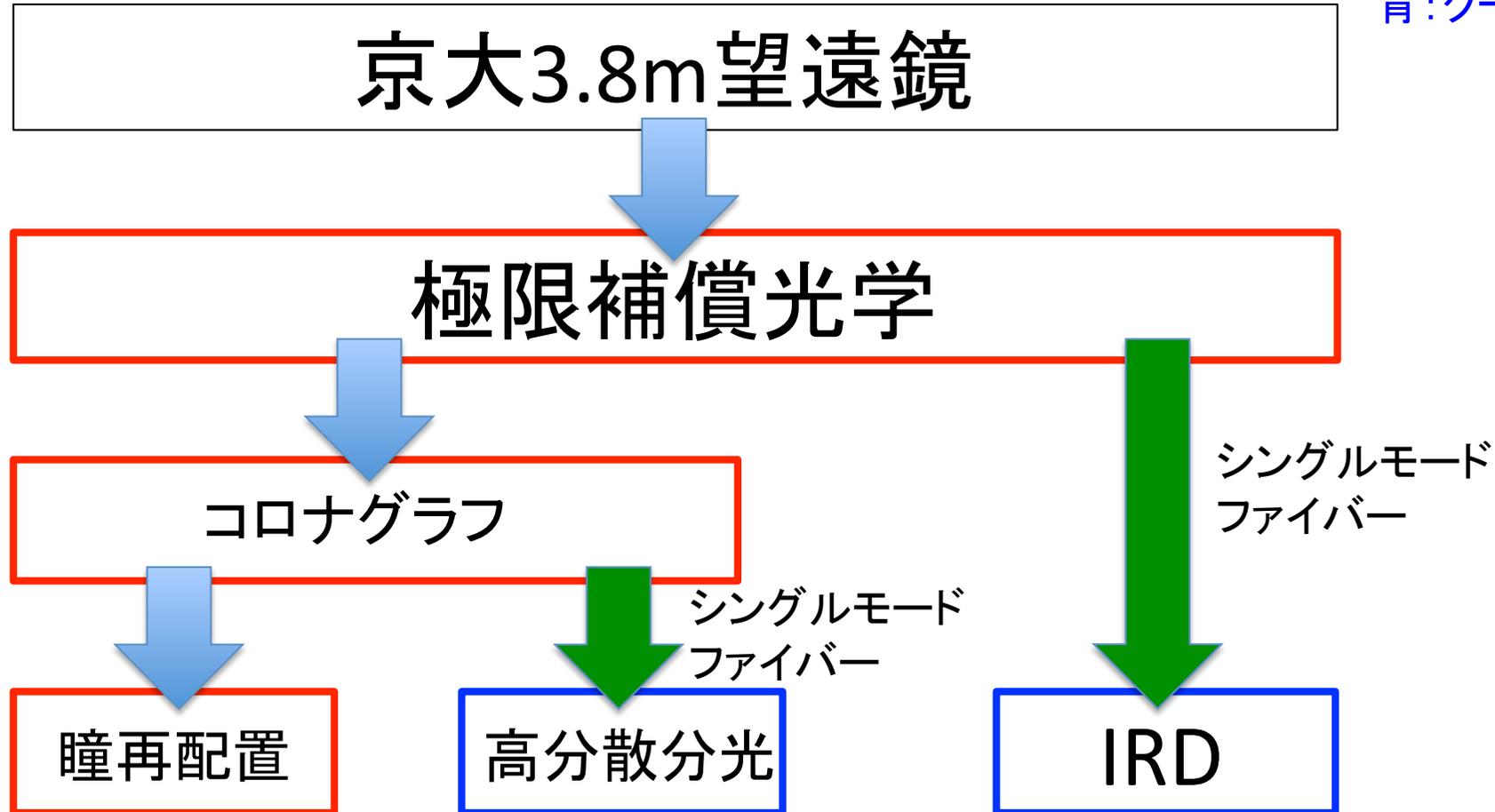
機能: 超高コントラスト撮像

サイエンス:

系外惑星の検出・特徴づけ(山本さん)

アップグレード2 (2018~)

赤: ナスミス台
青: クーデ室



京大3.8m望遠鏡

極限補償光学

コロナグラフ

瞳再配置

高分散分光

IRD

シングルモード
ファイバー

シングルモード
ファイバー

機能: 高コントラスト分光撮像

サイエンス:

系外惑星のキャラクタリゼーション(河原さん)

赤外線精密視線速度計測(小谷さん、大宮さん)

まとめ

- SEICAは、最先端の系外惑星・円盤探査・特徴づけが可能.
- 世界に類をみない極限補償光学装置.
系外惑星装置の基盤となる.
- 岡山に2010年代の最先端の系外惑星の研究拠点を! → 2020年代の系外惑星へ