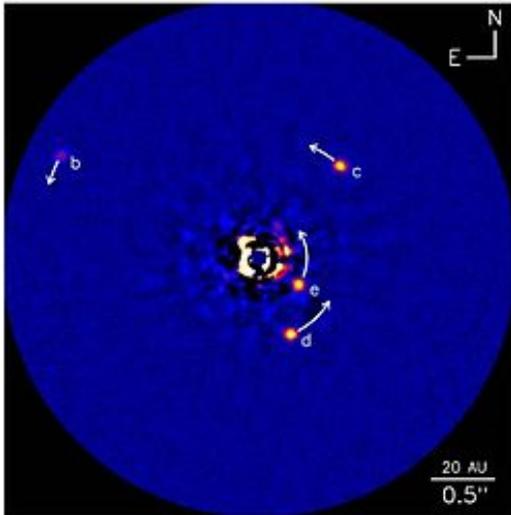


SEICA: **Second-generation** Exoplanet Imaging with Coronagraphic AO

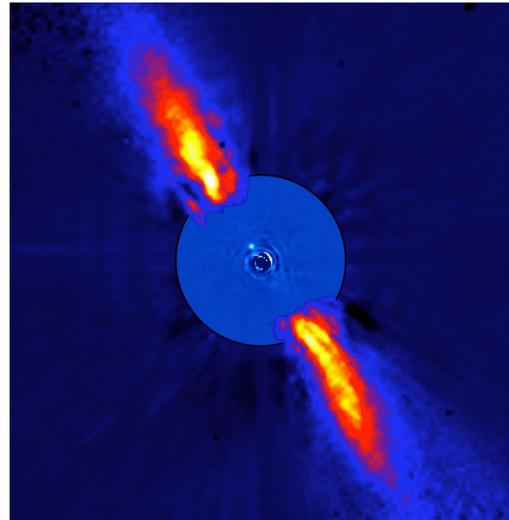
松尾太郎（京都大学）

Direct Imaging

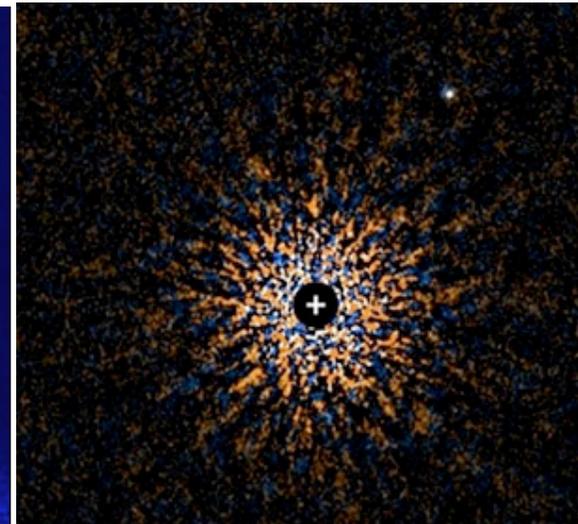
- Self-luminous planets around young systems
 - Only 10 planets (candidates) reported.
 - Contrast: $<10^5$ => self-luminous planets
 - Angular separation : $> 0''.5$



HR8799 (A-type)
(Marois et al. 2010)



B Pictoris (A-type)
(Lagrange et al. 2010)



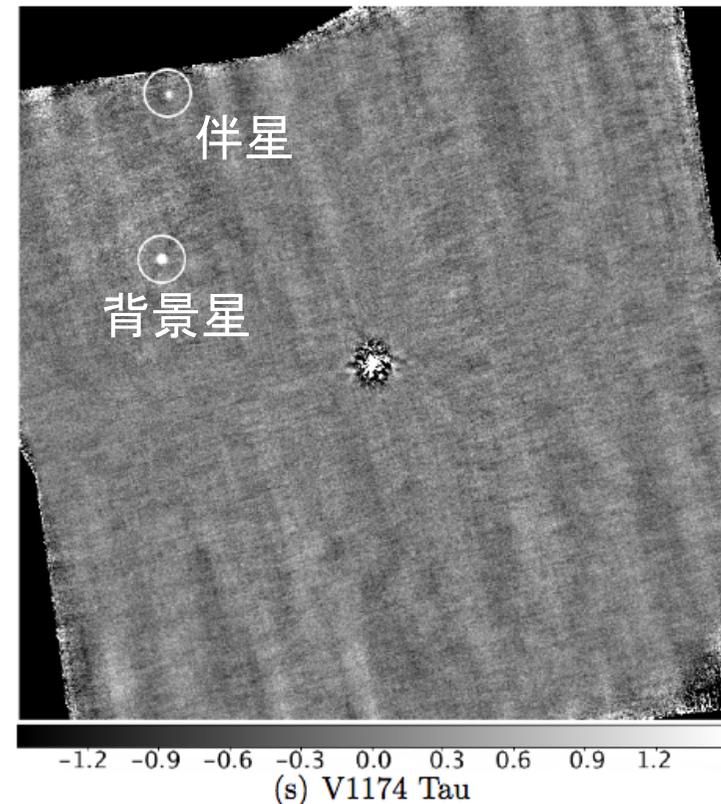
GJ504 (G-type)
(Kuzuhara et al. 2013)

SEEDSの統計的評価

Yamamoto, Matsuo, et al. 2013

Yamamoto, Matsuo, in Prep.

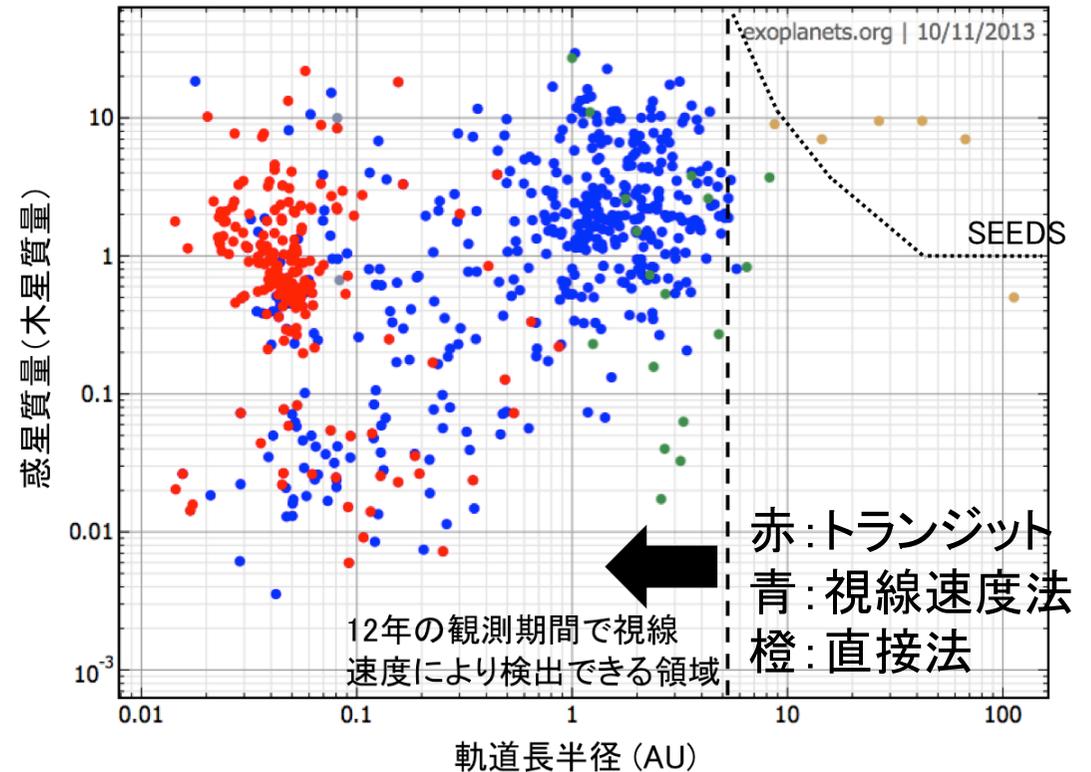
- 年齢の決定した散開星団、Moving Groupsの周りで~40天体の直接観測を実施
 - 0 検出 (SEEDS全体でも2個)
 - 50AU以遠にある6-13MJの惑星の検出確率は <3%
- 散開星団周りで最も低質量(17-20MJ)の褐色矮星の検出に成功。非常に遠方(~800AU)



現状

● 間接法と直接法は検出領域で相補的

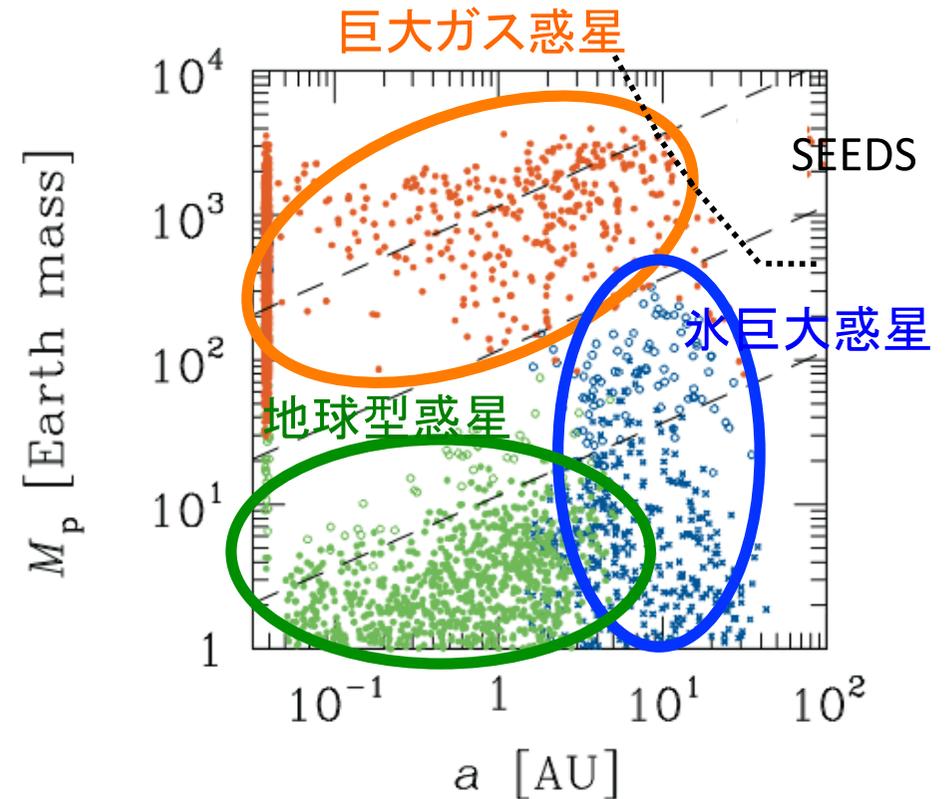
- 間接法 : 5AU以内
- 直接法 : >10AU以遠



間接法で発見された惑星の分布と
SEEDSの検出限界の比較

理論(コア集積)との比較

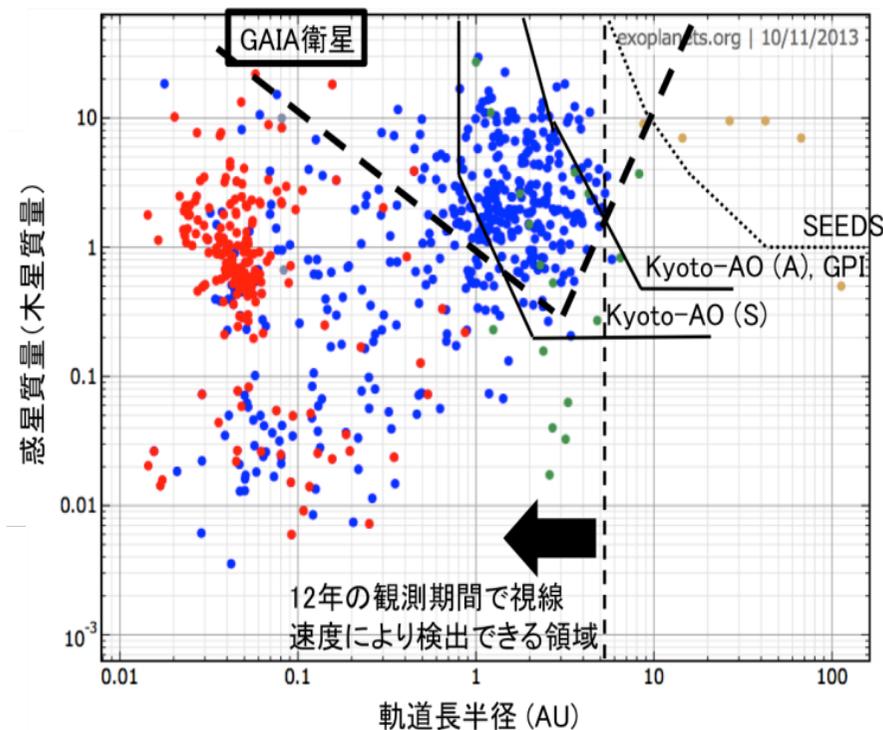
- コア集積では、10AU以遠の惑星形成は困難
 - 惑星成長 $t_1 < \text{円盤散逸 } t_2$
- 直接検出での惑星検出数が少ない原因。



惑星分布の理論的な予想
(Ida & Lin 2004)

将来

- GAIA衛星
 - 2013/12 打ち上げ成功
 - 高精度アストロメトリ
 - 若い恒星周りでのターゲット供給
- 第2世代惑星探査装置
 - Gemini/GPI, VLT/SPHERE, Subaru/SCEXAO, Palomar/P1640

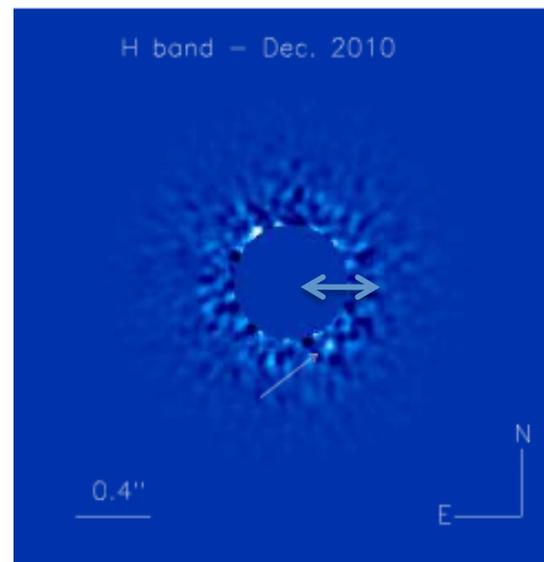


間接法で発見された惑星の分布と
将来装置の検出限界の比較

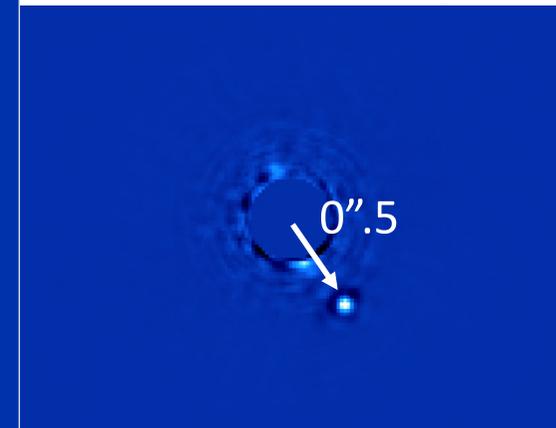
➔ 間接法と直接法の協力的な関係

第2世代の惑星探査装置

- β Pictorisの惑星撮像。
- Inner Working Angle (IWA)
 - 第1世代(VLT/NACO): $0''.4$
 - 第2世代 (GPI): $0''.2$



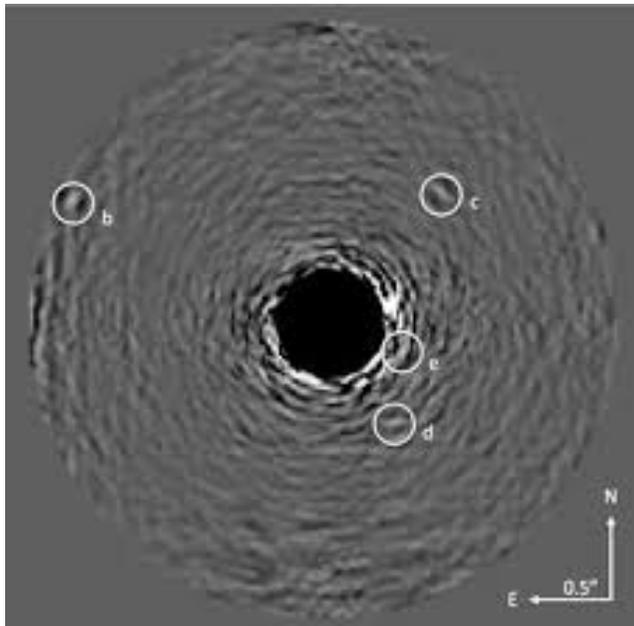
VLT/NACOの画像
Bocaletti et al. 2013



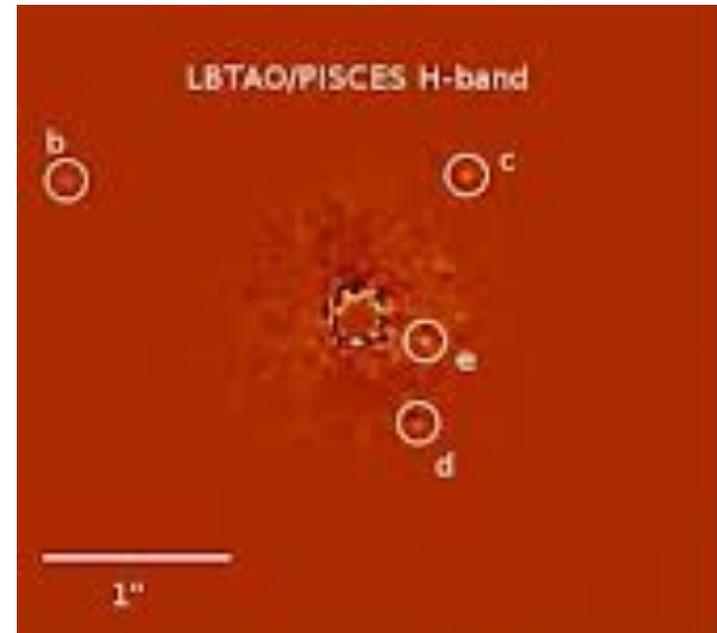
GPIのファーストライト画像
(<http://www.gemini.edu/node/12113>)

他の第2世代惑星探査装置

- 他の観測装置(VLT/SPHERE, Subaru/SCEXAO, Palomar/P1640)は予想性能を満たさない。
 - 可変形鏡の素子数が多いだけで極限の性能は達成できない。
 - 主星近傍で散乱光を落とすにはどうすればよいか？



Palomar/P1640のHバンド画像
(3000素子AO)



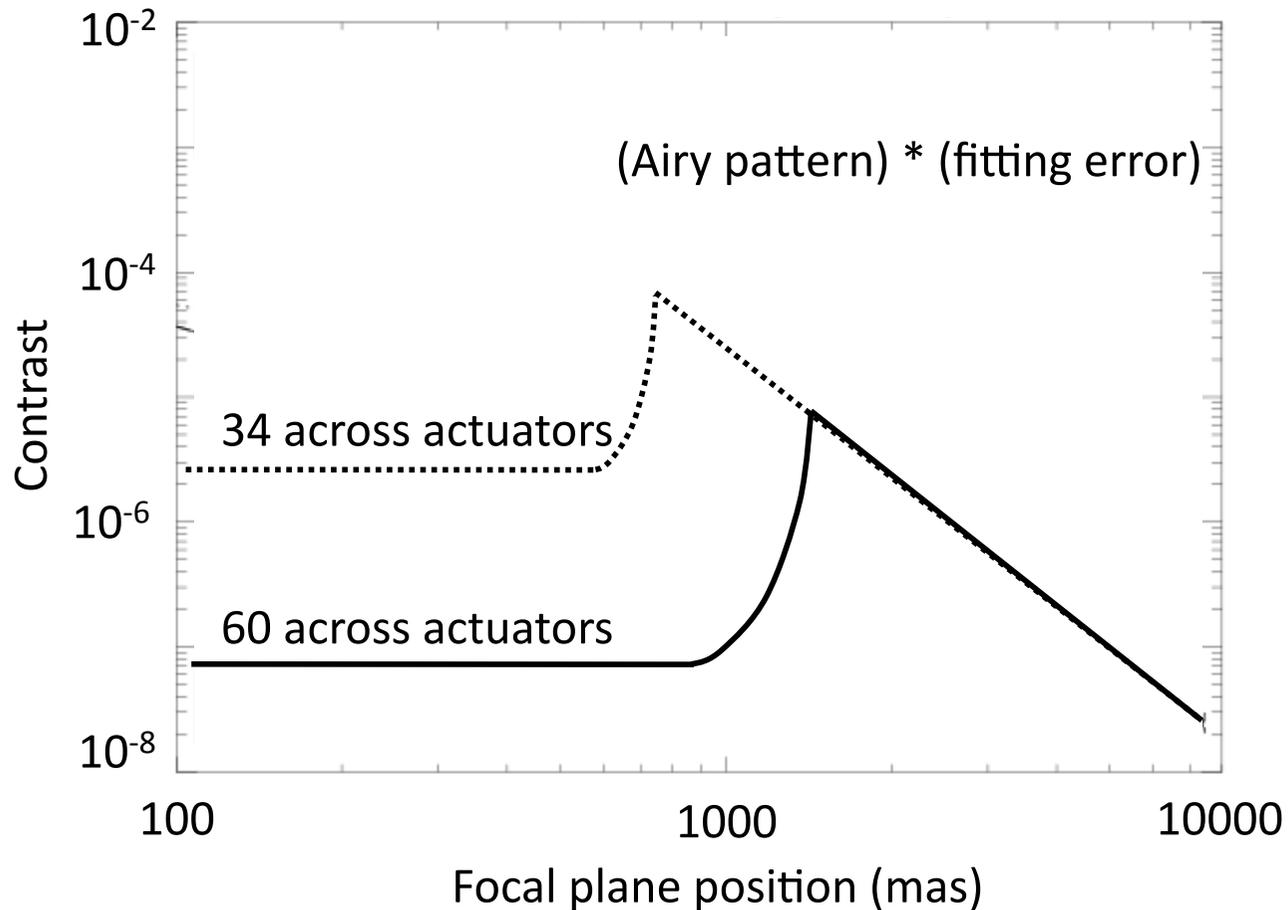
LBT/副鏡AOのHバンド画像
(600素子AO)

Skemer et al. 2012

Limitation factors at IWA

(e.g., Guyon 2005; Fusco et al. 2006)

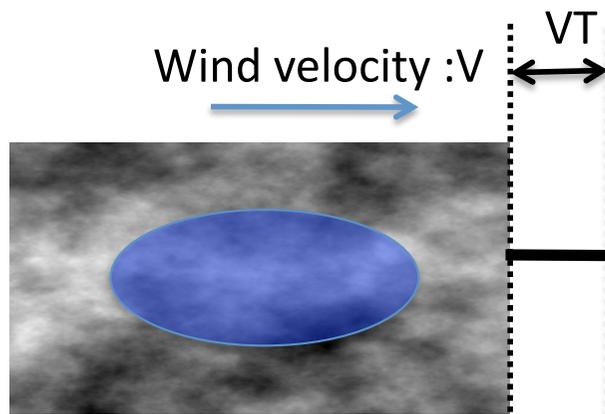
$$C = C_{\text{fitting}} + C_{\text{temp}} + C_{\text{noise}} + C_{\text{chrom}} + \dots$$



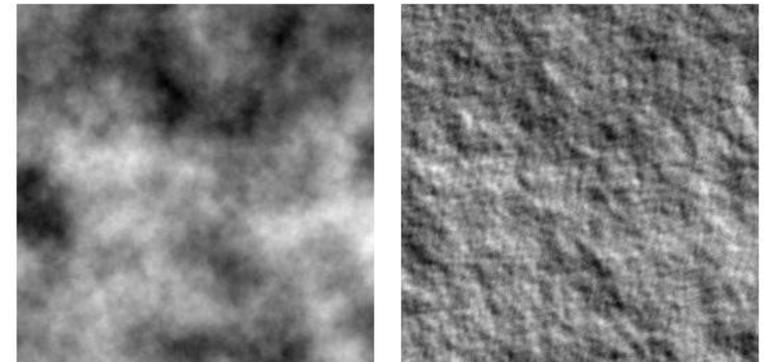
Temporal error

$$C = C_{fitting} + C_{temp} + C_{noise} + C_{chrom} + \dots$$

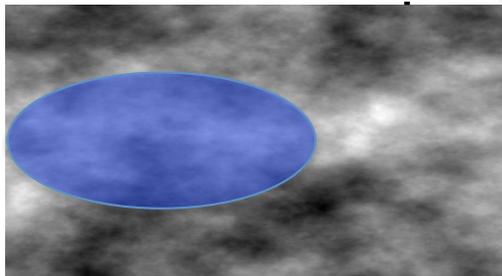
Phase when WF sensing



Residual Wavefront (WF)



Phase when WF correction

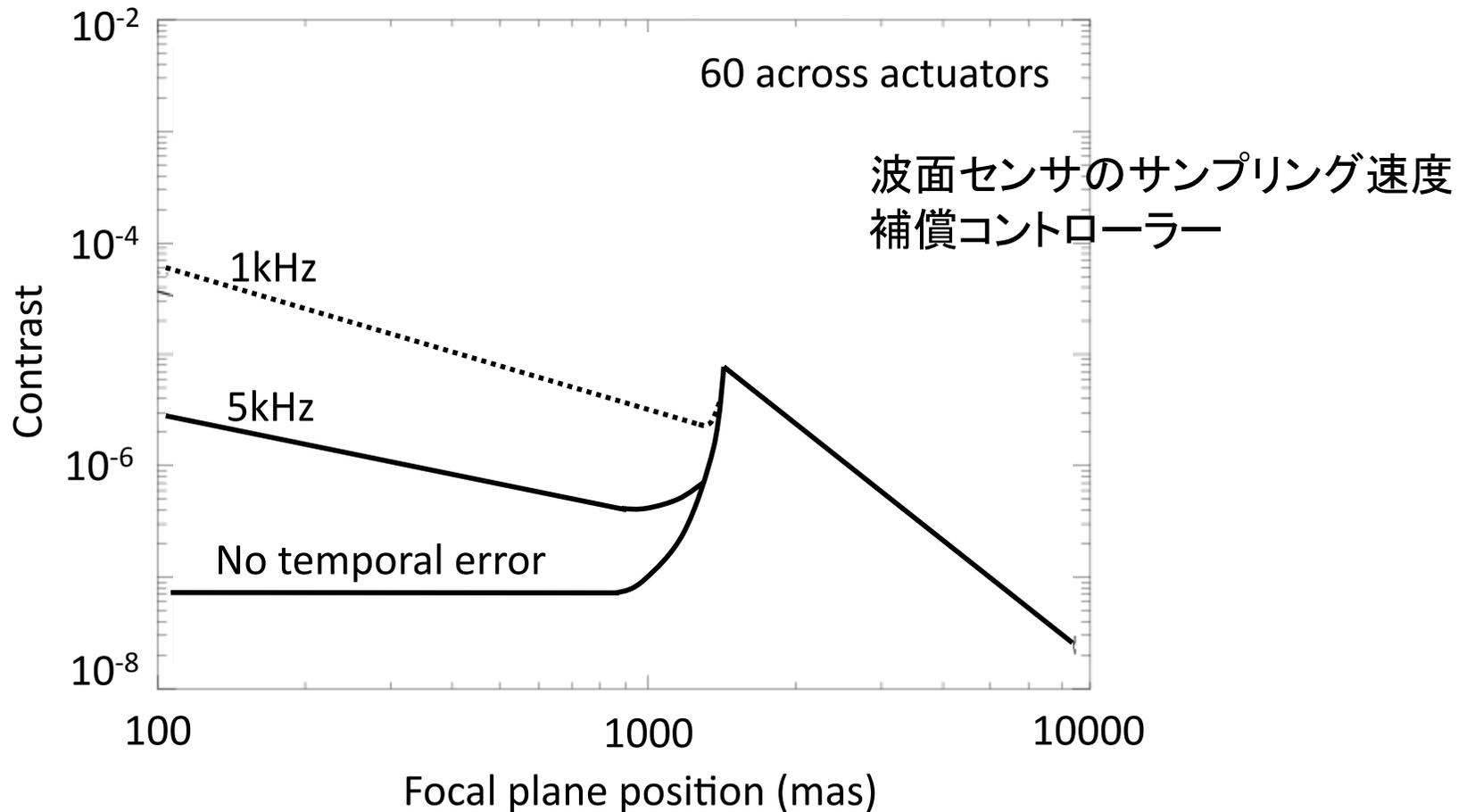


T: Time difference between sensing and correction
V: wind velocity

Limitation factors at IWA

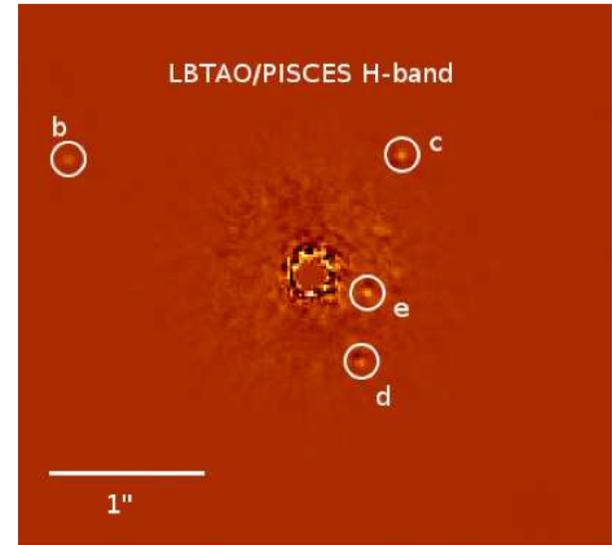
(e.g., Guyon 2005; Fusco et al. 2006)

$$C = C_{fitting} + C_{temp} + C_{noise} + C_{chrom} + \dots$$



Wavefront Sensors

- Type of sensor:
 - Slope sensor : SHWFS, Modulation-pyramid
 - Phase sensor : Non-modulation Pyramid, Zernike ...

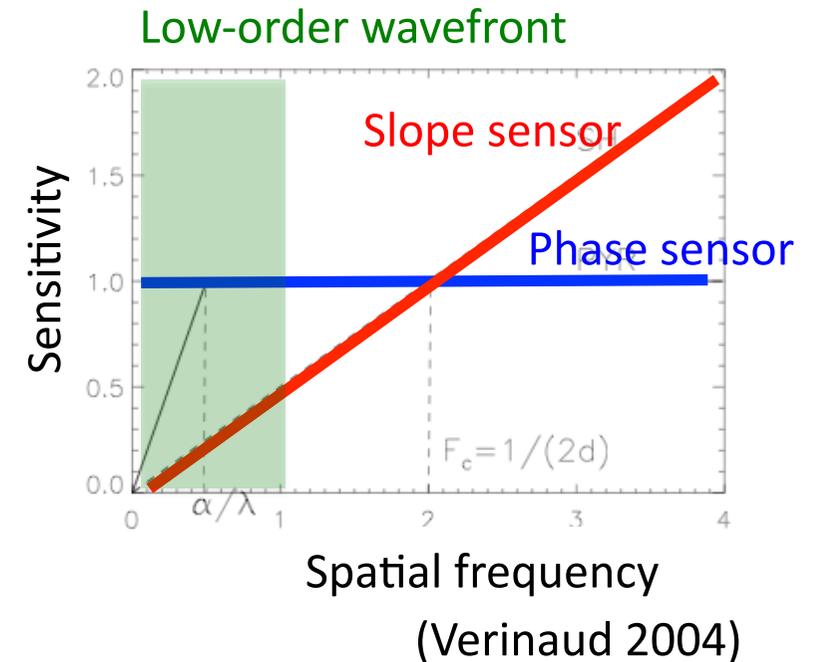


LBT ExAO of HR8799
(Skemer et al. 2012)

Project	Sensor Type	Sampling rate
Palomar/3000	SHWFS	2kHz
LBT/PISCES	Pyramid with 2-6 λ /D modulation. <ul style="list-style-type: none">- Slope sensor (<2-6 λ/D)- Phase sensor (>2-6 λ/D)	1kHz
Gemini/GPI	SHWFS	2.5kHz
VLT/ SPHERE	SHWFS	1.2kHz
Subaru/SCEXAO	Non-modulated Pyramid	1.7 kHz

Slope sensor vs. Phase sensor

- Slope sensor
Low sensitivity to low-order wavefront error
→ large IWA
- Phase sensor
- Small IWA but low dynamic range
→ NEED another sensor

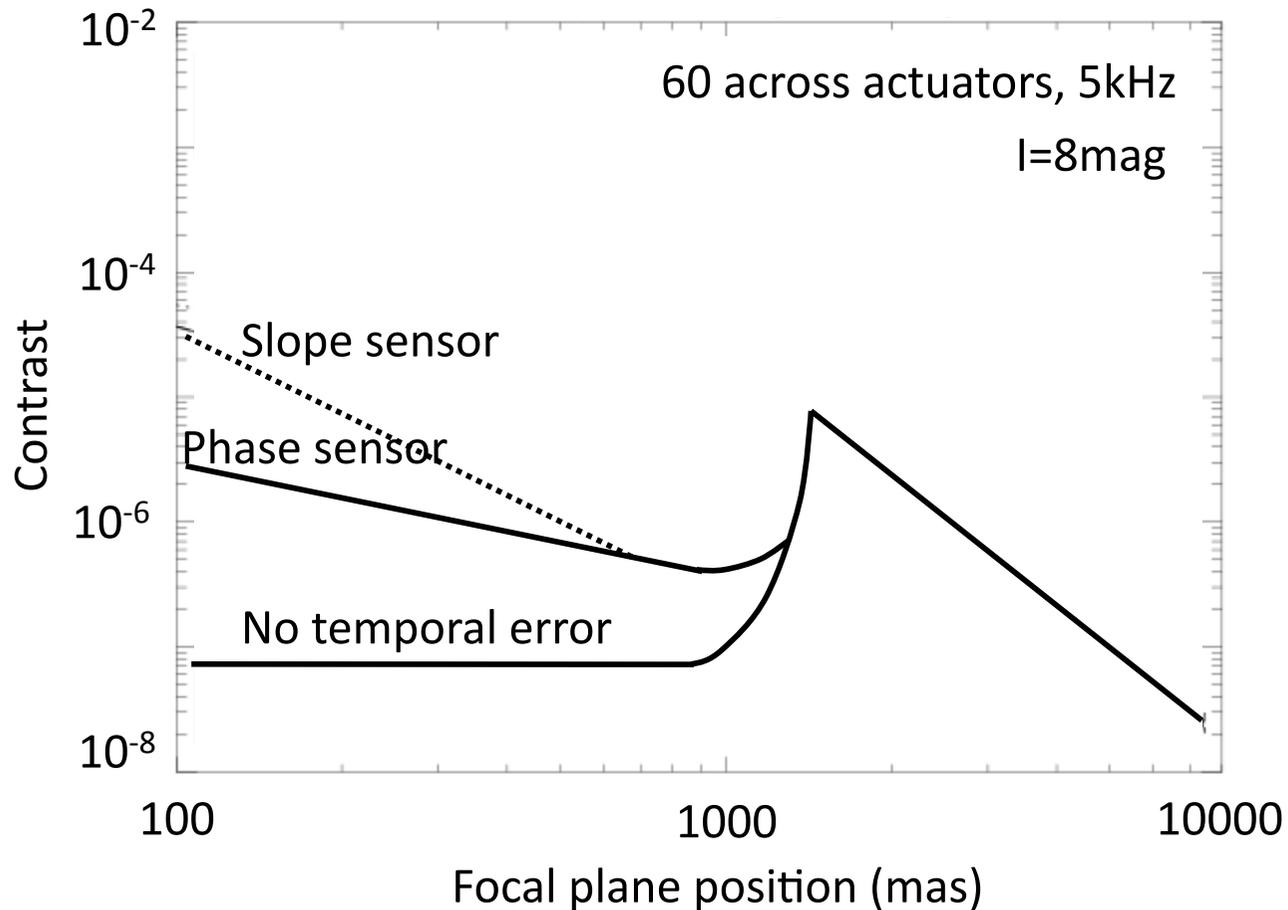


	種類	Dynamic range	Sensitivity to Low order Wavefront	Robust
Slope sensor	SHWFS, Mod-pyramid	$\gg \lambda$	×	○
Phase sensor	Non-mod-pyramid (Ragazzoni+1999)	$\sim 1\lambda$	○	△

Limitation factors at IWA

(e.g., Guyon 2005; Fusco et al. 2006)

$$C = C_{fitting} + C_{temp} + C_{noise} + C_{chrom} + \dots$$



Kyoto High Contrast Imager

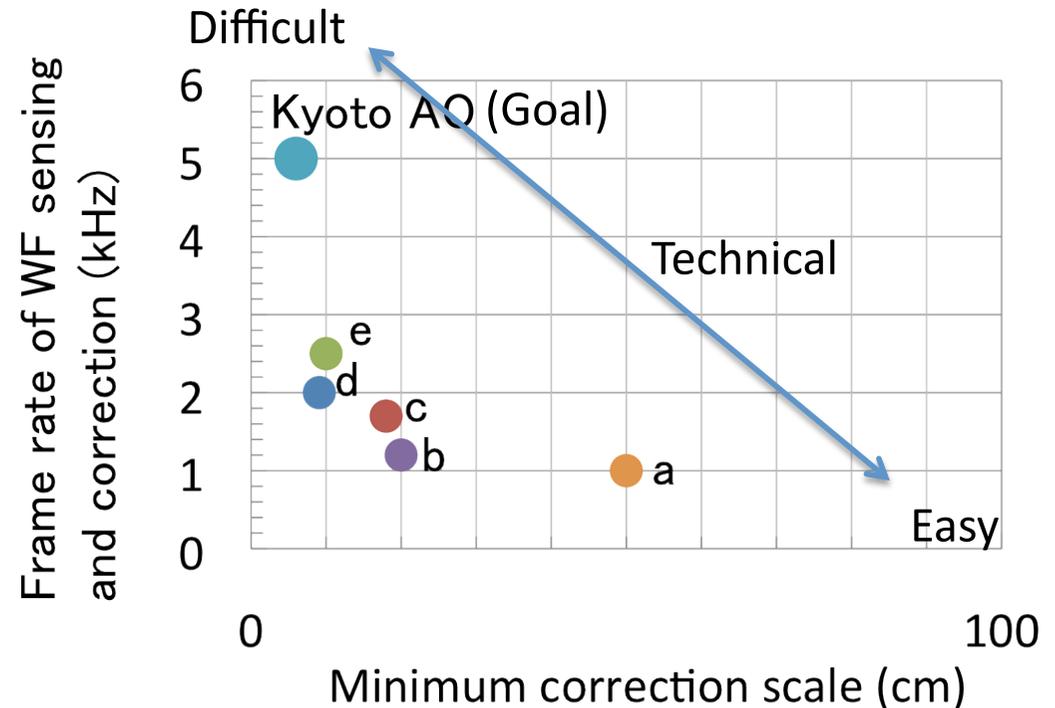
First gen. AO (e.g., AO188)

- frame rate: 1kHz
- min. correction scale: 50 cm

Kyoto AO

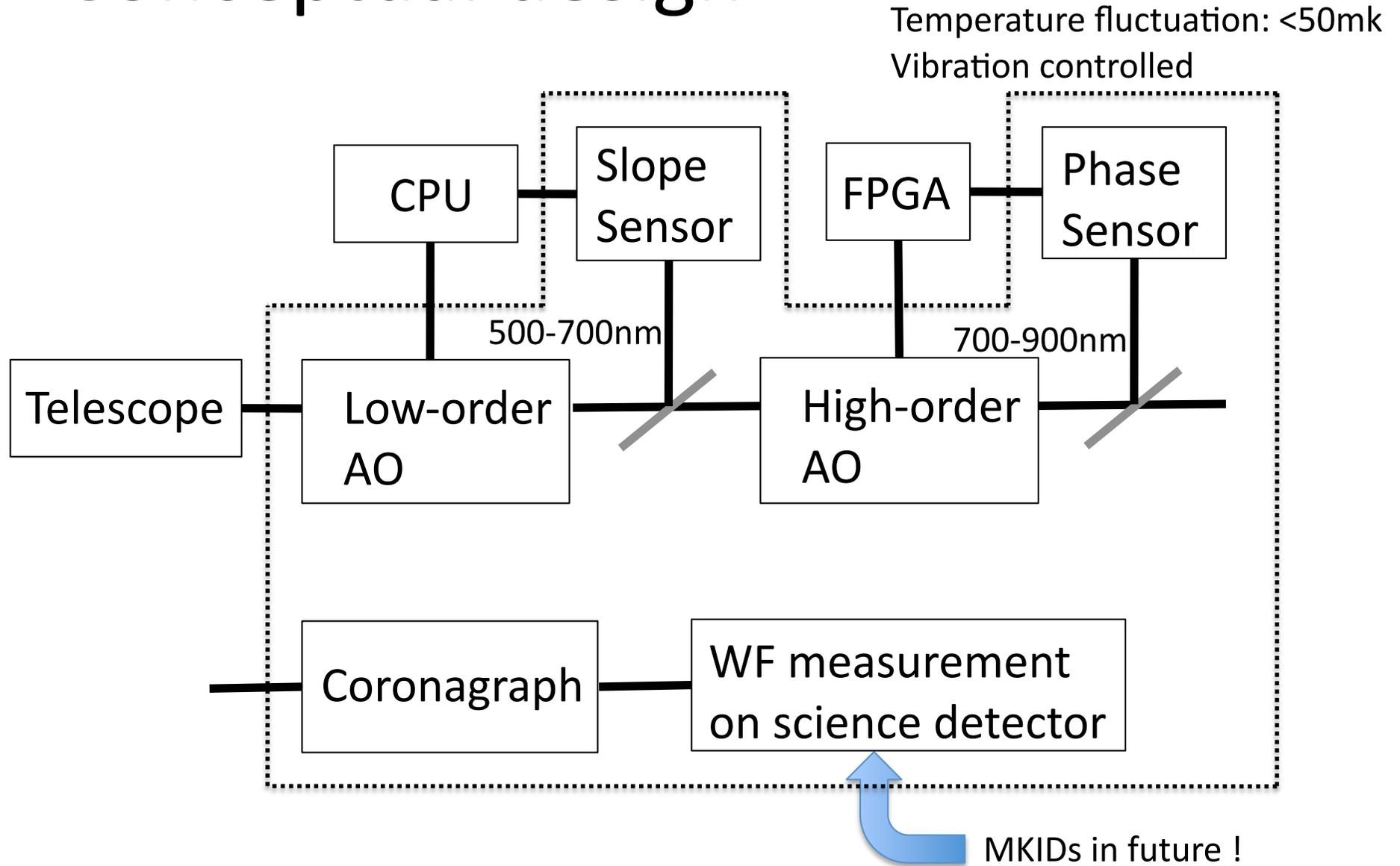
- frame rate: 5kHz
- min. correction scale: 5 cm

➔ Contrast: 10^6 at $1.5\lambda/D$
(for GPI: 10^7 at $3\lambda/D$)



- a: Subaru/AO188 (NAOJ), b: VLT/SPHERE(ESO)
c: Subaru/SCEXAO (Arizona Univ.)
d: Palomar/PALM-3000 (Caltech)
e: Gemini/GPI (Stanford Univ.)

Conceptual design



プロジェクト進行

2013年9月時点

	環境(恒温槽・除振)	焦点面センサ	瞳センサ	コロチクラフ	高次 AO波面補償	高次 AO波面センサ	低次 AO波面補償	低次 AO波面センサ
調査・仕様	■				■			
概念設計		■				■		
要素検証			■					
仕様検証				■			■	■
PDR	■	■	■	■	■	■	■	■
詳細設計								
実機製作								

プロジェクト進行

2013年1月

	低次 AO 波面 センサ	低次 AO 波面 補償	高次 AO 波面 センサ	高次 AO 波面 補償	コロナグラフ	瞳 センサ	焦点面 センサ	環境 (恒温槽・除振)
調査・仕様								
概念設計								
要素検証								
仕様検証								
PDR								
詳細設計								
実機製作								