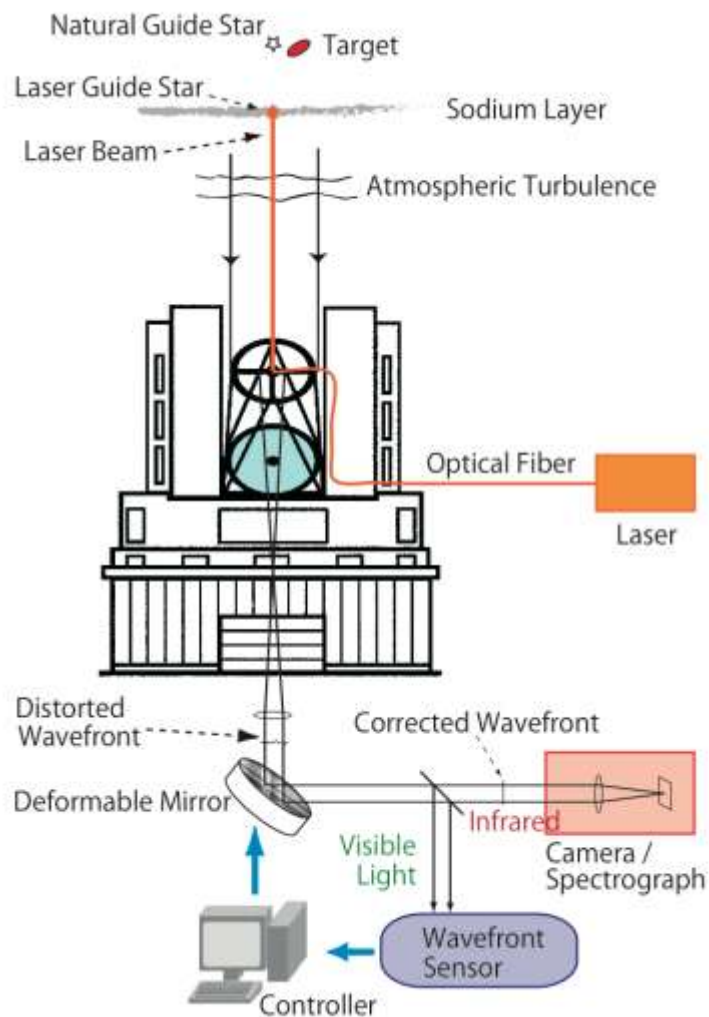


AO188の進捗と初期成果

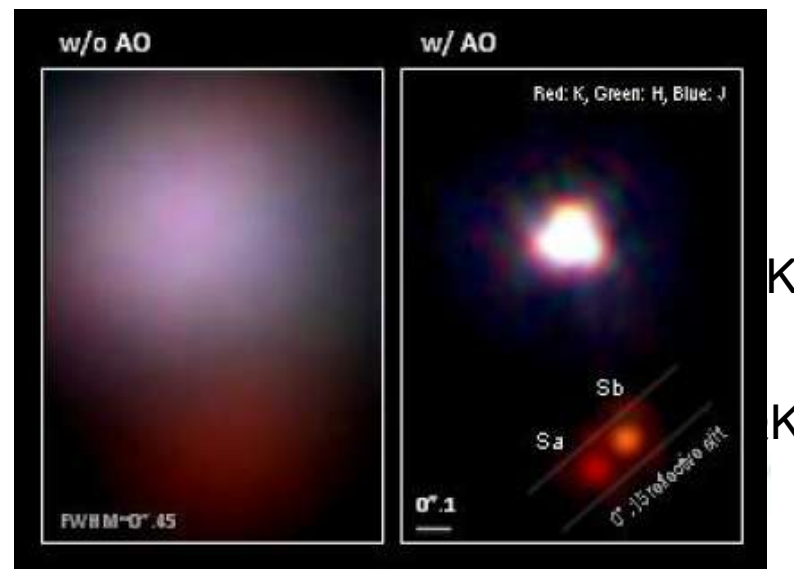
美濃和陽典(国立天文台ハワイ観測所)
+ すばるAO188開発チーム

補償光学(AO)



- 大気揺らぎにより乱れた光波面を補正し、望遠鏡の回折限界に迫る空間解像度を実現する装置

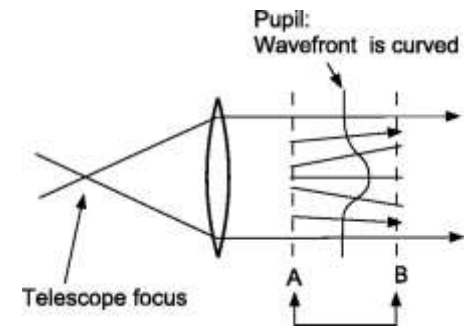
シーイング (FWHM~0".45) AO補正後 (FWHM~0".06)



IRCS+AO188によるT tauの画像

すばる望遠鏡における補償光学

- AO36, AO188の2つのAOシステムを開発、運用
 - AO36 (2001-2008) カセグレン焦点に搭載
 - AO188 (2008-) ナスミス焦点に搭載
- すばるAOの方式
 - 1つの「波面センサー」+「可変形鏡」の組み合わせを用いた”クラシカル”なAOシステム
 - 波面測定には波面曲率センサーを使用
 - 瞳前後のイルミネーションの差分から波面の曲率を推定
 - AO188は同種のシステムでは世界最大の素子分割数
 - 現行のシステムでは他にVLT/SINFONIで使われているMACAO(60素子)がある
 - 明るいガイド星の付近($\sim 1 \text{ arcmin}^2$)で高い波面補正性能を実現



AO188の特徴(1)

レーザーガイド星モード

589nmのレーザーを上空に打ち上げ、
高層大気中のNa原子を励起させ、
人工のガイド星を作る

→ **観測できる天域が大幅に増加**



条件	ストレーリング比	ガイド星 V等級	離角	全天に占める割合 (ESO messenger Dec. 1999より引用)
NGS (best)	~70%	8	<30"	<0.1%
NGS (moderate)	~40%	12	<30"	1 %
NGS (worst)	~10%	16	>30"	~ 30%
LGS (best)	~45%	14	<60"	~30%
LGS (moderate)	~30%	16	<60"	~50%
LGS (worst)	~10%	19	<60"	~100%

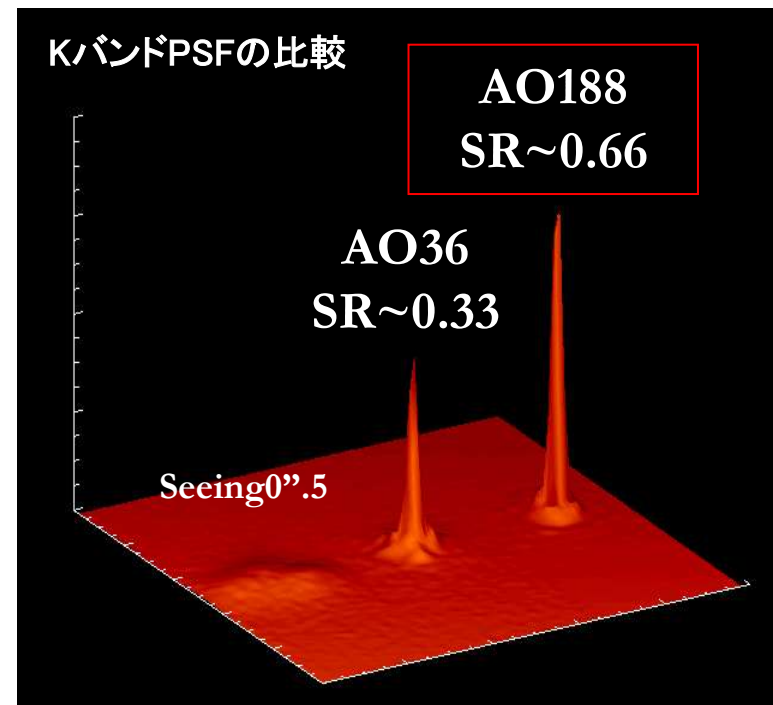
AO188の特徴(2)

波面分割素子数の増加(188素子)

- 補償光学では、望遠鏡の開口を分割し、サブ開口間の位相差をキャンセルするように可変形鏡を変形する。
→ 分割数が細かいほど性能が良い

AO36では、すばるの開口($D=8.2\text{m}$)を、Jバンドで大気揺らぎによる位相差が十分小さく($<1\text{rad}$)なるサイズ(フリード長: $r_0=1.2\text{m}@K$)に分割していたのに対し、AO188では、Jバンドのフリード長($r_0=60\text{cm}@J$)で分割。

→ 高ストレール、短波長でも有意な改善



AO188を用いた観測装置

- IRCS (InfRared Camera and Spectrograph)
 - 波長域: 0.9~5.5 μm
 - 観測モード: 撮像(20"x20", 50"x50"), グリズム分光(R~100-1000), エシエル分光(R~5000-10000)
 - 共同利用装置として運用
- HiCIAO (High Contrast Instrument for the Subaru next generation Adaptive Optics)
 - 波長域: 1~2.5 μm (非冷却)
 - 観測モード: 撮像(10"x10"), 差分撮像(5"x10"), 偏光撮像(5"x5")
 - PI型観測装置として運用(主にSEEDSプロジェクトで使用)
- その他計画中のPI装置
 - Kyoto-3DII(可視面分光装置)、SCExAO(高コントラスト撮像)

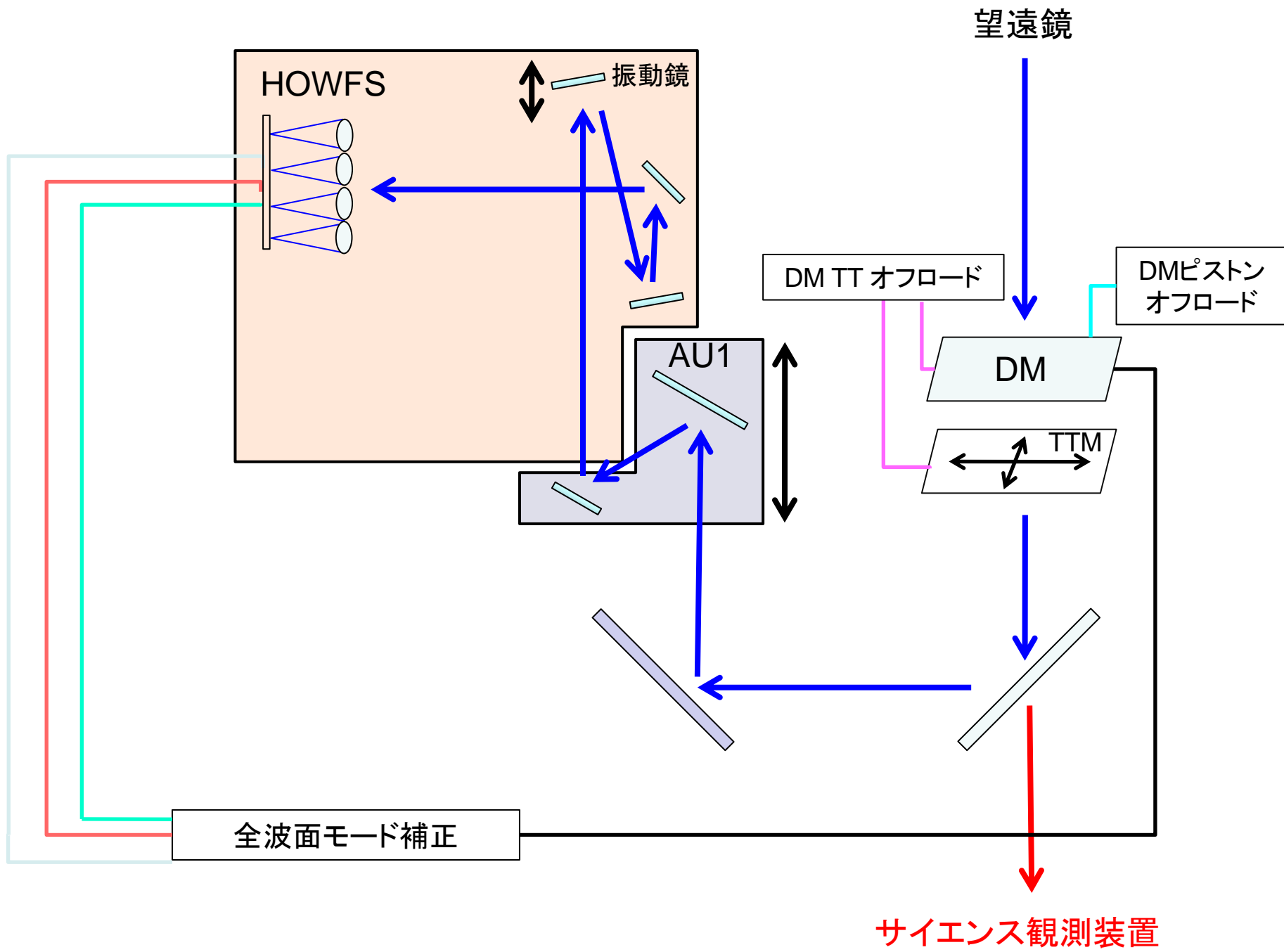
AO188: NGSモード

- 観測条件:

- 観測天体の周辺 (30”以内) に可視光で明るいガイド星 (R<16等) が必要 (観測ターゲット自身もガイド星として使用可)

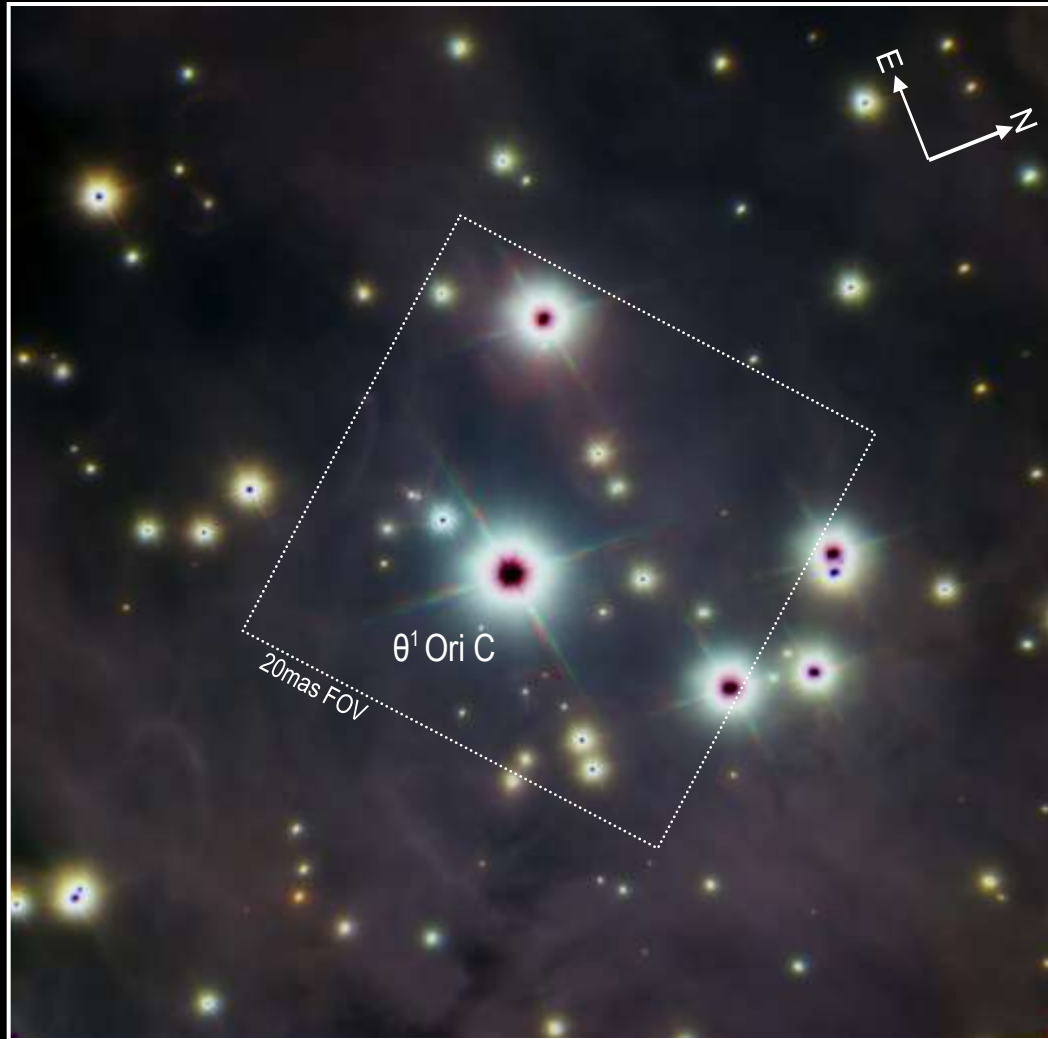
- 現状:

- S08Bより共同利用を開始
- 主要な開発は終了し、安定的に運用
- これまでに9本のサイエンス論文が出版 (3: IRCS, 6: HiCIAO)
 - 系外惑星に関する論文がメイン
HiCIAOで高コントラスト撮像、IRCS熱赤外線(Bra)撮像等



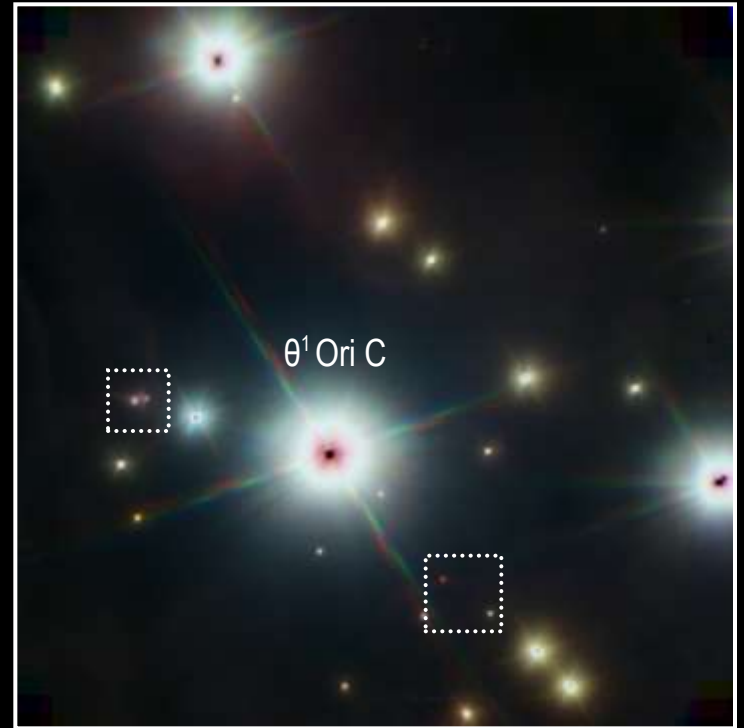
NGS AO188+IRCS

Orion trapezium



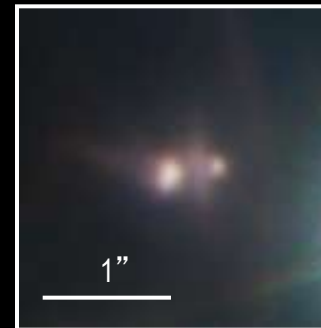
IRCS 52mas Camera
Red: K', Green: H, Blue: J

53" x 53"



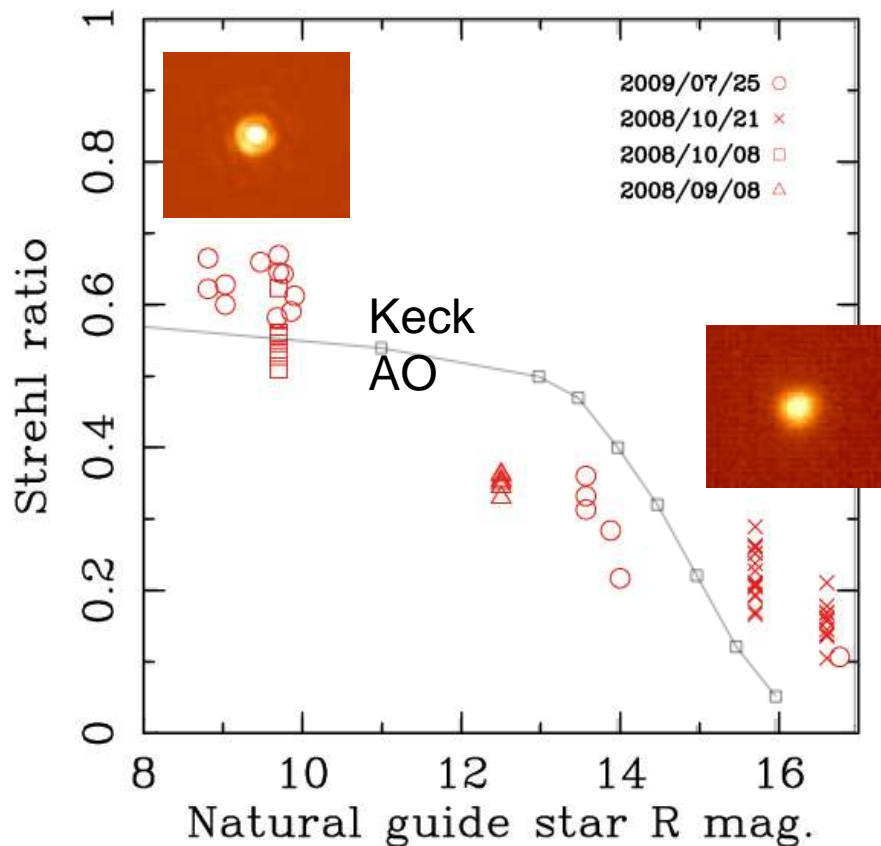
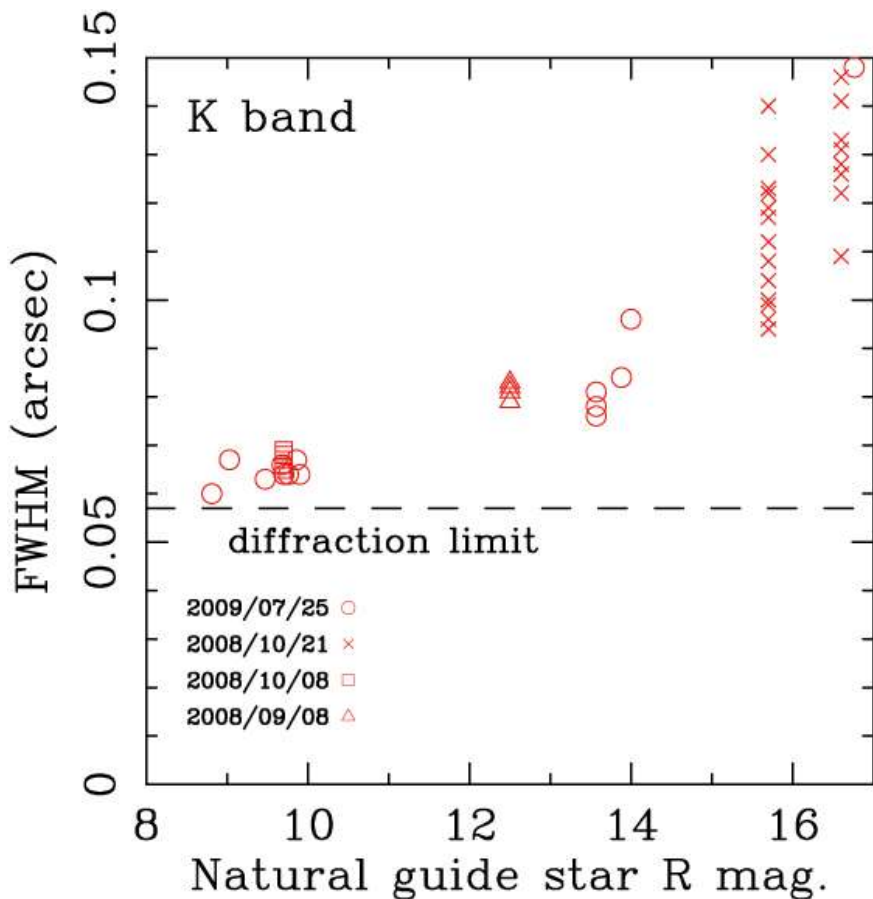
IRCS 20mas Camera

Red: K', Green: H, Blue: J



AO188の性能(NGSモード)

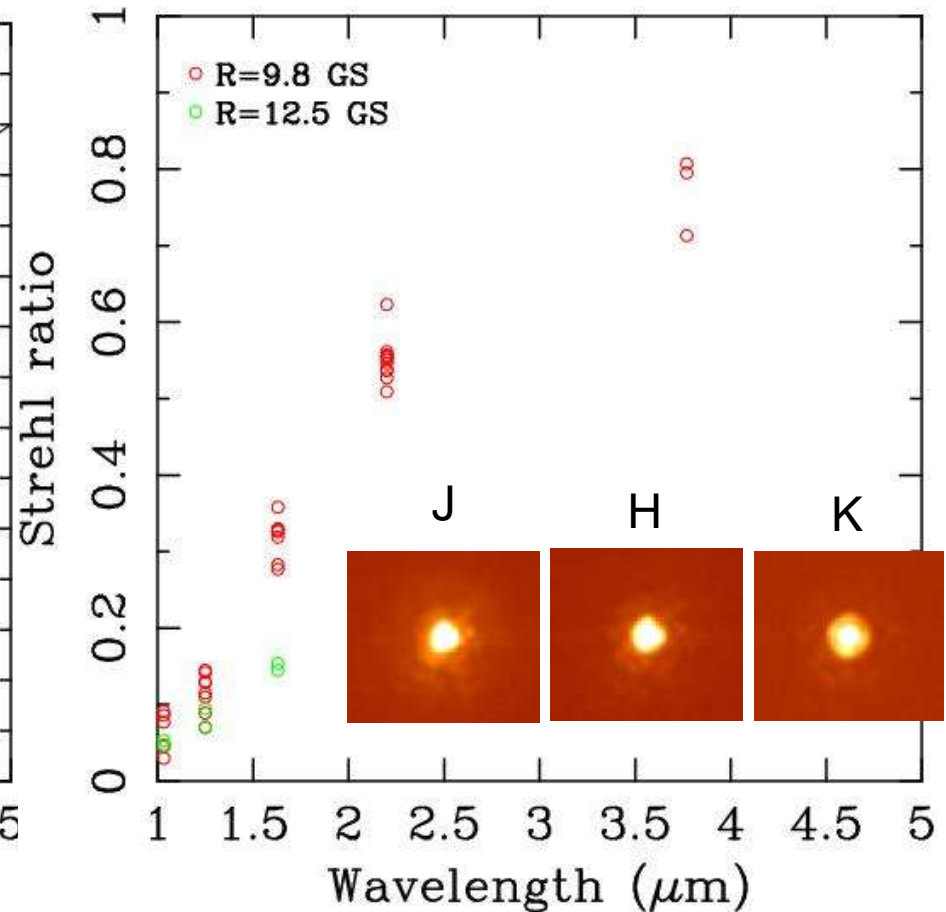
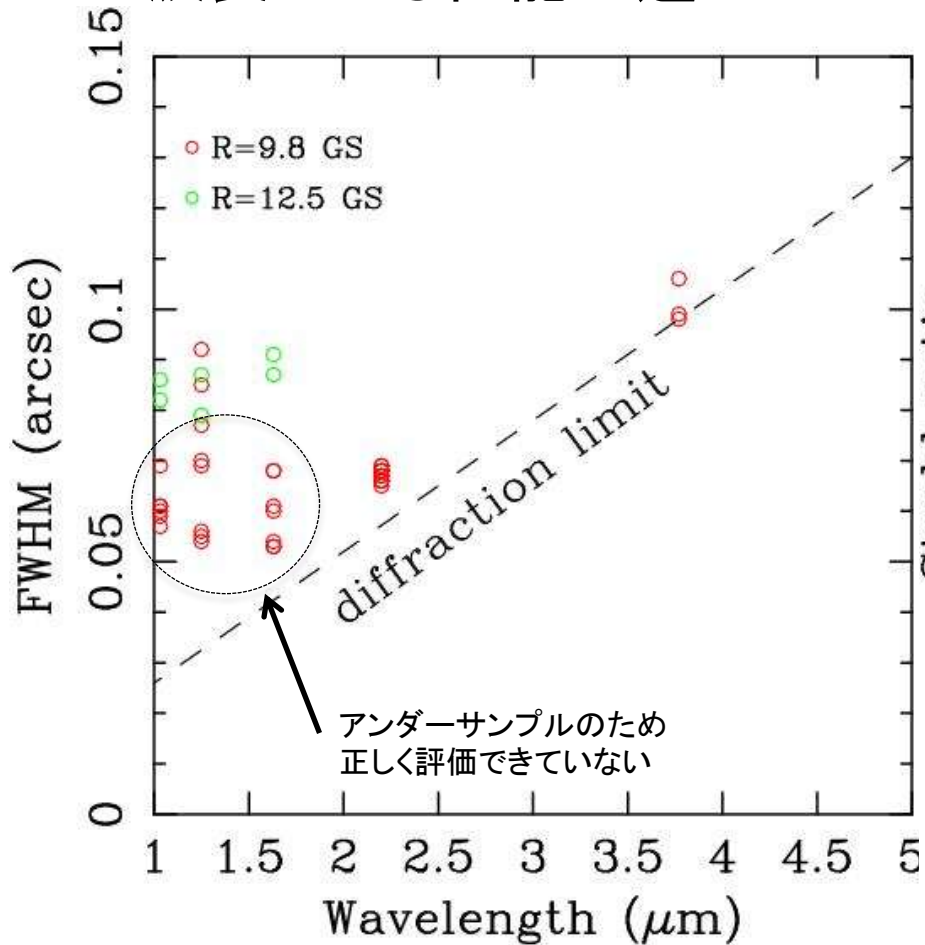
- ガイド星の明るさによる性能の違い



ハッブル望遠鏡WFC3 (FWHM ~ 0".18) に比べて高い空間分解能
8m級望遠鏡で運用されているAOと比べて高い性能

AO188の性能(NGSモード)

- 波長による性能の違い

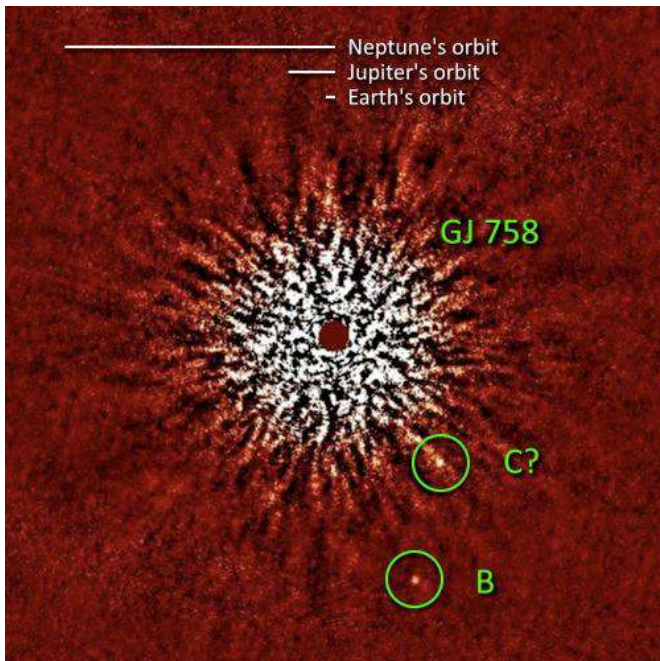


短い波長でも有意な改善、L,Mバンドではほぼ回折限界

NGSモードの成果

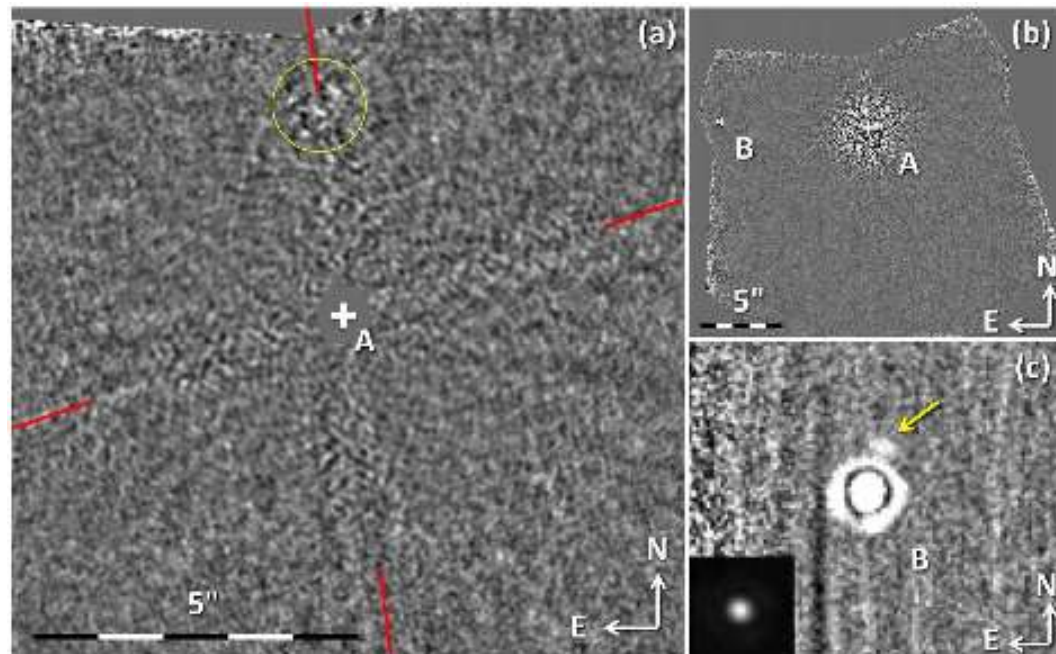
• AO188による系外惑星探査

太陽型星の惑星候補の発見
AO188+HiCIAO (ADIモード)



Thalmann et al. 2009, 2011

Bra(4 μ m)での高コントラスト撮像
AO188+IRCS (ADIモード)
Sirius周辺の惑星探査(未検出)



Dynamic range $\sim 1e^{-5.5}$ at $r=1''$
< $10M_{\text{jupiter}}$ の惑星の探査が可能

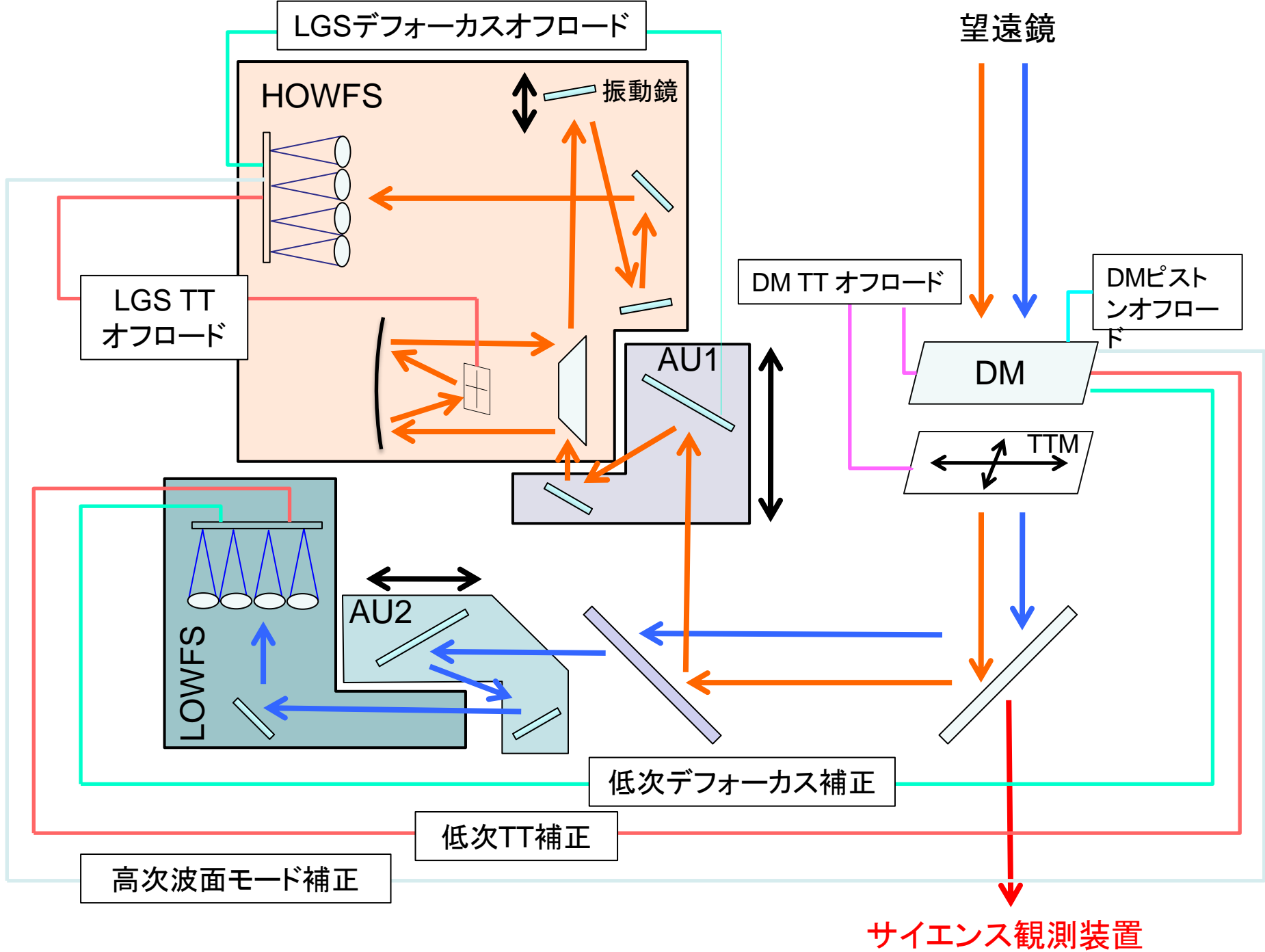
AO188: LGSモード

観測条件

- 任意の方向にR~12等のレーザーガイド星を生成
- レーザーガイド星では測ることができないTip/Tilt成分を測る
自然ガイド星 (R<19等) がターゲット周辺 (80"以内) に必要

現状

- S11Aより共同利用を開始 (S11Bまではリスク付き運用)
- 主要な開発は終了し、システム安定化に向けて調整中
 - S11A期の試験観測により性能、オーバーヘッドが大幅に向上
→ NGSモードに比べて遜色の無い運用を実現
- 主に系外銀河観測での需要が増加
 - 重力レンズQSOの観測でサイエンス論文 (Rusu et al. 2011)



LGS AO188+IRCS

星形成領域 (S106)



CISCO Mosaiced image
Red: K', Green: H, Blue: J

4' x 4'



IRCS 52mas Camera
Red: K', Green: H, Blue: J

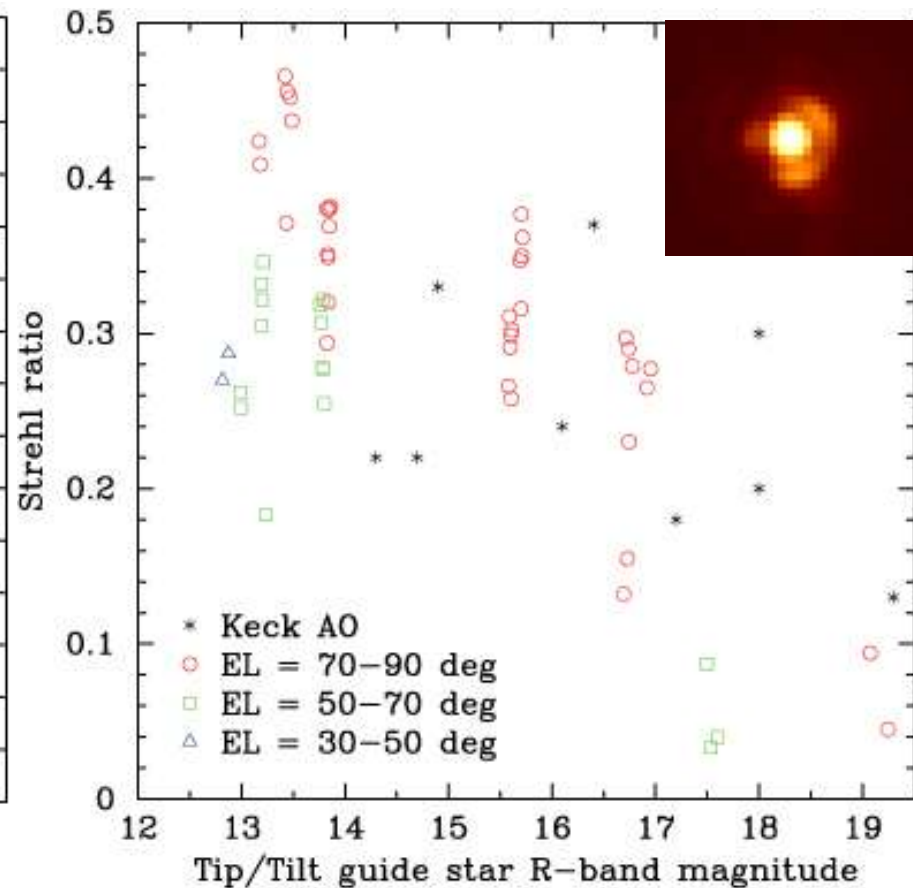
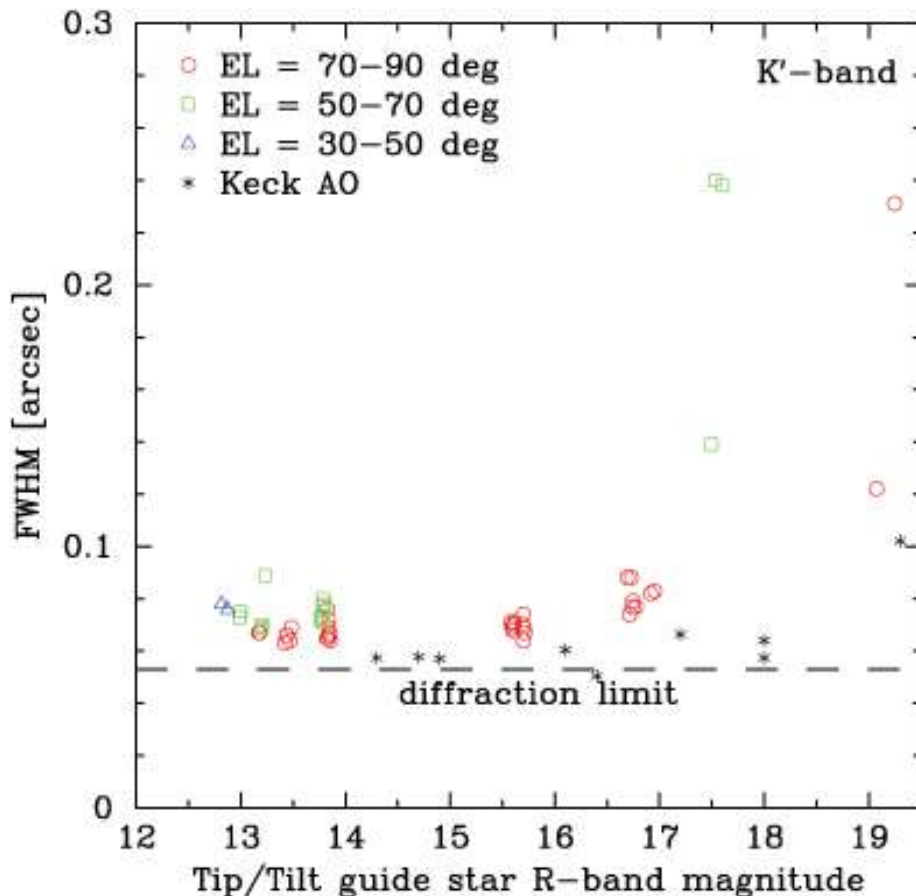
55" x 55"

H. Terada on behalf of AO188+IRCS group

AO188の性能(LGSモード)

- Tip/Tiltガイド星の明るさによる性能の違い

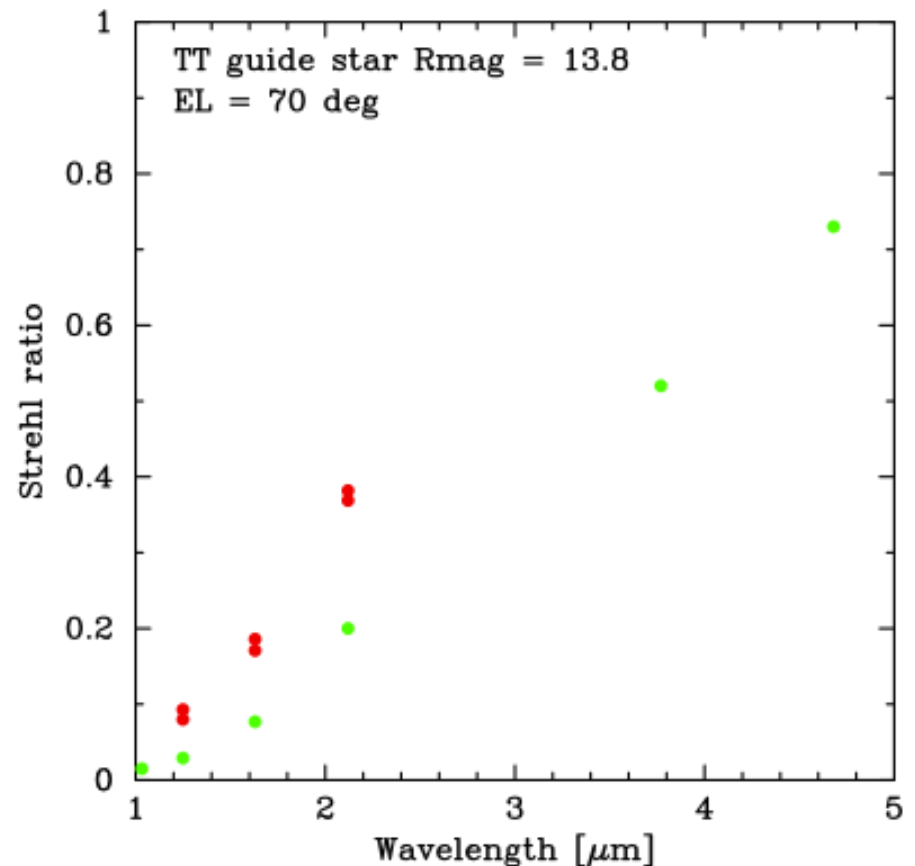
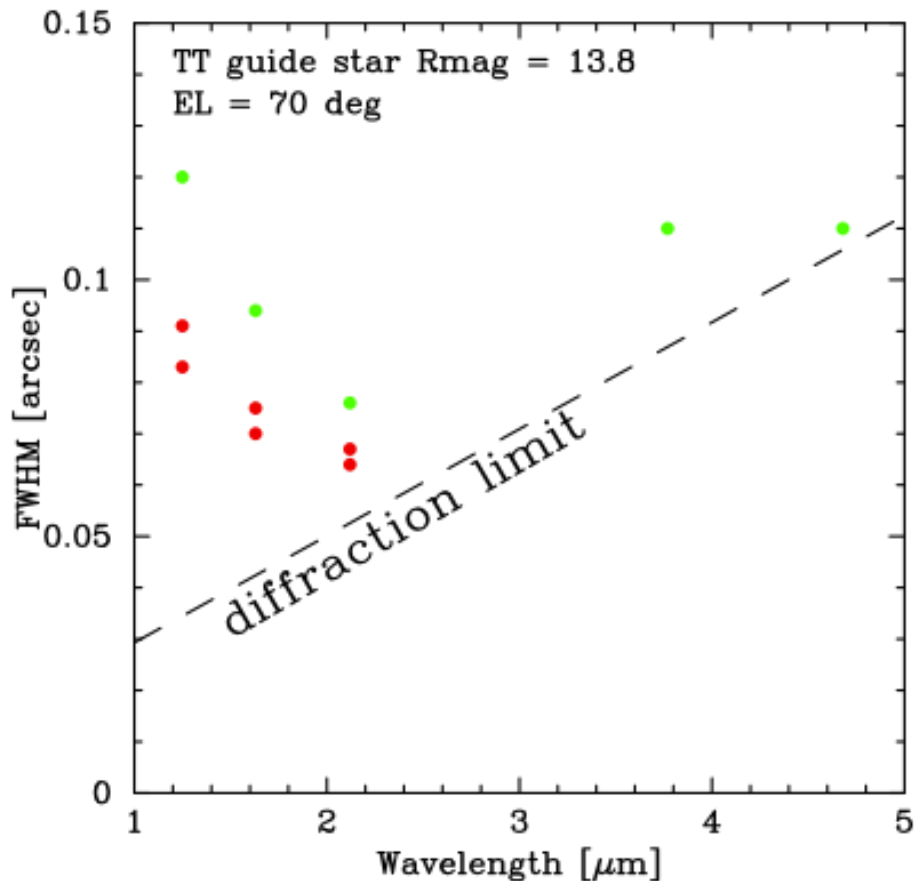
SR~0.45 PSF



Keck AOと同程度の性能を実現

AO188の性能(LGSモード)

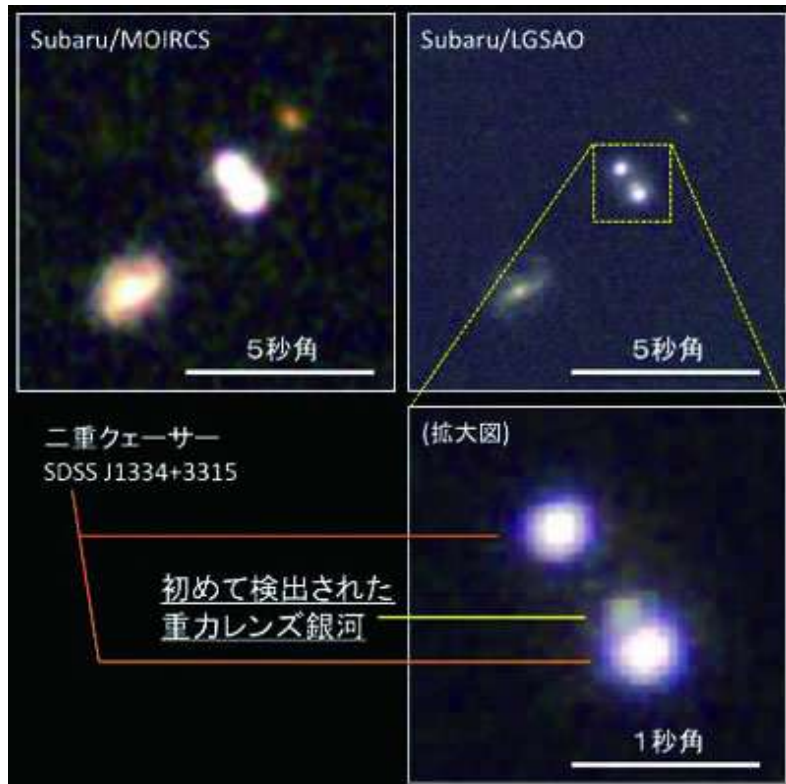
- 波長による性能の違い



LGSと同じ明るさ(R~12)のガイド星を使ったNGSと比べて遜色の無い性能

LGS AO188の初期成果

- 2011年よりLGSモードのサイエンス観測が本格的に始動
- AO188のGTでも主にLGSモードを使いサイエンス観測を行っている
 - YSOs, 銀河中心、重力レンズQSO, Damped Ly α システム、 $z \sim 2$ の星形成銀河など



重力レンズQSO SDSS J1334+3315の
PSFに隠されたレンズ銀河をはっきりと検出
→重力レンズモデルに対し制限
(Rusu et al. 2011)

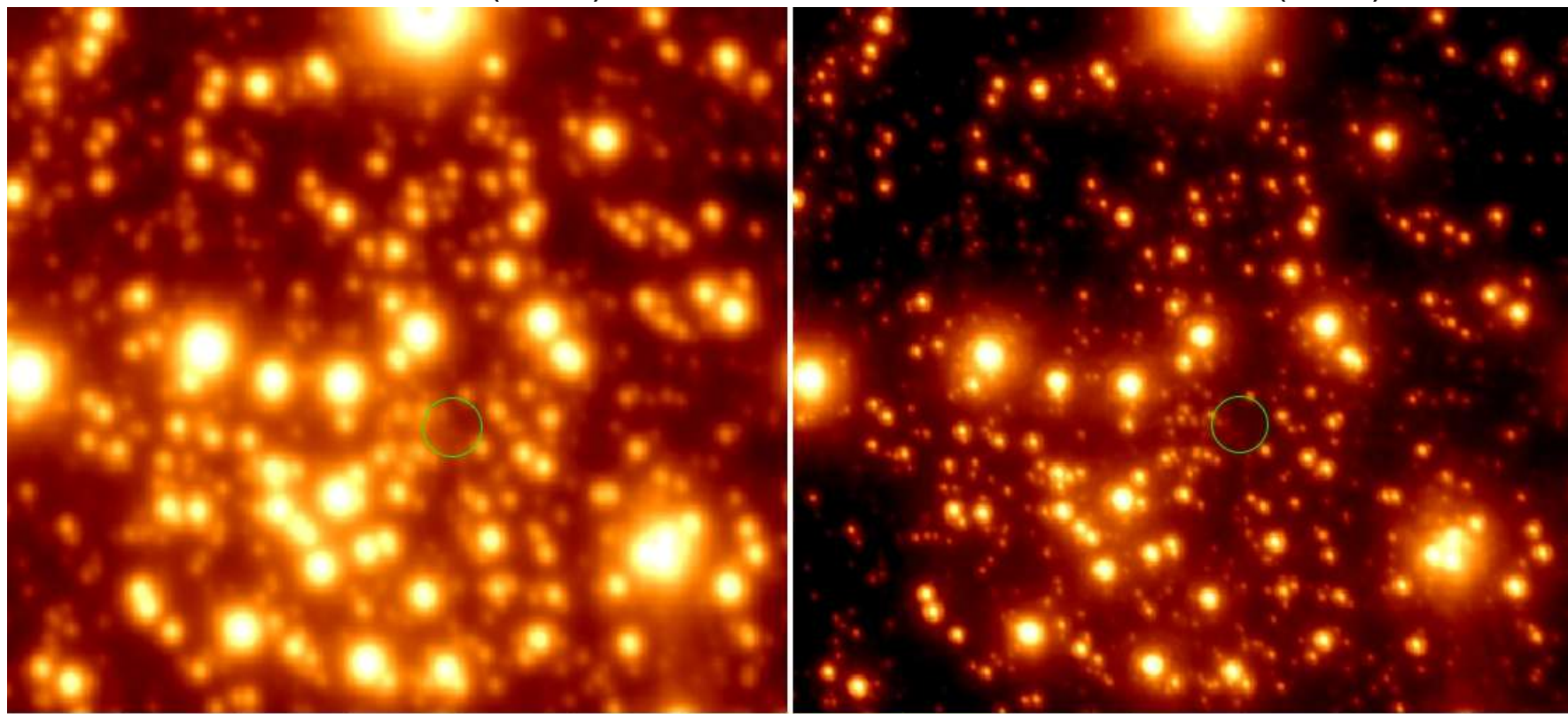
高赤方偏移のQSOホスト銀河探査、
Damped Ly α 銀河の探査などHigh- z で
高空間解像度が必要な観測に有効

LGS AO188の初期成果

- LGS AO188による銀河中心のKバンド撮像

AO36+CIAO (NGS)

AO188+IRCS (LGS)



Nishiyama et al. 2009

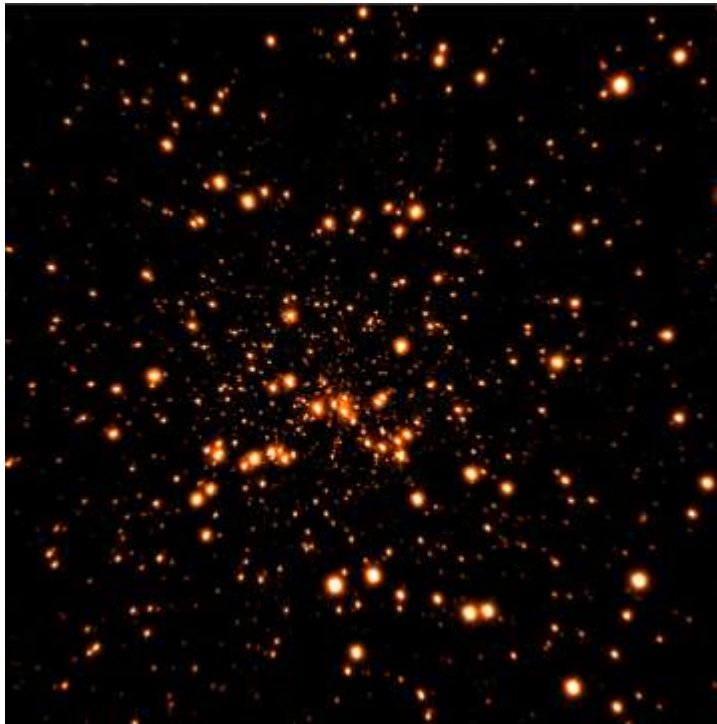
Hayano et al. in prep.

まとめ

- AO188
 - 188素子の波面曲率センサー＋可変形鏡を用いたクラシカルなAOシステム
 - LGSモードを備え、高ストレール比を実現
 - 2008年からNGS, 2011年からLGSモードを運用開始
- NGSモード
 - SR~0.7 (ベスト)、R~16.5、離角<30"ガイド星まで使用可
 - 系外惑星探査で威力を発揮
- LGSモード
 - SR~0.45(ベスト)、R~19、離角<80"ガイド星まで使用可
 - 系外銀河(特に高赤方偏移)での観測に期待

クラシカルAOの限界

- 補正できる視野がガイド星の周り1arcmin²に限られる
- より多様なサイエンス(特にhigh-z銀河観測)に対応するには、広視野化が求められる(今回の研究会の趣旨)



M15 (50"x50"), AO188+IRCS

