

# 北大惑星観測用補償光学系の 開発進捗状況



渡辺 誠, 合田周平, 仲本純平(北海道大学),  
大屋 真(国立天文台)

# 惑星観測用AOへの 科学的要求と目標性能

北大1.6 mピリカ望遠鏡用の**太陽系惑星観測用大気ゆらぎ補償光学系**の開発

## 科学的要求

- 惑星の大気循環メカニズムの解明には、惑星全球にわたる大気の動きを**数時間から数年にわたってモニター**することが不可欠。
- 木星などでは縞模様や大赤斑などの大規模構造の生成メカニズムの解明には1000km スケールの積乱雲を分解できる解像度が必要。  
⇒ **0.4-0.7 秒角の解像度**。
- 大気組成やその高度方向の分布や変化の情報を得るために、**多数の異なる波長**(NH<sub>3</sub>吸収バンド552, 645, 790, & 930nm、CH<sub>4</sub>吸収バンド619, 727, & 889nmなど)で観測することも重要。

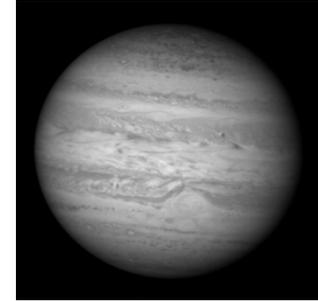
## 補償光学系の目標性能

可視光**0.5  $\mu\text{m}$ より長波長側**で、木星視直径程度の視野(**50 秒角**)に渡り、**0.4 秒角**の分解能でモニター観測可能なシステムの構築。

# 惑星用AOの構成案

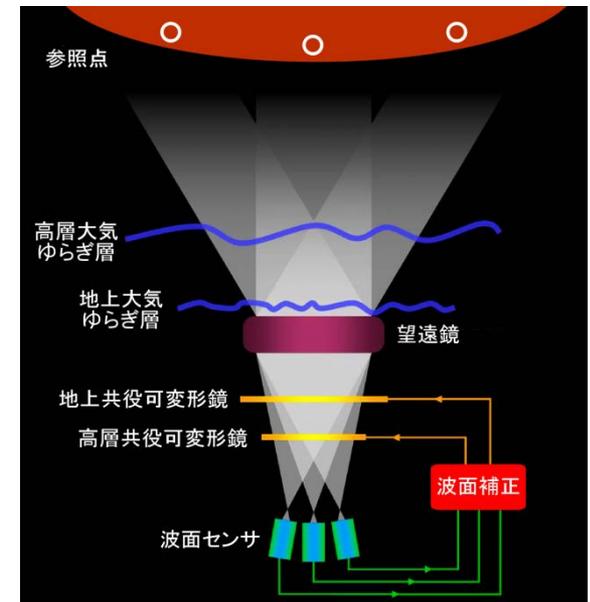
## 波面測定(面光源用波面センサ)

- 惑星自身を、波面参照光源とする。
- 木星、土星などの場合は**縞模様を使った Correlation Tracking**を検討。
- 金星など模様のほとんどない惑星の場合は**曲率方式による低次のゆらぎの測定**を検討。波面全体の傾き(ティップティルト)は惑星像の動き(と歪み)から測定。



## 波面補正(多層共役(MCAO)化)

- 惑星像面の複数点を参照に波面測定(**複数の波面センサ**)。
- 共役高度の異なる**複数の可変形鏡**によって補正することで補正視野を広げる。



# 惑星AO用観測装置

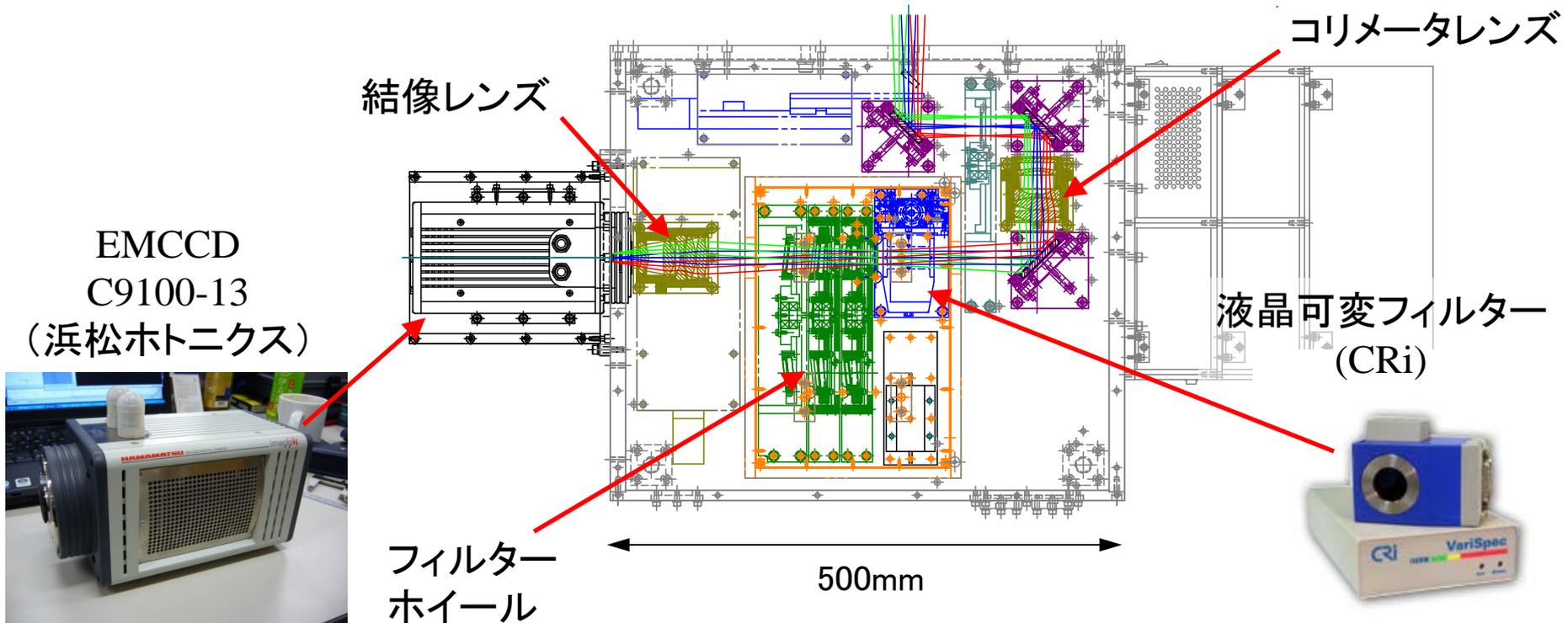
可視光マルチスペクトル撮像装置 (高分解能モードを追加)

波長域:  $0.36\text{--}1.05\ \mu\text{m}$ , 視野:  $57 \times 57$  秒角 (0.11 秒角/pixel)

フィルター: **液晶可変フィルター x 2台** & 広帯域フィルター (U, B, V, Rc, Ic)  
(VIS:  $400\text{--}720\text{nm}$  / SNIR:  $650\text{--}1100\text{nm}$ ,  $\Delta\lambda \sim 10\text{nm}$ )

検出素子:  $512 \times 512$  pixel **電子増倍型 CCD** カメラ (浜松ホトニクス)

限界等級: B=20.0, V=19.9, Rc=19.8, Ic=18.7 (60秒積分, S/N=10)



# AO性能シミュレーション

yao (Rigaut & Dam 2013) を用いて、性能見積もり

## シミュレーション条件

可変形鏡: 6x6素子, 9x9素子, 12x12素子, 17x17素子のDMを  
2枚または3枚

共役高度: DM 2枚構成の時 0, 2.6km, または 0, 4.2km

DM 3枚構成の時 0, 0.5, 2km または 0, 2.6, 6.4km

波面センサ: シャックハルトマン方式 (20素子, 48素子, または96素子)

ガイド星: 5等級の自然星5個を十字に配置



# AO性能シミュレーション

## 大気ゆらぎパラメータ

MASS-DIMMによる望遠鏡サイト(名寄)の実測値(平均値)を使用。

シーイング: 1.9秒角(0.5 $\mu$ m)

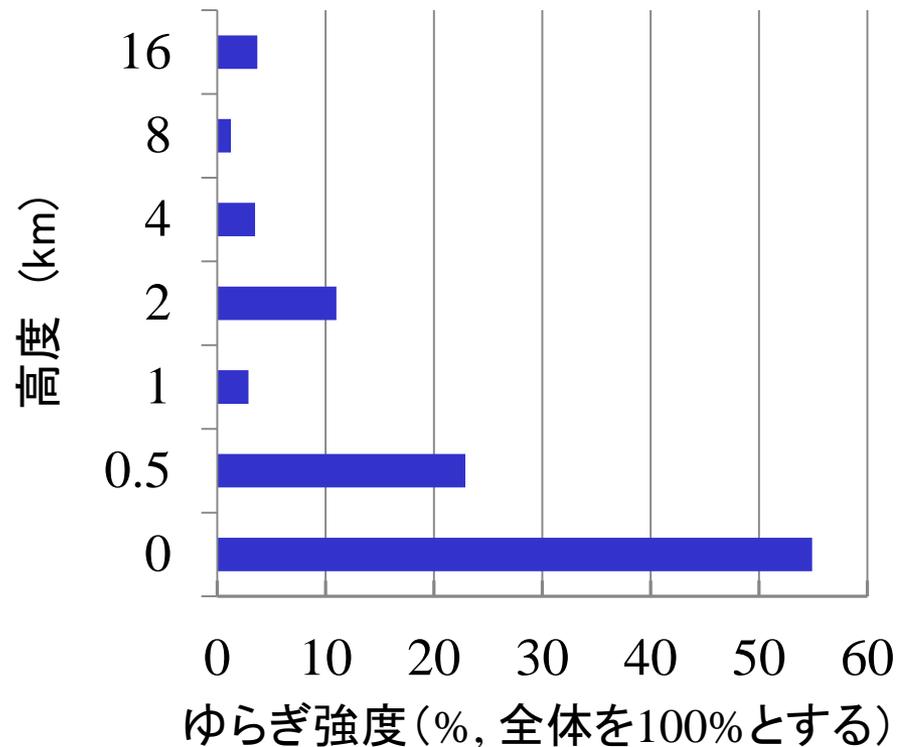
ゆらぎの高度分布: 右図

### ゆらぎの有効高度

0-16km → 1.6km

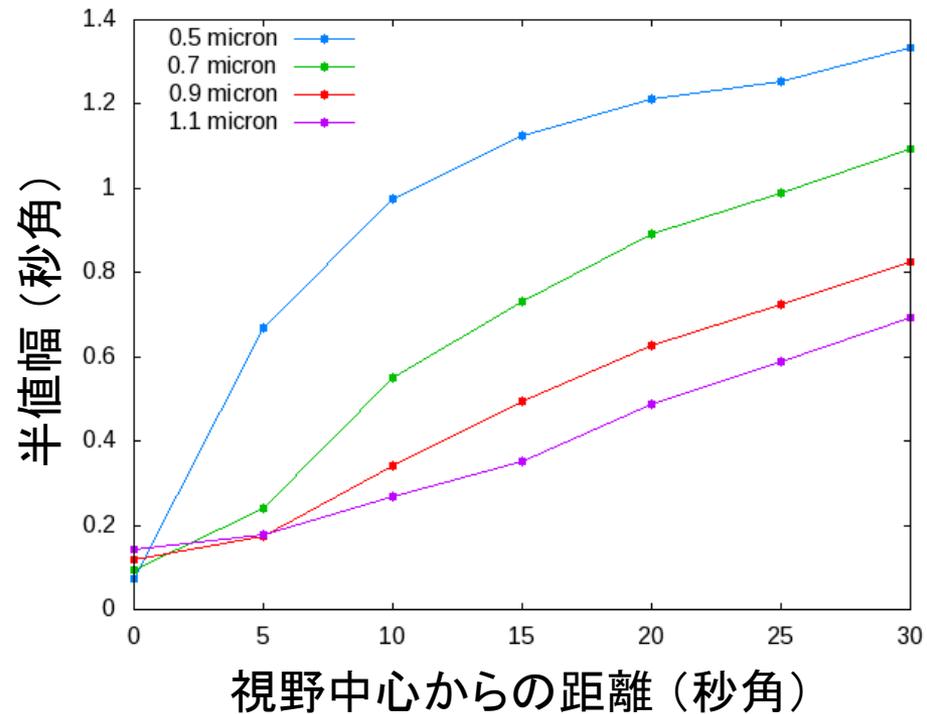
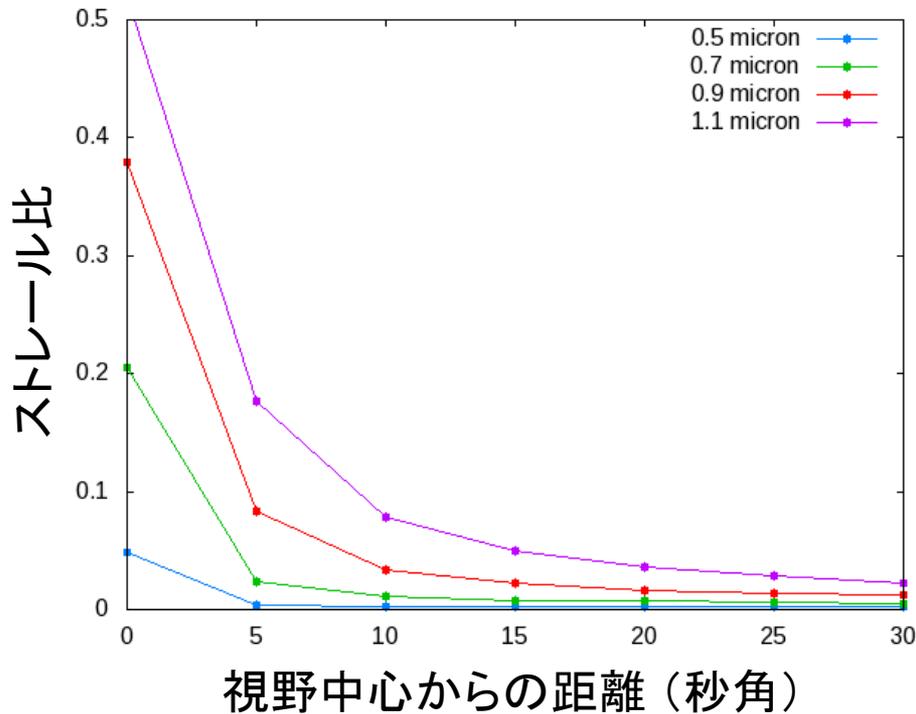
0.5-16km → 2.6km

1.0-16km → 4.2km



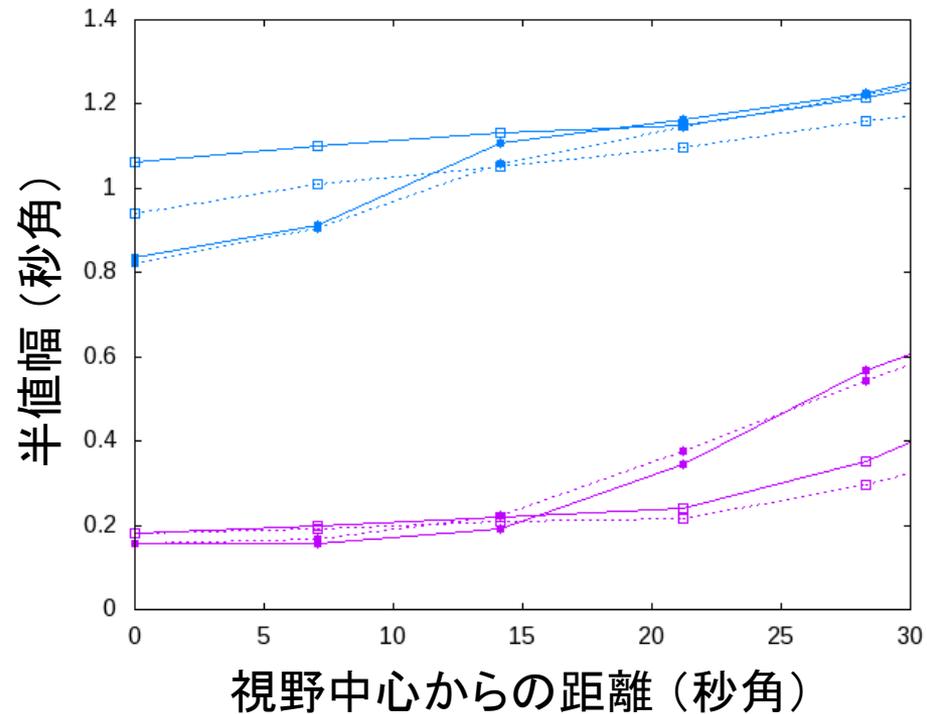
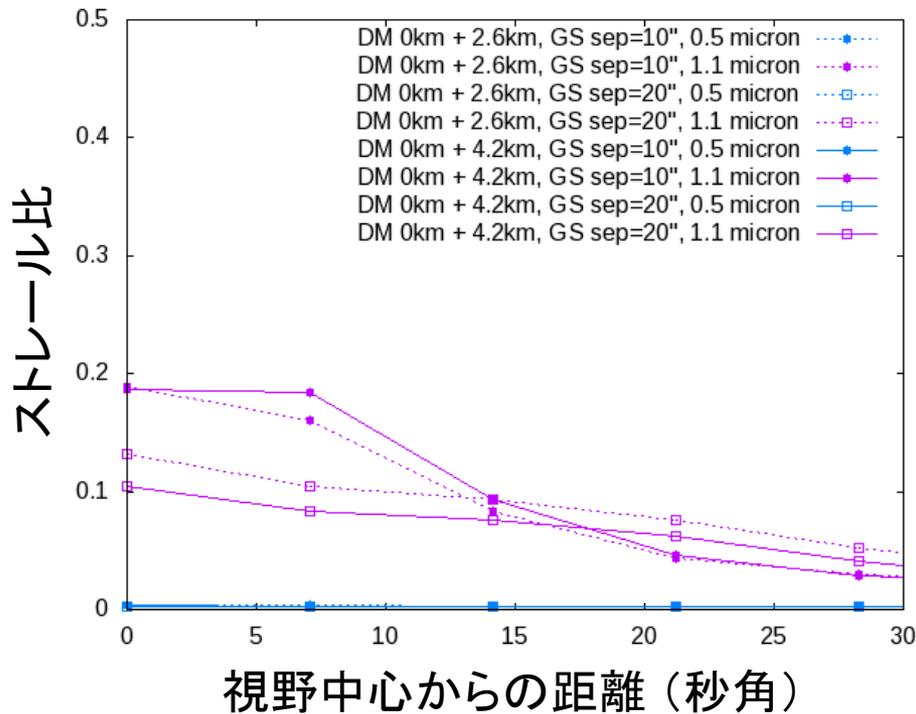
# SCAOシミュレーション結果

## DM 1枚 (12x12素子) の場合



# MCAOシミュレーション結果(1)

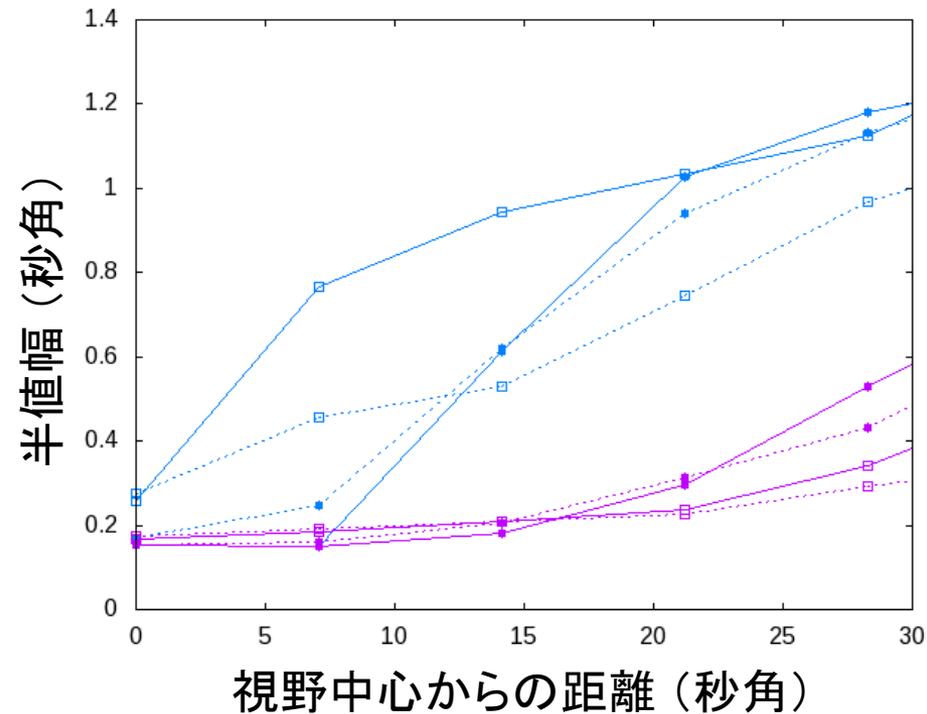
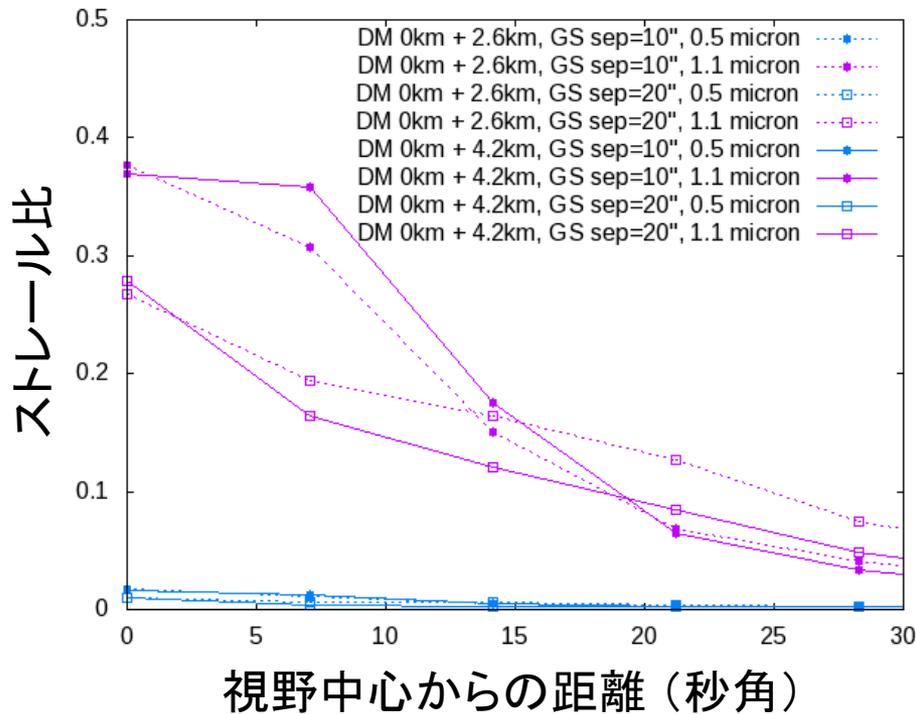
## DM 2枚 (6x6素子 + 9x9素子)の場合





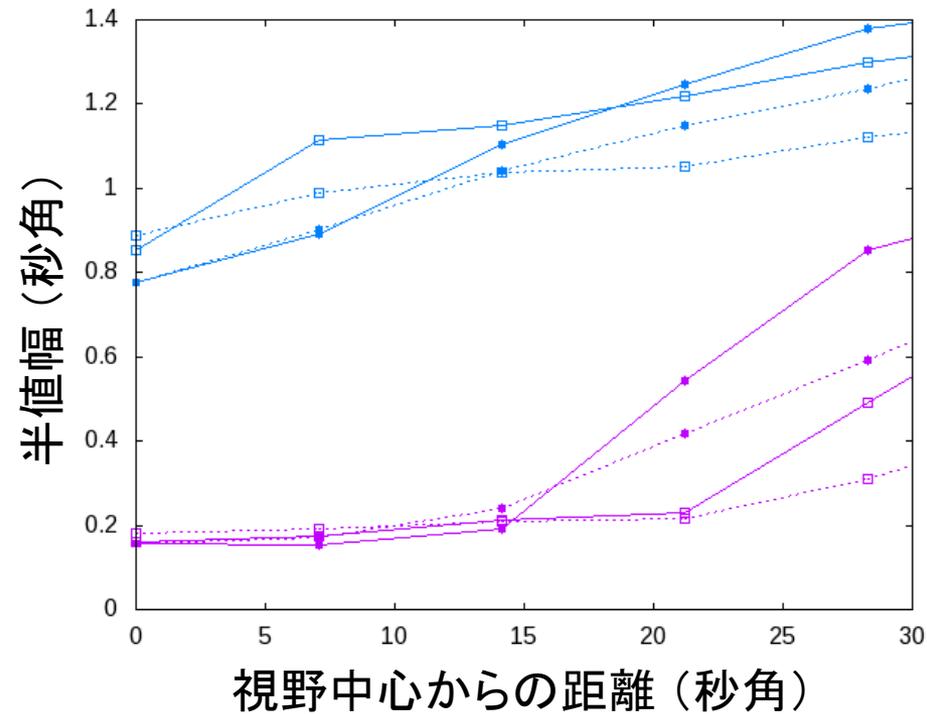
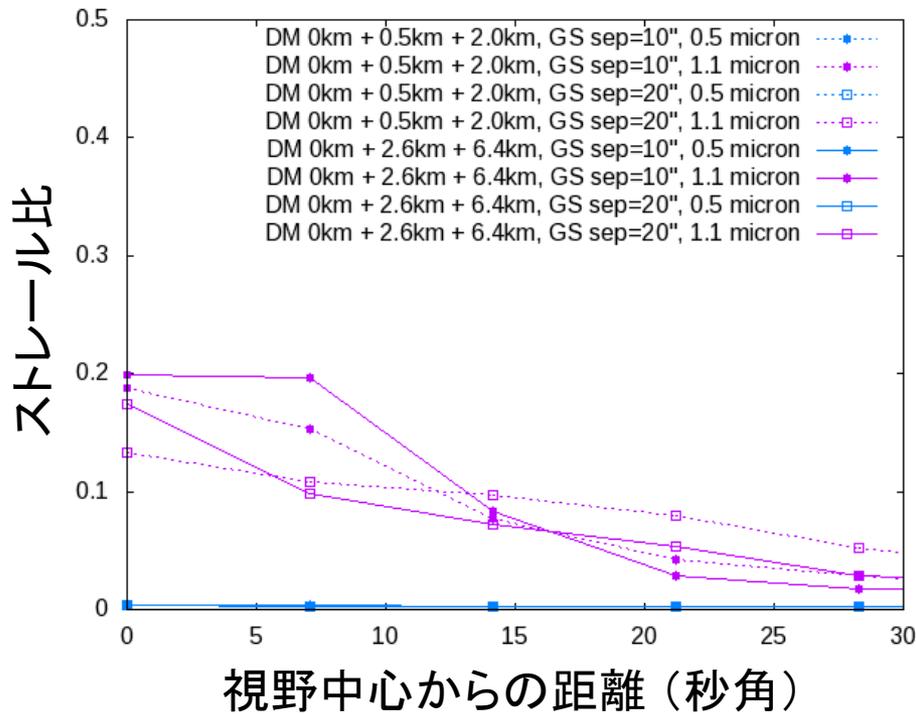
# MCAOシミュレーション結果(3)

## DM 2枚 (12x12素子 + 17x17素子)の場合



# MCAOシミュレーション結果(4)

## DM 3枚(6x6素子 + 9x9素子 + 9x9素子)の場合

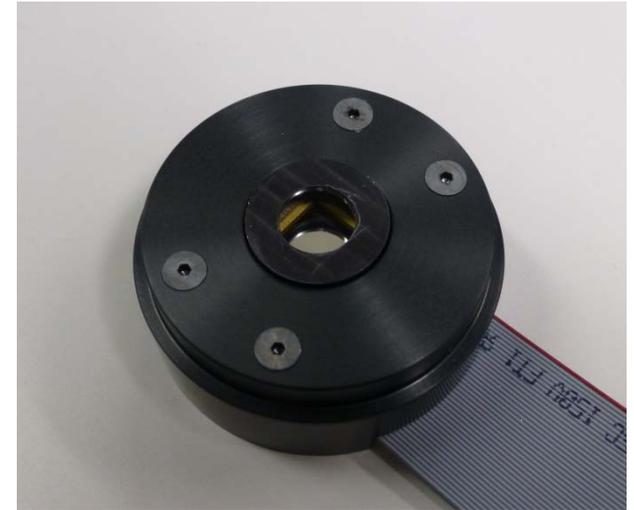




# DM候補

## Boston Micromachines Multi-3.5 (Thorlabs DM140A-35-UM01)

方式	MEMS
アクチュエータ アレイ	12 x 12 (有効素子数 140)
アクチュエータ ストローク	3.5 $\mu\text{m}$
アクチュエータ ピッチ	400 $\mu\text{m}$
有効面サイズ	4.4 mm x 4.4 mm
ミラーコーティング	アルミニウム
機械的応答速度	100 ms (~3.5 kHz)
表面精度	< 30 nm (RMS)
インターフェース	USB 2.0



$$\text{必要ストローク} = \underline{2.2 \mu\text{m}} + \underline{(0.6 \sim 0.9) \mu\text{m}} = \mathbf{2.8 \sim 3.1 \mu\text{m}}$$

↑  
大気ゆらぎ分      ↑  
望遠鏡収差分

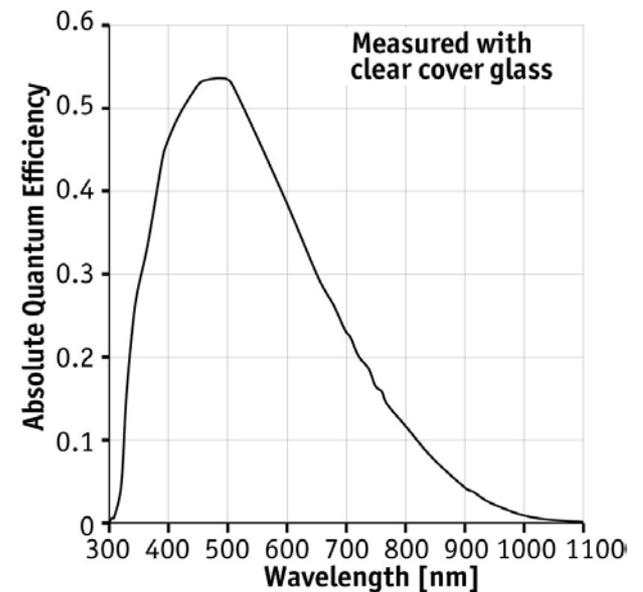
(シーイング3秒角、天頂角45度)

# 波面センサ用カメラ候補

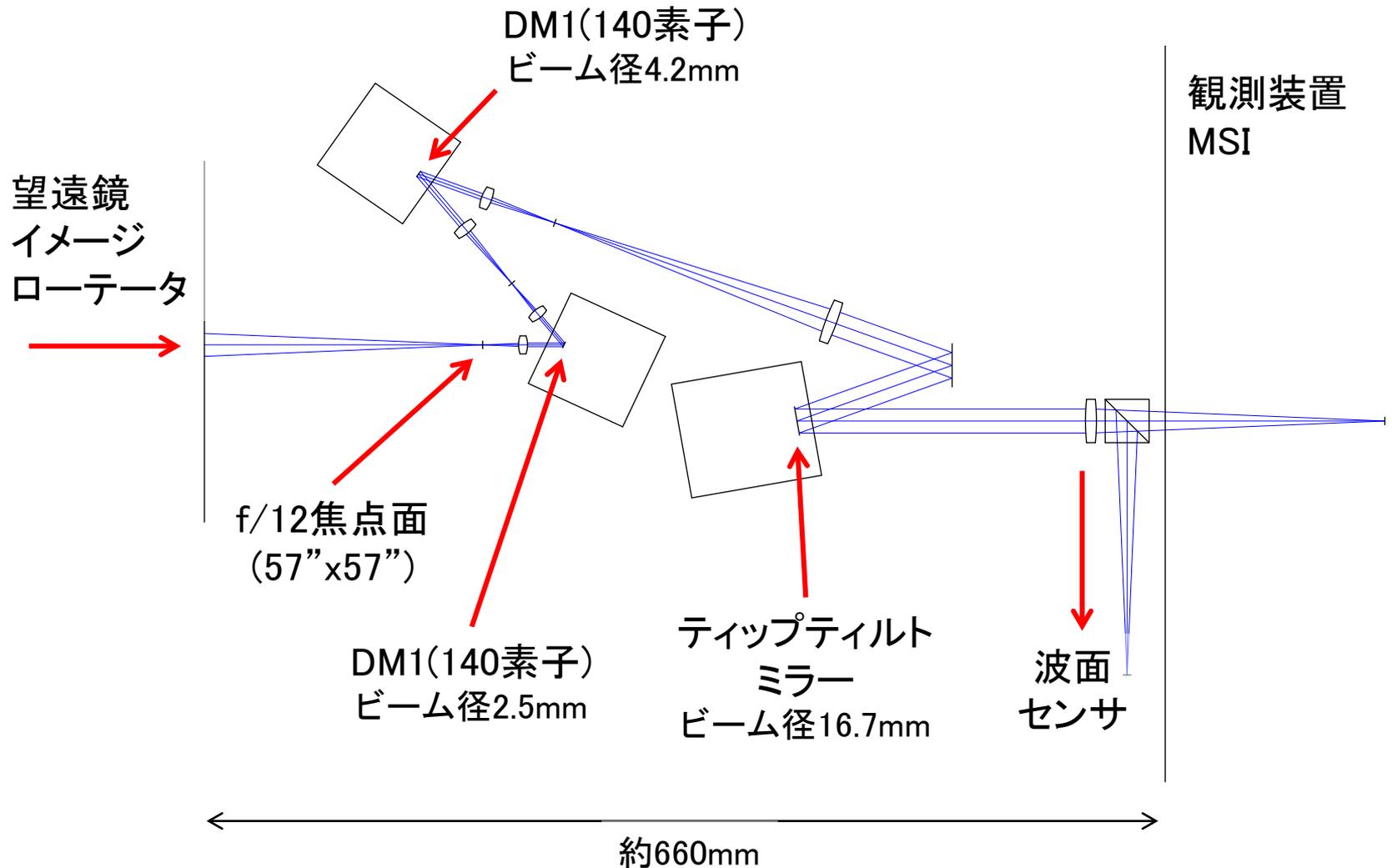
## Allied Vision Tech GE680

センサータイプ	CCD
画素数	640 x 480
ピクセルサイズ	7.4 $\mu\text{m}$ x 7.4 $\mu\text{m}$
受光面サイズ	4.74 mm x 3.55 mm
最大フレームレート	205 fps (@フルフレーム)
A/D分解能	12bit
読み出しノイズ	$\sim 18e^-$ (RMS)
インターフェース	GigE Vision (1000BaseT)

価格 ~ 25万円



# 光学系レイアウト案



# 現在の進捗と今後の予定

現在	DMを選定、光学系の設計中
2015年春-冬	システム全体と光学系・機械系の設計
2015年夏-春	光学系・機械系の製作＋システム組立
2016年春	単一WFSと単一DMでのSCAO閉ループ試験
2016年夏	望遠鏡に搭載してのSCAO試験観測
2017年冬	複数WFSと複数DMでのMCAO閉ループ試験
2018年春	望遠鏡に搭載してのMCAO試験観測