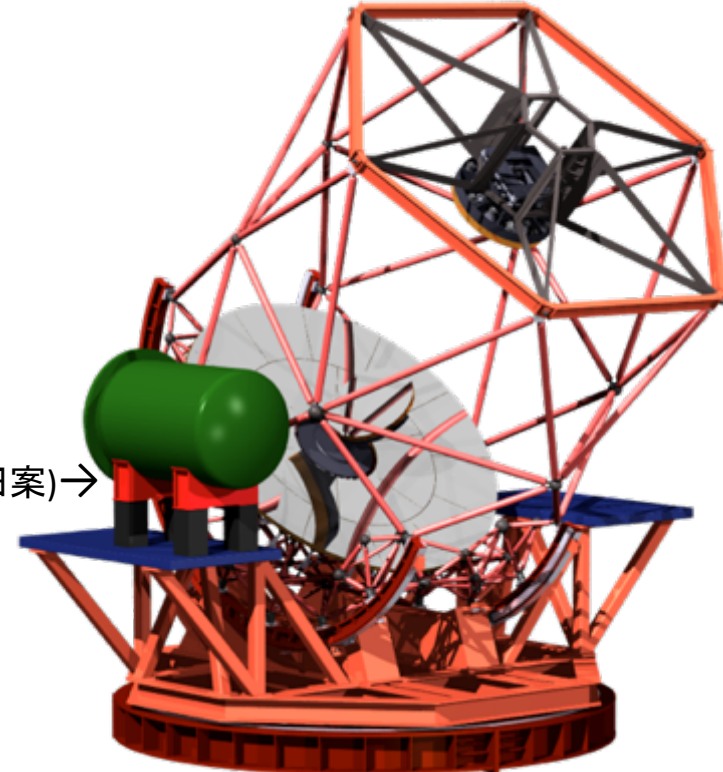


極限補償光学装置の進捗

山本広大(大阪大学/京都大学)

1. SEICAのAO
2. AO後のイメージ
3. 円盤観測のイメージ
4. 実機組み立て
5. 制御試験

京大岡山3.8m望遠鏡架台



SEICA
(デザインは旧案)→

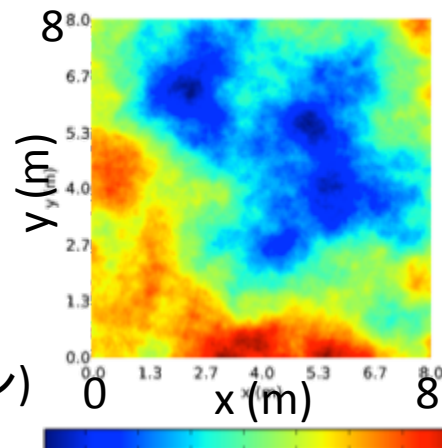
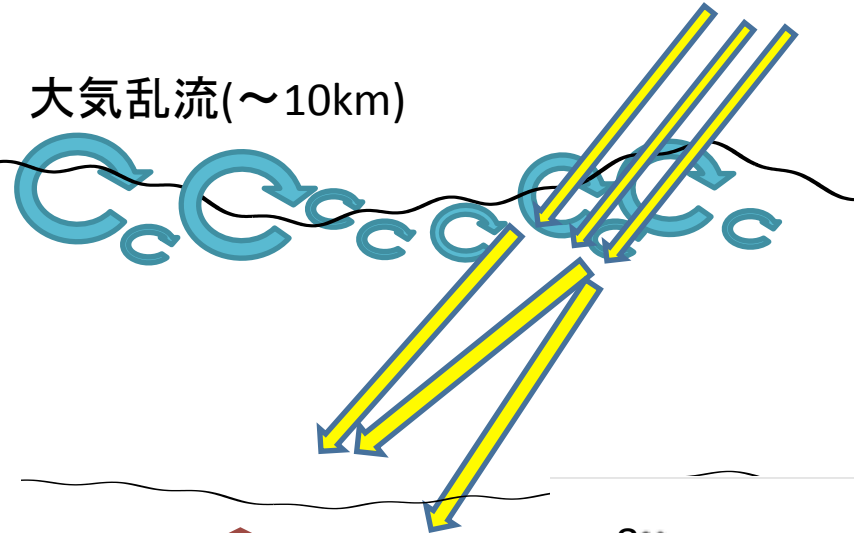
地上から直接撮像観測する流れ

天体からの光は大気乱流で乱れる

温度ムラ→密度ムラ→屈折率ムラ
乱流渦の大きさ 数cm—数十m

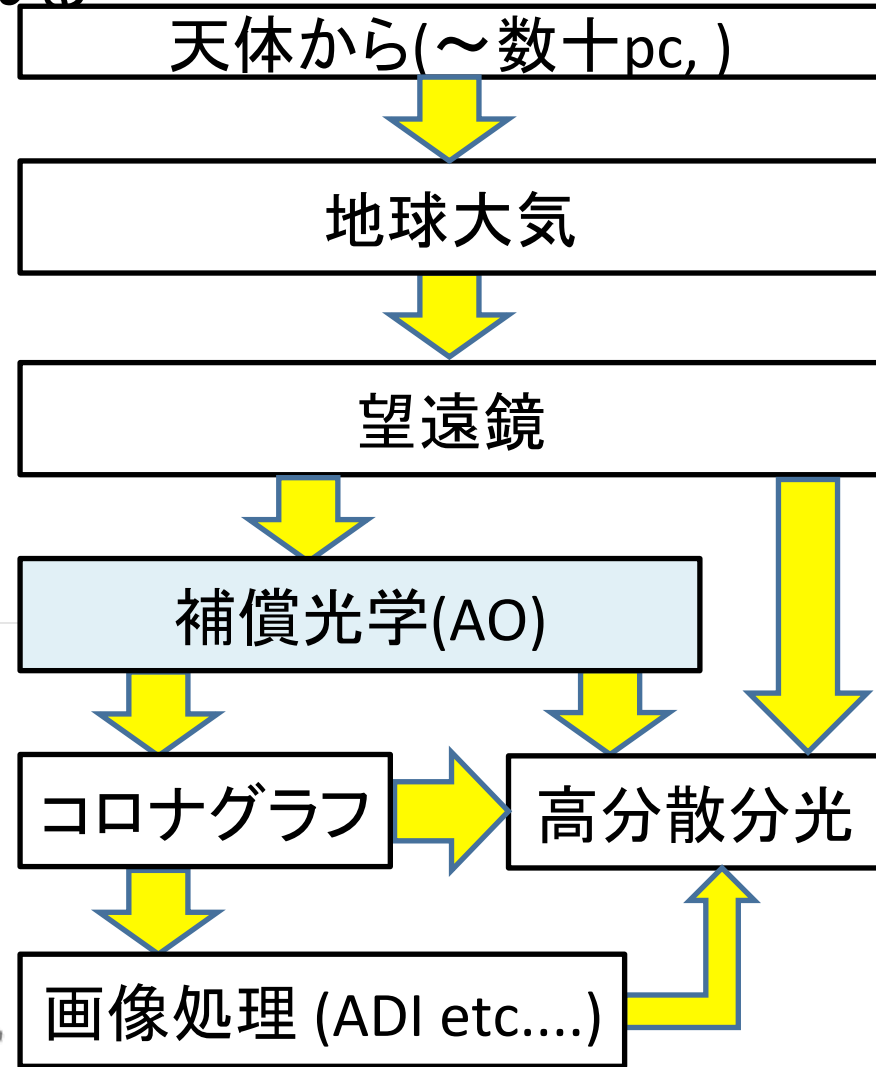


大気乱流(～10km)



望遠鏡主鏡面での
位相ムラ(シミュレーション)

(奥) -6.4λ 0.0λ $+6.4\lambda$ (手前)

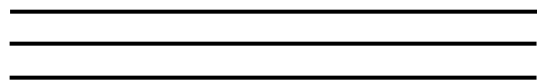




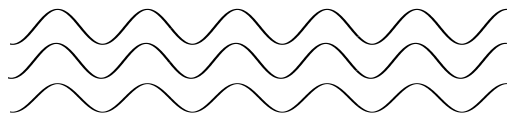
恒星

補償光学(1/2)

[瞳面] 綺麗な平面波



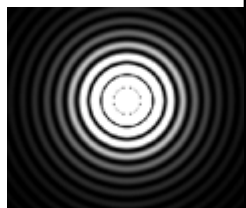
平面波+波面エラー(低次)



平面波+波面エラー(低次+高次)



エアリー像



主星像



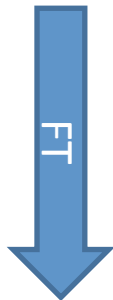
惑星像



惑星像と
スペックル
が重なる



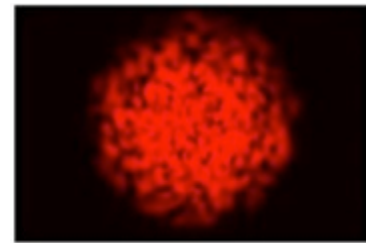
[像面]
強度分布



星像+惑星像

星像+惑星像
+スペックル(低次)

星像+惑星像+スペックル(低次)
+スペックル(高次)



スペックル

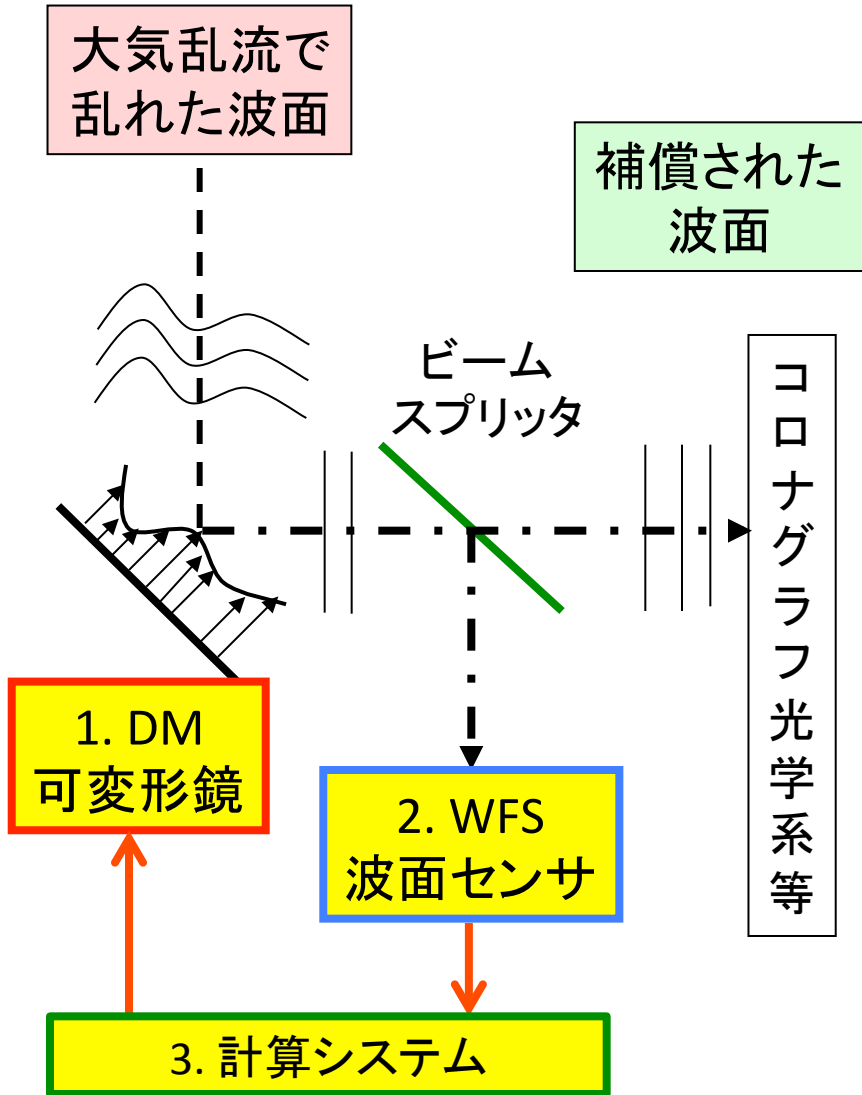
- 平面波は綺麗なPSFに結像。
- 波面エラーが入ると**スペックル**が形成される。
- 動的なスペックルが惑星検出の邪魔をする。

→波面エラーの除去が必要

補償光学(2/2)

(主に大気による)波面の乱れを能動的に補正する光学系。

1. 可変形鏡(DM)
2. 波面センサ(WFS)
3. 計算システム



1. DM ↓



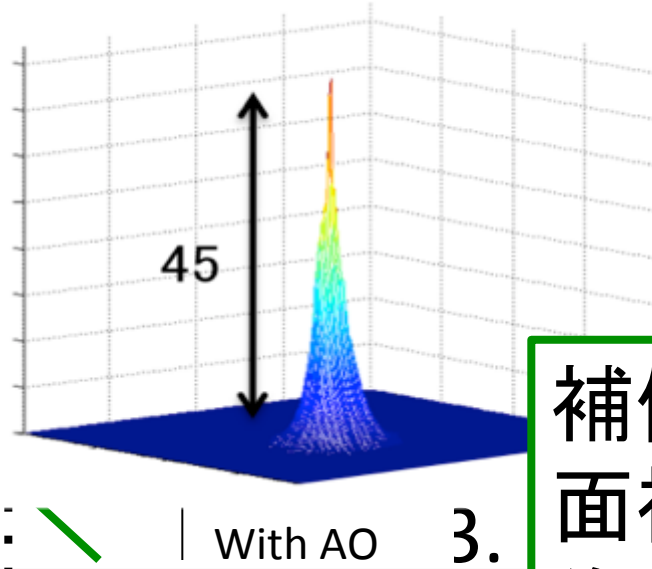
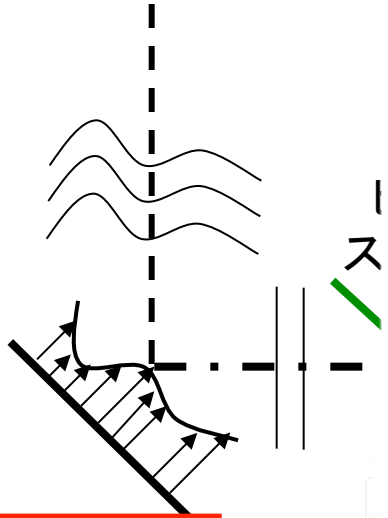
2. WFS → (SHWFS)

3. 計算システム



補償光学(2/2)

大気乱流で
乱れた波面



気による)波面の乱
動的に補正する光

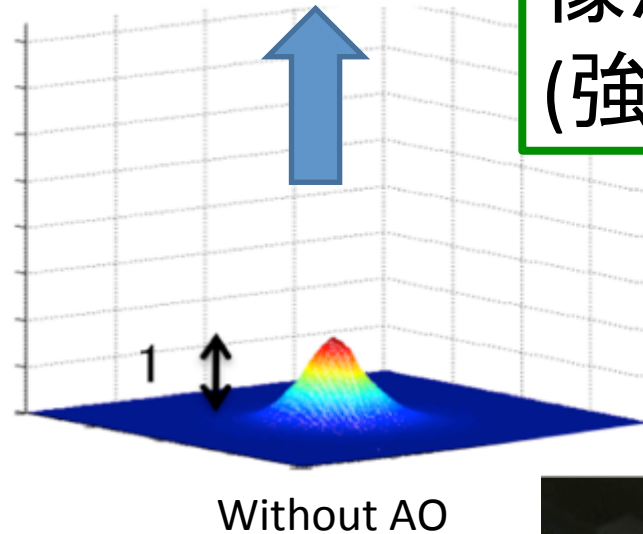
形鏡(DM)

補償光学による波
面補正によって星
像が補正される
(強度が補償される)

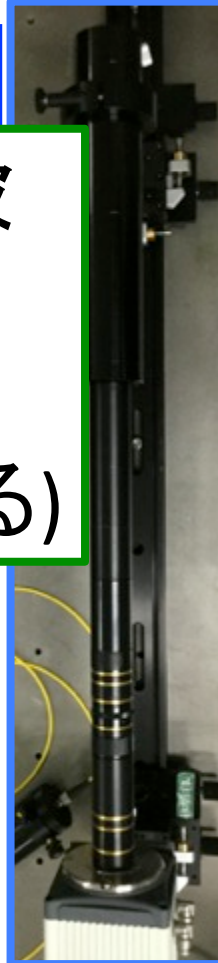
1. DM
可変形鏡

2
波面

3. 計算システ



3. 計算システム



SEICA補償光学

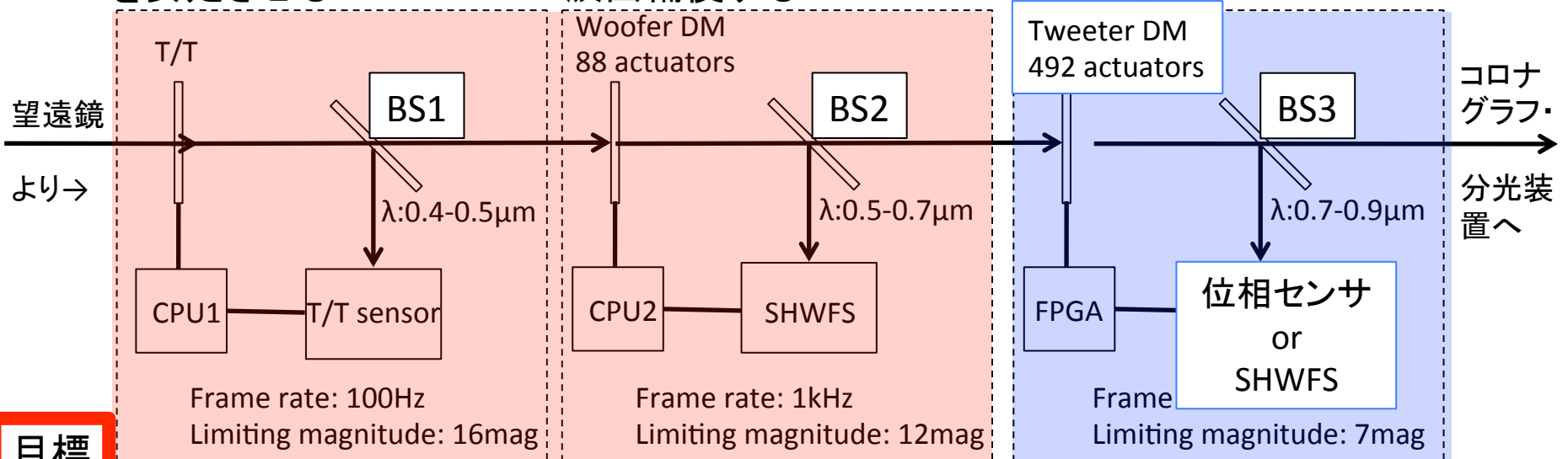
傾斜計測: T/T + Woofer
低速、粗い波面制御

位相計測: Tweeter
高速、高精度波面制御

Tip/Tilt部 視野内で星像を安定させる

Woofer部 $\lambda/4$ 程度まで波面補償する

Tweeter部 $\lambda/20$ 程度まで波面補償する

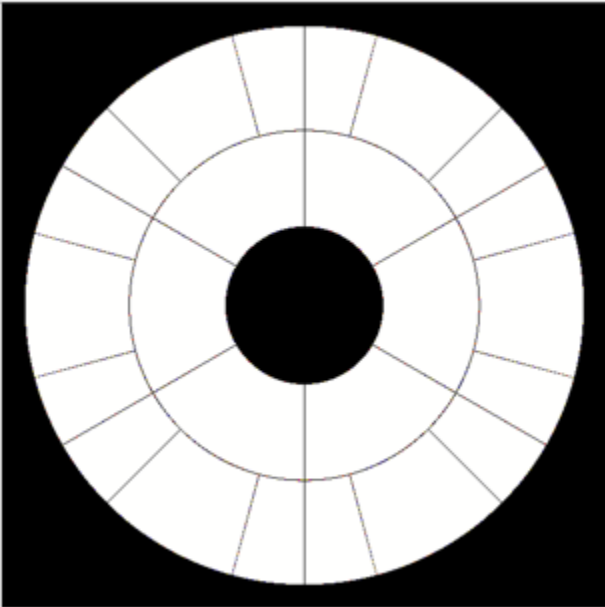


目標

高精度 ($\lambda/20$; P-V)
高頻度 (5-10 kHz)
高空間周波数 (1辺24素子)

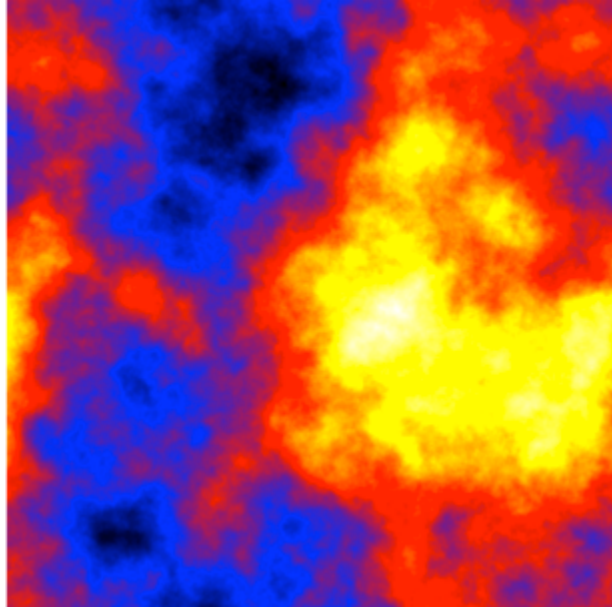
多段階の補償

波面センサの開発
Tweeter → 位相(/振幅)計測
→ SHWFS → PDI + FPGA

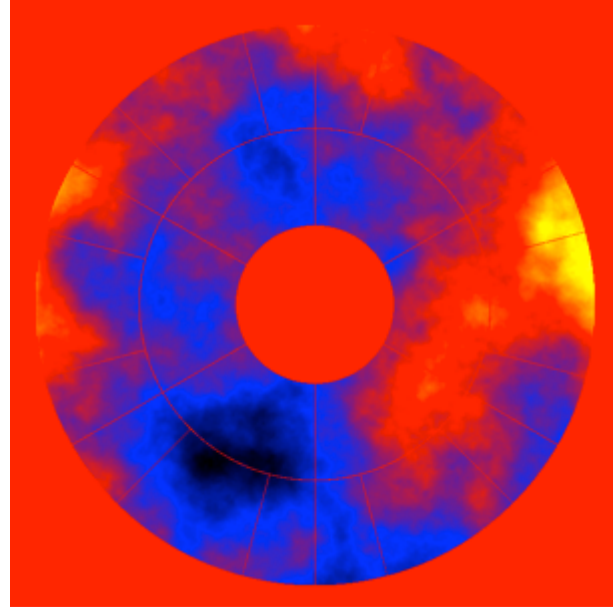


3.8m

望遠鏡瞳 (1mm/pix)
 内周6分割
 外周12分割



8.2m

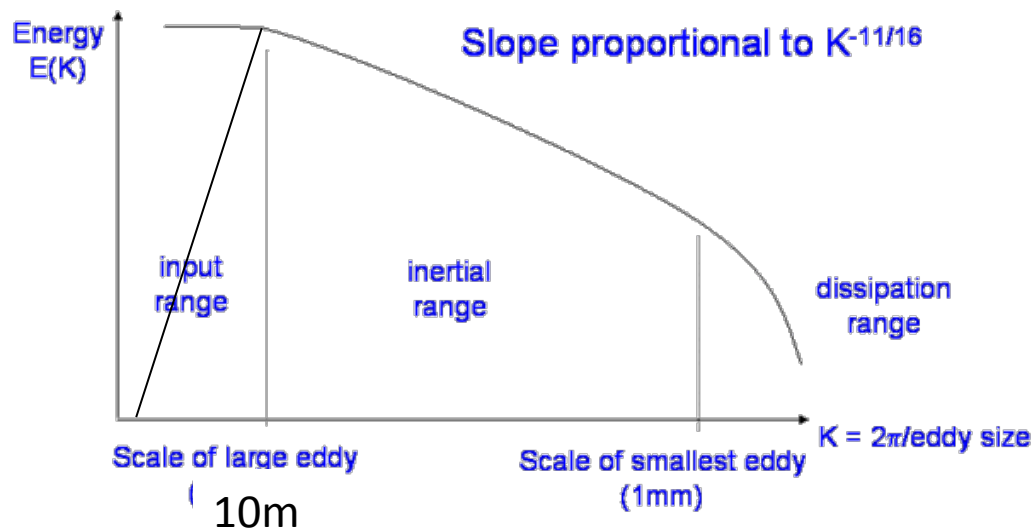


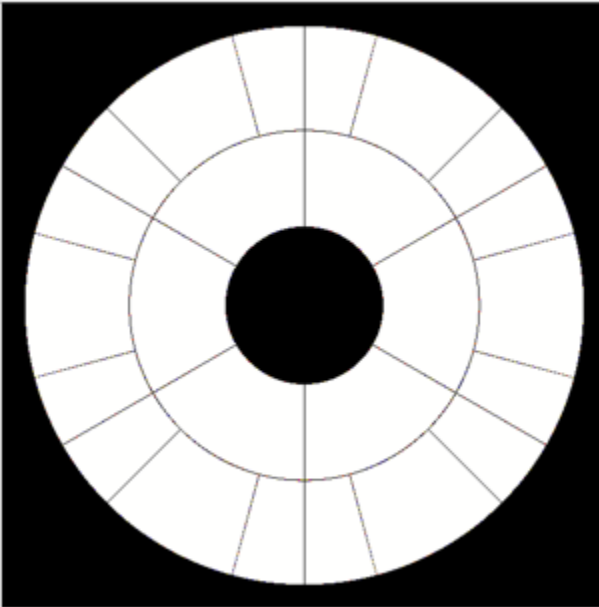
3.8m

瞳での位相乱れ

大気乱流 (1mm/pix)
 (von Karmanモデル)
 outer scale: 10m
 フリード長 : 10cm
 8192x8192 pix

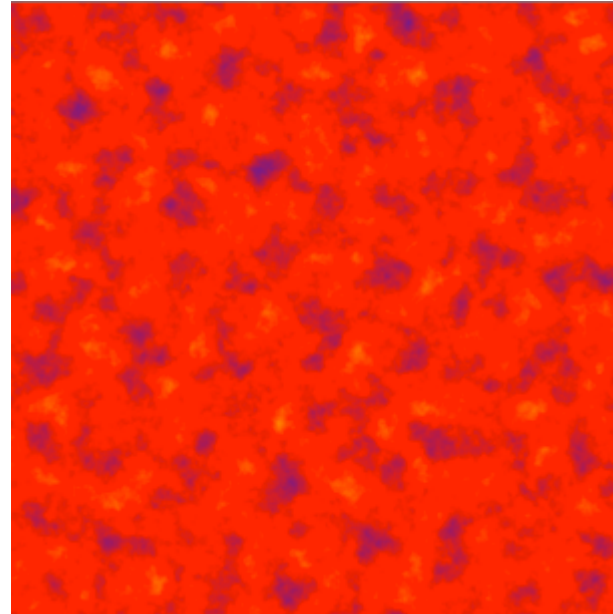
von Karmanモデル



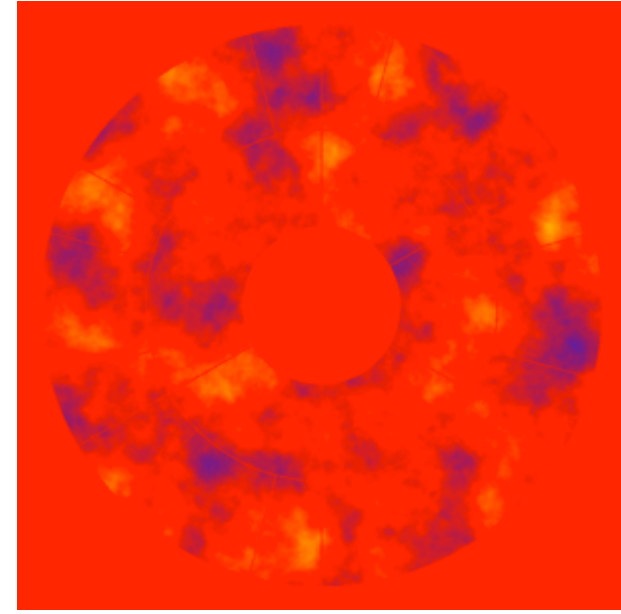


← 3.8m →

望遠鏡瞳 (1mm/pix)



← 8.2m →



← 3.8m →

瞳での位相乱れ

補償光学後の大気乱流
(von Karmanモデル)

outer scale: 10m

フリード長: 10cm

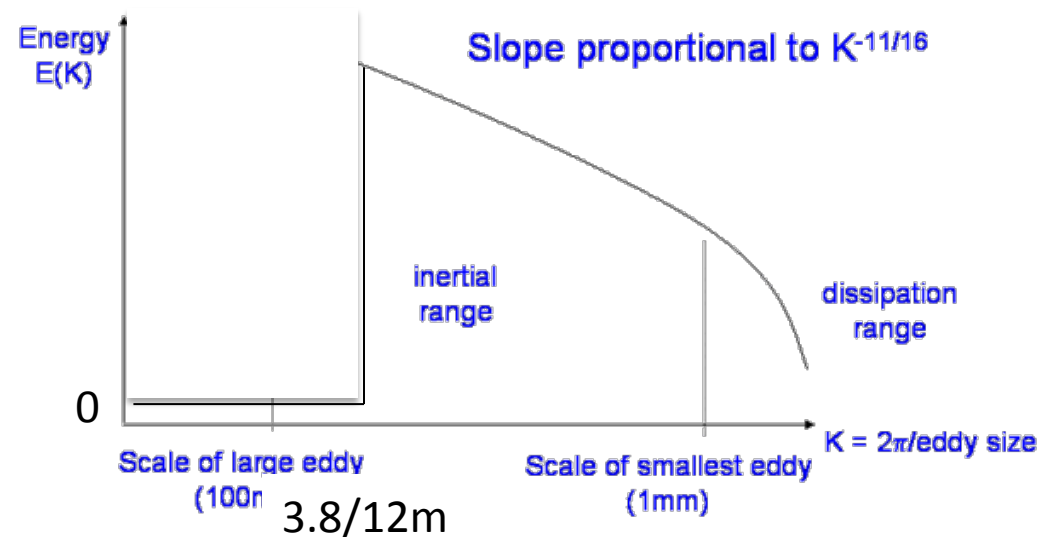
8192x8192 pix

の乱流を

空間周波数12/3.8まで完全に補正

→ 森本君のAO補正後のモデルを
適応したい

von Karmanモデル+24素子(12分割)で完全な補正



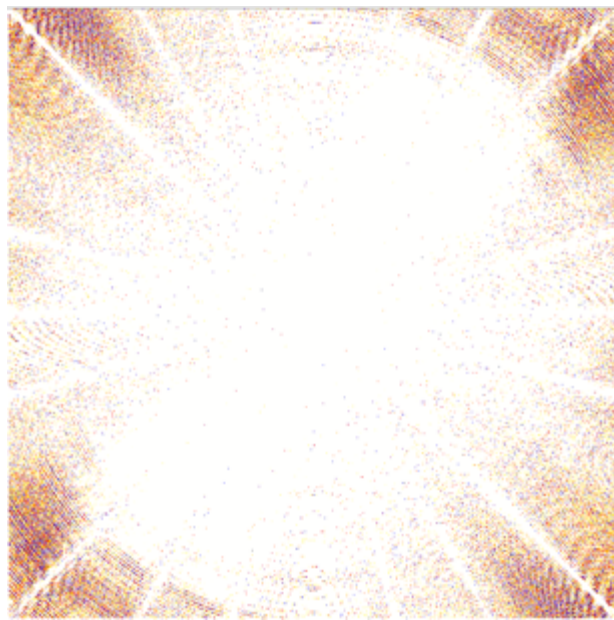
3.8 望遠鏡による像(単純なパワースペクトル時)

平面波入射時

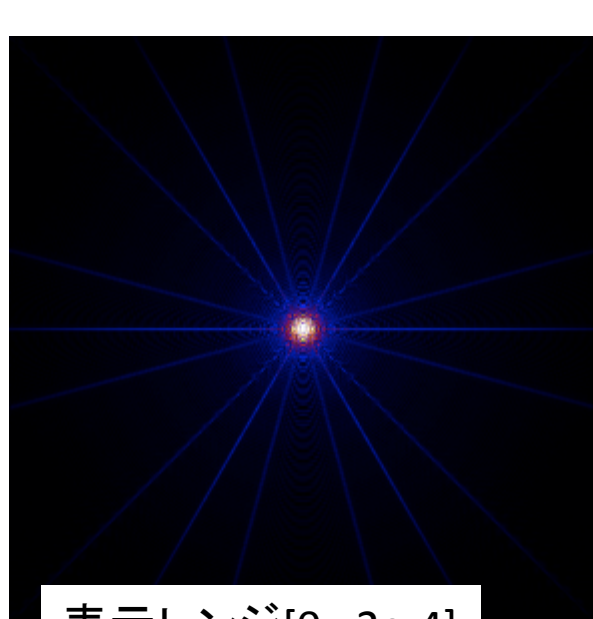
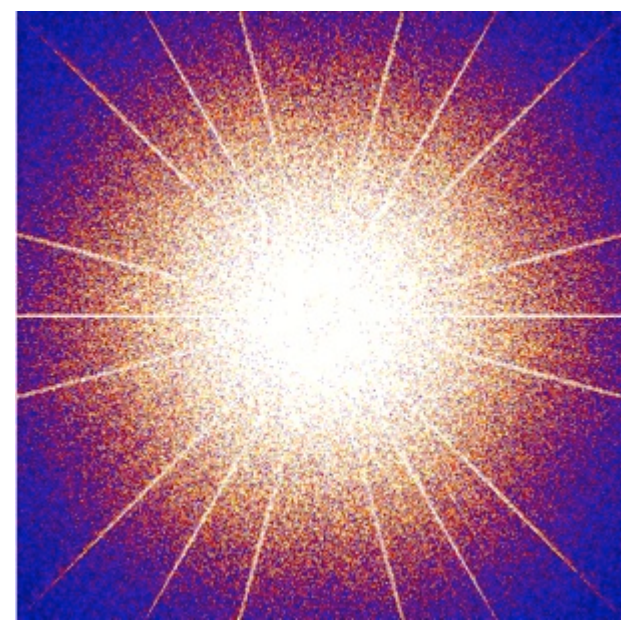


表示レンジ[0 : 1e-5]

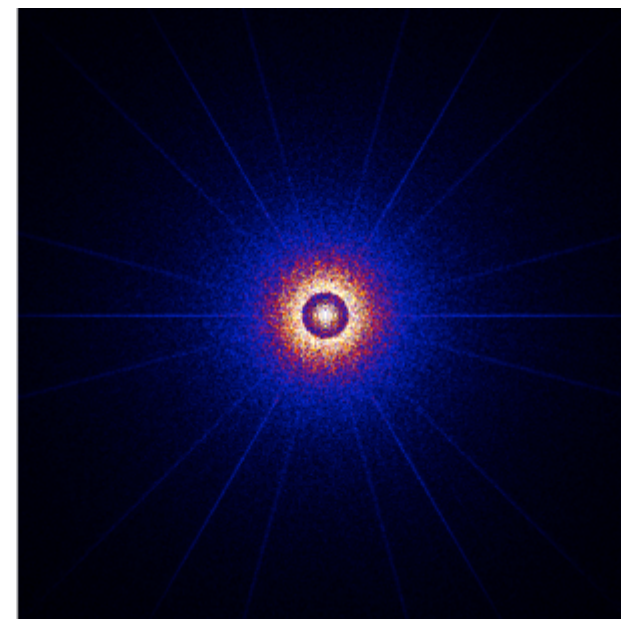
無補正大気乱流入射時



補償光学後



表示レンジ[0 : 2e-4]



武藤(工学院大学)さんの 円盤モデル

距離:140pc

円盤内縁: 1AU

サイズ:284x284pix

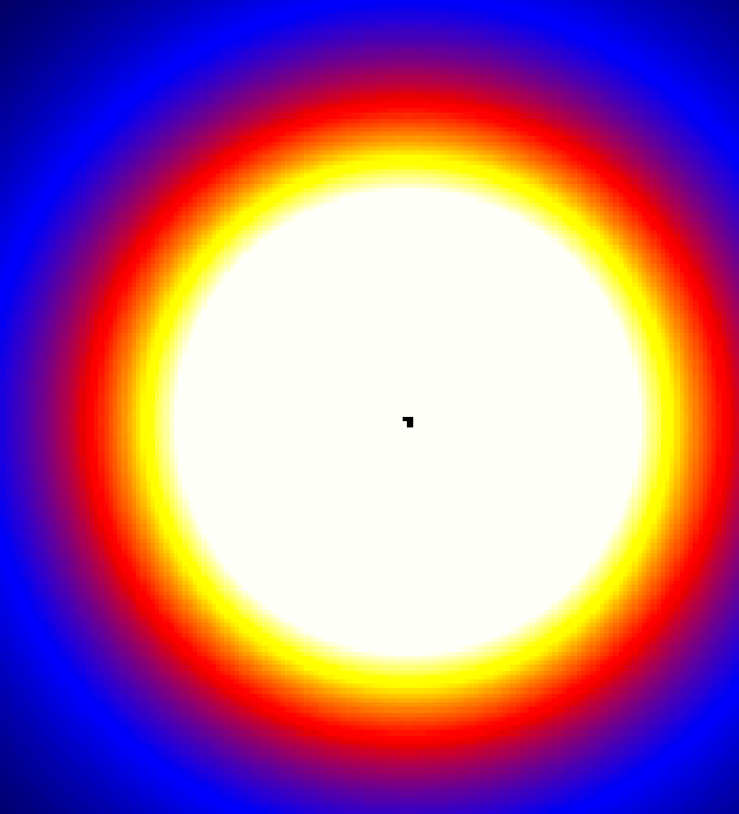
スケール:10mas/pix

単位:Jy/pixel

(142, 142)に中心星

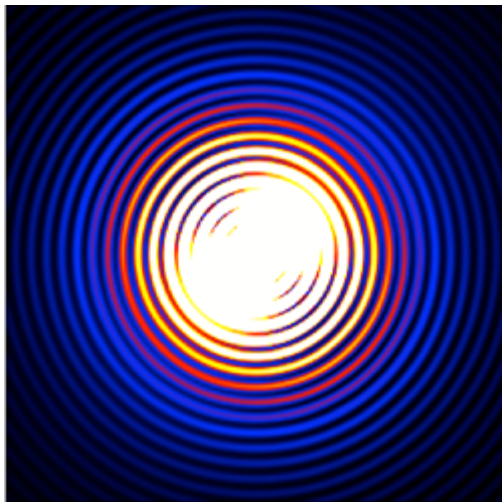
中心星強度: 0.235/pix

円盤内縁: 1.964×10^{-5} /pix

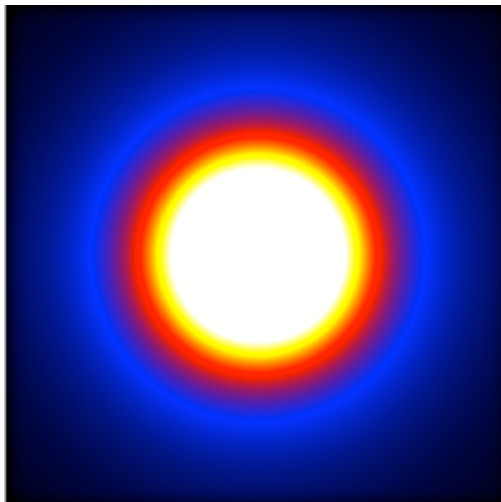


4.85e-09 7.56e-09 1.03e-08 1.30e-08 1.58e-08 1.85e-08 2.12e-08 2.39e-08 2.66e-08

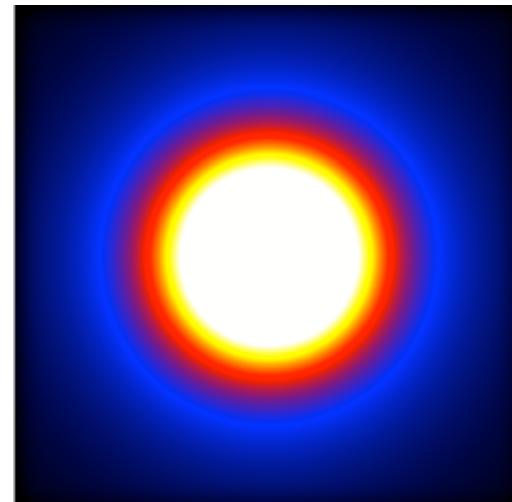
武藤さんの円盤像に対して、円形開口の回折限界像、SR80%, 50%, 30%, Seeing 1'', 2''の時のPSFをコンボリューションした結果



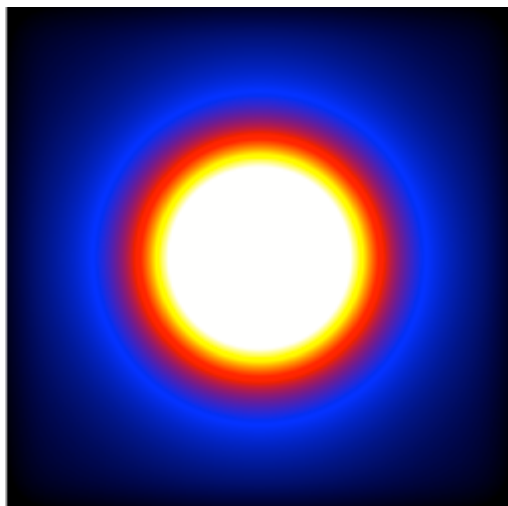
回折限界



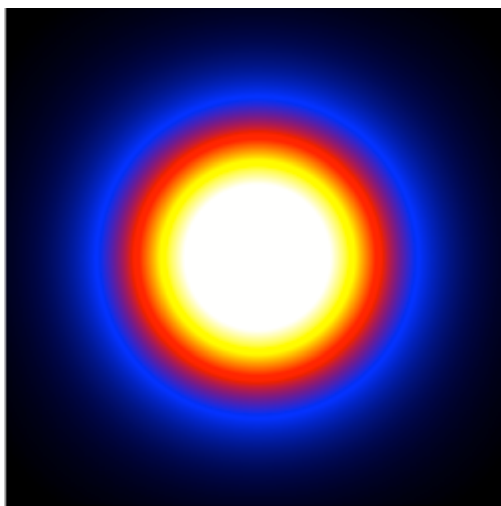
SR80%



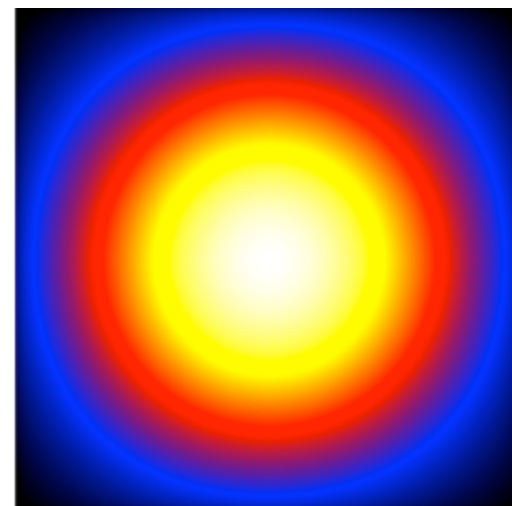
SR50%



SR30%



Seeing 1''



Seeing 2''

武藤(工学院大学)さんの
円盤モデル
30度傾斜

距離:140pc
円盤内縁: 1AU
サイズ:284x284pix
スケール:10mas/pix
単位:Jy/pixel

(142, 142)に中心星

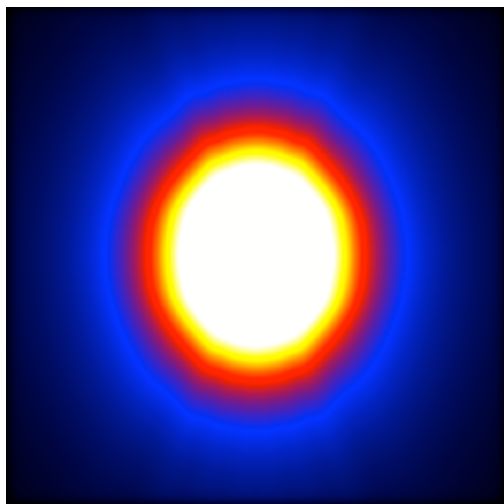
中心星強度: 0.235/pix
円盤内縁: 1.964×10^{-5} /pix



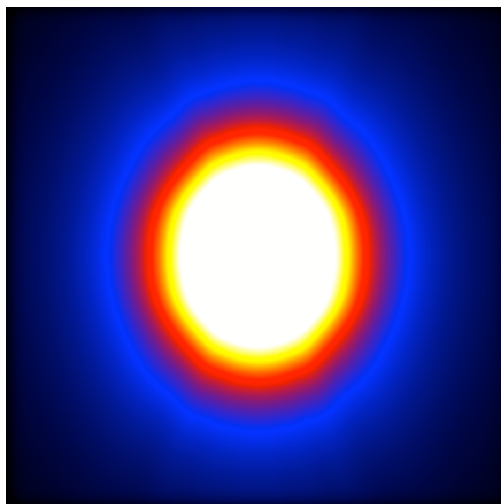
前方散乱側

4.55e-09 7.49e-09 1.05e-08 1.34e-08 1.64e-08 1.93e-08 2.23e-08 2.52e-08 2.82e-08

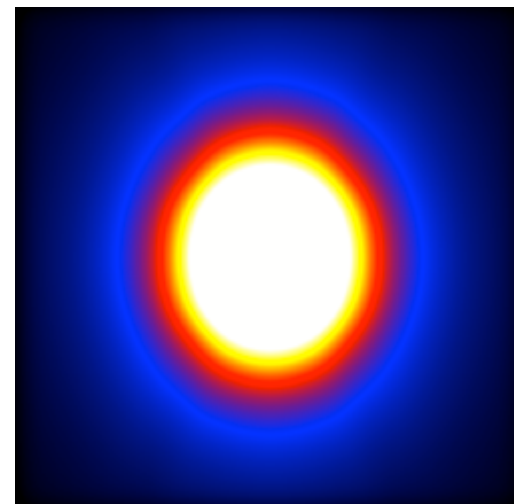
武藤さんの円盤像に対して、円形開口の回折限界像、SR80%, 50%, 30%, Seeing 1'', 2''の時のPSFをコンボリューションした結果



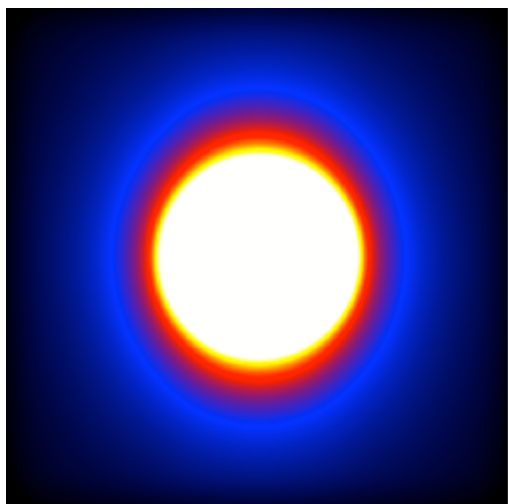
回折限界



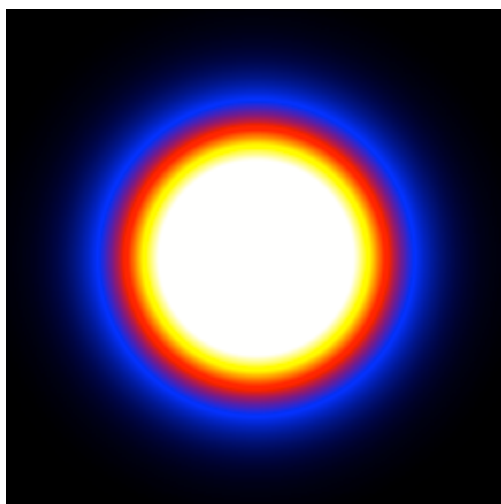
SR80%



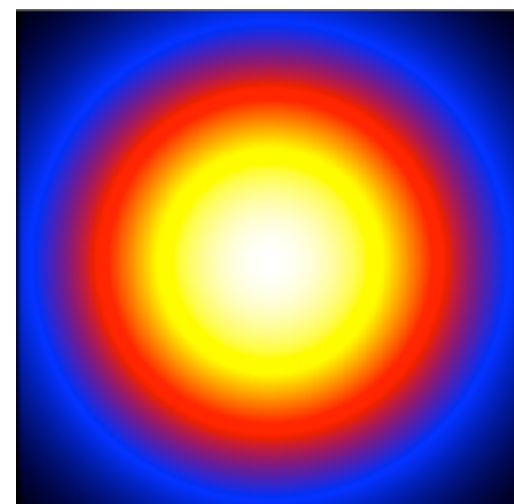
SR50%



SR30%



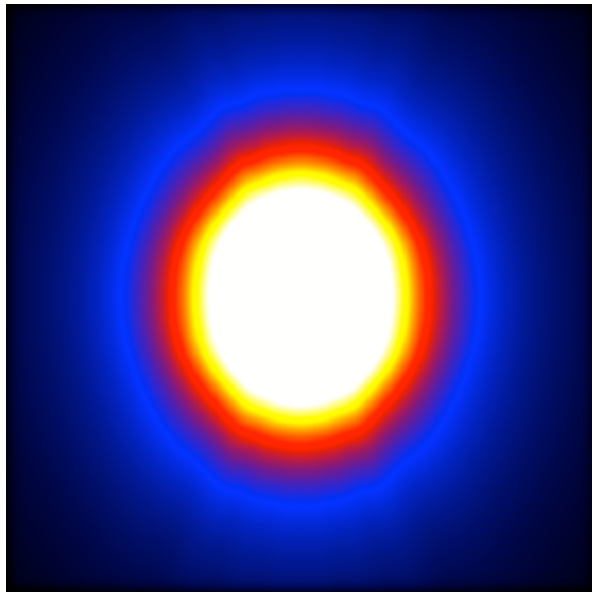
Seeing 1''



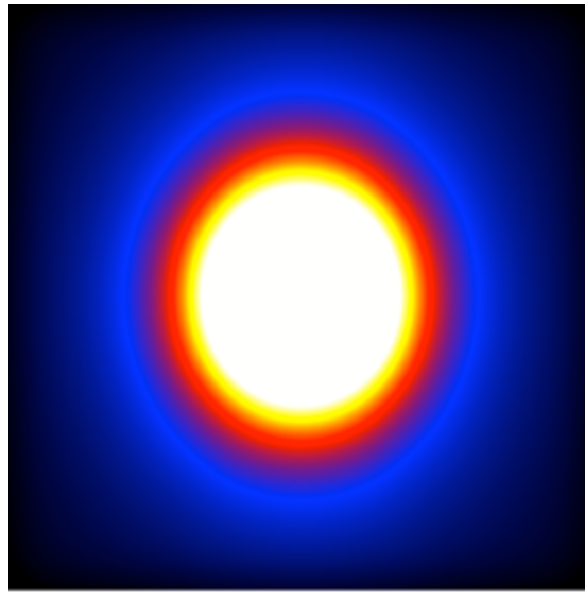
Seeing 2''

PSF差し引き

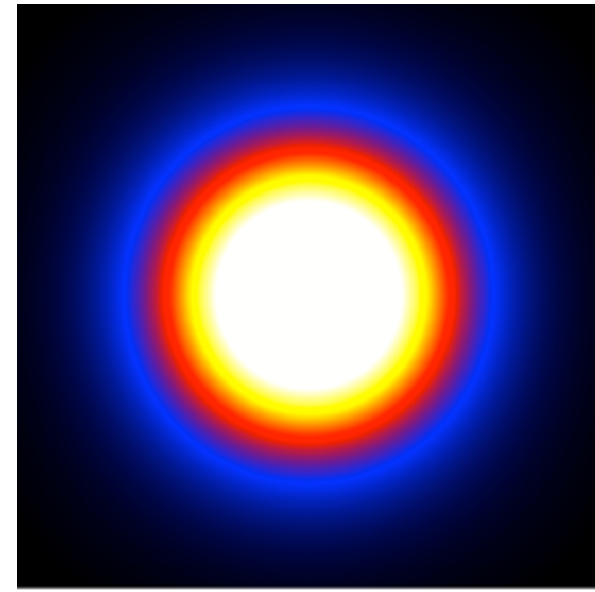
- PSF差し引きで円盤の検出が出来るか。



回折限界



SR30%

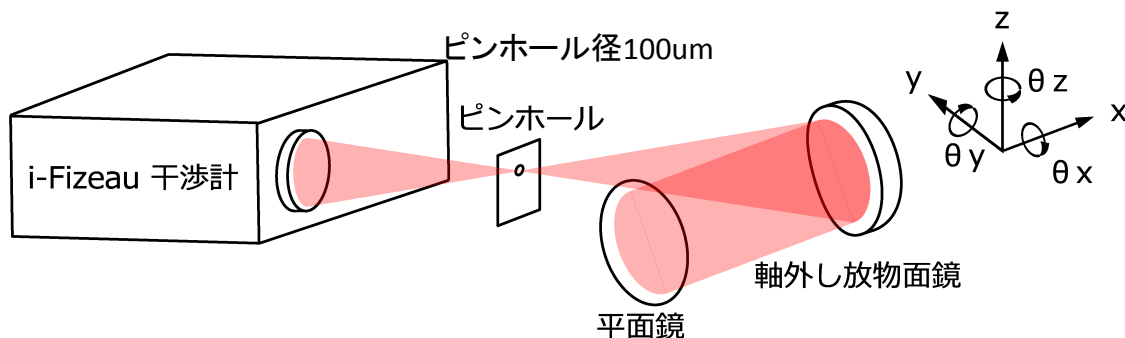


Seeing 1''

無補正(Seeing 1'')では円盤検出は出来ないが、SR30%程度でも円盤形状が推測できる。

※AOのモデル化を反映できていない。
ノイズなどは未評価。今後おこなう。

AO光学系の組み立て、評価

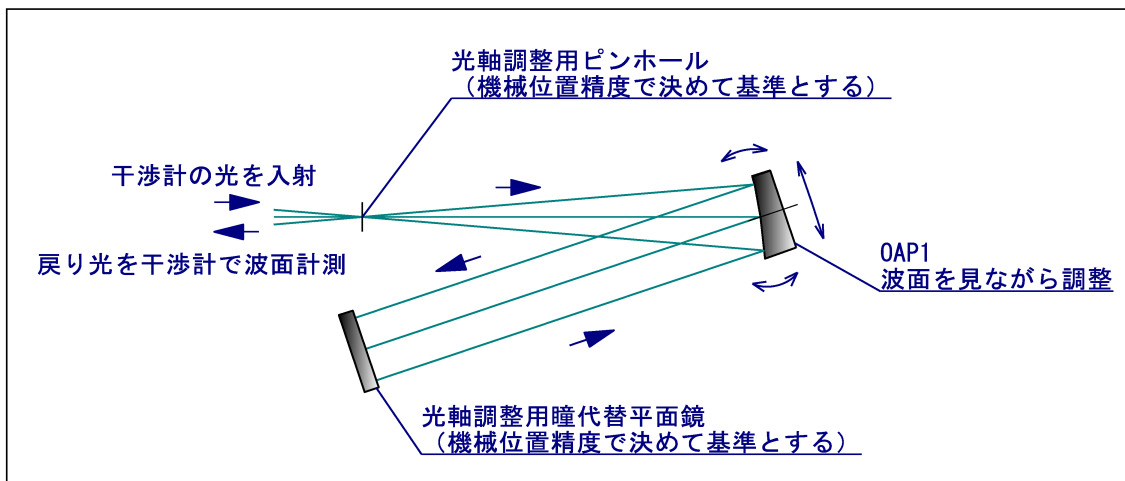


要求精度

位置精度: 100um

角度精度: 1分角

波面精度: $\lambda/4$



放物面鏡調整基準

x軸: ピンホール位置($\pm 75\mu\text{m}$)

y軸: ピンホール位置($\pm 75\mu\text{m}$)

z軸(光軸): focus収差

x軸回転: 0度非点収差

y軸回転: 45度非点収差

調整結果

要求精度

位置精度: 100 μ m

角度精度: 1分角

波面精度: $\lambda/4$

放物面鏡調整基準

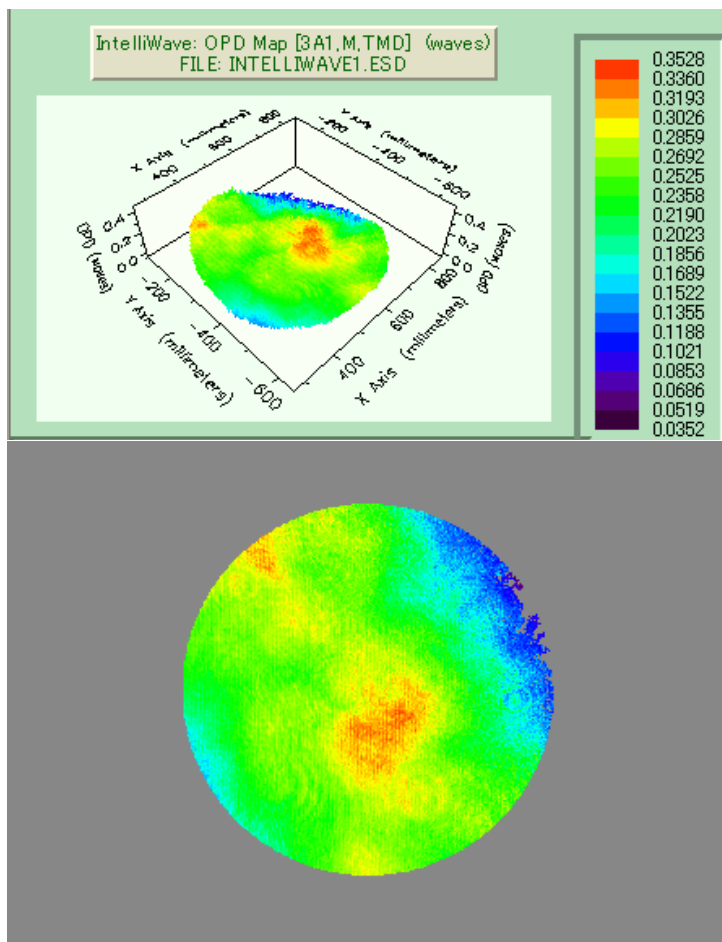
x軸: ピンホール位置($\pm 75\mu$ m)

y軸: ピンホール位置($\pm 75\mu$ m)

z軸(光軸): focus収差

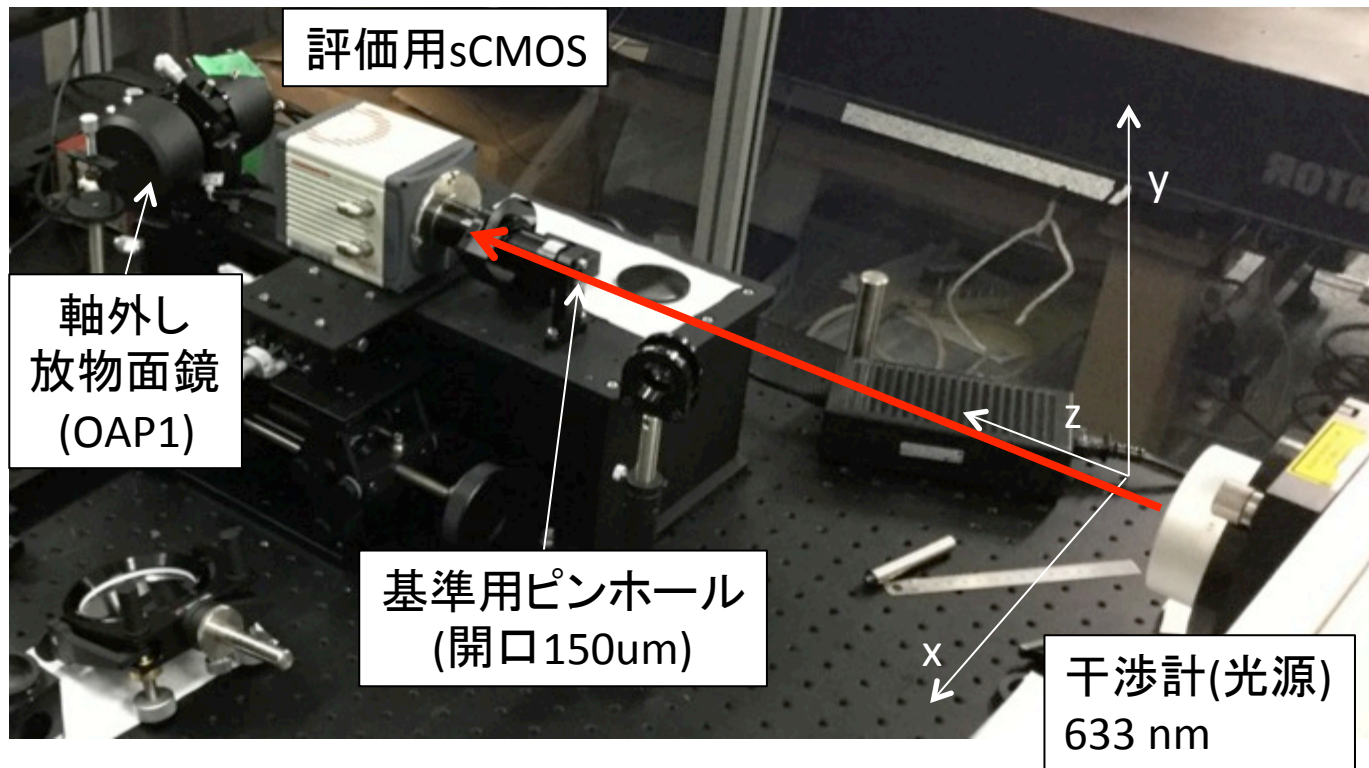
x軸回転: 0度非点収差

y軸回転: 45度非点収差



干渉計測定波面で $\lambda/3$ (P-V)で設置完了。
→放物面鏡では $\lambda/6$ の精度を達成。

実機組み立ての現状



光源の要求設置精度

x, y : 100 μ m

z : 1 mm



現在の設置精度

x, y : 75 μ m

z : 0.1 mm

光源と調整の基準ピンホールの位置調整が完了した。
[前回まで]

[今回]
放物面鏡(OAP1)の位置調整完了
位置精度: 100 μ m
角度精度: 1分角
要求精度を満たす。

現在

望遠鏡 → SEICA (OAP1) → T/T
→ リレー(OAP2)
→ Woofer(OAP3)
→ リレー(OAP4)
→ Tweeter(OAP5)

OAP1の調整によって、以降のOAP2~5の調整手順を確立させる。

SEICA補償光学の課題/問題点

- SEICA AOの組み立て
 - 組み立て手順はほぼ確立
 - OAP2-5の製作, Unit(治具)の製作
 - SEICA AOの制御:
 - WFSの平面出し(ゼロ点)
 - SEICA構体: チャンバー, 除振台, 恒温槽(常圧 $20^{\circ}\text{C}\pm 0.05^{\circ}\text{C}$)
 - ADC (大気分散補正光学系)
 - Img rotator (SEICA用)
 - PDI (中川君発表)の開発
 - 要検討課題: 望遠鏡由来のエラーを評価
1. 分割鏡の制御誤差
 - DMでは取れない局所成分で、低空間周波数のパターンを形成するので、主星近傍にスペックルを形成してしまう。
 - 適切なLyot Stopの製作、設置が必要。
 2. 鏡の製作誤差(高周波、静的)
 - 差し渡し12分割のDMでは取り切れない誤差がある。
 - この誤差で2-3桁のコントラストに制限されてしまう。
 - 完成した分割鏡の実測値でエラーを見積もる。
 3. 鏡の支持構造とwarping harness(低周波、動的)
 - 低空感周波数側でエラーをうむ。DMで除去できるか。

