

CTA 報告153: CTA大口徑望遠鏡光学系調整現状

稲田知大^A, 野田浩司^A, 深見哲志^A, 奥村暁^C, 加賀谷美佳^A, 片桐秀明^D, 黒田隼人^A,
久門拓^A, 齋藤隆之^A, 千川道幸^E, 手嶋政廣^{A,B}, 藤原千賀己^E, 山本常夏^F, 吉田龍生^D,
李健^E 他CTA-Japan consortium

東大宇宙線研^A, Max-Planck-Inst. fuer Phys.^B, 名大ISEE^C, 茨城大理^D, 近畿大
理工^E, 甲南大理工^F

Cherenkov Telescope Array (CTA)

次世代地上ガンマ線望遠鏡群

★三種類(大中小)の口径の望遠鏡

★従来の望遠鏡と比較すると

◆一桁以上の感度向上

◆一桁広いエネルギー帯域 (20 GeV - 300 TeV)

★南北のサイトで観測 北 : La Palma (Spain), 南 : Paranal (Chile)



大口径望遠鏡

(Large-Sized Telescope : LST)

★観測エネルギー帯

◆20 GeV - 1 TeV

★光学系仕様

◆口径 (D) : 23 m (~400m²)

◆焦点距離 (f) : 28m

◆視野 : 4.5 [deg]

◆カメラPixelサイズ : 0.1 [deg] (50 mm)

◆主鏡面形状 : 放物面

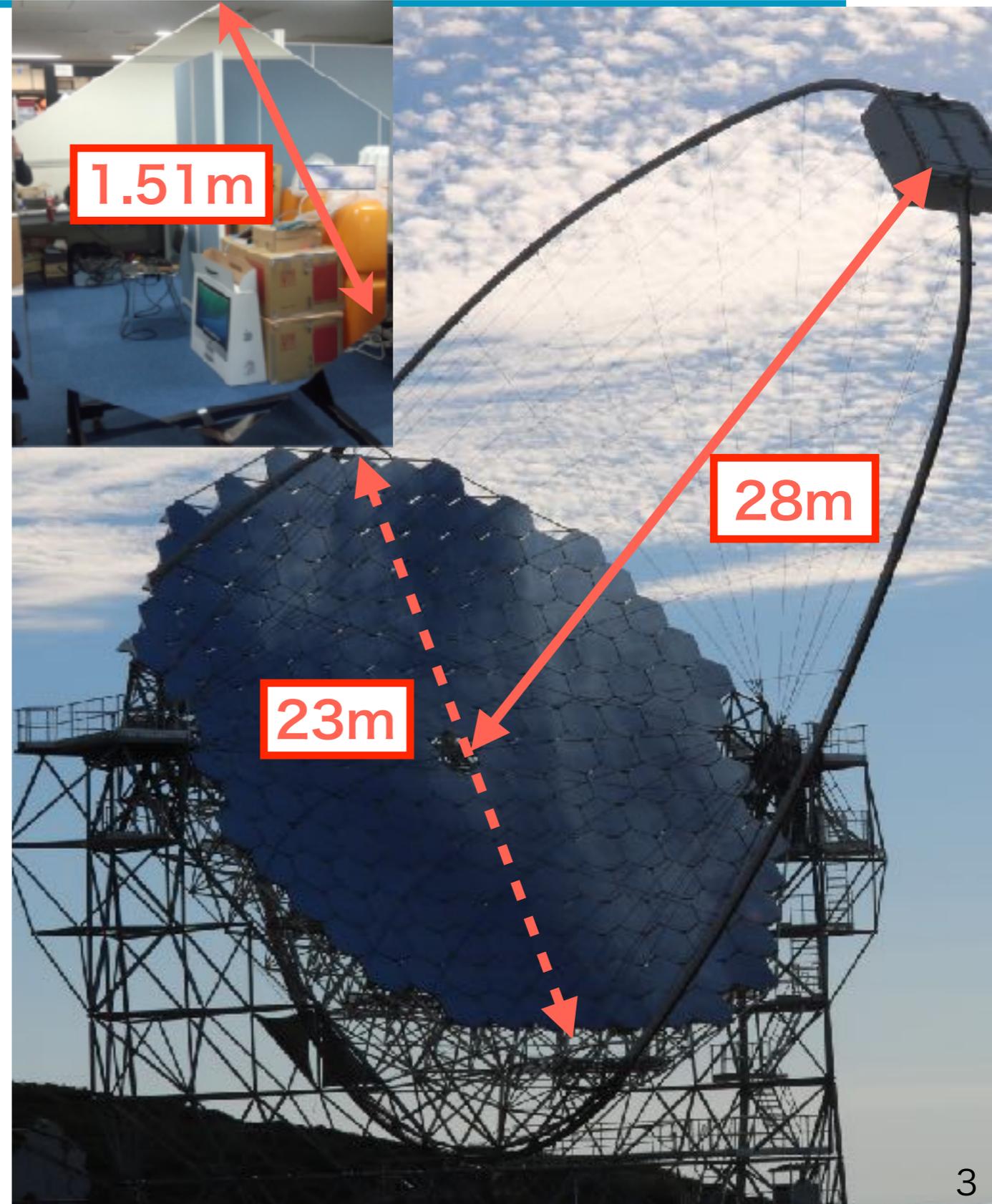
■198枚の球面分割鏡により構成

◆反射率 :

■>90 % @ 400 nm

>85 % @ 300 - 550 nm

◆20秒で180°回転可能 (突発天体に対応)



地上ガンマ線望遠鏡における光学系の重要性

★バックグラウンド除去能力の向上

◆ガンマ・ハドロン分離

地上ガンマ線観測ではシャワーイメージを用いてガンマ・ハドロン分離を行う

■焦点面での結像性能が非常に重要

◆夜光除去能力の向上

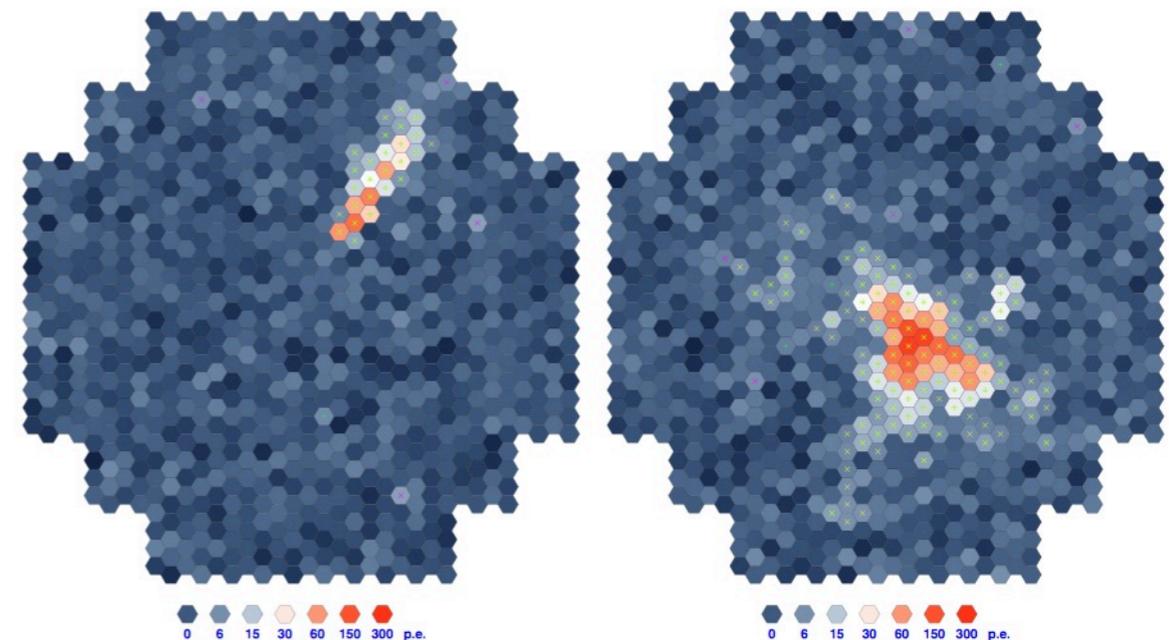
放物面鏡は光線の時間同一性という特徴を持つ
信号からの短いパルス幅を保つことが可能

■放物面のアライメントが必要

- ・分割鏡の方向調整を行い、精度の高い放物面へ

望遠鏡光学性能を向上させることで
低閾値化&高感度化へ

望遠鏡焦点面でのシャワーイメージ



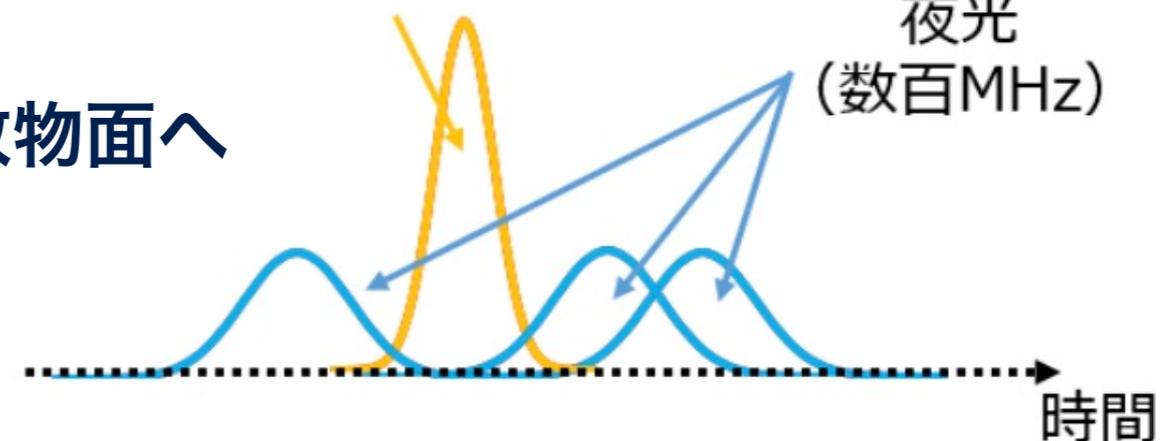
1.0 TeV gamma shower

2.6 TeV proton shower

H. J. Volk, K. Bernlöhner 2009

チェレンコフ光
(パルス幅~数ns)

夜光
(数百MHz)



京都大 野崎修論

AMC (Active Mirror Control) system

★分割鏡に生じる方向の歪み (最大4分角程度)を補正

◆方向調整のための2ステップ

①望遠鏡の自重：天頂角依存 (現行世代にも搭載)

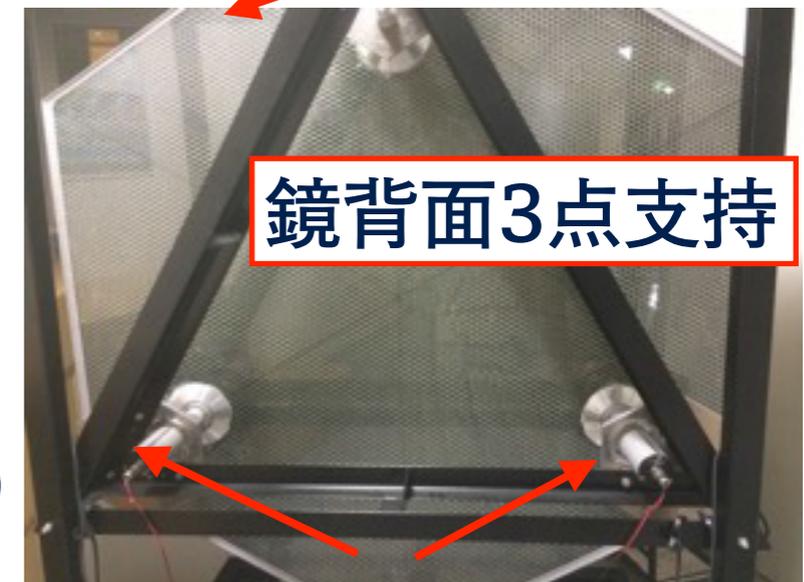
- ・天頂角ごとに分割鏡方向の基準点を事前に設定
- ・基準点は明るい星の観測により決定

②強風・気温：予測不可能 (CTA-LSTが γ 線望遠鏡では世界初)

- ・望遠鏡中心から焦点面にレーザーを照射
 - ・光軸を定義, レーザーと基準点の位置関係を確認
- ・観測中, CMOSカメラで焦点面をモニター
 - ・基準点とレーザー点間の相対ずれを検出
- ・ずれに対応した長さだけアクチュエータを伸縮

今回は①のためにPolarisを用いて分割鏡の方向基準点を定めるためのそれぞれの鏡の方向調整を行なった

固定軸(角度のみ変更可)



鏡背面3点支持

2つのアクチュエータ

鏡下部のCMOSカメラ

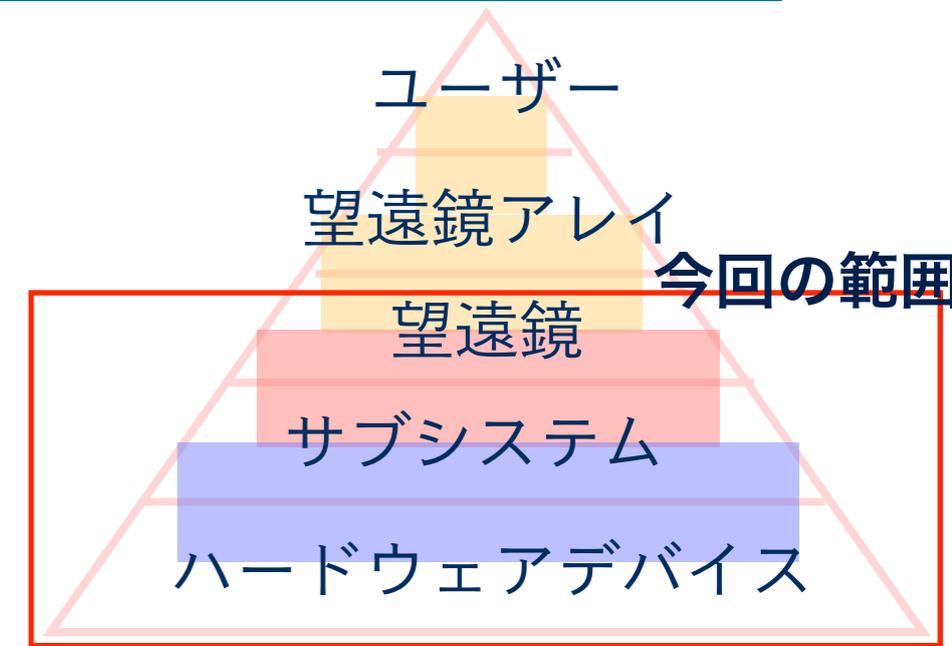


AMC制御ソフトウェア開発

- ★CTAでは、ハードウェア（データアクセス）とユーザーの間にいくつもの階層が存在
- ★高層のプロトコルを統一、制御・メンテを容易に
 - ◆望遠鏡⇔サブシステム：OPCUA規格に統一
 - ◆サブシステム⇔ハードウェア：各開発者の裁量
- ★AMCはLSTの1サブシステム
- ★LST望遠鏡制御との間はOPCUA規格で接続する必要あり

今回のupdate

- ★AMC及びPSFカメラ(後述)がOPCUA規格を通して制御可能であることを確認した
 - ◆すでにサイト内にあるIT clusterにアクセスすることで制御可能な状態
- ★定常的な観測へ向けて、開発担当者だけでなく、観測シフターが容易に操作できるように準備を進めている



CTA制御ソフトの一般的構造

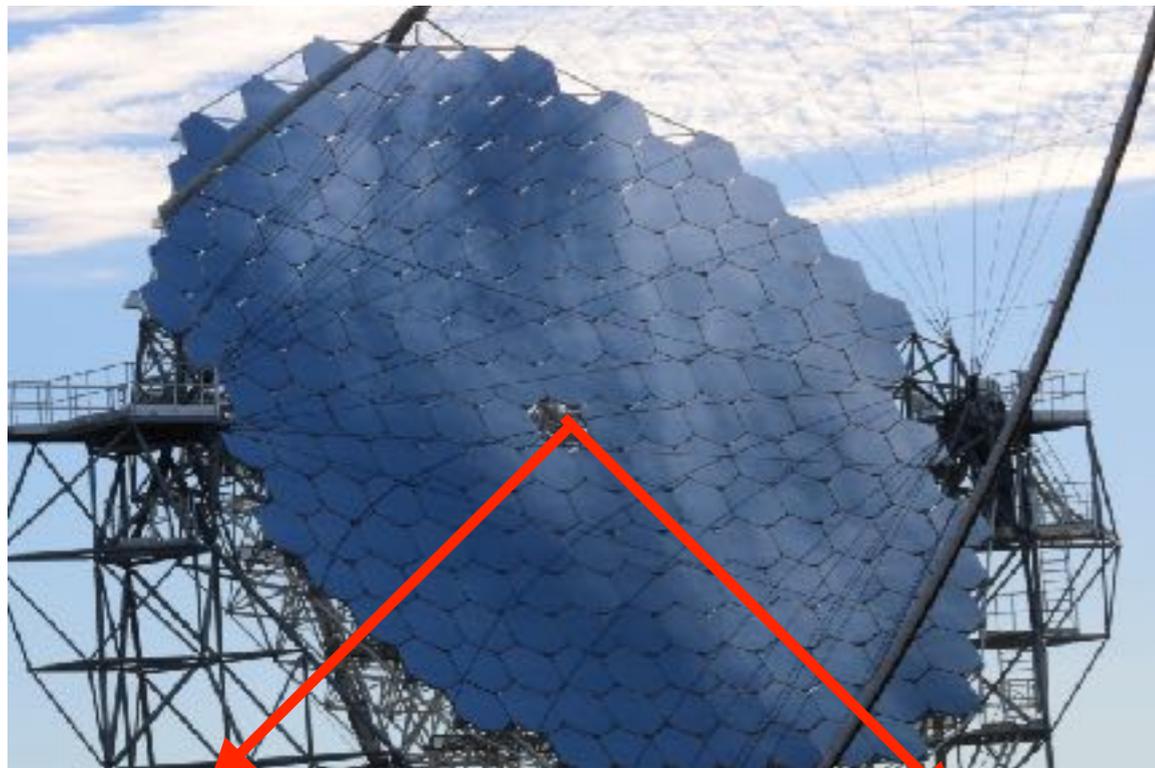


野田slide(2018JPS春)を改変

焦点面での星像撮影

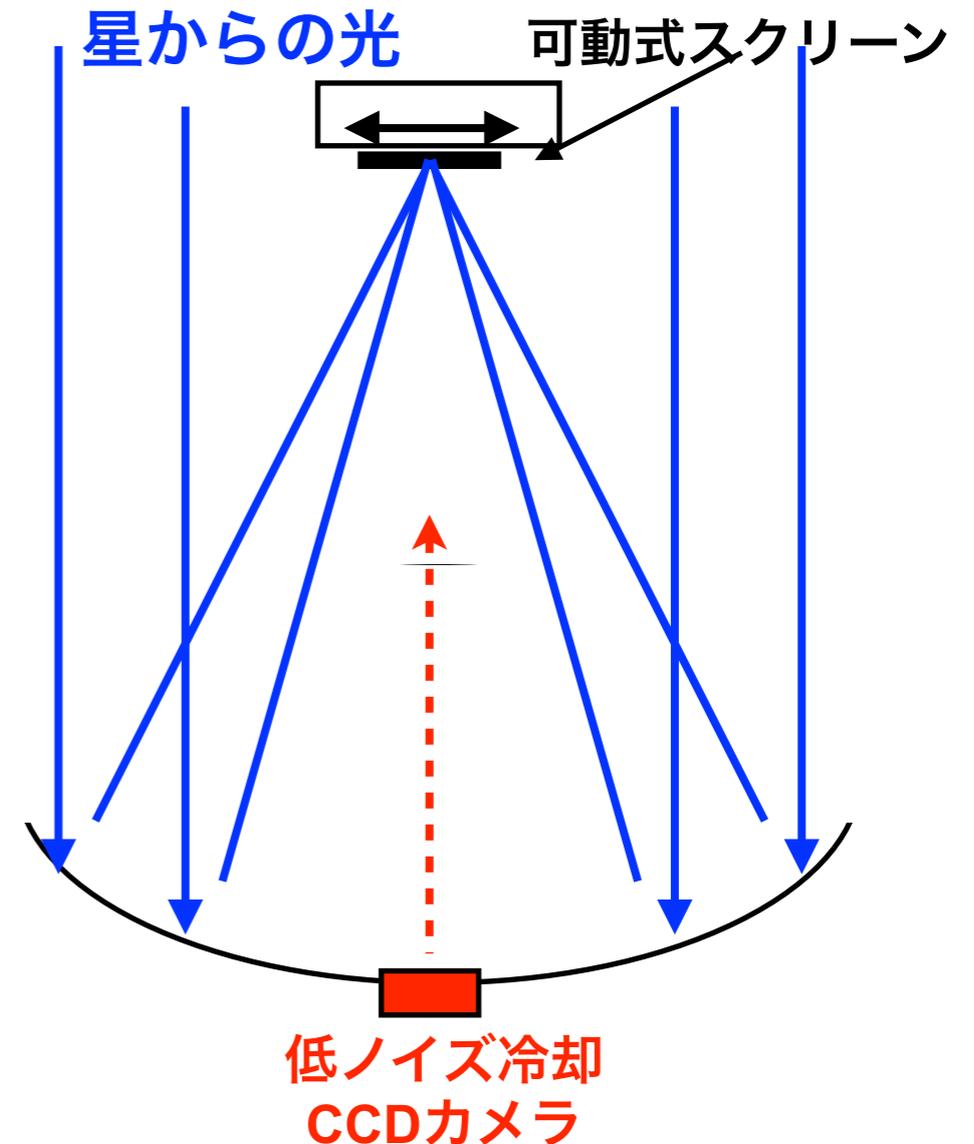
PSF camera : 放物面中心にCCDカメラを設置

★スクリーン上の星像を撮影し, 望遠鏡の結像性能(Point Spread Function, PSF)を測定



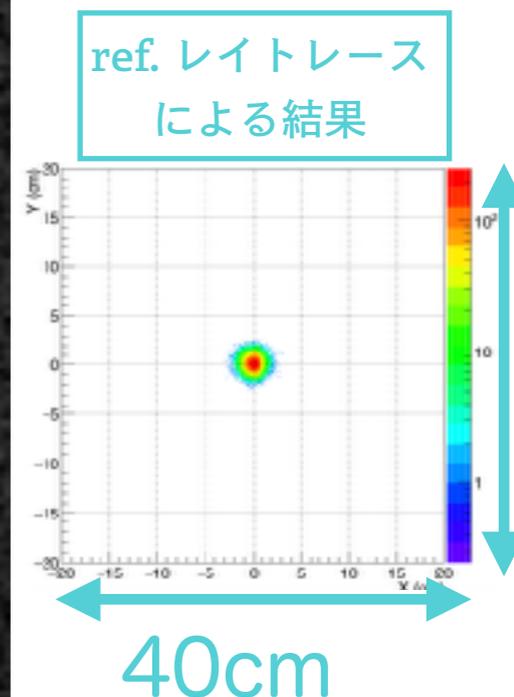
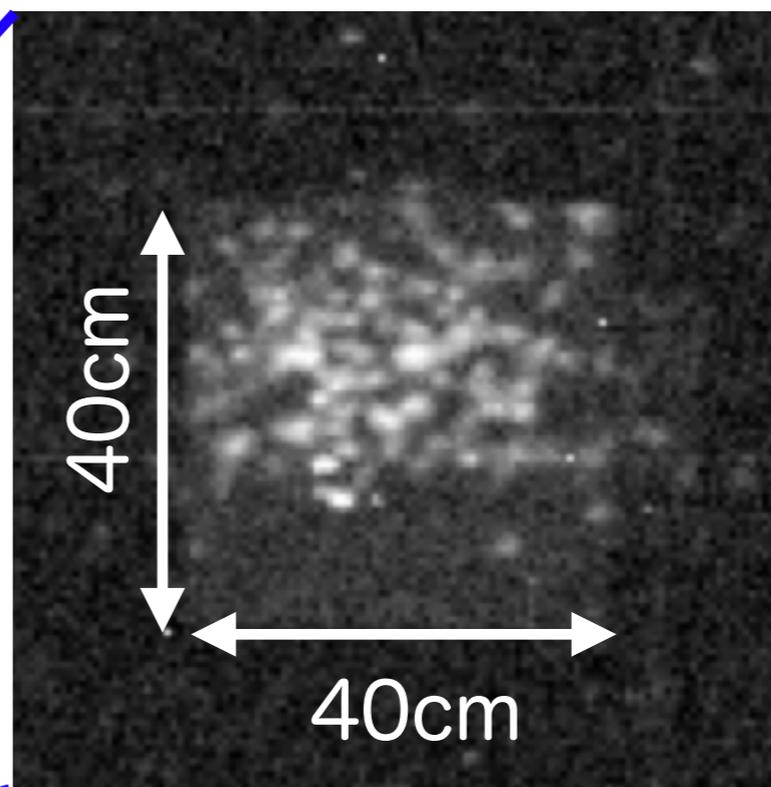
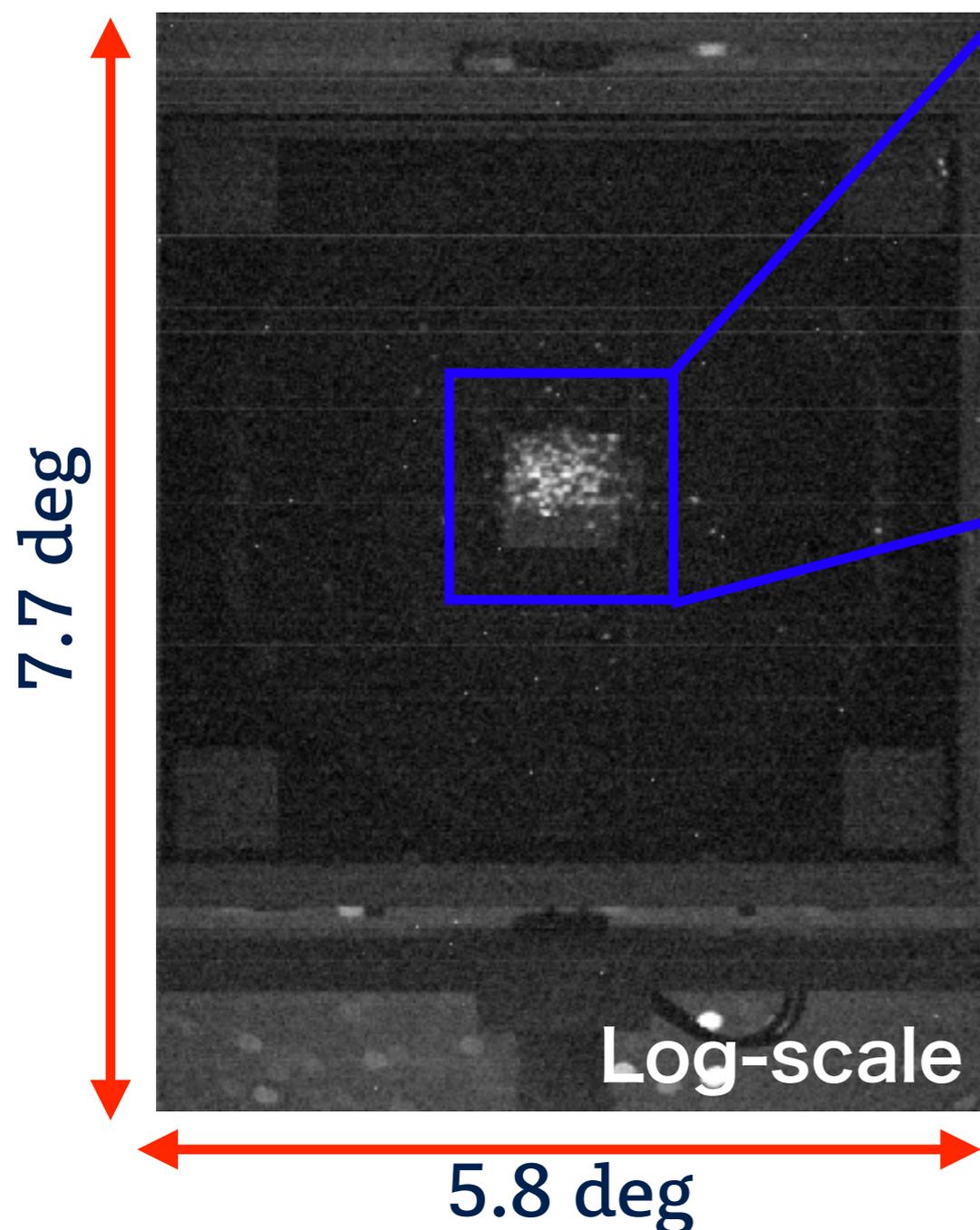
2018年11月に
インストール完了

PSFとして用いる値
D80 : 鏡から反射された全光量の80%
が入る円の直径



First image of Polaris

- ◆視野 : 7.7 deg × 5.8 deg (H×W)
- ◆解像度 : 0.00233 deg/pix = 1.1 mm
- (~ 1/15×PSF@1MIR)

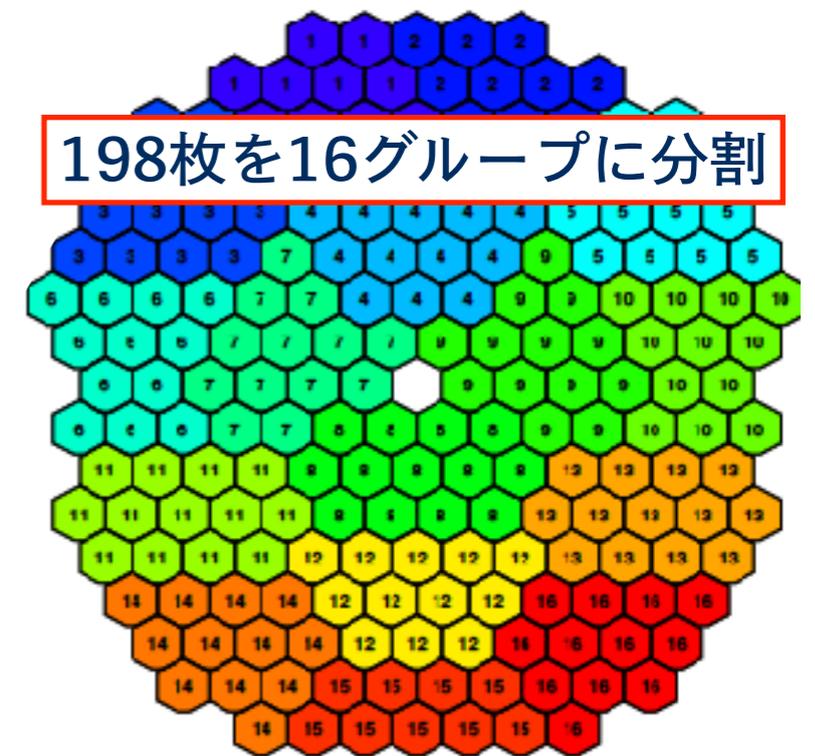


現状

- ★この時点ではまだ鏡の方向調整がされていない
- ★各分割鏡からの像がスクリーンに収まらないほど散らばっている
- ★どの像がどの鏡から来ているのかを1枚1枚同定, 中心に寄せていく
- ★今回の目標 : 全ての像をスクリーン上に

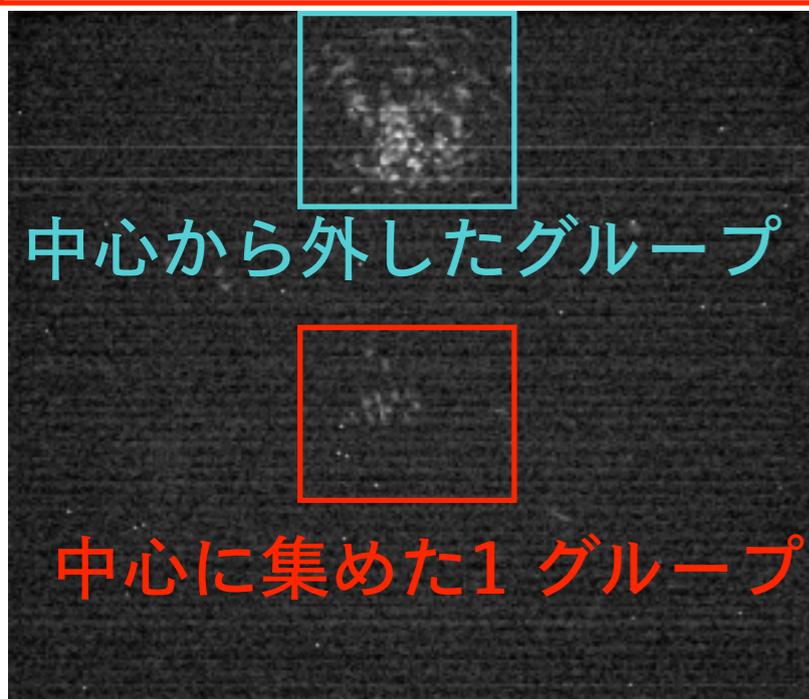
分割鏡の方向調整過程

- 198枚の分割鏡を16グループに分割
- スクリーンだと像の散らばりが収まらないのでカメラシャッター上で行った
- シャッターはスクリーンより約40cm望遠鏡側に位置する



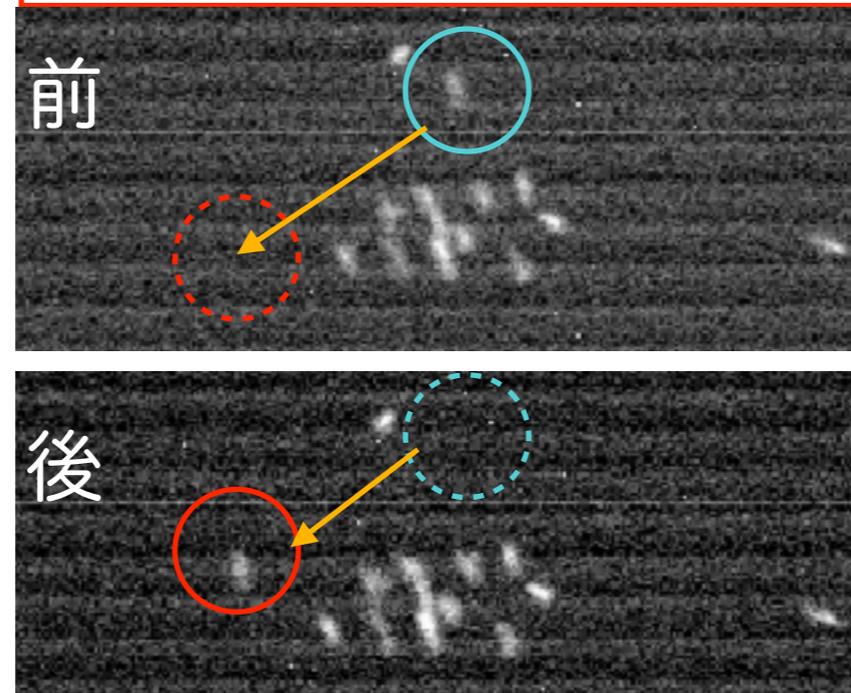
Step 1.

1グループごとに星像を
中心に集める



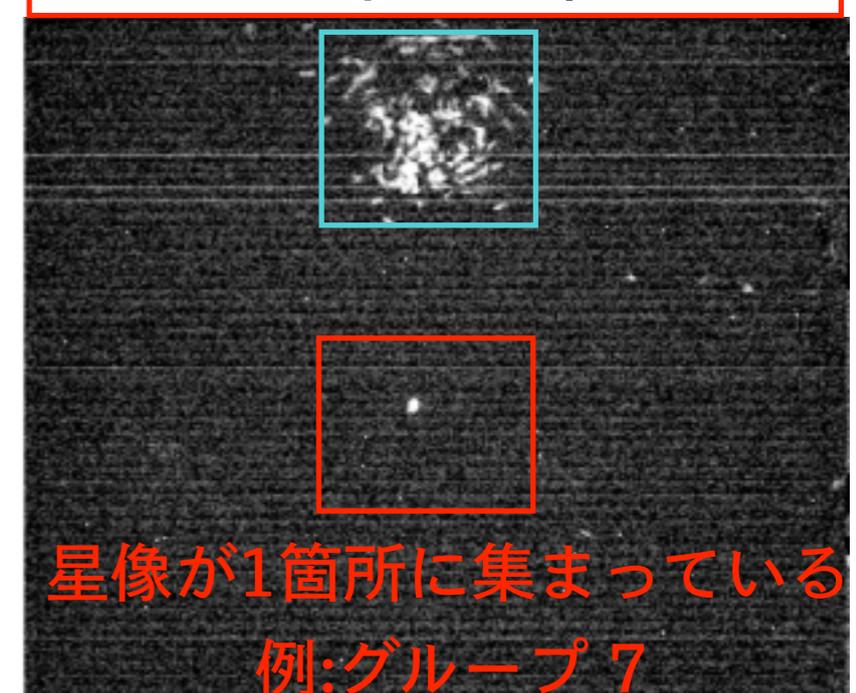
Step 2.

鏡1枚をアクチュエータで動
かし前後で比較, 像を同定



Step 3.

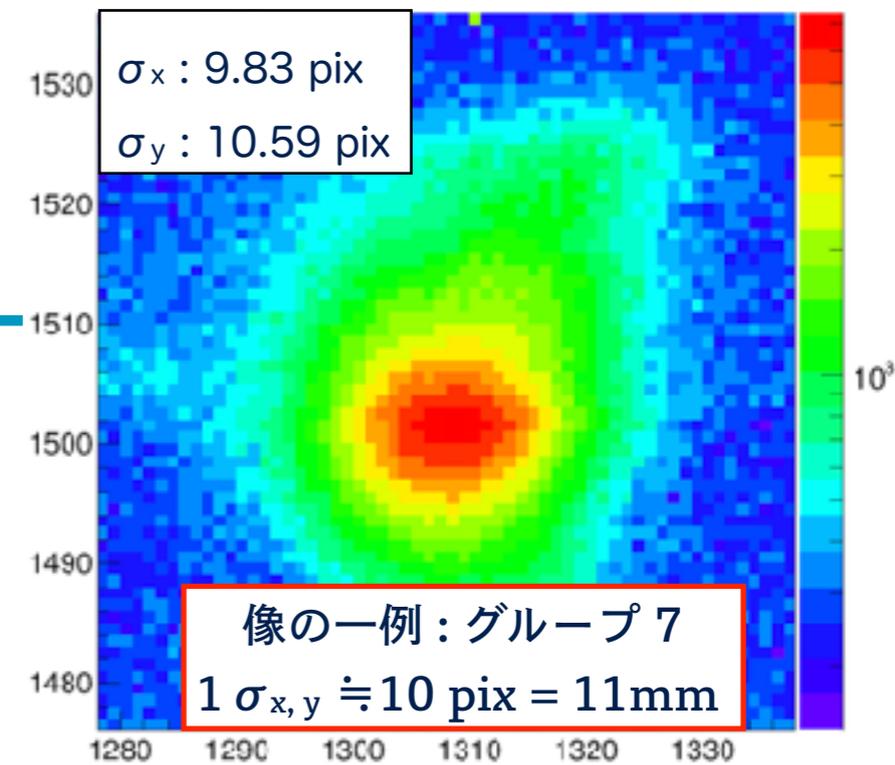
グループごとに星像を
カメラ中心に集める



Step2 × Step3 = 198 回, この作業を行い画像を撮影, 後にまとめて
自動画像解析を行い, 像とアクチュエータの動きの対応付けを行った

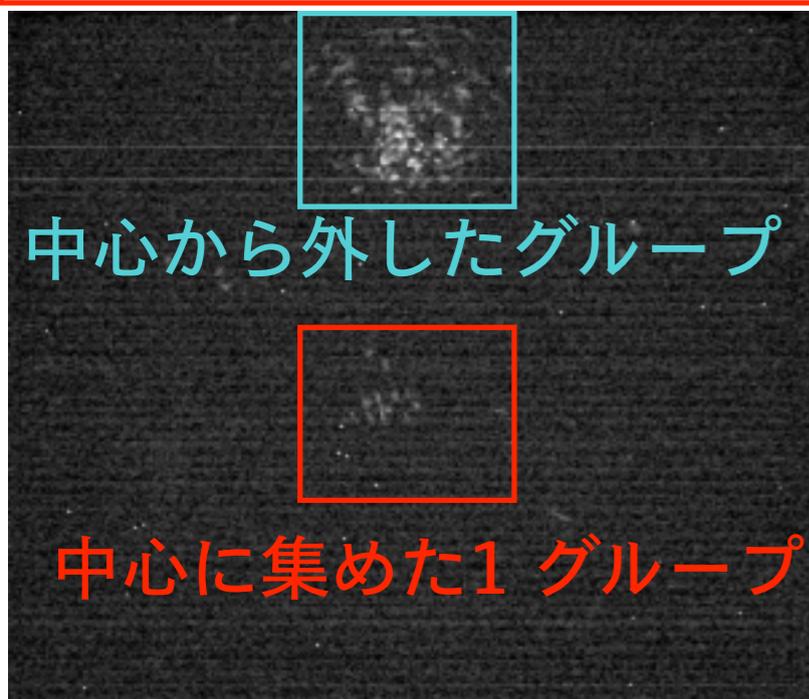
分割鏡の方向調整過程

- 198枚の分割鏡を16グループに分割
- スクリーンだと像の散らばりが収まらないのでカメラシャッター上で行った
- シャッターはスクリーンより約40cm望遠鏡側に位置する



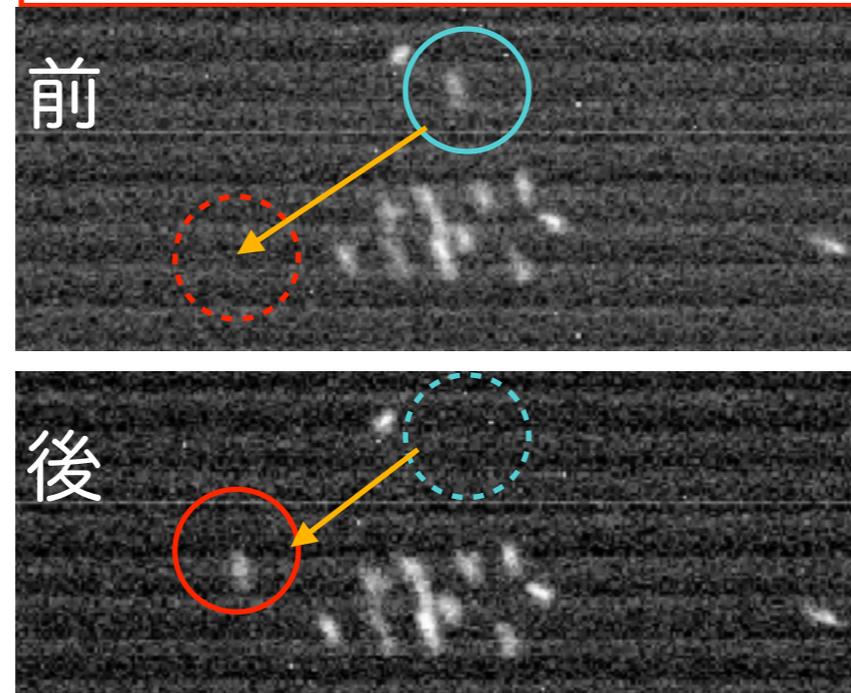
Step 1.

1グループごとに星像を
中心に集める



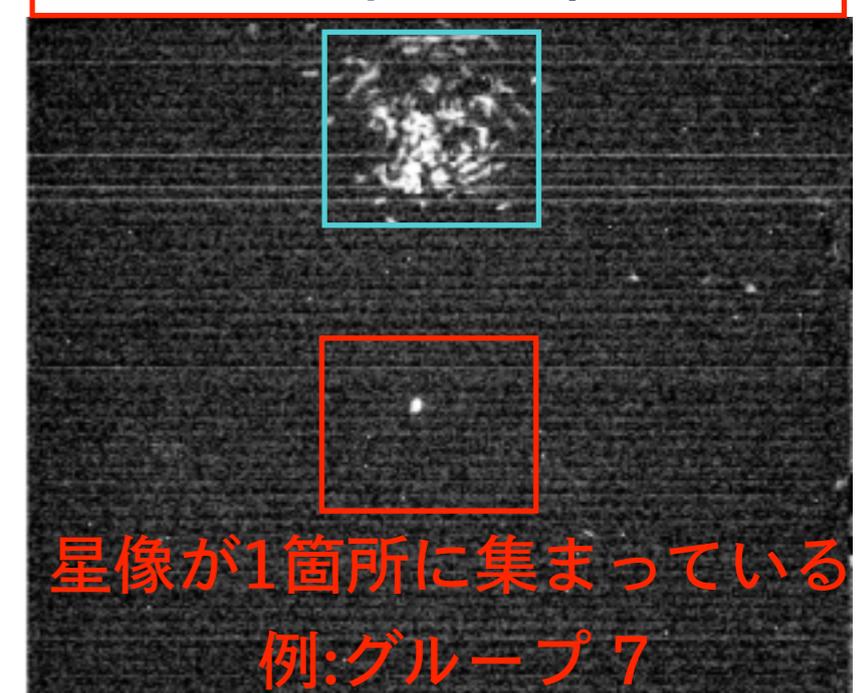
Step 2.

鏡1枚をアクチュエータで動かし前後で比較, 像を同定



Step 3.

グループごとに星像を
カメラ中心に集める

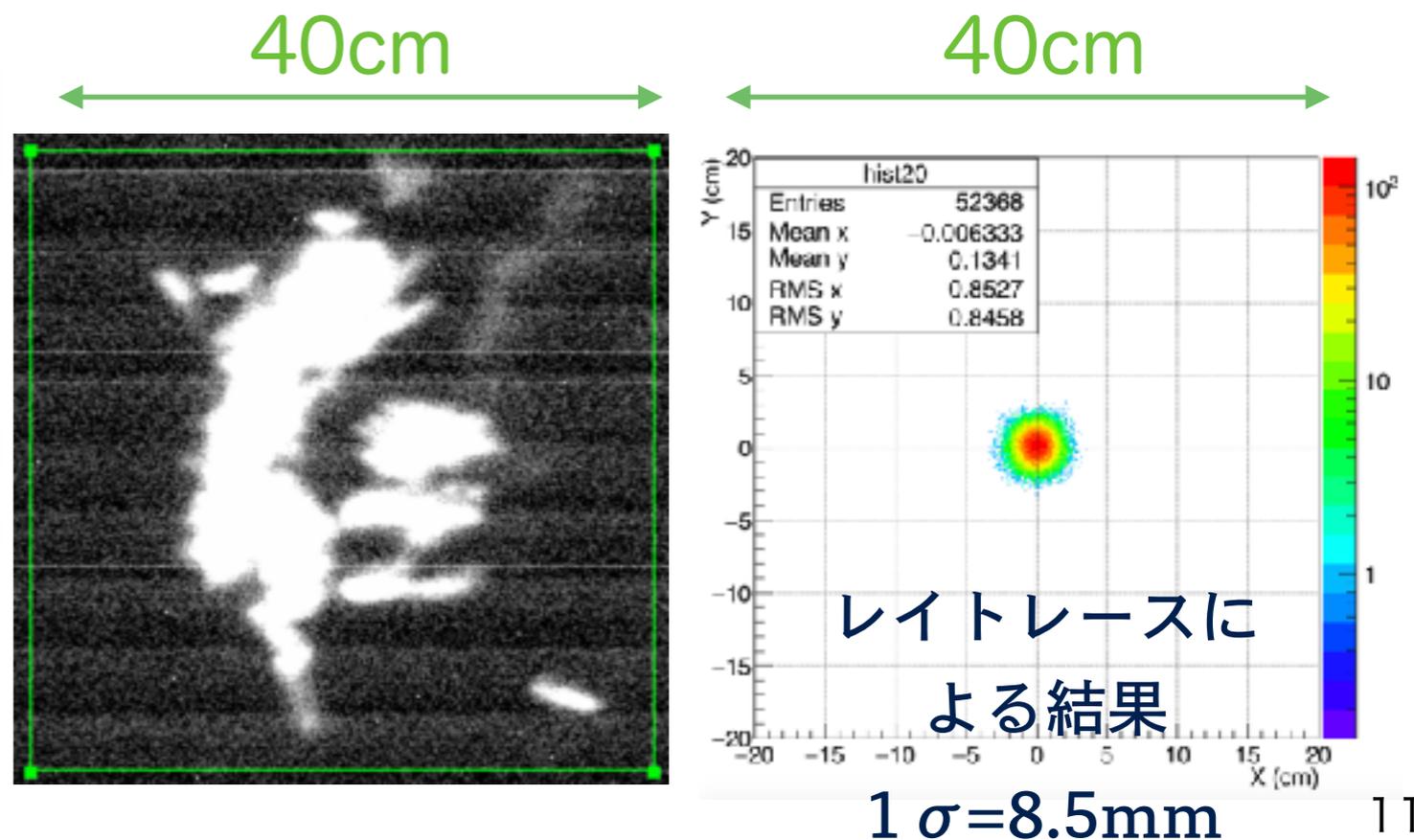
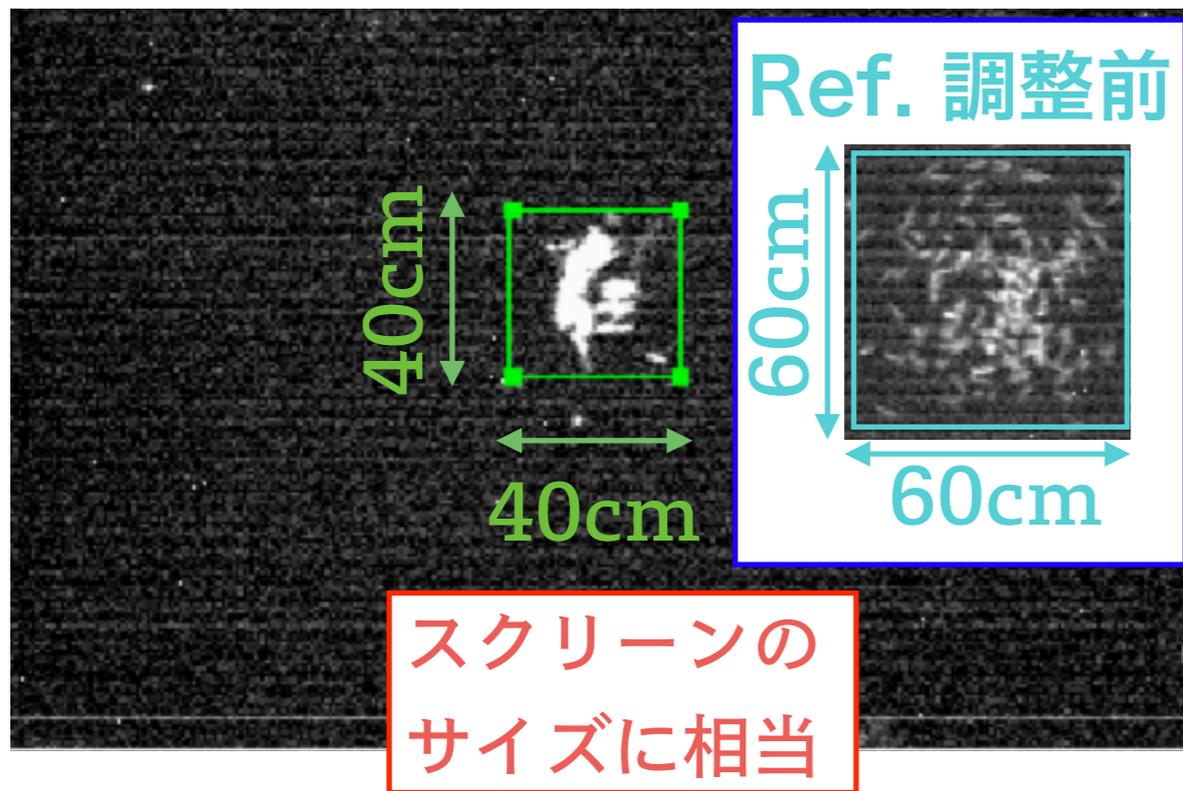
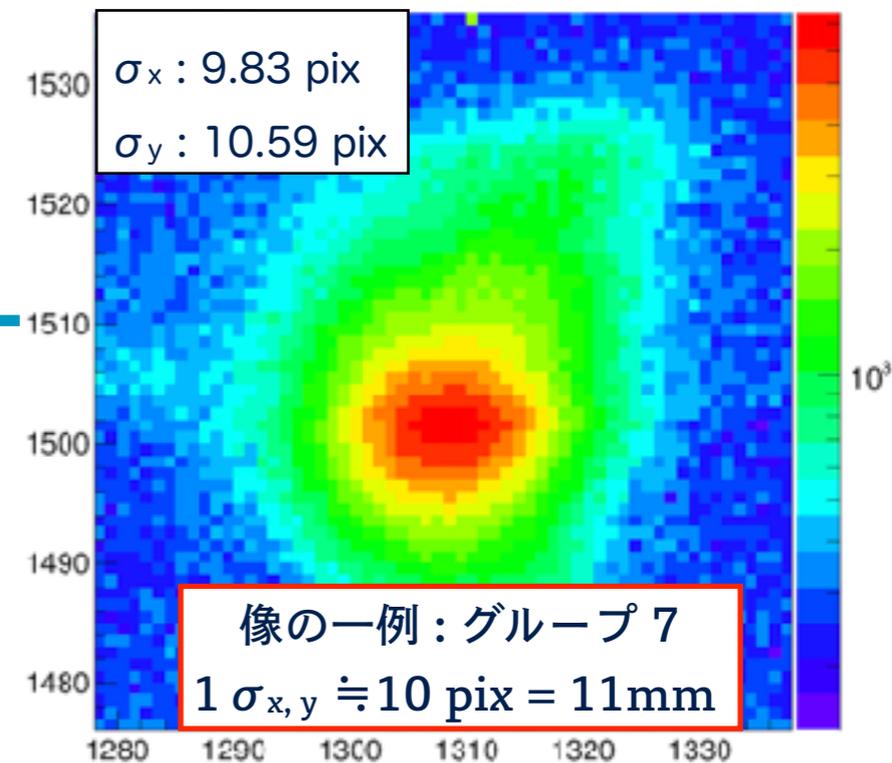


Step2 × Step3 = 198 回, この作業を行い画像を撮影, 後にまとめて自動画像解析を行い, 像とアクチュエータの動きの対応付けを行った

198枚の鏡調整の結果

★今回の鏡調整を終えての現状

- ◆望遠鏡で星のtrackingがまだできないため、pointingはdrive systemで調整
- ◆Polarisが調整中に動いているのが見えている
 - 1グループ撮影を終えるのに約30分
- ◆グループごとに違う場所に集光しているが
スクリーンサイズに収めるという今回の目標は達成



まとめと展望

- CTA-LSTはそれぞれの分割鏡が3点で固定され, 2本のアクチュエータで方向の制御が可能
- AMC と PSF カメラの制御は同じプロトコル, OPCUA規格で制御可能
- AMC, PSFカメラのハード・ソフトウェア共に正常に稼働することを確認, 望遠鏡の分割鏡方向調整を行なった
- 現状では, ほぼ全ての鏡からの星像をスクリーン上に収めることができた
 - 次の段階ではスクリーン上で像を中心に集めることに取り組む
 - 最終的には
 - 天頂角ごとに分割鏡の方向基準点を作成
 - CMOSカメラによる観測中の自動補正が可能な状態に持っていく