

明野大気チェレンコフ望遠鏡 光学系の再構築(2)

大石理子, 吉越貴紀, 森正樹^A, 奥田剛史^A, 八橋大輔^A,
大嶋晃敏^B
東大宇宙線研, 立命館大理工^A, 国立天文台^B

明野大気チェレンコフ望遠鏡



- ◆ 2010年11月に明野観測所に移設完了、同時に再塗装・錆除去・ボルト交換などのメンテナンス作業を行った
- ◆ 観測所敷地内の電動式開閉テント中に設置鏡面は金属製の蓋で保護
- ◆ 小型鏡表面のアルミ膜は経年劣化が激しく、**再蒸着**を行うことになった

1998年製作(三井造船製) 2003年から甲南大チェレンコフ望遠鏡として稼働
経緯台マウント $f=3.0\text{m}$ $f/D=1.0$
Davies-cotton型複合反射鏡(ガラス小型鏡18枚で構成)

小型球面鏡の再蒸着の完了(1)

岡山天体物理観測所 蒸着タンク



◆ 小型鏡の再蒸着には**国立天文台岡山天体物理観測所(OAO)**の協力を仰いだ

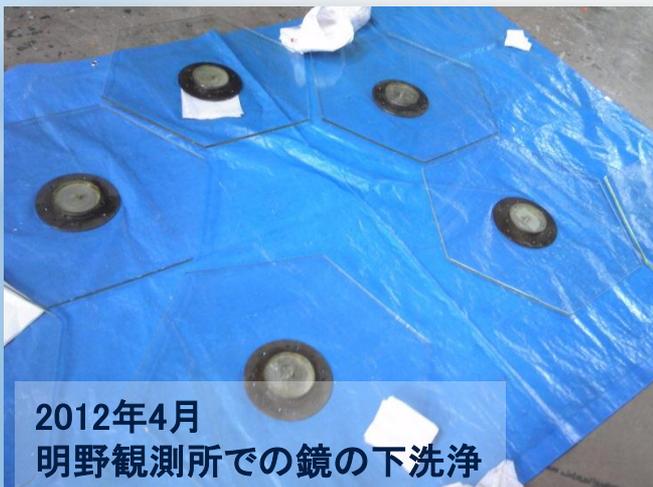
- 直径74インチ真空蒸着タンクを保有
- 岡山天体物理観測所の188cm 鏡を毎年雨季(6月)に再蒸着
- 岡山天体物理観測所以外の設備の反射鏡の蒸着も同時期に受け入れ実績あり

明野望遠鏡の小型鏡を一度に**6枚**蒸着することが可能 →合計3回で全数蒸着完了

2011年9月に18枚のうち6枚を試験的に蒸着(前回報告)



2012年6月に残り全ての鏡の再蒸着を行った



小型球面鏡の再蒸着の完了(2)

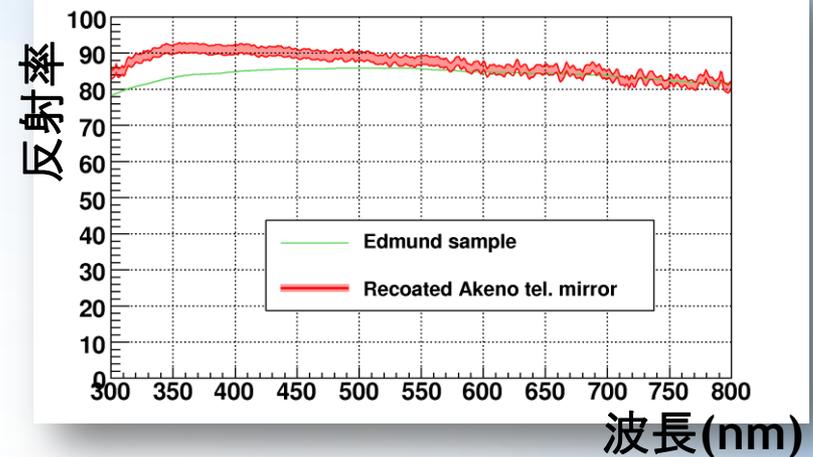


再蒸着完了後の小型鏡

2012年6月再蒸着直後の反射率
(μ SCANを用いた測定, OAO小矢野久
氏の提供による)

	反射率670nm
6/25 1釜目	90%
6/26 2釜目	91%

2011年9月再蒸着時の分光反射率推定値



可搬式反射率・表面
粗さ測定器 μ SCAN
(Schmitt measurement
社製, OAO保有)

本体(写真)に接続し
たプローブを鏡面に当
てて反射率を計測
反射率測定誤差 $\pm 2\%$

光学系再構築に関する作業の流れ

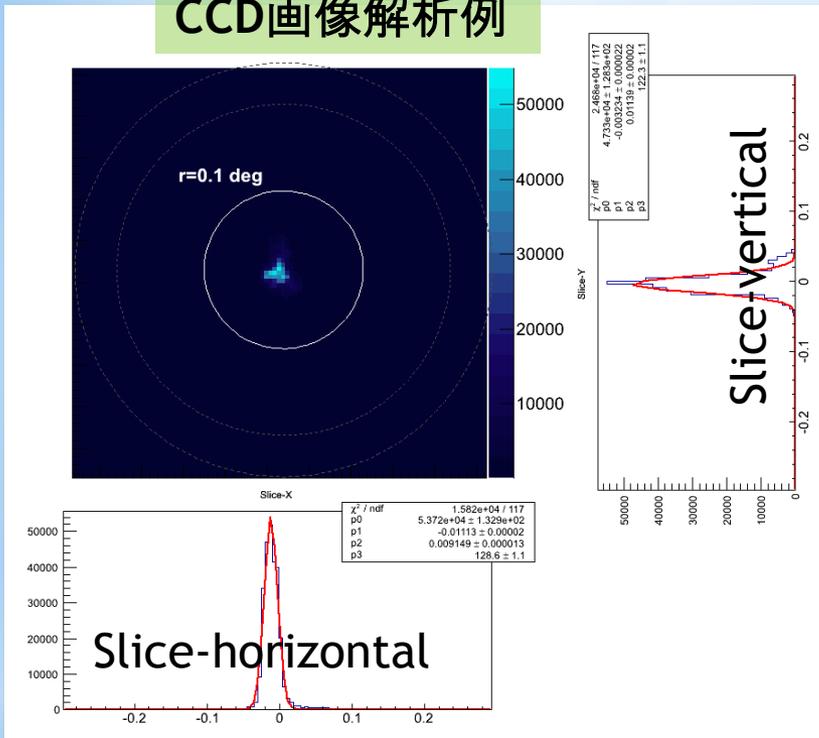
- ◆ 小型鏡の全数再蒸着 (2011/9 - 2012/6) @ 岡山
 - ◆ 小型鏡像サイズの簡易測定(2f法) (2012/8) @ 明野
 - ◆ 小型鏡の望遠鏡への取り付け(2012/8)@明野
 - ◆ 小型鏡の角度調整機構のテスト(2012/8)@明野
-
- ◆ 小型鏡の角度・位置 本調整
 - ◆ 無限遠点光源(恒星)を用いた反射像サイズの計測・光軸調整後の光学性能の総合評価

完了

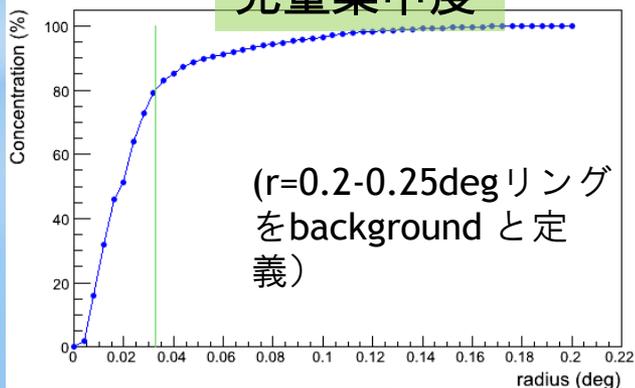
今後

小型鏡の像サイズ簡易計測（2f法光当て試験）

CCD画像解析例



光量集中度



◆ 光学系：2f系

◆ 光源

He-Neレーザー 543nm(緑)

+ 平凹レンズ

◆ 撮像装置

冷却CCDカメラ SBIG ST-7XMEi

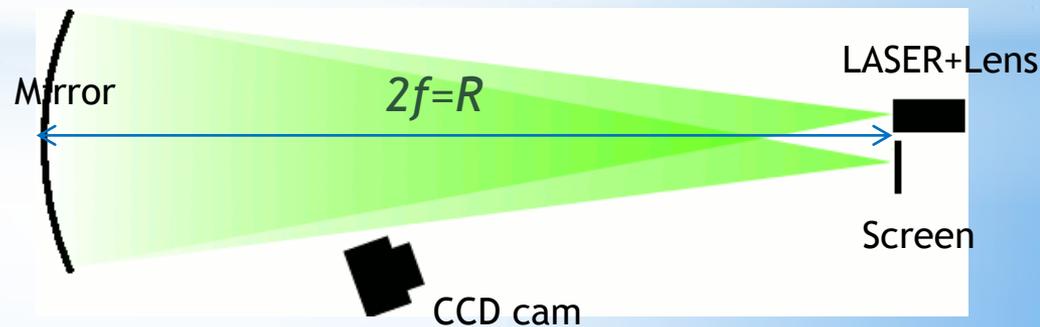
(765x510ピクセル, 16ビット)

+ Pentax-K カメラレンズ (35-80mmズーム)

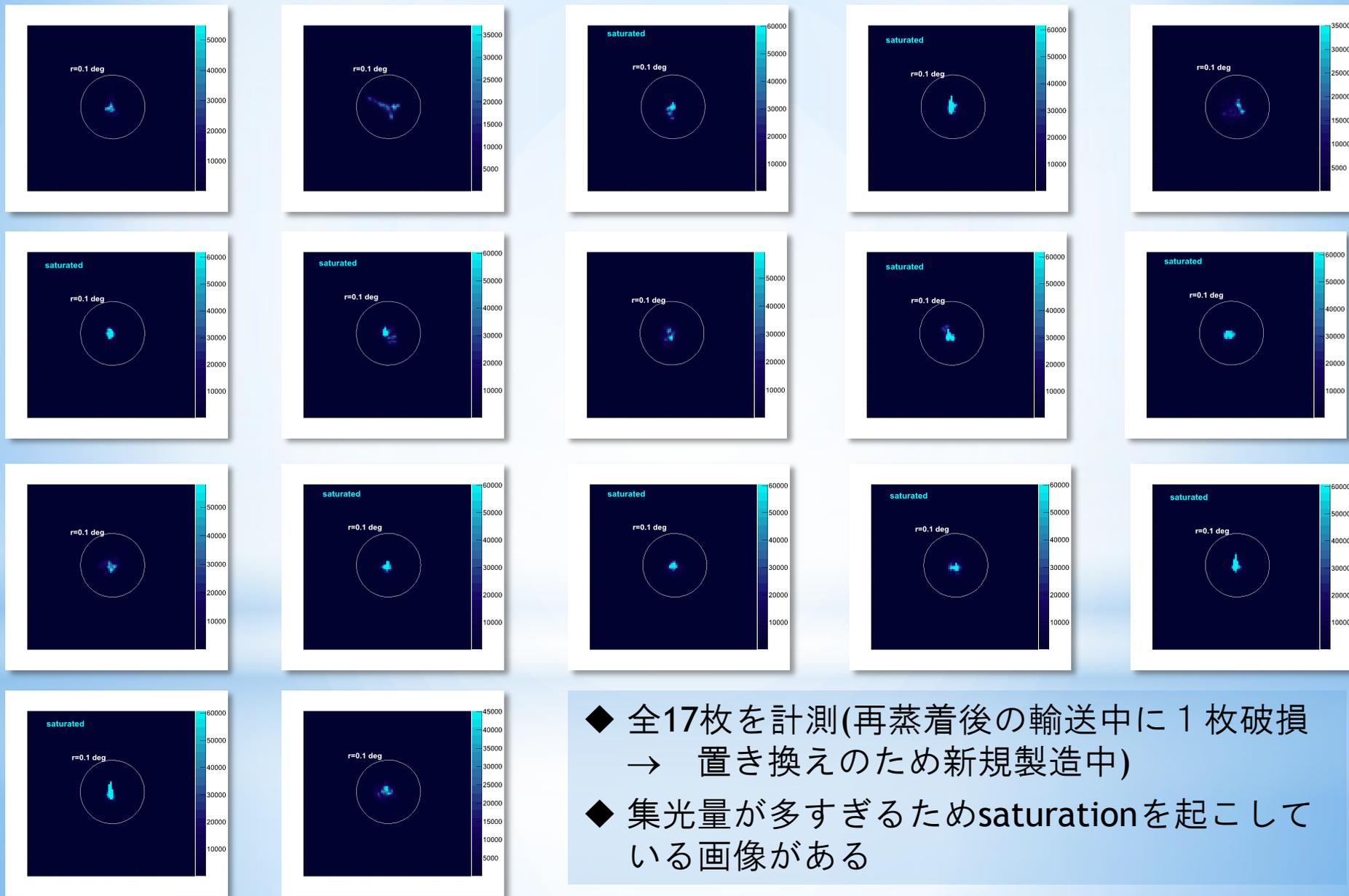
◆ 撮像時 露光時間0.12秒(最小値)

カメラレンズ絞り値22(最大)

焦点距離 80mm



小型鏡の像サイズ簡易計測 (2f法光当て試験)

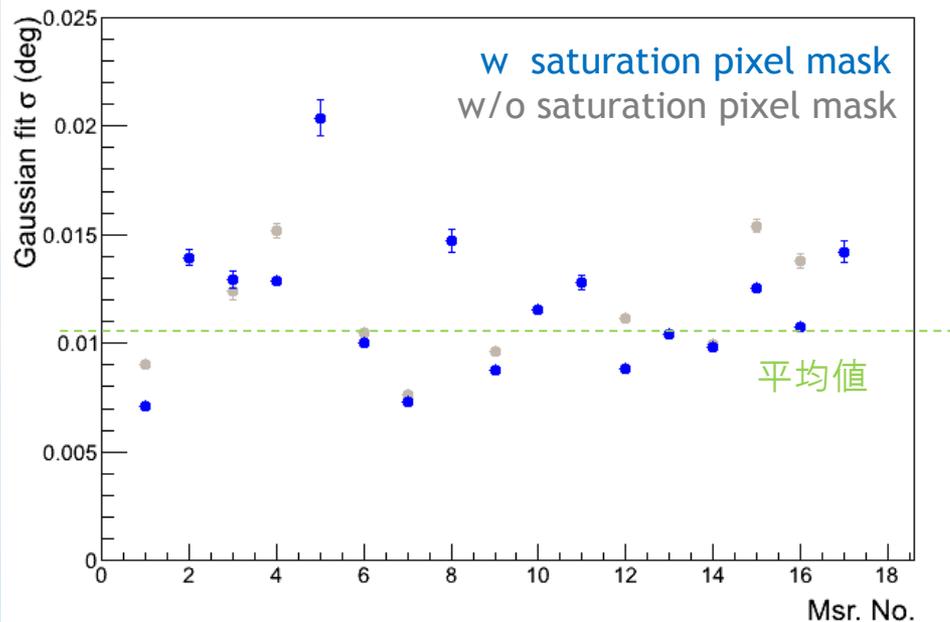


- ◆ 全17枚を計測(再蒸着後の輸送中に1枚破損 → 置き換えのため新規製造中)
- ◆ 集光量が多すぎるためsaturationを起こしている画像がある

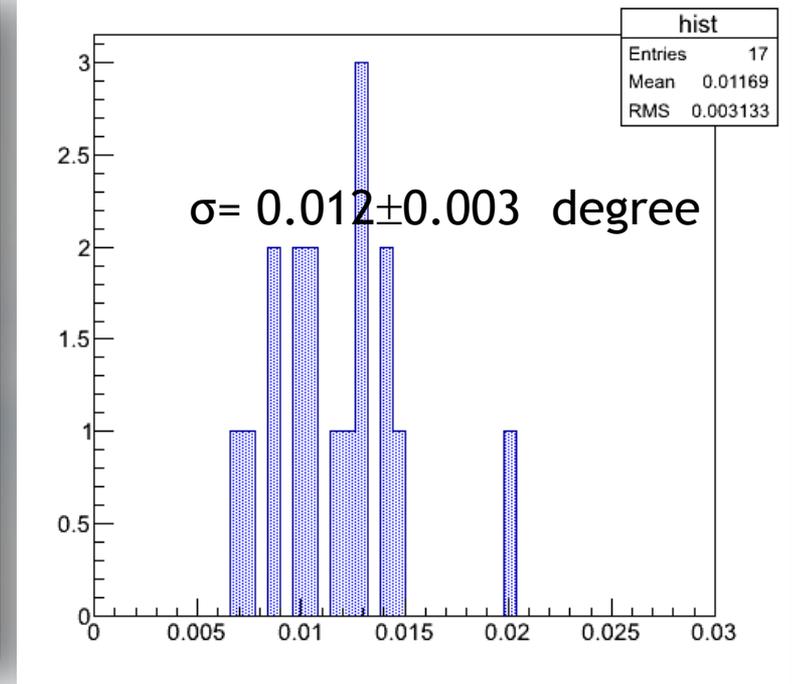
小型鏡の像サイズ簡易計測（2f法光当て試験）

- ◆ Saturationを起こしているピクセルは解析からマスクし、重心位置での horizontal/vertical 1次元sliceを Gaussian + 定数としてフィット
- ◆ CCDのdark currentは差し引き済みだが、測定環境の背景光は差し引かれていない（定数として近似）
- ◆ 17枚の平均: $\sigma = 0.012 \pm 0.003$ degree

Fitting σ (horizontal/vertical(平均))



Fitting σ 分布

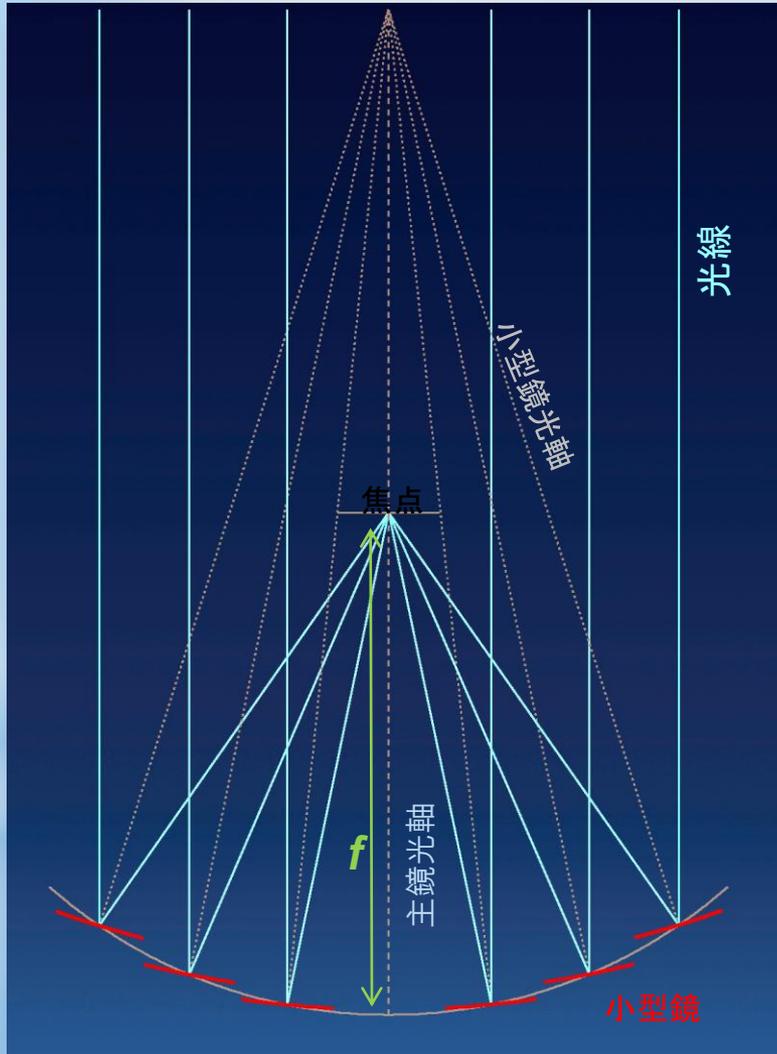


Davies-Cotton光学系

焦点距離: f

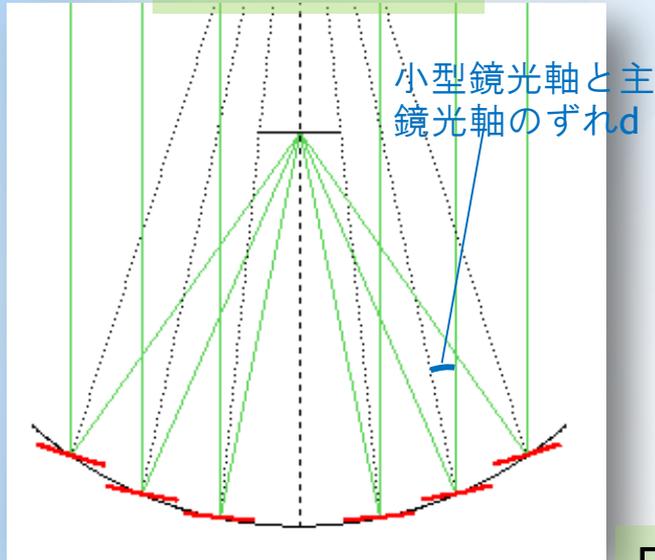
- ◆ 曲率半径 f の球面主鏡
- ◆ 曲率半径 $R=2f$ の小型球面鏡を配置
- ◆ 全ての小型鏡の光軸は主鏡光軸上 $2f$ の位置で一点に交わる(主鏡の法線と小型鏡の法線は一致しない)。

- 小型球面鏡の曲率が一律であるため製造時管理が容易・コスト安
- 小型鏡の光軸調整が比較的容易
- チェレンコフ光子の到来時間差の保存度は放物面に劣るが、 $f=3.0m$ 、 $D=3.0m$ では光路差由来の時刻幅は $\sim 1.3ns$ 程度



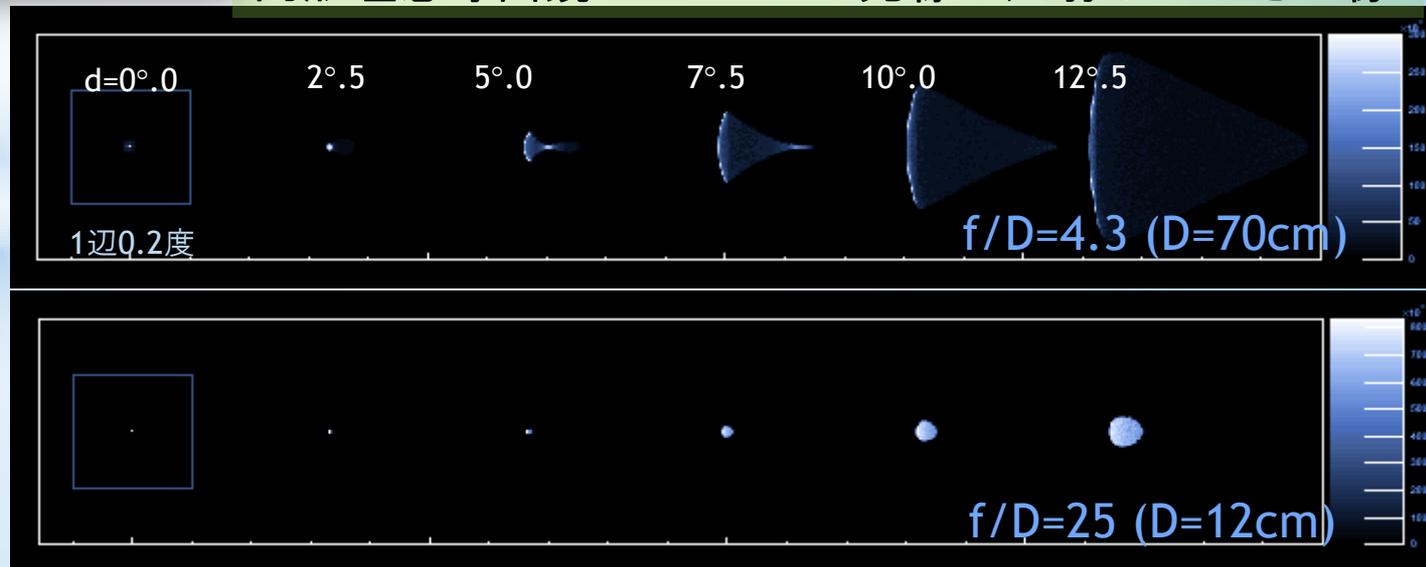
Ray-traceによる反射鏡の結像性能の推定(1)

複合型反射鏡



- ◆ 主鏡光軸と小型鏡光軸は一致しない → 主鏡光軸に対してOn-axisの入射光は小型鏡に対しては大角度入射になる。(明野望遠鏡の場合は主鏡光軸と小型鏡光軸のずれ角度は最大**12.6度**)
- ◆ 鏡面が理想球面でも、平行光入射に対しては**球面収差**により像サイズは有限。球面収差は f/D が小さい方が強く効く。

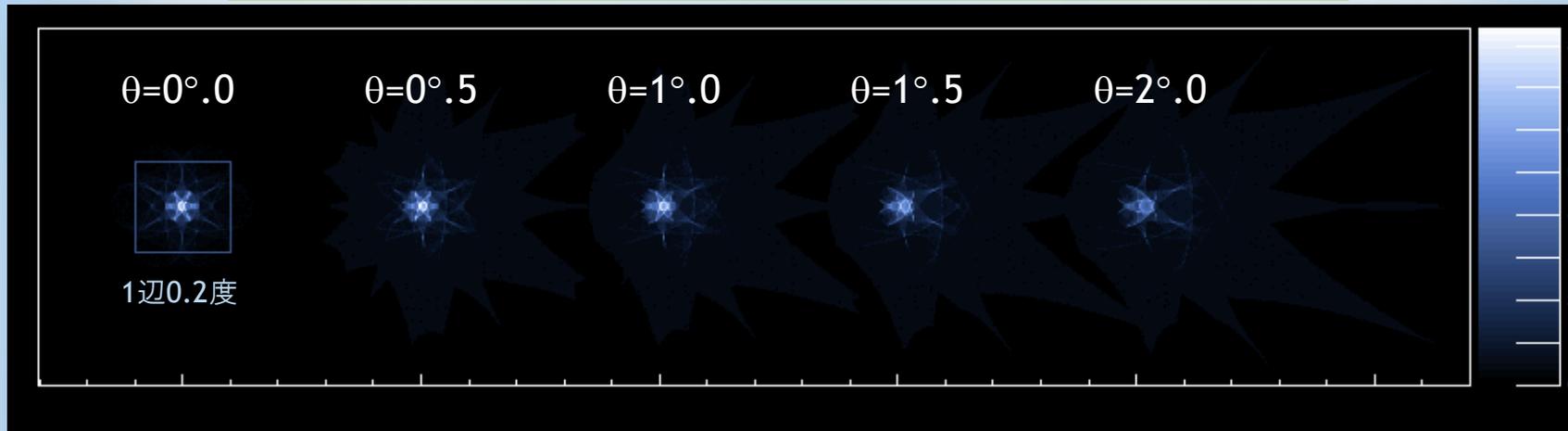
円形理想球面鏡にoff-axisで光線が入射したときの像



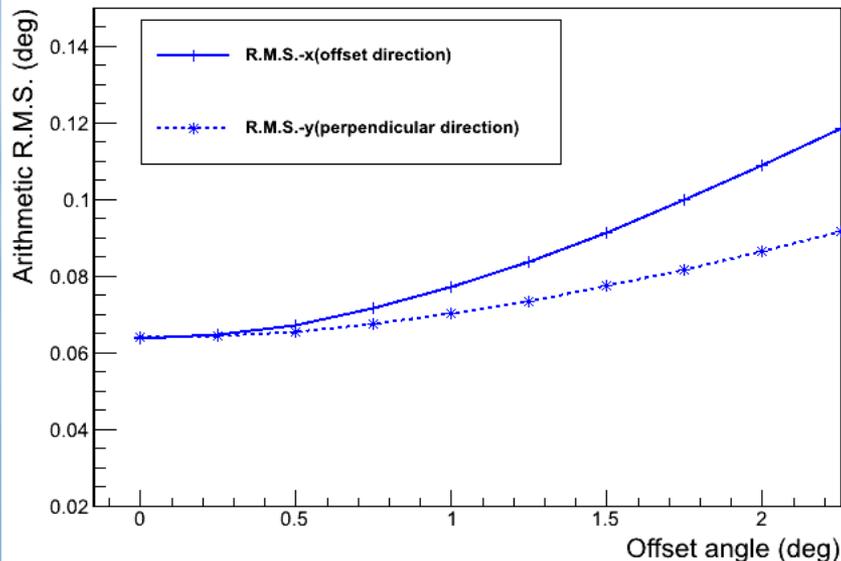
焦点距離 $f=3\text{m}$ で固定
上段は明野望遠鏡の、
下段はH.E.S.S.の、
小型鏡の f/D に相当

Ray-traceによる反射鏡の結像性能の推定(2)

明野望遠鏡複合反射鏡全体での平行光入射に対する像



Offsetの方向に平行・垂直な算術R.M.S.

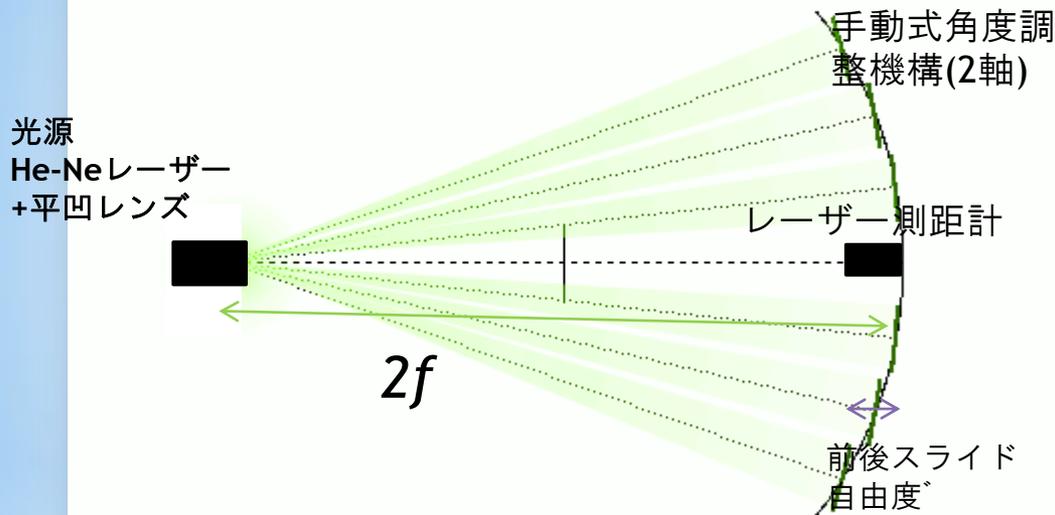


- ◆ 小型鏡は全て完全理想球面であり、光軸も全て設計値通り理想的に調整されている仮定した場合の計算 ← 現実にはさらに小型鏡の像精度・光軸調整の角度精度が最終的な像サイズを決める要素として加わる

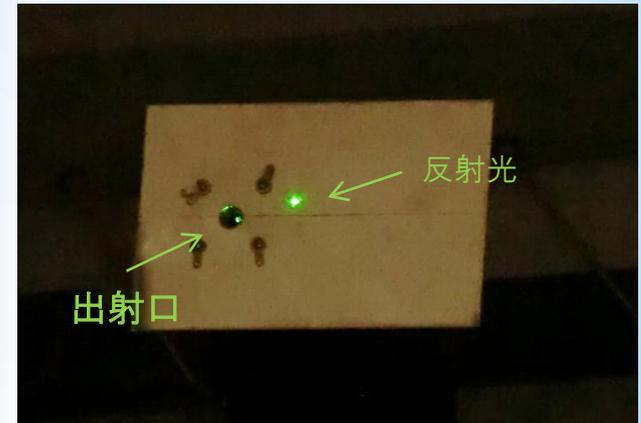
(左図中の値は射影の算術R.M.S.)

明野観測所における光軸調整システムテスト

DC 光軸調整の光学系



レーザー出射光と反射光



取り付け直後の小型鏡の軸方向の散らばり

Off-focus!

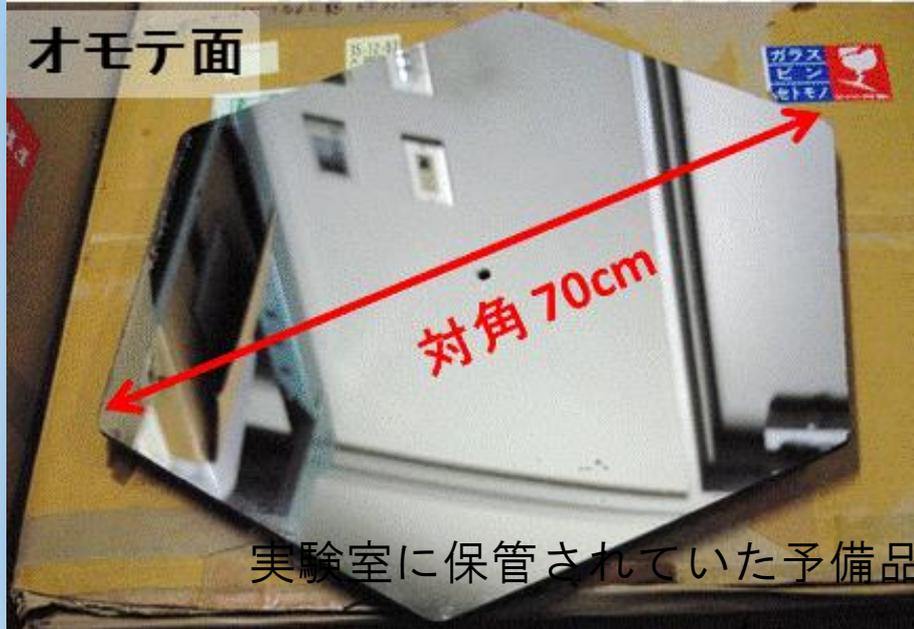


右図：明野観測所敷地内の街灯（固定光源）の反射像を主光光軸上（ただし焦点面ではない位置）のスクリーンに投影

まとめ

- ◆岡山天体物理観測所の協力により、明野チェレンコフ望遠鏡光学系の小型鏡の全数再蒸着が2012年6月に完了した。
- ◆2012年8月末に17枚の鏡が望遠鏡に取り付けられた。
(破損品置き換えの1枚は9月中に完成する見込みである)。
- ◆取り付け直前に小型鏡の像サイズの簡易計測(光当て試験)を行った。On-axis像サイズの平均は、 $\sigma=0.012\pm0.003$ degree であった。
- ◆明野観測所において光軸調整システムのテストを行った。望遠鏡収納テントの中で、天候・日照等の条件に左右されない調整が可能であることを確認した。システムの細部の改良を行った後、本調整に入る予定である。

明野望遠鏡光学系：小型鏡



- 対角70cm 正六角形
- 曲率半径 6.0m (2f)
- 厚さ8.5mm テンパックス
ガラス
- 重量 8.2kg (ステンレス背
板込み)
- アルミ蒸着+anodization
コート(陽極酸化皮膜)
- 猪名川天文台では観測時以
外は金属製の蓋で表面保護

