

明野大気チェレンコフ望遠鏡 光学系の再構築

大石理子, 吉越貴紀, 森正樹^A, 奥田剛史^A, 上地優人^A,
吉川真史^A, 吉田憲悟^A, 沖田喜一^B, 小矢野久^B,
坂本彰弘^B, 柳澤顕史^B, 泉浦秀行^B

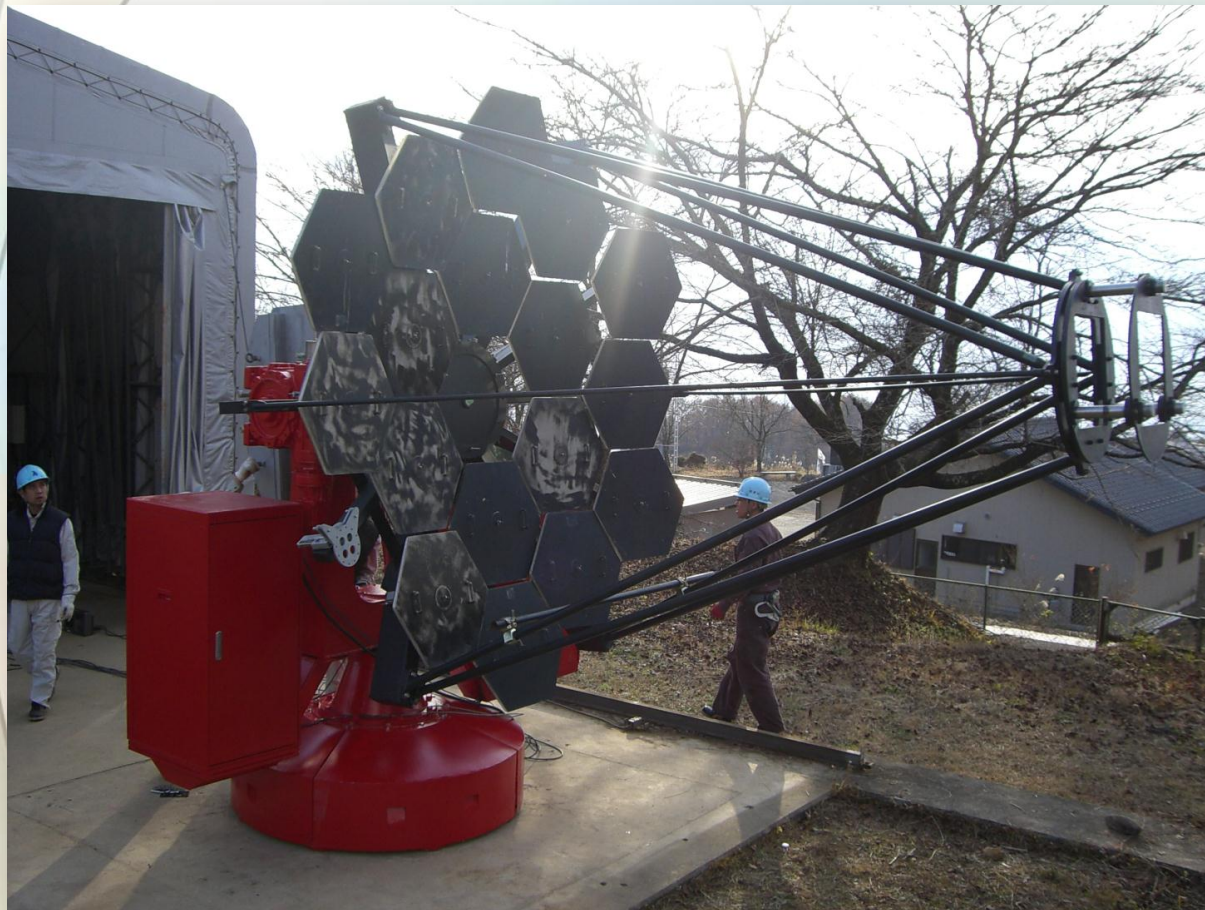
東大宇宙線研, 立命館大学理工^A, 国立天文台
岡山天体物理観測所^B



Contents

- 明野大気チェレンコフ望遠鏡光学系
- 小型球面鏡の仕様と現在の状況
- 岡山天体物理観測所における球面鏡
反射膜再蒸着作業
- 小型鏡光軸調整法の検討
- Summary

明野大気チェレンコフ望遠鏡

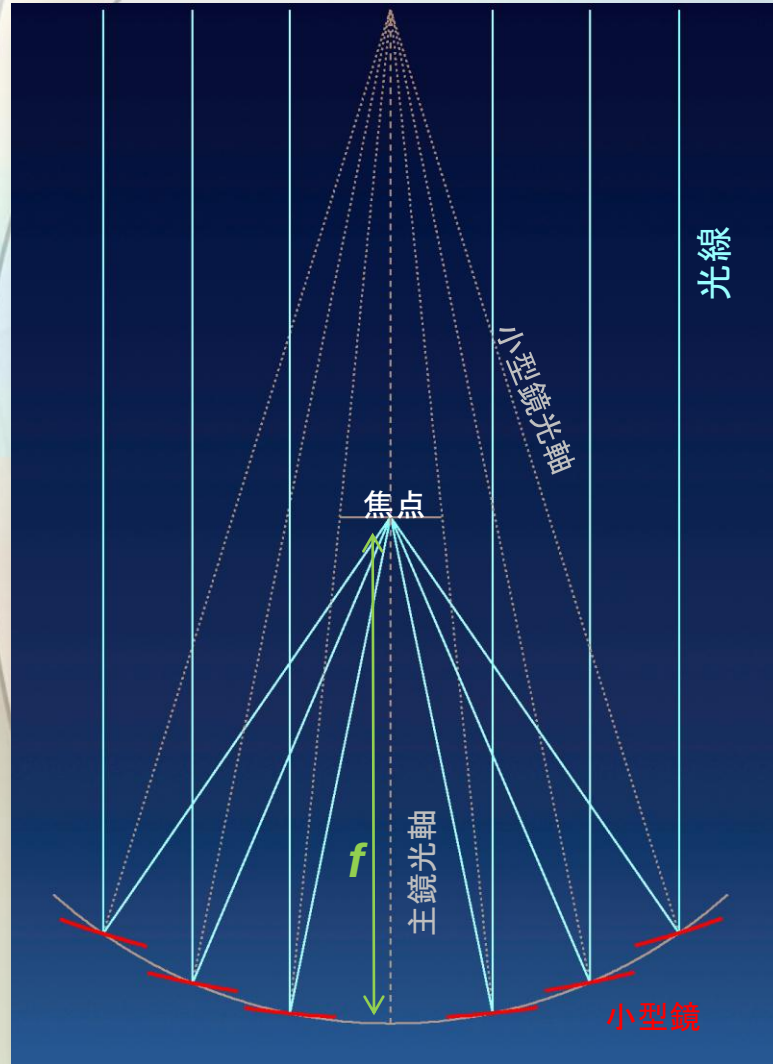


- ◆ 2010年11月に明野観測所に移設完了、同時に再塗装・錆除去・ボルト交換などのメンテナンス作業を行った
- ◆ 観測所敷地内の電動式開閉テント中に設置 鏡面は金属製の蓋で保護

1998年製作(三井造船製) 2003年から猪名川天文台で稼働
経緯台マウント $f=3.0\text{m}$ $f/D=1.0$
Davies-cotton型複合反射鏡(小型鏡18枚で構成)

Davies-Cotton 光学系

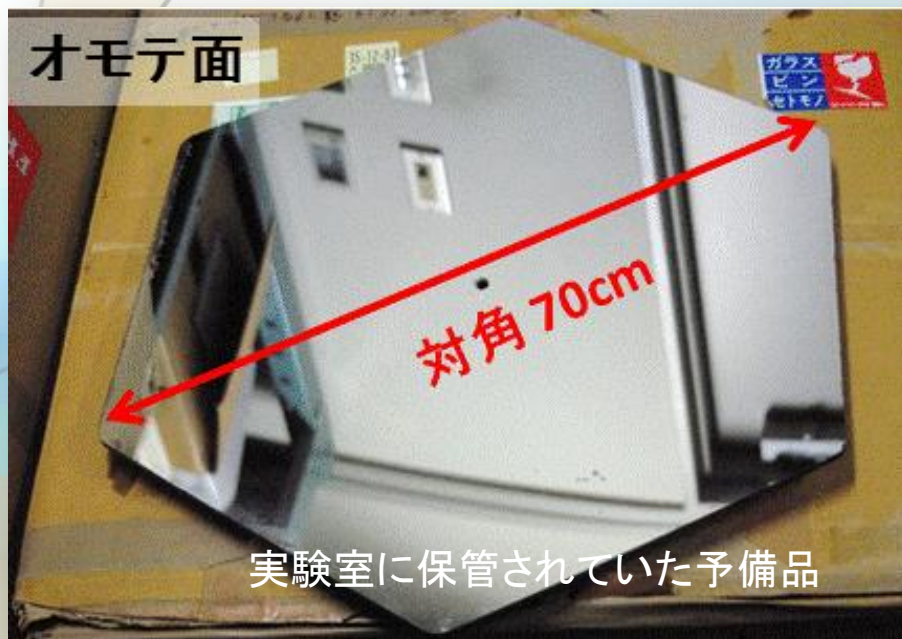
焦点距離: f



- ◆ 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

明野望遠鏡光学系:小型鏡

オモテ面



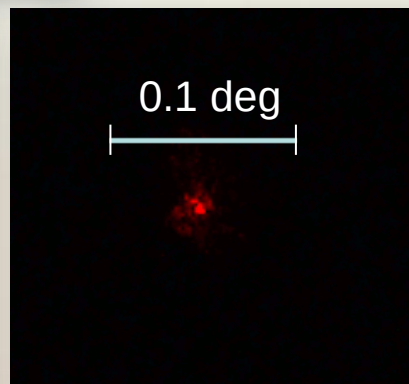
実験室に保管されていた予備品

- 対角70cm 正六角形
- 曲率半径 6.0m
- 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

裏板部分



紫外線硬化樹脂で接着



光当て試験による結像
(予備鏡1枚のテスト)

光軸上 $2f$ の距離に置いた
レーザー光源を光学素子で
拡散・ $2f$ の位置で反射像をスクリーンに投影

デジタルカメラRAWデータ
リニア出力処理(一部露出過多により飽和)

小型鏡反射面の現状



- 経年変化によるアルミニウム反射面の劣化が顕著
- 簡易反射率測定による現在の絶対反射率推定値 (450-500nm) ～50% (場所により20%程度のばらつき)

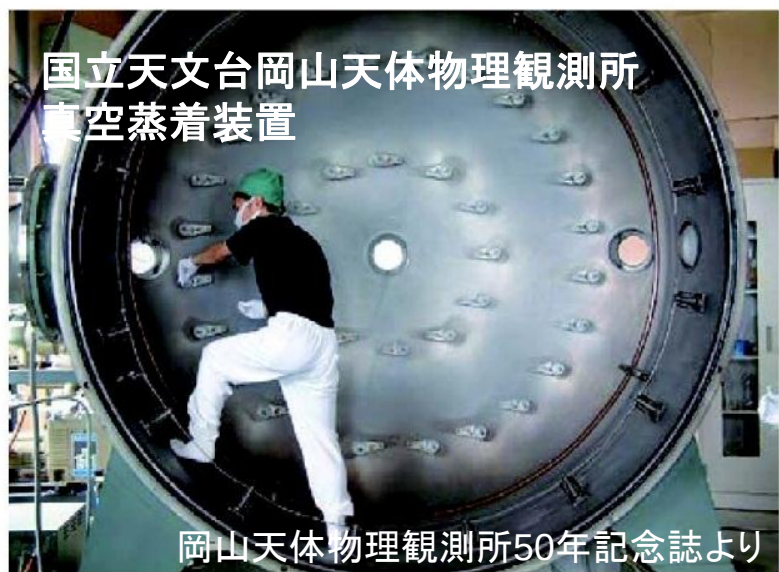


蒸着して間もない鏡を同様に逆光で撮影した場合

鏡面再蒸着作業

- ◆ 反射鏡の**集光効率**はガンマ線の**エネルギースケール・検出感度**に直接的に影響を与える→ 集光効率の改善(反射膜の再生)が必要
- ◆ しかし可能な限り再生コストを低く抑える必要がある
- ◆ 国立天文台の蒸着施設利用の可能性

メリット メーカー依頼と比較してコストが低く抑えられる
古い皮膜を除去する技術を含めた再蒸着の経験豊富なスタッフの技術指導が得られる



国立天文台岡山天体物理観測所
真空蒸着装置

岡山天体物理観測所50年記念誌より

- ◆ 岡山天体物理観測所 が真空蒸着装置を保有(上記観測所光学望遠鏡の188cm反射鏡が入るサイズ)

→明野望遠鏡の小型鏡を一度に6枚蒸着することが可能

観測所の協力を得て2011年9月に18枚のうち6枚を試験的に蒸着

岡山天体物理観測所における反射膜再蒸着作業

◆安全衛生教育（有機溶剤・特化物・寒材・高圧ガス取扱い）



◆中型真空装置を用いたプリウェットフィラメント作成

- アルミ蒸発に使用するタングステンフィラメントに、高純度(99.999%)アルミニウムを溶かしつける作業
- 岡山天体物理観測所のご厚意により、使用済みフィラメントを譲り受け、超音波洗浄して再利用することで蒸着コストをさらに抑制した



◆塩酸＋硫酸銅による鏡面の古いアルミ皮膜の除去



◆ゾル状の炭酸水素ナトリウムによる鏡表面研磨



◆鏡表面の水分をアルコール置換・エタノール＋エーテル混合液での拭き上げ



◆釜入れ・真空引き・イオンボンバードメント・アルミ蒸着

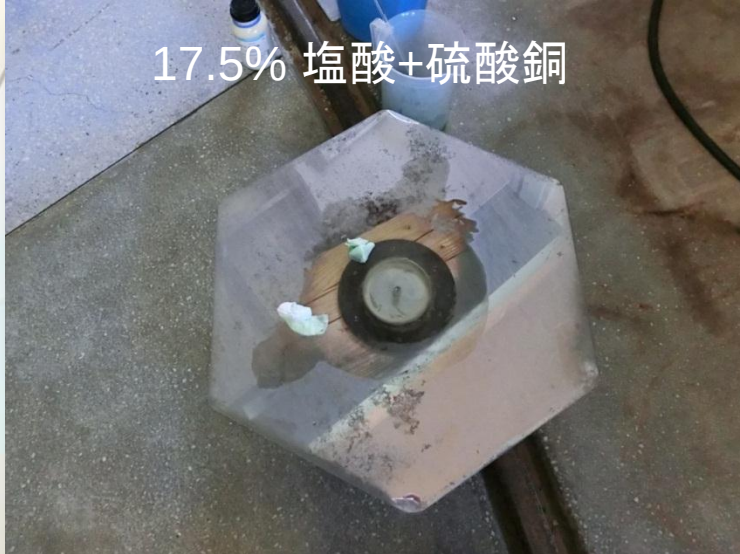
プリウエットフィラメント製作

- 使用済みフィラメントを超音波洗浄して再利用
- 作業手順、最大電圧値・電圧印加時間・電圧上昇時間などのパラメータを調整後、～95%の歩留まりを達成
- 2日間で約80本のプリウエットフィラメントを製作(蒸着一回あたり36本使用)



小型鏡反射膜再蒸着作業：古膜除去

17.5% 塩酸+硫酸銅



塩酸に浸した脱脂綿で表面を軽く拭く



古反射膜を落とした後のガラス面



Anodization コーティングの効果が残っているためか、アルミ蒸着のみの鏡の場合に比べると古膜が剥離しにくい

→次回以降は古膜除去作業を明野観測所で行う予定

重曹研磨・拭き上げ完了後の鏡(釜入れ)

- ◆ 酸による古アルミ膜剥離ののち、重曹による表面研磨、表面の残留水分のアルコール置換・拭き上げなどの作業が行われた

作業後蒸着タンクに取り付けられた鏡



鏡の固定治具は事前にベーキング処理で残留ガスを除去済み

蒸着タンクに取り付けられた
プリウェットフィラメント



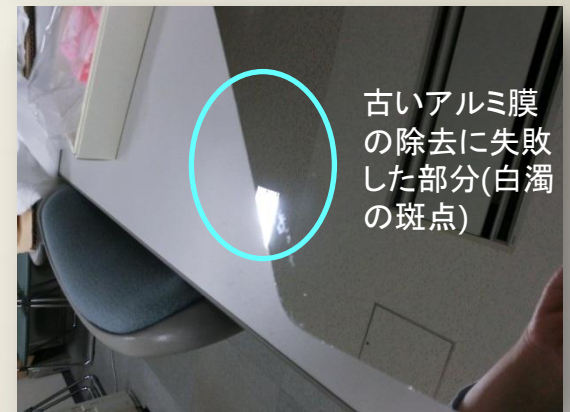
鏡6枚分の古皮膜落とし＋表面研磨＋拭き上げに
要した時間: 約2.5時間

アルミニウムの真空蒸着

- ◆ タンクの真空引き
 - アルゴンガス注入・イオンボンバードメントによる脱塵・脱ガス
 - 再度真空引き
- ◆ フィラメント(36本, 6本×6回)に通電アルミニウムを蒸発させる



蒸着後の小型鏡

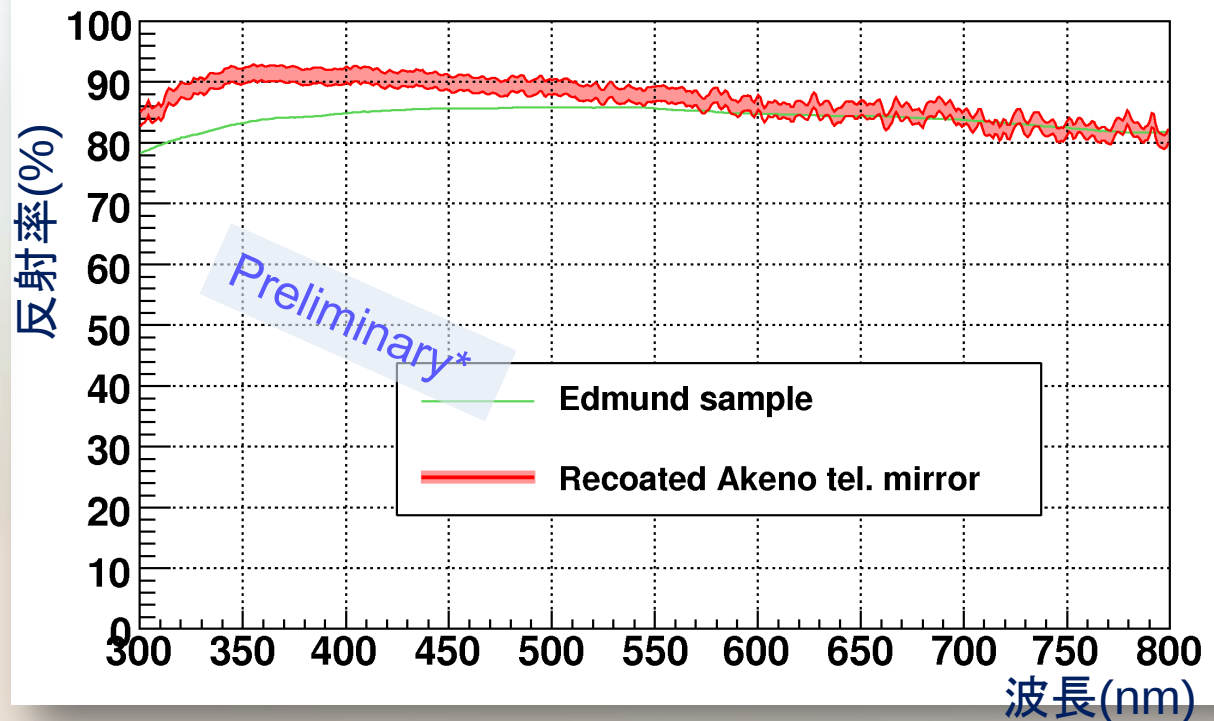


再蒸着後の反射率評価

- ◆ 小サイズの参照鏡に対する絶対分光反射率測定: 国立天文台三鷹先端技術センターの測定機器利用(UV-3100PC, 島津製作所)
- ◆ 小型のUSBスペクトロメータ+タングステンハロゲンランプ+反射率測定プローブを用いて、相対分光反射率を測定・参照鏡の測定値との比をとる



小型分光光度計を用いた簡易反射率計

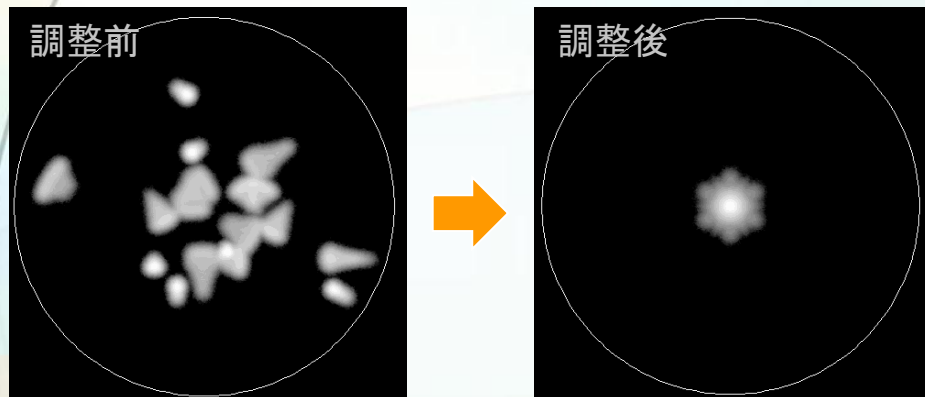


*参照鏡の絶対反射率は2011年2月の測定値を使用しているため今回の推定値については数%の下方修正があり得る

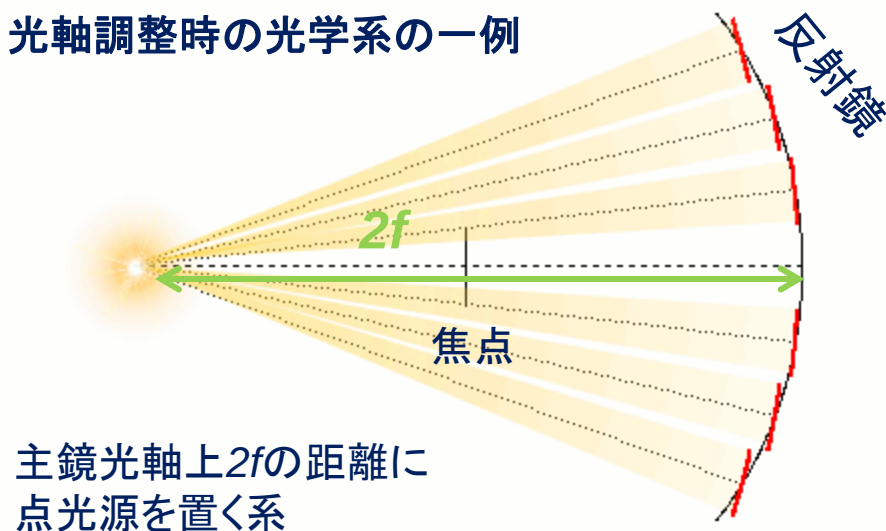
小型鏡光軸調整法の検討

- ◆ 小型鏡の蒸着後、主鏡面に再取り付け際に小型鏡の角度調整が必要となる

焦点面のイメージ(シミュレーション)



光軸調整時の光学系の一例



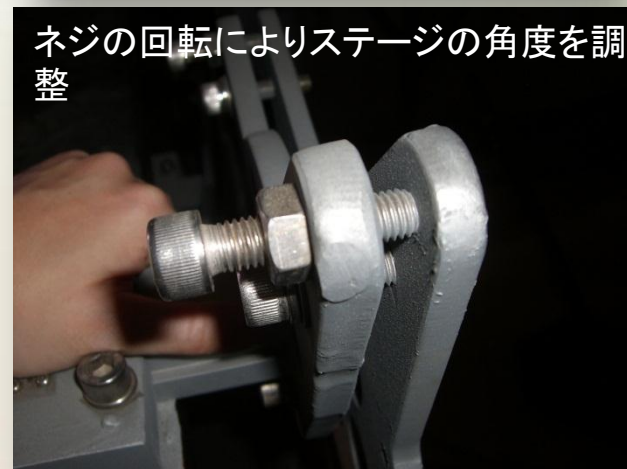
主鏡光軸上 $2f$ の距離に
点光源を置く系

光軸調整機構

X,Y2軸方向の傾斜を調整可能



ネジの回転によりステージの角度を調整



3m級の望遠鏡であれば鏡へのアクセスが容易なため、コスト安な手動調整システムでよい

Summary

- ◆ 明野チェレンコフ望遠鏡の光学系の再構築を開始
- ◆ 国立天文台岡山天体物理観測所の協力を得て、小型鏡の一部について試験的にアルミ膜再蒸着作業を行った
- ◆ 上記試験の成功により残り全数の小型鏡を今年度中(6月)に再蒸着する予定である
- ◆ 小型鏡の光軸調整システムの準備・耐候性を高めるコーティングの検討なども進行中