Bull. Cent. Astron. Univ. Hyogo **1,** 11–16 (2013)

2013 年のなゆた望遠鏡の鏡面反射率

新井 彰、高木 悠平、高橋 隼、本田 敏志、森鼻 久美子、伊藤 洋一

兵庫県立大学 自然・環境科学研究所 天文科学センター

Reflectivity of Mirrors of the Nayuta telescope in 2013

Akira Arai, Yuhei Takagi, Jun Takahashi, Satoshi Honda, Kumiko Morihana, Yoichi Itoh

Center for Astronomy, University of Hyogo, Sayo-cho, Hyogo 679-5313

E-mail: arai@nhao.jp

(Received 2013 December 28)

概要

我々は西はりま天文台のなゆた望遠鏡の鏡面メンテンナンス頻度と 2009 年の再蒸着以降の経年劣化の状況を検討するため、2013 年 12 月になゆた望遠鏡の鏡面反射率の測定を行った。1 度目は 2013 年 5 月の鏡面清掃作業から 220 日後にあたる 2013 年 12 月 18 日に行い、2 度目は 2013 年 12 月 19 日の主鏡と第 3 鏡の清掃直後に行った。主鏡の反射率は 12 月 19 日の清掃によって可視光域 (670 nm) で清掃前に比べ 8 % 回復した。この結果から、我々は望遠鏡全体の効率を 50 % 以上に保つためには 3 ヶ月ごとの定期的な鏡面清掃が必要であると結論した。また、今回測定した反射率と 2009 年に主鏡の再蒸着直後に測定された反射率から、主鏡の最大反射率の変化率は波長 670 nm において、約 -2.5 % yr^{-1}、波長 1300 nm において約 -1.3 % yr^{-1} であることがわかった。

Abstract

We performed reflectivity mesurements of three mirrors attached on the Nayuta telescope at Nishi-Harima Astronomical Observatory in 2013 December, in order to understand status of aging-degradation of the mirrors, and to consider a schedule of mirror maintenances. The first mesurement was carried out on 2013 December 18, 220 days after the last mirror clearning on 2013 May 13. The second mesuremtns was carried out just after the cleaning of the primary mirror and the third mirror on 2013 December 19. The reflectivity in the optical wavelength (670 nm) of the primary mirror recovered 8 % compared with those before the mirror cleaning. Based on the mesurements, we conclude that we need the regular mirror cleaning every three months, in order to maintain the total thourghput of the Nayuta telescope to be over 50 %. Furthermore, we estimate the rate of variability of the maximum reflectivity of the primary mirror is -2.5 % yr^{-1} and -1.3 % yr^{-1} at 670 nm and 1300 nm, respectively, where we use reflectivities mesured in this work and that mesured in 2009 just after the last re-coating of the primary mirror.

Key words: Telescope – Mirror – Reflectivity

1. はじめに

西はりま天文台に設置されているなゆた望遠鏡の基本となる光学系は 3 枚の鏡（主鏡、副鏡、第 3 鏡）で構成されている。各鏡面の反射率の積が望遠鏡全体の反射率となる。鏡面反射率の低下は研究観測の効率や観望会での見え味に直接的に影響を及ぼすため、鏡面反射率の管理は重要な保守項目の一つである。特に、なゆた望遠鏡のように鏡面にガラス・コーティングを施して数年の間再蒸着をしない場合、日常的な運用によって生じる表面付着物による反射率の低下を防止する必要がある。そこで我々は、今後の鏡面のメンテナンス頻度を検討し、鏡面の経年劣化による最大反射率の変化を調べるため、鏡面清掃前後における反射率の測定を実施した。

2. なゆた望遠鏡の主鏡と第 3 鏡の清掃作業

西はりま天文台では鏡面反射率を保持するため、2012 年度より半年間に 1 度程度の頻度でなゆた望遠鏡の主鏡と第 3 鏡の清掃作業を実施している。2013 年は 2013 年 5 月 13 日と 2013 年 12 月 19 日に実施した。鏡の清掃作業の際には、なゆた望遠鏡を高度 5.099 度に固定しストーピンを挿入した状態で、なゆた望遠鏡のセンターセクションに作業担当者が入り行う。清掃作業にはエタノール (特級 99.5 %) を使用し、拭き取りにはコットンシーガルを利用している。鏡面以外の部分や主鏡セル内部の隙間にエタノールが付着、浸入しないように、吸水シートとウレタンスポンジによる養生を施している。

3. なゆた望遠鏡の鏡面反射率測定

3–1. 反射率測定器と測定方法

反射率測定には国立天文台（三鷹）から借用した反射率測定器 TMA μScan(micro scan) を使用した。図 1 に今回使用した反射率測定器の外観写真を示す。今回の測定作業の実施期間中、我々は 2 種類の測定ヘッドを使用した (波長 670nm の赤色レーザーを搭載したものと、波長 1300nm の近赤外線レーザーを搭載したもの)。2013 年 12 月 18 日の測定では、作業時間の都合上 670 nm の測定ヘッドのみを使用し、2013 年 12 月 19 日の測定では両方を使用した。測定の際には、測定担当者が円筒形の測定ヘッドを手に持ち、測定ヘッドのレーザー照射面を鏡面に直接軽く押し当てた状態で測定ボタンを押すという手順で行った。今回の報告では、各鏡に対して 4–10 回の測定作業を行い、反射率の平均値を算出した。その結果は Table 1 に掲載している。望遠鏡全体の反射率は、主鏡、副鏡、第 3 鏡の反射率の積とした。なお、2013 年 12 月 19 日の望遠鏡全体の反射率を算出するにあたり、副鏡の反射率は可視光域、近赤外線域ともに 2013 年 12 月 18 日に測定した波長 670 nm における反射率を代用した。全ての測定値を Appendix の Table 2 – Table 4 に掲載している。

3–2. 測定結果と鏡面清掃頻度の検討

Table 1 は、2013 年 12 月 18 日、19 日、ならびに 2009 年 3 月の再蒸着後と、2004 年の納品時の鏡面反射率の平均値と、望遠鏡全体の反射率を示している。1 回目にあたる 2013 年 12 月 18 日の測定時は前回の鏡面清掃 (2013 年 5 月 13 日) から 220 日 (約 7.3 ヶ月) が経過しており、鏡面は汚れが目立つ状態だった。このときの主鏡の反

Fig. 1. 右が反射率測定器本体 (TMA Technology, μScan)。写真左にある円筒形のものが測定ヘッド (左:1300 nm 用、右:670 nm 用)。

Table 1. なゆた望遠鏡の鏡面反射率。2013 年 12 月 19 日の望遠鏡全体の反射率を算出するにあたり、副鏡反射率は 2013 年 12 月 18 日の 670 nm 値を使用して計算した。比較するために、2009 年の再蒸着直後と、2004 年の納品時の値も掲載している。

日付	波長 (nm)	主鏡 (%)	副鏡 (%)	第 3 鏡 (%)	望遠鏡全体 (%)	文献
2013/12/18（鏡面清掃前）	670	68.0 ± 0.4	81.9 ± 2.0	80.3 ± 0.2	44.7 ± 1.1	今回の測定結果
2013/12/19（鏡面清掃後）	670	76.1 ± 0.6		84.2 ± 0.5	52.5 ± 1.4	今回の測定結果
2013/12/19（鏡面清掃後）	1300	89.8 ± 0.7		93.0 ± 0.2	68.4 ± 1.8	今回の測定結果
2009/03（再蒸着直後）	670	88				(文献 2)
2009/03（再蒸着直後）	1300	96				(文献 2)
2004（納品時）	670	86.5	93	93	75	(文献 1)
2004（納品時）	1300	96	91	91	79	(文献 1)

射率は 68.0 %（670 nm）であり、望遠鏡全体の効率は 44.7 % にまで下がっていることを確認した。2 回目の測定結果では、主鏡の反射率は、76.1 %（670 nm）と 89.8 %（1300 nm）であり、望遠鏡全体の反射率は 52.5 %(670 nm) と 68.4 %（1300 nm）であった。清掃直後に実施した 2 回目の結果が、2013 年 12 月現在の主鏡の最大反射率と考えて差し支えない。可視光域 (670 nm) での反射率を初回 (2013 年 12 月 18 日の測定) と 2 回目 (2013 年 12 月 19 日の測定) とで比較すると、主鏡において +8 %、第 3 鏡において +4 % 回復したことが分かった。この結果を元に清掃の頻度を概算すると、可視光波長 (670nm) において望遠鏡全体の反射率を 50 % 以上に

保つためには、およそ 3 ヶ月に 1 度の頻度で鏡面清掃を行う必要がある。

3–3. 再蒸着以降の主鏡の最大反射率の変化

次に我々は 2009 年に実施された再蒸着直後の鏡面反射率と今回得られた反射率を比較し、1 年間あたりの反射率の変化量を求めた。2009 年 3 月に実施された再蒸着直後の鏡面反射率は、可視光域で 89.30 %(波長 390 – 800 nm における平均値)、近赤外線域で 96.60 %(波長 1 – 2.5μm における平均値) であった (文献 2)。(文献 2) に報告されている波長 670 nm での主鏡の反射率は約 87 %、波長 1300 nm での主鏡の反射率は約 96 % である。2009 年 3 月から 2013 年 12 月の間の主鏡の最大反射率の変化量 ($\Delta R_{670\mathrm{nm}}$, $\Delta R_{1300\mathrm{nm}}$,) は、$\Delta R_{670\mathrm{nm}} \sim -12$ %, $\Delta R_{1300\mathrm{nm}} \sim -6$ % であった。今回の測定日は 2009 年の再蒸着後の運用開始 (2009 年 3 月 20 日ごろ) から約 4.75 年後 (約 1735 日後) である。よって、主鏡の最大反射率の（経年）変化率は、波長 670 nm において約 -2.5 % yr^{-1}、波長 1300 nm において約 -1.3 % yr^{-1} である。この値は、2009 年と 2013 年の二度の測定結果のみから得られたものであり、気候条件や利用頻度によって年ごとに多少の違いが生じと考えられるが、5 年間の平均値であるので今後鏡面に生じる経年劣化による反射率低下量を近似的に予想するのには有用な値である。反射率の変化率が一定であると仮定すると、可視域の主鏡の最大反射率は 2016 年には約 69 %、2018 年には約 64 % に低下する可能性が示唆される。

《参考文献》

[文献 1]三菱電機株式会社 2004, “「大型望遠児湯装置一作一式」工場検査成績書”, 1.1-1 – 1.1-4（西はりま天文台保管）

[文献 2]三菱電機株式会社 2009, “2m 反射望遠鏡主鏡再蒸着業務完了報告書・検査成績表”（西はりま天文台保管）

Appendix A. 測定データ

測定データを以下に掲載する。

Table 2. なゆた望遠鏡の各鏡の 670 nm での反射率 (2013 年 12 月 18 日)

	主鏡 (下縁付近) (%)	主鏡 (中央付近) (%))	副鏡 (%)	第 3 鏡 (%)
1	63.3	69.8	84.4	79.5
2	64.2	68.6	86.5	80.3
3	66.4	69.6	76.1	80.6
4	67.6	69.0	80.5	80.7
5	68.5	69.2		80.5
6	69.0	70.2		
7	68.7	68.8		
8	68.5	65.3		
9	66.9	69.4		
10	67.0	68.9		
平均値	67.0 ± 0.6	68.9 ± 0.4	81.9 ± 2.0	80.3 ± 0.2

Table 3. なゆた望遠鏡の各鏡の 670 nm での反射率 (2013 年 12 月 19 日)

No.	主鏡 (下縁付近) (%)	主鏡 (中央付近) (%)	副鏡 (%)	第 3 鏡 (%)
1	69.6	76.5		84.2
2	75.2	77.7		84.5
3	75.1	78.8		85.0
4	75.7	78.7		84.4
5	75.4	77.7		81.9
6	74.3	77.6		85.4
7	71.6	78.0		
8	78.5	75.5		
9		75.8		
10		77.5		
平均値	74.4 ± 0.9	77.4 ± 0.3		84.2 ± 0.5

Table 4. なゆた望遠鏡の各鏡の 1300 nm での反射率 (2013 年 12 月 19 日)

No.	主鏡 (下縁付近) (%)	主鏡 (中央付近) (%)	副鏡 (%)	第 3 鏡 (%)
1	87.8	92.6		87.7
2	89.5	93.6		88.1
3	85.5	93.7		87.8
4	89.8	92.5		88.1
5	88.8	93.6		88.2
6	91.2	92.4		88.2
7	90.7	92.8		
8	91.6	93.2		
9	92.0	93.1		
10	91.3	92.1		
平均値	89.8 ± 0.7	93.0 ± 0.2		88.02 ± 0.08