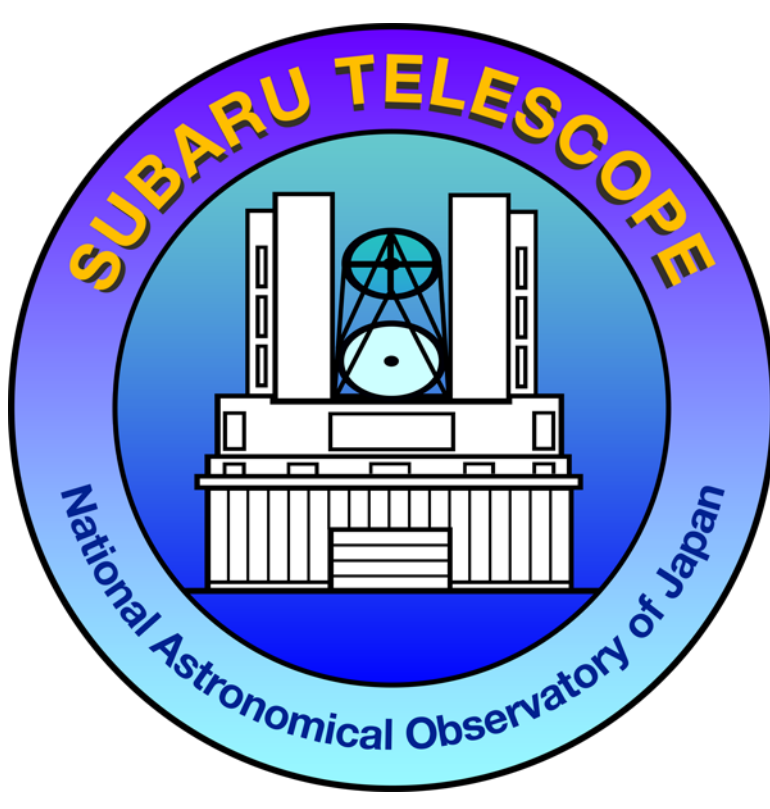


すばる望遠鏡の反射率とその測定



沖田博文(国立天文台ハワイ観測所)

第8回可視赤外線観測装置技術ワークショップ 2019年2月25日~26日
国立天文台三鷹すばる棟大セミナー室

Abstract

望遠鏡の反射率は経過時間と共に徐々に低下していくことが知られているが、これまで測定方法が無かったためほとんど議論されてこなかった。そこでSPSと名付けた測定装置を開発し、2017年10月より反射率の測定を開始した。今回は経年劣化を考慮したIR副鏡のコーティングの種類について検討した。反射率の測定からすばる望遠鏡の各焦点の光学性能(効率)を定量的に評価することが可能になった。

1. Subaru Portable Spectrophotometer (SPS) の開発

既存の測定装置では望遠鏡主鏡のような大型光学部品の絶対分光反射率を測定することは不可能であった。そこで小型ファイバ分光器を用いることでポータブルな測定装置を開発した(図1)。表1に諸元を示す。

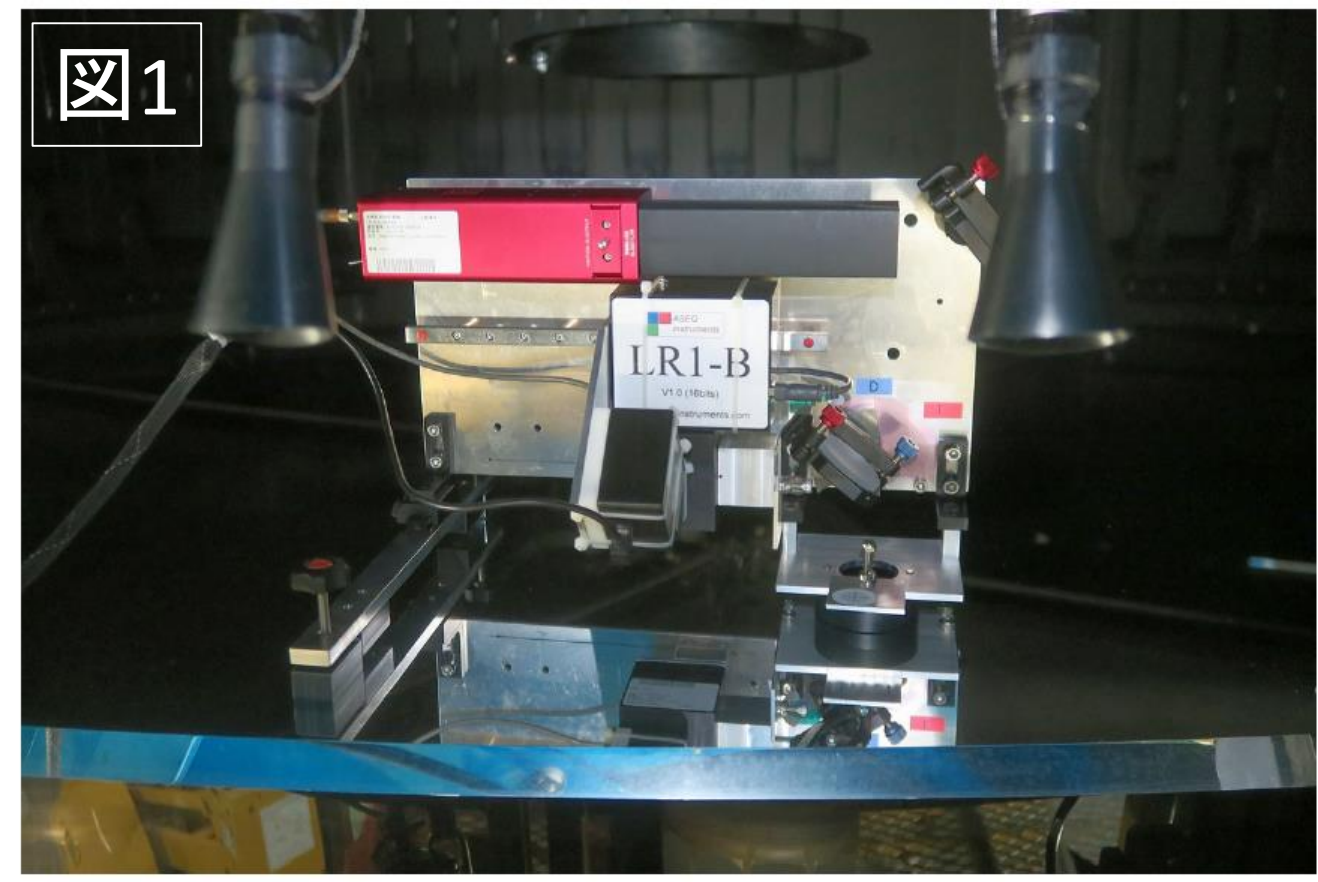


Fig. 6. Picture of the Subaru Portable Spectrophotometer (SPS) on the Subaru Telescope primary mirror for an in-situ measurement. You can see the edge of the Subaru Telescope's 8.3-m primary mirror at the bottom of the picture, and the center hole at the top of the picture. Two black nozzles which are for CO₂ cleaning are also shown at the top of the picture. (Color online) © Okita et al. (2019b)

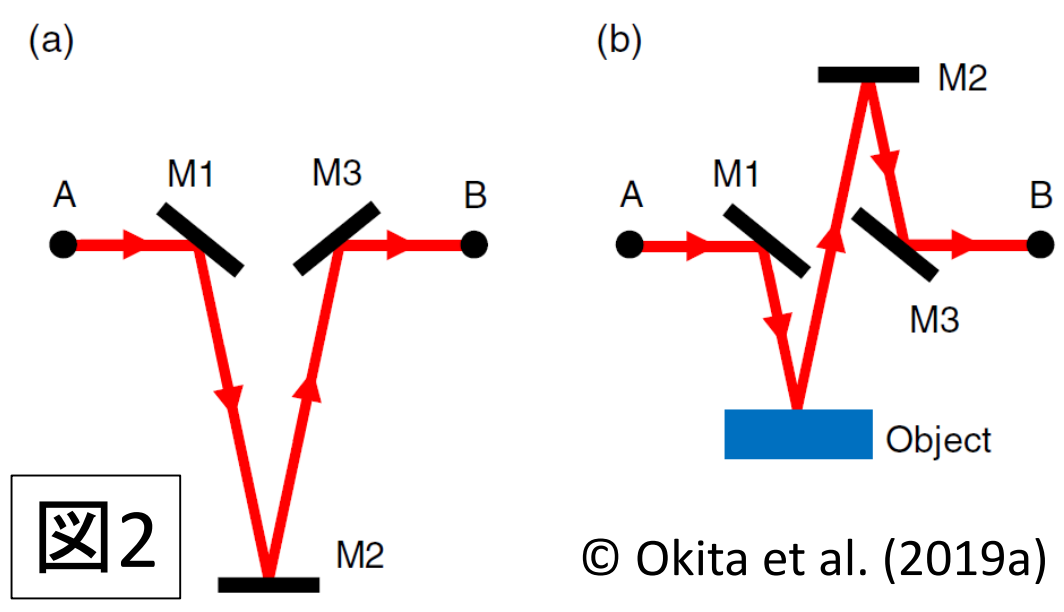


Fig. 1 Schematic layout of the optical paths of V-N method. (a) Left panel shows the optical path V and (b) right panel shows N. © Okita et al. (2019a)

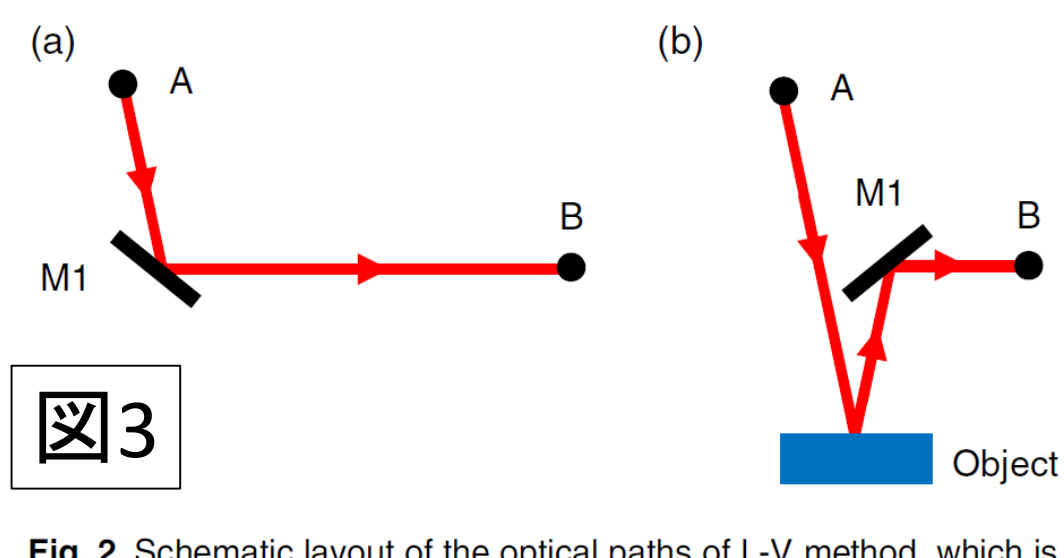


Fig. 2 Schematic layout of the optical paths of L-V method, which is a modified V-N method. (a) Left panel shows the optical path L and (b) right panel shows V. © Okita et al. (2019a)

Table 1 Technical specification of SPS.	
Light source	Halogen bulb, 2796 K
Detecting unit	Fiber spectrometer with integrating sphere
Integrating sphere	2-in., Spectralon
Absolute calibration	L-V method
Drift collection	Sequence measurement
Dimensions	450 mm × 310 mm × 370 mm
Weight	5.9 kg
Contact part material	Delrin
Angle of incidence	12 deg ± 1.6 deg
Beam diameter	12 mm
Focus position	Entrance of integrating sphere
Field of measurement	φ5.1 deg = 0.006 sr
Wavelength range	380 nm to 1000 nm
Wavelength resolution	2 nm
Wavelength accuracy	1 nm rms
Measurement time	5 min
Statistical error	<0.6%rms
Systematic error	<0.2% (alignment and machining errors)
	~0.5% (unknown)

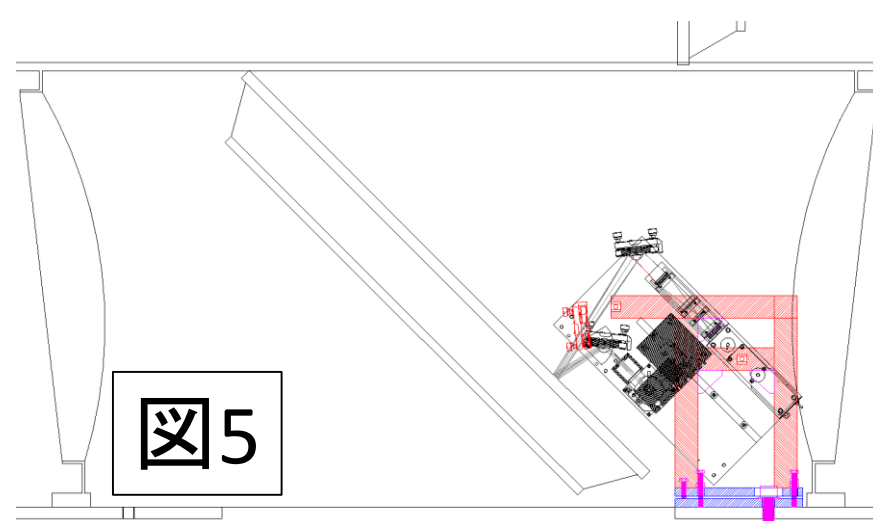
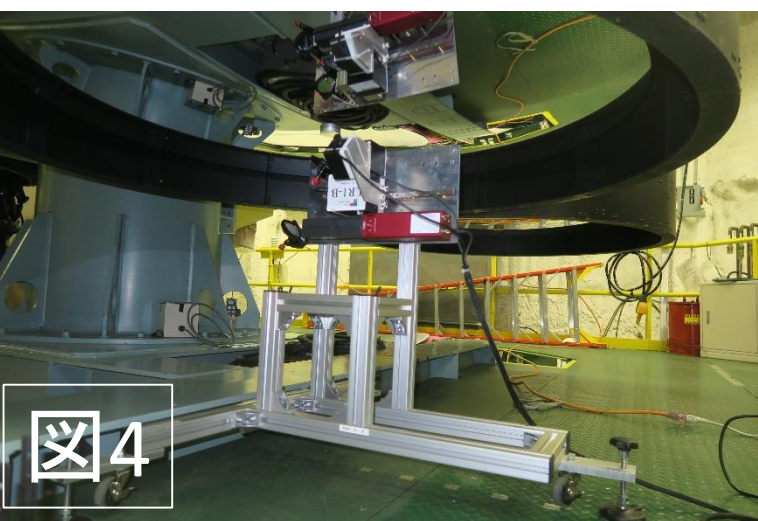
© Okita et al. (2019a)

(図2、図3) 絶対値校正のため“V-N法”を応用し“L-V法”を開発した。(a),(b)は共に光路長が等しく鏡面M1~M3への入射角も等しい。(a)の光路で100%の光量を定義し(b)の光路でobjectの反射率を得る。

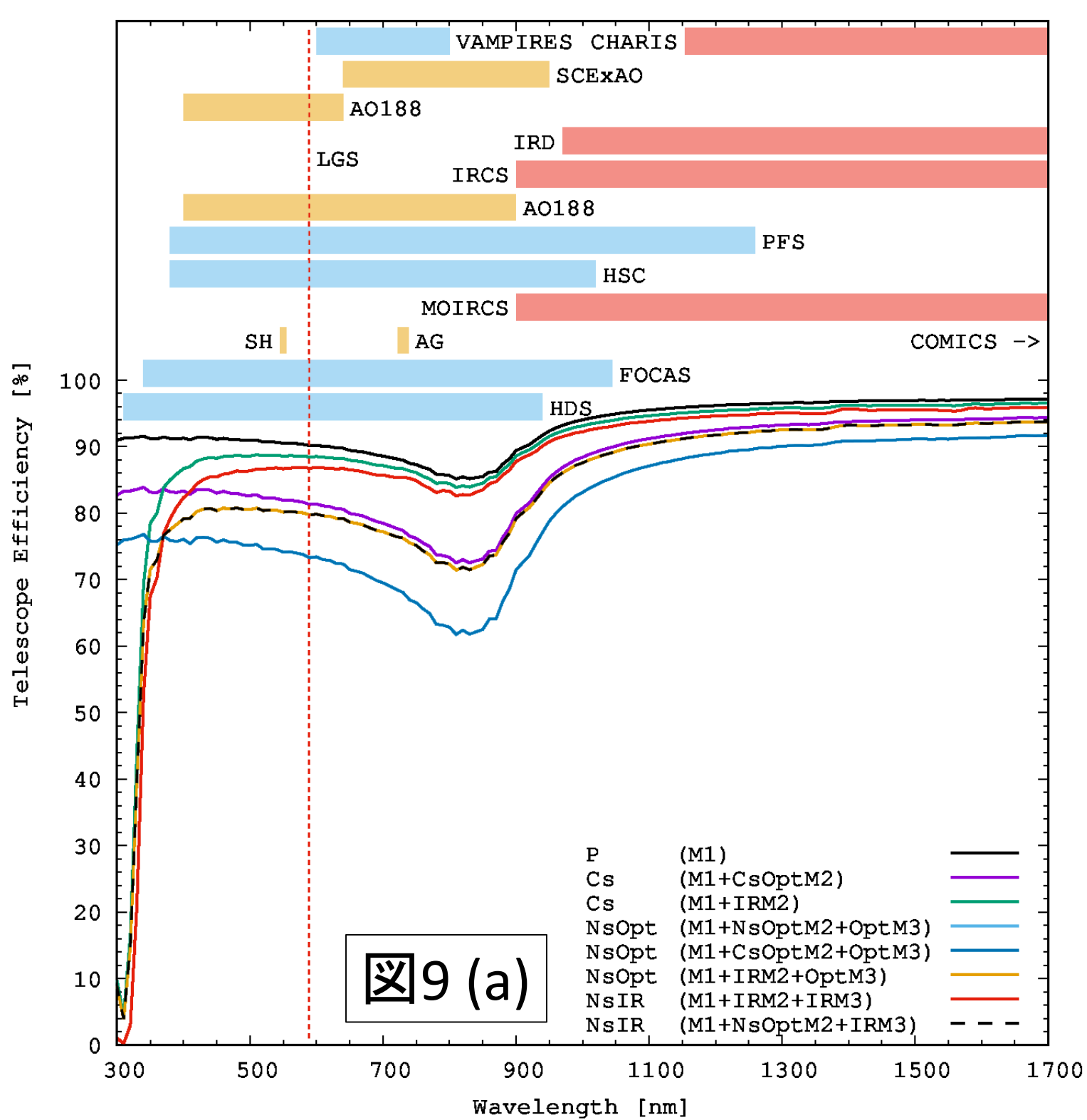
これとは別に光源・分光器のドリフトを補正する“Sequence Measurement”手法も開発することで系統誤差を小さくした。

赤外分光器を追加して950~1650nmも10nmの分解能で測定可能とした(SPS-XWW)。

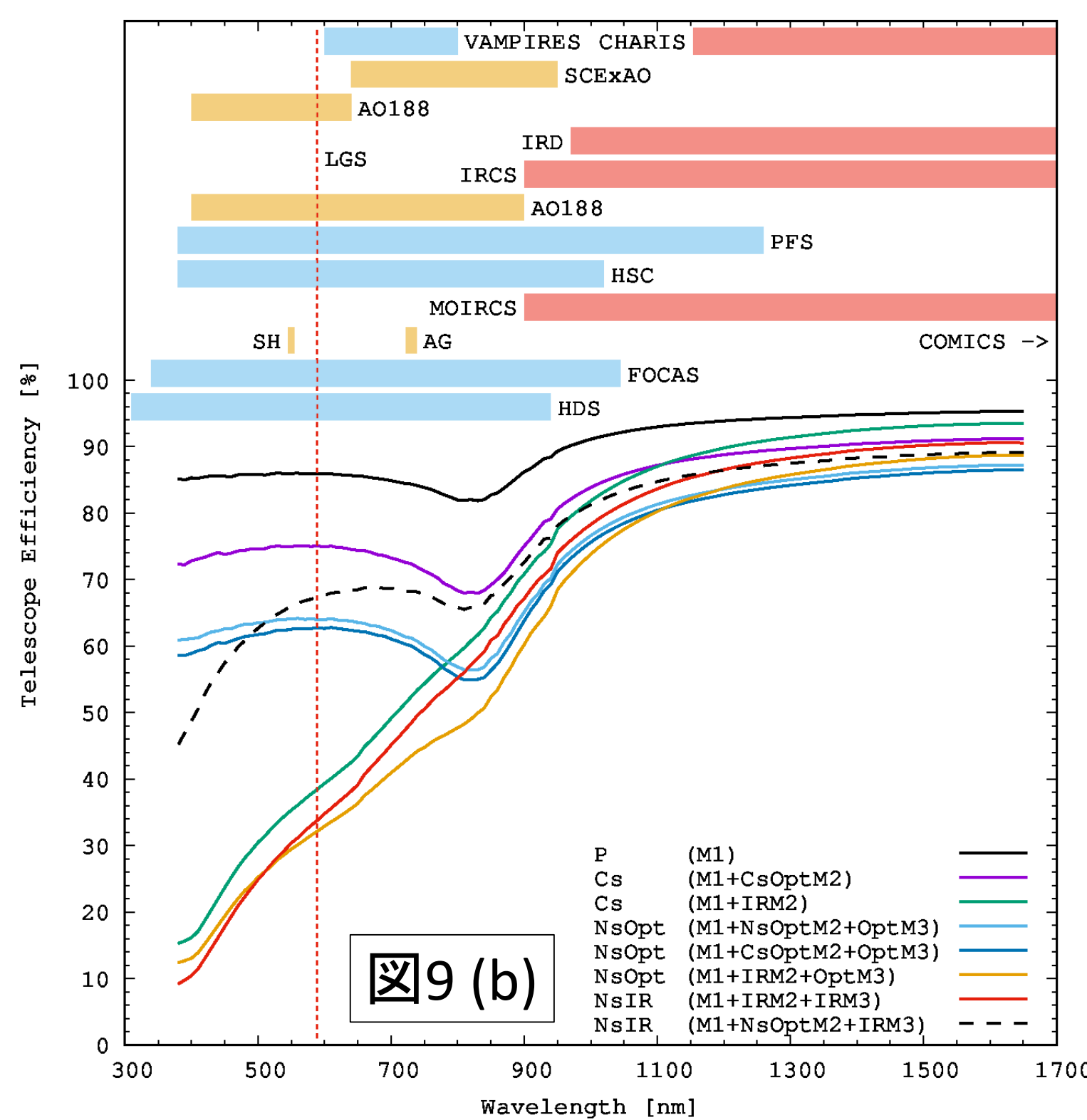
主鏡の測定ではSPSを主鏡に「載せて」反射率の測定を行う。副鏡、第3鏡の測定では専用のジグを製作することで非接触で測定することが可能である(図4、図5)。



4. 望遠鏡の各焦点での効率



(a) 多くの天文学者が信じているであろうすばる望遠鏡の反射率(理想値)



(b) 2019年2月の時点でのすばる望遠鏡の反射率(測定値)

2. 反射率の測定結果

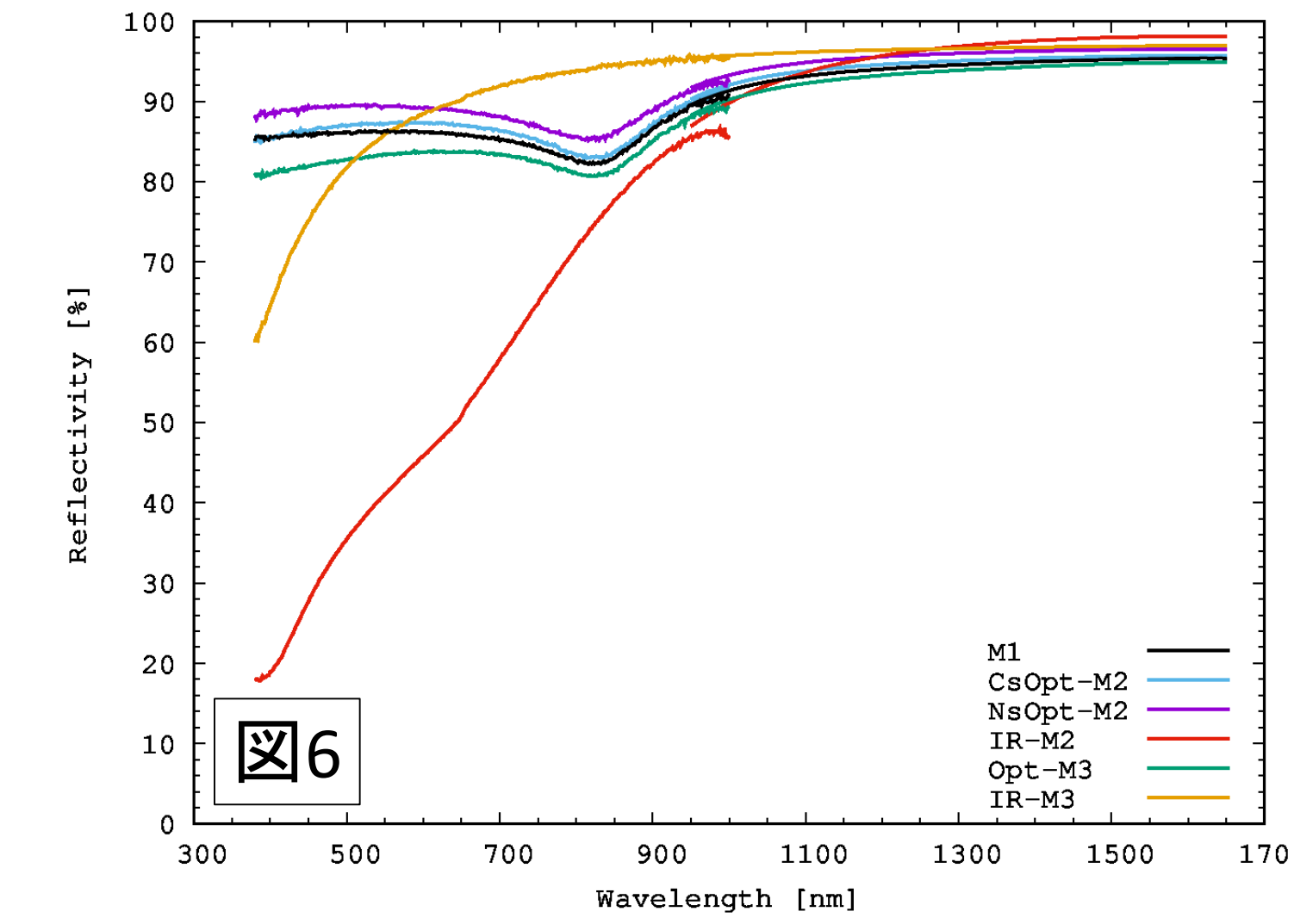
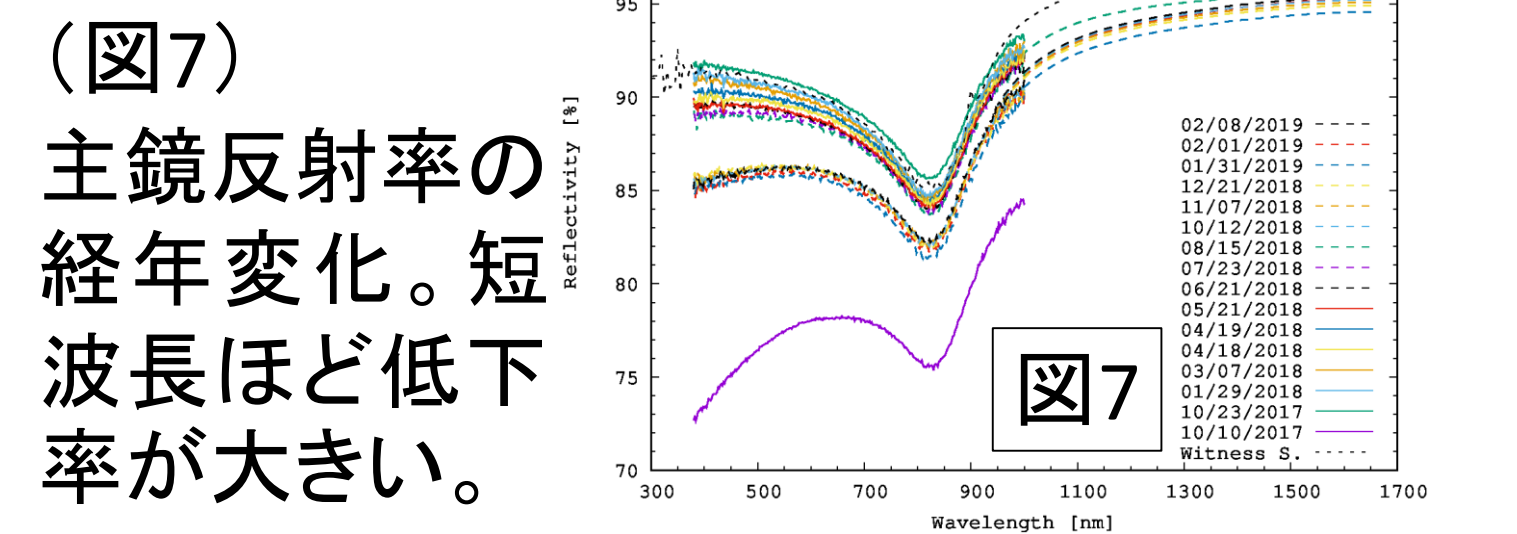


図6

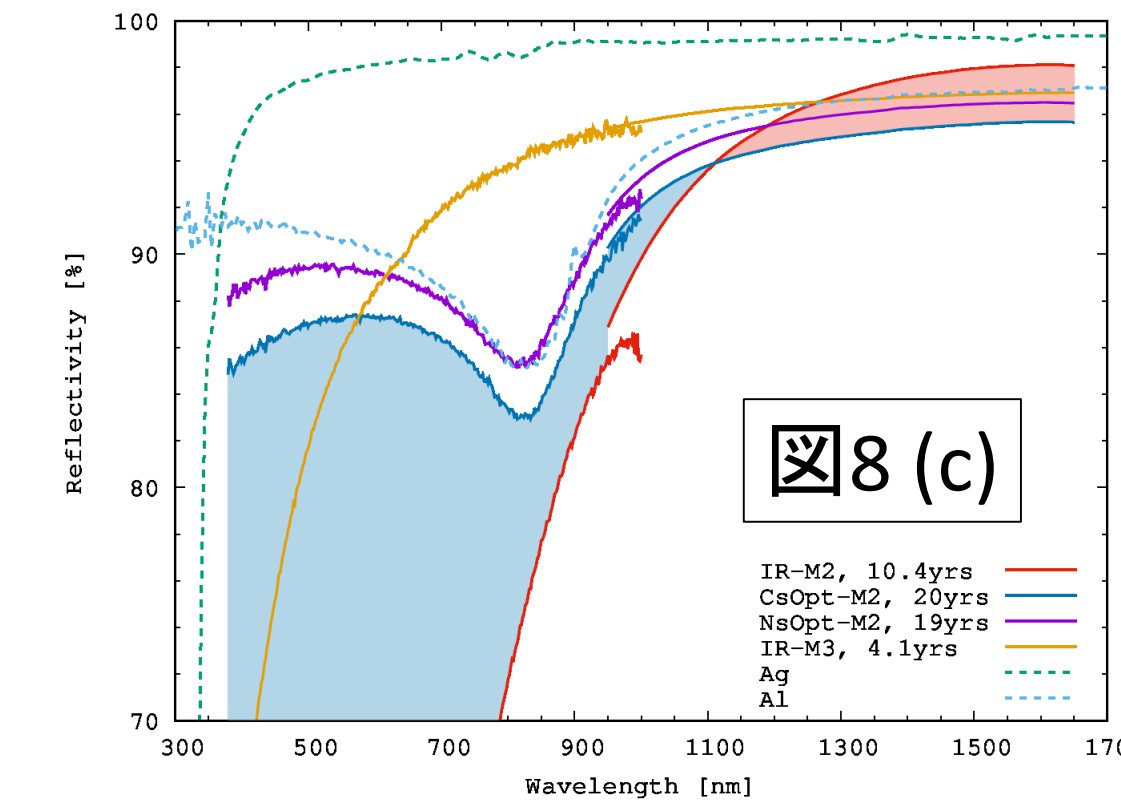
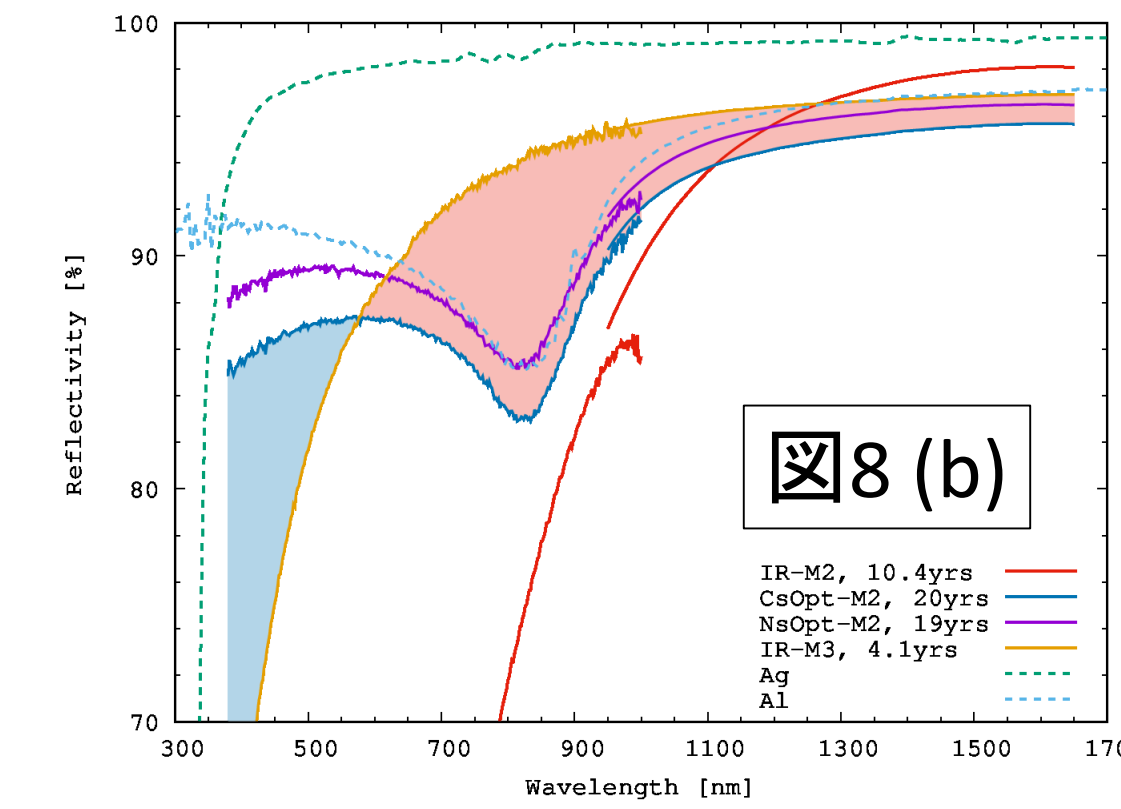
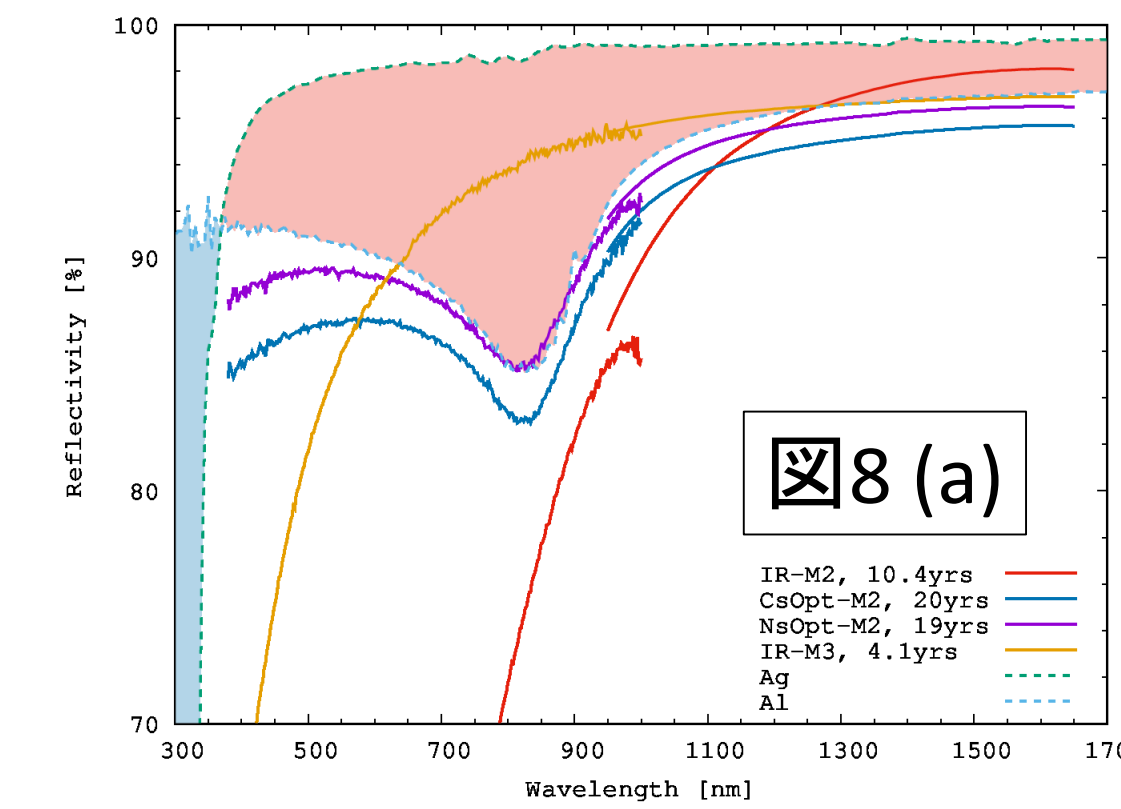
すばる望遠鏡の各部の反射率測定を実施。図6に2019年2月時点での反射率を示す。AgでコーティングされたIR副鏡とIR第3鏡の低下が目立つ。



(図7) 主鏡反射率の経年変化。短波長ほど低下率が大きい。

3. IR副鏡の再コーティング: AlとAgどちらが良いか?

すばる望遠鏡のIR副鏡は2008年にAgでコーティングされ、これまで約10年にわたり使用されてきた。今回、SPSによる測定から可視で反射率が大幅に低下していることが判明した。そこで2019年度中に再コーティングすることが計画されたが、再びAgでコーティングするか、耐久性の高いAlでコーティングするか、比較を行った。



AgやAlでコーティングされた副鏡(下向き鏡)の経年劣化の具合はよくわからない。そこで経年劣化したAl鏡はCsOpt副鏡、4年経過したAg鏡はIR第3鏡の反射率と等しいと仮定して検討を行った。

(a) コーティング直後の反射率を比較した場合、370nm以下の波長でAlの方が反射率が高い。Agの方が広い波長で高い反射率を得られる。

(b) コーティングから4年後にはAgの方が劣化が早く、反射率のアドバンテージは小さくなる。580nm以下の波長でAlの方が反射率が高くなる。

(c) コーティングから10年経過するとAgは可視での反射率が大きく低下する。1100nm以下の波長ではAlの方が反射率が高いことがわかる。

よって反射率の低下を考慮した場合、IR副鏡は5年程度使用する計画であればAg、10年以上使用する計画であればAlでコーティングするほうが反射率を高く維持できることが分かった。

ここでIR副鏡はULTIMATE-SUBARU計画で2024年頃に可変副鏡に改造することが予定されている。そのため今回の再コーティングではAgでコーティングするのが合理的である。

5. まとめ

望遠鏡の反射率を測定する装置がこれまでなかった。そこでファイバ分光器を用いて絶対分光反射率を測定できる装置(SPS)を開発した。測定の結果、望遠鏡の光学性能が大きく低下していることがわかった。測定は重要である。

謝辞

本研究はすばる望遠鏡第8回主鏡蒸着プロジェクトの一部として実施したものである。作業に参加した全ての方、特に望遠鏡エンジニアリング部門とディクルーに感謝する。また反射率の低下を指摘し本研究のきっかけを提供してくれたすばる望遠鏡ユーザーに感謝する。

6. 参考文献

- Okita, H., Takato, N., and Hayashi, S. S., "In-Situ Measurement of the Subaru Telescope primary mirror reflectivity", Proc. SPIE, 10706, 107061U (2018)
- Okita, H., Takato, N., and Hayashi, S. S., "Subaru Portable Spectrophotometer (SPS): in-situ reflectivity measurement for large telescope mirror", J. Astron. Telesc. Instrum. Syst. 5(1), 014002 (2019a)
- Okita, H., Hayashi, S. S., and Takato, N., "Reflectivity degradation of the Subaru Telescope primary mirror", PASJ, tmp, 70, (2019b)