

島根県立三瓶自然館 60cm 反射望遠鏡の性能検査 – 2. 光学精度 –

矢 田 猛 士*・福 岡 孝*・太 田 哲 朗*

Performance evaluation of 60 cm reflector telescope in the Shimane Nature Museum of Mt. Sanbe (Sahimel) – 2. Optical accuracy –

Takeshi Yada, Takashi Fukuoka and Tetsuaki Ohta

Abstract

Hartmann test was performed with a handmade Hartmann mask with 51 holes to investigate the aberrations of 60 cm Cassegrain telescope located at the Shimane Nature Museum of Mt. Sanbe (Sahimel). The Hartmann patterns showed coma aberration. The Hartmann constant was obtained around 0".5 and was larger than the factory-inspection value, 0".2, which evaluation had been carried out before the delivery. Hence the aberration is probably caused by tilt of optical axis of the telescope. Spherical aberration was also evaluated by comparing the scale of Hartmann mask with that of photographs taken at outside of focus, and was not detected obviously.

1 はじめに

望遠鏡の性能を十分に發揮し維持するためには、光学系、制御系、駆動系、機械系など各性能の仕様との比較、定期的な検査とメンテナンスが必要である。島根県立三瓶自然館の副鏡可動式 60 cm カセグレン望遠鏡は 2002 年 4 月の新館整備時に納入され、天文現象の画像記録や天体観察会などに活用されている。しかし、星像のシャープさにやや欠けるため、光学系の検査が望まれていた。

望遠鏡の光学系の精度を検定する方法にハルトマンテストがある（例えば、水野、1991）。納入時における、当館の反射望遠鏡の接眼部ドローチューブは、光軸に対する回転や合焦方向の移動がフリーの「引き出し式」であり、ハルトマンテストを行うには不適当であった。そこで、接眼部を「引き出し式併用のラック＆ピニオン式」に変更し、新たに読み取り目盛りを焼き付けることにより、精密な合焦位置の測定が可能となった。

また、副鏡可動方式の合焦機構はドローチューブ方式に比べ、合焦の移動距離が短くなるというメリットがある一方、主鏡と副鏡の焦点がずれることで「光路

長一定の条件」が満たされず、球面収差が発生するというデメリットも存在する。そのため、球面収差が最小となる副鏡の位置を調べておく必要がある。

本稿では方向による収差の違いの有無を調べるために天頂、東、南、西の計 4 方向に鏡筒を向けて行ったハルトマンテストについて、および、副鏡の位置を変えて球面収差を検査した結果について報告する。なお、ハルトマンテストには自作したハルトマン板を使用した。

2 観 测

2.1 装置について

観測には三瓶自然館に設置された西村製作所製 60 cm 反射望遠鏡と、SBIG 社製冷却 CCD カメラ・ST-10XME を使用した。ペルチェ素子により冷却された CCD カメラは USB でコンピュータに接続され、制御ソフトウェア (CCDOPS) を用いて画像が取得される。望遠鏡の焦点は副鏡部と接眼部の 2ヶ所で合焦させる。このうちの接眼部は「ラック＆ピニオン式ドローチューブ」と「引き出し式ドローチューブ」の二段階となっている（図 2.1）。可動式副鏡はリモコ

* 島根県立三瓶自然館, 〒 694-0003 島根県大田市三瓶町多根 1121-8

The Shimane Nature Museum of Mt. Sanbe (Sahimel), 1121-8, Tane, Sanbe-cho, Ohda-shi, Shimane Prefecture

ンにより制御しモーターで駆動する。副鏡の位置はモーターユニットのデジタル表示から読みとる。副鏡が主鏡に近づくと数値は小さくなる。副鏡の可動範囲は90 mmである。また、接眼部の二段階のドローチューブは手動で操作し、位置はドローチューブに刻印された目盛から読みとる。可動範囲はラック&ピニオン式が80 mm、引き出し式が100 mmである。ハルトマンテストには自作のハルトマン板（太田・福岡, 2004）を使用した。望遠鏡の仕様と冷却CCDカメラの撮像データは表2.1の通りである。なお撮影画像のスケールは二重星を撮像し、座標測定とカタログ星表と比較することで求めた。

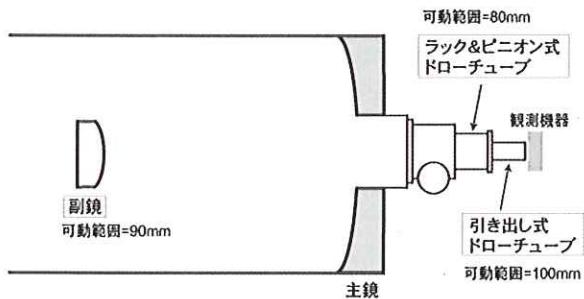


図2.1 副鏡可動式 60 cm カセグレン望遠鏡（三瓶自然館）

表2.1 望遠鏡の仕様と冷却CCDカメラの撮像データ

60 cm反射 望遠鏡	主鏡有効径 : 主鏡焦点距離 : カセグレン焦点距離 : 鏡面精度 :	600 mm 2,100 mm · F3.5 6,000 mm · F10 ハルトマンテストを実施したとき, 500 mm で 80 % 以上の光が 0".3 以内に 収束する
冷却CCD カメラ	冷却温度 : フレームサイズ :	約 -10°C 高解像度 / フルフレーム (2,184 × 1,472 pixel)
上記の組み合わせによるスケール : 1 pixel = 約 0".23		

2.2 観測手順

(i) ハルトマンテスト

ハルトマンテストとは、鏡筒の先端に多数の小孔を持つ板（ハルトマン板）を置き、焦点の前側と後側で恒星の撮像を行い、鏡面の状態や収差、望遠鏡の光学系を検査するものである。このとき得られる像は焦点内像（以下in-focus）と焦点外像（以下out-focus）である。2枚の画像からハルトマン板の各スポットを通過した光の軌跡を調べ、「収差ベクトル」と「ハルトマン定数」を得ることができる。はじめに、ラック&ピニオン式ドローチューブを読み取り値の中心付近

（読み取り値40 mm）まで引き出し、副鏡を移動させて焦点を合わせた。次に望遠鏡を観測したい方向（天頂、東、南、西）に向かって、ラック&ピニオン式ドローチューブを前後に40 mmずつ移動させてin-focus, out-focusのハルトマン像を得た。

(ii) 球面収差の検査

主鏡と副鏡の焦点が一致していない場合には球面収差が生じることから、最も収差が小さくなる副鏡位置を調べる必要がある。簡単には、ハルトマン板と主鏡一副鏡間の距離を変えて撮像したout-focusのハルトマンパターンを比較することで、球面収差を定性的に評価することができる。今回は3ヶ所の副鏡位置を設定した。はじめに、それぞれの副鏡位置において引き出し式ドローチューブを移動させ合焦させた。その後に、接眼部のラック&ピニオン式ドローチューブを動かしてout-focusのハルトマン像を得た。ハルトマン板の中心から各スポットの中心までの実測値(r_{ij})は、ハルトマン板に模造紙をあててスポットの形を写し取ることで測定した。

2.3 撮像天体について

撮像天体には明るさが4-5等で、天頂および東、南、西方向にある高度が30°前後の恒星を選んだ。天体を導入後、CCDOPSのFOCUSモードで位置合わせと像の確認を行い、GRAB（撮像）モードで10秒間の露出をかけて撮像した。上記2つの観測における合焦装置の値と対象天体についての詳細を表2.2に示す。1つの副鏡位置に対し4方向のハルトマンテストを連続して行った。

3 観測結果および考察

3.1 ハルトマンテスト

焦点をはさんだ2枚の画像から収差ベクトル、および、ハルトマン定数を計算する方法は水野（1991）に従った。収差ベクトルのパターンから、望遠鏡の持つ収差の性質を推測することができる（図3.1）、また、ハルトマン定数からは収差の大きさを定量的に評価することができる。

(i) 収差ベクトル

ハルトマンテストから得られた収差ベクトルを図3.2(A)から(C)に示す。収差ベクトルのパターンから、三瓶自然館の60 cm反射望遠鏡ではコマ収差が存在していることがわかる。コマ収差は鏡面に歪みがある場合や光軸にずれがある場合に認められる。コマ

表2.2 副鏡位置と対象天体

観測日時：2004年11月19日19h～23h
露出：10秒

引出式ドローチューブ読取値	合焦時の副鏡位置	方向(方位角)	星名	等級	高度
A : 0 mm (内側へ最も押し込んだ位置)	-6.55	天頂 東(86) 南(178) 西(271)	14 And 37 Tau 7 Cet α Vul	5.20 4.36 4.44 4.44	86° 34° 35° 27°
B : 50 mm	-11.45	天頂 東(90) 南(178) 西(267)	γ Tri ξ Ori ν For σ Equ	4.01 4.48 4.69 4.49	81° 26° 24° 21°
C : 100 mm (外側へ最も引き出した位置)	-16.35	天頂 東(89) 南(185) 西(269)	σ And ν Ori α Scl ζ Del	4.50 4.42 4.31 4.68	82° 24° 24° 26°

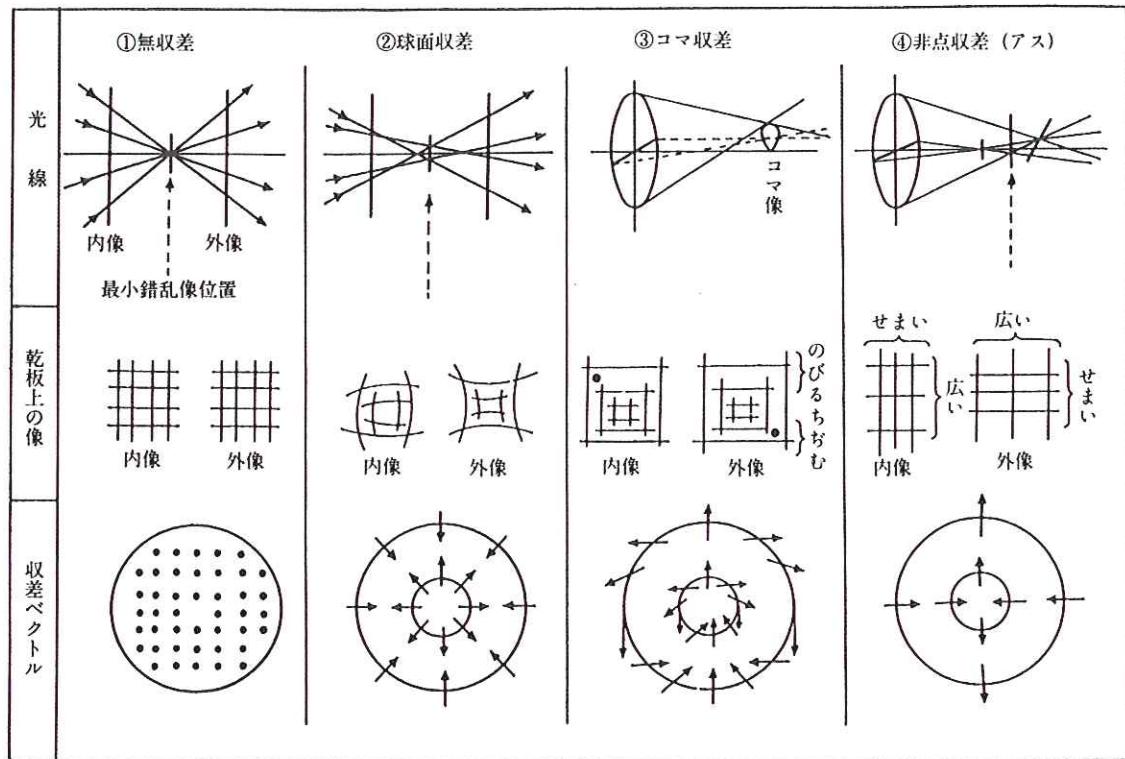


図3.1 収差と収差ベクトルのパターン（水野、1991より）

収差の原因が光軸の不一致であるとした場合、光軸はNW方向にずれていると考えられる。

鏡筒の方向や副鏡位置を変えることで、コマ収差を示す収差ベクトルのパターンに変化が認められる。光軸の不一致や主鏡セルの締め付けなどの影響、鏡または鏡筒の微妙な変形による収差が存在する可能性がある。しかし、これらは前述のコマ収差に比べ小さなものである。収差ベクトルのパターンは鏡筒の各方向で共通の傾向が見られ、副鏡運動に伴う変化は小さい。各方向での収差ベクトルの傾向を表3.1にまとめた。

(ii) ハルトマン定数

表3.2にハルトマン定数 T および、一次元ハルトマン定数 T_r の値を示す。 T は焦点面における収差の大きさ、 T_r は収差ベクトルの鏡面の半径方向成分の大きさをそれぞれ表す。副鏡位置を主鏡方向に移動させる [(A)→(C)] と、 T_r の平均値は $0''.58$ 、 $0''.55$ 、 $0''.52$ とわずかながら小さくなる。工場における光学検査では $T_r = 0''.203$ と報告されており、その通りであるならば、 T_r が大きくなっている主な要因は主鏡と副鏡の光軸不一致であると考えられる。

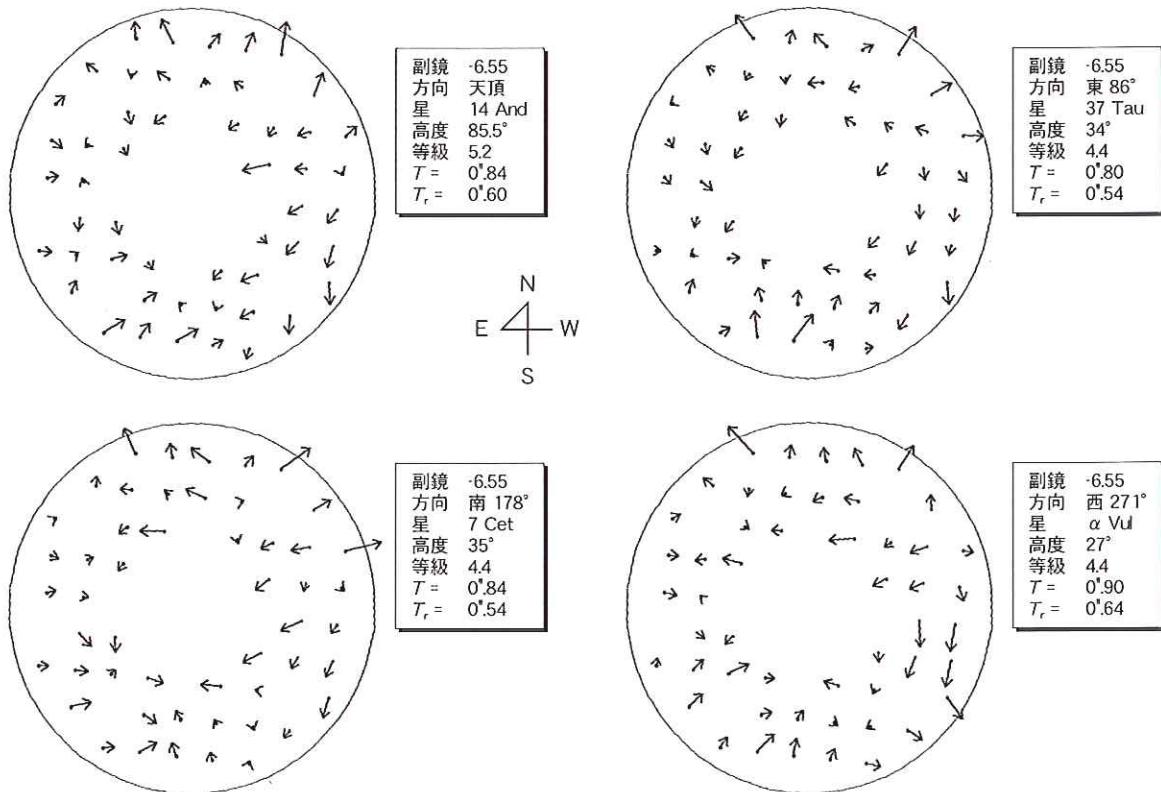


図 3.2 (A) 副鏡位置 -6.55 での収差ベクトル

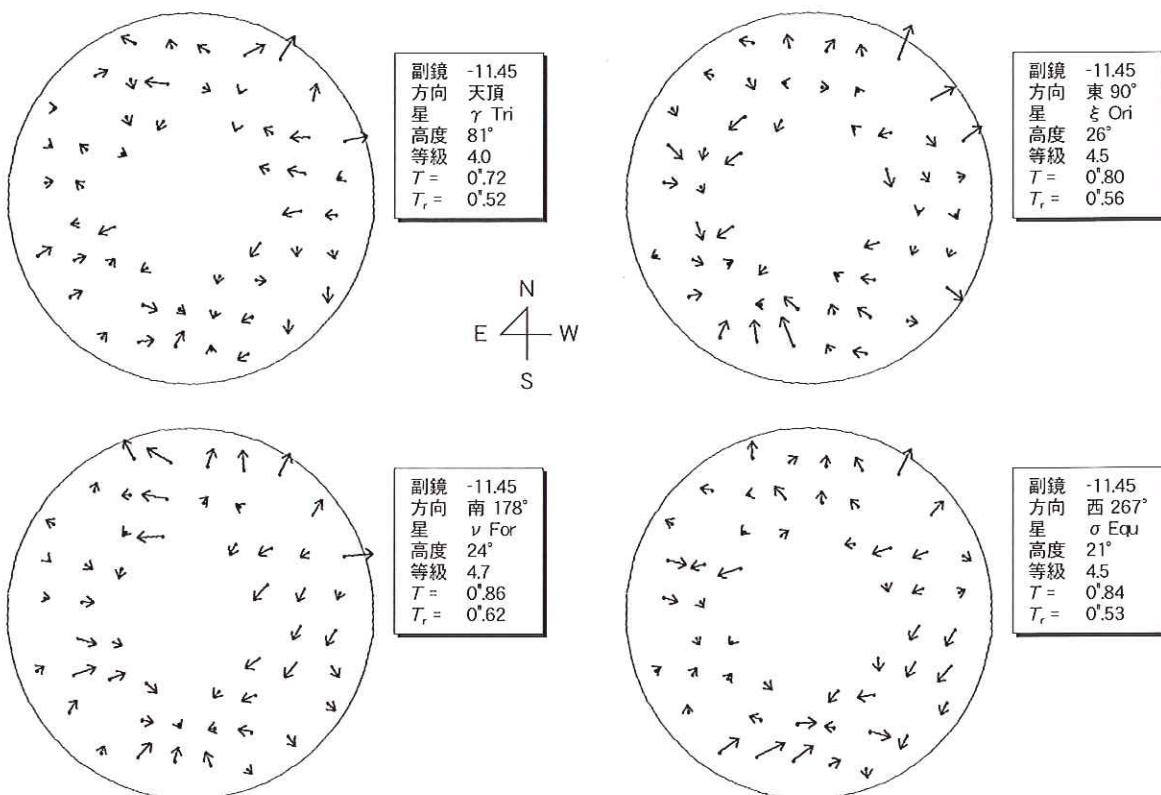


図 3.2 (B) 副鏡位置 -11.45 での収差ベクトル

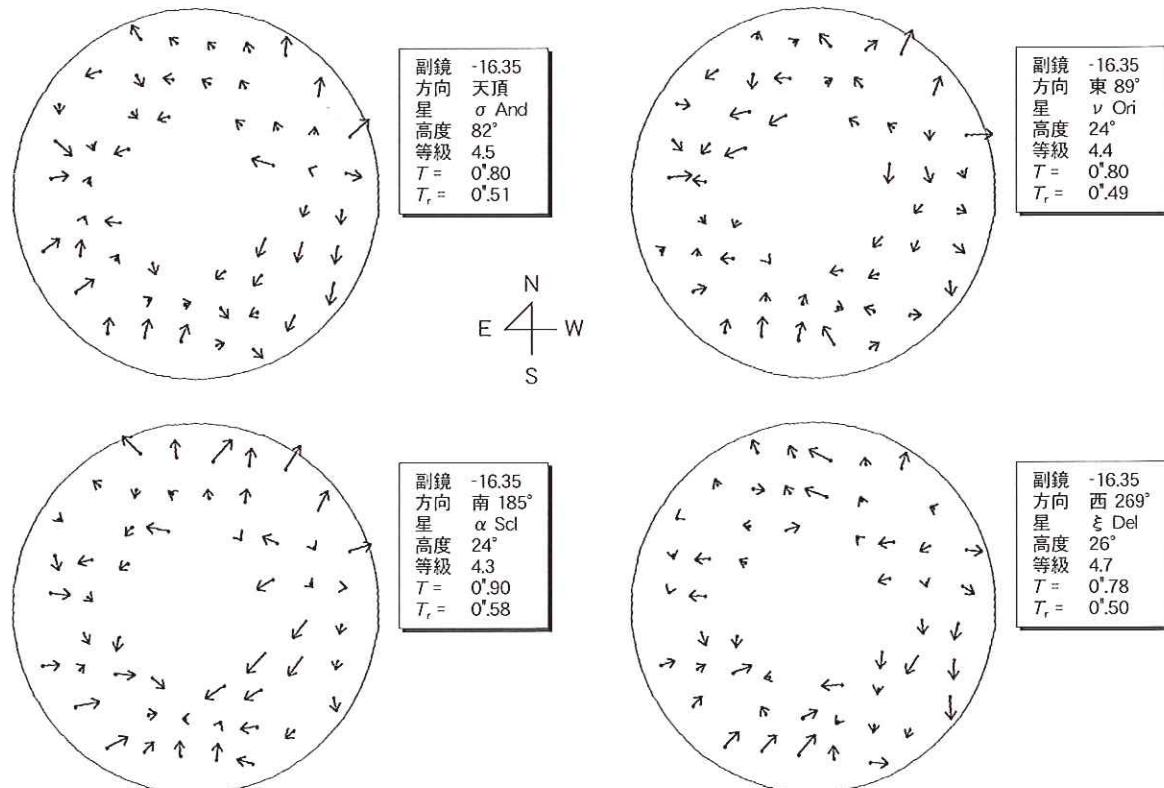


図 3.2 (C) 副鏡位置 -16.35 での収差ベクトル

表 3.1 収差ベクトルの傾向と副鏡移動 (A → C) に伴う変化

方向	収差ベクトルの傾向	副鏡移動 (A → C) に伴う変化
天頂	N～NW～Wにかけて大きい	N側が小さくなる S～SE～Eにかけて大きくなる
東	NWおよびSで大きい	NEが大きくなる
南	E～EN以外で大きい	変化なし
西	NW～SW～SEにかけて大きい	スポット的に大きなところが現れる

表 3.2 ハルトマン定数 T 、および、一次元ハルトマン定数 T_r

副鏡位置		$T (^{\circ})$	$T_r (^{\circ})$
(A) -6.55	天頂	0.84	0.60
	東	0.80	0.54
	南	0.84	0.54
	西	0.90	0.64
	平均値	0.84	0.58
(B) -11.45	天頂	0.72	0.52
	東	0.80	0.56
	南	0.86	0.62
	西	0.84	0.53
	平均値	0.80	0.55
(C) -16.35	天頂	0.80	0.51
	東	0.80	0.49
	南	0.90	0.58
	西	0.78	0.50
	平均値	0.82	0.52

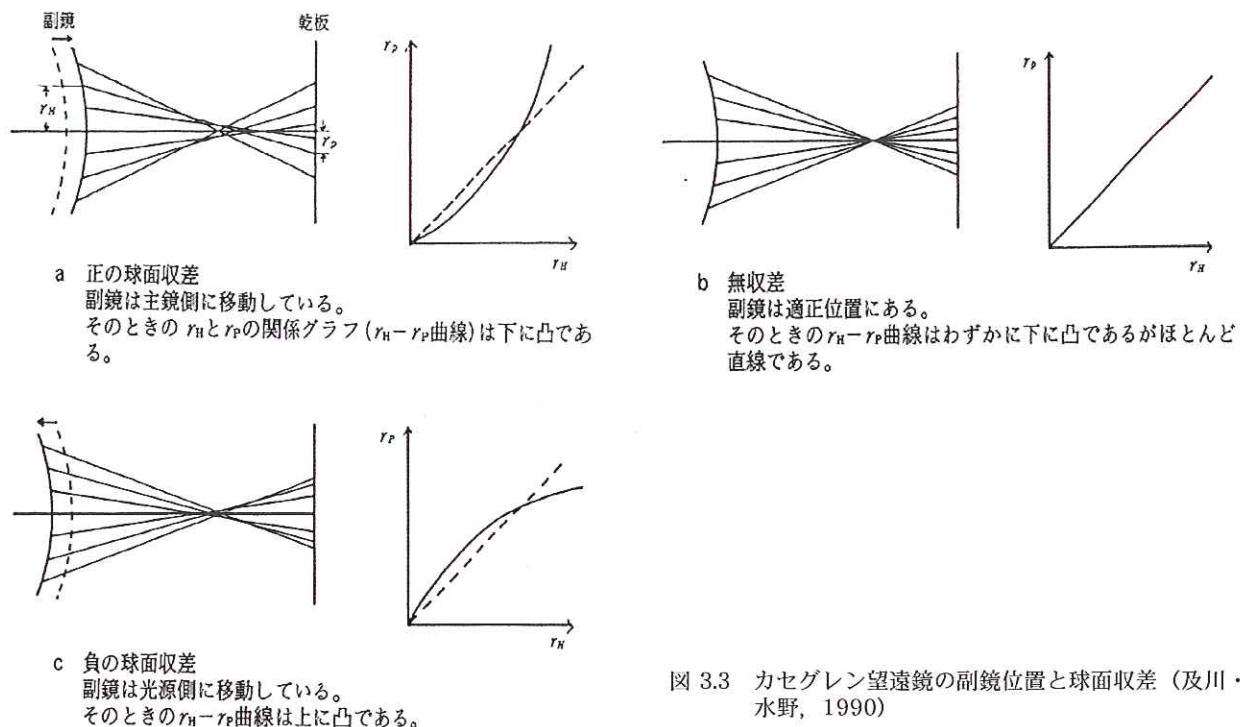


図 3.3 カセグレン望遠鏡の副鏡位置と球面収差 (及川・水野, 1990)

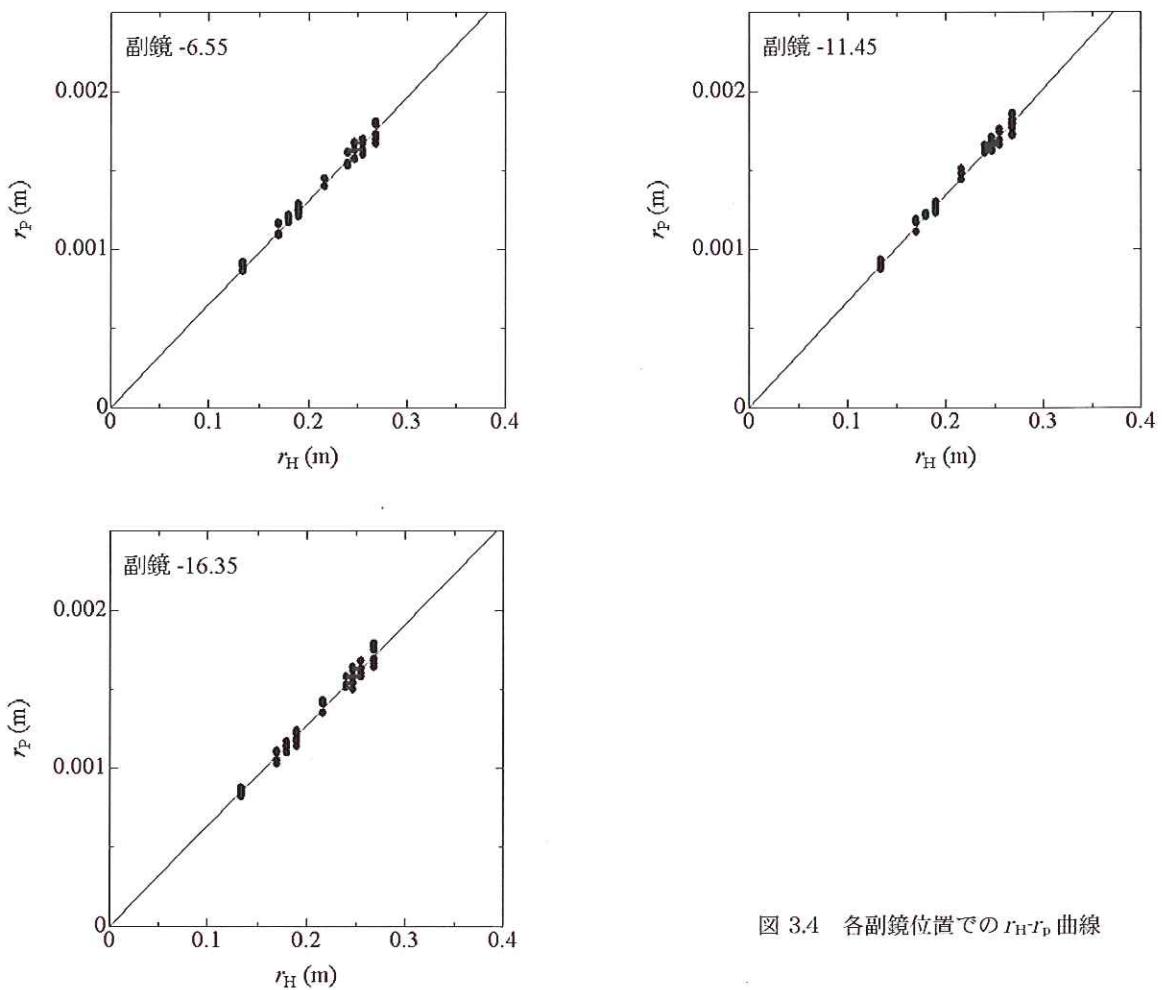


図 3.4 各副鏡位置での $r_H - r_P$ 曲線

4 ま と め

島根県立三瓶自然館の 60 cm 反射望遠鏡のハルトマンテスト、および、球面収差の検査を行った。収差ベクトルのパターンからコマ収差が確認された。コマ収差の原因としては鏡面の歪みや光軸の不一致が考えられる。望遠鏡の方向を変えることで、収差ベクトルに変化が認められた。主鏡セルの締め付けの影響や、鏡あるいは鏡筒の微妙な変形による収差が考えられる。しかしこれらはコマ収差に比べ、小さなものである。得られた一次元ハルトマン定数 ($T_r \sim 0''.5$) は工場検査時の値 ($T_r \sim 0''.2$) に比べて大きいことから、光軸がずれている可能性が考えられる。球面収差の検査結果から、明らかな球面収差の影響は認められなかった。これは、球面収差が非常に小さい、あるいは、球面収差以外の収差に埋もれている可能性が考えられる。ほかの収差を修正した後に球面収差の検査を再度行う必要がある。

謝 詞

観測に際しては、当館の竹内幹蔵氏に協力を頂いた。岡山県立鴨方高等学校の大島 修氏には原稿をチェックして頂き、貴重な意見を賜った。また、西村製作所には当館の 60 cm 反射望遠鏡の関連資料を提供して頂いた。以上の方々に厚く感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 水野孝雄 (1991) 横尾武夫編「宇宙を見るⅡ <応用編>」、恒星社恒星閣、42。
 太田哲朗・福岡 孝 (2004) 島根県立三瓶自然館研究報告、2、15。
 及川賢一・水野孝雄 (1990) 東京学芸大学紀要、42、145。