

ILOM 計画における地上試験観測用望遠鏡の 水銀皿を用いた撮像実験

鶴田誠逸・花田英夫・浅利一善・千葉皓太*・横川琳吾*・稲葉健太*・船崎健一*
谷口英夫*・佐藤 淳*・加藤大雅*・菊池 護*・荒木博志・野田寛大・鹿島伸悟
(*岩手大学工学部)

1. はじめに

月面天測望遠鏡計画 (ILOM (In-site Lunar Orientation Measurement)) では写真天頂筒 (PZT) 型の望遠鏡を計画している。望遠鏡下部の反射鏡として PZT 同様水銀面を利用する。これまでいくつかの水銀皿を試作して、その水銀面の面精度や振動の影響などを測定してきた[1]。その測定結果から最適な水銀皿 (水銀深さ: 0.5mm、光学的有効径: 62mm、水銀面精度: 0.3λ) を選択し (図 1)、地上試験観測を目的とした ILOM-BBM を利用して、疑似星像を用いて水銀面への振動の影響や星像中心位置決定精度の実験を行った。その結果、地上試験観測の目標精度の 0.1 秒角の分解能を得ることができた。今回はその測定結果と問題点について報告する。実験は天文台水沢実験室と、共同研究している岩手大学工学部施設で行った。



図 1

2. ILOM 地上試験観測用望遠鏡

ILOM-BBM を図 2、3、4 に示す。望遠鏡は口径 100mm、焦点距離 1,000mm である。望遠鏡は鏡筒下部に取り付けられた傾斜計 (Talyvel4、分解能: 3.6 秒角) からの信号によって、モータによる X、Y 方向の 2 軸姿勢制御 (分解能: 6.5 秒角) により鉛直を保持するようになっている。また、傾斜計下部の Z 軸ステージによって水銀皿・傾斜計を上下させることで受光用 CCD カメラ (静止画像は Bitran、動画用は MINITRON MTV-63V1N を使用、図 3 は Bitran) への焦点合わせを行う構造となっている。水銀皿と傾斜計、Z 軸ステージを含む部分は一体として別途昇降台によって鏡筒と着脱することができる (図 5)。



図 2

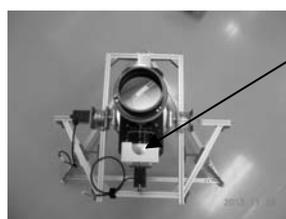


図 3

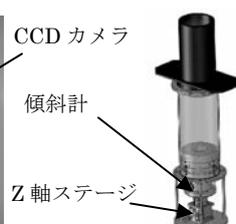


図 4

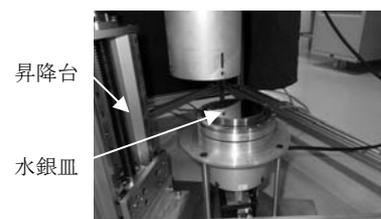


図 5

3. 地上試験観測用望遠鏡の目標精度

望遠鏡の分解能は主に、回折限界・シーイング・CCD ピクセルサイズの 3 つによって決まる。

- ・回折限界 θ は $\theta \text{ rad} = 1.22 \times \lambda / D$ で表される。ここで、 D は口径、 λ は波長である。口径 100mm、波長 600nm の場合、 $\theta = 7.32 \times 10^{-6}$ (1.5 秒角) となる。
- ・シーイングは季節・場所・時間等によって変わるが、すばる望遠鏡の場合は 0.4 秒角[2]、岡山観測所で 1.1~1.2 秒角である[3]。
- ・星像を 1 ピクセル内に入れる場合は分解能はそのサイズ以下にはならない。ピクセルサイズ $5 \mu\text{m}$ の場合、焦点距離 1,000mm で 1 秒角である。しかし、星像を数ピクセルに広げる場合は約 1/300 ピクセル (約 3 ミリ秒角) の分解能を達成している[4]。

一方、分解能のこれまでの実績として、写真乾板を用いた PZT (緯度観測) で約 1 秒角[4]、CCD を用いた PZT (鉛直線偏差) では約 0.1 秒角である[4]。

以上のことを考慮して、地上試験観測用望遠鏡の目標分解能は0.1秒角とする。

4. 疑似星像撮像実験

疑似星像撮像実験の機器配置を図6に示す。ピンホール(0.5 μm)を通った光はコリメータによって平行光線となり、アルミフレーム上のミラーによって鏡筒に導入される。さらに鏡筒下部の水銀皿(または平面鏡)によって反射した光はレンズ下部の45度プリズムによってCCDカメラに導入され像を結ぶ。鏡筒下部の反射面として比較のために水銀皿と平行平面ミラーを使用した。振動測定は床に設置した振動計でN-S、E-W(佐藤商事 MTKH-1C)、上下動(同 MTKV-1C)の各成分を1成分ずつ測定した。

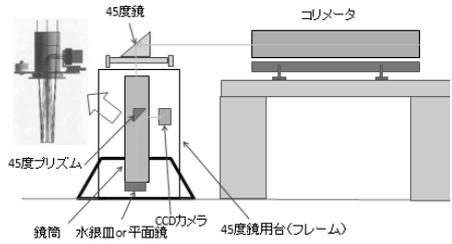


図6

疑似星像のCCDカメラで撮像した例を図7に示す。左は反射面として平面鏡を使用した場合、右は水銀皿を使用した場合である。平面鏡の場合に比べて水銀皿の方が像の歪みが比較的大きいようである。



図7

4-1. 岩手大学での実験

動画用カメラMINITRONで撮像した(以下同様である)平面鏡での星像中心変位測定結果を図8、9に、その時の床振動の測定結果を図10に、水銀皿でのそれぞれの測定結果を図11、12、13に示す。

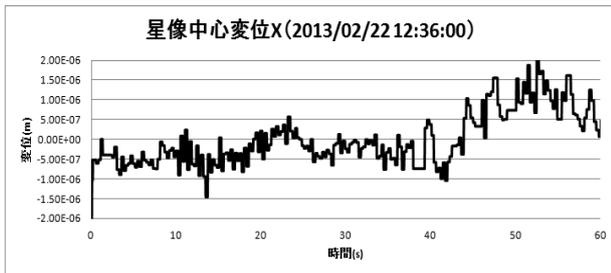


図8

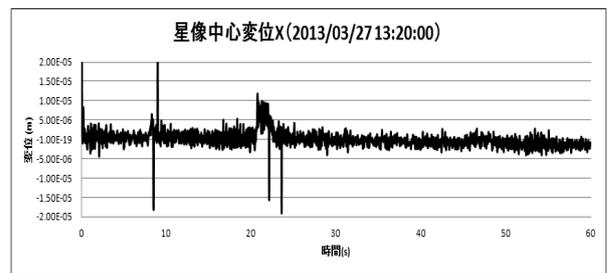


図11

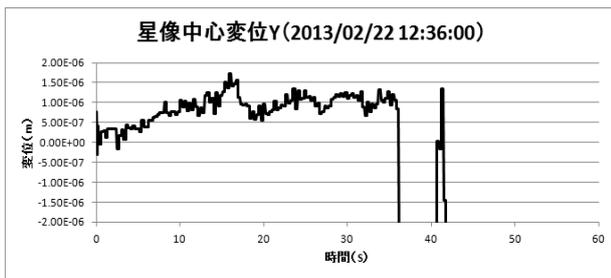


図9

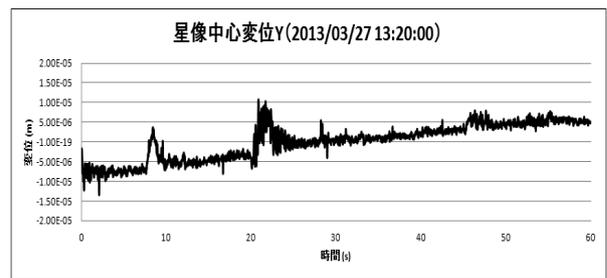


図12

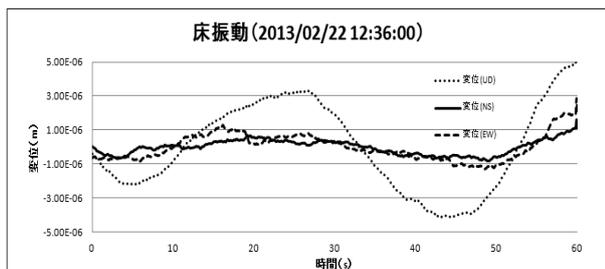


図10

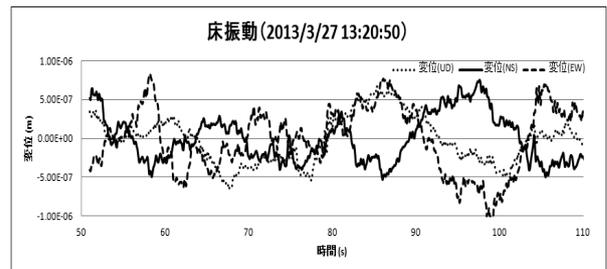


図13

平面鏡の場合に星像中心が決まらない点もあるが、床の水平振動の長周期成分、短周期成分それぞれ

の振幅は平面鏡、水銀皿の場合のどちらもそれぞれ約 $\pm 1\mu\text{m}$ 、 $\pm 0.1\mu\text{m}$ とほぼ同じであるが、星像中心変位の短周期成分の振幅は平面鏡の場合 $\pm 0.5\mu\text{m}$ 程度であるのに対して、水銀皿の場合 $\pm 3\mu\text{m}$ とほぼ5~6倍である。また、平面鏡の場合、星像中心変位の短周期成分の変動周期と床の水平振動のそれとは同期しているように見られるが、水銀皿の場合、星像中心変位の変動周期は床振動の約2倍となっている。このことから水銀皿の場合、振動が星像中心決定精度に大きく影響していると推定される。

4-2. 水沢実験室での実験

一方、床の振動の影響はアルミフレーム上のミラーにも影響していることが考えられる。そこで岩大での実験の場合、フレームサイズが30mm角（以下、旧フレーム）であったが、水沢の実験ではこれを60mm角（以下、新フレーム）に変更した。そして新旧フレーム上に振動計を設置して比較測定した。測定の様子を図14に、新フレームでの測定結果を図15、16に、旧フレームでの測定結果を図17、18に示す。図から新フレームの水平振動は旧フレームのほぼ半分に抑えられていることが確認できた。

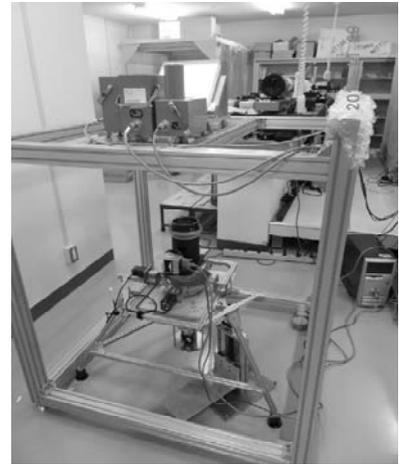


図 14

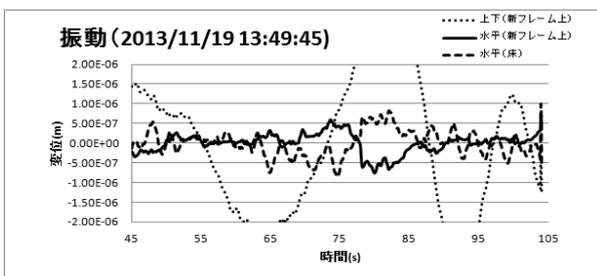


図 15

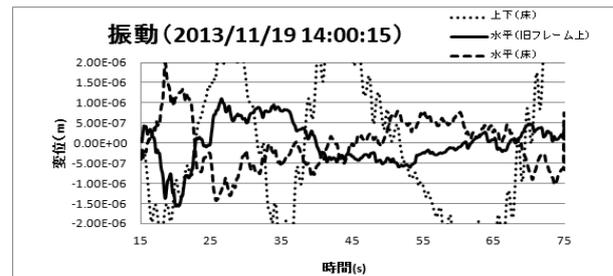


図 17

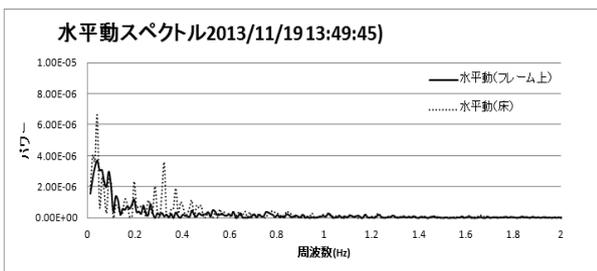


図 16

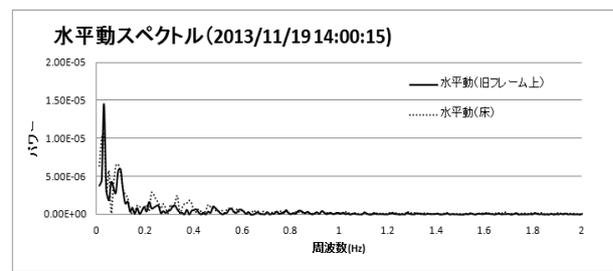


図 18

新フレームを使って行った平面鏡での星像中心変位測定結果を図19、20に、その時の振動の測定結果を図21に、水銀皿でのそれぞれの測定結果を図22、23、24に示す。この実験では振動計はフレーム上にセットした。

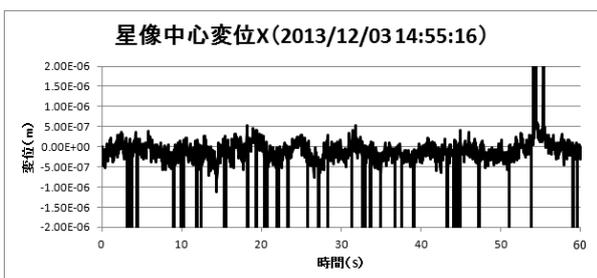


図 19

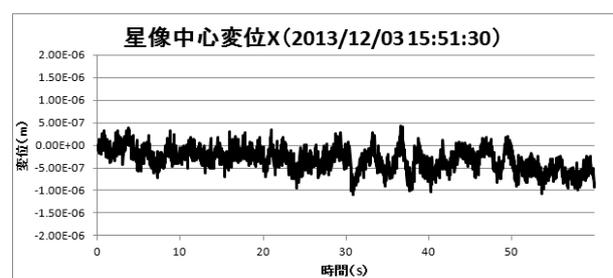


図 22

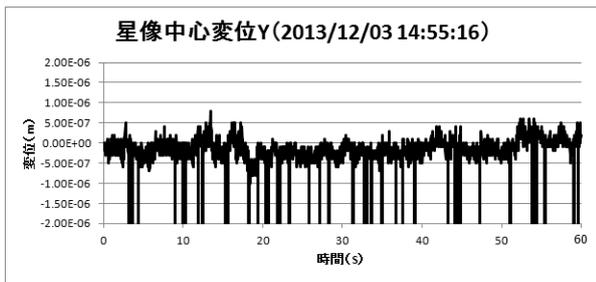


図 20

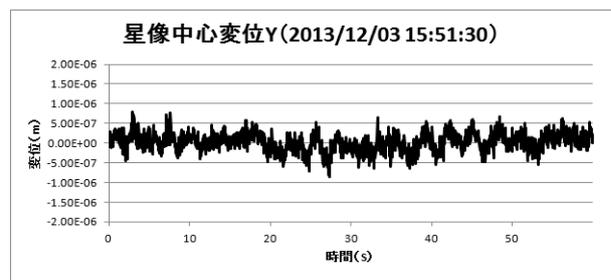


図 23

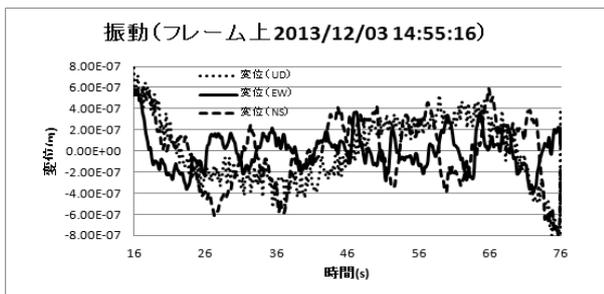


図 21

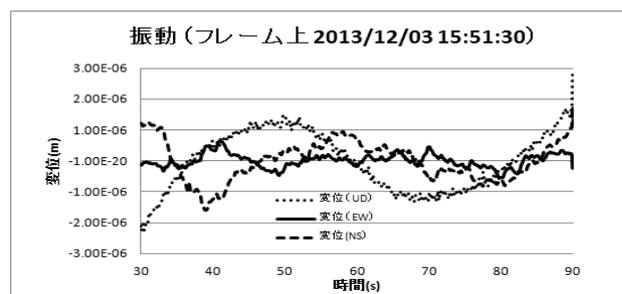


図 24

平面鏡での測定では星像中心を決められない点もあるが、実験時の床の水平振動（フレーム上）の長周期成分の振幅は約 $\pm 0.5 \mu\text{m}$ 、短周期成分の振幅は約 $\pm 0.05 \mu\text{m}$ であるのに対して、水銀皿の場合、それぞれ $\pm 1 \mu\text{m}$ 、 $\pm 0.1 \mu\text{m}$ 以下と、ほぼ2倍となっているが、岩大での実験時と大きな差はない。一方、星像中心変位決定精度は短周期成分の振幅がどちらも $\pm 0.5 \mu\text{m}$ 以下とほぼ同じ精度で測定されており、水銀皿での星像中心決定精度が岩大での測定結果の5倍程度の精度向上となっている。

フレーム上と床との振動を同時に測定することはできなかったが、このことからアルミフレームを強固にした結果、フレーム上のミラーの振動が抑えられたとことが確認できた。

5. まとめ

岩手大学工学部施設と水沢実験室において、ILOMの地上試験観測用望遠鏡を使って、平面鏡と開発した水銀皿での疑似星像撮像実験を行い、撮像時の振動の影響と星像中心決定精度を求めた。両実験場所による測定時の床の水平振動に大きな差は見られなかった。しかし、疑似星像を鏡筒に導くためのミラーを載せているアルミフレームの振動の影響が星像中心の決定に影響していることが確認された。そこで、フレーム幅のサイズを大きくして振動を測定した結果、床の振動のミラーへの影響はほぼ半分に抑えられ、水銀皿の星像中心変位の短周期成分の振幅をほぼ1/5程度に抑えることができた。その結果、水銀皿での星像中心決定精度を $\pm 0.5 \mu\text{m}$ （ $= \pm 0.1$ 秒角）程度で求めることができ、本望遠鏡での目標分解能をほぼ得ることができた。しかし、振動の影響は除去できず、得られた星像中心には振動の影響による短周期変動が観測された。分解能の向上にはこの振動の影響の補正方法が課題である。

参考文献

- [1]鶴田誠逸他：月面天測望遠鏡（ILOM）地上試験観測用水銀皿の試作、第32回天文学に関する技術シンポジウム2012集録、65-68、2013.
- [2]柏川伸成：すばる望遠鏡について、2009.05 Subaru.spring.school資料.
- [3]岩田生：シーイングモニタの自動化と岡山天体物理観測所での1年間の測定結果、第25回天文学に関する技術シンポジウム2005集録、1-4、2006.
- [4]Hanada, H. et al. : Development of a digital zenith telescope for advanced astrometry, SCINCE CHINA Physics, Mechanics & Astronomy, April 2012, Vol.55, No.4, 723-732.