シャッター開閉速度 追加レポート

担当:東北大学博士課程前期 1 年 中山 覚

2000 年 4 月 3 日

目的

このレポートは平成 11 年 7 月 14 日に作成された " HBS 用 CCD カメラ CRYOCAM-2 の性能テスト (2) " の中の「3.3 シャッター開閉速度」に関する追加レポートである。追加レポートを作成した理由は平成 11 年 11 月の共同利用観測において気温の低下と望遠鏡の姿勢に依存すると考えられるシャッター開閉不良が発生したため、それに伴ってシャッター速度の減少が起こっているか否か、また起こっていたとすると偏光度測定に対する系統誤差はどのように変化したかを報告するためである。ちなみにシャッター不良は現在も続いており、シャッターの近くにヒーターを取り付けることで対処している。

シャッター開閉速度導出法

今回はシャッター開閉速度の導出法を変更したので最初にそれについての説明をすることにする。

設定された露出時間を $t$sec とした時、、それと各 y 座標 (pixel) での実際の照射時間との差を $\delta(y)$sec と定義する。 この $\delta(y)$ を用いて $r(y)$ を次のように定義する。

$$r(y) = \frac{t(1+\delta(y))}{t+\delta(y)}$$

$r(y)$ は 1 秒間の露出時間の frame に t をかけてから t 秒間の露出時間の frame で割ったものである。$r(y)$ を求めるために使われる各 frame は観測量である。これから $\delta(y)$ を導出すると

$$\delta(y) = \frac{t(r(y)-1)}{t-r(y)}$$

となる。

この $\delta(y)$ を以下の式で fitting してシャッター開閉速度 v(m/s) を求める。

$$\delta(y) = \frac{2\mathrm{width}_{\mathrm{pixel}}}{v}y + \mathrm{C}$$

※ C は定数,$\mathrm{width}_{\mathrm{pixel}}$は 1pixel の距離 $(2.4 \times 10^{-5}\mathrm{m})$

結果

今回は t 秒間の露出時間の frame として 10 秒露出のものを採用した。ここで実験環境とデータ取得法について少し言及しておく。データ取得時の環境はドーム内気温 6 ℃、ヒーター 70V、望遠鏡姿勢は天頂であった。光の照射については光源:ハロゲンランプ、フィルター:ターレット ND 2.0、ダイアフラム: 1 HOLE を用いておこなった。この仕様で 1 sec と 10 sec の frame をそれぞれ 10 枚取得し、その各露出時間の平均値を用いて $r(y)$ を作成した。

その結果、$\delta(y)$ は図 1 のようになった。

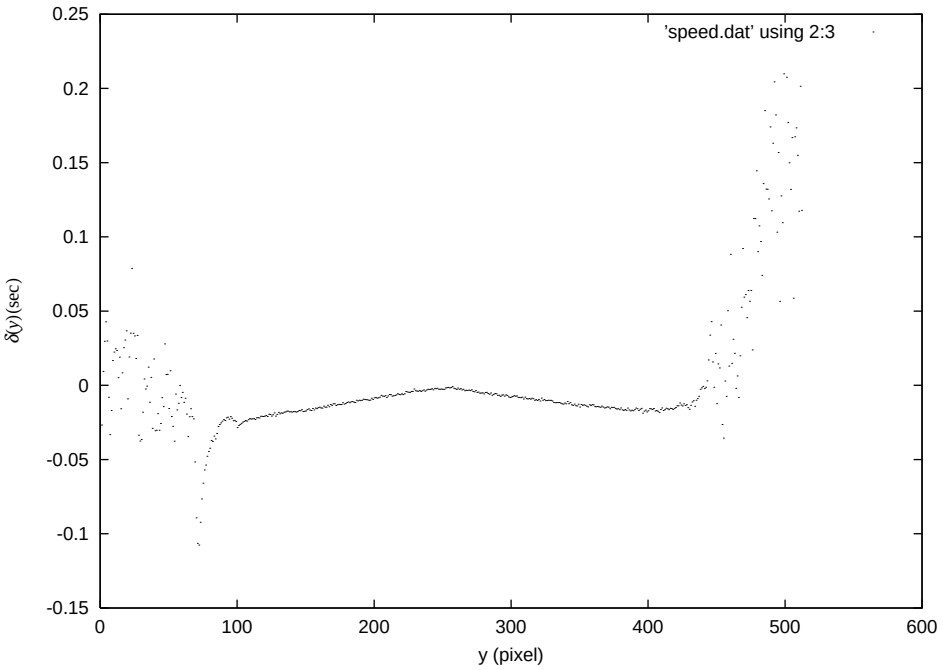

図 1: $\delta(y) - y$

図 1 中で 約 100 pixel 以下と 約 400 pixel 以上の部分にノイジーな領域があるが、それはその領域にほとんど光があたっていないためであるので無視する。それらの部分以外は y ~ 256pixel を境に y 座標に対して linear な二つの直線を形成していることがわかる。この二つの直線をそれぞれを fitting してシャッター開閉速度 v を求めた。

結果は 130 ~ 230pixel 間の fitting から $v = 0.31\mathrm{m/s}$(シャッター開閉時間 0.04 sec) 、270 ~ 370pixel 間の fitting から $v = 0.42\mathrm{m/s}$(シャッター開閉時間 0.03 sec) というものであった。前回の実験から得られた結果が $v \sim 1.2\mathrm{m/s}$(シャッター開閉時間 0.01 sec) であったことから考えると明らかにシャッター開閉速度は劣化していることがわかる。

偏光測定に及ぼす系統誤差

常光スペクトルがチップの中心に結像し、異常光スペクトルがチップの中心から y 方向に Δy だけはなれた位置に結像しているとする。このとき、積分時間 t、常光、異常光の単位時間当たりの強度をそれぞれ α_o,α_e とすると、真の偏光度

$$P_{real} = \frac{\alpha_o t - \alpha_e t}{\alpha_o t + \alpha_e t} = \frac{\alpha_o - \alpha_e}{\alpha_o + \alpha_e}$$

に対して、測定する偏光度は $\Delta t = 2\Delta y/v$ とすれば、

$$P_{obs} = \frac{\alpha_o t - \alpha_e (t - \Delta t)}{\alpha_o t + \alpha_e (t - \Delta t)} \sim P_{real} + \frac{\alpha_o}{\alpha_o + \alpha_e} \frac{\Delta t}{t}$$

となる。結局、偏光度測定の系統誤差 $\Delta P = P_{obs} - P_{real}$ は、

$$\Delta P \sim \frac{\alpha_o}{\alpha_o + \alpha_e} \frac{\Delta t}{t} \sim \frac{1}{2} \frac{\Delta t}{t} \sim \frac{\Delta y}{vt}$$

となる。(ここでは $\alpha_o \sim \alpha_e$ とした。)
$\Delta y \sim 50\mathrm{pixels}$,$v \sim 0.3\mathrm{m/s}$ とすると、積分時間 $t = 1\mathrm{sec}$ のとき、$\Delta P \sim 0.004(0.4\%)$ である。
上の系統誤差は、積分時間に反比例して減少する。

注意

今回の結果はドーム内 6 ℃、ヒーター 70V、望遠鏡姿勢 天頂という環境下で得られたデータをもとにしたものである。12 月 ~ 2 月の観測ではドーム内の気温が氷点下になることも珍しくはなく、今回得た結果よりもシャッター開閉速度の減速が進んでいる可能性は大きい。

さらにシャッター開閉の不良については望遠鏡自体の姿勢がかなり関わっていることがわかっている。ドーム内が約 10 ℃、ヒーター 80V という環境にあっても望遠鏡の姿勢によってはほとんどシャッターの開閉が出来ないこともある。そのような場合は望遠鏡の東西セットを変更するなどして対処している。

今後、シャッター開閉における劣化がさらに進むとするとシャッター自体の付け替えなどを視野に入れた抜本的な対策を講ずる必要がでてくる。