

スリットビューアの光学系の設計

池田 優二

2000年5月2日

1 はじめに

天体のスリットへの導入を迅速に行ない、観測の効率化を図るためにはスリットビューアが不可欠である。スリットビューアは主に、反射型スリットを使って周辺像を映し出す方式と、スリット以下に設置し、スリットに収まった天体そのものを見る方式¹の二種類がある。前者は、反射型スリットを用いる上、スリットビューア検出器に導く光学系が天体の光をケラないようにその反射型スリットを斜めに設置しなければならない、そうしたスリットを通過した光がシステムチックな器械偏光を生じてしまう危険性があり、偏光観測には向いていると言いがたい。したがって、後者のビューアを我々の偏光装置用として採用する。

以下、設計に関しての手順を簡単にまとめたので報告する。なお、最適化に関しては光学設計用ソフト「ZEMAX」用いて行なった。

2 設計に際しての制限

2.1 検出器

検出器としては、経済的な理由により既に手元にあるビットラン社 BT20 を使用することになっている。同 CCD は、Site 社の 512×512@24 μ m チップを搭載しており、冷却機構としてペルチェを用いている。

2.2 レンズ系

スリットビューアをスリット以下に設置すること、及びスリット以下に設置してある第一レンズまでの間に余分スペースが存在しないことから、第一レンズもスリットビューアの光学系の一部として使用しなければならない。これは次節で述べるようにビューアの視野に制限を与えることになる。

3 視野の決定

まずは、スリットビューア(検出器)におさまる視野の大きさを決定しなければならない。視野は広ければ広いほど良いのだが、第一レンズ上の焦点距離と位置、つまり瞳の位置が決まっている以上(第一レンズ上に瞳が無い以上)、第一レンズの径(=30 mm)によって視

¹ただし、この方式ではスリットを可換にしておいてスリット周辺の領域も撮影可能なようにしておかなければならない。

h_{in} (mm)	h_{lens} (mm)
9.84 (2.00')	17.54
8.00 (1.63')	14.93
7.00 (1.42')	13.52
6.00 (1.22')	12.12
5.00 (1.02')	10.74

表 1: h_{in} の変化に対する h_{lens} の変化。 h_{in} の括弧内の数字は、OAO74 に装着した場合のスリット上での視野を示す。

野を制限されてしまう。望遠鏡焦点面 (スリット上) の光軸からある距離 ($= h_{in}$) に点光源をみた場合に、その marginal ray がレンズの光軸からどのくらい離れた距離 ($= h_{lens}$) のところを通るかを調べたものを表 1 に示してある。 $h_{lens} < 30.0\text{mm}/2 = 15\text{mm}$ であれば、その光はケラレることなく検出器上に像を結ぶことになる。

表 1 より、ケラレがなくかつできるだけ大きな視野がとれる解として、 $h_{in} = 8.00\text{ mm}$ (1.63') の場合を選択した。

1.63' 四方の視野が検出器の大きさに対応するようにすると、スリットビューアレンズの焦点距離 ($= f_{cam}$) が以下のように決められる。

$$f_{cam} = \frac{12.29(\text{CCD チップの大きさ})}{8.00 \times 2} f_{1st} \quad (1)$$

$$= 122.9\text{mm} \quad (2)$$

これに近い焦点距離を持つ市販品として、メリスグレオの 2 枚アクロマートレンズ LAO135 ($f = 120\text{ mm}$, $30\text{ mm}\phi$) があったので、これを使用することにした。

最終的に、スリットビューアの視野は $1.67' = 100''$ 、サンプリングレートは $0.195\text{ arcsec pix}^{-1}$ となった。また、このとき検出器上で標準ロングスリットの像は幅 6.2 pix 、長さ 41 pix を占める。

4 最適化

第一レンズによって光はコリメートされているので、近軸理論の範囲では、前節で決定したカメラレンズをコリメート光の何処においても結果は同じである。しかし、ザイデル収差を含めた高次の収差は、光軸に沿ったカメラレンズの位置を変えてやるとそれに伴って変化する。したがって、十分に良像が得られる最適なカメラレンズの位置を選ぶ事ができる。以下では、瞳位置からカメラレンズまでの距離 ($= l_1$) とカメラレンズから焦点面までの距離 ($= l_2$) の 2 つをフリーパラメータとし、カメラレンズの位置の最適化を図った。

4.1 波長

スリットビューアに用いられている CCD チップは Site 社の $512 \times 512\text{ pix}^2 @ 24\text{ }\mu\text{m}$ (表面照射) である。図 1 を見れば分かるように、 $550\text{-}800\text{ nm}$ の範囲で他に比べて高い量子効率を示している。

以上を考慮し、最適化波長として 550nm、650nm、800nm の 3 波長を選択した。なお、各波長のウェイトは同じにした。

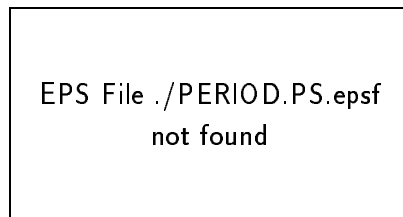


図 1: Site 社の CCD チップの量子効率。実線が、今回のスリットビューのものである。

4.2 視野

視野全体で収差の小さい像が得られるのが理想であるが、 l_1 および l_2 を変化させることのみでそれを達成するのは難しい。スリットビューにおいて最も大事なものは、できるだけスリット像がボケることなくきれいな像を結ぶことである。スリットより外側の視野は、天体の存在の有無のみを見分けられればよいので像が多少ボケてもさしたる問題にはならない。

最適化視野としては、「視野の中心(=視野 A)」、「中心から検出器の一辺に垂線を下ろした位置(=視野 B)」、「検出器の頂点(=視野 C)」、及び「スリットの頂点(=視野 D)」を選んだが、スリット像を出来るだけシャープにするために「視野の中心」と「スリットの頂点」に他の 2 箇所に対して 4 倍のウェイトをかけた。

4.3 結果

最適値として $l_1 = 236.8$ mm、 $l_2 = 115.4$ mm が得られた。このとき、スリット上は全ての波長域で 1 pix で 75 %以上の ensqured-energy が達成されている。チップ頂点では、コマ収差と非点収差のため RMS(約 65%のエネルギーが収まる半径)=28.4 μ m と比較的大きな値を示しているが、天体を確認する目的には支障はない。

5 まとめ

今回設計したスリットビューの構成および仕様をまとめておく。

- 構成 (望遠鏡に近い方から)
 - ロングスリット (0.2 mm \times 1.33 mm)
 - air 156.5mm
 - コリメータレンズ (f=160.02mm, 30mm ϕ , 第一レンズの共有)
 - air 50.0mm
 - 45 度ミラー
 - air 110.8 mm

- 瞳位置 (瞳径 8.89mm)
- air 237.8mm
- カメラレンズ (f=120.00mm, 30mm ϕ , メリスグレオLAO135)
- air 115.4mm
- 検出器 (ビットラン BT20, 512 \times 512@24 μ m)

- 仕様

- 視野 100' \times 100'
- サンプリングレート 0.195 arcsec pix⁻¹
- スリット像の大きさ 6.2 pix \times 41 pix
- 撮像波長範囲 500 - 850 nm
- スポットダイアグラムの RMS
 - * 視野 A 6.739 μ m
 - * 視野 B 19.696 μ m
 - * 視野 C 28.452 μ m
 - * 視野 D 6.732 μ m

以上。