

## スリット式低分散分光器の製作とそのスペクトル例

藤井 貢 (エイ・アイ設計)  
e-mail:aikow@po.harenet.or.jp

今から20数年前 Sky & Telescope 誌に分光器の製作記事が掲載されていました。それにはいかにも手作りらしい箱型ケースに収められた簡素な感じの分光器の写真が載っていました。そしてそれで得られた恒星スペクトル写真も数点収められています。私はこの程度の簡素な分光器でもこんなに美しいスペクトルが得られるものなんだとひどく感激したことを覚えています。そしてあとさきのことを考えずにボッシュ社にグレーティングを注文してしまいました。しかし分光器を製作する意志はあってもそれに見合う大型の望遠鏡に巡り合う機会もないまま随分と時が経過しました。そうこうするうち数年前から私達アマチュアにも小型の冷却CCDカメラが使用されるようになりその光の変換効率は目をみはるばかりです。これなら大型望遠鏡は使えなくてもある程度のスペクトルは得られるのではないだろうか考えるようになりました。そして昨年夏念願の分光器を製作してみました。以下に簡単ではありますが分光器を製作するにあたって私が注意を払った点について述べてみます。

---

### 分光器スペック

グレーティング : 反射型 600本/mm, 24mmx24mm  
スリット巾 : 0.1mm (fl. 2800mmに装着時の実視界 7"x 420"角)  
コリメータ鏡 : φ25 fl. 150mm  
カメラレンズ : fl. 50mm F1.4  
分散度 : 32.8nm/mm  
波長分解能 : 0.75nm/pixel

---

使用望遠鏡はセレストロン社 C11, F10のカセグレン焦点 又 CCDカメラはST 6です。どちらもちっぽけな機器ですから分光器は極力小型化することを念頭におきました。全体のレイアウトは図面のとおりで昔からいろいろな文献で紹介されているオーソドックスな形式のものです。

### スリット部

望遠鏡の焦点部にスリットを配置しますがスリットは後述するように目的天体がスリット上に載っているかどうか絶えず監視する必要がありますので表面が鏡面仕上げされたものが便利と考えられます。光学用品カタログを物色していると"光洋"に薄ガラスにアルミメッキ(or クロムメッキ)が施されスリットパターンが抜けている商品が見つかりました。スリットの中も何種類か選択できます。¥26000。

スリット巾は通常の文献では一定の分解能を得られるようにシーイングサイズ1秒角程度となるように決定せよと書かれていますが、それは大口径で光量が十分な天文台の話であろうと判断しました。集光力のない私の望遠鏡の場合は分解能はおちても光を犠牲にすることはできません。巾は7秒角(スリット巾0.1mm)にしました。

ふりかえればこれは功を奏したようです。通常の恒星なら7~8等級までは5分積分程度で測定に耐えうるカウントが得られます。測定には耐えられないですがスリットビューワに眼視でやっと思える星(13等級程度)までもが写り込みます。これにはいささか迷惑しているのですが…。惑星状星雲等の輝線天体なら10~11等級でも測定に耐えうるカウントとなるものもあります。

過去の文献では比較光源を写し込む為に、スリット中央部を覆ったりする装置の工夫が見受けられますが、これはフィルム時代の事でCCD観測の場合こういった装置は必要が無いようです。観測の前後比較光源を撮像したフレームを重ね合わせるようなことは自由に可能ですから。(実際にはフレームどうしの重ね合せは行いませんが)

## コリメータ部

スリットを通過した光はこの場合F10で広がりながら出てゆきますのでなんらかの形でこれを平行光線に変換してグレーティングに導く必要があります。設計当初はコリメータ鏡に軸外方物面鏡を予定していましたが、高価なものと球面鏡を傾けて使用してもそれほど像の悪化は起こらないことが分かり球面としました。”シグマ光器”から入手しました。¥10000。

そして適当な場所に球面鏡を設置し(もちろんスリット～球面鏡間距離はその球面鏡のfl. と一致する必要がありますが)光線を平行光とします。この場合注意したことは、F10の光束径を捉えることのできる丁度の大きさのコリメータ鏡径プラスアルファの鏡径としたことです。何故かというところを撮った場合そのスペクトル像の上下の部分スカイ光として取り出し、夜光や光害成分を後で減算処理する必要がありますからです。どの位の余分をとるかは観測天体によって異なりますが…。相手が面積状天体ならその天体径+アルファが必要となり大きなコリメータを必要とします。装置の大型化を許せばこれは大きいほうが便利でしょう。

この例の場合スリット長が実視界7分角でコリメータ径もその7分角の光量を受け止めるよう設計していますので4～5分角以上の天体の場合は観測後 skyの撮り直しを余儀なくされます。恒星のみの観測と限定すれば小さくて済むでしょう。

又フィルム時代の様にトレーリング巾を考慮する必要は無いようです。

## グレーティング部

グレーティングはすでにBAUSCH&LOMB社(USA)から反射型のものを購入していました。600本/mmで1次の500nmにブレードされています。1979年¥56000で入手しました。現在 BAUSCH&LOMB社自体はありませんが同クラスのグレーティングで¥8万前後でしょう。

さてコリメータから出た平行光をグレーティングで受け止め反射回折し結像レンズへと導くことになります。このレイアウトは回折の公式により計算しました。回折角の延長線上に通常大きな結像レンズとCCDカメラが配置されますので全体のレイアウトで最も適当と思われる(重量バランス等)配置を探し出しました。

ここでも注意したことはコリメータ鏡と同様グレーティングにもプラスアルファのサイズが必要です。特に入射角を大きく取りすぎるとせっかく集めた光がグレーティングからはみ出してしまいます。かといって入射角を小さくとれば結像レンズとコリメータの平行光等が干渉してしまいます。この辺は図を描きながら楽しめるところです。グレーティングは大きくなる程高価ですから注意が必要でしょう。

この例では入射角35° 回折角10° の計45° の相対角度でコリメータと結像レンズの配置を固定しています。中間に配置されたグレーティングを微調整ネジで回転させることにより1次回折像の希望する波長を結像レンズに導いています。

## 結像光学系部

結像用の光学エレメントですがグレーティングで分散された光をのがさ無いために大きな口径で(F値の小さい)色収差の良く補正されたものが必要です。しかしEDとかフローライトではあまりに高価(私にとって)なので結局35mm版用カメラレンズ 50mm F1.4としました。

このレンズの配置はグレーティングとの間隔が短い程レンズ径は小さくて済みませんが、近づけすぎると他の光束とのケラレがでてきますのでままなりません。実際にグレーティングからの回折光中自分が希望する波長域(使用するCCDチップサイズで受け止められる波長域)の短波長と長波長のそれぞれを光線引きして決定しました。

私は設計当初、もっと波長分解能をおとしても分散の小さい方が光量損失が少ないので fl. 35mm程度のカメラレンズを考えていたのですが どうも見合うF値の小さなものが見つからず上述のシステムとなりました。

又本来はチップ上に得られるスリット巾は3ピクセル程度にまたがるのが計測上良いとされていますがこの例では1.2ピクセル分です。しかしすでに9μmサイズピクセルの安価なCCDも普及しているのでこれを使用すれば結像レンズの焦点距離をアップすることなく3ピクセル分となります。

## 比較用光源部

この光源はスリットの直前に配置しました。比較用光源としては各メーカーからさまざまなタイプの物が販売されていますが、どれも大きく又高価なので悩みました。ふと一般のON・OFFスイッチ類の横に付いているネオンランプは使えないだろうか？と思い早速小型の直視分光器で覗いたところ連続光は見えず輝線が10本前後認められました。ネオンなのでその輝線は長波長側がほとんどですが、低分散故これで十分と判断しました。これなら¥100程度ですみ又大変小さいです。一般の電気パーツ屋さんで手軽に手に入ります。

さて以上の主要構成部の配置が決まれば後はいかに使い勝手をよくするか又調整をし易くするか設計を考えました。

スリット部は目的の天体を導き露光中にスリットからずれないよう監視する為の工夫が必要です。それにはこの例の様にガラスにメッキを施しスリットパターンが抜けている物はまさにうってつけです。これを少し傾けて(この例では $7.5^\circ$ )反射光を本体外に取り出しました。この機構の為に平面鏡1枚(¥3000)と凸レンズ(¥1000)を2枚使用しました。どちらも”シグマ光器”で入手しました。

アイピースを取り付け実際のガイドをしてみるとスリットが空洞でない為8等級まではスリット部に僅かに(ガラスの表面反射光の為)星の光が見えています。少しもったいない気がしないでもないですが…。8等級より暗いとスリットに入っていれば見えなくなります。どちらにしる実用になります。

又アイピースの代わりにCCDカメラを装着すれば便利です。私はビクセンの非冷却CCDカメラ”B05-3M”を取り付けましたが7等級までは別部屋からCRTによるガイドができます。資金が許せば冷却CCDが欲しいところです。

コリメータ部は鏡を微動で前後させることによりスペクトル像のピント調整をしています。このピント出しは結像レンズ部(カメラレンズ)のヘリコイドを前後させても可能ですが、私はまずカメラレンズにCCDを取り付けた状態で恒星に向けレンズの無限遠出しを調整した後本体に固定し、コリメータ鏡によるピント調整の方法を採用しました。このピント調整部には目盛りを打っておいたので便利です。

グレーティングは分散方向へ回転するようにしました。これにはごく簡単な微動装置を付けたので目的の波長を写野に手軽にとまではゆきませんが導入できます。

CCDカメラ部ですがこれにもカメラ全体の回転微調整機構を付けました。それは分散方向とCCDのピクセル配列を平行(or 直角)にする為のもので、これがずれているとスペクトルが斜めに写ってしまい整約する際非常に厄介となります。

比較光源ですがこれはスリットの直前でランプセルを抜き差しする構造にしました。光軸に対して直角に行うのでランプハウスの頭部に小さな直角プリズムを貼り付けてスリットへと導いています。当初これでネオンを撮像したらその輝線に随分濃淡が出た(ランプ自体面積を持っており濃淡がある)のでプリズム表面をサンドペーパーでスリガラス状にして光を拡散させて使用しています。ピント合せはこのネオンランプを撮りながらコリメータ鏡を前後させて行います。光量は冷却CCDカメラにとっては随分とありランプは最も小さい物で十分です。

その他スリットガイドビューワ関連の光学部品以外の各パーツは絶対にガタがないような構造とし、外部からの光漏れも厳禁という事を念頭におきました。ガイドビューワ部にアイピースを取り付けるとそこからスリットに光が進入しますのでそういう意味からもビューワにはCCDカメラがベストでしょう。

以上の事柄に注意して製作しましたが、この例ではグレーティングとそのセルに僅かの隙間があり望遠鏡の姿勢により最大±1ピクセル分のずれが生じています。

観測の都度比較光源を撮像していますので一応は問題ないですが…。これはその隙間に薄いシムを入れ調整しようと考えています。

この分光器の自作部の加工は全て旋盤とフライス盤で製作しました。又本体部は治具ボアを必要とするのでそのユニットの加工は外注しました。特徴はガタやタワミをさけるため分光器本体はボルト類での締結はさけアルミ材ブロックとし、光線が走査する個所及び各パーツを収める個所を全てくりぬき構造としたことです。又この構造を採用することにより、例えば各パーツにはそれぞれに光軸調整機構が必要とされますが、機械の加工精度でもってこの調整機構を極力省くことが可能となりました。

もし機械に頼らずに工作してみたいと思われる方がいらっしゃいましたら是非とも参考文献中のS&Tの記事を読んでみて戴きたいです。これなら自分でも製作できると思うに違いないと確信します。コリメータ鏡の傾きによる収差の計算式等も詳しく載っています。フィルム時代の手作り分光器でもその得られたスペクトルはすばらしいです。1974年と大変古いですが公共天文台等の図書室には在庫していると思います。

今回は分光器を設計する上での光学の諸公式は多くの文献に繰り返し述べられているので割愛させて戴きました。文末の参考文献を御覧になって下さい。

本分光器で得られたスペクトルをグラフ化したものを数点掲げます。ほぼ設計値に近い分解能が得られていると思います。このちっぽけな分光器でどのような観測が可能か？或いは観測意義はないのか？それは私もまだ分かりません。少しずつコレクションを増やしていく内に何か面白い観測テーマが見つければなあと考えている今日この頃です。

最後に分光器の図面を検討して下さいました清水実先生、美星天文台の大島修氏、ならびに快く工作室を使用して下さいました美星天文台職員の方々に感謝致します。又スペクトル観測の実際におきましては河北秀世氏が丁寧に教えて下さいました。感謝致します。

---

#### 参考文献

- 1) Sky & Telescope Feb. 1974 P. 96-99
- 2) 光学技術ハンドブック増補版 久保田 広 編 朝倉書店
- 3) 物理光学 吉原 郁夫 著 共立出版
- 4) 天文台と観測器械 新天文学講座11 V天体分光器 大沢 清輝 恒星社厚生閣
- 5) 宇宙を観るII 横尾 武夫 編 第5章 分光観測 恒星社
- 6) 宇宙の観測 I 現代天文学講座11 第4章 分光観測 近藤 雅之 恒星社

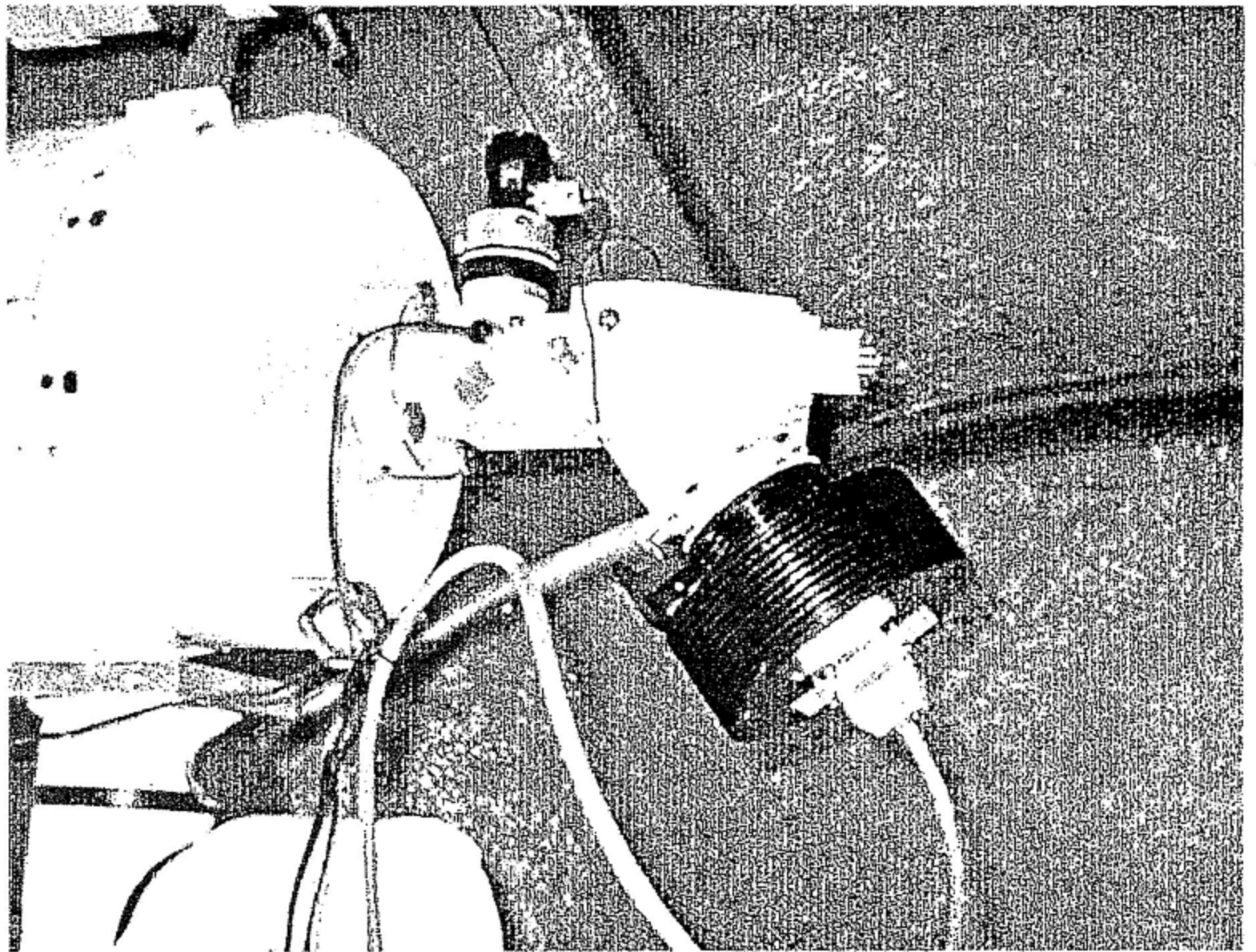
---

#### 主要光学部品とそのメーカー

グレーティング	島津製作所光学デバイス部	075-823-1331
	他に安価なものとしてエドモンドサイエンティフィック・ジャパン	
		03-5800-4751
アルミ凹面ミラー	シグマ光器	0429-85-2367
アルミ平面ミラー	シグマ光器	
球面アクロマティックレンズ	シグマ光器	
スリット	光洋	03-3213-1571

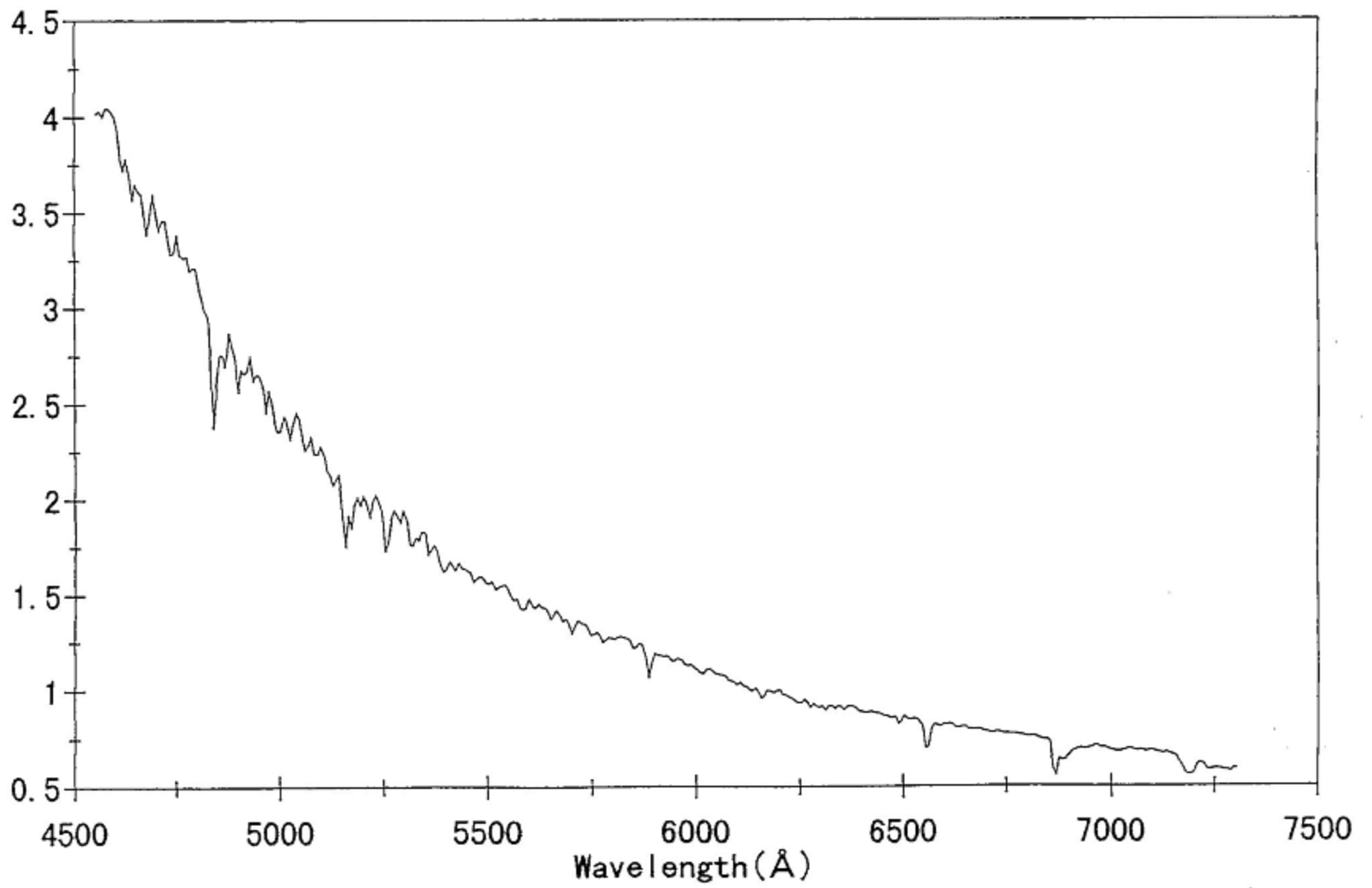
---





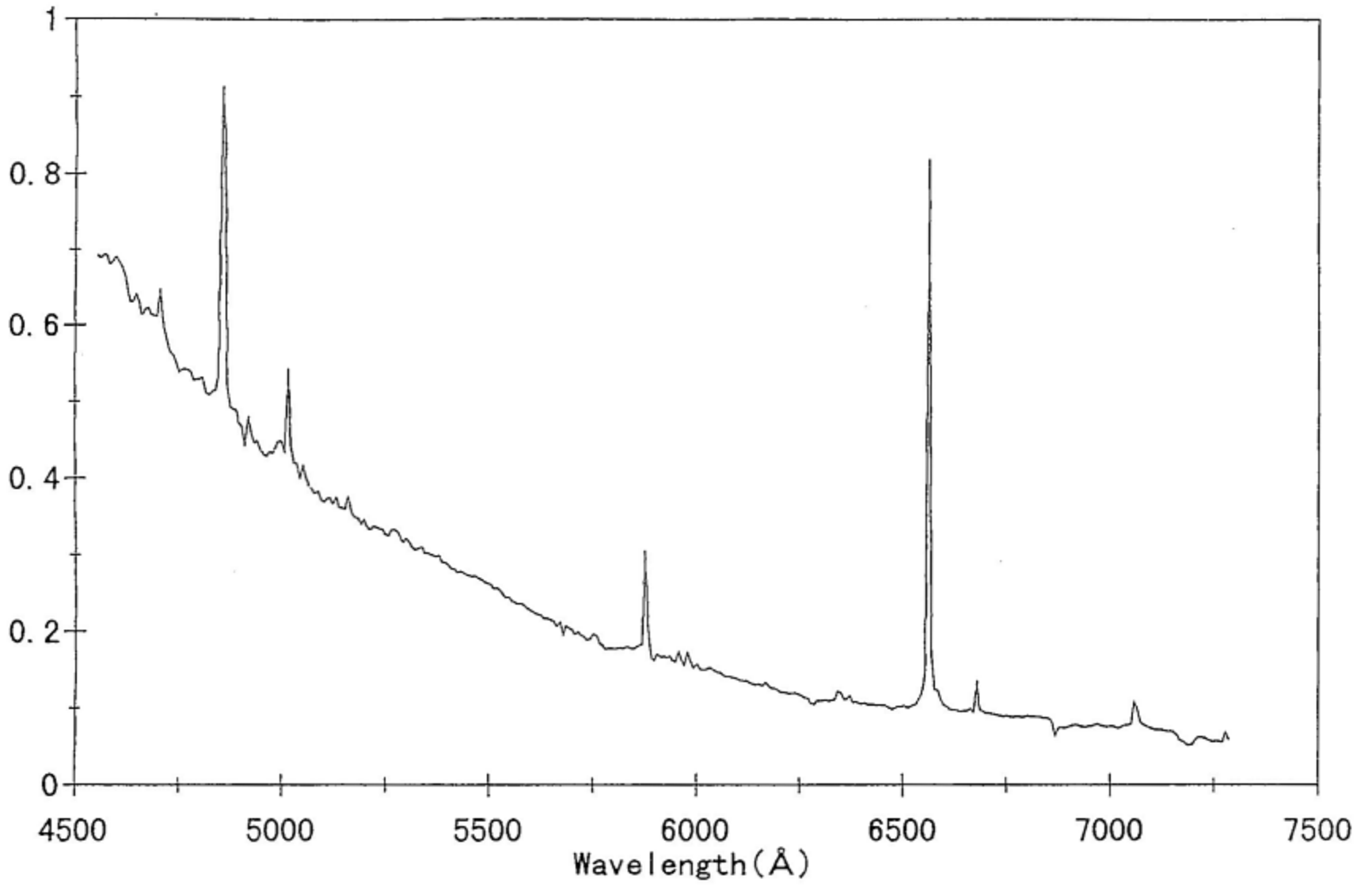
moon

1996 11 19



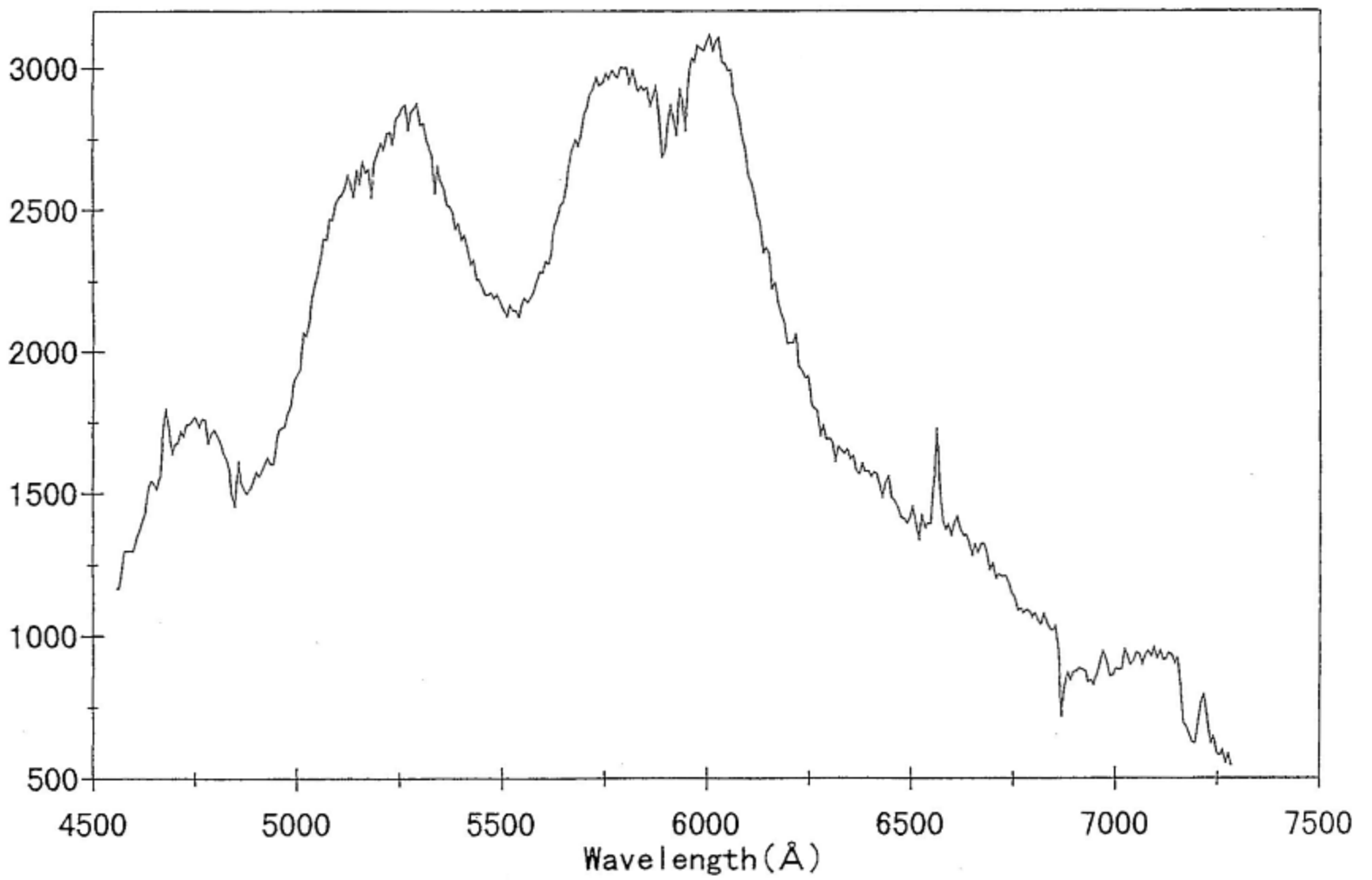
**P Cyg**

1996 08 18



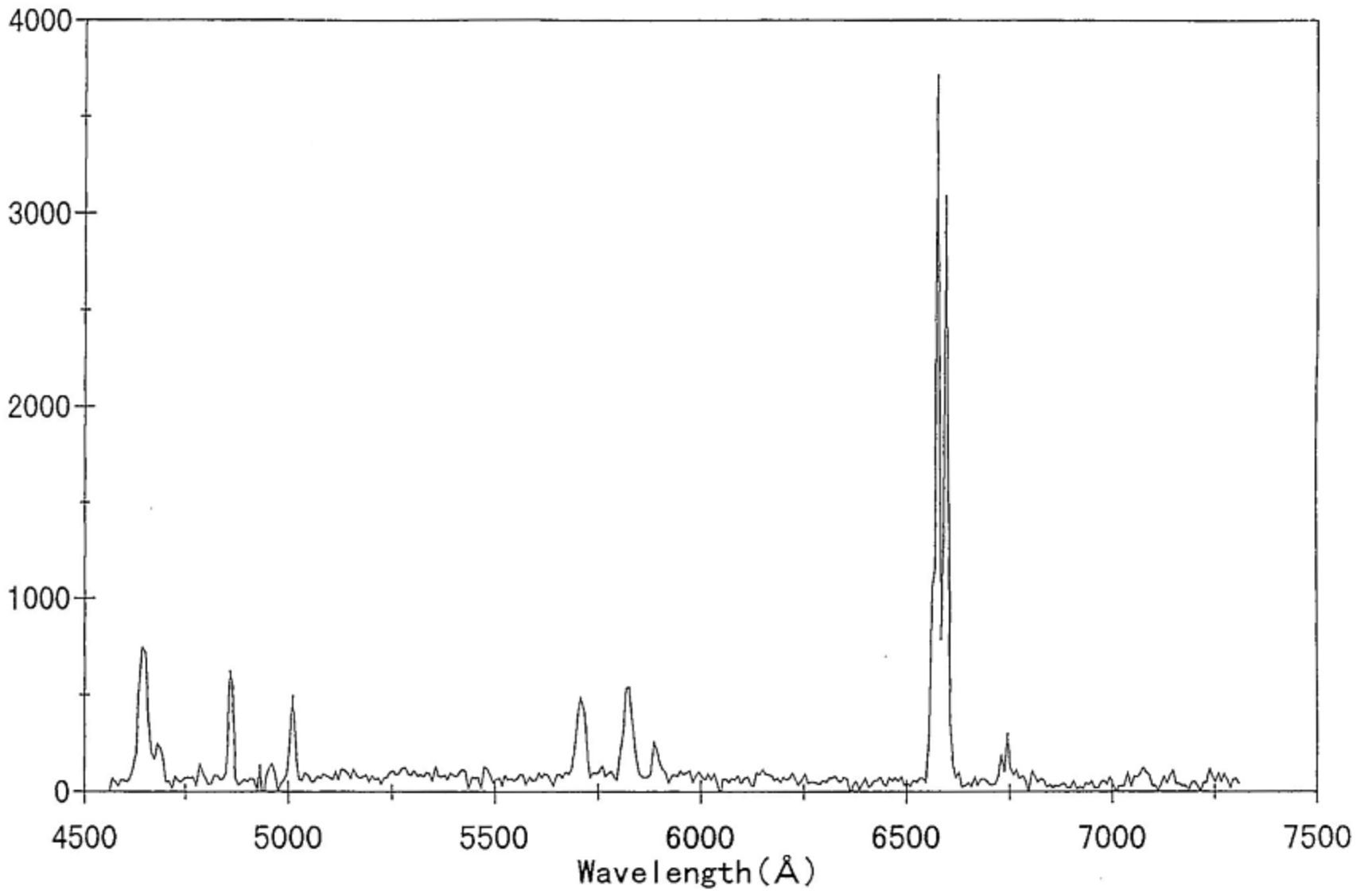
**SS Cyg**

1996 08 24 17-18時



**NGC40**

1996 10 04



**Comet 199501**

1997 03 08

