

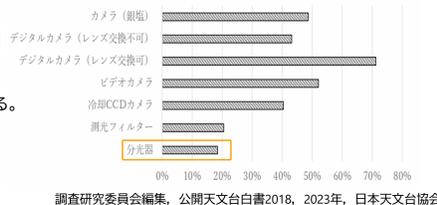
日本の公開天文台の標準機を目指した 次世代型天体観測用分光器の開発



米子工業高等専門学校 松本一生 吉田浩瑛 野坂優一 森下央翔(高専3) 前田孝太郎(高専2)
足立悠斗 遠藤愛 梶村涼太 柏木琴葉 仲西涼 鐘築昇太郎 原田果歩 松本有未(高専1)

1.はじめに

天体分光観測 → 天体の物理状態を知るのに重要な観測
分光器を保有している公開天文台は1割程度
(理由)・高価
・自作困難



製作目標

- 安価
- 簡単に製作可能
- 物理観測可能

本分光器を全国に普及、全国で共同観測を実施!!

2.本分光器の製作目標

- ①可視光線領域(4000~8000 Å)のスペクトルが一度に撮像可能
- ②ナトリウムのD線を2本に分離が可能
- ③容易に自作できるスリットビューワ
- ④市販の接続リングを多用し最小限の工作で安価に製作可能

3.着眼点

通常天体観測用分光器

スリットビューワ
星の光のスペクトル
イメージングレンズ (光を一か所に集める)
分光器
回折格子 (光を波長に分解する)
スリット
コリメータレンズ (光を平行光線にする)

スリットビューワモード

星の光
ヘアラインの断面図 (実際はもっと細い)
回折格子 (2次スペクトルを撮影)
コリメータレンズ
カメラ
黒い線がヘアライン (この位置にスリットの位置を示す)

切替えて運用する

スリットビューワを実現するためには??

- ①ガラスにアルミを蒸着したスリット
- ②光軸上に45°傾けて配置

→自作は不可能

スペクトル撮像モード

星の光
天体望遠鏡
回折格子 (1次スペクトルを撮影)
スリット (カッターの刃)
コリメータレンズ
カメラ

＜解決策＞

- ・回折格子を回転させ0次と1次スペクトルを切り替える
- ・0次スペクトルを利用したスリットビューワ

＜特徴＞
簡単な構造 必要カメラ1台 (副次的効果)

4.製作した分光器の特徴

特徴①
加工を最小限に抑えることに成功!
市販の光路切替器 (Vixen製 フリップミラー) を改造し、回折格子を取付けた

改造
ステッピングモーター

特徴②
市販の接続リング (ボグ製) を多用。簡単に組み立て可能とした。

接続リングは汎用的に使用できるため、既に保有している天文台も多い。

組立
フィルターホイール
回折格子収納部

特徴③
観測対象に応じてカスタマイズ可能なスリット

- ・市販の天体観測用フィルターホイールを使用
- ・観測の目的に応じてスリット幅やスリット形状を変更可能

特徴④
スリット製作のハードルを軽減!

- ・形状を工夫したスリット取り付け部品
- ・目視で15μm幅にカッターの刃を向かい合わせられる。
- ・規格化されたスリットを作製可能。

5.電子制御回路を内蔵

電子制御のメリット

- ✓望遠鏡に観測者が直接触れる必要が無い
→精度の高い観測が可能となる。
- ✓回折格子を何回でも正確な角度に駆動できる
→波長較正などの後処理が簡単に行える。
→観測精度が人間に依存しない

→近年主流になりつつある遠隔観測にも対応可能

電子制御の仕組み

パソコン → USBシリアル (115200bps) → 電子回路 → PWM (0.5V) → ステッピングモーター → 回折格子

- ・PCから電子回路を経由してステッピングモーターを制御する
- 安定して高精度で、回折格子の傾きを制御
- ・回折格子の角度情報をマイコンに保存できる
- 使うPCを変えても同じように制御可能

＜従来の電気回路つき分光器＞

- DCモーターの使用
→精度が低い
- 回折格子の角度は2位置のみ
- 望遠鏡や分光器の向きを変えると可動部のずれが発生

＜ステッピングモーター搭載の本分光器＞

- 高精度な制御
制御の誤差は、波長に換算して0.69 Å
- 回折格子の角度は可変かつ較正可能
- 精密な制御により可動部のずれは発生しない

製作した電子回路、基板は国外企業に外注した

6.完成した分光器と既製品の比較

	製作した分光器	既製品D	既製品V	既製品K
価格	25万円	40万円	30万円	150万円
カメラ	1台	1台	2台	2台
分解能R	1,000	300	600	300
質量[g]	2,214	1,523	2,948	1,610

- ・本分光器は、天文台等が普通に所有している既成のリングを多用したため、実際はさらに安価に製作できる。
- ・通常分光器はカメラが2台必要だが、本分光器は1台で良いため、その点でも安価といえる。
- ・本分光器は安価だが既製品より高い波長分解能を有する。

7.性能確認

1.本分光器の性能確認

本分光器のために、スペクトル光源を撮像した。

水銀灯の撮像結果

4046.56 Å, 4358.35 Å, 5460.74 Å, 5769.59 Å, 5790.65 Åの水銀輝線が見えている。

可視光線全域で分光できる。

ナトリウム灯の撮像結果

ナトリウムのD線は5895.92 Å, 5889.95 Åの2本の輝線から構成されている。

D線が分解でき、所定の分解能を有する!

回折格子ずれ

回折格子のずれを現したグラフが0に近いことが読み取れる

→可動部のずれは検出されず

→白い線がはっきりと見えている

2.本分光器特有の性能確認

本分光器の特徴：回折格子が可動する
→動かすごとにずれの懸念
回折格子を1次,0次,1次スペクトルの位置に動かした時の位置ずれ量を強調表示

8.分光器でのテスト観測-月のスペクトルを撮像

テスト観測
日時：2023年5月23日
望遠鏡：ビクセン製の屈折望遠鏡ED81S (口径81mm, 焦点距離625mm)
カメラ：冷却CCDカメラ ビットラン製 BJ51L 冷却温度0.0°C

撮像データは、CCDカメラの暗電流や感度むらを除くダーク・フラット処理を行った。

観測結果

スリットビューワ画像
スペクトル画像

- ・スリットビューワ画像がスリットの位置を示していた。
- ・スペクトル画像にフラウンホーファー線が確認できた。

→天体観測に十分耐える分光器ができた

9.応用観測例

- ①銀河の回転速度の測定ができる
本分光器では従来の低分散分光器では検出できなかった $2 \frac{v}{c} < \frac{1}{R}$ ∴観測できない「銀河回転」が測定可能
v=200km/s, c=300000km/s, R=600(既製品)とすると
- ②散光星雲の分光診断
散光星雲が放射する電離硫黄の輝線6717 Åと6731 Åの強度比から星雲の電子密度が測定できるが、従来の低分散分光器では輝線が分離困難だった。しかし、本分光器は電離硫黄の輝線が分離可能であり、**散光星雲の電子密度が測定できる**
- ③2次以上の高次スペクトルの利用
回折格子が可動であるから、高次スペクトルを利用することが可能で、原理的には**高分散分光器としても使用できる**
- ④スリットの形状を最適化しての観測が可能
スリットの形状は観測する天体に合わせた様々な形状が考えられる。例えば、太陽の場合表面の曲率に合わせた円弧状のスリットが利用されている。本分光器は観測する天体によって様々な形状のスリットを装着することが可能で観測に最適化した分光器とすることができる。
→観測対象に適したスリットを使える

10.分光器普及に向けて

日程	内容
2023年9月	鳥取市のさじアストロパークに分光器初号機を贈呈。
2024年2月	米子市児童文化センターに分光器二号機を贈呈。
2024年3月	本校のホームページで図面や作成方法を公開。
2024年5月	ロサンゼルスで行われるISEF2024で発表。
2024年7月	日本公開天文台協会年次総会で本分光器を紹介。

11.結論

- ・安価で自作が容易なうえ、物理観測の精度を有する天体観測用分光器を開発した。
- ・本分光器はスリットビューワとスペクトルが1台のカメラで撮像できる仕組みを採用した。
- ・本分光器はナトリウムのD線を分解する分解能を有しており、分解能はR=1000となった。
- ・本分光器を利用すると従来の低分散分光器では不可能または困難だった銀河の回転速度の測定や散光星雲の分光診断が可能となる。