

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*

(第24回科学部研究報告)

Development of New Astronomical Spectrograph for Public Observatories in Japan.

(The 24th Report of the Science Club of Yonago National College of Technology)

野坂 優一**, 松本 一生***, 森下 央翔**, 吉田 浩瑛**,
Yuuichi NOSAKA, Issei MATSUMOTO, Hiroto MORISHITA, Hiroaki YOSHIDA,

前田孝太郎***, 足立 悠斗****, 遠藤 愛****, 梶村 涼太****, 柏木 琴葉****
Koutarou MAETA, Yuuto ADACHI, Ai ENDOU, Ryouta KAJIMURA, Kotoha KASHIWAGI

鐘築昇太郎****, 仲西 涼****, 原田 果歩****, 松本 有未****, 竹内 彰継*****
Shotaro KANETSUKI, Suzu NAKANISHI, Kaho Harada, Ami MATSUMOTO, Akitsugu TAKEUCHI

概 要

全国にある 125 ヶ所の公開天文台のうち分光器を保有している施設はわずか 15 ヶ所に留まっている。その原因は分光器が小型のものでも約 150 万円と高価なため、公開天文台の定常予算では購入不可能ということにあると考えられた。そこで、私達は自作しやすい簡単な構造だが物理観測も可能な天体観測用分光器を設計・製作した。ところで、天体観測用分光器には天体のどの部分の光がスリットから入射しているか確認する「スリットビューワー」と呼ばれる機構が必要だが、その製作が分光器自作のハードルとなっていると考えられた。そこで、まず私達は「スリットビューワー自作のハードル」がクリアできる機構を考案した。そして、公開天文台の方々に自作していただけるよう、25 万円の低予算で、さらに最小の工作で製作できる分光器を設計した。テスト観測の結果、本分光器はナトリウムの D 線を余裕で分解し、その波長分解能は $R=1000$ であることがわかった。本分光器を使えば、従来低分散分光器では困難と言われていた散光星雲の分光診断や銀河の回転速度の測定が可能になると考えられる。なお、この研究は朝日新聞社主催の JSEC2023 (第 21 回高校生・高専生科学技術チャレンジ) で発表し、ソニー賞を受賞した研究である。

1. はじめに

天体分光学は、ブンゼンとキルヒホッフが望遠鏡に分光器を取付けて観測し、太陽にナトリウムが存在することを発見したことから始まった。その後のハギンスによる星雲線の発見やピッカリングのグループによる恒星の分光分類は、量子力学の発展と相まって、天体の物理状態解明のための強力な原動力となった。そして、ハッブルによる宇宙膨張の発見は天文学上の 20 世紀最大の発見となり、天体分光学的重要性はゆるぎないものとなった¹⁾。

米子高専科学部は、天体分光学的重要性を知り、10 年以上前から天体分光観測に取り組んできた。そして、私達は皆既月食の分光観測で地球のオゾン層の状況がモニターできることに気付き、JSEC2022 で発表した。この観測は、分光器さえあれば高校生でも実施可能な簡単な観測にもかかわらず、地球環境が直接調査できる重要な観測だったため、全国の高校天文部に発信し共同観測を企画した。ところが、天体観測用分光器を保有している高校は極めて少なく大規模な共同観測は困難だった。

しかし、それ以上に衝撃的だったのは、彼らが頼るべき地方の公開天文台ですら分光器を保有している施設は非常に少ないという事実だった。私達の調査で、全国にある 125 ヶ所の公開天文台のうち分光器を保有している施設はわずか 15 ヶ所に留まっているということが判明

* 原稿受理 令和 6 年 3 月 8 日

** 機械システムコース学生

*** 化学バイオコース学生

**** 総合工学科学生

***** 教養教育部門

した。分光器が天体観測にとって必須の機器であることは自明の理である。それにもかかわらず公開天文台がこのような状況となっているのはなぜだろうか？その原因は分光器が小型のものでも約 150 万円と高価なため²⁾、公開天文台の定常予算では購入不可能ということにあると考えられた。また、分光器の自作には後述の「スリットビューワの製作」という極めて高いハードルが存在し、自作も困難であるという事実が状況の改善を妨げていると推測された。科学技術立国は日本の国是である。それにもかかわらず公開天文台がこのような状況で良いのだろうか？そこで、私達は自作しやすい簡単な構造だが物理観測も可能な天体観測用分光器を設計・製作し、全国に発信することを決意した！

米子高専には形式の異なる 4 種類の天体観測用分光器があり、私達は今までの観測経験からそれらの構造や利点・欠点を熟知している。そのため、研究だけではなく天体観望も重要な業務となる公開天文台での観測を想定した分光器の設計が可能であった。さらに、本校には NC 工作機械も有する実習工場があり、高度な金属加工が可能で、分光器を設計・製作する素地がそろっていた。

まず、私達は後述の「スリットビューワのハードル」がクリアできる機構を考案した。そして、公開天文台の方々にも自作していただけるよう、最小の工作で！25 万円の低予算で！製作できる分光器を設計した。続いて、県の高校生向け活動予算である「とっとり夢プロジェクト事業補助金」に申請し、その交付を受けて分光器の初号機を製作した。本研究レポートで報告するのはこの初号機の設計・製作と性能評価の結果である。

現在、初号機は地元の公開天文台である「さじアストロパーク」で分光観測に活用していただいている。今後はさじアストロパークでの試用報告を踏まえて 2 号機を製作し、その図面と製作方法を本校の HP で公開する。そして、本分光器を日本公開天文台協会の年次総会等で発表して認知していただき、標準機として活用していただくことを目指す。これが本研究の最終目標である。

天体観測用分光器は通常の物理や化学の実験に用いる分光器より複雑な構造をしている。それは、物理・化学実験用分光器の場合は図 1 のように測定資料の光が必ず分光器内に入射する構造になっているのに対し、天体観測用分光器の場合は（空間的に広がりがある）天体のどの部分の光が入射しているかを確認する機構も必要不可欠となるからである。この「天体のどの部分の光が入射しているかを確認する機構」のことをスリットビューワという。

物理・化学実験用分光器

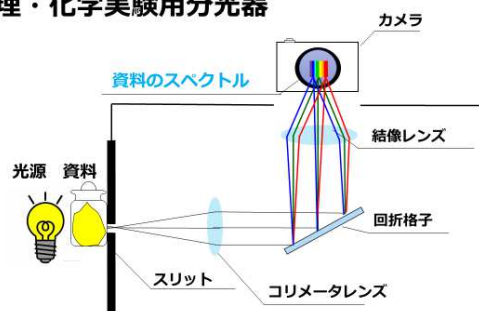


図 1 物理・化学実験用分光器の光路図

通常为天体観測用分光器

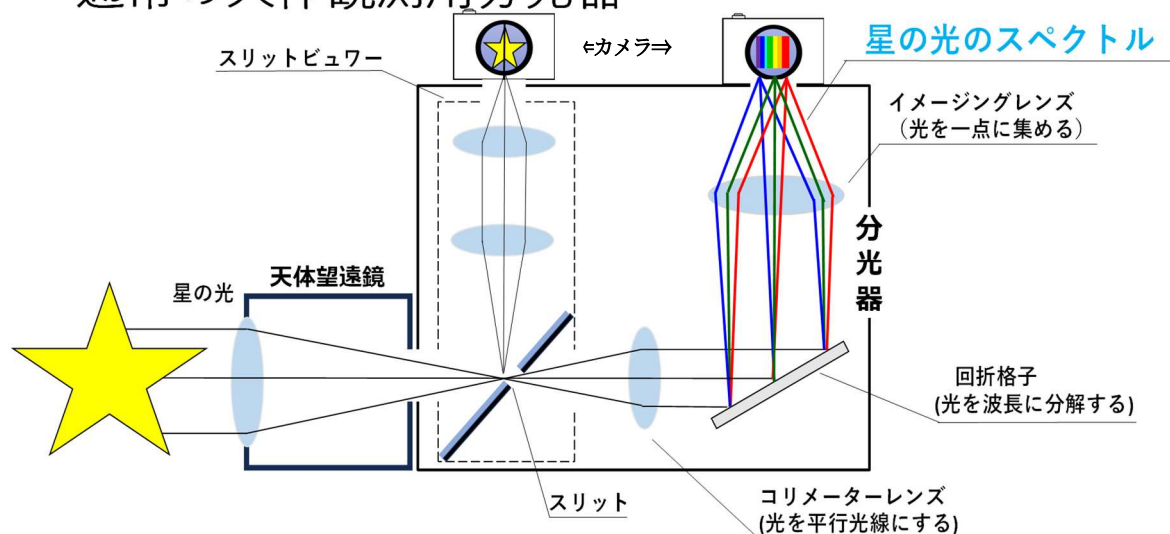


図 2 一般的な天体観測用分光器の構造と光路図

通常の天体観測用分光器ではスリット面の片側をメッキして鏡とし、図2のように望遠鏡の焦点で入射光に対し45°傾けて固定し、そこで反射した画像を撮像して天体のどの部分にスリットが当たっているか確認できるようにしている。これが通常のスリットビューアの構造である。

しかし、分光器の自作を考えた場合、スリット面の片側をメッキして鏡とすることなど不可能である。また、光学器メーカーにこのようなスリットの製作を依頼すると、それだけで既製品の分光器1台分に匹敵するような多額の費用が必要となり、自作の意味が失われてしまう。さらに、図2の構造を採用する限り、スリットビューア用とスペクトル用でカメラが2台も必要となり、その点からも経済的とは言えない分光器になってしまう。

以上の理由から、天体分光観測の黎明期から現在に至るまで100年以上の長きにわたって、スリットビューアの製作が天体観測用分光器自作の最大のハードルとなってきた。そして、このハードルによって分光器が自作できず、天体分光観測に関心を持ちながらも断念せざるを得なかった公開天文台やアマチュア天文家の数は非常に多く、これが世界の天文学の裾野の拡大を妨げる要因となってきたといっても過言ではない。

ところで、この「スリットビューア自作の壁」は本当に乗り越えられない壁なのであるか？分光器の構造を工夫することによって問題を解決することはできないのか？私達は図3のような機構を採用することでこのハードルのクリアを試みた。つまり、回折格子の傾きをモータと電子回路によって制御して1次と0次のスペクトルを正確に切換えられるようにし、1台のカメラでスペクトル撮像だけではなくスリットビューアの役割も担えるよう工夫した。

なお、同じクラスの国産品で電子回路を組込んだ分光器は存在しない。その意味で、私達は本分光器を「次世代型」と呼んでいる。

以下図3を用いてこの機構の概要を説明する。図3左は分光器がスペクトル撮像モードのときの光路図である。望遠鏡の焦点面にはスリットがあり、それを通った天体の光はコリメータレンズで平行光線となり回折格子で分光される。分光された光はイメージング（結像）レンズを通り、カメラのセンサ面で結像されスペクトルとなる。

一方、図3右はスリットビューアモードのときの光路図である。このとき、望遠鏡の焦点面にはスリットの代わりにヘアラインを中央に配置した適切な大きさの開口部を設置する。さらに、回折格子は入射光に対し45°傾けることで0次のスペクトルを選択し（つまり、鏡と同じにし）、カメラのセンサ面には天体とヘアラインの像が結像される。このとき、このヘアラインの位置はスペクトル撮像モードのスリットの位置に相当するので、これでスリットビューアと同じ役割が担えたことになる。この工夫により、「スリットビューアの壁」は解消されたと思われる。さらに、この機構で分光器に取付けるカメラは1台で済み、その点からも本分光器は安価で自作向きと言える。

私達は、本分光器を日本の公開天文台の標準機として認知していただけるよう、現所在地元の「さじアストロパーク」で分光観測に活用していただいている。私達はその試用報告を踏まえて改良を行い、本校のホームページで図面や製作方法を公開する。さらに、日本公開天文台協会の年次総会などで発表して公開天文台の標準機として認知していただき、日本の天文学の裾野の拡大に貢献したい。

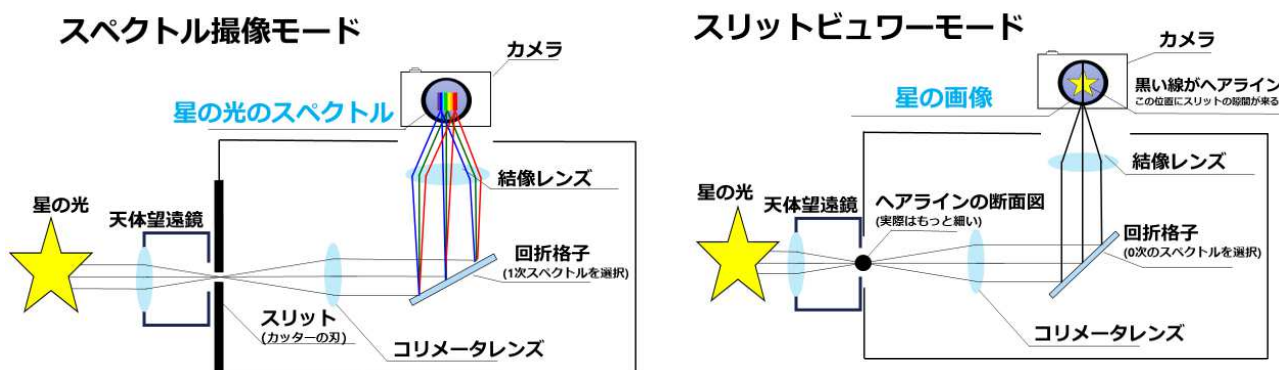


図3 今回製作した分光器の光路図、左はスペクトル撮像モード、右はスリットビューアモード

2. 分光器の製作

2.1 分光器の設計

私達は、日本の公開天文台の標準機として天体観測で活用していただくために分光器を製作した。そこで、設計において以下の目標を設定した。

- ① 可視光線領域（4000~8000Å）のスペクトルが一度に撮像できること
- ② ナトリウムの D 線（5895.92 Å, 5889.95 Å）が分離できる分解能を有すること
- ③ 実用的かつ容易に工作できるスリットビューワとすること
- ④ 既製のパーツを多用し、工作を最小限にとどめ、低予算で簡単に製作できる分光器とすること

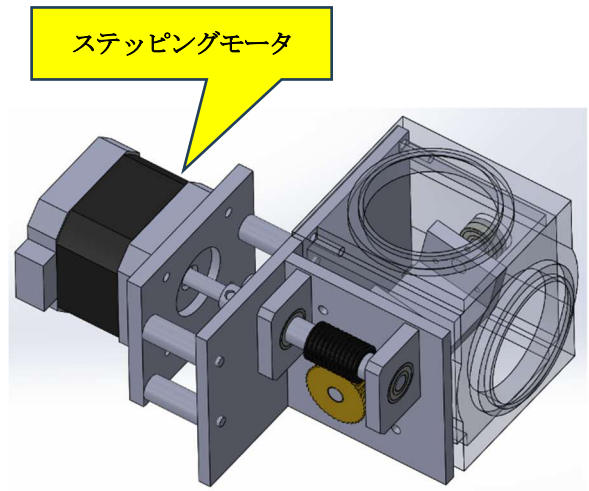
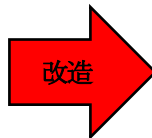


図4 市販の光路切換器を改造して回折格子収納部とし、0次と1次スペクトルを切換可能とした

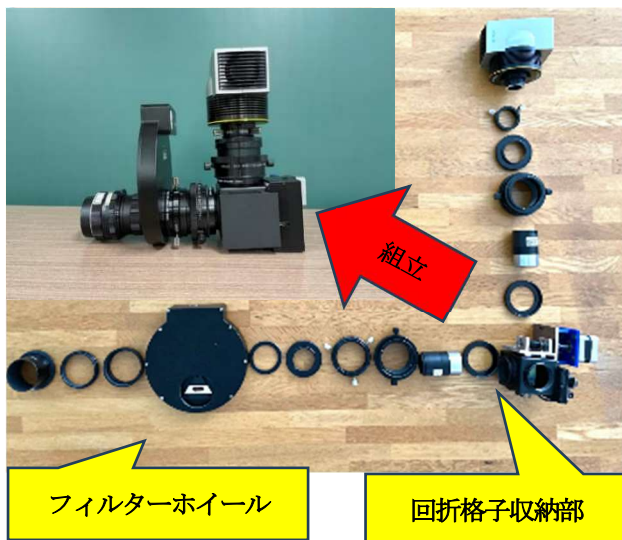


図5 回折格子収納部を中心に接続リングを利用して必要な部品を接続して分光器を形作った

分光器の性能を決定するパラメータは主に回折格子の格子定数とスリット幅である。本分光器では一度の撮像で可視光線すべてがカバーできることを第1目標とした。一方、カメラのセンサのサイズは天体観測用の冷却 CCD カメラで約 10mm³⁾、デジタル一眼レフカメラで約 20mm⁴⁾ である。また、本分光器では天体望遠鏡の接眼鏡をコリメータレンズとイメージングレンズに利用したので、焦点距離は 40mm である。以上のことから回折格子の格子定数を 1/600mm とした。次に、第2目標の D 線の分離を実現するためには波長分解能を $\Delta\lambda \approx 6\text{Å}$ とせねばならない。そこで、スリット幅を 15 μm とした。

2.2 分光器の製作

本分光器では回折格子の傾きを変化させて 0 次と 1 次のスペクトルを切換え、1 台のカメラにスリットビューワとスペクトル撮像の二役を担わせている。それを可能にするため、市販の光路切換器（ビクセン製フリップミラー）を図4のように改造し、回折格子収納部とした。

続いて、回折格子収納部を中心に、図5のように既製品の接続リングを利用して必要な部品を接続して分光器を形作った。図5の接続部品の中に大きな円形のパーツがあるが、これは ZWO 社の電動フィルターホイールである。図6のように私達はこれを分光器への光導入部とし、スリット等を装着した。このように工作を最小限にとどめるために、既製のパーツを多用する設計としたが、費用は 25 万円にでき、既製品の分光器より画期的に費用を抑えることができた。

分光器の波長分解能はスリット幅を狭くするほど向上する。しかし、スリット幅を狭くするとスペクトルの撮像時間が長くなってしまふ。そこで、この問題を解消するため、本分光器ではスリット幅が選択できるよう工夫した。



図 6 電動フィルターホイールにスリット等を装着した

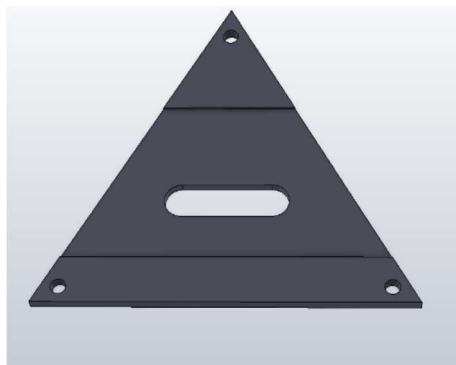


図 7 アルミニウム合金製の三角形の土台

具体的には、図 6 のように $250\ \mu\text{m}$ 、 $75\ \mu\text{m}$ 、 $30\ \mu\text{m}$ 、 $15\ \mu\text{m}$ と 4 種類の幅の異なるスリットを装着した。このようにして、観測する天体が暗いときは幅の広いスリットを、精密な観測が必要ときは幅の狭いスリットを使うなど、目的に応じて使い分けることを可能とした。

なお、スリットは図 7 のアルミニウム合金製の三角形の土台にカッターナイフの刃を手作業で向かい合わせ、接着することで製作した。本土台にはカッターの刃の厚みと等しい段差がつけてあり、この段差をガイドとすることにより簡単にカッターの刃を接着できるように工夫した。そのため、最も幅が狭いスリットは幅が $15\ \mu\text{m}$ と髪の毛の太さの約 $1/6$ の細さにもかかわらず、私達はライトボックスの上でスリットから透過する光を利用して、顕微鏡を使わず肉眼のみで製作することができた。

2.3 回折格子の角度の制御

回折格子の角度は、図 8 左のようにウォームギアとウォームホイールを使った減速機構にステッピングモータを取付けて制御した。ステッピングモータは制御回路に接続し、制御回路内のマイコンに書き込んだファームウェアによって制御した。なお、ファームウェアは Arduino 言語で記述した。また、PC 上では図 8 右のような、回折格子の角度を制御するアプリケーションソフトウェアを実行した。本ソフトウェアは Python で記述した。

これらの 2 つのプログラムは、互いに USB シリアル通信によりコマンドを送信し、人間による回折格子の角度の指示を、実際の回折格子の角度として反映するようになっている。

続いて、制御回路の概要を図 9 に、回路図を図 10 に示す。図 9 のマイコンはシステムの頭脳であり、USB 通信を介して PC 上のソフトウェアからデータを受け取る。マイコンは受け取ったデータを処理し、モータの現在位置を推測するが、そのためにはモータの位置を知るためのセンサが必要となる。本分光器では、モータの回転系に原点を作り、原点検出センサとしてフォトインタラプタを使用した。フォトインタラプタは赤外線 LED と赤外線受光素子が向かい合う構成で、赤外線 LED から出た光が物体によって遮断されたことを検出する。この仕掛けで一度原点を検出してしまえば、それ以降はステッピングモータで高精度な制御が可能となる。つまり、ステッピングモータはパルス波により駆動するモータで、1 パルスを与えるごとに 1.8° ずつ回転するため正確な制御ができる。なお、この制御法はプリンタやスキャナにも使われている信頼性の高い手法であり、PC から回折格子を回転させる指示が来た場合は上記のようにモータの現在位置と目標位置の差からモータを何度回転させるか決定する。

ところで、モータはマイコンと比較すると高電圧・大電流を必要とするため、マイコンに使用されるような低電圧ではモータを直接駆動できない。そこで、マイコンによってモータ回転を可能とするためにモータドライバを利用した。モータドライバはマイコンからの低電圧信号を受け取り、モータに供給する高電力信号を生成する素子である。

なお、モータ部では高電圧を扱っているため、万が一モータ部の回路が故障した場合、低電圧のマイコン回路部にまで高電圧が加わり損傷させることがある。さらに、本制御回路と接続した PC までもが高電圧により破壊されてしまう危険性がある。

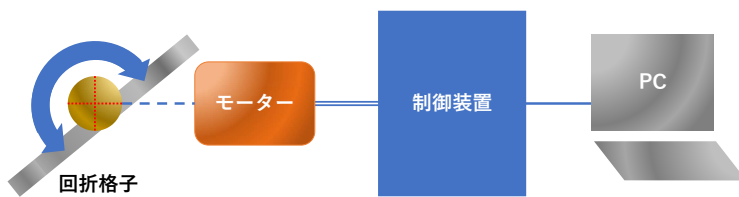


図8 左は回折格子制御機構、右はPC上に表示された回折格子制御ソフト

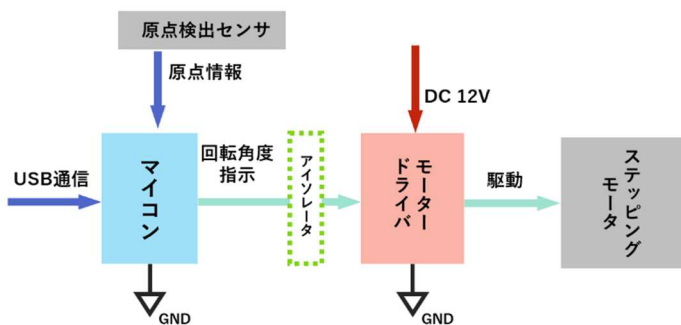
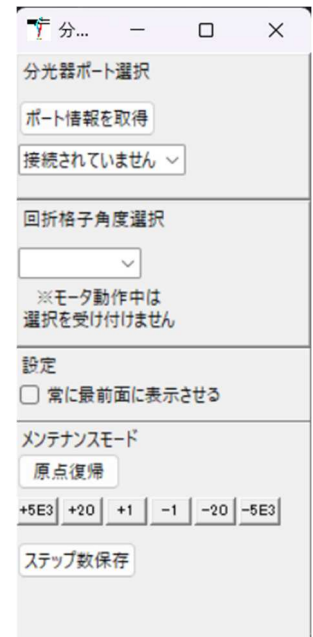


図9 制御回路の概要、アイソレータで低電圧部と高電圧部を分け、信頼性を高めた

フォトインタラプタ
(原点検出センサ)

DCジャック

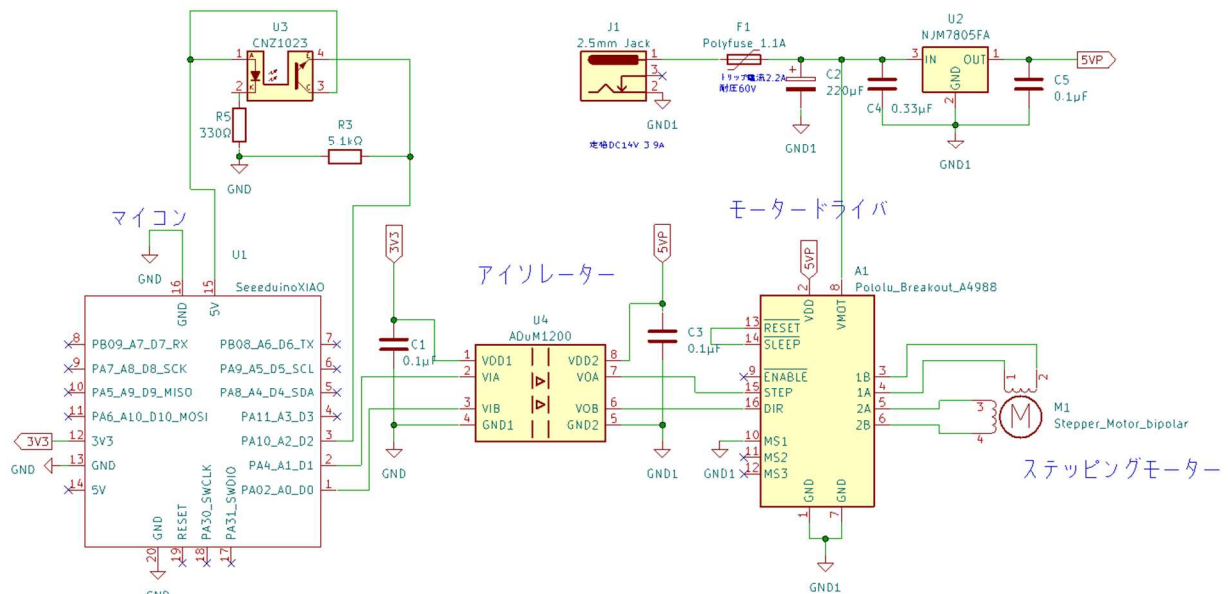


図10 制御回路の回路図

そこで、安全性向上のため、高電圧信号を扱うモータ部と低電圧信号を扱うマイコン部を電氣的に絶縁した。この回路間の絶縁にはアイソレータを利用した。上記の部品の組み合わせによって本分光器の制御回路の信頼性を高めた。

最後に、図11にファームウェアのフローチャートを示す。電源が投入された時、初期動作として、モータを回し、回折格子を原点位置に復帰させる。原点復帰後はPCからUSB通信で送られてくるコマンドの待機状態となる。

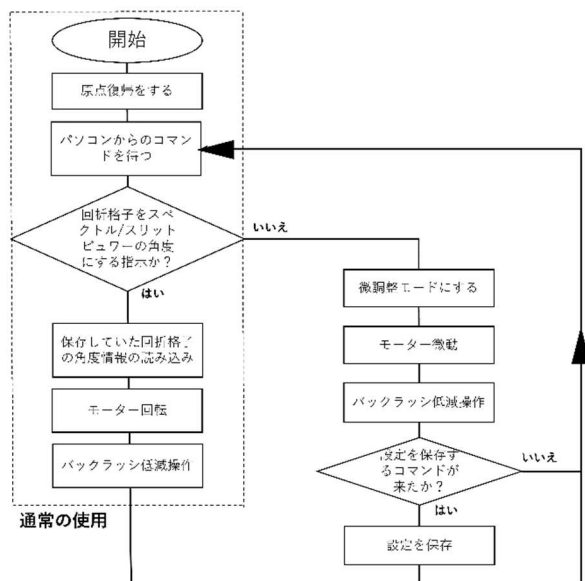


図11 ファームウェアのフローチャート

もし、回折格子をスペクトル撮像やスリットビューワモードの位置に回すコマンドが来た場合、モータを回転させて当該位置まで回折格子を駆動させる。この位置情報はマイコン内のメモリに保存されている。

ところで、モータと回折格子はギアで接続されているため、ギアのバックラッシュによる精度悪化が懸念される。そこで、例えばモータを左回りに回転させる時は目標角度よりも大きくモータを回転させ、その後目標位置まで戻すことで、常にギアの同じ面で噛み合うようにし、精度悪化を最小限にとどめた。

このソフトウェアを使うと観測者が直接分光器に触れる必要がなくなるため、本分光器は近年主流になりつつある遠隔観測にも対応した仕様と言える。同じクラスの国産品で遠隔観測仕様の分光器は存在しない。これが本分光器を「次世代型」と称する理由である。

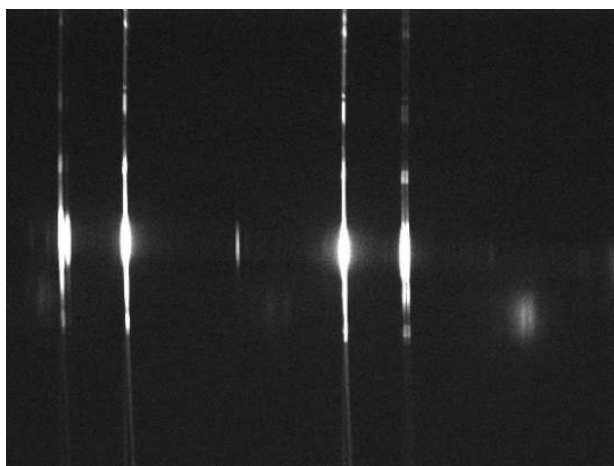


図12 水銀灯のスペクトル画像

3. 分光器の性能テスト

私達は、製作した分光器を口径 81mm の屈折式望遠鏡に取付け、水銀灯とナトリウム灯を撮像し性能テストを行った。なお、カメラはビットラン社の CCD カメラ BJ51L を使用した。

図12 は本テスト観測で得られた水銀灯のスペクトルであり、左側が長波長側、右側が短波長側である。

図より、右側から 4046.56Å , 4358.35Å , 5460.74Å , 5769.59Å , 5790.65Å の水銀輝線が見えている。図12では $4000\sim 7000\text{Å}$ の波長範囲がカバーできているのに対し、BJ51L のセンササイズは 8.8mm である。このことから、センササイズが 12mm 以上であれば可視光線を一度に撮像することができ、B-1 の目標①が達成されたと言える。

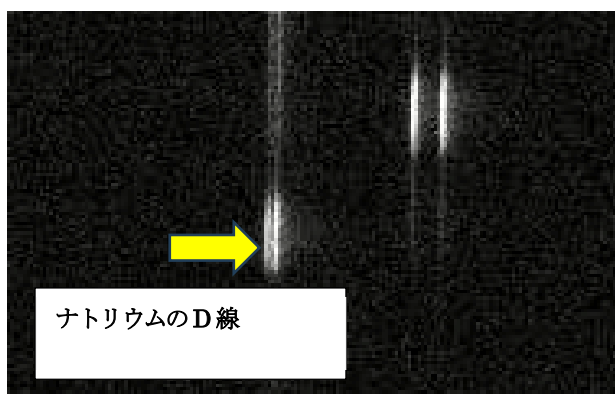


図13 ナトリウムのD線

同様にナトリウム灯を観測して得られたスペクトルを図13に示す。ナトリウムのD線は 5895.92Å , 5889.95Å の2本の輝線から構成されているが、図より明らかにこの2本が分離できており、本分光器がB-1の目標②を満たす分解能を有していることも確認できた。

ところで、本分光器最大の特徴は回折格子の角度を制御してスリットビューワとスペクトル撮像を切り換えることにある。この機能によりスリットビューワが製作可能となり、極めて安価に分光器を自作できるようになった。しかし、この機構では、スリットビューワ⇄スペクトル撮像を繰り返すたびに CCD 上の波長とピクセルの位置の関係が変化する危険性がある。そこで、この機構の再現性の精度についての確認を行った。具体的には、回折格子をスペクトル撮像の位置からスリットビューワの位置へ駆動し、その後再びスペクトル撮像の位置に戻すことを複数回繰り返し、水銀灯の輝線の位置がどの程度ずれるか調べた。

図14は、スペクトル撮像の位置で水銀灯を撮像した画像と一旦スリットビューワにして再度スペクトル撮像

の位置で撮像した画像の差分を強調表示したものであるが、何度繰り返しても波長のずれは全く生じていない。以上のことから、製作した分光器が所定の性能を満たしていることが確認できた。

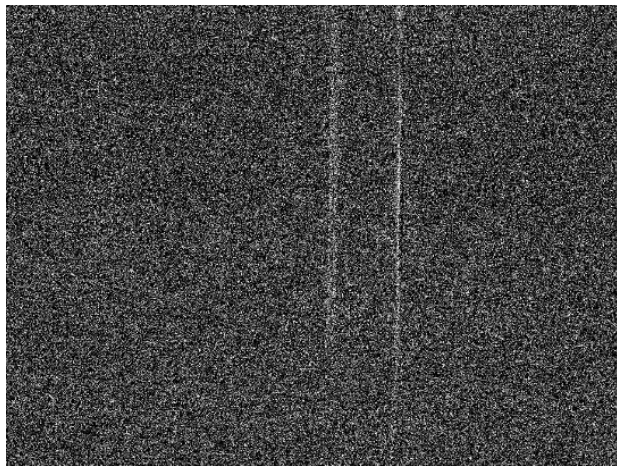


図 14 回折格子の回転の影響

4. 考察

4.1 分光器を用いたテスト観測

私達は、本分光器のテスト観測として 2023 年 5 月 25 日に月の地球照の分光観測を行なった。月の地球照とは、図 15 のように月の欠けている部分でも表面がうっすらと確認できる現象のことで、これは図 16 のように地球で反射した太陽光が月の影の部分に照らすことで生じている。観測では、タカハシ製 JP 型赤道儀にビクセン製の口径 81mm、焦点距離 625mm の屈折望遠鏡 ED81S を搭載し、ビットラン製の冷却 CCD カメラ BJ51L を取りつけてスペクトル撮像を行った(図 17)。本観測で撮像したスリットビューワーとスペクトルの画像をそれぞれ図 18 と図 19 に示す。



図 15 地球照

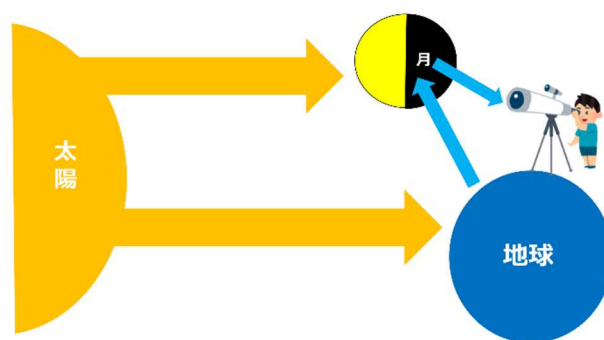


図 16 地球照が生じる仕組み

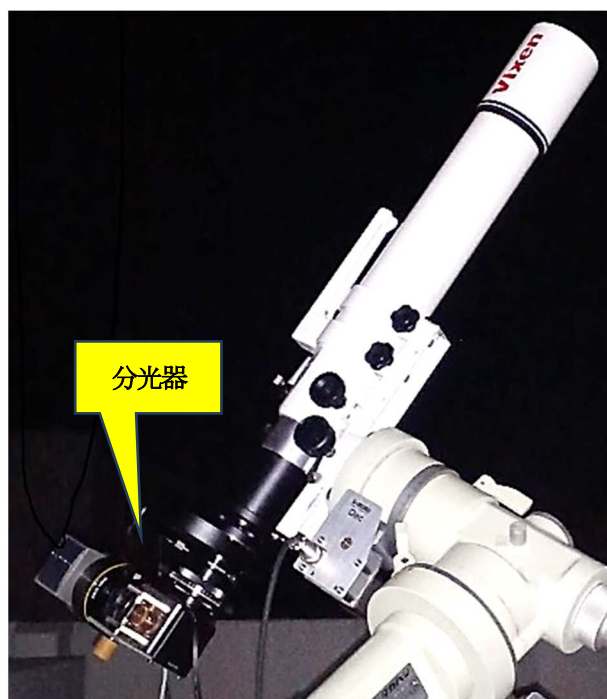


図 17 観測時の写真

分光器を自作する際、最大のハードルとなるのがスリットビューワーの製作である。しかし、図 18 の通り本分光器のスリットビューワーはスリット位置を明確に示すことができおり、十分実用に耐えることが明らかとなった。また、図 19 の画像は月の輝面のスペクトルであるが、フラウンホーファー線がはっきりととらえられている。撮像データは、CCD カメラの暗電流や感度むらを除去する「ダーク・フラット処理」を行った後、スペクトル内のフラウンホーファー線を利用して波長校正を行った。なお、これらの解析は画像処理言語 IDL を用いて行なった。

図 20 に月の輝面および地球照部のスペクトルを示すが、本結果では月の輝面より地球照部の方が青側の光が相対的に強くなっているように見える。



図 18 月面のヘアライン画像

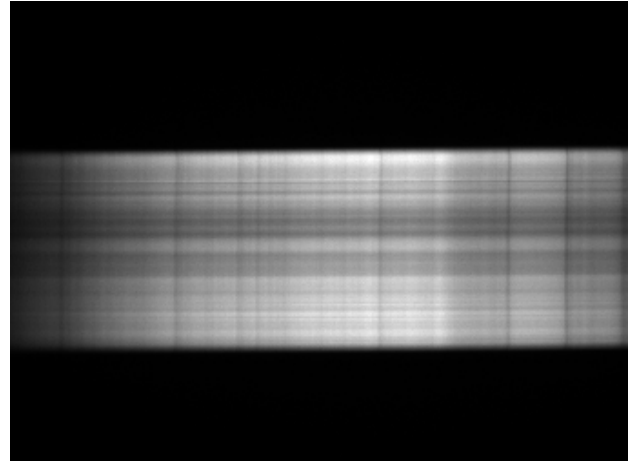


図 19 月のスペクトル

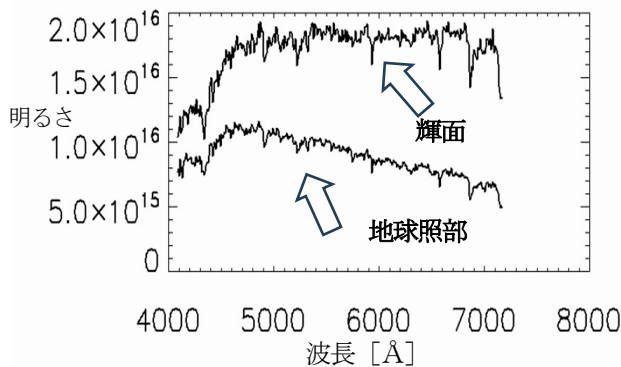


図 20 月の輝面と地球照のスペクトル

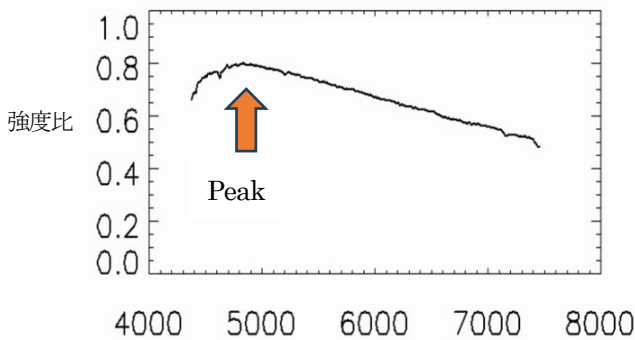


図 21 月の輝面と地球照のスペクトルの強度比

そこで、このことを明確化するために月の輝面と地球照部のスペクトルの強度の比率を求めたところ 4800Å 付近に明瞭なピークが確認でき、地球照では青側の光が強くなっていることが確認できた (図 21)。地球照は月の欠けた部分が地球で反射した太陽光によって照らされる現象なので、地球の色に依存すると考えられる。

一方、地球表面の 7 割は海が占めているので反射光は海の色の影響をより強く受けており、その結果地球照は青みがかっていると解釈できる。

ところで、今年 B.B.Cael らによって地球温暖化の影響で海洋の色が緑化してきたという報告がなされた⁵⁾。私達の観測ではピークは 4800Å (青緑色) 付近にあったが、今後の継続観測でこのピーク波長が緑色側に移動して行くことが確認できれば、人工衛星を使わずとも海洋の緑化が検出できたことになる。このように、天体分光観測でも地球環境のモニターが可能なテーマもあり、分光器の重要性はますます増大していると考えられる。

4.2 本分光器を用いた高度な観測

本分光器を用いた高度な観測例を列挙する。本分光器は低分散分光器として従来の同じクラスの分光器を上回る性能を持っているだけではなく、より高度な観測に対応するための発展性を有しており、公開天文台での研究用としても遺憾なく能力を発揮すると考えられる。

① 銀河回転の検出

分光器の視線速度の検出限界は分解能 R で決まる。本分光器はナトリウムの D 線が分離できるので、 $\lambda \sim 6000$ Å、 $\Delta \lambda \sim 6$ Å を代入すると $R \sim \lambda / \Delta \lambda \sim 1000$ となる。一方、視線速度の検出限界 v は、

$$v = \frac{c}{R}$$

である。 c は光速で 3.0×10^5 km/s であり、これに $R=1000$ を代入すると $v=300$ km/s となる。このことから、従来の低分散分光器では極めて困難と言われてきた銀河回転が検出可能ということがわかった (表 1)。

表 1 主な天体現象の代表的速度

主な天体現象	速度
超新星爆発での膨張速度	10^4km/s
新星での膨張速度	$3 \times 10^3\text{km/s}$
高温星（O 型星）の星風の速度	$2 \times 10^3\text{km/s}$
銀河の回転速度	$3 \times 10^2\text{km/s}$
高速回転星の自転速度	$2 \times 10^2\text{km/s}$

② 惑星状星雲の分光診断

惑星状星雲が放射する電離ケイ素の輝線 $6717\text{\AA}$ と $6731\text{\AA}$ の強度比から星雲の電子密度が測定できることが知られている⁶⁾。このような測定を「分光診断」と呼ぶが、本分光器は十分な波長分解能を持っているため、このような物理観測も可能である。

③ 2 次以上の高次スペクトルの利用

本分光器の回折格子の傾き制御ソフトを使うと、観測者はスペクトルを見ながら目的の向きに回折格子を動かすことができる。そのため、波長カットフィルターを併用すれば 2 次以上の高次スペクトルも撮像可能となる。このことから、原理的には本分光器は高分散分光器としても利用でき、波長分解能をさらに高めることができる。

④ 観測天体に最適化した形状のスリットの利用

スリットの形状は直線状とは限らず、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。また、恒星近傍の惑星は恒星の光に飲み込まれてしまうため、恒星の光は通さず惑星の光だけを通すためのピンホール状のスリットを使うと便利である。このように分光観測する天体によって様々な形状のスリットが考えられ、そのスリットを電動フィルターホイールに装着することで観測に最適化した分光器とすることが可能である。

5. 結論

私達は、全国にある 125 ヶ所の公開天文台のうち分光器を保有している施設はわずか 15 ヶ所に留まるという事実に驚愕した。一方、私達は先輩から後輩へとつないでいく形で天体分光観測を続けてきたため、分光器の構造を熟知しており、分光器を設計・製作する素養を身につけていた。そこで、自作しやすい簡単な構造だが物理観測も可能な天体観測用分光器を製作し、全国に発信して現状を打破することを決意した。

私達は、まず回折格子の角度を PC から制御してスリットビューワーとスペクトルを 1 台のカメラで撮像できる仕組みを考案し、「スリットビューワーのハードル」をクリアした。なお、同じクラスの国産品で電子回路を組み込んだ分光器は存在しないため、本分光器を「次世代型」と称した。さらに、既製のパーツを多用することにより工作を最小限にとどめ、自作しやすい設計とした。

本分光器は、一度の撮像で可視光線領域をカバーする低分散分光器でありながら、ナトリウムの D 線が 2 本に分解でき、分解能は $R=1000$ であることが分かった。これは、理論上銀河回転が検出可能な分解能であり、同じクラスの既製品の分光器を上回る性能となった。

本分光器は、現在地元の「さじアストロパーク」で分光観測に活用していただいている。私達はその試用報告を踏まえて 2 号機を製作し、本校の HP で図面や製作方法を公開する。さらに、日本公開天文台協会の年次総会などで発表して公開天文台の標準機として認知していただき、日本の天文学の裾野の拡大に貢献したい。科学は日々進歩している。今もまた様々な人たちが科学に興味を持ち始めているだろう。私たちの開発した分光器がその興味のきっかけになれば幸いである。

6. 謝辞

研究を行なうにあたりご指導くださった米子高専の竹内教授、金属加工についてご指導くださった米子高専ものづくりセンターの技術職員の皆様、制御回路について適切な助言を与えてくださった米子高専の石倉准教授、本企画を採択してくださった鳥取県教育委員会の選考委員の皆様にこの場をお借りしてお礼申し上げます。

7. 参考文献

- 1) 小暮智一著、現代天文学史、2015 年、京都大学学術出版会出版
- 2) LLP 京都虹工房ホームページ
<https://photo-cross.com/product.html>
- 3) ビットラン株式会社ホームページ
<https://www.bitran.co.jp/camera/astro/>
- 4) PENTAX デジタル一眼レフカメラ *ist DS 使用説明書
- 5) B.B.Cael, et al., 2023, Nature, **619**, 551-554.
- 6) 小暮智一著、宇宙物理学講座第 3 巻、星間物理学、1994 年、ごとう書房出版