

令和 6 年 6 月 29 日現在

機関番号：82301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20K03244

研究課題名(和文) 接眼分光器による天体スペクトルの直観的理解に向けた分光画像資料の開発

研究課題名(英文) Development of education materials of spectral image data for the intuitive understanding of astrophysical spectroscopy with the use of the spectroscopic eyepiece system

研究代表者

田口 光 (Taguchi, Hikaru)

群馬県立ぐんま天文台・その他部局等・研究員

研究者番号：20356132

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：天体の客観的な物理情報は、分光観測によるスペクトルの解析から得られることが一般的である。その理解は必ずしも容易ではないが、天体のスペクトルやその色は視覚的に印象的であるため、これらを自らの視覚で体験することができれば、スペクトルが持つ本質的な意味をより直観的に理解することができる。このような観点から、天体の色とスペクトルを同時に観察できる接眼分光器を独自に開発し、眼視での観望に適した望遠鏡に設置した。さらに、その理解がより深まるよう分光画像資料等の作成を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人間の眼は暗い対象に対して色を検知する能力が低下することから天体スペクトルの観察には大口径の望遠鏡での設置が優位となる。ぐんま天文台150cm望遠鏡の集光力を生かすことで、天体の色のみならず、天体の分光スペクトルの詳細な特性を視覚的に検知することが可能となった。公共天文台であるぐんま天文台では夜間の観望会に多くの来館者がある。そこで、天体のスペクトルを観察することで天体の分光観測にもとづく天体物理学の基礎を、視覚を通じて直観的に学べる教育機会を提供することが可能となった。

研究成果の概要(英文)：Objective physical information on astronomical objects is generally obtained from the analysis of spectra through spectroscopic observations. Comprehending the spectra of astronomical objects is intricate, but their colors are visually impressive. Therefore, direct observation of these spectra would provide an intuitive understanding of their essential characteristics. With this perspective, we have developed Spectroscopic Eyepiece System 2(SPEYE2), which enables simultaneous visual observation of both the color and spectrum of astronomical objects. This system has been integrated into a telescope suitable for visual observation. Moreover, we have developed spectroscopic images and supplementary materials to enhance comprehension of spectroscopic data.

研究分野：天文教育

キーワード：天体物理学 分光スペクトル 公開天文台 接眼分光器 眼視分光器 150cm望遠鏡

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

天体の組成や温度、密度などの物質の状態、運動や構造などその他諸々の客観的な天体の物理情報は、分光観測によるスペクトルの分析から得られることが一般的である。それ故に分光観測は天体物理学を理解し、実践するうえでの重要な基礎となっている。初学者にとって、その理解は必ずしも容易ではないが、虹色に広がるスペクトルと、波長の異なる様々な光の成分が交わることによって醸し出される多様な天体の色は印象的であり、これらを自らの眼で視覚的に経験することは、天体物理学における分光学的研究が持つ意味をより直観的かつ正確に理解する強力な助けになる。

人間の眼は、暗い対象に対して、その色を識別する能力が著しく低下するため、十分な集光力が得られない場合は天体の色を知覚することが困難である。しかし、公開天文台などに設置された大型望遠鏡の集光力を活用すれば、かなり暗い天体の色のみならず、分光スペクトルの詳細な特性までを視覚的に検知することが可能になる。大型望遠鏡の最大の利点である。

そこで、大型望遠鏡の観望光学系で一般的に使われる 50.8mm 径の接眼部に、接眼レンズの代わりに挿入して利用することのできる接眼分光器 (図 1) を作成し、観望からさらに進んだ天体物理学の学習への活用を試みている。双眼鏡のようにふたつののぞき口が並列し、一方に分光されたスペクトルが、もう一方に天体の直接像が見えるような装置である。これを用いると、同じ天体の色とスペクトルを同時に並べて比較しながら観察することができる。多くの観察者にとって、直接像の色とスペクトルを「同時」に見比べることは、両者の関連をより直感的に認識し、天体物理学における分光学的手法の本質を理解するうえで極めて効果的な体験であることが実践を通して明らかになってきた。

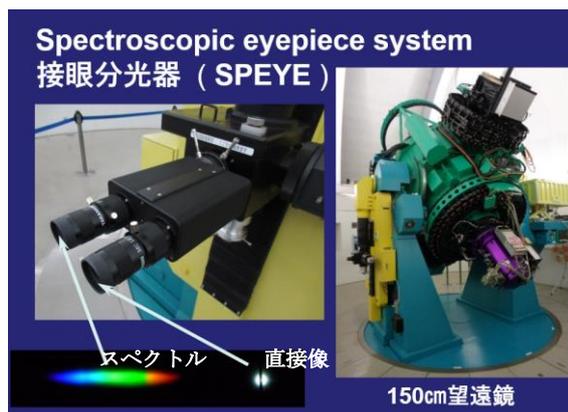


図 1 Spectroscopic eyepiece system (SPEYE)

2. 研究の目的

M 型赤色超巨星アンタレスと惑星である火星は、同じような赤い色に見えるが、スペクトルは大きく異なる。一方、見た目ではまったく異なる火星と月であるがスペクトルとしてみるとほぼ同じで、太陽からの光を反射しているものであることが視覚的に理解できる (図 2)。

このような観望用大型望遠鏡と接眼分光器を用いた教育プログラムでは、実際に観察することになるスペクトルを理解するためにスペクトル画像などがどうしても必要となる。それを支援するためのテキストや画像資料も重要である。観望用大型望遠鏡を用いた天体スペクトルの観察を通じて、分光観測による天体物理学の本質を直観的に理解できるように、視覚的に理解し易いスペクトル画像の資料を作成する手段を確立する。それによって様々な天体のサンプルを集めた教材を作成することを目的とした。ぐんま天文台の 150cm 望遠鏡をはじめ、日本国内には観望に用いることができる大型望遠鏡が公開天文台・科学館などに存在する。望遠鏡と分光画像と直接像の色を同時に比較できる接眼分光器は、ぐんま天文台が自ら開発した世界唯一の独創的な装置である。本研究では観望可能な望遠鏡としては大きな集光力を誇る 150 cm 望遠鏡に新たに開発された接眼分光器 (Spectroscopic eyepiece system 2) を取り付けて活用する。

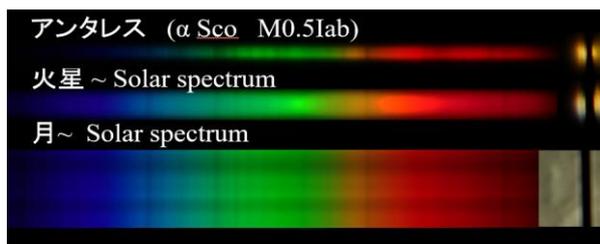


図 2 アンタレス・火星・月のスペクトル

3. 研究の方法

(1) 波長-色彩関係を用いたスペクトル画像の着色

特定の波長の光に感じる人間の色覚を再現するため、天体の観測と観察を通じて、波長の関数としての色彩を定量的に決定することを目標とした。色の定義としては、等色関数と呼ばれる関数が知られている。これは等色実験により求められている。それらを参考に測定する方法を検討し、ぐんま天文台にある太陽望遠鏡を使用した (図 3)。太陽望遠鏡は、常設展示として公



図 3 太陽望遠鏡

開されている望遠鏡である。主望遠鏡は、30cmの口径を有し、屋上に設置された望遠鏡で集めた光をグレゴリアン・クーデ式望遠鏡により2階展示室に光を誘導している。誘導された光は2つに分けられ、一方は太陽投影像により黒点等が観察可能である(図4)。他方は室内にある分光器(図5)により太陽スペクトルを観察



図4 太陽投影像



図5 太陽望遠鏡分光器

できるようにになっている。太陽望遠鏡用分光器の性能は、波長域:400~700nm 分解能:3,000となっている。太陽スペクトルの展示には備え付けの拡大ルーペが設置されており、スライドすることでどの波長の光でも拡大して観察できるようにになっている(図6左)。例えば、ナトリウムのD線を拡大した画像が図6右である。測定の手法として、あらかじめ波長が特定されている吸収線のラインを使用し、その吸収線をルーペ視野内の中央に定め、測定器であるタブレットを差し入れ同一視野内において吸収線近辺の色と同色になるようにRGBを調整し、その値を測定した。測定時には見える範囲を20nm程度に絞っている。ソフトについては汎用のものを使用し、階調は255となっている。図7右の画像の上半分に写っているものは実際のスペクトルであり、下半分は差し入れたタブレットの画面である。

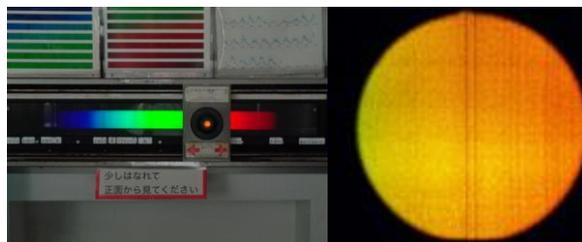


図6 拡大ルーペ(左) 拡大されたスペクトル(右)

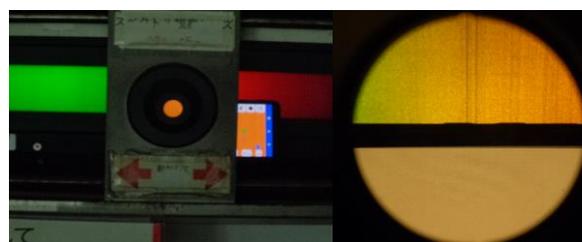


図7 タブレットとスペクトル(左) 太陽スペクトルとタブレット画面(右)

(2) 接眼分光器 (Spectroscopic eyepiece system 2) を用いたスペクトル画像の取得

次の手法として新たに開発された接眼分光器 (Spectroscopic eyepiece system 2、以下、SPEYE 2) (図8) を用いスペクトル画像の取得を行う。

以前製作された試作1号機の問題点として①重量が重い②口径1m超の望遠鏡を対象としているため望遠鏡の数は限定的③高価などの点が挙げられた。SPEYE2は、それら問題点を改善したものになる。図9の画像のとおり従前のSPEYEと比較して非常にコンパクトで持ち運びもしやすい。重量も1.95kgから1.1kgに大幅に改善された。これにより望遠鏡への接続もしやすくなった。特に小型望遠鏡にとっては1kgの重量減は望遠鏡への大きな負担減となる(図10)。製作については、(株)昭和機械製作所で製作・市販されている既製品「可視光直視分光器 VEGA」の分光光学系を活用し設計いただいた(図11) そのため、比較的安価で製作できるようになった。



図8 SPEYE



図9 SPEYE2 SPEYEの比較



図10 観望部に取付られたSPEYE2

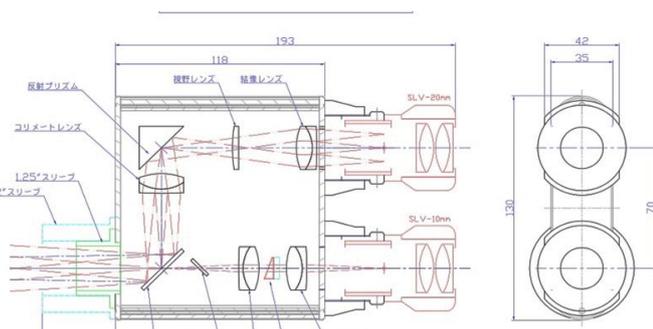


図11 SPEYE2 光路図・可視光直視分光器「VEGA」



SPEYE2 に接続するカメラはカラー CMOS カメラ QHYCCD QHY5III 174C (図 1 2) とした。主な仕様は、以下のとおりである。

SONY IMX174 CMOS sensor
1/1.2 inch, 11.3 mm x 7.1 mm
5.86 μm x 5.86 μm pixel size



図 1 2 QHYCCD QHY5III 174C(CMOS カメラ)

カメラ本体が望遠鏡接眼レンズのサイズ (31.7 mm) となっていることから接眼レンズを取り外してこのカメラと交換することでスペクトルを観察する接眼部から直接撮影することが可能となる。今までの SPEYE で得られた画像は接眼レンズを通したものをコンパクトカメラで撮影するコリメート撮影



図 1 3 CMOS カメラの取付状況

によって撮影されたものであることからこの方法であればレンズのゆがみや屈折などが軽減される。図 1 3 のように 150 cm 望遠鏡に取付し天体スペクトルの撮影を行った。

4. 研究成果

(1) 波長-色彩関係を用いたスペクトル画像の着色

図 1 4 は測定結果の一回分をプロットしたものである。横軸に波長、縦軸はスペクトルとタブレットの色が一致したときの RGB それぞれの測定値である。17 の吸収線付近を測定することができた。さらに数多くのラインを測定すればより良いデータとなったと思われるが太陽スペクトル中の無数の吸収線から目的の波長を同定することには時間を要した。拡大ルーペ中の 100nm の範囲でも微妙な色の変化でしかないので多くの波長を同定し、測定が可能でも波長の色の違いを正確に見極めることには限界がある。さらにスペクトルの両端 (紫側および赤側) の測定は光が非常に淡いため困難であるため、測定値のばらつきも顕著であった。さらに観測者の個人差が加わることで不確定要素が生じることとなる。今回の結果では、スペクトル画像の着色への明確な方法まで得られなかったが、測定データを撮影されたスペクトルなどの補正に活用する。

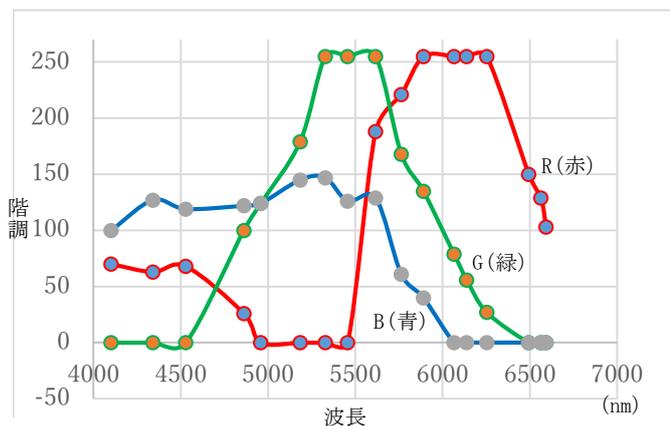


図 1 4 波長-色彩関係の測定

さらに観測者の個人差が加わることで不確定要素が生じることとなる。今回の結果では、スペクトル画像の着色への明確な方法まで得られなかったが、測定データを撮影されたスペクトルなどの補正に活用する。

(2) 接眼分光器 (Spectroscopic eyepiece system 2) を用いたスペクトル画像の取得

接眼分光器とカメラを使用してスペクトル画像の取得を行い、補助資料の作成を行った。図 1 5・1 6 は取得したスペクトルデータの一部を抜粋したものである。おおむね予定どおりのデータの取得はできた。現状、接眼分光器のスリット上天体を入れるためには目視またはカメラのライブビュー機能を使用している。こちらも CMOS カメラ等の高感度のもに変更すれば効率よく撮影することが可能である。今後、接眼分光器で観察する可能性のある天体については撮影したい。また、小型望遠鏡での使用機会も増やしていく。

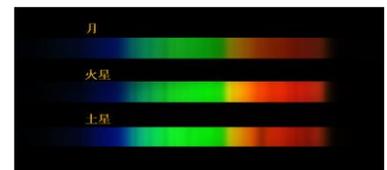


図 1 5 月・火星・土星のスペクトル

(3) 今後の展望

スペクトルの感覚的な理解について接眼分光器はその性能からも非常に有益なものである。また、汎用性からも観望会や学校利用での活動の中で資料とともに活用していく。対象への天体スペクトルへの理解が進められるようにしたい。

今後、大学等とも連携・協力しながら接眼分光器を使用した教育プログラムや教材開発を進めていく予定である。



図 1 6 接眼分光器で撮影された天体スペクトル

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 橋本修、田口光
2. 発表標題 分光観測の直感的理解に向けた中小望遠鏡向け接眼分光器
3. 学会等名 日本天文学会2022年秋季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Osamu Hashimoto, Hikaru Taguchi, Hakim L.Malasan
2. 発表標題 Scientific activities with a 1.5 meter telescope at Gunma Astronomical Observatory
3. 学会等名 Southeast Asia-Regional Astronomy Seminar (SARAS2021), Universiti Malaya (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 橋本修、田口光
2. 発表標題 分光観測を直感的に理解するための中小望遠鏡向け接眼分光器の開発
3. 学会等名 日本天文学会2022年春季年会
4. 発表年 2021年～2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

基礎天文学概論「1. 様々な天体・宇宙の階層構造」
https://www.youtube.com/watch?v=JOWet_VzMsk
 基礎天文学概論「2. 地動説と天動説、ケプラーの法則」
<https://www.youtube.com/watch?v=x2eRIAGeHPU>
 基礎天文学概論「3. 望遠鏡、天体観測」
<https://www.youtube.com/watch?v=D21c9xLkzuE>
 基礎天文学概論「4. 光(電磁波)が運ぶ天体の情報」
<https://www.youtube.com/watch?v=c92kok51Lok>
 基礎天文学概論「5. 恒星と物質の進化」
<https://www.youtube.com/watch?v=6Ry1ly8xxN8&t=15s>
 基礎天文学概論「6. 宇宙の構造、暗黒物質」
https://www.youtube.com/watch?v=BPNV_tA9jF8&t=1s
 基礎天文学概論「7. 宇宙の誕生と進化、暗黒エネルギー」
<https://www.youtube.com/watch?v=F50WD6bHkWA&t=1s>

・接分光器 (Spectroscopic eyepiece system 2) によるスペクトルデータ
<https://www.astron.pref.gunma.jp/education/speye2.html>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	橋本 修	群馬県立ぐんま天文台・その他部局等・研究員	
	(Hashimoto Osamu)		
	(20221492)	(82301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関