

令和元年6月25日現在

機関番号：82301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00996

研究課題名(和文) 接眼分光器と観望用大型望遠鏡を用いた天体物理学の教育

研究課題名(英文) Spectroscopic eyepiece system for the education of astrophysics

研究代表者

橋本 修 (Hashimoto, Osamu)

群馬県立ぐんま天文台・その他部局等・研究員

研究者番号：20221492

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：接眼分光器を活用した天体物理学の新たな教育手法の研究を行った。独自に開発した接眼分光器は、天体の色とスペクトルを同時に見比べることができる装置である。大型望遠鏡に用いることによって、大口径の威力を最大限に発揮させることが可能である。様々な観察プログラムを具体的に提案し、その効果を調査した。天体の色とスペクトルの「同時」比較は、両者の関連を直観的かつ容易に理解させることを可能とし、直接触れることのできない遠方の天体の性質を客観的に計測・調査する天体物理学の本質を理解するうえで極めて効果的であることが確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ここで研究された装置や教育プログラムは前例のない独創的なものである。時に難解とされることも多い天体物理学の入門的な教育に極めて有効な手法が新たに提案されたばかりでなく、大型望遠鏡の性能を最大限に発揮させることができる効果的な利用方法でもある。公開天文台などに観望用の光学系を持つ大型望遠鏡が多数存在する状況は我が国独自のものであるが、これらの貴重な社会資源をを有効活用する新たな手法の提案となっている。近年ではアジア地区などを中心にこの種の大型望遠鏡の建設が海外でも進んでおり、国際的な視点で同種の教育手法を発展させることも可能になりつつある。

研究成果の概要(英文)：We have investigated applications of the spectroscopic eyepiece system for the education of astrophysics using some large telescopes with a star gazing optics. There are two viewing points in the spectroscopic eyepiece system. One provides a direct image of the target and the other shows its spectrum at the same time. Thanks to the light gathering power of a large telescope, every observer can easily see the colorful images of both the direct image and spectrum of the astronomical target. It was confirmed that the simultaneous direct comparison of the color and spectrum makes it possible to understand their physical meaning intuitively and easily. It can be a very effective tool for understanding the essence of astrophysics where astronomical bodies are measured and investigated without touching them directly.

研究分野：天体物理学、恒星物理学

キーワード：天体物理学 恒星物理 分光スペクトル 公開天文台 観望用望遠鏡

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) ぐんま天文台の 150cm 望遠鏡をはじめ、日本国内には常時観望に用いることができる大型望遠鏡が数多く設置され、様々な水準での教育や普及活動で活用されている。しかし、地球大気の揺らぎや人間の眼の特性から、惑星や銀河などの天体の形状を観察するだけであれば、大型望遠鏡の性能が十分に発揮される機会は必ずしも多くない。

(2) 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。十分な光量が得られない場合は天体の色を知覚することが極めて困難となる。しかし、大型望遠鏡により大量の光を集めれば、多くの天体の色を眼で検知することが可能になる。大口径による強力な集光力を活かせば、適当な分光装置を用いることによって、天体の色のみならず、そのスペクトルの特性まで人間の視覚で十分に知覚できるようになる。大きな口径による大型望遠鏡の集光能力は圧倒的である。

(3) 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。それが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。しかし、初学者や天文台に来る一般の人々などにとって、その理解は必ずしも容易ではない。

2. 研究の目的

(1) ふたつののぞき口を持ち、それぞれで天体のスペクトルと色を同時に比較して観察することができる接眼分光器を観望光学系を持つ大型望遠鏡に用いることによって、実践的な天体物理学の教育手法を具体化し、その効果を検証する。

(2) ぐんま天文台のほか、各地に存在する光学特性や環境条件の異なる様々な望遠鏡を用いた活用実験を行い、望遠鏡の特性や各種教育プログラムとの親和性や発展性などを調査する。その経験をもとにこれらの機器を活用した天体物理学のより効果的な教育手法を検討し、そこに用いる教材や資料なども作成・整備する。将来的に、各地の天文台でここで提案するような手法での天体物理学の教育を発展させることを目指す。

3. 研究の方法

(1) 大型望遠鏡の観望光学系で使われることの多い 50.8mm 径の接眼部に、接眼レンズの代わりに挿入するだけで利用することのできる接眼分光器(図 1)を作成し、一般的な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、一方に分光された天体のスペクトル像が、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効果的な体験となることが期待できる。

(2) ぐんま天文台の 150cm 望遠鏡に接眼分光器を取り付け、様々な天体についての観察を実施し、天体物理学の学習に有効な教育プログラムを具体的に提案する。また、実際の観察を実践する過程で、装置の問題点を洗い出し、より効果的な教育プログラムを実現できるように装置の改良を行う。

(3) 基本的には学習者自らが天体の観察を体験することによって実施される教育活動であるが、事前の学習や観察時あるいは観察後に自らの経験と比較することができるスペクトル画像があるとより効果的である。このような用途のために、観察を行った時の視覚イメージに近い形状と色彩を再現する様々な天体のスペクトル画像データを教材用の資料として作成する。このような資料を作成するために、接眼分光器のほか、150cm 望遠鏡に設置された低分散分光器 GLOWS にカラーカメラを用いた観測を実施する。

(4) ぐんま天文台 150cm 望遠鏡以外の望遠鏡を用いた観察を実施し、他の大型望遠鏡も活用した教育活動への拡大を検討する。より広範で効果的な天体物理学の教育活動を各地で展開できるよう、接眼分光器の光学特性や構造をより汎用性の高いものとする改良も検討する。

4. 研究成果

(1) 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、両者の関連を直感的に認識することを可能とし、天体物理学における分光学的手法の本質を理解するための極めて効果的な体験となることが実践を通して確認された。例えば、赤色巨星は短波長側の青色成分が弱い故に全体が赤く見えている(図 2)ことや、同じように赤く見える赤色巨星でも、一般的な M 型星(図 2 上段)と化学組成の異なる炭素星(同下段)とではスペクトルが全く異なり、組成の違いがそこに反映されていることなどが明確に見えてくる。また、赤色巨星と火星の直接像はどちらも同じような赤い色に見えるが、スペクトルは大きく異なり(図 3)、火

星のそれは月のスペクトルとほぼ同じ(図 4)で、太陽からの光を反射しているものであることが容易に理解できる。その他、水素による吸収線の顕著な A 型星や、金属による吸収が現れる G, K 型星のスペクトルなども印象的で観察者の注意を引き易い。さらに、特定の波長のみで輝く星雲状の天体の観察では、恒星とは異なる発光現象であることを直接的に認識させることが容易であり、多様な天体や天体現象について応用が可能であることが明らかになった。

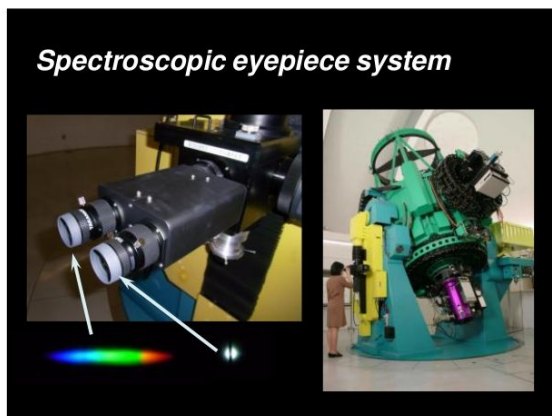


図1 接眼分光器

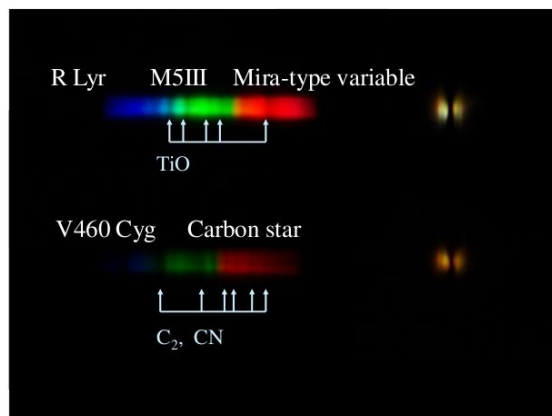


図2 組成による赤色巨星の違い

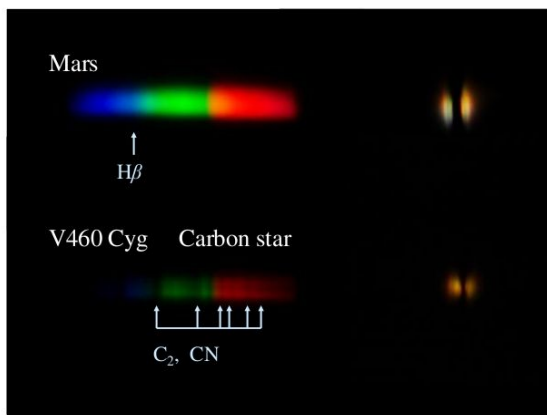


図3 惑星(火星)と恒星(炭素星)の違い

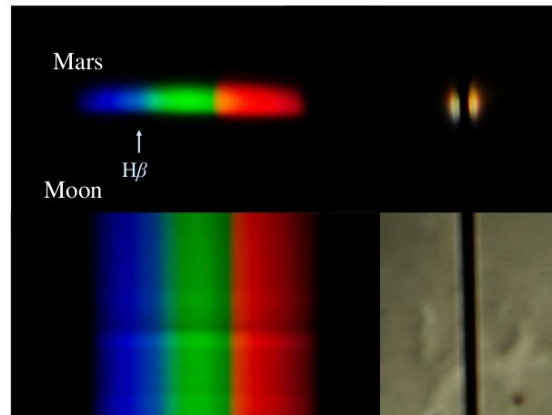


図4 火星と月(太陽スペクトル)

(2) 地球大気の揺らぎや人間の眼の特性のために、惑星や銀河などの形状の一般的な観察では、高性能な大型望遠鏡であっても、より小口径の望遠鏡でのぞいた場合との大きな差を実感することは必ずしも容易でない。しかし、接眼分光器を用いた観察では、大口径による巨大な集光力が最大限に発揮され、天体の色やスペクトルのかなり詳細な特性まで、人間の視覚で十分に知覚できるようになることが確認された。天体物理学の直観的で直接的な学習・教育手段として極めて効果的であるだけでなく、社会にとって貴重な資源である大型望遠鏡の性能を最大限に活用することのできる有益な利用手法であることを示す結果ともなっている。

(3) 接眼分光器およびぐんま天文台 150cm 望遠鏡に設置された低分散分光器 GLOWS にデジタルカメラを用いて様々な天体のカラースペクトル画像を取得し、接眼分光器を用いた教育プログラムの実践で利用する資料を作成した。実際に観察を行った時の視覚イメージに近い形状と色彩を再現するスペクトル画像を印刷物やディスプレイ上に表示させることが可能になるため、観察に際して事前の学習や事後の検討に利用することができ、学習効果をより強力に支援する教材となっている。

(4) ぐんま天文台の 150cm 望遠鏡やその他の望遠鏡において接眼分光器を用いた観察を行い、それらの経験を基に接眼分光器に改良を加えた。波長分解能を向上させるとともに拡大率も調整し、より細かなスペクトル構造を容易に観察できるようにした。その結果、G, K 型星における金属による吸収線が以前よりも明確に識別できるようになり、対応可能な教育プログラムの幅を大きく拡大させることが可能になった。ぐんま天文台 150cm 望遠鏡以外の望遠鏡への適応力も向上し、同程度の規模の望遠鏡であれば全く同じような利用形態で実用上十分な観測性能が得られるようになった。これにより、各地の大型望遠鏡で同種の教育プログラムを実践することが可能になっている。また、観察中に手を触れることが多い装置筐体の表面を金属から樹脂に変更し、低温度環境での取り扱いを容易にしており、各地の多様な観察環境への対応能力も向上させている。

(5) 本研究の成果については既に幾つかの論文等で公表をしている。加えて、国内外の様々な学会や会議でも発表し、議論を行ってきた。これまでにない独創的な装置による独創的な教育プログラムである。天体物理学の入門的な教育に有効であるばかりでなく、大型望遠鏡の性能を存分に発揮させることができる効果的な利用手段であることも示されている。観望用の光学系を持つ大型望遠鏡が多数存在する環境は、これまでは我が国のみの特徴であったが、近年ではアジア地区などを中心にこの種の望遠鏡の建設が海外でも進んでいる。国際的な視点で同種の教育活動を発展させることも可能になりつつある。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 11 件)

(1) K.Maeda, A.Tajitsu, K.S.Kawabata, R.Foley, S.Honda, Y.Moritani, M.Tanaka, O.Hashimoto, M.Ishigaki, J.Simon, M.M.Phillips, M.Yamanaka, D.Nogami, A.Arai, W.Aoki, K.Nomoto, D.Milicavljevic, P.A.Mazzali, A.M.Soderberg, M.Schramm, B.Sato, H.Harakawa, N.Morrell, N.Arimoto, Sodium absorption systems toward SN Ia 2014J originated in interstellar scale, *Astrophys. J.*, Vol.816, 57 (17p.), 2016, 査読有, doi:10.3847/0004-637X/816/2/57

(2) O.Hashimoto, S.Yamano, A.Igarashi, Gunma Astronomical Observatory, a public observatory with a large telescope, Proc. International Symposium on the NAOJ Museum, eds. K.Usuda-Sato, S.Nemoto, H.Agata, (NAOJ:Tokyo), pp.58-64, 2016, 査読無

(3) Y.Takeda, O.Hashimoto, S.Honda, Photospheric carbon and oxygen abundances of F-G type stars in Pleiades cluster, *Publ. Astron. Soc. Japan*, Vol.69, 1 (17p.), 2017, 査読有, doi:10.1093/pasj/psw105

(4) M.Yamanaka, T.Nakaoka, M.Tanaka, K.Maeda, S.Honda, H.Hanayama, T.Morokuma, M.Imai, K.Kinugasa, K.L.Murata, T.Nishimori, O.Hashimoto, H.Gima, K.Hosoya, A.Ito, M.Karita, M.Kawabata, K.Morihana, Y.Morikawa, K.Murakami, T.Nagayama, T.Ono, H.Onozato, Y.Sarugaku, M.Sato, D.Suzuki, J.Takahashi, M.Takayama, H.Yaguchi, H.Akitaya, Y.Asakura, K.S.Kawabata, D.Kuroda, D.Nogami, Y.Oasa, T.Omodaka, Y.Saito, K.Sekiguchi, N.Tominaga, M.Uemura, M.Watanabe, Broad-lined supernova 2016coi with helium envelope, *Astrophys. J.*, Vol. 837, 1 (8p.), 2017, 査読有, doi:10.3847/1538-4357/aa5f57

(5) T.Morokuma, M.Tanaka, Y.T.Tanaka, R.Itoh, N.Tominaga, P.Gandhi, E.Pian, P.Mazzali, K.Ohta, E.Matsumoto, T.Shibata, H.Akimoto, H.Akitaya, G.B. Ali, T.Aoki, M.Do, N.Ebisuda, A.Essam, K.Fujisawa, H.Fukushima, S.Goda, Y.Gouda, H.Hanayama, Y.Hashiba, O.Hashimoto, K.Hayashida, Y.Hiratsuka, S.Honda, M.Imai, K.Inoue, M.Ishibashi, I.Iwata, H.Izumiura, et al., OISTER optical and Near-Infrared monitoring observations of a peculiar radio-loud active galactic nuclei SDSS J1100.07+442144.3, *Publ. Astron. Soc. Japan*, Vol, 69, 82 (20p.), 2017, 査読有, doi:10.1093/pasj/psx075

(6) O.Hashimoto, H.L.Malasan, Y.Kozai, Gunma Astronomical Observatory and its international activities, Proc. International Conference on Technology and Social Science 2017, 査読有, [http://www.e-jikei.org/Conf/ICTSS2017/proceedings/materials/proc_files/Keynote_paper ICTSS2017_\[Hashimoto\]/ICTSS2017_hashimoto.pdf](http://www.e-jikei.org/Conf/ICTSS2017/proceedings/materials/proc_files/Keynote_paper ICTSS2017_[Hashimoto]/ICTSS2017_hashimoto.pdf)

(7) T.Endo, H.Ono, M.Hosokawa, T.Ando, T. Takamizawa, O.Hashimoto Spectroscopic characterization of GEO satellites with Gunma LOW resolution Spectrograph, Proc. Advanced Maui Optical and Space Surveillance Technologies Conference (AMOS), p.865, (11p.), 2017, 査読無, <https://amostech.com/TechnicalPapers/2017/Poster/Endo.pdf>

(8) O.Hashimoto, H.L.Malasan, Y.Kozai, Gunma Astronomical Observatory and its international activities with south-east Asian countries, *J. Tech. Soc. Sci.*, Vol.2, No.1, pp.1-10, 2018, 査読有, http://jtss.e-jikei.org/issue/archives/vol02_no01/1-A044/Camera-ready-JTSS_A044.pdf

(9) Y.Takeda, O.Hashimoto, S.Honda, Spectroscopic determination of Capella's photospheric abundances: possible influence of stellar activity, *Astrophys. J.*, Vol.862, 57

(19p.), 2018, 査読有, doi:10.3847/1538-4357/aacc6e

(10) M.Kimura, T.Kato, H. Maehara, R.Ishioka, B.Monard, K.Nakajima, G.Stone, E.P.Pavlenko, O.I.Antonyuk, N.V.Pit, A.A.Sosnovskij, N.Katysheva, M.Richmond, R.Michel, K.Matsumoto, N.Kojiguchi, Y.Sugiura, S.Tei, K.Yamamura, L.M.Cook, R.Sabo, I.Miller, W.Goff, S.Kiyota, S.Y.Shugarov, P.Golysheva, O.Bozuakova, S.M. Brincat, H.Itoh, T.Tordai, C.Littlefield, R.D.Pickard, K.Tanabe, K.Kinugasa, S.Honda, H.Taguchi, O.Hashimoto, D.Nogami, On the nature of long-period dwarf novae with rare and low-amplitude outbursts, Publ. Astron. Soc. Japan, Vol.70, 78 (1-17), 2018, 査読有, doi:10.1093/pasj/psy073

(11) O.Hashimoto, H.Taguchi, A spectroscopic eyepiece system for large telescopes at public observatories, Proc. Communicating Astronomy with the Public 2018 in Fukuoka, pp.56-57, 2018, 査読無

〔学会発表〕(計 11 件)

(1) 橋本修, 衣笠健三, 高根澤隆, ぐんま天文台 150cm 望遠鏡による静止衛星観測の試み, 日本天文学会 2016 年秋季年会

(2) 橋本修, 接眼分光器を用いた天体物理学の教育, 日本天文学会 2017 年春季年会

(3) O.Hashimoto, H.L.Malasan, Y.Kozai, Gunma Astronomical Observatory and its international activities, International Conference on Technology and Social Science 2017

(4) O.Hashimoto, Spectroscopic eyepiece system for the study of astrophysics, Asian-Pacific Regional IAU Meeting (APRIM) 2017

(5), O.Hashimoto, Effective understanding of astrophysics through direct experiences of stellar spectra seen by large telescopes at public observatories, Astronomy museums, visitor centers & public observatories workshop 2017

(6) T.Endo, H.Ono, M.Hosokawa, T.Ando, T. Takamizawa, O.Hashimoto, Spectroscopic characterization of GEO satellites with Gunma LOW resolution Spectrograph, Advanced Maui Optical and Space Surveillance Technologies Conference (AMOS), 2017

(7) 遠藤貴雄, 尾野仁深, 細川麻菜, 安藤俊行, 高根澤隆, 橋本修, ぐんま天文台分光撮像装置による静止衛星の分光観測と特徴抽出, 第 61 回宇宙科学技術連合講演会, 2017

(8) 竹田洋一, 橋本修, 本田敏志, G 型巨星連星系カペラの化学組成解析, 日本天文学会 2018 年春季年会

(9) O.Hashimoto, H.Taguchi, A spectroscopic eyepiece system for large telescopes at public observatories, Communicating Astronomy with the Public 2018 in Fukuoka

(10) O.Hashimoto, H.L.Malasan, Research and education activities at Gunma Astronomical Observatory, a public observatory with a large telescope, Seminar Nasional Fisika 2018 (National Conference of Physics 2018), Universitas Negeri Jakarta

(11) O.Hashimoto, H.L.Malasan, Twenty years of the Gunma Astronomical Observatory - experimental trials of how to use a 1.5-m telescope at a public observatory, The 10th Southeast Asia Astronomy Network (SEAAN) 2018 Meeting, Lampung, Indonesia

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

6 . 研究組織

研究代表者単独