

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 8 日現在

機関番号：12101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26560079

研究課題名(和文) 太陽物理教育のための複数波長観測可能な自作分光器の開発

研究課題名(英文) Development of self-made spectrometer for solar physics education

研究代表者

野澤 恵 (Nozawa, Satoshi)

茨城大学・理学部・准教授

研究者番号：10261736

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：太陽はプラズマの実験室と言われ、プラズマの基本的な性質を理解するに適した天体である。そこで太陽観測用の自作分光器の製作と観測を行うことで、太陽物理教育を実践することが目的である。国立天文台先端技術センターの共同利用の採択により望遠鏡部品以外の部分の製作が可能となった。この持ち運び可能な自作分光器は太陽現象のドップラー速度の検出などが可能であり、太陽物理教育だけでなく科学教育の物理的な理解を深める優れた教材となった。これは高等教育レベルを通しての社会への還元であり、分光器の製作を通じ、太陽物理教育を修めた人材の育成に結び付けた。

研究成果の概要(英文)：The sun is said to be a plasma laboratory, and is a celestial body suitable for understanding the fundamental properties of plasma. Therefore, we aim to practice solar physics education by making and observing a self-made spectrometer for solar observation. By adopting the joint use of the National Astronomical Observatory Advanced Technology Center, it became possible to produce parts other than telescope parts. This portable self-made spectrometer can detect the Doppler velocity of the solar phenomenon, etc. It became an excellent teaching material to deepen the physical understanding of science education as well as solar physics education. This was a return to society through the higher education level, and through the production of spectrometers, it was linked to the development of talented persons who have completed solar physics education.

研究分野：太陽物理、天体物理

キーワード：太陽分光器

1. 研究開始当初の背景

太陽はプラズマの実験室と言われ、プラズマの基本的な性質を理解するに適した天体である。特に太陽大気は、比較的低温な光球や彩層(約 4-6000K)と高温なコロナ(100 万 K 以上)が、層構造となっている。また太陽面爆発、プロミネンス、CME 放出など、動的な現象も発生しており、それらの解明を行うことは、地球環境に与える宇宙天気の影響の理解にも繋がる。これらから太陽の観測の重要性は増している。最近の太陽観測用の水素やカルシウムの波長帯を用いた狭帯域フィルターを持つ専用望遠鏡の価格が下がり、一般のアマチュア観測者の間に多く普及している。当研究室でもそれらを用いて太陽観測を学部実験や卒業研究で使用している。しかし、単一波長観測のため、いわゆる分光による教育や研究には適していない。なぜなら分光について原理的な理解から始まり、なぜ各波長で太陽の見え方が違うのか、特にドップラー効果による速度変化など、分光による物理現象の解明に繋がらないためである。そこで、実際に分光の原理を理解させる必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、自作太陽分光器の改良により可視光域で 0.1nm 以下の分光を手軽な装置での実現を目指し、専用分光器の作成を目標とする。応用として太陽大気の観測を行い、太陽諸現象の物理的な理解に繋げる。太陽分光器の製作を通じ、波長により暗線や輝線として観測され、光が波として伝搬する性質の理解を行い、太陽大気の物理的な解明を高等教育レベルで実践ことを目的とする。ここで、研究協力者である埼玉県立高校教員の坂江隆志氏との共同研究の開発途中の太陽分光器である(製作費は 20 万円弱)。実験的ではあるが、太陽分光観測が可能である。しかし開発途中のため、問題が多い。例えば、全長 1m 程度のため分光器にゆがみが生じ光路の調

整に時間がかかる、分光用のスリット間隔には 0.02mm 程度が必要であるが、市販品は高価なためカミソリ等の刃で自作している、などなど学部実験や定常的に観測するには、まだまだ改良が必要である。改良点は残っているが、この分光器の波長分解能は 0.01nm 程度が得られている。太陽赤道の自転速度である約 2km/s であり、水素の Ha 線(656.3nm)では、相対速度のドップラーシフトの波長ずれは 0.005nm となる。この数字は現在の分光器では及ばないが、細かな改良で測定可能と考えられる。また次の段階としてこの分光器を複数用意する。これは現在の分光器でも回折格子部の調整により、異なる波長帯の観測が可能のためである。複数の分光器で 393.3nm の CaK 線、Ha 線などの異なった波長帯の同時観測を行う。太陽では異なる波長帯からの分光情報は、温度や大気構造の違いを示すため、この詳細な解析は三次元的な太陽大気像を明らかにすることができる。実際の太陽研究の最前線では、人工衛星の紫外線データや地上観測の分光偏光観測による磁場診断、太陽電波による短い時間スケールによる周波数変調など、様々なデータを用いた総合的な研究を用いており、この解析方法は光の観測であるが前駆的な研究として位置付けることができる。

3. 研究の方法

研究計画の主体は大きく三つあげられる。(I) 現状の太陽分光器を改良し、学部実験や卒業研究に使用、(II) 現状をもとに、多波長で観測できる量産型の分光器の開発、(III) 現状のものを簡素化し、小中高校で使用できる分光器の開発、である。

これらは、現在試作的に開発中の太陽分光器をベースに発展する方向である。多波長観測を行うことにより、太陽が様々な波長の光を発することの理解、そして、分光がもたらす物理状態を理解させる。また、これらを活

用させる教材開発についての体制を構築することを旨とした。

現状の分光器の改良を行い、専用分光器の製作に繋げることを中心に進める。特に実際の太陽観測への応用、CCD カメラによる太陽画像の取得、そのデータ解析についてである。以下にその改良内容と教材としてのテーマを想定する。研究協力者としての坂江氏以外に大学院生を二名程度で研究を進める。

(1)波長分解能の向上

現在は 0.01nm 程度であるが、理論的にはもう一桁進めることができる。特に焦点合わせが問題であり、また大気によるシーイングの問題もある。そこで、望遠鏡部品の追加により、高精度の焦点合わせを行う。これにより分光で太陽東西の自転速度の導出を視覚的に確認する。この分光による波長の変化は、速度のドップラー効果が原因であるため、大学での実験等の教材として最適である。特にこの分光器では、400nm から 800nm 程度の波長帯に感度があるため、波長帯域により、ドップラーシフト量の確認をすることができる。

(2)定常的な太陽全面の多波長の分光観測

例えば京都大学飛騨天文台の SMART 望遠鏡では、Ha の中心波長(656.3nm)以外に、 $\pm 0.05\text{nm}$ など複数の波長での太陽全面像の撮影、Web 公開を行っている。この分光器でも解像度や時間分解能では劣るが、同等なことは可能である。また、可視光域の波長帯に感度があるため、CaK(393.3nm)を始め CaH, G-band, Fe, Mg, Na など光球や彩層由来の波長による観測が可能である。現在の分光器は簡単に回折格子の角度を変更することで、これにより違う波長を短時間で簡単に観測できる。これにより、例えば黒点上空大気鉛直構造の分光画像を取得することができ、速度や物理構造を明らかにすることが可能で、卒業研究や修士論文のテーマとなる。また、取得した画像は、Web 公開された太陽画

像のデータと比較をするなどの学部実験の教材として最適である。

(3)太陽コロナ観測

自然科学研究機構が新たに発足させた共同利用施設の乗鞍観測所は、標高 3000m の高山のため、大気による太陽光の散乱がないため、太陽コロナを観測するには最適の地である。実際に 2009 年まで国立天文台が 60 年に渡り、コロナ観測を行ってきた。平成 25 年度の共同利用で、研究協力者である坂江氏と共に、上記の分光器を使った太陽コロナ観測に挑戦したが、コロナ輝線が確認できず、コロナからの流れを掴むことができなかった。平成 26 年度以降もコロナ観測は続ける予定であり、コロナからの流れの視線方向への広がりを明らかにし、三次元的な描像を捉える。コロナの流れを分光で観測することは、乗鞍コロナ観測所が閉鎖された現在では、貴重なデータであるため、重要な研究対象となっている。

4. 研究成果

現状は市販品を使った分光器であるため、これをベースに、専用分光器の開発を行った。これは持ち運び可能な分光器であり、H27, 28 年度の国立天文台先端技術センターの共同利用の採択により望遠鏡部品以外の部分の製作が可能となった。製作した分光器の波長分解能は 0.01nm のスペックを満たしているため、学部実験等で使用が可能で、例えば太陽自転速度(東西の速度差は 4km/s)の観測を行うには鉄の輝線(630.2nm)で 0.01nm の波長変化の検出ができた。

また「太陽地球圏環境」の理解の一端として、太陽嵐の解明に向け、茨城大学独自の太陽面監視システムの構築を目指しており、本研究はその一貫でもある太陽嵐の原因であるフィラメント噴出をできるだけ正確に把握しようとしている。特に噴出速度の精度の高い観測を行うことにより、太陽から地球に

到達する太陽嵐の可能性の予測を始め、具体的な到達時間やその規模等の予報に繋げるための専用分光器の開発でもあった。これは高等教育レベルを通しての社会への還元であり、システムを構築する人材の育成に結び付け、今までの分光器の製作を通じ、修士論文2編と卒業論文2編が実現した。また、全世界に展開されている太陽電波受信ネットワークの一基地局として、フレア爆発に伴う電波バーストの観測を行っている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

田邊実佳, 「太陽観測専用小型分光器の製作と性能評価」, 茨城大学野澤研究室卒業論文, 査読無, 2017

永淵雄希, 「太陽観測専用の小型分光器の設計および性能評価」, 茨城大学野澤研究室修士論文, 査読無, 2016

奥山正敏, 「太陽自動観測システムの改良と画像解析」, 茨城大学野澤研究室卒業論文, 査読無, 2015

須藤謙人, 「汎用品を用いた太陽観測システムの自動化」, 茨城大学野澤研究室修士論文, 査読無, 2014

〔学会発表〕(計 4 件)

田邊実佳, 野澤恵, 花岡庸一郎, 篠田一也, 坂江隆志, 仲谷善一, 竹内彰継, 福嶋美津広, 太陽観測専用小型分光器の製作、日本天文学会春季年会, 2017年3月16日, 九州大学伊都キャンパス(福岡県福岡市)

山本大二郎, 野澤恵, 一本潔, 仲谷善一, 萩野正興, 太陽観測におけるシンチレーションモニタを使用した大気擾乱定量化, 日本天文学会秋季年会, 2016年9月15日, 愛媛大学城北キャンパス(愛媛県)

鷲田英舞, 岩井一正, 野澤恵, CALLISTO受信機を用いた茨城大学太陽電波観測装置, 日本天文学会春季年会, 2016年3月15日,

首都大学東京(東京都)

野澤恵, 須藤謙人, 茨城大学太陽観測システムプロトタイプ製作, 日本天文学会春季年会, 2015年3月19日, 大阪大学豊中キャンパス(大阪府)

〔その他〕

日本学術振興会「ひらめき ときめきサイエンス~ようこそ大学の研究室へ~ KAKENHI (研究成果の社会還元・普及事業)」

H28年度「手作り望遠鏡とプリズムで太陽からの光を虹に分けてみよう」(HT28048)

H27年度「太陽を見たら虹が見えちゃった!? 太陽の模型を作って、光の不思議を体験しよう」(HT27050)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

野澤 恵 (NOZAWA, Satoshi)

茨城大学・理学部・准教授

研究者番号: 10261736

(2) 研究協力者

坂江 隆志 (SAKAE, Takashi)

埼玉県立浦和西高校・教諭