

令和 6 年 6 月 24 日現在

機関番号：54401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K03631

研究課題名（和文）時間分解能2秒での2次元多波長分光観測による太陽彩層活動現象の解明

研究課題名（英文）Research on the solar chromospheric activities using 2-D multi-wavelength spectroscopic observation with a cadence of 2 seconds

研究代表者

當村 一郎 (Tohmura, Ichiroh)

大阪公立大学工業高等専門学校・その他部局等・講師

研究者番号：60207529

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題による補助を受けて実施した京都大学飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡における高速2次元分光観測によって、フレアを始めとする増光現象やプラズマ噴出現象、黒点振動、フィラメント構造等の時間・空間変動について多様なデータが得られた。特に2次元分光の時間・空間領域について、先行研究を大きく上回る100秒角四方の視野と時間分解能2秒以下を達成し、かつ2波長同時観測により太陽大気の高さ方向についての情報を得ることに成功した。これにより本研究課題の目標である彩層活動現象のダイナミクス解明の空間・時間領域の拡大を達成できたと考えている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題において、太陽彩層の100秒角四方の領域を2秒以下で2波長同時2次元分光観測することに成功するとともに多様な太陽活動現象についてのデータが取得された。これによって、従来の視野と時間分解能では見えていなかった現象が新たに検出できるようになる道が拓かれたものと考えている。特に、太陽面で最大規模のエネルギー解放現象であり地球環境にも大きな影響を与えるフレアの高速変動の検出や、太陽コロナ加熱に関係すると考えられている微小サイズの磁気リコネクションにおけるプラズマフローの解明など幅広いテーマの進展に貢献できるものと期待される。

研究成果の概要（英文）：With the support of this grant, the fast two-dimensional spectroscopic observations using the Domeless Solar Telescope of the Hida Observatory, Kyoto University, were implemented to have obtained broad range of data about the time-space fluctuations of emission phenomena such as flares, plasma ejections, oscillation in sunspots, and plasma motions in filamentary structures. We achieved the field of view of 100 arcseconds square and the temporal resolution of less than 2 seconds, which largely surpasses the former studies. With simultaneous observations in two wavelengths, we also succeeded to obtain the information about the solar plasma in different heights from the solar surface. We think that it was successfully achieved to extend the breadth of the study of the dynamics in the solar chromospheric activities both in space and time ranges, which is the aim of this research.

研究分野：天文学（太陽物理学）

キーワード：太陽 活動領域 時間変動 多波長同時分光

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

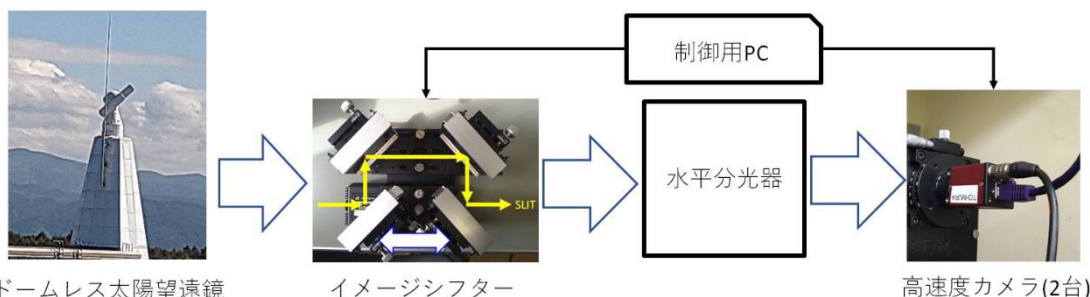
本研究課題は、フィルムカメラを用いていた太陽の分光観測の時代に、様々な太陽活動現象を観測するために数分から数十分かってしまい、ある程度の広がりを持った観測対象では、その時間変動に追従できないという問題を痛感したことに端を発する。その後、検出器がフィルムから固体素子に移行し、太陽像掃引装置も用いるようになって状況はかなり改善したが、それでも1つの領域をカバーするのに最短で10秒程度かかるため、例えば太陽面上における最大級のエネルギー解放現象として知られるフレアのように数秒経つと大きく様子が変わる現象を時間分解して捉えることは難しかった。そこで、さらに時間分解能を上げるためにはカメラと太陽像掃引装置の高速化が必要であると考え、そのためのシステムの開発に取り組んだ結果、太陽彩層のダイナミックな現象に、十分な時間分解能で追従することができる準備が整ったと判断して研究課題の申請を行った。

### 2. 研究の目的

太陽彩層で起きる活動現象の多くは数秒から数十秒の時間スケールで変化し、かつ微細構造を持つため、高い空間・時間分解能での2次元分光観測が有効である。本研究課題は、先行研究と同様2次元分光をしつつ、従来よりも高い最速2秒の時間分解能で多波長同時観測を行うことにより、太陽彩層活動現象のダイナミクス解明の空間・時間領域を広げることが目的とした。本研究課題の実施によって、「従来より高い時間分解能の領域では何が起きているのか」、例えばフレアやプラズマ噴出現象、太陽面に生じる様々な波動等の高速変化について新たな知見が得られることを期待して研究を開始した。

### 3. 研究の方法

(1)本研究課題のための観測は京都大学附属飛騨天文台のドームレス太陽望遠鏡と併設の高精度分光器、および申請者が中心となって開発した高速2次元分光システムを用いて行った。観測システム全体の概略を下図に示す。図に示したもののうちイメージシフター、高速度カメラ、および制御用PCが本研究課題遂行のための高速2次元分光システム、ドームレス太陽望遠鏡と水平分光器が飛騨天文台に既設の設備である。



(2)観測はイメージシフターで太陽面のターゲット領域をスキャンしながらスペクトル線を撮像することにより行った。また太陽面上の異なる高さの情報を得るために、生成高度が異なる2つの波長(スペクトル線)を同時に撮像する2波長同時観測とした。

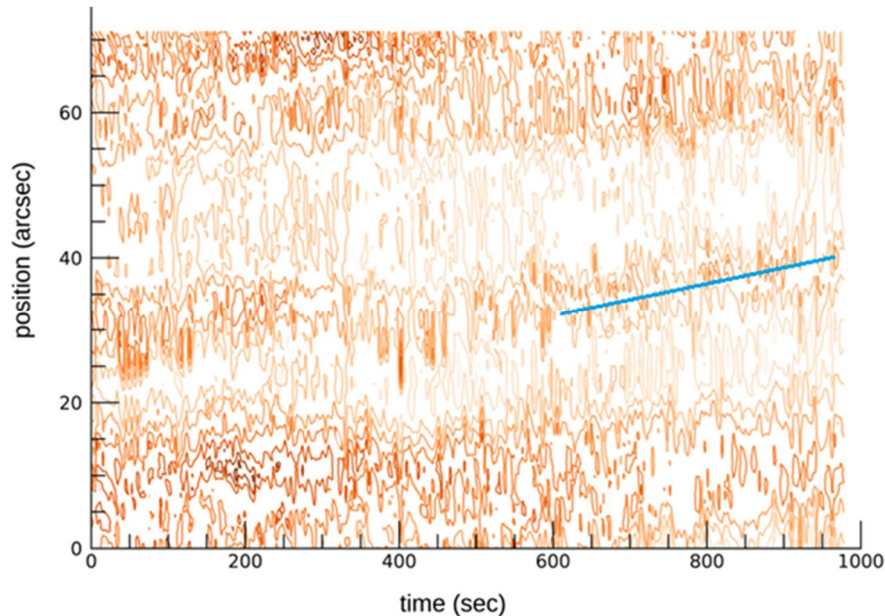
(3)得られたスペクトルから太陽彩層の速度場や明るさの分布、スペクトル線幅等の情報を算出し、これを2次元マップにしてその時間・空間変動を分析した。

### 4. 研究成果

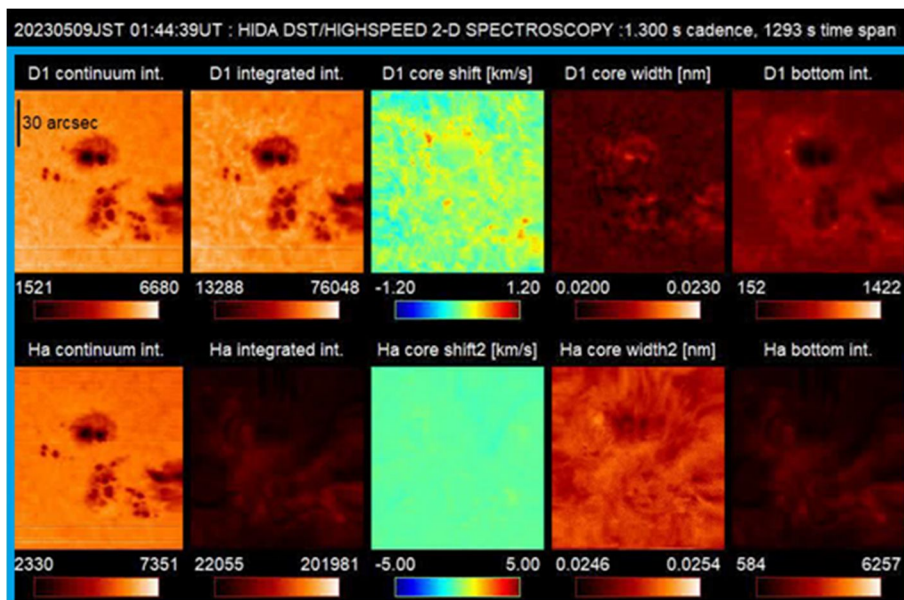
(1)2021年度の観測においては彩層で形成される水素H $\alpha$ 線とtemperature minimum(太陽表面付近で最も温度が低い層)付近で形成されるマグネシウム457.1 nm線による2波長同時観測を行い、活動領域NOAA12882における複数の小規模活動現象の時間変動を時間分解能1.5秒で約20分間連続して捉えることに成功した。その結果、E11erman Bombと呼ばれるH $\alpha$ 線で見られる小さい輝点と、フレア類似と思われる同様の輝点は、H $\alpha$ 線の明るさのマップ上では大きな違いはないが、その時間変動においては異なる振る舞いをしていることが判った。また、黒点内部の速度場を調べると、120秒から200秒程度の時間スケールで準周期的に変化する場所と、速度場の時間変化に周期性がほとんど見られない場所があることが判った。

(2)2022年度の観測では、彩層で形成されるH $\alpha$ 線とそれより数百km下で形成されるナトリウム589.6 nm線(D1線)を用いた2波長同時観測を行い、活動領域NOAA13053の黒点近傍におけるプラズマ噴出やフィラメント構造の時間変動を時間分解能1.3秒で約10分以上連続観測することに、また活動領域NOAA13112近傍のダークフィラメントにおけるH $\alpha$ 速度場の時間・空間変動を時間分解能1.9秒で約30分間連続観測することに、それぞれ成功した。ダークフィラメントにおける速度場の空間・時間変化の様子を下図に示す。横軸は時刻(単位は秒)、縦軸はダーク

フィラメントに沿った位置(単位は秒角, 太陽面上の1秒角はおよそ700 km)で, 速度場の変動を等高線図として示してある. 図の左半分(観測時間帯のほぼ前半)は時間変動がはっきりしないが, 後半になるとドップラーシフトの大きな領域がフィラメントに沿って移動していることが判る(図の水色の直線). この結果がダークフィラメント内のプラズマの運動を表しているのか, フィラメントに沿って伝わる波動を表しているのかは現時点では未解明であるが, 太陽面の磁場にトラップされたプラズマのダイナミクスを2次元的に捉えることができた例であると考えている.



(3)2023年度は前年度と同じくH $\alpha$ 線とナトリウムD1線による2波長同時観測とし, フレアのような早く変動する増光現象に特に着目した. その結果, 活動領域 NOAA13296 で発生したH $\alpha$ 線とナトリウムD1線の増光現象を時間分解能1.3秒で約20分間連続して捉えることに成功した. また, この観測で我々としては初めて, H $\alpha$ 線の時間変動とナトリウムD1線の時間変動の間に関連を見出すことができた. 下図は観測データの解析から得られたマップの一部である. 図青枠内の向かって左の列から連続光で見た活動領域(黒点群), 各スペクトル線の積分強度, 線中心付近のドップラーシフト(青はプラズマが観測者に近づく運動をしている部分, 赤は遠ざかる運動をしている部分), 線中心付近の幅, 線の底の明るさの空間分布を示し, 上段はナトリウムD1線の解析結果, 下段はH $\alpha$ 線の解析結果である. H $\alpha$ 線とナトリウムD1線で見られた増光現象の時間変動を時間分解能2.6秒で調べた結果, 2つのスペクトル線では輝度や速度場の変動が異なること, また変動の開始時刻が数十秒ずれている可能性があることが判った. これはH $\alpha$ 線の形成高度とナトリウムD1線の形成高度の間でプラズマの変動が伝搬した現場を時間分解して捉えた例ではないかと考えている.



(4)2021年度から2023年度の3年間の観測において, 100秒角四方(太陽面上で約7万km四方)の領域を最速2秒以下の時間分解能で2波長分光観測し, 太陽彩層における輝点やダークフィ

ラメント、プラズマ噴出等の活動現象を最長 30 分程度まで連続観測することに成功した。また、太陽面上の異なる高さの間でプラズマの変動が伝播する現場を捉えたと思われる結果を得ることもできた。これらの成果を総合すると、太陽彩層活動現象のダイナミクス解明の空間・時間領域を拡げるといふ本研究課題の目的は達成できたと考えている。なお、すでに学会等で一定の結果を発表したデータを含めて今後はさらに詳細で広範な解析を行い、研究紀要等で発表する方針で研究協力者と協議を進めている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>當村 一朗(大阪公立大学高専), 川上 新吾(文科省), 上野 悟, 一本 潔(京都大学飛騨天文台)    |
| 2. 発表標題<br>活動領域NOAA13296で発生したH $\beta$ 線とNaI D1線の増光現象の高時間分解能分光観測 |
| 3. 学会等名<br>日本天文学会2024年春季年会                                       |
| 4. 発表年<br>2024年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>當村 一朗(大阪公立大学高専), 川上 新吾(文科省), 上野 悟, 一本 潔(京都大学飛騨天文台) |
| 2. 発表標題<br>ケーデンス2秒以下での高速2次元分光による活動領域の時間・空間変動の検出               |
| 3. 学会等名<br>日本天文学会2023年春季年会                                    |
| 4. 発表年<br>2023年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>當村 一朗(大阪府大高専), 川上 新吾(文科省), 上野 悟, 一本 潔(京都大学飛騨天文台) |
| 2. 発表標題<br>活動領域NOAA12882における小規模活動現象の時間変動                    |
| 3. 学会等名<br>日本天文学会2022年春季年会                                  |
| 4. 発表年<br>2022年   |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

学会以外の成果発表実績：

「2波長同時高速2次元分光による光球～彩層ダイナミクスの速い時間変動の観測」 當村 一朗(2024年2月6日，飛騨天文台ユーズーズミーティング)

「2波長同時高速2次元分光による光球～彩層ダイナミクスの速い時間変動の観測」 當村 一朗(2023年2月7日，飛騨天文台ユーズーズミーティング)

「2波長同時高速2次元分光による光球～彩層ダイナミクスの時間変動の観測」 當村 一朗(2022年2月10日，飛騨天文台ユーズーズミーティング)

6. 研究組織

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)      | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号) | 備考                                  |
|-------|--------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|
| 研究協力者 | 一本 潔<br><br>(Ichimoto Kiyoshi) |                       | 観測計画の立案・解析結果の解釈をサポート                |
| 研究協力者 | 上野 悟<br><br>(Ueno Satoru)      |                       | 観測計画の立案および実施・解析結果の解釈をサポート           |
| 研究協力者 | 川上 新吾<br><br>(Kawakami Singo)  |                       | 観測計画の立案および実施・観測結果の解析および解釈・文献検索をサポート |

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 |
|---------|---------|
|         |         |