

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料
〔令和2（2020）年度 中間評価用〕

平成30年度採択分
令和2年3月31日現在

気球太陽望遠鏡による精密偏光観測：恒星大気における磁気エネルギー変換の現場に迫る

High Precision Polarimetric Observation by a Balloon-Borne Solar Telescope:
Revealing Conversion Processes of Magnetic Energy in the Stellar Atmosphere



課題番号：18H05234

勝川 行雄（KATSUKAWA, YUKIO）

国立天文台・太陽観測科学プロジェクト・准教授

研究の概要

光球とコロナの中間に位置する「彩層」で発生する動的現象が担う磁気エネルギー輸送と散逸のプロセスを理解するため、大気球太陽望遠鏡 SUNRISE で精密な偏光分光観測を実現し、質の高い彩層の3次元磁場・速度場を世界に先駆けて取得する。さらに、動的現象を数値モデリングし、気球観測データと比較することで、磁気エネルギー変換の理解に確実な進展をもたらす。

研究分野：天文学

キーワード：宇宙・天体プラズマ、太陽物理学、光赤外線天文学、気球搭載装置

1. 研究開始当初の背景

6千度の光球と100万度超のコロナの間に位置する『彩層』は、磁気エネルギーが通過する単なる中間大気層ではなく、通過する過程で強く非線形化し、乱流・衝撃波・ジェットなど時間変化の激しい現象を引き起こす。彩層の動的現象は、さらに、コロナや太陽風への非熱的エネルギー（運動エネルギーと磁気エネルギー）注入を担っている可能性も高いことから、現在の太陽恒星研究において最重要ターゲットとなっている。動的現象が担う磁気エネルギーの輸送・散逸プロセスを理解するためには、光球の乱流と上空へつながる磁場との相互作用による磁気流体的エネルギー発生、彩層における伝播そして散逸を、観測から定量的に決定することが必要である。

2. 研究の目的

従来の撮像観測に基づく定性的解釈を脱却するため、口径1mの大気球太陽望遠鏡 SUNRISE で質の高い3次元磁場・速度場を世界に先駆けて取得する。「ひので」衛星等で培った飛行体偏光分光観測技術を発展させることで、SUNRISE に搭載する近赤外線偏光分光装置をドイツ・スペインと共同開発する。さらに、電磁流体数値シミュレーションにより光球・彩層の動的現象をモデリングし、SUNRISE 気球観測がもたらす磁場データとの直接比較から、天体プラズマにおける磁気エネルギー輸送・散逸プロセスを解明する。最も近い恒星である太陽は、速度場・磁場という基本的な物理量を、空間分解した観測によ

り決定できる唯一の天体である。磁気乱対流を有する多くの天体にも高温大気は存在することから、太陽彩層におけるエネルギー輸送と散逸プロセスの理解は、天体物理学の広範な分野へインパクトを与える。

3. 研究の方法

2つのアプローチにより、本研究を進める。

(1) **大気球太陽望遠鏡 SUNRISE による高解像度かつ精密な偏光測定**: SUNRISE は口径1mの大型光学望遠鏡を搭載した国際共同気球プロジェクトである。スウェーデンから大西洋上空をカナダまで飛行し、高度35kmからシーイングの影響の無い高解像度観測と1週間の連続観測を行うことができる。光球・彩層の磁場に感度のある近赤外線域のスペクトル線を高精度に偏光分光観測する装置 SCIP（スキップ; SUNRISE Chromospheric Infrared spectro-Polarimeter）を新たに開発し、SUNRISE 気球に搭載する。SUNRISE の飛行観測を2022年に実施し、光球と彩層で3次元的な磁場・速度構造とその時間発展を同時に観測する。磁気流体波、中でも磁力線に沿って伝わる横波の Alfvén 波による磁気エネルギー輸送と、衝撃波や磁気リコネクションに伴う温度・速度・磁場の時間変化をとらえる。

(2) **電磁流体数値シミュレーションによる太陽光球・彩層のモデリング**: 彩層は密度変化が激しく非熱平衡であり、様々な時間・空間スケールの現象が混在する。そのため、大規

模数値シミュレーションにより、磁気エネルギー輸送・散逸の鍵を担うプロセス、例えば、磁気流体波の伝播と非線形モード変換、磁気リコネクションによるジェット駆動を再現する。彩層では加熱・冷却に伴う原子の電離・再結合が動的現象にも影響を及ぼす可能性があり、この効果を数値シミュレーションに取り込む。さらに、非局所熱平衡輻射輸送計算を行うことで、彩層の動的現象から放射される偏光スペクトルを再現する。モデリングと比較できる良質な観測データを SUNRISE 気球観測で手にすることで、彩層研究を確実に進展させることができる。

4. これまでの成果

気球太陽望遠鏡 SUNRISE 搭載近赤外線偏光分光装置 SCIP の開発: 高解像度・高偏光精度を達成できる光学素子、気球飛行時の温度真空環境に耐えられる光学構造系、高偏光精度を達成する回転波長板駆動機構、高安定度かつ高速に観測視野を移動できるスキャンミラー機構など、他の高精度偏光観測装置や飛行体観測装置に応用できる要素技術を開発した(図 1)。国立天文台にて SCIP を組み立て中である。

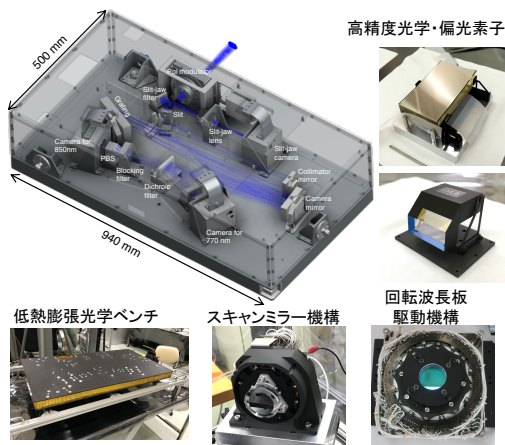


図 1: SUNRISE 偏光分光装置の開発

電磁流体数値シミュレーションによる太陽光球・彩層のモデリング: SUNRISE 気球搭載装置で観測するスペクトル線で発生する偏光を、非局所熱平衡輻射輸送計算で再現する研究はほぼ完了しており、数値シミュレーションの結果に適用することで、予想される偏光データを再現できるようになっている(図 2)。また、SUNRISE 気球観測に先駆けて、「ひので」衛星の偏光分光データを解析し、小さい空間スケールで間欠的に発達する乱流を新たに発見した。非局所熱平衡輻射輸送計算を基にしたインバージョン(観測される偏光データから太陽大気の物理量を求める)手法の開発に着手しており、気球観測 SUNRISE や大型望遠鏡 DKIST による広波長・高精度・高解像度観測に適用を目指す。

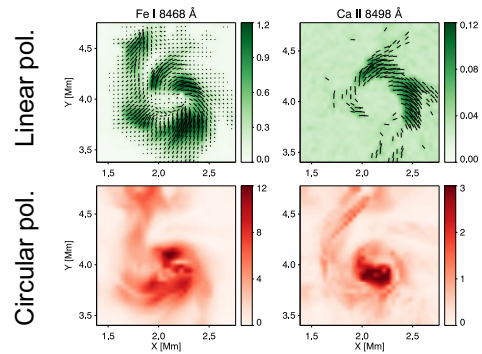


図 2: 彩層ジェットを駆動するねじれた磁場構造を SUNRISE 偏光分光装置で観測したときに予想される直線偏光(上)と円偏光(下)(Quintero Noda et al. 2019)。

5. 今後の計画

気球太陽望遠鏡 SUNRISE に搭載する近赤外線偏光分光装置 SCIP の組立を完了し、単体での性能評価試験を行うことで、気球飛行時に想定される環境での性能を実証する。ここまですべてを 2020 年度中に完了させ、ドイツ・マックス・プランク研究所へ輸送し、SCIP を SUNRISE 本体に組み込み、望遠鏡と結合した総合性能試験を 2021 年度に実施する。その後、射場であるスウェーデン・キルナへ輸送し、飛行観測を 2022 年度に行う。SUNRISE 観測データを解析し、モデリング研究で得られている観測予想とインバージョン結果を比較することで、磁気エネルギーの輸送・散逸プロセスを理解する。

6. これまでの発表論文等(受賞等も含む)

- "Study of the Dynamics of Convective Turbulence in the Solar Granulation by Spectral Line Broadening and Asymmetry", Ishikawa, Katsukawa, et al., ApJ, 890, 138 (2020)
- "Chromospheric polarimetry through multilines observations of the 850 nm spectral region III: Chromospheric jets driven by twisted magnetic fields", Quintero Noda, Iijima, Katsukawa, et al., MNRAS, 486, 4203-4215 (2019)
- "Observations of photospheric magnetic structure below a dark filament using the Hinode Spectro-Polarimeter", Yokoyama, Katsukawa, Shimojo, PASJ, 71, 46 (2019)
- "Study of the polarization produced by the Zeeman effect in the solar Mg I b lines", Quintero Noda, Uitenbroek, Carlsson, Orozco Suarez, Katsukawa, et al., MNRAS, 481, 5675-5686 (2018)

7. ホームページ等

https://sites.google.com/site/katsukawayukio/sunrise_j