

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料  
〔平成28年度研究進捗評価用〕

平成25年度採択分  
平成28年3月28日現在

太陽コロナ・彩層加熱現象に迫る  
—ひので・IRIS・CLASPからSOLAR-Cへ  
Approach to understand the solar coronal and  
chromospheric heating  
— from Hinode, IRIS & CLASP to SOLAR-C

課題番号：25220703

常田 佐久 (TSUNETAKA SAKU)

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・理事



研究の概要

太陽遷移層が発する真空紫外輝線の偏光を高精度で測定する観測装置の開発と観測ロケット実験を行い、ハンレ効果を用いた新しい磁場計測法を開拓する。NASA IRIS 衛星[分光]と「ひので」[撮像]の戦略連携により、太陽コロナ・彩層の加熱について単独の衛星では得られない知見を得る。これら2つの相補的な研究の組み合わせにより、次世代の太陽衛星計画を先鋭化する。

研究分野：天文学、太陽物理学、プラズマ科学

キーワード：太陽物理学、国際協力、人工衛星、ロケット、プラズマ・核融合

1. 研究開始当初の背景

日本の太陽観測衛星「ひので」は、磁気流体波動や超音速ジェット現象を彩層のいたるところで発見し、静的彩層の描像を覆した。彩層は、コロナへのエネルギー輸送や、コロナより約10倍の加熱エネルギーが必要な点でも重要である。「ひので」の観測結果により、これらの動的現象が、彩層とコロナの加熱に深く関連しているのではないかとのパラダイム転換をもたらしつつある。これを受けて、SOLAR-C 衛星計画は、彩層・遷移層の磁場構造とこれら動的現象の同時観測を目的とした。

2. 研究の目的

これを受けて、本研究は、(A)彩層・遷移層の磁場観測装置の仕様確定、(B)それにより彩層・遷移層のベクトル磁場が必要精度で求まるか、(C)彩層・コロナ加熱や太陽風加速にエネルギー供給していると考えられる波動が検出可能かに回答しない指針を得ることを目的としている。

3. 研究の方法

以下の2つの相補的な研究の組み合わせにより、本研究を進める。

**①観測ロケット実験による新しい磁場計測方法の開拓**: 吸収線の Zeeman 効果を利用して光球磁場を求める手法はすでに確立している。一方、彩層より温度の高い上層大気の磁場は、Zeeman 効果の利用が有効でないため、量子力学的ハンレ効果を用いた新手法の検討を行う。このために、真空紫外線での偏

光分光装置 Chromospheric Lyman-Alpha Spectro-Polarimeter(略称 CLASP)を開発し、観測ロケットによる打ち上げ実験を行う。要求される精度は、5分間の観測で0.1%(3 $\sigma$ 、photon-limit)である。そのミッションは、(1)彩層上部・遷移層が発する真空紫外輝線での原子偏光(atomic polarization)の存在を確認すること[世界初]、(2)同輝線にて磁場によるハンレ効果の存在を確認すること[世界初]、(3)そのハンレ効果により遷移層の磁場情報を得ること[世界初]、(4)真空紫外のライマン $\alpha$ 輝線(121.6nm)で疑似偏光を確実に評価し、5分間の観測で偏光測定精度0.1%を達成する観測装置[世界初]の実証をすることである。**②彩層の3次元観測**: IRIS 衛星は分光観測により視線方向速度を得るのに対して、「ひので」は高解像度画像によって天球面内の物質の動きを知ることができる。彩層の磁場と物質の3次元ダイナミックスの情報を得ることを目的として、2機の衛星の同時観測の継続的实施を行う。

4. これまでの成果

**①観測ロケット実験による新しい磁場計測方法の開拓**: 太陽放射量が少ない真空紫外線領域で高い偏光精度を達成するため、最少の光学素子で直線偏光の直交2成分を同時計測できる光学系を考案した(Narukage et al. 2015)。また、偏光計測で混入する誤差要因を設計段階から徹底追求し、所定の偏光性能が達成できることを示した(Ishikawa, R. et al. 2014)。さらに、真空紫外線での偏光性能評価において、装置起因の疑似偏光を可視光

装置並みに高い精度で評価できる方法を確立した(Giono 2016, 総研大博士論文)。その結果、紫外線領域で 0.1% という高精度偏光分光を保証する観測装置が完成した。

観測装置は、2015年9月3日(米国時間)、ニューメキシコ州ホワイトサンズ発射場にて打ち上げられ、太陽中心での偏光校正観測と、太陽リム近傍の静穏領域での約 240 秒間の科学観測に成功した(下図)。太陽中心で取得した機上校正データから目標偏光測定精度 0.1% を優に満たすことが確認でき(Giono et al, Solar Physics, submitted)、極めて質の高いライマン $\alpha$ 輝線の偏光スペクトルが取得できた[目的(4)の達成]。得られた偏光プロファイルは、原子偏光モデル計算と概ね一致し、真空紫外線での原子偏光を世界で初めて示した[目的(1)の達成]。一方で、(a)太陽の縁に近づくほど直線偏光が強いという散乱偏光の基本的性質が、ハンレ効果が効くライマン $\alpha$ 線中心では見られない点や、(b)直線偏光が 10 秒角程度で変動する複雑な局所的空間構造を持つ点で、既存の偏光線輪郭形成モデルの予想を超える様相も示しており、ハンレ効果由来の偏光信号の抽出につき、チームを挙げて取り組んでいる[目的(2),(3)の達成途中]。

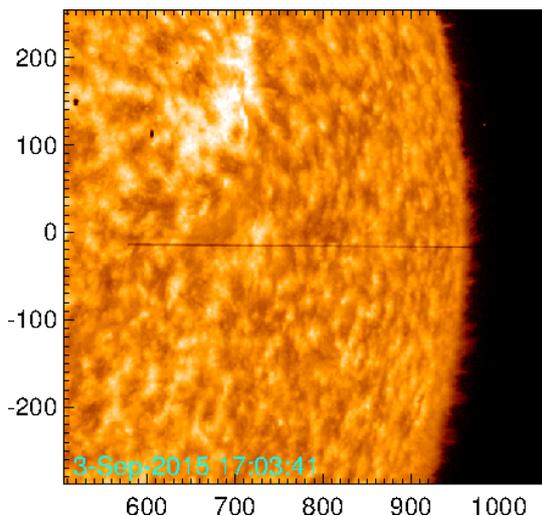


図: 観測ロケット実験 CLASP で取得したライマン $\alpha$ 輝線画像。中央の横黒線がスリットで、その偏光分光観測を行った。目盛は太陽中心からの位置(秒角)。時刻は世界標準時。

**②彩層の3次元観測:** プロミネンス(紅炎)内の波動現象を「ひので」と IRIS で同時観測し、「天球面内で波動の振幅が最大の位置で最大の視線速度を持つ」という単純な描像では理解できない結果を得た(Okamoto et al., 2015; Antolin et al., 2015)。この観測結果は、共鳴吸収(磁束管の大局的な振動の位相速度がある場所の局所的なアルフベン速度と一致したとき、振動のエネルギーが乱流を生成し加熱を引き起こす現象)の特徴を示しており、磁気流体波動のエネルギーが、共鳴吸収

により熱エネルギーへ変換する過程をとらえたものと解される。

## 5. 今後の計画

「ひので」・IRIS の協調観測により、光球-彩層-遷移層-コロナの動的現象についての解析を進めつつ、CLASP 実験で取得した観測データの詳細解析を行う。

ハンレ効果での磁場導出には 2 つの課題がある: (1)原子偏光を生む放射場の影響の補正と(2)偏光データ中の磁場 3 成分の縮退(解の非一意性)である。課題(1)は CLASP 初飛行で取得した観測データの解析により取り組む。課題(2)は、ライマン $\alpha$ 輝線と同様にコロナ底部の磁場情報が得られるマグネシウム輝線(280nm)の偏光観測を行うことにより取り組む。この輝線は、Zeeman 効果による円偏光も発していると予想され、課題(2)の観点から、ライマン $\alpha$ 輝線より有利である。このため、CLASP 光学系を改造して、再飛行実験(CLASP2)を行う。再飛行実験の実施は本研究終了後であるが、本研究において観測装置開発と磁場導出手法の理論的検討を行う。

これらの 2 つの研究により、次期太陽観測衛星計画の先鋭化を行う。

## 6. これまでの発表論文等(受賞等も含む) 査読論文 11 本のうち代表的な論文:

- “Novel instrumentation to reach the 0.1% polarization accuracy for the Chromospheric Lyman-Alpha Spectro-Polarimeter”; Giono, G., 総合研究大学院大学博士論文 (2016).
- “Resonant Absorption of Transverse Oscillations and Associated Heating in a Solar Prominence. II. Numerical Aspects”; Antolin, P. et al., ApJ, 809, article id. 72 (2015).
- “Resonant Absorption of Transverse Oscillations and Associated Heating in a Solar Prominence. I. Observational Aspects”; Okamoto, T. J. et al., ApJ, 809, article id. 71 (2015).
- “Vacuum ultraviolet spectropolarimeter design for precise polarization measurements”; Narukage, N. et al., Applied Optics, 54, pp.2080-2084 (2015).
- “Strategy for Realizing High-Precision VUV Spectro-Polarimeter”; Ishikawa, R. et al., Solar Physics, 289, pp.4727-4747 (2014).

国際学会での招待講演 16 件。

メディア報道: 新聞 3 件、テレビ(NHK)1 件。

ホームページ等

<http://hinode.nao.ac.jp/KakenS/>