

平成 30 年 6 月 26 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K17609

研究課題名(和文) 多波長同時偏光分光観測で明らかにする太陽彩層大気の磁気流体波

研究課題名(英文) Developments of a multi-wavelength spectropolarimeter to study
Magnetohydrodynamic wave in solar chromosphere

研究代表者

阿南 徹 (Anan, Tetsu)

京都大学・理学研究科・研究員

研究者番号：10746978

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：太陽彩層の磁気流体波は光球や対流層で蓄えられた磁気エネルギーを太陽上空大気である彩層やコロナに運ぶ。そのため、磁気流体波は太陽風や太陽彩層・コロナ加熱において重要だと考えられているがどの程度のエネルギーを運ぶか明らかになっていない。本研究では磁気流体波の反射、屈折、干渉、非線形化を決定する太陽光球から彩層までの磁場構造を測定するため、我が国で最初の「任意の複数の波長帯を同時に偏光分光観測できる太陽観測システム」を飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡に開発した。

研究成果の概要(英文)：Magnetohydrodynamic waves in the solar chromosphere transfer magnetic energy stored in the solar photosphere and the convection zone to the upper atmosphere, i.e., the chromosphere and the corona. Therefore, it is important to study the waves to solve the acceleration of the solar wind, or heating in the solar chromosphere and the corona. However, it is yet unclear how much energy is transferred by the waves. Magnetic structures extending from the photosphere into the chromosphere determines the amount of the transferred energy, because reflections, refractions, interferences, and growths to the shock of the waves depends on it. In this study, we developed a spectropolarimeter on the Domeless Solar Telescope at Hida Observatory, which enable us to measure multi wavelength ranges simultaneously, in order to measure the magnetic structures.

研究分野：太陽物理

キーワード：装置開発 偏光観測 太陽

1. 研究開始当初の背景

太陽の彩層・コロナ加熱、及び太陽風の加速は太陽物理学において最大の未解決問題である。光球や対流層で蓄えられた磁気エネルギーが磁気流体波や磁場構造という形態で上空の彩層、コロナに伝わり散逸することで、太陽風の加速、彩層やコロナの加熱が起こっていると考えられているが、どのように伝播し散逸するか結論には至っていない。

地球近傍における太陽風の速度は、300 km/s から 800 km/s まで幅広く分布し、太陽光球から惑星空間にかけての磁場構造に強く依存することが観測的に明らかになっている (e.g. Wang & Sheeley 1990)。この観測結果は磁気流体波による磁気エネルギーの伝播と、散逸によるプラズマの加速というモデルで説明できる (Suzuki 2006)。彩層における磁気流体波の反射や屈折、干渉による減衰、振幅の増大による非線形化も光球から彩層にかけての磁場構造に依存することが数値計算によって示されている (Matsumoto & Suzuki 2012)。このように太陽外層の磁場構造は、太陽風の加速、彩層とコロナの加熱に重要な磁気流体波のエネルギーフラックスを決定する。

しかし彩層やコロナの磁場を直接測定することは難しい。なぜならば、磁場が弱くゼーマン効果による偏光が小さい。さらには、ゼーマン効果の他にもハンレ効果などが発生し、偏光プロファイルを理論的に解釈することが難しいからである。これまでの研究で用いられてきた「光球から惑星空間」はもとより「光球から彩層にかけて」の磁場構造は、モデルや光球の磁場からの外挿を使って推定されたものであり、直接測定したものでなかった。

ある黒点暗部や半暗部での光球から彩層にかけての磁場構造は彩層起源の Ca 850 nm と Ca 854 nm、周辺の光球起源の Fe のスペクトル線の偏光分光観測を用いて測定されている (Socas-Navarro 2007)。しかし、このスペクトル線の組み合わせでは、光球と彩層の間の大気層や彩層上層部に磁場診断感度が無く、光球から彩層上層まで連続的に磁場構造を測定できたとはいえない。

京都大学の飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡 (DST) には1つの波長帯を高い波長分解能で分光観測できる垂直分光器と複数の波長帯を同時に分光観測できる水平分光器が設置されている。申請者らは DST の垂直分光器を用いて可視から近赤外の広い波長域にある任意のスペクトル線を高精度に偏光分光観測できるシステムを開発した (Anan et al. 2012)。そして、太陽彩層のジェットを偏光分光観測し、近年開発されたゼーマン効果とハンレ効果を利用して磁場を測定する手法を用いて、磁場がジェットに沿っていることを明らかにした (Anan et al. 2014)。

2. 研究の目的

太陽の彩層・コロナ加熱、及び太陽風の加速の研究において重要な光球から彩層にかけての磁場構造を、複数のスペクトル線を同時に高精度に偏光分光観測することで明らかにし、彩層を伝播する磁気流体波によって彩層で散逸する磁気エネルギー、コロナに供給される磁気エネルギーを推定する。

3. 研究の方法

スペクトル線によって観測できる大気層が違うことを利用して、太陽光球、光球上部、彩層中部、彩層上部の磁場を同時に測定する。そのためにまず、複数の波長帯を同時に分光観測できる飛騨天文台 DST の水平分光器に偏光解析装置を設置する。そして、望遠鏡が生成する装置偏光を補正する手法を構築し、「複数の波長帯を同時に偏光分光観測できる太陽観測システム」を完成させる。

開発した装置を用いて、太陽の活動領域 (黒点周辺の磁場が強い領域、遅い太陽風の発生源と考えられている)、静穏領域 (黒点から離れた磁場の弱い領域)、コロナホール (コロナが暗い領域、速い太陽風の発生源と考えられている) における偏光スペクトルを取得する。同時観測するスペクトル線候補は、光球起源の Fe 525 nm、光球上層起源の Na 589 nm、彩層中部起源の Ca 854 nm、彩層上層起源の He 1083 nm などである。

申請者が確立した偏光スペクトルから彩層の磁場を測定する手法 (Anan et al. 2014) などを用いて、測定した複数のスペクトル線の偏光から磁場を導出する。そして、平均的な太陽光球からの高さとの磁場の関係を活動領域、静穏領域、コロナホールで明らかにする。可能であれば数値計算と比較することで、磁気流体波によって光球からコロナに伝播する磁気エネルギーフラックスの推定を行う。

4. 研究成果

飛騨天文台 DST に複数の波長帯を同時に高精度に偏光分光観測できるシステムを開発した。

具体的には、波長板を回転させる機構と偏光ビームスプリッターを DST の焦点面近傍に設置した。さらに、波長板の回転とカメラの撮像を同期させるシステムを構築した。これにより、波長板の回転角度に応じた明るさの変動から、回転波長板に入射した光の偏光状態を導出することができる。

回転波長板を通った光を複数の波長帯を同時に分光観測できる水平分光器で分光することで、複数の波長帯を同時に偏光分光観測することが可能となった。

太陽からの偏光を正しく測定するために

は、望遠鏡など装置の偏光特性を調べ、観測データをキャリブレーションする必要がある。申請者は、光学機器の偏光特性を測定する装置を開発し、望遠鏡と水平分光器の間にある光学機器(イメージローテータ)の偏光特性を測定した。そして、過去に構築したDSTの偏光特性モデルと組み合わせることで、システム全体の偏光特性モデルを構築し、観測データのキャリブレーションが可能となった。

キャリブレーション後も残ってしまっている疑似偏光については、いくつかの処理を施すことで、偏光ノイズがほぼフォトンノイズで決まっている装置が完成した。この装置により複数のスペクトル線を同時に高精度に偏光分光観測することが可能となった。

装置開発の成果は、論文にまとめられ、査読雑誌 Publications of the Astronomical Society of Japan に掲載されることとなった。

開発した装置を用いて、黒点領域、静穏領域、コロナホール領域の光球、光球上層、彩層中層、彩層上層で形成されるスペクトル線の偏光分光データを同時に取得した。今後、偏光分光データをもとに平均的な太陽光球からの高さや磁場の関係を活動領域、静穏領域、コロナホールで明らかにする。

光球から彩層までの磁場構造の測定以外にも「複数の波長帯を同時に偏光分光観測できる太陽観測システム」を用いた研究を行った。

He 1083 nm は彩層磁場診断を可能とする代表的なスペクトル線であるが、衛星望遠鏡でこのスペクトル線を観測しようとする、衛星の軌道や熱処理の点で困難である。申請者は、将来の観測装置が測定するスペクトル線を選定するために、He 1083 nm と Ca 854 nm の彩層磁場診断応力を評価し比較した。その結果、宇宙天気研究で重要なダークフィラメントと呼ばれる現象の Ca 854 nm のコントラスト及び偏光度が検出困難なほど小さく、ダークフィラメントの磁場測定では He 1083 nm が有利であることが明らかとなった。

太陽の突発的増光現象フレアに伴って発生する彩層輝線の直線偏光の物理メカニズムは理解されていない。この問題を解決するためには、多波長で、偏光過程の異なる、同程度の形成高度の彩層輝線の同時観測が重要である。もし、非熱的高エネルギー粒子の衝突による偏光が検出できれば、診断しにくい非熱的高エネルギー粒子の情報を取得することが可能となる。

川手博士(宇宙科学研究所)らは、本装置を用いて Ca 850 nm、854 nm、866 nm の同時偏光分光観測を行い、フレアに伴う輝線の偏光分光データを得ることに成功した。その結果、磁場に起因する偏光の時間変化と同時に輻射場または非熱的高エネルギー粒子の速度分布に起因する偏光の時間変化も得た。フレア時の彩層輝線の直線偏光の要因は少

なくとも磁場、輻射場、非熱的高エネルギー粒子の速度分布が組み合わさっており、そのうちの主たる要因が時間変化していると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 2件)

論文標題: Differences between Doppler velocities of ions and neutral atoms in a solar prominence

著者名: Tetsu Anan, Kiyoshi Ichimoto, Andrew Hillier

雑誌名: Astronomy and Astrophysics

査読: 有

巻: 601

発行年: 2017年

頁: id. A103, 10ページ

DOI: 10.1051/0004-6361/201629979

論文標題: Developments of a multi-wavelength spectro-polarimeter on the Domeless Solar Telescope at Hida Observatory

著者名: Tetsu Anan, Yu Wei Huang, Yoshikazu Nakatani, Kiyoshi Ichimoto, Satoru Ueno, Goichi Kimura, Shota Ninomiya, Sanetaka Okada, Naoki Kaneda

雑誌名: Publications of the Astronomical Society of Japan

査読: 有

巻: 印刷中

発行年: 2018年

頁: 印刷中

DOI: 10.1093/pasj/psy041

[学会発表](計 9件)

発表標題: Decoupling of neutral hydrogen from plasma in a solar prominence

発表者名: 阿南徹、一本潔、Andrew Hillier

学会名: Hinode 9 (国際学会)

発表年月: 2015年9月

発表場所: ベルファスト

発表標題: ドームレス太陽望遠鏡水平分光器を用いた多波長同時偏光分光観測システムの開発

発表者名: 阿南徹、一本潔、仲谷善一、金田直樹、上野悟、木村剛一、黄于蔚

学会名: 太陽研連シンポジウム「ひので10年目の成果と SOLAR-C を柱とする太陽研究の新展開」

発表年月: 2016年2月

発表場所: 東京

発表標題：飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡の補償光学装置及びイメージローテーターの偏光特性測定
発表者名：阿南徹、仲谷善一、金田直樹、一本潔、萩野正興
学会名：日本天文学会 2016 年春季年会
発表年月：2016 年 3 月
発表場所：東京

発表標題：Developments of a spectro-polarimeter observing multi-wavelength simultaneously
発表者名：阿南徹、仲谷善一、黄于蔚、一本潔、上野悟、木村剛一
学会名：The 8th Solar Polarization Workshop (国際学会)
発表年月：2016 年 9 月
発表場所：イタリア

発表標題：飛騨天文台 DST マグネトグラフ開発とサイエンス
発表者名：阿南徹、黄于蔚、仲谷善一、一本潔、上野悟、木村剛一、二宮翔太
学会名：太陽研連シンポジウム「太陽系科学の中での太陽研究の将来展望」
発表年月：2017 年 2 月
発表場所：神奈川

発表標題：多波長帯同時偏光分光観測装置の開発
発表者名：阿南徹、黄于蔚、仲谷善一、一本潔、上野悟、木村剛一、二宮翔太
学会名：日本天文学会 2017 年春季年会
発表年月：2017 年 3 月
発表場所：福岡

発表標題：Simultaneous spectro-polarimetric observation in multi spectral lines
発表者名：阿南徹、黄于蔚、仲谷善一、一本潔、上野悟、木村剛一
学会名：The 2nd PSTEP International Symposium (国際学会)
発表年月：2017 年 3 月
発表場所：京都

発表標題：スペクトル線 He 1083 nm と Ca 854 nm の偏光スペクトルの比較
発表者名：阿南徹、一本潔、永田伸一、原弘久、鳥海森、海宝孝祐
学会名：天文学会 秋季年会
発表年月：2017 年 9 月
発表場所：北海道

発表標題：Developments of multi-lines spectro-polarimeter of the Domeless Solar Telescope at Hida Observatory
発表者名：阿南徹、黄于蔚、仲谷善一、一本潔、上野悟、木村剛一

学会名：The 4th Asia-Pacific Solar Physics Meeting (国際学会)
発表年月：2017 年 11 月
発表場所：京都

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ
<https://www.kwasan.kyoto-u.ac.jp/~anan/hsp/hsp.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者
阿南 徹 (ANAN, Tetsu)
京都大学・理学研究科・研究員
研究者番号：10746978

(2) 研究分担者 ()

研究者番号：

(3) 連携研究者 ()

研究者番号：

(4) 研究協力者 ()