

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 6 日現在

機関番号：62616

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2011～2014

課題番号：23244035

研究課題名(和文) 太陽活動の全球多角的モニタリング観測によるダイナモ変動の追跡

研究課題名(英文) Study of the Solar Dynamo Action based on the Synoptic, Multi-Aspect Monitoring of the Solar Activity

研究代表者

花岡 庸一郎 (Hanaoka, Yoichiro)

国立天文台・太陽天体プラズマ研究部・准教授

研究者番号：10238040

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 25,500,000円

研究成果の概要(和文)：太陽表面で起こるフレアなど爆発現象も、太陽系を吹き抜け恒星間プラズマにまで達する太陽風も、もとは太陽内部のダイナモ作用で生成された磁場による活動の太陽表面への発現である。その変動は太陽の11年周期を形作るだけでなく、より長期の大きな変動ももたらしてきた。本研究では、このダイナモ作用の変動に迫る基礎データを収集するため、太陽表面磁場や彩層活動を含む太陽活動の太陽全球多角的モニタリングを行う広帯域高精度偏光分光測光装置の立ち上げを行い、今後観測を継続していく態勢を整えた。

研究成果の概要(英文)：Various kinds of explosive phenomena occurring on the solar surface are manifestation of the solar magnetic field produced by the dynamo action inside the Sun. Variability of the solar dynamo produces not only well-known eleven-year solar cycle but also longer-term variation of the solar activity. The purpose of our research project is to collect fundamental observational information to study the variability of the solar dynamo. On that account, we have developed a wide-band, high-accuracy spectro-polarimeter system, which monitors the full-Sun from multiple aspects including solar surface magnetic field and chromospheric activity. Now continuous regular observation with the new instrument is available.

研究分野：太陽物理学

キーワード：太陽物理学 宇宙天気

## 1. 研究開始当初の背景

太陽表面の活動現象において磁場は本質的に重要な役割を果たしていることが知られている。その活動現象そのものの詳細な観測は、空間分解能の点でも精度の点でも近年大きく進歩し、太陽表面より上での磁場・プラズマ現象については理解が進んでいる。一方そのもととなる磁場を生成しているのは、太陽内部での微分回転と晩期型星に共通の内部の対流とがプラズマとカップルして太陽対流層で起こるダイナモ作用である。このダイナモ作用の様子は、「陽震学」による診断は可能であるにしても直接見えるものではないが、その変動の現れは長期にわたる黒点の観測から 11 年周期やさらに長い周期の増減として知られてきた。しかし近代的な太陽観測が始まって以来 100 年の間明瞭な 11 年周期が卓越してきたため、より長期の変動については様々な考古学的証拠からの議論となっており、直接天文学的観測結果と結び付けるのは困難であった。ところが、2000～2002 年の 11 年周期の極大以降 2008～2009 年の極小期まで太陽活動は下がり続けて最近 100 年で最低のレベルにまで達し、近代太陽観測で初めて経験する事態となった。この状況の分析から、太陽活動は今後 17-18 世紀にあったような低い状態 (Maunder minimum) へ再び移行するという研究 (Abrue et al. 2009 GRL) も発表されている。もちろん 11 年周期がなくなるわけではなく、活動が上昇に転じて数年内には再び極大となることが予想され (実際 2014 年が極大となった模様である)、一方で今太陽は単純な 11 年周期とは別の長期変動の中にもあるということであり、したがって太陽ダイナモ、そして太陽活動の本質を理解するという観点からは、11 年周期とは別の長期的な変動を近代的な装置による観測でとらえる機会を得たという意味で、今は逃すべからざる好機である。

## 2. 研究の目的

上記のように、太陽内部のダイナモ作用で生成された磁場の変動は太陽の 11 年周期を形作るだけでなく、より長期の大きな変動もたらしてきており、今はその研究の好機となっている。このダイナモ作用を長期的にとらえていくには、大型の望遠鏡で黒点や活動領域など個別の対象を精密にとらえる観測とは対照的な、むしろ小型の望遠鏡で太陽全面をとらえ全体的な変化を追跡する観測が必要である。そこで我々は太陽活動の多角的モニタリングを行い、長期的展望に立ったダイナモ作用の変動の解明に資するための装置の製作と運用を目的として本研究を立案した。もちろん磁場を含めた太陽全面を視野とする観測は従来から行われているが、光球磁場だけの観測装置があり、彩層活動だけの観測装置があり、というように従来からの観測では太陽活動を表すパラメータスペースの

中で情報が断片化されているきらいがあるところを、太陽の光球～彩層に至る多高度の磁場とそれに伴う活動を有機的な結合の中でとらえられるシステムを構築するのが本研究の目的である。

## 3. 研究の方法

本研究では、太陽ダイナモ作用の変動に迫る基礎データを収集するため、太陽全面を視野として、新開発の広帯域分光偏光測光の手法により太陽における多高度の磁場を含む太陽活動現象を定常的に観測するための装置を製作する。既存のシーロスタットを用い、我々が開発してきた高度偏光測光技術に基づき、アクロマート波長板を用いて従来より圧倒的に広い波長域 (3900～9000 Å) に対応できるポラリメーターを新規開発し、分光器も製作して分光偏光測光を複数波長同時に行って太陽全面の様々な情報 (輝度・プラズマ運動・そして偏光の情報も) を得るものである。長期にわたって高いレベルの観測データを得ることを前提としているが、従来から我々には太陽観測を定常的に業務として行う態勢があり、本研究における実際の観測作業とデータの整理・公開についても定常業務の中で行うことができる。

## 4. 研究成果

本研究では、「太陽全面を視野として、広帯域分光偏光測光の手法により太陽における多高度観測を定常的に行う」装置の製作を進めてきた。特に装置が性能を発揮する上で注意を払ってきた重要な点は以下のとおりである。

(1) 望遠鏡の本体部分ともいべき集光系について、必要解像度を達成するための光学設計はもとより、太陽観測に用いることを前提とした熱対策、将来の tip-tilt 型副鏡導入を想定した機構などを備えたものを導入した。

(2) データを取るためのカメラは進歩が著しいが、その中で新しい技術も精査し、高速度性と低ノイズ性を兼ね備えたものを導入した。

(3) 太陽光導入に用いる既存のシーロスタットの、特に制御機構部についての本装置用への改造を行うとともに、シーロスタット実験室自体を本研究のために改造し (国立天文台による)、そこへ機器設置のための定盤を導入した。

このような装置製作の結果、今後も継続的に太陽の観測を行っていくための準備が整ったところである。

太陽全面の偏光観測による成果としては、以下のようなものがある。

(1) 時に噴出して太陽系にも影響を及ぼすことのある太陽表面のフィラメントの磁場が、その太陽面上の位置によってある決まった方向性を持つという説を、磁場の直接観測

により検証した。

(2) 太陽表面に広くみられ、局所的なダイナモ効果の発現の可能性もある弱い磁場の向きの一般的性質について、広い視野での観測の利点を生かして、太陽表面に平行なものが卓越するという説の裏付けを得た。

一方、本研究で目指す高度な観測を実現するための基礎研究においても様々な成果を得ている。

(1) 大気揺らぎの分析方法の基礎理論の検証を行い、様々なモデルに基づいた結果の正当性を議論した。

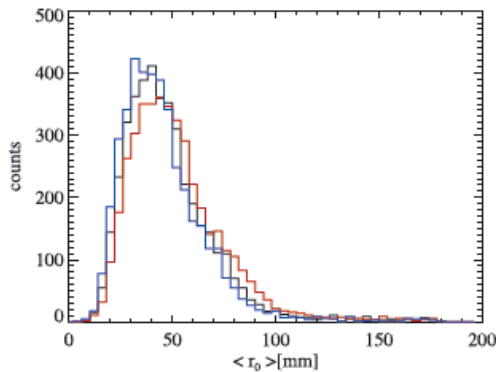


図 1. 大気揺らぎの測定結果からいくつかのモデルに基づいて計算した大気のパラメーター。

(2) 高速モジュレーションを可能にする回転波長板による偏光変調機構について、試作版についての成果を国際会議で発表するとともに、京都大学における実験も引き続き行っている。

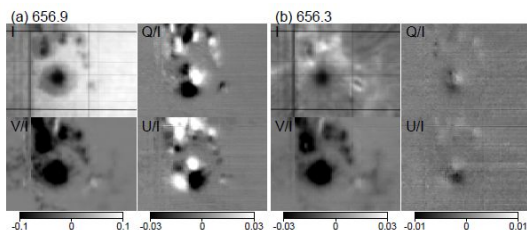
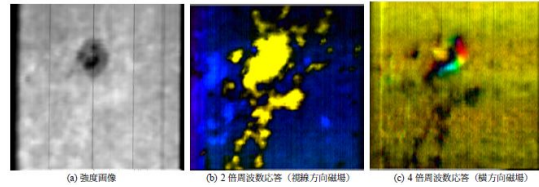


図 2. 太陽の活動領域の、彩層と光球で同時に得た偏光信号の例。

また、sCMOS カメラを用いて高精度を実現できる偏光測光装置を製作し、京都大学の装置に組み込んでの試験を行い、さらに大口径偏光変調装置の標準化のための設計を行って、本研究で使用するもののみならず、その成果の展開として他の各種実験に投入できるよう同じものを複数製作中である。

(3) 偏光変調機構を既存のシーロスタットに設置し、将来の偏光検出装置として期待される時間相関カメラでの偏光観測実験を、東京大学安藤研と共同で行った。

図 3. 時間相関カメラと高速偏光変調装置の組み合わせで得られた偏光信号の例。



本研究からの将来計画への展開という面でも進捗があった。日本の太陽研究者のコミュニティでは、太陽にとどまらず惑星間空間をも含めた太陽圏研究に、より本格的な太陽全面観測を日本の諸機関で連携して行うことで貢献していく計画を提案している。本研究で製作した装置はそのためのプロトタイプとしての意味もある。本研究の成果も土台のひとつとして、この連携研究を実現するための予算獲得への活動も開始している。

## 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20件)

Otsuji, K., Sakurai, T., Kuzanyan, K., 2015, "A statistical analysis of current helicity and twist in solar active regions over the phases of the solar cycle using the spectro-polarimeter data of Hinode", Publ. Astron. Soc. of Japan 67, 6-1 - 6-9, 査読有 DOI: 10.1093/pasj/psu130

Hanaoka, Y., Nakazawa, J., Ohgoe, O., Sakai, Y., and Shiota, K., 2014, "Coronal Mass Ejections Observed at the Total Solar Eclipse on 13 November 2012", Solar Physics 289, 2587-2599, 査読有 DOI: 10.1007/s11207-014-0476-z

Shin, J., Sakurai, T., 2014, "The Effect of the CCD Gate Structure in the Determination of the Undersampled Point Spread Function", Solar Physics 289, 2803-2821, 査読有 DOI: 10.1007/s11207-014-0494-x

Gao, Y., Sakurai, T., Zhang, H., Kuzanyan, K.M., Sokoloff, D., 2013, "Statistical Distribution of Current Helicity in Solar Active Regions over the Magnetic Cycle", Mon. Not. R. Astron. Soc., 433, 1648-1658, 査読有 DOI: 10.1093/mnras/stt838

Xu, H., Gao, Y., Zhang, H., Sakurai, T., Hagino, M., Sokoloff, D., Pevtsov, A.A., 2012, "Magnetic Helicity of Solar Active Regions as Revealed by Vector Magnetograms

and Coronal X-Ray Images", Publ. Astron. Soc. Japan, 64, 54-1 - 54-12, 査読有 DOI: 10.1093/pasj/64.3.54

Wiegelmann, T., Sakurai, T., 2012, "Solar Force-free Magnetic Fields", Living Reviews in Solar Physics 9(5) 査読有 DOI: 10.12942/lrsp-2012-5

Takeda, Y., Tajitsu, A., Honda, S., Kawanomoto, S., Ando, H., Sakurai, T., 2012, "Detection of Low-Level Activities in Solar-Analog Stars from Emission Strengths of the Ca II 3934 Line", Publ. Astron. Soc. Japan, 64, 130-1 - 130-12, 査読有 DOI: 10.1093/pasj/64.6.130

Hanaoka, Y., Kikuta, Y., Nakazawa, J., Ohnishi, K., and Shiota, K., 2012, "Accurate Measurements of the Brightness of the White-Light Corona at the Total Solar Eclipses on 1 August 2008 and 22 July 2009", Solar Physics, 279, 75-89, 査読有 DOI: 10.1007/s11207-012-9984-x

Hanaoka, Y., Suzuki, I., and Sakurai, T., 2011, "Practical method to derive nonlinear response functions of cameras for scientific imaging", Appl. Opt. 50, 2401-2407, 査読有 DOI: 10.1364/AO.50.002401

Kawate, T., Hanaoka, Y., Ichimoto, K., and Miura, N., 2011, "Seeing measurements using the solar limb - I. Comparison of evaluation methods for the Differential Image Motion Monitor", Mon. Not. R. Astron. Soc. 416, 2154-2162, 査読有 DOI: 10.1111/j.1365-2966.2011.19192.x

Jain, R., Awasthi, A.K., Chandel, B., Bharti, L., Hanaoka, Y., and Kiplinger, A. L., 2011, "Probing the Role of Magnetic-Field Variations in NOAA AR 8038 in Producing a Solar Flare and CME on 12 May 1997", Sol. Phys. 271, 57-74, 査読有 DOI: 10.1007/s11207-011-9793-7

Takeda, Y., Tajitsu, A., Honda, S., Kawanomoto, S., Ando, H., Sakurai, T., 2011, "Beryllium Abundances of Solar-Analog Stars", Publ. Astron. Soc. Japan, 63, 697-713, 査読有 DOI: 10.1093/pasj/63.3.697

〔学会発表〕(計17件)

花岡庸一郎、桜井隆、赤外マグネトグラフグループ, "Fe I 15648 吸収線の円偏光で見る太陽静穏領域の水平磁場", 日本天文学会春季年会 2015年3月18日 大阪大学(大

阪府豊中市)

花岡庸一郎、赤外マグネトグラフグループ, "赤外マグネトグラフに実装した高速回転波長板偏光変調装置", 日本天文学会秋季年会 2014年9月12日 山形大学(山形県山形市)

花岡庸一郎、桜井隆、赤外マグネトグラフグループ, "He I 10830 吸収線の偏光で探るプロミネンス磁場の一般的傾向", 日本天文学会春季年会 2014年3月20日 国際基督教大学(東京都三鷹市)

花岡庸一郎、中澤 潤, 大越 治, 坂井美晃, 塩田和生, "皆既日食観測におけるCME", 日本天文学会秋季年会 2013年9月12日 東北大学(宮城県仙台市)

桜井隆, 大辻賢一, 鈴木 勲, 花岡庸一郎, 森田 諭, "太陽フレア望遠鏡搭載・赤外ポラリメータによる磁場観測", 日本天文学会秋季年会 2013年9月11日 東北大学(宮城県仙台市)

花岡庸一郎、桜井隆、鈴木勲、萩野正興, "太陽フレア望遠鏡における長時間連続データ取り込みのための自動制御・予測制御", 日本天文学会春季年会 2013年3月20日 埼玉大学(埼玉県さいたま市)

Sakurai, T., Kuzanyan, K., Gao, Y., Xu, H., Zhang, H., "Magnetic Filling Factorの解釈(2)", 日本天文学会春季年会 2013年3月21日 埼玉大学(埼玉県さいたま市)

Sakurai, T., Kuzanyan, K., Gao, Y., Xu, H., Zhang, H., "Magnetic Helicity as a Probe of Magnetic Flux-Tube Dynamics in the Solar Interior", 日本天文学会秋季年会 2012年9月20日 大分大学(大分県大分市)

花岡庸一郎、桜井隆、入江 誠, 宮下正邦, 佐野 一成, 鈴木 勲, 荒井武彦, 杉山 秀夫, "国立天文台における1917 - 1974年の太陽全面Ca Kスペクトロヘリオグラム公開", 日本天文学会春季年会 2012年3月20日 龍谷大学(京都府京都市)

花岡庸一郎、佐野一成、篠田一也、宮下正邦、荒井武彦、鈴木 勲、萩野正興、大辻賢一, "フレア望遠鏡による太陽H 全面モニター観測", 日本天文学会秋季年会 2011年9月20日 鹿児島大学(鹿児島県鹿児島市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

花岡庸一郎 (HANAOKA, Yoichiro)

国立天文台・太陽天体プラズマ研究部・准

教授

研究者番号：10238040

(2)研究分担者

( )

研究者番号：

(3)連携研究者

桜井 隆 (SAKURAI, Takashi)

国立天文台・太陽天体プラズマ研究部・教授

研究者番号：40114491