

平成21年 5月18日現在

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2007～2008

課題番号：19540244

研究課題名(和文) 広視野3次元マグネトグラフで太陽大規模爆発現象に迫る

研究課題名(英文) Wide-Field, Multi-Height Magnetograph to Investigate Large-Scale Eruptive Phenomena of the Sun

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

研究成果の概要：

本研究では、大規模爆発現象を起こす源泉となる太陽表面の大規模磁場構造の観測を行うことを目的として、広視野3次元ベクトルマグネトグラフの基礎研究を行った。その中で、

- ・望遠鏡そのものによって生ずる器械偏光の測定とその補正の方法を確立した
- ・太陽全面の偏光測定を進め、カメラの高速化による偏光観測の高度化を行った
- ・広い波長範囲での実用的な偏光観測装置として、高速回転波長板の試作を行った

といった成果を上げている。

交付額

(金額単位：円)

|        | 直接経費      | 間接経費    | 合計        |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2007年度 | 2,000,000 | 600,000 | 2,600,000 |
| 2008年度 | 1,000,000 | 300,000 | 1,300,000 |
| 年度     |           |         |           |
| 年度     |           |         |           |
| 年度     |           |         |           |
| 総計     | 3,000,000 | 900,000 | 3,900,000 |

研究分野：太陽物理学

科研費の分科・細目：天文学/天文学

キーワード：太陽物理学、太陽表面磁場、偏光観測

## 1. 研究開始当初の背景

太陽表面における活動現象は、太陽内部のダイナモによって発生した磁場が表面に現れて磁気再結合等によってそのエネルギーを解放する現象である。特に、Coronal Mass Ejection (CME) に代表される大規模爆発現象においては、数十万 km の範囲の太陽コロナを巻き込んだ爆発により地球軌道をはるかに越える太陽系空間へ大量のプラズマが放出される。これは太陽(に代表される晩期型

星)の磁場進化と密接にかかわる現象であるとともに、太陽系空間に多大な影響を与えることから惑星間空間物理の面でも、また人工衛星・宇宙機の運用という実用上でも、多大な関心を持たれる現象である。したがって、そのメカニズムの解明は、プラズマ物理・恒星物理にとどまらない広範囲において重要な価値がある。

コロナ中の現象である大規模爆発現象そのものは詳しく解明されてきており、次の目

標は、「どのような磁場の条件で爆発が起こるのか」「どのように爆発現象を起こす磁場が形成されるのか」を表面磁場の観測により明らかにすることであり、これによって爆発現象を総合的に理解することができ、さらにはいつ爆発現象が起こるかの予報ができる可能性も現実のものとなってくる。ただし、爆発現象を起こす磁場変化をとらえるには、太陽の磁場を高い感度・広い視野・十分な時間分解能でとらえなければならない。しかしながら、従来磁場をとらえるために行われてきた偏光観測は、一般に狭い視野に限って必要な感度を確保するものであり、大規模爆発現象のもととなる磁場に迫る観測は実現していない。現状ではまだ技術的に困難な面があるが、大規模活動現象の解明のために、広視野かつ高度な偏光測光による磁場の測定の強い要求がある。

## 2. 研究の目的

そこで本研究では、このような磁場観測を実現するための基礎的技術開発と観測の実証を目的とする。本研究の範囲内では実際の観測における諸問題を技術的に解決し、将来における本格的な太陽広視野3次元マグネトグラフ建設の基礎とする。

## 3. 研究の方法

太陽表面磁場の進化を捉えるには磁場によって生じるゼーマン偏光を捉えるための偏光観測を行う必要があるが、爆発現象の磁場の進化を研究するために必要な偏光観測は具体的には以下のようなものとなる。

○広い視野を細かく観測: 太陽半径(70万km、角度で1000")程度以上の視野を、分解能1-2"程度でカバーする。

○光球と彩層の両方でベクトル磁場を3次元的に観測: 彩層でのベクトル磁場データを得るためには0.01%オーダーの偏光を観測できる高感度観測が必要となる。

○爆発現象の磁場進化のタイムスケールにあわせた時間分解能: 磁場の進化の様子を捉えるには10分程度以内毎にデータを得る必要がある。

これら条件を満たす偏光測光装置を製作し、既存の望遠鏡に取り付けて実際に測定を行い、その性能の確認をするとともにデータ処理の手法も開発する。

## 4. 研究成果

本研究ではまず偏光測光装置を製作し、これを既存のいくつかの望遠鏡に取り付け、実際のデータ取得とその処理において、目的とする偏光測光の性能が達成できていること

を実証した。

(1) 京都大学飛騨天文台のドームレス望遠鏡に偏光測光装置を取り付けた実験では、望遠鏡そのものによって生ずる器械偏光の測定とその補正の方法の研究を行った。多くの太陽望遠鏡では、斜め反射の鏡を用いて光を焦点面まで導いているが、斜め反射は偏光を変化させるため、その特質がわからないと太陽の正しい偏光を知ることができない。ところが実際問題としては器械偏光とそれを測定する偏光測光装置の校正の両方を同時に行わなければならないため、特別な工夫を要する。本研究では望遠鏡の構造にもとづいたこれら測定・校正の手法を確立することに成功した。広い波長範囲で偏光特性の測定を行ったので、これにより多波長偏光観測の高度化の基礎を得、0.01%オーダーの偏光が観測できることを実証した。

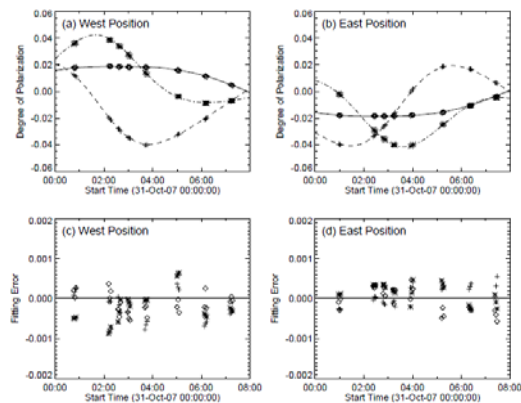


図1. (a) (b)は、測定した器械偏光で、星印・ダイヤモンド・+印は偏光の種別を表す。(a)と(b)とは望遠鏡の姿勢が異なる。実線・破線・一点鎖線は測定値から構築した器械偏光モデルによる偏光の計算値で、観測をよく再現している。(c) (d)は(a) (b)それぞれのモデルと観測の残差を示しており、フィッティングが $10^{-4}$ レベルの高い精度であることを示している。

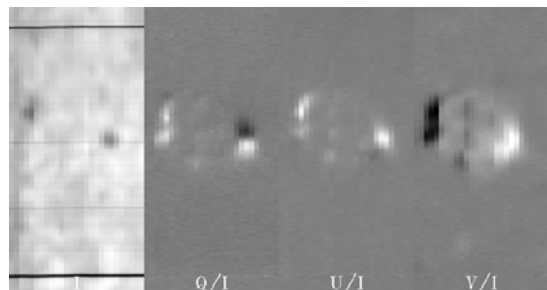


図2. ドームレス望遠鏡で得られた、太陽活動領域の偏光マップ。器械偏光を補正したものである。ごく弱い活動領域であるが、直線偏光も含む詳細な偏光分布が得られている。

(2) 国立天文台の太陽フレア望遠鏡にて太陽全面の full-Stokes 偏光測定を進め、カメラの高速化による偏光観測の高度化を行った。世界的にも、太陽全面で彩層ベクトル磁場にまで対応できる高感度偏光測光を実現した例はまだないが、本研究ではどの程度カメラを高速化すれば十分な時間分解能を保ちつつこれを実現できるかなど基本的なパラメータを明らかにし、現状で入手可能な装置で部分的にそのような観測を実現したことで、広視野でかつ十分な時間分解能を確保した高度撮像偏光観測の可能性を実証した。

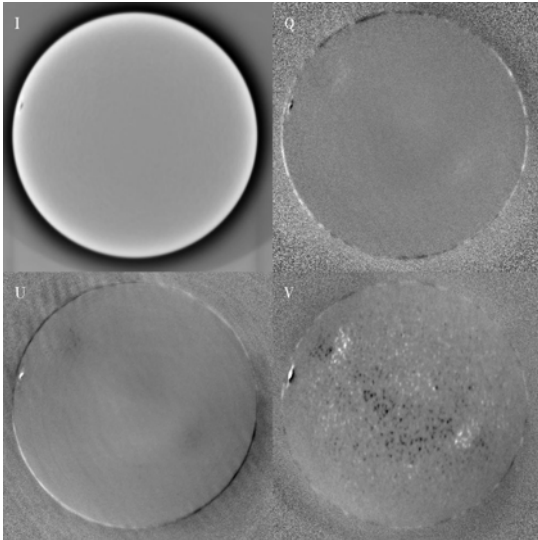


図 3. 試験的に得た太陽全面の偏光マップ。直線偏光を含めた詳細な偏光が得られているが、カメラが低速であるので、まだ精度としては不十分である。時間分解能の点では、この試験でも 5 分を達成している。

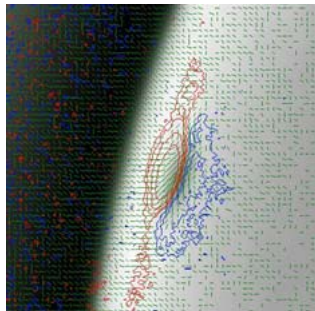


図 4. 図 3 の偏光マップの東のリムにある活動領域の拡大偏光マップ。活動領域においては直線偏光も十分とらえられるレベルであるが、ノイズが多いこともわかる。

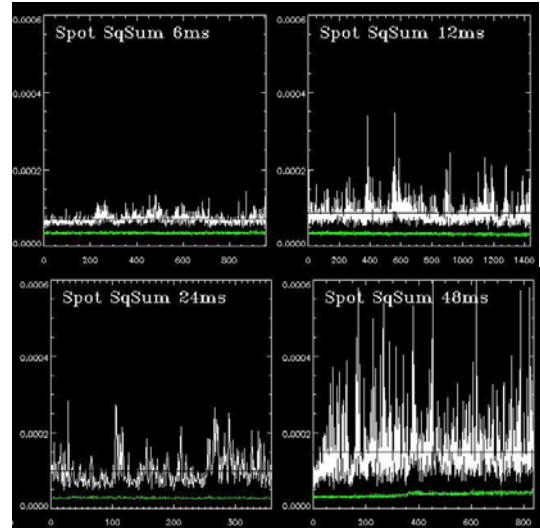


図 5. 太陽全面偏光マップを取る状態をシミュレートし、フレームレートを変えたときの偏光ノイズの大きさ。1 フレームあたりの時間を 6ms~48ms まで変え、連続した 400~1500 フレームのデータを取ったときに、各フレームに現れるノイズの大きさを示した。緑が静穏領域、白が黒点領域におけるノイズである。黒点においてノイズが大きいが、6ms(150frame/sec 相当)まで高速化すると、黒点部分でのみ発生するノイズ成分が、静穏領域にもともとあるノイズと同等になることがわかる。

(3) さらに、広い波長範囲での実用的な偏光観測装置として、シーロスタット装置に取り付けて使用する高速回転波長板の試作も行った。

このように、

- 広視野
- 高感度
- 十分な時間分解能

という、次世代の広視野での高度偏光観測のために必要となる要素技術をそれぞれ確立することができた。これら成果を、将来の本格的な広視野 3 次元ベクトルマグネットグラフ建設のための足掛かりとする。

#### 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 5 件)

- ① Hanaoka, Y. “Spectropolarimetry with the Hida Domeless Solar Telescope”, Publications of the Astronomical Society of Japan, 61, 357-365, 2009 査読有

- ② Miura, N., Noto, Y., Kato, S., Kuwamura, S., Baba, N., Hanaoka, Y., Nagata, S., Ueno, S., Kitai, R., and Takami, H. “Solar Adaptive Optic system at the Hida Observatory” in Proc. SPIE, 7015, Astronomical Instrumentation, 7015U-1 - U-8, 2009 査読無
- ③ Hanaoka, Y. “Expanding Applications of the Polarimeters with Ferroelectric Liquid Crystals and their Calibration” in ASP. Conf. Ser. 405, Solar Polarization 5, (San Francisco: ASP), 2009, in press. 査読無
- ④ Miura, N., Noto, Y., Kato, S., Kuwamura, S., Baba, N., Hanaoka, Y., Ueno, S., and Kitai, R. “Performance of Software-Based Solar Adaptive Optics System (Short Note)” Optical Review, 14, 159-160, 2007 査読有
- ⑤ Hanaoka, Y. “A new magnetograph system for the observation of the multi-height vector magnetic field of the Sun” Advances in Space Research, 39, 1730-1733, 2007 査読有

[学会発表] (計 2件)

- ① 花岡庸一郎 「太陽全面像の高感度 imaging polarimetry」日本天文学会春季年会 2009年3月26日 大阪府立大学
- ② 花岡庸一郎 「飛騨ドームレス望遠鏡での高度偏光分光観測」日本天文学会春季年会 2008年3月25日 国立オリンピック記念青少年総合センター

## 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

(平成19年度)

一本 潔 (ICHIMOTO KIYOSHI)  
京都大学・大学院理学研究科・教授  
研究者番号：70193456

### (3) 連携研究者

(平成20年度)

一本 潔 (ICHIMOTO KIYOSHI)  
京都大学・大学院理学研究科・教授  
研究者番号：70193456