

平成 23 年 6 月 2 日現在

研究種目：若手研究 (A)
 研究期間：2008 ～ 2010
 課題番号：20684005
 研究課題名 (和文) 太陽全面高精度ベクトル磁場観測で探る太陽磁気活動の起原
 研究課題名 (英文) Investigation of solar photospheric magnetic field with imaging spectro-polarimeter

研究代表者
 永田 伸一 (NAGATA SHINICHI)
 京都大学・大学院理学研究科・助教
 研究者番号：30362437

研究成果の概要 (和文)：本研究では、太陽表面で絶えず生成消滅を繰り返す磁気活動の起源を探るために、狭帯域フィルタを用いた高精度磁場観測装置を開発した。これにより空間的に、対流構造を表す 10^3km から太陽全体にわたる 10^5km にわたる様々な磁気構造の、数秒から年の時間におよぶ変動を高精度で測定できるようになった。

研究成果の概要 (英文)：We have developed a vector magnetograph using tandem Fabry-Perot filter for solar photospheric magnetic field measurement. It is possible to investigate the magnetic field evolution of spatial scape 10^3 to 10^5 km, and temporal variation magnitude of lsec to a year.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	3,700,000	1,110,000	4,800,000
2009 年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2010 年度	2,300,000	690,000	2,990,000
年度			
年度			
総計	9,000,000	2,600,000	11,690,000

研究分野：天文学

科研費の分科・細目：太陽物理学

キーワード：太陽物理学、偏光計測、電磁流体力学

1. 研究開始当初の背景

(1) 太陽表面の温度は 6000K であるの対して、外層大気は 100 万 K 以上のプラズマ(コロナ)で満たされている。このコロナプラズマの加熱には太陽内部から外層大気を貫く磁場が中心的な役割を果たしていると考えられているが、加熱機構詳細は未解明である(図1)。外層大気の加熱における磁場の果たす役割の詳細解明を目指して、2006年に日本の科学衛星「ひので」が打ち上げられた。

(2) 「ひので」搭載の可視光望遠鏡により、黒点に代表される既知の磁場構造とは異なる、微小、微弱で短寿命の磁気構造が太陽表面の至る所に見出された。短時間で生成消滅するこれらの微小磁気構造により外層大気加熱に寄与するエネルギーの生成や、上空へのエネルギー伝達がなされる可能性が指摘され始めていた。微弱磁場構造は、空間スケールと変動の時間スケールが、1000km程度と10分程度と、太陽表面の対流現象である粒状

斑のそれと近い。他方、太陽黒点に代表される磁気構造の空間スケールと変動時間のスケールがそれぞれ、 10^5km から年であり、両者には大きな開きがある。このため、微細磁気構造には、黒点磁場とは全く異なる機構の自律的な形成機構が働いていると考えられ始めていた。

(3) 黒点に代表されるいわゆる太陽ダイナモは、太陽全体におよぶ規模の内部のプラズマの流れ場と大規模磁気構造の相互作用により、維持されていると考えられているが、詳細は不明である。これに加えて、太陽表面付近の乱流状態にある流れ場（粒状斑）において、短時間スケールで微弱な磁場生成が維持されている可能性が浮上してきており、太陽表面で生起する大小さまざまな磁場構造の時間変動の過程を、分から年のスケールで詳細に調べることの重要性が増していた。

(4) この課題に取り組むにあたり、「ひので」など衛星搭載装置では、視野および計測精度に制約があり、幅広い空間時間スケールにわたっての観測的研究の遂行には適しておらず、地上望遠鏡を利用した専用装置による観測的研究の開始が求められていた。

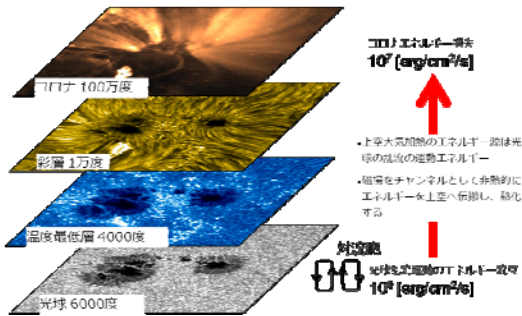


図 1：太陽外層大気の加熱問題

2. 研究の目的

上記のような背景のもとで、本研究では、時間スケールで秒から年にわたる磁場構造の変動を、太陽全体において長期にわたり安定して計測できる観測装置を開発し、それを用いて、磁場の周期的な組織化現象の解明に寄与することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 研究にあたっては、短期間で科学観測を開始する装置を組み上げるために、既存の望遠鏡である、京都大学飛騨天文台の太陽磁場活動望遠鏡 (Solar Magnetic Activity Research Telescope : SMART) を利用、望遠鏡の一部を改造する方針とした (図 1)。SMART に搭載する高精度偏光計測装置を開発し、これを用いて磁気活動の観測を目指した。



図 2：SMART 望遠鏡

(2) 太陽大気を貫く磁場を計測するためには、磁場の影響で吸収線スペクトルの形状が変化するゼーマン効果を正確に観測する必要がある。SMART には、Fe I 6302 Å の吸収線のゼーマン効果測定のための、偏光観測装置がすでに備わっていた。これは、透過帯域が 0.1 Å 程度の狭帯域光学フィルターを用いて、観測波長を変えながら吸収プロファイルを取得するものである。また、吸収線の偏光状態を評価するために、遅延板を回転させ、望遠鏡の偏光透過状態を制御しながら観測を行う。波長と偏光状態を評価するため、吸収線のゼーマン効果計測 (磁場計測) には、複数の撮像が必須である。既存装置では磁場評価のための 1 回の計測に 2 分以上を必要としていた。しかし、地上観測ではこのような時間間隔の離れた計測データ間では、大気状態の変動の影響を大きく受けるために、高精度の吸収線偏光状態の評価は難しい。そこで、本研究では、1 回の計測時間を 2 秒程度と大幅に短くして、高精度の偏光観測を実現することを目指した。

(3) 既存の装置を最大限活用するために、基本的な光学系はそのまま利用するものとし、データ取得のための CCD カメラをそれまでの 0.2 画像毎秒の撮像速度のものから、30 枚秒撮像の機種への更新を図ることとした。この CCD カメラ変更に伴い、焦点面画像をカメラの視野サイズに合わせて 4 分の 1 に縮小する必要が生じ、このための視野調整レンズを新規開発することとした。また、偏光変調をかけるための位相板回転機構も、毎秒 2 回転で連続動作するように変更し、回転とカメラの撮像を同期するシステムへの変更を行うこととした。さらに、新レンズ、狭帯域フィルター、偏光変調のためのビームスプリッター

と2台のCCDカメラを搭載するインターフェース部分を新規で製作することとした(図3)

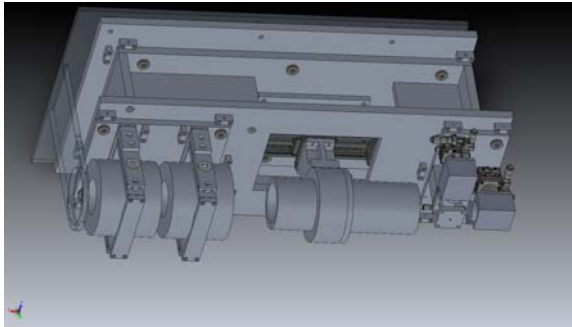


図3：新焦点面装置の設計図

4. 研究成果

(1) 設計した各機器の開発は順調に進捗した。各機器を組み込んだシステム開発は、飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡において実太陽を用いながら実施した。試験に用いたドームレス太陽望遠鏡の偏光特性のために、科学観測は実施できなかったが、連続回転する位相板と30画像毎秒取得するカメラの同期機構が正常に稼働することを確認した。そのうち、新装置全体をSMART望遠鏡に搭載し望遠鏡の光学調整を進めて、視野調整レンズを含めた空間分解能も設計値を満足することを確かめた(図4)。

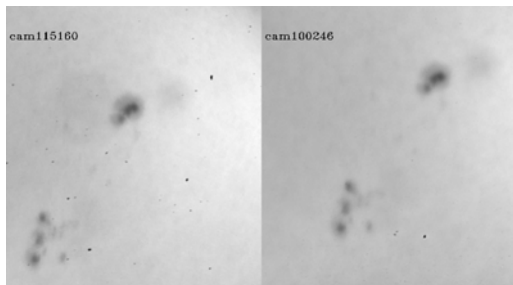


図4：新装置で取得された太陽像

(2) 新規に開発されたシステムの偏光精度評価を実施し、既存のシステムとの評価を行った。

	SP/ひので	HMI/SDO	SMART T4
空間分解能	0.3"	1"	0.6~5"
視野	< 320"x160"	full disk	450"x340"
精度	10 ⁻³	3 x 10 ⁻³	3 x 10 ⁻⁴
波長情報	full profile	6点	4点
時間分解能	1hr ~ 1day	12min	0.5~1min
観測時間	24hr/day	24hr/day	0~10hr/day

図5：新装置(SMART T4)の性能

今回開発した装置は、およそ1分程度で3x10⁻⁴の偏光精度を実現できる。これは、現在稼働している「ひので」衛星(10⁻³)、Solar Dynamics Observatory 衛星(3x10⁻³)をしのぐ

ものとなっている。今後の長期観測により秒から年のにわたるさまざまな時間スケールで生成消滅を繰り返す磁気構造の起源および、太陽表面乱流での磁場生成過程の新たな知見が導き出されると期待できる。

(3) 装置の調整と並行して、飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡と「ひので」衛星とを用いた、太陽表面の磁気活動の研究を実施した。外層大気では、加熱現象とあわせてジェット噴出を爆発現象が頻繁にみられる、磁気エネルギーの急激な解放に伴う現象とみられるものの、詳細は分かっていない点が多い。これらの中で、微小なジェット現象(スピキュール)に関する研究を実施し、黒点周辺でも頻発していることがわかった(図6)。発生要因に、黒点起源ではない微細な磁場構造が関与している可能性を示唆するものと考えられ、今回開発した装置による継続観測により、微細ジェットの発生と磁気構造の関係、さらに外層大気の加熱問題の解明へつながるものと期待される。

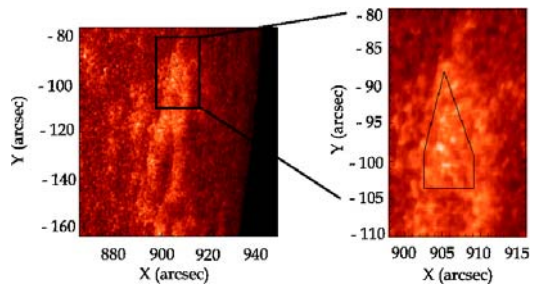


図6：黒点周辺で頻発するジェット

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6件)

- ① K. Otsuji, R. Kitai, T. Matsumoto, K. Ichimoto, S. Ueno, S. Nagata, H. Isobe, & K. Shibata, "CaII K Spectral Study of an Emerging Flux Region using the Domeless Solar Telescope in Hida Observatory", PASJ, 査読有, vol. 62, No. 4, 2010, 893-900
- ② Y. Hashimoto, R. Kitai, K. Ichimoto, S. Ueno, S. Nagata, 他15名(5番目), "Internal Fine Structure of Ellerman Bombs", PASJ, 査読有, vol. 62, No. 4, 2010, 879-891
- ③ T. Anan, R. Kitai 他17名(11番目), "Spicule Dynamics over a Plage Region", PASJ, 査読有, vol. 62, No. 4, 2010, 871-877,
- ④ S. Nagata, K. Otsuhi 他11名(1番目),

- “The tandem Fabry-Perot filter imaging spectro-polarimeter for the Solar Magnetic Activity Research Telescope (AMART)”, SPIE, 査読無, vol. 7438, 2009, pp. 74380V-74380V-7
- ⑤ T. J. Okamoto, S. Tsuneta 他 15 名 (9 番目)
“Prominence Formation Associated with an Emerging Helical Flux Rope”
ApJ, 査読有, vol. 507, issue. 1, 2009, 913-922
- ⑥ T. Shimizu, Y. Katsukawa 他 10 名 (8 番目),
“Hinode Observation of the Magnetic Fields in a Sunspot Light Bridge Accompanied by Long-Lasting Chromospheric Plasma Ejections”,
ApJ, 査読有, vol. 697, issue. 1, 2009, L66-L69

[学会発表] (計 7 件)

- ① 永田伸一、タンデム式ファブリペローフィルターを用いた太陽光球磁場観測装置の開発と初期観測、日本天文学会、2011 年 3 月 18 日、筑波大学 (茨城)
- ② K. Otsuji, “The tandem Fabry Perot Full-Disk Solar Vector Magnetogram system for the Solar Magnetic Activity Research Telescope (SMART)”, American Geophysical Union Fall meeting, 2009 年 12 月 14 日、サンフランシスコ (アメリカ)
- ③ 永田伸一、京都大学飛騨天文台 SMART 望遠鏡の偏光計測高度化、日本天文学会、2009 年 3 月 27 日、大阪府立大学 (大阪)
- ④ S. Nagata, “Formation of Solar Magnetic Flux Tubes and Convective Instability”, 2008 年 12 月 19 日、サンフランシスコ (アメリカ)
- ⑤ R. Kitai, “Cooperative observation of solar atmospheric heating by Hida observatory and Hinode”, American Geophysical Union Fall Meeting, 2008 年 12 月 19 日、サンフランシスコ (アメリカ)
- ⑥ T. J. Okamoto, “Emergence of helical rope and prominence formation”, American Geophysical Union Fall meeting, 2008 年 12 月 19 日、サンフランシスコ (アメリカ)
- ⑦ M. Kubo, “Disintegration of Magnetic Flux in Decaying Sunspots as Observed with Hinode/SOT”, American Geophysical Union Fall Meeting, 2008 年 12 月 19 日、サンフランシスコ (アメリカ)

[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]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

永田伸一 (NAGATA SHINICHI)
京都大学・大学院理学研究科・助教
研究者番号：30362437

(2) 研究分担者 ()

研究者番号：

(3) 連携研究者 ()

研究者番号：