

平成 21 年 5 月 28 日現在

研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2007 年度～2008 年度
 課題番号：19340048
 研究課題名（和文） 赤外域の線スペクトルを用いた太陽外層大気の磁場診断
 研究課題名（英文） Diagnostics of Magnetic Fields in the Outer Solar Atmosphere Using Infrared Spectral Lines
 研究代表者
 一本 潔 (ICHIMOTO KIYODHI)
 京都大学 理学研究科 教授
 研究者番号：40169850

研究成果の概要：

太陽コロナや彩層の磁場を診断するため、高感度の赤外線検出器を乗鞍コロナ観測所の 2.5 cm コロナグラフ、および京都大学飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡に設置し、赤外域線スペクトルの偏光分光観測を実施した。太陽の活動度がきわめて低かったため、最終目標であったコロナ磁場の検出には到達できなかったが、観測システムのセットアップや評価をおこない、太陽活動の出現に備えて準備を整えることができた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	9,900,000	2,970,000	12,870,000
2008年度	2,100,000	630,000	2,730,000
年度			
年度			
年度			
総計	12,000,000	3,600,000	15,600,000

研究分野：数理系科学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：太陽大気、偏光、分光、赤外線、磁場、太陽活動

1. 研究開始当初の背景

太陽活動が地球を取り巻く環境に少なからぬ影響を与えていることは近年明らかになってきているところであるが、とりわけ人類が地球の大気圏外に出て活動を始めた今日、太陽活動の発生メカニズムを理解し、最終的にはその短・長期的な予測を行うことが重要な課題となっている。また、太陽大気を構成するプラズマはその規模からいって実験室では実現できないスケールであり、そこで繰り広げられる過程をつぶさに調べることにより、太陽は恰好のプラズマ実験室を提

供するといえる。以上のような観点から、本研究では太陽の外層大気でおこる電磁流体現象をより定量的に理解するため、以下で述べるように彩層及びコロナの磁場を直接的な方法で診断しようというものである。

太陽外層大気（彩層・コロナ）で繰り広げられる活動現象をドライブするものが、対流層内部で生成され太陽表面から外層に散逸していく磁場であることは、これまでの観測的証拠から疑う余地のない定説となっている。しかしながら、太陽磁場が如何にして太陽面において観測されるようなきわめて局

在化した強度分布を作り、その後消滅するのか、如何にしてエネルギーを外層大気に輸送し散逸・加熱を引き起こすのか、如何なる磁場配位になったとき不安定性が誘発され爆発に至るのか、といった基本的なメカニズムが解明されておらず、より高精度、高空間分解能の磁場観測は現在これらの謎を解くべく観測的太陽研究の最重要課題となっている。

大気の下層部である光球の磁場はゼーマン効果による診断が比較的しやすいため、最先端の装置を駆使した観測的研究が各国で精力的に進められている。特に本年9月に打ち上げられた「ひので」(Solar-B太陽観測衛星)に搭載された可視光望遠鏡は、宇宙からかつてないきわめて高い空間分解能と精度で光球の磁場を連続的に観測し、当該研究分野の画期的な展開をまさにもたらそうとしているところである。

一方、磁場がより支配的な役割を演じるコロナや彩層においては、ゼーマン効果のシグナルが弱いため、磁場を直接測定することが非常に難しく、現在は光球で測定された磁場分布からフォースフリー場(電流と磁力線が平行)の仮定の下、外挿して推定しているのが実情である。このような状況の中、太陽プラズマの素過程を真に解明するために、コロナや彩層や磁場を直接的に測定で求めることへの要求が急速に高まっている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、ゼーマン効果によって大きな偏光を示す近赤外域のコロナ輝線FeXIII 10747Åの偏光プロフィールをコロナグラフで観測し、コロナ中の磁場を直接診断すること、また同様にHeI 10830Åの偏光から彩層やプロミネンスのベクトル磁場を求めることである。「ひので」による高精度光球磁場情報と組み合わせることにより、初めて太陽大気の3次元的な磁場構造を明らかとすることができ、特に以下の具体的な問題を解明することが本研究の中心課題であると考えている。

- ・ コロナ磁場の直接診断によりコロナループの力学的構造を研究する。とくに、圧力バランスの問題(コロナの明るい(ガス圧が高い)ところは磁場が強い(磁気圧が高い)という一般的描像は圧力バランスに反する)の定量的評価、電流シート(コロナ中の磁場極性反転領域)の検出、などが重要なテーマである。
- ・ プロミネンス及びダークフィラメントの磁場構造を求めることにより、これらをコロナ中にサポートし、また不安定性を

引き起こすメカニズムを解明する。

- ・ 彩層の磁場を求めることにより光球からコロナへの磁場のつながりを明らかにする。光球の磁場は絶えず生成消滅を繰り返しており、消滅の際には磁場は光球に沈み込むかコロナへ抜け出す必要があるが、まだその実態は理解されていない。彩層の磁場を光球と同時に連続的に観測することにより磁場の3次元的な発展を明らかにする。同時に光球上部から彩層内部で磁気リコネクションが発生し、光球磁場の生成消滅に重要な役割をしているのではないかと、スピーキュールといった微小ジェット現象の起源となっているのではないかと、といった可能性を検証する。
- ・ 彩層、コロナの磁場を光球磁場から外挿された磁場と比較することにより、フォースフリー仮定の妥当性、或いはそこからはずれを検証する。とくにコロナへのエネルギー輸送、コロナ磁場の不安定化といった問題を議論するとき、フォースフリー磁場の妥当性を確認することはきわめて重要である。

3. 研究の方法

本研究ではコロナ・彩層の磁場を診断するため、ゼーマン効果の測定に有利な近赤外域にあるスペクトル線を使い、高感度の検出器によってこれまでにない高精度の偏光測定を行う。そのため本研究では近年利用可能となった近赤外域に高い感度を有する大フォーマットの2次元検出器を導入し、乗鞍コロナ観測所の口径25cmコロナグラフに設置する。これ従来使用してきたCCDカメラよりも近赤外域での量子効率を2桁向上し、加えて赤外輝線は可視域のコロナ輝線よりも強度が高く、大きいゼーマン効果(線スペクトルの波長分離による偏光の発生)を示すこと、地球大気による散乱光レベルが低いこと等の相乗効果によってS/Nの格段の向上を図ることができ、コロナ磁場の直接的検出が可能となる。またHeI 10830Åは彩層起源のスペクトル線としては光学的に薄いので、偏光データから定量的にベクトル磁場を導出するのに適している。S/Nの向上によりはじめて光球磁場との比較に耐える彩層ベクトル磁場、及びプロミネンスの磁場情報を取得することができる。彩層の観測は乗鞍のコロナグラフに加えて飛騨天文台のドームレス太陽望遠鏡、さらに大口径の海外望遠鏡の利用も考えている。

以下、本研究で達成できるコロナ・彩層磁場の診断能力について見積もる。FeXIII

10747A輝線のコロナ磁場の観測における利点を挙げると以下ようになる；

- フォトンの数は可視域で最も明るいコロナ輝線FeXIV 5303Aの約2倍、
- ゼーマン効果による波長分離の大きさ、すなわち輝線の偏光率 (λ)は約2倍(ランダウファクターはどちらも1.5であるため)、
- 地球大気による散乱光のバックグラウンドは1/4 ~ 1/16 となる。

これらを総合すると両輝線と同じ量子効率の検出器で観測した場合、10747A輝線は5303輝線にたいして約7倍($\sqrt{2 \times 10}$)のS/Nを得ることが可能である。

本計画で導入する赤外線検出器を25cmコロナグラフの分光器に取り付け10747Aでコロナ輝線の測定を行った場合に達成できるS/Nは、予備調査により活動領域のコロナに対して空間分解能4秒角、3秒の露出で約1.5%(rmsノイズ)であった。これから、波長方向の加算も加味して見積もると、10分間の積分でコロナスペクトルを約0.03%のS/Nで得ることができ、視線方向磁場の検出限界は数Gと見積もることができる。感度を上げたにもかかわらずコロナの有意なゼーマン効果を検出できないというケース(この場合観測はコロナ磁場強度の上限値を与えるにとどまる)においても、上記見積もりによる磁場の検出限界強度は光球磁場から推定される活動域のコロナ磁場強度よりも十分に小さいため、その科学的な意義は大きい。

同様にHeI10830Aによる彩層磁場の検出限界は以下ようになる。本赤外線検出器によると10830Aで達成しうるS/Nは現有のCCDに対して約10倍(量子効率が100倍より)となり、1秒の空間分解能、約2秒の積分で0.02%rmsが期待できる。これより磁場の検出限界は視線方向成分で約6G、横方向成分で約200Gと見積もられる。積分時間をさらに長くすることにより、この検出限界はさらに上げることが可能である。

本観測システムは特に「ひので」衛星に搭載された、可視光望遠鏡で得られる高分解能の光球磁場データと組み合わせ、3次元的な太陽磁場の構造を明らかにしようとするものである。そのため、本システムの稼働後は同衛星との同時観測を実施する予定である。

4. 研究成果

本研究の目的を達成するため近赤外域に高い感度を有する大フォーマットの2次元検出器(アドサイエンス社ADS-319型)を導入した。平成19年度には赤外線カメラの選定、購入および特性評価をおこない、平成20年度に本カメラを乗鞍コ

ロナ観測所の25cmコロナグラフ、および京都大学飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡に設置し、赤外コロナ輝線と彩層スペクトル線の偏光観測を実施した。

カメラの特性評価では、熱雑音と読み出しノイズが想定されたレベルであり、当初目論んでいた精度での赤外測光観測が可能であることを確認した。一方カメラの応答出力に無視できない非線形性があることもわかった。これはデータの処理において補正することで対処する。

乗鞍コロナ観測所では、2つのコロナ輝線(12階電離鉄10747Aと10798A)のスペクトルを同時に観測するための光学系を製作し、本赤外カメラで良好に撮像できることを確認した。しかし太陽の活動性が予想外に低く、輝度の高いコロナ領域が全く存在しなかったため、コロナ輝線の偏光検出には至っていない。飛騨天文台においては既設のドームレス太陽望遠鏡や偏光解析装置と組み合わせ、彩層起源のヘリウム10830A線の偏光観測を行い、これまでのCCDカメラと比較して一桁以上高い磁場の検出限界を実現できることを確認した。偏光解析装置とカメラの時間的同期や望遠鏡の光学系による人為的偏光の補正など、観測システムの課題も残っているが、赤外偏光観測の準備をほぼ整えることができ、本研究の目標である太陽外層大気の磁場診断は、太陽活動の出現をみて今後速やかに実施する予定である。

HeI10830Aの偏光スペクトルデータから彩層の磁場を導出するプログラムを開発した。これはスペクトル線のゼーマン効果のみならずパッシェンバック効果も考慮したコードであり、本研究で開発したシステムで今後得られるデータから、彩層のベクトル磁場を導出するために使われる。

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3件)

1. Net circular polarization of sunspots in high spatial resolution, Ichimoto, K., Tsuneta, S., Suematsu, Y., 他8名, 2008, A&A Letter, 481, L9-L12、査読有
2. Magnetic Structure of Umbral Dots Observed with the Hinode Solar Optical Telescope, Watanabe, H., Kitai, R., Ichimoto, K., Katsukawa, Y., 2009, PASJ, 61, 193-200、査読有
3. Polarization Calibration of the Solar Optical Telescope onboard Hinode, Ichimoto, K., Lites, B., Elmore, D., 他

17名, 2008, Solar Phys., 249, 233-261、
査読有

〔学会発表〕(計 3件)

1.太陽偏光分光観測用赤外線カメラの性能評価、
鈴木勲、桜井隆、花岡庸一郎、萩野正興、一本潔、日本天文学会 2009年春季年会、於大阪府
立大学

2.エバーシェッド流の起源について、
一本潔、ひので SOT チーム、日本天文学会
2009年春季年会、於大阪府立大学

3.太陽黒点にみられる磁気流体現象、
一本 潔、ひので可視光望遠鏡チーム、
2009年3月、日本物理学会 第64回年次大
会 於立教大学

6. 研究組織

(1)研究代表者

一本 潔 (ICHIMOTO KIYODHI)
京都大学 理学研究科 教授
研究者番号：4016985

(2)研究分担者

北井 礼三郎(KITAI REIZABURO)
京都大学 理学研究科 准教授
研究者番号：40169850

原弘久(HARA HIROHISA)
国立天文台 ひので科学プロジェクト 助教
研究者番号：20270457

(3)連携研究者