

氏 名 Anjali John Kaithakkal

学位(専攻分野) 博士(理学)

学位記番号 総研大甲第 1705 号

学位授与の日付 平成26年9月29日

学位授与の要件 物理科学研究科 天文科学専攻
学位規則第6条第1項該当

学位論文題目 A Study on the Photospheric Polar Magnetic Patches of the Sun

論文審査委員 主 査 准教授 関井 隆
教授 櫻井 隆
教授 柴崎 清登
准教授 清水 敏文 宇宙航空研究開発機構
教授 一本 潔 京都大学

(別紙様式 2)
(Separate Form 2)

論文内容の要旨
Summary of thesis contents

Comprehending the evolution and characteristics of polar magnetic patches is important to obtain a deeper insight into the generation of solar magnetism and its cyclic variation. It is the ensemble of this individual patches that contribute to the global scale behavior of the polar magnetic fields. The major goal of this thesis has been to study the characteristic properties of the polar magnetic patches, their evolution on local scale and their interaction with the plasma motions. It is important to understand the interaction between photospheric plasma motion and polar magnetic field as it contributes largely to the dynamic activities occurring in the chromosphere and corona.

We uncovered the spatial fine structure of the polar patches and their relation to polar faculae. The distribution of intensity, local zenith angle and strength of the magnetic field vector is found to be non-homogenous within the patch. Our study shows that polar faculae are enclosed within most of the polar patches with flux $\geq 10^{18}$ Mx and are spatially well correlated with peak flux locations within their parent patches. Shiota et al. (2012) observed that it is the unipolar patches of dominant polarity possessing magnetic flux in excess of 10^{18} Mx, that take part in the solar cycle. So our study support the usage of polar faculae as the proxy for the polar magnetic flux. We also found that polar faculae are smaller in size in comparison with their parent patches which implies that contribution of faculae to the polar flux must be smaller in general. Magnetic field associated with facula region is identified to be more strong and vertical compared to that outside the facula region but within the patch. We speculate that the coexistence of strong and weak field regions within a magnetic patch could be an indication of existence of multiple flux tubes.

We also studied the interaction of photospheric flow field with the polar magnetic patches. This is the first study which present observational result on the role of plasma flows in the formation and evolution of the polar magnetic patches. The magnetic patches are surrounded by strong converging flow during their apparent life time. The converging flow around the patch boundary is best observed in the LOS Doppler velocity profile close to the photosphere. From the average velocity profile obtained at the time of patch appearance, the radius of impact of the converging flow is about $10''$ and peak velocity is about 0.2 km/s. Based on our analysis we suggest that the magnetic flux fragments in the polar region are advected and clustered by photospheric converging flows thereby resulting in the formation of polar magnetic patches. Further, we think that the fine structure of polar patches, like the localized strong field regions inside them, must be driven by local mechanisms; for e.g., convective collapse. Formation of magnetic structures by transportation and accumulation of magnetic flux by converging horizontal flows are also observed in the low-latitude region. The converging flow observed around polar patches appears to be similar to that observed in the low-latitude network region.

Our observations show that, in addition to direct cancellation magnetic patches decay

(別紙様式 2)
(Separate Form 2)

by fragmentation followed by unipolar disappearance or unipolar disappearance without fragmentation. It is possible that the magnetic patches of existing polarity fragment or diffuse away into smaller elements and eventually cancel out with opposite polarity fragments that reach the polar region around solar cycle maximum. So the above mentioned process could be one of the possible mechanisms by which the existing polarity decay during the reversal of the polar magnetic field.

Ito et al. (2010) reported, using Hinode observations obtained during solar cycle minimum, that distribution of vertical magnetic flux in the polar region is asymmetric compared to that in the low-latitude quiet Sun: i.e., magnetic patches of one polarity dominate over the other in the polar region. Though unipolar patches exist (Iida 2012, Lamb et al. 2010) in the low-latitude quiet Sun as well, the probability of cancellation between the opposite polarity patches is high due to the balanced flux distribution. While, in the polar region, imbalance in the flux distribution leads to the dominance of unipolar patches of one polarity. Unipolar patches exist both in the higher and lower latitude regions. Furthermore, in both regions magnetic flux is found to be concentrated by converging flows. We speculate that irrespective of latitude characteristics of individual magnetic patches are determined locally and in that sense patches in the polar region and low-latitude quiet Sun region could be similar. And we think that magnetic flux density variation with latitude and imbalance in the vertical flux distribution, within the polar cap region could be two of the reasons that make polar region different from the quiet Sun region in the lower latitudes.

Summary of the results of the doctoral thesis screening

本論文は太陽極域の磁場構造に関する観測的研究の結果を報告するものである。11年を周期とする黒点数の増減に代表される太陽活動は、いわゆるダイナモ機構が駆動していると考えられているが、具体的なメカニズムはまだ明らかでない。太陽極域の磁場は、太陽ダイナモに関する現在の観測的・理論的な理解の中で重要な位置を占めている。太陽活動が極大期を迎える頃、極域の磁場の極性が反転することは以前から知られていた。しかし黄道面内からの観測では極域は見えにくく、その研究には限界があった。ところが近年、高空間分解能を誇る太陽観測衛星「ひので」の偏光分光観測により、極域には1000 Gauss程度の磁場をもつ小さな領域（以下では「磁場パッチ」または「パッチ」）が存在していること、またこうした磁場パッチは白斑の存在する場所に見られることがわかっていった。白斑は磁場が強く明るい点状の構造で、輝度分布の観測でも見つけられることから、その個数はしばしば極域の磁束の指標として用いられる。

出願者はまず、太陽観測衛星「ひので」の偏光分光データを用いて磁場パッチと白斑との関係を調べた。データは、極域の白斑が最も多く見られる活動極小期(2007年)に、既に取得されていた。解析の結果、白斑は確かに磁場パッチの領域の一部であること、白斑の磁場は周囲よりも強く、より垂直に近いことを見出した。磁場パッチはその磁束の増大とともに白斑を伴う割合が増大する。磁束が 10^{19}Mx を越えるとすべてのパッチが白斑を伴うが、それ以下では同じ磁束をもつパッチでも、白斑を伴うものと伴わないものがあった。これにはパッチの時間発展が関係していそうであることを指摘している。一方、磁場パッチの磁束のうち白斑内部のものは20%程度しかないこともわかった。また、極域で優勢な磁場極性とは反対の極性をもつ磁場パッチも少数ながら存在するが、それらの中にも白斑をもつものが見つかった。これはとくに極域磁場が弱い時期に、白斑の個数を極磁場の指標として用いるのには危険が伴うことを示唆している。以上の結果は*Astrophysical Journal*誌にKaithakkal et al. (2013)として出版された。

出願者は次に、極域磁場の反転する極大期のデータを用いて、磁場パッチの生成・消滅と局所的な流れ場との関係を調べた。このデータ取得(2013~2014年)にあたっては、観測計画の立案から出願者自身が深く関与している。解析の対象は生成と消滅とがともに観測にかかった磁場パッチに限り、75例を調べた。測定量は輝度、ベクトル磁場および視線方向（極域ではほぼ水平方向）のドップラー偏移の時間変化である。解析の結果、磁場パッチの寿命は1時間程度のものが一番多いこと、また生成から消滅までの期間にわたって、磁場パッチの位置に収束する流れ場が存在していることを見出した。この流れ場は生成前、消滅後は弱いことも確認した。この流れ場の時間空間スケールから、超粒状斑または中間粒状斑が、検出限界以下の同極性の磁場を掃き寄せて磁場パッチを生成するというシナリオが示唆される。また、分裂して消滅するパッチもあるが、見掛け上孤立したままで消滅するパッチもあり、これは磁場反転が主に検出限界以下のスケールで起こっていることも示唆している。本研究は極域の磁場パッチ生成に果たす局所的な流れ場の役割を世界に先駆けて確認したもので、現在、国際的な学術雑誌への査読論文として投稿準備中である。

(別紙様式 3)

(Separate Form 3)

このように、本研究は太陽観測衛星「ひので」の高空間分解能での偏光分光観測を有効に使い、太陽極域の磁場構造に関する新しい知見をもたらしたものである。出願者が解析から議論にいたるまで主体的に研究を進めたことも十分に認められる。従って、審査委員会は全会一致で本論文が博士論文として優れたものであることを認め、合格であると判断する。