

氏名	中川 裕美
学位の種類	博士 (工学)
学位記番号	博理工第 643 号
学位授与年月日	令和元年 9 月 20 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当
学位論文題目	太陽活動第 23 周期と第 24 周期における低緯度コロナホール面積と太陽風速度および地磁気活動の相関について
審査会	委員長 北 和之 委員 長谷川 博 委員 野澤 恵 委員 新堀 淳樹

## 論文内容の要旨

地球周辺の宇宙環境において、主に太陽からの高エネルギー粒子や電磁波によりじょう乱が発生することがある。これを宇宙天気と呼び、そのじょう乱の規模や継続時間を予報する試みがなされている。宇宙天気の観点から重要な太陽活動のひとつがコロナホール (Coronal hole: CH) である。CHはX線や紫外線で太陽を観測すると周囲の太陽コロナより暗く見える領域である。CHは宇宙空間に向かって開いた磁場構造をしており、高速太陽風の吹き出し口になっている。CHから吹き出した高速太陽風が低速太陽風と相互作用すると共回転相互作用領域 (Corotating interaction region: CIR) と呼ばれる磁場構造が形成されることがある。CIRが地球近傍に到達すると地球磁気圏のじょう乱を引き起こす。CHは太陽極域に出現することが一般的だが、太陽活動が衰退する時期には低緯度にも現れることがある。このような低緯度CHを起源とする高速太陽風の地球磁気圏・電離圏への影響は、極域CHを起源とする高速風の影響に比べて十分に評価されていない。よって、本研究では赤道域CHを起源とする高速太陽風が地球磁気圏・電離圏に与える影響を評価するため、太陽周期第23周期および第24周期 (1996年から2017年) におけるCH面積・太陽風パラメータ・惑星間空間磁場 (Interplanetary magnetic field: IMF) と、3種類の地磁気指数 (AU・AL・SYM-H) および磁気圏対流電場と放射線帯電子フラックスの変動を統計的に解析した。また、IMFの空間変動によって4ケースに分け、各ケースについてCIRが地球磁気圏に到達した前後における太陽風・IMF・地磁気指数・対流電場・放射線帯電子フラックスの変動を調べた。結果として、太陽活動第23周期 (1996年から2008年) では、南半球におけるCH面積変動の方が北半球における変動よりも大きいという南北非対称性があることが分かった。一方、第24周期 (2009年から2017年) では、第23周期と比較して緯度方向により広い範囲にCHが出現する傾向があった。また、CH面積最大値と太陽風速度最大値には正の相関が見られ、CH面積と太陽風速度の分布は第23周期の方が大きかった。太陽風パラメータ・地磁気指数については、太陽風速度とAU指数の変動は、すべてのIMF空間変動パターンにおいて両太陽活動周期で同程度もしくは第23周期における変動の方が大きい傾向にあった。一方、パラメータの種類によっては第24周期の変動の方がわずかに大きいものも見られた。太陽風パラメータ・地磁気指数および放射線帯電子フラックスの統計的な変動は、第23周期のほうが第24周期より大きい傾向があるが、その差は極端なものではなかった。また、磁気圏対流電場の太陽活動周期を通した変動は23・24両周期において顕著な差は見られなかった。これは地磁気活動の季節変化を考慮していないためであると考えられる。宇宙天気変動の観点から見ると、第24周期は太陽活動が地球に与える影響が比較的小さい穏やかな周期であったと結論づけることができる。本研究の解析結果全体を通して、太陽活動周期ごとのCH面積・太陽風および地磁気活動の変動の違いを明らかにすることができた。第23太陽活動周期ではCIRに関連する低緯度CHが比較的多く出現する傾向があったため、より高速の太陽風が噴出し、地磁気指数や放射線帯電子フラックスの変動に影響した。一方で、第24太陽活動周期では第23と比較して低緯度に出現するCHが少なかったため、CIRに関連する高速太陽風の速度があまり増加せず、地磁気活動にあまり影響を与えなかった。今後の展望として、さらに過去の太陽活動周期についても太陽活動と地磁気活動の変動を統計的に解析し、太陽活動周期ごとの違いを比較する必要がある。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は太陽コロナホールが二十年にわたる振る舞いから地球に与える影響を統計的に研究したものである。太陽活動は、太陽からのプラズマ流や電磁波放射によって地球周辺の宇宙環境を変動させ、地球に影響を与える。この宇宙環境の変動は、人工衛星障害や宇宙飛行士に対する宇宙放射線の影響はもちろんのこと、地磁気活動の変動を引き起こし、電力、通信障害など人類の社会活動に影響を及ぼすことがある。通信、放送、測位、リモートセンシングなど宇宙の利用が社会の基盤として拡大すればするほど、宇宙環境の社会への影響が大きくなり、一般の人々の生活にも影響を与える。このような宇宙環境を総称して宇宙天気と呼ぶ。宇宙天気変動の要因のひとつに共回転作用領域 (Corotating interaction region: CIR) と呼ばれる磁場構造が挙げられる。これは、高速太陽風と低速太陽風の相互作用によって磁場が圧縮され、磁場強度が強められた構造である。CIRが地球に到達すると磁気圏・電離圏に大きな擾乱を引き起こすことがある。CIR形成要因のひとつとなるのがコロナホールと呼ばれる現象である。コロナホールはX線や紫外線で観測することができ、宇宙空間に開いた磁場構造を持つため、CIRを形成する高速太陽風の吹き出し口となる。また、太陽活動衰退期に比較的多く出現する傾向がある。極域コロナホール起源の高速太陽風の長期的変動については数多く研究されているが、赤道域コロナホールの評価はまだ十分でない議論されている。特に、コロナホールの出現緯度とコロナホール起源の太陽風、および地磁気活動変動の関係性は未だよくわかっていない。さらに、コロナホール起源の高速太陽風の地球磁気圏への影響の太陽周期ごとの違いも明らかになっていない。

そこで申請者は、第23太陽周期 (1996 - 2008)と24周期(2009 - 2016)における、低緯度コロナホール起源の高速太陽風の地球磁気圏への影響の違いを評価することを本研究の目的とした。本研究ではコロナホール面積と太陽風密度・速度、および地磁気活動指数の変動を第23太陽周期と24太陽周期において統計的に解析し、両者の結果を比較した。また、惑星間空間磁場 (Interplanetary magnetic field: IMF) の空間変動を4つのパターンに分け、地球磁気圏にCIRが到達する前後における太陽風・地磁気活動の変動をパターンごとに評価した。その結果、23・24周期とも南半球の低緯度のコロナホール面積の方が北半球より大きいという南北非対称性が見られた。さらに、24周期のコロナホール面積は23周期よりも緯度方向に広い領域を占めていた。また、太陽風と地磁気指数の変動は24周期の方が23周期より小さいことがわかった。よって、24周期においてCIRに関連する地磁気活動は23周期よりも小さいと結論づけられる。

以上より本論文では、太陽の24周期におけるコロナホールやCIRに関する活動を独自の解析により明らかにし、それまでの周期より穏やかであったという重要な成果を得たと評価できる。審査会では学位論文、公聴会および最終試験の結果を総合し、茨城大学理工学研究科の学位論文の評価基準を満たしており、合格と判定した。