

## 要旨

オーロラアークに伴う 3 次元電流系の構造、沿磁力線電流 (FAC : Field-Aligned Current) を担う電子の運動、粒子の加速過程の研究は、磁気圏-電離圏結合を理解する上で重要である。特に、上向きFACを伴うオーロラアークの近傍に存在する下向きFAC領域では、しばしば強い電離圏電場や電子密度の減少、ブラックオーロラなどの生起が指摘されているが、それらの性質と相互の関係は観測的に明らかではない。ひとつの電流系モデルとして、上向き及び下向き 2 方向のFACが電離圏ペダーセン電流により閉じる電流系における、下向きFAC領域では、電離圏電子はFACのキャリアとして磁気圏に運び去られてしまう為、その場の電子密度が著しく減少する可能性がある。この時、電子の減少によりFACのキャリアは不足するので、絶対条件である電流の連続性を保つためには、沿磁力線電場が生成されて電子を上向きに加速し、必要とされる電流量を作り出すことが要求される。実際衛星観測から、日陰の下向きFAC領域における電子の上向きの沿磁力線加速が確認されている。電子を上向きに加速する沿磁力線電場は、同時に磁気圏起源のプロトンを下向きに加速するので、下向きFAC領域の電離圏ではプロトンオーロラ発光が期待される。さらに、電離圏電子の減少は電離圏電気伝導度を低下させるので、上向きと下向きのFACを閉じる電離圏水平電流の連続性から、電気伝導度が相対的に低い下向きFAC領域では、電気伝導度が高い上向きFAC領域に比べて、より強い磁場に垂直方向の電場が生起されることも予想されている。このように 3 次元電流系、特に下向きFAC領域で、電離圏は能動的な役割を果たす事が示唆されているが、磁気圏内の沿磁力線電場と電離圏の状態との関係は分かっていない重要な課題である。

本研究では全天プロトンイメージャ(透過波長 486.1 nm)、4 波長フォトメータ(427.8 nm, 557.7 nm, 630.0 nm, 844.6 nm)、全天デジタルカメラをノルウェー・トロムソ(北緯69.6度, 東経19.2度)で運用し、これらの光学観測機器とEISCATレーダー、IMAGE地上磁力計ネットワークを用いて同時観測を行い、下向きFAC領域における、プロトンオーロラ発光(磁気圏内の沿磁力線電場と関連)、電子密度の減少、電離圏電場などの物理量の相互関係を明らかにすることを目的としている。使用したデータセットは2006年10月20日の光学機器-EISCATレーダー同時観測で得られたもので、プロトンオーロラの発光と電離圏電子の著しい減少(背景密度の1/10にも及ぶ)、磁場に垂直の強い電離圏電場が同時におきるイベントを捉えることに成功した。解析の結果、以下の特徴が得られた。

[1] 1/10 以下になる電子密度減少は 1 ~ 2 分という短時間で生じた。また、この電子密度減少はペダーセン電流が最も強く流れる高度 120 kmより高い高度で顕著であった。さらに電子密度減少の開始時間は高度が高くなるにつれて遅くなる特徴が見られた。これはDoe et al. [1993, 1995]が示したいくつかの消失原理のうち、沿磁力線電流に伴う電子流出効果を支持するもので、観測的に初めての結果である。

[2] 赤道方向に移動する東西方向に延びるオーロラアーク（南北方向の幅 約 10 km）の極側近傍で見られたE領域とF領域の電子数密度の急激な減少は、磁力線に垂直な水平電場の増大（ $\sim 80$  mV/m）を伴い、下向きFACに関連していると推定されたが、従来考えられていたプロトンオーロラ発光は同じ場所では見られなかった。この点についての解釈は以下の通りである。太陽光による電離がない夜間電離圏で、電子密度の著しい減少を伴う下向きFACは、その場所に留まる限り電流キャリアが不足して電流の連続性を保てなくなる。上向きFACに見合う下向きFACを維持するためには、主として二つのケースが考えられる。一つはプロトンオーロラにより電離圏電子密度を増やす物理過程が発動する場合であり、もう一つは、電流系自体が、豊富な電子を求めて、新たな領域に移動する場合である。赤道側へ移動する幅の狭いオーロラアークに伴う上向き電流は、同じ程度の幅の下向き電流を伴うと考えられるので、後者の電流系自体が移動することにより十分な電子密度を得ることができたと考えられる（この場合プロトンオーロラによる電離は必要なくなるために出現していない）。電子密度減少に伴った、上記のオーロラアークの移動によって、下向きFACのキャリアとなる電子の不足分を補って、電流の連続性を保持していたと考えられる。

[3] 電子オーロラよりも高緯度側に出現したプロトンオーロラは、磁力線に垂直な電離圏電場の強い増大（ $\sim 90$  mV/m）を伴っていた。等価電流系からの推定で、この領域には下向きFACが流れ、低緯度側のディスクリートオーロラに伴う上向きFACとペアーになっていたと考えられる。このプロトンオーロラ領域では、フォトメータ観測から電子の降込みがほとんど認められないにも関わらず、電子密度が増大し、強い電離圏電流が見られることから、降下プロトンが電離に重要な貢献をしていることが判明した。前述した移動するアークに伴う下向き電流領域とは異なり、プロトンオーロラを伴う下向きFAC流入領域はその範囲が広く、移動によっては十分な新たな電子が得られないために、プロトン降下（下向き沿磁力線電場の生成）を引き起こすことによりE領域の電子密度を増大させて、必要な電子を確保するという、一連の物理過程が生じていたことが示唆される。

これらの結果は世界的にみても新たな知見で、磁気圏電離圏結合、特に下向き沿磁力線電流系のより深い理解に貢献するものである。