

磁気圏から極域電離圏へ流入する電磁エネルギーと降下粒子エネルギーの関係 (その2)

半田 弘司 [1]; 藤井 良一 [2]; 小川 泰信 [3]; 野澤 悟徳 [2]
[1] 名大・理・素粒子宇宙; [2] 名大・太陽研; [3] 国立極地研究所

Relationship between electromagnetic energy and precipitating particle energy in the polar ionosphere (Part2)

Hiroshi Handa[1]; Ryoichi Fujii[2]; Yasunobu Ogawa[3]; Satonori Nozawa[2]
[1] Particle and Astrophysical Sci., Nagoya Univ; [2] STEL, Nagoya Univ; [3] SNational Institute of Polar Research

<http://www.stelab.nagoya-u.ac.jp/~eiscat/>

We determined statistically the relationship between the electromagnetic energy and the kinetic energy of precipitating particles, which flow from magnetosphere into the ionosphere and thermosphere, using EISCAT CP-1 data obtained between February 1987 and November 2004. Since electrons from which density we derive the particle energy deposition are produced not only by particle precipitation but also by solar irradiation, in order to obtain the electron density due to particle precipitation, we have first estimated the electron density due to the solar irradiation and modeled it as a function of solar zenith angle and a solar activity index F10.7 by using relatively quiet time data where we do not see any ionizations due to particle precipitation. The present study shows that not only the electromagnetic energy but also the particle energy deposition is larger when the ionosphere is dark than when the ionosphere is sunlit.

磁気圏と電離圏・熱圏はエネルギーや物質の交換を通して強く結合し、相互に作用を及ぼし合っている。磁気圏から電離圏・熱圏に流入するエネルギーには、電磁エネルギーと降下粒子に伴う運動エネルギーがある。これらの電磁エネルギーと降下粒子に伴う運動エネルギーが磁気圏から電離圏・熱圏へ、どのような物理過程を経て流入・消費されるのかを理解する事は、磁気圏 電離圏 熱圏結合の未解明な中心課題の一つである。

本研究では、トロムソ（地理緯度：北緯 69.6 度）に設置されている欧州非干渉散乱レーダー（European Incoherent SCATter レーダー：以下、EISCAT レーダー）による観測から、磁気圏から電離圏に注入される電磁エネルギー及び降下粒子に伴う運動エネルギーの空間分布を求め、相互の関係を比較研究することにより、磁気圏から流入するエネルギーが電磁および降下粒子のエネルギーにどのように配分されるかを定量的に明らかにする事を目的とする。具体的には、EISCAT UHF レーダーの、沿磁力線方向にビームを固定して観測するモード（Common Program One：以下、CP-1）で観測された全てのデータを用いて、電磁エネルギーと降下粒子のエネルギーを定量的に評価する。電離圏でのエネルギー消費としてジュール熱消費があるが、ジュール熱消費を考える上で中性大気によるダイナモ電場をも考慮しなければならない。つまり、観測された電場を E 、中性風速度を U とすると、トータルな電場は $E' = E + U \times B$ となり、ジュール熱はペダーセン電気伝導度を S_p として、 $Joule = S_p \times E'^2$ と表される。しかしながら、1992 年以降の EISCAT UHF レーダーの CP-1 は、3 点観測は F 領域でしか行っていないため E 領域でのダイナモ電場の推定は行えないので、本研究ではダイナモ電場の効果を考慮しない事とした。そのため、ジュール熱消費ではなく、磁気圏から電離圏への電磁エネルギーフラックス $J_p \times E = S_p \times E' \times E$ (J_p はペダーセン電流) を用いる事とするが、 E' は観測から求められないので、その近似式として $J_p \times E = S_p \times E^2$ を用いた。また、降下粒子の運動エネルギーは、日照による電離が無く、降下粒子のみが電離源であり、降下粒子の全エネルギーが中性大気の電離に使われる事を仮定し、電離過程と再結合過程が平衡状態にあることを考慮して、電子密度の高度分布を用いて求められる、再結合に使われるエネルギーを用いた。このエネルギー量は、再結合係数を a_{eff} 、電子密度の高度分布を $N(h)$ とすると、 $a_{eff} \times N(h)^2$ に比例する。電離圏日照時では、降下粒子だけでなく日照によって中性大気が電離する。電離圏での電離生成率は、高度、太陽天頂角、太陽放射強度にも依存する。そこで、本研究では電離圏日照時の、粒子の降り込みが無い CP-1 データを用いて、日照によって増大した電子密度を、太陽天頂角、高度、太陽放射強度の指標となる F10.7 を変数とした経験式を導いた。そして、この電子密度の経験式を用いて、CP-1 データから日照の効果を取り除き、降下粒子の運動エネルギーを見積もった。

本研究では、1987 年 2 月から 2004 年 11 月までに得られた CP-1 モードのデータを解析した。降下電子のエネルギーが正確に見積もられる日陰時の統計解析結果から、午前、午後、真夜中など領域による量的な違いはあるものの、領域によらない共通の性質として、電磁エネルギーは粒子エネルギーよりも大きい事、電磁エネルギーと降下粒子エネルギーが反相関となる傾向がある事、電離圏に日照がある場合の平均電磁エネルギー、平均降下粒子エネルギーは、日照が無い場合より小さい値を取る傾向にある事が分かった。