

極域磁気圏における磁気嵐時のイオン上昇流

北村 成寿 [1]; 西村 幸敏 [2]; 小野 高幸 [3]; 海老原 祐輔 [4]; 飯島 雅英 [5]; 熊本 篤志 [6]; 新堀 淳樹 [7]; 山田 学 [8]; 渡部 重十 [9]; 阿部 琢美 [10]; Yau Andrew [11]

[1] 東北大・理・地球物理; [2] 東北大・理・地球物理; [3] 東北大・理; [4] 名大高等研究院; [5] 東北大・理・地物; [6] 東北大・理; [7] 名大・太陽地球環境研究所; [8] 東北大・理; [9] 北大・理・地球惑星; [10] 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部; [11] カルガリー大学・天体物理学科

Ion upflows in the polar magnetosphere during geomagnetic storms

Naritoshi Kitamura[1]; Yukitoshi Nishimura[2]; Takayuki Ono[3]; Yusuke Ebihara[4]; Masahide Iizima[5]; Atsushi Kumamoto[6]; Atsuki Shinbori[7]; Manabu Yamada[8]; Shigeto Watanabe[9]; Takumi Abe[10]; Andrew Yau[11]

[1] Geophys. Sci., Tohoku Univ.; [2] Department of Geophysics, Tohoku University; [3] Department of Astronomy and Geophysics, Tohoku Univ.; [4] Nagoua Univ., IAR; [5] Geophysical Inst., Tohoku Univ.; [6] Tohoku Univ.; [7] Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya Univ.; [8] PPARC, Tohoku Univ.; [9] Earth and Planetary Sci., Hokkaido Univ; [10] ISAS/JAXA; [11] Dept of Phys and Astronomy, Univ of Calgary

We performed case studies of ion upflows during geomagnetic storms using data obtained by the Akebono and Polar satellites. Based on the location of intense upflows and their velocities, we further examined the single particle trajectories of the upflowing oxygen ions to verify the importance of the large flux upflowing thermal oxygen ions.

We used electron density data observed by the PWS, and an ion composition ratio and field-aligned velocities observed by the SMS onboard the Akebono satellite. We also used ion distribution function data observed by the TIDE onboard the Polar satellite. A code developed by Ebihara et al. [2006] was used for calculations of oxygen ion trajectories. In this code, the Tsyanenko-89 and Weimer-2001 models were used as the magnetic and electric field models, under conditions of $K_p = 7$, $n_{sw} = 10$ /cc, $V_{sw} = 500$ km/s, IMF $B_y = 0$ and $B_z = -20$ nT.

Firstly, we performed case studies for geomagnetic storm events which occurred on March 30, and April 17, 1990, using data obtained by Akebono in an altitude range of 6000-10000 km in the dayside polar region. During the main and early recovery phases of the storms, the electron density enhanced 3-30 times larger than the quiet-time level in the auroral zone and polar cap. The SMS instrument measured intense ion upflows in the entire polar cap along the satellite path. Eighty percents of the upflowing ions were composed of oxygen with the upward velocities along the field lines of 4-10 km/s, which was comparable to the escape velocity. The upflow flux of the oxygen ion mapped to 1000 km altitude corresponded to $1-4 \times 10^9$ /cm²/s.

Next, we perform case studies of geomagnetic storms which occurred on May 4, 1998, February 18, 1999, and April 6, 2000, using the data obtained by the Polar satellite. Ion velocities were calculated assuming pure-oxygen plasma, since the Akebono observations mentioned above showed that the ion upflow during geomagnetic storms were dominated by oxygen. During the main phases of these storms, the Polar satellite crossed the polar region from nightside to dayside. Ion upflows had a maximum velocity of 10 km/s in the dayside polar cap in an altitude range of 8000-15000 km. The upward velocities were higher in the dayside than that in the nightside. The upward flux mapped to 1000 km altitude reached up to $1-15 \times 10^9$ /cm²/s in the cusp/cleft and in the polar cap near the cusp/cleft. In the nightside polar cap, upward velocities were derived about 0 to -2 km/s.

Finally, we calculated trajectories of the upflowing oxygen ions released at 9000 km altitude, which was near the altitude of the ion upflow observed by the Akebono and Polar satellites. Initial velocities of the oxygen ions were given in a range of 1-12 km/s, directed to the upward field-aligned direction in the electric field (ExB) drifting coordinate. The initial positions were 8, 10, 12, 14, and 16 MLT at 75 degrees in ILAT, and 70, 75, and 80 degrees in ILAT at 12 MLT. All of the oxygen ions which had the initial velocities of 3 km/s or larger, did not fall down to the Earth, but escaped into the magnetosphere. This result was almost the same in the case of IMF $B_z = -10$ nT. These results indicate that a large portion of the upflowing oxygen ions observed by the Akebono and Polar satellite in the dayside polar cap during geomagnetic storms flows into the magnetosphere. The ions released from prenoon MLT reached the dawnside magnetotail, and the ions released from postnoon MLT reached the duskside. The ions released from 12 MLT firstly flew into the premidnight magnetotail, and transported to the duskside $L = 3-5$ region, where the storm-time asymmetric ring current developed. In this region, some ions were energized up to more than 50 keV. These results indicate that large amount of thermal oxygen ions, which cause the density enhancement in the polar cap during geomagnetic storms, can reach the plasmashet and contribute to the formation of the ring current.

極域電離圏から磁気圏へのプラズマ流出は、磁気嵐中のプラズマシートやリングカレントイオン組成の激変に多大な影響を及ぼすことが明らかになってきているが、そのイオンの輸送経路、エネルギー等は十分明らかになっていない。本論文では、極域磁気圏低高度における磁気嵐時の Akebono と Polar 衛星によるイオン上昇流の観測結果、及びそのイオンの到達先についての粒子軌道計算結果を示し、高密度かつ低エネルギーのイオン上昇流の重要性について議論する。

本解析では、高度 275-10500 km で観測を行っている Akebono 衛星搭載のプラズマ波動観測器 (PWS) で得られたプラズマ波動観測データから衛星の軌道上の電子密度、及び低エネルギーイオン組成計測装置 (SMS) の熱的エネルギーイオン観測によるイオン組成、及び速度データを使用した。また、高度 $1.8-9 R_E$ で観測を行っている Polar 衛星に搭載された thermal ion dynamics experiment (TIDE) のイオン分布関数のデータを使用した。また、粒子軌道計算には、Ebihara et al. [2006] により開発された計算コードを用い、磁場は Tsyanenko-89 モデル、電場は Weimer-2001 モデルにより与えた。

昼側極域高度 6000-10000 km における Akebono 衛星のデータを用いて 1990 年 3 月 30 日と 4 月 17 日の磁気嵐時のイベント解析を行った。主相時から回復相初期に、オーロラ帯、極冠全域において静穏時の 3-30 倍程度の電子密度増加が観測された。SMS の観測では、極冠内では酸素イオンの全イオン数密度に占める割合が 80% を超え、その酸素イオンの磁力線上向き速度は脱出速度と同程度の 4-10 km/s であった。そして、そのフラックスは 1000 km 高度に換算して $1-4 \times 10^9$ /cm²/s であった。

また、1998 年 5 月 4 日、1999 年 2 月 18 日、2000 年 4 月 6 日の磁気嵐主相時に Polar 衛星により得られたイオン上昇流の観測データを解析した。この期間、TIDE は質量分析を行っていなかったが、磁気嵐時のイオン上昇流では酸素イオンが主体であったという Akebono の観測による結果から、酸素イオンを仮定して速度を計算した。衛星は、夜から昼側へ向かって極域を通過し、昼側極冠域の高度 8000-15000 km で最大で 10 km/s に達するイオン上昇流を観測した。これは Akebono の観測で見られたものと同程度の速度であった。昼側のカスプやクレフト及びその近傍の極冠域では、 $1-15 \times 10^9$ /cm²/s に達する強い上昇流が観測された。このピークの値は Polar の磁気嵐時の観測 [Moore et al., 1999] の値に比べて約 10 倍大きい。また、極冠の夜側ほど上昇速度が低下する傾向が見られた。

次に、Akebono や Polar 衛星でイオン上昇流が観測された領域を代表して、高度 9000 km、ILAT 75 度かつ 8, 10, 12, 14, 16 MLT の点、および 12 MLT の ILAT 70, 75, 80 度の点において、酸素イオンを電場ドリフトしている系で磁力線上向き速度 1-12 km/s でインプットし、その軌道を Ebihara et al. [2006] のコードを用いて計算した。Kp = 7 で、太陽風 n = 10 /cc, V = 500 km/s, IMF By = 0, Bz = -20 nT を仮定した。ただし AL 指数は使用していない。このとき、3 km/s 以上の初速度を持つ酸素イオンはそのまま地球には落下せず、磁気圏へ流出するという結果が得られた。また、IMF Bz = -10 nT とした場合でも、ほぼ同様に 3-4 km/s で磁気圏へ流出するという結果が得られた。これは、Akebono と Polar 衛星によって磁気嵐時に極域昼側で観測された酸素イオンの大部分は磁気圏へ流出していることを示している。計算開始の MLT を変更した場合、より朝側から計算を開始したものは朝側の尾部に達し、夕方側からのものは夕方側の尾部に到達するという依存性が得られた。12 MLT から計算を開始したものは、対流に沿って真夜中から夕方側の尾部に達し、更に磁気嵐時に非対称リングカレントの発達が見られる夕方側 L = 3-5 付近に輸送され、IMF Bz = -20 nT の場合では 50 keV を超えた酸素イオンも見受けられた。この結果は、磁気嵐時に極冠内で密度増加を引き起こしたフラックスの大きい熱的エネルギー酸素イオンが地球に落下せず、プラズマシートに達し、最終的には加速を受けてリングカレント形成に寄与できることを示している。