

## 磁気嵐時の内部磁気圏電場と沿磁力線電流

# 西村 幸敏 [1]; 新堀 淳樹 [2]; 小野 高幸 [3]; 飯島 雅英 [4]; 熊本 篤志 [5]

[1] 東北大・理・地球物理; [2] 名大・太陽地球環境研究所; [3] 東北大・理; [4] 東北大・理・地物; [5] 東北大・理

### Storm-time electric fields and field-aligned currents in the inner magnetosphere

# Yukitoshi Nishimura[1]; Atsuki Shinbori[2]; Takayuki Ono[3]; Masahide Iizima[4]; Atsushi Kumamoto[5]

[1] Dept. Geophys, Tohoku Univ.

; [2] Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya Univ.; [3] Department of Astronomy and Geophysics, Tohoku Univ.; [4] Geophysical Inst., Tohoku Univ.; [5] Tohoku Univ.

<http://stpp1.geophys.tohoku.ac.jp/>

Recent satellite observations have revealed that the strong ambient electric field from 5 mV/m to 47 mV/m appears in the inner magnetosphere during geomagnetic storms [Wygant et al., 1998; Shinbori et al., 2005]. The statistical study by using the Akebono/EFD data has revealed that most enhanced electric fields from 1.5 to 4.0 mV/m appear in the dawn and dusk regions in a localized L-shell range from 2 to 8 [Nishimura et al., 2006]. Since the convection electric field only reaches up to 2 mV/m in this region [Maynard and Chen, 1975], it is indicated that some sources of the electric field exist in the inner magnetosphere.

According to the hydromagnetic theory, the electric field is associated with field-aligned currents (FACs). During substorms, the association between the electric field and FACs has been identified [e.g. Fujii et al., 1994]. It is inferred that plasma boundaries would play an essential role on the generation of the electric field. However, the relation between the storm-time electric field and FACs has not been clarified yet. In the present study, relationship between the electric field and FACs has been studied by using the electric and magnetic field measurements by the Akebono satellite. FACs are calculated from the Ampere's law by assuming infinite current sheets aligned with the ambient magnetic field [Fukunishi et al., 1991]. Charge densities along the satellite path are obtained from the Coulomb's law.

During the quiet time before the March 12-14, 1990 geomagnetic storm, both the electric field and the field-aligned current is small. The field-aligned current begins to enhance around  $L=10$  during the initial phase, while the electric field remains less than 1mV/m. During the main phase, the amplitude of the electric field reaches 7 mV/m at  $L=4$ , and it is embedded in the region-1 and region-2 FACs. Positive and negative charges correspond to the downward and upward FACs, respectively. The electric field does not perfectly shielded by the R2 FACs but penetrate into the inner magnetosphere within  $L=4$ . During the recovery phase, both the electric field and the FACs move outward to  $L=8$  and are significantly reduced, maintaining the association with each other with weak enhancement.

This result shows that the electric field is intensified associated with the field-aligned current during geomagnetic storms. The polarity of the charge and current indicates that the generator of the electric field and the current locates in the magnetosphere, and the ionosphere acts as a load. Therefore the electric field enhances between the field-aligned currents. The electric field is produced in the boundary plasma region, and induces strong FACs on the circuit connected to the ionosphere. However, it does not constitute a perfect circuit in a limited MLT and L-shell region, but some part of the electric field penetrates into the lower L-shell region.

Some questions are raised against this interpretation. The magnitude of the electric field does not proportional to that of the field-aligned current. Another control factor is required to determine the relationship between the electric field and the FAC.

The recent MHD simulations have shown that the generator of the field-aligned current located at the high-latitude cusp [Siscoe and Siebert, 2006]. However, during the main phase, the electric field and the current enhances in the inner magnetosphere of  $L=4$ . It is difficult to imagine that the magnetic field line at 4 Re does not pass through the equator but is closed in the high-latitude region. In the next step, the structure of the magnetic field line and the source region of the field-aligned current should be investigated to understand the source of the electric field.

#### 1. Introduction

近年の衛星観測によって、磁気嵐時において内部磁気圏に強い背景電場が配位することが明らかとなってきた。例えば 1991 年 3 月の磁気嵐主相では  $L=3$  で 6 mV/m, 1989 年 3 月の磁気嵐主相では  $L=2.6$  で 10 mV/m に達する電場が観測された [Wygant et al., 1998; Shinbori et al., 2005]。AKEBONO 衛星電場観測器 (EFD) による 1989-1995 年の電場データを用いた統計解析の結果、磁気嵐時には全体的に強度が 1 mV/m 程度に増大する一方、特に朝側、夕方側の 2 Re から 8 Re の領域において 1.5-4.0 mV/m 程度の強度増大が見られることが示された [Nishimura et al., 2006]。古典的な Volland-Stern 型の電場モデル [Volland, 1973; Stern, 1975] では、 $Kp=8$  の場合で  $L=3$  において 1.2 mV/m 程度の電場しか説明できず、ま

た局在した電場とはならないため、内部磁気圏において強い電場を発生させる新たな機構が存在すると考えられる。

電磁流体力学によると、発散性の電場の存在は沿磁力線電流に対応する。沿磁力線電流の発達する領域に強い電場が発生することは、substorm 時に夜側で見られることが示されている [Fujii et al., 1994]。このことは、BPS, CPS, LLBL といったプラズマの境界領域が電場の生成に重要となることを示唆している。この対応関係は磁気嵐時にも見られると期待されるが、今まで磁気嵐時の内部磁気圏電場の強度増大と沿磁力線電流との対応関係は明らかにされていない。そこで本研究では、Akebono 衛星の電場と磁場データを用い、電場と沿磁力線電流 (FAC) の対応関係を調べた。FAC は背景磁場に沿った無限に長い電流層を仮定し、Ampere の法則を用いて導出した [Fukunishi et al., 1991]。電荷密度は Coulomb の法則から求めた。

## 2. Results

1990 年 3 月 12 日から 14 日の磁気嵐について解析を行った。Akebono 衛星は dawn-dusk 領域を観測していた。磁気嵐前の静穏時には電場、磁場ともに変動成分はほぼ 0 であった。初相に入ると FAC は  $L=10$  付近で増大を始めたが、電場は  $1 \text{ mV/m}$  以下の弱い状態が続いていた。主相時には  $7 \text{ mV/m}$  に達する強い電場が  $L=4$  付近に局在して発生した。このとき R1, R2-FAC も同じ領域に発達していた。正と負の電荷はそれぞれ下向きと上向き FAC 領域に存在しており、電場の強度増大領域が沿磁力線電流の発達する領域とよく対応していた。この電荷と電流の極性から、電場の源は磁気圏側にあり、電離圏側が抵抗の役割を果たしていることが分かる。R2 による電場の遮蔽は不完全で、 $L=4$  以内にも電場の侵入が見られた。回復相に入ると電場強度と FAC 強度は急激に小さくなり、 $L=8$  まで移動した。主相時と比べると強度は弱いですが、ここでも電場と FAC は同じ領域に存在しており、主相時と同じ極性を示した。

## 3. Discussion

この結果は、磁気嵐時の内部磁気圏電場は沿磁力線電流領域で強度増大することを表し、電場の発達が磁気嵐時の電流系と密接に関連していることを強く示唆している。電荷と電流の極性から、電場の源は磁気圏側にあり、それが抵抗の役割を果たす電離圏を通じて回路を形成していることが分かる。しかし低  $L$  値への電場の侵入があることを考えると、この電流系は局在した  $L$  値と磁気地方時の領域では完全には閉じておらず、低  $L$  値側にも接続していることになる。

この単純な電気回路による電場の発生の理解において 2 つの問題点が残されている。一つは、電場強度は電流強度に比例しないという観測事実である。電場は磁気嵐の規模に依存するが、電流はオーロラジェット電流強度に依存する。このため、電場強度を決めるのは電流強度以外に別な要因が存在することになる。二つ目は、この電流系が接続する磁気圏領域の問題である。MHD 数値計算によると R1 電流系はカスプの高緯度側で閉じているが [Siscoe and Siebert, 2006]、観測では磁気嵐時に R1 電流系が  $L=4$  付近に発達していた。 $L=4$  の磁力線は磁気赤道を通過して反対半球に接続していると考えられるが、磁気嵐時の R1 電流系が磁気圏側でどの領域に対応するかは明らかにされていない。磁気嵐時の沿磁力線電流系の理解が、磁気嵐時の強い電場の発生の理解に重要なることを本研究は示している。