

EXOS-D 搭載磁力計で観測された3月13日大磁気嵐中の 沿磁力線電流分布

藤井 良一¹⁾・福西 浩²⁾・国分 征³⁾
杉浦 正久⁴⁾・遠山 文雄⁵⁾

Preliminary Results Obtained by the EXOS-D Magnetometer During the March 13, 1989 Great Magnetic Storm

By

R. FUJII¹⁾, H. FUKUNISHI²⁾, S. KOKUBUN³⁾,
M. SUGIURA⁴⁾, F. TOHYAMA⁵⁾

Abstract: The EXOS-D satellite was launched on February 22, 1989 into an elliptic orbit with a 75° inclination and with an initial perigee and apogee of about 275 km and 10500 km, respectively. Although the complete set of observations did not begin until the beginning of April, the fluxgate magnetometer was in operation during the great magnetic storm of March 13, 1989, which has been one of the greatest storms this century. This preliminary report describes the characteristics of the field-aligned currents (FACs) observed by EXOS-D in the morning and evening sectors during this magnetic storm. The FAC system in the morning sector observed during the main phase spread greatly in invariant latitude (33°), its lowest latitude reaching as low as 50°. FAC events both in the main and recovery phases showed the following common features: (i) The presence of a pair of distinct FAC regions, an upward current on the poleward part and a downward current equatorward; (ii) the existence of a pair of FACs with narrow latitudinal width (1.5°) at the poleward edge of upward current in (i). In the evening sector

¹⁾ National Institute of Polar Research, Itabashi-ku, Tokyo 173, Japan

²⁾ Upper Atmosphere and Space Research Laboratory, Tohoku University, Sendai 980, Japan

³⁾ Geophysics Research Laboratory, University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo 113, Japan

⁴⁾ Institute of Research and Development, Tokai University, Shibuya-ku, Tokyo 151, Japan

⁵⁾ Faculty of Engineering, Tokai University, Hiratsuka 259-12, Japan

the lower latitude boundary of the FACs began to move equatorward right after the SSC and eventually reached as low as 50° , but the higher latitude one did not immediately respond to the SSC. As the recovery the storm progressed, on the other hand, the higher latitude boundary of the FACs returned poleward more quickly than the lower latitude boundary.

概 要

1989年3月13日の大磁気嵐中に、EXOS-Dに搭載されたフラックスゲート磁力計により観測された沿磁力線電流（FAC）の特性について報告する。本磁気嵐は地磁気観測史上有数の磁気嵐であり、その間にEXOS-Dは午前昼間側及び夕方側で大規模なFACを観測した。午前側のFACの特性は、1）地磁気嵐主相では、地磁気緯度で 50° から 80° にも及ぶ広いFAC領域が観測された。2）FACの極性は、低緯度から上向き、下向きのFACの他にそれらの高緯度側に上向きの大規模FACが出現した。3）この高緯度側の上向きFAC高緯度境界に狭い緯度巾（ 1.5° ）のペアのFACが観測された。夕方側のFACの特性は、1）FACの低緯度側境界はSSCの直後から低緯度側に移動しはじめるが、高緯度側境界は即座には反応しない。2）磁気嵐の回復期には逆に高緯度境界は直ぐに反応し高緯度側に移動しはじめたが、低緯度側境界は遅れて反応した。

はじめに

太陽フレアに起因する地磁気嵐は、電流系の観点から見ると、開始時の磁気圏境界面電流の増大（初相）、そのあとに赤道環電流（リングカレント）の発達（主相）と衰退（終相）を引き起こす。地磁気嵐時にはオーロラは広い緯度領域に広がり、特にその低緯度境界が中緯度まで下がることのあるため、日本からでもオーロラを観測出来ることがある。磁気圏と電離圏を結ぶ沿磁力電流（FAC）の一部はリングカレントに結びついていると考えられているが、地磁気嵐中のFACとリングカレントとの関係やポーラーキャップ中のFACがどのような分布を持ち又挙動を示すかは未だ解明されていない。本論文では3月13日～3月15日の地磁気嵐中に、“あけぼの”（EXOS-D）衛星搭載のフラックスゲート型磁力計により観測されたFAC分布について報告する。

午前側のFAC分布の特性

上記地磁気嵐は、3月13日01時26分（UT）のSSCにより始まり3月15日まで続いた。3月13日が初・主相に当り14日以降が終相となっている。その間07時47分に再度SSCがあり3月13日中に2回静止衛星軌道にまでマグネトポーズが入り込むほど昼間側磁気圏が圧縮された。AAインデックスでは観測史上最大、APインデックスでは史上第3位の地磁気嵐と同定されている。[1]。柿岡地磁気観測所のH成分でも最大で640 nTに達しており1957年のIGY以来最大の擾乱となった（図1）。この間、EXOS-Dは高圧を使用してい

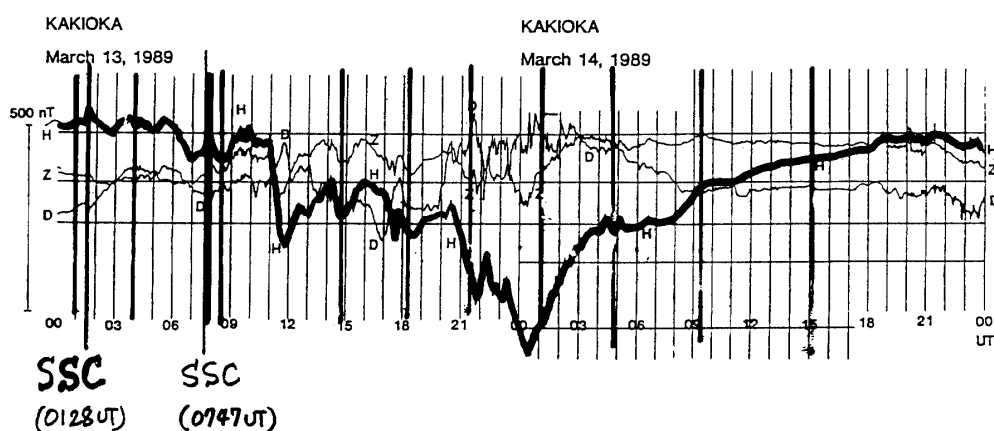


図1

る機器はオンされていなかったが、磁力計を始めとする機器は観測を実施していた。

2 図に a) 3月13日08:30 UTから09:10 UT間(初相)の磁場変動と、b) 1日後の3月14日09:14 UTから09:54 UT間(終相)の磁場変動を示す。両方共、南半球午前側から昼間に向かう軌道で取得された。Zは太陽方向の磁場成分を表し、この場合は東西成分にほぼ相当している。図中Dは磁気圏から電離層に流れ込むFACを、Uは流れ出るFACを表す。

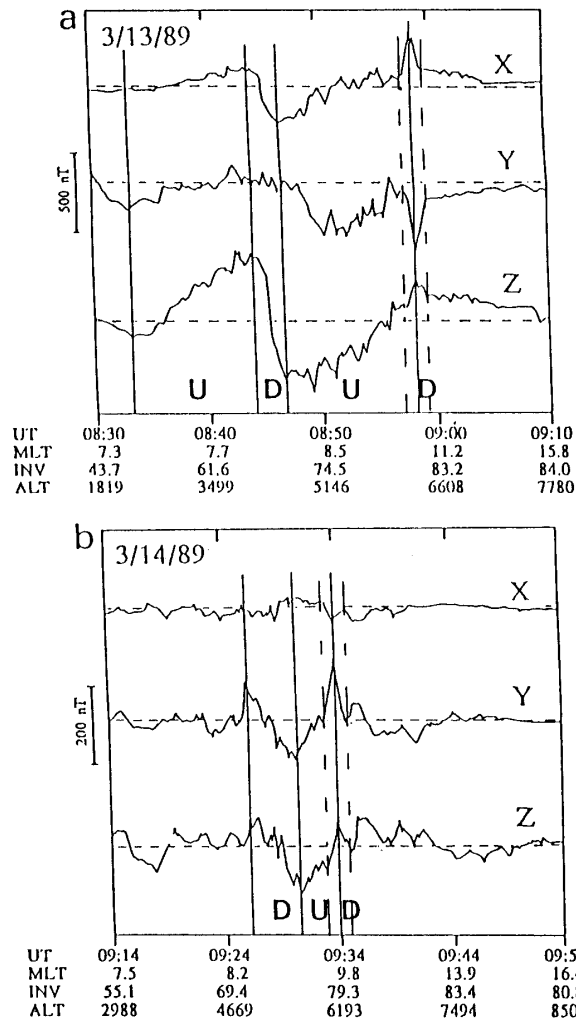
2回目のSSC後の地磁気嵐主相観測されたa)では、08:33-08:44 UTに上向き電流がINV緯度で 49° ~ 67° の領域で流れている。FAC強度は磁場変動で500 nT相当、高度800 Km換算で0.5 A/mに達している。08:44-08:47 UTには下向き電流が 67° ~ 71° INVの領域で流れている。電流強度は磁場変動で740 nT、高度800 Km換算で0.9 A/mである。

08:47-08:58 UTでは再度上向き電流が 71° ~ 82° の領域に流れている。磁場変動は600 nT、800 Km換算で0.8 A/mの電流強度である。更にこの電流系の高緯度部分に400 nTのスパイク状(1.6° INV巾)の磁場変動が見られる。これは上向きと下向きのペアーのFAC層があったことを示している。

終相で観測されたb)では、はっきりと同定できる電流系としては、09:26-09:30 UTに 71° ~ 76° INV領域で下向き電流(280 nT;800 Km換算で0.4 A/m)が、09:30-09:34 UTに 76° ~ 79° INV領域で上向き電流(330 nT;800 Km換算で0.5 A/m)が認められる。a)と同様に、この電流系の高緯度側に 1.4° INV巾のスパイク状のペアーの電流系を出現している。

この主相、終相の2例についてまとめると、

- 1) 地磁気嵐主相の例では、FACの出現する領域は極めて広く、低緯度側は 50° まで下がっている。それに対し、終相の例ではFACの出現する領域が相対的に狭まっている。
- 2) 電流強度も主相の例の方が約2倍強い。
- 3) 以上のような違いはあるが、電流分布のパターンという点では両者は極めて良く似ている。即ち午前側FAC分布の特徴である下向き電流の高緯度側に、強い上向き電流が新たに出現しており、更にその高緯度側に狭い緯度範囲でペアーの電流対が現れている。この新たな電



FACs observed during a) the main phase and b) the recovery phase of the March 13 magnetic storm. D and U denote downward (flowing out of the ionosphere) FAC and upward FAC, respectively.

図 2

流系は地磁気嵐に特有なものか又は午後側の電流系が回りこんでいる可能性がある。

夕方側の FAC の特性

3 図は夕方側で観測された磁気嵐中の FAC の空間分布を表す。図中の FAC はいずれも 2000 MLT 付近の現象である。上向き（下向き）の矢印は電離層から（に）流れ出る（込む）FAC を表す。a) は第 1 回目の SSC の直前の FAC であり、低緯度側に下向きの FAC、高緯度側に上向きの FAC が明瞭に観測される。高緯度及び低緯度境界は各々 69° と 65° である。この電流向きのペアの FAC はこの MLT 帯と INV 帯で良く観測されるものである。

b) は第 1 回目の SSC から約 3 時間経過した時の FAC で既に FAC 領域は 68° から 55°

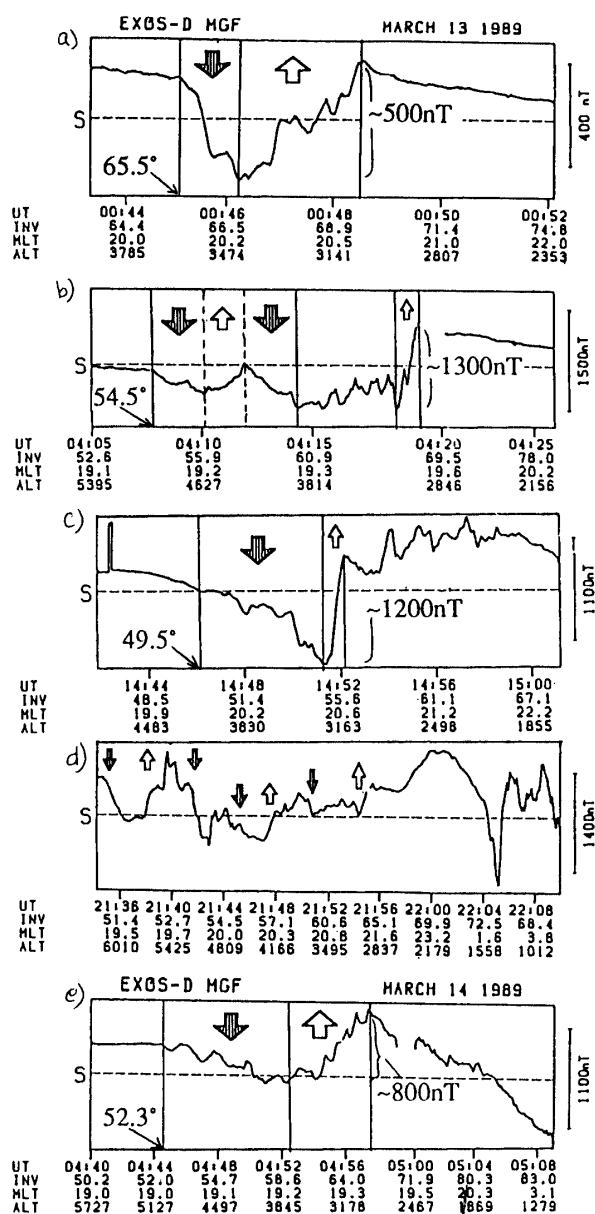


図 3

まで広がっている。下向きの FAC 領域は複雑な構造になっており、電流強度も a) に比べて 2~3 倍になっている。c) は b) から約 10 時間経過した時点での FAC で、GOES 衛星の磁場データから磁気圏境界面が静止衛星軌道まで入り込んだと同定された時のものである。FAC の高緯度側境界は約 56° まで下がり、高緯度側境界も 50° まで下がってきている。この FAC 領域の高緯度側に不規則な、しかし 400 nT に及ぶ FAC が観測されている。d) は地磁気嵐主相の終わりに観測された FAC である。FAC 分布は極めて不規則で多数のペアの FAC が見てとれる。低緯度側のデータが無いため低緯度側境界は同定できないが、少なくとも 50 度以下まで下がっている。

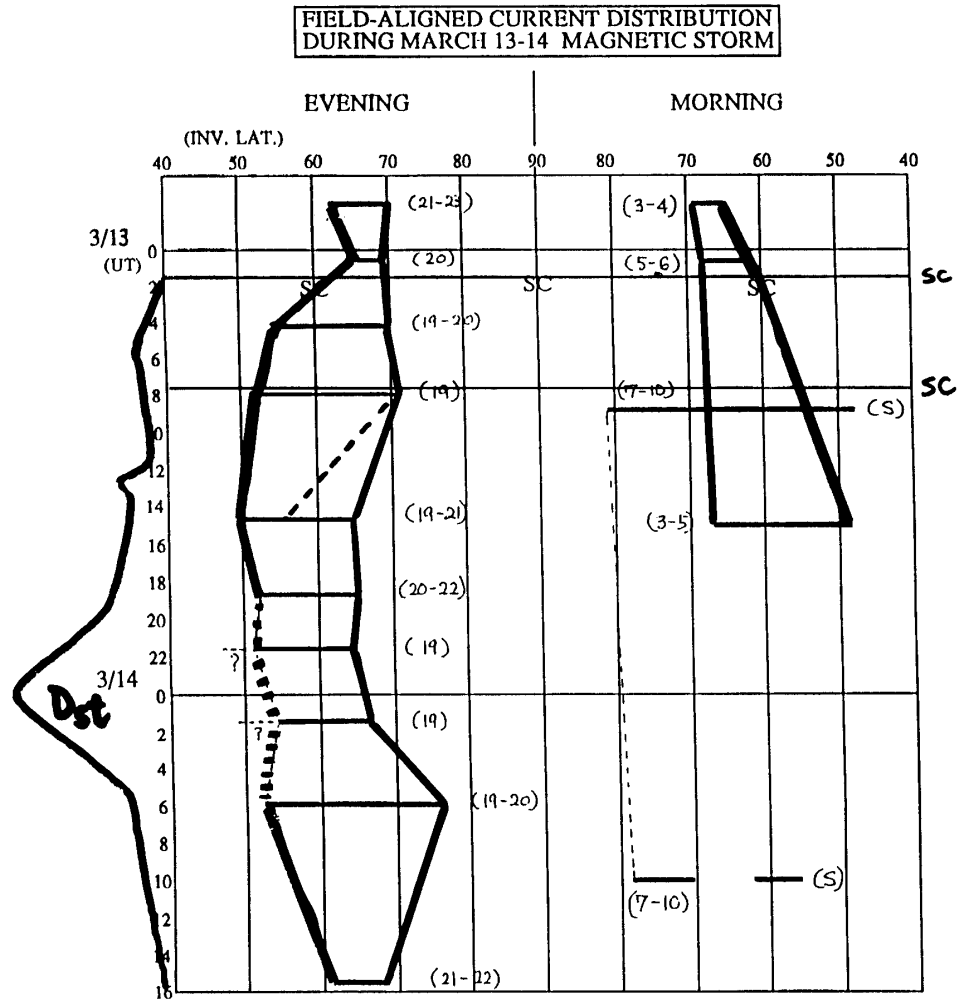


図4

e) は終相の FAC 分布であるが、a) の場合と同様にペアーの FAC が明瞭に判別できる。又、高緯度側及び低緯度側境界も c) d) に比べ高緯度側に戻っている。特に高緯度側は殆ど a) の状態まで戻っていることは注目に値する。

4 図は高緯度側及び低緯度側境界の時間変化を表わしたもので、縦軸は時間、横軸が磁気緯度である。データのカバレッジの都合で判然としないところは点線になっている。

話を午後側に限るが、低緯度側境界は SSC 直後から直ぐに低緯度へ移動している。それに対し、高緯度側境界は第 2 の SSC が起きるまでその位置を変えていない。3 月 14 日になり終相に入ると、今度は逆に高緯度側境界は即座に高緯度側に戻り始めるが低緯度側境界は即座には反応しないように見える。

ディスカッション

地磁気嵐中の FAC 分布やその挙動については初相を除いては余り調べられていない。オーロラのグローバルな広がりや中・低緯度にまで電離層電流が拡がることから FAC も地

磁気嵐の発達に伴い緯度的に広がることは十分予想されることである。本論文で示した午後側のFACの挙動はFACも地磁気嵐の発達により低緯度側に大きく移動することを初めて示した。更にFACの高緯度側と低緯度側境界は地磁気嵐の発達に対し異なった反応を示すことを明瞭に示している。これはリングカレントとFACの関係が高緯度側FACと低緯度側FACで異なることを意味している。

午前側のFAC分布からは、その緯度的広がり以外にも、通常観測される低緯度側の上向き電流、高緯度側の下向き電流の更に高緯度側に、新たに大規模な上向き電流が出現していることが明らかとなった。この向きの電流は小さい地磁気嵐時 ($Dst \sim 50$ nT) に報告された事がある[2]が、今回ような極めて大きい地磁気嵐では今迄報告された事はない。この電流分布は[3]で報告された様に、昼間側高緯度領域に新たにプラズマ対流の渦が出現した事に対応している。この対流の渦は惑星間磁場の B_z 及び B_y が負の時のパターンに相当している[4]が、この点は衛星データ又は極冠域地磁気データで検証する必要がある。いずれにせよこの様な異常ともいえる磁気圏の状態下で、太陽風と磁気圏・電離圏がどのように相互作用するかを調べる上で興味深いデータといえる。

この上向き電流の高緯度境界付近に緯度巾の狭いペアのFACが観測されたが、大規模なFACが東西方向のアラインメントを持つのに対し、ほぼ南北のテライメントを持っている。2日間に亘って観測されていることから空間的に長期間存在していた可能性もある。現在の所新たに出現した対流渦の境界に、強いFACが存在すること以上の事は言えないが、1989年中に観測された他の地磁気嵐の例で、今後上に述べたことも含め調べる予定である。

謝 辞

EXOS-D搭載のフラックスゲート磁力計(MGF)の開発・製作・データ処理に際してのMGFのCo-Iの努力とメンバーシップに感謝し、又宇宙科学研究所、製作を担当された明星電気及び日本飛行機の方々に大変お世話になったことを感謝します。EXOS-Dの運用の方々、日本電気の方々にも感謝の意を表します。

参 考 文 献

- [1] J. Allen et al., Effects of the March 1989 Solar Activity, *EOS*, November 14, 1479, 1989.
- [2] W.F. Denig and F.J. Rich, The ionosphere-magnetosphere structure during a geomagnetic storm based on measurements in the morning auroral zone, *J. Geophys. Res.*, 91, 165, 1986.
- [3] R. Fujii et al., Preliminary results obtained by the EXOS-D magnetometer during the March 13, 1989 great magnetic storm, *EOS*, October 24, 1289, 1989.
- [4] J.L. Burch et al., IMF By-dependent plasma flow and Birkeland currents in the dayside magnetosphere, 1. Dynamics Explorer Observation, *J. Geophys. Res.*, 90, 1577, 1985.