

平成 21 年 5 月 31 日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2007 年～2008 年
 課題番号：19740303
 研究課題名（和文） 複数衛星観測による深内部磁気圏の磁場構造変化とイオン組成変化に関する研究
 研究課題名（英文） Study of variations of magnetic field structure and ion composition in the inner magnetosphere by using multi-satellite observation
 研究代表者
 能勢 正仁（NOSE MASAHIRO）
 京都大学・大学院理学研究科・助教
 研究者番号：90333559

研究成果の概要：これまで、静止衛星軌道より内側のリングカレント領域(高度 20000-30000 km 付近)の磁場構造はそれほど大きく変化しないと考えられることが多く、双極子磁場による近似が行われてきた。しかしながら、MDS-1 衛星の磁場観測により、このような領域でもサブストームに伴う磁場双極子化や高周波の磁場擾乱が現れたり、磁場構造が強く引き伸ばされた形状になったりするように、内部磁気圏の磁場構造は想像以上に変動していることが明らかになった。こうした磁場変動は、特に酸素イオンを選択的に加速し、リングカレントのイオン組成変化に重要な役割を果たしていることが分かった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1700000	0	1700000
2008 年度	1400000	420000	1820000
年度			
年度			
年度			
総計	3100000	420000	3520000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・超高層物理学

キーワード：地球惑星磁気圏、サブストーム、リングカレント、イオン組成、粒子加速

1. 研究開始当初の背景

リングカレント領域(L=3-4 あたり)に存在する数 keV から数百 keV の高エネルギー帯のイオン組成は、静穏時には H⁺イオンが卓越した状態にあるが、磁気嵐時には O⁺イオンの寄与が増大し、時として O⁺イオンが H⁺イオンを凌駕することもある。例えば、Hamilton et al. [1988]は、L=3-5 の領域における O⁺/H⁺イオンエネルギー密度比は、静穏時には 0.01 程度なのに対し、磁気嵐時には 1.3 になった例を挙げている。同様に Daglis [1997]は、O⁺/H⁺

エネルギー密度比が 0.2 程度から 3.0 にまで増加した例を報告している。なぜ磁気嵐時にリングカレント領域において O⁺イオンの寄与が増大するのかについては、内部磁気圏研究において大きな問題となってきた [Kamide et al., 1997]。

研究代表者はこれまでに、Geotail 衛星搭載の EPIC 粒子観測器によって得られた高エネルギーイオンフラックスデータの解析を行ってきた。Geotail 衛星の近地球プラズマシートにおける観測結果に基づけば、上記の

問題に対する説明として(1)リングカレント領域での磁場双極子化によるイオン加速、(2)グローバルな磁場構造変化と対流電場によるイオン加速、の2つの可能性が挙げられる。これらの可能性を検証するには、リングカレント領域を飛行する人工衛星のデータ解析が必要であるが、最近になってMDS-1衛星、IMAGE衛星などの内部磁気圏を直接的・間接的に観測する人工衛星のデータが利用可能となった。こうした背景から、この研究計画の立案に至った。

2. 研究の目的

静止衛星軌道高度より内側を飛行する人工衛星(MDS-1衛星)による磁場データ、およびIMAGE衛星によるリングカレント粒子の撮像データを解析し、「磁気嵐時における内部磁気圏の磁場構造の変化とそれがリングカレントイオン組成の変化に及ぼす影響」を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

研究目的を達成するために、具体的に次のような研究課題を設定した。

研究課題1：サブストームに伴う磁場双極子化は、内部磁気圏のどの程度内側まで観測されるのか？

研究課題2：磁場双極子化が、磁気嵐中にリングカレント領域においても起こりうるのなら、その時の粒子加速はイオン種依存性があるのか？

研究課題3：その時にリングカレント全体のイオン組成に違いが生じるのか？

(1) 最初に、MDS-1衛星の磁場観測データを統計解析して、研究課題1に着手した。MDS-1軌道データから衛星がL=3-4あたりのリングカレント領域を飛行していた時間帯をリストアップする。その時間帯にサブストームが起こっていたかどうかを確認し、起こっていれば磁場の双極子化現象の有無を調べた。(サブストームの確認は、平成17-18年度科学研究費補助金(若手研究(B))による研究で作成されたPi2地磁気脈動のリスト、および高緯度の地上磁場データ、Polar衛星によるオーロラ画像などで行った。)磁場双極子化現象の有無や、その双極子化の時間スケールなどのL依存性を調べ、磁気圏のどの程度内側まで磁場双極子化現象が観測されるのかを調べた。

(2) 次に、研究課題2、3の解明のために、MDS-1衛星とIMAGE衛星の同時観測データを解析した。上記の解析から選び出されたMDS-1衛星の磁場双極子化イベントに対し、IMAGE衛星の軌道データを調べ、両衛星の同時観測イベントを抽出した。IMAGE衛星が極

域遠地点に位置していれば、リングカレント粒子の全体分布がどのように変化するかがHENA撮像器から分かるので、磁場双極子化時のイオン加速やイオン組成変化を調べることができた。

4. 研究成果

(1) 図1は、MDS-1衛星がリングカレント領域(L=4.4)に位置しているときに観測された磁場双極子化の典型的な例である。2002年5月14日の0825UTごろ、AL指数が急激に減少して、高緯度のオーロラ電流が発達しているときに、深内部磁気圏であっても約80nTの磁場増加に見えるような明瞭な磁場双極子化とそれに伴う短周期の磁場擾乱が観測されている。

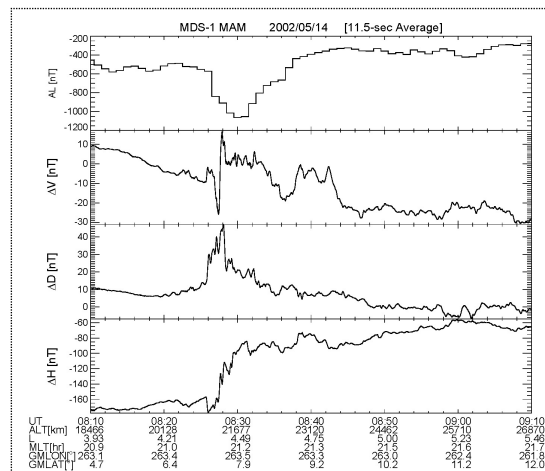


図1：2002年5月14日に深内部磁気圏(L=4.4)で観測された磁場双極子化現象。

MDS-1衛星が夜半球を飛行している期間から、オーロラオンセットが起こっている例を60例選び出し、そのうち図1のような磁場双極子化現象が起こっている例を探し出したところ、21例見つかった。これらの例について発生頻度のL分布を求めた結果が図2である。この結果によると、サブストームが起こった時、L=6.0-6.5では約80%の例で磁場双極子化が現れ、その確率はLが小さくなるに従っ

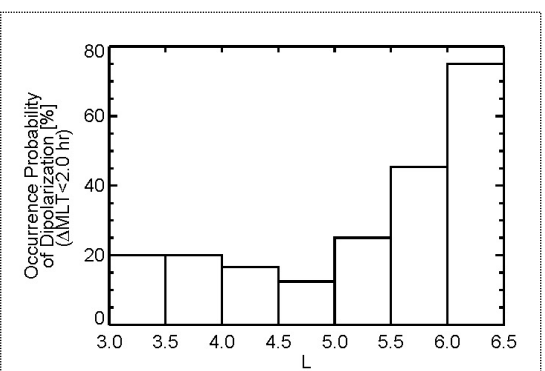


図2：21例の磁場双極子化現象の発生頻度L分布。

て小さくなるが、決して0%になることはなく、かなり内部の磁気圏(L=3.0-5.0)であっても20%ほどの例で磁場双極子化が観測されることが分かる。

(2) 図1で示したイベントに現れている高周波の磁場擾乱について、周波数解析を行ったところ、約5秒前後の特性周期を持っていることが分かった。この時のMDS-1衛星の位置における磁場強度は約250nTであり、ここからH⁺イオン、O⁺イオンのジャイロ周期は、それぞれ約0.26秒、約4.2秒であることがわかる。磁場擾乱の特性周期に比べて、H⁺イオンのジャイロ周期はずっと短い、O⁺イオンのジャイロ周期はほぼ同程度であるため、O⁺イオンは非断熱的加速を受けている可能性がある。

図3は、IMAGE衛星HENA撮像器によって、このイベント時に観測された中性粒子のイメージ(上図)とそのフラックスの時間変化(下図)を示している。観測結果によると、磁場双極子化が現れた0825UTごろから中性粒子のフラックスが増加しており、その増加割合は、0のほうに比べてずっと大きいことが分かる。また、磁場双極子化が終わった後も、中性粒子のフラックスはそれほど減衰することなく、ある程度一定のレベルを焼く1.5時間に亘って保っている。これは、上で述べたO⁺イオンの非断熱的加速を支持するものであり、それがリングカレントのイオン組成変化に重要な役割を果たしていることを示している。

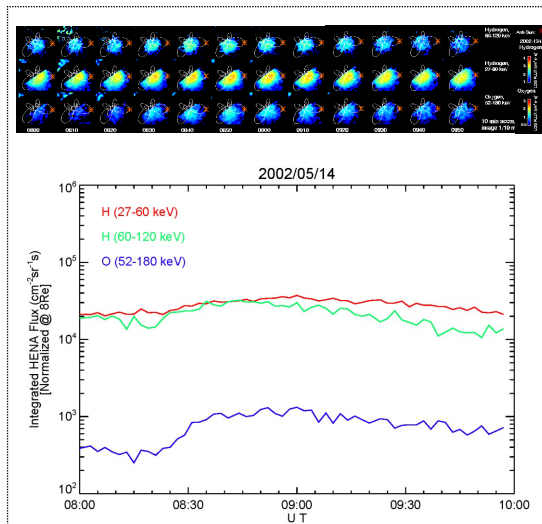


図3：(上) IMAGE衛星HENA撮像器で得られた中性粒子2次元分布図の時間変化。(下) 中性粒子フラックスの時間変化。

図1、図3のようにMDS-1衛星とIMAGE衛星の同時観測イベントは2002年5月14日のものだけでなく、他にも数例見つけることができ、その約半数でO⁺イオンの非断熱的加速を示唆する観測結果が得られた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計13件)

1. Nosé, M., S. Taguchi, S. P. Christon, M. R. Collier, T. E. Moore, C. W. Carlson, and J. P. McFadden, Response of ions of ionospheric origin to storm-time substorms: Coordinated observations over the ionosphere and in the plasma sheet, *J. Geophys. Res.*, 114, A05207, doi:10.1029/2009JA014048, 2009.
2. Nosé, M., A. Ieda, S. P. Christon, Geotail observations of plasma sheet ion composition over 16 years: On variations of average plasma ion mass and O⁺ triggering substorm model, *J. Geophys. Res.*, 114, doi:10.1029/2009JA014203, 2009, in press.
3. Nosé, M., T. Iyemori, M. Takeda, H. Toh, T. Ookawa, G. Cifuentes-Nava, J. Matzka, J. J. Love, H. McCreadie, M. K. Tunçer, and J. J. Curto, New substorm index derived from high-resolution geomagnetic field data at low latitude and its comparison with AE and ASY indices, in *Proceedings of XIIIth IAGA Workshop*, 2009, in press.
4. Ono, Y., M. Nosé, S. P. Christon, and A. T. Y. Lui, The role of magnetic field fluctuations in non-adiabatic acceleration of ions during dipolarization, *J. Geophys. Res.*, 114, doi:10.1029/2008JA013918, 2009, in press.
5. Miyashita, Y., 他15名, (M. Nosé, 11番目), A state-of-the-art picture of substorm-associated evolution of the near-Earth magnetotail obtained from superposed epoch analysis, *J. Geophys. Res.*, 114, A01211, doi:10.1029/2008JA013225, 2009.
6. Machida, S., 他9名, (M. Nosé, 4番目), Statistical visualization of the Earth's magnetotail based on Geotail data and the implied substorm model, *Ann. Geophys.*, 27, 1035-1046, 2009.
7. Teramoto, M., M. Nosé, and P. R. Sutcliffe, Statistical analysis of Pi2 pulsations inside and outside the plasmasphere observed by the polar orbiting DE-1 satellite, *J. Geophys. Res.*, 113, A07203, doi:10.1029/2007JA012740, 2008.
8. Ieda, A., 他12名, (M. Nosé, 10番目), Longitudinal association between magnetotail reconnection and auroral breakup based on Geotail and Polar observations, *J. Geophys. Res.*, 113, A08207, doi:10.1029/2008JA013127, 2008.

9. Han, D.-S., H.-G. Yang, M. Nosé, D.-H. Huang, Z.-T. Chen, and H.-Q. Hu, Dawnside particle injection caused by sudden enhancement of solar wind dynamic pressure, *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, 70, 1995-1998, 2008.
10. Lui, A. T. Y., 他 12 名, (M. Nosé, 12 番目), Determination of the substorm initiation region from a major conjunction interval of THEMIS satellites, *J. Geophys. Res.*, 113, A00C04, doi:10.1029/2008JA013424, 2008.
11. Kunori, T., M. Nosé, S. Taguchi, K. Hosokawa, M. R. Collier, and T. E. Moore, Storm phase dependence of ion outflow: Statistical signatures obtained by IMAGE/LENA, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L18106, doi:10.1029/2007GL029877, 2007.
12. Han D.-S., 他 9 名, (M. Nosé, 6 番目), Coupling of perturbations in the solar wind density to global Pi3 pulsations: A case study, *J. Geophys. Res.*, 112, A05217, doi:10.1029/2006JA011675, 2007.
13. Kulesh M., M. Nosé, M. Holschneider, and K. Yumoto, Polarization analysis of a Pi2 pulsation using continuous wavelet transform, *Earth Planet. Space*, 59, 961-970, 2007.

[学会発表] (計 13 件)

1. Nosé M., 他 4 名, MDS-1 satellite observations of magnetic field dipolarization in the deep inner magnetosphere, 平成 20 年度磁気圏電離圏シンポジウム, 2008 年 11 月 26 日、神奈川県・淵野辺 (Poster, Invited).
2. Nosé M., 他 10 名, New substorm index derived from high-resolution geomagnetic field data obtained at globally distributed low-latitude stations, International Symposium: Fifty Years after IGY, November 10, 2008, Tsukuba, Ibaragi (Poster).
3. 能勢正仁、他 4 名, MDS-1 satellite observations of magnetic field dipolarization in the deep inner magnetosphere, 第 124 回地球電磁気・地球惑星圏学会総会、2008 年 10 月 10 日、宮城県・仙台 (Oral).
4. Nosé M., Pi2 pulsations: Cavity mode resonance or BBF-driven process?, XIIIth IAGA Workshop on Geomagnetic Observatory Instruments, Data Acquisition and Processing, June 17, 2008, Boulder, USA (Poster).
5. Nosé M., 他 9 名, New substorm index derived from high-resolution geomagnetic field data at low latitude and its comparison

with AE and ASY indices, XIIIth IAGA Workshop on Geomagnetic Observatory Instruments, Data Acquisition and Processing, June 16, 2008, Boulder, USA (Oral).

6. Nosé M., 他 3 名, Magnetic field dipolarization in the inner magnetosphere observed by the MDS-1 satellite, 地球惑星科学関連学会 2008 年合同大会、2008 年 5 月 27 日、千葉県・幕張 (Poster).
7. Nosé, M., 他 3 名, Variations of Plasma Sheet Ion Composition during the 23rd Solar Cycle, 第 122 回地球電磁気・地球惑星圏学会総会、2007 年 9 月 28 日、愛知県・名古屋 (Oral).
8. Nosé, M., 他 7 名, New substorm index derived from high-resolution geomagnetic field data at low latitude and its comparison with real-time AE index, 第 122 回地球電磁気・地球惑星圏学会総会、2007 年 9 月 30 日、愛知県・名古屋 (Poster).
9. Nosé, M., 他 7 名, Relation between the ring current energy and the SYM-H index, Asia Oceania Geosciences Society 4th Annual Meeting, August 2, 2007, Bangkok, Thailand (Oral, Invited).
10. Nosé, M., 他 3 名, Variations of Terrestrial Plasma Environment during the 23rd Solar Cycle: Geotail/EPIC Observations of Ion Composition, IUGG XXIV 2007, July 6, 2007, Perugia, Italy (Oral).
11. Nosé, M., 他 6 名, New substorm index derived from high-resolution geomagnetic field data at low latitude and its comparison with real-time AE index, IUGG XXIV 2007, July 5, 2007, Perugia, Italy (Poster).
12. Nosé, M., 他 7 名, Relation between the ring current energy and the SYM-H index, 地球惑星科学関連学会 2007 年合同大会, 2007 年 5 月 19 日, 千葉県・幕張 (Oral).
13. Nosé, M., Simultaneous observations of ions of ionospheric origin over the ionosphere and in the plasma sheet at storm-time substorms, Taiwan Geosciences Assembly, May 17, 2007, Taoyuan, Taiwan (Oral, Invited).

[その他]

ホームページ等

<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/~nose/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

能勢 正仁 (NOSE MASAHIRO)

京都大学・大学院理学研究科・助教

研究者番号：90333559