

朝側から昼側領域の静止軌道における電子密度増加  
**Electron density enhancements in the pre-noon sector of GEO**

中村 雅夫 (大阪府立大学)

Masao Nakamura (Osaka Prefecture University)

はじめに

衛星の表面帯電は、静止軌道上の不具合の大きな原因の1つである。静止軌道衛星の表面帯電は、地球の日陰に入ったときや夜側から朝側の軌道領域へ磁気圏サブストームにともなう高温電子が流入したときに引き起こされると考えられている。しかし、観測データと帯電解析ソフトとを組み合わせた研究から、朝側から昼側領域にかけても無視できない頻度で帯電が発生する可能性が示され、この領域の帯電発生頻度の上昇は電子密度の異常増加に関係があることが示唆されていた。本研究では、この朝側から昼側領域の静止軌道において帯電を引き起こす電子密度の増加現象について調べた。

観測と解析結果

趙等[1]による Los Alamos National Laboratory(LANL)静止軌道衛星の観測データと衛星帯電解析ソフト NASA Charging Analyzer Program (NASCAP)による解析とを組み合わせた研究では、従来知られていた通り、主として地球の日陰および夜側から朝側にかけての領域で表面帯電が起こることが示された。これらは、日陰で光電子放出による帯電緩和効果が働かないことと、夜側から朝側にかけての領域で磁気圏サブストームにともなう高温電子が衛星軌道に侵入することで表面帯電を引き起こされるためである。さらに、その研究では、朝側から昼側領域にかけても無視できない頻度で表面帯電が起こる可能性があることを明らかにした。この領域でも、サブストームによる高温電子の一部が、昼側までドリフトしてくることにより帯電を引き起こしている場合もあるが、趙等の解析結果では 4.5 keV 程度 (3-6 keV 範囲の代表値) の温度の電子による帯電発生頻度が、他の領域に比べて高くなっていることが示された。趙等は、電子密度が 10 個/cc を越えて異常増加するイベントの発生が朝側から昼側にかけて集中していることを突き止め、数 keV 程度の電子温度でも密度が増加することで、衛星に流れ込む電子による電流が増え、衛星帯電を引き起こしていることを示唆した。本研究では、それらのイベントを、趙等と同じ NASA の Coordinated Data Analysis (CDA) Web[2]にある LANL 静止軌道衛星の Magnetospheric Plasma Analyzer (MPA) Key Parameters を用いて解析をおこなった。表 1 に解析に用いたデータ期間を示す。このデータの中から、衛星が地方時で 8~14 時の間の朝側から昼側にかけての領域に位置し、電子密度が 10 個/cc 以上、衛星のポテンシャルが-100V 以下を同時に満たす観測点が 2 点以上連続しているイベントを選び出した。これらの条件を満たすイベントは、75 イベント見つかリ、通常 1 衛星のみで観測され、異なる地方時で同時観測

している他の LANL 衛星では観測されない局所的な現象であった。

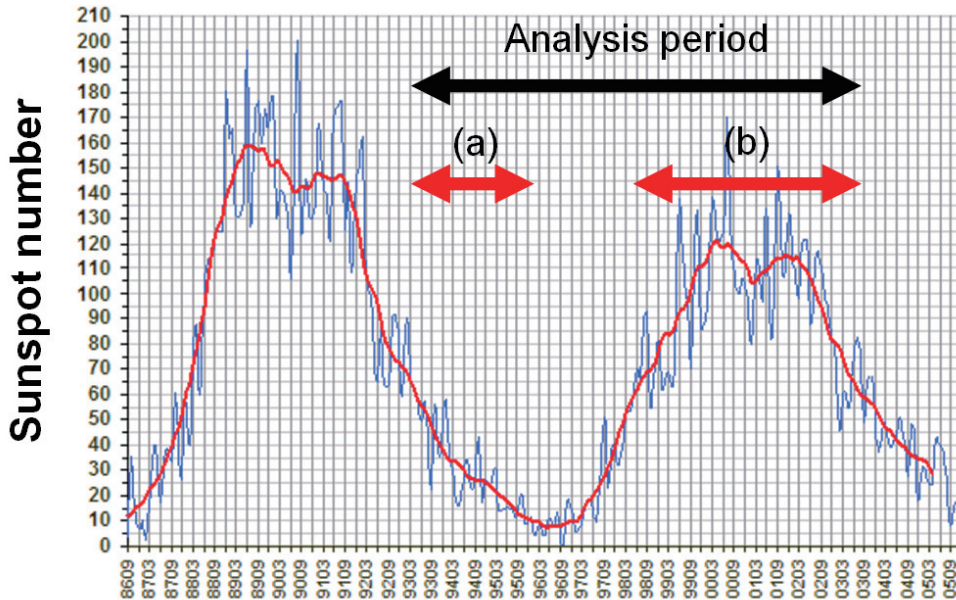
衛星	解析データ期間
LANL89	April, 1996 - December, 2002
LANL90	March, 1993 - December, 2002
LANL91	October, 1993 - September, 2003
LANL94	February, 1996 - October, 2003
LANL97	July, 1997 - September, 2003

表 1 : 解析に用いた各 LANL 衛星のデータ期間。

図 1 に、第 22-23 期太陽活動周期の太陽黒点数のグラフに、全解析データ期間（黒矢印の範囲）と選択したイベントが得られた期間（赤矢印の範囲）とを重ねて示した。これらイベントは、解析データ期間中の(a)(b)の2つの期間に分かれて分布している。(a)の期間は、太陽活動が極大期から極小期に向かう減衰期にあたり、全 75 イベント中 24 イベントが分布している。残りの 51 イベントは、(b)の太陽活動極大期周辺に集中している。しかし、(a)と(b)の間の太陽極小期には 1 イベントも見つからなかった。

さらに、個々のイベントと磁気圏活動との関係を調べた。磁気嵐の強度の指標である Dst 指数が、 $-50$  nT 以下となる中規模程度以上の磁気嵐との相関を調べた。(b)の太陽極大期周辺では、51 イベント中 36 イベントが、中程度以上の磁気嵐の主相から 1 日以内に起こっており、よい相関を示した。それに対して、(a)の太陽活動減衰期では、24 イベント中 7 イベントしか中程度以上の磁気嵐の主相から 1 日以内におこっておらず、必ずしも相関がよくなかった。この 2 つの期間のイベントと磁気嵐との相関の違いは、太陽活動のそれぞれの時期で、磁気嵐を引き起こす原因が異なることに起因していると考えられる。つまり、太陽活動極大期の磁気嵐の多くは、Coronal Mass Ejection (CME)が磁気圏を通過することにより引き起こされ、太陽活動減衰期の磁気嵐の多くは、Corotating Interaction Region (CIR)が磁気圏を通過することにより引き起こされる。これら CME と CIR により引き起こされる磁気嵐は、異なる特徴を持つことが最近の研究で明らかになってきている[3,4]。しかし、全イベントの半数近くが太陽活動極大期の磁気嵐で起きていることは、朝側から昼側にかけての電子密度の異常増大が、磁気嵐などによる磁気圏対流の増大に何らかの関連があることを示していると考えられる。しかし、これらの電子密度の異常増加の特徴を同時に説明できるような物理メカニズムは、今のところわかっておらず、個々のイベント毎に他の観測などと合わせて詳細に解析していく必要がある。

## Solar cycle 22-23



磁気嵐(Dst<-50nT)と相関のあるイベント／各期間中の全イベント

(a)7イベント／27イベント, (b)36イベント／51イベント

図1：第22-23期太陽活動周期の太陽黒点数の月平均値（青）とその平滑値（赤）のグラフ。本研究で解析に用いた全データ期間を黒矢印で、選択したイベントが得られた2つの期間を(a)、(b)の赤矢印で示した。

### まとめ

静止軌道衛星の表面帯電現象の予測では、これまで磁気圏サブストームによる高温電子の夜側から朝側にかけての軌道上への流入に着目してきた。しかし、朝側から昼側にかけての領域でも、特に太陽極大期の磁気嵐時に、電子密度が急激に増大し、表面帯電を引き起こす可能性が高いことがわかった。現在は、第24太陽活動周期の始まりで、太陽極小期付近にあるが、今後、太陽活動が活発になり極大期に近づくにつれて、これらイベントがまた発生するようになると考えられる。そのため、本現象の物理メカニズムの解明が急がれ、衛星帯電予測に取り入れていく必要である。

参考文献

- [1] M. Cho, S. Kawakita, M. S. Nakamura, M. Takahashi, T. Sato, Y. Nozaki, Estimate on number of arcs on solar array for a geostationary satellite, *J. Spacecraft and Rockets*, Vol. 42, No. 4, PAGES 740-748, 2005
- [2] <http://cdaweb.gsfc.nasa.gov/cdaweb/>
- [3] Miyoshi Y., R. Kataoka, Ring current ions and radiation belt electrons during geomagnetic storms driven by coronal mass ejections and corotating interaction regions, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L21105, 2005.
- [4] Borovsky J. E., M. H. Denton, Differences between CME-driven storms and CIR-driven storms, *J. Geophys. Res.*, 111, A07S08, 2006.