

## LANL 衛星データと磁気圏グローバル MHD シミュレーションとの比較 —Injection 予測に向けて—

### Comparison between plasma particle observation by LANL satellites and Magnetospheric global MHD simulation —Toward prediction of substorm injection—

長妻 努<sup>1</sup>、山本和憲<sup>1</sup>、久保田康文<sup>1</sup>、中村雅夫<sup>2</sup>、田中高史<sup>1</sup>

<sup>1</sup>情報通信研究機構 電磁波計測研究所

<sup>2</sup>大阪府立大学 工学部

T. Nagatsuma<sup>1</sup>, K. Yamamoto<sup>1</sup>, Y. Kubota<sup>1</sup>, M. Nakamura<sup>2</sup>, T. Tanaka<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Applied Electromagnetic Research Institute,

National Institute of Information and Communications Technology

<sup>2</sup>Graduate School of Engineering, Osaka Prefecture University

#### 1. はじめに

静止軌道は、通信・放送・気象等、人工衛星を用いた実利用が最も進んでいる軌道の一つであり、現在400機を越える衛星がこの軌道で運用されている。一方、静止軌道は地球周辺の宇宙環境（ジオスペース）において最も宇宙環境がダイナミックに変化する領域の一つである。

静止軌道はエネルギーの高い電子が捕捉されている放射線帯外帯の外縁に位置していて、数百 keV 以上のエネルギーを持つ放射線帯外帯の高エネルギー電子フラックス変動に伴って深部帯電を引き起こすリスクが高まる領域である。加えて、サブストームと呼ばれるジオスペース内の宇宙環境じょう乱によって、磁気圏尾部からジオスペースに数十～数百 keV のエネルギーを持つプラズマ粒子が注入(Injection)され、突発的・局所的にプラズマの環境が変化することによって、表面帯電のリスクが生じる領域でもある。

以上のことから、静止軌道周辺の宇宙環境を把握・予測することは、衛星運用に対するリスクを事前に知ったり、障害が発生した際に、原因究明を行ったりする上で必要であり、宇宙環境保全の観点からも大変重要な課題であると言える。情報通信研究機構では、衛星運用者に対して有益な情報を提供することを目指して、放射線帯変動の予測モデル、及びサブストームに伴う粒子注入の予測モデルの構築を進めてきた。本講演では、サブストームに伴うプラズマ粒子注入の予測モデルに関する取り組みについて紹介する。放射線帯変動の予測モデルに関

しては、坂口、長妻の講演や過去の集録を参照されたい[1,2]。

本稿では、2章で磁気圏グローバルMHDシミュレーションとLANL衛星データの比較について述べ、3章ではひまわり8号に搭載されている宇宙環境データ取得装置(SEDA)の現状について述べる。そして、4章でまとめを行う。

#### 2. 磁気圏グローバルMHDシミュレーションとLANL衛星データの比較

サブストーム粒子のInjection予測に向け、磁気圏グローバルMHDシミュレーションの結果と静止軌道の粒子計測データの比較を行う。前回の講演でも述べたが、サブストームに伴うプラズマ粒子のInjectionは急激な粒子フラックスの変動が局所的に生じる現象であるため、我々はグローバルMHDシミュレーションを手がかりにInjection予測モデルを構築することを検討している。グローバルMHDシミュレーションでは、MHD流体としての密度、温度、圧力の導出しか出来ないため、これを電子・イオンの密度、温度、圧力に換算するためには、観測との比較による経験的なモデルを手がかりに、予測を行う必要がある。このような手法を数値予報では「ガイダンス」と呼んでいる。これまでにも、中村らによって、同様の試みが為されてきている[3]。

今回は、NICTのサイエンスクラウド[4]上に蓄積されている過去の磁気圏リアルタイムMHDシミュレーション[5,6]の計算結果と、静止軌道でプラズマ粒子変動を計測しているLANL衛星のデータ

(LANL91, 94, 97)の初期的な比較を行った。

今回は、MHD シミュレーションで求めた物理量(密度、圧力)と LANL 衛星で観測されたイオン密度、圧力、電子圧力、温度との相関関係を調べた。その結果、1) イオン密度については、ローカルタイムが昼側(10~16LT)において、MHD 密度との相関が見られる。一方、夜側の相関は低い。2) イオン圧力については、イオン圧力が卓越するケースと MHD 圧力が卓越するケースがあり、今後詳細な解析が必要。3) 電子圧力、温度については、ローカルタイムが真夜中から朝側(22~06LT)にかけて相関があるように見える、という結果が得られた(図1)。

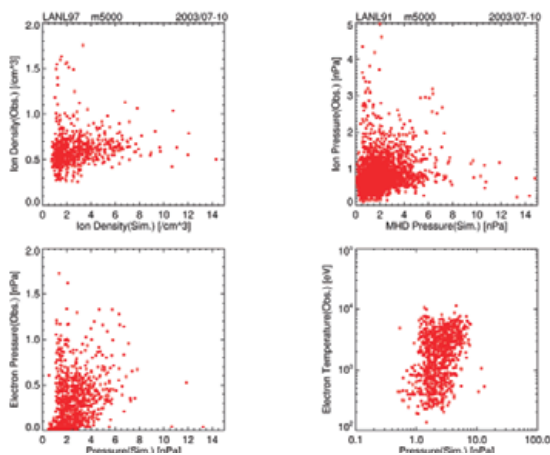


図1 シミュレーションと衛星観測データの比較(左上:MHD密度とイオン密度の比較、右上:MHD圧力とイオン圧力の比較、左下:MHD圧力と電子圧力の比較、MHD圧力と電子温度の比較)

### 3. ひまわり8号による宇宙環境計測

2014年10月7日に、日本の新しい気象衛星ひまわり8号が静止軌道に打ち上げられた。同衛星には宇宙環境データ取得装置(Space Environment Data Acquisition: SEDA)が搭載されている。昨年の講演でも紹介した通り、本装置の観測によって、数百keVの電子フラックスや太陽プロトン現象に伴う高エネルギー陽子のモニターが可能となる。我々は、気象庁から本装置のデータを準リアルタイムで提供を受け、日本上空の宇宙環境の現況把握、及び同データを入力パラメータとした予測モデルの開発・運用を予定している。

2014年11月3日よりSEDAの観測がスタートしており、現在SEDAデータの初期確認等を進めているところである。SEDAによる高エネルギー電子計測に

おいては、サブストームに伴う高エネルギー電子の変動なども観測されており、同データは放射線帯電子フラックス変動予測のみならず、サブストームのInjection予測にも活用できる可能性がある。

### 4. まとめ

NICTでは、静止軌道の表面帯電に伴うリスクの把握に向け、サブストーム粒子注入予測の研究開発に取り組んでいる。今後、Injection予測のモデル化に向けては、1)高精度シミュレーションの結果との比較、2)実環境(Tilt角依存、電離圏電気伝導度)に即したモデリング、3)地磁気活動度等の依存の考慮などを行い、更に解析を進める必要がある。

### 参考文献

- [1] 長妻 努, 静止軌道の宇宙環境モニタリング・予測, 第10回「宇宙環境シンポジウム」講演論文集, b b 2013.
- [2] 坂口 歌織, 長妻 努, Van-Allen Probesの観測データを用いた放射線帯外帯電子フラックス予測モデルの開発, 第11回「宇宙環境シンポジウム」講演論文集, 2014.
- [3] 中村 雅夫, 他, 磁気圏シミュレーションを用いた静止軌道プラズマ環境予報, 第3回「宇宙環境シンポジウム」講演論文集, JAXA-SP-06-035, 2006
- [4] Murata, K. T., Watari, S., Nagatsuma, T., Kunitake, M., Watanabe, H., Yamamoto, K., Kubota, Y., Kato, H., Tsugawa, T., Ukawa, K., Muranaga, K., Kimura, E., Tatebe, O., Fukazawa, K. and Murayama, Y. (2013) A Science Cloud for Data Intensive Sciences, Data Science Journal, Vol.12, pp.WDS139-WDS146.
- [5] Den, M., T. Tanaka, S. Fujita, T. Obara, H. Shimazu, H. Amo, Y. Hayashi, E. Nakano, Y. Seo, K. Suehiro, H. Takahara, and T. Takei (2006), Real-time Earth magnetosphere simulator with three-dimensional magnetohydrodynamic code, Space Weather, 4, S06004, doi:10.1029/2004SW000100.
- [6] Shimazu, H., K. Kitamura, T. Tanaka, S. Fujita, M.S. Nakamura, T. Obara (2008), Real-time global MHD simulation of the solar wind interaction with the earth's magnetosphere, Adv. Space Res., 42, 1504-1509.