

GOES 衛星及び Himawari 衛星宇宙環境データを用いた 静止軌道全域の高エネルギー電子分布推定

Estimating relativistic electron flux distribution along GEO using space environment data obtained from GOES and Himawari satellites

長妻 努

情報通信研究機構 電磁波研究所 宇宙環境研究室

T. Nagatsuma

Space Environment Laboratory, Applied Electromagnetic Research Institute,
National Institute of Information and Communications Technology

1. はじめに

地球周辺の宇宙環境(ジオスペース)は、太陽風によって駆動される宇宙環境擾乱の影響を受けて変動する。高度約3万6千kmの静止軌道は、ジオスペースにおいて宇宙環境が最もダイナミックに変化する領域の一つである。静止軌道は、数百 keV~数 MeV の高エネルギー電子が捕捉されている放射線帯外帯の外縁に位置し、地磁気嵐に伴ってフラックスが変化する。また、サブストームによって磁気圏尾部から静止軌道周辺まで数十~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・局所的にプラズマ環境が変化する。

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機を超える衛星がこの軌道で運用されている。一方、前述したように静止軌道は数十 keV から数 MeV までのプラズマ粒子が宇宙環境変動に伴って大きく変動する。数十 keV~100keV の電子、及び数百 keV 以上の電子は、それぞれ衛星の表面帯電・深部帯電の原因となる。これらは、衛星運用の大きなリスク要因となる。過去の衛星障害の統計においても、約25%が帯電現象(表面・深部)によって生じていることが知られている[1]。

宇宙環境に起因する衛星運用のリスクを低減し、障害発生時に迅速に対応するためには、衛星周囲の宇宙環境を把握・予測することが重要である。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などを進めてきた。これらの詳細は坂口、長妻の講演や過去の集録を参照されたい[2,3,4]。

本稿では、静止軌道の高エネルギー粒子環境の現

況把握を目的として、2機のGOES衛星及びHimawari衛星の3機の宇宙環境データから、静止軌道全域の宇宙環境を推定する手法について記す。2章でHimawari-8号による宇宙環境計測、3章でGOES衛星による宇宙環境計測、4章にて静止軌道全域の高エネルギー電子分布推定について述べる。5章はまとめである。

2. Himawari-8号による宇宙環境計測

Himawari-8号は2014年10月7日に経度140.7度に打ち上げられたわが国の新しい気象衛星である。同衛星には宇宙環境データ取得装置(Space Environment Data Acquisition Monitor: SEDA)が搭載されている。SEDAは数100 keV以上の放射線帯電子や10 MeV以上の太陽プロトン現象に伴う高エネルギー陽子等を計測することができる。表1にSEDAの諸元を示す。

表1 SEDAの諸元

項目	諸元
チャンネル数	陽子: 8 電子: 8
エネルギー範囲	陽子: 15-100 MeV 電子: 0.2-4.5 MeV
時間分解能	10 秒
視野角	陽子: ±39.4 度 電子: ±78.3 度

表2にSEDAの高エネルギー電子センサ8チャンネルの計測エネルギー範囲を示す。初期解析により、SEDAの高エネルギー電子計測に関して、Ch, 6, 7が静止軌道のFluxレベルに対して感度が低めであること、各チャンネルの低Flux計測時に、バイアス電流の差し引き誤差による人工的な日変化が見ら

れる。

表2 Himawari SEDA 電子センサのエネルギー範囲

チャンネル番号	計測エネルギー範囲 [MeV]
0	0. 2
1	0. 3
2	0. 4 5
3	0. 6 5
4	1. 0
5	1. 5
6	2. 0
7	4. 5

我々は、気象庁から準リアルタイムで SEDA データの提供を受け、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・運用を進めている。SEDA の準リアルタイムの Quick-Look 画像と過去データについては、以下の URL からアクセスすることができる (図1)。

<http://seg-web.nict.go.jp/himawari-seda/>

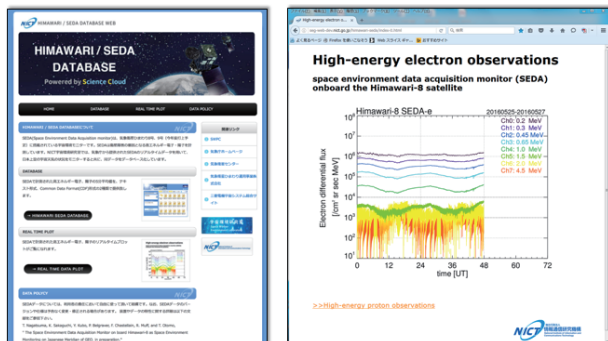


図1 Himawari/SEDA Database

3. GOES 13, 15 による宇宙環境計測

Geostationary operational environmental satellite (GOES)は米国大気海洋庁の気象衛星である。GOES は 2 機が定常的に運用されており、経度 225 度に位置する GOES-W と経度 285 度に位置する GOES-E がある。GOES には太陽 X 線、高エネルギー電子・陽子、地磁気等、多種類の宇宙環境計測装置が搭載されており、数十 keV から数 MeV までのエネルギーを持つ電子を計測する装置として、Magnetospheric Electron Detector (MAGED), Electron and Alpha Detector (EPEAD)がある。MAGED, EPEAD の計測エネルギー範囲を表3、4に示す。

MEPAD は 30 度の視野角を持つ検出器が 9 個あり、磁場計測データを用いてピッチ角分布を導出する

ことができる。EPEAD は*度の視野角を持つ検出器が 1 つ搭載されている。解析の際には、Omni-flux を計算して比較を行った。

表3 GOES MAGED のエネルギー範囲

チャンネル番号	計測エネルギー範囲 [keV]
1	30 - 50 (40)
2	50 - 100 (75)
3	100 - 200 (150)
4	200 - 350 (275)
5	350 - 500 (475)

表4 GOES EPEAD のエネルギー範囲

チャンネル番号	計測エネルギー範囲 [MeV]
1	> 0. 8
2	> 2. 0
3	> 4. 0

4. 静止軌道全域の高エネルギー電子分布推定

静止軌道は地理的には地球の自転軸に対して対称な円軌道であり、地理緯度は皆等しい。しかし、地磁気の軸は地球の自転軸に対して傾いているために、地磁気の緯度は静止衛星の経度によって異なる。更に磁気圏の形状は昼夜で非対称、かつ季節や地磁気活動によって大きく変動し、地磁気緯度も変化する。プラズマ粒子の運動は磁場に支配されるため、地磁気緯度が異なれば粒子の環境も異なる。よって、静止軌道上の粒子環境の現況把握には、各衛星位置で粒子環境を計測、又は推定する必要がある。現在、静止軌道上で定常的に粒子環境を計測している衛星は限られている。そこで、静止軌道の任意の場所における粒子環境を限られた数の計測データから推定するための手法が必要となる。我々は、経度の異なる静止軌道上の粒子計測が磁気緯度の異なる計測に対応する点に着目し、複数箇所の粒子環境計測データから粒子分布の磁気緯度依存性を導出し、これを用いて静止軌道全域の粒子分布を推定する手法を開発している。

異なる衛星の粒子計測値同士を比較するためには、それぞれの計測値を同一条件下で比較を行い、値を校正する必要がある。図2に GOES 13, 15, Himawari-8, Kodama 衛星の L* と呼ばれる磁気緯度のパラメータの日変化を示す。L* は荷電粒子が地球の周りをドリフト運動する軌道から算出される。粒子

のドリフト運動周期よりも短い時間スケールの変動が無い場合、 L^* が等しい場所では同じ粒子 Flux が計測されていることが期待できる。 L^* の値は計算に用いる磁気圏モデルに依存する。本研究では Olson-Pfizer Quiet という磁気圏モデルを用いた [5]。このモデルでは GOES 15 と Himawari-8 の L^* が 1 時、13 時 UT 頃に同じであることがわかる。

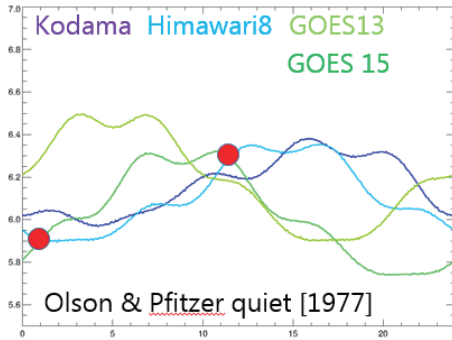


図 2 4 つの静止衛星の L^* の UT 依存性

図 3 に、GOES 15 と Himawari-8 が地磁気静穏時 (K_p 指数が 2 以下) に同一の L^* をとる時間のデータ (1 時間平均値) を散布図として示す。エネルギーは 0.45 MeV である。GOES 15 は 0.45 MeV を直接計測していないので、近接するチャンネルのデータを外挿することで Flux を導出している。GOES 15 と Himawari-8 の値は高い相関を示しているが、絶対値については違いがあることから、これを補正する必要があることがわかる。

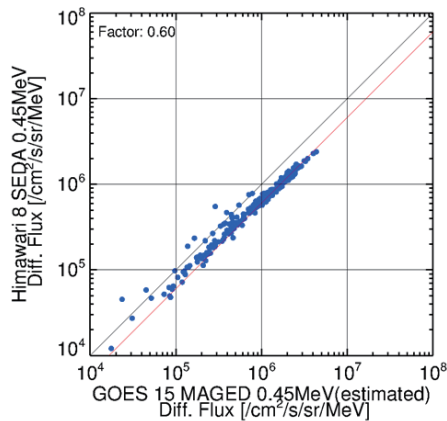


図 3 0.45 MeV の GOES 15 と Himawari-8 の粒子フラックスの散布図

補正された GOES 13, 15, Himawari-8 のデータを用いて、静止軌道全域の粒子分布を推定した結果を図 4 に示す。静止軌道の粒子分布は一般的に昼間側で Flux 値が大きく、夜側で小さいことが知られているが、それが再現できていることが分る。

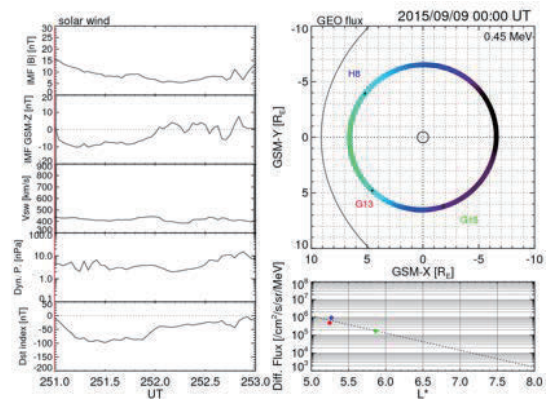


図 4 静止軌道全域の粒子分布推定の初期結果

5. まとめ

GOES13, 15, Himawari-8 の粒子計測データから、静止軌道全域の粒子分布を推定する手法を開発した。粒子分布の推定には、異なる衛星間の粒子データの相互校正を行なうために、粒子 Flux の補間や磁場モデルを用いた L^* の計算、分布関数の L^* 依存性の推定を行っている。この手法の妥当性について、今後評価や改良の進めていく必要がある。将来的にはこの粒子分布を初期条件とし、予測モデルと結合し、個別の衛星の深部帯電リスクの評価などに役立てたいと考えている。

参考文献

- [1] Mazur, J. E., J. J. Likar, J. F. Fennell, J. L. Roeder, P. O'Brien, T. B. Guild, The timescale of surface charging events, Space Weather Workshop, 2011.
- [2] 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, 2013.
- [3] 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.
- [4] 長妻 努, 山本 和憲, 久保田 康文, 中村 雅夫, 田中 高史, 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—, 第 11 回「宇宙環境シンポジウム」講演論文集, 2014
- [5] Olson, W. P., and K. A. Pfizer, Magnetospheric Magnetic Field Modeling, Ann. Sci. Rep. F44620-75-C-0033, Air Force Off. of Sci. Res., Arlington, Va, 1977.