

第17回 宇宙環境シンポジウム 2020年10月7-8日

衛星帯電モデルと磁気圏シミュレーションの連携による 表面帯電リスク評価

中溝葵¹, 久保田康文¹, 中村雅夫², 長妻努¹, 古賀清一³, 松本晴久³

¹情報通信研究機構

²大阪府立大学

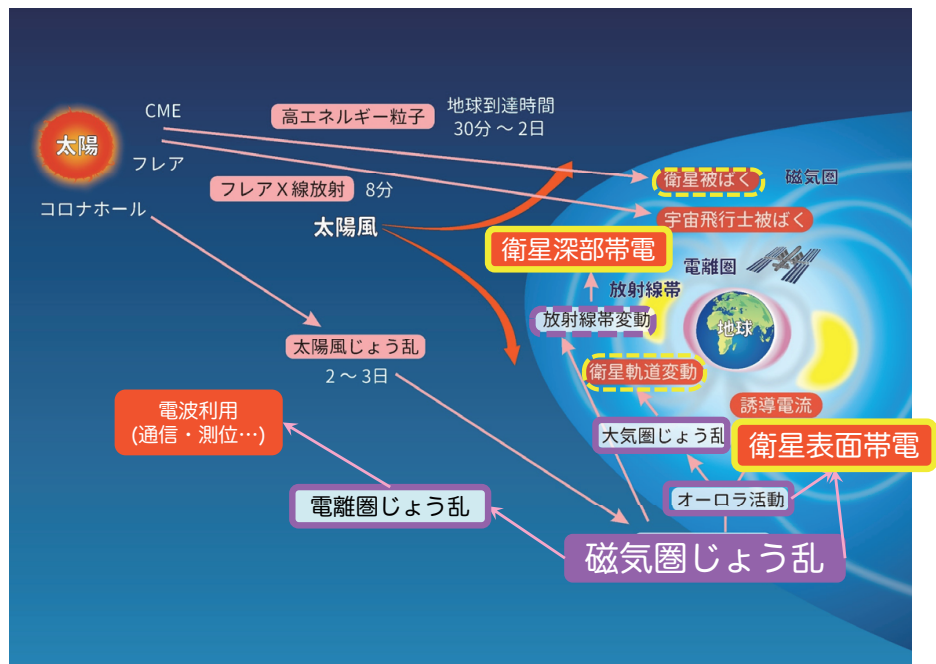
³宇宙航空研究開発機構



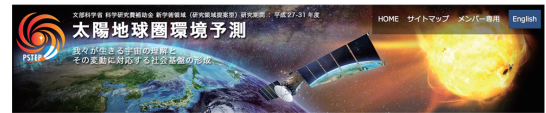
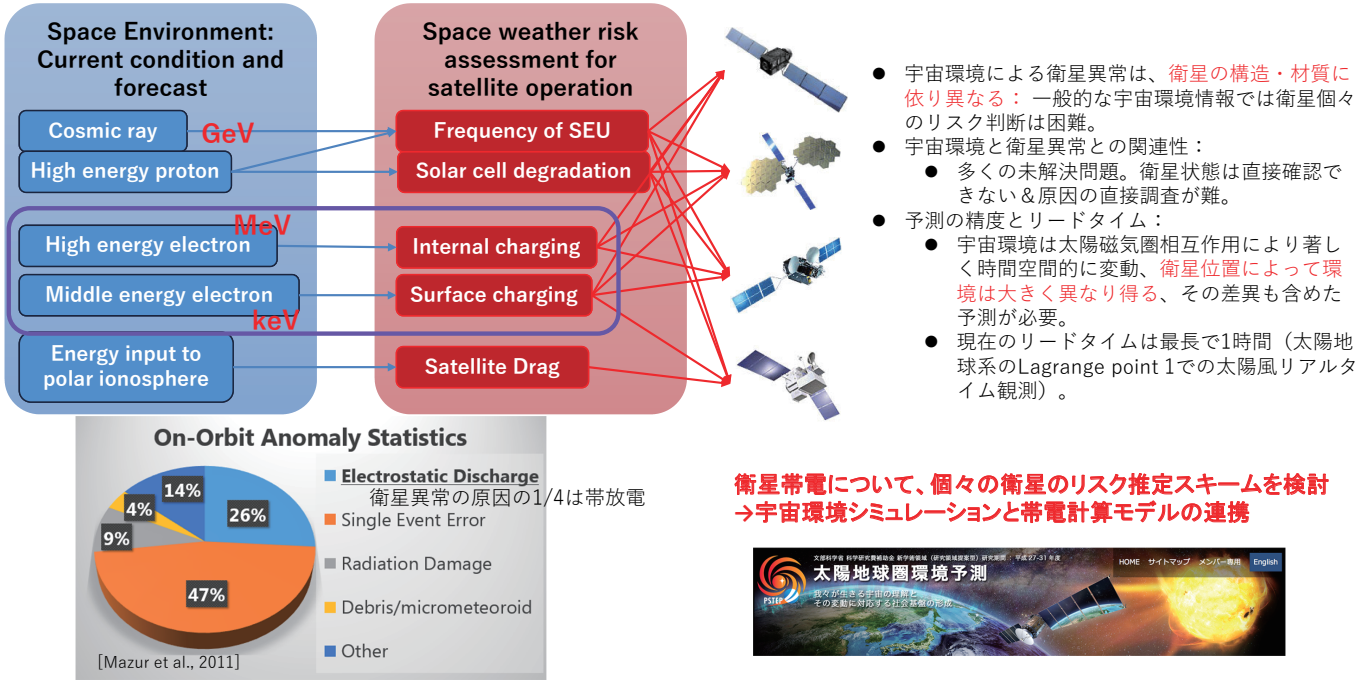
宇宙環境と衛星運用

衛星は宇宙環境に耐えるように設計されているが…
宇宙環境情報とのさらなる連携で、より安心・安全な衛星運用へ。

- **異常発生時のアクション決定**：原因同定のために宇宙環境状態を知る必要（他の要因との判別）
- **事後解析**：宇宙環境と異常との関係が明らかになれば今後の対策を講じることができる。（設計標準の見直しも…）
- **リスク低減**：クリティカルな運用を行う場合、宇宙天気予報を参照したGo/NoGo決定、宇宙天気擾乱によるリスクが予測された場合、事前の対策（バックアッププラン）、運用の安定・持続性の向上、異常時の迅速な回復につながる。



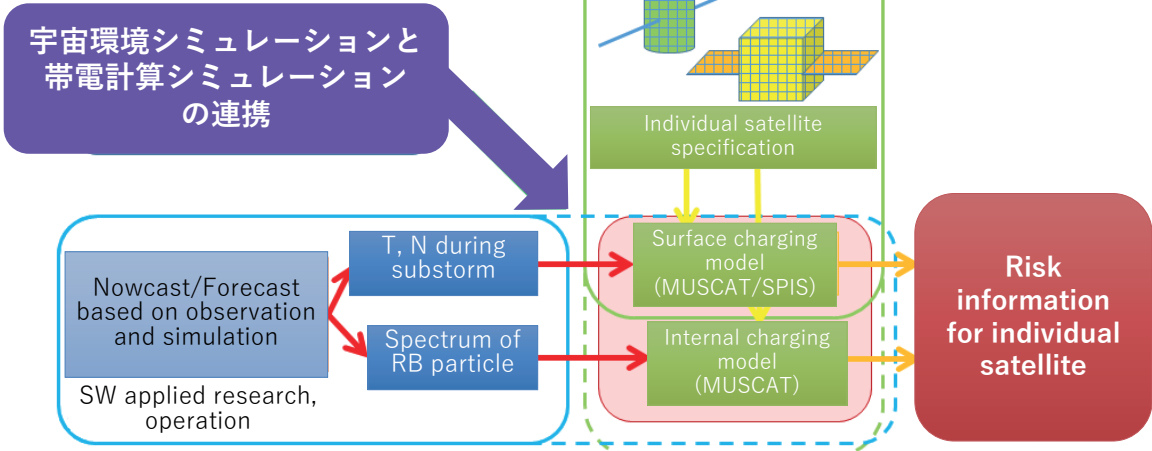
宇宙環境と衛星運用



SECURES

Space Environment Customized Risk Estimation for Satellite

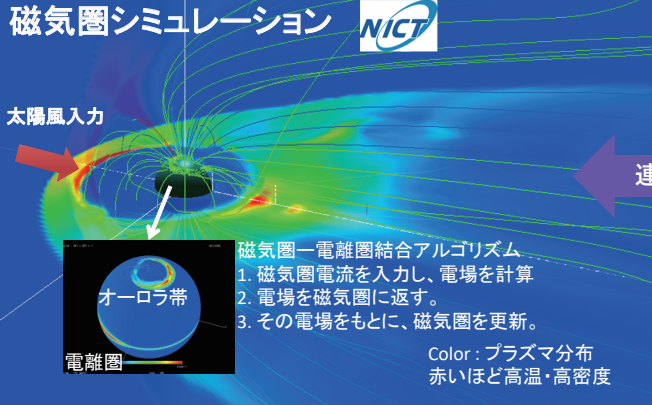
Spacecraft electrostatic discharge (ESD) is one of the major causes of satellite anomaly.



SPIS: Spacecraft Plasma Interaction System [Roussel et al., 2008]
MUSCAT: Multi-Utility Spacecraft Charging Analysis Tool [Hosoda et al., 2008; Munakata et al., 2008]

磁気圏シミュレーションと帯電シミュレーションの連携

磁気圏シミュレーション



太陽風入力

オーロラ帯

電離圏

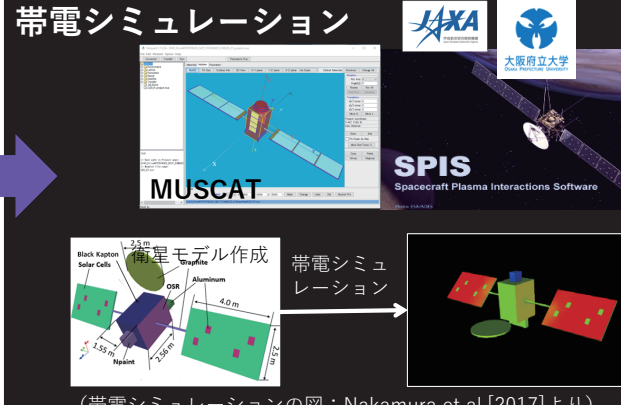
磁気圏-電離圏結合アルゴリズム

1. 磁気圏電流を入力し、電場を計算
2. 電場を磁気圏に返す。
3. その電場をもとに、磁気圏を更新。

Color: プラズマ分布
赤いほど高温・高密度

連携

帯電シミュレーション



MUSCAT

SPIS
Spacecraft Plasma Interactions Software

衛星モデル作成

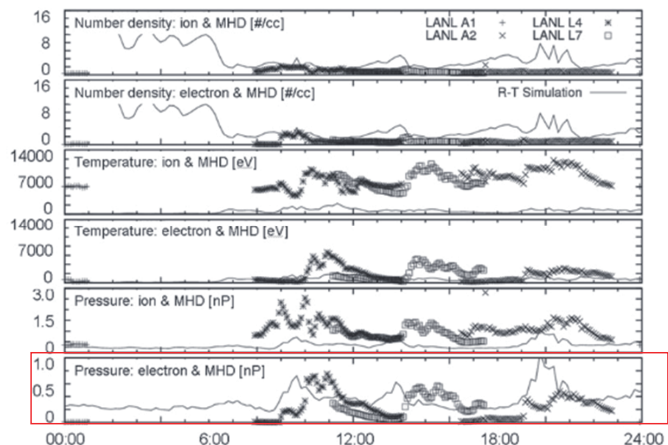
帯電シミュレーション

(帯電シミュレーションの図: Nakamura et al.[2017]より)

磁気圏シミュレーションの課題

1. 帯電シミュレーションが必要な情報は、電子密度 & 温度、イオン密度 & 温度 (Ne, Te, Ni, Ti)
→ 磁気圏シミュレーションデータから導出する方法を検討
2. これまでの磁気圏モデルは簡易的な座標系を採用しており、リアルイベントの計算ができない
→ 自転軸と磁軸の傾き・歳差運動を導入

課題1: 帯電計算への入力パラメータの導出



[Nakamura, 2012]

先行研究: Nakamura [2012]

- 磁気圏シミュレーション結果とLANL静止軌道衛星データの比較
- シミュレーションのプラズマ圧力は電子圧力をよく再現。
(磁気圏シミュレータは当時のもの)



これを手掛かりに再検証、導出方法を検討

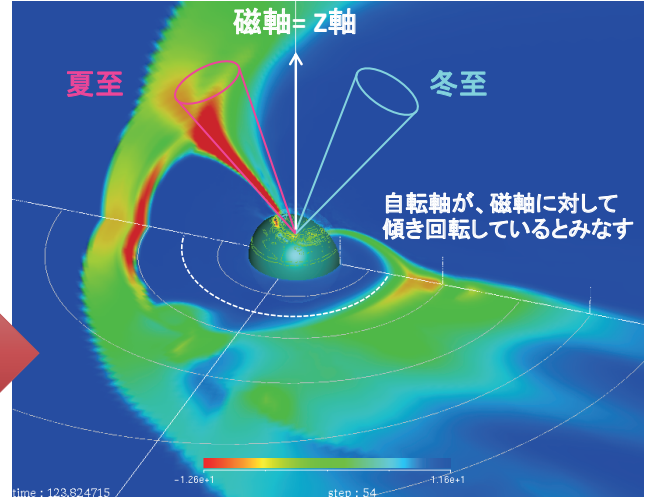
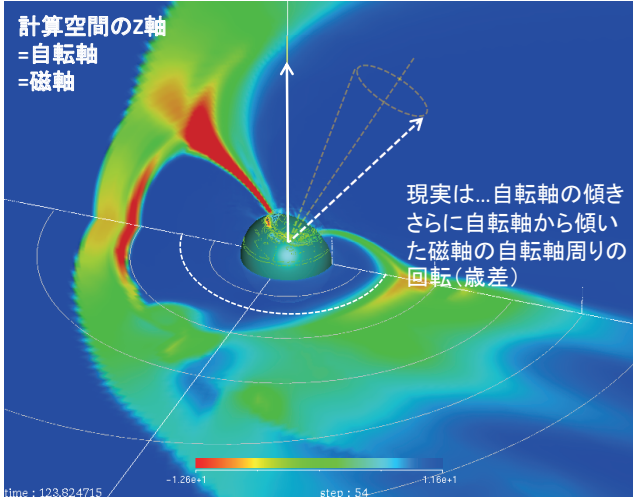
- 観測とシミュレーションの比較
 - 観測データ: LANL静止軌道衛星MPA
 - イベント選出基準: 2006年2~4月、孤立型サブストーム

結果・方針

- ① シミュレーションのプラズマ圧力は電子圧力をよく再現している (Nakamura [2012]と同じ傾向)
- ② 観測される電子密度はほぼ1 [/cc]、シミュレーションは密度を大きく見積もっている。
- ③ よって、シミュレーションの温度をそのまま使うのではなく、密度=1 [/cc]として圧力からTeを推定する

課題2: モデル改良 磁軸の傾きと回転(歳差)の導入

- これまでのモデル: 地球自転軸 = 磁軸 = 計算空間のZ軸
- 改良のアイデア: 計算空間の座標系 = SM (Solar-Magnetic)座標系として考え、太陽風・太陽光を座標変換



- 期待されること:
 - 現実的な磁気圏形状の再現
 - 大局的な磁気圏-電離圏結合

リアルタイムESDリスク推定システムの構築

Real-time Global Magnetosphere Simulation
by improved version of REPPU code
Caution!! This plots can be used for quick look only. DSCOVR solar wind data is provided by NOAA/SWPC

1. リアルタイム計算から静止軌道領域のプラズマ環境を抽出

2. 画像上にマウスオーバーした位置での、位置情報・プラズマパラメータを読み込む → 帯電計算の入力

3. 位置・プラズマ環境情報とともに、モデル衛星での帯電値を表示。

Long. [°]	Lat. [°]	Ne & Ni [/cc]	P [nPa]	Te [keV]	Ti [keV]
130.0	20.0	1.0	7.5	11.2	22.4
Eclipse=1	φ [V] Satellite Model1	φ [V] Satellite Model2			
Daylight=0	-932	-1543			
1					

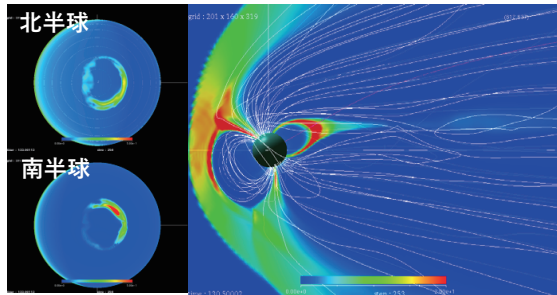
(イメージ図: Nakamura et al. [2017]より)

SPISによる帯電評価関数
[Nakamura et al., to be submitted]

SPISをその都度動かすのは時間がかかるので、モデル衛星について事前に大量の帯電計算をして帯電値推定関数を作成、システム上では磁気圏モデルで得られるパラメータを関数に入力して瞬時に帯電値を推定。

まとめ

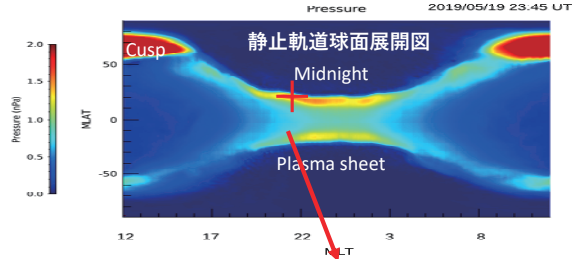
磁気圏シミュレーション改良・リアルタイム計算開始



- SECURES: 宇宙環境モデルと衛星帯電モデルを連携させ、個々の衛星の帯電リスク推定の取組み
 - 表面帯電パート: 磁気圏シミュレーションとSPIS, MUSCAT
 - 内部帯電パート: 放射戦帯シミュレーションとMUSCAT
- 表面帯電パートについて
 - 磁気圏シミュレーション改良:
 - 磁軸の傾きと歳差を導入、現実的なシミュレーションが可能に。
 - リアルタイム計算開始。
 - 表面帯電リスク推定プロトタイプシステム構築
 - リアルタイム磁気圏シミュレーションのプラズマ環境情報とSPISによる帯電評価関数の連携。

表面帯電リスク推定プロトタイプシステム構築

1. リアルタイム計算から静止軌道領域のプラズマ環境を抽出



2. 画像上にマウスオーバーした位置での、位置情報・プラズマパラメータを読み込む → 帯電計算の入力

3. 位置・プラズマ環境情報とともに、モデル衛星での帯電値を表示。

Long. [°]	Lat. [°]	Ne & Ni [/cc]	P [nPa]	Te [keV]	Ti [keV]
130.0	20.0	1.0	7.5	11.2	22.4
Eclipse=1 Daylight=0	Φ [V] Satellite Model1	Φ [V] Satellite Model2			
1	-932	-1543			

謝辞: 本研究の一部は、総務省委託業務「0155-0133電波伝搬の観測・分析等の推進」によって行われたものである。