

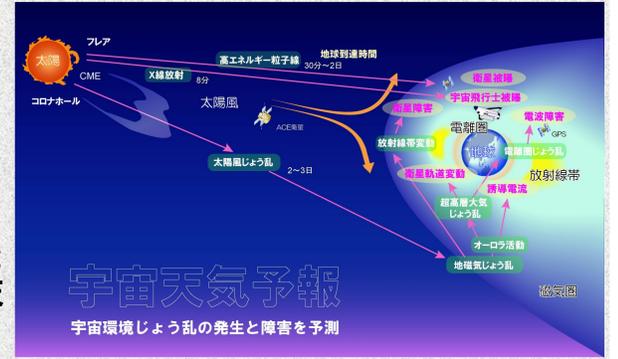
# 宇宙天気予報におけるERG衛星データの活用

長妻 努、坂口 歌織、齊藤 慎司(NICT)、三好 由純、関 華奈子(名古屋大)、高島 健、浅村 和史(ISAS/JAXA)、松本 晴久、東尾 奈々(JAXA)

## Abstract

ERG衛星は、ジオスペースの宇宙嵐に伴う電磁場の変動とそれに伴う相対論的粒子生成の物理プロセスを探ることを目的とした科学衛星である。一方、宇宙嵐に伴うジオスペースの環境変動は、自然現象に起因する宇宙機の不具合や故障などの主要な要因でもある。宇宙機の安全・安心な運用に必要な対処を行うためには、宇宙環境変動を事前に予測する宇宙天気予報が必要となる。

情報通信研究機構は、業務として宇宙天気予報を実施すると共に、その精度向上に向けた研究開発を実施している。現在、放射線帯粒子変動予測モデルの研究開発を実施しており、ERG衛星データは、この予測モデルの検証・評価に活用できるのみならず、リアルタイムデータを予測モデルの入力として利用することで、ジオスペース環境の予報実験を行うことなどが考えられる。本講演では、宇宙天気予報の現状と、放射線帯粒子予測モデルにおけるERG衛星データの活用について述べる。



### 静止軌道衛星環境予測の必要性

• 静止軌道衛星は現在300以上  
• 日本の静止軌道衛星は24機  
→ 多数の実用衛星

1987~1994年の間に報告された静止軌道衛星の障害数 (NOAAデータベースより)  
年間平均で60件以上の障害発生

ハロウィンイベント (2003年10月末~10日間)の衛星障害(主に科学衛星のみ抜粋)

大規模宇宙環境イベント時に多数の障害発生

### 宇宙環境による衛星障害

5.4% 12.0% 28.4% 54.2%

- 衛星帯電
- SEU
- ドーズ効果
- その他

半数以上が衛星帯電(表面帯電+深部帯電)による障害。

参照: Survey of spacecraft anomaly databases (Space Architect Study: Koons他, 1999)

### 最近の衛星不具合事例 (2001年以降)

- 2001/09/25 (静止衛星A) 姿勢制御異常 #プロトン現象 SEUによるコマンドエラー?
- 2001/11/07 (静止衛星A) 姿勢制御異常 #プロトン現象 SEUによるコマンドエラー?
- 2003/10/24 (低軌道衛星A) 故障 #サブストームに伴うオーロラ粒子降下
- 2004/02/14 (静止衛星F) スラスタ異常 #プロトン粒子増加?
- 2005/01/17 (静止衛星F) スラスタ異常 #プロトン粒子増加?
- 2005/07/22 (静止衛星F) 姿勢異常 #放射線帯電子増加?
- 2005/08/19 (静止衛星A) コマンド受信機故障 #放射線帯粒子増大 深部帯電?
- 2005/09/23 (静止衛星D) カメラの電源断 #放射線帯電子増加継続?
- 2006/04/16 (静止衛星D) 姿勢異常 #放射線帯電子増加?
- 2007/03/13 (静止衛星D) 電波混信による画像の乱れ #電離圏倒の問題?
- 2007/11/05 (静止衛星E) 姿勢異常 #放射線帯電子増加?
- 2008/09/11 (静止衛星B) トラボ故障 #放射線帯粒子増大継続 深部帯電?
- 2008/09/14 (静止衛星B) トラボ故障 #放射線帯粒子増大継続 深部帯電?
- 2009/11/11 (静止衛星D) 姿勢不安定 #銀河宇宙線?
- 2010/08/24 (静止衛星C) 一時的な姿勢変動 13分間放送中断 #高速太陽風通過+地磁気擾乱 但し、関連性は不明。

### 放射線帯電子flux予測サービス Webページ(準備中)

安全

静止軌道危険度予測

予測実績

観測値と予測値の比較(2012/10/03~2012/11/05)

### 予測モデル開発ロードマップ概略図

開発フェーズを三段階に分割

- 第一開発要素: 予測フィルタ開発 (AR法など時系列モデルを用いた空間有限1日平均予測)
- 第二開発要素: 3次元分布構築 (有限点予測(観測)情報と経験モデルを組み合わせ、予測値を3Dへ拡張)
- 第三開発要素: 3次元放射線帯詳細変動物理モデル (3次元フラックス分布を初期値として粒子追跡による時間発展計算+物理モジュール開発(拡散モデル、波動モデル、etc...)による3D詳細変動モデル)

名古屋大学太陽地球環境研究所との共同研究を軸に予測モデルの開発を推進

### ジオスペース環境予報におけるERGへのリアルタイムモード要求

PPE(電子)	XEP-e (0.2-20MeV)	●	放射線帯電子
	HEP-e (0.03-2MeV)	●	
	MEP-e (5-80keV)	●	Substorm電子、放射線帯電子
	LEP-e (0.012-20keV)	●	
PPE(イオン)	MEP-I (10-180keV)	●	
	LEP-I (0.01-25keV)	●	
PWE	電場 DC-10MHz	●	VLF波動
	磁場 10Hz-500kHz	●	
MGF	磁場 DC-128Hz	●	ELF, ULF波動、背景磁場

数値予測モデルへの入力 → L=1程度の分解能 → 1スピン平均(8秒)で十分か?

### 多変量自己回帰(AR)モデル

自己回帰(AR)モデル

$$Y_t = \sum_{n=1}^m A_n Y_{t-n} + V_t$$

多変量の時系列をベクトルとして扱い、過去の変動の線形結合(+ノイズ)として状態を記述。

複数の太陽風パラメータを入力とした経験モデルの構築が可能。(具体的には太陽風速度、太陽風磁場の南北成分、太陽風動圧)

### 線形予測フィルタ

既存予測モデル

Linier Prediction filter (regressive model) [Baker, 1990]

$$y_t = \sum_{n=1}^m a_n x_{t-n}$$

時系列値  $y_t$  が他の時系列値  $x_{t-n}$  の線形結合で表現できる。

太陽風速度のみを使用。

### 自己・相互相関関数 1999-2003

放射線帯電子フラックスの自己相関関数

太陽風速度と電子フラックスの相互相関関数

IMF Bzと電子フラックスの相互相関関数

太陽風動圧と電子フラックスの相互相関関数

### 太陽風の変動に対する静止軌道の放射線帯電子フラックスの応答

観測値と予測値の比較

黒: 観測

赤: 放射線帯電子フラックスの予測値と標準偏差σ

青: 太陽風パラメータの予測値と標準偏差σ

カルマンフィルタは高速太陽風到来後の電子フラックスの増大を予測することができた。

### モデルによる予測結果と観測の比較

GOES10 > 2MeV electron flux, daily average in 2004

GOES10 > 2MeV electron flux, daily average in 2005

Four-variate model (red line) vs observation (black line)

### 2004年の>10<sup>5</sup> eventの予測結果

観測値と予測値の比較

黒: 観測

赤: 放射線帯電子フラックスの予測値と標準偏差σ

青: 太陽風パラメータの予測値と標準偏差σ

カルマンフィルタは高速太陽風到来後の電子フラックスの増大を予測することができた。