



2016年11月1日  
第13回 宇宙環境シンポジウム  
情報通信研究機構本部 国際会議室

# 宇宙環境とその防護に関する 研究の取り組み

宇宙航空研究開発機構  
松本 晴久



## 内容

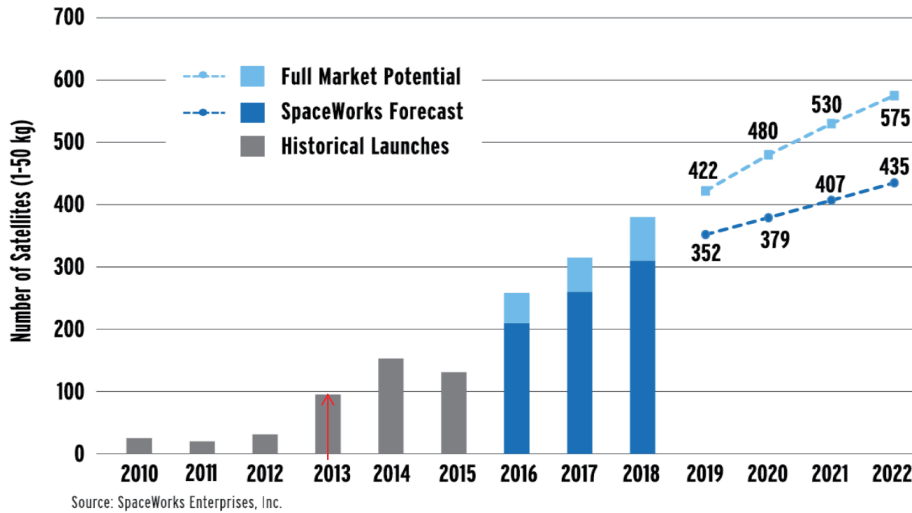
- 背景
  - 小型衛星マーケットの変化
  - 有人探査
- 研究の目的、進め方、課題と優先順位
- 研究の現状
  - 観測
  - モデル化・予測
  - 防護
- まとめ



背景：小型衛星マーケットの変化

### Nano/microsatellite launch history and forecast

Projections based on announced and future plans of developers and programs indicate as many as 3,000 nano/microsatellites will require a launch from 2016 through 2022.



2013年から爆的な増加



背景：小型衛星マーケットの変化

## 小型衛星マーケットの変化 教育からビジネスに使用

- 小型衛星コンステレーション運用の例
- 通信衛星： ORBCOMM
- リモートセンシング： Skybox (google)
- 科学衛星：BRITE



超小型衛星・小型衛星で、民生部品が使われて成功しているなかで、今後、ビジネス向けの超小型衛星の発展が予想されている。  
商用目的になると、投資効果を最大にするため、軌道上寿命が、**3年~5年と伸びる事が必然条件**である。そうすると、放射線耐性のうちでトータル・ドーズ耐性が、まず、民生部品の放射線耐性値に近づいて、それが**大きな使用制限**になる。また、シングルイベントやシングルイベントラッチアップを**抑える工夫（評価方法、放射線防護等）**が必要となる。



背景：有人探査の検討

- 火星無人探査
  - 火星周回軌道：1964年 Mariners 4号 (アメリカ), 2001年 Mars Odyssey (アメリカ), 2003年 Mars Express (欧州), 2005年 Mars Reconnaissance (アメリカ), 2013年 MAVEN (アメリカ), 2013年 MOM (インド)
  - 火星表面着陸：1971年 マルス3号 (ソ連), 1976年 Viking 1, 2号 (アメリカ)
  - 火星表面の無人探査機：1997年 Mars Pathfinder (アメリカ), 2003年 Spirit/Opportunity (アメリカ), 2011年 Curiosity (アメリカ)
- 火星有人探査
  - NASA 2030年に有人火星探査を行うことを表明
  - アメリカの民間企業SpaceXやオランダの非営利団体Mars Oneが、それより早い2020年代に人類を火星に送ることを計画

有人火星探査は、長期間の無重力、長期間の閉鎖空間と大量の放射線被ばくが非常に高いリスクになる。

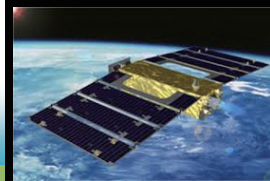
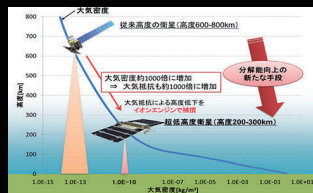


研究の目的

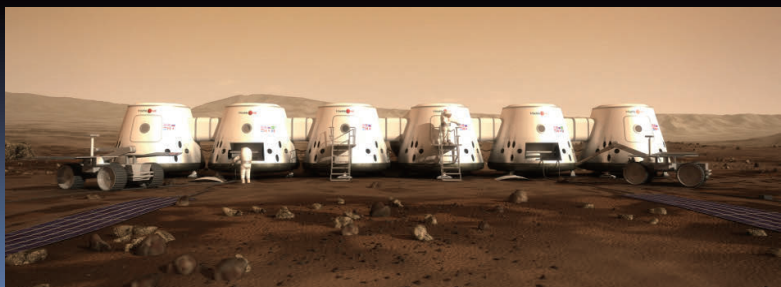
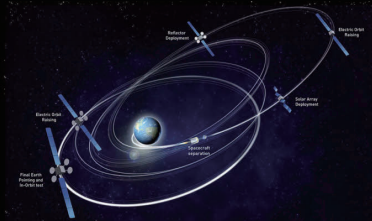
## 研究の目的

・宇宙利用の拡大の実現

- 超高度衛星
- オール電化衛星
- 有人探査



- 宇宙機や人を過酷な宇宙環境から防護する技術の研究をスタートしました。





# 研究の進め方

研究の進め方

衛星設計標準（環境条件や評価方法を提供する）などによる信頼性向上の提供だけでなく、被ばくのリスクを最小限にするための放射線防護（線量低減）技術や放射線耐性の低い部品等も使えるようにする遮蔽技術を重視。



宇宙利用の拡大

防護（抑制）

材料の研究、コーティング材

モデル化・予測 → 設計標準

影響、環境（フルエンス、予測）

宇宙環境計測

放射線、中性大気、汚染、紫外線、帯電、デブリ



# 放射線観測に関する開発の現状

研究の現状

- シリコン半導体に代わるセンサ（ダイヤモンド検出器）の検討開始
- データの継続
  - DRTS： 2002年9月打ち上げ
  - ETS-8： 2006年12月打ち上げ
  - GOSAT: 2009年1月打ち上げ
  - Jason-2 2008年6月打ち上げ
  - QZSS： 2010年9月打ち上げ
  - JEM/SEDA： 2009年観測開始
  - Jason-3： 2016年1月打ち上げ
- 開発中の装置
  - ERG搭載XEP-e
  - 革新的衛星技術実証衛星1号機搭載放射線計測装置



XEP-e(FM)

2016年度打上げ予定



電子計測センサ（Siセンサ4枚）  
質量：約2.3kg

陽子・Heイオン計測センサ（Siセンサ4枚）

2018年度打上げ予定

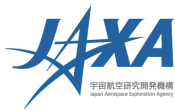
研究の現状

## 捕捉陽子モデル開発

他の機関で開発した最新モデル（AE9、AP9モデル等）の精度を確認するとともに、既にJAXAで開発したQuasi-dynamic model of earth's radiationモデルの改良を実施し、来年、β版の公開を実現することを目指しています。今年度は、これまで取得した観測データや他機関データとの総合比較、クリーニング（ノイズ、コンタミ処理等）を実施し、モデル開発として利用できるデータセットにまとめること（軌道、センサの開口角等の搭載条件を考慮し、センサ間で相互校正された同じ品質のデータ）を実施している。

### データクリーニングの概要

1. リストデータとテーブルの妥当性
2. 各エネルギービンに対する応答関数の算出
3. モンテカルロシミュレーションの実施
4. 同一衛星でのセンサ間評価
5. 各衛星搭載センサ間での相互校正



## 銀河宇宙線モデル改良項目検討結果（1）

研究の現状

磁気カットオフGCR モデル、陽子フラックスの最悪環境

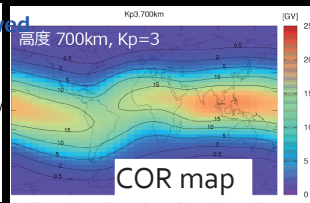
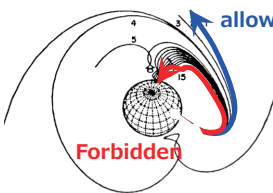
### 磁気カットオフ(COR)の検証の方針

COR 理論値と SEDA-AP/HIT, SDOM の観測データ比較

#### ①COR 理論値の算出

→ 高度、緯度、経度、COR[Gv]のテーブルデータ

- 方法：Back-tracing method (Force: Lorentz, E=0, 4次のルンゲクッタ法で anti-proton 追跡)
- 地磁気モデル：Tsyganenko model
- 計算コードは茨城高専の三宅先生の協力にて作成



### GCR モデルの選定

Matthiä, Daniel, et al. "A ready-to-use galactic cosmic ray model." *Advances in Space Research* 51.3 (2013): 329-338.

→ ISO モデルの考え方に基づいたモデル。Wholf Number が宇宙線変動パラメータな点は CREMEg6 と同じ。

Wholf number の算出に用いるデータが異なる。

- ✓ ISO (CREMEg6) : 太陽黒点数
- ✓ D. Matthia : ACE/CRIS の炭素フラックスデータ

#### ②SDOM, HIT データとの比較から補正項を求める

COR table data

HIT, SDOM data (proton換算)

Lat.	Log.	COR
0	0	C <sub>1</sub>
0	5	C <sub>2</sub>
:	:	:

高度 400 km

Alt.	Lat.	Log.	Energy
400	0	0	E <sub>1</sub>
408	20	12	E <sub>2</sub>
:	:	:	:

$$C_i = A_i \times E_i$$

A<sub>i</sub>: COR 補正項

観測(粒子)	年	観測値とモデルのずれ		
		Matthia	ISO	BO-10
ACE/CRIS (Fe)	2001	8%	73%	58%
BESS (H)	1998	4%	17%	5%
HEAO-3 (C)	1979	6%	7%	7%

### 陽子フラックスの最悪環境

CREMEg6, CREME86 で選択可能な Carrington級 + 年1、10回起きるプロトンイベントのフラックスの選択





# 銀河宇宙線モデル改良項目の検討結果 (2) 低高度GCRフラックスの計算検討、放射線帯モデルの改良

研究の現状

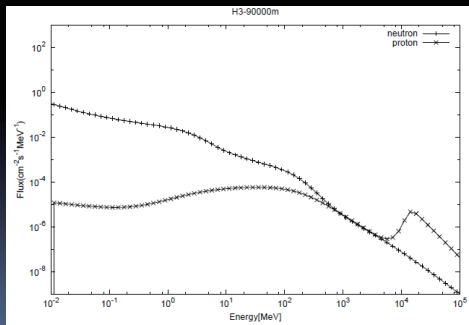
## 低高度GCRフラックスの計算検討

(ロケット高度用) 100 km以下での銀河宇宙線フラックス  
→ JAEAで開発した PARMA (PHITS-based Analytical Radiation Model in the Atmosphere) のコードを使用 (前述のCOR検証結果の共有を前提に協力)

### ①モデル概要

大気の影響を考慮したモデル (高度100 km 以下)

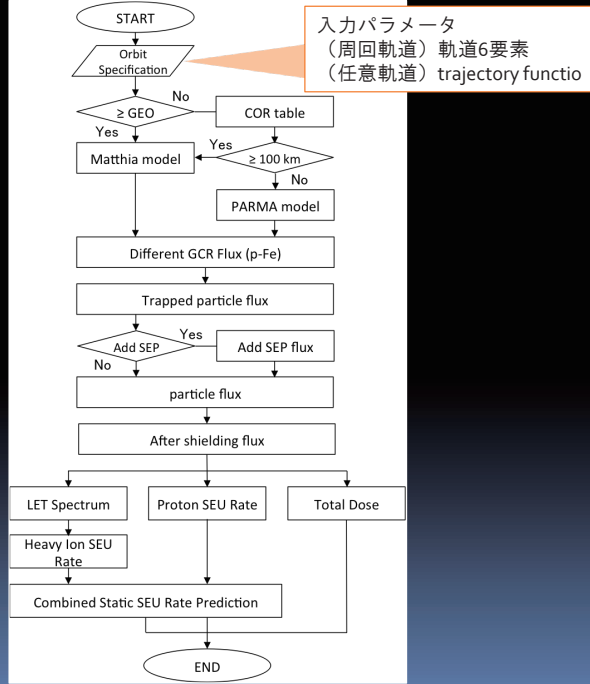
- ・言語: Fortran
- ・銀河宇宙線モデル: D. Matthia et al. 2013



高度90kmの陽子、中性子環境

## 計算プロセス案

下図プロセスで決定。今年度、各モジュールを開発。



入力パラメータ  
(周回軌道) 軌道6要素  
(任意軌道) trajectory function



# 放射線防護の研究

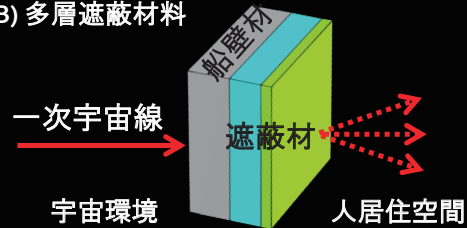
研究の現状

## A) 水素リッチ遮蔽材料

- ・宇宙放射線の線量低減には低Z元素が有効 (水素が最も有効)
- ・ポリエチレン (PE) よりも単位重量あたりの線量低減効果が高い材料なし

PEより水素リッチな遮蔽材料の創生可能性検討

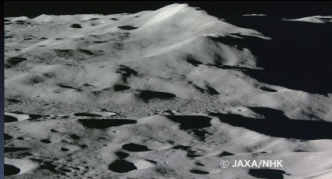
## B) 多層遮蔽材料



効果的な線量低減が可能な材料の種類・組合せ・厚さ・形状の最適化

## C) 月レゴリス遮蔽材料

- ・現地調達による持ち込み物質軽量化



月レゴリスを主材とした材料の最適化 (線量低減効果, 持込物質軽量化, 製作性向上)

詳しい話は、本セッション最後、後藤さんの講演をお聞きください。



## まとめ

- 放射線、中性大気、汚染、紫外線、帯電等の環境観測（データ取得）及びより正確な宇宙環境モデルと予測の成果を用いて実施する、新たな防護技術の研究について説明した。
- これらの研究により、有人・無人探査の国際競争力のみならず、宇宙利用拡大に伴う新たな恩恵を生み出すことを目指したい。