

JAXA宇宙環境グループにおける 宇宙環境計測の現状

宇宙航空研究開発機構
松本 晴久, 宇宙環境グループ

発表の概要

- 宇宙環境監視に関する背景
- 宇宙天気のリスク
 - 衛星の不具合(宇宙環境が原因の割合、不具合部位、宇宙天気の変動と不具合現象の割合の変化)
- 宇宙環境計測の現状と計画
 - 現状と計画
 - データ利用
 - データ公開
- まとめ

宇宙監視に関する背景

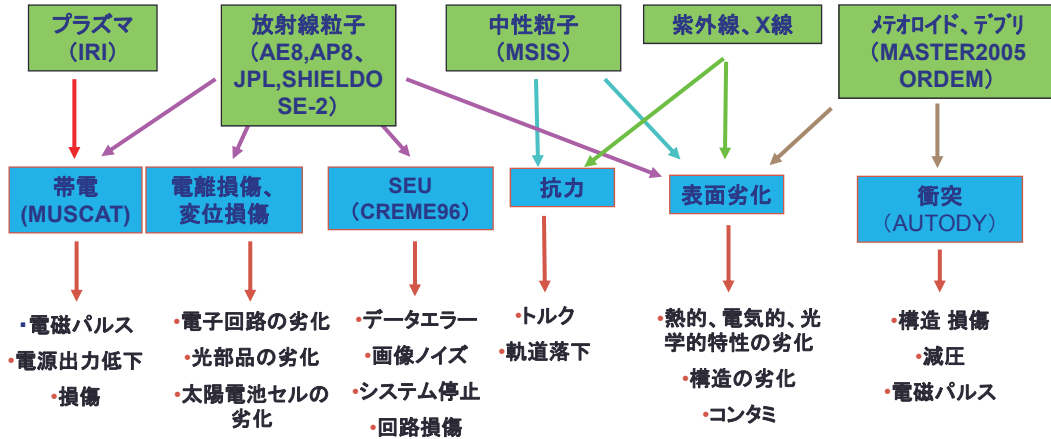
- 宇宙を利用した活動は、国境を超える広範な地域へのサービス提供や地球規模の事象把握など、社会インフラの発展に重要な役割を果たしてきている。
 - 測位、通信、放送、気象観測、災害監視、地球環境監視(温室効果ガス技術衛星など)
- 宇宙活動の長期的持続確保は、先進国宇宙機関だけの問題ではなく、今後の宇宙を利用していく国を含めた国際社会にとっての重要な課題となっている。
 - 「米ソ二極構造」から「多極構造」へと転換。衛星自体は50カ国以上が保有している。世界的にリスクを軽減する活動が重要である。
- 宇宙環境を監視するだけでは不十分。世界的規模でリスクを軽減する活動が必要となっている。このような活動を「宇宙環境保全」と呼ぶ。国連で議論中。
 - 宇宙デブリ、宇宙天気、宇宙近傍天体

国連宇宙空間平和利用委員会(UN COPUOS)の活動

- 宇宙活動の長期的持続の観点から「宇宙デブリ」と「宇宙天気」に関するガイドライン文書がまとめられつつある。
- 宇宙天気ガイドラインでは、
 - 国家・国際政府組織は、宇宙活動の長期持続性の強化手段として、**クリティカルな宇宙天気データと宇宙天気モデルの出力並びに予報について、リアルタイムでの収集・保管・共有・校正・配布を支援し、促進すること。**
 - 国家・国際政府組織は、宇宙活動の長期持続性の強化手段として、**先進宇宙天気モデルと予報ツールの開発、宇宙天気の地上及び宇宙システムに対する影響を低減するために確立された実行手段に関する情報の収集・共有・配布・アクセスを支援し、促進すること。**

宇宙天気のリスク

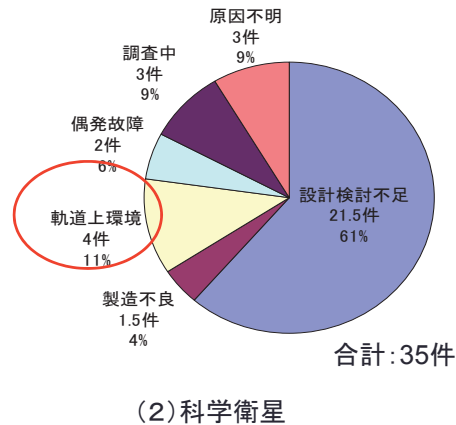
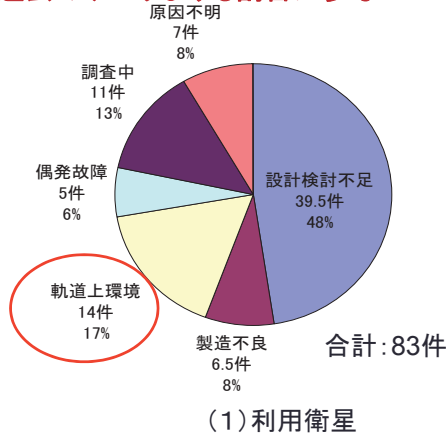
-宇宙環境によるシステムへの影響-



1974年から1994年に起きた100ケース以上の宇宙環境による衛星の喪失と不具合を整理した。その研究の結果、NASAと空軍の衛星故障のうち、20~25%が宇宙環境に起因することが分かった。

不具合の原因 —JAXAの場合—

- 2002年~2008年に運用された軌道上不具合情報が比較的充実している11衛星 (利用衛星：7機、科学衛星：4機) の結果。宇宙環境によるものは約15%。過去のデータよりも割合が少ない



Satellite News Digest

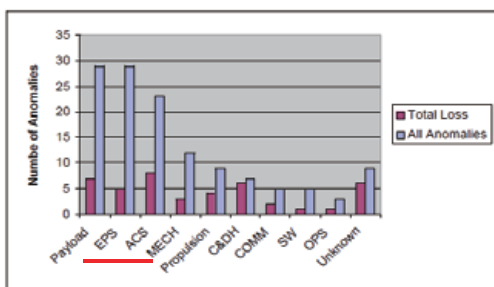
—静止軌道不具合—

- Satellite News Digest (SND) (<http://www.sqt-index.co.uk>) で1997年～2009年の期間に静止軌道で、95件の不具合が報告されている。その内、運用ミスや設計ミスなどを除くと**32件(約33%)**は宇宙環境によるものであった。**過去のデータ割合が多い。**
- Choiら¹⁾は、これら不具合の地方時と季節依存性を確認した。その結果、21:00LT～9:00LTで**約72%**の不具合が発生し、**9:00LT～21:00LT**は、9件(約28%)であった。また、この9件は、全て**姿勢制御の不具合**だった。静止軌道衛星不具合のほとんどは、真夜中と朝方で起きており磁気嵐に伴い磁気圏尾部から注入した粒子による**表面帯電が不具合の主原因と結論づけている。**

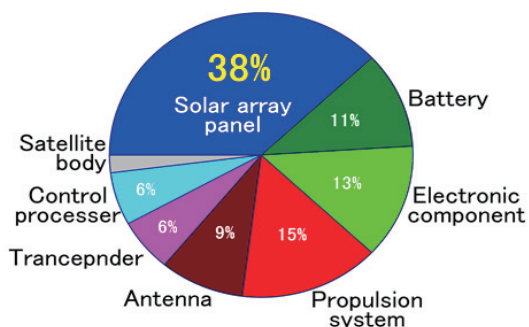
1) Ho-sung Choi, et al., Analysis of GEO spacecraft anomalies: Space weather relationships, Space Weather, Vol. 9, S06001

8

不具合発生部位の割合



Brent Robertson, Eric Stoneking
(1990-2001, NASA Goddard Space Flight Center)



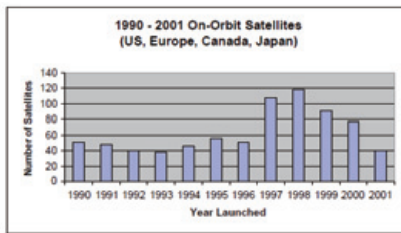
A ratio of incidence of each part on satellite

(1998-2004, Frost & Sullivan Co., Ltd.)

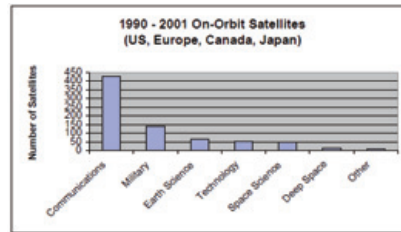
不具合発生部位の割合

NASAの報告 —GN&Cに注目—

- 1990年から2001年に米国、欧州、カナダ、日本の企業や政府機関が開発した衛星を調べた。過去の宇宙ミッション損失の大部分はロケットの失敗であったが、**1998年衛星損失の大部分は、軌道上の衛星障害となっている**。多くの最近の異常は、**太陽電池アレイ及びバッテリーの危険が増加している**。静止軌道通信衛星の設計寿命は、**このサブシステムの故障の危険が増加している**。
- 喪失等の大きな誘導制御 (GN&C) の不具合**に注目。GN&C不具合の内、宇宙環境による不具合は、**約3%**と報告されている。

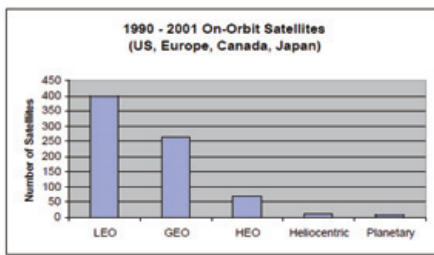


衛星打ち上げの推移

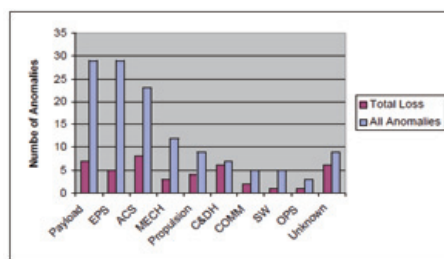


軌道上衛星のタイプ別数

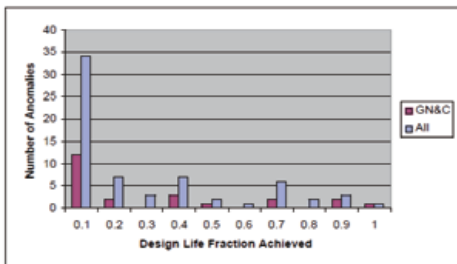
NASAの報告(続き)



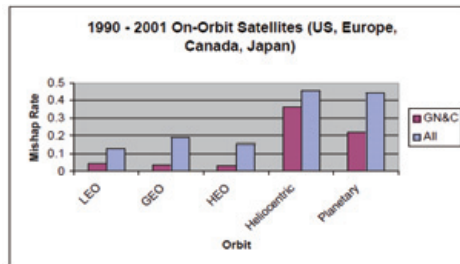
軌道別の衛星数



サブシステム不具合



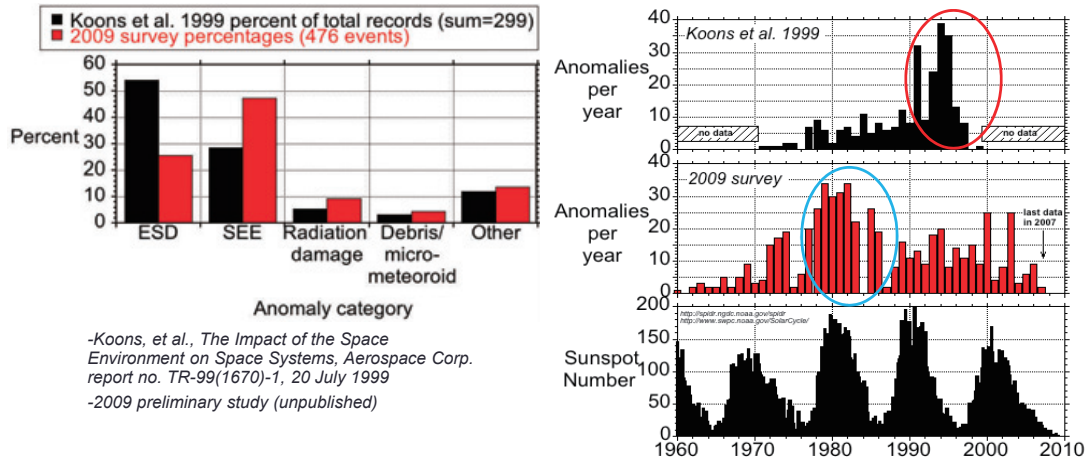
衛星設計寿命における不具合発生時期



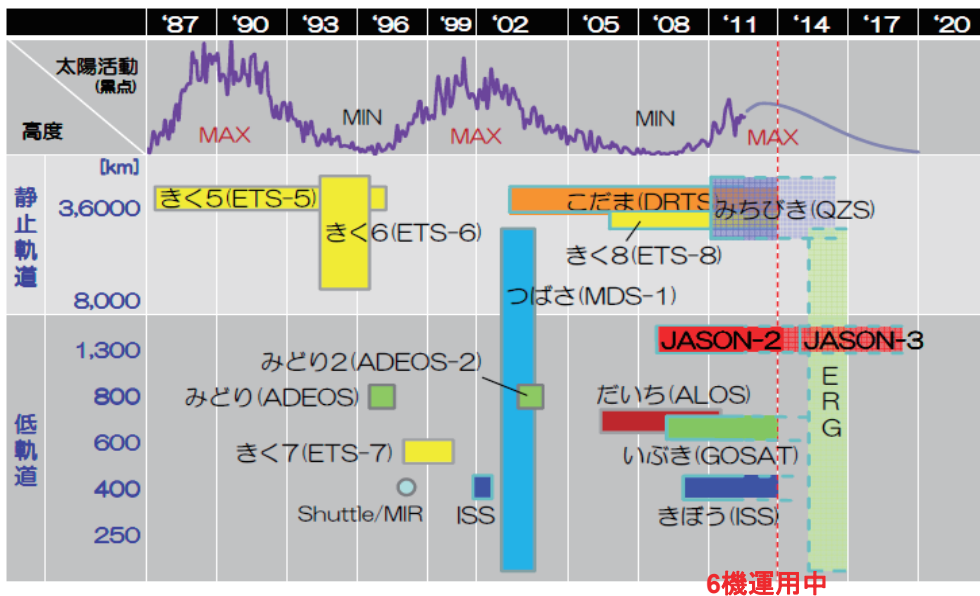
事故率と軌道

不具合原因の推移

- 宇宙天気を大きく左右する要因の1つとして、約11年の太陽活動変化が挙げられる。
- 太陽活動下降時期(太陽変動、CME)と極大期(フレア、CME)に衛星で不具合が増加する。それにより不具合原因の割合が変わる。



宇宙環境Gの宇宙環境計測



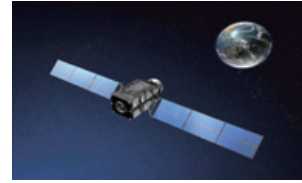
宇宙環境の主な観測状況



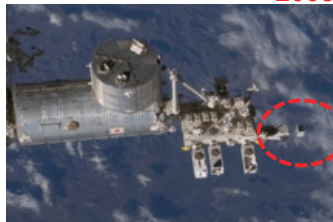
GOSAT(いぶき)衛星
・粒子計測器搭載
2009年1月打ち上げ



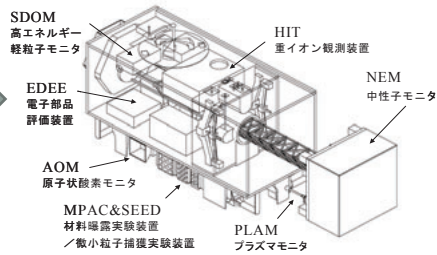
Jason-2衛星
・粒子計測器搭載
2008年6月打ち上げ



準天頂(みちびき)衛星
・粒子計測器搭載
・磁場計測器搭載
2010年9月打ち上げ



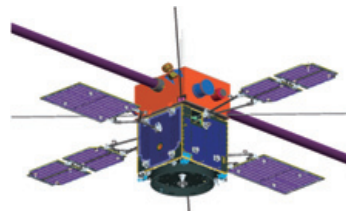
宇宙環境計測ミッション装置
2009年9月観測開始



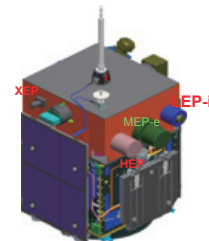
開発中の搭載機器



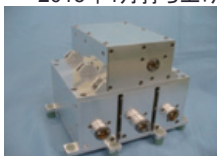
Jason-3衛星
・粒子計測器搭載(2012年7月PFM完成)
2013年3月 CNES出荷
2015年4月打ち上げ予定



ERG衛星
・粒子計測器搭載
2016年度 打上げ定
2012年9月に開発を着手



宇宙で普遍的におきている相対論的電子加速の現場を直接観測。また、将来の木星磁気圏探査での粒子加速研究を先導する。



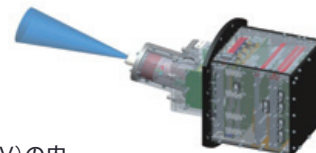
センサ部



電気処理部

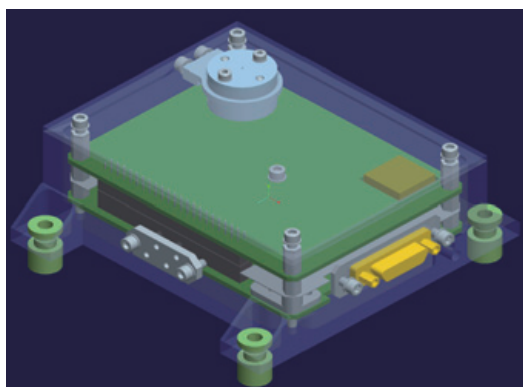
粒子	計測範囲
電子	0.03-20MeV
陽子	0.4-250MeV
He粒子	0.8-400MeV

電子観測(～10eV～20MeV)の内、一番高いエネルギー帯(200keV～20MeV)の部分を担当
・放射線帯を横切る軌道(GTO)であり多くの陽子や高エネルギー電子がコリメータ以外から混入するため、**アンチシンチレータの機能**を追加、合わせて低エネルギー部分の分解能を向上させた。



研究開発装置

—電子観測装置及びデブリセンサ開発—

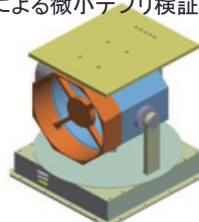


電子観測装置

衛星帯電に寄与する数keV～数十keVの電子を、アパランシェフォトダイオード(APD)を使用して計測する電子計測装置の研究モデルを開発した。
寸法: 104mm × 100mm × 36mm、



HTVによる微小デブリ検証実験



デブリの軌道上光学観測の研究

15

データ利用

- 宇宙飛行士の被ばく管理やロンチホールド
- 搭載宇宙機のシステム・サブシステムの影響及び不具合解析
 - 太陽電池の劣化解析、帯電解析 (ISS)
 - シングルイベント等
- **衛星観測データの精度向上の検討**
- 放射線帯モデル構築
 - 経験的放射線帯モデルの開発

データ公開

- SEESでデータを公開
- 大学等を中心に10数件の共同解析を実施
 - 昨年度は、JAXAの宇宙環境計測データを使い
学士論文 2件、修士論文 2件 発表
- 共同解析
 - 我々のデータだけでは、サイエンス的な成果になりづらい。他のデータと組み合わせる必要がある。
 - 正しいデータの解釈をするためにも共同解析(解析の分担)することで、我々の研究や装置開発へフィードバックさせることを希望する。
 - GOSAT衛星で観測された放射線帯内帯におけるkeV 帯の準捕捉電子の急増と電離層への影響
 - Low- and mid-latitude ionospheric effects of energetic electrons during a recurrent magnetic storm, *Journal of Geophysical Research: Space Physics* の論文として出版



まとめ

- 宇宙環境監視は、世界的活動が。重要になってきている。
- 軌道上不具合解析は、設計とプロセスの改善に大きな洞察を提供し、総合試験へのより効果的な検証方法を見出すのに役立つ。
- しかし、報告者により不具合に占める割合や傾向に違いがあり、宇宙環境の脅威の本質が見えにくい。それは、不具合とされるデータが、業界全体で共有化されていないのが原因である。COPUOSのガイドラインは、それらを改善するのに大きく貢献でき、早期の実現が望まれると共にどのようにすれば実現できるかが課題である。
- 同様に、世界的にどのような宇宙環境を監視し、どのように提供していくべきか、国内関連機関との共通認識と連携が重要である。