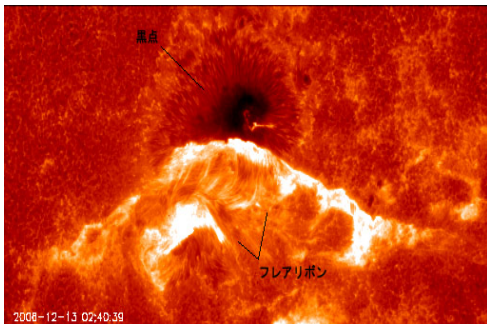


宇宙天気による衛星被害状況と 阻止に向けた対応について

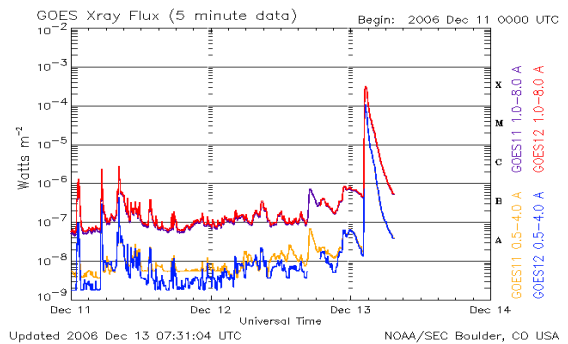
JAXA宇宙環境グループ

小原 隆博

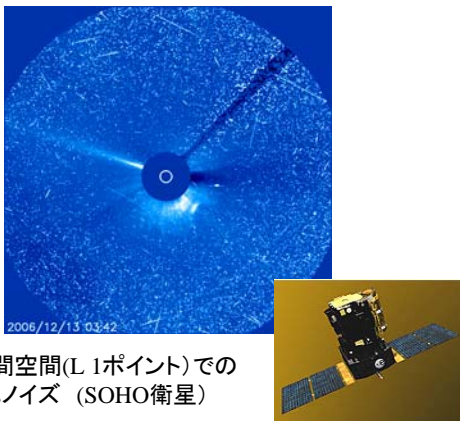
2006年12月13日の 太陽フレア発生 による衛星障害



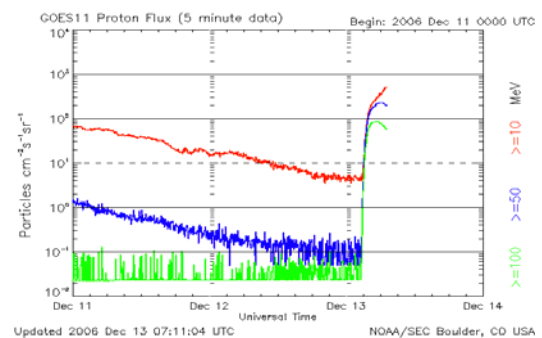
HINODE衛星が捉えた、巨大太陽フレア活動



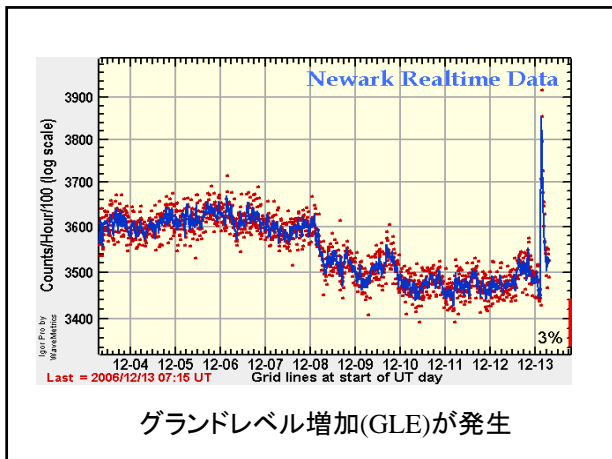
静止軌道位置での太陽X線の増加



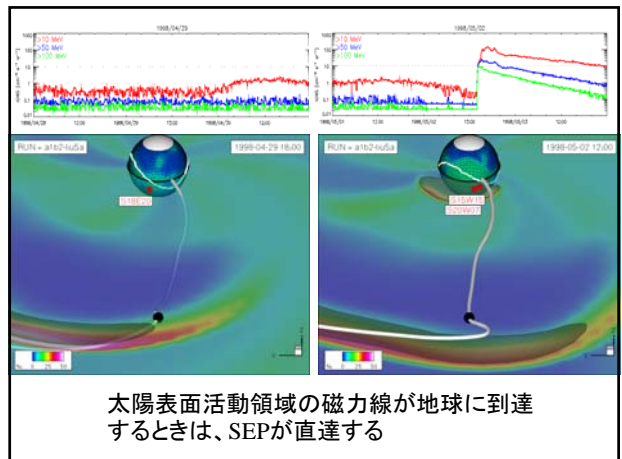
惑星間空間(L1ポイント)での
CCDsノイズ (SOHO衛星)



静止軌道位置でのSEPの増加



グランドレベル増加(GLE)が発生



太陽表面活動領域の磁力線が地球に到達するときは、SEPが直達する

ESA press release
on Dec. 15, 2006

- The Sun's Active Week -

Several missions, including Integral, Cluster, and Envisat, felt storm's effect

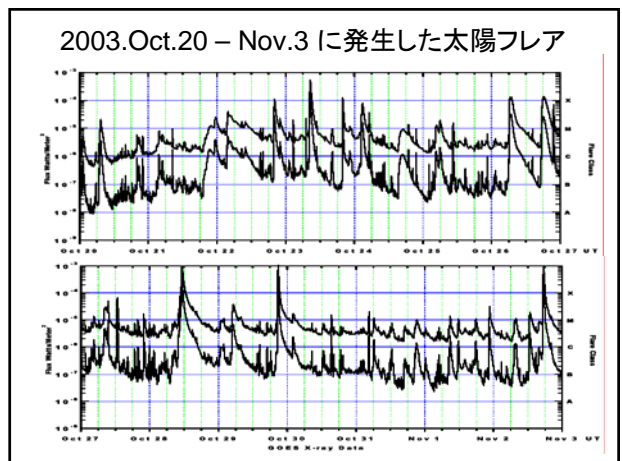
- Cluster 1 -> minor anomaly
- Cluster 2 -> AOC (Attitude & Orbit Control system) power off
- Cluster 4 -> High Power Amp. Power off
- Envisat -> Payload Module Computer, suspended
All instruments, switched off
- Integral -> JEM-E, switched off, IRIS manually switch off

2003年10月末の 太陽フレア発生 による衛星障害

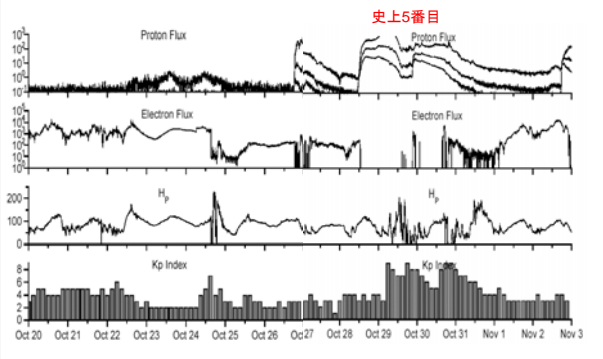
平成15年度第2回STE現象報告会

日時:平成15年12月26日(金)午前10時30分~
会場:通信総合研究所(小金井)国際会議室

2003年は太陽活動の衰退期で、平均的な太陽黒点数は100を切り50に近づこうとしており、10月中旬までは静穏な日が続いていました
しかしながら10月18日に東のリムに現れた黒点群484と、続いて10月23日に現れた黒点群486は、その後急激な成長をとげ、10月23,26,28,29日、11月2,3,4日と続けざまにXフレアを発生させました
これらの活動に伴うCMEにより、10月24、29日に地磁気嵐が発生し、29日にはAEインデックスが4000nTにも達する、見たこともないような巨大なサブストームが発生しました
これらの一連の現象は社会生活にも影響を与え、宇宙空間が如何に危険な領域であるかを、改めて我々に認識させることとなりました



2003.Oct.20 – Nov.3 間の 静止軌道における 太陽プロトン MeV電子 磁場 および Kp指数



NASA ゴダード宇宙センターが運用管理している宇宙科学衛星(深宇宙探査も含む)の約60%が、この10月期の太陽フレアの影響を受け、約25%の衛星が、搭載機器の電源をOFFするなどの防衛対策をとった。

JAXA DRTS(こだま): 10月28日 18:42UT セーフホールドモードに移行

NOAA-17 マイクロ波観測装置 永久故障 10月27日

GOES-8 X線センサー 永久故障 10月27日

GENESIS(太陽風観測衛星) セーフホールドに移行 10月23日

STARDUST(彗星探査機) リードエラー 10月24日

CHANDRA(天文衛星) 観測停止 10月24日

GOES-12 磁気トルカ異常 10月24日

SMART-1 月探査機 イオンエンジン自動停止 10月26日 以降8回

INTEGRAL セーフホールドモード 10月26日

X線天文衛星CHANDRAが、高い放射線レベルを感知し、自動的に停止

NASA地球観測ミッション本部は、AQUA, LandSat, TERRA, TOMS, TRMMの5衛星に対して、衛星off あるいは安全状態に移行するように指示(10/28) -> JAXAに復帰時期について相談があった(11/6以降を指示)

ICESat衛星のGPSリセット 10月28日

DMSP-16衛星、一時データがとれなくなる 10月28日

SOHO衛星搭載太陽コロナ観測装置を安全モードに移行 10月28日

火星探査機マーズオデッセイ安全モード。放射線計測機器はoff 10月28日

赤外線天文衛星SIRTFは、科学ミッション機器を4日間停止 10月28日

科学衛星CHIPSダブル状態に 10月29日

FedSatデータが取れなくなった 10月30日

ACE衛星、WIND衛星の太陽風プラズマデータが一時とれなくなった 10月28日

GOES衛星の電子観測データゼロ値に 10月28日

ISSロボットアームを地上コマンドで停止させた 10月28日

科学衛星X-ray Timing Explorerの放射線比例計数管シャットダウン 10月29日

科学衛星GALEX紫外線実験装置が高電圧に帯電したため電源off 10月28日

POLAR衛星デスパンが3度ロックオフ 10月28-30日

ISS 10/30 1日で150mの高度低下 (平常時の1.5倍以上の低下)

神舟5号、軌道高度著しく低下 10月30日

他に、数多く、搭載コンピュータが誤動作を、引き起こした。

2000年7月14日の 太陽フレア発生 による衛星障害

平成12年度第2回STE現象報告会

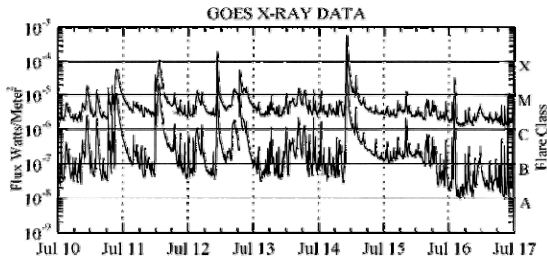
日時:平成12年12月22日(金)午前11時~午後5時
会場:通信総合研究所(小金井)4号館2階大会議

7月14日1003UTに、N22W07で発生した3B/X5.7フレアに伴う太陽地球系現象。このフレアの発生に伴い、Type II/Vバーストはもちろん、高速のhalo型CME(約1775km/sec)が太陽の西側で観測された。Type IIバーストによる衝撃波速度は1300-1600 km/sec。1991年以來の強いプロトンイベント(24000PFU)も発生し、今サイクル2番目のGLEとして、地上の中性子計でも観測された。

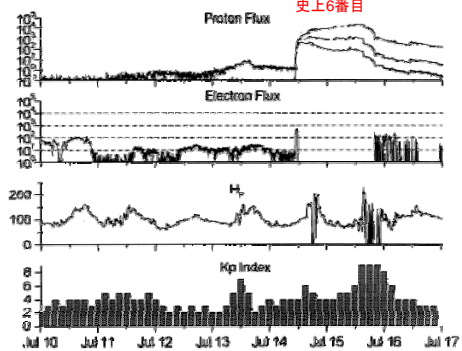
このイベントに伴うトラブルのため、ACE衛星の太陽風データは得られていないが、11日頃からの一連のフレア・CME活動に伴うと見られる3つの衝撃波がSOHO/MTOFで観測されており、中でも15/1400UTに観測された衝撃波は、約1500km/secの平均速度で地球へ到達した。擾乱の太陽風速度は950km/sec、プロトン密度は50/ccに達し、IMF Bzは+40nTから-54nT(GSM)へと激しく変化した。引き続き15/1430UTにSCが発生。太陽風速度は900km/secを超える。GOESにおいて15/19-24UTの間magnetopause crossingが発生。磁気嵐は16/0600UTまで継続し、Dstは16/00UTに-295nTに、AEの最大値は2000nTに達した。

この磁気嵐は1989年以來最大。8.2%の銀河宇宙線Forbush Decreaseも観測された。

2000.July 10 – July 16 に発生した太陽フレア



2000.July 10 – July 16間の 静止軌道における
太陽プロトン MeV電子 磁場 および Kp指数



多くの静止軌道衛星で、姿勢喪失が生じ、地上からのマニュアルコマンドで、復帰した。

- GOES-5は、電力が6W低下。これは、通常の2~3年分の低下に匹敵
- あすかは、セーフホールドモードに。姿勢のタンプリング。太陽電池出力低下
- あけぼのは、アップセットイベントが発生
- ようこうは、太陽画像に多くのノイズ
- ACEは、太陽風センサーが異常
- SOHO, TRACE 太陽画像に多くのノイズ
- GOES-8, 10 のSEM, 1日間停止
- WIND 太陽センサー 1週間停止

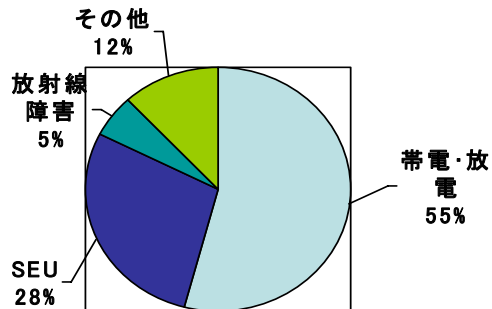
宇宙天気被害

衛星障害統計

Aerospace Cooperation (1957-1997)

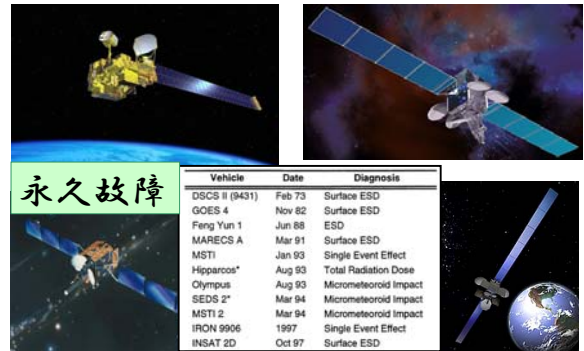
- (1) Electrostatic Discharge 162 events (54%)
内部帯電、表面帯電
- (2) Single Event Upset 85 events (28%)
宇宙線、太陽プロトン、ブラジル異常
- (3) Radiation Damage 18 events (6%)
ソーラーパネル、トータルドーズ
- (4) Other 36 events (12%)
マイクロメテオロイド、デブリ、大気ドラッグ

宇宙環境に関する障害



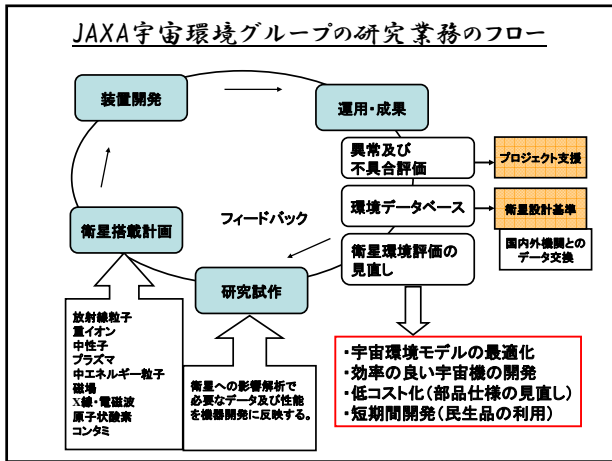
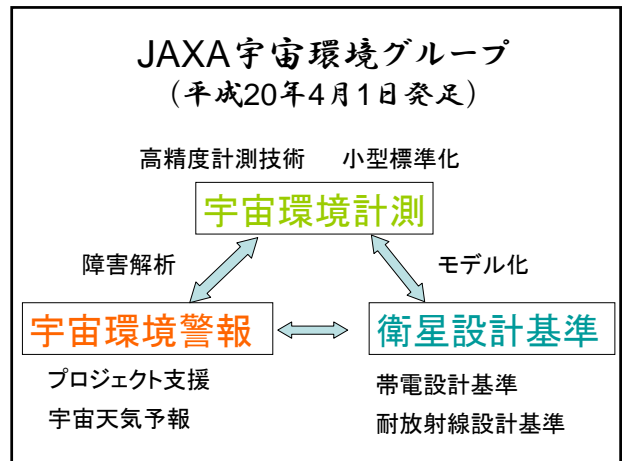
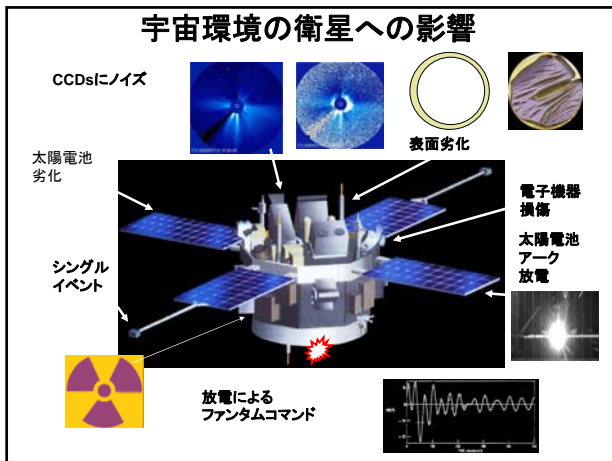
Boeing 702

PanAmSat-6 (Loral FS1300)



Arabsat 3A (Alcatel 3000 Model)

ADEOS-II



宇宙機等の宇宙空間での安全な運用のために

宇宙環境グループ共通グループ長 小原 隆博

相模原メンバー	筑波メンバー
佐々木教授、中村(正)教授、 國中教授、 阿部准教授、今村准教授 斉藤(義)准教授、高島准教授 松岡准教授、安部准教授 横田助教、山崎助教 小泉助教、浅村助教	松本主幹、道家客員 五家招聘、村木招聘 古賀主任、越石主任 木本主任、込山主任 中山開発員、佐々木開発員 風間開発員、 寺沢招聘、北澤客員

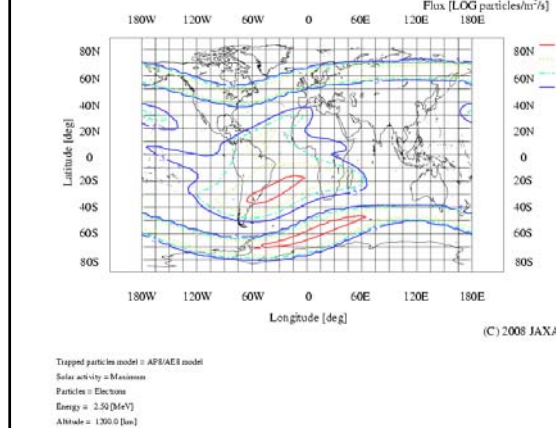
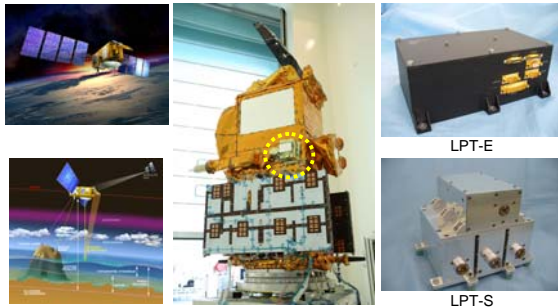
宇宙環境計測

①宇宙環境の観測

- 衛星・宇宙ステーション搭載 宇宙環境計測機器の開発
- 小型・高性能化の研究
- 新規(プラズマ・帯電等)計測機器の研究
- センサー開発連絡会議(新規)の開催

- #### ①世界をリードする宇宙環境計測技術の確立
- 1)相模原の研究基盤を活用し、衛星搭載環境計測装置の高精度化(放射線、帯電等)
 - 2)筑波の豊富な搭載実績を活かし、科学用計測器開発の効率化(太陽観測、プラズマ、月・惑星環境等)。
 - 3)リスクが懸念されつつも従来計測困難であった環境要因の計測技術の共同研究開発(宇宙ダスト、原子状酸素等)

On June 22, we have succeeded a turn-on of the light particle telescope (LPT) instrument which is installed on French Jason-2 satellite.



**宇宙放射線
(軽・重粒子、中性子)**

**プラズマ
原子状酸素
微粒子捕獲
材料・部品**

SEDA-AP

中性子イオンモニタ(NEM)

ファイバー型中性子モニタ(FIB)の計測原理

交互に直交して組み立てられたシンチレーションファイバー(16×16本)の各ロッドから反跳陽子の飛跡マルチアノードフォトマルで計測し、その発光量と飛跡から中性子のエネルギーと入射方向を推定する。中性子と陽子の弁別は、最外殻層のシンチレータの発光との反時計数(荷電粒子は、最外殻層のシンチレータで発光する)をとることにより行う。中性子と光子の弁別は、飛跡の違い(中性子は1本、光子は2本)により行う。

仕様

BBND: Bonner Ball Neutron Detector
計測エネルギー範囲:
0.025eV(熱中性子)~15MeV
最大計測粒子数: 1×10^4 count/sec

FIB: Fiber-type neutron detector
計測エネルギー範囲:
15~100MeV
最大計測イベント数: 50 event/sec

重イオン観測装置(HIT)

HITセンサー部

HITセンサーの断面図

目的
電子部品の誤動作や、破損の原因の1つである重イオン(Li~Fe)の粒子別エネルギー分布を、シリコン半導体検出器で計測する。

計測原理
2枚の位置検出器(PSD)、及び16枚の半導体検出器に入射した荷電粒子は、入射粒子の損失に比例した電位を持つパルスを生じる。HITはこれを利用して、各々の検出器での損失エネルギー、及び検出器内で停止した粒子については全エネルギーを計測する。得られたエネルギーと検出器での損失エネルギーから $\Delta E \times E$ 法により粒子弁別を行う

SSD仕様

粒子:	Li~Fe
Li:	10 to 43 MeV/nuc
C:	16 to 68 MeV/nuc
O:	18 to 81 MeV/nuc
Si:	25 to 111 MeV/nuc
Fe:	34 to 152 MeV/nuc

高エネルギー軽粒子モニタ (SDOM)

SDOM

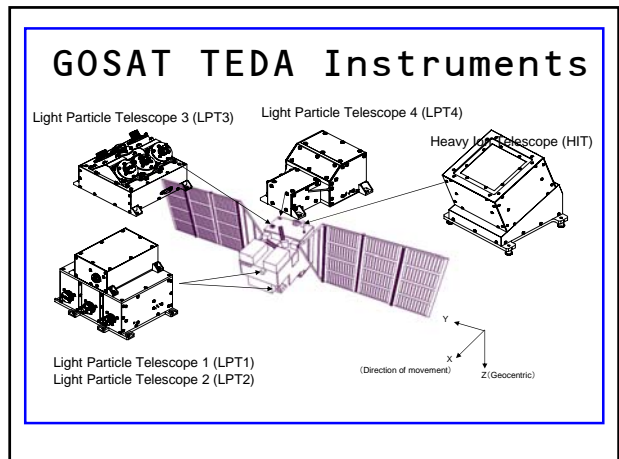
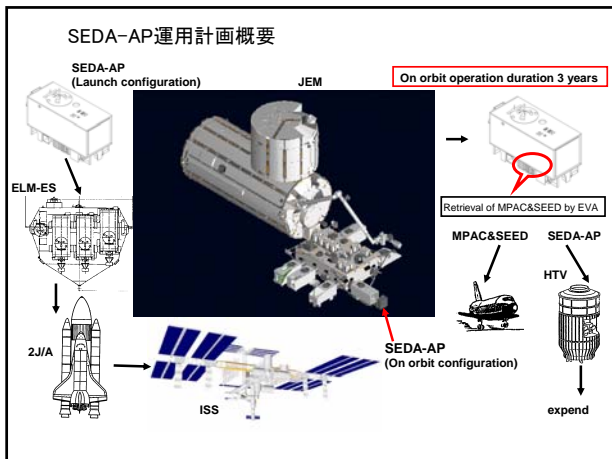
SDOMセンサー部断面図

目的
宇宙機器のための宇宙放射線モデルの作成・更新、有人被爆管理支援及び宇宙天気予報の基礎データ等として電子、陽子、 α 粒子のエネルギースペクトルを計測する。

計測原理
半導体検出器3枚とシンチレータで構成されている。入射粒子のエネルギーは、3枚の半導体検出器及びこれを突き抜けたものは後ろにあるシンチレータで計測する。
粒子弁別は、各検出器の波高の組み合わせによる $\Delta E \times E$ 法により行う。

仕様

粒子	エネルギー範囲	ch
Electron	0.5 to 21 MeV	7
Proton	1.0 to 200 MeV	15
Alpha	7.0 to 200 MeV	6
Heavy Ion	ID only	1



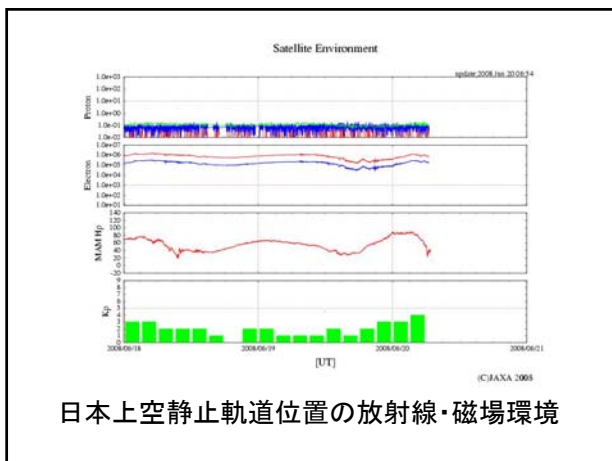
宇宙環境警報

②観測によるプロジェクト支援

- 観測データのリアルタイム表示
- 衛星・宇宙ステーションへの環境警報の提供
- 不具合時の宇宙環境状況の分析

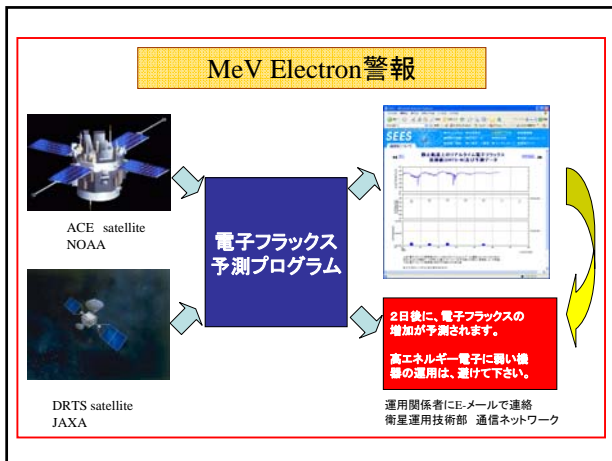
The block contains screenshots of a real-time data display showing a bright star and a satellite, and a graph of environmental data. The text "2006/12/05 11:04:15 UTC BE12A 4.000 s" is visible on the data display.

- ### ②宇宙環境情報システムによるプロジェクト支援
- 1)相模原・筑波で運用中の衛星の宇宙環境データのリアルタイム解析
 - 2)統合解析によるプロジェクト支援 (実用衛星、科学衛星、国際宇宙ステーション)
 - 3) 相模原・筑波で運用した衛星の不具合と宇宙環境との関連性分析



衛星警報障害通知機能(X線、陽子)

- 準リアルタイム取得プログラムにおいて、NOAAのホームページからX線、粒子、磁場のデータファイルを取得している。
- 当初衛星警告通知を発信する条件は、X線データがパラメータファイルで指定されたX線の閾値を越えるイベントが発生した場合であった。
- FY14に粒子データのプロトンにおいて閾値を越えるイベントが15分間連続で発生した場合にも衛星警告通知を発信するように判断条件を追加した。
- 10MeV以上の陽子フラックスが10pfu (proton flux unit=1個/(cm²-s-str))以上となる現象が15分間以上連続した場合、警報を出す。
- 従来はPC端末へのメール発信であったが、携帯電話などのモバイル端末向けにも、衛星警告通知を発信するように機能を追加した。



衛星設計基準

③宇宙環境データベース

- データ解析・宇宙環境モデルのアップデート
- 宇宙機設計基準の改善と国際標準化促進
- 国際宇宙環境シンポジウムの開催 (COE活動)

- ### ③データベースの整備・宇宙機設計標準の改善
- 1) 相模原の研究基盤を盛り込んだ宇宙環境モデルのアップデート
 - 2) これまでの研究成果を、JAXA宇宙機設計標準へ反映。ISO提案も。

