

宇宙環境計測の現状と今後の展開

研究開発本部 宇宙環境グループ
小原 隆博

1. はじめに

一瞬にして数十を超える人工衛星が、太陽の発する放射線によって機能停止あるいは機能喪失にあいました。2003年10月に発生した史上最大規模の太陽フレアの影響です。その後の復旧措置で、多くの衛星は正常に戻りましたが、米国の気象衛星の観測機器をはじめ、いくつかの計測装置や実験機器は壊れました。

太陽フレアに伴って発生する太陽放射線の影響は、1990年代の中ごろから、人工衛星に現れ始めています。極度に集積され高性能になった宇宙部品が、宇宙放射線の影響で壊れました。永久故障した人工衛星も多くあります。

太陽フレアは、発達した黒点群を中心に、太陽表面の彩層からコロナ領域にかけて発生する、大規模なエネルギー解放現象（爆発現象）です。光や電波で太陽フレアの発生はいち早く察知出来ますが、その後わずかな時間を経て、太陽放射線が地球近傍の人工衛星に押し寄せてきます。太陽放射線は、宇宙飛行士たちにも影響を及ぼすことが懸念されています。放射線被曝に遭わないようにすることが重要です。

太陽からは、フレアに伴って大量のガスの塊が放出されます。コロナ質量放出(CME)と呼ばれる現象ですが、このガスの塊は非常に大きく重いもので、飛び出す速度も秒速2000kmに達することもあり、とても大きなエネルギーを運んでいきます。2日程度で、地球に向かったコロナのガスは、地球磁気圏に衝突し、磁気嵐と呼ばれる地球の嵐が発生します。

この磁気嵐の回復過程で、バンアレン帯は非常に活性化することがわかりました。太陽風の変動、特に太陽風磁場の赤道面に対する成分の向きが重要で、これが南向きになった状態が続くと、バンアレン帯の放射線粒子(特に電子)が増大することがわかりました。

電子のエネルギーは、MeV(百万電子ボルト)にまで達して、相対論的なエネルギーも持つようになります。ほとんど、光の速さで衛星にぶつかってくる電子は、衛星内部に深く侵入して、デバイスやエレクトロニクスを帯電させ、時には破壊まで引き起こしてしまいます。MeV 電子の影響で、いくつかの衛星は永久故障を起こしています。

2. 宇宙環境を計測する

JAXA(宇宙航空研究開発機構)では、衛星周辺の宇宙環境を、独自の装置で計測して来ました。以下に環境計測装置の搭載された衛星一覧を示します。

第1表 宇宙環境計測装置の搭載実績・予定
(* : 運用中)

衛星など	打ち上げ日 (高度)
きく5号	1987年8月 (36000km)
きく6号	1994年8月 (8000~38000km)
みどり	1996年8月 (800km)
きく7号	1997年11月 (500km)
スペースシャトル (STS-89)	1998年1月 (300km)
ISS	2001年 (400km)
つばさ	2002年2月 (250~36000km)
こだま	2002年9月 (36000km) *
みどり II	2002年12月 (800km)
だいち	2006年1月 (700km) *
きく8号	2006年12月 (36000km) *
Jason-2	2008年6月 (1336km) *
JEM (予定)	2009年5月 (400km)
GOSAT (予定)	2009年1月 (700km)
QZS (予定)	2010年度 (準天頂軌道)

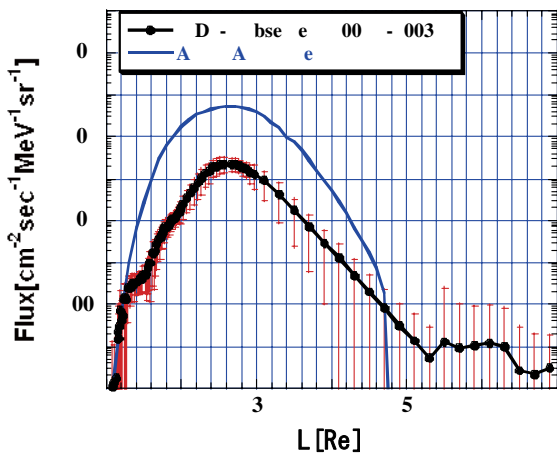
衛星や宇宙飛行士に影響を与える、宇宙放射線や中性子の計測機器をはじめ、磁力計、メモリ誤動作モニタ、帯電放電モニタ、太陽

電池セルモニタ、集積回路モニタ、汚染モニタ、原子状酸素モニタ、帯電電位モニタなど、各種の装置で、技術データをこれまでに取得しています。

今後は、ISS（国際宇宙ステーション）日本宇宙実験棟（JEM）暴露部に、宇宙環境計測装置（SEDA-AP）を、来年5月に装着して、ISS近傍の宇宙環境を詳細に計測します。また、準天頂軌道という新しい軌道における宇宙環境を計測するべく準備を進めています。

3. 衛星設計に資する宇宙環境モデルの開発

観測の目的のひとつは、継続して計測してきた衛星観測データから、宇宙環境の最悪な状態、平均的な状態、太陽活動により長周期で変動する部分などを統計的に評価した宇宙環境モデルを開発することにあります。



第1図 NASAのプロトンモデルとJAXAの計測の比較。
NASAモデルがJAXAの計測より1桁大きい。

一例を図1に示していますが、これまで衛星の耐放射線設計には、NASAの宇宙環境モデルが用いられてきました。このモデルは60年代から70年代のNASAの衛星観測をベースに作成されていましたが、JAXAの2002～2003年の観測は、モデルを1桁下回っています。衛星搭載部品は放射線を防ぐ目的でシールドをしますが、シールドの厚みは周囲の放射線量で決まります。従って、この1桁のずれはとて大きく、私たちは慎重に評価をしています。

JAXAでは、目下、衛星設計基準の改訂プロジェクトを進めています。我々はこれに参加して、宇宙環境ワーキンググループを主宰しています。衛星設計基準の改訂作業は、緊急かつ重要な事項として、全技術分野で進められていて、多くのワーキンググループがあります。我々は、帯電や部品のワーキンググループにも参加しながら、宇宙工学の専門家と共同で改訂作業を行っています。

4. 危険を予測する（衛星危険情報の提供）

はじめに述べたように、宇宙環境は、突発的に大きく変動します。丈夫な衛星を作る努力を行うとともに、太陽と宇宙環境の危険を事前に察知して、衛星や宇宙飛行士を危険から護ることが、安全な宇宙活動のために必要です。

太陽からのX線を連続してモニターしていると、太陽フレアの発生とともにX線強度が増加します。それから30分～1時間たって、強烈な太陽放射線が地球に到来します。地球周辺の磁力線に入った太陽放射線は、磁力線が開いている極域に侵入しやすい傾向があります。太陽放射線が、地球に到達する条件に、太陽フレアの発生位置が重要です。目下、JAXAの「ひので」衛星が、連続して太陽を観測しています。我々は、衛星による観測データを総合的に分析して、危険かどうかを判断しています。

静止軌道の場所における放射線のリアルタイム計測は、太陽放射線の到来を確認するとともに、磁気嵐で増加する放射線帯MeV電子についても、重要な情報を与えてくれます。MeV電子の増加には、太陽からのプラズマ流の速度が重要で、我々は、太陽風の速度を用いて、これからの増加・減少をAI技法で予想しています。

JAXAでは、これまでの計測データに基づいた宇宙環境の状況判断に加え、今後は、世界の宇宙環境変動に関する研究機関および、宇宙天気予報センター（日本では、NICTが担当）との連携を進めて、より数量的な危険状況の予測を進めて、JAXAの衛星や有人プロジェクトに提供していく計画です。