

# 国際標準規格のための新しい太陽陽子フルーエンスモデルの提案

風間 洋一, 五家 建夫 (宇宙航空研究開発機構 総合技術研究本部)

## 1. はじめに

宇宙機の設計に用いられる太陽陽子イベントのモデルとして Feynman 等が 10 年以上前に提案した JPL-91 が広く用いられている[1]。太陽電池パネルの放射線劣化の評価にも JPL-91 が一般的に利用されているが、実際の太陽電池パネル劣化と比較して JPL-91 は過剰なプロトンフルーエンスを示すことが広く知られている。その乖離は長期間運用される宇宙機でより顕著である。表 1 は欧州宇宙機構(European Space Agency; ESA)の衛星設計基準であるが[2]、より寿命の長い衛星には、より低い信頼レベル、すなわちより低い陽子フルーエンス値を適用することとなっている。これは、JPL-91 モデルが実際と比較してより高いフルーエンスを示すことを考慮していると考えられる。このようなモデルと現実との不一致は、すなわち太陽電池の過剰設計に繋がっており、

表 1 欧州宇宙機構の太陽電池設計基準に用いられる信頼レベル。衛星寿命が延びるにつれて、低い信頼度が採用されている。

Exposure year	Confidence level [%]
1	97
2	95
3	95
4	90
5	90
6	90
7	90

太陽電池のコストを押し上げる要因となっている。近年の衛星の長寿命化やコスト意識の高まりから、より現実に即した太陽陽子モデルの構築が宇宙航空産業界から強く求められている。そしてその任に当たることは、宇宙利用の推進を目的とする宇宙航空研究開発機構がまさになすべきであると考える。

## 2. 研究概要

本研究では、特に太陽電池設計に特化した太陽陽子フルーエンスモデルの構築を目指す。我々の提案するモデルは JPL-91 と異なり、実際に衛星で観測された陽子フラックスデータを直接用いる。モデルは、長期間に亘るフラックスデータを積分し、衛星寿命に対する太陽陽子フルーエンスを求める。これにより、JPL-91 のベースとなっているいくつかの仮定は必要としない。また、実際に得られたデータを直接用いることでより現実に即したモデルの構築が可能である。図 1 に用いた陽子フラックスデータを示す。データは気象衛星ひまわり 2 号から 4 号に搭載された環境計測モニターによる陽子計測器で得られたものである[3]。データの期間は、1981 年 12 月 21 日から 1995 年 6 月 13 日までである。エネルギーチャンネルは 4-8 MeV(図中上のパネル)と 8-16 MeV(図中中央のパネル)の 2 チャンネルに着目する。放

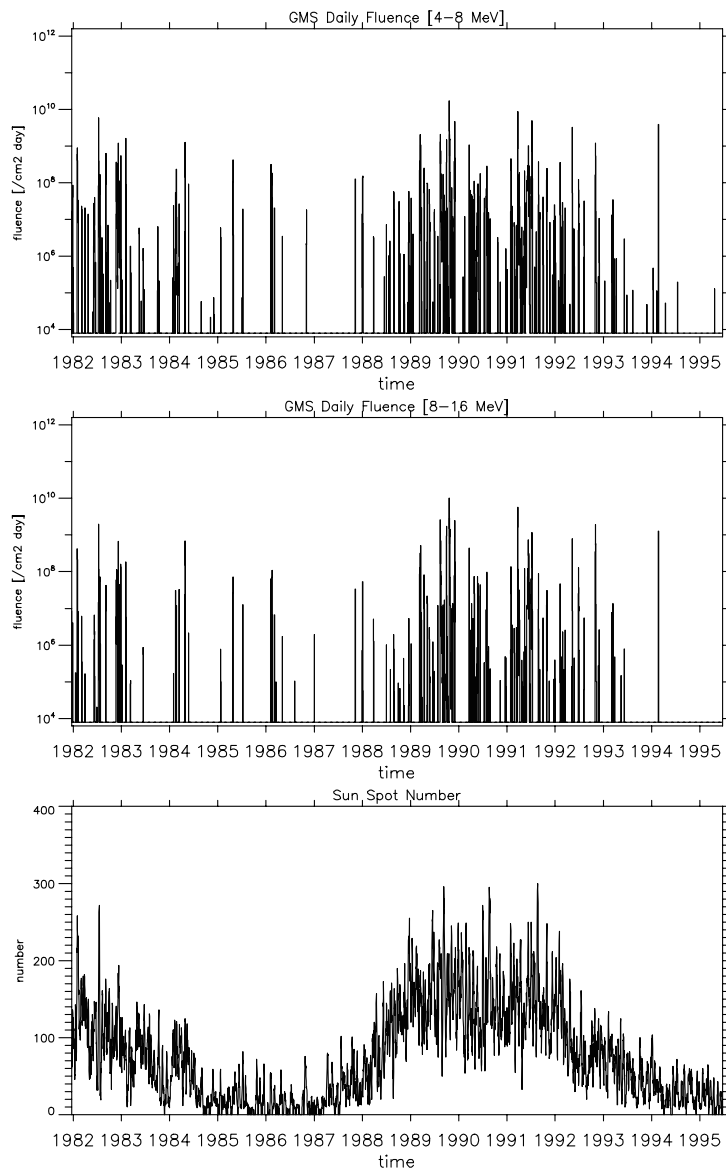


図1 気象衛星ひまわり2号から4号で観測された太陽陽子のフルーエンス。上段は4から8 MeVの陽子、中段は8から16 MeVの陽子を示す。下段は太陽黒点数を示し、太陽陽子のフルーエンスは太陽黒点数とよい相関があることが分かる。

射線劣化係数プロファイルによると、太陽電池の放射線劣化には特に数 MeV から 10 MeV 程度の陽子をもっとも重要であり[4]、我々が用いたこの二つのエネルギー領域は太陽電池の劣化を評価する上で十分な範囲をカバーしている。図1では、太陽活動度(図中下のパネル)に比例して太陽陽子イベントが観測されていることが分かる。

モデル構築の具体的な手法は以下のとおりである。

- (1) 衛星寿命分の年数に亘ってデイリーフルーエンスデータを積分する。その積分範囲を一日ごとにずらし、衛星寿命に対するフルーエンスデータセットを計算する。
- (2) そのデータセットの中から最悪条

件として最高値を取り、その衛星寿命に対する陽子フルーエンスとする。

この計算により、用いた陽子プロトンデータの期間において、与えられた衛星寿命の中で実際に被爆する陽子フルーエンスの最悪値を得ることができる。注意点として、与えられたデータ期間中に発生しなかった極めて大きな太陽陽子イベントが極めて低

い確率で発生しうる点が挙げられよう。

### 3. 成果概要

図 2 に上述の方法により計算されたフルーエンスを示す。横軸は衛星寿命、縦軸はフルーエンスである。比較のため、JPL-91 モデルの計算値も併せて示す。衛星運用初期においては、我々の計算値は JPL-91 の信頼度 95%程度のフルーエンスに対応し、運

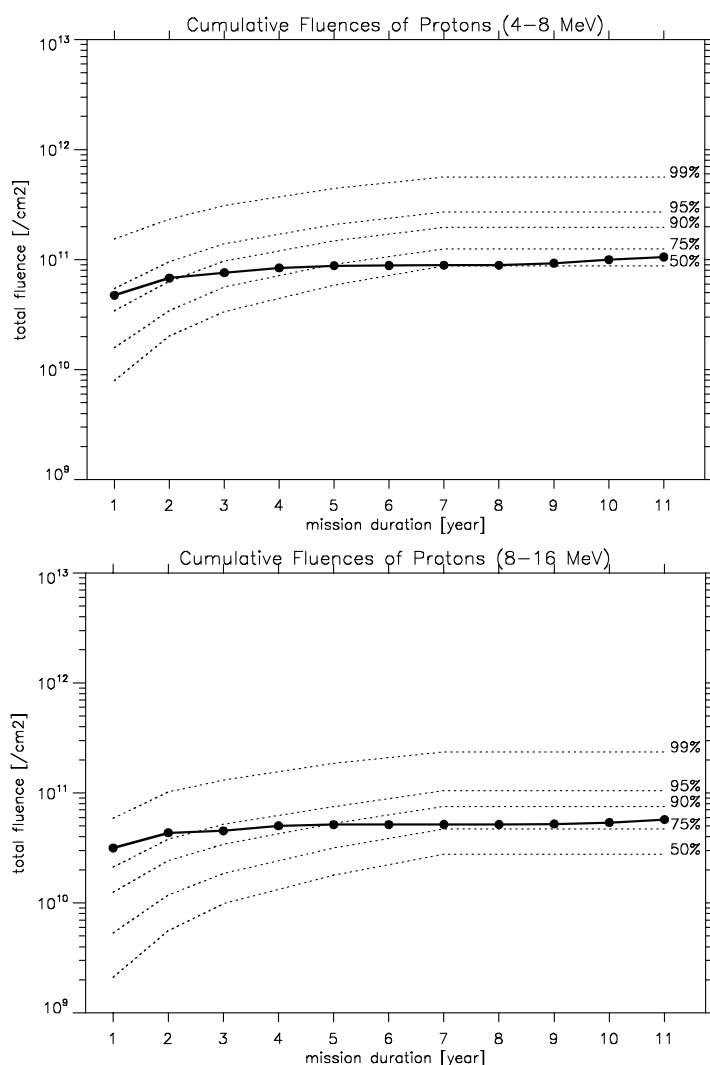


図 2 新しい手法により計算された太陽陽子のモデルフルーエンス。横軸はミッション期間、縦軸は総フルーエンス量を表す。上段は 4 から 8 MeV の、下段は 8 から 16 MeV の太陽陽子を示す。JPL-91 で計算されたフルーエンスは点線で示されている。衛星ミッションが長期間になるにつれ、モデルフルーエンスは太陽電池設計時に用いられる信頼度 (90%から 95%) よりも低い値となることが分かる。

用期間が延びるにしたがって 4-8 MeV のエネルギーでは 50-75%、8-16 MeV のエネルギーでは 75-90%と一致することが分かる。太陽電池パネルの設計に際して、一般的には JPL-91 モデルの 90-95%の信頼度が採用されていることを考えると、JPL-91 が与える陽子フルーエンスは過大評価していることが示されている。これはすなわち太陽電池が過剰設計となっており、そのコスト削減の可能性を示していると言えよう。

我々は、この新しい太陽陽子フルーエンスモデルを国際標準とすべく、国際標準化機構 (International Organization for Standardization; ISO)にすでに提案を行った。現在は ISO Specification として、ISO のワーキンググループ内で継続して検討を進めている段階である。

#### 4. まとめ

我々は太陽電池劣化評価のための太陽陽子フルーエンスモデルを構築した。このモデルにより、より現実的な太陽陽子フルーエンスを求めることができ、太陽電池の製造コストを削減する可能性が示唆された。われわれは、本モデルを太陽電池劣化評価のための太陽陽子フルーエンスモデル国際標準として、ISO に提案を行った。

#### [参考文献]

[1] Feynman, J., G. Spitalé, J. Wang, and S. Gabriel, Interplanetary Proton Fluence Model: JPL 1991, J. geophys. Res., 98, 13281-13294,

1993

[2] Space engineering, Space environment, European cooperation for space standardization (ECSS-E-10-04A), ESA-ESTEC, Requirements & Standards Division, Noordwijk, The Netherlands, 2001

[3] Kohno, T., Current and future data available in Japan, Geophys. Monogr. Ser., 97, 217-222, 1996

[4] Assessment of Multijunction Solar Cell Performance in Radiation Environment, The Aerospace Corporation, Feb. 29, 2000