

あけぼの衛星の太陽電池発生電流の20年にわたる変動解析

○石川 浩之(東海大・工)・三宅 亙(東海大・工)・松岡 彩子(ISAS)

研究背景

科学観測,気象観測,放送の中継等を担う人工衛星は太陽電池を主な電源としているが,高温高真空,放射線,激しい熱サイクル等の過酷な宇宙環境に位置するため太陽電池出力が劣化することが報告されている。しかし10年以上の長期間にわたる研究はほとんど報告されていない。そこで本研究では打上げから20年以上運用されている「あけぼの」の太陽電池発生電流(SCPI)を解析する。



図1. 第12号科学衛星 EXOS-D「あけぼの」(C) JAXA

太陽電池劣化の主な原因

- | | |
|--|--|
| <p>----Environment----</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ionized particles • Micrometeoroids and debris • Contamination from out-gassing and propulsion plume • Space plasma • Thermo-elastic cycling • Bypass diode failure • Ultraviolet radiation | <p>----Effect----</p> <ul style="list-style-type: none"> • Damage to the p-n junction • Damage to cell active area and interconnects • Increased cell shunt resistance • Degradation in optical properties of the cover glass • Increased leakage current • Cracks in solder joints of the interconnects • Shorts in cell blocks and reduced string current • Degradation in optical properties of the cover glass |
|--|--|
- SPACECRAFT POWER SYSTEMS

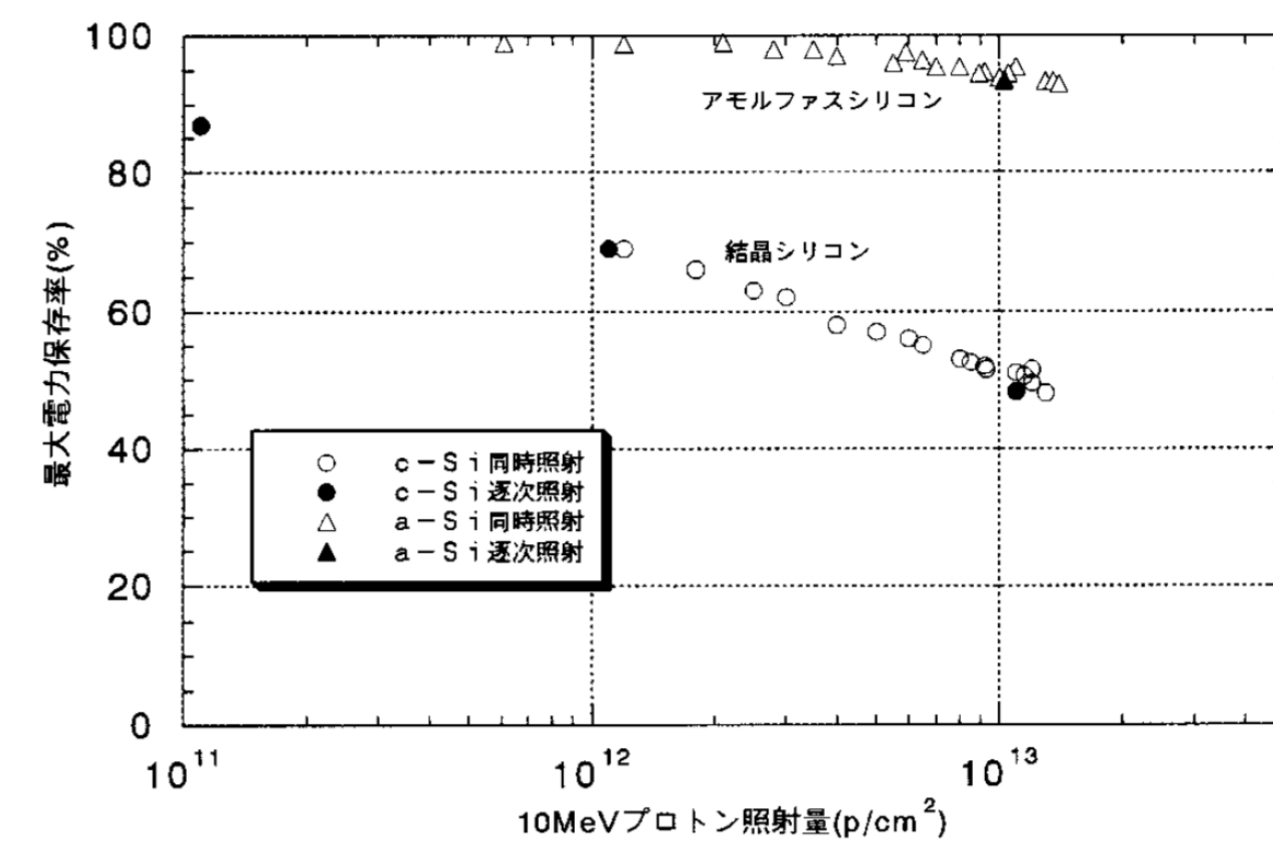


図2. プロトン照射に対する太陽電池の劣化
Sasaki et al., 2001

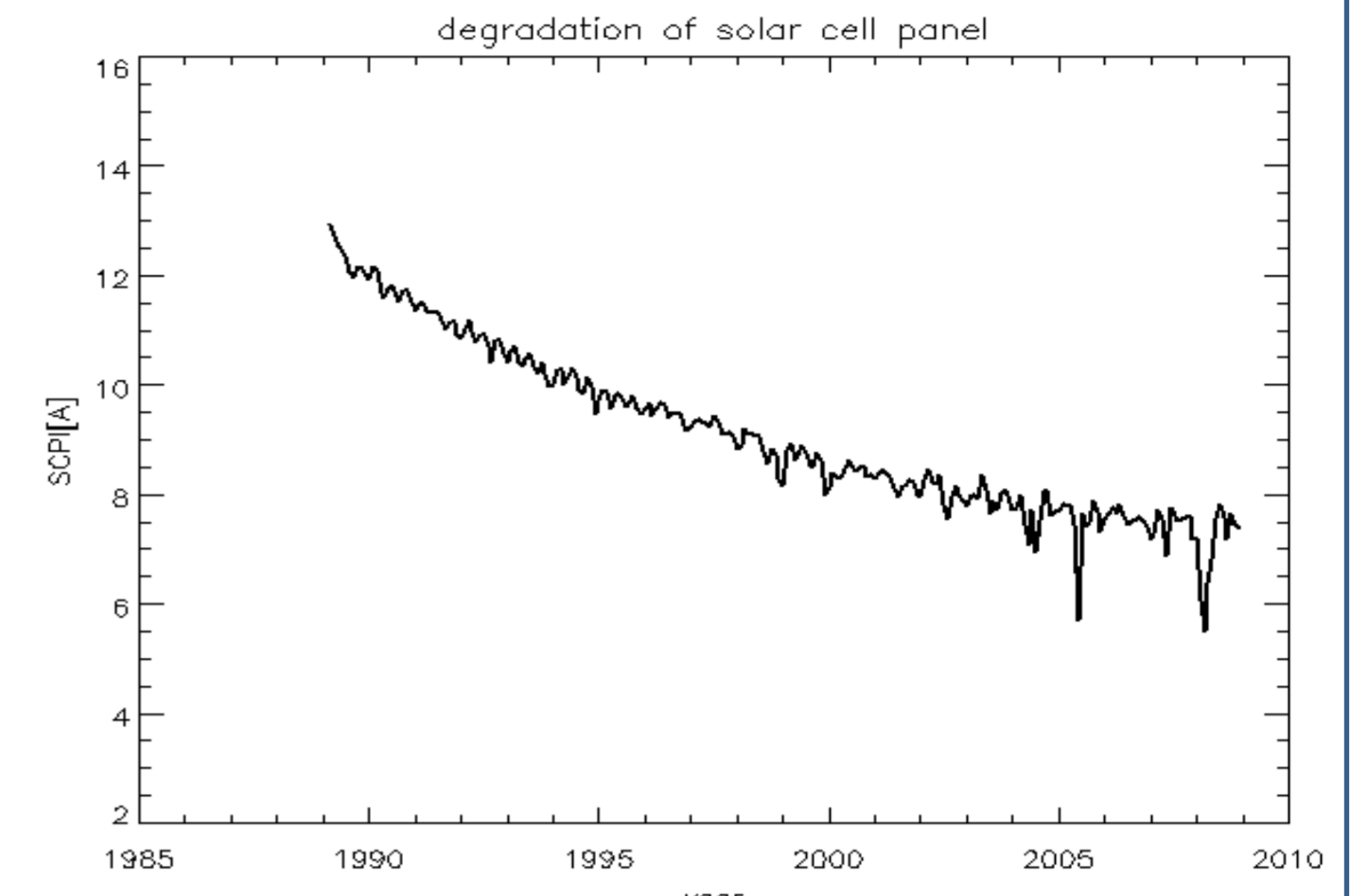


図3. 「あけぼの」衛星の太陽電池出力の推移

使用するデータ

放射線帯モデル

NASAが提供する、放射線帯における高エネルギー粒子分布モデル。太陽活動(極大・極小),粒子(プロトン・電子),エネルギー、位置(L値・B/B0)を指定することでフラックス[particles/cm²/sec]を得ることができる。現在,太陽活動極大期のプロトン・電子のモデルを取得済み。

位置決定

$$L = \frac{1}{\cos^2 \lambda_0}$$

$$= \frac{r_{eq}}{R_e}$$

$$\frac{B}{B_0} = \left(\frac{R_e}{r}\right)^3 \sqrt{1 + 3\sin^2 \lambda}$$

L: L値
 λ_0 : 地磁気不変緯度[rad]
 λ : 磁気緯度[rad]
 r_{eq} : 磁気赤道上の地心距離[km]
 B: 磁場[T]
 B_0 : 磁気赤道の地表磁場[T]

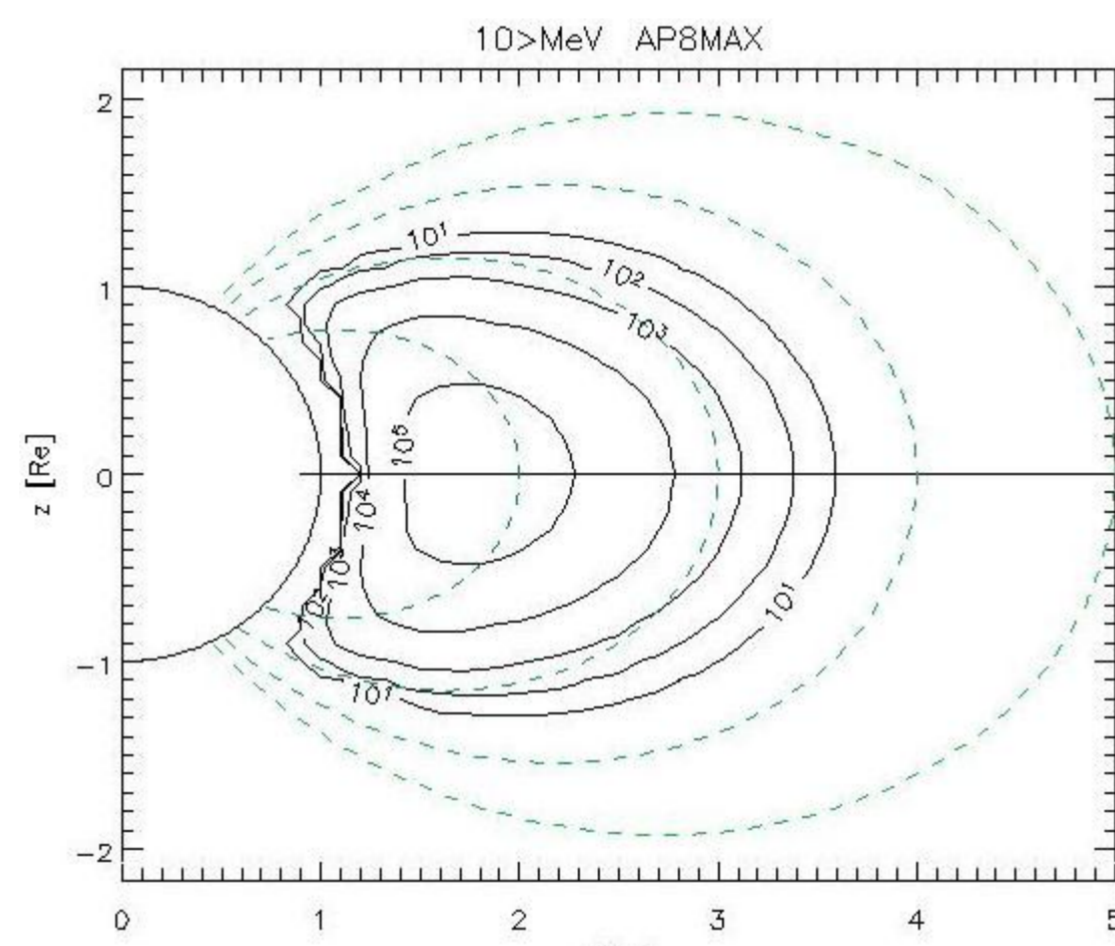


図4. 放射線帯モデル

放射線帯モデルは経度に依存しないので,位置は高度,地磁気不変緯度で決定できる

GOESの観測データ

米国の気象衛星GOESが観測している太陽プロトンのデータを,アメリカ海洋大気局(NOAA)が運営する太陽地球系科学分野の総合データベース(SPIDR)から取得。単体では期間が不足するためシリーズを通してデータを扱う。

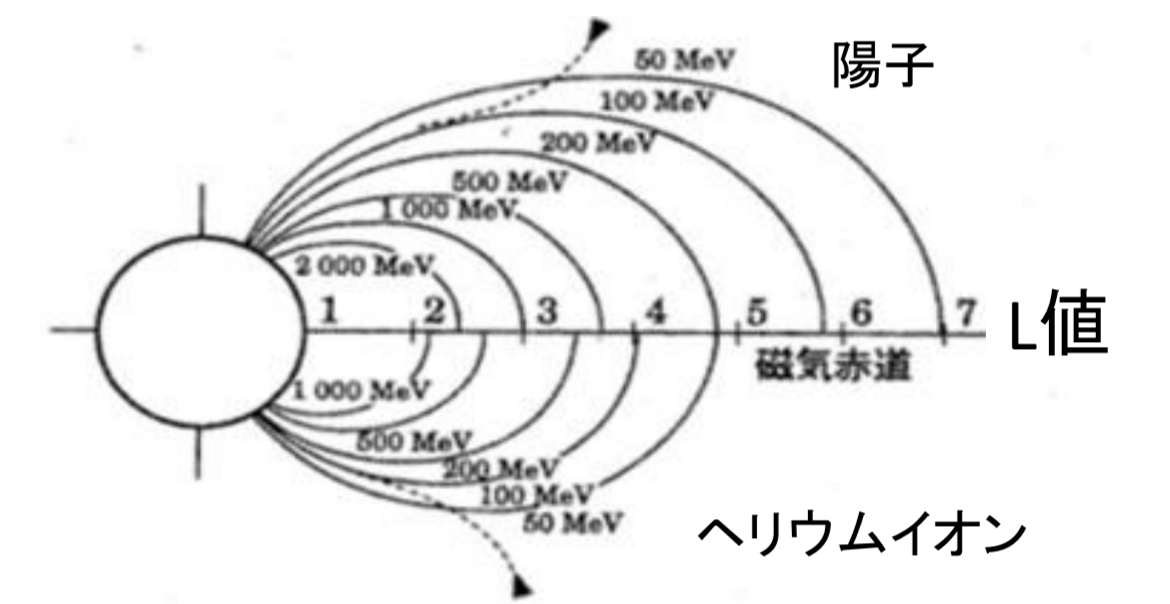


図5. 荷電粒子が地球近傍の宇宙空間に突入する為に要するエネルギー

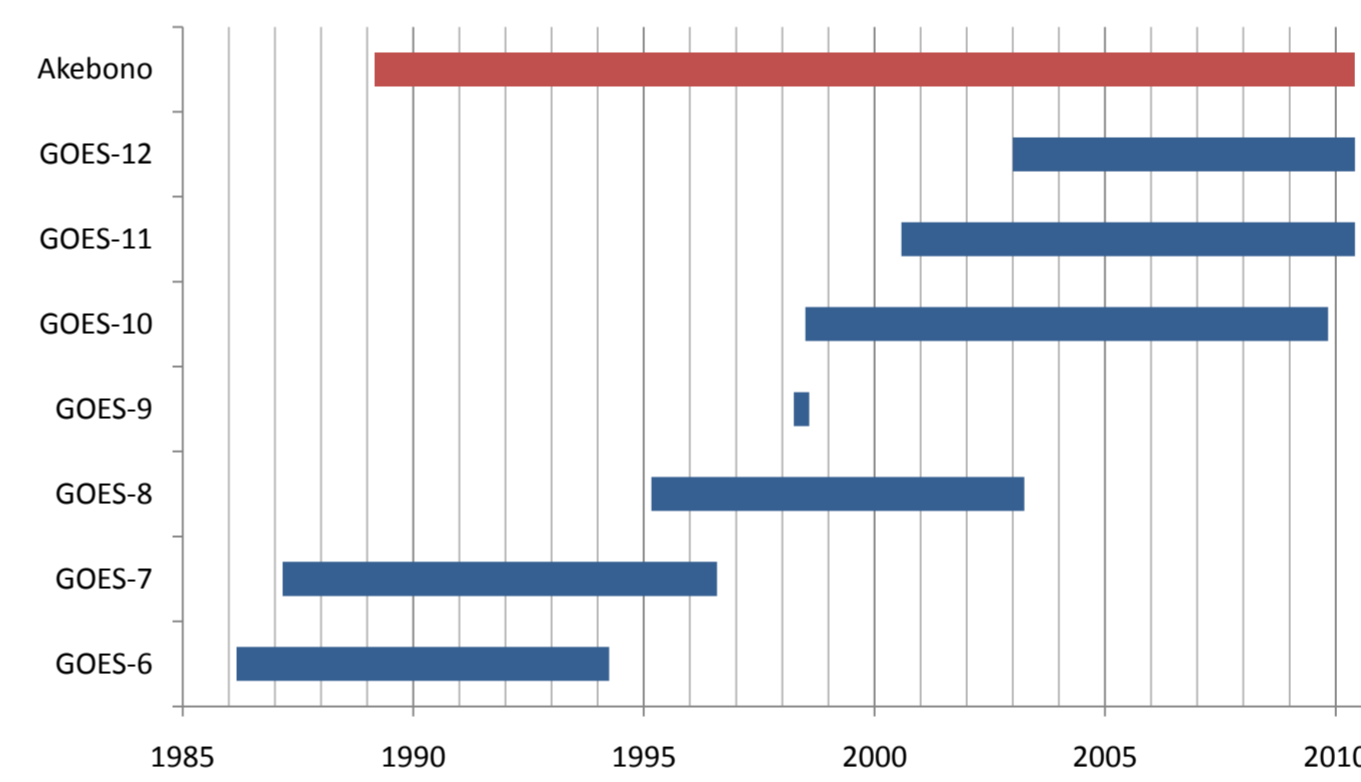


図6. 「あけぼの」とGOESの運用期間

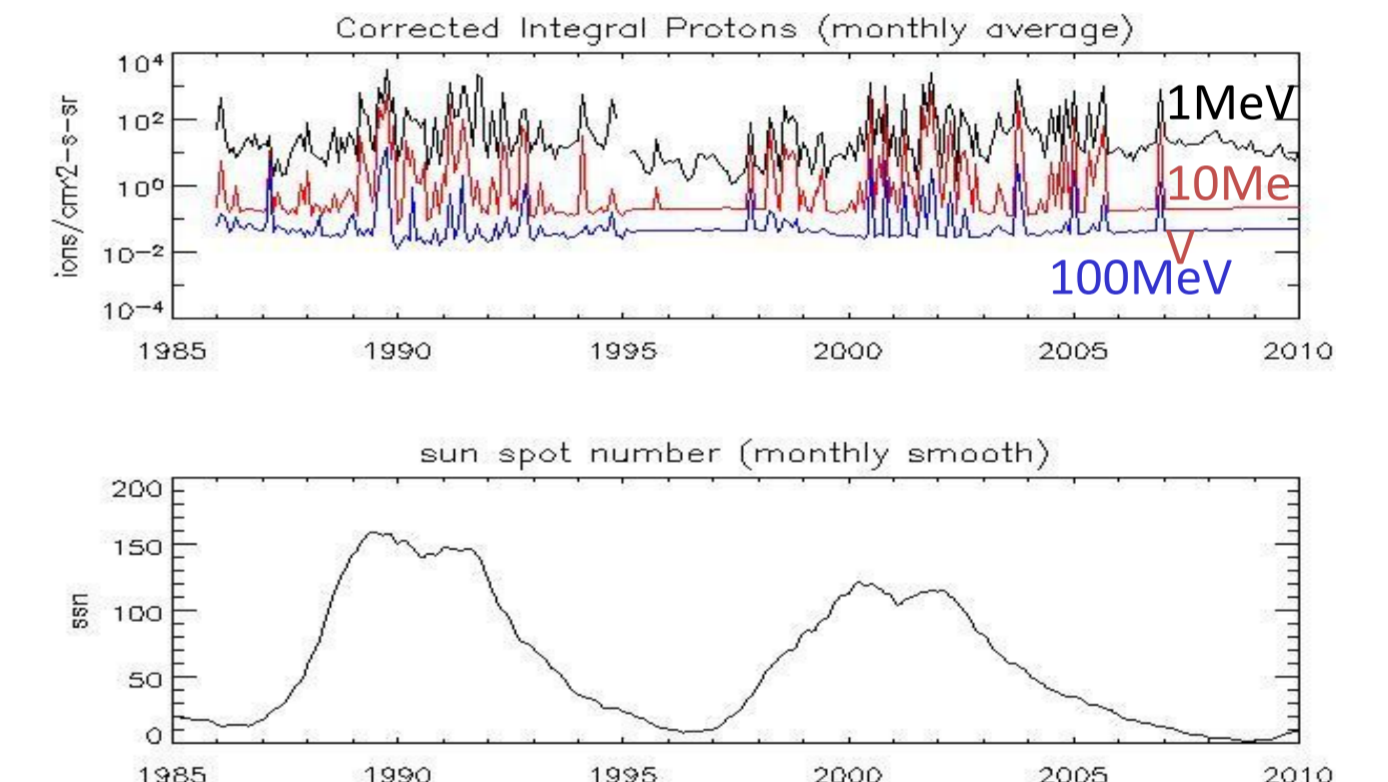
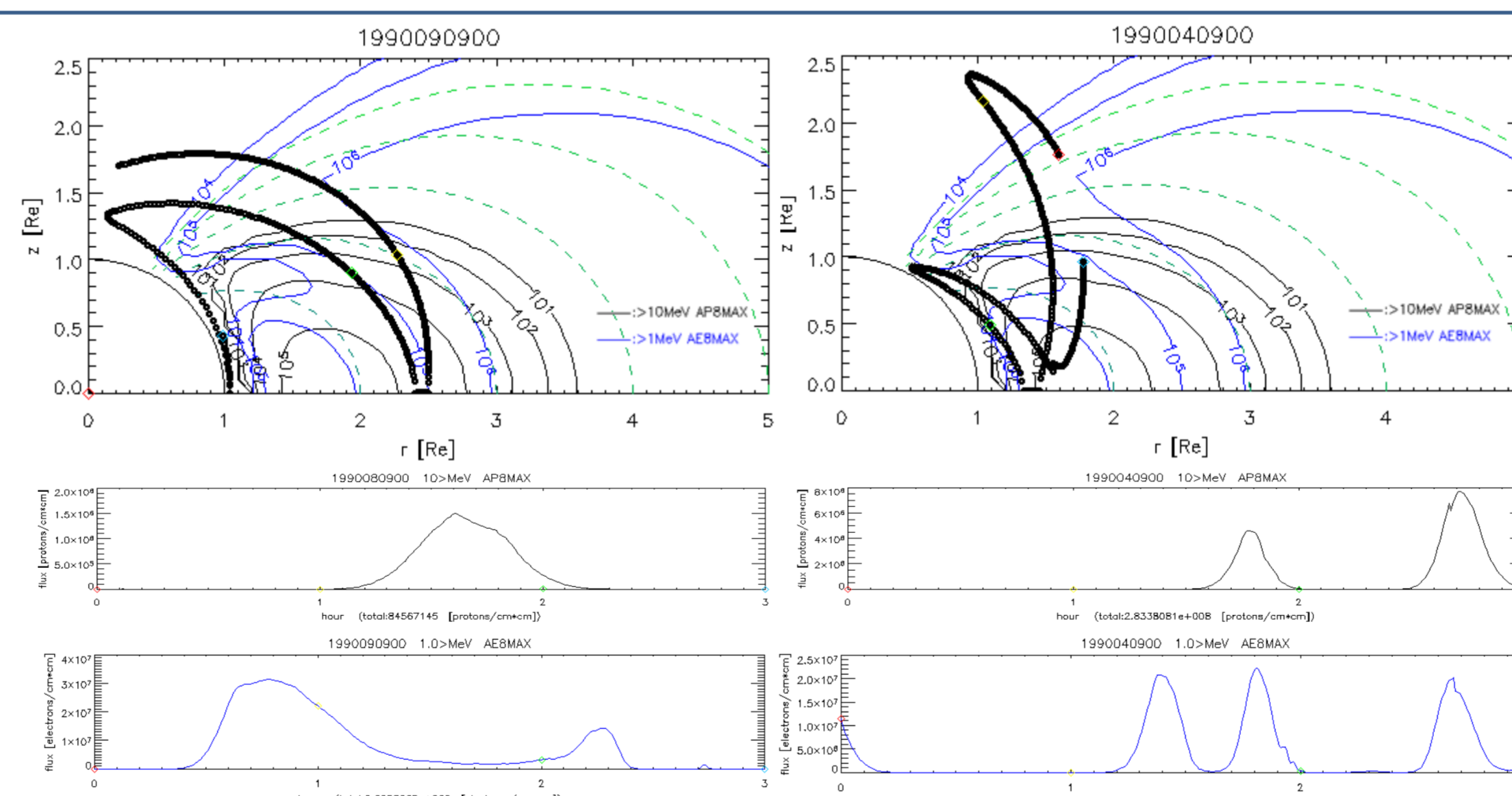


図7. 太陽プロトンと黒点数

初期解析

SCPIの月毎の変化率に約4ヵ月周期の変動が見られた。また,放射線帯モデルの太陽活動極大期のプロトン(>10MeV)による被曝量と,SCPI変化率の4ヵ月移動積分に負の相関が見られた。これは被曝量の増加が発生電流の減少の要因の一つになっていると予想される。



1)プロトンが少なく,電子が多い場合
2)プロトンが多く,電子が少ない場合
図8. 軌道による被曝量の変化

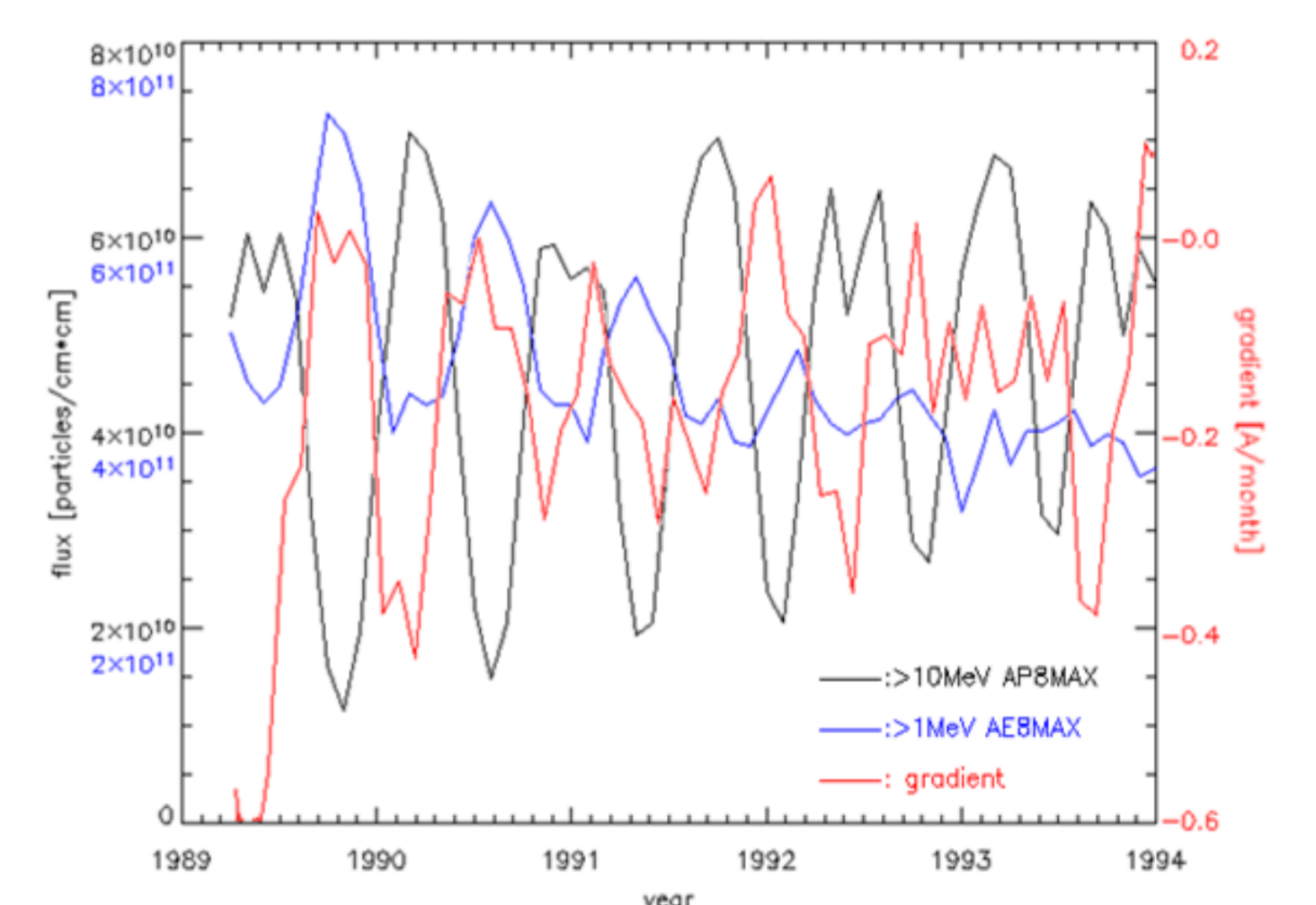


図9. SCPIの変化率(4ヵ月移動積分, 赤)と月毎のフラックス(黒,青)

まとめ・今後

- 運用開始時の1989年3月ではSCPIは月平均で約13Aだったが,2009年11月では約7Aと45%低下した。2005年や2008年で見られた落ち込みは運用開始時からのTotal Dose Effectに加え,地球の熱輻射の影響を強く受けた可能性がある。
- 太陽活動極大期のSCPIの変化率にプロトンによる被曝量が逆相関に近い関係が見られた。これは被曝量の増減に対応して発生電流が変化する可能性を示している。
- 太陽活動極小期の場合の解析。
- 太陽プロトンおよび熱による影響を考慮して解析。
- 太陽フレアといったイベント発生時等の短期間における変動の調査。
- より正確な位置をモデルに反映(磁気双極子では特に低高度で精度を欠く)。

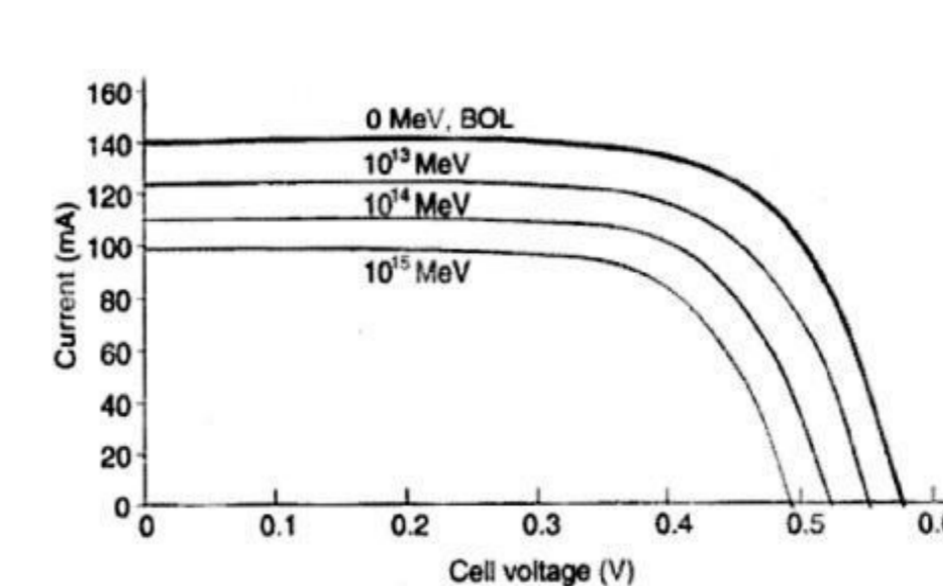


図10. 放射線影響下のV-I特性の変化

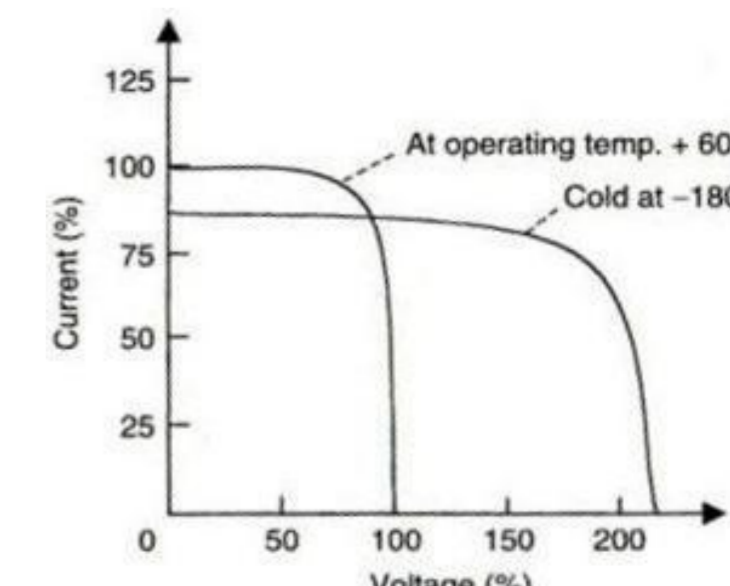


図11. 温度によるV-I特性の変動

SPACECRAFT POWER SYSTEMS

参考文献

- Mukund R. Patel, SPACECRAFT POWER SYSTEMS, 2005, CRC PRESS
- Susumu SASAKI et al., Radiation Resistance of a-Si Solar Cells Evaluated for SPS Use, 2001年3月 宇宙科学研究所報告 特集第43号 p23-29