

放射線帯プロトンの局在化について —衛星太陽電池劣化が意味するもの—

戸田穂乃香¹, 三宅互¹, 三好由純², 豊田裕之³, 宮沢優³, 篠原育³, 松岡彩子³
1: 東海大工, 2: 名古屋大 ISEE, 3: JAXA

目的

人工衛星の太陽電池は宇宙空間の放射線による被ばくで劣化していく。内部磁気圏を飛翔する衛星では、特に放射線帯プロトンによる劣化が顕著である。「あけぼの」衛星と「あらせ」衛星の太陽電池出力の変化を解析し、放射線帯プロトンの空間分布モデルとの比較を行った。

被ばく量

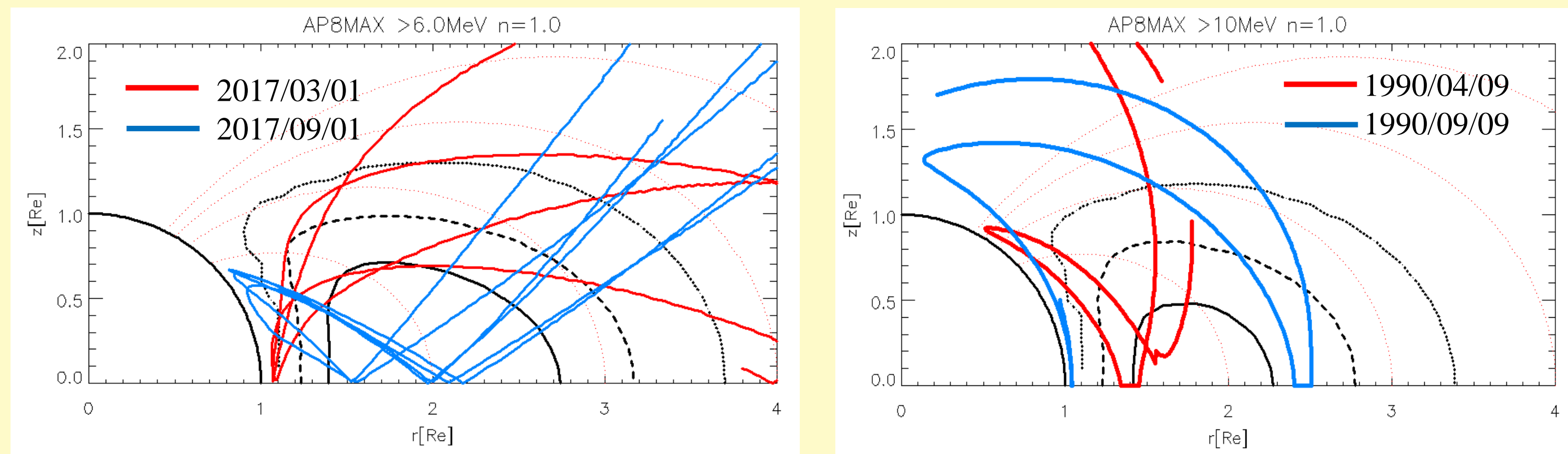


Fig. 1. Arase and Akebono satellites' orbits and trapped proton distribution from AP8 model.

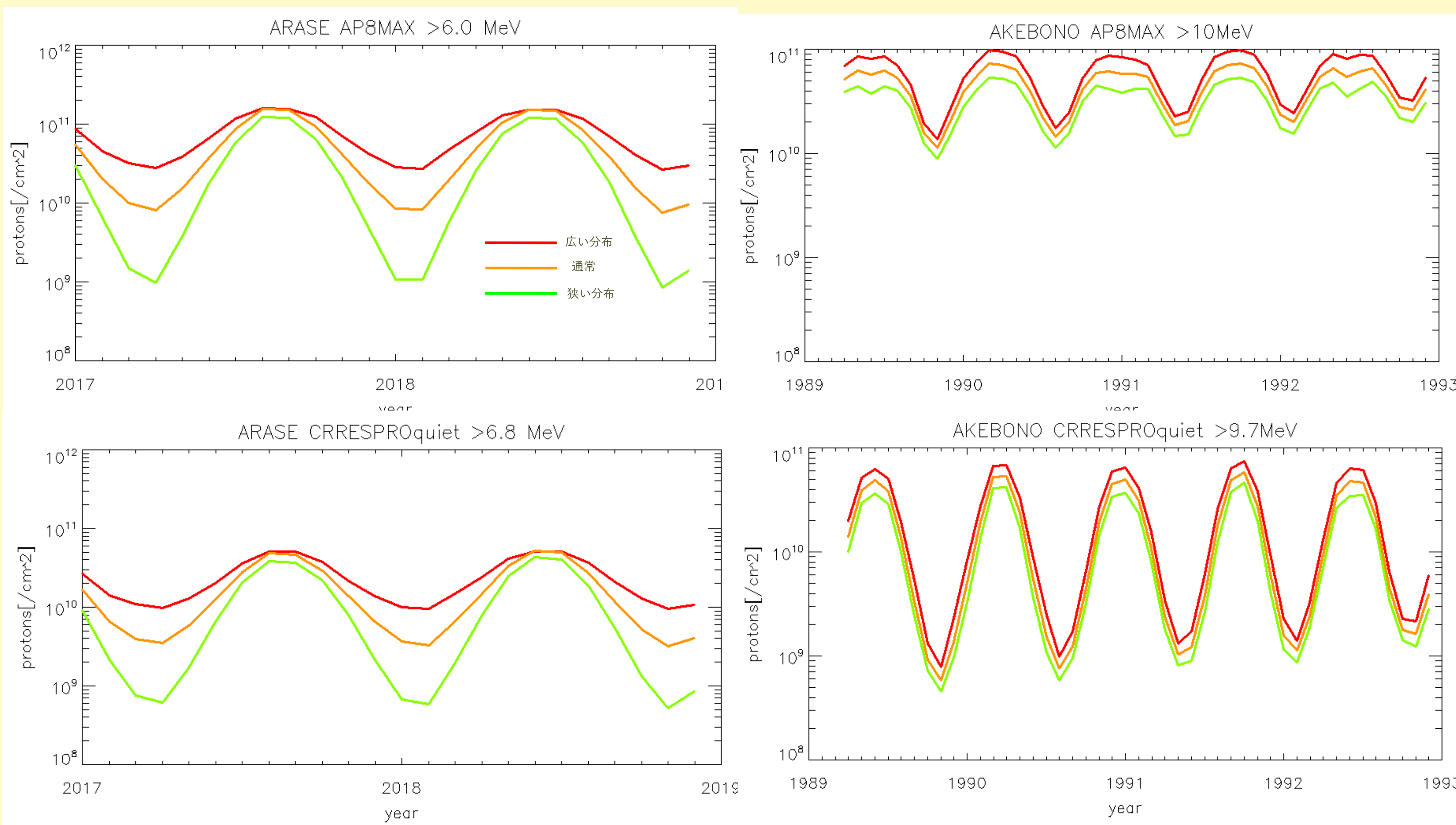


Fig. 2. Monthly integrated flux of trapped protons predicted from the distribution models.

放射線帯プロトンの分布が異なるときのように衛星の太陽電池劣化に違いが現れるかを検討する為、軌道データに基づき被ばく量の計算を行った。

Fig.1にはAP8MAXとCRRESPRO quietのプロトン分布をあらせ衛星、あけぼの衛星の軌道とともに示した。

太陽電池はカバーガラスで覆われており、厚みはあらせ衛星が0.3 mm、あけぼの衛星は0.5mmである。これに対応するエネルギーはそれぞれ>6 MeV, >10 MeVとした。

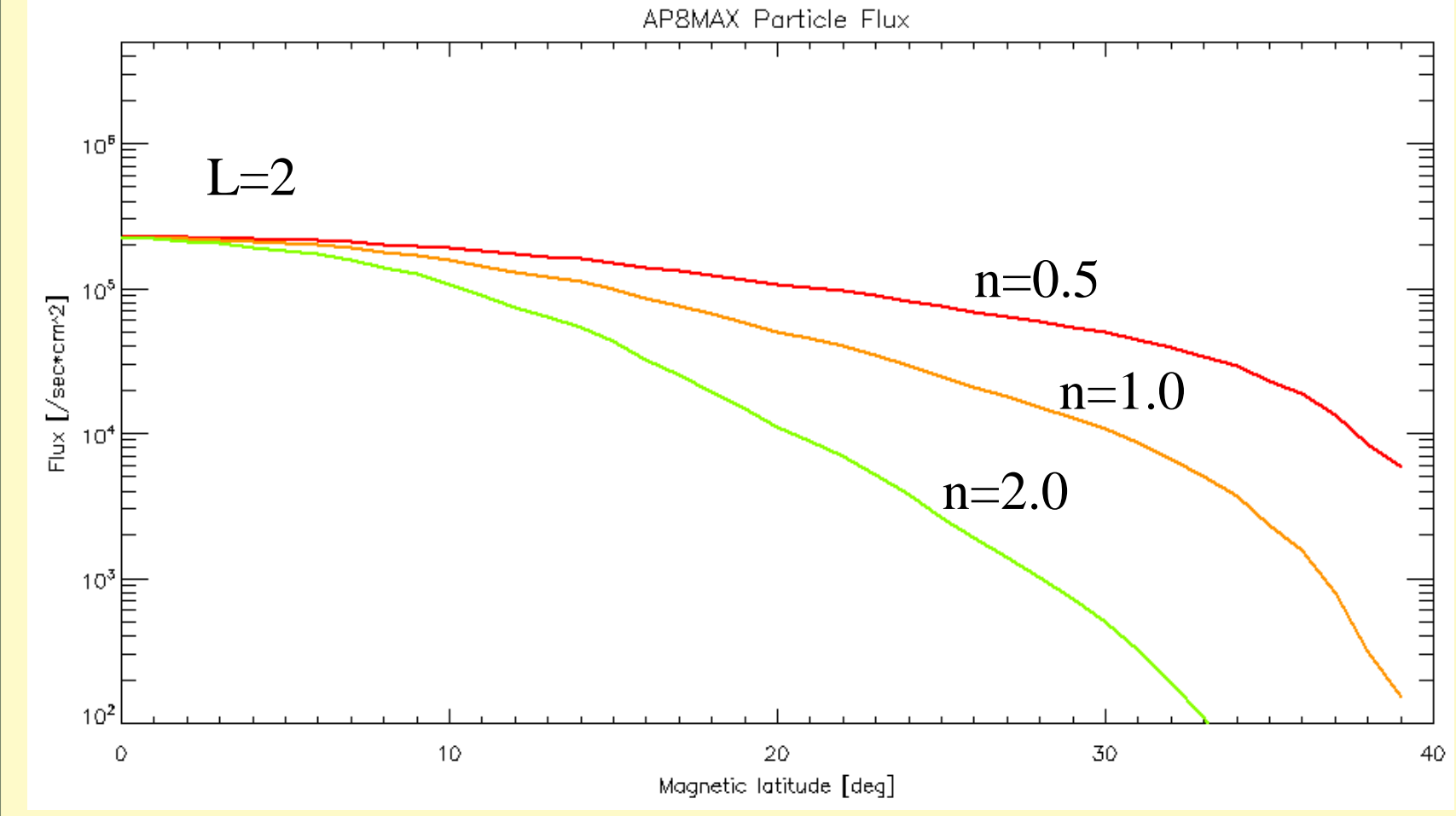


Fig. 3. Flux variation along the field line

沿磁力線方向に分布を変えるため以下の式を使用した

$$f = \left(\frac{f'}{f'_{eq}}\right)^n f_{eq}$$

$$f'/f'_{eq}:$$

L値が同じ赤道上のフラックスとの比

あけぼの衛星:

被ばく量の振幅はL値方向によって変化する

あらせ衛星:

被ばく量の振幅は沿磁力線方向によって変化する

データ解析

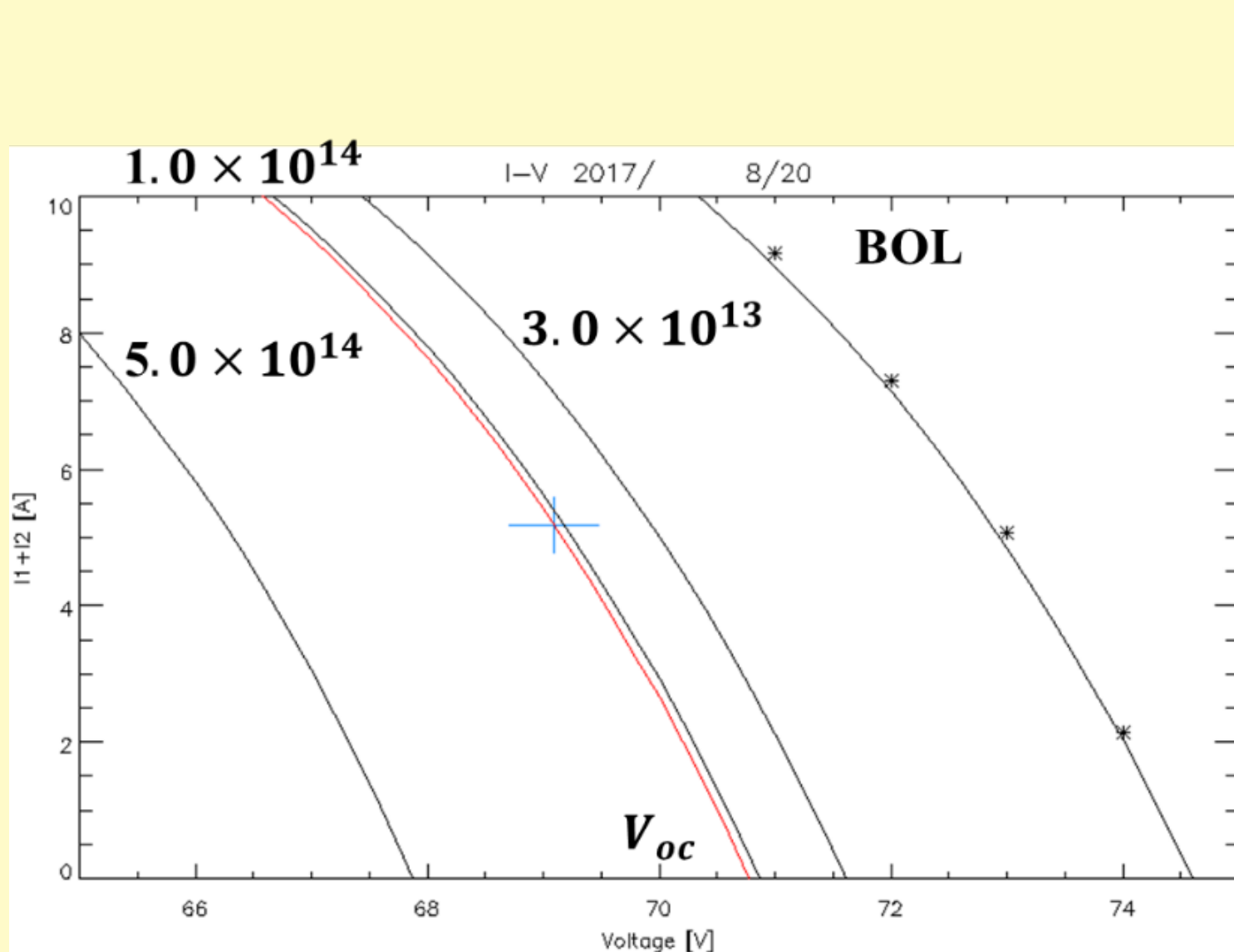


Fig. 8. Derivation method of V_{oc} from the I-V characteristics.

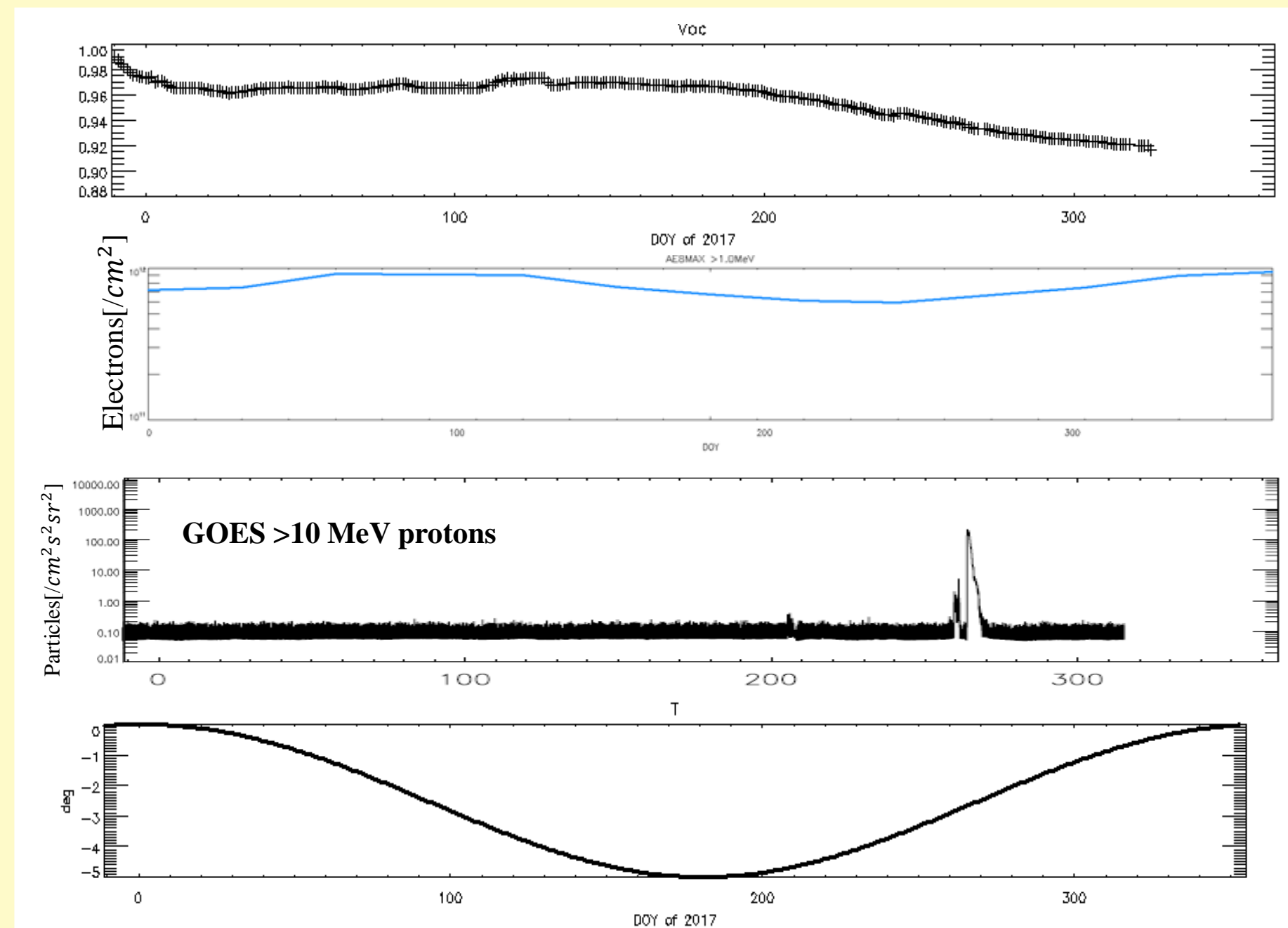


Fig. 9. Variation of V_{oc} and variable factors.

Fig. 8のように電圧と電流の1日平均値を通るI-V特性の曲線を引き、その日の開放電圧 (V_{oc}) を求めた。その長期的変動をFig. 9の1番上のパネルに示す。 V_{oc} は運用開始直後減少、1月を過ぎたころから若干増加し、7月ごろから再び減少するふるまいを見せている。増加する時期は、地球が太陽から離れて温度が低下する(Fig. 9 1番下のパネル)のと同様時期であり、2回目の減少は放射線帯プロトンの上昇(Fig. 2)と同様時期である。放射線帯プロトンの1ヵ月積分値と V_{oc} から求めた放射線量(1 MeV電子換算)の比較をFig. 10に示す。

プロトン放射線帯のL値分布

あけぼの衛星の太陽電池劣化からプロトン放射線帯のL値分布が求められた。

太陽電池温度には季節変化(太陽からの距離の変化に対応)がある。また高温時に出力が低下することも確かめられた。そこで、同じような温度条件のデータを取り出すため

1) 同じ月同士の差分を扱い1年変動を解析する

2) 日夜境界上空で遠地点 近くの地球からの熱放射が最小のデータを選別する解析を行った。結果はFig. 4のように1996年までプロトンフラックス(Fig. 2)に対応する準周期的変動が現れた。

位相は一致したが、振幅はAP8モデル(>10MeV)から期待されるよりも大きかった。そのためプロトン放射線帯がCRRESPROのように空間的にコンパクトなことが示唆された(S model)。

Fig. 5に示したようにAP8MAXやCRRESPROは地球側のほうは同じような値だが、地球から遠いL値ではCRRESPRO quietが最も狭く、AP8MAXは最も広い分布である。

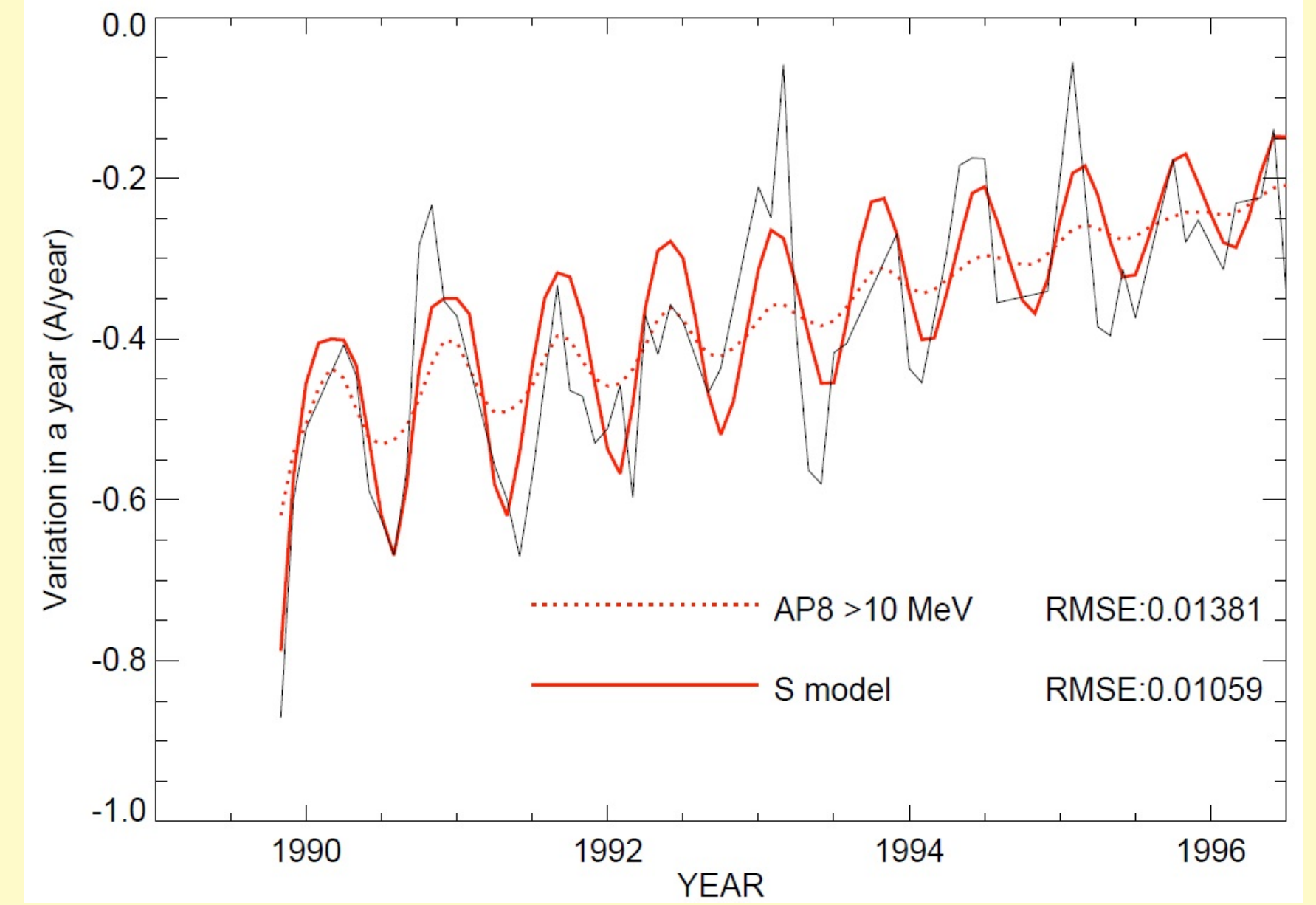


Fig. 4. Observed annual variation of output current (black line) and models (red lines) (Miyake et al., 2015).

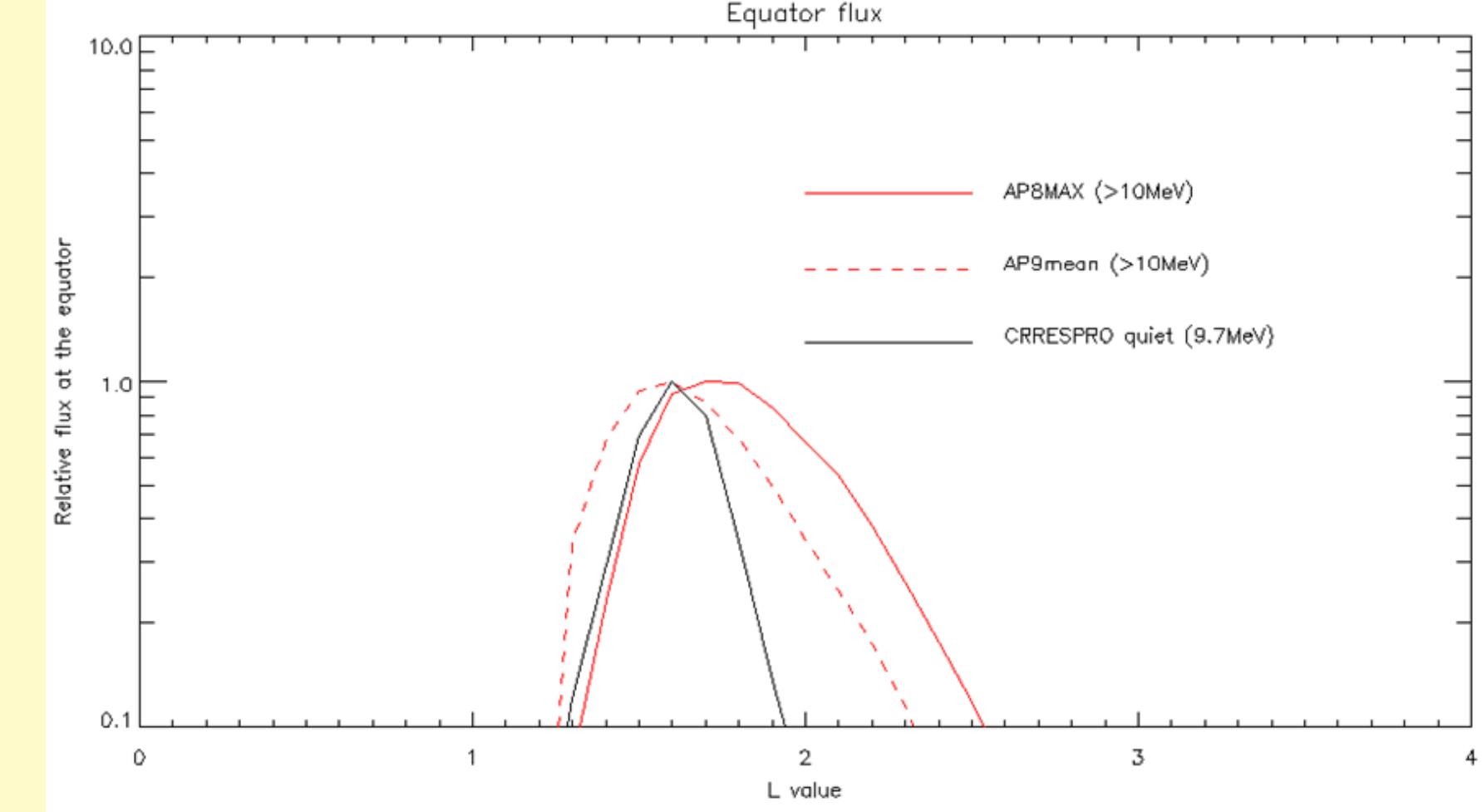


Fig. 5. Proton flux at the equator

SAPデータ

放射線による劣化は、あけぼの衛星では出力電流の低下、あらせ衛星では出力電圧の変動から調べることができる(Fig. 6)。太陽電池セルの出力は放射線によって影響を受けるだけでなく、温度や光量、太陽角によって変化する。

あらせ衛星のSAPには温度センサがついていない。そのため、太陽-地球間距離から温度変化をモデル化した。打ち上げ前の予測からは5°C前後の温度変化が予想されている。

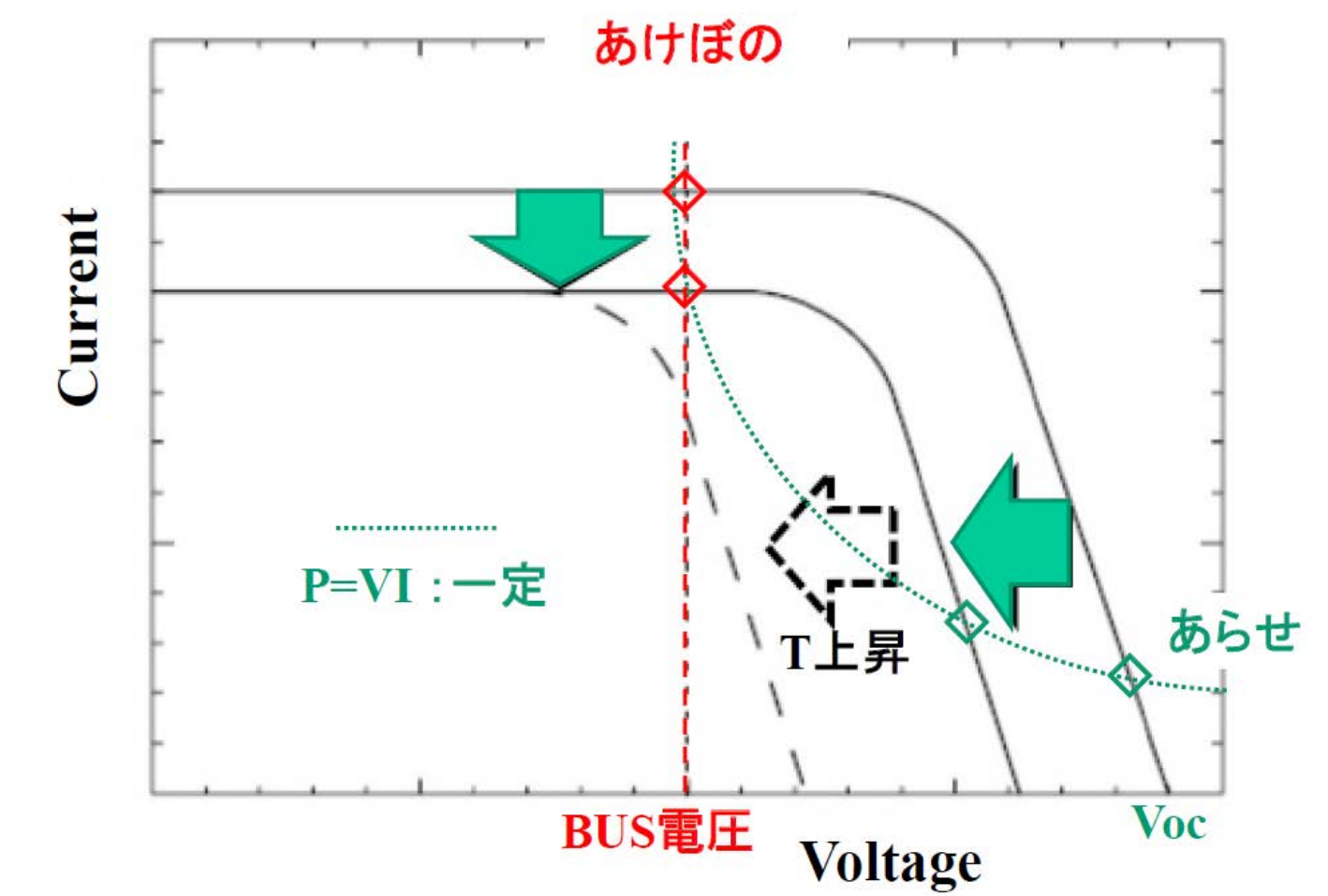


Fig. 6. I-V characteristics of solar cell

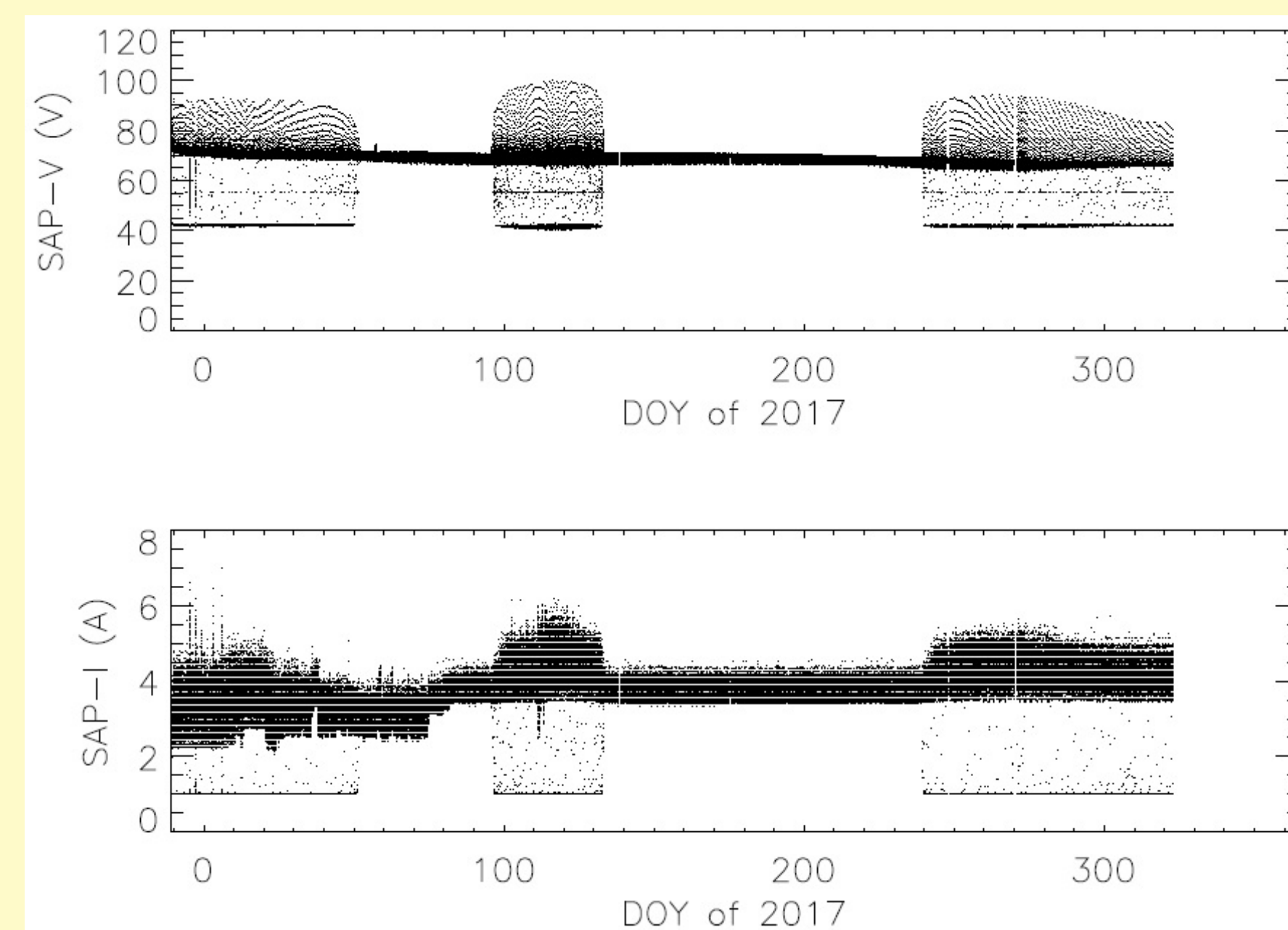


Fig. 7. Solar cell output voltage and current operation start to November 20, 2017.

Fig. 7は本研究で使用した太陽電池の出力電圧と電流の全データを示している。電圧と電流が安定している時期と変動が激しい時期があることが分かる。これは全日照と日陰時に対応している。これらの温度変動の影響を取り除くため軌道条件によるデータ選別を行った。

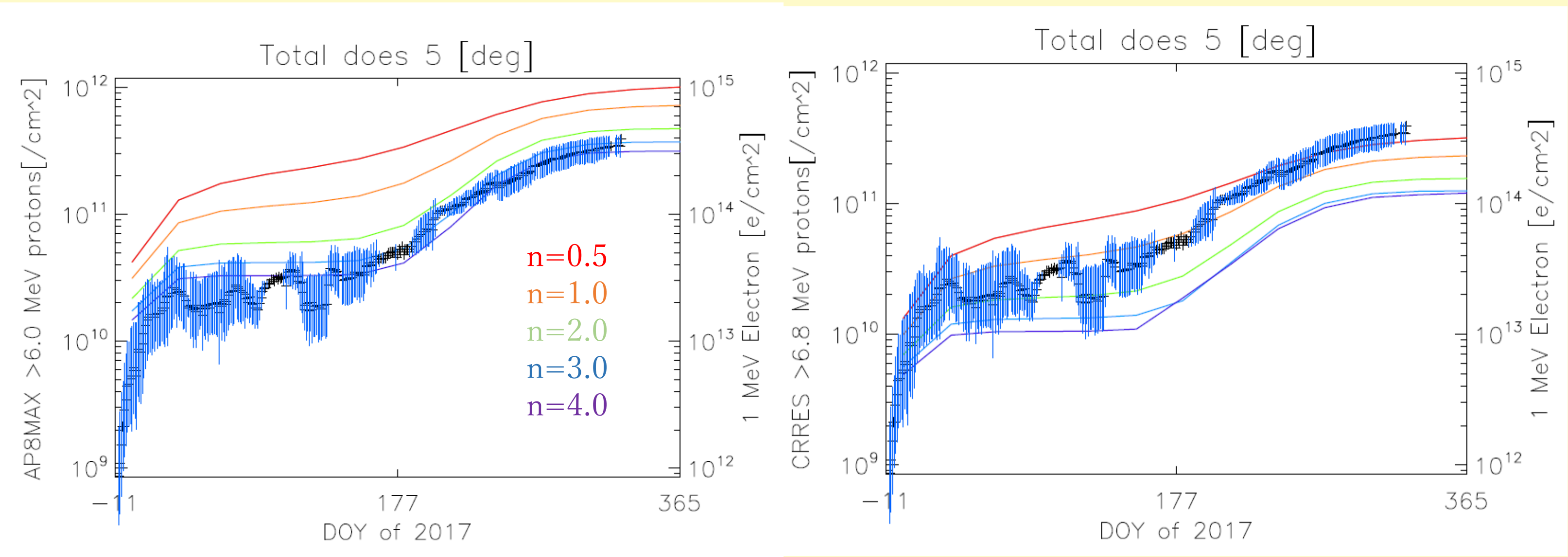


Fig. 10. Integrated trapped proton flux (radiation dose) from various models and radiation at 1 MeV electron irradiation derived from variation of V_{oc} (Fig. 9).

まとめ

- 10MeV前後の放射線帯プロトンの空間分布を調べる為、あけぼの衛星とあらせ衛星の太陽電池出力データの解析を行った。
- あけぼの衛星の太陽電池劣化はL値分布が最も狭いCRRESPRO quietのモデルとよく一致している。
- あらせ衛星の太陽電池劣化は沿磁力線分布がAP8MAXやCRRESPRO quietよりも狭いモデルと一致していることを示唆している。
- あらせ衛星の太陽電池劣化は本研究で検討した放射線帯プロトンの分布モデルとは未だずれがあり、そのずれの原因について検討を行う。