

## ADEOS-II 事故時の軌道上環境

中村 雅夫 (情報通信研究機構)

### はじめに

ADEOS-II (みどり 2号) の事故は、2003 年 10 月 25 日 16:12-16:16UT(Universal Time) にかけて約 5kW の電力低下という形で起こった。2003 年は、太陽黒点相対数の 11 年周期の極大期から極小期への減衰期で、10 月末から 11 月初めにかけて記録的な太陽活動とそれにとまなう磁気圏擾乱が起こった。これら一連の太陽地球磁気圏変動は大変興味深いのが、ここでは事故とは直接関係がないと考えられる事象の報告は別の機会に譲り、直接関係すると考えられる事象のみを取り上げ、事故時の ADEOS-II の軌道上環境について述べる。

### 宇宙環境概況

ADEOS-II の事故に関連する軌道上環境異常は、図 1 の GOES 衛星が観測した太陽 X 線強度プロットに見られる、10 月 23 日 08:35 UT に起こった X5.4 (図中の X 線強度) フレアにより発生したコロナ質量放出 (CME) が、惑星間空間衝撃波 (interplanetary shock) を前面にとまなう地球磁気圏に向かって飛んできたため引き起こされたと考えられる。図 2 に、SOHO 衛星が撮影した X5.4 フレア (左図、左側の境界付近の発光領域) とそれに続く Partial Halo CME (右図、一部が地球方向へ放出) を示した。図 3 に、地球から太陽側へ 150 万 km 離れた太陽と地球の重力がつりあう (L1) 点に位置する ACE 衛星が観測した、10 月 25 日の太陽風の磁場・密度・速度・温度成分を示した。磁場強度と太陽風速度・密度・温度の急激な上昇で表される衝撃波面が 14:49UT 頃に、その後 CME 本体とそれに続く乱れた構造が観測された。この衝撃波はおよそ 40 分後に地球磁気圏と衝突し、磁気圏の太陽側境界を静止衛星軌道の内側まで圧縮したことが、GOES 衛星の磁場観測などから明らかになっている。この期間を含む、地上の地磁気観測から得られる磁気圏活動を表す Dst 指数とオーロラ活動指数を図 4 に示した。Dst 指数は、リングカレント (赤道環電流) 強度を反映した指数で、磁気圏境界圧縮にとまなう上昇は見られるが、それ以降の磁気嵐の発達を表す減少が見られなかった。このタイプの変動は、SI (Sudden Impulse) とよばれている。磁気嵐が発達しなかったのは、CME 本体とそれに続く領域の太陽風磁場で北向き成分が続き、リングカレントが成長しなかったためと考えられる。しかしオーロラ活動指数は、事故時刻前の約 6 時間にわたりオーロラ活動が活発でサブストームが数回起こっており、事故時刻の約 30 分前に大きなピークがあったことを示している。

### ADEOS-II 軌道上環境

ADEOS-II には、宇宙環境計測装置 (TEDA) が搭載されており、高エネルギーのイオンと電子を計測していた。その事故時前後の計測結果を図 5 に示す。ただし、15:57UT 以前にカウントが無いのは、データ転送スケジュールによるデータ欠損のためである。事故時刻前後のカウント値は比較的大きく、磁気圏が荒れていたことを示しているが、特別に大

きな値というわけではなかった。そこで、データ欠損期間の軌道上プラズマ環境を推測するため、極軌道でプラズマを観測していた NOAA-15, 16, 17 の 30keV 以上の電子フラックスのデータを調べた。特に NOAA-17 は、事故時刻に ADEOS-II とほぼ同一軌道を飛んでおり、その観測結果は ADEOS-II が軌道上で受けたプラズマ環境を反映していると考えられる。図 6 に、10 月 24 日の NOAA-15,16,17 が観測した電子フラックスを示す。NOAA 衛星のプラズマ観測器は、衛星に対して天頂 (0 度) 方向とそれに垂直 (90 度) 方向とに観測視野を持っている。通常極域では、90 度方向 (磁場にほぼ垂直成分) が 0 度方向 (磁力線にほぼ沿った成分) より大きなフラックスを観測する。そのため、NOAA-15,16 については 90 度方向のみを示した。電子フラックスは、極域と SAA (South Atlantic Anomaly) 領域に山があり、両端の鋭いオーロラ帯のピークを持つ山が南北極域を表している。事故時刻の前後で、オーロラ帯のフラックスが大きくなっており、オーロラ活動が活発になっていたことがわかる。事故時刻直前に北極域を横切った NOAA-17 の観測で、最初のオーロラ帯のピークが、通常より 2 桁大きく、オーロラ活動が活発な前後の軌道と比べても 1 桁大きいことがわかった。このピークは、ADEOS-II のデータ欠損期間にちょうど一致しており、図らずも宇宙環境の連続的取得の重要性を示している。また、オーロラ帯の電子フラックスがこれほど増大するのは極めてまれで、複数機の NOAA 衛星でも年に 1 度観測するかどうかの値である。

この軌道上のオーロラ電子フラックスの異常増大による影響を調べるため、事故時刻直前の北極域通過時の衛星表面への 30keV 以上の電子による電荷の流入量を評価した。NOAA-17 の詳細な観測結果を図 7 に示す。先に述べたように、フラックスには角度依存性があるため、0 度と 90 度の平均値を用いた。ただし、電子フラックスのピークでは、両方向とも同程度の値を示している。図 7 に示した期間の電子フラックスを積分することで、30keV 以上の電子の流入量として  $2.94 \times 10^{10}$  (particles / cm<sup>2</sup>) の値を得た。この値の 9 割は  $10^6$  (particles / s cm<sup>2</sup>) 以上のフラックスからの寄与であり、事故時刻直前の北極域で最初にオーロラ帯を南から北、真夜中から朝側方向へと通過している時に集中していた。

## まとめ

ADEOS-II の電力低下事故時の軌道上環境異常は、太陽フレアにより放出された CME が、前面に衝撃波をともなって磁気圏と衝突することにより、オーロラ活動の活発化させた結果起こったと考えられる。事故時刻直前の北極域のオーロラ帯通過時に、通常に比べて約 2 桁大きな電子フラックスを浴び、衛星表面に大量の電子が流入したことがわかった。ここで得られた値を元に、ADEOS-II の事故解析が進められ、ADEOS-II 本体と太陽パドルを結ぶ電源ハーネスを包む衛星本体にアースされていない MLI に短時間に電荷が蓄積されることで、帯電・放電を起し、事故の引き金になったと考えられる。

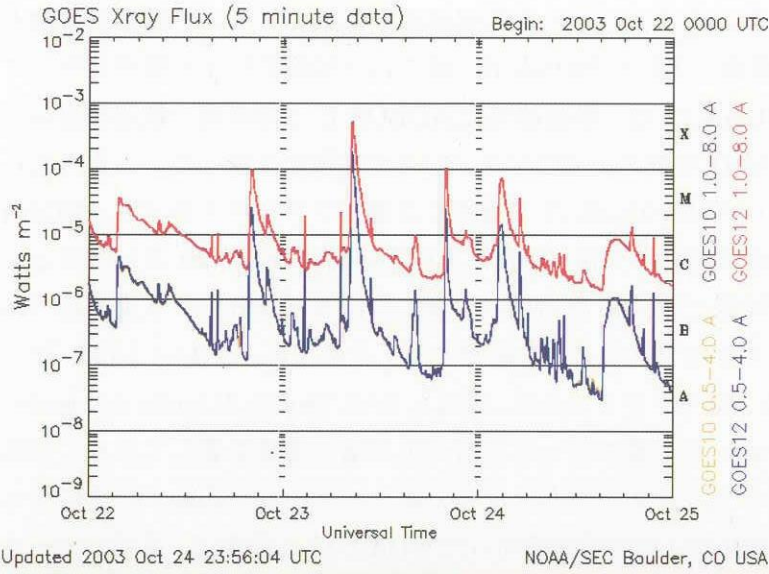


図1 : GOES 衛星に搭載されたX線計測器の観測 (NOAA/ SEC より)



図2 : SOHO 衛星が捕らえた太陽フレア (ETI 195) と CME (LASCO C3) (NASA/SOHO より)

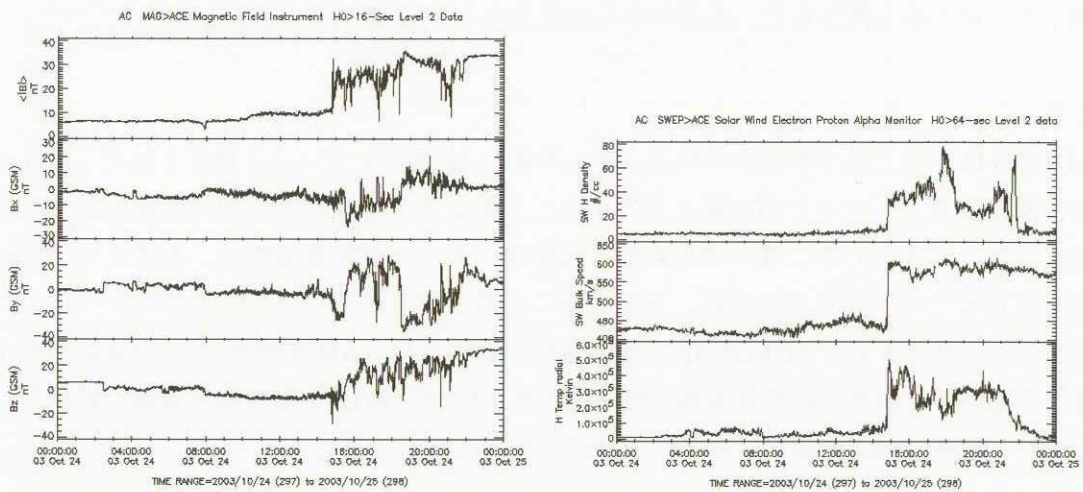


図3 : ACE 衛星が地球の前面で観測した太陽風の磁場の強度・GSM 座標 3成分 (左) と太陽風の密度・速度・温度 (右) (Coordinated Data Analysis Web より)



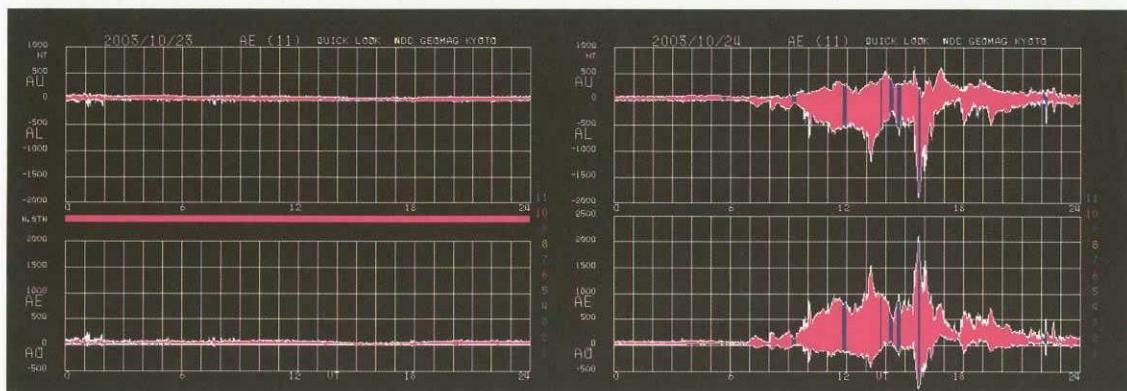
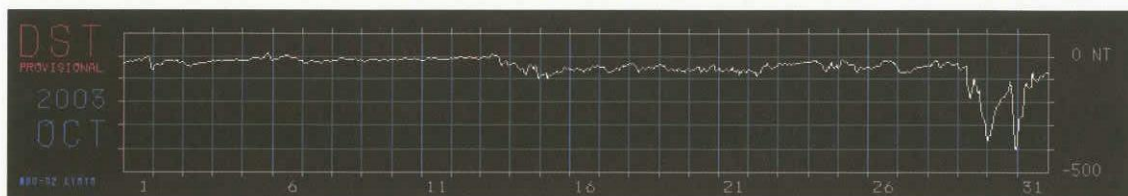


図4：2003年10月のDst指数(上)と10月23-24日のオーロラ指数(下) (Geomagnetic Data Service, Kyoto University より)

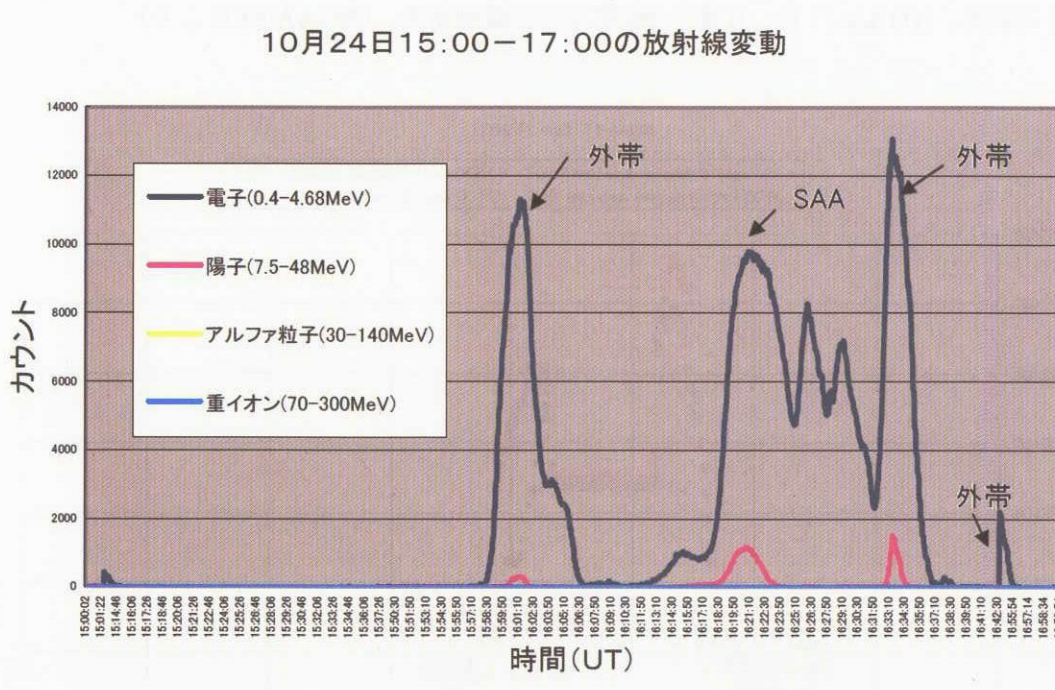


図5：ADEIS-II が観測した放射線帯変動 (JAXA/ISTA 環境計測技術グループより)

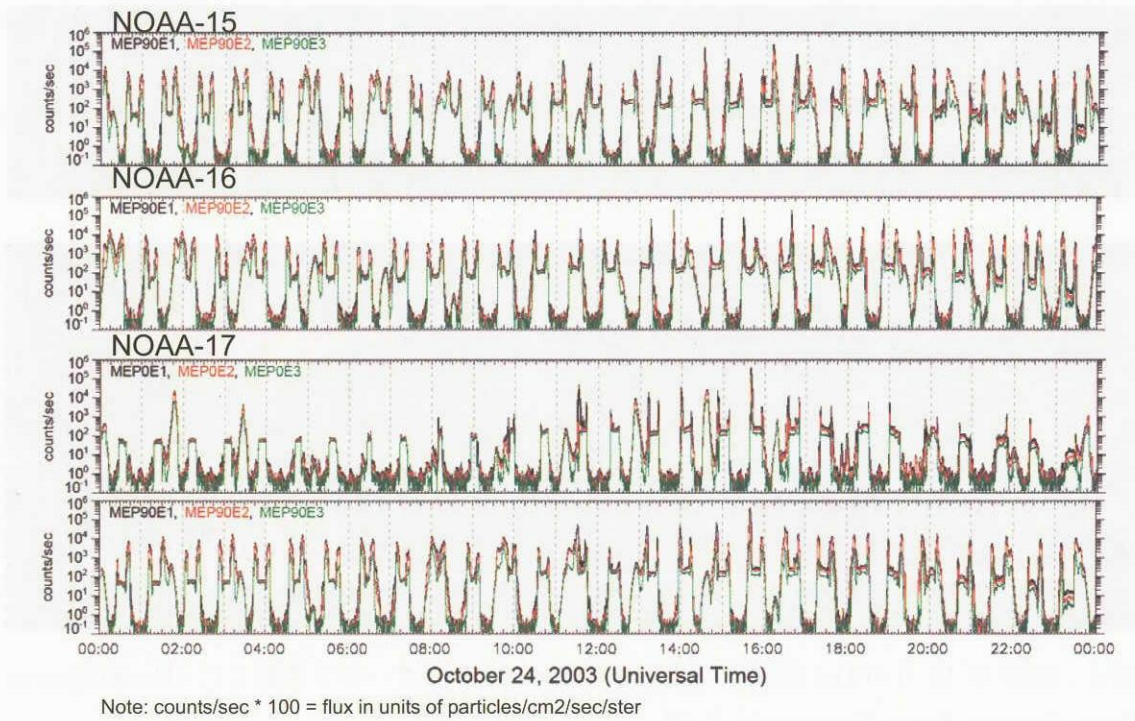


図 6 : NOAA-15,16,17 衛星の 2003 年 10 月 24 日の電子計測データ。NOAA-15,16 は 90 度方向の観測、NOAA-17 は、0 度と 90 度方向の観測結果。(NOAA/SEC より)

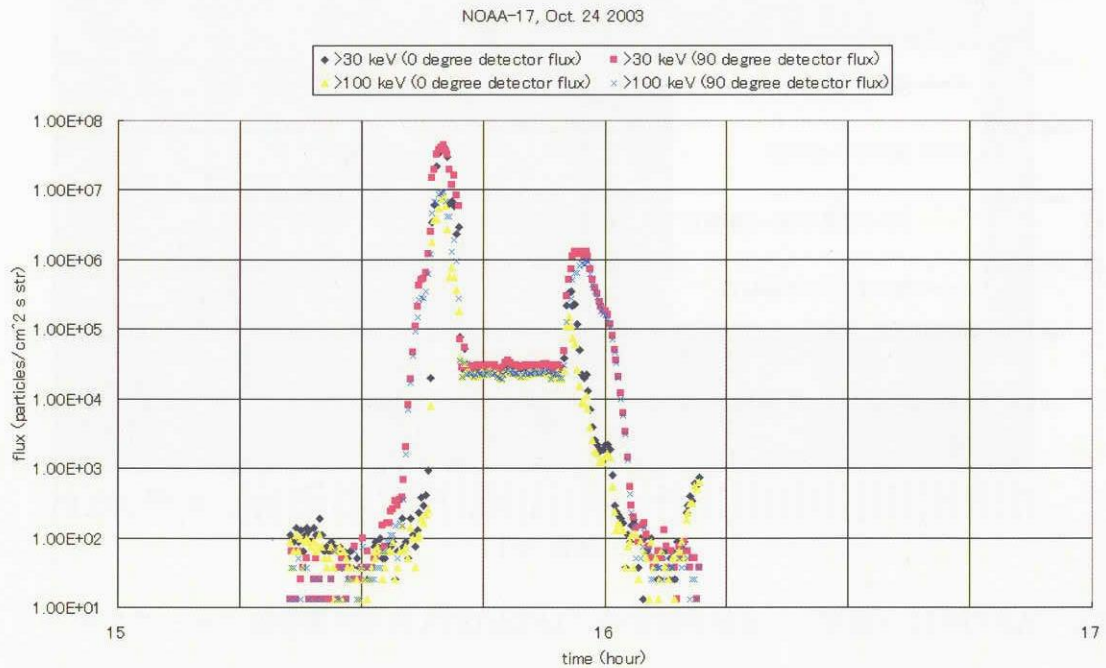


図 7 : NOAA-17 衛星の 2003 年 10 月 24 日の ADEOS-II 事故時直前の北極域横断時の電子計測結果 (NOAA/SEC/D. Evans 氏より)