

宇宙船内における重粒子線による線量計測とその生物効果実験 (RADIATION) 宇宙天気予報とは

共同研究者： 富田二三彦^{*1}

^{*1} 通信総合研究所 平磯宇宙環境センター 宇宙環境研究室

In the 21st century, it is expected that manned space activity and space utilization will make further progress. However, space is a harsh environment: almost a vacuum bathed with radiation and penetrated by streams of energetic particles. These particles and interplanetary disturbances are hazardous to space equipment, astronauts, etc. This is why the Communications Research Laboratory decided to start the Space Weather Forecast Program of Japan. This program is realized by the accumulation of knowledge on basic physical processes governing the space environment, and is expected to play a significant role in the protection of human health in space and reliable operation of space equipment.

In this investigation, we tentatively operated the space weather information/warning system, and have been analyzing the space environment (solar and geomagnetic activities) during the shuttle flight. The exchange of RRMD data and the space weather information were performed by the computer network and the facsimile every few days, and was useful for the ground operation of the radiation observation. The radiation data is now being analyzed and tentative results show stationary particle penetration around the South Atlantic Anomaly.

実験の目的、意義

宇宙を飛び交う高エネルギー粒子線(放射線粒子)やX線に長時間人体がさらされれば皮膚ガンや遺伝子損傷など放射線被曝の危険があり、衛星搭載機器は誤動作や急速な劣化等の悪影響を受けることが知られている。特に、大きな太陽フレア(太陽面爆発)が発生した場合や、太陽風中の擾乱に起因する地磁気の擾乱によって放射線帯の構造が変化したりすると、人体への直接の危険や様々な宇宙機器への悪影響は増大する。よって、宇宙環境を安全に利用していくためには宇宙環境の変動を予測すること(宇宙天気予報)が必要となる。この宇宙天気予報システムの研究開発プロジェクトにより、現在、通信総合研究所平磯宇宙環境センターでは、地磁気擾乱や太陽フレアの発生などの予測に関する研究を進めるため、地磁気活動や太陽活動の観測システムの開発と観測を行うとともに、国際的なコンピュータネットワークを通じて最新の宇宙環境観測データをリアルタイム(または準リアルタイム)で入手できるようになっている(図1)。

今回の宇宙実験では、このようにして集められた太陽や宇宙環境に関する様々な観測データと、実際にスペースシャトルから得られた放射線環境に関するデータを総合的に解析することにより、太陽活動や太陽地球間の宇宙環境がシャトル軌道上の放射線環境にどのように影響を及ぼしているかを調べることを目的とする。このような周回軌道上のデータと他の宇宙環境データを比較解析する実験の積み重ねにより、太陽活動などの宇宙環境変動が地球近傍の宇宙空間にどのような影響を及ぼすかが把握できる。

更に、西暦 2000 年頃に計画されている国際宇宙ステーション(JEM)計画においては低高度高軌道傾斜角の軌道において長期間有人宇宙活動が行われる。よって、今回のような実験、特にリアルタイムベースでの情報交換は宇宙ステーションにおける安全な有人宇宙活動にも役立つ。即ち、地上のオペレータは常に最新の宇宙環境情報に通じていることにより適切でしかも安全な宇宙環境利用計画を策定することが可能になる。一方、突然放射線粒子の侵入が観測された場合には即座にその原因究明が図られ、宇宙での作業計画変更など適切な対応が可能になる。

今後は、様々な宇宙環境の変動をモデル化してシミュレートする手法(アルゴリズム)を開発することにより、最終的には、太陽活動や太陽地球間の各種観測パラメータにより、地球近傍各所の宇宙環境の変動を予測することも可能になるであろう。

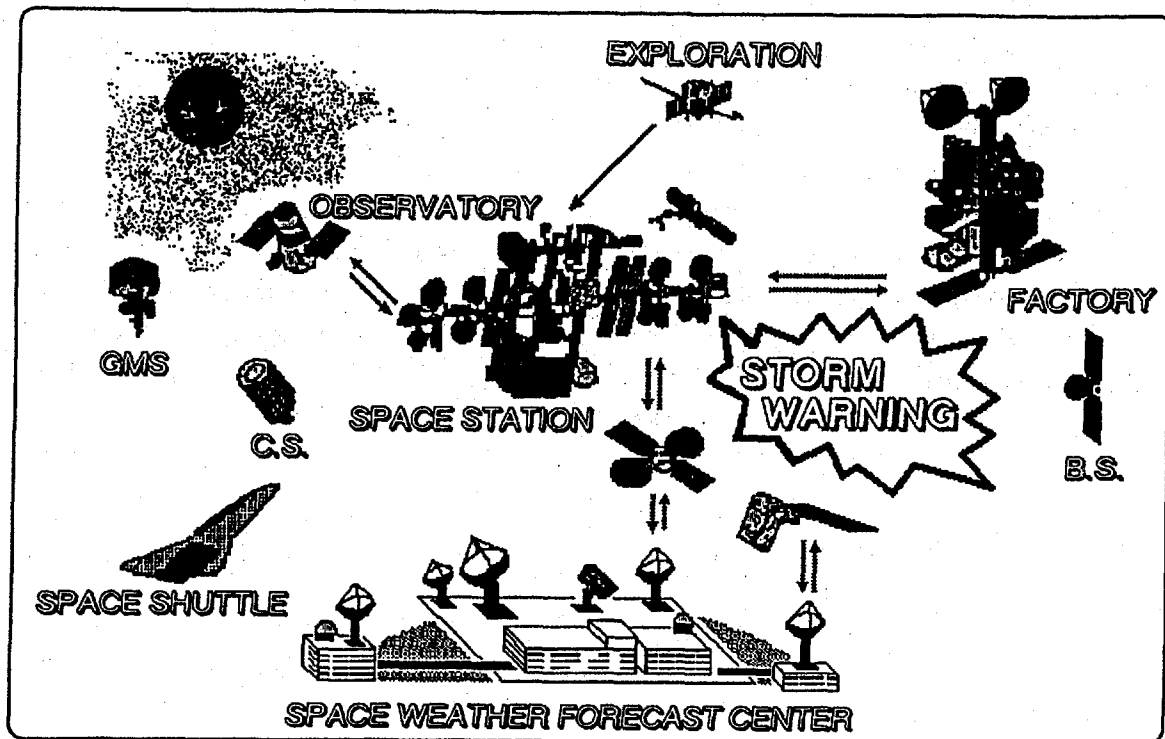


図1 宇宙天気予報システムの運用概念図

実験の方法

- 1) 将来の宇宙天気予報システム構築のため、データの入手から現況や予測の情報提供まで、できるだけリアルタイムに近い形で情報を交換するための実験を行う。具体的には、軌道上のリアルタイムの観測データをその他の宇宙環境観測データと併せて解析することにより宇宙環境の現況を把握して予測を行い、その結果を地上の実験者などに即座に伝える実験を行う。
- 2) 軌道上で観測された放射線量の変動を、その他の宇宙環境に関する観測データとともに総合的に解析し、その因果関係に関して研究を行う。具体的に利用する観測データは、光学及び電波による太陽観測データ(地上データ及び衛星データ)、静止軌道上の粒子・磁場データ、地磁気活動に関するデータなどである。

飛行実験の結果

上述の実験方法に従い、RRMD データの一部が QL (Quick Look) のプロット図及びデジタルデータにより随時米国から日本(平磯センター)へ PI のコメントと共に提供された。プロット図及びコメントはファクシミリにより、またデジタルデータはコンピュータネットワーク(EMAIL)により送付された。これに対し、平磯側からは宇宙環境全体の状況を、観測データプロット図及び文章によりファクシミリを利用して米国へ送付した。日米では昼夜の関係がちょうど逆転しているため、情報の解析と交換が効率よく行われた。特に、後述の 14 日の粒子データの解析に関しては頻繁に情報交換を行い、即時的なデータ解釈に役立った。

なお今回の共同実験に備えたわけではないが、平磯宇宙環境センターは 1988 年より独自に「宇宙天気予報システムの研究開発」を行っており、その中で国内・国外とのコンピュータネットワークによる観測データの収集・配布システムの開発、太陽観測施設の開発などを行ってきている。特にネットワークに関しては、WWW サーバなどを通じて最新の観測データが参照できる環境が開発されていたし、また太陽観測に関しては、現在までの太陽活動状況がリアルタイム(または準リアルタイム)でモニターできるようになっていたもので、今回の実験実施にあたっては大いにその威力を発揮した。

解析と考察

1995 年夏の時点では未だ全てのデータ解析は完了していない。今後更に詳細なデータ解析を行うため、衛星による太陽地球間環境(太陽風)観測データ、及び可能な限り他の周回軌道衛星による磁場や粒子の観測データも入手して比較検討する計画であるが、これまでに調査した実験期間 7 月 10 日～22 日及びその数日以前からの宇宙環境の概要を報告する。

太陽活動

この期間、太陽活動は静穏な状態が続いた。7 月 19 日の時点で太陽面には 5 つの活動域があり、その中で面積最大は、北東にある #7757 であったが、特に活動は起こしていない。解析期間中の主な(Cクラス以上の)フレア活動は表 1 のとおりである。

表 1 実験期間中の主な太陽活動

月日 時刻(UT)	X線/光学	領域	電波バースト
7/ 7 0956	M1.3 /1N	7746	2, 3, 4
7/ 8 0537	C1.0 /SF	7749	
7/12 0915	C6.0 /1N	7746	2
7/14 0844	C1.9 /SF	7746	3
7/14 1955	C2.3 /SF	?	3, 5
7/15 0714	C1.1 /SF	?	
7/15 1713	C1.1 /SF	7754	
7/16 0251	C1.4	?	?
7/18 1330	C3.2 /SF	7758	2, 3, 4, 5

静止軌道上の放射線環境

上述のような太陽活動状況のため、プロトン現象は全く発生していない。図2に見られるように、静止軌道上の高エネルギー電子の分布は、後述の地磁気活動と関連して16日後半から23日頃までレベルが上昇しているの、静止軌道上の衛星には機器誤動作への注意が必要であったが、低高度へは何も影響がなかったと考えられる。

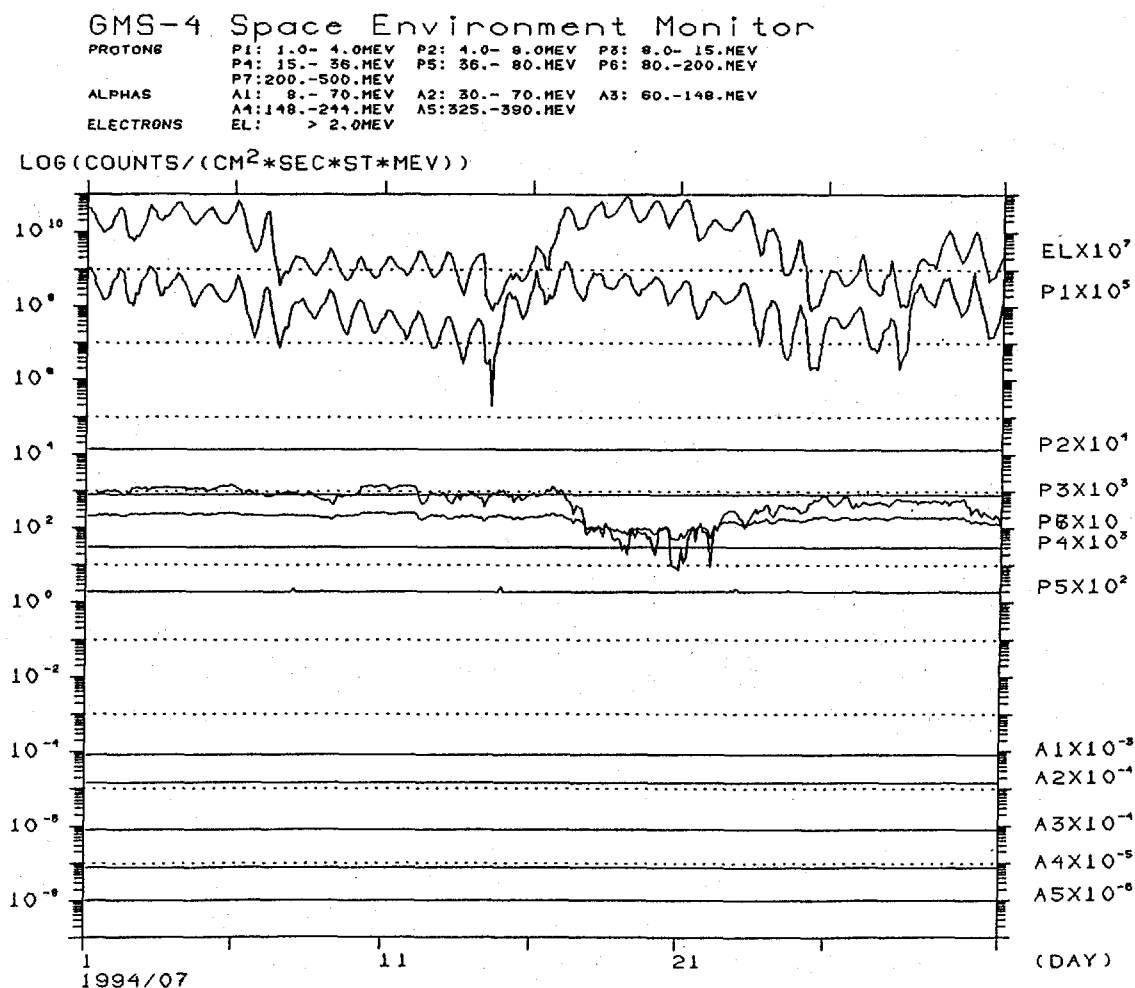


図2 日本の気象衛星(GMS)搭載のSEM (Space Environment Monitor)による静止軌道上の高エネルギー粒子環境。(データは気象庁提供)

地磁気活動

地上の地磁気データサマ리를図3に示す。前半は極めて静穏であったが、14日10時UT頃から最大50 nT程度の擾乱が始まっている。この擾乱は12日に太陽の子午線を通過(CMP)したコロナホールによるものである。擾乱は14日前半から始まり、実験終了頃まで続いたが、その後は静穏な状態となっている。

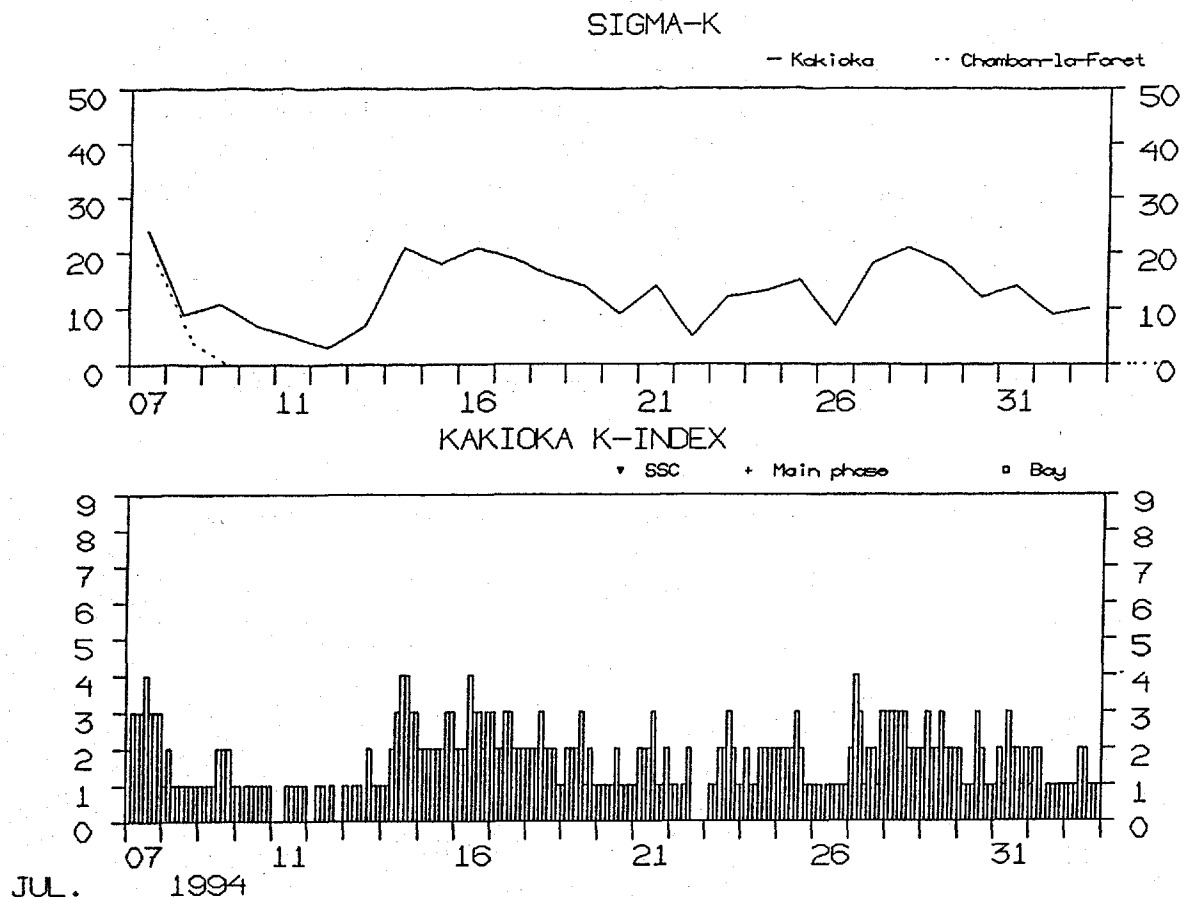


図3 地磁気活動の状況(データ提供は気象庁柿岡地磁気観測所、表示は平磯宇宙環境センター)

結論

今回の実験では、シャトル内部での比較的重粒子の計測が行われた。低高度でしかも低軌道傾斜角の軌道に、生物や機器に大きな影響を及ぼす高 LET 放射線がどのように存在するのか空間的及び時間的な変動が調べられた。現在は約 11 年の太陽活動が極小に近い時期であり(図 4 参照)、しかも実験期間中にも大きな太陽活動が見られなかったことから、概ね静穏時の放射線帯粒子(特に SAA: South Atlantic Anomaly)と銀河宇宙線による放射線が計測された(図 5 参照)。例外として 14 日 14 時頃の粒子観測(図 6)があるが、これまでの解析では、これはフレアによるものとは考えられない。今のところ、ちょうどその頃始まった地磁気擾乱の影響で放射線帯の粒子が若干もれこんだか、または、たまたま銀河宇宙線が入射しやすくなったのではないか(高エネルギーチャンネルには何も見えないのでちょっとあり得ないか)と考えられる。理由として、同日 14 時以前の(若干でも)考慮すべきフレアは C1.9/SF (#7746)であるが、これはその他のフレアと比較して、付随する電波バーストなど特に太陽面での高エネルギー現象を示唆するものではなく、静止軌道でも SEP (Solar Energetic Particle)は観測されていない。ただし、今回の計測装置は GOES 衛星や GMS 衛星の SEM (Space Environment Monitor: 放射線計測装置)に比較してかなり高感度なので、SEM で計測されていないことは絶対条件ではない。SEM の低エネルギーレンジや、地上の磁場

のデータにもあるように、14日前半からコロナホールによる地磁気擾乱が始まっているので、この影響で放射線帯粒子(高 LET 成分)が銀河宇宙線がシャトル高度にまで侵入したというのが、今のところ最も真実に近いと思われる。今後も、他の衛星による観測データを入手するなどして更に詳しい解析を続けるが、今回のような現象が真実とすると、低高度低軌道傾斜角の軌道付近にも(JEMのような高軌道傾斜角ではより強いであろう)、ありふれた規模の地磁気嵐により放射線粒子が侵入することになるので、太陽フレア粒子の他にも地磁気嵐の予測、特に開始時期や規模の予測がこれから重要になってくると考えられる。

SESC Prediction of Smoothed Sunspot Number Based on July 1995 observed data

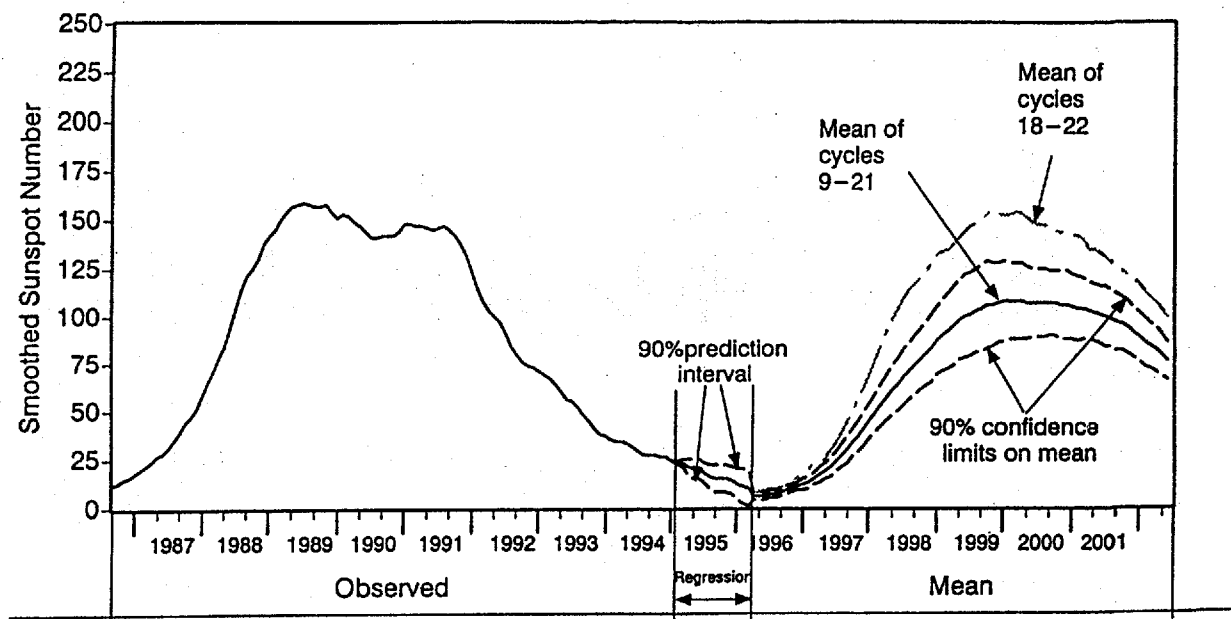


図4 今第22太陽活動周期の相対黒点数及びその予測¹⁾

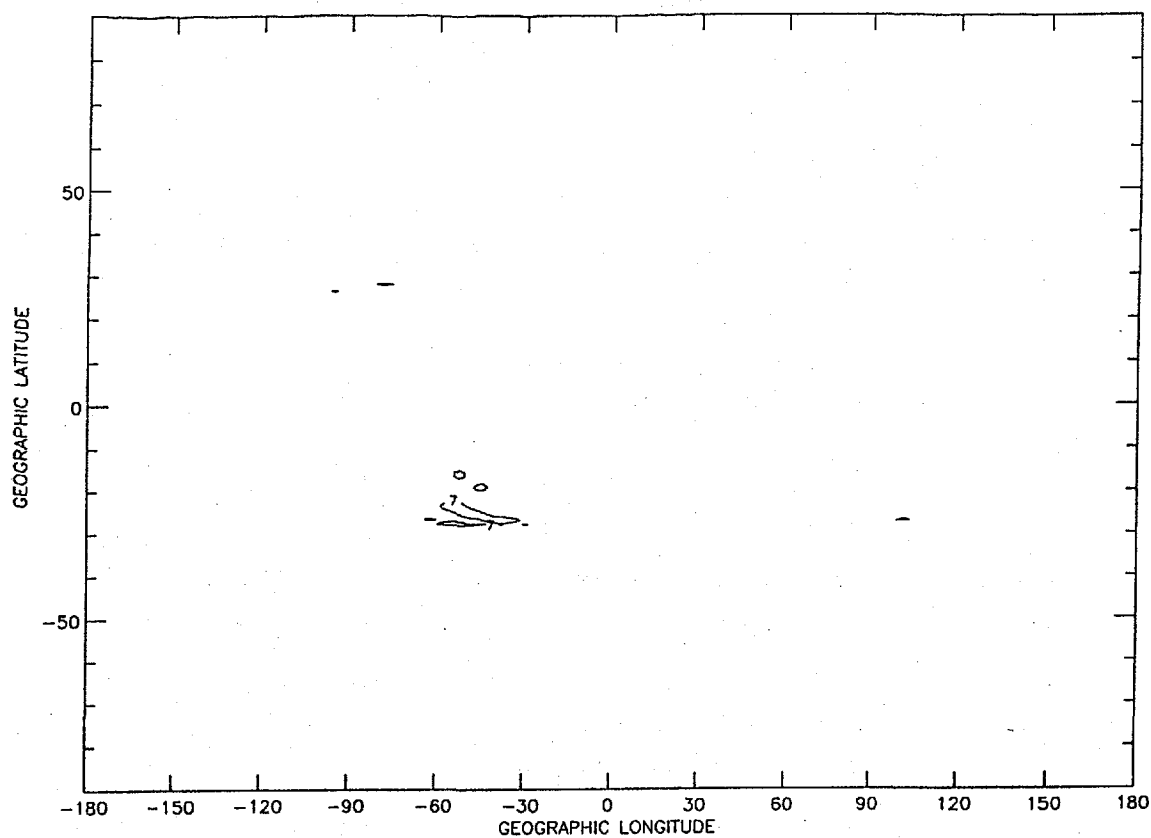


図 5 1994 年 7 月 12 日 12:00UT - 24:00UT に PSD1 検出器のカウント数 ($\text{LET} > 5.02 \text{ ev}/\mu\text{m}$) が 7 を越えた領域を等高線で示す。

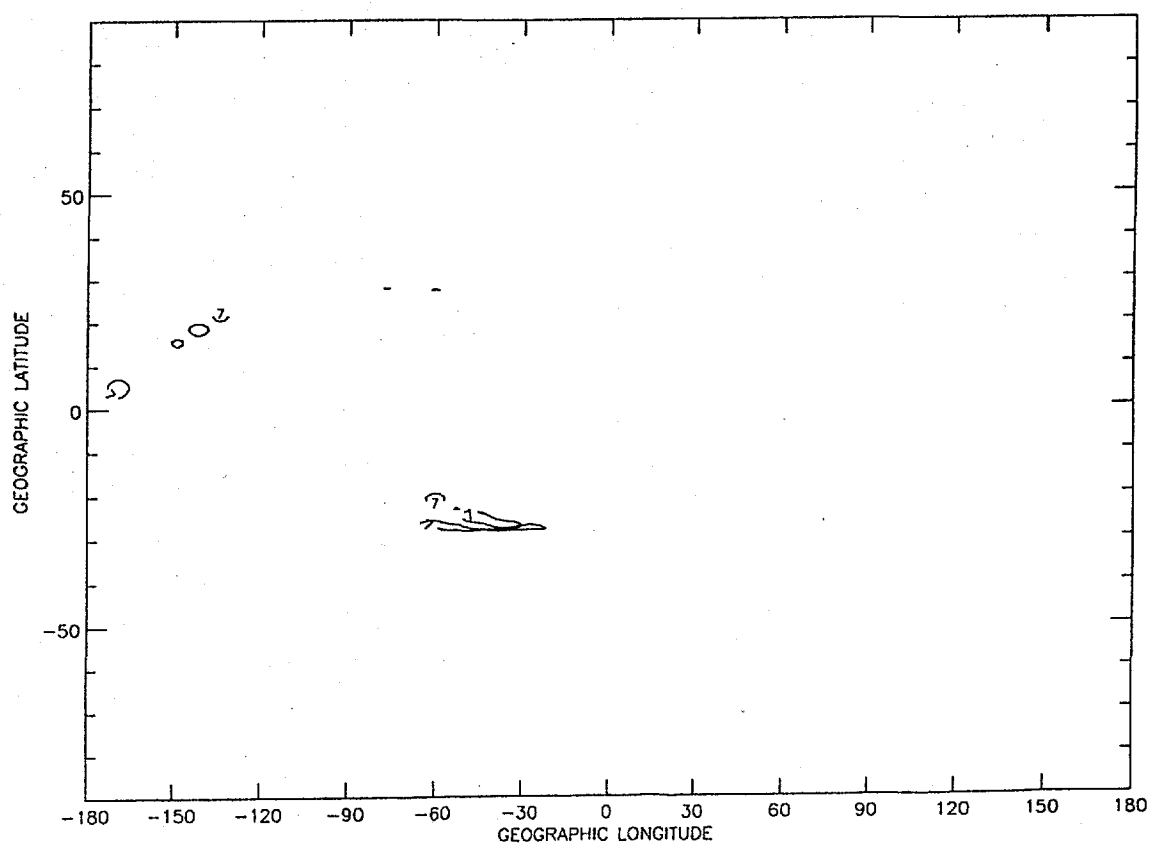


図 6 1994 年 7 月 14 日 12:00UT - 24:00UT について、条件は図 4 と同じ。

参考

今回の実験実施及びデータ解析では下記のシステム、及びデータを利用した。

- 1) 郵政省通信総合研究所平磯宇宙環境センターの観測データ及び宇宙環境情報システム
- 2) 米国商務省海洋大気庁宇宙環境サービスセンターの宇宙環境情報システム
- 3) 静止軌道等の粒子観測データ (GMS/ 気象庁、GOES/ 米国商務省海洋大気庁、ETS/ 宇宙開発事業団 (参照予定))
- 4) 地磁気データ (気象庁柿岡地磁気観測所)
- 5) Dst データ (京都大学理学部地磁気世界資料センター)

参考文献

- 1) Preliminary Report and Forecast of Solar Geophysical Data, NOAA/SESC, US Dept. of Commerce.
- 2) Solar-Geophysical Data comprehensive reports, NOAA/SESC, US Dept. of Commerce.

外部発表

- 1) 第 17 回宇宙ステーション利用計画ワークショップ (Jan. 1995).
- 2) 地球電磁気地球惑星圏学会 1995 年秋の講演会 (Oct. 1995). (データの一部を紹介予定)
- 3) 日本宇宙生物科学会 (Oct. 1995). (データの一部を紹介予定)
- 4) 第 6 回 STEP シンポジウム (Nov. 1995)
- 5) Solar Terrestrial Prediction Workshop (Jan. 1996). (日本にて発表予定)