

太陽プロトン現象

河野 毅*

CHARACTERISTICS OF SOLAR PROTON EVENTS

By

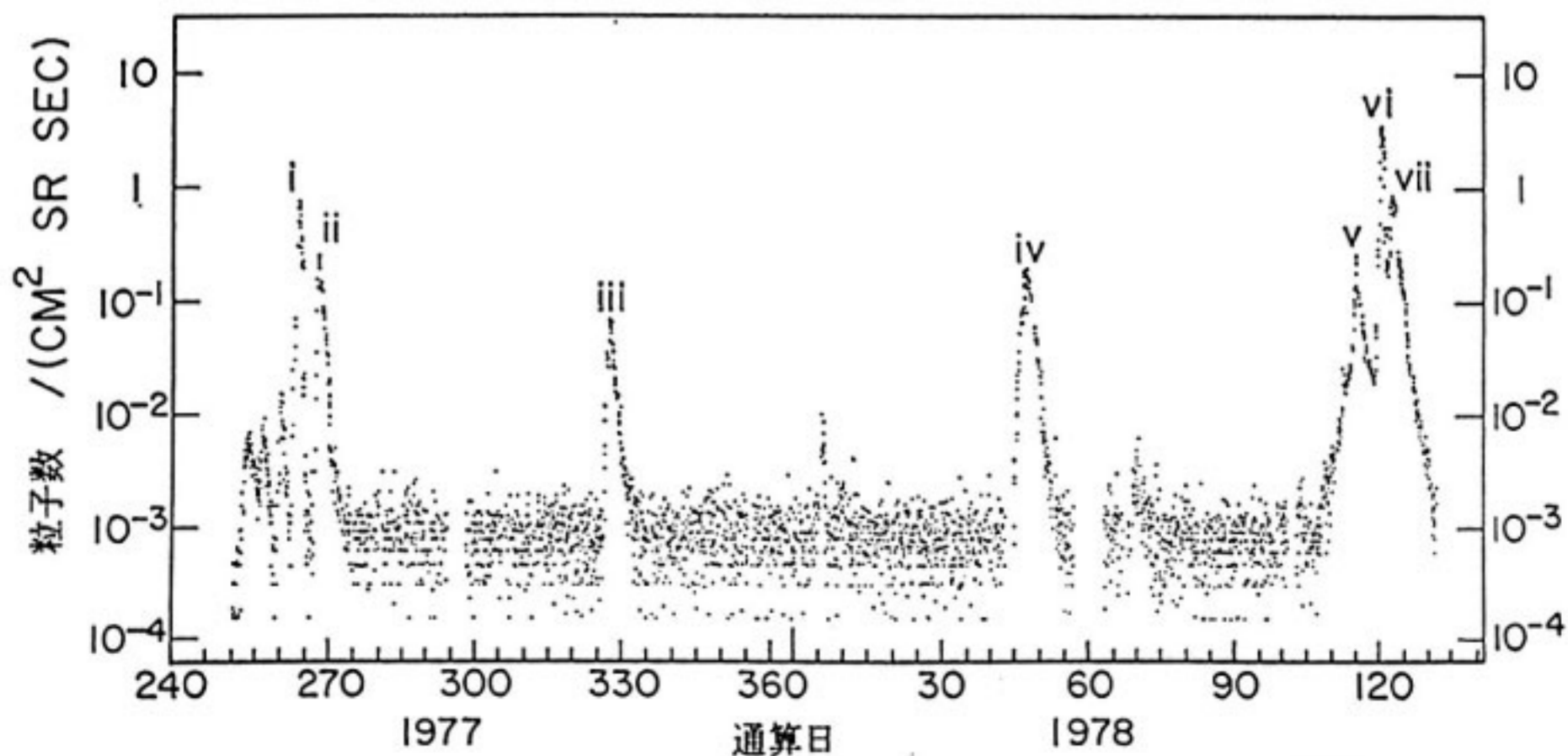
Tsuyoshi KOHNO

Intensities of high energy particles originated from solar flares vary by many orders of magnitude depending on each flare. Elemental abundance and the energy spectrum are also variable for each event. A model for solar protons (SOLPRO) made by NASA and based on the data of solar cycle 20 predicts an occurrence probability for an anomalously large "AL" event. But solar proton data of cycle 21, obtained by the Japanese meteorological satellite "HIMAWARI", show that there was no "AL" event in cycle 21, although several major events occurred whose intensities lie in the same order. Therefore the importance of "AL" event prediction depends on the solar cycle.

1. はじめに

ここでいう太陽プロトン現象とは、太陽フレアにともなって発生した高エネルギー粒子が、地球近傍の空間で観測されることを指す。高エネルギーとは、MeV から

GeV ぐらいを意味し、時には 10 GeV を越えることもある。粒子の種類としては、陽子（プロトン）が80~90%を占め、 α 粒子が10~20%、それより重い重粒子が1%程度存在する。ここでは重粒子は考慮せず、陽子のみについて述べる。



第1図 ポイジャー1号機で観測された、Heより重い粒子の1時間平均強度。観測のエネルギー下限は炭素で 3 MeV/nucleon, 鉄で 5 MeV/nucleon である。強度の強いイベントを7つ選んで、i-viiの番号を振ってある。縦軸が対数目盛りであることに注意。

* 理化学研究所宇宙放射線研究室
Cosmic Ray Laboratory
The Institute of Physical and Chemical Research

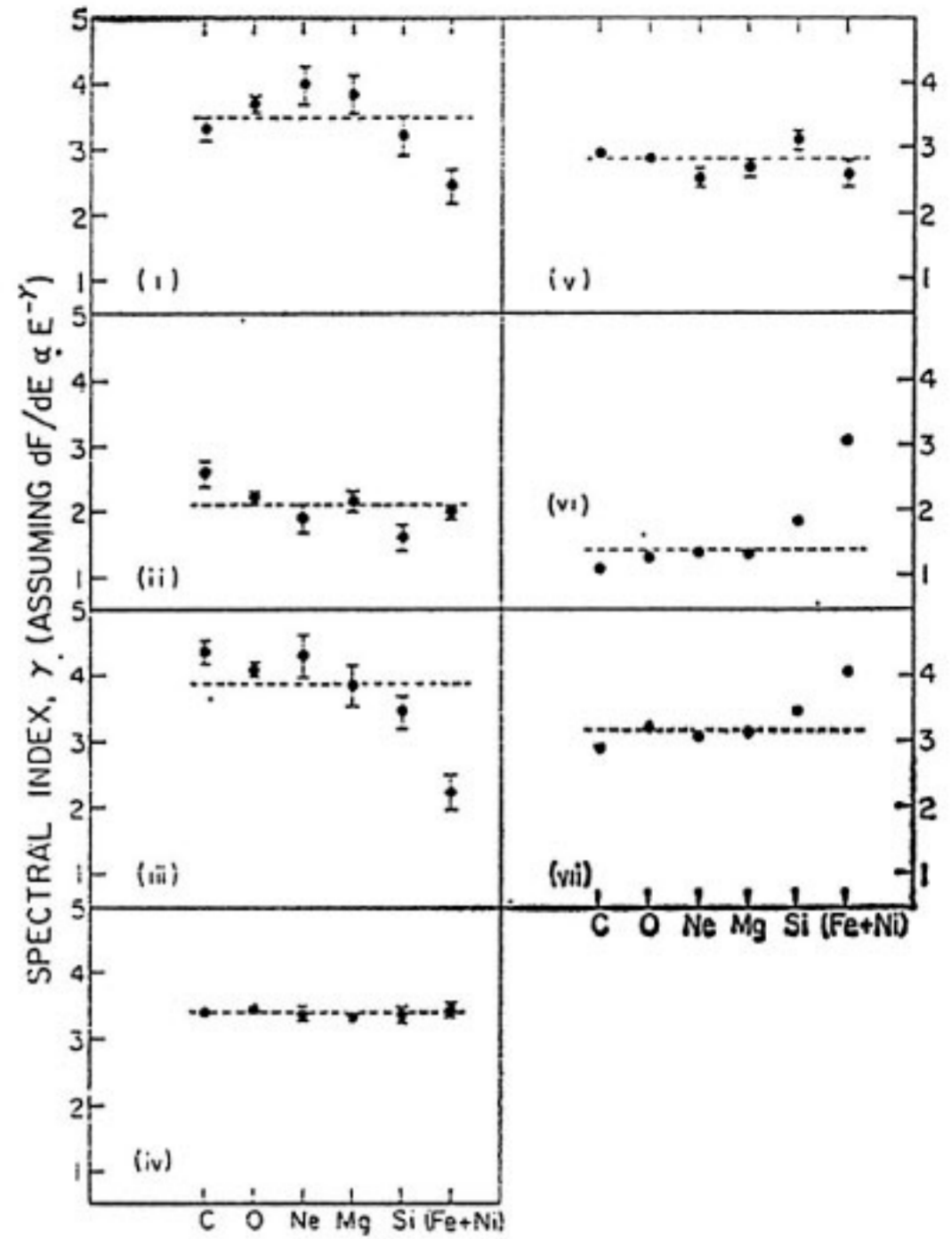
2. フレア毎の変動性

太陽フレアからの粒子強度は、個々のフレア毎に大きく変動する。その違いはまさになん桁にもまたがるもので、対数的な変化といえる。1回の太陽フレアでその太陽活動サイクル全体の大部分を放出してしまうといった例さえある。大ざっぱに言って、光やX線で表したフレアの規模が大きいときには、粒子強度も大きいといえるが、必ずしも単純ではない。太陽表面のどこで起きたか、惑星間空間の磁場の様相がどうであったかなどにより、地球までの伝ぱんの様子が全く異なる。フレア域で発生した粒子が、太陽大気に突入して吸収されるか、コロナ方向へ放出されるか、さらに、コロナから宇宙空間への解放の効率も地球近傍空間での粒子強度に大きく寄与する。第1図に1977年後半から翌年にいたる、約1年の期間における、太陽フレア粒子の観測例を示す⁽¹⁾。

陽子や α 粒子のエネルギースペクトルは、エネルギーのベキで表せることが多い。このスペクトルもフレア毎や、1つのフレア内でも変化する。また、粒子の種類毎に変わった値を持つ。その例を第2図に示す⁽¹⁾。エネルギースペクトルの問題も、フレア発生域から、観測点までの、伝ぱんに深く関連している。

3. NASA のモデル

太陽フレア粒子の内、陽子に限り、NASA で試みられたモデル⁽²⁾があるので紹介する。前述のように、太陽フレア粒子の強度は千差万別であり、統一的モデルで語ることはきわめて困難であるが、これは有人飛行など、実用上の必要性から試みられたものである。このモデルは、サイクル20 (1965~1976年) における観測データをもとにしている。このサイクルは、有名な1972年8月イベントを含んでいる。このイベントは、10 MeV 以上の陽子については、そのサイクル全体の総陽子数の70%を占め、60 MeV 以上については実に、84%を占めていたという、きわめて巨大な太陽フレアであった。有人飛行への影響や、搭載機器の放射線問題は、小さな太陽フレアの数多い存在より、このような巨大な太陽フレアに1度でも遭遇するかどうかの方が問題である。そのため、このモデルでは、72年8月イベントを、AL イベント (Anomalously Large Event) と呼び、これの発生確率の統計的予測に努力している。サイクル19以前には

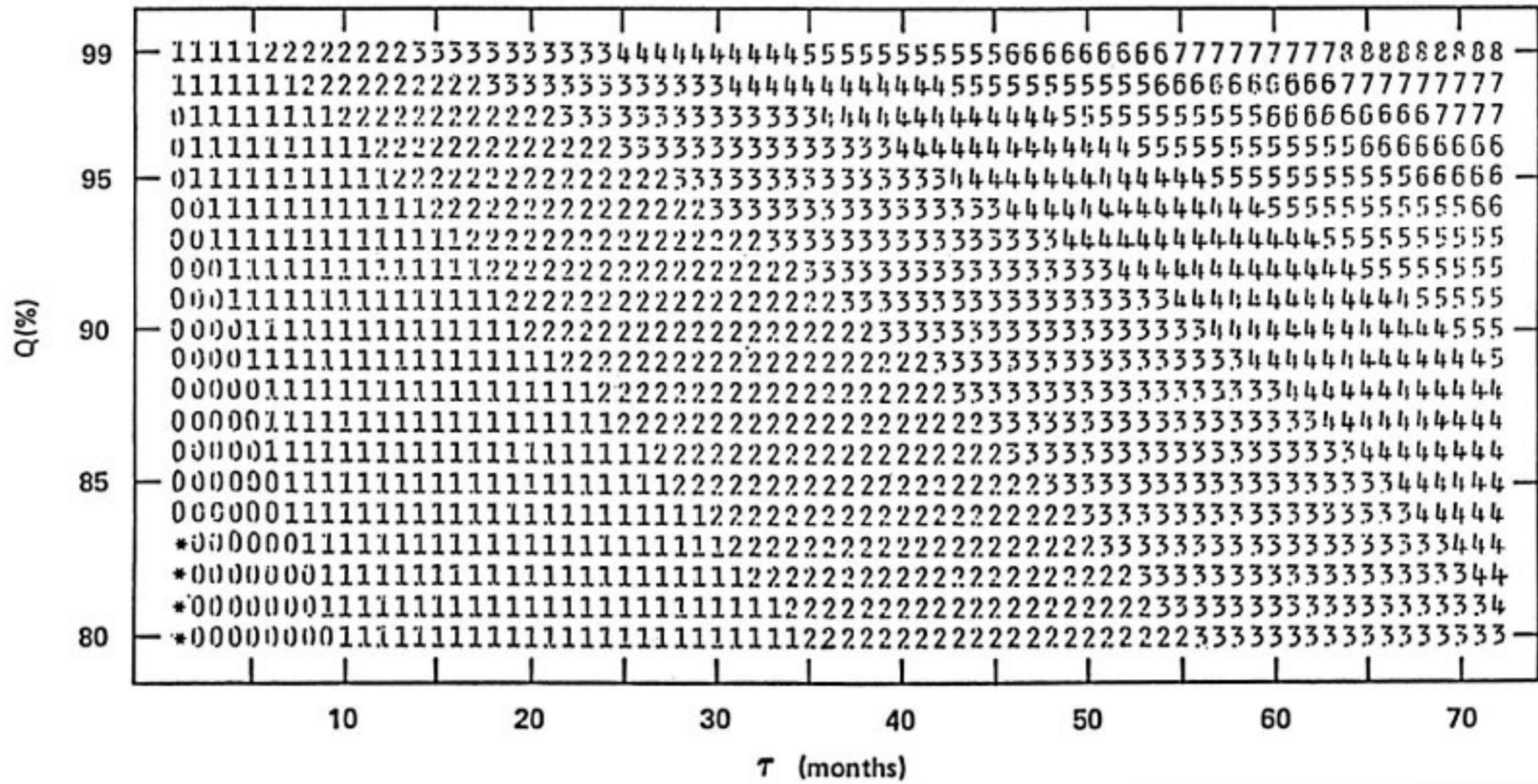


第2図 7個のフレア (第1図に示す期間) に於ける、各種元素の、エネルギースペクトルのベキの分布。同じフレアでも核種毎に、同じ核種でもフレア毎に変化することがわかる⁽¹⁾。

衛星のデータはなく、たった1例のデータをもとに AL イベントを予測するのは批判もあろうが、「試み」としての意義は小さくはない。確率・統計の方法を用い、このモデルは第1表に示すように、経過時間 (太陽活動極大期) とその間に起きる AL イベント数との発生確率についての予測数値を出している。AL イベントでなく普通のフレア (OR イベント: Ordinary Event) についても、粒子強度の数値で予測もしているが、その影響の大きさから、AL イベントがモデルの目玉となっている。

第1表 NASA の太陽プロトンモデル, SOLPRO⁽²⁾で予測された, AL イベントの発生確率の予測値. 横軸に経過時間を月単位で示し, この間に AL イベントに遭遇する回数が, 表中の数字以下である確率 (ある信頼性レベルでの) を縦軸に示してある. 例えば, 30カ月の間では, 83% の確率で1回以下, 93% の確率で2回以下, 98% の確率で3回以下ということになる.

Number of Anomalous Large Events Predicted by SOLPRO

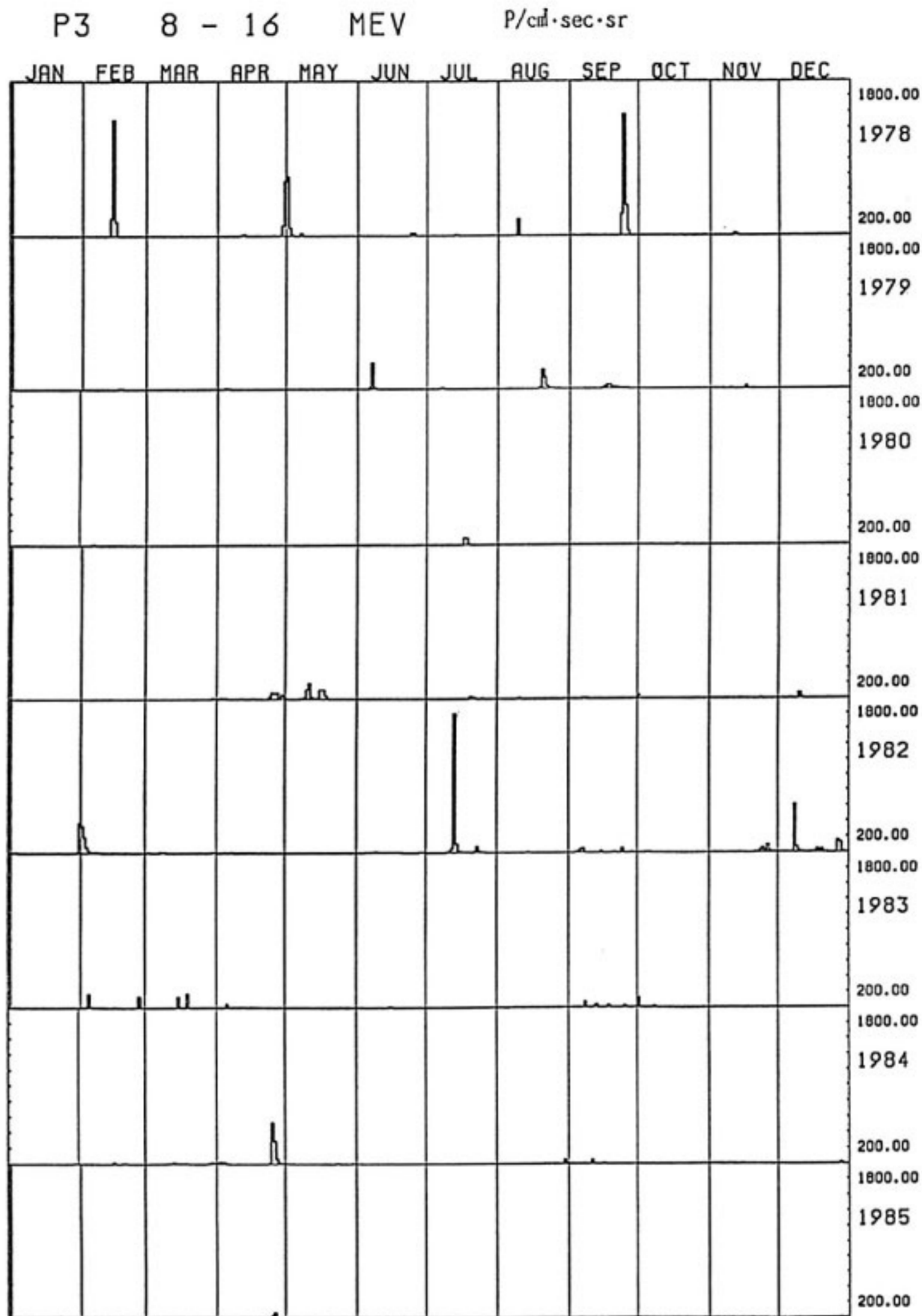


* NO CALCULATIONS PERFORMED

4. 「ひまわり」によるサイクル21の観測結果

サイクル20では72年8月イベントが他に比べて特別に注目を浴び, NASA のモデルではこの1件の生起確率の予測に主力が注がれた. では次のサイクル21ではどうか. このサイクルではわが国の気象衛星「ひまわり」による観測データがある⁽³⁾. 1978年から1985年にいたる8年間について, 8~16 MeV の陽子の1日平均強度を示したのが, 第3図である. この図の縦軸は対数でなく, 線形であることに注意されたい. これを見ると, 目だったイベントとして, 78年2月, 9月, 82年7月などが最大級である. これらの粒子強度は, 3件ともオーダーはほとんど同じである. また, その次のクラスとして, 78年4, 5月, 82年12月, 84年4月などが見える

が, これらもオーダーは違わない. いうまでもなく, オーダーの違う様々な粒子強度の陽子放出をとまなう太陽フレアが起きていることは, 第3図で縦軸を対数でとってみるとすぐにわかる. しかし, 最大級のイベント数個についてみたとき, 72年8月イベントのような, それだけで全サイクルの6~7割を占めてしまうような, 非常に大きなイベントはないことが分かる. 他のエネルギー領域でも似たような状況であり, サイクル20におけるAL イベントの予測努力はサイクル21では不要ということになる. しかし, 現にサイクル20ではAL イベントが存在しており, 次(サイクル22)でどうなるかは全く分からない. 太陽フレア粒子強度についての予報モデルを作ることが, いかに困難であるかを示している.



第3図 気象衛星「ひまわり」で観測された、8~16 MeV の1978年から1985年までの1日平均の強度変化⁽³⁾。縦軸は対数でなく、線形にとってある。1978年と1982年に、大きなフレアの寄与が見られる。

5. おわりに

太陽フレア粒子の強度や組成などについての予報モデルを作ることは、今のところ大変困難のようである。しかし、宇宙空間における放射線環境として太陽フレア粒子の占める位置はきわめて大きい。われわれは、まだ2サイクル分の観測データしか持っていないが、今後も幅広い観測・データ収集を続ける必要がある。その上で近い将来、有人宇宙活動や、搭載機器への影響のための、何等かの予報・予測の手段を講じる必要がある。

参考文献

- (1) W. R. Cook, E. C. Stone and R. E. Vogt, "Elemental Composition of Solar Energetic Particles", *Astrophys. J.*, 279, pp. 827-838, 1984.
- (2) E. G. Stassinopoulos, "SOLPRO: A Computer Code to Calculate Probabilistic Energetic Solar Proton Fluences", NSSDC, April 1975.
- (3) "Energetic Particle Intensity at Geostationary Orbit", WDC-C2 for Cosmic Rays, *Inst. Phys Chem. Res.*, 1986.