

## Planet -A による惑星間空間磁場計測計画

斎藤 尚生\*・国分 征\*\*・青山 巖\*\*\*  
瀬戸 正弘†・福西 浩††・西田 篤弘

Planet-A Project on a Magnetic Measurement in the  
Interplanetary Space  
during the Halley-Venus Mission

By

Takao SAITO, Susumu KOKUBUN, Iwao AOYAMA,  
Masahiro SETO, Hiroshi FUKUNISHI and Atsuhiro NISHIDA

**Abstract:** Research theme and technical program of a high-sensitive magnetic observation in the interplanetary space are described in relation to the Planet-A Project on the Halley-Venus mission. Our main research theme is to study macroscopic and microscopic structures of the interplanetary magnetic field with a stress on examinations of hypotheses derived from the two-hemisphere model on the three-dimensional structure of the IMF. As for the technical program, we have already executed successfully four programs to develop a high-sensitive magnetometer to be installed on the Planet-A, namely, (1) construction of a magnetometer with a two-core having the world-largest dimension ratio, (2) comparative test of the twelve kinds of ring cores and construction of a magnetometer using the best one, (3) construction of two sets of very high-sensitive (0.036 nT/mm) station magnetometers on the basis of the result (2), (4) construction of a compact ring-core magnetometer to be installed on a balloon that is expected to be launched in September, 1979. Example magnetograms obtained with specially designed vertical-writing and lateral-writing recorders are shown in which a Pc3 event was registered directly by the ring-core magnetometers of (3) with a maximum range of more than 170 mm at the Onagawa Magnetic Observatory.

---

\* 東北大学理学部

\* \* 東京大学理学部

\* \* \* 東海大学工学部

† 東北工業大学

† † 国立極地研究所

## 1. 緒 言

ハレー彗星および金星を目指して打ち上げる Planet-A で磁場計測を行う計画について、以下にどのような新しい目的で、どのように新しい磁力計で計測するかについて述べることにする。即ち惑星間空間磁場構造に関して日本で提唱された二半球モデルの検証という理学的な面と新しい型のリングコア-磁力計という工学的な面から計画を述べる。

## 2. 磁場計測の目的

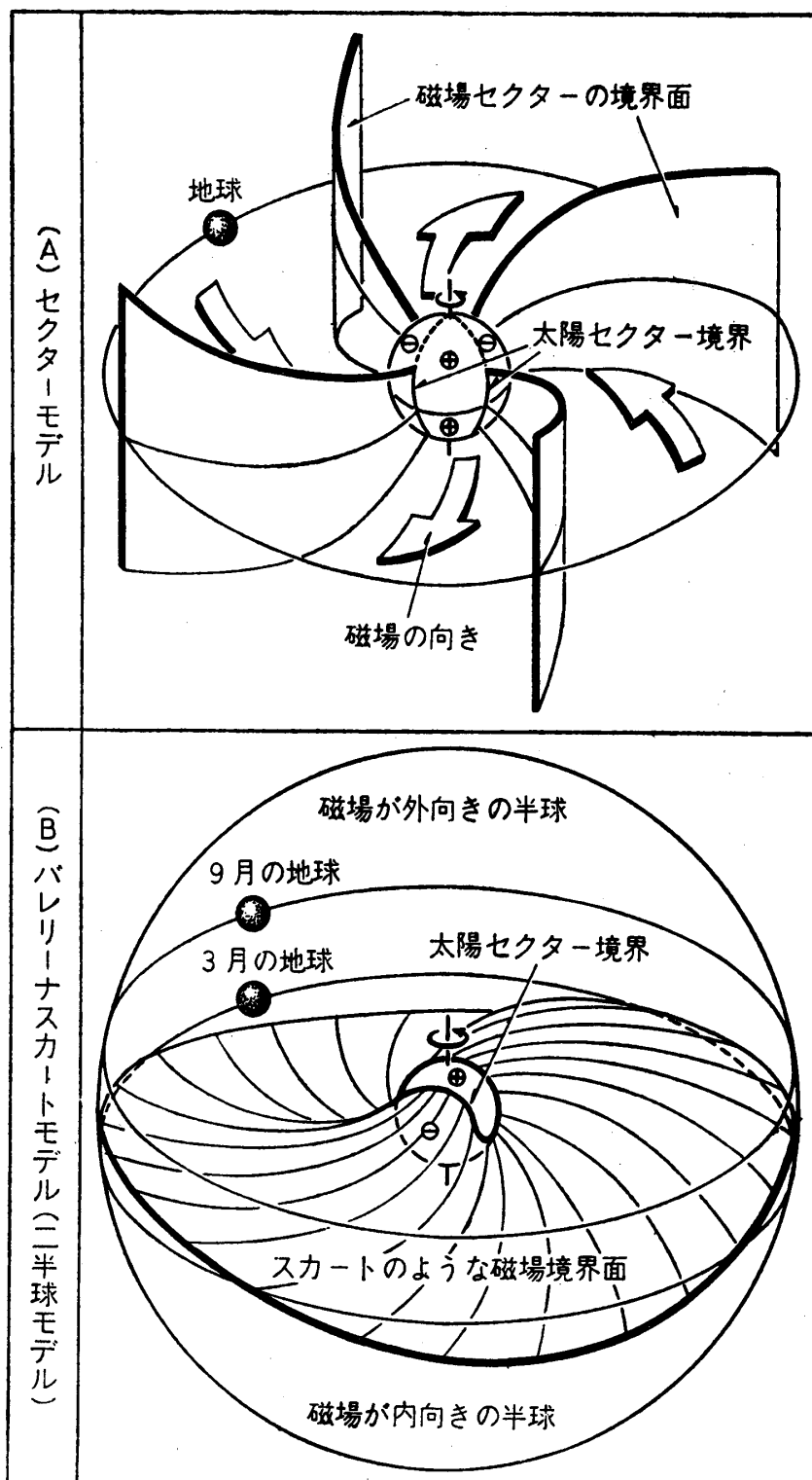
Planet-Aにおける磁場計測の主眼は太陽風磁場の構造の研究にあるが、これは更に巨視的観点と微視的観点に分けられる。太陽風磁場に関する巨視的構造として古くから国際的に余りにも有名なのは第1A図に示す様なセクターモデル(Wilcox and Ness, 1965)である。しかし、このモデルでは観測されるセクター数が季節変化をしたり1955-56年にセクター構造が消滅した等という観測事実が説明できないので、それに代わるものとして二半球モデル(Saito, 1975)が提唱された(第1B図)。これは、太陽磁場は光球面では高次項を含むが、地球軌道付近ではほとんど双極子項だけとなり、従って惑星間空間は巨視的磁場構造としては一枚の褶曲中性面によって正、負の二半球に分かれるというモデルである。この説は内外の研究者によって次第に支持されてきているが、完全に正しさを実証する為には二つのことをおこなう必要がある。即ち一つは、太陽方向に近づくにつれてモデルから期待される通りの高次項が惑星間空間磁場の中に増えてくる(第2図)か否かの検証である。もう一つは、磁気中性面が地球軌道面に対して準垂直(セクターモデル)か準垂平(二半球モデル)かを、少し赤緯の高い場所で磁場計測をすることによって確かめることである。Planet-Aで磁場計測をおこなえばこの二つの検証が可能になるはずである。

前回の Planet-A 検討会で西田(1978)は、太陽風中に存在する2種の数速度成分(A-sbridge et al., 1976)について述べたが、これは IMF のいわゆるセクター構造に見られる27日周期(低緯度コロナルホールによる?)と28日周期(高緯度コロナルホールによる?)の二成分(前沢, 1979)と関係があると考えられ(第3図; 斎藤, 1979), この仮説の検証も Planet-A の磁場計測によっておこなうことができよう。

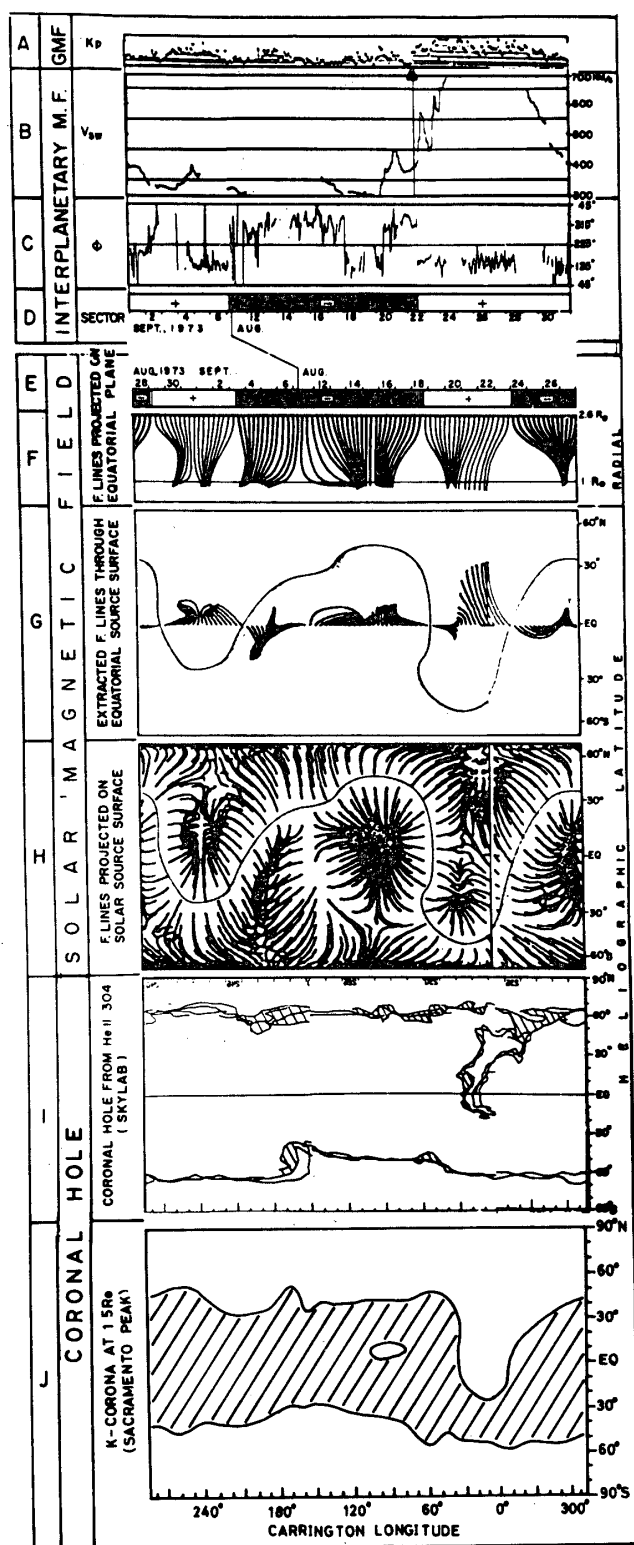
地上で観測される宇宙線の microvariation (第4図 Kanno et al., 1975) の現象は最近この方面でクローズアップされている問題であるが、これは太陽磁気圏の二半球構造の中に含まれる磁場の fluctuation が関係しているはずである。Planet-A による磁場計測はこの問題に手がかりを与えることになる。

太陽磁場は22年周期で逆転し、それにつれて太陽磁気圏も22年周期で反転する(第5図, Saito et al., 1978)が、反転後も太陽双極子は回転軸に対して40°程度斜交している時期が一時的に存在するらしい(Saito, Seto, et al., 1979)。前 Solar cycle ではこの時期に丁度舌状コロナルホールが発達していたが、Planet-A が飛ぶ時間は丁度今 Solar cycle の同時期にあたり(第6図)、今 cycle にも一時的に斜交状態が存在するか否かを検証するもの、Planet-A による磁場計測の興味ある課題となろう。

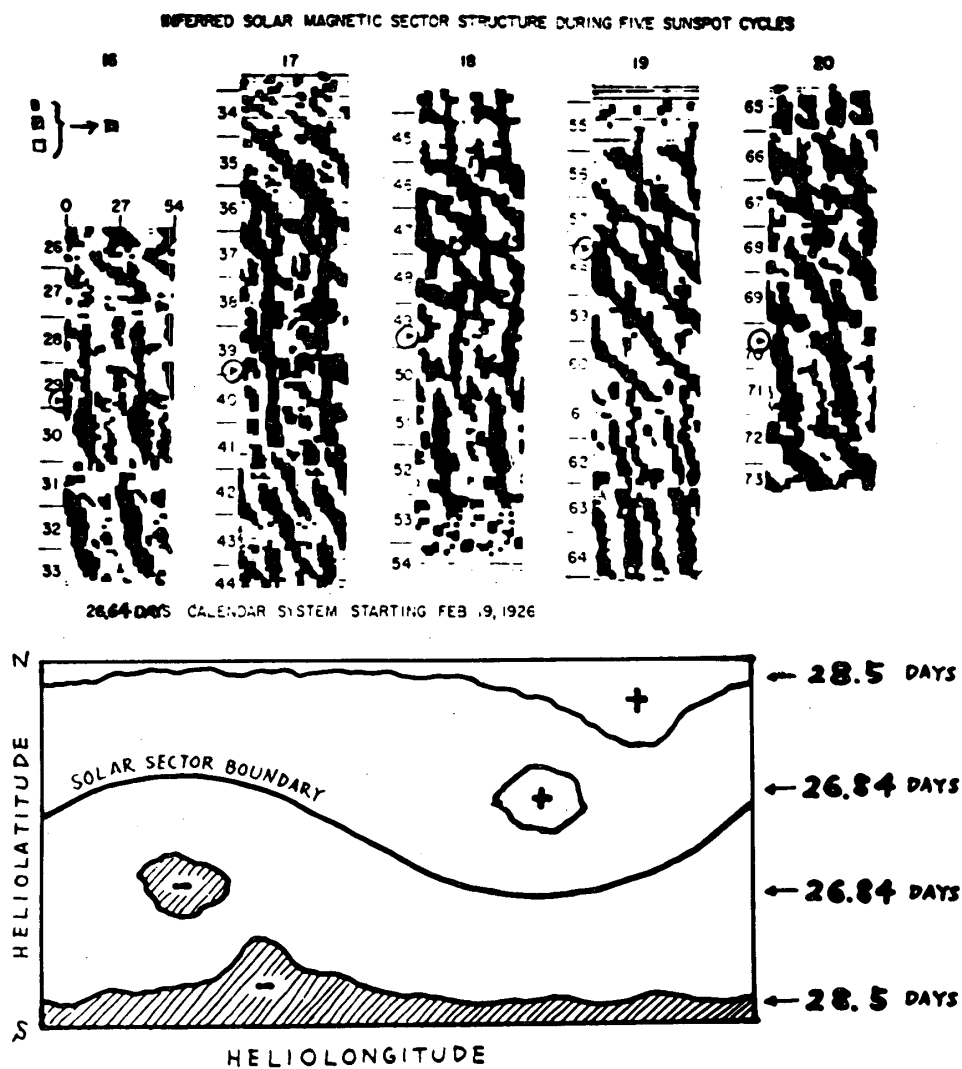
次に太陽風磁場の微視的構造に関しても興味ある課題が幾つもあるが、前回において西田(1978)や斎藤(1978)が議論しているので重複をさけるためにここでは引用するに留め



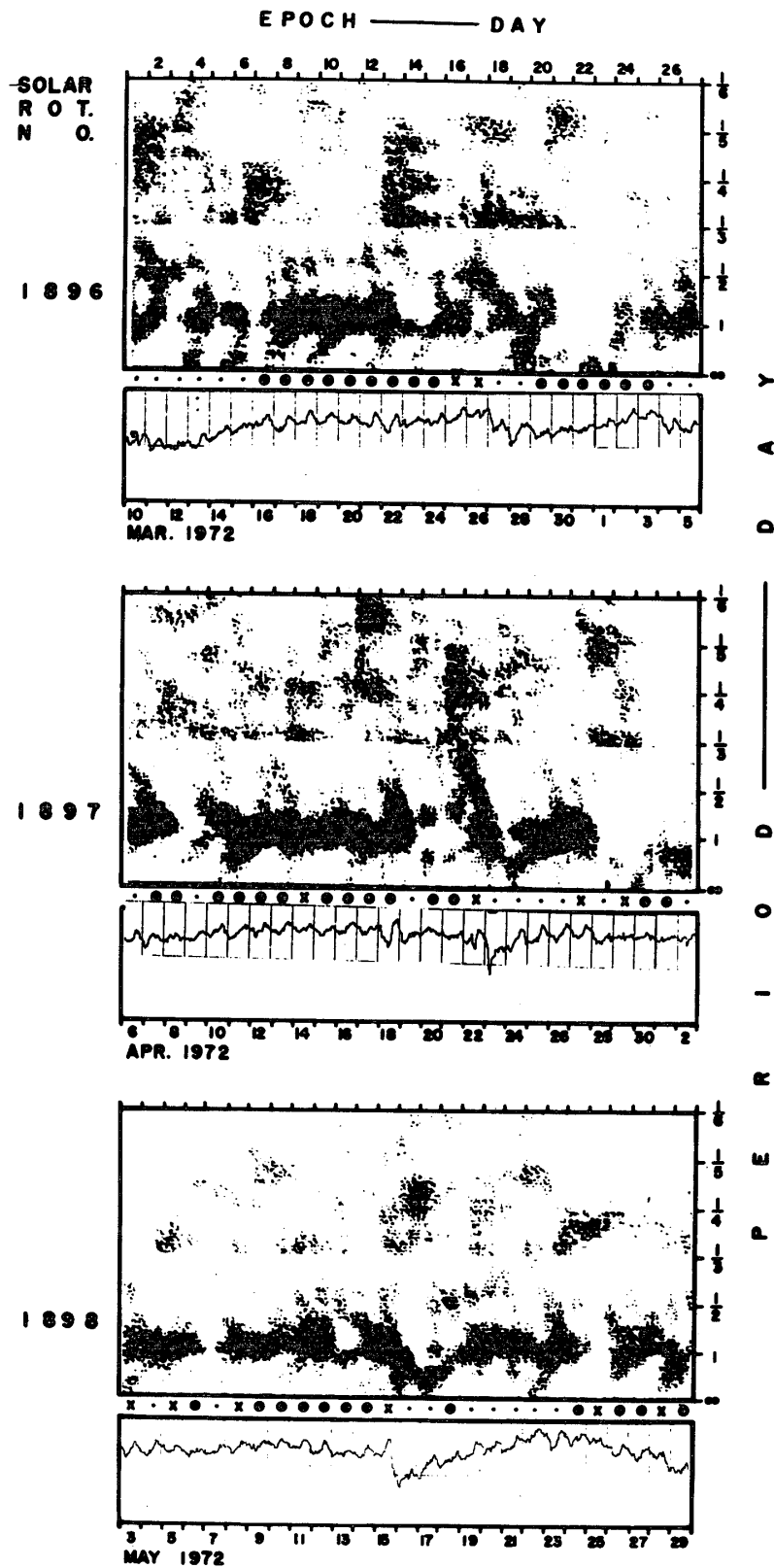
第1図 Planet -Aで検証しようとする太陽系磁場構造に関する2つの model. (A) 1965 年以来 Ness 等により提唱されてきた sector model と (B) 1975 年以来日本で提唱されてきた two-hemisphere model 又は通称 ballerina skirt model.



第2図 地球 (A), 惑星間空間 (B~D) および太陽面の磁場構造

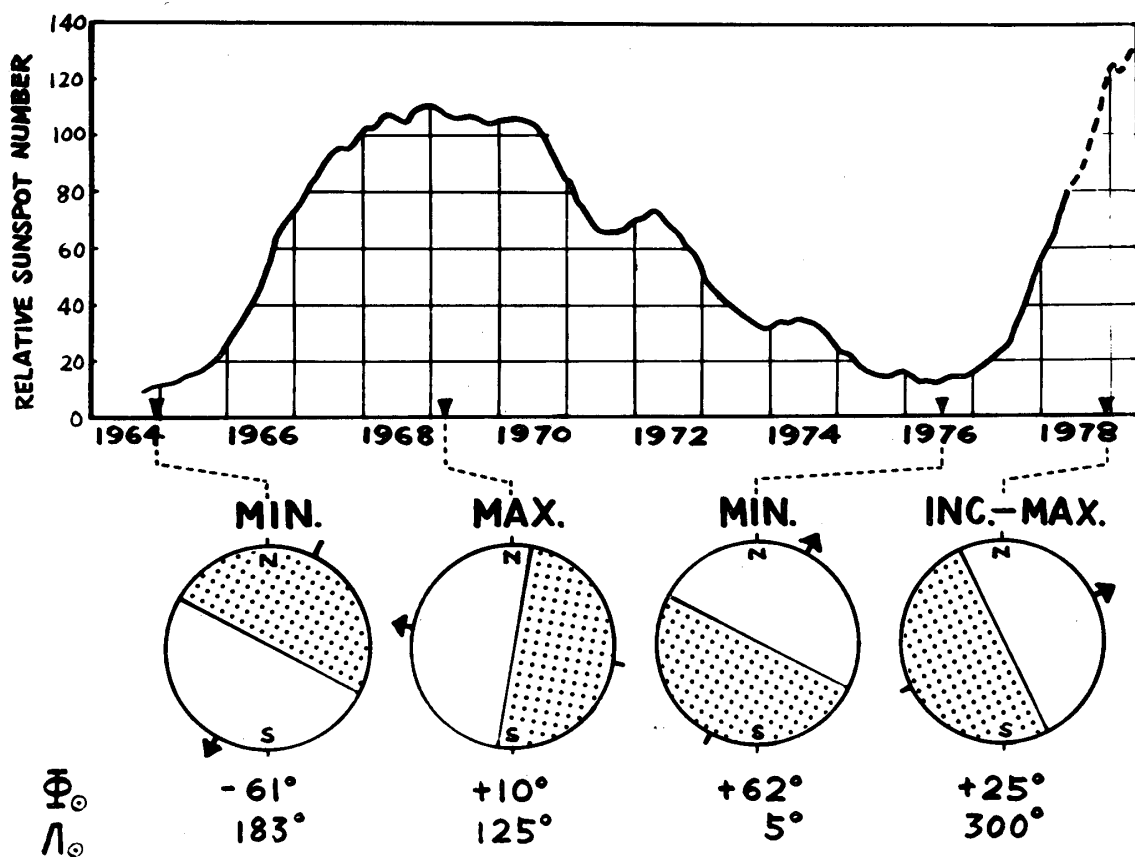


第3図 太陽から吹き出す自転速度の異なる2種類の corotation streams に関する仮説を説明する図。



第4図 Deep River で中性子 monitor により観測された宇宙線 flux の時間変動とその dynamic spectrum.

宇宙線の microvariations は太陽風の中に含まれる微小磁場構造によると思われる.

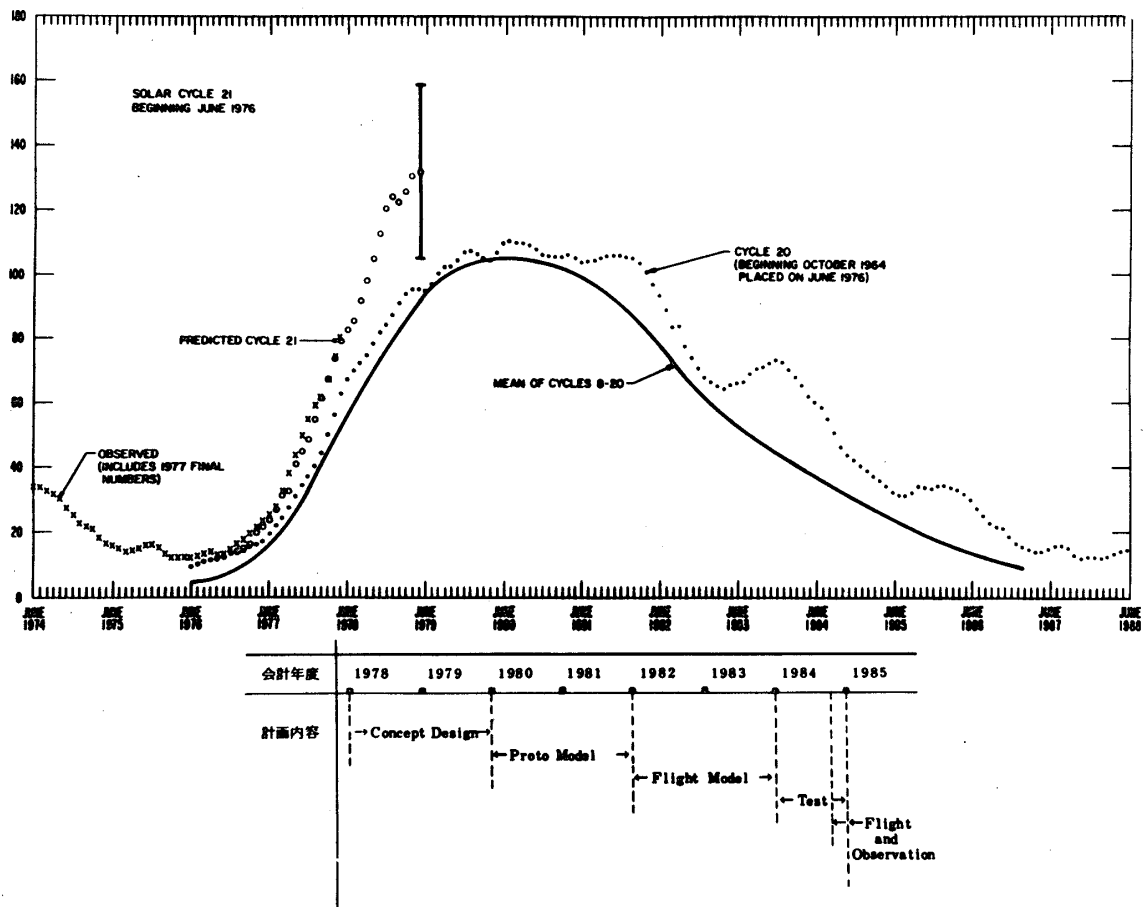


第5図 太陽磁場に関する各種 data から計算された太陽中心双極子の回転。  $\phi_0$  および  $\lambda_0$  はそれぞれ太陽磁南極の日面緯度および経度を表す。

ておくこととする。

### 3. リングコア型磁力計

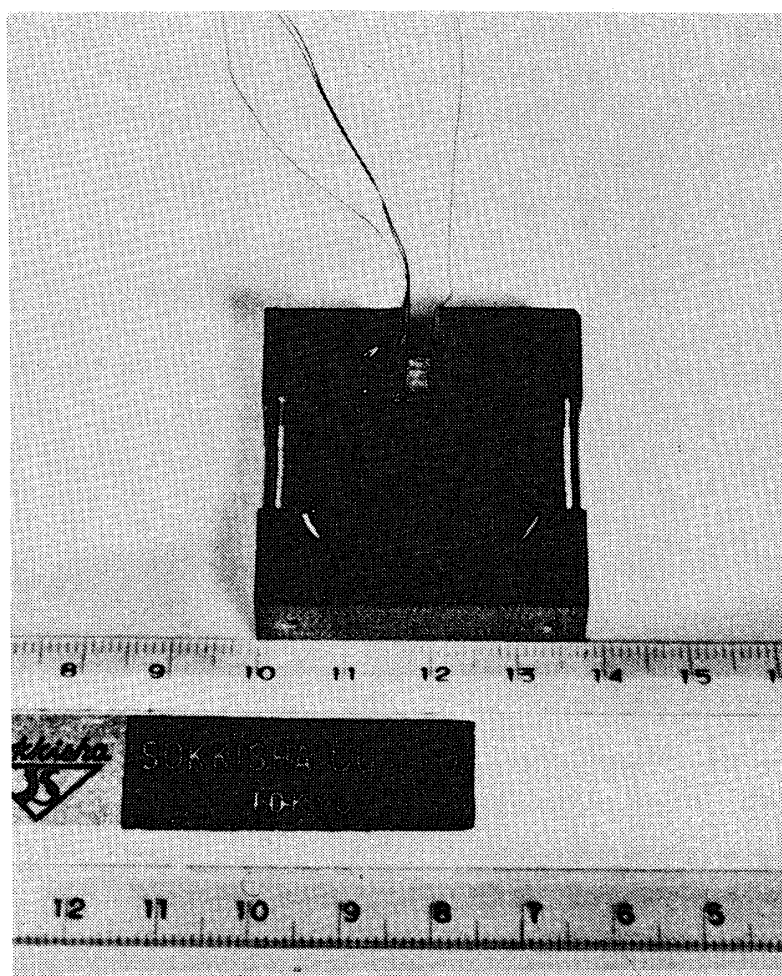
飛翔体による磁場計測が日本で始めて以来20年以上もの間、用いられてきた磁力計は、2-core型フラックスゲート磁力計であった。この型の感度を高める為に、我々は計画的に開発を推進して来た。即ち第1次計画として2-core型としては世界最高の寸法比を有する50cmセンサーの磁力計が試作され、観測に成功した (Seto et al., 1978 a) が、更に寸法比を上げるには2コア型でなくリングコア型にすれば良い。この発想にもとづいて第2次計画で試作品が製作され、東北大学女川地磁気観測所で連続観測に成功した (Seto et al., 1978b and c), そこで第3次計画ではこの試作品を下敷きにして測機舎にリングコア型磁力計を製作させ、期待通りに高性能で連続記録することができた (斎藤, 湯元他, 1979)。第7図はそのセンサー部分であり、コア部分の直径は僅か30mmに過ぎないので、小型軽量化が要求される飛翔体用磁力計としては大変都合が良い。第8図は女川観測所に設



第6図 Planet-Aの年次計画と予想される太陽活動との比較

置された電子部分および記録計部分であり、6成分2セットが1つのラックに納められている。大変高感度（ $0.1 \text{ nT/mm}$  および  $0.3 \text{ nT/mm}$ ）なので記録方式にも新しい工夫がなされており、縦書式（第9図）および横書式（第10図）を採用することによって高感度高速（ $4 \text{ mm/min}$ ）連続記録を可能にしている。特に縦書式は更に高感度で記録することができ、従来市販されている2-core型はもちろん、ULF観測用の誘導磁力計よりも高感度（ $0.036 \text{ nT/mm}$ ）で非微分型磁力計であるにも拘わらず直接ULF領域の $P_c 3$ 型磁気脈動まで明瞭に記録されていることが図から明らかである。なお、第4次計画として小型化されたリングコア磁力計を9月放球予定の大気球に搭載して、balloon—地上同時観測を行なう計画が進行中であり、既に女川で $0.5 \text{ nT/mm}$ の感度で地上実験に成功しており、放球を待つばかりとなっている。



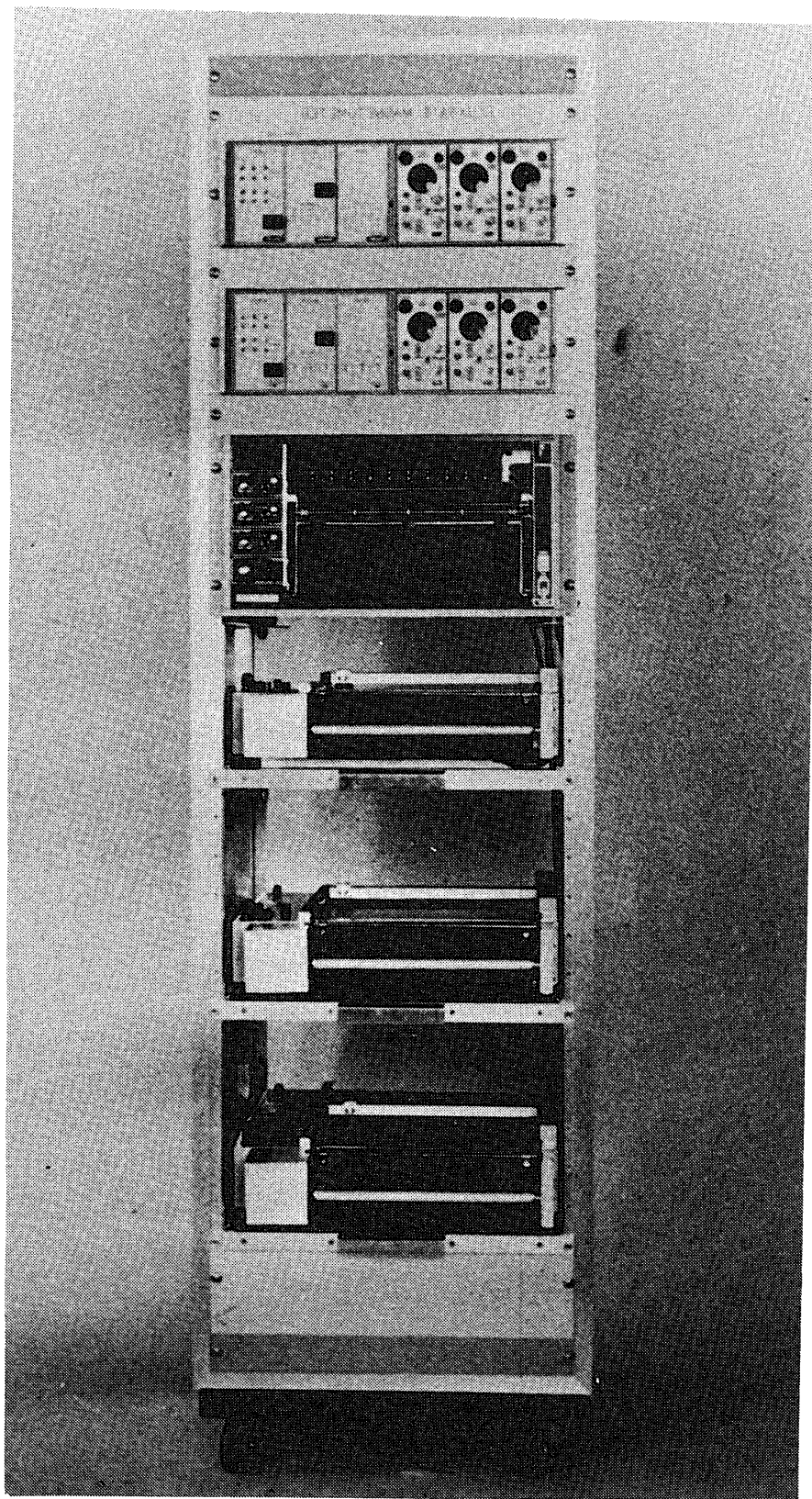


第7図 Planet - Aに搭載するために開発された新型 ring-core 磁力計の sensor 部分

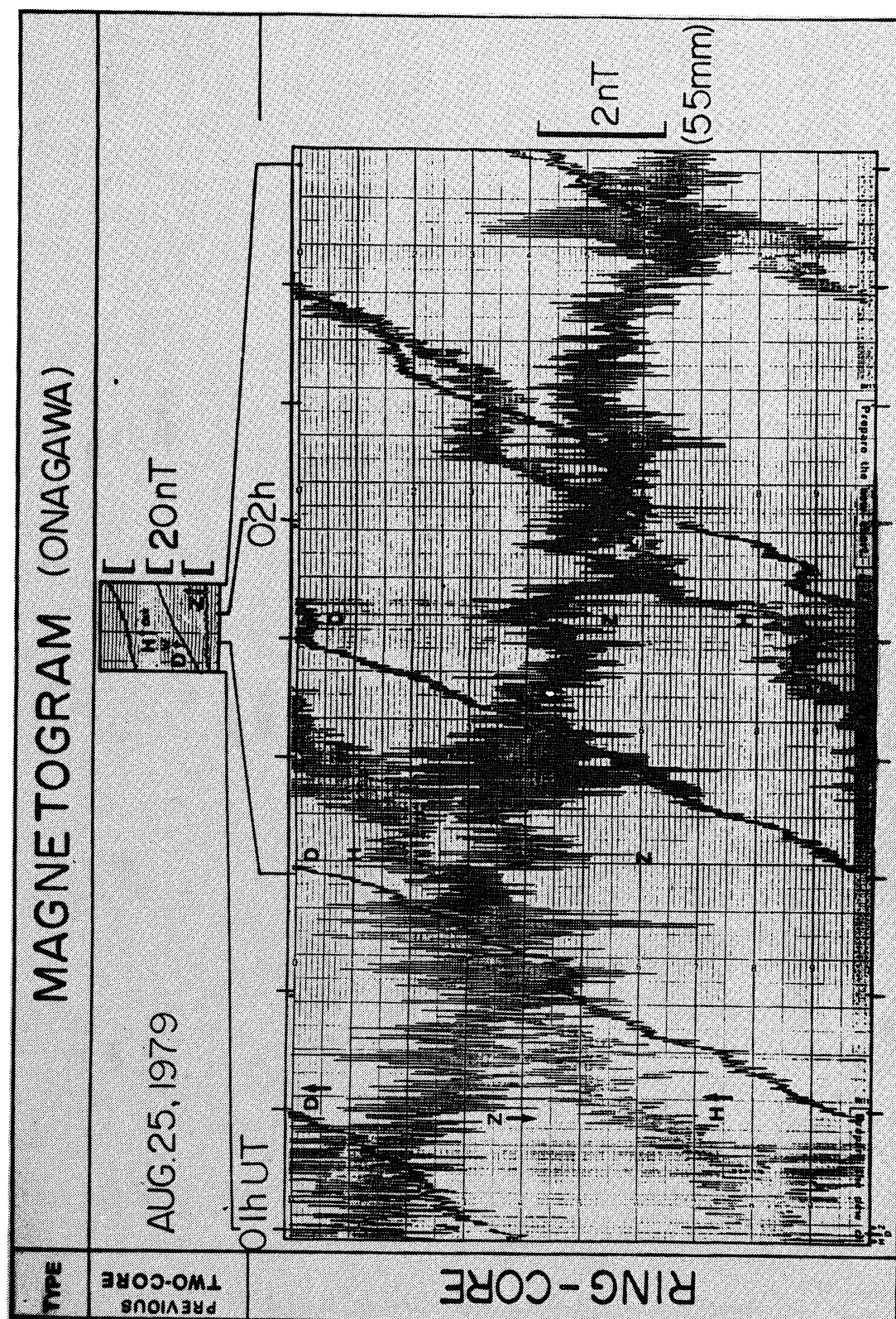
#### 4. 磁力計搭載についての問題点

Planet - Aにリングコア型磁力計を搭載するに当たって、著者等磁場計測グループが諸元を検討した（国分，1978；西田，1978；斎藤，1978）結果を第一表に示す。地上観測と異なって，惑星間空間の中で計測する為に是非留意しなければならない特殊な問題点は次の通りである。

- （1） 惑星間空間磁場は僅か数 nT に過ぎないので，Planet - A 本体が作る磁場強度も，センサー部分で少なくとも数 nT 以下である必要がある，その為に本体が作る磁場も従来よりひと桁下げ，かつ 4 m 程度のブームアンテナを必要とする。磁場計測は最も基本的な物理量として絶対欠かすことのできない観測項目であり，従って，ブームアンテナの設計や Planet - A の磁気テストも，十分な時間をとって計画的に行われる必要がある。本体全体の磁気テストは他機関の磁気シールドルームを利用するとしても，部品の磁気テストの為に，精度の高い磁気シールドケースがこれからは必要備品として常備される必要がある。

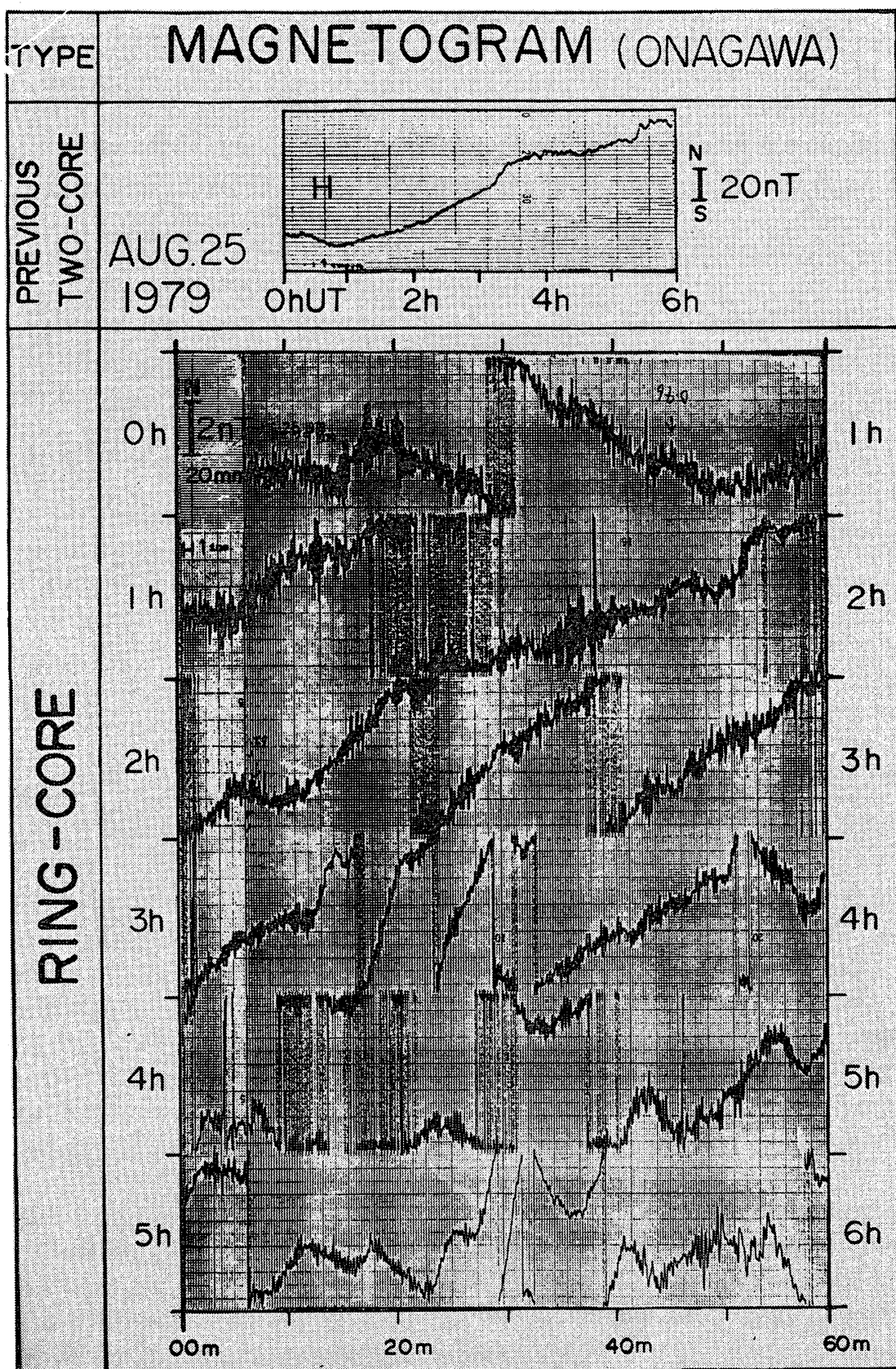


第8図 新型 ring-core 磁力計の electronics 部分と recorder 部分



第9図 新型 ring-core 磁力計と「縦書式」recorder による地磁気微小変動の高感度記録例。同一縮尺で示されている従来の two-core 型磁力計による同時記録と比較して ring-core 磁力計がいかに高感度高性能であるかが解る。





第10図 新型 ring-core 磁力計と「横書式」 recorder による地磁気微小変動の高感度記録例.

- (2) Exos-Bにおける貴重な経験から、センサーを支持するブームアンテナは可成り rigid にするか又はアンテナのたわみを高精度で検出する装置をつけるかのいずれかを考慮しなければならない。その為にはそれ相応の重量とゆとりを持った設計期間が必要とされる。

なお、Planet-Aによる磁場計測の予備実験として本年9月にリングコア型磁力計を実際に大気球に搭載して放球、観測をおこなう計画を着々と進めており、ブームアンテナに関する基礎資料も得る予定である（瀬戸ほか 1979）

1979年 9月17日

第1表 Planet-Aに搭載予定の ring-core 磁力計に関する諸元

測定範囲	$\pm 64, \pm 32, \pm 16, \pm 8$ nT (auto selection)		
分解能	$\pm 0.0625$ nT (最大感度時)		
出力	2進10ビット (1成分)		
励振周波数	7~10 KHz		
電力	$\pm 12$ V (120 mA) $\lesssim 3$ W (3-comp.)		
全重量	4.0 kg (ブーム重量を含まず)		
寸法	電気部	170 × 160 × 97 H	
	センサー	110 × 80 H	
	ブーム	4 m	
	ブーム駆動部	180 × 150 × 150	

### 参考文献

- [1] Asbridge, J.R., S.J. Bame, W.C. Feldman, and M.D. Montgomery (1976); Helium and hydrogen velocity differences in the solar wind, *J. Geophys. Res.*, **81**, 2719.
- [2] Kanno, T., T. Saito, T. Sakurai, K. Yumoto, Y. Ishida and T. Saito (1975); Dynamic spectral analysis of cosmic ray anisotropy by means of high-speed spectral analysis (HISSA) method, *Rept. Ionos. Space Res. Japan*, **29**, 118-126.
- [3] 国分 征 (1978); 磁場計測について, Planet-A計画, 61-62
- [4] 前沢 洌 (1979); A 28.5 day recurrence period of the IMF and its relation to high latitude coronal holes, 第65回日本地球電気磁気学会予稿集, P. 195
- [5] 西田篤弘 (1978); 太陽風観測の意義, Planet-A計画, 39-48
- [6] Saito, T. (1975); Two-hemisphere model on the three-dimensional magnetic structure of the interplanetary space, *Sci. Rept. Tohoku Univ., Ser. 5, Geophys.*, **23**, 37-54.

- [ 7 ] 斎藤尚生 (1978); Planet - Aによる惑星間空間磁場の観測, Planet - A計画, 49-59.
- [ 8 ] 斎藤尚生 (1979); SMF, IMFの11年周期と二半球モデル  
第65回日本地球電気磁気学会予稿集 P. 196
- [ 9 ] Saito, T., T. Sakurai and K. Yumoto (1978); The earth's paleomagnetosphere as the third type of the planetary magnetosphere, *Planet. Space. Sci.*, 26, 413-422.
- [10] Saito, T., M. Seto, and T. Hayasaka (1979); Comparative magnetospherology (part 8) Reversing process of the magnetospheres of the sun and the earth, *Proc. of 12th Lunar and Planetary Symp.*, pp. 296-303.
- [11] 斎藤尚生, 湯元清文, 瀬戸正弘, 早坂 孝 (1979); 飛翔体用リングコア型磁力計による地磁気の連続観測, 宇宙観測シンポジウム報告, pp. 18-29.
- [12] Seto, M., T. Hayasaka, T. Saito, T. Saito, T. Sakurai, T. Tamura, K. Yumoto, and T. Sasaki (1978a); High-sensitive fluxgate magnetometer with a 50-cm length biaxial core, *Bull. Inst. Space Aeronaut. Sci., Univ. Tokyo*, 14, 4, 1268-1275.
- [13] Seto, M., T. Hayasaka, I. Aoyama, Y. Saito, T. Sakurai, T. Tamura, K. Yumoto, and T. Sasaki (1978b); Trial manufacturing of a ring-core type fluxgate magnetometer for Japanese artificial satellites, *Bull. Inst. Space Aeronaut. Sci., Univ. Tokyo*, 14, 4, 1277-1288.
- [14] Seto, M., T. Hayasaka, I. Aoyama, T. Saito, T. Sakurai, T. Tamura, K. Yumoto, and T. Sasaki (1978c); Trial manufacturing of ring-core type and biaxial-core type fluxgate magnetometers, *Proc. Symp. on Space Obs.* held in 20-22, July, 1978, pp. 223-232.
- [15] 瀬戸正弘, 早坂 孝, 加藤愛雄, 桜井 亨, 斎藤尚生, 湯元清文 (1979); 大気球による高感度磁場計測計画, 宇宙観測シンポジウム報告, pp. 30-35.
- [16] Wilcox, J.M. and N.F. Ness (1965); Quasi-stationary corotating structure in the interplanetary medium, *J. Geophys. Res.* 70, 5793-5805.