

人工惑星による惑星間磁場計測計画*

斎藤 尚生**・瀬戸 正弘†
湯元 清文**・青山 巖††

Measurement of the Interplanetary Magnetic Field by a Japanese Artificial Planet

By

Takao SAITO, Masahiro SETO, Kiyohumi YUMOTO and Iwao AOYAMA

Abstract; A project is being executed by our research group to measure the interplanetary magnetic field by the first Japanese artificial planet, Planet-A. A series of successful developments of high-sensitive ring-core magnetometers provide a new problem how to minimize the artificial magnetic field due to the body magnetization of MST5 to measure the pure IMF at the sensor. Discussions are given to the two problems: design of the sensor boom and a new device to measure the residual magnetism of the parts of the MST5 body. The boom antenna of MST5, Exos-B, Voyagers 1 and 2, Explorer 35 and Pioneer 10 are intercompared. The MST5 boom is concluded to have to satisfy the length of 4 m at least. Some results of the remanent magnetization of the body parts are presented being based on the actual measurement by a ring-core residual magnetometer that was designed and constructed by our research group.

1. 諸 言

我々は Planet-A 打上げの直前に打上げる試験衛星 MS-T 5 に磁力計を搭載して、いよいよ日本で初めて惑星間磁場を測定する事になったが、ここで初めて磁気圏を飛び出すに当ってどのような心構えが必要であるかを磁場の立場からきちんと抑えておく必要がある。

* 宇宙研特別事業費による研究論文

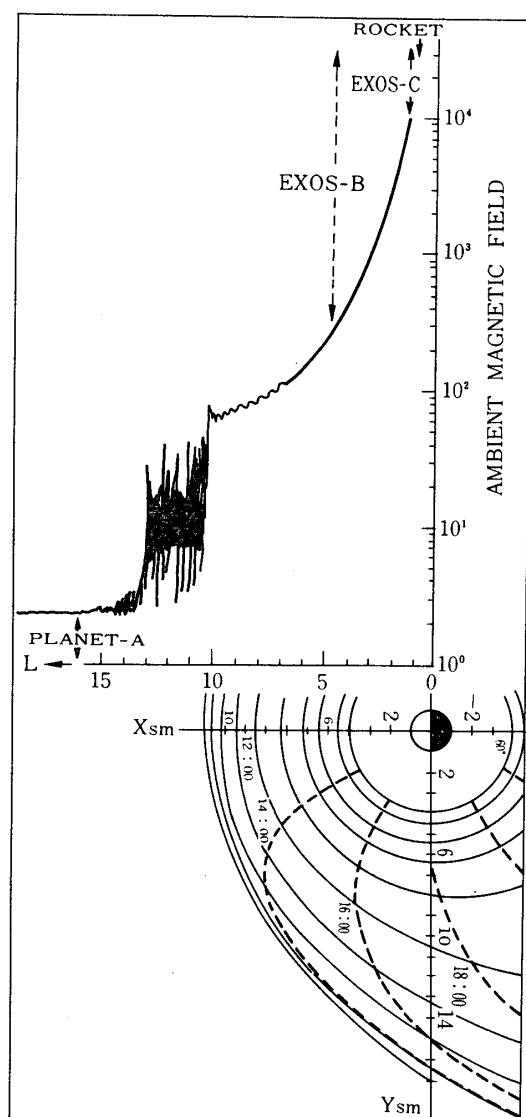
** 東北大学理学部

† 東北工業大学

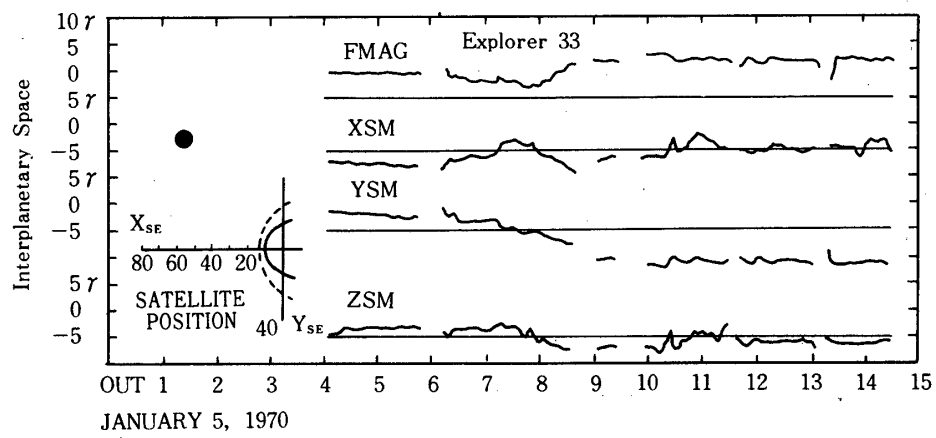
†† 東海大学工学部

先ず測定すべき磁場の強さであるが、今横軸に太陽方向の距離をとると平均的な磁場強度は第1A図の様な curve になって、磁気圏をとび出すと急激に磁場は小さくなる。total field でも、rocket や Exos-C などと測られる main field に比べて $1/10000$ の値を測定する必要がある。1万分の1になると、単に量的に感度や精度を上げるだけにとどまらず、それに伴ってここで質的に全く考えを改めてかかる必要が生じる。

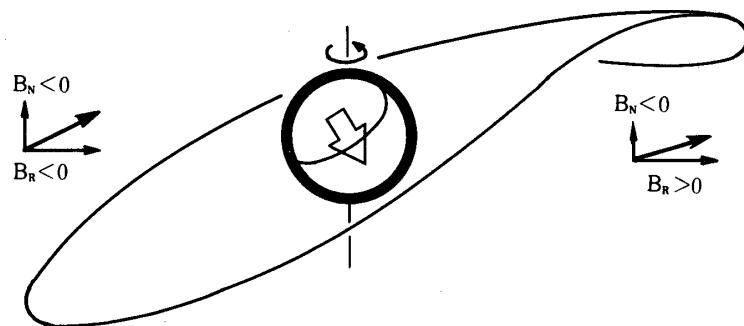
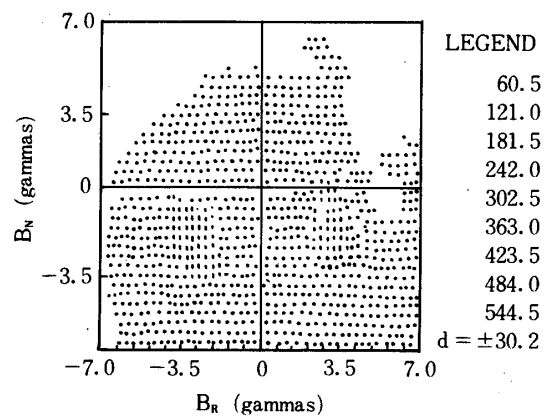
以上は total field の場合であるが、component 測定の場合には更にきびしい問題が控えている。第2図は測定されるべき IMF の total 及び3成分磁場の記録例であるが、図に示さ



第1図



第 2 図



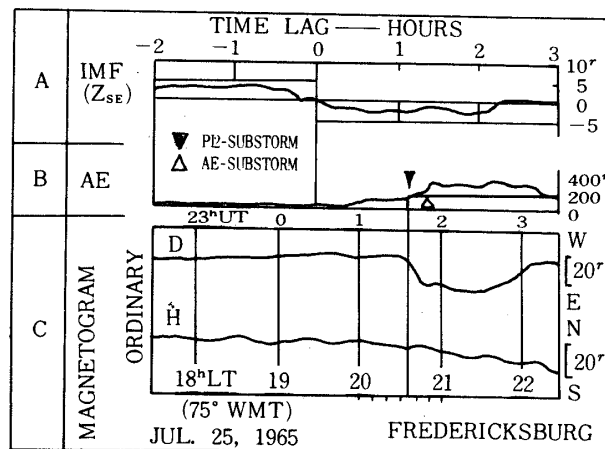
第 3 図

れる様な磁気流体波等による fluctuation を統計的に plot すると第3A図の様になって、平均値は僅か2~3 nTになる。特に二半球モデルを検証する際に大事な B_z 成分に関しては、たとえ 10^{-1} nT order でも B_z が北を向いているのか南を向いているのかが大問題であり、satellite の offset 磁場が 10^{-1} nT の桁で曖昧だと肝心の測定が何の為になされているのか分からなくなる。 B_z の問題はこの様に statistical に重要であるばかりでなく sequential にも次の様な現象が大変大事な問題とされている。

第4図は、IMF の B_z が南を向いてから何分後にオーロラ嵐が起るかという磁気圏物理学にとって一番大きな問題のひとつを示している。図に見られる様に、offset level

10^{-1} nT order 変えるだけで southward turning が起ったり起らなかったりというきわどい結論が出ることが分る。第4図は、それでも一番問題の多いcase として選ばれた例(Nishida, 1971) であるが、現在は学問的には少なくとも 10^{-1} nT offset をきちんと抑えることが惑星間磁場測定に要求されている世界的常識になっている。

そこでこの論文では、この様な小さな offset 磁場を得る為に必要な問題を、以下 boom の問題と magnetic cleaning の問題に分けてそれぞれ第2節第3節で述べ、それらを実行する為に必要な具体的な準備作業を第4節で述べることにする。MST5 における磁場計測の目的と磁力計の問題については、既に発表された論文(今までの関係している論文を総て別記)を参考にされたい。



第4図

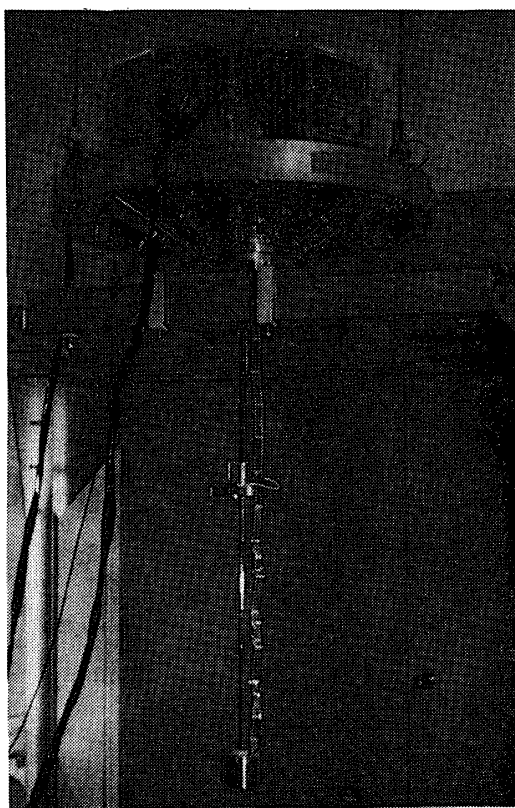
2. 磁力計用 Boom の問題

さてそこで 10^{-1} nT order の offset に抑える為にはふたつの大きな問題がある。ひとつは boom の問題、ひとつは magnetic cleaning の問題である。

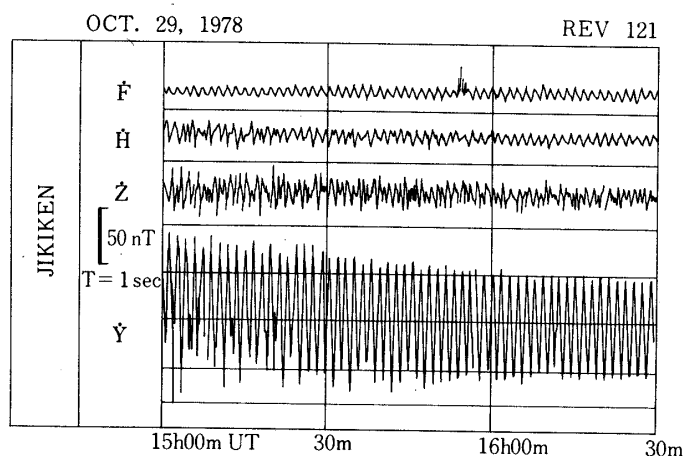
今、身近な Exos-B (第5図) を例にとり上げてみると, satellite が不規則な spin をしている為に H, Z, Y が不規則な fluctuation をしているが, それを合成した total field は本来 fluctuate しないはずであるにも拘わらず第6図に見られる如く大きく fluctuate している。これは磁場計測チーム (青山他, 1979) の絶大な努力にも拘わらず, Exos-B 打上げ当時の全体の常識として, 衛星本体の magnetic cleaning が考慮されなかった事が大きな原因となっている。即ち費用と重量と容積の制限の為に, 磁場計測チームは大変な苦勞をして 18 段という多段のつりざお式 boom にせざるを得なかったのであるが, これからの MST5 や Open-J ではつりざお式ではだめであるというのが Exos-B 磁場計測チームが残した貴重な教訓である。

とは言え, Magsat 方式の boom を採用すれば, 二次的な laser beam の装置が重量的に過大になり, 搭載不可能となるので, どうしても Astromast の 4 m 以上の boom を使う必要がある (第1表)。

MST5 の設計図 (第7図) では既に Astromast が搭載されることになっているが, この図では長さ 3 m, 直径 4 吋なので, 次に述べる様に長さ, 直径共に不足である。即ち,



第5図



第 6 図

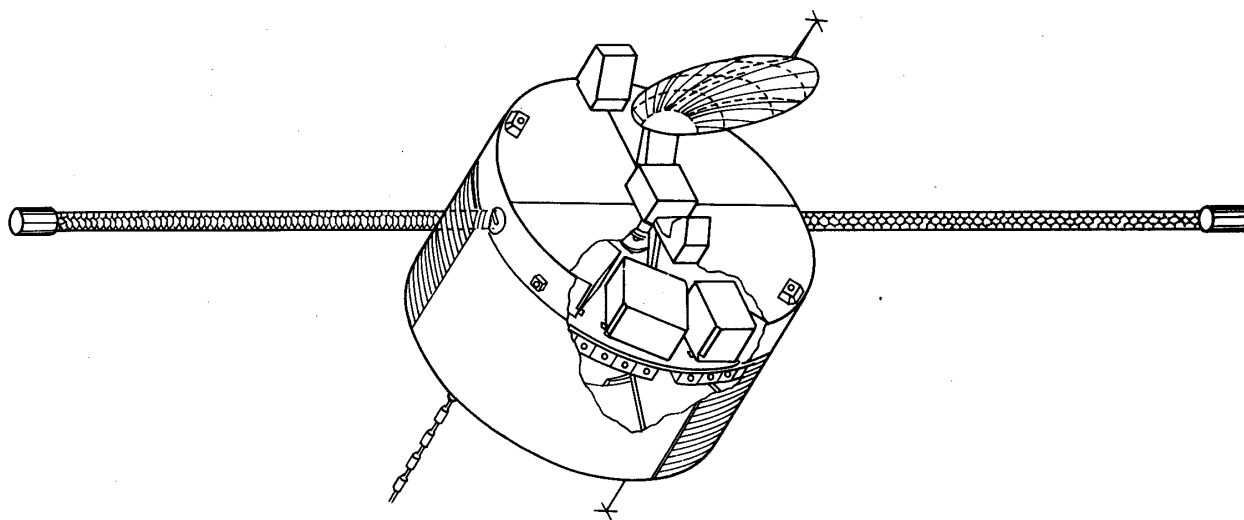
第 1 表 BOOMのたわみ

VEHICLE	方 式	たわみ 問題点
ROCKET	つりざお式	4 段 / 38 cm $\sim 3^\circ$
EXOS-B	つりざお式	18 段 / 1.4 m $\sim 2^\circ$
MAGSAT	LASER CAL.	LASER 装置定量
PLANET-A	ASTROMAST	> 4 m 0.2°

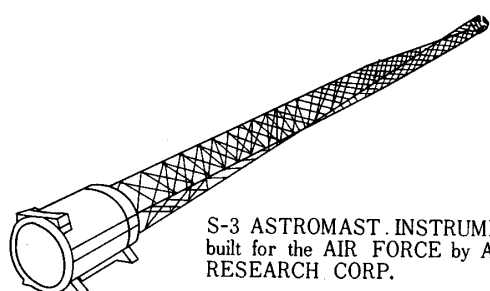
Astroresearch 側の資料から計算すると、第 8 図で示される様に直径は 9 inch のものが必要で、長さは 5 m でも 6 m でも値段や重量はほとんど変わらない。では具体的にはどの位の長さが必要かを次に estimate してみる。

第 9 図は、boom の長さをどの位にした時 satellite 磁気による offset 磁場はどの位になるかを、いろいろな飛翔体の例と共に示した図である。今、MST5 を、Exos-B と同じ条件で cleaning しないと考えた時の関係は実線の様になり、Voyager 1, 2 の様に 13 m もの boom を出すことが可能ならば satellite 磁場を 10^{-1} nT order にすることができる。然し、13 m の boom は現在の日本の飛翔体の常識では飛躍し過ぎる。

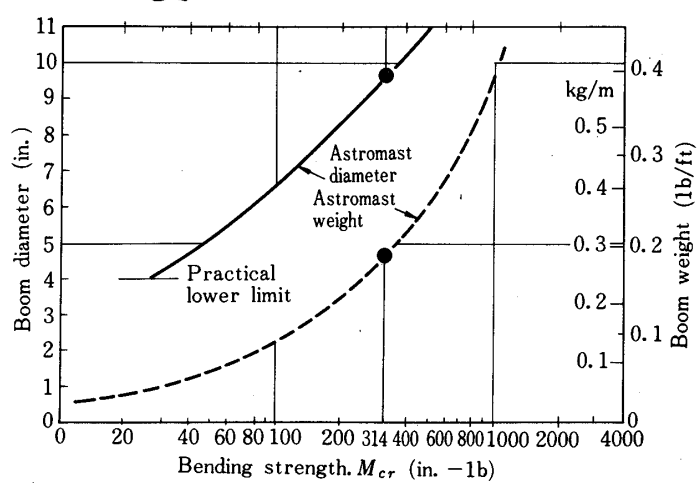
そこで、従来から提唱してきた 4 m の長さの boom を使うことにすると、およそ Exos-B よりひとけた衛星の磁気を下げればよいという結論になる。では、ひとけたも下げるのは不可能かというそれは可能であるという証拠を次に示す。



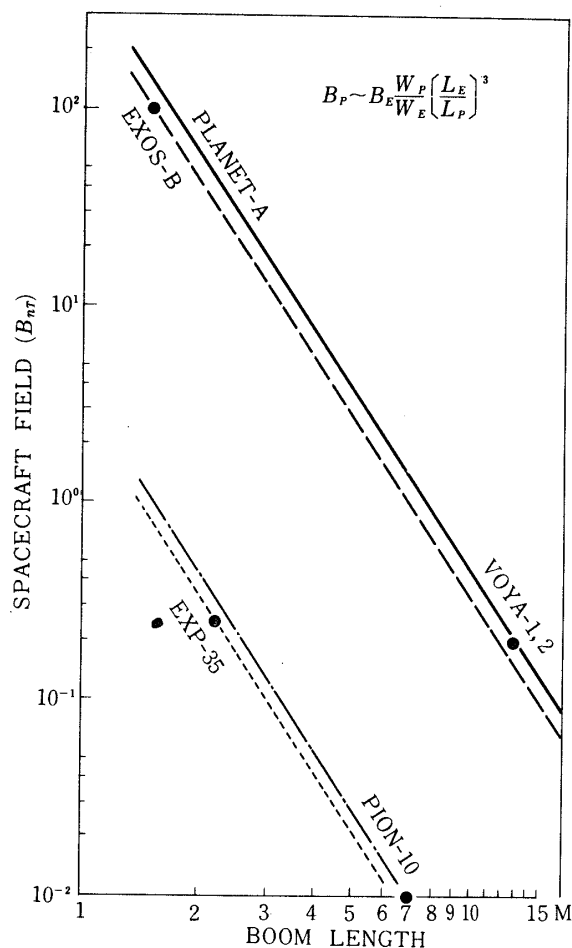
第 7 図



S-3 ASTROMAST INSTRUMENT BOOM
built for the AIR FORCE by ASTRO
RESEARCH CORP.



第 8 図



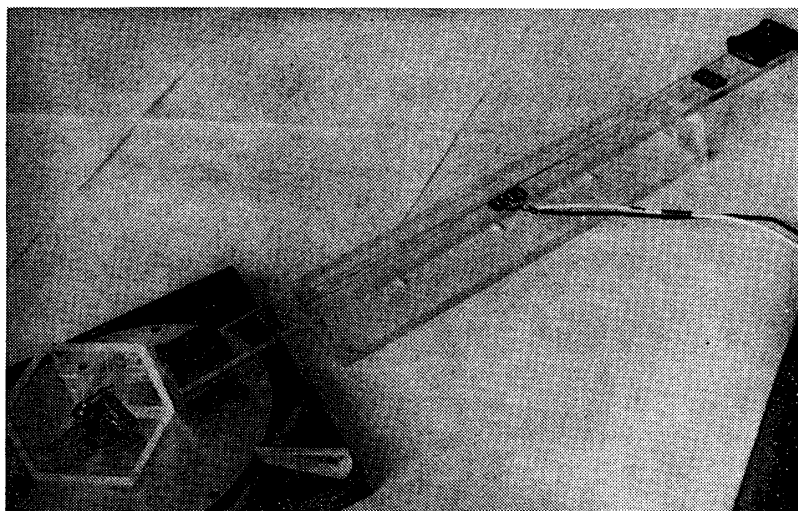
第9図

3. 飛翔体本体の Magnetic Cleaning の問題

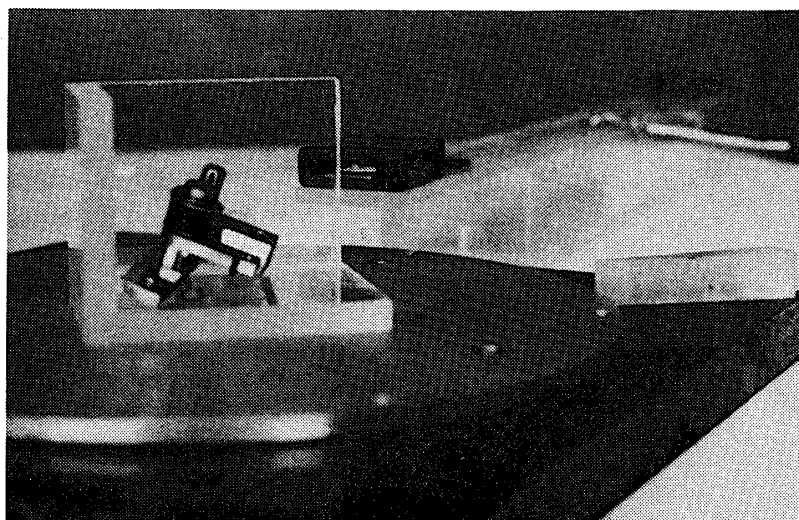
飛翔体本体の磁気を最小にするには結局一個一個を丁寧に選ぶ必要がある。そこで平尾教授の suggestion に従って製作した部品磁気測定用 ring-core astatic magnetometer を第10図に示す。

2個の高感度 ring-core sensor A, Bの極性を逆平行にして互いに 50 cm 離して固定し、両者の代数和を増幅すると、外部磁場擾乱に対して極めて安定になる。この状態で sensor A の近くで部品を回転すると部品の磁気が sensor A にのみ高感度で検出される。

第11図が松栄電機製の部品であり、cancel coil の中に ring の core が見える。第12図は記録部まで含めて装置全体の写真である。測定した結果を recorder で記録すると、部品の磁気が簡単に可視的に表示出来る。第11図で示した部品を測定した curve が第12図でも見られるが、これを更に見易い様に拡大したのが第13図である。20 cm 離して 6 nT の磁場で



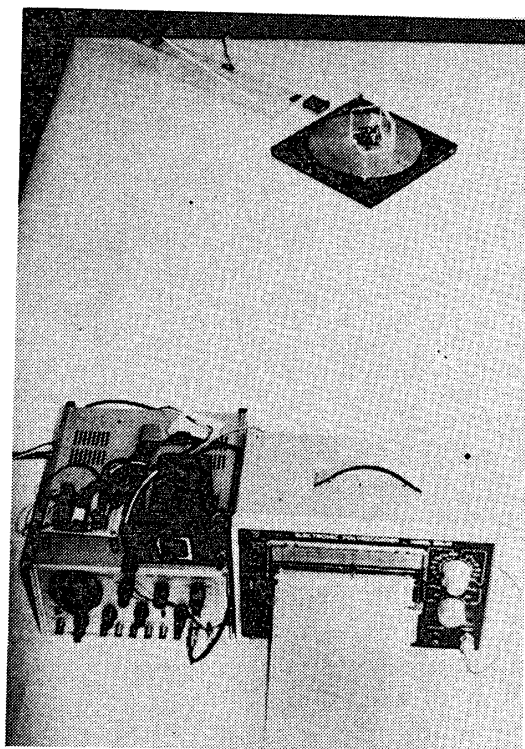
第 10 図



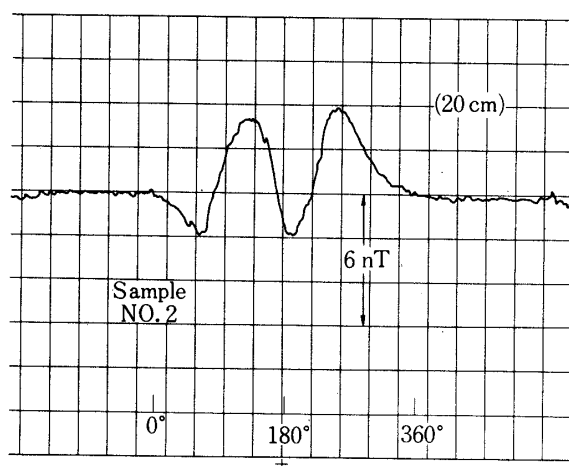
第 11 図

あるが、これと同じ形の部品で別の種類のバネ（第 14 図）だけを測定すると、同じ 20 cm 離して実に 100 nT に達する磁場を発生していることが解る。第 15 図は 3 成分測定をした例である。

即ち、バネを取り変えるだけで部品の磁気を 17 分の 1 以下に抑えることができるので、我々が要求している magnetic cleaning の度合は、決して不可能の範囲ではない。



第 12 図

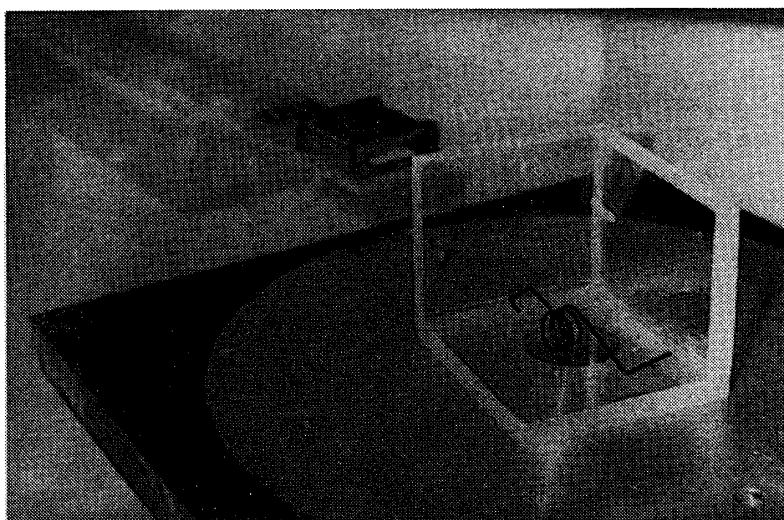


第 13 図

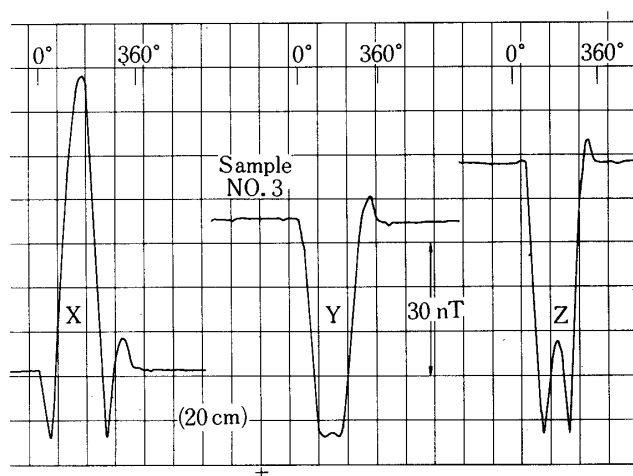
4. 結 語

MST5 で惑星間磁場を測定するには、第 1 に最低 4 m の長さの Astromast が必要とされ、第 2 に更にひとけたの飛翔体本体の magnetic cleaning が必要であることを述べた。そこで最後に、これからの飛翔体で磁場を測定する為にどうしても必要な準備作業を具体的に述べることにする。

先ず第 3 節で述べた如く部品の磁気測定が必要とされる。この為に ring-core astatic magnetometer による測定の基礎開発費が申請されているので、是非認可される必要がある。



第 14 図



第 15 図

第 2 に、欧米では古くから常備されている磁気 shield room を是非日本でも使用出来る様な対策を早急に整える必要がある。

第 3 に、打上げ前の bias 測定は必要不可欠の問題として是非今までの様な突かん作業でなく、少なくとも丸 1 日の余裕をみて念入りに行う必要がある。

第 4 に、Astromast の boom を地上試験用として購入し種々の予備試験を行う必要がある。

今までよりも桁違いの精度を必要とする惑星間磁場を測定する為に、せめて 10 年前の欧

米並にこの 4 項目を実行することを提言して稿を終わる。

1980 年 10 月 1 日

参 考 文 献

- [1] Nishida, A. (1971); Interplanetary origin of electric fields in the magnetosphere, *Cosm. Electrodyn.*, 2, 350.
- [2] Seto, M., T. Hayasaka, I. Aoyama, T. Saito, T. Sakurai, T. Tamura, K. Yumoto and T. Sasaki (1978); Trail manufacturing of ring-core type and biaxial-core, type fluxgate magnetometers, *Proc. Symp. on Space Obs.* held in 20 – 22, July, 1978, 223 – 232. (J).
- [3] Seto, M., T. Hayasaka, T. Saito, T. Sakurai, T. Tamura, K. Yumoto and T. Sasaki (1978); High-sensitive fluxgate magnetometer with a 50 cm length biaxial core, *Bull. Inst. Space Aeronaut. Sci. Univ. Tokyo*, 1267 – 1275. (J).
- [4] Seto, M., T. Hayasaka, I. Aoyama, T. Saito, T. Sakurai, T. Tamura, K. Yumoto and T. Sasaki (1978); Trail manufacturing of a ring-core type fluxgate magnetometer for Japanese artificial satellites, *Bull. Inst. Space Aeronaut. Sci., Univ. Tokyo*, 1277 – 1288.
- [5] Saito, T. (1978); Planet-A project – Magnetic field observation, *Proc. Symp. on Planetary Magnetosphere, held in Sendai on 11 – 17, November, 1978*, pp. 361 – 367. (J).
- [6] Aoyama, I., F. Toyama, T. Takahashi, Y. Tonegawa, T. Saito and K. Yumoto (1979); “Jikiken” (EXOS-B) results – Magnetic field observation, *Magnetospheric Study 1979*, 242 – 246.
- [7] Saito, T., S. Kokubun, I. Aoyama and M. Seto (1979); Planet-A project – Magnetic field observation, *Proc. Sump. on Scientific Satellite*, held at ISAS, Tokyo Univ. on 25 – 26, May, 1979, pp. 80 – 89. (J).
- [8] Saito, T., K. Yumoto, M. Seto and T. Hayasaka (1979); Geomagnetic routine observation by means of a new ring-core fluxgate aimed at a satelliteborne magnetometer, *Proc. Symp. on Space Obs.*, held at ISAS, Tokyo Univ. on Jun. 13 – 15, 1979, pp. 62 – 73. (J).
- [9] Seto, M., T. Hayasaka, Y. Kato, T. Sakurai, T. Saito and K. Yumoto (1979); Construction of a balloon-borne ring-core magnetometer, *Proc. Symp. on Space Obs.*, held at ISAS, Tokyo Univ. on Jun. 13 – 15, 1979, pp. 74 – 79. (J).
- [10] Saito, T., K. Yumoto, I. Aoyama, F. Toyama and T. Takahashi (1979); A mini-substorm and Pi2 event observed by “Jikiken”, *Proc. Symp. on Space Obs.*, held at ISAS, Tokyo Univ. on Jun. 13 – 15, 1979, pp. 266 – 275. (J).
- [11] Saito, T., S. Kokubun, I. Aoyama, M. Seto, H. Fukunishi and A. Nishida (1979) Planet-A project on a magnetic measurement in the interplanetary space during the Halley-Venus mission, *Bull. Inst. Space Aeronaut. Sci., Univ. Tokyo*, 487 – 500. (J).
- [12] Saito, T., K. Yumoto, T. Tamura, M. Seto and T. Hayasaka (1979); High-sensitive observation of geomagnetic fluctuations by means of a new ring-core type magnetometer to be installed on space vehicles, *Bull. Inst. Space Aeronaut. Sci., Univ.*

- Tokyo, 461 – 577. (J).
- [13] Seto, M., T. Hayasaka, Y. Kato, T. Saito and K. Yumoto (1979); High-altitude magnetic measurement by a high sensitive ring-core magnetometer to be installed on a Balloon, *Bull. Inst. Space Aeronaut. Sci., Univ. Tokyo*, 479 – 486. (J).
 - [14] Saito, T., K. Yumoto, I. Aoyama, F. Toyama and T. Takahashi (1979); Typical mini-substorm and long-period Pi2 event observed by the Jikiken satellite on December 11, 1979, *Bull. Inst. Space Aeronaut. Sci., Univ. Tokyo*, 739 – 750. (J).
 - [15] Aoyama, I., F. Toyama, T. Takahashi, T. Sakurai, Y. Tonegawa, T. Saito and K. Yumoto (1979); The characteristics of field-aligned currents observed by JIKIKEN, *Proc. Symp. on Planetary plasmasphere and magnetosphere*, held in Zao, No. 1, pp. 141 – 148.
 - [16] Saito, T. and K. Yumoto (1979); Magnetic measurement program in the Planet-A project – A review, *Proc. Symp. on Planetary plasmasphere and magnetosphere*, held in Zao, No. 2, pp. 242 – 259.
 - [17] Saito, T. (1979); Magnetic field measurement in the planet-A project *Proc. Symp. on Solar System Science* held on 26 – 27, Oct, 1979, at ISAS, Tokyo Univ., pp. 166 – 122.
 - [18] Saito, T., K. Yumoto I Aoyama, F. Toyama, T Sakurai T. Takahashi and Y. Tonegawa (1979); A long-period pi2 associated with a mini-substorm observed by the Japanese satellite “Jikiken”:, *Proc. Japanese IMS Symp.* pp. 133 – 138.
 - [19] Aoyama, I., F. Toyama, T. Takahashi, T. Sakurai Y. Tonegawa, T. Saito and K. Yumoto (1979); The field-aligned currents observed by JIKIKEN, *Proc. Japanese IMS Symp.* pp. 126 – 132.
 - [20] T. Satio, T. Sakurai, K. Yumoto T. Tamura Seto, M., and T. Hayasaka (1979); Magnetometers for geophysical use, Part 1, Fluxgate magnetometer with p 50 cm length two-xore sensor *Sci. Rep. Tohoku Univ., Ser. 5, Geophys.*, (In press).
 - [21] Saito, T., T. Sakurai, K. Yumoto, T. Tamura, M. Seto, T. Hayasaka and I. Aoyama (1979); Magnetometer for geophysical use, Part 2, Test of twelve kinds of ring core, *J. Geomag. Geoelectr.*, 32, 649 – 659.
 - [22] Kato, Y., T. Saito, K. Yumoto, M. Seto and T. Hayasaka (1980); High-sensitive observation of the balloon oscillation by means of a ring-core magnetometer, *Proc. Balloon Symp.* held at ISAS, Univ. of Tokyo, pp. 11 – 124. (J).
 - [23] Saito, T., K. Yumoto, T. Tamura, M. Seto, T. Hayasaka and Y. Kato (1980); Geomagnetic observation by a high-sensitive ring-core magnetometer, *Chikyū*, Vol. 2, No. 5, 397 – 401 (J).
 - [24] Kato, Y., M. Seto, T. Hayasaka, T. Saito, K. Yumoto and T. Tamura (1980); The crystal structure near the sea coast of Northeastern Japan and Japan trench observed by the balloons, *Chikyū*, Vol. 2, No. 5, 387 – 391. (J).
 - [25] Kato, Y., T. Saito K. Yumoto, M. Seto and T. Hayasaka (1980); Temporal variation of geomagnetic fluctuations associated with the severe earthquake of 12, June 1978 at the Offshore Miyagi Prefecture, *Chikyū*, Vol. 2, No. 5, 392 – 396. (J).
 - [26] Kato, Y., M. Seto, T. Hayasaka, T. Saito and K. Yumoto (1980); Balloon observation of magnetic field from Sanriku coast to east side of Japan trench, *Bull. Inst. Space Aeronaut. Sci., Univ. Tokyo*, (In press). (J).