

人工惑星およびロケット搭載用 Ring-core magnetometer *

齋藤尚生**・湯元清文**・永徳昭人**
瀬戸正弘†・青山巖††

Ring core magnetometers to be installed on the artificial
planet, MST5; and the rocket, K-9M-72

By

Takao SAITO, Kiyohumi YUMOTO, Akito EITOKU,
Masahiro SETO and Iwao AOYAMA

Abstract: Our research group have settled eight projects to develop ring-core magnetometers to be installed on MST5 and K-9M-72. Description is given on a series of successful achievements of the six out of the eight projects. High fidelity methods to measure the magnetic field in both the rocket-altitude by K-9M-72 and the interplanetary space by MST5 are presented.

1. 緒 言

我々の研究グループは、人工惑星・rocket 及び balloon 等の飛翔体搭載用の Ring-core 磁力計の研究開発を昭和 52 年度頭初から行って来た (瀬戸ほか, 1978a and b). その開発計画は第 8 次計画まで進行中であるが、現在までの Ring-core 磁力計の開発の経緯を第 1・2 図にまとめる. 第 1 次・第 2 次計画の基礎実験 (瀬戸ほか, 1980a and b) に基づき、第 3 次計画では高感度地上観測点用 Ring-core 磁力計の本製作を行った (齋藤ほか, 1979a). 第 4 次計画から東京大学三陸大気球観測所において、Ring-core 磁力計を実際に balloon 搭載し、正常に動作することを確認し、膨大な量の記録を得ることができた (加藤ほか, 1980a and b). 今年、先ず、第 5 次計画として、昨年の実験結果を考慮して姿勢の spin stabilize 及び出力形式の改善を行った. 8 月に放球される balloon 実験が計画されている. 第 6 次計画では、Ring-core 磁力計の応用として、Astatic magnetometer (瀬戸ほか,

* 宇宙研特別事業費による研究論文

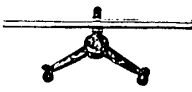
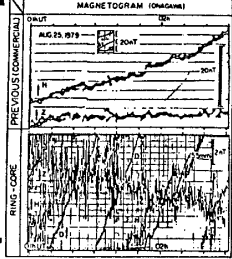
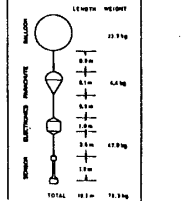
** 東北大学理学部

† 東北工業大学

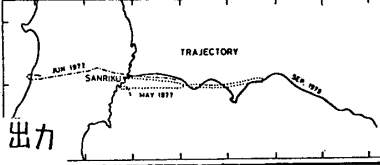
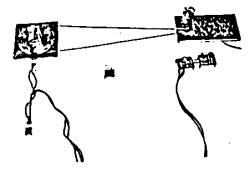
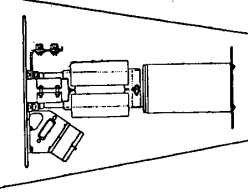
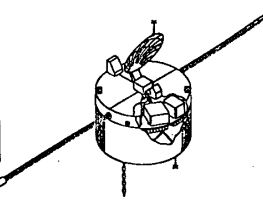
†† 東海大学工学部

1980 a) 等の各種磁力計の開発を行っている。第 7 次計画では、K-9M-72 号機 rocket に搭載して電離層の field-aligned current による磁場変化の vector 検出の試みがなされようとしている。第 8 次計画は、現在計画が練られている、太陽風磁場観測も 1 つの目的とされている MST5 計画である。

現在並行して準備されている第 5 次から第 8 次までの計画で測定すべき磁場強度に注目する。平均的な磁場は、太陽方向の距離を横軸にとったとき、第 3 図の様な曲線で表わされる。balloon 及び rocket 実験においては、地球主磁場の中で数 10 nT の磁場変動を検出しなければならない。一方、地球磁気圏を出て惑星間空間にはいると、地球主磁場の 1/10000 である数 nT の周囲磁場の中で観測することになる。この様な両極端の場の状態での磁場変

<p>第 1 次 計 画</p> <p>Two core 型(50cm) 世界最高の dimension ratio 連続観測に成功(0.3nT/mm)</p>																									
<p>第 2 次 計 画</p> <p>12 種類の core の比較試験 連続観測に成功(0.16nT/mm)</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="2">5-78 Me-Permloy</th> <th colspan="2">6-81.3 Me-Permloy</th> </tr> <tr> <th>20</th> <th>30</th> <th>20</th> <th>30</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>9</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>12</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>15</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		5-78 Me-Permloy		6-81.3 Me-Permloy		20	30	20	30	9					12					15				
	5-78 Me-Permloy		6-81.3 Me-Permloy																						
	20	30	20	30																					
9																									
12																									
15																									
<p>第 3 次 計 画</p> <p>Station 用本製作 0.036nT/mm の感度に成功</p>																									
<p>第 4 次 計 画</p> <p>Balloon に搭載 24Km 高度で 37 時間 連続観測に成功</p>																									

第 1 図 Ring-core 磁力計開発計画

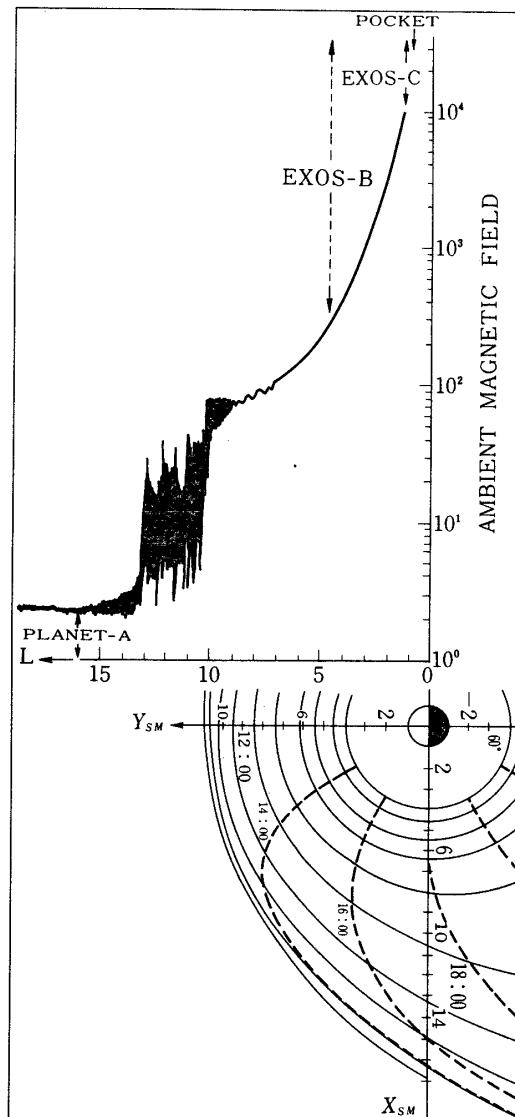
<p>第5次計画</p> <p>Balloonに搭載 Spin stabilize Digital-Analog出力</p>	
<p>第6次計画</p> <p>各種磁場計測に応用 残留磁化測定装置製作 携帯用本製作 (1980年磁場計測Symp.発表)</p>	
<p>第7次計画</p> <p>Rocket 搭載 F.A.C.によるMB&vector表示</p>	
<p>第8次計画</p> <p>人工惑星搭載用 太陽風磁場構造の研究</p>	

第2図 Ring-core 磁力計開発計画

動を測定する為には、同じ Ring-core 磁力計でも、その場に最もふさわしい観測装置に改良しなければならない(斎藤ほか, 1980b)。そこでこの論文においては、balloon・rocket 実験の地球主磁場、及び、人工衛星実験の極小磁場の両極端の場の中で、Ring-core磁力計の出力をいかにすると、目的とする磁場変動の観測が出来るのかに主眼をおいて報告する。

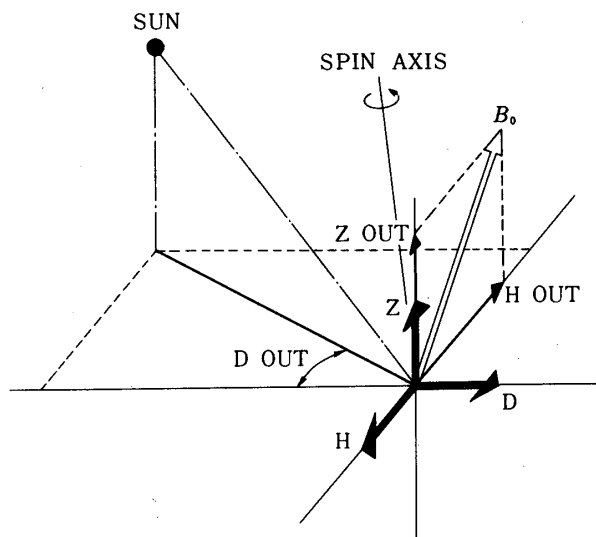
2. 地球主磁場中の磁場計測

地上のballoon・rocket 実験においては、観測すべき磁場変動の 10^3 倍の主磁場が問題になる。地上 balloon・rocket 実験においては、この問題となる地球主磁場を姿勢計(青山ほか, 1972; 遠山ほか, 1980)に利用し、飛行体の spin 軸方向と地球主磁場 B_0 との位置関係が求められている。今、第4図の様な飛行体の spin 軸と地球主磁場が姿勢計により決定されたときの微小磁場変動を求める。(ただし、この姿勢決定も容易でないことが、福島(1980)によって報告されており、改善されるべき問題は残っている。)地球主磁場 B_0 に



第3図 平均的な周囲磁場

対して Ring-core sensor 3成分のうちD計が零，即ち，子午線面にH・Z計が位置したとき， $H_{out} \cdot Z_{out}$ を測定することにより変動磁場の total field が求まる．次に，D計と太陽とのなす角度を測定することにより，地磁気三成分，即ち，磁場の vector 測定がなされる．この方式による電気回路上の設計は，第5図に示す様に，D計の basic magnetometer の analog 出力が零になったときの信号をH・Z計にそれぞれ入力し，その瞬間のH・Z 2成分を binary 出力させる一方，sun sensor からの信号とこのD計の零検出までの時間差を出力させて地磁気三成分を測定する．地球主磁場の中で1nTの精度で磁場変動を観測する為には，地球主磁場の影響をいかに少なくするか左右される．我々の研究グループでは，basic



第4図 磁力計sensor軸・周囲磁場及び太陽方向の関係

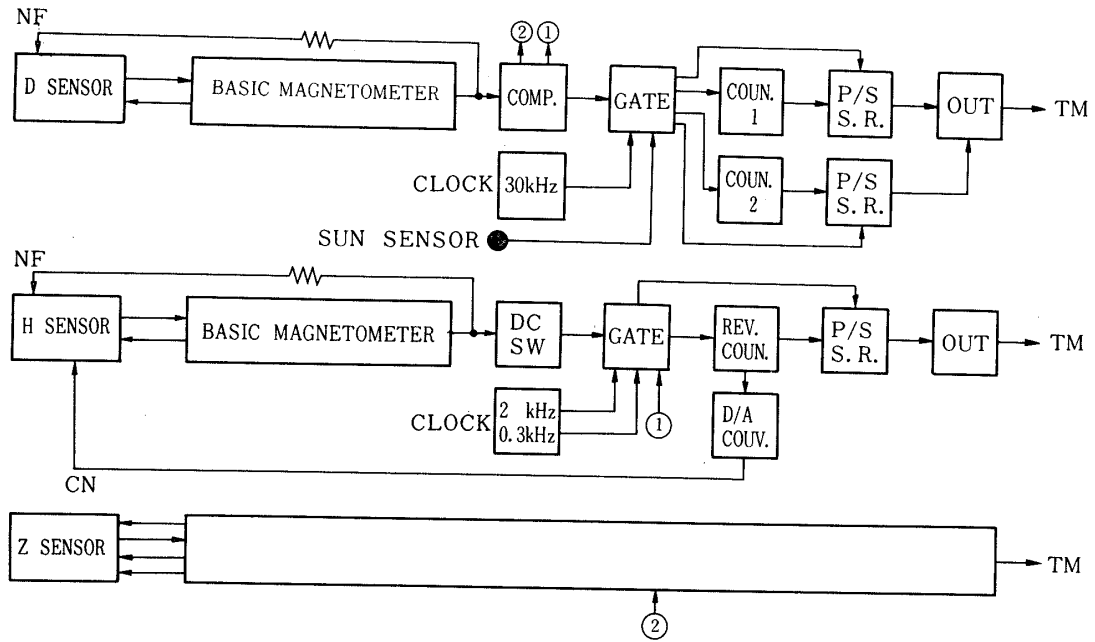
magnetometer の analog 出力を sensor 部に feed back して sensor 部の外部磁場を打ち消す自動打ち消し方式を採用している。この方式の場合、地球主磁場の中で高感度にすればする程、外部磁場打ち消しの為の D/A convertor の count 時間がかかり、特に、飛翔体搭載による spin 変動を伴うとき、記録の sampling rate が小さくなる難点がある。

今夏計画の balloon 実験では spin rate 1rpm を予定しており、出力記録の精度を高めるために、D 計零時の D・H・Z の 3 成分を 30 秒かけて binary の digital 出力させる一方、外部磁場を約 20nT/count の D/A convertor により打ち消した残りの微小磁場変動を ± 50 nT/ ± 2.5 V の analog 出力させ、12 秒に 1 回の割合で外部磁場打ち消し量をも ± 45000 nT/ ± 2.5 V で analog 出力させる digital-analog 混合方式を採用する (第6図)。

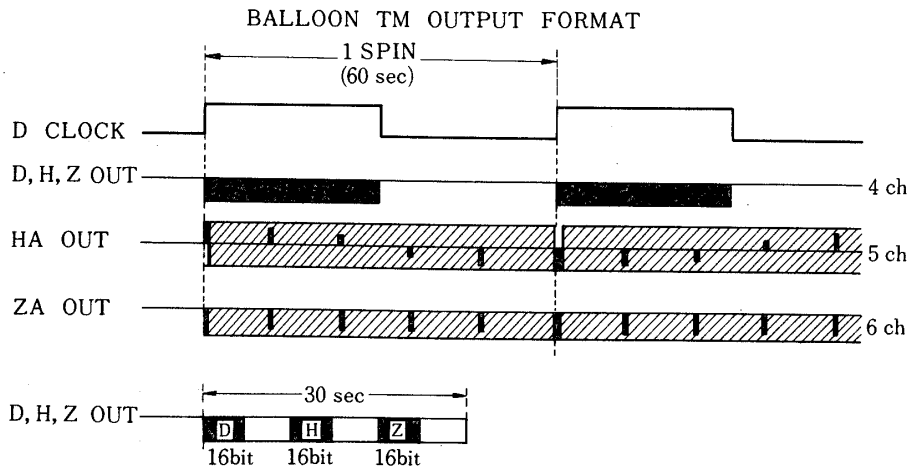
次に、K-9M-72号機 rocket 実験は、第7図の様に頭筒部に Ring-core sensor を取り付け、高度約 70 Km で boom を 40 cm 伸展することにより、rocket 本体の残留磁気の影響を少なくする様に設計されている。この K-9M rocket の spin rate は約 2Hz のために、記録出力は記録分解能 1 nT にした場合、外部磁場打ち消し用 D/A convertor の応答時間の関係から 1 data/spin の出力になっている (第8図)。この様に spin rate の大きい rocket 実験の場合でも、2Hz/spin 当り 10 data 程度の記録出力を目標に、EL 部の外部磁場打ち消し方式の改良、及び、sensor 部の pick-up coil の改良を現在行っている。

3. 惑星間空間での磁場計測

惑星間空間磁場を観測する MST5 (第9図) の場合、第10図に示す様に 1 AU で数 nT、Halley 彗星に近づく 0.5 AU でも 10 nT の周囲磁場になっているために、balloon・rocket 実験のときの様な外部磁場打ち消しの問題はない。むしろ、周囲磁場が数 nT のために飛翔

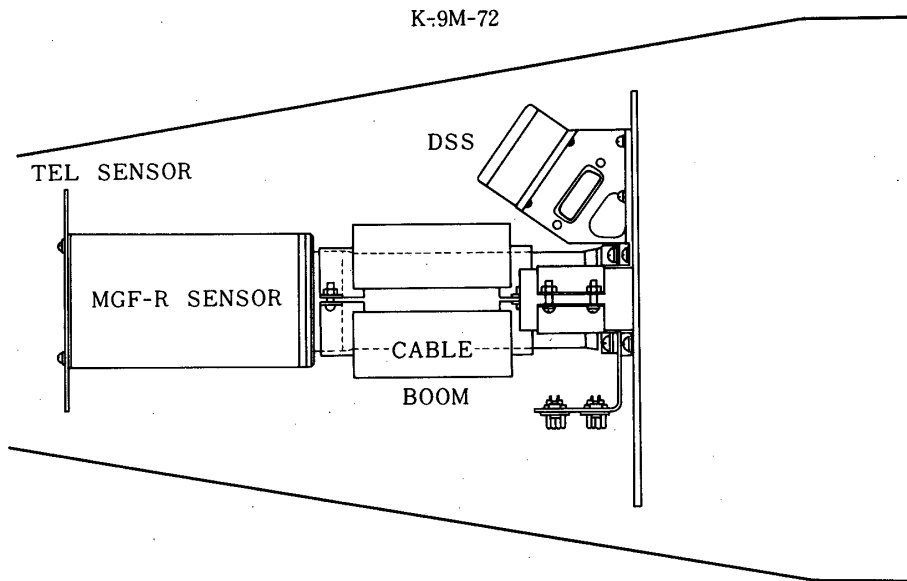


第 5 図 Ring-core 磁力計の電気回路の Block 図



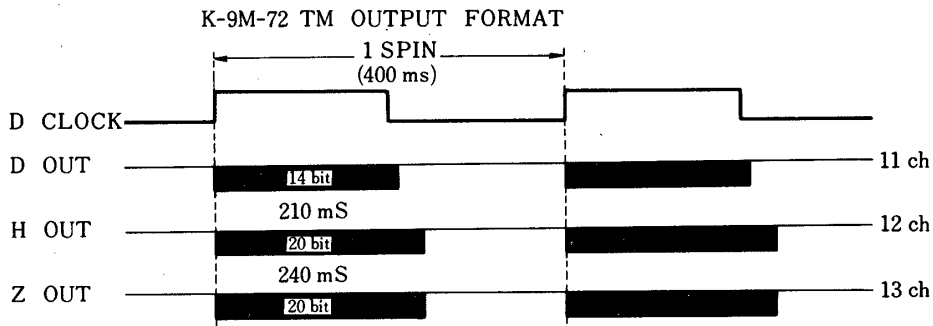
第 6 図 Balloon 実験による磁場記録形式

体本体の磁気 noise が問題となり、4 m の boom を伸展させる必要性がある (斎藤ほか, 1980b)。磁力計の測定範囲を auto-suppression 方式による $\pm 64 \text{ nT}$ にした場合、記録の sampling rate は Ring-core sensor の励振周波数 10 KHz の約 2.5% の 250 Hz 程度まで高めることが可能であるが、記録伝送量の制約のために、最高分解能 $0.0625 \text{ nT}/0.125 \text{ sec}$

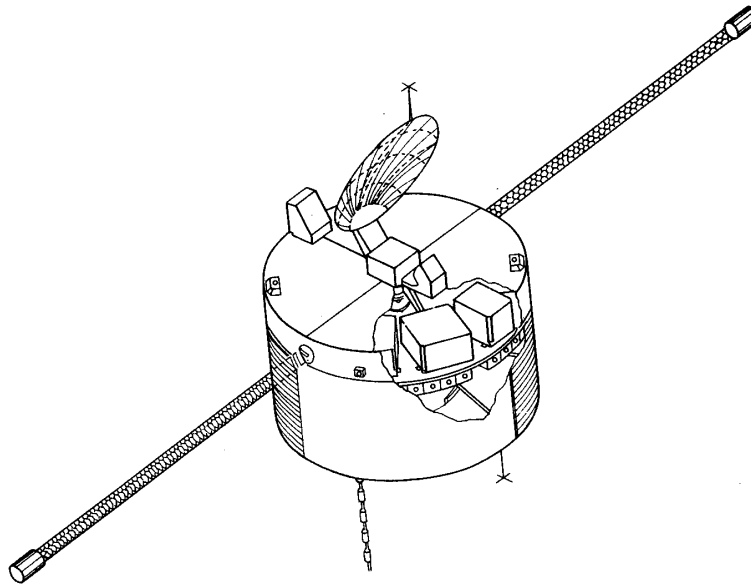


第7図 K-9M-72号機搭載用 Ring-core 磁力計

を計画している。共通計器である姿勢計は star scanner 及び sun sensor から成る。この姿勢計の記録に加えて、磁場3成分 (X・Y・Z) に 24 bit/3 word 使用できたとすれば、Planet-A が地球から最も離れたときの、記録伝送 rate 64bps の場合でも、0.25 nT/sec の分解能で磁場測定ができる (第1表)。第10図に示した様に 0.5 AU では周囲磁場が 10nT 位になっており、太陽風磁場構造研究の為の最少限度の精度の記録は得られるものと考えられる。又、1 MF 中の微小磁場変動については、地球に近い時、記録伝送 rate が 1024 bps の場合に観測すれば、0.0625 nT/0.125 sec の分解能で測定が可能で、太陽風磁場構造のみならず、微小磁場変動の研究も可能である。



第8図 K-9M-72号機実験による磁場記録形式



第 9 図 MST5 概観図

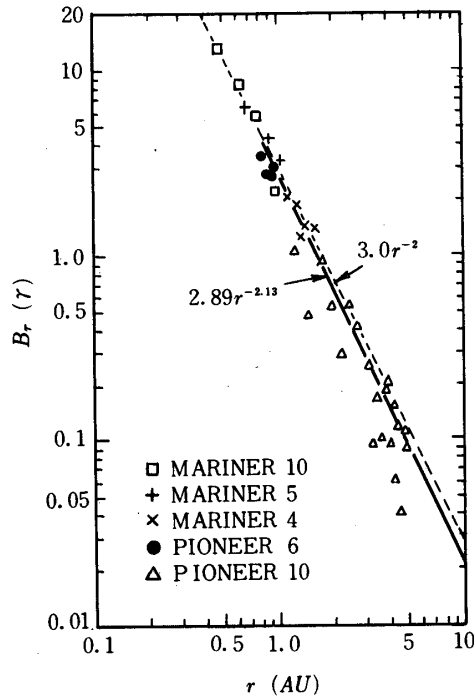
第 1 表 MST5 磁場記録出力形式

DATA ACQUISITION SYSTEM

(X · Y · Z) : 24 bit / 3 word

MAGNETOMETER OUTPUT	TELEMETRY	
	RATE	RESOLUTION
± 64 nT (F.R.)	1024 bps	± 0.0625 nT / 0.125 s
	64 bps	± 0.25 nT/s

STATUS MONITOR (SUN SENSOR, STAR SCANNER)



第10図 太陽風磁場

4. 結 語

以上, Ring-core 磁力計を用いた地球主磁場中での balloon・rocket 観測, 及び惑星間空間の極小磁場中での観測方法について述べた. この両極端の場合でも Ring-core 磁力計を用いて, 目的とする磁場変動の観測は可能である. ただし, balloon・rocket 観測の地球主磁場が問題となる実験においては, 姿勢決定の精度を更に高める必要があり, 外部磁場の処理を早めて記録の sampling rate を高める必要がある. 又, 惑星間空間においては, 斎藤ほか (1980 b) で述べたように, 飛翔体本体の磁気 noise を避けるために, boom の伸展と飛翔体本体の magnetic cleaning が必要である. この様に, 高感度で sampling rate の大きな記録を得るためには, 磁力計本体の問題よりむしろ, その周辺機器の基礎開発及び予備試験を行う必要があることを提言して稿を終る.

1980年10月20日

参考文献

- [1] 瀬戸正弘・早坂 孝・斎藤尚生・桜井 亨・田村忠義・湯元清文・佐々木徹 (1978a); 東大宇宙航空研報告, 14, 4(B), 1267 - 1275.
- [2] 瀬戸正弘・早坂 孝・青山 巖・斎藤尚生・桜井 亨・田村忠義・湯元清文・佐々木徹 (1978b); 東大宇宙航空研報告, 14, 4(B), 1277 - 1288.
- [3] 斎藤尚生・湯元清文・田村忠義・瀬戸正弘・早坂 孝 (1979a); 東大宇宙航空研報告, 15, 461 - 577.

- [4] 加藤愛雄・斎藤尚生・湯元清文・瀬戸正弘・早坂 孝 (1980a), 昭和54年度大気球シンポジウム, 110-124.
- [5] 加藤愛雄・瀬戸正弘・早坂 孝・斎藤尚生・湯元清文 (1980b), 東大宇宙航空研報告, 16, (印刷中).
- [6] 瀬戸正弘・早坂 孝・赤間芳雄・斎藤尚生 (1980a), 昭和55年度宇宙観測シンポジウム (印刷中).
- [7] 斎藤尚生・国分 征・青山 巖・瀬戸正弘・福西 浩・西田篤弘・湯元清文 (1980b), 昭和55年度科学衛星シンポジウム, 160-175.
- [8] 青山 巖・遠山文雄・加藤愛雄 (1972), 東海大学工学部紀要, No. 7.
- [9] 遠山文雄・青山 巖 (1980), 南極資料 (印刷中).
- [10] 福島 直 (1980), 昭和55年度宇宙観測シンポジウム (印刷中).