

ロケットによる磁場観測

遠山文雄*・青山 巖*・小松誠一*

Magnetic Field Observations with Sounding Rockets

Fumio TOHYAMA*, Iwao AOYAMA* and Seichi KOMATSU*

Abstract: Detailed observations of geomagnetic field variation in and near the aurora were provided by the new three-axis flux-gate magnetometer experiments acquired with two sounding rockets (S-210JA-24 and 25) that were launched on August 17 and September 1, 1976 at Syowa Station, Antarctica. The magnetometers were sampled at a rate of 5 samples per axis per second. The magnetic differences were obtained by subtracting the extrapolated values of the IGRF 1975.0 from the measured values. The experiment with the JA-24 rocket exhibited a pronounced increase in magnitude with the increase in height from 110 km to the apogee of the vehicle (118 km).

The result of the analysis of rocket attitudes with the geomagnetic aspect sensor are also discussed.

要旨: 南極昭和基地で打ち上げられた、S-210JA-24 および 25号機に搭載された磁力計により磁場測定が行われた。両ロケットともオーロラ出現時に打ち上げられ、電流にともなう磁場変動を検出した。搭載されたフラックスゲート型磁力計は、新しい方式の三成分同時測定装置で、0.2秒毎にサンプリングされたデータがデジタル出力されるため、高度に関して分解能の高い磁場変動プロファイルが得られた。その結果によると、24号機では、高度約 110 km からロケットの最高高度(約 118 km)にかけて大きな磁場変化が認められた。さらに、地磁気姿勢計によるロケットの姿勢解析結果を報告する。

1. はじめに

第17次隊によるロケット観測実験の中、S-210JA-24 および 25号機には電離層電流系の観測のための磁力計が搭載され、電場、電子密度測定器とあわせて、電離層電磁場の総合観測が行われた。両機ともオーロラ出現時に発射され、磁力計は正常に動作して落下までのデータが得られた。使用された磁力計は、両機とも三成分フラックスゲート型磁力計で、従来の測定方式と多少異なっている。

* 東海大学工学部。Laboratory of Space Science, Tokai University, Kitakaname 1117, Hiratsuka 259-12.

本論文は、24号機および25号機実験に関する解析の速報結果と同時搭載された地磁気姿勢計によるロケットの姿勢の解析結果について報告する。

2. 観測装置

搭載したフラックスゲート型磁力計は、三成分検出デジタル出力方式を採用し、約0.2秒毎の同時サンプリングされた磁場の大きさを検出した。従来の方式はロケットのスピンの利用して、ロケット機軸方向とそれに直角方向の二成分方式であったが、今回採用された方式は三成分同時検出方式である。従来方式はロケットのスピンの利用するため、データが1スピン毎にしか得られないのに対して、今回の方式はほぼ読み出し周期(約0.2秒)毎にデータが得られるという利点を持つ。したがって、データの高度に対する分解能が高められ、電流系モデルのより高い **fine structure** を決定でき得る。その反面、ロケットのスピンのによるデータの **modulation** のために、データ処理が複雑となる欠点を持っている。磁力計の主な仕様を表1に示す。寸法および消費電力は従来のものに比較して、約半分程度に改良されている。また、検出磁場の検出感度は ± 50 nT であるが、もし極域の強い電流層が存在すれば検出は可能と思われる。

表 1 磁力計の主な仕様

Table 1. The characteristics of the magnetometer.

Three component flux-gate magnetometer	
Resolution	± 50 nT
Dynamic range	$\pm 51, 150$ nT
Out put	15 bit NRZ (digital)
Sampling rate	0.2 sec
Power	+18 V 250 mA -18 V 60 mA
Weight	El 1.6 kg Sensor 0.5 kg

3. 解析方法

ロケット軸方向成分 (Z 成分) およびそれに直角方向の二成分 (X, Y 成分) は、15 bits デジタル出力として得られるが、 X, Y 成分がロケットのスピン (約1 Hz) により、ロケット軸まわりに回転するため、検出磁場の大きさはロケット軸と直角成分磁場を H とすると $+H$ から $-H$ までの量を取りうる。したがって0.2秒のサンプリング周期では、検出方向が 70° 以上も異なってくる。また、検出部の伸展は行っていないために、

ロケット本体および搭載計器からの磁気的影響も大きいであろう。この磁気的影響の多くは直流的であると考えられ、まずその直流バイアス量を決定する。その方法は、各秒時によるロケットスピン周期から各センサ方向の相対的回転角を求め、ほぼ同位相になる約 900 のグループに分けて、おのおのについてフーリエ解析を行い直流バイアス量を求めて平均した。この結果約 ± 80 nT 以下で X , Y 成分の直流バイアス量を決定できた。その量は 24 号機では X , Y 成分それぞれ -1000 および -1350 nT であり、25 号機ではそれぞれ -200 , $+850$ nT であった。これらの直流バイアス量の妥当性を確認するため、それぞれのバイアス量を中心に、変数パラメータとして計算機による H 成分 ($H = (X^2 + Y^2)^{1/2}$) のプロットを行い、ばらつきの最小を求めて決定した H 成分としてのばらつきは約 ± 140 nT 以下であり、この残りの量は直流的バイアス以外のものと判断した。すなわち、induced field による交流的な成分および各成分の電気軸とロケットのスピン軸との不一致性から生ずるものである。次にロケット軸方向の Z 成分については、ロケット飛しょう軌道に沿った地磁気の理論計算 (IGRF 1975.0 係数による球関数展開)、および地磁気姿勢計 (GA) によるロケットの姿勢角から算出した Z 成分との差の平均を直流的バイアス量とした。その値は 24 号機は $+2300$ nT, 25 号機は $+3500$ nT であった。これらの直流的バイアス量は全飛しょう中一定であると仮定し、各成分の観測値および理論値を用い、さらに GA をこの磁力計出力で補正した姿勢結果をもとにして理論値との比較を行った。ロケット座標系、すなわち Z 成分および H 成分についての測定値の理論値との差を求め、さらにロケットの三次元空間での絶対姿勢が決定できれば、地上座標系にひきなおした三成分についての結果が得られる。それによって、電離層内での電流系モデルの決定は飛しょう時のオーロラに関するデータ、地上マグネットグラム、および同時搭載の電場、電子密度結果を加味して吟味される。本論文では、現在までに得られた 24 号機についての中間結果をのべる。

4. 中間結果

1976 年 8 月 17 日、02 時 54 分 LT (45° EST) に打ち上げられた S-210JA-24 号機は、オーロラをかすめるような形で飛しょうした。同時搭載された月センサと GA とによる絶対姿勢は、打ち上げ後 125 秒での両者の値が一致し、他は解が得られなかったため、その一点および月センサからのコーニングを考慮して推定を行った。その結果ロケットの飛しょう姿勢は、スピン約 2.1 Hz, コーニングアングル約 36° (half angle), 周期は約 96

秒であった。

ロケット座標系による Z 成分および H 成分について観測値と理論値の差を図 1 に示す。横軸に高度、たて軸に磁場の大きさの変化をとってある。横軸の高度は等間隔ではなく等時間であり、ロケットの最高高度は約 118 km であった。高度約 90~100 km にかけて約 100 nT、さらに 110 km 以上にかけて大きな磁場変化が見られる。この図は、0.2 秒毎のデータについてすべて解析し、約 5 秒毎の平均をプロットしたものであり、磁力計の分解能および解析精度からみても、110 km からの大きな磁場変動は電流層によるものと考えられる。この変動時のロケット位置は図 1 の右側に示したオーロラの全天写真図に示したようにオーロラアークをかすめている。これらの変動は今後ロケットの絶対姿勢の決定をもとに、地上座標にひきもどした変化量に換算し、電流層モデルの検討をしなければならない。なお、図 2 は昭和基地における水平成分のマクネトグラムである 24 号機打ち上げ時は地上でも約 150 nT の H 成分減少がみられ、電離層電流系の存在を示唆している。

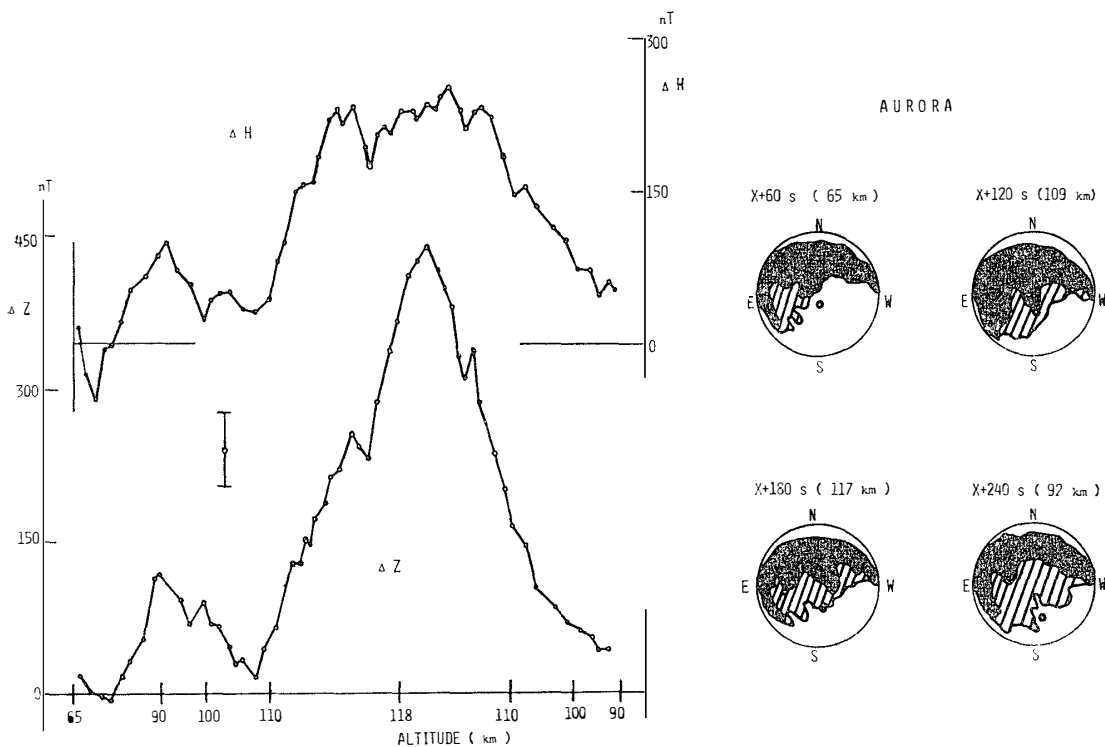


図 1 S-210JA-24 号機によるロケット座標系での磁場変動、 ΔZ (ロケット軸成分) および ΔH (それと直角な成分) 測定値と理論値 (IGRF 1975.0 係数使用) との差

Fig 1. The field difference between the measured value and the calculated value (extrapolated value of the IGRF 1975.0) by S-210JA-24 on August 17, 1976. Magnitudes plotted are in the direction of the rocket's spin-axis for the ΔZ and of the transverse to the spin-axis for the ΔH

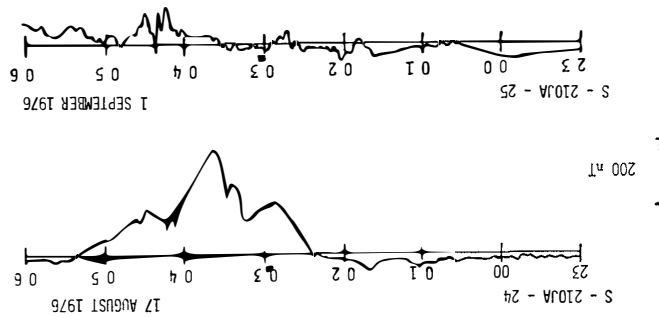


図 2 昭和基地水平成分マグネトグラム

Fig. 2. Ground-based magnetograms, observed at Syowa Station on August 17 and September 1, 1976.

5. 地磁気姿勢計によるロケットの姿勢

S-210JA-20号機~25号機および S-310JA-1, 2号機には GA が搭載され, 22, 23号

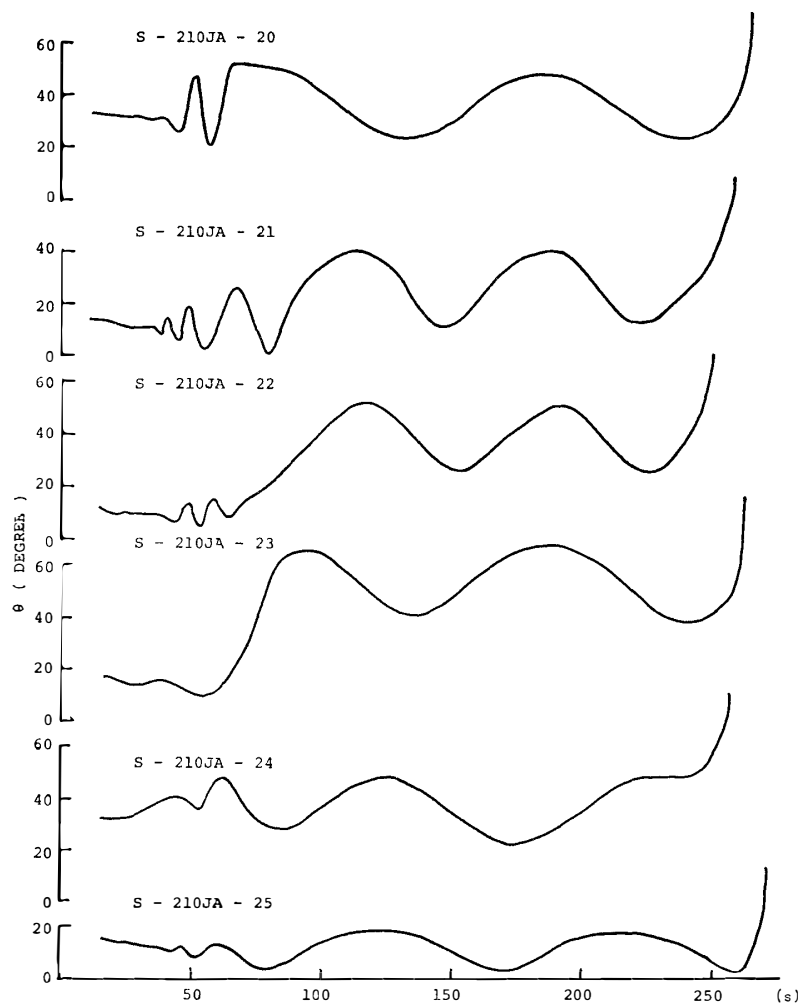


図 3 地磁気姿勢計による S-210 型ロケットの姿勢

Fig. 3. Attitude of the S-210 type rocket referred to the geomagnetic field line during the flight.

機には太陽センサも搭載された。地磁気に対するロケット軸方向の飛しょう中の角度変化は図3, 4に示した。また, 主な姿勢要素を示したのが表2である。これによると, ほとんど多くのロケットは磁北方位 (方位角 315°) に打ち上げられているため, プレセッションによるコーニングが磁力線を内側に含んでいる可能性が大きい。22号機においては太陽センサ, また24号機, 25号機は月センサによって絶対姿勢が推定され, 磁力線を内

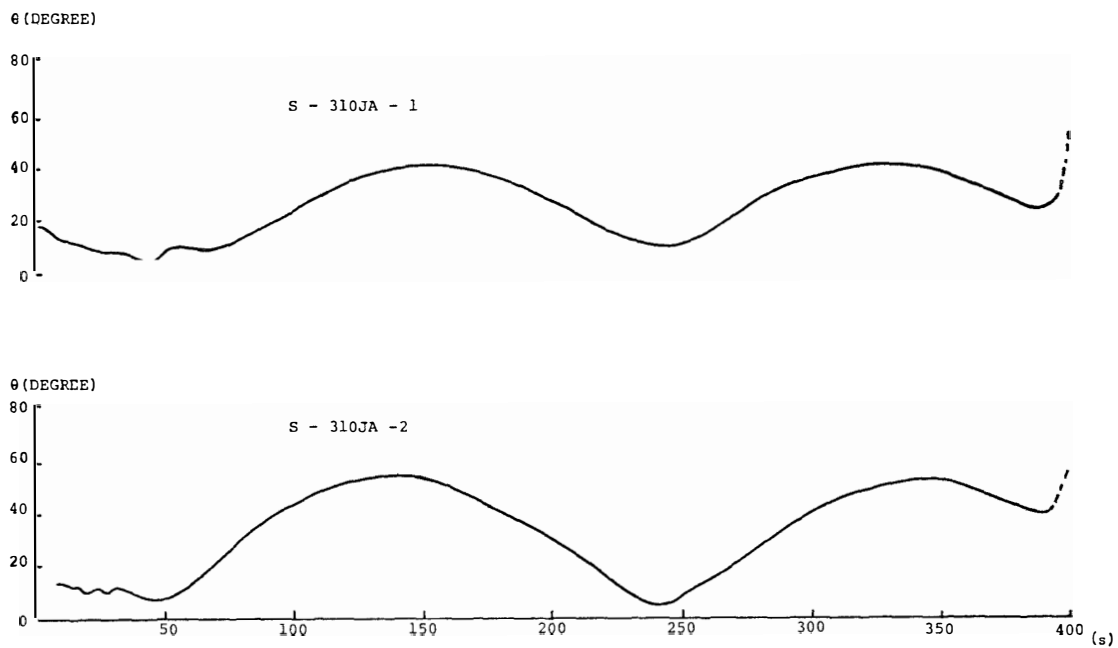


図4 地磁気姿勢計による S-310 型ロケットの姿勢

Fig. 4. Attitude of the S-310 type rocket referred to the geomagnetic field line during the flight.

表2 南極ロケットの主な姿勢要素 (*印は磁力線を内側に含んでプレセッションをしている)

Table 2. Summary of rockets attitudes determined by geomagnetic aspect sensors or magnetometers. The percessional motions of vehicles included the geomagnetic field line are marked with asterisk.

Rocket	Launching azimuth	Spin frequency	Coning	
			Half angle	Period
S-210JA-20	135	1 82	12	108
21	315	2 50	14	76
22	315	2.36	39†	74
23	315	2.00	13	100
24	135	2 12	36*	96
25	315	2 27	12*	95
S-310JA- 1	315	1.05	15	180
2	315	0 89	24	200

側に含んでコーニングしていることが確認された(表2において星印で示した)。また23号機は、太陽センサによって磁力線を内側に含んでいないコーニングをしていたと推定される。表2において、他のロケットのコーニング角の値は、GA以外の姿勢計を搭載していないため、磁力線を内側に含んでいないと仮定した値である。

6. おわりに

今後の解析として検討すべきことは、ロケットの絶対姿勢の決定または推定により、電流の二次元モデルのシミュレーションおよびデータ処理の精度向上をはかることである。また、25号機に関しての解析も、ほぼ同様の方法で行えそうであり、同時搭載の電場、電子密度のデータとのつき合わせ、および地上の全天カメラによるオーロラなどのデータを用いて、電離層構造を解明しなければならない。さらに今後の極域磁場測定に有効と思われることは、ロケット軸に直角平面内での磁場の偏角測定である。これには太陽や月などの基準が必要であり、絶対姿勢決定という意味からも月センサなどのもう一つの姿勢計が重要になってくる。

謝 辞

南極昭和基地でのロケット実験に際し、第17次南極越冬隊の方々のご好意とご協力に謝意を表するとともに、本観測の計画から実施にいたるまでの多大のご援助と資料の提供をいただいた国立極地研究所の方々に対し深く感謝の意を表します。また、地上マグネトグラムおよび全天カメラによるオーロラの資料をいただいた国立極地研究所福西浩助教授に対し深謝する次第です。

文 献

- AOYAMA, I. and TOHYAMA, F. (1975): Study of the attitudes of rockets launched at Syowa Station. *Nankyoku Shiryo (Antarct. Rec.)*, **52**, 156-159.
- TOHYAMA, F. and AOYAMA, I. (1975): Magnetic field measurement by a rocket. *Nankyoku Shiryo (Antarct. Rec.)*, **52**, 160-165.

(1978年6月10日受理)