

K-9M-55号機による電離層電流系の観測(II)* - Field Aligned Current -

小川 徹**・藪崎 努**

Observation of the Ionospheric Current by Means of
K-9M-55 Rocket (II)
- Field Aligned Current -
By
Toru OGAWA and Tsutomu YABUZAKI

Abstract: The ionospheric current over Kagoshima at 11:00 LT was observed by means of an optically pumped Cs magnetometer.

We find a horizontally diverging current whose origin is presumed to be the field aligned current from the antihemisphere. The diverging current is distributed from 110 Km to 120 Km and total field aligned current is estimated to be 1.7×10^5 A which is nearly coincident with the theoretical value.

Direction of the field aligned current is downward in the north hemisphere and observed point is estimated to be about 800 km almost eastward from Sq current vortex.

1. はじめに

K-9M-55号機は、電離層電流系の中心付近の総合観測を目指して計画され、1976年9月16日、11:00 LT (02:00 UT) に打上げられた。我々は、セシウム光ポンピング磁力計による磁場観測を担当し上昇時にはロケットは電流系中心の北側を通過したことがわかったがこれについて既に報告した〔1〕,〔2〕。

下降時についてはその後解析を進め電流系中心の東側を通過したと見られ、field aligned current がE領域到達後に水平方向に拡散して行く電流によると推定される磁場変化を観測したので報告する。

* 宇宙研特別事業費による研究論文

** 京都大学工学部

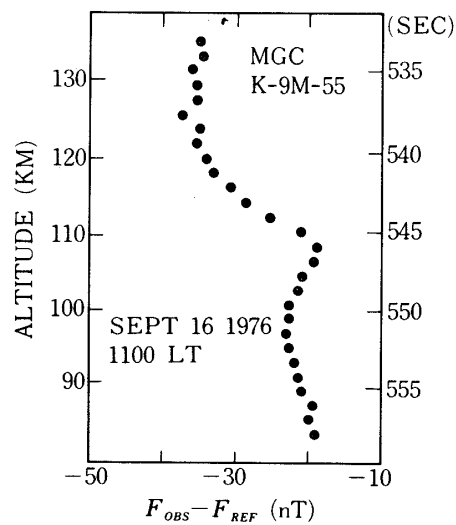
2. 観測結果

観測データはカセットテープ及び ANA-LOG 7 に記録されロケットの1スピン周期でカウントすれば、それぞれ1 nT および0.1 nT 程度の分解能をもっている〔3〕,〔4〕。また、1スピン周期でカウントすることによりスピン軸に垂直な残留磁場成分は平均されて零となる。スピン軸に平行な磁場成分は apogee 付近の coning 角度と磁場データより計算し補正することができる。このようにして求められた観測値と IGRF 1975 による計算値との差を第1図に示す。注目すべき点は次のようである。

- (1) 110 ないし 120 km 付近に磁場変化が存在する。
- (2) 変化は高度と共に増加する方向である。
- (3) 変化値は 14.4 ± 4 nT である。

このような磁場変化の原因について考えて見ると、

- (1) 磁力計自体の変動：今回の観測では残留磁場が大きかったため出力電圧が低下し雑音が多かった。しかし、飛翔の全範囲にわたり動作しており、他の時間領域ではこのような変動は認められなかった。
- (2) ほかの観測機器による磁場変動：センサー展開などの操作は上昇時に完了しており、特にこの時刻の変動は記録されていない。
- (3) 地磁気変化：地上のマグネトグラムの記録によれば、2 nT 程度の変化が見られる程度である。
- (4) ロケットが電流系中心の南側に落下した可能性：K-9M-55 は北より 141° の方向に水平距離 430 km 飛翔している。鹿屋、父島、グアムのマグネトグラムより判断して電流系中心の南側しかも 10 nT 程度に相当する電流強度の場所まで飛翔する可能性は考えられない。しかも、Sq 電流系の高度は中低緯度では緯度が下るとともに低くな



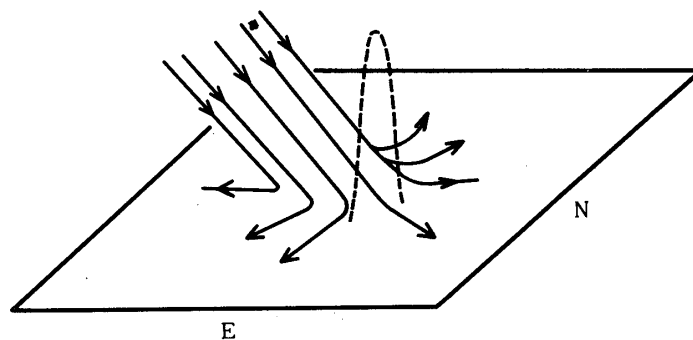
第1図

る傾向にあるので、〔5〕、110 km 以上の高度は説明できない。

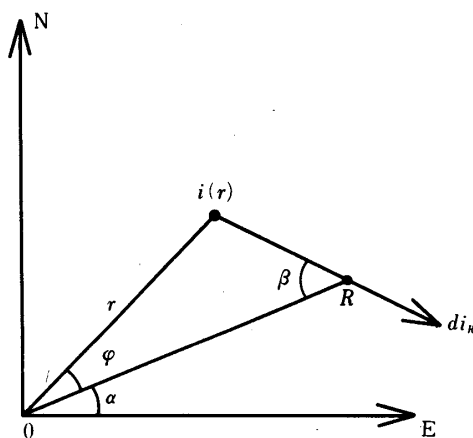
以上のことから、今回観測された磁場変化は Sq 電流ではなく、それより約 10 km 高い層に流れている水平電流であると思われる。一方電離層の導電率は 120 km 附近でも十分大きいから〔6〕、もし field aligned current〔7～10〕が Sq 電流系の中心附近にそれ以外の点よりも多く流入し、水平方向に放射状に拡散しているとすれば定性的には説明できることとなる（第2図）。図の点線はロケットの飛跡を示す。

3. 考 察

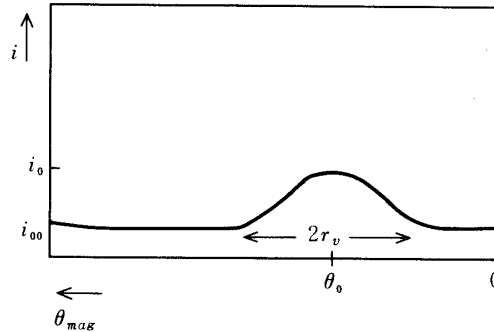
今回の磁場観測は、スカラー磁力計を用いるので、永久磁場に垂直方向の磁場変化は余程大きな量でなければ（磁力計の分解能 1 nT に対して 3×10^2 nT 程度）検出できない。従



第2図



第3図



第4図

って検出されるのは永久磁場に平行な成分であって、水平電流層の上下における磁場観測の変化量は、

$$\delta F = 2\delta Hc \cos \alpha \cos I \quad (1)$$

ただし、

$$\delta Hc = i_k \frac{d}{2} \quad (2)$$

$$i_R = \frac{1}{2\pi R d} \int_S i ds \quad (3)$$

ここに δHc は水平電流層によって生じる磁場、 α は Sq 電流系中心から見た観測点の東からの方位 (第3図)、 I は伏角、 d は電流層の厚さ、 i_R は観測点の電流密度、 R は Sq 電流系中心から観測点までの距離、 S 、 i はそれぞれ field aligned current の断面、及び電流密度である。従って field aligned current の全電流は

$$\int_S i ds = 2\pi R \frac{\delta F}{\cos \alpha \cos I} \quad (4)$$

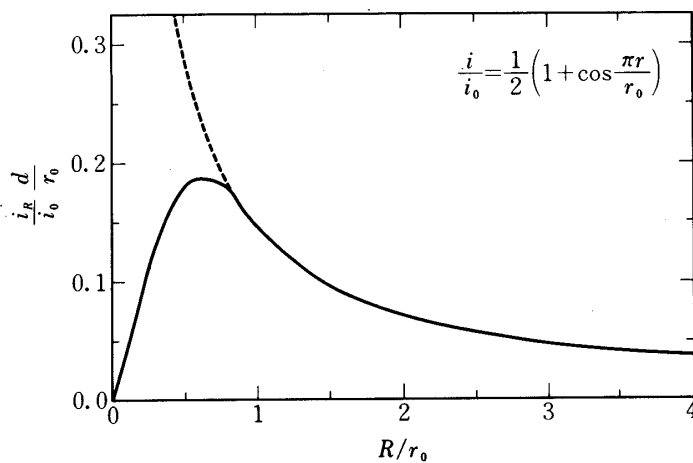
となる。

以上は field aligned current が Sq 電流系の中心附近に集中していると仮定して計算した。実際は field aligned current は数 1,000 km の範囲に分布して流れるのでその分布を第4図のように

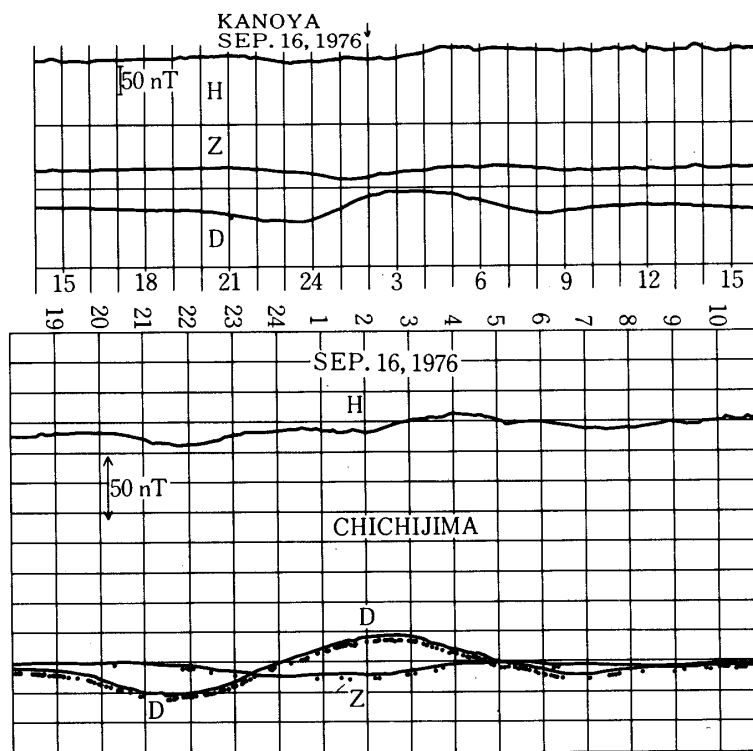
$$i = i_0 \cdot \frac{1}{2} \left(1 + \cos \frac{\pi r}{r_0} \right) \quad (r \leq r_0) \quad (5)$$

とすれば式(3)は

$$i_R = \int \cos \beta di_R = \frac{i_0 r_0}{d} K(R/r_0) \quad (3)'$$



第5図



第6図

ただし β は第3図のように電流の流入点 (r, φ) とロケットによる観測点 $(R, 0)$ を結ぶ直線と直線ORとのなす角である。また

第 1 表

	GEOGRA		GEOMAG	
	LAT	LONG	LAT	LONG
KANOYA	31.42	130.88	20.73	199.59
K-9M-55 (X+550sec)	28.41	133.66	18.4	200.3
CHICHIJIMA	27.09	142.18	17.1	208.8

$$K(b) = \frac{1}{2} \int_0^1 \int_0^1 (1 + \cos \pi \xi)(b - \cos \pi \eta) \frac{\xi d\xi d\eta}{\xi^2 + b^2 - 2\xi b \cos \pi \eta} \quad (6)$$

ただし、 $\xi = r/r_0$, $b = R/r_0$, $\eta = \varphi/\pi$ である。'K(b)は第 5 図のようになる。図の点線は $r_0 \rightarrow 0$ の場合の値 (K_0) を示す。従って全電流は

$$\int_S i(r) ds = 2\pi R \frac{\delta F}{\cos \alpha \cos I} \frac{K_0}{K} \quad (4')$$

となる。

ロケットの落下点と Sq 電流系との相対位置を知るために鹿屋、父島のマグネトグラムを第 6 図に示す。また第 1 表は地磁気観測所と高度 110 km における落下時のロケット位置(以下 X 点とする)を示す。特に、父島はロケット位置と緯度が僅かに 1.3° しか異なるので、時刻をずらせば落下時の電流系の中心位置を推定できる。

第 4 図の水平成分 (H) の形より、父島はほとんど電流系の中心が通過したと考えられる。また、通過時刻はほぼ 0100 UT である。従って、X 点を電流系中心が通過したのは 0134 UT 頃であり、実際にロケットが通過したのは 0209 UT であるから、ロケットは電流系中心より約 35 分遅れすなわち約 800 km 東方に落下したこととなる。式 (4)' において $R = 800 \text{ km}$, $r_0 = 2,000 \text{ km}$, $\delta F = 14 \text{ nT}$, $\alpha \cong 0$, $I \cong 40^\circ$ とすると field aligned current の全電流はほぼ $1.7 \times 10^5 \text{ A}$ となる。この電流値は地上の磁場観測より推定される値と比較してやや大きい、オーダー的には合っている。

次に、field aligned current の方向を推定する。第 1 図のように磁場がロケットの下降時とともに増加し、しかも電流系中心の東側で観測されたことから、第 3 図のように中心から流出する方向と考えられる。従って、field aligned current の方向は南半球より北半球へ向うすなわち夏型と推定される。観測時期は秋分近傍であったため、この方向が妥当であるかどうかは不明である。次回は冬期の観測を予定しているので、もし電流系中心付近を通過すれば結論が出ることと思う。

4. おわりに

K-9M-55 号機による下降時の観測を解析した結果、Sq 電流系の中心付近で field

aligned current がE領域に水平に拡散することによると推定される磁場変化を見出した。その主な結果は次の通りである。

- (1) field aligned current の方向は、北半球の Sq 電流系中心へ流入する方向である。
- (2) 全電流は 1.7×10^5 A のオーダーである。
- (3) 水平拡散電流の高度は 110 - 120 km である。

これらの値、特に全電流値は電流系中心の位置の誤差などが大きいと思われ、精度はよくないが、今後異なった季節の観測を行って行く予定である。ロケット観測にあたり、お世話になった実験主任大林教授をはじめ宇宙研の方々に感謝します。また、有益なコメントを頂いた東大理学部、福島 直教授および観測データを提供された河村 謙所長をはじめ、地磁気観測所の方々に感謝します。

1978年11月2日

参 考 文 献

- [1] 小川, 藪崎: 宇宙観測シンポジウム (1977)
- [2] 小川, 藪崎: 宇宙研報告, 13, 961 (1977)
- [3] 藪崎, 塚田, 小川: 同上, 7, 103 (1971)
- [4] T. Yabuzaki and T. Ogawa: J. Geophys. Res. 79, 1999 (1974).
- [5] 藪崎, 小川: 宇宙観測シンポジウム (1973)
- [6] K. Maeda and H. Matsumoto: Rep. Ionosph. Space Res. Japan, 16, 1 (1962).
- [7] K. Maeda and H. Murata: ibid, 19, 272 (1965).
- [8] N. Fukushima: ibid, 22, 173 (1968)
- [9] N. Fukushima: ibid, 30, 35 (1976).
- [10] H. Maeda: J. Atmos. Terr. Phys. 36, 1395 (1974).