

ロケットによる電離層 Sq current の測定

加藤 愛雄*・青山 巖*

Rocket measurements of ionospheric Sq currents

By

Yoshio KATO and Iwao AOYAMA

Abstract: Kappa sounding rockets instrumented to measure the magnetic field with Sq current system were flown to altitude near 200 km over Kagoshima Space Center of Tokyo University, Uchinoura.

Rubidium-vapor magnetometer were used to detect low-latitude ionospheric current.

The first measurements of ionospheric current in Japan were made with flux-gate magnetometer in Kappa 9M-7 rockets.

The results obtained suggest the existence of a current sheet with lower edge at 105 km.

Moreover, in this paper, it will be discussed the ionospheric current systems as deduced from ground observations.

概 要

カッパ型ロケットに磁力計を搭載して、Sq電流系による磁界の測定を高度約200 kmまでわたって内之浦東京大学宇宙空間観測所にて行なった。ルビジウム磁力計およびフラックスゲート型磁力計が、低緯度におけるこの種の測定のためにもちいられた。K-9 M-2号機に搭載したフラックスゲート型磁力計で、日本では初めてこの電離層電流系を測定できた。結果は高度105 kmのところから電流系が存在することを示めている。更にこの論文では、地上観測によってみちびかれる電流系についても述べる

1. 電離層 Sq current について

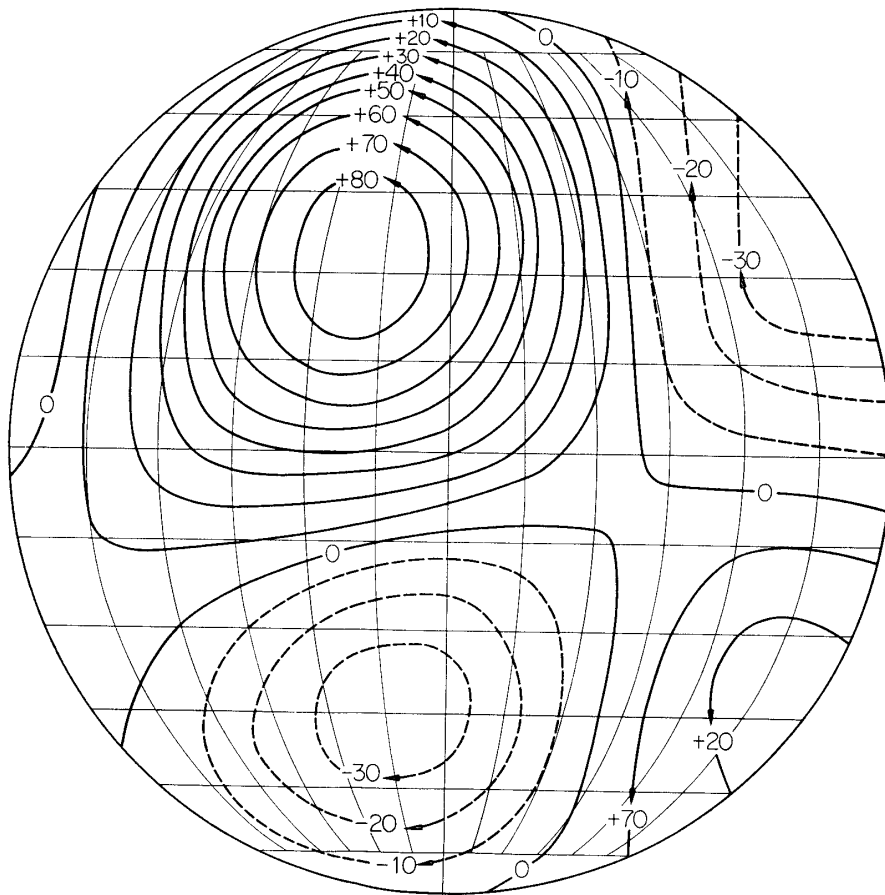
地磁気静穏日における日変化に関する理論はおもに Schuster および Stewart 等によるダイナモ理論でほぼ説明できることが知られ、その日変化によって導びかれる電流系が存在することもロケット観測によってたしかめられている。

しかし、前述したように中低緯度の観測は非常に少なく、十分な結果を得るまでに至っていない。その意味で日本における測定も有意義であると考えられる。

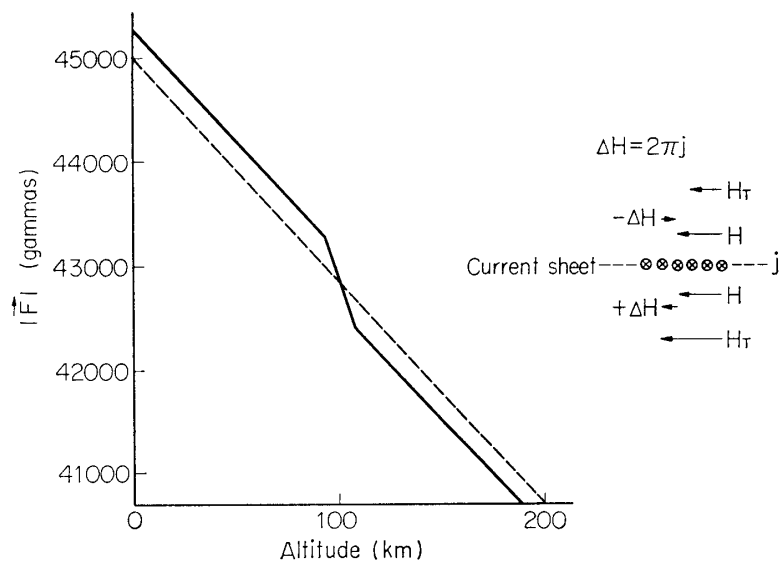
さて、この Sq 電流系は第1図に示されるようなものが平均的に導びかれ、図でわかるように北半球の赤道付近では東向きに、高緯度では西向きの電流が流れている。

次に、この電流を current sheet として考えた場合地上およびロケットによって観測され

* 東北大学理学部地球物理教室



第1図 Sq 電流系 (流線間は一萬アンペアの電流が流れる)



第2図 Current Sheet を仮定したときの高度に対する磁界の変化

る磁界の様子がどのような関係にあるかを考えて見る。

第2図はその関係を図示したものである。紙面に垂直に向う current sheet を考え、その方向が西から東へ流れるとすれば地球磁場の水平成分 H に対して、sheet の下側では水平成分を増加させる向きに、上側では減少せしめることになる。すなわち、流れる電流を単位の幅に対して j だけ流れ、その幅が十分広い場合には、sheet の上側で $-2\pi j$ 、下側で $+2\pi j$ となり、ロケットで全磁力を高さについて測定すれば、図における実線のような変化が期待できる。この全磁力における変化量はその場所における伏角を I とすれば、次のようになる。

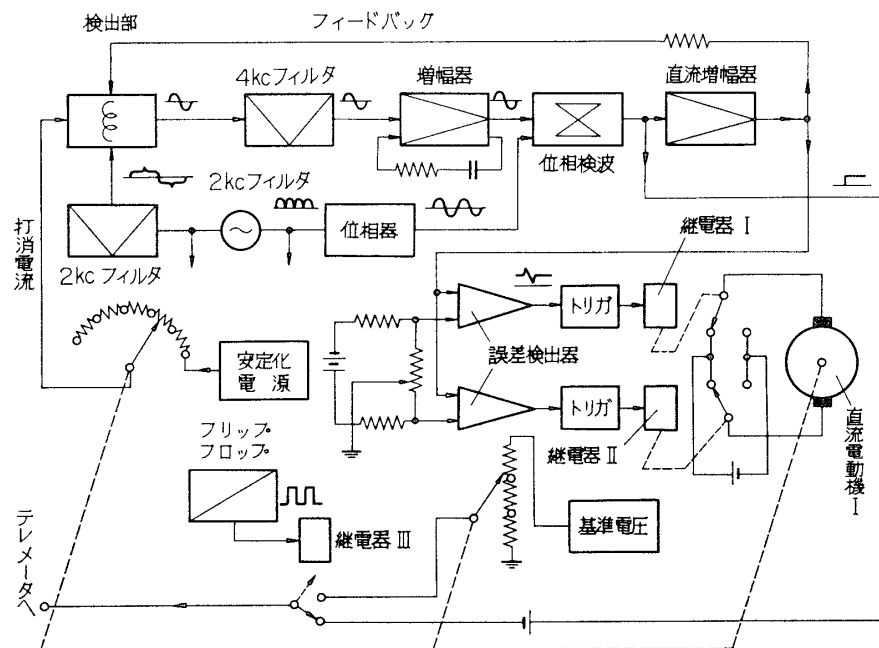
$$\Delta F = 4\pi j \cos I$$

地上における Sq current による地磁気の水平成分は $\Delta H_{\text{ext}} = 2\pi j$ 、実際には地下の影響をうけて $\Delta H_{\text{ext}} = 0.6 \Delta H_{\text{obs}}$ なる ΔH_{obs} が観測される。したがって、 $I = 45^\circ$ の場合における ΔH_{obs} は $20 \sim 50 \gamma$ であるから、 $\Delta H_{\text{ext}} = 12 \sim 30 \gamma$ 、ロケットによって電流系をつきぬけて観測される全磁力の変化は $\Delta H_{\text{obs}} = 1.18 \Delta F$ なる関係より、 $\Delta F = 17 \sim 42 \gamma$ 程度が予想される。したがって使用される磁力計は、この量を充分検出することが要求される。

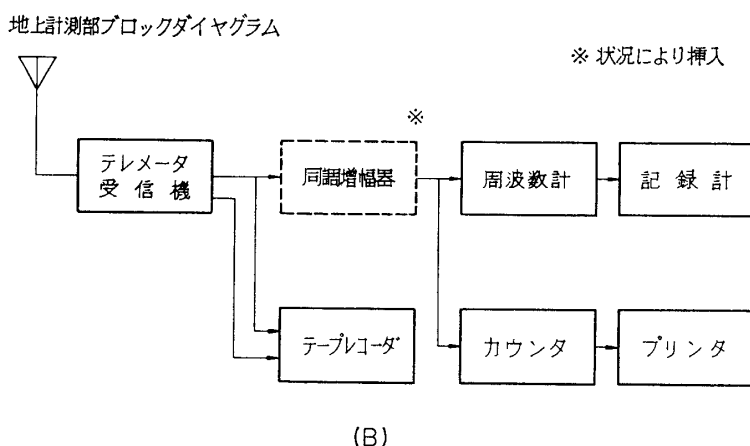
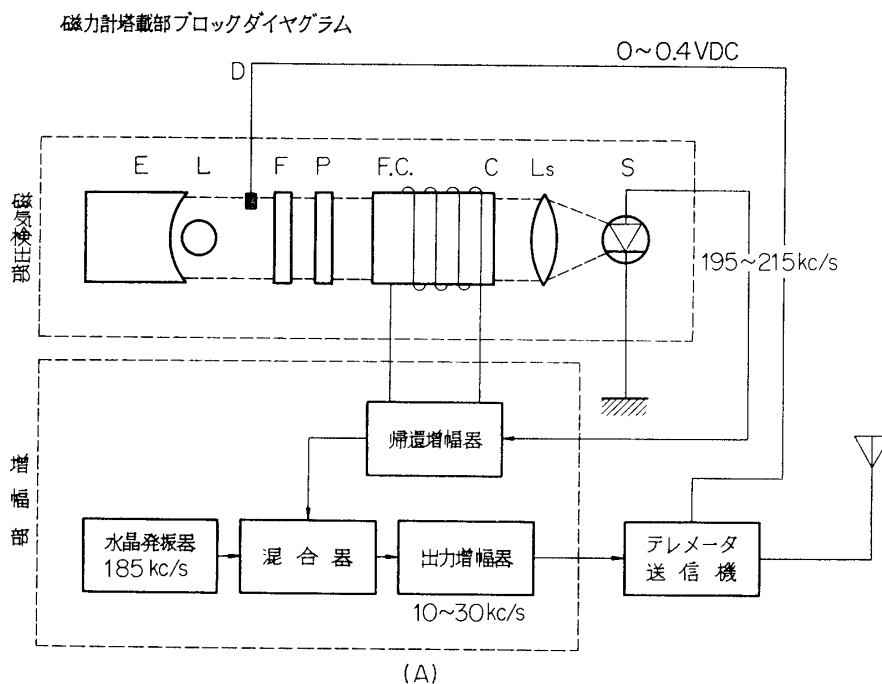
2. ロケット搭載用磁力計

Sq current による磁界を検出するための磁力計は前章の考察から考えて、かなりの精度を有する必要がある。

しかもロケットという運動する飛しょう体上で測定することを考慮しなければならない。われわれはこの測定のための磁力計を開発しつつ実験を行なってきた。第一段階としてはロケットの運動のおおよその様子を知るために、フラックスゲート磁力計を地磁気姿勢計として開発し、現在では一応完成して、ロケットの姿勢を地球磁場を基準として測定するのにもちいられている。これを更に高性能化して、本来の目的である磁界測定にもちい K-



第3図 K-9 M-7 号機用磁力計の構成図



- | | | |
|-------------|-----------|----------|
| E Rb ランプ点火器 | F 干渉フィルタ | P 円偏光板 |
| S 光検出器 | F.C 帰還コイル | L Rb ランプ |
| D 動作検知器 | C Rb 吸収セル | Ls 集光レンズ |

第4図 ルビジウム磁力計構成図

9 M-7 号機で始めて Sq current による磁界測定に成功した。

ほかに、プロトン磁力計，ルビジウム磁力計もあわせて開発している。プロトン磁力計では二度の実験を試みたがいずれもロケットの飛しょう状態が悪く失敗した。しかし、この測定に関する技術は後のロケット搭載用ルビジウム磁力計の開発に参考になる点が多かった。

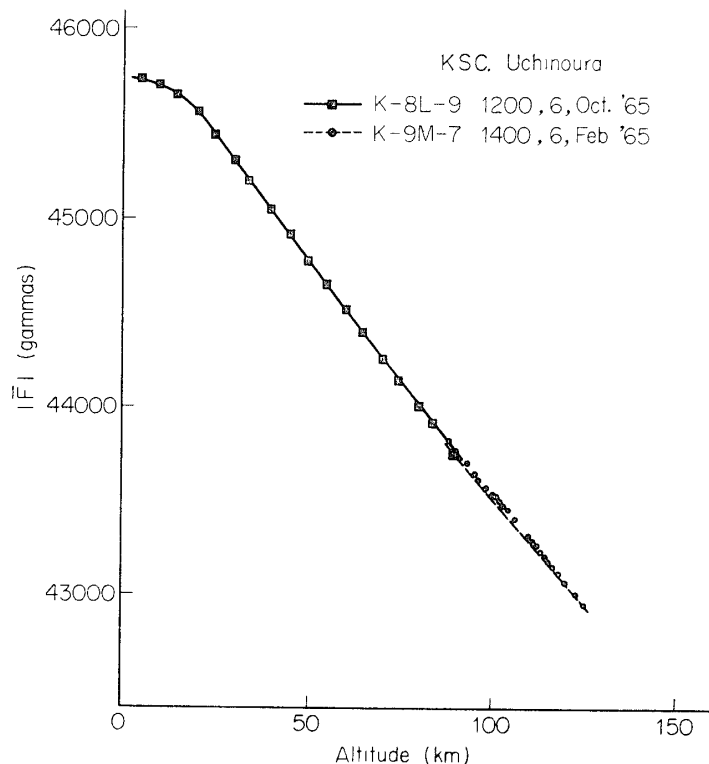
その後、ルビジウム磁力計がロケット搭載用としてはプロトン磁力計よりすぐれている

点が多く、この磁力計の開発が可能となったために、これをプロトン磁力計にとってかわって実験することになった。

これらの磁力計で実際にロケットに搭載して、磁界測定を試みたもののブロックダイアグラムを第3, 4図に示す。第3図はフラックスゲート磁力計であるが、地磁気姿勢計としてロケットに搭載してあるものを改良して微少磁界を運動するロケット上でも測定することができるようにしたもので、そのおおよその原理は測定範囲を自動的に選択してアナログ量とその測定範囲を表わすデジタル量とを送る。いわゆるハイブリッド型とも言えるものである。なお、磁界磁出部はロケット固有の磁界、他の測定器による磁界の影響をさけるため開頭後の飛び出し機構がもうけてある。その結果、相対感度は約 $\pm 5\gamma$ 程度と考えられる。一方、第4図はルビジュウム磁力計である。光ポンピングを利用した磁力計の一種で、現在では一番高い精度(0.01 γ 程度)をもっている。しかし、ロケットに搭載した場合では、周囲の状態や、伝送過程において二けた程度精度が落ちると見なければならぬし、また、若干欠点も残っているので、追って改良を加えつつ安定で取扱い安いものを目指している。K-8 L-9号機では、高度90 kmまで観測を行なうことができるが、その後はロケットの姿勢が急変したためS/Nの良い測定は不可能となった。

3. 観測結果

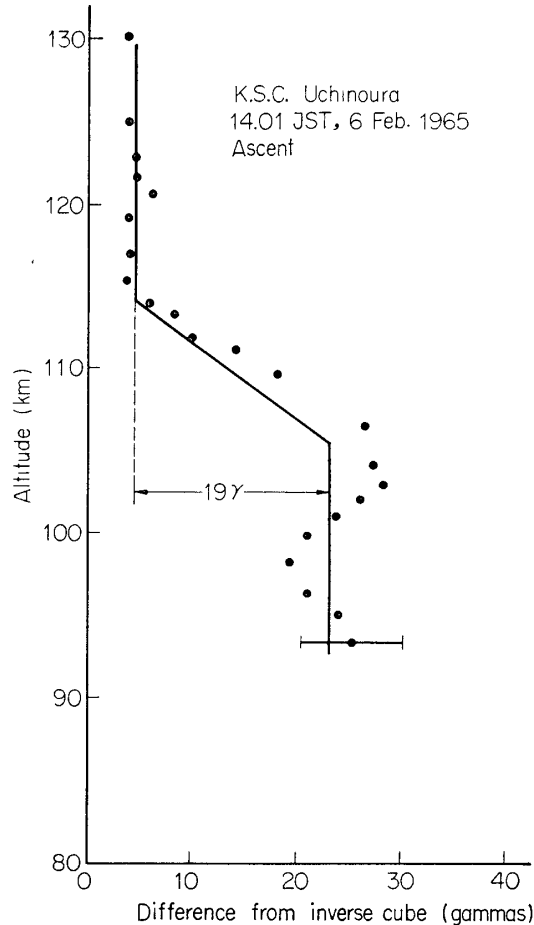
K-9 M-7号機およびK-8 L-9号機による結果を第5図にまとめて示す。地球磁界は高さに対して逆三乗則にしたがって減少し、高度約105 kmで磁界の強さが急に減少している。



第6図 カッパロケットによる磁界測定結果

また K-8 L-9 号機は頭胴部がグラスファイバー系の無磁性のものであるため、地上から測定できたものであるが、それによると高度 30 km ぐらいまで地下の影響が表われていると思われる。

第 6 図は K-9 M-7 号機の結果を拡大して逆三乗則からの相対的な差をプロットしたものである。図から明らかなように高度約 105 km から約 20 γ 近い変化が見られる。



第 6 図 K-9 M-7 号機による測定結果

この事実を第 2 図に示めした西から東へ流れる current sheet で説明すれば

$$j = 10 \cdot \Delta F / 4 \pi \cos I \text{ (amp/cm)}$$

より、 $j = (2.1 \pm 0.6) \times 10^{-4} \text{ amp/m} = 21 \pm 6 \text{ amp/km}$ なる電流が流れていることになる。

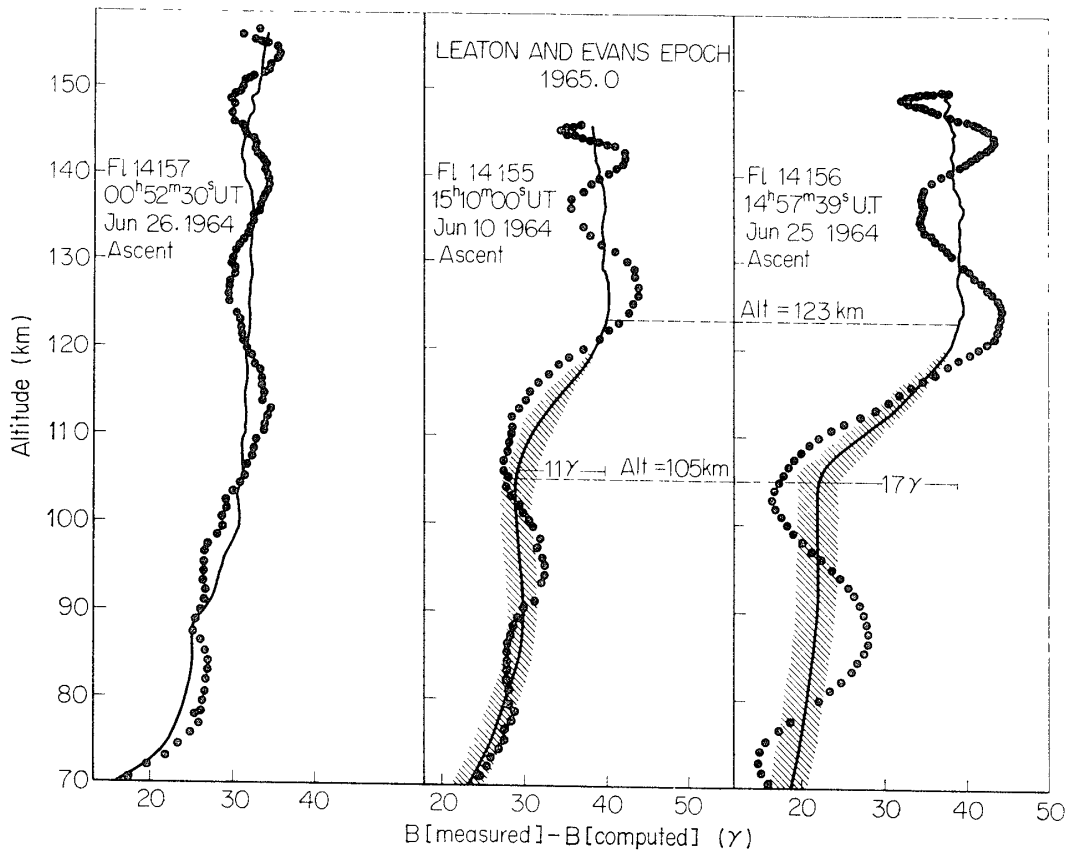
一方、このロケットを打上げたときの地上での水平成分の変化は、 $\Delta H_{\text{obs}} = 21 \pm 1.5 \gamma$ 、地下の影響をとりぞいての変化は $\Delta H_{\text{ext}} = 12.6 \pm 1 \gamma$ 、その結果予想される $\Delta F'$ 、すなわちロケットが電流系をつきぬけたさいに変化する全磁力は約 18 γ となる。この値はロケットによる観測値 $19 \pm 5 \gamma$ とほぼ一致する。なお、このときの地上観測より求められる current sheet は $j = 20 \pm 1 \text{ amp/km}$ である。

測定結果は current sheet の存在を明らかにしている。しかし存在する層の厚さを決定したり、磁界の絶対値を決めるにはこの測定精度からみて十分ではない。

なお sheet の厚さを 30 km ぐらいに仮定すれば、得られた結果より電流密度は 7×10^{-11} amp/cm²、存在する電界を 1 mV/m と仮定すれば電気伝導度は 7×10^{-15} e.m.u となる。

4. 結 び

最後にわれわれの得た結果と比較する意味で Heppner 等が Wallops Island (38°N) にて行なった観測の例を第7図に示す。この例は第1図におけるような電流系の中心より北の



第7図 Wallops Island にての測定例 (by J. p. Heppner et al)

部分で実験したことになり、電流系も東から西へ流れていると報告されている。しかも興味あることは電流系の高さが 105 km のところから始まって、われわれの測定もその高さにあるという点である。将来の方針はルビジュウム磁力計での測定を確立することと磁場の成分はフラックスゲート磁力計で測定する方法を研究することにあると言える。

1966年7月23日

質 疑 討 論

前田(坦): 中緯度で S_q 電流による磁場変化を測るためには、講演6-Cで上山氏が話されるように三成分を測ることが最も望ましいが、もし一成分を測るなら total force よりも午前7時~9時頃の Declination を測る方が検出しやすいと思う。ただ方法的には total force よりかなりむずかしからう。