

核磁力計による桜島磁場観測 (2)

田 中 良 和

OBSERVATIONS OF GEOMAGNETIC TOTAL INTENSITY WITH PROTON PRECESSION MAGNETOMETERS ON SAKURAJIMA (2)

By *Yoshikazu TANAKA*

Synopsis

The purpose of this paper is the descriptions of the variations of daily mean values of geomagnetic total intensity at night-time (22–04 h JST) observed with proton precession magnetometers at Kurokami and Furusato being situated in Sakurajima volcanic island, from January, 1976, till June, 1977.

A number of variations in the total intensity that might be related to the volcanic activity were observed.

The data, 1976, were examined mutually and were compared with the values of Kanoya geomagnetic permanent station. The following results are obtained. In the active period on eruptions of Sakurajima volcano, the increment or decrement of anomalous field changes of 2 gammas were observed at Kurokami. On the assumption that no local geomagnetic disturbances existed at Kanoya, the gradual change of -2 gammas had existed at Kurokami from January to June, while the field at Furusato had been steady in those months. Since July, 1976, the increment had appeared to the end of the year at Kurokami but the decrement had occurred at Furusato.

Examining the data, 1977, at Kanoya by means of the weighted difference method with the values at Aso and Yoshimatsu, it was found out the field was varied at Kanoya locally but was steady at Yoshimatsu. Then the data, 1977, at Kurokami and Furusato were compared with the values of Yoshimatsu. The results showed that the gradual decrement of the total intensity of 1.5–2 gammas was recognized at Kurokami and Furusato in the first half 1977.

1. ま え が き

1975年以来、桜島の火山活動に伴う地磁気変化を検知する目的で桜島東部、黒神において核磁力計により全磁力磁場の連続観測がなされている。桜島の火山活動に無関係な地磁気変化分を除去するため、観測値は火山の影響を直接受けない安定な基準点を参照して補正しなくてはならない。従来この基準点として桜島の南東約 25km に位置する気象庁地磁気観測所鹿屋観測所を利用してきた。1975年の資料については鹿屋と比較してどのような特徴があるかをすでに報告した¹⁾。そして、特に火山活動と対応して重要と思われる 10日～1ヶ月、あるいはそれ以上の長期変化に 2～3 γ の変動のみられる事が見出された。しかしそれらの変化が信頼しうるものか否かを判定するには黒神の長期観測だけでは不十分と思われるので、1976年3月から桜島南部の古里でも核磁力計による全磁力の連続観測を開始した。これにより、桜島内の地磁気変化の比較が可能となった。しかし桜島全域に及ぶ長期変動は把握できないので1976年10月から吉松を加えて観測している。これらに阿蘇の資料を加え、相互比較する事により、どの地点が変動したかをある程度判別できる様になっ

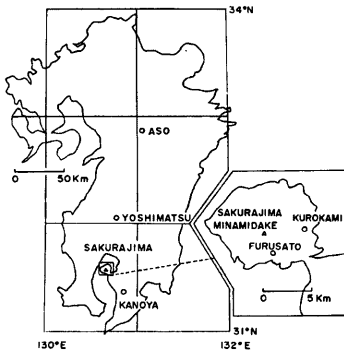


Fig. 1. Map of Kyushu island showing the locations of the stations where the magnetic observations have been performed with proton precession magnetometers.

た。この論文では1976年の黒神、古里の観測値を鹿屋に参照して比較したものについて第2節に示し、1977年1月から6月の資料については阿蘇、吉松、鹿屋を参照し、重荷差法による解析を行って第3節に示した。各観測点の位置は Fig. 1 に示してある。

得られた結果を要約すれば、1975年初頭から1977年6月までの間、桜島は鹿屋に較べて著しい経年変化はしていない。しかし、3～4ヶ月の間では火山活動の消長に伴って $2\sim 3\gamma$ の変動が見出された。また、従来不動と考えていた鹿屋にも 2γ におよぶ局所磁場変動のある事が判った。他方、この期間、吉松の磁場はほぼ不動である事が確かめられ、これに準拠して桜島の磁場を補正した。この結果、1977年初頭から6月までの間に桜島で 2γ の減磁が認められた。

この論文で扱う磁場の値は鹿屋値を除いて、すべて核磁力計により5分毎に計測された日本標準時22時から03時55分までの72計測の平均値を22時の属する日の代表値とした夜間6時間の平均値である。核磁力計は筆者製作の周期計測型核磁力計でプロトン歳差信号の800振動に要する時間を μs 単位で計測するものである¹⁾。鹿屋の値は光学式変化計に準拠した気象庁地磁気観測所の速報資料により、同時刻の平均値を求めたものである。夜間の資料を用いたのは昼間には振巾の大きい S_q 変化があり、これを除くためである。

2. 鹿屋を基準とした1976年の黒神、古里の全磁力変化

Fig. 2 は1976年の黒神、古里、鹿屋の全磁力差変化を示したものである。全磁力値は黒神値のみ示し、他は測点相互間の差で示してある。黒神の装置はサンプル水 60cc のセンサーを用いたものであったが1976年7月8日以降は、サンプル水 300cc の中型センサーの装置を10m離れた場所に並置し、約1ヶ月の比較測定期間をおいたのち後者とり替えた。この測点移動に伴って黒神値に152.9 γ の地点差を生じている。図ではこの地点差が見かけ上、現われないように7月8日から目盛をずらせてある。

日毎に全磁力変化の生じる主な原因は太陽風による磁気圏の圧縮や磁気嵐などによる外部擾乱磁場が加わるためであって、この期間最大変化巾は約140 γ があるが、相互差には高々2 γ 程度しか現われず、外部擾乱磁場は各測点にほぼ一様に作用しているとみてよい。本稿第3節でも述べるが、異なる2測点の全磁力値を比較する場合、各測点で伏角、偏角が異なる事や外部擾乱磁場の大きさが磁気緯度に依存する事などから考えて単純に差を求めるだけでは局所磁場変化を検出する上で充分ではない。しかし桜島と鹿屋の間でこれを補正する適切な関係がまだ求まっていないので、ここでは単純差を示してある。図下部には桜島の火山活動を知る上の参考として桜島の日別爆発回数を示した。磁場データが各所抜けているのは装置の不良で欠測した部分である。桜島島内の古里、黒神間は直距離にしてわずか4km程度であり、一般に外部擾乱磁場はほぼ同様とみなしうから、その単純差をみることは異常変化を知る上で最も簡便かつ重要である。しかしその差が一定であると言っても桜島地域全体が異常をきたしている場合も考えうるので注意すべきである。古里、黒神差で顕著な変化には5月から6月上旬にかけての $+2\gamma$ および8月中旬の -2γ 、そして7月から12月へ向けての緩やかな -3γ の変化がある。これらの部分を鹿屋との差と比較してみると5月期および8月期とも黒神で異常磁場を生じていることが判る。この時期は1976年における桜島火山活動の2つの山に相当して火山活動との関連性が十分に考えられる。ただし5月期には黒神の観測値に欠測があったり、S/Nが悪くなっていて少々信頼度が低い点は注意すべきである。これらの変化を桜島南岳直下の熱異常をその原

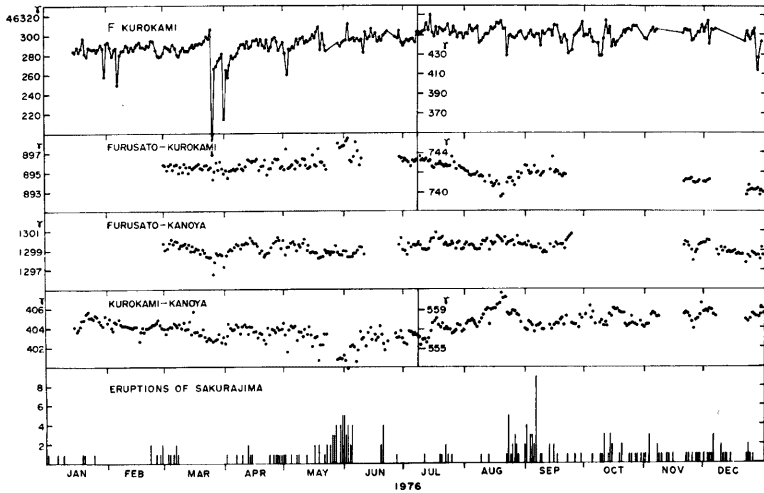


Fig. 2. Variations of daily mean values in the geomagnetic total intensity at night-time (22-04 h JST) at Kurokami, 1976 (upper part) and the mutual differences in the total intensity at Kurokami, Furusato and Kanoya. Daily frequencies of eruptions of Sakurajima volcano are shown in the lower part. Renewing the proton magnetometer at Kurokami, the scale values are shifted 153 gammas from July 8 in this figure. The field at Kurokami was increased clearly amount of +2 gammas in the active period of Sakurajima volcano in August and the decrement of -2 gammas was observed in May. The gradual change of -2 gammas had been recognized at Kurokami from January to June though the field at Furusato had been steady in those months. Since July, the field had changed increasing to the end of the year at Kurokami but the decrement had appeared at Furusato.

因として説明するには、5月期では黒神で減磁を観測し、8月期には増磁となっていることや、この原因では黒神よりむしろ古里に大きな異常の現われることが期待できること、および時間的な応答が比較的急速であることからみて少々難点が多い。圧力歪による効果や地殻変動に伴う磁気異常等の可能性は充分考えうるのであるが、他の物理現象の観測資料がないためモデル化は困難である。また降灰効果、あるいは集中豪雨等による土石流出の効果にも留意する必要がある。

この様な1ヶ月程度の変化の他に、桜島では半年程度の極めて緩やかな磁場変化が認められる。古里・黒神差で3月から7月までに+1 γ 、その後12月末までに-3 γ の変化をしている。いずれの地点が変化したかを鹿屋との差で見ると、黒神が1月から6月までに約2 γ 減磁し、5月期の火山活動以降、増磁傾向に転じている事が判る。1976年12月末には7月と較べて2 γ 増磁しているが、この値は1975年初頭に等しい。これに対し古里は3月から9月までほとんど不変で、9月あるいは11月末から1 γ 程度の減磁をみせている。

このような数ヶ月に及ぶ磁場変化については特に長期間の資料の蓄積が必要でありその原因にまでは立入れない。

今一つ注意すべき変化がある。それは鹿屋との差において3月下旬、4月中旬あるいは7月上旬、中旬、11月下旬に見られる1~2 γ の変化で、桜島内の古里・黒神相互差に変化はみられない。桜島地域が減磁したのか、あるいは鹿屋が増磁したのかはこれだけの資料からは判別できないが、これらの期間、噴火活動や全磁力変化との相関はほとんどなく、その原因究明は今後の調査にまたねばならない。

3. 吉松を基準とした 1977 年の黒神、古里の全磁力変化

前節で述べた如く鹿屋のみを基準としていたのでは桜島地域全体の一様な特異変化を見落す危険性がある。また鹿屋が不動であるという確実な根拠もない。これを調べるには桜島の影響を受けない別の観測点を必要とする。従来、阿蘇においても磁場観測がなされているが桜島や鹿屋と比較する場合、地理的に離れすぎ、誤差が大きくなる欠点があった。これを補う目的で 1976 年末に吉松観測所でも核磁力計による全磁力連続観測を開始した。ここでは先ず各種の擾乱により磁場変動を受けやすい桜島はあまわしにして、阿蘇・吉松・鹿屋の三者について前節と同じく夜間平均値を用いてその変動の特徴を調べてみる。

3.1 阿蘇・吉松・鹿屋の全磁力変化

Fig. 3 は 1977 年 1 月から 6 月の阿蘇、吉松、鹿屋の測点相互間の全磁力差を示したものである。全磁力値そのものは鹿屋のみ代表として示した。この三測点では阿蘇が最も北に位置し、ついで吉松、鹿屋と並ぶ。

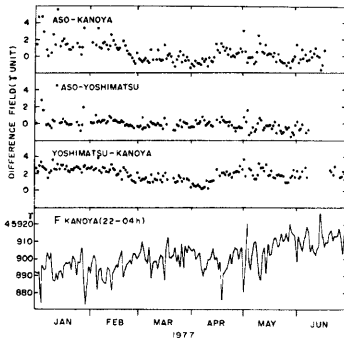


Fig. 3. Variations of daily mean values in the total intensity at Kanoya (lower part) and the mutual differences of the field at Aso, Yoshimatsu and Kanoya.

全磁力値もこの順に小さくなっているので大きい方から小さい方を差し引いてある。阿蘇の 1 月上旬の資料はセンサーに水を用いるため、時々凍結を生じ S/N の悪い資料を平均化しているので少し信頼度に欠ける点がある。Fig. 3 では各相互差とも 2 月下旬から小さくなり、4 月中旬には元に戻る特徴的な変化を見ることができ。その変化量は概略、阿蘇・鹿屋間で 1.8γ 程度、吉松・鹿屋で 1.3γ 、阿蘇・吉松で 0.3γ とみなせる。三点すべてについて差異を生じたのではもはや単純差のみで論じることとはできない。測点相互間が 100km 以上も離れる場合、変化磁場の補正の方法として重荷差法²⁾が有効となってくる。これは夜間の平均磁場強度を増減させる主原因を赤道環電流で代表させる等価電流系で説明できるとする立場のもので、変化磁場は地磁気緯度、および測点の伏角の関数となる。この関数は測点固有のものであって、ある測点の全磁力値に補正定数を乗じたものが別の観測点の推定値を与える。

従って、かなりの距離を隔てる二測点間に単純差で異常な差が出現した場合、先ず全磁力値との相関はどうかを調べる必要がある。Fig. 4-a, b, c は阿蘇、吉松、鹿屋の 1977 年 1 月から 6 月についての資料を、横軸に全磁力変化を、縦軸に 2 点の差をプロットしたものである。Fig. 4-a, b, c いずれも右下りの分布が明瞭である。つまり全磁力値が大きくなったとき地理的に北側に位置する観測点値は南側に較べて変化分が小さくなる傾向をもつことを示している。特に Fig. 4-a、阿蘇-吉松にあっては勾配 -0.08 の直線によく乗り、単純差を求めた場合に較べ著しくその誤差を小さくする事は明白である。しかし Fig. 4-b (阿蘇-鹿屋)、Fig. 4-c (吉松-鹿屋) の場合では右下りではあるが必ずしも直線上に分布しない。つまり赤道環電流系で説明できない擾乱場を大きく受けていると考えられる。図から概略の勾配を求めると、阿蘇・吉松で -0.08 、阿蘇・鹿屋で -0.09 、吉松・鹿屋で -0.04 と求まる。本来三者の係数は独立ではなく、この比は漸定値として求めたので閉じてない。Fig. 4-b に見る如く (1 月から 3 月について○印で 4 月から 6 月については×印でプロットしてある) ○印のみ採用すればずっと勾配の急な値が得られる。つまり重荷比が求める時期によって変わる様にみえるのである。実はこれは鹿屋値が局所磁場により変動しているためである。重荷比を正しく求めるには数ヶ月の間、二測点ともドリフトがあつてはならない。鹿屋はこの条件を充さないで分散が非常に大きいものになっているし、求めた値についても誤差が大きい。正確な値は良好な資料

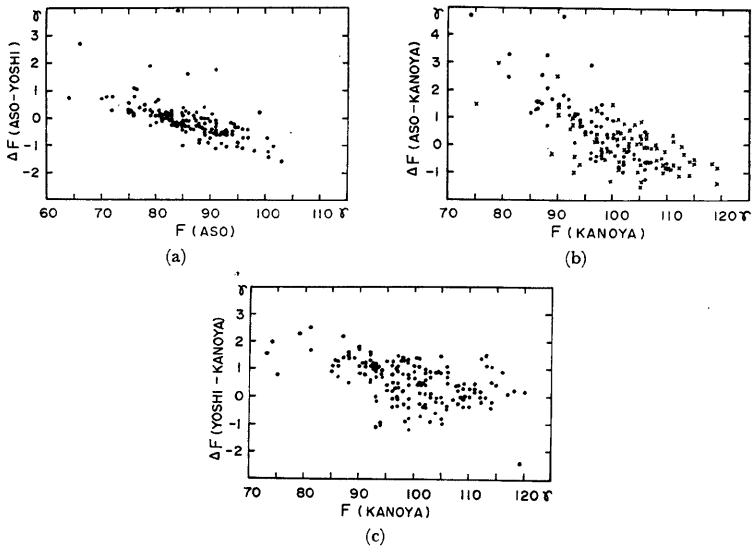


Fig. 4. Correlations between the total intensity F and the mutual differences ΔF (Aso, Yoshimatsu and Kanoya) in the first half 1977. The scale values of the field are slid arbitrarily. In Fig. 4-b $\circ$ and $\times$ denote the data obtained from January to March and from April to June, 1977, respectively. It is clear that the increment of the total intensity causes the decrement of the differences.

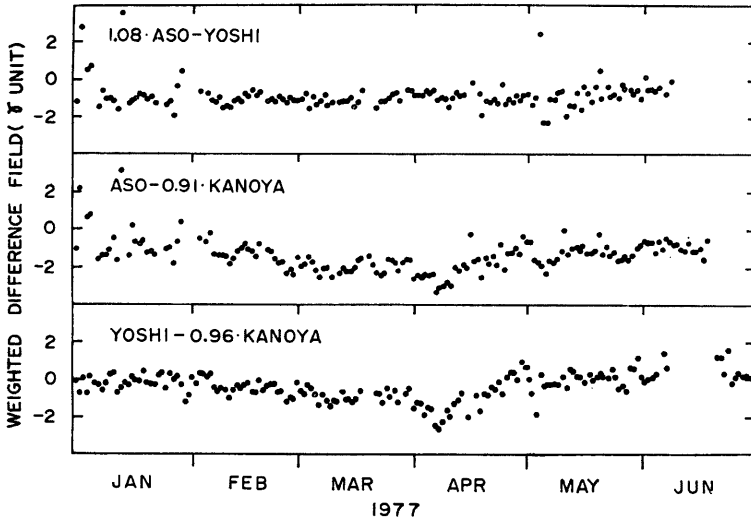


Fig. 5. Variations of the weighted mutual differences in the geomagnetic total intensity at Aso, Yoshimatsu and Kanoya, 1977. The weight ratios are shown in the figure, for example the differences of Aso-Yoshimatsu are calculated by $1.08 \times \text{Aso-Yoshimatsu}$ values. It is clear that the field was varied at Kanoya and it was steady at Yoshimatsu.

の得られた時に定め直すとして、とりあえず、これらの測定値を用いて重荷差を求めたものが Fig. 5 である。Fig. 5 最上段は阿蘇の全磁力値を 1.08 倍して吉松値との差を求めたもので、ほとんど異常な変化は認められない。つまり阿蘇・吉松の単純差で生じていた 1γ 程度のゆらぎは赤道環電流の消長による影響であったとみてよい。Fig. 5 中段は阿蘇・鹿屋についての重荷差で阿蘇値から鹿屋値の 0.91 倍をひいてある。単純差を求めた場合に較べて日々のばらつきは良く修正され、2 月から 4 月上旬にかけて -2γ に達する緩やかな下りを示した後 5 月には元に戻る変化を示している。また吉松・鹿屋の重荷差は Fig. 5 下段に示した。この変化も阿蘇・鹿屋重荷差とはほぼ同様の変化を示している。これらの事から、阿蘇、吉松はこの期間特異な変化はなく、2 月から 4 月にかけて鹿屋で 2γ 程度の増磁変化の存在したことが判る。原因は不明であるが、従来鹿屋は特に異常な局所変化を生じないと考えていた仮定はもはや成立しない。そして少なくともこの期間について鹿屋値は基準として使えぬ事となり、むしろ吉松がほとんど変化していないと判定できるので、この期間の桜島の変化は吉松と比較して行うのが適切である。

3.2 1977 年 1 月～6 月の桜島の全磁力変化

桜島の磁場変化を調べる場合にも重荷差法を採用するのが適当と思われる。前節で吉松はほぼ不動とみなせることが判ったのでこれを基準とみなす事にする。前節と同様に吉松・黒神の差を縦軸に、吉松の全磁力値を横軸にプロットしたものが Fig. 6-a, そして吉松・古里について求めたものが Fig. 6-b である。1 月～3 月は○印で 4 月～6 月は×印でプロットしてある。Fig. 6 で○印は下部に分布し、×印は上部に分布していて、黒神、古里とも 4～6 月値の方が減磁していることは明白である。そして先に述べたが重荷比を求めるにはその期間二地点にドリフトがあってはならないが、この条件を充きめぬに Fig. 6 はおよそ直線上には並ばない分散の大きい分布を示している。ドリフトのある場合、この様に図上から重荷比が決定できないので、あらかじめドリフト分を補正しておいて日々の分散が小さくなる値を求めてやると桜島の値は吉松に較べ概略 2% 大きい結果を得る。2% の重荷差で求めた吉松と黒神および古里の変化を桜島の日別爆発回数とあわせて Fig. 7 に示した。2% の重荷差だと単純差とほとんど変わりはないが 20γ の全磁力変化に対し 0.4γ の影響を与える。Fig. 7 から黒神では 1977 年 2 月から 5 月中旬までに、ほぼ直線的に 2γ 程減磁し、5 月末から 6 月にかけて急速に反転していることが判る。また古里においては 1977 年 3 月初めから 5 月中旬までに 1.5γ の減磁を示した。黒神・古里間では 1 月から 5 月中旬まで $\pm 0.5\gamma$ 内で一定であるが 6 月に入ると黒神が増磁に転じたため $1\sim 2\gamma$ の変化を生じている。以上の変化を桜島の日別爆発回数を火山活動の指数とみなして比較すれば、活動の盛んとなる 5 月末までの間に桜島南部および東部で $1.5\sim 2\gamma$ の緩やかな減磁を生じた事になる。火山活動の活発化に伴って地下温度が上昇し岩石がその磁性を消失したと考えれば定性的には説明がつく。しかし成因や定量化については今少し観測値を集積するとともに他の物理現象を良く調べた上で稿を改めて論じたい。

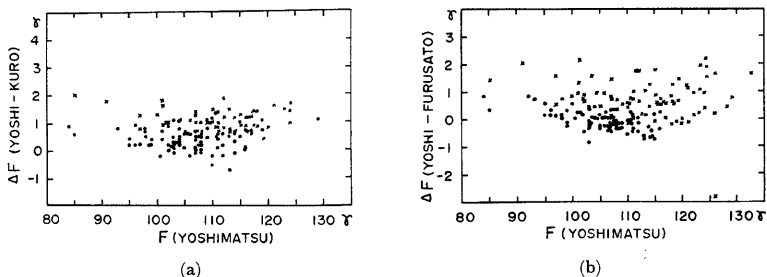


Fig. 6. Correlations between the total intensity at Yoshimatsu and the difference fields of Yoshimatsu-Kurokami (6-a) and Yoshimatsu-Furusato values (6-b). ○ and × denote the data obtained from January to March and from April to June, 1977, respectively.

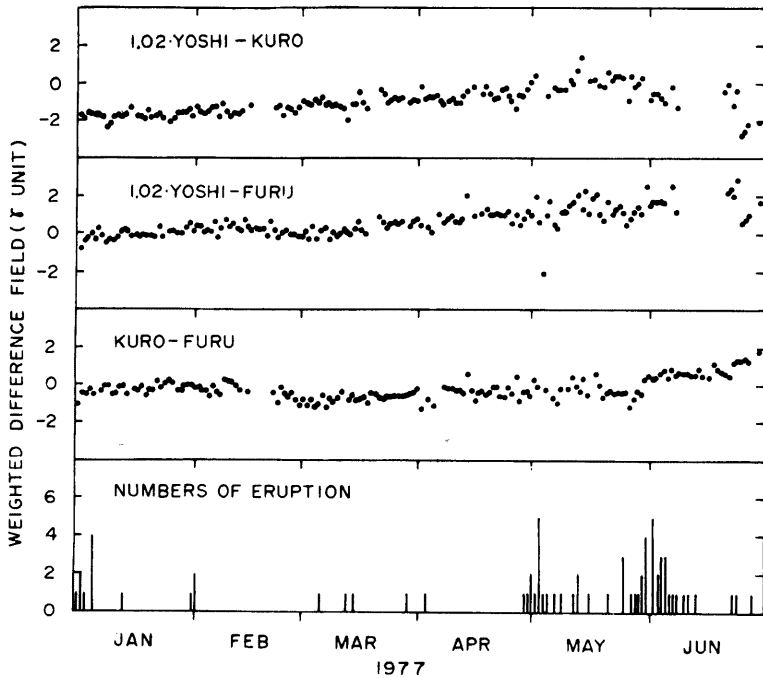


Fig. 7. Variations of the weighted differences in the total intensity and daily frequencies of eruptions of Sakurajima volcano, in the first half 1977. The total intensities at Kurokami and Furusato were decreased toward the active period of Sakurajima volcano.

4. お わ り に

現在の桜島の火山活動にあっても、どうやら1~2rの火山活動に伴う磁場変化のある事が判ってきた。これを明瞭にひき出すには観測点の数を増やすとともに観測精度を更に向上安定化する必要がある。また日々外部磁場擾乱によって乱される資料を補正する、より適切な解析方法を見出さなくてはならない。本稿を終るにあたって桜島の磁場観測を維持する上で、全面的な御援助、御指導を戴いた加茂幸介教授はじめ桜島火山観測所の方々に厚く御礼を申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 田中良和：核磁力計による桜島磁場観測 (1), 京都大学防災研究所年報, 第19号 B-1, 1976, pp. 81-90.
- 2) Rikitake, T., Y. Yamazaki, Y. Hagiwara, K. Kawada, M. Sawada, Y. Sasai and T. Yoshino: Geomagnetic and Geoelectric Studies of the Matsushiro Earthquake Swarm (2), Bull. Earthq. Res. Inst., 44, 1966, pp. 409-418.