

## 8. プロトン磁力計の試作研究 (続報)

文部省科学試験研究費研究班

(代表者 力 武 常 次)

(昭和 34 年 11 月 24 日発表 一 昭和 34 年 11 月 30 日受理)

### 1. 緒 言

前報<sup>1)</sup>においては、「プロトン磁力計の試作研究」に関する文部省科学試験研究費研究班の活動状況および昭和 32 年度文部省科学試験研究費補助金により試作した固定観測所用プロトン磁力計について報告した。

この研究組織はその後活動を継続し、昭和 33 年度文部省科学試験研究費補助金によりトランジスター型プロトン磁力計を製作するとともに、第 2, 3 および 4 次南極地域観測用として海上用プロトン磁力計ならびに周波数直読型プロトン磁力計の設計製作に協力した。本報においてはこれら磁力計の概略を述べるとともに、地震研究所伊豆大島観測所に設置した固定観測所用プロトン磁力計の使用状況について報告する。

### 2. 研究 組 織

「プロトン磁力計の試作研究」に関する研究班の組織はつぎの通りである。

分担事項	所 属	氏 名	分担事項	所 属	氏 名
記録方式の研究	東京教育大学	小島昌治	比較測定および南極観測	東京大学理学部	永田 武
	お茶の水女子大学	小川 静子		東京大学地震研究所	力武常次*
標準周波計および増幅器の製作	日本電子光学研究所	関 利 正	比較測定およびロケット観測	東京大学理学部	福島 直
	同	草鹿履一郎			
比較測定	建設省地理調査所	坪川家恒	海上観測	工業技術院地質調査所	佐藤光之助
	同	瀬戸孝夫		同	長谷川 博
	同	田 島 稔	テレメータリング	東京大学地震研究所	辻 浦 賢
	東京大学理学部	秋本俊一			
	東京大学地震研究所	上田 誠也			

\* 代表者

### 3. 伊豆大島観測所に設置した固定観測所用プロトン磁力計の概況

前報<sup>1)</sup>においてその性能を報告した固定観測所用プロトン磁力計は、1959 年 4 月以来地震研究所伊豆大島観測所に設置されている。磁力計の増幅器、標準周波発振器、記録

1) 文部省科学試験研究費研究班 (代表者力武常次) 地震研究所彙報 **36** (1958), 433.



Fig. 1. The detector coil hung above the GSI magnetometer in the absolute measurement room of Oshima Geophysical Observatory.

計などは、観測所本館内の観測室に設置され、検出コイルは約 20 m 離れた地磁気絶対測定室内の地理調査所型磁気儀の直上に置かれている。その状況はそれぞれ第 1 および 2 図に示してある。

同観測所においては、地磁気 3 成分変化計による連続観測を実施しているが、変化計の基線値は、地理調査所型磁気儀による偏角および伏角観測とプロトン磁力計による全磁力観測とを組合せて決定される。

火山活動と地磁気全磁力変動との関連を調べるためには、長期間の観測を必要とすることはいうまでもないが、現在の試験的段階においては、つぎに述べるような観測方法を採用している。このプロトン磁力計は自動記録方式ではないので、観測員の労力をも考慮して、原則として午前 10 時、10 時 20 分、10 時 40 分および 11 時に観測を行なうこととし、その平均  $F_0$  をつくる。一方、柿岡地磁気観測所の報告から 10~11 時の平均  $F_k$  を求め、 $F_0 - F_k$  をつくることによって、磁気嵐などの一般的地磁気変化を除去し、伊豆大島に固有の変化を求めようというわけである。

この方法の精度を調べるために、1959 年 6 月の観測結果について、つぎのような吟味

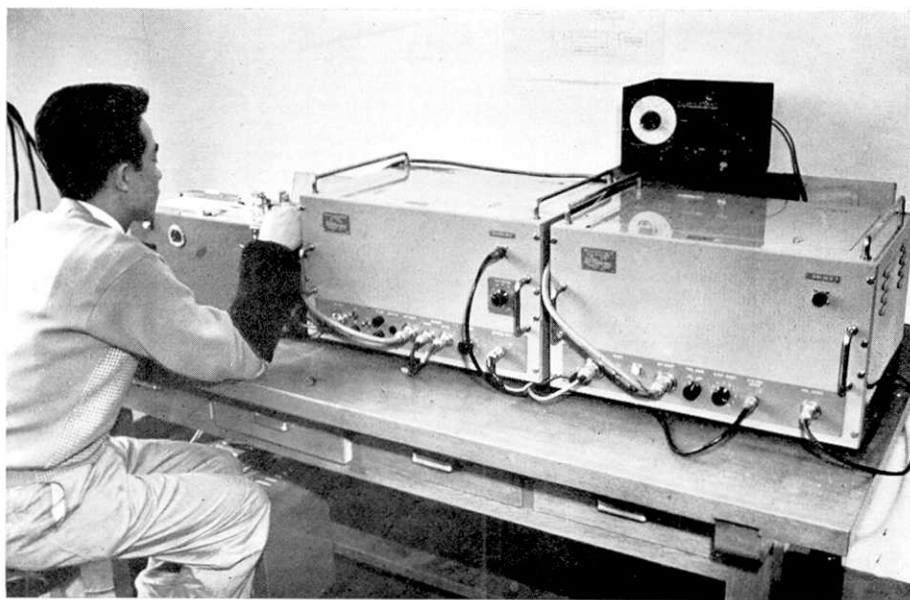


Fig. 2. The proton magnetometer in the observation room of Oshima Geophysical Observatory.

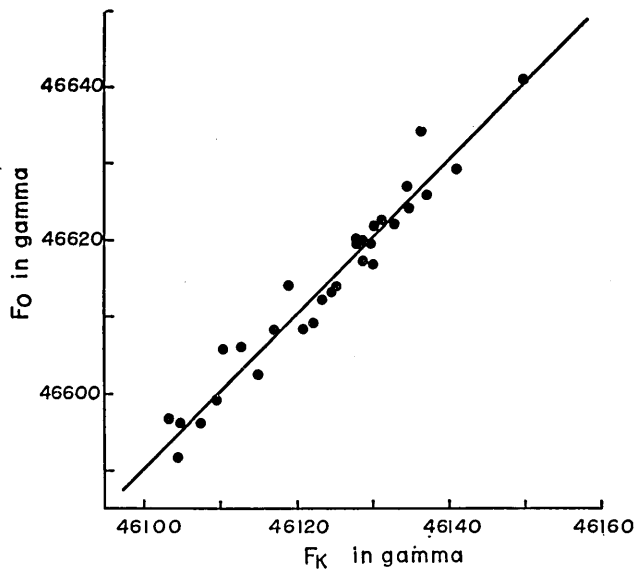


Fig. 3. The relation between the geomagnetic total intensities as observed at Oshima ( $F_0$ ) and Kakioka ( $F_k$ ) for the 30 days in June, 1959.

を行なつた.  $F_0$ ,  $F_k$  および  $F_0 - F_k$  は第1表の通りである.

$F_0$  と  $F_k$  との関係を図に示すと, 第3図のようになり, 地磁気変動の大部分が伊豆大島および柿岡に共通であることがわかるが, なお若干のばらつきが存在する. このばらつきが全く偶然であるとすれば

$$F_0 - F_k \text{ の平均値} \\ = 490.3 \pm 0.4\gamma$$

となり, 表中の値の probable error は  $\pm 1.9\gamma$  といふことになる.

Table 1. The geomagnetic total intensities as observed at Oshima ( $F_0$ ) and Kakioka ( $F_k$ ) in June, 1959.

Date	$F_0$	$F_k$	$F_0 - F_k$	Date	$F_0$	$F_k$	$F_0 - F_k$
June, 1959				June, 1959			
1	46609.0 $\gamma$	46122.1 $\gamma$	486.9 $\gamma$	16	20.1 $\gamma$	27.8	92.3
2	29.2	41.2	88.0	17	08.1	17.1	91.0
3	01.9	14.9	87.0	18	19.9	28.5	91.4
4	08.1	21.0	87.1	19	40.7	49.9	90.8
5	13.7	25.1	88.6	20	22.5	31.1	91.4
6	16.6	30.1	86.5	21	19.5	28.0	91.5
7	26.9	34.5	92.4	22	21.9	30.2	91.7
8	24.2	34.8	89.4	23	14.0	18.8	95.2
9	34.0	36.4	97.6	24	06.0	10.5	95.5
10	06.1	12.7	93.4	25	46596.6	03.1	93.5
11	17.2	28.7	88.5	26	46621.3	32.8	88.5
12	12.2	23.4	88.8	27	46596.1	04.6	91.5
13	13.1	24.6	88.5	28	99.0	09.5	89.5
14	25.7	37.2	88.5	29	95.8	07.5	88.3
15	19.5	29.8	89.7	30	91.4	04.4	87.0

しかしながら、従来実施中の偏角連続観測の結果からも、1週間程度の短期間中にも伊豆大島観測所特有の変化があることが予想されるので、上記の誤差の計算はこのような系統的变化をも含んだものといえよう。いずれにしても、長期間の地磁気変動を論じる場合には、例えば15日平均値について誤差という手つづきをとるので、現在採用している方法によつても、 $1\sim 2\gamma$ 程度の変化は信用できるであろう。

#### 4. 海上用プロトン磁力計

1957年の第2次南極地域観測の際に、海上用プロトン磁力計を製作し、観測船「宗谷」に積込んで、東支那海、印度洋、南極海域等の磁気測量に使用したことは前報<sup>1)</sup>に報告した通りである。この海上用プロトン磁力計は第3および4次南極地域観測にも若干の改良を施して、引きつづき使用されている。ここではその概略を報告する。

プロトン磁力計は動揺に対して鈍感であるから、検出コイルを船の後方に曳行し、船体磁気の影響をさけて、全磁力の測定を行なうという試みは、外国に於ても行なわれている。Cambridge 大学 Department of Geodesy and Geophysics の M. N. Hill<sup>2)</sup> は検出コイルおよび前置増幅器を納めた“fish”を700ftのケーブルで曳行し、大西洋の磁気測量を行なつた。また New Zealand の D. Christoffel<sup>3)</sup> は海上用プロトン磁力計を製作して、New Zealand—McMurdo Sound および Ross 海の磁気測量を実施したとのことである。

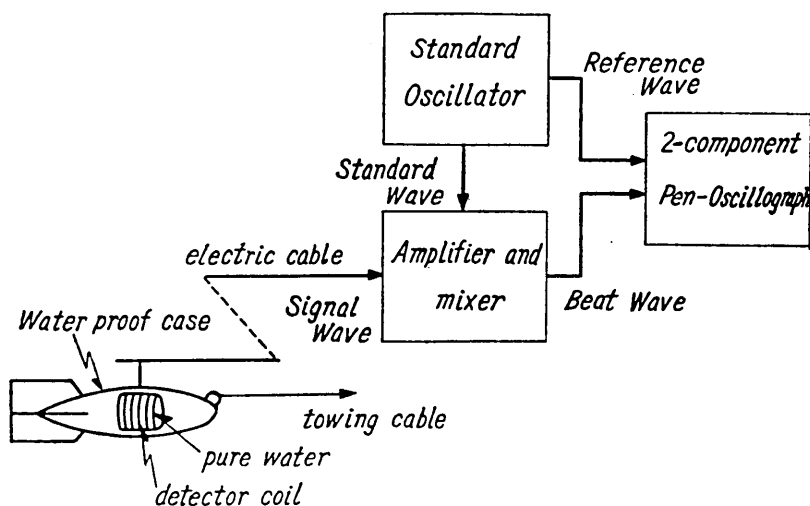


Fig. 4. Block diagram of the sea-borne proton magnetometer.

2) M. N. HILL, *Deep-Sea Research*, **5** (1959), 309.

3) GEOPHYSICS LABORATORY, UNIV. OF BRITISH COLUMBIA, *Annual Report*, (1958-1959).

本研究組織の設計製作した海上用プロトン磁力計も上記外国文献に見られるものと、本質的差はない。

### 1) 構成

第4図は海上用プロトン磁力計のブロックダイアグラムを示したもので、前報に報告した固定観測所用プロトン磁力計と原理的には同じである。第3次南極観測以後は、観測員が不在でも観測できるよう、スイッチ操作を自動的に行なう時限装置をつけ加えた。

### 2) 検出部

第5図に見られる長さ約  $1\text{ m}$  の水密流線形容器に偏極および検出コイルを納める。容器はポリエステル樹脂およびガラスファイバーでつくられ、曳行された場合に水面下数  $\text{m}$  に位置する。容器の形は水槽実験により安定性を大きくするよう設計されているが、実際には曳行速度も一定でなく、航跡の渦の影響もあり、果してどのような運動をしているか明らかでない。

偏極および検出コイルは、内径  $67\text{ mm}$ 、内長  $70\text{ mm}$  の円筒型硬質塩化ビニール製容器に蒸留水約  $200\text{ cc}$  をいれ、その外側に径  $1\text{ mm}$  のエナメル銅線を  $540$  回巻いてある。

コイルは長さ  $200\text{ m}$  のテフロン被覆同軸ケーブル (径  $14\text{ mm}$ ) に接続されて船上に導かれる。この電線は径  $8\text{ mm}$  のナイロンロープにとめられ、電線に張力がかからないように留意されている。南極観測船「宗谷」で使用する場合には、通常船の後方  $130\text{ m}$  に検出部を曳行した。

### 3) 励磁電源

励磁電源は交直両用とし、増幅器と同一ジャシーに納められている。直流用のときには、 $24\text{ V}$  蓄電池をパネルの所定端子に接続する。

約  $5\text{ アンペア}$  の電流で励磁し、スイッチを増幅器側に切換えることにより、励磁コイルは検出コイルとして兼用される。緩和時間を考慮して、プロトンを飽和値にまで配向するためには、数秒の励磁時間が必要である。

### 4) 増幅器

検出コイルに誘起した信号電圧は、同軸ケーブルを経て、増幅器の結合変圧器に導かれる。

増幅器の構造は、前報<sup>1)</sup>の固定観測所用プロトン磁力計の場合と類似している (前報結



Fig. 5. The stream-lined case for the detector coil.



記録計としては、2 成分ペン・オシログラフを使用し、感度は  $0.5 \text{ mm/mA}$  で  $60 \text{ c/s}$  ぐらいまではほぼ平坦な周波数特性を有する。記録紙の送りは通常  $12.5 \text{ cm/sec}$  である。

#### 7) Hermanus 観測所における比較観測

第3次南極地域観測隊の小口、柿沼両隊員は観測船「宗谷」が南アフリカ Cape Town に寄港したさい、プロトン磁力計を Hermanus 地磁気観測所 ( $34^{\circ}26'S, 19^{\circ}14'W$ ) に運び、1958年12月22および23日にわたって比較観測を実施した。その詳細は省略するが、第7図のような結果が得られ、同観測所基準値は  $10.34\gamma$  過大であることがわかった。

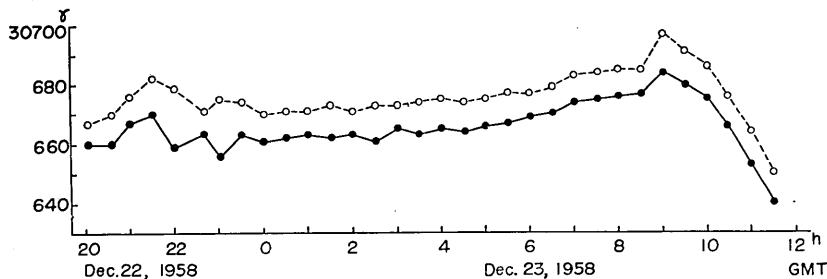


Fig. 7. Comparison of the results observed by the sea-borne proton magnetometer (black circle) with those observed by the magnetograph (hollow circle). From Dec. 22 to 23, 1958 at Hermanus Magnetic Observatory, near Cape Town, South Africa. (After T. Oguti and S. Kakinuma of the Japanese Antarctic Research Expedition).

この値の平均誤差は  $\pm 1.92\gamma$  である。この結果から見て、プロトン磁力計を各地磁気観測所に運んで基準値の比較観測を行なうことは有意義である。

#### 8) 東京—昭和基地間海上磁気測量

第2, 3 および4次南極地域観測の往復途上において、本磁力計による磁気測量が行な

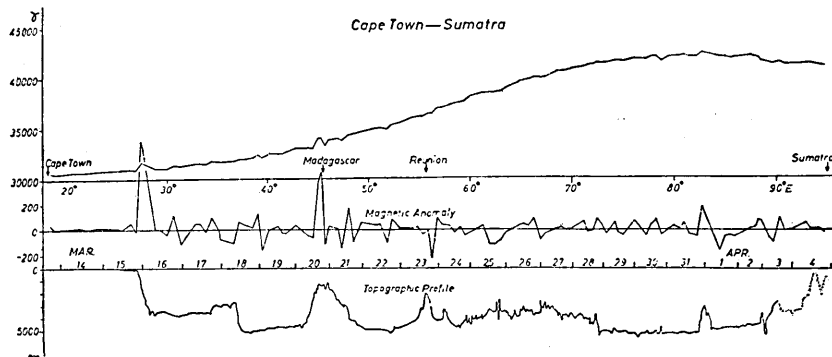


Fig. 8. Total geomagnetic force, magnetic anomaly and topographic profile measured during the voyage of s.s. Soya of the Japanese Antarctic Research Expedition. (After T. Oguti and S. Kakinuma).

- 4) T. NAGATA, T. OGUTI and S. KAKINUMA, *Proc. Japan Acad.*, **34** (1958), 427.
- 5) T. OGUTI and M. KODAMA, *Nature*, **183** (1959), 103.
- 6) T. OGUTI and S. KAKINUMA, *Antarctic Record*, **7** (1959), 389.





という関係がある。ただし  $N$  はあらかじめ選定されているスタートおよびストップパルス間のパルス数,  $f_0$  は標準周波数  $100 \text{ kc/s}$  である。したがって,  $f$  を  $\text{c/s}$  で測つた場合,  $F = 23.4865 f r$  によつて全磁力が与えられる。この比例常数は前報においては  $23.4861$  を採用したが, その後  $23.4865$  を採用することが, 本研究班の会合で暫定的に決定されている。

## 2) 増幅器

固定観測所用および海上用プロトン磁力計の増幅器と大差ないが, 全磁力の値に応じ

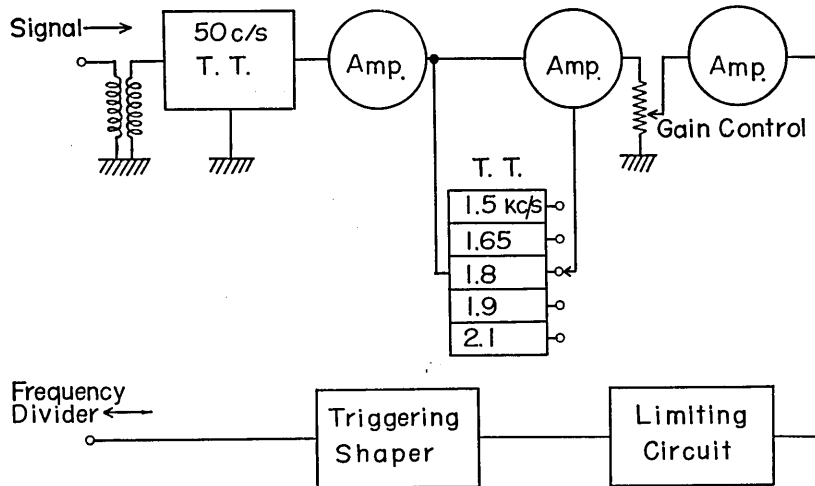


Fig. 10. Block diagram of the amplifier of the direct-counting proton magnetometer.

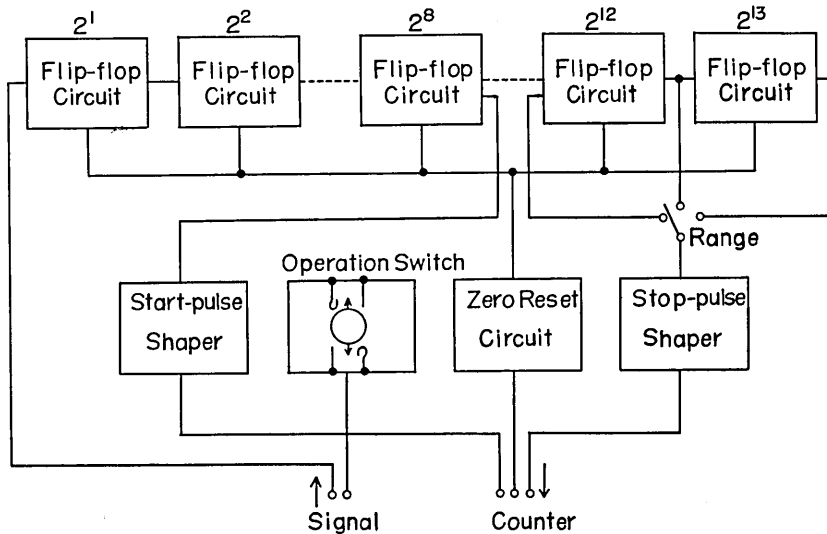


Fig. 11. The constitution of the frequency divider

て T.T. 回路を切換えて使用する。振幅制限回路およびトリガー回路を通じて、整形されたパルスを周波数逡降器に送る。第 10 図は増幅器の概念図である。

### 3) 周波数逡降器

この部分は第 11 図のような構成になっている。真空管 13 個を使用して、フリップフロップ回路により、 $2^{13}$  の計数回路を構成しているが、励磁によるリレー切替のショックをさけるために、入力信号のはじめの部分を捨てるように、 $2^6 \sim 2^9$  の間の適当な値を計数した後、測時計のゲートが開くようにする。このためのスタートパルスはトリガー回路を通して整形される。ストップパルスもまた同様である。また零リセット回路から負のパルスを出し、フリップフロップ回路、ゲート回路、10 進計数回路のリセットを行なう。操作スイッチを備えているので、単一操作により、励磁、計数およびリセットを行なうことができる。

### 4) 測時計

この部分は標準周波数発振器、ゲート回路、真空管 10 進計数回路およびデカトロン 10 進計数回路より成り、第 12 図のようになっている。

標準周波数は水晶発振器よりの  $100 \text{ kc/s}$  を使用し、ゲートの開いている間の  $100 \text{ kc/s}$  の波数を計数する。 $100 \text{ kc/s} \sim 1 \text{ kc/s}$  までの逡降は真空管 10 進計数回路、 $1 \text{ kc/s} \sim 1 \text{ c/s}$  までの逡降はデカトロン 10 進計数回路で行なっている。

第 13 図に周波数直読型プロトン磁力計の概観を示す。

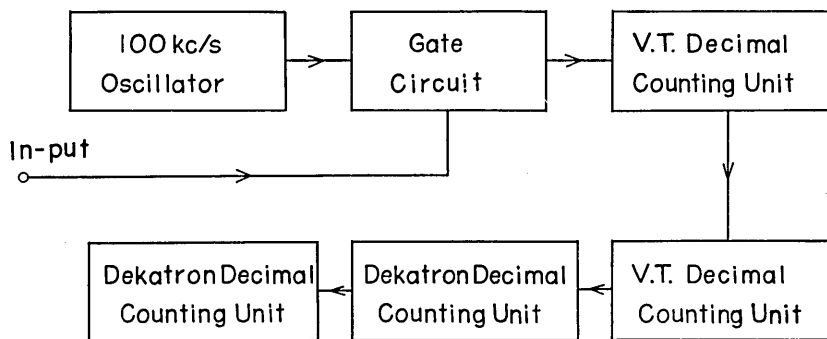


Fig. 12. The constitution of the signal counter.

## 6. トランジスタ型プロトン磁力計

プロトン磁力計をトランジスタ化する試みは、各国において行なわれている。米国 Varian Associates 社は超小型のトランジスタ型プロトン磁力計を製作販売し、日本にも輸入されている。これは振動片の共振により、信号周波数と標準周波数との唸周波数を測定する方式のもので、測定精度は  $\pm 10\gamma$  といわれる。また G. S. Waters<sup>7)</sup> 等も

7) G. S. WATERS and P. D. FRANCIS, *Journ. Sci. Instr.*, **35** (1958), 88.

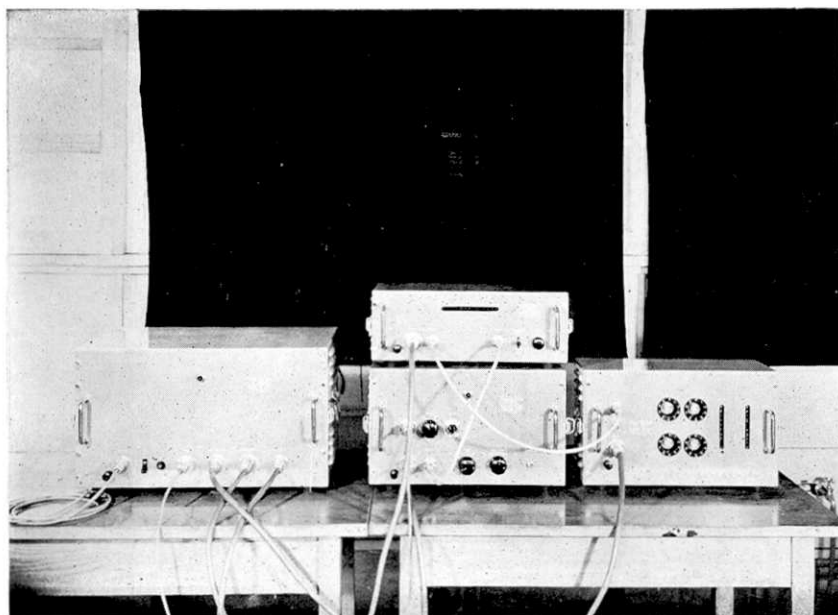


Fig. 13. Assembly of the direct-counting proton magnetometer. (From left to right: power source, frequency divider and amplifier and signal counter).

周波数直読式トランジスタ型プロトン磁力計を製作した。

日本においても、建設省地理調査所の坪川、瀬戸<sup>8)</sup>らは、トランジスタ型ペン書きプロトン磁力計を試作し、小型軽量化に優秀な成績をあげた。本研究班においても、昭和33年度に交付された文部省科学試験研究費補助金により、トランジスタ型プロトン磁力計1台を試作する方針をたて、経費の不足のため充分の小型軽量化には成功しなかつたとはいえ、一応野外用として使用できる器械を製作したので、その概略を報告する。

### 1) 構成

本磁力計は火山地域等において、迅速に絶対磁気測量を行なうことを目的とし、 $1 \sim 2\gamma$ の精度を目標とする。また記録を残すためにペン書き方式とした。本邦において使用するために、水晶発振器よりの1.9および2 kc/sの標準周波数との唸周波数を記録する。したがって、本磁力計の構成は前報<sup>1)</sup>に報告した固定観測所用プロトン磁力計の構成と全く同等であつて、増幅器、標準周波発振器、リレーをとりまとめて一つの筐体に納め、他に励磁および検出コイル、記録計、電源が附属する。筐体の寸法は350 mm×290 mm×230 mm、重量約10 kgである。第14図は本磁力計のブロックダイアグラムである。

### 2) 励磁および検出コイル

固定観測所用プロトン磁力計のものと同じである。

8) 坪川家恒・瀬戸孝夫 昭和34年10月日本地球電気磁気学会講演。

## 3) 主増幅器

トランジスタ (ST-302) 7 箇を使用した電圧増幅部と標準周波数との唸周波数をつくる混合部よりなり, 9 V の乾電池を電源とする. 第 15 図は主増幅器の結線図である.

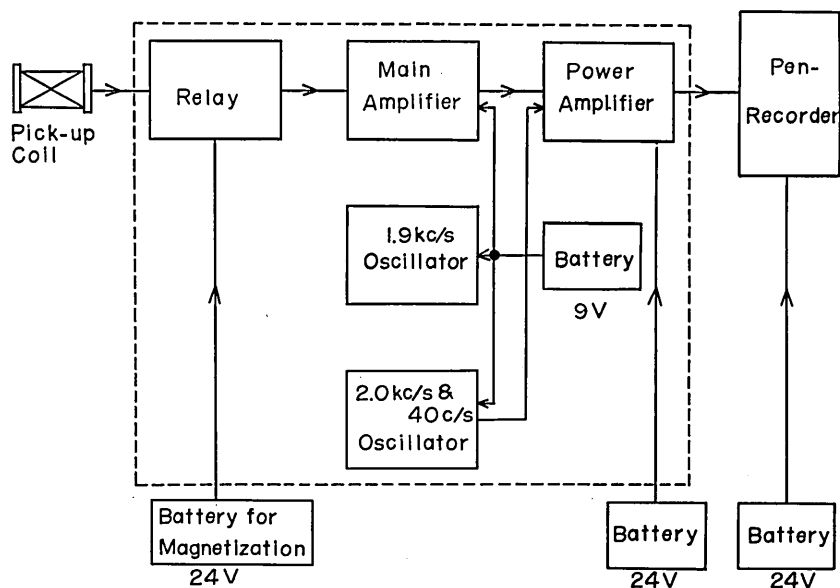


Fig. 14. Block diagram of the transistorized proton magnetometer.

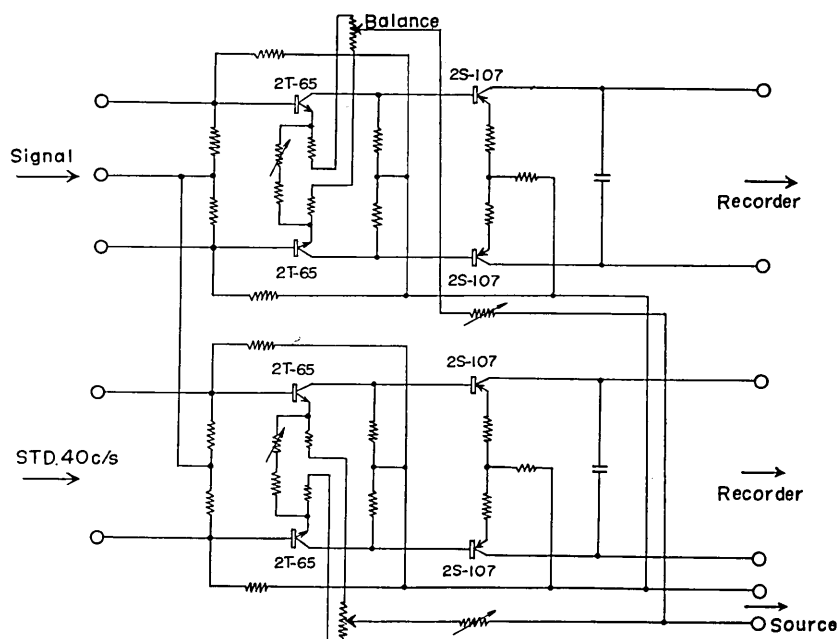


Fig. 16. Electric circuit for the power amplifier.

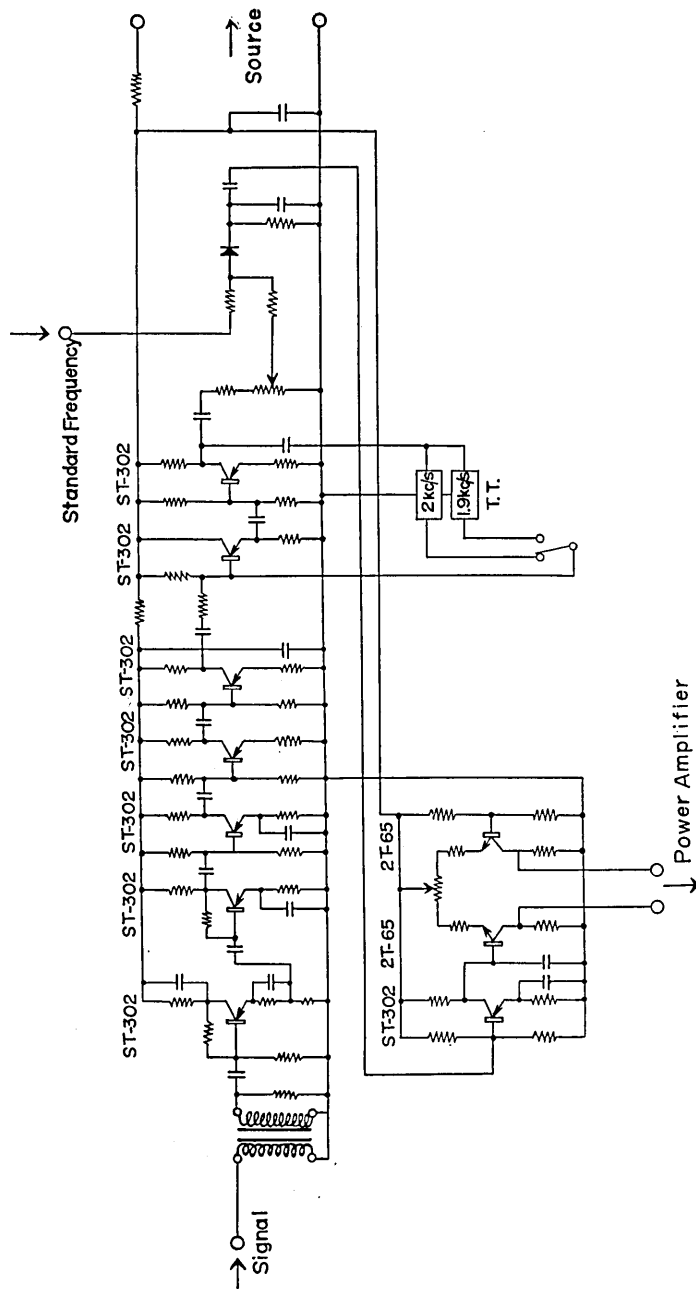


Fig. 15. Electric circuit for the main amplifier.

## 4) 標準周波発振器

4 および 3.8 kc/s 水晶発振器を2分の1に分周して、2 および 1.9 kc/s の標準周波数をつくる。また 40 c/s の標準周波数を分周し、電力増幅器を経て、記録計に供給する。

## 5) 電力増幅器

記録計のペンを動かすために、第16図のような結線で電力増幅を行なう。電源としては 24 V, 400 mA を必要とする。

## 6) 記録計

記録計としては低入力インピーダンス ( $150\Omega$ ) のペンオッシュロググラフを使用し、直流 24 V (励磁電源と共用) によって記録紙を送る。記録計の感度は  $0.2\text{ mm/mA}$ 、記録紙の送りは通常  $12.5\text{ cm/sec}$  である。

## 7) 油壺における比較観測

1959年10月21~22日にわたって、神奈川県油壺の臨海実験所構内において本磁力計

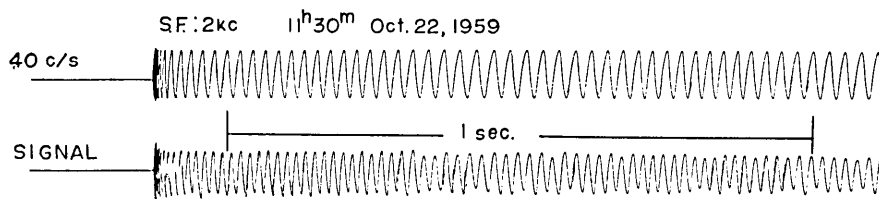


Fig. 17. Example of the record obtained by the transistorized proton magnetometer at Aburatsubo.

Table 2. Results of the observation by the transistorized proton magnetometer at Aburatsubo.

Time (JST)	Signal frequency	Total force	Time (JST)	Signal frequency	Total force
Oct. 21, 1959			Oct. 22, 1959		
15h 59m	1945.8c/s	45700.0γ	4 59	1946.0c/s	45704.7γ
17 00	1945.8	45700.0	5 59	1946.1	45707.1
18 00	1945.7	45697.7	6 29	1946.3	45711.8
18 59	1945.6	45695.3	6 58	1946.2	45709.4
19 59	1945.6	45695.3	7 30	1945.3	45688.3
21 01	1945.6	45695.3	8 05	1945.0	45681.2
21 59	1945.7	45697.6	8 30	1944.8	45676.5
22 59	1946.1	45707.1	9 00	1944.5	45669.5
23 17	1945.7	45697.7	9 30	1943.8	45653.1
23 59	1945.7	45697.7	9 59	1944.4	45667.2
Oct. 22, 1959			10 29	1943.9	45655.4
1 30	1945.5	45693.0	11 00	1944.0	45657.2
1 59	1945.7	45697.7	11 30	1944.4	45667.2
2 59	1945.9	45702.4	12 00	1945.2	45685.9
3 59	1946.0	45704.7			

の試験を行ない、地磁気変化計と比較した。今回の比較観測では、磁力計は地磁気変化計の設置してある観測壕より約 400 m の距離にセットされ、約 20 時間にわたって、30 分から 1 時間間隔で測定を行なった。第 17 図は 2 kc/s を標準周波数とした場合の記録の例である。

測定結果は第 2 表の通りであつた。測定結果を図示すると、第 18 図の黒点のようになる。前報<sup>1)</sup>にならつて、

$$F = F_0 + S_H \cos I_0 \cdot \Delta h + S_Z \sin I_0 \cdot \Delta z \quad (1)$$

の関係から、変化計の全磁力基線値  $F_0$ 、水平分力変化計の感度  $S_H$  および鉛直分力変化計の感度  $S_Z$  をプロトン磁力計と変化計の読取値  $\Delta h$  および  $\Delta z$  より最小自乗法によつて決定することができる。ただし、 $I_0$  は伏角基線値で  $I_0 = 48^\circ 22'$  を仮定する。その結果

$$F_0 = 45593.0 \pm 0.4 \gamma$$

$$S_H = 1.46 \pm 0.02 \gamma / \text{mm}$$

$$S_Z = 3.17 \pm 0.03 \gamma / \text{mm}$$

を得た。

第 18 図の白点はこのようにして定められたパラメーターの値を使用し、(1) 式によりプロトン磁力計による測定時刻に対応する時刻の全磁力を変化計の記録から求めたものである。

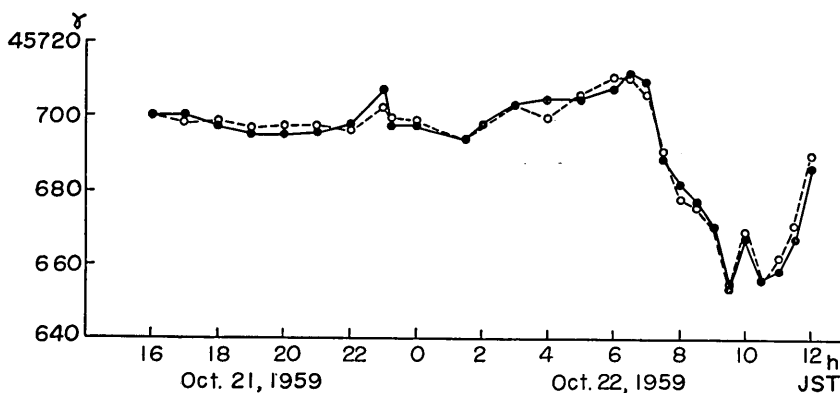


Fig. 18. Comparison of the results observed by the transistorized proton magnetometer (black circle) with those observed by a magnetograph of ordinary type (hollow circle). From Oct. 21 to 22, 1959 at Aburatsubo.

このような比較観測の結果、本トランジスター型プロトン磁力計は、前報の固定観測所用プロトン磁力計とはほぼ同等の精度を有し、野外磁気測量用としては十分な性能を有すると考えられる。第 19 図は本磁力計の外観を示したものである。

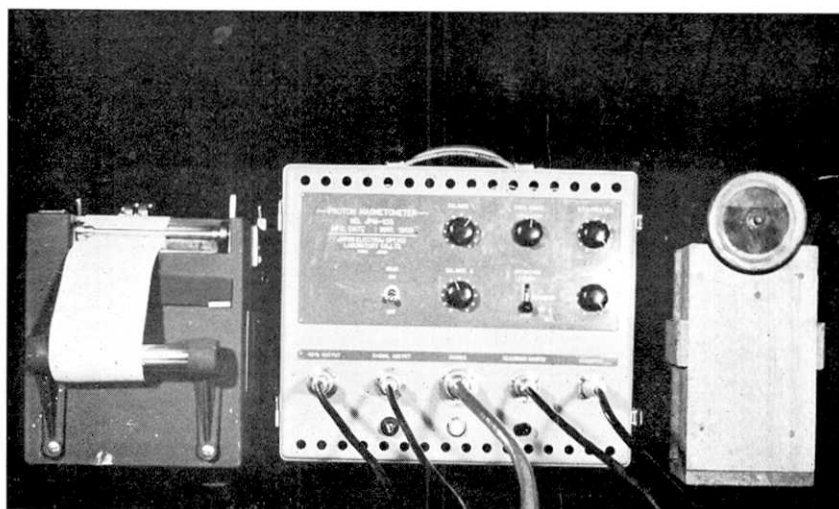


Fig. 19. Assembly of the transistorized proton magnetometer. (From left to right: recorder, amplifier and standard frequency oscillator, and detecting coil)

## 7. 結 語

本報においては、「プロトン磁力計の試作研究」に関する文部省科学試験研究費研究班が設計製作した海上用、周波数直読式ならびにトランジスター型プロトン磁力計の構造および使用状況の概略について述べ、また先に試作した固定観測所用プロトン磁力計の伊豆大島観測所における実用状況についても報告した。

これらの各磁力計はそれぞれの特徴を有し、目的に応じて適当なプロトン磁力計を選べば、地磁気観測の精度を高め、測定時間を短縮できることがはつきりした。

残された問題としては

- 1) テレメータリング
- 2) ロケット搭載
- 3) 測定値のパンチング
- 4) 小型化

などがあるが、1) および 2) については、ロケット計器研究グループのほうで、研究が進行している。また 3) および 4) の点については、困難は主として経費の点で、例えば 4) の小型化のためには、小型軽量の記録計および電池をいかにするかという点に問題がしばられる。

このような点を除けば、プロトン磁力計の実用化試験は一応成功したものといえよう。この試作研究においては、南極地域観測隊の小口、柿沼および村石隊員が南極観測船「宗谷」および昭和基地における測定を担当し、南極観測用機械の準備には東京大学理学部地球物理学教室の前川氏の御協力を得た。また地震研究所の行武、棚岡両氏は各種磁力



計の比較観測に従事し、日本電子光学研究所の伊藤、只野、伴の諸氏は設計製作に努力された。これらの諸氏に深く感謝する。終りに財政的援助を賜った文部省当局に感謝する。

## 8. Proton Magnetometers.

By Research Group for Proton Magnetometer.

The Research Group for Proton Magnetometer designed and constructed a nuclear precession magnetometer for station-use as has been already reported in this bulletin. Since April, 1959, the magnetometer has been installed at Oshima Geophysical Observatory in the hope of detecting changes in the earth's magnetic field related to volcanic activities. It is approximately proved that averages of the observations made there four times every 20 minutes may represent the hourly smoothed value. By comparing them with those at Kakioka Magnetic Observatory, influences of magnetic storms, daily variations, general secular variations and such like may be eliminated.

The activity of the Research Group is still continuing. A sea-borne magnetometer that has been mainly used by the Japanese Antarctic Research Expedition, a proton magnetometer with a counter and a transistorized proton magnetometer were constructed by the Research Group and will be here briefly described.

### 1. Sea-borne proton magnetometer

The detector coil is wound around a bottle containing 200 cc. of pure water. The coil is put in a stream-lined water-proof case, made of synthetic resin and glass fibre (Fig. 5), which is towed behind the ship on which the amplifier, standard frequency oscillator and recorder are set. The case is towed by a nylon rope of 8 mm in diameter about 130 m behind the ship from her centre. A teflon covered coaxial cable, 14 mm in diameter and 200 m in length, is used for electric connection. The cable is taped to the rope in a suitable way so as to avoid the tension of towing. The speed of towing usually ranges from 9 to 11 knots. Although the stability of the case has been tested in laboratory, we do not know what is really happening in the course of towing.

The block-diagram of the magnetometer is shown in Fig. 4. Protons in water are magnetized by the magnetic field produced by the electric currents, 5 A in intensity, flowing through the coil which is also used for the detection. When the electric currents in the coil are abruptly switched off, precession of protons around the earth's magnetic flux is excited. The voltage induced in the coil is introduced to the amplifier with narrow-band filters centred respectively at 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9 and 2.0 kc/s. Since the magnetometer is used on s. s. Soya of the Japanese Antarctic Research Expedition, it is necessary to cover such a wide range of frequencies for measuring all the geomagnetic total forces from Japan to Prince Harald Coast in the Antarctic. The right band should be selected according to the intensity of total force.

The signal is mixed with the standard frequency which is supplied from the standard oscillator containing a quartz oscillator. The standard frequencies are provided at an interval of 0.1 kc/s over a range from 1.3 to 2.0 kc/s. The beat thus produced is given to one of the galvanometers of the oscillograph through the power amplifier. A 40 c/s standard

frequency that is also supplied from the standard oscillator is given to another galvanometer of the oscillograph serving as the reference of time. The paper-speed of the oscillograph is usually  $12.5\text{ cm/sec}$ . The beat frequency is readily counted with an accuracy of  $0.05\text{ c/s}$ .

Comparison of the magnetometer was carried out at Hermanus Magnetic Observatory, near Cape Town, South Africa, on Dec. 22-23, 1958. As can be seen in Fig. 7, a systematic difference was found between the values observed by both the instruments, though the daily variation curves seemed to agree very well. It was concluded that the base-line value for the total intensity of Hermanus is larger than that determined by the proton magnetometer by  $10.34 \pm 1.92\gamma$ . Judging from this comparison, it may be said that a proton magnetometer is useful for comparing the base-line value of one observatory to that of another.

The accuracy of the proton magnetometer itself is estimated at  $1-2\gamma$ . The practical accuracy, however, depends on rotational disturbances of the detector coil in wake and also on the magnetization of the ship amounting to  $7 \times 10^8\text{ e.m.u.}$  in this case. The practical accuracy then becomes about  $\pm 15\gamma$ . The results of the magnetic survey between Japan and the Antarctic have been already published elsewhere. Only the results between Cape Town and Sumatra are illustrated together with the topography of sea-bottom in Fig. 8 as an example.

## 2. Direct-reading proton magnetometer

If we measure geomagnetic forces covering a wide range, it seems to be more convenient to count directly the frequency of precession than reading the number of beat frequencies recorded. By making use of a digital signal counter, the labour of counting wave numbers as has been necessary in the cases of the proton magnetometers reported in the above, would decrease, though we can have no record in such a case.

In order to be used by the wintering party at Syowa Station, where we have very few observers with a lot of observations to perform, the Research Group constructed a direct-reading proton magnetometer with a signal counter. The magnetometer is now installed at Syowa Station and we hear rather little about the actual observation by it, so that only the design and construction of the magnetometer are described here. The results of the observation will be reported by the Japanese Antarctic Research Expedition in the future.

As can be seen in the block-diagram in Fig. 9, the magnetometer consists of pick-up and magnetization coil, amplifier, frequency divider, signal counter and power supply. The coil is the same as those for the proton magnetometers already reported. The amplifier, that is not greatly different from the previous ones, amplifies the precession signals. The gain of the amplifier exceeds  $120\text{ db}$ . In Fig. 10 can be seen a limiting circuit of amplitude and a triggering shaper through which pulses of precession frequency are sent to the frequency divider.

The divider is composed of 13 steps of flip-flop circuit which work as a binary counter. In order to avoid the electric shock due to the switching off the magnetizing electric currents, the start-pulse of the signal counter of the next stage should be taken up after counting a suitable number of pulses ranging  $2^8-2^9$ . A stop-pulse is also sent to the gate circuit after a suitable number of pulses. The general idea of the divider is given in Fig. 11. An operation-switch and a zero reset circuit are also provided.

Fig. 12 shows the construction of the signal counter which consists of a gate circuit, vacuum tube and dekatron decimal counting circuits and a standard frequency oscillator of  $100\text{ kc/s}$ . During the time-interval between start- and stop-pulses, the gate is opened, while the number of signal waves during this interval is known. If the number of  $100\text{ kc/s}$  frequency waves corresponding to the interval can be counted, we can easily obtain the

frequency of the signal wave. By providing two vacuum tube counters and four dekatron counters, we can count the frequency up to the necessary accuracy of about  $\pm 1\gamma$ . The general arrangement of the apparatus is shown in Fig. 13.

### 3. Transistorized proton magnetometer

In order to construct a portable proton magnetometer, the Research Group tried to design and construct an all-transistorized proton magnetometer. The construction is the same in principle as that of the proton magnetometer reported in the previous paper. The block-diagram of the magnetometer is shown in Fig. 14.

The main amplifier (Fig. 15), that is driven by a 9 V battery, contains the part for the amplification of the signal wave and the one for mixing it with the standard frequency wave. The standard frequencies, 2 and 1.9 *kc/s*, are provided from the two quartz oscillators, 4 and 3.8 *kc/s* respectively. For a magnetic survey in Japan, those two frequencies are sufficient in order to have beat frequencies which can be recorded by a pen-recording oscillograph. The beat waves and 40 *c/s*, which is demultiplied from the 2 *kc/s* and is used as the time-reference, are introduced to a power amplifier (Fig. 16). The power amplifier is driven by a 24 V battery with an electric current of approximately 400 *mA*. The two amplifiers and standard oscillator are set in a case (350 *mm*  $\times$  290 *mm*  $\times$  230 *mm*) which weighs about 10 *kg*. The pen-recording oscillograph is of usual type. The galvanometers are of low-impedance having an in-put impedance of 150 *ohm*.

Since we could afford no special batteries and oscillographs, the whole assembly of the magnetometer is not so small or light as that which was intended in the beginning of research work. If we can improve these points, the magnetometer would become much convenient for field-use.

According to the results of the observation at Aburatsubo (Figs. 17 and 18), it is proved that the magnetometer has almost the same accuracy as that of the proton magnetometer for station-use. A magnetic survey over Hakone Volcano was successfully made with the transistorized magnetometer.