

## 57. 地震予知研究計画によるプロトン磁力計の 製作とその試験

地震予知研究地磁気グループ

代表者 力 武 常 次

(昭和41年5月24日発表—昭和41年6月30日受理)

### 1. まえがき

地震予知研究計画<sup>1)</sup>の一環として高精度の地磁気永年変化観測が考えられていたが、昭和40年度政府予算により、この目的のためのプロトン磁力計の製作が実施されるに到った。これは日本学術会議地球物理学研究連絡委員会に附置された地震予知小委員会の提案した地震予知研究5カ年計画<sup>2), 3)</sup>の地磁気部門の計画のうち、地磁気永年変化精密観測および特殊観測のために、地磁気グループが立案し、地震研究所が製作したプロトン磁力計による磁力差変化計である。

昭和41年4月現在の修正5カ年計画によれば、この磁力計は第1表に示すように、逐次日本各地に設置されることになっている。

第1表. 地震予知研究5カ年計画によるプロトン磁力計の設置予定.

地 域	機 関	40年度	41年度	42年度	43年度	44年度
関東・甲信 越	気象庁		柿 岡	松 代		
	地理院			鹿野山		
	東大震研	伊豆大島*		野辺山		山中湖
	水路部		八丈島		三宅島	
北 海 道	北大理			浦 河		
	気象庁			女満別		
関 西 南 海	京大防災研		鳥 取*		室戸・高知	
	水路部			下 里		
東 北	東北大理		男 鹿*		浅虫・金華 山・波江	気仙沼
九 州	気象庁					鹿 屋
	京大理					阿 蘇

\*印: 磁力差計方式による特殊観測

- 1) 地震予知計画研究グループ 地震予知——現状とその推進計画 (1962).
- 2) 地震予知小委員会 地震予知研究年次計画 (1965).
- 3) T. RIKITAKE, "A five-year plan for earthquake prediction research," *J. Tectonophys.*, **3** (1966), 1.

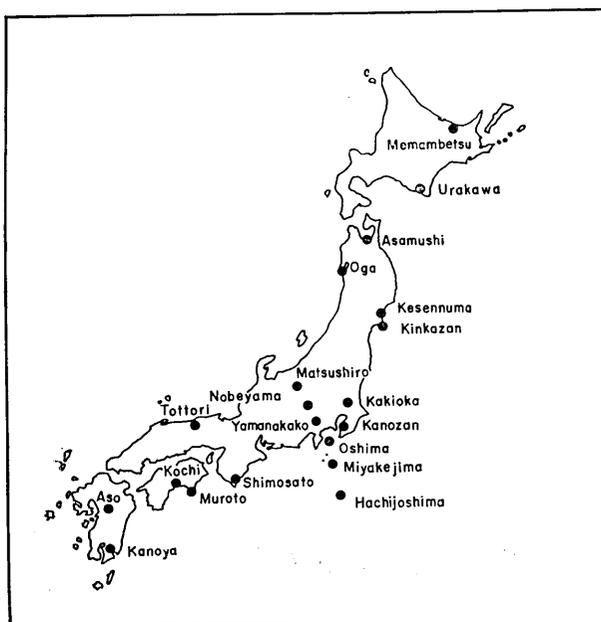


Fig. 1. Proton precession magnetometer network for precise observation of the geomagnetic secular variation.

第1図はこれらのプロトン磁力計による観測網を示した図である。

地震発生前後に地磁気の変化があったという報告は、過去に於てたくさんある。しかしながら、観測精度の点に於て必ずしもじゅうぶんであったとはいえず、その信頼性について疑をもつ学者も多かった。最近、プロトン磁力計や光ポンピング磁力計の発達によって、いわゆるドリフトのない磁気測定が可能となったので、今回の計画ではプロトン磁力計による地磁気永年変化の精密観測を目的としている。またその一部として、数 km 離れた2点間の磁力差を観測するいわゆるディファレンシャル方式を特殊観測としてとりいれている。

このプロトン磁力計によって得られる資料は、アナログおよびデジタルに記録されるとともに、紙テープにパンチされるようになっていて、資料整理の能率化をはかっている。このような磁力計によれば、測定点に於ける磁力値を  $\pm 1\gamma$  の精度で観測することは容易である。

しかし2点間の測定値を比較して、非局地的地磁気変化を取りのぞき、地震活動に関係があると思われる変化だけを抽出することは必ずしも容易であるとは思えない。磁気嵐、日変化などの変化磁場の一様性は、日本附近に於てははなはだしく乱されていることが、過去の研究によって知られているので、今後の観測資料にもとづいて、非局地的地磁気変

化除去の方策をたてる必要があることが予想される。しかしながら、本報文に於ては、今回製作された磁力計の概略および試験結果だけを述べる。

## 2. 構成および動作

今回製作されたプロトン磁力計は二つの測定部（以下 A 部とよぶ）によって、2地点での地球磁場全磁力を測定して、アナログ、ディジタルおよびパンチテープ方式によって記録するとともに、各テープの観測値の差を演算部（以下 B 部とよぶ）に於て計算し、同じくアナログ、ディジタルおよびパンチテープ方式によって記録する。

### 2-1. 測定部 (A 部)

A 部のブロックダイアグラムは第 2 図に示す通りである。二つの A 部を用いて、2 地点の同時観測を行なうために、高安定度水晶にもとづく Programmer により、各部の動作がコントロールされるようになっている。水晶時計の較正のために JJY 受信機を備えている。Power supply より Sensing head に送られる電流によって励磁を行ない、電流を切ったとき発生するプロトンの precession 信号電圧は Amplifier で増幅された後、Multiplier で通倍され、Frequency counter によって計数されるが、この際適当な水晶発振器を使用してゲートタイムを設定し、計数値が  $\gamma$  単位になるようにしてある。この計数値は D-A 変換器を通して記録計にアナログ記録される。また適当な出力結合回路を経て、プリンターおよびパンチャーに導かれる。

A 部の主要部は第 3 図に示すような筐体に納められていて、上から JJY 受信機部 (JJY receiver), 日時を表示する時計部 (Timer), 全磁力値を表示する計数部 (Counter), 日時や磁力値のディジタル信号をプリンターおよびパンチャーに送る制御部 (Data programmer), パンチャーを駆動するための電力増幅部 (Puncher controller), 信号増幅器および通倍器部 (Amplifier and multiplier) 励磁電源および制御部 (Power supply and controller for magnetizing current), D-A 変換部 (D-A converter), 追加計器用の予備パネル (Blank panel), ならびに総電源部 (Power source) の 10 パネルから成立って

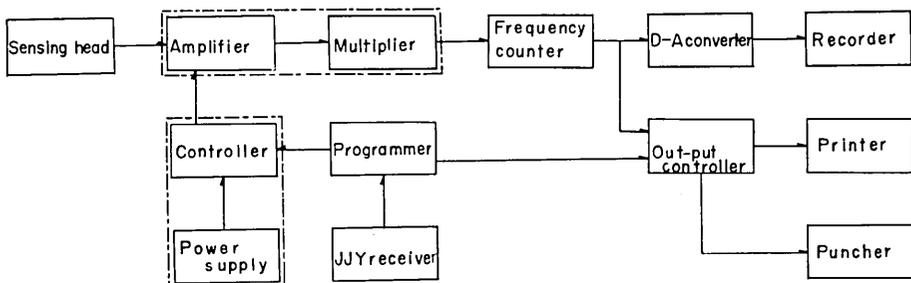


Fig. 2. Block-diagram of measuring unit (A-unit).

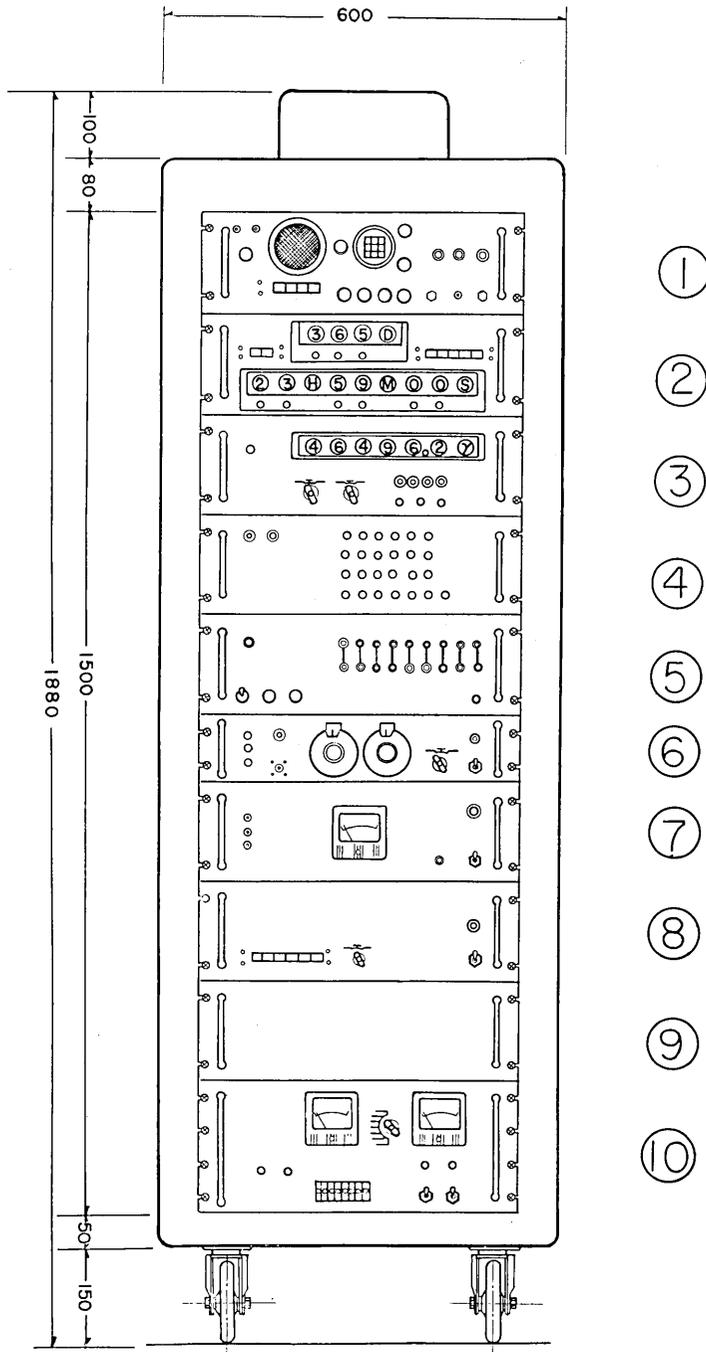


Fig. 3. Schematic view of A-unit. Lengths are measured in units of mm.

1: JJY-receiver, 2: Timer, 3: Counter, 4: Data programmer, 5: Puncher controller, 6: Amplifier and multiplier, 7: Power supply and controller for magnetizing current, 8: D-A converter, 9: Blank panel, 10: Power source.

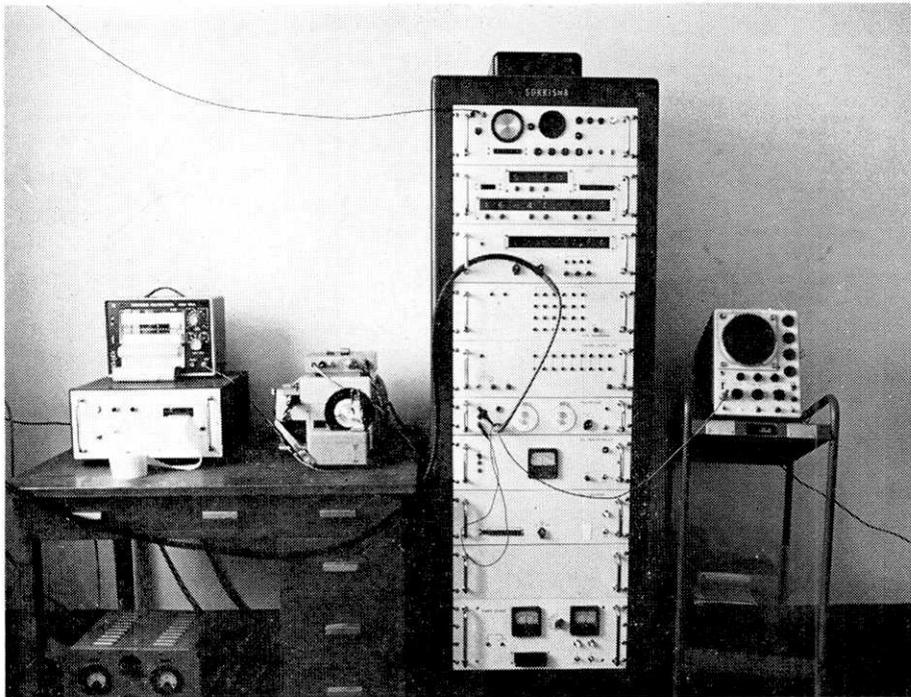


Fig. 4. Photograph of A-unit, analogue recorder, printer and puncher.

いる。第4図はその模様を示す写真である。

以下A部の各部の構成および動作について簡単に説明する。

#### 2-1-1. Sensing head

直径 9 cm, 長さ 10 cm のベークライト製容器にアルミ線 (1.3 mm $\phi$ ) を 600 回捲いたコイル 2 組を使用する。コイルの直流抵抗は 40 ohm, 自己誘導係数は 30 mH である。その一つに蒸溜水をいれ, 他の一つは空として, 雑音を減少するように結線する。この Sensing head はジュラルミン製のしっかりした台にとりつけられ, 地上約 1.5 m の高さにおかれる。第5図は Sensing head の外観を示す。

#### 2-1-2. Amplifier

入力増幅器 (トランジスタ 2 箇) および主増幅器 (トランジスタ 3 箇) よりなり, 40000~52000  $\gamma$  の間を 25 ステップで撰択する共振 LC 回路をもっている。増幅器の増幅度は 2 kc で 120 db である。

#### 2-1-3. Multiplier

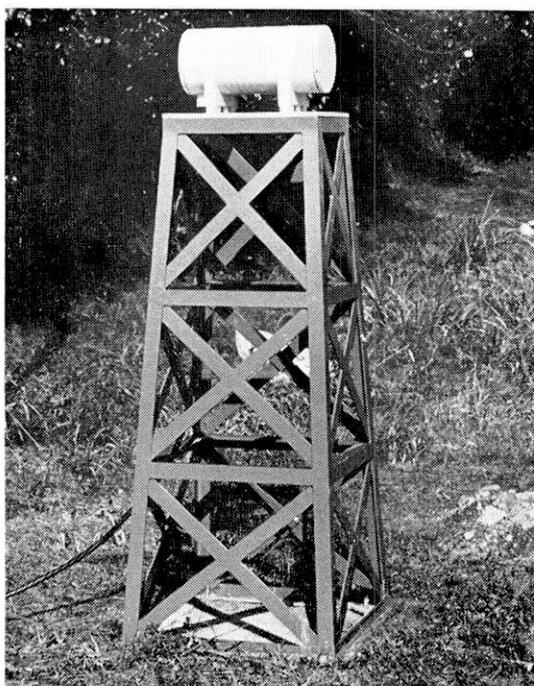


Fig. 5. Sensing head.

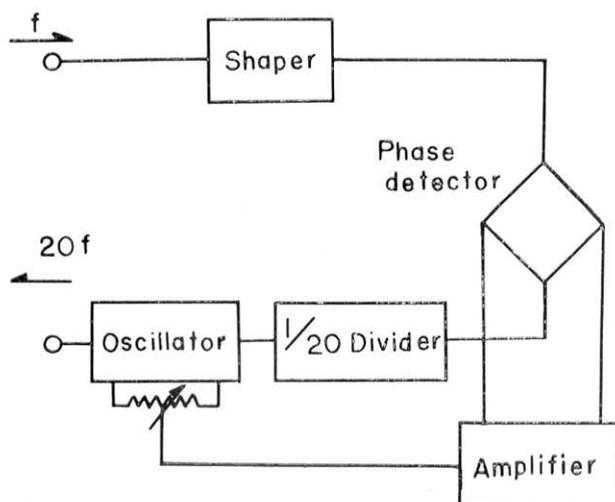


Fig. 6. Block-diagram of the frequency multiplier.

信号周波数を一定のゲートタイムのもとに、ガンマ単位の端数まで計数するために、周

波数を 10~40 倍することが必要である。この目的のために、Multiplier は第 6 図のような構成になっている。周波数  $f$  の信号電圧は整形回路を経て位相検波器に送られるが、 $f$  にきわめて近い周波数  $f_0$  の 20 倍の周波数の発振器からも通降器を通して周波数  $f_0$  の電圧が検波器に送られる。この場合には検波器の出力電圧は  $f-f_0$  に比例することになるので、増幅器を通して発振器にフィードバックし、 $f-f_0$  が常に零になるように保つ。このようにして周波数  $f$  の入力信号に対して、常に周波数  $20f$  の出力電圧が得られることになる。

#### 2-1-4. Frequency counter

446.459 kc/s の恒温槽にいた高安定度水晶発振子を基準にして、flip-flop 回路により通降して、1.1743 秒のゲートタイムをつくり、20倍に遅延した信号周波数を計数することにより、地球磁場全磁力の  $\gamma$  直読値が得られる。しかしながら、counter の誤差  $\pm 1$  count が絶対に有効数字に含まれないために、pulse が二つ与えられてはじめて有効数字が一つだけ動くようにしてあるので、実際には  $40f$  を使用して  $\gamma$  直読値を求めている。信号の継続時間がじゅうぶん長くない場合には、ゲートタイムを半分にするようになっているので直読値を 2 倍しなければならない。

#### 2-1-5. JJY receiver および Programmer

1.024 Mc/s の恒温槽にいた高安定度水晶発振子を基準とした水晶時計を内臓し、すべての時間の基準とする。万一故障の場合は 64 kc/s の副発振子を使用するようになっている。日、時、分および秒はネオンランプによって Timer パネルに表示される。水晶時計は、JJY の 1 kc/s 標準周波数を用いてリサーチ図形をつくることによって校正される。

この水晶時計により、1 分および 10 分の測定間隔を決定し、また Recorder, Printer, Puncher に日時をデジタル信号を送る。

#### 2-1-6. D-A converter および Recorder

切換装置により、下 2 けたより 4 けたまで記録するように感度を変更できる。記録紙の送り速度も適宜調節可能である。

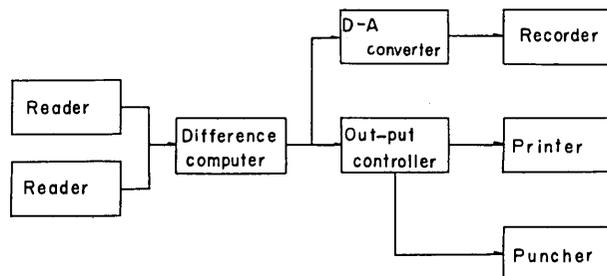


Fig. 7. Block-diagram of subtracter unit (B-unit).



### 2-1-7. Printer および Puncher

通常日、時のみをプリントまたはパンチし、つぎに60箇の測定値を打出すようになって  
いる。パンチ方式は IBM 方式によっている。

### 2-2. 演算部 (B 部)

ブロックダイアグラム第7図に示すように、B部は2地点で得られた同時観測のテープ  
を讀取って記憶し、引き算を行なった結果をアナログ、デジタルおよびパンチテープ方  
式によって求めるための装置である。このようにして、1分または10分間隔で2地点の地  
球磁場全磁力値の差が求められるわけであるが、結果のテープを他の電子計算機と組合  
せて、1時間平均、日平均などを求める予定である。

B部の主要部は第8図に示すような筐体に納められている。上から日時を表示かつその  
信号を Recorder 等に送る時計部 (Timer), 2本のテープの読取り結果を表示かつ記憶す  
る読取り部 (Data read-out panel), 比較減算を行ない、その結果を表示かつ送り出す計  
算部 (Subtractor), A部と同様の制御部 (Data programmer), パンチャー電力増幅部  
(Puncher controller), D-A 変換部 (D-A converter), 予備パネル (Blank panel) およ  
び電源部 (Power source) によって構成されている。これら各部の動作はA部のそれと  
共通しているので、くわしい説明は省略する。

### 2-3. 所要電力

A部は1分間隔測定の際の所要電力 650 VA, B部では 450 VA である。

## 3. 伊豆大島地磁気観測所に於ける試験結果

器械の性能テストのために、伊豆大島地磁気観測所に於て running test が行なわれた。  
まず約 3 m 離して、ほぼ全磁力値の等しい2点に二つの sensing head を設置し連続観

第2表 全磁力差 24時間観測結果.

磁力値差 ( $\gamma$ )	回数
-3	1
-2	12
-1	145
0	537
1	571
2	153
3	17
6	1
20	2
プリント不鮮明	1

測を行なった。1966年3月27日18時より28日  
17時59分にわたる 1440 回の測定値について  
差をつくと、第2表の結果が得られた。

測定値の  $1\gamma$  以下は信頼度がないため切捨  
てた。この結果よりみて、磁力差  $20\gamma$  とい  
うのは明らかに miscount であるから捨てる  
ことにすると、磁力差の平均値および各測定  
値の標準偏差は

$$\text{磁力差平均値} = 0.53\gamma$$

$$\text{標準偏差} = 0.91\gamma$$

となり、2地点の磁力差を  $\pm 1\gamma$  の精度で比  
較することは、測定器の性能に関する限り、

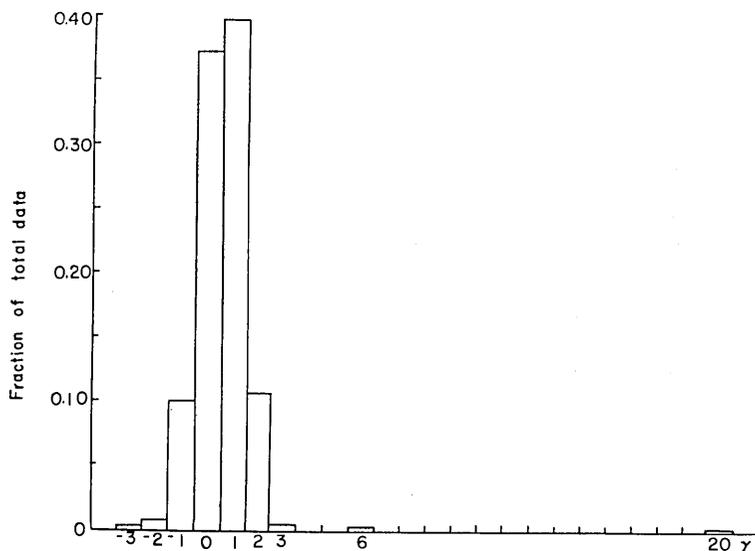


Fig. 9. Histogram for differences in the total geomagnetic intensity between the two heads as measured every one minute during the 24 hours on March 27 and 28, 1966.

問題がないと考えられる。第9図は磁力差毎分値の histogram を示した図である。

#### 4. 結論

地震予知研究計画によるプロトン磁力計第1号機の製作および試験結果について述べた。器械そのものは地球磁場全磁力を  $\pm 1 \gamma$  の精度で測定するという所期の性能を有していると思われるが、長期間の観測に際しての故障その他については今後の検討を要する。

終りにこの計画の実現について御配慮を得た日本学術会議地震予知小委員会委員長萩原尊礼教授をはじめ、文部省当局に感謝の意を表す。また実際の製作に当られた株式会社測機舎および国際電子工業の担当者各位の努力に敬意を表したい。なお性能テストは、地震研究所の行武毅、山崎良雄、沢田宗久、笹井洋一、吉野登志男、木本栄次、下村高史らによって行なわれた。

57. *A Differential Proton Magnetometer—A Geomagnetic Project under the 5-year Plan for Earthquake Prediction Research.*

By Geomagnetic Group for Earthquake Prediction Research  
(Convenor: T. RIKITAKE).

A 5-year plan for earthquake prediction research has been under way in Japan since 1965. Among a number of objects of the plan, it has been decided to conduct accurate observations of the geomagnetic secular variation by a proton precession magnetometer network covering Japan Islands as a part of the geomagnetic project. Some of the magnetometers are planned so as to work as gradiometers which are able to observe difference in the total field intensity between two stations a few kilometers distant from one another. What is described in this report is an outline of the magnetometer and the device for making differences.

The first of the magnetometers was designed by the Earthquake Research Institute, University of Tokyo and constructed by the Sokkisha Company. It is aimed at making a differential observation between changes at the Oshima Magnetic Observatory and those at the Oshima Tsunami Observatory, both the observatories, operated by the Earthquake Research Institute, being situated respectively on the west and east coast of Oshima Island, an active volcanic island about 100 km south of Tokyo. The distance between the two observatories amounts to about 5 km. According to the 5-year plan, 21 proton precession magnetometer observatories of this kind will be set up as shown in Fig. 1.

The differential magnetometer is composed of two measuring units and one subtracter unit. Let us call the former A and the latter B in this report.

Fig. 2 shows the block-diagram for unit A. For the purpose of carrying out simultaneous observations by two A-units, all the timing commands are sent to various parts of A-unit from a programmer which contains a crystal clock of high accuracy. The clock is calibrated by receiving the JJY radio-wave. Proton precession signals from the sensing head are amplified and the signal frequency, which is multiplied by a frequency multiplier, is counted by a frequency counter. By making use of a particular gate-time, the counted frequency directly indicates the total intensity value of the geomagnetic field in units of gamma. The counted frequency is recorded by an analogue recorder, digitally printed by a printer and punched on a paper-tape by a puncher.

The actual arrangement for A-unit can be seen in Fig. 3. We can see from the top to the bottom the JJY receiver, Timer that indicates date, hour, minute and second, Counter that indicates the total intensity value, Data programmer that sends signals of timing and measured intensity values to the printer and puncher, Puncher controller, Amplifier and multiplier, Power supply and controller for magnetizing electric current, D-A converter, Blank panel for future improvement, and Power source. Fig. 4 shows a photograph of A-unit.

Only very brief descriptions of parts of A-unit will be given below.

*Sensing head* Aluminum wire of 1.3 mm in diameter is wound 600 times on a bakelite cylinder of 9 cm and 10 cm in diameter and length. The resistance of the coil amounts to 4 ohm, while the self-inductance is 30 mH. Two coils are used; one is filled with distilled water and the other is empty. They are connected so as to lessen external noises. The sensing head is mounted on a duralumin frame at a height of 1.5 m above the ground

as can be seen in Fig. 5.

*Amplifier* The amplifier consists of a pre-amplifier with two transistors and a main amplifier with three transistors. 25-step LC resonance circuits which cover a range from 40000 to 52000  $\tau$  are attached to the amplifier.

*Multiplier* In order to count a fraction of the signal frequency which is around 2 kc, it is required to multiply the frequency 10–40 times. A circuit as indicated in Fig. 6 is therefore made use of for the purpose. The signal voltage having a frequency  $f$  is led to a phase detector through a shaper, while an oscillator sends a voltage of frequency  $20 f_0$  ( $f_0 \doteq f$ ) to a frequency divider through which a voltage having a frequency  $f_0$  is imposed to the detector. The out-put voltage of the detector that is proportional to  $f-f_0$  is then fed back to the oscillator through an amplifier and controls the oscillator so as to always make  $f-f_0=0$ . In such a fashion, the out-put voltage of the multiplier is always kept at  $20 f$ .

*Frequency counter* A 446.459 kc/s quartz oscillator of high accuracy and stability is used for making a pair of gate-time impulses for a frequency counter. The gate-time is usually 1.1743 sec. The intensity of the total geomagnetic field is then obtained by counting the signal frequency multiplied by 20 directly in units of gamma.

*JJY receiver and programmer* The crystal clock is based on a highly stable quartz oscillator of 1.024 Mc/s. The clock is calibrated by the standard 1 kc/s of the JJY radio-wave. In case the clock becomes out of order, a sub-oscillator of 64 kc/s can be used. The clock serves for setting time-interval for measurement, either one or ten minutes, and also for sending signals of date and hour to the printer and puncher. The usual way of printing and punching is to indicate date and hour and then 60 total intensity values every one hour.

The synchronized punched-tapes obtained at two observation spots are brought together and read by the read-out device of the B-unit of which the block-diagram is shown in Fig. 7. The actual construction of B-unit is schematically shown in Fig. 8. From the top to the bottom is seen the following panels; Timer that indicates date, hour and minute and also sends timing signals to the recorder, printer and puncher, Data read-out panel by which the two tapes are read, indicated and the results stored, Subtractor that makes differences between the two readings, indicates and sends out the difference value, Data programmer similar to that of A-unit, Puncher controller, Blank panel and Power source. It is planned to make hourly mean, daily mean and the like values by applying the tape on which the difference values are punched to a high-speed computer.

A running test of the two A-units was made at Oshima Magnetic Observatory on March 27 and 28, 1966. Two sensing heads are placed only 3 m apart. In order to avoid mutual interaction, the observations were not quite synchronized. A histogram of the differences between the total intensity values measured by the two heads every one minute on that day is shown in Fig. 9. The mean value and the standard deviation for single measurement are estimated respectively as 0.53  $\tau$  and 0.91  $\tau$ . A few miscounts that give rise to an apparent difference as large as 20  $\tau$  were recorded although it is at the moment not clear why such miscounts took place. In view of the results of experiment, however, it can be said that the present magnetometer is certainly capable of observing the total intensity of the geomagnetic field with an accuracy of  $\pm 1 \tau$  although no test for a long period of time has been completed.