

# 1. 日本における地磁気変化ベクトルの異常について

久保木忠夫・大島 汎海

## 概要

地磁気の数分ないし数十分の短周期変化を利用して、地下電気伝導度の推定を試みることは、すでに多くの人たちにより行なわれてきた。日本付近のきわめて大きい異常については力武らにより数多い研究がなされている。

ここでは各周期についてそれぞれの観測所の特性を求め、それらがさらに複雑であること、地電流の主方向と関係が深いことを調査した。

さらに“常磐線電化対策特別観測”の資料を用いて関東中央部にも局所的な異常があることを見つけた。関東中央部は地震ひん発地域であるので、それとの相互関係も調査した。そして関東中央部の地下は、深さ 30km から約 100km までが良電導層、それ以下が不良電導層になっているが、この地磁気異常域では、不良電導層が非常に局部的に 40km~60km までつき上がっていて、上の良電導層を数 km の深さまでつき上げ、地磁気異常域ができるのであろうと考えた。

観測所の周期特性が複雑であるのと同じく、地域的分布の異常は従来考えられている以上に複雑である。

これらの地磁気異常の分布や周期特性は、重力・モホロビッチ不連続層・地質などと簡単な関係にないが、今後の測定を密にすれば地下構造の解明に役立つことであろう。

# 日本における地磁気変化ベクトルの異常について (第1報)

—日本の観測所の特性—

久保木 忠夫\* 大島 汎海\*

## The Anomaly of Geomagnetic Variation in Japan (Part 1)

T. Kuboki and H. Ōshima

550.88:550.87

Many investigators have already made an attempt to deduce the subterranean electric conductivity by using of geomagnetic short period (several or several tens minutes) variations. T. Rikitake and his co-workers have made many investigations on the great geomagnetic anomaly in the vicinity of Japan Islands.

The vectors of geomagnetic variation are always restricted on a certain specific plane, which is represented by a vector  $S$ , for each station. In this paper, the authors studied the characters of the vector  $S$  for the geomagnetic variations of the periods from 10 sec to several hours for several stations in Japan. As the results, it was found that the topographic distribution is unexpectedly complicated, for example, the absolute values of vector  $S$  corresponding to the geomagnetic variation ssc or  $\pi_2$  become anomalously large at some stations, which seems to be frequent at stations close to sea coast, and that the vector  $S$  of  $\pi_3$  seems to tend towards the direction of the maximum dip of the Mohorovicic discontinuous surface under the station, and that the principal direction of earth current is perpendicular to the vector  $S$  at stations of Kakioka, Memambetsu and Kanoya.

### 目 次

- |                           |                         |
|---------------------------|-------------------------|
| 1. はしがき                   | 4. 地電流の主方向と地磁気変化ベクトルの関係 |
| 2. 地磁気変化ベクトルのふるまい (観測資料)  | 5. 他の地下構造との関係           |
| 3. 地磁気変化ベクトルのふるまい (検討と考察) | 6. 考察                   |
|                           | 7. まとめ                  |

#### 1. はしがき

最近、地磁気短周期変化の異常とそれに関連した地下の電気伝導度異常 (electric conductivity anomaly) の研究が盛んになり、新しい異常地域の発見と、その原因の究明が多くの人達によって精力的に行なわれている。

この事情は 1963 年 8 月の IUGG-Berkley 総会にお

ける UMP シンポジウムの IAGA 関係部門で論議され、その内容は総合特集されて報告<sup>(1)</sup>されている。

日本においても "Central Japan anomaly" と呼ばれる、おもに湾型変化に卓越する鉛直分力の異常が早くから力武常次ら<sup>(2)~(8)</sup>により発見され、詳細な研究が続けられてきた。しかしその中に述べられているように、

\* 地磁気観測所

他の地方の異常と違って、非常に複雑な機構になっていて、単純なモデルでは説明が困難である。また最近 IQSY の一環として地磁気通常観測のために、新たに9か所の観測点が設置されて、すでに断片的な資料であるが相当に興味ある結果がでており、従来えられた観測結果から知られている鉛直分力異常の地理的分布を修正しなければならないと予想されている。

著者らはこれらのことを背景にさらに細部について調査を進めてみたいと思う。従来は日本の鉛直分力異常の調査は南北成分のみを対象にし、いわゆる  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  の値、あるいは  $\Delta Z$  だけについて進められたきらいがある。すでに力武らは鉛直分力が異方性をもって、その特性の異なる地域のあることを指摘している。このことをよく調査しないと異常の全ぼうを認識することにならないと思う。そこで、W. D. Parkinson<sup>(9), (10)</sup> にならって地磁気変化ベクトルの特性の分布、周期特性ならびに地電流との関係を調査した。とくに日本のように地下構造が複雑である列島の上では、地かくの電磁気的な性質も深さにより、はなはだしく異なっているだろうと考えて、IYG 以降えられた早回しの変化度観測の資料から周期 10sec 程度の早い変化の現象も利用し、各観測所についていくつかの周期帯に分けて、地磁気変化ベクトルの変化の様子とその周期特性の調査を行なった。

また観測所の特性が現象の種類すなわち周期によりはなはだしく異なるから、地域的に狭い範囲でもかなりの差がありうると考え、手元にある“常磐線電化対策特別観測”<sup>(32)</sup> のときの地磁気おそ回しならびに早回し観測記録の中の自然現象を利用して、関東中央部のごく狭い地域の地磁気短周期ベクトルの諸性質の地理的分布を求めた。そして同地方の重力異常、モホロビッチ層の深さ、地震などの他の分野との関係を調査して、一つの仮定で説明を試みた。

この関東中央部の地磁気変化ベクトルの異常は非常に大きいもので、地理的分布は 10km で  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  の差が 0.3 に達し平均でも 10km で 0.1 に達する。現在世界各地の異常から求められた最大のものでは、Alert anomaly (Canada) の 100km で 0.7 であるが、関東中央部の異常ははるかに大きく、意外なことである。このことは、常磐線電化対策の問題を検討していた当時すでにわかっていたが、あまりにも異常なので観測誤差かもしれないと疑問視されていた。しかし最近では各所で異常が発見されているので、資料を再検討し、遅ればせながら報告したい。

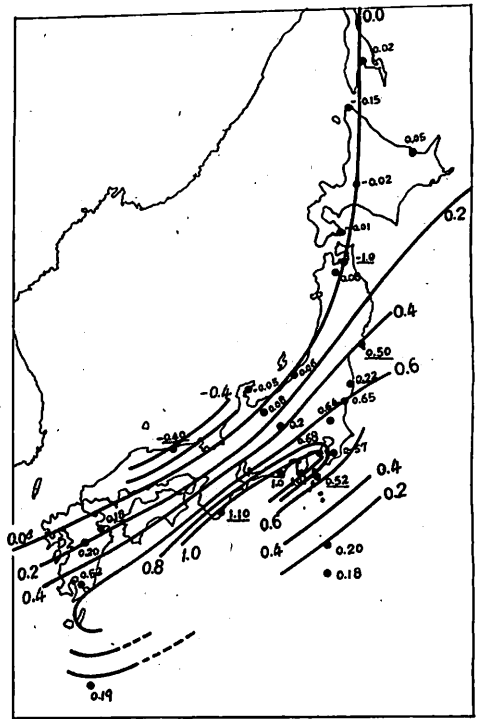


Fig. 1. The distribution of  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  for short period variations in Japan (Central Japan anomaly), compiled by the authors using various data of Rikitake's and other organizations.

## 2. 地磁気変化ベクトルのふるまい (観測資料)

日本列島における地磁気短周期変化の異常については力武らによりすでに詳細に調査されているが、彼らが求めた値に最近の観測値 (暫定的なものも含まれている) を加えて短周期変化 (約数分から数十分までの周期の変化) から求めた  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  の分布図を第1図に示した。この図は偏角のことは全く考えに入れていない。したがって日本列島内における  $\Delta H$  の地点差はせいぜい 1~2 割程度のものであることから、これを一樣と考えて求めた鉛直分力の変化量  $\Delta Z$  の分布図と同じものになる。力武はこの  $\Delta Z$  の分布図についてもいろいろの計算を行っている。

第1図の中の値は  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  であるが、値の下に横線を入れた所は平均値と少しずれているものや、 $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  の周期特性の大きいものを示している。この図は正確には偏角を考えに入れた値、たとえば  $\frac{\Delta Z}{\sqrt{\Delta H^2 + \Delta D^2}}$  とその周期特性を示さなければならない。またこの図からもわかるよう

に、かなり接近した観測点の間で、値のかけはなれたものがあり、その局地性の大きいことが予想される。

$\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  の等しい線は日本列島に沿っており、観測点が追加されても大勢は変わらないが、“Central Japan anomaly”が発見されて以来 1.0 の線は最初の三浦半島の位置から近畿南部までのび、なかり変わった形になってきている。今後の観測点の追加でかなりの修正も予想される。とくに近畿・四国および中国地方の観測点は重要な意味をもつであろう。

著者らは各観測所の特性を詳しく求めるために、地磁気の現象を次のように分けた。

$$T = 10 \sim 45 \text{sec} \cdots \cdots \text{pc3 (pc)}$$

$$T = 40 \sim 150 \text{sec} \cdots \cdots \text{pi2 (pt)}$$

$$T_D = 1 \sim 7 \text{min} \cdots \cdots \text{ssc}$$

$$T_D = 2 \sim 10 \text{min} \cdots \cdots \text{si}$$

$$T_D = 10 \sim 60 \text{min} \cdots \cdots \text{bay}$$

この分類は周期が 10 sec から 2 hr 程度でよく知られた現象名称で行なったもので、この現象に特有の性質が変化ベクトルに現われることを期待したのでなく、周期特性を求める手段として、従来発表されている観測所の資料を利用するのに便利なためである。

$T$  は周期を表わし、 $T_D$  は現象のはじめから最大 (最小) 値に達するまでの時間 (duration) を表わす。

使用した資料で ssc, si, bay に関してはとくにことわらないかぎり、各観測所ですでに発表している値<sup>(11)~(18)</sup> や通常変化記録 (normal magnetogram) から読み取った結果をそのまま利用した。bay はその周期の幅が広いが、幸いに周期特性が小さく、かえって ssc より早い変化に特異性が大きい。pc3 や pi2 に関しては、誘導磁力計記録 (induction magnetogram) から新たに読み取った。女川や下里についてはその複製から読み取った。

また柿岡の pi2 (pt) については、変化計を 1957 年から 1958 年にかけて高感度 (0.8~1  $\gamma$ /mm) にした早回し記録 (送り 6mm/min) から得られたものから読み取りを行なった。また 1943 年から 1944 年にかけて柿岡で大型空心線輪により誘導磁力計記録の観測が行なわれ、今道<sup>(19)</sup> により調査が行なわれている。ここではそれも利用して pi2 および pc3 の値を得た。

いずれにしても柿岡・女満別・鹿屋については、資料が豊富で周期特性も正確に求められる。他の観測所については若干劣るが、重要な現象については十分な資料を入手することを心がけ万全を期した。

また、この調査に関するかぎり選んだ現象は、日本列島に対して水平磁場が一樣と考えられるものに限定した。とくに pc3 (pc) については、局地性のあるいわゆる局地性 pc (local pc)<sup>(20)</sup> といわれるものは避けるように努力した。もちろん詳細な議論をするには、水平磁場の場所による違いも考慮する必要があり、それ自身も磁気異常を解明する上で大切なことである。

実際の読み取りにあたっては次の注意をした。bay, si および ssc については、各成分の duration に大きな差のないものを選んだ。pi2, pc3 については変化ベクトルの終点の軌跡の直交座標系 ( $H, D, Z$  または  $X, Y, Z$ ) の各平面、すなわち  $H-D$  (または  $X-Y$ )、 $H-Z$  (または  $X-Z$ )、 $D-Z$  (または  $Y-Z$ ) 平面に対する投影が長だ円になるようなものを選んだ。すなわち、おのおのの成分の最大較差 (maximum range) を読み取ることにより、それぞれ投影されただ円の長軸の大きさや、方向が近似できるものを利用した。とくに  $H$  と  $D$  ( $X$  と  $Y$ ) については位相がずれるものが多いので、その両極端すなわちほぼ位相差  $0^\circ$  または  $180^\circ$  のものに限って採用するようにした。pc2 については局地性の大きい現象があるため、女満別・鹿屋・女川および下里の  $H$  と  $D$  ( $X$  と  $Y$ ) が、各地点で個々の波について非常によく一致している約 20 min 間の区間を選び、一つの区間につき約 20 個の波について読み取りをした。

周期が短くなると位相がずれるばかりでなく、短時間に位相が変わって、bay から求まる  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  などのように単純な量では表示できない。いくつかの資料を読み取る作業の途中で興味ある現象を見つけたが、この位相の問題は現象の本質を知る上にも電磁誘導を利用しての地下探査を行なう上でもきわめて重要なことであるが、今回の調査の場合には、できるだけ単純なものが、好都合なので位相の点で問題の少ないものに限定した。

それぞれの成分について最大較差を読み取り、 $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  ( $\frac{\Delta Z}{\Delta X}$ ),  $\frac{\Delta Z}{\Delta D}$  ( $\frac{\Delta Z}{\Delta Y}$ ),  $\frac{\Delta D}{\Delta H}$  ( $\frac{\Delta Y}{\Delta X}$ ),  $\frac{\Delta H}{\Delta D}$  ( $\frac{\Delta X}{\Delta Y}$ ) を計算する。次に  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  と  $\frac{\Delta D}{\Delta H}$  (または  $\frac{\Delta Z}{\Delta D}$  と  $\frac{\Delta H}{\Delta D}$ ) の関係を求めると、各観測所についてそれぞれの現象で比例関係が得られる。この資料の一部の例を第 2 図から第 25 図に示しておいた。この資料は主として IGY 1957/58 の期間で、柿岡・女満別および鹿屋については 1963 年までの資料を追加してある。この特性の時間的变化は吉松<sup>(21), (22)</sup> により論じられているが、それによれば月平

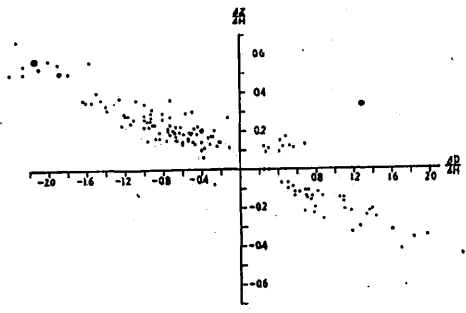


Fig. 2. The correlation between  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  and  $\frac{\Delta D}{\Delta H}$  of bay at Memambetsu.

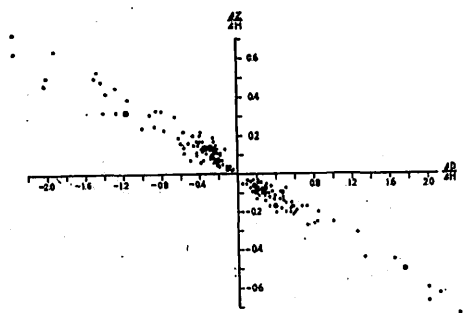


Fig. 3. The correlation between  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  and  $\frac{\Delta D}{\Delta H}$  of si at Memambetsu.

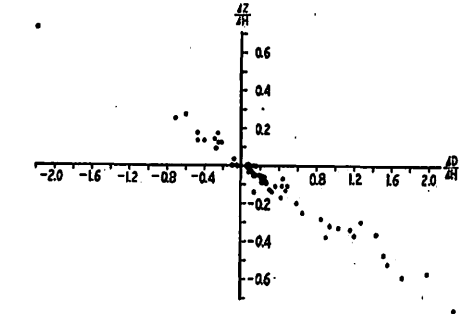


Fig. 4. The correlation between  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  and  $\frac{\Delta D}{\Delta H}$  of ssc at Memambetsu.

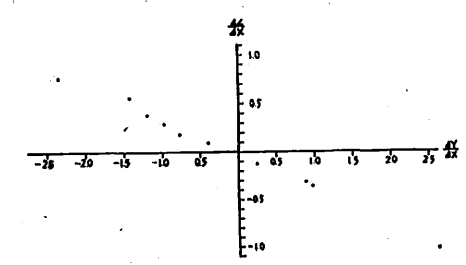


Fig. 5. The correlation between  $\frac{\Delta Z}{\Delta X}$  and  $\frac{\Delta Y}{\Delta X}$  of pi2 at Memambetsu.

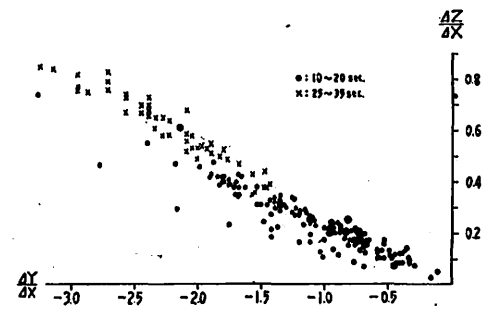


Fig. 6. The correlation between  $\frac{\Delta Z}{\Delta X}$  and  $\frac{\Delta Y}{\Delta X}$  of pc3 at Memambetsu.

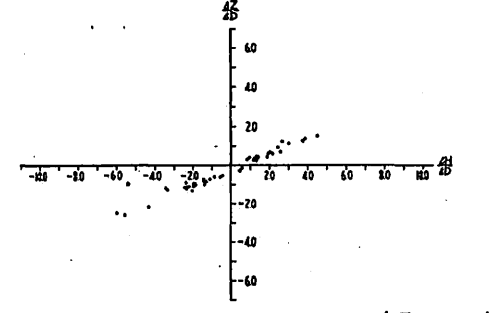


Fig. 7. The correlation between  $\frac{\Delta Z}{\Delta D}$  and  $\frac{\Delta H}{\Delta D}$  of bay at Onagawa.

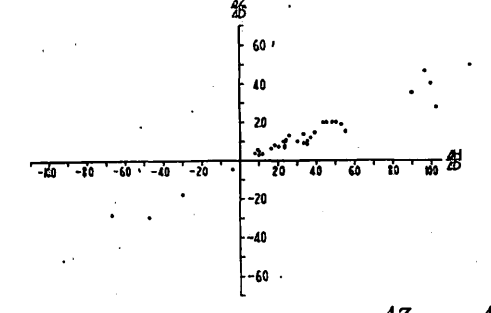


Fig. 8. The correlation between  $\frac{\Delta Z}{\Delta D}$  and  $\frac{\Delta H}{\Delta D}$  of si at Onagawa.

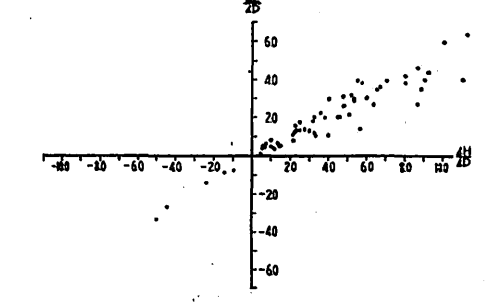


Fig. 9. The correlation between  $\frac{\Delta Z}{\Delta D}$  and  $\frac{\Delta H}{\Delta D}$  of ssc at Onagawa.

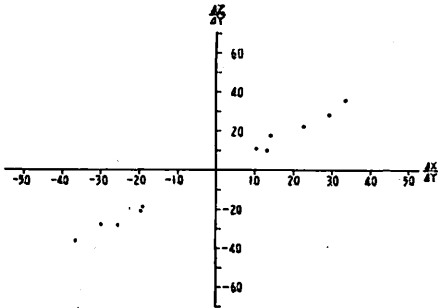


Fig. 10. The correlation between  $\frac{\Delta Z}{\Delta Y}$  and  $\frac{\Delta X}{\Delta Y}$  of pi2 at Onagawa.

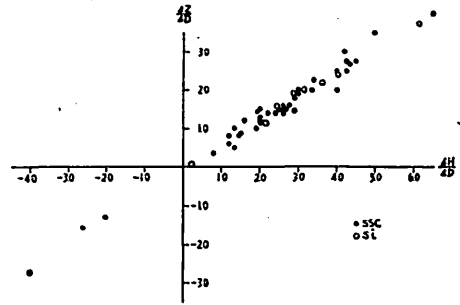


Fig. 14. The correlation between  $\frac{\Delta Z}{\Delta D}$  and  $\frac{\Delta H}{\Delta D}$  of ssc and si at Kakioka.

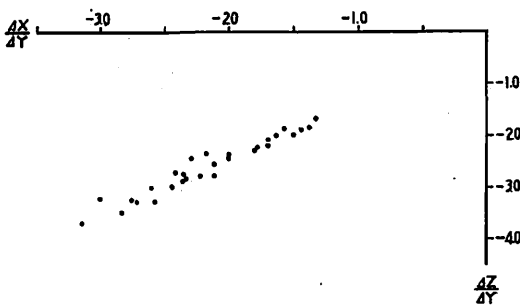


Fig. 11. The correlation between  $\frac{\Delta Z}{\Delta Y}$  and  $\frac{\Delta X}{\Delta Y}$  of pc3 at Onagawa.

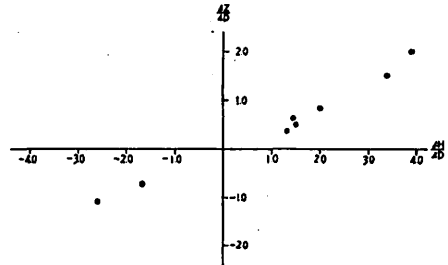


Fig. 15. The correlation between  $\frac{\Delta Z}{\Delta D}$  and  $\frac{\Delta H}{\Delta D}$  of pi2 at Kakioka.

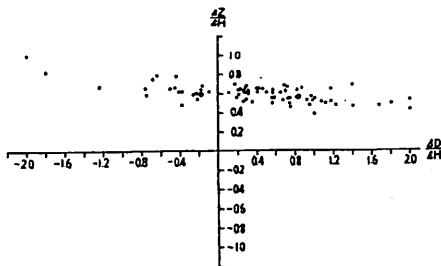


Fig. 12. The correlation between  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  and  $\frac{\Delta D}{\Delta H}$  of bay at Kakioka.

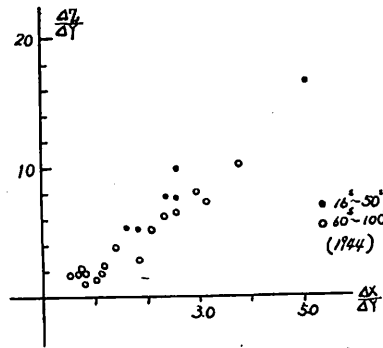


Fig. 16. The correlation between  $\frac{\Delta Z}{\Delta Y}$  and  $\frac{\Delta X}{\Delta Y}$  of pi2 and pc3 at Kakioka.

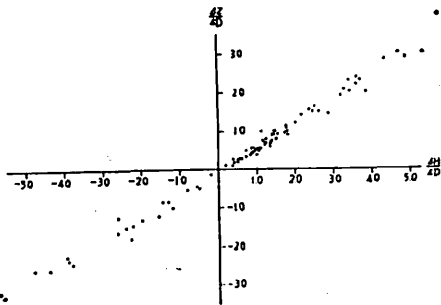


Fig. 13. The correlation between  $\frac{\Delta Z}{\Delta D}$  and  $\frac{\Delta H}{\Delta D}$  of bay at Kakioka.

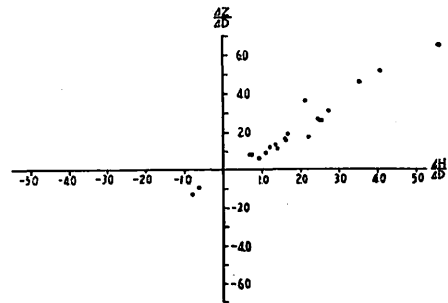


Fig. 17. The correlation between  $\frac{\Delta Z}{\Delta D}$  and  $\frac{\Delta H}{\Delta D}$  of bay at Simosato.

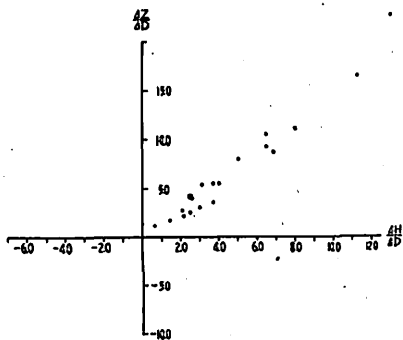


Fig. 18. The correlation between  $\frac{\Delta Z}{\Delta D}$  and  $\frac{\Delta H}{\Delta D}$  of ssc at Simosato.

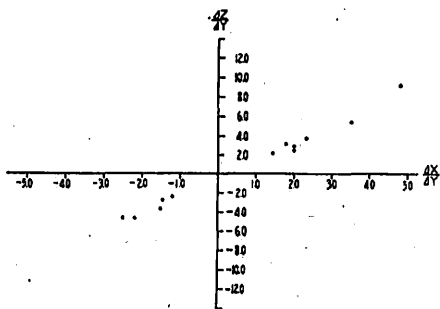


Fig. 19. The correlation between  $\frac{\Delta Z}{\Delta Y}$  and  $\frac{\Delta X}{\Delta Y}$  of pi2 at Simosato.

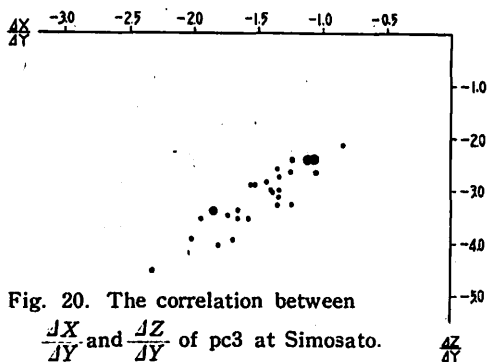


Fig. 20. The correlation between  $\frac{\Delta X}{\Delta Y}$  and  $\frac{\Delta Z}{\Delta Y}$  of pc3 at Simosato.

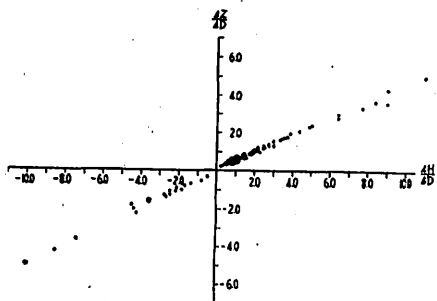


Fig. 21. The correlation between  $\frac{\Delta Z}{\Delta D}$  and  $\frac{\Delta H}{\Delta D}$  of bay at Kanoya.

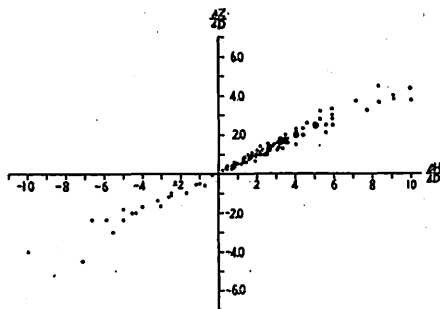


Fig. 22. The correlation between  $\frac{\Delta Z}{\Delta D}$  and  $\frac{\Delta H}{\Delta D}$  of si at Kanoya.

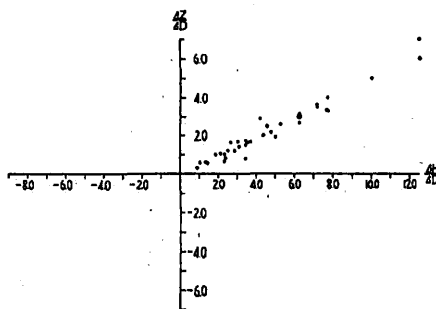


Fig. 23. The correlation between  $\frac{\Delta Z}{\Delta D}$  and  $\frac{\Delta H}{\Delta D}$  of ssc at Kanoya.

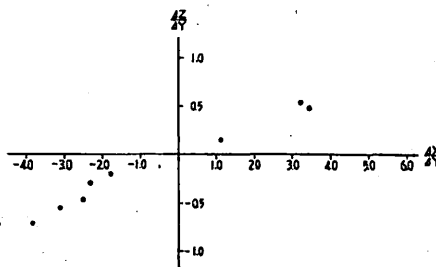


Fig. 24. The correlation between  $\frac{\Delta Z}{\Delta Y}$  and  $\frac{\Delta X}{\Delta Y}$  of pi2 at Kanoya.

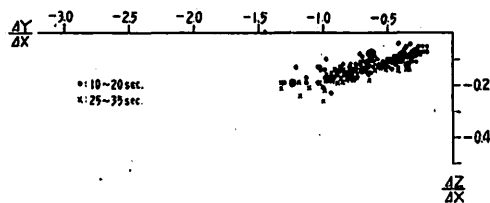


Fig. 25. The correlation between  $\frac{\Delta Z}{\Delta X}$  and  $\frac{\Delta Y}{\Delta X}$  of pc3 at Kanoya.

均値について  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  の値の変化は 10% 程度である。したがって特別な期間でないかぎり著者らの統計に影響することはない。

これらの図の中で第 12 図と 13 図とは同一の資料についてこの値の分母を  $\Delta D$  と  $\Delta H$  について示したもので本質的には同じであるが、見かけ上分散が異なり、場所によって取り扱い上都合よい比の組み合わせがある。

これらの図から各地各現象についてそれぞれ直線関係があり、次式で表わされることがわかる。

$$\frac{\Delta Z}{\Delta H} = A + B \frac{\Delta D}{\Delta H} \quad (\text{または} \quad \frac{\Delta Z}{\Delta D} = A \frac{\Delta H}{\Delta D} + B) \quad (1)$$

この関係はもちろんある程度の分散があり、一つの現象でも周期が異なるから、周期による  $A, B$  の値の変化自身も加わる。それらは一例として示した図からわかるように、 $A, B$  の係数は 10~15% 程度の分散で求められる。また  $\frac{\Delta D}{\Delta H}$  (または  $\frac{\Delta H}{\Delta D}$ ) の値はほぼ固定されており、とくに ssc の水平ベクトルはほぼ南北に卓越しており東西方向の変化は少ない。すなわち  $\frac{\Delta D}{\Delta H}$  (または

$\frac{\Delta H}{\Delta D}$ ) は小さい (または大きい) 値が多い。したがって水平ベクトルの全方向から求めた値でないので、全領域にわたってこの直線関係が成立するかどうかの断定の資料は得られていない。しかし現在までのところ、位相差が大きかったり、一つの現象の中でそれが変化するものでなければ、東西方向から  $\pm 20$  数度の範囲を除いては、明らかに (1) 式の直線関係があるといってさしつかえない結果が出ている。この東西方向の狭い範囲内の不確かさは目をつぶって、この範囲まで直線関係を延長して考察を進めた。

(1) 式はさらに次のように書きかえられる。

$$\Delta Z = A \Delta H + B \Delta D \quad (2)$$

これは平面の方程式であり、地磁気短周期の変化ベクトルが一つの固有の平面に拘束されていることを示す。現在までの調査では、日本の各地点の各周期について、この平面が固有のものであり、W. D. Parkinson がいうような拘束平面の存在は、日本の場合でも同じく認められる。

(2) 式の表わす平面上の一点を通る直線中で最大の下

Table 1.  $A, B$  and  $S$  at several observatories in Japan

Station	Lat.	Long.	bay				si				ssc			
			A	B	$\theta$	$\tan \varphi$	A	B	$\theta$	$\tan \varphi$	A	B	$\theta$	$\tan \varphi$
Memambetsu	43° 55' N	144° 12' E	$T_D: 30\text{min}$ 0.06	-0.23	N 75° W	0.24	$T_D: 3\text{min}$ 0.01	-0.30	N 88° W	0.30	$T_D: 2\text{min}$ 0.01	-0.34	N 88° W	0.34
Onagawa	38 27	141 28	$T_D: 30\text{min}$ 0.41	-0.22	N 28 W	0.47	$T_D: 4\text{min}$ 0.43	-0.19	N 24 W	0.47	$T_D: 3\text{min}$ 0.54	-0.22	N 22 W	0.58
Kakioka	36 14	140 11	$T_D: 30\text{min}$ 0.61	-0.08	N 7 W	0.62	$T_D: 3\text{min}$ 0.62	-0.08	N 7 W	0.63	$T_D: 2\text{min}$ 0.62	-0.08	N 7 W	0.66
Simosato	33 35	135 56	$T_D: 50\text{min}$ 1.23	-0.40	N 18 W	1.29	$T_D: 3\text{min}$ 1.52	-0.60	N 22 W	1.64	$T_D: 3\text{min}$ 1.55	-0.70	N 24 W	1.70
Kanoya	31 25	130 53	$T_D: 30\text{min}$ 0.48	0.05	N 6 E	0.48	$T_D: 5\text{min}$ 0.48	0.05	N 6 E	0.48	$T_D: 3.5\text{min}$ 0.54	-0.15	N 16 W	0.56
Namie	37 29	140 58	0.24	-0.50	N 64 W	0.55								
Onahama	36 58	140 55	0.68	-0.39	N 30 W	0.78								
Aburatsubo (T. Rikitake)	35 09	139 37	0.68	0.01	N 1 E	0.68								
Maze (T. Rikitake)	37 44	138 48	-0.01	0.15	N 94 E	0.15								

Station	Lat.	Long.	pi 2				pc 3							
			A	B	$\theta$	$\tan \varphi$	A	B	$\theta$	$\tan \varphi$				
Memambetsu	43° 55' N	144° 12' E	$T: 65\text{sec}$ -0.04	-0.36	N 97° W	0.36	$T: 10\sim 20\text{sec}$ 0.01	-0.22	N 87° W	0.22	$T: 25\sim 35\text{sec}$ -0.03	-0.29	N 96 W	0.29
Onagawa	38 27	141 28	$T: 90\text{sec}$ 1.03	-0.02	N 1 W	1.03	$T: 15\sim 20\text{sec}$ 1.10	-0.25	N 13 W	1.13				
Kakioka	36 14	140 11	$T: 65\text{sec}$ 0.50	-0.14	N 16 W	0.52	$T: 16\sim 50\text{sec}$ 0.29	-0.20	N 35 W	0.35				
Simosato	33 35	135 56	$T: 83\text{sec}$ 0.41	-0.23	N 29 W	0.47	$T: 15\sim 20\text{sec}$ 1.60	-0.74	N 25 W	1.76				
Kanoya	31 25	130 53	$T: 65\text{sec}$ 0.16	-0.01	N 4 W	0.16	$T: 10\sim 35\text{sec}$ -0.03	0.14	N 102 E	0.14				



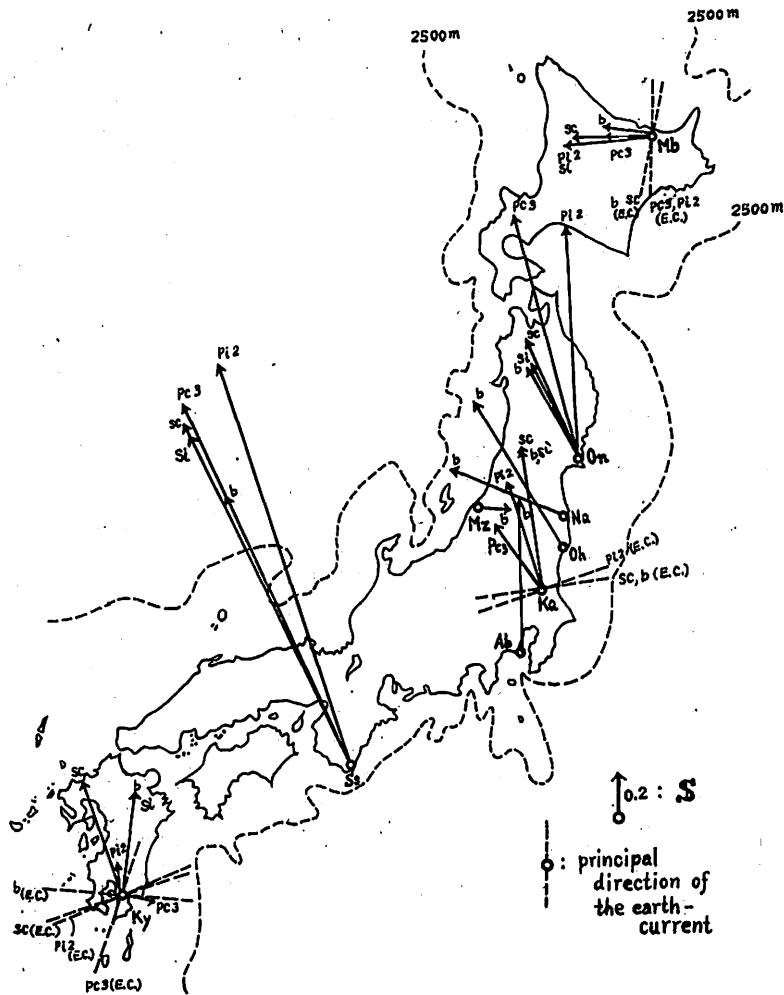


Fig. 26. The distribution of vector  $S$  and the principal direction of the earth current.

向き傾斜を示すものの方位角  $\theta$  および傾斜角  $\varphi$  は  $\theta = \tan^{-1} \frac{B}{A}$ ,  $\varphi = \tan^{-1} \sqrt{A^2 + B^2}$  である。ここで  $\theta$  は真北(磁氣的または地理的) からのかたより,  $\varphi$  は水平面よりの傾きをそれぞれ角度で表わす。この  $\theta, \varphi$  で決まるベクトルは  $\Delta Z$  の下向き増加の方向を正ととっているので、いわゆる“Parkinson Vector” に負号をつけたものに等しい。W. D. Parkinson は傾斜の大きさを  $\varphi$  で表わしているが、著者らは  $\tan \varphi$  の値をそのまま利用した。これは日本では  $\theta$  が一般に小さく、従来の  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  の値と比べると都合がよいし、ベクトルの絶対値として意味もあるからである。この  $\theta, \tan \varphi$  で表わされるベクトルを  $S$  とする。第1表は第2~25図などから求められた

値に力武らの値を加えたものである。

この表で経緯度は地理的な場所,  $\theta$  は地理的真北からのかたよりを表わす。  $T$  および  $T_D$  は平均値を示している。 bay については問題がないが, ssc など周期特性の大きい部分にあたるので、重要な意味を持つ。この表から得られた値を第26図に示した。参考までに2,500mの深さの水深線を記入してある。また第4節で述べる地電流の主方向も加えておいた。

### 3. 地磁気変化ベクトルのふるまい (検討と考察)

#### (1) 一般的事項

第26図や第1表でもわかるように bay についてはベクトル  $S$  は一般に北を向いている。したがって第1

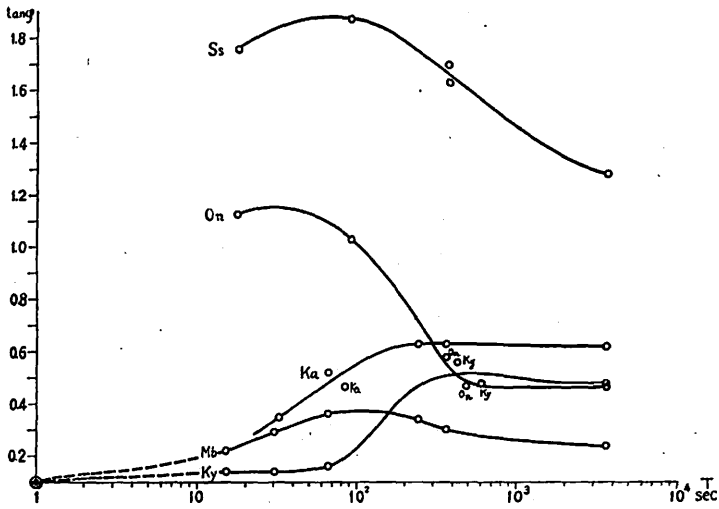


Fig. 27. The time response of  $\tan \varphi, \left[ \left( \frac{\Delta Z}{\sqrt{\Delta H^2 + \Delta D^2}} \right)_{\max}, \sqrt{A^2 + B^2} \right]$

図の  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  の分布はこの  $S$  の分布にほぼ近い値になる。しかし女満別・間瀬で見られるように  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  の小さい所はベクトル  $S$  が東西を向いており、また  $\tan \varphi$  も小さい。現在は観測点が少ないので  $\tan \varphi$  や  $\theta$  の日本における分布を求めるのは困難である。第1図で大勢がわかったつもりでも、各周期に分けて特性を求めると各観測所で特性は非常に異なっていて、日本の地下構造を磁気的に見ると複雑さあまりない。とくに鹿屋で  $pc3$  の方向が東西であることは非常に注目すべきであろう。

統一的な原因を論ずるには、まず局所的な要因をつきつめて、それを分離した上でなければ危険である。このためにも地域的に、また観測要素に対してもさらに密度の高い観測網が必要であろう。

第27図は  $\tan \varphi$  すなわち  $\sqrt{A^2 + B^2}$  の周期特性を示している。 $\tan \varphi$  は水平ベクトルの方位角に対し  $\frac{\Delta Z}{\sqrt{\Delta H^2 + \Delta D^2}}$  の最大値を表わしている。各周期帯で  $\theta$  の小さい地点、すなわちベクトル  $S$  が南北方向を向く地点では単なる変化比  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  の周期特性と同じになる。図の中の観測値 (○印) は右から bay, si, ssc, pi3 および  $pc3$  を示している。 $T$  は周期を表わし、 $T_D$  の場合はそれを2倍して周期とした。女川は  $pc3$  の○印より少し周期の長い所で最大になるように図に示してあるが、これは  $pc3$  付近のいくつかの周期の長い現象について調べた結果から求めたものである。下里や女川でもさらに短周期の観測を行なうならば、 $\tan \varphi$  は急激に小さい値

になると考えられる。今後この地点での観測からは非常に興味ある結果が得られることであろう。

前にのべたが、柿岡では高感度変化計の観測から  $\pi_2$  (pt) の値が得られた。それで、その値を第1表柿岡の行の上段に、さらに誘導磁力計の観測からも得られた周期  $70 \sim 100$ sec の値を下段に示してある。二つの値は一致しており、 $\theta$  が少しずれているだけである。おそらく誤差であろうと考えられる。念のためおそ回し観測記録 (20mm/hr) から  $\pi_2$  (pt) を読み取り、それから求めた  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  を第2表に示した。偏角も考えに入れて  $A, B$  を求めるべきであるが、位相差がはっきりしないので  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  の値を示した。もともと係数  $B$  は小さいから、女満別以外では  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  と  $A$  の差はわずかで、その補正をしなくても  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  の値は係数  $A$  に近いものと考えられる。もちろん、現象そのものも小さいので誤差は大きい。第2表の値は第1表の値と一致しており、とくに柿岡では、 $\pi_2$  の三者が一致した値を示している。これらのことから測定装置の違いによる  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$ ,  $\tan \varphi$ ,  $\theta$  などの差はきわめて小さいものと考えられる。

この検討を  $ssc$  についても行なってみた。通常変化記録の読み取りは正確に行なわれるが、誘導磁力計記録のほうは一般にきわめてゆるい変化になって記録されており、かつ  $\pi_2$  (pt) や  $pc3$  (pc) などの脈動が重畳していると、その変化が大きく現われて比較にならない

Table 2.  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  of pi2 (pt) by normal magnetogram

Station	$\frac{\Delta Z}{\Delta H}$	Period
Kakioka	0.41	1.5 min
	0.37	1.0
	0.27	0.5
	mean 0.35	1.0
Simosato	2.15	1.0
Kanoya	0.23	1.0

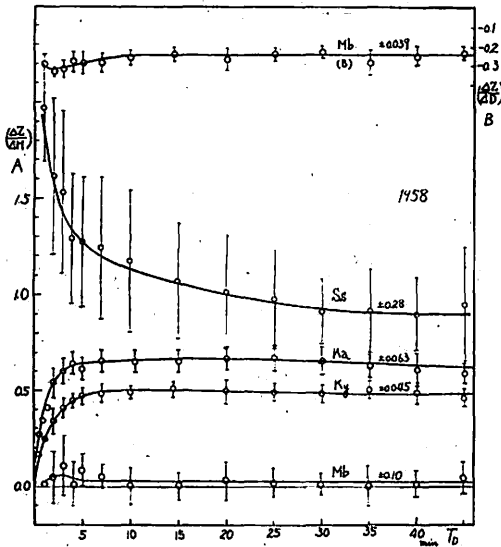


Fig. 28. The time response of  $A\left(\frac{\Delta Z}{\Delta H}\right)$  and  $B\left(\frac{\Delta D}{\Delta H}\right)$ .

い。このため二つの磁力計記録から求めた係数の値も大きくひろく。誘導磁力計記録のほうの値は pi2, pc3 に近いものを表わす。さらにこのことは pi2 の値もこれに重畳した pc3 などが大きく影響し分散が大きくなることがある。

このことはおそ回し記録から ssc, si などを読み取るときも起こることである。これらの変化は周期特性の大きく変わる部分にあたり、かつ現象自身が単純な周波数の一つの波でなくいくつかの複合からなるものであり、誘導される鉛直分力も複雑になるので分散が大きい。これについてももう少しふれてみたい。

(2) 女満別・柿岡・下里および鹿屋の周期特性

女満別・柿岡・下里および鹿屋について 1958 年の資

料から  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  を求めさらに  $\frac{\Delta D}{\Delta H}$  の補正を行なって (1) 式の  $A$  の値に換算してその周期特性を求めた。これを第 28 図に示した。ここで  $T_D$  は duration を min で示してあるから第 27 図と比較するには 2 倍する必要がある。とくに係数  $A$  について詳しく調査したのは、吉松<sup>(21), (22)</sup> の  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  と地震との関係の研究の作業の一部を分担したときに、資料の取り扱い上必要になったためである。彼の使用した  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  の値は、この係数  $A$  の数分以上の長い周期のほぼ一定になる部分であり、下里については周期特性の補正を行なっている。

第 28 図でわかるが、柿岡の  $A$  の値は  $T_D$  が 20min あたりが最大で、3min あたりより短い周期では急激に減少している。分散を標準偏差で表わすと全周期に対して  $\pm 0.063$  で、とくに大きいのは 2min の値  $\pm 0.078$  で、短周期が少し大きい値になっている。周期特性や  $\frac{\Delta D}{\Delta H}$  の係数  $B$  を考慮に入れなくても 5min 以上長い  $T_D$  の現象を使用すれば、単なる  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  の値は補正したものより 2~3% 小さいだけである。これは  $\theta$  が 6~7° であることがおなる原因である。また標準偏差は何らの補正もしないときは  $\pm 0.077$  であるが、 $\frac{\Delta D}{\Delta H}$  の補正をして  $A$  の値にし、かつ周期特性を補正しても  $\pm 0.064$  となり、それほど変わらない。この分散の原因は単なる読み取り誤差や補正の不完全ではなく、位相差などによる本質的なものと考えられる。なお、読み取りからくる誤差は  $\pm 0.03$  程度である。これらのことから吉松の取り扱った  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  の信頼度を 50 個くらいの読み取りから求めると、99% のとき  $\pm 0.03$ 、95% のとき  $\pm 0.02$  となる。

鹿屋の周期特性は柿岡に類似しており、 $T_D$  が 3min あたりより短い周期で急に小さくなっていて、この減少のしかたはいくつかの観測所のうち最も大きい。最大値は 10min である。分散は平均で  $\pm 0.045$  で小さいが、2min では  $\pm 0.068$ 、3min では  $\pm 0.051$  と周期が短くなると多少大きくなる。そして柿岡も同じであるが  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  を求めるには  $T_D$  が 5min から 30min の間の現象を利用すると周期特性がほとんどないし分散も小さくて都合がよい。またあまり周期の長い現象は零線の決め方による分散が大きくなる。

鹿屋の単なる  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  は周期特性や  $\frac{\Delta D}{\Delta H}$  の係数  $B$  の補正をすると、もとの値より 1~2% 大きくなる。しかし標準偏差は  $\pm 0.055$  から  $\pm 0.049$  に減少するのみで、柿岡と同じくそれほど小さくならない。また吉松が取り

扱った  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  の信頼度は 50 個くらいのとき、99% で  $\pm 0.02$ 、95% で  $\pm 0.015$  となる。

女満別はかなり異なった形で、周期特性はなくほとんど一定で、 $T_D$  が 2 min あたりでごくわずかに大きくなる。標準偏差は平均で  $\pm 0.096$ 、2 min で  $\pm 0.13$ 、3 min で  $\pm 0.15$ 、4 min で  $\pm 0.12$  で、短周期は割合に大きい。そしてここでも 5~30 min の間では周期特性がなく一定で、分散も少ない。現象そのものは  $Z$  と  $D$  がよく似ていて、係数  $B$  は  $A$  より分散が少ない。第 28 図の一番上に書いてあるのは女満別のの係数  $B$  を示している。 $B$  は 2 min で極小となり、10 min より長いところでは一定となる。また分散も平均で  $\pm 0.039$ 、短いところでも  $\pm 0.05$  で若干大きくなるに過ぎない。このため吉松は  $\frac{\Delta Z}{\Delta D}$  を用いて地震との関係を論じている。

女満別では周期特性はほとんど問題ないが、 $A$  に比して  $B$  が大きいから、柿岡や鹿屋のように  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  と  $A$  は近い値にならない。1958 年の平均で  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$ 、 $\frac{\Delta D}{\Delta H}$ 、 $\frac{\Delta Z}{\Delta D}$ 、 $A$ 、 $B$  はそれぞれ 0.39、1.5、0.29、0.06、0.26 で  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  と  $A$  とははなはだしく異なるが、 $\frac{\Delta Z}{\Delta D}$  は  $B$  に近い。このことは (1) 式の関係から当然のことである。それでベクトル  $S$  がいずれの方向を向いているか、また個々の観測値では  $A$ 、 $B$  の値がどのくらいかを考慮に入れて、単なる比  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  や  $\frac{\Delta Z}{\Delta D}$  の値を用いた資料を利用するときは注意しなければならない。また  $A$  と  $B$  の係数について分散が異なることも注目に値する。なお  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  の信頼度は約 50 個の平均のとき 99% は  $\pm 0.07$ 、95% は  $\pm 0.05$ 、 $\frac{\Delta Z}{\Delta D}$  は 99% は  $\pm 0.03$ 、95% は  $\pm 0.02$  となる。

下里は古くから  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  が異常に大きいことが知られ、観測の誤りではないかとさえ疑われていたが、そうではなく  $\tan \phi$  または  $A$  も大きくかつ周期特性も他の観測所と異なっている。第 28 図からわかるように周期特性の標準偏差も大きく、平均で  $\pm 0.28$  で他に比べて数倍も大きい。さらに  $T_D$  が 5 min 以下では  $\pm 0.38$  で 5 min 以上の平均  $\pm 0.22$  の 2 倍である。これは短周期の場合は一つの波でなく複合された波で、それぞれの周期特性が異なるためと考えられる。2 min 付近は第 27 図に示すように一定となり、さらに短周期になれば小さくなるであろう。 $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  の信頼度は他に比べてきわめて悪く約 50 個の平均のとき 99% で  $\pm 0.11$ 、95% で  $\pm 0.08$  である。

下里の特性の異常はあらゆる意味において興味深い。今後の観測から新しい事実の現われることが期待できる。

女満別の係数  $B$  の周期特性については述べたが、ほかの観測所は目下調査中であるが、 $A$  とほぼ似た形となっている。しかも  $B$  は  $A$  より分散が小さい。すなわちベクトル  $S$  の方向はあまり変わらない。資料を  $\frac{\Delta Z}{\Delta D}$  と  $\frac{\Delta H}{\Delta D}$  の形にして  $A$ 、 $B$  を求めたのもそのためである。しかし一般には  $\Delta D$  の変化は小さく、 $\frac{\Delta H}{\Delta D}$  は大きな値になりやすいので、読み取り誤差ははいろいろとくに変化計の感度は偏角が他のものに比して 2~3 倍悪いのが普通である。女満別・柿岡および鹿屋では 3 成分とも 2.5  $\gamma$ /mm に近い感度なので都合はよいが、一般に偏角は 0.5'/mm または 1.0'/mm で 5  $\gamma$ /mm または 10  $\gamma$ /mm のことが多い。この場合は  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  と  $\frac{\Delta D}{\Delta H}$  の形にしてそれぞれの係数を求めるほかはない。いずれにしても観測所の特性に応じて資料の取り扱いをきめることが望ましい。

### (3) ssc における二、三の特性とその比較

ssc 付近は周期特性が大きく変化するところなのでそれに関連することを述べてみたい。

第 29 図は柿岡において湯村<sup>(23)</sup> が 1924 年から 54 年までの 31 年間の約 450 個の ssc の立ち上り量から  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  を求めて、毎時間ごとに平均して求めた日変化である。この各点の標準偏差は  $\pm 0.10 \sim \pm 0.15$  でかなり大きい。明らかに地方時 9~10 時に極小が現われ、日変化の振幅は 0.12 に達する。これについては湯村はその理由を説明していない。この図の  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  は単なる比であり  $A$  ではない。 $\frac{\Delta D}{\Delta H}$  は朝きわめて大きく、その補正も小

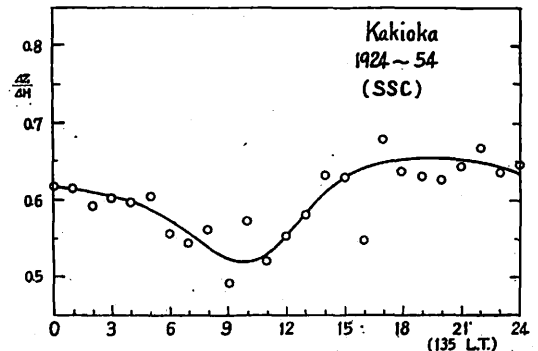


Fig. 29. The daily variation of  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  of ssc at Kakioka, compiled by the authors using various data of T. Yumura.

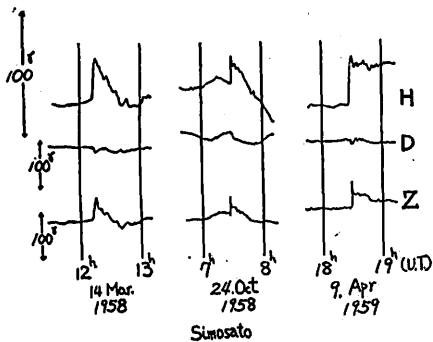


Fig. 30a. The examples of normal record of ssc at Simosato.

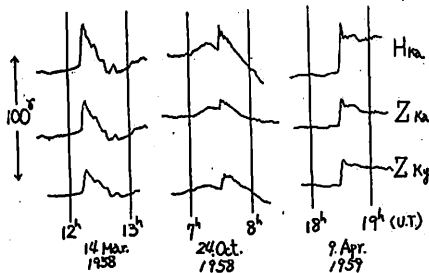


Fig. 30b. The examples of normal record of ssc at Kakioka and Kanoya.

さくなく、第 29 図を補正すると日変化の振幅は約  $2/3$  となる。さらに duration は 6~10 時では 2min でほかの時刻の平均 4min に比してかなり小さい。それで第 28 図を用いて補正すると、日変化はなくなる。すなわち第 29 図の  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  の日変化は見かけ上のものである。原因が数百 km の深さの内部誘導にあると考えられるので、これは当然であるが、資料の取り扱いを誤らないよう注意するために、特に付記した。

この種の日変化は下里にも認められる。しかし下里の  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  はその分散が大きいので 1954 年から 1958 年までの統計からはあまりはっきりした日変化はみられないが、8~10 時ごろが極小になる傾向は現われている。

つぎに下里の周期特性が大きいことから ssc 付近の  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  とベクトルダイアグラムを求めてその特性を検討した。下里のおそ回し記録の鉛直分力の立ち上りはきわめて鋭い。第 30 a および b 図は偏角のあまり変化しない急始の記録の三つの例を示した。水平分力はほとんど差がないが、鉛直分力は下里はいずれもはじめ大きく、つぎに急激に減少している。もちろんこの早さは数十 sec

のもので、変化計の特性のために起こるものではない。変化計の周期は 3sec 以下であり制振度も十分であるし、もし変化計の周期がきわめて長く（最大でも 6sec になることはないが）なれば、第 30 a 図は逆にはじめが小さく現われる。この現象は一応周期特性で説明できるが、次の調査からみるとかなり複雑である。 $\frac{\Delta D}{\Delta H}$  で補正した急始付近の  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  の値を、2~3min ごとに求めた一例を第 31 a, b, c 図に示した。普通の場合は急始の最大値をもって ssc の  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  とする。すなわちこの図のはじめの値がそれである。これらの図は第 28 図と似た形になっていて、柿岡と鹿屋ははじめ小さく、下里ははじめが著しく大きい。これはここに示した三つの例のほかもすべて共通している。そして立ち上がりの時間が早ければ早いほど、この特徴は大きく現われる。

しかし時間が長くなると零線の引き方で、後のほうの値は意味がなくなり、かなり任意の値となる。このことはすべての現象について共通していえることで、正確には各成分のベクトルダイアグラムから求めた値でなければならない。ここに掲げた例でも 10 min 以上たつとかなり小さい値になっている。

この 3 個のあらしの例について水平分力—偏角および水平分力—鉛直分力のベクトルダイアグラムをかかげてみた。この図を参考にしてこれらの特性をまとめると次のようになる。

なお、統計に使用したあらしは、1958 年 3 月 14 日 12 時 12 分、5 月 31 日 16 時 51 分、6 月 28 日 7 時 14 分、7 月 21 日 16 時 36 分、8 月 17 日 6 時 22 分、8 月 22 日 2 時 28 分、10 月 24 日 7 時 30 分、1959 年 4 月 9 日 18 時 28 分、6 月 11 日 9 時 08 分、8 月 20 日 4 時 10 分、12 月 5 日 7 時 00 分 (U. T.) の 11 個である。

$\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  は下里では常に立ち上り直前から起算して 3~4 min で、初めの 1.5~1.8 の値から 1.0~1.2 の値に急減し、以降ゆるく減少してゆく。鹿屋と柿岡は 2~3 min は小さい値で以降一定となる。はじめに小さい値が出るのは柿岡のほうが多い。しかし立ち上がりの最大値の時を少しでも越せば、以降は一定値になる。

水平分力と偏角のベクトルダイアグラムは  $\odot$  字形の変化が多く (第 32 a 図)、これが変形し D 字形 (第 33 a 図)、8 字形 ( $\odot$  字形のふくらんだ形) もある。回転方向はこの例と同じで、形は多少くずれる。各地点で水平分力はあまり変わらず偏角の様子が変わることが多い。8 月 22 日の例だけは回転方向が変わって、鹿屋は反時計

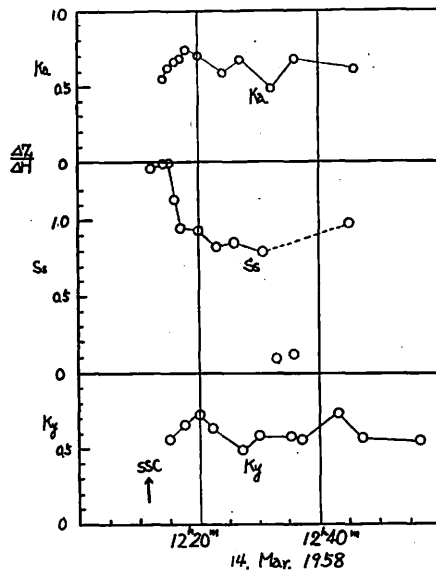


Fig. 31 a. The variations of  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  at the time of the ssc at Kakioka, Simosato and Kanoya at 14 Mar. 1958.

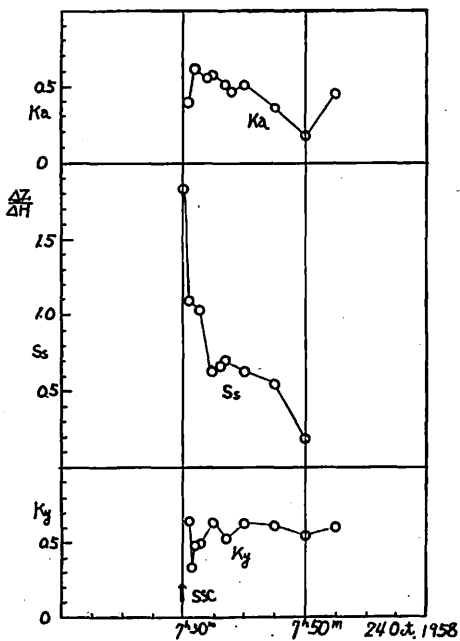


Fig. 31 b. The variations of  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  at the time of the ssc at Kakioka, Simosato and Kanoya at 24 Oct. 1958.

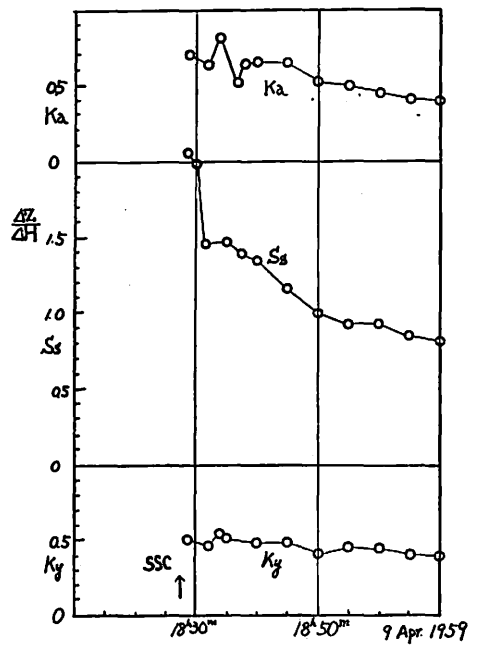


Fig. 31 c. The variations of  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  at the time of the ssc at Kakioka, Simosato and Kanoya, at 9 Apr. 1959.

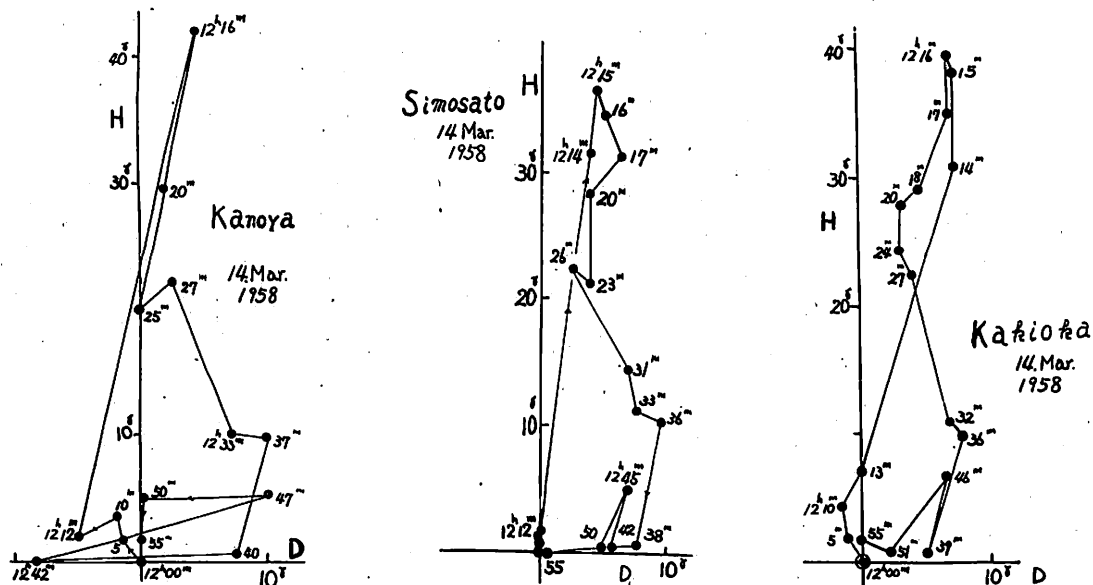


Fig. 32 a. The diagrams of horizontal intensity and declination at the time of the ssc at Kanoya, Simosato and Kakioka.

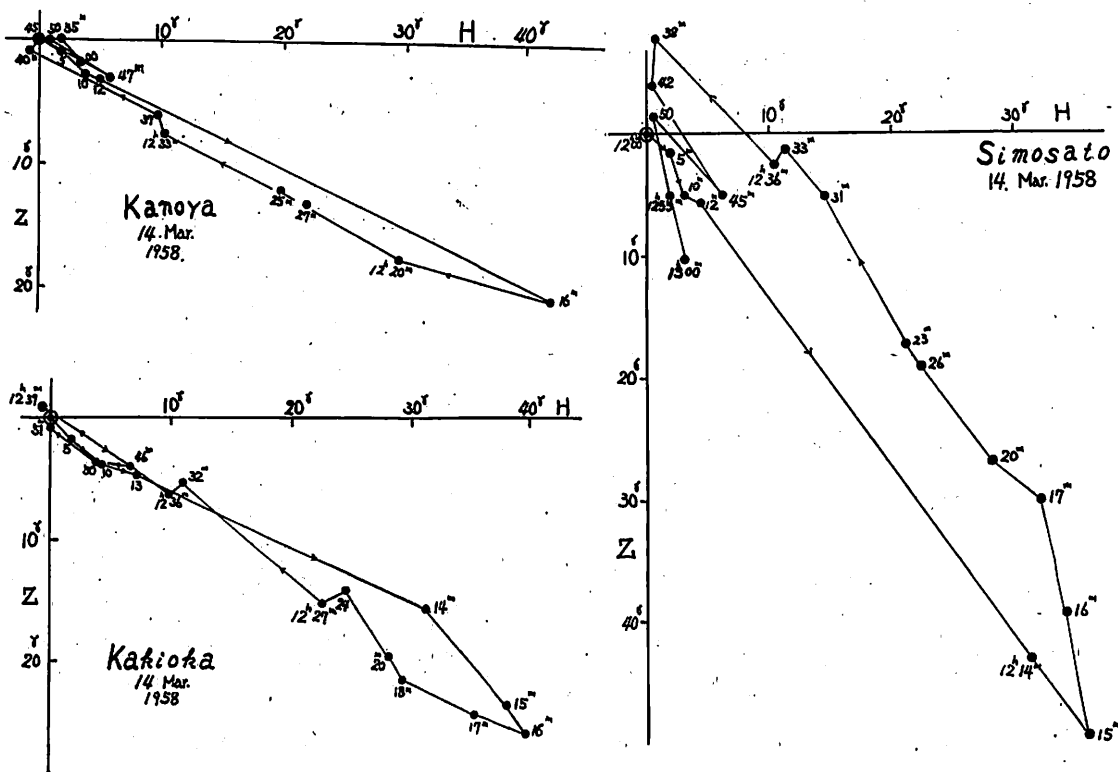


Fig. 32 b. The diagrams of horizontal intensity and vertical intensity at the time of the ssc at Kanoya, Simosato and Kakioka.

回り、下里はほとんど南北で、柿岡は時計回りになって  
いる。

$\frac{\Delta D}{\Delta H}$  の値はあらしの急始でほぼ  $-0.1 \sim -0.25$  で、  
地方時 6~10 時では 0.5 以上になるから無視できない。  
下里は A, B の係数そのものが大きいので 6~10 時以  
外でも、単なる変化の比  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  を A に換算するには 0.1

$\sim 0.15$  の補正量を必要とし、他の観測所では補正量は  
0.02~0.04 と小さい。

柿岡と鹿屋の水平分力と鉛直分力とのベクトルダイア  
グラムでは最初の ssc の立ち上がりは傾斜がゆるく、  
 $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  の値は小さいが、2~3 min 後は一定となり、傾斜  
が大きい直線となり、 $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  の値は少し大きくなる (第

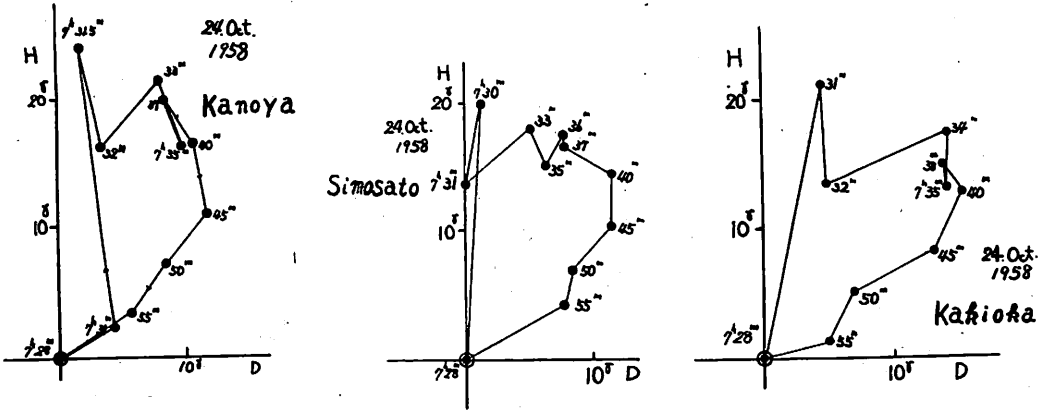


Fig. 33 a. The diagrams of horizontal intensity and declination at the time of the ssc at Kanoya, Simosato and Kakioka.

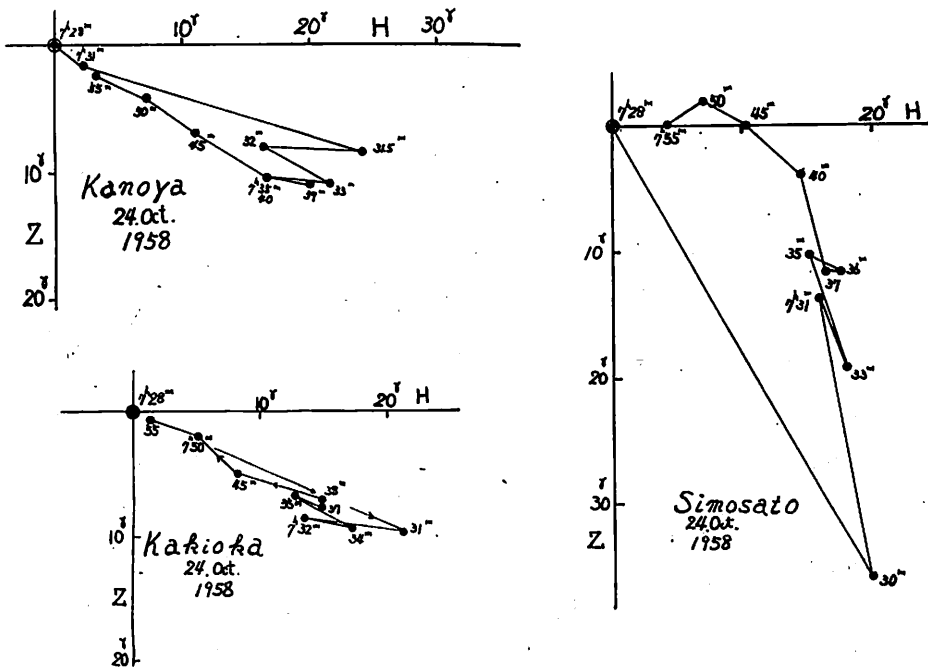


Fig. 33 b. The diagrams of horizontal intensity and vertical intensity at the time of the ssc at Kanoya, Simosato and Kakioka.



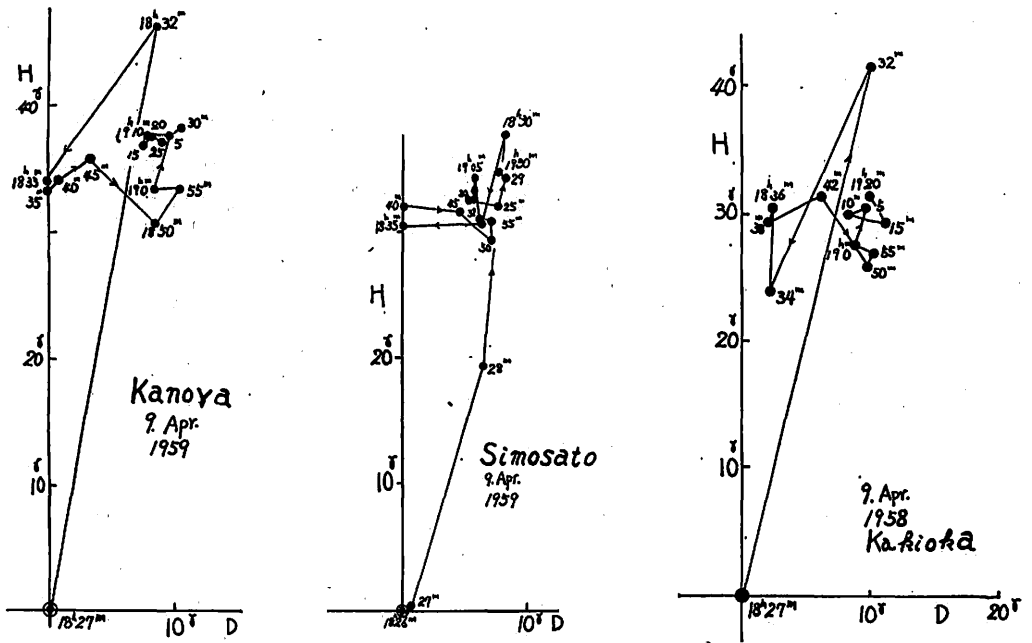


Fig. 34 a. The diagrams of horizontal intensity and declination at the time of the ssc at Kanoya, Simosato and Kakioka.

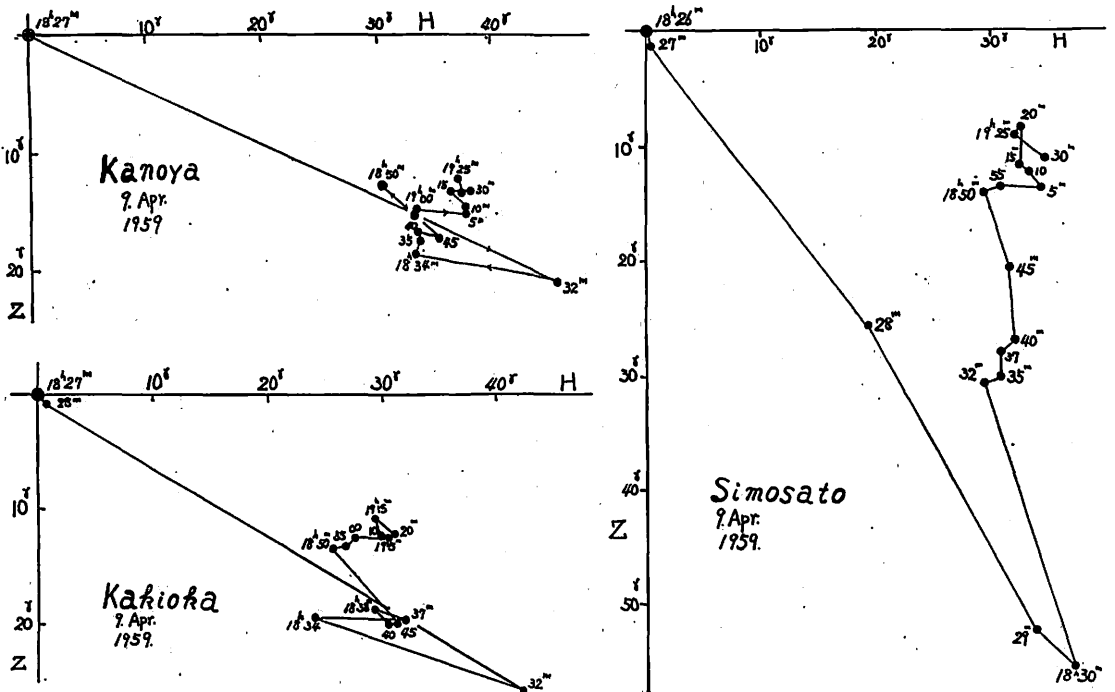


Fig. 34 b. The diagrams of horizontal intensity and vertical intensity at the time of the ssc at Kanoya, Simosato and Kakioka.

32b 図-Kanoya が代表例). この2本の直線は立ち上りの最大点から 2~4 min の間で分離される. そしてこの水平分力が変わらないで鉛直分力だけが変わる量は duration が小さいほど大きい, 通常  $5\gamma$  をこえることはまれである. duration が 3~4 min 以上になるとほとんど零となる.

下里は一般に急変化が起こるとその直後の水平分力と鉛直分力のベクトルダイアグラムは大きなループになる. ssc の立ち上がり極大点から 1~3 min の間に水平分力是不変なのに鉛直分力は急激に減少する. この量は duration が短いほど大きくまた  $\Delta Z$  の量が大きいほど大きい. 11 個のあらしの平均で  $\Delta Z$   $50\gamma$  のとき  $18\gamma$  であり, 他の観測所で見られないほど大きい. 第 33 b-Simosato 図や第 34 b-Simosato 図の示すように急減後もゆるく変化することが多い. これは第 31 図の  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  の時間的変化に現われている. この場合は零線の引き方にも関係するが, 柿岡や鹿屋ではほとんど直線上に各点がのるような時刻に対応する零線でも同じである.

もしダイアグラムの直線部分の傾斜から  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  を求めて第 31 図をつくと, 立ち上りの極大点付近は確かに大きい値になるが, それ以降はそれほどの時間的変化はなくなる. 第 31 図の下里の大きな変化は原点からの傾斜をとったための見かけ上のものが大きくはいつている. ダイアグラムの直線部分の傾斜の時間的変化ならば, 周期特性でほぼ説明できる.

しかし下里の水平分力と鉛直分力のダイアグラムは直線部分が少なく, 比例しないところがある. ssc ほど大きくないにしろ, bay でも起こっている. 柿岡や鹿屋はこのようなことはあまりない.

ssc 付近の  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  の変化は, 大部分周期特性によるためと考えられるが, かなり複雑で, 下里の ssc の直後の鉛直分力の急減などは, さらに調査してその本質的な特性を求める必要がある.

#### (4) 超短周期における $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$

第 27 図に周期 1 sec における値が記入してあるが, これは IQSY 観測における超短周期地磁気変化観測から得られたものである. 測定器は有心コイルに誘発される地磁気変化に比例した電圧をチョッパー増幅器ならびにテープレコーダーを用いて記録する方式のものである. 現在のところ, (1) 式の係数  $A$ ,  $B$  を求めるほど大きい現象がとらえられていないので詳しいことはわからないが, 女満別および鹿屋において, 0.5 sec から 2~3

Table 3.  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  from storm maximum range

Station	$\frac{\Delta Z}{\Delta H}$
Memambetsu	0.36
Kakioka	0.55
Simosato	0.71
Kanoya	0.48

sec の間では鉛直分力の変化は水平成分の約 1/10 である. またこの程度の周期変化になると, ごく表層の地下構造が影響するので, 詳しく調査すれば 1~10 sec の間にいろいろ興味ある現象が発見されるであろう.

#### (5) 長周期における $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$

bay より長い現象に対してこの値を求めることはむずかしく, とくに零線のとり方に問題がある. 水平分力と鉛直分力のベクトルダイアグラムも直線部分がほとんどなくなる. それで磁気あらしの最大較差から機械的に比を求めた. 使用したあらしは約 5 年間 50 個以上のものである.

この場合 duration は非常に幅があり, しかも鉛直分力は短くなり, 両者は一致しないことが多い. やむをえないので全体の平均値を求めると 4.5 hr ( $1.6 \times 10^4$  sec) となる. これは第 27 図や第 1 表から期待される値に近い. ただ女満別だけは少し大きい. また柿岡や鹿屋は bay の値と一致している.

あらしの時の最大較差の起時の水平分力と鉛直分力との時間差が大きいので, 第 3 表の値が短周期変化と同じ意味をもつかどうかはもっと検討する必要がある. もともと最大較差は主相で割合周期の短い (1 時間以内程度) 急変化のところで起こりやすい. したがって上記の 4.5 hr はもっと小さい値になる可能性がある. 力武<sup>(2)</sup>もすでに指摘しているように Dst については, 日本では異常はみられない. 著者らは女満別・柿岡・下里および鹿屋について Dst を求めてみたが, 短周期変化から得られるような異常は全くない. とくに下里について十分検討してみたがほかの観測所との違いは少ない. 個々のあらしについてはむしろ最大較差の比から求まる  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  のほうが意味がありそうである. Dst については水平分力が ssc 後 6~12 hr で最小値になるが, 鉛直分力では 3~4 hr で最小値となり, 水平分力の最小値のときは逆に最大値に達することが多い. これはほかの世界の観測所についても同じであり, 久保木<sup>(24)</sup> が述べたとおりであ

Table 4.  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  from daily or monthly mean values

Station	$\frac{\Delta Z}{\Delta H}$
Memambetsu	-0.20
Kakioka	-0.15
Simosato	-0.19
Kanoya	-0.15

る。多くのあらしについて平均するとこの水平分力と鉛直分力の位相のずれははなはだしくなり、 $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$ は意味がなくなってくる。

“Central Japan anomaly”は bay と Dst との間すなわち、数時間の周期の変化が限界で、それより長周期については現われない。

日変化から  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  を求めると非常に分散の大きい値となる。もともと水平分力と鉛直分力の日変化は似ていない。これについて久保木<sup>(24)</sup>もふれているが、水平分力と鉛直分力とは単に日変化の形が似ていないだけでなく、毎日その様子が異なり、たとえ偏角を考慮に入れても単純でない。単に各地点の日変化の振幅の値から大約の値を求めると、女満別・柿岡・下里・鹿屋は 0.3, 1.5, 2.0, 2.5 となる。これはあまり意味がない。もちろん各地点の鉛直分力の日変化の形や大きさの比較をしてみても、短周期のときのような異常はみられない。“Californian coastal anomaly”<sup>(11)</sup>のような顕著な変化は全くみられない。

しかし日変化の各地点の位相のずれは、はなはだしく大きい。単なる経度差では説明がつかないもので、今後さらに調査をすすめるならば興味ある結果が得られることであらう。

久保木<sup>(24)</sup>が求めた日平均値の変動に対する  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  は、第4表のような値になる。これは月平均値から求めても同じになる。

日または月平均値の変化比から求めた  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  になると局地性はなくなる。この値は世界的分布から求めると  $\tan \theta$  (ただし  $\theta$  は磁気緯度) の分布になり、日本付近はそれによく一致している。第4表では下里が少し大きく、柿岡が少し小さい。しかし短周期の場合のような顕著な差はない<sup>(24)</sup>。

なお、日本付近の経年変化から求めると1962年では  $\frac{\Delta Z}{\Delta H} = -5$ 、1952年は零に近くそれ以前は  $+5 \sim 0$  で

あった。この原因は今議論している“Central Japan anomaly”よりさらに深い所にある。

長い周期になると下里の異常も小さくなり、Dst から日変化の周期付近で緯度効果だけになる。日変化は短周期変化および他の長周期変化、たとえば日(月)平均値、あらしの較差などと異なり、種々の問題を含んでいるので、今後もさらに解析を進めてみたい。

#### (6) 浅虫と鳥取などの異常

第1図に浅虫(地理緯度  $\phi = 40^\circ 53.1' N$ , 地理経度  $\lambda = 140^\circ 52.0' E$ , 磁気緯度  $\theta = 30.7^\circ$ , 磁気経度  $\lambda = 206.1^\circ$ ) の値  $-1.0$  が異常であると記入してある。加藤・駄口<sup>(25)</sup>によれば、 $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  は日変化では  $1.0$  に近く(○印)、数分程度の短周期では  $-1.0$  (●印)となり、bay 付近の周期のものはきわめて小さい。第35a図は彼らの求めたものを引用した。浅虫における  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  の周期特性は周期に対して直線的に  $+1.0$  から  $-1.0$  になっている。著者らによれば第3節(5)で述べたように浅虫の緯度に対する日変化から求めた  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  は  $1.0$  と推定される。これは第35a図の値と一致している。また第1図は主として bay から求めた  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  であるから、その意味では浅虫の値も一致している。第28図と同じ形で表わすと bay 付近の周期で  $0$  となり数分の所では  $-1.0$

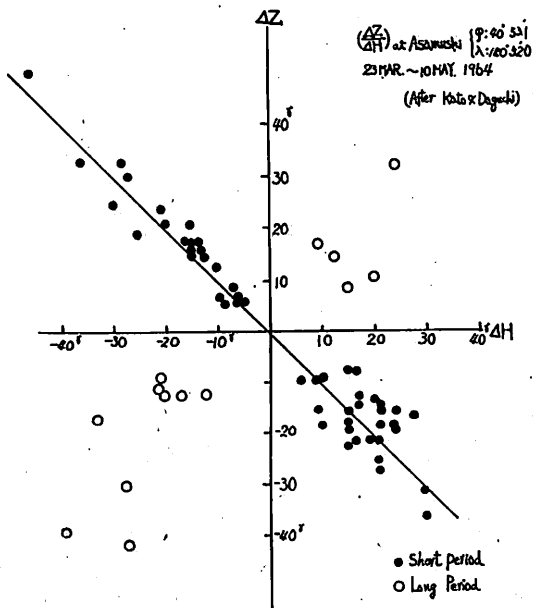


Fig. 35a.  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  at Asamusi. (after Y. Katō and M. Daguchi)

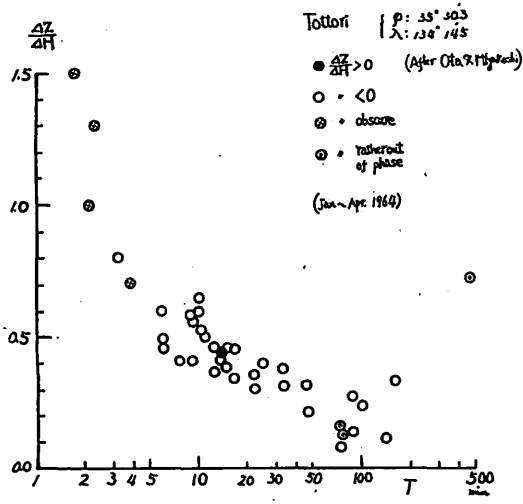


Fig. 35 b. The time response of  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  at Tottori (after M. Ōta and J. Miyakoshi).

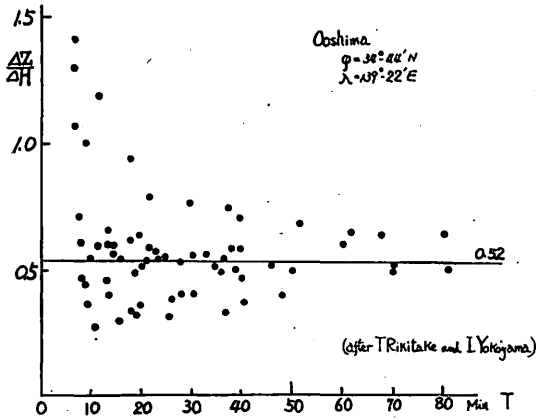


Fig. 35 c. The relation between  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  and the period of geomagnetic variation at Ōshima Island (after T. Rikitake and I. Yokoyama).

となり、独特の形となる。また数分のところではベクトル  $S$  の向きはほぼ南で、女川の逆となる。これは非常に興味あることであろう。

太田・宮腰よりの私信によれば、鳥取 ( $\varphi=35^{\circ}30.3' N, \lambda=134^{\circ}14.5' E, \theta=24.8^{\circ}, A=200.8^{\circ}$ ) においては、第 35 b 図に示す周期特性になっている。この付近は (1) 式の係数  $B$  が大きい場所と推定されていたが、実測からは割合小さく、ベクトル  $S$  はほぼ南向きになる。第 1 図には bay に相当する値 0.4 を記入して

おいた。この第 35 b 図は下里の周期特性と同じ形で、ただ符号が逆になっていると考えられる。短周期で値が異常に大きくなり、注目を要する。500 min の値はあらしの最大較差から求めたもので、かなり大きい位相差の問題を含んでいる。

第 1 図に下田 ( $\varphi=34^{\circ}40' N, \lambda=138^{\circ}59' E$ ) の  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  が 1.01 として、書き込んであるが、これは ssc からの値でここも短周期になると値が大きくなり bay では小さくて下里と同じ周期特性を有している。ベクトル  $S$  は北向きである。

小名浜 ( $\varphi=36^{\circ}57.5' N, \lambda=140^{\circ}54.8' E$ )、浪江 ( $\varphi=37^{\circ}29.4' N, \lambda=140^{\circ}58.2' E$ ) の周期特性は柿岡と同じ形で、いずれも短周期が小さくなり、その量も柿岡と同じ程度である。

力武ら<sup>(4)</sup>によれば伊豆大島 ( $\varphi=34^{\circ}44' N, \lambda=139^{\circ}22' E$ ) での  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  の周期特性は第 35 c 図のようになる。これについて彼らは周期の短い所ではなほだしい分散は東京の電車の影響で、とくに鉛直分力が大きく乱されているためであろうと考えている。しかし著者らは直流電車の影響によるじょう乱の記録<sup>(82)</sup>を参考にして、大島の周期特性は周期の短いほうで  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  が大きくなる傾向を表わしているのではないかと考え、第 1 図の 0.52 の値はもっと大きい値をとるべきであろうと考える。

また力武ら<sup>(3),(6)</sup>の求めた油壺 ( $\varphi=35^{\circ}09' N, \lambda=139^{\circ}37' E$ ) の  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  は bay では 0.68 であるが、著者らの再検討で、ssc (1958 年 4 月 18 日 12 時 10 分 U. T.) では 1.00 となるので、下里と同じく短周期で  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  は大きくなる同型の周期特性を有するものと考えられる。

詳しい資料ではないので正確ではないが、喜界島 ( $\varphi=28.6^{\circ} N, \lambda=129.9^{\circ} E$ )・八丈島 ( $\varphi=33^{\circ}08' N, \lambda=139^{\circ}48' E$ ) および青ヶ島 ( $\varphi=32.5^{\circ} N, \lambda=139.8^{\circ} E$ ) はいずれもきわめて小さい離島であるが、これらでは ssc でも bay でも  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  の値は変わりなく、むしろ ssc

は小さくなり、柿岡や鹿屋の  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  の周期特性に近い<sup>(6)</sup>ものである。これらの島の上の観測は興味あるものであり、今後の観測結果が大いに期待される。そしてまたこれらの周期特性を十分考慮した上で第 1 図の分布図は書かれねばならない。

#### (7) 水平分力の変化分布

今までの議論はすべて<sup>(1)</sup>式で示されるように  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  などを基準にして進められてきた。そして前述のように水平磁場が日本列島に対して一様であると考えられる現象に



range) と同じ値となる。

第5表で偏角は下里では周期が短くなるほど小さくなることがわかる。女満別は周期が短くなるほど大きくなる。とくに pi2 (pt) においてはほかに比べて2倍になる。すなわち短周期になると東西方向の変化が卓越してくる。また下里の pi2 (pt) の水平成分  $F$  は、ほかに比べて20% 小さく  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  の値を大きくする傾向にある。第36図の説明に水平分力の日本付近の変化は一様であると述べたが、詳しく調べると第26図のベクトル  $S$  の方向および大きさに関係あることがわかる。もちろん水平成分の変化だけでベクトル  $S$  が起こるのでなく、その異常量の90~80%は  $\Delta Z$  自身から起こるが、残りの10~20%は水平成分自身の異常が関係している。

これらの議論をするには磁場の変化を地球内部に原因があるもの ( $i$ ) と外部に原因があるもの ( $e$ ) とに分けなければならない。力武<sup>(5)</sup>によれば日本付近では  $\frac{i}{e} = 0.415$  で割合に大きい。地上で観測される値は次式で示される。

$$\left. \begin{aligned} \Delta X_m &= (e+i) \sin \phi \frac{dQ_i}{d\theta} \\ \Delta Y_m &= -(e+i) \cos \phi \frac{Q_i}{\sin \theta} \\ \Delta Z &= (e-2i) \sin \phi Q_i \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$\Delta X_m$ ,  $\Delta Y_m$  および  $\Delta Z$  はそれぞれ南北・東西および鉛直成分を表わす。また  $\phi$ ,  $\theta$ ,  $Q_i$  は磁気経度・磁気緯度の余角および第2種のルジャンドル関数を示している。これらの関係から日本付近では、 $\Delta Z$  のうち外部に原因があるものは短周期の変化では水平成分の約17%である。したがって今まで述べた  $\Delta Z$  の変化量をそのまま内部にだけ原因があると考えてもそれほどの誤差はない。もちろん第1図の  $\frac{\Delta Z}{\Delta H} = 0$  付近については、問題がありその等値線も変わるが、全体の日本の特性や周期特性はそれほど問題ない。

しかし水平分力については、その変化の約34%が内部に原因があるから、前述第5表の各観測所相互間の10~20%の差はかなり大きい量となる。もし内部に原因する水平分力の異常を各観測所の比から求めるならば、下里はほかの観測所の1/2以下になっていて、かなり大きい所であり、 $\Delta Z$  の異常と同様に大きな異常地域となる。

(3) 式はそれぞれの現象で少しづつ異なった形になり、正確には  $\frac{i}{e}$  の値も現象により異なるから、今後はさらに地磁気の変化を内部と外部に原因するものに分けて

調査をすすめたいと考えている。

#### (8) 考 察

現在まで知られている各観測所の特性を断片的ではあるが調査してみると、それぞれ特異性があるが共通性が見つけがたい。下里のような周期特性をもつ所は海岸に近い観測所に多いが、すべてではない。そしてssc付近より短い周期にこの特性が現われるのは地下構造と何らかの深い関係がありそうである。

現在のところでは観測所の密度をさらに大きくし、各観測所について周期特性などを詳細に調査しないと、日本全体の特性はつかみえない。

“Central Japan anomaly”の機構については力武らにより詳細に論じられているが、ssc付近の周期の現象については特性が各地ではなはだしく異なるので、さらに局地的な機構を追加しないと説明は困難であろう。

また一般にベクトルの大きさについては、よく取り扱われやすいが、その方向もかなり重要であろうと考えている。そして現在局所性の大きいことがわかっているから、観測点を増加する以外に原因をつきとめることは困難であろう。

#### 4. 地電流の主方向と地磁気変化ベクトルの関係

地電流の観測の行なわれている女満別・柿岡および鹿屋の3地点の地磁気変化ベクトルをみると、地電流の方向いわゆる主方向に直交している。これを確かめるためにベクトル  $S$  の決定に使用した地磁気変化に対応する地電流変化を読み取り、地電流ベクトル  $\sqrt{\Delta E^2 + \Delta N^2}$ ,  $\alpha$  (ただし  $\tan \alpha = \frac{\Delta N}{\Delta E}$ ) を求めた。

鹿屋においては周期により地電流の主方向の変わることに気づいたが、この鹿屋について例を示して説明する。第37a図および第37b図は地電流ベクトル  $\sqrt{\Delta E^2 + \Delta N^2}$  と地磁気鉛直分力の変化量  $\Delta Z$  との関係を示している。これらはもちろん相互に相対応する地磁気および地電流の変化を読み取って求めたものである。また誘導磁力計記録から得られた  $\Delta \left( \frac{dZ}{dt} \right)$  に対しては周期を補正して、 $\frac{T}{2\pi} \Delta \left( \frac{dZ}{dt} \right)$  として換算し比較しやすい値とした。これからもわかるように両者は比例関係があつて、周期により固有の係数を有する。また  $\tan \alpha = \frac{\Delta N}{\Delta E}$  から求まる方位角は第6表で示すように、周期別(現象別)により異なるが、地磁気変化ベクトル  $S$  にほとんど直交している。この場合  $\alpha$  の決定に用いた地電流変化は、地磁気変化ベクトル  $S$  決定に用いた地磁気変化に1対1の対応をもつもののみである。pi2, pc3は直交性がずれているが、これは現象が小さく  $\Delta E$ ,  $\Delta N$

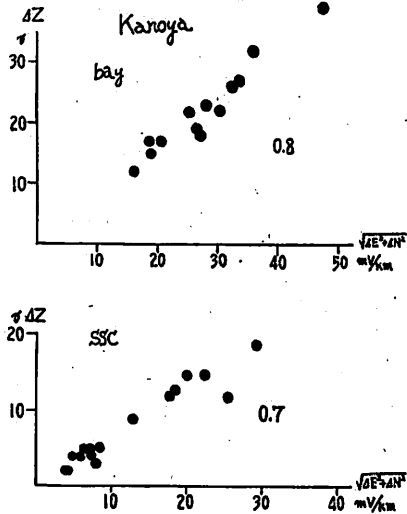


Fig. 37 a. The correlation between the earth current and  $\Delta Z$  of bay and ssc at Kanoya.

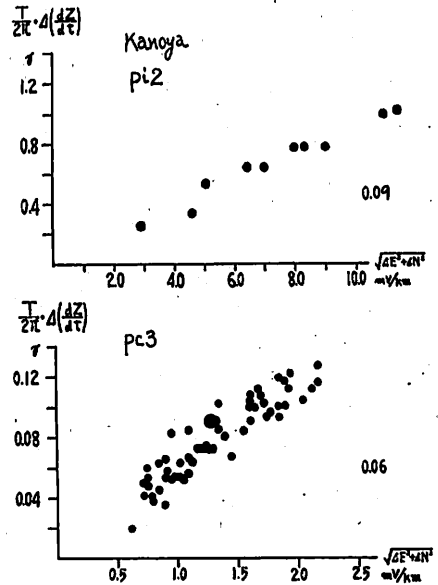


Fig. 37 b. The correlation between the earth current and  $\Delta Z = \frac{T}{2\pi} \Delta \left( \frac{dZ}{dt} \right)$  of pi2 and pc3 at Kanoya.

Table 6. Directions (near principal) of earth currents and directions of magnetic vector  $S$ 's for various rapid variations corresponding with each other at Kanoya

	bay	ssc	pi 2	pc 3
Vector $S$	N 6° E	N 16° W	N 4° W	N 102° E
Earth current	N 85° W	S 74° W	S 69° W	S 38° W
Difference	91°	90°	107°	126°

Table 7. Directions (near principal) of earth currents and directions of magnetic vector  $S$ 's for various rapid variations corresponding with each other at Kakioka and Memambetsu

	Kakioka			Memambetsu			
	bay	ssc	pi 2	bay	ssc	pi 2	pc 3
Vector $S$	N 7° W	N 7° W	N 16° W	N 75° W	N 88° W	N 97° W	N 92° W
Earth current	N 96° W	N 99° W	N 106° W	N 160° W	N 151° W	N 175° W	N 190° W
Difference	89°	92°	90°	85°	63°	78°	88°

Table 8. Values of coefficient  $k = \frac{\Delta Z}{\sqrt{\Delta E^2 + \Delta N^2}}$

Observatory	bay	ssc	pi 2	pc 3
Memambetsu	0.32	0.27	0.16	0.14
Kakioka	0.22	0.16	0.07	—
Kanoya	0.81	0.68	0.09	0.06

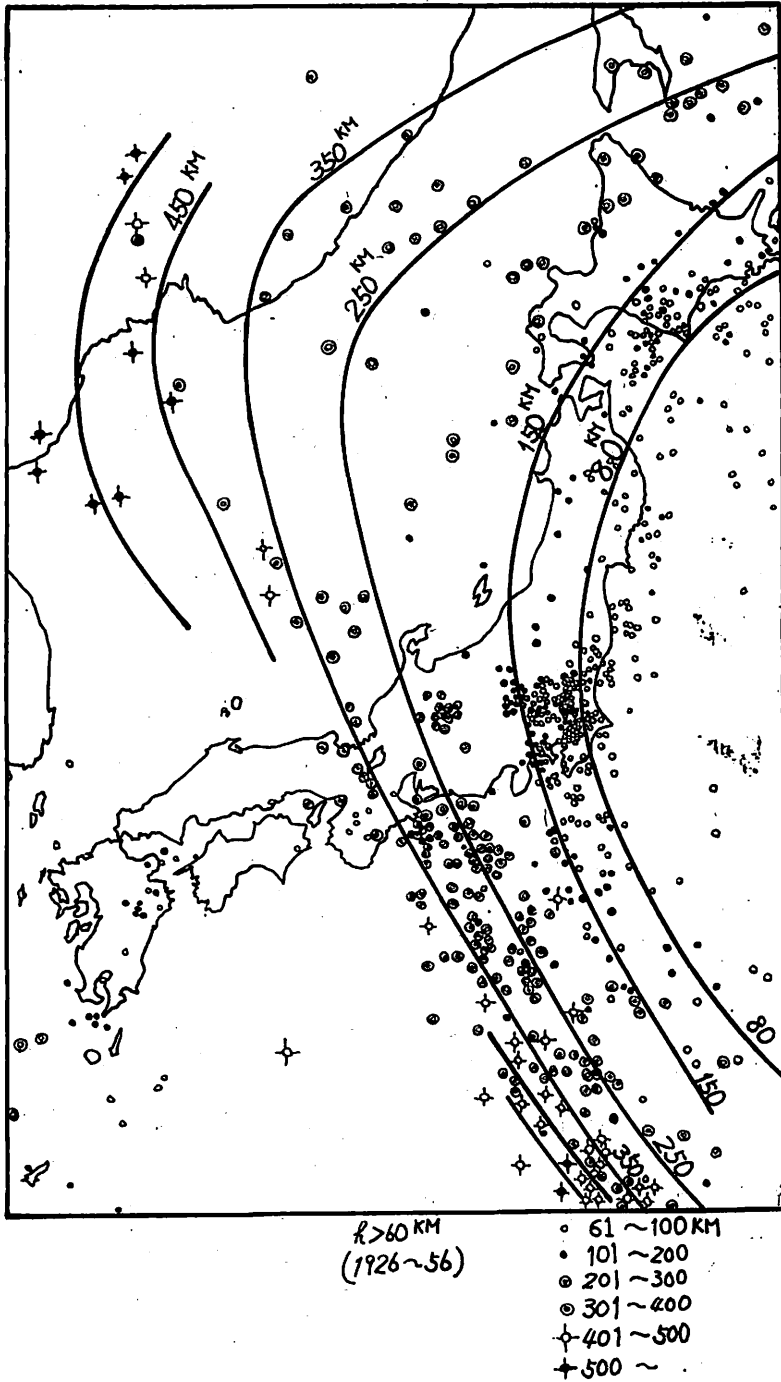


Fig. 38. The distribution of epicenter in the vicinity of Japan. ( $h > 60$  km)



はもちろんであるが  $\Delta\left(\frac{dZ}{dt}\right)$  も小さいので、角度の決定に読み取り誤差がかなり大きくはいるからで、従来の資料からはやむをえないものと考えられる。しかし鹿屋の pi2 と pc3 の方向自身が異なることから、この直交性は信頼できるであろう。同じようにして、柿岡や女満別についても求められ、次の第7表に示す値となる。この女満別の ssc でははなはだしくずれていて別な意味がありそうである。

また第 37 図でわかるように次の関係がある。  $\Delta R = \sqrt{\Delta E^2 + \Delta N^2}$ ,  $\frac{\Delta Z}{\Delta R} = k$  とすれば

$$\left. \begin{aligned} \Delta R &= a \Delta H + b \Delta D \\ k a &= A, k b = B \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

この  $k$  は周期により異なるが、三つの観測所から得られた値は第8表のようになる。

(4) 式は次のようなことを意味する。地磁気の水平ベクトルが  $S$  の方向に向かったときに、地電流の主方向成分は最大となる。すなわち地電流の主方向を生じさせる地下の電磁氣的要因と、地磁気変化にベクトル  $S$  をもたせる要因とが同じであることにほかならない。

現在この三つの観測所では、この直交性が成立しているが、単にこれらの観測所の特異性によるのか、あるいは共通的なものかは非常に興味がある。とくに従来から、地電流はごく地表の地下構造に左右されていることは、よく知られている事実であり、地磁気変化ベクトル  $S$  の起因する深層の地下構造と直接関係あるとは考えにくいものである。

柳原ら<sup>(20)</sup>によれば、関東地方の地電流の局地性は基盤の深さにより起こり、ごく表層の地下構造により主方向が左右されていると考えられている。第2報で少しふれてみるが、柿岡の西の地域はベクトル  $S$  と地電流の主方向は平行している。その地域は  $\Delta Z$  自身も小さく  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  は約 0.3 であり問題も多い。いずれにしても現在の観測網からは、地電流の主方向と地磁気変化ベクトルの直交性は、単に三つの観測所特有のものか否かを決定づけるものはない。

これらの機構などはよくわかっていないが、観測事実だけはたしかであり、今後さらに観測点を増加し調査をすすめる必要がある。

### 5. 他の地下構造との関係

日本の磁気異常 "Central Japan anomaly" については力武らがすでに精力的な研究をなしているにもかかわらずその機構がすこぶる複雑で、まだ完全な解釈はなされていない。特に短周期については、資料が十分でな

ったが、今回の調査で  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  が 1.0 以上になる観測所がいくつも見つけられたことによりますます解釈を困難にするであろう。

ここではこの Central Japan anomaly の本質をつきとめようというのではなく、現在知られているほかの地下構造の特性を列記し第2報で述べる関東地方の異常の概説にかえたいと考えている。

もともと日本列島は大きな火山帯が縦横断し、きわめて複雑な構造になっているのはいうまでもないが、周辺が深い海で囲まれていて、その構造を詳しく調査するのは容易ではない。しかし陸上での測定はかなり詳しく調査されている。ここでは深発地震帯、モホロビッチ不連続層の深さ分布、重力分布、熱流分布などについて少しふれてみたい。そしてこれらは第2報で再び利用することにする。

日本列島における地震帯の分布は、第38図に示してある。これは震源の深さ 60km 以上のもので割合深い地震について記入してある。資料は気象庁の地震月報<sup>(27)</sup> によった。観測期間は 1926 年から 56 年の 31 年間のものである。図に書き込んだ曲線は、図を見やすくするために、とくに入れた等深線である。

これからわかるように、地磁気変化の異常域と地震帯とは関係があるとは思われない。しかししいてい

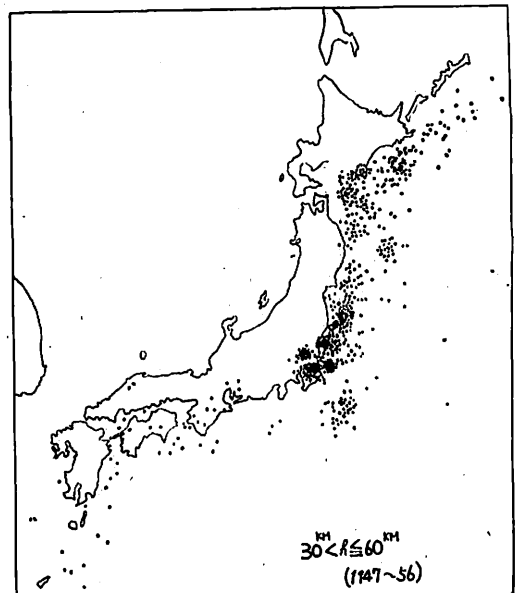


Fig. 39. The distribution of epicenter in the vicinity of Japan. ( $30 \text{ km} < h \leq 60 \text{ km}$ )

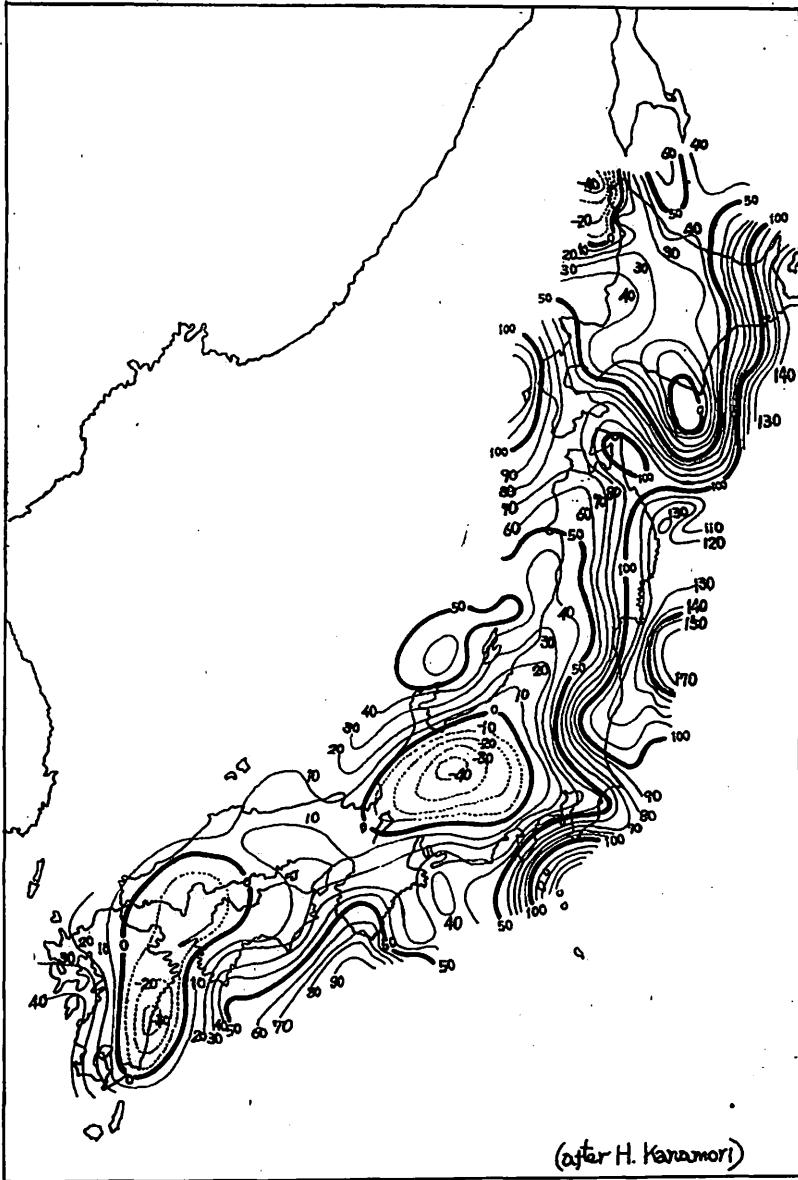


Fig. 40. The distribution of Bouguer anomaly in Japan. (unit: mg/l) (after H. Kanamori)

$\frac{\Delta Z}{\Delta H}$ の等しい線(第1図参照)が震源の等深線とほぼ直交しているようにみえる。現在 $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$ の値が最も大きいと考えられる下里が、深発地震帯の端にあることは一応注目すべきであろう。周期の長い部分でベクトル  $S$  が深発地震帯の最西端(日本海の北西部、ウラジオストク付近)に向かっているものが多いことは、日本の地下構造とある関係がありそうである。

震源の深さが 60km より浅くなると、その分布は時

間とともに多少変わる傾向がある。第 39 図は深さが  $30 < h \leq 60$  km の地震について、1947 年から 56 年の期間の分布図を示している。関東周辺にとくに密集しており、茨城南西部・千葉県北部・茨城県沖・房総沖および福島県沖などの数か所に分かれる地震帯がある。

次に日本列島の重力異常について、金森ら<sup>(28)</sup>の求めたものを第 40 図に引用した。これは地表付近のごく短い凹凸を取り去って、ほぼモホロビッチ層の深さにお

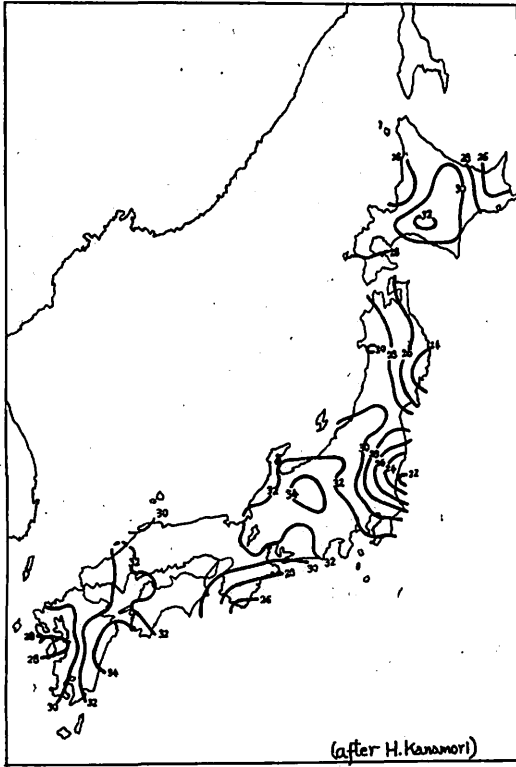


Fig. 41. The distribution of depth of Moho discontinuity in Japan. (unit : km) (after H. Kanamori)

ける値としたものである。この重力分布はかなり深い層に原因があると考えられるが、地磁気異常と直接関係あるとは考えられない。しいていえば、太平洋側に重力異常が多いと同じく、太平洋側に地磁気変化ベクトルの絶対値の大きいものが多い。第2報でのべる関東地方の異常に相当する部分もそれほど重力異常はなく、若干こう配が大きいに過ぎない。変化ベクトル  $S$  の方向などもこの重力異常と関係あると思われない。

次に日本列島のモホロビッチ不連続層の深さを第41図に示した。これは地かくの平均密度  $\rho_c = 2.84 \text{ g/cm}^3$ 、地かくとマントルの密度差  $\Delta\rho = 0.43 \text{ g/cm}^3$  として、各種の地震の資料や人工爆破などの資料から金森<sup>(28)</sup>が求めたものである。一般的にいえば太平洋側が浅く、大陸側が深くはなっているが、関東地方は少し傾斜が急である。

この図をみると地磁気異常と若干の類似点がある。しかしモホロビッチ層の浅い所が  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  が大きいとはかぎ

らない。この深さの異常は ssc, pi2, pc3 などの周期の早い現象と相関のあることが予想されるので、ベクトル  $S$  の絶対値・角度、係数  $A$  および  $B$  について分布図を比較してみたが、いずれも関係はないようである。ただ pc3 のベクトルは鹿屋・下里・柿岡および女満別ではモホロビッチ層の深くなる方向を向いている。女川だけは平行している。これらはモホロビッチ層の求め方や pc3 自身の変化が小さいため方向の求め方にかなり誤差があるためではないかと考えられる。とくに鹿屋の pc3 の方向がほとんど東向きであることを、このモホロビッチ層の傾斜で説明できるとしたら非常に注目すべきことであろう。また柿岡の pc3 の値はもっと多くの資料から求めるなら西向きになる可能性があるし、女川の値も小数例の危険があるので、今後さらに調査を進めてみたいと考えている。

最近の日本の地かく熱流量の測定値を上田がまとめた結果<sup>(29)</sup>によると、日本列島に沿って日本海側は高温異常で、房総南部から三陸東部にかけて低温異常域がある。この分布は日本列島に沿っており、地磁気異常分布と一見似た分布をしている。しかし詳しくみると共通性は見つけにくい。

また火山活動の分布などと考え合わせても、相互間に単純な関係があるとは思われない。

以上のように地磁気変化の異常域は、地下の諸現象と単純な関係にはない。それは原因になる深さがそれぞれ異なることから当然かもしれないが、地磁気異常の局地的性が十分にわかっていないため、観測点の特異性に妨げられて、平均的な地磁気異常の分布図ができないからと考える。とくに  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  などの周期特性で短周期のほうが大きくなるのは海岸に近い観測所に多いことを考えると、その付近の地形や地下構造の影響は無視できない。その特性を十分知ってからでないと、本質的な機構は解明できない。

すでにくりかえしのべたように各観測点の特性の調査と今後の観測点の増強が急務である。

## 6. 考 察

調査した観測所の数も少なく、さらに進んだ調査を必要とするところも多いので、以上の事がらから結論を出すことは困難であり、かつ危険であるが、要約すれば地磁気変化ベクトルのふるまいは、従来考えられていた以上に複雑であるとの一言につきる。

W. D. Parkinson<sup>(9),(10)</sup> のように、地磁気短周期変化ベクトルは水平面から傾斜した一つの平面に拘束さ

れることは日本の場合でも同じくいえる。その平面の傾きを表わすベクトル  $S$  の方向は、Parkinson によれば、オーストラリア大陸およびその周辺では海岸線または大陸だな縁辺に直交していることが明らかにされているが、日本ではそのように単純にはあてはまらない。これは日本が大陸の近くでかつ列島になっていることから当然であるかもしれない。しかし日本列島の生成の歴史からみて、東北地方は西の方に折り曲げられたものらしいという一部の人の考え方からすれば、女川のベクトル  $S$  が北向きであり、女満別が西向きであることもうなづけないこともない。また間瀬や鳥取が海岸に直交していることもその説明には都合の良い資料である。しかしこれを裏書きするような他の地下構造がない。ただ pc3 のベクトル  $S$  がモホロビッチ層の深い方向に向かっていること、深発地震の最多発生面が大陸の方向に落ち込んでいるなどは関係ありそうである。そして上田<sup>(20)</sup> のようにマントル対流がこの最多発生面にそって日本の下層にもぐりこんでいるらしいという考えを支持し、地磁気異常のごくせまい局地性を除いたものの分布から検討すれば、解釈の可能性もあろう。

Parkinson はオーストラリアのモデル実験として、海洋を銅板で、地球内部の高電気伝導層をアルミニウムで近似して、実際に近いと考えられる外部磁場分布を与えて、海岸線直交性をたしかめている。しかし彼自身このような単純な考えでは日本の観測事実は説明できず、このモデルの示す Parkinson vector (ベクトル  $S$  と逆の向き) は柿岡ではまったく逆を向くことを述べている。また力武らが  $\frac{dZ}{dH}$  の分布の説明として考えたモデルがベクトル  $S$  の周期特性をうまく説明できるか疑問であろう。このベクトル  $S$  の周期特性は局地性が大きく日本の電気伝導度異常 (electric conductivity anomaly) の複雑さを示すものである。

周期特性だけを考えてみても、下里の特性のはなはだしい異常だけにどまらず、単純と思われる鹿屋でさえ短周期 ( $T_D=2\sim 3$  min) のところで急激に小さくなることなど問題は数多い。これらについてはさらに多くの観測所の資料について調査しなければならない。

地電流の主方向は、従来は海岸線に直交しているといわれている。今回の調査で地電流の主方向がベクトル  $S$  と直交していることが三つの観測所、女満別・柿岡・鹿屋についてそれぞれの周期についてたしかめられた。しかしこれに矛盾する観測値も関東地方の一部にあり、問題は単純ではないが、地下構造探索の大きな手がかりに

なるであろう。

K. Lenging, E. Ritter および H. Wiese<sup>(20)</sup> はルーマニア、ブルガリアおよびアルバニアにおける観測結果を解析した。ルーマニアの測定結果からはカルパチア山脈 (トランシルバニア・アルプス) の南斜面を境として、その南北の各観測所で  $dZ$  の逆転が起こっていることを見つけ出し、また海岸の一、二の観測点の様子から、ベクトル  $S$  が山脈や海岸に大きく影響されていると考えている。この山脈の南と北の観測点はたかだか数十 km しか離れていないことから、かなり浅い地下構造の異常が原因と推定している。このベクトル  $S$  の方向を、地下電氣的構造の走向にたてた法線の方向を示すものであるといっている。そしてこの  $S$  の周期特性は複雑であるが、地下構造の走向が、それぞれ異なっている二つ以上の地層の場合は、その上で観測すればベクトル  $S$  の方向は現象の周期により大きく異なるはずであるのに、実際にはこの地方では検出不可能であったと述べている。

さらに Lenging らは  $dZ$  の小さい所では、地電流の主方向があまりめいりょうでなく、Cagniard のいう magnetotellurics で東西・南北の互いに直交する方向の見かけ比抵抗を求めた場合に、その差はほとんど認められないといい、そのような場所では水平方向の電気伝導度の傾き (conductivity-gradient) はほとんどなく等方性の板状水平層が卓越しているはずであり、この逆も成立すると結んでいる。

Lenging らのいうことは第2報の関東地方の異常とよく似たことが多く、地電流にふれているのは興味がある。また Alert anomaly を論じた K. Whitham<sup>(21)</sup> も比較的浅い所に原因を求めている。日本でも各観測所の特性は非常に異なるが、ベクトル  $S$  の分布、周期特性で短周期ほど  $\frac{dZ}{dH}$  の大きくなる観測所は海岸に多いこと、日本海側のベクトル  $S$  の方向は日本列島に直交していること、pc3 がモホロビッチ層の傾斜方向に向くことなど、日本以外で得られた結果と一致することが多い。いずれにしても局地性が十分わからないと問題は解明されない。

現在いくつかの離れ小島で観測された結果からは、周期特性が下里のように短周期ほど  $\frac{dZ}{dH}$  の大きくなる形のもの、柿岡のように小さくなる形のものがあり、この原因が海岸付近の地質構造のためか、日本列島の固有の地形によるかはよくわからない。

L. N. Zhigalov<sup>(21)</sup> は 1958~59 年に、北極洋の観測点 No. 6 ( $86^{\circ}22' \sim 82^{\circ}04' N, 38^{\circ}14' \sim 03^{\circ}55' E$ ) の海

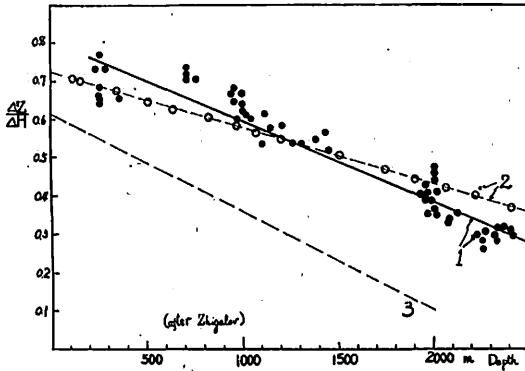


Fig. 42. Relationship between ocean depth and  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  ratio, drifting station North Pole-6.

- 1.-for all hours of the day
- 2.-for isolated bays of duration > 40 - 50 min. (after L. N. Zhigalov)
- 3.-for disturbances of period  $T \leq 10$  min

中でおそ回し (20mm/hr) 海中磁力計を用いて変化観測を行なった結果から  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  を求めている。第 42 図にそれを示した。短周期の変化を示す 3 の線は分散が小さくよく一致している。そして 2,000m の深さになると  $\Delta Z$  は 5~10  $\gamma$  の小さい変動がほとんどなくなる。bay から求めた 2 の線も分散がない。しかし日変化から求めた 1 の線は分散が大きく、測定時期により深さに対する比の値が少し異なる。彼の求めた上記の結果は非常に興味がある。これが単に海水自身の影響か、観測点付近の地下構造なのか、彼も説明していない。

もし日本付近の深い海でこの種の測定が行なわれ、同じ結果が出るとするならば、海岸付近の観測所の周期特性を説明するのに非常に都合の良い資料になる。日本の観測所が共通性を見いだせぬほど複雑であることから考えて、今後は海上での観測が興味ある結果をもたらすことであろう。

## 7. まとめ

従来よく知られている  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  の日本の分布図をさらに詳しく調査した。とくに地磁気変化ベクトルが一つの平面に拘束されるので、その平面の特性を表わすベクトル  $S$  について、各観測所の特性を周期別に求めた。また地電流との関係を求め、さらに地震・重力など他の地下構造と比較した。要約すると次のようになる。

- (1) 力武らの求めた従来の  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  の日本の分布図は湾

型変化程度の周期に限るならばそれほど修正しないで済む。

(2) 周期 10 sec から 1 hr の変化を bay, si, ssc, pi2, pc3 の五つの現象で分類し、ベクトル  $S$  の特性を求めた。この分布を第 26 図に、各地の周期特性を第 27 図などに示した。この日本の分布図は (1) と非常に異なる。

(3) 誘導磁力計記録と通常変化記録から得られるベクトル  $S$  の特性には違いがないので、同じく取り扱える。

(4) ssc 付近のベクトルダイアグラムを女満別・栂岡・下里・鹿屋について求めた結果、 $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  の時間的変化は周期特性で説明できるが、下里の鉛直分力の変化は複雑でさらに今後の研究が必要である。

(5) 女満別・栂岡・下里・鹿屋について  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  (係数  $A$ ) の周期特性や分散を求め、 $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  の信頼度を明らかにした。これは  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  の時間的変化の研究の基礎になる。

(6) 超短周期 (0.5~3 sec) 変化・日変化・日平均値・経年変化などから求めた  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  の値を (5) と同じ観測所について求めた。“Central Japan anomaly”は日変化の周期になると、それほどの異常がなくなり、日平均値ではほとんどなくなる。

(7) 資料の得られる数個の観測点の特性を求めたが、共通性が少ない。ただ周期特性が下里のように、短周期で  $\tan \varphi$ ,  $\left[ \frac{\Delta Z}{\sqrt{\Delta H^2 + \Delta D^2}} \right]_{max}$  の大きくなる場所は、海岸に近いものが多い。しかし離島でそうならない所もある。そして局地性はいずれの場所もかなり大きいと予想される。

(8) 地電流の主方向とベクトル  $S$  とは女満別・栂岡・鹿屋では周期別についても直交している。また地磁気変化  $\Delta Z$  と地電流変化  $\Delta R$  ( $\sqrt{\Delta E^2 + \Delta N^2}$ ) とは比例する。 $\Delta Z$  の小さい所で、この直交性は成立しない場所 (第 2 報参考) がある。これらについて今後の研究が必要である。

オーストラリア大陸などでは、海岸線とベクトル  $S$  は直交している。ベクトル  $S$  と地電流主方向とが直交するならば、主方向は海岸線に平行することになり、従来の考えと矛盾する (一例として Watheroo においては矛盾が起こっている)。

(9) 地震分布・重力分布・モホロビッチ層の深さ・地かく熱流・地質構造などとの関係を  $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  だけでなくベクトル  $S$  の特性と比較したが、決定的な関係は得られなかった。ただ pc3 のベクトル  $S$  がモホロビッチ

チ層の最大傾斜の方向を向いているのは興味がある。

(10) ベクトル  $S$  のいろいろな特徴から考えて、従来予想していたよりはるかに浅い所に原因を考えなければならぬ。

(11) 水平分力や偏角の変化の柿岡に対する比  $\frac{H_{\text{obs}}}{H_{\text{Kakioka}}}$ ,  $\frac{D_{\text{obs}}}{D_{\text{Kakioka}}}$  の日本付近の分布には、 $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$ , ベクトル  $S$  のような異常は一見しては見られないが、詳しく求め、かつ内部と外部磁場に分けると下里はやはり異常である。

(12) さらに観測点の特性の調査と観測点の増強が“Central Japan anomaly”の機構を解明するものであろうし、特に大洋の海上や海中での測定は非常に貴重な観測結果をもたらすことであらう。

#### 参 考 文 献

- (1) IUGG (1964) : Upper Mantle Project IAGA Symposium IUGG-Berkeley, August, 1963. J. Geomag. Geoelec. 15, No. 4.
- (2) T. Rikitake, I. Yokoyama, and Y. Hishiyama (1952) : A Preliminary Study on the Anomalous Behavior of Geomagnetic Variations of Short Period in Japan and Its Relation to the Subterranean Structure. 地震研究所彙報, 30, 207~220.
- (3) T. Rikitake, I. Yokoyama, and Y. Hishiyama (1953) : The Anomalous Behaviour of Geomagnetic Variations of Short Period in Japan and Its Relation to the Subterranean Structure. The 2nd, 3rd, 4th and 5th Report. 地震研究所彙報, 31, 19~31, 89~100, 101~118 and 119~127.
- (4) T. Rikitake, I. Yokoyama (1955) : The Anomalous Behaviour of Geomagnetic Variations of Short Period in Japan and Its Relation to the Subterranean Structure. The 6th Report. (The Results of Further Observations and Some Considerations concerning the Influences of the Sea on Geomagnetic Variations.) 地震研究所彙報, 33, 297~331.
- (5) T. Rikitake, I. Yokoyama, S. Uyeda, T. Yukutake, E. Nakagawa (1958) : The Anomalous Behaviour of Geomagnetic Variations of Short Period in Japan and Its Relation to the Subterranean Structure. The 7th Report. 地震研究所彙報, 36, 1~20.
- (6) T. Rikitake, S. Uyeda, T. Yukutake, I. Tanaoka, E. Nakagawa (1959) : The Anomalous Behaviour of Geomagnetic Variations of Short Period in Japan and Its Relation to the Subterranean Structure. The 8th Report. 地震研究所彙報, 37, 1~11.
- (7) T. Rikitake (1959) : The Anomalous Behaviour of Geomagnetic Variations of Short Period in Japan and Its Relation to the Subterranean Structure. The 9th Report. 地震研究所彙報, 37, 545~570.
- (8) T. Rikitake, T. Yabu, K. Yamakawa (1962) : The Anomalous Behaviour of Geomagnetic Variations of Short Period in Japan and Its Relation to the Subterranean Structure. The 10th Report. (An analysis of the s. f. e. on Aug. 16, 1958) 地震研究所彙報, 40, 693~717.
- (9) W. D. Parkinson (1959) : Directions of Rapid Geomagnetic Fluctuations. Geophys. J., 2, 1~14.
- (10) W. D. Parkinson (1962) : The Influence of Continents and Oceans on Geomagnetic Variations. Geophys. J., 6, 441~449.
- (11) Geomagnetic Rapid Variations Observed at the Onagawa Magnetic Observatory during the IGY Part I, (1960). Sci. Rep. Tōhoku Univ., Ser. 5, Geophys., 11, Supplement, 1~49.
- (12) Geomagnetic Rapid Variations Observed at the Onagawa Magnetic Observatory during the IGY Part II, (1961). Sci. Rep. Tōhoku Univ., Ser. 5, Geophys., 12, Supplement, 1~75.
- (13) Nat. Com. IGY, Sci. Counc. Japan (1960) : Report of the Geomagnetic Observation during the IGY.
- (14) Kakioka Mag. Obs. (1960) : Report of the Geomagnetic and Geoelectric Observations 1957-58.
- (15) Kakioka Mag. Obs. (1962) : Report of the Geomagnetic and Geoelectric Observations

1959-60.

- (16) Kakioka Mag. Obs. (1964): Report of the Geomagnetic and Geoelectric Observations 1960-61.
- (17) 下里地磁気観測所 (1960): 下里地磁気観測所報告. 第4号.
- (18) 下里地磁気観測所 (1961): 下里地磁気観測所報告. 第5号.
- (19) S. Imamiti (1954): Magnetic Pulsations Observed by Induction Loops. Mem. Kakioka Mag. Obs., 7, No. 1, 1~14.
- (20) S. Utashiro (1959): Studies on the Local Character of the Geomagnetic Pulsation pc. J. Geomag. Geoelec., 10, 214
- (21) 吉松隆三郎 (1963): 地磁気常時観測結果と地震 (Ⅰ). 地磁気観測所要報, 11, No. 1, 71~83.
- (22) 吉松隆三郎 (1964): 地磁気常時観測結果と地震 (Ⅱ) —短周期変化の時間変化の局所性—地磁気観測所要報, 11, No. 2, 55~68.
- (23) T. Yumura (1956): On the Sudden Commencements in Geomagnetic Storm, Part II. —The Local Time Variations—, 地磁気観測所要報, 7, No. 2, 31~48.
- (24) T. Kuboki (1965): 日, 月平均値などの長周期の平均値の変動と日平均値の世界的分布について. 研究時報, 17, No. 3, 4 (掲載予定).
- (25) 加藤愛雄・駄口光夫 (1964): 浅虫における地磁気短周期Z成分の反転について. 第36回日本地球電気磁気学会口頭発表. (1964 Oct. 19)
- (26) 柳原一夫・横内恒雄 (1965): 地電流の地方異常と大地比抵抗. 地磁気観測所要報, 12, 105~113.
- (27) 気象庁 (1958): 地震月報.
- (28) 金森博雄 (1964): 重力異常から見た日本の地殻構造. 地学雑誌, 73, 243~246.
- (29) 上田誠也 (1964): 日本の地殻熱流量分布について. 地学雑誌, 73, 247~252.
- (30) K. Lengning, E. Ritter und H. Wiese (1963): Auswertung der geomagnetischen und geoelektrischen Registrierungen in Südosteuropa im Januar und Februar 1961. Gerland Beitr. Geophys., 72, 240~252.
- (31) L. N. Zhigalov (1960): Geomagnetic Disturbances [Collection of Articles No. 4 relating of Section 3 of IGY Program], Academy of Sciences Press. Moscow. (Translated by E. R. Hope (1961)).
- (32) 地磁気じょう乱対策協議会 (1954, 1955): 常磐線電化に伴う地磁気地および電流じょう乱試験第一次試験結果報告および第二次試験報告.  
(1965年3月2日原稿受理)