

跡津川断層上（天生・宮川）における 電磁気的特性（序報）

中山 武・土居 光・加藤 正明
和田 安男・三雲 健

GEOMAGNETIC AND GEOELECTRIC FEATURES OBSERVED AT TWO SITES, (AMO AND MIYAGAWA) ON THE ATOTSUGAWA FAULT (PRELIMINARY REPORT)

By Takeshi NAKAYAMA, Hikaru DOI, Masaaki KATO,
Yasuo WADA and Takeshi MIKUMO

Synopsis

From continuous observations of earth currents during a magnetic storm at two sites on the Atotsugawa Fault, Nishiamo (NAM) and Miyagawa (MYG), and also from geomagnetic variations observed at the Kakioka station, the direction of the maximum change of electric self-potential has been determined by using the magneto-telluric (M.T) method.

The maximum direction (M.D) was found to be $E105^{\circ}N$, which is nearly orthogonal to the strike of the fault, and the amplitude of the geoelectric variations at NAM was about eight times as large as that at MYG.

These observed results suggest that there exists a layer of high resistivity beneath the NAM station.

From the geomagnetic and geoelectric observations the wave impedance, E/H has been determined as a function of frequency and the apparent resistivity in the vicinity of the fault has been estimated.

1. は じ め に

跡津川断層上においては地震が数多く発生しているが、断層西端付近（西天生・NAM）とその中央付近（宮川・MYG）の2つの地点（前報¹⁾Fig. 1）では、1982年より地電流観測が開始され、また1984年からは西天生に設置されたプロトン磁力計により全磁力の連続観測が実施されている。これら観測点付近の地形や地質の概要、地電流電極の設置と特性などについては前報^{1),2)}に詳しく述べた通りである。

ここでは、西天生の全磁力の観測記録から、1985～1986年における経年変化の状況を紹介する。次に、地電流の観測記録については、主に長周期的変動に注目し、その中にみられる年周期的変化が気温・降雨に対して如何なる関連をもつか、また、近地地震との関連の可能性についても検討した。

さらに、これまでの観測記録の中から、磁気嵐時に発生した地電流擾乱をもとに、Magneto-Telluric (M.T) 法³⁾をもちいて観測点付近の電磁気的特性を解析する。この解析においては、まず地電位変化の主方向 (Maximum Direction, M.D) を求め、次にこれにもとづき西天生観測点付近の波動 インピーダンス E/H

を求める。これらの結果から断層付近のみかけの比抵抗値の地下構造の概要を推定したい。

2. データ

経年変化など長周期成分を調べる場合には、地電流・地磁気のデータはテレメタリングにより既にファイル化されている1時間値を用いた。また地磁気のリファレンスとしての柿岡 (KAK) のデータは柿岡地磁気観測所の地磁気月報に記載された1時間値を用いた。

MT法による解析の場合には、地電流については、1982年の磁気嵐時はアナログ記録から5分毎の値を読み取り、1986年の磁気嵐時はファイル化されている1分値データを用いた。地磁気については、柿岡のX, Y水平2成分のデータを使用した。

3. 西天生における全磁力の経年変化

Fig. 1 に、西天生及び柿岡における全磁力の1985～1986年2カ年間の日平均値を示す。期間中の2つの地点の全磁力変化はよく対応していることが認められる。なお、期間中の全磁力平均値は西天生で 47070 nT, 柿岡で 46050 nT である。次に、NAM-KAK の地点差は 1020 ± 0.7 nT 程度で、年に 1 nT 程度の増加の傾向がみられる。なお、地点差の標準偏差は 0.7 nT である。また、NAM-KAK の86年7月頃の乱れは、西天生観測点付近の落雷によるものと思われる。

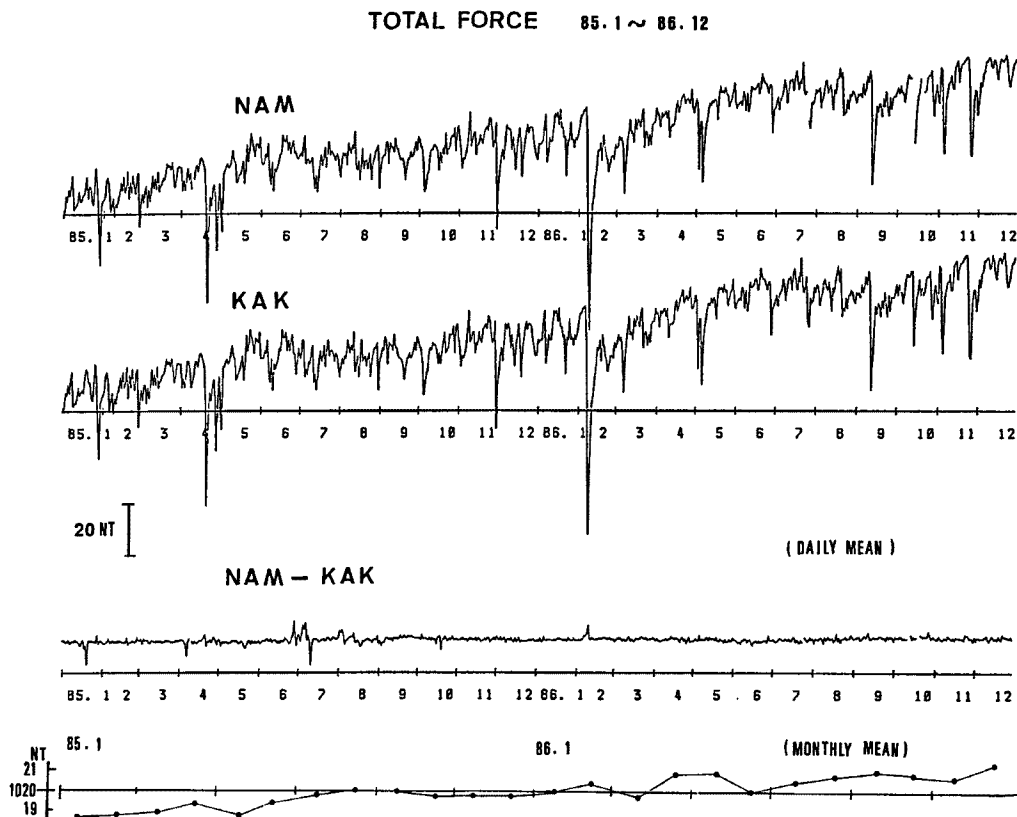


Fig. 1. Time variations in the geomagnetic total intensity of NAM, KAK and NAM-KAK (1985-1986).

4. 地電流連続観測

Fig. 2 及び Fig. 3 に、1985年と1986年(12月29日まで)各1年間の、宮川と西天生における地電流連続

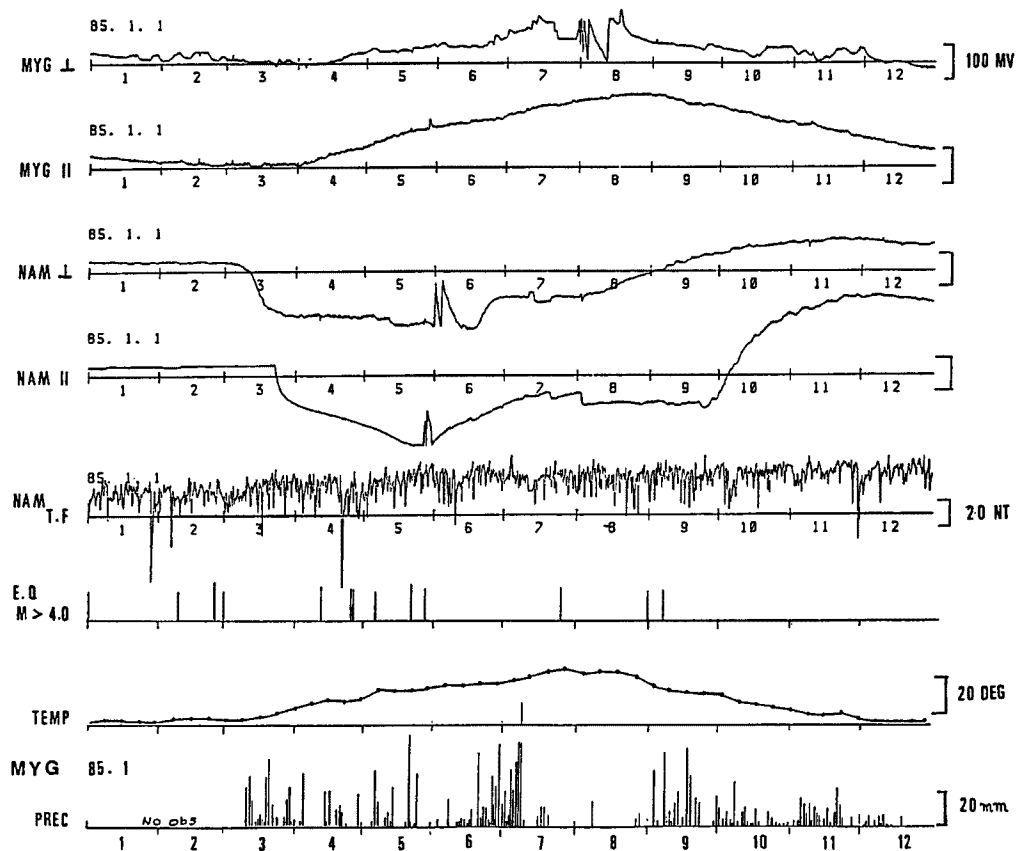


Fig. 2. Some geophysical data collected in 1985.

Upper four figures show secular earth-current changes observed at the two observation sites, Nishiamo and Miyagawa. ($\perp$) and ($\parallel$) indicate the components perpendicular and parallel to the Atotsugawa fault, respectively. The fifth figure shows the change of geomagnetic total intensity at Nishiamo. Lower three figures show earthquakes ($M > 4.0$) occurred within the radius of one hundred kilometers of Kamitakara, the weekly means of temperature, and precipitations at Miyagawa, respectively.

記録 2 成分，西天生での全磁力測定値，上宝地殻変動観測所で観測された，約 100 km の範囲内の $M > 4.0$ の地震の規模 (EQ) を示してある。図の下部には，宮川観測室内の気温 (TEMP，毎日 0 時の週間平均気温) と日降雨量が示されている。

4.1 宮川における地電流の年周変化

Fig. 2 及び **Fig. 3** の中では宮川での断層に平行な成分 (11) に地電位差の顕著な年周的变化がみられる。その地電位差は，3 月下旬に最小，8 月下旬に最も大きく，両時期の差は約 300 mV に達する。一方，気温は 2 月下旬に低く 7 月下旬に最も高くなり，その年較差は約 25 度である。両者の年周変化を比較すると，地電位差変化には気温変化に対して約 1 か月の位相の遅れが見られる。この成分は日変化についても室温とよく対応している。特に昼夜の温度差の大きい夏期に明瞭にあらわれており約 0.6 mV/deg. の関係がある。この値は年周変化の約 5 % であるが，気温の年変化の地下におよぶ影響は，日変化のそれに対して 1 m の深さでも数 100 倍に達する事を考えれば山崎断層での比抵抗の観測結果⁴⁾からいわれているように，温度による地下の比抵抗の変化が，地電位差の日変化と年周変化の原因である可能性がある。しかし特定の成分にだ

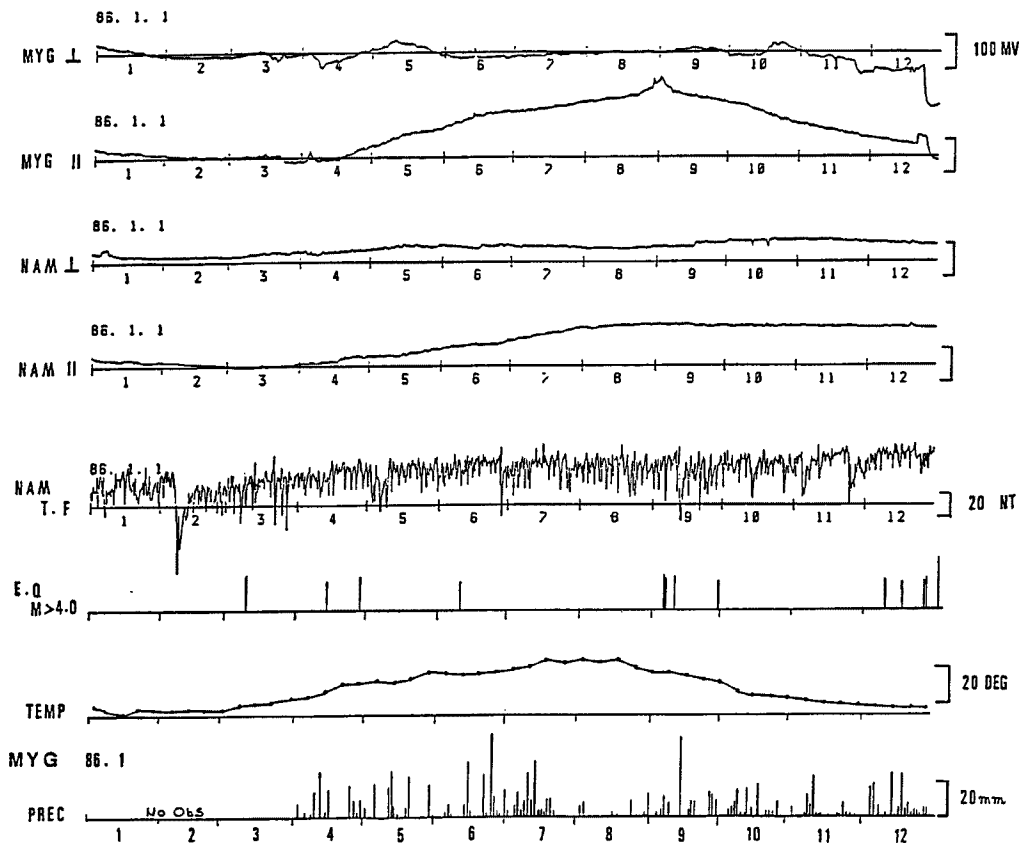


Fig. 3. Some geophysical data collection in 1986 (otherwise presented as in Fig.4).

け現われる事や、気温と地電位差との位相差の問題、地電位差が何mぐらいの深さを代表しているか等問題がある。

4.2 地電位変化と地震

宮川観測室における地電流記録の中に、1986年12月17日10時頃から19日の昼頃にかけて、17回に亘る矩形波（振幅 15~20 mV, 継続時間 5~60分）状の変化が見られる。この異常変化の原因は、発生時間と記録された波形から人工的のノイズと考えられたので、観測室周辺のノイズ源と思われる場所を消去法的に調査したが、その原因となるものについては現在のところ不明である。12月23日には、観測計器の点検を行なうとともに電極の接地抵抗を測定したが、何れにも異常は認められなかった。**Fig. 3**において、12月23日 MYG・E-CUR にドリフト状の電位変化がみられるが、これは接地抵抗測定によるものと考えられる。その2日後の12月25日5時27分に、観測点より ENE 方向約 2 km の位置に震央をもつ M4.1 と 4.4 の地震が発生した。この地震に関連して、宮川及び西天生（震央距離 19 km）の地電位記録には地震前後に特に異常変化は認められなかった。なお、この他、地震に関連したと思われる地電位変化は認められなかった。また、矩形波状の異常変化はこれまでは見られないものであった。

5. 磁気嵐を用いた M. T 解析

ある観測点での誘導電場と地磁気変化の両者の水平成分（互に直交する成分）の関係を用いて地下の電気伝導度分布を推定する方法は Magneto-telluric (M. T) 法と呼ばれる。ここでは、磁気嵐時の地磁気水平成分 (KAK) の変動に対して、西天生及び宮川両観測点で誘起された地電位変化が如何に対応しているかを調べた。これから、両観測点付近の地電位変化の主方向 (M. D)、電場と磁場との振幅比 E/H、及びみかけ

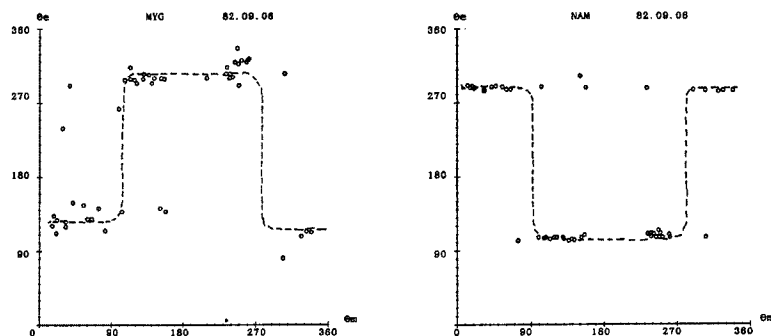


Fig. 4. Direction of the horizontal component of earth-currents (θ_e) at MYG and NAM versus direction of the horizontal component of magnetic field (θ_m) at KAK.

の比抵抗値を求める。

5.1 主方向と変化量

Fig. 4 は、1982年9月6～7日にかけて発生した磁気嵐時の柿岡での水平磁場 (X, Y) 成分変化の方向 θ_m と、この際、宮川及び西天生に誘起された地電位成分変化の方向 θ_e の関係を図示したものである。 θ_m と θ_e は何れも東より反時計回りに測った角度である。この図から宮川においては、 θ_e は $120^\circ \pm 5$ と $300^\circ \pm 5$ 、主方向は $120^\circ \pm 5$ の方向にみられる。また、西天生では θ_e は $105^\circ \pm 5$ と $285^\circ \pm 5$ 、主方向は $105^\circ \pm 2$ の方向を示している。宮川及び西天生の両観測点とも、地電位変化の主方向 θ_e は断層走向 $N60^\circ E$ に対してほぼ直交する方向にあたる。また、**Fig. 5** は、1986年2月8日16時0分—2月9日0時32分（磁気嵐時）の地電位変化（主方向 $E105^\circ N$ ）に対して、これに直交する水平磁場 ($E15^\circ N$) の変動の様子を示したものである。これらは120分のLOW-CUT フィルターを通したものであるが、この範囲の周期帯で電場の変化 ΔE と磁場の変化 ΔH はかなりよく対応していることがわかる。

Fig. 6 は、1982年9月6日19時0分—7日1時55分（磁気嵐時）の西天生及び宮川の地電位変化 (ΔE_x ,

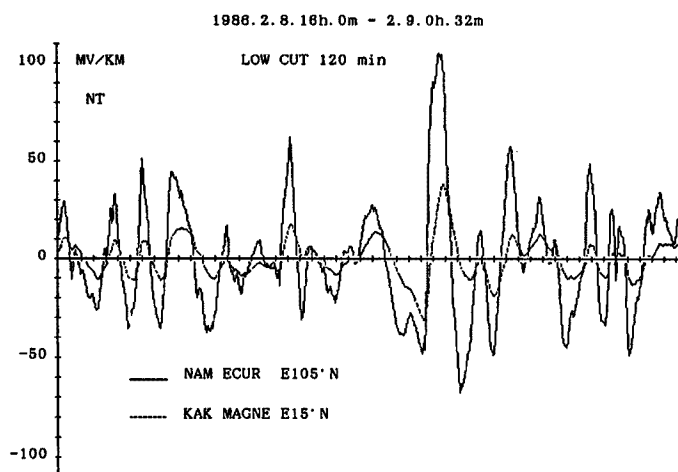


Fig. 5. Time variations of the earth-current in the maximum direction at Nishiamo, and of the horizontal component of geomagnetic intensity perpendicular to the maximum direction of earth-current at Nishiamo during the period from Feb. 08, 16h00 m to Feb. 09, 00h31 m, 1986.

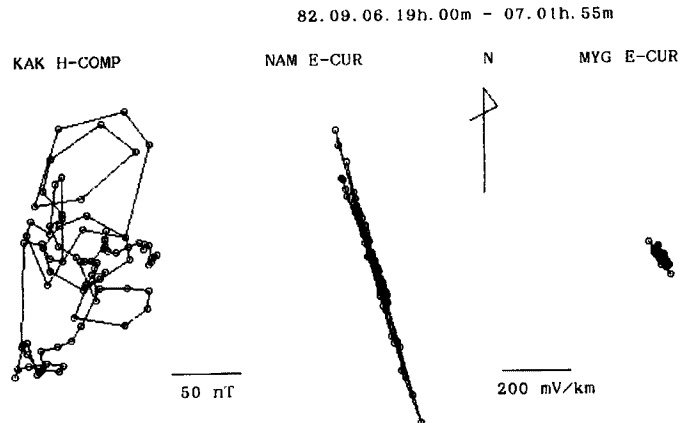


Fig. 6. Vector diagrams of horizontal magnetic field at Kakioka and earth-currents at Nishiamo and Miyagawa at the time of magnetic storm in September 09, 1982.

ΔE_Y と互に直交する磁場変化(ΔH_X , ΔH_Y)をベクトル図に表わしたものである。この図から、西天生及び宮川における主方向は、それぞれ $E105^\circ N$ 及び $E120^\circ N$ 方向の主軸に沿って変動しており、かつ、その西天生での変化量は宮川での変化量の約8倍を示していることが分る。このことは、両観測点付近の電気伝導度のちがいを反映しているものと思われる。

5.2 磁気嵐による E/H とみかけの比抵抗

Fig.4 ~ Fig.6 から明らかなように、両観測点に共通した点は、地電位変化の主方向が断層走向にはほぼ直交する方向に大きな変動を示していることである。

Fig.7 には、先の Fig.5 の地電位変動 ΔE 、およびこれに直交する磁場変動 ΔH のフーリエ・スペクトル(横軸の周波数間隔 $1/512$ cycle/min)を示した。

Fig.8 は、Fig.5 の中で卓越する磁場変動及び地電位変動を21個選び出し、これら各周期における電場と磁場の振幅比、 E/H を図に示したものである。この図から西天生観測点における E/H の値は、周期345

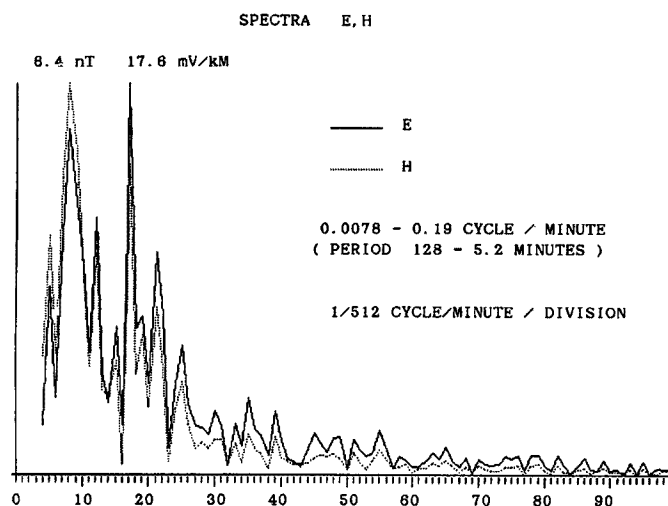


Fig. 7. Spectra of the electric field (E) in the maximum direction and of the magnetic field (H) perpendicular to the former at the time of magnetic storm in Feb. 09, 1986.

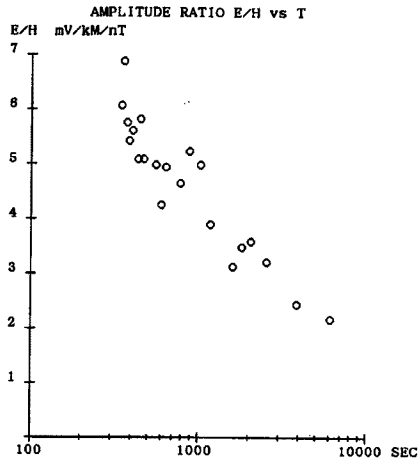
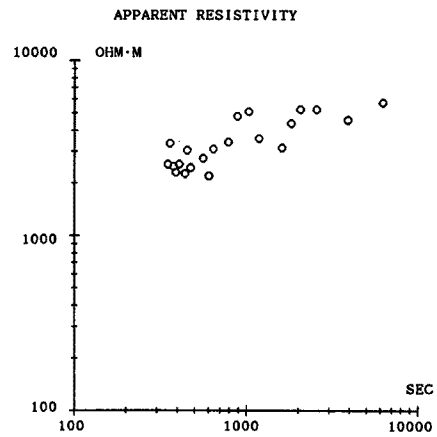
Fig. 8. The amplitude ratio E/H at Nishiamo.

Fig. 9. Apparent resistivity at Nishiamo.

～6144 秒の範囲で6.0～2.2 となり，他の地域（春1.8⁵⁾，熊切1.5⁶⁾）の平均値に比べて大きな値を示していることがわかる。

次に， E/H をもとに，西天生におけるみかけの比抵抗値を計算³⁾により求めたものを **Table 1** と **Fig. 9** に示した。この図から，見かけの比抵抗値は周期により異なるが $2.5 \text{ k}\Omega \cdot \text{m} \sim 5 \text{ k}\Omega \cdot \text{m}$ の間の値となってい

Table 1. Dependence of apparent resistivities and phase differences on the period at Nishiamo

	NO.	PERIOD SEC	APPAR. RESISTIVITY OHM·M	PHASE DIFF. DEGREE	SKIN DEPTH KM
1	6	6144	5787	40	3001
2	9	3840	4568	42	2108
3	13	2560	5248	35	1845
4	16	2048	5259	38	1652
5	18	1807	4379	26	1416
6	20	1617	3156	11	1137
7	27	1182	3568	19	1033
8	31	1024	5083	19	1148
9	36	878	4799	16	1032
10	40	788	3414	6	825
11	49	640	3118	5	711
12	52	602	2181	23	577
13	56	559	2773	14	626
14	66	473	2445	6	541
15	69	452	3049	25	591
16	71	439	2267	4	502
17	77	404	2544	0	510
18	80	389	2276	3	473
19	83	375	2478	-12	485
20	87	357	3374	-10	553
21	90	345	2535	8	471

ることがわかる。

Table 1 に示す PHASE DIFF は、電場に対する磁場の位相遅れで、これは各周期に対して何れも $\pi/4$ より小さい値を示している。このことは、地下に高比抵抗層が存在することを示唆するものであり³⁾、先の **Fig. 8** の振幅比と周期の関係と矛盾しない。

6. あ と が き

跡津川断層上の 2 観測点西天生と宮川では、全磁力 (NAM) と地電流 (NAM, MYG) の連続観測が実施されている。

全磁力については、長期間安定した精度のよい記録が得られている。しかし、地電流については、落雷などによる観測システムの電気系統の故障、原因不明の人工的と思われるノイズ (特に MYG)、また数日間亘る、降雨によらないドリフト的な異常などがあり、長期間にわたっては、全成分の安定した連続記録は得られなかった。今後、これら問題点の改良や解明すべき幾つかの課題が残されているが、これまでの観測結果にもとづき、現在までに得られた結果は次の通りである。

- 1) 全磁力について、1985~1986年における西天生と柿岡両観測点の全磁力変化はよく対応している。また、この地点差には、時間の経過とともに年間 1 nT 程度で増加する傾向がみられる。
- 2) 宮川観測点での地電流 MYG (I1) 成分に、温度による年周的变化が認められる。この原因として、季節変化にともなう地中温度変化、あるいは地下水位の変化による比抵抗の変化などが考えられる。
- 3) M4 クラスの近地地震の際に、宮川観測点の地電流には地震の前兆と思われる変化は見られなかった。
- 4) 西天生及び宮川付近における地電位変化の主方向は、それぞれ E105°N と E120°N となり、西天生の変化量は宮川の約 8 倍を示している。また、西天生における E/H の値は、他の地域に比べて大きい。また、西天生付近の E/H より求めたみかけの比抵抗は、2.5~5 k Ω ·m と推定され、E と H の位相差の傾向と矛盾しない。

これまでに課題となった点を今後逐次検討するとともに、さらに、跡津川断層東部地域においても、地電位の主方向やみかけ比抵抗を求めたい。また、ここで推定した値は長波長帯域 (深層) に対するみかけの比抵抗であるので、今後はさらに VLF や ELF-MT 法により短波長帯 (浅層) のみかけ比抵抗も推定し、跡津川断層における比抵抗構造の深度分布などを求めていきたい。

終りにあたり、これまで御指導、御助言をいただいた、鳥取大・宮腰潤一郎教授、東京大地震研・行武毅教授、京都大教養部・住友則彦助教授、富山大・酒井英男博士、種々のデータを提供していただいた柿岡地磁気観測所・森俊雄博士、同観測所々員の方々、なにかと助言や協力をいただいた京都大防災研・田中寅夫助教授、和田博夫技官、その他関係各位にたいして深く感謝お礼申し上げます。また、観測点の天生、宮川地区の住民の皆様にも観測に関して御理解をいただき、併せて厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 中山 武・加藤正明・土居 光・和田安男・三雲 健：跡津川断層上 (天生・宮川) における地電流の観測，京大防災研年報，第29号 B-1，1986，pp. 67-76.
- 2) 土居 光・中山 武・加藤正明・和田安男・和田博夫・田中寅夫・三雲 健：跡津川断層西端上 (天生) における地磁気全磁力の連続観測，京大防災研年報，第29号 B-1，1986，pp. 77-84.
- 3) CAGNIARD, L.: Basic theory of the magneto-telluric method of Geophysical Prospecting, Geophysics, Vol. 18, 1953, pp. 605-635.
- 4) 塩崎一郎・岩越 朗・山口 覚・大塚成昭・住友則彦・乗富一雄：山崎断層における電磁気総合観測，CONDUCTIVITY ANOMALY 研究会論文集，1984，pp. 175-188.
- 5) 森 俊雄：地電流連続観測結果について，変動磁界による地下導電率分布の研究，工業技術院地質調査

所, 1976, pp. 49-60.

- 6) 柳原一夫・久保木忠夫・小池捷春・中山 武：中部日本における地電流について，日本地球電磁気学会講演予稿集，1972, p. 150.
- 7) 力武常次・他：地震予知 I，学会誌刊行センター，1980, pp. 138-141.