

跡津川断層上 (天生・宮川) における地電流の観測

中山 武・加藤 正明・土居 光
和田 安男・三雲 健

OBSERVATIONS OF EARTH CURRENTS AT TWO SITES ON THE ATOTSUGAWA FAULT

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

Synopsis

In order to detect possible variations in earth currents related to local earthquakes along an active fault, continuous observations of earth currents have been in operation at two sites, Nishiamo and Miyagawa, (the distance between them is 17 km) on the Atotsugawa fault since August, 1982.

In this brief report, we describe the installation of the observation sites including the layout of electrodes, design of electric circuits, together with some examples of the observed records which have been obtained to date. From these observations, relationships between disturbances of earth currents and of geomagnetic total forces have been investigated in some detail.

1. ま え が き

地電流が地震ともなつて局地的に異常を示すことは、これまでいくつかの報告¹⁾²⁾がある。

筆者ら(上宝地殻変動観測所グループ)は、地震に関連しておきる可能性が考えられる電磁気(地電流・全磁力)の異常変化を検出し、地震と電磁気変化との関係を明らかにするため、1982年6月から飛騨地方北部の跡津川断層上に地電流観測点を設置した。跡津川断層は Fig. 1 に示すように、岐阜県北西部から富山県立山付近まで約 60 km あまりをほぼ直線上にのびる断層である。この断層に沿っては多くの微小地震が発生していることが観測³⁾されており、このことは跡津川断層が現在も活発な活動をしていることをうかがわせるものである。ここでは、設置に関連した経過とこれまでの観測について概要をのべる。地電流観測点は跡津川断層上に2箇所設けた。その1つは断層の西端付近の西天生観測点、他は断層の中ほどに位置する宮川観測点である。断層運動による地殻上部の歪みの蓄積は断層中央部より末端の方が大きいと考え、地震に関連して生ずる地電流の局地的な異常も西天生は宮川より大きくなるのではないかとと思われる。また、地磁気の擾乱に関連して、2つの観測点における地電流変化の違いは、その観測点付近の特徴を思わせるもので、これが局地的な地下の様子を知るひとつのてがかりになるのではないかと考えている。

2. 観測地の概要

観測点西天生: NAM (岐阜県吉城郡河合村天生: $\phi = 36^{\circ} 16' 03''$, $\lambda = 137^{\circ} 01' 26''$) は跡津川断層の西端付近に位置し、近くに露頭や明瞭な断層地形が見られ (Fig. 2), 電気や信号の搬送には便利なところで、ま

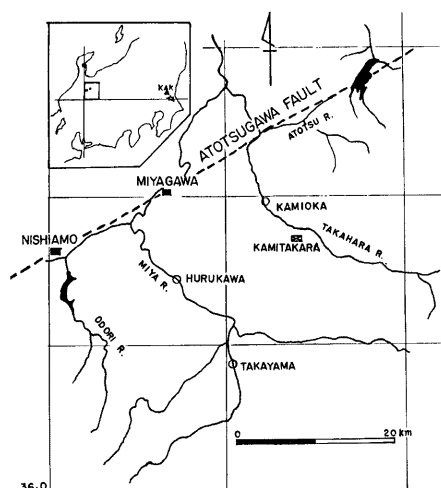


Fig. 1 Locations of the two observation sites Nishiamo and Miyagawa and the Atotsugawa fault.

た、人工的ノイズも小さい。

観測点宮川：MIY（岐阜県吉城郡宮川村種蔵， $\phi=36^{\circ}20'39''$ ， $\lambda=137^{\circ}11'18''$ ）は跡津川断層と推定される断層の上で西天生との距離は 17 km 離れた地点である。ここは、西天生ほど断層は明瞭ではないが断層地形と思われる wind gap の上にある。電気、信号の搬送には便はよいが、観測点より約 300 m 離れたところを国鉄高山線が走っていて時間的に列車の信号ノイズと思われるものが現れる（Fig. 4）。

2.1 西天生観測点付近の跡津川断層

跡津川断層は Fig. 1 に示したように、岐阜県北西部吉城郡河合村天生峠付近から富山県立山付近まで約 60 km 余りにわたって ENE-WSW 方向にほぼ直線上に延びる大断層である。地形調査によればこの断層の中央部では、水平変位が 2~3 km の右ずれ、垂直変位は北側隆起で数 100 m と見られている⁴⁾。

地電流の観測点西天生はこの断層の西端近くで、観測点付近の様子は Fig. 2 に示した。地質については観測点付近では、断層の北側に石灰質片麻岩、南側に角閃石・黒雲母片麻岩が分布している⁶⁾。観測点から西南西へ約 700 m 離れた天生谷の両岸に、数年前の出水により幅約 30 m の断層破砕帯の露出した所がある。この露頭スケッチは Fig. 3 に示すが、約 50 m にわたって何本もの断層が走り、断層粘土を含んだ破砕帯が認められる。跡津川断層のような大断層になると、断層線は単純に一本走っているのではなく、かなり複雑で幅広い断層帯を形成している事がわかる。Fig. 3 の断層 F₃・F₄ の南側の地質は破砕されない角閃石片麻岩である。F₁-F₂ と F₃-F₄ との間には破砕帯や最大 6m に達する断層粘土帯があり、花崗岩の貫入岩もみられる。この部分が跡津川断層であり主な走向は N 70°~85° E、傾斜は 70°~80° N である⁵⁾。

この露頭から、断層方向に沿って観測点までの間に谷や尾根の屈曲、ずれ（右ずれ）等の断層地形が認められる。観測点を設置した場所には wind gap があり断層の存在を示している。なお、観測点工事の際には、先の露頭でみられたような断層破砕帯や粘土層をみる事ができた。

2.2 宮川観測点付近の跡津川断層

宮川観測点は跡津川断層の中ほどの所にあつて、その付近の様子は Fig. 4 に示される。この付近の断層の存在については確かでないので、下畑・中山（当時吉城高校教諭）らによって、付近にみられる wind gap

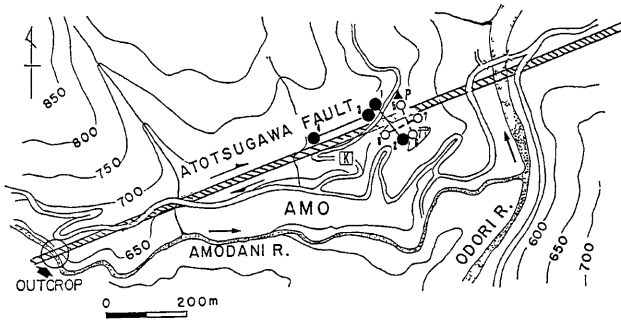


Fig. 2 Topographical map near the Nishiamo observation site and the location of electrodes where 1-2, 3-4, 5-6, and 7-8 show four pairs of electrodes buried under the ground.

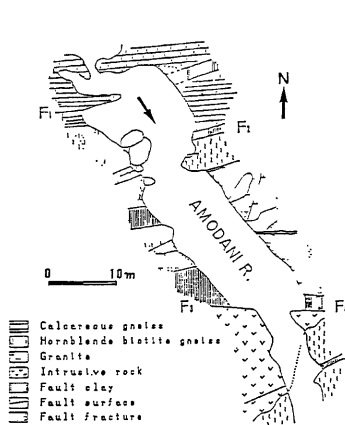


Fig. 3 Geological map of the Amo-valley outcrop on the Atotsugawa fault.

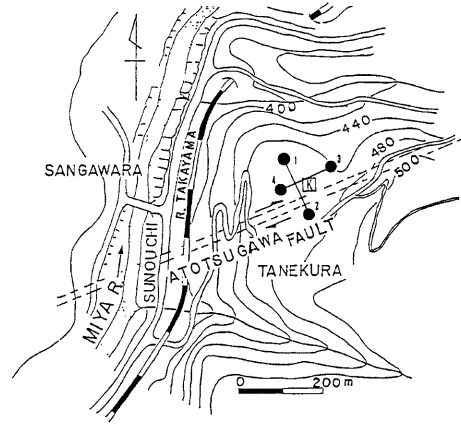


Fig. 4 Topographical map near the Miyagawa observation site and the location of electrodes, where 1-2 and 3-4 show two pairs of electrodes buried under the ground.

や地形、それに付近の工事中にみられた粘土層などをもとに断層を推定した。

この観測点付近を東進した跡津川断層は、観測点近くの三川原付近で北北西—南南東の左ずれ断層（三川原断層）によって1 km 北へ転位している⁴⁾と指摘されている。これらの事実を勘案すると、宮川観測点付近は西天生とは地質や地下の構造面において異なったものがあるのではないかと思われる。

3. 観測の方法

地電流観測の電極配置は、西天生 Fig. 2, 宮川 Fig. 4 に示すように何れも断層線（または推定断層線）を

Table 1 Situation of each pair of electrodes

STATION	COMPONENT	LENGTH	DIRECTION RELATIVE TO THE FAULT-LINE	DIRECTION
NAM φ: 36°16'05" N λ: 137°01'26" E	E-CUR (1-2)	100 m	(⊥)	N 30° W
	E-CUR (3-4)	130 m	(∥)	N 60° E
	E-CUR (5-6)	90 m	(⊥)	N 30° W
	E-CUR (7-8)	70 m	(∥)	N 60° E
MIY φ: 36°20'39" N λ: 137°11'18" E	E-CUR (1-2)	140 m	(⊥)	N 25° W
	E-CUR (3-4)	115 m	(∥)	N 65° E

基準にして、断層に直行する成分(⊥)と断層に平行な成分(∥)の2成分とし、それぞれの電極間距離(スパン)は地形や地質の関係で 100 m~140 m とした。

西天生の電極配置は Fig. 2 に示すが、ここは付近の地質調査などによって断層の位置がはっきりしている。電極配置は wind gap を中心に断層の南側と北側に配置した。北側は杉の植林地で、南側は雑木林、その間に wind gap があってここは主に草地になっている。なお、ここは、地電流観測が1976年以來すすめられている所⁹⁾で電極番号5, 6, 7, 8は在来電極の近くに設置したものである。

宮川観測点の電極配置は Fig. 4 に示すが、電極番号1と2の間に断層線と平行に wind gap がある。4の3に対する比高は10 m 弱で付近は畑と水田である。

西天生: NAM, 宮川: MIY の電極番号と電極間距離などについては Table 1 に示す。

3.1 炭素棒電極

地電流観測用電極として、これまで鉛管、銅板それに炭素棒などいろいろ検討を重ねてきた結果、炭素棒は比較的手軽で性能も良いということが明らかになった。使用した炭素棒は、素材が高純度で、電極内部の金属と炭素との間の接触抵抗値 (15本の電極について $7.8 \pm 0.5 \Omega$: メーカ測定) は小さくてばらつきのないものを選んだ。使用した炭素棒の概略を Fig. 5 に示す。

炭素棒アース棒 (松下電池工業 K. K.・900 DD)

3.2 電極埋設と接地抵抗低減剤

各観測点の電極は炭素棒を1本使用した。電極の接地抵抗は小さくて、長期間安定していなければならない。この様な観点から、これまで接地抵抗低減用に使用されてきた炭素粉(木炭粉末)と電気工用につくられた接地抵抗低減剤との地電流観測に関する優位性について、次のような比較実験をした。実験は、同質の炭素棒2本を対にして、地表より2 mの深さの所に、①低減剤を使用しないもの、②木炭粉を使用したもの、③低減剤を使ったものの3つの対を埋設した。測定は、①②③それぞれの電位差と各電極の接地抵抗値で、その期間は1カ月であった。その結果、優位性は③②①の順となり、工用性の低減剤を使う事になっ

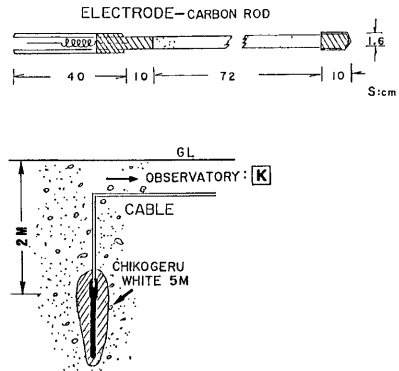


Fig. 5 Sectional views of a carbon-rod electrode and a cable to a transmitter.

た。なお、この低減剤については、接地抵抗の経年変化は5年間に5Ω程度増加で、季節変化は年間20Ω程度⁷⁾となっている。使用した低減剤は次のようなものである。

接地抵抗低減剤（日本土工 K. K. ・チコーゲルホワイト 5M）

3.3 炭素棒電極と送信用ケーブルの埋設

Fig. 5 に示すように、電極は先の実験結果に基づきチコーゲルホワイト 5M を電極棒の回りに充填し、埋設のために掘り出された土は元に戻すようにしっかり突き固めた。電極からの送信線は、空中を張った場合の障害（雷や空中電磁場の誘導、それに風雪害など）を考慮して、すべて地表より 0.5 m の深さに埋設した。

ケーブルには耐水、絶縁、防錆、シールド効果など考慮して、鋼ダイヤモンド外装ポリエチレン絶縁ビニールシースケーブル（大日本電線 K. K. ・品名 CPEVDLTZE ・導体径 0.9 mm ・対数 1P）を使用した。

3.4 電気回路

観測される地電流の電位差は、磁場変化の静穏な時は、スパン 100 m について 2~3 mV 程度の変化であるが、磁気嵐や雷などが発生すると短時間の間に数 10~数 100 mV にも達する事がある。

地電位差は自動零点調整回路（Fig. 6）によって 10 倍に増幅される。富士通 K. K. の送信装置の入力信号電圧範囲は、0~±1V であるので、増幅された地電位差が ±1V を越えた場合には、一定のステップ電圧を自動的に与え、常に記録がスケール・アウトしないようにしている⁸⁾。

4. 観測の結果と記録

4.1 西天生における電極接地抵抗の経年変化

地電流観測において、電極の接地抵抗が不安定であれば、観測される電位差はドリフトを生じたり、降雨時などにノイズを生む原因となる。そこで接地抵抗を測定する事により、地中に埋設された電極の状態を推測する事が出来る。Fig. 7 にその測定結果を示す。この図の中で、記号●・▲・○などは Fig. 2 に示した位置の電極を示し、それらの記号を実線で結んだものは、断層に対して直交（⊥）の位置（N と S）にあるもの（(1-2) ならびに (5-6)）で、破線は断層に平行（∥）な位置（E と W）にあるもの（(3-4) ならびに (7-8)）である。各電極の測定値は概ね 40Ω~300Ω でその値にはばらつきがみられる。これは埋設された場所の破砕帯や粘土層などの地質的な影響を受けているものではないかと思われる。なお、200Ω 以上の抵抗値については、測定器の誤差（200Ω までは ±5Ω、200Ω 以上では ±50Ω）があるのでこの事を考慮すれば、各

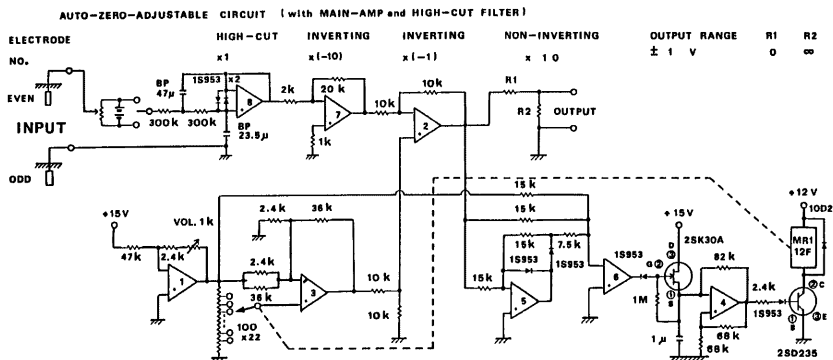


Fig. 6 Diagram of auto-zero-adjustable circuit (with a main amplifier and a high-cut filter).

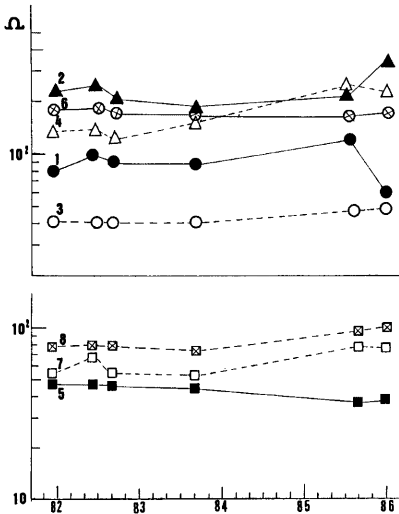


Fig. 7 Secular variations of earth resistance (unit in ohm) of each carbon-rod electrode for the period during 1982-1986.

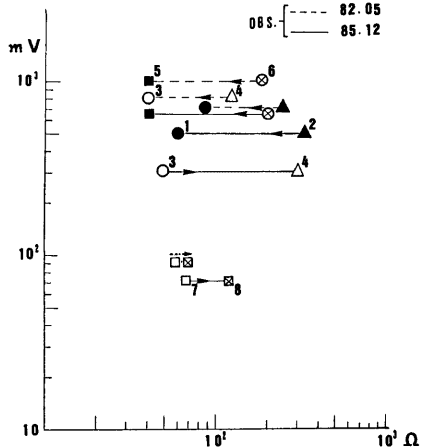


Fig. 8 Relation between electric potential differences and earth resistances of carbon-rod electrodes. 1-2, 3-4, 5-6 and 7-8 show four pairs of electrodes. Each arrow shows the direction of earth currents between each pair of electrodes.

電極の接地抵抗の変化は4年間で10~20Ω程度の増減であると思われる。なお、電極1, 2, 4のような変化量の大きいものは、埋設後に地中の変化が原因したものかもしれない。また、接地抵抗には季節変化があるとの報告⁷⁾もあるが、西天生ではその変化はみられない。また、各成分(実線と破線)の間にも特徴的なものがないように思われる。

4.2 接地抵抗と電極間電位差

Fig. 8にNAMにおける電極端子間の電極電位差(端子電圧)と接地抵抗との関係を示す。測定には、端子電圧は高インピーダンスのデジボル・接地抵抗計 (Fig. 7で使用したもの) を用いた。測定については、接地抵抗をいちど測定すると電極に電流が流れて、端子電圧がしばらく不安定になることがあるので、この測定では端子電圧を始めに計り、すぐ後に接地抵抗を計るといった方法をとった。なお、端子電圧の測定は、その日によって地磁気の影響を受けて変動が生ずるもので、これまで何回か測定されているものの中から、磁場の比較的静穏な日のもを選んだ、また、接地抵抗についても端子電圧の測定に準じた日のもを用いたので、Fig. 7の値とは必ずしも一致しない。Fig. 8について、●¹, ▲²・・は電極を示し、電極間を実線(85年)と破線(82年)で結び、さらに、矢印により電極電位の高→低をつけた。また、接地抵抗の誤差は前と同じである。この図からみられるように、接地抵抗が100Ω付近の所で端子電位差は100mV~1000mVの範囲にあって、接地抵抗と電位差とは比例していない事が見られる。また、電位の向きについて、2→1, 6→5は断層に対してS→N, 7→8はE→Wとなっている。3, 4については、2回の測定時、(82.05)と(85.12)では、電位が反転している。電極の電位の反転は電荷の移動があったことを示すものと考えられるが、この原因について次の機会に検討してみたい。

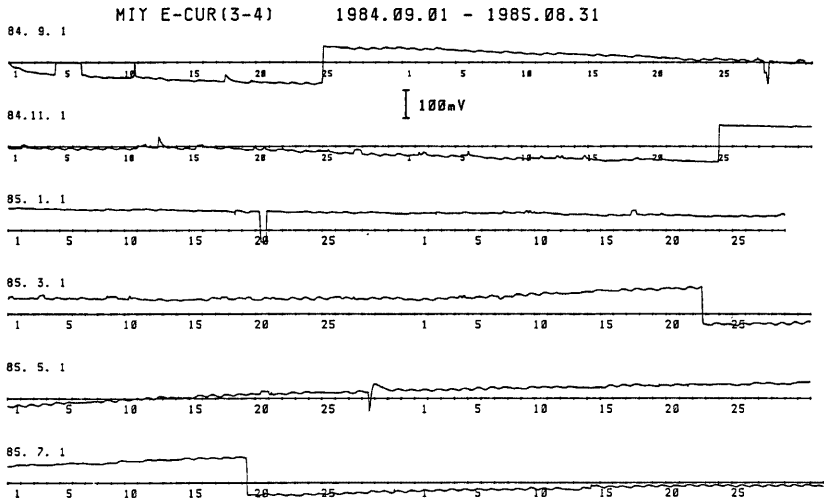


Fig. 9 An example of corrected data (component 2) from earth current records observed at Miyagawa during 1984-1985.

4.3 宮川における地電流

Fig. 9 は MIY の 5 分値デジタルデータからパソコン処理によって得られた記録例 (MIY, E-CUR (3-4) 84.9.1~85.8.31) を示す。この記録では、停電や雷によるノイズ等の補正はなされていない。この図において、停電や電気系統の故障箇所は、100 mV 程度の矩形波状を示している部分で、時定数の長いパルス状の部分は雷によるものか、あるいは人工的に電極に電流が流れた時である。また、記録がスケール・アウトしないようにスパンシフトが設定されている。Fig. 9 の場合スパンシフトは±2 回働いている。次にこの図の解釈であるが、周期的な日変化がよく現れている部分 (85年8月付近) と、余り現れない部分 (85年1月~2月) とがある。NAM の各成分について見ると、これに対応するような日変化は認められなかった。もし上の変化が地磁気変動によるものならば、季節的に現れるとは考えにくい。以上の事を考慮すれば、この MIY の地電流日変化は気温の変化が影響しているのかも知れない。観測室 (送信室) 内の気温が日に5~6度変化している時に地電流にも変化が現れ、そのパターンはいずれの場合ともよく一致している。このことから日変化は、観測室内にある電気系統が原因しているものと思われる。この図の地電位の基準点は84年9月1日0時 (横軸日付の位置) に設定されている。地電流の始めの位置と終りの8月31日の位置とを比較すると、ほとんど同じ位置に戻っている。そして、年間を通して、スパンシフトは±2 回である。これを電位差で見ると約 300 mV 変化したことになる。これだけの電位差は温度変化だけでは説明出来ない値である。この大きな変位が地電流の年間変化であるならば、これはまた地電流観測に1つの興味ある課題を提供してくれるものかもしれない。

4.4 磁気嵐のときの地電流擾乱

Fig. 10 は磁気嵐⁹⁾の時に発生した (NAM, MIY 1982.9.6.18 h~9.7.6 h [LT]) の同時記録の例を示す。地電流の変化は、地磁気の静穏な時には2~3 mV/100 m 程度の変化を示すが、大きな磁気嵐 (数 100 nT の変化) に起因して発生する地電流擾乱では数 10 mV/100 m に達することがある。ここにあげた例は、我々の持つ記録例中最大のものである。

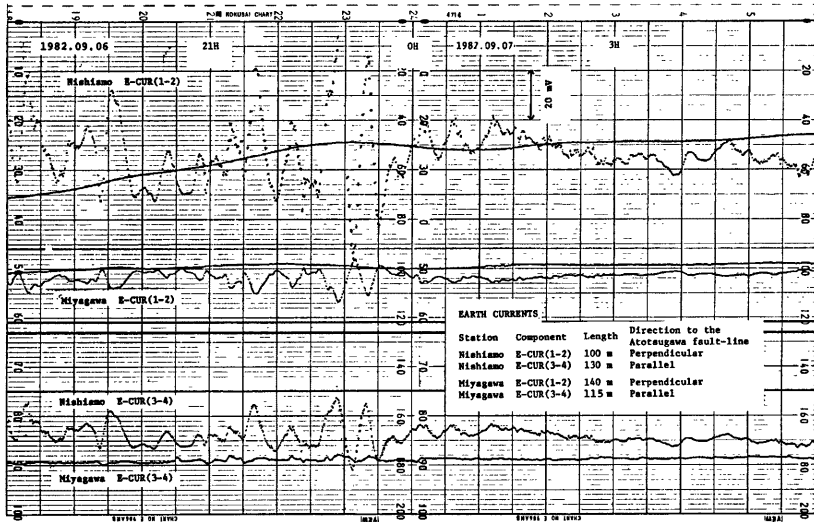


Fig. 10 Records of disturbances of earth currents at the time of a magnetic storm in September 1982, and lower two records show the corresponding components at Nishiamo and Miyagawa, respectively.

Table 2 The maximum amplitudes of disturbances of earth currents at the time of a magnetic storm (1982.09.06, 18h-09.07, 06h).

OBS.	COMPONENT	DIRECTION RELATIVE TO THE FAULT-PLANE	mV/100 M
NAM	E-CUR (1-2)	(⊥)	88
MIY	⋄ (1-2)	(⊥)	10
NAM	⋄ (3-4)	(∥)	21
MIY	⋄ (3-4)	(∥)	2.5

記録紙から読取った変化量を Table 2 に示す。

磁気嵐による地球磁場の影響は NAM, MIY の 2 観測点では同じと考えてよい。このことから、NAM と MIY での (⊥), (∥) 両成分についてそれぞれの変化量を比較すると、何れの場合も NAM の方が MIY より約 8 倍大きい。また、同じ観測点での (⊥) と (∥) 2 成分の比は何れも 4 倍である。NAM が MIY の 8 倍ということは、西天生観測点の電磁気的な 1 つの特徴で、観測点付近の水をふくんだ断層粘土層の存在によるものと思われる。なおこの頃には降雨は無かった。また、同じ観測点での (⊥) と (∥) 両成分の比が NAM, MIY2 観測点共に 4 倍ということは、1 つの磁気嵐に対して、2 つの異なる観測点での電極配置が同じような働きをしているのかもしれない。なお、これらの比については、磁場に関して単純に考えた結果であって、この磁気嵐に関する pulsation の詳しいデータにより解析すれば異なった値がでるかもしれない。

4.5 地電流と地磁気の擾乱

Fig. 11 は、(NAM, 1985. 10. 5. 18 h ~ 10. 6. 1 h) の地電流およびプロトン磁力計によって観測された全

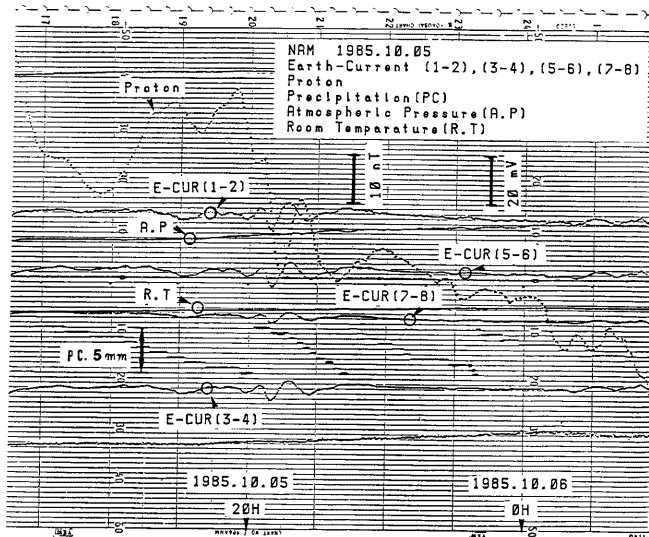


Fig. 11 Records of disturbances of earth currents and geomagnetic disturbances obtained at Nishiamo (the geomagnetic disturbances are observed with a Proton magnetometer).

磁力変化の記録例を示す。上の図は、上宝観測所で得られた西天生観測点での各種の観測量のモニター記録の一部であって、この中には、地電流 E-CUR (1-2), (3-4), (5-6), (7-8) 4つの成分以外に、ボア・ホール傾斜計による傾斜変化2成分、プロトン磁力計による全磁力変化、雨量、気圧、観測室気温各1成分、計10成分が1分サンプリングで連続記録されている。

この記録から、地磁気の変化に対する地電流変化を定性的（定量化のためには地磁気3成分が必要と思われる）にみるため、同じ周期に対する全磁力と地電流各成分の振幅の比を取った。全磁力変化 20 nT に対して、地電流は 100 m スパンにして 2.5 mV~6.0 mV の変化をしている。また、この擾乱の発生した7時間程前から連続して 17 mm の降雨があるが、地電流には降雨による影響と思われる変化は見られない。このことより、西天生における地電流には、毎時 3~4 mm 程度の降雨量ではその影響は現れないものと思われる。降雨量が 20 mm 程度まで達すると、降雨中に地電位は 5 mV 程変化した例⁹⁾があるが、この場合は電極設置後の経過時間が少なく電極が安定していなかったためと思われる。この場合と、今回の接地抵抗低減剤を用いた場合とを比較してみると低減剤の使用は雨に対しても有効であったのかもしれない。

5. あとがき

跡津川断層上に2箇所地電流観測点が設置され、1982年6月よりテレメータによるデータ伝送が開始された。本報告では、これらの観測点設置に関してかなり詳しく紹介した。連続観測中には度々の停電と雷の発生による電気系統のトラブルがあり、そのために欠測したり、データの乱れも生じたりして、長期にわたる全成分の安定した連続記録は得られなかった。これまでに得られた観測結果について要約すれば次の通りである。

- (1) 電極の接地抵抗については、抵抗低減剤使用の効果が大きく、接地抵抗の経年変化は小さく電極は安

定していることが分かった。

(2) 接地抵抗が安定な場合には、電極端子電圧も安定しているが、端子電圧は必ずしも接地抵抗値に比例しない。端子電圧が変化して、極性が変わることがある。それを知るために端子電圧は定期的に測定しておくことが必要であり、これによって記録の補正も可能である。

(3) MIY の 1 年間の連続記録から、地電流の日変化の原因は電気系の温度変化に関係したものとと思われる。年周変化については興味ある問題と思われるので、これが実在のものかどうかを調べなければならない。また、観測点付近の跡津川断層と三川原断層(左ずれ)⁴⁾との関係についても地質的にも調査することが必要であろう。

(4) 磁気嵐に伴って生じた西天生と宮川 2 観測点の地電流擾乱から、NAM は MIY に比較して電磁氣的増幅作用が働いているものと思われる。これに関しては、地磁気のデータの詳しい解析によって定量化したい。

(5) 地磁気の擾乱に伴った地電流擾乱については、さらに多くのデータによって、地磁気の変化 ΔH と地電位変化の ΔE から西天生観測点における比 $\Delta E/\Delta H$ を求めるとともに、地電流の主流向等について両観測点の電磁氣的特性を明らかにしていくことが望まれる。

終りに、西天生・宮川両観測点の設置からこれまでに有益な助言をいただいた、鳥取大・宮腰潤一郎教授、京大教養・住友則彦助教授、なにかと協力いただいた田中寅夫助教授、和田博夫技官、ほか関係各位にたいし深く感謝しお礼申し上げます。また、観測点の天生、種蔵地区の住民の皆様方にも観測に関して御理解をいただき、合わせて厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 萩原尊礼：地震前兆に関する電磁氣現象，学術会議震災予防委員会研究報告 6，1948，pp. 1-28.
- 2) 力武常次他：地球物理シリーズ，地震予知 I，学会出版センター，1980，pp. 83-99.
- 3) 三雲 健・和田博夫：跡津川断層と地震活動，月刊地球第 5 卷第 6 号，pp. 325-334. 1983.
- 4) 松田時彦：跡津川断層の横ずれ変位，東大地震研究所豪報，第 44 号，1966. pp. 1197-1212.
- 5) 中山 武・下畑五夫：跡津川断層における地電流観測，月刊地球，Vol. 6，1983，pp. 352-358.
- 6) 中山 武・下畑五夫・吉城高校地学部：飛騨跡津川断層における地電流観測，地球科学，34 卷 5 号，1980，pp. 258-265.
- 7) 東野真也・田口功二：チコーダイヤアースを使った接地工事，電気計算，Vol. 41，No. 1，1973，pp. 79-82.
- 8) 加藤正明・田中寅夫・細 善信：由良における地球潮汐の観測，京大防災研究所年報，第 28 号 B-1，1985，pp. 68-69.
- 9) 気象庁：地磁氣観測所報告・地球磁氣・柿岡，1982，pp. 59.