

跡津川断層と阿寺断層における電磁気観測

中山 武・酒井 英男・小林 剛・加藤 正明・
三雲 健

ELECTROMAGNETIC STUDIES AT THE ATOTSUGAWA ACTIVE FAULT AND AT THE ATERA ACTIVE FAULT

By Takeshi NAKAYAMA, Hideo SAKAI,
Tsuyoshi KOBAYASHI, Masaaki KATO, and Takeshi MIKUMO

Synopsis

The electro-magnetic studies have been conducted on the Atera fault and Atotsugawa fault which are known as the conjugating faults in the central part of Japan.

The survey of total magnetic intensity at the Atotsugawa fault shows the magnetic anomalies of about 100 nT around the Amo area, the western part of fault and around the Suganuma area, the middle part of the fault. Around the Norimasa area of the Atera fault, the magnetic anomalies of about 70 nT were observed, which is a little smaller than those of Atotsugawa fault.

Nakayama et al. (1989) indicate that the principal direction (PD) exists in the electric potential induced at the geomagnetic storm and/or the lightning. They showed that the PD directions, measured at the observation stations around the Atotsugawa fault zones, direct at right angle to the strike of the fault.

The study of the PD around the Kashimo area of the Atera fault showed the existence of two PD directions in the data obtained at several series of lightning. That is, the direction which intersects with the main fault at right angle, and the direction which agrees with the strike of the main fault. The observed two principal directions may have the relation with the facts that many faults and/or fracture zones conjugating with the main fault are present around the Kashimo area (Yamada, 1978). These results suggests that the PD studies may become a useful technique to know the differences between the Atera and Atotsugawa fault system.

1. は じ め に

断層近傍の地球電磁氣的性質を知ることは、断層の位置や活動度を知る上で重要な情報を与え、地震予知や防災上にも必要な事と考えられる。今回、中部地方の代表的な活断層である阿寺断層と跡津川断層について、その電磁気持性を比較した。

両断層の変位を比べると、阿寺断層は過去に5～10 kmに及ぶ左ずれ変位を行ない、山地高度を約800 mくい違わせているのに対して、跡津川断層の右ずれ変位は約2 km、上下変位は450 m程度と阿寺断層に比べて小さい^{1)～3)}。この様に阿寺断層の変位は大きい、最近の地震活動度は低い^{4), 5)}のに対し、跡津川断層では微小地震活動が継続している^{4), 5)}という違いが認められる。両断層における断層周辺の電磁氣的性質

を探り、物理的構造を明らかにする事は、断層の地震活動の違いを考える際に有用だと考えられる。

2. 跡津川断層、阿寺断層の観測点

Fig. 1 では、跡津川、阿寺両断層における観測点を●印で示している。

跡津川断層では、断層走行 $N 60^{\circ} E$ に沿って、西端の天生高層湿原 (AMM) に始まり、西天生 (NAM)、丸山 (M)、宮川 (MYG)、菅沼 (SG)、佐古 (SK)、大多和 (OTW) に至る約 45 km の間で、地電位の卓越方向 PD の決定と VLF-MT 探査による見掛け抵抗値の測定を行った。また、天生高層湿原では全磁力の精査も行った。この湿原は標高 1396 m にあり、匠屋敷とも呼ばれている。菅沼地域は、標高 620 m であるがこの上位には標高 960 m のニコイ高層湿原がある。

阿寺断層では、岐阜県加子母村桑原 (KSM)、下呂町乗政 (NRM1)、同三ツ石 (NRM2) の3地区

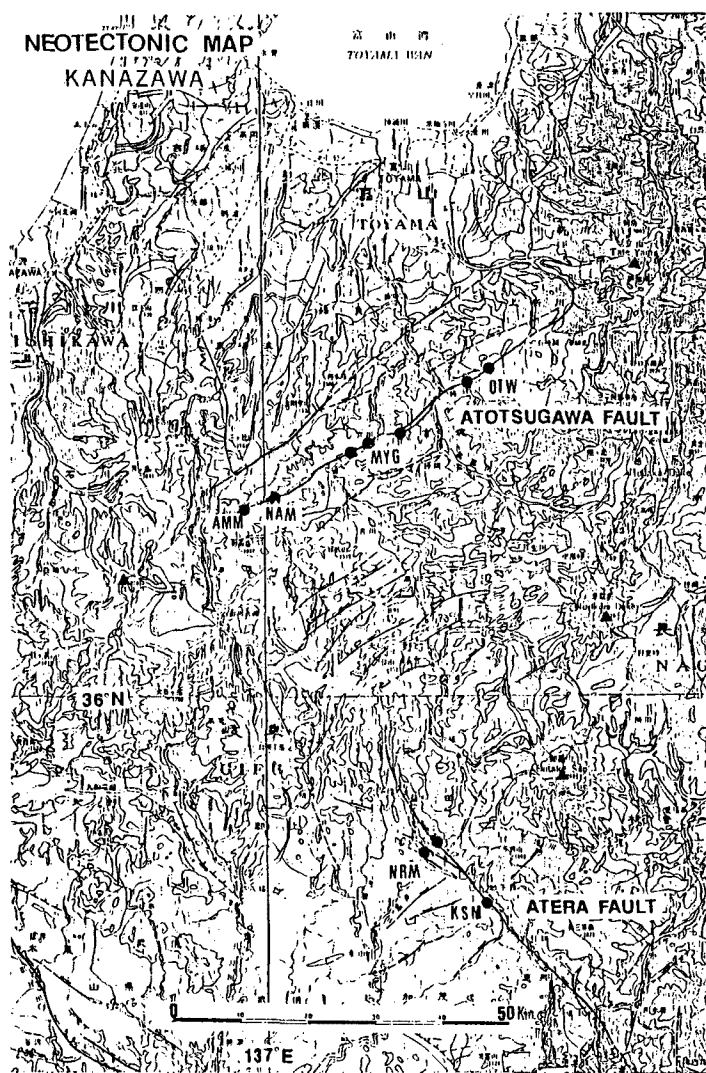


Fig. 1. The distribution of observation sites at the Atotsugawa fault and the Atera fault plotted on a topographic map.

で全磁力と VLF-MT 法による探査を実施した。これらの 3 箇所では、地電位の連続観測を行い、NRM 1 地点ではプロトン磁力計による全磁力の連続観測も実施した。

3. 観測の方法

これまで、跡津川断層やその近傍での観測について幾つかの論文^{6)~11)}で報告してきた。跡津川断層での観測は断層線に沿って、西端付近の天生高層湿原から東方 45 km 付近の大多和に至る間の数箇所で行っている。観測点は、山間地であったがノイズは比較的少なく電磁気観測に関して適した場所であり、地磁気全磁力、地電位変化の卓越方向 PD (Principal Direction; 前報では MD で表現)、と VLF-MT による見掛け比抵抗が調査されている。

今回、阿寺断層中北部で行った観測、探査およびデータ処理等手法は跡津川断層と同様にした。地電位連続観測による地電位の卓越方向 PD を求める為に、一つの観測点での連続観測期間は、観測点により異なるが 1~10 箇月間とした。観測地域は地形的に平坦地が多く、VLF-MT 探査測線は比較的長くとる事が出来た。地電位の観測点も、測線が 50 m 以上の距離を採ることが出来た。

3.1 プロトン磁力計による全磁力探査

プロトン磁力計 (バリンジャー GM 122 型; 精度 1 nT) による全磁力探査において、殆どの場合にセンサー高度を 1.6 m として行った。測定間隔は 5~10 m とし、各測点では 3 回以上の測定を行ないその平均値をデータとして用いた。磁気異常地域では、測定間隔を短くしたり、センサー高を 0~2 m まで変更したりして精査した。また、局所的な大きな磁気勾配の地域は観測から避ける様にした。地磁気短周期変化の補正は、京大防災研西天生観測点 (NAM) の記録で行った。

3.2 VLF-MT 探査

MT 法を行う場合、磁気誘導による誘導電場の探査深度は、地磁気擾乱又は電磁波の周波数、および地下の電気伝導度に依存する。定性的には探査深度は長波長のもの程深くなる。VLF 帯 (電磁波では 3 kHz~30 kHz) では、自然現象によるものと人工的なものとがある、今回は、人工源による電磁波 (17.4 kHz; 愛知県依佐見局発信) を利用した MT 探査を行った。これは周波数、強度が安定で到来方向が一定という利点はあるが、探査深度は比抵抗 700 ohm・m の地層で 100 m 程度^{12), 13)}と比較的浅い。

探査装置として、テラテクニカ製の VL-101 型機器を利用し、スタッキング 32 回を使用した。大体の測定に於て、測定値 (磁場、電場、位相、比抵抗) の再現性を確かめている。測線はできる限り直線的に追ったが、長い測線では地形や人工ノイズを避けるため曲折することもあった。NRM 2 地点では、耕作の済んだ田畑を利用して比抵抗のコンター図を描いている。

3.3 地電位観測

地電位の観測点では、電極として太さが 20 mm、長さが 30~50 cm の鉛棒を、地表より 1.0 m の深度に埋設した。電極周囲の接地抵抗を下げる目的で接地抵抗低減剤で固定した。観測は、各地点で N-S、E-W の 2 成分で行い電極間隔は 50 m~100 m を取り、導線は全てシールド線で敷設した。記録は、2 ペンレコーダで収録した。

上述の観測点で、地電位は N-S、E-W の二測線を取り、記録紙の速さは長短の周期変化が採れるように 2 cm/h~10 cm/h で観測した。感度は、2 mV/cm~10 mV/cm の間で設定しており、記録の感度には記録器外では直流電圧補償以外は増幅、濾波器は付加していない。

今回の目的の一つである、地電位観測から求める PD は、地磁気擾乱時又は迅雷発生 (電磁波) 時に、

地表付近の水平磁場変動により誘導される電場ベクトル変化の主方向である。従来の跡津川断層の研究から、この電場ベクトルは、入力磁場方向により場所に固有の一定方向を指すことが知られる。

4. 観測の結果

跡津川断層と阿寺断層の観測結果を纏めるに当り、ここでは各断層について夫々の観測結果について報告をしたい。

4.1 跡津川断層の全磁力、PDと見掛比抵抗

跡津川断層の西端付近に位置する天生高層湿原 (AMM) において、約 1 km の測線の全磁力探査を行った、その結果を Fig. 2 に示す。Fig. 2 (I) より湿原で -100 nT 近くの磁気異常が認められ、また北方 500 m の所で $+50$ nT の異常がみられた。なお、この磁気異常が認められた地点に於いて再精測した結果を Fig. 2 (II) に示す。測定条件を変えて行なった結果においても先の磁気異常に符号した。同断層の中央部には、ニコイ高層湿原; ($H=960.5$ m) があるが、その下流域の菅沼地域 (SG) で磁気探査を行った。その結果、 50 nT 程度の磁気異常が認められた。これらの磁気異常は、Ohshiman¹⁴⁾ や村上¹⁵⁾ 等の研

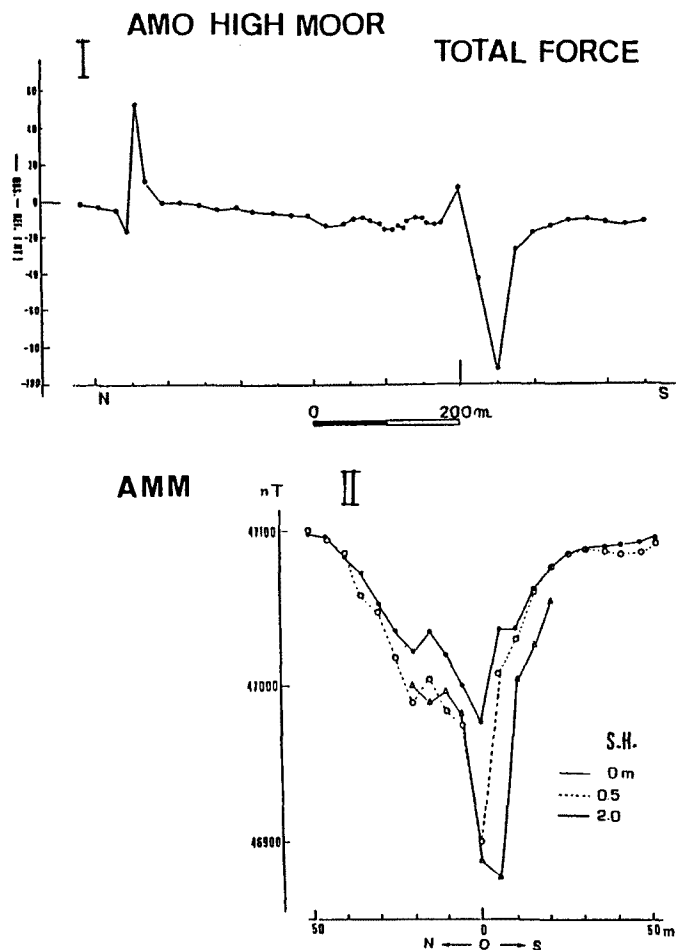


Fig. 2. I) Showing the magnetic anomaly at Amo high moor.
II) Showing the results scrutinized by changing the level from the ground.

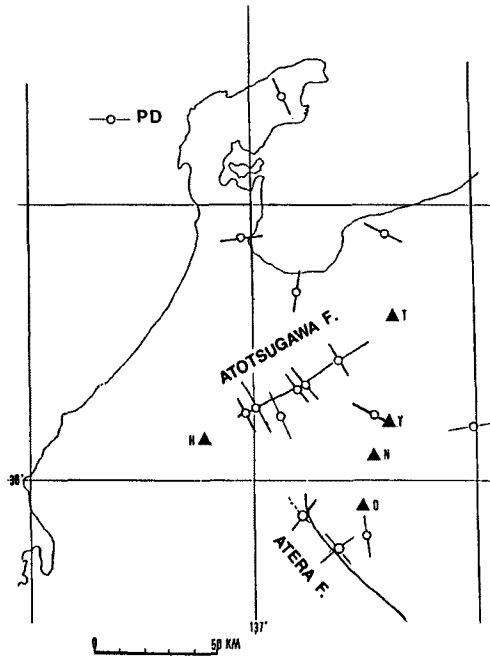


Fig. 3. Principal direction of earth current variation at the Atotsugawa fault, the Atera fault, and the other region.

究と同様に、跡津川断層（破碎帯）に関連した異常と考えられる。

天生高層湿原（AMM）から約45 km東方の大多和（OTW）に至る間に、5箇所を得られた地電位変化の卓越方向PDをFig. 3に示した。比較の為に両断層以外の地域で得られた方向も示している。跡津川断層上のPDは、何れも断層走向に対して直交する傾向にあり、水を含む破碎帯或いは粘土層状のような低比抵抗^{8)~11)}の存在を示唆すると考えられる¹⁰⁾。

Fig. 4は1982年9月6～7日にかけての磁気嵐時、地磁気観測所柿岡（KAK）における地磁気水平成分の変化に対応するNAM, MYG両観測点でのPDを示す。図で示したNAM, MYGのPDの大きさ（E/H）については、利用した地磁気変動が長周期であり、表皮効果から推測される探査深度はかなり深いので、NAMの結果は深層にある高比抵抗値の岩体の存在を、MYGにおいては深層の低比抵抗値を持つ地質の存在を示唆すると考えられる。

西天生（NAM）から東方に向かった数地点で、夫々断層に直交する測線（100 m～150 m）でVLF-MT法による見掛比抵抗探査を行った。Fig. 5に示す様に、各測線で得られた比抵抗値は、数 ohm・m

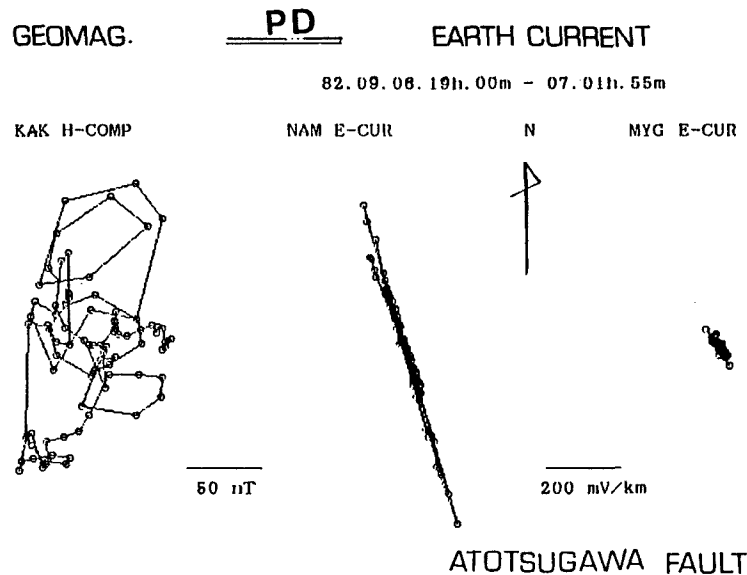


Fig. 4. Vector diagrams of horizontal magnetic field at Kakioka and earth currents at Nishiamo and Miyagawa at the time of magnetic storm on September 9, 1982.

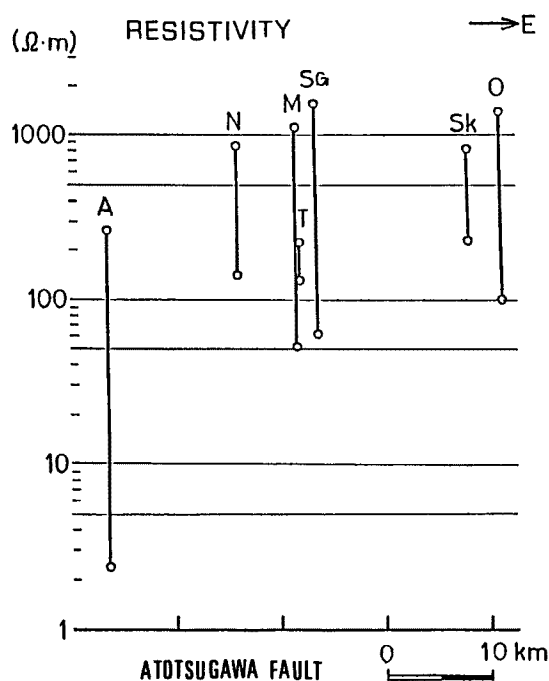


Fig. 5. Profiles of VLF apparent resistivity along the line to the Atotsugawa fault, A: Amogenda N: Nokubi M: Maruyama T: Tanekura SG: Suganuma SK: Sako and O: Ohtawa, at a frequency of 17.4kHz.

～数百 $\text{ohm} \cdot \text{m}$ と低く断層破碎帯を示唆する。また、PDの結果とも調和的である。

4.2 阿寺断層の全磁力、PDと見掛け抵抗

阿寺断層の観測点、乗政地域 (NRM1, NRM2) を拡大し断層線を加筆したものを Fig. 6 に示した。

NRM1 において、300 m の南北測線で全磁力探査と VLF-MT 探査を行った。Fig. 7 に全磁力変化 (上図) と位相 $P \cdot$ 見掛け抵抗 R (下図) を示す。50 nT の負の磁気異常が見られる F 地域は、下図の VLF-MT で得た低比抵抗 (20 $\text{ohm} \cdot \text{m}$) の位置と対応しており、F 地域は断層帯にあると考えられる。また、NRM1 地点の周辺で、長野県西部地震 (1984) の際に生じた地割と家屋への被害について、現地調査と見聞を行った結果、被害地分布は、この付近を走る断層線と符号し、全磁力と VLF-MT による結果とも良い対応を示した。また、地電位観測で、近雷から求めた PD は、この付近に存在すると思われる断層に直交する方向を示した。

乗政三ツ石観測点 (NRM2) は、NRM1 地点の北東 1.5 km で比高は約 100 m の位置にあり、

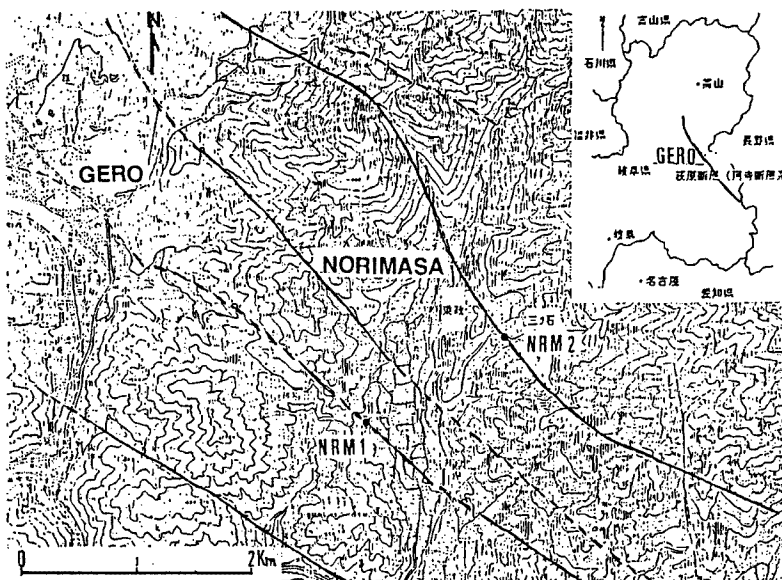


Fig. 6. Distribution of two observation sites at the north-west Atera fault in Norimasa Gero city.

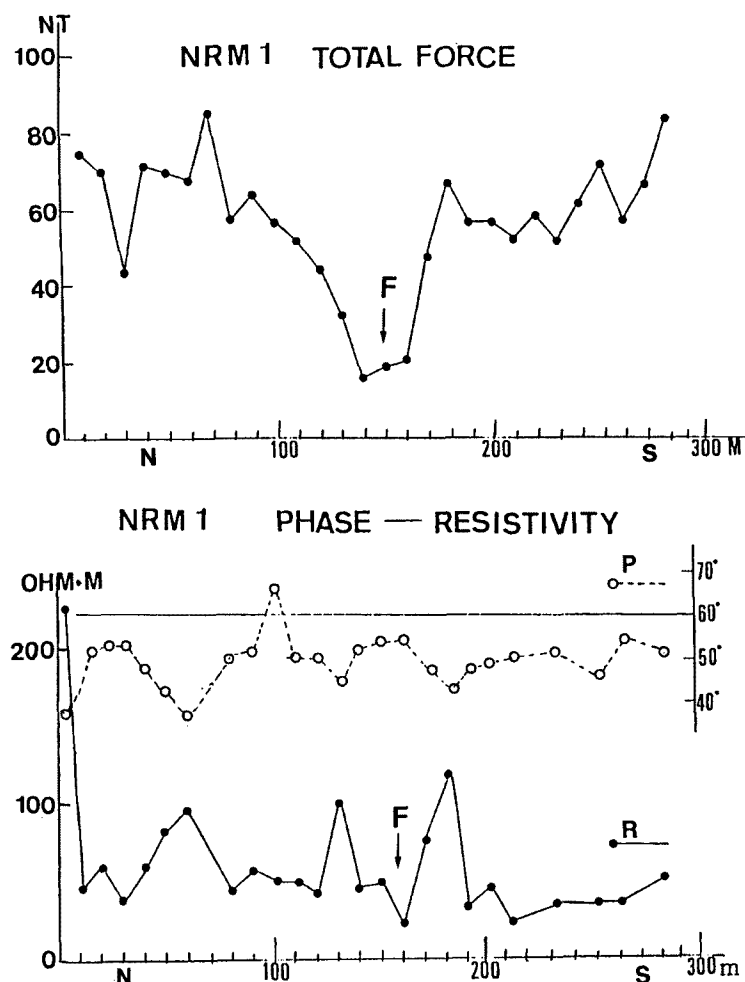


Fig. 7. Profile of magnetic total force (above) and VLF apparent resistivity and phase (below) at a frequency of 17.4kHz at the NRM1. ○--- : phase. ●— : apparent resistivity.

Fig. 8 に示す萩原断層 (F), 阿寺断層系が通っている。地形的には、緩慢な傾斜地で自然湧水など水の豊富な所である。全磁力探査は 1986 年と今回の 2 回実施した。

Fig. 8 の A-A' ~ E-E' までの 5 測線で得られた結果を Fig. 9 に示し、また、50 nT 以上の磁気異常が探査された地点を Fig. 9¹⁷⁾ に▲印で示した。磁気異常地点を結ぶと、断層 (F. 実線) と符号した。また、他の異常点を結ぶ線もこれに平行する傾向が見られ、この事はこの付近の破碎帯の幅を示唆しているものと思われる。この辺りには、100 ~ 200 m 幅の破碎帯の存在が知られており³⁾、上の結果と矛盾しない。この地区で地質調査所によりトレンチ発掘調査 (1990) も行なわれており、今後その結果も考慮して議論したい。

Fig. 10 は、跡津川、阿寺両断層における近雷発生時の記録例を示す。雷放電 (電磁波) による PD は、記録紙の速さ 2 cm/h ~ 10 cm/h 程度の記録では、スパイク状の変化として認められる。地電位変化の大きさ、向き (+, -) は雷の観測点に対する位置と発生時間により異なる。両断層で得られた記録を N-S, E-W 座標軸にプロットしたものを Fig. 11 に、また、記録紙上のスパイクを 1 cm/sec の早送りで記

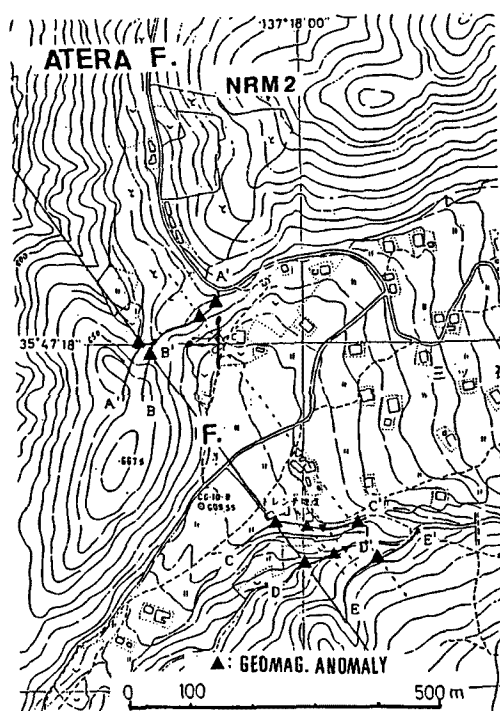


Fig. 8. Distribution of magnetic survey line A-A', B-B', C-C', D-D', the NRM2. ▲: anomaly point.

40 ~ 260 $\text{ohm} \cdot \text{m}$ と相対的に低い。特に、40 $\text{ohm} \cdot \text{m}$ の領域は、断層破碎帯^{3), 12)} F (破線) と考えられ、PD で示された断層走向と符合する。

地電位の加子母観測点 (KSM) は、阿寺断層の中央部加子母村桑原に設置された。この地域は、乗政地区に比べてノイズが多い傾向にあったが、記録器の管理を頼んだ方の好意もあり、雷に関して興味ある記録が得られた。つまり、一連の近雷発生時に得られた PD は、断層に直交する方向と断層に平行する方向の2方向を示した。Fig. 11 左下図に示すのは、こうした二方向の PD 図の一例である。この結果は、観測点近傍に、阿寺断層に共役な破碎帯が何本か存在している³⁾ ことと、関連があると考えている。PD の研究が断層破碎帯の存在の調査に、応用できる可能性が示唆されたと考える。今後、この観測点の周辺で、更に観測を実施し調査を行いながら検討を進める計画である。

KSM 地点で、阿寺主断層に直交する方向の2 km の測線において、見掛比抵抗を求めた (Fig. 14)。図で、20 ~ 30 $\text{ohm} \cdot \text{m}$ の低比抵抗値を示し、主断層と思われる所 (F) が加子母川右岸付近にある。また、これより1.5 km 北東の位置には、120 $\text{ohm} \cdot \text{m}$ ~ 200 $\text{ohm} \cdot \text{m}$ 前後の低比抵抗値が見られる。この周囲には、推定断層¹⁸⁾ があり、低比抵抗値は断層帯 (破碎帯) を示唆していると考えられる。

5. ま と め

今回の調査と観測から以下の成果が得られた。

5.1 磁気探査

録したものを Fig. 12 に示す。

跡津川断層では、記録例に示した様に PD が1本の直線状になる傾向がある。阿寺断層の乗政観測点 (NRM1, NRM2) でも同様な傾向が認められた。しかし阿寺断層の加子母観測点 (KSM) では、直交する2方向の PD が、近雷時および地電位擾乱時に数回得られた。ペンレコーダーの記録 (赤, 黒) は表現出来ないが、N-S, E-W, 2成分の対応する同時記録で、時間軸を横にみてスパイクの向きが、++, --, +-, -+ の4通の出方をもつ、スパイク状の電位変化が記録された。

NRM2 地点での地電位観測では、E-W 方向に変化が生じ、N-S 方向には生じない傾向があった。これは電極の N, S が破碎帯に埋設された為と考えられる。観測期間中に1回記録された雷放電および短周期の地電位擾乱から得られた PD 方向は、断層と直交する E-W 方向に近い傾向が認められた。

NRM2 地点の周囲で行った、VLF-MT 調査の結果を Fig. 13 に比抵抗値のコンター図 (20 $\text{ohm} \cdot \text{m}$ 間隔) として示した。図の左下空白域は勾配が急峻な山となり欠測としている。見掛比抵抗値は、

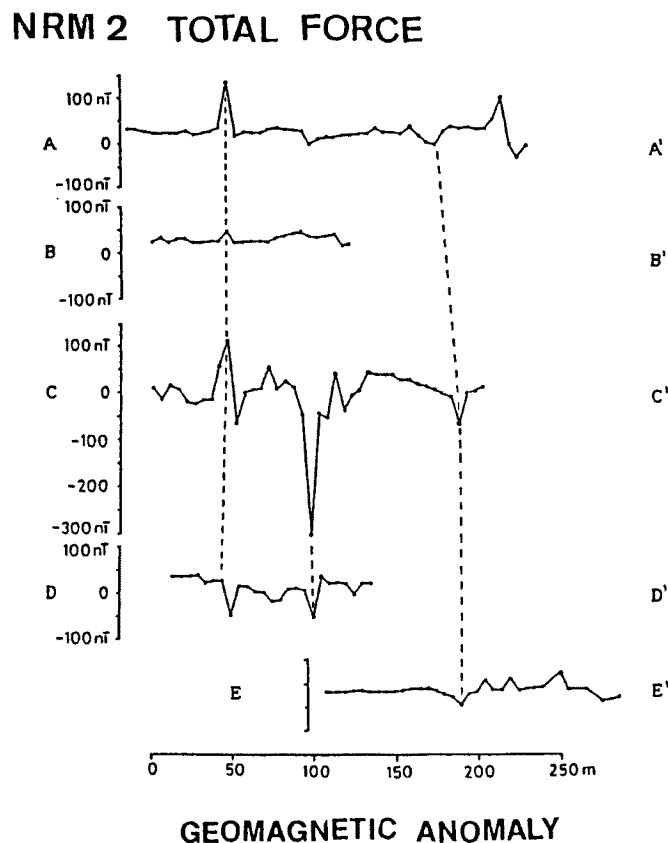


Fig. 9. Profile of magnetic total force data along the line to N60°E-S60°W A-A', B-B', C-C', D-D', respectively. Dot line is magnetic anomaly point.

跡津川断層西端付近では、推定断層に符合する地域で顕著な磁気異常が認められた。

阿寺断層乗政では、推定断層上で 100 nT 近い磁気異常を認めた。特に、三ツ石地区では磁気異常の線状配列が 150 m の幅内に 3 本認められた。村上他¹⁵⁾による同地域の磁気異常（～ 50 nT）に比べて大きな異常値を示したがこの違いは、本研究の測定間隔が密であること、および観測地点の違いによると考えている。

5.2 地電位変化の卓越方向PD

跡津川断層五箇所で得られた地電位変化の卓越方向 PD は断層走向にほぼ直交した。各観測点の PD のばらつきは小さかった。また、断層近傍に電気的な低比抵抗値帯が存在することが推測できた。

阿寺断層の中北部三箇所でも、断層走向とほぼ直交する PD が得られた。また、加子母観測点では、一連の雷放電時の記録から、主断層走向に直交する方向 PD 1 の他に、主断層にほぼ平行する PD 2 が得られた。加子母観測点の近傍では主断層に共役な断層や破碎帯の存在が推測されており、PD 2 はこうした共役断層や破碎帯に直交する方向と言える。また、各観測点の PD のまとまり度は、跡津川断層に比較してばらつきが大きかった。

以上の様に、両断層では PD の出現、分散度に違いが認められる。こうした PD の特徴は夫々の断層における地質構造の違いを示唆しているものと考えている。

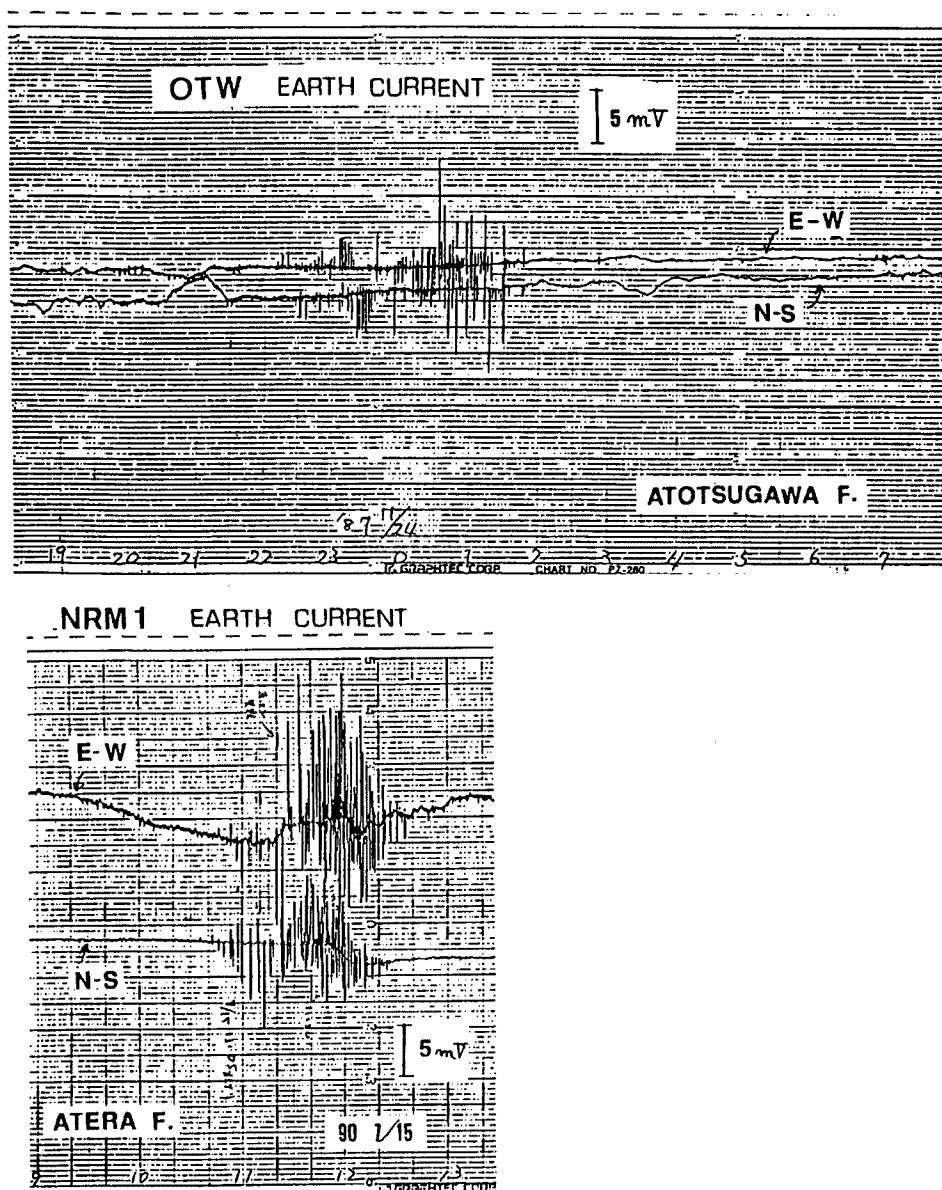


Fig. 10. Sample record showing the earth current variation at the time of thunderstorm at the Atotsugawa fault and the Atera fault.

5.3 VLF-MT探査

跡津川断層の近傍6箇所ではVLF-MT探査により求めた見掛け抵抗値は、断層付近で数 $\text{ohm} \cdot \text{m}$ から数百 $\text{ohm} \cdot \text{m}$ 前後の低い値を示しており、低抵抗値を持つ破碎帯層の存在が推測された。

阿寺断層系北部の3地区でも、十数 $\text{ohm} \cdot \text{m}$ から数百 $\text{ohm} \cdot \text{m}$ と低い値が探査された。しかしMT探査で得られた阿寺断層での観測地点の低抵抗帯の幅は、跡津川断層の観測点に比べて広く、破碎地域は阿寺断層の方が広域におよぶと推測された。

以上、跡津川・阿寺両断層の探査、観測結果の大略を述べてきたが、今後、上記の探査、観測を拡張

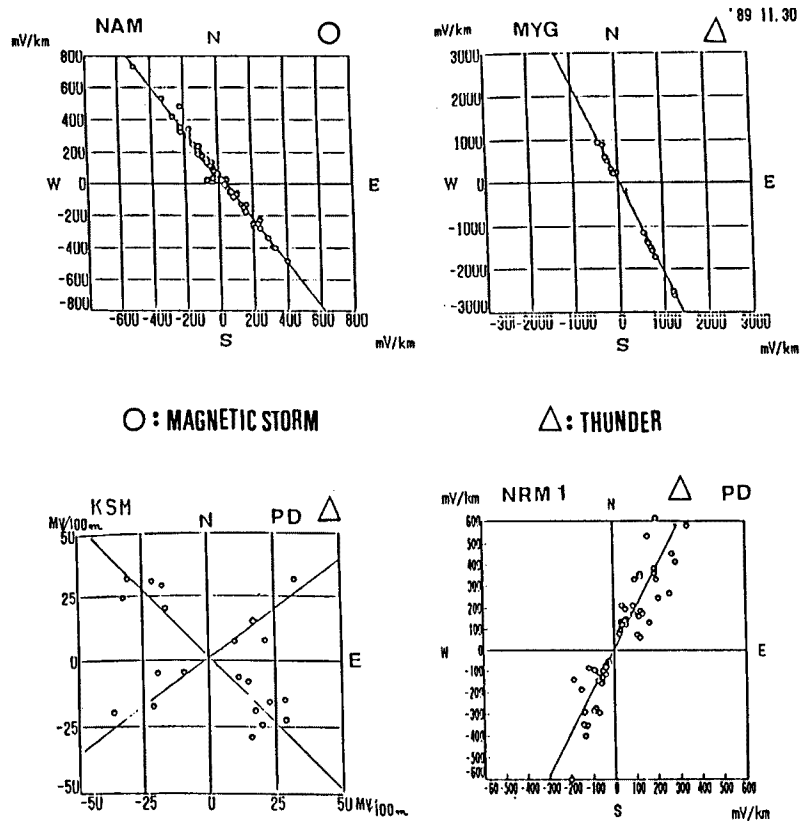


Fig. 11. Principal direction of earth current variation at the time of thunderstorm and magnetic storm at the Atotsugawa fault and the Atera fault.
○ : magnetic storm. △ : thunderstorm.

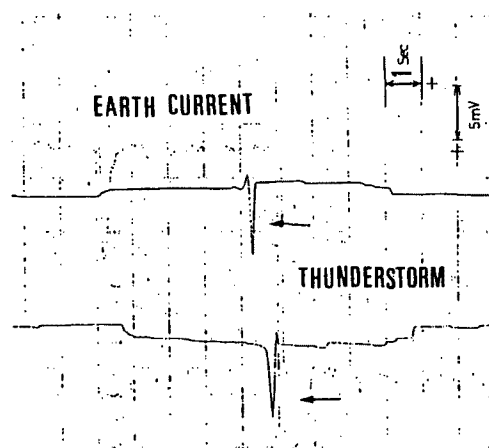


Fig. 12. Magnified sample record showing the earth current variation at the time of thunderstorm at the Atotsugawa fault and Atera fault.

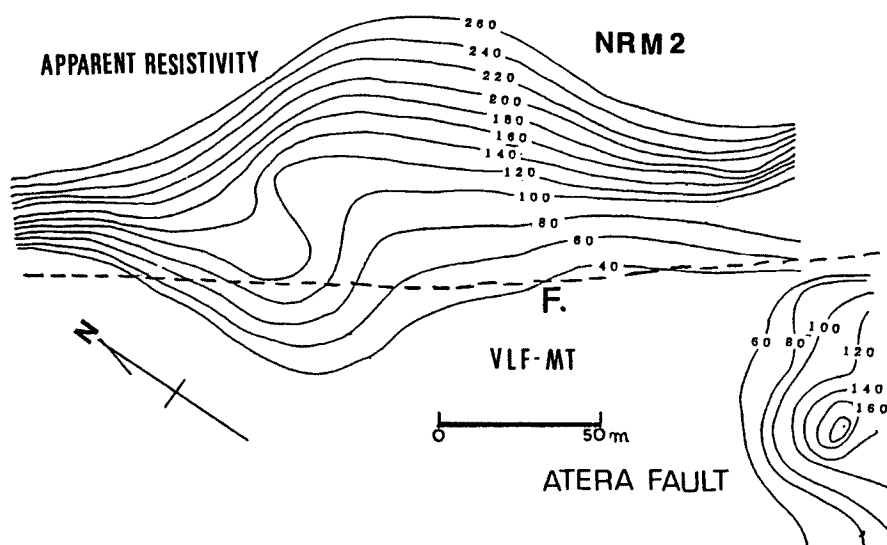


Fig. 13. Contour map of the VLF apparent resistivity at the frequency of 17.4kHz by the NRM2. Contour interval is 20ohm. m.

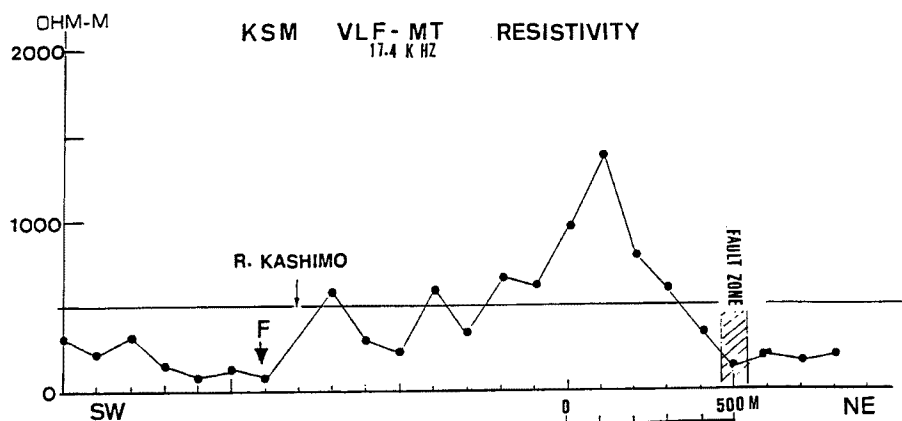


Fig. 14. Profiles of VLF apparent resistivity at the frequency of 17.4kHz at the central Atera fault in Kashimo village.

(深層も含め)して両断層の性質を更に進め、定量化したい。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、京都大学の住友則彦教授、富山大学の広岡公夫教授、川崎一朗助教授から貴重な助言を頂いた。京都大学防災研究所地震予知研究センター上宝観測所の和田博夫技官からは何かと協力を頂いた。柿岡地磁気観測所からは、地磁気データを使用させて頂いた。

阿寺断層の地電位観測に際し、乗政の上野孝三氏、田上加九郎氏および加子母の内木善市氏、谷口幸氏には、観測点をお借りし観測機器の面倒も見て頂いた。観測・調査に際し、富山大学学生であった小田博之氏（現在パスコ）および加藤隆司氏（現在 MASC）に手伝って頂いた。加藤氏には、解

析においても多大な助力を頂いた。

以上の方々に深く感謝します。

調査の一部に、京都大学防災研究所地震予知研究センター特別事業費“西南日本内帯における主要活断層調査”の費用を使用させて頂いた。

参 考 文 献

- 1) 松田時彦：跡津川断層の横ずれ変位，東大地震研究所彙報，第44号，1966，pp.1197-1212.
- 2) 東郷正美・岡田篤正：断層変位地形からみた跡津川断層，月刊地球，5，1983，pp.359-366.
- 3) 山田直利：阿寺断層を追って その(2)，地質ニュース，第284号，地質調査所，1978，pp.30-36.
- 4) 青木治三：阿寺断層周辺地域の地震活動，月刊地球，3，1981，pp.257-262.
- 5) 三雲健・和田博夫：跡津川断層と地震活動，月刊地球，5，1983，pp.325-334.
- 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講集，1972，p.150.
- 7) 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巻，5号，1980，pp.258-265.
- 8) 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，6，1983，pp.352-358.
- 9) 中山武・土居光・加藤正明・和田安男・三雲健：跡津川断層上（天生・宮川）における電磁気的特性（序報），京都大学防災研究所年報，第30号，B-1，1987，pp.47-55.
- 10) 中山武・土居光・和田安男・加藤正明・和田博夫・三雲健・酒井英男・加藤隆司：宝立における電磁気観測，京都大学防災研究所年報，第32号，B-1，1989，pp.93-103.
- 11) 中山武・土居光・和田安男・加藤正明・酒井英男・小宮雅幸：跡津川断層における電磁気的調査，日本測地学会講演要旨集，第70回，1988，pp.131-132.
- 12) 物理探査学会：図解物理探査，1989，72-73.
- 13) 花岡尚之：マグネトテルリック法とその周辺，物理探査，Vol.35, No. 5，1982，pp.14-28.
- 14) Ohshiman, N., Y. Honkura, K. Kuge and H. Sakai: Electric and magnetic anomalies at the Atotugawa fault and their implications for fault activity. J. Geomag. Geoelectr., 39, 1987, pp.143-158.
- 15) 村上英記・山田功夫・小林潮：活断層に伴う全磁力異常—跡津川断層・阿寺断層における全磁力調査—，地震，第2輯，第37巻，1984，pp.397-405.
- 16) 力武常次：地球電磁気学，岩波書店，1972，pp.350-351.
- 17) 小田博之：活断層およびその周辺における電磁気現象の観測調査：富山大学理学部卒業論文，1986，pp.9-12.
- 18) 地質調査所：地殻構造図 金沢，1985.