

宝立における電磁気観測

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

MAGNETIC AND ELECTRIC OBSERVATIONS IN AND AROUND HORYU

By Takeshi NAKAYAMA, Hikaru DOI, Yasuo WADA, Masaaki KATO,
Hiroo WADA, Takeshi MIKUMO, Hideo SAKAI and Ryuji KATO

Synopsis

Since 1987, the total geomagnetic force and the earth's electric potential have been observed at the Horyu station in the pointed area of the Noto Peninsula, which projects into the Japan Sea. The magnetic and electric data of the Horyu station were compared with those of the other stations in the Hokuriku districts, and with those of the Kakioka station in the Kanto districts. The following results were obtained.

1. The simultaneous variation of the amplitude of total magnetic field at each station with a period between five and a few tens of minutes was recorded and compared. There exists a tendency for the amplitude of variation to increase as the observation site becomes further from the Japan Sea. Sasai (1969) analyzed the vertical component of geomagnetic field observed at the several stations around the Kii Peninsula, which also projects into the Pacific Ocean. He suggested that the vertical component decreases according to the distance from the Pacific Ocean. The inverse trend of geomagnetic field in the regions close to the Japan Sea and the Pacific Ocean was interpreted as the effect of induced magnetic field by sea water, introducing the schematic model of the "Island Effect".
2. The maximum direction (MD) of the induced earth currents around the Horyu station was obtained, using the data from the disturbance of geomagnetic field and/or lightning around the station. A MD of N15° W was determined. In the case of active faulting as the Atotsugawa fault (Nakayama et al., 1987) and the Kurobishiyama fault, the MD vector was observed perpendicular to the azimuth of each fault. This was interpreted as the effect of the fracture zone of the fault having a low resistivity. The schematic model was introduced to explain the MD for induced electric potential in the low resistivity area.

1. はじめに

電磁気的手法により断層の性質やその周辺の地下構造を明らかにすることは、地震発生やその成因を知る上でも重要なことである。

このような見地になって、我々はこれまで跡津川断層やその付近における地磁気全磁力や地電位変化等の

電磁気的性質の調査をすすめてきた。これまでの結果については、いくつかの論文^{1),2),8),9)}により報告してきた。ここでそれらの大要について述べ、今回の主題とその後の関連事項について報告をする。

プロトン磁力計による地磁気全磁力連続観測について、西天生 (NAM) では、地磁気観測所柿岡 (KAK) を基準とした全磁力における単純地点差は1985年以来日平均値でみて ± 1 nT程度におさまリ、安定した記録を得ている。また、地磁気擾乱時における短周期変動時の振幅比は、柿岡は西天生に対して平均して20%前後常に大きいという結果を得てきた。

地磁気擾乱時、または、近地雷放電時における地電流擾乱から求めた地電位変化の主方向(MD: Maximum Direction)は、跡津川断層西端付近の天生峠匠屋敷付近から断層走向N60°E¹⁾に沿う断層上と思われる天生、宮川、菅沼、大多和に至る約40 kmの間ではいずれの観測点でも断層走向にほぼ直交^{8),9)}する方向を示し、また、VLF (17.4 kHz)による見かけ比抵抗値も天生、宮川、大多和等では断層線付近で数10 Ω m程度の低い値が観測されている⁸⁾。これらのことから、断層走向に断層活動によって生じたと考えられる低比抵抗層の存在が示唆されるものと考えている。そこで今回は調査地域を拡げて、日本海中部に突出した能登半島の先端付近に設置された宝立(HRJ)観測点³⁾を主に、能登半島日本海沿岸部に門前、富山湾沿岸、その周辺部にある朝日(AHJ)、氷見それに富山大学構内に臨時の観測点を設け、プロトン磁力計による全磁力、地電位差の観測に当った。

これまで能登半島に関しては、活断層の報告⁴⁾があり邑知低地帯周辺に関しては、地質、重力の報告⁵⁾がなされている。また、鳥取、山崎および山陰地方に関する全磁力変化の報告¹⁰⁾があり、地磁気関係では地磁気研究グループによる地磁気永年変化精密観測がなされている。日本海側では、男鹿、鳥取ならびに宝立(1987年1月より)の3ヶ所で観測が行われ、地震予知連絡会に報告されている。

本論文では以上の事柄を踏まえて、主にこれまで電磁気に関して観測された結果の紹介をし、全磁力における短周期変動の振幅比について、また、地電位変化の主方向(MD)についてそれぞれのモデル化により定性的な解釈を試みた。

2. 宝立および富山湾沿岸等における全磁力観測

2.1. 全磁力観測点と方法

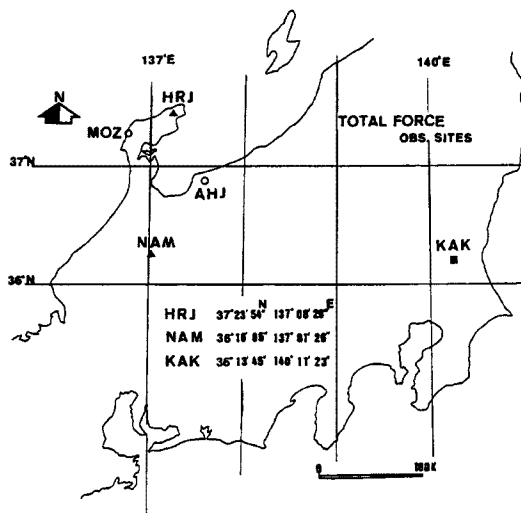


Fig. 1. Location of the stations for magnetic and electric observations. MOZ: Monzen, HRJ: Horyu, AHJ: Asahi, NAM: Nishiamo, KAK: Kakioka.

今回の全磁力連続同時観測点は5ヶ所(地磁気観測所柿岡; KAK: ■を含む)で、その位置関係をFig. 1.に示す。観測は、能登半島の宝立を主とした地磁気全磁力短周期変動と他観測点との比較を目的とするもので、観測の期間は休耕期である88年9月末日から約1ヶ月間(KAKを除く他の場所の実測は記録計の故障等により20日間)実施した。個々の観測点について、西天生²⁾と宝立³⁾については定点観測として稼働中であるが、今回の目的により他の臨時観測点も含めて要点のみあげてみる。宝立(HRJ, ▲), 海岸までいずれの方向にも10 km, H=240 m, 西天生(NAM, ▲), 一番近い海岸まで60 km, H=650 mである。臨時観測として、門前町大生(MÖZ, ○: 37°36.0' N, 136°43.8' E), 海岸まで西方向に1.2 km, H=110 mで、ここはHRJより西南に38 km離れた、海に見える平坦な丘で雑木林に挟まれた広い水田の中央を借用して計器類を設定した。他の一点は富山湾沿岸の観測点、当観測所の地震計を設置してある朝日観測点(AHJ,

○：海まで北東方向に 4.5 km, $H=230$ m) で、ここは黒菱山断層^{9),12)} 上にあつて、ゆるやかな谷の斜面にセンサーを設置した。なお小さな平坦部を利用して地電位観測用の測線 NS, EW の 2 成分がはられ、2 ペンレコードにより連続記録がとられている。各観測点は既設を含めて人工物等による磁氣的ノイズの静かな場所が選ばれている。

太平洋側での観測は地磁気観測所柿岡 (KAK, 海岸まで 33 km, $H=28.2$ m) の資料を引用した。

観測機は, HRJ, NAM と同機種のプロトン磁力計 (国際電子工業 KK, 定点観測用 PMS-101S, 分解能 0.1 nT)²⁾ でサンプリング間隔は 30 秒に設定してある。測定値は各観測点よりテレメータにより上宝観測所 (モニターとしての打点式アナログ記録と, パソコンによる 5 分値収録が行われている)²⁾ を経由して宇治に転送されているがいずれも安定している²⁾。その記録例として今回の期間 1 ケ月間 (88 年 10 月 1 日～10 月 31 日, 毎時の平均値) を Fig. 2. に示す。

臨時観測点用プロトン磁力計は MÖZ, AHJ と同機種のプロトン磁力計 (バリンジャー 101 型) で 5 分のサンプリング値をプリンターにより記録するものである。なお, 分解能は 1 nT で定点観測に比べ精度が劣っている。また, 電源は 12 V バッテリー仕様である。

2.2. 宝立観測点と見かけ比抵抗 (宝立と門前)

この観測点³⁾ は Fig. 3. に示すように, 地殻変動観測施設, 地震計 (S: ■) が設置され, 地電位観測用測線 (●) NS (80 m), EW (60 m) の交点付近に全磁力測定用プロトンセンサー (P.S. ▲) が設置されている。図にみられるように平坦地が少なく, 地電位測線は山の斜面 (EW) を利用しているが電磁気ノイズは非常に小さく, 地電位信号は避雷のためアイソレーションアンプを通してフィルターなしの記録が採られている。しかし, ここの地形, 地質のためか連続 10 mm 以上の降雨になると特に EW 成分にドリフトが生ずる。

見かけ比抵抗について Fig. 3. では, 1～10 の数字 (S.P) は VLF (17.4 kHz) による測点の位置を示し, テーブル中の A.R. (Ω m) は見かけ比抵抗値, PHA° は電場と磁場との位相角を度で示したものである。見かけ比抵抗値は観測点付近では, ほぼ 20 Ω m 前後で, 地表より 40～50 m 付近では末固結砂岩^{6),13)} で構成されているものと思われる。

この観測点より西南約 38 km 離れた地磁気観測点の門前町大生付近では, 200 m 四方 15 点の見かけ比抵抗値も $11\sim18$ Ω m, 位相角 $47^\circ\sim57^\circ$ で, いずれの値も宝立と同じような傾向にあると考えられる。

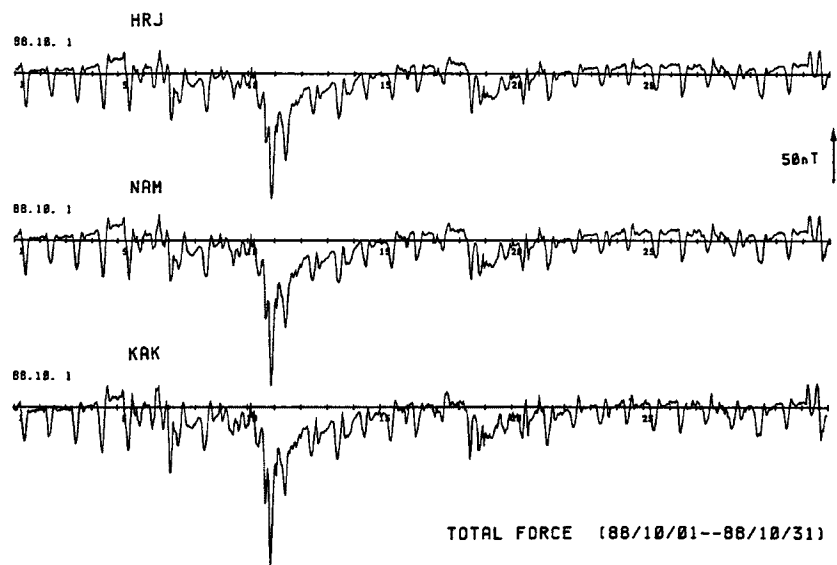


Fig. 2. Variations of the hourly values of geomagnetic total force at HRJ, NAM, and KAK.

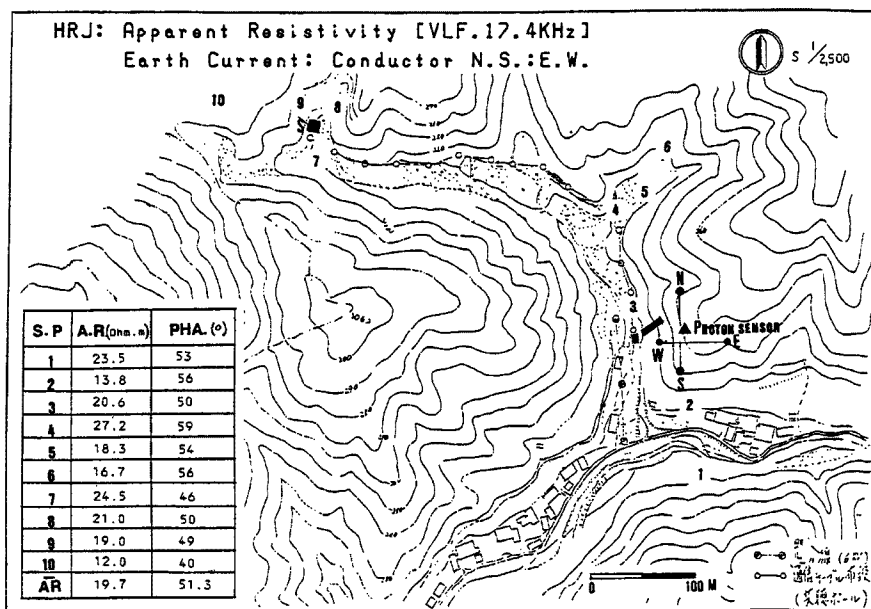


Fig. 3. Solid circles, N, S, E and W on the right of figure indicate the electrodes for measuring earth potentials. A solid triangle indicates the sensor of Proton magnetometer. The transmitting room and the observation vault for crustal movements are located between the letters, 3 and W. The apparent resistivity values measured at ten points along the gorge are shown on the left of figure.

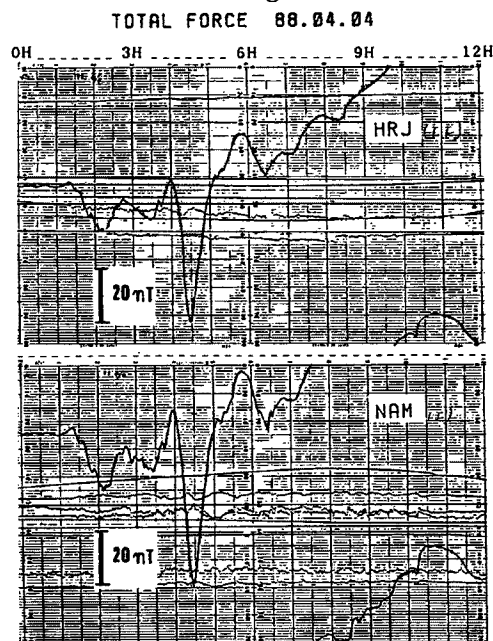


Fig. 4. Short period variations of the intensity of geomagnetic field recorded at HRJ and NAM, on April 4, 1988. Data are sampled at 30-second intervals.

2.3. 地磁気全磁力の短周期変動

短周期の地磁気変動の様相があまり離れていない2観測点において著しく異なることがある。この現象は、海水の影響を含めて地殻やマントル上部に電気伝導度の不均一があるので誘導電流が局地的に異なるためと考えられる(CA)⁷⁾。このCA研究では通常地磁気3成分が測定されるが、我々は全磁力観測記録を用いて短周期変動の振幅の違いについて定性的ではあるが検討を試みた。

Fig. 4.は当観測所の宝立と西天生における打点式アナログ記録の例である。Fig. 4.からみられるように、約60分の周期変動に対して、西天生では宝立に対して約1.2倍の振幅比が見積られ内陸側の方が振幅が大きく見える。また、Fig. 5.に参考として、地磁気観測所による地磁気月報¹⁴⁾から、北海道女満別(MMB)、関東北方の柿岡(KAK)、九州の鹿屋(KNY)の水平H成分、垂直Z成分と全磁力T.F.の各1時間値の88年10月10日と11日の2日分をプロットしてみた。この図から様相の大きな変化がみられるのはZ成分で、振幅の変化は全磁力にも認められる。また、H成分では様相の変化は小さい。この期間に合わせMÖZ他4ヶ所のステーション(以後局とよぶ)の5分値データを比較したものがFig. 6.である。この図には横軸に時間、縦軸は振幅を示しているが、MÖZ(日本海に一番近い)から内陸へ

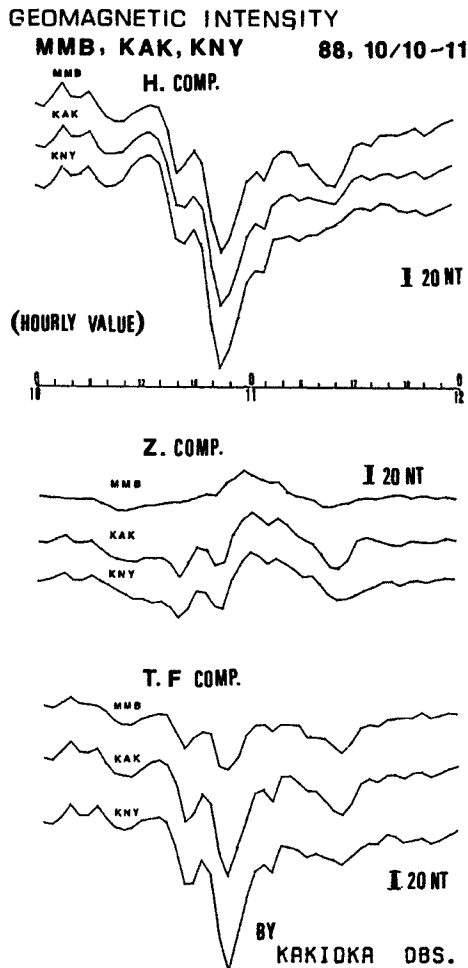


Fig. 5. Variations of the hourly values of geomagnetic intensity. Horizontal and vertical components, and total forces of geomagnetic field at the three stations are shown. MMB: Memanbetsu, KAK: Kakioka, KNY: Kanoya.

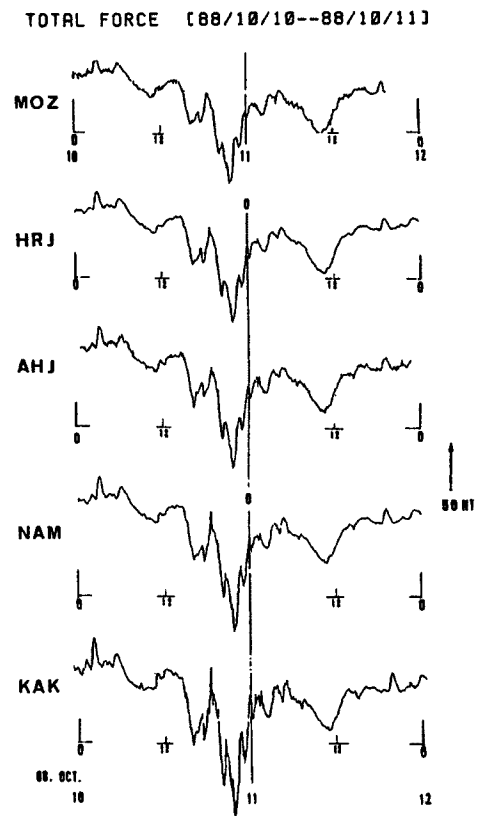


Fig. 6. Variations of the total magnetic forces during the geomagnetic disturbance from 1988. 10. 10 to 1988. 10. 11. Five stations (MOZ, HRJ, AHJ, NAM and KAK) are arranged from the Sea of Japan side to the Pacific Ocean side.

距離が離れるように図を配置したが、同じ短周期ではその振幅はMOZ, HRJ, AHJ(AHJとHRJでは様相が似ている),そしてNAMと順に大きくなっているのが認められる。また、太平洋側にあるKAKは日本海側のMOZに比較してかなり大きな差を認めることができる。また、11日の10時頃前後の地磁気日変化と思われる8時間程の50 nTの変化は5局とも特に変わった様相は示していない。なお、この図は同時観測期間中で一番擾乱の大きかった時期 (Fig. 2.参照) のもので、同周期に対する振幅の大小の比較がみられると思う。

半島効果の観測例として紀伊半島での観測⁷⁾をFig. 7.として引用する。太平洋側では海岸より内陸に入るに従って、 ΔZ は50 kmで半分余りも小さくなっているが ΔH には殆んど変化が認められない。これは紀伊半島のCA⁷⁾以外に太平洋の海水による磁気誘導の影響を受けているためと考えられる。

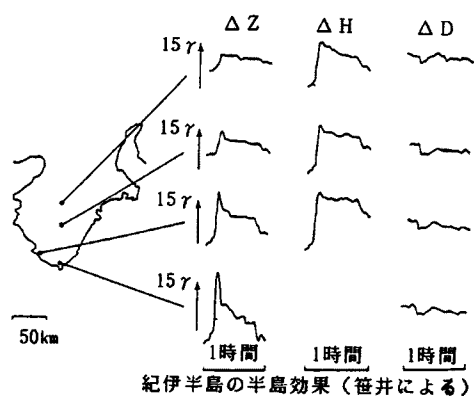


Fig. 7. Spatial variations of three components (ΔZ , ΔH and ΔD) of geomagnetic field observed at four stations in the Kii Peninsula which faces the Pacific Ocean (modified after Sasai, 1969). It is considered that these variations reflect the peninsula effect.

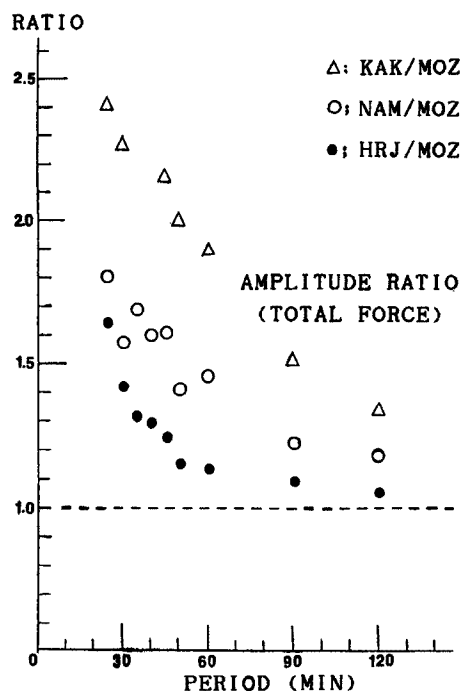


Fig. 8. Relation between the amplitude ratio of total forces of geomagnetic field and the period of geomagnetic variation.

Fig. 8.は、5観測点の全磁力観測値（データはすべて5分値に変換）を用いて周期20～120分の全磁力短周期変動のうち、同じ周期で最大振幅を有するものを選び、その振幅比をプロットしたものである。日本海に一番近い門前を基準とした。周期が長くなるにつれて振幅比は小さくなり1に近づくように思われる。このことはFig. 6.の10月11日の部分にも認められる。

2.4. 全磁力による離島効果モデル

全磁力短周期変動の場所による振幅の違いは海水の影響を受けている離島効果⁷⁾であると考え、日本列島（西南日本のみを考える）を1つの島に見立ててFig. 9.のような2次元モデルを作成した。Fig. 9.で、地磁気水平成分変化 ΔH はS→Nに日本列島上一様に变化するとし、 ΔH の時間的变化により海水に誘起される2次的誘導電流（●） i による誘導磁場も陸地に近い部分で強くなる⁷⁾。海の深さは一様と仮定する。海水は導体であるのに対して陸地は不導体であるから、 ΔH の時間的变化によって陸地である日本列島を挟んで日本海、太平洋に同じ向きの電流（この図の場合 i は裏から表の向き） i が誘導され、これによって誘起される Z は日本海側で上向き、太平洋側で下向きとなる。誘導磁場の水平成分 H は両海水とも同じと考えられるから、海水による2次誘導磁場 F の全磁力ベクトル方向成分 f は日本海側では小さく、太平洋側で大きくなる。

このモデルは、日本海、太平洋両サイドでこれまでに観測されている結果^{7),10)}等と調和的である。

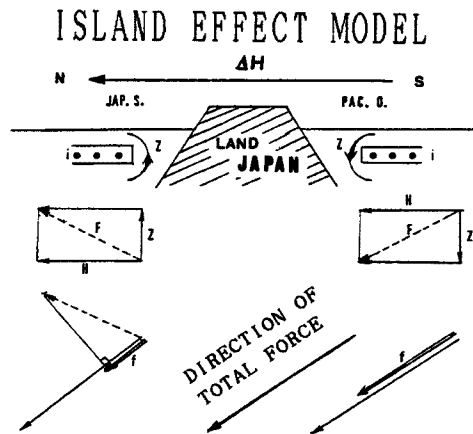


Fig. 9. Island effect model.

z : vertical component of the geomagnetic field induced by the electric current in the sea water.
 $\bullet$: electric current directed from the back to the surface.
 f : induced geomagnetic force in the direction of total geomagnetic force.

3. 宝立および富山湾沿岸等における MD

これまで跡津川断層を主に断層付近の電磁氣的調査を進めてきた。今回、宝立を始めとして富山湾沿岸地域である朝日(黒菱山断層)、氷見、富山大学構内、北アルプス焼岳において、定点観測または臨時観測を進めてきた。これらの観測点で得られた MD, 見かけ比抵抗等の概要について報告をし、MD のモデル化を試みた。

3.1. MD 観測の方法

地電位観測の方法は基本的には前報¹⁾に準ずるが、観測の環境、観測時間により次に述べる適当な方法を選んだ。今回はこれまでの炭素棒電極の他に、長さ 50 cm, 直径 2 cm 程度の銅管または鉛管(但し、管の両端は完全密封し、リード線との接合部分には異種金属による電位差を生じないような工夫と長期間雨水に耐え得る完全絶縁を施す)を用い、埋設は電極頭部が地表より 50 cm 程度(短期間観測)深く入れ、電極周囲にはすべて接地抵抗低減剤を用いた。いずれの電極の場合でも、埋設後多少の差はあるがドリフトを生じ、長くても 4~5 日程度で安定した状態になった。なお、安定するまでの時間は、電極埋設地点の地質、地形(平坦地なら問題は少ない)に深く関係しているようである。

記録について、いずれも 2 ペン式のアナログレコーダを用いた。(89年 3 月 14 日の磁気嵐のような時には、数 10 秒間に 1 回の打点式記録計では記録が不連続になるので読み取りが困難なことがある)。

電源には、場所により商用電源とバッテリー(12 V)との使い分けをした。バッテリー使用の場合、留意点として、ノイズの多い所、擾乱時間が長く続くような場合、仕様書以上に電力を消費する傾向があるので電圧のチェックは早目にした。なお、2 個以上並列にして使用する場合出力側に個々にダイオードを入れ、負荷側に過放電防止器をつけた。

3.2. MD と見かけ比抵抗値の観測結果

地電位変化の主方向(MD)を求めるのに、地磁気の短周期擾乱時に伴った誘導地電位の変化を求める方法と、観測点近くで発生する空電(近地発雷)時に誘起された瞬間的な地電位差を用いる方法のいずれかをとった。

Fig. 10.は、以上の 2 つの方法のいずれかにより求めた地電位変化で、宝立、朝日、氷見の各観測点ともある方向に分布する傾向が認められる。このことは、地下の比抵抗の様子を反影しているものと考えられる。ただし、地磁気変動の周期や、雷放電の周期方向性等確かめなければ議論は出来ないが、概して前者の場合、周期は 5 分以上のところをみているので skin depth は深さ数 10 km までの所で、後者は記録器の精度からみて 0.5~1.0 Hz とすると skin depth は比較的浅く数 km 付近をみているものと思われる。いずれにしても定量化するためには周期と方向の測定精度を上げる必要があると思われる。

Fig. 11.は地質調査所 1985, 活構造図金沢を引用して、その上にこれまで求めてきた平均的な MD を各観測点毎に示したものである。

宝立(HRJ)の MD は地磁気擾乱を用いて求めたものであり、観測点より北 3 km に新第三紀の頃できた^{12),13)}と言われる断層に直交するほぼ N15° W の方向を示している。なお、この観測点付近は VLF でみても地質に明瞭なコントラストが認められず、見かけ比抵抗も低い値を示していることから上述の断層の影響

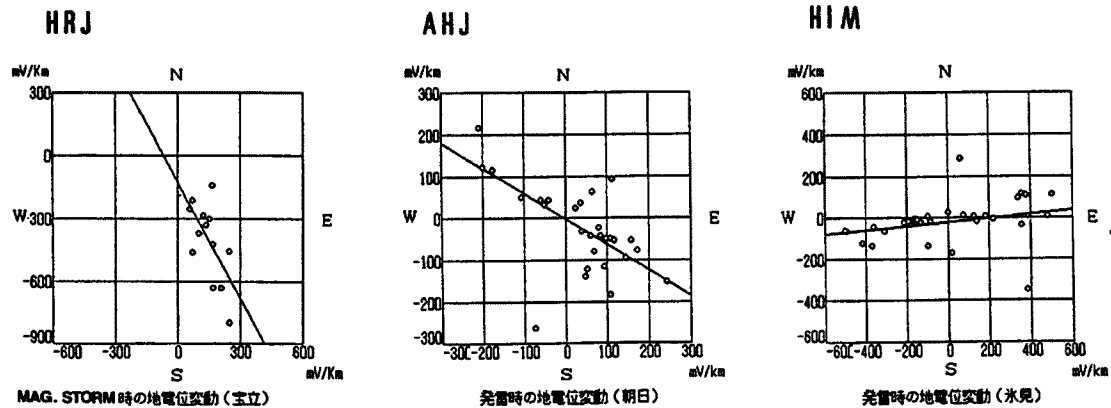


Fig. 10. The induced earth currents observed at the time of the disturbance of geomagnetic field (HRJ) or lightning (AHJ and HIM).

を示唆するものであるかもしれない。朝日観測点 (AHJ) は黒菱山断層付近にあって、MD は地磁気による地電位擾乱と近雷によるものから求めたもので、ほぼ、 $N60^{\circ}W$ の方向は断層走向にほぼ直交する方向である。

氷見 (HM) と富山大 (TY) については、近雷によるものから求めたものでこの MD はいずれも富山湾深海の方向を向いていて海水の影響を強く受けているものと思われる。

焼岳 (YK) については、観測点 (防災研穂高砂防観測所構内) が中尾温泉地区内にあって、記録に見られる変動が人工のものか自然のものか判別困難な場合がある。MD を求めるには、深夜のうち 2 方向の地電位差変化記録の共通する擾乱部分を選んで、その主方向 MD を求めた。また、観測点付近の VLF による見かけ比抵抗も探査したが地下水の流れを示唆すると思われる比抵抗 $90 \Omega m$ の所が一部分にあって (電極付近)、他は殆んど $200 \sim 350 \Omega m$ 程度であった。MD の方向は地下水の影響を受けているものと思われるが、方向としては焼岳の噴気活動の方向にあることも何か火山活動との関係を示唆するものであるかも知れない。

ここで跡津川断層について、MD と見かけ比抵抗との関係について概要をまとめておく。

跡津川断層上またはその付近における MD は殆んど $N20^{\circ} \pm 5^{\circ}W$ で走向 $N60^{\circ}E$ にほぼ直交する方向を示している。この断層走向に沿って (またはその付近)、VLF による見かけ比抵抗を測定した。断層西端付近の天生、元田から東部の大多和に至る約 40 km における断層線上で、走向に対して直交する方向に測線 (約 100 m) を設定した。skin depth は数 10 m の深さと思われる。天生、元田地区では比抵抗値が数 Ωm と極端に低い値を示したが、他は約 $100 \Omega m$ から $1500 \Omega m$ 程度の比抵抗値を示している。各測線において小鳥川、宮川、跡津川 (跡津川断層線上) 等、川に近い側に見かけ低比抵抗帯があり、このことは川の水に関係があると共に、断層走向方向に低比抵抗層の存在することを示すものと考えられる。また、この事は前述の MD が断層走向に直交することと矛盾しない^{8), 11)}。

3.3. 地電位変化の主方向 (MD) のモデル実験

地磁気の変動や近地雷などにより MD を求めてきた。地表付近に誘導される地電位変化が、その観測点付近の地質にコントラストがあるとある方向性を示すことをこれまでの観測が示してきた。これを実験によりモデル化したものが Fig. 12. である。Fig. 12. において、地磁気変化の水平成分 ΔH が地表付近 (カーボン紙) に一様な誘導電流 (乾電池により $\oplus \rightarrow \ominus$ 電位差を与え定電流を流す) を生じているとし、この地表付近には、電氣的に強いコントラストのある高比抵抗部分 (カーボン紙) と低比抵抗帯 (金属) とが図のように存在しているものとする。地電位観測電極 $\bigcirc$: 1, 2, 3, 4 は図のような配置であるとする。1-2 間の電位差は大きく、3-4 間の電位差はほとんど 0 である。なお図中の点線はデジボルによる等電位を、その間隔は等電位差を示す。したがって電流の流れ易い低比抵抗層では電位差は小さくなり、これに直交する方向では

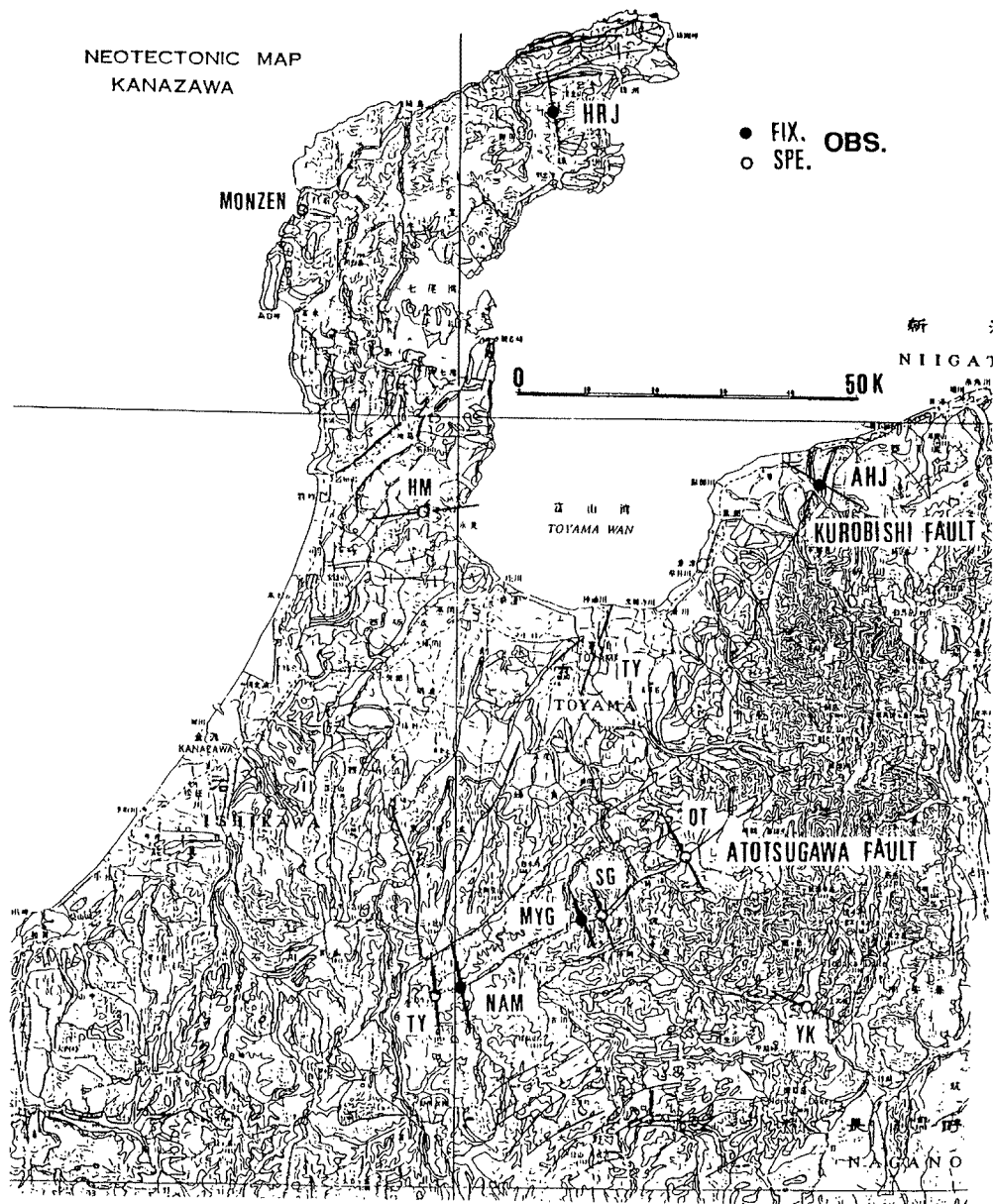


Fig. 11. The maximum directions (MD) of the induced earth currents in the northern part of the Chubu districts.

高比抵抗層により電位差は大きく現われ、MD はほぼ断層に直交する方向となる。

4. 結 び

2. では日本列島のうちでも中部地方の限られた観測点で、全磁力短周期変動の振幅が観測場所によってそれぞれ異なり日本海側では誘導磁場 Z が全磁力短周期変動振幅を小さくする傾向が求められた。また山陰地方においてもこれと同じような結果の報告¹⁰⁾ があり、これらの観測結果を説明するため地磁気離島効果を拡大して西南日本全体に適用したモデルを考えてみた。3. では地電位差変化の主方向 MD が断層走向に直交する傾向が求められ、このことを解釈するためのモデル実験を試みた。地磁気全磁力の短周期変動ならびに地

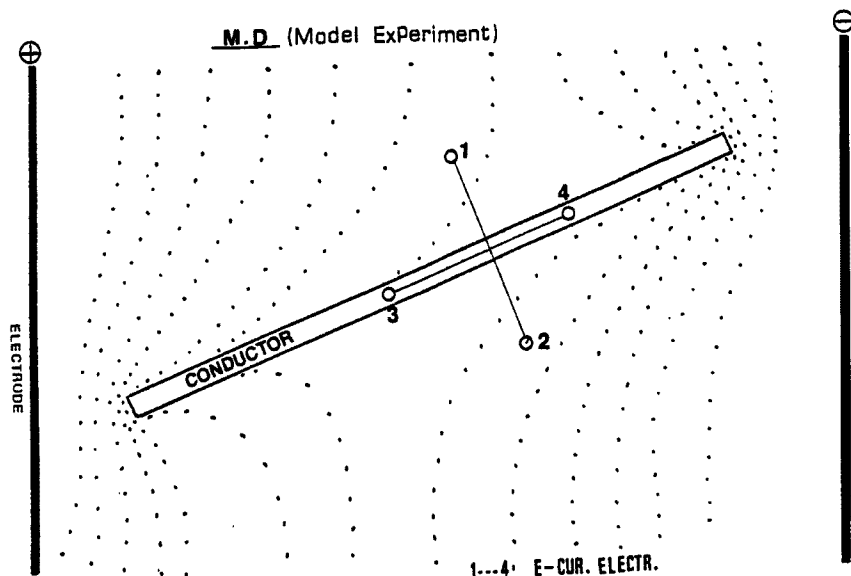


Fig. 12. Model experiment of MD by equipotential contours around a conductor (layer of low resistance), which is located in an electric field. It is assumed that the flow of geoelectric current is in $+\rightarrow-$ direction. $\bigcirc$: electrode for the observation of electric potential.

電位変化の主方向の2つの研究課題に関して基礎的で有意な結果が求められたと考えている。また、これらを定量化あるいは一般化するためのいくつかの課題点も出てきた。まず、地磁気に関してC.A(Conductivity anomaly), 海洋の規模と陸地に関する conductivity, 中部日本異常⁷⁾の問題の検討であり、また、今後、多点地磁気同時観測により垂直成分の変動の等高線図でもできれば、海洋の影響を考慮しMDに関する skin depth や VLF, ELF, ULF の MT 等による深部の比抵抗構造が求められ、震源域あるいはCAに関する解明への一つの手がかりが生まれてくるかも知れない。

おわりにあたって、この論文作成にあたり大変有益な助言を頂いた東大地震研究所笹井洋一先生を始めCA研究会の諸先輩各位、富山大広岡公夫教授、川崎一朗助教授、ワシントン大学のH. Paul Johnson教授には何かと助言を頂いた。厚く御礼申し上げます。地磁気データの柿岡に関するものはすべて地磁気観測所の御厚意によるものである。また、門前の地磁気観測に関しては、輪島測候所長始め職員の方々、門前町役場および同浄水場の職員の方々、観測器機を置かせて頂いた大生の今井政一各氏の親身な御協力を頂いた。これらの関係各位に厚く感謝の意を表します。

著者の1人である酒井英男は1989年4月現在文部省在外研究員としてワシントン大学海洋学研究室に所属中である。

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）における電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) 加藤正明・土居 光・和田安男・津島吉男・三雲 健：宝立・立山・須坂観測室の地殻変動観測テレメータ・システム，京大防災研年報，第31号 B-1，1988，pp. 47-58.
- 4) 太田陽子・松田時彦・平川一臣：能登半島の活断層，第四紀研究，Vol. 15，1976，pp. 109-128.
- 5) 角南基亮・河野芳輝：能登半島南部低地帯周辺の重力構造，地震，Vol. 41，No. 2，1988，pp.173-178.

- 6) 石井義徳：地殻の物理学，東京大学出版会，1988，p. 52.
- 7) 力武常次：地球電磁気学，岩波書店，1972，pp. 333-351.
- 8) 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氣的調査，日本測地学会講演要旨集，第70回，1988，pp. 131-132.
- 9) 酒井英男・小宮雅幸・中山 武・土居 光：落雷時に伴う電磁気変化，地球電磁気・地球惑星圏学会第83回，1988，1-18.
- 10) 山崎断層研究グループ：山崎断層研究論文集(1) (1973～1981)，1988，pp. 279-285.
- 11) 行武毅（代表）：日本列島の電磁氣的構造に関する研究，1989.
- 12) 地質調査所：活構造図，金沢，1985.
- 13) 粕野義夫：石川県の地質図，石川県，1976.
- 14) 気象庁地磁気観測所：地磁気月報.