

12. 伊豆半島東部地域の異常地殻活動に伴う 全磁力変化 (第 1 報)

地震研究所 { 笹井 洋一
石川 良宣

(昭和 52 年 6 月 30 日受理)

1. はじめに

伊豆半島東部地域において、1975 年始め頃から、地殻隆起と断続的に活発化する微小群発地震活動を特徴とした、異常な地殻活動が続いている。我々はこの地殻活動に伴う地磁気変化を検出する目的で、1976 年 5 月末から全磁力の連続観測およびくり返し磁気測量を行なっている。

異常隆起域の中心部に近い、静岡県田方郡中伊豆町菅引における、一年間の連続観測期間中に、松代地震の最盛期に観測された全磁力変化 (RIKITAKE et al., 1967) とよく似た変化が見られた。また 5 回にわたるくり返し測量によって顕著な全磁力変化が検出された。これ等の変化はいずれも異常地殻活動と良い対応がつくように見える。

今回、我々は磁気テープによる自動記録方式の磁力計を用いて、各測点での測定回数を増すことを試みた。また連続観測についても、なるべく多くのデータを用いて、信頼できる全磁力変化の検出に努めている。しかし、この間見出された地磁気変化が、そもそも有意なものであるかどうかを、いろいろな角度から検討することが必要である。本報告では、とりあえず今迄の観測成果を報告する。検出された変化量の信頼性の吟味と、このような地磁気変化をもたらす機構についての考察を、今後行なう予定である。

2. 異常地殻活動の推移と観測経過

冷川峠を中心として、直径 20 km 以上の地域が、中心部で最大 15 cm におよぶ隆起をしていることは、1976 年 1~3 月の水準測量で判明した (国土地理院地殻調査部, 1976)。精密重力測量による重力変化 (萩原・他, 1976) や、伊東の検潮記録 (地殻調査部, 1976) から、異常隆起は 1975 年初めころから始まったと推定されている。1975 年 8 月にいたって、遠笠山附近で微小地震活動が始まり、同年 10 月に一つのピークに達した。その後、“地震の巣” は、遠笠山から北東-南西方向、および南東方向に飛び火し、翌年 2 月 9 日には東伊豆町北川附近で、 $M 3.6$ の地震が起った (津村, 1977)。Fig. 1 に 1969 年 6~8 月から 1976 年 1~3 月にかけての隆起量と、群発地震発生地域を示す。また、顕著な活断層系として北伊豆地震 (1930 年, $M 7.0$) に伴って変位した、丹那断層系 (松田, 1972) を付記してある。

この北川付近の地震の直後から、我々は伊豆地域で全磁力観測を行なう準備を始めた。もともとこの地域は直流電気鉄道による磁気ノイズが大きい。まず天城湯ヶ島町月ヶ瀬に

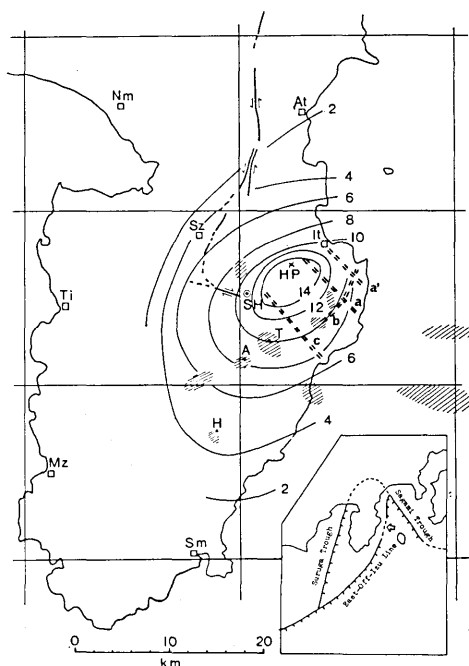


Fig. 1. The map showing contour lines of the crustal uplift (Jun.-Aug., 1969 to Jan.-Mar., 1976, in units of cm, GSI), earthquake swarm areas (hatched area, ERI), Tan-na fault system (thick lines, MATSUDA (1972)), and lines of the most recently active volcanoes (double lines, time-sequence of the activity, a, a'→b→c, ARAMAKI (1976)). SH is the Sugehiki temporary station (total force, ERI). The lower right figure is a schematic presentation of the tectonic system around Izu Peninsula. Aseismic subsidence along the East-off-Izu tectonic line is suspected to cause the present crustal uplift (ISHIBASHI (1976a, 1977), FUJII (1977)).

において、連続観測用プロトン磁力計のテストと、地電流観測を行ない、直流電車の影響などを調査した。異常隆起の事実が判明してから観測計画を修正し、隆起域の中心に近い中伊豆町菅引に、連続観測用プロトン磁力計を設置すると同時に第一回の磁気測量を行なった (1976 年 5 月末～6 月初め)。

1976 年 6 月に、修善寺～伊東間について水準測量の再測が行なわれ、冷川峠附近の地殻隆起速度は停滞していることが明らかにされた。微小地震活動は、同年 3 月以降散発的な発生をくり返しつつ、全体として静穏化するように見えた。1976 年 8 月 18 日に河津町鉢ノ山附近で M 5.4 の強震が起こり、局地的な被害を生じた。なお、隆起域の全域にわたる水準測量は 8～9 月に終了し、3 月頃に比べて、隆起域が西方に拡大していることが明らかとなった。

我々は第 1 回測量のときに、たまたま後に発生した河津地震の震央近くに測点を設けていた。地震直後の測定では 6 月に比べ有意な全磁力変化が見られたので、この測点についてのみ、その後も 2 回の測定を行なった。全測点についての再測は 1976 年 11 月および

1977 年 2 月に行なった。測量の間隔が短かいにもかかわらず、有意と思われる全磁力変化が検出されている。

地震活動は河津地震の後に次第に衰退を続け、1977 年の初めに行なわれた水準測量および重力測量では、冷川峠付近の隆起中心部で隆起が頭うちになり、周辺部では沈降に転じている、とされた（地殻調査部、1977、測地移動班、1977）。

本年 4 月から 5 月にかけて、遠笠山近辺を中心として、マグニチュードが小さい地震がかなり多く発生した（地震移動班、1977）。我々は 3 月頃から、菅引において全磁力が増加しているのを見出したので、4 月と 5 月に予備的な磁気測量を行なった。2 月に比べると、ほぼ全域において全磁力が増加していることが明らかになった。しかし地震活動のエネルギーは小さく、5 月以降は、次第に落ち着いていくようである。ごく最近の重力測量結果では、本年 1 月からほとんど変化はない（井筒屋他；私信）。したがって、最近の伊豆地域に起こった地磁気変化がなんらかの地殻の異常に伴うものであったかどうかは、現在のところ不明である。

3. 隆起に伴う全磁力変化—予備的考察

異常地殻活動の推移を、全磁力変化という面からとらえようとするためには、異常隆起に伴って期待される全磁力変化を、定性的にでも知っておくことが、観測を進めて行く上でも有効であろう。そこで今回の隆起を説明しようとする、いくつかの力学的モデルについて簡単にふれておきたい（津村、1977 および高橋・垣見、1977）。

この地域では、最近数万年間に活発な火山活動が起っている。今回の隆起や群発地震は、地下深所の火山活動によるものである可能性がある。荒牧（1976）は、大室山火山群と天城火山の側火山が、最近数万年間に活動し、活動期を異にする 4 つの火口群に分けられ、これ等小火口群の存在する地域が、群発地震域と大体一致することを指摘している（Fig. 1 参照）。

萩原（測地移動班、1976）は、地殻内の球が静水圧的に膨張する、いわゆる茂木モデル（MOGI, 1958）によって、1976 年初めころまでの、冷川峠を中心とした同心円状隆起の説明を試みている。茂木モデルに伴うピエゾ磁気異常は、DAVIS（1976）によって計算された。同種のモデルとしては、既に行武ら（YUKUTAKE and TACHINAKA, 1967）が、地下で東西方向に水平に置かれた円柱が静水圧的に膨張する場合の地磁気変化を求めている。いずれの例を見ても、全磁力は地表面の隆起域の中心から北側で減少し、南側で増加している。

一方、石橋（1977）と藤井（1977）は、伊豆東方線（Fig. 1）に沿う、フィリピン海プレート伊豆半島下へのもぐりこみ（石橋、1976a）を想定して、隆起域の下で非地震性のゆっくりした断層運動が起っている、というモデルを提唱した。石橋および藤井によって想定されたモデルは、45°位の角度で西へ傾いた逆断層である。

この種の断層運動に伴うピエゾ磁気変化については、まだ十分な計算例はないようである。逆断層運動で上盤側を隆起させる力を、上向きの point-push のような力で近似できると考える。ANDERSON（1936）の得た応力分布によると、地表からある深さまでの部分については、球状膨張の場合とよく似ている。

ところでピエゾ磁気異常の場合、地表付近の応力分布が、磁気異常の大勢を決める。さらに伊豆地方では、キュリー点等温面はかなり浅く、10 km 前後である可能性が強い（渡部暉彦：私信）。膨張球や逆断層の深さは、地下 10 km またはそれ以上に想定されている。したがって2つのモデルは、力学的には全く異なるにもかかわらず、地磁気変化については似たような結果を与えると思われる。

結局、地表面に対して衝き上げ型となる力源によって、隆起中心部の北側では全磁力減少、南側で増加となることが期待される。これは変化パターンについての全く定性的な予想であって、実際の変化を量的に説明し得るかどうかかわからない。今後、これ等のモデルについて、定量的に検討して行きたい。

なお、萩原他（1977）は隆起域の拡大と重力のフリーエアー的減少という事実から、単一の膨張球による隆起よりも、フィリピン海プレートの横圧力によって、伊東東部の地殻がダイラタンシー状態になった可能性もある、と考えている。ダイラタンシー状態にある岩石の帯磁変化について、実験も十分行なわれていないので、どのような地磁気変化が期待されるのか、現在のところ不明である。

4. 中伊豆町菅引における全磁力変化

(1) 天城湯ヶ島町月ヶ瀬における予備的観測

1976 年 3 月中旬から、天城湯ヶ島町田沢の鈴木範良氏宅に連続観測用プロトン磁力計を設置し、テスト観測を行なった。また近くの月ヶ瀬小学校において、地電流の連続観測を行なった。地電位差は、日中には数 10 mV/km にもおよぶバラツキを示し、深夜になって急激にノイズが減少する。このノイズ源が直流電車からの迷走電流であることは明らかで、全磁力値にも最大 5 γ 程度のバラツキが見られる。東海道線には深夜も電車が運行されるが、その影響はほとんど認められなかった。同年 4 月に交通ストのため、国鉄線と伊豆急行線の電車は全面的に止まった。我々はこの期間における電車ノイズの減少を期待して、現地に滞在して観測した。しかし、月ヶ瀬から最も近い所を通る伊豆箱根鉄道線は平常運転しており、ノイズレベルはほとんど変化しなかった。

従来の磁気測量では、直流電化された鉄道の走る地域では、最初から磁気測量をあきらめていた。しかし深夜観測に要する労力を別にすれば、三方を直流電化線で囲まれたこの地域においても、全磁力観測は可能であると考えられた。

月ヶ瀬における全磁力観測は、センサー位置の磁場傾度が大きい上に、人工的擾乱も受けることが多く、観測は4月末に打切った。また、地電流はドリフトが大きく、電極を改良する必要があることがわかった。さらに連続観測を維持するだけの経費と人的余裕がないため、地電流観測も7月に中止を余儀なくされた。

(2) 中伊豆町菅引観測点

1976 年 5 月末から中伊豆町菅引の本成寺において、全磁力連続観測を開始した。この附近は、1930 年北伊豆地震を起こした丹那断層系の南端部にあたる。菅引は丹那断層と共役な右ずれ運動をしたことで知られる姫ノ湯断層の東端から約 1 km 北東にあり、本成寺の被害についても記載がある（藤原，1930。なおこの報告中、大成寺とあるのは本成寺の誤りと思われる）。

予備的な地電流観測によれば、電車のノイズは月ヶ瀬よりやや少ない。日中の全磁力値には数 γ のノイズがある。本成寺の裏は傾斜地であるが敷地が広く、人工的擾乱を受けるおそれが少ない。磁力計センサーはケーブルの長さの制約から、本堂から約 50 m 離れた地点に設置した。センサーは三脚上に固定し、地表面からの高さは 1.04 m である。

(3) 連続観測用プロトン磁力計の維持状況

連続用プロトン磁力計は、移動観測に使用している 611G 型磁力計に、タイマー・コントローラーとプリンターをつけ、毎分 1 回計測する方式のものである。24 時間の連続観測は、プリンターの機械的消耗をまねくので、毎日 23 時 30 分ころから 2 時過ぎまで、約 3 時間のあいだタイマーで作動させる方式を採用した。

観測開始後 1 ヶ月たらずの間に、測定値がバラつくようになった。原因はセンサーが老朽化していてノイズが混入したためで、7 月 29 日にセンサーを交換した。そのときセンサーを正確に同位置に再設置できなかったために、3.4 γ の差を生じた。それ以後の観測値には、この再設置による誤差を補正してある。

これと前後して、プリンターの紙送り機構が摩耗して、欠測が多くなった。幸い磁気テープによるデータ集録装置を購入できたので、11 月にこれをプリンターと交換した。さらに本年 1 月に入って、磁力計のアンプが故障した。我々の手許には磁気テープから記録を再生する装置がないため、故障に気付くのが遅れ、結局 2 月の測量の際に、もう一台の 611G 型磁力計アンプと交換した。

我々は 2 組の連続観測用プロトン磁力計を保有していることになるが、それを部分的に取り替えながら、1 年間の連続観測を維持したのが実情である。このプロトン磁力計はもともとこのように長期の連続観測を想定して製作された器械ではないので、止むを得ない。

(4) 鹿野山と比較した菅引の全磁力変化

菅引観測点において地殻内の帯磁変化などに起因する全磁力変化を検出するため、菅引からある程度離れた標準観測所の、同時刻の全磁力値との単純差をとる。伊豆地方の周囲には、伊豆大島の野増と泉津、鹿野山、八ヶ岳および柿岡の地磁気観測所がある。八ヶ岳と柿岡は、菅引から磁氣的緯度で 1.5° 以上北方にある。そのため、赤道環電流の消長に伴う、夜間レベルの変動振幅の差が大きく、単純差は長周期の外部変動磁場の影響を受けやすい(柳原・白木, 1970)。伊豆大島は伊豆半島に最も近く、磁氣的緯度もほとんど同じであるが、離島効果の影響がある上、三原山の火山活動に伴ない大島固有の変化をする可能性もある。以上の理由から、我々は鹿野山を基準観測所に選定した。

日変化の地域的差違と電車ノイズを避けるため、午前 0 時から同 2 時の毎分値 120 個について、菅引と鹿野山の単純差を作ることにした。データはカードにパンチし、計算機で処理する。また磁力計は器械的安定性が悪く誤測定をするので、平均値から 3 γ 以上はずれるものを除いて、最終的な平均、標準偏差等を求めている。

Fig. 2(a), (b), (c), (d) に、1976 年 5 月末から 1977 年 5 月までの、毎日の菅引 (F_{SH})、鹿野山 (F_{KZ}) および単純差 (ΔF) のそれぞれ平均値を示す。従来行なわれてきたこの種の比較観測に比べて、データ数は格段に多い。(通常は 1 日につき 5~10 個程度のデータを用いることが多い。) それにもかかわらず、日毎のパラツキはかなり大きく、従来の

ものとそれほど変わらない。

Fig. 2 の単純差において、午前 0 時から同 5 時までの 5 時間分のデータについて平均したものは二重丸、有効データ数が 60 個以上で標準偏差 1.5γ 以下のものを黒丸、どちらかの規準をはずれるものを白丸で示して、信頼性の程度を表示した。欠測はすべて菅引におけるトラブルによる。なお菅引と鹿野山の磁氣的緯度差が小さいこともあって、夜間値レベルの振幅差はあまり大きくないようである。今後は RIKITAKE (1966) による重価差方式を用いた比較も行なっていきたい。

Fig. 3 に毎日の単純差の 5 日平均値を示した。この図においても二重丸は 5 時間平均、黒丸は 5 日間で信頼できるデータが 3 日以上とれたもの、白丸はそれ以下という基準で示した。したがって白丸の値は信頼度が落ちる。

この図が菅引に固有な全磁力変化を表わすものと見なすと、この 1 年間に 2 つの顕著な全磁力の変動が見られる。一つは 1976 年 6 月から 7 月にかけての約 3γ の減少であり、もう一つは 1977 年 3 月に始まる約 4γ の増加である。前者については欠測が多く、実際に起った変化であるかどうか確信がない。またプロトン磁力計を野外に設置すると、設置後 1 ヶ月ぐらいに 1γ 程度ドリフトした例が知られている (柳原, 1966)。しかし 1976 年 3 月と同年 8~9 月の間に、隆起域が西方に拡大したことがわかっているのを、

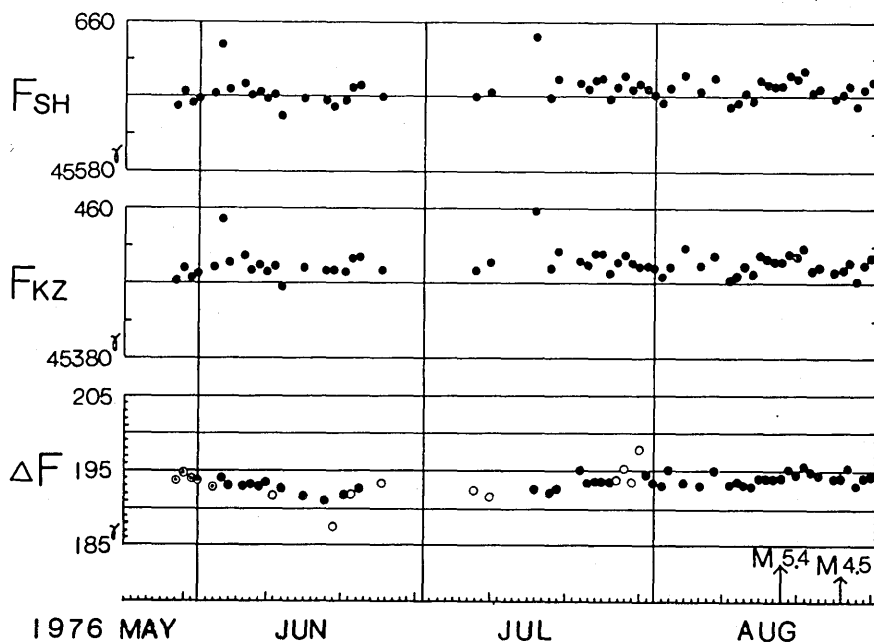


Fig. 2(a). Day-to-day changes in night-time values of the total force intensity at Sugehiki (F_{SH}), Kanozan (F_{KZ}) and simple differences between them (ΔF). Double circles indicate the most reliable data with 5-hours average. Black dots are reliable with 2-hours average, while hollow ones less reliable because of the insufficient number of available data. Observation period; May-August, 1976.

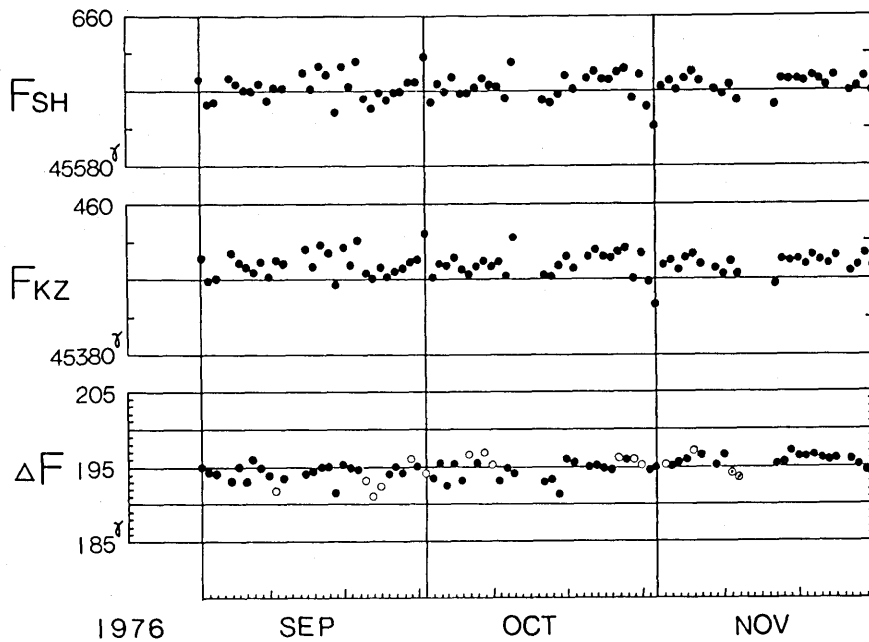


Fig. 2(b). Day-to-day changes in F_{SH} , F_{KZ} and ΔF . Observation period; September-November, 1976.

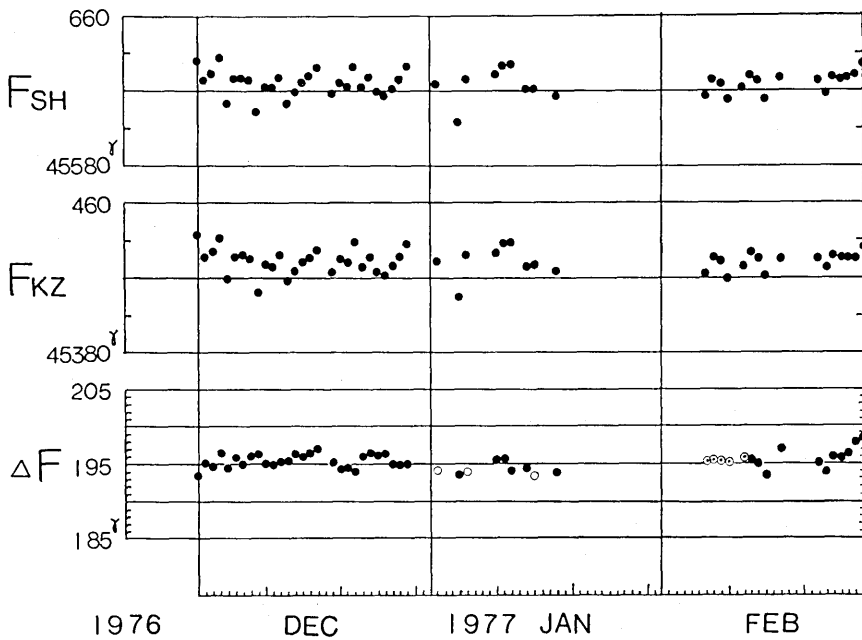


Fig. 2(c). Day-to-day changes in F_{SH} , F_{KZ} and ΔF . Observation period; December, 1976-February, 1977.

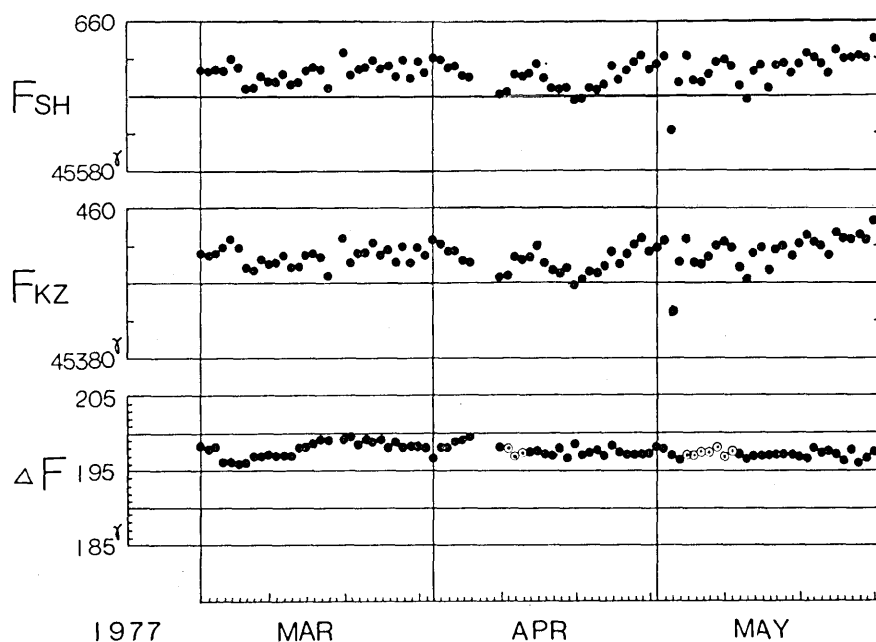


Fig. 2(d). Day-to-day changes in F_{SH} , F_{KZ} and ΔF . Observation period; March-May, 1977.

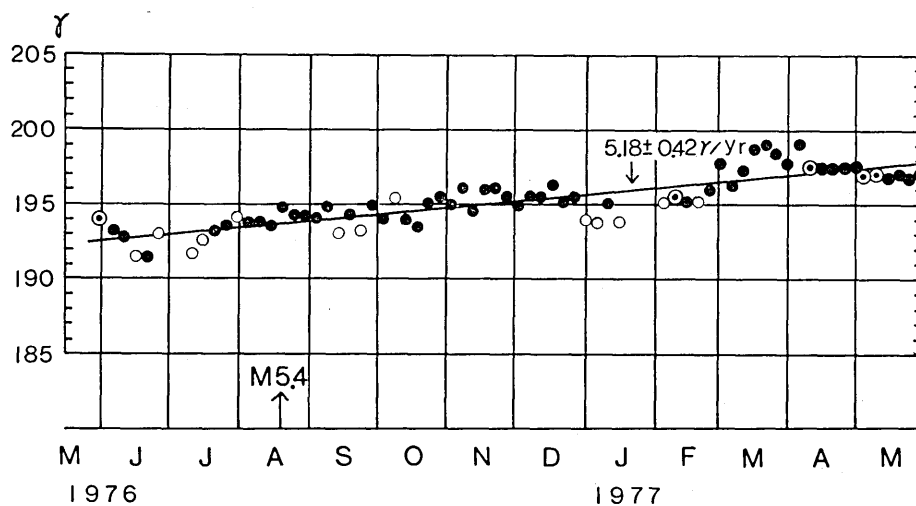


Fig. 3. 5-day mean of simple differences of the total force between SH and KZ. Hollow circles are less reliable data.

この変化が隆起域拡大に伴うものであった可能性は否定できない。

後者の本年 3 月以降の変化は、器械も順調で十分信頼できる結果と云える。この変化が鹿野山の人為的擾乱によるものでないことは確かである（鹿野山測地観測所：私信）。また、水晶発信器の経時変化では高々 1γ のドリフトを生ずるだけであるし、計数回路その他の器械的故障によるものでないことも確認した。2 節で述べたように、4 月に入って微小地震活動が活発化するが、全磁力変化はこれに約 1 ヶ月先だっただけ起きている。

もちろん Fig. 3 に見られる全磁力差の変動が何らかの季節的变化にすぎない可能性もある。たとえば、鹿野山—柿岡の全磁力差の月平均値は、数 γ の変動を示す場合がしばしばあって、少なくともその一部は太陽活動度を反映していると見られる（笹井・石川、1976）。ただこの 1 年間は磁氣的に比較的静穏であり、全磁力差が変動した時期に、特に地磁気擾乱が激しかったわけではない。地磁気地点差の季節的変動とされるものの原因には、いまだ良くわかっていないことが多い。野外にセンサーを設置している菅引観測点の場合は、気温変化等の影響も考えられる。これらを含めて、Fig. 2 に示した、日ごとに起こるバラツキの原因を今後調査したい。

最後に Fig. 3 の 5 日平均値を用いて、1 年間の全磁力差経年変化量を求めると、 $5.179 \pm 0.416 \gamma/\text{年}$ となる。これを筆者ら（1976）が求めた、鹿野山—柿岡の全磁力差経年変化量 $0.877 \pm 0.078 \gamma/\text{年}$ （1968 年 7 月～1976 年 2 月の平均）と比較すると、非常に大きい。日本における全磁力経年変化が、1974～1975 年ころから増加に転じたことは、住友（1977）によって指摘されている。Fig. 2 の F_{SH} や F_{KZ} から明らかなように、二つの地点ともこの 1 年間で平均的な全磁力値は 10γ 以上も増加している。菅引と鹿野山の間で全磁力差の経年変化量が大きいことは、単に広域にわたる全磁力経年変化の地域的差を反映したものであるか、あるいは伊豆地方の異常地殻活動に特有のものかについて、他の地磁気観測所の値と比較することによって、今後明らかにして行きたい。

5. 河津地震に伴う全磁力変化

1976 年 8 月 18 日午前 2 時 19 分に河津地震 ($M=5.4$) が発生した。菅引において磁力計が順調であった 8 月については、前駆現象と云えるような全磁力変化はない。河津地震は明瞭な前震を伴っていたので、本震直前の菅引における全磁力変化の有無を調べた。Fig. 4 に、8 月 18 日の午前 0h00m から同 2h15m までの全磁力毎分値について、菅引と鹿野山を比較した。本震の約 2 時間前から総計 27 個の前震が観測されているので、 $M 1.0$ 以上のおもだ

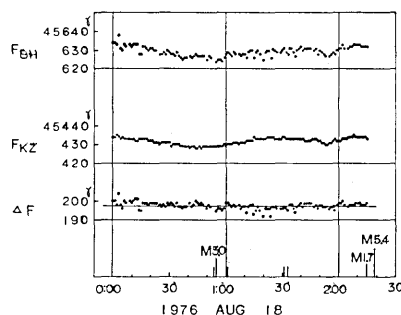


Fig. 4. The total force observed at SH and KZ, together with their simple differences, just before the Kawazu earthquake. Origin times of fore-shocks ($M \geq 1.0$) and the main shock are also shown by bars at the bottom.

った前震の発震時も同図下段の矢印で示した(震研地震移動班による)。

残念ながら本震の4分前にタイマーが切れているが、菅引の全磁力には地震直前の前駆現象と思われるような全磁力変化は見られない。なおこの図でも明らかなように、我々の磁力計の安定性は、鹿野山のそれに比べてかなり低下している。

Fig. 2(a) および Fig. 3 に見られるように、8月19日以後は、それ以前に比べて全磁力が 1.5γ くらい増えている。しかしこの程度の変動は常時見受けられるので、これが河津地震に伴う菅引の全磁力変化とは断定できない。菅引観測点の宇佐美氏の話によれば、当地の震度はⅢ以上またはⅣ程度だったようである。 1.5γ の変化がもしかりにあったとしても、センサーが地震動でいくらかずれたことによる可能性が強い。

磁気測量の測点選定に際して、我々は震研の地震観測網でとらえられていた「微小地震の巣」の分布(Fig. 1 参照)を参考にして、これらの近くに測点を設けるように努めた。河津町鉢ノ山附近の E18 泉奥原測点もそのひとつである。この附近は天城火山の噴火堆積物におおわれ、磁気異常が大きい。我々が磁気点選定の基準にしている水平磁場傾度 $5\sim 10\gamma/m$ の地点は見つけることはできずセンサーを前後20cmくらい動かしても全磁力がほとんど変わらない地点を測定点とした。測点には木杭を2本打ち、この間にセンサーを立て、木杭とセンサー支持棒に目印をつけておく。これによってセンサーの再設置誤差はほとんどないと期待される。

Fig. 5 に、河津地震の震央および周辺の地図を示す。同図に磁気点 E18, E1, E2 ならびに河津地震の前震、本震、余震の震央(地震移動班, 1977)と活断層分布(村井・金子, 1976)およびこの付近を通っている水準路線を示した。精度よく決められた余震は、

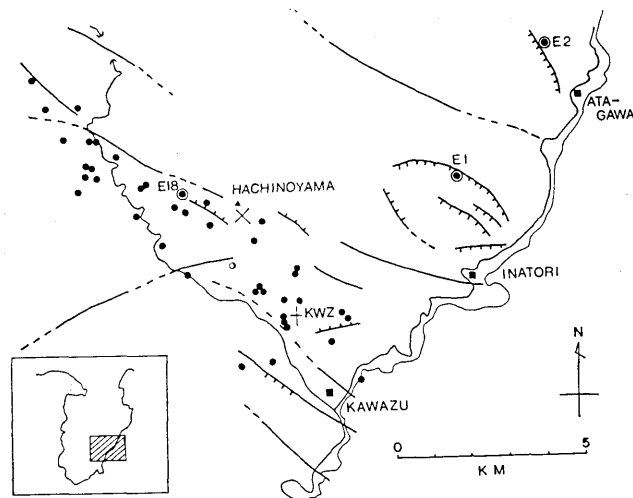


Fig. 5. The map showing the epicentral area of the Kawazu earthquake. Epicenters of the largest fore-shock (semiblack circle), the main shock (cross) and after-shocks (black circles) are shown (after ERI, JMA). Double circles are magnetic survey points. Thick lines are active faults (MURAI and KANEKO, 1976). The temporary seismological station of the ERI (KWZ) and the levelling route (thin line) are also shown.

北西—南東にはほぼ線状に分布し、測点 E18 はこの地震断層の中央部に位置している。

この測点については東京から日帰り測定ができるので、地震後 1 か月間に 3 回観測した。Fig. 6 にその結果を示す。8 月 20 日の全磁力値は、6 月 1 日の第 1 回測量時に比べて 5γ 増加している。その後あまり変化はない。

河津地震の被害調査は茅野 (1976) によって行なわれ、泉奥原附近の震度は V と推定されている。8 月 20 日の測量の際に、我々も測点周辺部の地表被害を調べた。測点から 100 m 以上離れた人家の被害はとくになく、約 60 m 離れた地点で数 cm 程度の石垣のずれはあるものの、測点付近での転石、がけ崩れなどは認められなかった。以上のことからいって、E18 の全磁力変化は、地震動による測点近傍の副次的擾乱によるものではないと考えられる。

余震分布と初動の押し引き分布から、河津地震は北西—南東の走向を持ち、地表面にはほぼ垂直な右横ずれ断層によるものと考えられる。主圧力軸は南北、張力軸は東西、地殻帯磁の方向は主圧力軸と大体平行と見なせる。このような応力—帯磁配置に可逆的ピエゾ磁気の公式 (NAGATA, 1970) を適用すると、地震による応力解放に伴って、 $\Delta J = (3\sqrt{2}/4)\beta\bar{\sigma}J_H$ なる水平で北向きの帯磁増加が期待される。(β : stress sensitivity, $\bar{\sigma}$: 平均的剪断応力, J_H : 水平方向の帯磁) このような帯磁変化から、断層のすぐ真上では、南向きの水平成分—すなわち全磁力の減少が観測されるはずである。これは全磁力の増加という観測事実と一致しない。

定量的な検討は今後の課題であるが、E18 の全磁力変化は、複雑な帯磁分布をしている震源附近の地殻が、断層運動によって相対的にずれ、磁気異常分布が変化したことによる可能性が強い。

6. くり返し磁気測量結果

(1) 磁気測点分布

Fig. 7 に磁気測点の分布を示す。測点の配置にあたって、次の事実を考慮した。

丹那断層の中央部附近では、北伊豆地震以後も左横ずれ運動が認められる。その変位量は断層に近いほど小さく、断層がロックされて、歪エネルギーの蓄積が予想される (国土地理院, 1974, 檀原, 1976)。北部の測点群 (E4, 5, 6, 7, 9) は丹那断層を中心とした配置とした。とくに E6 と E7 は浮橋断層をはさんだ三角点の近傍にある。

中央部の測点群 (E8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 19, 20) は異常隆起の中心部にあたる。南部の測点群 (E1, 2, 3, 17, 18) は群発地震発生地域にある。E1, 2, 3 は、

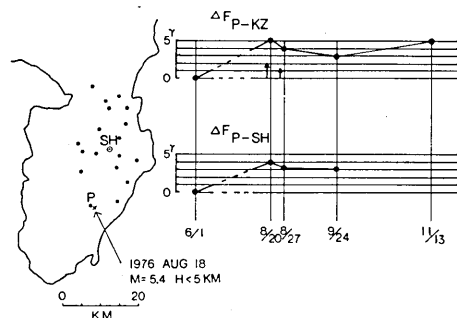


Fig. 6. The change in the total force at E18 (Izumi-okuhara, Kawazu T., the point P in the left figure) associated with the Kawazu earthquake. The reference stations are KZ (upper graph) and SH (lower graph) respectively.

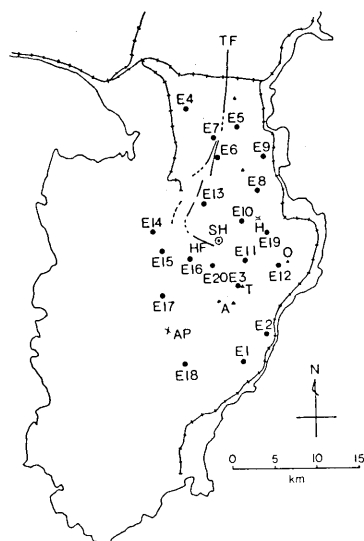


Fig. 7. The distribution of observation points. SH: sugehiki temporary station. Black dots: surveyed points. Chain lines: electric railways. TF: Tan-na faults. HF: Hime-no-yu fault.

行武他 (1977) が人工電流法による地殻比抵抗変化検出の予備調査に際して設けた測点を、利用させていただいた。

(2) 測量方式

全測点の 2/3 ほどは、電車ノイズの影響をかなり受ける。第 1 回測量では、18 点のうち 11 点について、23 時 30 分以後から 10 分間測定した。その他の 7 点については、通常通り夕刻からの夜間観測とし、20 分間測定した。第 2 回以降は磁気テープ記録方式のプロトン磁力計 2 組を用いて、夜間に自動記録させ、一部の測点では従来通り夜間の手動観測を行なった。自動記録方式によってデータ数が飛躍的に増加するので、手動観測点でも最低 30 分間測定している。

自動記録プロトン磁力計のうち、1 台は PMP-201 型 (国際電子社製) で、センサーはトロイダル型である。もう 1 組は、菅引の連続観測に使用しているデータ集録装置に 611G 型磁力計をつけたものである。集録装置を作動させるため、電池からインバーターで交流電源を得ている。こちらの方式はかなり大がかりなものになるため、テントを張って器材を設置した。

(3) 鹿野山を基準とした全磁力変化

我々の測量域程度の範囲では、各測点と菅引との全磁力地点差を求め、さらに菅引と鹿野山について充分なデータから得られた測量期間中の地点差を加えて、鹿野山に相対的な全磁力変化を検出する方法が望ましい。しかしながら、残念なことに第 2, 3 回測量期に菅引の磁力計が不調で、この方法を採用できなかった。今回報告するのは、直接、鹿野山と差を取った全磁力地点差の変化である。

測量期間は次の通りである。

測量Ⅰ 1976 年 5 月 29 日～6 月 3 日

測量Ⅱ 1976 年 11 月 11～16 日, 12 月 1～2 日

測量Ⅲ 1977 年 2 月 6～12 日

測量Ⅳ 1977 年 4 月 10～12 日

測量Ⅴ 1977 年 5 月 6～8 日

第 4 回測量では、磁気テープ記録部が故障したため、手動観測によるデータしか得られていない。第 5 回測量では、前回の失敗から、磁気テープ読取装置を車に積んで、観測終

了後直ちに再生した。

Fig. 8(a) に 1976 年 5~6 月から同年 11 月にかけての全磁力変化を示す。水準測量によって、1976 年 1~3 月から同年 8~9 月にかけては、修善寺附近から天城湯ヶ島町にかけて、1~2 cm 程度の隆起が検出されており、一方、東海岸沿いには 1 cm 程度の沈降が認められている（地殻調査部、1977）。同年 6 月と 9 月の間の重力変化では、全般的な重力の減少が観測され、隆起域の拡大が示唆された（萩原他、1977）。磁気測量では、修善寺附近を境界とする明瞭な正負のパターンが得られる。3 節での定性的考察にしたがえば、この変化は西側の隆起に伴うものである可能性が強い。測量域の東部では、あまり明瞭な変化は見られない。河津地震に伴う変化は、E18 附近の局所的なものと考えられる。

Fig. 8(b) には、1976 年 11 月から 1977 年 2 月にかけての全磁力変化を示す。この期間の変化量は、全体としてその前の期間に比べれば小さいが、遠笠山附近の全磁力減少が注目される。1976 年 9 月から 1977 年 1 月の間の重力変化からは、隆起域全体での沈降が示唆されている。遠笠山北方の鹿路庭峠附近を境として、北で全磁力増加、南では減少というパターンが、これに対応する変化かも知れない。

Fig. 8(c) に 1976 年 5~6 月から 1977 年 2 月までの全磁力変化を示す。この期間を通して、修善寺附近、遠笠山附近、および河津附近の孤立した全磁力変化が認められる。これらはそれぞれ、この三つの地域での隆起、沈降および河津地震という地殻活動と対応

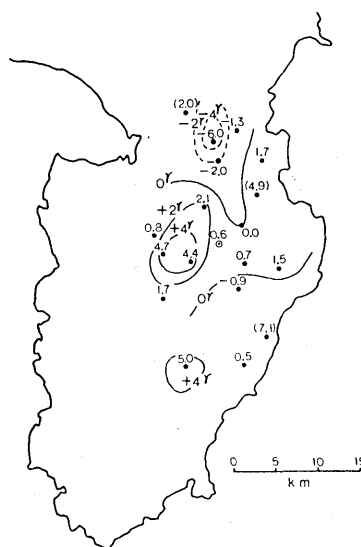


Fig. 8(a). Changes in the total force in units of gammas relative to Kanozan, during the period May, June-Nov., 1976.

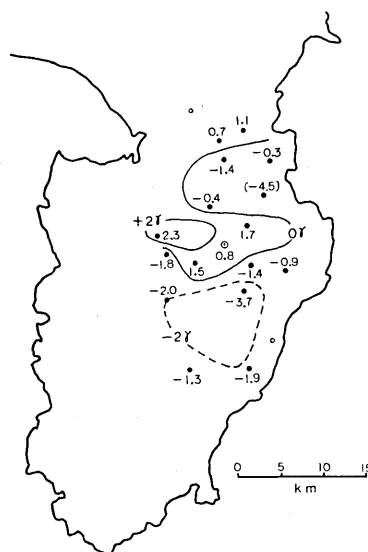


Fig. 8(b). Changes in the total force in units of gammas relative to Kanozan, during the period Nov., 1976-Feb., 1977.

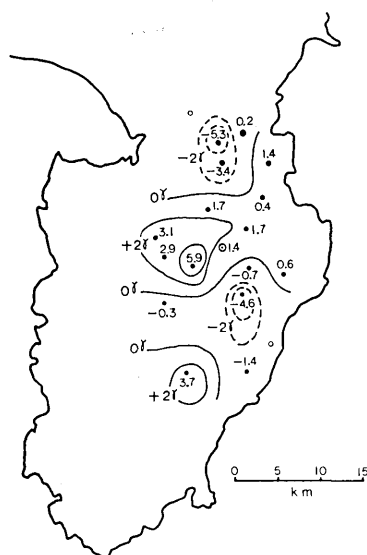


Fig. 8(c). Changes in the total force in units of gammas relative to Kanozan, during the period May, June, 1976-Feb., 1977.

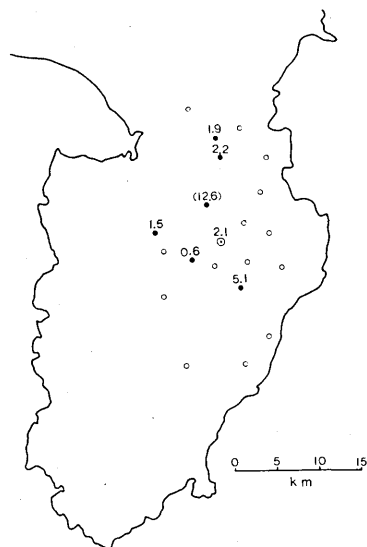


Fig. 8(d). Changes in the total force in units of gammas relative to Kanozan, during the period Feb.-Apr., 1977.

磁力の増加が認められ、南部の方が変化量大きい。この結果だけから第1~3回測量的場合のごとく、定性的解釈をあてはめ、隆起活動等を推測するのは困難である。2月から5月にかけての全磁力変化は、通常の測量誤差を越える有意なものと思われるが、現在の

しているように見える。

我々が菅引観測点の全磁力増加を発見したのは、本年3月末であった。地震移動班がこのころの地震記録を調査したところ、天城湯ヶ島町市山観測点で、微小地震の増加が認められた（荻野泉：私信）。また、天城湯ヶ島町船原では、1976年11月ころから水位上昇が始まり、3月に入っても上昇が続いていた（山口林造：私信。なお、3月以降については人為的な変化の可能性もあることが、後に判明した）。異常地殻活動の再開と判断できる十分な情報はなかったが、とにかく予備的測量を行なうことにした。

すでにのべた通り、4月の測量では欠測が多いので、2月と比較した Fig. 8(d) は、参考程度に留めたい。5月の測量結果を2月と比較したものが、Fig. 8(e) である。北部の E7 (+6.8 γ) と東部の E12 (+8.3 γ) は非常に大きい。特に E7 については、4月の測量時で +1.9 γ にすぎないので、この2点では人為的擾乱を受けたおそれがある。しかしその原因と考えられるような、測点周辺での建造物の新設などはなかったので、あえてそのまま記入した。

残念ながらこの3か月間に、中心部の2点が人為的擾乱を受けて以前と比較できない。したがって Fig. 8(e) のコンターはかなり任意性がある。全地域にわたって全

ところ、その原因がわからない。

7. 今後の課題

伊豆半島の異常地殻活動が、今後どのような推移をたどるのかわからない。このまま鎮静化するにしても、衰退過程そのものを全磁力変化の面からとらえることは、有意義であろうし、想定される駿河湾地震（石橋，1976b）との関連で、今後の監視が必要な地域でもある。観測の継続を前提に、我々が気付いたいくつかの問題点と今後の課題を列举し、できる限り実行していきたい。

(1) 固定点での連続観測

① 現在使用しているセンサー

は、水の容量が小さく、SN 比が悪い。これを大型のセンサーと交換し、磁場の非一様性によるノイズを避けるため、センサーの地上高を 3 m 程度に上げることを計画している。

② 可能ならもう 1 点の連続観測点を設置する。

(2) 磁気測量

① 測量を開始してから 1 年にして、すでに 4 点は人為的擾乱を受けている。最低 10 年にわたっての比較を可能にするため、補点を設けた測量が必要とされる。これを効率よく遂行する観測方式についても調査する。

② 自動記録方式と手動の磁力計を併用すると、敏速な移動観測ができる。特に 1 本の道路に沿った測線について、鎖方式とも呼べる磁気測量が可能で、測地測量が今後もうくり返し行なわれるであろう伊豆スカイラインに沿って、この方式の測量を計画している。

(3) 外部変動磁場による誤差

① 鹿野山以外の標準観測所のデータも用いて、外部変動磁場の地域的の差を調査し、伊豆半島に固有な系統的誤差を知る。

② 測量点でも長時間記録が得られているので、短周期磁場変動の振幅差等による誤差を調査する。

以上の課題は、すでに得られた観測結果の信頼性を明らかにし、今後の観測精度向上を図る上で不可欠である。この他に、膨張球や断層運動に伴う地磁気変化のモデル計算、あるいはその基礎をなす伊豆半島の磁氣的構造等についても、調査して行きたい。

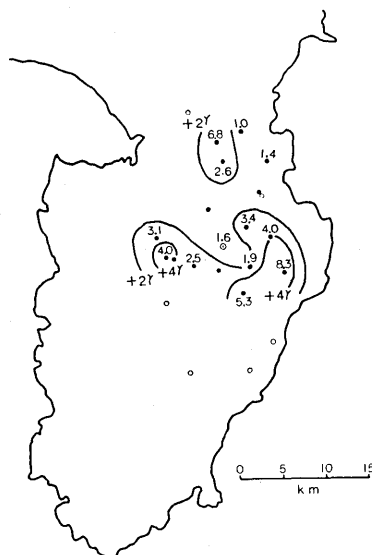


Fig. 8(e). Changes in the total force in units of gammas relative to Kanozan, during the period Feb.-May, 1977.

謝 辞

この観測は、現地の方々の御協力によって遂行されている。特に中伊豆町菅引の本成寺

宇佐美日淨住職および御家族の方々には、磁力計の保守その他で大変御世話になっている。また天城湯ヶ島町田沢、鈴木範良氏、および月ヶ瀬小学校、土屋、山本両先生には、予備観測に際してご協力頂いた。建設省国土地理院鹿野山測地観測所からは、同所の全磁力記録を送って頂き、磁力計検定に便宜をはかって頂いている。とくに石井晴雄所長および広石一男技官には、磁力計の安定性について有益な助言と議論をして頂いた。予備観測や深夜におよぶ測量にあたって、地震研究所鈴木正氏および高橋春男氏に自動車運転や観測の上でとくに協力を得た。萩原幸男助教授は、地磁気移動班の観測に終始有益な助言を与えられた。また地震研究所の伊豆地方特別観測に従事されている多くの関係者から、いろいろ御教示を頂いた。以上の機関および多くの関係者に心から感謝の意をします。本研究の費用の一部は、昭和 51 年度文部省科学研究費「関東地方における群発地震活動地域の総合的研究」(代表者、浅田敏)によって行なわれた。

文 献

- ANDERSON, E. M., 1936, The Dynamics of the Formation of Cone-sheets, Ring-dykes and Caldron-subsidences, *Proc. Roy. Soc. Edin.*, 56, 128-157.
- 荒牧重雄, 1976, 東伊豆地域の火山活動のアセスメント——東伊豆の群発地震・地殻変動に関連して——, 地震予知連絡会報, 16, 92-94.
- 檀原 毅, 1976, 信号合致法による水平変位の調整, 測地学会誌, 22, 1-9.
- DAVIS, P. M., 1976, The Computed Piezomagnetic Anomaly Field for Kilauea Volcano, Hawaii, *J. Geomag. Geoelec.*, 28, 113-122.
- 藤井陽一郎, 1977, 伊豆半島地殻隆起のクリープモデル, 地震予知連絡会報, 17, 68-70.
- 藤原咲平, 1930, 北伊豆地震踏査報告, 駿震時報, 4, 335-350.
- 萩原幸男・田島広一・井筒屋貞勝・花田英夫, 1976, 1975~1976 年における伊豆半島東部の重力変化, 測地学会誌, 22, 201-209.
- 石橋克彦, 1976a, 「伊豆東方線—西相模湾断層」と伊豆異常隆起の解釈——フィリピン海プレート最北境界の二重構造, 地震学会講演予稿集 1976 No. 2, 29.
- , 1976b, 東海地方に予想される大地震の再検討——駿河湾大地震について, 地震学会講演予稿集 1976 No. 2, 30-34.
- , 1977, 伊豆半島異常隆起のクリープモデル——伊豆東方線スラスト深部の非地震性断層運動——, 地震予知連絡会報, 17, 65-67.
- 地震移動観測室・地震活動研究部門(震研), 1977, 伊豆半島東部の群発地震(1976年5~10月), 地震予知連絡会報, 17, 71-75.
- 茅野一郎, 1977, 昭和 51 年 8 月 18 日河津地震の被害および震度分布, 震研彙報, 52, 285-300.
- 国土地理院・測地部, 1974, 山北および丹那地区精密ひずみ測量結果, 地震予知連絡会報, 11, 94-95.
- 国土地理院・地殻調査部, 1976, 伊豆半島中部の地殻変動, 地震予知連絡会報, 16, 82-87.
- , 1977, 伊豆半島中部の地殻変動(2), 地震予知連絡会報, 17, 59-64.
- 松田時彦, 1972, 1930年北伊豆地震の地震断層, 星野・青木編「伊豆半島」, 東海大学出版会, 73-93.
- MOGI, K., 1958, Relations between the Eruptions of Various Volcanoes and the Deformations of the Ground Surfaces around Them, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 36, 99-134.
- 村井 勇・金子史朗, 1976, 南関東の活断層分布図.
- NAGATA, T., 1970, Basic Magnetic Properties of Rocks under the Effects of Mechanical Stresses, *Tectonophysics*, 9, 167-195.
- RIKITAKE, T., 1966, Elimination of non-local changes from total intensity values of the geomagnetic field, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 44, 1041-1070.
- RIKITAKE, T., Y. YAMAZAKI, M. SAWADA, Y. SASAI, T. YOSHINO, S. UZAWA, T. SHIMOMURA and K. MOMOSE, 1967, Geomagnetic and Geoelectric Studies of the Matsushiro Earthquake Swarm (5), *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 45, 395-416.

- 笹井洋一・石川良宣, 1976, 房総半島における地磁気全磁力くり返し測量: 1968-1976, 震研彙報, 51, 83-113.
- 測地移動班(震研), 1976, 伊豆半島の重力変化, 地震予知連絡会報, 16, 92-94.
- , 1977, 伊豆半島の重力変化(II), 地震予知連絡会報, 17, 45-47.
- 住友則彦, 1977, 地殻活動に関連した地磁気永年変化異常, 地震予知研究シンポジウム(1976)講演集, 145-155.
- 高橋 博・垣見俊弘, 1977, 伊豆半島東部の異常地殻活動, 地質ニュース, 270, 1-15.
- 津村建四朗, 1977, 伊豆半島の異常地殻活動と地震予知, 地震予知研究シンポジウム(1976)講演集, 46-55.
- 柳原一夫, 1966, プロトン磁力計の安定性, 東大理・地物研シンポジウム「地震および火山活動に伴う地磁気変化」講演集, 103.
- 柳原一夫・白木正規, 1970, 地球内部地磁気変化検出に影響する外部磁場変化, 日本地球電磁気学会1970年春季大会予稿集.
- YUKUTAKE, T. and H. TACHINAKA, 1967, Geomagnetic Variation Associated with Stress Change within a Semi-infinite Elastic Earth Caused by a Cylindrical Force Source, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 45, 785-798.
- 行武 毅・吉野登志男・歌田久司・本蔵義守・小山 茂・河村 諠・大地 洸・森 俊雄・田中秀文・若林哲也・吉田 稔, 1977, 伊豆半島地盤異常隆起地域の電気抵抗測定, 震研彙報, 52, 163-171.
-

*12. Changes in the Geomagnetic Total Force Intensity
Associated with the Anomalous Crustal Activity in
the Eastern Part of the Izu Peninsula (1).*

By Yoichi SASAI and Yoshinobu ISHIKAWA,
Earthquake Research Institute.

Observations of the total force intensity have been carried out since May, 1976, in the eastern part of the Izu Peninsula, where anomalous crustal movements with the land upheaval and micro-earthquake swarms are under way. The continuous observation of the total force at SH (Fig. 1), near the center of the crustal uplift, revealed decrease and recovery of the F component amounting to 3 gammas or so during the period from June to July, 1976, and rather steep increase up to 4 gammas in March, 1977 (see Fig. 3). The former variation might have some causal relation to the westward extension of the upheaved area during the period from March to August in 1976. The latter change preceded, for about a month, the second peak of the swarm activity in April and May, 1977, but no definite evidence for the probable recurrence of anomalous crustal movements has been obtained yet.

Magnetic surveys with proton magnetometers were conducted for five times during the last year. One of our surveyed points happened to seat right upon the fault of the Kawazu earthquake ($M=5.4$, Aug. 18, 1976). Increase of the F component amounting to 5 gammas was found at the time of resurvey just after the earthquake (Fig. 6). A typical paired anomaly, with negative change to the north side and positive, to the south, was detected in the western part of the surveyed area during the period from June to November, 1976 (Fig. 8(a)). This might correspond to the land uplift which was confirmed by repeated levelling and gravity surveys for almost same period. The recent survey in May, 1977 brought to light an overall increase of the F component over the surveyed area, although we have not arrived at a full understanding of its cause.