

33. 伊豆半島東部地域の異常地殻活動に伴う 全磁力変化 (第四報)

—1981年伊豆半島北東部の異常変化—

地震研究所 { 笹井 洋一
石川 良宣

(昭和57年10月30日受理)

要 旨

伊豆半島東部地域のプロトン磁力計観測網によって、1981年7月から10月にかけて、伊豆半島北東部に、全磁力の減少と回復が観測された。この異常変化は、伊東市付近を中心に半径 10 km 以内にある、初島、浮橋、吉田で見出され、最大の減少量は 5 nT に達する。一方、1980年と1981年の冬期に、鹿野山の全磁力値が数 nT の一時的増加を示した。このため、鹿野山を基準としている東伊豆の全磁力地点差に、見掛けの減少ピークを生じた。この変動は、季節的变化にも見えるが、過去において冬期に目立った変化は認められていない。地震予知研究計画地磁気グループの公表データに基づき、1980年6月から1982年5月迄の、関東・東海地域11点における全磁力変化を調べた。離島(八丈島、伊豆大島野増)や海岸近傍(御前崎)の観測点に、極めて大きな変動が見られる。これは海流のダイナモ作用による磁場変化である可能性が強い。伊豆半島の観測点では、1980年中期以降、周辺地域に比べて全磁力が減少していることが判った。伊豆半島北東部の異常変化の原因として、①地殻隆起に伴うピエゾ磁気効果、②海流のダイナモ作用の漏洩電流、③界面動電現象の磁場発生効果、が考えられ、これ等について簡単な吟味を行なった。

1. はじめに

1980年6月29日の伊豆半島東方沖地震(M6.7)に際して、我々は伊豆半島地磁気グループの協力を得て伊豆東部地域に4台のプロトン磁力計を展開し、全磁力の連続観測を行なった(笹井・石川 1980)。このような多点の連続観測は、くり返し測量に比べて、格段に信頼の置けるデータをもたらす。そこで我々は、この東伊豆全磁力観測網を、1980年7月以降も維持して現在に至った。この地域では、現在6ヶ所において、全磁力連続観測が行なわれている。本論文では、1980年6月から1982年5月に至る2年間の連続観測と、同期間に行なったくり返し測量の結果を報告する。

1981年7月から10月にかけて、伊豆半島北東部で、最大 5 nT に近い全磁力の減少と回復が観測された。伊豆半島においては過去に数回、全磁力の異常変化が観測されており、そのうち2例は地震の前兆と考えられている。即ち、1977年12月、松崎の全磁力急増(伊豆大島近海地震 M7.0 に先行、大地・他 1979)、および1978年9月から11月、河津の異常(東伊豆地震 M5.0 に先行、SASAI and ISHIKAWA 1980)である。これ等はいずれも

一地点での連続観測結果であるため、信頼性の吟味が大変である上に、異常変化の原因を解明するためにはデータが不足していた。今回検出された全磁力異常変化は、多点観測のおかげで、その時間的推移のみならず、空間的拡がりもかなり良く把握できた。

ところで1980年12月から翌年2月頃にかけて、東伊豆の観測点で、鹿野山を基準とした全磁力差がほぼ一斉に減少して回復する、という現象が見られた。これは鹿野山の固有全磁力値が一時的に増加したためである。更に1981年12月から1982年2月頃にかけても、全く同様な現象が見られた。鹿野山で観測されたこの変化は、符号こそ反対であるが、時間的推移は伊豆のそれとよく似ている。これについても、我々の調査で知り得た事実を記しておく。

1980年7月以降1982年5月まで、伊豆半島の地震活動は比較的静穏であった。しかし1981年に入っても、東海岸の伊東市南部附近は隆起を続けていることが、検潮記録から判明している(国土地理院 1982)。全磁力変化はこの異常隆起に関連したものである可能性が強い。隆起をもたらす機構のひとつとして、複合茂木モデル(萩原 1977)が考えられる。このモデルに伴う地磁気変化について、簡単に検討した。

2. 伊豆半島北東部の異常変化

第1図に伊豆半島における全磁力観測点分布を示す。伊豆半島東方沖地震の当時、東伊豆では菅引(SGH)、河津(KWZ)、初島(HAT)および吉田(YSD)の4点で観測が行なわれていた。前報(笹井・石川 1980)に述べた通り、1978年9月から大仁町浮橋において

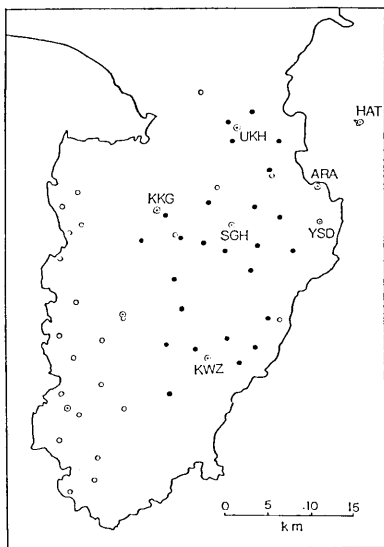


Fig. 1. Location of temporary magnetic stations (double circle) and survey points (solid circle) in the eastern part of the Izu Peninsula.

てプロトン磁力計による連続観測を始め、1979年6月以降中断していたが、1980年7月から浮橋における観測を再開した。同年9月上旬に、伊東市附近に小規模の群発地震が発生した。震央に近い伊東市新井において、12月から1ヶ月半の間、臨時に連続観測を行なった(伊東市新井、宝専寺)。ここではセンサーとケーブルを設置しておき、磁力計を持参して直ちに観測できる体制にある。更に1981年1月から、半島中央部の天城湯ヶ島町にも連続観測点を設けた(静岡県田方郡天城湯ヶ島町柿木、大龍寺)。

第2図に、鹿野山(KNZ)を基準とした東伊豆地域の全磁力変化をまとめた。これ等は、夜間の0時40分から3時0分迄の、10分間隔、15個の全磁力測定値の単純差平均を、更に5日毎に平均したものである。従来我々は、夜間0時から2時まで、あるいは0時から5時までの毎分値を用いて、全磁力差を算出してきた。上述の15個のデータによる単純差も毎分値を用いた

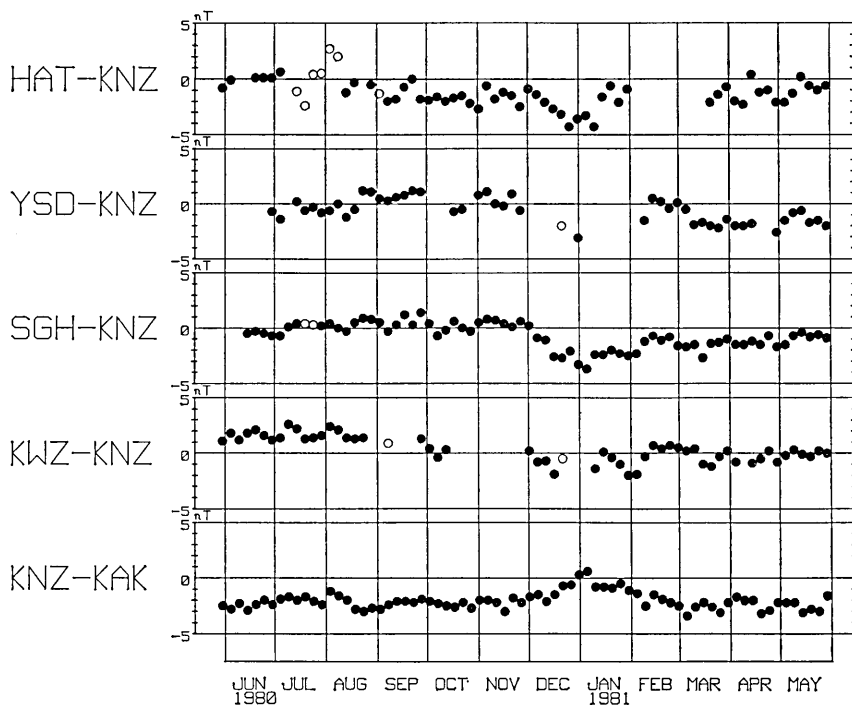


Fig. 2(a). Changes in the total intensity at eastern Izu stations relative to Kanozan (KNZ) during the period from June, 1980, to May, 1981. An unusual increase at the reference station KNZ from Dec. to Feb. resulted in a spurious change at all the stations in Izu.

ものとあまり変わらず、特に5日平均では1 nT以内で一致する。観測点が増えてデータ処理が大変なので、簡便な15個データ平均に切り換え、5日平均によって比較的ゆっくりした全磁力変化を見ることにした。この15個のサンプリング方式は、地震予知研究地磁気グループが、1980年1月から全国の精密全磁力経年変化の算出に採用している（地震予知研究計画地磁気研究グループ 1980）。

先ずこの2年間にわたって観測が続けられてきた、初島、吉田、菅引、河津の4観測点を鹿野山と比較したもの、および基準点の鹿野山を柿岡と比較したものを、1980年6月から1981年5月迄の期間について第2(a)図に、1981年6月から1982年5月迄を第2(b)図に示した。第2(a)図によると、1980年12月から1981年2月にかけて、伊豆の観測点で全磁力の減少と回復が見られる。最下段の鹿野山—柿岡のグラフに明らかなように、これは鹿野山の固有全磁力値が一時的に増加したためである。この鹿野山の変化については、次節で述べる。細かく見ると、この時期に初島や河津においては、固有の変化があったようにも見える。しかしこの変動は、他の期間にも時折見られる所の、外部磁場の非一様性による見掛けのものと思われる。

第2(b)図には、二つの大きな変化が見られる。即ち、1981年7月から10月にかけて、初島と吉田における全磁力の減少と回復、次いで1981年12月から1982年1月頃にかけて、

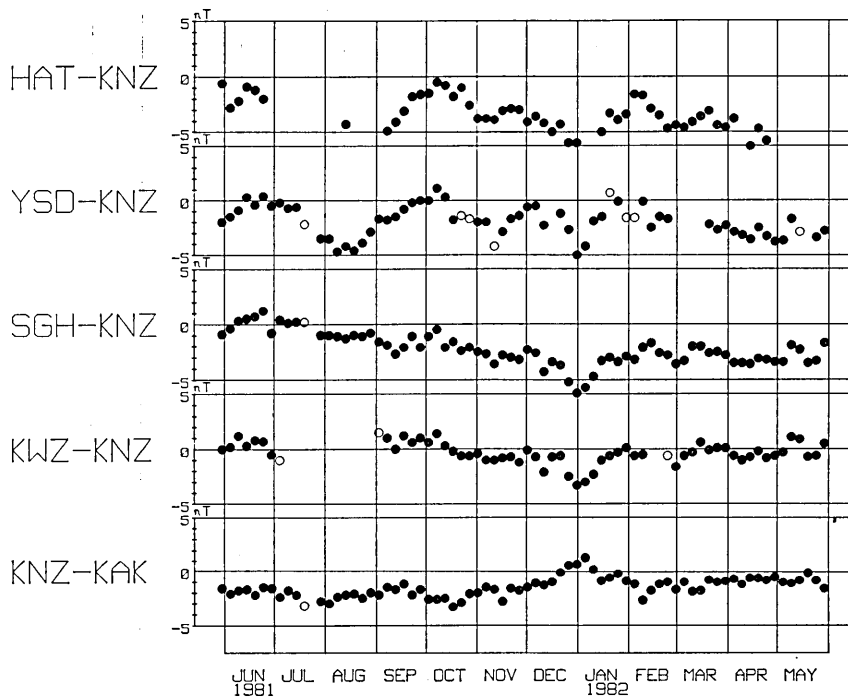


Fig. 2(b). Changes in the total intensity at eastern Izu stations relative to KNZ during the period from June, 1981, to May, 1982. Anomalous variations at HAT and YSD from July to October are remarkable. Again, an unusual increase at KNZ brought about a spurious change in the Izu stations from Dec. to Jan.

伊豆の全観測点に見られる減少である。後者については、最下段の鹿野山一柿岡のグラフから、前年同時期とよく似た、鹿野山の一時的な全磁力増加による見掛けの変化である。しかし前者は、明らかに伊豆地方に生じた異常変化と云える。

そこで1981年の1年間について、上記の5点の他に、浮橋と柿木の変化もあわせて、第2(c)図に示した。この図で、3月から12月上旬迄の期間では、鹿野山の固有全磁力に変化は無いと見てよい。2(c)図によると、初島、浮橋、吉田の全磁力減少と回復が顕著であり、菅引にはほとんど見られない。柿木と河津については、7月と8月が大部分欠測のため、全磁力の顕著な減少を生じたかどうか明らかでない。しかし、これ等の測点における9月のグラフには、初島や吉田に見られる回復傾向が見当らない。断定は出来ないが、柿木と河津では、北東部のような異常変化は無かったと考えられる。なお、柿木の1981年前半の変動は、工事用車輛の出入りによる人為的擾乱である。

第3(a)図に1981年2月に行なった全磁力測量を、前年7月の測量結果と比較したものを示す。我々は鹿野山の異常に起因する1980年12月から1981年2月頃の変化(第2(a)図)を、当初は伊豆に生じたものと誤認したため、緊急に伊豆のくり返し測量を実施した。この図は菅引(SGH)を基準としている。人工的擾乱を受けた点以外にも、やや大きな変動

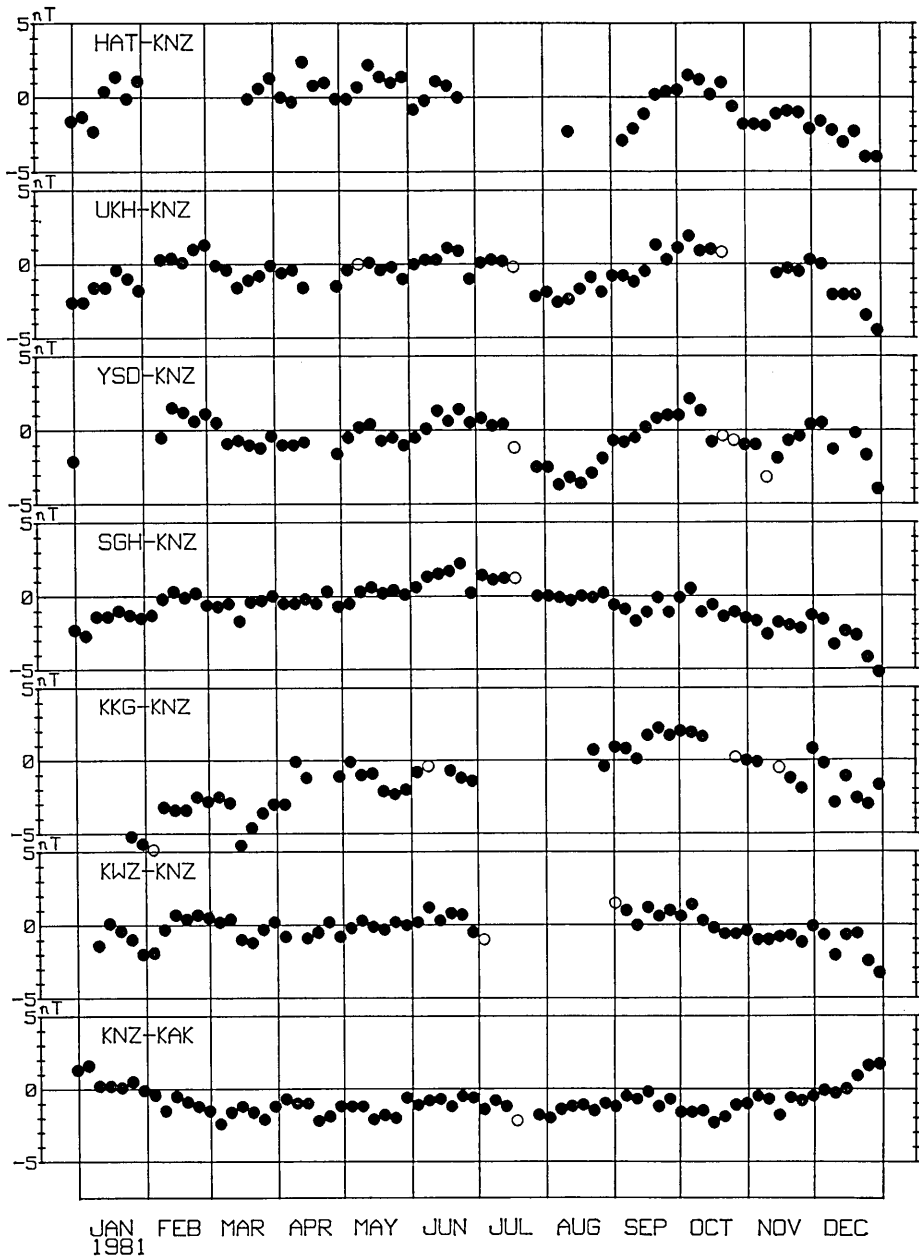


Fig. 2(c). Anomalous variations of the total field as revealed by the eastern Izu magnetometer array.

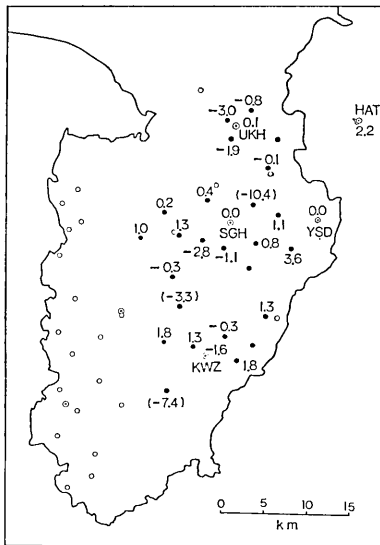


Fig. 3(a). Changes in the F component relative to SGH during the period from June, 1980, to February, 1981, as revealed by repeated surveys. Values in the parentheses suffered some artificial disturbances. Unit in nanoteslas.

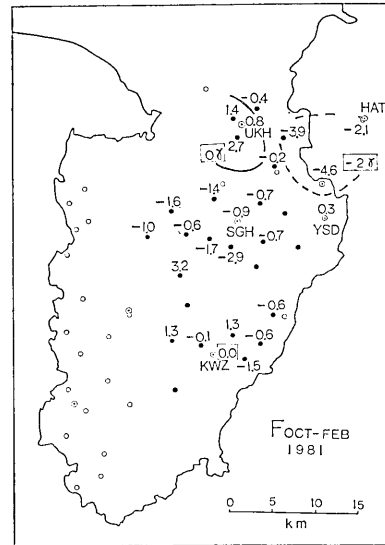


Fig. 3(b). Changes in the F component relative to KWZ during the period from February to October, 1981, as revealed by repeated surveys. Unit in nanoteslas.

を示す測点がいくつかある。特に連続観測点の HAT と KWZ の変化は、伊豆半島東方沖地震以来の伊豆半島内部の局所の変動を反映している。

第 3(b) 図には、1981年10月の測量を前回の2月と比べた結果を示す。この場合は、7月以来の異常変化が見られない河津を基準とした。これには前図と比べてもかなり大きな変化量が検出されている。この測量時は異常変化の最盛期を逃がしてしまっている。しかし第 2(b) 図にも明らかなように、この時期には北東部の各連続点ではバラバラな変動を始めていた。特に注目すべきは、連続観測点の近傍の測量点の変化が、その連続点の変化と大体同じセンスで増減していることである。即ち、この程度の連続観測点密度で、東伊豆地域の局地的全磁力変化がかなり良く把握できることを意味する。

以上をまとめると、

- (1) 顕著な全磁力減少は、伊東市を中心に半径約 10 km 程度の地域に生じた。
- (2) 最大の減少量は約 5 nT で、3 ヶ月後に一度回復したが、その後再び減少している。

3. 鹿野山の異常変化

我々は1968年から房総半島において全磁力くり返し測量を行なっている(笹井・石川1976)。近年の地域開発に伴って多くの磁気点が人為擾乱を受けたため、1980年に測量点の全面的な再設を行なった。同時に測量方式を改善し、地上高 2.5 m の木製センサーを用

いて、夜間自動計測を中心とした、伊豆地域で実施しているものと同一方式に改めた。

第4図に1980年6月と1981年4月の測量による全磁力変化を示す。これは鹿野山を基準とし、1980年12月からの鹿野山に見られた異常が、房総半島内で更に局地的な変動を伴っているかどうかを調べたものである。第2(a)図のKNZ-KAKの全磁力変化を見ると、1981年4月の時点で鹿野山の異常は既に回復してしまっている。半島内の全磁力変化の時間的経過が鹿野山のそれと同じであったとしたら、異常の空間分布を調べるには、再測の時期が遅かったことになる。

第4図によれば、半島内の大部分の変化量はごく小さい。この図で四角で囲んだ数値は、2回の測量時に深夜測定を行なって得られた信頼度の高いものである。南東部の鴨川市附近にやや大きな変化を示す地域があり、正負の対をなすようにも見える。この異常が鹿野山の変化の名残りである可能性もあるが、この附近は市街地に近く、かつ日中に観測した場所もあって、やや信頼度に欠ける。1981年3月に、鴨川市の海岸近くの沖合にM2~3数個を含む群発地震が発生している(地震予知観測室(地震研究所)1981)。地震の規模からして、鴨川附近の変化がこの群発地震に伴う地震地磁気効果とは考えられない。

鹿野山の異常変化が人為的な原因によるものでないことには、ほぼ確実な証拠がある。鹿野山測地観測所では1978年1月以来、鹿野山から約8km南東の地点(第4図のMS:三島神社)において、月に一回定期的に全磁力観測を実施している。測定は日中の毎正時に10時間程にわたって行なわれるので、全磁力地点差は十分信頼できる。第5図にMSと鹿野山の全磁力地点差測定結果を示す(鹿野山測地観測所、観測資料による)。1980年6月から1981年4月まで、両地点の全磁力差はほぼ±1nTの範囲で落ち着いている。従って鹿野山に見られた全磁力の増加と回復は、少なくとも約8km離れた参照点をも含むような、空間的拡がりを持っていたことになる。

1981年12月から再度観測された全磁力増加は、この変化の原因について一層謎を深めることになった。第

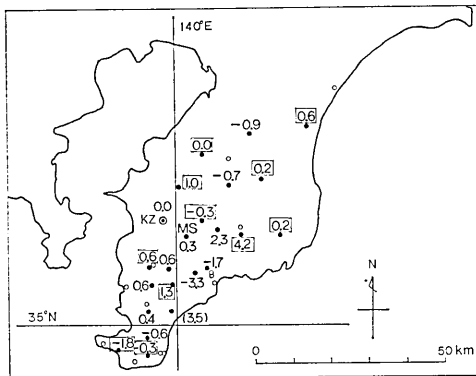


Fig. 4. Changes in the F component relative to Kanozan (KZ) during the period from June, 1980, to April, 1981, as revealed by repeated surveys. Values in squares are reliable ones as determined with midnight data. MS is a reference point established by Kanozan Geodetic Observatory, GSI. Unit in nanoteslas.

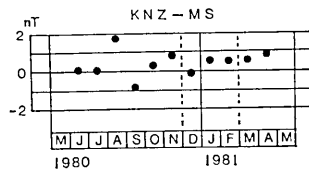


Fig. 5. Result of comparative observations between KNZ and MS (see Fig. 4), conducted once a month by Kanozan Geodetic Observatory. No significant change was detected in the total field difference, which implies that the temporal change at KNZ from Dec., 1980, to Feb., 1981, had some spatial extent including the reference point MS.

2(a) 図と 2(b) 図の KNZ-KAK を比べると判る通り、1981年暮からの変化は前年のそれと非常によく似た経過をたどっている。この両図だけ見ると、鹿野山に固有な季節的変動があるかのように見える。しかし1976年から1980年までは、この種の変化は全く認められない(笹井・石川 1977, 1978, 1980b)。鹿野山と柿岡の地磁気 3 成分地点差の永年変化については、石川甲子男(1978, 1980)によって詳しく調べられた。又我々も1962年から1976年までの期間について、鹿野山と柿岡の地磁気 3 成分月平均値の地点差を調べたことがある(笹井・石川 1976)。これ等の調査は月平均以上のゆっくりとした変動に着目したもので、今回のような比較的短期の変化を見るには適当でない。しかしこれ等の調査においても、年末から年初にかけて出現する顕著な変化は見られない。

第一報(笹井・石川 1977)で強調したように、伊豆半島東部地域の地磁気観測の基準点としては、磁氣的緯度が大体一致していることと短周期変化が似ているという点から、鹿野山が最適である。しかし房総半島は顕著な地殻変動が認められる地域でもあって、不変の基準点ではあり得ない。基準点の変動をチェックし、又今回のような異常変化の原因を探るためにも、我々は房総半島において、全磁力の連続観測を計画している。

4. 関東・東海地域の全磁力変化

伊豆北東部の異常変化の原因を追求する上で重要な資料として、伊豆半島とその周辺の観測点における、同期間の全磁力変化を調べてみた。関東・東海地域における全磁力連続観測点の分布を第 6 図に示す。公表されている全国精密全磁力永年変化観測成果から、第 2 図と全く同様な、全磁力単純差の 5 日平均を作ることが出来る。柿岡(KAK)を基準とした、八ヶ岳(YAT)、鹿野山(KNZ)、菅引(SGH)、野増(NOM)、八丈島(HJJ)の全磁力変化を第 7(a) 図に、同じく柿岡を基準とした、初島(HAT)、戸田(HED)、河

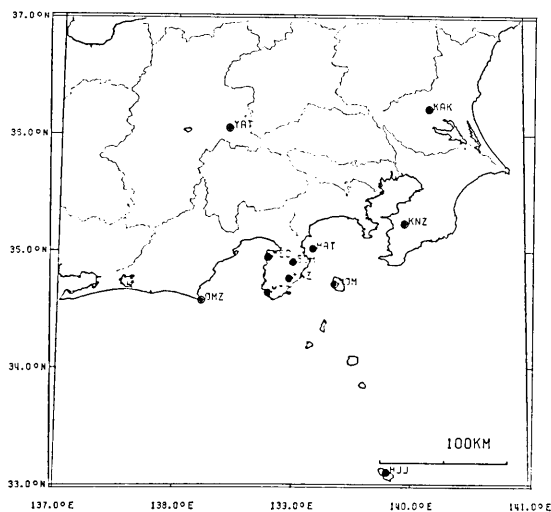


Fig. 6. Distribution of proton magnetometer stations in the Kanto and Tokai districts.

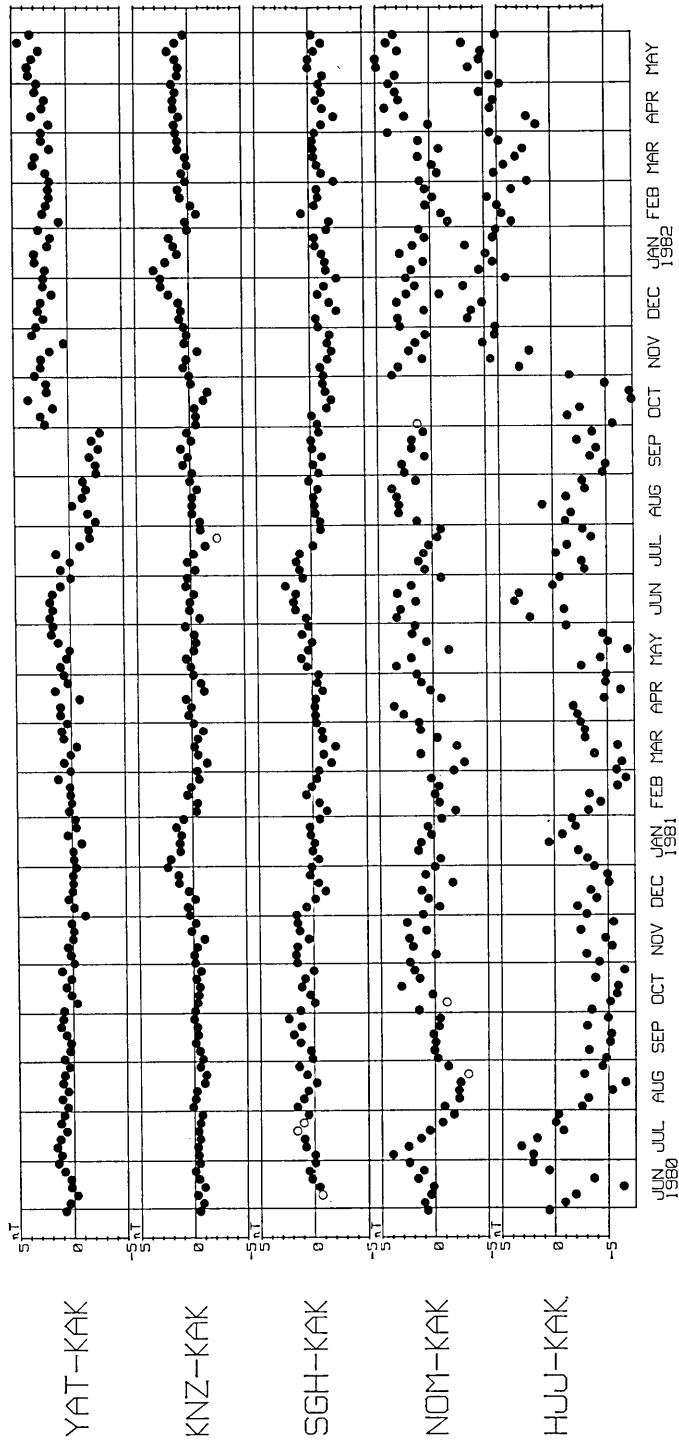


Fig. 7(a). Changes in the total intensity at YAT, KNZ, SGH, NOM and HJJ relative to KAK. Enormous changes at HJJ and some moderate disturbances at NOM might have been caused by the dynamo action of ocean currents including tidal flow.

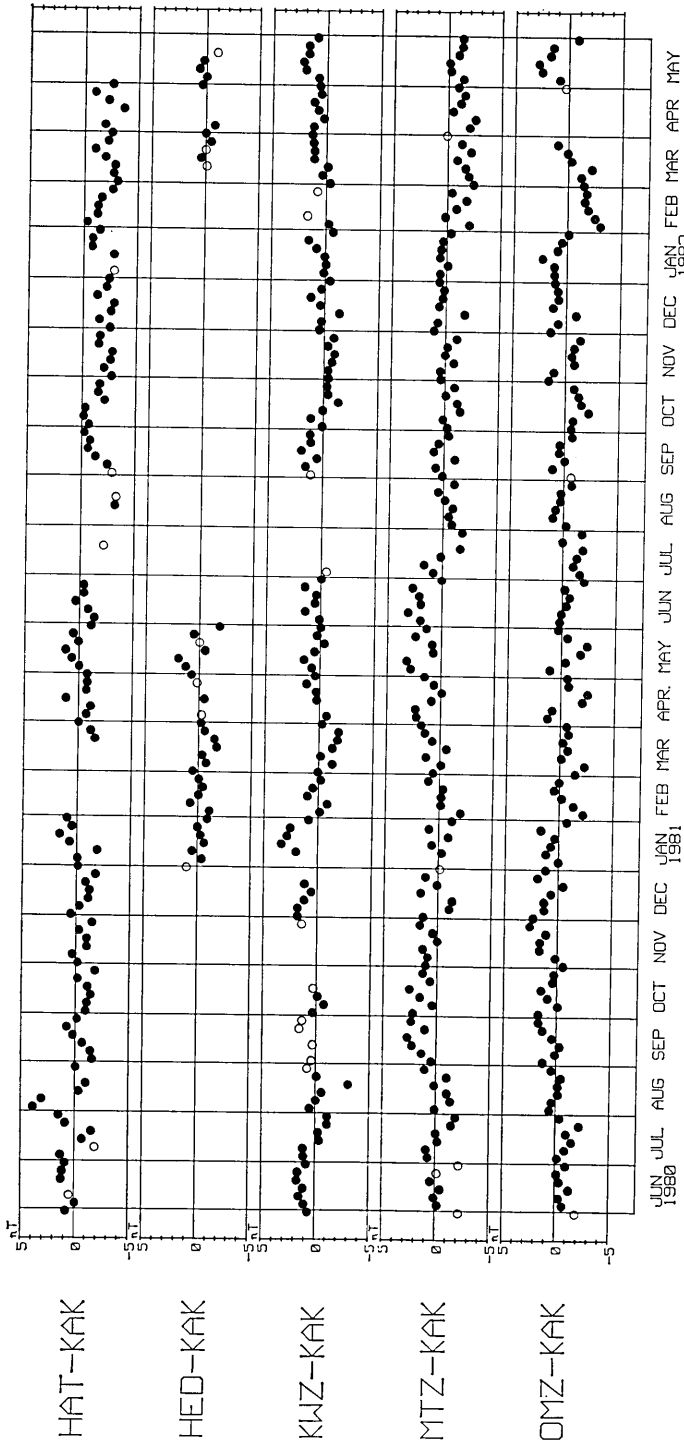


Fig. 7(b). Changes in the total intensity at HAT, HED, KWZ, MTZ and OMZ relative to KAK.

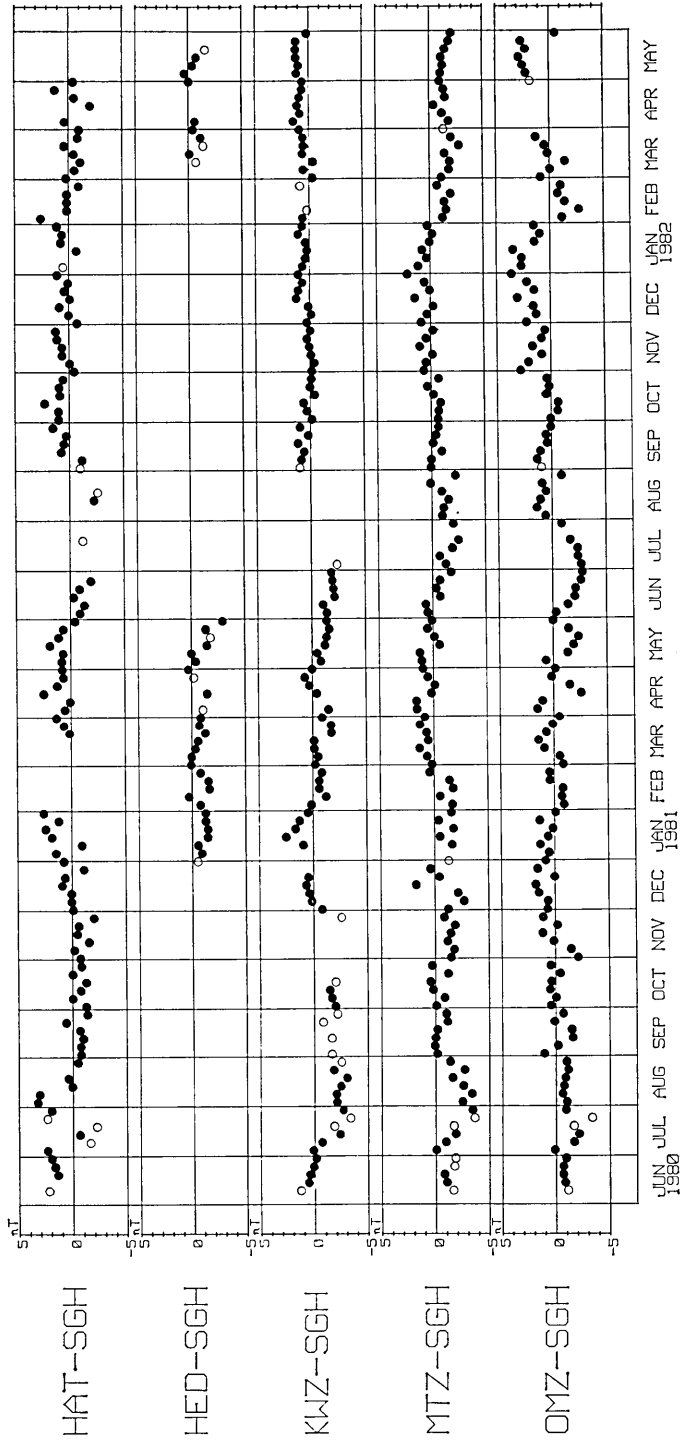


Fig. 7(c). Changes in the total intensity at those stations in Fig. 7(b), but relative to SGH.

津 (KWZ), 松崎 (MTZ), 御前崎 (OMZ) のそれを第 7(b) 図に, 更に 7(b) 図の観測点については菅引を基準としたものを第 7(c) 図に示す。

第 7(a) 図では野増と八丈島の変動が顕著である。とりわけ八丈島の変化は異常に大きく, 1981年10月から11月にかけては, 10 nT 以上の急増を見せている。この変動が地殻活動に関連したものとは考えにくい。しかし振動的に変化している外部磁場の非一様性によっては, 磁場の段差状変化は説明できない。大島章一氏 (海上保安庁水路部: 私信 1979) は, 八丈島に見られる大きな磁場変動が, 黒潮の蛇行に関係している可能性を指摘した。更に本蔵・大志万 (1981) は松崎の全磁力変化を解析して, M_2 成分等の潮汐に関係すると思われる変化が大きいことを報告している。第 7(a) 図の野増と八丈島, 第 7(b) 図の初島の変化には, 時折よく似た部分がある。一方, 御前崎と松崎の変動も大きい, 両者はあまり似ておらず, 前記三点の変化とも対応が良くない。離島や海岸近傍の観測点における大きな磁場変動は, 海流のダイナモ作用による可能性が強いが, その変化の様相はかなり複雑である。

柿岡を基準とした第 7(a), 7(b) 図には, Dst の緯度効果がかかなり顕著で, 磁気緯度の近さから, 八ヶ岳一柿岡が最もバラツキが小さい。7(a) 図に見られる八ヶ岳の1981年7月以降の変動と10月のオフセットは, 落雷によるセンサー近傍の帯磁変化の影響である (歌田・小山 1982)。第 7(b) 図と 7(c) 図を比較してみると, 基準点を伊豆半島内にとることによって, 7(c) の方はバラツキの程度がかかなり改善されることが分る。しかし御前崎一菅引の変動は, 御前崎一柿岡よりかえって大きくなってしまふ。これは御前崎と菅引がそれぞれ固有の変化をしていて, いずれかの変化を強調する結果になっているためのものである。御前崎の近くの浜岡でも, 最近全磁力の連続観測が開始され, 局地的な異常変化が見出されている (八ヶ岳地磁気観測所 (地震研究所) 1982)。

7(b) 図と 7(c) 図の松崎の変化には, 1981年7月, 8月にかけて全磁力の減少が見られる。これは伊豆北東部の異常と時期を同じくし, 変化のセンスも同じである点で注目される。ところが前年の同じ時期にもこれとよく似た変化があつて, 季節的変動である疑いがある。この点は伊豆半島北東部の観測点と事情が異なる。

最後に, 伊豆半島内の各観測点の全磁力が, 最近相対的に減少に転じていることを指摘したい。南関東と東海地域では, 南の測点と北部の基準観測所との全磁力地点差が, 経年的に増加する傾向にあることが知られている (房総半島一柿岡については, 笹井・石川 1976, 東海地域一八ヶ岳については, HONKURA *et al.* 1980)。そして東伊豆地域についても, 鹿野山や柿岡に対しては, 1976年から1980年にかけての時期に, わずかながら増加の傾向にあつた。第 2 図と第 7 図によると, この傾向は1980年半ば頃から反転して, 伊豆地方の全磁力値は, 鹿野山に対してはもとより, より北方に位置する柿岡に対してさえ減少を示している。西伊豆については, 過去の傾向が今の所よく分らない。松崎はこの2年間で減少傾向が著しいが, 戸田ではほとんど変化が無い。このような長期変動は, 日本附近の地磁気永年変化率の漸移過程の表われかもしれないが, 一つの可能性として, 伊豆地方の地殻活動度の変化に起因するとも考えられる。関東, 東海地域では, プロトン磁力計による連続観測網が整備されつつあるので, 今後の観測資料の蓄積によって, この点も明らかになる望みがある。

5. 考 察

伊豆半島北東部で観測された全磁力異常変化の原因について考えてみたい。このような磁場変化をもたらす機構としては、何らかの地殻活動に伴うピエゾ磁気効果、前節で述べた海流のダイナモ作用、地下水の流動に伴う界面動電現象、が挙げられる。

(1) 異常隆起に伴うピエゾ磁気効果

伊豆半島東方沖地震の余震と、川奈崎沖の群発地震は1980年7月に減衰し、それから本年5月頃まで、伊豆半島の地震活動は比較的静穏であった(地震研究所・地震移動班・地震活動研究部門 1981a, b, 1982)。1981年5月に真鶴岬の沖合で、有感地震を含む群発活動があり、短期間に終息した。更に地磁気異常変化が回復した後、1982年3月に伊東市附近、5月に川奈沖に群発活動が見られたが、小規模なものに留まった。

ところが伊豆半島の北東部海岸附近は、伊豆半島東方沖地震の後に隆起していることが判明した(国土地理院 1981, 1982)。水準測量によると、伊東市南部の海岸 ぞい (YSD (吉田) 附近の数 km の区間) では、1980年5~6月と11~12月の間で2 cm 弱の隆起が認められ、更に1980年11~12月から1981年6~7月にかけては、上述した区間を中心に南北20 km にわたって、最大2 cm 強の隆起が検出された。1981年前半の隆起は、内陸部の中伊豆町冷川附近にも及んでいる。

全磁力の異常変化は、隆起が確認された水準測量時期(1981年6~7月)から始まり、その異常域も隆起域とよい一致を示している。このことから、全磁力変化は異常隆起の一層の進行に伴ったものである可能性がある。第8図に伊東と油壺の月平均潮位と、潮位差で推定される伊東附近の隆起の経過を示した(国土地理院地殻調査部(1982)の原図に、その後の資料(海岸昇降検知センターによる)を加えた)。この図からも1981年に入って隆起が継続していることが見てとれる。しかし問題としている7月から10月にかけて、特に顕著な隆起が見られる訳ではない。

ところで異常隆起をひき起す機構について、最近重要な情報が得られた。本蔵・平(1982)は中伊豆町で地磁気3成分の連続観測を行ない、短周期変化の水平成分の八ヶ岳に対する振幅比が、1978年後半から増加を示し、その変化の様相が検潮記録で推定される伊東市附近の隆起と極めて良い対応を示すことを見出した。この事実は、隆起に伴って地下の電気伝導度が上昇したことを意味しており、地殻上部に空隙が生じて、地下水が浸透していると考えられる(HONKURA *et al.* 1982)。残念なことに、本蔵等の観測は全磁力の異常が見出された時期には中断されていて、この異常変化に対応して、何らかの電気伝導度変化があったかどうか分っていない。

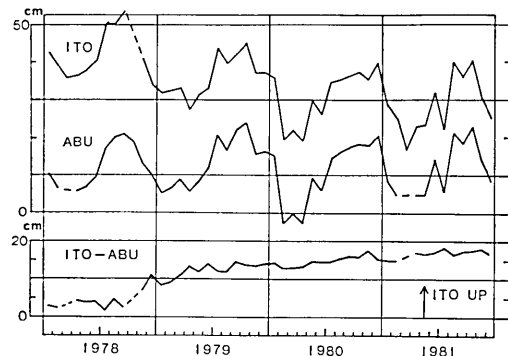


Fig. 8. Monthly mean sea level at Ito and Aburatsubo tidal stations and their differences.

萩原 (1977) は松代の地殻隆起をもたらしたメカニズムを、水を含む微小空隙が地殻上部に密集した状態 (萩原はこれを複合茂木モデルと名付けた) でモデル化して、観測された重力変化を見事に説明した。本蔵等の観測結果は、伊東市附近の隆起がこの複合茂木モデルのような機構でもたらされていることを強く示唆する。

筆者の一人 (SASAI 1979) は、一個の空隙 (マグマ溜りに対応) の静水圧的膨張 (いわゆる茂木モデル MOGI 1958) に伴うピエゾ磁気変化を求めた。複合茂木モデルによる地磁気変化は、SASAI の解の重ね合わせによって表現できる。結果の導出過程を補録に示した。このモデルの特徴は、隆起に伴って全磁力が減少する点にある。隆起域=全磁力減少域の岩石の帯磁を大き目にとることが許されるなら、数 cm の隆起で観測された全磁力変化が期待できる。実際、全磁力減少域は宇佐美、多賀火山の旧山体の分布する地域であり、あながち無理な想定ではない。全磁力減少が回復したことから、一時的な隆起と沈降があった可能性もある。

(2) 海流のダイナモ作用

黒潮などの海流、あるいは海洋潮汐流のような海水の流動に伴って、良導体である海水が地球磁場を切ることで起電力を生ずる。この電流は海水中に閉じたトロイダル磁場を作るが、陸地も絶縁体ではないために内陸部へ電流がもれ出し、地上で測定し得る磁場を生ずることが考えられる。前節で調べたように、離島や海岸近くの観測点では、この種の効果によるらしい磁場変動が顕著であるが、理論的研究もまだ進んでいない。

ただし今回の全磁力異常を、この作用の結果とするには、いくつかの困難がある。それは次の諸点である。

①相模湾で、海流の異常が生じた証拠が無い。例えば、流速の変化によって平均潮位の変動が生ずるはずである。しかし第8図に見るように、伊東の検潮記録にはこの時期に異常は認められない。

②内陸部の浮橋が、吉田や初島と同様な地磁気変化をしたことが説明し難い。

③本蔵・大志万 (1981) が指摘したように、潮汐による M_2 磁場の存在によって、太陽時を基準とした夜間値のみをサンプリングする現在の方式では、エイリアシング現象を生ずる恐れがある。しかし今回の全磁力変化は、2年以上の観測期間中に唯一度出現していて、エイリアシングなら当然期待される周期的くり返しが見られない。

(3) 地下水の流動に伴う界面動電現象

海流のダイナモ作用とは別に、磁場変化をもたらす伝導電流の発生源として、地下水の流動に伴う界面動電現象がある (MIZUTANI and ISHIDO 1976, FITTERMAN 1979)。しかし FITTERMAN (1981) の再計算によると、この効果で観測可能な磁場変化を生ずるのは難しいとされている。

伊東市およびその周辺では、「なまずの会」会員による地下水位や泉温の連日観測が精力的に続けられている。1981年7月から10月前後に、地下水位の異常等は報告されていない (なまずの会水位観測班 1982)。界面動電現象は、自然電位の変化として観測されやすい。残念ながら、東伊豆地域で地電位差の観測は行なわれていない。(我々は1977年10月から菅引において自然電位を観測していた (笹井・石川 1978)。しかし1979年以降、附近の家屋新築等に伴い、数 10 mV の 1 Hz ノイズをひろうようになって、菅引の地電位差

観測は中止せざるを得なくなった。) 今回の全磁力異常変化が界面電動現象による可能性を全く否定は出来ないが、積極的にそれを支持する地下水位観測結果や理論的根拠に乏しい。

以上に挙げた三つの原因のうち、我々は(1)の可能性が強いと考えているが、全磁力異常変化の最中に隆起が生じたという確実な証拠は無い。モデルの近似表現も十分ではないので、今後の検討が必要である。

東伊豆地域で展開されている全磁力の群列観測は、従来のくり返し測量では得られなかった興味ある地磁気変化を検出した。地殻活動の活発な地域でのこの種の観測は、我が国でも松代地震以来の試みである。伊豆地方の地震活動は静穏化しつつある印象を受けるが、平常時の地磁気変化の有無を確かめることも重要と思われるので、当面この観測体制を維持して行く予定である。

謝 辞

この観測は伊豆地方の多くの方々の御協力を得て遂行されている。とりわけ連続観測点においては、次の方々にも長期にわたって御世話いただいている：中伊豆町菅引の本成寺、宇佐美日浄師、河津営林署の相馬充氏、大仁町浮橋の本道寺、内藤欲敬師、熱海市初島の初島バケーションランド、長田文秀氏と日下部誠氏、伊東市吉田の光栄寺、村田政明師、伊東市新井の宝専寺、遠山泰雄師、天城湯ヶ島町柿木の大龍寺、渡部道雄師および渡部美佐子氏である。

国土地理院、鹿野山測地観測所からは、我々の基準観測値として、常に同所の全磁力値を頂いている上に、三島神社との比較観測結果も御教示いただいた。以上の関係者の皆様方に心から感謝の意を表します。

地震研究所、萩原幸男教授は、我々の観測に終始有益な指導と助言を与えられ、又複合茂木モデルについて教えて頂いた。歌田久司氏には、今回の地磁気異常変化の原因について、種々の議論をして頂いた。ここに厚く御礼申し上げます。

補録 複合茂木モデルに伴う地磁気変化 (近似解)

原点を地表にとった直角座標系において、 x 軸を地磁気の北方向、 y 軸を東方向、 z 軸を鉛直下方にとる。地殻は地表 $z=0$ からキュリー点等温面 $z=H$ まで、一様帯磁していると仮定する。多数の微小クラックが点 $(0, 0, D)$ を中心に3次元正規分布をしているものとする。水平方向の分散に異方性がなく、鉛直方向のそれは異なるとすると、この分布関数は

$$\left. \begin{aligned} p(x, y) &= \frac{1}{2\pi\sigma_r^2} \exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2\sigma_r^2}\right) \\ q(z) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_z} \exp\left\{-\frac{(z-D)^2}{2\sigma_z^2}\right\} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

で与えられる。

個々の微小クラックを一様膨張した小球で近似し、この小球の分布が(1)に従うと考え

る。地殻内の一点 (x', y', z') にある一個の空隙が静水圧的に膨張した場合、可逆的ピエゾ磁気効果によって点 (x, y, z) に生ずる磁場のポテンシャルは次式で与えられる (SASAI 1979)。

$$\left. \begin{aligned} \frac{w_H}{C_H} &= \frac{\mu}{2(\lambda+\mu)} \frac{x-x'}{\rho_1^3} - \frac{\mu}{2(\lambda+\mu)} \frac{x-x'}{\rho_3^3} + 9H \frac{(x-x')\zeta_3}{\rho_3^5} \\ &+ \begin{cases} \frac{3}{2} \frac{x-x'}{\rho_1^3} - \frac{3}{2} \frac{x-x'}{\rho_2^3} & (0 < z' < H) \\ 0 & (H < z') \end{cases} \\ \frac{w_V}{C_V} &= -\frac{\mu}{2(\lambda+\mu)} \frac{\zeta_1}{\rho_1^3} + \frac{\mu}{2(\lambda+\mu)} \frac{\zeta_3}{\rho_3^3} + 3H \left(-\frac{1}{\rho_3^3} + \frac{3\zeta_3^2}{\rho_3^5} \right) \\ &+ \begin{cases} \frac{3}{2} \frac{\zeta_1}{\rho_1^3} - \frac{3}{2} \frac{\zeta_2}{\rho_2^3} & (0 < z' < H) \\ 0 & (H < z') \end{cases} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ここで

$$\left. \begin{aligned} \zeta_1 &= z' - z, \quad \zeta_2 = 2H - z' - z, \quad \zeta_3 = 2H + z' - z \\ \rho_i &= \sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + \zeta_i^2} \\ C_H &= 2\pi k J_H C_0, \quad C_V = 2\pi k J_V C_0, \quad C_0 = \frac{1}{2} a^3 \Delta p \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

であり、 k は磁気応力係数、 J_H と J_V は水平、鉛直方向の地殻帯磁、 a は小球の半径、 Δp は圧力変化、 λ と μ はラメの定数である。これ等の微小クラック全体が作る磁場のポテンシャルは

$$\left. \begin{aligned} \frac{W_H}{C_H} &= \int_0^\infty q(z') dz' \iint_{-\infty}^\infty p(x', y') w_H(x-x', y-y', z, z') dx' dy' \\ \frac{W_V}{C_V} &= \int_0^\infty q(z') dz' \iint_{-\infty}^\infty p(x', y') w_V(x-x', y-y', z, z') dx' dy' \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

上式において、 x' と y' に関する積分はたたみこみの形になっているので、フーリエ変換でこれを解く。 w_H と w_V のフーリエ変換は SASAI (1979) によって与えられている。萩原の近似解法に従うと、 $D \gg \sigma_r \geq \sigma_z$ という条件の下で、次の近似解が得られる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{W_H}{C_H} &= \frac{3\lambda+4\mu}{2(\lambda+\mu)} \left\{ \frac{x}{R_1^3} + \frac{3}{2} (\sigma_r^2 - \sigma_z^2) \left(\frac{x}{R_1^5} - \frac{5xD_1^2}{R_1^7} \right) \right\} \\ \frac{W_V}{C_V} &= \frac{3\lambda+2\mu}{2(\lambda+\mu)} \left\{ \frac{D_1}{R_1^3} + \frac{3}{2} (\sigma_r^2 - \sigma_z^2) \left(\frac{3D_1}{R_1^5} - \frac{5D_1^3}{R_1^7} \right) \right\} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

ここで

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= \sqrt{x^2 + y^2 + D_1^2} \\ D_1 &= D - z \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

ただし(5)式は H が D に比べて十分大きい場合であって、通常の地殻ではこの条件は満たされている。

近似解(5)は点 $(0, 0, D)$ に点力源を置いた茂木モデルに対する解に、 σ_r と σ_z による補正項が加わった形をしている。(5)式はごく限定された条件の下で成立する解で、複合茂木モデルが本来持っている広いモデル適合性を著しくせばめている。しかし巨視的ダイラタンシー状態に伴う地磁気変化を定性的に理解する上では、これでも十分であろう。即ち、ダイラタンシー状態にある一様帯磁地殻の上では、茂木モデルの場合と同じく、全磁力は減少する。

複合茂木モデルの最大隆起量は

$$\Delta h(0) = \frac{\lambda + 2\mu}{2\mu(\lambda + \mu)} \frac{\alpha^3 \Delta p}{D^2} \left\{ 1 - \frac{3(\sigma_r^2 - \sigma_z^2)}{D^2} \right\} \quad (7)$$

で与えられる(萩原 1977)。距離をクラック群の中心深度 D で規格化すると、地磁気変化の大きさは C_s/D^3 に比例する。ここで

$$C_s/D^3 = \frac{2\pi k J \mu}{1 - 3(\sigma_r^2 - \sigma_z^2)/D^2} \cdot \frac{\lambda + \mu}{\lambda + 2\mu} \frac{\Delta h(0)}{D} \quad (8)$$

但し、 $C_H = C_s \cos I_0$ 、 $C_V = C_s \sin I_0$ で I_0 は地磁気伏角である。 $\lambda = \mu = 3.5 \times 10^5$ bar、 $k = 1.0 \times 10^{-4}$ bar $^{-1}$ 、 $J = 1.0 \times 10^{-3}$ emu、 $\Delta h(0) = 1$ cm、 $D = 1$ km、 $(\sigma_r^2 - \sigma_z^2)/D^2 = 0.1$ に対して、 $C_s/D^3 = 0.209$ nT となる。仮に $k = 2.0 \times 10^{-4}$ bar $^{-1}$ 、 $J = 5 \times 10^{-5}$ emu、 $\Delta h(0) = 3$ cm にとれば、この数値は $6nT$ に達し、観測された全磁力変化量を十分説明できる。

引用文献

- FITTERMAN, D. V., 1979, Theory of electrokinetic-magnetic anomalies in a faulted half space, *J. Geophys. Res.*, **84**, 6031-6040.
- FITTERMAN, D. V., 1981, Correction to 'Theory of electrokinetic-magnetic anomalies in a faulted half space', *J. Geophys. Res.*, **86**, 9585-9588.
- 萩原幸男, 1977, 複合茂木モデルとしての松代地殻隆起, 測地学会誌, **23**, 25-35.
- HONKURA, Y., S. KOYAMA and T. YOSHINO, 1980, Surveys of the geomagnetic total intensity in the Tokai district, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **55**, 449-481.
- 本藏義守・大志万直人, 1981, 海洋潮汐と全磁力変化について, 「海洋大陸遷移地域における地球電磁気現象に関するシンポジウム」講演, 東京大学海洋研究所(1981年1月).
- 本藏義守・平進太郎, 1982, 中伊豆における地磁気変化の異常と伊豆半島東部の隆起, 日本地球電気磁気学会第71回講演集, 191.
- HONKURA, Y., N. OHSHIMAN, Y. SASAI, Y. ISHIKAWA, M. KAWAMURA and K. OHCHI, 1982, Search for earthquake precursors from electric and magnetic observations in the Izu Peninsula, Paper presented at the International Symposium on Continental Seismicity and Earthquake Prediction, Beijing, China.
- 石川甲子男, 1978, 鹿野山における地磁気経年変化, 測地学会誌, **24**, 11-20.
- 石川甲子男, 1980, 鹿野山における地磁気経年変化の局地性, 測地学会誌, **26**, 50-58.
- 地震移動班・地震活動研究部門(地震研究所), 1981a, 伊豆半島付近の地震活動(1980年5月~10月), 地震予知連絡会報, **25**, 162-168.
- , 1981b, 伊豆半島付近の地震活動(1980年11月~1981年5月), 地震予知連絡会報, **26**, 164-168.

- , 1982, 伊豆半島付近の地震活動 (1981年6月~1981年10月), 地震予知連絡会報, 27, 145-149.
- 地震予知観測室 (地震研究所), 1981, 関東地方およびその周辺における微小地震活動 (1980年11月~1981年4月), 地震予知連絡会報, 26, 63-76.
- 地震予知研究計画・地磁気研究グループ, 1980, 地震予知研究計画にもとづく地磁気永年変化精密観測, 1980年1月~3月, 地震予知連絡会報, 24, 279-281.
- 国土地理院・地殻調査部, 1981, 伊豆半島東部の地殻変動, 地震予知連絡会報, 26, 170-176.
- 国土地理院・地殻調査部, 1982, 伊豆半島の地殻変動, 地震予知連絡会報, 27, 155-174.
- MIZUTANI, H. and T. ISHIDO, 1976, A new interpretation of magnetic field variation associated with the Matsushiro earthquakes, *J. Geomag. Geoelectr.*, 28, 179-188.
- 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.
- なまずの会水位観測班, 1981, 昭和56年7月~9月の地下水位観測と地震, 神奈川県温泉地学研究所報告, 13, 6-8.
- 大地 洗・伊知地昇・桑島正幸・河村 謙, 1979, 伊豆大島近海地震に関連する地磁気全磁力変化, 地磁気観測所要報, 18, 55-64.
- SASAI, Y., 1979, The piezomagnetic field associated with the Mogi model, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 54, 1-29.
- 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.
- , 1977, 伊豆半島東部地域の異常地殻活動に伴う全磁力変化 (第一報), 震研彙報, 52, 173-190.
- , 1978, 伊豆半島東部地域の異常地殻活動に伴う全磁力変化 (第二報) —1978年伊豆大島近海地震—, 震研彙報, 53, 893-923.
- , 1980, 伊豆半島東部地域の異常地殻活動に伴う全磁力変化 (第三報) —1980年伊豆半島東方沖地震—, 震研彙報, 55, 1101-1113.
- SASAI, Y. and Y. ISHIKAWA, 1980, Tectonomagnetic event preceding a M5.0 earthquake in the Izu Peninsula—Aseismic slip of a buried fault?, *Bull. Earthq. Res. Inst.* 55, 895-911.
- 歌田久司・小山 茂, 1982, 落雷に伴う八ヶ岳地磁気観測所の全磁力変化 (1981年7月), CONDUCTIVITY ANOMALY 研究会 (1982年) 論文集, CA 研究グループ, 181-186.
- 八ヶ岳地磁気観測所 (地震研究所), 1982, 御前崎周辺の地磁気全磁力変化, 地震予知連絡会報, 27, 242-246.

33. *Changes in the Geomagnetic Total Force Intensity
Associated with the Anomalous Crustal Activity
in the Eastern Part of the Izu Peninsula (4)*
—Anomalous Change Observed in the North-Eastern
Area in 1981—

By Yoichi SASAI and Yoshinobu ISHIKAWA,

Earthquake Research Institute.

The Eastern-Izu magnetometer array (Fig. 1) detected a transient decrease in the total intensity in the north-eastern area of the Izu Peninsula during the period from July to October, 1981. The anomaly was found within an area with a 10 km radius, centered on Ito city, where the crustal uplift is still continuing. The total field change amounted to 5 nT at three stations (HAT, UKH, YSD), while a minor decrease was observed at one of the neighbouring stations SGH (Fig. 2(c)). The total field differences showed spurious bay-like variations from Dec., 1980, to Feb., 1981, and from Dec., 1981, to Jan., 1982, owing to transient increase of the F component at reference station KNZ. This may be a kind of seasonal change, although no dominant variations in winter were noticed before 1980 at KNZ. The total field variations at 11 standard observatories in the Kanto and Tokai districts were plotted in Fig. 7(a), (b) and (c) on the basis of data published by the Geomagnetic Research Group for Earthquake Prediction, Japan. Some island stations (HJJ, NOM) and some near the coast (OMZ) showed a large amount of disturbances, which might be brought about by the dynamo action of ocean currents. In order to interpret the transient anomaly on Izu, the piezomagnetic field associated with a macroscopic model of crustal dilatancy was investigated, which is the multiple Mogi model as proposed by HAGIWARA (1977). The model consists of microcracks clustered in the upper crust with the Gaussian distribution: each microcrack is simulated by a point force source of the center of dilatation. According to the present model, the total field decreases upon the upheaval. Even a few cm uplift can produce a few nT decrease in the F component, if we are allowed to assume an intense crustal magnetization (5.0×10^{-3} emu) and stress sensitivity (2.0×10^{-4} bar⁻¹) in the eastern Izu region concerned. No definite evidence is, however, obtained that the magnetic change did accompany any significant uplift and subsidence. An alternative explanation is that the observed anomaly might be caused by the dynamo action of ocean flow. Again, we have no evidence of unusual ocean flow off the east coast of the Izu Peninsula. The third physically plausible interpretation is that due to the electrokinetic-magnetic effect. Unfortunately, we have no self-potential data in the eastern Izu region. The electrokinetic effect is less promising because no anomaly in the ground-water level is reported by official and volunteer well-observers in the peninsula.