

## 能登半島沖地震に関連した全磁力変化

後藤 忠徳・坂中 伸也・堀 友紀・和田 安男  
住友 則彦・大志万直人

### ANOMALOUS CHANGES IN THE GEOMAGNETIC TOTAL FORCE ASSOCIATED WITH THE OCCURRENCE OF THE OFF NOTO PENINSULA EARTHQUAKE

By Tadanori GOTO, Shinya SAKANAKA, Yuki HORI, Yasuo WADA,  
Norihiko SUMITOMO and Naoto OSHIMAN

#### Synopsis

We examined secular variations of the geomagnetic total force at Horyu, Nishi-Amo and Tottori magnetic observation stations. We found that some anomalous changes at Horyu preceded the occurrence of Off Noto peninsula earthquake which occurred in February of 1993 with  $M=6.6$  and that the anomaly was recognized to continue after the earthquake. In order to detect additional changes of the magnetic total force, we set up a number of magnetic points for temporal magnetic surveys and carried out precise surveys three times during about one year. The survey results show that the magnetic total force tends probably to increase around the northern part of Noto peninsula.

#### 1. はじめに

地震発生に伴った、あるいは先行したとされる、地磁気全磁力（以下、全磁力と略）変化は多く報告されているたとえば<sup>1), 2)</sup>。また一方、磁化した岩石に応力が作用するとその磁化がわずかながら変化することが、岩石実験の結果から明らかにされているたとえば<sup>3)</sup>。この実験結果に基づいて、観測された地震に伴う全磁力の変化は、地下での応力の変化が、岩石の磁化の変化を起こしたことが一因であると考えられている。もしも地殻内の応力変化が全磁力の変化を引き起こすのであれば、地磁気全磁力の連続観測から、地殻内の応力の変化を間接的にモニターできる可能性がある。これは、地震発生予知の有効な手段となりうる。

しかしながら、実際に野外で観測される全磁力の変化は、岩石実験の結果から推測される全磁力変化より1桁程度大きいことが多い。また地震に伴う地磁気変化の様子には、プレサイスミック、コサイスミック、ポストサイスミックと多様である。つまり、地殻の応力変化と全磁力変化は、たとえば地殻の磁化の不均質さなども関与して、単純な関係にはない。これらの地磁気変化と地殻内の応力の変化が、本当にどのような関係にあるのかを明確に知るためには、連続観測点に加えて、全磁力の臨時観測点を多く設けて、繰り返し磁気測量を行うことが有効である。

我々は、地殻内の応力の変化（地震発生）に伴って、地殻内の岩石の状態（特に磁化）がどのように変化するかを知るために、中部日本、近畿、北陸、中国地方等での計5つの観測点で全磁力を連続して観測している。このうち能登半島北部の宝立観測点において、全磁力変化が異常である事が住友によって1992年秋<sup>4)</sup>に指摘された。この指摘の後の1993年2月7日に、 $M6.6$ の能登半島沖地震が起きたので、住友の指摘

した全磁力の異常変化は、能登半島沖地震に関連していた可能性が考えられた。このため、この地域で詳細な全磁力の経年変化を調べることを試みた。

我々は、能登半島沖地震後の地殻内応力の変化の過程が地磁気永年変化にどのように反映するかを知るために、地震の後約1年間に3回、能登半島先端地域で繰り返し磁気測量を行った。本論文では、まず能登半島沖地震前後に連続観測点で得た全磁力の変化を示す。次に、能登半島沖地震後の繰り返し磁気測量で判明した能登半島北部の全磁力の変化について示す。最後にこれらの全磁力の変化の原因について考察する。

## 2. 連続観測点の全磁力の変化

我々は5つの観測点（宝立，西天生，鯖江，天瀬，鳥取：Fig. 3参照）で全磁力を5分毎のサンプリング間隔で連続観測をしている。能登半島沖地震前後の全磁力の変化に見られる特徴を以下に上げる。

まずFig. 1に1986年1月～1993年12月までの宝立，西天生，鳥取の3観測点相互の全磁力の差の変化を示した。Fig. 1に示した全磁力の変化は、毎日の夜間（00：45～03：15の15分毎）の測定値の平均値を1ヶ月毎に平均した値である。標準誤差は0.2nT以下である。Fig. 1を見ると、鳥取を基準としたときの西天生の変化と宝立の変化と比較すると、両者の変化が1990年1月頃からかなり違っているように見える。住友<sup>4)</sup>は、この地域の従来の全磁力の永年変化の傾向から判断して、宝立，西天生とも鳥取に対して相対的に減少変化をするはずであるので、宝立観測点は異常な増加の傾向にあると指摘した。

その後、1993年2月7日に能登半島沖地震が発生したが、Fig. 1を見ると、全磁力の差には顕著なコサイミックな変動は検出されなかった。この点についてより細かく調べるため、1993年1月～12月の毎日の、宝立・西天生間の全磁力の差の変化（夜間の平均値を用いた）をFig. 2に示した。これを見ても、特に地震前後で全磁力の差の顕著な増加や減少は認められない。

能登沖地震後の全磁力変化について再びFig. 1をみると、地震後も宝立の全磁力は西天生に対しての増加する傾向が続いているように見える。宝立と、西天生以外の観測点も比較するために、Fig. 3には、1992年7月～1993年12月の鳥取観測点に対する宝立，西天生，鯖江，天瀬の各観測点の全磁力の変化を示した。Fig. 1と同じく、毎日の夜間平均値を1ヶ月毎に平均した値を示した。標準誤差は0.2nT以下である。Fig. 3において、ほぼ同じ経度に並んでいる4観測点を比べると、前述した能登半島沖地震後の全磁力の増加の傾向は、宝立観測点のみで観測される特徴のようである。住友他<sup>5),6)</sup>は、国土地理院の一等磁

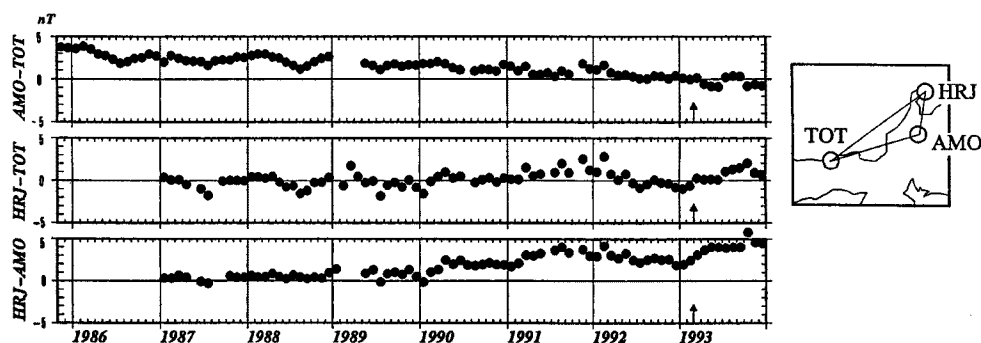


Fig. 1 Secular variations of the geomagnetic total force difference between two stations among Horyu (HRJ), Nishi-Amo (AMO) and Tottri (TOT) observation stations. Anomalous variations at HRJ are recognized to start from the beginning of 1990 and still continue after the earthquake occurrence which is indicated by arrows.

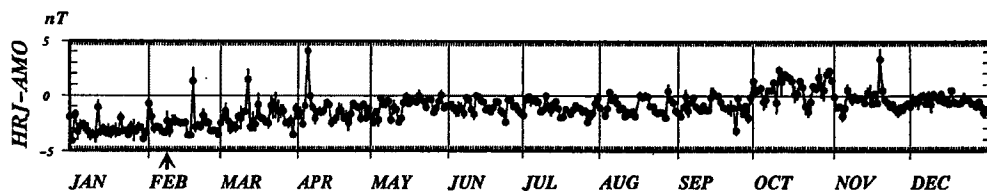


Fig. 2 Secular variation of the geomagnetic total force difference between Horyu (HRJ) and Nishi-Amo observation station (AMO). An arrow indicates the day when Off Noto peninsula earthquake occurred.

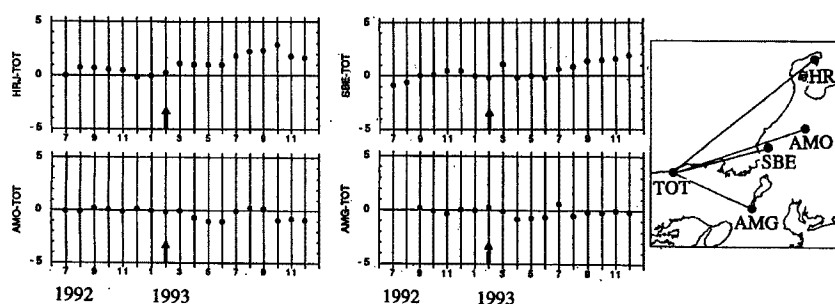


Fig. 3 Secular variations of the geomagnetic total force of HRJ, AMO, SBE (Sabae) and AMG (Amagase) referring to TOT. Arrows indicate the month when Off Noto peninsula earthquake occurred.

気点における磁気測量データと全国全磁力観測点のデータを用いて、日本全体の全磁力永年変化の傾向を調べ、やはり宝立の増加傾向は、異常であると発表している。住友他<sup>5),6)</sup>の結果の一部を Fig. 4 に示す。

以上に述べた連続観測の結果をまとめると、次の様である。能登半島沖地震の約3年前に始まった、宝立観測点の全磁力の、他の観測点に対して相対的な増加傾向は地震の後も解消せず、むしろ継続しているようである。この変化は日本列島全体の傾向から見ると異常な変化であるので、能登半島沖地震に関連した変化の可能性が高いが、すべての変化を地震によって説明することはできない。

連続観測点の全磁力の記録のみからは、これ以上地下の様子をうかがい知ることは難しい。次に繰り返し磁気測量の観測結果について述べる。

### 3. 繰り返し磁気測量の観測及び解析方法

能登半島北部の宝立観測点周辺で1993年3月、8月、1994年1月の計3回、繰り返して磁気測量を行った。磁気点を7地点に設けた。観測点の配置を Fig. 5 に示す。図中の略号は地点名を示す (KTY：北山 OBO：大坊 OYA：小屋 GNJ：言若 YMK：山中 FJS：藤ノ瀬 KNK：金蔵 HRJ：宝立観測点)。磁気点の選点にあたり、あらかじめ各磁気点の近傍数カ所で全磁力を測定し、できるだけ磁場勾配が小さい(5~10nT/m以下)地点を選んだ。またその後の繰り返し測量の際も磁場勾配の小さいことを確認したが、磁気点FJSでは磁場勾配が40nT/mにも達してしまったので、以下の議論では磁気点FJSで得た観測値を

## 1990-1992

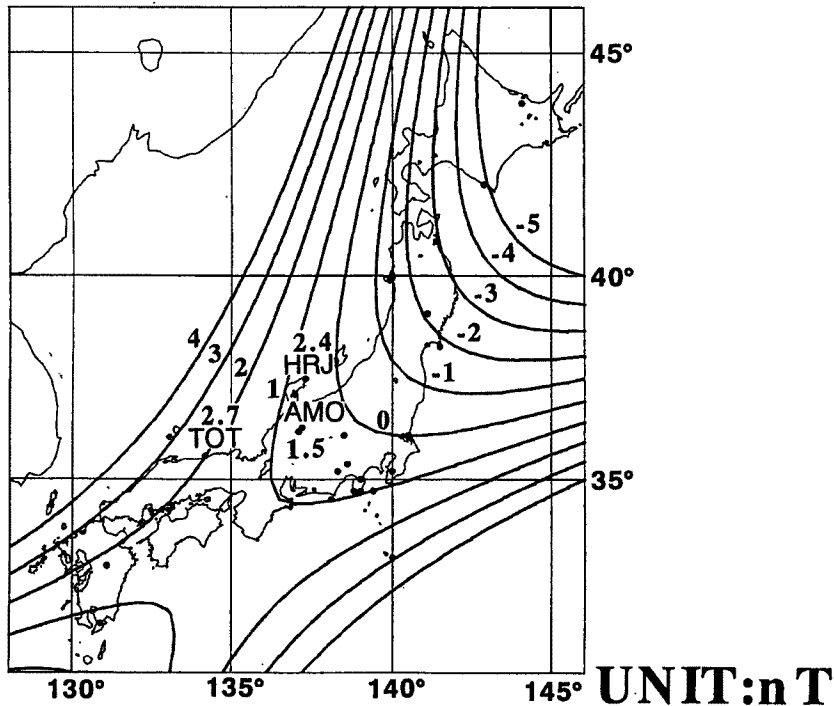


Fig. 4 Distribution of the standard secular variation of the geomagnetic total force over the Japan region, which was obtained from analysis of both the first magnetic survey data by the GSI and data from the permanent observation stations.

用いないことにする。各磁気点には1回目の磁気測量の際に真鍮棒を埋めており、この真鍮棒の真上（高さ185cm）に磁力計のセンサーの中心が来るようにして、2回目以降の磁気測量を行った。磁気測量用にはGeotech製ポータブルプロトン磁力計（M-100）を用いた。また地磁気の日変化や短周期変化の補正のため（後述）、磁気測量の期間のみ、国際電子製プロトン磁力計（PMP-202S）を、宝立観測点付近に臨時に設置し、連続観測を行った。これは、宝立観測点では5分毎の観測値しか得られないからである。また1994年1月の測定時には、各繰り返し磁気点での地磁気短周期（数十分～数時間）変化の大きさを比較するために、OSMAN式プロトン磁力計5台を、磁気測量の期間のみ磁気点に設置した。OSMAN式磁力計を設置した磁気点はOBO, OYA, GNJ, YMN, FJSであるが、前述した理由から磁気点FNJの観測結果を以下で用いていない。OSMAN式磁力計の固定には、塩化ビニールパイプ製の非磁性の三脚を用いた。また磁気点とその付近の地点で、互いにポータブル磁力計とOSMAN式磁力計を入れ替えて15分間の同時測定をし、磁力計の器械差とこの2地点間の全磁力の地点差の補正を行った。

各磁気測量では、1つの観測点につき、30秒間隔で10～30分間全磁力を測定した。このとき同時に臨時連続観測点では、30秒間隔で2～4日間全磁力を測定した。またOSMAN式プロトン磁力計では、磁気点において1分間隔で1～3日間全磁力を測定した。

観測した記録の1例をFig. 6に示す。この図に見られるように、地球磁場は大きな振幅で日変化をしている。地震等に伴うようなわずかな（数nT）の全磁力の時間変化を検出するためには、この日変化等の影響を取り除く必要がある。プロトン磁力計によって得られる全磁力は絶対測定値であるが、この日変化等を

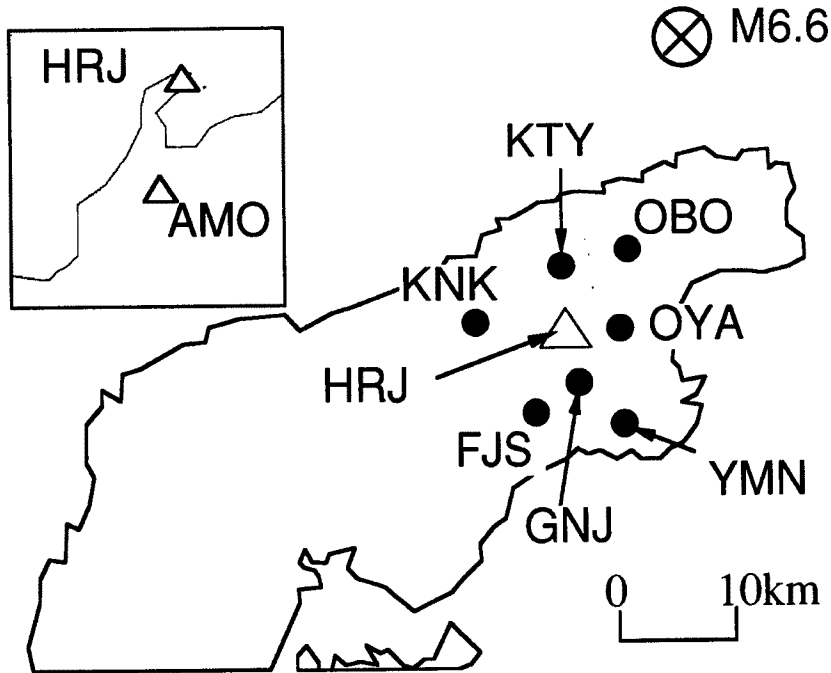


Fig. 5 Location map of magnetic points (closed circles), Horyu (HRJ) and Nishi-Amo (AMO) observation stations (triangles). ⊗ indicates the location of the epicenter of Off Noto peninsula earthquake (M=6.6).

除去するために、簡便な方法として単純差法がしばしば用いられる。これは、磁気点と基準観測点の同時刻の全磁力の差（地点差と呼ぶ）を計算し、磁気点の基準点に対する相対的な磁場の時間変化を調べる方法である。遠く離れた2地点の（例えば宝立と西天生）全磁力の地点差を求めるためには、日変化の影響の小さい夜間の記録を用いるが、比較的近距离の観測点同士では地磁気の日変化は同じであると仮定して、地磁気静穏日の日中の観測値を用いることもある。

本研究では、連続観測の結果から能登半島沖地震の影響をあまり受けていないと考えられる、西天生観測点を基準として、これに対する全磁力の変化を論じるため、以下に示す解析を行った。解析の方法を模式的に Fig. 7 に示す。磁気点及び臨時連続観測点で得た全磁力を、それぞれ  $F_P$ ,  $F_M$  とする。また宝立観測点及び西天生観測点で観測した全磁力をそれぞれ  $F_{HRJ}$ ,  $F_{AMO}$  とする。まず能登半島北部地域では地磁気の日変化はどこでも振幅・位相とも同じであると仮定して、磁気点と臨時連続観測点の地点差 ( $F_P - F_M$ ) を30秒毎に求め、その平均値と標準誤差を算出した。次に日変化の影響の小さい夜間の記録を用いて、臨時連続観測点と宝立観測点の地点差 ( $F_M - F_{HRJ}$ ) を5分毎に求め、その平均値と標準誤差を算出した。次に、磁気測量を行った月の夜間の記録を用いて、宝立観測点と西天生観測点との地点差 ( $F_{HRJ} - F_{AMO}$ ) を5分毎に求め、その平均値と標準誤差を算出した。最後に、次式から磁気点と西天生観測点との全磁力の地点差 ( $F_P - F_{AMO}$ ) を算出した。（ただし式中の [ ] は平均値を示す。また  $F_P - F_{AMO}$  の誤差は各平均値の標準誤差の総和とした。）

$$[F_P - F_{AMO}] = [F_P - F_M] + [F_M - F_{HRJ}] + [F_{HRJ} - F_{AMO}] \quad \dots\dots\dots (1)$$

また、能登半島北部地域では地磁気の日変化はどこでも同じであると仮定したが、磁場変動に短周期（数

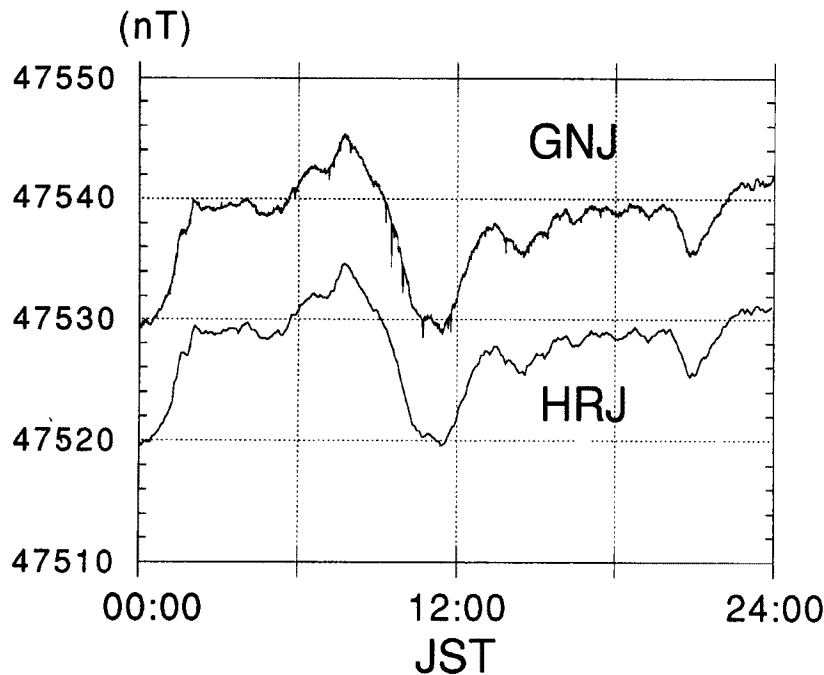


Fig. 6 Example of daily changes of the geomagnetic total force observed at GNJ and HRJ on Jan. 9, 1994.

時間～数分)が卓越している場合は、地下の電気伝導度構造を反映して、場所によって異なる大きさの誘導電流が発生することが知られている。この誘導電流が作る磁場のため、全磁力が地点によって大きく異なる場合がある。従ってこのような地磁気短周期変化について、各磁気点と臨時観測点の間でどの程度、全磁力変動の振幅と位相に差が生じるかを見積もっておく必要がある。このため、3回目の磁気測量の際には、OSMAN式プロトン磁力計を用いて、4つの繰り返し磁気点(OBO, OYA, GNJ, YMN)において全磁力の臨時連続観測を行った。さらに前述した誘導電流は周波数依存性を持つ事が知られているので、測定記録の周波数毎の比較のために、OSMAN式磁力計で得た同時刻の全磁力の連続記録(ただし、観測等の問題のため、使用可能な記録は約11～21時間であった。)について、トレンドを除去し、15分の移動平均を行い、フーリエ変換を施した。そして、周期128分、64分、32分、16分についての各磁気点での変動磁場のフーリエ級数を求めた。また、これと同時刻の臨時観測点の記録についても同様にフーリエ変換を施した。

#### 4. 繰り返し磁気測量の結果

繰り返し磁気測量をおこなった能登半島北部での磁気点と、西天生観測点との全磁力の地点差の、1993年3月～8月の時間変化をFig. 8に示した。誤差は1.5nT以下である。図を見ると、宝立観測点近傍だけでなく能登半島北部地域全体で、西天生観測点に対して全磁力が増加する傾向がある。また、この増加傾向は、半島先端部ほど(つまり震源地域に近いほど)大きいように見える。これらから、能登半島沖地震後の宝立観測点の全磁力の増加異常は、宝立観測点固有の変化ではなく、半島先端部に共通した変化と考えられるが、これが能登半島沖地震に直接関係するかどうかは分からない。仮にこれらの変化が地殻内応力変化による磁化の変化によるとすると、この変化量は、実験に基づき理論的に予想される変化量を大きく越えている。

この原因として、1回目の磁気測量の際に不運にも偶然起きていた地磁気擾乱の影響が考えられる。Fig. 9に、磁気測量を行っている日の、宝立観測点での全磁力の変化を示した。これを見ると、2回目、3回目の磁気測量の際は地磁気活動が静穏な時であった。これは、柿岡にある地磁気観測所で決定されたK-INDEXの1993年8月2～3日及び1994年1月8～11日の平均値はそれぞれ0.8、1.5であることから確かである。従って各磁気点と臨時連続観測点との間には、地磁気の変動成分(日変化)には数nTを越える違いはないと考えられる。実際に地磁気の日変化が磁気点間で共通であることは、3回目に行ったOSMAN式磁力計の結果から確認された。それに対して1回目の磁気測量の際には、中程度の地磁気擾乱があったと考えられ、短周期(数十分～数時間)の磁場変動がやや顕著である。これは、柿岡のK-INDEXの1993年3月3～4日の平均値は3.0であることから確かめられる。このような磁場変動に短周期変動が卓越している場合は、地中や海中に誘導電流を引き起こし、地点によって大きさの異なる2次磁場を発生する事が予想される。このような2次磁場は半島先端部などで特に大きいと考えられるが、Fig. 8の全磁力の経年変化も半島先端部で大きく見えるので、2次磁場の影響が繰り返し測定の結果に現れた可能性がある。

そこで、1回目の磁気測量の際に起きていた地磁気擾乱がどの程度磁気測量に影響を与えているのかを、概ね見積もってみる。いま地磁気擾乱の起きている日に、磁気点及び臨時連続観測点で得た全磁力を、それぞれ $F_P(t)$ 、 $F_M(t)$ とし、次のように表す。

$$F_P(t) = F_{P0} + \sum a_{iP} \cos \omega_i t + \sum b_{iP} \sin \omega_i t \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$F_M(t) = F_{M0} + \sum a_{iM} \cos \omega_i t + \sum b_{iM} \sin \omega_i t \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 $F_{P0}$ 、 $F_{M0}$ は定数、 $a_{iP}$ 、 $a_{iM}$ は磁気点、臨時観測点での変動磁場のフーリエ級数展開時のSIN部の振幅を示し、 $b_{iP}$ 、 $b_{iM}$ はCOS部の振幅を示す。 $\omega_i$ は角周波数( $i=0, 1, \dots, n$ )である。地磁気活動が静穏な日は単純差( $F_P(t) = F_M(t)$ )はほぼ一定の値(地点差 $\Delta F = F_{P0} - F_{M0}$ )になるが、擾乱日では2次磁場が地点によって異なるため、一定に成らない。単純のため磁気点と臨時連続観測点の1次磁場の大きさ・方向は同じであると仮定すると、 $F_P(t) - F_M(t)$ は次式で表される。

$$F_P(t) - F_M(t) = \Delta F + \sum a_i^* \cos \omega_i t + \sum b_i^* \sin \omega_i t \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{ただし } a_i^* = a_{iM} (a_{iP}/a_{iM} - 1)$$

$$b_i^* = b_{iM} (b_{iP}/b_{iM} - 1) \quad \dots\dots\dots (5)$$

(4)式で、左辺の第2項と第3項の和が、地磁気擾乱による地点差 $\Delta F$ の誤差項といえる。言い換えれば、 $a_i^*$ 、 $b_i^*$ が求まれば、これは補正可能な項である。ここで $a_i^*$ 、 $b_i^*$ を周波数別補正項振幅と呼ぶ。この擾乱による補正を求めるには、まず1回目の臨時観測点の連続記録について(3回目の記録に施したのと同様に)フーリエ級数展開を行い、 $a_{iM}$ および $b_{iM}$ を求める。次に、 $a_{iP}/a_{iM}$ 及び $b_{iP}/b_{iM}$ を、3回目のOSMAN

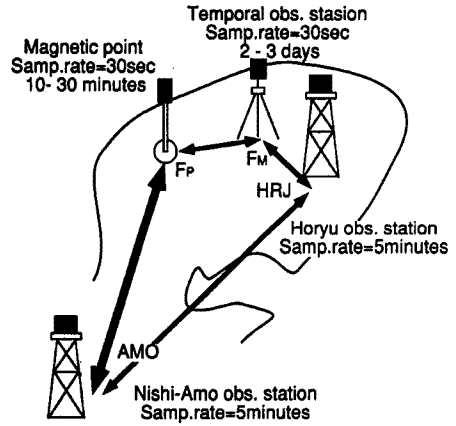


Fig. 7 Schematic diagram showing the method for the geomagnetic noise reduction adopted in the present surveys. Observed values,  $F_p$  at a magnetic point P are reduced by referring to the reference station of AMO via a temporal observation station and HRJ observation station.

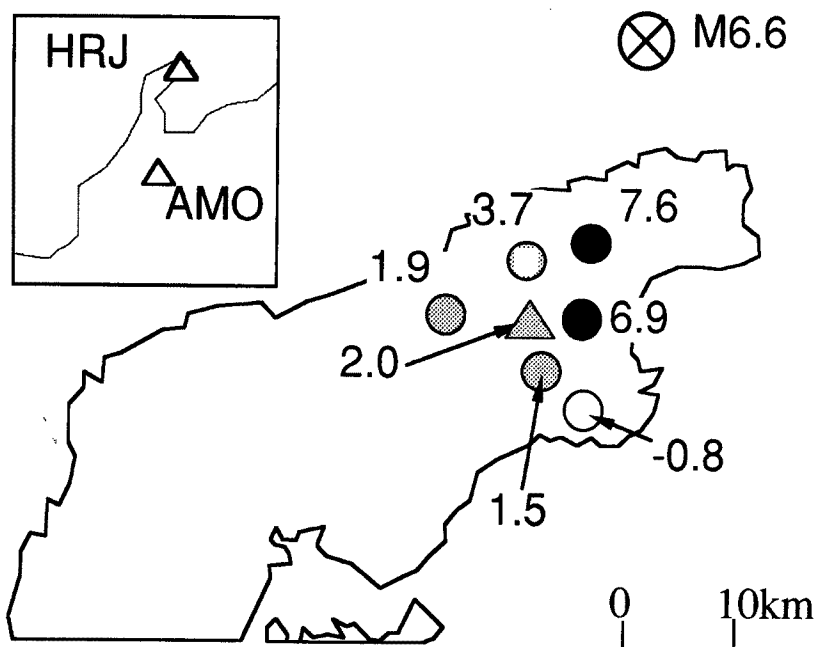


Fig. 8 Temporal changes of the geomagnetic total force difference between each magnetic point and AMO during the period from March to August, 1993. Circles and a triangle indicate magnetic points and HRJ observation station. Black and gray circles show magnetic points where temporal changes are positive, amounting to more than 5nT and values from 0nT to 5nT. The open circle shows a negative value.

式磁力計の観測記録から求める。この様にして、(5)式に示した  $a_i^*$ ,  $b_i^*$  が求められるので、原理的には擾乱の補正は可能である。しかし、サンプリング間隔を考慮すると、フーリエ級数を求めることのできる周波数に限りがあり、またこれらのフーリエ級数の精度を論じるには今回の観測時間では短すぎる。以上の理由から、定量的に擾乱による補正量を求めることは困難である。従って、 $a_i^*$ ,  $b_i^*$  のみ求め、擾乱による誤差の最大値を概ね見積もり、1回目と2回目の測量の結果から求めた地点差  $\Delta F$  が変動磁場のためにどの程度の影響を受けているのかを、概ね見積もることとする。

1回目の磁気測量時の臨時観測点での  $a_{iM}$ ,  $b_{iM}$ , また、3回目の磁気測量時に得られた補正係数  $a_{iP}/a_{iM}$ ,  $b_{iP}/b_{iM}$  および1回目の磁気測量への補正項振幅  $a_i^*$ ,  $b_i^*$  を Table. 1 に挙げた。ただし  $a_{iM}$ ,  $b_{iM}$  がプロトン磁力計の精度 (ここでは 0.1nT とした) を下回る場合は、 $a_i^*$ ,  $b_i^*$  の算出は行っていない。これを見ると、OBO, OYA 等の半島先端に近い磁気点の方が、他の磁気点よりも、 $a_i^*$ ,  $b_i^*$  が大きい傾向がある。しかし、 $a_i^*$ ,  $b_i^*$  が最も大きい磁気点は、半島先端に最も近い OBO ではなく、OYA であった。その値は OYA では 3nT 以下、他の磁気点では 1nT 以下であった。また周期 16 分では  $a_{iM}$ ,  $b_{iM}$  はいずれの磁気点でも、0.1nT を下回る。

さらに周期 16 分以下についても  $a_{iM}$ ,  $b_{iM}$  を知るために、1回目の臨時観測点の連続観測記録について 16 分以下の周期でフーリエ級数展開を行った。その結果、周期 16 分以下では  $a_{iM}$ ,  $b_{iM}$  は、0.1nT 以下であった。

最後に能登半島北部での繰り返し磁気点と、西天生観測点との全磁力の地点差の、1993年8月～1994年1月の時間変化を Fig. 10 に示した。誤差は 1.5nT 以下である。Fig. 10 を見ると、宝立観測点北方の磁



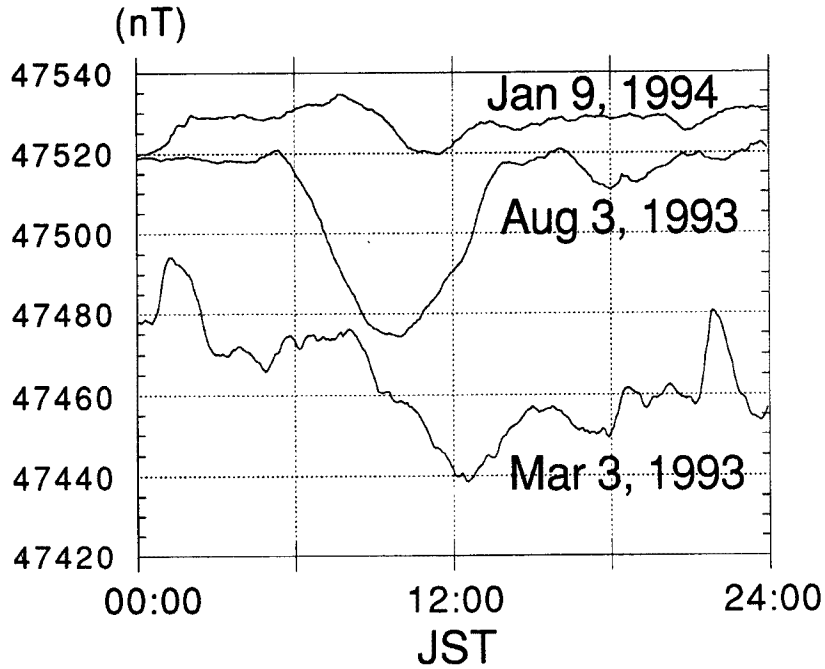


Fig. 9 Examples of daily changes of the geomagnetic total force at Horyu observation station in surveyed days on March 3, August 3 in 1993 and January 9 in 1994. Base values of each day are arbitrary.

Table 1. Fourie components of the geomagnetic disturbances, correction factor and amount of correction.

Site Name	Period (min)	$a_{iM}$ (nT)	$b_{iM}$ (nT)	$a_{iP}/a_{iM}$	$b_{iP}/b_{iM}$	$a_i^*$ (nT)	$b_i^*$ (nT)
OBO	128	1.29	-0.35	1.09	1.05	0.12	-0.02
	64	-	-0.63	0.59	-0.31	-	0.83
	32	-0.13	-0.12	1.65	0.54	-0.08	0.05
	16	-	-	0.84	0.74	-	-
OYA	128	-0.62	1.51	1.06	1.23	-0.04	0.34
	64	-	-1.44	0.82	3.14	-	-3.09
	32	-	-0.32	1.33	1.55	-	-0.18
	16	-	-	0.82	1.23	-	-
GNJ	128	-0.18	-0.32	1.04	1.04	0.00	-0.01
	64	-	-	0.82	1.44	-	-
	32	-	-	1.15	1.22	-	-
	16	-	-	0.87	1.41	-	-
YMN	128	2.44	0.36	1.19	1.06	0.46	0.02
	64	-	-1.10	2.09	0.82	-	0.20
	32	-0.21	-0.22	1.35	1.33	-0.07	-0.07
	16	-	-	1.63	0.82	-	-

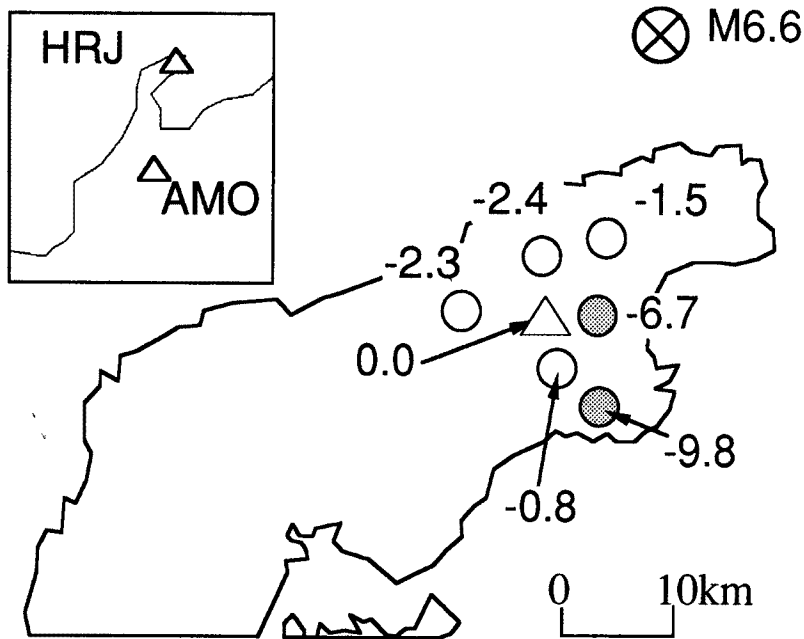


Fig. 10 Temporal changes of the geomagnetic total force difference between each magnetic point and AMO observation station during the period from August in 1993 to January in 1994. Circles and a triangle indicate magnetic points and HRJ observation station. Gray circles show magnetic points where temporal changes are negative, larger than  $-5\text{nT}$  and open circles show negative values lower than  $-5\text{nT}$ .

気点では、1993年3月～8月の全磁力の増加はおさまったようである。これは宝立観測点の連続観測の結果をとも一致している。しかし、宝立観測点の南方の磁気点では、急激な全磁力の減少傾向が見られる。この減少傾向が何によって生じているかを知るには、現在得ている資料のみからは分からない。

## 5. 考 察

擾乱による誤差の最大値を **Table. 1** から概ね見積もってみる。1回目の測定の際の、臨時観測点の連続観測記録について、周期16分以下の地磁気短周期変化は振幅が $0.1\text{nT}$ 以下であるので、周期16分以下の地磁気変動は地点によって数 $\text{nT}$ を超える差を生むとは考えにくい。また、周期128分を越える長周期では、誘導電流が地下深く（大地を $100\Omega\text{m}$ とすると、約 $50\text{km}$ 以深）まで流れるので、地表で数 $\text{km}$ しか離れていない2点間では変動振幅に大きな差がないと仮定する。以上から、ここでは簡単に、周期128分、64分、32分の $a_i^*$ 、 $b_i^*$ を磁気点別に積算した量を擾乱による誤差の最大値とする。**Table. 1**からこれを算出すれば、擾乱による誤差は最大でも約 $1\text{nT}$ （OYAでは約 $3.5\text{nT}$ ）である。このことから、1回目と2回目の測定の結果から求めた地点差（**Fig. 8**）も最大でも約 $1\text{nT}$ （OYAでは約 $3.5\text{nT}$ ）しか影響を受けていないと考えられる。以上から、繰り返し磁気点と西天生観測点の全磁力地点差の変化には、2次磁場の影響などで数 $\text{nT}$ の誤差が含まれる可能性があるが、能登半島北部域全体としては、地震後に全磁力の増加傾向はほぼ確かなようである。

地磁気短周期変化以外にも、磁気点と天生観測点との地点差に影響を与える原因は考えられる。例えばそ

の1つとして、繰り返し測量の際に、磁場センサーの位置が前回の測量時と若干ずれていたことが考えられる。磁気センサーが前回の測定的位置と最大10cm程ずれる可能性はあるが、各磁気点近傍の磁場勾配は10nT/m以下なので、これによって生じる誤差は1nT以下であり、特に大きな問題ではない。また、海水の流動などによって海中に生じた電流が作る磁場が磁気測量に影響を与えた可能性もある。この電流が季節や時間によって変化すれば、その電流の生む磁場の振幅や位相も変化し、繰り返し磁気測量に影響を与える。Fig. 1について、宝立・西天生間の全磁力地点差の変化を見ると、毎年1～3月にかけて、増加の傾向にあるようにも見える（特に1990年、1991年、1993年）。これは海中の電流の季節変化のためかもしれない。この点については、より詳しい研究が必要である。また、1次磁場の変動が地点によって異なったために、磁気点と西天生観測点との地点差に影響を与えた可能性もある。変動磁場の原因は主に、電離層を流れている層状の電流の変化であるので、本研究では数kmしかはなれていない磁気点の間では1次磁場は均一であると仮定した。しかしこの仮定が当てはまらず、例えば1次磁場変動の位相や振幅が、地点によって、また季節によって異なる可能性もある。これが磁気測量にどの程度の影響を与えるかを知るためには、さらに多くのデータが必要である。またここでは、周期128分を越える地磁気変動は今回の磁気点の距離間隔程度では、磁気点間で大きな差ができないと仮定したが、この仮定が妥当でない可能性もある。以上の事柄が重なって起こり、繰り返し測定に大きな誤差を与えているかもしれないが、その見積もりをするためには、今回の観測結果では不十分であり、更に研究を重ねる必要がある。

## 6. まとめ

以上に述べた連続観測の結果、及び繰り返し磁気測量の結果を以下にまとめる。

(1) 連続観測の結果によると、能登半島沖地震の約3年前から、宝立観測点の全磁力は、他の観測点に対して相対的に増加する傾向が始まった。この増加傾向は地震前に収束しかけたが、地震後には再び増加傾向を示した。この変化は日本列島全体の地磁気永年変化の傾向から見ると異常な変化であり、能登半島沖地震に関連した変化の可能性が高い。

(2) 繰り返し磁気測量の結果、数nTの誤差が含まれると思われるが、地震後の数カ月の間に能登半島北部域全体で、全磁力は増加傾向を示したらしい。

## 参考文献

- 1) Sumitomo, N. and Noritomi, K.: Synchronous precursors in the electrical earth resistivity and the geomagnetic field in relation to an earthquake near the Yamasaki fault, southwest Japan, *J. Geomag. Geoelectr.*, Vol. 38, 1986, pp.971-989.
- 2) Sasai, Y. and Isikawa, Y.: Tectonomagnetic event preceding an M=5.0 earthquake in the Izu peninsula seismic slip of a buried fault?, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, Tokyo, Vol. 55, 1980, pp.895-911.
- 3) Nagata, T.: Basic magnetic properties of rocks under the effects of mechanical stresses, *Tectonophysics*, Vol. 9, 1970, pp.165-195.
- 4) 住友則彦ほか：地球電磁気・地球惑星圏学会1992年秋季大会，1992
- 5) 住友則彦・大志万直人・藤原智：日本における最近の全磁力永年変化標準分布—能登宝立の永年変化以上を確かめるため—，地球惑星科学関連学会1993年合同大会予稿集，1993，C41-Q122.
- 6) 防災研究所：1993年能登半島沖地震時関連した全磁力異常，地震予知連絡会会報，第50巻，1993，pp.501-504.