

北陸・近畿・中国における全磁力永年変化について

坂中 伸也・住友 則彦・大志万直人

SECULAR CHANGES IN THE GEOMAGNETIC TOTAL FORCE IN HOKURIKU, KINKI AND CHUGOKU DISTRICTS, JAPAN

By *Shinya SAKANAKA, Norihiko SUMITOMO and Naoto OSHIMAN*

Synopsis

We have been continuing observation of the geomagnetic total force at five stations in Hokuriku, Kinki and Chugoku districts.

Observed data are often contaminated by artificial noises which are caused by leakage current from electric railways. In order to plausibly detect secular anomalies related to tectonic activity from noisy data, we try to reduce noises using the running mean method and examine how many data interval is most suitable for the running mean. We conclude that a 40-minute running mean interval is most desirable for reducing noises due to leakage current contamination, but leaving natural signals.

From simple differences between Tottori (TOT) and Amagase (AMG), we find an offset of the data amounted up to 5nT attributed to influence of electric trains. The existence of such an offset is a significant problem in investigation of anomalous secular variation.

Based on recent data from 1992 to 1995, we show a regional trend of the secular variation around Hokuriku, Kinki and Chugoku districts. First we mention that the post anomaly possibly related to Off Noto earthquake in 1993 is almost settled. Secondly it is pointed out that the rate of secular change at Sabae (SBE) is anomalously large compared with the standard rate of surrounding areas, although causes of the anomaly are not identified.

1. はじめに

地震や火山活動などいわゆる地殻活動に関連する磁場変化を検出するため、プロトン磁力計による全磁力の観測が国内や世界の各地で行われて来た。国内では地震予知のための連続観測が25カ所近くでなされており、観測の結果は定期的に地震予知連絡会会報に掲載されている。

磁場の時間変化には、地磁気永年変化の他に、地磁気日変化や磁気嵐など電離層や磁気圏に由来する様々な変化が含まれている。従って1地点の観測から、地殻内部に原因する変化のみを検出することは極めて困難である事はよく知られている。現実には、ある地点の固有の地磁気永年変化異常を検出するためには、基準観測所を設けそれを参照点とし、簡便には単純差、あるいは重価差等^{1), 2)}を求めるなど色々な工夫がなされている。

近年では、プロトン磁力計の精度、安定度等の開発が進められてきており、単なる計測精度だけではな

く、電磁波ノイズに強い機器の開発等がなされている。ところが、実際に磁力計を設置する場合、計測条件が十分満たされている場所を探すことは年々難しくなっている。それは、計測地点周辺の環境が問題である。直接には、自動車道路から十分離れていること、間接には、電車軌道からの漏洩電流の影響が少ないことが要求される。都市近郊で、このようなノイズが小さく、長期にわたって環境の変化が少ない場所は急速に少なくなっている。

防災研究所では、1968年から鳥取で^{3), 4)}、1984年から岐阜県の跡津川断層上の西天生⁵⁾、1986年から石川県能登宝立で^{6), 7)}全磁力観測を続けてきた。これらの観測から、地殻起源の地磁気永年変化異常を検出するには、あまりに測点間隔が疎でありすぎるので、観測点の増設を考えてきた。しかし、都市近郊では都市ノイズが大きい事が、観測点の増設を阻んできた。そこで、都市の近郊でもどのような条件が整えば観測が可能であるかを調べるため、研究所に比較的近い、宇治市内の天ヶ瀬の地殻変動観測壕内に測定点をもうけ、92年から計測を開始した。このほかに、福井県鯖江市にある北陸観測所の観測壕内等でもプロトン磁力計による連続観測を始めた。

ここでは、天ヶ瀬、鯖江等漏洩電流の影響を受けやすい観測点でのノイズの性質を調べるとともに、鳥取等既設の観測点を含め5地点の北陸・近畿・中国の最近の地磁気永年変化の様子を調べた。さらに、宝立観測点で1993年頃、能登半島沖地震に関連したように見える異常変化が観測されているが、その後の変化を調べたので合わせて報告する。

2. データセットについて

防災研究所地震予知研究センターには、鳥取（鳥取県鳥取市）・天ヶ瀬（京都府宇治市）・鯖江（福井県鯖江市）では1分サンプリング、宝立（石川県珠洲市）・西天生（岐阜県河合村）では5分サンプリングの、プロトン磁力計による全磁力連続記録が蓄積されている。観測点の略号はそれぞれ、TOT（鳥取）、AMG（天ヶ瀬）、SBE（鯖江）、NAM（西天生）、HRJ（宝立）とする。観測点密度は疎であるが、これら北陸・近畿・中国地方についての観測点配置をその略号とともに Fig. 1 に示す。以下では観測点をその略号を使って表すこととする。

用いているプロトン磁力計は、NAM、HRJ では国際電子工業株式会社が定点観測用に作った PMS-101S で分解能は0.1nT。AMG では同じく国際電子工業株式会社製の PMP-202S を使い、分解能は0.1nT である。TOT では丸文社製の M778、SBE ではソフトビル社製の KM63 プロトン磁力計を用いており、いずれも0.1nT の分解能である。

また、SBE では、磁力計のセンサーがソレノイダルコイルであるせいか、トロイダルコイルとは違って電磁波ノイズに弱く、明らかなプロトン磁力計のミスカウントがときどき生じる。1分毎の計測であるが、記録上では1分間に10nT 以上の変化が見かけ上あるように見えることがある。このように明らかに正しい観測値を示していないとわかるものはその部分を欠測として扱った。以下での計算では、1分間に10nT 以上変化するようなスパイク状のノイズの部分は、前後で記録された値から線形補完して観測値とみなし、計算に用いた。このスパイク状のノイズがSBE で特に多く現れた例を Fig. 2(a) に、修正した波形を Fig. 2(b) に示した。この例では1440 個のうち、88 個のデータを除去している。ここでは1992 年から1995 年までのこれらの観測点のデータを用いて議論する。

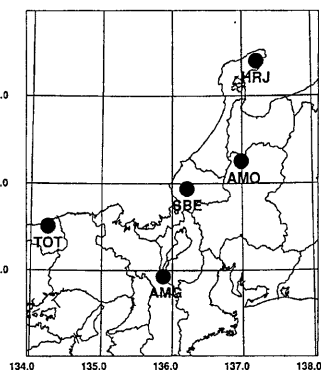


Fig. 1 Locations of observation sites.

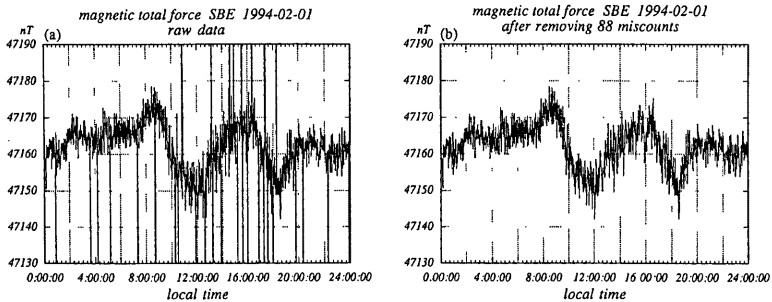


Fig. 2 An example of daily variation in the geomagnetic total force observed at Sabae (SBE). (a) Raw data. (b) Revised data. 88 deficient data are removed from 1440 data and linearly interpolated.

3. 観測データに混入するノイズとその除去

冒頭でも述べたように、地磁気の連続観測には外部磁気擾乱の他に人為的な磁場変動が少なからず混入する。特に都市域では直流電車軌道からの漏洩電流をソースとする振幅の大きな磁場変動がしばしば地磁気観測にとってはノイズとなる。地震活動にも関連した、地殻起源の地磁気永年変化を検出するためには、これらのノイズをどのように除去するか問題になってくる。しかし、これらノイズのスペクトルは地球磁場の変動成分のスペクトルと重なる部分が多いこともあって、ノイズとシグナルを完全に分離するのは難しい。一般に、全磁力の地点差を求めるのに、夜間のノイズが少ない時間帯のデータを用いることが多いが、夜間のデータが手に入らないときや、データを有効利用できる時間帯を増やすために、漏洩電流によるノイズを除去することは大切である。ここでは、電車軌道から比較的近い AMG, SBE での観測状況、ノイズの状態を紹介し、単純な移動平均を用いたノイズ除去の可能性を調べた。

3.1 天ヶ瀬 (AMG)、鯖江 (SBE) における観測

観測点 AMG は、関西電力天ヶ瀬ダム発電所の旧取水坑内に設けられた天ヶ瀬地殻変動観測点にプロトン磁力計を併設したもので、1992 年以来、サンプリング間隔 1 分で全磁力の観測を続けている。Fig. 3 に、ある 1 日の観測例を示した。これを見ると、昼間の計測値にかなりのばらつきが見られる。しかし、夜間 1 時頃から明け方の 5 時頃までは、ばらつきはかなり減少する。これらのばらつきの原因は明らかに、観測点から最短距離北西約 2.5 km を走る、京阪電鉄宇治線や JR 奈良線の影響と考えられる。つまり軌道から漏れる電流の作る磁場によると考えられる。

1992 年より測定を開始した観測点 SBE も鯖江市にある北陸観測所の観測坑内にある。この場合も、西方約 2.5 km のところを、福井電鉄福武線が走っているの、やはり昼間にはかなりの漏洩電流によるノイズが計測値に混入していると考えられる。Fig. 3 に AMG と同じ日の SBE での観測例を合わせて示した。SBE でのノイズは、AMG と性質が異なっており、SBE では電車が止まる夜中の 1 時を過ぎてもノイズの振幅は余り小さくならない。これは、電車軌道からのノイズ以外のノイズも混入していると考えられ、観測坑内の他の計測器からのノイズも拾っている可能性がある。また、AMG と比べて、ノイズの振幅が大きい。ノイズの振幅については後にまた触れる。

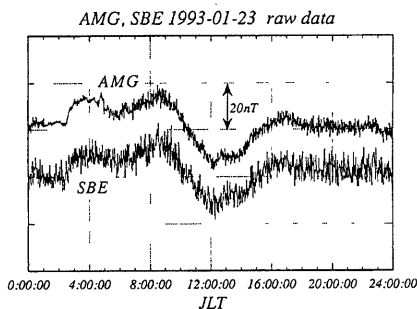


Fig. 3 An example of daily variations in the geomagnetic total force of a quiet day at AMG and SBE.

3.2 移動平均の時間幅

AMG と SBE の全磁力差を計算する前に人為活動によるノイズを除去するための移動平均を、それぞれのデータにほどこした。移動平均では、平均の時間幅、例えば M 、以下の変動が除去されるが、周期が M より長い変動の振幅にも影響を与える。

ノイズができるだけ除去され、本来の磁場変動が保存されているような、AMG と SBE の両地点に共通の移動平均の時間幅 M を求めるのが問題である。まず、様々な時間幅の移動平均をとり、AMG と SBE の相関係数を調べた。AMG と SBE のデータについて、1993 年の 1 月 1 日から 1 月 31 日までの 31 日分の 19:00 から 24:00 までのすべての 1 分値を用い、 M を変えて相関係数を求めた。選んだ時間帯は、ノイズが混入しており、しかも地点によって位相がずれる地磁気日変化の影響が少ない部分を選んだ。 M を、小さい方から 100 分まで変化させ、それぞれの M について相関係数を Fig. 4 に示した。人工ノイズは、観測点近傍に原因があり、ある程度離れた観測点間では無相関であると考えられる。両観測点間のノイズが十分に除去されると、両地点間共通の地磁気変化のシグナルが卓越し、相関係数が大きくなると考えられるので、これが十分に大きくなる M を選ばばよい。Fig. 4 によると、 M が大きくなる程、相関係数は大きくなるが、ある程度以上 M が大きくなると、相関係数はある直線上に乗る。直線から外れた部分と直線上に

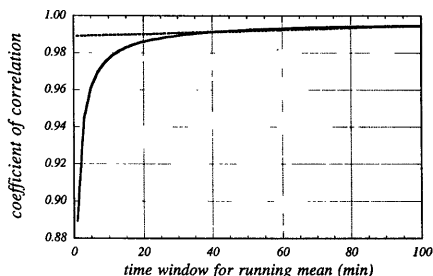


Fig. 4 Changes of the correlation coefficient between SBE and AMG for the data in which artificial noises are filtered out using the running mean with various time windows.

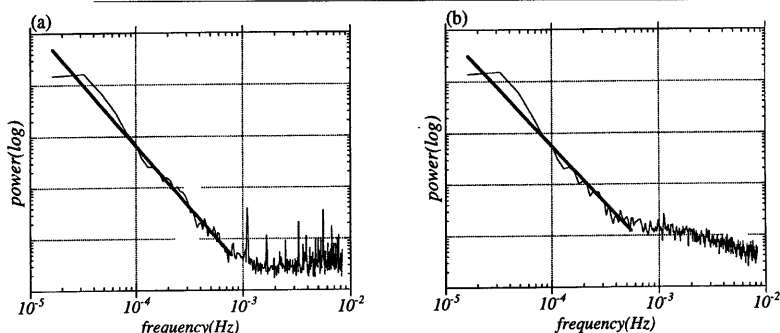


Fig. 5 Characteristics of spectra in the geomagnetic changes including artificial noises at (a) AMG and (b) SBE with logarithmic scales. Both spectra have their own corner frequencies by which geomagnetic natural noises are discriminated from artificial noises.

ある部分とでは、AMG と SBE のデータの性質に違いがあるとみなせる。直線上の部分は自然現象によって十分に相関が高くなっているといえる。このことから、移動平均の時間幅 M は 40 分くらいにすればよい。

また、別の方法で、人工ノイズと自然擾乱の区別を試みた。AMG と SBE の FFT による周波数とスペクトルとの関係を両対数軸で Fig. 5(a), 5(b) にそれぞれ示した。用いたデータは 1993 年 1 月の全ての日である。1 日のうち、6 時 55 分から 23 時 59 分までの 1024 個のデータについて、それぞれパワースペクトルを求め、足し合わせたものを Fig. 5(a), 5(b) に示した。横軸は周波数を対数で表したもので、縦軸は相対的なパワーの値の対数である。自然地磁気擾乱のスペクトル振幅が $1/f$ に従うとすると、両対数をとったときに直線に乗る。周波数がある程度より高い部分は人工ノイズであると考えられる。地磁気擾乱のシグナルの部分と人工ノイズは同じ直線には乗らないと仮定し、スペクトルのコーナー周波数を求めた。

移動平均の時間幅とノイズの限界の周期とが一致すればよいというわけではないが、相関係数から推定した最適の移動平均の時間幅 40 分と、SBE のスペクトルの折れ曲がりから求めた約 34 分は、近い値を示している。

以下では AMG と SBE の差をとるときの移動平均を 41 分とする。AMG だけのデータに移動平均が必要な場合は、41 分より短い移動平均の時間幅をとればよいだろうが、地点差を出すときの共通の時間幅は、AMG に比べて振幅が大きい SBE のノイズの性質に依存しているようだ。

3.3 天ヶ瀬 (AMG) と鯖江 (SBE) の全磁力差

移動平均によってノイズと考えられる変動が分離できるとみなして、観測値から移動平均によって得られた値を差し引いてノイズを抽出した。Fig. 6(a), 6(b) に AMG, SBE のある 1 日の観測値に時間幅 41 分の移動平均をかけたものをそれぞれ示した。移動平均をかける前のデータ、移動平均をかけた後のデータ、ノイズと見なされる、観測データと移動平均をかけたデータとの差をともに示した。

AMG, SBE のデータについて、41 分の移動平均をかけたものの元データからの残差を求めた。それらについて 31 個のデータ区間をとり、これらの標準偏差を求めて、解析区間を逐次移動させたときの 1 日のうちの時間変化を Fig. 7 に示した。この標準偏差をノイズ振幅とみなすと、AMG については、夜間の 1 時から 4 時までのあいだに、ノイズの振幅が 1nT 程度になる区間がある。昼間は 3~4nT 程度の振幅がある。SBE のノイズについては、1 日を通して 5~6nT 程度、またはそれ以上で、AMG よりかなり大きい。

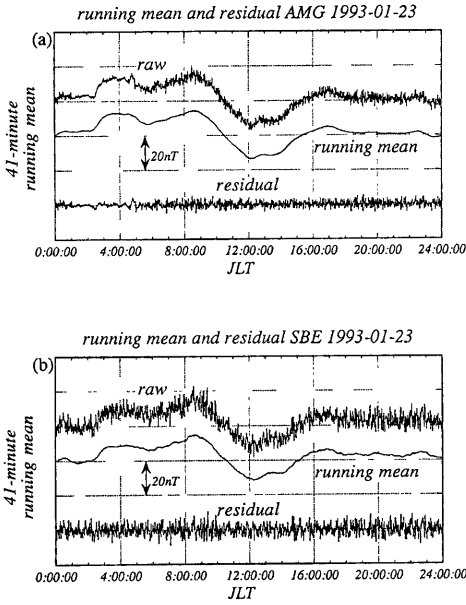


Fig. 6 Artificial noises which are extracted from raw data using running mean with a 41-minute time window together with raw data and smoothed data.
Upper : AMG, Lower : SBE

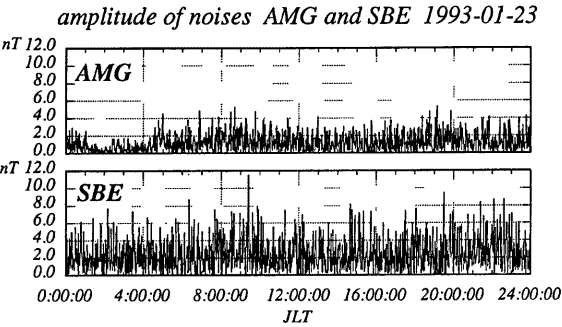


Fig. 7 Daily variations of standard deviations of artificial noises partitioned by 31 data window which is shifted at every minute through a day. Standard deviations in the night time seem smaller than those in the daytime at AMG, while such changes of the standard deviations at SBE are not recognized.

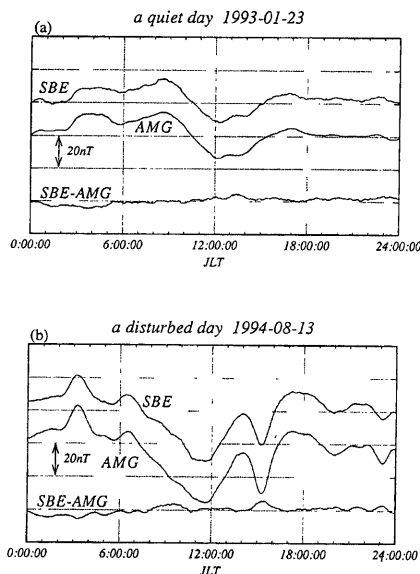


Fig. 8 Daily variations of smoothed data by running mean with 41-minute time window at AMG and SBE. Upper (a) shows an example of a quiet day. Lower (b) shows an example of a disturbed day.

夜間も SBE でのノイズの振幅が落ちないことが、Fig. 7 からわかる。

また、SBE、AMG の同じ日のデータに 41 分の移動平均をとり、ノイズを平滑化し、地点差をとった例を Fig. 8(a), 8(b) に示す。Fig. 8(a) は地磁気静穏日、Fig. 8(b) は地磁気擾乱日の例である。

Fig. 8(a) より、全磁力差に、地磁気日変化に伴う変化が残っていることが分かる。これは、鯖江の方が天ヶ瀬より位相がやや進むセンスにあるためと考えられる。両地点の経度ほとんど同じであるにも関わらず、位相差が有ることは興味深い、これは海岸効果の現れであるかもしれない。

また Fig. 8(b) をみると、全磁力差に短周期の変動も残っており、それは元々の変動の振幅に比例しているようにも見える。これは両地点の地下の比抵抗構造が異なり、違う振幅の誘導磁場を生じるためと考えられる。

3.4 電車軌道からの磁場ノイズによる地点差のオフセット

人工的な擾乱、主に電車軌道からのノイズによって全磁力地点差の値そのもののに差が生じるかを調べた。AMG と TOT を例にとって、両観測点の地点差が、昼間と夜間との間に差があるか否かを調べた。観測点 TOT の周辺の鉄道は 1996 年現在も電化されておらず、TOT には電車軌道からのノイズは混入していないと仮定した。ここでは、1994 年の 1 月から 3 月までの、気象庁地磁気観測所で報告されている地磁気静穏日のうち、両観測点で欠測のない 12 日分のデータを選び、16:00 から翌朝 8:00 までの時間帯の毎時平均値を用いた。ミスカウントを含んだ、平均から大きくずれているデータを順次外し、全データ数の 80

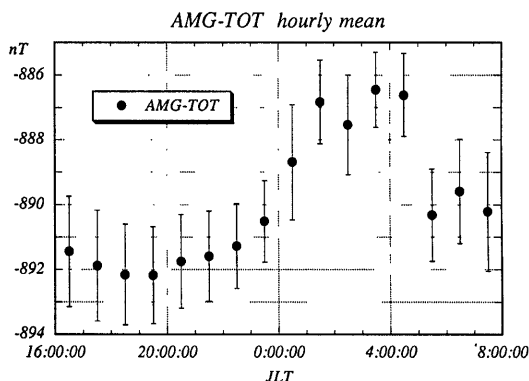


Fig. 9 Systematic changes of simple difference in the geomagnetic total force between AMG and TOT. Hourly mean values are used. An offset in the difference can be clearly recognized in the night time around 0:00 to 5:00, when the train stops around AMG..

% のデータを残して平均と標準偏差を算出したのが Fig. 9 である。この図より、人工ノイズがすくない午前 1 時から午前 5 時までと、その他の時間とは明らかに地点差の平均値が違い、その差は 5nT 程度にも及ぶ。この差は電車からのノイズによって生じたものであらうと考えられる。

直流電車の磁場ノイズは、平均値ゼロのまわりにばらつくのではなく、ある直流バイアスを与えることがあるらしいことは、笹井・石川(1980)⁸⁾の伊豆での観測でも報告されている。彼らは、変電所相互を結ぶ定常的な漏洩電流が、ある定磁場を作り、その上に電車走行に伴う不規則擾乱が乗っているのであらうと考えている。

全磁力の地点差に、漏洩電流ノイズによるオフセットが起こるということは、仮に短周期のノイズが除去されても、正しく地点差を求めることの難しさを表している。この部分については、さらに除去方法を考えなければならない。

4. 中部・中国・近畿中北部の永年変化

4.1 1993 年能登半島沖地震に関連した全磁力変化

能登半島にある観測点 HRJ において、1993 年 2 月 7 日に起こった M 6.6 (JMA) の能登半島沖地震に関連する可能性のある全磁力永年変化が報告されている。住友他^{9), 10)}は、国土地理院の一等磁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、HRJ の永年変化が能登半島沖地震の前から異常であることを指摘した。

HRJ, NAM と TOT の差、および HRJ と NAM の差の変化を 1986 年から 1995 年、地震前から地震後までを Fig. 10 に示す。この図に用いたデータは、毎日の夜間 0 時 40 分から 3 時までの毎 10 分値の差の 1 ヶ月の平均値である。後藤他¹¹⁾は、Fig. 10 と同じ観測点の地点差について、1986 年から 1993 年末までの変化を示し、能登半島沖地震に関連した全磁力変化を報告している。これによれば、Fig. 10 でも分かるように、NAM に対する HRJ の変化が、1990 年 1 月頃から増加傾向を示し、1993 年 2 月の地震後も、増加傾向がむしろ大きくなりながら継続していることが指摘されている。その後の NAM に対する HRJ の変化は、

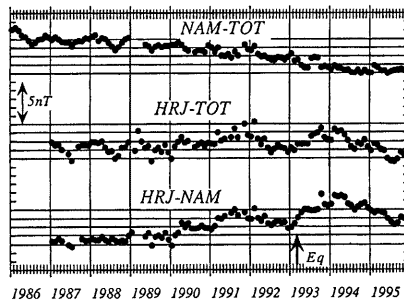


Fig. 10 Secular variations in the geomagnetic total force at HRJ, NAM related to TOT from 1986 to 1995. An earthquake of M6.6 occurred 30km north from HRJ in 1993.

1994 年ははじめに増加傾向から減少傾向に転じ、1995 年末までに、地震の起こったときのレベルに戻っている。しかし、1987 年から 1989 年の頃の値からはまだ 2nT 程度大きい。

この HRJ の全磁力変化が能登半島沖地震にどのように関連しているかという解釈は非常に難しい。地震に伴う磁場変化の原因には、主にピエゾ磁気効果と、界面導電現象が考えられる。ピエゾ磁気効果が原因の一つだとすると、少なくとも能登半島沖地震の 3 年くらい前から、能登半島周辺の地殻内応力が変化していることになる。また、1990 年以前を応力変化がない時期だとすると、1995 年末現在でも、何らかの応力が解放され尽くしていないことも考えられる。しかし、HRJ からの震央距離は 30 km くらいなので、断層運動による応力変化に伴う磁場変化があっても、HRJ ではかなり小さいことや、三角測量による能登半島のひずみ変化が検出されていないことなどから、ピエゾ磁気効果で変化を説明するのは難しい。

能登半島の先端の狼煙で、Nagao et al^[12] が能登半島沖地震に関連した地電流変化を検出したという報告があり、石戸^[13] は震源域で沸騰が起ると、界面導電現象でその地電流変化が説明できるとした。しかし 30 km 離れた海底下の震源に起源をもつ流体現象が磁場変化をもたらすとは考えにくい。HRJ で観測された全磁力変化がどのような原因によるかは今後の問題点である。

4. 2 1992-1995 年の永年変化

次に、1992 年より 1995 年までの TOT, AMG, SBE, NAM, HRJ における全磁力永年変化を、茨城県の柿岡にある気象庁地磁気観測所 (KAK) を基準として調べる。データセットは日本の地震予知計画・地磁気研究グループでとりまとめているものと同等のものを用了。すなわち、すべての観測点で、夜間の 0 時 40 分から 3 時までの 10 分ごとの全磁力値 15 個についての基準点との差の時間平均値について調べた。夜間の人工的なノイズが混入していない時間帯を用了ので、ここでは移動平均等の操作は行っていない。

まずここで基準点とした KAK についての全磁力そのものの時間変化を Fig. 11 に示した。これは 1 日の夜間の平均値を 1992 年から 1995 年までプロットしたもので、4 年間に 100nT 以上変化している。

KAK を基準とした各観測点との差の 5 日平均値、1 カ月平均値を Fig. 12, Fig. 13 にそれぞれ示す。両図ともに同様な永年変化の傾向を示しているので、データの平均操作によってデータが大きくひずんでいないことがわかる。また、誤差をここでは記していないが、Fig. 12 と Fig. 13 を比べたときの Fig. 12 のデータのばらつき程度でだいたいの目安とすることができる。

Fig. 13 には、一次式で表した永年変化と年変化率もともに示した。HRJ では能登半島沖地震の影響を考

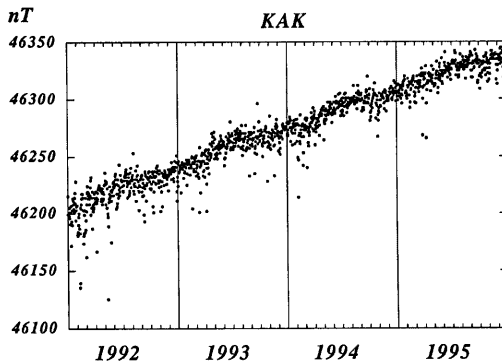


Fig. 11 Secular variations at KAK from 1992 to 1995.

慮に入れて、1993年から1995年の範囲で一次式をあてはめた。4年間で、TOTは5.4nT、AMGは4.6nT、SBEは10.1nT、NAMは3.3nT、HRJは4.1nTだけKAKに対して変化したことになる。

また、各観測点の永年変化には、季節変動がみられる。この季節変動を詳しく見るために、各観測点において、永年変化のトレンドを除去した後、1年ごとに区切ったデータを4年間重ね合わせて平均したものを標準偏差の幅とともにFig. 14に示した。年周変動の振幅、位相が観測点ごとに違うようであるが、地域による系統性は見られない。緯度への依存性が明らかでないので、Dstの影響とは考えにくい。KAKに対するHRJの変動は3年間のみの平均である。これらの原因を明らかにするためには、更に詳しい解析、考察が必要である。

住友は、一等磁気測量データと全磁力連続観測のデータを用いて日本周辺の永年変化の傾向を調べた¹⁰⁾。これによると、1990年から1992年にかけての、柿岡を基準とした磁場変化の傾向は、西日本では西に行くほど変化が大きい。これに比べると、SBEについての変化が、4年間で10nTもの変化をしていることが目立つ。今回調べた地域全体の変化の傾向としては住友による変化傾向とはほぼ同じである。従って、SBEの変化は異常と考えられるが、原因は調査中である。人工擾乱の可能性は考えにくい。

5. まとめ

我々は鳥取、天ヶ瀬、鯖江、西天生、宝立において、全磁力連続観測を続けている。ここではまず、電車軌道からの漏洩電流によるノイズが混入していると思われる天ヶ瀬、鯖江について、精度よい地磁気永年変化を計算するために、移動平均を用いる方法を検討した。最適の移動平均の幅を求めるために、さまざまな時間幅の移動平均をかけたときの両観測点の同時刻の相関係数、両観測点のノイズを含んだ磁場変化のスペクトルの傾向の両方から、移動平均の時間幅を40分前後にすればよいことを示した。

伊豆地域の全磁力連続観測でも報告されているように、鳥取と天ヶ瀬との単純差にも、電車からのノイズによる短周期で振動する磁場に加え、昼間と夜間の間に磁力差のバイアスが確認された。夜中のノイズが少ない時間帯と、漏洩電流の影響が強い時間帯とでは、5nTもの段差状の変化がある。

各観測所の1992年から1995年までの夜間のデータを用いて、北陸、近畿、中国地域の永年変化を求めた。宝立では、能登半島沖地震の3年前から、異常な全磁力永年変化が報告され、1993年2月7日の本震の後、西天生に比べて増加の傾向が1993年の暮れまで続いた。しかし、1994年の初めから減少に転じ、1995年の終わりには本震直後のレベルまで戻った。

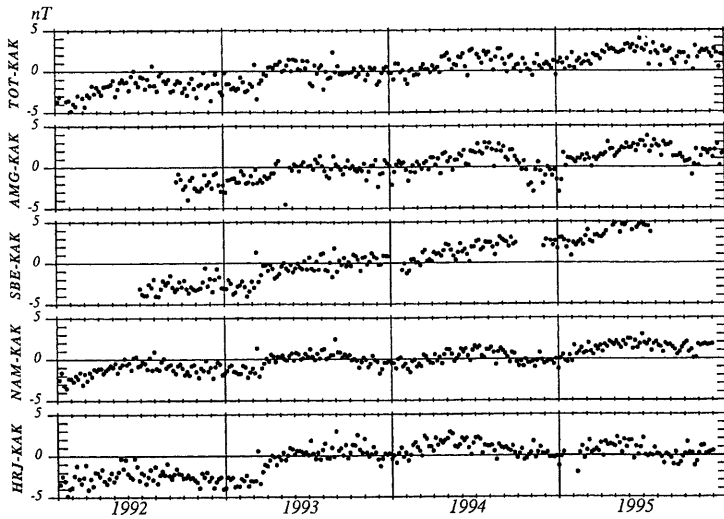


Fig. 12 Secular variation at TOT, AMG, SBE, NAM and HRJ related to KAK from the beginning of 1992 to the end of 1995. 5-day mean data are used.

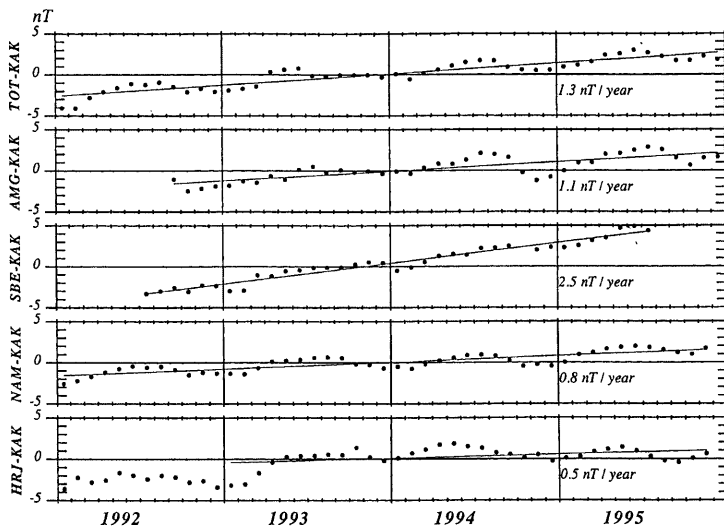


Fig. 13 Secular variation at TOT, AMG, SBE, NAM and HRJ related to KAK from the beginning of 1992 to the end of 1995. 1-month mean data are used. Fitting lines and rates of changes are also shown.

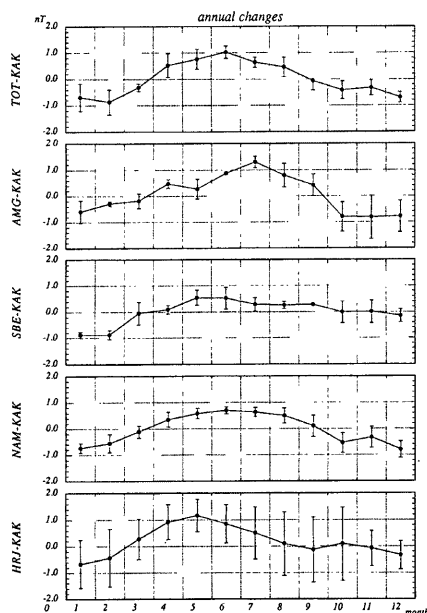


Fig. 14 Seasonal variations in the geomagnetic total force at each station related to KAK.

1990年から1992年夏にかけての柿岡の気象庁地磁気観測所を基準にしたこの地域での全磁力の永年変化の傾向は、西にいくほどやや大きいことが報告されていたが、最近までのデータによる永年変化もほぼ以前の報告に準ずる。ただ、鯖江付近の柿岡に対する永年変化の割合は、この地域の標準的な変化である $1\text{nT}/\text{年}$ をはるかに超え、 $2.5\text{nT}/\text{年}$ と、異常な増加を示しており、原因は調査中である。

謝 辞

天ヶ瀬の観測では、防災研究所付属地震予知研究センターの古澤保・大谷文夫・森井互・山田勝諸氏に、鯖江の観測では平野憲雄氏に、鳥取の観測では矢部征氏、西天生・宝立の観測では和田安男氏に大変お世話になった。厚く謝意を表したい。

参考文献

- 1) Rikitake, T. : Elimination of non-local changes from total intensity values of the geomagnetic field, *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*, Vol. 44, 1966, pp.1041-1070.
- 2) Mori, T. and T. Yoshino : Local difference in variations of the geomagnetic total intensity in Japan, *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*, Vol. 48, 1970, pp.893-922.
- 3) 住友則彦・矢部征 : 鳥取における全磁力経年変化について, 京都大学防災研究所年報, 第17号B,

- 1974, pp.83-89.
- 4) 住友則彦・矢部征：鳥取における全磁力経年変化について（Ⅱ），京都大学防災研究所年報，第21号B-1，1978，pp.79-86.
- 5) 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）における地磁気全磁力の連続観測，京都大学防災研究所年報，第29号B-1，1986，pp.77-84.
- 6) 加藤正明・土居光・和田博夫・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，京都大学防災研究所年報，第31号B-1，1988，pp.47-58.
- 7) 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.
- 8) 笹井洋一・石川良宣：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），東京大学地震研究所彙報，第55号，1980，pp.1101-1113.
- 9) 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異常を確かめるため——，地球惑星科学関連学会1993年合同大会予稿集，1993，C41-Q122.
- 10) 防災研究所：1993年能登半島沖地震時に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.
- 11) 後藤忠徳・坂中伸也・堀友紀・和田安男・住友則彦・大志万直人：能登半島沖地震に関連した全磁力変化，京都大学防災研究所年報，第37号B-1，1994，pp.281-291.
- 12) Nagao, T., Uyeda, S., Asai, Y. and Kono, Y. : Anomalous changes in geoelectric potential preceding four earthquakes in Japan, A critical review of VAN, World Scientific, 1996, pp.293-300.
- 13) 石戸経士：沸騰に伴う界面導電現象——地震の電磁氣的前兆現象のメカニズム——，CONDUCTIVITY ANOMALY 研究会論文集，1995，pp.100-105.