

## 柿岡といわきにおける CA 変換函数の同時比較

佐野幸三・仲谷清

### 概 要

柿岡といわき(福島県)の2地点における July 1977 より Mar. 1978 期間の変換函数の同時比較を行なった。変換函数の算出法は、個々の地磁気擾乱についてフーリエ解析を行ない、最小2乗法によるもので、両地点とも全く同じである。この同時比較の主な結果は次のとおりで、いろいろと興味ある重要な結果がえられた(今回は Au, Bu 実数部変換函数に関するもののみ)。

- (1) 両地点における変換函数の時間変化は、非常に平行性のある特性を示している。
- (2) これらの平行性のある時間変化は外部要因によるものなのか、内部要因によるものなのか確かなことは結論できない。
- (3) 柿岡といわきの変換函数の一般的な周期特性も、かなり類似している(特に Au の場合)。

### 1. はじめに

柿岡地磁気観測所では福島県いわき市植田において、フラックスゲート磁力計により CA 観測を目的とした地磁気成分の変化観測(絶対観測は実施せず)を行なっている。いわきは Fig. 1 に示すように柿岡より約 90 km 北北東に位置している。Fig. 1 は地下電気伝導度の中央日本異常(Central Japan Anomaly, Rikitake (1969)による)等を変換函数( $\Delta Z/\Delta H \approx Au$ )のコンターマップで示したものである。いわきはこの Central Japan Anomaly 領域内またはその縁に柿岡と同様位置し、両地点とも太平洋プレートの日本列島もぐり込み領域上に位置している。いわきは柿岡より海岸線に近いが、地形等の立地条件は柿岡とかなり似た所がある。ただ、いわき周辺陸地領域は地震活動が柿岡とくらべて極めて低い。しかし、福島県沖地震領域は茨城県沖領域ほどではないにしても、やや地震活動が顕著なところである。

このような領域に位置する柿岡・いわき両地点で、変換函数の時間変化あるいはその周期特性などを比較することは、いろいろな意味において興味あることである。まず、当然のことながら、柿岡において Yanagihara et al (1976), Sano (1980) によって報告されている変換函数の地震前兆現象の変化が、いわき地点においてもいわき周辺もしくは柿岡周辺の地震に対して、柿岡と同様にあるのかどうか大変興味あるところである。次に変換函数の時間変化を解析する場合、その変化は地球内部原因によるものなのか、外部要因によるものなのか、はたまた単なる誤差要因によるものなのか、が常に問題となるが、複数点において同時比較をすれば、これらの要因の相当の分離ができるのではないかと期待される。この観点からも柿岡もいわきの変換函数の同時比較は意義あるものである。

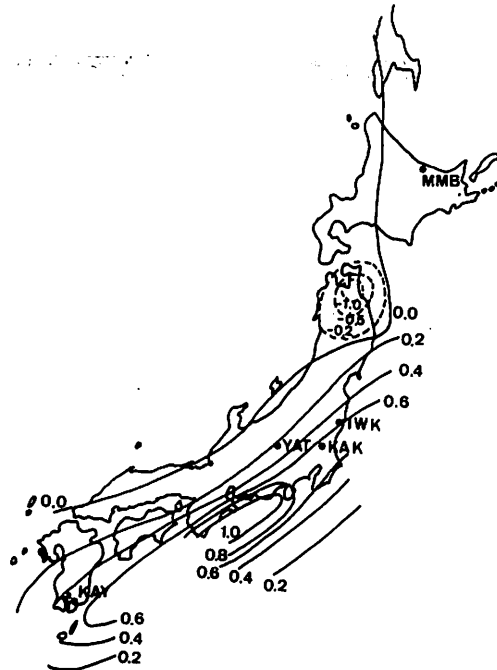


Fig. 1.  $\Delta Z/\Delta H$  value distribution over Japan for geomagnetic bays and similar changes (After Rikitake (1969)), and the location of the magnetic observatories of present concern.

本来は柿岡・いわき2地点だけの比較ではまだ十分ではなく、少なくとも近距離で Central Japan Anomaly 領域内外に各1点の比較点が欲しいところである。将来はそのような観測点を設け、同時比較をしてみたい希望を持っている。また、内部要因による変換函数の時間変化を正確に検出するためには、絶対的に複数点での同時比較が必要である。現時点では、地震予知観測として、伊豆、東海地域の地磁気観測装置が整備されつつあるので、早急にこれらの地点と柿岡等との同時比較をやってみる必要がある。一方、最近大学関係でも全国に分布する各観測点について、柿岡などと同時比較を将来やろうという計画があるようである。もしそのような計画が実現した場合には、我々も大いに協力したいと考えているし、またそのような機会が与えられることを希望している。

ともかく、今回は柿岡といわきの地点の変換函数を、全く同じ現象に対して、全く同じ算出方法により求め比較してみた。解析期間は July 1977~Mar, 1978 までの短期間であり、途中いわき地点に欠測期間もあり十分な比較はできなかったが、予備的調査結果として3節以下に報告する。第2節では現在までのところ日本で行なわれた変換函数の複数点同時比較結果を簡単にレビューしておく。

2. 変換函数の複数点同時比較例

柿岡において個々に求められた変換函数は、一般にかなり大きな変動(バラツキ)を示している。これらのバラツキの中には前述したように地震前兆現象の変化、外部要因によるものおよび偶発的な誤差要因によるものなどがある。外部要因については、Sano (1980)により地磁気活動度 (K-index) に複雑に依存していることが、また Shiraki (1980)により、各現象の Power あるいは Spectral slope などとある程度の相関があることが報告されている。これらのことをさらに究明するためには、適当な複数観測点における変換函数の同時比較が必要であることも前述したとおりである。このような目的で、国内の2,3の観測所で同時比較した次のような結果が報告されている。

2.1 柿岡と八岳観測所における同時比較例

Honkura and Shiraki (1978) は柿岡と八岳における変換函数の同時比較を行なった。八岳 (YAT) は Fig. 1 に示したように、柿岡より西方約 160 km の地点に位置し、Central Japan Anomaly 領域の外で、大きな地磁気異常変化を示さない地点である。Honkura 等はこれらの2地点で同じ日の夜間6時間の毎分値データを用い、Power spectrum 解法により変換函数をそれぞれ求め、その半月平均値 (通常、5日間の解析5変換函数の平均) を比較した。周期30分の変換函数のそのような比較結果をに Fig. 2 示した。Fig. 2 は

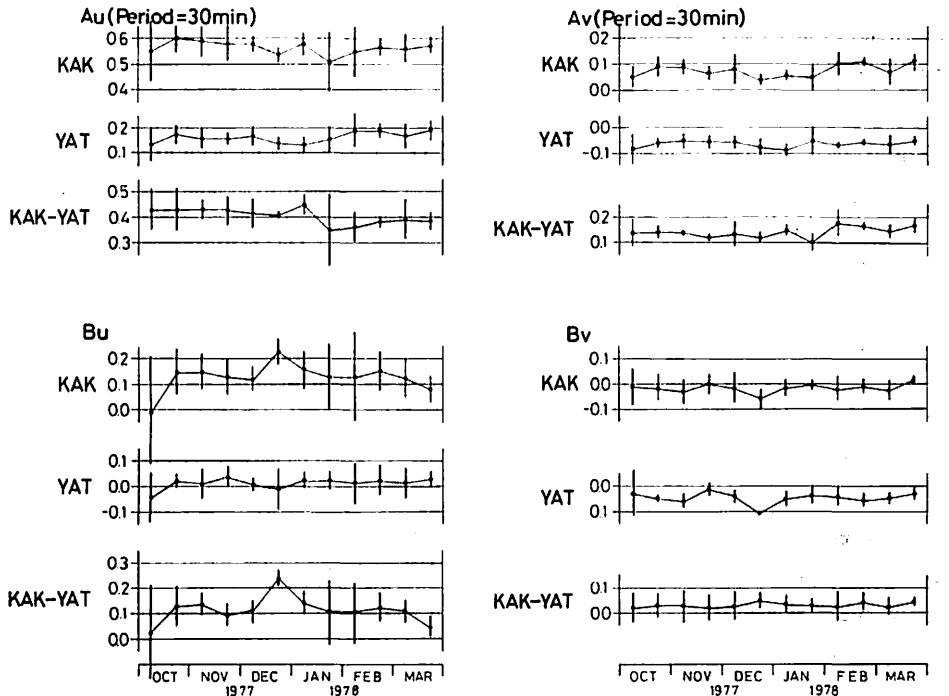


Fig. 2. Simultaneous comparisons of transfer functions of 30 min. period component between Kakioka and Yatsugatake (After Honkura and Shiraki, 1978).

Au, Av, Bu および Bv の全変換函数についてそれぞれ示したもので、各パネルとも上段より柿岡 (KAK), 八岳 (YAT) および柿岡—八岳 (KAK-YAT) をプロットしてある。表示されている誤差は標準偏差である。

Fig. 2 に見られるとおり、柿岡と八岳の同時比較結果は次のような大変興味ある事実を示している。どの変換函数とも一般に柿岡の方が変動が大きく、標準偏差も大きい。[KAK-YAT] の差を見ると一般に変動が小さく (少なくとも柿岡と比べて)、かつなめらかな傾向を示している。このことは両地点の変換函数の変化の中にはかなり外部要因によるものを含んでいることを示しているであろう。しかし、中には、例えば Au, Bv の Jan., Bu の Dec.~Jan. の柿岡の変化のように、消失せず顕著に残るものがある。Honkura 等はこれは柿岡地点の内部要因による変化であろうと結論している。ともかく、これらは柿岡に特有な内部要因による変換函数の時間変化の存在を明きらかに示すものとして、非常に重要な結果の一つである。

## 2.2 女満別, 柿岡および鹿屋 3 地点の同時比較

3 地点比較例として、正式な論文として報告されていないが、女満別, 柿岡および鹿屋で同時比較した例がある。それらは柿岡地磁気観測所で特別の調査班 (筆者らもそのメンバー) を結成し、1971年から1975年までの期間に、月1個の地磁気嵐日を選び、その1日分マグネットグラムから毎分値をカーブ・リーダーで読取り、Power Spectrum 解析法により各種の周期の変換函数を算出し比較したものである。むろん、3 地点で選ばれた地磁気嵐は共通のもので、データ処理法等も全く同じである。Fig. 3 にそれらの結果のうち周期60分の Au, Bu 変換函数のものを示した。なお、女満別, 鹿屋の位置等は Fig. 1 に示してある。

Fig. 3 より 3 地点 (女満別=MMB, 柿岡=KAK, 鹿屋=KNY) の変換函数の変動 (バラツキ等) を比較すると、まず第1に目に付くことは、柿岡が短周期的にも長周期的にも最も変動が大きく、鹿屋, 女満別の順で変動が小さくなっていることである。さらに、3 地点で平行した変動はほとんど見られず、2 地点間 (特に柿岡と鹿屋) でも 2, 3 を除いて変化の平行性はほとんどない。これらの特性は短周期的な変化 (バラツキ) についても、長周期的な変動 (永年変化) についても同様である。これらの特性は、同じ精度のマグネットグラムから、同じ方法によりデータをサンプリングして解析したもので、データ処理上の単なる誤差から生じた無意味なものとは思われない。これらの特性を自然現象によるものとするれば、非常に興味ある次のような重要なことを示していると考えられる。

解析された地磁気現象は各月に起きた最も顕著な磁気嵐で、その Dst—成分により、かなり外部要因による 3 地点平行した変換函数の変化がある程度期待されたが、事実ではなかった。柿岡だけが特に外部要因による変化が大きいとも、地磁気現象の汎世界的特性からして考えられず、柿岡で変換函数の変化が大きいことは、柿岡周辺の地下異常電気伝導度に関係した内部要因によるものと考えざるをえない。前述した八岳と柿岡の比較においても柿岡の方が変化が大きく、これら二つの事実からもそのように推定される。柿岡は Central Japan Anomaly 領域内に位置しており、異常領域の特性を示していると考えられる。

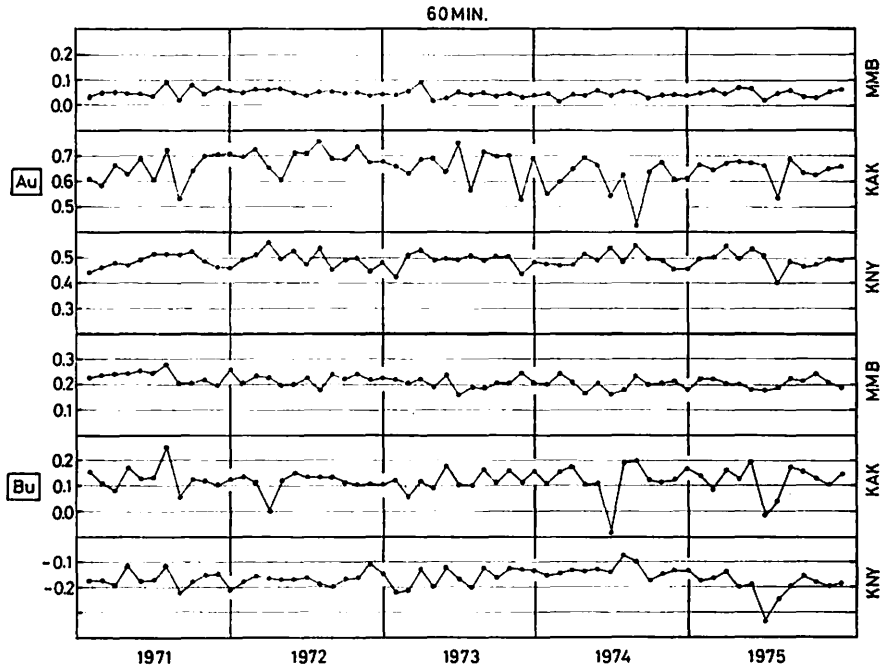


Fig. 3. Simultaneous comparisons of transfer functions of 60 min. period component among Kakioka, Memambetsu and Kanoya.

しかし、それにしても柿岡の変換函数の変化は異常に大きく、また変化の様相も不規則アットランダムであり、これらはすべて自然現象であろうかという疑問もないわけではない。例えば、柿岡は首都圏に近く、人工擾乱の影響はないであろうか、ということが問題となる。しかし、これは柿岡における極静穏日の記録を見る限り、今回解析の対象とした地磁気嵐からすれば、それに影響を与えるほどのものはないと考えられる。

ともかく、同じ現象について、同じ解析法により求められた3地点の変換函数で、柿岡のものが最も異常に大きく変動していることは、興味深いことである。さらにこれらの事実をもっと詳細に解析し、その真疑を一層確しかめてみる必要がある。

### 3. 柿岡といわきの変換函数の時間的变化の同時比較

前節で、変換函数の複数点における同時比較の例を示し 2, 3 の重要な結果について述べ、そのような解析の必要性を強調した。本節ではこのような目的を持って解析した、本論文の本題である柿岡といわき2地点の同時比較結果を報告する。

今回の解析に用いた地磁気データは、いわきの場合フラックスゲート磁力計記録紙 (20 mm/時, 打点式) のカーブリーダーによる毎3分読取值, 柿岡の場合いわきの読取時間に対応する Kasmmer の毎3分計測値である。変換函数の計算法は、多くの地磁気擾乱 (期間=180分) について後述の周期のフーリエ解析 (変換) し、同一周期成分について最小2乗法により求めるものである (筆者の一人の別論文 (Sano, 1980) で採用している方法

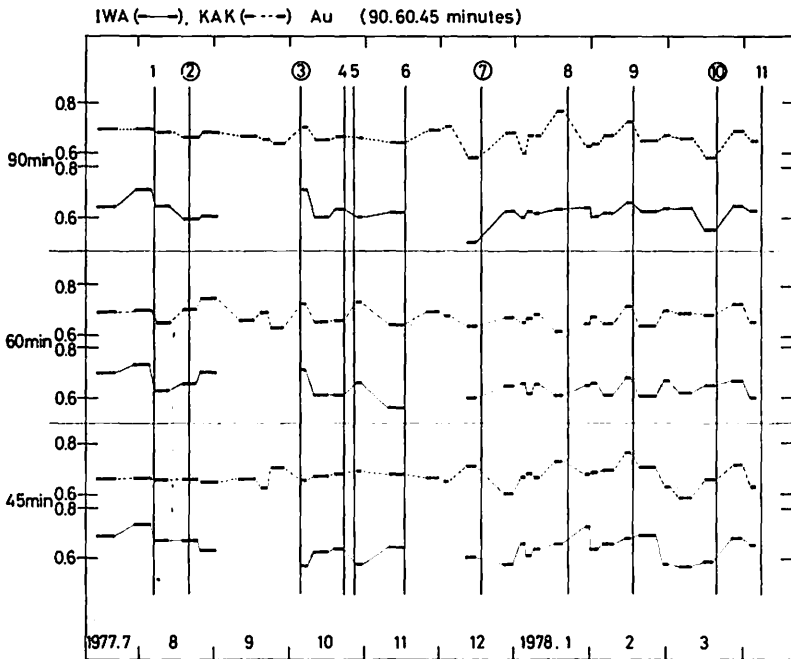


Fig. 4. Simultaneous comparisons of  $Au$  transfer functions of 90, 60 and 45 min. period components between Kakioka and Iwaki during the period from July 1977 to Mar. 1978. The length of the horizontal bar indicates the period from which geomagnetic disturbances are selected to determine respective transfer functions. The bars connected by the dotted lines and the full lines are of Kakioka and Iwaki, respectively.

と同じ)。解析は 30, 45, 60, 90 および 180 分の 5 周期成分について行なった。柿岡といわきの違いは、データの質が違うだけで、他のことは全く同一である。すなわち、柿岡のデータは Kasmmer の毎分計測値であり、いわきのデータに比べ質が数段良い。解析した周期成分のうち 30 分および 180 分のは、データサンプリングインターバルおよび解析法からして、他の成分より変換函数決定精度が悪いので、ここでは 45, 60 および 90 分のものについてのみ報告する。

Fig. 4 および Fig. 5 に、このようにして求められた両地点の周期 45, 60, および 90 分の  $Au$ ,  $Bu$  変換函数 (実数部) をそれぞれ示した。Fig. 6 および Fig. 7 はそれらの Induction Vector の大きさ (絶対値) および方向を示した。各図の横太線が各変換函数で、実線で結んだものはいわき、点線で結んだものは柿岡のものである。横太線の長さは各変換函数を決定するために解析した現象が抽出された期間を示している。一個の変換函数を決定するのに用いられる現象数は、原則として 10 個としているが、中にはやむをえず 6, 7 個の現象から決定したものも含まれている。地磁気現象としては主にかなり顕著な湾型変化 (Bay) が選ばれている。1 から 11 までの縦線はこの期間の柿岡およびいわき周辺に発生した顕著地震 (地震規模  $M \geq 4.3$ ) で○を付したものは  $M \geq 5.4$  の地震である。こ

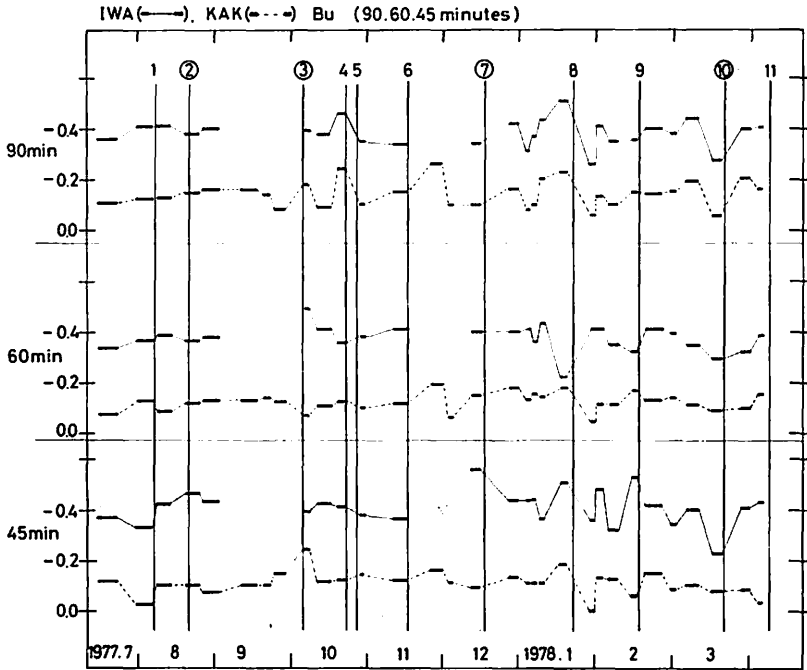


Fig. 5. Similar comparisons of Bu transfer functions. The others are the same as Fig. 4.

これらの地震の震央分布を Fig. 8 に示した。Fig. 8 で2つのサークルは柿岡およびいわきを中心とする半径 100 km 圏を示す。

Fig. 4~Fig. 7 までに示した結果よりまず第1に印象づけられることは、柿岡といわきの各変換函数は驚くほど変動の様相が似ているということである。特に周期90分のものの変化は全く良い一致を示している。各変化の振幅もほぼ同じで、最大変化振幅のレンジは0.15~0.20にも達しており、非常に大きい。特に Bu 変換函数の変化は複雑で大きいようである。全体としてみた場合、いわきの変換函数の方がやや柿岡のそれよりも変動が大きいようである。これらの変換函数の決定誤差は、図には複雑となるために示していないが、平均的にそれらは柿岡で約0.04、いわきで約0.05の標準偏差となっている。むろん、Bu 変換函数の誤差が一般に大きい。これらの誤差と上述した特性とはかなり符号する点、例えばいわきの方が全体的に柿岡よりも変動が大きいことなどが、ある程度の誤差要因による変化を含んでいると考えられる。しかし、それにもかかわらず、両地点の変換函数の変化に高い平行性が見られることは、いろいろな意味において注目すべきことである。

まず考えさせられることは、これらの高い平行性を持つ両地点の変換函数の変化は主に外部擾乱磁場要因によるものではなかろうかということである。むろん中には柿岡の変換函数の特性としていろいろ報告されている地震前兆現象的な変化(Yanagihara et al(1976), Sano (1980) etc.) とみなされるようなものもある。例えば、③、⑦および⑩の地震の前

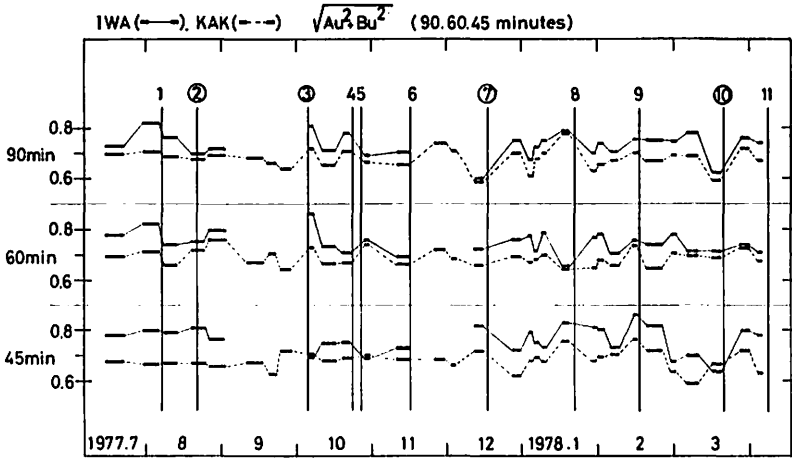


Fig. 6. Similar comparisons of  $\sqrt{Au^2 + Bu^2}$  transfer functions. The others are the same as Fig. 4.

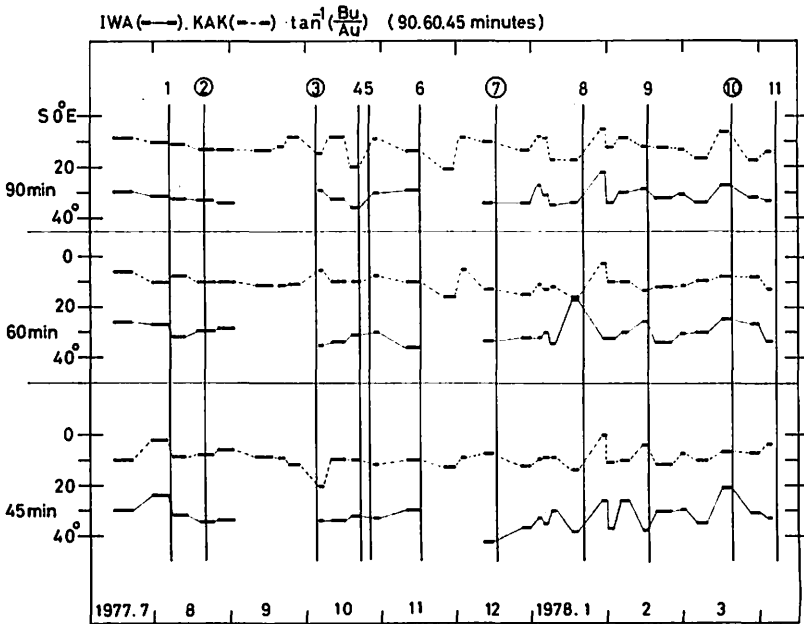


Fig. 7. Similar comparisons of induction vectors. The others are the same as Fig. 4.

に両地点とも同じように変換函数の減少を示しているのがそれらである。これらの地震は規模  $M=5.5$  程度のもので、前兆現象がある程度期待されるものである。しかし、これらの震央位置 (③, ⑩は茨城県南西部, ⑦はいわきに近い茨城県沖) からして、その直接的な地震前兆効果が柿岡といわきで全くといっていいほど同じであるということは考えにく



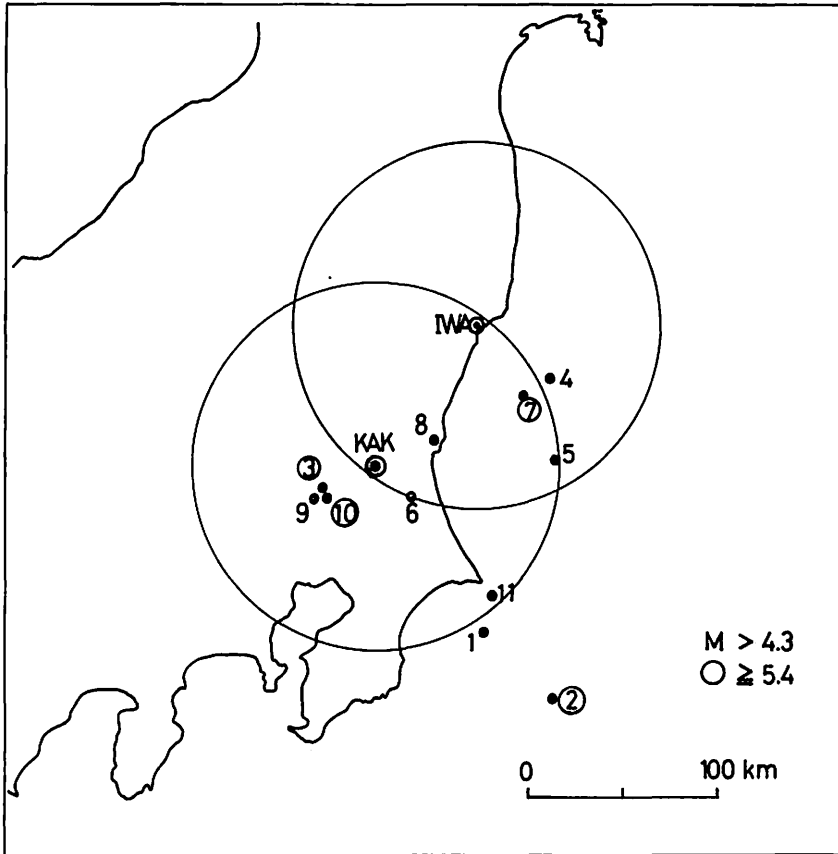


Fig. 8. Epicenter distribution of remarkable earthquakes referred in this paper.

いことではなかろうか。少なくともこれは誰もが考えるごく常識的な疑問である。したがって、この観点から推定するならば柿岡といわきで平行した変換函数の変化の多くは、外部擾乱磁場要因によるものであると考えるのがごく自然であり、上述の地震前兆現象的变化は偶然の一致であるかも知れない。

しかしながら、このような考え方にも疑問がないわけではない。前節で述べた柿岡と八岳の同時比較および女満別、柿岡および鹿屋の同時比較で、前者にはある程度の外部要因によると思われる変化が認められたが、後者においては各観測所に特有な変化を示したことから考えて、今回の柿岡といわきの全く平行性のある変化をすべて外部要因によるものと断定することもできないと考えられる。したがって、深い考察にもとづくものではないが、柿岡といわきで平行性のある変換函数の変化に対するもう一つの可能性のある考え方として、CA 異常領域の変換函数はかなり広範囲の領域で内部要因によって一様に变化するもので、その時間変化に対応してその領域内の地震は場所的にはかなりアットランダムに誘発されるものではないかということである。柿岡、いわきとも磁気異常の度合は類似しており、Central Japan Anomaly 領域内もしくはその影響下にあり、しかも、太平洋

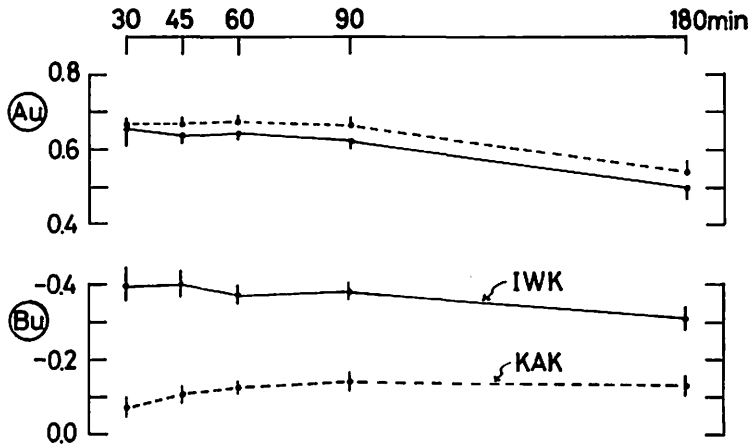


Fig. 9. Period dependent characteristics of  $Au$  and  $Bu$  transfer functions at Kakioka and Iwaki.

プレートのもぐり込み領域上に両者は位置しており、同じような内部要因によって平行して変換函数が変化しているということもそれほど不自然なことではないと思われる。この考え方は Yanagihara et al (1976) や Sano (1980) により示された柿岡の変換函数の地震前兆現象的变化に対する考え方にある意味で相異なるもので、今後詳細に解析しなければならない大きな問題である。

これらの問題を究明するためには、柿岡といわきの2地点の比較だけでは十分でなく、少なくとももう1点内陸部 (CAのあまりない場所、例えば八岳観測所) の地点を加え、3点以上の比較をする必要がある。ともかく、今回の解析は短期間の少ない資料に基づくもので、これ以上の議論はできないが、変換函数の時間変化に関していろいろの問題を提起するものである。

#### 4. 柿岡、いわきにおける変換函数の一般的周期特性

柿岡、いわきにおける周期30分より180分までの変換函数の周期特性は、Fig. 9に示したとおりである。いわきの変換函数 (実数部) の一般的特性は、 $Au$ については柿岡とほぼ同じで、周期30分より180分の間で0.65~0.50であり、 $Bu$ については柿岡よりも3~4倍大きく、-0.40~-0.30である。いわきの $Au$ のこの周期帯の周期特性は柿岡と同じであるが、 $Bu$ の方は柿岡と反対の特性を持っている。いわきの方が海に近く、海岸効果がやや大きいことを示していると思われる。

ともかく、柿岡といわきは概略において、ほぼ同じ変換函数の特性を示しており、 $Au$ に関しては Rikitake (1969) による Central Japan Anomaly の変換函数の分布図に良く一致していることはいうまでもない。

#### 5. 謝 辞

この調査にあたり助言をいただいた河村地磁気観測所長に感謝いたします。

## 参 考 文 献

- Honkura, Y. and M. Shiraki (1978): Transfer functions at the Kakioka and Yatsugatake Magnetic Observatories, An abstract paper presented by the Fourth Workshop on Electromagnetic Induction in the Asthenosphere, in Murnau, September, 1978.
- Rikitake, T. (1969): Undulation of electrically conducting layer beneath Japan Islands, Proc. Conductivity Anomaly Symp., Earthquake Res. Inst., Univ. of Tokyo, 123-139.
- Sano, Y. (1980): Time changes of transfer functions at Kakioka related to earthquake occurrences (I), Geophy. Magazine of the Japan Meteorological Agency, Vol. 39, No. 2, 93-117.
- Shiraki, M. (1980): Monitoring of the time change in transfer functions in the central Japan conductivity anomaly, J.G.G., Vol. 32, 637-648.
- Yanagihara, K. and T. Nagano (1976): Time change of transfer function in the central Japan anomaly of conductivity with special reference to earthquake occurrences, J. G. G., Vol. 28, 157-163.

## Simultaneous Comparisons of Transfer Functions between Kakioka and Iwaki

by

Yukizo SANO and Kiyoshi NAKAYA

### Abstract

Simultaneous comparisons of CA transfer functions for the periods of 45, 60 and 90 min. between Kakioka and Iwaki have been carried out for the period from July 1977 to Mar. 1978. The transfer functions at both stations are calculated by the quite same way; the least square method for Fourier transforms of many geomagnetic disturbances.

From the present comparisons various important results are obtained. Some main results for Au and Bu transfer functions are as follows:

- (1) Time changes of the transfer functions at Kakioka and Iwaki and very resemble, in particular, for the 90 min. period component.
- (2) Several decreasing changes in the transfer functions related to some earthquakes near Kakioka or Iwaki can be identified. However, it is not so clear that all of the above parallel time changes at both stations are due to internal origins.
- (3) General period characteristics of the transfer functions at both stations are also considerably resemble, especially in the case of Au transfer function.

Some kinds of the time changes of the functions may be related to the external disturbances. In order to separate the internal change part from the external one, simultaneous comparisons of transfer functions at the other stations as many as possible near Kakioka are highly required.