

峰山観測室に於ける地磁気観測の応用 ——地磁気変換関数の永年変化——

家森俊彦*・能勢正仁**・竹田雅彦*・田中良和*
松本浩志*・藤田信幸*・亀井豊永*・住友則彦

*京都大学大学院理学研究科

**APL / Johns Hopkins University

要旨

卓越周期約 40 秒～150 秒の地磁気脈動をウェーブレット変換を用いて自動的に検出し、そのデータを用いて地磁気変換関数の永年変化を調べた。その結果、長周期側ではほとんど変化がないが、約 30 秒よりも短周期側では、(1)太陽活動度変化に対応した緩やかな変化が見られること、(2)峰山観測点では、兵庫県南部地震発生後、約 1 年間にわたり一方向に変化したことなどがわかった。

キーワード：地磁気変換関数、地磁気脈動、ウェーブレット変換、地殻電気伝導度

1. はじめに

地下数 km ～数 10km の地殻電気伝導度構造は時間的に変動するものかどうか、また、変動するとすればどの程度のタイムスケールおよび大きさであるかを調べることは、地震予知研究とも関連し興味がある。そのためには、人工ノイズをできる限り避け、外部からのような変動磁場が観測されている期間のデータだけを選択的に用いて地磁気変換関数を精密に推定する方法が考えられる。防災研究所地震予知研究センター峰山観測室では 1994 年以降、フラックスゲート型磁力計により地磁気連続観測を行い、毎秒サンプリングでデータを取得している。これにより、兵庫県南部地震に際しては、地震動の到着より 17 秒前の地震発生とほぼ同時に地震に関係すると考えられる磁場変化を検出する事ができた(Iyemori et al., 1996)。1996 年からは、磁気嵐など宇宙空間現象の定量的解明と予測を目的とする宇宙天気研究に関連して、次節に述べるウェーブレット変換を用いた Pi2 型地磁気脈動の実時間自動検出と、電話線を介した検出結果の即時送信を行っている。当研究では、上記 Pi2 型脈動現象を利用して、1994 年以降蓄積された峰山

地磁気毎秒値データを、より長期間の連続観測記録が利用できる気象庁柿岡地磁気観測所のデータと共に用いて、地殻電気伝導度の状態を反映すると考えられる地磁気変換関数の推定とその時間変化検出を試みた。参考として、信楽観測点のデータとも比較した。

これまでに類似の解析としては、Fujita(1990)による柿岡毎分値データを用いた解析があるが、ここでは毎秒値を用いて、より短周期の地殻浅部の電気伝導度に対応する変換関数の変化を調べることに、および Pi2 型地磁気脈動という特定の外部起源磁場変化を用いる点が異なっている。特定の自然現象を用いるという点では、太陽風内の動圧パルスにより磁気圏が圧縮されたときに観測される SSC(Storm Sudden Commencement)あるいは SI(Sudden Impulse)を用いた Yanagihara(1972)あるいは Yanagihara and Nagano(1976)の研究があり、1923 年の関東大震災に関連して変換関数(この場合は H と Z の振幅比)が変化したことを報告している。

2. 方法

当研究では、卓越周期数 10 秒～数 100 秒の地磁気脈動をウェーブレット解析の手法で自動的に検出し、その期間のデータのみを用いて地磁気変換関数 $A(\omega)$, $B(\omega)$ ($Z=A \cdot H+B \cdot D$) を推定すると、時間的にどの程度安定な値が求まるかを調べる。地磁気変換関数推定の方法として、Everett and Hyndman (1967) による複素スペクトル計算の手法を用いた。ここで A , B は共に複素数 ($A=A_r+iA_i$, $B=B_r+iB_i$) で、周波数の関数である。 H, D, Z はそれぞれ地磁気水平成分、偏角成分、および鉛直成分の地磁気変動に伴う基準値からの変化分を示す。

卓越周期数 10 秒～数 100 秒の地磁気脈動として、ここでは Pi2 型脈動とよばれる現象を利用する。この脈動の特性は、(1)主として、人工ノイズの少ない夜間を中心に出現する、(2)卓越周期が現象毎に異なり、また、不規則な変動成分を含むため、広い周波数領域（すなわち広い地下深度領域）を調べることができる、(3)一日平均数個以上出現し、地磁気脈動の中では比較的振幅が大きい、等があげられる。以上述べた特性は、変換関数計算の上では有利な点であると考えられるが、他方、(4)南北方向に、より強く偏波している、(5)磁場変動には沿磁力線電流等、磁気圏電流の寄与が大きい可能性があり、その場合、磁場鉛直成分(Z)にも外部起源の変動がかなり含まれる等の不利な点も考えられる。

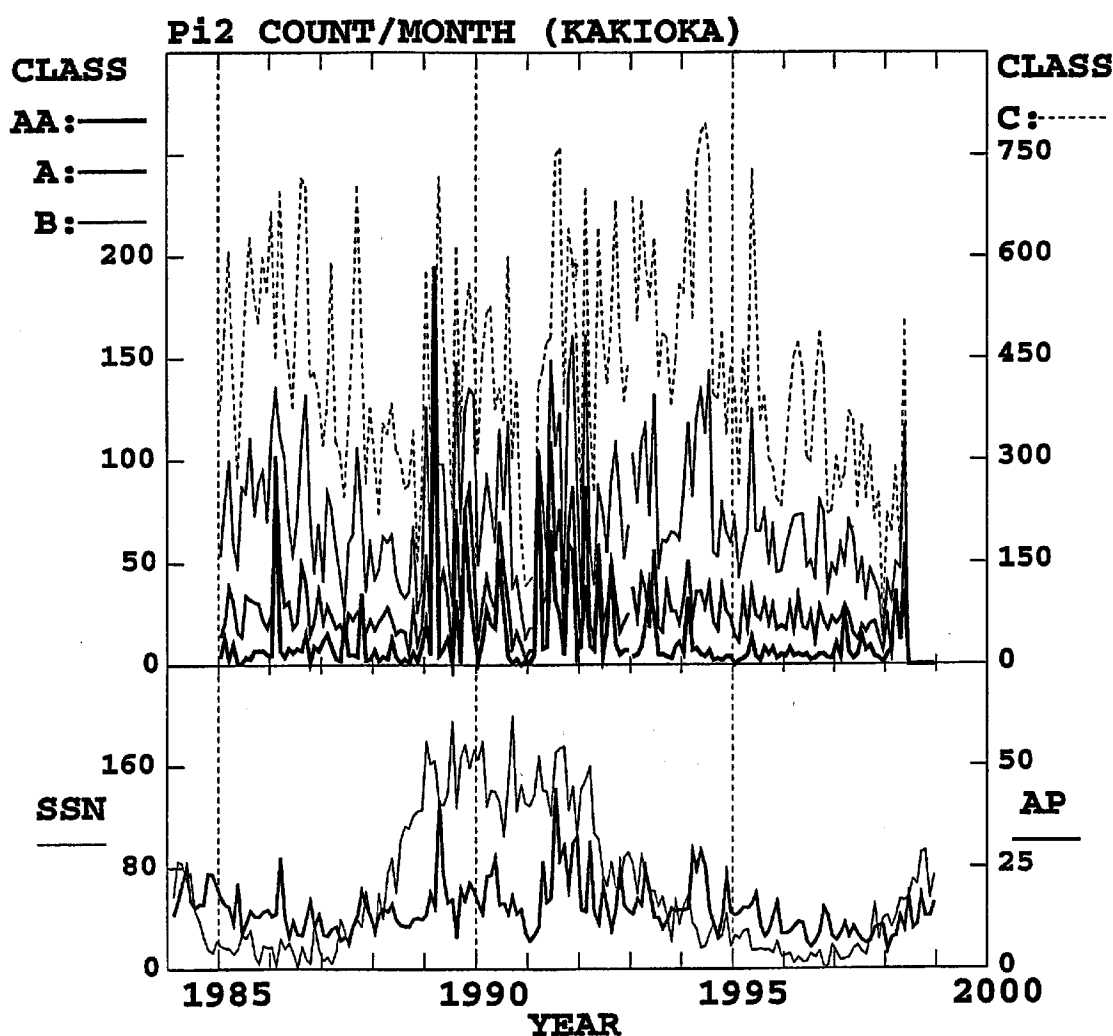


Fig.1. Long term variation of the monthly count rate of Pi2 geomagnetic micropulsations automatically detected with a wavelet analysis (upper panel) and that of the sun spot number (thin line) and a geomagnetic activity index A_p (thick line) (lower panel). Note that the count rate of the Pi2 pulsations follows the A_p index rather than the sun spot number.

Pi2 型地磁気脈動の自動検出には、Mayer のウェーブレットを用いた(Nose et al., 1998)。1984 年から 1998 年まで約 15 年間の柿岡観測所(36.2N,140.2E)毎秒値データから発生リストを作成し、峰山(35.6N, 135.1E)および信楽(34.9N,136.1E)のデータの解析にも同じリストを使用した。脈動の振幅に対応して現象を4つのクラス(AA, A, B, C)に分別した。Fig1.に上記ウェーブレット変換を用いて自動検出した Pi2 型脈動の出現数の経年変化と太陽活動度および地磁気活動度変化を示す。ここでは、最大振幅が 1nT 以上のクラス AA,A,B のみを用いた。各 Pi2 脈動の開始時刻

5 分前から 1024 秒間を一つのイベントとして FFT により複素スペクトルを求め、それから 100 イベント毎に一組の変換関数を求めた。Fig.1 からわかるように、平均的には約 2 ~ 4 週間に一組の変換関数が求まる。解析には地方時で 18:00 から 06:00 の間に発生した現象のみを用いた。これは、昼間の電車ノイズ等人工ノイズの影響を軽減するためである。しかし、実際に人工ノイズが少なくなるのは夜中過ぎの 2 - 3 時間に限られているので、今後人工ノイズがかなり含まれているイベントの処理方法について検討する必要がある。

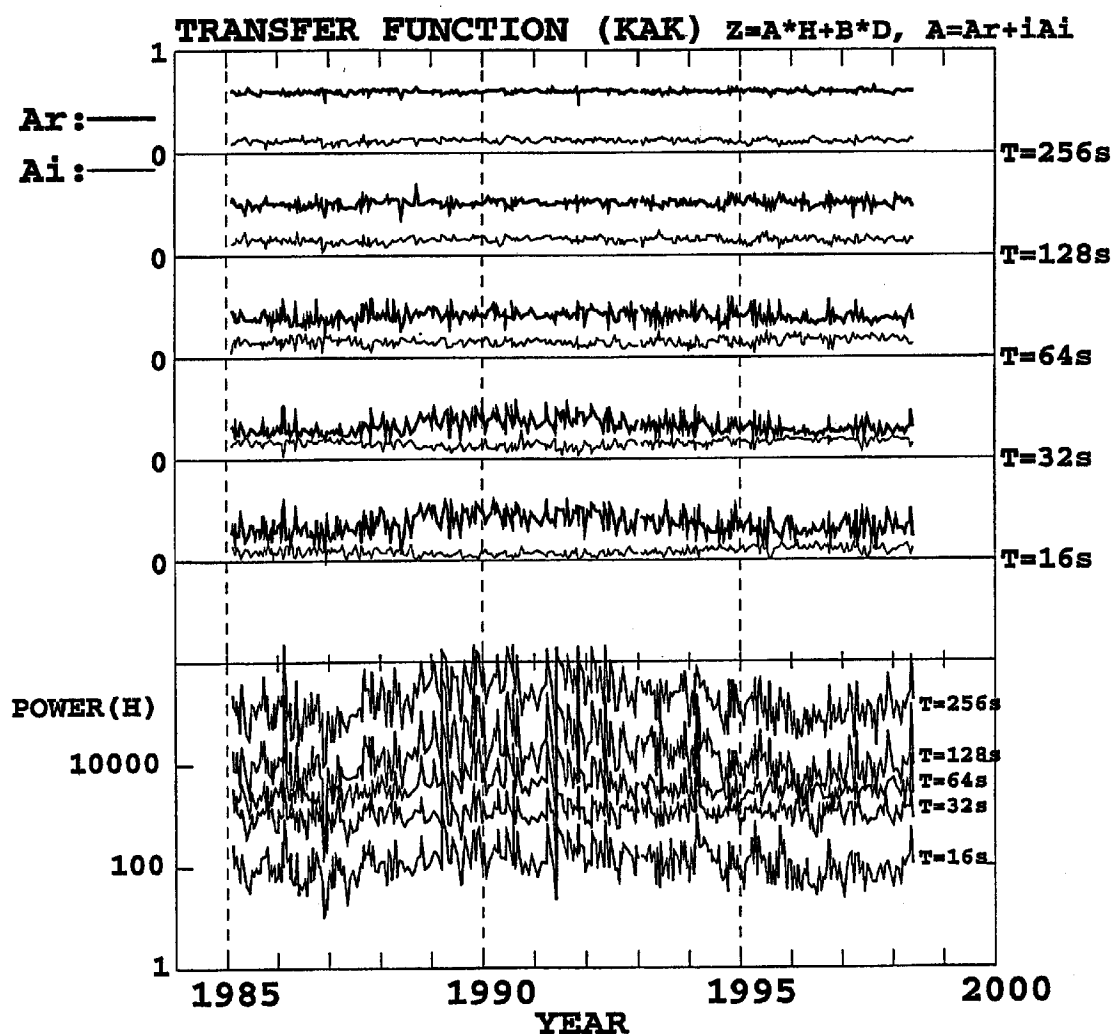


Fig.2. Secular variation of the geomagnetic transfer function A_r (real part) and A_i (imaginary part) at Kakioka which are calculated from geomagnetic horizontal (H) and vertical (Z) components. Values of the A_r and A_i at 5 periods are plotted as well as the variation of the power spectral density at each period.

3. 結果

Fig. 2 は、柿岡地磁気観測データを用いて計算した変換関数の内、H成分に対応する A_r (実部) と A_i (虚部) の時間変化を代表的な5つの周期毎に示したものである。D成分は一般的に振幅がHに比較して小さいため、それに対応する B_r と B_i は誤差が大きいのでここには示さない。Fig. 2 の下のパネルには、各周期に対応する変動のパワー密度を示す。変換関数の短周期成分 ($T=32$ および 16sec) の経年変化が、パワーの変化および Fig. 1 に示した太陽活動度変化と同期した傾向を示しているが、これは S/N 比が変換関数推定に影響を与えている可能性とともに、脈動自体の特性の変動が影響している可能性も考えられるので、今後検討を要する。

Fig. 1 の Pi2 脈動出現頻度は必ずしも太陽活動度変化とは相関せず、地磁気活動度指数と相関しているが、脈動のパワーの変化は太陽活動度と相関していることは Pi2 型脈動の原因を考える上でも興味深い。

Fig. 3 は、1994 年以降の柿岡、峰山および信楽での磁場観測データから求めた A_r と A_i の時間変化を示す。太平洋側に位置する柿岡では A_r は正の値であるが、日本海側の峰山では負の値をとる。これは、電気伝導度の良い海洋の効果である。信楽は近畿中央に位置するので、それら観測点の中間的特性を示す。ただし、信楽は電車ノイズの影響と装置の老朽化によりたびたび磁力計を修理・交換した影響か、関数値のばらつきが大きい。

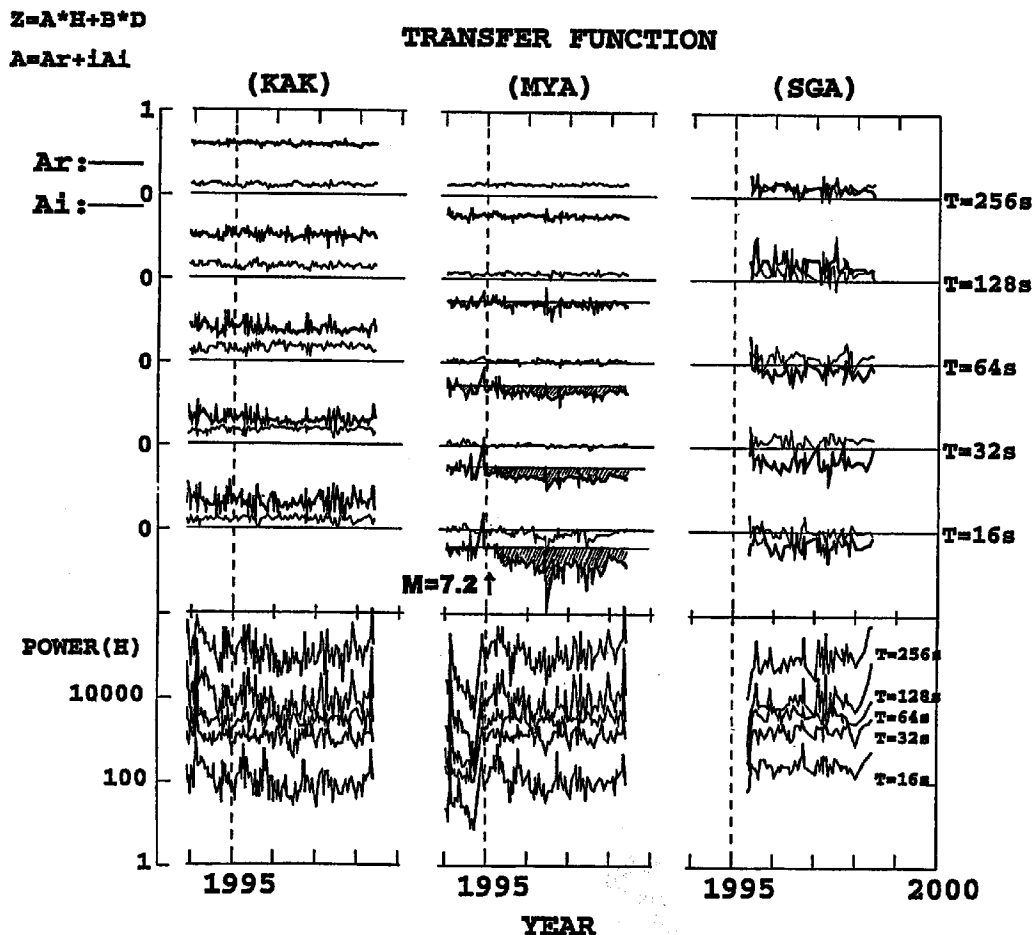


Fig.3. A comparison of the transfer functions deduced from the data obtained at Kakioka, Mineyama and Shigaraki. Note that the A_r ($T=16$ and 32 sec) at Mineyama starts to decrease just after the Hyogoken Nambu earthquake ($M=7.2$) of January 17, 1995.

柿岡では特に顕著な変化は認められないが、峰山では短周期側で兵庫県南部地震以後約1年余りにわたって A_r の減少(すなわち絶対値の増加)傾向が見られる。このことは、関東大震災を挟んで明瞭な変化を検出した Yanagihara(1972) あるいは Yanagihara and Nagano (1976)の結果と関連して興味深い。 A_r の減少は、峰山付近の比較的浅い場所での電気伝導度の変化を表している可能性がある。すなわち、日本海側で電気伝導度が増加したか、あるいは、内陸側で減少した可能性が考えられる。

4. 問題点と今後の展望

地磁気脈動に Pi2 型脈動を利用した場合、問題点として、(1)振幅が最大となる夜間は主として南北方向に強く偏波するため、地磁気南北成分に対応する関数 A はある程度安定した値が求まるが、相対的に振幅が小さい東西成分に対応する B は、誤差が大きいこと、(2)太陽活動度変化に対応するようなゆっくりした変化が短周期側で見られることがわかった。

(1)については、Pi2 以外の脈動および外部起源の磁場不規則変化を取り入れて、その効果を検討する必要がある。また、電車等の人工ノイズを含む期間を取り除くなどの処置をして S/N 比を上げるとどの程度改善されるか調べる必要がある。

(2)については、その原因が脈動の振幅変化にあるのか、あるいは特性変化にあるのかを検討する必要がある。

今後これらの結果を基に、地磁気脈動現象を用いることの限界と、観測期間すべてのデータを用いる方法等との得失等について検討する必要がある。また、近接した複数点での長期観測も人工原因との区別や空間構造の推定との関連で重要である。

謝辞

柿岡地磁気観測データは、気象庁地磁気観測所から地磁気世界資料センター C2,京都(WDC-C2 for

Geomagnetism, Kyoto)を通して公開されているものを使用した。峰山観測室は、1993 年以降、京都府中郡峰山町の協力により利用させていただいている。信楽地磁気観測データは、京都大学超高層電波研究センターとの共同研究の一環として行われている。

参考文献

- Everett, J.E. and Hyndman, R.D.(1967): Geomagnetic variations and electrical conductivity structure in south-western Australia, *Phys. Earth Planet. Interior*, Vol.1, pp.24-34.
- Fujita, S.(1990): Monitoring of time changes of conductivity anomaly transfer functions at Japanese magnetic observatory network, *Memoirs of the Kakioka Magnetic Observatory*, Vol.23, No.2, pp.53-86.
- Iyemori, T., Kamei, T., Tanaka, Y., Takeda, T., Hashimoto, T., Araki, T., Okamoto, T., Watanabe, K., Sumitomo, N., and Oshiman, N.(1996): Co-seismic geomagnetic variations observed at the 1995 Hyogoken-Nanbu earthquake, *J. Geomag. Geoelectr.*, Vol.48, pp.1059-1070.
- Nose, M., Iyemori, T., Takeda, M., Kamei, T., Milling, D.K., D. Orr, Singer, H.J., Worthington, E.W., and Sumitomo, N.(1998): Automated detection of Pi2 pulsations using wavelet analysis: 1. Method and an application for substorm monitoring, *Earth Planets Space*, Vol.50, pp.773-783.
- Yanagihara, K.(1972): Secular variation of the electrical conductivity anomaly in the central part of Japan, *Memoirs of the Kakioka Magnetic Observatory*, Vol.15, No.1, pp.1-11.
- Yanagihara, K., Nagano, T.(1976): Time change of transfer function in the central Japan anomaly of conductivity with special reference to earthquake occurrences, *J. Geomag. Geoelectr.*, Vol.28, pp.157-163.

Geomagnetic Observation at Mineyama Station
- Secular Variation of Geomagnetic Transfer Function -

Toshihiko IYEMORI, Masahito NOSE, Masahiko TAKEDA, Yoshikazu TANAKA,
Hiroshi MATSUMOTO, Nobuyuki FUJITA, Toyohisa KAMEI* and Norihiko SUMITOMO**

* Graduate School of Science, Kyoto University

** Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

Synopsis

High-time resolution geomagnetic data obtained at Mineyama station are analyzed to examine the secular variation of geomagnetic transfer function. The results are compared with those estimated from the data observed at Kakioka and Shigaraki stations. Wavelet transform is applied to detect the Pi2 type geomagnetic micro-pulsations, and the data for the period of Pi2 pulsations are used to calculate the transfer function. The results indicate a variation in the transfer function for short period variations at Mineyama after the Hyogoken Nanbu earthquake in 1995.

Keywords: transfer function, geomagnetic pulsation; wavelet transform; crustal conductivity