

地磁気変換関数の時間変化について

堀 友紀, 住友則彦, 大志万直人, 後藤忠徳, 小泉尚嗣
京大防災研

On Temporal Changes of the Geomagnetic Transfer Functions

Yuki HORI, Norihiko SUMITOMO, Naoto OSHIMAN, Tadanori GOTO, Naoji KOIZUMI
DPRI, Kyoto University

1. はじめに

地磁気擾乱磁場において、地磁気短周期変化3成分間に、 $\Delta Z = A(f) \Delta X + B(f) \Delta Y$ の線形関係が成り立つことはよく知られている。ここで、 ΔX , ΔY , ΔZ は、それぞれ地磁気変化の北向き、東向き、鉛直下向き成分である。A, Bは地磁気変換関数と呼ばれる。地磁気変換関数は観測点周辺の地下の電気伝導度についての情報を持つ。地下の電気伝導度の時間変化をとらえるために、地磁気変換関数の時間変化が今までに研究されている。

しかし、変換関数は地球内部原因以外の要因 — 主に地球外部(external)磁場の ΔZ の影響が考えられる — によっても見かけ上変化する。地下電気伝導度の変化による変換関数の時間変化を取り出すためには、それ以外の原因による変換関数の時間変化の性質を理解する必要がある。これまでに変換関数の時間変化が研究されている(例えば Shiraki and Yanagihara, 1975; Sano, 1980; Sano, 1981; Sano, 1982; Sano and Nakajima, 1982)。変換関数は季節変化をすることが知られ (Shiraki, 1980), 季節変化の振幅が観測点により異なることが観測されている(例えば Gong, 1985)。また, Sano *et al.* (1982) は, 約2カ月間について国内4観測点での変換関数の同時比較を行い, 長周期側(周期90分)で時間変化に正の相関があり, 時間変化の振幅が観測点により異なることを報告した。一方, Fujita (1990) は, 女満別と柿岡, 鹿屋と柿岡の月平均の変換関数は一般に相関を持つことを示した。

本研究では、国内の5観測点について、1989年1月から1994年9月までの地磁気変換関数の月平均値を、周期8, 16, 32, 64, 128分について計算し、地磁気変換関数の時間変化の比較を行い、その性質を調べた。主に、変換関数の季節変化の観測点間の振幅比がどのような特徴を持つのかについて調べた。

2. データ解析

今回まず、京大防災研の鳥取観測所の地磁気3成分毎分値を用いて、その時間変化を求めた。

解析方法は、基本的にはパワースペクトル法 (Everett and Hyndman, 1967) である。時系列のトレンドを除き、バンドパスフィルター (3.5分から140分) をかけ、256分ごとの区間に区切る。それぞれの区間について、ウィンドウをかけ、FFTによりパワー

スペクトルを算出する。1 カ月分のパワースペクトルをスタックし、変換関数の月平均値を求める。このようにして周期 8, 16, 32, 64, 128 分の変換関数を計算する。

また、時々入るパルス状の人工ノイズを除くために次の方法をとった。切り出した各データ区間についてパワースペクトルを求め、これより各データ区間の変換関数を計算する。それらを平均して1 カ月間の変換関数の月平均を求め、その1 カ月の中でその月平均からずれた区間をある基準によって1 つ捨てる。1 つ捨てた後、月平均を計算しなおし同じように別の区間を捨て、これを何回か繰り返す。このようにして、それぞれの月について20パーセントのデータ区間を除いた後、パワースペクトルをスタックし、その月の変換関数を計算する。これを各周期について行った。

得られた鳥取における変換関数の時間変化の例を第1 図に示す。アナログ記録でのみ観測されていた頃にアナログ記録を読みとって求められていたものに比べ、格段に精度よく安定して地磁気変換関数が求められた。鳥取における地磁気変換関数は、季節変化を示した。

次に、他の観測点での変換関数の時間変化を求めた。データとして、気象庁の女満別(MMB)、柿岡(KAK)、鹿屋地磁気観測所(KNY)、東大震研の八ヶ岳観測所(YAT)の、地磁気3成分毎分値を用いた。観測所の位置を第2 図に示す。柿岡、八ヶ岳、鳥取はほぼ同じ緯度に位置する。YATについてはTOTと同じようにして解析し、MMB, KAK, KNYについては全てのデータ区間をスタックして月平均値を求めた。5 観測点の地磁気変換関数の時間変化の一例を、第3 図に示す。

3. 季節変化の特徴

変換関数の季節変化の振幅は、柿岡で最も大きく、鳥取・八ヶ岳では相対的に小さい。季節変化の観測点間の振幅比について詳しく特徴を知るために、ある観測点と他の観測点との変換関数の関係を調べた。第4 図にその例を示す。柿岡と女満別の変換関数には、正の相関がある。柿岡と鳥取、柿岡と鹿屋、そして女満別と鹿屋の組み合わせでも同様の関係がみられた。第4 図のように、変換関数の実数部か虚数部かによって、或いは変換関数のAかBかによって、観測点間の季節変化振幅比は異なる。また、第5 図に示すように、観測点間の季節変化の振幅比は周期により異なっている。

柿岡での季節変化の振幅は他に比べて大きい。柿岡で特徴的なことは強いCAが存在することである。そこで、CAの程度を表すインダクション・ベクトルの大きさと季節変化の振幅の関係を調べた。第6 図に例を示す。インダクション・ベクトルの大きい観測点ほど、季節変化の振幅が大きい傾向がある。

4. 季節変化振幅の違いについて、原因の推論

ここで、地磁気変換関数の時間変化について、主に2つの疑問がある：①変換関数はなぜ季節変化するのか。②なぜ季節変化の振幅は観測点により異なるのか。

まず、季節変化が存在する原因について考える。各観測点間で変換関数の季節変化に相関があることから、季節変化を起こす原因は5 観測点で共通であろう。広範囲に深い

ところで地球内部の電気伝導度が季節変化するとは考えにくい。季節変化を起こす原因は、おそらく地球外部 (external) 磁場に含まれる ΔZ 成分の季節変化が原因であろう。すなわち、 $\Delta Z = A(f) \Delta X + B(f) \Delta Y$ において、通常 ΔZ はすべて ΔX , ΔY による誘導成分と考えているが、external の ΔZ が混入していることは、十分考えられる。この external の ΔZ の混入の割合が季節変化をすると考えられる。ところで、地球外部磁場の中で、Sq 変化は顕著な ΔZ 成分を持ちそれが季節変化をする。変換関数の季節変化が Sq 変化によるものなのかどうかを調べるために、夜間 (午後 8 時から午前 4 時まで) のデータのみを 2 カ月毎にスタックして変換関数の時間変化を求めた (第 7 図)。夜間のデータのみでも同じように季節変化が現れたので、Sq 変化の ΔZ の季節変化は変換関数の季節変化の原因ではない。従って、変換関数の季節変化が存在する原因は、サブストーム等に含まれる ΔZ の季節変化の可能性が高いと考えられる。これまでの研究によっても、変換関数の季節変化の原因は external の ΔZ の季節変化であると考えられ、例えば、変換関数は K-index に依存することが指摘されている (Sano, 1980, Shiraki, 1980)。しかし、季節変化の原因が external の ΔZ の混入によると仮定しても、その混入の割合がなぜ季節変化するのかについての研究はない。

次に、季節変化の振幅が観測点により異なる理由を、今までに分かっていないが推論してみた。今回の解析結果から最も強調されることは、ほぼ同緯度にある柿岡・鳥取・ハヶ岳で振幅が異なることから、観測点により季節変化の振幅が異なることが external ΔZ の緯度効果だけでは説明できないことである。external の ΔZ の何らかの増幅効果があるようである。インダクション・ベクトルが大きい観測点ほど季節変化の振幅が大きい傾向があることから、その増幅効果は地下電気伝導度構造に依存することが示唆される。Banks (1973) は、地磁気短周期変化について次の関係があるであろうと指摘した。:

$$\Delta Z = Wzx(f) \Delta X_n + Wzy(f) \Delta Y_n + [1 + Wzz(f)] \Delta Z_n$$

ここで、左辺の ΔZ は観測される磁場変化を表す。右辺の ΔZ_n は、external の ΔZ とそれによって誘導される internal の ΔZ との和で、水平成層構造の場合の normal な磁場変化を表す。Wzz(f) ΔZ_n は、地下に CA が存在する場合に、external の ΔZ によって誘導される internal の磁場変化のうち、anomalous な部分である。Wzz は観測点周辺の電気伝導度構造に依存し、周波数 f の関数である。もしこの関係式が成り立っているなら、Wzz の大きい観測点ほど external の ΔZ が増幅されて、観測される ΔZ に混入することになる。このような可能性は、変換関数の季節変化振幅がインダクション・ベクトルの大きさに依存することにより支持されるかもしれない。

一方、Gong (1985) は、中国の 3 つの観測点で周期 4~10 分の変換関数の季節変化振幅が異なっていると指摘した。3 観測点の中で良導体である海に最も近い観測点において、その振幅が最も大きいことが示されている。

5. まとめ

変換関数は、5 つの観測点で正の相関を持つ季節変化を示すが、季節変化の振幅について次のことが分かった。

季節変化の振幅について、

- (1) 柿岡で最も大きく、ほぼ同緯度にある鳥取、ハヶ岳で相対的に小さい。
- (2) インダクション・ベクトルの大きい観測点ほど、大きい傾向がある。
- (3) 変換関数の実数部、虚数部などによって観測点間の振幅比が異なる。
- (4) 観測点間の振幅比が周期により異なる。

現段階では(1)～(4)の原因は明らかではないが、本研究の結果は、地磁気変換関数の時間変化が何に起因するのか、どうすれば地球内部電気伝導度が原因の時間変化が取り出せるのかという問題を解くための手がかりを与えるだろう。今後、変換関数の時間変化の特徴をさらに詳しく研究し、地球内部電気伝導度原因の地磁気変換関数の時間変化を取り出す方法を考えたい。

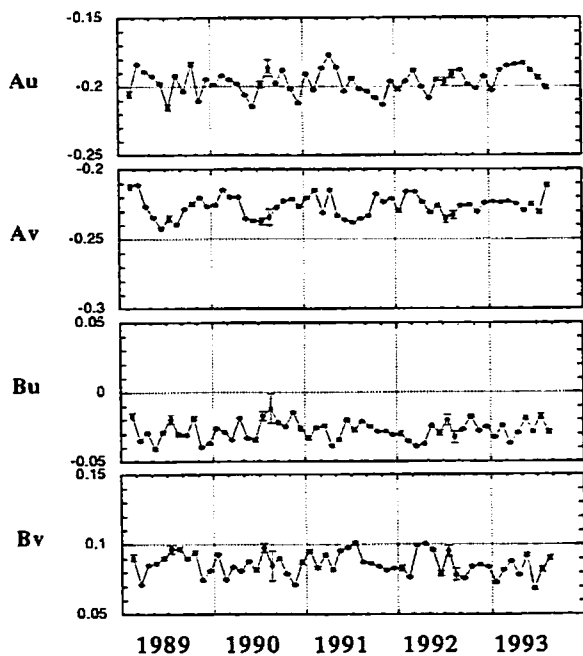
謝辞

長期間にわたって鳥取観測所の地磁気3成分観測の保守、カセット・テープの交換などをしていただいた、鳥取観測所の矢部征氏に深く感謝致します。鳥取大学の宮腰潤一郎教授と塩崎一郎助教授に、鳥取観測所での地磁気観測にご協力いただき、また助言をいただきました。気象庁地磁気観測所及び東大地震研究所から、地磁気3成分毎分値データを御提供いただきました。地磁気観測所のデータを利用するにあたって、京大理学部の地磁気世界資料解析センターの家森俊彦先生にお世話になりました。皆様方にこの場をお借りして厚くお礼申し上げます。

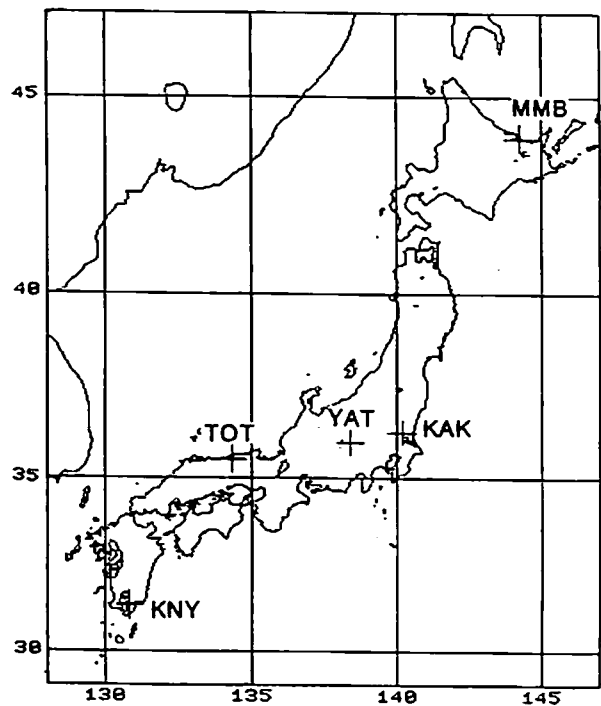
参考文献

- Banks, R. J., 1973. Data processing and Interpretation in Geomagnetic Deep Sounding, Phys. Earth Planet. Int., 7, 339-348.
- Everett, J. E. and R. D. Hyndman, 1967. Geomagnetic variations and electrical conductivity structure in south-western Australia, Phys. Earth Planet. Int., 1, 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, 23, No.2, 53-87.
- Gong, S.-j., 1985. Anomalous Changes in Transfer Functions and the 1976 Tangshan Earthquake ($M_s=7.8$), J. Geomag. Geoelectr., 37, 503-508.
- Sano, Y., 1980. Time Changes of Transfer Functions at Kakioka Related to Earthquake Occurrences (I), Geophy. Magazine of the Japan Meteorological Agency, 39, No.2, 93-117.
- Sano, Y., 1981. Time Changes of Transfer Functions at Kakioka Related to Earthquake Occurrences (II), Geophy. Magazine of the Japan Meteorological Agency, 40, No.1, 91-111.
- Sano, Y., 1982. Time Changes of Transfer Functions at Kakioka Related to Earthquake Occurrences (III), Memo. of the Kakioka Mag.Obs., 19, No.2, 11-31.

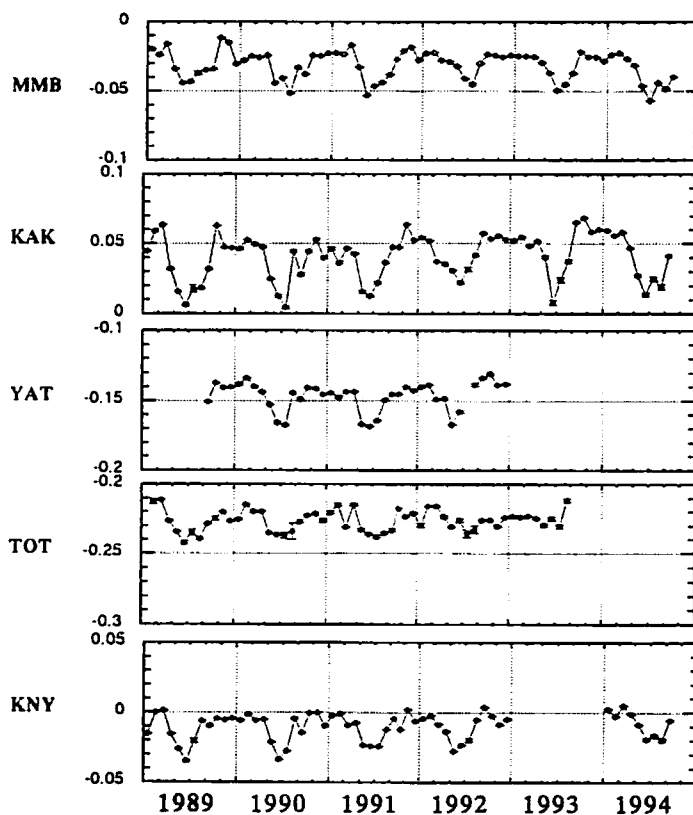
- Sano, Y. and Nakajima, S., 1982. Secular and Seasonal Variations of Transfer Functions at Kakioka from Mar. 1977 to Apr. 1981, Memo. of the Kakioka Mag.Obs., 19, 33-51. (in Japanese with English abstract)
- Sano, Y. and Nakaya, K. and Kurihara, T. and Nakajima, S., 1982. Simultaneous Comparisons of CA Transfer Functions among Memambetsu, Iwaki, Kakioka and Kanoya., Memo. of the Kakioka Mag.Obs., 19, 53-68. (in Japanese with English abstract)
- Shiraki, M. and Yanagihara, K., 1975. Transfer functions at Kakioka, Memo. of the Kakioka Mag.Obs., 16, 143-155. (in Japanese with English abstract)
- Shiraki, M., 1980. Monitoring of the Time Change in Transfer Functions in the Central Japan Conductivity Anomaly, J. Geomag. Geoelectr., 32, 637-648.



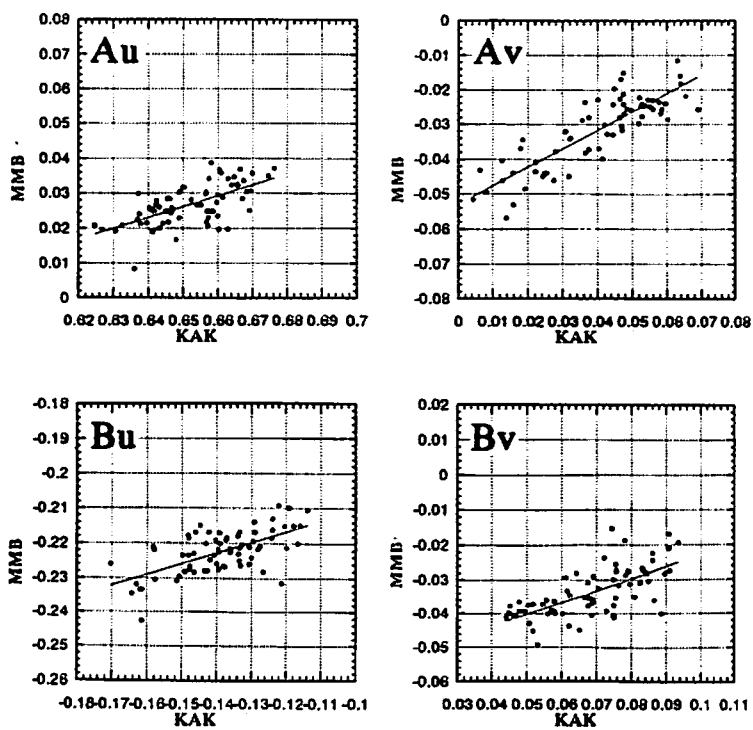
第1図 鳥取における周期32分の地磁気変換関数の時間変化



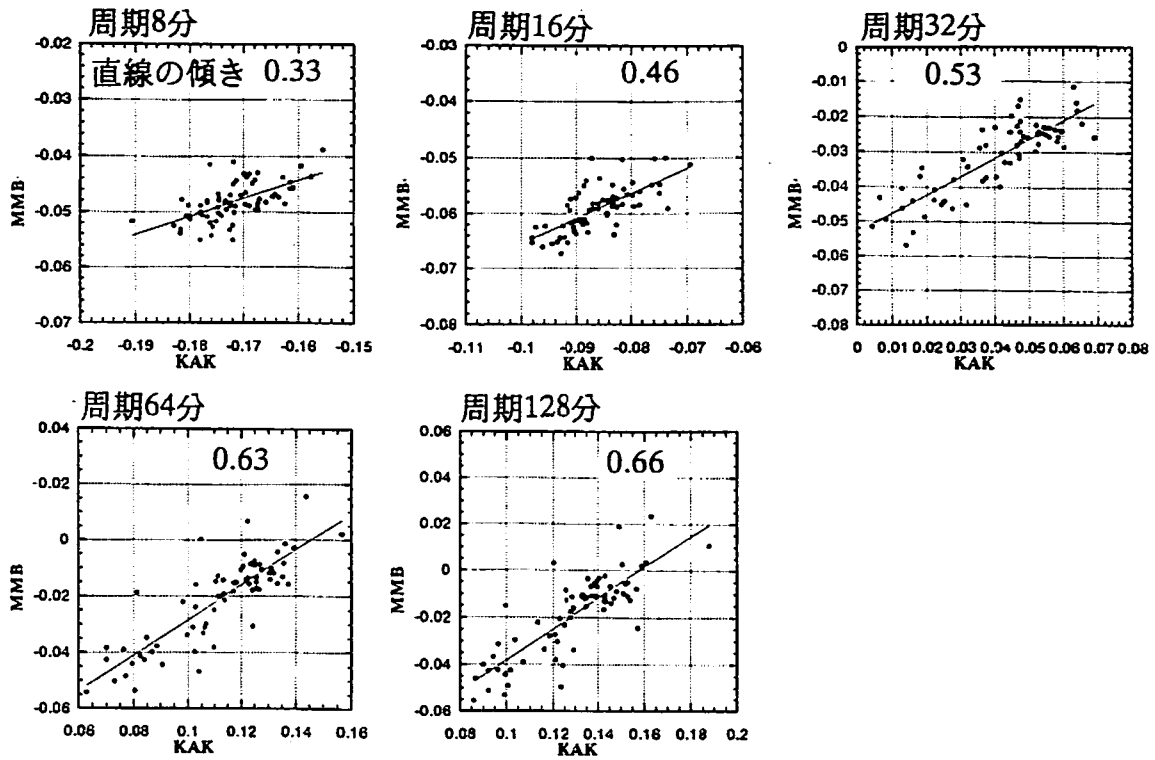
第2図 観測点配置



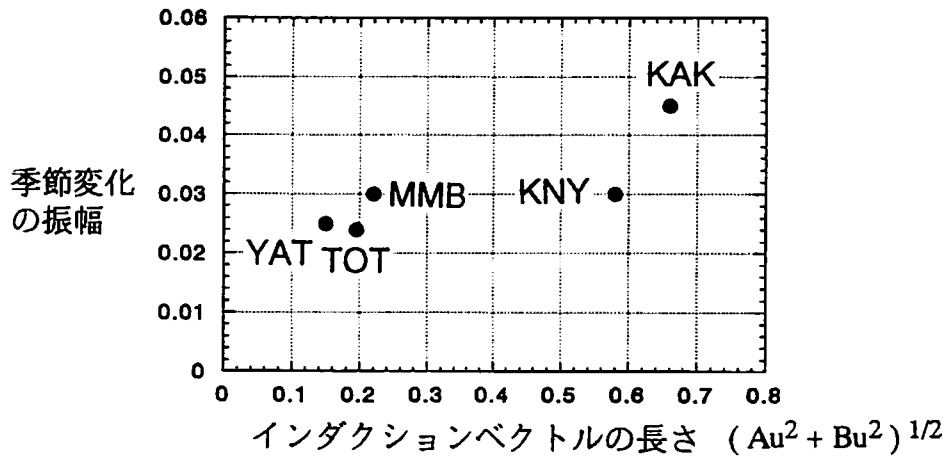
第3図 周期32分のAvの時間変化



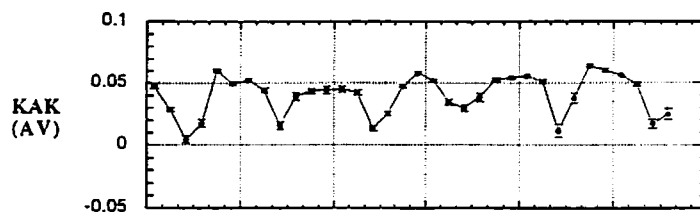
第4図 周期32分の、KAKとMMBの変換関数の関係。それぞれの点は、ある月のKAKとMMBの変換関数を示す。



第5図 KAKとMMBの変換関数Avの関係



第6図 周期32分について、インダクション・ベクトルの長さ
と変換関数Avの季節変化振幅の関係



第7図 夜間値のみから求めた、柿岡におけるAvの時間変化

Appendix

周期 (分)	Au	Av	Bu	Bv
8	-0.524	-0.185	0.028	0.028
16	-0.403	-0.242	0.015	0.060
32	-0.196	-0.226	-0.028	0.086
64	-0.103	-0.185	-0.049	0.097
128	-0.082	-0.171	-0.056	0.100

鳥取観測所における地磁気変換関数。
1989年2月から1993年8月までの月平均値の平均をとったものである。