

全磁力夜間値による地磁気永年変化 観測結果について

気象庁地磁気観測所 佐野幸三・伊藤秀美
河村 謹

1. はじめに

国内地震予知計画にもとづいて地磁気研究グループは、全磁力永年変化精密観測を1969年より実施している。当初のデータ解析は東京大学地震研究所で、その後国土地理院に引き継がれ、1980年より気象庁地磁気観測所が担当することになった。研究グループとしての解析結果は定期的に地震予知連絡会々報等¹⁾で報告されている。

1979年までは夜間5個の、1980年以降は15個の全磁力値を用いて、各地点の全磁力永年変化および柿岡を基準とする全磁力単純差の日、月および年平均値を求め、地震に関連する異常変化の検出・監視にあたっている。地磁気全磁力は外部、内部要因変化により、またその緯度・経度効果、各地点特有のCA効果等により複雑に変化し、我々が目的としている地震前兆現象の検出はそれほど容易ではない。従って、現行の全磁力単純差を主体とする解析だけでは十分ではなく、何らかの方法で、外部擾乱変化はもとより、地球深部に起因する一様な経年変化を除去・補正し、解析する必要がある。

このためには各地点の全磁力変化の特性を十分に把握する必要がある。この観点からの多くの解析結果が報告されている(森ら²⁾、河村ら³⁾等)。この報文でも、各地点の柿岡に対する全磁力変化の各種の相関・回帰解析を行ない、外部・内部要因による全磁力変化の除去・補正法について検討してみた。まだ十分な解析結果ではないが、序報として報告する。なお、1982年1月現在の観測点の地名、緯度・経度、担当機関を第1表に示した。

2. 柿岡を基準とした日々全磁力単純差および重量差

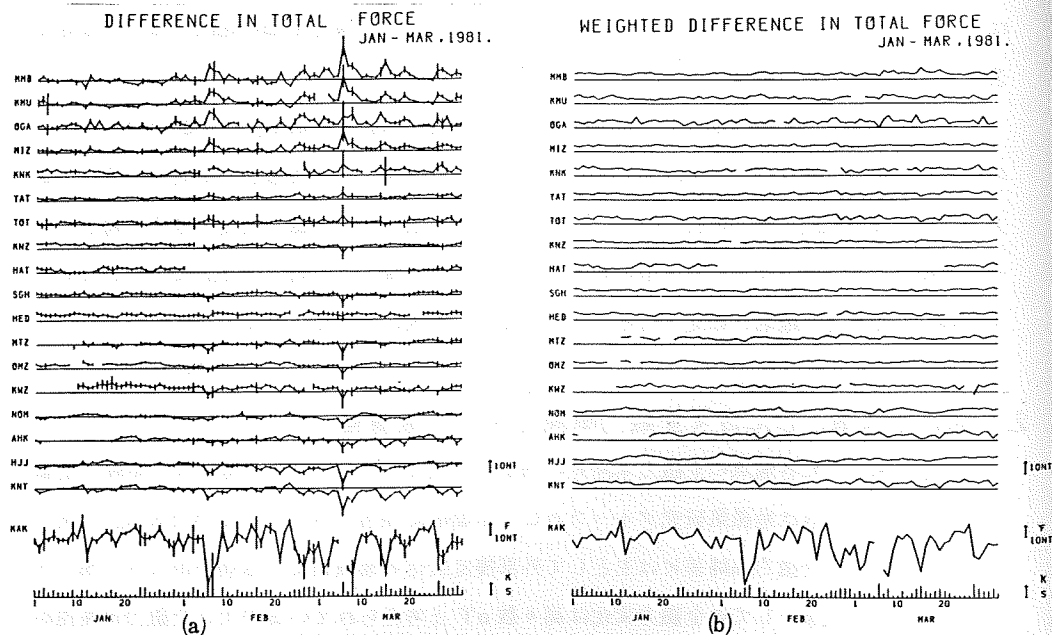
柿岡を基準とした各地点の全磁力単純差の例を第1図(a)に示した。図中最下段は柿岡の全磁力変化である。これは地磁気研究グループとして定期的に報告されているものである。一見してわかるように、全磁力単純差には主として外部擾乱変化の地域差による効果が大きく残っている。地震前兆現象としての全磁力変化は高々数nTと考えられているので、全磁力単純差からそれを検出するのは、2地点が近い場合を除き容易ではない。場合によると極近い2地点間

第1表 観測点の位置

Stations	Geographic		Geomagnetic ^{*)}		Institutions
	Lat.	Log.	Lat.	Log.	
MMB 女満別	43° 55'	144° 12'	34.3°	209.7°	地磁気観測所
KMU 上杵白	42 14	142 58	32.5	208.9	北大・理
OGA 男鹿	39 54	139 47	29.9	206.4	東北大・理
MIZ 水沢	39 07	141 12	29.1	207.2	国土地理院
KNK 金華山 †	38 17	141 34	28.2	208.4	東北大・理
YAT 八ヶ岳	36 04	138 27	25.9	205.8	東大・震研
TOT 鳥取	35 31	134 14	25.0	202.0	京大・防災研
KAK 柿岡	36 14	140 11	26.3	207.3	地磁気観測所
KNZ 鹿野山	35 15	139 58	25.3	207.2	国土地理院
HAT 初島 †	35 03	139 10	24.8	206.7	東大・震研
SGH 菅引 †	34 55	139 02	24.6	206.6	東大・震研
HED 戸田	34 58	138 49	24.6	205.8	東工大・理
MTZ 松崎	34 44	138 48	24.6	206.2	地磁気観測所
OMZ 御前崎 †	34 37	138 12	24.5	205.7	地磁気観測所
KWZ 河津 †	34 44	139 00	24.4	206.6	東大・震研
NOM 野増	34 44	139 22	24.7	206.7	東大・震研
AHK 阿蘇山麓	32 56	131 05	22.3	199.5	地磁気観測所
HIJ 八丈島	33 04	139 50	23.1	207.3	水路部
KNY 鹿屋	31 25	130 53	20.7	199.4	地磁気観測所

*) Based on geomagnetic poles for IGRF 1975 (78.60°N, 70.45°W)

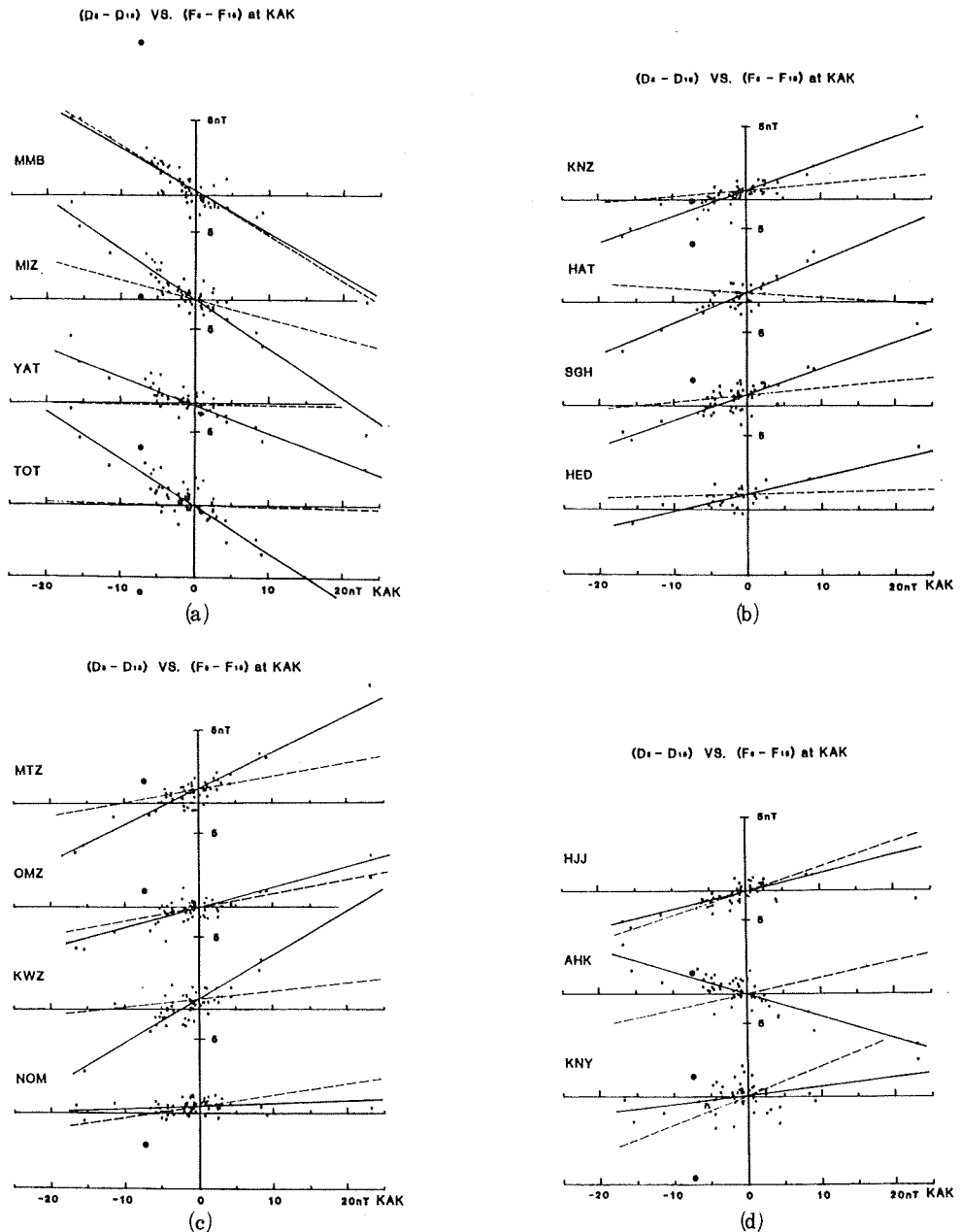
†) Provisional values



第1図 柿岡を基準とした全磁力単純差(a)および重量差(b)の例。

でも問題となる。

そこで第1段階の外部擾乱変化の除去として、よく用いられる重量差法⁴⁾による補正結果を第1図(b)に示した。これは月単位で柿岡に対する各地点の全磁力変化の回帰係数を求め補正したもので、経年変化等の長周期成分は当然のことながら除去されている。これについてはいろいろ



第2図 柿岡に対する各地点の短周期全磁力変化の変化比。

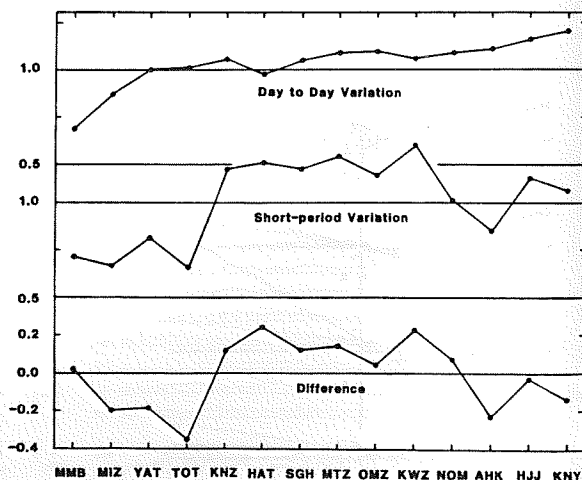
る問題があるが、ここではこのような重量差補正をしてもまだ大きな残差変動が残ることを議論する。これは当然のことで、全磁力変化の中には比較的相関性が高いと考えられるDst-変化だけでなく、日々の夜間数時間のデータに限れば、Dst-変化とは相関性の異なるBay-変化等の効果を大きく含み、単一の重量差法ではこれらを同時に補正することはできない。つまり、現象の種類、変化周期(同一現象でも)により全磁力変化の緯度・経度効果を含めた地域差は異なり、その補正は一様にはいかない。

変化周期の違いによる全磁力変化の地域差は、現象の違いによる部分も大きいですが、その主体は各地点の特有のCA効果による。その簡単な解析結果を第2図に示した。第2図は各地点のデータ5個(0時40分~1時20分)および15個(0時40分~3時00分)に対する柿岡との全磁力差(D_5 および D_{15})の差と柿岡の同データに対する全磁力値(F_5 , F_{15})の差との相関を示したもので、短周期(2時間以内)の全磁力変化の地域差を表わす。図中の実線はその回帰直線、点線は日々変化の回帰解析から期待される同種の回帰直線である。即ち、両回帰直線の回帰係数は、通常回帰式($F_A = a \cdot F_{KAK} + b$)の回帰係数 a に対して、 $(a - 1)$ になる関係にある。各地点のプロットはかなりの分散を示しているが、MMBを除き日々変化と短周期変化とでは、柿岡に対する変化比が異なっていることがわかる。

これら2種の変化の柿岡に対する変化比(通常回帰係数 a に換算)をまとめて第3図に示した。上段は日々変化、中段は短周期変化の変化比、下段は両者の差である。日々変化の変化比は主にDst-変化の緯度効果によるもので、短周期変化のそれは各地点のCA効果が加味されており、概略各地点のCAの度合に調和している。但し、MMBではCAが非常に小さいにもかかわらず、両変化比がほぼ一致している。これは短周期変化の中にはDst-変化とは緯度効果の違うBay-変化の影響をかなり受けているためと思われる。

第2図に示した短周期変化の回帰直線が一部の地点で原点を通過せず、最高Y軸で1 nT程度のシフトが見られる。これはHED, SGH等伊

Regression Coefficients with Reference to KAKIOKA



第3図 柿岡に対する各地点の全磁力日々変化および短周期変化の回帰係数(変化比)。期間は1981年3,4月期。

豆地方の地点で顕著で、柿岡から遠く離れたMMB, KNY, HJJといった地点には見られない。このことは夜間における日変化の地域差を示しているようで、相対的に伊豆地方の日変化の特異性を意味している。この事実はここでは詳細は示さないが、データ5個および15個による各地点の全磁力月平均値の差からも導びかれる。

このように全磁力差日々変化の中にはいろいろの要因が複合しており、その外部擾乱等の除去は単一の重量差法では不可能である。第1図に示した重量差補正だけでは、例えば女満別の1981年の場合、補正残差の標準偏差は月々により大きく変るが(0.6~2.0 nT), 年平均として1.28 nTであった。平均的に約±4 nTのバラツキが残る。この中にはDst-変化のバラツキ(詳細は別の機会にゆずるが、10~20%はある。)による部分もあるが、Dst-変化とは本質的に緯度効果の異なるBay-変化等によるものが大きい。第2図の◎印で示したものは顕著なBay-変化の一例で、そのプロット位置は通常的位置から大きく離れている。今後はこのような観点からの解析も必要である。また、笹井ら⁵⁾などが指摘している各地点の偏角(D)・伏角(I)差による効果も考慮しなければならない。

3. 柿岡を基準とした月々全磁力単純差および重量差

ケース・スタディーとして、柿岡から最も遠い女満別と鹿屋の柿岡との月々全磁力差の振舞と外部擾乱部分等の除去法について検討してみる。解析期間は1979年10月より1981年9月までの2年間である。なお、他の各地点については別の機会に報告する。

前節で全磁力差に含まれる外部擾乱部等の除去法について簡単に述べたが、大別して次のような方法がある。全磁力差を求めると2地点の全磁力値を F_A, F_B として、

- (1) $[F_A - a \cdot F_B]$: 単純重量差法(力武ら⁴⁾等)
- (2) $[a \cdot F_A - b \cdot F_B]$: 外部磁場消去法(田中⁶⁾)
- (3) $[F_A - F_B] - [a \cdot X_B + b \cdot Y_B + c \cdot Z_B]$: DI補正法(笹井ら⁵⁾等)
- (4) $[F_A - F_B] - [a_1 R_1 + a_2 R_2 + \dots]$: F_A, F_B に直接関係のない変数による補正法(行武ら⁷⁾等)

などがある。(4)の $R_1, R_2 \dots$ はDst-指数, 太陽黒点数, K_p, K などがある。これらは取扱うデータの種類, 例えば日値, 月値, 年値によっても, また比較2地点の距離や地磁気の地域差によっていろいろに適用される。

我々は全磁力差のうち地震に関連する変化の検出を目的としているので、補正項に F_A, F_B を含まない(4)の方法が原理的には最も好ましい。しかし、一般にこの方法のみでは十分な補正は不可能に近い。最もよく用いられる方法は最も簡単である(1)の方法である。この場合目的と

する信号が F_B にある場合、信号も a 倍される。また、同一ペアでも $[F_A - a \cdot F_B]$ とする場合と $[F_B - bF_A]$ ($b \approx 1/a$) とする場合で、補正残差の大きさは変わる。最も好ましい状態は $[F_A - a \cdot F_B]$ とした場合、目的とする信号が F_A にあり、 $a < 1$ であることである。以上の議論から(2)の方法は原理的には好ましくないことになる。

これらの分析のもとに、今回は最も単純な(1)の方法により、外部擾乱等の雑音全磁力差変化の除去を試みた。次のような3種の重量差補正を行い結果を比較した。

$$(A) \quad F_A^m = a \cdot F_B^m + a_0 \quad (\text{回帰解析}), \quad D_{A,B}^m = F_A^m - [a \cdot F_B^m + a_0].$$

$$(B) \quad F_A^m = a \cdot t^m + a_0, \quad F_B^m = b \cdot t^m + b_0 \quad (\text{経年変化を一次回帰式で近似。})$$

$$\Delta F_A^m = F_A^m - [a \cdot t^m + a_0], \quad \Delta F_B^m = F_B^m - [b \cdot t^m + b_0] \quad (\text{一様経年変化補正。})$$

$$\Delta F_A^m = a' \cdot \Delta F_B^m + a'_0 \quad (\text{回帰解析}), \quad D_{A,B}^m = \Delta F_A^m - [a' \cdot \Delta F_B^m + a'_0]$$

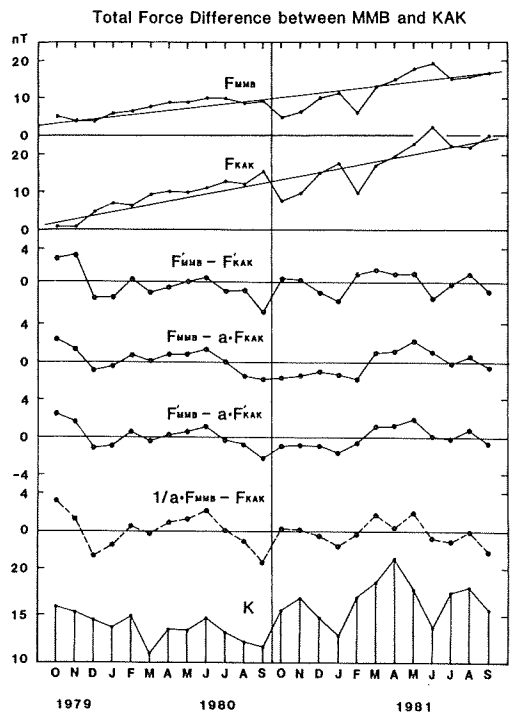
$$(C) \quad F_A^d = a \cdot F_B^d + a_0 \quad (\text{回帰解析}), \quad F_A^o = a \cdot F_B^o + a_0 \quad (\text{基準値換算})$$

$$D_{A,B}^m = F_A^o - F_A^c \quad (F_A^o \text{の初期値})$$

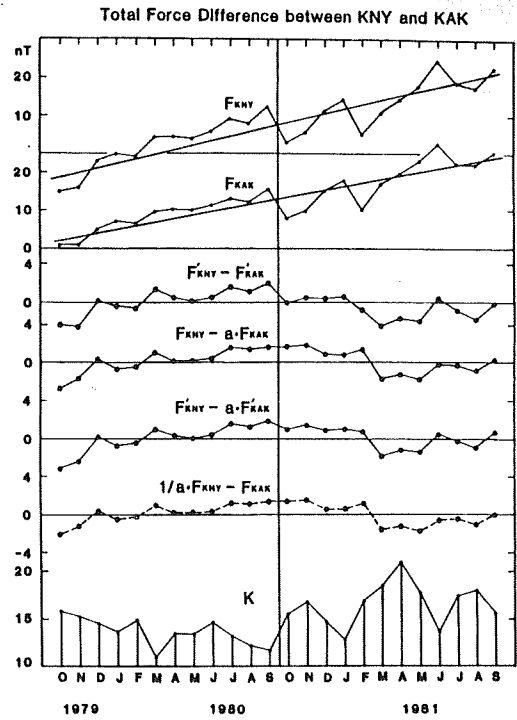
ここで、 F_A^m , F_B^m 等 m を付したものは月値、 F_A^d , F_B^d 等 d を付したものは日値を表わす。Dは全磁力差、 a , b , a_0 , b_0 等は回帰係数である。 t^m は時間(月)である。原理的には(B)の方法が最も良く、(C)の方法も月間の経年変化が無視できる場合は問題はない。(A)の方法は一般に経年変化と外部擾乱変化等の地域差が異なるので、原理的には好ましくないものである。その他、河村ら³⁾などによって報告された全磁力の季節変化(半年および年周変化)の地域差と外部擾乱変化等と同じであるかどうかとも問題となる。結論的には半年周期変化はDst-効果で、年周変化はそれとは異なるようである。いろいろ指摘されている2年周期や4~5年周期成分等についても同じ問題がある。

女満別・柿岡間の(A)および(B)の方法による月々全磁力差の補正結果を第4図に示した。上段より静穏日に対する両地点の全磁力月平均値、経年変化を補正した単純差、(A)の方法による補正全磁力差、同(B)の方法によるもの、(A)の方法でMMBに加重したものおよび柿岡のK-指数日合計の月平均値である。同様の鹿屋と柿岡の結果を第5図に示した。なお、回帰係数は2年の全データから求めた。

図より明らかなように、単純差に見られるDst-変化部分は当然のことながらいずれの方法でもかなり除去されている。この期間あまり半年周期成分は顕著ではないが、それも補正により除去されている。前述したように半年周期変化はDst-効果であることを示している。反面、補正後の年周および2年周期成分は単純差よりもむしろやゝ大きくなっている傾向がある(KNYの年周変化は比較的小さいが)。これらの全磁力変化はDst-変化とは異質のものであることを示す結果である。2種の補正結果を比較すると、いずれの場合も大差はない。これ



第4図 女満別と柿岡間の全磁力月単純差および重量差。月全磁力値の回帰解析にもとづく重量差補正。

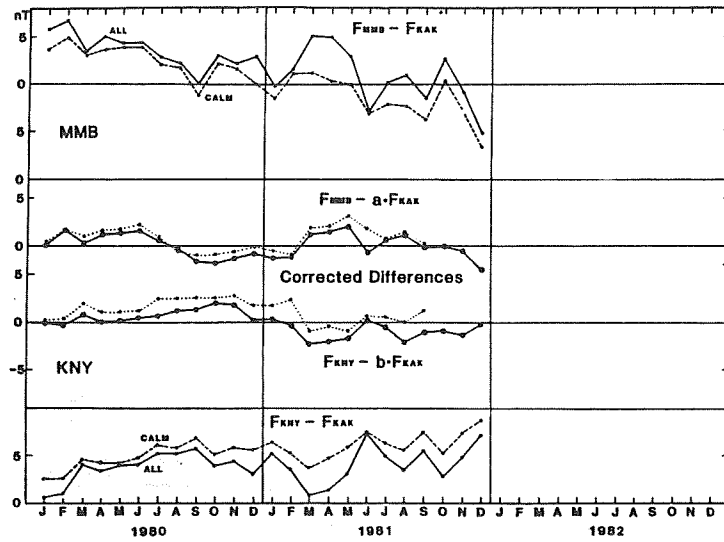


第5図 鹿屋 - 柿岡間の全磁力月単純差および重量差。月全磁力値の回帰解析にもとづく重量差補正。

はたまたまこの期間経年変化と Dst - 変化の柿岡に対する変化比がほぼ等しかったことによる。事実、MMBおよびKNYのKAKに対する経年変化の変化比は0.58および1.25、それぞれDst-変化比は0.74および1.11であった。なお、MMBおよびKNYに加重した重量差は、MMBで明らかに大きくなり、KNYでは小さくなっている。

紙面の都合で詳細は示さないが、全日の全磁力月平均値について同様の補正をしても、その残差は同じ程度である。場合により補正残差が小さくなることもある。これは回帰係数が精度高く求められることによるが、別の機会に報告したい。

全日データを用いた(C)の方法による補正結果を第6図の中央に示した。上段、下段はそれぞれ2種の単純差である。中央の点線で示したものはそれぞれ前述の(A)の方法によるものである。(C)の方法によるものも(A)または(B)の方法によるものと大差はなく、ほぼ同じ結果が得られた。(C)の方法は1ヶ月単位で処理できるもので、今後大いに活用すべきと考えている。同じ観点から1日15個のデータについて回帰解析を行い、日々の補正全磁力差を求めることも可能である。但し、現在は1nT単位の報告であり、擾乱日にしか応用できない。反面、静穏日の補正量は小さく、日平均値を用いた月単位の回帰係数で補正して十分であろう。擾乱日についても



第6図 日全磁力値の1ヶ月単位の回帰解析にもとづいて補正した柿岡を基準とした女満別、鹿屋の月全磁力差。上段および下段は月全磁力単純差。

場合によりこの補正も必要である。今後このような補正についても試行してみるつもりである。

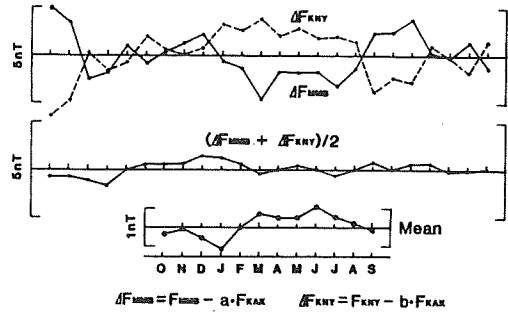
4. むすび

今回の報告は序報であり、十分な結論・結果が得られたわけではないが、概略の結論は次のとおりである。

- 1) 数時間の夜間値による全磁力日々変化の中には、Dst-変化のほか、それとは異質の Bay- 変化等の影響や、短周期変化に伴う CA 効果が顕著で、単一の重量差法ではそれらの除去は不可能である。平均的に $\pm 4 \text{ nT}$ 程度の補正残差が残る。もっと精度よく補正するためには複合重量差法や変換関数を利用した補正法を導入しなければならない。データの時間帯を拡げることにより、Bay- 変化等の影響を軽減することは可能であるが、それに伴い人工擾乱の影響や日変化の地域差などが大きな問題となる。
- 2) 月々全磁力差変化に対する外部擾乱変化の除去は比較的容易で、女満別 - 柿岡または鹿屋 - 柿岡といった地点間でも、第一段階の重量差補正により $\pm 1 \text{ nT}$ 以内には十分除去できる。しかし、振巾約 5 nT 程度の年周および2年周期成分が残るし、もっと長周期の経年変化の推定・除去が別の問題として発生する。

今回の主な結果は以上であるが、最後に月々全磁力差変化に含まれる前述したような雑音成分をどの程度まで最終的に除去できるか、今回の結果から推定してみる。第7図に柿岡を

基準にした女満別および鹿屋の補正月全磁力差 (ΔF_{MMB} , ΔF_{KNY}) を重ねて示した。これは前節の(B)の方法によるもので、両者は高い逆相関の変化をしている。従って、両者の平均は第7図の2段目のようになり、その2年平均は最下段のようになる。2年平均として振巾1 nT程度の年周変化となる。2年周期成分はほぼ完全に除去されている。この事実は年周、2年周変化等は3地点でかなり相関の高いことを意味し、それらの第2段階の補正をすれば、最終的には十分1 nT以内の精度の補正が可能であることを示している。



第7図 柿岡を基準とした女満別、鹿屋の重量差補正月全磁力差およびその平均。

参 考 文 献

- 1) 地震予知研究計画, 地磁気研究グループ: 地震予知計画にもとづく地磁気全磁力観測, 地震予知連絡会報, 9 (1973), 12 (1974), 24 (1980), 25 (1981) 等。
- 2) Mori, T. and T. Yoshino (1970): Local difference in variations of the total intensity in Japan, Bull. Earthq. Res. Inst., 48.
- 3) 河村 謙・小池捷春 (1980): 全磁力地域差の補正について, 地球電磁気学会講演予稿集。
- 4) Rikitake, T. (1966): Elimination of non-local changes from total intensity values of the geomagnetic field, Bull. Earthq. Res. Inst., 44.
- 5) 笹井洋一・石川良宣 (1976): 房総半島における地磁気全磁力くり返し測量: 1968 - 1976, 地震研究所彙報, 53.
- 6) Tanaka, M. (1980): Tectonomagnetic secular variation detected from geomagnetic total field difference, J. of the Geodetic Society of Japan, 26, 3.
- 7) 行武毅・吉野登志男他 (1978): 伊豆大島における全磁力永年変化の異常, 地震研究所彙報, 53.