

地磁気全磁力夜間値の永年変化

Secular variation of nighttime values of Geomagnetic total intensity around Japan

角村 悟，石井美樹，栗原隆治（地磁気観測所），山本哲也（気象研究所），
笹井洋一（地震研究所），住友則彦（京大防災研究所）

S. Tsunomura, Y. Ishii, T. Kurihara (Kakioka Mag. Obs.),

T. Yamamoto (Meteorological Research Institute),

Y. Sasai (E.R.I., Univ. Tokyo) and N. Sumitomo (D.P.R.I., Univ. Kyoto)

§ 1 はじめに

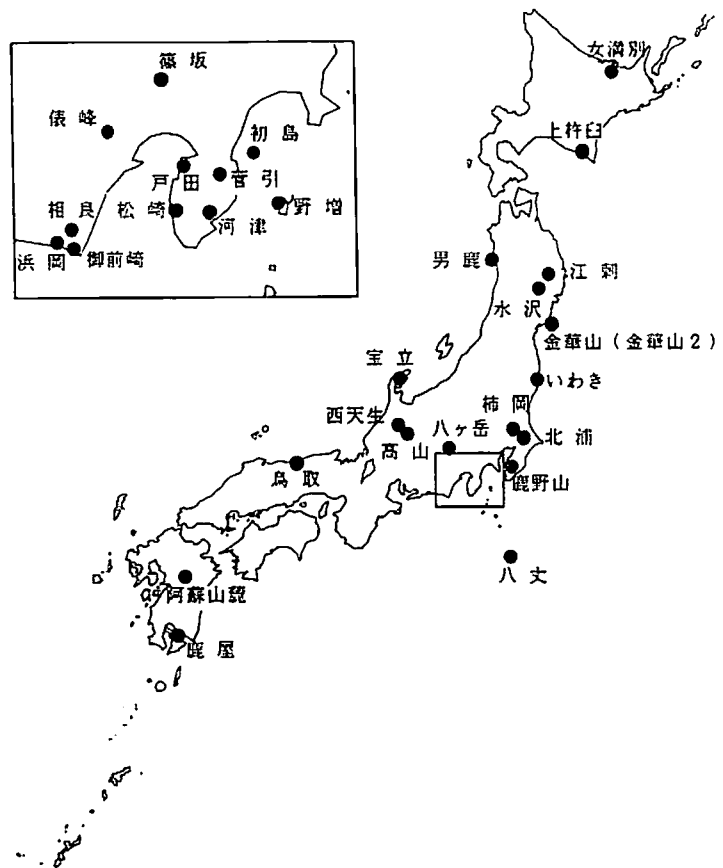
地震予知研究計画に基づく地磁気永年変化精密観測として，地磁気観測所，国土地理院，海上保安庁水路部および大学の地磁気研究グループにより，第1図に示す全国29地点（金華山観測点は金華山2観測点へ移設したため実際には30地点）でプロトン磁力計による全磁力観測が20年以上にわたって行われ，夜間値（00時40分～03時00分の10分ごとの値15個）を用いて定期的に解析処理されてきた。当初の目的は地殻起源の長期的な変動の検出に主眼がおかれたが，最近では短期か長期かのねらいが不鮮明となり，また資料が見にくいなどの指摘があったため，地震予知連絡会への資料提出を一時休止

して，平成8年4月より見直しを行った。ここでは，長期変化について行った見直しについての概説およびその結果としての，日本各地域における全磁力永年変化の様相について報告する。

§ 2 解析手法

ある観測点での全磁力値 $F(t)$ は，時間 t の関数として次の要素に分けられる。

$$F(t) = (1) + (2) + (3) + (4) + (5)$$



第1図 観測点の位置

$$\begin{aligned}
 (1) &= F_{01}(1) + F_{0E}(1) \\
 (2) &= F_R(1) + F_L(1) \\
 (3) &= F_{DST}(1) + F_{IND}(1) \\
 (4) &= F_{OC}(1) \\
 (5) &= F_{AD}(1)
 \end{aligned}$$

(1)は地球中心核のダイナモ作用で発生する主磁場 $F_{01}(1)$ と太陽活動による長周期の外部変動磁場 $F_{0E}(1)$ である。

(2)は地殻内に起源を持つ地磁気変化で、100-1000kmオーダーの広域的变化 $F_R(1)$ と10kmオーダーの局所的変化 $F_L(1)$ に分けられる。

(3)は電離層・磁気圏起源の外部磁場変化およびそれに誘導された地球内部の電流の作る磁場である。 $F_{DST}(1)$ は環状電流等の大規模な電流系の平均的寄与で、地上観測への影響量は磁気緯度・磁気伏角に依存するが、日本列島程度の範囲では変化形態に基本的に差はなく、夜間値の $\bar{H}$ -スラインを変動させる $\bar{H}_{\text{ITS}}$ とみなすことができる。各地点におけるこの寄与分は Dst 指数に地域別係数を乗じた値を用いて表すことができる。 $F_{IND}(1)$ は地磁気短周期変化の地方時依存分と外部磁場変化に対する局所的な誘導磁場を表わす。前者は F_{DST} 同様日本付近で変化形態に大きな差はない。 $F_{IND}(1)$ は、全体としてランダム的と見てよく、 $F_{DST}(1)$ に比べれば系統的な影響は少ないと考えられる。よって $F_{IND}(1)$ については特別な処理を行わないことにした。

(4)は海洋潮汐、黒潮の流路変動等海流のダイナモ作用による磁場で、黒潮の流路にあたる八丈島の大きな変動や海岸付近の観測点(金華山、初島、野増)での潮汐周期の磁場が観測されている。海流のダイナモ作用による磁場の補正方法は潮汐磁場を除いて確立されておらず、将来の研究課題である。

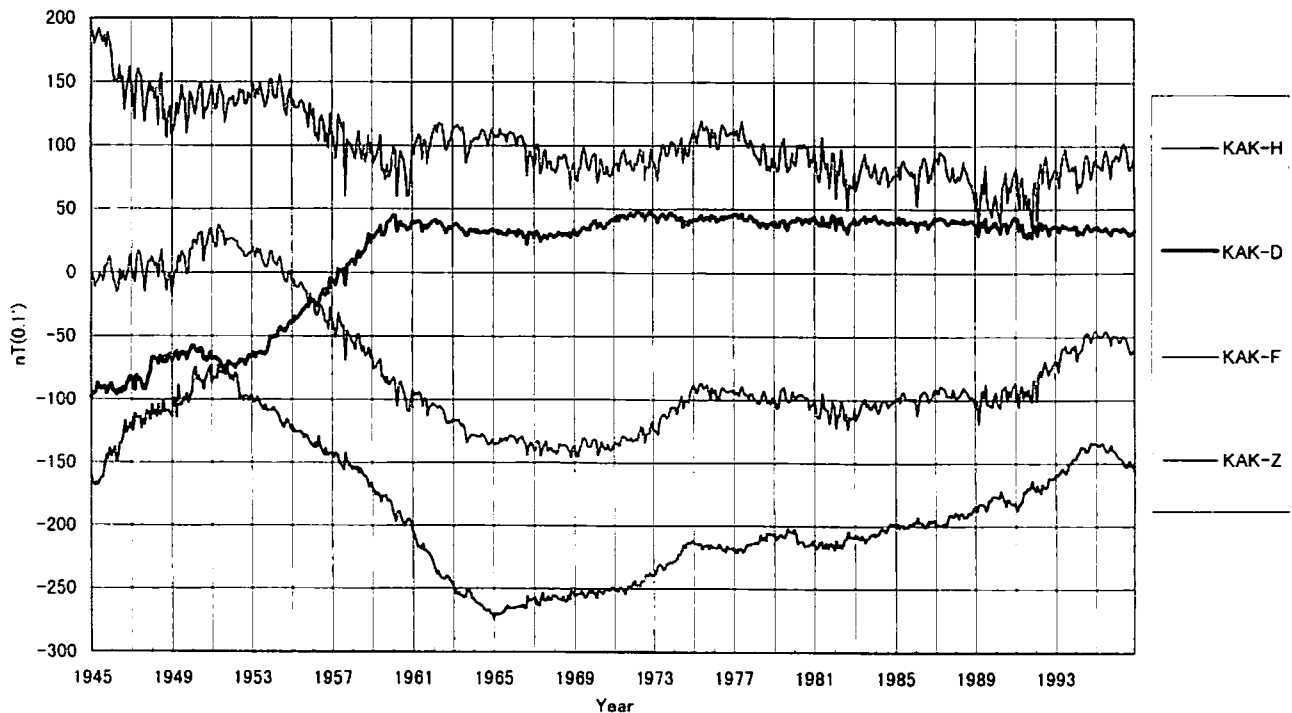
(5)は人工擾乱で、車や建物によるもの、電車その他の市街地ノイズ等日本のような経済活動が活発で、かつ国土が狭い国では、深刻な問題である。例えば初島においては、2年半におよぶ大規模建築工事の影響があり、狭い島の中ではこれから逃れられなかった。このような人工擾乱は個別の観測点毎に原因を特定し、何らかの方法で変化分を補正するしかない。

全国的な全磁力精密永年変化の観測も20年を越える期間となり、ようやく(2)の長期的変化を議論できる段階に至った。我々の目的は(1)と(3)、(4)、(5)を補正して(2)を的確に取り出すことにある。中でも(1)は、最も重要かつ難しさを秘めた事項である。次節において(1)について検討する。

§ 3 日本における地磁気永年変化と国際標準磁場

前節(1)の $F_{01}(1)$ と $F_{0E}(1)$ を分離することは實際上困難である。また従来長期変動は、日本列島程度の範囲では一様と見なされてきた。ところが例えば、最近の日本列島の全磁力値の変化でも日本国内で時間差が見られている。1970年代の始めまで減少を続けてきた全磁力は、1974年頃から増加に転じたが、それ以降現在まで平均して20 nT/yr位の割合で増加している。この全磁力永年変化の反転が、九州から北海道に向けて、1年位かかって進行したことが、鹿屋、柿岡、女満別のデータから推定されている。(1)といえども、日本列島で一様とは限らない。

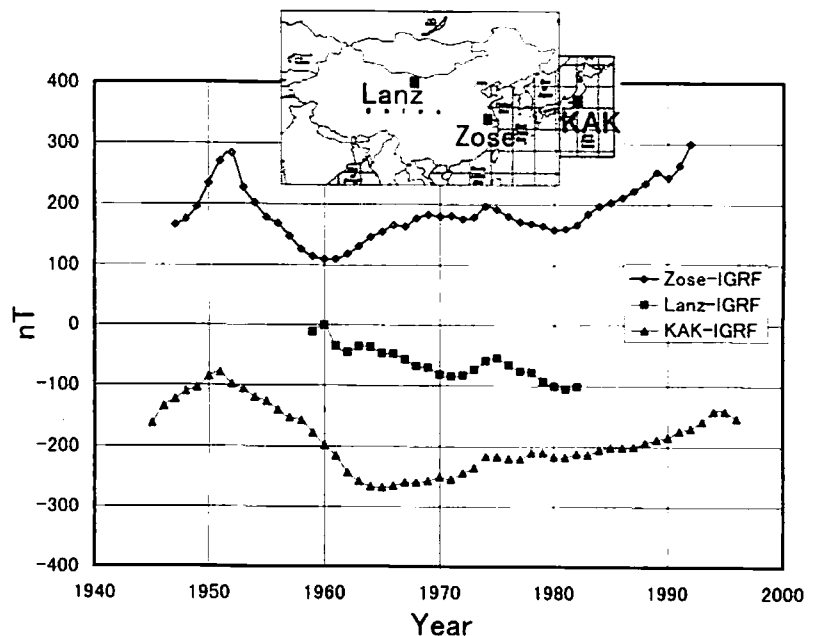
(1)の補正には、国際標準磁場(IGRF)を用いることがまず考えられる。1980年代以降、



第2図 柿岡とIGRFによる計算値との差の経年変化

IGRFは人工衛星データを取り入れて、かなり精度の良いモデルが作られている。IGRFは(1)の2項を分離せずに含み、また核起源の場を完全に表しているとは言えないが、近似的な基準としての利用はできる。そこで、IGRFモデルから求められる各観測点の観測時点における値を観測値から差し引くことで(1)の補正とした。

柿岡の観測値からIGRFで計算された値を差し引いたものの時間変化を第2図に示す。IGRFによる計算値が日本付近で観測値とずれることは以前から指摘されているが、図からわかる通りその差は時間変化する。つまりIGRFでは日本列島程度の波長の磁場を完全には表わせないことがわかる。この状況は、女満別、鹿屋でも同様である。特に1990年頃から全磁力がIGRFに対して増加しているのが目立つ。他成分との比較から、これ



第3図 柿岡(KAK)、余山(Zose)、欄州(Lanz)における地磁気鉛直分とIGRFによる計算値との差(KAK以外は7月値を用いた)の経年変化

は鉛直成分によるものであると推定される。この現象は、ロシアの研究者達（極東地域に独自の全磁力連続観測データを持つ）にはすでに気付かれていて、「極東地域の異常」と呼ばれて調査されているようである（V. A. SHAPIRO, 1997, 私信）。

ただし、IGRFが精度良く求められた1980年代において時間変化が少ないことには留意したい。IGRFは5年毎に作られるが、新しいモデルが出来た段階で、5年前のモデルは改訂されて確定モデルDGRFとなる。現在の段階では、1990年以降の磁場はIGRF1995、いわば暫定モデルで求めたものであり、数年のうちに変更となることが予想される。従って1990年以降の日本列島全体の全磁力の増加傾向は、DGRF1995が出されると消える可能性がある。当然極東異常の様相も、違って見えて来るであろう。

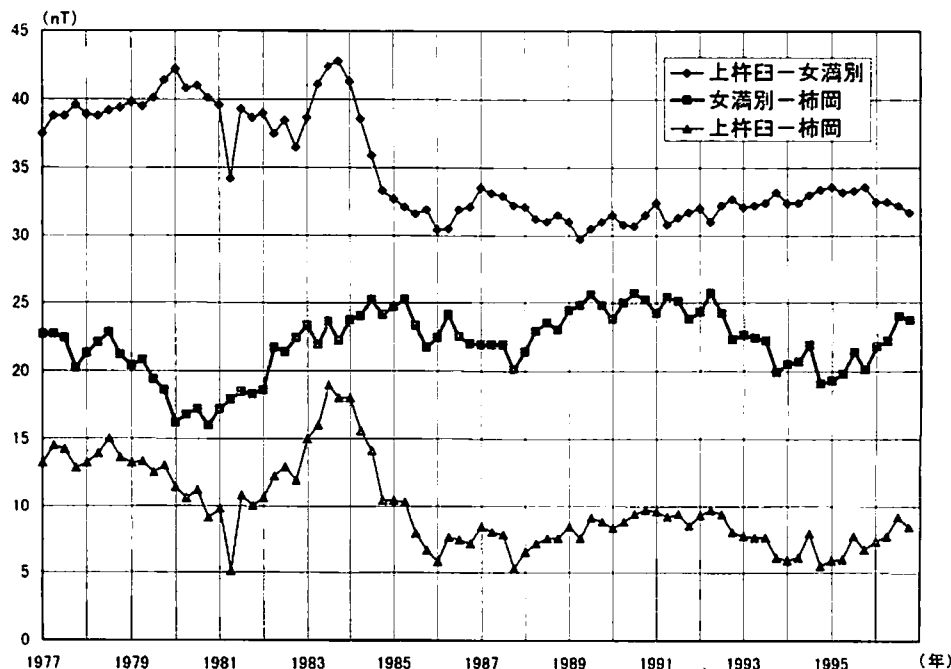
鉛直分力について、もう少し広い範囲の地点データを用いて、IGRFとの差に見られる異常の空間スケールを推定してみる。第3図は、柿岡、余山、欄州の鉛直分力とIGRFとの差の時間変化である。余山について見ると、IGRFとの差が柿岡と正・負逆符号で対極的であり時間変化はほぼ同じ形をしていることがわかる。より奥地にある欄州では、IGRFとの差があまりなく、時間変化も他2地点とは様変わりしている。これだけでは充分とは言えないまでも、日本で見られる、全磁力・鉛直分力のIGRFとの差の異常の空間スケールは、日本から、余山・欄州の間までの空間スケールを持つのかも知れない。

(1)を補正した後のデータは、日本各地でほぼ似たような1990年以降の増加傾向以外に数ヶ月～数年程度のランダムな変化が重疊したものとなる。後者は、Dst指数と非常によく並行していることがわかっており、Dst指数による補正のための係数も得られている（石井、1997）。以下の節では、各地点の値からIGRFによる計算値を差し引き、石井（1997）によるDst指数による補正を行ったものの長期変化について紹介する。

§ 4 地域別に見た地磁気全磁力永年変化

4-1. 北海道

女満別、上杵臼の相互差および両地点の柿岡との差の経年変化を第4図に示す。1980年代前半、上杵臼において特徴的な変化を示したことは当時から話題になりいろいろ議論をよんだが、決着がつかないまま現在にいたっている。その後は特に変化は見られていない。女満別との差で見ると、1985年頃約



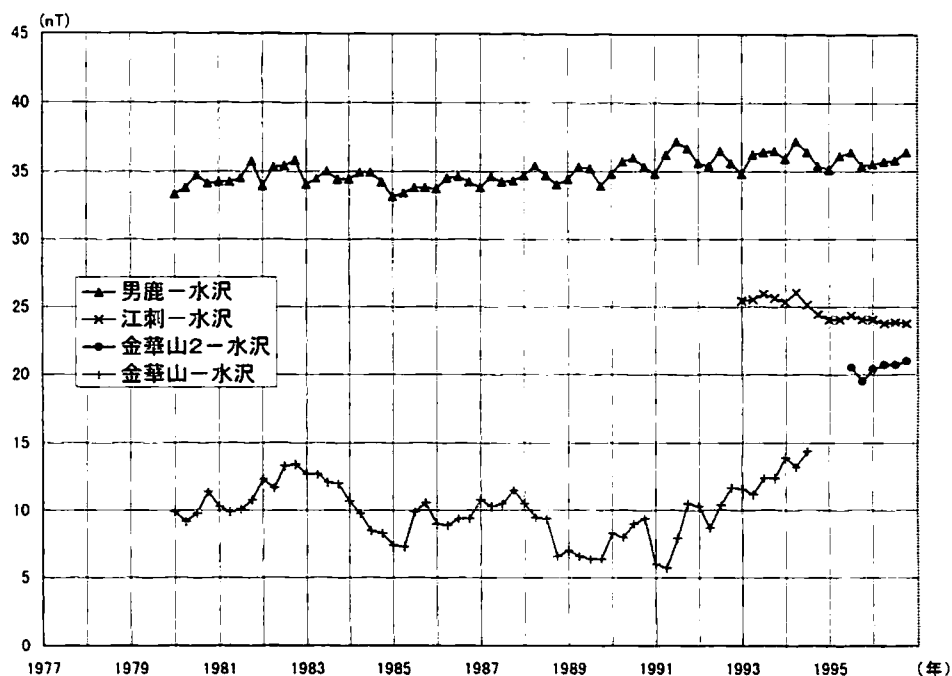
第4図 北海道地域各地点における、基準点(女満別)との全磁力の差および各地点と柿岡との差の経年変化

1年間かけてGap状の変化をしているように見える。この変化は、何らかの地殻活動を表しているものと思われるが、今のところは説明がつかない。今後も心にとどめておきたい観測事実である。

4-2. 東北

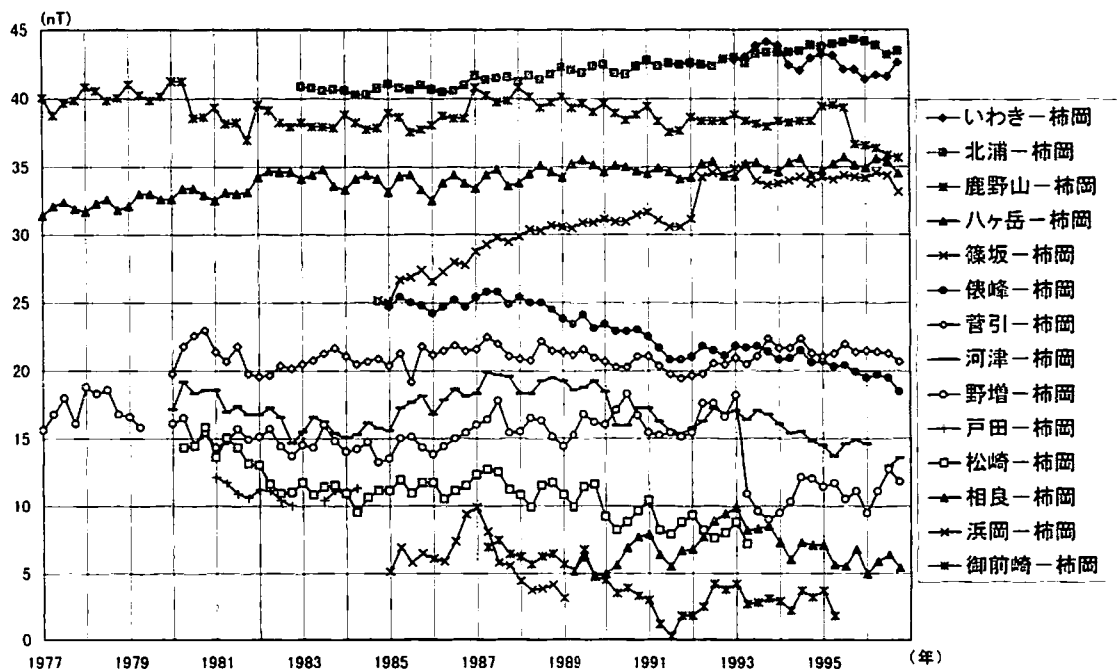
水沢を基準とした東北地方の観測点の経年変化を第5図に示す。海岸線に近い金華山観測点での数年周期の変化が目立つ。これは海流の効果であろう。

江刺で1994年頃減少が見られるのが興味あるところである。



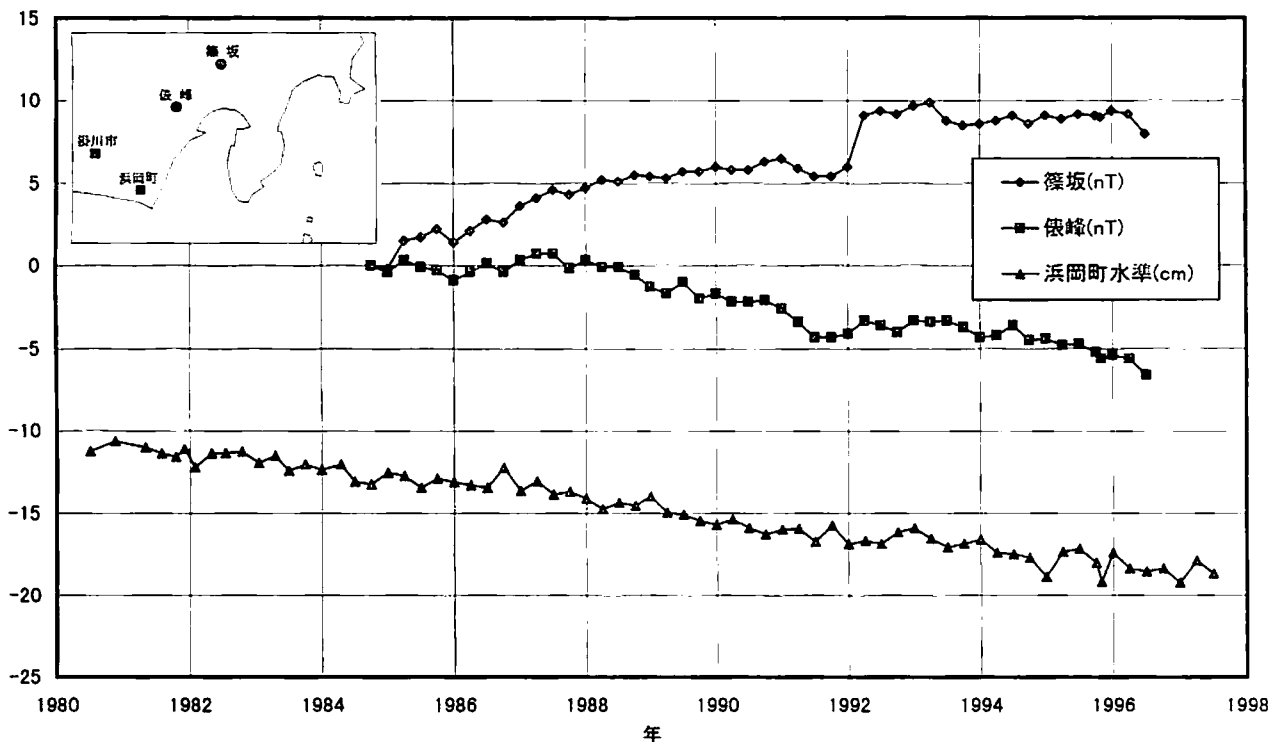
第5図 東北地域各地点における、基準点(水沢)との全磁力の差の経年変化

4-3. 中部日本



第6図 中部日本地域各地点における、基準点(柿岡)との全磁力の差の経年変化

関東地方から東海にかけての、中部日本地域の観測点の経年変化（基準：柿岡）を第6図に示す（初島と、海流による変化の大きい八丈は省略）。篠坂・俵峰が1990年頃から対極的に増加・減少しているのが目を引く。減少傾向は、それ以前から東海付近の観測点（御前崎、浜岡、松崎等）でも見られている。見ようによっては、御前崎等の地点で、1990年頃から減少傾向の勾配が変化しているようにも見える。1990年頃は、東海地域の地殻変動に異常傾向（沈降の横ばいや水平歪の変化）が指摘された時期でもあり、それとほとんど同時に起こっていることは興味深い。篠坂の増加と俵峰の減少の変化と、御前崎の沈降（国土地理院の水準測量データ）とを並べて示したのが第7図である。水準測量データは、1962年を起点とし、地点として掛川を基準にした浜岡町での水準の経年変化である。観測当初から減少（沈降）を続けてきたが、1992年頃に若干沈降速度が鈍ったことが注目された（多田, 1996）。これと同じ時期に篠坂・俵峰の経年変化傾向が変化しているように見える。この2地点および東海付近の何地点かに見られる長期変化が、東海地域全体にかかる広域の歪みによる全磁力変化を表しているものかどうか、今後とも継続して観測を続行し、成り行きを見てゆくべき事項である。磁気異常によって歪みによる磁場変化が増幅されることについては、Oshiman(1990)による計算があるが、東海地域での断層モデルにたった全磁力変化についての定量的な説明の試みは、本論文集の宇津木（1998）を参照されたい。



第7図 篠坂・俵峰における全磁力(基準：柿岡)と年周変化を補正した浜岡町の水準(基準：掛川)の経年変化(ただし篠坂では1990年以降人工擾乱が混入している可能性があり現在調査中)

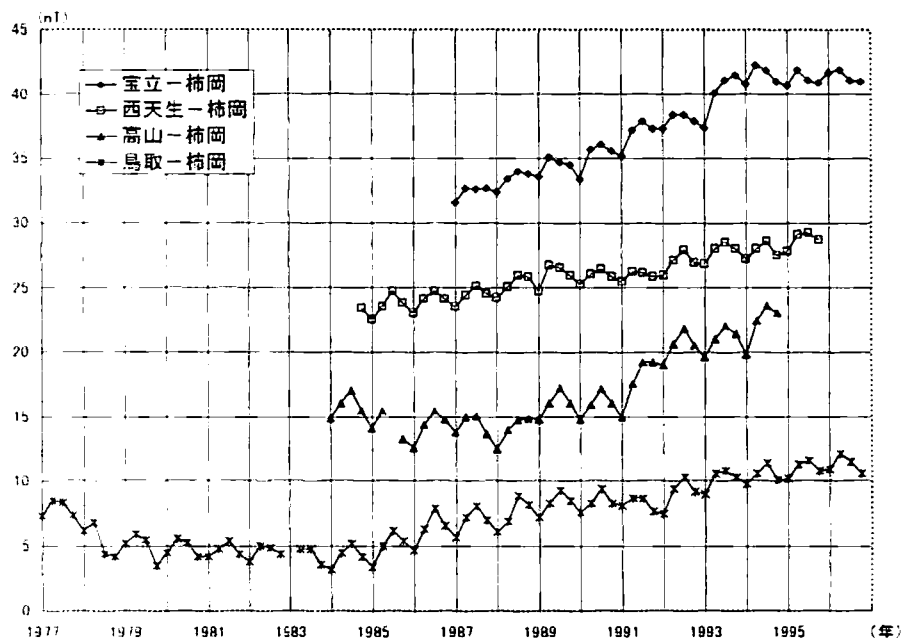
4-4. 西日本

この領域では、平均的に見て1990年頃から顕著な増加傾向が見られた(石井, 1997)。これは第2図に見られた1990年頃からのIGRFからの系統的な偏り(相対的に増加)が、このブロックで特に大きいため見られたものかも知れない。また、見ようによっては九州

における平均傾向が西日本ブロックと逆に減少傾向を示している(石井, 1997)こともこれと関係するのもかも知れない。第8図に柿岡を基準にした経年変化を示したが、全体的に増加傾向で、中でも宝立で増加傾向が著しいことがわかる。

国土地理院において、一等磁気測量点データ等を元に、

第8図 西日本地域各地点における、基準点(柿岡)との全磁力の差の経年変化

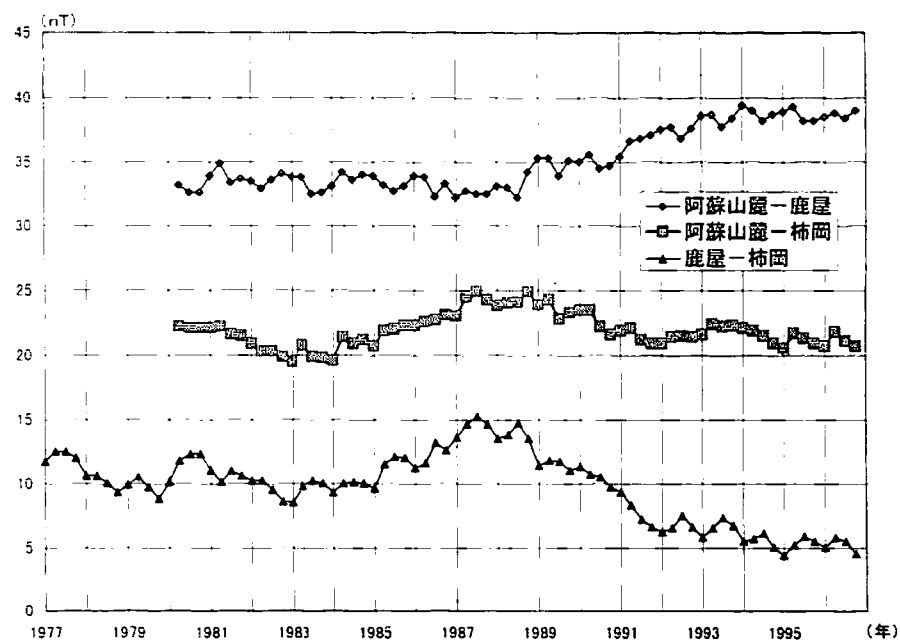


で日本付近の標準磁場モデルの作成を手がけているが(藤原, 本論文集), 彼等のモデルとIGRFとの差について1980年から1995年の時間変化をとると、日本海中心部あたりを中心とする、スケール約1000-2000km程度の渦状の異常が見られ、関東(柿岡)に比べて西日本の日本海側で増加、九州南部で減少という分布を示している(藤原, 1997, 私信)。永年変化精密観測の限られた地点数だけでなく、約100地点ある一等磁気測量点を用いた解析でも、似たような変化が見られているわけであり、人工擾乱等でなく、広域の磁気異常と考えるべきであろう。今後東アジア諸国の研究者達とも連携して、解明すべき課題である。

4-5. 九州

鹿屋、阿蘇山麓の相互差および両地点と柿岡との差の経年変化を第9図に示す。阿蘇山麓と鹿屋の相互差が、1980年代後半より増加傾向にある。これが、先述した西日本全体を覆う領域的な磁気異常によるものなのか、阿蘇山における広義の火山活動と

第9図 九州地域各地点における、基準点(鹿屋)との全磁力の差および各地点と柿岡との差の経年変化



関連するものなのか、今後の推移を見守りたいところである。なお、この変化傾向は単純差では逆転になるものであり、このように近接した地点でも、IGRF補正等が重要であることが確認された。

(注) 本節(§4)の6枚の図面における地磁気データは全て時間変化を比較するための相対的なものである。

§5 結び

本報告では、地震予知永年変化精密観測として行われてきた、全国のべ30地点における全磁力夜間値データを用いて約20年間にわたる各地域での長期変化の様子を調べた。その結果、地殻活動に関連すると思われる地磁気変化がいくつか再確認され、それとともに波長約1000-2000km程度の広域の磁気異常の存在も推定された。

今後第8次地震予知計画以降に実施されてゆく地磁気全磁力観測においても、基準となる標準的全磁力永年変化を精度よく求めることは重要である。特に、今回推定された西日本における異常を見極めるために、西南日本等における連続観測点の継続・増強が望まれる。平成8年度より国土地理院が一等磁気測量の補点として地磁気4成分連続観測点を全国に11箇所設置した。このデータを活用し、さらにはいくつかの研究機関(特に大学)で保有する未公開データもコンパイルすることおよび地理院で開発中の標準磁場モデルの応用等により、基準となる全磁力永年変化モデルの精度を改善してゆけるようにしたい。

本報告中で使用した、掛川を基準とした浜岡町の水準測量データは、建設省国土地理院地殻調査部調査課から提供されました。また、Dsl指数、IGRF係数値は京都大学地磁気世界資料解析センターから御提供いただきました。最後に、作業全般について折に触れ有益な御議論を頂いた地磁気観測所小嶋技術課長、山田主任研究官および当観測に従事され貴重なデータを提供されてこられた大学・研究機関の関係者に謝意を表します。

参考文献

石井美樹, 地磁気永年変化精密観測資料の見直しーIGRFモデルとDsl指数を用いた補正ー, 地磁気観測所技術報告, 第36巻第3,4号(第103号), 1-13, 1997.

Oshiman, N., Enhancement of Tectonomagnetic Change Due to Non-Uniform Magnetization in the Earth's Crust - Two-Dimensional Case Studies, J. Geomag. Geoelectr., 42, 607-619, 1990.

多田堯, 最近の東海地方の地殻上下変動とその意義, 月間地球/号外No.14, 16-33, 1996.