

全磁力夜間値観測・解析の現状 およびノイズ除去法の提案

帝国女子短期大学 山口 覚
京都大学教養部 住友 則彦

Reviewing observations and data analysis of the geomagnetic total
intensity variation and some proposal of the noise reduction method

Satoru Yamaguchi¹⁾, Norihiko Sumitomo²⁾

1) Teikoku Women's Junior College

2) College of Liberal Arts and Science, Kyoto University

1. はじめに

地震予知計画に基づいて、1967年頃からプロトン磁力計による地磁気全磁力の連続観測が始まった。このデータは、現在地震予知連絡会報に定期的に報告されている。

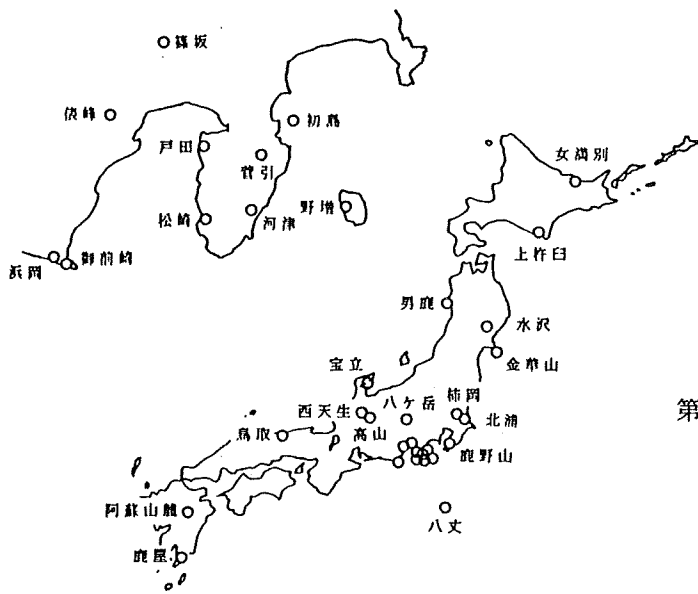
観測開始以来20余年が経過し、当初7ヶ所であった観測点も年々増加し、現在では26ヶ所に達している。また、そのデータの有効利用のためにデータベース化もされてきた。このような長期間にわたるデータの蓄積から、本来の目的である地震前兆現象としての磁場変動（地震地磁気効果）を検出するためには、なおノイズ除去が不十分であることが明らかになった。

この論文では、まず、観測開始から現在までの観測方法・解析方法・地震予知連絡会報への発表形式について、その変遷を振り返る。次に、重値差法・重回帰法の2つの解析方法について考察を加え、より有効な方法を提案をしたい。

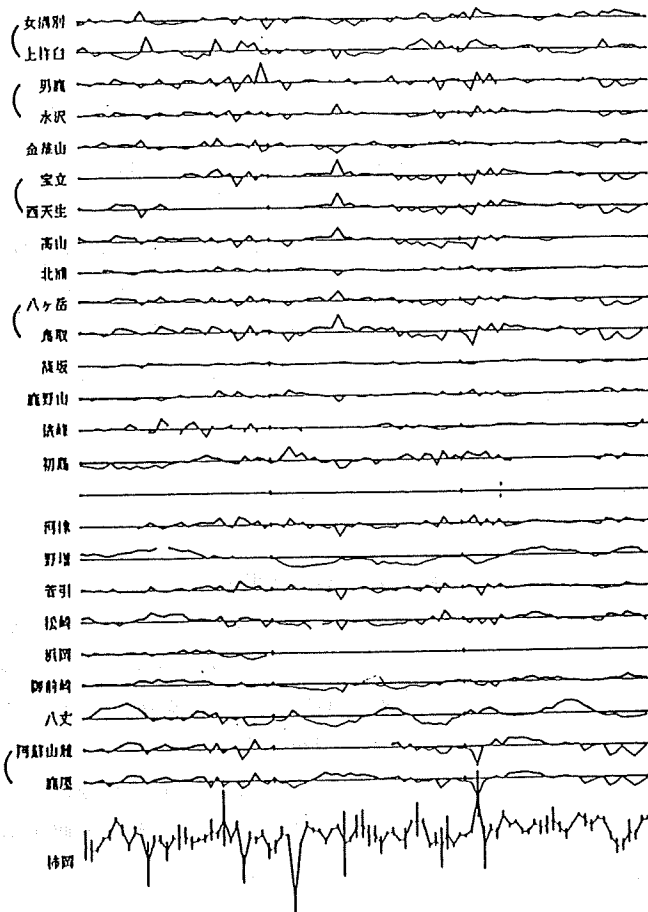
2. 観測・解析・発表方法の変遷

(1) 観測方法

1967年から全国7ヶ所でプロトン磁力計による全磁力値の観測が開始された。このデータは1967年から1979年にかけては午前0時40分から午前1時20分までの10分毎の値、計5個が国土地理院で収集、整理され地震予知連絡会報に報告されてきた。1980年以降、毎年のように観測点は増加し1989年には26ヶ所に達している（第1図）。観測個数も一部の観測点を除き、午前0時40分から午前3時00分までの10分毎の値（以後これらを夜間値と呼ぶ）、計15個に変更されてきた。これらの値は地磁気観測所によってとりまとめられ、地震予知連絡会報に定期的に報告されている。また、1980年からの夜間値は、東京大学地震研究所の地震予知観測情報センター内に作成された地磁気データベースの中に納められている。このデータベースの中には、地磁気観測所のCASMERの4成分1分値も納められ、また、このデータは公衆回



第1図 全磁力夜間値の観測点



第2図 全磁力夜間値の解析結果の例
1987年9~11月の柿岡を参照観測点とする重価差法による解析結果。
毎日の残差の変動を示す。

線を用いて関係者の許可を得れば、全国どこからでも利用できるようになっている。¹⁾

(2) 解析方法

全磁力の夜間値には、目的とする地震発生に関連した地磁気変化以外に、それよりも大きな振幅を持つ外部磁場の変動による影響(磁気ノイズ)が含まれている。全磁力夜間値の解析の目的の1つはこのような磁気ノイズを除去することにある。

そのための手法として、2地点間の全磁力値の重価差をモニターする方法^{2) 3)}、この手法を拡張した重回帰法^{4) 5)}および地磁気3成分値を用いた変換関数法⁶⁾など数多くの方法が提案されている。

地震予知連絡会報には、1984年以前は「柿岡を基準とする単純差法」による解析結果を、1985年以降は主として「柿岡を参照観測点とする重価差法」による解析結果が報告されている。重価差法を適用するにあたって、各観測点の観測値にかかる係数は、発表する3ヵ月間とそれ以前2ヵ月間の計5ヵ月間のデータから最小自乗法を用いて決定している。

(3) 報告形式

地震予知連絡会報への発表内容は、次のとおりである。

①1984年まで

- (7) 3ヵ月ごとの、各観測点の全磁力夜間値日平均値の柿岡に対する単純差の毎日の変動
- (4) 1977年から発表時期までの、各観測点の全磁力夜間値月平均値の柿岡に対する単純差の変動

②1985年から

- (7) 3ヵ月ごとの、各観測点の全磁力夜間値日平均値の柿岡に対する重価差の毎日の変動
- (4) 各観測点の経年変化を時間の一次関数で表した経年変化率
- (4) 各観測点の経年変化を除去した後の全磁力夜間値月平均値の柿岡に対する単純差の変動

同時に、人工的な擾乱や測器の不調による異常値には点線を付加して明示している。

また、1987年には比較的規模の大きい地震の震源付近の観測点間のデータの単純差法による解析結果を特集している。

3. 観測方法・解析方法の再検討

1985年より重価差法が採用されたことによって、外部の磁場変動によって生じる残差のばらつきは格段に減った。また、人為的原因による異常変動の場合には、そのような区間であることが明示されるようになり、どの変動が本質的な変動あるかが見つけ易くなった。しかし、現状の方法でも、高々10nT程度と予測されている地震地磁気効果を検出するには十分ではない。

地震発生に先立つ地磁気変化異常には、継続時間が数時間程度の発生直前の変動から、数ヵ月から数年にわたるような長い期間の異常変化まで存在することが予想されている。観測方法や解析方法は、これらの変動のうち、どれくらいの継続時間を持つ異常変化を検出する事を目的とするかによって異なる。例えば、発生直前の異常変化を検出するためには、全磁力の連続観測とリアルタイムでデータ収集・解析を行うシステムが必要であろう。また、群

列観測などより密度の高い観測が必要であろう。ここでは、現観測体制を大幅に変更しないことを前提とし、継続期間が数日から30日程度の異常変化を検出することを目的として議論を進める。

(1) 重価差法の再検討

現在の手法（重価差法）を適用した結果の残差の変動に注目する。

第2図は地震予知連絡会報から引用した1987年9月から11月の解析結果の例である。すべての観測点の、柿岡を参照観測点として重価差法を適用した後の、残差の変動を示している。一般的に変動の様子は良く似ているが、野増や八丈島のように島に位置する観測点の変動は他の観測点と異なった振る舞いをしている。また、女満別と上臼杵、男鹿と水沢、宝立と西天生、八ヶ岳と鳥取、阿蘇山麓と鹿屋のように近接する観測点の残差の変動は、互いに大変良く似ている。このように残差に共通の変動が残るのは、2つの主観測点間には共通している磁場変動の原因となる要素が、共通の参照観測点（この場合は柿岡）には含まれていないか大変小さい、または位相差のために参照観測点と主観測点との間で線形関係が成り立たなくなるためであると考えられる。そこで、変動の原因となる擾乱の振幅や位相差が、似通っている地理的に近い観測点を参照観測点とすれば、残差の変動を小さくできることが予想できる。26観測点のうち最北端の女満別、最南端の鹿屋、中央に近い鳥取の3地点について、磁場擾乱の大きかった1982年と磁場が比較的静穏であった1985年のデータを選び、近接観測点を参照観測点とする磁気ノイズ除去の効果を調べた。

まず、外部磁場の擾乱度の違いによる影響を知るために、現行と同じく柿岡を参照観測点として両年の残差のばらつきを比較した。参照観測点にかける係数は、月ごとに決定した。両年を比較する目安として、各月毎に決まる残差の標準偏差の1年間の平均値を採用した（第1表）。どの観測点も静穏であった1985年の方が残差のばらつきは少なく、その標準偏差は1.2~1.3nTであった。一方、擾乱の激しかった1982年では、標準偏差は1.8~2.0nTに達しており、外部磁場変動の大きさの違いによる影響が残っていることがわかる。

第1表 参照観測点の違いによる残差のばらつきの差

主観測点	参 照 観 測 点				減 少 比	
	柿 岡 1982年	柿 岡 1985年	近接観測点 1982年	近接観測点 1985年	1982年	1985年
女 満 別	2.0nT	1.3nT	1.5nT	0.9nT	75%	69%
鳥 取	1.8nT	1.2nT	0.9nT	0.7nT	50%	58%
鹿 屋	1.7nT	0.9nT	0.8nT	0.7nT	47%	78%

参照観測点は 女満別：水 沢
鳥 取：八ヶ岳
鹿 屋：阿蘇山麓

つぎに、近接している観測点（女満別に対しては水沢、鳥取に対しては八ヶ岳、鹿屋に対しては阿蘇山麓）を参照観測点として重価差法を適用した結果を同じく第2表の第2列目に示す。どの観測点も残差の変動のばらつきは、柿岡を参照観測点とする場合よりも小さくなり、その標準偏差は、1982年では47～75%に減少し、1985年では58～78%に減少している。このことは、近接観測点を参照観測点とする事は残差のばらつきを減少させるのに有効であることを示している。

そこで、主観測点と参照観測点の距離と残差のばらつきの関係を、更に詳しく調べた。柿岡を参照観測点として重価差法を適用した場合の残差の標準偏差と柿岡-観測点間の距離の関係を、1982年と1985年のデータについて比較した（第3図）。柿岡との距離が約450kmより少ない地点間では、擾乱の大きかった1982年でも、残差の標準偏差が1.5nT以下であり、擾乱の小さい1985年では、野増をのぞいて1nT以下となっている。野増は、さきに述べたように他の観測点の残差の変動とは、異なった振舞いをしてきた観測点である。また、観測点間の距離として、磁気緯度の差だけではなく経度差も含めた距離を採用したほうが、さきに述べた傾向は明瞭であった。

現行と同じ重価差法を用いる場合でも、柿岡をすべての観測点の参照観測点とすることにこだわらず、近接する観測点を参照観測点とすれば、残差のばらつきの標準偏差を数十%減らすことができることがうかがえる。

(2) 重回帰法の適用

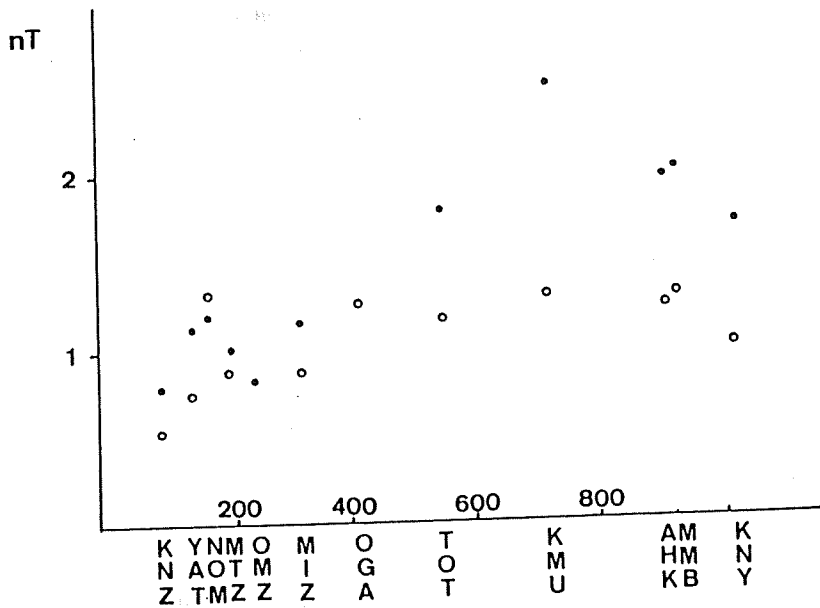
現行と同じく全磁力夜間値のみを用いる解析方法として重回帰法⁴⁾がある。これは、ある地点（主観測点）の全磁力値（ F_{main} ）を、他の複数の観測点（参照観測点）の全磁力値（ F_1, F_2, \dots, F_n ）から予測し、その残差（ δ ）をモニターする方法である。この方法では、残差の変動原因に独立なものが複数あり、それらを消去する為には、複数の参照観測点を必要となる考えに基づいている。

$$\delta = F_{main} - (a_1 \cdot F_1 + a_2 \cdot F_2 + \dots + a_n \cdot F_n)$$

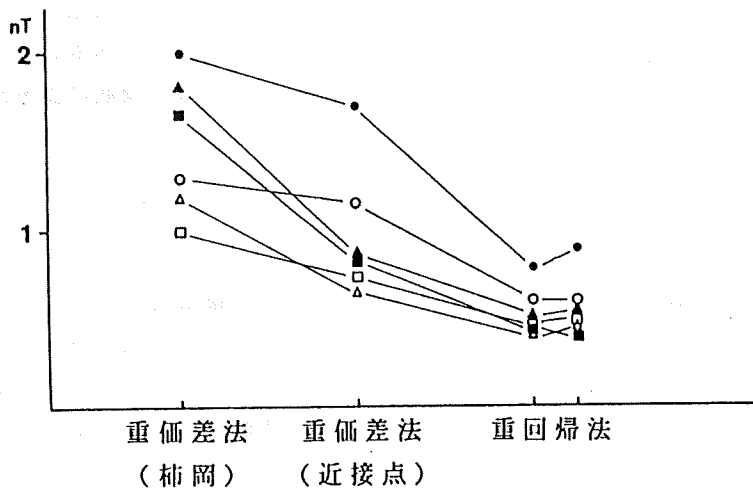
主観測点は、重価差法と同じ女満別、鳥取、鹿屋とし、参照観測点の数は今までの研究結果⁴⁾を踏まえ3点とした。重価差法の場合と同じく1982年と1985年の2か年のデータについて適用した結果を第2表に示す。各観測点にかかる係数は、月ごとに決定した。どの主観測点の場合も残差のばらつきを、近接観測点を参照観測点とする重価差法よりさらに少なくできる。

第2表 重回帰法を適用した場合の残差のばらつき

主観測点	参照観測点	1982年	1985年
女満別	柿岡・水沢・八ヶ岳	0.8nT	0.6nT
鳥取	阿蘇山麓・鹿屋・八ヶ岳	0.5nT	0.4nT
鹿屋	柿岡・水沢・阿蘇山麓	0.4nT	0.4nT



第3図 重価差法適用後の残差のばらつきと柿岡との距離の関係
 残差のばらつきの標準偏差と柿岡との距離を示す。
 黒丸は1982年の、白丸は1985年の解析結果



第4図 解析法による残差のばらつきの違い
 ●○は女満別の、▲△は鳥取の、■□は鹿屋の、それぞれ
 1982, 1985年の結果を示す。
 重価差法のかっこ内は参照観測点を示す。近接観測点は第1表と同じ。
 重回帰法の左側は1982年の、右側は1985年の結果

①現行と同じ柿岡を参照観測点として重価差法を適用した場合 ②近接する観測点を参照観測点として重価差法を適用した場合 ③重回帰法を適用した場合の3つの場合について、残差の標準偏差を比較した図を示す(第4図)。鳥取を主観測点として、1982年を例にして、各方法による毎日の残差の変動を比較した図を第5図に示す。

重回帰法を全磁力夜間値の解析に適用する際に、次のことがらが問題となる。一つは、各観測点にかかる係数の決定方法およびその安定性である。この他に、1組の主観測点と参照観測点の組み合わせでは、残差に異常が表れた場合に、異常変化を生じている観測点を特定できないことである。

係数について

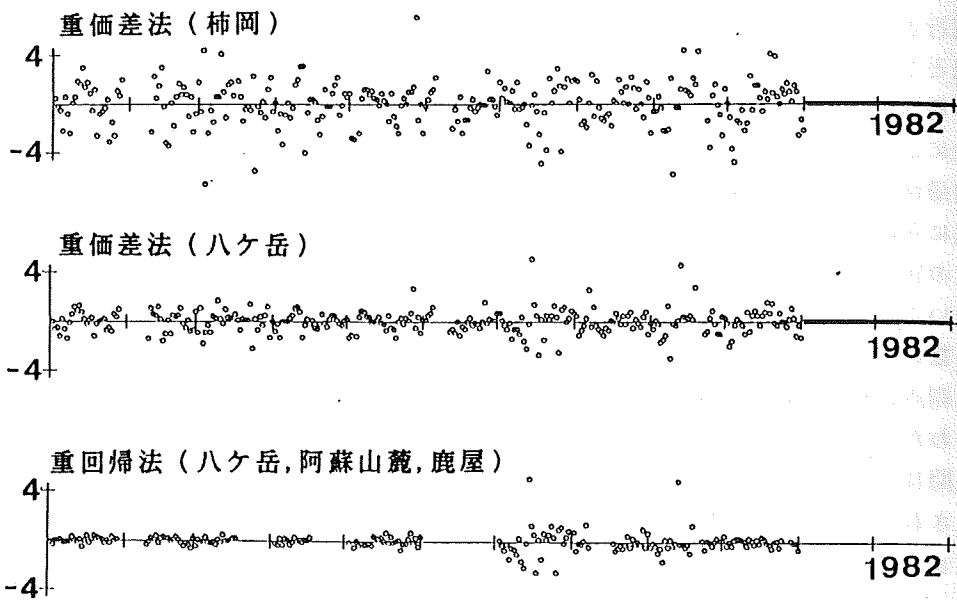
各観測点にかかる係数は、特に数年以上の長い期間にわたり連続的に観測するためには長期間にわたって安定であることが必要である。そこで、まず、有効な係数を決定するのに十分な区間長を調べた。解析区間を20日間から360日間まで20日ずつ日数を伸ばし、ある区間長で決定された3つの係数(a_i, b_i, c_i)と、それより20日間長い区間長で決定された3つの係数($a_{i+1}, b_{i+1}, c_{i+1}$)の差の絶対値の和($S: \sum (|a_{i+1}-a_i| + |b_{i+1}-b_i| + |c_{i+1}-c_i|)$)の変化を調べた(第6図)。区間長が長くなれば、各係数が一定値に近づき、 S が0に近づくことが予想される。主観測点及び使用したデータは先と同じである。この図から日数についての厳密な基準は見いだせないものの、180日間程度のデータから決定すれば、安定な係数といえよう。

このような係数が、どれくらいの期間にわたって安定であるか、言い換えると使用可能であるかを調べるために、先と同じく女満別・鳥取・鹿屋を主観測点として、1980年1~6月の6か月間の記録から決定した係数を1980~1988年の9年間のデータに対して適用した。第3表に1年毎の残差の標準偏差を、第7図に鳥取を例に毎日の残差の変動を示す。すべて観測点とも、年とともに標準偏差が大きくなる傾向はない。また、目安として9年間の標準偏差の平均を求めると、鳥取で1.1nT、鹿屋では0.7nTとなっており、残差のばらつきは小さいと言える。これらのことから使用した係数が9年間にわたって有効であるといえる。それに対して、女満別を主観測点とする場合には、残差のばらつきの平均は1.5nTであり、またすべての年で1nTを越えていることから、検出精度が十分高いとは言いがたい。この観測点については、参照観測点の組み合わせや係数を決定する区間長や期間について検討を要する。

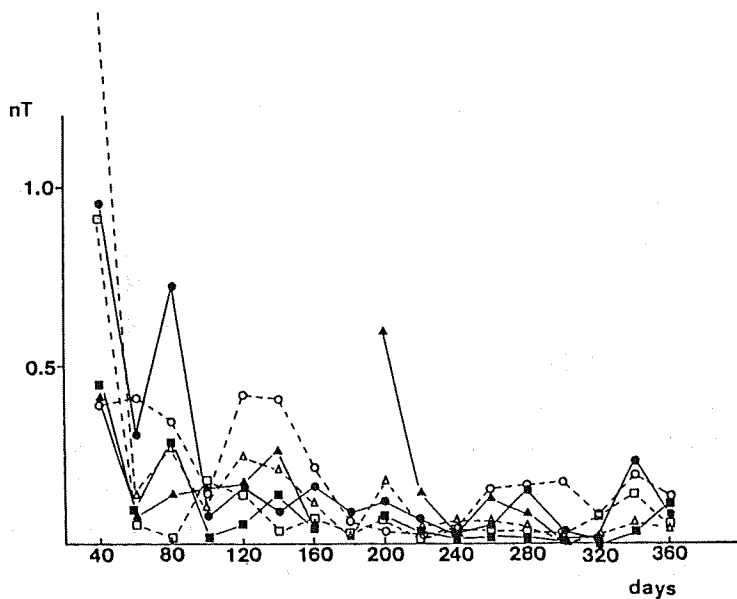
以上の結果から、一部で再検討を要する観測点があるものの、半年くらいの長さのデータから決定した係数であれば数年にわたって有効であることが明らかになった。これより重回帰法を、本当の意味での予知(過去のデータだけを用いて異常変化を検出すること)のために利用することは可能である。過去のデータに対して、地磁気変化異常があったか否かを検討するためには、異常が生じたであろうと思われる期間の前またはその期間を含む数ヶ月間のデータから係数を決定しなおしてやれば、一層検出精度を高めることができる。

原因観測点の特定について

主観測点で生じた異常変化は、そのままの大きさで残差の変動として現れるのに対して、参照観測点で生じた異常は、発生した異常量に係数をかけた大きさで残差の変動として現れる。一般に各観測点にかかる係数は-1~1前後の値をとることが多い。現在予想されている地



第5図 解析方法による残差の変動の違い
鳥取を例として、毎日の残差の変動を3つの方法について比較した。
いずれの場合も、係数は1カ月毎に決定した。



第6図 係数決定の区間長と係数の安定性
●○は女満別の、▲△は鳥取の、■□は鹿屋の、それぞれ
1982, 1985年の結果を示す。

第3表 9年間の残差の変動

	女満別	鳥取	鹿屋
1980	1.3nT	0.6nT	0.6nT
1981	1.8nT	1.8nT	0.8nT
1982	1.7nT	1.4nT	0.7nT
1983	1.9nT	0.9nT	0.7nT
1984	1.2nT	0.8nT	0.8nT
1985	1.0nT	1.5nT	1.1nT
1986	1.5nT	1.1nT	0.5nT
1987	1.6nT	1.0nT	0.6nT
1988	1.6nT	1.2nT	0.9nT

震前兆現象としての地磁気異常の大きさは高々10nTであろうということを考えると、主観測点もしくは係数の大きい観測点が異常変化をしている可能性が高い。しかし、この問題は全ての観測点に対して複数の適切な観測点の組合せを決定するか、全ての観測点に対して、互いに主観測点、参照観測点となるネットワークを完成させることが本質的な解決方法である。現時点では、土井ほか⁹⁾によって女満別・御前崎・鳥取・鹿屋に対する参照観測点の候補が求められている。ほかの観測点に対しても、適切な観測点の組合せを順次決定することが必要である。

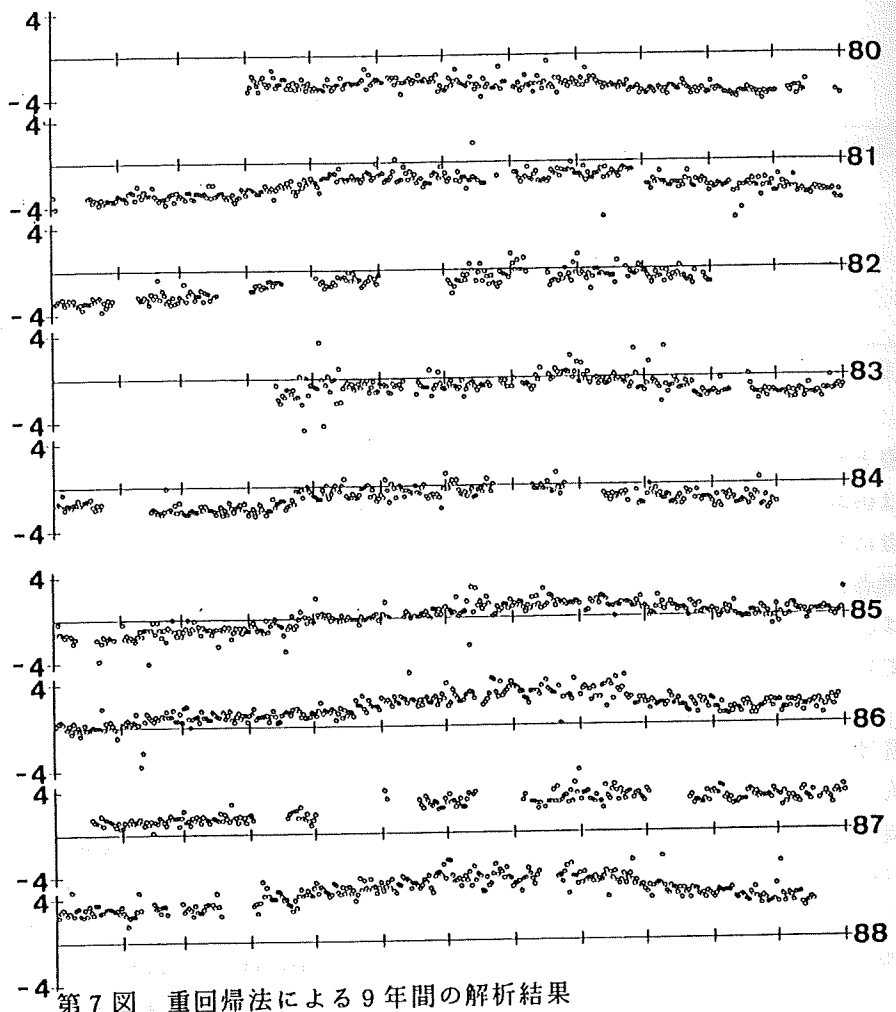
疑似信号に対する反応

重回帰法の有効性を検証するために、疑似の異常変動を加えたデータを解析し、その残差の変動を調べた。鳥取を主観測点とし、1982、1985両年のデータに対して、異常の最大振幅が4nTで9月1日から20日間継続する3角形型の変動を想定した。参照観測点の観測値にかかる係数は、各年の前半6か月間から決定した。残差の変動を第8図に示す。この図から判断して、高々4nTの変動であっても異常変化は明瞭に判定できる。この場合は、主観測点に疑似信号を加えたので、異常量はそのままの大きさで残差の変動として表れた。参照観測点に疑似信号を加えた場合には、その観測点にかかる係数によって、残差の変動に表れる異常量は変化する。

4. まとめ

全磁力夜間値の解析方法としては、当面の間は、近接する観測点を参照観測点とする重価差法が最も適当な方法と言えよう。方法そのものは、数年にわたる実用の実績があり、比較的単純な解析方法であるので、数年以上にわたる長期間の連続観測に適している。しかし、地磁気変動の検出精度を上げるためには、全ての観測点に対して、柿岡を参照観測点とするのではなく、近接する観測点を参照観測点とする必要がある。距離の目安として約450km以内の観測点を参照観測点とすれば、残差の変動の標準偏差を1nT以下に抑えられそうであろう。但し、野増や八丈島の様に島にある観測点の場合については、別に考えなくてはならない。

しかし、現行の観測体制を変更せずに、地磁気変動の検出精度を高めるためには、重回帰法を適用する方が望ましい。この方法を用いることによって、近接点を参照観測点とする方法よりも、さらに数十%残差のばらつきを減らすことが可能である。しばらくは、重価差法を適用するものの、並行して重回帰法を適用するための適切な参照観測点の組合せ(複数組)



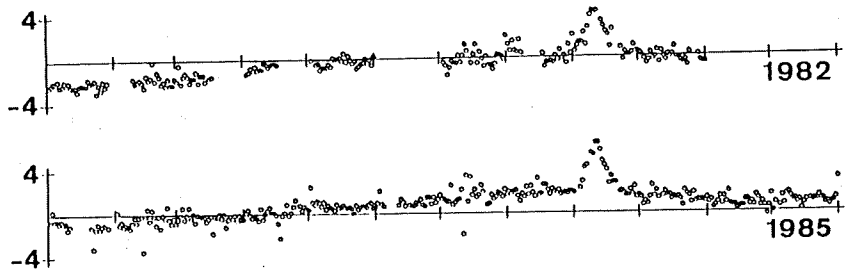
第7図 重回帰法による9年間の解析結果

主観測点：鳥取

参照観測点：八ヶ岳(YAT), 阿蘇山麓(AHK), 鹿屋(KNY)

係数は、1980年1月～6月のデータから決定した。

$$\text{残差} = F_{\text{TOT}} - (0.1542 \cdot F_{\text{YAT}} + 1.1387 \cdot F_{\text{AHK}} - 0.3531 \cdot F_{\text{KNY}})$$



第8図 重回帰法の人為的信号に対する反応

主観測点：鳥取

参照観測点：八ヶ岳(YAT), 阿蘇山麓(AHK), 鹿屋(KNY)

係数は、1980年1月～6月のデータから決定した。

の選択やネットワークの完成を進めていき、実用化の目度があった時点でできかえれば良いと考える。もちろん、重回帰法以外の解析方法、例えば、主成分分析を用いる方法⁷⁾や3成分値を用いる方法についても検討を進めることが必要である。

最後に、地震発生に先立つ全磁力異常の空間的範囲は、かなり狭いと考えられており、現在の26点の観測点数では、密集している一部の地域をのぞき、異常変化を検出できる可能性は低いと言わざるを得ない。検出の可能性を高めるためには、より一層の観測点の増加が必要であろう。一例として、現行の各観測点を中心として、いくつかの衛星観測点を設け、現在の観測点と衛星観測点間で重畳差法や重回帰法で磁気ノイズ除去を行えば効果的な除去が期待できる。また、広域にわたる変化があるとすれば、現行の観測点間で磁気ノイズ除去を行えば、検出可能であろう。

最後に、全磁力夜間値の観測データを提供していただいた地震予知・地磁気研究グループの方々に厚く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 西谷忠師 バケット交換網を利用したデータベースからのデータ取得, Conductivity Anomaly研究会論文集, 229-235, 1988
- 2) Rikitake, T., Elimination of non-loccal change from total intensity value of the geomagnetic field, Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, 44, 1966
- 3) Fujita, N., Secular change of the Geomagnetic total force in Japan for 1970.0, J. Geomag. Geoelectr., 25, 181-194, 1973
- 4) 山口覚, 住友則彦, 全磁力永年変化解析への重回帰法の応用, 京都大学教養部地学報告, 45-57, 18, 1983
- 5) 土井恵治, 山口覚, 住友則彦, 全磁力永年変化解析への重回帰法の応用(II), 京都大学教養部地学報告, 87-94, 20, 1985
- 6) 田中良和, 増田秀晴, 河村, 大池洗, 加藤諄司, 馬場広成, 吉野登志男, 阿蘇火山地域での全磁力測量, 阿蘇火山の集中総合観測(第1回)報告, 31-39, 1978
- 7) 門倉真二, 本論文集