

地温の影響を加味した地磁気絶対観測基線値の推定と 絶対観測の再観測頻度

福井敬一, 大和田毅, 森永健司

地磁気観測所観測課

2013年1月15日受領, 2013年2月15日改訂, 2013年3月4日受理

要 旨

地磁気絶対観測では過去の観測値から予測される値とその回の観測値とを比較し、観測値と予測値が一定の基準（鹿屋、女満別では地磁気水平、鉛直成分で0.3nT、偏角成分で0.03'）以上の差がある場合、再観測を行うことで異常な観測を排除している。従来この判定のため、傾斜およびセンサー温度補正を施した観測基線値を用いていた。観測頻度が減った場合、基準を変えず、この手法を適用すると再観測が頻発することになり、実務上週1回以上の頻度で絶対観測を実施する必要があった。観測基線値には地中温度の影響による季節変化が含まれており、この影響も補正した基線値を用い、さらに予測手法を改善した絶対観測の再観測が必要かどうかを判定するための新手法を提案した。この手法を用いると、女満別、鹿屋において毎週実施している絶対観測の頻度を隔週1回としても、従来と同じ基準を維持し、再観測の頻度を増大させない。

1. はじめに

地磁気観測所では柿岡（茨城県）、女満別（北海道）、鹿屋（鹿児島県）、父島（東京都）において地球内部や磁気圏の変動、太陽活動などの自然環境に起因する地磁気の変化をとらえるため地磁気観測を実施している。地磁気3成分（水平成分H、鉛直成分Z、偏角D）の連続観測にはフラックスゲート磁力計が使用されている。この磁力計は変化量を高感度で自動連続測定できる計測器であるが、計測値には自然環境の変化に基づく変動とともに、計測器の特性の経年変化に基づく長期的な変化（ドリフト）や人工擾乱（車両の通過などによる一過性の擾乱や鉄材を含む構造物の建築によるステップ的变化など）、観測点近傍の地盤の傾動にともなう変動（地磁気観測所, 1987）、センサーの温度特性に基づく変動（例えば、小池 他（1984））などの見かけの変動が含まれている。地磁気の絶対的な大きさを知り、ドリフトなどを除去した自然環境に基づくシグナルを抽出するためには、別の手法による精度の高い「絶対観測」が必要となる。

柿岡における絶対観測では地磁気の大きさ（全磁力F）を測定するプロトン磁力計と地磁気の方角（偏角D、伏角I）を最小読み取り単位1"で測定できる

角度測定器を用いてD、Iを測定し、FおよびIからH、Zの絶対的な大きさ（絶対値）を求めている。女満別、鹿屋、父島では一軸のフラックスゲート磁力計を取り付けた非磁性の経緯儀（1"読み）を用いてD、Iを測定している。Dは天測によって真の方角が決定された構内に設けた方位標を基準として、Iは水平面あるいは鉛直軸を基準に測定されており、いずれの方法でもD、Iの測定は職員の人手を介して行われている。絶対観測により求められる地磁気3成分の絶対値と連続観測で計測された同時刻の測定値が一致するように補正值（観測基線値）を求め、絶対観測の間の時刻については観測基線値を内挿して補正值（基線値）を求め、この値を連続観測値に加えることで、連続的な地磁気の絶対値を求めている。

絶対観測の手順については地磁気観測所（1987, 1994）や藤井 他（2012）に述べられている。通常1週間に1度実施する絶対観測において、2人で8回のD、Iの測定を行い、これらの値とFから絶対観測を行った中心時刻における各成分の観測基線値を求めている。本論文は、個々のD、Iの測定の良否などについては言及せず、最終的な観測基線値の良否に係る問題（過去の観測値と比較するこ

とで、再観測が必要かどうかを判定する問題)を
対象としている。なお、D, Iの測定の良い
については個人差の問題も絡むが、この問題
や観測者が1人に固定された場合の影響につ
いて、別稿で報告される予定である。この結
果によると、熟練した観測者が絶対観測を実
施すれば、個人差はH, Z成分にして $0.2nT$ 、
D成分で $0.02'$ 以下で、1人観測となった
場合でも観測者が固定されることによる影
響は小さい(外谷健, 私信)。また、絶対観
測中に人工擾乱が発生し、その影響を受けた
場合の補正方法については、森永 他(2013)
に述べられている。

観測基線値の良否の判定のため、過去の観
測値から予測される値とその回の観測値との
差(以下では観測値と予測値の差、あるいは
O-Cと記す)が定められた基準内にあるかど
うかの判定を行う(図1参照)。基準からはず
れた場合、再観測を行う。再観測の結果も同
様に基準を超え、1回目の観測値と基準以
内で一致している場合は、傾斜やセンサー温
度、計測機器などの観測環境に異変がないこ
とや人工擾乱の影響がないことを確認した上
で、これらの観測値は正しいものとして採用
する。2回目の観測値が予測値と基準以内で
一致していた場合には、

1回目の観測値は異常と判断し、観測基線
値の算出には用いない。このようにして、異
常な観測値を排除し、かつ、真に大きな変
化があった場合でも対応できるようにして
いる。連続観測機器の安定性と絶対観測に
おける測定精度を勘案し、柿岡での基準値
はH, Z成分で $0.2nT$ 、D成分で $0.02'$ 、女
満別、鹿屋では各々 $0.3nT$ 、 $0.03'$ とし、概
ね1週間に1回絶対観測を実施している(女
満別、鹿屋では2012年より隔週、父島で
は概ね3ヶ月に1回実施)。一般に、絶対
観測の間隔を延長すれば観測値と予測値の
差は大きくなり(図1下)、再観測を行うか
どうかの判定に同じ基準値を用いれば再観
測となる場合が多くなる。再観測となる頻
度を観測間隔の延長前と同じ程度とする
には、この基準を大きくする必要があり、
結果的に、観測精度を落とすことになる。
もし、絶対観測の間隔を延長した時に、基
準を変えずに判定を行っても、再観測の頻
度が増大しなければ、絶対観測の間隔を
延長することが可能となり、人手を要する
絶対観測が省力化される。この問題に関
して、これまでも、小池(1998)や藤井 他
(2012)などにより検討されている。藤井
 他(2012)は、連続観測を行っている磁
力計の傾斜やセンサー温

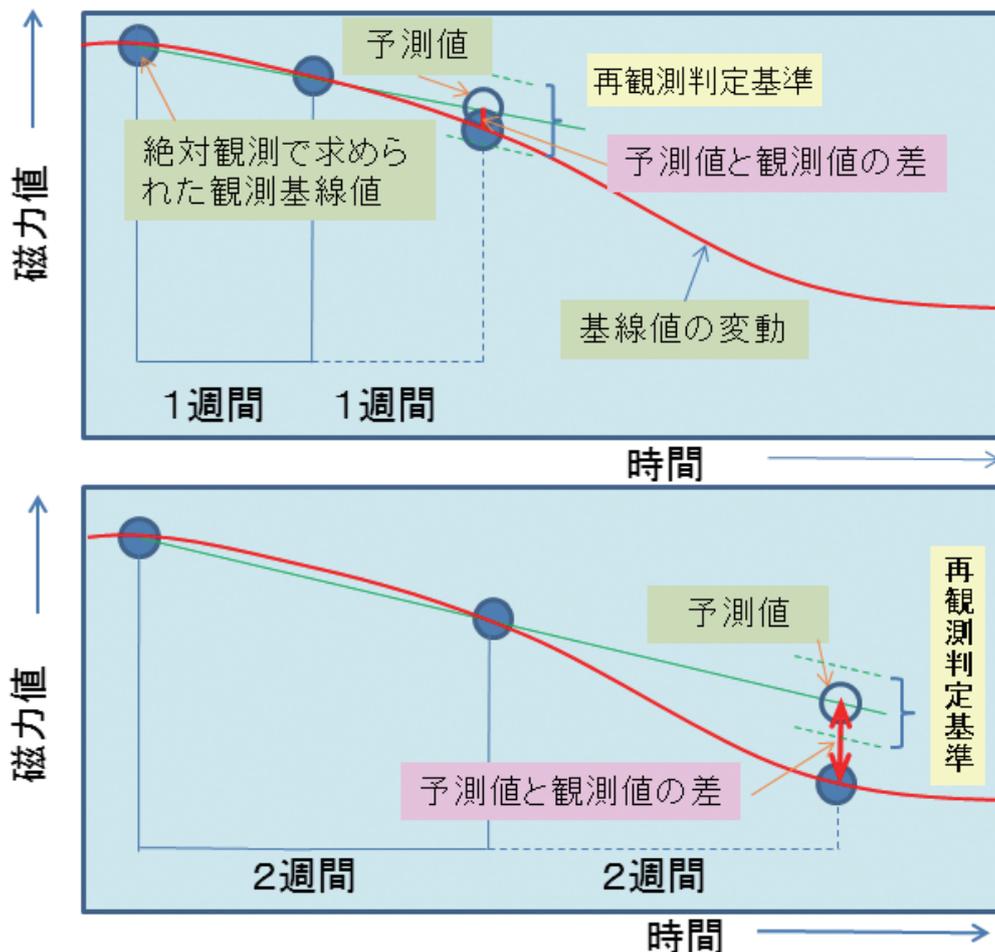


図1 地磁気絶対観測において再観測するかどうかの判定

度の補正を施した観測基線値を用いて観測頻度の低下に伴う精度をシミュレーションし、隔週観測とすると再観測の頻度が著しく増加し、実務上精度を維持するのは困難だと結論付けた。さらに、彼らは、温度変化による土壤の磁場変化を定量的に取り入れることで、評価手法の改善を図る必要性について言及した。

本論文では、傾斜、センサー温度に加え地中温度の影響を補正した観測基線値を用いて、絶対観測値の再観測が必要かどうかを判定する手法を提案し、この方法によれば、絶対観測の間隔を2週間とし、従来と同じ基準で判定を行っても、再観測となる頻度は従来と同程度となることを示す。

2. 使用したデータ

現在、連続観測のための主測器として使用しているフラックスゲート磁力計 FM10 による観測は 2011 年に開始され、統計的解析を行うためには十分なデータが蓄積していない。このため、今回の検討では FM10 の前に主測器として使用されていた磁力計によって得られた観測基線値を用いた。使用したデータは女満別については 2006 年 2 月から 2011 年 8 月までのフラックスゲート磁力計 96FM に対する観測基線値（観測機器の問題等により生じるステップ状の変化を補正した値。この補正をギャップ補正と称している）と傾斜（センサーに付随した傾斜計で測定されている）、センサー温度、女満別空港における日平均気温であり、鹿屋については 2008 年 1 月から 2011 年 8 月までのフラックスゲート磁力計 95FM に対する観測基線値（ギャップ補正済）と傾斜、センサー温度、鹿屋地域気象観測所における日平均気温である。95FM と 96FM の仕様や特性などについては、大和田 他（1998）を参照されたい。なお、両磁力計は基本的に同じ仕様の磁力計である。

FM10 では地中温度も並行して測定されているが、今回検討対象とした期間については、地中温度の測定がなされていない。このため、次節に述べる地温の代替値を求めるために地磁気観測点に近い女満別空港、鹿屋地域気象観測所における気温データを使用した。図 2 に女満別について使用したデータの時系列図を示す。以下では特に断らない限り、女満別についての結果のみを示した。

図 2 に示すように、H 成分、Z 成分の観測基線値は顕著な年周変化を示す。D 成分についても年周変化を示すが、H、Z 成分ほど顕著なものではない。磁力計で測定される地磁気ベクトルの各成分は磁力計の傾きによって、1 秒あたり $0.1 \sim 0.2\text{nT}$ 、

$0.03'$ 程度の影響を受ける（例えば、地磁気観測所（1987））が、これは磁力計に取り付けた傾斜計によって補正可能である。図 3 に観測基線値とともにこの磁力計の傾斜の影響を補正した基線値（以下、傾斜補正基線値と記す）の時間変化を示す。なお、H、Z 成分は傾斜の南北成分、D 成分は東西成分の影響を受ける。傾斜も年周変化をするが、観測基線値の年周変化とは位相が異なっており、傾斜補正基線値には年周変化が残る。従来から、この変化の原因として土壤の温度変化に伴う磁化強度の変化が地磁気観測値に影響を与えている可能性が指摘されていた（例えば、西村 他、2010）。

3. 地温と観測基線値との関係

三島 他（2011）は柿岡、女満別、鹿屋の観測施設地下土壤の磁化係数を測定し、磁化係数には温度依存性があり、地中温度の変化によって生じる観測点周辺の磁化分布の季節変動によって観測基線値の季節変化が説明可能なことを示した。

今回検討に用いた観測期間については地中温度の測定がなされておらず、気温データから地中温度を推定し、地中温度の代替値として用い、地中温度と観測基線値との関係を調査した。

図 4 は傾斜補正基線値の H 成分と 31 日平均気温との関係を、時間的に隣り合う値を線で結んで表示している。傾斜補正基線値と 31 日平均気温の関係は時間とともに、概ね楕円上に移動しており、H 成分と気温とはある時間ずれをもって相関していることを示している。この時間ずれを求めるために、1 日毎に日付をずらした 31 日平均気温と傾斜補正基線値との相関係数を求め、相関係数が最も大きくなる最適な時間遅れを求めた。図 5 に成分毎に最適な時間遅れ（H、Z、D 各々、47、18、65 日）を与えた 31 日平均気温と傾斜補正を施した基線値との関係を示す。D 成分についてはセンサー温度が一定していた、2008～2009 年の関係を図示した。D 成分の相関はやや劣るが、H、Z 成分は相関係数 0.95 以上の高い相関で線形関係を示す。

図 6 に 2011 年より本運用となった、現在の主磁力計 FM10 に付属した 1m 深地温と、女満別の日平均気温、31 日平均気温の時系列図を、図 7 に、1m 深地温と 47 日遅れを持つ 31 日平均気温との関係を示す。図 7 からわかるように 47 日遅れを持つ 31 日平均気温は実際に測定される地温と良い対応にあり、地温の代わりに用いても問題ないと言えよう。以下では、この値を地温代替値あるいは地中温度、あるいは単に地温と記す。

三島 他（2011）が測定した土壤の磁化係数は

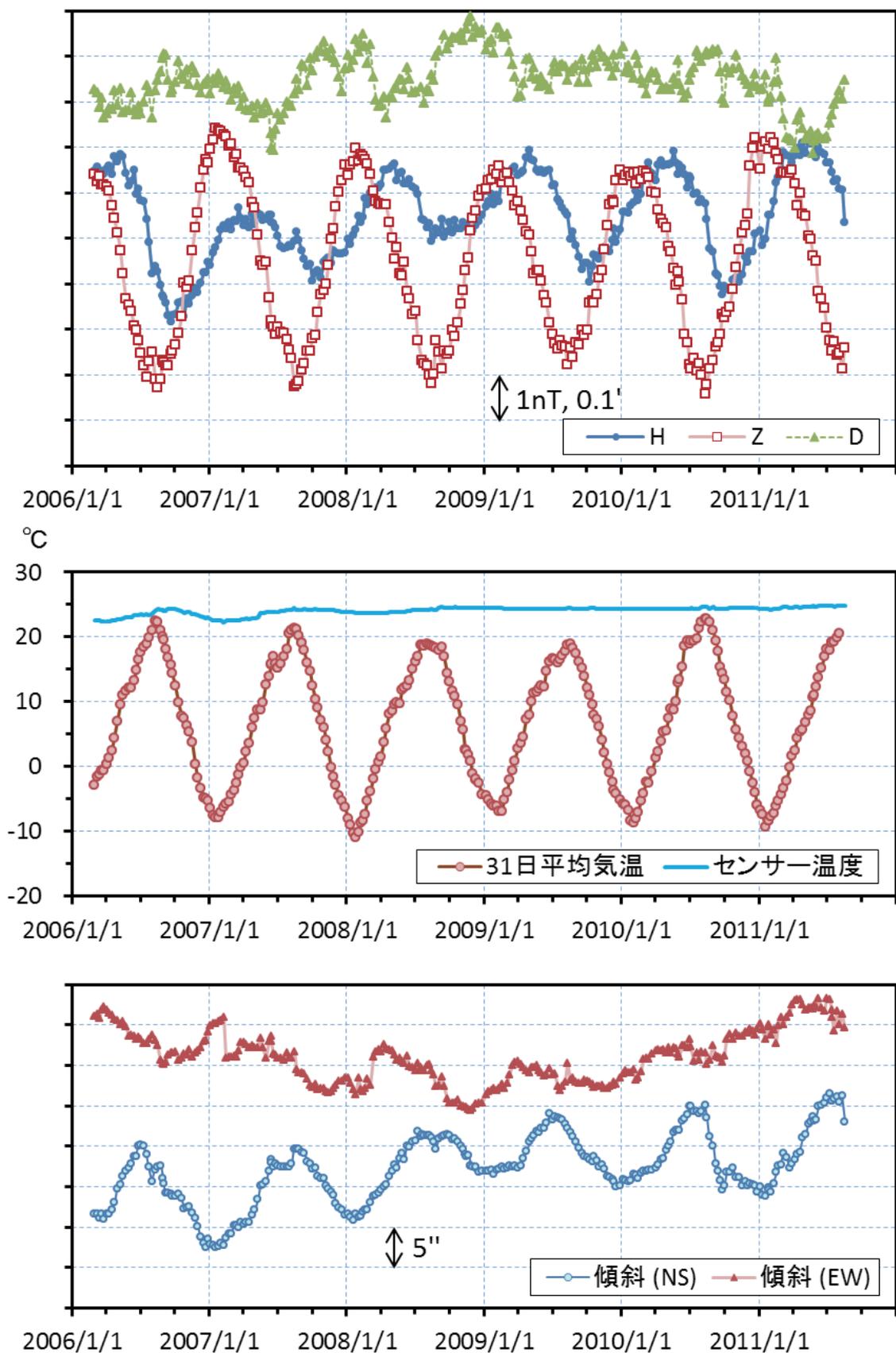


図2 2006年2月8日から2011年8月18日までの女満別におけるフラックスゲート磁力計96FMに対する観測基線値H, Z, D成分(上段), センサー温度と31日平均気温(中段), 96FM磁力計付属傾斜計のNS, EW成分(下段)

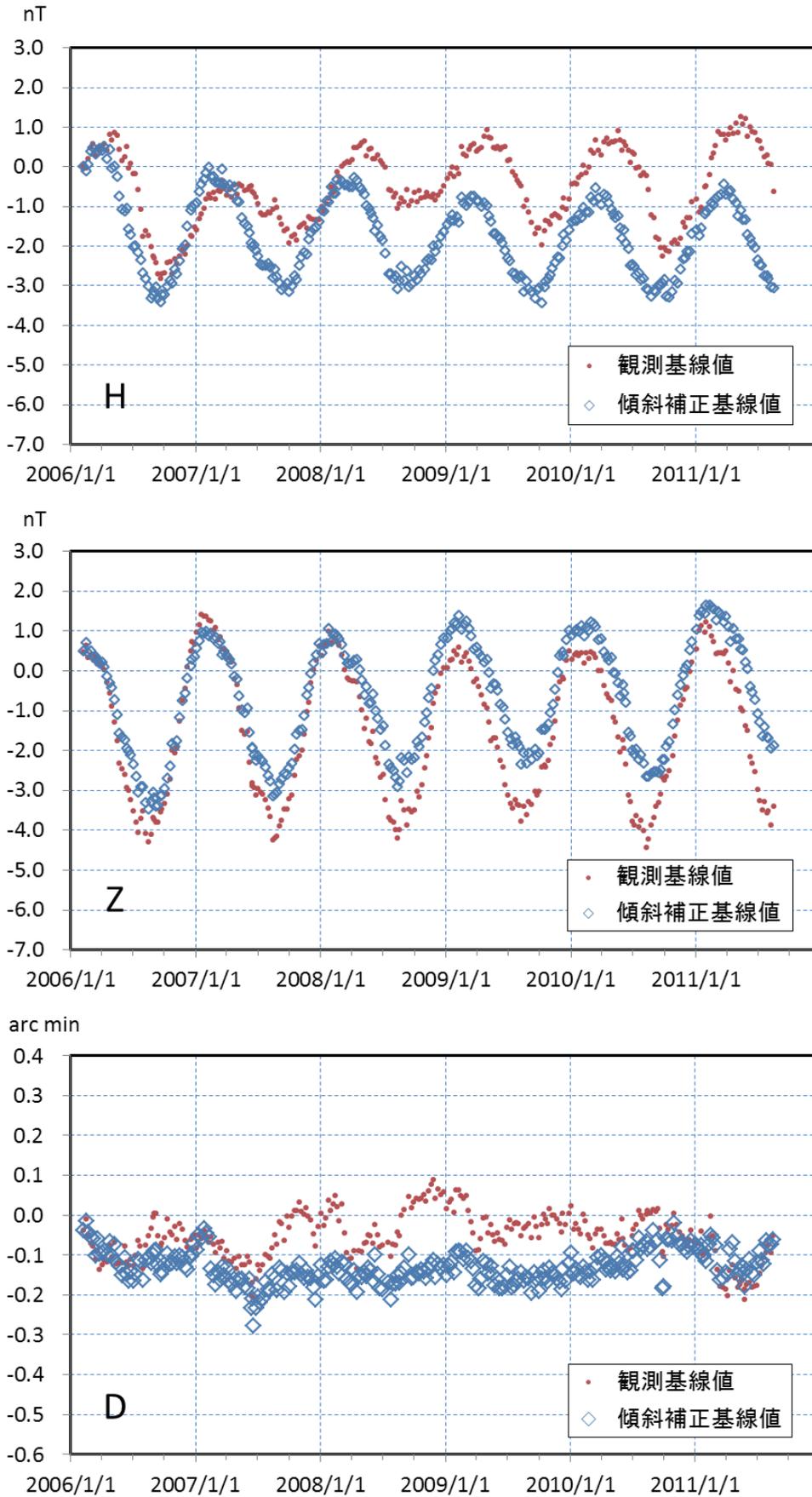


図3 女満別の観測基線値（赤点）と傾斜補正基線値（青丸）

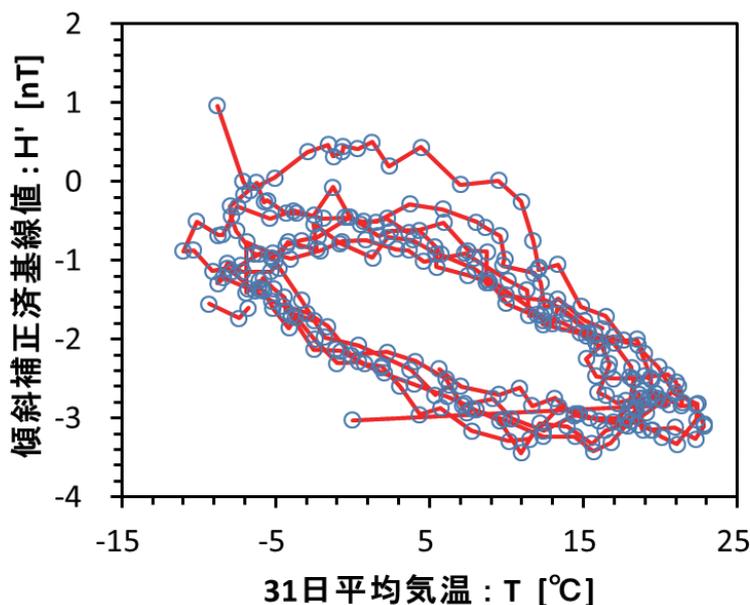


図4 女満別の傾斜補正基線値 H 成分と 31 日平均気温との関係

概ね温度に比例して変化しており、土壤の磁化による地磁気変化は地温と線形関係にあることが想定されるが、図5はこの想定を裏付けている。

4. 地温補正を施した観測基線値

観測基線値に対して、センサー温度、地中温度代替値、傾斜 (H , Z は NS 成分, D は EW 成分), 3 次までの時間項を説明変数とした重回帰分析を行ない、センサー温度などの環境要素に対する観測基線値の応答係数を求めた。すなわち、2006 年 2 月 8 日から 2011 年 8 月 18 日までの各成分の観測基線値を、

$$BL_H = C_H + a_H T_S + \beta_H T_g + \gamma_H L_{NS} + a_H t + b_H t^2 + c_H t^3 + e_H \quad (1)$$

$$BL_Z = C_Z + a_Z T_S + \beta_Z T_g + \gamma_Z L_{NS} + a_Z t + b_Z t^2 + c_Z t^3 + e_Z \quad (2)$$

$$BL_D = C_D + a_D T_S + \beta_D T_g + \gamma_D L_{EW} + a_D t + b_D t^2 + c_D t^3 + e_D \quad (3)$$

ここで、

BL は時刻 t における観測基線値

C は定数項

T_S は時刻 t のセンサー温度

T_g は時刻 t の地中温度

L_{NS}, L_{EW} は各々、時刻 t の傾斜 NS 成分、傾斜 EW 成分

t は 2006 年 2 月 8 日を 0 とした時刻 (単位は日)

$a, \beta, \gamma, a, b, c$ は各成分についての偏回帰係数

e は残差

添え字 H, Z, D は各々 H, Z, D 成分を表す

の線形重回帰モデルで説明するための説明変数 ($T_S, T_g, L_{NS}, L_{EW}, t, t^2, t^3$) に対する係数 (偏回帰係数) を残差 e の平方和を最小にするように求め

る。さらに、これらの説明変数の中から、 t 値 (偏回帰係数をその標準偏差で割った値。絶対値が大きいほど、その変数の寄与が大きい) によって有意な説明変数を選択し、自由度を考慮した決定係数が最も大きいモデルを最終的な結果とする。求められた偏回帰係数と t 値、重相関係数を表 1 に示す。ここで γ_H, γ_Z は理論的な傾斜に対する H, Z 成分の応答係数、 $\gamma_H = 0.205 \text{ nT/arc sec}$, $\gamma_Z = -0.127 \text{ nT/arc sec}$ を使用している。 D 成分については、傾斜補正について理論的な係数を用いると、残差が大きくなるため、傾斜 EW 成分も含め、重回帰分析を行った。なお、 D 成分について傾斜補正係数が理論値と異なったことは、傾斜計の感度係数が不適切であったためと思われる。

図 8 に H 成分の観測基線値と傾斜、センサー温度、地中温度に対する応答成分とともに、最初の観測データ (2006 年 2 月 8 日) と各成分の偏回帰係数を用いて予測した基線値の時間変化を示す。傾斜に対する応答成分と地中温度に対する応答成分が観測基線値に同程度の影響を与えていることが分かる。2008 年以降、観測室の室温調整によりセンサー温度の変化が $\pm 0.3^\circ\text{C}$ 以内に収まっており、センサー温度に対する応答は、大変小さくなっている。これらの影響を加味して予測した基線値は概ね、観測基線値と一致している。

図 9 に傾斜補正基線値とともに、傾斜、センサー温度、地温補正を施した基線値 (以下、地温補正基線値と記す) の時間変化を示す。 H 成分の地温補正基線値は 2006 年から 2011 年にかけて、2 本の赤線で囲まれた 1 nT の範囲で一定の値になっており、 Z 成分は 1 nT の変動範囲内で時間とともに一定の割

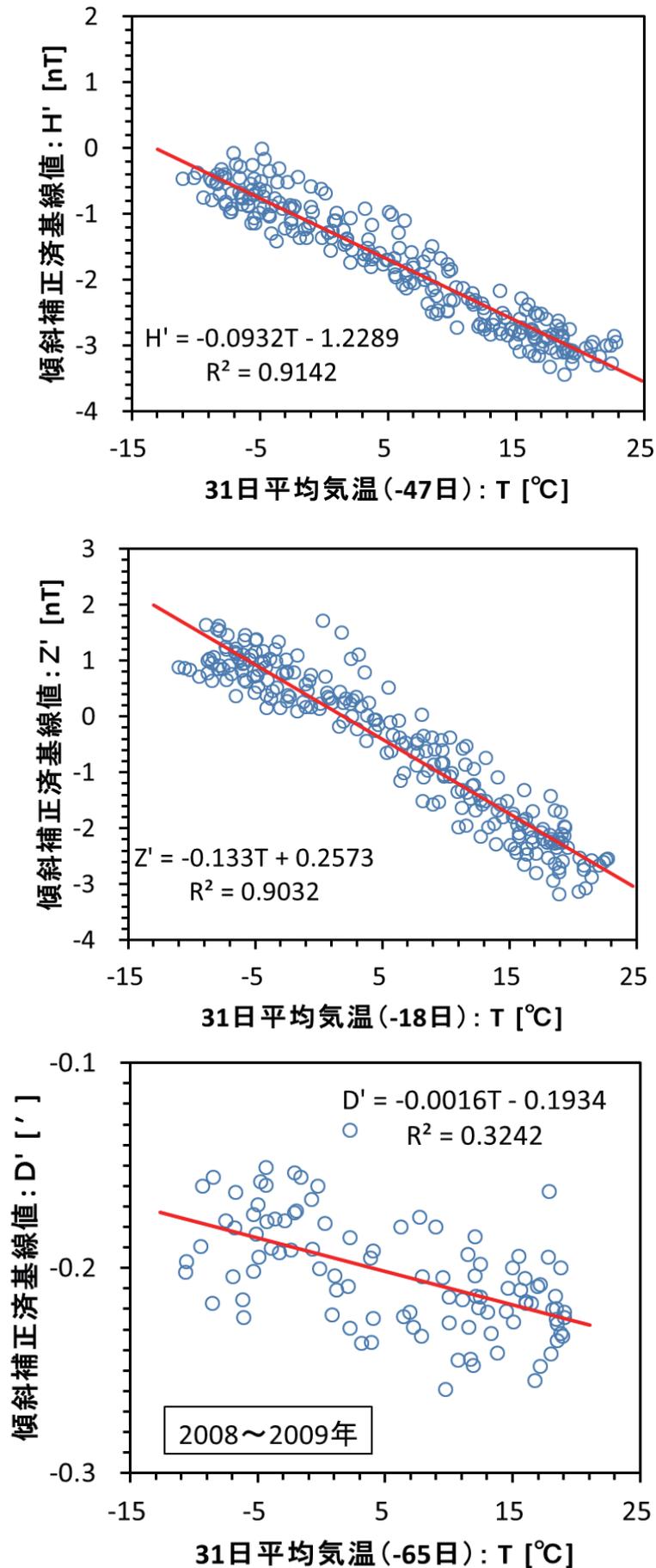


図5 成分毎に最適な時間遅れ (H : 47 日, Z : 18 日, D : 65 日遅れ) を与えた 31 日平均気温と傾斜補正済基線値との関係

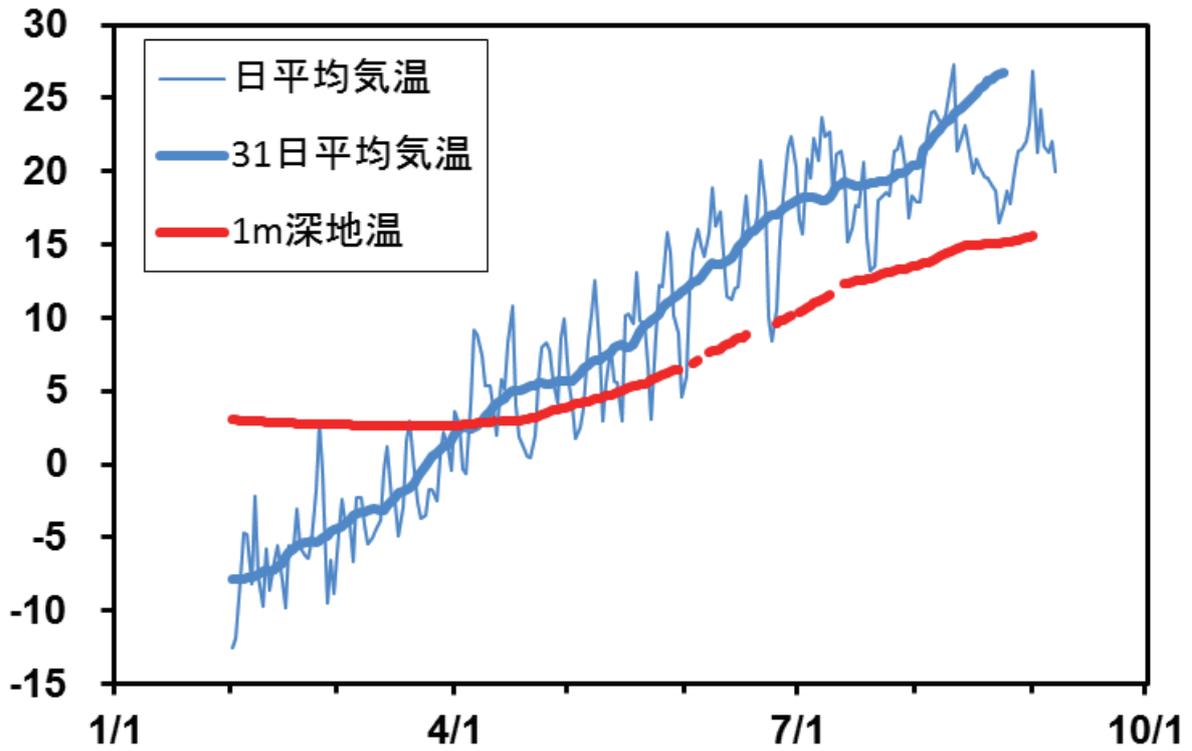


図6 女満別 1m 深地温 (赤線) と日平均気温 (細青線), 31日平均気温 (太青線) 2011年2月～8月.

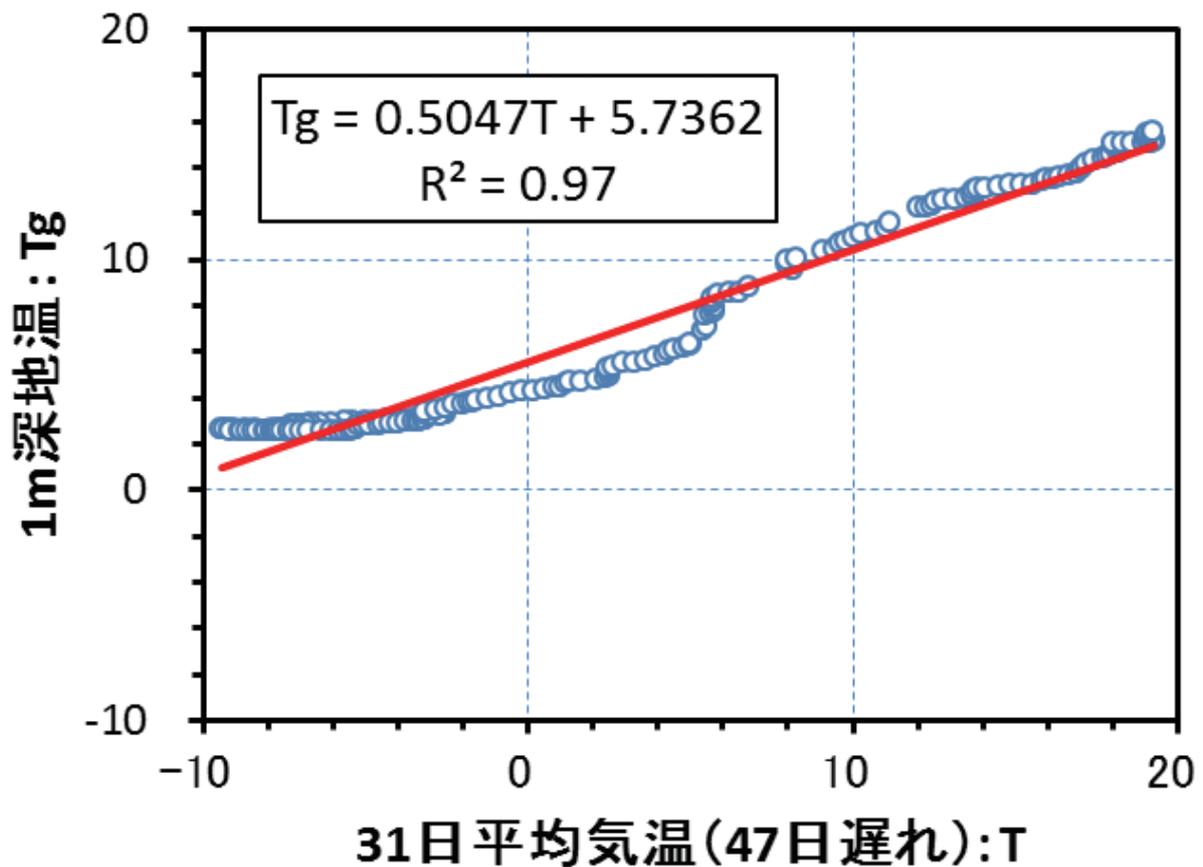


図7 女満別 1m 深地温と 31日平均気温との関係

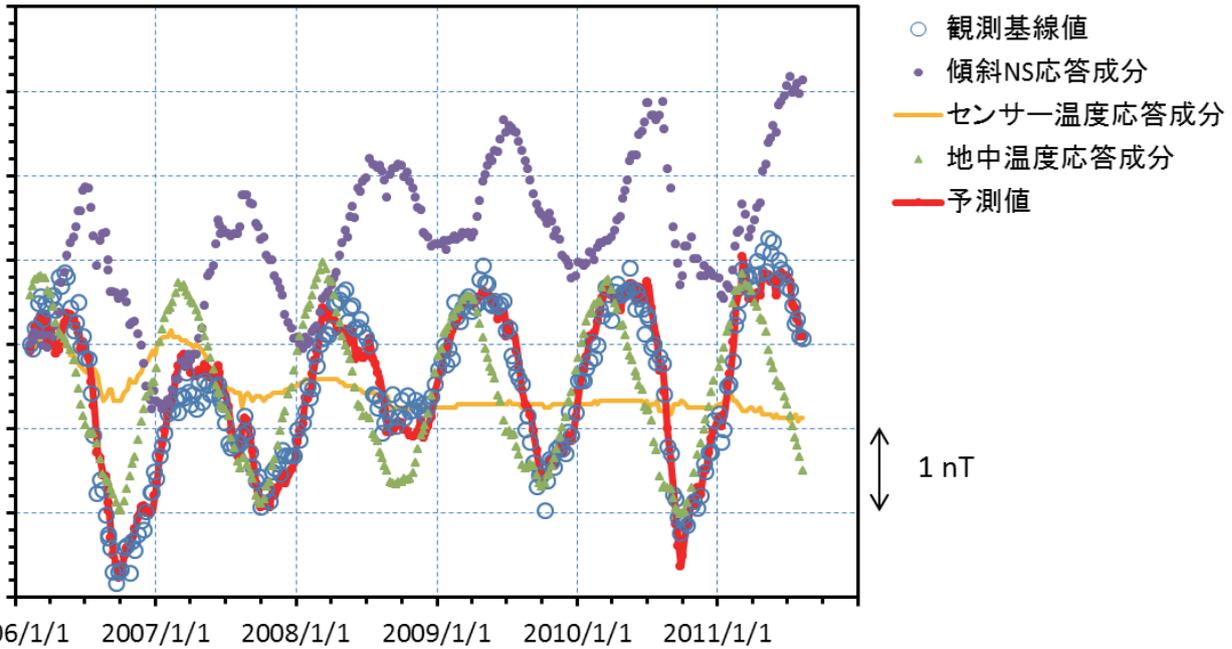


図8 女満別の地磁気水平成分の観測基線値（青丸）と傾斜 NS 成分，地温，センサー温度各々に対する応答成分および傾斜，地温，センサー温度の時間変化および 3 次の時間項から予測した基線値の変化（赤線）

表 1 女満別の 96FM に対する観測基線値 H, Z, D 成分を，地中温度代替値（地温），センサー温度，傾斜，3 次までの時間項 (t , t^2 , t^3) で説明するための最適な偏回帰係数とそれに対する t 値，および重相関係数. H, Z 成分の傾斜に対する係数は理論値.

説明変数	H		Z		D	
	係数	t 値	係数	t 値	係数	t 値
地温	-0.088 nT/°C	-54.4	-0.136 nT/°C	-66.7	0.001 arc min/°C	3.0
センサー温度	-0.404 nT/°C	-16.5	-0.092 nT/°C	-1.9	-0.027 arc min/°C	-4.1
傾斜	0.205 nT/arc sec	—	-0.127 nT/arc sec	—	-0.019 arc min/arc sec	-12.4
t			0.001	14.3	-0.080	-5.5
t^2					0.030	5.7
t^3					-0.003	-4.2
重相関係数	0.971		0.979		0.824	

合で増加する時間変化を示している. D 成分については重相関解析による最適解は時間の 3 次式で説明できるが，大局的には 0.1' の範囲内ではほぼ直線的な時間変化を示している.

5. 地温補正基線値による基線値の予測と絶対観測の再観測頻度

従来，絶対観測の再観測を行うかどうかは，傾斜とセンサー温度の補正を施した基線値を用い，直近 2 回の補正基線値を直線外挿して絶対観測時の予測値を求め，予測値と観測値（補正基線値）との差が基準値を超えるかどうかで判定していた（以下，従来手法）. 今回，直近 1～3 回の地温補正基線値

を用いて求めた予測値（直近 3 回の地温補正基線値から最小二乗法で推定した絶対観測時刻における値，もしくは前回の地温補正基線値）と観測値（地温補正基線値）の差を用いて再観測を行うかどうかの判定を行う手法を提案する（以下，新手法）. 図 10 に，隔週観測となった場合の基線値と予測値の一例を示す. ●, ▲印は各々，Z 成分の傾斜補正基線値，地中温度も加味した補正基線値である. ○印が従来手法による予測値，△印が新手法による予測値であり，予測値の上下に表示した点線は予測値 $\pm 0.3nT$ の線である. 2006 年 6 月の最初の観測に対し，毎週観測の場合，従来手法を適用しても補正基線値と予測値の差 O-C が基準 ($\pm 0.3nT$) を超えるこ

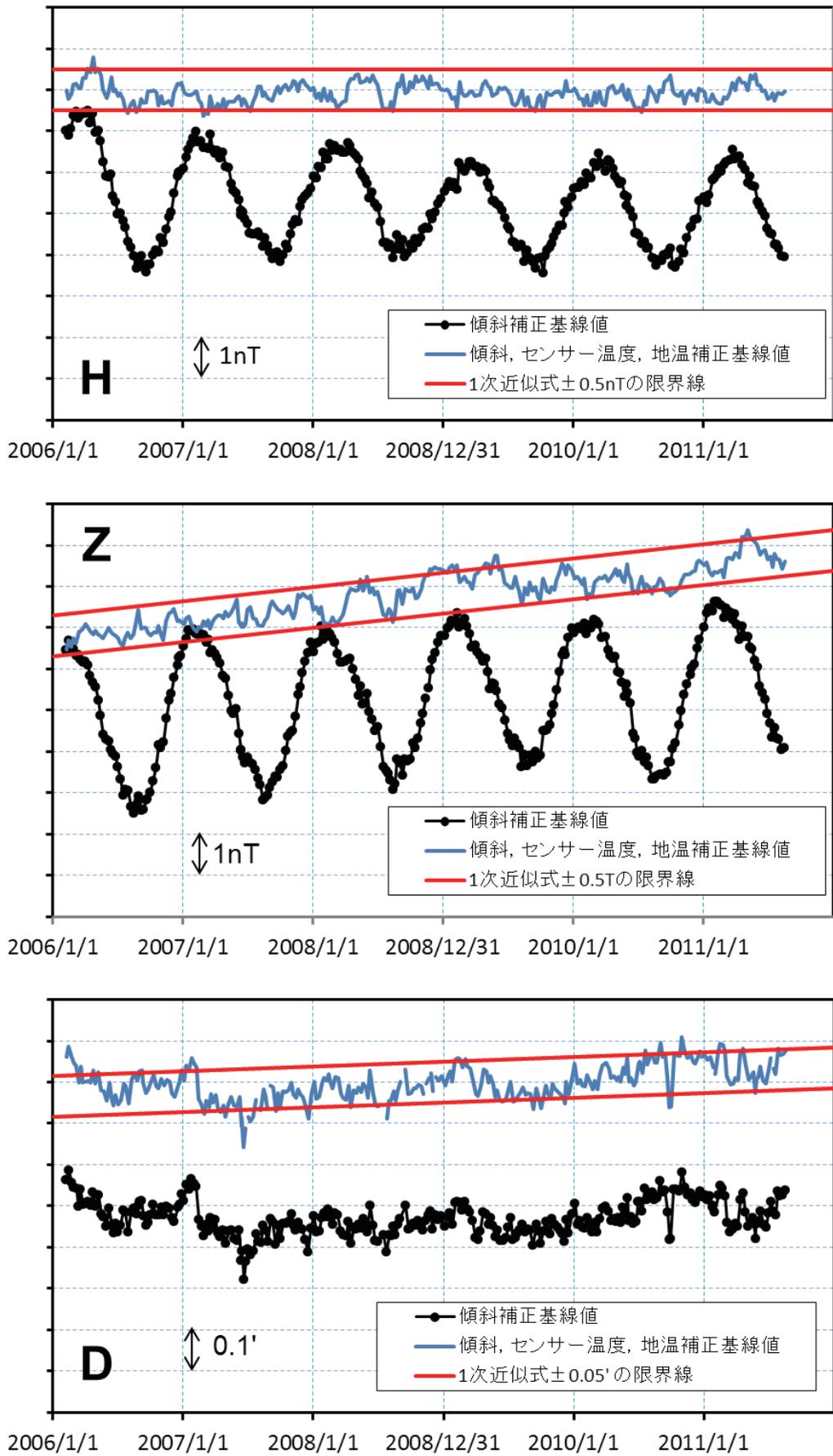


図9 女満別の傾斜補正基線値と傾斜, センサー温度, 地温補正を施した補正基線値の時間変化

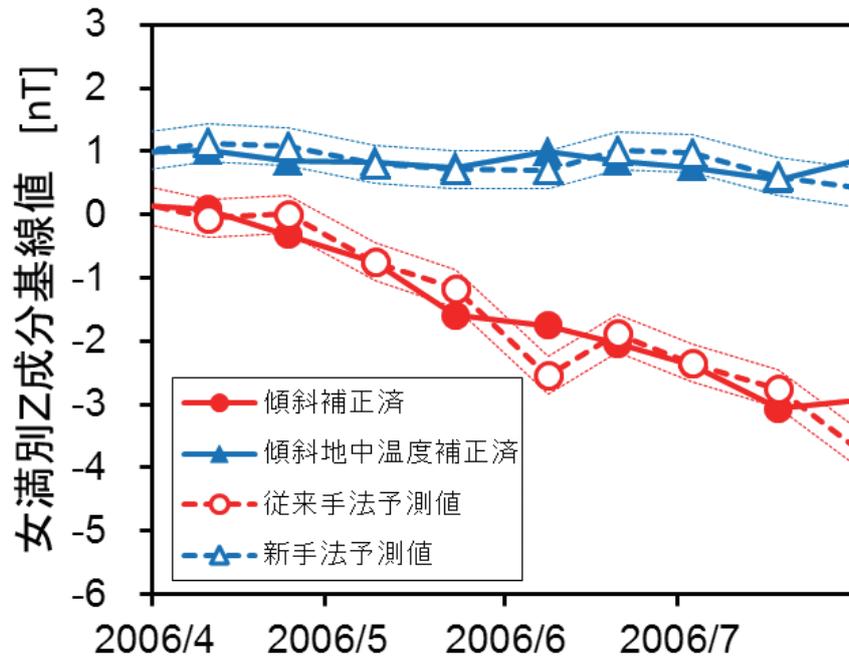


図10 従来手法と新手法による基線値の予測例。細線は予測値±0.3nTの値。

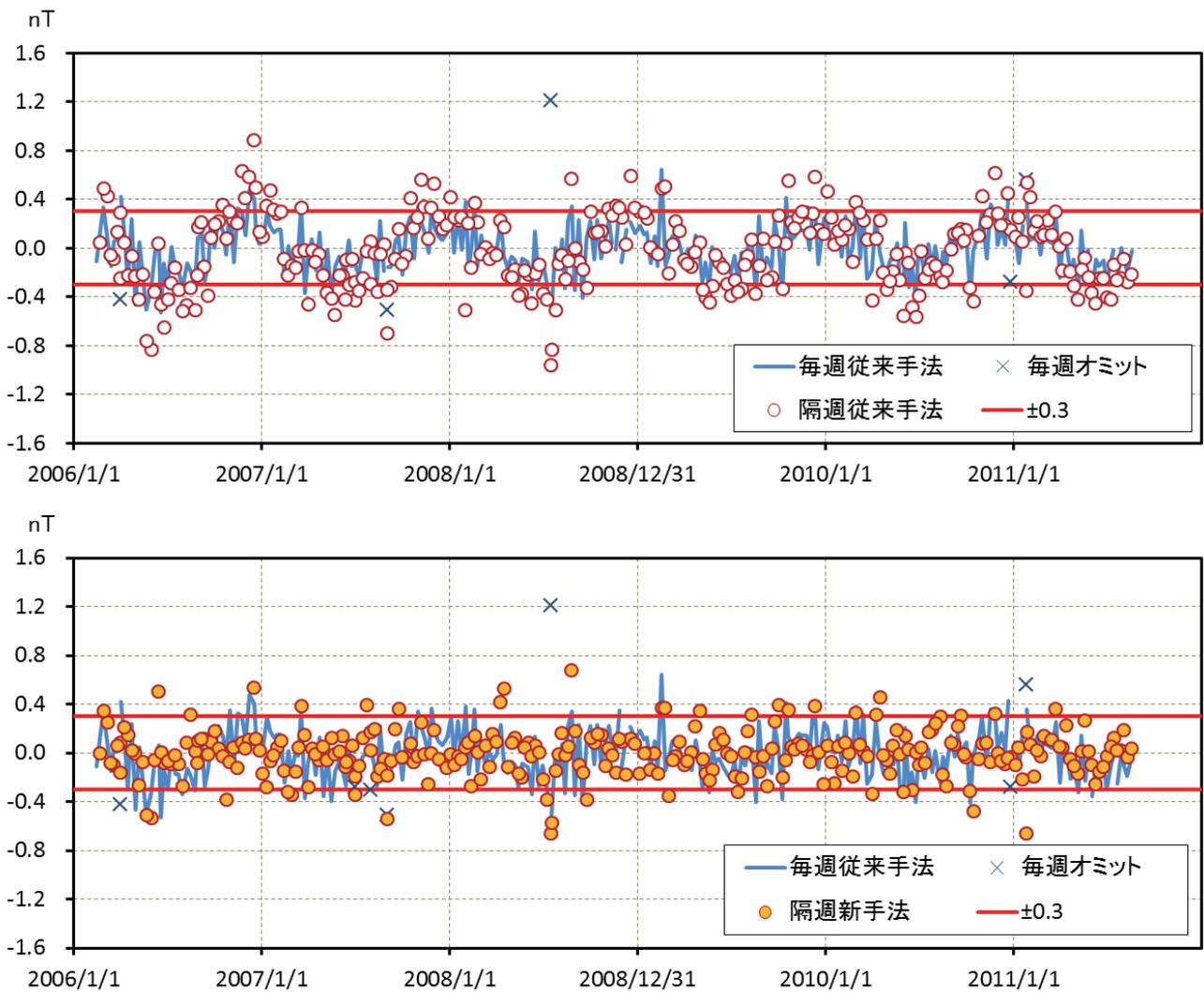


図11 女満別における毎週(青線)、隔週(赤丸)絶対観測におけるH成分の補正基線値と予測値との差。上段は従来手法による。下段は毎週観測に従来手法を、隔週観測に新手法を適用したものの。

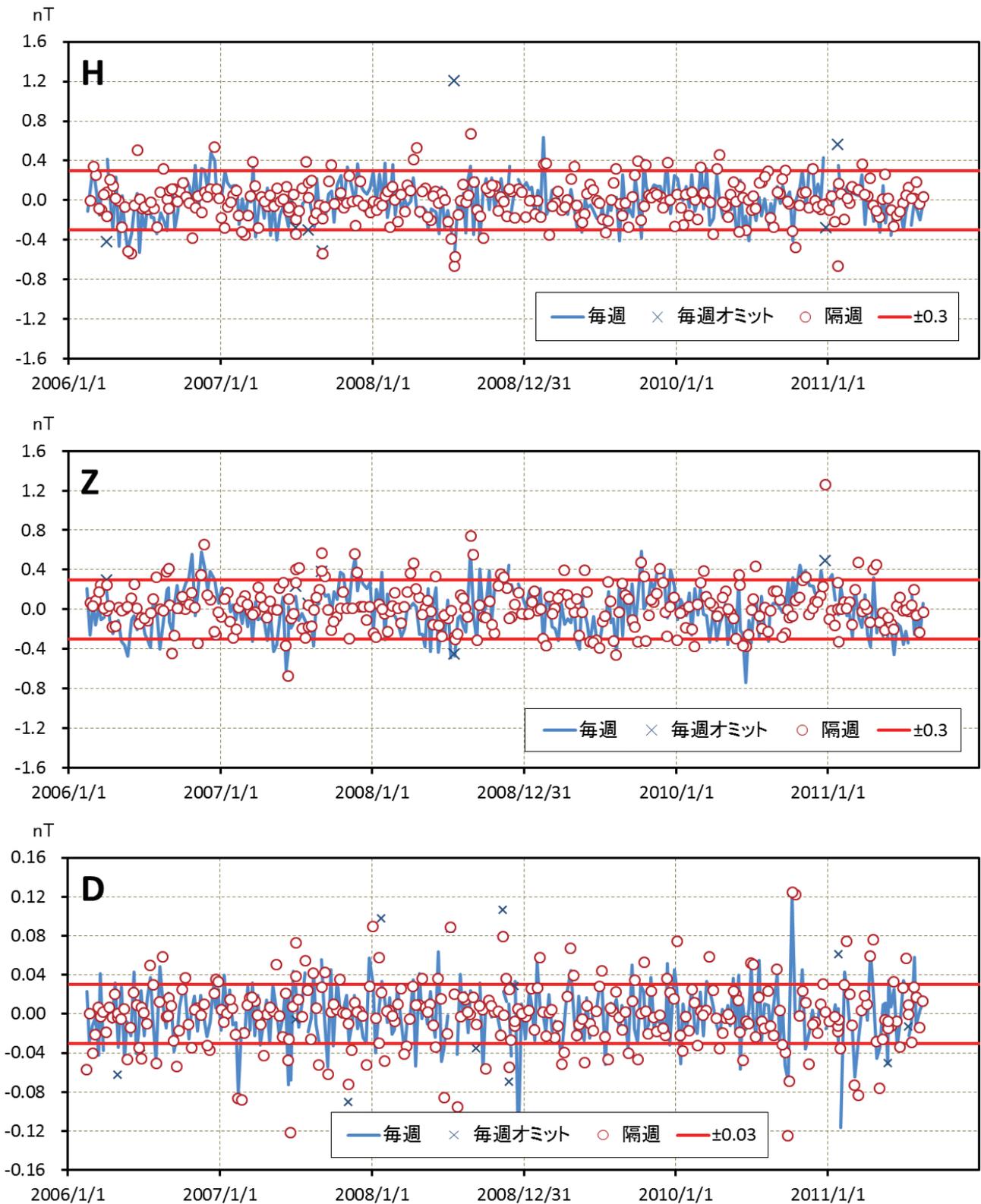


図 12 毎週および隔週観測における補正基線値と予測値との差
詳しくは本文参照.

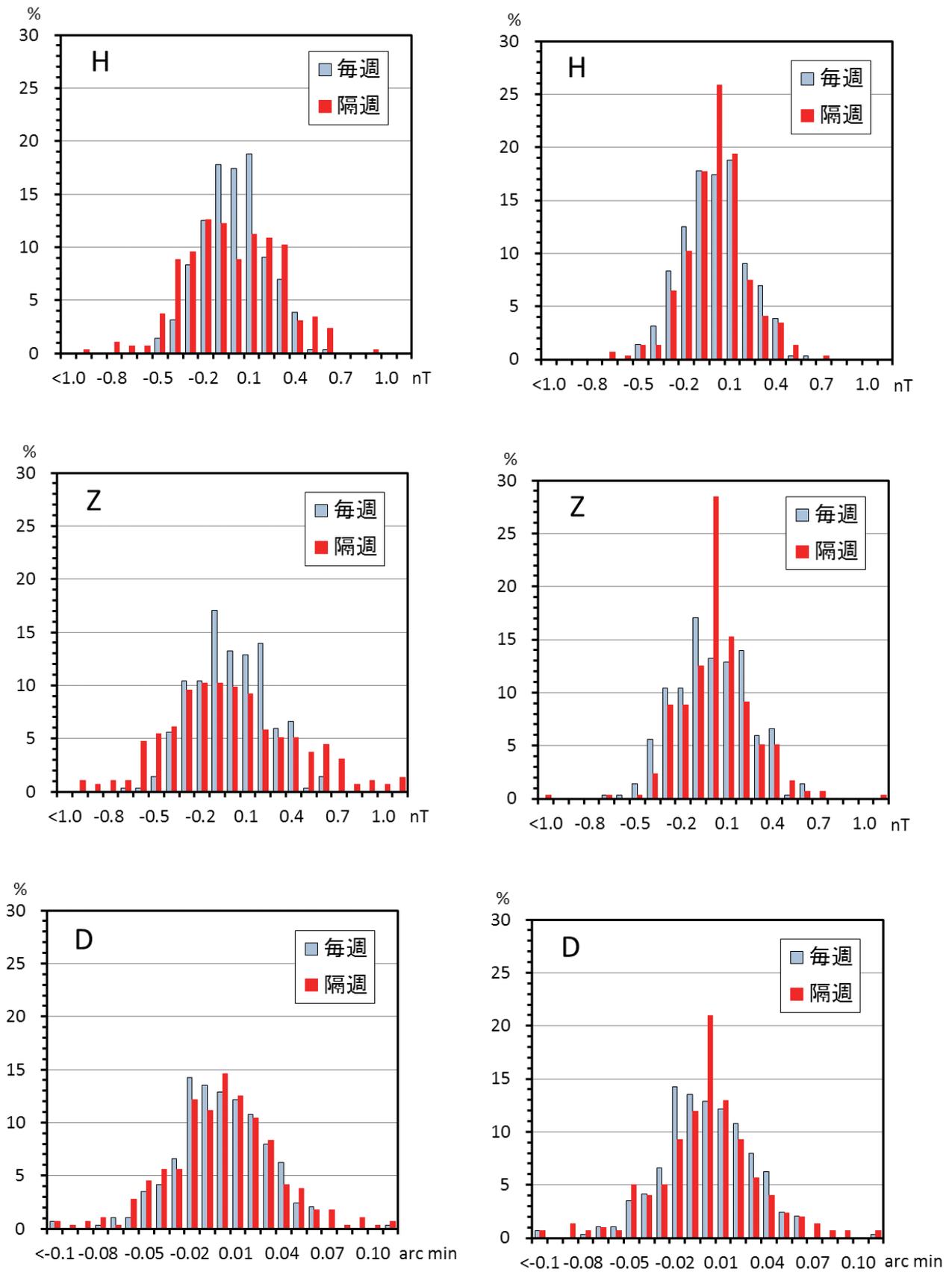


図 13 毎週観測 (青), 隔週観測 (赤) による補正基線値と予測値との差の頻度分布の比較
 左列は傾斜補正基線値と前 2 回の傾斜補正基線値から直線外挿した予測値との差の場合.
 右列の毎週観測については左列と同じ, 隔週観測は傾斜, センサー温度および地温補正を施した基線値と直前 1 ~ 3 回の補正基線値から求めた予測値との差. サンプル数は約 300.

表2 女満別、鹿屋における毎週および隔週の絶対観測における観測基線値と予測値との差の標準偏差と再観測頻度
従来手法は傾斜, センサー温度補正した補正基線値と, 過去2回の補正基線値を直線外挿して推定した予測値との差を利用.
新手法は地中温度も加味した補正基線値と, 直前1~3回の補正基線値からの予測値との差を利用.

		H	Z	D
女満別	標準偏差			
	毎週 (従来手法)	0.21nT	0.24nT	0.030'
	隔週 (従来手法)	0.30nT	0.43nT	0.036'
	隔週 (新手法)	0.20nT	0.22nT	0.033'
	再観測頻度 (%)			
	毎週 (従来手法)	18	24	28
	隔週 (従来手法)	33	46	35
鹿屋	標準偏差			
	毎週 (従来手法)	0.25nT	0.37nT	0.050'
	隔週 (従来手法)	0.28nT	0.33nT	0.060'
	隔週 (新手法)	0.24nT	0.28nT	0.049'
	再観測頻度 (%)			
	毎週 (従来手法)	20	21	47
	隔週 (従来手法)	26	33	61
隔週 (新手法)	19	16	45	

とはないが (図は省略), 隔週観測となった場合は O-C が基準を超えることになり, 再観測が必要となる. 一方, 新手法では基準内となり, 観測値に問題はないと判定される.

図 11 には 2006 年から 2011 年までの絶対観測で得られる, 毎週観測による従来手法による H 成分基線値の O-C (青線) と隔週観測となった場合の, 従来手法 (上図の赤丸) と新手法 (下図の赤丸) による O-C を示す. この図では毎週観測で基準を超え, 再観測となった観測基線値を×印で表示している. 図 12 には各成分について毎週観測データに対し従来手法で求めた O-C (青線) と隔週観測データに対し新手法を適用して求めた O-C (赤丸) を示す. 図 11, 12 とも赤色の直線は再観測を行うかどうか判定するための基準 ($\pm 0.3nT, 0.03'$) である. 図 11 から分かるように, 隔週観測データに対して

従来手法で再観測が必要かどうかの判定を行うと, 毎週観測では問題なかった観測に対しても, 夏季には毎回のように再観測が必要となってしまふ. 一方, 新手法では再観測の判定基準を超える観測は少なくなっている.

図 13 に女満別の各成分の O-C の頻度分布を示す. 左列は従来手法によって求めた毎週, 隔週観測による O-C の頻度分布であり, 右列は毎週観測のデータに対し従来手法によって求めた O-C と, 隔週観測のデータに対して新手法によって求めた O-C の頻度分布である. 表 2 には女満別, 鹿屋において毎週観測した場合と隔週観測となった場合の O-C の標準偏差と O-C が基準を超え再観測となる割合を示す. 従来手法では隔週化によって O-C の標準偏差は大きくなり, 3 回に 1 回あるいはそれ以上に再観測が必要となり, 頻繁に再観測を行わないように

するためには再観測を行うかどうかの判定基準を改める必要がある。一方、新手法を用いると、O-Cの標準偏差、再観測となる割合とも毎週観測の従来手法と同程度、あるいはそれよりも小さくなり、隔週観測としても再観測の頻度を増やすことなく観測基線値の精度を維持できると言える。図12や図13、表2に示すように、Z成分に比べ、D成分では新手法による改善の効果は小さいが、これは方位標の読み取りや、経緯儀の設置状況の変化など、別種の問題によるものと考えられる。

6. まとめ

女満別のフラックスゲート磁力計96FMに対する観測基線値に対し、96FMのセンサー温度、傾斜とともに、女満別空港の気温データから求めた地温代替値の影響を補正した地温補正基線値を求めた。2006～2011年の地温補正基線値は、各成分とも、ほぼ1nT、0.1'の範囲内で直線的に変化していた。1回前から3回前の地温補正基線値から2週間後の予測値を求め、この予測値と地温補正基線値の差O-Cで、絶対観測の再観測を実施するかどうかの判定を行う方法を提案した。この手法を用いると絶対観測を隔週に実施した場合でもO-Cを毎週観測による現行の手法（センサー温度および傾斜補正を施した基線値を用いて、前2回の値を直線外挿し求めた予測値と比較する方法）で求めたO-Cとほぼ同程度にすることが可能であり、再観測を実施するかどうか判定するための基準として、従来の値を用いても、再観測の頻度はこれまでの毎週観測の場合と同程度となった。

鹿屋についてもフラックスゲート磁力計95FMに対する観測基線値、95FMのセンサー温度、傾斜および鹿屋地域気象観測所の気温データを用いて同様の解析を行った結果、隔週観測となっても、地温補正基線値と予測値との差、再観測の頻度とも、従来と同程度になることが分かった。

本研究で用いた予測手法に、大和田 他 (2013) が求めた、傾斜、センサー温度、地中温度に対する応答係数を適用し、表計算ソフト上で簡便に、絶対観測の良否判定を行えるツールを作成し、2012年より、再観測を実施するかどうか判断するための参考資料として活用している。

参考文献

- 地磁気観測所，観測指針－絶対観測，変化観測－，地磁気観測所技術報告，第26巻特別号，238p，1987.
- 地磁気観測所，観測指針－地電流観測，空中電気観測，FT型磁気儀－，地磁気観測所技術報告，第34巻特別号，122p，1994.
- 藤井郁子，大和田毅，源泰拓，女満別・鹿屋における絶対観測頻度と精度のシミュレーション，地磁気観測所テクニカルレポート，9，1-6，2012.
- 小池捷春，地磁気絶対観測頻度の検討，地磁気観測所技術報告，37(3-4)，1-9，1998.
- 小池捷春，室松富二男，菅原政志，FLUX GATE 磁力計の毎日基線値－過去採用値の検討－，地磁気観測所技術報告，24(1-2)，1-8，1984.
- 三島稔明，大和田毅，森山多加志，石田憲久，吉武由紀，長町信吾，源泰拓，山崎俊嗣，小田啓邦，地磁気観測所構内の土壌磁化特性と地磁気観測値に対する影響，CA研究会論文集2011，61-66，2011.
- 森永健司，長町信吾，生駒良友，大和田毅，鹿屋観測施設における絶対観測時の人工擾乱について－絶対観測時の人工擾乱の発生状況と擾乱補正方法－，地磁気観測所テクニカルレポート，10(2)，51-58，2013.
- 西村三治，有田真，森山多加志，橋本雅彦，菅原政志，石田憲久，長谷川浩，全磁力観測における年周変動調査，地磁気観測所テクニカルレポート，7，9-13，2010.
- 大和田毅，森山多加志，森永健司，基線値における環境要素の影響補正とその効果－複数磁力計基線値の比較，地磁気観測所テクニカルレポート，10(2)，21-35，2013.
- 大和田毅，徳本哲男，山田雄二，小嶋美都子，熊坂信之，横山恵美，菅原政志，小池捷春，清水幸弘，新システム：地磁気変化量観測装置の概要，地磁気観測所要報，26，1-14，1998.

**Advanced method to predict variations of baseline values of
absolute magnetic observations and frequency of
re-observations**

by

Keiichi FUKUI, Takeshi OWADA and Kenji MORINAGA

Kakioka Magnetic Observatory

Received 15 January 2013; received in revised form 15 February 2013;
accepted 4 March 2013