

## 道東地域の地磁気絶対測量（続報）

橋本武志・茂木 透（北大理）・清水淳平・井 智史（地磁気観測所女満別）

### Absolute magnetic measurements in the eastern Hokkaido (2)

Takeshi Hashimoto, Tohru Mogi (Fac. Sci. Hokkaido Univ.)

Junpei Shimizu, Tomofumi I (Memambetsu Magnetic Observatory, JMA)

#### Abstract

Hokkaido University operates eight continuous magnetic stations in the eastern Hokkaido. It was previously reported that rates of secular change in the differential total field shows a systematic spatial pattern in this region, suggesting the piezomagnetic effect which may be related to the plate motion. We measured magnetic declinations and inclinations at these stations. Such angular measurements enabled us to evaluate an apparent change due to so-called the orientation effect, which is inherently contaminated in the differential total field. We found that such apparent changes were not so large compared to the real ones which differ from site to site. As it is also found that recent trends of such secular variations considerably differ from those measured in the 1990s, the piezomagnetic model which was proposed in Nishida et al. (2004) should be revised in the future. We also examined long term changes at some 1st-order magnetic sites of GSI and found that such an anomalous magnetic change may have a length scale of at least 100 km in EW direction. To focus on the tectonomagnetic changes, discrimination of a core-origin secular change will be necessary.

#### 1. はじめに

北海道東部は、太平洋プレートの沈み込みに関連して地殻に歪みが生じる地域である。この地域では、1970年代から地震や地殻変動に伴う重力や地磁気の異常とその変化を検出するための観測が展開されてきた。1994年以降、地震予知計画の一環として、北海道大学がプロトン磁力計による全磁力連続観測点の整備を始めた。移設や欠測期間を経ながらも全磁力の観測は続けられ、2010年現在では8箇所観測が行われている（第1図）。

本研究の主目的は、道東地域の地磁気全磁力差永年変動が地震の準備過程における応力磁気効果であるとする Nishida et al. (2004) の仮説を検証することにある。そのための手順は次の通りである。

- (1) 各観測点における地磁気偏角・伏角を測定する。これにより、全磁力連続データに含まれる orientation 効果 (DI 効果) による見かけの永年変動を評価・補正する。
- (2) 各磁気点における三成分の永年変動場を継続的に測定する。これにより、想定される応力磁気効果モデルを三成分で検証できるようになる。また、将来、根室沖地震によるコサイスマミックな変化が生じるかどうかを確かめる。

このような方針のもとで、我々は 2009 年から道東地域の全磁力観測点で、順次三成分絶対測量を開始した。これまでのところ、2009 年 11 月に厚岸 (AKS)・標茶 (SHI)・仁多 (NIT) の 3 箇所、2010 年 10 月に厚岸北 (AKN)・初田牛 (HTU)・別海 (BTK)・仁伏 (NIB) の 4 箇所において絶対測量を実施した。本報告では、測量結果とともに、現時点で明らかになった道東地域の永年変化の特徴について考察する。

## 2. 測定方法

2009年の測量では、絶対方位測定のために仮の指標点を設け、絶対磁気点との位置関係をGPS測量で得るという方法を用いた。2010年の測量では、方位測定の精度を上げるため、東大地震研所有のジャイロステーション（ソキア・トプコン製ジャイロ GP1X およびトータルステーション SETX）をお借りして真北を決定した。ジャイロを利用すると、天測を行うことなく真北精度を確保することができる（精度公称値：標準偏差 20"）ため、測定場所や測定時間帯に関する自由度は高くなる。偏角・伏角の測定には、非磁性セオドライトに一軸フラックスゲート磁力計を搭載した FT 型磁気儀 MAG-01H を使用した。全磁力測定には、北海道大学所有のオーバーハウザー磁力計 GSM-19 を使用した。なお、2009年の測定では地磁気観測所所有の FT 磁気儀を使用し、測定結果に対して器差補正（D:-2.5", I:-4.3"）を行ったが、2010年は京都大学地球熱学研究施設所有の同型磁気儀を借用し、器差補正は行っていない。以下、測定の手順を簡単にまとめる。

2010年の測量は10月19日から21日にかけて行った。測定は昼間に行い、絶対方位測定のための指標点として、見通しの良い方向の数100m程度の距離にある構造物を利用するか、もしくは三脚でマークを立てた。指標点の真方位はジャイロステーションで決定する。一方、FT型磁気儀によって地磁気方向と指標点方向のなす角が測定できるので、指標点の真方位を与えることによって地磁気偏角が得られる。FT型磁気儀は、絶対観測点に非磁性の三脚を立てその上に設置した。FT型磁気儀の中心位置の高さは、磁気点の杭上面から1mとした。また、絶対観測点から数10m離れた場所にF点を設け、そこにオーバーハウザー磁力計の検出器を支柱に取り付け非磁性三脚で垂直に固定した。検出器の高さは杭上から2.4mである。絶対観測点とF点の全磁力地点差は、絶対観測の前後2回、絶対観測点とF点の全磁力値をそれぞれオーバーハウザー磁力計で測定し求めた。F点では、絶対測量を行っている時間帯の全磁力を連続測定し、事後処理で水平・鉛直分力を求める際の時間変化補正に用いた。

## 3. 偏角・伏角測定の結果と orientation 効果の評価

2009年と2010年の測量結果をまとめて第1表に示す。海岸に近い厚岸（AKS）や初田牛（HTU）では、この地域の中では緯度が低いにも拘わらず、伏角が大きい。これらは、南岸域の高磁気異常を反映したしたものと考えられる。厚岸から根室半島にかけての地域では、磁気異常が特に局所的で、国土地理院の磁気異常図（過去の二等磁気測量をベースとしている）の空間分解能でも十分に表現されていない可能性がある。第1表には、参考のため国土地理院の磁気異常図から読み取った偏角・伏角値も示しているが、実測値との食い違いはこうした局所的な磁気異常が主な原因であろう。

次に、女満別との間で全磁力の単純差をとる場合に含まれる orientation 効果を評価するために、以下のような処理を行った。まず、調べようとする磁気点の偏角・伏角と全磁力から、現在の三成分を求める。次に、女満別を含む道東地域の永年変動場が同様であると仮定して、女満別における三成分の変化場を、対象となる磁気点の三成分に対して過去に遡って重畳させる。この操作により、過去の任意の時点について、磁気点の全磁力値を合成することができる。その上で、女満別の全磁力との単純差をとれば、orientation 効果による見かけの全磁力永年変化が得られる。第2図は、女満別の1950年から2009年までの年平均値を用いて、厚岸（AKS）について処理を行った例である。1980年から2000年に注目すると、この期間に約8 nTの見かけ上の全磁力低下があったことがわかる。年変化率にすると0.4 nT/年である。しかし、これまでAKSで実測されてきた全磁力データで女満別との単純差をとると、同時

期には約 20 nT (1 nT/年) の増加傾向となっている (大島・他, 1994; Nishida et al., 2004; 橋本・他, 2010). 従って, orientation 効果を除去した真の全磁力永年変化は, +28 nT (1.4 nT/年) であったと考えられる.

他の磁気点についても同様の処理により評価したところ, 最近の全磁力差の永年変動は, いずれも orientation 効果では説明不可能であることが明らかになった (第3図). このことは, 観測された永年変動場の大部分は各地点に固有のものであり, 道東地域に一樣な変動場を仮定すべきでないことを意味している. また, このこと自体は, 応力磁気効果仮説をサポートする結果ともいえる. ただし, 最近の変化率は, Nishida et al. (2004) が報告した 1990 年代の変化率とは, かなり異なってきた (第4図). なかには, 1990 年代には減少傾向にあったものが, 最近は増加に転じている地点もあり, 永年変化の空間パターンは, Nishida et al. (2004) で提案された応力磁気効果モデルには, もはや合わなくなっている.

#### 4. 永年変動場の空間分布に関する検討

我々が観測している道東地域の永年変動場は, 結局のところどの程度の空間的広がりをもっているのだろうか. 限られた観測点だけでこれを考察するには限界がある. そこで, 国土地理院の一等磁気測量データも参照して, 長期的な変化について調べてみた. この地域には, 一等磁気点として根室・釧路・標津があり, 時間分解能は高くないものの, 長期に亘って三成分絶対測量が行われてきた (地点は第1図参照). 女満別との全磁力単純差 (女満別は年平均値を使用) を求めてみると, 長期の変化率は厚岸における値に匹敵することがわかった (第5図). 成分で見ると, 根室と標津では主として水平成分が, 釧路では水平成分と鉛直成分がともに変化しているようである (図は省略). このことから, 道東地域の永年変動場は, 厚岸から女満別にかけてのラインに集中した現象ではなく, プレート境界に平行な方向に少なくとも 100 km 程度のスケールを有していることが推測できる. このように広い変動場には, コア起源永年変動場の比較的短波長の成分が影響している可能性もあると思われる. 今後, こうした広域変動場の評価方法についても検討が必要である.

#### 5. 現時点でのまとめ

道東地域で北海道大学が展開している地磁気全磁力観測点における偏角および伏角を測定した. 道東地域で観測される全磁力差永年変動は orientation 効果では説明することができず, 大部分は地点固有の変化であることが明らかになった. 2000 年以降の永年変動の傾きは, Nishida et al. (2004) が報告した 1990 年代のものとは大きく異なっている. 地殻起源の永年変動場について考察するためには, 今後, 広域変動場を適切に評価・除去することが必要である. また, 応力磁気効果モデルの妥当性も再検討すべきであろう.

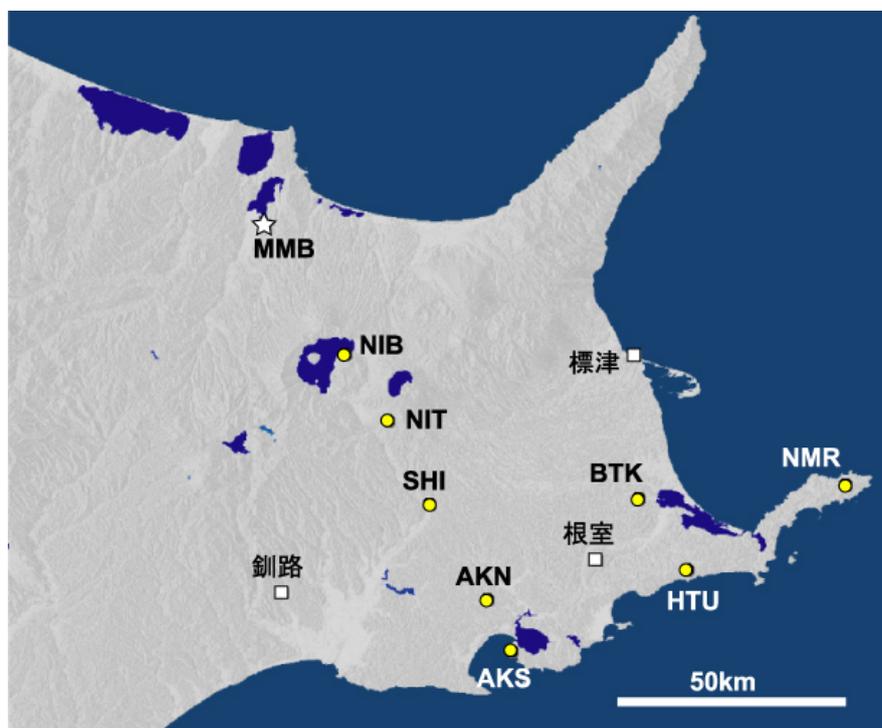
謝辞: 2010 年の観測では, 真北測定のため東京大学地震研究所のジャイロステーションをお借りしました. また, 本研究の一部に, 国土地理院の一等磁気測量のデータを使用しました. 本研究は, 文部科学省による「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」の支援を受けました.

## 参考文献

橋本武志・茂木 透・西村三治・有田 真, 道東地域の地磁気絶対測量, Conductivity Anomaly 研究会論文集, 2010.

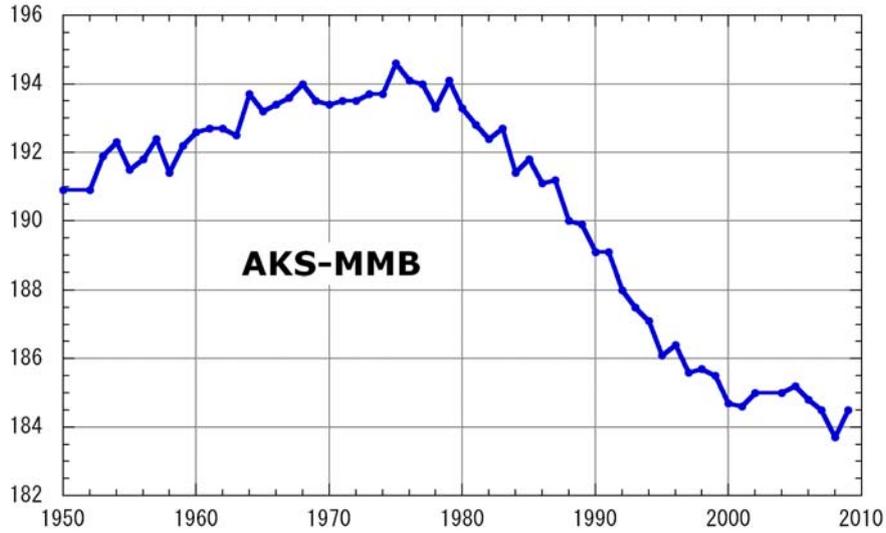
Nishida, Y., Y. Sugisaki, K. Takahashi, M. Utsugi, and H. Oshima, Tectonomagnetic study in the eastern part of Hokkaido, NE Japan: Discrepancy between observed and calculated results, Earth Planets Space, 56, 1049-1058, 2004.

大島弘光・前川徳光・宇津木充・西田泰典, 1993年釧路沖地震後の北海道東部における重力および全磁力の再測定, 北海道大学地球物理学研究報告, 57, 23-33, 1994.



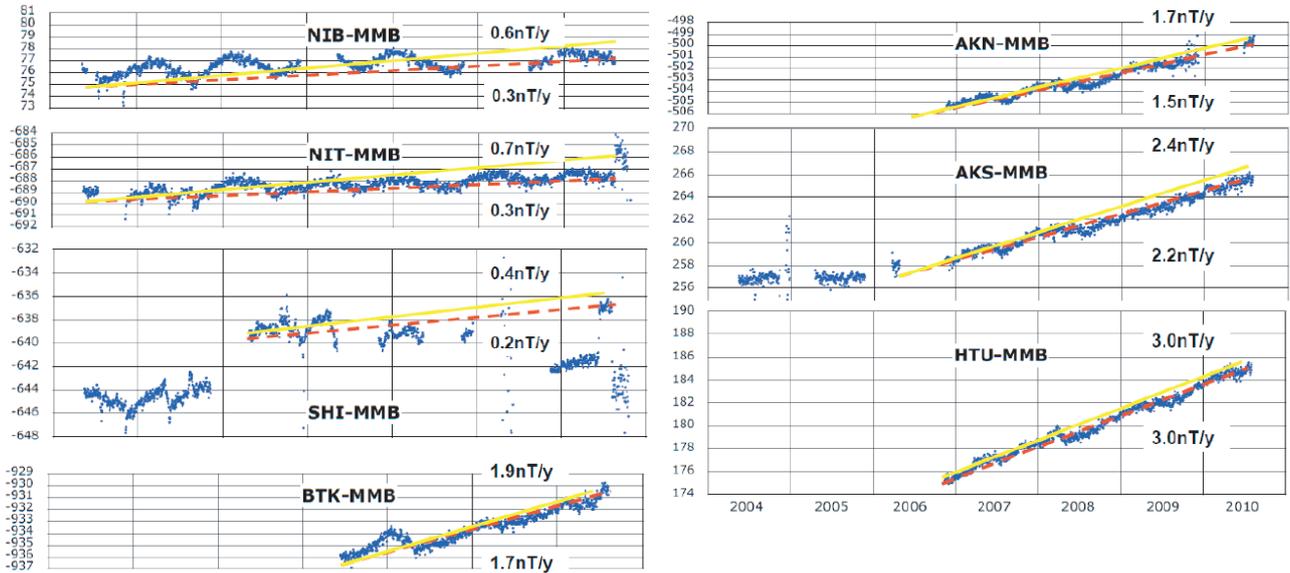
第1図：道東地域の磁気点分布。丸印は北海道大学の磁気点。MMBは気象庁地磁気観測所女満別出張所。四角印は国土地理院の一等磁気点。

Fig.1: Magnetic stations in the eastern Hokkaido. Circles indicate the magnetic stations of Hokkaido University. MMB denotes Memambetsu Magnetic Observatory of JMA. Rectangles show the 1st order magnetic repeat points of Geographical Survey of Japan.



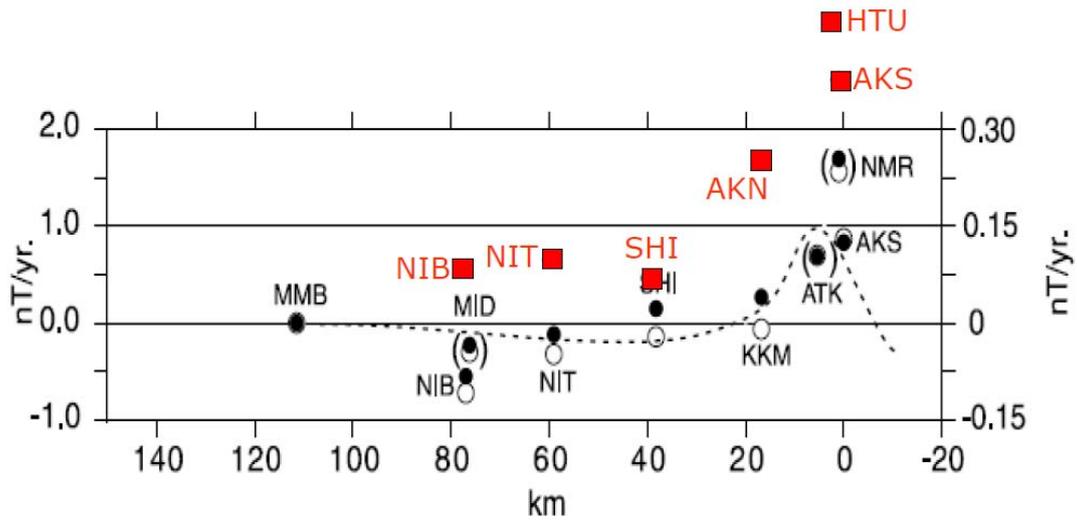
第2図：厚岸と女満別の全磁力単純差に想定される orientation 効果. 1970 年から 2009 年の時系列として表示. 2009 年時点の厚岸における偏角・伏角・全磁力と, 女満別の三成分年平均値データを用い, 共通の永年変動場を仮定して計算. 縦軸の単位は nT.

Fig.2: Estimated orientation effect from 1970 to 2009 in the simple total field difference between AKS and MMB. Three component secular variations are assumed to be common to the two stations. Unit of the vertical axis is nT.



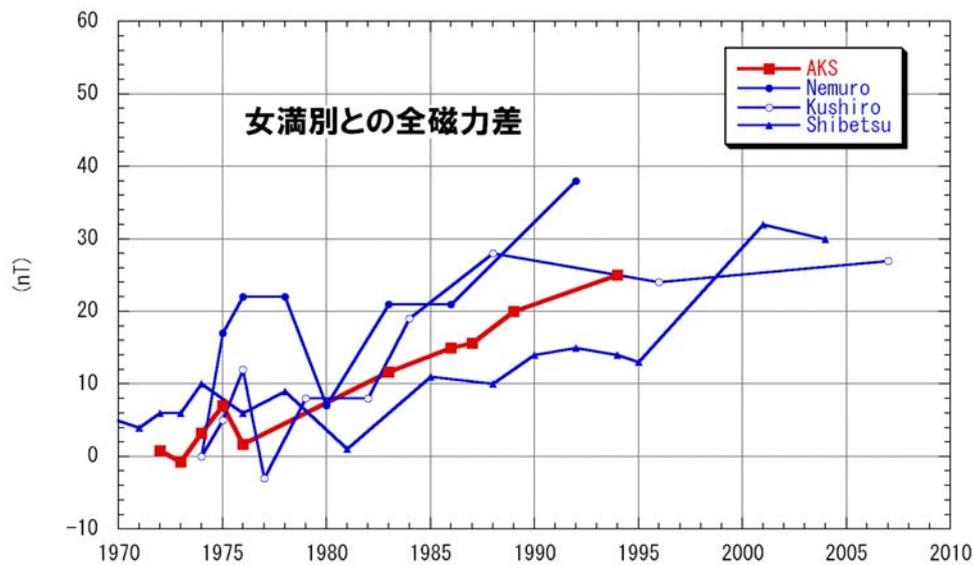
第3図：各磁気点における 2004 年から 2010 年の全磁力変化(女満別との単純差). 点線は直線で近似した変化トレンド. 実線は orientation 効果を除去した変化トレンドを示す. 縦軸の単位は nT.

Fig.3: Total field changes referred to MMB (daily averages of simple difference). Dashed lines are linearly fitted trends. Solid lines indicate the estimated trends without orientation effects. Unit of the vertical axis is nT.



第4図：各磁気点における全磁力差永年変動の変化率（女満別との単純差）。Nishida et al. (2004) に加筆。丸印はNishida et al. (2004) で報告された1990年代の変化率（左側の縦軸）。点線は応力磁気効果モデルから期待される変化率（スケールは右側の縦軸）。四角印は2004年以降の変化率（左側の縦軸）。

Fig.4: Rate of change in the total field referred to MMB. Original plot is from Nishida et al. (2004). Circles indicate the rates in 1990s which are reported in Nishida et al. (2004) (left axis). Dashed curve shows the piezomagnetic calculation (right axis). Rectangles indicate the rates after 2004.



第5図：国土地理院一等磁気点（釧路・根室・標津）における全磁力変化（女満別との単純差）。太線に四角印は厚岸における変化（大島・他, 1994）。

Fig.5: Total field changes at GSI 1st order repeat sites (Kushiro, Nemuro, and Shibetsu) as referred to MMB. The thick line with rectangles shows the change at AKS (Oshima et al., 1994).

第1表：本研究で行った絶対測量の結果（測定日：2009年11月10～12日，2010年10月19～21日）

Table 1: Results of the absolute measurements

偏角（declination）

注）偏角値の誤差範囲は，指標の位置をGPS測量した際の誤差に起因するもの．一方，「標準偏差」および「最大-最小」は，磁気儀による磁北測定値セット内でのばらつきから算出したもの．

磁気点	測量日時 (UT)	指標	偏角 (西偏)	標準偏差	最大-最小	観測 値数	地理院偏角図 2000.0	女満別 偏角
厚岸 (AKS)	2009/11/10 03h	1	7° 58.0' ± 11.7'	0.14'	0.30'	4	7° 50'	8° 45.4'
	2009/11/10 03h	2	8° 00.2' ± 17.5'			4		
標茶 (SHI)	2009/11/12 05h	1	8° 48.6' ± 10.6'	0.07'	0.28'	4	9° 00'	8° 45.2'
	2009/11/12 05h	2	8° 44.8' ± 13.5'			4		
仁多 (NIT)	2009/11/12 01h	1	9° 30.8' ± 23.3'	0.13'	0.10'	2	9° 10'	8° 42.6'
	2009/11/12 01h	2	9° 11.3' ± 15.6'			2		
厚岸北 (AKN)	2010/10/19 02h	1	8° 48.1'	0.20'	0.69'	4	8° 30'	8° 47.8'
別海 (BTK)	2010/10/20 01h	1	8° 46.6'	0.20'	0.73'	3	8° 20'	8° 46.4'
初田牛 (HTU)	2010/10/20 05h	1	8° 23.7'	0.06'	0.20'	3	7° 20'	8° 48.2'
仁伏 (NIB)	2010/10/21 03h	1	8° 41.3'	0.03'	0.18'	3	9° 10'	8° 47.4'

伏角（inclination）

磁気点	測量日時 (UT)	伏角	標準偏差	最大 - 最小	観測 値数	地理院伏角図 2000.0	女満別 伏角
厚岸 (AKS)	2009/11/10 03h	57° 34.0'	0.10'	0.14'	2	58° 20'	58° 9.6'
標茶 (SHI)	2009/11/12 05h	57° 06.1'	0.01'	0.03'	4	57° 00～10'	58° 9.5'
仁多 (NIT)	2009/11/12 01h	56° 58.7'	0.02'	0.05'	4	57° 20'	58° 9.5'
厚岸北 (AKN)	2010/10/19 02h	57° 57.8'	0.03'	0.02'	2	58° 00'	58° 12.3'
別海 (BTK)	2010/10/20 01h	57° 39.8'	0.02'	0.06'	3	57° 50'	58° 13.2'
初田牛 (HTU)	2010/10/20 05h	58° 16.4'	0.06'	0.07'	3	58° 50'	58° 11.7'
仁伏 (NIB)	2010/10/21 03h	57° 23.3'	0.04'	0.08'	3	57° 30'	58° 11.6'

全磁力 (total field)

磁気点	測量日時 (UT)	全磁力	標準偏差	観測値数	地理院全磁力図 2000.0 値	女満別 全磁力
厚岸 (AKS)	2009/11/10 03h	49,816.5 nT	0.54 nT	6	50,300 nT	49,629 nT
標茶 (SHI)	2009/11/12 05h	49,002.6 nT	0.17 nT	10	48,800 nT	49,637 nT
仁多 (NIT)	2009/11/12 01h	48,861.6 nT	0.03 nT	10	49,200 nT	49,630 nT
厚岸北 (AKN)	2010/10/19 02h	49098.7 nT	1.76 nT	6	50,500 nT	49,646 nT
別海 (BTK)	2010/10/20 01h	48559.7 nT	0.22 nT	8	49,300 nT	49,638 nT
初田牛 (HTU)	2010/10/20 05h	49753.0 nT	0.31 nT	8	49,500 nT	49,658 nT
仁伏 (NIB)	2010/10/21 03h	49689.6 nT	0.67 nT	8	49,200 nT	49,659 nT