

女満別観測施設の付属施設及び宿舎の一部解体撤去工事に伴う 絶対観測点への恒久的な影響量について

有田 真^{1*}, 大和田毅¹, 室松富二男², 徳本哲男^{3**}, 森永健司¹, 大川隆志^{1***}

¹地磁気観測所観測課, ²網走地磁気観測連絡事務所, ³地磁気観測所調査課

2016年2月20日受領, 2016年9月29日改訂, 2016年10月7日受理

要 旨

2014年9月から10月にかけて女満別観測施設構内にある不用施設の撤去工事が実施された。撤去された建物は、女満別絶対観測点から東北東約115mにある9号宿舎と物置1棟、同じく約160mにある8号宿舎と物置2棟の他、同観測点北側約105mから245mの範囲に点在する6棟の建物である。工事の影響を精度よく検知するために臨時の観測体制をしき、構内の複数の磁力計による連続観測と構内環境監視観測点での全磁力繰り返し観測結果から絶対観測点への影響量を求めた。これまでも人工擾乱により絶対観測点が恒久的な影響を受けることはあったが、その場合擾乱源は、1箇所に限定されていた。今回は同時に複数の擾乱源により絶対観測点が影響を受ける初めてのケースであり影響量の算出は困難であったが、複数の擾乱源がある場合でも影響量を算出できる新たなプログラムを開発し影響量を算出した。

1. はじめに

気象庁地磁気観測所女満別観測施設では1952年1月から地磁気観測を行っており、現在はフラックスゲート磁力計（島津製作所製）による、地磁気3成分の変化観測値を月に2回行う地磁気絶対観測値で補正することで連続した地磁気絶対値を公表している。ここで地磁気絶対観測とは、地磁気の向き（偏角及び伏角）を測定する角度測定器と、地磁気の大さ（全磁力）を測定する磁力計を組み合わせることで女満別観測施設地磁気絶対室内にある絶対観測点で行われる。

地磁気が時間変動する原因の一つに地球内部の変化を起源とする地磁気永年変化があり、これは数ヶ月から数年以上の時間スケールをもつ変動である。したがって、地磁気永年変化を評価するためには同じ観測環境でかつ長期的に地磁気変動を観測する必要がある。しかし、人工的なノイズによって一時的でなく恒久的な観測環境の変化（以降、恒久的な人工擾乱という）が生じた場合、観測環境変化の発生

前後で地磁気データに不連続が生じて、地磁気永年変化のような長期的な地磁気変動の評価の障害となる。

本報告で述べる2014年9月から10月にかけて実施された女満別観測施設の付属施設及び宿舎の一部解体撤去工事（以下、2014年撤去工事）までのおおよそ60年間に、絶対観測点は3回（2002年、2005年、2013年）恒久的な人工擾乱を受けた。地磁気観測所では、その都度影響量を算出しこれらの影響量を観測データに補正することで永年変化量をみることができた連続した地磁気絶対値を公表してきた。2002年の恒久的な人工擾乱発生時は絶対観測点から東に約200m離れた観測施設構外に人工物が設置されたことによるもので影響量は偏角D: $-0.06'$ （西向き+）、伏角I: $+0.03'$ （下向き+）、全磁力F: $+0.1nT$ 。（以降D, I, Fと省略して記載。向きについても同様）。2005年の恒久的な人工擾乱発生時はその人工物が絶対観測点から東に約180mの位置に移動したことによるもので影響量はD: $+0.17'$ 、I: $-0.02'$ 、F:

+0.2nT. 2013年の恒久的な人工擾乱発生時は絶対観測点から北北東に約130m離れた観測施設構内の不用庁舎の撤去によるもので影響量はD: +0.06', I: +0.02', F: +0.1nTであった. 過去3回の人工擾乱源は全て1箇所であり, 2002年, 2005年は, 擾乱発生前後の複数の磁力計データの変化から擾乱源を1点(点源)の磁気ダイポールモーメントと仮定して計算するソフトウェア myDist (徳本 他, 2002) (以下 myDist) 等を用いて影響量を算出した. 2013年における影響量の算出では, 擾乱源と絶対観測点との間の距離が約130mと近いこともあり擾乱源の形状を考慮せず, 点源である磁気ダイポールモーメントで近似することは妥当でない可能性が考えられた. そこで擾乱源を磁気ダイポールモーメント, 及び実際の擾乱源の形状に近い直方体型の磁性体で近似した場合についてそれぞれ解析を行った. 両者の解析結果について比較検討を行った結果, 擾乱源を直方体型の磁性体で表現した場合の算出結果が妥当であることが分かった.

2014年撤去工事では, 建物8棟及び物置3棟が撤去された. 工事はある程度, 場所と期間を指定して行われたが, これまでの3回とは異なり同時に複数の擾乱源により絶対観測点が影響を受ける初めてのケースとなった. 本報告では, 2014年撤去工事により発生する絶対観測点への影響量を求めるために行った観測体制とその観測結果, そして恒久的な影響量を求めた解析方法について述べる.

2. 2014年撤去工事の内容と予想される恒久的な影響量

2014年9月から10月にかけて, 図1に示す建物8棟及び物置3棟が解体撤去され跡地は土砂で整地された. 解体撤去された建物は, 9号宿舎, 8号宿舎, 燃料庫, 旧変化度観測室, 整備庫, トラクター車庫, 官用車庫, 電源室及び宿舎付属の物置3棟である. 表1に解体撤去される建物の構造, 建面積, 推定使用鉄材量及び絶対観測点までの距離と推定影響量を, 絶対観測点への推定影響量の大きい順に示す. 使用されている鉄材量の資料は無いため, 推定使用

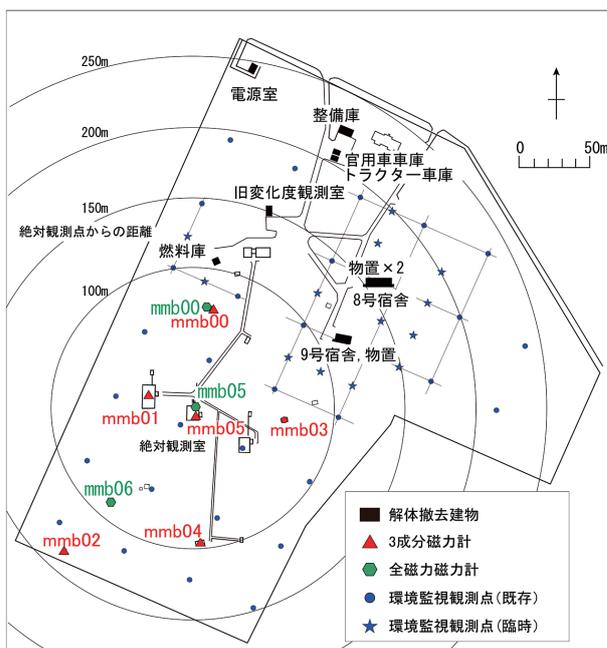


図1 解体撤去される建物と工事期間中の観測点配置図

表1 解体撤去される建物の構造等及び絶対観測点への推定影響量. CB: コンクリートブロック造.

通番	建物名称	構造	建面積 [m ²]	鉄材量				0.1nT の影響が 及ぶ推定 最大距離 [m]	絶対観測点		
				1m ² あたりの鉄材料 係数[t/m ²]		推定 使用鉄材量 [t]			距離 [m]	推定影響量 [nT]	
				最小	最大	最小	最大			最小	最大
1	9号宿舎	CB	60.36	0.06	0.11	3.62	6.64	160	115	0.15	0.28
2	8号宿舎	CB	103.42	0.06	0.11	6.21	11.38	191	159	0.10	0.18
3	燃料庫	CB	11.28	0.06	0.11	0.68	1.24	92	105	0.04	0.07
4	旧変化度観測室	CB	30.12	0.06	0.11	1.81	3.31	127	150	0.03	0.06
5	整備庫	鉄骨	45.03	0.15		6.75		161	225	0.04	
6	トラクター車庫	鉄骨	22.26	0.15		3.34		127	208	0.02	
7	物置(9号用)	鉄骨	3.08	0.15		0.46		66	119	0.02	
8	官用車庫	CB	17.64	0.06	0.11	1.06	1.94	106	203	0.01	0.01
9	電源室	CB	28.6	0.06	0.11	1.72	3.15	125	245	0.01	0.01
10	物置(8号用)	鉄骨	3.08	0.15		0.46		66	151	0.01	
11	物置(8号用)	鉄骨	3.08	0.15		0.46		66	166	0.01	
	合計						39.1			0.4	0.7

鉄材量は鉄骨構造で $0.15\text{t}/\text{m}^2$ 、鉄筋コンクリート建で $0.11\text{t}/\text{m}^2$ 、コンクリートブロック建で $0.06\text{t}/\text{m}^2$ （地磁気観測所，1987）を参考に、コンクリートブロック造（CB）の建物については $0.06\sim 0.11\text{t}/\text{m}^2$ 、鉄骨の建物については $0.15\text{t}/\text{m}^2$ とした。各地点での推定影響量は、「1トンの鉄によってその鉄から40m離れたところに作られる磁場の大きさはおよそ1nTである」という比較の実測値に近い基準（Breiner, 1973）を用いて求めた。絶対観測点への恒久的な影響量は、絶対観測点と各建物の位置関係は考慮せず全建物についての影響量を合計すると $0.4\sim 0.7\text{nT}$ と推算された。この値は、地磁気観測所が定めている女満別観測施設において絶対観測値が満たすべき信頼性の基準 $\pm 0.3\text{nT}$ 以上である。工事は、絶対観測点への影響量が大きいと推定された9号宿舎（推定最大影響量 0.28nT ）と8号宿舎（推定最大影響量 0.18nT ）のそれぞれの影響量を分離し易いように、9号宿舎を最初に、8号宿舎を最後に行った。

3. 臨時観測体制

恒久的な影響量を監視するために以下に示す通りの観測体制をとった。工事期間中の観測点配置を図1に、環境監視観測点名と位置を図2に、連続観測点及び環境監視観測点の諸情報を表2にそれぞれ示す。環境監視観測とは、複数の観測点で時間において全磁力観測を行い、各観測点で得られる全磁力値の時間変化の分布からその間に全磁力値を変化させた擾乱源を推定するものである。工事の作業内容を考慮したうえで、環境監視観測日を基点として工事

をⅠ期（9月18日から10月2日）、Ⅱ期（10月2日から10月20日）、Ⅲ期（10月20日から11月6日）に分けた。Ⅰ期は主に9号宿舎解体撤去の期間、Ⅲ期は主に8号宿舎解体撤去の期間、Ⅱ期はその他の建物解体撤去の期間である。工事期間中は、既存の3成分連続観測（フラックスゲート磁力計5台（mmb00～mmb04））、既存の全磁力連続観測（オーバーハウザー磁力計1台（mmb00））、既存の環境監視観測（構内31点、50mメッシュ）に加え、絶対観測室内での臨時3成分連続観測（フラックスゲート磁力計1台（mmb05））、絶対観測室内及び旧全磁力連続観測点付近での臨時全磁力連続観測（オーバーハウザー磁力計1台（mmb05）、プロトン磁力計1台（mmb06））、解体撤去される建物付近の臨時環境監視観測（13点）を実施した（図1）。表2の位置情報は、携帯型GPS（Thales Navigation社製、Mobile Mapper）を使用して求めた緯度、経度及び標高データを元に、女満別絶対観測点の緯度（北緯43度54分36秒）における離心率を考慮した変換係数（ $30.86\text{m}/\text{緯度}1\text{秒}$ 、 $22.31\text{m}/\text{経度}1\text{秒}$ ）を用いて、絶対観測点を原点としたX（東+）、Y（北+）、Z（上+）座標へ変換したものである。臨時環境監視観測点の座標は、既存環境監視観測点間の内挿計算を元に求めた。

4. 観測結果

4.1 環境監視観測結果

環境監視観測点では、携帯型プロトン磁力計（GEOMETRIX社製G-856AX）を使用して10秒間隔で5～7回の全磁力観測を行った。この観測値を以後便宜上G856と呼びそれと同時刻のmmb00の全磁力値との差の平均値を求め、これに環境監視観測中のmmb00とmmb06との間の毎分値差の平均（以下では総合差とする）を加えて、mmb06を基準とした全磁力の平均値を求めた。初めから2014年撤去工事の影響を受けないと推定されるmmb06を基準にできればよいが、そうしなかったのはmmb06はその性能上毎分計測であり毎秒計測であるmmb00を介して最終的にmmb06を基準とする方が効率よく環境監視観測中の地磁気日変化の影響を取り除くことができるという利点のためである。そのmmb06を基準とした全磁力の平均値の2014年8月21日から11月21日の時系列変化を図3に示す。環境監視観測点全44地点で算出されたmmb06を基準とした全磁力の平均値の95%信頼区間の幅 e は、概ね $0.1\sim 0.2\text{nT}$ 、最大で 0.27nT であった。95%信頼区間の幅 e は次の計算式により求めた。

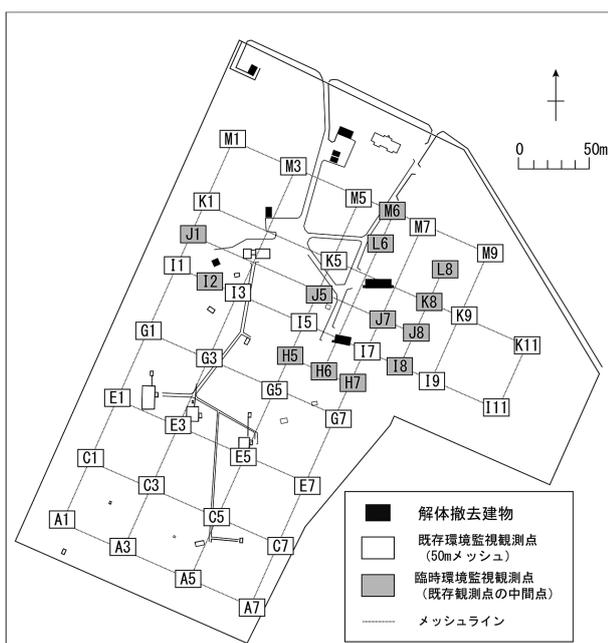


図2 工事期間中の環境監視観測点名と位置

表2 連続観測点及び環境監視観測点の諸情報。位置情報のX、Y及びZはそれぞれ原点を絶対観測点とした時の東西方向（東向きを正）、南北方向（北向きを正）及び鉛直方向（鉛直上向きを正）の座標を示す。

連続観測点

通番	観測点名	測器名称	測定項目	既存or臨時	位置[m]		
					X(東+)	Y(北+)	Z(上+)
1	mmb00	MB162	H, Z, D	既存	11.1	73.8	-6.5
2	mmb01	MB162	H, Z, D	既存	-29.0	3.1	-1.0
3	mmb02	MB162	H, Z, D	既存	-91.3	-103.1	-2.5
4	mmb03	MB162	H, Z, D	既存	69.0	-4.9	-6.0
5	mmb04	MB162	H, Z, D	既存	8.0	-91.7	-7.0
6	mmb00	GSM90	F	既存	11.1	73.8	1.0
7	mmb05	MB163	H, Z, D	臨時	1.8	-1.8	-0.2
8	mmb05	GSM90	F	臨時	3.0	1.0	-0.8
9	mmb06	PM215	F	臨時	-65.4	-71.0	-1.3

環境監視観測点

通番	観測点名	測器名称	測定項目	既存or臨時	位置[m]		
					X(東+)	Y(北+)	Z(上+)
1	A1	G856	F	既存	-95.7	-84.5	-1.1
2	A3	G856	F	既存	-51.1	-103.1	-2.1
3	A5	G856	F	既存	-6.5	-124.7	-5.0
4	A7	G856	F	既存	40.4	-143.2	-8.5
5	C1	G856	F	既存	-77.9	-38.2	-1.1
6	C3	G856	F	既存	-31.0	-53.7	-1.5
7	C5	G856	F	既存	18.1	-75.3	-4.0
8	C7	G856	F	既存	62.7	-96.9	-7.0
9	E1	G856	F	既存	-57.8	8.1	-0.7
10	E3	G856	F	既存	-10.9	-10.5	-1.1
11	E5	G856	F	既存	35.9	-29.0	0.5
12	E7	G856	F	既存	82.8	-50.6	-5.5
13	G1	G856	F	既存	-37.7	54.4	0.2
14	G3	G856	F	既存	9.2	35.8	0.0
15	G5	G856	F	既存	56.0	14.2	-0.4
16	G7	G856	F	既存	102.9	-4.3	-3.9
17	I1	G856	F	既存	-17.6	100.7	0.8
18	I3	G856	F	既存	27.0	82.1	0.1
19	I5	G856	F	既存	73.9	60.5	-1.0
20	I7	G856	F	既存	120.7	42.0	-3.2
21	I9	G856	F	既存	167.6	23.5	-7.6
22	I11	G856	F	既存	214.4	5.0	-6.3
23	K1	G856	F	既存	2.5	146.9	0.9
24	K5	G856	F	既存	93.9	106.8	-0.5
25	K9	G856	F	既存	185.4	69.8	-5.1
26	K11	G856	F	既存	232.3	51.3	-7.1
27	M1	G856	F	既存	20.3	193.2	0.1
28	M3	G856	F	既存	67.2	171.6	0.1
29	M5	G856	F	既存	114.0	153.1	-0.6
30	M7	G856	F	既存	160.9	134.6	-1.6
31	M9	G856	F	既存	205.5	116.1	-4.3
32	H5	G856	F	臨時	64.9	37.4	-0.7
33	H6	G856	F	臨時	88.4	28.1	-1.8
34	H7	G856	F	臨時	111.8	18.9	-3.5
35	I2	G856	F	臨時	4.7	91.4	0.5
36	I8	G856	F	臨時	144.2	32.8	-5.4
37	J1	G856	F	臨時	-7.6	123.8	0.9
38	J5	G856	F	臨時	83.9	83.7	-0.7
39	J7	G856	F	臨時	129.6	65.2	-3.2
40	J8	G856	F	臨時	153.1	55.9	-4.1
41	K8	G856	F	臨時	162.0	79.0	-4.1
42	L6	G856	F	臨時	127.4	120.7	-1.0
43	L8	G856	F	臨時	170.9	102.2	-4.1
44	M6	G856	F	臨時	137.5	143.9	-1.1

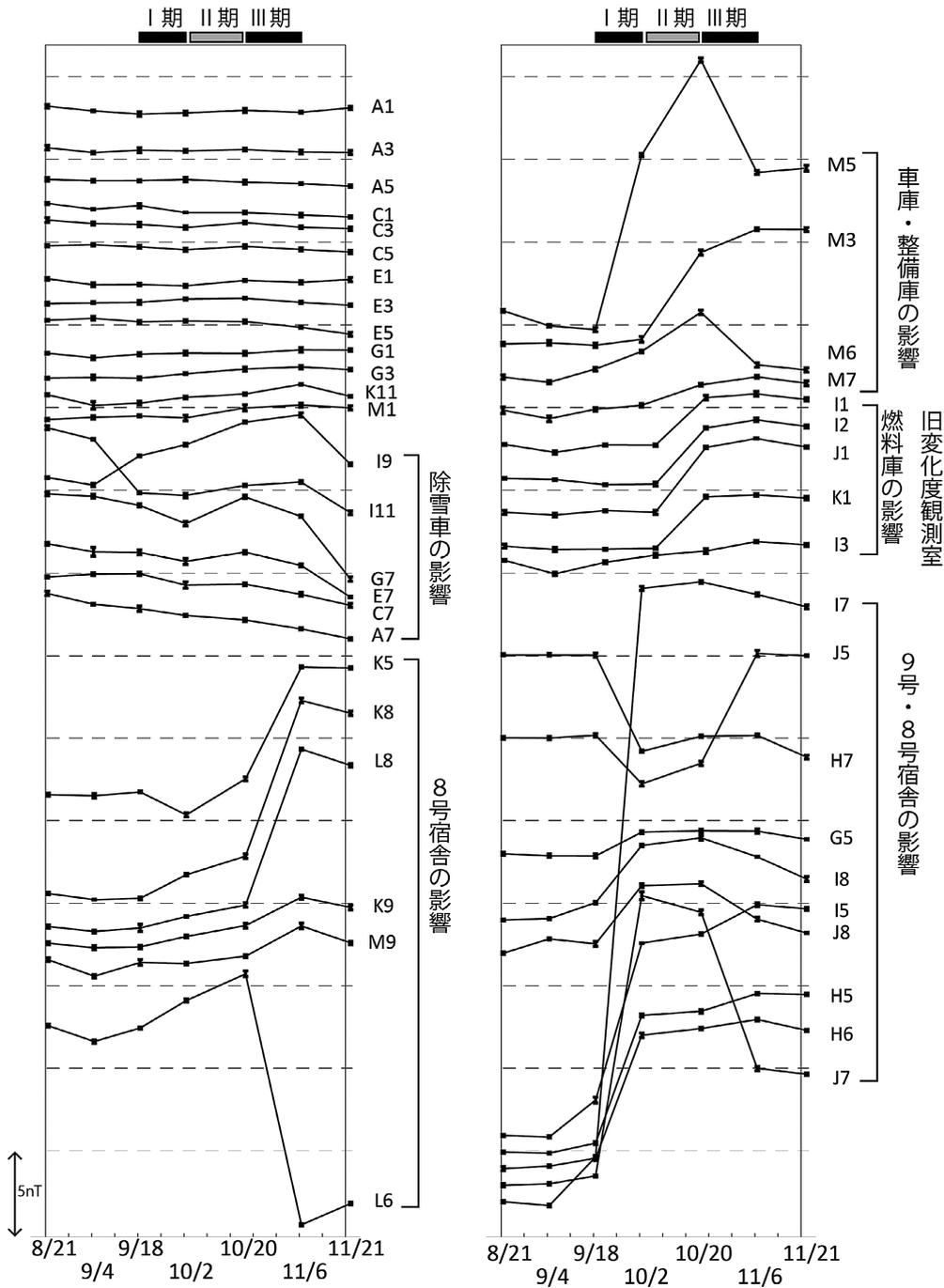


図3 全磁力による環境監視観測結果。エラーバーは95%信頼区間を示す。

$$e = t \times \sqrt{\frac{u_0^2}{n} + \frac{u_1^2}{m}}$$

ここで、 u_0^2, u_1^2 はそれぞれ G856と mmb00との差及び総合差の不偏分散、 n は環境監視観測点での観測回数、 m は総合差を求めるために使用した毎分値のデータ数、 t は自由度 ($n-1 + m-1$) の95%信頼区間に対応する T分布の値である。不偏分散及び t 値は、エクセルの関数 VAR.S, T.INV.2T (0.05, $n-1 + m-1$) を使用して計算した。工事期間中最大の変化を観測したのは、I7の+34.3nT、次いでJ7の+16.9nTで、

いずれも I期の9号宿舎解体の影響が及んだ観測点である。また、M5には車庫、整備庫の影響がみられ I期と II期を合わせた2期間で+16.2nTの変化を観測した。L6には III期の8号宿舎解体の影響で-15.2nTの変化を観測した。工事場所から比較的距離がある A列～G列のうち、工事期間中で前回観測値との差が最大のものは、G7 (II期) の+1.6nTであるが、これは普段から G7付近 (観測施設外) に駐車している除雪車の移動を観測者が確認しており、そのことが影響したと考えられる。同様の影響が工事期間後の E7, G7, I9, I11 (11/21-11/6) に

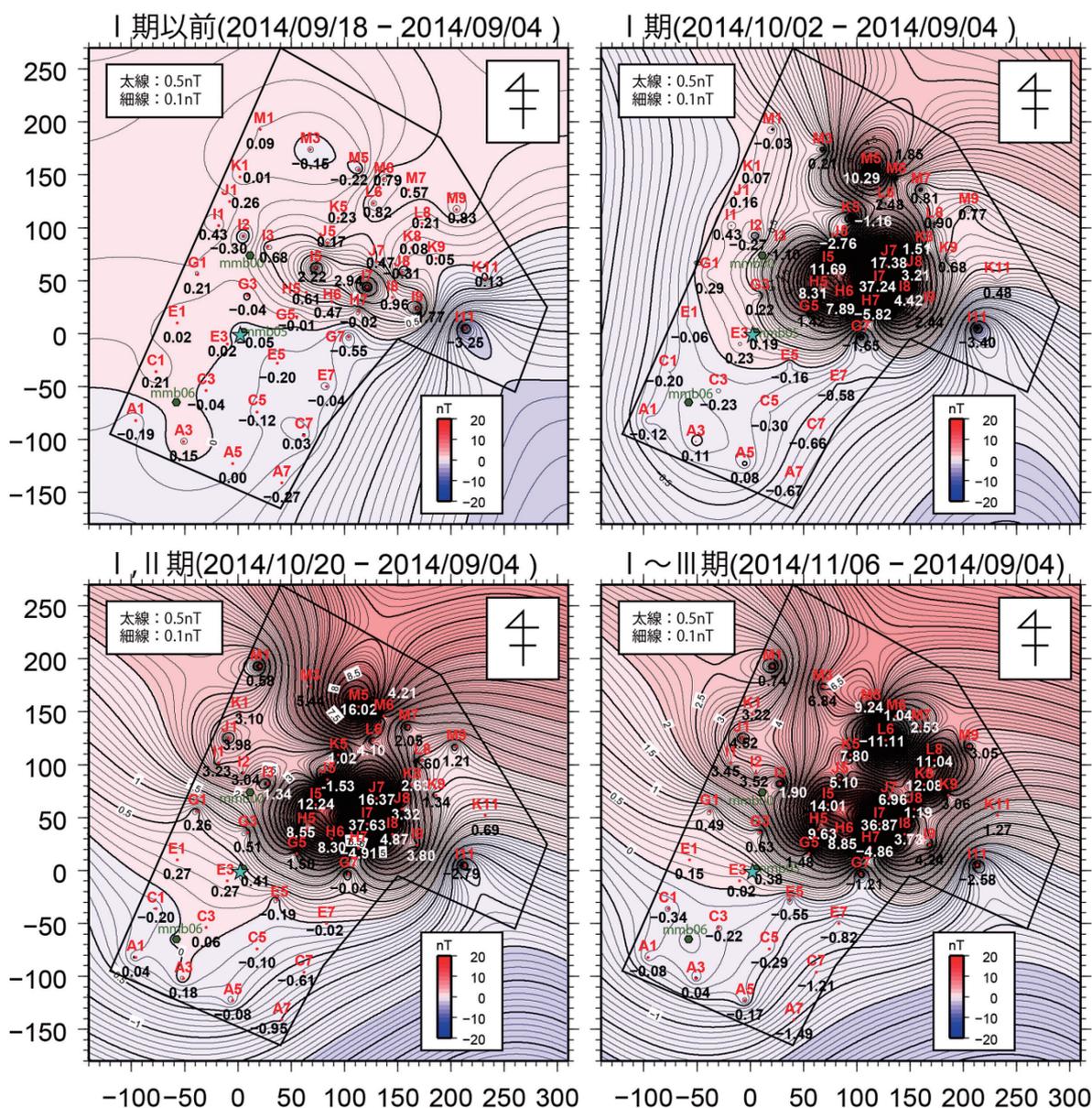


図4 全磁力観測値差の分布(9月4日を基準とした場合)。絶対観測点(★印)を原点として、横軸を東西方向、縦軸を南北方向にとり、距離(m)で表示。コンター間隔は0.1nT。

見られる。それを除いた最大の変化は、G5(I期)の+1.4nTで、これは9号宿舍の影響と推測される。またA7, C7には2014年撤去工事期間減少傾向が見られるが、昨年同期にも同程度の変化が観測されており、これは年周変化と思われる。

図4に工事前の9月4日を基準とした9月18日、10月2日、10月20日及び11月6日の全磁力観測値差の分布を示す。これらの図から、工事に伴う絶対観測点へのおおよその影響量が分かる。I期以前では絶対観測点への影響量の大きさは0.1nT以下で、I~III期の合計では+0.4nT程度である。

次に、各期間での全磁力観測値差の分布を示す(図5)。各期間ごとの絶対観測点への影響量は、I期で約+0.2~+0.3nT、II期で約+0.2nT、III期で約

-0.1~0.0nTである。

4.2 連続観測結果

図6に工事の影響から最も遠い地点にあるmmb02を基準とした各フラックスゲート磁力計の各成分(H(水平成分), Z(鉛直成分)及びD)の夜間値差の変化及び全磁力計mmb05もしくはmmb06を基準とした場合の全磁力計mmb00及びmmb05の夜間値差の変化を示す。ただし絶対観測による補正はしていない。夜間値差は、それぞれの磁力計の15h00m~17h59m(UT)の毎分値と同時刻の基準となる磁力計の毎分値との差の平均である。図6に示す各観測値のエラーバーは、夜間値差算出時の標準偏差であり最大でH, Z及びF成分についてはそれ

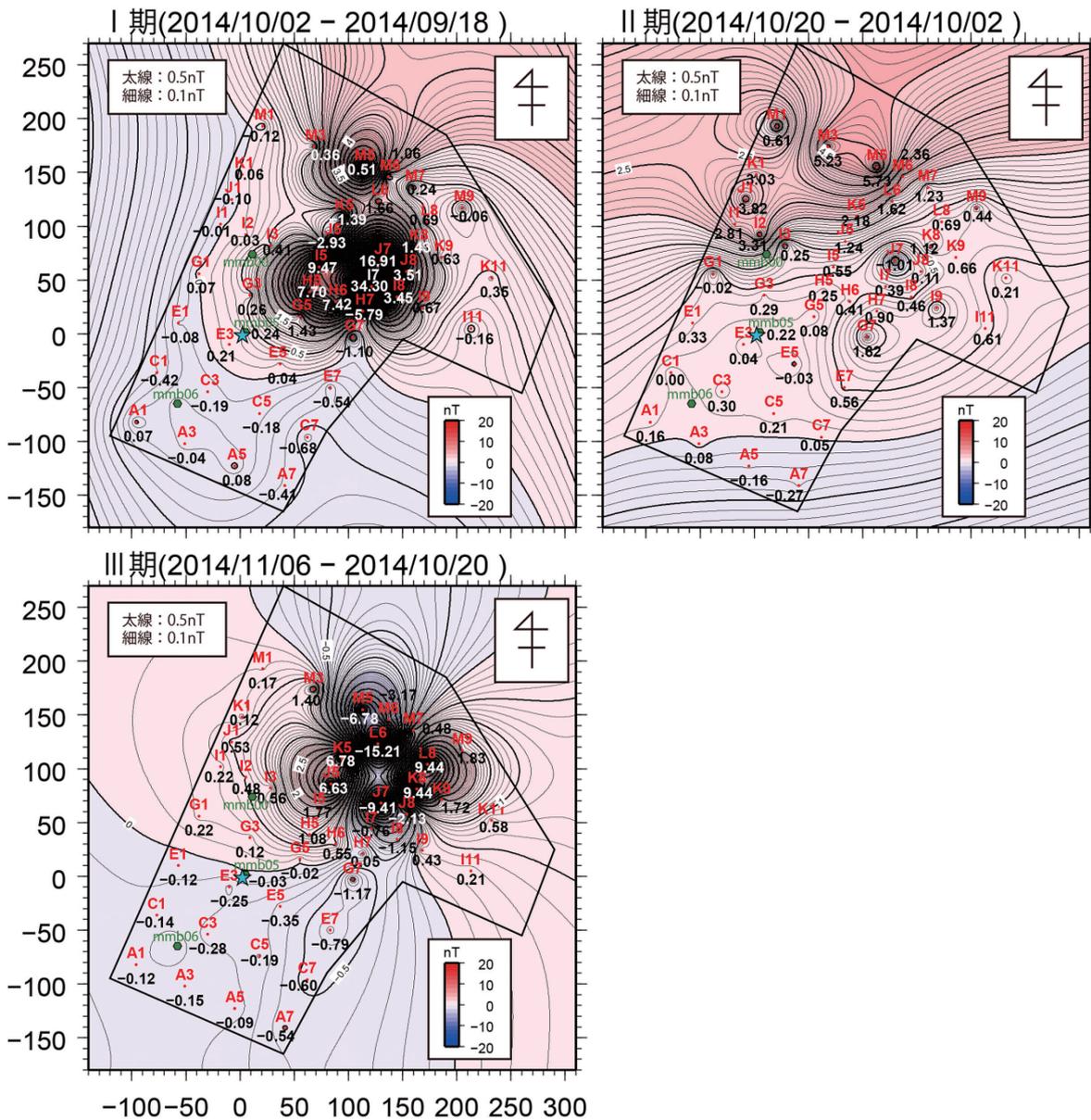


図5 各期間での全磁力観測値差の分布。絶対観測点(★印)を原点として、横軸を東西方向、縦軸を南北方向にとり、距離 (m) で表示。コンター間隔は0.1nT。

それぞれ0.2 nT程度、D成分については0.04'であった。
 フラックスゲート磁力計の変化を見ると、H成分はmmb03-02に10月5日頃から右上がり(増加)の変化が、Z成分は9月中旬頃から全ての磁力計で右上がりの変化が見られ、変化量は磁力計によって異なっている。D成分はmmb05-02が観測開始から右上がりの変化を示し、mmb04-02は9月中旬頃から横ばい(安定)、その他の磁力計は9月頃から右上がりの変化が見られる。工事期間中のこれらの変化の中に工事による影響が含まれている。
 3成分(H、Z及びD)と同じ縦スケールで表示した全磁力計の変化を見ると、横ばいで安定していることから、F成分については工事の影響量算出が3成分より精度良く求まると考えられる。図6のF

成分についてmmb05-06についてのみ表示レンジを拡大して示したものを図7に示す。工事期間中の変化は、I期:0.30nT、II期:0.13nT、III期:0.07nTで、合計で+0.50nTであった。

5. 恒久的な影響量を求める解析方法

擾乱源の形状による効果を評価するため、2013年における影響量の検討時に一様に磁化した直方体(19.2×9.0×4.0m、中は空洞で壁の厚さ0.3m)と点源の磁気ダイポールモーメントそれぞれが作る磁場の分布を算出して比較した。それによると、磁気ダイポールモーメントの直交3成分((Mx, My, Mz)、東西成分をMx、南北成分をMy及び鉛直成分をMzと表す)が(131.3, 6167.3, 6159.3) (Am²)

の直方体と点源の磁気ダイポールモーメントがつくる磁場の差は「擾乱源より概ね半径70m 以内の範囲で0.1nT, 概ね半径30 m 以内で1nT」という結果が得られている。表1の推定影響量は、前述の通り「1トンの鉄-40m-1nT」という基準によるが、ここでもその基準を用いると上記の磁気ダイポールモーメントは27.2トンの鉄が作る磁場に相当し、これが100m 離れたところで作る磁場の大きさはおよそ1.7nTである。表1の推定使用鉄材量はどれもこれ

より少ない。また、上述の直方体の大きさと比較して本報告で対象となる撤去建物は、これよりも全て小さいサイズである。これらを勘案すると、今回撤去される建物の中で、絶対観測点から最も近い建物である燃料庫までの距離は約105m であり、擾乱源の形状の違いによる差は0.1nT よりさらに小さくなると考えられ、形状による効果は無視できるものとして、擾乱源を点源の磁気ダイポールモーメントで近似することとした。

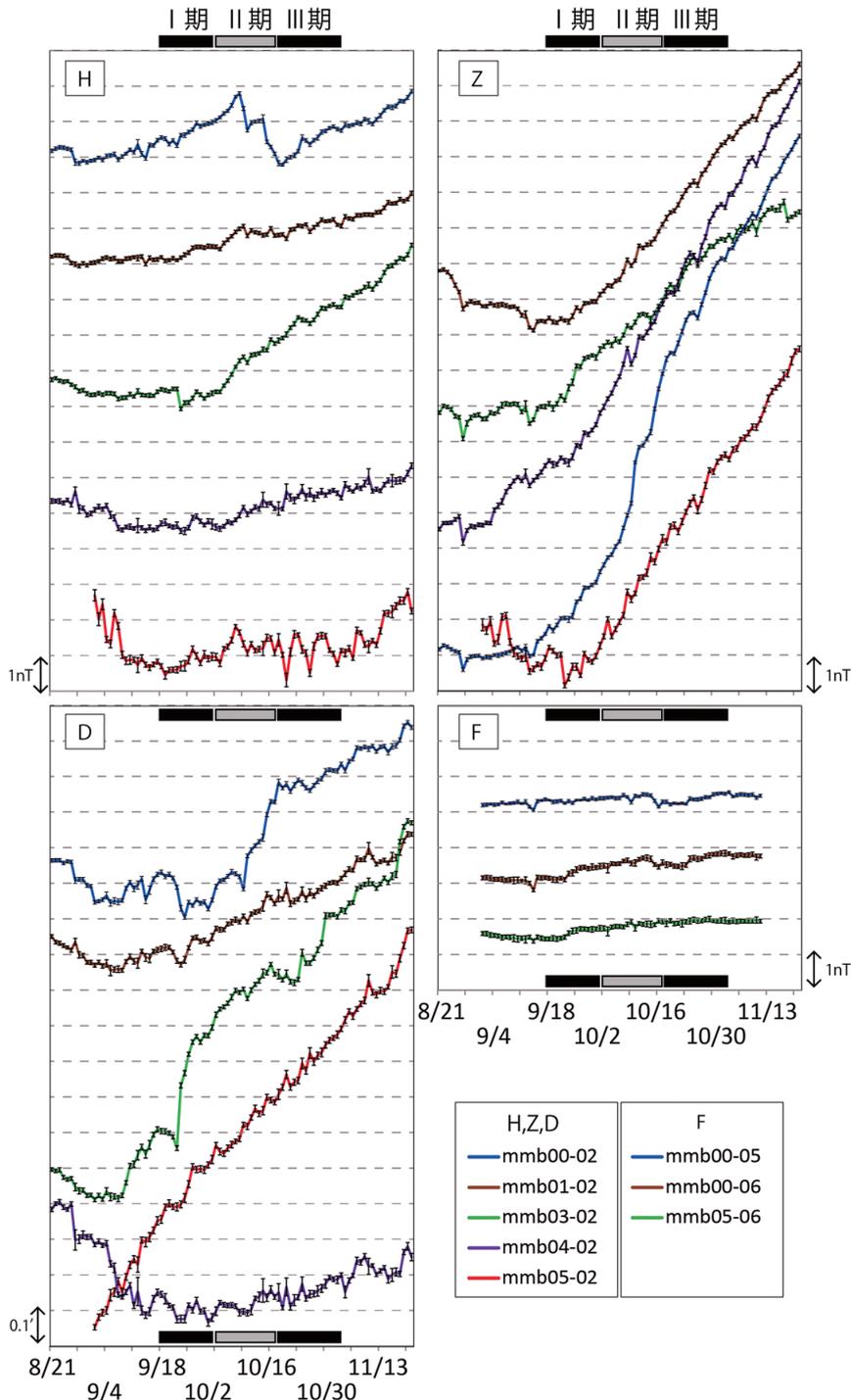


図6 基準となる磁力計との夜間値差の変化

これまでに絶対観測点が恒久的な影響を受けた過去3回のケースは全て擾乱源は1つである。一方、2014年撤去工事は、ある程度、場所と期間を指定して行われたが、連続点、環境監視観測点ともに同時に複数の工事の影響を受ける状況となり、Ⅱ期には7つの擾乱源の影響を受けた。このため複数の擾乱源にも対応して影響量を計算できるプログラム「磁気ダイポールモーメント擾乱.xls」を開発した。このプログラムは、エクセルのソルバーとよばれる最適化分析ツールを使用したもので、位置を指定した複数擾乱源の各磁気ダイポールモーメント（最大10箇所）の直交3成分（Mx, My, Mz）を変化させて観測値と計算値との残差2乗の総和が極小となる磁気ダイポールモーメントのベクトル成分を計算し、

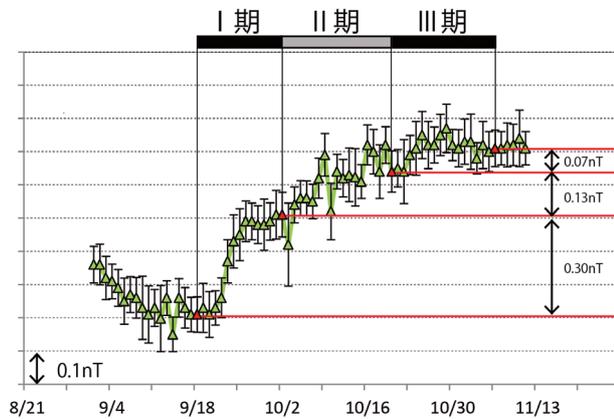


図7 mmb05-06の夜間値差の変化。エラーバーは夜間値差算出時の標準偏差を示す。

指定した位置での影響量を算出するものである。観測値はF成分は環境監視観測結果の前回値差を使用した。H, Z及びD成分は図6に示した連続点の夜間値差の前日差を使用して工事期間中の毎日の影響量を myDist で算出し、工事場所の情報と一致する位置に擾乱源が決定できた日についてのみ夜間値差の前日差を積算したものをを使用した。myDistの未知パラメータは擾乱源を表す磁気ダイポールがもつダイポールモーメントの直交3成分 (Mx, My, Mz) とその位置 (X, Y, Z) である。

なおⅠ期以前の9月4日から9月18日の期間については、図4及び図6で示した結果に加えて主な工事内容が足場（非磁性）の養生等であることから、絶対観測点への影響は無いと判断し、解析は行わなかった。また上に述べた解析方法とは別に、既存の解析方法を条件付で使用し影響量の算出を試みた。その目的は、両者の結果を比較することで既存の解析方法の良否を確認するためである。この結果については付録に記載する。

6. 絶対観測点への影響量とその信頼区間

各期間（Ⅰ期、Ⅱ期及びⅢ期）で指定した擾乱源と指定した位置及び、解析結果から求めた各擾乱源の磁気ダイポールモーメントの各成分を表3に示す。Ⅱ期とⅢ期では4.1環境監視観測結果の項で見たように除雪車の影響が考えられたため、工事の影響とは異なるがこれも含めて解析した。そして表3に示した磁気ダイポールモーメントが絶対観測点に

表3 指定した擾乱源位置及び推定擾乱源の磁気ダイポールモーメントの各成分。擾乱源位置のX, Y及びZはそれぞれ原点を絶対観測点とした時の東西方向（東向きを正）、南北方向（北向きを正）及び鉛直方向（鉛直上向きを正）の座標を示す。Mx, My及びMzはそれぞれ磁気ダイポールモーメントの東西成分（東向きを正）、南北成分（北向きを正）及び鉛直成分（鉛直上向きを正）を示す。

	指定した擾乱源	指定した擾乱源の位置[m]			ダイポールモーメントの各成分 [Am ²]			残差2乗の総和 [nT ²]
		X(東+)	Y(北+)	Z(上+)	Mx(東+)	My(北+)	Mz(上+)	
Ⅰ期	9号宿舎(物置1棟含む)	104.5	50.4	-2.5	1579	-4522	2835	6.7
	トラクター車庫	99.4	188.5	2.0	-7625	1251	7016	
	整備庫	104.1	208.9	2.0	7807	-1830	-13687	
Ⅱ期	8号宿舎(物置2棟含む)	130.5	93.2	-1.6	-409	-181	-115	3.3
	燃料庫	16.3	108.4	0.0	92	-705	550	
	旧変化度観測室	52.4	147.6	-1.0	2249	-1645	5046	
	官用車車庫	99.4	188.5	2.0	495	8000	-8355	
	整備庫	104.1	208.9	2.0	-10936	1335	11388	
	電源室	41.4	249.7	2.0	18	-3045	3409	
Ⅲ期	除雪車	144.6	-22.8	-4.0	290	-519	1734	5.5
	8号宿舎(物置2棟含む)	130.5	93.2	-1.6	1717	-6375	3693	
	旧変化度観測室	52.4	147.6	-1.0	-286	416	644	
	官用車車庫	99.4	188.5	2.0	1732	-925	-1739	
	除雪車	144.6	-22.8	-4.0	87	1147	-715	

及ぼす影響量とその95%信頼区間を表4及び図8に示す。信頼区間については、ジャックナイフ法(Zhou et al., (2011))を用いて95%信頼区間を求めた。ジャックナイフ法では、影響量推定に使用する観測値からひとつだけデータを取り除いたデータ群を作り、そこから影響量を再計算する。この操作を観測点の数だけ繰り返す(すなわち、全ての観測点が1回ずつ取り除かれる)ことで得られた影響量の分布から信頼区間を求めることができる。その計算方法は以下の通りである。まず観測点の数を n 、全ての観測点を使って求めた影響量を X_n 、 i 番目の観測値を除いて求めた影響量を $X_{n-1[i]}$ とする。それらを使って Y_i を以下のように計算する。

$$Y_i = X_n + (n-1)(X_n - X_{n-1[i]})$$

そして、さらに次式のように Y_i の平均値 Y とその分散 V を求める。

$$Y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i$$

表4 推定された各期間(I期, II期及びIII期), 各成分(H, Z, D及びF)の絶対観測点への影響量及びジャックナイフ法を用いて計算した95%信頼区間

	H [nT]	Z [nT]	D [']	F [nT]
I期(全点使用)	0.24±0.27	0.14±0.07	0.022±0.014	0.25±0.09
II期(全点使用)	-0.13±0.70	0.25±0.71	-0.002±0.076	0.14±0.54
III期(全点使用)	0.07±0.11	0.06±0.06	0.024±0.020	0.09±0.07
合計	0.18±0.76	0.46±0.72	0.044±0.080	0.48±0.55

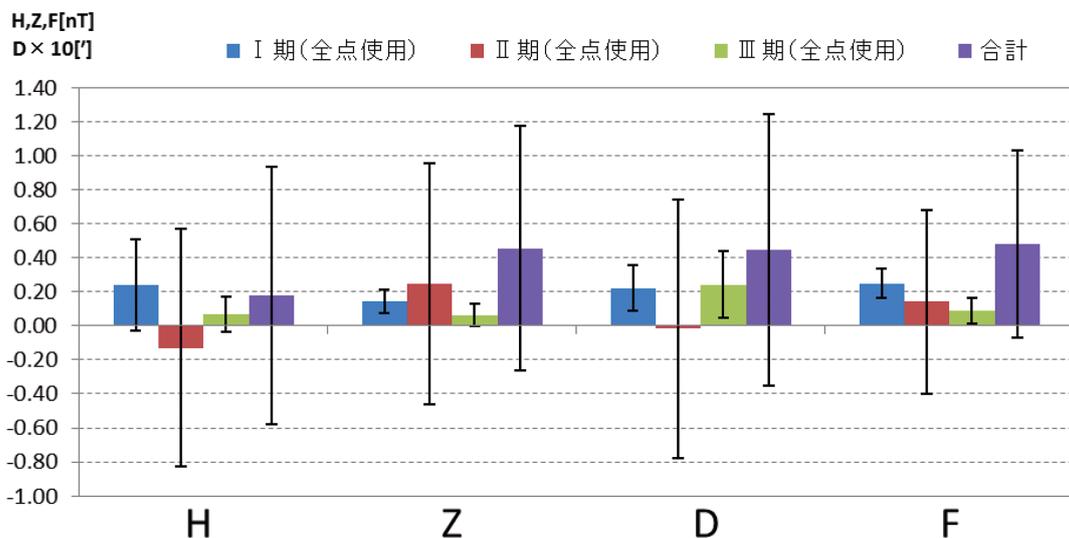


図8 推定された各期間(I期, II期及びIII期), 各成分(H, Z, D及びF)の絶対観測点への影響量及びジャックナイフ法を用いて計算した95%信頼区間

$$V = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - Y)^2$$

この V を用いて求まる影響量 X_n の95%信頼区間が

$$\pm 1.96 \sqrt{\frac{1}{n} V}$$

である。推定影響量に対する95%信頼区間の幅は I, III期については, H, Z及びF成分で0.1~0.3nT, D成分で0.01~0.02'と4.1で述べた環境監視観測結果の95%信頼区間と同等の結果であった。一方II期については, H, Z及びF成分で0.5~0.7nT, D成分で0.08'と観測精度の2~4倍の結果になった。

7. 考察

今回の2014年撤去工事に伴う絶対観測点への影響量を直接の観測結果から求めるために絶対観測室に磁力計 mmb05を設置した。しかし、図6で示した通り、工事の影響がないと考えられる mmb02を基準とした単純な夜間値差には工事以外の変化も多く含まれており、観測結果のみから H, Z及びD成分の影響量を求めることは困難であることが分かった。

一方F成分については図6で示した相互比較でも安定した結果が得られており、縦スケールを大きくした図7から、工事前後の変化量は合計で+0.5nTであったと読み取れる。図4及び図5は、絶対観測室に設置した mmb05の結果も含めて描いているが、コンターが絶対観測室付近で密になるような極端な線を描いていないということからも、この+0.5nTという観測結果は周囲の環境監視観測結果とも調和的であると言える。「磁気ダイポールモーメント擾

乱.xls」で求めたF成分の結果を見ると、全期間の合計が+0.5nTと図7が示す結果とも一致しており正しく影響量が算出できたと考えられる。またこれら+0.5nTという結果は、表1で示したF成分の絶対観測点への推定影響量(0.4~0.7nT)と大きく変わらないということも確認できた。

H及びZ成分の影響量については、F成分の影響量が+0.5nTであるとして以下のようなAを定義して確認を行った。

$$A = F - \sqrt{H^2 + Z^2}$$

2013年の毎時値月平均値の年平均値(H: 26141.3nT, Z: 42333.2nT, D: +530.35', F: 49754.1nT)をベースにして求めた影響量H: +0.2nT, Z: +0.5nTを加えて計算した。

$$A = (49754.1 + 0.5) - \sqrt{(26141.3 + 0.2)^2 + (42333.2 + 0.5)^2} = 0.0$$

A値は0.0nTであった。影響量はI期、II期及びIII期と期間を分けて解析した結果の総和であるが、小数点1位において丸め誤差による違いはないことを確認した。

次に影響量の信頼区間について考察する。ジャックナイフ法により求めた95%信頼区間を4.1で述べた環境監視観測結果の95%信頼区間と比較すると、I期とIII期は同等の結果であり正しく影響量を求めることができたと考えられる。一方、II期は環境監視観測結果の95%信頼区間よりも2~4倍も大きい

結果であった。II期の期間中で最も変化が大きかった観測点は、観測施設敷地北側の擾乱源(電源室、整備庫、車庫2個、以後北側擾乱源と記載)付近である。残差2乗の総和が極小となる磁気ダイポールモーメントを計算する際、この変化の大きかった観測点の残差を小さくするように計算するが、北側擾乱源付近は擾乱源のさらに北側に観測点がないため拘束条件が弱く、解析結果の揺らぎが大きくなり結果として信頼区間も大きくなってしまったと考えられる。北側擾乱源の絶対観測点への影響については、表1の推定値やII期の観測結果(図4及び図5)から、定性的には観測精度未満(0.1nT未満)と推定される。そこで解析結果の揺らぎに大きく寄与すると考えられる北側擾乱源の影響を強く受けた観測点M1, 3, 5, 6, 7, L6を除きかつ、北側擾乱源がなかったものとして再計算を行った。この結果を図9に示す(I期、III期については図8の再掲)。II期の95%信頼区間はH: ±0.15nT, Z: ±0.07nT, D: ±0.011', F: ±0.10nTとI, III期と同等の信頼区間を得ることができた。このことは、全観測点を使用して求めた北側擾乱源の磁気ダイポールモーメントの不確かさがII期の信頼区間を大きくしたことを示唆している。この時M1, 3, 5, 6, 7, L6を除いて求めたII期の影響量は、全観測点を使用して求めた影響量と比較してD成分のみ0.01'の差があった。この差は恒久的な影響量としては小さくはないが信頼区間の範囲内といえる。北側擾乱源の影響を受けた観測点として除外する観測点を客観的に選択することは本報告の目的からも困難であることを考慮すると、全観測点を使用して求めた影響量は

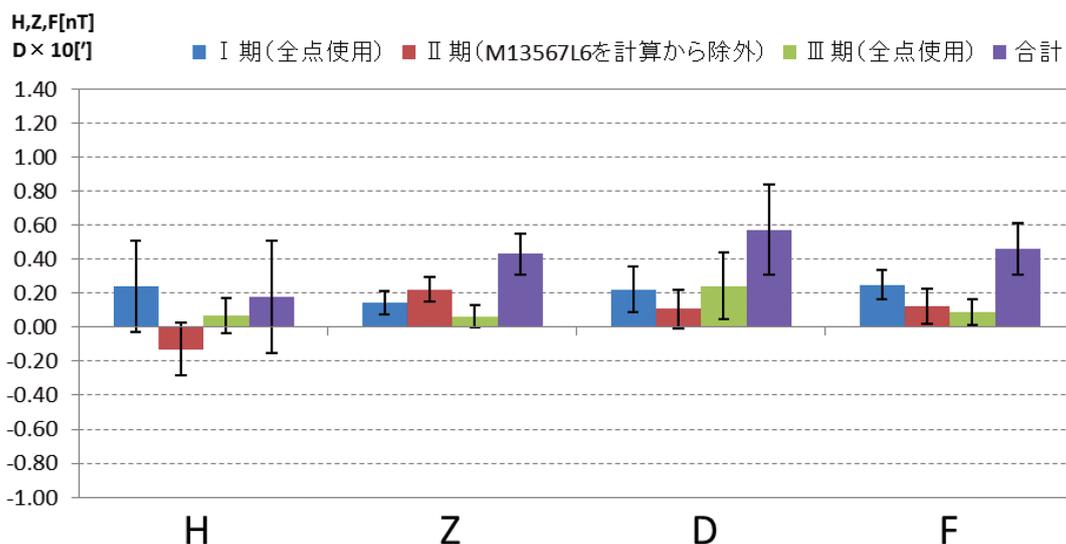


図9 推定された各期間(I期、II期及びIII期)、各成分(H, Z, D及びF)の絶対観測点への影響量及びジャックナイフ法を用いて計算した95%信頼区間。ただしII期についてのみ北側擾乱源を除いて求めている(本文参照)。I期及びIII期については図8の再掲。

ジャックナイフ法を用いた信頼区間の評価として妥当な結果であったといえるだろう。

以上の考察から総合的に、求めた影響量は妥当と判断できた。今回の工事による絶対観測点への恒久的な影響量は、次の値の通りである。

D: +0.04' I: +0.01' F: +0.5nT, H: +0.2nT, Z: +0.5nT

IについてはHとFから算出した。ベースは前述の2013年の毎時値月平均値の年平均値である。

なお、敷地整地時に使用した土砂の磁性については、サンプルの磁性検査から、距離1mでの土砂1トン当たりの磁場の大きさは、最大52nTであった。今回使用した土砂の量は約70トンで、今回の工事で絶対観測点と一番近い燃料庫（絶対観測点との距離、約105m）の場所に全て使われたとしても、その影響量は0.003nTであり、土砂の影響は無かったと考える。

8. まとめ

2014年9月から10月にかけて女満別観測施設構内にある不用施設（建物8棟、物置3棟）の撤去工事が実施された。今回は同時に複数の擾乱源により絶対観測点が影響を受ける初めてのケースであったが、臨時の観測体制を整え、複数の擾乱源がある場合でも影響量を算出できる新たなプログラム「磁気ダイポールモーメント擾乱.xls」を開発することで、適切に影響量を求めることができた。その影響量は

D: +0.04', I: +0.01', F: +0.5nT, H: +0.2nT, Z: +0.5nT

であり、その95%信頼区間についてもジャックナイフ法を用いて検証することができた。

適切に影響量を求めるうえで重要だったのは、擾乱源の近くに臨時の環境監視観測点を設けたこと、絶対観測室及び擾乱を受けない地点に臨時の全磁力連続観測点を設けたこと、工事の場所と期間を指定したことである。絶対観測室には臨時で3成分磁力計mmb05も設置したが、この観測値から絶対観測点への影響量を求めることはできなかった。女満別観測施設の連続データとして公表しているmmb00は温度管理がなされているが、それでさえもH、Z及びD成分の基線値（絶対観測値と変化観測値の差）の変化率の大きさは2014年の平均値でそれぞれ0.8nT/month, 1.0nT/month及び0.1'/month程度ある。このことを考えれば今回のオーダーの影響量をmmb00ほど構造上温度管理できないmmb05から求めるのは困難であったといえる。ただしこのこと

は絶対観測室に3成分磁力計を設置しなくてもよいという意味ではない。mmb05を設置したことで、例えば9月29日に実施された9号宿舎解体材搬出のような、車両を使用した短時間の繰り返し作業時の絶対観測室への影響の有無の判別に役立ったという事例もある。今後、同様なケースが想定される場合には、推定される絶対観測点への影響量と工事の期間、臨時観測体制を維持するための労力等を総合的に判断し、必要な観測を行うことが望ましい。その際、本報告がその一助となれば幸いである。

謝辞

長町信吾氏（調査課）からは、ジャックナイフ法を用いた解析について大変有益なご意見等をいただきました。ここにお礼申し上げます。一部の図の作成ではGeneric Mapping Tools (Wessel and Smith, 1998)を使用しました。

参考文献

- Breiner, S., Applications manual for portable magnetometers, GeoMetrics, Sunnyvale, California, GeoMetrics, 42-44, 1973.
- 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, 217p, 1987.
- 徳本哲男, 中島新三郎, 大川隆志, 星野正史, 地磁気人工擾乱量の把握, 地磁気観測所技術報告, 41 (2), 23-31, 2002.
- Wessel, P., Smith, W.H.F., New, improved version of the Generic Mapping Tools Released, EOS, 79, 579, 1998.
- Zhou, X., Obuchowski, N.A., McClish, D.K., Statistical Methods in Diagnostic Medicine, 2nd Ed., Wiley ser. Prob. Stat., New York, 592 pp., 2011 (DOI:10.1002/9780470906514.refs).

付録

本編では、新たなプログラムを開発して影響量を求めたことを述べたが、条件付で既存の解析方法(解析①～④)による影響量の算出も試みた。このことについて参考に記載する。

1. 既存の解析方法について

解析①：工事直近の数時間の既存連続点（mmb00～mmb04, 3成分5地点, 全磁力1地点）の工事に伴う変化量を使用してmyDistで算出し積算した。1日のうちに複数の擾乱源が存在する場合も、工事の時間を詳細に確認したうえで一つずつ擾乱源を決定し算出した。特徴は、工事直近の変化量を使うため、工事以外の変化量が含まれる可能性は低いようにも思われるが、日中の変化量を

扱うため、磁力計の設置された環境の違いによる日変化の違いによる影響や、短い時間間隔での影響量の積算により計算誤差も積算されるデメリットをもつ。

解析②：図6に示した連続点の夜間値差の前日差を使用して工事期間中の毎日の影響量を myDist で算出した。表3の工事場所の情報と一致する擾乱源が決定できた日についてのみ影響量を積算した。特徴は、日変化の影響を概ね取り除くことができるが、夜間値差を使うことで、工事以外の変化量が含まれる可能性が高くなる。また擾乱源を1点として計算する方法のため、1日のうちに連続点が複数の擾乱源からの影響を受けたと推定される日は、影響量を正しく算出できない。

解析③：環境監視観測結果の前回値差と図6に示した連続点の夜間値差の前日差を使用してI期(9号宿舎)、III期(8号宿舎)の影響量を myDist で算出した。未知パラメータは9号宿舎、8号宿舎がもつ磁気ダイポールモーメント (M_x , M_y , M_z) である。位置は該当する宿舎の位置を指定した。連続点の夜間値差の前日差は、解析②で影響量を決定した日のものを積算したのものを使用した。全ての期間で環境監視観測点のいくつかは、複数の擾乱源からの影響を受けたが、I期及びIII期については、それぞれ9号宿舎以外、8号宿舎以外の解体建物の影響が及んでいると推定される観測点をオミットし、絶対観測点に影響を及ぼすと推測される9号宿舎、8号宿舎単独の影響量を算出した。II期は、同様な推定が困難であったため解析していない。特徴は、連続点のみだった解析①、②に比べて観測点数が増えるため擾乱源決定の精度が上がると考えられるが、全磁力値は前回値差(およそ2週間前の値との差)を解析するため、工事以外の変化が含まれる可能性は高くなる。

解析④：絶対観測室に臨時で設置した磁力計(mmb05)の変化量を3成分(H, Z及びD)はmmb02を、F成分はmmb06を基準とした夜間値差の変化を用いて解析した。単純に工事の前後で比較すると図6から明らかなように3成分については工事以外の変動が加わってしまうため、解析②で擾乱源が決定できた日を工事の影響があった日として次の式で表される工事の影響量を算出した。

$$\begin{aligned} \text{工事の影響量} &= \text{夜間値差の前日差} \\ &\quad - \text{バックグラウンド変動量} \end{aligned}$$

工事の影響のない日でも夜間値差の前日差は0にはならない。この成分をランダムに変動するバックグラウンド変動量と考え、その値は工事期間外の夜間値差の前日差の平均値から求めた。その期間はH, Z及びD成分は工事前(9月5日から9月14日)と工事後(11月1日から11月20日)、F成分は工事前(9月5日から9月14日)と工事後(11月1日から11月11日)である。mmb05は設置環境(特に温度)に依存する変化が大きいため「mmb05の変化量 = 建物撤去の影響量」とはみなせないが、影響量を見積もる参考にはなると考えた。

付表1に解析期間とその方法及び使用したデータの種類を示す。

2. 結果

解析①～④の結果に、本編で述べた「磁気ダイポールモーメント擾乱.xls」を合わせて期間ごとに分けて付表2～4に、絶対観測点への影響量をまとめたものを付表5に示す。「磁気ダイポールモーメント擾乱.xls」と解析②、③については、絶対観測点座標(0,0,0)からX, Y及びZ方向にそれぞれ5m離れた場所での影響量も参考に計算した。携帯型GPSで取得した位置情報は数mの誤差を含むと考えられるが、解析結果は5m離れた場所でも影響量にほぼ違いがないことが分かる。解析①②に比べて「磁気ダイポールモーメント擾乱.xls」と解析③の方が残差2乗の総和が大きいのは、使用している観測点数が多いことによる。同一解析方法では残差2乗の総和が小さいほど影響量をよりよく求められているといえるが、異なる解析方法、観測点数の場合は一概に残差の大小だけで解析方法の良否は判断できない。表にある観測点数とは、最終的な解析結果を求めるために使用した観測点の数である。

I期の解析①②については、擾乱源は9号宿舎付近に求まった。解析③は、期間内に複数の擾乱源が存在するため、まず擾乱源を9号宿舎に指定して myDist で計算し、次に期間内に行われた9号宿舎以外の工事の影響を受けていると推定される観測点を計算から除き、再度 myDist で計算した(付図1)。計算から除外した観測点は、表1の情報から9号宿舎以外の工事の影響が0.1nT以上あると推定される観測点であり、なおかつその観測点における残差(計算結果と観測結果の差)が環境監視観測結果の

付表1 解析期間とその方法及び使用したデータ種類.

- ：夜間値差の変化を使用した日付に表示.
- ・夜間値差は、各磁力計の15h00m~17h59m (UT) の毎分値と同時刻の基準となる磁力計の毎分値との差の平均.
- ・9/23にある●は「9/23の夜間値差 - 9/22の夜間値差」を使用したということを表し、これは「9/23の日中の工事の影響量」という意味をもつ.
- ：工事時間直近の変化を使用した日付に表示.

解析分類 計算方法	磁気ダイポールモーメント擾乱.xls		解析①	解析②	解析③		解析④	環境監視 観測実施 日	工場場所	工事 期間 分類
	H,Z,D	F	mydist	mydist	mydist		H,Z,D:mmb05-mmb02 F:mmb05-mmb06			
成分	H,Z,D	F	H,Z,D,F	H,Z,D,F	H,Z,D	F	H,Z,D,F			
使用した データ種類	各連続点の 夜間値差の変化	環境監視観測結果 の変化	各連続点の 工事時間直近の変化	各連続点の 夜間値差の変化	各連続点の 夜間値差の変化	各連続点の 夜間値差の変化	環境監視観測結果 の変化	各連続点の 夜間値差の変化		
日付										
2014/8/21									○	
2014/9/4									○	
2014/9/15										9号宿舎
2014/9/16										
2014/9/17										
2014/9/18									○	
2014/9/19										9号宿舎
2014/9/20										
2014/9/21										
2014/9/22										
2014/9/23	●		■	●	●			●		9号宿舎 トラクター車庫 整備庫
2014/9/24	●		■	●	●			●		
2014/9/25										
2014/9/26										
2014/9/27										
2014/9/28										
2014/9/29										9号宿舎 電源室・8号宿舎
2014/9/30										8号宿舎
2014/10/1									○	
2014/10/2										
2014/10/3										8号宿舎
2014/10/4										
2014/10/5										
2014/10/6										
2014/10/7										電源室 整備庫 官用車庫 燃料庫
2014/10/8										
2014/10/9										
2014/10/10	●		■	●				●		
2014/10/11										
2014/10/12										
2014/10/13										
2014/10/14										
2014/10/15	●		■	●				●		官用車庫 電源室・8号宿舎 旧変化度観測室・ 燃料庫・電源室 旧変化度観測室
2014/10/16	●		■	●				●		
2014/10/17	●		■	●				●		
2014/10/18										
2014/10/19										
2014/10/20									○	
2014/10/21										
2014/10/22										旧変化度観測室 8号宿舎・整備庫
2014/10/23										8号宿舎
2014/10/24	●		■	●	●			●		
2014/10/25										
2014/10/26										
2014/10/27										
2014/10/28										
2014/10/29										
2014/10/30										
2014/10/31										8号宿舎・官用車庫・燃料庫 ・旧変化度観測室・電源室
2014/11/1										
2014/11/6									○	
2014/11/21									○	

付表2 絶対観測点への影響量(解析方法別に記載)(I期). 解析④の σ_H , σ_Z , σ_D はH, Z, D成分各々のバックグラウンド変動量の95%信頼区間を表す.

I期	磁気ダイポールモーメント擾乱.xls		解析①				解析②				解析③				解析④									
	H	Z	D	F	H	Z	D	F	H	Z	D	F	H	σ_H	Z	σ_Z	D	σ_D	F	σ_F				
各位置での影響量																								
座標(0.0.0) 絶対観測点	0.24	0.14	0.022	0.25	0.12	0.03	0.029	0.08	0.23	0.04	0.025	0.16	0.30	0.18	0.021	0.31	-0.11	0.25	0.39	0.19	0.024	0.018	0.16	0.05
座標(5.0.0) 絶対観測点+X5m	0.26	0.17	0.027	0.28	-	-	-	-	0.25	0.05	0.030	0.17	0.32	0.20	0.026	0.34	-	-	-	-	-	-	-	-
座標(0.5.0) 絶対観測点+Y5m	0.27	0.15	0.019	0.27	-	-	-	-	0.26	0.04	0.023	0.17	0.33	0.19	0.017	0.33	-	-	-	-	-	-	-	-
座標(0.0.5) 絶対観測点+Z5m	0.23	0.14	0.025	0.24	-	-	-	-	0.23	0.04	0.026	0.15	0.29	0.17	0.024	0.30	-	-	-	-	-	-	-	-
mmb00	0.05	0.21	-0.091	0.20	-	-	-	-	0.33	0.00	-0.076	0.17	0.16	0.26	-0.112	0.31	0.27	0.08	0.03	0.10	-0.085	0.015	0.18	0.05
mmb01	0.14	0.07	0.006	0.13	-	-	-	-	0.16	0.02	0.008	0.10	0.18	0.10	0.004	0.18	0.13	0.07	0.08	0.10	0.002	0.012	-	-
mmb02	0.01	0.01	0.005	0.01	-	-	-	-	0.02	0.01	0.005	0.01	0.02	0.02	0.004	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-
mmb03	-0.57	1.11	0.294	0.65	-	-	-	-	-0.35	0.44	0.221	0.19	-0.55	1.15	0.309	0.69	-0.41	0.07	0.43	0.14	0.210	0.017	-	-
mmb04	-0.04	0.04	0.017	0.02	-	-	-	-	-0.03	0.02	0.018	0.00	-0.02	0.06	0.018	0.04	-0.21	0.12	0.07	0.12	-0.001	0.024	-	-
座標(5.0.0) - 座標(0.0.0)	0.02	0.02	0.005	0.03	-	-	-	-	0.02	0.01	0.005	0.01	0.03	0.02	0.005	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-
座標(0.5.0) - 座標(0.0.0)	0.03	0.01	-0.003	0.02	-	-	-	-	0.03	0.00	-0.002	0.02	0.03	0.01	-0.004	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-
座標(0.0.5) - 座標(0.0.0)	-0.01	-0.01	0.003	-0.01	-	-	-	-	0.00	-0.01	0.001	-0.01	-0.01	-0.01	0.003	-0.01	-	-	-	-	-	-	-	-
残差2乗の総和[nT ²]	6.7				0.0				0.1				3.6				-							
擾乱源	9号宿舎・トラクター車庫・整備庫				9号宿舎				9号宿舎				9号宿舎				-							
観測点数 連続HZD	6				5				6				6				-							
観測点数 連続F	3				1				3				3				-							
観測点数 環境監視F	44				0				0				36				-							

付表3 絶対観測点への影響量(解析方法別に記載)(Ⅱ期). 解析④の σ_H , σ_Z , σ_D の示すものは付表2と同じ.

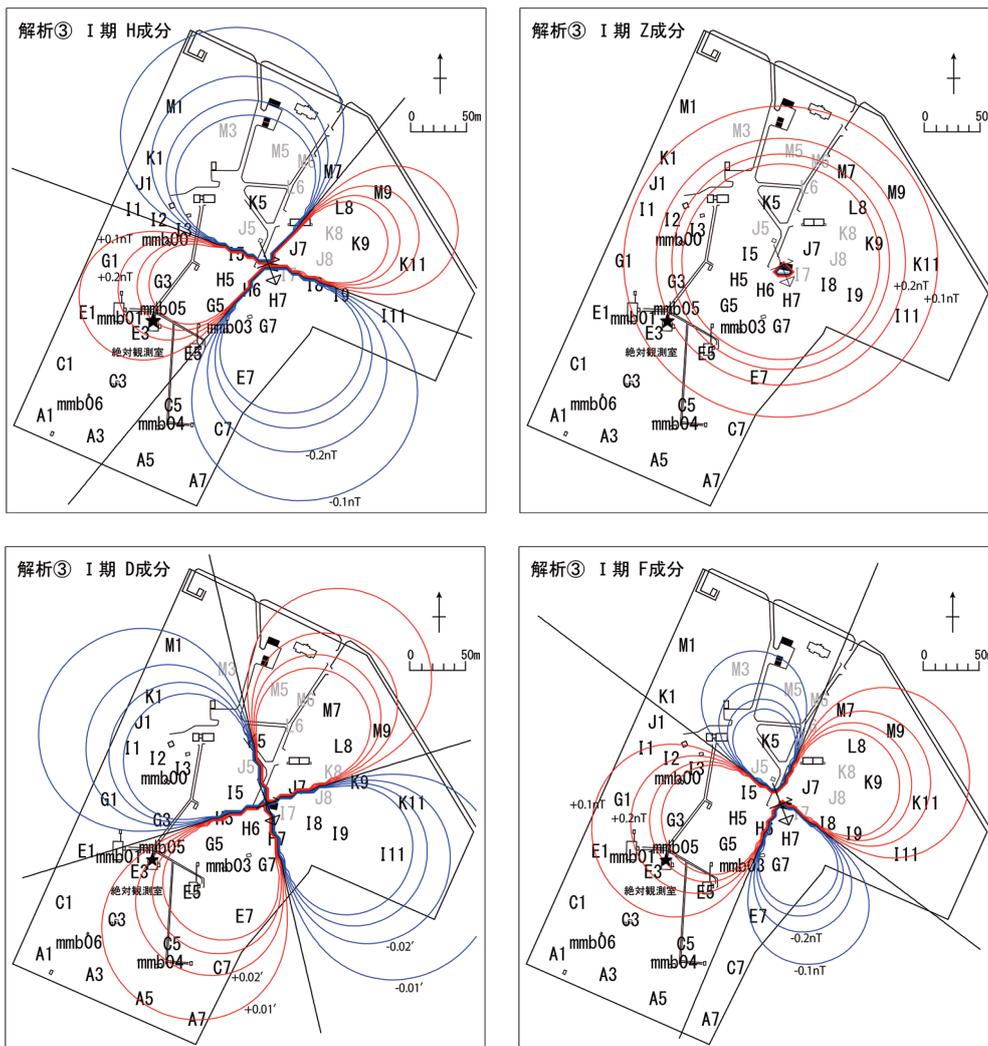
Ⅱ期	磁気ダイポールモーメント擾乱.xls				解析①				解析②				解析③				解析④							
	H	Z	D	F	H	Z	D	F	H	Z	D	F	H	Z	D	F	H	σ_H	Z	σ_Z	D	σ_D	F	σ_F
各位置での影響量																								
座標(0.0,0) 絶対観測点	-0.13	0.25	-0.002	0.14	-0.17	0.06	0.004	-0.02	-0.01	0.23	0.002	0.19	-	-	-	-	-0.83	0.50	0.42	0.38	0.017	0.037	-0.11	0.09
座標(5.0,0) 絶対観測点+X5m	-0.14	0.26	-0.003	0.15	-	-	-	-	-0.01	0.24	0.000	0.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
座標(0.5,0) 絶対観測点+Y5m	-0.15	0.27	-0.001	0.15	-	-	-	-	-0.02	0.26	0.003	0.21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
座標(0.0,5) 絶対観測点+Z5m	-0.15	0.24	0.000	0.13	-	-	-	-	-0.04	0.24	0.004	0.18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
mmb00	-1.90	2.81	0.140	1.39	-	-	-	-	-1.33	2.36	0.218	1.31	-	-	-	-	-1.64	0.16	2.72	0.20	0.191	0.029	-0.11	0.09
mmb01	-0.09	0.20	0.003	0.13	-	-	-	-	0.06	0.18	0.006	0.19	-	-	-	-	-0.31	0.13	0.60	0.20	-0.010	0.024	-	-
mmb02	-0.02	0.05	-0.001	0.03	-	-	-	-	0.00	0.03	0.000	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
mmb03	-0.06	0.54	-0.045	0.43	-	-	-	-	0.13	0.25	0.007	0.28	-	-	-	-	-0.03	0.15	0.56	0.29	-0.031	0.034	-	-
mmb04	0.00	0.10	-0.003	0.08	-	-	-	-	0.00	0.05	0.000	0.04	-	-	-	-	-0.54	0.23	0.75	0.24	-0.026	0.048	-	-
座標(5.0,0) - 座標(0.0,0)	-0.01	0.01	-0.001	0.01	-	-	-	-	0.00	0.01	-0.002	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
座標(0.5,0) - 座標(0.0,0)	-0.02	0.02	0.001	0.01	-	-	-	-	-0.01	0.03	0.001	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
座標(0.0,5) - 座標(0.0,0)	-0.01	-0.01	0.002	-0.02	-	-	-	-	-0.02	0.01	0.002	-0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
残差2乗の総和[nT ²]	3.3				0.1				1.0				-				-							
擾乱源	8号宿舎・燃料庫・旧変化度観測室・官用車庫庫・整備庫・電源室・除雪車				燃料庫・旧変化度観測室				燃料庫・旧変化度観測室				-				-							
観測点数 連続HZD	6				5				6				-				2							
観測点数 連続F	3				1				3				-				2							
観測点数 環境監視F	44				0				0				-				0							

付表4 絶対観測点への影響量(解析方法別に記載)(Ⅲ期). 解析④の σ_H , σ_Z , σ_D の示すものは付表2と同じ.

Ⅲ期	磁気ダイポールモーメント擾乱.xls				解析①				解析②				解析③				解析④							
	H	Z	D	F	H	Z	D	F	H	Z	D	F	H	Z	D	F	H	σ_H	Z	σ_Z	D	σ_D	F	σ_F
各位置での影響量																								
座標(0.0,0) 絶対観測点	0.07	0.06	0.024	0.09	0.02	0.04	0.013	0.04	0.10	0.04	0.016	0.09	0.09	0.09	0.026	0.12	-0.52	0.13	0.17	0.10	0.047	0.009	0.02	0.02
座標(5.0,0) 絶対観測点+X5m	0.07	0.07	0.027	0.09	-	-	-	-	0.10	0.05	0.019	0.09	0.09	0.09	0.029	0.13	-	-	-	-	-	-	-	-
座標(0.5,0) 絶対観測点+Y5m	0.09	0.07	0.025	0.10	-	-	-	-	0.11	0.05	0.016	0.10	0.11	0.09	0.026	0.13	-	-	-	-	-	-	-	-
座標(0.0,5) 絶対観測点+Z5m	0.06	0.06	0.025	0.08	-	-	-	-	0.10	0.04	0.017	0.08	0.08	0.027	0.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
mmb00	0.46	0.23	-0.019	0.43	-	-	-	-	0.43	0.09	-0.024	0.30	0.43	0.20	-0.013	0.39	0.37	0.04	0.17	0.05	-0.008	0.007	0.17	0.02
mmb01	0.07	0.05	0.012	0.08	-	-	-	-	0.09	0.03	0.007	0.07	0.09	0.06	0.013	0.10	-0.03	0.03	0.13	0.05	0.023	0.006	-	-
mmb02	0.01	0.01	0.003	0.01	-	-	-	-	0.01	0.01	0.003	0.01	0.01	0.01	0.005	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-
mmb03	-0.39	0.11	0.104	-0.11	-	-	-	-	-0.15	0.14	0.057	0.04	-0.25	0.27	0.089	0.10	-0.08	0.04	0.13	0.07	0.074	0.009	-	-
mmb04	-0.04	0.01	0.007	-0.01	-	-	-	-	-0.01	0.02	0.009	0.01	-0.03	0.04	0.013	0.01	0.19	0.06	0.16	0.06	0.036	0.012	-	-
座標(5.0,0) - 座標(0.0,0)	0.00	0.00	0.003	0.00	-	-	-	-	0.00	0.00	0.002	0.00	0.00	0.01	0.003	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-
座標(0.5,0) - 座標(0.0,0)	0.02	0.01	0.000	0.01	-	-	-	-	0.01	0.00	0.000	0.01	0.02	0.00	0.000	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-
座標(0.0,5) - 座標(0.0,0)	0.00	-0.01	0.001	-0.01	-	-	-	-	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	-0.01	0.001	-0.01	-	-	-	-	-	-	-	-
残差2乗の総和[nT ²]	5.5				0.1				0.4				1.5				-							
擾乱源	8号宿舎・旧変化度観測室・官用車庫庫・除雪車				8号宿舎				8号宿舎				8号宿舎				-							
観測点数 連続HZD	6				5				6				6				6							
観測点数 連続F	3				1				3				3				3							
観測点数 環境監視F	44				0				0				25				0							

付表5 絶対観測点への影響量(I~Ⅲ期まとめ)

解析方法	成分	Ⅰ期			Ⅱ期			Ⅲ期			影響量の合計
		影響量	残差2乗の総和	95%信頼区間	影響量	残差2乗の総和	95%信頼区間	影響量	残差2乗の総和	95%信頼区間	
磁気ダイポールモーメント擾乱.xls	H [nT]	0.24	6.7	0.27	-0.13	3.3	0.70	0.07	5.5	0.11	0.2
	Z [nT]	0.14		0.07	0.25		0.71	0.06		0.06	0.5
	D [°]	0.022		0.014	-0.002		0.076	0.024		0.020	0.04
	F [nT]	0.25		0.09	0.14		0.54	0.09		0.07	0.5
解析①	H [nT]	0.12	0.0	-	-0.17	0.1	-	0.02	0.1	-	0.0
	Z [nT]	0.03		-	0.06		-	0.04		-	0.1
	D [°]	0.029		-	0.004		-	0.013		-	0.05
	F [nT]	0.08		-	-0.02		-	0.04		-	0.1
解析②	H [nT]	0.23	0.1	-	-0.01	1.0	-	0.10	0.4	-	0.3
	Z [nT]	0.04		-	0.23		-	0.04		-	0.3
	D [°]	0.025		-	0.002		-	0.016		-	0.04
	F [nT]	0.16		-	0.19		-	0.09		-	0.4
解析③	H [nT]	0.30	3.6	-	-	-	-	0.09	1.5	-	-
	Z [nT]	0.18		-	-		-	0.09		-	-
	D [°]	0.021		-	-		-	0.026		-	-
	F [nT]	0.31		-	-		-	0.12		-	-
解析④	H [nT]	-0.11	-	0.25	-0.83	-	0.50	-0.52	-	0.13	-1.5
	Z [nT]	0.39	-	0.19	0.42	-	0.38	0.17	-	0.10	1.0
	D [°]	0.024	-	0.018	0.017	-	0.037	0.047	-	0.009	0.09
	F [nT]	0.16	-	0.05	-0.11	-	0.09	0.02	-	0.02	0.1
観測結果(図7)	F [nT]	0.30	-	0.01	0.13	-	0.01	0.07	-	0.01	0.5

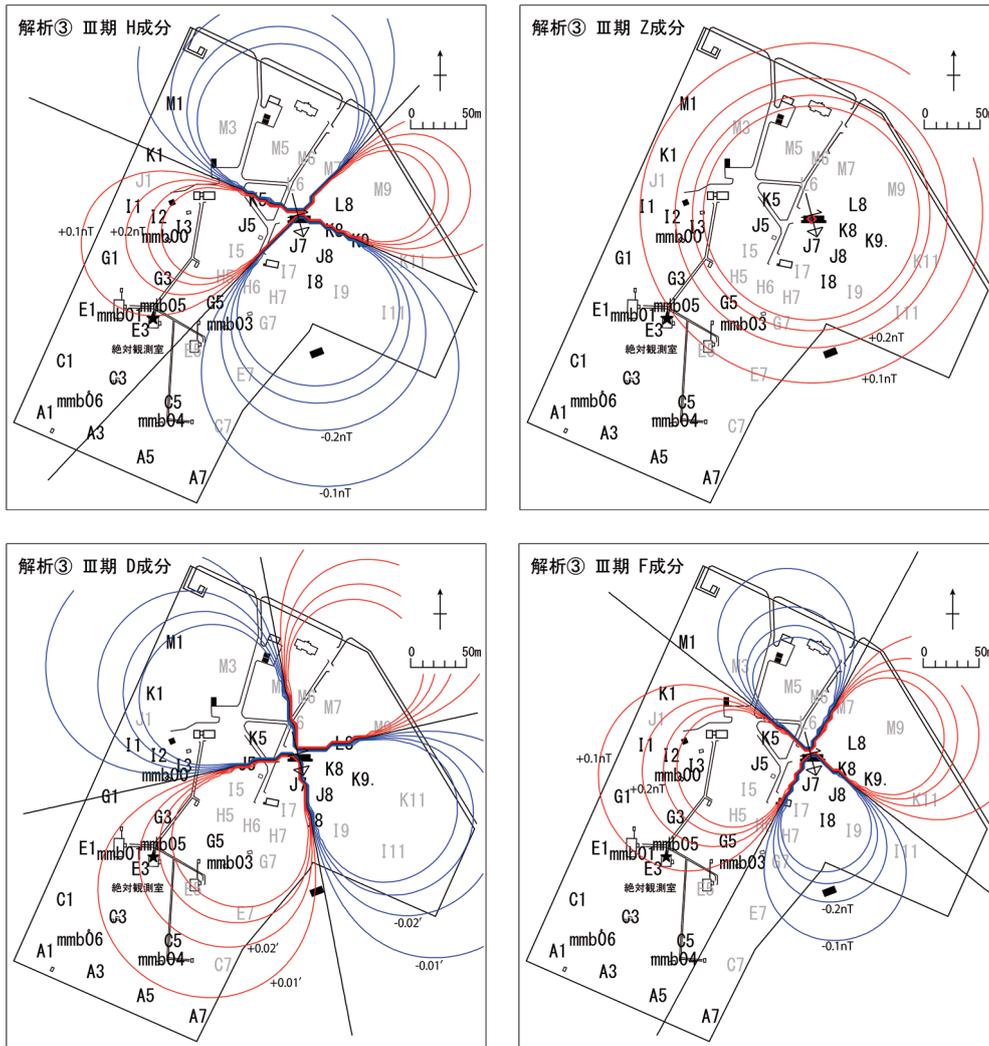


付図1 解析③から得られた擾乱量の分布 (I期). ★は絶対観測点の位置を, ■黒色矩形領域はこの期間の擾乱源をそれぞれ示す. 赤線は増加, 青線は減少を表す. コンター間隔は, H, Z 及び F 成分が0.1nT, D 成分が0.01', 一番外側の線が0.1nT, 0.01' の影響が及ぶ範囲を示す. 灰色で表示している観測点は解析に使用しなかった点である.

差の95%信頼区間を超える観測点8点である. 観測精度以上の残差が現れる観測点には, 求めるべき擾乱源以外の擾乱や位置の誤差等から発生する計算誤差が含まれていると考えた. II期は, 擾乱源が7個と多数あるため, I期で車庫・整備庫の影響があると推定される観測点を除外して解析③を行ったようには, 解析できなかった. III期の解析③では, I期と同様の方法で8号宿舎以外の影響が推定される19の観測点を除外し, 8号宿舎の影響量として求めた(付図2).

F成分の結果は, 解析①: +0.1nT, 解析②: +0.4nT, 解析④: +0.1nTであった. 図7が示す結果や「磁気ダイポールモーメント擾乱.xls」とは0.1~0.4nTの差が見られた. 解析③はII期について算出できないため, 最終的な結果が求まらないが, I期及びIII期については, 「磁気ダイポールモーメン

ト擾乱.xls」とほぼ同じ値が算出できていた. 本編と同様にH及びZ成分の影響量についてF成分の影響量が+0.5nTであるとした場合のA値は, 解析①: +0.4nT, 解析②: +0.1nT, 解析④: +0.5nTであった. D成分の結果は, 解析①: +0.05', 解析②: +0.04', 解析④: +0.09'であった. 総合すると解析②の結果が最も「磁気ダイポールモーメント擾乱.xls」に近かった. 解析④については2013年における影響量の算出時に擾乱源から遠い観測点において, より近い観測点よりも変動が有意に大きいことが指摘されていたが, 夜間値差の変化量の積算では正しく求まらないことが改めて確認された. 解析①については解析方法の概要でも触れたように磁力計の違いによる日変化の違いなどが算出に大きく影響したのではないかと推測される.



付図2 解析③から得られた擾乱量の分布(Ⅲ期)。★は絶対観測点の位置を、■黒色短形領域はこの期間の擾乱源をそれぞれ示す。赤線は増加、青線は減少を表す。コンター間隔は、H、Z及びF成分が0.1nT、D成分が0.01′、一番外側の線が0.1nT、0.01′の影響が及ぶ範囲を示す。灰色で表示している観測点は解析に使用しなかった点である。

Estimation of the influence of facilities removed from the Memambetsu Magnetic Observatory site on geomagnetic field measurements at the absolute observation point

by

**Shin ARITA, Takeshi OWADA, Fujio MUROMATSU, Tetsuo TOKUMOTO,
Kenji MORINAGA and Takashi OHKAWA**

Kakioka Magnetic Observatory

Received 20 February 2016; received in revised form 29 September 2016;
accepted 7 October 2016

Abstract

Eleven unnecessary facilities identified as magnetic sources (eight buildings and three storerooms) were removed from the Memambetsu Magnetic Observatory site during September and October 2014. These were one residential building and one storeroom (about 115 m east-northeast of the absolute observation point), another one residential building and two storerooms (about 160 m east-northeast of the absolute observation point), and another six buildings (about 105 to 245 m north of the absolute observation point). To evaluate the amount of artificial magnetic noise caused by the facilities we removed, we specially arranged monitoring magnetometers. In addition, we carried out magnetic surveys around the observatory before and after their removal. In past, when the absolute observation point had been permanently influenced by an artificial disturbance from a single magnetic source, we had estimated the influence using the traditional method. However, in this case, the absolute observation point was influenced by several sources of artificial disturbance. Therefore, it was difficult to separate the individual influences of the various sources of artificial disturbance by the traditional method. Nonetheless, we have now developed a new software to estimate the individual influences of the various sources of artificial disturbance, and estimated the influence on geomagnetic field measurements to the absolute observation point.