

# 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—

森永健司<sup>1</sup>, 長町信吾<sup>2</sup>, 生駒良友<sup>3</sup>, 大和田毅<sup>1</sup>

<sup>1</sup>地磁気観測所観測課, <sup>2</sup>地磁気観測所調査課, <sup>3</sup>気象庁地震火山部

2012年12月13日受領, 2013年2月5日改訂, 2013年3月4日受理

## 要 旨

地磁気観測所鹿屋観測施設は, 精密な地磁気観測の妨げとなる人工擾乱の問題が深刻化している。人工擾乱は, 地磁気絶対観測にも影響を及ぼす。これまで, 絶対観測中に人工擾乱が発生した場合は, 人工擾乱がなくなったのを確認して, 再観測を実施していた。しかし, 鹿屋観測施設の遠隔化により, 人工擾乱を避けての絶対観測が難しい状況となっている。人工擾乱発生中に絶対観測を実施した場合でも, 観測点の人工擾乱の影響量を把握し適切な処理を行うことで, 観測精度を維持することができる。人工擾乱の影響を除去し, 適切な基線値を計算する方法を紹介する。

### 1. はじめに

観測点周辺の車両等の人工物が地磁気観測値に及ぼす擾乱(以下, 人工擾乱とする)は, 精密な地磁気観測の妨げとなる。観測点周辺の都市化に伴い, 人工擾乱の発生頻度は年々増加傾向にある。敷地面積が狭く, 周辺を車道で囲まれた鹿屋観測施設は, 人工擾乱問題が深刻である。

地磁気観測は, フラックスゲート磁力計による連続観測と, 週1回程度の磁気儀による絶対観測で成り立っている。絶対観測は連続観測の基線値を決定するために行っており, 絶対観測毎に得られた基線値を時間内挿し, 連続観測値に加えることで最終的な地磁気絶対値としている。人工擾乱の発生は, 当然のことながら, 連続観測, 絶対観測の両方に影響を及ぼす。連続観測への影響は, 基本的に短時間の部分的なものであるが, 絶対観測への影響は, 連続観測に対し誤った基線値を与えることになり, 長期的なデータの信頼性が著しく損なわれる。

これまで, 人工擾乱の発生が確認された場合, 人工擾乱の影響がなくなるのを待って絶対観測を実施していた。また, 絶対観測後に人工擾乱の発生に気がついた場合は, 再観測を実施していた。しかしながら, 鹿屋観測施設の遠隔化により, 絶対観

測は2週に1回の出張時に実施することとなった。出張の日程はあらかじめ決定されており, 人工擾乱の発生状況に合わせて絶対観測の実施タイミングを変更することや, 限られた作業時間の中で再観測を行うのは困難である。

基本的に, 人工擾乱を避けて絶対観測を実施するのが原則である。しかし, 上述の理由から, 人工擾乱が発生した状況でも絶対観測を実施せざるを得ない。絶対観測時の人工擾乱を避けられない以上, 人工擾乱による影響量(以下, 擾乱量とする)を加味して基線値の計算を行う必要がある。

徳本らは, 人工擾乱源を1つの磁気モーメントと仮定して, 複数の磁力計データから, 磁気モーメントの位置と大きさ(ベクトル量)を推定し, 任意の地点の擾乱量を推定するソフトウェア myDist を開発している(徳本・他, 2002)。また, 鹿屋観測施設から北西方向に約3.4km離れた位置に, 比較観測点として祓川観測点があり, 鹿屋観測施設の人工擾乱の把握に使用されている(小池・他, 1992)。

すべての人工擾乱に対して可能な方法ではないが, myDist による解析結果及び, 祓川観測点との連続観測データの差から推定できる擾乱量を用いることで, 絶対観測中に人工擾乱が発生した場合で

も、擾乱量を除去して適切な基線値を計算する方法を紹介する。また、具体的な例を交えながら、鹿屋観測施設で2011年度に発生した絶対観測中の人工擾乱の発生頻度と、人工擾乱源位置の傾向を紹介する。

## 2. 鹿屋観測施設の観測体制と周辺環境

図1に鹿屋観測施設の模式図を示す。約200m四方の敷地のほぼ中央に絶対観測点が存在する。フラックスゲート磁力計による3成分(HZD成分)連続観測点は5点ある。そのうち絶対観測点の北西約40mの観測点が主連続観測点である。全磁力の連続観測点は3点あるが、毎秒計測を行っているのは、OHM観測点のみである。

磁力計のほかにも、敷地の東西南北にはモニタリングカメラが設置され、構内の監視を行っている。モニタリングカメラは人工擾乱発生時に擾乱源の確認としても使用している(Minamoto *et al.*, 2011)。

敷地周囲は車道となっている。特に、西側の車道は2車線化されている。西側道路を挟んだ反対側にはJAの施設があり、大型トラックが停車することが多い。人工擾乱発生源の多くは、この西側道路沿いに集中している。

鹿屋観測施設の構外、約3.4km北西に、位置する祓川比較観測点では、フラックスゲート磁力計による3成分連続観測及び、OHM磁力計による全磁力観測を行っている。どちらも測定間隔は1秒である。祓川比較観測点は、周辺に民家がなく、ほとんど人工擾乱は発生しない。鹿屋観測施設の人工擾

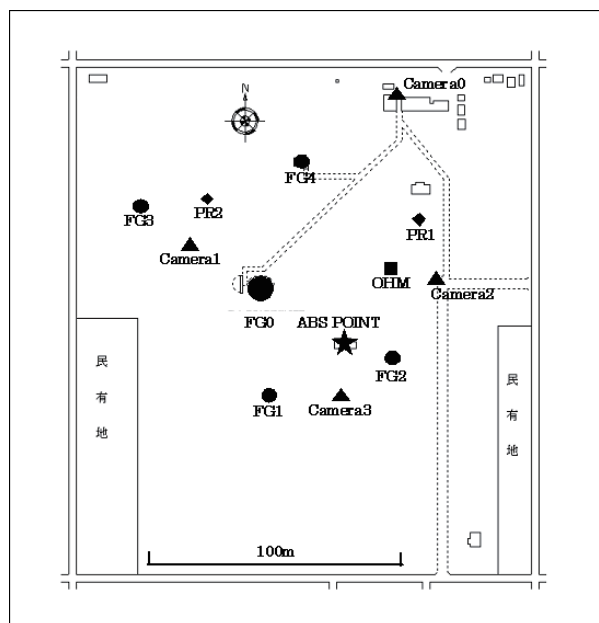


図1 鹿屋観測施設の観測点配置の模式図

★：絶対観測点 ●：3成分連続観測点(毎秒計測)(大きい●は主, 小さい●は副) ■：全磁力連続観測点(毎秒計測) ◆：全磁力連続観測点(毎分計測) ▲：モニタリングカメラ

乱の発生は、祓川比較観測点と鹿屋観測施設のデータ差を見ることで判別している。

## 3. 基線値から擾乱量を除去する計算方法

絶対観測時に人工擾乱が発生した場合、絶対観測点の擾乱量と、連続観測点の擾乱量を求めることができれば、基線値から擾乱量を除去することができる。絶対観測点の測定値をA、その時の連続観測点の計測値をBとすると、観測基線値(BLV)は、

$$BLV = A - B$$

で与えられる。絶対観測点及び連続観測点の擾乱量をそれぞれ $\alpha$ 、 $\beta$ とすると、人工擾乱の影響量を差し引いた観測基線値(BLV')は、

$$BLV' = (A - \alpha) - (B - \beta) = BLV - \alpha + \beta$$

となる。

絶対観測点と、連続観測点の擾乱量が分かれば、基線値から擾乱量を除去することができる。問題となるのは、各観測点の擾乱量を正確に把握することができるかどうかである。

## 4. 擾乱量の把握と補正可否について

擾乱量を把握するもっとも簡単な方法として、祓川比較観測点とデータ差をとる方法がある。鹿屋観測施設と祓川比較観測点の両方で、同時刻に人工擾乱が発生する可能性は低く、ほとんどの場合、2点のデータ差を見ることで、人工擾乱が発生した時間と擾乱量を確認することが可能である。ただし、当然のことながらデータ差で擾乱量を把握する方法は、連続観測点しか使用できない。

連続観測を行っていない絶対観測点では、1節で述べたmyDistを用いて計算により擾乱量を推定する方法を使用する。すなわち、人工擾乱を受ける前後の複数の磁力計の基準観測点とのデータ差から、人工擾乱源を1点の磁気モーメントと仮定して解析を行い、人工擾乱源及び任意の位置の擾乱量を求め、絶対観測点の擾乱量を把握する。

myDistによる解析により、絶対観測点だけでなく連続観測点の擾乱量も推定することができる。連続観測点の擾乱量は、比較観測点とのデータ差でも求められるので、myDistによる各連続観測点の推定擾乱量と、比較観測点との差を確認することにより、myDistによる解析結果の良否の判定に使用している。

絶対観測時に人工擾乱が発生した場合は、上述

の方法で絶対観測点及び、連続観測点の擾乱量を把握することができる。しかしながら、myDistによる擾乱量の把握は、前提として、人工擾乱源が1点という条件があるため、人工擾乱源が2点以上ある場合、擾乱量の推定が行えない。また、人工擾乱源が常に動きまわっている場合は、観測時間中の擾乱量が一定ではないため、擾乱量の把握が非常に複雑になり、現実的に基線値を補正することは不可能である。また、鹿屋観測施設と祓川比較観測点は、地磁気日変化特性の違いが存在し、磁気嵐の発生時等は、この変化特性の違いが顕著に表れる(横山他, 1996)。鹿屋観測施設と祓川比較観測点のデータ差に地磁気変化特性の違いが乗ってくる場合、データ差による連続観測点の擾乱量の把握及び、比較観測点を基準としたmyDistによる擾乱量の推定も困難となり、基線値の補正はできない。

## 5. 人工擾乱補正の例 (2011年12月5日の基線値補正)

### 5.1 人工擾乱の発生状況

具体的な絶対観測基線値補正の例として、2011年12月5日の絶対観測中に発生した、鹿屋観測施設敷地南西側に停車した大型車両による人工擾乱の補正処理を示す。

図2に2012年12月5日の絶対観測時の鹿屋観測施設の主連続観測点と、祓川比較観測点の4成

分(HZDF成分)の差のプロット図を示す。03:09頃にHZ成分はデータ差が小さく、D成分は大きくなり04:05に元に戻る。このデータ差に変化が生じている時間帯に、人工擾乱が発生し、観測点に影響を及ぼしている。絶対観測は、基本的に2人で行う。図2の点線で囲ったところが、1人目(obs1)及び2人目(obs2)が絶対観測を実施した時間帯である。図を見てわかるように、obs2の絶対観測の途中から人工擾乱の影響を受けている。

F成分に関しては、HZD成分のような変化は見られず、F成分の連続点には人工擾乱の影響がほとんどないことが分かる。ただし、絶対観測点のF成分には、影響がある可能性がある。今回の例では、F成分の絶対観測(全磁力総合差観測)に関しては、人工擾乱の影響がなくなったことが確認された時間に再観測を実施している。よって、この人工擾乱による基線値の補正はobs2のHZD成分のみを補正対象としている。また、使用するデータの最小単位は、地磁気毎分値の最小単位に合わせて、HZ成分は0.1nT、D成分は0.01'(arc minutes)を使用している。

### 5.2 連続観測点及び絶対観測点への影響量

人工擾乱の補正を行うために、連続観測点と絶対観測点の擾乱量を求める必要がある連続観測点に関しては、祓川比較観測点とデータ差により見積も

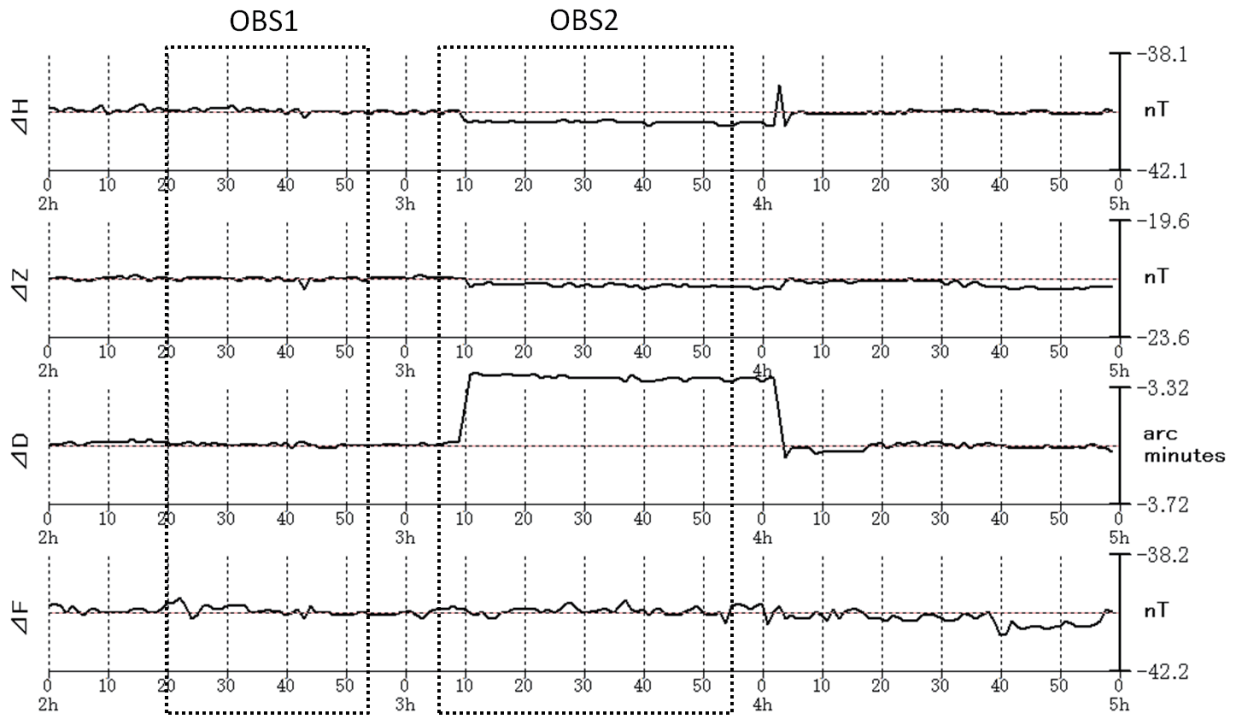


図2 2011年12月5日02:00~04:59(UTC)の鹿屋連続観測データと祓川連続観測データの地磁気HZDF成分の差分プロット図。破線で示したところが、絶対観測を実施した期間。

表1 祓川比較観測点とのデータ差で求めた擾乱量.  
観測点の名称は, 図1と対応している.  
HZ成分は nT 単位, D成分は arc minutes 単位.

	H	Z	D
FG0	-0.3	-0.2	0.24
FG1	2.9	-0.4	0.34
FG2	0.7	-0.1	0.08
FG3	-2.1	0.1	0.10
FG4	-0.3	-0.1	0.08

表2 人工擾乱解析ソフト (myDist) で求めた擾乱量.  
観測点の名称は, 図1と対応している.  
HZ成分は nT 単位, D成分は arc minutes 単位.

	H	Z	D
FG0	-0.4	-0.2	0.25
FG1	2.8	-0.3	0.34
FG2	0.6	0.0	0.08
FG3	-2.1	-0.2	0.14
FG4	-0.5	0.0	0.08
ABS	0.5	0.0	0.14

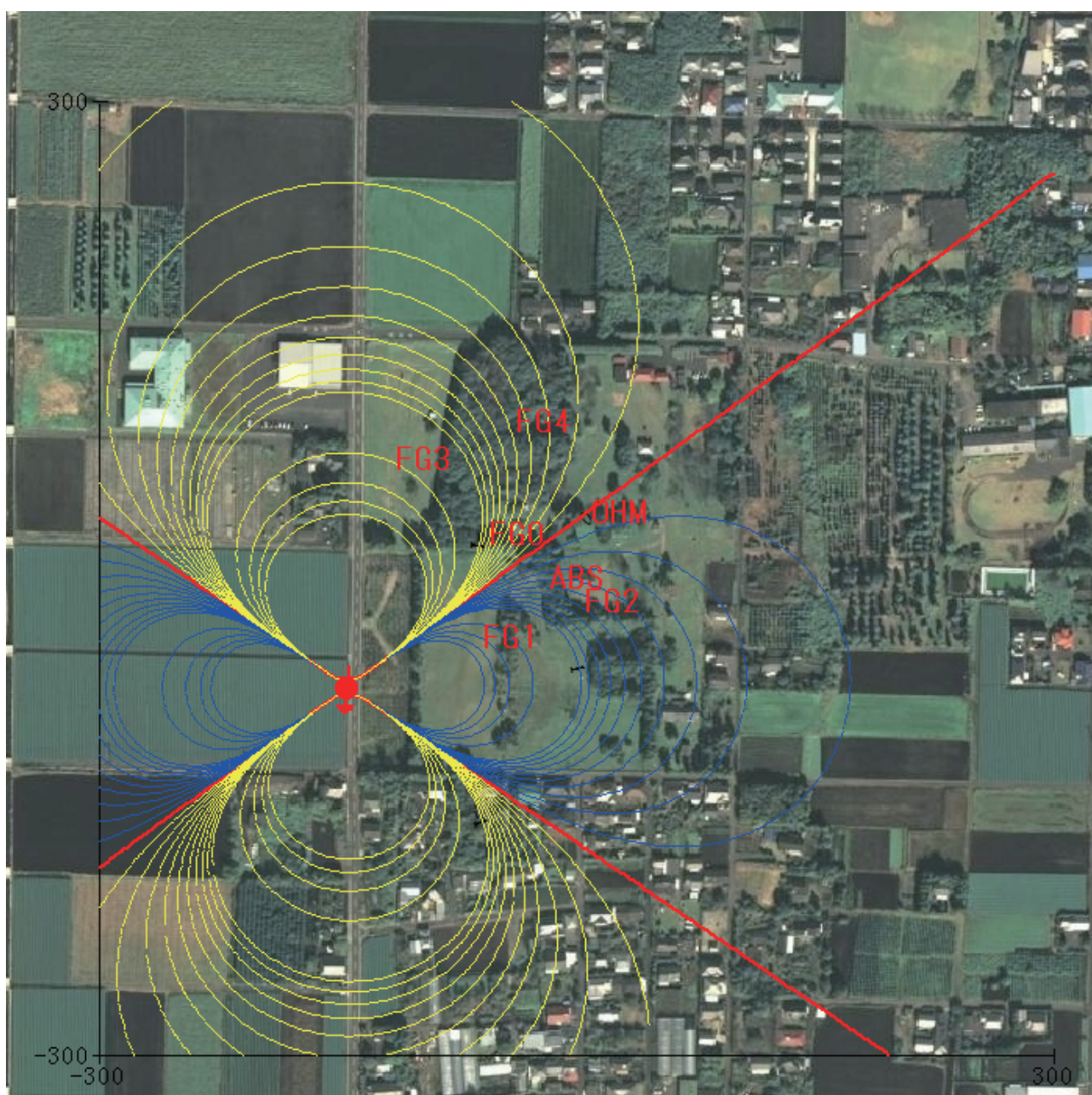


図3 人工擾乱解析ソフト (myDist) で求めた推定擾乱源位置.  
この背景地図等データは, 国土地理院の電子国土 web システムから配信されたものである.

ることができる。表1に鹿屋観測施設の各連続観測点と祓川比較観測点とのデータ差から求めた擾乱量を示す。

次に、絶対観測点の擾乱量を求めるために、myDistを使用する。myDistを使用するに当たり、基準点は祓川比較観測点を使用した。図3鹿屋観測施設の航空写真上に、myDistで計算された磁気モーメントの位置を重ねた図を示す。myDistの計算結果では、人工擾乱源は、敷地南西方向の、西側道路沿いとなった。この事例では、観測者が目視により、廃車運搬用の大型トラックが停車していたことを確認している。

表2にmyDistで計算した、鹿屋観測施設の各連続観測点及び、絶対観測点の擾乱量を示す。表1と表2の各連続観測点の擾乱量を見比べると、FG3観測点のD成分のみ表1と表2で0.04'の違いがあるが、他の観測点に関しては全成分共に、HZ成分では、最大で0.2nT、D成分では0.01'の違いしかない。比較観測点とのデータ差で求めた擾乱量と、myDistで求めた擾乱量の違いは、myDistの推定誤差の範囲内と判断できる。このことから、myDistで計算した連続観測点及び、絶対観測点の推定擾乱量を基線値補正に使用した。

### 5.3 観測基線値の補正

絶対観測点と連続観測点の擾乱量をもとに、基線値に対し補正を行う。絶対観測は、1人4回ずつ行う。最終的な結果は、2人×4回の計8回の観測結果の平均を使用する。今回の事例では、絶対観測の途中から人工擾乱が発生しているため、擾乱を受けている個々の観測に対して補正を行う必要がある。

表3に8回の絶対観測の個々の結果から計算したHZD成分の基線値と、全8回の平均、標準偏差を示す。個々の観測基線値を見てわかるように、影

表3 2011年12月5日の擾乱補正前の8個の基線値と、8個の平均及び標準偏差。  
HZ成分はnT単位、D成分はarc minutes単位。

観測回数	H	Z	D
1	-2.23	1.62	0.140
2	-2.20	1.59	0.154
3	-2.00	1.41	0.175
4	-2.12	1.53	0.165
5	-1.36	1.40	0.096
6	-1.21	1.25	0.084
7	-1.39	1.39	0.086
8	-1.30	1.36	0.075
平均	-1.73	1.44	0.122
標準偏差	0.45	0.13	0.041

表4 2011年12月5日の擾乱補正後の8個の基線値と、8個(Dは7個)の平均及び標準偏差。  
灰色で示したD成分5回目の値は平均及び標準偏差の計算に使用していない。  
HZ成分はnT単位、D成分はarc minutes単位。

観測回数	H	Z	D
1	-2.23	1.62	0.140
2	-2.20	1.59	0.154
3	-2.00	1.41	0.175
4	-2.12	1.53	0.165
5	-2.26	1.20	0.206
6	-2.11	1.05	0.194
7	-2.29	1.19	0.196
8	-2.20	1.16	0.185
平均	-2.18	1.34	0.177
標準偏差	0.09	0.21	0.021

響量が大きかったHD成分に関しては、明瞭に5回目を境に値が変わる。地磁気観測所では、絶対観測の良否の判定基準の一つとして、全8回の標準偏差がHZ成分は0.3nT以下、D成分は0.03'以下という基準を設けている。表3の標準偏差をみても、HD成分に関しては、良否判定で否と判断される。

表2で示した、連続観測点の擾乱量と、絶対観測点の擾乱量を使用し、5回目以降の基線値を補正した結果を表4に示す。

擾乱量を補正した結果、H,D成分に明瞭に出ていた5回目以降の変化がなくなる。全8回の標準偏差も全成分0.3nT(0.03')以下に収まっている。ただし、D成分の5回目の値に関しては、観測の途中から人工擾乱が発生しており、単純な計算では人工擾乱の影響を正しく補正できない。通常全8回の観測結果の平均を採用して、最終的な基線値を決定するが、この事例では、D成分の5回目の観測を除外し、7個の観測結果から、最終的な基線値を計算することにした。

### 6. 鹿屋観測施設の絶対観測時の人工擾乱の発生頻度と、人工擾乱源位置の傾向について

鹿屋観測施設で、年間を通じ、どの程度の頻度で絶対観測中に人工擾乱が発生するかと、人工擾乱の発生場所等の傾向について紹介する。

2011年4月から2012年3月までの期間の絶対観測総数は、53回であった。このうち9回の絶対観測において、絶対観測点または連続観測点に0.3nT(0.03')以上の影響がある人工擾乱が確認された。9回の人工擾乱事例の詳細を表5に示す。

表5の擾乱源位置に関しては、myDistにより算出された擾乱源位置であるが、2011年9月5日の事例以外は、モニタリングカメラや観測者の目視に

より、その位置に擾乱源となる車両の存在が確認されている。例外的な事例として、2011年6月21日の事例は、敷地周辺の車両による人工擾乱ではなく、敷地境界の送電線に発生した直流電流による影響であった (Nagamachi *et al.*, submitted)。この事例に関しては、例外としてここでは紹介せず、残りの8事例について紹介する。

この期間に発生した車両が原因と推測される人工擾乱は、1事例を除きすべて西側の道路沿いに人工擾乱源がある。2章でもふれているが、鹿屋観測施設を囲む道路のうち、西側道路は2車線道路で大型車両の通行、停車が多い。4事例は敷地北西のJA施設駐車場に停車する車両が原因である。3事例は敷地南西の道路沿いに停車した大型トラックが原因である。西側道路沿いの人工擾乱に関しては、鹿屋観測施設が遠隔化される前から、深刻な問題となっており、鹿屋観測施設の連続観測点の配置も、西側道路の人工擾乱を意識し、敷地西側に擾乱源がある場合に、myDistの解析精度が良くなるような配置となっている。

1事例しかないが、2011年9月5日の事例のように人工擾乱源が敷地南東にある場合は、myDistの解析精度があまり良くない傾向がある (徳本・他 2013)。敷地南東部は比較的人工擾乱の発生が少ない場所ではある。しかしながら、絶対観測時にこの場所で人工擾乱が発生した場合、絶対観測点の擾乱量が正確に把握できない可能性が高くなる。

人工擾乱の発生や、連続観測点の擾乱量は、祓川比較観測点とのデータ差である程度把握することが可能である。しかし、絶対観測点の擾乱量は擾乱解析ソフトを使用しないと把握できない。myDistによる擾乱量解析結果は、あらかじめ人工擾乱源の位置が分かっている場合、解析精度が良くなる。人工擾乱源の出現頻度が高い場所をあらかじめ把

握し、モニタリングカメラで容易に人工擾乱源位置を確認できるような体制を整えておく必要がある。

## 7. まとめ

鹿屋観測施設の人工擾乱問題は、年々深刻さを増してきている。遠隔化前は人工擾乱を避けて絶対観測を実施することにより、長期的な観測精度を保つことができていた。しかし、遠隔化に伴い、人工擾乱を避けて絶対観測を実施するのが困難となった。また、絶対観測の頻度が週1回から2週に1回に減っており、1回の絶対観測の重要性は増加している。

絶対観測中に人工擾乱が発生した場合、人工擾乱がなくなった後で再観測を実施するのが、正確な基線値を得るための最良の方法であることは間違いない。しかし、再観測が困難である以上、理論的な根拠に基づいて、絶対観測結果から人工擾乱の影響を計算的に除去することが、観測精度を維持してゆくために最も有効な手段と考える。

今回、観測結果から人工擾乱の影響を除去する方法と、鹿屋観測施設の人工擾乱の発生状況を紹介した。今後も、鹿屋観測施設では深刻な人工擾乱問題を抱えながら、地磁気観測を続けてゆくことになるであろう。厳しい観測環境の中で、観測精度を維持してゆくために、人工擾乱の発生とその擾乱量を把握し、最適な補正処理を行ってゆくことが重要となる。

表5 2011年4月から2012年3月の期間に、絶対観測中に発生した人工擾乱の一覧  
人工擾乱源位置及び観測点の擾乱量は、人工擾乱解析ソフト (myDist) の解析結果より求めている。  
HZ成分は nT 単位、D成分は arc minutes 単位。

事例日	人工擾乱源位置	連続観測点擾乱量			絶対観測点擾乱量		
		H	Z	D	H	Z	D
2011/04/01	敷地北西駐車場付近	0	0	-0.04	0	0	0
2011/05/24	敷地北西駐車場付近	0	0	-0.05	0	0	-0.02
2011/06/16	敷地北西駐車場付近	0	0	-0.04	0	0	0.03
2011/06/21	敷地境界南及び東側の直流電流	-0.2	0.7	0	0	0.9	0
2011/08/16	敷地北西駐車場付近	-0.1	0.1	-0.03	0	0	-0.01
2011/09/05	敷地南東の角付近	0	0	0	0.3	0	0
2011/11/21	敷地南西育苗場横の道路	-0.4	-0.2	-0.29	0.7	0	0.16
2011/12/05	敷地南西育苗場横の道路	-0.4	-0.2	0.25	0.5	0	0.14
2012/02/16	敷地南西育苗場横の道路	-0.3	-0.2	0.21	0.6	0	0.12

## 参考文献

- 徳本哲男, 中島新三郎, 大川隆志, 星野正史, 地磁気人工擾乱の把握, 地磁気観測所技術報告, **41**(2), 23-31, 2002.
- 小池捷春, 菅原政志, 地磁気人工擾乱対策のための比較観測点の設置について, 地磁気観測所技術報告, **32**(1,2), 1-19, 1992.
- Minamoto Y, Y. Ikoma, K. Morinaga and J. Shimizu, An advanced systems for monitoring geomagnetic environments by the Japan Meteorological Agency, *Data Science Journal*, **10**, IAGA52-IAGA57, 2011.
- Nagamachi, S., K. Morinaga, Y. Ikoma, M. Akutagawa, T. Moriyama, T. Oowada and T. Tokumoto, Monitoring and correction methods for geomagnetic data influenced by artificial disturbances, *Data Science Journal*, (submitted).
- 横山恵美, 大川隆志, 鹿屋構外比較点の利用について, 地磁気観測所技術報告, **36**(1,2), 57-63, 1996.
- 徳本哲男, 室松富二男, 生駒良友, 女満別・鹿屋における人工擾乱の検出能力, 地磁気観測所テクニカルレポート, **10**(2), 37-50, 2013.

**Absolute magnetic observation influenced  
by artificial disturbances at Kanoya  
-occurrence status and correction method-**

by

**Kenji MORINAGA<sup>1</sup>, Shingo NAGAMACHI<sup>1</sup>, Yoshitomo IKOMA<sup>2</sup> and Takeshi OWADA<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Kakioka Magnetic Observatory

<sup>2</sup> Seismological and Volcanological Department, Japan Meteorological Agency

Received 13 December 2012; received in revised form 5 February 2013;

accepted 4 March 2013