地磁気測量の高度化に関する調査研究（第 2 年次）

実施期間　　令和 2 年度～令和 3 年度
測地部物理測地課　松下　拓輝　　撹上　泰亮
吉田　賢司　　越智　久巳一

1. はじめに

物理測地課では，全国 12 か所で，フラックスゲート磁力計（全磁力計）による地磁気変化観測（全磁力観測）を連続的に行っている．地磁気変化観測は，地磁気の変化量のみを観測しているため，磁場の絶対値を測定することはできない．そのため，地磁気の絶対値の算出を目的として，職員による地磁気測量作業を定期的に実施している．

物理測地課が実施している地磁気測量のうち絶対観測を「ゼロ磁場方式」により実施しているが，この地磁気測量作業の省力化を目的に，「弱磁場方式」の導入を検討している．令和 2 年度（吉藤ほか，2021）は，作業時間がどの程度削減できるかに焦点を当て，調査したところ，最大で 30 パーセント（15 分）程度削減できることが分かった．一方で，精度検証が数箇所の観測点でしか実施されていないことが課題となっていた．そこで，本年度はさらに観測点を増やして調査を実施した．

2. 弱磁場方式の精度検証

令和 3 年度の地磁気測量作業において，複数の観測点で「ゼロ磁場方式」に加えて「弱磁場方式」の観測を実施した．基線値と呼ばれる，変化量を絶対値に化成する基準値について，弱磁場方式の絶対精度並びにゼロ磁場方式及び弱磁場方式の相対精度を調べ，弱磁場方式の精度検証を実施した．

2.1 調査方法

弱磁場方式の絶対精度の調査にあたっては，各点のゼロ磁場方式による観測結果の基線値を平均した基線値成果を真値として，各点ごとに評価した．相対精度の調査にあたっては，全体の傾向を見るために，各点において基線値成果とゼロ磁場方式及び弱磁場方式の各基線値とのバラツキを比較することで評価した．データの諸元は表-1 のとし，弱磁場方式の観測数がゼロ磁場方式の回数に満たない場合では，相対精度のみを評価した．ただし，ここでの観測数はセット数であることに注意されたい．

表-1 データの諸元

基準磁気点	観測数（ゼロ磁場方式）	観測数（弱磁場方式）	検証内容
横浜 (YOK)	12	12	絶対精度・相対精度
原町 (HAR)	12	12	絶対精度・相対精度
志賀 (SIK)	12	8	相対精度
萩原 (HAG)	12	9	相対精度
十津川 (TTK)	12	12	絶対精度・相対精度
室戸 (MUR)	12	12	絶対精度・相対精度
久住 (KUJ)	12	9	相対精度

2.2 調査結果

弱磁場の絶対精度を調べた結果を表-2 にまとめた．偏角は，「横浜」で 18 秒の差，「十津川」で 9 秒の差であるが，その他の観測点ではおおむね基線値成果と同等の値となっている．また，参考として弱磁場方式の観測結果が作業規程運用基準の必要要件を満たしているか確認するために，偏角の最大と最小の較差を調べたところ，「横浜」や「十津川」で較差がやや大きいものの作業規程運用基準で定めている許容範囲 30 秒以内を満たしていた．水平分力は，全ての点で 1 nT 以内で同等の値となっている．「十津川」で最大値と最小値との差が 4.0 nT という大きい較差となっているが，こちらも作業規程運用基準で定めている制限 5 nT 以内を満たしている．鉛直分力についても，水平分力と同様に 1 nT 以内で同等の値となっている．

次に相対精度を調べた結果を図-1，図-3 及び図-4 にまとめた．これらの図は，基線値成果と観測値との差が正規分布にしたがうと仮定して，偏角，水平分力，鉛直分力の確率密度関数をゼロ磁場方式及び弱磁場方式それぞれについて求めたものである．図-1 は，偏角の確率密度関数を表したもので，この図から弱磁場方式はゼロ磁場方式に比べ，バラツキが大きいことが分かる．また，各方式の標準偏差を求めるとゼロ磁場方式（弱磁場方式）で約 6（15）秒となった．この差は，9 秒なので制限の 30 秒以内に比べると小さい値であるが，この分布が正規分布にしたがう場合，弱磁場方式の観測の約 3 割，つまり 1σ の範囲外，が 30 秒の制限を超過してしまうことになる．ただし，図-2 に示すように，原町や室戸では弱磁場方式でも精度が良好なため，方式そのものの問題ではなく，観測の手順や条件などを見直すことで，精度改善が見込める可能性がある．図-3 は，水平分力の確率密度関数を表したもので，偏角同様に，弱磁場方式のバラつきが大きくなっている．一方で，各方式の標準偏差は，ゼロ磁場方式（弱磁場方式）で約 0.5（1.2） nT で，弱磁場方式でも，約 9.5 割，つまり 2σ の範囲内が 5 nT の制限内を満たすので，十分な精度だといえる．また，図から弱磁場方式が+0.3 nT ほどの系統誤差を持っているようにみえるが，制限の 5 nT に比べて，十分小さい値である．図-4 は，鉛直分力の確率密度関数を表したもので,弱磁場方式のバラつきは,ゼロ磁場方式とほぼ同等であることが分かる．標準偏差を比較しても，ゼロ磁場方式及び弱磁場方式ともに，約 0.7 nT なので，このことからも鉛直分力は，弱磁場方式とゼロ磁場方式にほとんど差がないといえる．

表-2 各点における基線値成果と弱磁場方式の成果との比較

基準磁気点	偏角 (基線値成果)	偏角 (弱磁場)	水平分力 [nT] (基線値成果)	水平分力 [nT] (弱磁場)	鉛直分力 [nT] (基線値成果)	鉛直分力 [nT] (弱磁場)
横浜 YOK	8° 45′ 01″ (9″)	8° 45′ 19″ (27″)	27674.8 (1.3)	27675.2 (0.4)	40001.8 (0.6)	40001.3 (0.8)
原町 HAR	7° 17′ 41″ (3″)	7° 17′ 38″ (4″)	30067.2 (0.8)	30068.1 (1.0)	37819.2 (0.5)	37818.5 (0.9)
十津川 TTK	6° 41′ 42″ (10″)	6° 41′ 33″ (20″)	31252.4 (1.3)	31251.3 (4.0)	34224.6 (1.4)	34225.2 (1.6)
室戸 MUR	7° 39′ 59″ (3″)	7° 40′ 00″ (9″)	31790.3 (0.6)	31791.0 (1.0)	34693.3 (1.3)	34693.0 (0.6)

*括弧内の数値は，各点の観測における基線値の最小値と最大値の較差を示す．

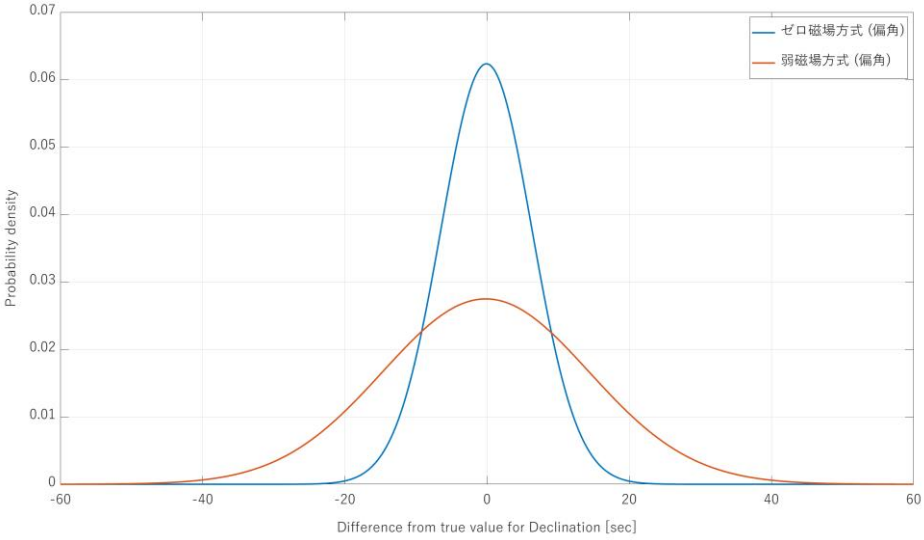

図-1 基線値成果との差の確率密度関数（偏角）

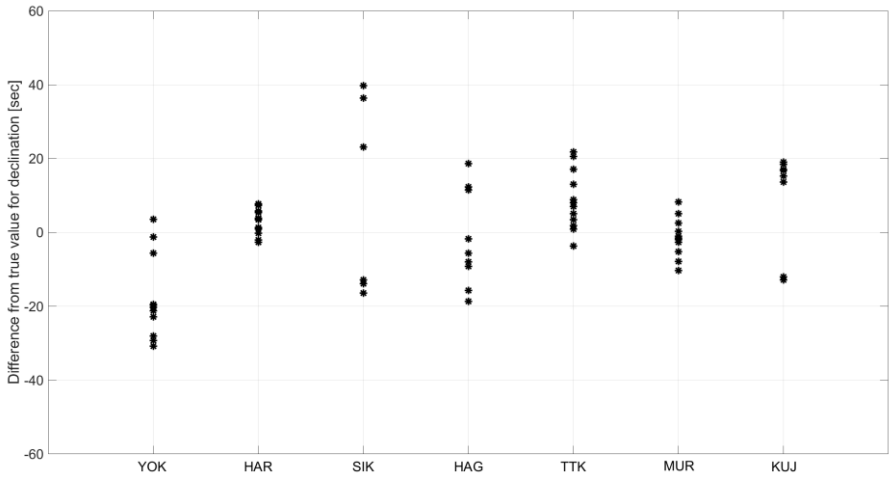

図-2 各点における基線値成果との差（偏角）

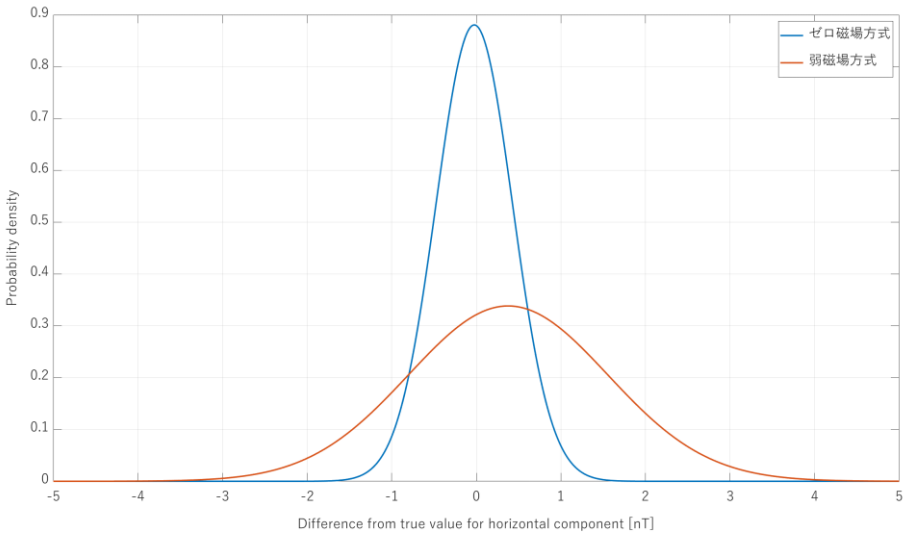

図-3 基線値成果との差の確率密度関数（水平分力）

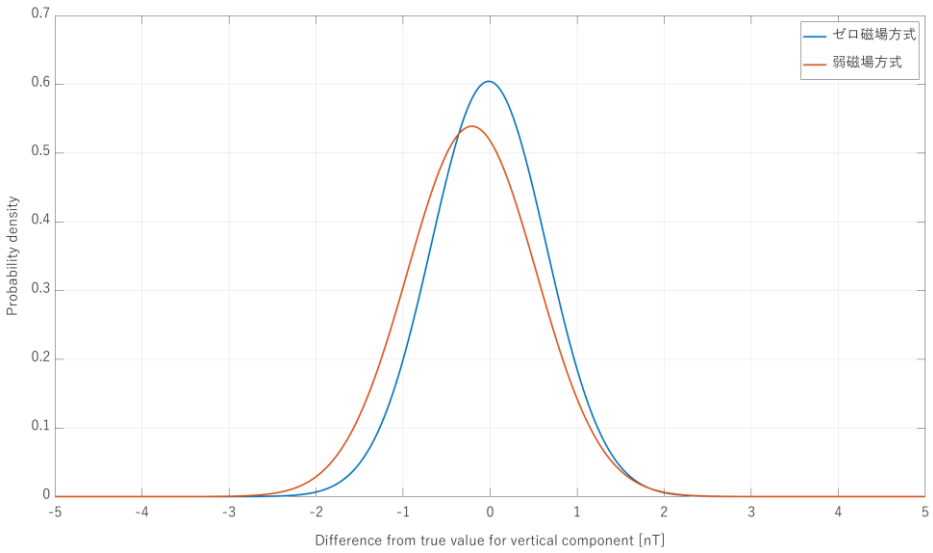

図-4 基線値成果との差の確率密度関数（鉛直分力）

3. まとめ

弱磁場方式を地磁気測量作業規程に採用する検討として，現行のゼロ磁場方式との絶対精度及び相対精度を比較した．絶対精度は，ゼロ磁場方式に十分近い値が得られたので，弱磁場方式も採用可能だといえる．相対精度は，鉛直分力においてゼロ磁場方式と同等のものが得られた一方で，偏角及び水平分力は，必要程度は有しているもののゼロ磁場方式と比べて相対精度が劣ることが示された．しかしながら，偏角を例にあげると，観測した点によっては弱磁場方式でも十分な相対精度を有している場合があるので，直ちに方式そのものに原因があるとも言い難い．今後，マニュアルを作成して細かい観測手順や条件を決めることで，標準偏差で 7 秒程度（±2 σ が制限 30 秒を満たす値）を目標に，運用することにする．

参考文献

吉藤浩之，撹上泰亮，山口智也，越智久巳一（2021）：地磁気測量の高度化に関する調査研究，令和 2 年度調査研究年報，38-41.