

地磁気測量の高度化に関する調査研究

実施期間 令和2年度
測地部物理測地課 吉藤 浩之 攪上 泰亮
山口 智也 越智 久巳一

1. はじめに

物理測地課では、2か所の測地観測所（鹿野山、水沢）及び10か所の地球電磁気連続観測装置において、フラックスゲート磁力計による地磁気変化観測及び全磁力計による全磁力観測を連続的に行っている。地磁気変化観測は、地磁気の時間変化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、磁気儀を用いて偏角 D 及び伏角 I の絶対値を測定する地磁気絶対観測を定期的実施して、磁場の絶対値を算出している。

現在物理測地課が実施している地磁気絶対観測は「ゼロ磁場方式」と呼ばれており、高い技術力と完全非磁性な状態での観測が要求され、習熟には一定の時間を要している。一方、欧米（ドイツやフランスやアメリカ）では「弱磁場方式」と呼ばれる、観測に技術的負担があまりかからない絶対観測手法が用いられつつある。弱磁場方式を用いた地磁気絶対観測（以下「弱磁場観測」という。）は、ゼロ磁場方式を用いた地磁気絶対観測（以下「ゼロ磁場観測」という。）と比較して、地磁気測量作業の労力・時間の省力化が期待できる。本研究では、弱磁場観測を行い、観測精度等についての調査を行った。

2. 調査内容

2.1 「ゼロ磁場観測」と「弱磁場観測」

ゼロ磁場観測は、磁場ベクトルに直交する方向を精密に測定している。この観測では、磁気儀の磁力計軸を磁場ベクトルに直交する方向（磁力計の出力値が $0[nT]$ になる方向）に厳密に合わせる（図-1a）。

一方、弱磁場観測は、磁気儀の磁力計軸を磁場ベクトルと直交する方向近傍に合わせて、磁力計の出力値から計算によって求めた補正角 θ を用いて、磁場に直交する方向の角度を求めている（図-1b）。

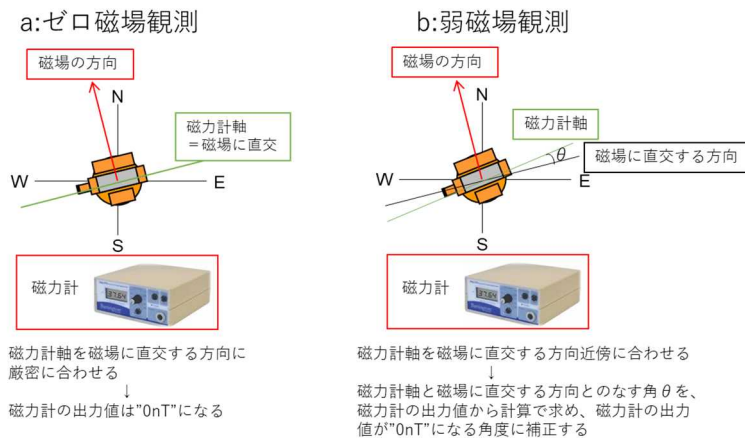


図-1 ゼロ磁場観測と弱磁場観測の比較(a:ゼロ磁場観測, b:弱磁場観測)

2.2 弱磁場観測における補正角の導出

補正角は図-2のように求めることができる。図-2を見ると磁力計の出力値 $R[nT]$ は式1で表せる。補正角 $\theta[rad]$ が十分小さい時は、 $\sin\theta \approx \theta$ が成立するので、磁力計の出力値 R は線形となり、補正角 θ は式2の通りに表せる。この θ と弱磁場観測で得た測定角を用いて、磁場に直交する方向を求めることができる。

[偏角の補正角を求める場合]

$$R[nT]=H \cdot \sin\theta \text{ (式 1-1)}$$

θ が十分小さい時は

$$R[nT] \approx H \cdot \theta \text{ と近似でき}$$

$$\theta \approx R/H \text{ [rad] となる (式 2-1)}$$

* H は水平分力[nT]である

[伏角の補正角を求める場合]

$$R[nT]=F \cdot \sin\theta \text{ (式 1-2)}$$

θ が十分小さい時は

$$R[nT] \approx F \cdot \theta \text{ と近似でき}$$

$$\theta \approx R/F \text{ [rad] となる (式 2-2)}$$

* F は全磁力[nT]である

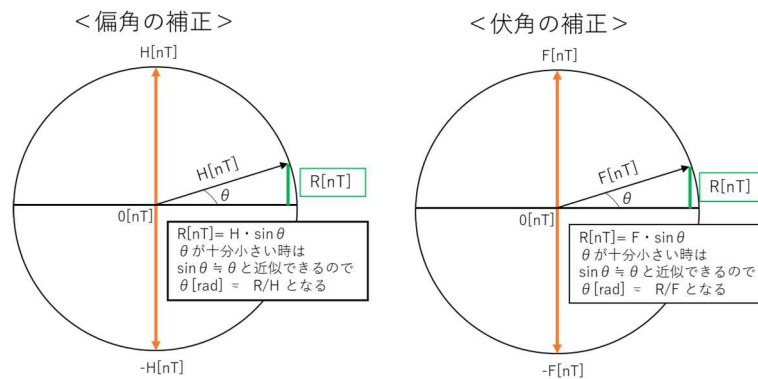


図-2 補正角 θ の求め方

2.3 調査手法

ゼロ磁場観測と弱磁場観測を行い、地磁気絶対観測結果及び地磁気変化観測から計算で求めた基線値を比較する。基線値 (base) とは、地磁気絶対観測値 (abs) から地磁気変化観測で得た変化量 (obs) を差し引いた値をいう (式3)。なお、式3で H は水平分力、 D は偏角、 Z は鉛直分力を意味する。また水平分力 H 及び鉛直分力 Z は、全磁力 F を用いると式4で表せる。

ゼロ磁場観測は、現地での測量作業期間中に計4回行っており、基線値の最大と最小の較差の許容範囲は偏角で30", 水平分力及び鉛直分力で5[nT]としている。このゼロ磁場観測4回の基線値の平均と弱磁場観測2回の基線値の平均を比較して、弱磁場観測の妥当性を検証する。

$$H_{base}=H_{abs}-H_{obs} \text{ , } D_{base}=D_{abs}-D_{obs} \text{ , } Z_{base}=Z_{abs}-Z_{obs} \text{ (式 3)}$$

$$H=F \cdot \cos I, \quad Z=F \cdot \sin I \text{ (式 4)}$$

3. 調査結果

3.1 弱磁場観測の精度評価

今年度は、2か所の測地観測所 (鹿野山, 水沢) 及び3か所の地球電磁気連続観測装置 (萩原, 吉和, 久住) にて弱磁場観測を行った。各観測点において、ゼロ磁場観測と弱磁場観測それぞれで得た基線値

の差を図3に示す。図3を見ると基線値の差は、偏角で5"以内、水平分力及び鉛直分力で1.0[nT]以内であることが分かる。基線値の較差の許容範囲（偏角30"，水平分力及び鉛直分力5[nT]）を踏まえると，弱磁場観測はゼロ磁場観測と遜色ない観測精度である。

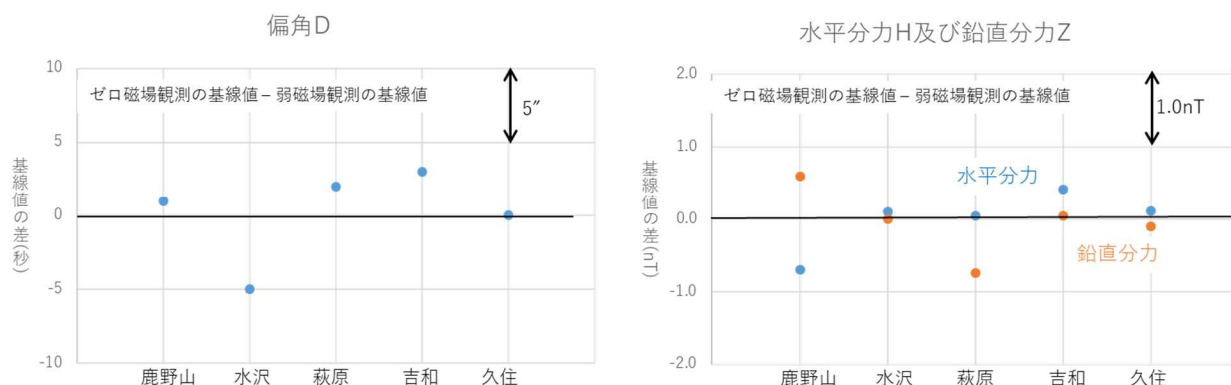


図-3 ゼロ磁場観測と弱磁場観測における基線値の比較

3.2 ゼロ磁場観測と弱磁場観測に要する観測時間の比較

ゼロ磁場観測と弱磁場観測における1回あたりの観測時間を表-1に示す。弱磁場観測は，職員3名が行い，職員Aは水沢・吉和・久住，職員Bは鹿野山，職員Cは萩原で観測を実施した。地磁気絶対観測歴は初めて弱磁場観測を行った時点で，職員Aが2年6か月，職員Bが1年6か月，職員Cが3か月である。

表-1を見ると，観測時間は3名とも弱磁場観測のほうが短いことが分かる。特に職員Cは，15分以上観測時間が短縮された。つまり弱磁場観測は，地磁気絶対観測の経験が少ない職員にとって非常に有用であると示された。

表-1 3名の職員によるゼロ磁場観測と弱磁場観測における観測時間の比較

観測者	職員A(3回)	職員B(1回)	職員C(1回)
観測時間(ゼロ磁場観測)	22分	48分	52分
観測時間(弱磁場観測)	17分	41分	36分
観測時間の差	5分短縮	7分短縮	16分短縮

*職員Aの観測時間は，初めて弱磁場観測を行った「久住」での結果である。

4. まとめと今後の課題

本調査により，弱磁場観測はゼロ磁場観測と遜色のない観測精度をもつことが確認できた。また，地磁気測量作業の時間の短縮にもつながることが分かった。そのため，来年度も現場にて弱磁場観測の調査を進めるとともに，作業マニュアル(案)を整備したい。

本調査により，弱磁場観測の課題も浮かび上がった。弱磁場観測は，観測値の誤読や誤記があった場合でも，現場ですぐに再測量すべきか否かを判断することが困難であり，基線値を計算することで初めて観測の良否が分かる。そのため，来年度の調査では，ゼロ磁場観測同様，現場ですぐに再測量の判断を行うための基準(観測の許容範囲)を整備していく予定である。

謝辞

本調査にあたり，気象庁地磁気観測所から弱磁場観測の概要や観測手法について多大な助言を賜りました．ここに感謝の意を表します．

参考文献

Worthington, E. W. and Matzka, J. (2017): U.S. Geological Survey experience with the residual absolutes method, *Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems*, 6, 419-427.