

令和4年度 地磁気観測所調査研究業務 成果報告書

重点課題

| | |
|--------------------------|------|
| 電磁気による火山活動評価の高度化に向けた調査 | 1 頁 |
| 次期標準磁気儀設計に向けた予備調査 | 30 頁 |
| 南極昭和基地の地磁気データの絶対値化に向けた調査 | 45 頁 |

基礎課題

| | |
|---|------|
| 機械学習による K 指数判定手法の開発 | 54 頁 |
| 地磁気観測施設の構内における各観測点の 地磁気変化特性に関する調査(その2) | 57 頁 |

2023 年 3 月
地磁気観測所

[調査研究の種別]：重点課題

[課題名]：電磁気による火山活動評価の高度化に向けた調査（令和2年～4年度）

[担当者]：○藤原善明、笹岡雅宏、山崎貴之、浅利晴紀、増子徳道、稲村友臣、山際芳雄（技術課）、
豊留修一、谷口秀隆、長町信吾、屋良朝之、弘田瑛士、大戸道宏、松浦大輔、山際龍太郎
（観測課）、齋藤誠

[概要]：

火山活動の活発化に伴う全磁力変化の観測事例が多数報告されている。これまでに当所が雌阿寒岳や草津白根山で実施してきた全磁力観測により得られた成果は、火山監視に対する全磁力観測の有効性を示している。これら全磁力変化は、火山体浅部熱水系の状態変化に起因する熱磁気効果と密接に関係していると推定されており、水蒸気噴火の発生予測に貢献することが期待されている。平成26年御嶽山噴火災害を契機に水蒸気噴火の発生予測への社会的ニーズが高まり、気象庁地震火山部では、平成27年度から水蒸気噴火の前兆を早期に捉えるための新たな観測手法のひとつとして全磁力観測に着目するとともに、その他の多項目観測データの統合解析による火山活動評価手法の高度化に取り組んでいる。

本調査研究では、地震火山部による火山業務改善の取り組みを技術的に支援するため、火山活動の監視および評価手法の高度化に係る技術開発に取り組む。当所が従前より全磁力連続観測を実施している雌阿寒岳、草津白根山、伊豆大島、三宅島、阿蘇山に加えて、地震火山部が平成27年度以降に連続観測施設を整備した樽前山、吾妻山、安達太良山、御嶽山、九重山、霧島山えびの高原（硫黄山）周辺を対象に、これまでの観測成果のとりまとめ、ノイズ低減手法の技術開発、常時観測化を見据えた効果的な観測のあり方、および観測安定性の検討を進める。

[具体的な計画と達成目標]：

1. 今後の火山監視および活動評価への活用に向けて、これまでに得られた観測成果、知見を収集・整理し、観測・解析・評価の技術に係るとりまとめを行う。

当所がこれまで実施してきた雌阿寒岳、草津白根山、伊豆大島、三宅島、阿蘇山における火山活動と全磁力変化の対応関係把握のための全磁力連続観測、および全磁力変化の面的分布把握のための全磁力繰返し観測で得られた火山性シグナル、あるいは様々なノイズの観測事例を整理分析し、観測成果としてとりまとめを行う。

また、各火山での観測を継続させ、火山活動と全磁力変化の対応調査を引き続き実施する。雌阿寒岳および草津白根山では熱消磁あるいは帯磁ソースの時空間的推移を把握する。観測成果は火山課および各地域火山監視・警報センターに共有するほか、火山噴火予知連絡会に報告する。

その他、火山における比抵抗構造探査や自然電位などの電磁気観測について、機会をとらえて関係機関と共同で実施する。また、大学等が取り組んでいるドローン等を利用した空中磁気測量や噴火速報への活用が期待される空中電気観測についての情報収集等を行う。

2. 火山の監視および解析する上で全磁力観測データのノイズ低減は極めて重要であり、火山業務への導入を目指して、年周変化や太陽活動による外部磁場変化の影響を除去する手法や地磁気永年変化に伴うD I効果の補正手法などの技術開発を行う。

これまでの全磁力連続観測データに見られる火山活動以外の要因による変動の特徴が明らかにされてきた。それらのうち、年周変化および太陽活動による外部磁場変化の影響について、除去するための手法開発が進められ、雌阿寒岳の連続観測データに適用されている。今後は、草津白根山など連続観測を実施している火山にこの手法を適用し、その有用性を検証するとともに、改善に取り組む。地磁気永年変化に伴い、全磁力観測点における局所的な偏角および伏角の違いから生じる見かけ上の差（D I 効果）は、全磁力変化により火山活動を評価する上で“ノイズ”となり、D I 効果の補正は全磁力変化による熱源の推定精度の向上を図る上で極めて重要である。これまでの研究成果として、磁化の強い玄武岩質火山のため大きなD I 効果が予想される伊豆大島の気象庁全磁力観測点5点において実施した、当所が開発した簡易偏角・伏角計による測定で、D I 補正係数を直接決定できることが明らかになった。そこで、東京大学地震研究所の協力を得て、伊豆大島の全磁力連続観測点9点での偏角・伏角測定によりD I 補正係数を決定し、気象庁および東京大学地震研究所のD I 補正後の全磁力観測データを統合的に解析する。また、玄武岩質火山に比べて磁化の弱い安山岩質火山である雌阿寒岳の全磁力連続観測点においても、同様な偏角・伏角測定およびD I 補正処理を試みる。

さらに、平成27年度～30年度に地震火山部により全磁力連続観測点が整備された6火山（樽前山、吾妻山、霧島山、御嶽山、九重山、安達太良山）については、全磁力観測データおよび各参照点の地磁気三成分データを用い、観測データの品質調査、D I 補正、年周変化の補正などの解析を実施する。

地磁気永年変化のD I 補正については、これまでの調査結果を論文にとりまとめ、査読付きジャーナルへの投稿を予定している。

3. 火山業務における常時観測への地磁気観測導入を見据えて、火山監視に効果的な連続観測網のあり方および観測装置の安定性確保に係る情報収集、課題解決について、検討を始める。

これまでの観測で得られた熱磁気効果の観測事例を踏まえ、熱磁気モデルによるシミュレーションを活用して、効果的な火山監視を実現するための全磁力連続観測点の最適な配置について検討する。

また、火山ガス、積雪、強風、インフラ未整備など、火山地帯に特有の過酷な環境下でも安定稼働する観測装置の開発に向けて、情報収集・整理、課題の抽出および解決策の検討を進める。

[令和2～4年度の成果] :

令和4年度は、3か年計画の最終年度であることから、令和4年度の成果を元に、令和2年度から令和4年度までの3か年にわたる調査研究成果を取りまとめる。

1. 各火山における地磁気観測

○雌阿寒岳

令和4年度は、

- ・全磁力連続観測点3点での観測の継続、機器の保守
- ・ポンマチネシリ火口周辺での全磁力の繰り返し観測
- ・徒歩による面的な全磁力観測

を実施した。全磁力連続観測及び繰り返し観測の成果は、火山噴火予知連絡会及び札幌管区地域火山監視・警報センターに報告した。なお、令和4年度は、DI補正のための偏角・伏角観測は実施しなかつ

た。

・全磁力連続観測、及び機器の保守

出張時の各種点検や受信データのチェックなど適切な保守の実施により、ほぼ欠測なく全磁力連続観測データを取得することができた。またH補正処理を施すことにより、年周変化および超高層起因のノイズを有意に除去できた。

96-1 火口南側の3点 (MEA,ME2,ME3) では、2022 年 8 月中旬から 12 月にかけて、ポンマチネシリ 96-1 火口近傍の地下における熱活動の活発化の可能性を示す、全磁力のわずかな減少傾向がみられた。

・ポンマチネシリ火口周辺での全磁力の繰返し観測

雌阿寒岳における全磁力繰返し観測の結果について報告する。

図 a-1 に全磁力観測点配置図を、図 a-2~図 a-4 に繰返し観測の結果を示す。

2022 年 6 月に実施した全磁力繰返し観測によると、2020 年 8 月から 2022 年 6 月の間に、96-1 火口南側から赤沼火口北側にかけて全磁力のわずかな減少 (最大で 3nT 程度) が観測された。連続観測の結果と合わせると、中長期的には地下の消磁 (温度上昇) が示唆される。

一部の観測点 (ポンマチネシリ火口内等) は、天候不順のため観測を断念した。

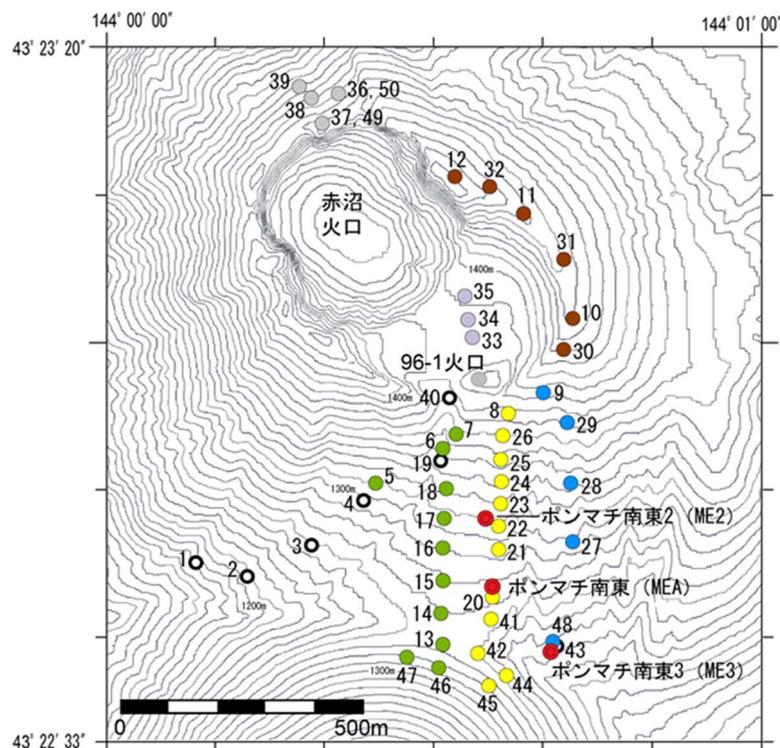


図 a-1 雌阿寒岳 全磁力観測点配置図

二重丸◎は連続観測点を、一重丸○は繰返し観測点 (色は図 A-8 と対応。◎ 1、2、3、4、19、36、37、40、43 は観測終了) を示す。

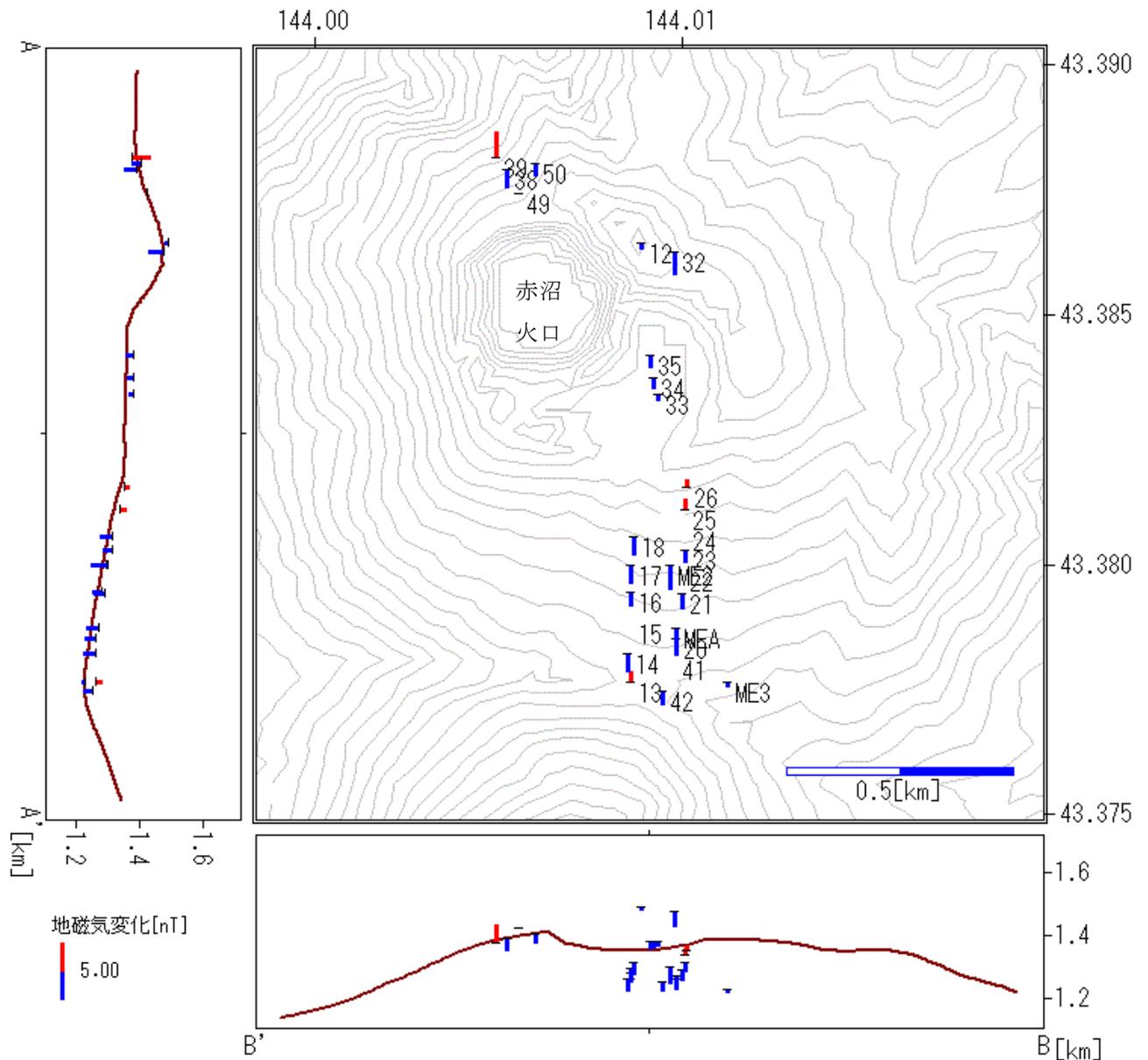


図 a-2 繰り返し観測の結果（2020年8月～2021年6月）

- ・ 観測点番号の表示している点で2020年8月及び2021年6月に観測を実施した。
- ・ 観測値（カラーバー）は2020年と2021年の両方に観測値がある場合に表示している。
- ・ 96-1火口南側斜面においては、南側で全磁力の減少、北側の一部の観測点で僅かな増加、赤沼火口北側では、全磁力の減少及び増加が見られた。総合的に見ると、広範囲に全磁力の減少が見られているが、今回の観測値を1点の消磁ソースで説明することは難しい。
- ・
- ・ この地図の作成に当たっては、国土地理院長の承認を得て、同院発行の『数値地図50mメッシュ（標高）』を使用した。

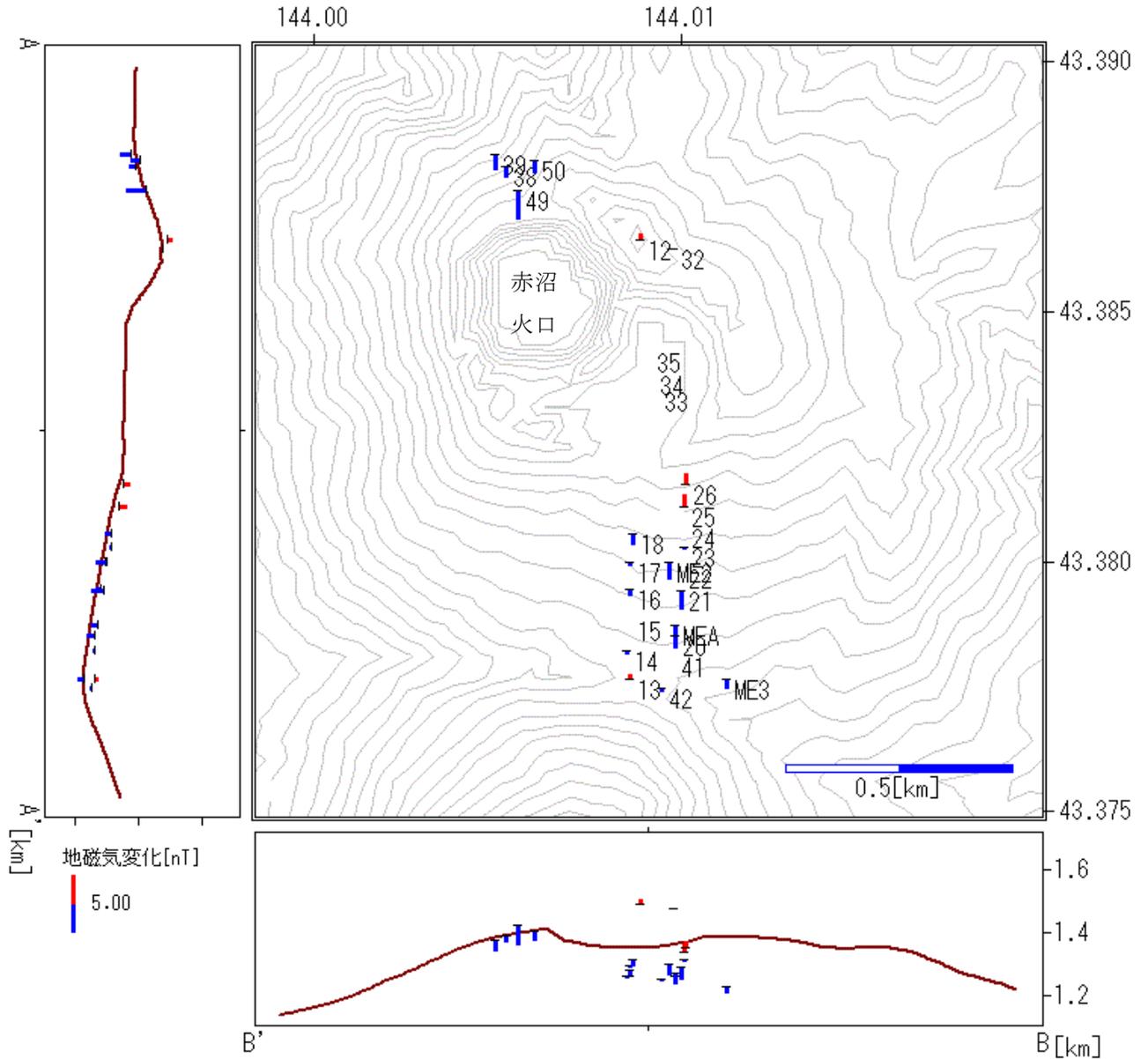


図 a-3 繰り返し観測の結果（2021年6月～2022年6月）

- ・ 観測点番号の表示している点で2021年6月に観測を実施した。
- ・ 観測値（カラーバー）は2020年と2021年の両方に観測値がある場合に表示している。
- ・ 96-1火口南側斜面においては、南側で全磁力の減少、北側の一部の観測点で僅かな増加、赤沼火口北側では、全磁力の減少が見られた。総合的に見ると、広範囲に全磁力の減少が見られているが、今回の観測値を1点の消磁ソースで説明することは難しい。
- ・ この地図の作成に当たっては、国土地理院長の承認を得て、同院発行の『数値地図50mメッシュ（標高）』を使用した。

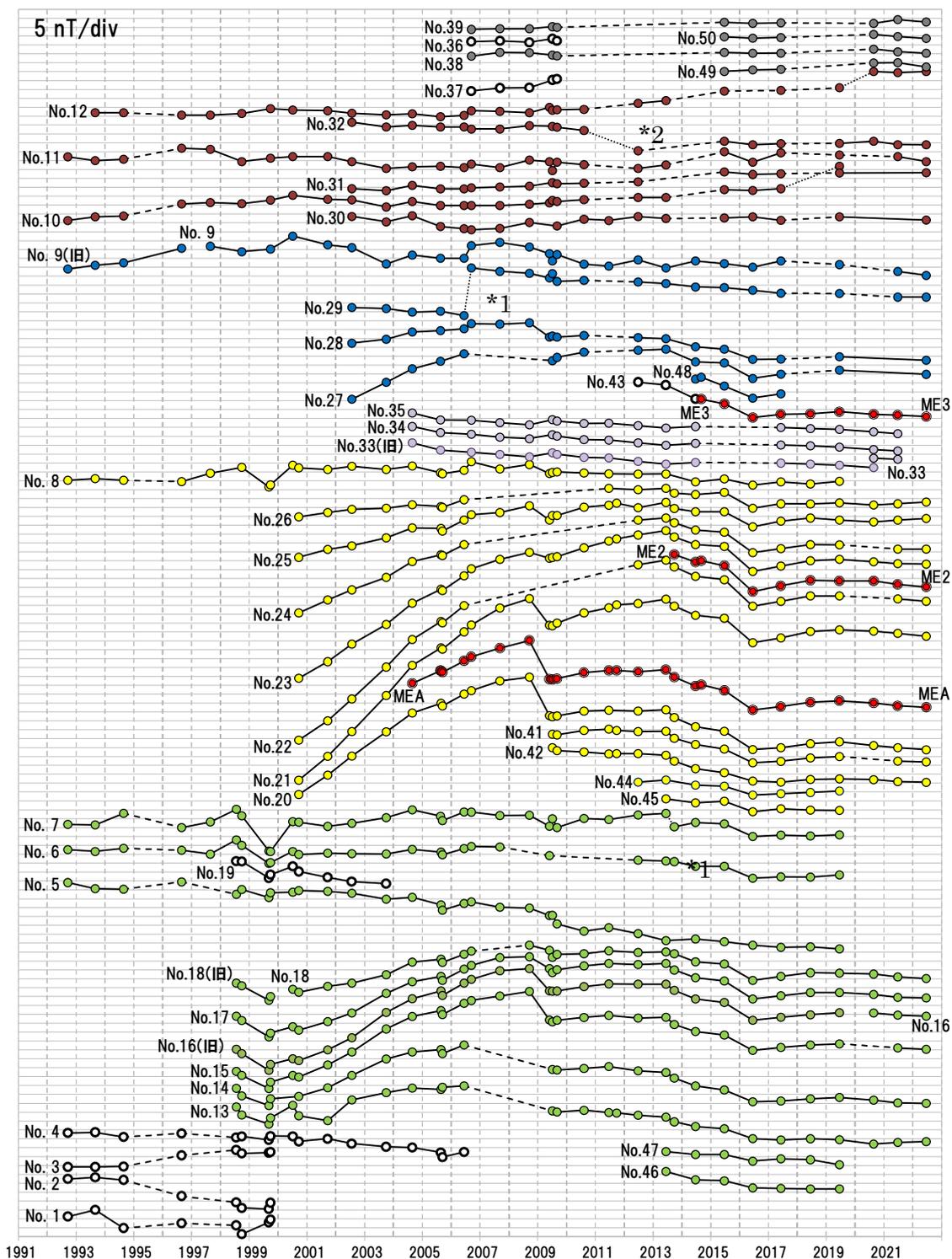


図 a-4 繰り返し観測点における全磁力変化 (MMB 基準、1992 年 9 月～2022 年 6 月)

各繰り返し観測実施時期における連続観測点 MEA、ME2、ME3 の値もプロットしてある (観測点の色は図 A-1 と対応)。

点線は地形変化や観測地点変更がある場合、破線は観測間隔が 1 年を越える場合を示す。

*1 : 地形変化の影響があると思われる (No.7,29)

*2 : 観測点の位置変更による影響があると思われる (No.32)

・徒歩全磁力観測

雌阿寒岳では令和3年度に引き続き、徒歩による面的な全磁力観測をポンマチネシリ火口南麓で実施した。徒歩による全磁力観測は、従来の繰り返し観測では観測できなかった領域も観測することができるため、より詳細な空間分布を得ることができる。昨年度までの偏角観測で、MEA及びME2観測点にくらべてME3観測点は偏角が1度西偏していること分かったことから、令和4年度の徒歩磁気観測は、ME3近傍及び昨年度と踏査範囲重複するようにMEA及びME2付近の観測も実施した。昨年度の観測結果との比較(図a-5)では、大局的な全磁力分布(南側ほど全磁力値が減少する傾向)に特に変化は認められないが、特にME3近傍では、周辺に比べて全磁力値が小さいことが分かった。これは表層の地質または地形の影響による可能性が示唆されるが、現時点ではその要因は特定できない。具体的な原因を探るため、来年度も徒歩による全磁力観測を実施し、過去二回の観測で踏査していない領域(阿寒富士の北側斜面等)での観測を実施し、より広域な全磁力変化を確認したい。また、地形や地質との関係について考察するため、他火山の事例を収集する予定である。

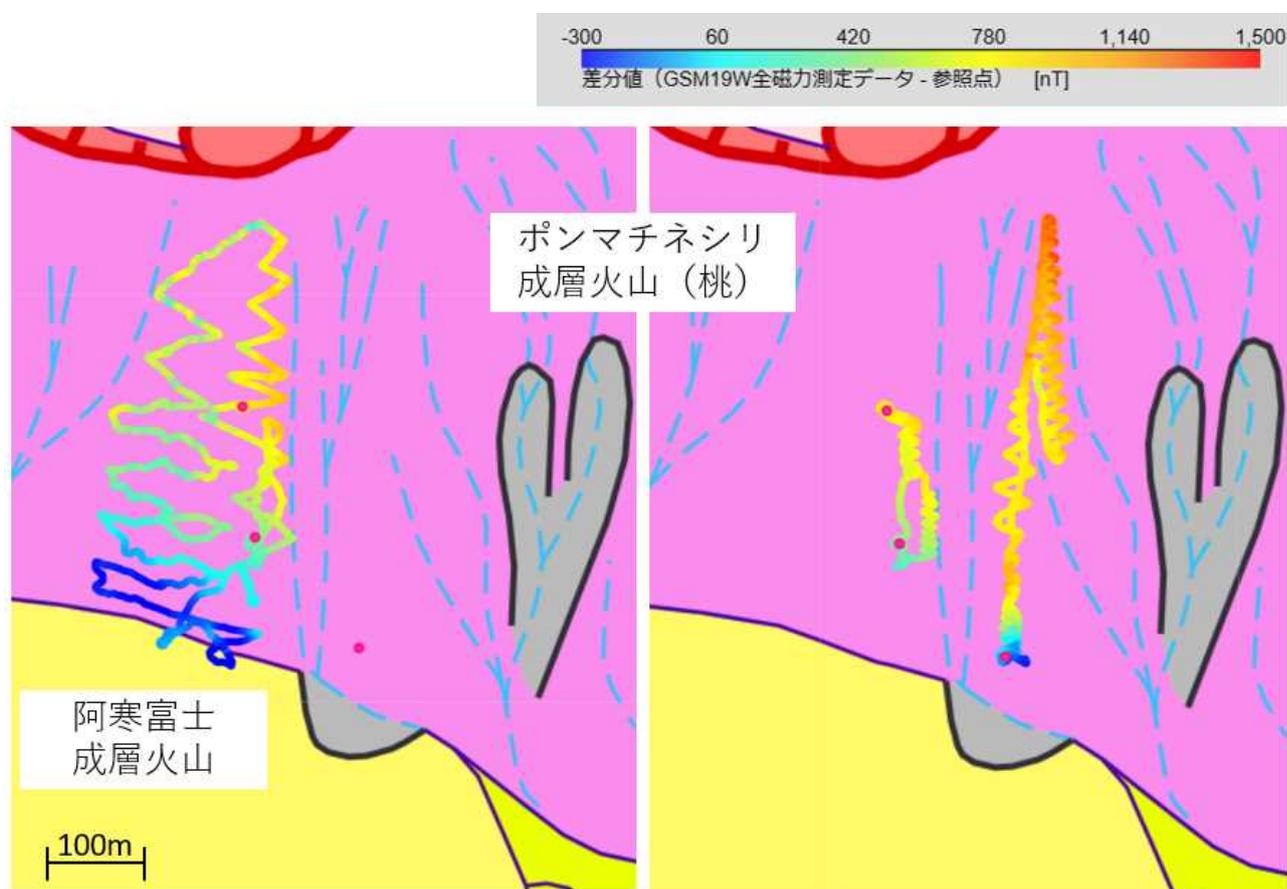


図 a-5 雌阿寒岳 徒歩による磁気観測結果

赤点は連続観測点を示す。コンター値は繰り返し観測の参照点を基準とした全磁力差。

(左) 2021年6月27日の踏査ルート、(右) 2022年6月21日の踏査ルート、

色を付した線は徒歩観測ルートを示す。

本資料の作成には地理院地図を使用した。

○吾妻山

地磁気観測所では、気象庁の火山監視業務の高度化に資するため令和4年度より新たな火山調査業務「吾妻山における地磁気3成分繰返し観測」を始動する。従前より火山観測項目に含まれる全磁力観測の利点は、観測そのものの簡便性とデータの安定性であるが、その理論的な面には多少の難点がある。本来ベクトル量である磁場の完全な情報が得られない（磁場の方向の情報を放棄している）だけでなく、全磁力同士の差分（観測点－参照点）には見掛けの変化（いわゆる「DI効果」）が生じる。他方、地磁気のベクトル観測には、データの質と量の安定確保において難がある（観測自体に長時間および高度な技術を要する）。しかし、これがもし実現すれば、DI効果の影響を免れるだけでなく、全磁力観測とは独立な新しい情報が得ることができるため、熱活動の時空間変化の推定精度向上につながる。その調査フィールドとしては、以下条件

- フラックスゲート磁力計による成分変化観測が既に稼働している
- 地磁気観測所から官用車によるアクセスが可能である
- 熱活動による地磁気変化が比較的顕著である

を満たす吾妻山が最適である。

本業務の長期的な展望として、令和6年度の次期建議への参画（東北大学・地震噴火予知推進センターと共同）に合わせた繰返し観測の本格運用開始を見据えている。そこで、まずは令和4年度からの2カ年による予備調査が計画された。その主たる目的は、

- ① 火山における高精度な地磁気ベクトル観測の技術的実現性の調査
- ② 火山監視の高度化に対する地磁気ベクトル観測の有用性の評価

である。1年目となる令和4年度の目標は、現地での観測基盤の確立とし、吾妻山への計4回の出張によりこれを実行した。以下にその成果をまとめる。

吾妻山での地磁気3成分繰返し観測点の設置

吾妻山大穴火口周辺と高湯参照点にて繰返し観測点の設置を完了した。大穴火口の周辺および高湯参照点では、オーバーハウザー磁力計 GSM-19w による徒歩磁気測量を実施し、最終的にはそれぞれに6地点と1地点を選定した(図 b-1 および表 b-1)。各観測点では、4本のプラスチック杭（1×中心点＋3×三脚の足）の打ち込みを完了している。またその他に、偏角測定に必要となる方位標の設置点（浄土平と高湯にそれぞれ1点）と GNSS 真方位観測のための偏心点（大穴火口周辺と高湯にそれぞれ1点）にも1本ずつのプラスチック杭を設置した。

表 b-1 大穴火口周辺・浄土平にて設置した観測点の座標

| 地点名 | 緯度 (°N) | 経度 (°E) | 高度 (m) | 新規設置本数 | 設置時期 |
|---------|----------|----------|--------|--------|------|
| A6 | 37.72548 | 140.2480 | 1716.6 | 4 | R4.6 |
| A7 | 37.72591 | 140.2483 | 1713.7 | 4 | R4.6 |
| A8 | 37.72463 | 140.2472 | 1691.1 | 4 | R4.6 |
| A9 | 37.72675 | 140.2493 | 1680.9 | 4 | R4.6 |
| A10 | 37.72748 | 140.2505 | 1649.7 | 4 | R4.6 |
| A11 | 37.72499 | 140.2514 | 1592.6 | 3 | R4.6 |
| A9 偏中心点 | 37.72273 | 140.2540 | 1651.2 | 1 | R4.9 |
| 方位標(主) | 37.72881 | 140.2513 | 1573.6 | 1 | R4.9 |
| ABS 高湯 | 37.758 | 140.2967 | 926.6 | 4 | R4.6 |



図 b-1 観測点、方位標、偏中心点の配置

GNSS による真方位観測

火山における地磁気 3 成分観測（地理座標を基準とした南北成分・東西成分・鉛直成分）では、山頂観測点と参照点の成分毎の地点差から火山性変化の抽出を試みる。このため各地点での方位標の真方位角を取得する必要があるため、本調査ではその手段として GNSS 観測を用いた真方位観測を採用した。地磁気観測所はそのための測器と観測技術を欠くことから、国土地理院物理測地課による協力（依頼出張による同院職員の派遣、同院測器の使用、観測結果の処理）により今回の真方位観測を実現した。その結果は表 b-2 の通りである。

表 b-2 大穴火口周辺の 5 観測点における真方位角 (E+)

| | |
|---------------|--------------|
| 方位標 (主) - A6 | 119° 59' 40" |
| 方位標 (主) - A7 | 124° 47' 12" |
| 方位標 (主) - A8 | 109° 30' 13" |
| 方位標 (主) - A10 | 149° 59' 54" |
| 方位標 (主) - A11 | 138° 19' 37" |
| 方位標 (副) - A11 | 126° 19' 23" |

表 Z2b A9 における真方位角 (E+)

| | |
|--------------|-------------|
| 方位標 (主) - A9 | 96° 28' 32" |
| 方位標 (副) - A9 | 24° 03' 18" |

表 Z2c 高湯参照点における真方位角 (E+)

| | |
|--------------|--------------|
| 方位標 (主) - 本点 | 162° 47' 00" |
| 方位標 (副) - 本点 | 143° 19' 24" |

地磁気変化のシミュレーション

今回設置した 6 観測点における現れる火山性の地磁気変化を予め想定するため、大穴火口浅部に与えた適当な熱消磁源に伴う地磁気 3 成分変化の数値計算を試行した (図 b-3)。仮定する磁気モーメントは偏角-8°、伏角 50°、強度 10^6 Am^2 であり、その位置座標は 37.727°N, 140.248°E、標高 1400m とした。シミュレーションの結果によると、南北成分では最も南に位置する A8 で変化が卓越 (2.2nT)、東西成分では A9、A10、A11 で変化が卓越 (1.7 から 3.1nT)、そして鉛直成分では A6、A7、A8、A9 で変化が卓越 (2.2 から 4.7nT) する。1nT の観測分解能が得られれば、これらの変化が検出される可能性が十分にあると言える。

次年度に向けた課題

令和 4 年度の各出張では天候に恵まれる機会が少なく、実際に大穴火口周辺や高湯参照点にて十分な回数の地磁気 3 成分観測 (絶対観測) を実施することが出来なかった。数少ない観測からは期待する観測精度を得ることが出来なかった。例えば高湯参照点においては続けて観測した偏角成分に 0.5 分角の違いが生じた。これはおよそ 5nT のバラツキに相当し、火山性の変化の抽出には適さない。次年度は、磁力計業者の協力を仰ぎ、絶対観測のバラツキの主要因と考えられる測定機器の不安定 (磁気儀の出力のバラツキ・高湯参照点の収録器の温度依存性) を解消した上で、改めて現地にて絶対観測のデータを取得することで、その観測精度の向上を目指す。

