

阿蘇山における地磁気観測

豊留修¹, 藤原善明², 長町信吾³, 増子徳道², 屋良朝之², 山崎明⁴, 弘田瑛士⁵, 栗原正宣⁶

¹元地磁気観測所観測課, ²地磁気観測所技術課, ³地磁気観測所観測課, ⁴鹿児島地方気象台地磁気観測連絡事務所,
⁵気象庁地震火山部, ⁶大阪管区気象台

2023年9月29日受領, 2023年12月19日受理, 2024年3月27日刊行

要 旨

地磁気観測所における阿蘇山での地磁気観測は、文部省測地学会審議会（現文部科学省科学技術・学術審議会測地学分科会）が建議した「第一次火山噴火予知計画について」に基づき「火山噴火予知業務」として1979年に開始され、2022年10月をもって全磁力の連続観測を終了した。本報告は、地磁気観測所の阿蘇山における43年間の観測の歴史及び、火山活動評価等についてとりまとめたものである。

1. はじめに

活動的火山浅部の熱的状态を地磁気観測から検出する試みは、かなり古くから行われている。活動的火山における地磁気観測は、1940年代から桜島で始まり（津屋・水上（1940）；湯村（1956））、1940年の三宅島噴火では火山活動に伴う地磁気変化が観測されたことから（Takahashi and Hirano（1941）；Minakami（1941）；Nagata（1941））、火山活動の前兆をとらえるための観測手法としての地磁気観測の有効性を認識する契機となった。1950年代には伊豆大島の噴火活動に伴う地磁気変化についての報告があり（Rikitake and Yokoyama（1955）；Yokoyama（1969））、また1960年代から1970年代にかけて、加藤・室井（1962）が三宅島の地磁気調査について、また大地（1970）が、吾妻山、蔵王山及び草津白根山における地磁気観測について報告している。後者については1967年に気象庁火山機動観測の一つの項目として地磁気観測が加えられたために実施されたものである。1950年代までは伏角や偏角の観測を主として実施されており、全磁力の観測は実施されていなかったが、1960年代に小型で低消費電力のプロトン磁力計が開発されて以降は、全磁力観測を主とした観測に移行した。また当時の研究は、地磁気の観測手法や理論を主としたものであり、地磁気観測技術は進歩したものの、火山活動と関連する有意な地磁気変化を捉える事例はわずかであった。火山におけ

る地磁気観測の歴史は、橋本（2005）に詳述されているので参考にされたい。

近年、阿蘇山の火山活動は中岳第一火口で活発な状態が継続している（第2章を参照）。地磁気観測所による阿蘇山の地磁気観測は、1979年に測地学会審議会が建議した「第一次火山噴火予知計画について」に基づいて、1979年3月1日に観測を開始した。なお、同建議に基づく地磁気観測については、阿蘇山より少し早く、桜島において1978年6月1日に観測を開始した（1999年に観測終了）。

桜島及び阿蘇山の観測開始当時、火山における地磁気観測は「火山噴火予知業務」に位置付けられていた（1997年からは「調査研究業務」に変更）。1979年に策定された「火山噴火予知実施要領」（付録）に沿って観測及びデータ処理を行い、その結果は火山噴火予知連絡会等に報告され、桜島及び阿蘇山の火山活動評価のための資料として用いられた（1997年からは「調査研究」の位置付けとなった）。また、1977年及び1981年には、国立大学を中心としたグループにより阿蘇山で集中総合観測が実施され、地磁気観測所は京都大学及び東京大学地震研究所と共に地磁気観測を実施した（田中 他（1978）；河村 他（1984））。また、桜島においても集中総合観測が1978年から1980年にかけて実施され（河村 他（1980）；河村 他（1982））、阿蘇山で適用したDI補正等を桜島のデータにも施し、全磁力データのノイズ低減処

理とし適用された。

1990年代以降は、GSI 一等磁気儀による成分観測からプロトン磁力計 (2020) による全磁力観測が主体となっていった。その後も噴火活動に伴う機器障害や観測体制の変遷を経ながら、2022年10月まで観測を継続した。

本稿では、これまでの阿蘇山の地磁気観測の変遷を紹介し、阿蘇山の火山観測結果及び評価、かつ阿蘇山での観測がその後の地磁気観測の発展に活用された成果等について報告する。

2. 阿蘇山の火山活動 (1970年代から現在まで)

阿蘇山では、明治から昭和初期にかけての中岳第一～第四火口の活動期以降は、中岳第一火口 (以下、「火口」と表す) での噴火活動継続が継続している。

阿蘇山で地磁気観測を開始した1970年代以降の火山活動について、主な活動期は1979～1980年、1984～1985年、1988～1995年、2014～2016年、2019～2021年である (Tanaka (1993), 池辺・渡辺 (1990), 池辺他 (2008), 吉川・須藤 (2004), 横尾・宮縁 (2015), 宮縁 他 (2021), 福岡管区気象台 (2023))。

阿蘇山では長年の火山観測の成果に基づき、火山活動の高まりと表面現象との関連が明らかとなっており、概ね図1のようなプロセスを経過する (須藤 (2001), 吉川・須藤 (2004))。

火山活動が静穏な時期には、火口に緑色の湯だま

りが存在している。火山活動が高まるにつれて、地下の熱活動に対応して湯だまりの温度上昇や湯量の減少、小さな土砂噴出が始まる。さらに活発となった場合には、火口から外にも土砂や火山灰を放出し、ごく小規模から小規模の噴火が発生するようになる。本格的な噴火活動に移行すると湯だまりは消失し、赤熱した噴石を間欠的に放出する噴火 (ストロンボリ式噴火) が起きることがある。火山活動が低下すると、噴火活動は低下し、その後再び湯だまりが形成され、火山活動のプロセスが一巡する。

以上のような表面現象の変化に対応して、火山性微動の振幅の変動または火山性地震や孤立型微動の回数が増減することが知られている (図2-1, 2-2)。

近年の観測では、GNSS 連続観測で草千里付近の深部にあるマグマだまりの膨張・収縮が認められ、火山ガス観測で二酸化硫黄の放出量の増減が観測されており (気象庁 (2022)), 火山活動との対応が確認されている (図2-2)。従前の火山観測のみならず GNSS や火山ガスの観測も加味した多項目観測の実施により、より精度の高い火山活動評価が可能となった。さらに京都大学の観測では、火口近傍での全磁力観測により火口直下のごく浅部での地下温度の変化に対応した全磁力変化が認められており (京都大学火山活動研究センター (2022)), 阿蘇山における火山活動評価の指標として用いられている (図2-3)。このようなごく浅部での火山活動と全磁力変

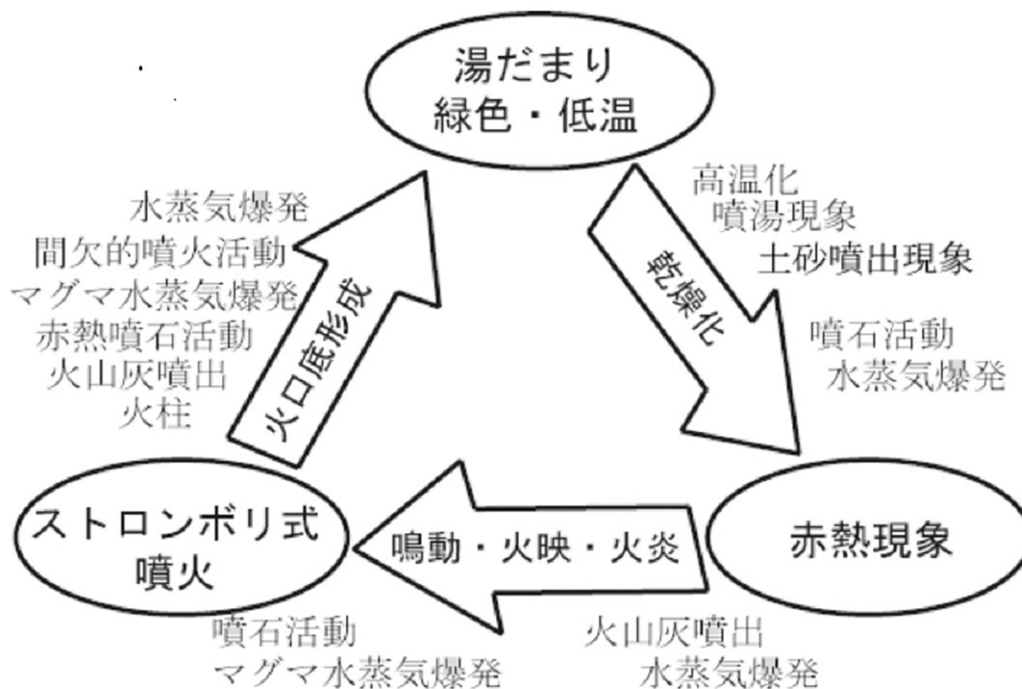


図1 阿蘇山の火山活動経過プロセス (吉川・須藤 (2004))

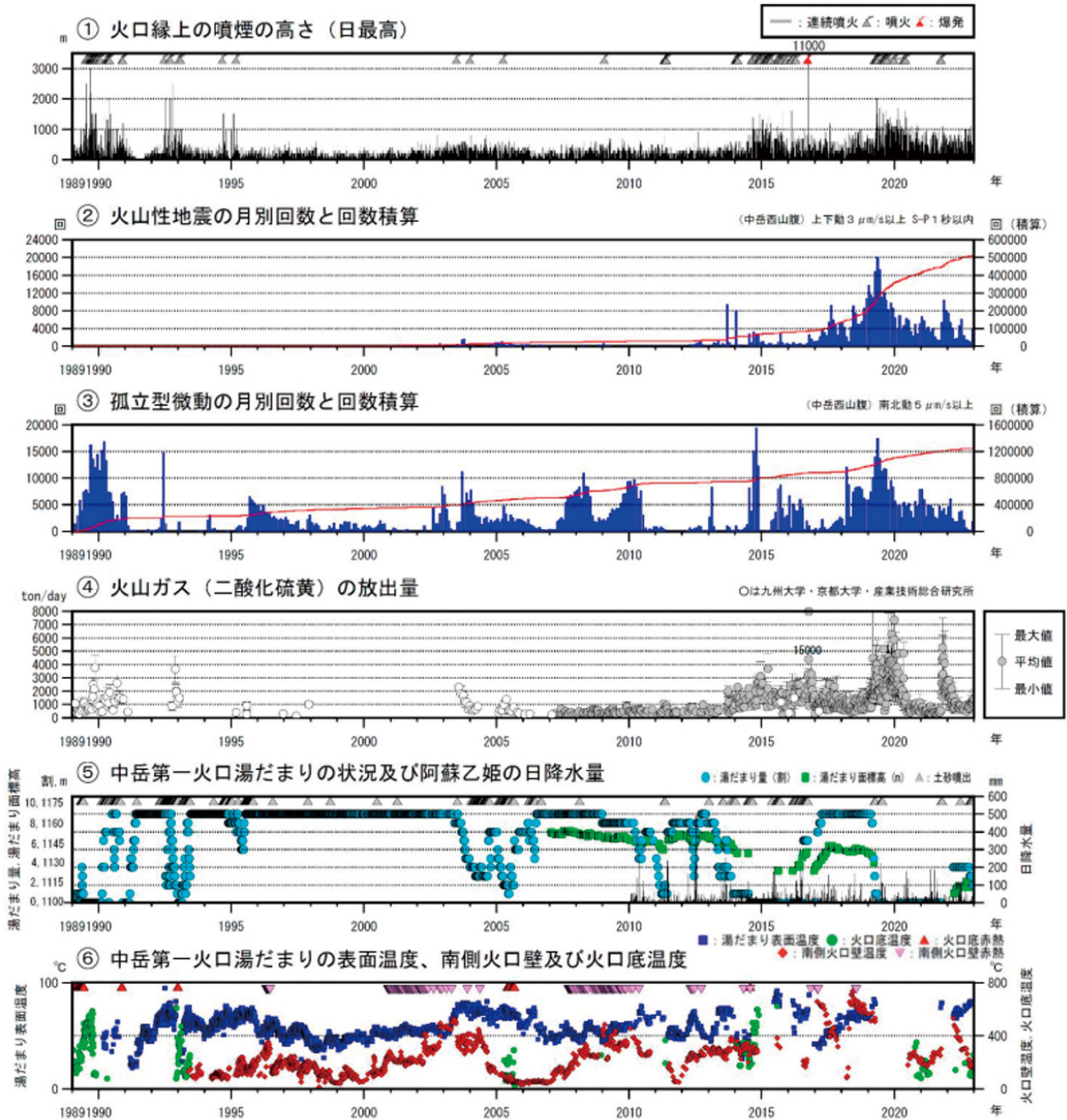


図2-1 阿蘇山 火山活動経過図 (1989年1月～2022年12月) (福岡管区気象台 (2023) より抜粋)

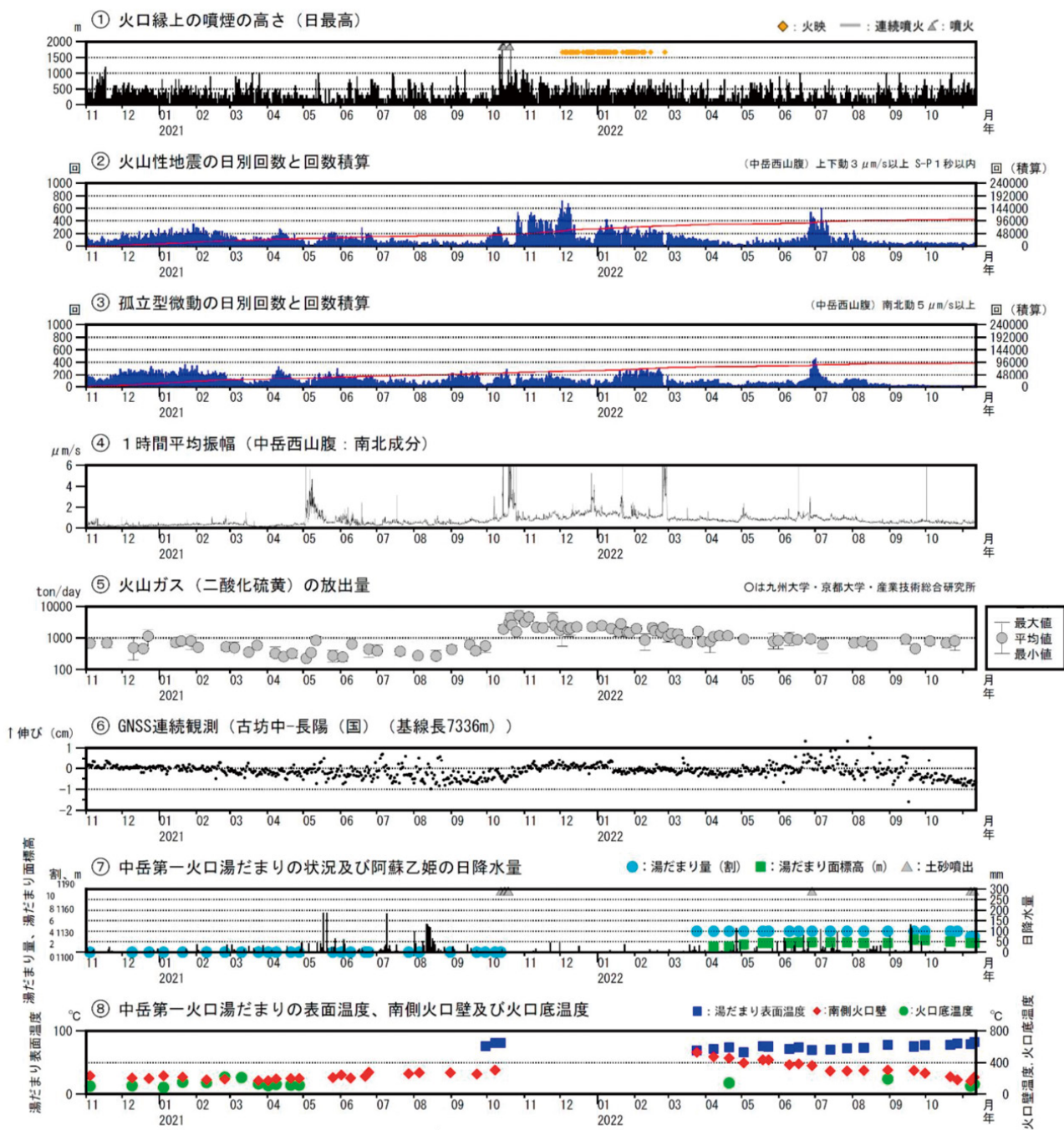


図2-2 阿蘇山 火山活動経過図 (2020年11月~2022年11月) (気象庁 (2022) より抜粋)

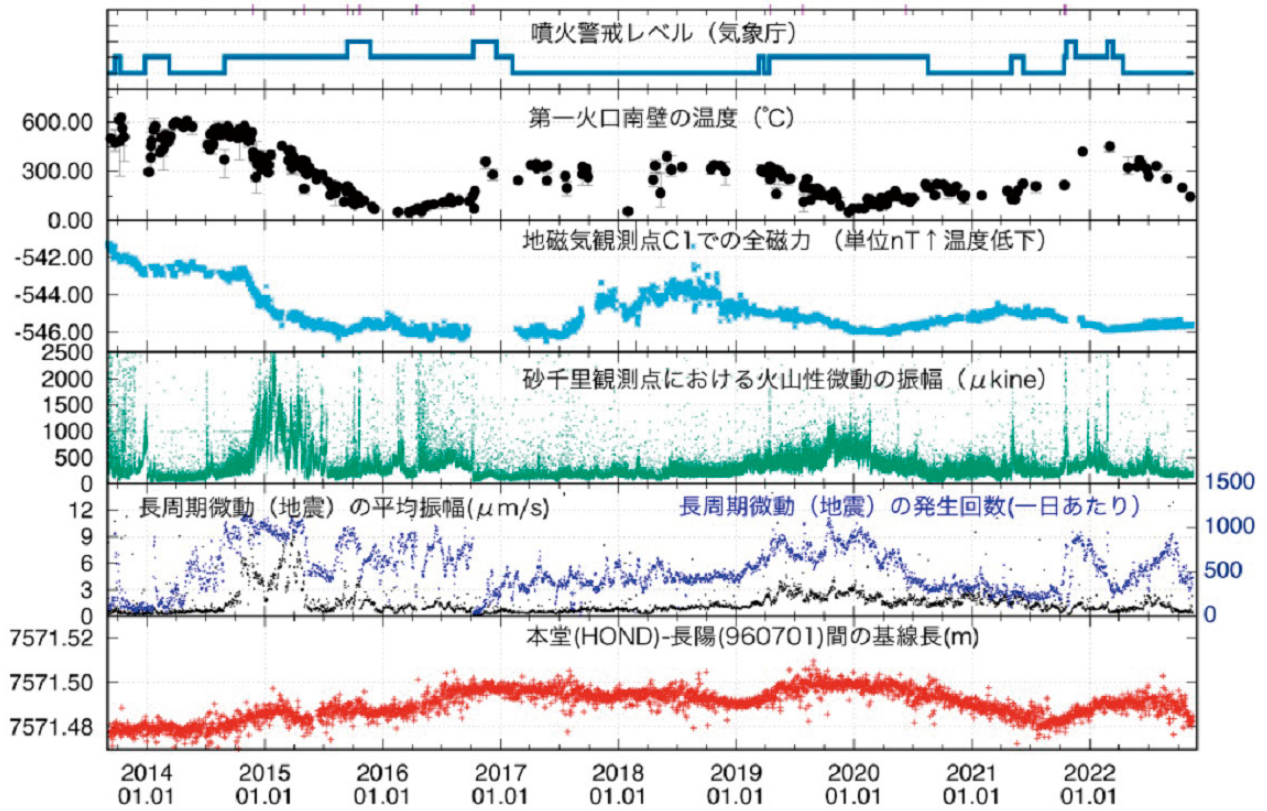


図2-3 阿蘇火山・中岳の活動に関する各種データ
 (2013年9月1日～2022年11月15日) (京都大学火山活動研究センター (2022) より抜粋)

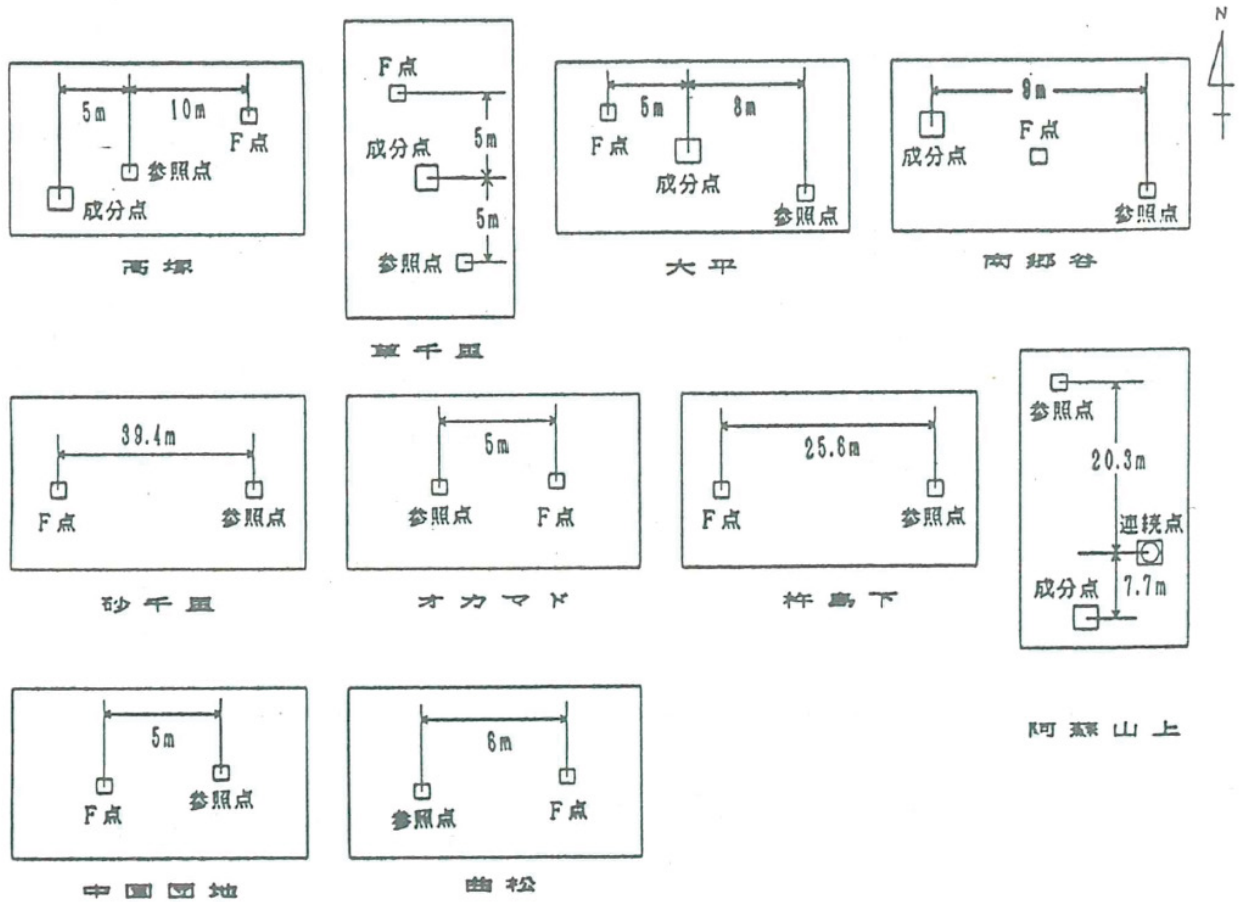


図3 成分点, 参照点, 全磁力観測点 (F点) の位置関係 ((福島 他, 1990) から抜粋)

4. 地磁気観測機器の変遷

前述の連続観測及び繰り返し観測点の配置の変遷に基づき、1979年の設置以降観測終了までの観測を3つの期間に分けて、各期間の観測機器構成及び特徴的なシグナルについて詳述する。なお、過去の地磁気観測の手法や観測時の経験等については、気象庁地磁気観測所(1999)に詳述されているので、本稿では省略する。また、中長期的な観測結果及び地磁気観測を用いた阿蘇山の火山活動評価については、第5章で詳述する。

4. 1 1979年から2001年まで

図4-1に1979年～1985年までの観測点の配置を示す。

4. 1. 1 全磁力連続観測

AHK(火口北約8km)とASJ(火口西約800m)の2地点にデータカセットテープ収録式のプロトン磁力計MO-PV-79(0.1nT表示)を設置し、毎分連続観測を開始した(図4-2)。カセットテープは月2回の頻度で旧阿蘇山測候所の職員により交換され、プ



図4-1 阿蘇山 地磁気観測点配置(1979年～1985年) ■: 成分および全磁力観測点, ●: 全磁力観測点 この地図の作成に当たっては、国土地理院ウェブサイトの地理院地図を使用した ▲印は火口の位置を示す

リントに出力された上でカセットテープとともに鹿屋出張所に郵送していた。鹿屋出張所では、カセットテープを再生し、テープ不良等で欠測した部分をプリンタ出力により補填していた(一次解析)。また、磁場変化検出精度向上のため各種の調査解析を行った(一次解析及び二次解析の詳細は、付録を参照)。

1991年にカセットテープ(記録部)の故障が頻発したことから、収録部をパソコンに変更、かつNTT回線を用いて鹿屋出張所へのデータ伝送が開始された(図4-3)。

永野・馬場(1981)は1979年9月6日13時06分の水蒸気噴火に際し、ASJで+0.5nTの全磁力変化が認められたことを報告している(図4-4)。この変化

の解釈として爆発による火口下のガス圧の解放に伴うピエゾ磁気効果であると推定しているが、1測点のみの変化であり、解釈の妥当性についてはよく分かっていない。

加藤(1985)はASJとAHKの全磁力差に鹿屋(KNY)の地磁気三成分観測(以下、成分観測)データを用いたDI補正を適用し、全磁力差のバラツキを約1/3に減少させた(図4-5)。さらに加藤(1988)は全磁力変換関数法を開発し、DI補正と併せて阿蘇山の観測データに適用し、短周期や日変化による全磁力差のバラツキも低減させることに成功し、火山活動に伴う全磁力変化の検出精度を向上させた(図4-6)。

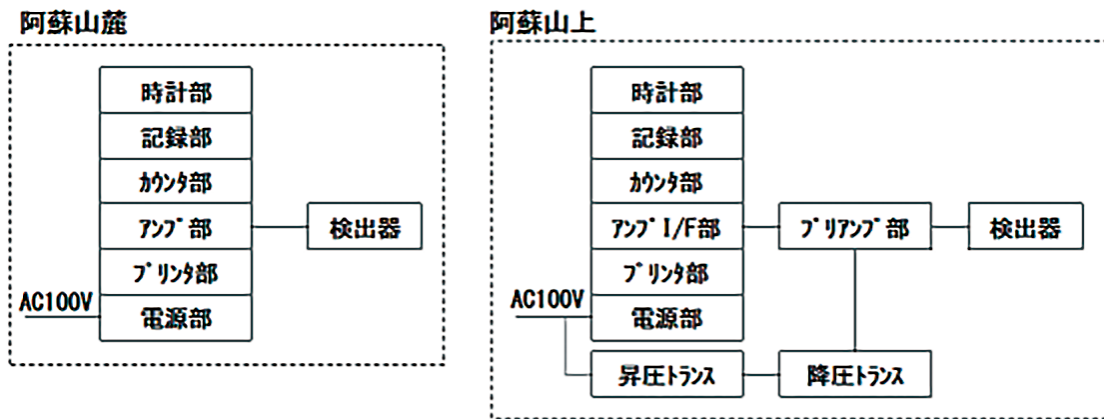


図4-2 AHK, ASJ システム構成図 (1979年~1990年)

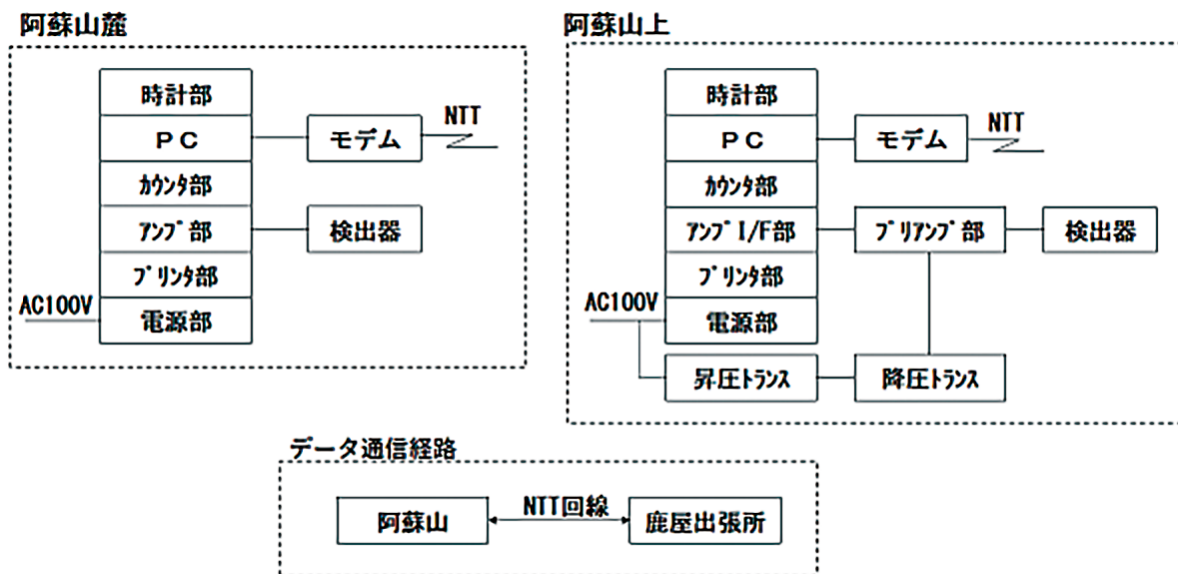


図4-3 AHK, ASJ システム構成図 (1991年~2001年)

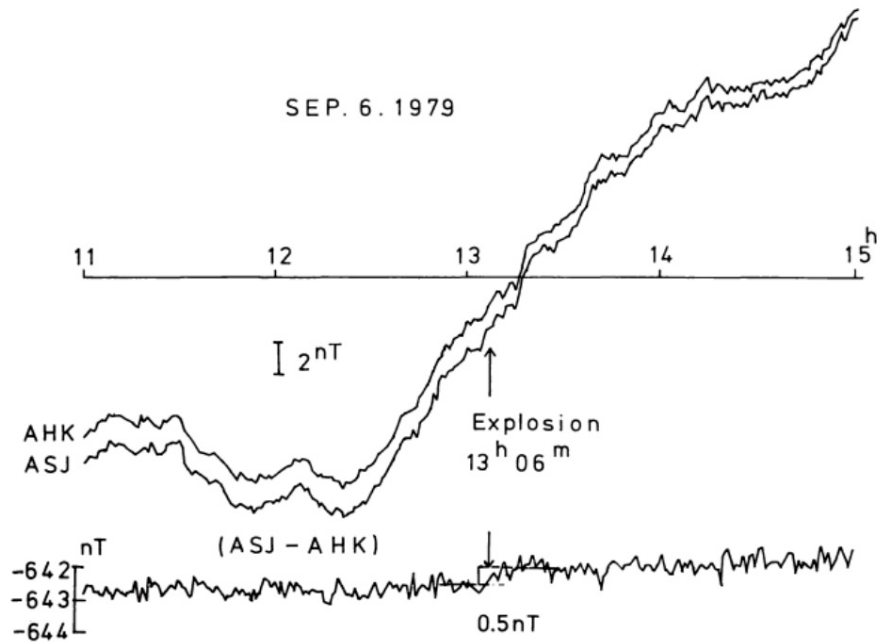


図4-4 毎分値による ASJ 及び AHK の全磁力値プロットと全磁力差 (1979年9月6日) (永野・馬場 (1981) から抜粋)

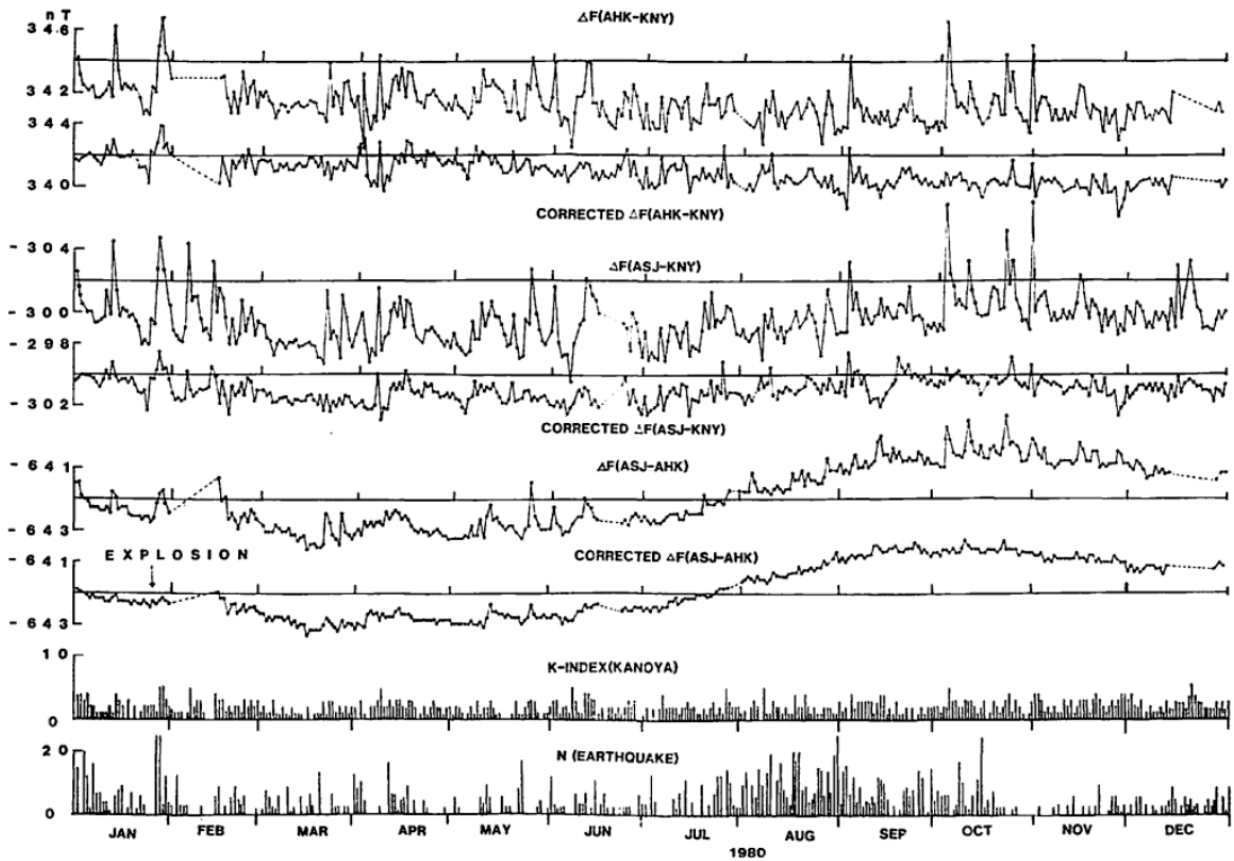


図4-5 1979年における AHK, ASJ, AHK の全磁力夜間値 (00-02h JST) の相互差 (加藤 (1985)) KNY の K 指数 (00h-03h JST) と火山性地震回数も示す。矢印は爆発的噴火を示す。

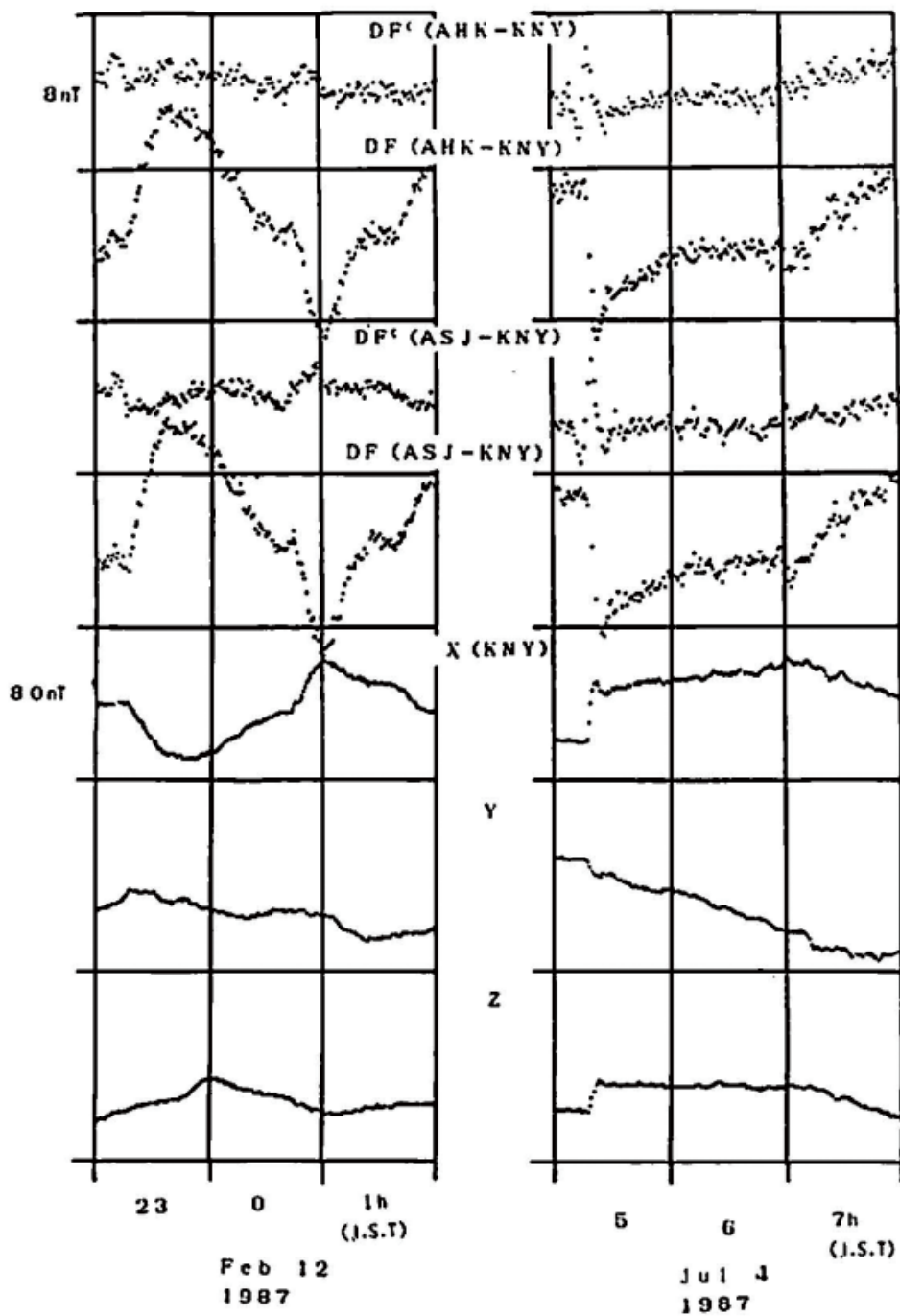


図4-6 短周期外部磁場変動による全磁力地点差の変動と補正結果 (加藤(1988))
 KNYを基準とした, AHK及びASJ観測点
 (上段)補正後, (下段)補正前

4. 1. 2 全磁力繰り返し観測

携帯式プロトン磁力計611G (1nT表示)を用いて、草千里 (KSR), 高塚 (TAK), 大平 (OHR), 南郷谷 (NAN), 曲松 (MGR), 杵島下 (KJM), 火口東 (KKH), 砂千里 (SSR), オカマド (OKA), 中園団地 (NZD) の10地点 (以下, 広域配置と呼ぶ)において, 検出器高1.5mでの観測が開始された。なお KKH については, 1979年9月の噴火活動のため観測点まで行けなかったことから, 2001年まで観測を中断した。また, 1986年に広域農道整備のため MGR が消失, 同理由で1990年に NAN は移設された (NAN2)。1995年には野焼きによる延焼防止のための防火帯の整備により TAK が消失したため, その近傍 (5m 離れた地点) に測定点を移設し観測を継続した。

また, 1988年頃から ASJ で認められた全磁力の増加傾向の有意性を高める目的で, 全磁力繰り返し観測点の見直しを行い, 1991年に阿蘇山上 2 (ASJ2), 砂千里 2, 3 (SSR2, SSR3) を整備した。これらの観測点は火口の近傍に位置し, 火山活動の高まりによる熱消磁効果を検出できることが期待された (池田 他 (1992))。

図4-7に1986~2002年までの観測点の配置を示す。

1986年に, 火山灰の堆積による地表の影響を除去するために, 桜島で検出器高2.0m, 2.5m, 3.5m の観測を開始した。阿蘇山でも同様の検出器高で観測を開始し, 1991年から両火山共に検出器高を3.5m に統一した。また携帯型プロトン磁力計は, 1979年 (5310A, 0.1nT表示), 1995年 (G-856AX, 0.1nT表

示), 2005年 (PMP-503, 0.1nT表示)に更新された。

福島 他 (1990) は阿蘇山の KJM における全磁力繰り返し観測の結果から, 僅か26m離れた2地点において, 両地点とも経年変化が増加傾向であるのに対して, 全磁力年周変化が逆相関になっており, 局所的な磁気異常の影響を受けている可能性があることを報告している (図4-8)。この現象の岩石磁気



図4-7 阿蘇山地磁気観測点配置 (1986年~2002年)

○: 連続観測点, ●: 繰り返し観測点

この地図の作成に当たっては, 国土地理院ウェブサイトの地理院地図を使用した。

▲印は火口の位置を示す。

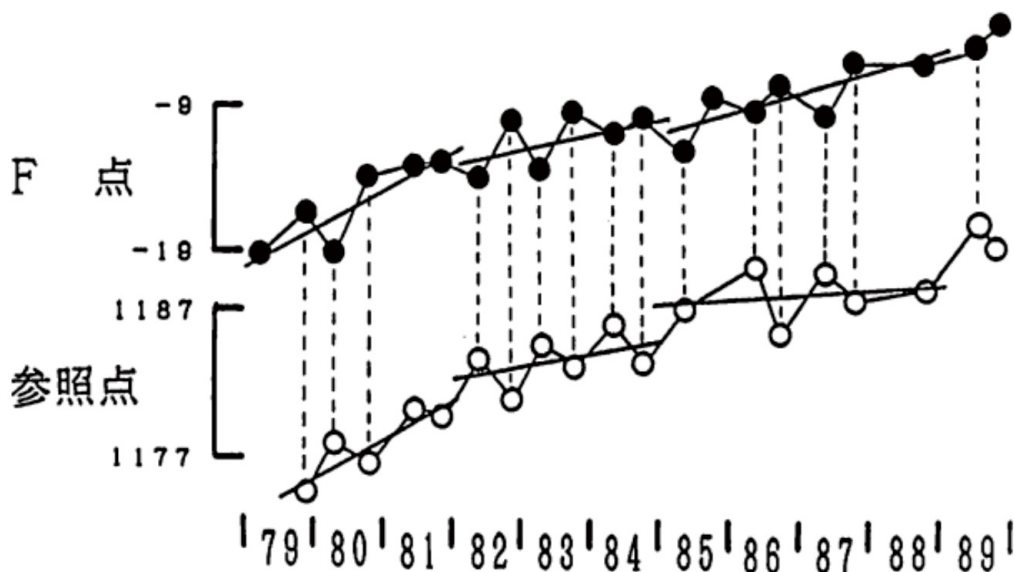


図4-8 杵島下 (KJM) での F 点, 参照点の年周変化 (福島 他 (1990))

学的解釈は小嶋 他 (1996) によってなされ、地表付近の岩石の残留磁化が気温により季節変化を起こすためであると指摘した。全磁力年周変化の問題については、最終的には Utada et al. (2000) によって、常温付近での岩石磁気変化の実験もなされることによりほぼ解決したようにみえるが、KJM での発見が Utada et al. (2000) の論文に貢献したことは確かである。また、岩石磁気学的調査について、伊藤 他 (2009) は阿蘇山から採集した岩石資料の熱消磁特性を調査しており、全磁力変化から火口下の温度変化を推定する上での貴重なデータが得られた。

4. 1. 3 成分繰り返し観測

GSI 一等磁気儀と携帯式プロトン磁力計による地磁気絶対観測を AHK, ASJ, KSR, TAK, OHR, NAN の 6 地点において 1979 年から開始した。1990 年に広域農道整備のため NAN が、1995 年に防火帯設置のため TAK が、それぞれ消失した。

成分観測点の配置は火山性のシグナルを捉えるのは不向きであったこと (4.2 節参照)、阿蘇山周辺に参照として使用できる 3 成分連続観測点が存在しなかったことから、火山活動に伴う変化を検出するには至らなかった (5.2 節参照)。

4. 2 2002 年～2017 年

2001 年以前の阿蘇山での地磁気観測点は、最も火

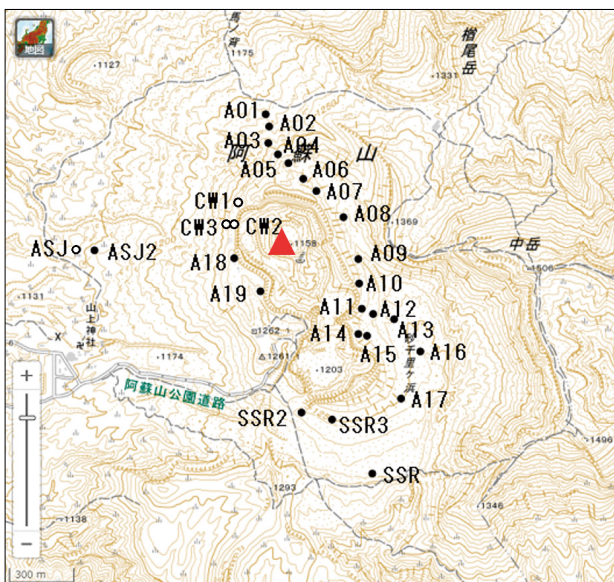


図4-9 観測点配置 (2002 年～2014 年) ○: 連続観測点, ●: 繰り返し観測点

この地図の作成に当たっては、国土地理院ウェブサイトの地理院地図を使用した。

▲印は火口の位置を示す。A01～A18 は全磁力繰り返し観測点、それ以外は全磁力連続観測点を示す。

口に近い観測点でも 1km 以上離れており、今日の火山電磁気学の常識からすれば火山性のシグナルを検出できる観測点配置ではなかった。また、京都大学火山研究センターでは火口周辺に複数の全磁力観測点を展開し、火山活動との関連性を研究している。その成果は Tanaka (1993) に詳述されているが、火口周辺の全磁力変化は火山活動と密接に関係していることを報告している。また 1989～1990 年の活動期の熱消磁及び帯磁のソースは、すべて火口直下のごく浅部に求まり、全磁力変化は火口直下の温度変化で説明できるとしている。

Tanaka (1993) が提唱した「熱消帯磁モデル」は、火口下への地下深部のマグマだまりからの熱の供給、噴火活動による地表への放熱、火口周辺からの地下水の流入及び放出の三要素のバランスの変化によって火口下で温度変化がおり、熱消磁または帯磁が発生するというモデルであり、基本的な考え方は今日でも変わっていない。Tanaka (1993) の論文は火山電磁気学分野では広く引用されており、及ぼした影響は大きかったと言える。その後、橋本 他 (2001) は 1991 年から 2000 年の 10 年間の阿蘇山の全磁力変化を調査し、Tanaka (1993) が提唱した「熱消帯磁モデル」は基本的に有効であることが確かめられた。

これらの成果を受けて地磁気観測所では 2002 年に観測点の配置を見直し、新たに火口近傍に全磁力連続観測点と全磁力繰り返し観測点を整備した。図 4-9 に 2002 年～2014 年の観測点の配置を示す。

4. 2. 1 全磁力連続観測

AHK, ASJ では雷に伴う機器の障害が頻発したため、2002 年から商用電源を太陽電池式電源装置 (写真 1) に順次変更するとともに、携帯電話 (MOVA)



写真 1 太陽電池式電源装置 (ASJ)

方式によるデータ収録・伝送装置 (DRT-210M) を整備した。またプロトン磁力計も、1995年の兵庫県南部地震の後に淡路島で調査観測に使用していた PMP-206 (0.1nT 表示) に更新した。

火口浅部の熱源による全磁力変化を精確に捉えるため、2002年11月に火口西 (CW1・CW2, 火口北西縁) に3 検出器型磁力計 PMP-206 (0.1nT 表示) を整備し観測を開始した。計測された全磁力データは携帯電話 (MOVA) 方式によるデータ収録・伝送装置 (DTM-210M) を介して鹿屋出張所へ伝送された (図4-10)。

電源装置は、富士山での調査観測に使用した太陽

電池式電源装置を転用したが、2003年3月に強風により破損した (写真2)。

破損の原因は架台に使用している L 型アルミフレームが 2×20×20mm と細かったため、強風による煽りやフレームの捻じれにより M10 ステンレスボルトで固定していた箇所が破断したことによる。地磁気観測所ではこれまでこのような障害の経験はなく、4mm 厚のアルミ角柱 (中空) と 4×40×40mm の L 型アルミフレームを用いた電源装置架台を製作、2003年11月に復旧した (写真3)。

以降、この経験を活かし他火山においてもより厚みのある 4×40×40mm の L 型アルミフレームを使

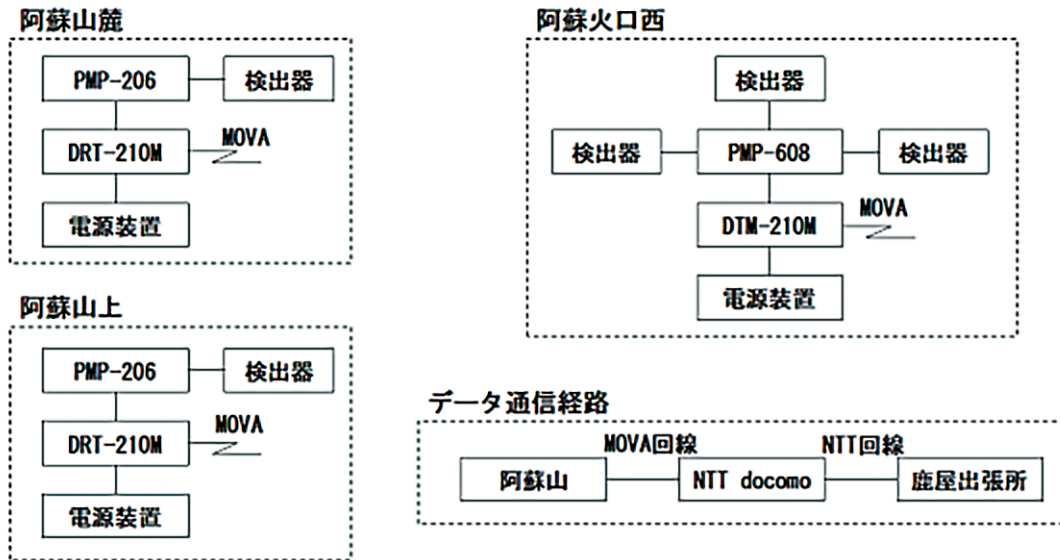


図4-10 AHK, ASJ, CW システム構成図 (2002年~2014年)

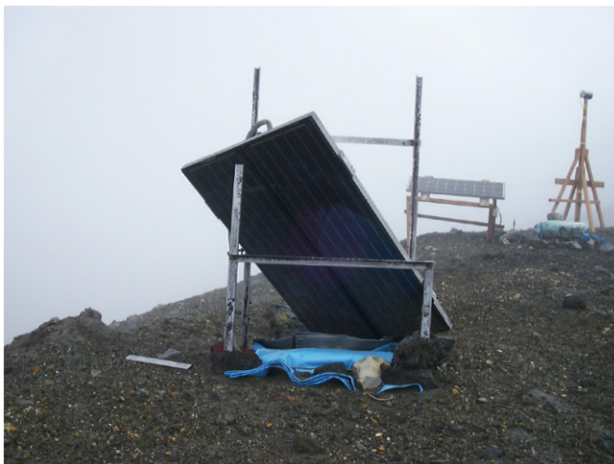


写真2 強風により破損した CW 電源装置



写真3 CW 電源装置改修後

用した架台を用いた。

2009年にCWの電源装置に用いている太陽電池モジュールの出力異常が発生したため、太陽電池モジュールを交換した。また2013年には火山ガスの影響で太陽電池モジュールのアルミフレーム部分が腐食(写真4)したため、太陽電池モジュールを交換した。

AHKでは2008年頃から秋季～翌年春季にかけて電源に起因する欠測が頻発するようになった。電源装置は太陽電池モジュール(55W出力)とバッテリー(容量120Ah)の組み合わせで、南側に山林(写真5)があることによる太陽電池モジュールの発電不足によるものであった。

2010年5月この問題を解決すべく太陽電池モ



写真4 火山ガスによる太陽電池モジュールの腐食



写真5 AHKの観測環境

この地図の作成に当たっては、国土地理院ウェブサイトの地理院地図を使用した。

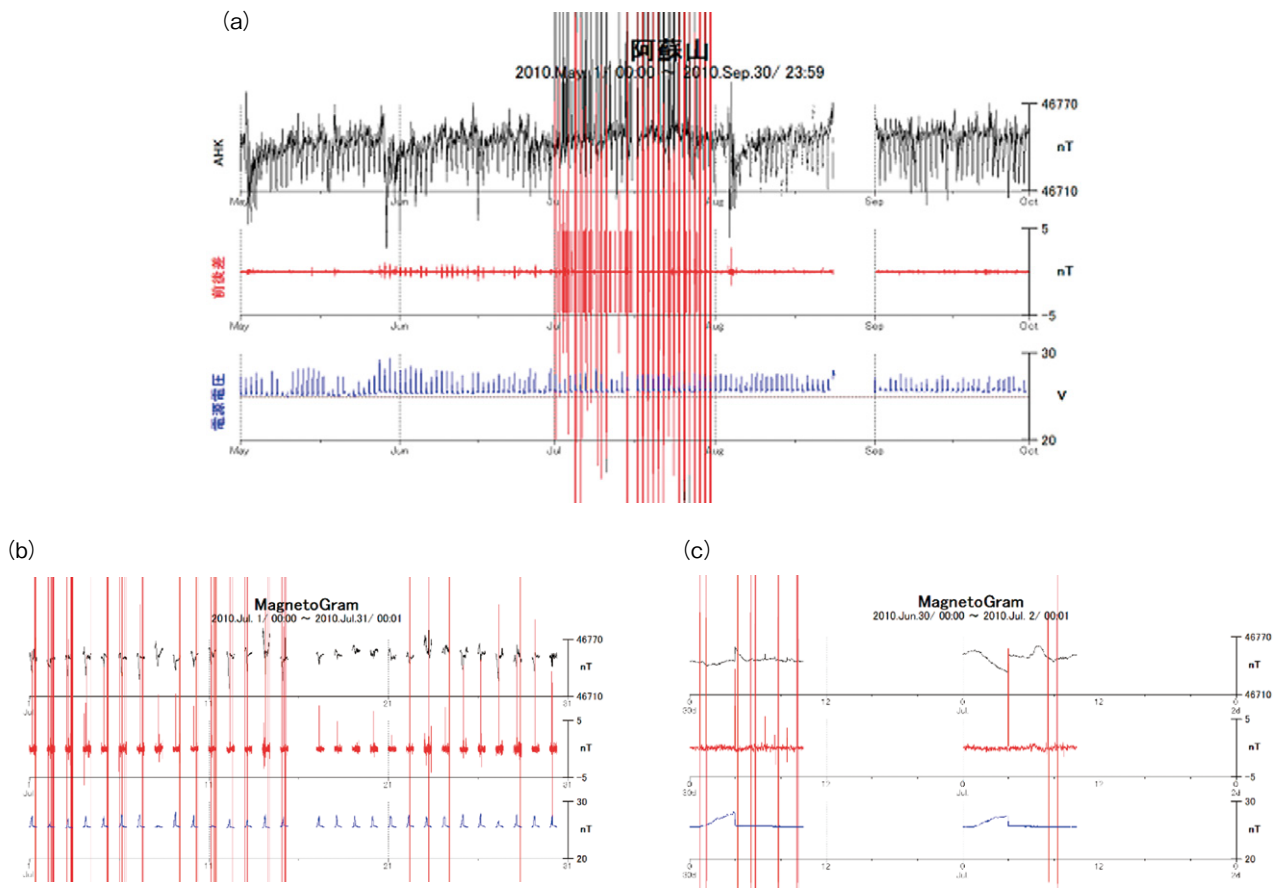


図4-11 太陽電池モジュールの発電に起因するノイズ(横軸は UTC 表示)

(a) 2010年5月1日～9月30日 (b) 2010年7月1日～7月31日 (c) 2010年6月30日～7月2日

ジュールを135W出力に変更したが、夜間は欠測となった。また、日中の観測値にスパイクノイズがしばしば混入した(図4-11)。

これは充放電コントローラの性能以上の太陽電池モジュールを使用したことにより、発電に起因するノイズが増大し磁力計に悪影響を与えたためと考えられる。このことを踏まえ、2010年8月に太陽電池モジュールを65Wに変更、さらに並列化(写真6、図4-12)することにより電源装置の強化を図った。以降、電源に起因する障害は発生しなくなった。

CW1は馬の背状の地形(写真7)にあり台風等の大雨で地形変化が著しいことから、2010年11月火口西電源装置の西50mの地点に検出器を増設(CW3)し観測を開始した。2011年12月CW1は、検出器支持棒が倒壊したことから観測を終了した。

2012年MOVAのサービス終了に伴い、AHK、ASJ、CWのデータ収録伝送装置をFOMA方式のデータ収録伝送装置(DTM-FK1)に更新し、2015年からは「ビジネス mopera ネットワーク」を介して地磁気観測所へデータを伝送する方式に変更した(図4-13)。

2014年12月に、近雷に伴いCW観測点のプロト

ン磁力計が故障した。磁力計の修理後に早期復旧を計画していたが、火山活動の活発化に伴う入山規制により復旧できない状態が続いた。さらに、2016年10月7～8日の爆発的噴火に伴う火山噴出物(噴石、火山灰等)により、CW1、CW2、CW3が消失した(写真8)。



写真6 AHK 電源装置改修後

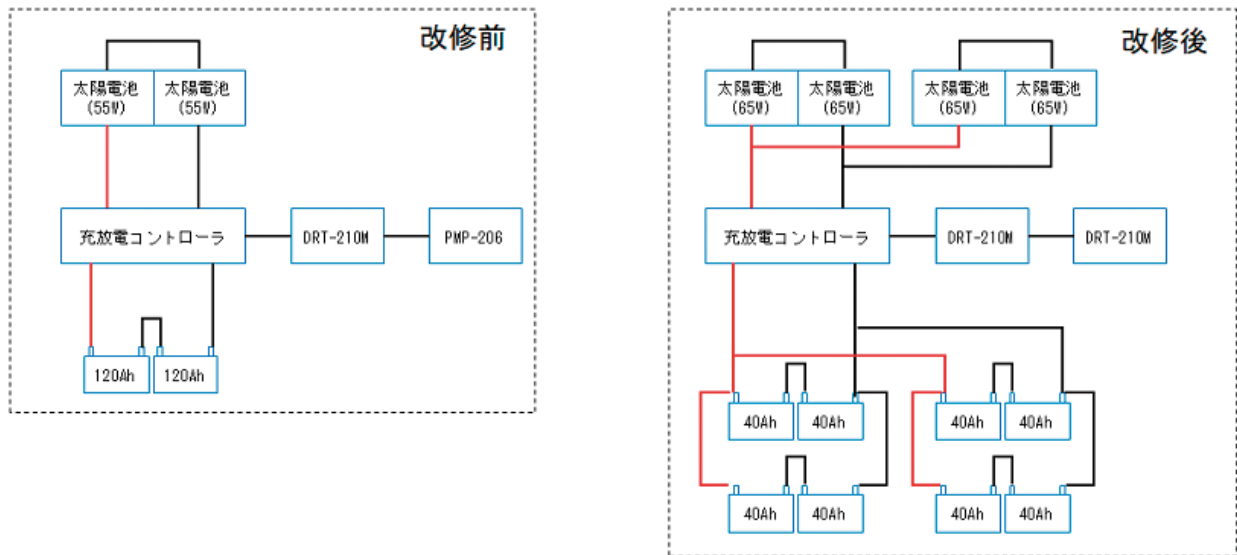


図4-12 AHK 電源装置構成図



写真7 CW1の設置状況

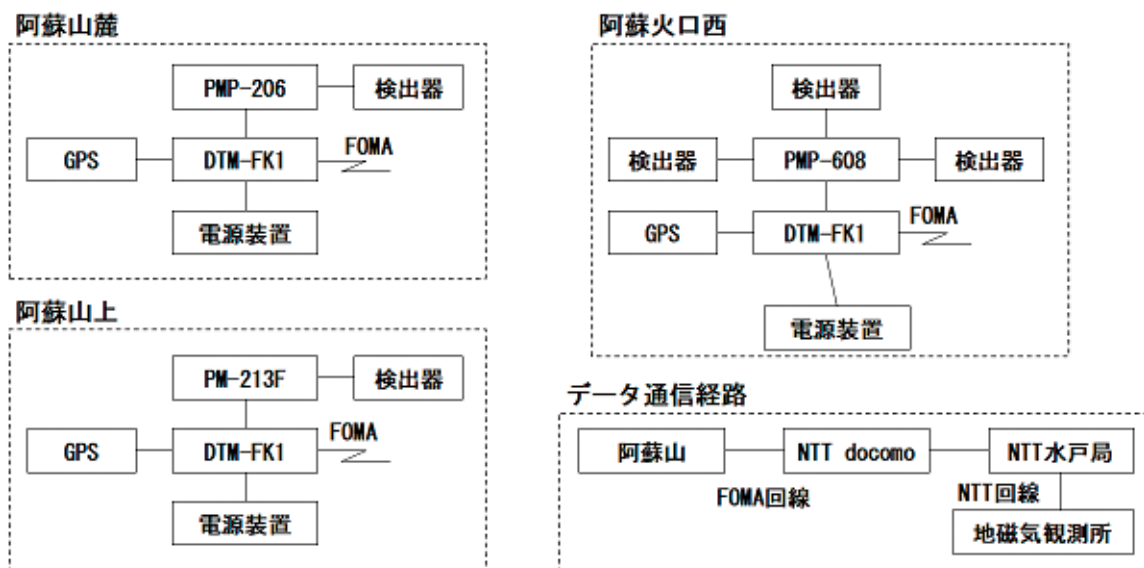


図4-13 AHK, ASJ, CW システム構成図 (2012年～2022年)



写真8 2016年10月7～8日の爆発的噴火に伴うCW1, CW2, CW3の消失
 (左) 爆発的噴火の前, (右) 爆発的噴火の後, CW3は死角である。
 火口の南側(旧阿蘇山ロープウェイ火口西駅付近)より撮影。

4. 2. 2 全磁力繰り返し観測

全磁力繰り返し観測点の見直しにより(詳細は第2章を参照), 2003年にSSR, SSR2, SSR3及びASJ2を除く繰り返し観測点は廃止し, 新たに火口東側に16点(A01～A17), 西側に2点(A18～A19)の繰り返し観測点を整備, 計22点で検出器高2.0m及び2.5mでの観測を開始した。また2011年4月に, 鹿屋出張所の無人化に伴い地磁気観測所(柿岡)に業務が集約されたため, 2回/年の繰り返し観測は1回/年となった。

4. 3 2017年～2022年

2016年10月の噴火活動に伴いCW1, CW2, CW3及びA01～A19が消失したため, 新たな連続観測点及び繰り返し観測点を整備し, 2022年10月まで観測を継続した。

図4-14に2016年～2022年(観測終了)までの観測点配置を示す。本項では, 阿蘇山の火山活動に関連した全磁力変化, その他火山活動と関係のない全磁力変化について述べる。

4. 3. 1 全磁力連続観測

CW1, CW2, CW3の消失に伴い手薄となった全磁力連続観測点を補うため, 2019年2月に火口西(CW4, 火口西約800m)を整備して観測を開始した。しかしながら, 同年5月にGPSアンテナに起因するデータ収録伝送装置の故障が発生したため, CW4の観測が停止した。また, 2020年9月にはASJで同様の障害が発生した。その後復旧作業を実施しないまま, ASJ及びCW4の観測は終了した。また, AHKはその後も観測を継続していたが, 2022年10

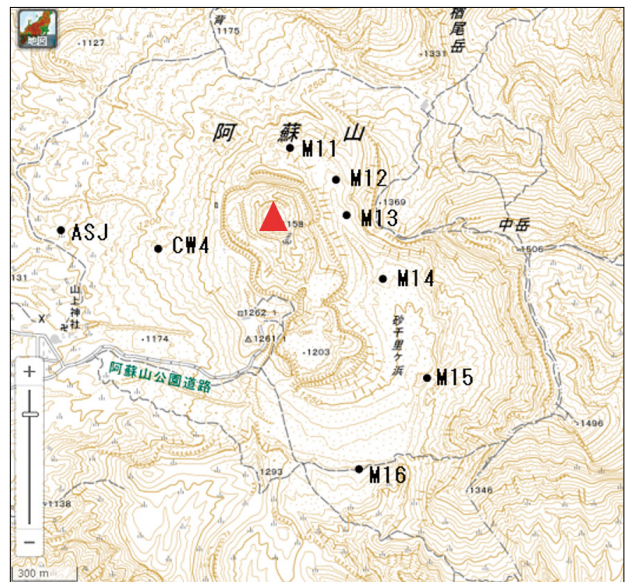


図4-14 観測点配置(2016年～2022年)

この地図の作成に当たっては, 国土地理院ウェブサイト(地理院地図)を使用した。

▲印は中岳第一火口の位置を示す。

月5日をもって観測を終了した。この期間は地震によるセンサー位置のずれや磁性物の設置等の影響で火山の熱的な活動以外の変化を何度か記録した。以下にその事例を紹介する。

4. 3. 1 (1) 熊本地震に関連した全磁力変化

2016年4月16日01時25分(日本時間)に発生した熊本地震(マグニチュード7.3; 最大震度7)に伴いAHKで約2.6nT, さらに03時55分に発生した地震

(マグニチュード5.8；最大震度6強)に伴い約1.1nTのステップ状の全磁力変化が認められた(図4-15)。図中①の全磁力変化の要因として検出器の転倒が考えられたが、その後の調査により、検出器庫の基礎(非磁性モルタル)の移動、または周辺の地形変化によるものと判明した。なお、図中②の変化は、原因不明である。AHKの設置状況を写真9に示す。

4. 3. 1 (2) 阿蘇山の爆発的噴火に伴う火山灰による全磁力変化

2016年10月8日01時46分の阿蘇山の爆発的噴火では、ASJで+6.5nT(瞬間値；+626.7nT)の変化がみられた(図4-16)。

01時46分の噴火に伴い火口から西北西方向に火砕流が流下したことから、火山灰の堆積による可能性があると推測した。その後の調査により、火山灰が

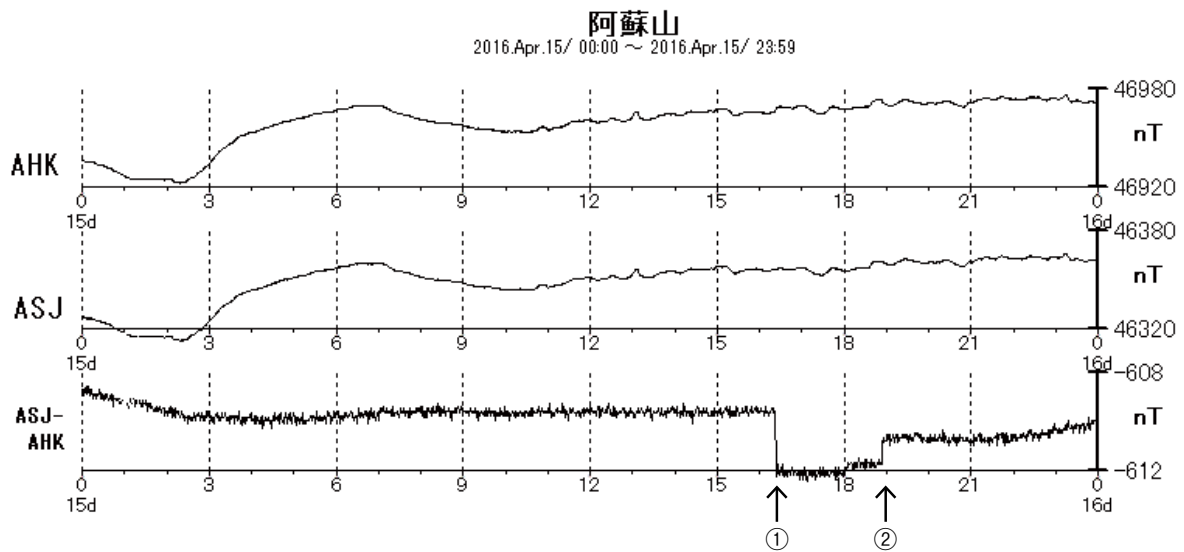


図4-15 熊本地震に伴うAHKの地磁気変化(2016年4月15日00:00~23:59；横軸はUTC表示)

①4月16日01時25分(日本時間)の地震に伴う全磁力変化(約+2.8nT)，②03時56分から58分頃(日本時間)の全磁力変化(-1.1nT)



写真9 阿蘇山麓観測点の検出器の状況
(左) 検出器の状況。(右) 検出器を下から撮影。

検出庫（百葉箱）内に流入していることが分かったため、2017年5月22日に庫内の火山灰を除去することにより、概ね噴火前のレベルに戻った（写真10、図4-17）。

4. 3. 1 (3) 観測環境の変化に伴う全磁力変化

2020年11月26日の06時から07時頃 (UTC) にか

て、AHKで、244.4nT（最大c 327.7nT）の変化が見られた（図4-18）。

擾乱量と全磁力の変化から、金属製物資の搬入または車両等の駐車の可能性が考えられた。そこで、阿蘇山火山防災連絡事務所に状況の確認を依頼したところ、観測室周辺に荷役用のパレットが置かれていたことが分かったが、擾乱量から推測する擾乱源がパレットとは断定できなかった。

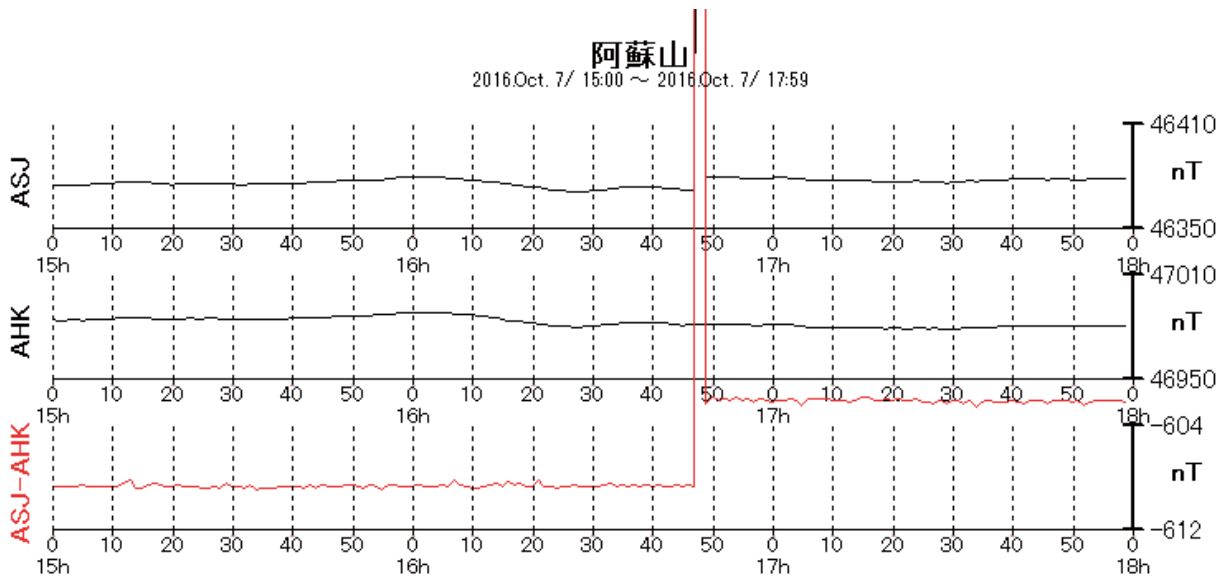


図4-16 爆発的噴火に伴うASJの地磁気変化
(2016年4月15日00:00~23:59UTC)



写真10 ASJ 検出器庫内の状況 (左) 除去前, (右) 除去後

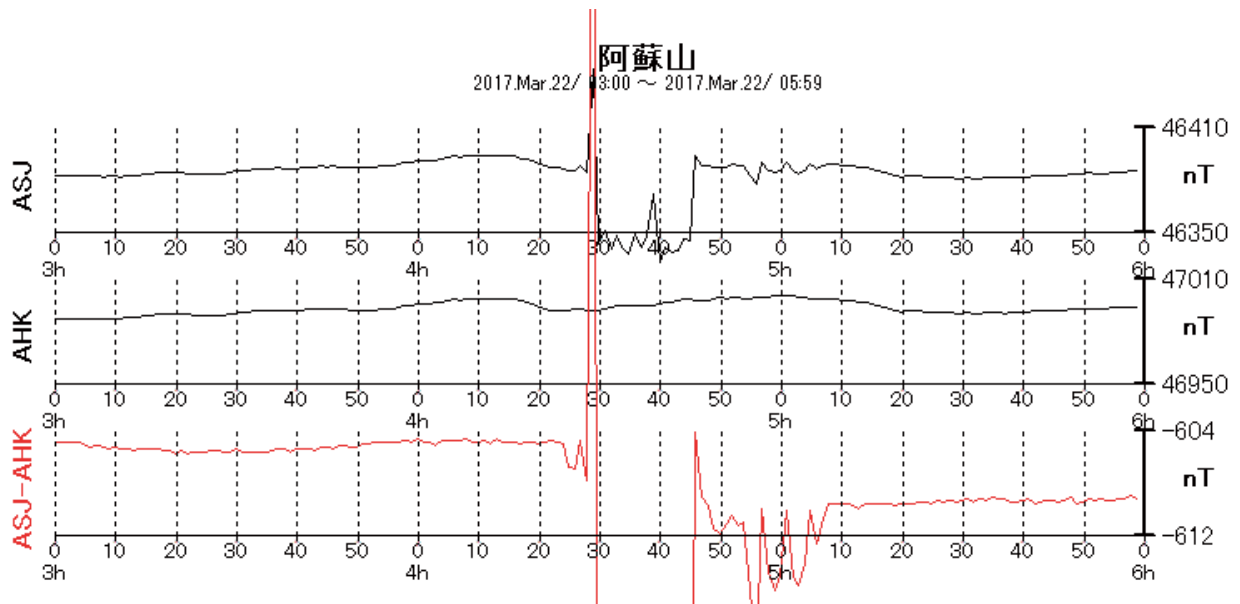


図4-17 ASJ 観測点における火山灰除去に伴う地磁気変化
 (2017年5月22日03:00~05:59UTC)
 火山灰の除去作業時間は、04時30分から05時10分までの間である。

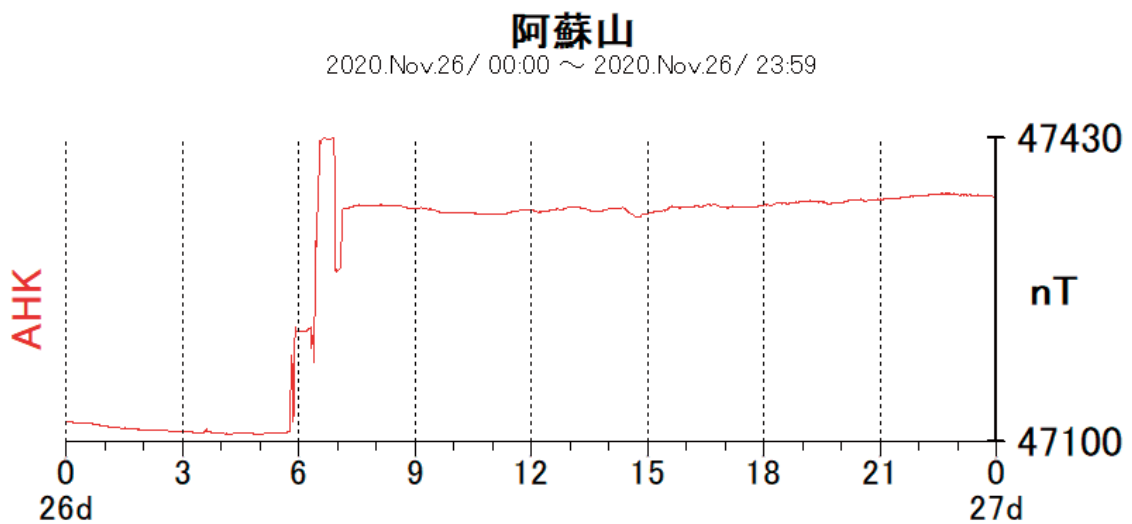


図4-18 外部擾乱に伴う AHK の地磁気変化
 (2020年11月26日00:00~23:59UTC)

さらに、2021年8月AHK周辺を調査したところ、鉄パイプと金属製ネットによる猪除けの防護ネットが張り巡らされていた。検出器から数10cmの位置に防護ネットがあることから、2020年11月に発生した擾乱はこの防護ネット設置作業によるものと判明した。2021年10月におけるAHK周辺の環境を写真11に示す。

4. 3. 2 阿蘇山麓参照点を用いた霧島山、九重山の全磁力解析

気象庁地震火山部では、霧島山(2016年1月～)および九重山(2017年3月～)においてオーバーハウザー磁力計(GSM-19, 0.01nT表示)による全磁力連続観測(連続観測点6点, 参照点1点)を開始し(気象庁地震火山部, 気象庁地磁気観測(2022)), 得られた観測データは地磁気観測所にも共有されている。

霧島山および九重山の参照点の観測データはデータ伝送等の不具合による欠測が多く, この欠測期間を補完する意味でAHKを参照点とした解析が試みられた。

図4-19に九重山における参照点を基準とした連続観測点との全磁力日差, AHKを基準とした全観測点との全磁力日差を, 図4-20に霧島山の参照点(KRS)を基準とした連続観測点との全磁力日差, AHKを基準とした全観測点との全磁力日差を示す。

霧島山ではKRSを基準とした場合, 2018年3月にステップ状の全磁力変化がみられたが, AHKを基準にとった場合にはステップ状の全磁力変化は認められない。このため, このステップ状変化は霧島山(硫黄山)の火山活動に伴うものではなく, 同時期に新燃岳の噴火が再開したことにより, KRSの磁力計検出器に火山灰が大量に付着したことによる

影響と推測される。

4. 3. 3 全磁力繰り返し観測

2016年10月7～8日の爆発的噴火, 及びその後の台風等に伴う大雨等により繰り返し観測点A01～A19が消失したため, 2017年10月に火口の東側に6地点(M11～M16)の繰り返し観測点を新たに選定し, 検出器高2.0m, 2.5mでの観測を開始した(図4-21)。

2019年4月及び2021年9月の噴火活動で入山が規制されたため, 2019年及び2021年の全磁力繰り返し観測は実施できなかったが, 2020年及び2022年に全磁力繰り返し観測を実施した。

5. 地磁気観測による中長期的な火山活動評価

本章では, 1979年の観測開始以降2022年の観測終了までの, 中長期的な火山活動評価について述べる。一般に地磁気観測データだけでは精確な火山活動評価は困難であることから, 阿蘇山においては福岡管区気象台で監視している火山性地震や火山性微動観測, 及び京都大学の地磁気観測データも活用した。また本章を, 火口近傍における観測と広域配置による観測とに分けて詳述する。

5. 1 火口近傍における地磁気観測

AHKを基準とした中長期的な連続観測点の全磁力変化を図5-1に示す。

火口西側約800mのASJでは, 1988年頃から年周変化を繰り返しながら中長期的には5nT/年の割合で増加したが, 2000年頃からその変化が停滞した。阿蘇山では1988年～1995年までの期間は火山活動が活発な状態で推移し度々噴火が発生したが, ASJ観測点のみの変化であること, 及び同時期に他の繰り返し



写真11 2021年10月におけるAHK周辺の環境 (左) 観測室, (右) 検出器

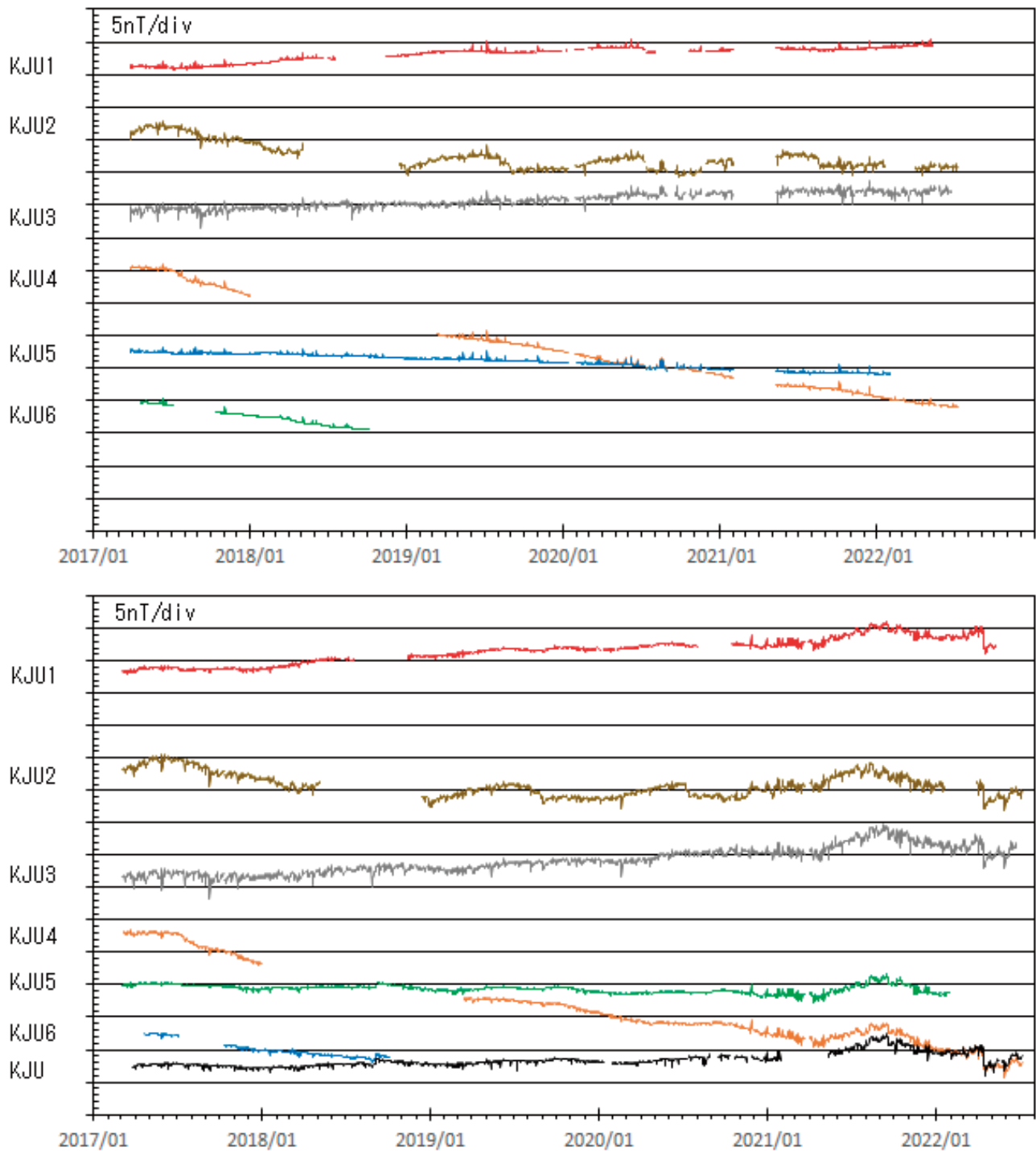


図4-19 九重山の全磁力観測データの時系列
 (上段) 九重山における KJU を基準とした各連続観測点との全磁力日差,
 (下段) AHK を基準とした各連続観測点との全磁力日差

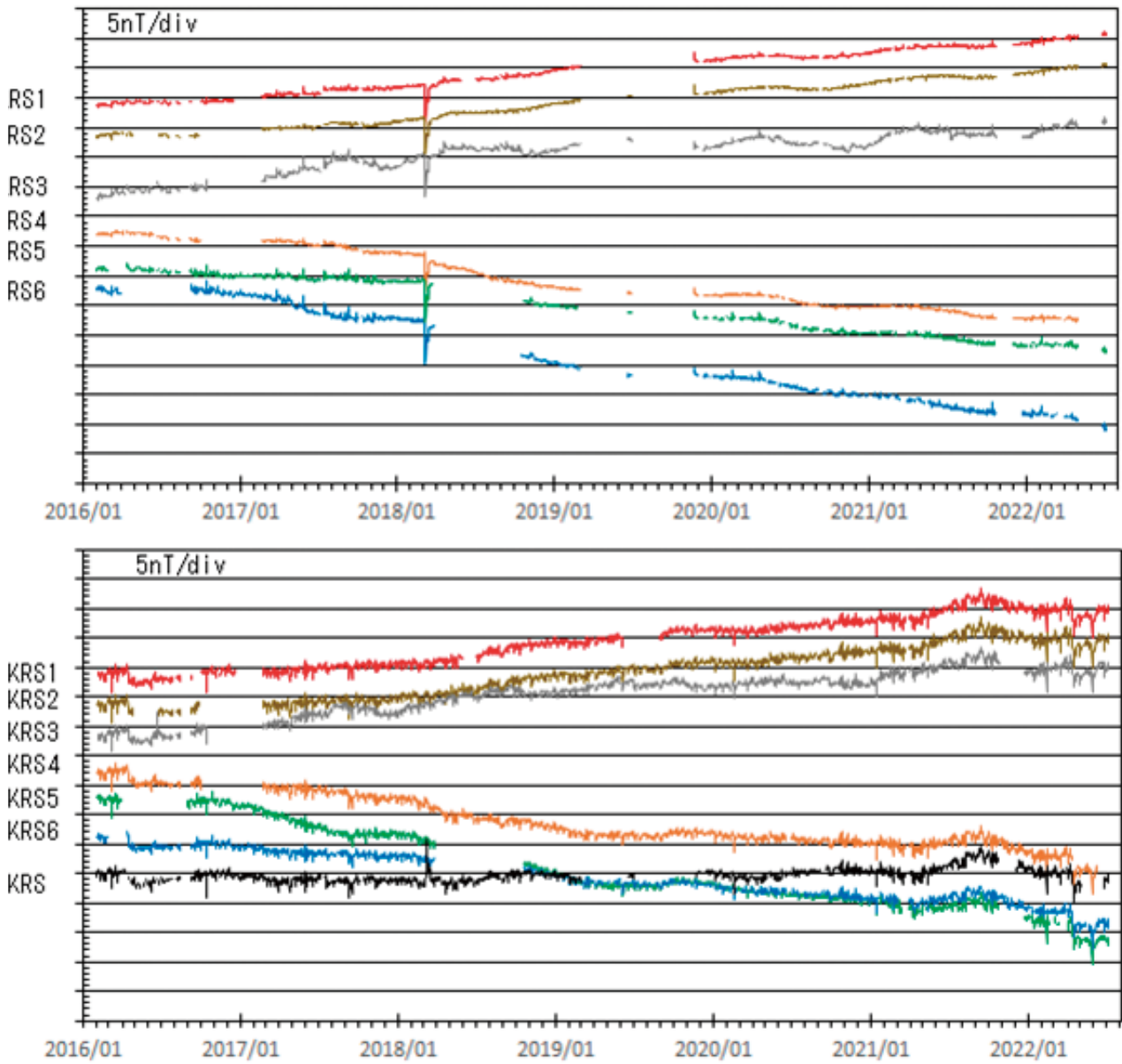


図4-20 霧島山の全磁力観測データの時系列
 (上段) 霧島山における荒襲観測点 (KRS) を基準とした各連続観測点との全磁力日差,
 (下段) AHK を基準とした各連続観測点との全磁力日差

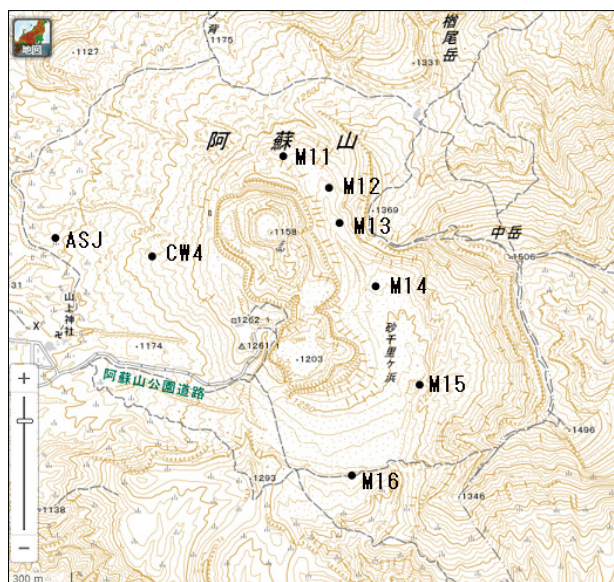


図4-21 全磁力観測点配置図

返し観測点では明瞭な変化は観測されていない(福島他, 1991)ことから, ASJの全磁力変化が火山活動に伴う変化を捉えたものか判断は難しい。しかしながら, 福島他(1990)は, 阿蘇山の火山活動と関連した全磁力変化を観測するには, 火口周辺での観測がより有効であることを言及しており, 1990年から1991年にかけて全磁力繰り返し観測点の見直しを行った(4. 1. 2節を参照)。

その後, 2002年にCW1及びCW2が設置された。CW1は観測当初から明瞭な全磁力変化は認められなかったが, CW2は2007年から全磁力の増加率が変化した。一方, ASJを基準とした場合, CW2の全磁力変化は認められなかったが, CW1では2010年頃から減少傾向であることが分かる。基準点であるAHKが火口から8kmと離れていることから, DI効果や短周期変化の違いなどが影響しているものと推察される。

その後, 2018年秋頃からASJについては全磁力が減少するトレンドに転じたものの, 2020年9月25日以降は機器障害により欠測した。以上のことから, 長期的な全磁力変化が火山性のものかは判断できない。

阿蘇山での1979年の観測開始以降でストロンボリ式噴火が確認された1988年から1995年ごろ, 2014年から2016年ごろの活動に注目する。

5. 1. 1 1988年から1995年ごろの地磁気観測

当該期間における活動では, 火口縁付近の全磁力観測点に変化があったことが報告されており(Tanaka(1993), 橋本他(2001)), その熱消

磁源は火口直下200mほどの深さと推定されている。Tanaka(1993)および橋本他(2001)に示された全磁力変化に, ASJ観測点の全磁力変化(参照点AHK)を追記したものを図5-2及び図5-3に示す。また, 観測点配置を図5-4に示す。

図5-2及び図5-3からは, C1, C3, S1観測点で10nT程度の変化が観測されていることが分かる。しかしながら, ASJでは年周変動を超える全磁力変化は観測されていない。試みとして, C1観測点に近い地磁気観測所の繰り返し観測点19番で10nT程度の全磁力変化が現われるような熱源を火口直下深さ200mに仮定すると, ASJでの変化は約0.5nT程度であると見積もられる(図5-5)。このことから, ASJで火山活動に起因する地磁気変化を捉えることは, 年周変化除去等のノイズリダクションを徹底したとしてもなお困難ではないかと考えられる。

5. 1. 2 2014年から2016年ごろの地磁気観測

本期間における火山活動では, 全磁力連続観測点は2014年初めまでしか稼働していなかった。図5-6に, 2006年から2020年までの連続観測点の変化を, 図5-7に2003年から2014年までの繰り返し観測点の変化を示す。

CW2, CW3双方とも, 長期的には一貫して増加傾向であったが, 2013年から2014年にかけて増加率が増しているように見える。一方, 繰り返し観測では, 2010年から2012年の観測値に対するASJを基準点としたダイポール解析により, 中心標高940m(火口から深さ約200m)の位置に熱消磁源が推定されている(図5-8)。AHK基準では物理的に説明可

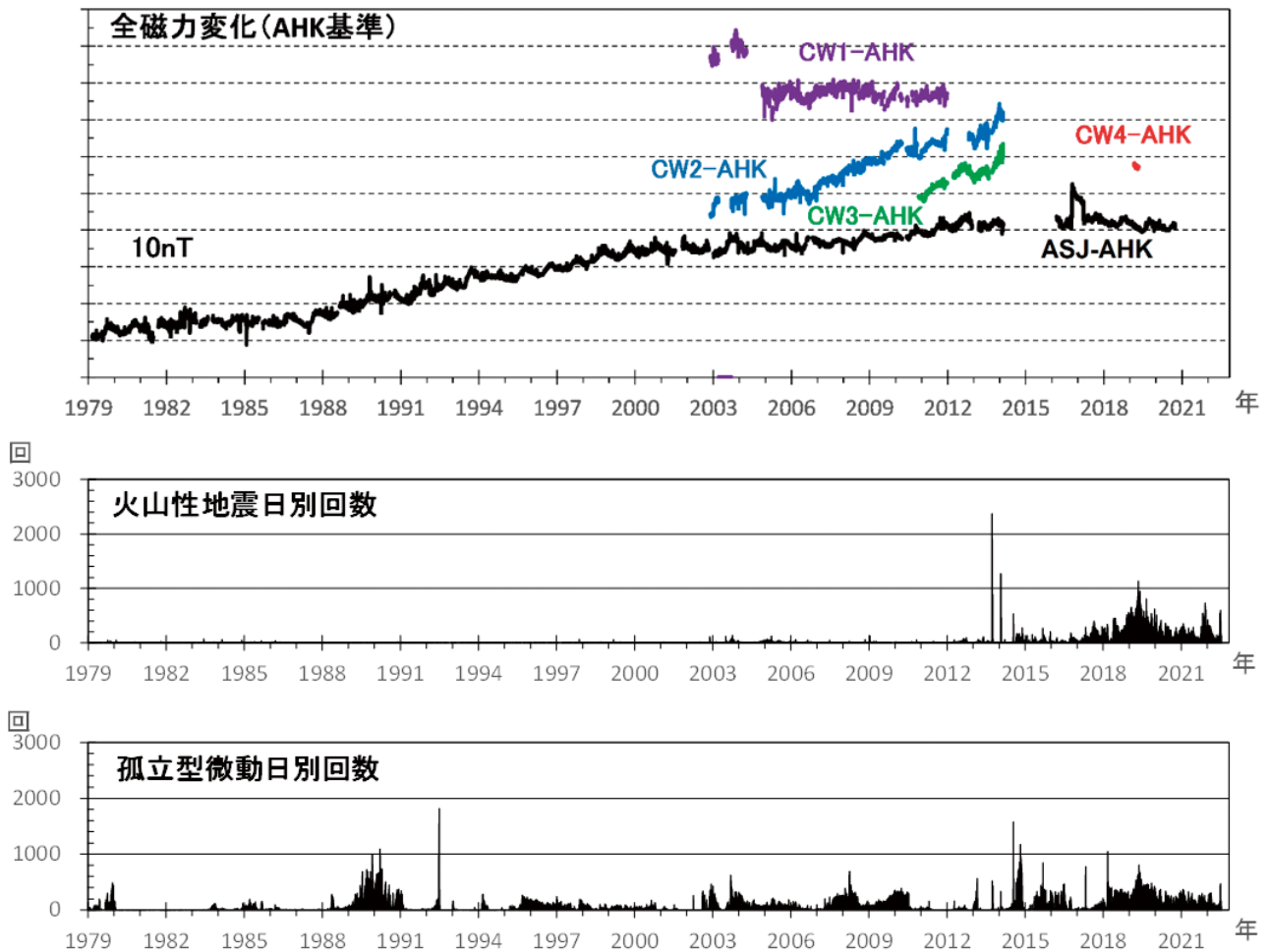


図5-1 全磁力連続観測結果(1979年~2020年)

全磁力変化は火口の北側約5Kmの基準点(AHK)との夜間日平均値差(00:00~02:59JST)

CW1は2011年11月に, CW2, CW3は2014年2月にそれぞれ観測を終了した.

CW4は2019年2月28日から観測を開始した.

※1: 2014年4月14日~2016年3月8日: 機器障害のため欠測

※2: 2016年4月15日: 熊本地震に伴うAHKの観測環境変化による変動

※3: 2016年10月7日: 爆発的噴火に伴う降灰による変動

※4: 2017年3月22日: ASJの検出器庫内火山灰除去に伴う変動

※5: 2019年5月3日~: 観測機器障害のため欠測

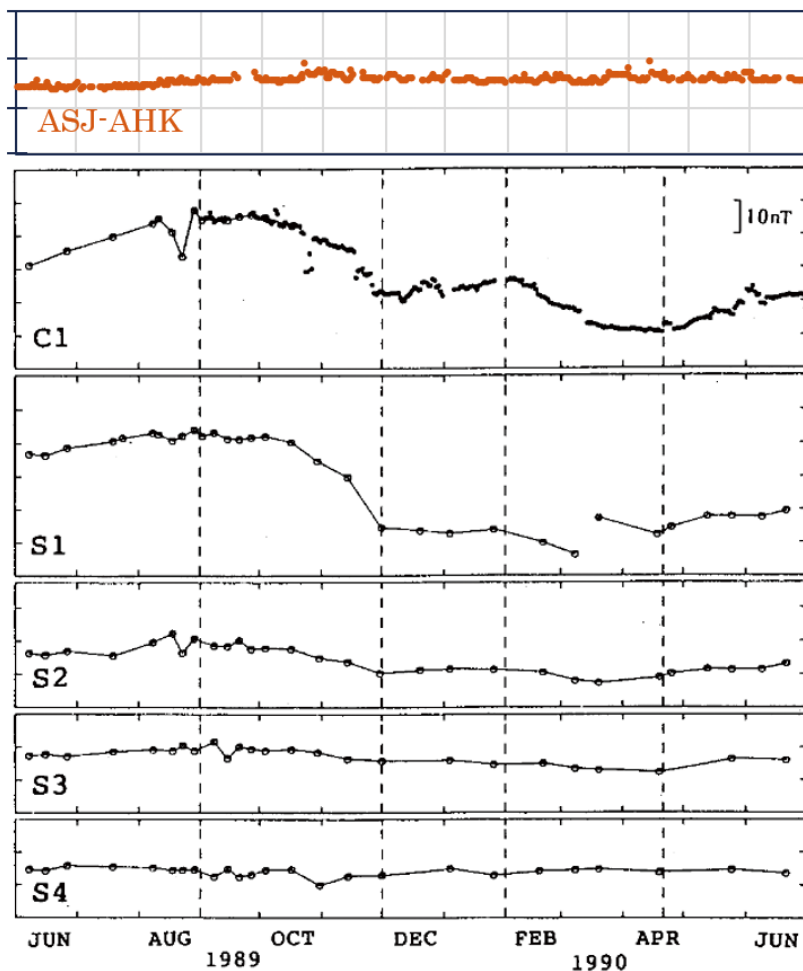


図5-2 京都大学火山活動研究センターが実施した全磁力繰り返し観測結果（黒）と地磁気観測所における全磁力連続観測結果（茶色）(Tanaka (1993) に追記)

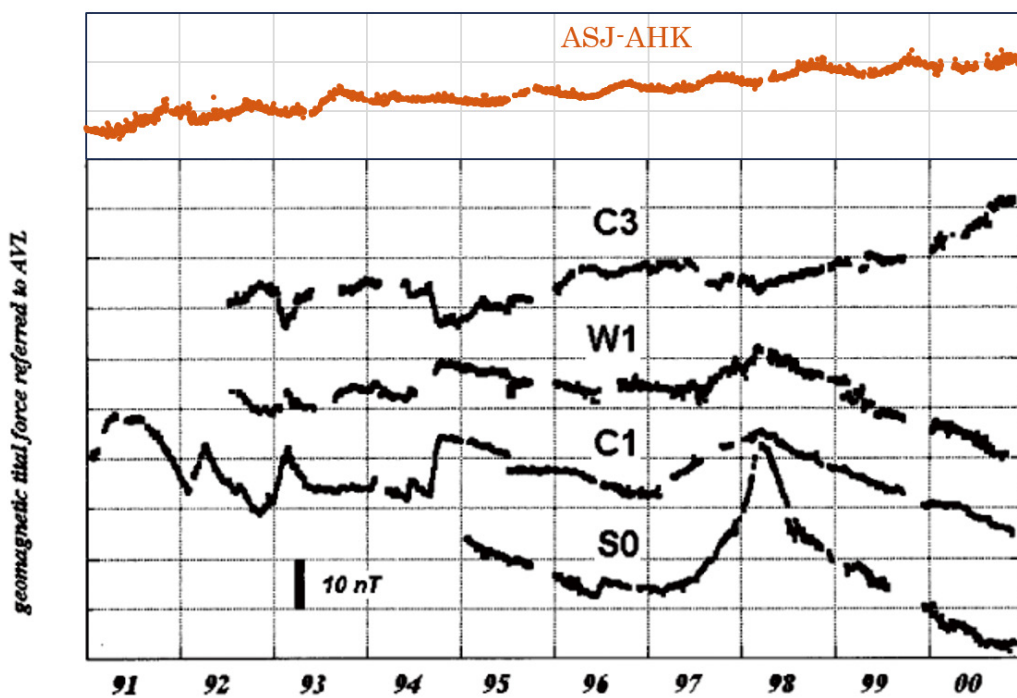


図5-3 京都大学火山活動研究センターによる全磁力連続観測結果（黒）と地磁気観測所における全磁力連続観測結果（茶色）((橋本 他 (2001) に追記) .

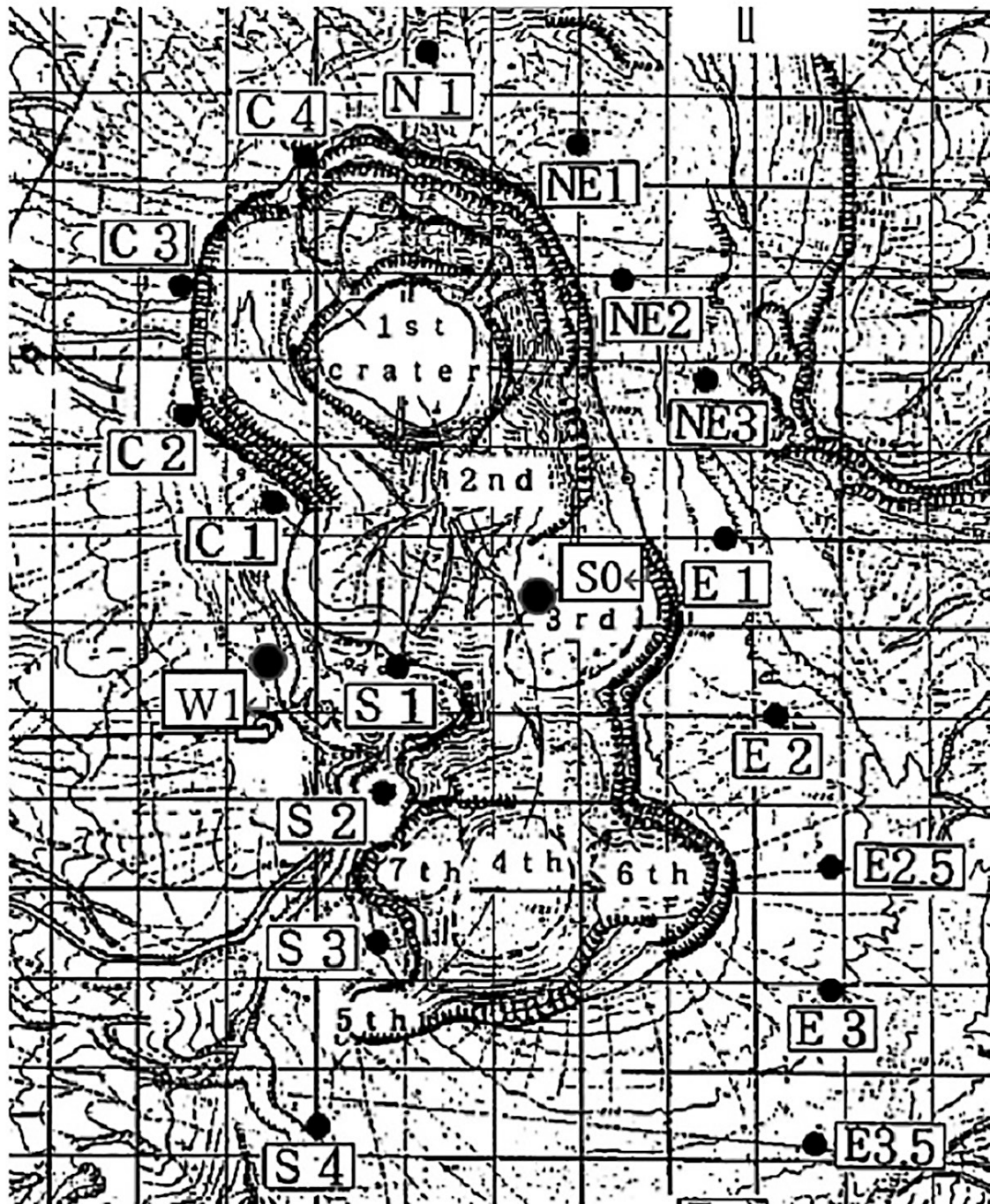


図5-4 阿蘇山全磁力観測点配置図 ((Tanaka (1993)) に地磁気観測点を追記)

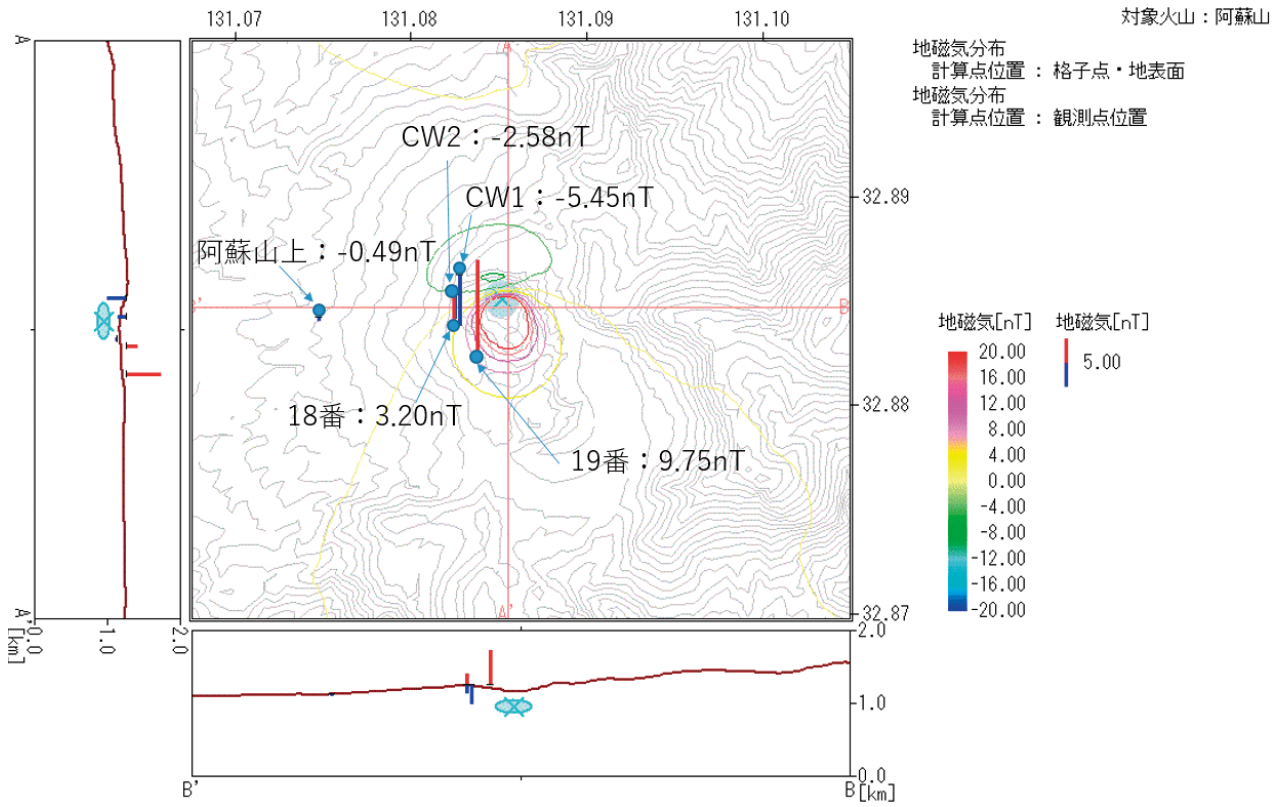


図5-5 全磁力繰り返し観測点19番に10nT程度の地磁気変化をもたらすような熱源シミュレーション (MaGCAP-V を使用)。

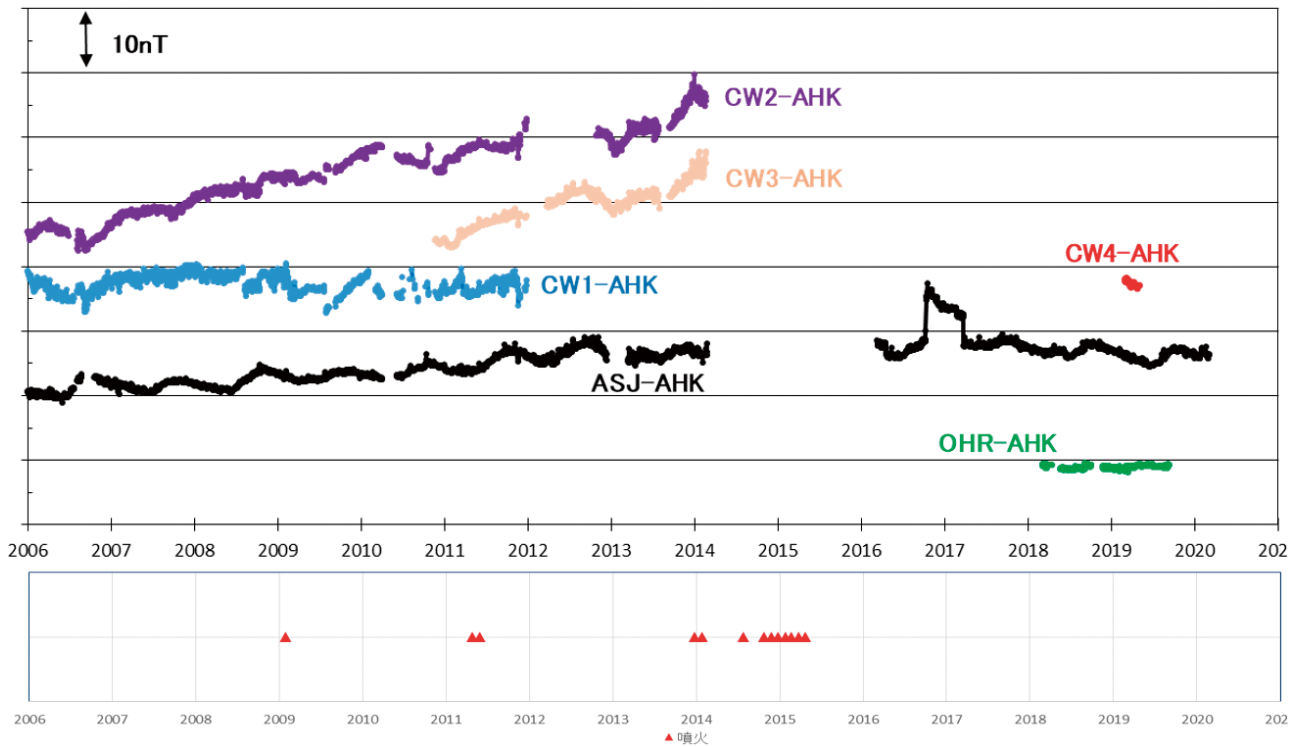


図5-6 2006年から2020年までの全磁力連続観測結果。
下段のグラフの赤点は噴火の発生を示す。

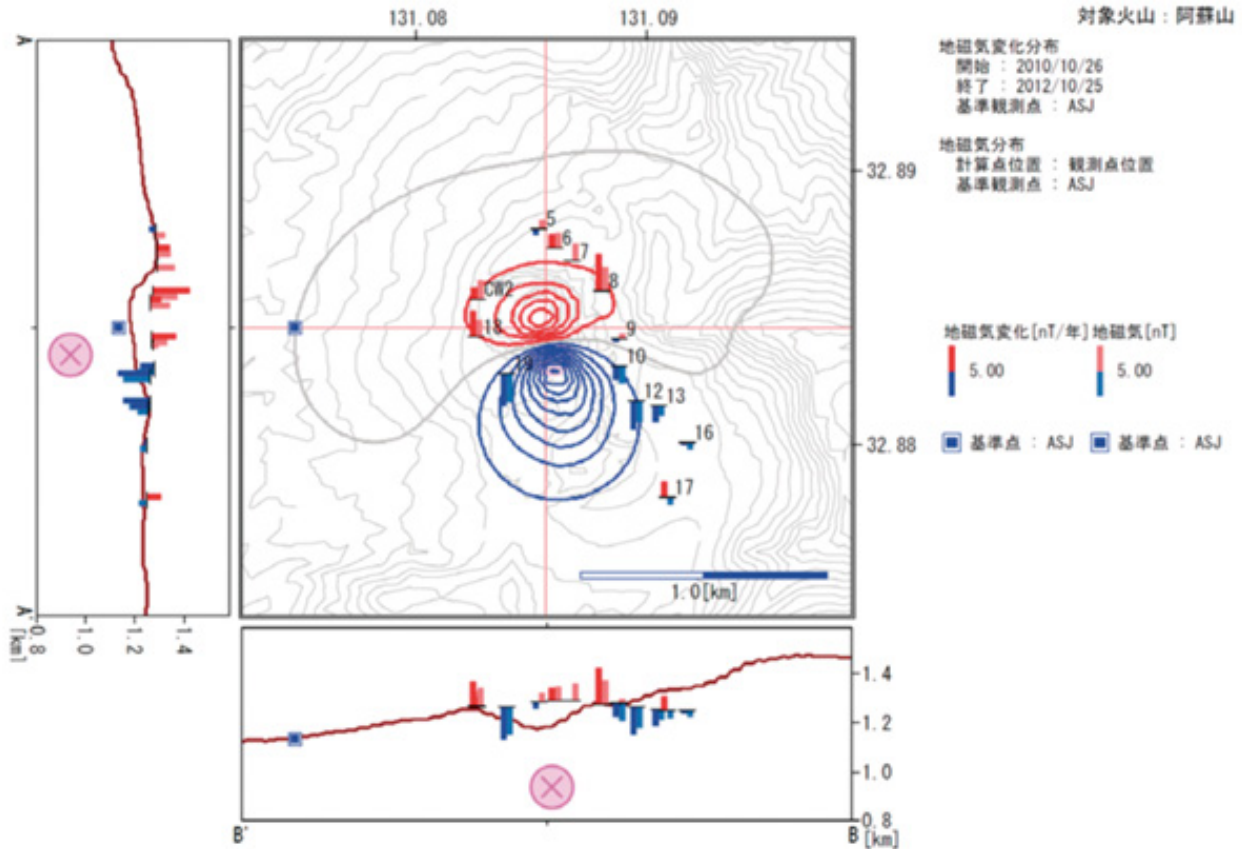


図5-7 中岳周辺での全磁力繰り返し観測点配置図・観測結果 (2003年-2013年)。基準点は AHK。測定高は2.0m。

能な解が得られなかったため、ASJを基準として計算し、磁化を1.0A/mと仮定してMAGCAP-Vで計算したところ、中心標高940m・体積 $3.0 \times 10^6 \text{m}^3$ (半径約90m)に熱源が求められた。

また、福岡管区気象台による全磁力繰り返し観測でも、2013年から2014年にかけて熱消磁を示唆する観測結果が得られている(図5-9)。以上から、CW2及びCW3の全磁力の増加率の変化は、火山活動に起因した変化であった可能性が高いと考えられる。

その後、噴火活動の活発化に伴い全磁力繰り返し観測は中断したが、2018年から観測を再開した(図5-10)。当該期間、火口北東側の観測点(M11, M12, M13)で5~10nTの全磁力の減少傾向、火口南東側(M14, M16)の観測点で全磁力の増加傾向が認められるが、火口南東側のM15観測点の全磁力は減少傾向であることから、火山活動に関連する変化を見出すのは困難であった。

5. 2 広域配置による地磁気観測

1979年から1999年までの広域配置の全磁力繰り返し

観測結果を図5-11-1と図5-11-2に、1979年から1989年までの成分繰り返し観測の結果を図5-12-1と図5-12-2に示す。

前述の通り、阿蘇山の火山活動に伴う熱源は火口直下のごく浅部に存在し、熱源に対応する地磁気変化は火口のごく近傍に限られることから、年に1~2回の繰り返し観測及び広域配置の観測網から地磁気変化を捉えることは困難であった。成分観測においては参照として利用できる連続観測点が阿蘇山周辺に存在しないことから、遠く離れたKNYを参照とするしかなかったが、そのKNYにおいても当時は吊磁石式変化計による印画紙記録による観測であり、成分観測結果との比較においてはその印画紙記録から値を読み取らねばならなかった。さらに変化計の温度依存、成分観測点の年周変化の影響などを十分に評価することが困難であったため、図5-12-1と図5-12-2に示す変化が火山活動に起因するものなのかの判断が難しかった。

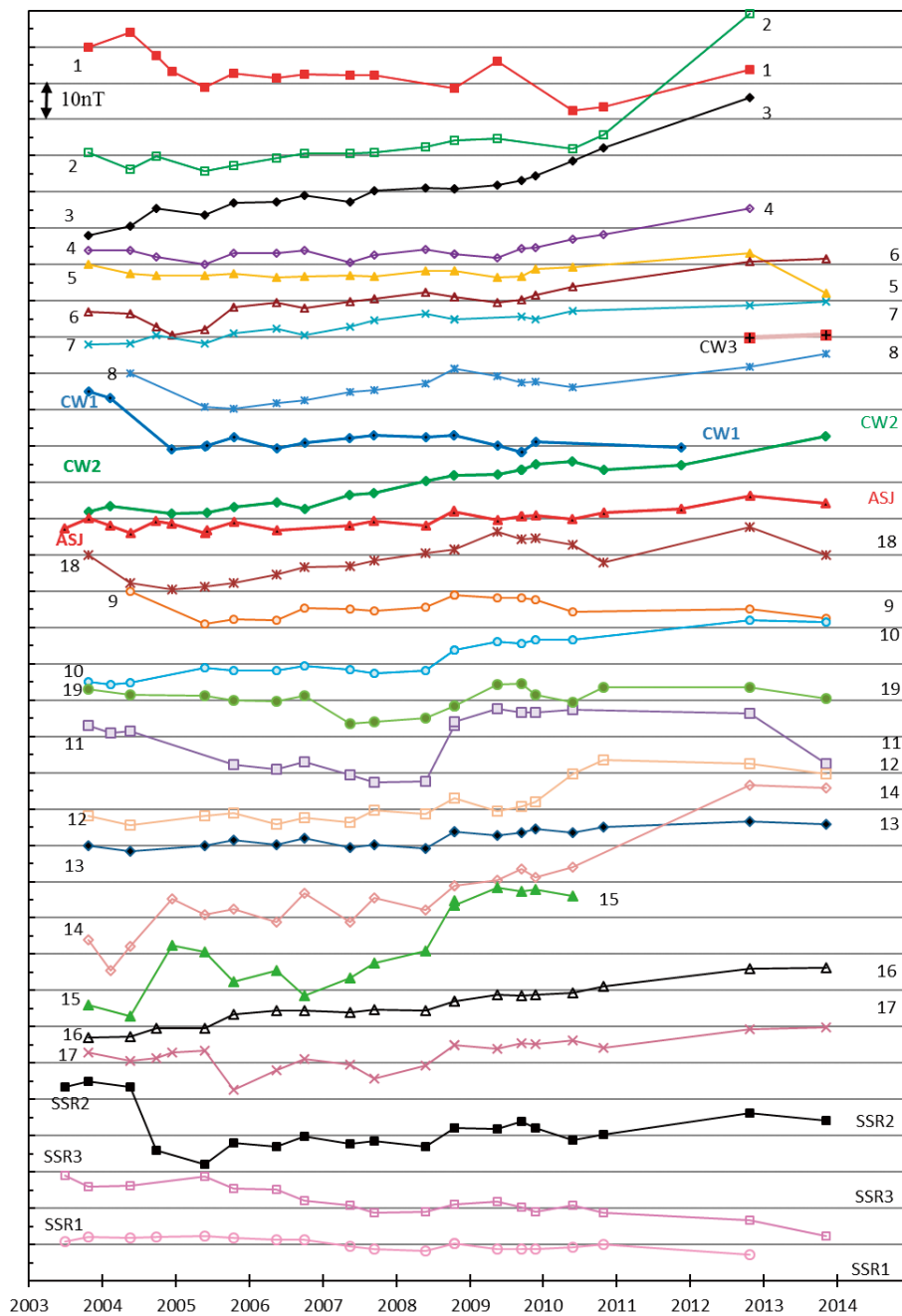
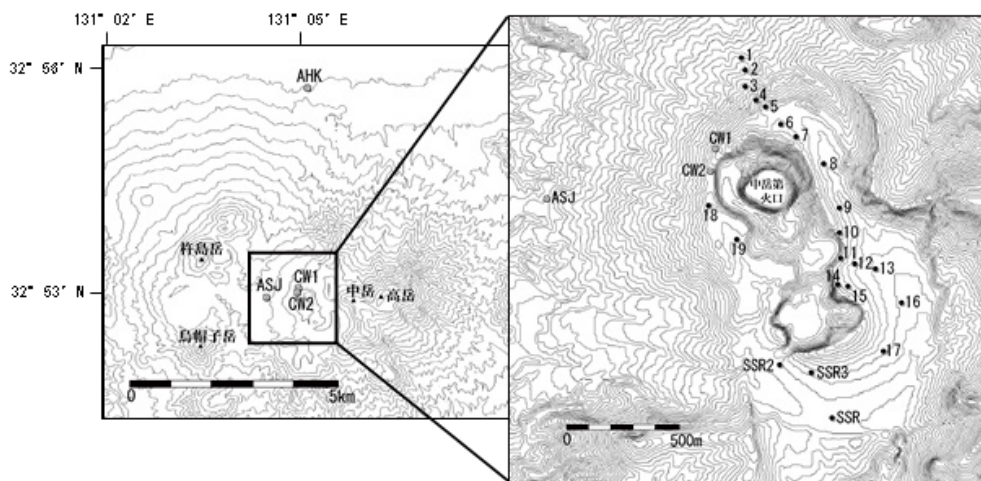


図5-8 2010年10月から2012年10月までの全磁力繰り返し観測結果及び、最適な磁気双極子のつくる磁場(気象庁(2013)に加筆)。

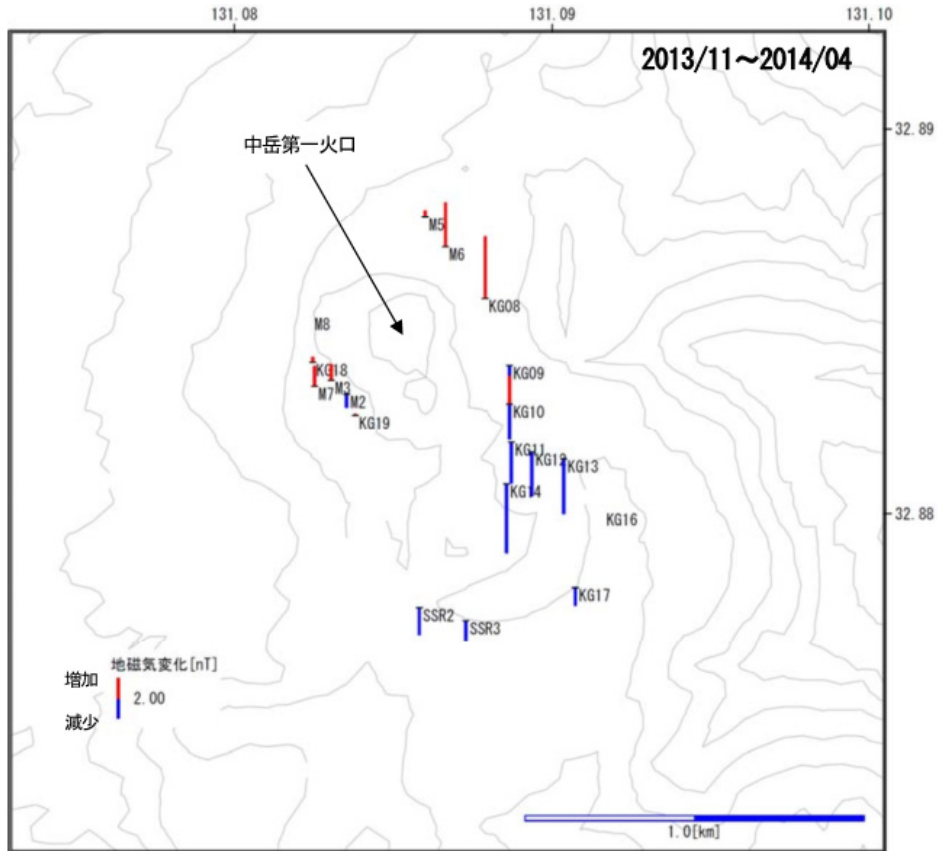


図5-9 2013年11月から2014年4月までの全磁力繰り返し観測結果及び、最適な磁気双極子のつくる磁場（気象庁（2014）に加筆；MaGCAP-Vを使用）。

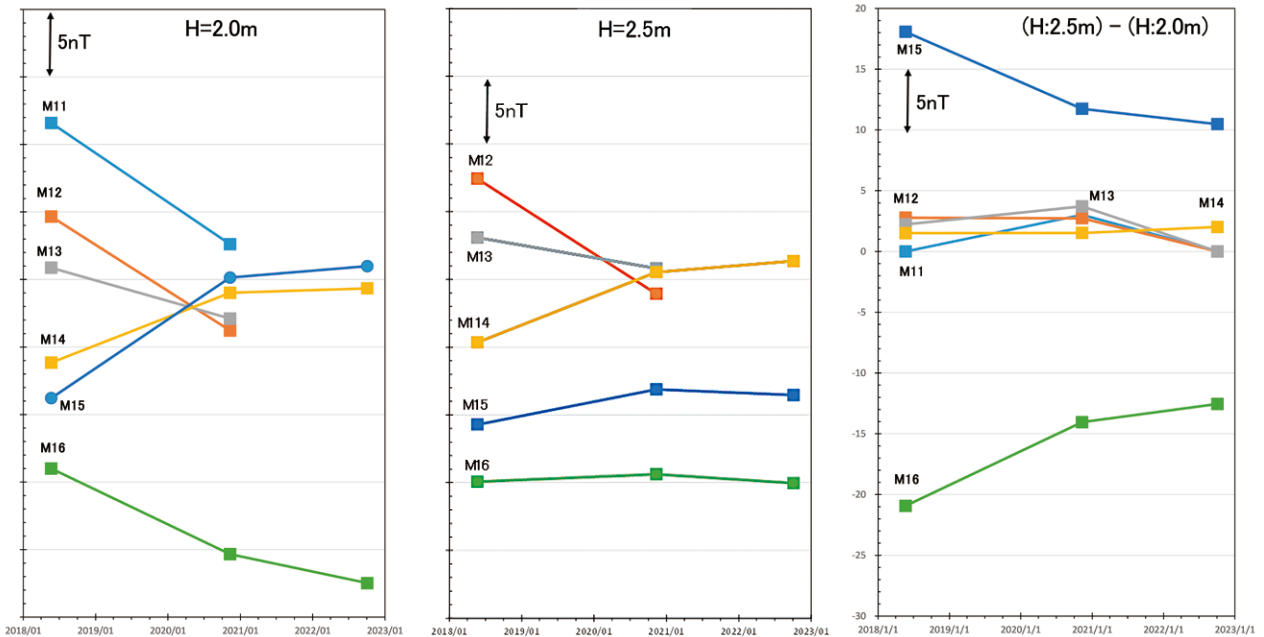


図5-10 2018年から2022年までの全磁力繰り返し観測結果。
 (左) 測定高2.0m, (中) 測定高2.5m, (右) 測定高2.0mと2.5mの全磁力差。
 観測点配置図は図5-8を参照。

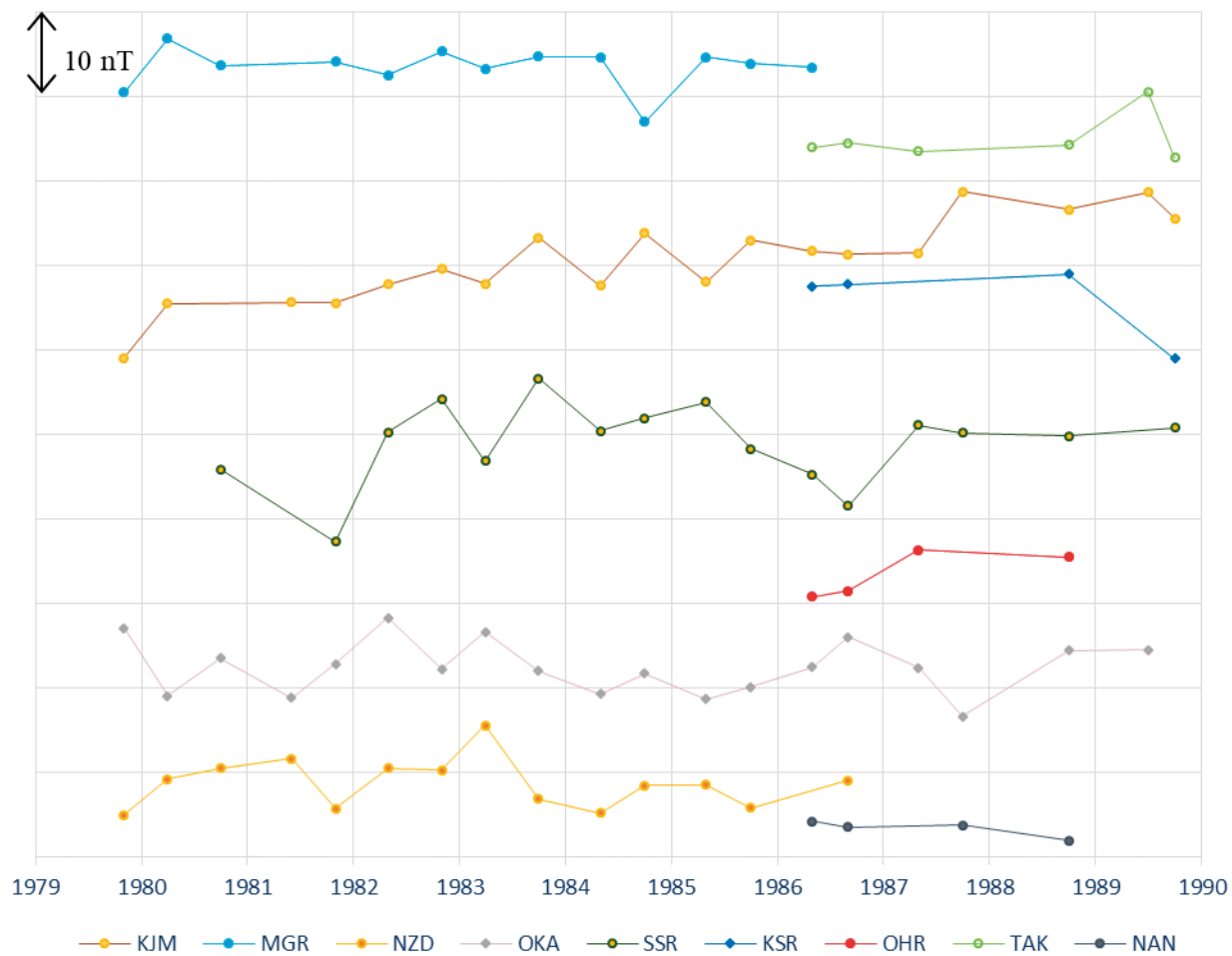


図5-11-1 AHK を基準とした広域配置の繰り返し観測結果 (1979年 -1989年) 検出器高さ1.5m

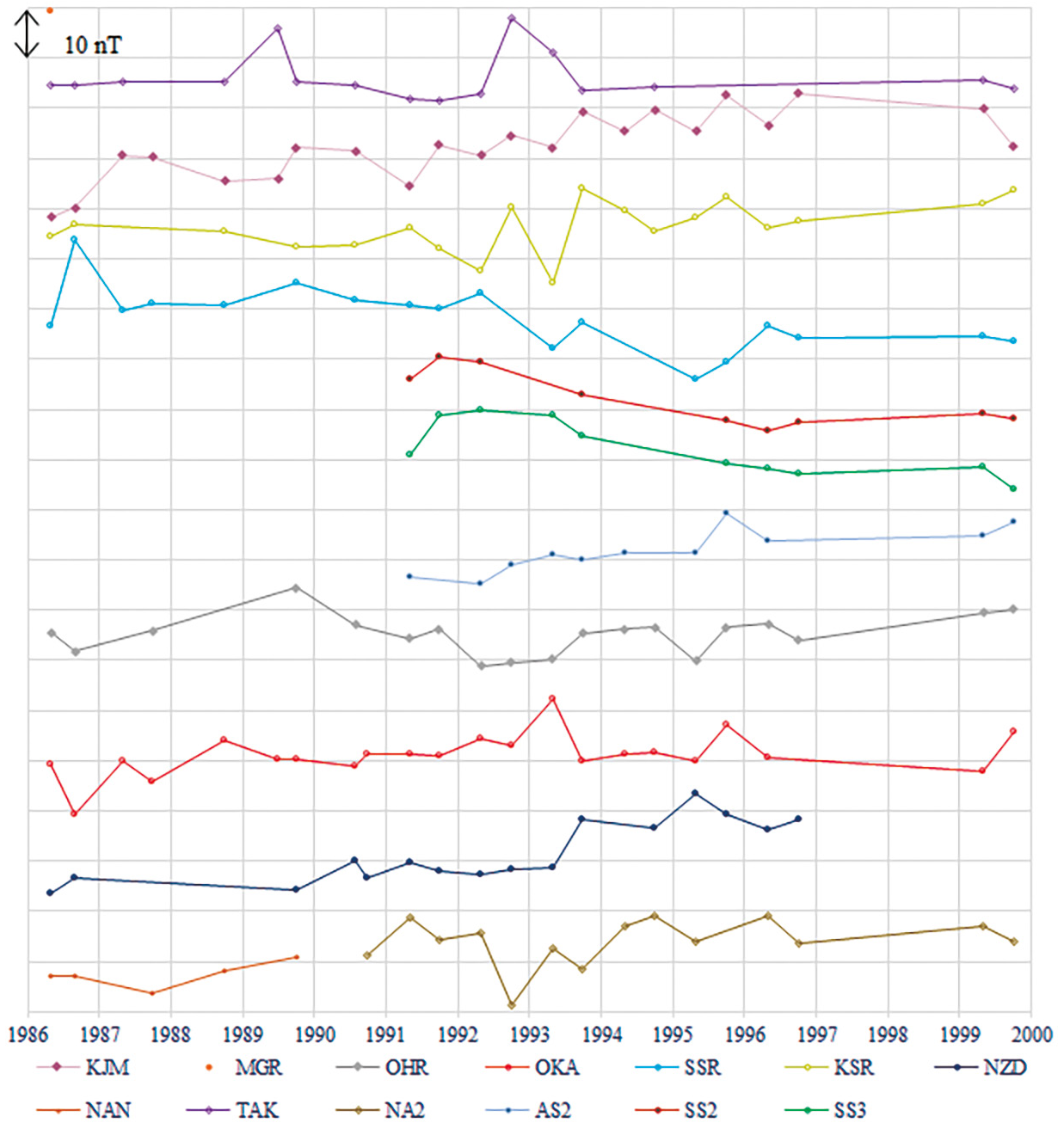


図5-11-2 AHKを基準とした広域配置の繰り返し観測結果(1986年-1999年) 検出器高さ3.5m

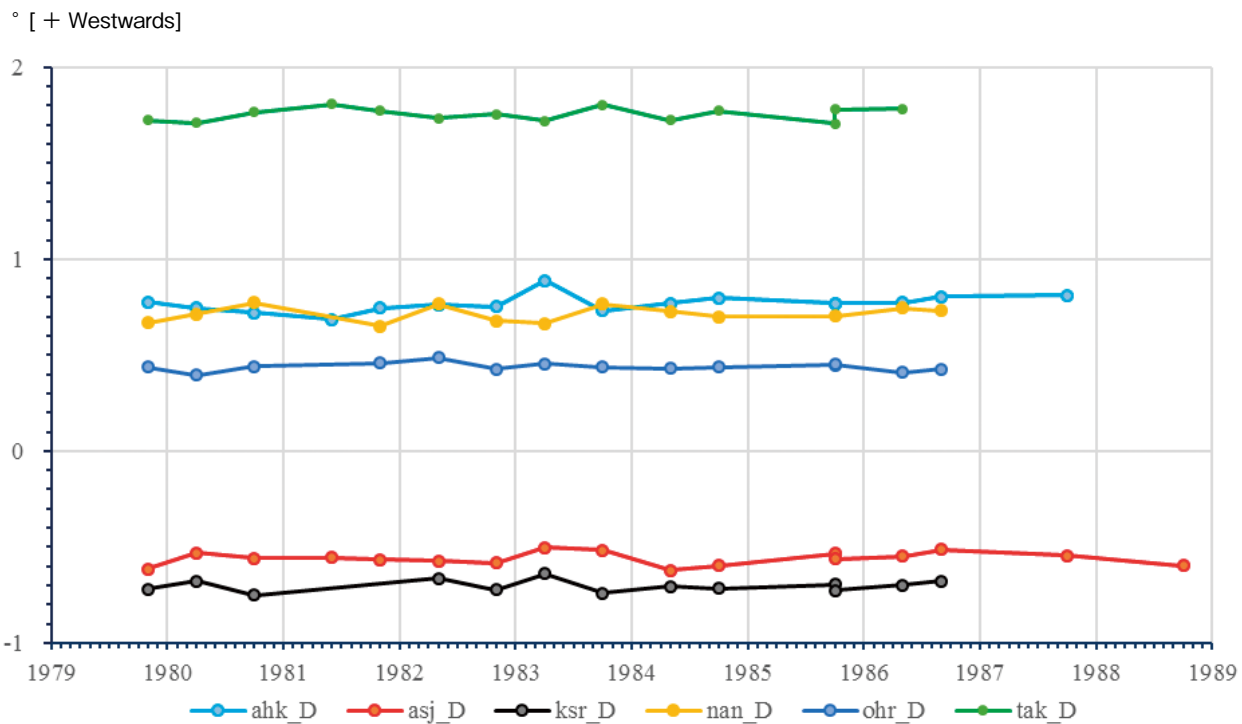
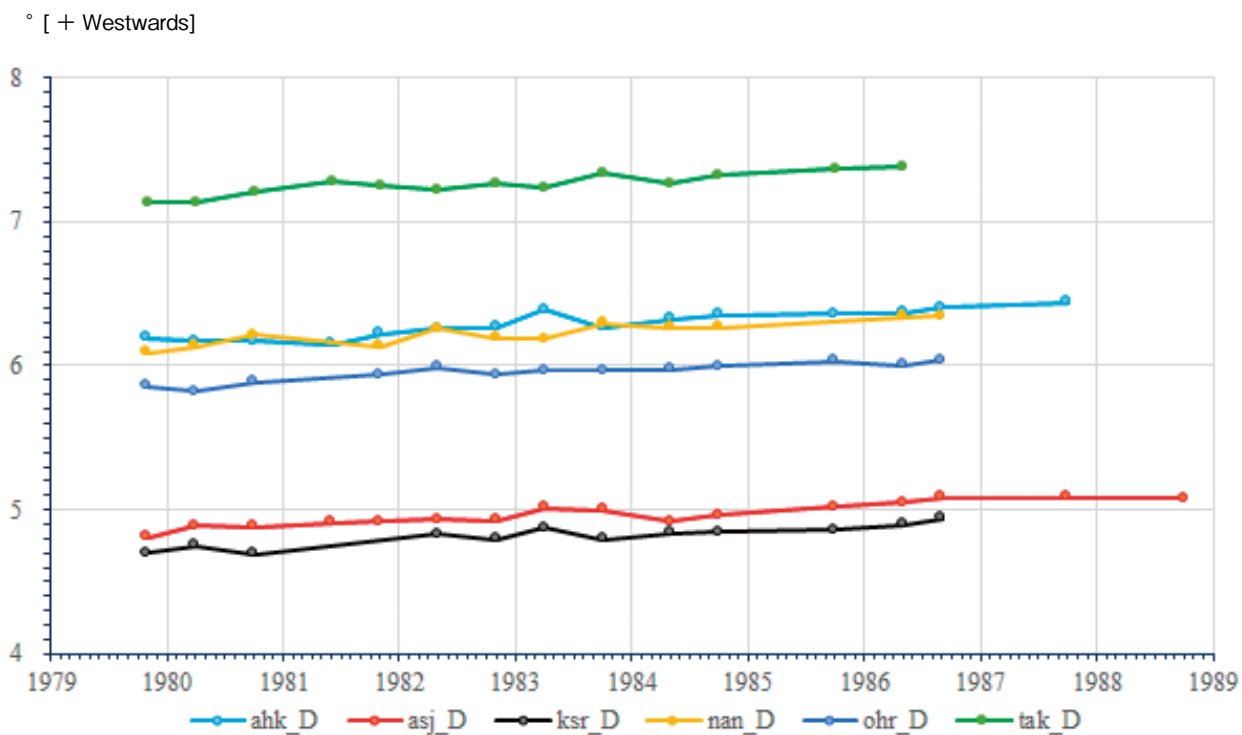


図5-12-1 繰り返し偏角成分観測結果 (1979年 -1988年)
 (上段) 各地点での測定生データ,
 (下段) KNYとの差分

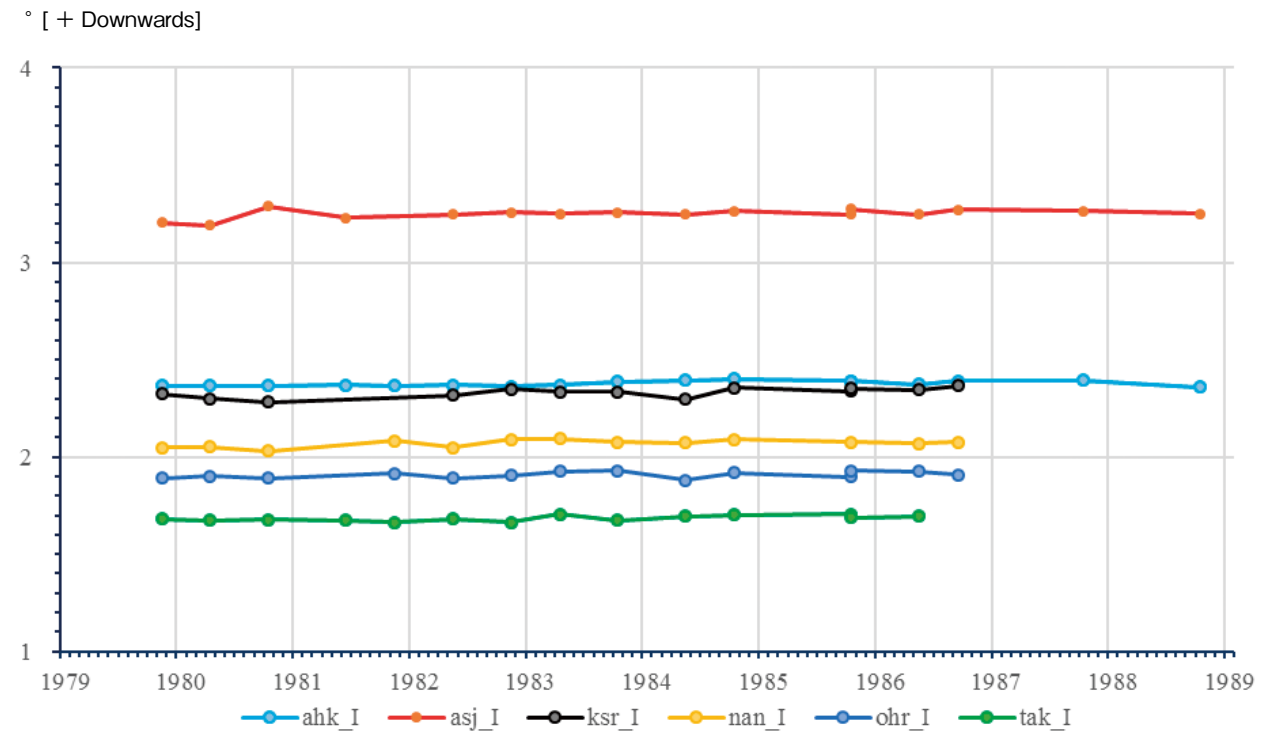
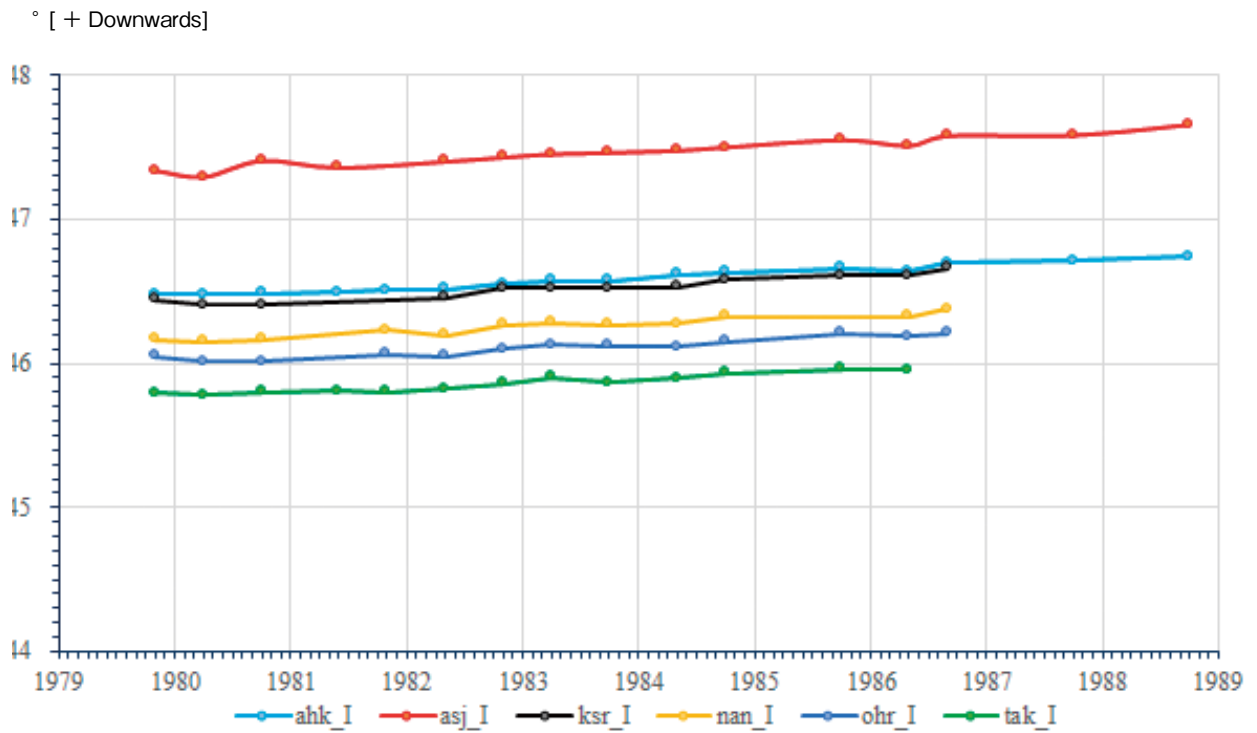


図5-12-2 繰り返し伏角成分観測結果 (1979年-1988年)
 (上段) 各地点での測定生データ,
 (下段) KNY との差分

6. 考察・まとめ

阿蘇山における地磁気観測は、観測点の変遷が繰り返されたものの、1979年の観測開始時は成分観測及び全磁力観測を、1990年代以降は全磁力観測を中心として、43年もの長きにわたって継続して観測された。活火山で高精度の地磁気観測を実施するには、活火山に特有の環境(特に山頂部における火山ガスや過酷な気象条件等)を克服することが不可欠であり、火口に接近するほどその影響は強く、継続した観測が難しくなる。このような阿蘇山の厳しい環境における観測機器設置に関するノウハウは、地磁気観測所で調査観測のために雌阿寒岳、草津白根山、伊豆大島に設置した全磁力観測、及び本庁地震火山部で整備した地磁気観測(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))の整備等に活かされている(気象庁地震火山部、気象庁地磁気観測所(2022))。

43年もの長きにわたる地磁気観測において、地磁気以外の観測項目との比較から、阿蘇山の火山活動の高まりに関連した地磁気変化の可能性を示唆するわずかな地磁気変化が観測されたものの、明瞭な地磁気変化は認められなかった。この要因として、観測機器の故障等のために観測データの欠測がしばしば発生したこと、全磁力連続観測が火口近傍からやや離れた地点にあるため、火山活動に伴う全磁力変化が捕捉しにくかったこと、さらに2011年4月の鹿屋出張所の無人化により地磁気観測所(柿岡)に業務が集約されたため、全磁力連続観測点障害の早期の復旧対応及び臨機応変な全磁力繰り返し観測の困難となったことなどが挙げられる。

以上のことから、阿蘇山における地磁気観測の継続は困難と判断し、2022年10月7日をもって地磁気観測を終了した。阿蘇山の地磁気観測で培われた観測技術、データ処理技術及び火山活動評価は、今後の火山地磁気観測に資するものと考えられる。

謝辞

43年間にもおよぶ阿蘇山での地磁気観測は、ひとえに福岡管区気象台及び阿蘇山火山防災連絡事務所(旧阿蘇山測候所)の方々による機器の保守・メンテナンス等の協力がなければ続けられなかった。火山性地震回数及び孤立型微動の回数データは、福岡管区気象台火山監視・警報センターより提供いただいた。また、長年にわたり阿蘇山での地磁気観測業務にご協力いただいた江藤氏(阿蘇山麓地権者)及び阿蘇地域振興局(熊本県)、阿蘇市に、この場を借りてお礼申し上げる。

引用文献

- 福岡管区気象台地域火山監視・警報センター, 令和4年(2022年)の阿蘇山の火山活動, 1-17, 2023. https://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/monthly_v-act_doc/fukuoka/2022y/503_22y.pdf (2023.12.19最終閲覧)
- 福島秀樹, 上井哲也, 桑島正幸, 阿蘇山における地磁気観測, 地磁気観測所技術報告, Vol 29, No.3, 4, 127-134, 1990.
- 福島秀樹, 中禮正明, 上井哲也, 山本哲也, 池田清, 阿蘇山の全磁力観測結果と今後の課題, 地磁気観測所技術報告, Vol91, 71-75, 1991.
- 橋本武志, 田中良和, 宇津木充, 阿蘇火山における地磁気変化について(1991~2000年), 京都大学防災研究所年報, No. 44 B-1, 333-343, 2001.
- 橋本武志, 火山の電磁気観測一歴史・意義・展望一, 火山, 第50巻特別号, S115-S138, 2005.
- 池辺伸一郎, 渡辺一徳, 阿蘇火山中岳の最近の活動-1988年3月~1989年11月, 地質ニュース, 426, 6-14, 1990.
- 池辺伸一郎, 渡辺一徳, 宮縁育夫, 阿蘇火山中岳1988~1995年活動期における噴火様式の変化, 火山, 第2集, 第53巻, 1号, 15-33, 2008.
- 池田清, 福島秀樹, 熊坂信之, 清水幸弘, 阿蘇連続観測値の処理及び繰り返し観測に関する検討, 地磁気観測所技術報告, Vol 93, 58-61, 1992.
- 伊藤信和, 澤田正弘, 山本輝明, 重野伸昭, 阿蘇山における岩石磁気の調査, 地磁気観測所テクニカルレポート, Vol. 6, No. 1, 1-9, 2009.
- 河村謙, 桑島正幸, 永野哲郎, 仲谷清, 馬場広成, 池田清, 田中良和, 増田秀晴, 行武毅, 吉野登志男, 阿蘇山およびその周辺地域における地磁気測定, 阿蘇火山の集中総合観測(第2回1981)報告(1981年8~12月), 39-46, 1984.
- 河村謙, 永野哲郎, 加藤諠司, 馬場広成, 仲谷清, 行武毅, 吉野登志男, 歌田久司, 田中良和, 増田秀晴, 桜島およびその周辺地域における地磁気測定, 第3回桜島火山の集中総合観測(昭和53年10月~12月), 41-54, 1980.
- 河村謙, 水野喜昭, 永野哲郎, 加藤諠司, 馬場広成, 池田清, 福島秀樹, 桜島およびその周辺地域における地磁気測定, 第4回桜島火山の集中総合観測(昭和55年10月~12月), 47-57, 1982.
- 加藤愛雄, 室井勲, 三宅島火山活動に伴った地磁気変化, 火山, 第2集, 第8巻, 2-3号, 112, 1962.
- 加藤諠司, 阿蘇火山の地磁気観測(I), 地磁気観測所要報, Vol.21, No.1, 31-46, 1985.
- 加藤諠司, 変換関数法による全磁力地点差(桜島・阿蘇)の補正について, 地磁気観測所要報, Vol. 22, No. 2, 63-72, 1988.
- 気象庁, 第125回火山噴火予知連絡会資料(その3), 阿蘇山, 13-27, 2013.
- 気象庁, 第129回火山噴火予知連絡会資料(その5), 阿蘇山, 12-27, 2014.
- 気象庁, 第151回火山噴火予知連絡会資料(その2の5);

- 九州地方及び南西諸島), 阿蘇山, 7-9, 2022.
- 気象庁地震火山部, 気象庁地磁気観測, 水蒸気噴火に先行する熱活動変化の早期把握を目的とした地磁気観測—背景, 観測成果及び今後の展望—, 駿震時報, Vol. 85: 7, 1-20, 2022.
- 気象庁地磁気観測所, 女満別出張所・鹿屋出張所50年のあゆみ, 地磁気観測所技術報告, Vol 38 (特別号), 1-180, 1999.
- 京都大学火山活動研究センター, 第151回火山噴火予知連絡会資料(その2の5:九州地方及び南西諸島), 阿蘇山・中岳の活動概況, 10-12, 2022.
- 小嶋美都子, 大和田毅, 外谷健, 火山地帯における地磁気地点差の季節変動の原因についての一考察, 地磁気観測所技術報告, Vol 35, No. 3, 4, 64-76, 1996.
- Minakami, T., The eruption of Miyake-sima, One of the seven Izu islands, in 1940, part IX. Time variations in the magnetic dip, and their topographical distribution in Miyakesima. Bull. Earthq. Res. Inst., 19, 363-366, 1941.
- 宮緑育夫・飯塚義之・遠入楓大・大倉敬宏, 阿蘇火山中岳第1火口における2019~2020年マグマ噴火の先駆活動—2019年5月3日~5日噴火を含む火山活動の特徴—, 火山, 第2集, 第66巻, 3号, 157-169, 2021.
- 永野哲郎, 馬場広成, 阿蘇山噴火と地磁気変化, 地磁気観測所技術報告, Vol 21, No. 1, 2, 111-122, 1981.
- Nagata, T., The eruption of Miyake-sima, One of the seven Izu islands, in 1940, part VII. Anomalous change in geomagnetism accompanying volcanic activity. Bull. Earthq. Res. Inst., 19, 335-355, 1941.
- 大地洗, 吾妻火山, 蔵王火山, 草津白根火山の地磁気調査報告, 地磁気観測所要報, Vol 13, No.1, 2, 17-29, 1970.
- Rikitake, T. and Yokoyama, I., Volcanic activity and changes in geomagnetism. J. Geophys. Res., 60, 165-172, 1955.
- 須藤靖明, 阿蘇火山の火山活動の特徴—開放型火山—, 月刊地球, 23, 545-550, 2001.
- 田中良和, 増田秀晴, 河村謙, 大地洗, 加藤諄司, 馬場広成, 吉野登志男, 阿蘇火山地域での全磁力測量—(1977), 阿蘇火山の集中総合観測(第1回1977)報告(1977年8~12月), 31-39, 1978.
- Takahashi, R. and Hirano, K., Changes in the vertical intensity of geomagnetism that accompanied the eruption of Miyakezima, in 1940. Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, 19, 82-103, 1941.
- Tanaka Y., Eruption mechanism as inferred from geomagnetic changes with special attention to the 1989-1990 activity of Aso volcano, J. Volc. Geotherm. Res., 56, 319-338, 1993.
- 津屋弘達, 水上武, 昭和14年10月桜島火山の小噴火, 東大震研彙報, Vol. 18, pp. 318-339, 1940.
- Utada, H., M. Neki, and T. Kagiya, A study of annual variations in the geomagnetic total intensity with special attention to detecting volcanomagnetic signals, Earth Planet Space, 52, 91-103, 2000.

Yokoyama, I., Anomalous changes in geomagnetic field on Oosima volcano related with its activities in the decade of 1950. J. Phys. Earth, 17, 69-76, 1969.

横尾亮彦, 宮緑育夫, 2014年11月から始まった阿蘇火山中岳第一火口の噴火活動, 火山, 第2集, 第60巻, 2号, 275-278, 2015.

吉川慎, 須藤靖明, 阿蘇火山中岳第1火口の温度変化と火山活動, 京都大学防災研究所年報, 第47号B, 平成16年4月, 803-808, 2004.

湯村哲男, 桜島火山の磁氣的性質, 駿震時報, 第21巻, 2号, pp.55-65, 1956.

付録

火山噴火予知実施要領(1979年10月22日制定; 抜粋).
※別表の掲載は省略

第1章 総則

第1条 この実施要領は, 火山活動に伴う地磁気変化等を検出し, 噴火予知に応用するために行う地球電磁気観測に関するもので, 地磁気観測所長が特に必要と認め別に命ずる観測を除き, この実施要領による。

第2条 この実施要領に定める観測の対象とする火山, および観測開始の時期は次の各号とする。

- 1 桜島 昭和53年6月1日
- 2 阿蘇山 昭和54年3月1日

第3条 この実施要領に定める地球電磁気観測は, 次の各号に掲げる観測をいう。

- 1 全磁力常時観測
- 2 全磁力移動観測
- 3 成分磁場移動観測
- 4 その他関連する調査観測

第4条 火山活動に伴う地磁気変化等が認められた場合は, 速やかに地磁気観測所長に報告し, その指示を受ける。

第5条 外部機関への資料の発表については, その内容等について事前に地磁気観測所長の承認を得て行う。

第6条 火山地域での野外観測等の実施にあたっては, 安全対策を充分に配慮の上実施する。

第2章 観測

第7条 第3条の観測は, 地磁気観測所鹿屋出張所(以下, 鹿屋出張所という)が行う。ただし, 別条に定める1部の事項は, 阿蘇山測候所に委託する。

第8条 第3条1~3号の地点名, 観測種目, 観測回数, 測定機器等については, 別表1, 2のとおりとする。

第9条 第3条4号の観測は, 必要に応じ地磁気観測所長が指示する。

第10条 観測時刻は, 世界標準時を採用とする。

第11条 全磁力常時観測は, 火山観測用プロトン磁力計(MO-PV)による全磁力毎分連続測定をいう。

その毎分測定値は、カセットテープに集録され、カセットテープの交換は月2回行う。

第12条 全磁力移動観測は、携帯用プロトン磁力計による全磁力測定をいう。測定は、原則として正分を中心に5回測定し、その平均値を正分の1計測値とした20計測値をもって、1回の観測とする。この観測は原則として年2回行う。

第13条 成分磁場移動観測は、携帯用プロトン磁力計とGSI一等磁気儀の組合せによる偏角、伏角、全磁力の直接測定ならびに水平分力、鉛直分力の間接測定をいう。測定はサーチコイル上向き、下向きを1回の測定とし、4回行う。この観測は、原則として年2回行う。

第14条 磁場の最小単位は、全磁力観測については0.1nT、成分磁場観測については0.1nT又は0.01'とする。

第15条 観測の実施に当たっては、測定値の信頼性および測定器位置の再現性保持のため、次の各号に掲げる事項を行う。

(常時観測)

- 1 常時観測用プロトン磁力計の器差検定を携帯型プロトン磁力計を介して行う。検定の回数は、原則として年2回とし、修理調整等が実施されたときはその都度行う。
- 2 補助点ならびに成分磁場観測点と常時観測点の比較観測を月2回行い、地点差変動の有無を確認する。
- 3 常時観測点の保守点検は次の事項につき行う。
 - 1) 集録済みカセットテープの観測点名、集録期間の記入
 - 2) プロトン磁力計各部の保守点検
 - 3) 検出器覆等の降灰の除去
 - 4) 観測点付近の磁性体の有無の点検および降灰等噴出物の量、地形変動の調査

(移動観測)

- 4 移動観測に使用される測定器は、すべて鹿屋出張所の基準測定器と比較観測を行う。測定された器差が採用器差に対し1nTまたは0.1'をこえるときは、器差の再測定を行う。1nT、0.1'以上の器差の変動が生じた場合は採用器差を変更する。
- 5 観測点における検出器の高さ、位置および検出器リード線または標示線の方向に充分注意し、検出器位置の再現性の保持に努める。
- 6 全磁力観測点または成分磁場観測点と補助点の相互比較を全磁力常時観測を介して行い、地点差の変動の有無の確認を行う。
- 7 観測点付近の磁性体の有無の点検等については本条⁴⁾に準ずる。

第16条 阿蘇山における全磁力常時観測に関しては、次の各号に掲げる事項を阿蘇山測候所に委託する。

- 1 山上、山麓常時観測点のカセットテープの月2回交換
- 2 前号観測装置時計遅進の記帳
- 3 記録済みカセットテープの鹿屋出張所への郵送
- 4 観測装置故障時の鹿屋出張所への電話連絡
- 5 雷発生時の山上観測装置電源断・終雷時電源投

入および故障の有無の点検

第3章 資料整理、一次解析および資料報告

第17条 観測された資料の整理、一次解析およびこれに伴う資料の報告については鹿屋出張所が行う。

(資料整理および一次解析)

第18条 全磁力常時観測資料整理については、次の各号に掲げる事項について行う。

- 1 集録済みカセットテープは全て再生印字し、その記録紙には観測点名および記録時期を記入のうえ月毎に整理保管する。
- 2 次の観測点値については、日本標準時間00時00分～01時59分の2時間について、各観測点間の毎分計測値の差を求め、その平均値を毎日の火山爆発回数とともに別表2の様式に準じてプロットし、観測値の質の検討および地磁気異常変化等の監視を行う。
 - イ 常時観測点値と鹿屋基準値
 - ロ 持木観測点値と白浜3観測点値
 - ハ 山上観測点値と山麓観測点値
- 3 前号で求められた毎日の差の平均値の内からK指数1以下の日を選び、月毎にその月平均値と標準偏差および誤差を算出した別表4(V-1)を作成する。磁力計の調整等により日平均値に変動が認められた場合は月の途中でも分割して月平均を算出する。
- 4 常時観測点と補助点および成分磁場観測点の全磁力比較観測値、毎日火山爆発回数、毎日火山性地震回数、欠測等その他の記事を記入した別表5(V-2)を作成する。

第19条 全磁力移動観測資料整理については、次の各号に掲げる事項について行う。

- 1 常時観測点値を仲介して全磁力移動観測点値と鹿屋基準値の差を求める。その方法は移動観測点測定値とその測定時刻に対応する常時観測点値の差を求め、この差に前号第3号別表4(V-1)の過去の6ヶ月の夜間静穏時の常時観測点値と鹿屋基準値との差の平均値を加えて算出し、別表6(V-3)を作成する。但し、夜間静穏時の常時観測点値と鹿屋基準値の差に変動がある場合は、充分検討のうえ使用の可否を決める。
- 2 補助点との比較観測についても前号と同様別表6(V-3)を作成する。

第20条 成分磁場移動観測資料整理については、成分磁場移動観測点値と鹿屋基準値との差を求めた別表7(V-4)を作成する。

(資料報告)

第21条 整理された資料の報告は、次の各号に掲げるものとし、全磁力常時観測に関する資料は翌月中に、また移動観測に関する資料は整理終了後速やかに地磁気観測所技術課(以下、技術課という)に送付する。

- 1 整理終了後の全磁力常時観測および地震予知全磁力観測 (MP-PE Ⅲ) のカセットテープ
- 2 全磁力常時観測に関する別表 5 (V-2)
- 3 移動観測に関する別表 4 (V-1), 6 (V-3), 7 (V-4)
- 4 移動観測に使用した測定器および常時観測用プロトン磁力計 (MO-PV) の器差の測定値表

(総括)

- 第22条 地磁気観測所長の特に指示する事項の調査を行うほか、火山活動に伴う地磁気変化の検出精度の向上に必要な基礎研究 (日変化等外部磁場変化の消去法) に努める。

第4章 資料整理および二次解析

- 第23条 鹿屋出張所から報告された資料の整理および二次解析については技術課が行う。

(資料整理)

- 第24条 鹿屋出張所から送付された資料に基づき、次の各号について行う。
- 1 全磁力常時観測および鹿屋出張所地震予知全磁力カセットテープの毎分計測値を磁気テープ (MT) に集録する。
 - 2 集録された磁気テープより全磁力常時観測各点の毎時平均値表および各観測点間の毎分値差の

毎時平均値表を作成する。

- 3 測定値の質の検討もおよび地磁気異常変化等の検討資料として前号の資料から必要なプロット図を作成する。

(二次解析)

- 第25条 火山活動と磁場変化の関連究明のための調査解析を行うほか、磁場変化検出精度向上のため次の各号に掲げる調査解析を行う。

- 1 外部磁場消去法の改善に関する調査解析
- 2 観測ならびに資料整理、一次解析等の改善に必要な調査解析
- 3 その他必要な調査解析

第5章 資料の保管

- 第26条 鹿屋出張所からの報告資料ならびに技術課で作成した資料は、技術課が月毎に整理し、年単位でとりまとめたものを地磁気観測所調査課が保管する。

第6章 実施

- 第27条 本実施要領は昭和54年10月1日より実施し、昭和53年6月26日磁技第18号「電磁気による火山観測について (暫定)」は廃棄する。

The geomagnetic field observation at Mt. Aso volcano

by

**Syuichi TOYODOME¹, Yoshiaki FUJIWARA², Shingo NAGAMACHI²,
Norimichi MASHIKO², Tomoyuki YARA², Akira YAMAZAKI², Eiji HIROTA³
and Masanori KURIHARA⁴**

**¹Kakioka Magnetic Observatory Retired, ²Kakioka Magnetic Observatory,
³Japan Meteorological Agency, ⁴Osaka regional Headquarters**

Received 29 September 2023; accepted 19 December 2023; published 27 March 2024

Abstract

Based on the "First Volcanic Eruption Prediction Plan" proposed by the Geodesy Council of the Ministry of Education (currently the Subdivision on Geodesy under the General Committee of the Council for Science and Technology, MEXT), Kakioka Magnetic Observatory began its geomagnetic field observations at Mt. Aso in 1979 as a "volcanic eruption prediction task", which finally ended in October 2022 with the termination of the continuous geomagnetic total intensity observation. This report summarizes the 43-year history of geomagnetic field observations and evaluation of volcanic activities at Mt. Aso Volcano conducted by Kakioka Magnetic Observatory.