

焼岳における電磁気観測 (序報)

酒井 英男・平井 徹・沢田 豊明・中山 武・
和田 博夫・三雲 健

ELECTRO-MAGNETIC STUDIES AT MT. YAKEDAKE

By *Hideo SAKAI, Toru HIRAI, Toyooki SAWADA,*
Takeshi NAKAYAMA, Hiroo WADA and Takeshi MIKUMO

Synopsis

Electro-magnetic studies have been conducted to investigate the volcanic activity of Mt. Yakedake locating in the Norikura volcanic chain in central Japan. Preliminary results were obtained as follows;

1. The measurement was made on the total magnetic force and the surface resistivity at the Shiramizudani area, the half up of Mt. Yakedake. The analytical results obtained elucidate the spatial distribution of both volcanic sediments and mud flow deposits around this area.

2. The paleomagnetic method was developed to investigate the temperature conditions when the volcanic sediments were embedded. The method was applied to classify the volcanic sediments (originated from Nakao pyroclastic flow c. a. 2500 to 1500 years B.P.) into three types; pyroclastic flow deposit, hot lahar deposit and cold lahar deposit.

3. Three observatory stations were established for the continuous monitoring of electric self-potential, geomagnetic total force, ground temperature and steam temperature conditions around the Yakedake area. Preliminary data observed at Nakao Station, the foot of Mt. Yakedake, show that the short-term fluctuations of the electric potential correlate quite well with these of the temperature changes of steam rising from 300 m depth. During the period of the above fluctuation, small earthquakes were observed around the Yakedake area in most cases.

1. は じ め に

岐阜県と長野県の県境に位置する焼岳 (2455 m) は、乗鞍火山帯の中でも最も活動的な火山であり、大正から昭和にかけて大正池を形成した噴火や昭和 37 年の噴火・火山泥流の発生等、数度の噴火活動が知られている²⁾。噴火活動には周期性が指摘されており、また最近、北アルプスで起きている群発地震の際には、山体周辺に震源の浅い微小地震が起きている¹⁸⁾。

こうした火山活動が注目される焼岳であるが、従来、地球物理学的な調査や観測は殆ど行われていない。今回、地球電磁気学の手法を中心として過去の火山活動の調査を行い、併行して火山活動のモニターを目指した観測を開始した。

本論文ではその概要と予察的な結果を報告する。観測・調査内容は以下の 3 項目からなる。

① 火山堆積物の分布調査

焼岳火山における火山堆積物の分布を推定する為に、堆積物の電磁特性を利用した全磁力探査およびマグネトテルリク法と大地比抵抗計による電気比抵抗探査を行った。火山堆積物・土石流の分布や規模の情報は、過去の活動を探る為だけでなく、この地域の土砂災害を考える上でも有用である。

② 火山堆積物の着地温度からみた分類

火山において、噴火の周期性、噴出物の規模と共に大事やパラメーターとして、堆積物の着地温度が挙げられる。従来、確固とした手法がなかった噴出物の着地温度の推定に、古地磁気学の手法の適用を試みた。

③ 火山活動のモニターを目指す観測

焼岳西側の中腹にある白水谷および割谷地域で地電位と地温の連続観測点を設けた。また下流の中尾地域で、地電位、地磁気全磁力および地温の連続測定を開始した。中尾地域の地電位観測点の付近では、地下300 mから上昇してくる蒸気温度の連続観測も行っている。

以下ではこれらの項目の順に報告する。

2. 白水谷における電磁気探査

焼岳火山の噴出物は、Fig. 1に示す様に東西約6 km・南北約4 kmに分布している。この堆積物を侵食して形成された谷壁は、礫の配列等の堆積形状から幾つかの層に分けられる。堆積層に含まれる木炭などから堆積年代の推定が可能であるが、堆積物が土石流・火砕流なのかの判断、層厚の推定は容易でなく研究は余りなされていない。

焼岳では、約4000～1500年前の活動や1915（大正4年）に梓川をせき止めて大正池を形成した活動等、土石流を伴う火山活動が多い。1962年には、北側の中尾峠付近で東西方向の亀裂に沿った噴火が発生し、その直後から土石流が頻繁に発生している。1970年頃から、こうした土石流の実態を解明するた

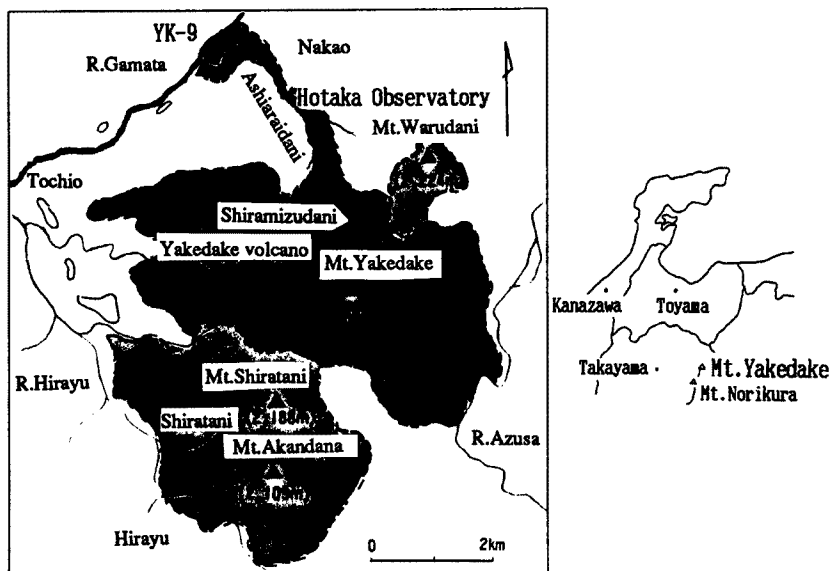


Fig. 1. Map around Mt. Yakedake. The present study was carried out at Shiramizudani and Ashiaraidani area. Hatched region shows the distribution of the volcanic sediments. YK-9 is the sampling site for the paleomagnetic study that is discussed in Section 3.3.

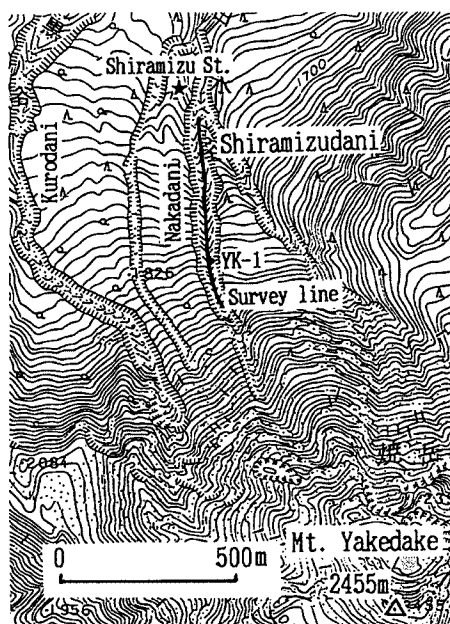


Fig. 2. Topography of the Shiramizudani area where the electromagnetic prospecting was carried out. Shiramizu St. is the observatory station of ground temperature (Section 2.4), and YK-1 shows the sampling site for the paleomagnetic study (Section 3.2).

測定点の150 m付近の全磁力は、周囲より約1000 nT (nT: ナノテスラ) 弱くなっている。この周辺では、礫の周囲の土壌がセメント状に固結していることが認められた。第3章に示す古地磁気測定の結果

めの観測が継続されている¹⁾。

中腹の白水谷には、1500～2500年前⁶⁾に噴出した中尾火砕流が分布し、上位を河床堆積物が覆っている。この地域の浅部の堆積構造を全磁力探査と電気比抵抗探査により調査した。以下では、白水谷・中谷地域における調査例を示す。調査の測線 (Fig. 2および Fig. 3) は、穂高砂防観測所による水分センサー¹⁾より50 m上位を基準点 (0 m) としており、測定点の550 m付近が白水谷中谷と東谷の分岐点にあたる。調査地域の標高は1840 mから1610 mである。

2.1 全磁力探査

岩石や堆積物は、鉄の酸化鉱物を数%含んでおり、微弱ながら磁化を持っている。一般に、火砕流の磁化は河床堆積物や土石流堆積物の磁化より強い。プロトン磁力計 (カナダ・バリンジャー社製 GM 122 型) による全磁力探査から、こうした磁性体から見た地下構造が推定できる。

Fig. 2 に示した白水谷の調査範囲 (太線) で、センサー高度を1.5 mおよび3 mに変えて全磁力探査を行った。Fig. 3-A では、測線の上位 (0 m) から下流に向かって結果を示している。測線間隔を約2 m離れた観測も行ったが、各測線の観測値には殆ど差がなかった。また探査地域の標高変化と全磁力変化には相関が認められなかった。

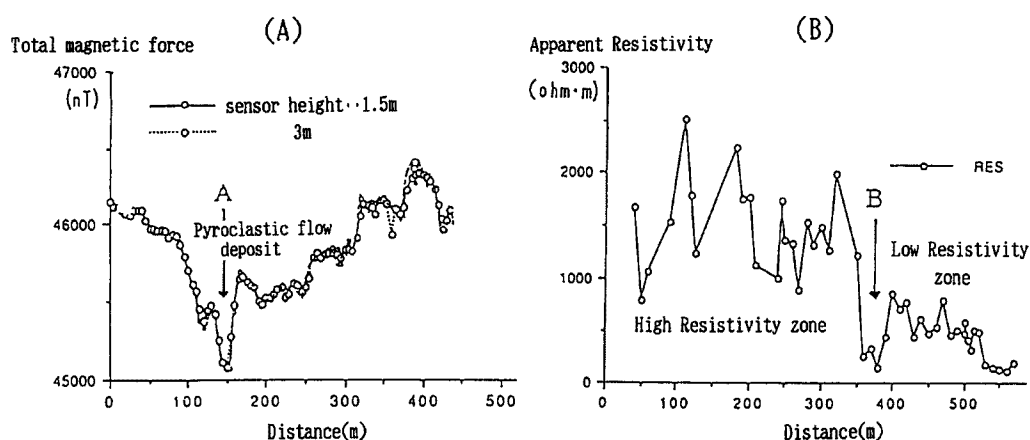


Fig. 3. (A) Distribution of the total magnetic force (nT) along the line in Fig. 2. (B) Distribution of the apparent electric resistivity (ohm · m) measured by VLF magnetotelluric method.

や、地質調査⁴⁾を考慮すると、この地域には火砕流が露出していると考えられる。全磁力が異常に低いのは、磁化の強い火砕流が地表に出ている為であり、その周囲の全磁力変化は火砕流までの深さを表しているとして解釈した。

2.2 マグネトテルリク探査

マグネトテルリク (MT) 探査は、電磁波の侵入度が地層の電気伝導度に依存することを利用した地下探査法である¹²⁾が、本研究では、17.4 kHz の VLF 帯 (very low frequency) の電磁波を利用した VLF・MT 調査を行った。Fig. 3-B から、測定点の 350 m 付近を境に下流側の電気比抵抗が低くなっていることがわかる。この境界付近で、谷の壁面の土壌も上位の乾いた色から湿った褐色に変化する。その後の地質調査 (畚野, 私信) を考慮すると、350 m 付近で上流の火砕流から含水率の高い土石流起源の堆積物に変わると考えられる。

MT 探査から得られる比抵抗値(ρ) と位相差(P) を用いて、電磁波が地中で吸収される量であるポインティング・ベクトル ($S = \rho \times \cos(P)$)¹¹⁾ を計算した。ポインティング・ベクトルは 350 m 付近で著しく減少しており、この付近が土壌の漸移領域にあることが示唆された。

2.3 大地比抵抗探査

土壌の物性が変わる 350 m 地点および、火砕流が露出する 150 m 付近を除く領域で、Wenner 法による大地比抵抗探査を行った。Fig. 4 では、地点 (1) 50 m, (2) 250 m 付近および (3) 500 m 付近で、それぞれ 100 m の測線から得られた比抵抗構造を示している。

(1), (2) の領域では、深さ 3~4 m より下層の比抵抗が 1000 ohm・m 以下になる。MT 探査で低比抵抗を示した (3) の領域における比抵抗構造は、深度 4.8 m 付近を境に下層は 100 ohm・m 以下に変わる。(1), (2) と (3) の谷筋の領域で、堆積土壌の物性は異なるものの、共に深さ 3~5 m を境に比抵抗が急減する傾向にある。この上位の層は河床堆積層と考えられるが、比抵抗構造から推測された 3~5 m の厚さは、壁面の安息角から見積られた河床堆積物の厚さ¹⁾と比べて矛盾がない値である。

現地は崩れ易い地域であり、ボーリングや地震探査は困難である。今回の探査でも示された様に、このような地域の調査に電磁気探査が有効であると言える。土石流源である白水谷地域の、河床堆積物や火砕流

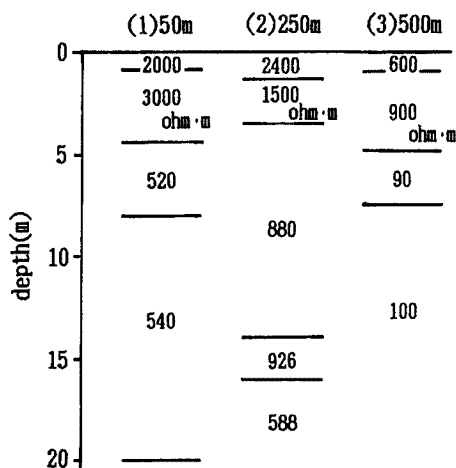


Fig. 4. Subsurface structure of the apparent resistivity derived from the Wenner method.

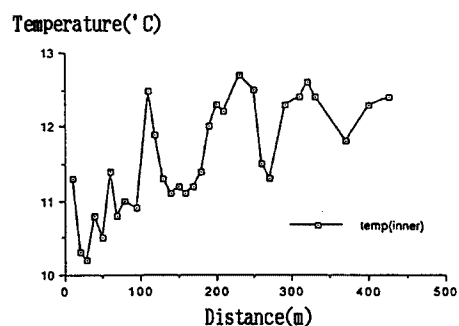


Fig. 5. Distribution of the ground temperature along the same line of the electro-magnetic prospecting. Measurement was carried out from 12 am to 3 pm in September 21, 1990.

の分布は過去の火山活動を考える上だけでなく、砂防上でも重要であり、今後、同東谷等の調査を行う計画である。

2.4 この他の測定

携帯用の測定器を用いて上記の測線で地温および γ 線の探査を行った。地温測定は谷の中央部でセンサーを約15 cm土中に差し込んで行った。各測定点で1 m高度の温度（気温）も測定したが、測線を通して気温は16℃程度であった。地温は斜面の下位に向かって10℃から13℃まで上昇する傾向を示した（Fig. 5）。地温が斜面の下位ほど高いことは、土壌の変化や熱水との関係も考えられる。現在、測線の550 m付近の西側壁上で地中1 m深度の温度を連続観測している（Fig. 2）が、20℃を越えるなど高い温度を記録している。MT探査によれば、510 m地点より下位の電気比抵抗は100～200 ohm・mとかなり下がっており（Fig. 3-B）、この付近に熱水の流動があるのかも知れない。 γ 線探査は、地中5 cmでの γ 線量と地上1 mでのバックグランドを計測したが、測線の範囲で大きな異常は見られなかった。

3. 火山堆積物の着地温度

3.1 磁化から着地温度を探る手法

火山の噴火の周期性、噴出物の規模等と共に、火山堆積物の着地温度も過去の火山活動を探る重要なパラメーターである。着地温度がわかれば、各地域の火山堆積物を、①火砕流、②火砕流が水（または融雪）を取り込んで高温の状態で流動した熱泥流、③常温で流動した泥流、に判別する際に役立つ。この情報は地質学の研究にも有用と考えられる。あまり方法がなかった着地温度の推定に、礫岩の磁化を利用する古地磁気学の手法を適用した。

火砕流中の礫は、高温の状態で（>磁性鉱物のキュリー点～600℃）で定置した場合には、冷却中に地球磁場の方向に磁化を獲得する。当時の地磁気と平行な磁石となった後、礫が動いていなければ、礫の磁化は地磁気の化石として利用できる。つまり堆積物が火砕流の場合には、礫の磁化はFig. 6-Bの様に地磁気方向を向く単一成分の磁石となる。火砕流が高温の状態で、ある地点に定置してキュリー点より低温まで冷えた後に、熱泥流（hot lahar）として流動し、下流の他の地点に新ためて定置した場合には、Fig. 6-Cの様に礫の磁化は二成分もしくは多成分の磁化となる。そして磁化の低温成分は、当時の地磁気方向と平行になっている。泥流（cold lahar）の場合には、常温で磁化が固定された後に下流に移動するので、礫の磁化のどの温度範囲の成分も有意に地磁気の方向を向かず（Fig. 6-D）、また複数の礫の磁化方向は揃わないと考えられる。

この様に火砕流中の礫岩の磁化を調べることで、火砕流、熱泥流、泥流を区別することができ、さらに熱泥流が定置した温度の推定も可能である。以下では、上述の方法を焼岳の火山堆積物に応用した例を示す。

3.2 古地磁気学による温度推定法の焼岳火山堆積物への応用

中尾火砕流起源の火山堆積物が分布する焼岳西側の7地点において、各地点から5個から8個の古地磁気測定の為の試料を採集した。Fig. 7には、試料採集地点を示すと共に、各地点で得られた残留磁化の方位をシュミット・ネット上に表した。ネット上の各試料の磁化方向は、伏角が正の場合は黒丸で、負の場合は白丸で表されている。白水谷流域のYK-1地点とMN-6地点における礫岩の磁化方位は共に、やや東偏で伏角は現在より約10度浅い40度程度を示した。また、両地域の礫岩試料に熱消磁法を行ったが、磁化方位は殆ど変化しなかった。これらの結果は、YK-1、MN-6地点の堆積物が高温の火砕流の状態で堆積・冷却したことを示唆する（Fig. 6-B）。つまり、礫は堆積時にキュリー点以上の高温にあり、

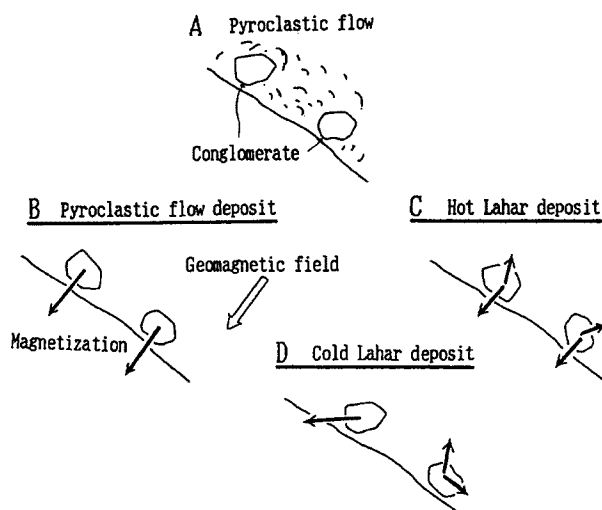


Fig. 6. Schematic model of the magnetization process of the conglomerate in the volcanic sediment. Solid arrow indicates the magnetization component.

- A : Pyroclastic flow and the conglomerates.
 B : The case of pyroclastic flow deposit.
 C : The case of the hot lahar deposit.
 D : The case of the cold lahar deposit.

その後の冷却で当時の地磁気方向に磁化を獲得したと考えられる。

YK-1 地点は、第2章で示した磁気探査で異常が認められた測定点 150 m 付近にあたる。磁化測定の結果は、この周辺に露出している岩石が磁化の強い火砕流の礫として運ばれたことを示唆している。

割谷流域の YK-5、YK-7 地点の残留磁化の方位は、かなりばらついている (Fig. 7)。熱消磁法によっても磁化の高温、低温成分がある特定方向にまとまる傾向も無い。この結果は、この地域が常温に近い、おそらく泥流の状態で運搬・堆積されたことを示唆している。

中尾地域の YK-8 地点における 5 個の礫試料の残留磁化は、北方位を向いているが白水谷流域の磁化方位に比べるとかなりばらついている (Fig. 7)。この地点の試料 YK 88 の熱消磁の結果を Fig. 8 のザイダーベルト図に示した。ザイダーベルト図⁸⁾は、3 次元ベクトルである磁化を鉛直成分と水分成分に分解して 2 次的に表わす方法で、熱消磁に伴う磁化変化の鉛直成分は白抜き丸、水平成分は黒丸で示されている。磁化が二成分からなる場合には、プロットを結ぶ直線は折れ曲がってから原点に向かう。折れ曲がりの温度が二成分の分離温度であり、熱泥流の場合には、火砕流から熱泥流化した温度に当たる。Fig. 8 の試料の場合には、約 400°C を境として高温部と低温部の 2 つの磁化成分が分離された。また他の方法による実験¹³⁾から、それぞれの磁化成分は、加熱・冷却で獲得された熱起源の磁化であることは確かめられている。

畚野 (1990)⁵⁾ は、試料 YK 88 を採集した直径 1 m 近い巨礫の上部の堆積層に、水蒸気が吹き出した痕跡である“パイプ”構造を見つけている。このパイプ構造は、巨礫が着地した際に高温の状態にあったこと、さらに周囲に水蒸気を含んだ堆積物が存在した可能性を示唆する。

試料 YK 88 で認められた様な 2 成分の熱残留磁化は、YK 8 地点の 5 個の全ての礫岩で検出された。Fig. 9 では、各礫の磁化の 400°C までの低温成分と 400°C 以上の高温成分を分離して、それぞれをシュミットネットに投影した。低温の磁化成分は、白水谷上流の YK-1 地点と類似した磁化方向に集中したが、高温成分は、ばらばらであった。これらの結果を併せて解釈すると、YK-8 地点より上流のある地域で一旦堆積した火砕流は、400°C まで冷却された時点で水が関与して熱泥流 (hot lahar) となって流

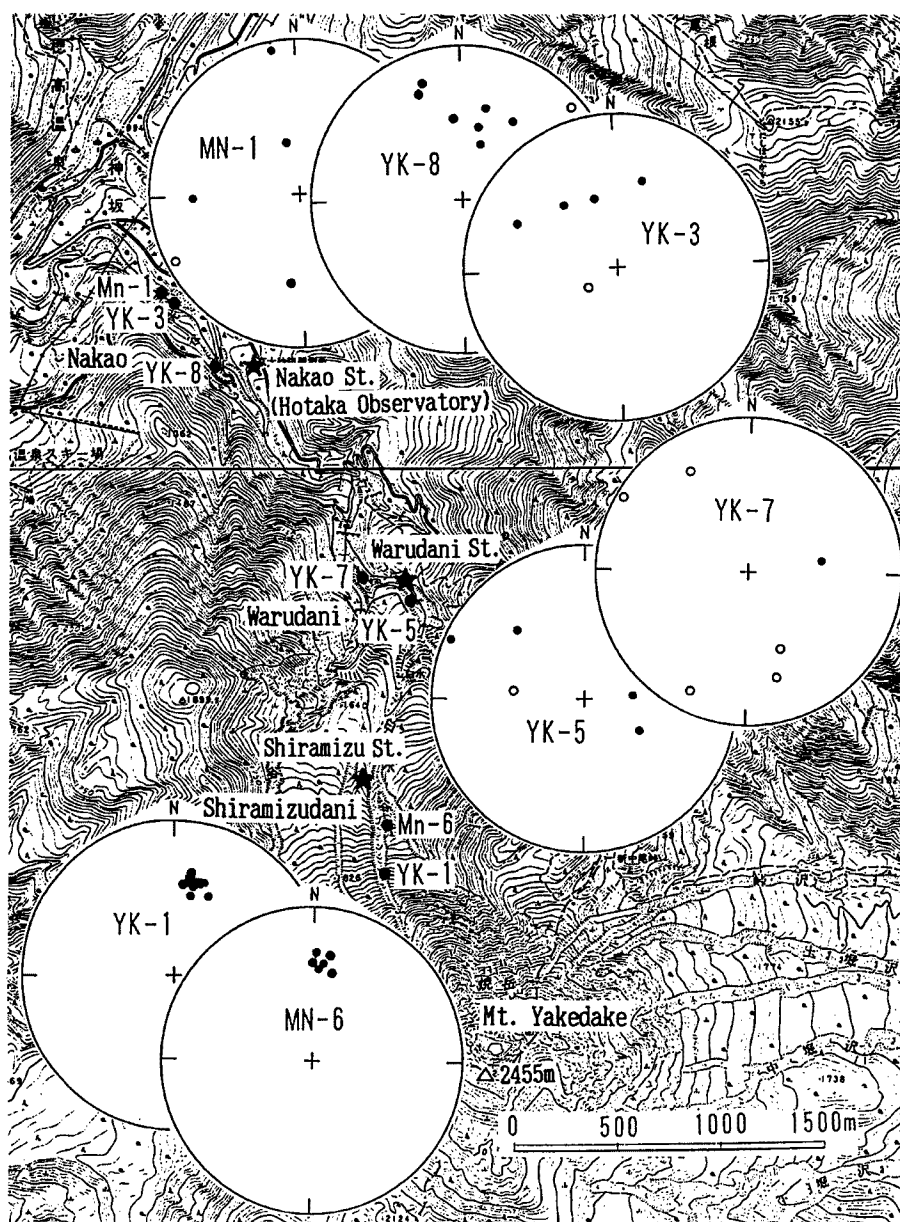


Fig. 7. Sampling sites for the paleomagnetic study (solid circle) and the stations of the electromagnetic observation (star). The magnetization for each site is shown in the Schmidt equal area net. The closed circle in the net indicates the magnetization of the normal inclination and the open circle shows the reversed inclination.

下し、YK-8地点に堆積して常温まで冷却されたと推測された。中尾地域のMN-1地点とYK-3地点でも同様に、高温部と低温部の二成分の磁化が検出されており、同様な過程を経て熱泥流として各地点に堆積したと考えられる。

以上、焼岳の中尾火砕流起源の火山堆積物中の礫の磁化特性をまとめると、

- ・白水谷流域は、磁化方向が一成分で集中する。

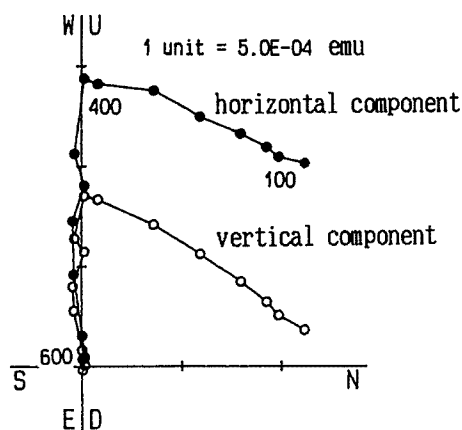


Fig. 8. Result of the progressive thermal demagnetization experiment for the sample YK-88 represented by the Zijderveld diagram. Numbers 100, 400 and 600 show the thermal demagnetization step in °C.

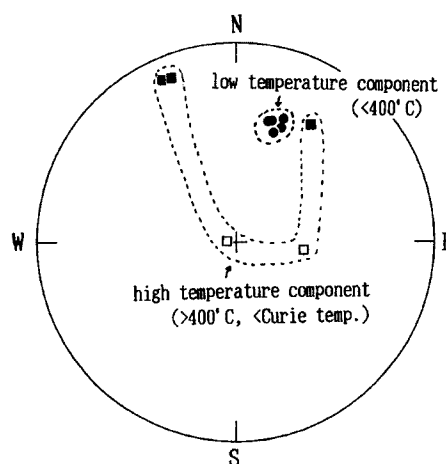


Fig. 9. Separated magnetization components by the thermal demagnetization for the five conglomerates of site YK-8.

- ・割谷流域の磁化方向は、ばらついており、熱消磁を行っても低温部、高温部の磁化成分が集中する傾向はない。
 - ・中尾地域では、磁化が高温成分と低温成分の二成分からなり、低温成分 (< 400°C) は白水谷上流の磁化方向と一致する。
- これらの結果は、中尾火砕流が白水谷流域では火砕流として堆積したが、下流の割谷流域では泥流化して堆積したことを示唆する。また中尾地域では、水が関与して熱泥流になり、現在地に到達したと解釈できた。

3.3 礫の磁化を用いた火砕流の年代推定

火砕流の磁化の情報は、過去の地磁気の方角・強度の変動^{9), 17)}と比べることで、年代推定にも利用できる。中尾火砕流の礫試料の磁化から推定された地磁気強度は、現在の 1.3 ~ 1.6 倍の値を示した。これを過去の地磁気強度の永年変化¹⁵⁾と照合すると、2500 年から 1500 年前に噴出した火砕流として妥当な地磁気強度である。また白水谷上流の磁化や中尾地域の低温成分の磁化方位も、地磁気方向の永年変化 (Hirooka, 1971³⁾ および森定, 準備中) と比較して、同時期に獲得された磁化と見なして矛盾は無い。つまり、火山堆積物に記憶された古地磁気記録は、中尾火砕流の年代^{2), 6)}を支持する。この礫の磁化を利用する年代法は、木片を使う間接的な C¹⁴ 法とは異なり、火砕流の直接的な年代法である利点がある。

中尾地域から西方に 2 km 離れた蒲田川の小糸谷流域 (Fig. 1) にも火砕流が認められる。この火砕流は、従来中尾火砕流とされてきたが²⁾、YK-9 地点 (Fig. 1) から採集した礫の磁化は、Fig. 10 に示す様に、中尾火砕流とは有意に違う方位に集中している。畚野 (私信) の露頭調査も考慮すると、この火砕流は中尾火砕流ではなく、焼岳のより古い時代の噴出物である可能性がある。

今後、古地磁気の手法による火山堆積物の分類は、火山地域におけるハザード・マップの作成においても有力な手段となると考える。手法の詳細は他の文献 (酒井, 1978¹³⁾、酒井ほか 1991¹⁶⁾ など) に譲るが、

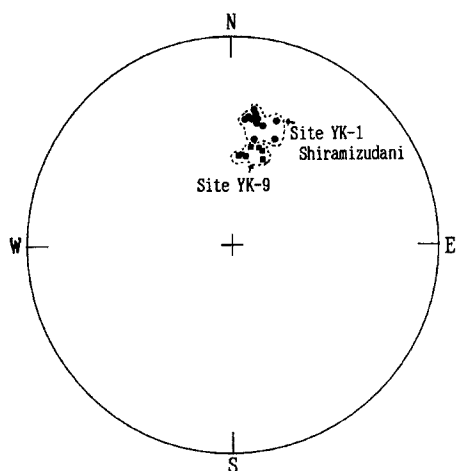


Fig. 10. Magnetization of the site YK-9 in Gamata area and that of the site YK-1 in Shiramizudani area.

今回の手法は磁化が多成分からなる場合に、各磁化が熱起源の磁化かどうかを検討できることに特徴がある。この二次的な熱残留磁化の検討法は、断層運動に伴う断層周辺の地層の加熱の検討にも応用でき、さらに磁化を利用した断層活動の年代推定¹⁴⁾にも利用できると考える。

4. 電磁気・地温の連続観測

焼岳の山頂周辺では、最近微小地震の活動が起きている¹⁸⁾。我々は上述の調査と並行して、火山活動をモニターする為の観測点を設置した。観測点は、Fig. 7に示した焼岳の中腹に当たる白水谷、割谷流域と、焼岳の麓の中尾地域にある。白水谷では地震と地温、割谷では地電位と地温が観測され、中尾地区の穂高観測所構内では地電位、地温、蒸気温度とプロトン磁力計による全磁力の連続観測を行っている。

4.1 全磁力の短周期変動の比較

中尾観測点の全磁力に現れた、磁気擾乱時などの短周期変動の振幅を、岐阜県西天生地区と石川県珠洲市宝立地区における観測記録と比較した。変動の振幅は、宝立観測点の値に比べて大きく、西天生観測点とはほぼ等しい。中尾・西天生観測点から日本海までの距離は共に約60 kmある。両観測点の全磁力の短周期変動が似ており、海岸に近い宝立観測点の変動より大きいことは、中山他(1990)¹⁰⁾が指摘している様に、日本海の海水の誘導電流が地磁気に影響を及ぼしている“離島効果”で説明できると考えられる。

4.2 地電位変動に現れた卓越方向

中山他(1990)¹⁰⁾は、跡津川断層や北陸における地電位観測から、雷に誘発される地電位変動の卓越方向(Principal Direction)が、地下構造に関連することを示唆している。Fig. 11には、1990年8月から11月にかけて、割谷観測点で雷放電時に観測された、南北、東西の測線の地電位変動の振幅比を示した。縦軸が南北成分の変動の振幅を、横軸は東西成分の振幅を表す。この期間に得られた160個の変動(図には数個毎の平均を示している)を解析すると、焼岳の方向を指す卓越方向が認められる。麓の中尾観測点においても、焼岳方向を向く地電位変動の卓越方向が得られている。焼岳の山頂から中尾地域にかけて、帯状の高温領域が延びている⁷⁾。高温帯の中では、山頂から麓の中尾地域に向かう温度勾配が存在すると考えられ、こうした地熱の温度勾配が、地電位変動で観測される卓越方向を誘発している可能性

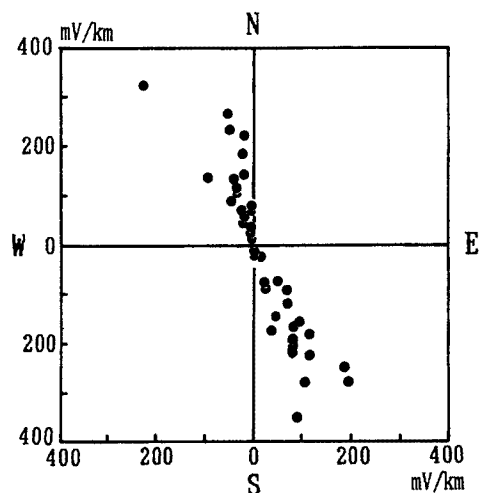


Fig. 11. Distribution of the principal direction in the induced electric self-potential at the lightning. Data were obtained at Warudani station from August to November in 1990. Each solid circle is the averaged value of several principal directions.

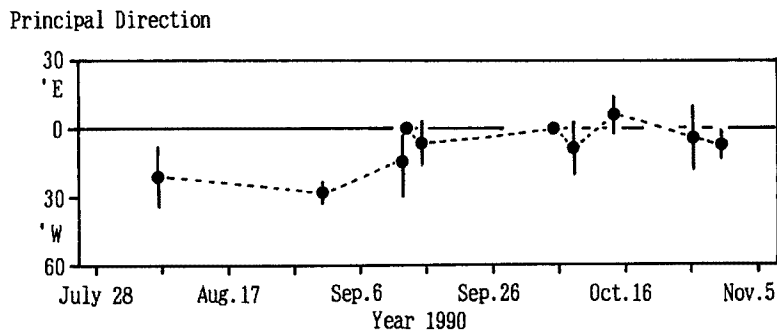


Fig. 12. Temporary variation of the principal direction in the induced self-potential at the Nakao station from July 28 to November 5 in 1990.

もある。

Fig. 12 は、1990 年 7 月から 11 月までの期間に中尾観測点で得られた、地電位変動の卓越方向の時間変化を示している。この期間の卓越方向は、北西 30 度から北東 10 度の範囲にある。地電位変動の卓越方向は火山・地熱活動と関連して出現している可能性も考えられるので、この時間変化にも注目して観測を継続する予定である。

4.3 蒸気温度、地電位の変動と地震活動

観測地域は有数の地熱地帯で、麓の中尾温泉では地下から噴出する蒸気に、水を混ぜて泉源にしている。蒸気は地下 300 m から毎秒 20 ～ 30 m の速度で上昇してくると考えられている。この蒸気温度を地表付近の噴出口で調べてみると、時々、数℃に及ぶ短周期の変動が見られる。約 80 m 離れて観測している地電位にも、同時に変動が認められることが多い。蒸気温度と地電位の短周期変動の回数について、時間変化を調べてみた。1990 年 12 月から 1991 年 1 月にかけて、蒸気温度が 0.5℃ 以上、地電位が 5 mV 以上、短周期で変動した回数を時間毎に数え、Fig. 13 に示した。図において縦軸は変動の頻度を、横軸は時間を示している。この期間に、白水観測点に設置した地震計で数回の地震が観測されており、いくつかの震

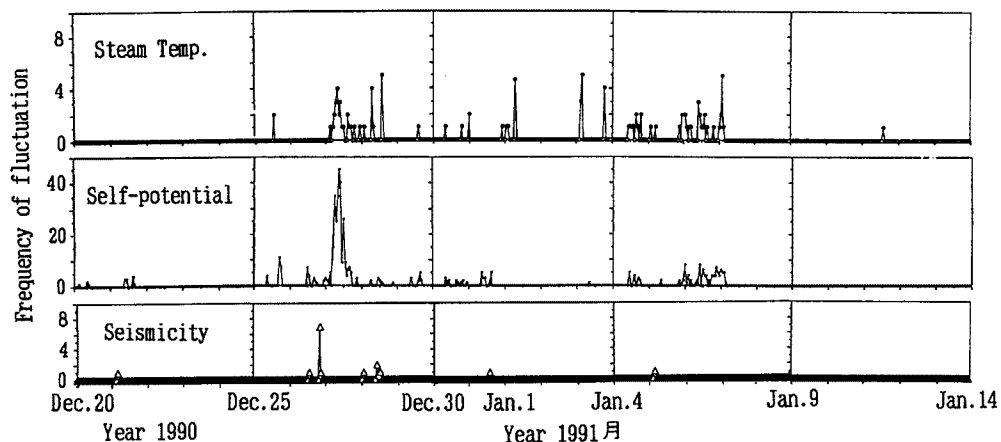


Fig. 13. Temporary variation of the frequency of the short-term fluctuation in the steam temperature and electric self-potential at Nakao station. Data of the period from December 20 in 1990 to January 14 in 1991 were analyzed. Frequency distribution of the earthquakes observed at Shiramizu station is also shown in the lower figure.

源は観測点から 10 km 以内にある。Fig. 13 には地震の頻度も比較した。地電位変動が起きた期間には蒸気温度の変動も認められることが多く、頻発な変動の期間に、微小地震も起きている。これらの結果は、地電位・蒸気温度の観測が焼岳周辺の地下活動をモニターする手段となる可能性を示すと考えられる。今後は、特に地電位の短周期変動について 4.2 で示した雷放電時の変動も含めて詳細に観測する必要があるため、システムを改良して観測を継続する予定でいる。

5. ま と め

今回の調査・観測から以下の様な成果が得られた。

1. 白水谷の電磁気調査

焼岳西側の土石流源である中腹部の白水谷で、全磁力探査および電気比抵抗探査を行った。その結果、1500 ~ 2500 年前の中尾火砕流および土石流からなる河床堆積物が区分され、層厚の分布も求められた。

2. 着地温度からみた火山堆積物の分類

火山堆積物の研究で重要な堆積時の温度を見積る手段として、岩石の磁化を利用する推定法を開発した。この手法を地質学の情報と組み合わせた調査は、火砕流、熱泥流、泥流の分別に役立つと考えられる。焼岳西方に分布する中尾火砕流起源の堆積物に手法を適用した結果、白水谷流域は火砕流、下流の割谷流域は泥流、中尾地域は熱泥流の状態で堆積したことが推測された。

3. 連続観測

白水谷と割谷では地電位と地温、中尾地域の穂高砂防観測所構内では地電位、全磁力、地温と蒸気温度の連続観測を開始した。

雷放電時の記録から、地電位変動の卓越方向を求めた所、割谷と中尾地域では共に焼岳の方向を向く傾向が認められた。中尾地域において、地下から噴出する蒸気の温度を地表の噴出口付近で測定した結果、数℃に及ぶ変動がしばしば認められた。その期間には、約 80 m 離れた地点で観測している地電位も変動していることが多く、これらの観測が焼岳の火山活動のモニター手段となる可能性を示すと考えられた。

今後、上記の調査・観測により焼岳の火山活動の監視を継続し、併行して過去の活動の定量化を進める計画である。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、富山大学の藤井昭二教授、広岡公夫教授、川崎一朗助教授および京都大学の住友則彦教授から貴重な助言を頂いた。神戸大学大学院生・畚野匡氏には古地磁気試料の採集を手伝って頂き、また重要な情報を頂いた。秋田大学の西谷忠師助教授、応用地質株式会社の小野晃司氏および静岡大学の小山真人博士には貴重なアドバイスを頂いた。富山大学生の小林剛氏と高井克己氏には調査に協力して頂いた。調査に用いたガンマ線探査器は、基礎地盤コンサルタント社からお貸し頂いた。白水谷の調査内容の一部は、建設省神通砂防工事事務所の依頼により行った。研究の一部に、田村財団助成金（川崎一朗代表）を使用させて頂いた。

以上の方々に感謝します。

参 考 文 献

- 1) 芦田和男・沢田豊明：山地流域における出水と土砂流出（18），京都大学防災研究所年報，第 32 号 B-2，1989，pp. 471-486.
- 2) 原山智：上高地地域の地質，地域地質研究報告（5 万分の 1 地質図幅），地質調査所，1990，175

- p.
- 3) Hirooka, K: Archaeomagnetic study for the past 2,000 years in southwest Japan. Mem. Fac. Sci., Kyoto Univ., Ser. Geol. & Mineral., 38, 1971, 167-207.
 - 4) 畚野匡: 焼岳の火山地質, 信州大学卒業研究, 1990.
 - 5) 畚野匡: 焼岳, 中尾“火砕流”の成因とパイプ構造, 日本火山学会講演予稿集, 1990, 104.
 - 6) 藤井昭二・澤田豊明・武沢正: 焼岳火山の中尾火砕流堆積物とそれらの放射性炭素年代, 第四紀研究, 第13巻, 第1号, 1974, 1-5.
 - 7) 建設省北陸地方建設局・神通川水系砂防工事事務所: 平湯川及び蒲田川流域温泉調査(昭和63年度), 1989.
 - 8) Kirschvink, J.L.: The least-squares line and plane and the analysis of palaeomagnetic data. Geophys. J. R. astr. Soc., 62, 1980, 699-718.
 - 9) 河野長: 古地球磁場強度, 科学, 2, 1975, 101-109.
 - 10) 中山武・土居光・和田安男・加藤正明・和田博夫・三雲健・加藤隆司・酒井英男: 宝立における電磁気観測, 京都大学防災研究所年報, 第32号 B-1, 1989, 1-11.
 - 11) 乗富一雄・西谷忠師: VLF 電磁誘導法による調査, 72-76, 乗富一雄編, 地球電磁気学的手法による断層活動度の研究, 文部省科学研究費成果報告書, 1981, pp.105.
 - 12) Ohshiman, N., Y. Honkura, K. Kuge and H. Sakai: Electric and magnetic anomalies at the Atotugawa fault and their implications for fault activity. J. Geomag. Geoelectr., 39, 1987, 143-158.
 - 13) 酒井英男: 考古学試料からの地磁気強度決定について, 陶邑Ⅲ, 大阪府文化財調査, 30, 1978, 156-161.
 - 14) 酒井英男・広岡公夫: 古地磁気・岩石磁気から見た断層運動, 地球, 7, 1983, 394-398.
 - 15) Sakai, H. and K. Hirooka: Archaeointensity Determinations from Western Japan. J. Geomag. Geoelectr., 38, 1986, 1323-1329.
 - 16) 酒井英男・平井徹・広岡公夫: 磁化測定による考古学遺物の熱履歴の検討, 能登淹・柴垣製塩遺跡群, 富山大学考古学教室, 1991, 157-165.
 - 17) Thellier, E. and O. Thellier: Sur l'intensite du champ magnetique terrestre dans le passe historique, Ann. Geophys., 15, 1959, 285-376.
 - 18) 和田博夫・三雲健・小泉誠: 飛騨地方北部及び富山湾・能登半島周辺の最近の地震活動, 京大防災研究所年報, 第33号 B-1, 1990, pp.57-74.