



Title	雌阿寒岳における地球電磁気および地温調査
Author(s)	松島, 喜雄; MATSUSHIMA, Nobuo, ; 岡崎, 紀俊 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 57, 1-10
Issue Date	1994-10-31
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.57.1
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/14219
Type	departmental bulletin paper
File Information	57_p1-10.pdf



雌阿寒岳における地球電磁気および地温調査

松島 喜雄¹・岡崎 紀俊²・市川 隆一・道脇 正則³・西田 泰典

北海道大学理学部地球物理学教室

(1994年8月8日受理)

Electromagnetic and Geothermal Surveys on Me-akan Volcano

Nobuo MATSUSHIMA¹, Noritoshi OKAZAKI², Ryuichi ICHIKAWA,

Masanori MICHIWAKI³ and Yasunori NISHIDA

Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University

(Received August 8, 1994)

On August, 1988, we made 1m depth temperature, self-potential, apparent resistivity and magnetic total force measurements on Me-akan volcano which has two summit craters : Pommachineshiri and Nakamachineshiri.

High underground temperature and low apparent resistivity were observed on the summit craters. The low resistivity crater fill can be explained by the presence of ionized hot water. We found a positive self-potential anomaly relating to geothermal activity at only limited area (100m or so in horizontal extent) around Pommachineshiri where small phreatic eruption took place on January, 1988. Since 1983, mass flux of vapor has increased at Pommachineshiri crater, implying the vapor pressure has increased in the vent. Therefore, the vapor may partly diffuse from the vent to the surrounding porous rocks. The diffused vapor should be cooled and condensed within the rocks ; hence, hydrothermal circulation takes place at shallow depth. The observed results can be consistently explained by this process because the positive self-potential anomaly caused by the electrokinetic effect can be observed over a hot zone where convective hot water is rising.

Besides the magnetic anomalies due to topographic effect, a negative anomaly amounting to 250nT was observed on the alteration zone situated at the eastern flank of Me-akan. The anomaly is probably caused by demagnetization of ferromagnetic minerals due to

¹現在, 地質調査所

²現在, 北海道立地下資源調査所

³現在, 北海道旭川土木現業所

¹Now at Geological Survey of Japan

²Now at Geological Survey of Hokkaido

³Now at Asashikawa District Public Works, Hokkaido

geothermal alteration.

I. はじめに

雌阿寒岳は主に二つの山頂火口、ポンマチネシリ、ナカマチネシリ火口からなる (Fig. 1). このうちナカマチネシリ火口では、有史以来活発な噴気活動を示すが、噴火記録はない。一方、ポンマチネシリ火口は1988年1月に約30年ぶりに噴火した。この噴火はポンマチネシリ火口南端の第1火口 (Fig. 1のC1) で起こった水蒸気爆発である。第1火口は1955年から1969年にかけて起こった水蒸気爆発により生じた一連の火口 (第1～第6火口) の1つである。気象庁の現地観測によると、第1火口の噴気活動は1972年以降衰退していたが、1983年より再び活発化して1988年の噴火に至った。また、噴気温度は噴火前に約510°Cに達していた (札幌管区気象台, 1988)。

雌阿寒岳における地球物理学的な観測結果については、横山他 (1976) によって総合的に報告されている。その後は気象庁による定期的な観測 (例えば札幌管区気象台, 1988; 長谷川他, 1989; 福井他, 1994) が行われている。

本稿では1988年の噴火活動にともなう地下構造の異常を検出すること、および今後異常が発生した場合の比較となる基礎資料を作成する目的で、各種の観測を山体を縦走するような測線で行った。観測は1988年7月から8月にかけて行い、地磁気全磁力、VLF帯のマグネトテルリック

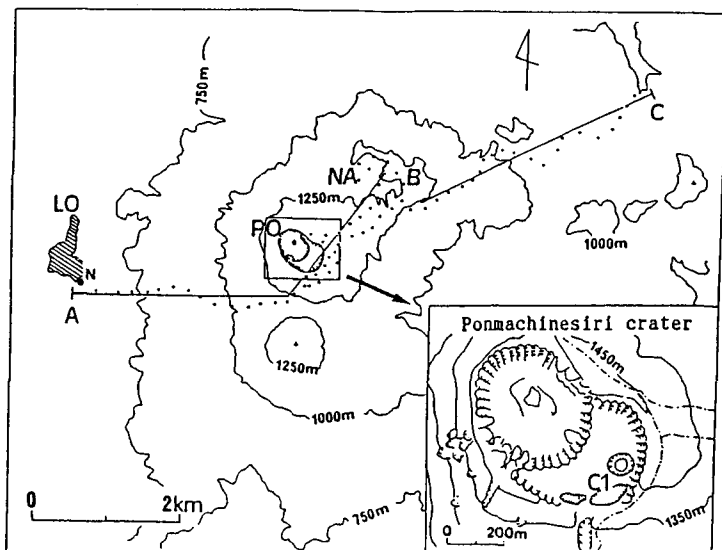


Fig. 1. Topographic map of Me-akan volcano and survey stations of apparent resistivity. PO : Ponmachineshiri crater, NA: Nakamachineshiri crater, LO: Lake Onnetou, C1: No. 1 crater.

法による見かけ比抵抗, 自然電位 (SP), 1 m 深地中温度の測定からなる。

II. 観測結果

見かけ比抵抗の測点を Fig. 1 に示す。その他の観測もほぼ同じ範囲で行われた。測点は、1988 年に噴火を行ったポンマチネシリ火口周辺, ナカマチネシリ火口周辺, および北東側の登山道(以下北東測線と呼ぶ)と南西側の登山道(以下南西測線と呼ぶ)に分布する。各測点での測定結果を Fig.1 の A-B-C 線に沿って投影したものを Fig. 2 に示す。上から, 全磁力 (単位は nT), 自然電位 (mV), 見かけ比抵抗 (Ωm), 1 m 深地温 ($^{\circ}\text{C}$) の測定結果と地形断面 (m) である。ただし地温の結果は次節に述べる方法によって実測値を補正したものである。Fig. 2 で, a, b, c, d はそれぞれポンマチネシリ火口, ナカマチネシリ火口, 北東測線上の変質帯および南西測線

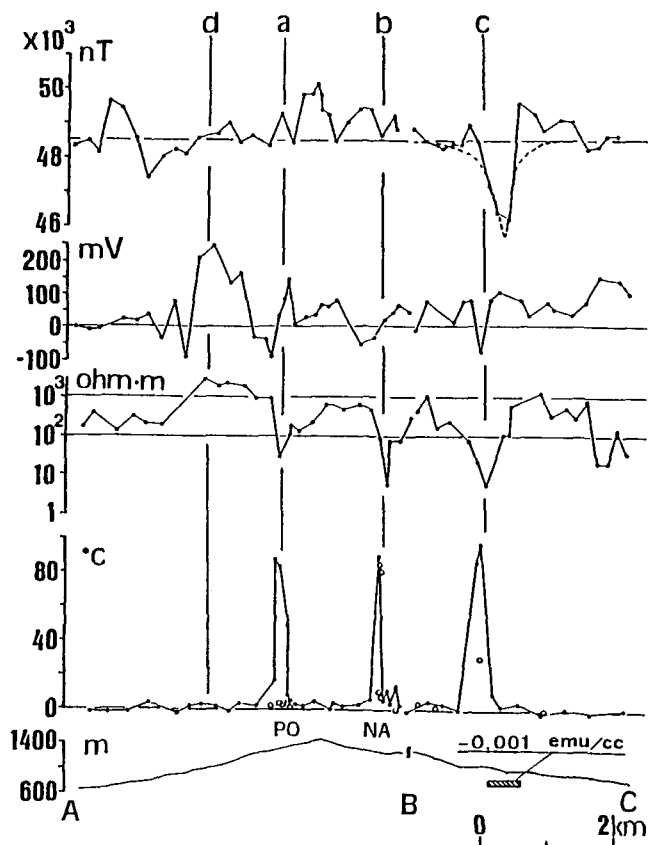


Fig. 2. Magnetic total force, self-potential, apparent resistivity and temperature at a depth of 1m along the profile A-B-C in Fig. 1 with topographic profile of Me-akan volcano. NA : Nakamachineshiri crater, PO : Pomachineshiri crater. Open circles show ground temperatures measured by Ehara (1973). Dashed curve denotes a calculated magnetic total force anomaly due to a model shown in topographic profile.

の高度約1,000 m の位置を示す。

1. 1 m深地中温度

地温測定は8月23日から27日の期間にサーミスタ温度計を用いて行った。一般に地温は、季節と測定高度により変化するので、地下の異常を検出する場合にはそれらの補正を施さなければならない。一般には、測定値とその測定高度の関係から地温の高度減率を求め、この季節の各高度における標準地温を定める方法が用いられる。Fig. 3に測定値と測定高度の関係を示した。白丸は北東測線での値である。地温は地下に異常熱源がない限り高度の上昇とともに減少する。この場合、増加の傾向にある高度900 m 付近から温度異常が現れていると考え、その高度以下の測定値を用いて、直線のあてはめを行い高度変化を求めてみた(図中破線)。その高度減率は 1.7×10^{-2} (°C/m) となり、ほかの火山で得られている値 0.3×10^{-2} (江原, 1973), 0.8×10^{-2} (鎌山他, 1982) に比べ異常に大きな値となっているが、高度1,300 m 付近の1群の低温度の測定値も説明し得るものとなっている。しかし、この値は大気温度の一般的な高度減率よりもはるかに大きく、この測定値には疑問が残る。あてはめを行った破線は、用いた測定値数が少ない上に、雌阿寒岳は場所によって少なくとも4月頃まで凍土が存在することを考慮しなければならない。この局所的な冷熱源が存在していたことにより地温が異常に低くなっている可能性があるからである。その場合、影響を受けた値を標準地温とすると、逆に影響を受けていない場所の測定値を異常地温とみなしてしまうことになる。そこでここでは得られた高度減率は用いずに、福富(1951)によって与えられている標準地温を外挿することによって各温度における標準地温とすることにした(Fig. 3実線)。測定地温と標準地温の差を異常地温として表したのがFig. 2に示されている。ただし、沸点に達する温度異常に対しては上記の補正は適切ではないので、補正を施していない。

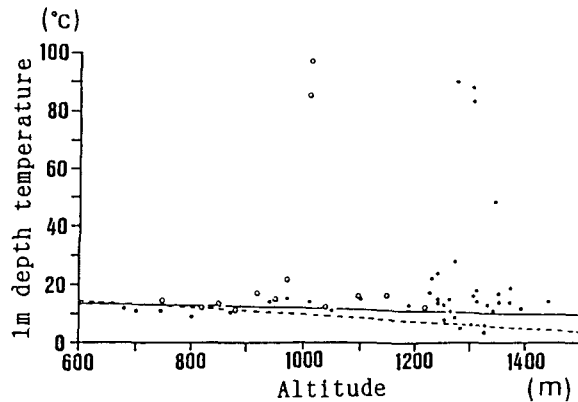


Fig. 3. Relationship between temperature at a depth of 1m and altitude. Solid line represents normal temperature after Fukutomi (1951). Dashed line is a fitted line to the data below 900m. Open circles denote temperatures measured at north eastern foot of the volcano.

顕著な温度異常は、ポンマチネシリ火口 (Fig. 2 の a), ナカマチネシリ火口 (同 b), 北東測線における変質帯 (同 c) にみられる。Fig. 2 の温度異常の結果のうち白丸は江原 (1973) の測定結果である。ポンマチネシリ火口の温度異常は江原の結果にはみられず 1988 年の噴火活動に関連したものと考えられる。

2. 自然電位 (S. P.)

火山, 地熱地帯で自然電位異常を発生させるメカニズムの 1 つに, 熱水の移動にともなう流動電位がある (例えば, Ishido and Mizutani, 1981)。流動電位は, 多孔質媒質中の水の流れにカップルして電流が流れることにより生じる。このとき, 電位は水の物性等によって決まる係数を通して圧力勾配に結びつけられる。多くの場合, 熱水は正の電荷を運ぶため, 地熱地帯では熱水の上昇域で SP の正異常が観測される例が多い (石戸・菊池, 1987)。同様な効果は火山においても期待される。北海道内の火山においては, 今までに有珠山, 北海道駒ヶ岳において顕著な SP の正異常が観測され, その正異常は地下の熱水活動を表わすものと解釈されている (Nishida and Tomiya, 1987; Matsushima et al., 1990)。自然電位測定は 8 月 15 日から 18 日の期間に銅-硫酸銅電極と高入力インピーダンス電圧計を用いて行われた。Fig. 2 に示した測定結果は, 火山活動域から十分離れた点 (Fig. 1 の N 点) を基準とした相対的な値である。その結果, ポンマチネシリ火口 (Fig. 2 の a) における約 160 mV の正異常と, 南西測線上 (同 d) にみられる約 250 mV におよぶ正異常が多少顕著な異常として観測された。

3. 見かけ比抵抗

岩石の比抵抗は, 温度と含水率に強く存在し, 高温になるほど, また含水率も大きくなるほど低比抵抗になる。従って, 熱水の存在する噴気地帯ではより低比抵抗になることが期待される。見かけ比抵抗測定は, 17.4 kHz の人工電磁波を用いた VLF 帯のマグネトテルリック法 (VLF-MT) により実施した。探査深度の目安となる skin depth δ (km) は, 電磁波の周波数 f (Hz) と見かけ比抵抗 ρ_a ($\Omega \cdot m$) から $\delta = \sqrt{10\rho_a/f}/2\pi$ と表される。従って見かけ比抵抗が 100 $\Omega \cdot m$ の場合には, δ は約 0.04 km となる。雌阿寒岳における見かけ比抵抗値はほぼ 100~1,000 $\Omega \cdot m$ の範囲に分布しているが, ポンマチネシリ火口 (Fig. 2 の a), ナカマチネシリ火口 (同 b), 北東測線の変質帯 (同 c) では, 10 $\Omega \cdot m$ 前後の低い値が測定された。一方, 南西測線上 (同 d) に 100 $\Omega \cdot m$ を越える高い値が観測された。

4. 全磁力

地表における全磁力は, 地下の物資の帯磁の強さの影響を受けているので, その異常から地下構造を推定することができる。雌阿寒岳における磁気測量は 1975 年に北大理学部により行われているが測点数が少なく結果についての議論は行われていない。測定範囲は限られているが, おおまかな傾向を知ることを目的に, プロトン磁力計を用いた全磁力測定を 8 月 15 日, 16 日, 18 日,

に行った。Fig. 2 に示されるように、観測結果はおおよそ 48,500 nT の値を中心に变化している。ただし、Fig. 2 に示した値は実測値であり日変化の補正は行っていない。日変化の幅は 50 nT 程度なので、それよりはるかに大きな異常に注目する限り日変化の影響はないとみなす。いま、48,500 nT を基準値とするとポンマチネシリ火口付近 (Fig. 2 の a より、ややナカマチネシリ火口寄り) および南西測線の低い高度において 1,500 nT におよぶ高異常がみられる。一方、北東測線の変質帯 (同 c) では 2,000 nT を越える低異常がみられるのが特徴である。

III. 観測結果の解釈

以上の観測結果を踏まえて、ポンマチネシリ火口、ナカマチネシリ火口、北東測線および南西測線に現れる測定値の異常についてそれぞれ考察する。山頂火口を含む領域での測定値の分布を Fig. 4 に示す。A は地温 (斜線部は 80°C 以上)、B は自然電位 (斜線部は 100 mV 以上)、C は見

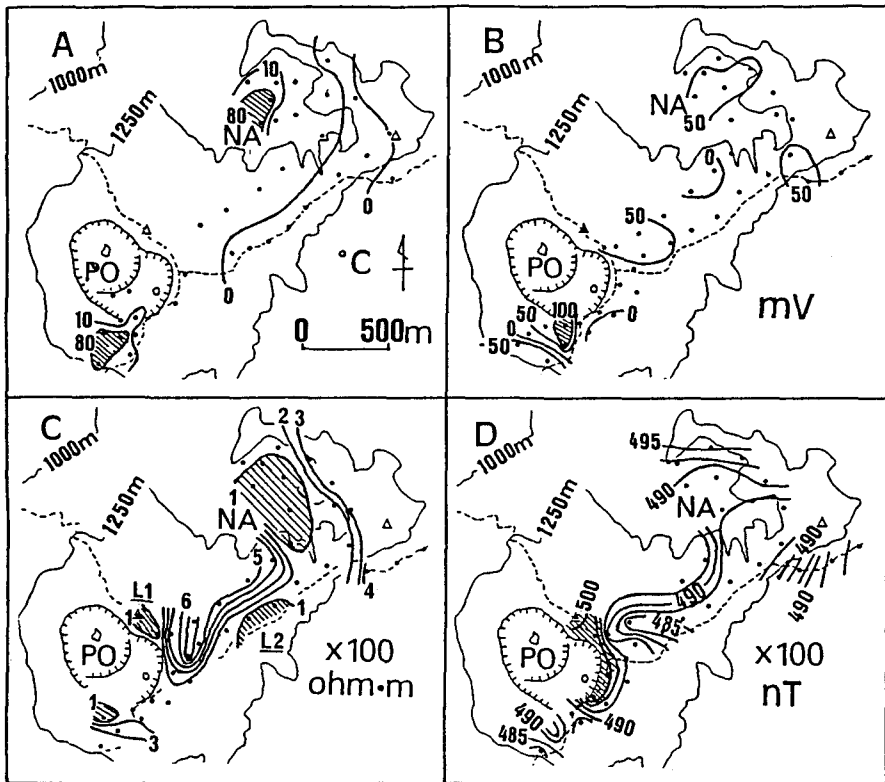


Fig. 4. Distribution of observed values in and around summit craters. (A) Temperature in unit of $^{\circ}\text{C}$. Contour interval is 10°C . Shaded regions are above 80°C . (B) Self-potential in unit of mV. Contour interval is 50 mV. Shaded region is above 100mV. (C) Apparent resistivity in unit of $100\Omega\cdot\text{m}$. Shaded regions are below $100\Omega\cdot\text{m}$. (D) Magnetic total force in unit of 100nT. Contour interval is 250nT. Shaded region is above 49,500nT.

かけ比抵抗 (斜線部は $100 \Omega \cdot \text{m}$ 以下), D は全磁力 (斜線部は $49,500 \text{ nT}$ 以上) の分布を示す。

1. ポンマチネシリ火口

Fig. 4A, B, C の斜線部分に見られるように, ポンマチネシリ第1火口の南西側の斜面で局所的に, 地中温度異常, 自然電位の正異常と低見かけ比抵抗が現れている。一方, Fig. 4D に見られるように, 全磁力の正異常はポンマチネシリ火口縁に沿って分布し, これらの異常域とは対応していない。これは, 地形の効果によって現れたと考えられる。南西斜面の地中温度, 自然電位, 見かけ比抵抗の各異常は, 1988年の噴火活動に対応して生じた地下の熱水活動によると考えると無理なく説明できる。自然電位の正異常の広がりには 100 m 程度であり, それぞれ 2 km , 1 km 程度の広がりを持つ有珠山や北海道駒ヶ岳の正異常に比べて非常に小さい。また, その振幅も 160 mV で, 400 mV 程度の振幅を持つ有珠山や北海道駒ヶ岳に比べ小さい。今, 異常の広がりや原因となる熱水活動の深さの情報を, 異常の振幅が活動の規模を表すとすると, ポンマチネシリ火口に生じた熱水活動は比較的浅く規模も小さいことを意味している。笠原 (1987) は, 1973年ポンマチネシリ火口下に存在しなかった微動源が1987年には存在するようになり, 噴気の勢いが活発になったことを示した。また, 気象庁の現地観測によると1983年から第1火口の噴気量は増大した。これらのことは, 火口下の噴気上昇域の圧力が増し噴火に至ったことを意味している。その結果, 噴気上昇域の周辺で特に透水係数の高い場所に局所的に噴気の拡散が行われ, 冷却, 凝縮して下降するような小規模対流が発生したと考えれば今回観測された各種異常が生じ得る。この他, Fig. 4Cによるとポンマチネシリ火口の北側 (Fig. 4CのL1) および北東側 (Fig. 4CのL2) に $100 \Omega \cdot \text{m}$ 以下の見かけ比抵抗が低い領域がある。このうち北側のものは, 地形的に尾根である他に地表微候としての原因は見あたらない。北東側は変質帯となっているために低比抵抗となっている。

2. ナカマチネシリ火口

Fig. 4A に示すナカマチネシリ火口原の温度異常域では, 明治年間から硫黄の採掘が行われていた。ナカマチネシリ火口原の熱活動は, 噴気孔からの放熱量として福富 (1967), 江原 (1973) はそれぞれ $1.2 \times 10^8 (\text{cal}/\text{sec})$, $0.7 \times 10^8 (\text{cal}/\text{sec})$ と見積もっている。これらの値は1987年の有珠山火口原からの放熱量に匹敵し (松島, 1992), 北海道駒ヶ岳からの放熱量 (鍵山他, 1989) より1オーダー大きい。また, ここでは Fig. 4C に見られるように広域的に見かけ比抵抗が低くなっており, 熱水の存在を示している。ポンマチネシリ火口に比べ長期的に活発な熱活動をしているため, 火口原規模の熱水対流が存在することが期待されたが, 存在を示唆するような自然電位の正異常はみられなかった (Fig. 4B)。このことは, 現時点での雌阿寒岳の山頂火口原下における熱水系は北海道駒ヶ岳, 有珠山の熱水系 (例えば, Ballestracci and Nishida, 1987) とは本質的に異なることを示している。そこで, 有珠山, 北海道駒ヶ岳との対比をしながら熱水系を概念的に考察してみる。雌阿寒岳は他の火山と比較して 1) 歴史時代に本質物資を大量に放出するよう

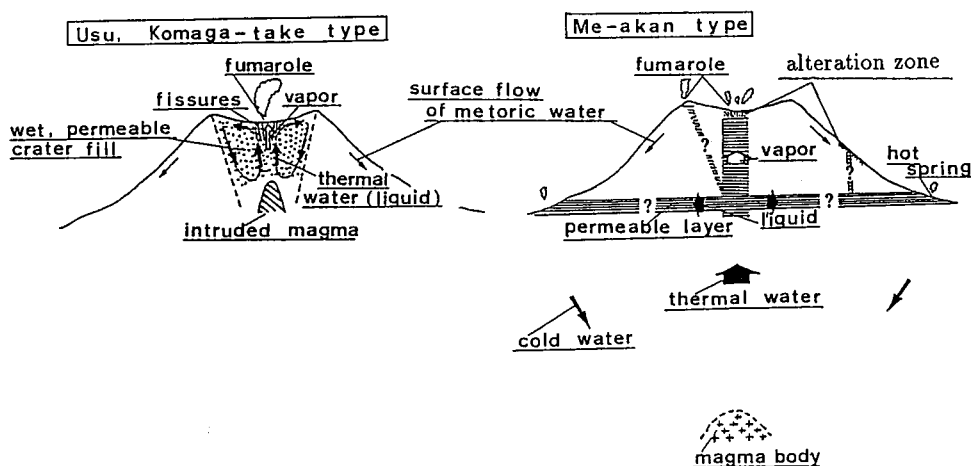


Fig. 5. Conceptual models of hydrothermal system.

な噴火記録がない、2) 熱水の上昇を支配するような亀裂、断層が発達していない、3) 極く局所的なものは別として、火口原規模 (1~2 Km) の空間波長を持つ自然電位異常は観測されない。そのため、比較的浅部に高温岩体又はマグマ本体の存在は考えにくい、等の特徴がある。以上から推測される熱水系の概念図を Fig. 5 に示す。有珠山、北海道駒ヶ岳では貫入マグマを熱源にして、水で飽和した火口原堆積物中で熱水対流がおこる。この対流の上昇は、亀裂などの高透水性の部分に集中しておこる。その結果、自然電位の顕著な正異常が現れる。それに対して雌阿寒岳ではより広域の熱水対流を考える。火口原深部から熱水の上昇があり、自然電位の異常が有効に現れないほどの深部で気液分離をおこす。熱水は山麓へ向かいその一部は温泉として湧出する一方、蒸気は火口原へと上昇し、火口原下には蒸気卓越の熱水系が形成される。蒸気そのものはほとんど電荷を運搬しないので (Tyran and Marsden, 1985) 顕著な自然電位異常は観測されない。このようなモデルを考えることにより、高放熱量だが自然電位の異常はないという状況を説明できる。

Ingebritsen and Sorey (1988)は、数値実験により火山地域でも蒸気卓越の熱水系が発達し得ることを示した。そのときの媒質の条件は、地表付近のキャップロックの存在と、気液分離が起こる場所で水平方向に高透水性の部分が存在することである。今のところ、そのような構造を示す積極的な証拠はない。今後は、より観測例を増やし、地下の構造と蒸気卓越層の有無を調べること、噴気と山麓の温泉水の同位体比、化学成分からそれらの起源を調べること、熱水の流動電位係数を求め、自然電位の定量的な解析をすることなどが必要である。

3. 北東測線上の異常域

北東測線の温度異常域 (Fig. 2 の c) は、雌阿寒岳の初期の火山活動により形成された 1,042 m 山付近に位置し、ナカマチネシリ火口と同様に硫黄の採掘が行われていた場所である。一帯では

微弱な噴気活動がみられる。ここでは全磁力が顕著な低異常を示す。この異常は、長期の熱活動により磁鉄鉱等の強磁性鉱物が腐食・変質し低帯磁になったためと考えられる。Fig. 2下に斜線で示したように、帯磁率が周囲に比べ相対的に 1.0 A/m (10^{-3} emu/cc) 小さい、幅 450 m 、厚さ 70 m の変質域が深さ 150 m から存在していれば、Fig. 2上に波線で示した計算値となり観測された低異常が説明し得る。しかし測定数が不足しているため、この計算で得られた変質域の推定は粗いものである。長期にわたる熱活動の結果、変質帯が広範囲に広がっていることを示す程度の解釈にとどめるべきであろう。

4. 南西測線の異常域

南西測線の高度約 $1,000 \text{ m}$ 付近 (Fig. 2のd) に今回の測定の中では最も顕著な自然電位の正異常が観測された。また、同じ場所で見かけ比抵抗値は $1,000 \Omega \cdot \text{m}$ 以上の高い値となっている。この付近は特に地熱異常もなく、自然電位異常の原因は不明である。またこれよりやや低い高度において全磁力の高異常が観測されているが、この原因も不明である。

IV. ま と め

雌阿寒岳において全磁力、見かけ比抵抗、自然電位および地中温度の測定を行った。その結果、

1) ポンマチネシリ火口の周囲の限られた場所で、今回の噴火活動に対応すると思われる高地中温度異常と自然電位の正異常および低見かけ比抵抗がみられた。これらの異常は第1火口の噴気量の増加により火道近傍に局所的に生じた熱水対流によると考えられる。全磁力の異常はあまり顕著に見られなかった。

2) ナカマチネシリ火口原は高地中温度異常と低見かけ比抵抗を示す活発な噴気地帯にも関わらず、有珠山や北海道駒ヶ岳の山頂火口原で観測されているような自然電位の正異常がみられなかった。これは、現在の山頂火口原下の熱水系は、有珠山や北海道駒ヶ岳のそれとは異なるものである可能性を示している。

3) 北東測線上の変質帯では、高地中温度異常を示し、低見かけ比抵抗となった。ここでは、顕著な全磁力の低異常が観測された。この低異常は長期の熱活動により強磁性物資が広範囲に変質し、帯磁が弱まったためと考えられる。

4) 南西直線上の高度 $1,000 \text{ m}$ 付近において自然電位は正異常を示し、高見かけ比抵抗となっている。またそれよりやや低い高度において全磁力の高異常がみられるが、これらの原因は不明である。

謝辞 本観測を実施するにあたり、足寄町野中温泉の野中正造氏を始めとする皆様には多大なる便宜をはかって頂いた。当時北海道大学理学部大学院生であった竹中博士氏 (現在九州大学理学部)、高木朗充氏 (現在気象庁) には観測を手伝って頂いた。同理学部地震予知地域観測センター

の笠原稔氏, 鈴木貞臣氏 (現在九州大学理学部) には観測を支援していただいた。記して謝意を表します。

文 献

- Ballestracci, R. and Y. Nishida, 1987. Fracturing associated with the 1977-1978 eruption of Usu volcano, north Japan, as revealed by geophysical measurements. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **34**, 107-121.
- 江原幸雄, 1973. 活火山地帯近くの地温分布, 北大地球物理学研究報告, **30**, 15-32.
- 福井史雄・橋本雅彦・高田麻美・長谷川一美, 1994. 雌阿寒岳の地球電磁気学的火山観測(1977-1993). *Conductivity Anomaly 研究会論文集*, 124-128.
- 福富孝治, 1951. 1 m深の地中温度より温泉探査の可能性に就いて(第1報). 北大地球物理学研究報告, **1**, 1-14.
- 福富孝治, 1967. 北海道地熱地帯の熱量とその探査上の諸問題. *地熱*, **13**, 16-24.
- 長谷川一美・福井史雄・室松富二雄・峯野秀美・小野裕次・高田麻美, 1989. 雌阿寒岳の地球電磁気学的火山観測-1977-1988-. *Conductivity Anomaly 研究会論文集*, 91-105.
- Ingebritsen, S. E. and M. L. Sorey, 1988. Vapor-dominated zones within hydrothermal systems: Evolution and natural state. *J. Geophys. Res.*, **93**, 13, 635-13, 655.
- Ishido, T. and H. Mizutani, 1981. Experimental and theoretical basis of electrokinetic phenomena in rock-water systems and its applications to geophysics. *J. Geophys. Res.*, **86**, 1763-1775.
- 石戸経士・菊地恒夫, 1987. 自然電位法. *地熱エネルギー*, **12**, 425-443.
- 鍵山恒臣, 1978. 火山からの噴気による熱エネルギーと H₂O の放出量. -plume rise からの推定. *火山*, 第2集, **23**, 183-197.
- 鍵山恒臣・竹田豊太郎・長田 昇, 1982. 三宅島火山の熱的調査. 三宅島集中総合観測報告, 55-73.
- 鍵山恒臣・辻 浩・松島喜雄, 1989. 北海道駒ヶ岳火山の地上赤外映像の解析-1987年北海道駒ヶ岳集中総合観測-. 火山学会 1989年秋季大会講演予稿集, 161.
- 笠原稔, 1987. 雌阿寒岳の火山性常時微動源の時間変化. 火山学会 1989年秋季大会講演予稿集, 43.
- 松島喜雄, 1992. 活動的火山における熱学的研究-1977年有珠山噴火にともなう放熱過程-. 北海道大学博士論文, 83pp.
- Matsushima, N., M. Michiwaki, N. Okazaki, R. Ichikawa, A. Takagi, Y. Nishida and H. Mori, 1990. Self-potential studies in volcanic areas (2)-Usu, Hokkaido Komaga-take and Me-akan-. *J. Fac. Sci. Hokkaido Univ., Ser. 7*, **8**, 465-477.
- Nishida, Y. and H. Tomiya, 1987. Self-potential studies in volcanic areas (1)-Usu Volcano-. *J. Fac. Sci. Hokkaido Univ., Ser. 7*, **8**, 173-190.
- 札幌管区気象台, 1988. 北海道の火山. 1-34.
- Tyran, C. K. and S. S. Marsden, Jr., 1985. The streaming potential of steam. *Transactions of Geothermal Resources Council*, **9**, 71-74.
- 横山泉・勝井義雄・江原幸雄・小出潔, 1976. 雌阿寒岳, 火山地質・噴火史・活動の現況および防災対策. 北海道防災会議, 138 pp.