



Title	有珠火山の電気探査
Author(s)	渡辺, 秀文; WATANABE, Hidefumi; 山下, 濟 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 43, 31-40
Issue Date	1984-03-10
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.43.31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/14122
Type	departmental bulletin paper
File Information	43_p31-40.pdf



有珠火山の電気探査

渡辺 秀文・山下 濟・前川 徳光

北海道大学理学部附属有珠火山観測所

(昭和 58 年 12 月 1 日受理)

Electrical Study of the 1977-1982 Activity of Usu Volcano.

By Hidefumi WATANABE, Hitoshi YAMASHITA and Tokumitsu MAEKAWA

Usu Volcano Observatory, Faculty of Science, Hokkaido University

(Received December 1, 1983)

The recent activity of Usu volcano was characterized by persistent earthquake swarms and remarkable ground deformation, which continued until March 1982 since the first pumice eruption in 1977. The principal cause of the activity was the upward movement of viscous magma beneath the summit crater. Measurements of electrical resistivity have been repeated at the summit area after the pumice eruptions in 1977, intending to detect anomalous variations in resistivity associated with the volcanic activity. The electrical resistivity was measured by direct current method with dipole-dipole electrode arrangements. Associated with the active thermal activity in 1978, including phreatomagmatic eruptions, considerable decrease of resistivity was observed at the shallower part of the southern summit region. Unfortunately, several conditions prohibited to detect temporal variations of electrical resistivity at the deeper part which might be caused by the intrusion of dacite magma into the summit crater.

Electrical sounding conducted at the summit in 1982 revealed that the shallow part beneath the most active craterlet I is characterized by low resistivity and high chargeability. Anomalous region of low resistivity was also found at the deeper part beneath the new peak (NM). That region was found to be situated inside the earthquake-free zone, and to coincide the high P-wave velocity zone. Previous experiments on elastic properties of volcanic rocks showed that P-wave velocity of dacite lava of Showa-shinzan increases with temperature. These facts may suggest that high temperature dacite magma has intruded to the depth about several hundred meters below sea level beneath the new mountain.

1. は じ め に

1977年8月の軽石噴火以来、長期間継続した、有珠山の活動は、1982年3月に地震活動・地殻変動共に終息した。この間に実施された、高密度・高精度な地球物理学的諸観測によって、活動の推移及びデイサイトマグマの山頂火口原への貫入過程もかなり明らかになっている。火口原内に発生する地震の震源分布及び地殻変動の分布から、マグマは、火口原中央部に隆起生成した有珠新山の直下、地震空白域に貫入しているものと推定されている(Yokoyama et al., 1981; Okada et al., 1981)。しかし、貫入したマグマの位置や先端の深さ等の詳細については、未だ解明されていない。これらの問題を解明するためには、多種類の独立な観測データにもとづいて、総合的に判断する必要がある。このような見地から、地震計測学的・測地学的観測とは独立な観測の一手法として、人工電流を地中に流して地下の電気的特質を調べる人工電位法による調査を有珠山頂火口原及び山腹において実施した。

一般に、岩石の電気抵抗は温度に敏感で、高温になると著しく抵抗が減少することが知られている。しかし、地下の電気抵抗を測定することによって、火山直下の熱的状态及びその時間変化を実際に検出できるか否かは自明ではなく、検証を要する事である。この点で、火口原浅部に高温のマグマが貫入しているのが確実な有珠山は、電気探査によって火山体下の熱的異常及びその変化の検出を行う方法の有効性を検証するのに好適なフィールドでもある。

II. 観 測

測定は、電流極から交代直流を大地に流し込み、電位極で電位差を測定する人工電位法で行った。電極配置は、地形上の制約もあり、ダイポール・ダイポール配置を採用した。

測定時期は、1977年11月、1979年6月、1980年9月及び1982年7月の4回である。最初の3回は、火口原地下の電気抵抗の時間変化を検出することを主目的とし、電流極は南火口原に固定し、電位極の位置を移動させ測定を行った。1982年7月の第4回目の測定では、電流極・電位極共に移動させ、多数の配置で測定を行い、火口原下の電氣的構造の探査も行った。

使用した機器は、1977年と1979年は国際電子製送信機(GPS-2800F)と受信機(GPA-200)、1980年と1982年はScintrex社製IP送信機(IPC-7, 2.5kw)と受信機(IPR-8)である。

III. 山頂火口原下の見掛比抵抗経年変化

山頂火口原南部に電流極を固定し、電位極は火口原南部から北部にかけて設置して測定をくり返し、1977年有珠火山噴火後の山頂火口原地下の見掛比抵抗の経年変化を調べた。地表に設置した電流極(A, B)から電流(I)を大地に流し込み、電位極(M-N)間の電位差(V)を測定すると、大地の見掛比抵抗は次式で求められる。

$$\rho_a = 2\pi \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)^{-1} \cdot \frac{V}{I} \quad (1)$$

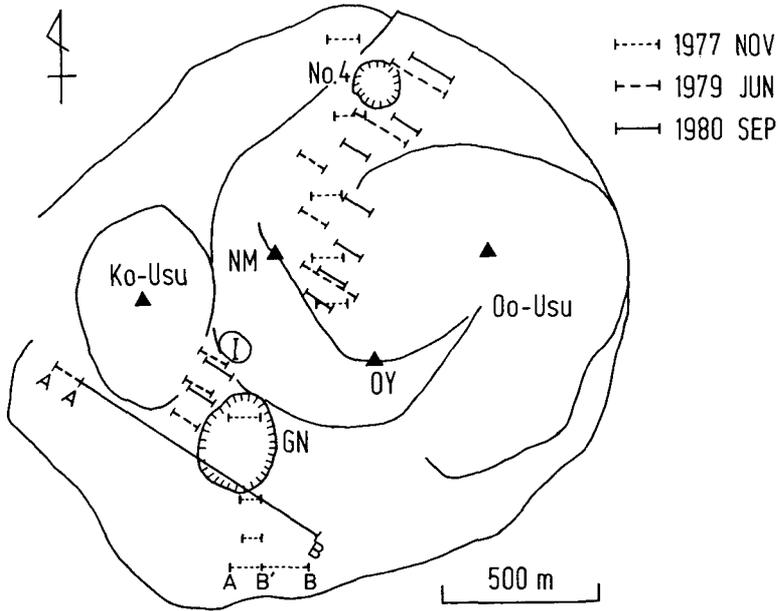


Fig. 1. Electrode arrangements for dipole-dipole measurement at Usu volcano. A-B(B'): current electrodes, Others: potential electrodes. NM: "New Mountain" (cryptodome), OY: "Ogari-yama" (cryptodome). Both of NM and OY were formed in the 1977-1982 activity of Usu volcano. No.4: the fourth crater formed in 1977, I: craterlet, GN: "Gin-numa crater". I and GN were formed in 1978. Oo-Usu and Ko-Usu are dacite lava domes which were formed in the 1853 and the 1663 eruptions respectively.

一様な比抵抗を持つ半無限大地の場合には、(1)式で求められる量は、大地の *in situ* な比抵抗に等しい。

第1図に電極配置を示す。図中、A-B(B')は電流極、その他は電位極である。1978年の活発な噴火活動によって南火口原に銀沼火口(GN)が生じたため、1979年以後の電極配置は1977年の配置から大きく変更せざるを得なかった。さらに、新山の北側斜面から第4火口(No.4)にかけて生じたガリーを避けるために、1980年の配置は1979年と多少異っている。1982年の電極配置は1980年とほとんど同じであり、図が繁雑になるので示していない。

1977年11月以後4回の測定によって得られた見掛比抵抗の経年変化を第2図に示す。図の横軸は電流極と電位極の間隔(R)で、縦軸が見掛比抵抗(ρ_a)である。1977年の測定において、電極間隔の短い方の3点は第1図の電流極A-B'によるもので、間隔の長い方の6点は電流極A-Bによる測定結果である。電流電極と電位電極間の距離が長くなるほど、得られる見掛比抵抗は深部の比抵抗値を反映する。

南火口原における見掛比抵抗($R < 500$ mの部分)は、1977年~1979年の間に1/10以下に減少し、1979年~1980年の間に約2倍増加しているが、これがすべて比抵抗の時間変化を表わして

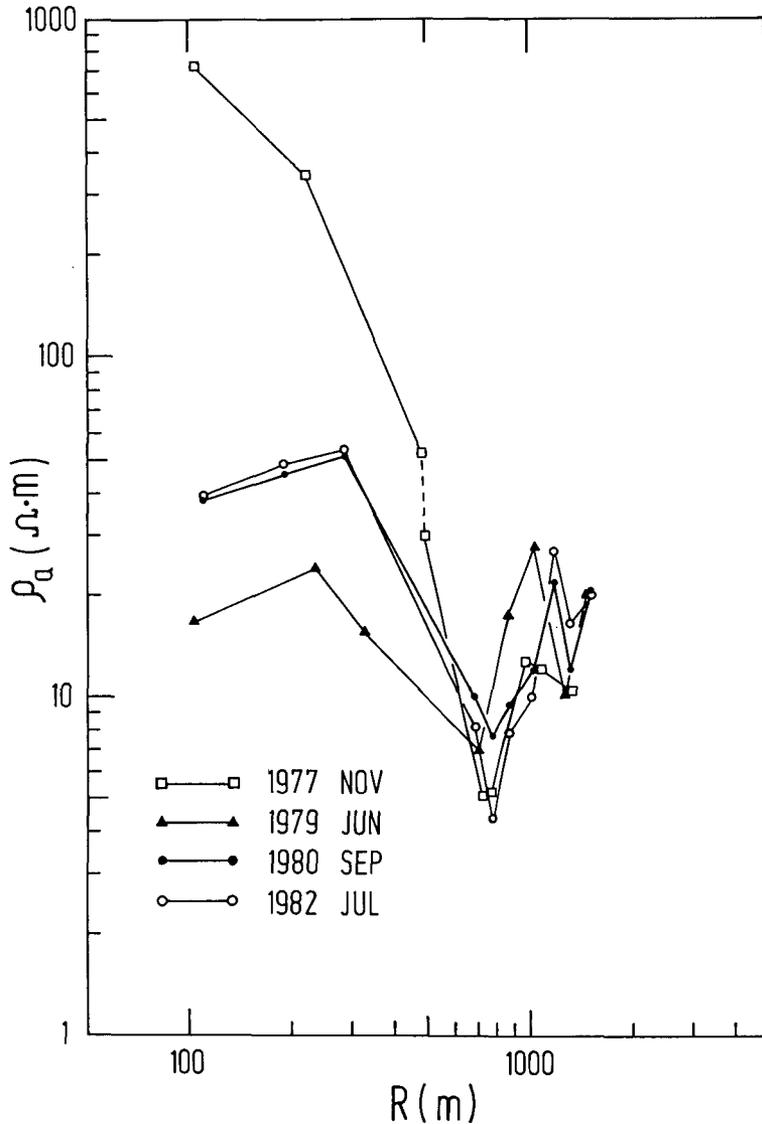


Fig. 2. Temporal variations of the apparent resistivities obtained by dipole-dipole arrangements at Usu volcano.

いるわけではない。電極配置の違いによる影響を含んだものである。実際、次節で述べる様に、南外輪山地下の見掛比抵抗は南火口原地下に比べて3～4倍高く、1977年の測定における電流極はこの高抵抗地帯に位置する。しかし、見掛比抵抗の変化量は、電流極の設置場所の違いで説明するには大きすぎ、南火口原地下の比抵抗は1977年～1979年の間にかかなり低下したものと思われる。1979年と1980・1982年の電極配置はほぼ同じであり、見掛比抵抗の約2倍の増加は、実際の南火口原地下の比抵抗の増加を反映したものである。従って、南火口原地下の比抵抗は、1977年から1979年の期間に減少し、その後1980年にかけて増加したことになる。1980年～1982年の

間はほとんど変化していない。南火口原では、1978年に至り地熱現象が顕著になり、7月～10月には銀沼火口で多数の水蒸気・マグマ水蒸気爆発が発生した。南火口原地下の見掛比抵抗が、1979年1月には1977年11月に比べて減少し、その後1980年9月には再び増加したのは、このような火山表面活動に関連したものと考えられる。

北火口原に設置した電位極によって得られた見掛比抵抗 ($R > 500 \text{ m}$ の部分) にも変化は見られるが、系統的なものではない。測定開始が、マグマが山頂火口浅部に貫入し軽石噴火を起こした後であったこと、また、噴火や地形変動によって途中で電極位置の変更をせざるを得なかったこと等のために、マグマの貫入に伴う火口原地下の比抵抗変化を検出するという目的を十分に達することはできなかった。

IV. 山頂火口原下の比抵抗及び chargeability 分布

はじめにも述べた様に、震源分布や地殻変動の分布から、マグマは山頂火口原中央の新山直下に貫入しているものと推定されていた。またU字型断層崖の南、小有珠と新山の境に位置する活発な噴気地帯 (I 火口) の噴気温度は、1982年8月現在も 700°C を越え、1977年8月の軽石噴火以来5年を経てもほとんど低下していない。噴気温度の低下が少ないのは、マグマが地表に露出せず cryptodome として地下にとどまっているためと思われる。そこで、地下浅部に貫入している高温のマグマ (あるいは、それによって加熱された周縁の高温域) の検出を目的として、山頂火口原地下の電気探査を1982年7月に実施した。

電極配置を第3図に示す。火口原を北東-南西に横断する測線に沿って、電極間隔 $100 \sim 3000 \text{ m}$ の様々な電極配置で約70測定を行い、火口原下の見掛比抵抗及び chargeability を求めた。

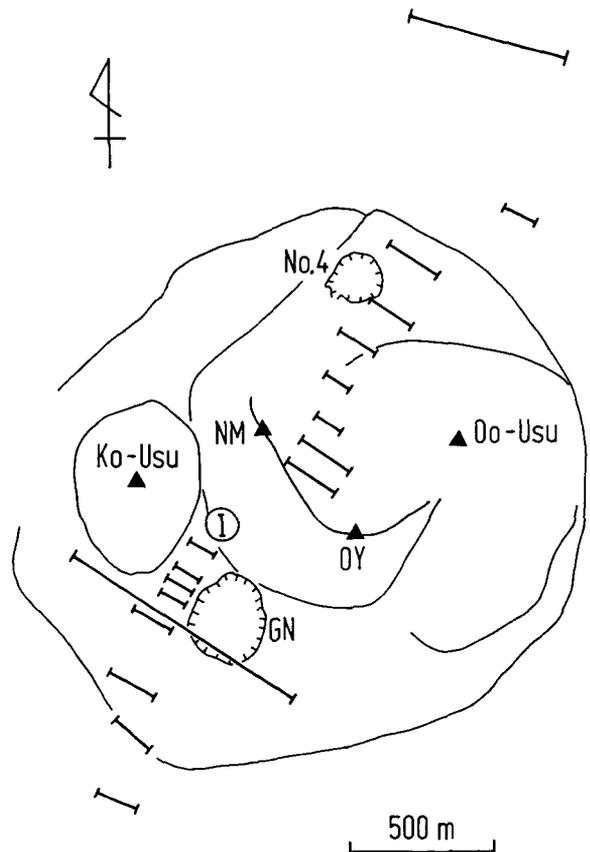


Fig. 3. Electrode arrangements for the dipole-dipole measurements in July 1982 at Usu volcano.

4. 1 見掛比抵抗分布

各測定で得られた見掛比抵抗値を、電流極と電位極を結ぶ直線を底辺とする直角2等辺3角形の頂点で代表させ、火口原を北東-南西に横断する鉛直断面に投影する。こうして得られた見掛比抵抗擬似断面を第4図に示す。この見掛比抵抗擬似断面は実際の比抵抗分布を示すものではないが、その定性的な様子を知るのによく用いられる方法である。図より、南外輪山地下は相対的に高比抵抗であり、南火口原浅部及び火口原中央の新山(NM)直下約1 km以深は低比抵抗であることが分る。これらの比抵抗低異常域のうち、南火口原には、1978年のマグマ水蒸気爆発によって生じたI火口や銀沼火口(GN)があり、それらは1982年現在も活発な噴気活動を続けている。従って、南火口原下の低比抵抗域はこれらの浅部熱水系を反映しているものと考えられる。

火口原中央部やや深部の低比抵抗域は、1977年以後の隆起中心直下に位置し、また、第5図の震源分布に示すように、ドーナツ形の地震活動空白域内に存在する。他方、坂田(1981)はインバージョンによって火口原下の3次元的なP波速度構造を調べ、新山直下にP波速度の高異常部を見出している。第6図にその結果を引用する。電気探査の測線とほぼ同じ北東-南西の断面で見ると、低比抵抗域がP波速度高異常域と極めて良く一致しているのが分る。昭和火山溶岩のP波速度の温度変化の測定(Shimozuru, 1960)によれば、速度は900°C付近までは温度上昇に伴って増加することが知られており、このことは、溶岩内に含まれる空隙が温度上昇に伴う岩石細粒の熱膨張によって減少することによると解釈されている(Shimozuru, 1960 ; Iida and Kumazawa, 1961)。また、昭和火山において実施された弾性波探査(根本他, 1957)によって、

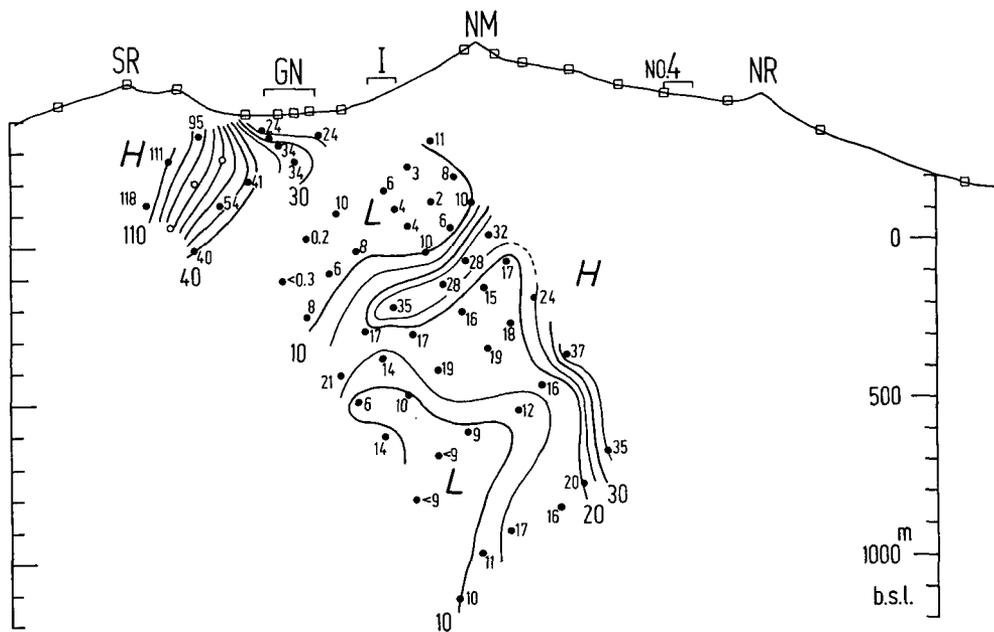


Fig. 4. Apparent resistivity pseudosections obtained by the dipole-dipole arrangements in July 1982 at Usu volcano. Unit of resistivity : $\Omega \cdot m$.

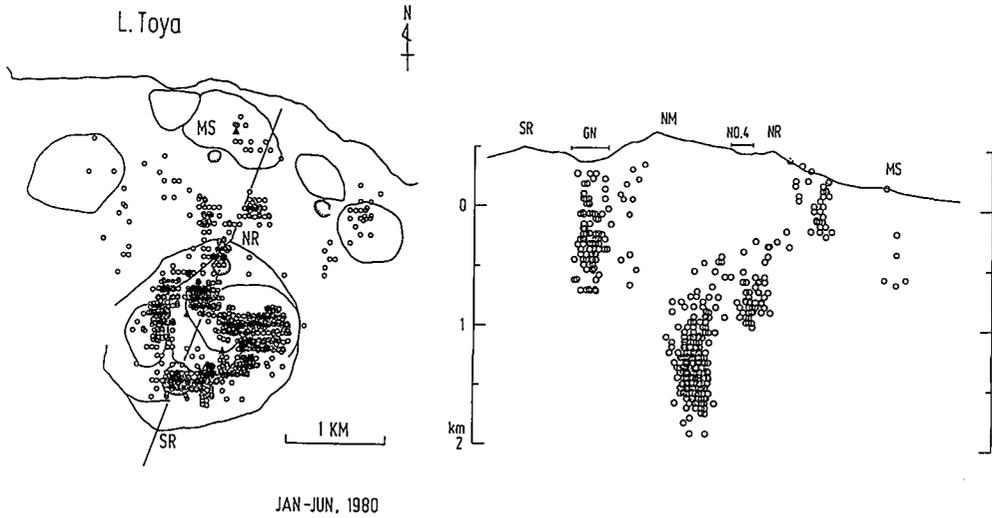


Fig. 5. Distribution of hypocenters of the earthquake swarm during January to June, 1980. An earthquake-free zone is clearly seen in the central part of the summit crater where remarkable doming has been occurring.

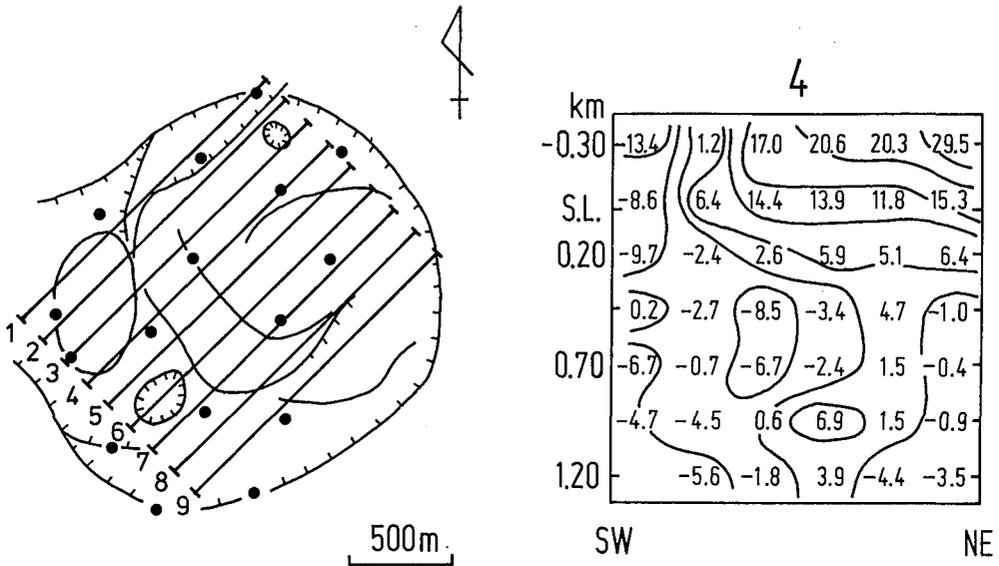


Fig. 6. A three-dimensional P-wave velocity structure beneath the summit crater of Usu volcano (after Sakata, 1981). The slowness perturbations are indicated in percent of the initial homogeneous velocity model ($V_p = 3$ km). Sixteen seismographs were installed on the summit area (dots) to obtain P-arrival data.

探査の行われた 1954 年当時、まだ 800℃ を越える高温状態にあったドーム内部の P 波速度は、周辺より高く約 4 km/s と求められている。以上を総合すると、有珠山頂火口原中央部の新山直下約 1 km (海面下 300~500 m)、第 5 図の震源分布図において震源に囲まれた地震空白域の基部付近、に高温のマグマが貫入していると考え、上記 4 種の独立な観測結果 (地殻変動分布・震源分布・地震波速度分布・比抵抗分布) は統一的に解釈することができる。

4. 2 chargeability 分布

chargeability (m) は媒質の分極性を表現するパラメタのひとつで、大地に流す直流電流の送信を停止した直後の受信電位差 (V_s) と送信停止直前の受信電位差 (V_p) との比 (V_s/V_p) で定義される。しかし、 V_s そのものの測定は様々な電磁カップリングの影響やノイズのために困難であり、通常は受信電位差の減衰曲線 (V_t) の一定区間を積分して得られる平均値を用いる。

$$m = \frac{\int_{t_1}^{t_2} V_t dt}{V_p(t_2 - t_1)} \quad (2)$$

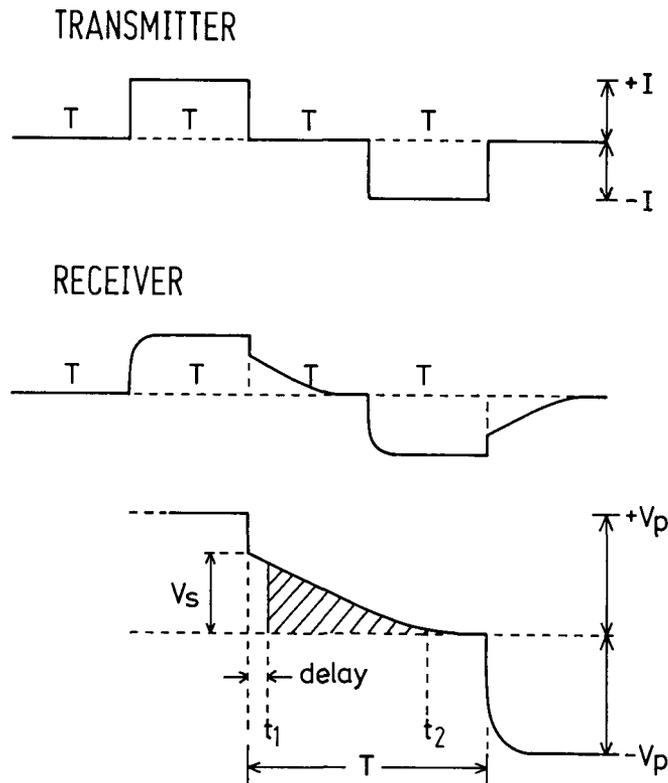


Fig. 7. Pulse characteristics and chargeability (m) measured by the IPR-8 time domain induced polarization receiver. Chargeability is estimated by integrating the transient voltage V_t over a period from t_1 to t_2 . In the present survey, $T=2$ sec, $t_1=130$ msec, and $t_2=1690$ msec.

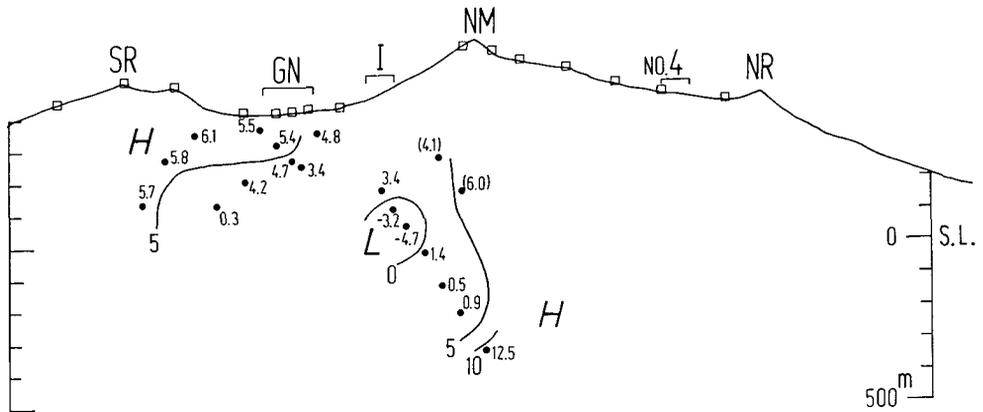


Fig. 8. Apparent chargeability pseudosections obtained by the dipole-dipole arrangements in July 1982 at Usu volcano. Unit of chargeability: mV/V .

ここで、 t_1 , t_2 はそれぞれ積分開始、終了の時間である。本観測に用いた IP 受信機 (Sintrex, IPR-8) の観測原理を第 7 図に示す。送信パルス幅は $T = 2$ sec, 積分区間は $(t_1, t_2) = (130 \text{ msec}, 1690 \text{ msec})$ に設定した。

得られた見掛けの chargeability の鉛直疑似断面を第 8 図に示す。各測定値の単位は mv/v である。電流電極と電位電極の間隔を大きくとるに伴って受信電位差が微弱になり S/N が悪くなるために、全部の電極配置に対して見掛け chargeability を得ることはできなかった。分布の特徴として、火口原南部の I 火口地域下で m 値が負になっていることがあげられる。成層構造において、低抵抗で分極性の大きな層の下に、より高抵抗な層が存在する場合には、見掛けの chargeability が負になることが知られている (Nabighian and Elliot, 1976)。第 4 図と第 8 図を比較することにより、I 火口地域下数 100 m の浅部は、低抵抗で分極性が大きくなっているものと推定される。この地域は、地熱活動が活発であり、地表でも多量の硫化物が分布している。従って、上記の低抵抗高分極性はこの地域の地熱活動に起因するものと推察される。

電気探査に際して、比抵抗のみでなく、IP (Induced Polarization) 効果をも測定することにより、探査結果のより確実な解釈を行うことができる。また、IP 効果は、適当な条件下では比抵抗よりも鋭敏に構造を反映することができる。火山地域、特に浅部熱水系の探査においては、両者を並行して測定することが理想的である。

V. お わ り に

1977 年 8 月の有珠山の軽石噴火後も、デイサイトマグマは山頂火口原への貫入を続け、地震活動・地殻変動をひき起こしていたが、1982 年 3 月に至りついに終息した。この間、地震学的・測地学的諸観測によって、活動の推移及びマグマの山頂火口原への貫入過程が研究されて来た。デイサイトマグマの貫入過程を、さらに詳細に時間・空間的に解明することを目的として、地震計測・

測地観測とは独立な観測の一手法として、人工電位法による電気探査を1977年11月以来くり返した。また、貫入マグマの空間的分布を知るために、より広域の電気探査を1982年7月に実施した。得られた結果をまとめると以下ようになる。

- 1) 1978年の火口原南部における活発な表面現象(水蒸気・マグマ水蒸気爆発と浅部地熱活動)に対応して、浅部の見掛比抵抗の減少が観測された。
- 2) マグマの火口原への貫入に伴う、より深部の比抵抗の系統的な変化を検出することは、測定開始が軽石噴火の後であったことと、途中で電極配置の変更をせざるを得なかった等の制約もあり、できなかった。
- 3) 山頂火口原の比抵抗及び分極性の探査によって、火口原南部の最も活発な地熱地帯であるI火口下部に低抵抗・高分極域を見出した。
- 4) また、新山直下に検出された低抵抗部は、地殻変動分布・震源分布・地震波速度分布等の観測結果をも参照すると、高温デイサイトマグマの貫入域であると推定される。

以上の結果は、浅部熱水系の構造探査や、さらにより深部への高温マグマの貫入過程を検出するうえでの電気探査という手法の有効性を示すものであり、噴火予知の観点からも興味深い。

謝辞 電気探査の実施に際して、助力頂いた、有珠火山観測所の鈴木敦生技官に感謝します。また、地球物理学教室地震学・火山学講座の大学院生・学部学生諸氏にも多大の支援を願いました。記して謝意を表します。

文 献

- IIDA, K. and M. KUMAZAWA, 1961. Measurements of elastic velocities in volcanic rocks at high temperature by means of ultrasonic impulse transmission. Part 2. *J. Earth Sci.*, Nagoya Univ., **9**, 33-35.
- Nabighian, M. N. and C. L. Elliot, 1976. Negative induced-polarization effects from layered media. *Geophysics*, **41**, 1236-1255.
- 根本忠寛・早川正己・高橋清・小穴進也, 1957. 昭和新山地熱地帯の火山地質および地球物理・地球化学的研究. 地質調査所報告, No. 170.
- OKADA, Hm., H. WATANABE, H. YAMASHITA and I. YOKOYAMA, 1981. Seismological significance of the 1977-1978 eruptions and the magma intrusion process of Usu volcano, Hokkaido. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **9**, 311-334.
- 坂田昇, 1981. 有珠火山の3次元速度構造. 北海道大学理学部修士論文.
- SHIMOZURU, D., 1960. Elasticity of rocks and some related geophysical problems. *Japan Jour. Geophysics*, **2**, 1-85.
- YOKOYAMA, I., H. YAMASHITA, H. WATANABE and Hm. OKADA, 1981. Geophysical characteristics of dacite volcanism—The 1977-1978 eruption of Usu volcano. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **9**, 335-358.