

桜島火山における ELF・MT 法による比抵抗測定

西 村 進・茂 木 透

THE MAGNETOTELLURIC SURVEY AROUND SAKURAJIMA VOLCANO, SOUTHERN PART OF KYUSHU, JAPAN

By *Susumu* NISHIMURA and *Tohru* MOGI

Synopsis

The ELF・MT surveys have been conducted in the Sakurajima volcano, Southern part of Kyushu. The spatial distribution of the apparent resistivities reveals the variable distribution on the value depend on locations and the existence of low resistivity belt along the NNE-SSW trend via the area of Harutayama Observatory. This trend was referred from the distribution of hypocenters of A-Type earthquakes and also the trend of the level points changing the gravity values and its gradients.

1. は じ め に

桜島火山は本邦の数多い火山のなかでも、もっとも危険な噴火活動をくりかえして来た火山である。1955年秋からつづいている南岳の山頂噴火活動は1972年10月の爆発を契機に再び激化し、1985年には474回におよんだ。これは1955年秋からの活動が始まってからの爆発回数が最高であった。

桜島火山総合調査もなされて、桜島の噴火の様子はかなり判るようになってきた。また筆者の一人も参加して、1963年12月以来ほぼ毎年重力およびその鉛直勾配の経年変化を測定している¹⁾。桜島の電気抵抗測定も Schlumberger 法や Dipole mapping 法で測定された²⁾³⁾。

今回は、我々が開発をすすめて来た、ELF・MT 探査⁴⁾⁵⁾を桜島火山に適応して、火山体の比抵抗分布を調べることとした。

2. 探 査 原 理

地盤の比抵抗は有限であって、地表外部磁場の変動に伴なって地盤内部に電流が誘導される。更に誘導された電流は二次的な磁場を生じる。このように誘導される電場と磁場の大きさは、地盤の比抵抗分布によって決まる。そこで、ある地点で直交する電場と磁場の成分の測定を行えば、その両者の比から地盤内部の比抵抗を求めることができる。また、地盤内部に誘導される電磁波はその周期が長いほど深く、短かい程浅く通るので、多くの周波数を測定し解析することによって、種々の深さでの地盤の比抵抗値が推定できる。

MT 法の信号源は、主として地磁気の変化および雷放電である。今回測定対象としたのは自然界の ELF 帯にピーク値を示すシューマン共振現象に由来する周波数7.8, 14.0, 20.3 Hz である。浅い所の測定には VLF 帯の 17.4 kHz をえらんだ。このような電磁波の波源と受信間の距離が充分長い場合、平面電磁波と仮定できる。

平面電磁波の理論によれば地表で観測されるお互いに直交する電場、 E_x (V/m)、と磁場、 H_y (A/m) の

水平成分の大きさから、大地の見掛け比抵抗値、 $\rho_a(\Omega\cdot m)$ 、は次式で求められる。

$$\rho_a = \frac{1.26 \times 10^8}{f} \sqrt{\frac{F_x^2}{H_y^2}} (\Omega\cdot m) \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 f は周波数を示す。この式で与えられる ρ_a は平面電磁波が均等な大地に垂直に入射した場合、大地の比抵抗値に一致するが、一般に不均一な比抵抗分布をもつ大地に対しては、いくつかの測点において周波数の関数として得られる ρ_a の分布をもとに、モデル計算を行ない、比抵抗分布を推定することになる。

この測定によって得られる可探深度は、電磁波の強度が e^{-1} になる深さであるスキンドープス、 $\delta(m)$ 、を一つの目安として用いる。スキンドープス δ は

$$\delta \approx 500 \times \sqrt{\frac{\rho}{f}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

で求められる。可探深度は、測定に用いられる例えば地盤の抵抗が $1000 \Omega\cdot m$ とすれば、 $f=7.8, 14.0, 20.3 \text{ Hz}$, 17.4 kHz に対して、それぞれ $\delta=5.6, 4.2, 3.5 \text{ km}$, 120 m となる。

3. 探 査 方 法

測定に用いる機器は、東北金属工業株式会社に製作を依頼した ELF・MT メーター、磁気センサーとしてインダクション・コイルを用い、電場強度は銅製棒電極により電位差を測定することにより求めた。その他、受信波形のモニター用としてシンクロスコープを用い、現場では MT メーターの駆動とデータ処理用としてハンド・ヘルド・コンピューターを用いる。ELF・MT メーターは、電場・磁場成分増幅部、出力電圧表示部、波形モニター部よりなる。電場・磁場増幅部はアンプのほか、商用周波数 (50, 60 Hz) とその高周波を除去するフィルターとシューマン共振周波数に対するバンドパス・フィルターなどから構成されている。今回は ELF 帯の 7.8, 14.0, 20.4 Hz および、VLF 帯の 17.4 kHz の電磁波について、水平磁場 2 成分、水平電場 2 成分を測定した。この他鉛直磁場の測定は行なった。これらの測定結果から、2 方向のテン



Fig. 1 Locations of the ELF-MT sounding sites in Sakurajima volcano.

ソル見掛け比抵抗や、スカラー見掛け比抵抗、インダクション・ベクトル等が求められるが、今回はスカラー見掛け比抵抗について検討を加える。

4. 測定結果

測定は人工的ノイズの少ない所をえらび、Fig. 1 に示す27点について実施した。各測点では、東西方向の磁場と南北方向の電場から求まるスカラー見掛け比抵抗、 ρ_{ENS} 、値と、南北方向の磁場と東西方向の電場から求まる見掛け比抵抗値、 ρ_{REW} 、との相乗平均値を求めた (Table 1)。

各周波数の値を模式的に示したのが、Fig. 2, 3, 4, 5 である。7.8 Hz の周波数では一番深度の深い見掛け比抵抗値を示すが (Fig. 2)、これによると、有村町の東測点 31 から黒神町測点 27 を結ぶ線より東では 500 Ω -m より低いが、その西測は 500 Ω -m より高い。野尻町測点 5 から春田山測点 3、23 から西道測点 10 にかけて、比較的低い比抵抗値を示す谷間を作っている。500 Ω -m より低い地域は赤水測点 21, 22、赤生原測点 1 より西測でみられる。しかし、赤水より野尻にかけては低抵抗域になっている。

14.0 Hz の周波数 (Fig. 3) では、Fig. 2 とほぼ同じ傾向を示しているが、野尻町—春田山—西道の低抵抗

Table 1 Mean resistivity in the Sakurajima, Kagoshima.

Station No.	Mean resistivity (Ω -m)			
	7.8 Hz	14.0 Hz	20.4 Hz	17.4 kHz
1	299	400	361	1003
2	625	542	180	2454
3	85.4	141	381	330
4	2175	1547	4215	12172
5	409	251	144	866
6	1499	511	299	1277
7	899	695	648	1491
8	4258	2726	1355	13967
9	7464	14643	2314	1264
10	588	428	317	693
11	9891	6206	6615	2475
12	1233	3380	4806	1042
13	751	510	689	1300
14	893	668	1155	2825
15	1538	2636	2136	11679
16	19967	23818	6365	2278
21	168	203	253	715
22	193	112	76.8	1089
23	386	375	482	703
26	670	693	1955	1378
27	220	107	80.6	1551
28	297	223	388	434
29	72.5	156	199	541
30	254	100	40.5	799
31	82.1	9.51	29.1	1011
32	28.6	83.8	19.7	212

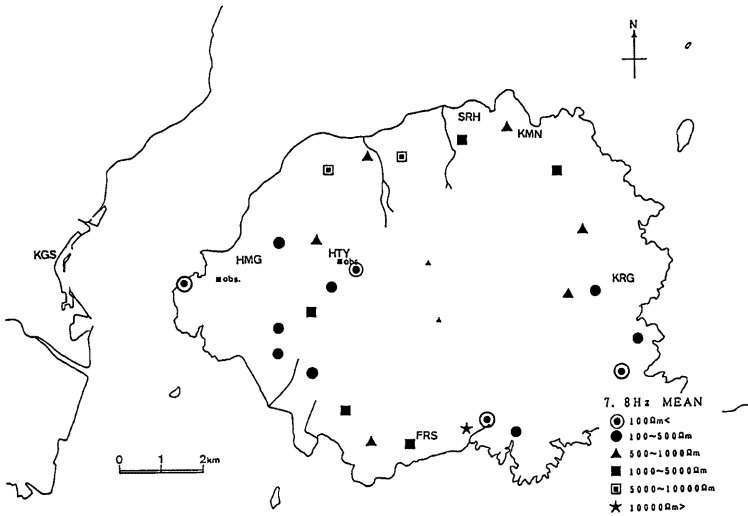


Fig. 2 Mean apparent resistivity of ρ_{ENS} and ρ_{EEW} of 7.8 Hz, as shown in Table 1.
 ρ_{ENS} : Electric field was kept in direction of N-S.
 ρ_{EEW} : Electric field was kept in direction of E-W.
 obs: Sakurajima Volcanological Observatory, Kyoto Univ.
 HMG: Hakamagoshi. HTY: Harutayama. SRH: Shirahama. KMN: Komen.
 KRG: Kurokami.

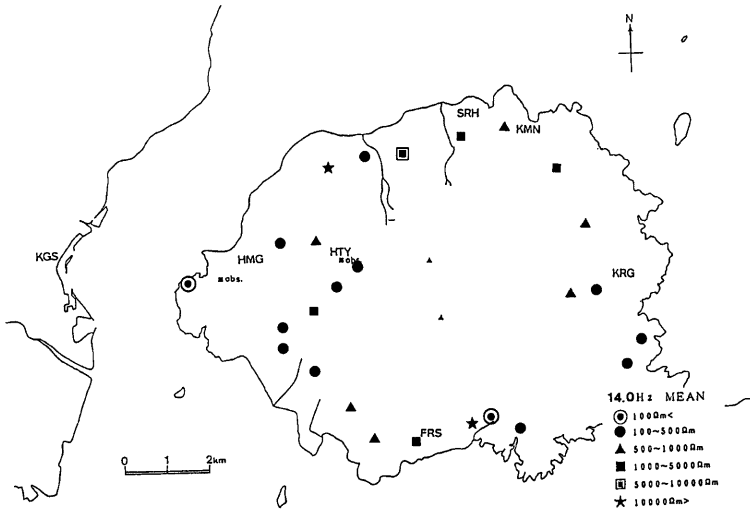


Fig. 3 Mean apparent resistivity of 14.0 Hz.

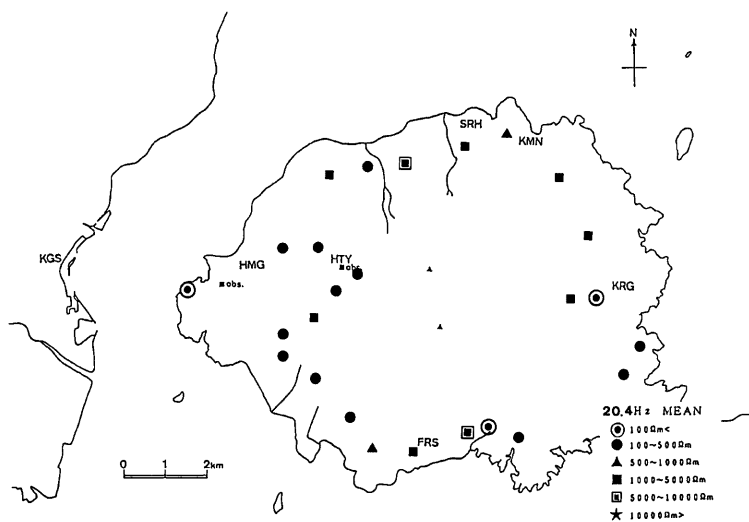


Fig. 4 Mean apparent resistivity of 20.4 Hz.

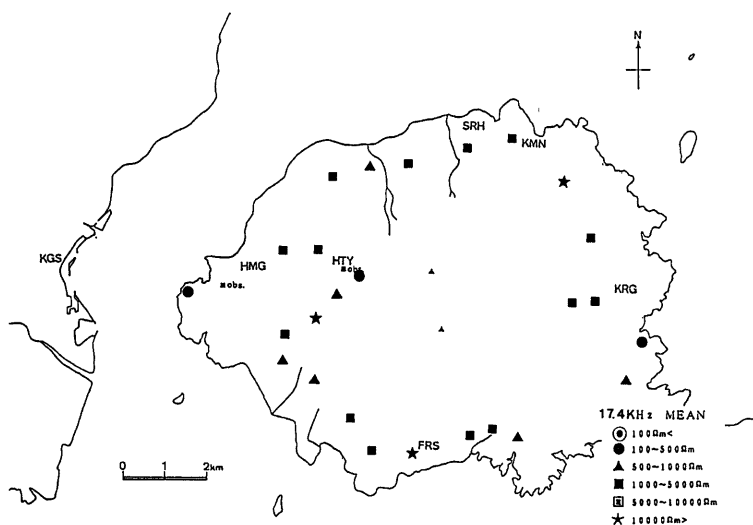


Fig. 5 Mean apparent resistivity of 17.4 kHz.

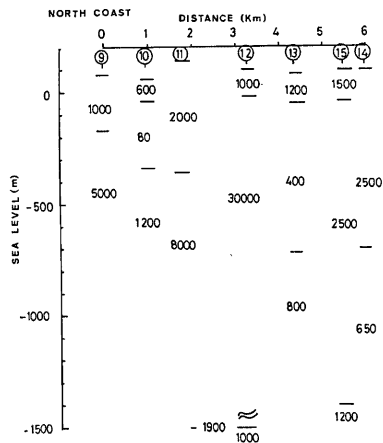


Fig. 6 A subsurface structure derived from ELF-MT sounding along the north coast of Sakurajima.

③: Location of No. 3, as shown in Fig. 1.

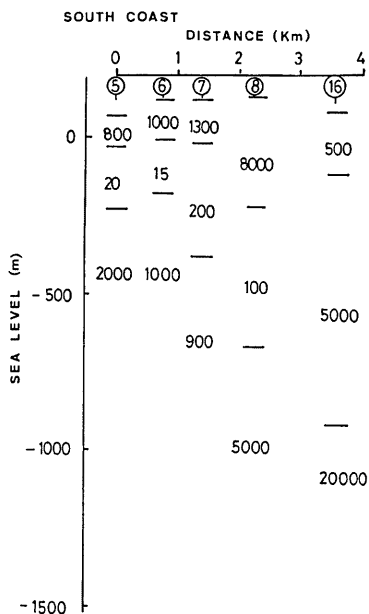


Fig. 7 A subsurface structure derived from ELF-MT sounding along the south coast of Sakurajima.

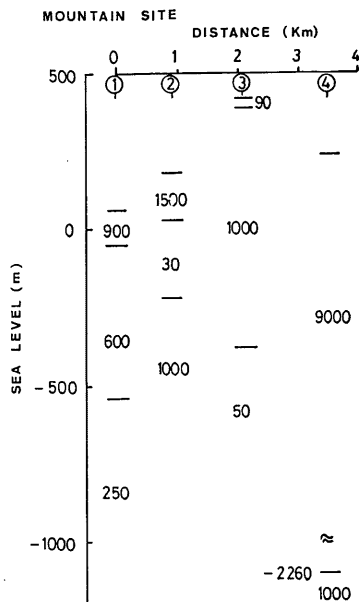


Fig. 8 A subsurface structure derived from ELF-MT sounding along the road of mountain site.

の谷間がより明確となっている。

20.4 Hz の周波数 (Fig. 4) でも, 7.8, 14.0 Hz の周波数での比抵抗分布とはほぼ同じ傾向であるが, 桜島の西側の低比抵抗帯が両者よりも広がっている。

17.4 kHz の周波数の非常に浅い部分の比抵抗分布は, 深い部分とはその分布が非常にことなり, 春田山, 長崎鼻測点28, および熔岩道路測点32を除き全体にわたり 500 Ω -m より高い。春田山測点3は温度の高い部分であり (別に春田山での掘きき井2本の結果からも考えられるが), 他の2点は海水の影響と考えられる。

周波数が小さい電磁波による見掛け比抵抗ほど深い地盤の影響を含むことを利用して, 測定した4つの周波数とそれぞれの見掛け比抵抗値との関係から, 水平層構造を仮定して解析を測点1~16のデータについて行なった (Fig. 6, 7, 8)

この結果によくと, ほとんどの層の比抵抗値は 1000 Ω -m 以上を示していて, 通常の火山岩が示す比抵抗値の範囲にある。

測点3では海拔-400 m 以深で, 極めて低比抵抗値を示している。測点1でも -550 m 以深に低比抵抗値がみられる。

南岸沿いでは測点7が全体として低比抵抗値を示す。測点8は -200~-600 m あたりに低比抵抗値を示している。北岸沿いでは, 測点10が, 周辺にふらべて, 低比抵抗値を示す。また, 測点13, 14が低比抵抗値を示す。

5. 結果の検討

地盤や岩盤の比抵抗値が小さいのは, 破碎帯があり含水率が大きい所, また同じ岩石でも温度が高いと比較的低比抵抗値を示す。

行武らによる Schlumberger 法の結果をみると, 春田山では 60 m 以浅では数 k Ω -m, 以深では 580 Ω -m

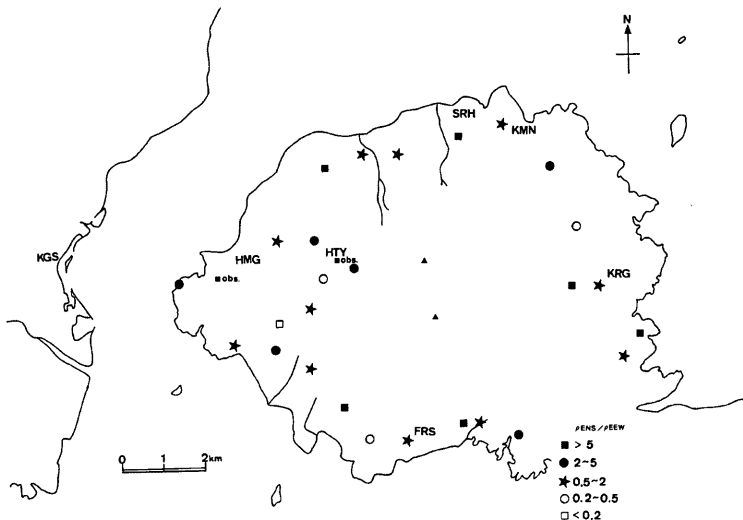


Fig. 9 An anisotropic rate of ρ_{ENS}/ρ_{EEW} .

と低く、ELF・MT 探査と矛盾しない。行武ら²⁾の白浜の測点は、今回の測点12の山手にあり、2通りの解を出されているが、その何れとも良く似た結果を得ている。黒神地区の行武²⁾らの結果は、今回の測点27のところで、深い所(200 m前後)で70~20 Ω -m と非常に低い値をとるが、これは今回の結果では、もっと深い部分も低く、測点26と27の間で、低比抵抗域と高比抵抗域が境している。行武ら²⁾の解釈では、昔の海岸に近く、かなり空隙率が高く、海水の影響を考えているが、かなり深くまで低比抵抗であることは海水の影響とは考えにくく、火山の山体が高比抵抗を示し、その両側に低比抵抗域が存在すると解釈する方が妥当とみられる。

登山路の測点1, 2, 3の低比抵抗値は、測点1, 2は新しい熔岩のみとめられない所で、シラスが深くまで存在すると考えられる。測点3は春田山の掘さくの岩芯からみて厚い溶岩層の上で、この深部の低比抵抗値は、前述の如く、野尻町—春田山—西道の低比抵抗の谷間(多分、構造線)の上にあるのと、高温ガス体のための低比抵抗とみられる(別に報告する予定である)。測点はないが、火山体の高比抵抗のNNE-SSWの方向の带状域の中で、測点3から南岳、東側の鍋山まで、高温ガス体の上昇のため深部では、低比抵抗を示しているものと考えられる。

南北方向の電場をとったときの見掛けの比抵抗値と、東西方向に電場をとったときの見掛けの比抵抗値の比の大きいまたは小さいところは、比抵抗値の異方性がみられるところであるが、この異方性の強いところはやはり、低比抵抗帯から高比抵抗帯に変わる所でみられる(Fig. 9)。

この近辺でのA型地震の震源分布を⁷⁾⁻¹¹⁾みると、Fig. 10に示すように、野尻町—春田山—西道の方向で、この方向に構造線がみられ、それに沿って溶岩の動きがあることが示される。

重力の永年変化、重力鉛直勾配の永年変化の観測は別に報告する予定であるが、野尻—春田山—西道の方向に変化する点がほぼ並んでいることから、上述の構造上で物の移動のあることを示している。

6. ま と め

ELF・MT 測定の結果、次のことがみとめられた。

- (1) 有村町から黒神町を結ぶ線より東、また、赤水から赤生原を結ぶ線より西は、かなりの深度まで、低比抵抗域で、その間が高比抵抗域とみられる。
- (2) 高比抵抗域の中で、野尻—春田山—西道の方向に比較的低い比抵抗の谷間がみられる。また、南海岸の赤水から野尻にかけては周囲より比較的低抵抗を示している。
- (3) 前述の高比抵抗域と低比抵抗域の境の近くでは、南北方向に電場をとったときの見掛け比抵抗値と東西方向に電場をとったときの見掛け比抵抗値の比が1から非常にはなれている。すなわち異方性が大きい。

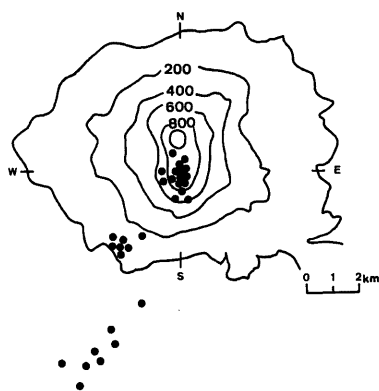


Fig. 10 Locations of epicenters of "A" type earthquakes (1976-1980).

文 献

- 1) 阿部悦夫・桂 京造・西村 進・江頭庸夫：(1975)，鹿児島県始良カルデラ付近の重力異常と重力変

- 化について，桜島火山の総合調査報告，pp. 58-61.
- 2) 行 武毅・吉野登志男・歌田久司・河村 謙・永野哲郎・加藤諄司・馬場広成・仲谷 清・田中良和・増田秀晴：(1980)，桜島における電気抵抗測定，第3回桜島火山集中総合観測，pp. 55-62.
 - 3) 石川雄秀・江頭庸夫・田中良和・植木貞人：(1981)，桜島火山，自然災害特別研究成果，pp. 153-179.
 - 4) 茂木 透・西村 進・見野和夫・貞広太郎：(1985)，近畿北西部地域の活構造(1)——山崎断層東方延長地域——地震，38，pp. 57-66.
 - 5) 城森 明・木下哲生・茂木 透・西村 進：(1985)，自然電磁波を用いる電磁探査法の活断層調査への適用性，土と基礎，33，pp. 37-40.
 - 6) 半田 駿・住友則彦：(1979)，ELF 帯自然雑音を用いた活断層周辺での MT 探査(山崎断層)，九十九地学，14，pp. 21-31.
 - 7) 加茂幸介・西 潔・古沢 保・赤松純平・吉山良一・角田寿喜・吉留道哉：(1975)，地震活動調査，桜島火山の総合調査報告，pp. 1-5.
 - 8) 加茂幸介：(1977)，桜島火山活動の経過，第2回桜島火山の集中総合観測，pp. 1-5.
 - 9) 加茂幸介・西 潔・中村理祐：(1977)，桜島火山の地震活動について，第2回桜島火山の集中総合観測，pp. 6-12.
 - 10) 加茂幸介：(1978)，桜島における噴火の前駆現象と予知，火山第2集，23，pp. 53-64.
 - 11) 加茂幸介：(1980)，桜島火山活動の経過，第3回桜島火山の集中総合観測，pp. 1-4.