

伊豆大島火山の広帯域アレイMT測定

小川康雄・高倉伸一・内田利弘・当舍利行・中塚正・
曾屋龍典・中井順二・大熊茂雄・二宮芳樹・森尻理恵

Wide-band Array Magnetotelluric measurements
across Izu Oshima Volcano

Y.Ogawa, S.Takakura, T.Uchida, T.Tosha, T.Nakatsuka,
T.Soya, J.Nakai, S.Okuma, Y.Ninomiya, and R.Morijiri
(Geological Survey of Japan)

1. はじめに

われわれは、伊豆大島を西南西-東北東に横切る測線上でMT法測定を行ない、深度10km程度までの構造を推定した。第1図に本研究のMT法測点を示す。これまで、伊豆大島火山においては、地下の比抵抗構造を解明するために、シュランベルジャー法¹⁾²⁾³⁾ELF・VLF-MT法⁴⁾CSAMT法⁵⁾⁶⁾による探査が行われてきた。これらにより、標高200m~0mより深部に顕著な低比抵抗層が見いだされている。この低比抵抗層は、地下水層であると考えられている。ところが、この低比抵抗層以深の比抵抗構造については、未だ解明されていない。この原因は、調査地が島であるために、シュランベルジャー法ではAB/2が十分に大きくできないこと、CSAMT法では、低周波数(<10Hz)でニアフィールド効果を受けないように十分に送・受信間距離がとれないことにある。また低比抵抗層自身が電磁場の透入を困難にしている。

しかしながら、火山活動、地震活動の基礎資料としては、地下数kmまでの比抵抗構造が重要であり、より深い構造探査が望まれる。ULF帯を含む広帯域のMT法は、このために適している方法の一つである。これまでに伊豆大島において、ULF帯の電磁場観測としては、地磁気変動観測が主として行われてきた⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾。われわれのMT法測定は、これまでの研究に比べて、周波数帯が連続的に広く(周波数320Hzから0.0005Hz)、測点を測線上に密に並べていることに特徴がある。これにより、地下10km程度までの比抵抗構造を高い空間分解能で求められる可能性がある。ただし、すでに多くの研究が示しているように、低周波数になるほど、周囲の海水がMT法の応答に効いてくるので、注意が必要である。

2. MT法データ取得

データ取得には、地質調査所所有する広帯域MTシステム2台を用い、各測点で電場2成分磁場3成分を測定した。2台のレシーバーは、それぞれ外部時計装置を用いて同期・同調させ、測線内の2点を相互にリモート・レファレンスとした。MT法測点は第1図の丸印付近に磁場センサーを設置し、測線方向に200m、それと直交する方向に50mの地電流用ダイポールを設置した。測線方向のダイポールは、隣の測点同士で縦目なく配置される。これによって、地表浅

部に存在する比抵抗異常によって起こるスタティック効果を完全に検出し、後に除去することができる。このように電極を空間的に継目なく配置することは、EMAP法¹¹⁾¹²⁾で提案されている。

データ取得は、1晩単位で行い、18時から周波数320Hzから8Hzまでについて2時間計測し、次いで、周波数8Hz未満を11.5時間計測した。1測点につきこの測定を2回以上行った。

リモート・レファレンス処理は、地質調査所にて行なった。モードの選択については、すべての測点で構造の走行が本測線に直交すると仮定して、測線方向の電場のモードをTM(H-polarization)、それと直交する電場のモードをTE(E-polarization)とした。

3. 測定データ

第2図は測線東部の測点22のデータである。見掛比抵抗曲線は3層構造を示し、これまでとらえられなかった深部の高比抵抗層がとらえられている。この測点は、東海岸から2km程度しか離れていない。そのため、海陸のコントラストによって、周波数が下がるにつれ、TMモードの見掛比抵抗は増加し、TEモードの見掛比抵抗は減少することが当初予想された。TMモードの観測値は予想通りであるが、TEモードは、予想に反する。TEモードでも、TMモードのように低周波数で見掛比抵抗曲線が増加する。この原因としては、伊豆大島の東部の古い火山体が高比抵抗としてとらえられていることが考えられる。また、火山島下に浸入している海水が、海陸の比抵抗コントラストを実質的に低下させていることも考えられる。

第3図は、測線の西端の測点64の探査曲線である。この測点は三原山の南西のカルデラ壁付近にある。ここでは、TMモードの見掛比抵抗曲線が低周波数で下がり、TEモードが低周波数で上がるという傾向を示す。これは海岸線効果の逆の現象であり、測点64がラテラルな比抵抗構造の境界付近にあり、かつ境界の低比抵抗側にあることを意味している。これは、カルデラの構造、あるいは熱水分布、あるいはマグマだまりを考える上で非常に興味深い。

第4図、第5図に、見掛比抵抗の疑似断面をTM, TEモードについてそれぞれ示す。これらの特徴は以下のようにまとめられる。(1)TMモードでは全測点で周波数300Hzから10Hzに向かって見掛比抵抗が下がる。これはこれまでの電磁気探査でも得られている。(2)TMモードでは、測線の東側に近づくほど、また周波数が下がるほど、見掛比抵抗が増加する。この原因の一つは、海岸線効果である。(3)測線西端では、(2)のような海岸線効果が顕著でない。(4)TEモードでは、測線の東端付近であっても海岸線効果が顕著でない。この原因としては、東海岸付近では、海水が浸入し、海陸の比抵抗コントラストを減少させていること、その低比抵抗層の下に高比抵抗体が存在することが考えられる。

4. 2次元インバージョン解析

地下構造がほぼ2次元構造で、地下浅所には3次元的に局所的な異常が存在する構造を想定し、2次元インバージョンを行った。TMモードのモデル計算では、スタティック効果は、2次元モデルに組み込むことができ、見掛比抵抗・位相とも説明できる。一方、TEモードの2次元モデル計算では、スタティック効果が見掛比抵抗をシフトことを実現できない。そのため、TMモードの見掛比抵抗、TMモードの位相、TEモードの位相をインバージョンのためのデータ

として用いた。インバージョンでは、観測値と計算値とのmisfitを最小にするのみならず、モデルの比抵抗分布が空間的に緩やかに変わることがを要請する拘束条件を課した¹⁵⁾¹⁶⁾。初期モデルは $100\Omega\text{m}$ で一様な構造とした。

現在得られているモデルを第6図に示す。地表から200m程度の深度まで数 $100\Omega\text{m}$ の高比抵抗層が存在し、その下に数 Ωm の低比抵抗層がある。ここまでは以前の研究でも明らかにされている。本研究では低比抵抗層の下面が測線東部で深度2km程度に推定された。深度2km以深の高比抵抗層は、大島火山の下部の古い火山体を表していると考えられる。測線西部では低比抵抗層の底が4km程度まで深くなる。ただし、このモデルでは測点60より東側の応答はほぼ説明できるが、測線の西端の測点62,64についてはフィットが不十分であり、測線西端およびその外側の構造は再検討する必要がある。

5. 考察と結論

MTと同じ測点で自然電位¹⁵⁾と重力¹⁶⁾とを測定している。これらは、MTの結果を解釈する上で重要である。低比抵抗層は島の東部から三原山に向けて厚くなる。特に厚くなるのは測点40付近から西側である。一方、自然電位の測定によると、測点40より西側には地下水の上昇流による異常が見いだされている。MTと自然電位の結果を合わせると、以下のようにまとめられる。(1)測点40より東側では、海水の浸入による低比抵抗層はあるが、地下水の流動は標高に支配されたポテンシャル流によるものである。(2)測点40より西側では、帯水層が4km程度に厚く、活発な熱水対流系が形成されている。また、重力異常から求めた密度構造との定量的な相関については、現在解析中であるが、高比抵抗基盤が西下がりになる傾向は、重力異常とも整合性がある。

6. 謝辞

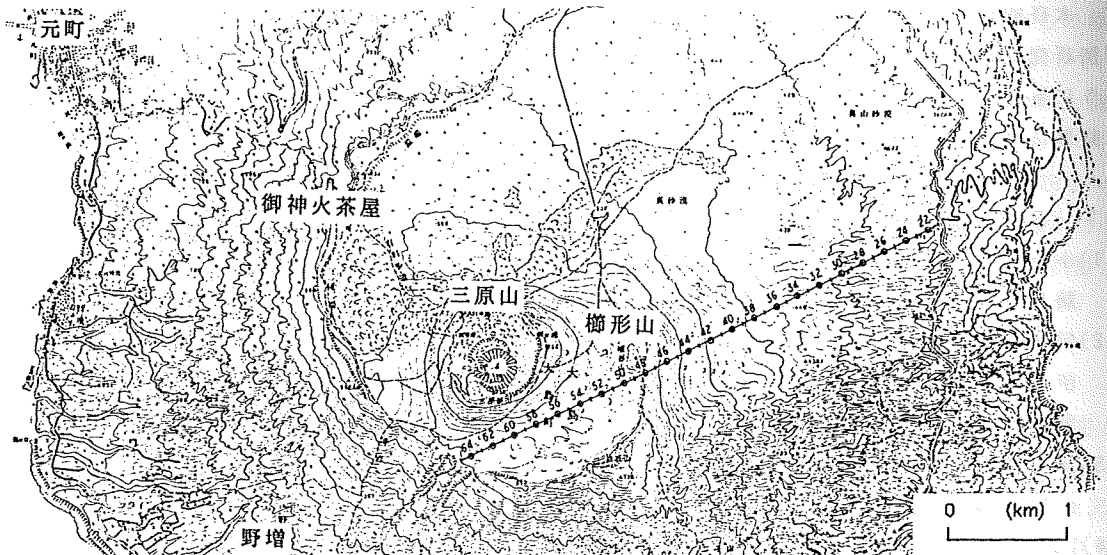
本研究は、東京都の受託調査『伊豆大島火山の電気比抵抗構造調査』および工業技術院特別研究促進費『活火山の地質及び地下構造に関する研究』によって行われた。本研究を行なうに当たり、東京大学地震研究所、気象庁地磁気観測所の関係者の方々、大島支庁、大島警察署にはご協力いただきました。

7. 参考文献

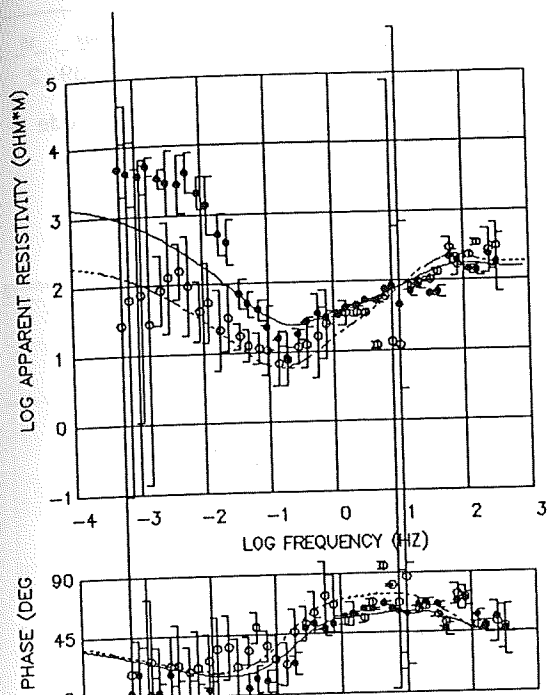
- 1) 小野吉彦・陶山淳治・高木慎一郎、伊豆大島における直流法による電気探査について、地調月報、第12巻、第11号、p1-18、1961。
- 2) 行武毅・吉野登志男・歌田久司・下村高史・坂下至功・中川一郎・田中良和・徳本哲男、伊豆大島火山三原山およびカルデラ壁周辺での電気抵抗測定、伊豆大島集中総合観測報告、集中観測班、p63-76、1985。
- 3) 高倉伸一・小川康雄・中塚正・曾屋龍典・高田亮、伊豆大島小清水井周辺の電気探査、火山学会講演予稿集 p.43、1988。
- 4) Utada, H. and T. Shimomura, Resistivity structure of Izu-Oshima volcano revealed by the ELF-VLF magnetotelluric method, J. Geomag. Geoelectr., vol.42, 169-194,

1990.

- 5) Ogawa, Y and S. Takakura, CSAMT measurements across the 1986 C craters of Izu-Oshima Island, Japan, J. Geomag. Geoelectr., vol. 42, 211-224, 1990.
- 6) 山本哲也ほか, 私信, 1989.
- 7) Sasai, Y., Spatial dependence of short-period geomagnetic fluctuations on Oshima Island (1), Bull. Earthq. Res. Inst., vol. 45, p. 137-157, 1968.
- 8) Sasai, Y., Spatial dependence of short-period geomagnetic fluctuations on Oshima Island (2), Bull. Earthq. Res. Inst., vol. 46, p. 907-926, 1968.
- 9) 歌田久司, 私信, 1989.
- 10) 山本哲也・桑島正幸・橋本雅彦・熊坂伸之, 伊豆大島における地磁気(ULF)観測、Conductivity Anomaly研究会論文集、p106-113, 1989.
- 11) Bostick, F.X., Electromagnetic array profiling (EMAP), presented at the 56th annual SEG meeting, Houston, 1986.
- 12) 堀田淳・二日市宏・石原享, EMAP法について(その2) - 地熱地帯での適用例 -, 物理探査学会第81回学術講演会講演予稿集, p. 320-324, 1989.
- 13) Jiracek, G.R., W.L. Rodi, and L.L. Vanyan, Implications of magnetotelluric modeling for deep crustal environment in Rio Grande rift, Physics of the Earth and Planetary Interiors, vol. 45, p179-192, 1987.
- 14) Sasaki, Y., Two-dimensional joint inversion of magnetotelluric and dipole-dipole resistivity data, Geophysics, vol. 54 p. 254-262, 1989.
- 15) 石戸経士・菊地恒夫, 伊豆大島火山の自然電位プロファイリング, 地球惑星科学関連学会1990年合同学会講演予稿集, p. 163, 1990.
- 16) 駒澤正夫・曾屋龍典, 伊豆大島火山の重力分布について, 火山学会講演予稿集, 1989.

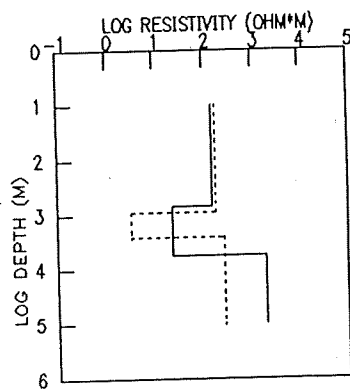


第1図 伊豆大島のMT測点(白丸)。数字は測点番号を表す。実線は測線を表す。

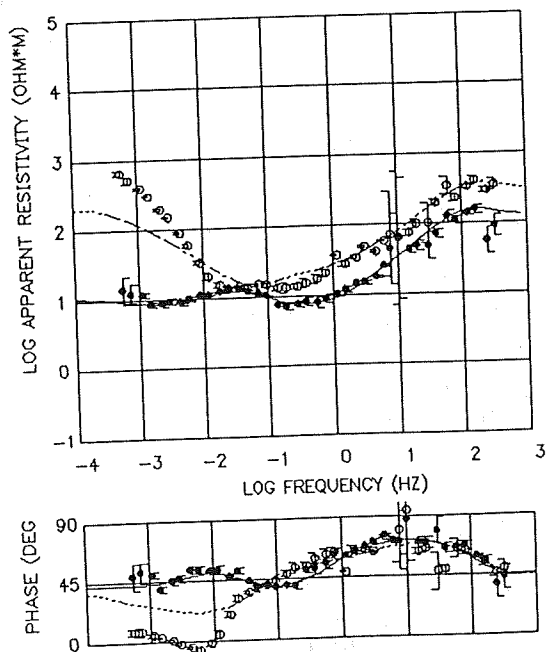


osm89_2
 SITE 22 SITE 22
 MODE TM MODE TE
 MODEL(FINAL) 1 MODEL(FINAL)...1..

RHO(OHM*CM), DEPTH(M)		RHO(OHM*CM), DEPTH(M)	
120.0	779	174.6	129
22.8	640	3.3	2979
2000.0		263.8	

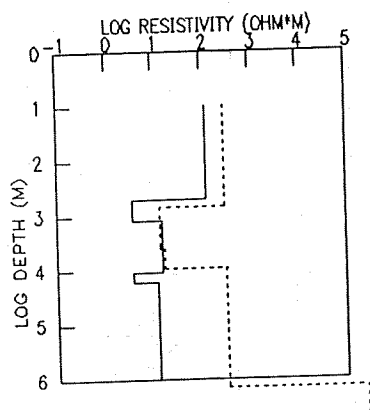


第2図 測点22の探査曲線。白丸がTEモード、黒丸がTMモードを表す。誤差は標準偏差。

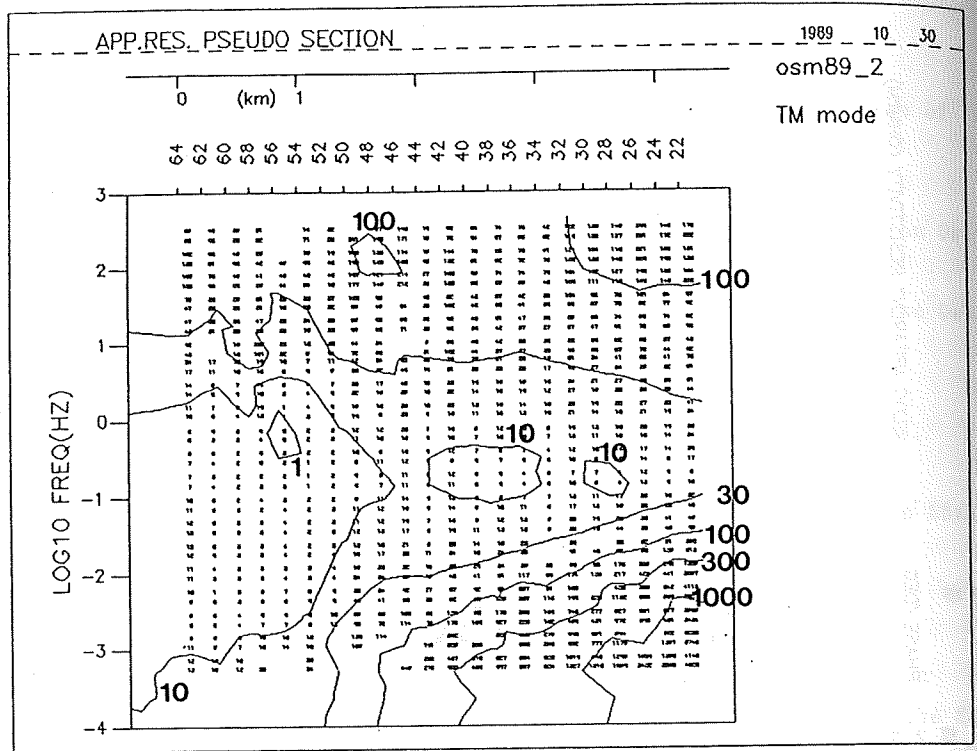


osm89_2
 SITE 64 SITE 64
 MODE TM MODE TE
 MODEL(FINAL) 1 MODEL(FINAL)...1..

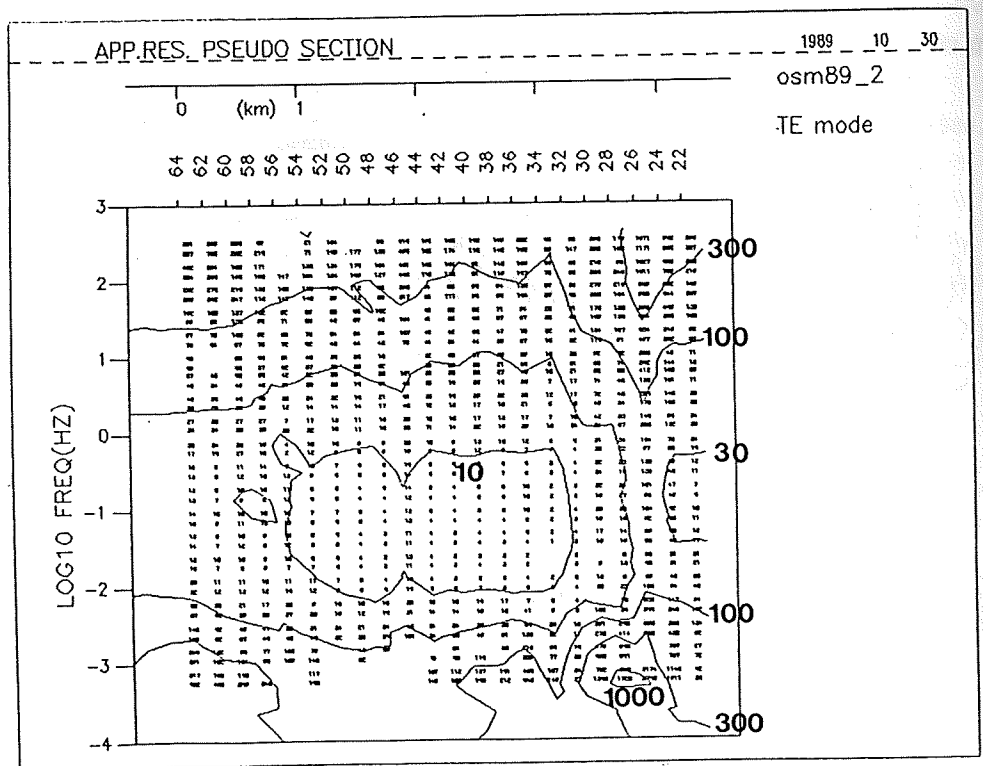
RHO(OHM*CM), DEPTH(M)		RHO(OHM*CM), DEPTH(M)	
128.8	322	305.7	709
3.7	1263	14.0	4108
16.0	10231	17.1	9279
3.8	16479	333.0	1140279
12.5		230000.0	



第3図 測点64の探査曲線。白丸がTEモード、黒丸がTMモードを表す。



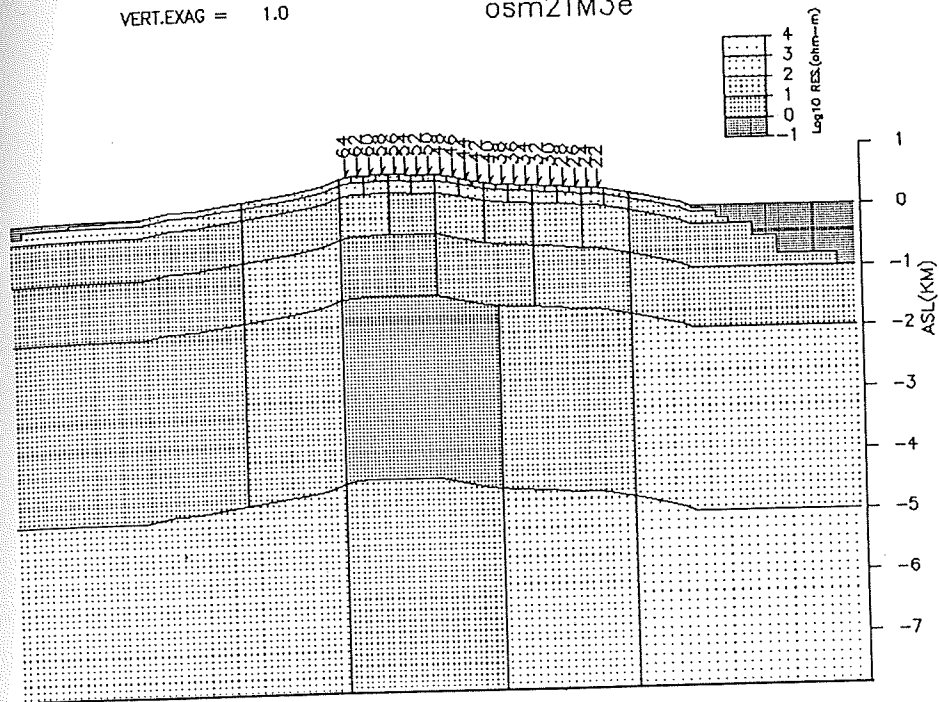
第 4 図 TMモードの見掛比抵抗疑似断面図。図中の数値は見掛比抵抗比抵抗 (単位 Ωm)。



第 5 図 TEモードの見掛比抵抗疑似断面図。図中の数値は見掛比抵抗比抵抗

VERT.EXAG = 1.0

osm2TM3e



第6図 プレリミナリーな2次元比抵抗モデル。縦横比1:1。
なおモデルの両端には海が考慮されている。