

九重山における空中電磁法, 空中磁気探査*

Airborne Electromagnetic Method and
Magnetic Survey around Kuju Volcano

気象庁気象研究所
Meteorological Research Institute,
Japan Meteorological Agency

1 九重山の電磁氣的構造調査

火山体の熱異常部では、高温に伴う物性の変化などにより周辺に比較して電気抵抗（比抵抗）が低く、磁化が小さいことが期待される。これを利用して電磁氣的手法による火山体の構造調査で熱に関連するデータを収集することができる。

平成7年（1995年）10月に噴火を始めた九重山の噴火地点およびその周辺の電磁氣的構造を平成8年3月14日、16日に調査した。調査では、測定器を吊したヘリコプタ調査地域を飛行して測定を行なう方法（空中電磁法探査, 空中磁気探査）を用いて、山体の比抵抗と、山体の磁化による磁気異常を調べた。同様の探査は、磐梯山、雲仙岳、浅間山などの火山でも行なわれている¹⁾

今回の調査では、噴火地点（星生山東山腹）をほぼ中心とする南北5km、東西7kmの範囲を調査地域とした。ヘリコプタの飛行路（探査側線）は南北方向にとり、その間隔は、調査範囲の中心付近では100m、外縁部では400mとした。総測線長は約180km余になった。また、対地高度、および位置は、電波高度計、GPSなどでモニターした。測定器の対地高度は平均する空中電磁法探査で30m、空中磁気探査で45mほどであった。

2 空中電磁法探査

空中電磁法²⁾では、測定器から放射する磁場の大地での反射の様子を測定し、電磁誘導の法則を利用して大地の比抵抗を調べる。地形の起伏に沿って空中を飛行しながら測定することで、ヘリコプタの航跡沿いに地下の比抵抗を知ることができる。

測定周波数は、28800Hz、3600Hz、385Hzの3周波数を用いた。周波数が低いほどより深部までの比抵抗探査が可能になる。大地の比抵抗が100Ωmのときのこれらの測定周波数に対応する探査深度（表皮深度）はそれぞれ約30m、100m、250mである。探査深度は大地の比抵抗の平方根に比例して深くなる。

空中電磁法の測定データは、均質大地を仮定した理論式をもとに見かけ比抵抗に変換し、さらにグリッド化して各測定周波数の比抵抗分布図を作った。

探査深度の浅い28800Hzの磁場による比抵抗分布（第1図）では、今回の噴火地点の北に位置する硫黄山付近に膨大な低比抵抗域（比抵抗20Ωm以下）がみられる。低比抵抗域の大きさは、東西400m、南北600mほどである。この付近は今回の噴火以前から定常的な噴気活動が活発な場所である。

星生山、三俣山など周辺の山は有史以前の火山活動によって作られた山体であるが、硫黄山周辺を除くと今回の噴気地点以外には噴気活動はなく、いずれも1kΩm以上の高比抵抗になっている。雲仙岳や磐梯山と同様に¹⁾、九重山でも噴気活動などがなければ、火山体の表層部はこのような高比抵抗であるらしい。

山間の平坦地となっている長者原や坊がツルには100Ωm程度の火山体よりは比抵抗が低い領域が広がっている。これらは地質的には崖錐堆積物または沖積層と区別されている地域にほぼ対応している³⁾。

また稲星山北部から久住山北部をとおり星生山の南側へと周辺より比抵抗の低い帯が東西にのびている。この位置は地質図上で断層または推定断層の存在する位置³⁾に対応しており、断層面の破碎に伴う比抵抗の低下によるのかも

* Received 16 July, 1996

しれない。

3600kHz (第2図)、385Hz (第3図)と探査深度が深くなっても硫黄山付近には低比抵抗域がある。そして浅部の結果 (第1図)に比べると東部および南部に多少範囲がひろがっている。また、これらの周波数では、硫黄山周辺だけではなく、牧の戸、長者原、坊がツルなどにも顕著な低比抵抗域の分布がみられるようになる。これらの低比抵抗はそれぞれ牧の戸温泉、寒の地獄温泉、法華院温泉の位置と概ね一致しており、温泉の熱源や熱水と結びつきがある低比抵抗域とみられる。

今回噴火を始めた火口列は、硫黄山の低比抵抗域の南側縁付近に位置している。火口付近を中心とした低比抵抗の広がりは見られない。

3 空中磁気探査

空中磁気探査では、各点での地磁気の強さ (全磁力) を測定した。測定にはセシウム磁力計を用いた。

測定したデータは、まず地磁気の時間変化の補正を行ない、それをもとにグリッド化したデータを作った。これから国際標準磁場モデル (IGRF) の値を差し引くことで、地表付近の構造によって作られる磁気異常を抽出した。さらに、この磁気異常の様子をわかりやすくするために、極磁気変換⁴⁾をほどこしたのが第4図である。極磁気変換とは、適当な仮定に基づいて、山体の磁化の向きが地磁気の向きではなく垂直上向きであった場合の磁気異常を求めていることをいう。それにより、強い磁化を持つ山体の真上に磁気異常をみることができ直観的な理解が容易になる。

火山を構成する火成岩は、通常、堆積岩などに比べて磁化が大きい。九重山の山々のように地上に噴出したマグマのよってつくられた山は、マグマが冷却する過程で磁化を獲得するので山全体として地磁気の方向に帯磁した磁石とみることができる。そのため、一般に火山帯は磁気異常を伴うことが期待される。

第4図から三俣山、大船山、平治岳をはじめ調査地域にあるほとんどの山体に、対応する正の磁気異常があるのがわかる。数少ない例外が星生山付近である。星生山は周辺の山々と同等規模の山体を持つが、この付近には明瞭な磁気異常がみられない。星生山は、山体全体としてみたとき九重山の他の山体に比べて磁化が小さいといえる。

4 結果

空中電磁法探査の結果からわかるように、噴気活動のさかんな硫黄山付近では、表層付近から深部まで低比抵抗な構造が続いている。それに対して、温泉と対応がつけられる地域については、深部は低比抵抗となっているものの浅部の比抵抗はそれほど低くない。硫黄山のように噴気活動が活発である場合は、地表付近まで高温の蒸気や熱水が供給され、また地下から供給された火山ガスが地表から浸透した水に溶け込むなどして、表層部も低比抵抗になるものとみられる。

地下の比抵抗は水 (特に熱水) やマグマの存在によって低くなる。そのため、活発な火山活動のある地域や、活動のポテンシャルが高い場所は低比抵抗になると予想される。調査結果をみるかぎり、今回の九重火山噴火の火口列を中心とした低比抵抗域が形成されているということはない。このことは、噴火地点付近の地下 (深さ 200-300m くらいまで) にまとまった量の熱水貯留層、マグマ溜まりなどが無いことを示している。また、熱源があれば、その上部には熱水対流が形成され低比抵抗域が形成されると予想されるが、今回の結果をみる限る探査深度の範囲では、そのような熱水対流が存在しないこともわかる。したがって範囲を深さ方向にもう少し広げて深さ 400m から 500m くらいまでに、マグマが存在するとは考えにくい。

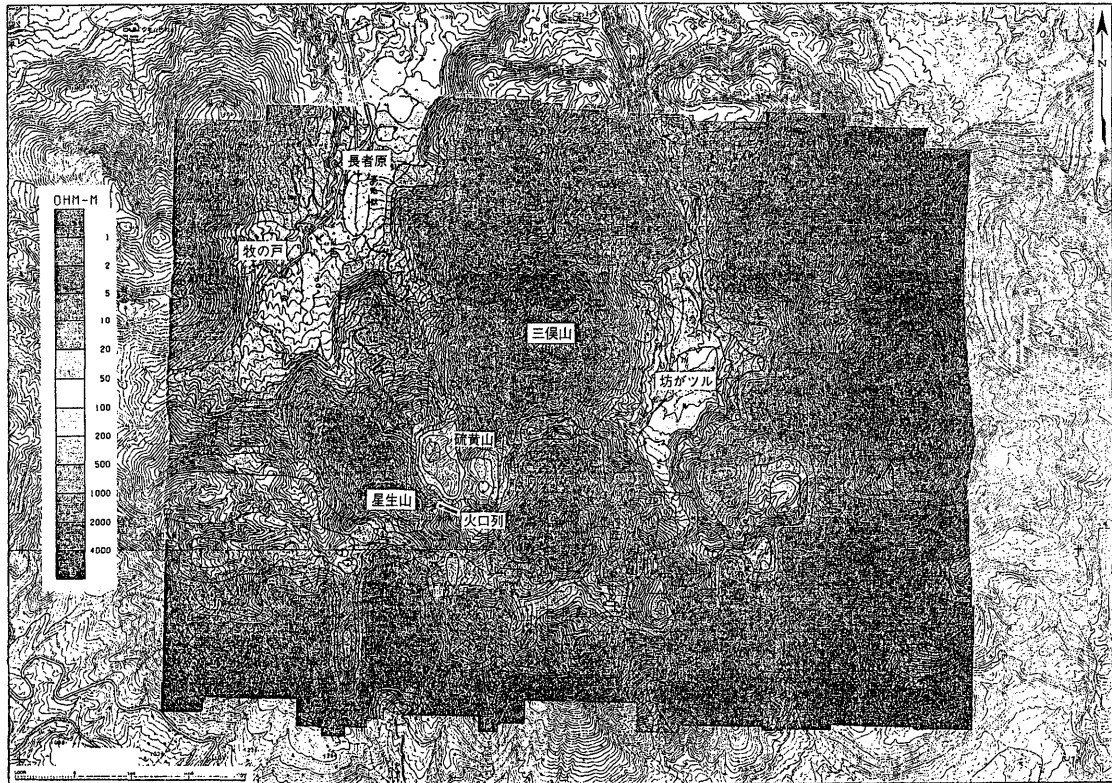
今回の噴火をひきおこしたマグマがどのような深さに存在するかについては、噴出物 (火山灰) の分析等による大学合同観測班地質グループの約 2 km という推定⁵⁾があるが、空中電磁法による調査結果は、これと矛盾しない。

地質図を参照するかぎり、星生山が作られる際に噴出したマグマが質的に周辺の山々と大きく異なるとは考えられないので、星生山はもっと大きな磁化をもっていて不思議ではない。したがって、山体の変質 (たとえば熱変質による磁性鉱物の減少) や高温による消磁 (熱消磁) などの原因でかなりの磁化を失っている可能性がある。これらの原因はいずれも火山活動に密接な関連を持っており、星生山および付随する硫黄山や今回の噴火地点は火山活動、地熱活動のレベルが周辺の山々に比べて高い地域であることがうかがえる。

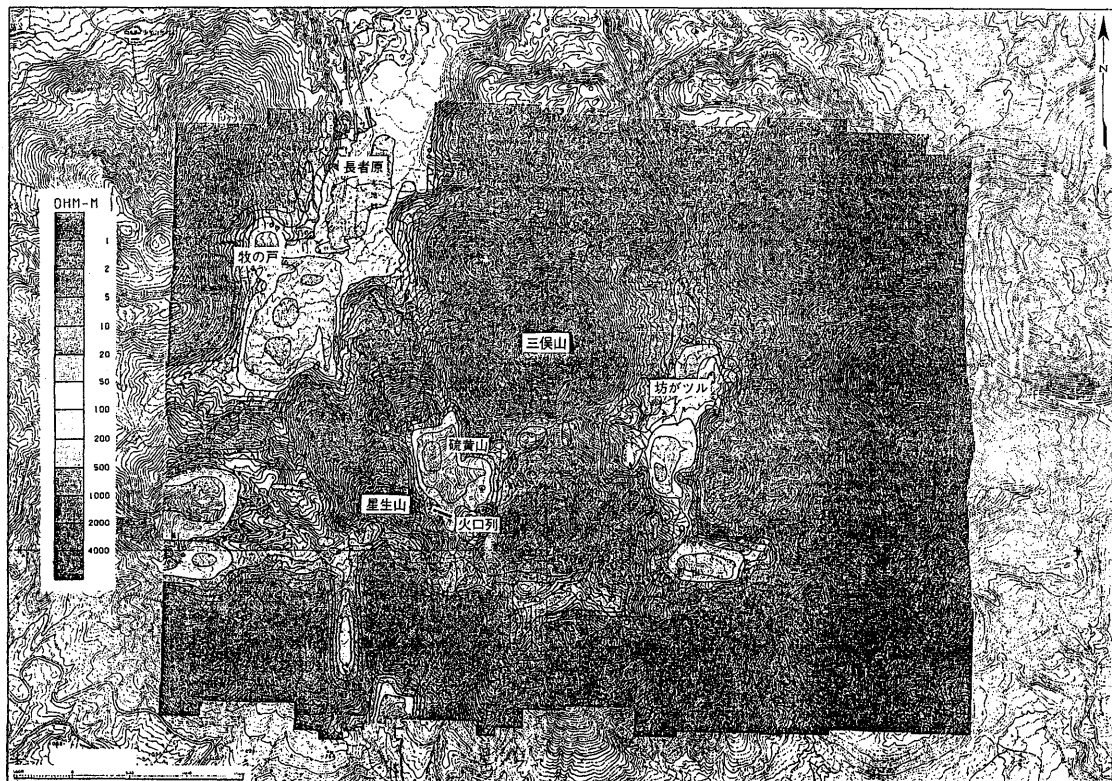
なお今回実施した調査は、九重山の活動の履歴の中の平成8年3月における状態を捕らえたにすぎず、噴火地点付近の比抵抗が噴火によって低くなったのかどうかなど、興味のある点については、比較する過去のデータがないため評価はなされていない。

参 考 文 献

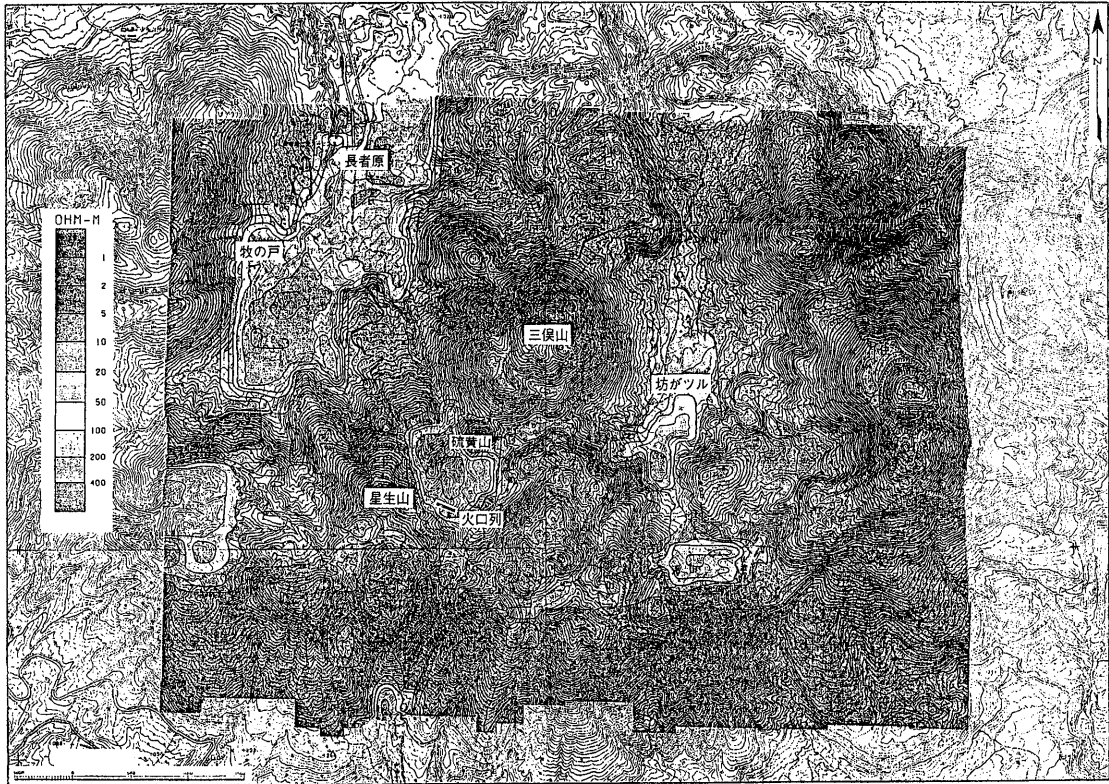
- 1) 茂木透他, 空中電磁法・全磁力測定による雲仙普賢岳及び眉山の地下構造, 火山, 40, 263-276, 1995.
- 2) Fraser, D.C., Resistivity mapping with an airborne multi coil electromagnetic system, Geophysics, 43, 144-172, 1978.
- 3) 地質調査所, 豊肥地熱地域地質図, 1982.
- 4) Bhattacharyya, B.K., Two-dimensional harmonic analysis as a tool for magnetic interpretation, Geophysics, 30, 829-857, 1965.
- 5) 大学合同観測班地質グループ, 第71回 火山噴火予知連絡会資料, 1996.



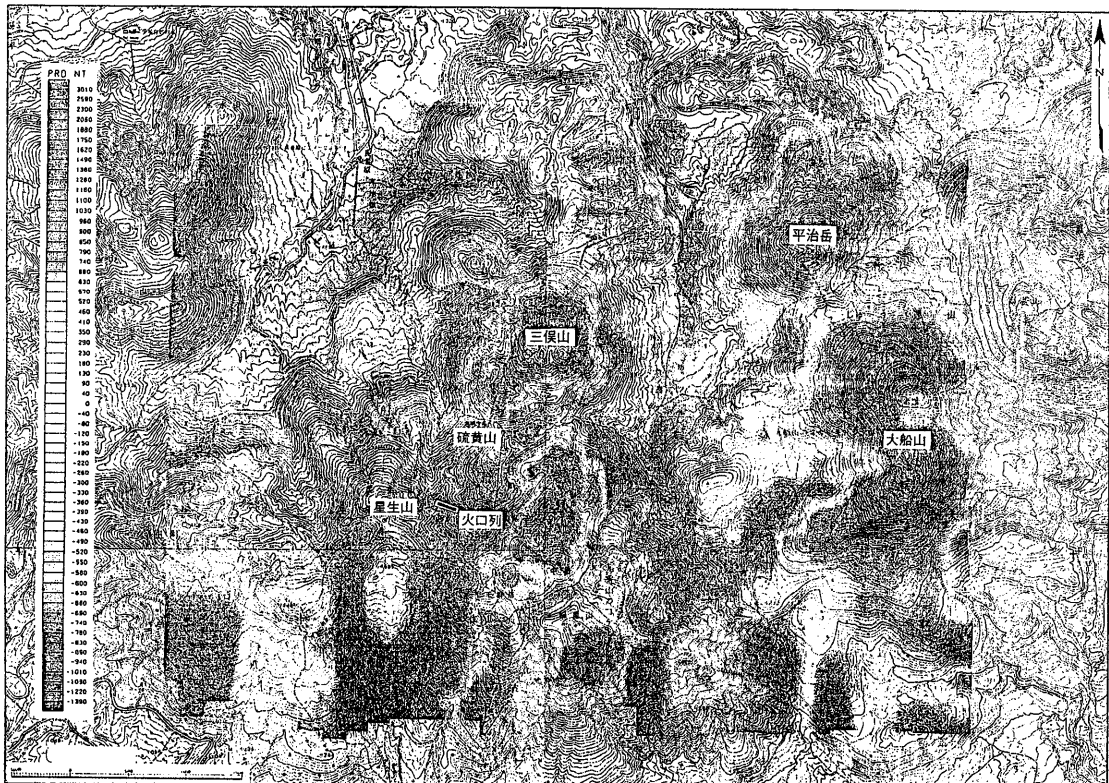
第 1 図 空中電磁法による見かけ比抵抗の分布 (28800Hz).
 Fig. 1 Apparent resistivity map of the airborne EM at 28800Hz.



第 2 図 空中電磁法による見かけ比抵抗の分布 (3600Hz).
 Fig. 2 Apparent resistivity map of the airborne EM at 3600Hz.



第 3 図 空中電磁法による見かけ比抵抗の分布 (385Hz).
 Fig. 3 Apparent resistivity map of the airborne EM at 385Hz.



第 4 図 空中磁気探査から求められた磁気異常の極磁気変換図.
 Fig. 4 Magnetic anomaly reduced to the pole.