

阿蘇カルデラ下の比抵抗構造

佐賀大学 教養部 半田 駿
佐賀大学 教養部 鈴木 亮
京都大学 理学部 田中良和

The resistivity structure beneath the Aso caldera

Shun Handa¹, Akira Suzuki¹ and Yoshikazu Tanaka²

1.College of Liberal Arts, Saga University, Saga, 840

2.Faculty of Science, Kyoto University, Kumamoto, 869-14

1. はじめに

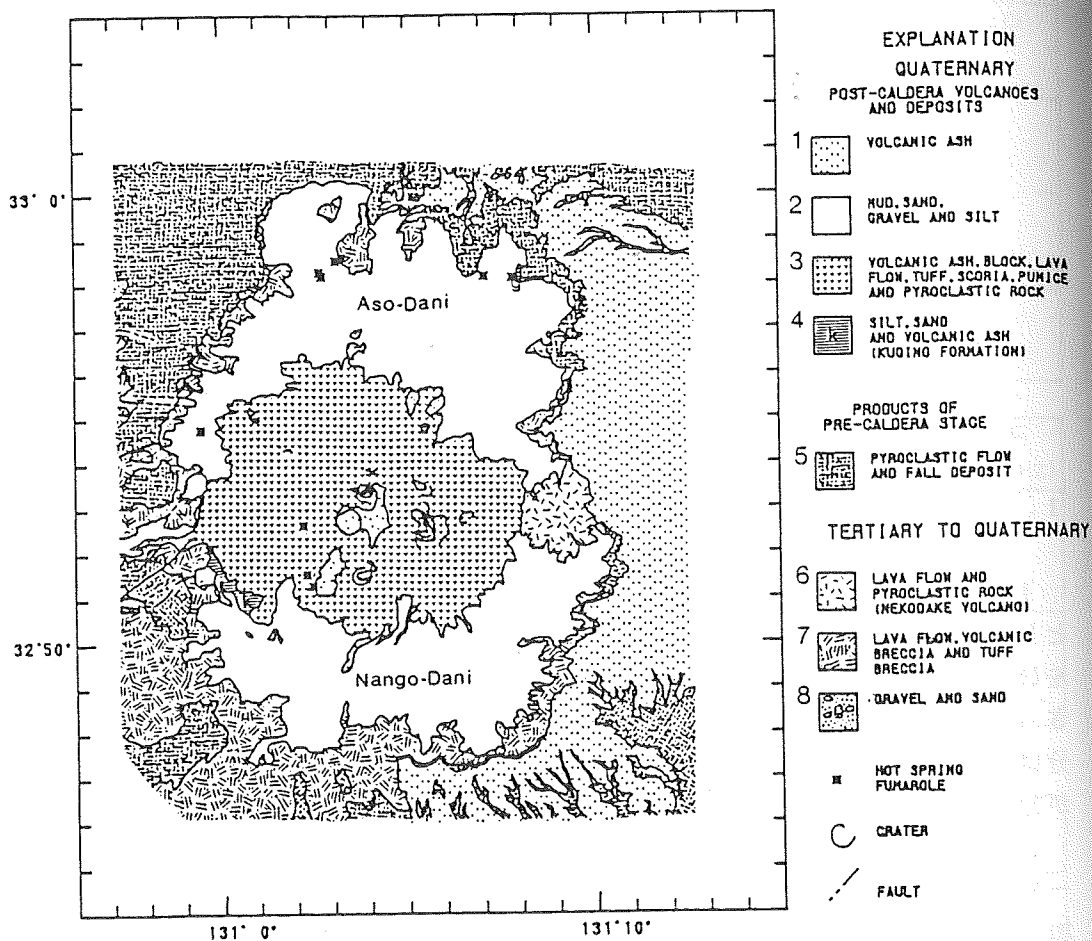
1983年以来、我々は阿蘇カルデラの電磁気学的構造を明らかにすることを目的として、種々の観測を実施してきた。その結果、大規模構造として、カルデラ中央部をほぼ南西から北東に走るCAが存在することが明らかになった(田中 他、1985)。さらに、このCAは九州西北部でのフラックス・ゲート型磁力計によるGDS及び大分県大野での結果から、別府-島原地溝帯に付随するものである可能性が大きいことが分かった(半田他、1987)。

一方、カルデラ下の比較的浅部の比抵抗構造を知る目的で、1984年よりELF-MT観測を阿蘇カルデラ内部及びその周辺で行ってきた。1986年からはこれに加えて、VLF-MT観測も実施している。その結果、これらの地域で1次元モデルさらには2次元モデルによる比抵抗構造の解析が可能になった。これらのデータから得られる浅部比抵抗構造は、阿蘇カルデラ下の基盤構造の解明のみならず、上記深部のCAの持つ意味も明確にするものと期待される。

まだ調査が一部完了していない地域もあるが、現在までに得られた阿蘇カルデラ下の浅部比抵抗構造について報告する。

2. 阿蘇カルデラの概要

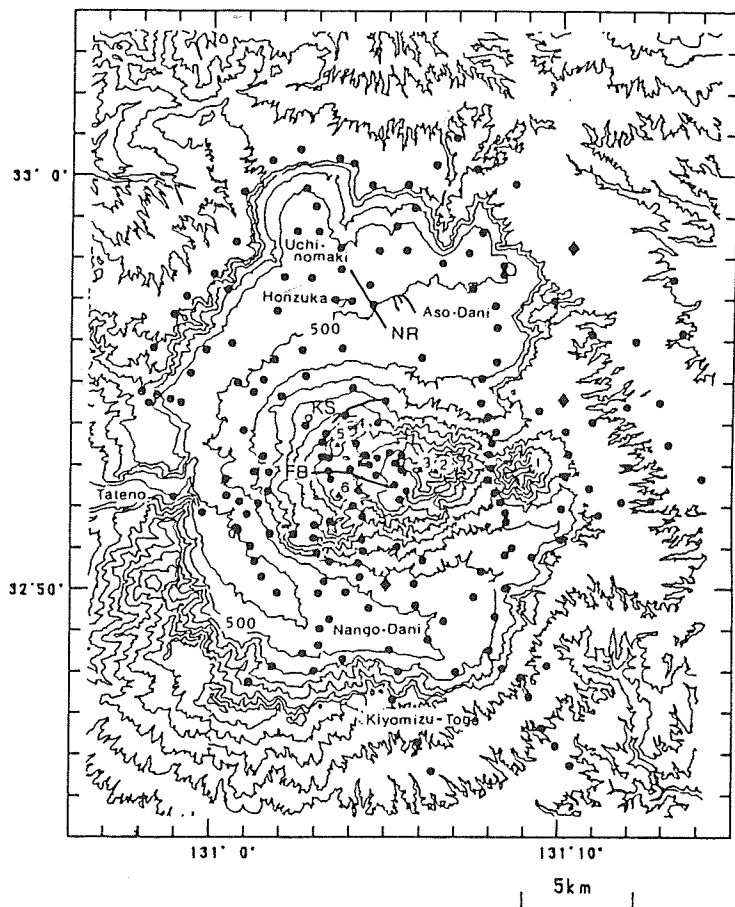
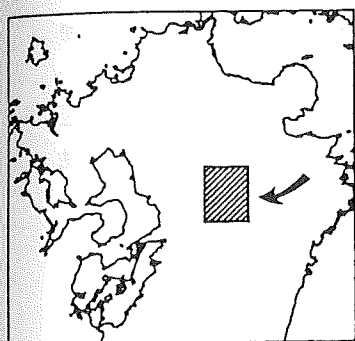
阿蘇カルデラは、九州中部に位置し、東西約18km、南北約25kmの大規模なカルデラであり、中央部には現在でも活動中の中岳を含む中央火口丘群がある。第1図に阿蘇火山の地質図(小野・渡辺(1985)を編集、簡略化)を示す。阿蘇カルデラは中央火口丘群を境に南北両カルデラ床(南郷谷、阿蘇谷)に分かれる。このカルデラ



第1図. 阿蘇火山の地質図. 小野・渡辺(1985)を簡略化、編集.

床とカルデラ壁の崖錘には、第4紀の堆積物がみられるが、他の地域は第3紀、第4紀の火山噴出物で広く覆われている。阿蘇カルデラの形成史を、主として小野・渡辺(1983)を基にしてまとめてみると次のようになる。

現在の阿蘇カルデラ以前には、噴出中心が現在のカルデラ縁より内側にあった多数の小火山から先阿蘇火山岩類が噴出した。この噴出物は、特にカルデラの南部外輪山や東部に広く分布する(第1図の6, 7)。これは、カルデラ南部では小火山群の中心は現在のカルデラ縁に近い位置にあったために、このような現在のカルデラの南北での地質、形状の違いを作ったと考えられている。その後、約30万年-7, 8万年前までの4回の阿蘇火砕流の噴出-先カルデラ火山活動-(Aso-1-Aso-4、第1図では5に相当)により、カルデラが形成された。特に、カルデラの現在の形が



第2図. VLF, ELF-MT探査地点の分布. ◆印の3点は、長周期MTによって見かけの比抵抗が得られている地点である. NR, KS, FBは田中 他(1984)による電気探査の測線. 等高線は100m毎.

1, 根子岳, 2, 高岳, 3, 中岳, 4, 往生岳, 5, 杵島岳, 6, 烏帽子岳

出来たのはAso-4噴出直後であると考えられている。さらに、Aso-4直後から中央火口丘群を形成する活動-後カルデラ火山活動-が開始した。この間、カルデラ内部では湖が形成される時期が少なくとも2回あった。南郷谷西部の久木野層や、阿蘇谷を埋積して現在の平坦面を作っている堆積物はその時に形成された。

3. ELF, VLF-MT観測

現在までに実施したELF-MT観測点の位置を第2図に示す。観測点総数は193点で、カルデラ内では観測点の平均密度は1 x 1 km程度である。VLF-MT観測も同一地点で実施したが、1986年以前にELF-MTを実施した点については、

種々の事情からELF-MT測点と少しはなれた場所でVLF-MT観測を行った場合も少数だがある。

ELF-MT観測では、電場の南北、磁場の東西成分のみを測定した。ただし長周期MT観測を実施した地点では直交成分を測定した。VLF-MT観測装置は自作機器を用いた。VLF、ELF-MT共に位相は測定していない。VLFの測定では、対馬オメガ局の電波(10.2kHz)については電場の南北成分、磁場の東西成分、NDT(17.4kHz)は電場は東西成分、磁場は南北成分を測定し、2方向のインピーダンスを得ている(半田 他、1986)。

4. 観測結果

得られた見かけの比抵抗分布を、8Hzと10.2kHzについてそれぞれ、第3図、第4図に示す。8Hzでは、低比抵抗域は中岳火口から草千里旧火口を通り、地獄、垂玉、湯の谷温泉地域に連なる区域、阿蘇谷の西部、根子岳東部に見られる。一方、高比抵抗域は、中央火口丘北部から外輪山北部の地域、南郷谷南西部、高森地区に分布する。10.2kHzでは、スキン・デプスがELFに比べて短いために、見かけ比抵抗分布は表面地質、地形の効果を反映する分布となることが予想されるが、必ずしも地質との対応はよくないようである。カルデラ中央部を北西-南東に走るトレンドが目につくが何らかの構造を反映したものかもしれない。

5. 1次元モデルによる阿蘇カルデラの比抵抗構造

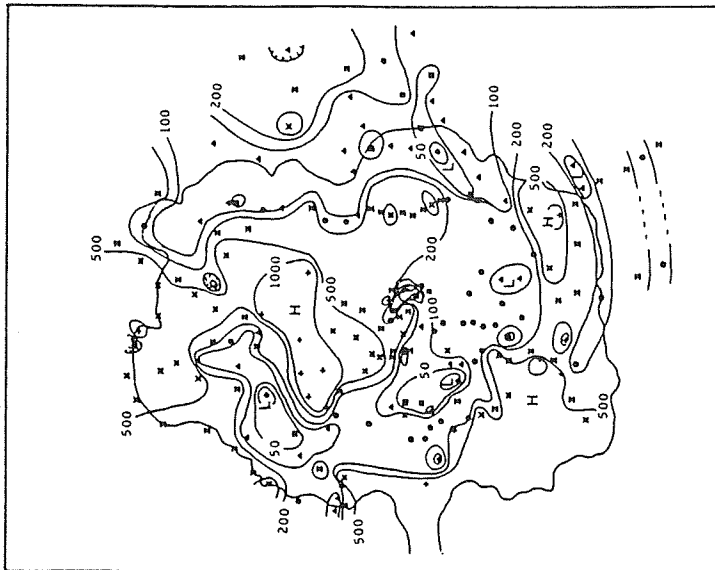
VLF-MTの10.2kHzとELF-MTの3周波数成分の見かけの比抵抗から、1次元モデル計算を行った。モデルの計算に当たっては2層モデルを基本としたが、3層モデルも適時採用した。

5-1. 低比抵抗層の分布

50Ω・m以下の比抵抗層上部の標高分布を第5図に示す。図中の□の地点でこの低比抵抗層が見られる。ただし、表層にのみごく浅くこの層が見られる場合は、単に表層の被りであると判断して除外した。8Hzの見かけ比抵抗の分布と同様低比抵抗層は、主として中岳火口より南とカルデラの東部に比較的広く分布する。その深さはほとんどの地域で海拔0m以下であるが、中岳火口直下では低比抵抗層が地表付近まで上昇しており、さらにその一部は草千里の旧火口と連なっているように見える。

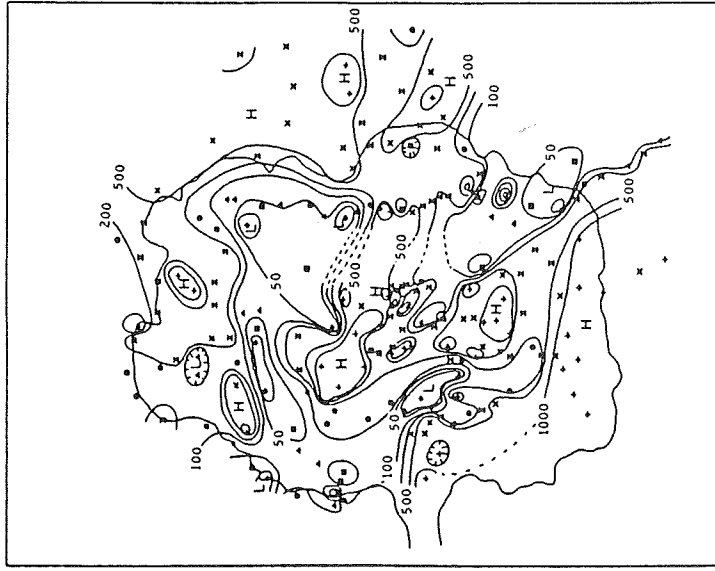
田中 他(1984)は、第2図に示したカルデラ内部の3カ所で大規模電気探査を実施している。そのうちの中岳火口周辺の2カ所、古坊中(FB)と杵島(KS)では、

APPARENT RESISTIVITY (8Hz)



RESISTIVITY in ohm-m	
+	1000 -
x	500 - 1000
≡	200 - 500
●	100 - 200
△	50 - 100
■	20 - 50
◇	- 20

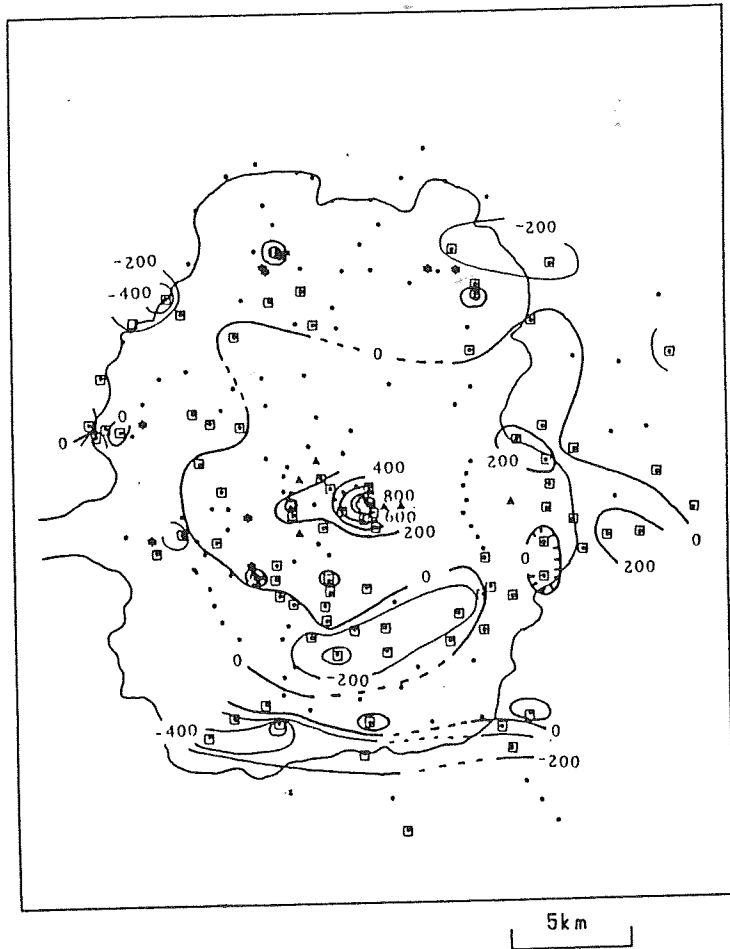
APPARENT RESISTIVITY (10.2kHz)



RESISTIVITY in ohm-m	
+	1000 -
x	500 - 1000
≡	200 - 500
●	100 - 200
△	50 - 100
■	20 - 50
◇	- 20

第3図. 見かけの比抵抗分布図 (8 Hz).

第4図. 見かけの比抵抗分布図 (10.2 kHz).

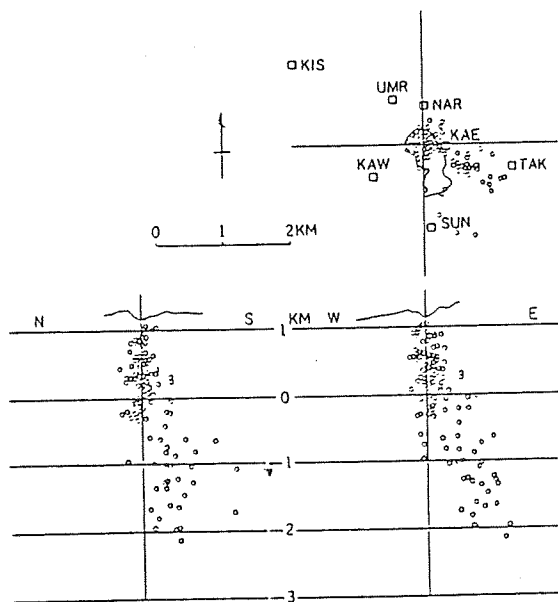


第5図. 比抵抗が $50 \Omega \cdot m$ 以下の層の上面の高度分布. 等高線は200m
毎. □地点で $50 \Omega \cdot m$ 以下の層が現れる. ただし, 表層のみの場合は除く.
★: 温泉湧出地域.

それぞれ深度604m (標高500m)、246m (640m) 以下に $30 \Omega \cdot m$ 層が認められる。この電気探査による低比抵抗層上部の位置は第5図に示したMTの結果より200-400m程浅いが、MTでの誤差を考えるとおそらく両者は同じものを見ており、したがって中央火口丘群の西側の地下に低比抵抗域が分布することは確かであろう。

ところで、阿蘇火口周辺での震源は火口のごく狭い地域に限られることが知られている。第6図は小野・外(1984)による1979年度の火口周辺での震源分布である。この図から、震源は火口からほぼ真下からやや南東方向に分布するように見える。一方、中岳火口付近の低比抵抗層の分布は、深度約1400m (標高400m) までは火口周辺数kmの極めて狭い地域に限られている。火口周辺では14カ所のMT観測点が分布

するが、観測密度がまだ不足していること、特に火口の東から南東は道路が整備されていないこともあり、観測点が欠けている。そのため低比抵抗の分布が震源分布とどの程度正確に対応するかについては不明ではあるが、少なくとも、両者に何等かの関係はありそうであり、このことは阿蘇火山の現在の火道の構造についての重要な情報を提供するものであるといえよう。一つの可能性としては、火道周辺が破碎されており、そのためそこでの含水率が高くなり比抵抗が低下すると共に、その破碎に伴って地震が発生することが考えられる。



第6図. 火口付近の震源分布(1979年)(小野・外、1984)。

中岳火口以外では、カルデラ南部のほぼカルデラ壁沿いに東西に延びる低比抵抗帯が目につく。ここでは、低比抵抗層の上端はカルデラ壁の内側で一旦高くなり、外側に向かってまた深くなるように見える。言い替えると、カルデラ南縁の内側に活断層に沿う低比抵抗帯のような構造がみられることになる。この構造とカルデラ縁とはその位置関係から何等かの関係があってもよさそうである。

また、根子岳より東部にも低比抵抗層が広く分布する。ここはカルデラ外部になるが(小野 他、1982)、現在のところはその原因については不明である。その他にカルデラ内に点在する低比抵抗域の大部分は温泉湧出に伴うものである(その位置は第5図中に★印で表示)。これらの低比抵抗域の広がり、温泉のごく近傍に限られていることがわかる。

5-2. 比抵抗分布から推定される基盤分布

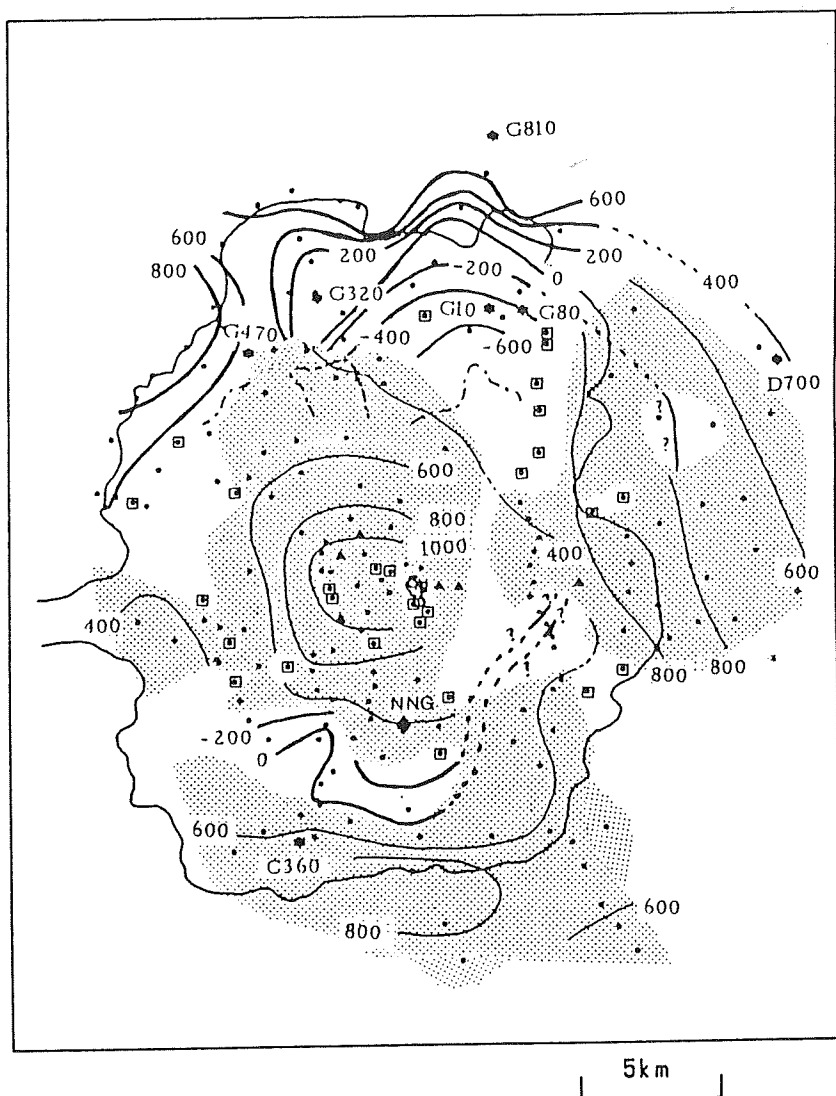
阿蘇谷の地下には白亜系花崗岩および堆積岩が分布していることが、試錐により明らかになっている（唐木田 他、1969；松本・藤本、1969；小野・渡辺、1985）。また、カルデラ北方及び東方の2カ所（合戦群、小園）でも、これらの基盤の一部と思われる小規模な露頭がみられる（例えば笹田、1987）。これらの基盤岩に達した試錐、及び露頭の位置を第7図に、例えばG320の様な記号で示した。ここでGは花崗岩、Cは堆積岩、Dはトータル岩、石英電気石を意味し、後の数字はそれが出現した標高を示す。一方、阿蘇谷成川（NR）での電気探査では、深度1040m（標高-540m）以深で $350\Omega\cdot m$ 層となり、おそらくこれが、基盤の花崗岩層に対応するものと思われる（田中 他、1984）。そこで、ここでは $500\Omega\cdot m$ 以上の比抵抗を持つ層を基盤であると仮定して、その層の上部の標高をプロットした（第7図）。ただし、高比抵抗層が欠ける観測点もあり、それらは□で示した。

ところで、本探査地域では阿蘇谷、南郷谷の一部を除いては、表層付近（第1層あるいは第2層）から高比抵抗層が続く。この高比抵抗層はその分布状況から一部地域を除いては基盤とは考えがたい。例えば、阿蘇での重力異常パターンからYokoyama（1963）が指摘したように、カルデラの基盤構造が”じょうご型”（荒牧、1983）をしているとすると、中央火口丘群のあるカルデラ中央部では、基盤は相当深いことになる。しかも、5-1で議論したように、そこではほぼ海面高度付近から下部に $50\Omega\cdot m$ 以下の低比抵抗層が分布しており、基盤が存在してもこれ以下であろう。したがって、中央火口丘一帯で表層付近から分布する高比抵抗層は、中央火口丘群を作った溶岩層と考えるのが妥当である。このように高比抵抗層の存在は認められるが基盤の可能性の小さいと思われる地域は、第7図では網線で示し区別した。結局、この方法によって基盤が見える地域は、第7図のように阿蘇谷と南郷谷の一部である。そこでは湖底堆積物が表層近くにあり、例えば阿蘇谷NRでの電気探査では深度約5m-1040m間では比抵抗は $45-136\Omega\cdot m$ 、その比抵抗が約 $50-500\Omega\cdot m$ である。つまり、高比抵抗層の上部に適当な値の比抵抗層が存在する場合にのみ深部の高比抵抗層が検出可能となる。これは、MT法等の電磁探査では高比抵抗層は”見えにくい”ことから容易に理解できる。

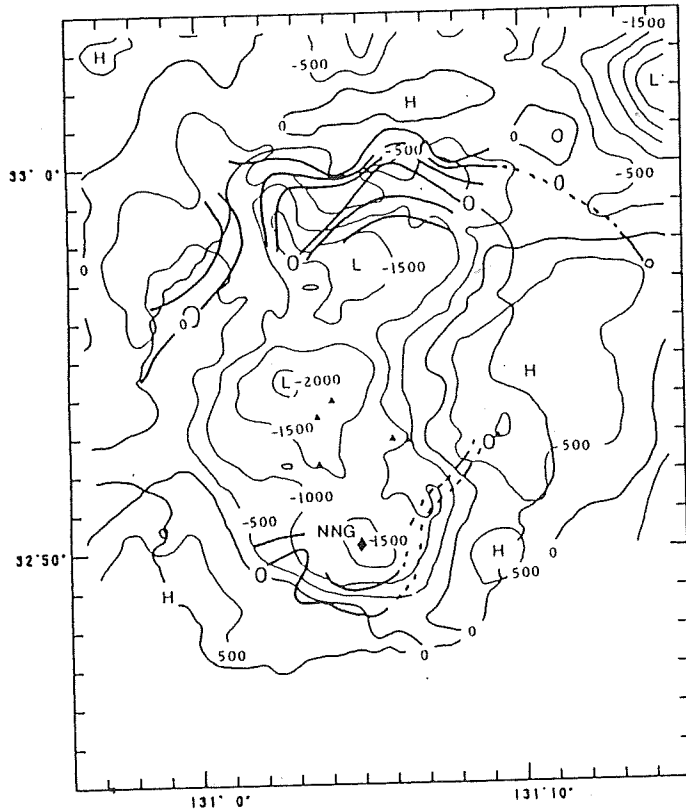
カルデラ西部と北部では、地表近く（通常第2層目）から高比抵抗層が続くが、ここでは、この層は基盤であると判断した。カルデラ北部ではG810（合戦群）で、白亜系花崗岩と片岩の露頭がみられること。阿蘇谷での試錐結果から、阿蘇谷の地下にある花崗岩は西及び北ほど浅くなる傾向があるように見えることから、ELF-MTで得られたこの地域での高比抵抗層の上面高度を、おおよそ基盤の高度と考えても良いと思われるからである。

以上のことを考慮して、本地域で $500\Omega\cdot m$ 層の上面が基盤高度であると考えられる

地域については、第7図でその等高線を太線で示した。また、表層近くから基盤以外の高比抵抗層で覆われていると考えられる地域（網線部分）についても、参考のためその上面の標高分布を細線で示した。例えば、阿蘇谷の中央火口丘よりの地域では、



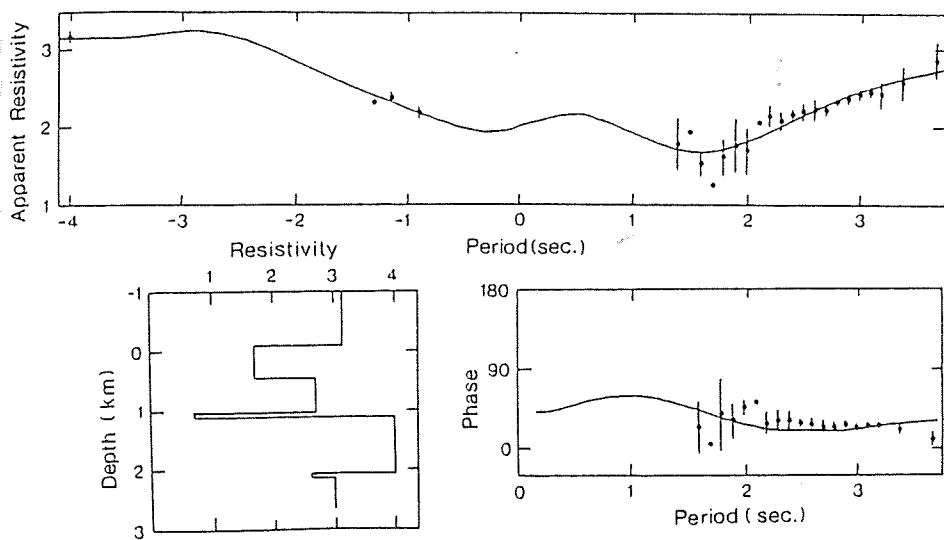
第7図. 比抵抗が $500 \Omega \cdot m$ 以上の層の上面の高度分布. 等高線は200m毎.
 □地点では $500 \Omega \cdot m$ 以上の層は現れない.
 G470: 基盤に達した試錐の位置及び基盤岩の露頭地点. Gは花崗岩、
 Cは堆積岩、Dはトータル岩、石英電気石. 470は基盤岩の現れる標高.
 網を掛けた地域は高比抵抗層はあるが、その上面が基盤面とは考えられない地域.



第8図. 重力異常(ブーゲ異常)より求めた阿蘇カルデラの
 基盤標高図. $\Delta\rho = 0.3\text{g/cm}^3$ (駒澤・鎌田(1985)より編集).
 太線はMTから推定した $500\Omega\cdot\text{m}$ 層上面の標高. 長周期MT
 観測点である南郷谷(NNG)も合わせて示す.

ボーリングによって伏在する往生岳・高岳溶岩、本塚溶岩の火砕物、中岳・高岳古期溶岩層の上面の分布が得られている(扱倉・小森, 1987)。その400m標高分布を第7図に一点鎖線で示すが、これはELF-MTによって推定した $500\Omega\cdot\text{m}$ 層上面の高度とほぼ合っていることが分かる。

今ここでは、第7図で太線で示した高比抵抗層の分布にのみ議論を限ることにする。阿蘇谷、南郷谷の一部での分布から、 $500\Omega\cdot\text{m}$ 層がカルデラ中心に向かって徐々に落ち込んでいる様子が分かる。先に述べたように、阿蘇谷では基盤分布がボーリングから明らかになってきているが、本研究で得られた阿蘇谷での $500\Omega\cdot\text{m}$ 層の分布はこれと矛盾しない。また、成川での電気探査の中心点近くのELF-MT点では、基盤と考えられる $500\Omega\cdot\text{m}$ 層は上部の層に隠されて見えないが、分布図から-600m程度と推定できる。これは電気探査での $350\Omega\cdot\text{m}$ 層の標高(-540m)とほぼ一致する。ただ、G10, G80地点で $500\Omega\cdot\text{m}$ 層の上面高度は-400mとボーリングのそれとはほぼ4



第9図. 南郷谷(NNG)での1次元比抵抗構造(左下). 上図は見かけの比抵抗対周期. 右下図は位相対周期. 上, 右下図中の実線は左下図に示したモデルによる計算値. 見かけの比抵抗, 周期, 深度, 比抵抗は何れも常用対数指数部で表示.

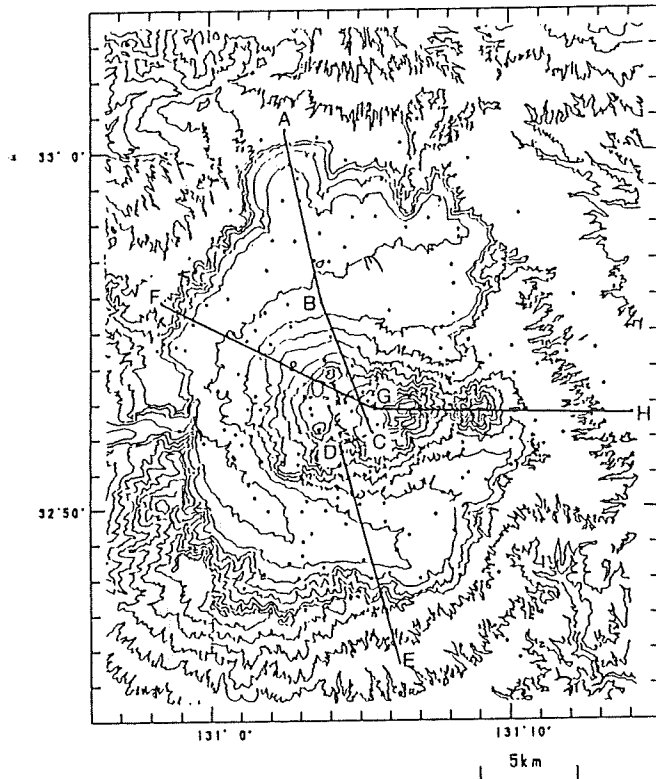
00mの差がある。しかし、これも、電磁気探査では高比抵抗層は検出しにくく、そのため誤差も伴うこと、あるいは $500 \Omega \cdot m$ が必ずしも基盤最上部の比抵抗であるとは限らないことから、現在の精度ではこの不一致はやむを得ないであろう。

次に、重力データとの比較を行った。第8図は駒澤・鎌田(1985)による豊肥地区での基盤標高図($\Delta \rho = 0.3 g/cm^3$ 、コンター間隔500m)から、本地域を取り出して再編したものである。同図上には、第7図の $500 \Omega \cdot m$ 層上面等高線(間隔は200m毎)も書き加えている。重力、MT法共に構造決定には本質的に不確定さが伴うために、両者の値の比較はそれほど意味がないかもしれないが、そのパターンについてはモデルによる任意性は小さいと考えられる。第8図で $500 \Omega \cdot m$ 層上面の高度分布は、カルデラ北部、南部共に、重力から求めた基盤構造と調和的である。また最近、従来中央火口丘群の一員と考えられていた根子岳が、実は先阿蘇火山岩類の1つの成層火山であることが判明した(小野 他、1982)。確かに重力異常から得た基盤標高分布でも、ここでは基盤が落ち込んでおらずカルデラ外部であることが分かる。MTによる探査では、ここでは地形の関係から1測線しか取れないことと、大部分の地点で表層近くから高比抵抗であるので、基盤とみられる $500 \Omega \cdot m$ 層が見える点は僅か4点しかない。そのため $500 \Omega \cdot m$ 層の分布は根子岳付近では余り確かでないが重力データとそれほど違った結果とはなっていないようである。

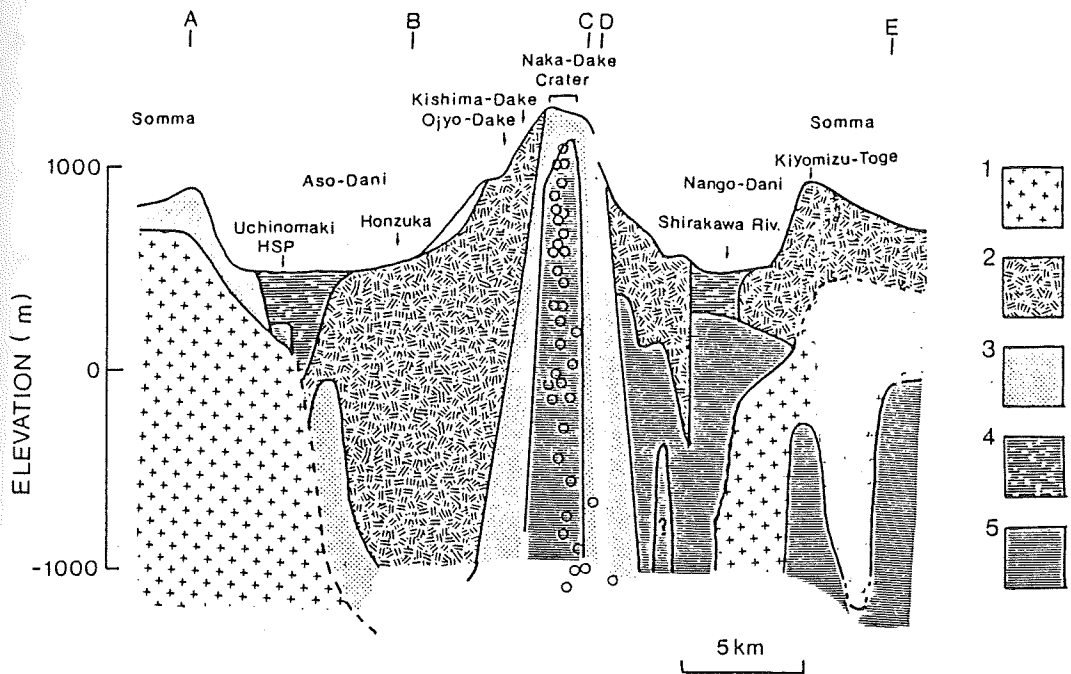
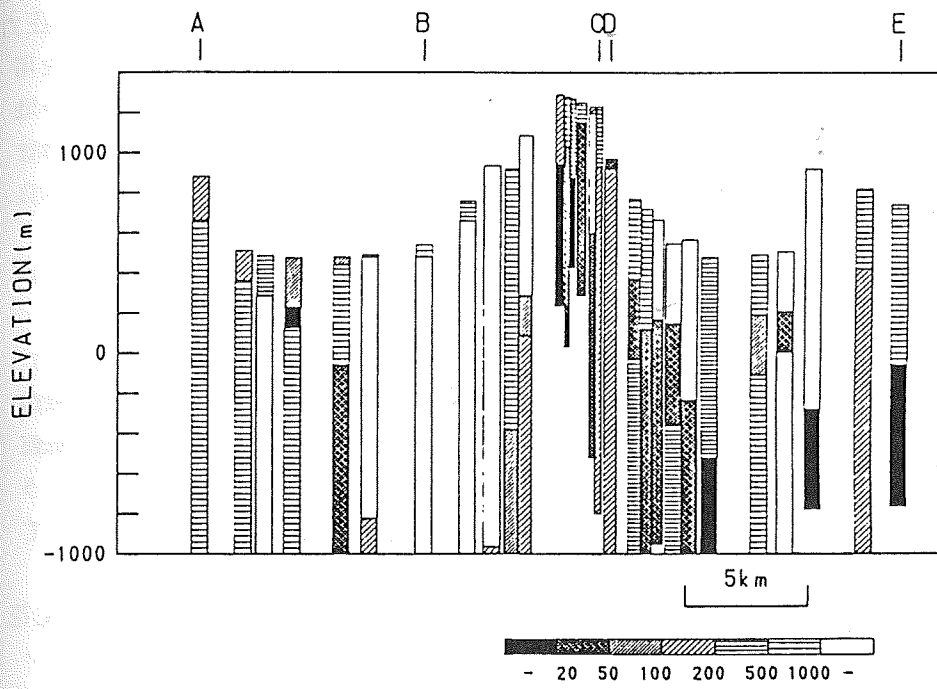
5-3. 深部構造へのアプローチ

我々は、フラックスゲート型磁力計によるGDSと同時にMTを目的として地電流も観測している。現在までにVLF、ELF、長周期MT観測全てが実施された地点は第2図の◆で示した3カ所であるが、唯一のカルデラ内の地点である南郷谷(NNG)での1次元解析結果について簡単に述べる。ここでは、VLF、ELFデータだけによるモデル計算では、表層は高比抵抗層、第2層が $50\Omega \cdot m$ 層であるので基盤は見えないが、第7図の分布から基盤は-200m以深にあることが予想される。第9図はNNGでの広帯域MTから得られた周波数対見かけの比抵抗、及び位相曲線と、その最適モデルで、図中の実線は最適解の結果である。深度2800m(標高-2300m)から $500\Omega \cdot m$ 層が現れる。この部分は周期秒1-10秒に相当し、ちょうどデータの無い区間であるが、20秒以上の見かけの比抵抗分布を説明するためにはここに高比抵抗層が必要であり、深度2kmあたりに基盤が存在する可能性はある。この点については、この観測で欠けた周期(数秒-20秒)でのMT観測を実施して確認する必要がある。

さらにここでの特徴は、およそ10kmから層の厚さ2km、比抵抗値 $5\Omega \cdot m$ 以下の



第10図. 比抵抗断面の位置.



第 11 図. 阿蘇カルデラの南北比抵抗断面図(上)とその解釈(下).

低比抵抗層が出現することである。Aramaki (1984) は、噴火後のマグマ溜り内の圧力減少による地殻変動を説明する茂木モデル、および火砕流中の軽石(本質物質)を用いた水熱実験から推定した噴火直前のマグマの温度と水蒸気圧から、マグマ溜りが地下10 kmにある始良カルデラの地下構造モデルを提唱している。このモデルがそのまま阿蘇に適用できるとは限らないが、その深度からみて高比抵抗の中に挟まれた $5 \Omega \cdot m$ 以下という低比抵抗層の存在は、マグマ溜りとの関係から興味深い。

5-4. 阿蘇カルデラの比抵抗構造

5-1, 2で阿蘇カルデラ下の高比抵抗、低比抵抗層から見た比抵抗構造の特徴を述べたが、まとめる意味もかねてカルデラを南北に横切る測線について比抵抗断面図を示すことにする。第11図の上図は、第10図のABCDEで示される線に沿う南北比抵抗断面図である。この比抵抗分布を基にして阿蘇カルデラの構造を推定してみると第11図の下図のようになる。

第11図下図中の1は、5-2で述べた $500 \Omega \cdot m$ 以上の比抵抗値の層で、白亜紀花崗岩、変成岩等からなる基盤に相当すると思われる。カルデラ南部の深度分布についてはNNG点での長周期MTの結果も参考にして分布を示した。南部外輪山(清水峠)下では表層付近から高比抵抗層が続くため基盤深度は不明である。

2も $500 \Omega \cdot m$ 以上の層であるが、その分布状況から中央火口丘群を作る溶岩層、外輪山では溶岩層・固結した火砕物であろう。

3は、 $100-500 \Omega \cdot m$ 層で、おそらく含水率の高い火砕物であろう。

4は $50-500 \Omega \cdot m$ で湖底堆積物である。

5は低比抵抗層である。1つは中岳火口周辺からほぼ直下に延びる低比抵抗層で、○印は震源の分布を模式的に示したものである。両者の分布がほぼ重なり合っており、火道に伴う破碎領域を示しているのかもしれない。内の牧の基盤直上には温泉と関係すると見られる低比抵抗層が存在する。南郷谷及び南部外輪山下の低比抵抗域については現在の所何に対応するのかわからないが、外輪山のすぐ内側に低比抵抗の上昇がみられる。

第10図のFGHに沿った東西断面図については今回は割愛する。

6. まとめ

現在までに得られたVLF, ELF及び長周期MTの結果をまとめると次のようになる。

1. 現在活動中の中岳火口を中心として低比抵抗層がその直下に延びている。この分布は震源分布とほぼ重なり合い、これは火道の破碎領域を示しているのかもしれない

い。

2. カルデラ南縁にカルデラ縁に沿った低比抵抗帯が存在する。

3. $500 \Omega \cdot \text{m}$ 層上面の高度分布はボーリング、重力から求めた基盤高度分布と調和的である。その分布が基盤構造を反映しているとする、この結果はいわゆる“じょうご型”カルデラモデルを支持するように見える。

4. カルデラ内部の南郷谷(NNG)でのMTから、深度10 km以下に厚さ2 km程度の $5 \Omega \cdot \text{m}$ 以下の低比抵抗層があり、これはマグマ溜りを示している可能性がある。

ELF, VLF-MTにより、阿蘇カルデラ下の浅部比抵抗構造の一部が解明できた。しかし、ELF帯ではカルデラ中央部の基盤分布を知ることは出来ない。NNGでの長周期MTの解析結果は、長周期のMTを用いることによってカルデラ中央部でも基盤構造を検出することが可能であることを示している。

本研究を実施するに当たり、京都大学付属火山研究所に多大の援助を頂いた。記して感謝の言葉としたい。この研究の一部は文部省科学研究費の一部を用いた。

参考文献

荒牧重雄、概説：カルデラ、月刊地球、44、64-72、1983。

Aramaki S., Formation of the Aira caldera, Southern Kyushu, -22,000 years ago, J. Geophys. Res., 89, 8485-8501, 1984.

半田 駿、鈴木 亮、田中良和、2周波数成分を用いたVLF-MT探査—千々石断層—、第80回日本地球電気磁気学会講演予講集、1986。

半田 駿、鈴木 亮、田中良和、北西九州におけるインダクション・ベクトルの分布、第82回地球電磁気・地球惑星圏学会講演予講集、1987。

唐木田芳文、山本博達、宮地貞憲、大島恒彦、井上 保、九州の点在変成岩類の特徴と構造地質学的位置、地質学論集、No.4、3-21、1969。

駒澤正夫、鎌田浩毅、豊肥地域の重力基盤構造、地質調査所報告、No.264、303-334、1985。

松本幡郎、藤本芳男、阿蘇カルデラ内の注目すべきボーリング結果について、火山第2集、14、1-7、1969。

扱倉克幹、小森長生、阿蘇火山の地質図および成長発達史(図版)、大木靖衛・小林忠男編「日本の火山」、平凡社、p34、1987。

小野博尉、外 輝明、阿蘇火山中岳周辺の地震活動(1981)、阿蘇火山の集中総合観測(第2回 1981)報告、7-16、1984。

小野晃司、渡辺一徳、柴田 賢、根子岳火山は阿蘇カルデラの中央火口丘ではない、火山 第2集、27、155-156、1982。

小野晃司、渡辺一徳、阿蘇カルデラ、月刊地球、44、73-82、1983。

- 小野晃司、渡辺一徳、阿蘇火山地質図、地質調査所、1985.
- 笹田政克、豊肥地域の先第三紀基盤岩類、地質調査所月報、38、385-422、1987.
- 田中良和、増田秀晴、山田年広、行武 毅、吉野登志男、小川康男、中川一郎、
河村 謙、桑島正幸、永野哲郎、仲谷 清、馬場広成、池田 清、阿蘇における電
気抵抗測定、阿蘇火山の集中総合観測（第2回 1981）報告、47-56、1984.
- 田中良和、半田 駿、鈴木 亮、阿蘇カルデラ下の電気伝導度異常、電気伝導度異常
（CA）の研究、地質調査所、87-96、1985.
- Yokoyama I., Structure of caldera and gravity anomaly, Bull. Volcanol., 26,
67-72, 1963.