

霧島火山群における構造研究の意義

—新しい火山学の構築のために—

鍵山 恒 臣

東京大学地震研究所

(1994年9月29日受理)

Significance of Investigations on the Structure of Kirishima Volcanoes

Tsuneomi KAGIYAMA

Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, Japan

(Received September 29, 1994)

Abstract

In recent years, investigations on the structure of volcanoes have been noteworthy for the further understanding of volcanic processes including locations of magma reservoir, magma rising process before eruptions and causes of related phenomena. The following seven papers including the present one were presented in the mini-symposium on the structure of the Kirishima Volcanoes held at the Earthquake Research Institute in January, 1994. In this paper are an introductory outline of the Kirishima Volcanoes and three subjects which should be investigated briefly described. Kirishima Volcanoes, located in southern Kyushu, are a group of more than 20 volcanoes. At least 3 volcanoes have historic records of eruptions, and more than 10 volcanoes were active within the past 22,000 years. This indicates that Kirishima is a multi-active volcanic group. Therefore, it is interesting to reveal the structure and the magma supply system of Kirishima. The results of an MT survey and of other seismological and petrological investigations indicate that magma is stored at about 10 km depth and rises several kilometers beneath the northern Kirishima volcanoes, such as Iwo-Yama and Shinmoe-Dake, while beneath southern volcanoes such as Ohachi, magma is supplied from a deeper part. The second subject is to clarify the reason why Kirishima is a multi active volcanic group. According to the seismological investigations, the Kirishima area is subject to NW-SE extensional stress, and the slight extensional stress is favorable for a fault system that allows magma to ascend at various points. For this reason, a multi-active volcanic group was generated in this area instead of a large stratovolcano. Seismic activity in Southern Kyushu indicates that the NW-SE extensional stress may be caused by the tectonic movement related to the rifting of the Okinawa Trough, and that Kirishima is located just on that fault zone. The third subject is to reveal the shallower structure of

Kirishima, specifically the depth and distribution of the water saturated layer. In recent years, a low resistivity layer, which is interpreted as being caused by a water saturated porous layer, has been found at many volcanoes. According to the VLF and ELF-MT survey, a low resistivity layer is found throughout the Kirishima area beneath the more resistive surface layer, which is about 100 m thick. This low resistivity layer is expected to play an important role in controlling the eruption type and in generating precursory phenomena of volcanic eruptions through interaction of magma and water in the saturated layer.

1. ミニシンポジウム「霧島火山群の構造」によせて

「火山の地下はどうなっているのか?」, 「マグマはどこにあって, どのようにして噴火に至るのか?」, こうした問題に注目する研究者が近年急速に増えつつある。最近15年間に日本で発生した噴火のほとんどは, 火山研究者がなんらかの前兆を事前に捉え, それが社会的に注目されたかどうかは別として, 様々な観測強化の努力を行ってきた。寝耳に水の噴火は1979年の御岳の噴火と1983年の三宅島の噴火の2例だけと言っても過言ではない。このように, 噴火予知研究は着実に進歩しつつあるが, 捕捉した異常が何を意味するのか, また最終的に噴火につながるのか, つながるとすれば, どのような噴火でどれくらいの規模でいつまで続くのかといった問題を前にした時, 研究者の多くはそこに壁を感じざるをえない。もし火山の地下を知る事ができれば, マグマの集積状態や動きを把握して, より信頼される噴火予知に近づけると多くの研究者は考え始めたのである。霧島火山群は鹿児島県と宮崎県の県境にあり, 大小20あまりの火山からなる。この霧島をテストフィールドとして, 地下構造やマグマに関する調査・研究が精力的に行われつつあり, 今年度は構造探査の計画も進行中である。こうした状況を目前に控えた1994年1月の地震研究所談話会に, これまでの研究結果を関係者が持ち寄り, ミニシンポジウム「霧島火山群の構造」を開催した。本稿に続く数編の論文はその際に報告されたものであるが, これが今年度行われる探査の道標となれば幸いである。

2. 霧島で何を知るべきか

「なぜ構造か?」その理由には2つの側面が考えられる。1つは, マグマそのものに対する興味である。マグマはどこにどれくらいあるのか?どこから供給されるのか?それがわかれば, 噴火の規模や継続時間が推定できるであろうし, 弾性波速度などの物理量からマグマの温度や密度などの物性値も推定できるであろう。そうすれば, 噴出物の分析から描かれるマグマ像とのすり合わせも可能になり, そこから新たな発展も期待される。もう1つの側面は, マグマの入れ物, 言い換えればマグマが上昇してくる環境・媒質を知ることである。マグマは決して無味乾燥な個性のない空間を上昇してくるのではない。たとえば笹井(1990), 鍵山(1993a, b)は, 火山体下に存在する帯水層がマグマやマグマから発散される高温の火山ガスと接触することにより, 地熱異常, 火山ガス異常, ある種の火山性微動や山体膨張などの噴火の前兆を起こすことや, 熱泥噴出, 水蒸気爆発からマグマ噴火へと推移する噴火の様式をも規定している事を指摘している。以上の2つの側面を踏まえつつ, 霧島火山群で調べるべき3つの課題を考えてみよう。

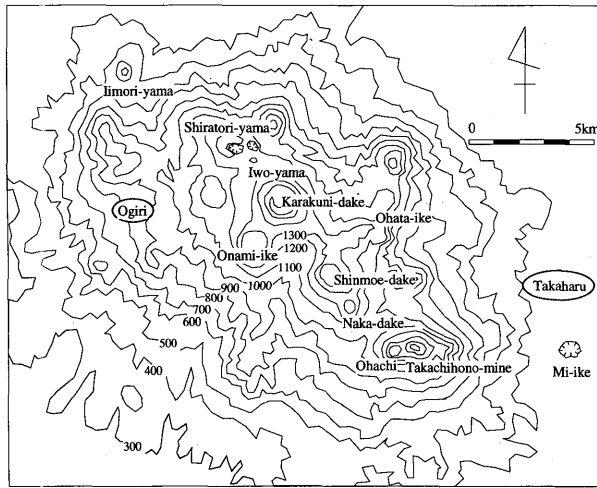


Fig. 1 Topographic map of Kirishima Volcanoes. Names in the ovals indicate the regions, and the others are volcanoes.

2-1. マグマを捉える

霧島は、阿蘇と桜島の間、鹿児島・宮崎の県境にあり、大小20あまりの火山から構成される火山群である (Fig.1)。北西-南東方向に約30km、北東-南西方向に約20kmの広がりを持ち、北西には加久藤カルデラが半ば重なるように位置している。この火山群の地質学的記載は井村 (1994)により述べられるが、少なくとも御鉢、新燃岳の2火山は歴史時代に繰り返し噴火しており、硫黄山も1768年に溶岩を流出している。また、北西端の飯盛山から南東端の御池に至る北西-南東方向の帯上には入戸火砕流 (約22000年前)よりも若い活動年代を持つ火山が10数個並んでいる。火山に寿命があるとすれば、そしてそれがしばしば言われる数万年以上であるとするならば、1つの火山がまだ十分に若く噴火を繰り返している間に、他の火山が次々に噴火している事になる。つまり、霧島火山群は地質学的時間スケールでは「複数の火山が同時に活動している火山群」である事を意味しており、「1つの火口で長期間活動している火山」とは、マグマの供給形態や火道の形成条件が異なっている事が予想される。仮に火山の寿命が数万年以上よりも極端に短く、「個々の噴火ごとに火山は死んで別の火山が生まれている」という立場をとるのであれば、複数の火山が同時に活動している事にはならないが、その場合でも「深部からのマグマの供給は個々の噴火ごとに行われ、そのつど火山は死ぬ」という考えを一般化して、1つの火口で長期間活動している火山にもあてはめられるのか、それともそういう火山は別で、「1回の供給で複数回 (場合によってはその火山の一生分)の噴火が発生している」と考えるべきなのかといったマグマの供給形態の問題に最終的には帰着する。したがって、このような活動形態の違いがなぜ生ずるか、これらの火山へのマグマ供給がどのように行われているかは火山学上興味ある問題である。

この問題に関しては、従来、加久藤カルデラで発生した群発地震活動が南東方向の新燃岳や御鉢火山へと移動し、場合によっては噴火に至る (MINAKAMI *et al.*, 1968,

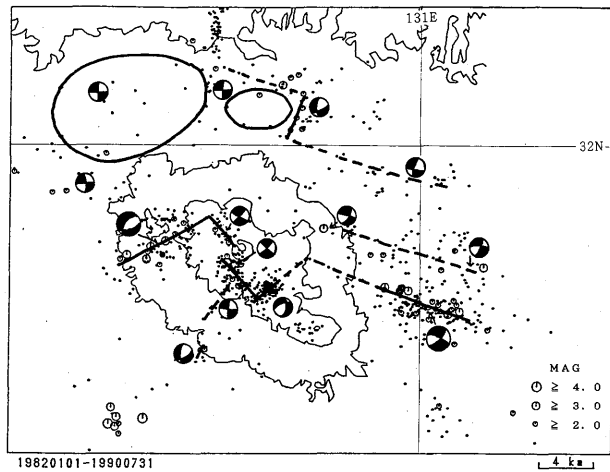


Fig. 2 Distribution of earthquakes and typical focal mechanism solutions around Kirishima (Kagiyama, 1992). Two ovals indicate the epicentral area of earthquake swarms in 1968 and 1975 in the Kakuto Caldera.

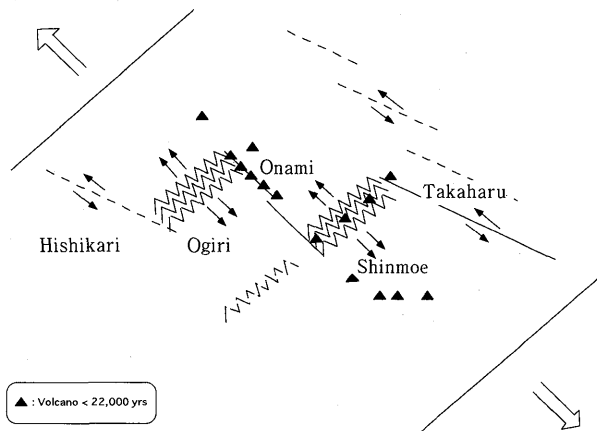


Fig. 3 Tectonic model around Kirishima. Kirishima area is subject to NW-SE extensional stress.

1970) 事から、霧島火山群のマグマは、雲仙で言われているモデルと同じように、加久藤カルデラの地下に存在するマグマ溜まりから供給されているのではないかと推測されてきた。しかし、一方で、霧島火山群の地質学的・岩石学的研究によれば、それぞれの火山を生成したマグマが同一のマグマからの分化によるものとは考えにくいという指摘もなされており(井ノ上, 1985, 1986), 両者の考えは整合的ではない。したがって、「霧島火山群を構成する火山へのマグマの供給源は1つか複数か」、あるいは「マグマはどこからどのように供給されているか」という問題は、未解決のまま残されている事になる。この問題に関しては、宮本(1994)、歌田他(1994)、山本他(1994)、及川他(1994)が最近の新しい知見を示している。これらの結果をまとめると、霧島火山群を構成する火山の中でも新燃岳や硫黄山などの中岳以北の火山では、深さ10km付近にマグ

マが滞留し、火口直下ではそれが浅部までせり上がっているのに対して、御鉢などの南東部に位置する火山では、マグマはより深部から直接短時間に供給されて噴火後は短時間に逆流し、恒常的には浅部にマグマを残さない性質の違いがあること、両者のマグマは別である事などが明らかにされているが(鍵山, 1994a), まだ十分に調査されているとは言いがたく、今後検討すべき問題は多い。

2-2. 霧島火山群と応力場

上記の課題の延長上には、「霧島地域に1つの巨大な成層火山を造らずに火山群を形成しているのはなぜか」という問題が残されている。この疑問に答えるには応力場を知ることが重要である。井田他(1986)、鍵山他(1989)、KAGIYAMA(1992)により霧島地域の地震活動や応力場を調べる研究が進められ、最近の結果は鍵山(1994a)によりまとめられている。Fig.2に霧島周辺の震源分布と代表的なメカニズムを示す。大部分の地震は、北東-南西、あるいは北西-南東方向のいくつかの線上に配列しており、かつ時間的に相互に関連して発生する傾向が見られる。楕円で囲んだ領域は、加久藤カルデラ西部で発生した1968年のえびの群発地震(MINAKAMI *et al.*, 1970)の震源域、加久藤カルデラの東部で発生した1975~76年(宮崎他, 1976)と1978年の小規模な群発地震の震源域であるが、1978年の群発以後地震の少ない状態が続く、現在まで地震の空白域となっている。地震のメカニズムは、大略的には、北西-南東方向に張力軸を持つ横ずれないし、正断層が卓越しており、霧島・加久藤地域の地震活動はFig.3のようにモデル化する事が可能である(鍵山, 1994a)。すなわち、高原-新燃-大浪-大霧と霧島火山群を東西に横切るように断層系が存在し、これに付随するように霧島火山群北東麓(小林市)に活動度の低い断層が雁行している。これらの個々の断層は連結しながら全体としては、この地域が北西-南東方向に拡大するような変形をしている。九州中部の別府・島原地溝周辺では南北方向に拡大しているのに比べて、霧島周辺の拡大方向は反時計方向に回転していることになるが、この結果は、国土地理院による三角測量の結果(多田, 1988)とも一致している。

これらの断層系に対応して、いくつかの火山が生成されている。たとえば、新燃岳、大幡山、大幡池、丸岡山の火山の列は、Fig.3に“Shinmoe”と示される新燃岳から北東に延びる正断層に沿っている。また、白鳥山、白紫池、六観音池、不動池、硫黄山の火山や韓国岳北西の爆裂火口群は、“Onami”と示される地震列に対応している。しかし、全ての断層上に火山が噴出しているわけではなく、大霧地区や高原の断層上には火山はない。こうした事実は、マグマが霧島地域のいたるところで作られているわけではなく、ある特定の領域で作られ、地殻の浅い部分に生成された断層に規定されながらマグマが上昇、噴火している事を示すと考えられる。NAKAMURA(1977)は、応力場と火山との関係について、張力的応力場では、マグマが上昇する経路を簡単に確保するために単成火山群となる一方、圧縮応力場では、経路を確保することが困難なために一度使った経路を何度も使う複成火山となる事を提唱している。この事は、やや張力的応力場の霧島で火山の群が生成されるのに好都合と言えるであろう。しかし、霧島の火山の並ぶ方向は、一部にNAKAMURA(1977)が多くの火山で示したような水平最大圧縮方向に並ぶ所もあるが、大局的な並びの方向は水平最小圧縮方向となっている。この理由は、霧島の火山が上記の断層に規定されて生じ、個々の火山の近傍で小規模に水平最

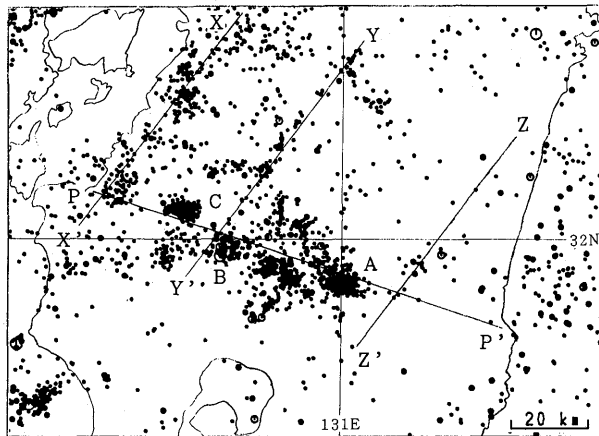


Fig. 4 Distribution of earthquakes in southern Kyushu from January, 1979 to February, 1994. A:Takaharu B:Hishikari C:Okuchi

大圧縮方向に火口が並んでいると考えれば説明可能であろう。

以上のような応力的環境は、以下に示す理由から、霧島・加久藤地域に限られたものではなく、南九州全体のテクトニックな動きを反映したものである。Fig.4は、1979年以降霧島火山観測所で決定された南九州の震源分布である。小さな観測網で決定されているため、遠方の震源位置の絶対的精度や深さの精度は落ちるが、八代海東縁(X-X')、宮崎・熊本県境(Y-Y')、宮崎平野西縁(Z-Z')に北北東-南南西方向にほぼ平行な3本の直線的な地震の配列が認められる。これらの地震の配列のうち、八代海東縁の配列は、日奈久断層に対応するものであり、北西-南東に張力軸を持ち、やや開口成分を持つ右横ずれのメカニズムをもつ地震であることが明らかにされている(清水, 私信)。これ以外の配列が活断層に対応するかどうかやメカニズム等は现阶段では明らかではないが、3本の地震の配列がほぼ平行である事、Z-Z'が九州山地と宮崎平野の境界に対応し、その延長は都城盆地の西縁にあたる事、九州を見た場合、五島列島や島原半島、天草、八代海、甕島など特徴的な地形が全て北北東-南南西方向に並んでいる事などを考えると、この地震の配列は偶然ではなく、南九州のテクトニクスに密接に関係した意味のある配列と考えられる。これらの地震の配列に斜交するように、鹿児島県出水市(八代海南縁:P)と宮崎県清武町(宮崎平野南縁:P')を結ぶ線上に地震が並んでいる。この線上(以下簡単のため出水-清武線と呼ぶ)には、上記の霧島を東西に横切る断層系(高原-新燃-大浪-大霧)が並ぶ他、その西の延長には、1979年に発生した菱刈町湯ノ尾温泉付近の地震群(最大M5.1)が並んでいる。鍵山他(1989)は、これらの地震の配列の重要性を指摘していたが、1994年2月にはこの配列の隙間を埋めるように鹿児島県大口市付近で最大M5.9の地震が発生した。また、出水-清武線の東側部分は、宮崎平野と日南の山地の境界に一致しており、西側部分は、八代海の南縁にあたる。九州西岸と三角半島、天草諸島に囲まれた八代海は、あたかもかつて拡大したことのある「ミニ縁海」のように見えるが、仮にそれが事実であるとすれば、八代海の拡大に伴う断層運動の南側の部分は、まさに出水-清武線でなければならない。こうした状況は、出水-清武線が意味のある線であることを示していると考えらるべきである。

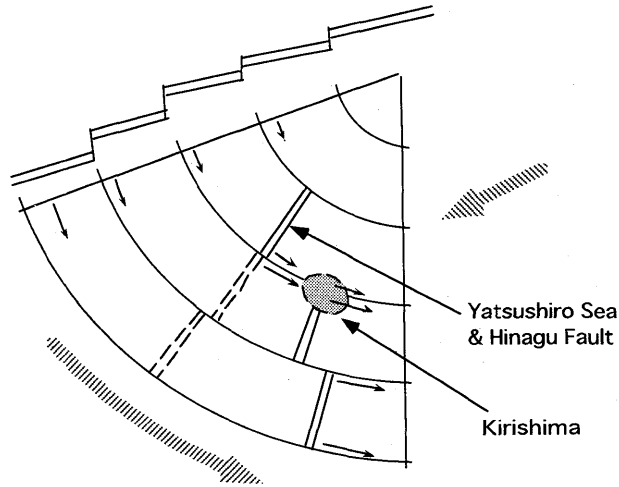


Fig. 5 Tectonic model around Southern Kyushu. The NW-SE extensional stress around Kirishima may be caused by the tectonic movement related to the rifting of the Okinawa Trough.

う。仮にこれらの地震の並びが断層であって、北西-南東方向に張力軸を持つメカニズムであるとするれば、霧島は、単にやや張力的応力環境を持つ南九州に存在しているというのではなく、南九州をいくつかに分割するブロック的な動きが南九州を支配し、歪みがより強調されるブロックの境界上に霧島火山群が作られていると解釈される。KODAMA and NAKAYAMA (1993) は、古地磁気学的研究から、南九州が6Ma以降現在まで反時計方向に回転していることを指摘し、それが沖縄トラフの拡大に伴う北端部(南九州)の動きとしている。この事を上記の結果と合わせて考えると、南九州のブロック的な動きはFig.5に示すように、南側ほど大きく拡大するための回転運動とフィリピン海プレートの斜め沈み込みに起因する九州の東側から押しが重なりあった場の一部と考えることが可能である。主要な拡大軸はこの地域の北西側にあるかもしれないが、一部の拡大は南九州でも起こり、拡大軸とそれを相互につなぐ断層で構成されている。このモデルでは、九州中部が南北に拡大しているのに対して南九州が北西-南東方向に拡大している事が説明可能である。また、拡大軸を八代海や鹿児島地溝に対応させると、日奈久断層は拡大軸の東側に、出水-清武線は拡大軸を結ぶ回転方向の断層に対応し、八代海や鹿児島地溝の形成を説明できるほか、日奈久断層や霧島周辺の地震のメカニズムも説明が可能である。このモデルは概略を示すもので、1本で示される拡大軸や横ずれ断層も、実際には小さな断層の集合体からなり、このモデルで回転方向の断層と拡大軸の交点に位置する霧島火山群も、ミクロには先に示したようなより小さな断層の集合と考えられる。また、時間的にも長期に安定したものではなく、時間と共に拡大軸が移っているかもしれない。いずれにしても、霧島は、南九州のテクトニクスを反映するブロック的な運動の境界に生成された火山群であるといえ、これらの事実関係を今後より詳しく検討していく必要がある。火山の活動形態は応力場に影響されることが十分考えられるので、より圧縮的な応力場にある東北地方の火山のみを研究して島弧火山の研究を行っていると考えすることは危険であり、より張力的応力場に属する九州の火山を

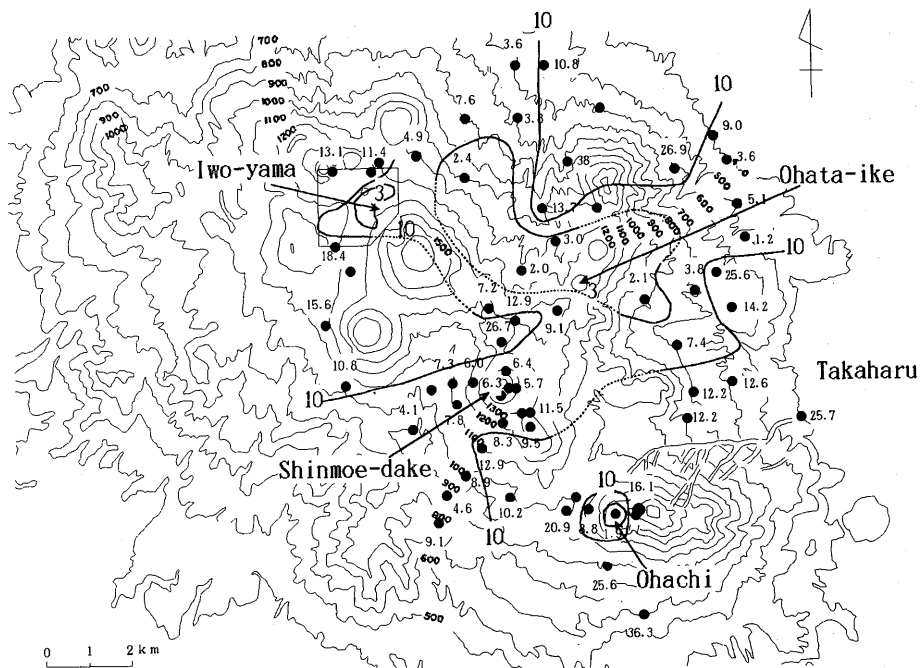


Fig. 6 Distribution of apparent electrical resistivity in 8 Hz by ELF-MT. Unit in $\Omega \cdot$ m. Solid box indicates high density measurements around Iwo-yama.

研究することで、より完全な島弧火山の研究が進められるであろう。その意味で、霧島火山群の構造やそれに基づく活動形態の研究を行うことは有意義であり、火山に限らず沈み込み帯の研究に貢献できると思われる。

2-3. 霧島の浅部構造

最近、多くの火山において、山体の浅い部分に水を多く含む層と思われる低比抵抗層が確認されており、この層が噴火の前兆の出現や噴火様式を規定するなど重要な働きをすることが認識されつつある(鍵山, 1993a, b)。霧島においても、ELF, VLF-MT測定が精力的に行われ、深さ数100mまでの浅部構造が明らかにされつつある。霧島全域の比抵抗分布(Fig.6)を見ると、硫黄山周辺に低比抵抗域が見られる他、新燃岳から大幡池に至る火山の列とその山麓部に低比抵抗域が分布し、その一部は東側山麓の高原方向にのびている。この低比抵抗域は地震活動の並びと一致しており、断層を通じて熱水が上昇し、周辺の熱変質が進行したものと考えられる。高原町には地震の配列上に温泉が並んでおり、この考えを支持している。一方、南東部の御鉢の低比抵抗域はきわめて狭い部分に限られている。

個々の火山の浅部構造を見ると、硫黄山周辺では、水を多く含む層がこの地域一帯に広がっている事、硫黄山の地下深部から供給される高温の火山ガスと水との混合により、硫黄山の周囲に抵抗の低い領域が形成されて噴気地や温泉の源となっている事が明らかにされている(鍵山他, 1994b)。新燃岳においても Fig.7 に示すように、表層は厚

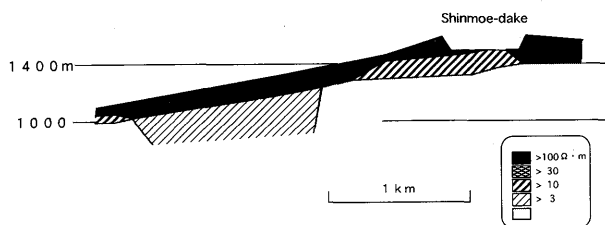
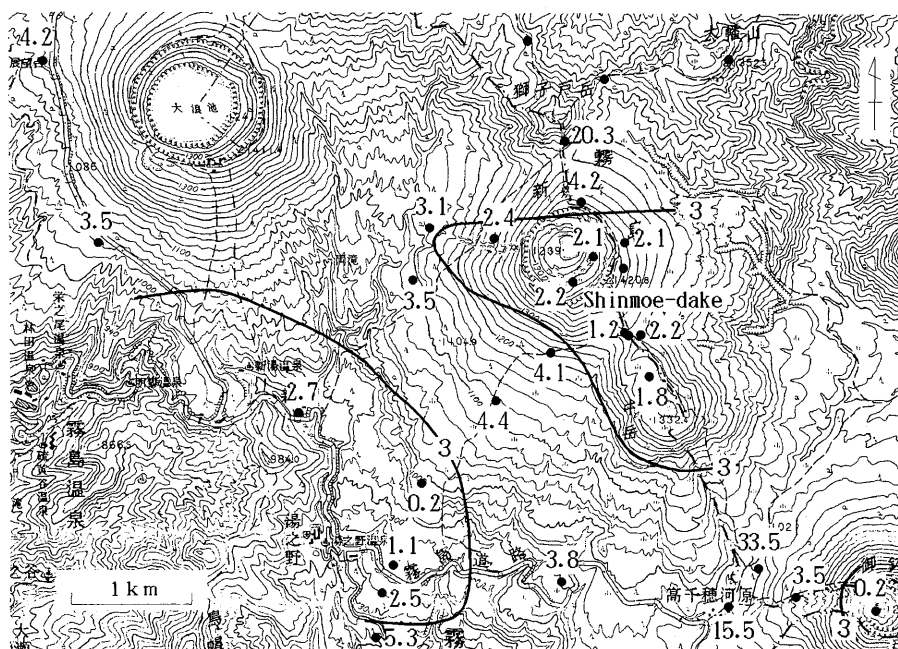


Fig. 7 EW cross section of the resistivity structure of Shinmoe-dake.

Fig. 8 Distribution of the resistivity of the 3rd. layer around Shinmoe-dake. Unit in $\Omega \cdot m$.

き 100m 程の $100\Omega \cdot m$ 以上の高比抵抗層に覆われているが、その下には $4\Omega \cdot m$ 以下の低比抵抗層が広く分布している。特に火口近傍では表層の抵抗も低くなっている。Fig. 8 には解析された構造のうち最下層となる第3層の比抵抗分布を示すが、新燃岳周辺の広い範囲で $5\Omega \cdot m$ 以下となっており、その中でも新燃岳から中岳にかけての山頂部と南西山麓の新湯・湯之野の温泉地帯の2カ所に特に比抵抗の低い目玉が分かれている事がわかる。また、新燃岳の特に比抵抗の低い領域は東西に延びる傾向を示し、西側の1959年の割れ目火口列と1991年に微噴火(鍵山他, 1992b)を行ったS8噴気を結ぶ位置にある。HASHIMOTO *et al.* (1994) は、新燃岳深部から上昇してくる高温の火山ガスが浅部の帯水層にぶつかり、熱水の上昇・循環が引き起こされているのではないかの期待から、新燃岳火口周辺において地電位差の分布を調査した。その結果、低比抵抗領域に対応するような電位差の分布が得られたものの、火口湖の漏水によると思われる火口中央の負電位異常が最も大きな特徴であることが判明し、熱水の上昇を積極的に裏付ける結果とはならなかった。新燃岳の噴気温度は、鹿児島地方気象台の観測によれ

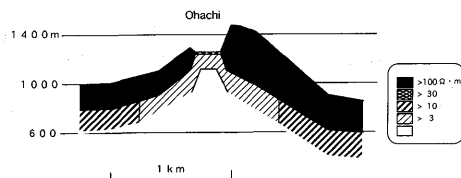


Fig. 9 NW-SE cross section of the resistivity structure of Ohachi.

ば、1980年代初めには200°Cを越えるほどであったものが、現在は水の沸点程度であることから、熱水の上昇を示す正電位異常が明瞭に現れなかったのは、現在の新燃岳の地熱活動が低調であるためと考えられる。将来地熱活動が活発化してきた場合、電位差分布がどのように変化するかで浅部の熱水の動きがつかめると期待される。

これまでに明らかにされている霧島の火山活動の特徴を再考すると、新燃岳の過去300年間の5回の噴火中3回までは、水蒸気爆発→マグマ水蒸気爆発→マグマ噴火（火砕流の発生）と規則正しく推移しており（井村他，1991）、1959年の噴火はその第1段階の水蒸気爆発で活動が停止したものと考えられる。また、1991年の微噴火は、水蒸気爆発に至る前の段階とも考えられる（鍵山他，1992b）。新燃岳をはじめとする霧島の火山では、水蒸気爆発、マグマ水蒸気爆発が頻繁に起きているが、これはマグマ、あるいはマグマから分離した高温の火山ガスが地下の浅い部分に上昇して、霧島の地下に広く存在する帯水層の水と接触するために発生すると考えれば、この種の噴火が多い事は当然と理解されよう。同じような現象は雲仙火山や諏訪之瀬島火山でも観測されており、ドーム生成までの普賢岳の活動は、地下に広がる帯水層に高温の火山ガスが供給されて熱泥噴出を起こした後、マグマが帯水層に達してマグマ水蒸気爆発を起こし、その後溶岩ドームを生成したと理解される（鍵山他，1992a）。また、諏訪之瀬島火山では、噴火活動期の前後に噴気異常が観測されるが、それは、同火山地下浅部（海拔0m付近）に存在する帯水層に高温の火山ガスやマグマが深部から接近して大量の水蒸気が生成されるために噴火活動期前に噴気異常を起こす、噴火最盛期には火道から水が排除されるため噴気は消滅するが、活動末期にはマグマが後退を始めて再び水が火道に浸入するため噴気異常が観測され、静穏期には冷却して噴気が停止すると理解される（鍵山他，1993c, d）。一方、御鉢の構造は、Fig.9に示すように、火口のごく近傍に低比抵抗域が見られるものの火口から1km離れたところでは $10\Omega \cdot m$ 以上となり、低比抵抗域がきわめて限られた範囲のみにある事がわかる。また、ULF-MTの結果を加えたより深部までの構造をみても、低比抵抗層は限られた範囲にしか見られない。この事は、御鉢の山体浅部には水が少ないことを示しているものかもしれない。御鉢の噴火は、新燃岳の噴火に比べて熱泥噴出などの水の関与を示す証拠が少ないと言われており（井村，私信）、両者は調和的であるかもしれない。今後、こうした観点から、個々の火山の帯水層の分布状況や噴火の活動様式、前兆の現れ方の比較を行うことが重要であろう。

4. まとめと今後の課題

霧島火山群は、複数の火山が同時に活動している火山群であり、そのマグマがどこからどのように供給されているかを明らかにすることは重要な課題である。また、霧島火山群を取り囲む応力場は、北西-南東方向にやや張力的な場であり、霧島を構成する火

山の多くは、これらの断層上に生成されている。霧島が巨大な成層火山とならずに火山群を形成したのは、この張力場のせいであろう。この応力場は、南九州全体を支配するテクトニックな動きを反映したものと考えられるが、その詳細はまだ明らかではない。テクトニクスと火山活動との関係を検討する上で霧島は貴重な火山といえる。霧島の浅部には水を多く含む層が広く分布しており、水蒸気爆発等が多いのは当然と考えられる。個々の火山の帯水層の分布状況とそれぞれの火山の活動様式の関係、噴火の前兆の発生状況の違いを検討していくことは、両者の関係を検討する上で重要であろう。これら3つの課題を明らかにしていく事で新しい火山学を構築していくことが期待される。なお、本稿では、特に触れなかったが、人工地震による霧島火山群の地震波速度構造は、始良カルデラを対象とした爆破信号を傍受して決定されたもの(宮崎他, 1978)が唯一であり、十分な測線と爆破点によるものではない。したがって、今年度行われる人工地震探査では、最低限の目標である深さ2~3kmまでの表層の速度構造が決定されるだけでも、その後の震源決定精度の向上を突破口として、さまざまな発展が期待される。地震波速度構造の決定は、本稿に示した3つの課題以前の、当然解明されるべき課題である。

謝 辞

本稿を含む「霧島火山群の構造」に関する研究がこのような形でまとめられたのは、霧島をはじめとする火山の構造に興味を持つ多くの研究者の支持と協力があったからである。特に多忙な中寄稿をいただいた諸氏にお礼申し上げる。地震研究所の井田喜明教授、歌田久司助教授には、霧島についての日常的な討論や共同研究を遂行していただいた。霧島の調査がこのように進展したのは、霧島火山観測所の山口勝、増谷文雄の両氏の日々のためまぬ努力に負うものである。また、査読者にはいくつかの誤りを指摘していただいた。これらの方々に謝意を表します。

文 献

- HASHIMOTO, T., T. KAGIYAMA and F. MASUTANI, 1994, Self-potential measurements on Shinmoe-dake, Kirishima Volcano Group. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, this issue.
- 井村隆介・小林哲夫, 1991, 霧島火山群新燃岳の最近300年間の噴火活動. *火山*, **36**, 135-148.
- 井村隆介, 1994, 霧島火山の地質. *震研彙報*, 本号.
- 井ノ上幸造, 1985, 霧島火山群にみられる K_2O , Rb の水平変化について. *火山*, **30**, 313.
- 井ノ上幸造, 1986, 霧島火山群に見い出された Incompatible elements の水平変化. *火山*, **31**, 144.
- 井田喜明・山口勝・増谷文雄, 1986, 霧島火山における最近の地震活動と応力場. *地震*, **39**, 111-121.
- 鍵山恒臣・山口勝・増谷文雄, 1989, 霧島火山群東麓の地震活動. *火山*, **34**, 162.
- KAGIYAMA, T., 1992, Geophysical background of Kirishima Volcanoes. *Rep. Geol. Survey Japan*, **No.279**, 89-92.
- 鍵山恒臣・歌田久司・増谷文雄・山本哲也・村上英記・田中良和・増田秀晴・橋本武志・本蔵義守・三品正明・松尾細道・清水洋, 1992a, 雲仙火山の MT 観測とそれによって推定されるマグマの上昇過程. 総合研究 (A)「雲仙岳溶岩流出の予知に関する観測研究」報告書(代表太田一也), 73-86.
- 鍵山恒臣・歌田久司・増谷文雄・山口勝・笹井洋一・田中良和・橋本武志, 1992b, 霧島火山群・新燃岳 1991-92 年微噴火と電磁気観測. CA 研究会 1992 年論文集, 279-296.
- 鍵山恒臣, 1993a, 噴火予知のための地熱観測. 月刊地球, 号外 **No.7**, 99-106.

- 鍵山恒臣, 1993b, 火山体下の低抵抗層の意義. 火山学会 1993 年秋季大会講演予稿集, 32.
- 鍵山恒臣・増谷文雄・井口正人, 1993c, 諏訪之瀬島火山の ELF, VLF-MT 測定. 第 2 回諏訪之瀬島火山集中総合観測報告書, 55-66.
- 鍵山恒臣・増谷文雄, 1993d, 諏訪之瀬島火山の遠望観測. 第 2 回諏訪之瀬島火山集中総合観測報告書, 81-93.
- 鍵山恒臣, 1994a, 霧島一やや張力的応力場に生成した火山群. 地学雑誌, **103**, 133-144.
- 鍵山恒臣・山口勝・増谷文雄・歌田久司, 1994b, 霧島火山群・硫黄山周辺の VLF, ELF-MT 測定. 震研彙報, 本号.
- KODAMA, K. and K. NAKAYAMA, 1993, Paleomagnetic evidence for post late Miocene intra-arc rotation of South Kyushu, Japan. *Tectonics*, **12**, 35-47.
- MINAKAMI, T., D. SHIMOZURU, T. MIYAZAKI, S. HIRAGA and M. YAMAGUCHI, 1968, The eruption of Shinmoe-dake and the 1961 Iimori-yama earthquake swarm. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **46**, 965-992.
- MINAKAMI, T., M. HAGIWARA, M. YAMAGUCHI, E. KOYAMA and K. HIRAI, 1970, The Ebino Earthquake Swarm and the seismic activity in the Kirishima Volcanoes, in 1968-1969. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **48**, 205-233.
- 宮本毅, 1994, 霧島火山群噴出物の活動に伴う組織変化. 1994 年地球惑星科学関連学会合同大会予稿集, 71.
- 宮崎務・山口勝・増谷文雄・寺尾弘子, 1976, 1975~1976 年霧島火山北方地域における群発地震活動. 震研彙報, **51**, 115-149.
- 宮崎務・山口勝・増谷文雄・寺尾弘子, 1978, 霧島火山下部の P 波速度構造. 火山, **23**, 215-225.
- NAKAMURA, K., 1977, Volcanoes as possible indicators of tectonic stress orientation. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, **2**, 1-16.
- 及川純・山本圭吾・井田喜明, 1994, 霧島火山における地震波減衰領域. 震研彙報, 本号.
- 笹井洋一, 1990, 火山の地下水分布と噴火予知. 火山, **34**, S307-S308.
- 多田堯, 1988, 広域地殻変動と火山活動. 火山, **33**, 137-138.
- 歌田久司・鍵山恒臣・霧島火山電磁気研究グループ, 1994, 霧島火山の深部比抵抗構造. 震研彙報, 本号.
- 山本圭吾・井田喜明, 1994, やや遠地地震を用いた霧島火山群の 3 次元 P 波速度構造解析. 震研彙報, 本号.

要 旨

霧島火山群の構造に関するミニシンポジウムが 1994 年 1 月に行われた。本論に続く論文はその際の発表をまとめたものである。本論はその前置きとして、霧島火山群を紹介すると共に、同火山群の構造を研究するに際して目標とすべき 3 つの課題を示している。第 1 に、霧島火山群は複数の火山が同時に活動している火山群であって、そのマグマがどこからどのように供給されているかを明らかにすることが重要である。第 2 に、なぜ火山群を作るのかを応力場や南九州のテクトニクスとの関係から検討する必要がある。第 3 に、帯水層と考えられる低比抵抗層が、霧島の広い範囲に見られる。帯水層の分布状況を正確に把握し、噴火の様式や噴火の前兆現象との関係を明らかにしていく事が重要である。