

霧島火山群の構造研究が提起する南九州研究の展望

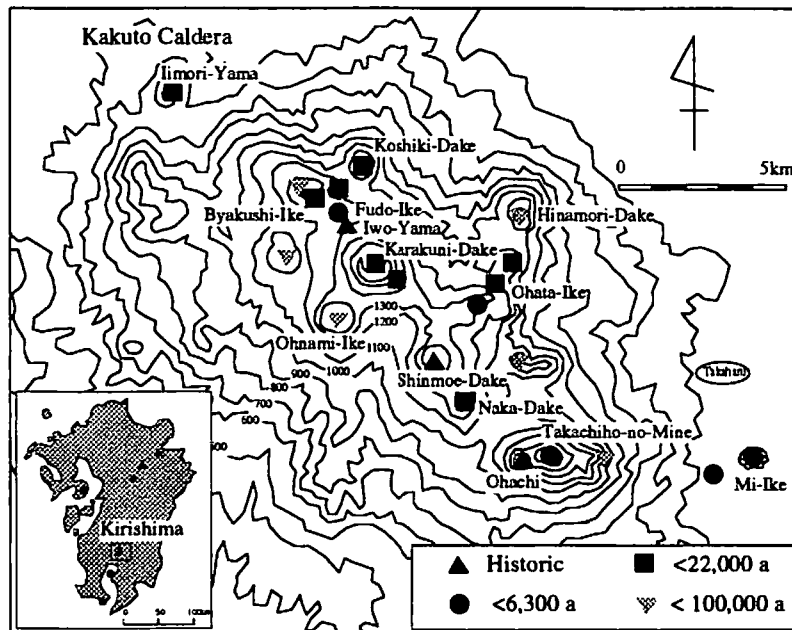
東大震研 鍵山恒臣・歌田久司・宗包浩志

View of research in Southern Kyushu proposed by a research on structure of Kirishima Volcanic Group

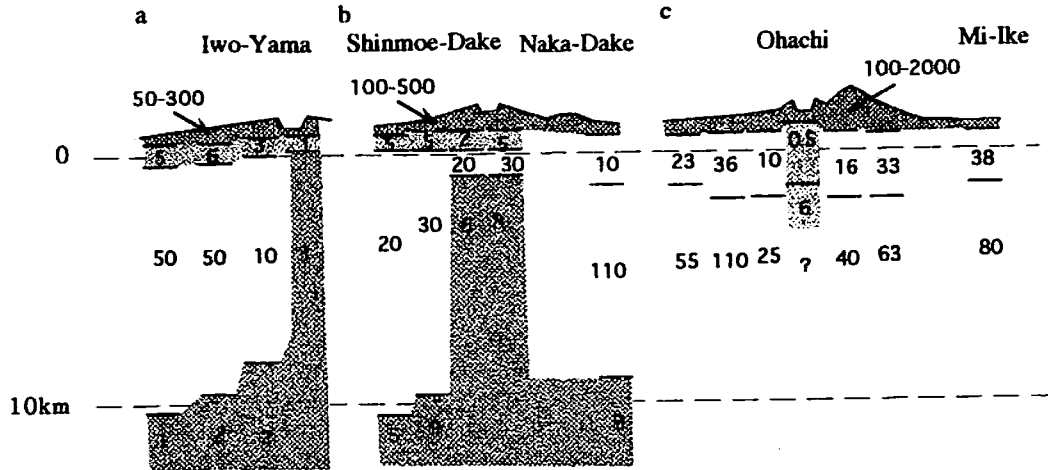
Tsuneomi Kagiya, Hisashi Utada and Hiroshi Munekane
(Earthquake Research Institute, University of Tokyo)

1. はじめに

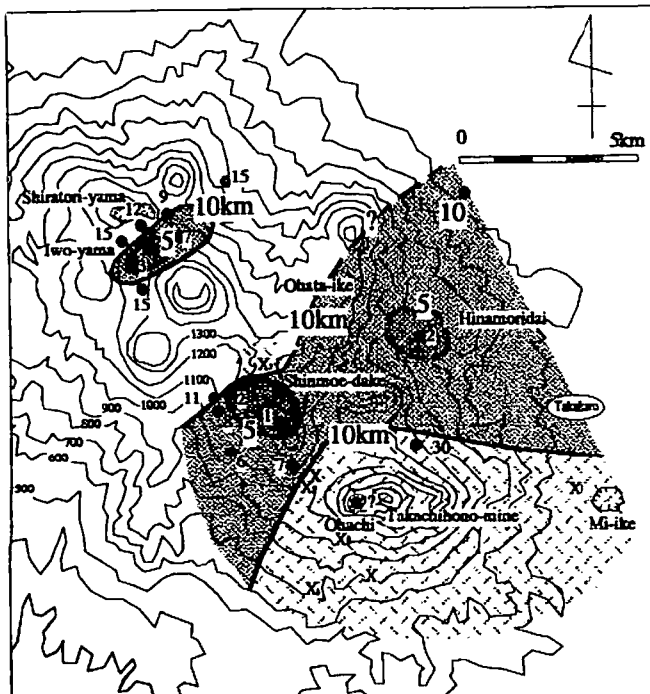
霧島は南九州の鹿児島県と宮崎県の県境に位置し、大小20あまりの火山から構成される火山群である。第1図に示すように、北西-南東方向の帯上には約22,000年前以降に活動歴を持つ17個の火山が並び、最近1300年間の歴史時代には2つの火山が繰り返し噴火している他、硫黄山が1768年に新しく誕生している(井村, 1994)。火山の寿命は、厳密には諸説あるが、一般的には数万年から数十万年程度と言われる事を考えると、霧島は「複数の火山が同時に活動している火山群」と見ることができ、「1つの火口で長期間活動している火山」とは、マグマの供給形態や火道の形成条件が異なっている事が予想される。したがって、「マグマはどこにあるか」、「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」といった興味ある問題を数多く持っている(鍵山, 1994a)。こうした背景から霧島火山群を対象とした構造探査が行われ、次節に示すように同火山群のマグマ供給系が鹿児島地溝などの霧島周辺の変動と密接に関係している可能性が明らかとなってきた(鍵山・他, 1996)。このことは、霧島・加久藤地域の研究が地溝帯の形成過程や地溝とカルデラ・火山との関係、これらを生み出すテクトニックな背景など多くの興味ある研究の糸口となりうることを示唆している。本稿は、霧島火山群の構造に関する研究を紹介するとともに、霧島の構造や火山活動に周辺の南九州の構造やテクトニクスがどのように関連しているかを今後の展望も交えて議論する。



第1図 霧島火山群を構成する火山の活動年代



第2図 霧島火山群の主要な火山の比抵抗構造(単位： $\Omega \cdot m$)



第3図 霧島における深部低比抵抗層の上面の深さ分布. 鍵山・他(1996)に加筆.

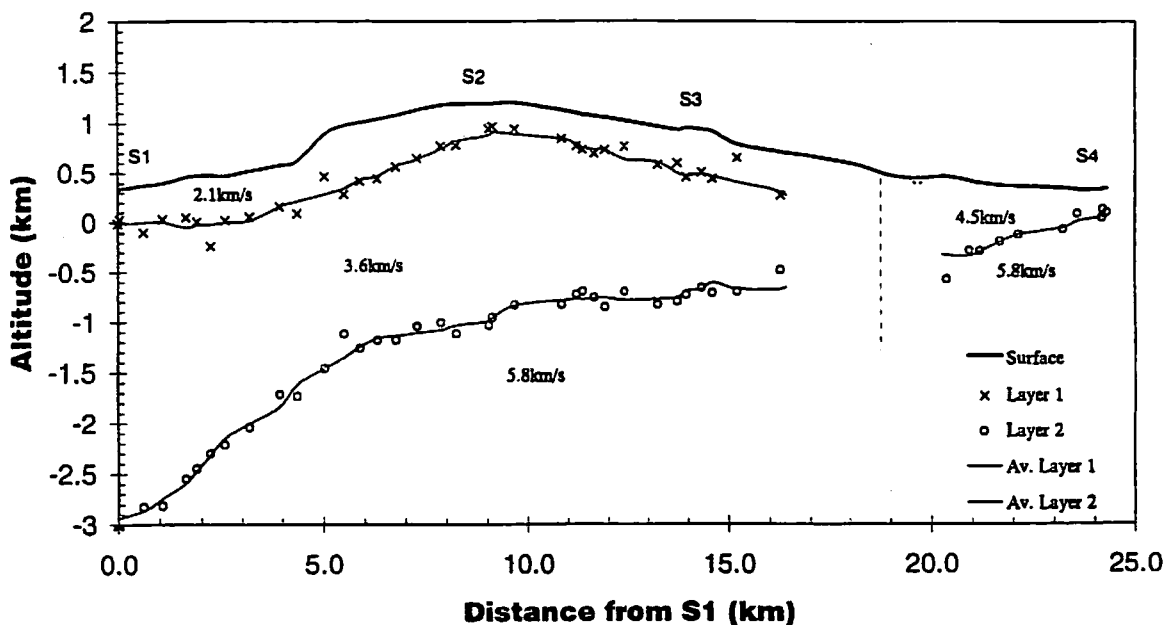
2. 霧島火山群の構造

これまでの比抵抗構造調査(鍵山・他, 1996; 歌田・他, 1994)の結果, 霧島の構造には第2図に示すような特徴があることが明らかとなっている。霧島は南東部の火山と北西部の火山で構造に違いが見られ, 北西部の火山では, 厚さ100m前後の高比抵抗の表層の下に数 $\Omega \cdot m$ の帯水層と見られる浅部低比抵抗層が広く分布し, 海拔0km付近まで続いている。特に硫黄山, 新燃岳などの地下では抵抗が低くなって熱水系が発達している。帯水層の下には数10 $\Omega \cdot m$ の高い比抵抗層をさんで約10km以深に数 $\Omega \cdot m$ の深部低比抵抗層が広く分布している。この深部低比抵抗層は, 火口直下では深さ2~3kmまで浅くなっている。こうした比抵抗構造に対応して北西部の火山の地下10km付近には地震波の低速度領域が存在したり, 深さ3~5km付近に地震波の減衰領域が検知されている(Yamamoto, 1996)。また, 人工地震探査でも深さ10km付近に反射面が検知されているほか硫黄山の地下2~3kmに反射領域が同定されている(三ヶ田, 1996)。新燃岳では深部低比抵抗層の最

上部で地震が発生した後、より浅い方に震源が拡大して群発地震となり、浅部低比抵抗層で火山性微動や熱消磁などの異常現象が発生していることを示唆する結果が得られていることから(鍵山・他, 1996), この深部低比抵抗層はマグマあるいは火山ガスの上昇経路と考えられる。これに対して、南東部の御鉢・高千穂などの火山では、そのような低比抵抗層は現れない。第3図は深部低比抵抗層の上面の深さを示したものであるが、上記の特徴は個々の火山の特徴にとどまらずある広がりをもった特徴であることがわかる。硫黄山周辺や新燃岳・中岳周辺ではおおよそ10km程度の深さに低比抵抗層が広く存在し、硫黄山や新燃岳の火口近傍でその深さが浅くなっている。また、新燃岳から大幡池の北東麓の方向に深部低比抵抗層が広がる傾向が見られる。これに対して、霧島南東部では、御鉢から御池までの広い範囲で深部低比抵抗層が欠如している。同様の傾向は浅部低比抵抗層についても見られ、霧島火山群南東部では北西部に比べて相対的に高い比抵抗値を示している。宮本(1994)は、中岳以北の火山(硫黄山, 新燃岳など)と御鉢から御池にいたる南東部の火山とは別々のマグマから生成されており、中岳以北の火山のマグマの方が低温で地殻内に長く留まっていたのに対して、南東部の火山のマグマはより高温で、地殻に長く留まっていない事を明らかにしている。両者の比抵抗構造の違いは、硫黄山や新燃岳のマグマが深さ10km付近に比較的長時間滞留しているのに対して、御鉢のマグマは、より深部から急速に供給され、噴火後は10km以浅に滞留する事なく速やかに逆流すると考えれば、岩石学的研究の結果と整合的である。このように、2つの相異なる特徴が霧島火山群を構成する個々の火山にばらばらに現れるのではなく、ある特定の領域を占めている事が注目される。

3. マグマ供給形態の差異と基盤構造

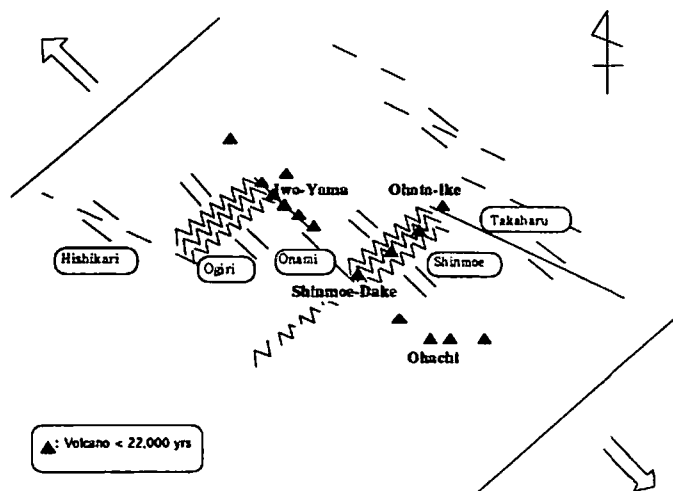
前節で示した構造やマグマの供給形態が火山群の北西側と南東側で違っているのは、何を意味しているのだろうか。同じような違いは、他の研究結果にも共通して見られる。たとえば、ネットワークMTでは、この線を境に南東側(御鉢側)で比抵抗が高くなり、硫黄山, 新燃岳, 大幡池周辺で比抵抗が低くなる結果が得られている(小河・他, 1995)。人工地震探査でも、第4図に示すように霧島火山群の南東側では基盤(四十万層群)が地表近くにあるのに対して、北西側では基盤が1~2km程度落ち込み、その上に火山噴出物が厚く堆積している事を示唆する地震波速



第4図 人工地震探査から推定される霧島火山群の南北の速度構造(筒井・他, 1996).
S1: 北側, S4: 南側

度構造が得られている(筒井・他, 1996). 小林・他(1995)は, 重力の調査からこの線の南東側にあたる霧島火山群南東部が高重力異常に対応していることを示し, この地域の浅部が緻密な基盤岩からなるのに対して北西側は陥没し低密度の火山噴出物が埋めていると考えている. このように, 北西部と南東部の構造やマグマ供給系の違いは個々の火山の違いにとどまるのではなく, 霧島地域の基盤構造やテクトニクスを背景としたより本質的な違いであることが明らかとなってきた. ではなぜマグマの供給形態に違いが出てくるのであろうか? この疑問に対する解答は現段階では明らかではないが, 鍵山・他(1996)は以下の2つの可能性を指摘している.

第1の可能性は, 鍵山(1994a, 1995)は, 霧島火山周辺の地震活動と応力場の研究から, 霧島地域を第5図のようにモデル化している. 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. 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おり, 新燃岳から北東に大幡池, 丸岡山と延びる火山の列は, 第5図に"Shinmoe"と示される新燃岳から北東に延びる正断層に, 硫黄山は"Onami"と示されるやや開口成分を持つ横ずれ断層に沿っている. 断層に沿う火山の地下ではマグマが滞留する空間を確保することが容易になるので, 新燃岳や硫黄山などの断層上に位置する火山の地下にはマグマが滞留しているのに対して, この断層系からはずれる御鉢などの南東部の火山の下部にはマグマが滞留していないと解釈される.



第5図 霧島周辺のテクトニックなモデル(鍵山, 1994a). 丸で囲んだ名前は断層. 霧島には東西に横切るいくつかの断層の系があり, 新燃岳・硫黄山などはこれらの断層上に生成している. 御鉢などの南東部の火山は断層系からはずれた場所に生成している.

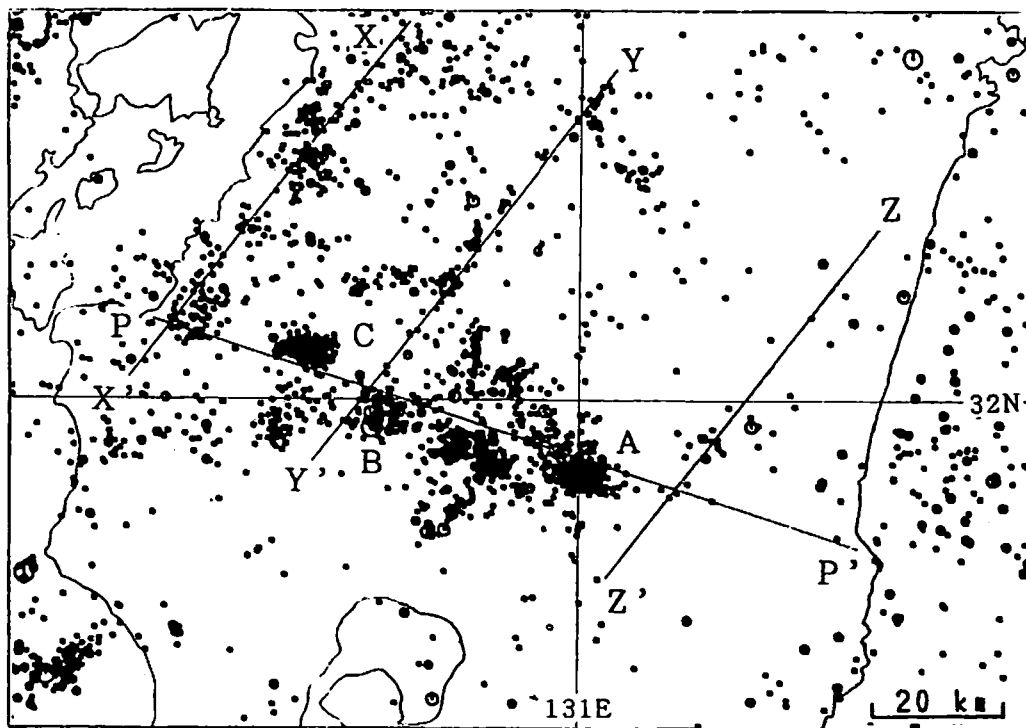
第2の可能性は, 相対的に高い密度の地殻と低い密度の地殻とを比較した場合, マグマは高い密度の地殻中の方が相対的に大きい浮力を受けるため, より大きい上昇速度を得るであろう. その場合, マグマにかかる圧力の減少速度は低い密度の地殻中を上昇するマグマより大きくなるために気泡がより多くマグマ中に生じることになる. また, マグマから周辺の地殻に逃げていくガスの量は早く上昇するマグマの方が相対的に小さくなるので, マグマの見かけ密度は高い密度の地殻中を上昇するマグマの方が相対的に小さくなる. その結果, マグマは更に大きな浮力を受けることになり, マグマの上昇速度も更に大きくなると期待される. 霧島火山群の南東部と北西部を比較すると, 比較的浅い部分(2~3km)では南東部の方が北西部に比べて高密度であり, 北西側の基盤が陥没している事も加えて考えると, より深部でも南東部の方が高密度である可能性がある. 仮にこの推測が正しいとすれば, 霧島火山群南東部ではマグマは一旦上昇を開始すると急速に上昇するのに対し, 北西部ではゆっくり上昇する可能性が高くなり, 両者のマグマの滞留状態の違いは定性的には説明が可能である.

一方, 浅部の低比抵抗層の分布の違いは, 空隙の少ない緻密な地層中では, 地下水が含まれることが少なくなるので比抵抗は高くなると考えれば, 霧島火山群南東部の浅部低比抵抗層の抵抗

値が北西部より高くなる事が説明可能である。また、火山体深部に滞留しているマグマからの火山ガスの発散量の違いで説明することも可能である。すなわち、北西部の火山では発達した帯水層に地下深部から多量の火山ガスが供給されて熱水層が形成されているのに対して、南東部の火山では浅部にあまり水がないために、深部から供給される少量の火山ガスがそのまま地表から放出されているとも考えられる。

4. 南九州の構造研究の課題

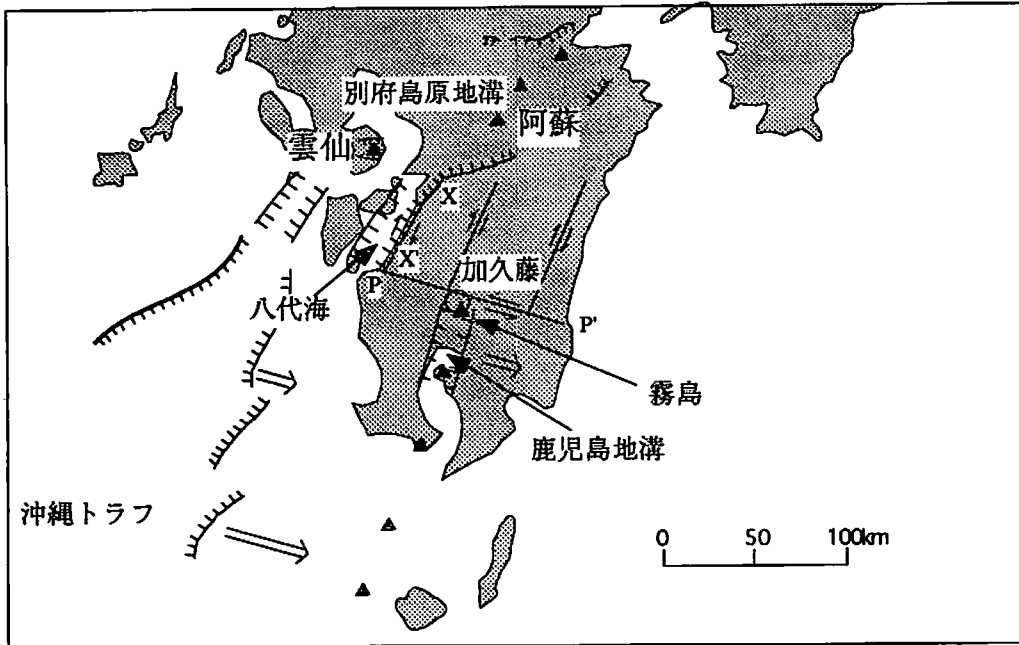
前節に示すようにマグマの供給形態の違いと基盤構造の違いの間には興味深い関係があり、その関係を説明するいくつかの考えが提出されているが、その妥当性はまだ明らかではない。この問題を明らかにするには、より広い視野から問題を検討する必要がある。たとえば霧島周辺で見いだされる規則性が九州全体の広い範囲で一般的に見いだされるかどうかは重要な問題である。また、霧島が南九州の中でどのような位置づけとなるかも重要な問題である。ここではこれまでに明らかになっている点を紹介するとともに今後検討して行くべき課題を考えよう。



第6図 1979年-1994年の南九州の震源分布(鍵山, 1994b).

A:高原 B:菱刈 C:大口 P・P':出水-清武

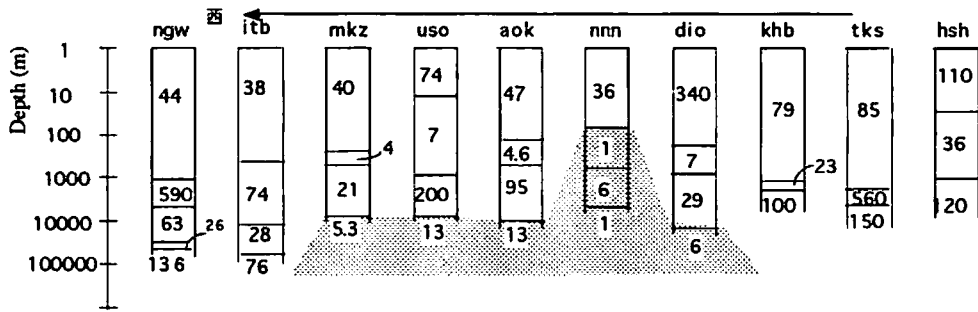
地震学的研究によれば前節に示した霧島周辺の応力環境は霧島地域に限られたものではなく、南九州全体のテクトニックな動きを反映している。鍵山(1994b)は、震源分布と地形の特徴などから南九州がいくつかのブロックに分けられ、全体としては北西-南東方向にやや拡大するような変動を行っている可能性を指摘している(第6図)。特に鹿児島県出水市と宮崎県清武町を結ぶ帯上には地震が並ぶ傾向があり、最近地震が発生していない宮崎付近でも20世紀初頭にM5クラスの地震が発生していることを考えると何らかの構造線が存在すると考えられる。第5図の霧島を東西に横切る断層系はこの構造線の一部をなしており、霧島がブロックの境界上に生成されていることを示唆している。この構造線の南側は北側に対して相対的に東に移動しているが、仮に南側のブロックが一体となって東に動かず、"Shinmoe"と示した断層がさらに南に延びてこの断層を境に東側のみが東に移動すれば鹿児島地溝の生成が説明可能である。九州の地形を見ると東海岸は



第7図 南九州のテクトニクスの概念図(鍵山・歌田, 1995)

志布志湾を除いて概して単調であるのに対して、西海岸は複雑というよりも、平戸—五島列島、島原—天草—甕島、八代海、鹿兒島湾など北北東—南南西方向に特徴を持つ地形が卓越している。これらはこの地域が張力的な応力場にあって拡大したことを示唆するのではないだろうか。Kodama and Nakayama (1993)の古地磁気学的研究によれば、出水—清武線以南の南九州が6Ma以降現在まで30°反時計方向に回転しており、これは沖繩トラフの北端部にあたる南九州が、南側ほどトラフが大きく拡大するために回転したためと考えられている。その後の調査でこの回転は、より小さなブロックごとに起きている事が明らかとなっている。こうした事実を合わせて考えると、沖繩トラフの拡大は、九州西方の海底だけでなく、一部は南九州内部でも起こり、ある時期に八代海や鹿兒島地溝などを形成したかもしれない。南九州はこれらの北東—南西方向の拡大軸とそれを相互につなぐ横ずれ断層の系で構成され、出水—清武線もそのひとつかもしれない。第7図はこれらを簡略化して概念的に示したものである。異なるマグマ供給系を持つ霧島の2つの火山のグループは、こうしたテクトニックな動きを反映したものであるかもしれない。

こうした興味ある問題を明らかにするには、まず九州を特徴づける地形の形成史を明らかにすることが重要であろう。たとえば、鹿兒島湾や八代海の形成過程を明らかにすること、これらの地形はいつどのようにして作られたのかは興味ある問題である。同様の疑問は天草—甕島、平戸—五島列島についても言えることである。またこれらに付随して人吉盆地、都城盆地、大口盆地、志布志湾の形成過程を明らかにすることも必要である。特に人吉盆地に関しては、霧島・加久藤カルデラと阿蘇との間隔があきすぎている事が以前から議論されており、この事は「なぜ人吉盆地に火山が生成されていないか」という疑問と表裏一体の問題であるので、この盆地の形成過程を知ることは重要である。やや議論が飛躍するかもしれないが、「人吉盆地に火山がないのはこれから形成されるのであって、現在の人吉盆地は始良や加久藤カルデラの前段階である」ことの可能性も検討すべきである。これらの問題を解決して行くにはそれぞれの地域の地質学的な研究はもちろんのこと、構造を調査すること、過去および現在進行中の地殻変動を明らかにすることが重要である。第8図はそのための試みと1つとして、第7図のP・P'に対応するような南九州を東西に横断する測線上(宮崎—水俣)で比抵抗構造を求めたものである。鹿兒島地溝より東側に位置するkhh, tks, hshでは深部に低比抵抗層が見られず霧島火山群南東部の比抵抗構造と類



第8図 宮崎-水俣測線での1次元比抵抗柱状図

似しており、鹿児島地溝内およびそれ以西に位置するdio, nnn, aok, uso, mkzでは深さ10km程度に深部低比抵抗層が見出されている。詳細な結果は日南-阿久根において行った同様の観測データと共に現在解析中であり、今後、鹿児島地溝北端部の構造と霧島・加久藤の火山のマグマ供給系との関係についてさらに新しい知見を提出することができるであろう。また上述したより広い問題についても、他の研究手法と合わせて新たな貢献ができると考えている。

引用文献

- 井村隆介(1994) 霧島火山の地質. 震研彙報, **69**, 189-209.
- 鍵山恒臣(1994a) 霧島火山群の構造調査の意義. 震研彙報, **69**, 177-188.
- 鍵山恒臣(1994b) 霧島-やや張力的応力場に生成した火山群. 地学雑誌, **103**, 479-487.
- 鍵山恒臣(1995) やや張力的応力場の火山学. 月刊地球, **17**, 363-367.
- 鍵山恒臣・歌田久司(1995) 霧島火山群の構造と火山活動. 科学, **65**, 698-703.
- 鍵山恒臣・歌田久司・上嶋誠・増谷文雄・神田径・田中良和・増田秀晴・村上英記・塩崎一郎・市来雅啓・行武毅・茂木透・網田和宏・大志万直人・三品正明(1996) 霧島火山群中南東部の比抵抗構造. 火山, **41**, 215-225.
- 小林茂樹・志知龍一・西仲秀人・渡辺秀文・鬼澤真也(1995) 霧島火山および周辺カルデラにおける稠密重力測定. 震研彙報, **70**, 103-136.
- Kodama, K. and Nakayama, K.(1993) Paleomagnetic evidence for post late Miocene intra-arc rotation of South Kyushu, Japan. *Tectonics*, **12**, 35-47.
- 三ヶ田均(1996) 霧島火山群構造探査データの反射法処理. 火山, **41**, 159-170.
- 宮本毅(1994) 霧島火山群噴出物の活動に伴う組成変化. 地球惑星科学関連学会1994年合同大会予稿集, 71.
- 小河勉・上嶋誠・歌田久司・増谷文雄・鍵山恒臣(1995) 霧島火山周辺におけるネットワークMT観測について(序報). C A研究会1995年論文集, 113-120.
- 筒井智樹・他(1996) 人工地震探査による霧島火山群の地震波速度構造 -はぎとり法による解析. 火山, **41**, 227-241.
- 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(I). 震研彙報, **69**, 241-255.
- Yamamoto, K. (1996) Seismic velocity and attenuation structure and magma supply system beneath Kirishima Volcano, Japan. Ph. D. Thesis, Univ. of Tokyo, Ch.3.6, 53-60.