

# 深部構造研究は浅部構造研究より偉いか？

## - 浅部構造研究の課題

鍵山恒臣

東京大学地震研究所

Research subject in the future on volcanic activity and  
volcanic structure in the shallow part

Tsuneomi Kagiya

Earthquake Research Institute, University of Tokyo

### 要旨

Research on the structure of volcanoes is an important part to understand volcanic eruptions. It is because the variety of the eruption type is made in the shallow part of volcano and the most part of the precursory phenomenon of the eruption is also made in the shallow part. Interaction of magma and ground water beneath volcanic area plays an important rule on controlling eruption type and generation of precursors. A density difference will also control volcanic activity by buoyancy effect. Precise determination of water and density distribution in the shallow part of volcanic area, and precise determination of precursory phenomena will lead a great development of our understanding on volcanic activity. The various processes of volcanic eruptions are modeled, and it will be able to contribute to a precise forecast of volcanic eruptions.

## 1 はじめに

「深部構造研究は浅部構造研究より偉いか？」こういうタイトルにした理由は、私を含めて多くの研究者が「深部研究の方が高級な研究のイメージがある」とか、「科研費の通りがよい」といった気持ちを持っているように感じるからである。しかし、冷静に考えるとそうではない。本稿は、「浅部構造研究」が多くの研究者に胸を張って進められることを願い、その意義を雑駁ながら述べるものである。人はなぜ深部構造研究をめざすのだろうか？それはおそらく我々が地表の観察や地表の研究を出発点として地下の状態を想像する研究をしてきたからである。その意味で、より深い領域はフロンティアである。しかし、真に価値ある研究は、解明したい課題を解決する上で最も有益な情報を提供するものであるはずである。

なぜ私は火山の浅部研究に注目するか？その理由を一言で言えば、火山噴火の多様性は大部分浅部で作られており、噴火の前兆現象の大部分も浅部で作られているからである。換言すれば「火山の醍醐味は浅部にある」

からである。火山体の浅部に広がる地下水とマグマがどのように出会うかによって噴火様式は変わってくる。応力場の違いは割れ目噴火や山頂噴火を規定する重要な要因であり、マグマの上昇経路である基盤や山体の密度も噴火様式に影響を与えるが、これらは浅部で特に大きく変わる量である。浅部の火道の閉塞状況もマグマ中の揮発性成分の大小を通して噴火様式に影響する。もちろんマグマそのものの粘性や密度などの物性によっても噴火様式は左右されるが、マグマを理解するだけでは多様な噴火は理解できない。また、噴火の前兆として代表的な火山性地震や微動の多くは地下2~3kmまでの浅部で発生しており(井口, 本報告)、熱異常、熱消磁や地盤変動の一部も浅部に原因をおいている。本稿では特に、浅部の水と密度の不均質に注目して火山活動との関連を紹介し、本研究集会「火山の浅部構造と火山流体」の前座としたい。

## 2 地下水と噴火の多様性

地下水が噴火の多様性に影響を与えたことをもっとも端的に示す事例として雲仙・普賢岳の1990年噴火があげられる。雲仙・普賢岳は1990年11月17日に130 程度の低温の水蒸気や熱泥を噴出した後、一旦は活動が終息するかに見えたが、1991年1月下旬に熱泥噴出が再開し2月12日以降は規模の大きな水蒸気爆発が続き、4月9日以降にはマグマ水蒸気爆発に移行した後、5月19日から20日にかけてドームが出現、マグマ噴火・火砕流へと移った。こうした噴火様式の変化は、普賢岳の地下に広がる帯水層と上昇してきたマグマとの相互作用で統一的に説明が可能である(Kagiyama *et al.*, 1999)。図1は、マグマが1日約20mの速度で上昇したと考え、噴火様式が特徴的に変化した時期をドーム出現の日から逆算して求めた図である。水蒸気爆発やマグマ水蒸気爆発の発生が普賢岳の地下に広がる帯水層と密接に関連して発生していたことが示されている。また、1983年の三宅島噴火では、同じ玄武岩マグマの割れ目噴火であったが、中腹では溶岩噴泉、海岸部では激しいマグマ水蒸気爆発となり(荒牧・早川, 1984)、水の分布が噴火様式に大きく影響することが示された。こうした出来事はすべて地下1kmまでの水の存在が原因である。この領域に水がなかったらどんな噴火になったかを想像すれば水の存在の重要性が理解できる。

## 3 密度の違いと噴火の多様性

地殻の密度とマグマの密度の差はマグマが受ける浮力の違いとなる。そのため、地殻浅部の密度によってマグマの上昇速度が違ってくる可能性がある。たとえば、緻密な堆積岩中では上昇は速く、多孔質の火山噴出物層中では低速になると考えられる。上昇速度が遅いとマグマから分離したガスが周辺に逃げていくため上昇速度は増大しないが、上昇速度が速い場合は発泡して見掛けの密度が小さくなってさらに上昇速度が加速されることになり相対的に爆発的な噴火になると考えられる。過去に上昇してきたマグマが滞留・分化して低密度となっている場合も、新たに上昇してきたマグマの上昇を阻害することが考えられる。こうしたことが実例として観測されたことはないが、以下に示す霧島と岩手山でそうしたことが起きている可能性がある。霧島火山群では南東部の御鉢、高千穂峰などの火山と新燃岳、中岳、硫黄山などの中央部から北西部に位置する火山の間

に大きな違いが見られる (表 1)。たとえば新燃岳付近には地下数 km の深さにマグマに関連すると思われる低比抵抗層が存在するが、御鉢には見られない。この違いは、新燃岳の下にはマグマが常に滞留しているのに対して、御鉢の下には存在せず (図 2)、マグマは噴火時に深部から急速に上昇すると解釈されている (鍵山・他, 1996; 1997)。これに対応して重力探査や地震探査からは南東部に高密度の基盤 (四万十層) が地表付近にあるのに対して、北西部では基盤が沈降し低密度の火山噴出物層が埋めている状況が明らかにされている (小林・他, 1995; 筒井・他, 1996)。一方、最近の数 10 年間の火山の活動状況を見ると、新燃岳では地震の群発がしばしば起きるが噴火につながることはない。アカホヤ以降の最近 6000 年間の活動を比較すると、南東部の火山の溶岩噴出率が大きいのに対して、中央・北西部の火山の噴出率は小さく (井村, 1994; 宮本, 1994)、マグマの深部からの供給の中心が南東部に移ったと指摘されているが、中央・北西部の火山では地表に噴出することなく地下に貫入しているとも考えることも可能である。地熱地帯や温泉が北西部に多く、南東部にはほとんどないこともこの考えと調和的である。こうした状況は岩手山における西岩手と東岩手の関係に似ている。西岩手では地震の頻発とともにマグマの貫入が起きているが噴火には至っていない。歴史的にも西岩手は水蒸気爆発が起きるものの本格的な噴火はほとんど起きていない。それに対して東岩手は噴火すれば本格的なマグマ噴火になると言われている。地熱地帯や温泉の分布も西側に偏っている。中川・外狩 (1998) は、西岩手の地下には過去に上昇して滞留しているマグマが密度障壁となってマグマの上昇を阻害しているという考えを提案している。西岩手から三石山にかけての一带には東西性の岩体が多く見られ恒常的にマグマの貫入が起きてきたのかもしれない。噴火予知の観点から見た場合、マグマの蓄積や上昇・貫入等を検知することには成功しているが、その異常が噴火につながるかどうかという点ではまだ課題を残している。マグマが上昇してきてもこうした機構により噴火に至らないことが予測可能となるのであれば、予知の精度は大きく向上するであろう。

浅部の構造を知ることは、噴火の前兆の発生機構を系統的に理解する上でも重要である。図 3 は、霧島・新燃岳において発生している異常現象の発生場所を比抵抗構造と重ねて示している。新燃岳の比抵抗構造は深さ 1km 程度の浅い部分に帯水層や熱変質層からなる浅部低比抵抗域が広がっていること、深さ 10km 程度の深部

表 1: 霧島火山群内の違い。

| 新燃岳 (中部・北西部の火山)       | 御鉢 (南東部の火山)      |
|-----------------------|------------------|
| 地震がしばしば群発するが噴火につながらない | 群発は少ない           |
| 水蒸気爆発が多い              | 熱水が関与した噴火は少ない    |
| 温泉・地熱地帯が多い            | 温泉・地熱地帯は少ない      |
| 浅部低比抵抗域が広範囲に発達        | 浅部低比抵抗域は火口内に限定   |
| 深部低比抵抗域が広がっている        | 深部低比抵抗域は確認できない   |
| 基盤が深い                 | 基盤が浅い            |
| 本質物質の噴出率が小さい          | 本質物質の噴出が大きい      |
| マグマが常時滞留している          | マグマは深部から急速に上昇し噴火 |

に低比抵抗域が広がり火口直下ではその深さが 3km 程度にまで浅くなっている。新燃岳直下ではしばしば地震が群発するが、群発の初期段階では深部低比抵抗域の最上部で発生し、徐々に浅い部分に震源域が広がっている。1991 年 11 月から始まった群発地震の際には、山体の膨張と収縮が観測されたが、その変動源は地震の群発域の深さとほぼ一致し、深部低比抵抗域と浅部低比抵抗域との間に位置している。また、地震の群発に引き続いて発生する火山性微動は浅部低比抵抗域に一致する深さで発生している。さらに、引き続き起こる全磁力の変化も、浅部低比抵抗域の深さに一致している (Utada *et al.*, 2000)。こうしたことは、深部低比抵抗域の最上部からマグマあるいは火山ガスが地震を伴いながら上昇し、浅部低比抵抗域の帯水層にぶつかって微動を発生させるとともに帯水層内の温度上昇を引き起こしている状況を想像させるものである (鍵山・他, 1997)。したがって、浅部の構造を明らかにすることは、噴火の前兆現象を系統的に理解する上でも重要な情報となることがわかる。

## 4 浅部構造研究の課題

以上いくつかの事例を雑駁ではあるが示してきたように、火山の浅部構造研究は火山噴火を理解する上で重要なポイントであることがわかる。上記に示したことはあくまでも定性的な議論であり、噴火様式を定量的に予測するためには、深部からのエネルギー (マグマ) の注入量が変わった場合に、火山体浅部においてエネルギーがどのように配分されて放出されるかをダイナミクスも含めて議論できることが重要である。また、前兆の発生機構に関しては、前兆の体系化・定量化を進めるために浅部の構造と異常現象の発生場所を高精度に決めるとともに、異常現象発生に関連する物理量の変化と構造の時間変化を関連させて捉えることが重要である。こうした大きな課題とは別に、密度構造と噴火様式との関連を検証するため、特に霧島や岩手山において過去に上昇してきたマグマが滞留していないかという視点で探査を行うことが有益であろう。比較的長期に噴火を休止している火山の噴火の準備過程がどのように行われているか？噴火に至らないケースと噴火に至るケースの違いは何が違っているのか？といった視点で問題を整理すれば噴火に至る過程の多様性をモデル化することができ、高精度の噴火予知に大きく貢献できるであろう。

## 参考文献

荒牧重雄・早川由紀夫, 1983 年 10 月 34 日三宅島噴火の経過と噴火様式, 火山, 29, S24-S35, 1984.

井口正人, 火山性地震発生からみた火山の浅部構造, 本報告, 2001.

井村隆介, 霧島火山の地質, 地震研究所彙報, 69, 189-209, 1994.

鍵山恒臣・他 14 名, 霧島火山群中南東部の比抵抗構造, 火山, 41, 215-225, 1996.

鍵山恒臣・歌田久司・三ヶ田均・筒井智樹・増谷文雄, 霧島火山群の構造とマグマ供給系, 火山, 42, S157-S165, 1997.

Kagiyama, T., Utada, H., and Yamamoto, T., Magma ascent beneath Unzen Volcano, SW Japan, deduced from the electrical resistivity structure, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 89, 35-42, 1999.

小林茂樹・志知龍一・西仲秀人・渡辺秀文・鬼澤真也, 霧島火山および周辺カルデラにおける稠密重力測定, 地震研究所彙報, 70, 103-136, 1995.

中川光弘・外狩英紀, 最近の岩手火山のマグマ供給系と火山活動, 火山学会 1998 年秋季大会講演要旨, 10, 1998.

宮本毅, 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, 1994.

筒井智樹・他 68 名, 人工地震探査による霧島火山群の地震波速度構造—はざとり法による解析—, 火山, 41, 227-241, 1996.

Utada, H., Neki, M., and Kagiya, T., A study of annual variations in the geomagnetic total intensity with special attention to detecting volcanomagnetic signals, *Earth Planets Space*, 52, 91-103, 2000.

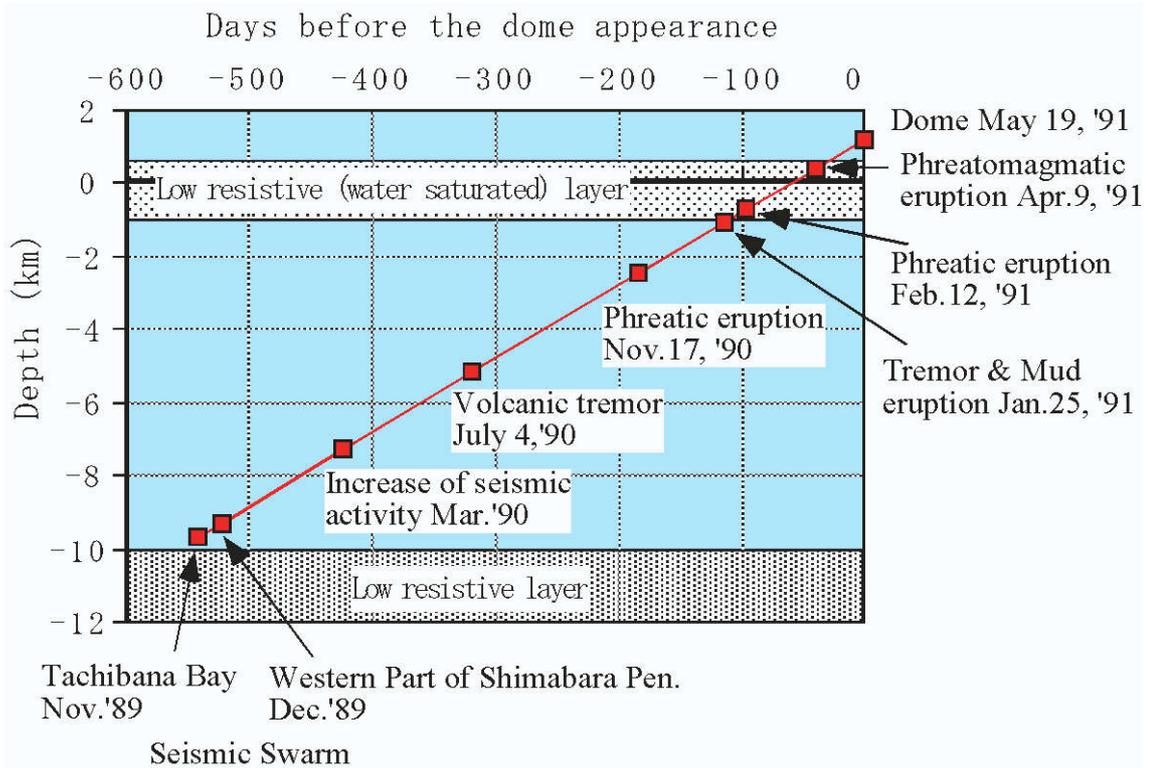


図1: 雲仙のマグマが1日に約20mの速度で上昇したとした場合に計算されるマグマの位置と構造の比較。 [ Calculated depth of magma head vs.volcanic activity.]

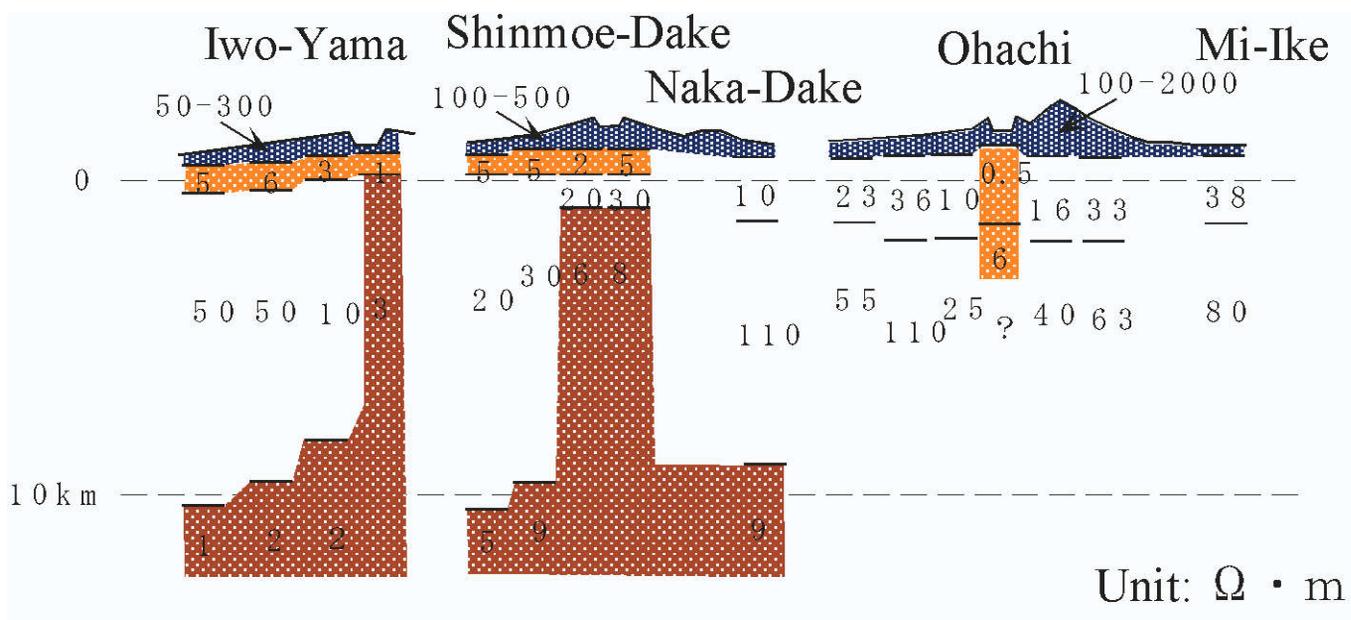


図2: 霧島の主要な火山の比抵抗構造。[Resistivity structure of the major active volcanoes of Kirishima. Hypocenters are superposed beneath Shinmoe-Dake.]

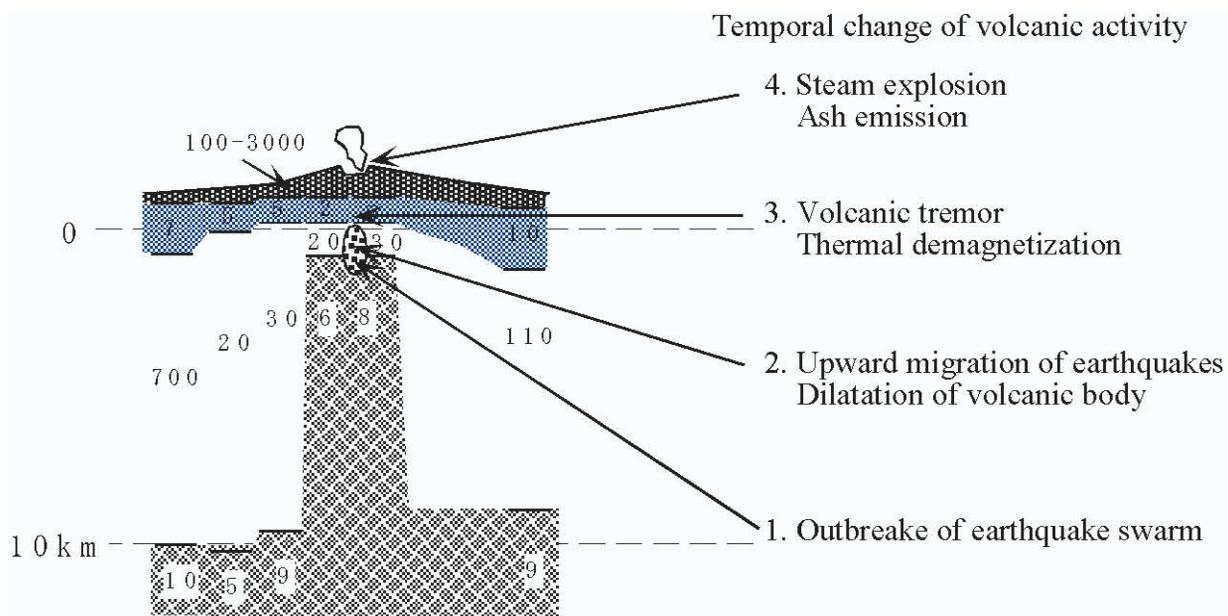


図3: 霧島・新燃岳の比抵抗構造と噴火の前兆現象の発生位置。[Relation of resistivity structure and spacial distribution of precursory phenomena of a volcanic eruption in Shinmoe-Dake, Kirishima Volcanoes.]