

火山地域における低比抵抗層の

火山学的意義

鍵山恒臣（東大震研）

Volcanological significance of low resistive layer in volcanic area

Tsuneomi Kagiya (Earthq. Res. Inst., Univ. of Tokyo)

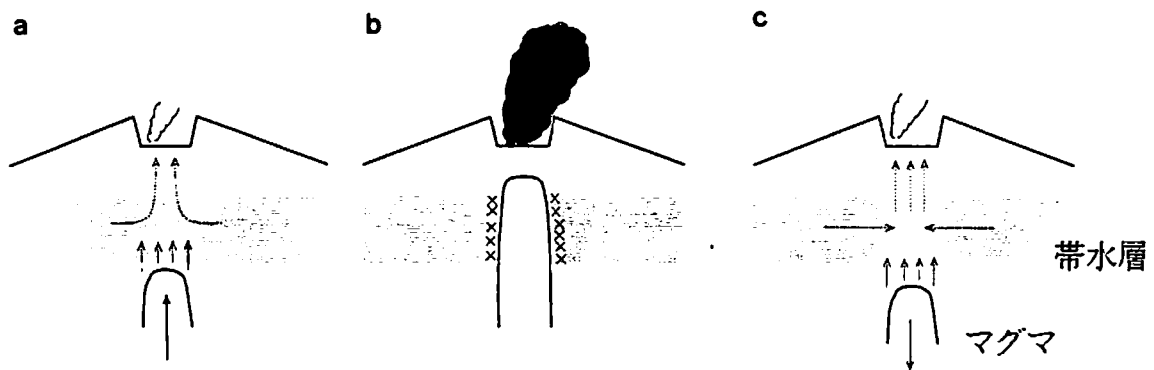
1. はじめに

火山の周辺で電気比抵抗の構造を調べると、数 $100\ \Omega \cdot \text{m}$ 、厚さ数 10m から数 100m の高比抵抗の表層の下に数 $10\ \Omega \cdot \text{m}$ 、場合によっては数 $\Omega \cdot \text{m}$ の比抵抗の低い層がしばしば観測される。この比抵抗の低い層は、さまざまな状況から水を多く含む層、あるいは水の通路となる割れ目が密集している部分と考えられるが、この層の存在が、噴火の前兆として現れる様々な現象の発現に重要な役割を果たしていたり、水蒸気爆発やマグマ水蒸気爆発といった噴火の様式を規定していると考えられるのでその実例をいくつか紹介し、火山地域で観測される低比抵抗層の持つ意義を強調したい。

2. 実例の紹介

a. 火山島の例

伊豆大島、諏訪之瀬島では、島の広い範囲にわたって、海水面とほぼ同じ高さに比抵抗の低い層が見いだされており (Utada et al., 1987; 鍵山他, 1993a), 海水と圧力的につりあった地下水面を表していると考えられている。伊豆大島では、1986年11月15日の噴火の約3カ月前から火山性微動、熱異常域の拡大、火山ガス異常が順次観測された(渡辺, 1987; 鍵山他, 1987; 平林他, 1988)。一方、伊豆大島火山研究電磁気グループ(1988)は、三原山山頂付近の地磁気観測から、マグマが1カ月におよそ 150m の速度で上昇してきたことを明らかにしており、異常現象が発生し始めた7月は、マグマの頭位がこの低比抵抗層を突き抜けて上昇した時期に相当する。こうした事実から渡辺(1987)は、高温のマグマが帯水層に接触して高温の水蒸気が生成・移動する過程で火山性微動が発生すると考えている。当然の事ながら、熱異常も発生すると考えられる。また、マグマの頭位が帯水層の



第1図 諏訪之瀬島における噴気異常発生モデル. a:活動期前 b:活動期 c:活動末期
下にある時には、マグマから発散される火山ガスは帯水層の水に吸収されて側方に流されるが、頭位が帯水層の上に出ると火山ガスが直接上昇してくるため、火山ガス異常が発生したことも説明可能である。

諏訪之瀬島では、長時間ビデオの観測から噴火活動期の前後に噴気活動が活発化し、噴火活動の最盛期には噴気活動が消滅する事が観測されている。この現象は、第1図に示すように、噴火活動期に入る前に高温の火山ガスが帯水層に到達して噴気異常を起こす、噴火最盛期には火道周辺から水が排除されるため噴気活動は低下し、活動末期には再び水が浸入して噴気異常を起こす、静穏期には火道が冷却して噴気は停止するとうまく説明される(鍵山他, 1993b)。また、噴火活動期前に噴気活動が活発化している時期に単色波形の微動がしばしば観測される事も伊豆大島の例とよく似ており、火山島に共通して見られる現象と考えられる。

b. 雲仙火山

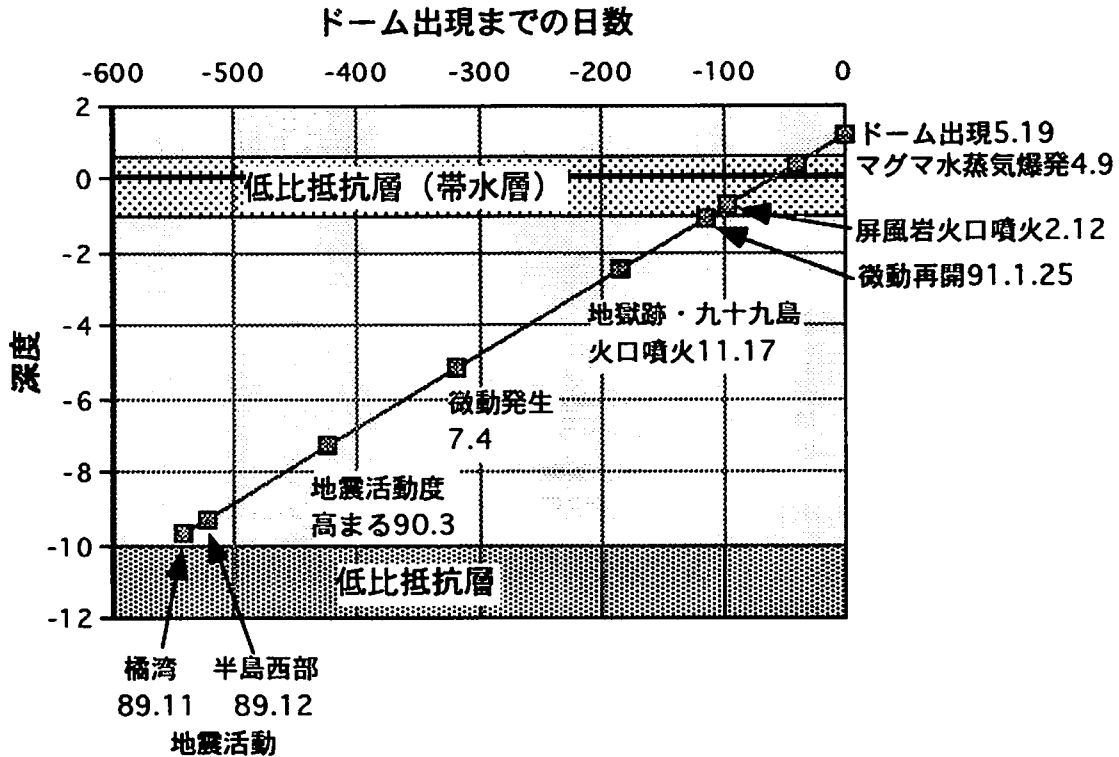
雲仙・普賢岳の噴火は、第1表に示すように興味深い噴火様式の変化を示している(たとえば太田, 1993)。1990年11月17日の地獄跡火口、九十九島火口からの噴火は、120～130℃程度の比較的低温の噴火で、テレビの映像では地獄跡火口が周辺に泥をはね上げる情景が見られた。その後、噴気活動はしだいに減少しこのまま終息かと思われたが、翌1991年1月末頃から微動や熱泥噴出が観測され、2月12日に屏風岩火口から新たに水蒸気

第1表 普賢岳の活動の推移

1989	11.21	橘湾で地震群発
	12.11	島原半島内で地震群発
1990	3.21	地震活動活発化
	7.4	火山性微動はじまる
	11.17	九十九島火口, 地獄跡火口から噴火 (水蒸気爆発, 熱泥噴出)
1991	1.25	火山性微動再発, 地獄跡火口で噴気復活
	2.12	屏風岩火口から噴火 (水蒸気爆発)
	4.9	マグマ水蒸気爆発 (地獄跡火口)
	5.19	溶岩ドーム出現
	6.9	爆発的噴火
		圧力源の深さ800m

爆発が発生した。この噴火は長く継続し、3月末からは活動を中止していた地獄跡火口からも水蒸気爆発が再開した。4月9日以降は、地獄跡火口からマグマ水蒸気爆発が繰り返して発生し、5月19日に地獄跡火口内に溶岩ドームが発見された。こうした活動様式の変化がどのようにして起こるかは興味ある問題であるが、以下に示すように、地下の比抵抗構造によって系統的な説明が可能である。

普賢岳周辺では、海拔400ないし500mから海拔下1kmの深さにかけて数 $\Omega \cdot m$ の帯水層と思われる低比抵抗層が広く分布し、その下に、およそ10kmの深さまで数100 $\Omega \cdot m$ の高比抵抗層、その下に数10 $\Omega \cdot m$ の低比抵抗層が存在している事が明らかにされている(鍵山他, 1992a; 歌田他, 1994)。海拔1200mの地表に出現した直後の溶岩ドームの成長速度は1日におよそ20mであったと推定されるので、地表に出現する前のマグマの上昇速度も1日20mと仮定して、どの程度火山活動の変化と対応がつけられるかを検討すると(第2図), 1991年4月9日のマグマ水蒸気爆発発生時のマグマの頭位の位置は海拔400mと計算され、帯水層の上面の高さにほぼ一致する。また、2月12日の屏風岩火口からの噴火発生時には海拔下0.7km, それに先立つ1月25日の微動再開の時には、海拔下1.1kmにマグマの頭位があったと計算され、帯水層の下面の深さにほぼ一致する。こうした事実から、鍵山他(1994c)は、普賢岳の噴火を以下の5段階に考えている。1) 1990年7



第2図 マグマの上昇速度を20m/dayとした場合の頭位の深さと構造の関係

月に、普賢岳の地下に広がる帯水層に高温の火山ガスが供給されて、微動を伴いながら高温の水蒸気を発生させた、2) 生成された水蒸気圧が高まり、11月17日に熱泥噴出を起こした、3) 1991年1月に遅れて上昇してきたマグマが帯水層の下面に到達して大量の水蒸気を発生させ、2月12日に屏風岩火口の噴火を起こした、4) マグマは1991年4月に帯水層の上面に達して、マグマ水蒸気爆発を起こした、5) マグマはさらに上昇を続けて、5月19日に地表に出現した。こうした事は、地下の帯水層が火山活動の時間的推移に重要な役割を果たしていることを示していると考えられる。特に、1990年11月17日に始まった噴火の熱エネルギー放出率が数10～数MW程度であったのに対して、1991年2月12日以降の噴火による熱エネルギー放出率が、その100倍以上の数1000MWであった事も、前者が火山ガスが帯水層に接触したのに対して、後者はより熱量の大きいマグマ本体が帯水層に突入したためと考えれば理解しやすい。また、中田(1994)は、屏風岩火口の噴火以降マグマ起源と考えられるガラス片が噴出物に含まれるようになった事、それが海拔下0.9km付近で生成されたと考えられる事を述べており、いい一致を示す。火山性微動の発生している深さや1991年6月の爆発的噴火の際に観測された傾斜変動の力源の深さが、帯水層の深さとほぼ一致している事も(大学合同観測班地球物理班, 1992)、これらの現象の発生に帯水層が深く関わっていた事を示唆している。

これ以前の活動の推移に関しては、一定の速度で上昇したと考える根拠はないが、時間をさかのぼって外挿すると、火山性微動が初めて観測された1990年7月4日の時点でのマグマの頭位は、海拔下5.2km、半島内の地震活動が高まった3月下旬には7.2km、橘湾や半島西部で地震活動が開始した1989年末には約10km程度と計算され、地殻変動から推定される減圧源の深さや地震の発生している深さ、深部の低比抵抗層の深さに一致しているが、その意味は明らかではない。

c. 霧島火山群

霧島火山群では多くの火山体下に低比抵抗層が広く分布している事が明らかにされている(鍵山, 1994; 鍵山他, 1994a)。一方、地質学的研究からは、霧島の諸火山は水蒸気爆発やマグマ水蒸気爆発が頻繁に発生する特徴があり、たとえば、新燃岳では、過去300年間に発生した噴火が、熱泥噴出→水蒸気爆発→マグマ水蒸気爆発→マグマ噴火と規則的に移行する傾向がある事が明らかにされている(井村他, 1991)。この事は雲仙の例と同様、火山体の地下に帯水層が存在する事を考えれば、容易に理解できる事である。新燃岳では、1991~1992年の微噴火に関連して地下浅部の温度上昇を示唆する地磁気変化や山体膨張が検知されたが、これらも帯水層が重要な役割を果たしていると考えられる(鍵山他, 1992b)。

3. まとめ

以上示した例に見るように、火山体下の帯水層は、第1には、噴火の前兆としての熱異常、火山ガス異常、火山性微動(場合によっては山体膨張)などの発現に重要な役割を果たしていると考えられる。また、第2に、噴火様式の規定に重要な役割を果たしており、特に噴火前のマグマの上昇が緩やかな場合には、熱泥噴出などの地熱異常からマグマ噴火に至るまでの噴火様式の変化が顕著に現れたりする。

こうした問題をより発展させていくには、前兆現象の発生位置を正確に決定するとともに、その周辺の水の分布を正確に把握し、従来ほとんど考慮されてこなかった帯水層との相互作用を前提として、それぞれの異常現象の発生メカニズムを検討していく必要がある。また、多くの火山の噴出物を分析し、地下水との相互作用の観点から噴火様式の時間的変化を細かく追跡していく事も重要であろう。たとえば、仮に帯水層の欠落した火山体中をマグマが上昇してくる場合を考えると、噴火の前兆の現れ方や噴火様式はずいぶん

違ったものになる事は容易に予想される。噴出物に地下水の関与の証拠が見出されるのであれば、その深さや温度などを推定していく事も重要である。電磁気学の立場からは、当面は観測事例を増やして、より多くの火山において低比抵抗域の分布状況を明らかにしていくことが最も重要であり、それだけでも火山学に対して多くの貢献をすることが可能である。しかし、長期的には、観測される低比抵抗層の実態を定量的に明らかにすること、具体的にはそこに存在する物質が何か（マグマ、火山ガス、熱水など）、そしてその温度・圧力などのパラメータを推定する手がかりを与える事が重要な課題である。火山噴火の多様性は、マグマの多様性のみ起因するものではない。マグマは、無味乾燥な個性のない媒質中を上昇してくるわけではなく、多様な個性ある媒質との相互作用によって多様な噴火が発生するからである。多様な噴火の中にあつて、なお普遍的なパラメータを見出して噴火を記載しようとする時、比抵抗は、現在、その個性を記述する上でもっとも有力な尺度と言えるであろう。

謝辞

本研究を進めるにあたり、地震研究所、歌田久司助教授をはじめとする多くの電磁気研究者の方々にご協力いただいた。この紙面を借り、謝意を表します。

引用文献

- 大学合同観測班地球物理班(1992): 雲仙火山1990~1992年噴火の地球物理観測. 火山, 37, 209-215.
- 平林順一・吉田稔・小坂文予・小沢竹二郎(1988): 伊豆大島火山の1986年噴火活動に伴う火山ガスの組成変化. 火山, 33, S271-S284.
- 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.
- 伊豆大島火山研究電磁気グループ(1988): 伊豆大島火山1986年噴火の電磁氣的観測. 鹿児島国際火山会議論文集, 181-184.
- 鍵山恒臣・辻浩(1987): 1986年伊豆大島噴火の熱的前兆と現況. 月刊地球, 9, 435-440.
- 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・松尾ひろ道・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・増谷文雄・井口正人(1993a): 諏訪之瀬島火山の E L F, V L F - M T 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(1993b): 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(1994): 霧島火山群の構造調査の意義. 震研彙報, 69, 177-188.
- 鍵山恒臣・山口勝・増谷文雄・歌田久司(1994a): 霧島火山群・硫黄山周辺の V L F, E L F - M T 測定. 震研彙報, 69, 211-239.
- 鍵山恒臣・歌田久司・山本哲也(1994b): 電磁気構造から推定される雲仙・普賢岳マグマの上昇過程. 火山学会1994年秋季大会講演予稿集, 102.
- 中田節也(1994): マグマ水蒸気爆発のケーススタディー-雲仙普賢岳, 1991年に発生したマグマ水蒸気爆発. 重点領域研究「蒸気爆発」報告書.
- 太田一也(1993): 1990-1992年雲仙岳噴火活動. 地質学雑誌, 99, 835-854.
- 笹井洋一(1990): 火山の地下水分布と噴火予知. 火山, 34, S307-S308.
- Utada, H. and T. Shimomura(1989): Resistivity structure of Izu-oshima Volcano revealed by the ELF-VLF magneto-telluric method. *Jour. Geomag. Geoelectr.*, 42, 169-194.
- 歌田久司・鍵山恒臣・山本哲也(1994): MT 観測による雲仙火山の深部比抵抗構造. 総合研究(A)「雲仙岳溶岩ドームの形成と崩落に関する総合的観測研究」(代表者太田一也), 64-71.
- 渡辺秀文(1987): 火山性微動からみた伊豆大島の噴火機構. 月刊地球, 9, 475-480.