

霧島火山群・新燃岳1991-92年微噴火と電磁気観測

東京大学地震研究所 鍵山恒臣・歌田久司・増谷文雄
山口 勝・笹井洋一
京都大学理学部 田中良和・橋本武志

Minor Eruption of Shinmoe-dake, Kirishima Volcanoes, in 1991-92, and Electromagnetic Observations

Tsuneomi KAGIYAMA, Hisashi UTADA, Fumio MASUTANI,
Masaru YAMAGUCHI, Yoichi SASAI
(Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo),
Yoshikazu TANAKA and Takeshi HASHIMOTO
(Faculty of Science, Kyoto University)

1. はじめに

霧島火山群は、阿蘇と桜島の間位置する多数の火山の集合体で、その北西には加久藤カルデラが隣接する。火山群を構成する火山のうち、少なくとも硫黄山、御鉢、新燃岳の3火山は歴史時代に噴火を行っており、地質学的時間スケールでは同時に複数の火山が活動している火山群と見る事ができる。近年、マグマの供給機構や構造に関連して、広域応力場や電気抵抗構造を明らかにする研究を精力的に推進しているところである(鍵山他、1988, 1989, 1990; Kagiya et al., 1990; Kagiya, 1992)。新燃岳は、霧島火山群のほぼ中央に位置する火山で、御鉢と共に多くの噴火記録を持っている。井村他(1991)によれば、最近の300年間に1716-17年, 1771-72年, 1822年, 1959年と4回の噴火を行い、最後の1959年の噴火を除けば全ての噴火で火砕流を発生させている。地震活動も最近ではほぼ3年おきに群発活動を起こすなど活発である。前回の1988年10月の群発(鍵山他, 1988)以降、地震活動は比較的低調であったが、1991年11月13日の夕刻から新燃岳の火口直下において通常の数百倍の頻度で微小地震の群発が始まった。活動はその後、水蒸気噴出、連続微動発生、火山灰噴出を経て、1992年5月末現在比較的落ち着いた状態となっているが、時々地震数が増加して火山灰や熱泥を噴出する小規模な活動を繰り返している。この活動が大規模な噴火に結びつくかどうかは即断できないが、火山学的見地からも、防災上の見地からも、活動がどのように推移するか、どのような理由で発生しているかを解明する事は重要である。霧島火山観測所では、霧島火山群および加久藤カルデラ周辺の15ヶ所に設置した地震計のデータを無線テレメータにより収録しており、同地域で発生する地震活動を把握する能力を有しているが、テレメータ系の制約から、地震以外の噴気温度、電気比抵抗、傾斜、地磁気等の観測は行われていなかった。こうした現状を踏まえた上で、群発発生直後から、多くの研究者に協力を依頼し、新燃岳近傍にプロトン磁力計、傾斜計、空振計、長時間ビデオ、地震計等を緊急に設置して連続観測を行うとともに、光波測量、水準測量、

電気比抵抗測定、火山ガス分析等を可能なものから順次実施してきた（図1，東京大学地震研究所他，1992）。ここでは、活動の概要と電磁気観測の結果について紹介する。

2. 霧島の地震活動の特徴と最近の状況

霧島火山群周辺の地震活動は、震源が北西-南東あるいは北東-南西方向に並ぶ事が多く、かつそれぞれが時間的に密接に関連し合って発生する傾向がある。これらの地震の多くは図2に模式的に示すように、北西-南東方向に張力軸を持つ正断層あるいは横ずれ断層解を持ち、霧島火山群をなす個々の火山は、これらの断層に沿って形成されている（井田他，1986；Kagiyama et al., 1990；Kagiyama, 1992）。最近の地震活動は、図3に示すように、1991年に入り、霧島火山群周辺、火山群内とも、それまでの減少傾向から増加へと転じていた。しかし、これらの地震は、上述の断層系でまんべんなく発生しており、特定の火山（たとえば、新燃岳や御鉢など）に集中するものではなかった。したがって、これらは特定の火山の活発化を示すものではなく、霧島周辺のテクトニックなストレスが増大した事を反映したものと思われる。

3. 1991年11月以降の地震活動・火山活動

以上のような状況下で、11月13日夕刻から新燃岳において微小地震の群発活動が始まった。活動の概要は表1に示す通りである。図4に、新燃観測点（新燃岳火口から西に1.5km）で観測された地震の日別頻度と微動の継続時間を示す。全般的な傾向として、11月26日までは地震活動が活発で、それ以降は微動が多く発生している。この間、11月19日の18時と23日の12時に数分間程度の連続微動（後述の連続微動とは異なり、振幅が大きく、地震の連発、あるいは噴火に伴う振動のように見える）が発生し、その後それぞれ約1日間地震活動度が低下した。これらの連続微動に対応した異常は、20日の正午にヘリコプターから観察した限り、火口湖の北側に湯の湧き出しのようなパターンが見られた以外には、噴気異常、火口壁の崩落などの異常は何も観察されなかったが、24日の午後2時頃に火口の東側内壁から水蒸気を噴出した。水蒸気噴出の時刻は、長時間ビデオの映像から、13時53分と推定されるが、この時間帯には、地震が頻発しているものの、噴出に対応した地震や微動、空振などは観測されず、また噴出の前後で地震の発生頻度が変化した様子も見られない。11月25日にヘリコプターから観察したところ、噴出地点は1822年の噴火の際の火孔の跡で、壁の岩の隙間から水蒸気を噴出していた（図1，図11）。以前の地形を変えるような新しい孔が見られない事から、水蒸気の噴出は、爆発的でない状況で発生したと考えられる。この地点は、以前にも噴気があった所で、1978年の赤外による地表面温度分布調査でも高温部が見られる（鍵山他，1979）。鹿児島地方気象台では、この付近をS-8噴気孔群として観測を行っていた所である。このように、今回の水蒸気噴出地点は、以前から地熱兆候のあった場所ではあるが、1959年の水蒸気爆発の火孔列（火口の西側）の東の延長上にあたる事は、今後の活動を考えていく上で重要な意味を持つと思われる。図5に、この間の震源分布を示す。震源は新燃岳の海拔下1~2kmで、全てがマグニチュード2以下の小さなものである。細かくみると、11月16日頃から震源が火口中央に集中して発生するようになり、19日頃から震源がやや浅くなる傾向が見られる。20日以降はその傾向が更に強くなるようであ

る。

11月26日以降地震は激減し、かわって小振幅で数時間以上続く連続微動が発生し始めた。火口内東側に噴出した噴気は、11月30日頃から増大し、12月2日には鹿児島地方気象台により火山灰噴出が確認されるに至った（火山灰の噴出は、12月1日に、長時間ビデオの映像や目視で灰色の噴煙が勢いよく上昇している様子が見られた事、後に示す新燃山頂（兎ノ耳）と南西山麓の烏帽子観測点間の光波測量で11月29日と12月1日の間に35mmの伸びが観測された事などから判断して12月1日にはすでに噴出していたものと思われる）。連続微動は、その後も活発に継続し、12月4日頃には高周波の小振動に低周波の振動が重なり、数珠玉状の波形を呈するようになった。また、この時期には微動の開始と噴煙の増大とがよく対応するようになった事が長時間ビデオの観測から明らかとなった。こうした状態は12月6日頃まで続いたが、12月半ば以降は地震・微動とも活動のレベルは低下し現在に至っている。

しかし、より分解能を上げて、山頂に増設した地震計の記録でみると、山頂でのみ観測される地震や微動が数多く記録されており、その頻度は12月半ば以降単調に低下しているのではなく、12月14日、1月1日、1月下旬、2月下旬、5月初めなどに増加した後、火山灰や熱泥の噴出を繰り返している（図6、表1）。以下に主な活動を順次示す。

1992年1月下旬には、地震・微動が増え、1月28日には鹿児島地方気象台により火口内の広い範囲で降灰が確認された。東工大の1991年12月および1992年1月の現地調査によれば、微量の火山灰が常時噴気とともに噴出しており、ある特定の時期だけに火山灰を噴出しているわけではないが、1月28日に見られた火山灰は、量的に多く、何らかの活動があったと考えるべきであろう。1月下旬は天候不順のため詳細は明らかでないが、1月26日に灰色の噴煙が通常より勢いよく上昇している状況が長時間ビデオで見られる事、25、26日に活発であった地震・微動がその後急激に減少している事から、この時期に噴出したものと考えられる。また、1月下旬の地震数は、多い日と少ない日の差が極端であるが、これは、1月22日の23時33分と23日04時02分の日向灘地震（M3.6、M3.4）、26日の火山灰噴出、30日10時51分の鹿児島県西方沖地震（M5.1）に対応するように地震数が減少しているためであり、広域応力と新燃岳の活動との関連を考える上で興味深い結果である。

2月に入り、地震数は少ない状態が続いていたが、2月26日から再び増加し4月末までに徐々に減少していった。この間、3月19日と4月19日には異常噴煙が長時間ビデオにより観測された。噴煙の量がこの時期の平均的な量に比べて異常に多い事から、火山灰を噴出したものと考えられるが、雨天が続いたため、詳細は不明である。

その後地震数は減少していたが、5月に入り再び地震の増加が見られ、現在に至っている。図7は、S-8噴気孔群（火口東側内壁）で発生したと思われる熱泥噴出の跡の状況である。S-8噴気孔群は、1991年11月の噴出当初からしだいに噴出孔の数を減らしていたが、1992年4月の段階では上部に3つ、下部に1つの比較的勢いの強い噴気孔があり、4月17日以降、下部の噴気温度を現地収録方式で測定していた。6月2日にデータ回収を行ったところ、前回（5月6日）まで噴気を噴出していた下部噴気孔が泥に埋められ噴気を停止していた。細かく観察すると、上部の噴気孔から泥が流れ出た跡があり、泥は下部の噴気孔を埋めた後、更に1822年火孔の底に扇状地状に堆積していた。

体積を概算すると、南北に約10m、東西に約20m、平均の厚さを20cmとして、 40 m^3 程度となる。こうした事は、以前に降り積もった火山灰が雨で流されたり壁が崩落することによっても生じ得るが、これまでも大量の降雨があり、特に今回だけ壁が崩落したとは考えにくい。また、噴気孔が埋められた日時は、図8に示す噴気温度の変化から、5月10日の08時と09時の間であったと思われるが、その前後の地震活動(図6)を見ると、5月8、9日に地震数が増大した後、10日に急減している事がわかる。この期間を時間別地震発生数(図9)で見ると、10日の06時頃まで地震が多く、それ以降地震がほとんど発生していない事もわかる。こうした事実は、噴気孔の埋没が、単なる雨による崩落によるものではなく、5月上旬に活動が活発化し、熱泥を噴出した事を示していると言えよう。

4. 臨時観測の概要

本稿は、新燃岳の活動とそれに関連した電磁気観測の結果を示す事を目的としているが、参考のため、それ以外の観測結果の概要を簡単に紹介しよう。

光波測量は、新燃岳山頂部の3点(北から火口西、兎ノ耳、火口南)、山麓部の西側(新湯)、南西側(烏帽子)、南側(霧島南)に基準点を設けている(図1)。このうち、兎ノ耳-烏帽子の測線は11月27日に初回の測定を行い、それ以降原則として毎夕測定を行っている(図10)。他の測線は京大防災研により12月19~21日に初回の測定が行われ、以後数週間おきに測定されている。兎ノ耳-烏帽子では、測量開始直後の11月29日と12月1日の間に35mmの伸びを観測し、同日、関係機関に急ぎ注意を促したが、これは翌2日に火山灰噴出確認として功を奏した。これ以降、距離はしだいに短縮し、12月半ば以降は変化が見られない。5月現在まで長さに変動がない事から、現在が平常の長さを示していると思われ、その場合には、兎ノ耳-烏帽子間は11月末の段階には既に15~20mm伸びていた事になる。他の測線では特に変化は出ていない(石原、私信)。

新燃岳の南西山麓の林道沿いに水準路線を設け、12月中旬と1月下旬に測量を行った。2回の測量結果を比較すると、ほとんど変化ないが、わずかに山下がりの傾向が見られる(小山、私信)。

火山ガス測定は、1991年12月12日、1992年1月11日および4月17日に、東工大が火口内の火山ガス採取を行った。その結果、噴気温度は、 103°C から 113°C に上昇した後、 100°C に低下した。ガスの分析から推定される平衡温度は、4月に低下している(平林、私信)。

火口内外の熱的な状態を把握しておく事は重要であるため、ヘリコプターによる空中赤外調査を1991年12月5日(京大防災研)、12月20日(震研)、1992年2月5日(震研)に実施した。図11に第2回目に測定した温度分布を示す。火口の西側からS-2、S-6の1959年の噴火孔に対応した高温部が並び、東の延長上に今回水蒸気を噴出したS-8の高温部が存在する。これら以外にも、火口内壁の北東側(S-11)からリング状に高温部が分布している。これまでに行われた3回の測定について、それぞれの高温部の最高温度と周辺の平常温度との差を比較すると、S-6、S-8で温度が上昇し、火口の北および北西側内壁では変化が見られない。この事は、1959年の噴火列

方向（東西）にやや温度が上昇しているように見える。

5. 電磁気観測

こうした背景のもとで地磁気観測，MT観測，自然電位観測を実施した。ここでは地磁気観測とMT観測の結果を示す。

5-1. 地磁気観測

新燃岳火口の南側と西側1 kmの地点（図1），および観測所の3点にプロトン磁力計を設置している。図12にそれぞれ2地点の差の変化を示す。観測所を基準にした場合，ノイズが大きいためばらついているが，新燃南では地磁気の減少が見られ，新燃西では変化していない。新燃南と新燃西との差を取ると，図に示すように，3月末頃までほぼ一定の割合で地磁気の減少が進み，熱消磁が進行したと思われる。その後は，4月に一旦横ばい，あるいは増加に転じたが，5月から再び減少が進行している。また，12月13日，12月31日，2月下旬，5月上旬などに極端な減少が見られる。これは，磁気嵐による地磁気の乱れを十分に取り除けていない事にもよるが，この減少の後に地震が増加する傾向が見られ，よい対応を示している。特に，5月上旬の減少は，2月下旬の変化に似ていたため，地震の増加と小規模なイベントを心配して関係機関に注意を促していたが，その後，地震の増加と5月10日の熱泥噴出という形で現実のものとなった事を付け加えておきたい。熱消磁に加えて，ピエゾ効果の検討も行う必要がある。また，4月に横ばい5月以降減少という変化は，雲仙・普賢岳における地磁気変化や火山活動の変化とも似ており，興味深い。

5-2. MT観測

霧島では今回の新燃岳の地震群発とは別に以前からELF，VLF-MT観測を精力的に行っており，新燃岳周辺でも1991年11月初旬に観測を行っていた。その結果は，新燃岳を含む広い範囲で，表層200~300 mの高抵抗層の下に，数 $\Omega \cdot m$ 程度の低抵抗層が存在している事を示している。この低抵抗層は，霧島の他の火山周辺にも見られる特徴で（鍵山他，1990；Kagiyama，1992），地下に大量の熱水が存在しているためと考えられる。図13は，これらの結果に加えて，新燃岳の西側1.5 kmの地点で1991年12月に実施したULF，ELF，VLF-MT観測の結果を示している。低抵抗層の下には，海拔0 kmから1 kmにかけて数 $k\Omega \cdot m$ の高抵抗層をはさみ，再び $30\Omega \cdot m$ の低抵抗層となる。図には，この層が11 kmの深さまで続くように示してあるが，これは，探査に使用したELF帯（8 Hz）とULF帯（数10秒~数100秒）との間にデータが無いために，数km付近の情報が得られず，インバージョンの解により細かな構造が表現されていないせいである。この層の正体は不明であるが，少なくとも火口中心から離れた浅い部分は熱水層である可能性が高い。深さ11 km付近では $9\Omega \cdot m$ の低抵抗を示すが，これはマグマに関連した構造であるかもしれない。

6. 考察

以上示したMT観測の結果に基づいて，これまでに明らかにされている霧島の火山活動

の特徴、今回の新燃岳の活動を再考すると、以下のような事が考えられる。

新燃岳の過去4回の歴史時代の噴火中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。霧島では、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、霧島に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、普賢岳の活動の初期段階は、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、①帯水層に高温の火山ガスやマグマが深部から接近してくると大量の水蒸気が生成されて噴気異常を起こす、②噴火最盛期には火道から水が排除されて噴気は消滅するが、③活動末期にマグマが後退を始めると再び水が浸入し噴気異常が観測され、④静穏期には噴気も停止する、と理解される（鍵山他，1992b, c）。

今回の新燃岳の活動は、今後どのように推移するかわからないが、これまでの活動をまとめると、地震群発→大振幅の連続微動発生→水蒸気噴出→連続微動発生→火山灰噴出と推移し、その間に山体膨張も認められた。震源分布（図5）を見ると、地震群発当初は、 $30\Omega\cdot m$ の低抵抗層上部で発生していた地震が11月19日頃から上の数 $k\Omega\cdot m$ の高抵抗層へ攻撃を開始しているようにも見える。震源の深さの精度にはなお検討の余地があるが、仮にこの推測が正しいとすれば、以下のような推論が可能である。「なんらかの原因で $30\Omega\cdot m$ の低抵抗層内で火山ガス（マグマである可能性も否定できない）の圧力が増大するようできごとがあり（より深部からの供給でも、その場所でのガス相の増大でもよい）、11月13日以降周囲に貫入を開始した。19日頃には上の高抵抗層へ貫入を始め、18時に地震が高抵抗層内の障害を破壊した後、急速に火山ガスが上昇して大振幅の連続微動を発生させた。その後、火山ガスは $5\Omega\cdot m$ の低抵抗層に到達し、24日に水蒸気が噴出を開始した。地表に穴をあけて水蒸気を噴出した事により、下部の熱水層（ $30\Omega\cdot m$ ）において減圧沸騰を引き起こして26日以降連続微動を発生させるとともに、内部の圧力が増大して水蒸気の噴出圧増大、火山灰噴出に至った。」こうした推論が正しいかどうかは、微動の発生源の深さや山体膨張の圧力源の深さ、熱消磁の起こっている深さ等、他のデータを加えた検討が必要である。11月末から12月初めに認められた光波測定の伸びを新燃岳火口下の圧力増で説明するには、圧力源の深さは 1.5 km より深くなければならない（石原、私信）ので、微動の発生原因を熱水層に求める立場をとれば、減圧沸騰は上部の熱水層（ $5\Omega\cdot m$ ）ではなく、下部の熱水層（ $30\Omega\cdot m$ ）で発生していると考えの方が矛盾なくモデルをたてられる事になる。

7. 今後の活動について

これまでの活動の経過を見ると、11月下旬から12月上旬にかけて地震、微動が増加し、山体膨張も検知されるなど、活発な活動状況であったが、5月末現在では、地震、微動とも減少し、山体膨張を示すデータもないなど、活動は低下している。したがって、直

ちに大規模な噴火に移行する可能性は少ないであろう。しかし、地磁気観測からは、引き続き熱消磁が継続している結果が得られている他、山頂で観測される地震、微動も単調に減少せずに増減を繰り返しており、それに伴って火山灰や熱泥の噴出も行っている。こうした事から、小規模の噴火が発生する事は十分に考えられる。また、これに加えて地震、微動、地殻変動のデータに異常が見られる場合には、より大きな噴火に移行する可能性も否定できず、今後とも活動の推移に留意する必要がある。仮により大きな噴火活動に移行した場合、過去4回の歴史時代の噴火中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）と推移しており（井村他，1991），今後の活動を考えていく場合には、同様の事態を想定しておく事が必要である。

近年、火山体下の帯水層が噴火の際に果たす役割を重視する雰囲気が高まりつつあるが（笹井，1990），霧島で得られた知見もこうした動きを加速するものとなるであろう。また、地磁気観測も、今回のようなごく小規模の活動に対しても十分な成果をあげる事が可能である事が実証された。我々は、地震、地殻変動、電磁気といった個別の手法にこもらず、総合的に観測する事で火山に対する理解をより深める事が可能となるであろう。

謝辞

今回の新燃岳の活動に関連して、加茂幸介教授、石原和弘助教授をはじめとする京大防災研の方々、小林哲夫助教授をはじめとする鹿児島大学理学部の方々、井田喜明教授、渡辺秀文助教授、三ヶ田均助手、小山悦郎氏をはじめとする地震研究所の多くの方々のご支援をいただいた。東京都立大理学部の方には新燃岳に関して多くの有益な議論をしていただいた。この誌面を借り謝意を表します。なお、本研究の一部は、平成3年度総合研究（A）「霧島火山群新燃岳における1991年群発地震と火山活動に関する調査研究」（課題番号03306021，代表者：井田喜明）によった。関係者のご支援に感謝します。

参考文献

- 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.
- 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.
- 鍵山恒臣・宇平幸一・渡部暉彦・増谷文雄・山口勝(1979): 霧島火山の地熱調査。
震研彙報, 54, 187-210.
- 鍵山恒臣・山口勝・増谷文雄(1988): 霧島火山群新燃岳の地震活動—複数の活動火口を有する火山の研究—。火山, 33, 342.
- 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.
- 鍵山恒臣・山口勝・増谷文雄・歌田久司(1990): 霧島火山群硫黄山周辺のELF—MT測定。火山学会1990年度春期大会予稿集, 60.
- Kagiya, T., Ida, Y., Yamaguchi, M. and Masutani, F. (1990): Multi-active volcanic group generated in a slightly tensile stress field. EOS, 71, 964.

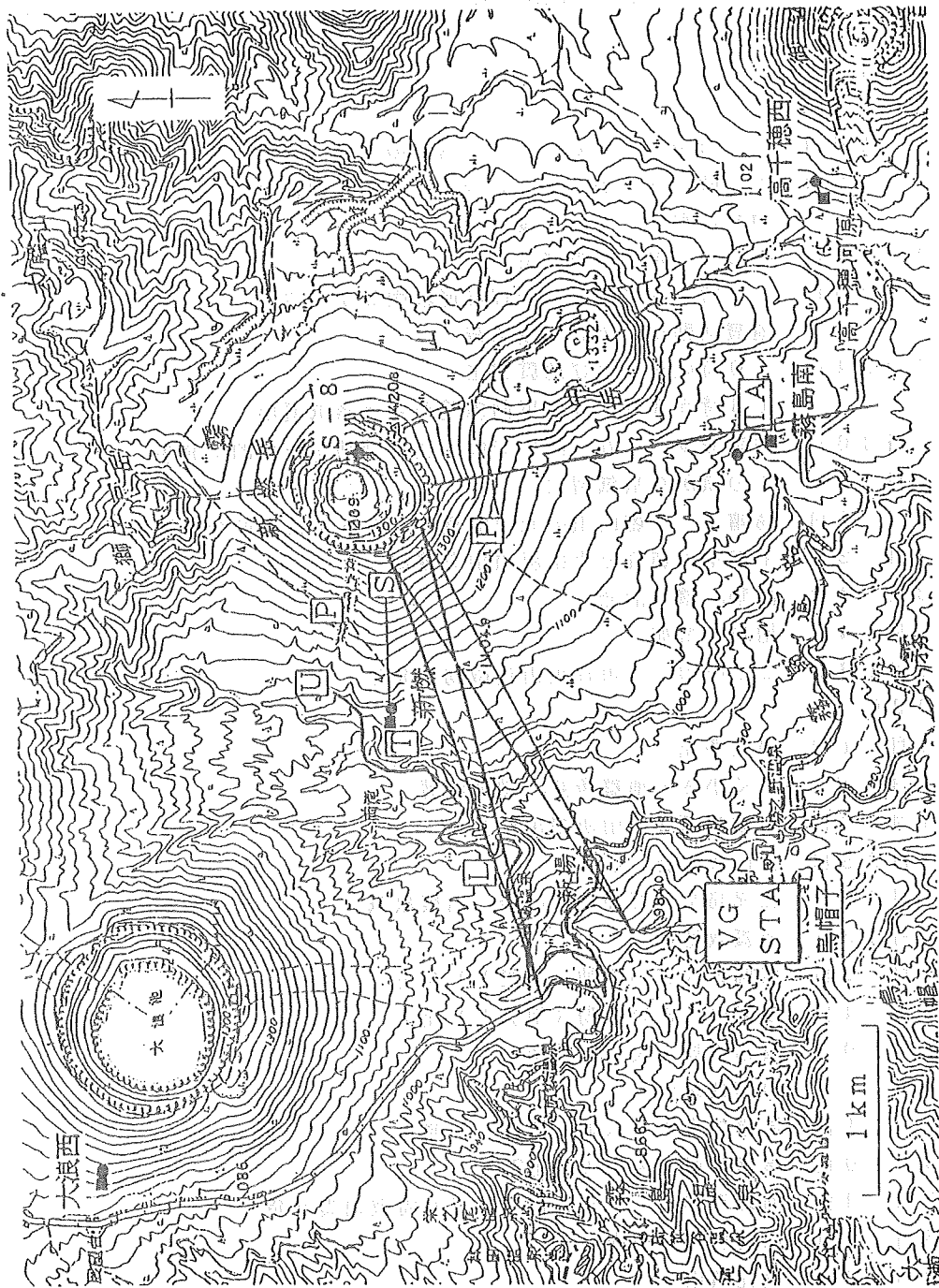
表1 活動の推移

1991年

- 11月13日 群発開始
 11月16日 01時頃から未明にかけて霧島の西側（大霧）で地震の群発
 11月19日 18時05分から5-6分間にわたり連続微動が発生
 地震活動は、それ以後急減
 11月20日 午後から再び地震発生
 11月23日 12時すぎに約10分程度連続微動が発生
 地震活動は、それ以後急減
 11月24日 10時頃から再び地震発生
 13時53分に火口東側内壁から水蒸気噴出
 11月26日 地震減少、これ以降小振幅の連続微動が断続的に発生
 11月30日 この頃から噴気増大
 12月 1日 烏帽子-新燃山頂の光波測量で、35mmの伸びを観測
 12月 2日 午前中の調査で火山灰噴出を確認
 12月 4日 微動、噴気活発
 12月14日 地震数増加
 12月16日 22時頃より再び火山性微動が発生

1992年

- 1月 1日 地震多発
 1月下旬 ごく小さい地震多発、微動顕著
 1月26日 異常噴煙（火山灰噴出？）
 1月28日 火山灰確認
 1月30日 鹿児島県西方沖地震の後、地震数減少
 2月26日 地震数増加
 3月 2日 振幅の大きい微動（地震？）発生
 3月 4日 振幅の大きい微動（地震？）発生
 3月19日 異常噴煙（火山灰噴出？）
 4月 地震数減少
 4月11日 振幅の大きい微動（地震？）発生
 4月19日 異常噴煙（火山灰噴出？）
 5月 3日 御鉢深部（12km程度）で低周波地震群発
 5月 9日 地震数増加傾向
 5月10日 熱泥噴出
 5月12日 大浪系列の地震（M2.5、観測所で震度1）



緊急展開観測装置 S:地震計 T:傾斜計 A:空振計 P:磁力計 U:電気抵抗 G:光波測量 L:水準測量 V:ビデオ

図1 新燃岳周辺に緊急に展開した観測網

Fig.1 Urgent observation net around Shinmoe-dake against the seismic swarm.

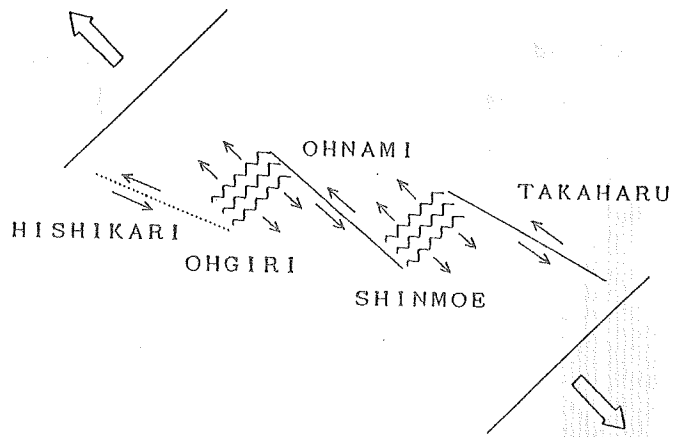


図2 霧島火山群周辺のテクトニックなモデル
 Fig. 2 Tectonic model around Kirishima Volcanoes.

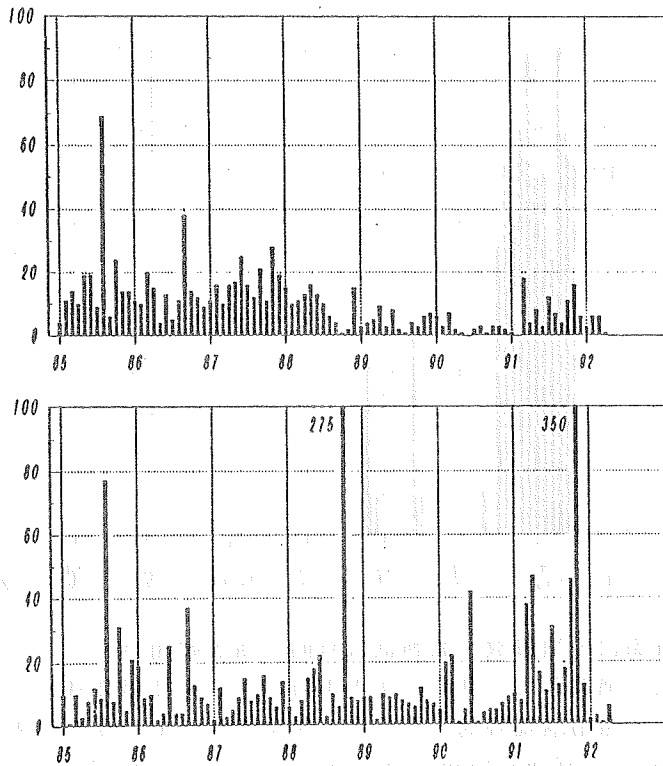


図3 上図：霧島火山群周辺の月別地震数 ($M \geq 2$)
 下図：霧島火山群内の月別地震数 ($M \geq 1$)

Fig. 3 Monthly frequency of earthquakes.
 Upper: Around Kirishima Volcanoes ($M \geq 2$)
 Lower: Beneath Kirishima Volcanoes ($M \geq 1$)

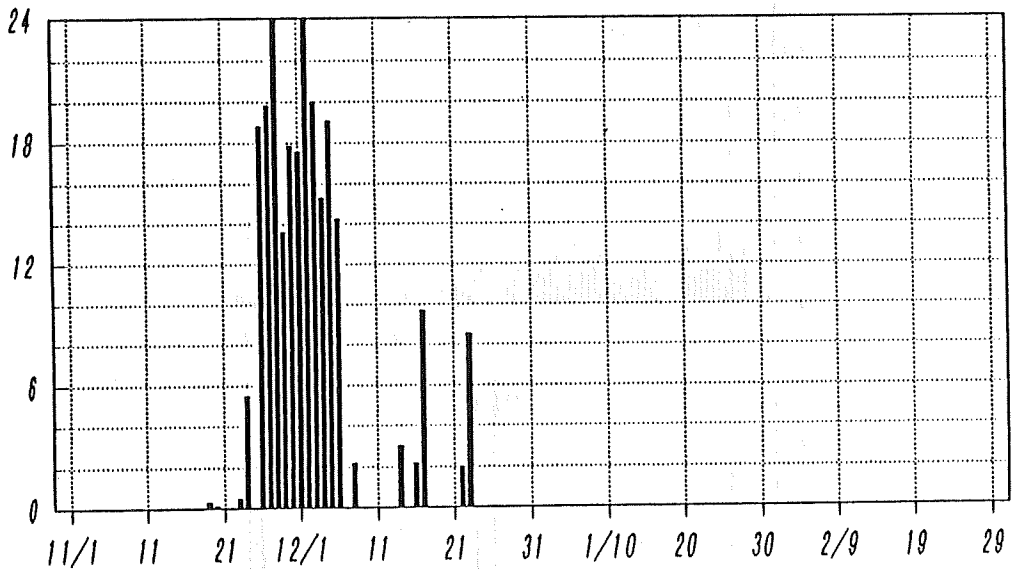
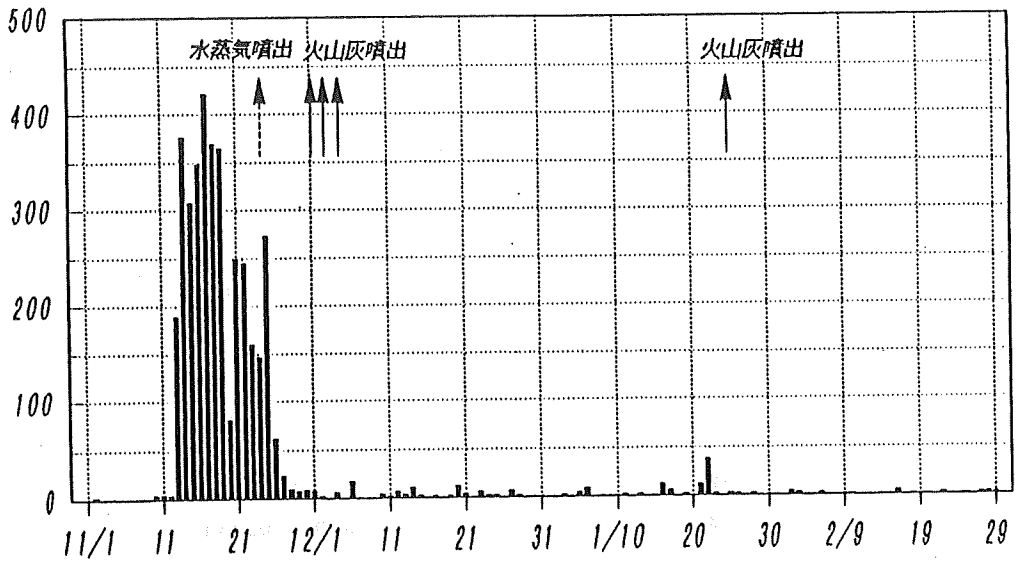


図4 新燃岳の地震数・微動継続時間（新燃観測点）

上：地震数（1991年11月－1992年2月）

下：微動継続時間（1991年11月－1992年2月）

Fig.4 Number of earthquakes and duration time of volcanic tremor observed at Shinmoe station.

Upper: Number of earthquakes (Nov., 1991 - Feb., 1992)

Lower: Duration time of tremor (Nov., 1991 - Feb., 1992)

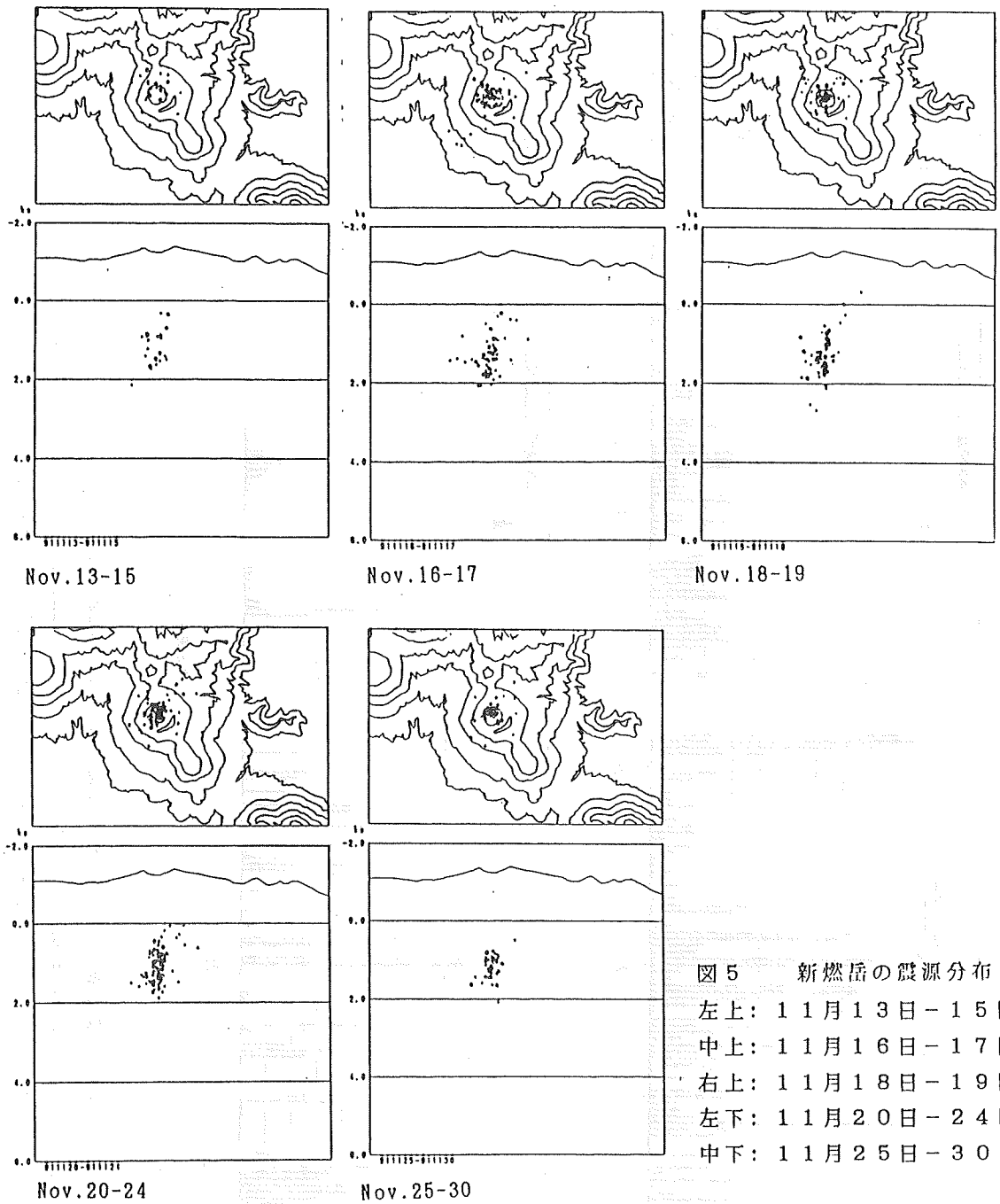


図5 新燃岳の震源分布
 左上: 11月13日-15日
 中上: 11月16日-17日
 右上: 11月18日-19日
 左下: 11月20日-24日
 中下: 11月25日-30日

Fig.5 Hypocenters beneath Shinmoe-dake after the beginning of the seismic swarm.

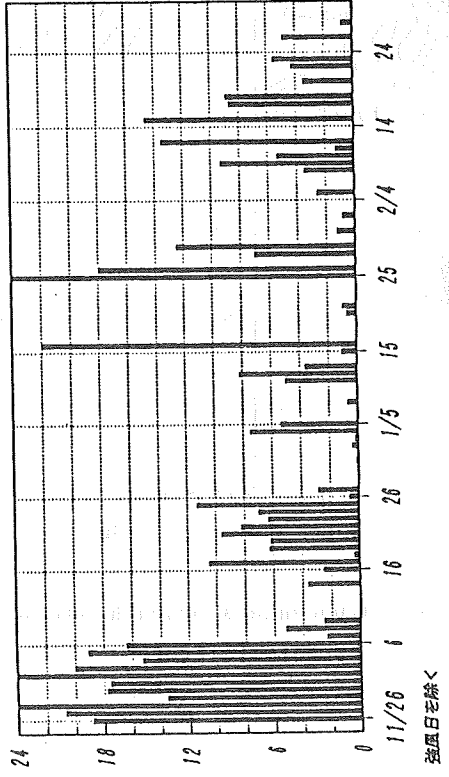
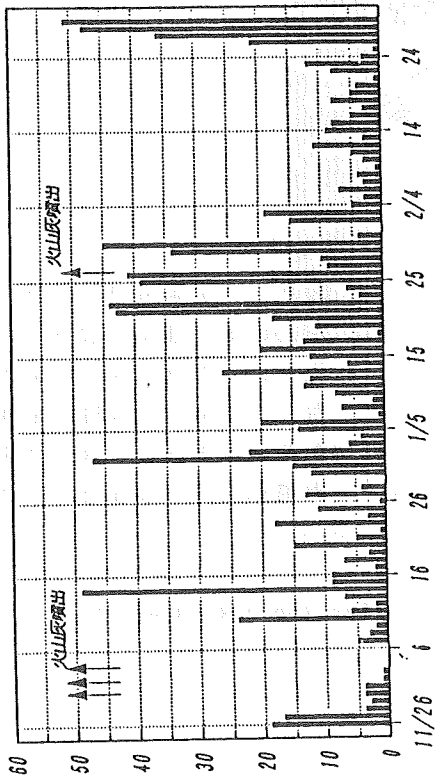
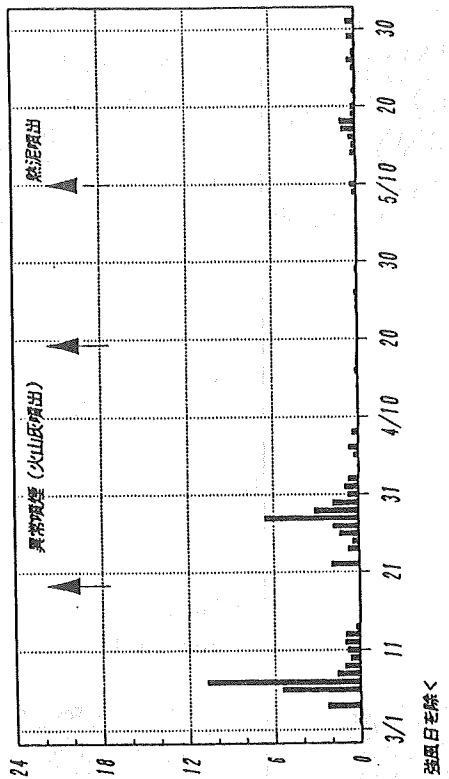
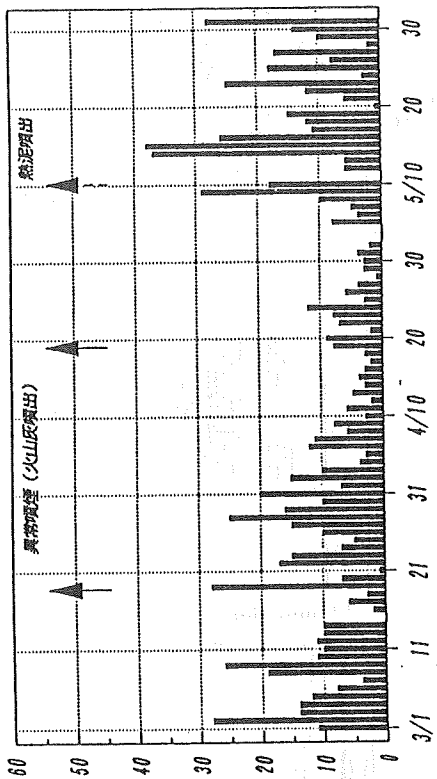


図 6 新燃山頂観測点で観測される地震数・微動継続時間
 Fig.6 Daily frequency of earthquakes (Upper) and duration time of volcanic tremor (Lower) observed at the summit of Shinmoe-dake.

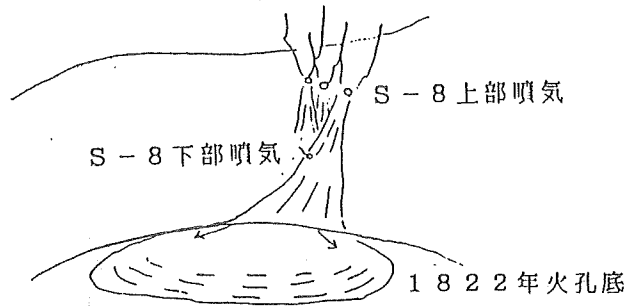


図7 S-8 噴気孔群で発生した熱泥噴出の状況
 Fig.7 Mad eruption occurred at S-8 fumarolic zone.

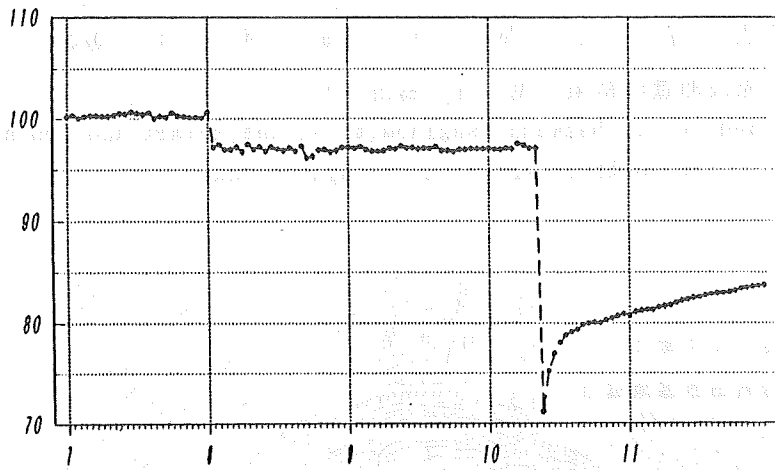


図8 S-8 噴気孔群下部の噴気温度の時間変化
 Fig.8 Change of the fumarolic temperature at the lower part of S-8.

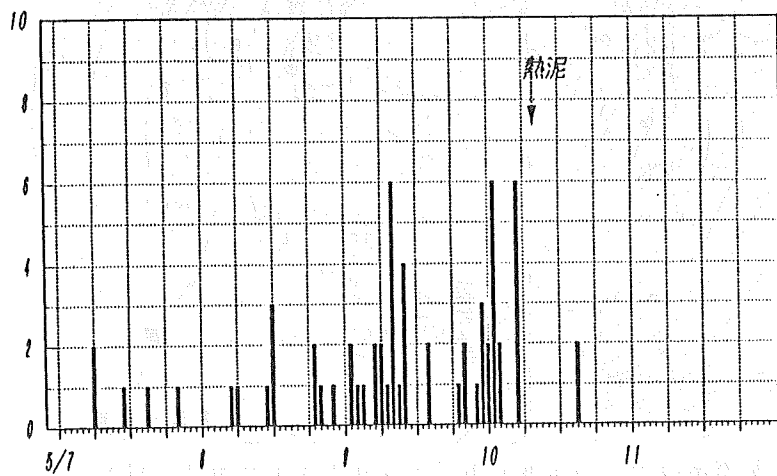


図9 熱泥噴出前後の時間別地震数
 Fig.9 Hourly number of earthquakes before and after the mad eruption.

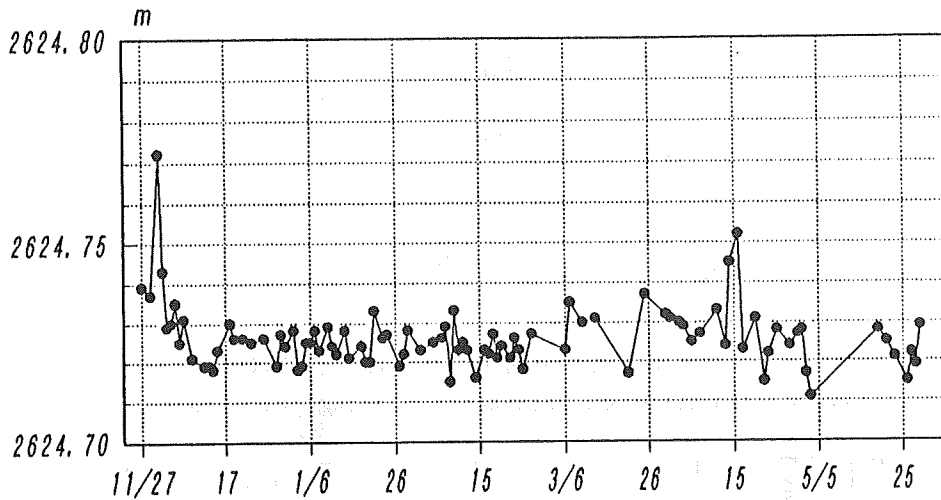


図 10 光波測定の結果 (兎ノ耳-烏帽子)

Fig.10 EDM survey between Usaginomimi at the summit and Eboshi at the southwestern foot of Shinmoe-dake.

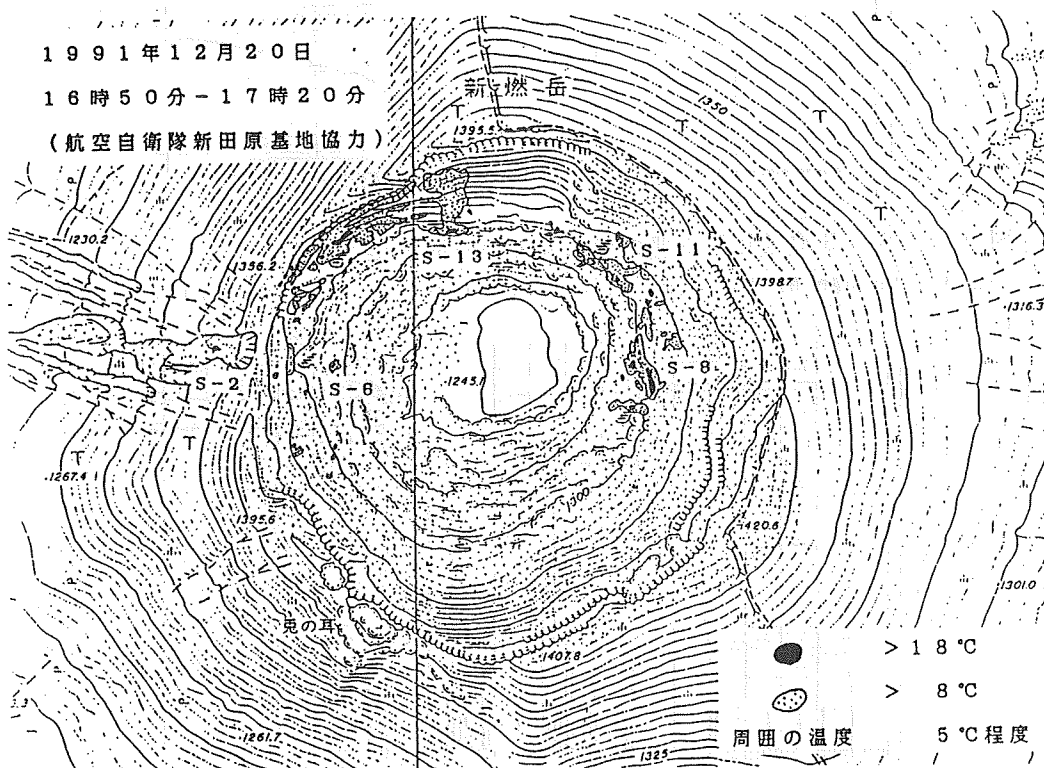


図 11 新燃岳の地表面温度分布 (1991年12月20日)

Fig.11 Surface temperature distribution of Shinmoe-dake measured on December 20, 1991.

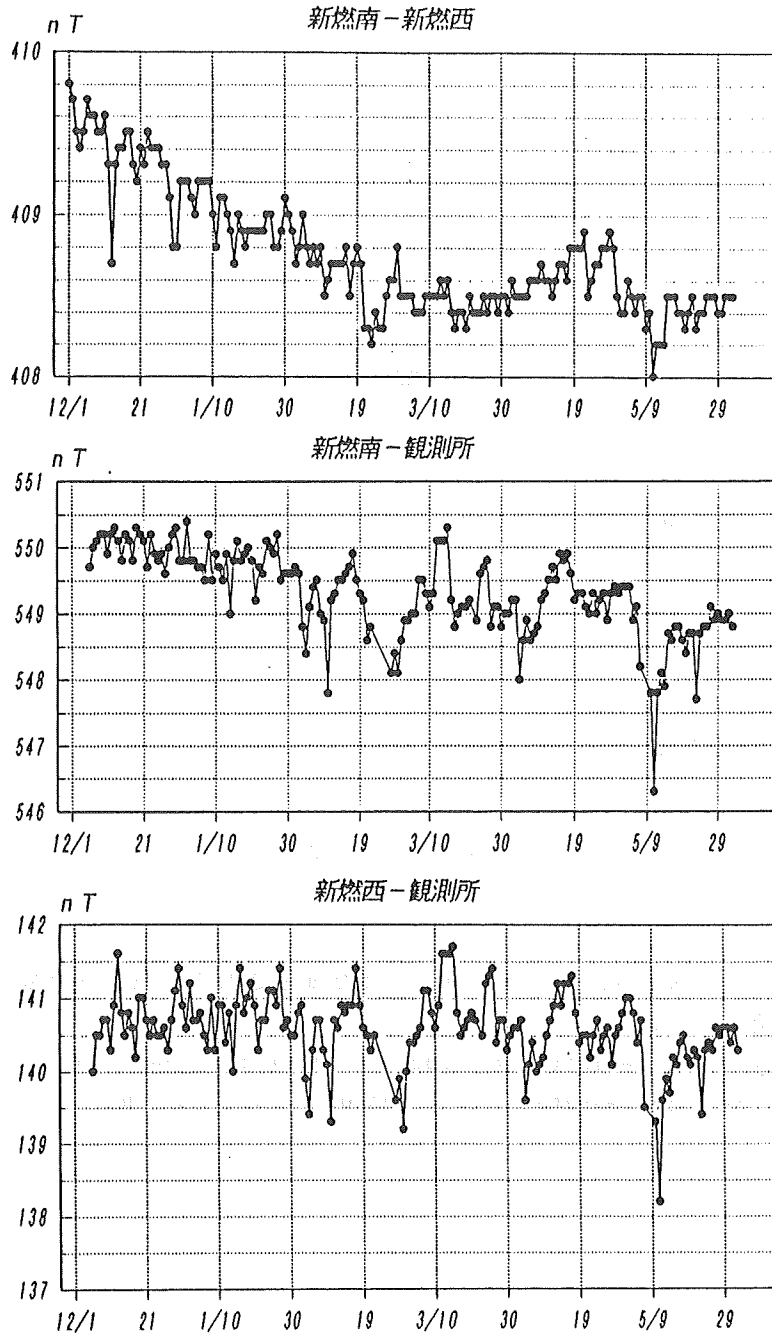


図 1 2 新燃岳における地磁気変化

上: 新燃南-新燃西 中: 新燃南-観測所 下: 新燃西-観測所

Fig.12 Change of the difference of total magnetic intensity.

Upper: Southern flank - Western flank of Shinmoe-dake

Middle: Southern flank of Shinmoe-dake - Observatory

Lower: Western flank of Shinmoe-dake - Observatory

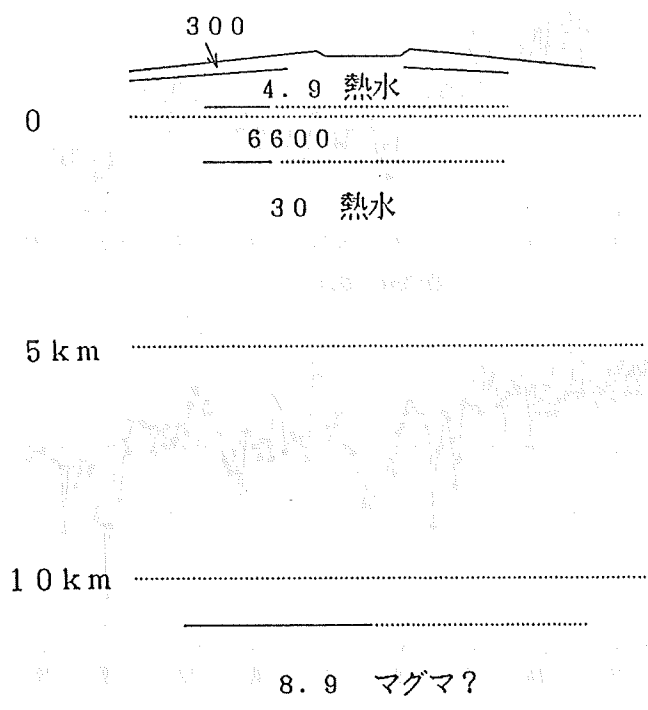


図 13 U L F, E L F, V L F - M T により推定される新燃岳下の電気抵抗構造
 単位: $\Omega \cdot m$

Fig.13 Electrical resistivity structure beneath Shinmoe-dake revealed by the
 ULF-ELF-VLF magnetotelluric method. Unit: $\Omega \cdot m$