

# 阿蘇カルデラ周辺の地震活動と発震機構

須藤 靖明・山田 年広・増田 秀晴

## SEISMIC ACTIVITY AND FOCAL MECHANISM AROUND THE ASO CALDERA

By *Yasuaki SUDO, Toshihiro YAMADA and Hideharu MASUDA*

### Synopsis

In the central Kyushu, the active seismic region is restricted in the western part. The eastern side area of this region is the Aso and Kuju Volcanoes.

Particularly, near the Aso Caldera, several earthquake swarms have been occurred. The fault plane solutions of earthquakes in this area were obtained by the seismic network of AVL (Aso Volcanological Laboratory, Kyoto Univ.). The solutions indicate that the faults are assumed the northeast-southwest normal type or strike-slip type faults. All of tension axes are horizontal in the north-south direction. These evidences (the stress-field is characterized by remarkable north-south extension) are confirmed in the seismic active region of the central Kyushu.

### 1. はじめに

阿蘇カルデラ周辺では、これまでの観測結果<sup>1),2)</sup>から、カルデラ北部地域から同西南部地域にかけてカルデラ壁に沿って、ほぼ東北から西南に至る一帯で地震活動が活発であることが認められている。

京都大学火山研究施設では、これらの地震活動の詳細な観測調査と中央火口丘の火山活動との関連性をも検討する目的で、1979年より年次計画に基づいて順次、恒久的な観測点を新設し、「広域観測網」を設立してきた<sup>3)</sup>。

本報文では、上記観測網の設立がほぼ完成した時期(1981年3月)から1983年12月末までの期間の阿蘇カルデラ周辺地域の地震活動を震源分布の特徴から述べ、また、それらの地震活動の中で比較的規模の大きい地震について発震機構を求め、阿蘇カルデラ周辺地域の起震応力状態について言究する。

阿蘇カルデラ周辺の地震活動に関しては、須藤(1981)<sup>2)</sup>に於いて詳細に論じられているが、当時の震源決定の方法は、一辺600m弱の3点観測網によっていたため、その精度は今回の場合と比べ劣っていた。また、発震機構についても、短期間の数少ない臨時観測点によっていたので、将来の検討が要請されていた。従って、今回、「広域観測網」の設立により、これらの問題点についての改善がなされている。

### 2. 地震活動

阿蘇カルデラは、九州中部地域のほぼ中央に位置する。そこで、カルデラ周辺の地震活動を述べるのに先だって、九州中部地域の地震活動を検討してみる。Fig. 1は、1981年3月から1983年12月までの期間に発生した地震で「広域観測網」で比較的精度良く震源が求められた地震の震央位置を示したものである。ここで、九州東部の海城部や西部の干々石湾附近で発生する地震は「広域観測網」からかなり離れるため、震源決定精度が阿蘇カルデラ周辺地域と比べて若干劣るが、震央位置に関しては深さの決定精度より良い。従って、Fig. 1で九州中部地域の地震活動の概要を充分把握することができる。

九州中部地域の地震活動は、東部地域では海城部で比較的活発であるのに対し、陸城部に於いてはほとん

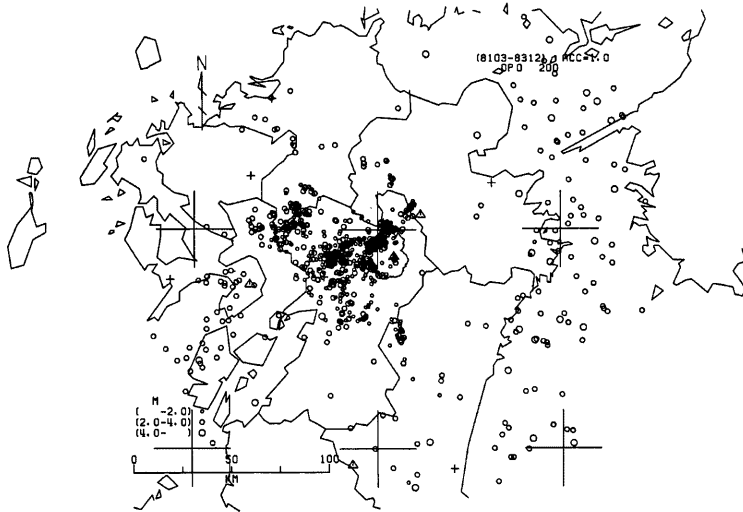


Fig. 1 Distribution of epicenters for well-located events in the central Kyushu during period 1981 to 1983. Locations have been calculated by the seismic network of AVL (Aso Volcanological Laboratory, Kyoto Univ.). The active seismic region is shown in the western part of the central Kyushu. Dense clusters of events near the Aso Caldera have been discussed in Fig. 2. Small cross symbols are the main cities in each prefectures. Small triangles are the active volcanoes; Unzen, Aso, Kuju and Kirishima.

ど地震の発生をみない。つまり、九重火山と阿蘇火山を結ぶ線の東部地域では地震活動がきわめて不活発である。対照的に、この線の西部になると図に表わされるように、阿蘇カルデラ北部及び西部地域で非常に活発な地震活動がみられる。そして、この活発な地震活動地域は、カルデラの西部へ連らなり、熊本市周辺地域に至っている。このように、九州中部の陸域部の地震活動は、不活発な東部地域と、逆に活発な西部地域とに合けられ、極端な対照性を有している。

地震活動の活発な西部地域は、九重火山を東側の頂点として、北辺が九重火山から熊本・福岡県境に沿って、福岡県大牟田市に至るほぼ東西の直線、南辺が九重火山から阿蘇火山を通り熊本県八代市に至る直線とする、西側に開いた三角形をなす地域に当たる。そして、この三角形の更に西部には雲仙火山があり、千々石湾から天草下島一帯でも多くの地震が観測されている。

この図に示されている地震の震源の深さは、大分県中部や熊本・宮崎県境で発生する約 100km 程度のやや深い地震もわずかにあるが、阿蘇カルデラ附近で数 km、その西部では徐々に深くなり、千々石湾の西側で約 40km 程度で、ほとんどが地殻上部である。

阿蘇カルデラ周辺地域の地震活動については、Fig. 2, Fig. 3 を示す。Fig. 2 は震央分布で、Fig. 3 は深さを示すために Fig. 2 において実線で囲んだ地域の中にある地震の震源をその長辺に投影した図である。

阿蘇カルデラ周辺地域の地震活動の特徴として、これまでも指摘されてきたことであるが<sup>2)</sup>、群発的な性質が挙げられる。短時間の間に数10個から数100個の地震が、ほとんど同一個所のごく狭い地域で発生し、時間的にも空間的にも密集性がきわめて高いことである。今回の観測期間中にも、カルデラ北部のカルデラ壁の内側と外側で、規模は小さいが群発性の地震活動が観測された。Fig. 4 は、近年の群発性地震活動の中で比較的規模の大きな活動をまとめたもので、各々の活動期間、地震回数、規模などを示し、震源域に各々

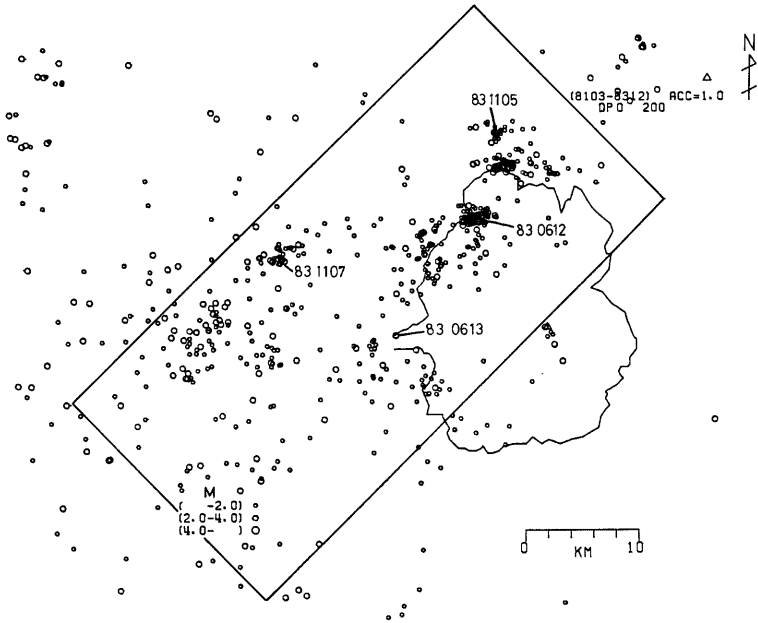


Fig. 2 Distribution of epicenters in and near the Aso Caldera. The caldera-rim is shown by curve. The depth of each event in the rectangular region has been shown in Fig. 3. The numerical numbers in this region indicate the date occurring event, of which the fault plane solution has been studied in Fig. 5.

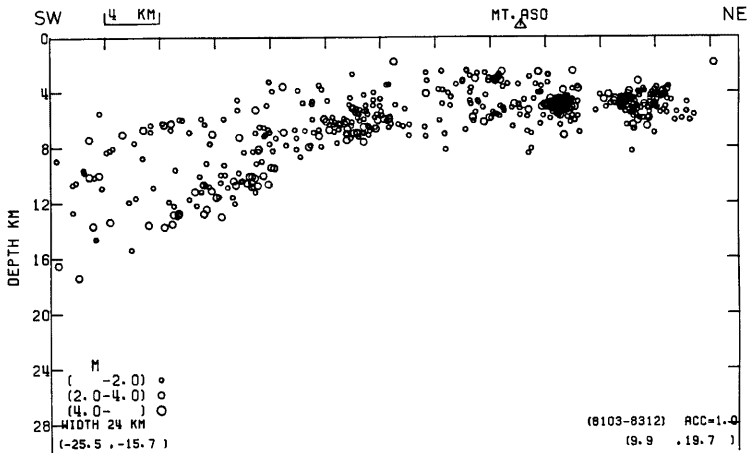


Fig. 3 Vertical distribution of foci. This projection contains events in the rectangular region of Fig. 2. SW and NE indicate the south-western point and the north-eastern point in Fig. 2. At the northern and north-western areas near the Aso Caldera, foci are mainly clustered above 8 km depth, but at the south-western area far out the caldera, foci are scattered below about 8 km depth.

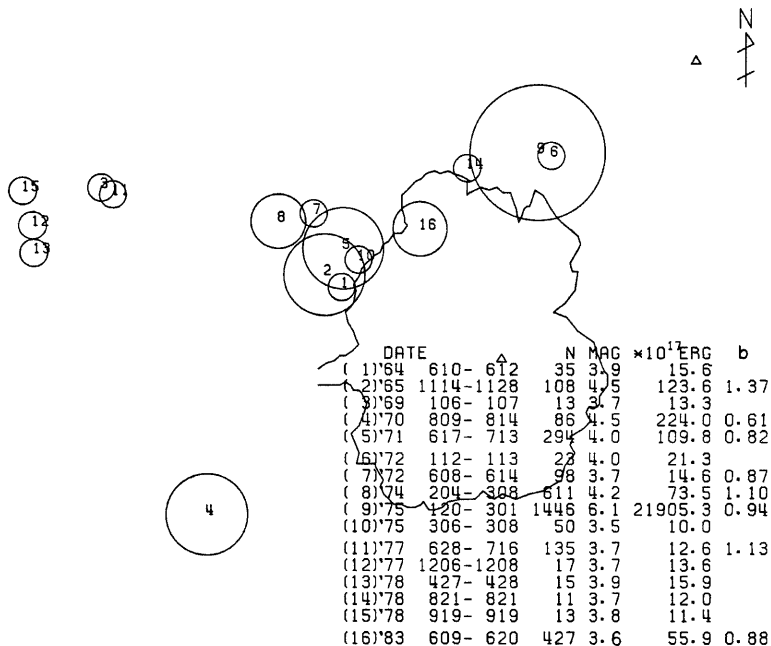


Fig. 4 Characteristics of predominant earthquake swarms near the Aso Caldera. N is the number of events. MAG is the maximum magnitude in each swarm. Total seismic energy released during each swarm period is shown by unit of  $10^{17}$  erg. b is b-value of magnitude-frequency relationship estimated by the method of maximum likelihood at the 95% confidence limits.

の地震活動の規模に相当した円を描いたものである。阿蘇カルデラ北部からカルデラ壁に沿って、西南部へ至る帯状の地域と、熊本市北部地域に群発地震活動が分布して、Fig. 2 を簡略化した図ともなっている。

つまり、Fig. 2 をみると、九重火山の西南、すなわち、阿蘇カルデラ北部及び西部地域では、震央が密集し、その西域では拡く面状に分布している。このことは、先に述べたように、九州中部の地震活動域が、九重火山を一つの頂点とする西へ開いた三角形の地域で、その地域の中で、特に地震活動の活発な地域が阿蘇カルデラ北部及び西部であることを示している。そして、Fig. 3 の図で示されるように、それらの地震の震源の深さは、北部地域で深くて約 8 km までであるのに対し、西南部地域では約 20 km にも達し、徐々に深くなっている。

### 3. 発 震 機 構

前章で述べた如く、阿蘇カルデラ周辺に於いては、地震がカルデラの北部から西部地域に密集して発生し、九重一阿蘇火山の NE-SW 方向に帯状に分布する特徴をもっている。そこで、この地域に発生する地震の起震応力状態を知ることは、九州中部地域に関する地殻応力場の解明の手がかりとなる。「広域観測網」が十分に整備されて、いくつかの地震について発震機構が得られた。Fig. 5 は、P 波初動の各震源についての下半球等積投影図で、各地震の発生位置は Fig. 2 に示してある。

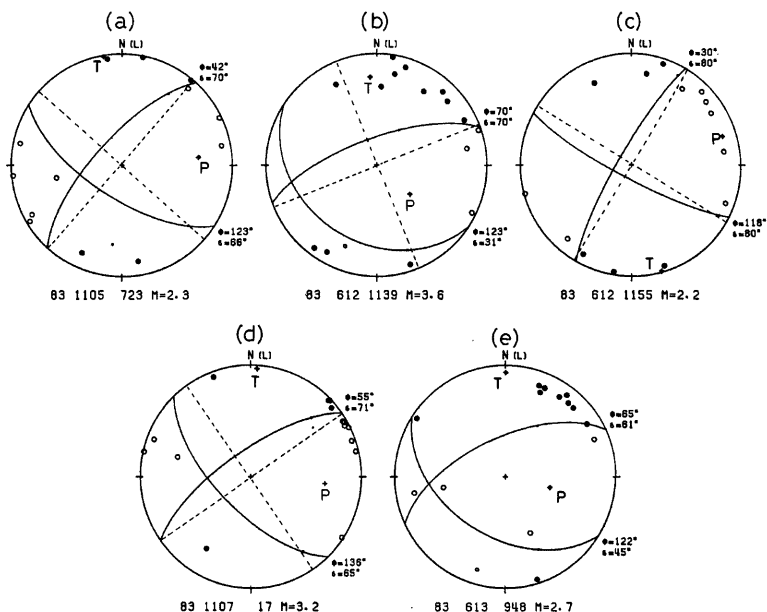


Fig. 5 Fault plane solutions for events in Fig. 2. All represent the lower hemispheres of equal area projections. Solid symbols are compressions and open symbols are dilations. The solid curve indicates the nodal line of the assumed normal fault type, and the broken line indicates the strike slip type solution.

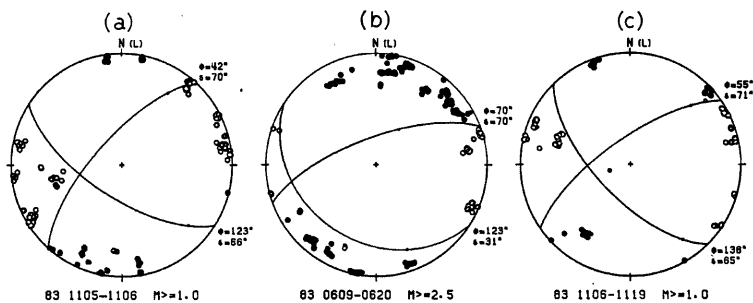


Fig. 6 Composite fault plane solutions for the seismic swarms in Fig. 2

(a) 1983年11月5日7時23分 M=2.3 D=5.9 km

この地震は、カルデラ北部の外輪山地域で生じたもので、11月5日の6時頃から同日18時頃にかけて群発した地震群の中で最大規模の地震である。図中、実線で示した正断層的な解のほかに、点線で示したように横ずれ型の解も考えられる。Fig. 2の震央分布の様子から、Fault Planeは、 $\phi=42^\circ$ の nodal line と考えられる。また、Fig. 6の(a)の図は、この地震群の中で M=1.0 以上の地震の重ね合せの等積投影図であり、

横ずれ型とするよりも正断層的な解の方が良いことが判る。

(b) 1983年 6月12日 11時39分  $M=3.6$   $D=4.5$  km

(c) 1983年 6月12日 11時55分  $M=2.2$   $D=5.3$  km

これらの地震は、6月9日から同月末まで続いたカルデラ西北部内側で生じた群発地震の中で最大規模の地震と、その直後に発生した地震である。この群発地震活動は、この図の (b) と (c) で示されるような2つのタイプの発震機構をもっている。(b)のタイプの地震が地震群全体のほぼ90%を占めるが、6%位が(c)のタイプで、明らかに横ずれ型の地震となっている。なお、このような横ずれ型の地震は、比較的規模の大きい(b)タイプの地震の発生した後に生じている。Fault Planeは、震源分布から、 $\phi=70^\circ$ の nodal line と考えられる。Fig. 6の(b)は、この群発地震の重ね合せ解で、正断層的であることが示される。

(d) 1983年11月7日 00時17分  $M=3.2$   $D=7.0$  km

この地震は、(a)の群発地震の活動期間中に発生し、同月19日頃まで続いた別の地震群の中の最大規模の地震である。この地震群は、発生地域がカルデラ壁から西へ10数 km 離れ、カルデラ近傍の地震群と比べ、個々の地震の規模が大きい特徴をもっている。fault planeは、 $\phi=55^\circ$ と推定される。この地震も図で示すように、実線と点線の正断層的な解と、横ずれ型の解が可能である。Fig. 6の(c)は、この地震群の重ね合せ解である。

(e) 1983年 6月13日 9時48分  $M=2.7$   $D=6.0$  km

この地震は、(b), (c)の群発活動期間内に生じたもので、これまでの地震と異なり、単発的に発生した地震である。震源位置は、阿蘇カルデラでは、唯一カルデラ壁の欠損した立野地区であることが注目される。この地震は、図のようにほぼ正断層的な解で説明される。

Fig. 5, Fig. 6の各発震機構には、圧縮軸がほぼ E-W 方向で、個々の地震でばらつくが、fault plane が NE-SW 方向、伸張軸がどの地震についても N-S 方向で水平面にあるという共通性がある。このことは、これらの地震の発生した地域に、水平で南北方向への伸張力が強く影響していることを示す。

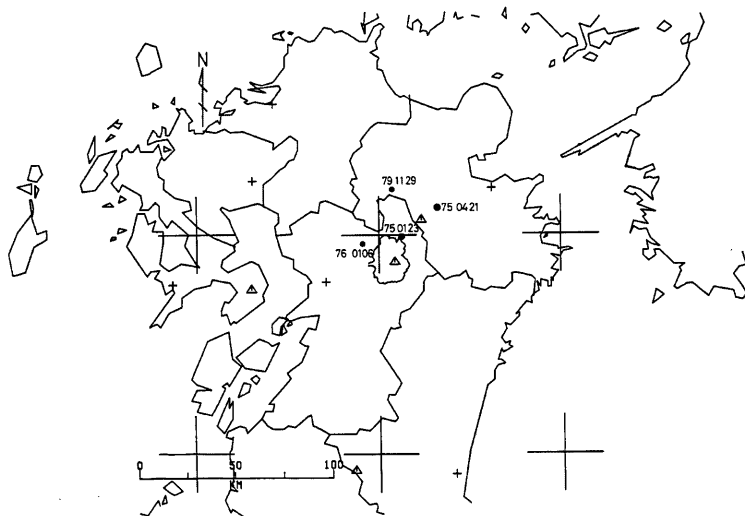


Fig. 7 Locations of earthquakes occurred near the Aso Caldera. These events are discussed in Fig. 8.

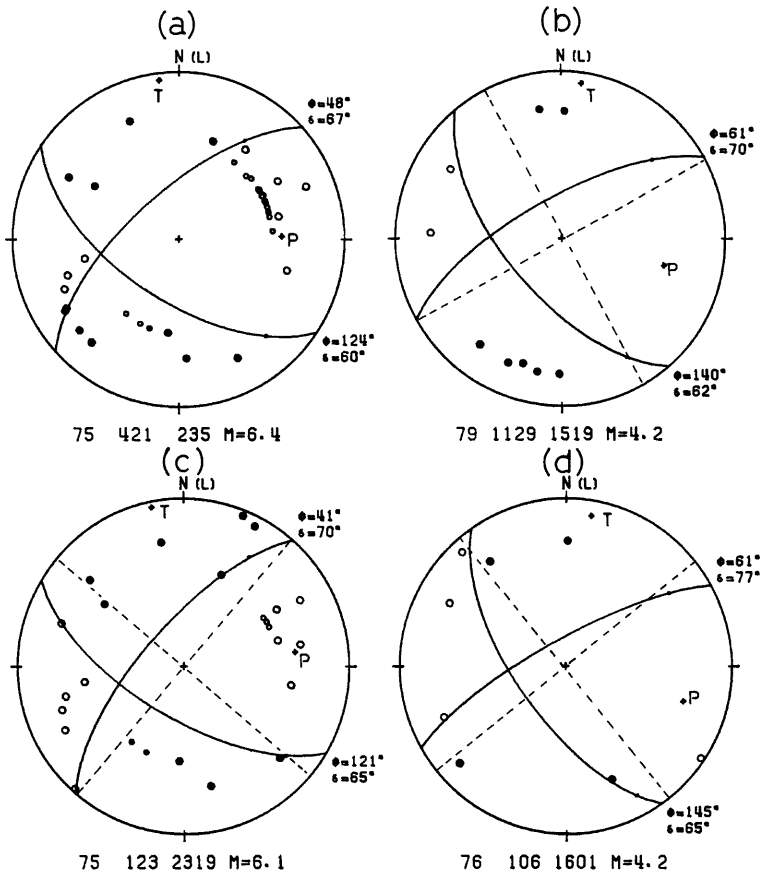


Fig. 8 Fault plane solutions for events in Fig. 7

この推定を更に検討するため、カルデラ周辺で発生した過去の地震について、その発震機構を求めてみる。Fig. 7 は、Fig. 8 の各等積投影図に相当する地震の震央位置である。Fig. 8 は、気象庁地震月報記載の資料に、火山研究施設の観測資料を加えたものである。この中で、1975年1月23日の阿蘇北部地震と同年4月21日の大分県中部地震については、山科・村井<sup>4)</sup>がすでに報告しているが、今回ここでは、震源がやや深すぎるので改めてい。しかし、山科・村井の決定した解<sup>4)</sup>と大きな矛盾はない。図中、実線で示した正断層的な解のほかに、横ずれ型の解が考えられる場合は点線で示してある。ここでも伸張軸はほぼ南北方向で水平であるのに対し、圧縮軸は水平面に対し傾きをもち、その方向も個々の地震で一定していない。このことは前述と同じことで、カルデラ周辺地域では、南北伸長という起震応力状態が不変であることを示している。

カルデラの西、熊本市周辺地域も、前章で述べたように、地震活動が活発である。この地域での起震応力

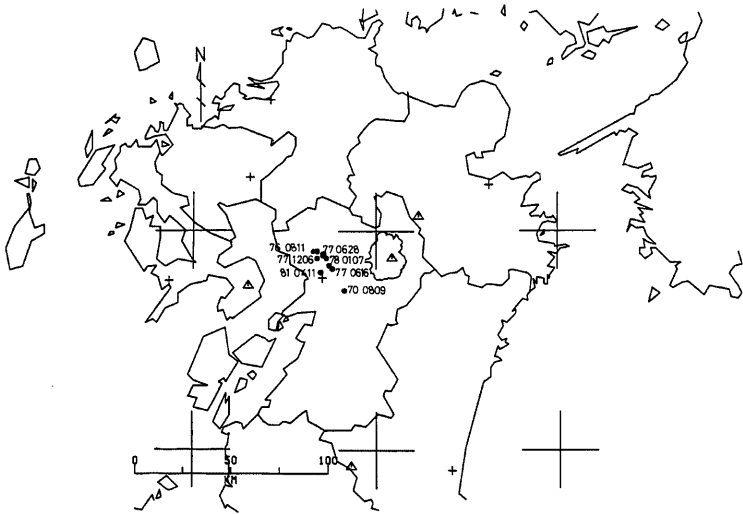


Fig. 9 Locations of earthquakes occurred near Kumamoto City. These events are discussed in Fig. 10.

状態を知ることは、これまで述べてきたカルデラ周辺の応力場との関連から、九州中部地域の広域的な状態を把握できるため重要となる。Fig. 10 は、気象庁の資料と火山研究施設の観測資料から求めたものである。Fig. 10 には、(a)の地震のように、特徴的な解が含まれるが、ほとんど正断層的な解か、横ずれ型の解で説明でき、ここでも伸張軸が南北方向であるという共通性が得られる。

#### 4. 考 察

前章で得られた発震機構は全て、九重火山を頂点とする、西方へ開いた三角形の地域内で発生した地震についてで、ほぼ同一の解となっている。中には完全な横ずれ型の解があるが、大部分は横ずれ成分を多分に含んだ正断層的な解である。そして、伸張軸がどの地震についても南北方向で水平であるという共通性も持っている。これは、この地域の応力場が、東西の圧縮場で説明するよりも、南北の水平張力場となっていると考えた方が理解しやすいことを示している。

九州中部地域については、中央構造線が、四国から西への延長の不明瞭化という点や、長崎三角地域という提言などから、古くから特徴ある地域として注目されてきている。最近、この地域が伸張場であるとの指摘もなされ、比較的規模の大きい地震のメカニズムからも支持されると報告されている<sup>5), 6)</sup>。また、松本<sup>7)</sup>は、この地域を「別府—島原地溝」と提言し、別府湾から雲仙西部まで、いくつかの小地溝の連なりと考えている。これは、この地域の活断層が、N-W、あるいは、NE-SW 方向の走向で正断層的であって、陥没構造の地形を示していることから判断した結果であった。国土地理院の測量結果<sup>8), 9)</sup>によれば、九州中部地域は、南北の伸張歪み場になって、南西に至るほどその歪みが大きい傾向にある。また、山科等<sup>10)</sup>は、雲仙地域で、横ずれ型よりも圧縮軸が水平から傾いた正断層的な解を求め、南北方向への伸張場が考えられることを報告している。

今回、ここで得られた発震機構は、これらの推定を支持するものとなっている。つまり、九州中部地域では、南北方向の水平な伸張力が、広域的な応力場として一様に働いているようである。しかし、地震の発生



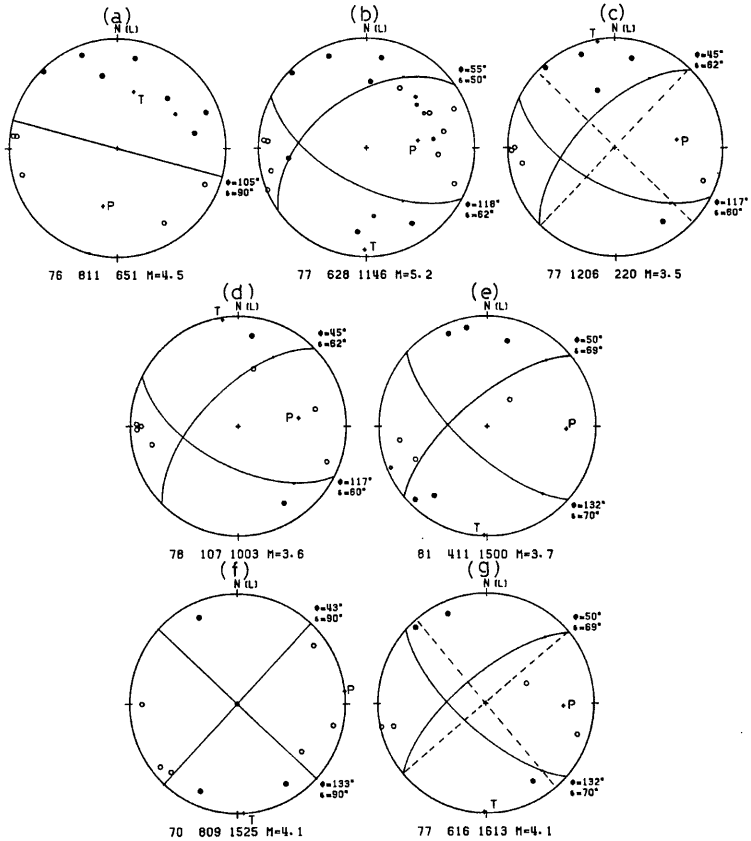


Fig. 10 Fault plane solutions for events in Fig. 9

が絶対的な引張り応力状態下での破壊 ( $\sigma_1 > \sigma_2 > 0 \gg \sigma_3$ ) なのか、あるいは、相対的な引張り応力状態下での破壊 ( $\sigma_1 > \sigma_2 \gg \sigma_3 > 0$ ) であるのか、はっきりしない。また、今回対象とした地震はせいぜい深さ 10km 程度までのもので、九州中部地域で時々発生するやや深い (100-150km 程度) 地震などについてはふれていない。これらの課題は、今後に残されている。

本報文をまとめるにあたり、多くの御助言をいただいた京大理学部火山研究施設の諸氏に厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 須藤靖明：阿蘇西部外輪山地域の地震活動，火山，20，1975，pp. 1-12.
- 2) 須藤靖明：阿蘇カルデラ西部地域の地震活動，火山，26，1981，pp. 263-279.

- 3) 須藤靖明・江藤敏治・山田年広・増田秀晴・迫 幹雄：阿蘇火山カルデラ周辺の地震活動，阿蘇火山の集中総合観測（第 2 回，1981）報告，1984，pp. 17-21.
- 4) 山科健一郎・村井 勇：1975 年大分県中部地震・阿蘇北部地震のメカニズムについて，地震研究所彙報，50，1975，pp. 295-302.
- 5) 多田 堯：沖縄トラフの拡大と九州地方の地殻変動，地震学会講演予稿集，1983，No. 2，pp. 78.
- 6) 村井 勇・金子史朗：大分県中・西部の構造地形と大分県中部地震，地震研究所彙報，50，1975，pp. 329-342.
- 7) 松本篁夫：九州における火山活動と陥没構造に関する諸問題，地質学論集，16，1979，pp. 127-139.
- 8) 国土地理院 原田健久・志村迪吉：一等三角測量による西日本の地殻の水平変動，地震予知連絡会会報，19，1978，pp. 155-161.
- 9) 国土地理院：九州地方の水平歪，地震予知連絡会会報，30，1983，pp. 343-348.
- 10) 山科健一郎・三浪俊夫：雲仙火山地域の応力場，火山，22，1977，pp. 13-25.