

15. 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、とくに活断層との関係

東京大学理学部 山科健一郎
地震研究所 村井 勇

(昭和 50 年 12 月 25 日受理)

§1. はじめに

1975 年 4 月 21 日の大分県中部地震 ($M=6.4$, JMA) は、東西性の正断層の活断層地形が顕著に発達している地域に発生したため (村井・金子, 1975; 村井・松田, 1975), 地表におけるこのような構造地形的特徴と, 地下の起震応力との間にどのような関係があるのか注目された. また, この地震に先立ち, 1975 年 1 月下旬には阿蘇北部外輪山で活発な群発地震活動が発生している. 最大のものは, 1 月 23 日の $M=6.1$ であった. これらの地震は, 中部九州の浅い地殻内の地震としては, いずれも最近にない大きな活動である. そこで, 中部九州の浅い地震の性質を明らかにする目的で, P 波および S 波の資料から発震機構を解析した.

これらの地震については, 先に気象庁阿蘇山測候所 (1975), 同地震課・地震活動検測センター (1975a, b) から, P 波初動の押し引き分布をもとに共に横ずれ型のメカニズム解が提出された. 大分県中部地震の P 波初動を, 九州およびその周辺の観測点について地

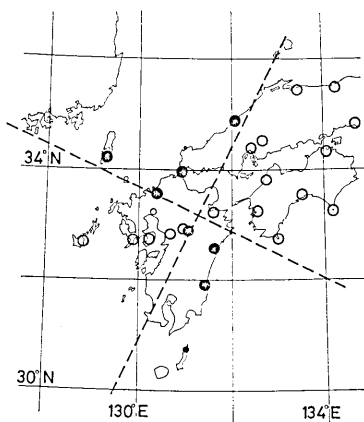


Fig. 1. Distribution of P-wave first motions of the stations near the epicenter of the earthquake of April 21, 1975, in the central part of Oita prefecture. Open and solid circles indicate dilatation and compression respectively.

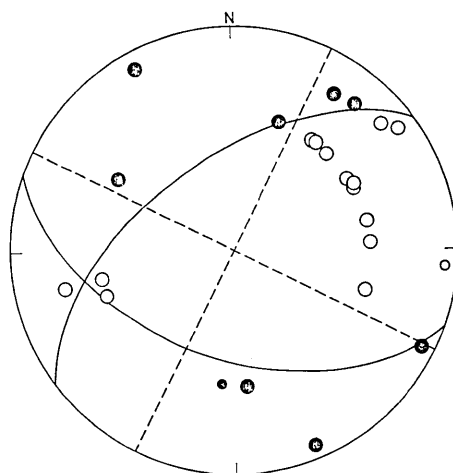


Fig. 2. An equal area projection of the same data as Fig. 1, on the lower hemisphere of the focal sphere.

図の上にこれを描くと (Fig. 1), 確かに一見みごとな横ずれ型の地震のように見える. しかしながら, 特に地殻内の浅い地震の場合には, 経路を震源球上に投影しなおして, それが直達波であるか屈折波であるのかをはっきり分離することがしばしば重要となる. 実際, Fig. 1 と同じ資料を震源球上で等面積投影したものが Fig. 2 であるが, これを見ると, 横ずれ型の解 (破線) と並んで, これとは著しく異なる正断層的なもうひとつの解 (実線) を考えることも可能である. したがって, どちらの解がより妥当なものであるか, さらに詳しい吟味の必要なことがわかる.

§2. 震源の決定と射出角の推定

メカニズムの決定には, 当然のことながら震源の位置や射出角のより正確な推定が不可欠である. そこで, もっともらしいP波速度の地下構造を仮定し, 震源の再決定と射出角の計算を行なった. 九州付近の地下構造について, 地殻については KAMINUMA (1966), 上部マントルについては稲谷・栗田 (1975) によるフィリピン海の構造を参考として Fig. 3 のように仮定する.

震源の再決定にはP波の時刻だけを使い, 0-C を最小とする発震時, 震源の位置を求めた.

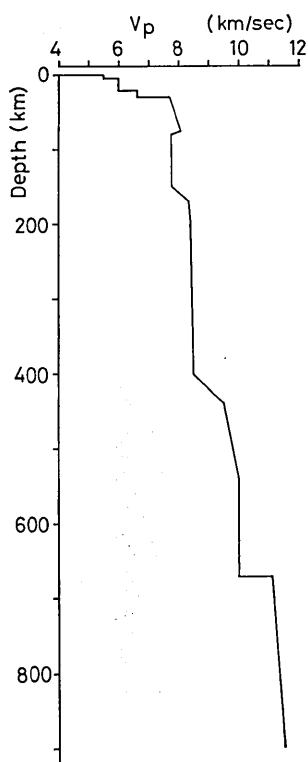


Fig. 3. Assumed velocity structure of P-wave to compute the hypocenters and take-off angles after KAMINUMA (1966), and INATANI and KURITA (1975).

用いた観測点は, 気象庁大分・阿蘇山・熊本・延岡・下関・福岡・京大阿蘇・真木の8点で, ほぼ直達波が初動になっていると思われる比較的近い点である. 地下構造の局地的な異常が大きいと思われる阿蘇火山の3観測点については, これを除いた計算も行ったが, 結果にほとんど差異はなかった. なお, これよりも遠い観測点の値を使用しなかったのは, 地殻内の地震の場合, モホ面の深さ, 屈曲のようす, P_n 速度の仮定等の影響が大きく, 屈折波の理論走時を精度よく推定することがかなり困難と思われるためである.

射出角については, 震央距離が約 30° よりも近いところは, 仮定した速度構造から実際に経路を計算し, これよりも遠いものについては PHO et al. (1972) の表から引いた. なお, S波速度構造については, P波の場合ほどよくはわかっていないため, 震源球上で一応P波と同じ位置へ投影してあるが, それほど大きなあやまりはないであろう.

§3. 大分県中部地震

再決定された震源は, $131^\circ 18.6' E$, $33^\circ 10.6' N$, 深さ 15 km, 発震時は 4 月 21 日

2 時 35 分 50.4 秒 (JST) である (Fig. 4). この場所は、被害の大きかった湯布院町扇山の近くで、北西—南東に延びる被害分布のほぼ中央にあたる。深さと発震時に関して誤差が大きいが、これらを変えても震央の位置はほとんど動かない。

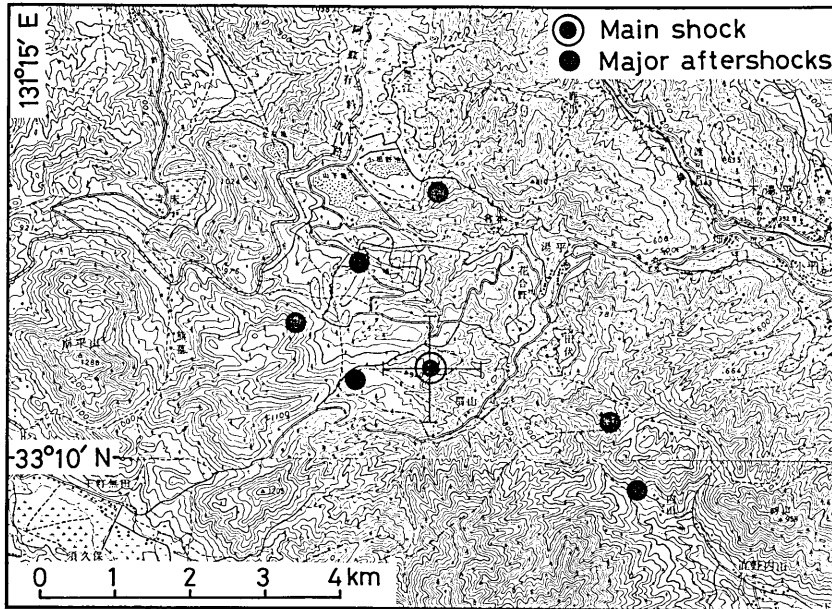


Fig. 4. Epicenters of the main shock and aftershocks of the earthquake in the central part of Oita prefecture.

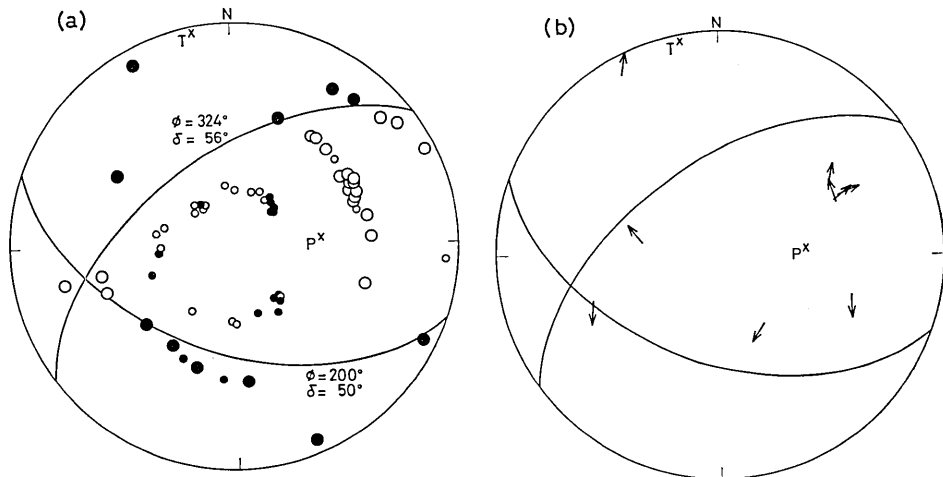


Fig. 5. Focal mechanism solution from P- and S-wave first motions for the earthquake in the central part of Oita prefecture. Plot is an equal-area projection of the lower focal hemisphere. (a) P-wave first motions showing dilation (open circles) and compression (solid circles). The small circles are less definite. (b) The polarization angles of S-waves (arrows).

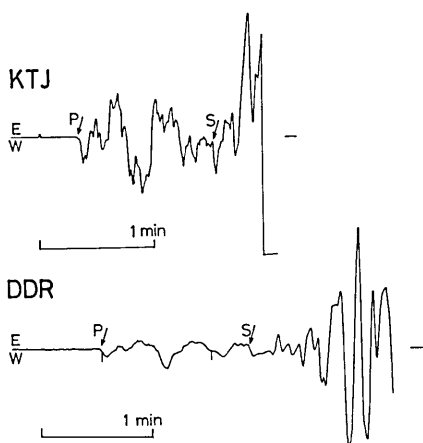


Fig. 6. Examples of the long period seismograms of Kamitakara (KTJ) and Dodaira (DDR) showing P- and S-waves of the central part of Oita prefecture earthquake.

この結果をもとにP波初動を下半球に投影すると Fig. 5 のようになる。原記録を確認できたものに気象庁のリスト、EDR の報告を加えて合計 78 点である。主として短周期地震計記録による。これらのすべてを満足する解は得られないが、信頼度が高いと考えられる震央距離のあまり大きくない点に重みを置いて求めると、Fig. 5a に示される正断層的なメカニズム解が妥当と思われる。それによると、北米（中心の右上）とオセアニア（同右下）に矛盾する点が多いけれども、実体波マグニチュードの大きさ ($m_B=5.7$) を考慮するならば、これらの遠い観測点での初動方向の読みとりはかなり困難であることが予想される。実際に、北米 WDC, JAS から寄せられた記録を見る限りでは、ノイズとの判別が微妙である。

一方、S波の初動方向について Fig. 5b に示す。これは、P波から推定された正断層的な解と調和し、Fig. 2 の横ずれ型の解とは矛盾が大きい。S相を読みとることができたのは、延岡・長崎（気象庁 EMT'）足摺（同 59 型）阿武山（ウィヘルト）上室・堂平・筑波・RAB・NDI（いずれも長周期計）の各点である。例として上室と堂平の記録を Fig. 6 に示すが、S相の発達は悪い。あるいはこの方向が、P軸に近いことを示唆しているのかもしれない。

さて、主要な余震についても震源を決めなおしてみると Fig. 4 のようになる。深さはおよそ 9~16 km である。被害分布が北西—南東に細長く延びていることも考え合わせると、2枚の節面のうち WNW—ESE の面が断層面であったと推定される。久保寺・三浪 (1975) の詳しい余震分布の検討結果でも、この断層面を示唆する分布が示されている。

なお、パプア・ニューギニアの RAB の P波初動を見ると、短周期計では引き、長周期計では押し (eP) と思われ、長周期の記録は今回求めたメカニズム解と矛盾している。WWSSN の他の点の記録をまだ確認していないためはっきりしたことは不明だが、場合によっては短周期による解（破壊の初期の過程を反映）と長周期による解（断層運動の全体を反映）とが多少異なっていることも考えられる。しかし仮にそうであっても、国内の長周期計による S波の解析からは、P軸がかなり大きな傾き角を持っていることが示されており、正断層的な垂直変位が大きい地震であったことはほぼ確実と思われる。

§4. 阿蘇北部地震

阿蘇カルデラ北部の群発地震活動は 1 月 20 日に始まり、22 日に $M=5.5$ 、23 日には $M=6.1$ の地震が発生した。マグニチュードが最大の 23 日の地震について震源を再決定すると、 $131^{\circ}07.6'E$ 、 $32^{\circ}59.2'N$ 、深さ 15 km、発震時 23 時 19 分 15.0 秒 (JST) と

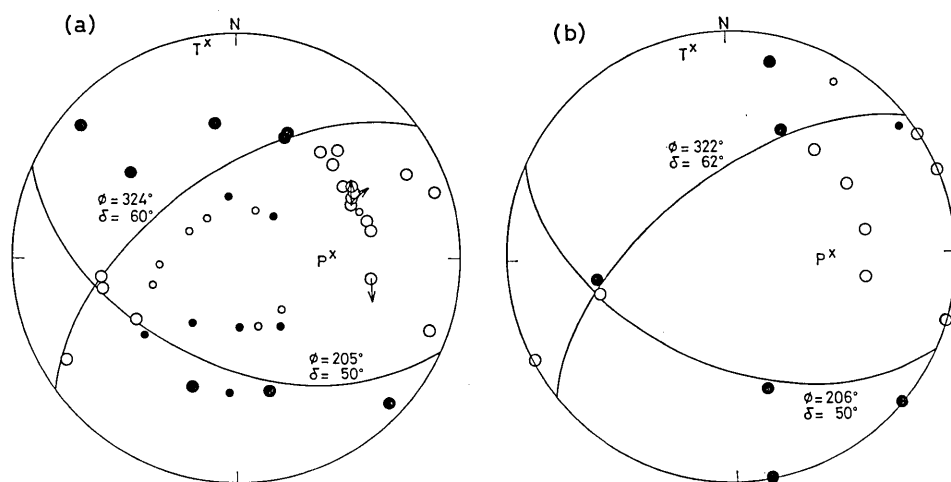


Fig. 7. Focal mechanism solutions of the earthquakes in the northern part of Aso. (a) January 23, $M=6.1$ (b) January 22, $M=5.5$.

なった。これは、一の宮町西手野付近にあたり、気象庁や三浪 (1975) の解と比べ、やや南側にずれている。震源の深さ、発震時に関する誤差は大きい。

P波 (計 37 点) ならびに S波 (足摺, 堂平, 筑波) 初動を Fig. 7a に示す。これから推定されるメカニズムは、大分県中部地震のものほとんど同一の正断層的な解である。このことは、堂平をはじめとする国内の長周期の記録を見ると、両者の波形が極めてよく似ていることから支持される。なお、Fig. 7a で、左下の矛盾する白丸は大分である。震央距離が割合近いため、震央の位置や深さ、速度構造の仮定による誤差が大きく、投影される点が引きの領域へ移動する可能性は十分ある。

一方、22 日 13 時 40 分の地震 ($M=5.5$) やその他の主な余震についても、ほとんど同様な押し引き分布を示し、波形もよく似ている。よってこれらの活動も、23 日の本震とほぼ同一のメカニズムで起きたものと思われる。22 日の地震について Fig. 7b に示す。再決定された震源は、 $131^{\circ}06.8'E$, $33^{\circ}01.4'N$, 深さ約 3 km, 発震時は 13 時 40 分 50.6 秒である。

さて、詳しい余震分布は三浪 (1975) によって検討されている。余震ならびに被害分布から推定すると、22 日の地震は WNW-ESE, 南西下りの面が、23 日の地震は ENE-WSW, 北西下りの面が、それぞれ断層面であったように思われる。

§5. 考 察

これまで、日本の地殻内の浅い地震のメカニズムは横ずれ型を常識とし、小地震や微小地震を別にすれば、正断層的な解が求められた例は極めて少なかった (例えば ICHIKAWA, 1971)。しかしながら、1975 年阿蘇北部、大分県中部地震について P波および S波初動を解析した結果、いずれも多少の横ずれ成分を含む正断層的な解が得られた。

一方、中部九州の活断層の分布を見ると、特に大分県中部地震の震央付近には、WNW-ESE および ENE-WSW の方向の正断層性の活断層が密に発達しており、それらの

走向は、地震波から求められた2枚の節面の走向 ($N70^{\circ}W$, $N54^{\circ}E$) に近い。今回の地震によって既存の活断層が変位した証拠は得られなかったものの、活断層の発達を支配してきた造構応力と、現在の地震活動を支配する起震応力とが調和的であることがわかった。また、この地域に発達する活断層群の変位量は、古い火山体を切るものほど大きく、第四紀後期を通じて変位が累積してきたものと解釈される。

以上のことから、中部九州のこの地域の地殻上部に働いている応力場は、東西性の正断層型地震を引き起こすような場 (すなわちT軸がほぼ南北、P軸がかなり鉛直に近い) であり、しかもその状態は、過去かなり長い期間にわたって継続していると推定することができる。中新世以降、大分-熊本線の北側に地溝状の盆地が形成され、その内側に鶴見、九重、阿蘇、雲仙等の火山群が発達し、地下から多量の噴出物が地表へもたらされたのも、このような地殻上部の応力状態の継続に関係していることが考えられる。

なお、須藤 (1975) の研究によれば、阿蘇西部外輪山地域でも正断層的な変位の成分を持つ微小地震が数多く見つかっており、興味深い。

さて、震源の深さに関しては、震源の決定方法の違いによって、求められた値にかなりの幅がある。例えば大分県中部地震については今回の結果が15 km であるの対し、JMA 0 km, EDR 7 km, 久保寺・三浪 (1975) 9 km とそれぞれ報告されている。震源の正確な位置を知ることは、正確な速度構造を知ることと不可分の問題であり、詳細は今後の検討に待ちたい。そして、地下構造の仮定や震源の位置を変えることによって、メカニズム解が多少変わることは考えられる。しかしながら現在のところ、大分県中部、阿蘇北部のいずれについても、モホ面での速度の不連続 (または急激な変化) を仮定する限りは、メカニズム解を本質的に変更させることはまずないと思われる。

また、阿蘇北部地震においてはまず $WNW-ESE$, 南西下がりの断層面が活動し (1月22日, $M=5.5$)、次いでこれと共役な $ENE-WSW$, 北西下がりの面が動いた (23日, $M=6.1$)。この地震が最大のマグニチュードを与えたのに対し、大分県中部地震ではふたたびこれと共役な $WNW-ESE$, 南西下がりの断層面が変位した。このような共役な地震活動の関係は、1974年伊豆半島沖地震 (5月9日, $M=6.9$) とその後の天城の地震 (7月9日, $M=4.9$) においても指摘されており (石橋・山科, 1975)、今後の問題として興味深い。

謝 辞

東京大学地震研究所松田時彦助教授には貴重な御教示と御討論をいただいた。また解析にあたり、同理学部石橋克彦氏、同地震研究所辻浦賢氏、牧正氏にはいろいろとお世話になった。震源と射出角の計算は石橋 (未発表) のプログラムによる。気象庁地震課の方々には、磁気テープの再生記録、整理途中の原簿を見せていただいた。また、気象庁 (福岡、長崎、那覇、石垣島、清水・足摺、松山、松代) ならびに各大学の観測所 (阿蘇、高知、白木、鳥取、阿武山、上宝、堂平、筑波) および WWSSN の各観測点の方々には貴重な地震計記録の写しと情報を送っていただいた。あわせて深い感謝の意を表したい。なお計算は東京大学大型計算機センター課題番号 4628293001 によって行なわれた。

文 献

- ICHIKAWA, M., 1971, Reanalyses of mechanism of earthquakes which occurred in and near Japan, and statistical studies on the nodal plane solutions obtained, 1926-1968. *Geophys. Mag.*, **35**, 207-258.
- 稲谷栄己・栗田敬, 1975, 日本付近の上部マントル (その 2). 昭和 50 年度地震学会春季大会講演予稿集, 37.
- 石橋克彦・山科健一郎, 1975, 1974 年伊豆半島沖地震の本震主断層に共役な活断層の活動. 1974 年伊豆半島沖地震災害調査研究報告, 27-32.
- KAMINUMA, K., 1966, The crust and upper mantle structure in Japan (Part 2). *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **44**, 495-510.
- 気象庁阿蘇山測候所, 1975, 阿蘇火山活動と阿蘇付近の地震活動. 火山噴火予知連絡会会報, No. 3, 1-6.
- 気象庁地震課・地震活動検測センター, 1975a, 1975 年 1 月の阿蘇北部の地震について. 地震予知連絡会会報, **14**, 101-104.
- , 1975b, 1975 年 4 月 21 日の大分県中部の地震について. 同上, 115-118.
- 久保寺章・三浪俊夫, 1975, 1975 年大分県中部地震の本震および余震活動について. 昭和 50 年度地震学会秋季大会講演予稿集, 50.
- 三浪俊夫, 1975, 1975 年 1 月の阿蘇カルデラ北部に発生した地震の震源分布について. 1975 年 1 月阿蘇群発地震の活動と被害に関する調査報告, 11-20.
- 村井 勇・金子史朗, 1975, 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**, 329-342.
- 村井 勇・松田時彦, 1975, 1975 年大分県中部地震の被害調査報告——とくに被害・地変と活断層との関係について. 地震研究所彙報, **50**, 303-327.
- PHO, H. T. and L. BEHE, 1972, Extended distances and angles of incidence of P waves. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **62**, 885-902.
- 須藤靖明, 1975, 阿蘇西部外輪山地域の地震活動. 火山, 第 2 集, **20**, 1-12.

15. *On the Focal Mechanisms of the Earthquakes in the Central Part of Oita Prefecture and in the Northern Part of Aso of 1975, Especially, the Relations to the Active Fault System.*

By Ken'ichiro YAMASHINA,
Faculty of Science, University of Tokyo
and
Isamu MURAI,
Earthquake Research Institute.

An earthquake ($M=6.4$) occurred on April 21, 1975, in the central part of Oita prefecture, Kyushu, Japan, with considerable damage in the epicentral region. The focal depth is estimated to be shallow in the crust. In this area, the active fault system of a E—W direction is remarkably developed and shows normal dip-slip displacement. Hence, it is interesting to study the relations between the surface topographical and geological features and the earthquake-generating stress.

Although the focal mechanism was preliminarily considered to be a strike-slip fault type, it seems more likely to be a normal fault type according to the present analyses of the body wave's data available. The T axis is nearly horizontal in a $N10^{\circ}W$ direction. Similarly, the earthquakes of January, 1975, in the northern part of Aso volcano (Jan. 22, $M=5.5$; Jan. 23, $M=6.1$), about 25 km southwest of the epicenter of the earthquake in the central part of Oita prefecture, are also of the normal fault type.

No precedents are known in the Japan area of major earthquakes of the normal fault type occurring shallow in the crust. But it is made clear that there are some events of this type of a magnitude about 6 in the middle Kyushu district, and it agrees with the stress system which has developed the normal active faults there. So, it is estimated that the stress system (T axis is almost horizontal in a N—S direction and P axis is nearly vertical) has been acting on the area and accumulating the displacement throughout the late Quaternary.

The normal fault zone is also a remarkable volcanic zone, such as Tsurumi, Yufu, Kuju, Aso, and Unzen. The stress system of a N—S tension might be related to the formation of the E—W volcanic zone.