

屋久島、鹿児島、熊本の有感地震 についての一調査*

一点観測による震源決定の精度

安 井 豊**

550.340

A Study of Earthquakes felt at Yakushima, Kagoshima, Kumamoto

The Accuracy of Epicenter Determination from
a Single Station Observation

Y. Yasui

(Miyazaki L. M. O.)

When big and near earthquake occurs in ocean bottom, must immediately locate its epicenter and estimate magnitude. Then, in case of danger, "tsunami warning" must be issued rapidly. From this point of view, the author investigated the accuracy of epicenter estimated by observation at one point such as Yakushima, Kagoshima or Kumamoto. The conclusion shows such method might bring some errors, but those errors can be neglected at an urgent case. He also recognized that the earthquakes in specified area had happened by the same seismic mechanism, so they showed approximately same depth, type and deviated angle of initial motions from the direction of epicenters.

まえがき

筆者は先に本庁地震課提案の「地震予知のための予備調査」⁽¹⁾の趣旨に基づいて、有感地震発生の際現地地震計記録だけでどれぐらいの精度で震源を決定できるかを宮崎のここ11年間の有感地震観測資料によって発表した。同じようなものを屋久島・鹿児島・熊本について調査したものが本稿である。

本稿資料は筆者が前に手写しておいた昭和26年より30年までの11年間の各地の地震観測原簿と地震月報記載の震源によったが、中には各地に照合して震源を訂正したものもある。

本稿の内容は前稿⁽²⁾とほとんど同じなので、各要素・記号については説明を省くが、誤解を生じ易い次の諸項については念のためもう一度記載しておく。

(1) 本地震はすべてその地における有感地震だけである。

- (2) 震源は地震月報記載のとおりとし、疑わしいものもそのままにしてある。しかし筆者が各地の資料から決定したものも加えてある。
- (3) 初動偏角とは、震央からその地に直線的に入射したものと仮定した方向とその地の初動要素から決定した入射方向との角度差であり、震央からその地をみて初動入射方向が右よりにあるものを正值、左よりにあるものを負値にとってある。
- (4) 計算深度とは地震初動3要素から入射角を求めそれを震央距離に延長した場合の深度(km)である。
- (5) 距離比は震源よりその地までの $P-S$ 秒時を和達表より求め、それを実測 $P-S$ 秒で割った百分率である。
- (6) (unknown または U) というのは不明のことである。
- (7) iP , eS などは各地の地震観測原簿記載のものをそのまま用いた。

§ 1. 屋久島

屋久島における有感地震の中には地震月報で震源がは

* Received March 3, 1964

** 宮崎地方気象台

つきり求められていないもの、筆者の調査によっても震源がはっきり求められないものが多数あり、本調査上かなりの困難を感じた。それは一つには屋久島測候所の地震計が日本最南端であり、震源がその南方にあるものには他所の地震計に感じていないものが数多いこと、一つには屋久島至近距離に震源を有する局発地震の数が多しことなど⁽³⁾が主因である。

屋久島における昭和26年から昭和36年までの有感地震の総数は104個であった。そのうち、気象庁で地震が決定されているものは約半数の57個、筆者によって震源が推定されたものを加えて68個となる

(i) 震源の分布

第1図のように屋久島の有感地震の震央分布はかなり屋久島の南方に偏っている距離的には有感であってもよいと思われる屋久島北方の地震、特に九州本土の地震が無感であることは、鹿児島でもみられる現象であって、鹿児島県中部以北にどうも地震波の伝播を阻害する地帯があるとの考えを強めさせる。

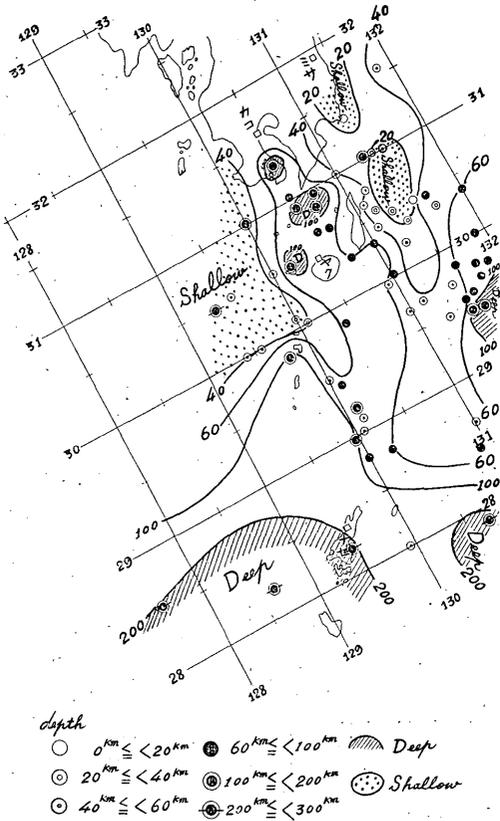


Fig.1 Distribution of epicenters of the earthquakes felt at Yakushima.

一方震源の深度分布は同図にみられるように、宮崎での調査⁽²⁾とほぼ同じく、概して南方で深く、その他に佐多岬沖にやや深い地帯がある。このように南方に深い地震が多いということが南方の地震に有感地震が多いということになっているとも考えられる。

第1図に見られるように若干の特殊点はあるが、だいたい同一地域ではほぼ同じ深さに震源を有する地震が生じていることは地震予報上注意を要しよう。

(ii) 初動押し引きの分布

宮崎での初動押し引きの分布は「引き」が多く、「押し」は少数ではあったが南方の地震では押しが大部分を占めていた⁽²⁾。

屋久島では、ほとんどの地震が「押し」ではじまり、「引き」ではじまる地震はさきわめて少数なことが特徴である。

第2図のように発震地域によってだいたい「押し」「引き」地震の種別は定まっていると言ってよいが、「引き」地震は種子島東方の南北に走る帯状地帯と名瀬北方に数個ずつ存在するにすぎない。

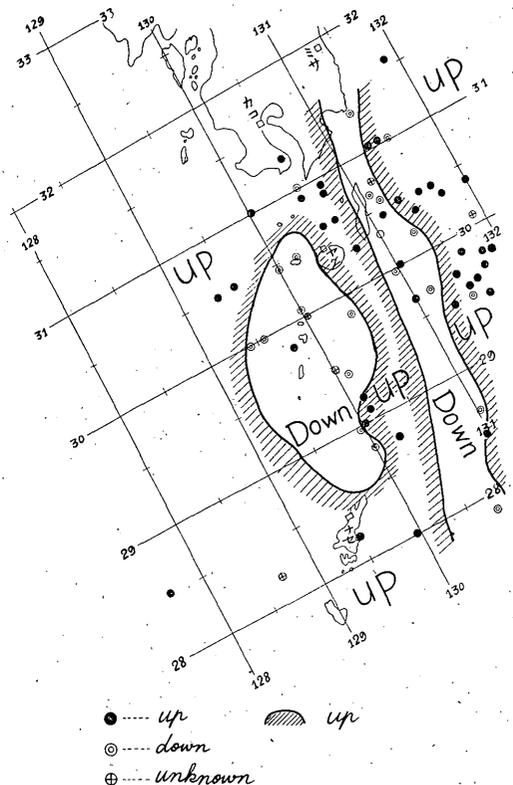


Fig.2 Epicenters and their initial motions observed at Yakushima.

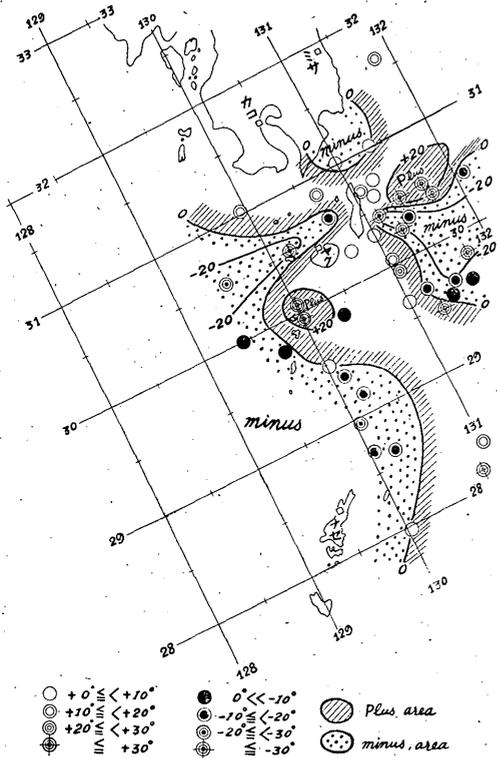


Fig. 3 Distribution of epicenters classified according to angles between the directions of epicenters and of initial horizontal motions at Yakushima.

これを宮崎でのそれと対比すれば、屋久島南方一帯および大隅海峡の諸地震は宮崎、屋久島共に「押し」で入射し、南西諸島に近い日向灘南部の諸地震は宮崎には「押し」屋久島には「引き」で、大平洋に近い日向灘南部の諸地震は宮崎には「引き」、屋久島には「押し」で入射していることが顕著である。

(iii) 初動の偏角

屋久島の有感地震中、初動が良好に観測されたものの数は多くはないが、それを記入してみると第3図のように震央から直線的に屋久島に入射するとした場合の水平入射角度と初動から求めた屋久島の水平入射角度との差は各発震域ごとにほぼ同じ値であり、これは地殻構造によるものと思われる

この値の分布は日向灘を南北に走る正值域とそれの両側方に位する負値域にわかれており、若干の例外を除けば $\pm 20^\circ$ 以内におさまっている。宮崎での調査⁽²⁾では多くのものが $\pm 10^\circ$ 以内の偏角におさまっていたのと対比して、屋久島では一点観測による震源方向の精度差がお

ちるものと考えられる。これは屋久島付近での地質構造が複雑なためであろう。

(iv) P-S 秒走時表との差

決定された震源から屋久島まで和達走時表によって入射すると仮定した場合の P-S 秒を実際測定された屋久島での P-S 秒で割った百分率は第4図に示すようにだいたい発震域ごとにほぼ同じ値を示している。すなわち、屋久島北方域の100未満域と屋久島南方の100超過域（ただし屋久島東南東方に100未満域がある）に分かれている特に屋久島周辺で100を大きく超過する異常局所地域があり志布志湾南方に100よりかなり小さい異常局所地域があるほかはだいたい $100 \pm 10\%$ であるから、屋久島での一点観測による P-S 秒時で求めた震央距離はだいたい $\pm 10\%$ 以内の誤差で求めることができると言えよう。

ただし実際の場合は一点観測では震源深度を知ることができないので、そのように簡単にはいかない。

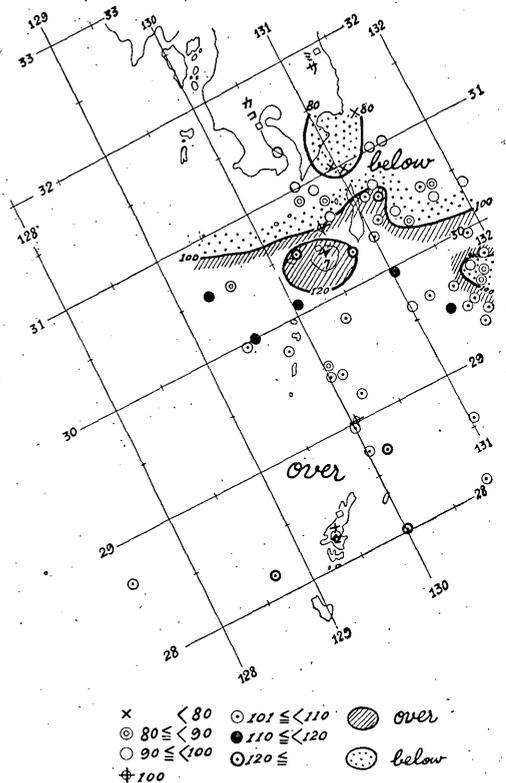


Fig. 4 Distribution of epicenters classified according to percentage of P-S time by Wadati's table to that observed at Yakushima.

(v) 深度と入射角よりの計算深度との関係

震源よりの P 波は地表面に対して concave の経路で地表に入射するから、初動3成分より求めた入射角（もちろん地面での反射、屈折も考慮に入れたもの）を震央まで延長して求めた深度は真の深度より当然大きい。この関係を示したものが第5図である。

宮崎におけると同様⁽²⁾に計算深度は真の深度よりはるかに大きいことが判明した。つまり、一点観測では屋久島でも宮崎同様に震源深度は求めることができないと言える。しかしその差は概して屋久島東方および西方の地域で小さく、北方地域でもつとも大きい。

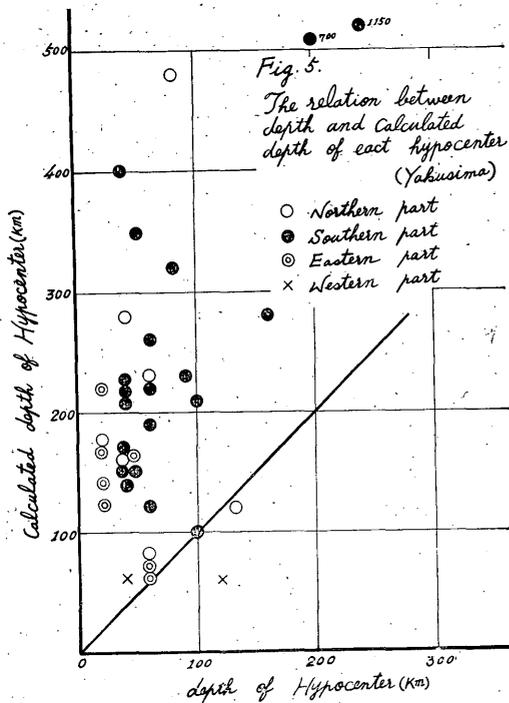


Fig. 5 Comparison between the calculated depth from three apparent components of initial motion at Yakushima and that given by J.M.A. or C.M.O.

(vi) 振動型の地域差

屋久島における地震ではその大部分が第6図のように、iP または iS であり、eP eS のものはきわめて少ない。eP-zone は九州本土・名瀬南方および局部的に大隅海峡の一部に現われ、eS-zone は屋久島南方から名瀬北方まで錦江湾から大隅海峡をつらねる一帯および日向灘南部の列島東方に位置し、eP eS-zone はきわめて

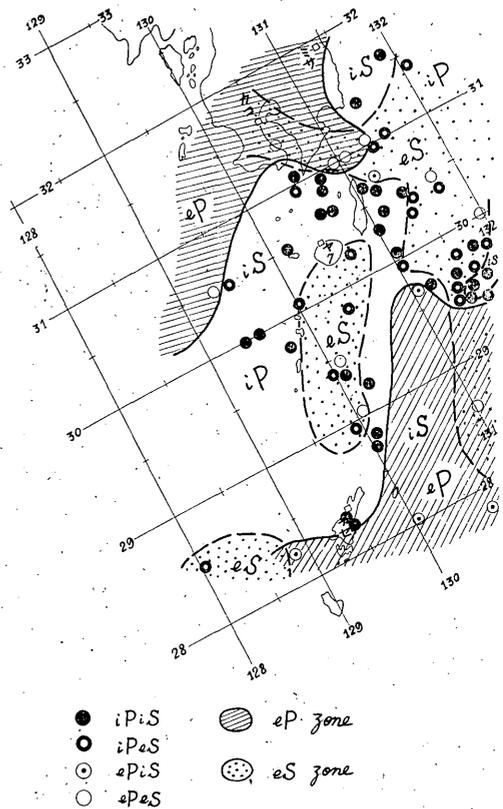


Fig. 6 Distribution of epicenters classified according to the commencements i or e of recordings at Yakushima.

狭い所にある。したがって記象型より震源がどの地域かを定めることは無理である。

(vii) 一点観測による震源決定の精度

今まで述べたように

1. 震源区域によって震源深度、押し引き、初動偏角、P~S 秒差がだいたい一定している。
2. 初動偏角は宮崎の場合よりやや大きく $\pm 10^\circ \sim \pm 20^\circ$ のものがもっとも多いが、P~S 秒差は逆に宮崎の場合より一般に小さく大部分が $\pm 10\%$ 以内におさまっている。したがって、屋久島での一点観測によっても実用的には差しつかえない精度で震源を推定することができる。
3. しかし上下初動の大きさから震源深度を推定するのは無理で、そのためには1の統計値を使用するほかはない。
4. 振動型は特に顕著な差がないから振動型で震源がどこであるかを推定するのは無理である。

(viii) 最大振幅と震度

屋久島における最大振幅と震度との関係を図示したものが第7図である。宮崎での調査と同じくP~S秒の短かいものほど振動極急のものが多く、また同じ最大振幅のものでは振動極急、急、緩の順に震度が減少している。たとえば同じ振幅でも振動極急のものでは震度Ⅲ、急のものでは震度Ⅱ、緩のものでは震度Ⅰのところがある。(例、P~S 10秒で最大振幅300μのところ)したがって同じ最大振幅のものでも震央の近いものほど体感が強くなっている。

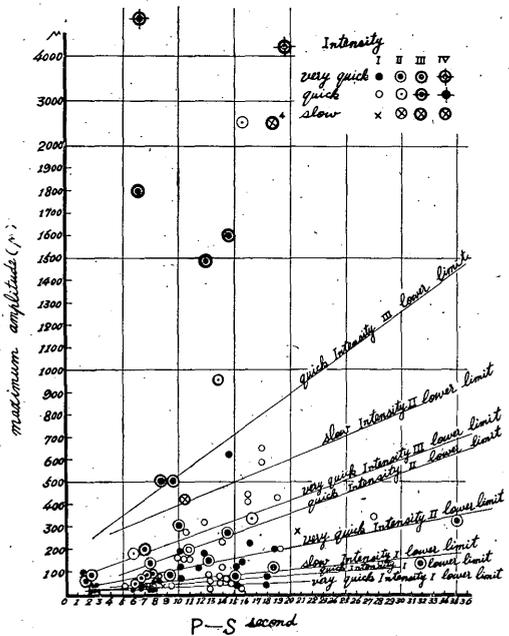


Fig. 7 A relation between maximum amplitudes and seismic intensities at Yakushima.

屋久島では宮崎以上に至近距離の地震が多く一般に震源がやや深いから、最大振幅が20~30μのものでも有感のものも多く、最大振幅50μぐらいでも震度Ⅱとなっているものすらある。これは屋久島の地震の特徴であろう。

§ 1. 鹿児島

鹿児島における昭和26年から昭和36年までの有感地震の総数は43個で、さらに气象台では無感であるが鹿児島市内の1部で有感のものを加えても46個にすぎず、宮崎・屋久島・熊本のどこよりも格段に少なかった。昭和36

年の日向灘・吉松群発地震を除くと年平均3個強にすぎない。

鹿児島における有感地震のうち、气象台で震源が決定されているものは有感地震の大部分を占める36個で、筆者によって震源を推定したものを加えて40個となる。この有感地震の総数に対し震源が判定されたものの率が大いことは付近の局発地震が少ないためである。

(i) 震源の分布

第8図のように鹿児島での有感地震の震源は北方にきわめて少なく、東・西・南方に多い。北方の地震は相当強いものでも鹿児島の地震計にすら明りょうな記象を示さないものが多いことからみても熊本・鹿児島県境あたりに何か地震波の伝播を阻害する層があるように思われる。

鹿児島では屋久島・熊本と異なり至近距離の局発地震がきわめて少ないことが特徴である。もし鹿児島で局発地震がひん発するときは異常現象、つまり桜島火山大噴火の前兆であろうと考えられる。

震源の深度分布は同図にみられるようにやや深い南方洋上のもと浅い日向灘・甕島沖の地震ならびにきわめ

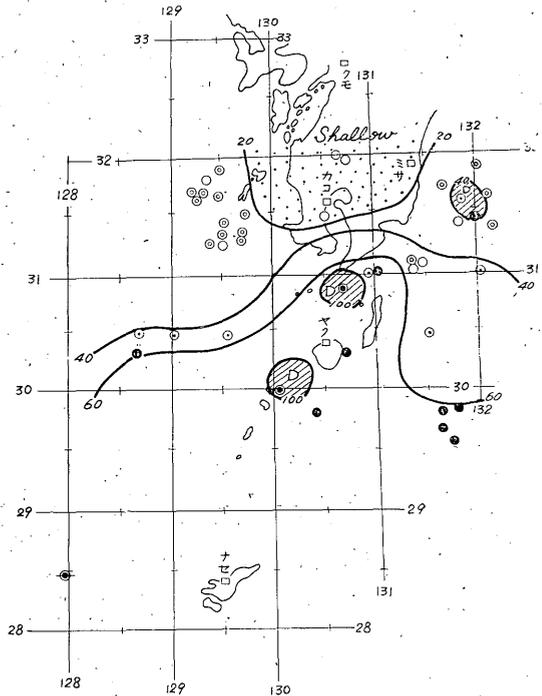


Fig. 8 Distribution of epicenters of the earthquakes felt at Kagoshima. (marks: see Fig. 1)

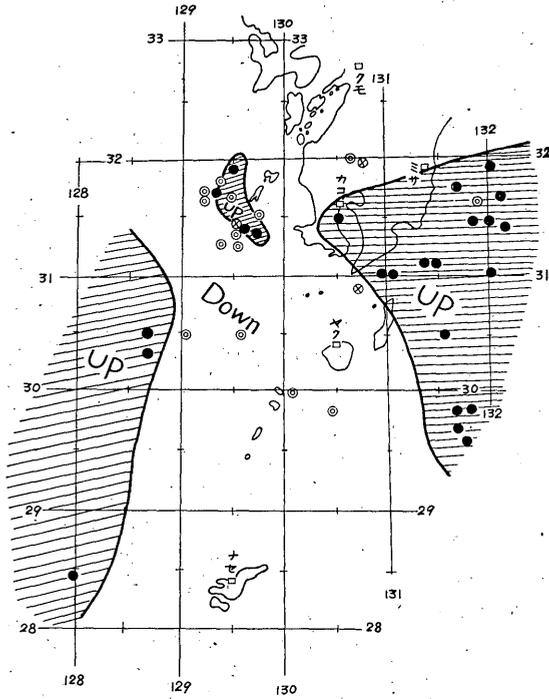


Fig.9 Distribution of epicenters classified according to the initial motions at Kagoshima. (marks : see Fig.2)

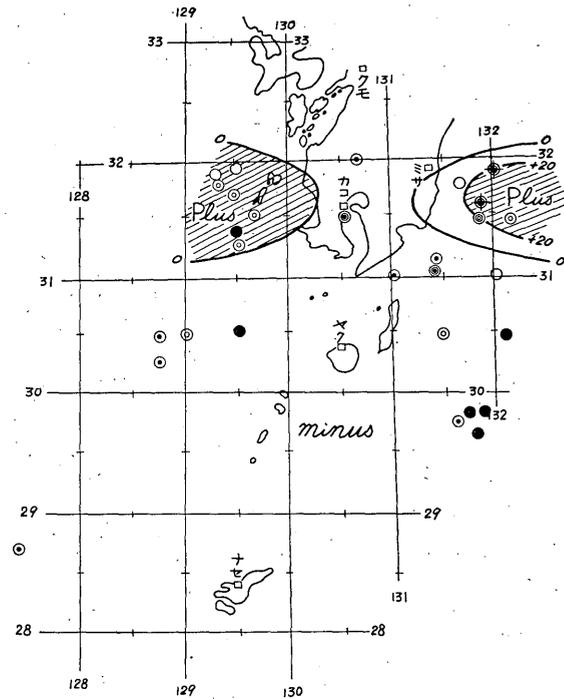


Fig.10 Distribution of epicenters classified according to angles between the directions of epicenters and of initial horizontal motions at Kagoshima. (marks : see Fig.3)

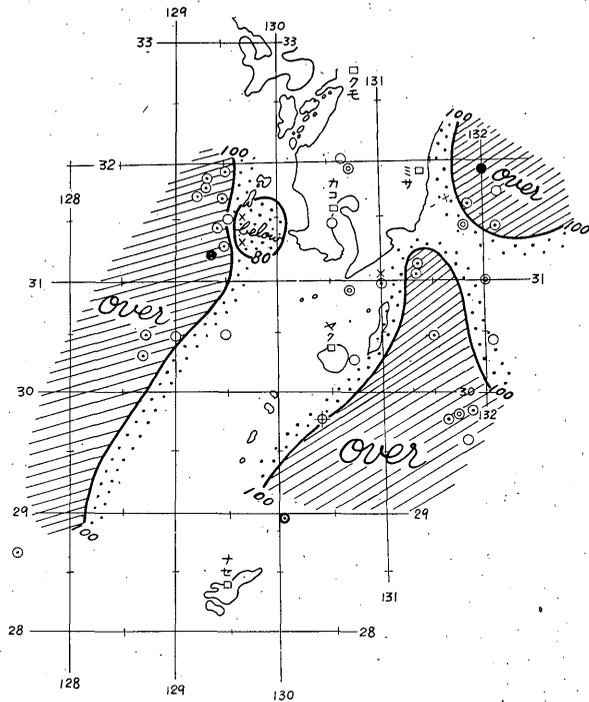


Fig. 11 Distribution of epicenters classified according to percentage of $P-S$ time by Wadati's table to that observed at Kagoshima. (marks : see Fig. 4)

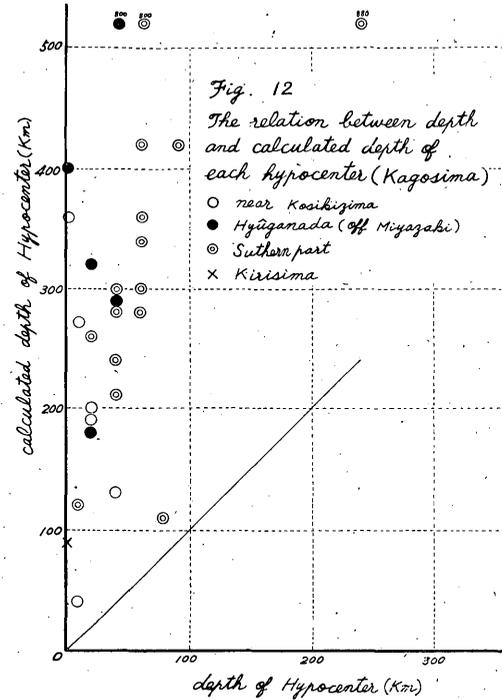


Fig. 12 Comparison between the calculated depth from three apparent components of initial motion at Kagoshima and that given by J. M. A. or C. M. O.

て浅い霧島・桜島の火山性地震の3つに大別される。前稿で述べたように、地域別の震源深度はほぼ一定であり、これによると佐多岬沖より屋久島周辺にかけての震源深度はかなり深い。かつて昭和9年の硫黄新島形成の当時はこのあたりにわりあい浅い鹿児島での有感地震がひん発したことからみて、この付近に浅い有感地震がひん発する場合は硫黄島・口永良部火山噴火の危険があることを示しているものと考えられる。

(ii) 押し引きの分布

鹿児島での有感地震の初動の押し引きの分布は第9図のように地域ごとに同じ型式をそなえており、大別して日向灘・はるか南西方洋上の押しの区域と鹿児島南方洋上・甕島沖の引きの区域(一部分押しのももある)に分けられる。(鹿児島島の北方の地震については地震数が少なく、押し引き分布が不明確である。)

(iii) 初動の偏角

鹿児島の有感地震中初動が良好に観測されたものについて初動による震源方向と真の方向との差を屋久島同様に記入してみると第10図のようになり、その偏角は震源

地域別にだいたい一定している。すなわち偏角正域は宮崎沖の日向灘中部と甕島西方一帯に存在し、特に宮崎沖の正偏角値が大きく、偏角負域はその他の地方に存在し、特に薩摩半島およびその周辺で偏角負値がかなり大きい。その偏角値は正負共に $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ のものがほとんどであり、屋久島の場合と同様に付近の地殻構造の複雑さを示している。

(iv) P~S 秒走時表との差

震源から鹿児島まで和達走時表によって求めた P~S 秒を実際、鹿児島で測定した P~S 秒で割った百分率は第11図に示すように、発震域ごとにほぼ同じ値を示している。すなわち、鹿児島より西方では甕島沖、東方では宮崎沖の日向灘中部および南西諸島東側に100超過域があり、いづれも over 値と言っても100に近い。しかしその他の100未満域には甕島付近のように、かなりの below 値を示している所がある。

鹿児島での P~S 秒比は上述のようにおおむね 100 ± 10% のものがほとんどであるから、一点観測で震央距離を求めても大過はない。

(v) 深度と入射角から求めた計算深度との関係

宮崎・屋久島の場合と同様にして求めた計算深度はき

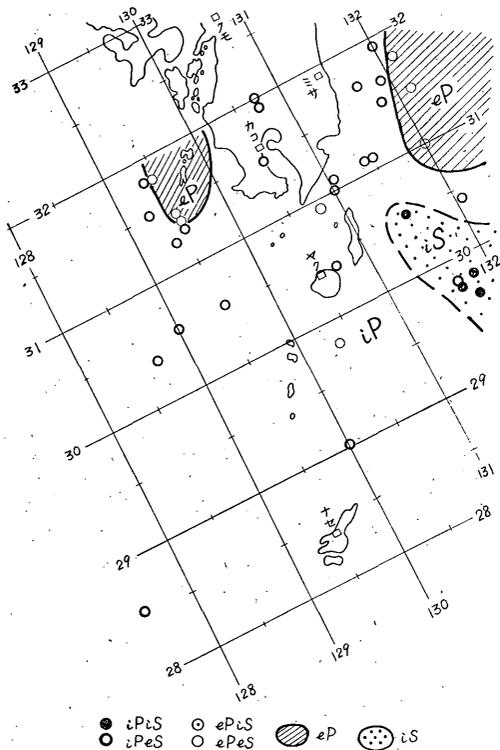


Fig. 13 Distribution of epicenters classified according to the commencements *i* or *e* of recordings at Kagoshima.

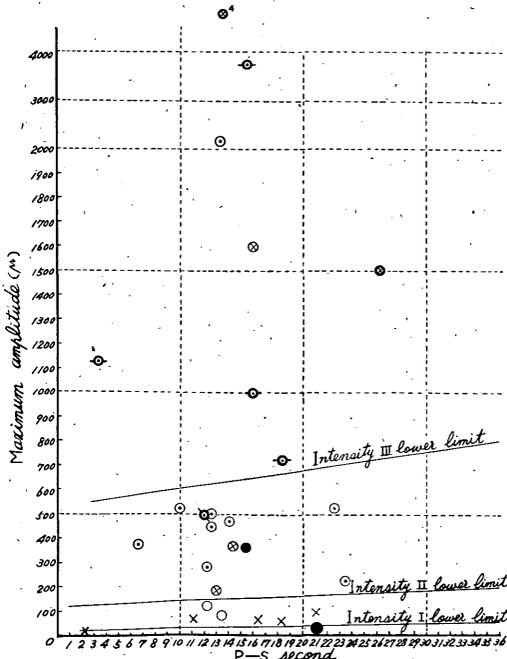


Fig. 14 A relation between maximum amplitudes and seismic intensities at Kagoshima.

わめて常識的なことではあるが第12図に示すごとく真の深度よりずっと深い。したがって一点観測では鹿児島でも震源深度は求められないと言える。しかし第9図に示すように地域ごとに深度はほぼ一定なことを考慮して、だいたいの震源深度を求めることはできる。

(vi) 振動型の地域差

鹿児島における地震ではその大部分が第13図に示すように *iP* であることは宮崎・屋久島と同様で *eP* のものは甬島付近と宮崎沖の日向灘中部一帯にすぎないが、*iS* のものが少ないことは宮崎・屋久島と大いに異なっている。すなわち *iS* のものは種子島東方沖のものに極限されており、全体としては *iP eS* のものがほとんどである。したがって *iP iS* のものはだいたい種子島東方沖と推定してよく、*eP eS* のものは前記甬島付近または宮崎沖と推定してよいが、*iP eS* のものではその型だけでは震源が推定できない。

(vii) 最大振幅と震度

鹿児島における最大振幅と震度との関係を図示したも

のが第14図である。鹿児島では資料の数が僅少であるために極急・急・緩別に震度階級の線を引くことはできなかったが、資料が多ければ宮崎・屋久島同様のことがうかがわれるであろう。

§ 3. 熊 本

熊本における昭和26年から昭和36年までの有感地震の総数は92個であった。これは鹿児島よりもはるかに多く、宮崎よりはかなり少なく、屋久島よりもすこし少ないが、昭和36年の日向灘・吉松群発地震を除くと宮崎・屋久島とほぼ同数であった。

熊本での有感地震のうち、気象庁で震源が決定されているものは半数たらずの40個、筆者が推定したものを加えて57個となる。

(i) 震源の分布

第15図のように熊本での有感地震の震源は北方および東方に著しく偏っており、南方での地震はかなり強いものであっても深い地震以外は熊本ではほとんど無感であ

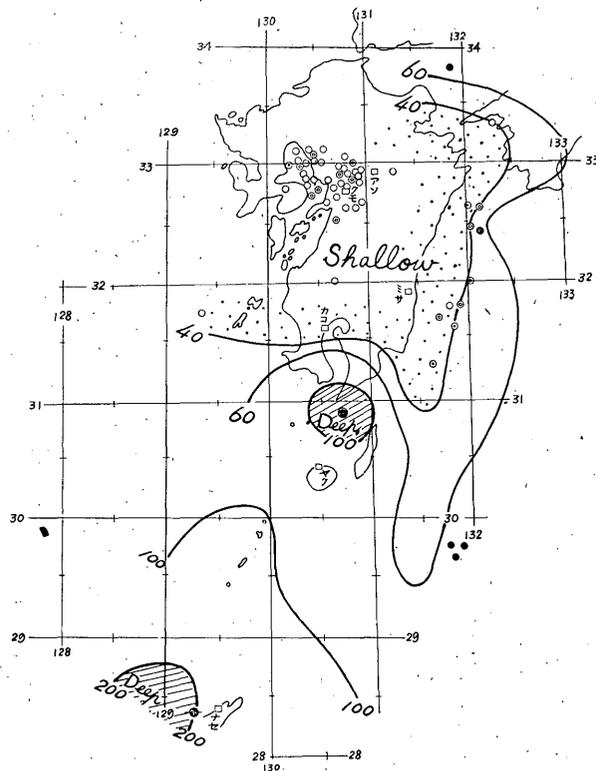


Fig. 15 Distribution of epicenters of the earthquakes felt at Kumamoto. (marks : see Fig. 1)

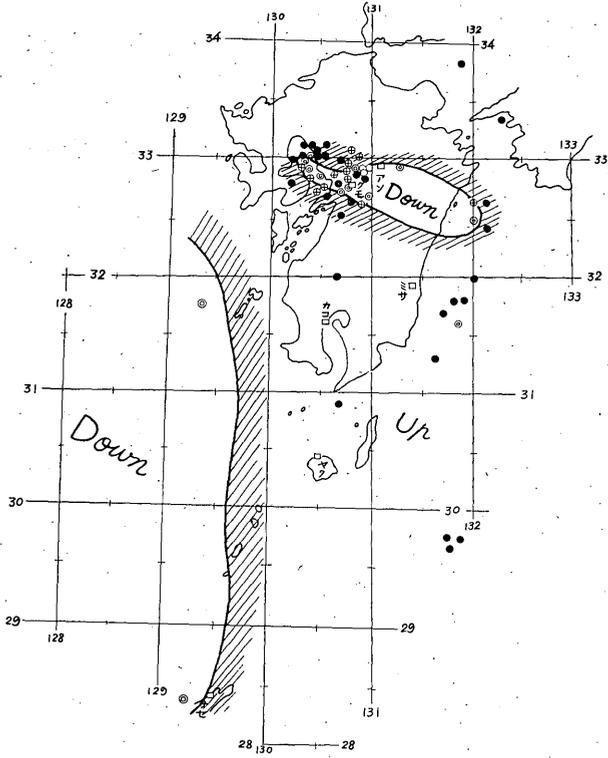


Fig. 16 Epicenters and their initial motions observed at Kumamoto.
(marks : see Fig. 2)

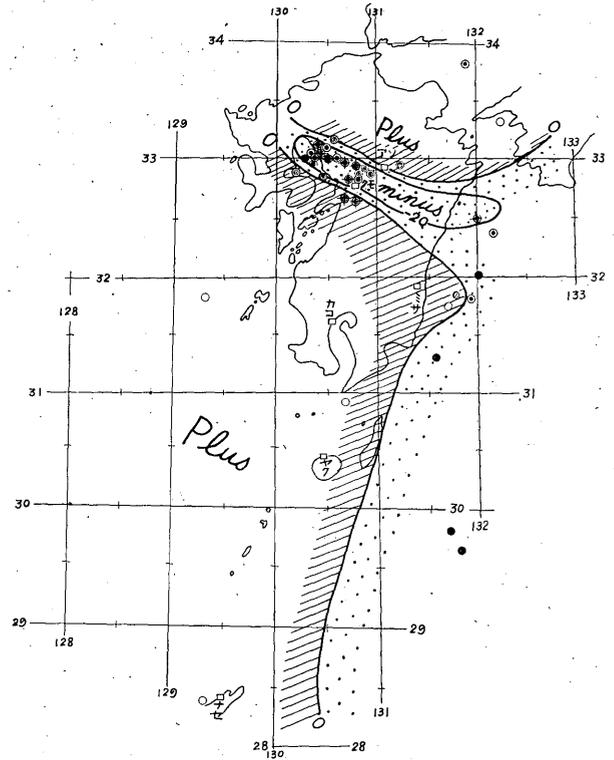


Fig. 17 Distribution of epicenters classified according to angles between the directions of epicenters and of initial horizontal motions at Kumamoto.
(marks : see Fig. 3)

る。これは屋久島・鹿児島島の調査で述べたように、熊本・鹿児島県境あたりに何か地震波動の伝播を阻害する層があることを暗示している。

熊本での有感地震のうち、震源のはっきり決定されるものが少ないことは、屋久島が本土南端であるため同様の現象が生ずるのは異って、熊本では金峯山・緑川地帯の至近局発地震がひん発しているためである。この至近局発地震は浅い地震であるが、熊本での震度はⅡ、ときにⅢに達しているものもかなりある。

震源の深度分布は同図にみられるように、九州南方洋上の深いものを除いては熊本に比較的近いものはほとんど例外なく浅いものばかりで最深40kmにすぎない。しかし日向灘北部より周防灘にかけては60~80kmぐらいのものも熊本に感じている。既述の他の調査と同じく熊本周辺でも同一地域ではほぼ同じ深さの震源の地震が起っていると見えよう。

(ii) 押し引きの分布

熊本での有感地震の初動の押し引きの分布は第16図の

ように、熊本を横切って東西に走る狭細地帯および南西諸島の西側一帯に引きのもの少数あるほかは全般的に押し地震である。しかし、押し地震が多いことは第16図に図示されたような震源の判明したものについて言うことであって、実際には震源が確定できない局発地震（おそらく熊本を横切って東西に走る前述の狭細地帯内に震源があろう）は引き地震が多いから、熊本での有感地震全体についてみれば押し、引き地震がだいたい半ばすると言える。いづれにせよ、宮崎・屋久島・鹿児島同様熊本でも有感地震について震源の押し区域と引き区域がやはりかなりはっきりと区分されている

(iii) 初動の偏角

熊本の有感地震中初動が良好に観測されたものの初動による震源方向と真の方向との差を屋久島・鹿児島同様に記入してみると第17図のとおりで、その偏角は震源地域別にだいたい一定している。それによれば熊本から中、遠距離の震源の偏角はほとんど全部が±10°以内の小さいものであって、このような地震では熊本の初動値だけ

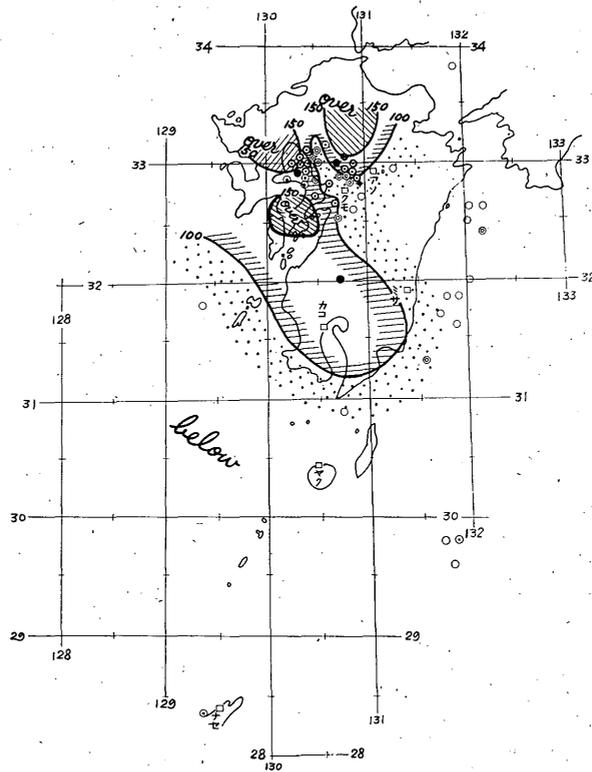


Fig. 18 Distribution of epicenters classified according to percentage of P-S time by Wadati's table to that observed at Kumamoto. (marks: see Fig. 4)

でほしいの震央方向が求められることを示している。しかし近距離のものでは、その偏角が正負共かなり大きい。第17図で示すように、熊本を横切り（主に北方）東西に走る狭細地帯では負値がかなり大きく、そこでは熊本での初動観測値から算出した震央方向よりもかなり左側に震央があることになる。また熊本付近ではその狭細地帯の両側に偏角が大きな正值の区域（すなわち熊本での初動観測値から算出した震央方向よりもかなり右側に震央がある）があるので、この地帯の近地地震では熊本での一点観測で震央を推測することはかなりの誤差を生ずることとなる。しかし前に述べたようにこの差はかなりの精度で求められるから、修正することはできる。

(iv) $P\sim S$ 秒走時表との差

屋久島と同様に和達表による仮定 $P\sim S$ 秒を実際観測された $P\sim S$ 秒で割った百分率値は第18図に示した分布のようになる。これによれば熊本から中・遠距離の地震についてはほとんど全部が100または100よりやや小さい値を示しているが、近距離地震では±50にもなる変化を示している。もちろん観測値の精度から近距離のものほど百分率が正確さを欠くことは当然であるが、それにして熊本を横切り東西に走る狭細地帯付近で地域ごとに100より多い値と少ない値の分布がはっきりわかれてい

ることは偶然ではないと考えられる。第16図、第17図、第18図にいずれも見られるように押し引き分布・初動偏角分布・ $P\sim S$ 秒百分率の分布がいずれも熊本を横切り東西に走る狭細帯状地帯ではっきりした不連続を示していることは注意を要するものと考えられる。

(v) 深度と入射角から求めた深度との関係

屋久島・鹿児島と同様に熊本について求めたものが第19図である。この計算深度は真の深度よりはるかに深いものとなるが、これは屋久島で述べたように当然なことである。

(vi) 振動型の地域差

熊本の地震原簿には S 相の出現状況は記入してなく、 P 相も記入してあるものがごく少ないので、宮崎・屋久島のような調査はできなかったが、数は少ないながらも P 相の出現状況を記入したものが第20図である。これによればほとんど全部が iP であって、 eP はわずかに4個にすぎないが、これは熊本では原簿に記入するも

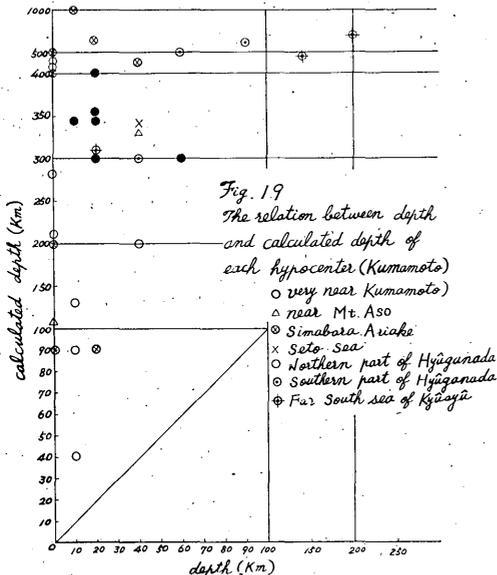


Fig. 19 Comparison between the calculated depth from three apparent components of initial motion at Kumamoto and that given by J. M. A. or C. M. O.

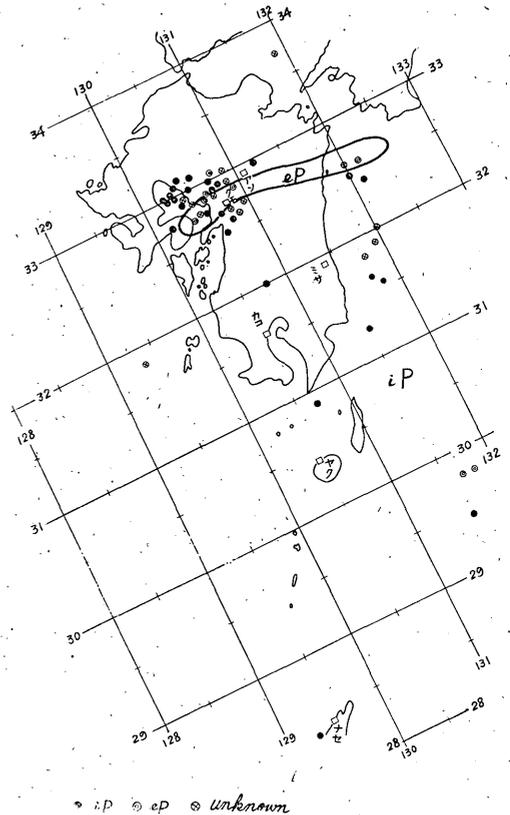


Fig. 20 Distribution of epicenters classified according to the commencements iP or eP of recordings at Kumamoto.

のは iP だけで eP は原簿にはっきり記入されていないのかも知れない。その考えにもとづいて同図に⊗で記入してあるものは iP と eP とも記入してないものである。

(vii) 最大振幅と震度

熊本における最大振幅と震度との関係を図示したものが第21図であり、ほかと同様に $P\sim S$ 秒の短かいものほど振動極急のものが多く、同じ最大振幅のものでは震動極急・急・緩の順に震度が減少していることがわかる。

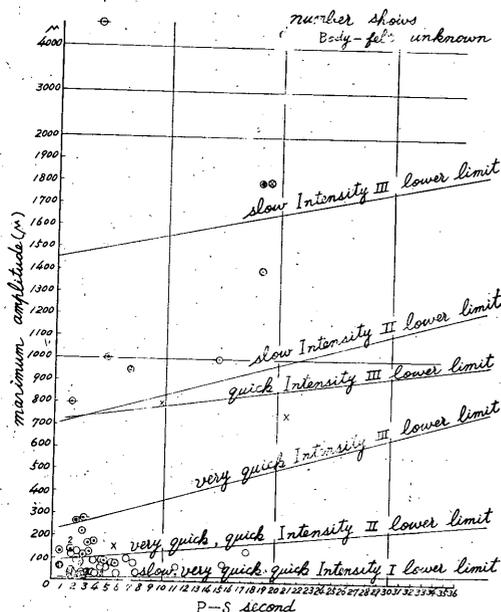


Fig. 21 A relation between maximum amplitude and seismic intensity at Kumamoto. (marks : see Fig. 7)

熊本では屋久島同様に至近距離の地震が多いが、これらの地震は屋久島付近の地震よりも一般に浅いので、最大振幅 $20\sim 30\mu$ のものでも有感のものが多いことは屋久島同様であるが、屋久島では最大振幅 50μ ぐらいでも震度IIのものがかかなりあったのに対し、熊本では最大振幅 80μ 以上になってはじめて震度IIとなっている。

(viii) 金峯山系の地震

熊本における至近距離の有感地震の多くは熊本の原簿に「金峯山系火山性地震」と記載されており、その共通した特徴は「引き、 eP 、浅」である。その中で他所の地震計にも記録されたため震源が推定されたものについて

調査してみると、震源は金峯山内には少なく、熊本の北東方の隈府およびその西方一帯に多いことが判明し、その $P\sim S$ 秒比百分率は一般に少い値であり、初動偏角は $-20^\circ\sim -40^\circ$ の間が多い。一般に eP であるため熊本で初動要素が読取れるものは少ないが、それによれば震源は熊本の北東方で、前述の初動偏角を補正しても熊本の北方ぐらいのものが多い。

§ 4. 南九州の有感地震の調査総括

前稿⁽²⁾ (宮崎での有感地震の調査) と前述の屋久島・鹿児島・熊本での有感地震の調査に加えて名瀬 (ここには戦後地震計の設備がない) の有感地震の体感資料を参考として、南九州の有感地震を総括すれば次のようになる。昭和26年から昭和36年までの宮崎・熊本・鹿児島・屋久島・名瀬のうち少なくとも1箇所有感として感じた地震について、その震度別回数を示したものが第1表

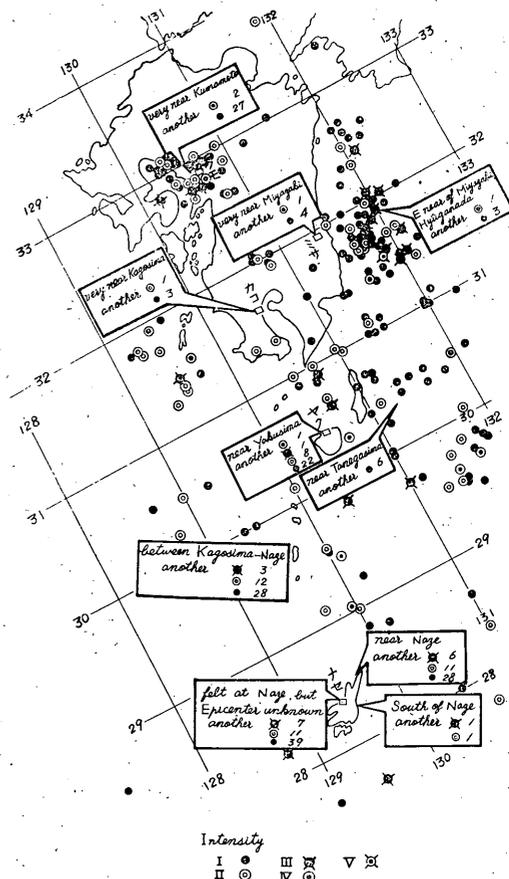


Fig. 22 Distribution of epicenters classified according to the maximum seismic intensities.

Ye	I	M	Ku	Kg	Y	N	S
1951	I	9	11	4	10	11	33
	II	2	1			2	4
	III		2				2
	IV					1	1
	T	11	14	4	10	14	40
1952	I	8	4	1	11	9	27
	II	1	1	1	1	4	8
	III					2	2
	IV						0
	T	9	5	2	12	15	37
1953	I	4	6	3	4	6	19
	II	2	2	2	2	6	11
	III	3				2	5
	IV						0
	T	7	8	5	6	14	35
1954	I	10	3		6	6	18
	II	2			3	2	7
	III	1			2		2
	IV					1	1
	T	13	3	0	19	9	28

Ye	I	M	Ku	Ke	Y	N	S
1955	I	3	3	1	7	4	14
	II	2	1			4	7
	III		1		1	1	2
	IV					1	1
	T	5	5	5	8	10	24
1956	I	6	3	1	4	7	18
	II	2				2	4
	III		1			1	2
	IV						0
	T	8	4	1	4	10	24
1957	I	2		1	3	16	23
	II	1	3	1	2	2	9
	III						0
	IV						0
	T	3	3	2	5	18	32
1958	I	5	9	2	7	6	I
	II	2	4	4	4	4	II
	III	1	1	1		6	III
	IV			1		1	IV
	T	8	14	8	11	17	55

Ye	I	M	Ku	Kg	Y	N	S
1959	I	3	3	3	5	10	23
	II	1	1	3	4	6	15
	III	2	1	1	2	5	10
	IV						0
	T	6	5	7	11	21	48
1960	I	5	6	2	4	12	25
	II	5	3	3	1	2	9
	III	3	1	1	2	6	10
	IV				2	1	2
	T	13	10	6	9	21	46
1961	I	40	13	3	12	13	70
	II	3	2	2	3	4	13
	III	3	3	1	1	2	4
	IV	1	0	1	1	1	3
	V	1					1
	T	48	18	7	17	20	91

Total	I	M	Ku	Kg	Y	N	S
I	95	61	21	73	100		296
II	21	18	16	20	38		105
III	13	10	4	8	25		48
IV	1		2	3	6		10
V	1						1
T	131	89	43	104	169		460

Table 1. Seismic intensities

Ye : Year T : Total Kg : Kagosima
 I : Intensity M : Miyazaki Y : Yakusima
 S : Sum Ku : Kumamoto N : Naze

である。1個の地震で以上のうち数箇所に有感であったものはその1個を最大であった震度によって分類して第1表の総数欄に計上してある。

I. 南九州の有感地震の回数は名瀬がもっとも多く、ついで宮崎・屋久島・熊本の順序であり、鹿児島がもっとも少ない。各地の特徴として熊本ではP~S秒ないしそれ以内の至近距離の局発地震がもっとも多く、屋久島がこれについて多く、宮崎でもかなりの数の至近距離の有感局発地震があるが、鹿児島ではいたって少ない。もし鹿児島で至近距離の有感局発地震がひん発するようになればそれは桜島大噴火の前兆であろう。

名瀬での有感地震の震源はほとんど不明であり、また名瀬での有感地震の90%は名瀬だけで有感であって、屋久島・鹿児島の地震計に相の読取れるような記象を示さないの、地震月報の震源欄に単に「名瀬」「名瀬付近」「奄美大島付近」「名瀬-鹿児島間」のように記載されて

いるものが大多数である。これらの地震のうち数多くのものが地鳴を伴っていることからして、筆者の別の調査¹⁰⁾のように、震央が名瀬付近、特に北方に多いことが推定される。

II. 第1表の地震震源を分類すると第2表のとおりで、その震源を最大の震度別に図に記入したものが第22図である。ただし震央の判然としないものはそのあたりに枠を付して震度別の数を記入したが、この場合その数字には、図に小丸で示したもの（震央の判明しているもの）は含まれていないことに注意していただく。

第22図をみれば、有感地震であるから観測所付近に震源が多いことは当然であるが、熊本周辺、屋久島周辺、名瀬付近、延岡沖から種子島東沖にいたる日向灘一帯ならびに甌島西方一帯に震源が多く、宮崎沖の日向灘中部、屋久島の北方と種子島の南東方、および名瀬付近に強い地震の震源が多いことに気づく。熊本でもかなり強

Station	Miyazaki					Kumamoto					Kagosima					Yakusima					Naze					Sum											
	I	II	III	IV	V	T	I	II	III	IV	V	T	I	II	III	IV	V	T	I	II	III	IV	V	T	I	II	III	IV	V	T	I	II	III	IV	V		
Intensity	76	19	13	1	1	110	27	15	10	0	0	52	16	13	4	2	0	35	43	12	7	2	0	64	7	5	9	4	0	25	121	62	31	7	1	222	
Epicenter decided	13	1	0	0	0	14	5	1	0	0	0	6	2	0	0	0	0	2	28	8	1	1	0	38	28	11	6	0	0	45	72	17	7	1	0	97	
substantial epicenter deduced	4	1	0	0	0	5	29	2	0	0	0	31	3	1	0	0	0	4	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	35	4	0	0	0	39	
very near	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	11	3	1	0	44	30	11	3	1	0	45	
epicenter deduced in large area	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	36	11	7	1	0	55	38	11	7	1	0	57
Epicenter unknown	95	21	13	1	1	131	61	18	10	0	0	89	21	14	4	2	0	41	73	20	8	3	0	104	100	38	25	6	0	169	296	105	48	10	1	460	
Total																																					

Table 2. Epicenters and Seismic intensities

い地震が多いが、それは至近距離のため地震そのものの強さから言えばそう強いものではないと思う。
 III. 南九州の地震では数観測所に有感なものは少ない。熊本—宮崎、熊本—鹿兒島はほぼ同じ距離であるから、熊本付近の震源からも宮崎、鹿兒島はほとんど同距離と

Case	Frequency		
	Kumamoto	Miyazaki	Kagosima
I	I	I	1
I	I	0	3
II	II	0	2
III	III	0	1
III	I	0	2

Table 3. Seismic Intensity at Kumamoto, Miyazaki and Kagosima

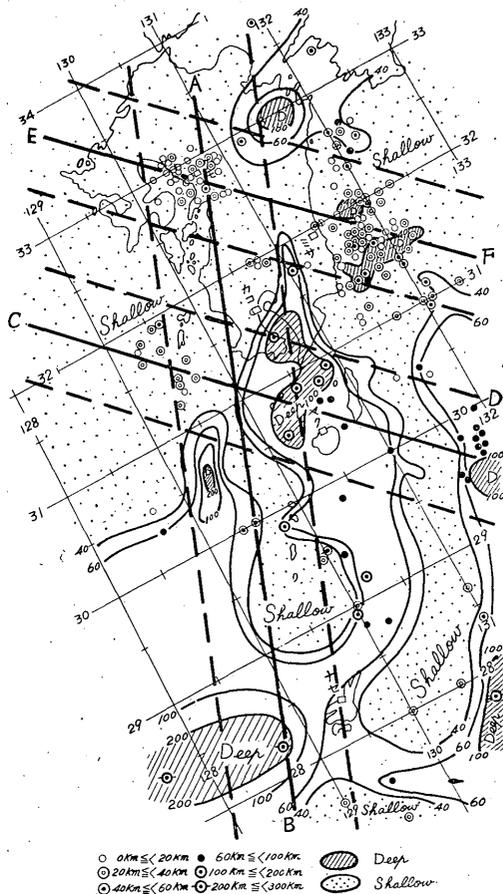


Fig. 23 Distribution of focal depths of the felt earthquakes

みられる。そこで熊本と宮崎鹿児島に感じた有感地震中、熊本より宮崎・鹿児島の方が大きなものを除けば第3表のとおりで、熊本付近の地震は鹿児島より宮崎に伝わりやすいことを示している。つまり各節で述べたように熊本・鹿児島県境あたりに何か地震の伝播を阻害する層があるように思える。

IV. きわめて当然なことであるが、同じ最大振幅の地震でも体感震動極急・急・緩の順序で震度が大きい。たとえば最大振幅 1000 μ でも緩では震度 I、極急では震度 III となる。また、これもきわめて当然ながら P~S 秒の短いものほど極急・急のものが多い。

V. 各地での有感地震の震源を深度 (km) 別に記入してみると第23図のとおりで、地域によって深度がほぼ一定している。つまり浅層地震の多発地帯とやや深い地震の多発地帯というものがあり、両者は錯綜していない。ただし第23図にみられるように、南西諸島に浅い地震が皆無となっているのは疑問であり、このあたりは名瀬に地震計が設置された後はじめて詳細が解明できよう。

上述のように、南西諸島南部方面の震源には問題があるし、また天気図上の等圧線のように震源の等深度線を引くことにも問題があるが、あえて等深度線を引いてみ

れば第23図のようになる。これから次のことがわかる。

- (1) 九州本土では一般に震源深度は 40km より浅いが、九重・霧島・桜島火山地帯には時々 100 km より深い地震が発現する。
 - (2) 日向灘の地震は一般に浅いが、北部、中部にはやや深い地帯がある。
 - (3) 南西諸島中部の地震は一般に浅いが、北部の屋久島付近と南部の奄美大島付近の地震は一般に深く、100 km より深いものも相当にある。
 - (4) 日向灘の外側の地震は一般に深い。
 - (5) 九州西方の東支那海の地震震源深度は一般に浅いが、南西諸島西方の東支那海のもの一般に深い。
- 以上を概観するために第23図に引いた A B, C D, E F の3線からそれぞれ左右幅 50km の域内の震源の深度分布を示したものが第4表である。なお初動3要素か

Depth (km)	N						
	A 34	33	32	31	30	29	28 27 B
0							
20		4	20	4			
40		1	8	7	2	2	2
60			3			1	
100					2		
200				1	1	1	
300					1	1	

Kumamoto : N 32.7°
 Kagosima : N 31.6°
 Naze : N 28.3°

Depth (km)	E				Depth (km)	E			
	C 129	130	131	132 D		E 130	131	132	133 F
0					0				
20		2		2	20	24	14	2	
40		9	3	4	40	9	22	7	
60		1	1	5	60	2	10	3	
100			7	10	100		1		
200			5	2	200		1		
300			0		300		0		

Kosikizima : E 129.5° Kumamoto : E 130.5°
 Yakushima : E 130.5° Miyazaki : E 131.5°

Table 4. Disiribution of focal depth

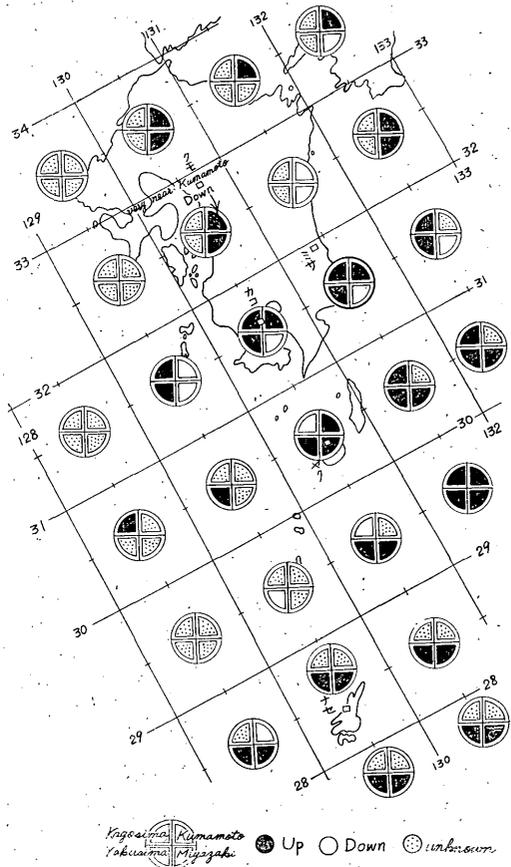


Fig. 24 Initial vertical motions observed at Kagoshima, Kumamoto, Yakushima and Miyazaki.

ら本多弘吉の方法⁽⁴⁾で入射角を計算し, それを震央まで直線として延長して深度を求めたものは $P-S$ 秒が数秒のものですら 2~5 倍, 遠距離のものでは 10 倍にも達することを各節で述べたが, これもきわめて当然なことである。

VI. 有感地震の初動の押し, 引きを図に記入してみると第24図のようになった。なお図中不明というものは, 初動の不明なもの, そこらに有感地震の震央がないためのものを含んでいる。宮崎・熊本・鹿兒島・屋久島の4箇所だけの初動の押し, 引き分布であるからはっきりしたことはわからないが, だいたい次のことが言えよう。

- (1) 南西諸島およびその両側地帯では北方に対してはおおむね初動押しで入射している。
- (2) 屋久島ならびにその南方付近の地震は鹿兒島にだけ初動引きで入射している。しかし日向灘南部ではどこにも押しで入射している。

- (3) 日向灘中部では近距離の宮崎にだけ初動引きで, 他の箇所には押しで入射している。
- (4) 鹿兒島付近の地震は東方の宮崎にだけ引きで入射し, 南北方には押しで入射している。
- (5) 甌島付近のものは遠距離には引き, 近距離には押しで入射している。
- (6) 熊本付近の地震はごく近距離には引き, やや遠くには押しで入射している。
- (7) 宮崎県の北部のものは西方と南方には引きで入射している。
- (8) 日向灘北部および九州北部の地震はほとんど全部が押しで入射している。
- (9) 全体としては九州の地震の初動は押しが圧倒的に多い。

VII. 有感地震の $P-S$ 秒比を図に記入してみると第25図のようになった。なお繰り返しておくが, 実測 $P-S$ 秒

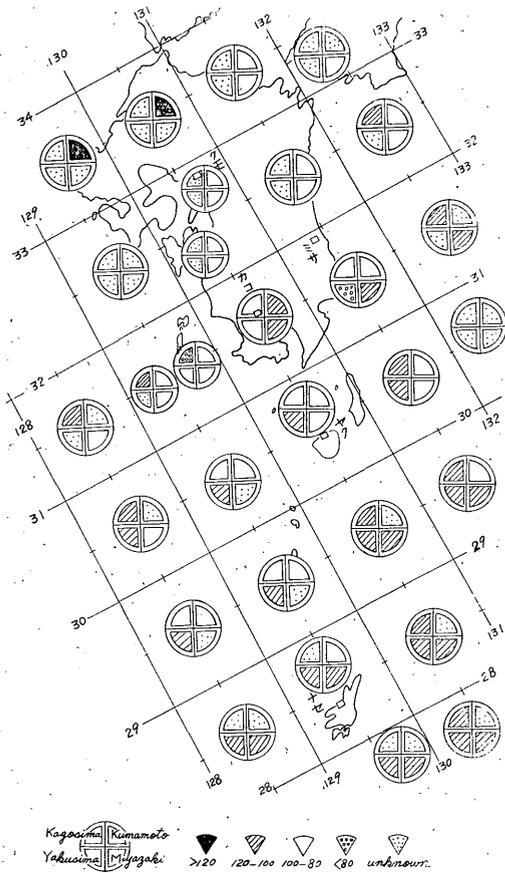


Fig. 25 Ratio of calculated $P-S$ time by Wadati's table to observed $P-S$ time of four stations.

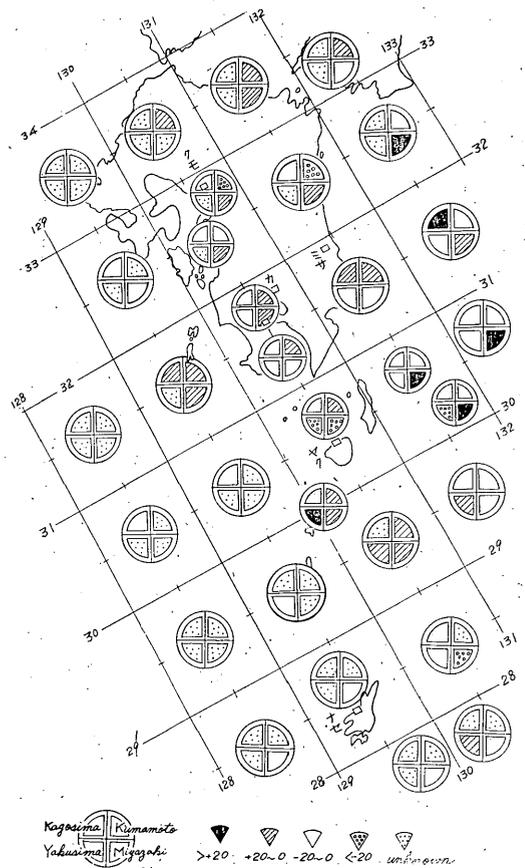
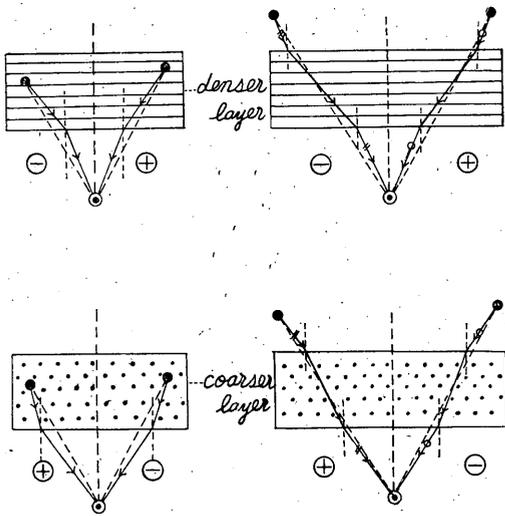


Fig. 26 Angles between the direction of epicenter and of initial horizontal motion at four stations.

が和達走時表値と合致した場合が $P \sim S$ 秒比 100 であり、実測秒が和達走時表値より長い場合、すなわち実際の伝播速度が標準速度よりおそい場合が $P \sim S$ 秒比 100 未満であり、実測秒が和達走時表値より短い場合、すなわち実際の伝播速度が標準速度より速い場合が $P \sim S$ 秒比 100 超過である。

全体的にみれば伝播速度が格段に標準値と差がある箇所は少ないようであるが、これについては次の初動偏角のものとおわせて考察したい。ただ地震計の一点観測で震源を求めるさいは第23図震源深度分布を考慮することにより震央距離を実用的範囲内の誤差で求められると言えよう。

Ⅷ. 有感地震の初動による方向と真の方向との偏角を図に記入してみると第26図のようになった。なお繰り返しておくが震央より観測点に向って、右よりに地震波が入射した場合が正值であり、左よりに入射した場合が負値である。全体的にみれば偏角は大きくない場合が多いから、地震計の一点観測だけで震源方向は実用的範囲内の誤差で求められ、したがって前述の震央距離とおわせて震源を実用的範囲内の誤差で求められる場合が多いと言えよう。しかし第26図で明らかのように偏角が相当に大きくて、上述震源に大きな誤差を生ずる区域もある。これについては前述 $P \sim S$ 秒比と共に次に考察しよう。



● Hypocenter
◎ Observed station

Fig. 27 Angles between the direction of hypocenter and of the observed initial motion.

IX. 地震波初動が観測点に入射する場合の経路による初動偏角は第27図のとおりである。これを考慮して第25図、第26図から南九州の地質構造を推定してみよう。もちろん本調査では観測点も使用資料も少ないので正確にはつかめないし、結果も大ざっぱなものである。

総括の第25図 $P \sim S$ 秒比分布、第26図初動偏角分布を第27図の模図を考慮し、さらに各地での同様の図（前稿宮崎⁽²⁾および本稿の屋久島・鹿児島・熊本の一部）も参照してながめれば、南九州の地殻の密疎の分布は第28図のようになるものと考えてむじゅんなく説明できる。まず比較的遠くの地震については $P \sim S$ 秒比はほとんど 100 であり、初動偏角も零に近いものが多い。遠地のものでは $P \sim S$ 秒比、初動偏角共にその誤差が小さくなるのは当然であるが、揃って上述のような傾向を示していることは考えるべき問題であろう。筆者は「遠地地震の地震

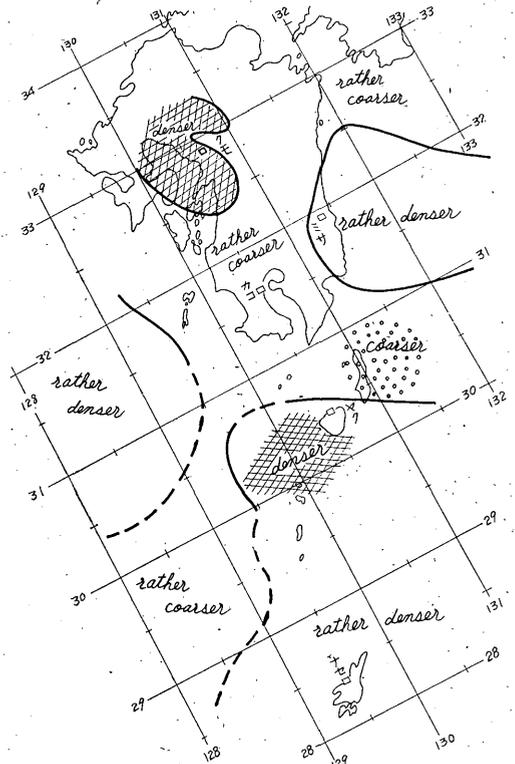


Fig. 28 denser and coarser layer
 # denser layer
 . coarser layer
 - - - border line
 - - - faint border line

Fig. 28 Distribution of dense and coarse layer.

波動はたとえ浅いものであっても比較的深所を經過する。したがって以上の事実は南九州の比較的深い地層はほとんど均質で、その地震波伝播速度はだいたい標準値なみで、幾分かは標準値より速いことを示している」ともと考えている。

さらに第28図から次の事が言えよう。

(1) 九州本土，中国・四国地方の西部および古琉球火山帯（南西諸島の西側）一帯はやや疎な地帯で，大隅半島南方海上の東部一帯はかなり疎な地帯である。

(2) 宮崎沖の日向灘中部一帯，甕島沖および古琉球火山帯の両側一帯はやや密な地帯で，屋久島およびその南方付近ならびに熊本・島原および有明海一帯はかなり密な地帯である。

(3) 各疎・密地帯の境は第28図に示したようになり，特に熊本島原有明の密地帯の境は第28図のような形を想定してはじめて熊本付近での $P\sim S$ 秒比分布と初動偏角の複雑な分布が説明できる。また宮崎での $P\sim S$ 秒比・初動偏角の複雑な分布からみて宮崎沖のやや密な地帯の境は図よりもっと複雑な形をしているようだが，まだはっきりはわからない。

あとがき

前稿⁽²⁾にひきつづき屋久島・鹿兒島・熊本での有感地震の観測値を基として，南九州での一点観測だけによる震源決定の精度ならびに若干の推論を行なったが，観測値にも若干の誤りがあろうし，観測資料の僅少さと共に

若干の結論上の誤りがあるであろうことを怖れている。諸学兄の御指導を得てさらに勉強して将来正確な結論を出したいと熱望している。

最後に本調査に要した経費の大部分を研究助成金としていただいた西日本気象協会・本調査に指針を与えられた本庁地震課⁽¹⁾，調査の先達となられた札幌管区气象台⁽⁶⁾，本調査のための資料の照会に心よく応じられた長友屋久島測候所長はじめ関係各气象台，測候所の皆様ならびに本稿の製図・謄写印刷に多大の協力を願った当庁の鶴木拔官・大庭嬢に厚く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) 気象庁地震課：地震予知のための予備調査 (1) (2) (3)，測候時報 **26** (1959) 261—265. 368—374, 420—428.
- (2) 安井 豊：宮崎における有感地震の一調査，験震時報 **28** (1963) 39—54.
- (3) 安井 豊：南九州の地鳴と震央距離との関係について，験震時報 **26** (1962), 119—124.
- (4) 本多弘吉：地震波動，(1942), 28—34(岩波書店)
- (5) 札幌管区气象台：1611—1960年の北海道における地震活動，(1962) 3—5, 2—28, 気象庁技術報告 **20** (1962).
- (6) 大野 譲：北海道周辺における地震活動域と地下構造，験震時報 **26** (1961).