

枕崎測候所における臨時地震観測*

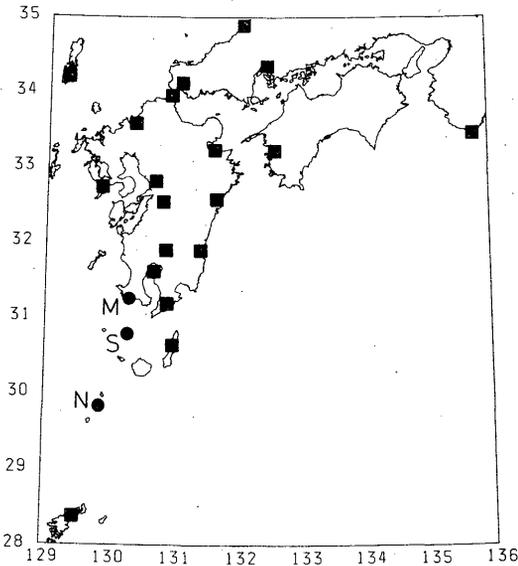
— 特に種子島以南の震源の正確さに関連して —

福岡管区気象台観測課**

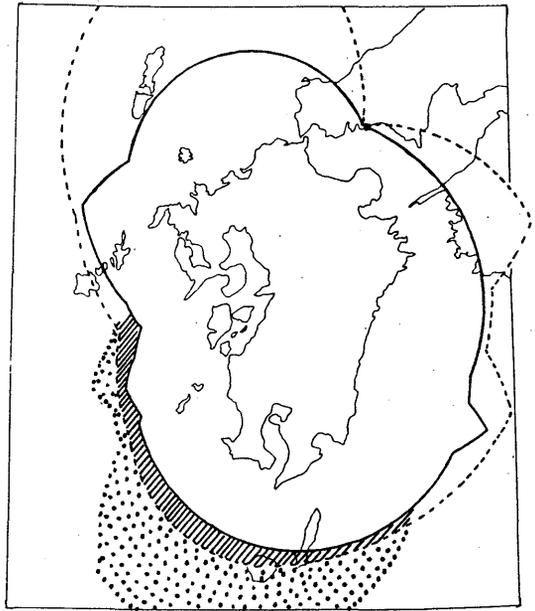
§ 1. まえがき

1984年3月に九州系地震資料伝送システム、および福岡L/ADESS (Local Automated Data Editing and Switching System)が整備され、九州および山口県の各地の地震波形は福岡管区気象台にreal-timeで伝送され集中記録・処理されるようになった。このことについては既に山本ら(1985; 以下では報告1と呼ぶ)が報告したとおりである。このシステムの地震計の配置を第1図に示す。これらの

地震計の内、福岡にテレメータされている地震波形による験測値を用いると第2図に示した範囲内の $M \geq 3$ の地震について震源決定が可能であると推定されている(報告1)。このようにして震源決定された地震の分布を第3図に示す。この図に示された比較的活発な地震活動が認められる阿蘇-八代海-甕海峡と続く中央構造線に沿う地域、天草灘、鹿児島県



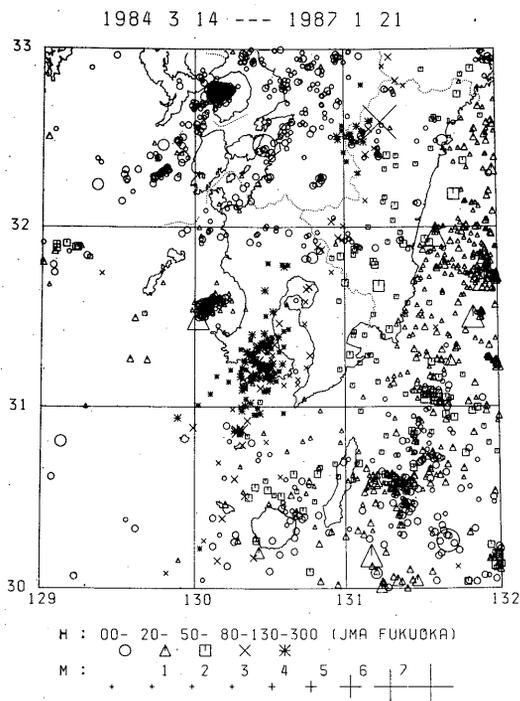
第1図 九州系地震資料伝送システムの地震計配置図。■：高感度の常設テレメータ観測点，●：今回とりあげる臨時観測点で，Mは枕崎，Sは薩摩硫黄島，Nは中之島。詳細は山本ら(1985; 以下では報告1と呼ぶ)，および内村ら(1987; 以下では報告2と呼ぶ)を参照。



第2図 第1図の地震計の内、常設テレメータ観測網による震源決定能力の推定(宇和島、広島、浜田、潮岬も除く)。実線(破線)は $M \geq 3$ の地震を4点(3点)以上でP相を験測可能と推定される領域(報告1)。ハッチ、およびドットをほどこした領域は第3節で詳しく述べるが、枕崎に地震計を設置したことにより、図中の実線および破線が広がる範囲を示す。

* Seismic Observation at the Makurazaki Weather Station. - Accuracy of the focal parameters near the Satsunan Islands Region - (Received June 20, 1987)

** 松田一成、迫田正大(現、福岡管区気象台観測課レーダー班)、高橋道夫、永岡修(現、地震火山部地震火山業務課)、後藤主夫(現、熊本地方気象台)、日吉昭伸(現、下関地方気象台)、鹿毛武二、中村誠臣(現、福岡管区気象台予報課)、石原和彦、西辻和也、小久保一哉(現、地震火山部地震予知情報課)、干場充之(現、気象研究所)



第3図 九州系地震資料伝送システム開設(1984年3月14日)以降、この臨時観測を始める直前の1987年1月21日までに福岡管区気象台が震源決定した震央の分布。総地震数1,600個。深さ別にシンボルの種類を変え、M別にシンボルの大きさを変えて表示してある。

西方沖、薩摩半島等の地震活動を正確に把握すること等を目的として、1985年11月1日から1986年1月31日までの3カ月間、阿久根測候所において臨時地震観測を実施し、種々の成果をあげた(内村ら、1987; 以下では報告2と呼ぶ)。そして、報告2では種々の課題を列記し、今後も課題を解決すべく臨時地震観測を行なっていきたいとも述べた。

こうした実り多い臨時観測の観測点として今回は枕崎測候所を選んだ。期間は1987年1月22日から4月3日までである。その目的とする所は、①薩摩半島直下の稍深発地震、②鹿児島県西方沖の浅発地震、③種子島近海の浅発地震の精密な活動状況の把握、および④枕崎市周辺の背景雑音の調査である。①薩摩半島下における稍深発地震の活動度は全国的にみても第1級であるが、その直上にある枕崎のデータはこうした地震の震源決定の精度向上に大きく貢献すると考えられる。また、②鹿児島県西方沖のうち、薩摩半島西岸吹上浜すぐ沖合の海域は1984年8月15日にM: 5.5が発生するまでは地震は全く(1926年以

降で1個だけ震源決定されている)観測されていない所であったが、その地震を契機として数多くの小地震が発生するようになった海域である(福岡管区気象台、1987)。これは報告2で述べた第4の課題である。③種子島東方沖も活動度の非常に高い海域であるが、現在の観測網が貧弱なために地震を検知できても震源を決定するに到らない場合が多く、観測上の問題の残っている海域である。これは報告2で述べた第3の課題である。九州南部の地震観測点は南北にほぼ一直線に並んでいてこうした地震の震源計算には都合が悪い。これを解消するために、その直線からはずれた観測点が将来は是非、必要になる。このためにも枕崎の④背景雑音等の地震観測環境をあらかじめ調査しておくことは重要なことである。

§ 2. 観測システム

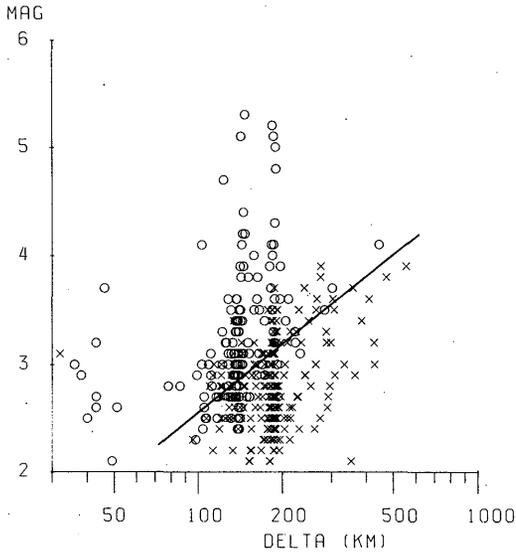
観測システムは報告2とほとんど同様である。以下では報告2と異なる箇所のみを述べる。

トリガー論理について、枕崎のデータは地震判定には用いなかった。これは、枕崎の波形データの観測システムへの取り込み方法が報告2とは異なり、システムの大幅な改造なしには不可能であったことによる。ただし、モニター記録を調べた結果、このことによる地震のとりこぼしはほとんどないと考えている。背景雑音をモニター記録紙上2mm p-p程度になるように倍率を設定し、その状態で感度検定を行なった。その結果、記録紙上の感度は740 μ kine/cm (1 kineは1cm/secの速度)、すなわち1Hzで8,500倍、5Hzで42,500倍になっていることがわかった。また、デジタル波形は1ビットが約7.4 μ kineに相当するよう調整した。

§ 3. 地震検知力

地震検知力の解析も報告1、2と同様に行なった。結果を以下に簡単に述べるが、詳しい解析方法については報告1、2を参照されたい。

枕崎周辺で発生した地震のP相が検測可能かどうかを震央距離、Mの関数として調べることにより、枕崎の地震検知力を推定した。その結果を第4図に示す(報告1の第6、7図、報告2の第5図参照)。第4図からP相が検測可能な範囲をメノコで求めて図中に直線で示してある。この結果、170km以内のM \geq 3の地震、あるいは、100km以内のM \geq 2.5の地震のP相が検測可能であるといえる。これは報告2の阿久根と同様で、枕崎は現在の気象庁の地震観測



第4図 枕崎の地震計の地震検知能力。横軸に震央距離、縦軸にMをとりP相ができた地震は○印で、そうでないのは×印で示した。図中の太い実線はメノコでひいたP相が検出可能となる地震とそうでない地震の境界線。報告1の第6, 7図, 報告2の第5図も参照。

点のなかでは検知力の高い方に属することがわかる(報告1の第2表を参照)。

報告1では九州および山口県における地震観測網による震源決定能力を第2図の実線, および破線のように推定しているが, 枕崎に地震計を設置すれば上に述べた検知力からして, 第2図のハッチ, およびドットをほどした地域まで震源決定能力が及ぶものと考えられる(報告2の第2図も参照)。

§ 4. 震源決定への貢献

枕崎のデータの震源決定への貢献度を評価するのに, そのデータの有無により, 計算される震源要素がどのように変化するか調べるという方法を用いることにする。当然ながら, 枕崎のデータも用いた結果をより正確な結果とみなし, 既存の観測網のみで得られている震源要素は正確さが劣っていると考えるのである。

(1) 鹿児島県西方沖

§1で述べたように, 鹿児島県西方沖のうち, 薩摩半島西岸吹上浜すぐ沖合の海域(第3図, 第5図)は1984年8月15日にM: 5.5が発生するまでは地震は全く観測されていない所であったが, この地震を

契機として数多くの小地震が発生するようになっていく(福岡管区気象台, 1987)。この地震活動を正確に把握することは西九州のテクトニクスを理解するうえで非常に重要である(長宗・中村, 1986)。臨時観測期間中に, ここに3回の地震を震源決定した。それらは2月2日(M: 3.2), 3月9日(M: 2.7), 3月16日(M: 2.6)である。2月2日の地震は常設の観測点の8点もの多くの地点でP相が検出可能で, 枕崎のデータの有無にかかわらず計算される震源要素に全く変わりはない。しかし, 後二者の地震はP相の検出できる常設の観測点はそれぞれ5, 4点で, 枕崎のデータを追加することにより震源は西~西北西へ5~10km移動し, また深さも20km前後から10km前後へと浅くなる。臨時観測以前には, この海域に発生する地震の震源は20~30kmの深さと計算されるものも多かった(第5図;後出)。これらを地殻内の地震活動と見ると, もっと浅くしてしかるべきと考えていたが, 今回の臨時観測の結果はこの考えに肯定的である。もっとも, 地震数が大変少ないので確定的なことは言えない。

(2) 薩摩半島

1984年3月14日以降のルーチン作業の震源計算結果による薩摩半島, およびその周辺の震源分布断面図を第5図に示す。九州南部は観測網のヘリにあたるので震源要素の精度が良くなく, 稍深発地震面も九州北部・中部に比べるとそんなに薄くは表現されていない。一方, 高橋ら(1987)は数多くの, しかも確実な相にもとづく精度の高い震源要素のみをEPHファイルと称してルーチンの震源ファイルとは別に整理している。FPHファイルによると, 第5図の範囲内の稍深発地震の分布は, この図に示す実線では含まれた比較的薄い範囲内に限られている。このことから, 第5図において, 実線で示した範囲の外に位置する一部の地震の震源要素は精度が悪いと考えられる。精度の悪い理由は地震が小さいため, 得られる検出値の数が少ないからである。さて, 臨時観測期間中に, この図の範囲内に17個の稍深発地震(100km以深)が震源決定され, これらすべてについて枕崎の検出値が得られた。これらの震源位置はすべて実線ではさんだ薄い範囲内に分布しているので, 精度は比較的よいと考えられる。ここで, もし枕崎における臨時観測がなかったと仮定して震源計算をやりなおしてみた。ほとんどの地震は東西に数km, 深さ方向に1~2km移動するにすぎなかったが, 常

設の観測点で数少ない験測値しか得られていない1個の小さい地震については、その震源を精度良く決定するためには枕崎のデータが決定的な役割を果たしていることがわかった。この地震は枕崎のデータがないと第5図の★印の位置に震源決定される。このように、枕崎に地震計を設置すると、薩摩半島直下、およびその周辺の稍深発地震の震源要素の計算

において、既設の観測点で数多くの験測値が得られないような地震に対しても、験測値の数を多くすることにより精度の良い震源要素を得ることができるという点で貢献する。

(3) 種子島近海

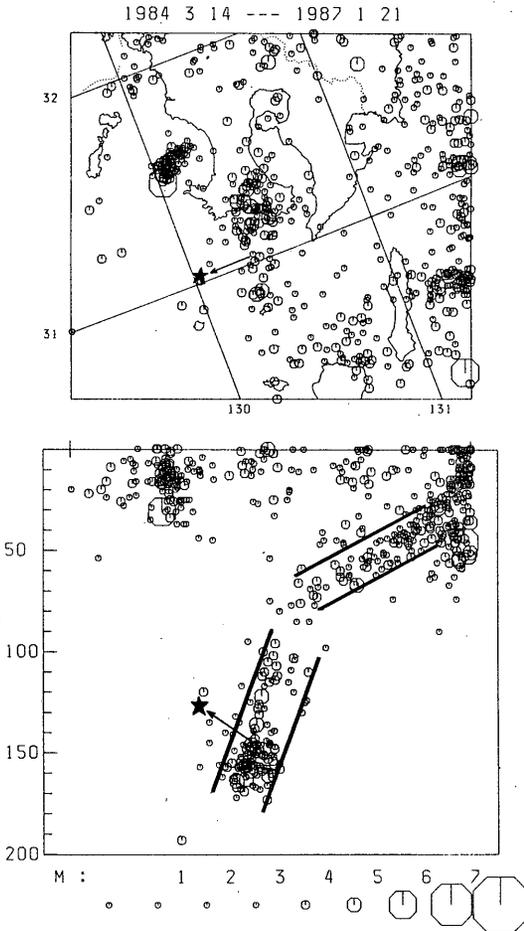
3月28日から種子島の東方沖で群発地震活動が始まった。活動は31日頃にはほとんど終息し、最大Mは5.3であった。この群発地震活動の震央分布を第6図に示す。(A)は震源計算において枕崎のデータも用いた震央分布、(B)は枕崎のデータが仮になかったとした常設の観測網による震央分布である。特に東西方向の震央のばらつきに差異が認められ、枕崎のデータの貢献が読みとれる。なお、(A)において北緯30度30分に位置する最大地震(□印)は(B)においては北に大きく移動しているが、種子島以南ではM:5クラスの大い地震でさえこの程度の正確さしかないというのが実情である。種子島近海については次小節でも議論する。

(4) 薩南諸島

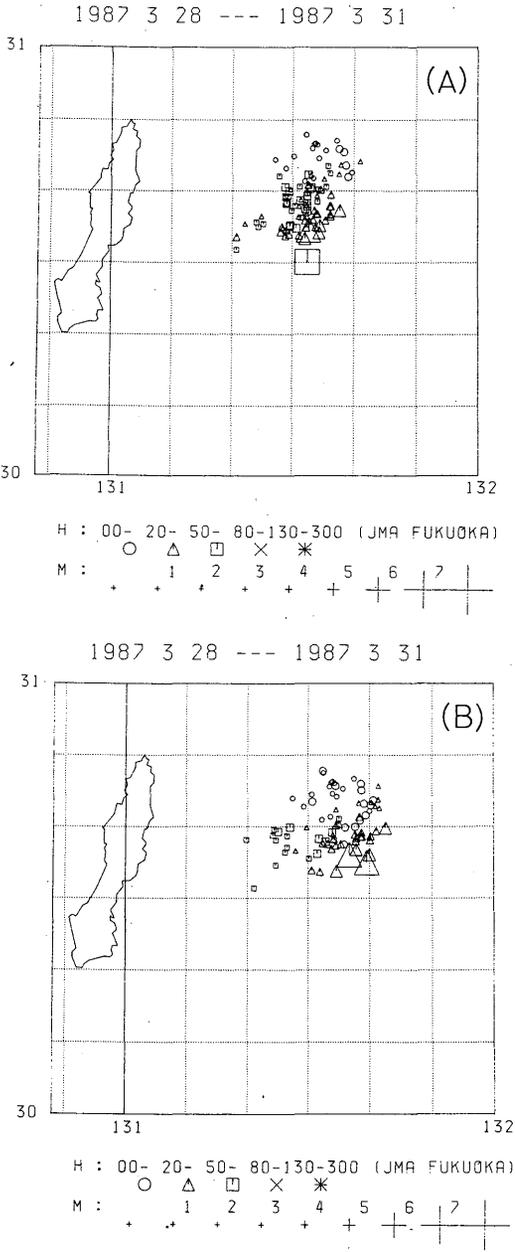
ここでは枕崎における臨時観測から離れて、常設の観測網による薩南諸島の地震の震源要素の正確さを評価する。福岡管区気象台の九州地域火山機動観測班は1985、86年度の基礎調査観測の一環としてそれぞれ薩摩硫黄島(1985年7月22日～8月1日)、および中之島(1986年10月9日～22日)(第1図の●印のSとN)において臨時地震(非テレメータ)観測を実施した。常設の観測網のみによる震源要素と薩摩硫黄島、または中之島の験測値を追加することにより正確さを向上させた震源要素を第7図に示した。両者の差異は大きい。その原因は小久保ら(1987)により次のように考えられている。

第7図の地震番号1の地震は鹿児島県西方沖の活動度の低い場所に発生した地震である。また、地震番号2は薩南諸島の東側、南西諸島海溝近くに震源決定されていた地震である。これらはいずれもある程度大きな地震で、常時観測網でPが験測できる観測点が7点あり、そのデータのみで震源要素がそれなりに正確にもとまっていたと考えられ、薩摩硫黄島のデータの貢献は少ない。

種子島近海の小地震には種子島2と鹿児島2の2点でしかPが読み取れない地震が数多くある。また、桜島E点、霧島を含めた3点以上で読めたとしても観測点の配置がほぼ南北の直線上に並んでいて震源

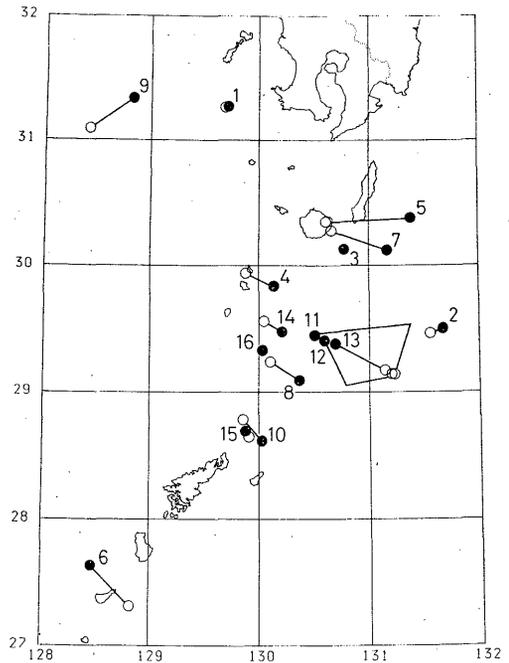


第5図 1984年3月14日以降、この臨時観測を始める直前の1987年1月21日までに福岡管区気象台が震源決定した薩摩半島直下、およびその周辺の稍深発地震の分布の断面図。多数の、確実な験測値にもとづく精度のよい震源(高橋ら,1987)はすべて実線ではさんだ範囲内に薄く分布する。今回の臨時観測期間中にこの図の範囲に発生した稍深発地震は1個を除いて実線ではさまれた範囲内に震源決定されているが、これは枕崎のデータの存在も貢献している。その1個の地震は枕崎のデータがないと★に位置する。



第6図 3月28日～31日の種子島の東方沖の群発地震活動の震央分布。(A)は枕崎のデータも用いた震央分布、(B)は枕崎を除く常設の観測網による震央分布。特に東西方向の震央のばらつきに差異が認められ、枕崎に地震計を設置する効果が読みとれる。

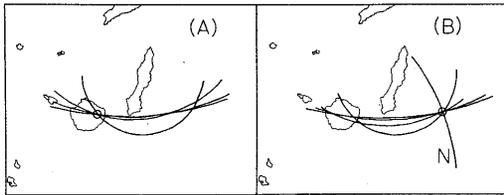
決定には都合が悪い。これらの観測点で観測値が得られていても震央が種子島の東なのか西なのか、判



第7図 薩摩硫黄島、および中之島における臨時地震観測のデータを既存のデータに追加することによる震源要素の正確さの向上。肩の番号は地震番号で1～4、5～16に対して、それぞれ薩摩硫黄島、および中之島における臨時観測のデータがある。○：常設観測点のみの観測値による震源位置、●：薩摩硫黄島、または中之島のデータを追加したことによる、より正確な震源位置。両者の差異は非常に大きく、薩南諸島に発生する地震に対する常設の観測網が未整備であることがわかる。

断できない場合が非常に多い。地震番号5、7がその例で、中之島のデータを知らないルーチン作業の段階では震源は種子島の西側に決定されていたが、中之島のデータがあると迷うことなく東側に決定できる(第8図)。地震番号3は薩摩硫黄島のデータを加えてはじめて震源要素を求めるのに最低限必要な3地点分のデータが揃った地震である。もし、この付近にもう1点の観測点があれば震源決定できる地震の数は相当増加するものと期待できる。種子島2、および鹿児島2の2点のみで記録される近地地震のうち、震源決定されている地震は約1/3なので、約3倍になると推定される。

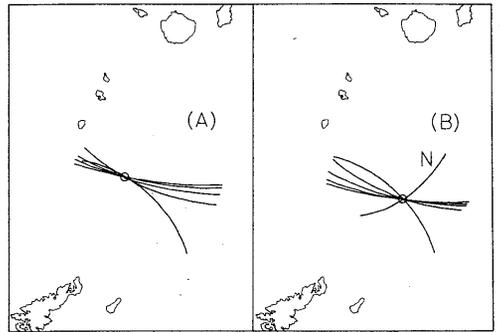
地震番号4、8、10～16は種子島と奄美大島の間で発生した地震である。中之島のデータを追加する



第8図 地震番号5の震源決定. Nが中之島のデータで, (A)中之島のデータを知らないルーチン作業の段階では震源は種子島の西側に決定されていたが, (B)中之島のデータがあると迷うことなく東側に決定できる. こうした地震は非常に多い.

ことにより, いずれも西北西, 東南東方向に大きく移動している. これらは, 震源がこの方向に大きく動いても名瀬, および種子島2の観測値の違いにすればごくわずかにしかならないことに起因している(第9図). 中之島のデータがあってはじめて正確な震源が得られる.

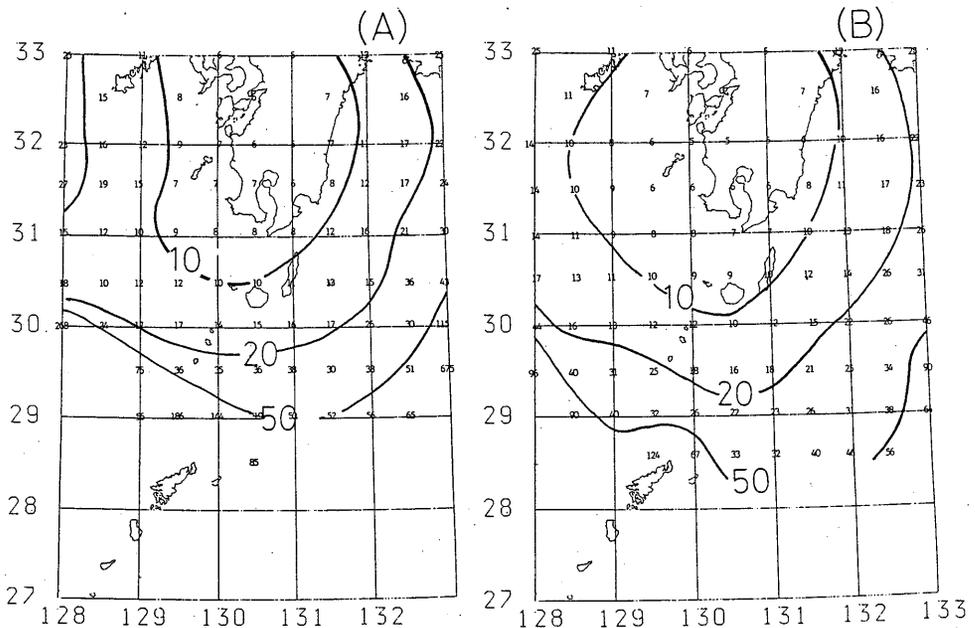
地震番号9は橘湾から南西に沖縄トラフ方向にのびる地震帯に発生した地震である. 常時観測網でP



第9図 地震番号の震源決定. Nが中之島のデータ. (A)ルーチン作業の結果. (B)中之島のデータを追加した結果. 薩南諸島に地震計を設置した場合, 震源決定への貢献は大きい.

が観測できる観測点が3点しかなく, 中之島のデータの貢献が著しい.

これらの島は種子島と奄美大島の間で, 常設の地震観測点のない所に位置していて, 種子島以南の地震活動の正確な把握には欠かすことのできない観測点である.



第10図 現在のテレメータ観測網のほかに中之島に地震観測点があるとした場合に, 得られる震央位置の正確さを石原(1985)にならってモンテカルロ法で評価した. 地下の速度構造は6.6 km/s, 震源の深さは40 km, 震央距離350 km以内の観測点で観測値が得られ, その誤差は0.1秒であると仮定した. (A): 現在のテレメータ観測網のみの場合, (B): 現在のテレメータ観測網の他に中之島に地震観測点があるとした場合. 等値線は震央位置の正確さを表わし, 単位は100m. 薩南諸島, および鹿児島県西方沖の地震に対して, 中之島に観測点を設置する効果が著しいことが読みとれる.

§ 5. 種子島以南の震源の正確さの定量的評価

中村(1986)は薩南諸島の震源要素の正確さと九州本土内の震源要素の正確さとを、行列式の固有値を用いて、解の確かさという形で定量的に比較した。ここでは現在のテレメータ観測網のほかに中之島に地震観測点があるものとして、得られる震源要素の正確さを石原(1985)にならってモンテカルロ法で評価する。地下のP波速度を6.6km/sで一定、震源の深さは40km、震央距離350km以内の観測点で検測値が得られ、その誤差は0.1秒と仮定し、P相のみで震源を決定するとした時に得られる震央位置の正確さを第10図に示す。この図から中之島に地震観測点があるとした場合に、薩南諸島、および鹿児島県西方沖の震央の正確さの向上が著しいことがわかる。

第10図(B)から薩南諸島の震源の正確さは1~5kmと読み取れるが、第7図に示した実際の震源のずれはもっと大きく、数10kmに達しているものもある。これは第10図の計算における、相の検測誤差を0.1秒、350km以内の観測点でP相が読み取れる、という2つの仮定が特に現実にあっていないためと考えられる。この方面の地震のP相は不明瞭なことが多く、一般には検測誤差はもう少し大きいと考えられる。また、350kmも離れた所でP相が読み取れるのはMが4~5程度の大きな地震の場合であり、第7図に示したような小さい地震ではそんな遠くでP相は検測できない。このようなことから、第10図は(A)と(B)とを相対的に比較するためにのみ用いるべきであり、第10図(A)そのものが現在の薩南諸島に震源決定された小地震の正確さを表しているとは見るべきではない。

§ 6. 枕崎測候所の地震観測環境

§2で述べたように、静穏な気象状態の時の背景雑音は100 μ kine p-p強である。これは昨年度に臨時観測を行なった阿久根のほぼ2倍である。また、荒天時でも顕著な雑微動は認められなかった。人工的な雑音には、測候所構内を自動車が通行する時に大きいときで1000 μ kine p-pにも達する雑音が認められたのみである。こうした背景雑音、および§3で述べた検知力からすると、枕崎は気象庁の現在の観測点の内では中程度の観測環境にあると言える。薩摩半島に発生する稍深発地震の直上に位置し、かつ、種子島近海や鹿児島県西方沖という活発な活動域に隣接しているということを考えにいれる

と、高感度地震計の展開・再配置計画の折には一考に値する地点である。

§ 7. まとめ

枕崎における地震観測環境は現在の気象庁の観測点の内では中程度の良さでしかないが、周囲に観測点がないという事情から地震計を設置することには一定の意義が認められる。特に、鹿児島県西方沖、薩摩半島、種子島近海の地震活動の監視には欠かせない点である。また、3月28日~31日にかけて発生した種子島東方沖の群発地震活動の詳細な把握において臨時観測によるデータは非常に有効であった。

気象庁は全国に発生するM:3までの小地震を監視すべく小地震観測網の整備・充実を図ってきたが、薩南・南西諸島方面への地震計整備は他の地域にくらべて遅れている。第7図はこのへんの事情をあからさまに示している。この海域である程度正確に震源が求められているのはM5程度以上の地震のみであると考えられていて、観測網の一層の充実が望まれる(小久保ら, 1987)。

謝 辞

こうした臨時観測が実施できるのは本庁業務課、有線通信課、地震火山業務課、管区業務課をはじめとする関係官の御理解のおかげである。今後こうした臨時観測を継続して実施していきたい。管区通信課には波形伝送の技術面で御指導をいただいた。鹿児島地方気象台、および枕崎測候所には地震計の保守面で援助をうけた。筆者らは地震計設置直後の感度検定に失敗したことに枕崎を離れてから気がつき、後日、鹿児島地方気象台の長野敏郎技術専門官(現阿蘇山測候所調査官)をわずらわせて感度検定を実施していただいた。第10図の計算にあたっては元・鹿児島大学佐藤泰夫教授の指導をいただいた。沖縄気象台観測課の土地清市技術専門官には原稿を読んでいただき適切な助言をいただいた。これらの協力に謝意を表す。また、臨時観測期間中、枕崎測候所の職員の方々は筆者らのテレメータ観測とは独立に、ドラム記録器による高感度臨時地震観測を実施された。その積極さに敬意をあらわす。最後に、枕崎測候所におけるドラム記録の倍率は3700 μ kine/cm(1kineは1cm/secの速度)、すなわち10Hzで17,000倍であったことを記しておく。

参考文献

- 福岡管区気象台(1987):九州地方とその周辺の最近の地震活動(1986年5月～10月),地震予知連絡会会報, 37, 335-340.
- 石原和彦(1985):観測点分布の震源決定精度に及ぼす影響, 研究時報, 36別冊, 192-193.
- 小久保一哉, 高橋道夫, 石原和彦(1987):薩南諸島方面に小地震観測網の整備を, 福岡管区気象台技術通信, 33, 1-10.
- 長宗留男, 中村利巳(1986):鹿児島県西方海域における地震活動, 地震2, 39, 123-128.
- 中村誠臣(1986):震源決定について, 福岡管区気象台気象研究会誌, 47, 10-11.
- 高橋道夫, 西辻和也, 後藤主夫(1987):テレメータシステムの整備により明らかになった九州地方の地震活動の特徴, 研究時報, 39, 27-48.
- 内村進, 江崎慶治, 高橋道夫, 河原畑剛, 永岡修, 後藤主夫, 日吉昭伸, 中村誠臣(1987):阿久根測候所における臨時地震観測, 験震時報, 50, 27-31.
- 山本雅博, 後藤主夫, 豊田正昭, 永岡修(1985):福岡管区気象台地震波形テレメータシステム整備とそれに伴う地震検知能力の改善について, 験震時報, 49, 93-104.