

1995年奄美大島近海地震の余震活動

著者	清水 力, 宮町 宏樹, 後藤 和彦, 角田 寿喜, 平野 舟一郎, 山田 知郎, 日野 亮太, 塩原 肇, 西澤 あずさ, 佐藤 利典, 長尾 栄広, 五十嵐 俊博, 平松 秀行, 岩切 一宏, 伊藤 忍, 杉岡 裕子, 島村 英紀, 金澤 敏彦, 笠原 順三
雑誌名	鹿児島大学理学部紀要. 地学・生物学
巻	29
ページ	113-128
別言語のタイトル	Aftershock Activity of the 1995 Amami-Oshima-Kinkai Earthquake
URL	http://hdl.handle.net/10232/00006962

1995年奄美大島近海地震の余震活動

清水 力¹⁾・宮町宏樹¹⁾・後藤和彦²⁾・角田寿喜¹⁾・平野舟一郎²⁾
山田知朗³⁾・日野亮太⁴⁾・塩原 肇⁵⁾・西澤あずさ⁶⁾・佐藤利典³⁾
長尾栄広⁴⁾・五十嵐俊博⁴⁾・平松秀行¹⁾・岩切一宏¹⁾・伊藤 忍⁴⁾
杉岡裕子³⁾・島村英紀⁵⁾・金澤敏彦³⁾・笠原順三³⁾

(1996年9月10日受理)

Aftershock Activity of the 1995 Amami-Oshima-Kinkai Earthquake

Chikara SHIMIZU¹⁾, Hiroki MIYAMACHI¹⁾, Kazuhiko GOTO²⁾,
Toshiki KAKUTA¹⁾, Shuichiro HIRANO²⁾, Tomoaki YAMADA³⁾,
Ryota HINO⁴⁾, Hajime SHIOBARA⁵⁾, Azusa NISHIZAWA⁶⁾,
Toshinori SATO³⁾, Takahiro NAGAO⁴⁾, Toshihiro IGARASHI⁴⁾,
Hideyuki HIRAMATSU¹⁾, Kazuhiro IWAKIRI¹⁾, Shinobu ITO⁴⁾,
Yuko SUGIOKA³⁾, Hideki SHIMAMURA⁵⁾, Toshihiko KANAZAWA³⁾,
and Junzo KASAHARA³⁾

-
- ¹⁾ 鹿児島大学理学部地学教室 〒890 鹿児島市郡元1丁目21-35
Institute of Earth Sciences, Faculty of Science, Kagoshima University, Korimoto 1-21-35, Kagoshima 890, Japan
- ²⁾ 鹿児島大学理学部附属南西島弧地震火山観測所 〒892 鹿児島市吉野町10861
Nansei-toko Observatory for Earthquakes and Volcanoes, Faculty of Science, Kagoshima University, Yoshino-cho 10861, Kagoshima 892, Japan
- ³⁾ 東京大学地震研究所 〒113 東京都文京区弥生1-1-1
Earthquake Research Institute, University of Tokyo, Yayoi 1-1-1, Bunkyo-ku, Tokyo 113, Japan
- ⁴⁾ 東北大学理学部附属地震予知・噴火予知観測センター 〒980-77 仙台市青葉区荒巻字青葉
Observation Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Faculty of Science, Tohoku University, Aoba-ku, Sendai 980-77, Japan
- ⁵⁾ 北海道大学理学部附属海底地震観測施設 〒060 札幌市北区北10条西8丁目
Laboratory for Ocean Bottom Seismology, Faculty of Science, Hokkaido University, N-10, W-8, Kita-ku, Sapporo 060, Japan
- ⁶⁾ 海上保安庁水路部 〒104 東京都中央区築地5-3-1
Hydrographic Department, Maritime Safety Agency, Tsukiji 5-3-1, Chuo-ku Tokyo, 104 Japan

Abstract

On October 18, 1995, an earthquake (M_{JMA} 6.7) occurred in a south-east area off Kikai-Island, the Ryukyu island arc, which was probably the source region of the 1911 great earthquake (M 8.0). We observed about six thousand aftershocks at three land temporary seismic stations from October 27 through December 31, 1995, and estimated 1597 hypocenters by using the non-linear hypocenter determination method by Trantola and Valette (1982). The aftershocks are distributed in an area of 50 km by 100 km at depths from 10 to 50 km. The distribution has the NNE-SSW strike direction, which is almost perpendicular to that of the subduction of the Philippine-sea plate. On November 1, an aftershock with M5.2 occurred, which was the largest aftershock during a period of our land temporary observation. For 24 hours preceding this aftershock, the seismic activity in the whole aftershock region had been gradually decreasing, and after that, the aftershock activity became high. We also detected three seismically active areas around the aftershock region.

Key words: Aftershock, Kikai-Island, Amami-Oshima, Philippine-sea plate

はじめに

1995年10月18日19時37分頃、喜界島の南東沖約70kmで M_{JMA} 6.7の地震が発生し、喜界島で震度5（強震）、名瀬市と大島郡龍郷町で震度4（中震）など奄美地方を中心に九州地方から沖縄県までの広い範囲で有感となり、沖縄から伊豆諸島にかけての太平洋沿岸の各地で津波が観測された。この地震が発生した震源域周辺では、過去にも1901年（明治34年）にM7.5、1911年（明治44年）に死者12人家屋全壊422棟などの被害を出したM8.0の地震が発生しており、その時にも津波が観測されている。また最近では、1995年5月下旬から6月上旬にかけて震源域の西方で M_{JMA} 3.4~4.0の地震が50個程度発生しており、このうち7個は喜界島で有感であった。また、8月中旬から9月上旬にかけては震源域の北東部分で8個の地震が観測されている。さらに、本震の発生する前の10月18日02時31分にも、震源域の北東部分を震源とする M_{JMA} 3.8の地震、4時~6時には5個（最大 M_{JMA} 3.3）、本震直前の18時台に3個（最大 M_{JMA} 3.4）の前震とみられる地震活動が観測されている（福岡管区気象台、1996）。これらの震源の多くは海域にあり、観測点が島弧沿いにほぼ南北に直線上に並んでいるため震源位置を精度よく決定することは困難である。

今回発生した地震の余震活動を明らかにすることは、これまで十分に解明されていないこの地域での地震活動の特性を知るうえで重要である。そこで、鹿児島大学理学部附属南西島弧地震火山観測所（NOEV）は、余震域に近い喜界島および奄美大島の3ヶ所に陸上臨時観測点を設け余震観測を行なった。また、陸上臨時観測と並行して、東京大学、東北大学、北海道大学、海上保安庁水路部、鹿児島大学は合同で1995年10月27日から11月25日まで、余震域に海底地震計（OBS）を設置し臨時観測を行なった。本研究では、陸上の臨時地震観測及び2台の海底地震計によって得られたデータを用い、奄美大島近海地震の余震活動を明らかにする。

臨時余震観測

今回の地震の余震活動を調査するため、鹿児島大学理学部附属南西島弧地震火山観測所 (NOEV) は、余震域に近い喜界島に1点、奄美大島に2点の計3ヶ所に陸上臨時観測点を設け余震観測を行なった。観測点分布を Fig. 1 に示す。喜界島 (KKAI) 観測点では1995年10月25日17時から、奄美大島の瀬戸内 (SETO) 観測点では26日17時から、笠利 (KASA) 観測点では27日18時から観測を開始した。各観測点では固有周期1秒の速度型地震計 (3成分) を用い、波形データは12 bit 100 Hz サンプリングでデジタル化され、有線テレメータにより鹿児島大学に伝送した。この臨時観測は1996年1月25日まで続けられた。

これと並行して、東京大学、東北大学、北海道大学、海上保安庁水路部、鹿児島大学は合同で1995年10月27日から11月25日まで、余震域に自己浮上式海底地震計 (OBS) を22台設置し臨時観測を行なった。本研究では、そのうちの2台 (AM11, AM21) の10月27日から11月12日までのP波の観測値を解析に用いた。

NOEV の定常観測点で今回の地震の余震域に最も近い永田観測点 (NAGT) は余震域から200 km以上も離れており、このデータを用いると震源決定の際その精度を悪くする恐れがあるので震源決定には用いていない。ただし、本震から臨時観測が始まるまでの期間のデータは、全期間の余震活動の推移を知る上で重要であるので、余震の発生回数の調査には用いた。

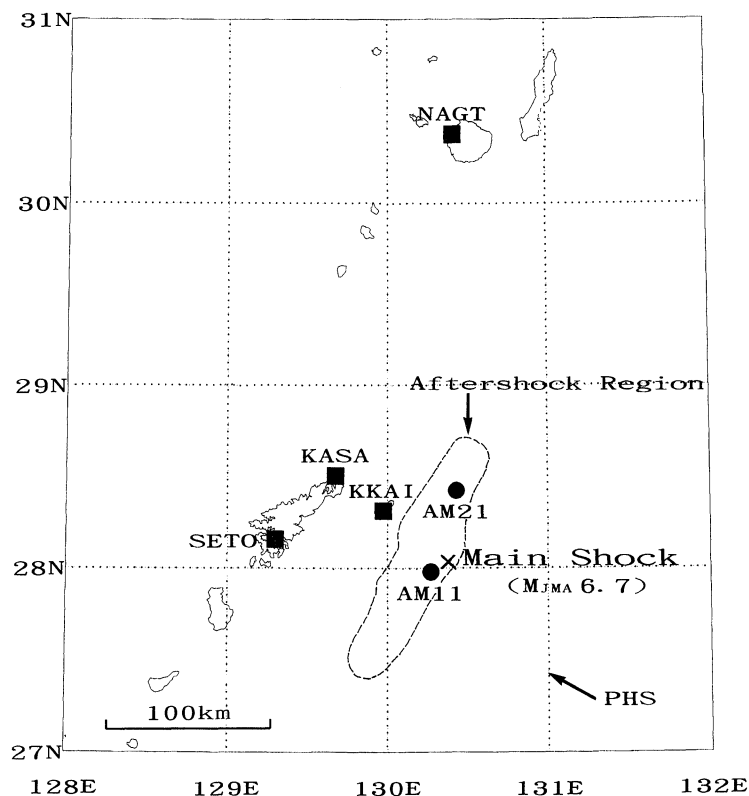


Fig. 1 観測点分布図

■が陸上地震観測点，●が海底地震観測点を示す。×は気象庁による本震の位置，点線は余震域を，矢印はフィリピン海プレートの沈み込む方向（京都大学防災研究所ほか，1994）を示す。

震源決定

一般に、震源決定は線形化された観測方程式を最小二乗法を用い解くことにより行なわれる。しかし、この方法では、震源の初期値をどこに設定するかにより解が異なる場合があり、しかも、この解の初期値依存性は震源決定に用いられるデータ数が少ないほど顕著になる傾向がある。本研究では震源決定に用いることのできる観測点が陸上観測点3点及びOBS観測点2点のみと非常に少ない。そこで今回は安定した震源要素解を得るため、Trantola and Valette (1982)の方法による非線形の震源決定法を採用した。この方法では、最終的な震源の位置は余震域下の仮想震源で地震が起こる確率密度分布を求め、その期待値が最大になるところとして求められる。

震源決定に用いた地震波速度モデルを Fig. 2 に示す。このモデルの P 波速度分布は、八木原ほか (1996) により余震域の北に位置するトカラ海峡-奄美大島北部海域で1992年に実施された海底地震観測によって得られたデータから、インバージョンにより推定されたモデルである。S 波については、各層の V_p/V_s 比を1.76と仮定した。

解析に用いた海底地震計 (OBS 2 台) のデータは10月27日~11月12日までの17日間と限られ

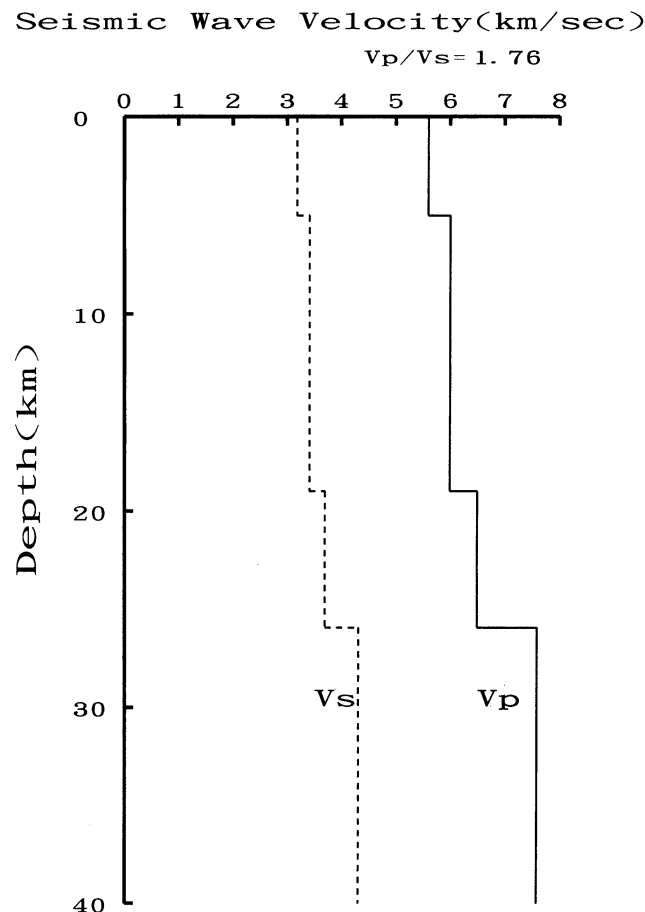


Fig. 2 震源決定に用いた地震波速度モデル

実線は P 波速度、破線は S 波速度を示す。各層とも $V_p/V_s=1.76$ を仮定した。

ている。しかし、この期間中は陸上の3観測点のデータと併せることによりある程度余震域を取り囲むことができ、比較的精度良く震源を決定することが可能である。一方、海底地震計の回収後は陸上の3観測点による震源決定のため、海底地震計の観測期間中より震源決定精度が悪いことが予想される。そこで、陸上の3観測点に対し観測点補正を施すことにより震源決定精度の改善を試みた。まず、陸上観測点と海底地震計のデータを併せて震源決定を行なったところ、各観測点のP波およびS波の走時残差は、震源が観測点から緯度方向に離れるに従い大きくなる傾向が見られた (Fig. 3)。そこで、走時残差を震源要素の一つである緯度の関数として2次曲線で近似し、その走時残差を各観測点のP波およびS波の観測点補正值とした。Fig. 4は陸上3観測点のみのデータで決定した震源および海底地震計のデータも併せて決定した震源を観測点補正前と補正後で比較した図である。経度130.5°以東の震源に対しては明瞭ではないが、余震域の大部分を占めている経度130.0°~130.5°の範囲に分布している震源を比較すると、観測点補正前と補正後の震源では、その位置の推定に大きな改善がなされていることがわかる。すなわち、陸上の3観測点のデータに観測点補正を施すことにより海底地震計のデータと併せて震源決定した時の震源位置とほとんど変わらなくなり、観測点補正を用いることが有効であると言える。

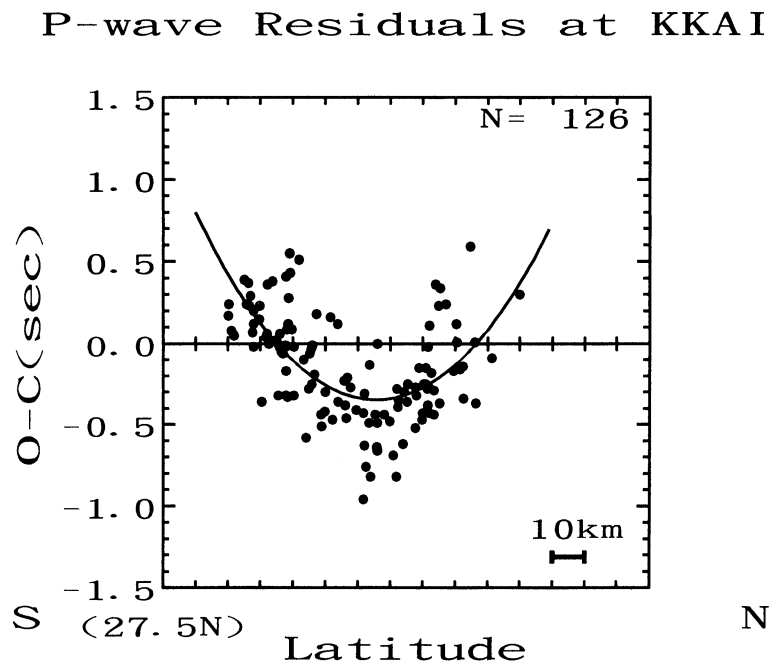


Fig. 3 地震が発生した緯度と KKAI におけるP波走時残差の関係

図中の曲線は走時残差を緯度の関数として近似した場合の2次曲線を示す。

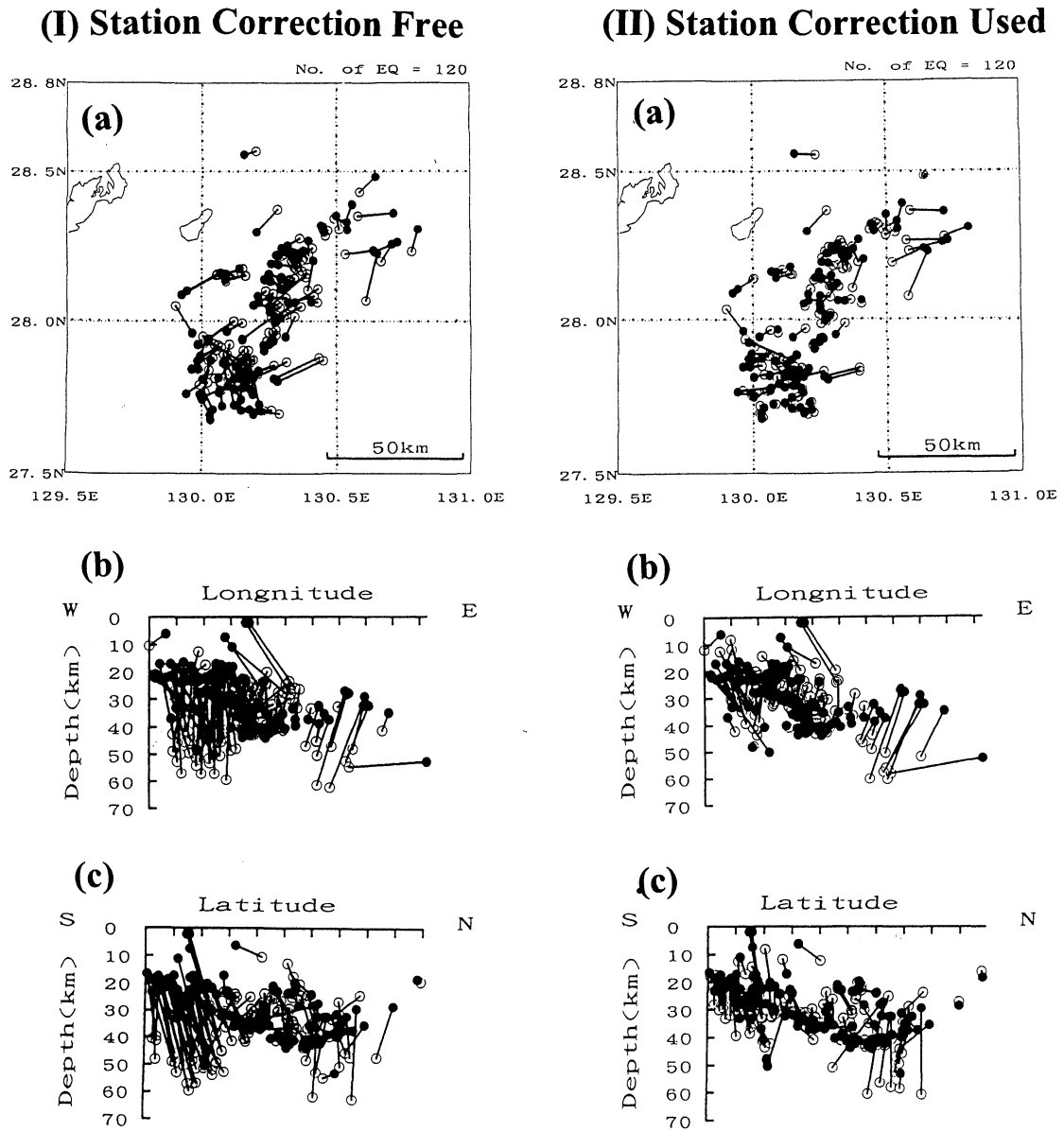


Fig. 4 陸上観測点のみで決定した震源分布(○)と海底地震計も併せて決定した震源分布(●)との比較

(I) は観測点補正は施していないもの、(II) は観測点補正を施したものを表す。また、(a) は震央分布図、(b) は東西断面図、(c) は南北断面図である。

余震活動

日別発生回数と MT 図

Fig. 5 に NAGT と KKAI で観測された余震の日別発生回数を示す。NAGT では本震の発生した1995年10月18日19時37分から12月31日までに2,031回、KKAI では陸上臨時観測が始まった10月25日の17時から12月31日までに6,377回の余震が観測された。本震のおよそ16時間後の10月19日11時41分に本震とほぼ同じ規模の最大余震 M_{JMA} 6.6 が発生した。比較的規模の大きな余震が発生した後は余震回数が一時的に増加する傾向が見られるが、全体としては、余震回数は時間とともに単調に減少していることがわかる。

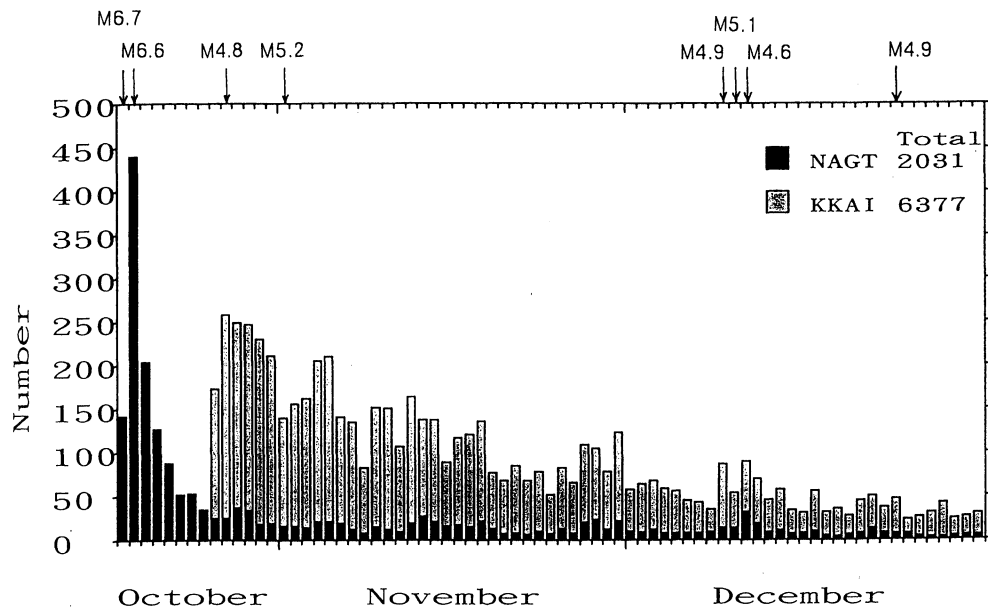


Fig. 5 NAGT と KKAI で観測された余震の日別発生回数

Fig. 6 に10月27日～12月31日の MT 図を示す。地震のマグニチュードは各観測点の最大振幅データをもとに渡辺 (1971) の式により求められている。ただし、10月30日の15時23分～10月31日の10時13分までは KASA の欠測により震源が求められていないため、マグニチュードは決定されていない。震源決定された余震の規模はほとんどが $M2 \sim 4$ であり、 $M4.0$ 以上の余震は観測期間中20回発生し、うち $M5$ 以上のものは2回発生した。臨時観測期間中に発生した余震のうち最大のものは11月1日18時35分に発生した $M5.2$ の地震である。さらに、12月9～11日、12月20日過ぎにかけて $M4 \sim 5$ クラスの余震が発生し、活動が一時的に活発化した。

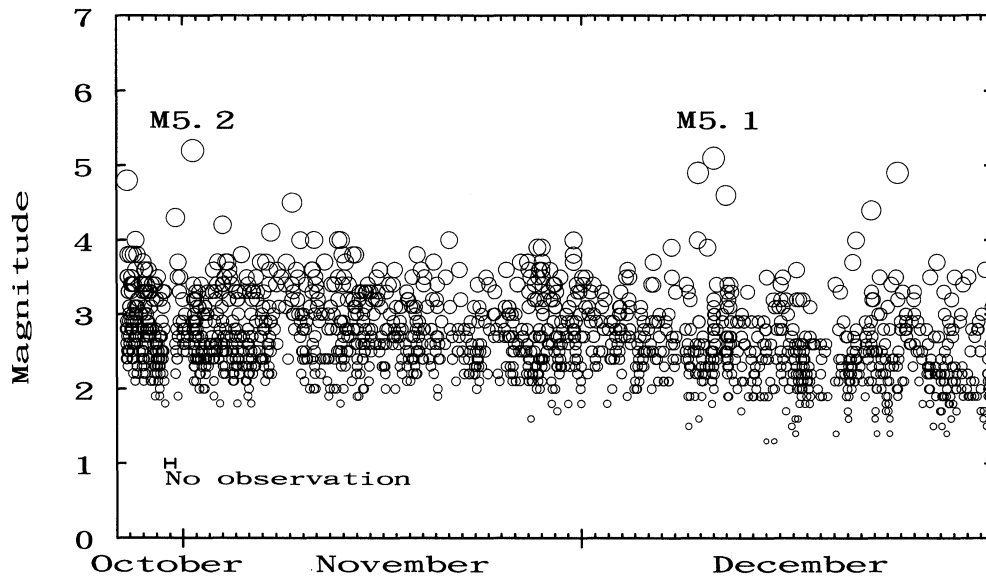


Fig. 6 臨時地震観測期間中（1995年10月27日～12月31日）のMT図

震源分布

陸上観測が実施された1995年10月27日から12月31日の期間中にKKAIで観測された6,377個の余震のうち、すべての陸上観測点でP波が記録され、S波が1観測点以上で検測された1,597個の余震の震源が前章で述べられた非線形震源決定法によって求められた。なお、震源決定の誤差は平均すると東西方向に約1.8km、南北方向に約2.1km、深さ方向に約3.5kmである。Fig. 7に余震分布とその断面図を示す。余震分布は喜界島の南東沖約50kmを中心とする幅約50km、長さ約100km、深さ約10～50kmの範囲にわたり、その震央分布はフィリピン海プレートの沈み込み（Fig. 1参照）に垂直な方向である北北東-南南西の走向と一致している。

次に、余震活動について詳しく見ることにする。Fig. 7のB-B'断面における余震分布は図中の点線を境にして折れ曲がったL字型をしている。また、その震央分布も北北東側ではややばらついているのに対し、南南西側ではまとまって分布していることがわかる。そこで、この折れ曲がり部分を境に余震活動を北部と南部の2つの領域に分け、それぞれの領域の余震活動について調べた。Fig. 8に北部領域と南部領域のMT図と震源決定された地震の日別の発生回数を示す。北部領域では震源決定された地震の個数は196個である。この数は1日あたり平均3個の余震発生回数となり、余震活動はそれほど活発でないといえる。また、余震の規模も主にM2～3の活動であり、M4.0より大きな余震は発生していない。一方、南部領域は北部領域に比べ活動が活発で、M4～5クラスの余震活動はすべて南部領域で発生している。震源決定された地震は1,424個、1日あたり平均21個の発生回数である。さらに、この領域内には余震活動の空間的な集中域がいくつか見られる。

Fig. 7に示されているように、北北東-南南西の走向を持つ余震域の周辺に地震が集中して発生している領域が3箇所（以下では、北から順に、地震活動域1、2、3と呼ぶことにする）見られる。これらの活動は時間的にも集中して地震が発生する傾向がある。地震活動域1では、

1995/10/27 16:56 - 1995/12/31 23:59

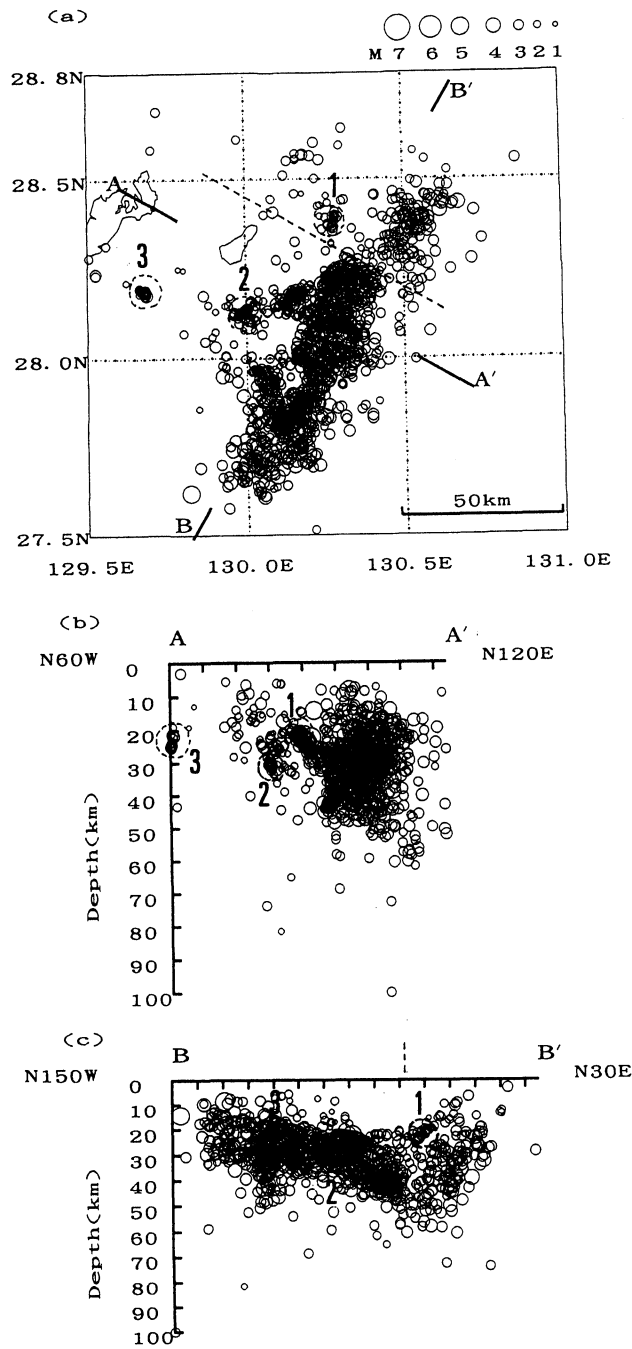


Fig. 7 余震分布および地震活動域 (1, 2, 3) の分布図
 (a) 震央分布図, (b) A-A' 断面図, (c) B-B' 断面図

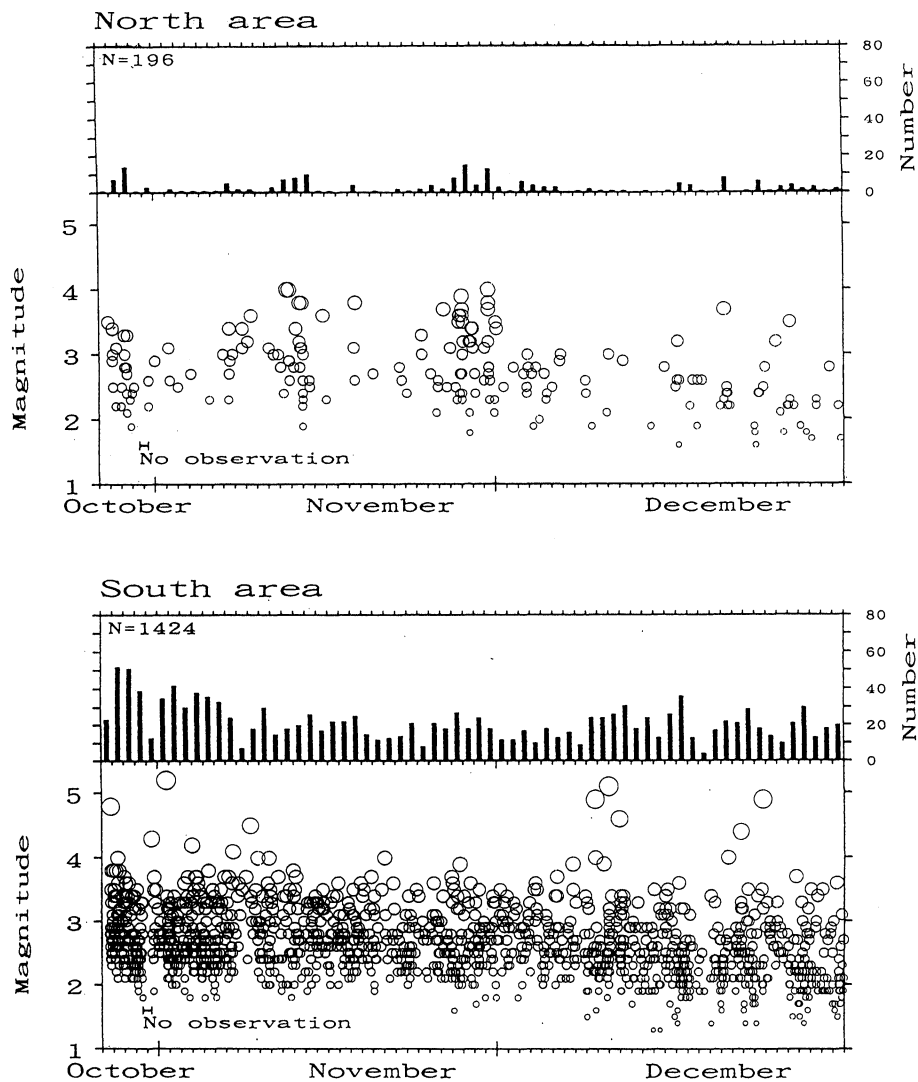


Fig. 8 北部領域(上)および南部領域(下)のMT図と震源決定された余震の日別回数

震源の深さ分布が約20km~25kmの範囲にわたり、10月29日と11月14日に活発に活動し、静穏な時期と活発な時期がはっきりと分かれている。この活動はM2クラスのものが多く、その最大のものはM3.3である。地震活動域2の地震活動は、11月1日のM5.2の地震が発生した後の11月2日に活発な活動をした。この活動は深さ30km前後にあり、M2~3クラスの地震が多く、その最大のものは11月2日に発生したM3.2である。この活動域では11月18日、27日、12月14~17日にも活発化しているが、そのほかの期間では散発的にしか地震が発生していない。地震活動域3では、臨時陸上地震観測が開始された10月27日から11月22日までの期間、地震が全く発生していない。しかしながら、11月23日の7時13分にM3.1の地震が発生した後、深さ20~27kmの範囲にM1.3~M3.1の地震が群発的に発生している。また、震源断面から、この活動はほぼ垂直に近い震源分布をしていることが分かる。

議 論

本震および最大余震が本研究で決定した余震分布のどこに位置するのかを明らかにすることは重要である。しかしながら、臨時観測は本震の発生7日後に開始されているため、本震及び最大余震のデータを欠いている。そこで、気象庁（以下、JMA）によって決定された震源要素から以下のようにしてその位置を推定することを試みた。

まず、JMA 発表の M 4.0 以上の余震で、JMA と陸上臨時観測点の両方で震源が決定されている15個の地震について震源の位置の比較を行なった (Fig. 9)。本研究で決定された震源は JMA が決定したものより全体として南西方向に 4.4 km、深さでは 15.8 km 浅く決定されている傾向が見られる。これは、JMA が震源決定に用いた観測点分布、震源決定プログラム、速度モデルの違いによるものと考えられる。次に、この15個の余震の中から本震および最大余震近傍に発生したと考えられる6個の余震を選び (Fig. 9 中の2重丸)、それぞれの余震について JMA と本研究の震源位置の差の平均値を求め、その値を補正值として JMA の本震・最大余震の震源要素に加えた。こうして推定された本震及び最大余震を10月27日～11月1日の余震分布上にプロットしたものを Fig. 10 に示す。本震及び最大余震は余震分布の中央域に位置し、余震活動が活発である南部領域の最浅部で発生したものと推定される。特に本震は余震分布の東端に位置している。また、推定された本震や最大余震の震源付近では余震活動が活発である。このことは Fig. 8 で示されたように、余震分布の南部地域で活動が活発であることと調和的である。

菊池 (1996) による本震のメカニズム解は、正断層成分が卓越しており、実際の断層面に相当すると考えられる節面は走向が 203° 、傾斜角が 74° で P 軸は SE 方向、T 軸が NW 方向である。この T 軸の方向はフィリピン海プレートの収束方向と調和的であり、本震がフィリピン海プレートの bending に関係して発生したことを示唆している。しかし、Fig. 10 の推定された本震付近の余震分布にはこの断層面に相当するような面状の余震分布は見られない。この原因としては、本震が発生してから約1週間以上たった後の余震分布上に重ねあわせたこと、陸上観測点のみのデータでは震源決定の精度が十分ではなかったこと等が考えられる。

今回の臨時観測中に発生した最大の余震は、11月1日18時35分に発生した M 5.2 の余震である。Fig. 11 は陸上の臨時地震観測が開始された10月27日16時56分からこの余震が発生する直前までの余震分布 (白丸) とこの余震が発生してから11月5日までの余震分布 (黒丸) である。これらを比較すると、この最大余震は、それまで余震が発生していなかった場所で発生したことがわかる。この活動をさらに詳しく見るために、Fig. 12 に10月29日から11月3日までの MT 図と KKAI における1時間毎の余震発生回数を示す。図より、余震域全体で発生する地震のマグニチュードはこの地震の約1日前から徐々に小さくなり、同時に、余震発生回数も減少し余震域全体の地震活動が低下していたことがわかる。この M 5.2 の余震が発生した後の11月1日～2日にはこの余震の発生した同地域で余震活動が活発化し、深さ22～28 km 付近で M 2～3 クラスの余震が27回発生した。

1995/10/27 16:56 - 1995/11/01 18:34

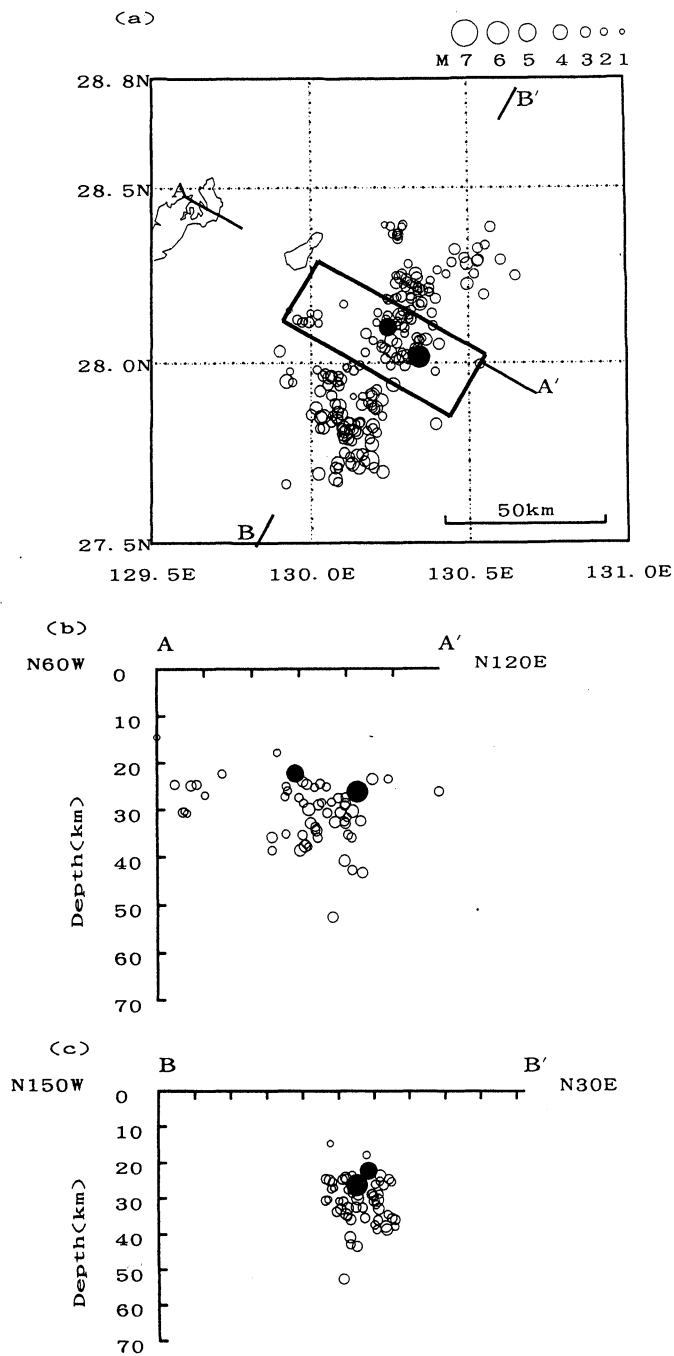


Fig. 10 推定された本震および最大余震の震源位置（本震が南東側）
 なお、断面図は矩形内のものについて示している。

(a) は震央分布図, (b) A-A' 断面, (c) は B-B' を断面を表す。

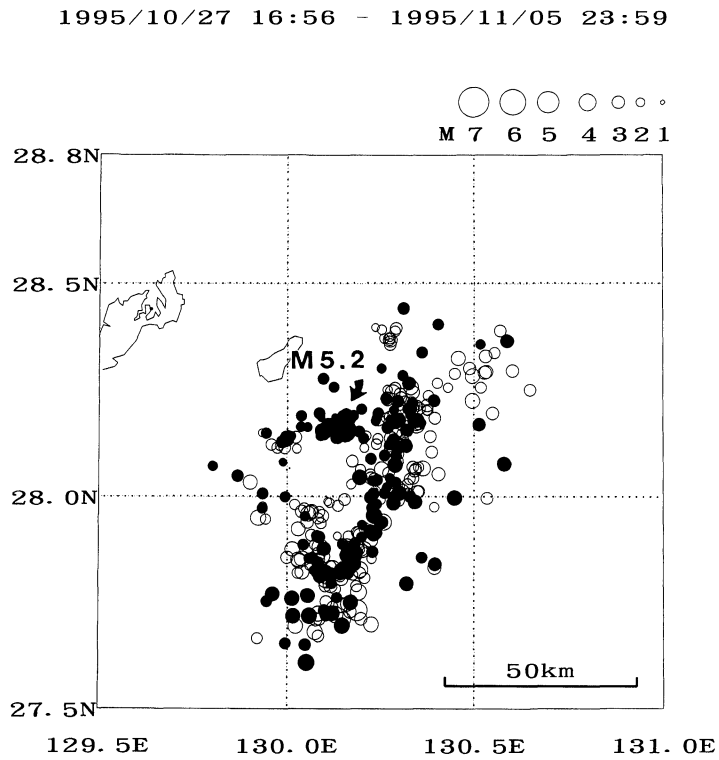


Fig. 11 11月1日 M 5.2 の余震が発生する前 (○ : 10月27日16時56分~18時34分) と発生後 (● : 11月1日18時35分~11月5日23時59分) の震央分布図

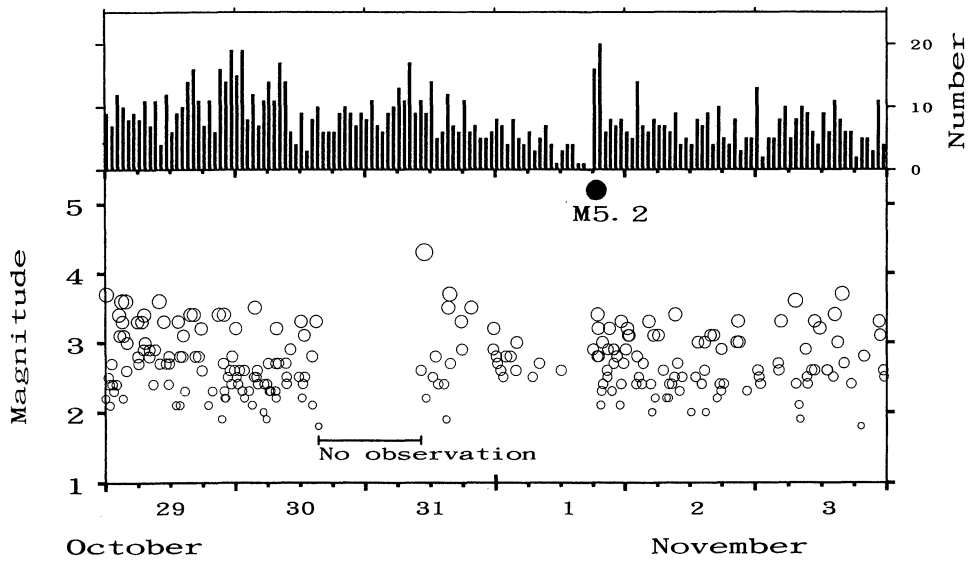


Fig. 12 10月29日から11月3日までのMT図 (下) とKKAIにおける1時間毎の余震発生回数 (上)

九州から琉球列島及び台湾の地域は、ユーラシアプレートとフィリピン海プレートの境界をなす弧状列島の一部と考えられ、フィリピン海プレートは琉球海溝に沿ってユーラシアプレートの下に沈み込んでいることが知られている。京都大学防災研究所ほか(1994)は、南西島弧南部の南大東島、奄美大島及び沖縄の基線長の変化をGPSで観測し、この地域におけるユーラシアプレートに対するフィリピン海プレートの相対速度7.43cm/年、移動方向N62°Wを得ている。そこで、今回の余震はどちら側のプレートで発生しているかを調べた。Fig. 13はフィリピン海プレートの沈み込みに垂直な方向の断面図であり、点線は八木原ほか(1996)による深発地震面の形状から推定されるユーラシアプレートとフィリピン海プレートの境界を示している。この図から、今回の余震のほとんどがフィリピン海プレート内で発生していることが分かる。

次に、地震活動域について考察する。これらの活動は北北東-南南西方向の余震分布と空間的に離れていることから、今回の地震の余震活動とは異なるものである可能性がある。八木原ほか(1996)は海底地震計を用いたトカラ-奄美大島北部海域での微小地震活動の研究で4つの地震群を認めており、このような顕著な震央の集中域が種子島東方及び南東沖でもみられると述べている。本研究地域においてもこのような活動が本震前からもともと存在していたものであるのかを調べてみた。余震域周辺で活動が活発であった1995年5月~9月にかけてJMAが決定した震源分布と本研究で決定した震源分布を比較したところ、地震活動域1では1995年5月に3回、また、地震活動域2でも1995年6月にこの位置よりやや東側で3回の地震が発生し、さらに、地震活動域3でも、1995年6月、7月に2回、8月、9月に1回の地震が発生していることがわかった。よって、これらの地震活動域は、本震の発生する以前から、ある程度の地震活動をもった領域であった可能性がある。おそらく、今回の本震やそれに伴う余震活動により、なんらかの影響を余震域周辺も受け、地震活動が活発化したのが今回指摘した地震活動であると考えられる。これらの地震活動域の活動度を把握するためには、より長期的な地震観測が必要であろう。

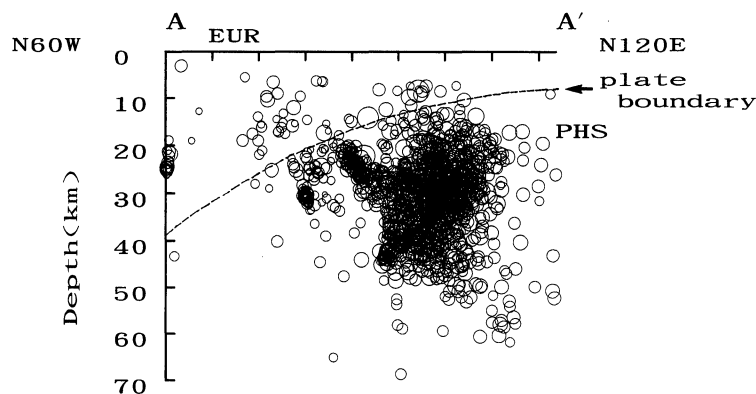


Fig. 13 余震断面図 (Fig. 7のA-A')とプレート境界(点線)の関係

図中のEURはユーラシアプレートを、PHSはフィリピン海プレートを示す。プレート境界は八木原ほか(1996)によって推定された。

ま と め

1995年10月18日に喜界島南東沖で発生した地震の余震活動について解析を行ない、以下のことが明らかとなった。

- (1) 本震の発生した1995年10月18日19時37分から12月31日までに NAGT で2,031回, KKAI で陸上臨時観測が始まった1995年10月25日17時から12月31日までに KKAI で6,377回の余震が観測された。余震回数は増減を繰り返しながらも時間の経過と共に減少している。
- (2) 余震活動は喜界島の南東沖約50kmを中心とする幅約50km, 長さ約100km, 深さ約10~50kmのフィリピン海プレート内に発生しており, 震央分布はフィリピン海プレートの沈み込みに垂直な北北東-南南西の走向をもつ。さらに, 余震分布は北部と南部の二つの領域に分けることができ, 南部の方が余震活動が活発であり, M5クラスの地震はすべて南部で発生している。
- (3) 推定される本震及び最大余震は余震分布の中央域の最浅部に位置し, 特に, 本震はその東端に位置する。今回得られた余震分布からは本震の断層面と推定できるような分布は認められなかった。
- (4) 陸上臨時観測中に発生した最大の余震である11月1日18時35分のM5.2の余震の約1日前から余震域全体で余震活動が静穏化した。また, この余震はそれまで余震が起こっていなかった場所で発生した。
- (5) 今回の地震の余震分布とは空間的に離れた場所に3つの地震活動域がみられた。

謝 辞

海底地震計の設置および回収は海上保安庁水路部の調査船「明洋」により行なわれた。陸上臨時地震観測点の設置・保守では喜界町教育委員会, 同町立滝川小学校, 笠利町教育委員会, 同町立佐仁小学校, 瀬戸内町役場および南部大島自動車学校の方々にご協力頂きました。以上の皆様に記して厚くお礼申し上げます。

文 献

- 福岡管区气象台, 1996. 奄美大島近海の地震活動. 地震予知連絡会会報, **55**, 612-620.
- 菊地正幸, 1996. 1995年喜界島近海地震群のパラメータ. 地球惑星科学関連学会1996年合同大会予稿集, 304.
- 京都大学防災研究所・琉球大学理学部・高知大学理学部・東京大学地震研究所, 1994. 南西諸島におけるGPS観測成果—フィリピン海プレートの運動—. 地震予知連絡会会報, **52**, 523-527.
- Trantola, A. and B. Valette, 1982. Inverse Problem = Quest for Information. *J. Geophys.*, **50**, 159-170.
- 渡辺 晃, 1971. 近地地震のマグニチュード. 地震2, **24**, 189-200.
- 八木原寛・角田寿喜・宮町宏樹・後藤和彦・平野舟一郎・日野亮太・金澤敏彦・海宝由佳・塩原肇・渡邊智毅・望月将志・根本泰雄・島村英紀, 1996. 海底地震観測によるトカラ海峡—奄美大島北部海域の地震活動. 地震2, **49**, 227-239.