

1995年奄美大島近海地震余震の喜界島における広帯域強震観測

藤井, 雄士郎
九州大学理学部

奥村, 貴史
九州大学理学部

竹中, 博士
九州大学理学部

鈴木, 貞臣

<https://doi.org/10.15017/4494718>

出版情報 : 九州大学理学部研究報告. 地球惑星科学. 19 (2), pp.173-189, 1996-12-25. Faculty of Sciences, Kyushu University

バージョン :

権利関係 :

1995年奄美大島近海地震余震の喜界島における広帯域強震観測

藤井雄士郎・奥村貴史・竹中博士・鈴木貞臣

Broadband strong-motion observation in Kikai Island
for aftershocks of the 1995 Amamioshima-Kinkai earthquake

Yushiro FUJII, Takashi OKUMURA, Hiroshi TAKENAKA, Sadaomi SUZUKI

Abstract

Two mainshocks of the Amamioshima-Kinkai earthquakes occurred at the southeast from Kikai Island on October 18 (M6.7) and 19 (M6.6), 1995. Those were observed by the two seismometers (STS-2 and VSE11C/12C) which had been installed at temporal station CVC (Chojabaru visitor center) near Kuju volcano, about 560 km north from the epicenters. In order to observe near-field seismic waves of aftershocks we installed the broadband strong-motion seismometer (VSE11C/12C) at temporal station TKG (Takigawa elementary school) in Kikai Island, the nearest land to the aftershock region. We observed 40 events including the largest aftershock of M5.7 on November 1 during observation period from October 21, 1995 to February 18, 1996. The purpose of this paper is to describe the observational conditions, and to report the result of preliminary analysis of the observed seismograms. We transformed the seismograms from the two horizontal components of N30°W and N60°E to the radial and transverse components. We analyzed the Fourier amplitude spectra of SH waves by using FFT. We found that the SH wave of the largest aftershock has the two predominant frequencies of 0.5-0.7 Hz and 1.8-2.5 Hz. Further, we integrated the velocity seismograms to get the displacement waveforms. Using the amplitude ratio of the vertical and radial components for the first pulses, we also evaluated the P-wave incident angles to the observation point. They show that the rays of P waves came up nearly perpendicularly to the surface of the observation point.

I. はじめに

1995年10月18日, 19日に1995年奄美大島近海地震(18日:M6.7, 19日:M6.6)が発生した。九州から南西諸島の東方沖を南西諸島とほぼ平行して走る琉球海溝を境界としてフィリピン海プレートが北西側のユーラシアプレートの下に沈み込んでいるが, 今回の2つの地震はフィリピン海プレート内で発生した西落ちのほぼ垂直な断面を持つ正断層によるものと考えられている(気象庁, 1996)。なお, 18日と19日の2つの地震のマグニチュードに大きな違いがないので, 本文では両方とも本震とみなし, 「2つの本震」と呼ぶことにす

る。

これらの余震を観測するために, 1995年10月21日から震源域に最も近い陸地である喜界島の喜界町立滝川小学校(TKG, 28.314°N 129.972°E 標高118m)に広帯域速度型強震計(VSE11C/12C)を設置し, 観測を開始した。喜界島は奄美大島の東方に位置し周囲が48.6kmほどの小さな島で, TKGはそのほぼ中央に位置する。イベントトリガー方式による地震観測を行い, 1996年2月18日に終了した。回収された記録は合計40個であるが, このうち余震と思われるものは35個であった。この余震の中には, 上記の2つの本震に次ぐ大きさのM5.7をもつ11月1日の最大余震(喜界島で震度4, 名瀬で震度3)が含まれている。

本論文では, 観測状況の詳細と今回の余震波形の特

微について報告する。マグニチュードの大きいものから3つの地震の観測波形（速度記録）とそれを radial, transverse 方向に変換した速度波形、さらにそれを積分して得られた変位波形を示す。また速度波形の P 波の初動振幅を読みとり、地震波の観測点への入射角を求めた。また速度の transverse 成分のフーリエ振幅スペクトルを示す。さらに上下動成分の P 波部分のフーリエスペクトルを計算することによって、P 波の卓越周期とマグニチュードの関係を調べた。

なお2つの本震が発生する以前より、震源域から約560km 北方の大分県九重山長者原ビジターセンター (CVC) に設置していた広帯域速度型地震計 (STS-2) と広帯域速度型強震計 (VSE11C/12C) によって2つの本震と最大余震を観測することができた。まず始めに2つの本震の大きさを比較するため、得られた波形記録を比較する。

II. 2つの本震と最大余震

1995年奄美大島近海地震は、10月18日 (M6.7) と10月19日 (M6.6) の2つの本震からなっている。この2つの本震と11月1日 (M5.7) の最大余震を、大分県九重山系星生山噴火活動を観測するため長者原ビジターセンター (CVC) に設置していた広帯域速度型地震計 (STS-2) と広帯域速度型強震計 (VSE11C/12C) によって記録することができた。図1にこれらの地震と CVC との位置関係、及びそれぞれの地震のメカニズム解を示す。また、これらの地震や喜界島の観測点 TKG で観測された余震の福岡管区気象台による震源リストを表1に示す。

地震計は長者原ビジターセンター内の映写室の一角にある倉庫内の床に設置されていた。STS-2 と VSE11C/12C は、ともにデジタル記録装置 (PDAS100) に接続されており、センサー出力は速度、PDAS100への入力 Low gain ($\pm 20V$)、AD変換は16bit、サンプリングは100Hz、記録にはイベントトリガー方式を用いた。STS-2 については PDAS100 と共に平行に FM データレコーダー (UFR-31400AL, $\pm 4V$ 入力) にも接続されている。2つの地震計の成分とそれぞれの記録計のチャンネルの関係は、STS-2 が ch1-Z (UD), ch2-Y (NS), ch3-X (EW) であり、VSE11C/12C が ch1-Z (UD), ch2-X (NS), ch3-Y (EW) である。UFR-31400AL の ch4 には地震観測用高精度時計装置 (SC-20-12) から30秒毎に出力される時刻信号を入力した。この観測システムの設置状況を Appendix A に示す。

図2は地震計 VSE11C/12C によって観測された2つの本震記録である。これらは PDAS100 によるイベントトリガー方式で観測したため、記録がない時間帯があり、その間は直線で表示した。また P 波の初動は記録されていない。図2を見ると、後続の波は上下動 (UD) 成分と NS 成分で振幅が大きい。これは、図1の震央と観測点 CVC との位置関係より、レイリー波と考えられる。UD 成分中、黒丸をつけた部分の振幅を比較すると、No. I は $0.13 \text{ kine} (= \text{cm/sec})$ 、No. II は 0.15 kine であり、やや後者の方が大きい。福岡管区気象台によるマグニチュード (M) (表1参照) や菊地 (1996) によるモーメントマグニチュード (M_w) では前者の方が大きくなっており、これと調和的ではない。

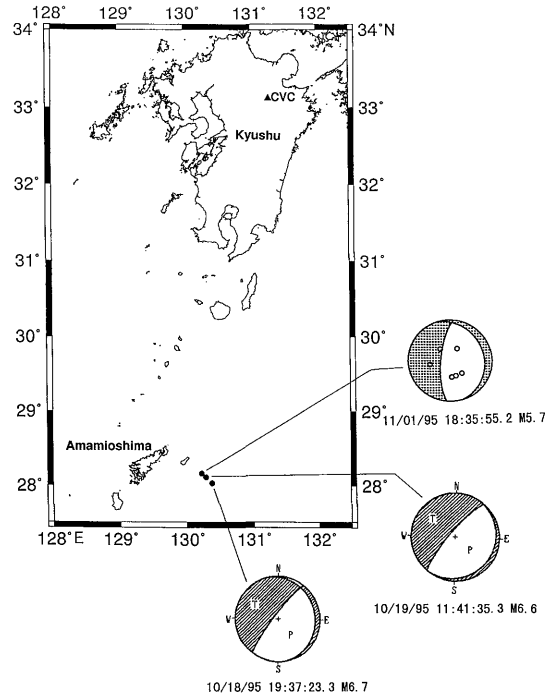


図1 観測点 CVC (長者原ビジターセンター内の倉庫) の位置と、本震、最大余震の震央、本震 (気象庁, 1996) と最大余震 (菊地, 1995) のメカニズム解も示す。

Fig. 1 Location of station CVC (storeroom in the building of Chojabaru visitor center), and the epicenters of mainshocks and the largest aftershock. Focal mechanisms of two mainshocks (Japan Meteorological Agency, 1996) and the largest aftershock (Kikuchi, 1995) are also shown.

表1 本震と観測点 TKG で観測された余震の震源情報 (福岡管区気象台による決定), 1996年1月23日現在

Table 1 List of hypocenter parameters (determined by Fukuoka Meteorological Observatory) for mainshocks and aftershocks observed at station TKG. (as of 23 Jan. '96)

No.	月/日	時:分:秒	緯度	経度	深さ(km)	<i>M</i>	震度#	TKG		CVC
								S-P 時間(sec)	震央距離(km)	震央距離(km)
I	10/18	19:37:32.3	28°01.8'N	130°22.8'E	37.9	6.7	5		50.96	571.87
II	10/19	11:41:35.3	28°06.6'N	130°17.2'E	34.0	6.6	5		38.29	564.70
01	10/23	22:53:33.8	27°48.3'N	130°17.5'E	30.0	4.5		9.53	64.58	
02	10/23	23:08:20.0	27°51.0'N	130°09.0'E	55.6	4.1		8.96	54.32	
03	10/24	00:14:15.1	27°51.1'N	130°11.6'E	57.4	4.2	1	9.21	55.67	
04	10/24	03:06:23.3	27°56.6'N	130°04.4'E	46.1	3.7	1	7.59	42.27	
05	10/24	03:54:24.1	28°10.3'N	130°24.1'E	21.0	3.5	1	6.65	45.03	
06	10/24	14:24:07.3	27°49.7'N	130°12.9'E	59.7	4.9	2	9.50	58.89	
07	10/30	00:35:10.0	27°57.7'N	130°18.1'E	45.3	4.1		7.69	50.74	
08	10/31	10:55:32.8	27°52.4'N	130°10.6'E	58.2	4.2	2	9.06	52.82	
09	11/01	18:35:55.2	28°09.5'N	130°13.5'E	28.7	5.7	4	4.83	30.24	560.54
10	11/04	02:19:42.5	28°06.0'N	130°19.8'E	34.0	4.6	1	6.80	42.41	
11	11/07	06:16:24.1	28°02.6'N	130°13.6'E	50.7	3.7		7.22	39.06	
12	11/07	15:05:06.6	28°02.3'N	130°16.6'E	37.3	4.3		8.66	42.77	
13	11/08	10:18:33.2	27°55.2'N	130°12.9'E	50.5	4.5		7.89	49.77	
14	11/09	05:01:29.7	27°52.1'N	130°25.0'E	45.0	4.5		8.87	65.96	
15	11/09	11:53:20.0	28°13.9'N	130°24.5'E	47.0	3.7		7.43	43.78	
16	11/10	17:31:44.1	28°10.9'N	130°18.4'E	42.5	3.8		6.59	35.97	
17	11/12	08:18:30.3	28°07.6'N	130°21.4'E	24.0	3.5	2	6.25	43.10	
18	11/12	20:11:04.7	28°20.4'N	130°32.6'E	51.1	3.7	1	8.67	56.11	
19	11/14	22:05:39.5	28°15.0'N	130°09.7'E	59.0	3.8	1	6.24	19.92	
20	11/19	03:36:53.3	28°11.4'N	130°19.6'E	41.0	4.2	1	6.68	37.42	
21	11/21	00:26:03.9	27°59.7'N	130°11.5'E	52.2	4.2	2	7.39	41.42	
22	11/23	07:14:03.1	28°11.3'N	129°41.9'E	26.1	3.8	2	5.60	30.25	
23	11/25	09:17:38.1	28°06.4'N	130°27.0'E	37.6	4.0	2	7.07	52.26	
24	11/27	16:45:19.2	28°03.4'N	130°05.2'E	28.0	3.8	2	5.54	30.66	
25	11/30	09:42:28.6	28°18.2'N	130°29.9'E	46.9	4.0	2	8.64	51.65	
26	12/01	21:11:10.2	28°08.9'N	129°41.4'E	18.5	3.9	2	5.98	33.22	
27	12/03	20:14:19.8	28°21.0'N	130°02.1'E	27.0	3.4	2	3.85	7.36	
28	12/09	18:38:33.2	28°13.6'N	130°24.3'E	47.1	4.2	1	7.34	43.58	
29	12/09	18:46:08.8	28°13.3'N	130°26.5'E	47.4	4.7	2	7.26	47.21	
30	12/10	23:53:40.2	27°43.9'N	130°05.9'E	53.4	4.9	2	9.98	65.73	
31	12/11	22:13:03.7	28°02.0'N	130°16.0'E	50.2	4.7	2	7.27	42.49	
32	12/15	20:43:21.5	29°22.3'N	129°11.1'E	19.0	5.3	1	*	140.15	
33	12/17	00:09:45.9	29°20.7'N	129°15.0'E	21.0	5.4	1	*	134.26	
34	12/18	08:52:21.5	29°23.2'N	129°13.6'E	26.0	5.2	1	*	139.38	
35	12/20	20:39:20.9	27°22.7'N	128°20.9'E	52.0	5.0	1	*	190.61	
36	12/22	18:03:47.8	27°58.7'N	130°08.2'E	46.0	4.1	1	6.84	40.57	
37	12/24	18:05:31.9	27°42.7'N	129°45.8'E	62.2	4.1	2	10.89	69.84	
38	01/08	08:07:44.7	29°20.5'N	130°36.9'E	48.0	4.9		*	130.07	
39	01/20	11:09:23.2	28°15.3'N	129°59.6'E	19.1	3.4	2	3.05	6.87	
40	01/23	23:59:30.9	28°15.6'N	129°59.3'E	18.0	3.1	2	3.01	6.20	

: 喜界島での震度

* : P波の初動が記録されていなかったもの。

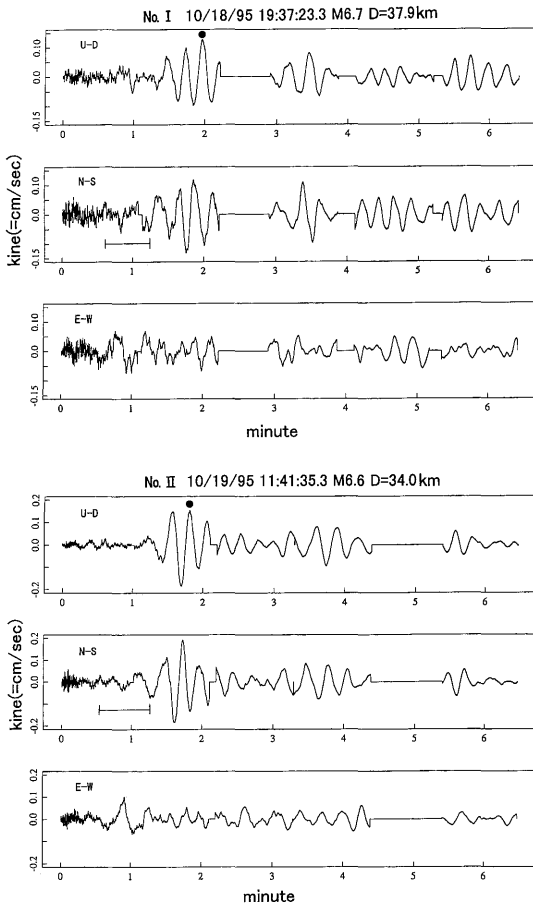


図2 観測点 CVC の地震計 VSE11C/12C で記録された 2 つの本震の速度記録

Fig. 2 Velocity seismograms of the two mainshocks recorded by seismometer VSE11C/12C at station CVC.

地震計 STS-2 によって観測された 2 つの本震 (表 1 の No. I, No. II) と最大余震 (No. 9) の記録を図 3 に示した。STS-2 と UFR-31400AL を組み合わせた装置による記録であり, ch3-X (EW) は記録がない。この記録は, 高周波ノイズが大きいため地震波の信号からノイズを取り除く作業を行った。まず P 波部分とノイズ部分それぞれ 20 秒間のフーリエスペクトルを計算し, ほとんどがノイズと思われる周波数帯を見つけだした。次に周波数帯域をカットするため, ローパスフィルターに通した。例えば No. I の本震の記録は 9Hz 以上の波をカットしている。No. I の UD 成分を見ると, 2 分 20 秒あたりから矩形波をえがき始め,

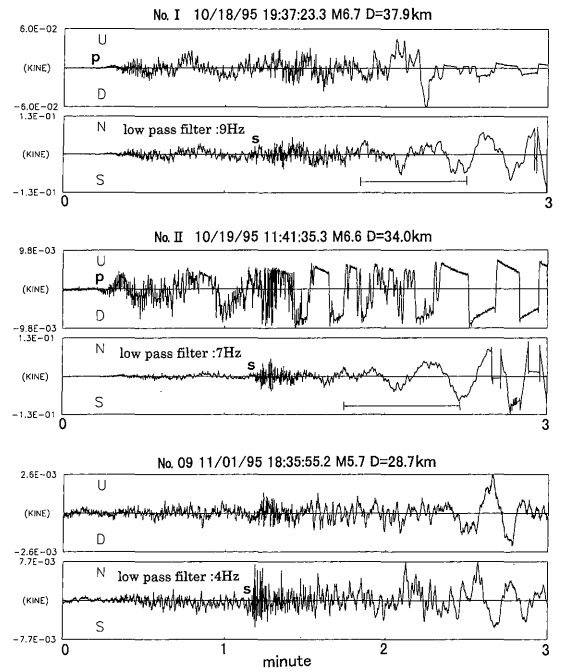


図3 観測点 CVC の地震計 STS-2 で記録された 2 つの本震と最大余震の速度記録

Fig. 3 Velocity seismograms of the two mainshocks and the largest aftershock recorded by the seismometer STS-2 at station CVC.

No. II の記録では, 50 秒あたりから波形がおかしくなっている。NS 成分については, No. I と No. II の 2 つの本震とも, 2 分 50 秒前後で波形がおかしくなっている。原因は明らかではないが, UFR-31400AL にパラレルでつないでいた PDAS100 でも同じような記録が見られることから, STS-2 の問題と考えられる。3 つの地震の震央距離は約 560km 程度であるので (表 1 参照), S-P 時間から推定して, 図 3 で “S” と示したところが S 波の初動と考えられる。NS 成分中の S 波初動部は, 図 1 の観測点と震央の位置関係よりほぼ SV 波に相当すると考えられるが, 後続の波と比べるとかなり短周期成分が卓越している。

図 2 と図 3 の記録の NS 成分には, 両図に対応する時間帯の範囲がバー印で示されている。ただし図 2 では最大余震の記録がないので, その対応はない。この対応によると, 地震計の種類が異なっても同じ振動について, ほぼ同じ記録が得られており, 少なくとも水平動 (NS) 成分については, 観測の信頼性が高いことを示している。

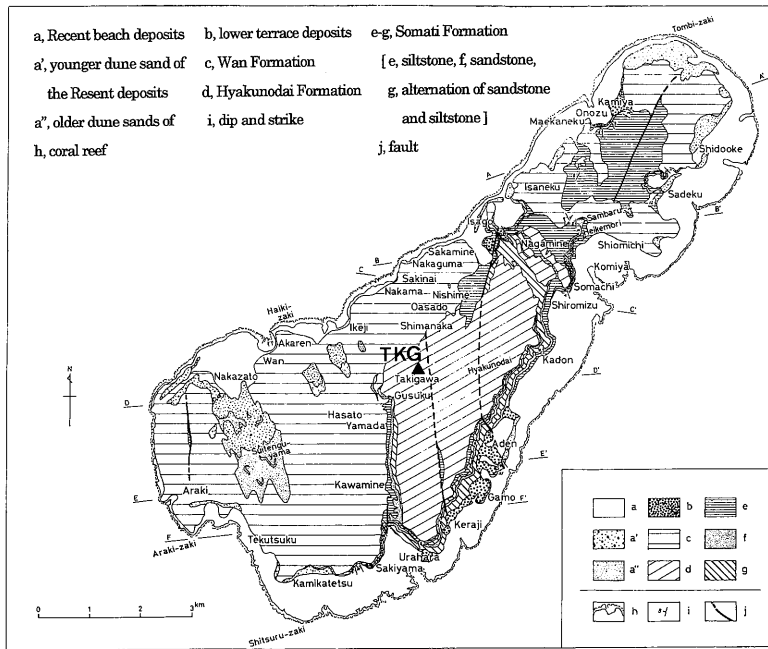


図4 喜界島の地質図(中川, 1969)と観測点(TKG)の位置

Fig. 4 Geological map (Nakagawa, 1969) of Kikai Island and location of station TKG.

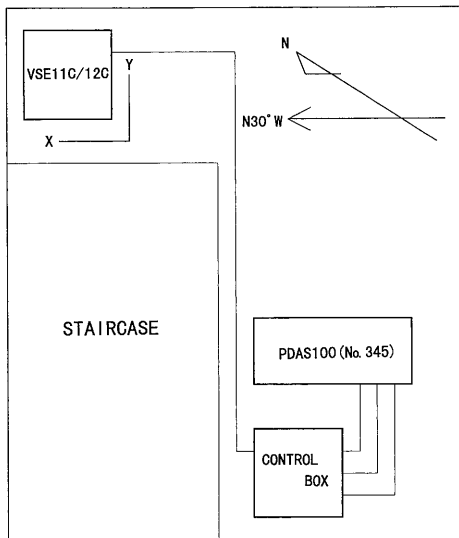


図5 観測点 TKG (滝川小学校校舎内の倉庫)の観測機器の配置

Fig. 5 Configuration of the observation systems for station TKG (storeroom in the school building of Takigawa elementary school).

III. 喜界島での余震観測

1995年10月21日に喜界島に到着し、その日のうちに喜界町立滝川小学校校舎内倉庫の観測点 TKG で観測を開始した。滝川小学校は喜界島のほぼ中央に位置し、東へ1kmほど進むと島の最高位224mを含む百ノ台と呼ばれる平坦な場所があり、台地の北部から北西部にかけて緩傾斜している。

喜界島の地質を概観すると(中川, 1966)次のとおりである。先新第三系は露出していない。基盤を構成するのは早町層と呼ばれる灰色がかったシルト岩・砂岩の互層である。図4で見られるように、観測点 TKG 付近の地層は百ノ台層と呼ばれ、百ノ台一帯に分布し、段丘地形を呈している。また、その基盤までの層厚は50mである。珊瑚を多量に含む石灰岩より成り平型塊状の珊瑚のみより成る部分もある。珊瑚塊の間を充填するものは大部分が有孔虫殻であるが、石灰藻も多い。下底部には早町層に由来する非石灰岩質の砂・礫、または石灰岩塊をまじえた砂礫岩相を呈するところが多く、上部には珊瑚塊を大量に含む部分が多い。その地表面は風化土が厚く、成帯している。

地震計は図5のように倉庫の一番奥のコンクリート

床に設置し、コントロールボックスとデジタル記録 (PDAS100) は出入口付近に設置した。観測要素は、以下のとおりである。

TKG (鹿児島県大島郡喜界町滝川：滝川小学校校舎内の倉庫)

位置

28°18'52"N 129°58'18"E 標高118m
(国土地理院 1:25,000より読み取り)

地震計

VSE11C/12C (広帯域速度型強震計, 感度: 0.6 kine/V, 観測帯域: 0.025Hz-70Hz)

デジタル記録装置

PDAS100 (No. 345, 入力: ±20Vmax, Gain: 1)
地震計の方位は倉庫の壁に合わせたために記録の成分は ch1-X (N30°W), ch2-Y (N60°E), ch3-Z (UD) である。

センサー出力は速度, PDAS100は Low gain (±20 V) 入力, AD 変換は16bit, サンプリングは100Hz (11/4の記録だけ200Hz) を用い, 記録計のメモリーが2 Mbytes ほどしかないため, 観測方法は有感地震をねらったイベントトリガー方式で行った。観測期間は1995年10月21日から1996年2月8日までである。その間, 2週間ないし1ヶ月毎に定期的にデータ回収を行ったが, 記録計のメモリーが不足することもなく, 観測終了までの期間のほとんどの有感地震を記録することができた。時刻校正はデータ回収を行った際の, 1995年11月3日14:41, 1996年1月19日14:48に NTT の時報を用いて行った。

IV. 喜界島での観測結果

1995年11月1日の最大余震 (No.9, 喜界島で震度4) を含む地震記録が40個得られた。そのうち奄美大島近海地震の余震と思われる記録は35個である。2つの本震と観測された余震の震源情報 (福岡管区気象台による) を表1に, それらの震央分布を図6に示す。これより以下の地震のNo.は, 表1のNo.に対応させている。図7には, 地震回数の日別ヒストグラム (福岡管区気象台による) と観測期間を示してある。また表1の震源情報から, 得られた記録のS-P時間と観測点TKGまでの震源距離の関係を図8に示す。これらのデータから最小2乗法により大森係数を求めると, $K=8.5\text{km/sec}$ となった。

観測された余震の記録のうち, マグニチュードの大きい順に3個を取り上げ, それらの速度記録と, radial, transverse 方向に変換した速度波形, さらにそ

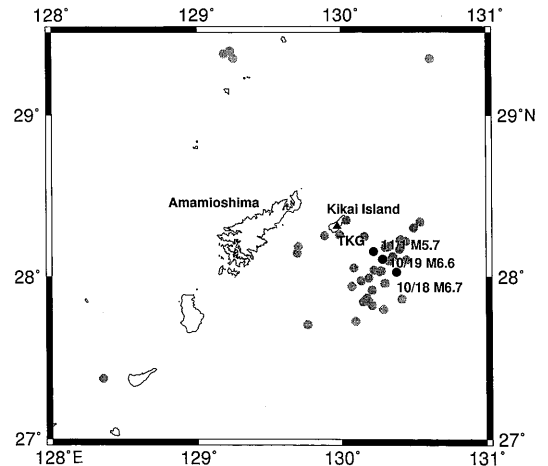


図6 観測点TKGの位置と本震, および観測された余震の震央分布

Fig. 6 Locations of station TKG, and the epicenters of mainshocks and observed aftershocks.

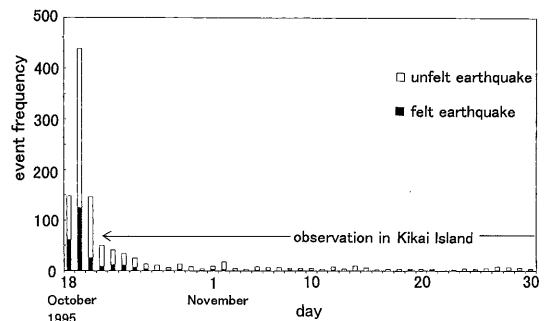


図7 地震回数の日別ヒストグラム (平成7年10月18日19時37分~11月30日24時, 福岡管区気象台)

Fig. 7 Histogram of event frequency (from 10/18/95 19:37 to 11/30 24:00, Fukuoka Meteorological Observatory).

れを積分して得られた変位波形を図9~図11に示す。また速度波形の transverse 成分のフーリエスペクトルを図13~図15に示す。いずれも喜界島の南東沖で起こった余震 (No.06 10月24日14:24:07.3 M4.9 D=59.7Km) (No.09 11月1日18:35:53.7 M4.9 D=28.7Km) (No.30 12月10日23:53:40.2 M4.9 D=54.3Km) である。

4. 1) 速度波形とP波の入射角

SH波とSV波の区別を明瞭にするため, 水平動2成分の速度記録を, 震央から観測点をみた方向

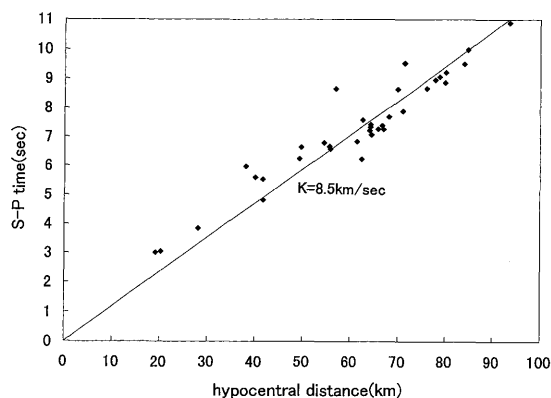
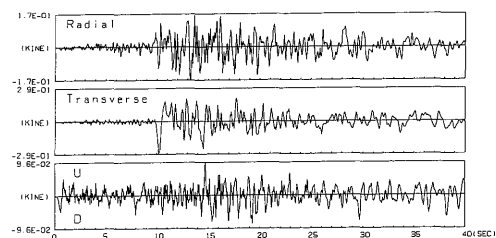
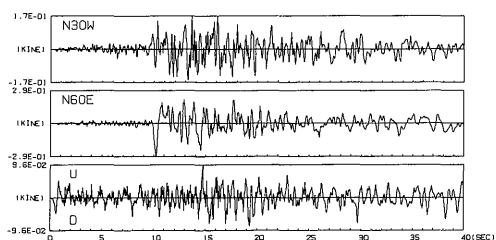


図8 S-P時間と観測点TKGから震源までの距離。図中の直線は、最小2乗法によって求めた大森公式を示している。

Fig. 8 S-P time and the distance between the hypocenter and station TKG. A line shows Omori's formula fitted by the method of least squares.



No. 06 10/24/95 14:24:07.3 M4.9 D=59.7km

(radial), それに垂直な方向 (transverse) の成分に変換した。ここで transverse 方向は、震央から観測点方向に向いて右手を正にとった。図9～図11のそれぞれの図には波形とともに、観測点と震央の位置を示す地図をのせている。図では40秒間の長さしか示していないが、得られた記録を見ると、どの波形も完全に減衰してしまうまで60秒以上かかっている。

図9～図11において、上下動 (UD) 成分のP波と transverse 成分のS波の立ち上がりが非常に明瞭である。UD成分におけるP波の初動を見てみると、No. 6 (図9) と No. 9 (図10) の余震はdownであるのに対して No. 30 (図11) の余震はupであり、極性が異なっている。また、transverse 成分 (主にSH波) の極性も同じではない。

図12には、速度波形の radial 成分と UD 成分の振幅比より求めたP波の入射角を示す。振幅の読みとりはUD成分の最初の1パルスでの最大値を読み、radial 方向もそれにあわせて読みとった。地表面を自由表面

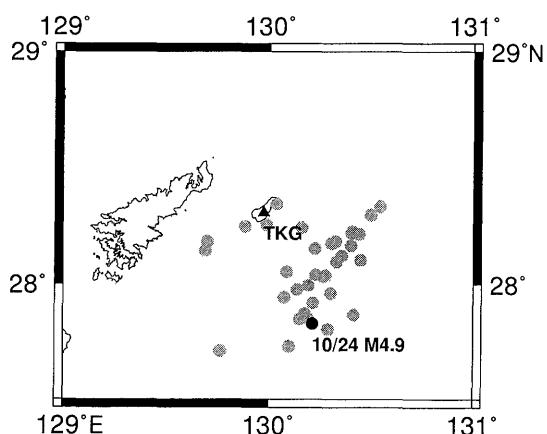
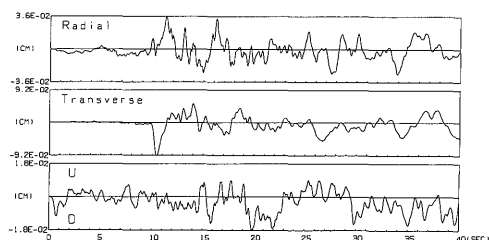


図9 観測された余震 (No. 6) の速度記録 (左上) と radial-transverse 方向の速度波形 (左下), 変位波形 (右上)。右下に震央の位置を示す。

Fig. 9 Velocity seismogram (left top), radial-transverse velocity waveform (left bottom) and displacement waveform (right top) of aftershock No. 6. The epicenter is shown in the right bottom.

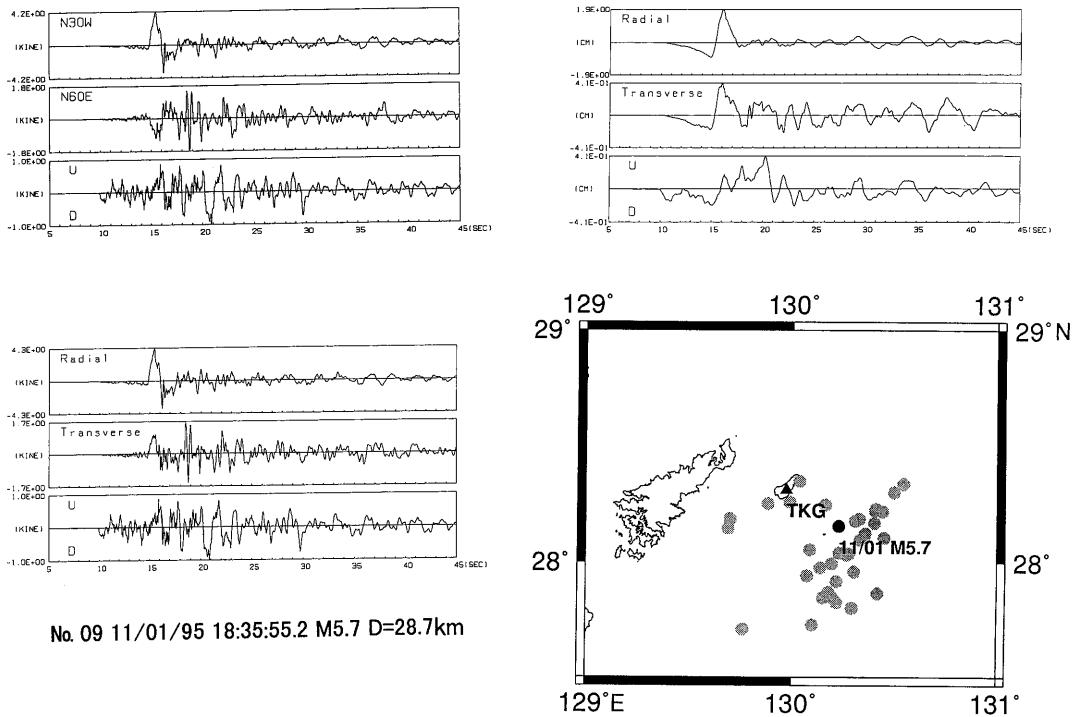


図10 観測された最大余震 (No. 9) の速度記録 (左上) と radial-transverse 方向の速度波形 (左下), 変位波形 (右上). 右下に震央の位置を示す.

Fig. 10 Velocity seismogram (left top), radial-transverse velocity waveform (left bottom) and displacement waveform (right top) of the largest aftershock No. 9. The epicenter is shown in the right bottom.

と仮定したとき, radial 成分, UD 成分の振幅 U_{rad} , U_{ud} と P 波, S 波の速度 V_P , V_S の間には以下の関係がある (例えば (宇津, 1984)).

$$\frac{U_{rad}}{U_{ud}} = \tan 2\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right), \frac{V_P}{V_S} = \frac{\cos \theta}{\cos \varphi}$$

ここで, θ は入射 P 波の波線と地表面のなす角度, φ は反射 SV 波の波線と地表面のなす角度である. また V_P/V_S は, 鹿児島大学理学部が震源決定に用いている 1.76 を使った. 上式を使って, まず U_{rad}/U_{ud} より φ を求め, 次に θ を求めた.

図12の原点は観測点 TKG の位置である. 原点から出ている放射状の線は P 波の入射角を示している. これによると P 波が震源から観測点 TKG へまっすぐには到達せず, ほとんど真下から地表面へ入射していることが分かる. このことは波線が屈折しながら進行して来たことを示し, 喜界島と余震域周辺の地下において, 深くなるにつれてその P 波速度が増していくような構造が推定できる.

4. 2) 変位波形

図 9～図11には変位波形も示されている. これらの変位波形は radial, transverse 方向に変換した速度波形を積分することによって得られた. 積分には, 以下の式を用いた.

$$U(t) = U(t - \Delta t) + V(t - \Delta t) \times \Delta t$$

ここで, $U(t)$ は離散化された時刻 t における変位 (cm), $V(t)$ は時刻 t における速度 (kine = cm/sec), Δt はサンプリング周期 (sec) で, $U(0) = 0$ とした. この積分を行う際, 速度記録に存在するオフセット電圧を除くため, 離散化された時刻 t における速度 $V(t)$ の平均を各時刻 t における $V(t)$ から引いた後に積分した.

図 9～図11を見て分かるように, 変位波形には速度波形では見られないような長周期の波が現れている. 例えば図 9 の radial 成分のように, S 波の立ち上がりのところから比較的長周期の波がみられ, それに短周期の波が重なっているのが分かる. No. 9 (図10) の P 波部分の水平動 2 成分は 1 方向のみにゆっくりと変位

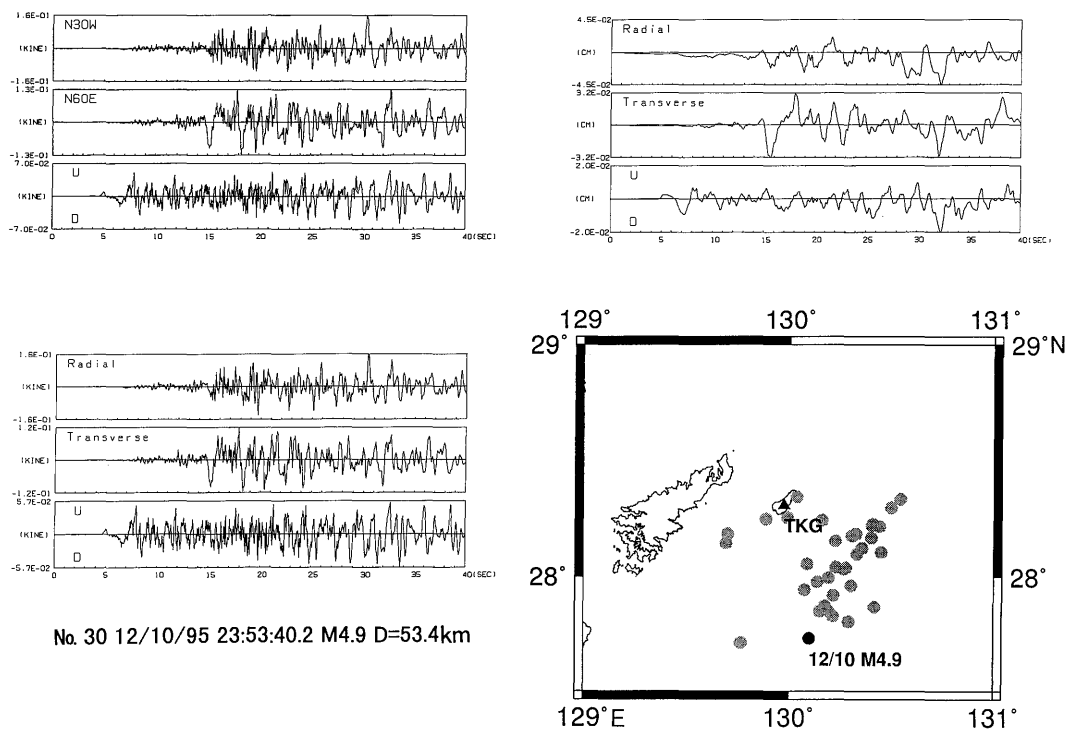


図11 観測された余震 (No. 30) の速度記録 (左上) と radial-transverse 方向の速度波形 (左下), 変位波形 (右上). 右下に震央の位置を示す.

Fig. 11 Velocity seismogram (left top), radial-transverse velocity waveform (left bottom) and displacement waveform (right top) of the aftershock No. 30. The epicenter is shown in the right bottom.

しているが、これは震源が観測点に近い場合現れる near-field term と考えられる。

4. 3) S波のフーリエスペクトル

それぞれの速度記録のSH波の特性を調べるため、transverse成分のS波到達後5秒間を取り出して計算したフーリエ振幅スペクトルを図13~図15に示す。ここでフーリエ振幅スペクトルの計算には大崎(1984)の高速フーリエ変換(FFT)を用いた。FFTは、あるタイムウィンドウをとったとき、データの個数を2の累乗にしなければならないため、後続のゼロを付けた。またタイムウィンドウの両端それぞれに、0.5秒間ずつコサインテイパーをかけた後にFFTを施し、フーリエ振幅を求めた。

No. 06 (図13)の余震は0.8~1.3Hzの間にピークが見られ、No. 30 (図15)の余震は0.5~0.6Hzの間にピークが見られる。それに対してNo. 9 (図14)の最大余震は0.5~0.7Hzの間と1.8~2.5Hzの間に2つのピークを示し、他の2つの地震に比べて、より長周期の

波を含み、かつ短周期の波も含んでいる。短周期の波が卓越している理由として、震源距離が近かったため短周期の波が減衰されにくかったことが一因として考えられる。各フーリエスペクトルにおいて、15Hzあたりから急激にスペクトル振幅が小さくなっているが、15Hz以上の成分はほとんどノイズによるものだと考えられる。

図16にP波の卓越周期とマグニチュードの関係を示す。P波の卓越周期については、UD成分のP波部分5秒間についてFFTを用い、フーリエ振幅スペクトルを計算をして、最も卓越している周波数を求めた。図中の直線は寺島(1968)によって求められている実験式 $\log T = 0.30M - 1.40$ である。ここで T はP波の卓越周期、 M はマグニチュードである。マグニチュードが大きくなれば卓越周期は長くなるという傾向は見られるが、上記の実験式と必ずしも一致しているとはいえない。むしろ同じマグニチュードであっても、卓越周期がかなり違っていることを示している。

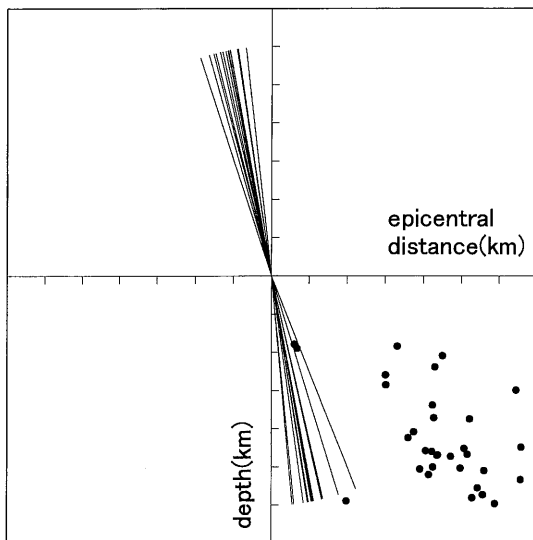


図12 P波の入射角と観測された余震の震源位置
 Fig.12 Incident angles of P waves and locations of observed aftershock hypocenters.

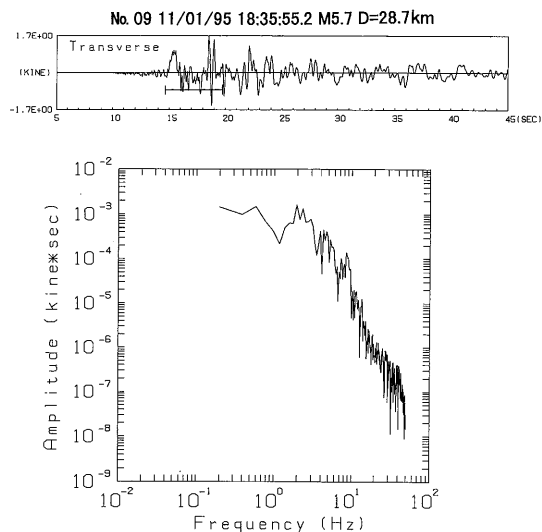


図14 No. 9の最大余震のS波到達後5秒間(波形中の下線部)のフーリエスペクトル
 Fig.14 Fourier spectrum of the SH-wave part for aftershock No.9. The used time window is shown by an under-line.

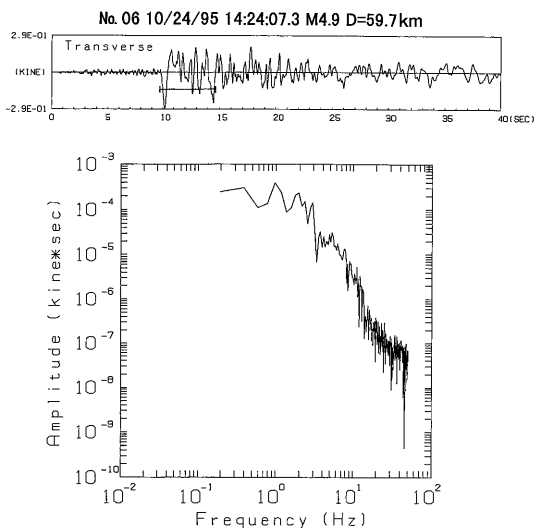


図13 No. 6の余震のS波到達後5秒間(波形中の下線部)のフーリエスペクトル
 Fig.13 Fourier spectrum of the SH-wave part for aftershock No.6. The used time window is shown by an under-line.

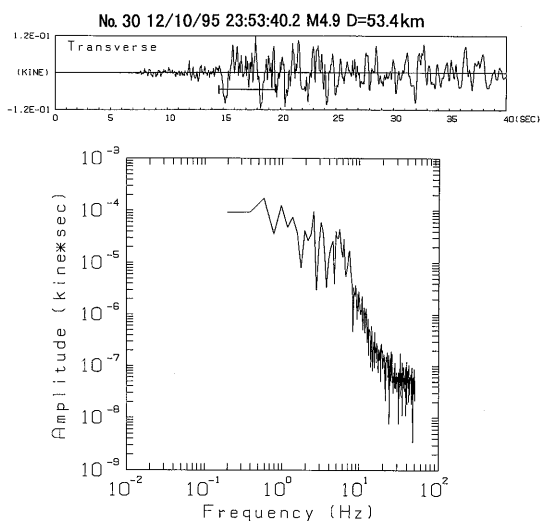


図15 No. 30の余震のS波到達後5秒間(波形中の下線部)のフーリエスペクトル
 Fig.15 Fourier spectrum of the SH-wave part for aftershock No.30. The used time window is shown by an under-line.

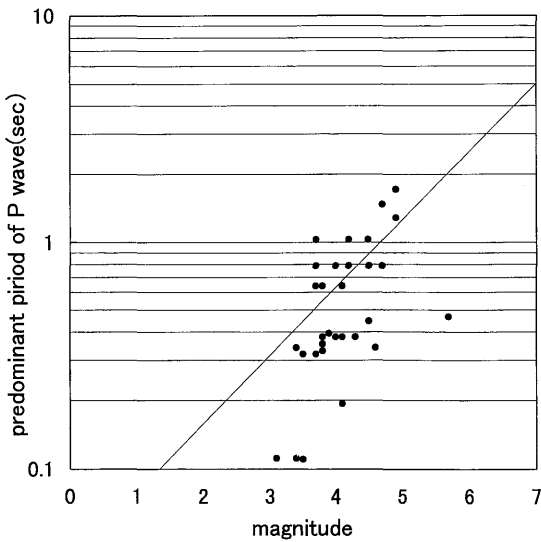


図16 P波の卓越周期とマグニチュード. 図中の直線は実験式(寺島, 1968)を示す.

Fig. 16 Predominant periods of P waves and magnitudes. A line shows empirical relation between a predominant period of P wave and magnitude (Terashima, 1968).

V. おわりに

今回の観測で得られた記録はいずれもP波, S波の立ち上がりが明瞭なものばかりで, その継続時間は60秒をこえるものがほとんどであった。これらの記録の中には, 比較的長周期の波を含む記録が数多く見られた。波形になぜそのような長周期の波が現れたのか興味ある問題であるが, 観測点が1つであるため深く考察することはできなかった。本論文の目的はあくまで観測内容の詳細な記載であり, 記録に関しては基本的な解析のみを行った。今後, 他の機関により観測された記録も併用し, 今回の余震について, 震源過程の特性などを詳しく調べる予定である。

謝 辞

地震発生後, 間もない時期にもかかわらず地震計設置場所を紹介してくださいました喜界島総務課の嶺田一成氏をはじめ職員の皆様方に感謝いたします。喜界町立滝川小学校の福永國一郎校長先生をはじめ, 諸先生方には大変お世話になりました。また, 九州大学理学部付属島原地震火山観測所の清水洋氏には, 地震計をはじめその他の観測機器に関して便宜を計っていた

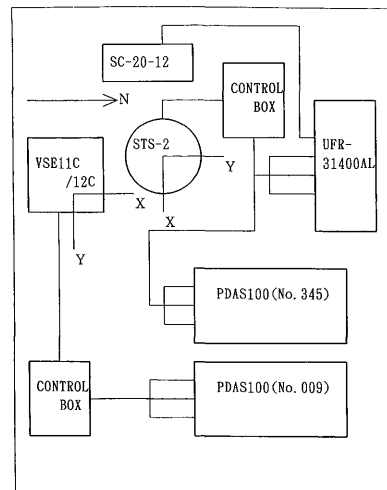
いただきました。震源情報を提供して下さった福岡管区気象台の方々, 並びに鹿児島大学理学部の後藤和彦氏, 宮町宏樹氏, 清水力氏に感謝いたします。福岡教育大学の三浪俊夫氏には, 本論文を書くにあたり有益な助言をいただきました。

参考文献

菊地正幸 (1995) : 11月1日喜界島近海の地震の遠地実体波解析. YCU地震学レポート No. 48.
 菊地正幸 (1996) : 1995年喜界島近海地震群の震源パラメータ. 地球惑星関連学会1996年合同大会予稿集, 304.
 気象庁地震火山部地震津波監視課 (1996) : 地震・津波防災季報 No. 36. 44-47.
 中川久夫 (1969) : 奄美群島 徳之島・沖永良部島・与論島・喜界島の地質 (2). 東北大学理学部地質学古生物学教室研究邦文報告第68号別冊, 1-7.
 大崎順彦 (1984) : 地震動のスペクトル解析入門. 鹿島出版会, 260p.
 ストレックイゼン社 : STS-2型ポータブル広帯域地震計取扱説明書. 35p.
 寺島敦 (1968) : Bull. IISSE, 5, 31.
 東京測振 (1995) : サーボ型地震計 (VSE11C/12C) 取扱説明書, 13p.
 宇津徳治 (1984) : 地震学第二版. 共立出版株式会社, 310 p.

Appendix A

観測点CVCにおける観測要素は以下のとおりである。また観測機器の配置を図Aに示す。



図A 観測点CVCの観測機器の配置

Fig. A Configuration of the observation system for station CVC.

CVC (大分県玖珠郡九重町長者原：長者原ビジターセンター内の倉庫)

位置

33°06'56"N 131°C13'51"E 標高1035m

(国土地理院1:25,000より読み取り)

1. 地震計

STS-2 (広帯域速度型地震計, 感度: 15.0V/kine, 観測帯域, 0.0083Hz-50Hz)

記録装置

UFR-31400AL (FM データレコーダー, 入力: ±1Vmax, Gain: 1)

PDAS100 (No. 345, デジタル記録計, 入力: ±20Vmax, Gain: 1)

2. 地震計

VSE11C/12C (広帯域速度型地震計, 感度: 0.6 kine/V, 観測帯域, 0.025Hz-70Hz)

記録装置

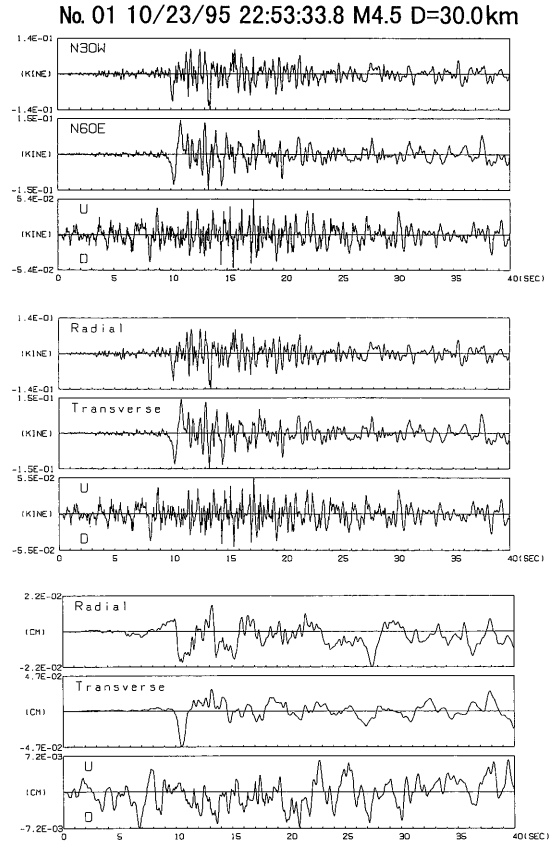
PDAS100 (No. 009, デジタル記録計, 入力: ±20Vmax, Gain: 1)

Appendix B

観測された余震で本文中で取り上げなかったマグニチュードの大きい方から8つの余震の速度記録と radial-transverse 方向の速度波形, 変位波形を図 B1 から図 B8 に示す。

Appendix C

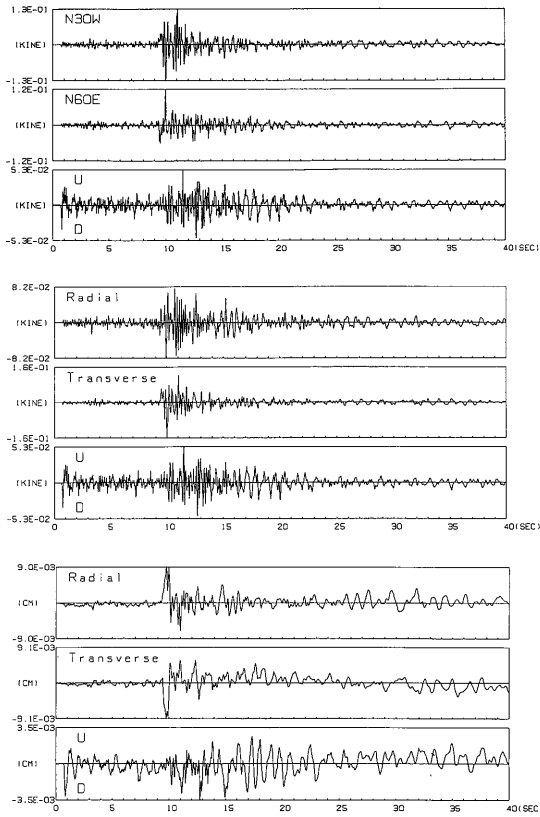
この論文の中では取り上げなかったが, 鹿児島大学理学部によって決定された余震の震源情報を表 C に示す。震源決定の際には, 観測点 TKG で得られた余震の S-P 時間が使われている。また, P 波と S 波の速度比は $V_P/V_S=1.76$ で計算されている。



図B1 速度記録(上)と radial-transverse 方向の速度波形(中), 変位波形(下)

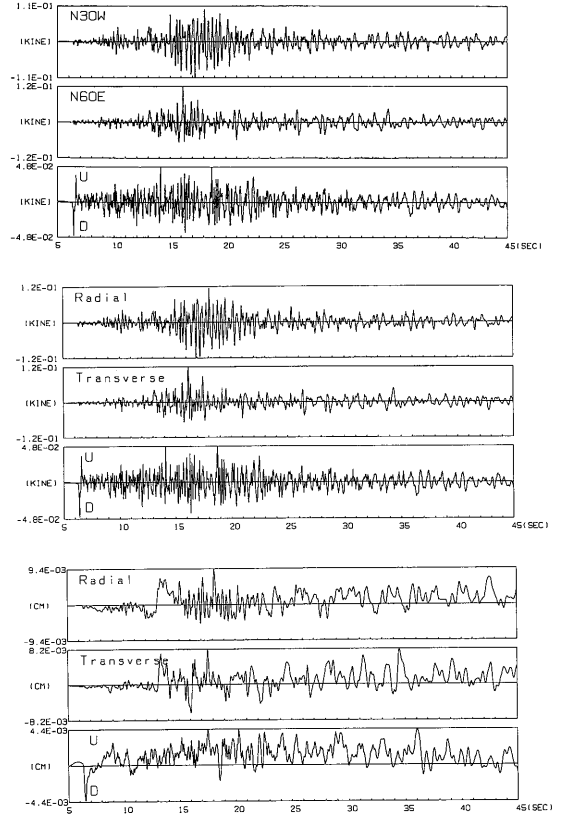
Fig. B1 Velocity seismograms (top), radial-transverse velocity waveforms (middle) and displacement waveforms (bottom).

No. 08 10/31/95 10:55:32.8 M4.2 D=58.2km

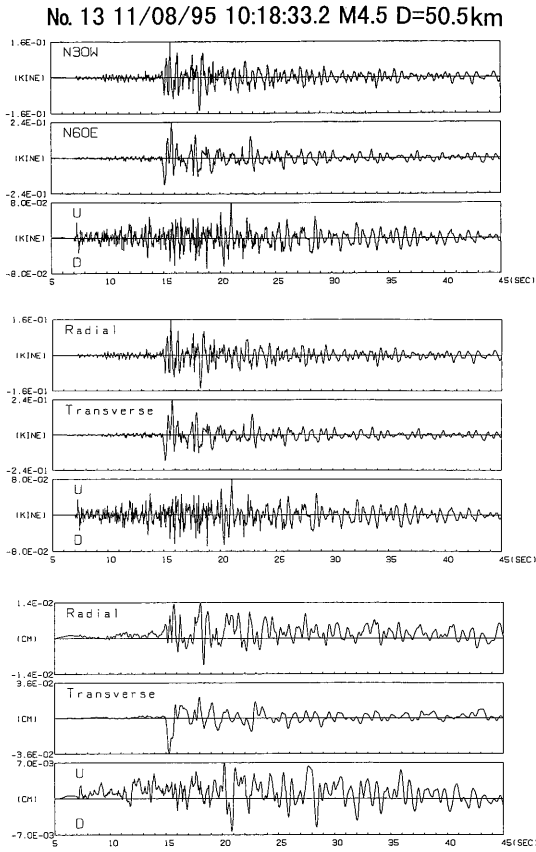


図B2 図B1と同様
Fig. B2 Same as Fig. B1

No. 12 11/07/95 15:05:06.6 M4.3 D=37.3km

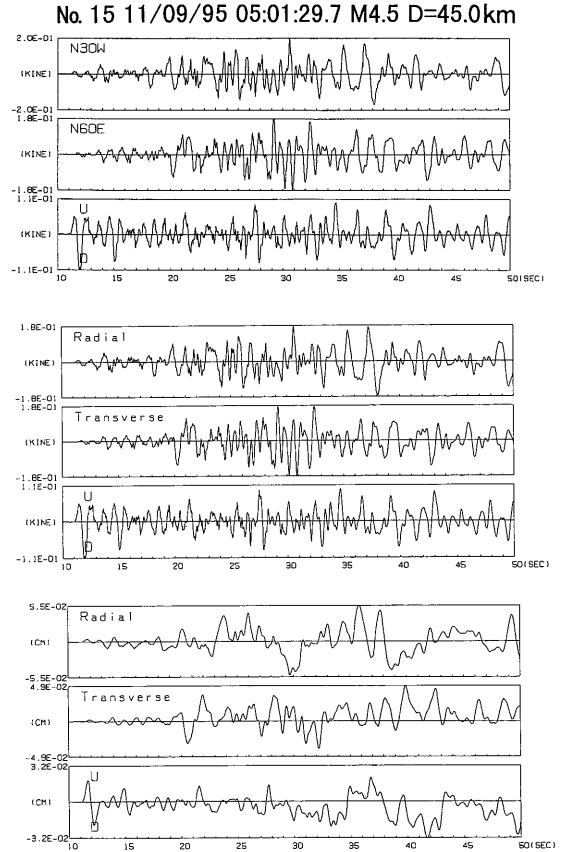


図B3 図B1と同様
Fig. B3 Same as Fig. B1



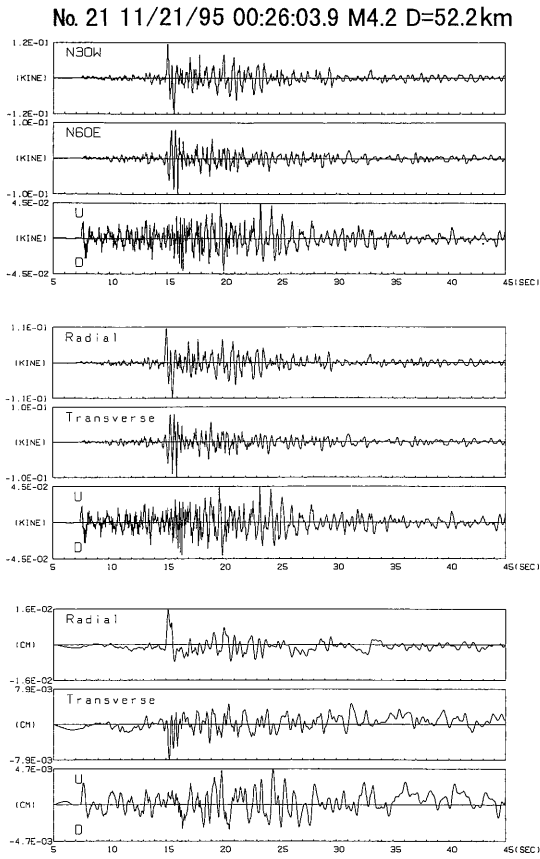
図B4 図B1と同様

Fig. B4 Same as Fig. B1

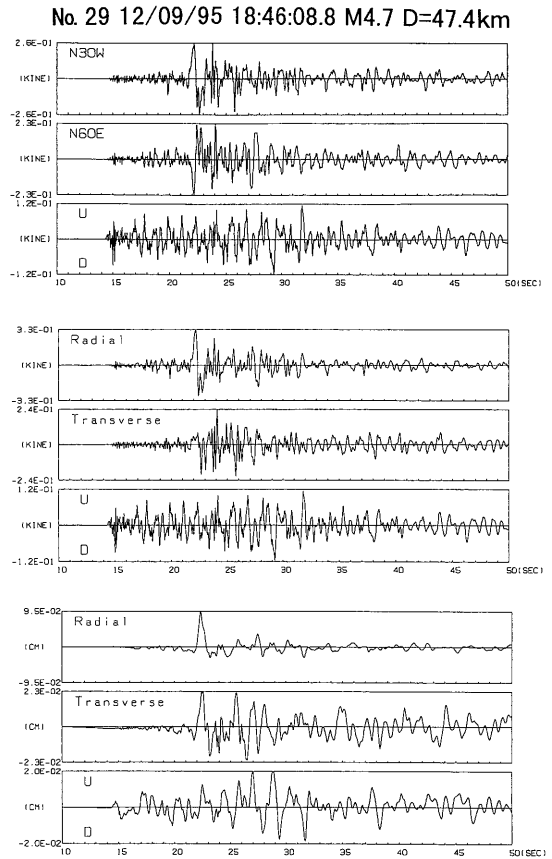


図B5 図B1と同様

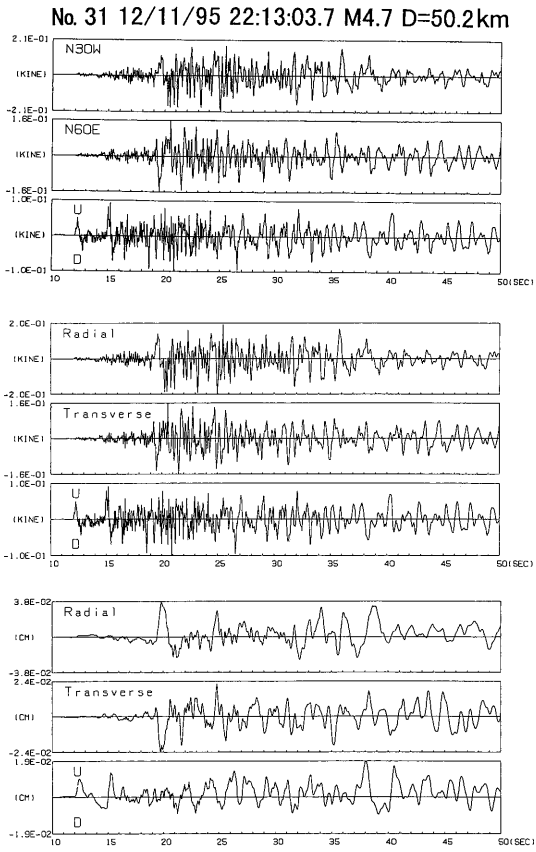
Fig. B5 Same as Fig. B1



図B6 図B1と同様
Fig. B6 Same as Fig. B1



図B7 図B1と同様
Fig. B7 Same as Fig. B1



図B8 図B1と同様

Fig. B8 Same as Fig. B1

表C 観測点 TKG で観測された余震の震源情報 (鹿児島大学理学部による決定), 1996年8月27日現在

Table C List of hypocenter parameters (determined by Kagoshima University, Faculty of Science) for the observed aftershocks at station TKG. (as of 27 Aug. '96)

No.	月/日	時:分:秒	緯度	経度	深さ(km)	M	震度#	S-P時間(sec)	震央距離:TKG(km)
07	10/30	00:35:11.051	27.897°N	130.250°E	30.114			7.69	53.69
08	10/31	10:55:34.261	27.804°N	130.106°E	33.386	4.3	2	9.06	58.04
09	11/01	18:35:56.423	28.154°N	130.156°E	22.273	5.2	4	4.83	25.31
10	11/04	02:19:43.401	28.075°N	130.289°E	25.976	3.4	1	6.80	40.88
11	11/07	06:16:24.599	27.919°N	130.214°E	33.573	3.7		7.22	49.82
12	11/07	15:05:07.444	27.980°N	130.199°E	31.766	4.1		8.66	43.22
14	11/09	05:01:31.418	27.838°N	130.243°E	19.163	4.5		8.87	59.60
15	11/09	11:53:20.018	28.313°N	130.425°E	47.833	3.6		7.43	44.44
16	11/10	17:31:45.267	28.167°N	130.246°E	37.521	3.6		6.59	31.45
17	11/12	08:18:30.979	28.167°N	130.335°E	22.777	3.4	2	6.25	39.18
18	11/12	20:11:04.321	28.412°N	130.618°E	39.087	4.0	1	8.67	64.27
19	11/14	22:05:40.541	27.991°N	130.187°E	27.265	2.8	1	6.24	41.57
20	11/19	03:36:53.759	28.168°N	130.306°E	39.551	3.5	1	6.68	36.56
21	11/21	00:26:04.944	27.897°N	130.145°E	27.984	4.0	2	7.39	49.25
22	11/23	07:14:03.246	28.189°N	129.682°E	24.792	3.1	2	5.60	31.65
23	11/25	09:17:40.246	28.124°N	130.290°E	40.710	3.6	2	7.07	37.66
24	11/27	16:45:20.542	28.093°N	130.008°E	24.473	3.9	2	5.54	24.75
25	11/30	09:42:28.576	28.396°N	130.559°E	33.658	4.0	2	8.64	58.27
26	12/01	21:11:10.251	28.180°N	129.648°E	21.855	3.4	2	5.98	31.93
27	12/03	20:14:19.317	28.408°N	130.088°E	25.221	3.1	2	3.85	15.42
28	12/09	18:38:33.109	28.208°N	130.424°E	49.567	4.0	1	7.34	45.89
29	12/09	18:46:10.264	28.224°N	130.356°E	43.749	4.9	2	7.26	38.98
30	12/10	23:53:40.713	27.706°N	130.002°E	08.509	5.1	2	9.98	67.45
31	12/11	22:13:04.922	27.952°N	130.210°E	32.247	4.6	2	7.27	46.44
36	12/22	18:03:49.179	27.925°N	130.065°E	27.446	4.4	1	6.84	44.07
37	12/24	18:05:31.508	27.618°N	129.819°E	14.227	4.9	2	10.89	78.59

#: 喜界島での震度

追 記

脱稿後, 10月19日9時32分に M6.2の地震があったことに気付いた。従って, 本文中の「最大余震」は「本観測中の最大地震」に訂正する。