

日向灘における大地震の活動

著者	"長宗 留男"
雑誌名	鹿児島大学理学部紀要. 地学・生物学
巻	21
ページ	1-21
別言語のタイトル	"Activity of Large Earthquakes in Hyuga-nada, Kyushu, Japan"
URL	http://hdl.handle.net/10232/5972

日向灘における大地震の活動

著者	長宗 留男
雑誌名	鹿児島大学理学部紀要. 地学・生物学
巻	21
ページ	1-21
別言語のタイトル	Activity of Large Earthquakes in Hyuga-nada, Kyushu, Japan
URL	http://hdl.handle.net/10232/00003927

日向灘における大地震の活動

長宗留男*

(1988年9月9日受理)

Activity of Large Earthquakes in Hyuga-nada, Kyushu, Japan

Tomeo NAGAMUNE

Abstract

Large earthquakes of magnitude 7.0 or over, which caused great damage rarely in Kyushu or southwestern Shikoku and were accompanied by moderate tsunami, have often taken place off the coast of Miyazaki Prefecture (Hyuga-nada region), Kyushu, Japan. Eleven destructive earthquakes occurring in the region up to the end of 1987 are collected from various catalogues and the characteristic features of the earthquakes are investigated minutely for prevention measures against potential earthquake disasters.

For the earthquakes in and after 1931, source regions are determined from aftershock areas, from which seismic moments are estimated. Moreover, the relation between distributions of seismic intensities and rupture directions, distributions of tsunami heights, etc., are examined.

The results are summarized as follows :

1. The magnitudes derived from seismic moments are, in most cases, somewhat larger than those determined by the JMA from maximum amplitudes of the waves with relatively short periods (less than about 5 seconds).
2. Most source regions spread out to the west of the epicenter of mainshock. This will be consistent with the tectonics of the Hyuga-nada region to indicate that the Philippine Sea lithosphere thrusts toward the northwest under the east coast of Kyushu.
3. The distribution of seismic intensities in relatively short epicentral distances depends closely on the form of the source region, namely, the direction of rupture propagation.
4. Seismic intensities in western Kyushu attenuate rapidly according to the increment of epicentral distances. On the contrary, the isoseismals are anomalously elongated in the northeast direction.
5. All the earthquakes of magnitude 7.0 or over are accompanied by tsunamis, whose maximum heights are usually not in excess of about 3 meters.

1. はじめに

宮崎県沿岸から四国足摺岬南方沖にかけての海域(ここでは便宜上, この海域を一括して「日

* 鹿児島大学理学部地学教室 Institute of Earth Sciences, Faculty of Science, Kagoshima University, Kagoshima, 890 Japan.

向灘」と呼んでおく)では、 M (マグニチュード)8クラスの巨大地震の記録こそないが、 $M7$ クラスの大地震はしばしば発生しており、時に広範囲に大きな被害を生じることがある。また、 $M7.0$ 以上の地震ではほとんどの場合津波を伴っている。宇津(1982)、宇佐美(1987)、宇津・他(1987)、気象庁地震月報などから、この海域で起った $M7.0$ 以上の地震及び $M7.0$ 以下でも被害等級[宇津(1982)の定義による]が2以上の地震を拾い出してみるとTable 1のようになる。(被害は付表にまとめてある。)

機械観測が行われるようになって以来の約100年間には、Table 1で分かるように $M7.0$ 以上の地震が7つ起っている。特に最近の約50年間には、およそ10年ないし20年おきに $M7$ クラスの地震が発生している。これに対し、それ以前には1662年の地震が1つだけ記録されている。[1769年8月29日の地震($M:7\frac{1}{4}\sim7\frac{3}{4}$)の震源も日向灘としたものもある。ただし、宇佐美(1987)によると、大分県東部・宮崎県北東部(延岡地方)及び宮崎地方で震度VIと推定されており、これらの地域で被害も大きくなっている。羽鳥(1985)の調査でも、震度VIの地域は豊後水道に面した大分県南部の沿岸地域となっている。これらのことから、この地震は豊後水道の地震と考えた方がよいと思われるのでTable 1には含めていない。]

Table 1. Earthquake data in Hyuga-nada. Earthquakes of $M \geq 7.0$ or of grade of damage ≥ 2 are listed.

No	Date, Time h m	Epicenter				Depth km	M^*	D^{**}	m^{***}	Reference (magnitudes from various sources)****								
		°	N	°	E					S	B	D	G	T	W			
1	1662 10 31	31.7		132.0			$7\frac{1}{2}\sim\frac{3}{4}$	(4)	$\frac{2}{(2)}$									
2	1887 4 29, 10 55	32		132		shallow	(7.1)											
3	1899 11 25, 3 43	31.9		132.0		"	7.1	2	$\frac{-1}{(0)}$	7.7		7.8						
4	1931 11 2, 19 03	32.2		132.1		20	7.1	3	$\frac{-1}{(-1)}$		7.3	7.5	7.5	7.3				
5	1941 11 19, 1 46	32	01.0	132	05.0	0	7.2	3	$\frac{1}{(0.5)}$	7.8	7.5	7.9	7.8	7.6				
6	1961 2 27, 3 10	31	36.0	131	51.0	40	7.0	3	$\frac{0}{(0)}$	7.6	7.3	7.2		7.5				
7	1968 4 1, 9 42	32	17.0	132	32.0	30	7.5	3	$\frac{1}{(1)}$	7.6	7.3	8.0		7.7	7.4			
8	1984 8 7, 4 06	32	22.8	132	09.3	33	7.1	(2)	$\frac{-1}{(-1)}$									
	1939 3 20, 12 22	32.3		131.7		10	6.5	2	-1					6.7				
	1970 7 26, 7 41	32	04	132	02	10	6.7	2	-1			7.4		7.1	7.0			
	1987 3 18, 12 36	31	58	132	04	44	6.6	(2)	-1									

* Magnitude from USAMI (1987) or JMA.

** Grade of damage from UTSU (1982).

*** Tsunami magnitude. The values are taken from USAMI (1987) and HATORI (1985) (in parentheses)

**** From UTSU (1982). Roman letters indicate the data sources defined by UTSU (1982).

宇佐美(1987)によると、1662年の地震では現在の宮崎県中・南部沿岸地域で震度VIと推定され、この地域で大きな被害があった。また、宮崎県南部沿岸地域ではかなり大規模な地殻変動があったと記録されている。恐らくこれは、今まで日向灘で起った地震の中では最大のものであろう。

1887年までは上記の1662年の地震以外、日向灘に起った $M7.0$ 以上の地震は記録されていない

が、やや規模の大きい地震でも、ある程度以上の被害を伴ったものでないと記録として残らないと考えられるので、これ以外にM7クラスの地震はなかったとは言えないかも知れない。なおTable 1のNo.2の地震(1887年)は、宇津・他(1987)では九州内陸部の稍深発地震の可能性もある、となっている。

要するに、歴史時代の活動についての詳しいことは分からないが、比較的最近(最近の50~60年)の地震については、地震観測の結果から震源、余震等も求められている。ここでは、主としてこれらの地震の震央の位置、余震域(震源域)と震度分布との関係などについて検討し、日向灘に発生する大地震の特徴、地震の起り方と被害状況との関係等について調べる。

過去の例からみて、この地域には今後もM7クラスの被害地震が比較的短い時間間隔で起るものと考えられる。今までの地震をまとめておくことは、将来の地震活動の監視・防災対策上からも重要なことである。

2. 震源域、震度分布等

○1931年11月2日の地震 ($M=7.1$)

この頃の地震の震源は気象庁によって求められているが、今まで震源の再・再々決定が行われており、結果として、気象要覧、地震月報別刷1(気象庁、1958)及び地震月報別刷第6号(気象庁、1982)による3つの値がある。この地震(発震時19時03分)では次の3つである。

E1: 32°.4N, 132°.1E	気象要覧
E2: 32°.2N, 132°.1E, h=20km, $M=6.6$	気象庁(1958)
E3: 32°15'N, 132°38'E, h=40km, $M=7.1$	気象庁(1982)

E2及びE3は、いずれも以前の震源について再検討された結果である。ただし使用されているデータはすべて同じで、気象要覧に掲載されているものである。当時のデータは、地震計の性能、時計の精度等を考慮すると、現在のものと同等には取り扱えない。震源決定にあたってデータの取捨選択をどうするかによって、結果にかなりの差が生じることがあり得る。

Fig.1に上記の3つの震央を示してある。E2はE1よりやや南寄りに求められており、E3はE1またはE2より約0°.5東に決められている。0°.5の差はかなり大きいと言わざるを得ない。そこで震源についてもう一度吟味しておく。ただし、ここでは新たに震源を求めることはしないで、上記の3つの震源について比較検討するにとどめる。

Fig.2は、それぞれの震源に基づいて計算した、P及びSの観測値の理論値からの残差の分布である。ただし、理論走時は市川・望月(1971)の走時表により、震源の深さはいずれの場合も40kmとしてある。また、九州地方の観測点(下関を含む。以下同じ)は黒丸で示してある。図によると、E3の震源ではPの場合でもSの場合でも、他の震源に比べてばらつきが極めて大きく、しかも、震央より西にある九州の観測点では系統的に残差が負になっており、震央が大きく東に偏り過ぎていることを示している。

E1とE2ではあまり大きな差はないが、標準偏差はE2の方がはるかに小さく、3つの震源の中ではE2がもっともよいことが分かる。また、宮崎(MYZ)を除く他の観測点における残差は比較的小さく、かなり精度の良い観測が行われていることを示している。(震央距離的200km以上になると、S波の残差がおおよそ+(10~20)秒と大きな値になっているが、このことは、一般に九州地方で起った浅い地震を震央距離が約200kmより遠い本州の観測点で観測する場合、Sの理論値よりかなり遅く現われる相がSとして読み取られる例が極めて多い、ことを示しているものと思われる。)

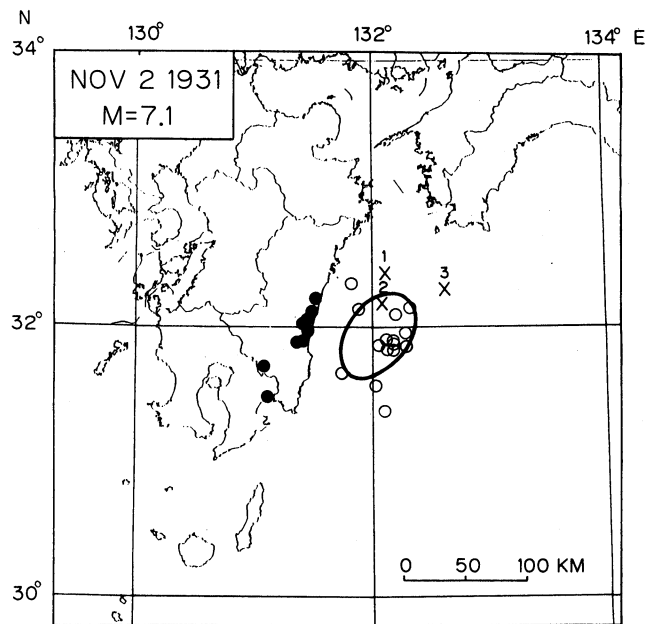


Fig.1 Epicenters of mainshock and aftershocks (open circles), and distribution of cities, towns or villages, where the houses were damaged (closed circles), for the Hyuga-nada earthquake of November 2, 1931 ($M=7.1$). The Arabic numerals 1, 2 and 3 indicate the locations of the epicenter of mainshock from three different sources; "Kisho-yoran", the Seismological Bulletin of JMA, Supplementary Volume No.1 and Supplementary Volume No.6. The solid ellipse is the source region estimated from the distribution of aftershocks.

以上の結果, Table 1ではこの地震の震源として, E2の値を採用してある。ただし M の値は気象庁(1982)による。

Fig.1には11月末日までの余震の震央(白丸)及びこの地震により家屋に被害(全潰, 半潰あるいは破損)があった市町村(黒丸)を示してある。余震はかなりばらついているが, 大きく離れているものを除き図の太線で囲んだ範囲を余震域(震源域)とする。これから求めた震源域の大きさ(長径, 短径及び面積)*は, Table 2に示したとおりである。

また, Fig.3に震度分布を示してある。(震度あるいは被害に関する資料は気象要覧による。)

Fig.1によると, この地震では震源域が震源から南西-南々西方向に広がっており, 破壊が南西-南々西に伝播したことを示唆している。被害の大きかったのは宮崎県の南半分から鹿児島県の中部-東部地域である。家屋の被害は, Fig.1のように震源域の西-南西方向で発生しており, 震度分布も震源域の西-南西方向の広い地域で最大(震度V)になっている。これらのことは震源過程及び震源域の形と極めて調和的である。なお, HATORI(1969)は, 津波の観測データから津波の波源域を求めている。その位置はFig.1の余震域よりやや北寄りになっているが, その大きさはFig.1の震源域よりやや小さく, およそ長径40km, 短径25kmの楕円形である。

気象庁地震月報別刷第6号によると, この地震の前1日間には $M6.0$ (3時53分)及び $M4.7$ (17時32分)の地震が震源域内で起っている。それ以前は9月22日まで日向灘で発生した地震のデータはないので, 恐らくこれらの地震は前震と考えてよいであろう。

* 余震域(震源域)の大きさは, Table 2にまとめて掲げてある。

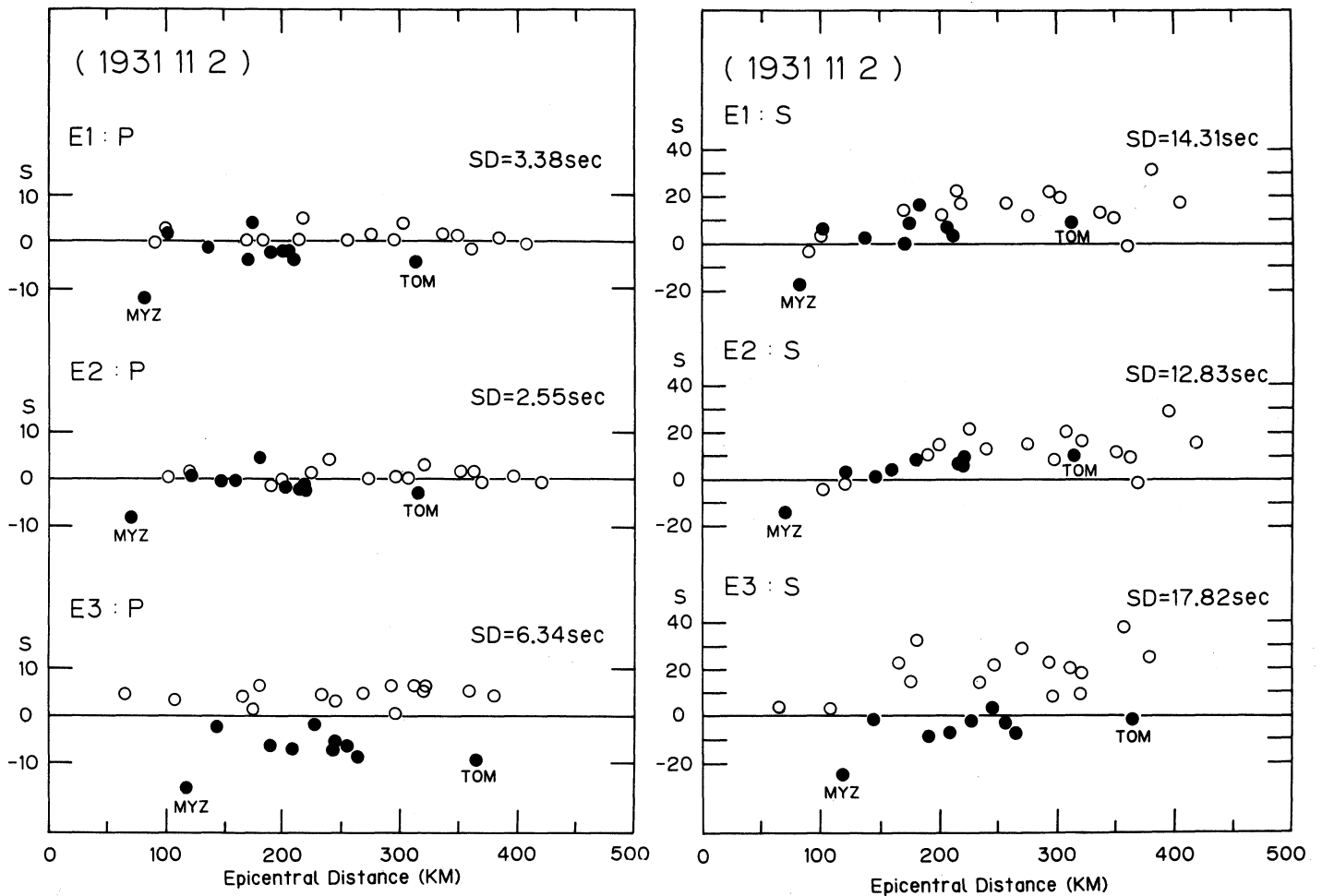


Fig.2 Distribution of residuals of arrival times of *P* and *S* from theoretical ones, as a function of epicentral distance, for three different solutions of epicenter E1, E2 and E3. Solid circles indicate the data at stations in Kyushu (including Shimonoseki). The theoretical times are taken from the travel time tables by ICHIKAWA and MOCHIZUKI (1971), for a depth of 40 km. It is obvious that standard deviations of both *P* and *S* are minimum for the solution E2.

○1941年11月19日の地震 ($M=7.2$)

この地震についても上の地震と同様次の3つの震源が報告されている。

- E1 : 32°3N, 132°4E 気象要覧
 E2 : 32°6N, 132°1E, h=20km, $M=7.4$ 気象庁 (1958)
 E3 : 32°01'0N, 132°05'0E, h=0km, $M=7.2$ 気象庁 (1982)

前のように、それぞれの震央に対する *P* 及び *S* の観測値の理論値からの残差の分布を Fig.4 に示してある。また Fig.5 には、震度分布 (ただし比較的震度の大きい地域のみ) とともに上記の3つの震央、11月末日までの余震の震央分布及びこれから推定した震源域を示してある。

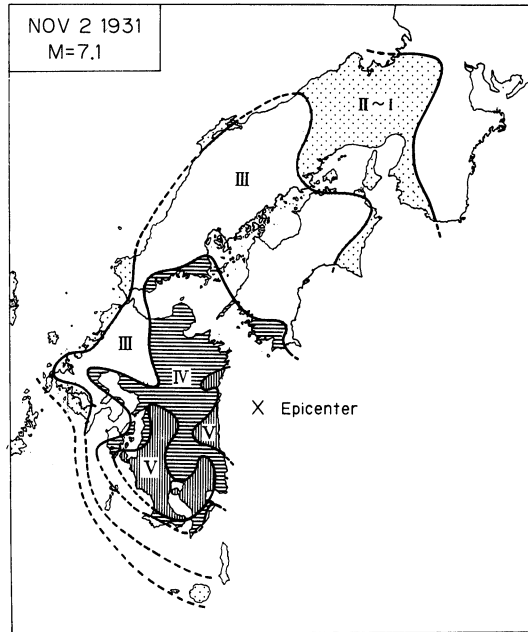


Fig.3 Isoseismals for the earthquake of November 2, 1931.

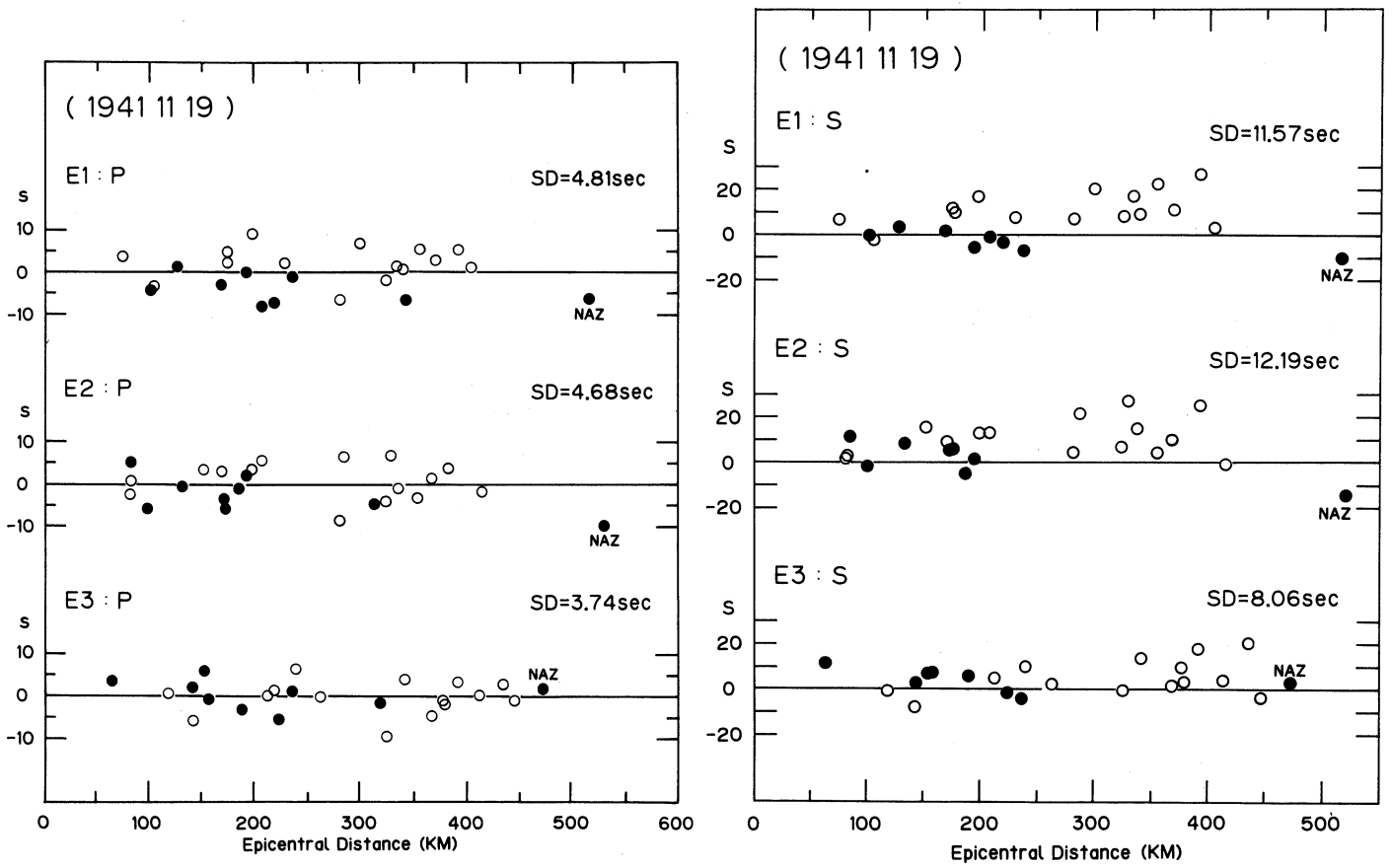


Fig.4 The same figure as Fig.2, but for the earthquake of November 19, 1941 ($M=7.2$). In this case, standard deviations are minimum for E3.

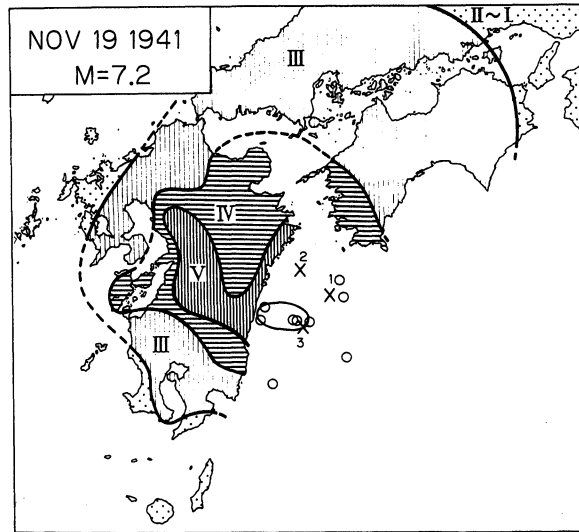


Fig.5 Isoseismals, locations of epicenter of mainshock from three sources (1, 2 and 3), aftershocks (open circles) and source region, for the earthquake of November 19, 1941.

Fig.4によると、これら3つの震源のうちではPについてもSについてもE3の場合がもっとも標準偏差が小さくなっており、しかも黒丸と白丸との間に系統的な差はない。E1, E2では名瀬 (NAZ) の値は負の側に大きくずれており震央が北に片寄りすぎていることを示唆しているが、E3はこの観測値も満足している。この地震ではE3が最も妥当であろう。

余震はFig.5のようにかなりばらついてはいるが、比較的密に分布している太線で囲んだ範囲を震源域とした。

この地震では宮崎、大分、愛媛、熊本の各県で被害があったが、特に熊本県人吉では異常に震動が強く、付表に示したように大きな被害があった。人吉は震源からかなり離れているが、方位的にはおおむね楕円形の震源域の延長上に位置している。

Fig.5から、この地震では破壊は震源からほぼ西向きに進行したと考えられるが、このことは震源域の西にある人吉で被害が大きかったこと、全般的に震源域の西側で震度が大きくなっていること、と極めてよく調和している。

この地震の約5日前 (11月14日) この地域で7この地震 (M の最大5.5) が起っている。それ以前には7月20日ごろまで約4か月間地震は報告されていないので、これらは前震と考えられる。

○1961年2月27日の地震 ($M=7.0$)

この頃になると地震観測や震源決定の精度は向上し、1961年以降の地震については特別の場合を除いて震源の再決定等を行われていないので、気象庁地震月報の値をそのまま使用する。Fig.6は震度分布及び3月末日までの余震の分布であるが、線で囲んだ範囲を余震域 (震源域) とした。その大きさは、Table 2のとおりである。HATORI (1969) による津波の波源域は、この震源域よりやや大きく南北方向に約90kmの長径をもつ楕円形で与えられている。

この地震では震源域に近い宮崎県中部・南部・南西部及び鹿児島県東部でやや大きな被害があった。震源域はほぼ南北方向に伸びており、破壊は震源からほぼ北～北々西方向に広がったと考えられる。破壊が進行したと思われる方位で被害または震度が特に大きくなっているとい

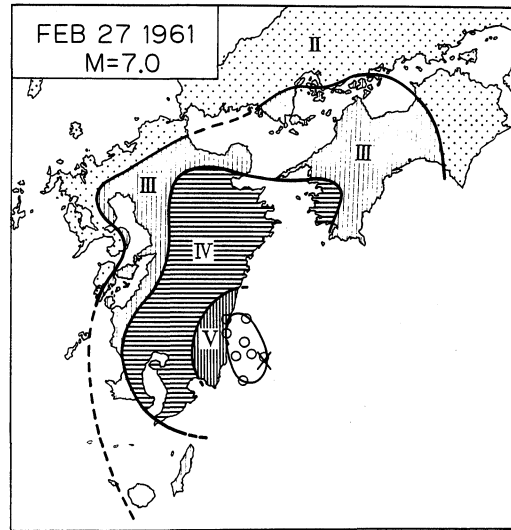


Fig.6 Isoseismals, epicenters of mainshock and aftershocks, and source region, for the earthquake of February 27, 1961 ($M=7.0$).

う傾向はみられないが、比較的震源に近い九州～四国西部の等震度線は震源域の走向にほぼ平行に、ほぼ南北に走っている。

○1968年4月1日の地震 ($M=7.5$)

(1968年日向灘地震)

この地震はTable 1の地震のうち、最近の約100年間ではもっとも規模の大きいものである。被害が高知県西部で大きかったことから分かる(付表参照)ように、震源は今まで述べた地震の中ではもっとも東寄りであった。

この地震については梶浦・他(1968)によって津波の波源域(長径約60km, 短径約30km, 面積約 $1.4 \times 10^3 \text{ km}^2$)が求められている。地震月報による余震の震央はばらつきが大きいので、上記波源域を震源域とする。これによると、この地震では破壊がほぼ東西両方向(bilateral)に広がったと考えられる。

Fig.7に震度分布、本震の震央及び波源域を示してある。

○1984年8月7日の地震 ($M=7.1$)

この地震については高橋・他(1987)が詳しく調査している。それによると、余震はおおよそ北々東-南々西方向に長軸をもつ、面積約 $3 \times 10^2 \text{ km}^2$ の楕円の範囲に密集して起っている。これを余震域とするとその大きさは、一般の地震の場合の本震の M と余震域の面積との関係と比べ異常に小さい。ただし、これは羽鳥(1987)によって求められた津波の波源域とほぼ一致している。ここでは、余震の分布が幾分まばらな周辺部まで含め、上記よりやや広い範囲を余震域(震源域)とした。それでも一般の地震の場合に比べ、 M のわりには小さな値である。

このようにこの地震では、余震域(震源域)が一般の地震の場合に比べ異常に小さくなっているが、高橋・他(1987)はこのことについて、地震そのものの大きさ(例えば地震モーメント)はそれほど大きくなかったが、 M を決めるために使用されている比較的周期の短い(数秒

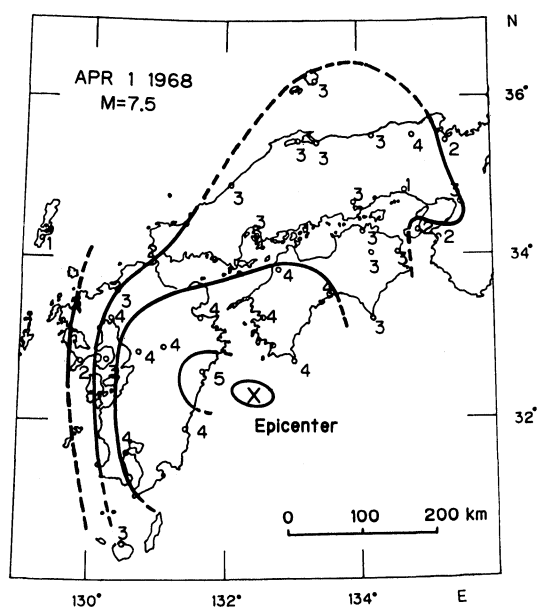


Fig.7 Distribution of seismic intensities, epicenter of mainshock, and tsunami source, for the earthquake of April 1, 1968 ($M=7.5$).

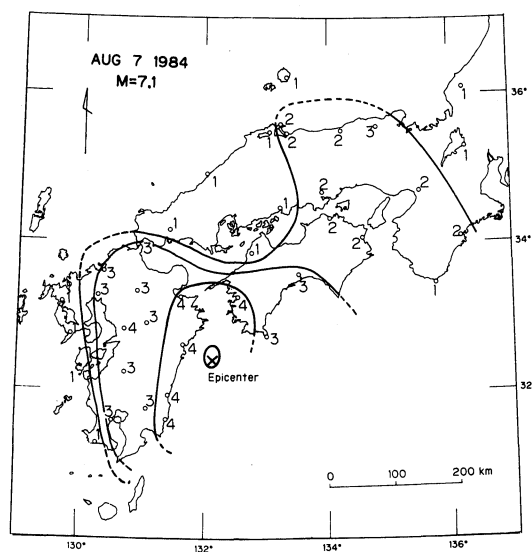


Fig.8 Distribution of seismic intensities, epicenter of mainshock, and source region, for the earthquake of August 7, 1984 ($M=7.1$).

以下の地震波が卓越したためであろう、と述べている。

Fig.8に震度分布及び震源域を示してある。

○1939年3月20日の地震 ($M=6.5$)

この地震でも前述の場合と同様に3つの震源が報告されている。すなわち、

E1 : 32°4N, 131°8E 気象要覧
 E2 : 32°3N, 131°7E, h=10km 気象庁 (1958)
 E3 : 32°17'N, 131°58'E, h=20km 気象庁 (1982)

これらの地点はいずれも宮崎県北部沿岸沖の日向灘で、相互に10kmないし20数km離れているが、南北方向にはあまり差がない。E2とE3ではほぼ東西に20数kmの距離がある。この地震についてもM7以上の場合と同様に3つの震央を比較してみる。

Fig.9はそれぞれの震源に対するPの観測値の理論値からの残差の分布である。理論走時は前と同様深さ40kmのものである。これによると、標準偏差はE2の場合がもっとも少なく、E3でもっとも大きくなっている。しかもE3の場合は、九州のデータ（黒丸）とそれ以外のデータ（白丸）との間に系統的な差があり、黒丸はマイナス側、白丸はプラス側に分布している、すなわち、震央が相対的に東に寄り過ぎていることが分かる。

E1とE2ではあまり大きな差はないが、標準偏差はE2の方が小さく、この地震ではE2がもっともよいと言える。Table 1ではE2の震源を採用してある。

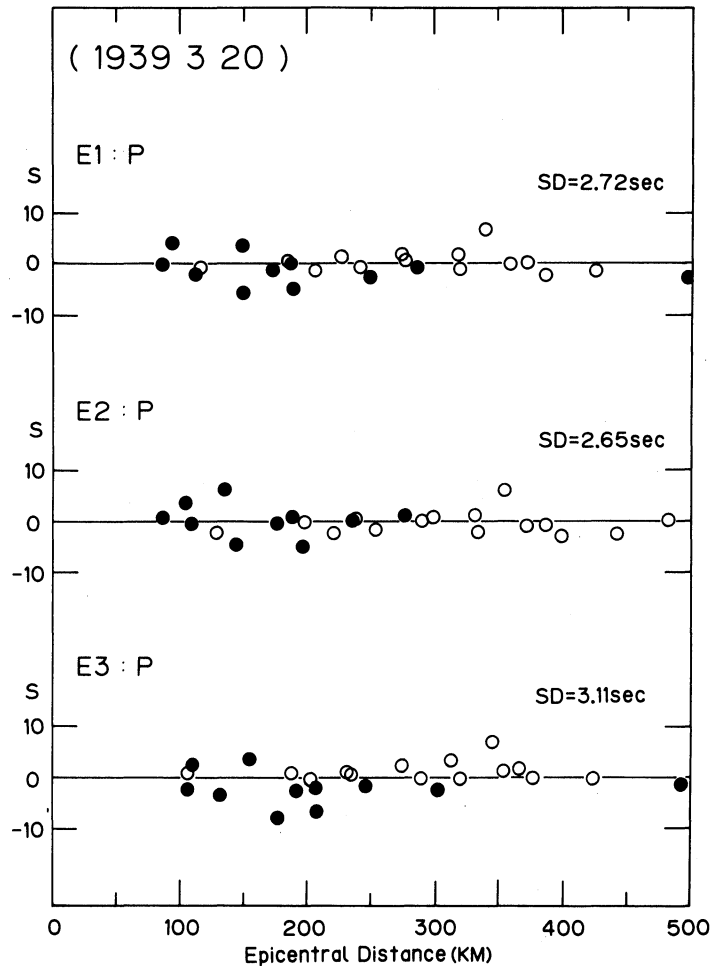


Fig.9 The same figure as Fig.2, but for P times of earthquake of March 20, 1939 ($M=6.5$).

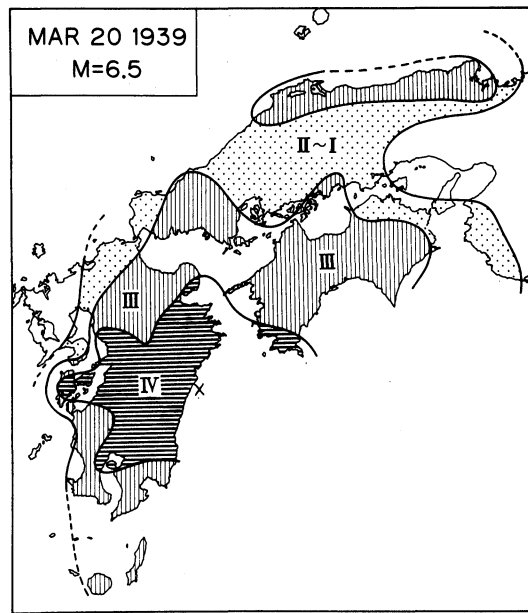


Fig.10 Isoseismals for the earthquake of March 20, 1939.

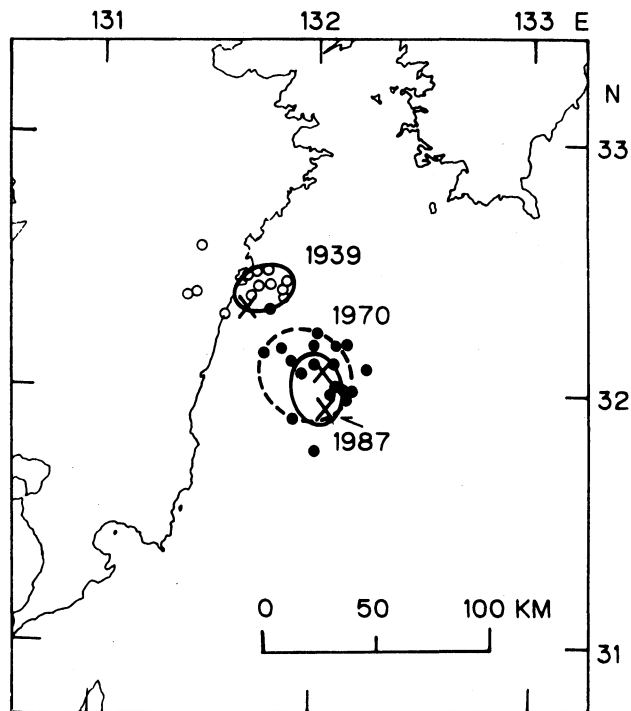


Fig.11 Epicenters of mainshocks and source regions estimated from distributions of aftershocks for earthquakes of March 20, 1939, July 26, 1970, and March 18, 1987. Open and solid circles indicate the epicenters of aftershocks for earthquakes of 1939 and 1970, respectively.

Fig.10に震度分布を、またFig.11には本震及び3月末日までの余震の震央ならびにこれから推定した余震域を示してある。余震はかなりばらついているが、大きくかけ離れたものは除いて、図の範囲を余震域とした。破壊はほぼ陸地に平行に、北-北々東方向に広がったと考えられる。

○1970年7月26日の地震 ($M=6.7$)

Fig.11に本震及び7月末日までの余震 [福岡管区気象台 (1971) 及び気象庁地震月報による] の震央分布ならびにこれから推定した余震域を示してある。

羽鳥 (1971) は、この地震の津波の波源域 (東西方向約40km, 南北方向約25km) は1931年の地震のそれとほぼ同じ位置になると述べているが、余震域から推定される震源域はむしろ1941年の地震の震源域と類似しているようである。Fig.12に震度分布を示してある。

Table 1でも分かるように、この地震の M (気象庁による) は6.7であるが、他の方法によるマグニチュード、例えば津波・地震モーメントなどから求められた値は7.0以上になっており、規模としては比較的大きかったものと思われる。

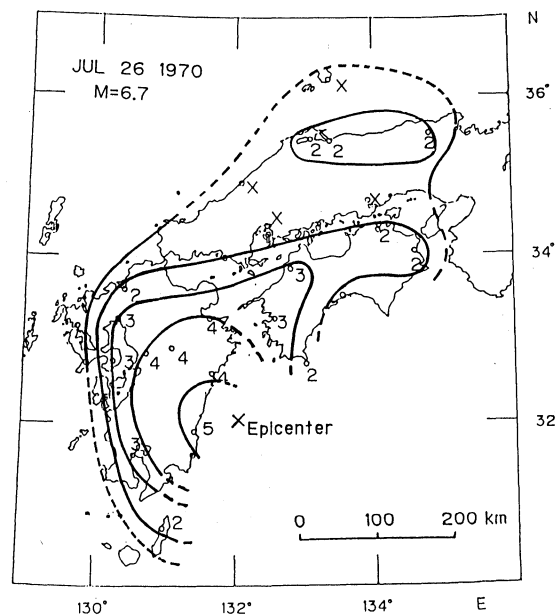


Fig.12 Distribution of seismic intensities for the earthquake of July 26, 1970 ($M=6.7$).

○1987年3月18日の地震 ($M=6.6$)

この地震の震源は宮崎県の沿岸から約60kmの沖合いであったが、宮崎県で死者1の外軽微な被害があった。

地震後かなり多くの余震が観測されている。3月末日までの余震による余震域はFig.11に示すような楕円形になる。

Fig.13に震度分布及び震源域を示す。

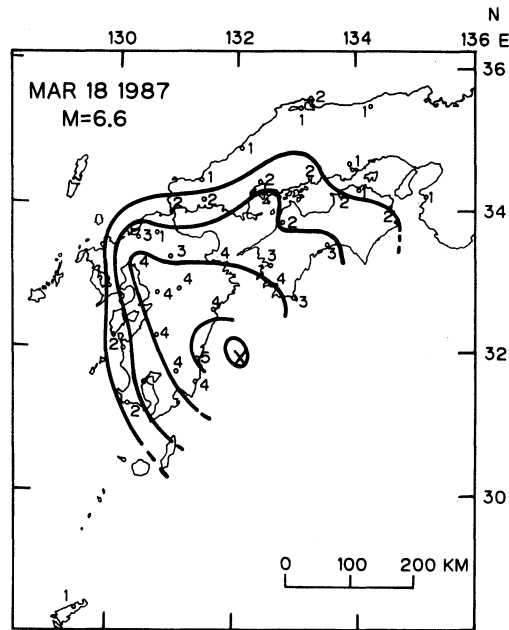


Fig.13 The same figure as Fig.8, but for the earthquake of March 18, 1987 (M=6.6).

3. 地震の特性

前節で1931年以降の8つの地震について、原則として余震域に基いて震源域の大きさを求めた。KANAMORI and ANDERSON (1975) によると地震モーメント M_0 と断層面積 S との間に次の関係がある。すなわち

$$M_0 = 0.41 \cdot \Delta\sigma S^{3/2} \quad (1)$$

ここで $\Delta\sigma$ は応力降下量であり、断層は円形の割れ目で近似してある。海溝沿いの地震では、 $\Delta\sigma \approx 30\text{bar}$ でほぼ一定であるといわれている (ABE, 1975) が、SHIONO *et al.* (1980) は日向灘の地震について $\Delta\sigma = 50\text{bar}$ 及び 60bar という値を得ている。応力降下量を 60bar と仮定すれば上式は、

$$M_0 = 2.46 \times 10^{22} S^{3/2} \text{dyn} \cdot \text{cm} \quad (2)$$

となる。

また、KANAMORI (1977) によるモーメントマグニチュード M_w と M_0 との関係は、

$$\log M_0 = 1.5 M_w + 16.1 \quad (3)$$

で表わされる。(例えば、宇津, 1984)

ごく最近の地震を除いて、余震の震源位置、したがって余震域にはかなりの誤差があるものと思われるが、ここでは前節で求めた余震域をもって断層面積と仮定し、それぞれの地震の地震モーメント M_0 及びこれに対する M_w を求めて Table 2 に示した。

Table 2 には余震域を楕円で近似した場合の長径 a 及び短径 b の外、津波の波源域として求められているものも示してある。ただし津波の波源域には、それぞれの参考文献の中の図から読みとった値もある。

Table 2 Aftershock area $S (= \pi \cdot a/2 \cdot b/2)$, seismic moment M_0 , moment magnitude M_w , and tsunami source A , for earthquakes in Hyuga-nada.

Date	M	S $\times 10^3 \text{km}^2$	M_0 $\times 10^{27} \text{dyn} \cdot \text{cm}$	M_w	a km	b km	A $\times 10^3 \text{km}^2$	Reference
1931 11 2	7.1	3.3	4.66	7.7	85	50	$(40 \times 25)^{(1)}$ 0.79	$\Delta\sigma = 60 \text{bar}^*$
1941 11 19	7.2	1.4	1.28	7.3	60	30	$(60 \times 28)^{(2)}$ 1.3	
1961 2 27	7.0	2.2	2.54	7.5	70	40	$(90 \times 35 ?)^{(3)}$ 2.5	
1968 4 1	7.5	1.4	1.28	7.3	60 (56*)	30 (32*)	$(60 \times 30)^{(4)}$ 1.4	
1984 8 7	7.1	0.55	0.32	6.9	35	20	$(25 \times 15)^{(5)}$ 0.29	
1939 3 20	6.5	0.47	0.26	6.9	30	20	$(20 \times 15 ?)^{(3)}$ 0.24	$\Delta\sigma = 50 \text{bar}^*$
1970 7 26	6.7	1.1	0.90	7.2	40 (31*)	35 (24*)	$(40 \times 25)^{(1)}$ 0.79	
1987 3 18	6.6	0.47	0.26	6.9	30	20	—	

References to Table 2

- (1) HATORI (1971)
 - (2) HATORI (1985)
 - (3) HATORI (1969)
 - (4) KAJIURA *et al.* (1968)
 - (5) HATORI (1987)
- * SHIONO *et al.* (1980)

Table 2で M の値と M_w の値を比べてみると、1, 2の例を除いて M_w の方が大きくなっている。特に1931年、1961年あるいは1970年の地震などでは M と M_w の差は0.5~0.6にも達している。Table 2に示した余震域の大きさは、いずれもやや長期間の余震分布による値であり、しかも、特に古い地震では震源決定精度が必ずしも十分ではないので、 M_w が大き目に決められているとも考えられる。しかし、Table 1の備考欄でも分かるように、気象庁による M の値は他のマグニチュードに比べてもかなり小さくなっており、あながち M_w が大き過ぎるとは言えない。このようなことからこの地域に発生する $M7$ クラスの地震では、1984年の地震 (Table 1 No8) のような例外もあるが、一般には周期の比較的短い (数秒以下の) 地震波の振幅が相対的に小さくなる傾向があるように思われる。

前節では、各地震について震度分布及び震源域を図示した。これらによると日向灘で起った地震にはいくつかの共通点または特徴がある。いくつかの事柄についてまとめてみる。

(1) 震源と震源域との関係

多くの地震の場合、震源域は震央の西側に広がっている。すなわち、破壊が西寄り (北々西~南々西方向) に広がったことを示している。日向灘で起る大地震は、フィリピン海リソスフェアのほぼ北西方向への沈み込みに伴って発生すると考えられており、スリップ・ベクトルの方向は多くの場合ほぼ北西方向に向いている (例えば、SHIONO *et al.*, 1980) が、破壊の進行方向もこのことに反映している。

(2) 震度分布

日向灘で起った大地震では、一般に震源の東側では有感範囲が広くなり、等震度線も東に伸びた形になる。Fig.14は、Table 1の8つの地震（1931年以降のもの）について、震度IIIの最大震央距離（ただし震央からみて北東方向の距離をとってある）と M との関係を示したものである。震度IIIの最大距離を r_{III} とすると、 $\log r_{III} = 0.33M + 0.169$ の関係になる。図の直線はこの関係である。（ただし1984年の地震は、前に述べたように M のわりに余震域などの小さい特異な地震と考えられるので、上の関係式を求めるにあたってこの地震については0.5のウェイトをかけてある。）

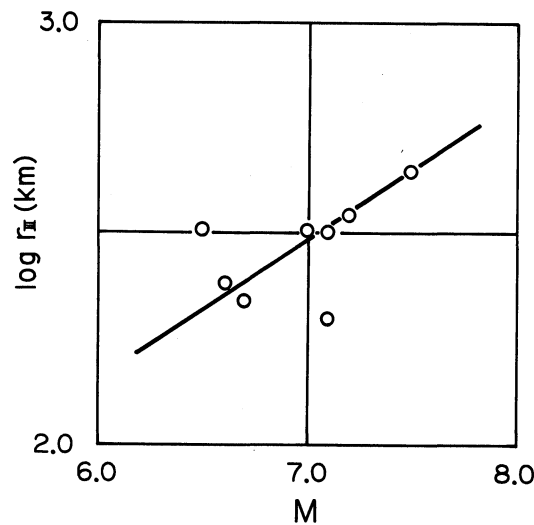


Fig.14 Relationship between maximum epicentral distance for seismic intensity III in the northeast direction, r_{III} , and earthquake magnitude, M .

震源の東側では、距離のわりに震度が大きくなり場合によっては遠く関東地方でも人体に感じることもある（例えば、1931年の地震では柿岡で有感、1961年の地震では前橋で震度Iと報告されている）が、これに比べて西側すなわち九州地方では、西に行くに従って震度の減衰が極めて大きく、九州西部では等震度線の間隔が非常に狭くなるのが特徴である。また、それぞれの地震の震度分布図を比べてみれば明らかなように、主として九州地方における震度分布は震源域の形（あるいは破壊の進行方向）と微妙に関係しており、破壊の進行方向で震度が大きくなっている。被害もまたこのようなところで大きくなる傾向がある。一般にこの地域の地震では、破壊は西に進むことが多いので被害も相対的に九州で大きくなることが考えられる。

1931年、1939年、1970年、1984年などの地震の震度分布図をみると、日向灘の地震では松江・鳥取などで震度がやや大きくなる傾向がある。この地域、特に松江・出雲など、では1707年の宝永地震、1854年の安政南海地震、1946年の南海道地震など、南海道沖に発生した地震の場合も特に震動が強く被害も大きくなっている [今村 (1913), 宇佐美 (1987), 宇津・他 (1987)]。

ある地域で震動が異常に強くなるのは、途中の径路に原因がある場合と、その地域の局地的地盤（地質）構造に起因する場合とが考えられるが、出雲・松江・鳥取地域については、1872年（明治5年）の浜田地震でも出雲地方で異常に被害が大きかった（今村，1913）ことなどを考慮して、後者の場合であろうと思われる。

（3）津波

日向灘の地震では他の地域に比べて津波を伴う確率が高く、 $M \geq 7.0$ の地震では100%、 $6.5 < M < 6.9$ でも約70%の地震が津波を伴っている（羽鳥，1971）。このことは、地震の起り方にも原因があるであろうが、1つには、この地域の地震は比較的震源の深さが浅いことによるものと思われる（日向灘では、深さ ≥ 50 kmの地震は極めて少ない）。

今までの地震で津波がもっとも大きかったのは、Table 1または付表で分かるように、1662年の地震の場合で、津波の規模階級で2と推定されている。過去約100年間に起った地震では1968年4月1日の地震に伴った津波が最大で、小被害があった。1941年の地震でも最大1m前後の津波があり船舶にわずかな被害があった。

日向灘では巨大地震が発生することは恐らくないと考えられるので、非常に大きな津波が発生する恐れはないであろうが、上に述べた程度の津波を伴う可能性は常にあると考えておくべきであろう。

4. おわりに

日向灘では最近の約50年間、およそ10~20年に1回の割合でM7クラスの大地震が発生し、場合によってはかなり大きな被害が生じている。また、この地域に発生する地震は一般に震源の深さが浅いこともあり、他の地域に比べて津波を伴う確率が高い。

今回は「日向灘に起った地震」として、ある程度以上の被害があった地震をまとめた。1931年以降の地震については震度分布図を作成し、余震域を求めた。また、本震の震源として3つの値が報告されている地震については、P、S等の走時によって改めて震源について検討し、最もよいと思われる値を採用した。

日向灘に発生するM7クラスの地震の特性などについてまとめると、概略次のようになる。

- （1） 多くの場合、震源域は本震の震源の西側に伸びている。このことは、この地域の大地震は、フィリピン海リソスフェアのほぼ北西方向への沈み込みによって起ると考えられていることと調和している。
- （2） 震源域に比較的近いところの震度（震動の強さ）は、震源域の形（破壊の進行方向）に大きく影響される。特に九州中・南部地域では震源域の形状によって震度分布も異なり、破壊の進行方向で震度・被害が大きくなる。

九州中央部から西部に行くに従って、震度の距離による減衰が非常に大きくなる。一方震源の東側では、地震の規模によってはかなり遠くまで有感になることがある。

松江・鳥取地域では、日向灘の地震の場合でも南海道沖の地震などの場合と同様、震度が相対的に大きくなる傾向がある。

- （3） M7以上の地震では100%津波を伴うが大きさは最大3m程度で、特に大きな津波が起ることはないと考えられる。

日向灘にはM7クラスの地震は多く（最近では比較的ひんぱんに）発生しているが、今まで巨大地震が起った記録はない。この点、100年~200年おきに巨大地震が発生している南海道沖や、1911年に巨大地震が起った奄美大島近海など隣接地域とは異なった地震活動様式を示している。

この地域は九州・琉球弧と南西本州弧の接続部で、構造的にやや複雑なところであるが、このことが上述のような地震の起り方の地域性に関係しているものと考えられる。

恐らく今後も、しばらくの間は、このような活動のパターンが続き、 $M7$ クラスの地震がくり返されるものと思われる。

文 献

- ABE, K., 1975, Reliable Estimation of the Seismic Moment of Large Earthquakes, *J. Phys. Earth*, **23**, 381-390.
- 福岡管区气象台, 1971, 1970年10月16日「宮崎県沖の地震」の調査報告, 験震時報, **36**, 77-84.
- HATORI, T., 1969, A Study of the Wave Sources of the Hiuganada Tsunamis, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **47**, 55-63.
- 羽鳥徳太郎, 1971, 最近45年間の日向灘津波の規模, 地震, **2**, **24**, 95-106.
- 羽鳥徳太郎, 1985, 九州東部沿岸における歴史津波の現地調査-1662年寛文・1769年明和日向灘および1707年宝永・1854年安政南海道津波-, 地震研究所彙報, **60**, 439-459.
- 羽鳥徳太郎, 1987, 1984年日向灘津波と周辺の地震活動, 地震, **2**, **40**, 1-6.
- 市川政治・望月英志, 1971, 近地震用走時表について, 気象研究所研究報告, **22**, 229-290.
- 今村明恒, 1913, 明治5年ノ浜田地震, 震災予防調査会報告, 第77号, 43-77.
- 梶浦欣次郎・相田 勇・羽鳥徳太郎, 1968, 1968年日向灘地震による津波の調査, 地震研究所彙報, **46**, 1149-1168.
- KANAMORI, H. and D. L. ANDERSON, 1975, Theoretical Basis of Some Empirical Relations in Seismology, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **65**, 1073-1095.
- KANAMORI, H., 1977, The Energy Release in Great Earthquakes, *J. Geophys. Res.*, **82**, 2981-2987.
- 気象庁, 1958, 日本付近の主要地震の表 (1926年-1956年), 地震月報別冊1.
- 気象庁, 1961, 1961年2月27日日向灘地震調査報告, 験震時報, **26**, 81-107.
- 気象庁, 1982, 改訂日本付近の主要地震の表 (1926年-1960年), 地震月報別冊第6号.
- SHIONO, K., T. MIKUMO, and Y. ISHIKAWA, 1980, Tectonics of the Kyushu-Ryukyu Arc as Evidenced from Seismicity and Focal Mechanism of Shallow to Inter-mediate-Depth Earthquakes, *J. Phys. Earth*, **28**, 17-43.
- 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, 気象庁技術報告, **39**, 27-48.
- 田中貞二・長田甲斐男・大沢 胖, 1968, 1968年日向灘地震家屋被害調査概報, 地震研究所彙報, **46**, 1169-1182.
- 宇佐美龍夫, 1987, 新編日本被害地震総覧, 東京大学出版会.
- 宇津徳治, 1982, 日本付近の $M6.0$ 以上の地震および被害地震の表: 1885年-1980年, 地震研究所彙報, **57**, 401-463.
- 宇津徳治, 1984, 地震学 (第2版), 共立出版.
- 宇津徳治 (総編集)・鳴 悦三・吉井敏村・山科健一部 (編集), 1987, 地震の事典, 朝倉書店.
- 渡辺偉夫, 1983, 改訂日本および周辺の津波の表, 地震, **2**, **36**, 83-107.

(付表) 日向灘で発生した主な地震の被害表

この表はTable 1に掲げた地震の被害状況をまとめたものである。記述は、宇佐美(1987)、宇津・他(1987)、羽鳥(1971, 1985)、渡辺(1983)、気象要覧、気象庁地震月報などによった。それぞれの記事には参考文献を、(宇佐美)のように、示してある。

ここには宇津(1982)による被害等級^[2]以上の地震を掲げたが、その分類は次のとおりである。
(^[6]以上は省略)

- [1]: 壁や地面に亀裂が生じる程度の微小被害
- [2]: 家屋破損・道路の損壊などが生じる程度の小被害
- [3]: 複数の死者または複数の全壊家屋
- [4]: 死者20人以上または全壊家屋1,000以上
- [5]: 死者200人以上または全壊家屋1万以上。

1662 10 31 (寛文29 20), $M=7\frac{1}{2}\sim 7\frac{3}{4}$, [4]

佐土原で城破損, 潰家800余, 死多少。県(現延岡)で城の石垣破損, 領内で潰家1,300余, 半潰510, 死5人。秋月(現高鍋)で城の石垣崩れ, 潰家278。飢肥で城の石垣崩れ, 領内で潰家1,213 (うち246は海中に没す), 死15。他に地割れや山崩れあり。

津波あり。別府湊(大淀川河口)で破船10余, 殻類約6,000俵潮に濡れる。日向那珂郡(現宮崎県南部)の沿岸7カ村・周囲7里35町(約32km)田畑8,500石余の地没して海となる。(宇佐美)

津波の高さは大淀川河口で5m, 大隅半島東岸(鹿児島県)で2~3m, と推定されている。(羽鳥1985)

1899 11 25 (明治32), $M=7.1$, [2]

約12分おいて2つの地震, (A): 03時43分, $M=7.1$, (B): 03時55分, $M=6.9$, があつた。

被害の大きかったのは宮崎県南西部で, 宮崎市で家屋の破損, 都城で家屋・土蔵の破損などがあった。大分地方では第2の地震の方が強く, 大分で土蔵・家屋の破損があり, 鶴崎で古い土蔵の潰2, 長州町・杵築町・大野郡犬飼町で土蔵の破損などの小被害があった。細島の検潮儀に最大全振幅32cmの津波らしきものを記録した。(宇佐美)

1931 11 2 (昭和6), $M=7.1$, [3]

被害は, 下表のとおり宮崎県(宮崎・佐土原・生目など)で大きかった。鹿児島県では志布志で, 全壊1, 半壊11, 煙突倒壊16を生じた。別府湾から南へ200kmにわたり発光現象があつた。(宇佐美)

土佐清水で最大全振幅50cm, 室戸岬で85cm, 串本で14cmの津波があつた。(羽鳥1971)

被害表

県	死者	傷者	家屋			倒壊		
			全壊	半壊	破損	煙突	石燈籠	石垣
宮崎	1	29	4	10	46	198	862	6
鹿児島			1	11		17		2

(この外,地割れ,橋梁・道路破損等あり)

1941 11 19 (昭和16), $M=7.2$, [3]

宮崎・大分の沿岸, 熊本・愛媛などで多少の被害・延岡で石垣の破損・堤防の小破損・壁の剥落・道路の亀裂などあり。宮崎ではほとんどの家の壁に亀裂や剥落があり, レンガ煙突1本倒壊。

特に熊本県人吉では死1, 傷5, 住家全壊6, 半壊11, 非住家全(半)壊5(10)があった。

津波により, 船舶に若干の被害があった。津波の大きさは, 土佐清水・室戸岬で最大全振幅110cm, 細島・油津で100cm, 串本で40cm, 細島の検潮所で約8cm土地が沈下した。(羽鳥1971, 宇佐美)

県	死者	傷者	家屋*	
			全壊	半壊
大分		6	8	10
宮崎		5		1
熊本**	2	7	19	21
合計	2	18	27	32

* 非住家を含む

**人吉を含む

(気象要覧)

1961 2 27 (昭和36), $M=7.0$, [3]

被害は表のとおりであるが, この外に道路・橋梁の損壊, 山(崖)くづれ, 鉄軌道被害などが, 特に宮崎県で多くあった(いずれも警察調べ)。宮崎県では, 宮崎・日南・都城・高岡など県の南部・南西部で被害があった。鹿児島県では大崎町・志布志町・国分市で住家全半壊があり, 志布志町では死者があった。また県中央部では地割れや崖くづれが多かった。

油津では地震後2分で津波の初動が観測された。津波の最大全振幅は, 油津90cm, 細島74cm, 土佐清水95cm, 串本では35cmであった。

県	死者	傷者	建物被害			
			全壊	半壊	一破部損	非住家被害
宮崎	1	4	1	4	104	37
鹿児島	1	3	2	11	7	6
合計	2	7	3	15	111	43

(以上気象庁, 1961)

1968 4 1 (昭和43), $M=7.5$, [3]

高知・宮崎・愛媛・熊本・大分の各県で被害があり(下表), 高知県でもっとも大きかった。この外に高知・宮崎・大分の各県で道路損壊, 堤防亀裂などがあつた。

津波が生じ, 床下浸水56, 真珠イカダ・ハマチ網などの水産施設に被害があつた。津波の最大全振幅は, 大分県蒲江で240cm, 北浦150cm, 細島132cm, 宿毛224cm, 土佐清水236cm, 串本92cmであつた。(宇佐美, 羽鳥1971, 渡辺)

被害表

県	傷者	家屋被害				船破 沈没
		全壊	半壊	一破 部損	非住家 被害	
高知	4	1	2	21		2
宮崎	7			1		1
愛媛	3					
熊本				1	1	
大分	1					
合計	15	1	2	23	1	3

なお, 各県総務部発表の被害統計によると, 被害状況は上の表とはかなり異なっており, 例えば住家一部破損の数は高知5,767, 愛媛1,230, 大分335, 宮崎9, 熊本42, 合計7,383となっており, 高知・愛媛の被害が特に大きくなっている。

(田中・他, 1968)

1984 8 7 (昭和59), $M=7.1$, [2]

この地震により, 傷者9人, 建物一部破損29, 非住家被害1, 道路損壊3, 鉄軌道被害2, 山(崖)くずれ12などの被害があつた。(昭59年8月8日現在, 警察庁調べ)

ごく弱い津波があり, 最大全振幅は, 延岡18cm, 土佐清水14cm, 室戸岬10cmであつた。(気象庁地震月報)

1939 3 20 (昭和14), $M=6.5$, [2]

宮崎県で死者1, 傷者1, 家屋半壊1, 煙突倒壊3, 道路崩壊7の外, 大分県沿岸(佐伯・蒲江・津久見・臼杵町など)で壁の落下, 土地の小亀裂などの小被害があつた。(宇佐美)

津波は, 油津16cm, 土佐清水12cm, 室戸岬80cm(いずれも最大全振幅)であつた。(羽鳥1971)

1970 7 26 (昭和45), $M=6.7$, [2]

被害は宮崎・日南両市で多く, 傷者13, 道路損壊5, 山(崖)くずれ4などであつた。(宇佐美)

津波の最大全振幅は, 蒲江38cm, 油津39cm, 土佐清水44cm, 室戸岬56cm, 串本17cmであつた。(羽鳥1971)

1987 3 18 (昭和62), $M=6.6$, [2]

主に宮崎県下で、死者1, 傷者6, 水道損傷168, 建物損傷354, ブロック塀等損傷18の外, 鉄道・道路不通, ガス損傷などの被害があった。

ごく弱い津波があった。(気象庁地震火山概報)