

1996年日向灘津波と九州東部域の放出津波エネルギー分布

羽 鳥 徳太郎*

1. はじめに

九州東部の日向灘は、地震活動が活発な地域で、津波の発生件数も比較的多い。また歴史的には、寛文2年(1662)と明和6年(1769)の日向灘津波による被災歴がある(羽鳥, 1985)。

1996年10月19日と同年12月3日にマグニチュード M 6.6の日向灘地震が発生し、九州から紀伊半島に至る沿岸の検潮所で小津波が観測された。気象庁のCMT解によれば、両地震はプレート境界で発生し、低角逆断層型であった。また九大・鹿児島大の地震観測からも(清水・他, 1997)、同様な結果が得られている。

本稿では、まず気象庁所管の検潮記録をもとに、両津波の規模と波源域を解析した。そして過去100年間(1899~1997)に日向灘で断層運動域の過程をみる目的で、津波の放出エネルギーの空間分布を調べてみた。その変

動パターンの推移から、今後津波発生の可能性が高い地域を検討してみる。

2. 1996年10月19日・12月3日の日向灘津波

1996年10月19日23時44分ころ、日向灘南部で発生した地震は、気象庁の観測によると、震央は $31^{\circ}48'N$, $132^{\circ}00'E$ 、深さ39km、マグニチュードは $M=6.6$ であった。宮崎市和知川原と鹿屋市新栄町で震度5弱、熊本・大分・鹿児島各県で震度4が観測され、宮崎県内で崖崩れ、落石、屋根瓦の破損などの被害が報道された。

地震に伴う津波は、九州から紀伊半島沿岸の検潮所で観測され、表-1に主な観測点での記録の読取り値を示す。図-1は記録例を示す。津波初動は各地で押し波で記録され、波の周期は10分前後、土佐清水と室戸で全振幅25cmが最大であった。

表-1 1996年10月19日日向灘地震の津波観測表

Tide station	Initial wave			Maximum wave			
	Travel time	Rise	Period	Occurrence time (JST)			Double ampl.
	min	cm	min	d	h	m	cm
Naze-Kominato	?			20	02	24	14
Tanowaki	35	12	8	20	01	50	15
Makurazaki	?			20	03	56	22
Aburatsu	17?	10	18	20	00	26	22
Hososhima	20	6	12	20	00	40	12
Tosa-Shimizu	30	10	20	20	01	19	25
Muroto	43	6	10	20	00	51	25
Kushimoto	56?	5	10	20	01	14	8
Nachi-Katsuura	?			20	01	46	5

*元東京大学地震研究所

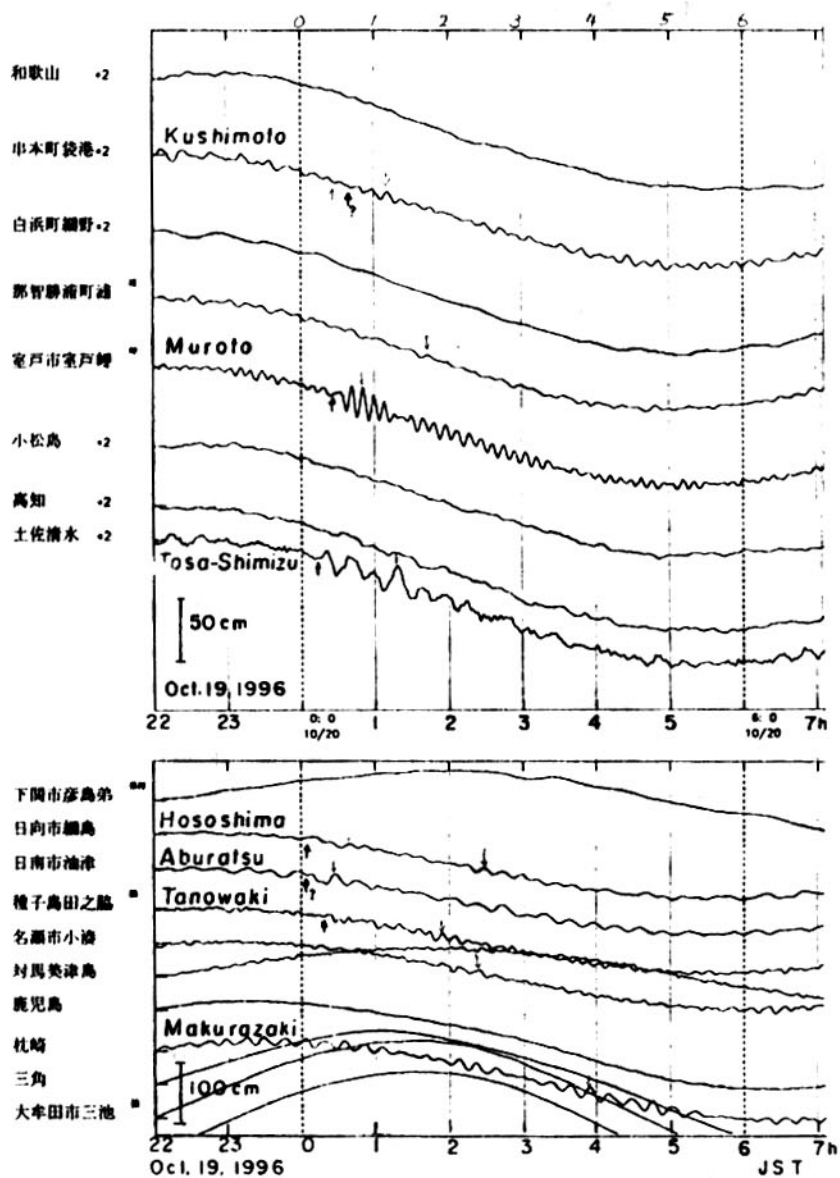


図-1 1996年10月19日日向瀬津波の検潮記録 (気象庁による)

2回目の津波は、同年12月3日7時17分の地震に伴った。10月19日の地震により西側の沿岸近くで起こり、震央は $31^{\circ}47'N$, $131^{\circ}38'E$ 、深さ35km、地震のマグニチュードは10月19日の地震と同じ $M=6.6$ であった。宮崎市で震央5弱が観測され、宮崎県内で水道管の破裂、窓ガラスの破損が報道された。気象庁による各地の計測震度値は、10月19日の地震よりやや下回っている。

津波は10月19日と同じ検潮所で観測され、表-2に読取り値を示す。図-2は記録例である。油津で全振幅32cmが最大であった。

波源域

5観測点から逆伝播図を画くと、2津波の伝播時間に対応する最終波面は図-3のようになる。各波面に観測点の伝播時間(分)を付記した。また、気象庁の観測による余震域(期間:1996年10月19日~12月31日)を鎖線で示した。その結果、10月19日の津波の推定波源域は、ほぼ南北方向に40km、幅21kmになる。なお、各観測点の津波初動は押し波であった(油津と細島の初動が不明瞭)。

一方、12月3日の波源域は東西方向に30km、幅20kmと推定される。土佐清水と室戸の検潮記録には(図-2)、津波初動は押し波のようにみえるが、その立ち上がり時刻を初動とす

ると、10月19日の津波より走時が3分ほど速くなる。これは、震源と不調和なので初動は引き波と判断した。

津波の規模

図-4は、筆者の方法(羽鳥, 1986)による津波マグニチュードの判定図を示す。横軸に震央から観測点までの距離、縦軸には検潮記録上の最大全振幅値をとり、津波マグニチュード m で区分してある。その結果、10月19日と12月3日の両津波とも同値で $m=-1$ と判定される。これは、地震の規模($M=6.6$)と比べて値がやや大きい。図-4には比較のため、1941年11月19日と1961年2月27日の津波データを示した。両津波は、船舶・水産関係に軽い被害をもたらした。1941年津波には、痕跡高(平均海面上)も加えてあるが $m=0.5$ 、1961年津波は $m=0$ と判定される。

3. 波源域の分布

地震カタログ(宇津, 1982)および最近の津波データによると、日向灘では過去100年間(1899~1997)に14個の津波が発生している。表-3には、各津波の発生年、マグニチュード、波源のサイズおよび出典を示す。この中で、1968年4月1日の津波が最大で、2~4mの

表-2 1996年12月3日日向灘地震の津波観測表

Tide station	Initial wave			Maximum wave			
	Travel time	Rise	Period	Occurrence time (JST)			Double ampl.
	min	cm	min	d	h	m	cm
Naze-Kominato	No evidence						
Tanowaki	38?	3	10	3	08	12	10
Makurazaki	?			3	10	11	13
Aburatsu	16	14	22	3	08	02	32
Hososhima	23?	6	10	3	10	05	12
Tosa-Shimizu	35	-15	20	3	08	18	23
Muroto	47	-8	10	3	08	26	10
Kushimoto	53	12	6	3	10	30	9
Nachi-Katsuura	?			3	10	32	7

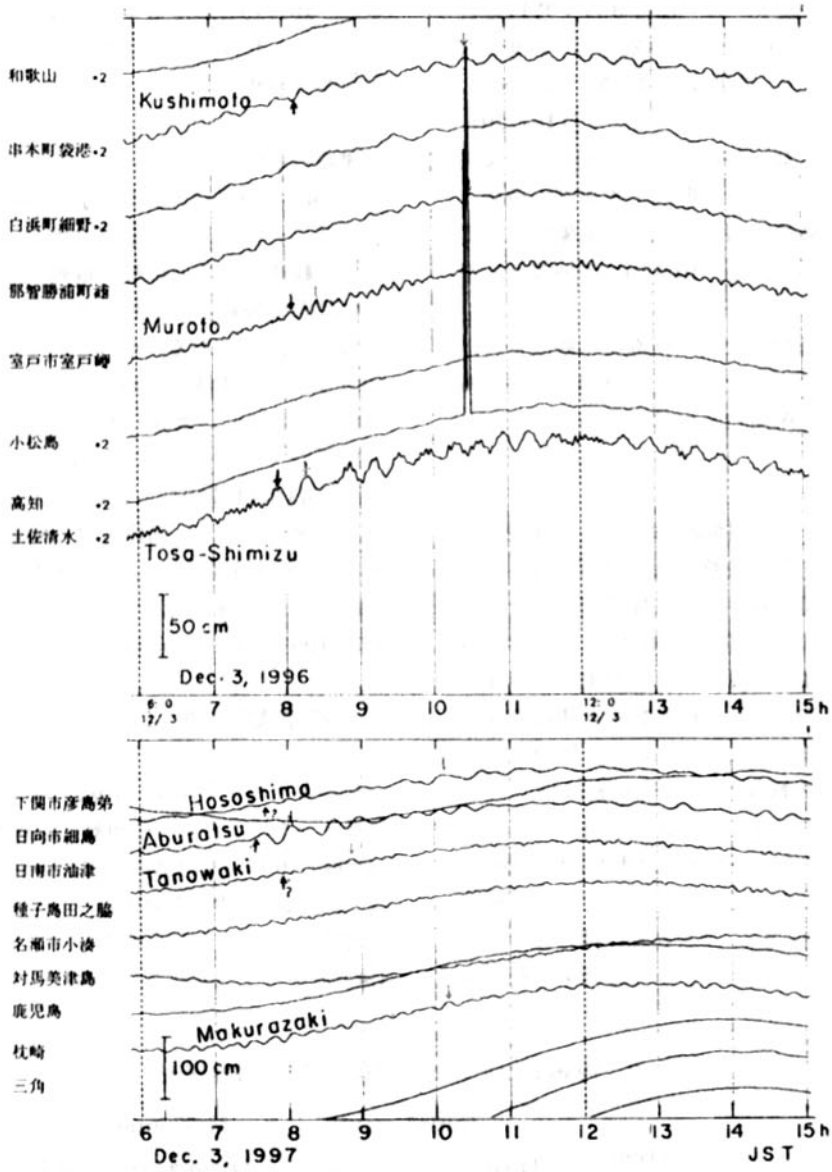


図-2 1996年12月3日日向灘津波の検潮記録 (気象庁による)

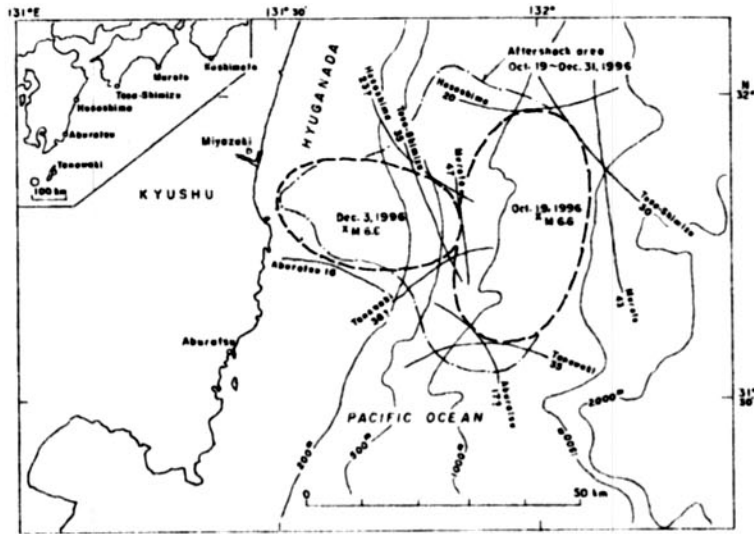


図-3 1996年10月19日と12月3日の日向灘津波の推定波源域。
波面の数字は観測点の伝播時間(分)、鎖線は余震域を示す。

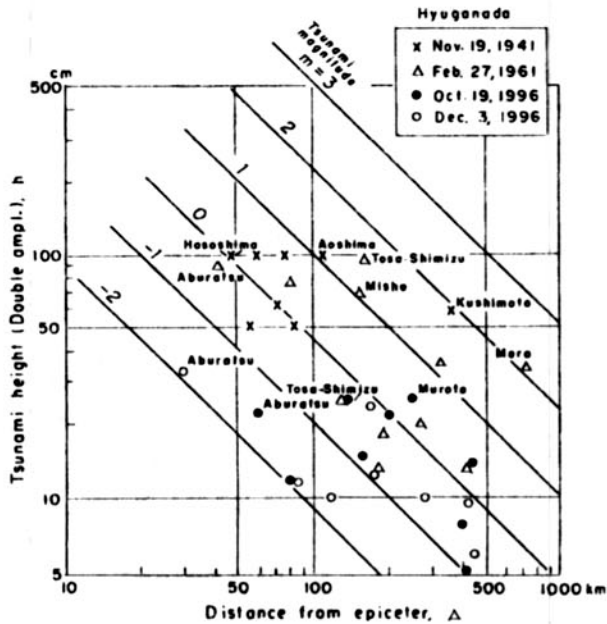


図-4 津波の最大全振幅値と震央距離の関係。津波マグニチュードで区分。

表-3 日向灘津波リスト 1899~1997年

日付	マグニチュード		波源面積 km ²	文献
	地震 <i>M</i>	津波 <i>m</i>		
1899 XI 25 3 h 43m	7.1	-1	50×25*	1), 2)
1899 XI 25 3 h 55m	6.9	-1?	40×20*	1)
1929 V 22	6.9	-1	40×20*	3)
1931 XI 2	7.1	-1	35×20*	4)
1939 III 20	6.5	-1	30×20*	5)
1941 XI 19	7.2	0.5	55×20*	5), 6)
1961 II 27	7.0	0	90×30	7), 8)
1968 IV 1	7.5	1.5	60×31	9)
1969 IV 21	6.5	-1	30×20	3)
1970 VII 26	6.7	-0.5	33×21	3)
1984 VIII 7	7.1	-1	24×15	10)
1987 III 18	6.6	-1	30×20*	
1996 X 19	6.6	-1	40×21	11)
1996 XII 3	6.6	-1	30×20	11)

*推定値

文献: 1) 中央気象台 (1903). 2) 大森 (1900). 3) 羽鳥 (1971). 4) Hatori (1969). 5) 鷲坂・他 (1942). 6) 羽鳥 (1985). 7) 気象庁 (1961). 8) 高橋・羽鳥 (1961). 9) 梶浦・他 (1968). 10) 羽鳥 (1987). 11) 本研究.

津波が九州東部・四国南西岸に遡上し、津波マグニチュードは $m=1.5$ であった。図-5は、津波の発生期間を1899~1959年と1960~1997年とに分けて、波源域の分布を示す。各波源に、津波の発生年および地震と津波のマグニチュード M/m を付記した。

1960年以降に発生した津波の波源域は (右図)、図-3に示したように検潮記録から得た各観測点の伝播時間をもとに、逆伝播図の方法で求めたものである。一方、1959年以前の津波については (左図)、1931年と1941年の津波で数点の検潮記録しか残っていない。そこで波源域は、震央の位置と地震の規模を手掛かりに、左図に示す形に推定した。

例えば、1899年 (明治32年) 11月25日3時43分と同日の3時55分に日向灘南部と北部で大規模な地震があった (マグニチュードはそれぞれ $M=7.1$ と $M=6.9$ と推定されている)。宮崎・大分で家屋の小破、土蔵の倒壊があり、大分では2回目の地震が強かったと報告された (中央気象台, 1903)。図-6は、当日細島で観測された検潮記録を示す (大森, 1900)。残念なことに地震でベンが跳び、4時間ほど欠測している。記録された全振幅値は32cmで、最大波はそれを上回ったであろうが、

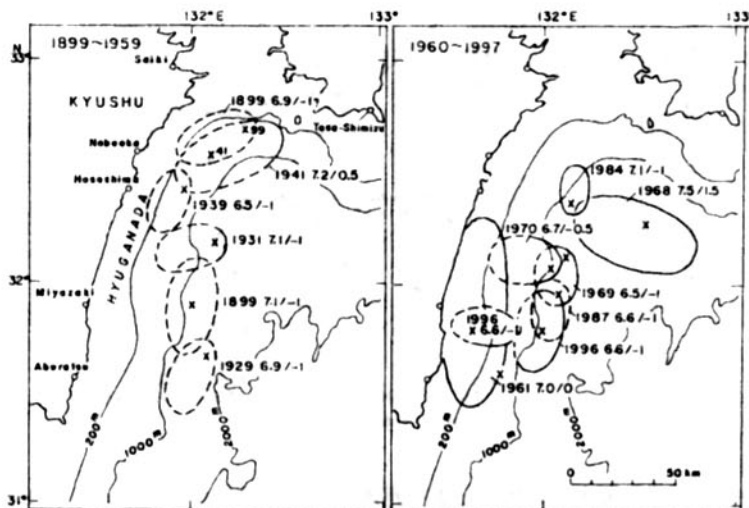


図-5 日向灘津波の波源域分布 (左図: 1899~1959年間, 右図: 1960~1997年間)。各波源に発生年および地震と津波のマグニチュード M/m を示す。

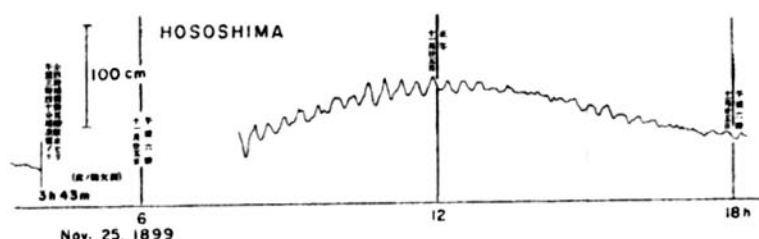


図-6 1899年11月25日日向灘津波における細島の検潮記録（大森，1900）。

津波マグニチュード $m = -1$ と推定した。なお、2回目の地震には津波の報告はないが、 $M 6.9$ クラスの地震であれば津波を伴う可能性があり、破源域を1941年津波の付近に推定した。

以上、1899～1959年間と1960～1997年間の波源域分布を比べると、前期では破源域に任意性があるが、東経 132° 線上に連なる。それに対し、後期では波源の走向は多様で北緯 32° 線の周辺に分布している。

4. 放出津波エネルギーの分布

断層モデルによる波源域で、津波のポテンシャル・エネルギー Et と津波マグニチュード m との関係は、次の実験式（羽鳥，1979）で表される。

$$\log Et = 0.7m + 19.1 \quad (\text{エルグ})$$

津波マグニチュードは、図-4に示すように1階級上がることに波高が2.24倍になり、エネルギーは波高の2乗値に比例して5倍になる。例えば、 $m = -1$ は 2.5×10^{18} エルグ、 $m = 0$ は 1.3×10^{19} エルグになる。

日向灘の海域を緯度・経度それぞれ $10'$ のメッシュに分け、波源域内での E_t 値を各メッシュに均等に割り振り、上式を用いて各メッシュでの放出エネルギーを計算した。ここで波源域が重なるメッシュでは、エネルギーの累積値を示した。その結果、1899～1959年間と1960～1997年間の2期間における放出津波エネルギーの累積値分布は、図-7のようになる。エネルギー値の単位は 10^{18} エルグで示した。

1899～1959年間の放出エネルギー分布は南北方向に伸び、北部でエネルギー値は 1×10^{18}

エルグになる。1960～1997年間では、分布パターンは東西方向に広がり、1968年津波の波源域が最大で 1×10^{19} エルグとなり、前期のエネルギー値より1桁大きい。また、大分・宮崎県境沖が空白域として目立つ。この区域は、1769年（明和6年）8月29日に $M = 7.4$ の地震があった。史料によると、竹田・佐伯・延岡・高鍋諸城の石垣が崩れ、大分県下の白杵・佐伯で震度6に達して潰家が多数記録されている（宇佐見，1996）。また沿岸域では2m前後の津波が押し寄せ、津波マグニチュードは $m = 1$ と推定された（羽鳥，1985）。

なお三陸沖で、ほぼ同期間に放出された津波エネルギーの累積値と比べると（羽鳥，1996）、日向灘ではエネルギー値は1桁小さく、 10^{19} エルグの範囲は約 $1/24$ になる。

5. むすび

検潮記録をもとに、1996年10月19日と同年12月3日に日向灘で発生した津波を解析した。両津波のマグニチュードは $m = -1$ と判定され、地震の規模と比べて津波はやや大きい。逆伝播図の解析によれば、両津波の波源域は余震域内にあり、面積はそれぞれ $40 \times 21 \text{ km}^2$ 、 $30 \times 20 \text{ km}^2$ と推定される。

1899～1959年間と1960～1997年間に分け、日向灘における津波の放出エネルギーの累積値分布を比べると、前期は南北方向に伸び、北部で 10^{18} エルグのオーダになる。後期のエネルギー分布は東西方向に広がり、1968年日向灘津波の波源域が最大で 10^{19} エルグになる。また大分・宮崎県境沖が空白域になり、今後の地震活動に注目したい。

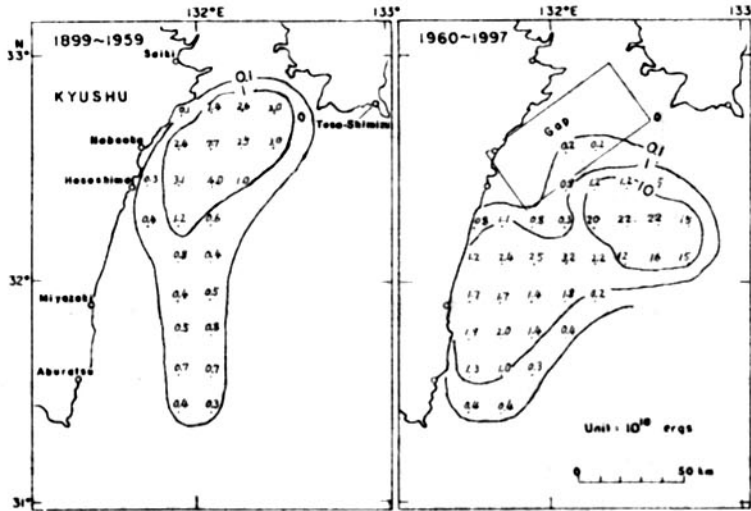


図-7 日向灘における津波の放出エネルギーの累積値分布 (左図: 1899~1959年間, 右図: 1960~1997年間)。単位: 10^{18} エルグ。

謝 辞

1996年日向灘津波の解析には、気象庁地震火山部の館畑秀衛氏が収集した検潮記録を利用させて頂いた。記して厚く御礼を申し上げる。

参 考 文 献

- 中央气象台, 1903: 中央气象台年報, 地震の部, 2 篇。
- Hatori, T., 1969: A study of the wave sources of the Hyuganada tsunamis, *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*, Vol. 47, pp. 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*, Vol. 24, pp. 95-106.
- 羽鳥徳太郎, 1979: 津波の規模階級とエネルギーとの関係, *地震研究所彙報*, Vol. 54, pp. 531-541.
- 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, *地震研究所彙報*, Vol. 60, pp. 439-459.
- 羽鳥徳太郎, 1986: 津波規模階級の区分, *地震研究所彙報*, Vol. 61, pp. 503-515.
- 羽鳥徳太郎, 1987: 1984年日向灘津波と周辺の津波活動, *地震2*, Vol. 40, pp. 1-6.

羽鳥徳太郎, 1996: 1994年三陸はるか沖津波と三陸沖の放出津波エネルギー分布, *地震2*, Vol. 49, pp. 19-26.

梶浦欣二郎・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*, Vol. 46, pp. 1149-1168.

気象庁, 1961: 日向灘地震報告, *験震時報*, Vol. 26, pp. 81-107.

大森房吉, 1900: 日本ニ於ケル津波ニ就キテ, *震災予防調査会報告*, Vol. 34, pp. 5-74.

鷺坂清信・本間 寧・生沼 明・伊藤 博, 1942: 昭和16年11月19日日向灘地震踏査報告, *験震時報*, Vol. 12, pp. 10-21.

清水 洋・馬越孝道・八木原寛・松尾のり道・福井理作・後藤和彦, 1997: 1996年日向灘の地震活動, *地球惑星科学関連学会, 合同大会予稿集*, B 31-02.

高橋龍太郎・羽鳥徳太郎, 1961: 1961年2月27日日向灘地震に伴った津波について, *地震研究所彙報*, Vol. 39, pp. 561-577.

宇佐美龍夫, 1996: 新編日本被害地震総覧, 東京大学出版会, pp. 85-86.

宇津徳治, 1982: 日本付近の M 6.0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*, Vol. 57, pp. 401-463.