

九州沿岸で観測した静振のスペクトルとその卓越周期の意義

阿部 邦昭*

1. はじめに

津波は文字通り、湾や港の地形の影響を強く受ける。その影響の表し方として、伝達関数として表す方法があり、これはその湾や港の静振のスペクトルで近似される (Rabinovich, 1997)。そのため津波の振る舞いを理解するために、普段の水位変動つまり静振を調べておく事が重要である。このような観点から九州沿岸各地で 6 時間限定の静振測定を行ったので報告する。

2. 方法

方法は従来著者が行ってきた Abe (2005) と同じ方法である。測定装置は圧力センサーと一定の時間間隔でデータを取り込む記録計からなり、容易に持ち運び出来るものである。海岸の岸壁を利用して垂直につり下げて、水圧を測定して、水位に換算するもので分解能は 1mm である。1 分間隔で水位のサンプリングを行い、6 時間の測定からスペクトルを求める。スペクトルはシンプルなアルゴリズムが特徴のゲルツェル法を使って求める。1 回の調査で 2-9 カ所をまわり、3 回繰り返して九州全域をカバーする。その振幅スペクトルの最大値にあたる振動数 (周期) が卓越振動数 (卓越周期) である。振幅スペクトルの計算では、振動数領域で移動平均を求めて急激な変動をさけている。

3. 結果と考察

測定は 2001 年 10 月 23 日から 2006 年 12 月 25 日までの間に 18 カ所で行われた。測定

点の地図上の位置は図 1 に、測定位置、日時とえられたスペクトルの卓越周期、振幅を表 1 にまとめて示している。なおここで観測した 18 カ所のうち日本海に面した博多 1 と唐津に関してはその卓越周期に関して既に Abe (2009a) で公表している。また、細島、宮崎、油津のスペクトルについてはその結果を使用して論文が準備されている。ここではそれらを含めて九州で測定した全点でのスペクトルと卓越周期を掲載する。図 2 にその振幅スペクトルと卓越振動数 (周期) を示す。これを阿部 (2009b) が行った分類の基準に従って固有スペクトル型、連続スペクトル型、中間型に分類した。その結果、固有型に分類されるのは、佐伯、門川、宮崎、油津、橘、長崎、大村、佐世保、伊万里、仮屋、唐津の 11 カ所、連続型は大分、志布志、福山、鹿児島、博多 1、博多 2 の 6 カ所、中間型は細島 1 カ所である。分布の特徴として固有型が多い。固有型 11 カ所のうち、湾という名前がついていないのは宮崎と油津だけである。東シナ海に面する橘から仮屋にかけての 6 点は全て固有型に分類され、奥深い湾入地形と対応する。固有型に湾入地形が多いのはよく見られる事であるが、連続型に分類された地点も全て湾入地形の中にある点で変わっている。このうち鹿児島湾に属する福山と鹿児島を除く各点は湾の奥行きに比べ幅が広く、湾入の度合いは弱い湾に属する。そのことが湾入地形であるにもかかわらず、連続型にした原因と考えられる。鹿児島湾内測定点が連続型になった理由はよくわからない。

次に振幅スペクトルの最大値から卓越振動数または卓越周期を決める。その卓越周期をグラフにしたのが、図 3 である。全体的にみて西高東低の傾向がある。図 2 からわかるように同じ卓越周期といってもその表れ方は一

* 日本歯科大学新潟短期大学

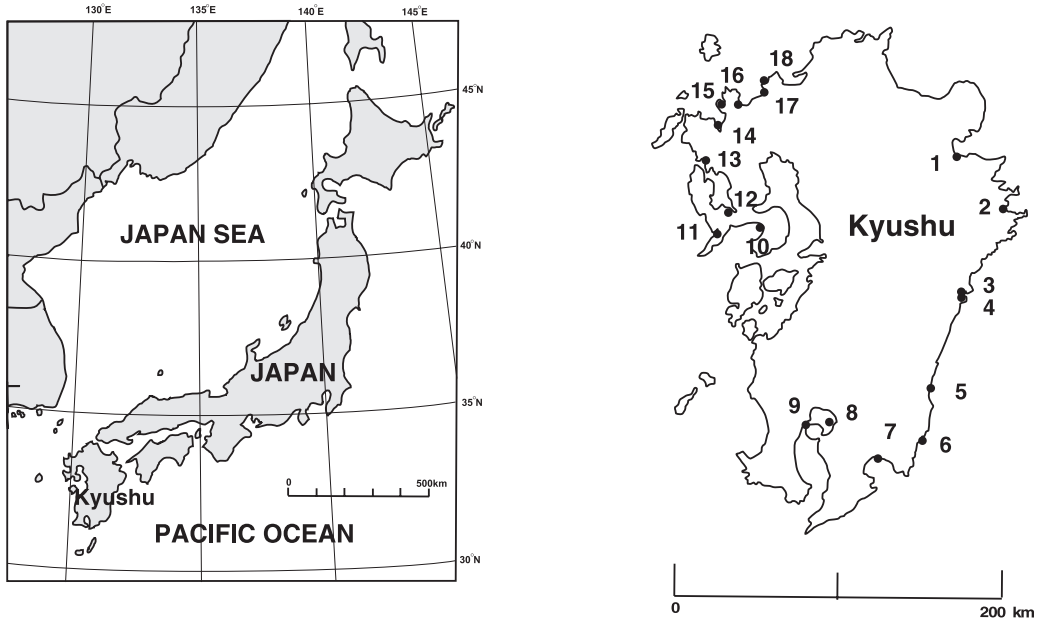


図 1 測定点の分布，黒丸が測定点で番号の地名を表 1 に示す。

表 1 静振の測定点の位置，測定日，開始時刻，卓越周期，その振幅。測定点番号は図 1，図 2 の番号に対応する。

St No	Station (J)	Station	Latitude	Longitude	Date	Start	Finish	min	m-s
1	大分	Ooita	33-14-51	131-35-02	2005/4/3	8:45	14:45	8.3	0.003
2	佐伯	Saiki	32-58-25	131-54-21	2005/4/2	20:40	2:40	59.5	0.011
3	門川	Kadogawa	32-28-13	131-39-30	2005/4/2	12:28	18:28	33.3	0.021
4	細島	Hosojima	32-25-29	131-39-25	2005/4/2	6:01	12:01	17.0	0.013
5	宮崎	Miyazaki	31-53-59	131-27-31	2005/4/1	16:42	22:42	34.7	0.02
6	油津	Aburatsu	31-34-55	131-24-23	2005/4/1	8:30	14:30	25.3	0.011
7	志布志	Shibushi	31-28-22	131-06-46	2005/3/31	21:00	3:00	64.1	0.007
8	福山	Fukuyama	31-40-30	130-48-59	2001/10/23	9:50	15:50	36.2	0.0018
9	鹿児島	Kagoshima	31-35-53	130-33-52	2001/10/26	16:59	22:59	52.1	0.011
10	橘	Tachibana	32-47-39	130-8-32	2006/12/22	17:56	23:56	59.5	0.009
11	長崎	Nagasaki 1	32-44-06	129-51-57	2006/12/23	16:42	22:42	36.2	0.0142
12	大村	Oomura	32-50-13	129-58-47	2006/12/23	9:16	15:16	75.8	0.0094
13	佐世保	Sasebo	33-09-45	129-43-16	2006/12/24	6:58	12:58	75.8	0.0028
14	伊万里	Imari	33-18-34	129-48-49	2006/12/24	8:23	14:23	46.3	0.0071
15	仮屋	Kariya	33-27-20	129-50-11	2006/12/24	15:15	21:15	37.9	0.041
16	唐津	Karatsu	33-28-15	129-57-32	2006/12/24	17:58	23:58	83.3	0.012
17	博多 1	Hakata 2	33-35-55	130-23-31	2006/12/25	9:38	15:38	22.5	0.0058
18	博多 2	Hakata 1	33-36-31	130-23-15	2006/12/25	9:38	15:38	13.9	0.0092

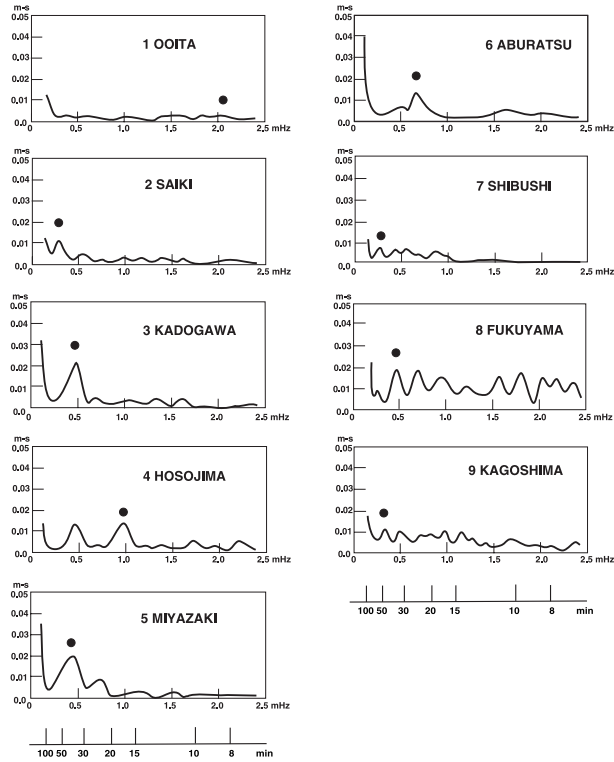


図 2-1 観測した静振の振幅スペクトル 1。卓越振動数（周期）を●で示す。

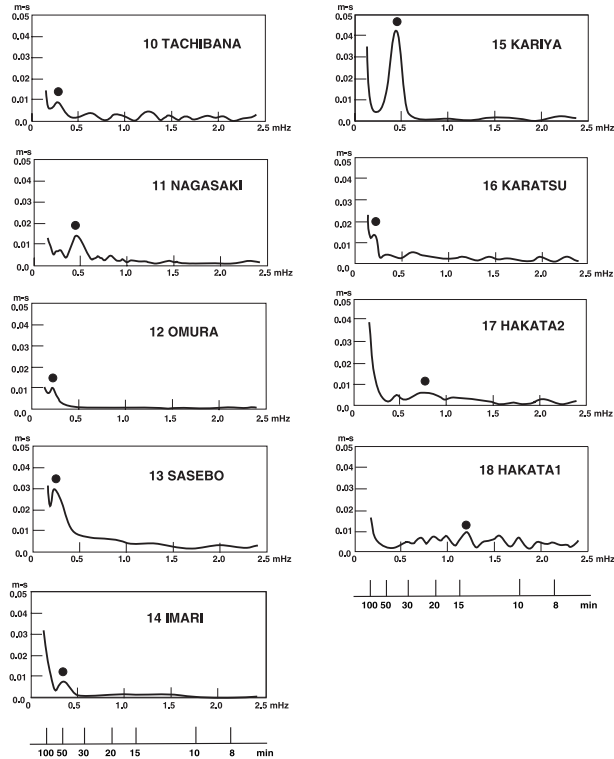


図 2-2 観測した静振の振幅スペクトル 2。

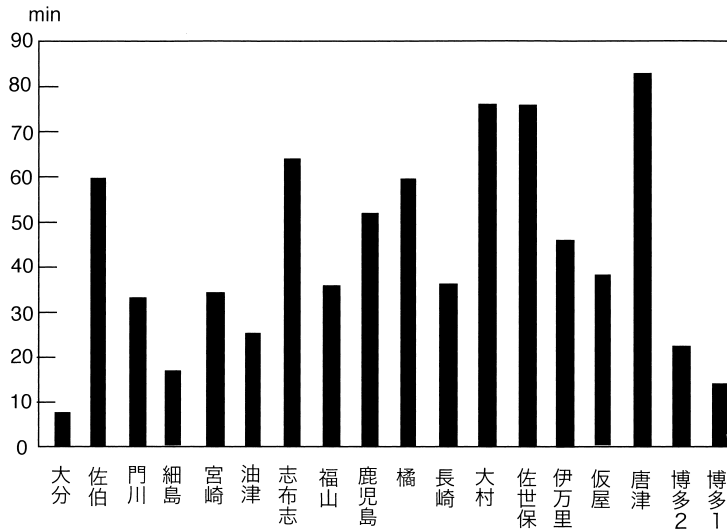


図3 静振の卓越周期

様でなく、長周期ではピークの独立性が弱い傾向がある。これは長い周期成分を確定するには6時間という測定時間が短くなっている事による。このような独立性の弱いピークも含めて議論すると、最も長いのは唐津の83.3分で次が大村、佐世保の75.8分となる。これらはスペクトルの型で言うと固有型に属する。志布志の64.1分がそれに続いているがこれは連続型に属する。一方、最も短い周期は大分の8.3分であるがこれは連続型でのピークであるから地形と関連づけるのは困難である。次に短いのが博多1の13.9分、その次は細島の17分である。ちなみに博多2は22.5分で博多港の内側、13.9分の博多1は外側にある。いずれも連続型であるが、博多2の卓越周期の方が独立性が高い。卓越周期について10分間隔で集計をとると30分台が5例で最も多く、次が50分台の3例である。三陸に比べて卓越周期は長い傾向にある(Abe,2005)。

4. 津波との関連性

津波のスペクトルを求め、卓越周期を決めて、静振の場合と比較した。使用した津波は1996年10月19日と1996年12月3日に

発生した2つの日向灘地震津波である。これらはいずれも地震のマグニチュードが6.6で、宮崎の沖20-30kmに震央をもち、いずれも宮崎検潮所に最大振幅(全振幅ではない)0.2mの津波をもたらした。図4にはその震央を示す。この津波は志布志、油津、宮崎、細島の各検潮所で記録された。そこで発震時から6時間の水位変化について静振のスペクトルを求めた方法でスペクトルを求めた。津波の振幅は小さいので、検潮所の応答補正はしていない。その結果を図5に示す。図には比較のためこれら検潮所の属する港や湾と同じ港や湾で測定された静振のスペクトルを並べて示してあるが、この部分は図2にのせたものと同じものである。これを見ると10月19日の津波は宮崎、油津ではエネルギーが0.5mHz(周期33分)から1.0mHz(周期17分)までの範囲で特定の周期に偏らずに集中しているようすが観測された。一方、細島ではエネルギーが周期17.7分にだけ集中したスペクトルが観測された。この周期は静振の卓越周期17.0分にほぼ等しい値である。志布志では目立ったピークは表れていない。次に12月3日の津波であるが振幅が小さく、特徴的なピークがほとんどない中で、油津と宮崎で1-2mHzの間での振幅の僅

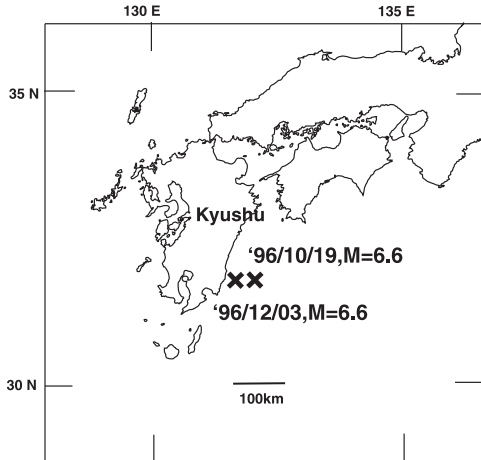


図4 1996年10月19日と12月03日の日向灘地震の震央分布。

かな増加が指摘出来る。油津と宮崎で振幅の大きい領域が同じで、しかも大きい領域が10月の津波に比べ12月の津波は振動数の高い方にずれている。静振のスペクトルが異なる2つの港の検潮所で津波については同じようなスペクトルがえられたという事は、これらの港に入射する以前に津波が持っていた性質が表れたとするのが合理的である。その事から考えて前者は後者に比べて周期の長い津波であったと予想される。次に津波のスペクトルから卓越周期を決めて、静振のそれと比較した。これを図6に示す。図には1:1, 1:3, 1:5の直線が引いてある。これらの直線にのる点がいくつかある事に注目しなければ

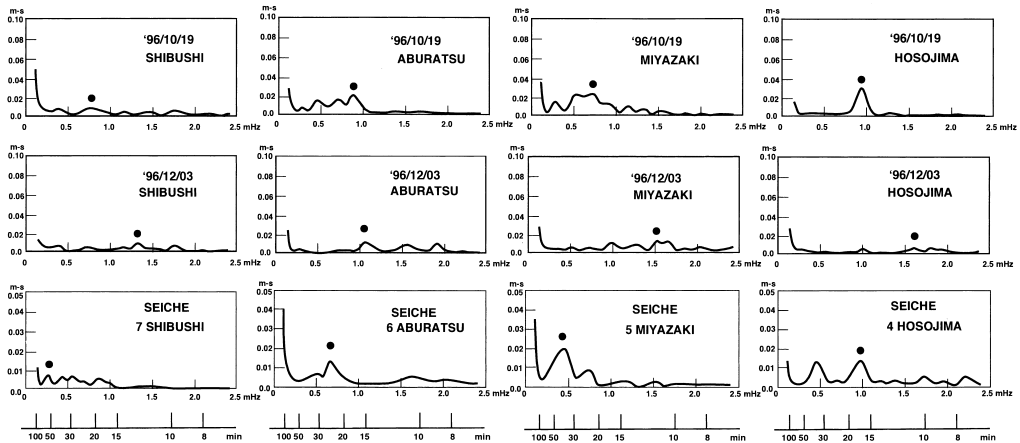


図5 日向灘沿岸4地点での両津波と静振の振幅スペクトルの比較。上から1996年10月19日の津波、同年12月3日の津波、静振の順で静振の振幅スペクトルは図2と同じ。津波スペクトルは検潮記録によるもの。

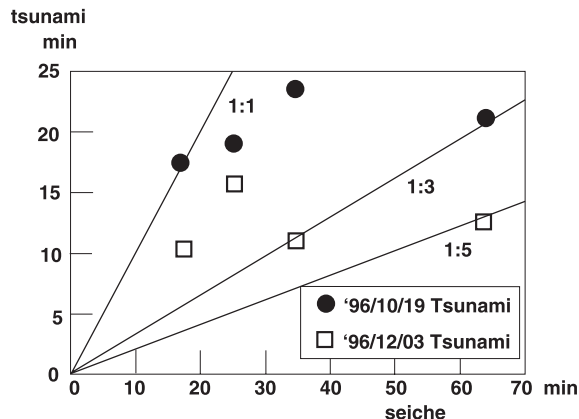


図6 静振と2つの津波の卓越周期の相関関係、実線はそれぞれ1:1, 1:3, 1:5の関係を表す。

ならない。1:1 の直線にのった場合は静振と同じ卓越周期が励起されたこと、1:3 は静振の卓越周期の 1/3 の周期が励起された事、1:5 は 1/5 の周期が励起された事を意味する。1/3, 1/5 は 1:1 を基本振動として 3 倍, 5 倍の高調波が励起されたとして説明出来る。このように奇数比の直線に良くのるという事はたまたま共鳴したというより, 強制的に合わせたと見るのが自然である。これと同様, 奇数比の卓越周期が卓越した例を Abe (2009) が日本海で発生した津波について示している。これは入射する津波が波源の周期を基準にして共鳴する周期を探した結果であると解釈出来る。もし高調波を含めて近い所に共鳴する周期がないときは波源から持ち込んだ周期を表すのである。それが 3 つの直線のどれにもならない点である。両者の津波を比較すると, 10 月の津波の卓越周期がすべての点で 12 月の津波の卓越周期に比べて周期が長い方にプロットされている。この事は先に述べた宮崎, 油津における周期成分での比較と矛盾しない。

5. 議論

長崎港のあびきは静振の発達したものとして有名である。赤松 (1985) は 1979 年 3 月 31 日に長崎港で発生した振幅 1m をこす静振のスペクトル解析を行い, その周期が 35-36 分であり, その振幅分布からして長崎港の基本振動によるものであるとしている。その周期はここでえた静振の卓越周期の 36.2 分と一致する。これよりあびきは静振そのもので, 単に振幅が大きいとか否かの違いだけである事がわかる。また静振の卓越周期は湾の基本振動に相当するものであると推定する事が出来る。長崎の場合スペクトルは固有型でこれ以外に卓越している成分がなく, 津波などの特別な事がないときは基本振動が表れる確率が高い事を示している。

Honda et al. (1908) は潮汐の副振動—ここでのいう静振—の測定を行って, 細島, 油津, 長崎でしばしば表れる周期として, それぞれ 17.8-20.3 分, 15.0-19.0 分, 34.5-37.6 分など

を報告している。これらの点で我々のえた値はそれぞれ 17.0 分, 25.3 分, 36.2 分である。比較すると長崎はその範囲内であり, 細島は 2 桁まで一致する。油津に関してはやや離れている。しかし油津ではその他にしばしば表れる周期として 21.6-24.5 分を報告しており, その上限値にほぼ等しい。彼らの測定と今回の測定の間には約 100 年の時間差があつて, 港の構造が当時と変化している。この事を考えると卓越する成分やそれぞれの割合が変化している事はあり得る。

Nakano and Unoki (1962) は 1 年から最長で 25 年間の検潮記録から発達した静振の記録を引き出し, その周期の頻度分布を調べた。それによると油津では 11-20 分が 73.3%, 21-30 分が 23.1% になっている。我々の測定結果では卓越周期は 25.3 分で 2 番目に多い頻度に位置づけられる。この他, 鹿児島, 長崎 (富江) で最も良く表れる周期帯としてそれぞれ 21-30 分, 31-40 分を上げている。長崎の値は静振のスペクトルからえた値と一致するが鹿児島の値は静振のスペクトルから得た結果はその 2 倍大きい。ただし, この中には, その原因が低気圧, 台風, 津波等種々の原因のものが含まれている。

6. まとめ

九州沿岸の 18 地点で静振の測定を行い, スペクトルと卓越周期を求めた。そしてスペクトルを固有型, 連続型, 中間型に分類した。その結果, それぞれは固有型として宮崎, 長崎を含め 11 地点, 連続型として志布志を含め 6 地点, 中間型として細島の 1 地点に分類された。スペクトルからえた卓越周期は 8.5 分から 83.3 分まで広く分布するが 30 分台が 5 例で最も多い。これらの値の 1996 年日向地震津波での表れ方を見ると, 同一の値の他, その 1/3, 1/5 の値として表れた。これは津波によって湾や港の基本振動または高調波が励起されたとして説明される。長崎では静振の卓越周期があびきの卓越周期に一致する事が示された。

謝辞

ここで使用した日向灘地震津波の検潮記録は気象庁（油津）、第4港湾建設局（志布志、宮崎）、国土地理院（細島）によるものです。記録の写しを提供していただきました事に関して記して感謝致します。

参考文献

Abe, K., 2005. Tsunami resonance curve on dominant periods observed at bays. In: Satake, K., ed. *Tsunamis: Case studies and recent developments*. Springer Publishing, Netherland, pp. 97-113.

Abe, K., 2009a, Excitation of resonant modes along the Japanese coast by the 1993 and 1983 tsunamis in the Japan Sea, *PAGEOPH*, 166, 117-130.

阿部邦昭, 2009b, 関東東海沿岸で観測した静振のスペクトルと卓越周期, 津波工学研究報告, 26,17-25.

赤松英雄, 1985, 長崎港のセイシュ (あびき)。気象研究所研究報告, 33, 95-115.

Honda, K., T. Torada, Y. Yoshida and D. Isitani, 1908, Secondary undulations of oceanic tides, *Jour. Coll. Sci. Imp. Univ. Tokyo*, 24, pp. 113.

Nakano, M. and S. Unoki, 1962, On the seiches (The secondary undulations of tides) along the coasts of Japan, *Rec. of Oceanographic Works*, 6, 169-214.

Rabinovich, A. B., 1997, Spectral analysis of tsunami waves: Separation of source and topography effects, *J. Geophys. Res.*, 102, 12663-12676.