

静振の再測から求めた湾や港の卓越周期 (2) 西南日本太平洋岸

Seiche dominant periods of bays and ports determined from a repeated measurement
(2) Pacific coast of Southwest Japan

日本歯科大学新潟短期大学 阿部邦昭

Kuniaki ABE

Junior College at Niigata, Nippon Dental University

Abstract

Additional data of seiche spectra were obtained by insitu measurements for 43 places of southwest Japan facing to the Pacific Ocean. Taking an average between the former and this data we composed an averaged spectrum of seiche. We illustrated the spectrum for each observation point and extracted dominant periods from it. The averaged spectra were represented as smoothed ones in comparison with the former ones. From the comparison of the dominant periods we verified that a reproducibility of dominant periods is within 76 % in the ratio assuming a relative error of 25%. The exceptional case tends to be observed in case of non-normal direction of the bay.

Keywords : Seiche, Spectra, Bay, Dominant period, Southwest Japan

1 序論

湾や港の固有振動を測る試みは日本では Honda et al. (1908) まで遡る事が出来る。その後、Takahashi (1934), Aida et al. (1972) 等により引き継がれてきた。Abe (2005a) は市販の圧力センサーを使って、日本の三陸地方太平洋岸の多くの湾の静振を測定して卓越周期を決めた。そして津波が共鳴曲線に沿って増幅されている事を示した。以後、この測定は日本全国で展開された (阿部 2005b, 2006, 2008, 2009b, 2010a, 2010b, Abe 2009a)。測定にかけた時間は6時間という短い時間であったので、これがその場の状況を十分に反映しているかについての疑問がある。そこで再測定を行う事にした。ここでは西南日本の太平洋岸で行った再測の結果を1回目の結果と合わせて一つのスペクトルに集約し、1回目の測定でえられた卓越周期と比較し、再現性を調べる。

2 方法

測定方法は1回目と同じで、圧力センサーを使って、湾や港の岸壁で錘をつけて1.5-2m 沈め水位を1分刻みで検出する。その結果を1回目と同じ方法でスペクトルにまとめる。ただし結果はパワー密度で表示する。振動数成分ごとに1回

目と2回目の間で平均値を取って振動数について並べ平均スペクトルを定義する。これを静振の平均スペクトルとする。この平均スペクトルで周期100分から7分の間で極大を示す周期を卓越周期とする。複数の極大がある場合は複数の卓越周期がもとまるが、同程度の振幅で多数の極大が出る場合はこれを卓越周期とは見なさない事にする。卓越周期を1回目の値と比較するとき、複数の卓越周期が求まっている所では最大振幅の卓越周期で代表させて比較する。

3 結果

今回、静振の再測 (室戸岬のみ3回) を行ったのは南西日本の太平洋岸の43点である (図1)。これらの点は既に1回目の測定が行われた点であるので比較する事で再現性を議論することができる (阿部, 2005b, 2006, 2010b)。

(1) 1回目の結果との比較

唯一、3回測定を行った室戸岬 (No.28) の場合と卓越周期の変化した下津 (No.19) の場合を示す。図2は室戸岬におけるスペクトルで1回目 (阿部, 2006)、2、3回目の観測結果とその平均スペクトルを示したものである。これによれば、1回目は周期8.7分、2回目は9.2分、3回目は9.3分が卓越し、ほぼ9分が共通で卓越したがスペクトル全体の形も

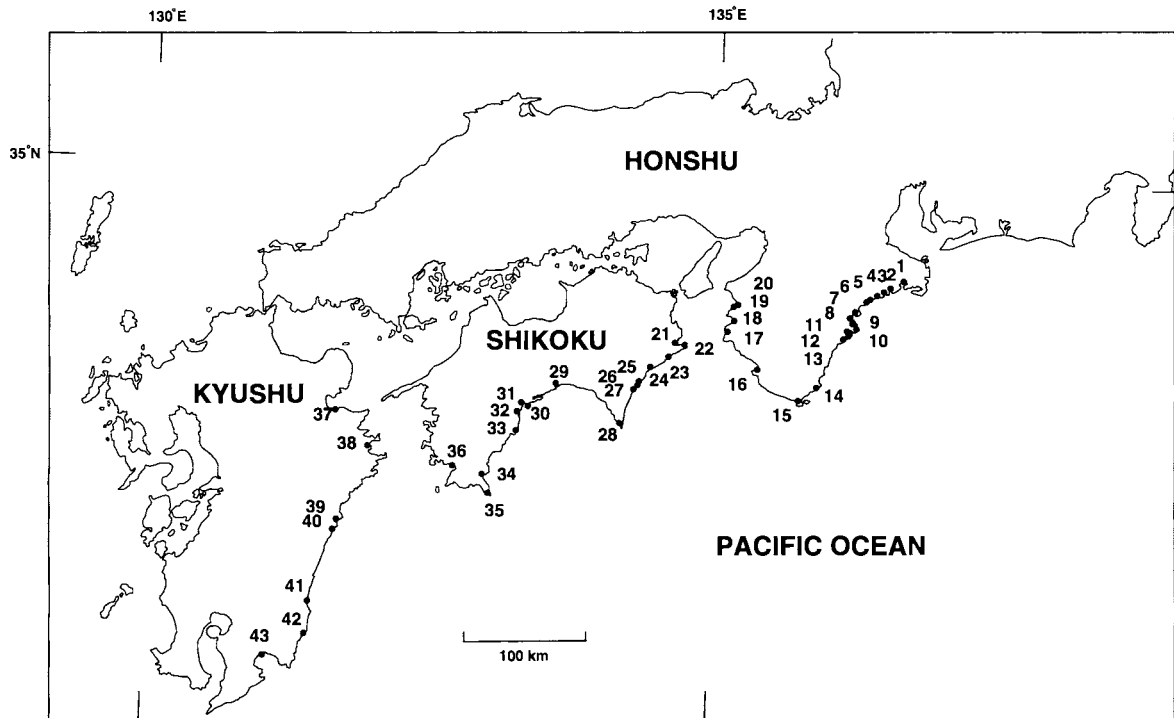


Figure 1. Map of seiche observation points (solid circles). The names are shown in Table 1.

似通ったものであった事がわかる。9分以外には共通して卓越した成分は見当たらない。3者の平均では共通のピークのみが強調されて、他の成分は小さい。この結果9分が卓越し、卓越周期は1回目の結果と同じになる。1回目のスペクトルを見ると9分以外にも卓越した成分があるように見えるが、平均では消えている。これは繰り返し測定が卓越振動を強調し、それ以外のものを小さくする効果がある事を示すものである。この結果は3回測定ではなく、2回測定であったとしても1回と2回の共通部分が周期9分の部分のみなので期待出来ることである。図3は下津の場合である。ここでは1回目(阿部, 2005b)には9.6分が、2回目には18.5分が卓越している。スペクトル全体で見ても、1回目は短周期が、2回目はより長い周期が卓越していて2者の間には違いが見られる。その平均スペクトルでは18.5分と9.6分の2つの成分が卓越して、他の成分が小さくなっている。このことは18.5分の成分は1回目では目立たなかったが小さくなく存在し、平均でピークとして出現したものと考えられる。同じ事は2回目の周期9.6分にもいえる事である。1, 2回に共通するものとして、周期30分の成分が極端に小さい事を指摘する事が出来る。この事は図6に示すように北隣に位置する海南(No.20)の平均スペクトルで40分と22分が卓越している事と対照的である。下津と海南の間に30分の定在波が形成され、両者はその振動の節と腹の関係になっている可能性がある。海南では固有周期が30分に近いので30分に対してう

なりを発生し、40分と22分に分裂して観測されているとするのである。

(2) 平均スペクトル

各地で求めた平均スペクトルを図4-8に示す。全体的にみたととき卓越する成分がなくて単調に減少するものと、周期100分近傍で急減衰した後、ピークを形成するものに2分できる。前者の代表が高知(No.29)であり、後者の代表が錦(No.5)である。賀田(No.11)、那佐(No.26)、室戸岬(No.28)もこれに入れてもいいかもしれない。前者に近いものとして田辺(No.16)、下津(No.19)、宿毛(No.36)、志布志(No.43)等をあげる事が出来る。一方、後者に近いものとしては古和浦(No.4)、九鬼(No.9)、浦神(No.14)、由良(No.17)等をあげる事が出来る。両者の中間にはっきりとピークを形成しながら短周期で下がる場合を入れる事にすれば、これに入るものは五カ所(No.1)、湯浅(No.18)、橘(No.21)、須崎(No.31)、土佐清水(No.35)、油津(No.42)があげられる。

このような分類の根拠となるのが共鳴である。100分から7分までの周期に湾や港が共鳴すればピークが出来るのに対し、しなければ平坦であるはずである。短周期の方向に減少するのは短周期成分がそこまで到達出来ずに途中で捕捉されてしまうからである。この事を考えるならば前者は遠浅の海の中であって、局地地形が短周期成分に共鳴するものでないときに起こるのに対し、後者は深い海が前にあって、局地地

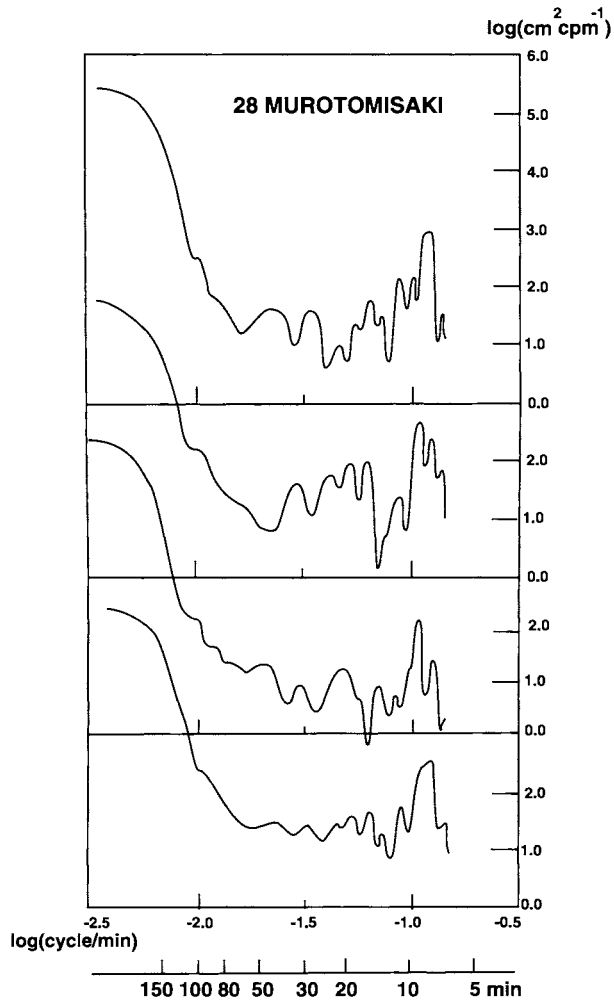


Figure 2. Power spectra of seiche observed at Murotomisaki. From top to bottom first, second, third observation and the average.

形が短周期に共鳴するようなものであるときに起こる。中間のものは、前に遠浅の海があるが、それ自身が湾で短周期に共鳴出来るような地形の場合である。ここでは短周期を広く考えていて60分位から下をさしている。

(3) 卓越周期

平均スペクトルの周期が100分から7分までの間の極大から求めた周期が卓越周期であるが、これを棒グラフで示したのが図9である。図は北から南に向けてプロットしたものであるが、地域差は大きくはないがわずかに認められる。すなわち、早田(No.10)を中心とする紀伊半島東北部、室戸岬から北の四国東部で10分程度の短い周期が卓越している。40分より長い成分は本州と四国の間の奥で多く見られる。海岸線が真直ぐな所で短い周期が、曲がっている所の奥の方で長周期が卓越する傾向にある。

次にその卓越周期を1回目の値と比較する。これを示すのが図10である。なお1回目で119分の値がえられている高

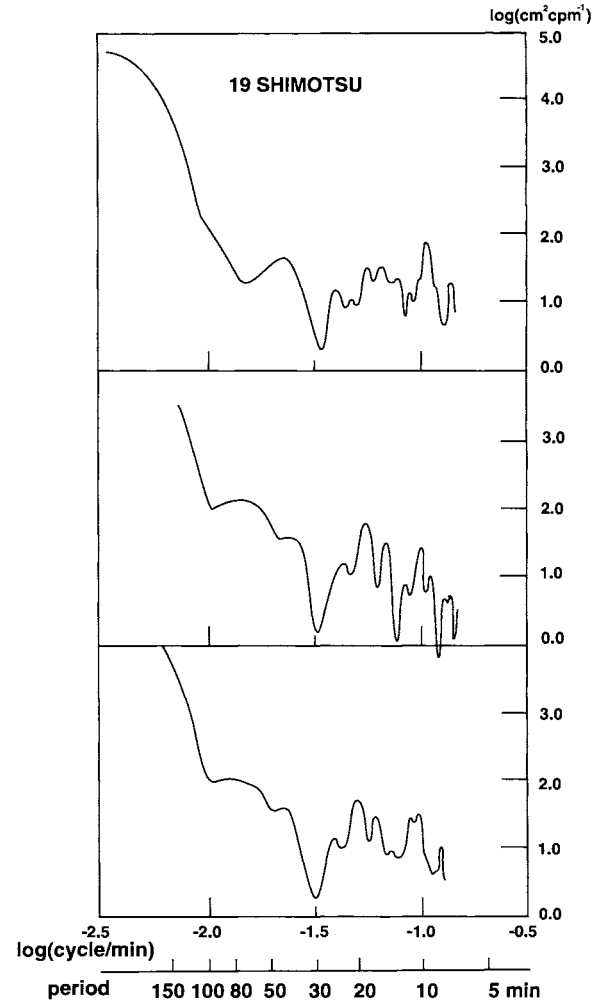


Figure 3. Power spectra of seiche observed at Shimotsu. From top to bottom first, second observation and the average.

知は比較の対象にしない。これをみると1:1の線上に多くの点があるのがわかるが、これが同じ値であった所である。誤差を25%とするとき、この範囲に収まるのは32個で全体の76%にあたる。つまり約3/4は25%の誤差で再現されているという事になる。さらに細かく見て±1分以内にあるものを数えると24点あり全体の57%になる。かなり再現性が高かった事を示すものである。一致の良い所は極大の振幅も大きくなっている。これが卓越周期が変化しない大きな要因と考えられる。一方、これに収まらない点のうち、4点は1:3の直線の周囲にある。これは1:3という関係から見て1次高調波と基本振動の関係と考えられる。湯浅では12分に対して平均では32分になっていて、この例になる。その他に2:1の直線の周囲にあると考えられる一群がある。宿毛がその代表例であるがこれは56分に対して28分である。阿波由岐(No.23)もこの例である。両方とも湾地形とはいえない所なので2倍振動が生じたものと見られる。もともと

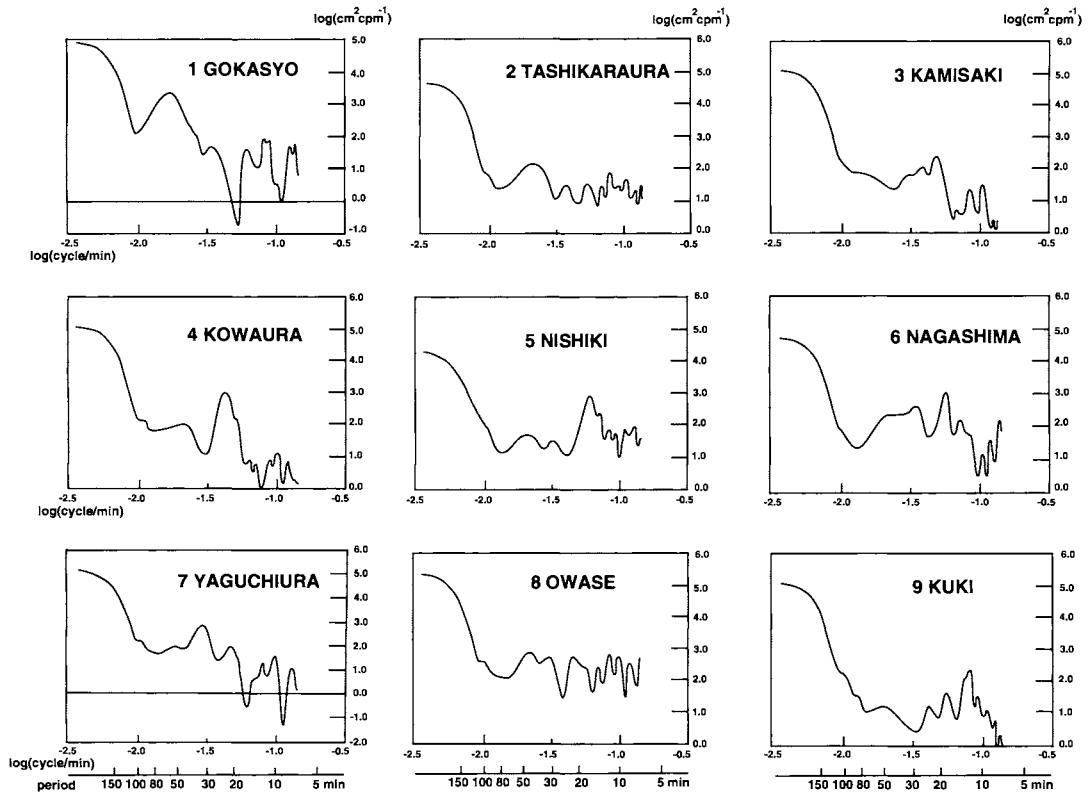


Figure 4. Averaged power spectra of seiche (1).

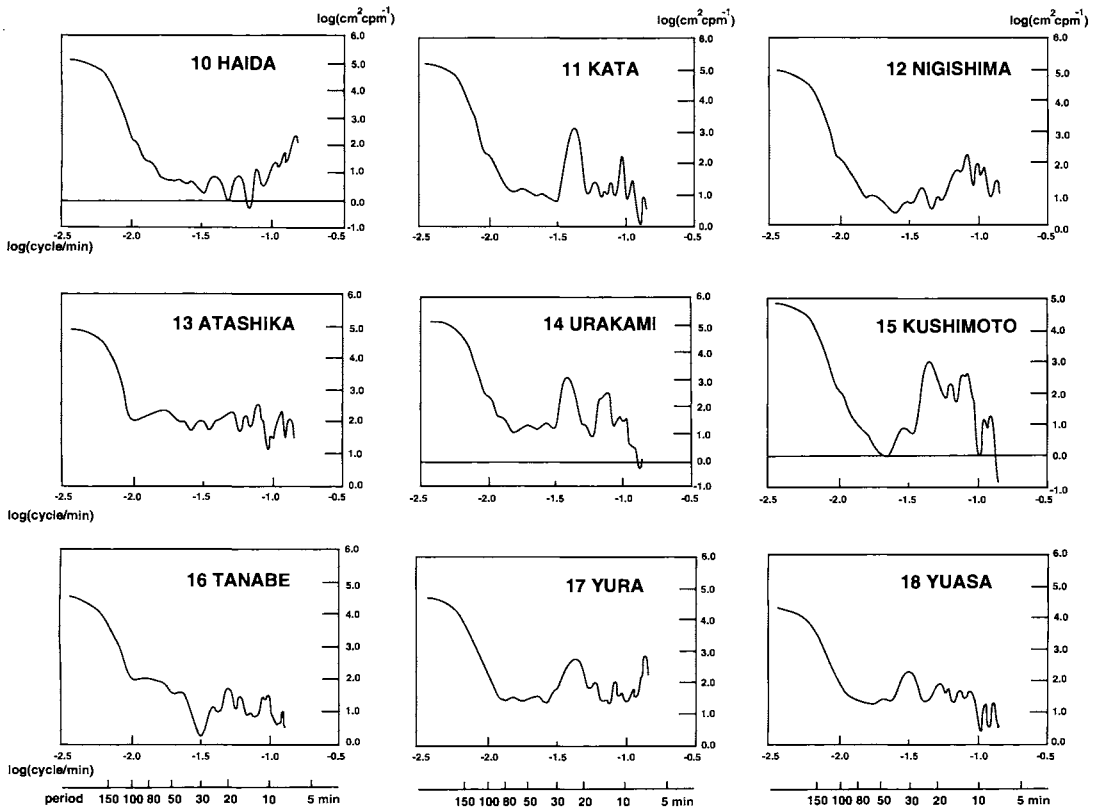


Figure 5. Averaged power spectra of seiche (2).

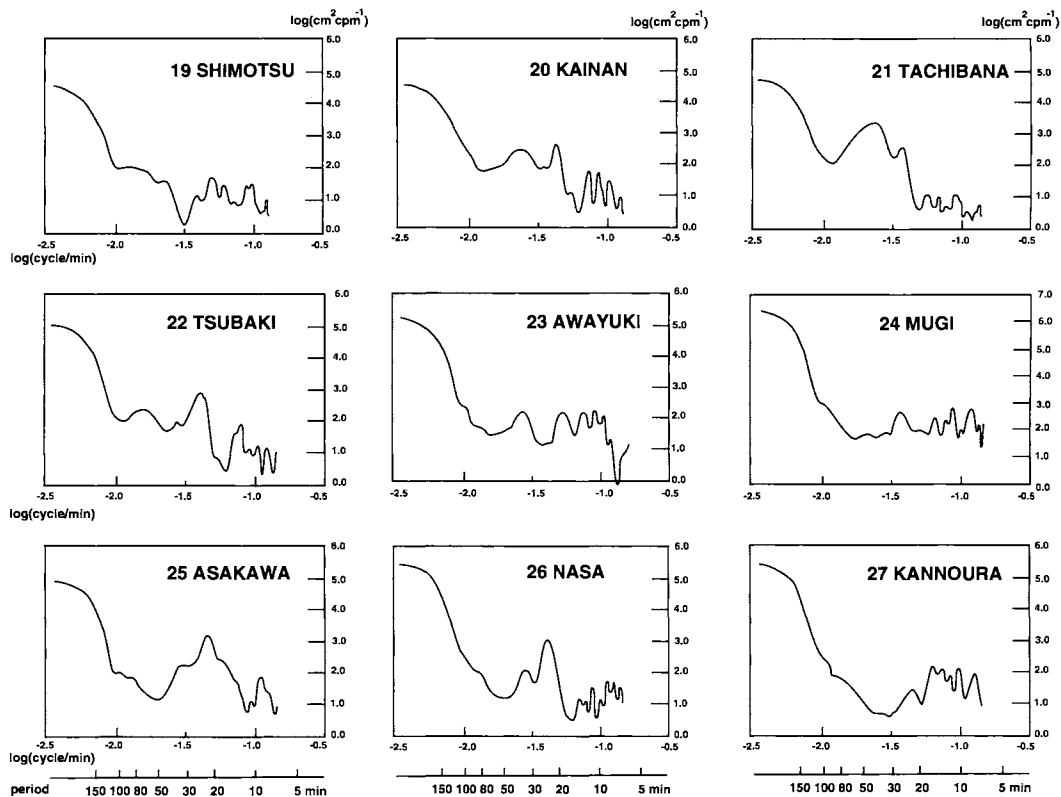


Figure 6. Averaged power spectra of seiche (3).

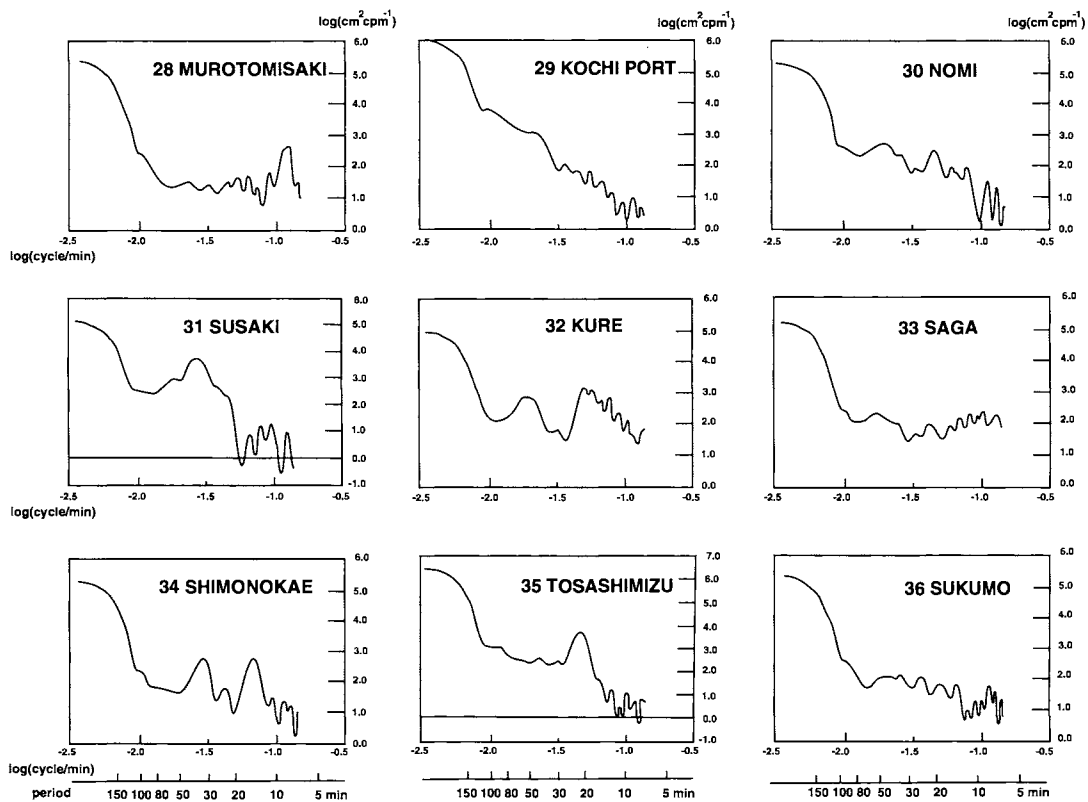


Figure 7. Averaged power spectra of seiche (4).

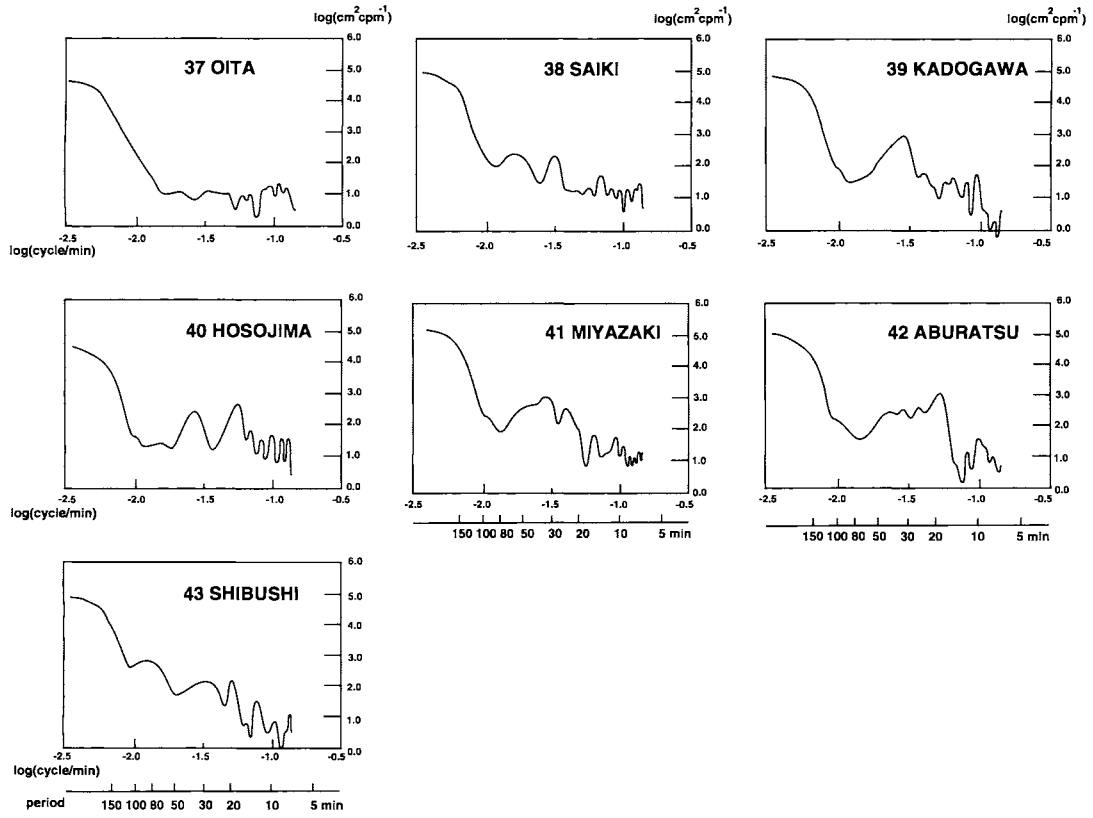


Figure 8. Averaged power spectra of seiche (5).

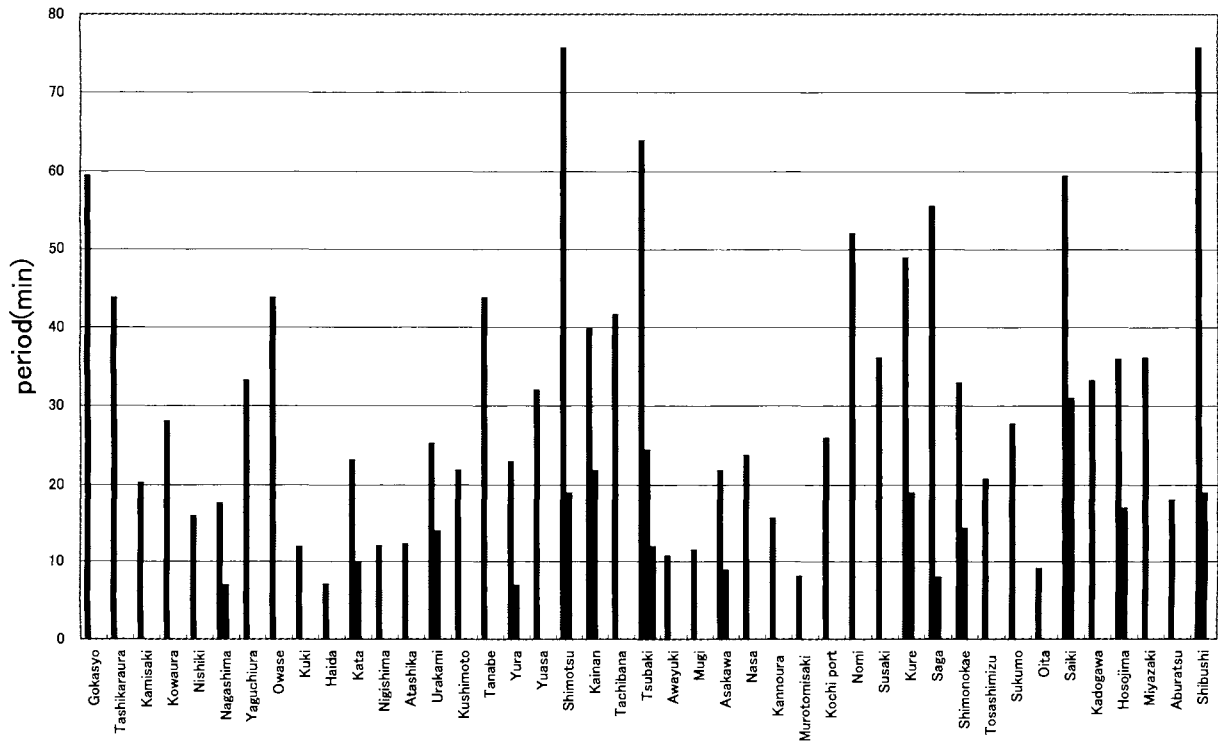


Figure 9. Dominant period obtained at each observation point.

Table 1 List of seiche observation points. The number is the same as that of Figure 1. From left to right number, name, latitude, longitude, dates of the first, second, third observation, dominant periods of the first, second and third observation. In the dominant periods bold is the most dominant one.

No	obs	lati	long	date(1)	date(2)	period1 (min)	period2 (min)	period3 (min)
1	Gokasyo	34-20-57	136-41-53	2002/12/29	2008/12/29	60		
2	Tashikaraura	34-17-8	136-33-58	2002/12/29	2008/12/25	44		
3	Kamisaki	34-16-37	136-30-4	2002/12/28	2008/12/25	20		
4	Kowaura	34-15-16	136-27-44	2002/12/28	2008/12/25	28		
5	Nishiki	34-13-8	136-24-0	2002/12/28	2008/12/26	16		
6	Nagashima	34-12-6	136-20-18	2002/12/27	2008/12/26	18	7	
7	Yaguchiura	34-07-37	136-16-21	2003/4/1	2008/12/26	33		
8	Owase	34-04-33	136-12-03	2002/12/28	2008/12/28	44		
9	Kuki	34-00-54	136-14-37	2003/4/1	2008/12/28	12		
10	Haida	33-59-53	136-15-22	2003/4/1	2008/12/28	7		
11	Kata	33-58-16	136-11-31	2003/3/31	2008/12/27	23	10	
12	Nigishima	33-56-18	136-10-52	2003/3/31	2008/12/27	12		
13	Atashika	33-55-26	136-08-59	2003/3/31	2008/12/27	12		
14	Urakami	33-33-23	135-53-28	2003/3/29	2009/2/22	25	14	
15	Kushimoto	33-28-30	135-46-29	2003/3/29	2009/2/19	22		
16	Tanabe	33-42-43	135-23-50	2003/7/23	2009/2/20	44		
17	Yura	33-57-34	135-06-50	1909/6/26	2009/2/21	23	7	
18	Yuasa	34-01-59	135-10-18	2003/7/25	2009/2/21	32		
19	Shimotsu	34-06-40	135-08-42	2003/7/26	2009/2/21	76	19	
20	Kainan	34-09-03	135-12-34	2003/7/27	2009/2/21	40	22	
21	Tachibana	33-51-15	134-37-53	2003/7/26	2009/8/8	42		
22	Tsubaki	33-49-50	134-41-04	2003/7/26	2009/8/7	64	25	12
23	Awayuki	33-46-11	134-35-44	2003/7/26	2009/8/7	11		
24	Mugi	33-39-43	134-25-16	2003/7/25	2009/8/7	12		
25	Asakawa	33-37-22	134-21-54	2003/7/25	2009/8/6	22	9	
26	Nasa	33-34-53	134-20-28	2006/3/3	2009/8/6	24		
27	Kannoura	33-32-40	134-18-04	2006/3/2	2009/8/6	16		
28	Murotomisaki	33-15-08	134-10-11	2003/12/24	2009.8.5*	8		
29	Kochi port	33-32-13	133-33-31	2003/12/24	2009/5/23	26		
30	Nomi	33-22-46	133-19-19	2006/3/1	2009/5/21	52	22	
31	Susaki	33-23-58	133-17-29	2003/12/21	2009/5/21	36		
32	Kure	33-19-33	133-14-10	2003/12/22	2009/5/21	49	19	
33	Saga	33-04-20	133-06-58	2003/12/22	2009/5/22	56	8	
34	Shimonokae	32-51-41	132-57-26	2003/12/22	2009/5/22	33	14	
35	Tosashimizu	32-46-30	132-57-40	2003/12/23	2009/5/22	21		
36	Sukumo	32-55-00	132-42-08	2003/12/23	2009/5/23	28		
37	Oita	33-14-51	131-35-02	2005/4/3	2010/1/7	9		
38	Saiki	32-58-25	131-54-21	2005/4/2	2010/1/7	60	31	
39	Kadogawa	32-28-13	131-39-30	2005/4/2	2010/1/6	33		
40	Hosojima	32-25-29	131-39-25	2005/4/2	2010/1/6	36	17	
41	Miyazaki	31-53-59	131-27-31	2005/4/1	2010/1/6	36		
42	Aburatsu	31-34-55	131-24-23	2005/4/1	2010/1/5	18		
43	Shibushi	31-28-22	131-06-46	2005/3/31	2010/1/5	76	19	
					* date(3)			
					2009/8/8			

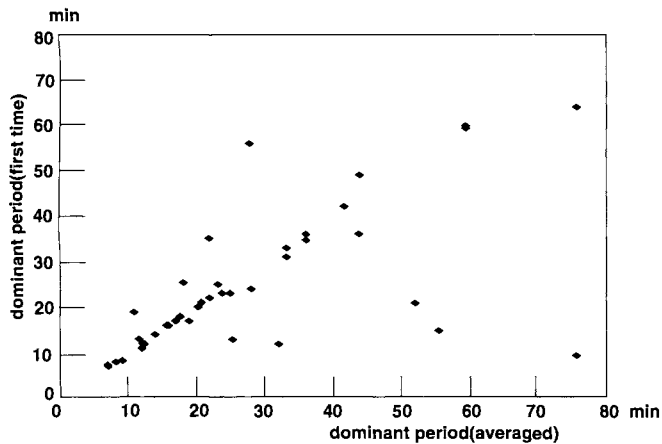


Figure 10. Correlation relation of dominant period between first observation and average.

両者とも極大値の振幅は大きくないので極大値の周期は安定したものではない。両者で10分以上の違いが見られた所を列記すると浦神, 湯浅, 下津, 海南, 野見, 佐賀, 宿毛, 志布志の8点である。佐賀と志布志を除けば湾の向きが外海の一一般的な海岸線の方角に対して直交方向から大きくずれている所である。

4 議論

高知と室戸岬を比べると測定点と外海の関係が明確になる。高知は室戸岬と潮岬の間に位置し、奥まった所にあるのに対し、室戸岬の測定点は室戸岬の突端近くにある。前者の前の海は遠浅であるのに対し、後者の前はすぐ外海で深い。従って前者には外海で出来る短い波は到達するまでに途中で捕捉されるので、ほとんど到達しない。一方、後者には容易に到達するであろう。この違いが短い成分が欠如するか、豊富にあるかの違いになって静振のスペクトルに表れる。

5 結論

平均のスペクトルを取る事で卓越振動が強調され、共通で

ない周期成分が減衰して、卓越周期が明確になる。そのときスペクトルが単一のピークからなり、振幅が大きい場合に再現性が高い傾向にある。

参考文献

- ABE, K., 2005a, Tsunami resonance curve on dominant periods observed at bays. In: Satake K. (Ed.), *Tsunamis: Case studies and recent developments*, Springer Publishing, Dordrecht, The Netherlands, 97-113.
- 阿部邦昭, 2005b, 紀伊半島沿岸における湾の卓越周期の測定と津波に対する応答, *地震*, 2(58), 83-89.
- 阿部邦昭, 2006, 四国太平洋岸における1946年南海津波の共鳴曲線, *地震*, 2(59), 39-48.
- 阿部邦昭, 2008, 八戸検潮所に於ける津波卓越周期, *津波工学研究報*, 25, 185-192.
- 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, 17-26.
- 阿部邦昭, 2010a, 北海道沿岸で観測した静振のスペクトルとその卓越周期, *津波工学研究報告*, 27, 43-50.
- 阿部邦昭, 2010b, 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, *津波工学研究報告*, 27, 51-58.
- AIDA, I., T.HATORI, M.KOYAMA, H.NAGASHIMA and K. KAJIURA, 1972, Long-period waves in the vicinity of Onagawa Bay (I) - Field measurements in Onagawa and Okachi Bays -, *Jour.Oceanog.Soc.Japan*, 28, 27-39.
- HONDA, K., T.TERADA, Y.YOSHIDA and D.ISHITANI, 1908, Secondary undulations of oceanic tides, *Jour.Coll.Sci. Univ.Tokyo*, 24.
- TAKAHASHI, R., 1934, Seiches and surface waves in Ofunato Bay and two other bays, *Bull.Earthq.Res.Inst., Suppl. 1*, 198-217.