

# 静振の再測から求めた湾や港の卓越周期

## (1) 東北日本太平洋岸

Seiche dominant periods of bays and ports determined from a repeated measurement

(1) Pacific coast of Northeast 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

Sea level oscillations for six hours in a usual sea condition (seiche) were measured at 45 Pacific coasts of northeast Japan in two or three times. The averaged power spectra were calculated and dominant periods were extracted from the spectral peaks for all the points. As the result it is understood that the spectra vary depending on the closed ness. The spectrum consists of one peak and the same dominant period is repeatedly detected in a long bay but of some peaks and the dominant period is variable in a short or wide bay. In the case of port facing to the open ocean, the spectrum is approximated by the white one and the dominant period is unstable.

*Keywords* : seiche, spectra, dominant period, bay, northeast Japan

### 1 序論

日本では湾の卓越周期は地震の際に発生する津波の周期がいつも同じである事に注目した大森(1901)の論文をきっかけにして注目されるようになった。以来, Honda et al. (1908), Takahashi (1934), Aida et al. (1972)等は海岸で静振の観測を行った。Abe (2005a)は市販の圧力センサーを使って三陸沿岸の湾奥各地で静振を観測し、スペクトルから卓越周期を求め、その周期をもとにして三陸地方を襲った4つの津波の共鳴曲線を求めた。その後、静振の観測は日本の沿岸各地で行われた(阿部 2005b, 2006, 2008, 2009b, 2010a, 2010b, Abe 2009a)。次にそのスペクトルと卓越周期の再現性が問題となる。静振のスペクトルの時間変化はAida et al. (1975)が女川湾で1年間計測した結果について報告した例があるが、湾による影響まで議論したものは見受けられない。そこで北海道、東北地方の太平洋沿岸で、既に測定された点と同じ点で同じ長さの観測時間で再測、所によっては3測まで行った。それについて報告する。

### 2 方法

測定はAbe(2005a)と同じで圧力センサーを湾や港の岸壁につるして6時間の水位を1分ごとに記録するものである。

1回目に測定されたと同じ場所に出向き、測定の季節や時刻には留意せずに、2度目、場所によっては3度目まで測定を行った。スペクトルの計算も同一であるが、表示は振幅表示からパワー密度にかえて表示する。理由はスペクトルのピークがより強調されるからである。振動数成分ごとに繰り返し、測定した回数だけ足し合わせて平均を求め、1分あたりの振動数に対してプロットして平均スペクトルとする。これを測定点ごとに求めて、周期100分から7分間の極大を示す周期を卓越周期とする。100分以下にした理由はスペクトルから潮汐の除き方が不完全のために生じる影響を除くためである。従って1回目で卓越周期が119分(阿部, 2008)であった八戸については卓越周期の比較から除外した。さらに振幅が同じ程度で極大が多く出ているスペクトルの場合はそのどれも卓越周期とは見なさない事にする。この様な基準をもうける事により各点で1-3個の卓越周期が決まる。複数の卓越周期が出た場合を1回目の卓越周期と比較する場合、最大振幅のものを卓越周期として比較する。

### 3 結果

今回、再測、3測を行った点を図1に示す。またその位置の緯度、経度、測定日(1回目も含む)を求められた平均ス

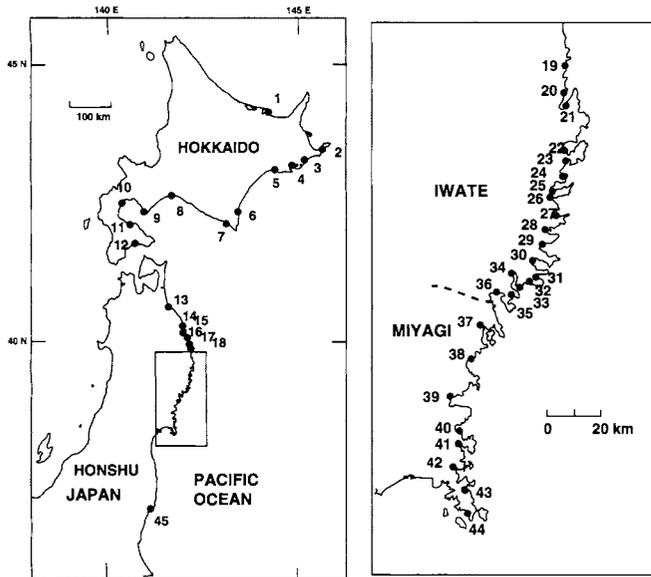


Figure 1. Map of seiche observation points (solid circles). The names are shown in Table 1.

ペクトルの卓越周期とともに表1に示す。

#### (1) 個別スペクトル

始めに3点でえられた結果を比較する。ここでは比較のために1回目の結果もパワー密度スペクトルに直して表示する。最初の比較点は銚が崎(No.20で岩手県宮古市)で、場所は気象庁宮古検潮所のすぐ脇にあたる。これを図2に示す。これを見ると3回の測定を通して、周期20-23分の成分が卓越していた事がわかる。その結果、平均スペクトルで23分が最も卓越した成分になったと解釈される。23分の周期は再現性の高い成分であるといえる。他に52分の周期成分も卓越している。これは2回目で同じ成分が卓越したためである。さらに10分の周期成分も1,2回目で卓越した結果、平均のスペクトルでも3番目に振幅の大きい成分として残っている。この3者の周期の比はおよそ5:3:1と見なす事が出来る。これは振動数では1:3:5となり、52分を基本振動の周期とした時、後の2者は前者の1次2次の高調波となる。宮古湾をこのような振動を励起する振動系と見なす事で卓越周期の関係が説明される事は興味深い事である。地形の関係で見ると銚が崎の位置は宮古湾の入り口からほど近い北側にあつて、凹地形をなしている。このような地形が基本振動より高調波を大きく励起する要因となっているものと考えられる。ちなみに宮古湾の湾奥にある堀内(No.21の地点)では平均のスペクトルで49分が卓越した。これは先の52分と3分の違いで一致する。従って堀内と銚が崎は同じ振動系で前者では基本振動が卓越し、後者では1次の高調波が卓越したというモデルでこれを説明出来る。

次に比較するのは鮎川(No.44で宮城県石巻市)である

(図3)。1回目では13分が最大であるが突出するほどではなく、短周期成分も多く含まれ、比較的に平坦なスペクトルを示したのに対し、2回目は明らかに20分が突出して卓越している。この差が平均のスペクトルに反映して23分が最も大きな振幅を示した。このため卓越周期で見ると1回目と平均では13分と23分にわかれた。とはいえ平均のスペクトルは23分その他49分、14分が卓越して、13分は卓越している14分と近い事から、卓越しやすい成分であるといえる。平均スペクトルの卓越周期の内49と14分はほぼ3:1の関係なので49分を基本振動、14分を1次高調波と見る事が出来る。第1回目では49分と14分に代わって52分と13分が卓越している。これらは4:1の関係を満たす。これでは両者とも湾の入り口を節とする定在波の高調波として説明する事が出来ない。そこでこれに代わるものとして湾の入り口を一方は節、片方は腹とする振動があつて腹とする振動は2次の高調波とするモデルを考える。するとこれを説明出来る。平均のスペクトルを求める事によって、卓越周期が整数比になっている事が明確になった。

最後に羅賀(No.17岩手県下閉伊郡田野畑村)の例を挙げる。これを図4に示す。1回目にわずかに飛び出た44分の周期成分が平均のスペクトルに持ち込まれたのがここでのスペクトルで、2回目にやや飛び出た16分の成分は相対的に小さな振幅だったために平均では卓越していない。短周期でも振幅の低下が見られないで、全体的には平坦な振幅分布を示した。これはこの点が外海に面していて湾に特有の凹地形を形成していない事から説明出来る。特別な周期成分が卓越しないという意味でホワイトノイズに近いスペクトルである。これは外海における長波のスペクトルを反映していると考えられる。

#### (2) 全体のスペクトル

全点で求めた平均のスペクトルを図5-9に示す。これを見ると突出するピークがなくて単調に減少するスペクトルと、周期100分付近で急に減衰した後、どこかで突出して顕著な卓越周期を形成するものに2分割できる。前者の代表はNo.13の八戸であり、後者の代表はNo.22の山田である。中間に属するものは両者の性質を併せ持つもので函館(No.12)、小本(No.18)、釜石(No.27)、広田(No.36)をこれに入れる事が出来る。八戸は外海に面した港であり、山田は奥行きが長く入り口が狭い山田湾の奥にあつて、湾状地形の代表的な部類に入る。先に例としてあげた羅賀も外海に面しているがこちらは平坦な振幅分布をしており、八戸の場合の単調減少とやや異なる。この違いは外海の深さに関連している可能性がある。八戸は遠浅で、羅賀は急に深くなるという違いがある。しかし突出したピークがない点で共通している。これは外海に面していると特別な周期を励起しにくい事を意味する。中間に属するものの地形は様々であり、小本のように外

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 letters are the most dominant ones.

No	observation pt.	latitude	longitude	date(1)	date(2)	date(3)	period1	period2	period3
1	Abashiri	44-01-07	144-17-16	2005/8/6	2010/7/16		40		
2	Hanasaki	43-16-52	145-33-59	2005/8/7	2010/7/17		33		
3	Hamanaka	43-07-26	145-07-00	2005/8/7	2010/7/17		60		
4	Akkeshi	43-03-03	144-50-48	2005/8/8	2010/7/17		21		
5	Kushiro	42-58-31	144-22-18	2005/8/8	2010/7/18		44		
6	Tokachi	42-17-49	143-19-20	2007/8/16	2010/7/18		<b>76</b>	19	
7	Urakawa	42-09-55	142-46-06	2007/8/17	2010/7/19		27	<b>15</b>	
8	Tomakomai	42-37-47	141-37-17	2007/8/17	2010/7/20		69	<b>23</b>	
9	Muroran	42-19-26	140-58-20	2007/8/18	2010/7/20		56		
10	Oshamanbe	42-31-40	140-23-48	2007/8/18	2010/7/20	2010/7/21	10		
11	Mori	42-06-36	140-35-31	2007/8/18	2010/7/21	2010/7/21	<b>52</b>	10	
12	Hakodate	41-47-11	140-43-37	2005/10/21	2010/7/21		56		
13	Hachinohe	40-31-53	141-31-42	2005/10/23	2005/10/23		<b>40</b>	20	
14	Kuji	40-11-41	141-47-37	2002/7/23	2010/5/1		15		
15	Noda	40-06-57	141-50-01	2002/7/23	2010/5/1		<b>76</b>	16	
16	Otanabe	40-00-38	141-54-19	2008/4/29	2010/5/1		7		
17	Raga	39-56-22	141-56-26	2008/4/29	2010/5/2		44		
18	Omoto	39-51-09	141-58-22	2008/4/29	2010/5/2		<b>76</b>	16	
19	Taro	39-43-55	141-58-20	2002/7/24	2008/4/29		8		
20	Kuwagasaki	39-38-35	141-58-30	2008/4/28	2008/5/1	2008/5/2	52	<b>23</b>	
21	Horiuchi	39-35-34	141-57-42	2002/7/24	2008/5/1	2008/7/22	49		
22	Yamada	39-28-14	141-57-15	2002/7/24	2008/7/23		42		
23	Funakoshi	39-25-28	141-58-27	2002/7/25	2008/7/23		15		
24	Kirikiri	39-22-18	141-56-57	2002/7/25	2008/7/23		36	<b>12</b>	
25	Ozuchi	39-19-36	141-54-18	2002/7/25	2008/7/24		<b>30</b>	11	
26	Ryoishi	39-18-26	141-53-25	2002/7/26	2008/7/24		13		
27	Kamaishi	39-16-16	141-53-12	2002/7/26	2008/7/24		29		
28	Toni	39-12-20	141-51-57	2002/3/9	2008/5/1	2008/7/25	19		
29	Yoshihama	39-09-17	141-50-46	2002/3/9	2008/7/25		9		
30	Okirai	39-06-29	141-48-39	2002/3/8	2008/7/25		22	11	
31	Ryorishirahama	39-03-17	141-48-53	2002/3/8	2008/4/30	2008/7/26	15		
32	Ryori port	39-02-34	141-47-49	2002/3/8	2008/7/26		12		
33	Nagasaki	39-01-11	141-45-14	2008/4/30	2008/7/26	2008/7/26	<b>76</b>	20	10
34	Ofunato	39-03-56	141-43-19	2002/3/7	2008/8/18		<b>44</b>	15	
35	Kadonohama	38-59-43	141-42-39	2002/3/7	2008/8/18		17		
36	Hirota	39-00-22	141-38-53	2002/3/6	2008/8/19		38		
37	Kesenuma	38-54-20	141-34-31	2002/3/6	2008/8/19		52		
38	Koizumi	38-47-36	141-31-45	2002/8/11	2008/8/19		8		
39	Shizugawa	38-40-24	141-26-55	2001/9/26	2008/8/20		<b>46</b>	16	
40	Oppa	38-33-41	141-28-26	2001/9/26	2008/8/20		21		
41	Okatsu	38-30-50	141-27-54	2001/9/25	2008/8/20		17		
42	Onagawa	38-26-40	141-26-51	2001/9/25	2008/8/21		<b>38</b>	15	
43	Yagawa	38-22-07	141-29-29	2001/9/24	2008/8/22		25		
44	Ayukawa	38-17-52	141-30-24	2002/8/11	2008/8/21	2008/8/21	52	<b>23</b>	13
45	Onahama	36-56-43	140-54-31	2006/5/2	2010/4/29		32		

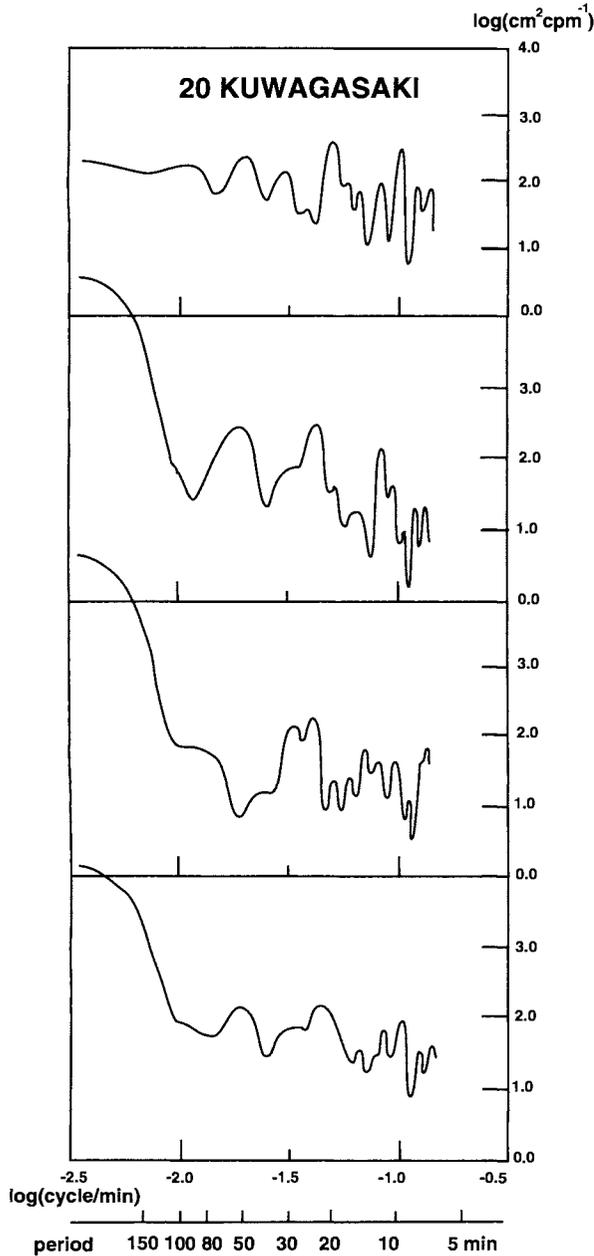


Figure 2. Power spectra of seiche observed at Kuwagasaki. From top to bottom first, second, third observation and the average.

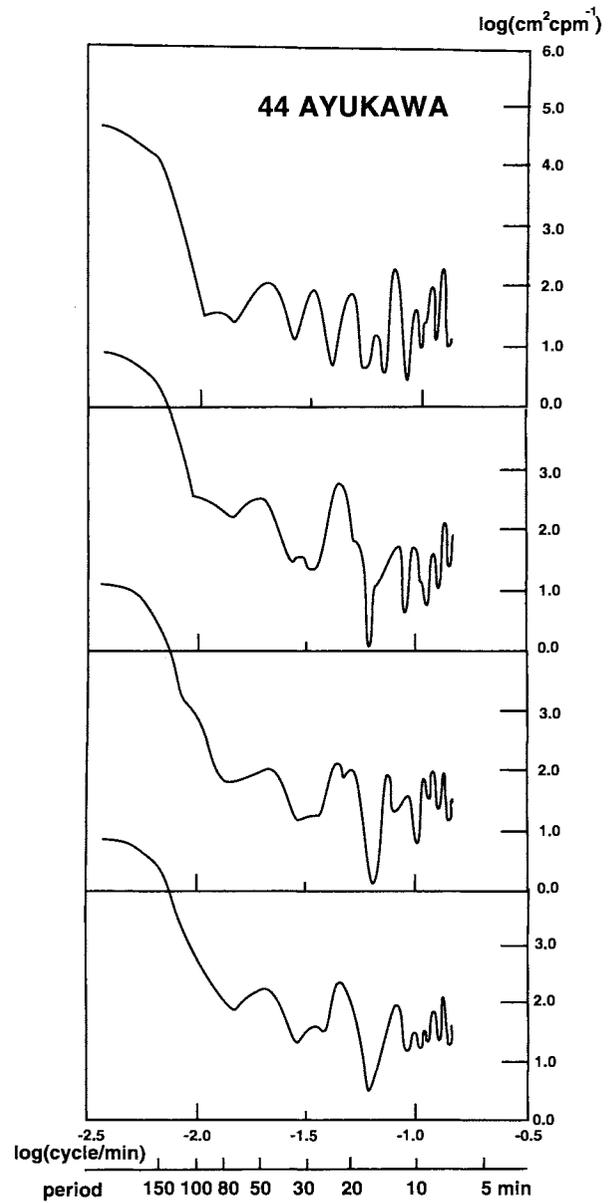


Figure 3. Power spectra of seiche observed at Ayukawa. From top to bottom first, second, third observation and the average.

海に面している所、釜石や広田のように湾の奥にある所、函館のように凹地形の所がある。湾の場合でも入り口が広い点は山田の場合と異なる。

(3) 卓越周期

平均のスペクトルに対して先に述べた基準で決めた卓越周期を表にして表1に示した。この中ででてきた93分の卓越周期は観測時間の4分の1にあたっており、人工的なものである可能性があるので卓越周期から除外してある。これを縦

軸に周期を取って図にしたのが図10である。卓越周期は全体的に見ると北海道では長く、岩手県中央部に向けて短くなり、宮城県でやや長くなる傾向にある。最長周期は76分で、4カ所でえられているが、それは十勝(No.6)、野田(No.15)、小本(No.18)、長崎(No.33)である。これらの点は野田が湾内にあるだけで他は全て外海に面している。野田の湾は入り口が広く奥行きが短い事から、外海の影響を強く受けている可能性がある。これらの事を考慮するとこれは陸棚

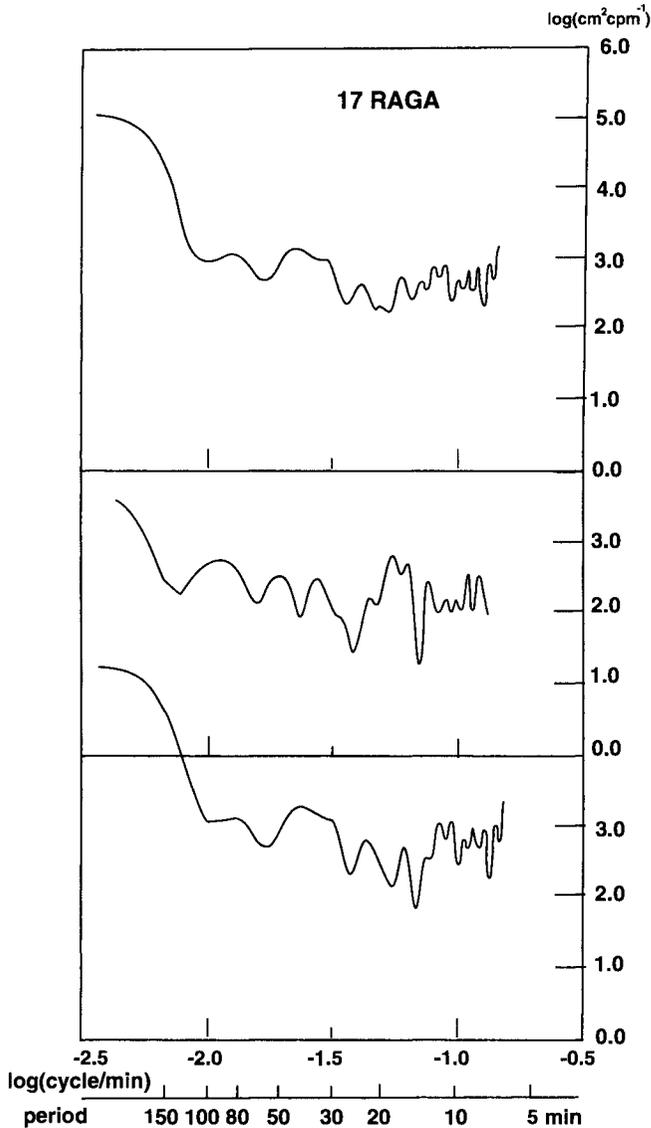


Figure 4. Power spectra of seiche observed at Raga. From top to bottom first, second observation and the average.

振動の周期である可能性が高い。これらの点では全て短い側に第2の卓越周期が出ている。湾や港の卓越周期はこの短い方の値に相当していると考えられる。これに対して短い周期は太田名部 (No.16) の7分, 小泉 (No.38), 田老 (No.19) の8分, 吉浜 (No.29) の9分等が上げられる。田老や吉浜は1896年, 1933年の三陸津波の水位の高かった所として有名な所である。

平均スペクトルからえた卓越周期のうちで複数の卓越周期がえられている所では最大振幅のものを選んで, 1回目の測定でえられた卓越周期と比較したのが図11である。これを見ると山田湾や気仙沼湾のような長い湾は一致が良い。これによると25%の誤差を想定した場合, 1回目と平均で卓越

周期が合致する割合は61%になる。ここでは湾に限らず, 外海に面している港も比較の対象になっている事を考えると, 湾の場合は良く再現されているといえる。再現されなかったものの中には, 陸棚振動の周期が卓越した場合や, 高調波が励起されて観測された場合がある。図で1:1対応の所は再現されているところであるが, 1:2や1:3のあたりに集まっている点が後者の例である。

#### 4 議論

Aida et al. (1975) は女川湾の湾奥近傍で静振を1年間観測して, そのスペクトルから最大振幅の卓越周期を求めているが, それによると37.0-41.7分の間で変動している。その結果とここの湾奥で測定したスペクトルの平均からえた卓越周期である38分を比べると38分はその変動幅の中にある。又その振幅は100-700 $\text{cm}^2/\text{cpm}$ で推移しており, ここでえた値の442 $\text{cm}^2/\text{cpm}$ は中間の値になっている。これからみて, 女川湾では静振の卓越周期38分はかなり再現性が高いという事が出来る。

#### 5 結論

北海道・東北地方の太平洋岸の湾や港45カ所で静振の再測, 3測を行い, 平均スペクトルを求めた。そしてその極大値から卓越周期を決めた。最大振幅の卓越周期を1回目の卓越周期と比較して再現性を調べた。その結果, 誤差を25%とした時, 61%の場所で卓越周期が再現されている事がわかった。長い湾は再現性が高いのに対し, 短い湾や外海に面している所では再現性が良くない事がわかる。後者の場合, 倍振動や陸棚振動の励起によって移動する事がその原因である。

#### 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

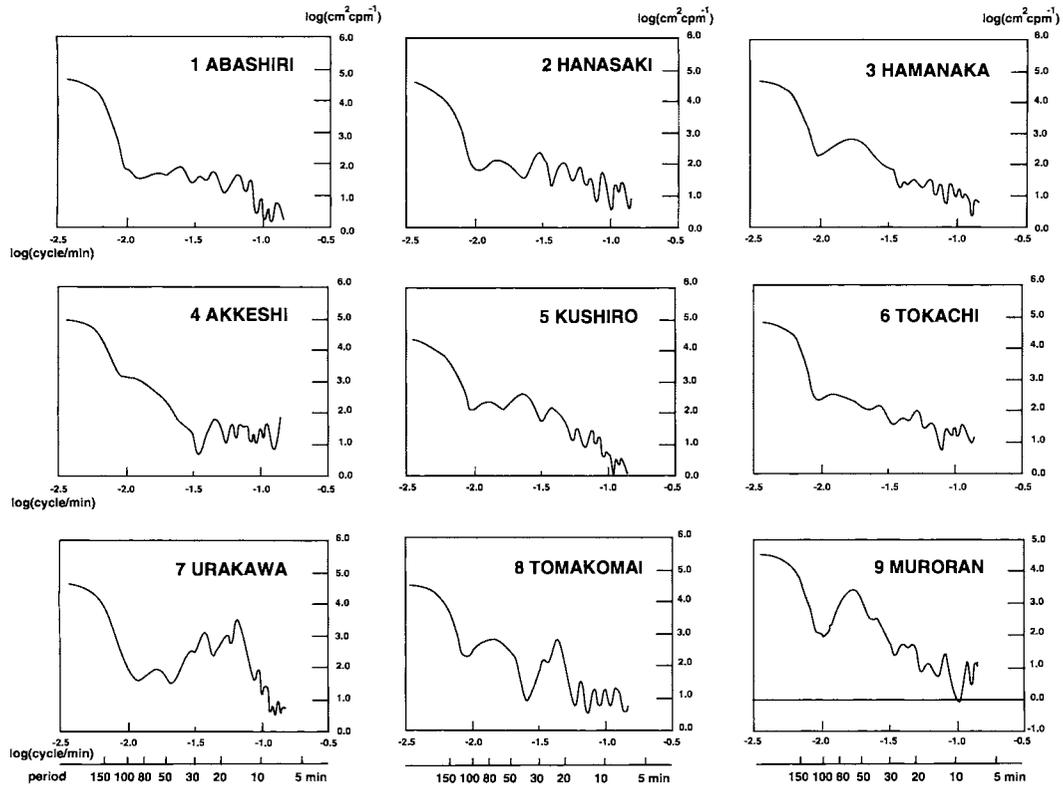


Figure 5. Averaged power spectra of seiche (1).

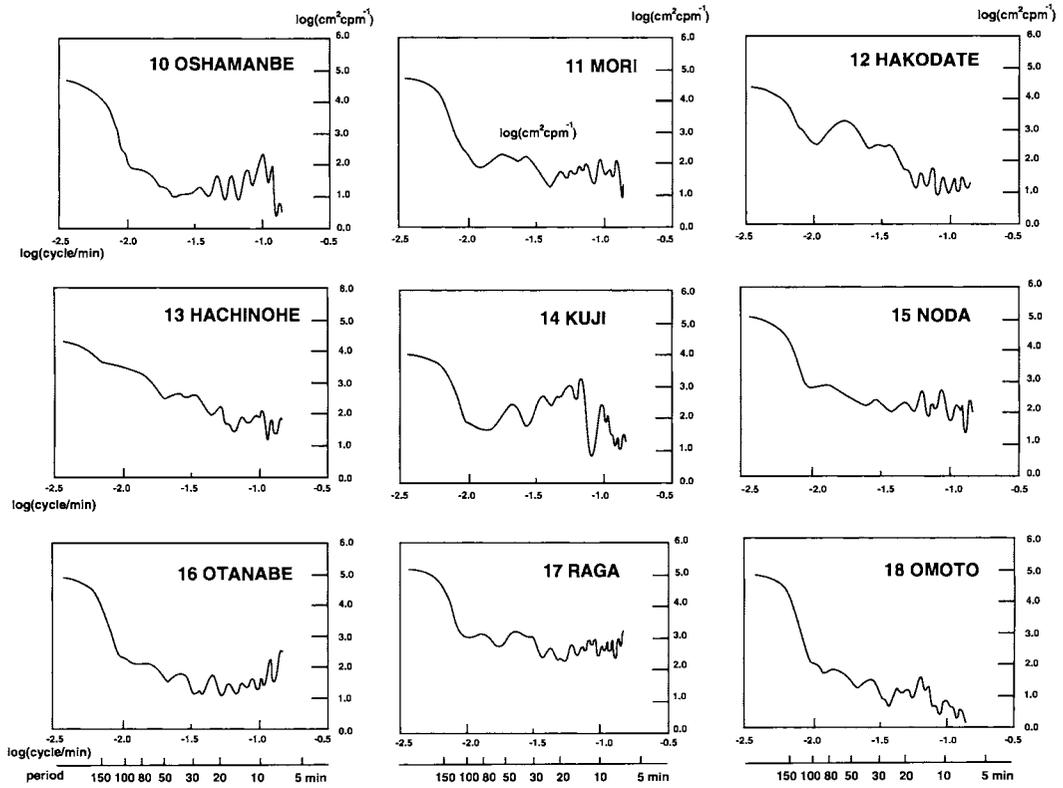


Figure 6. Averaged power spectra of seiche (2).

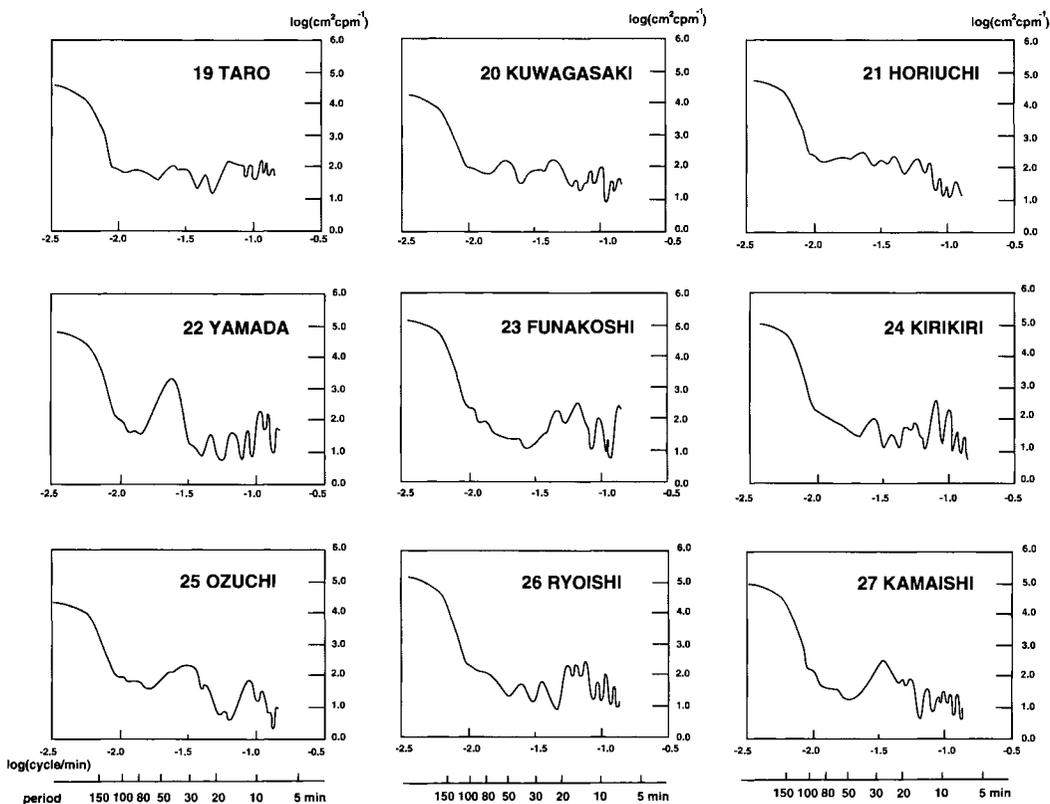


Figure 7. Averaged power spectra of seiche (3).

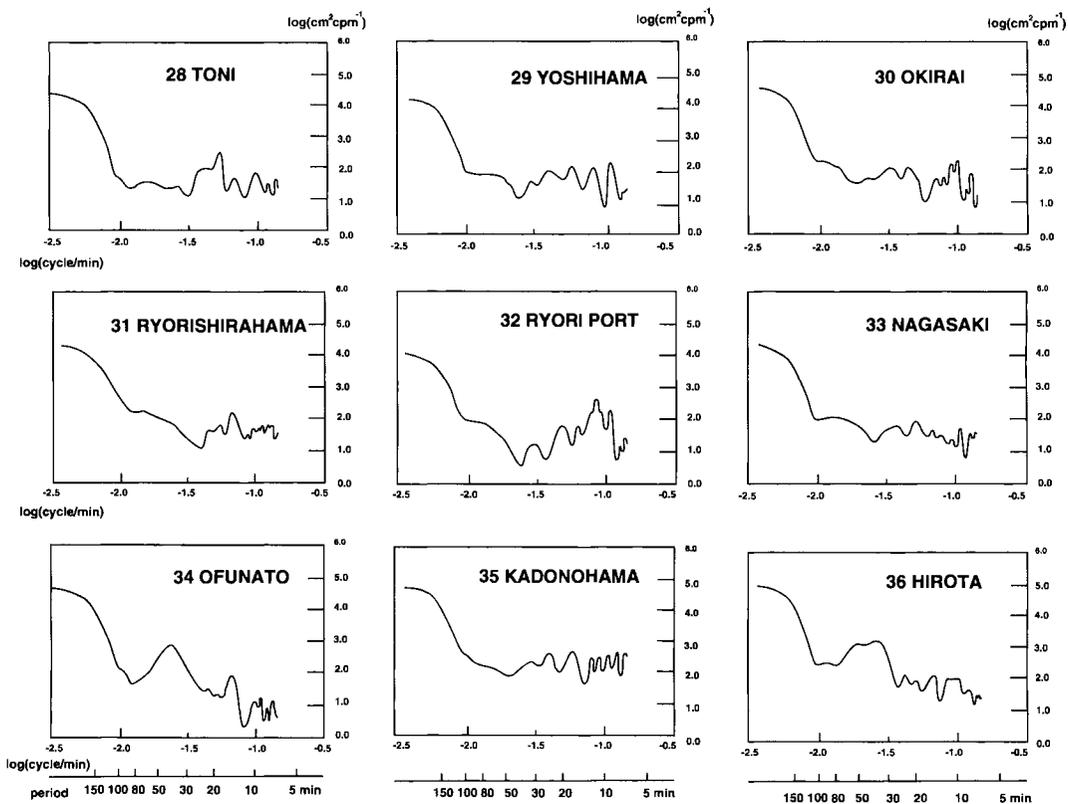


Figure 8. Averaged power spectra of seiche (4).

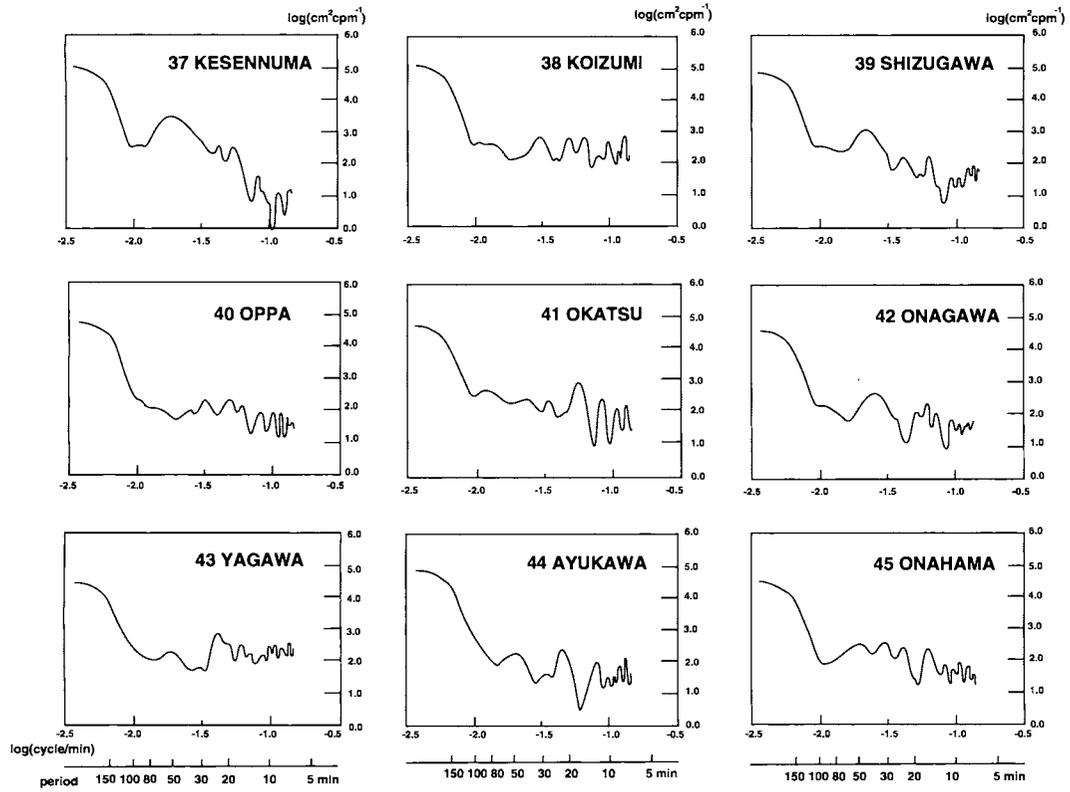


Figure 9. Averaged power spectra of seiche (5).

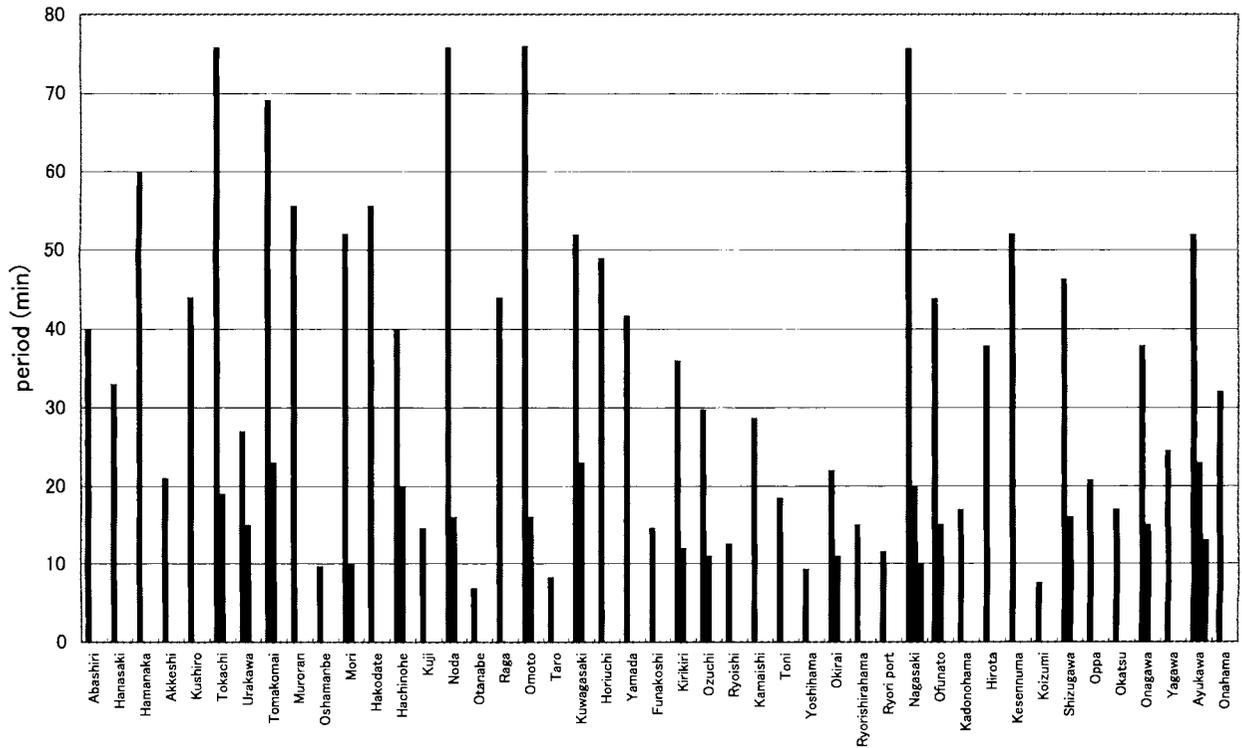


Figure 10, Dominant period obtained at each observation point.

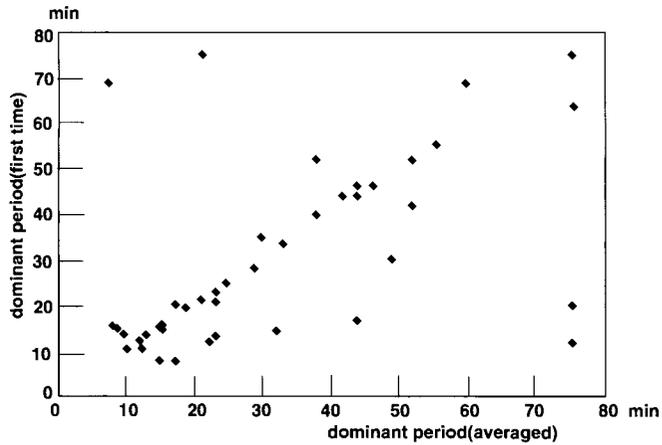


Figure 11. Correlation relation of dominant period between first observation and average.

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.

AIDA, I., M.KOYAMA, D.DATE and S.SAKASHITA, 1975, Long-period waves in the vicinity of Onagawa Bay (III) —Time change of the seiche characteristics in the bay—, *Jour.Oceanog.Soc.Japan*, 31, 61-70.

HONDA, K., T.TERADA, Y.YOSHIDA and D.ISHITANI, 1908, Secondary undulations of oceanic tides, *Jour.Coll.Sci. Univ.Tokyo*, 24.

大森房吉, 1901, 日本に於ける津浪に就きて, 震災予防調査会報告, 34, 5-80.

TAKAHASHI, R., 1934, Seiches and surface waves in Ofunato Bay and two other bays, *Bull.Earthq.Res.Inst., Suppl. 1*, 198-217.