

本州日本海沿岸における静振卓越周期の由来の考察

阿部 邦昭

はじめに

これまで日本の沖縄を除く海岸での静振の測定を行って来たが、本州日本海沿岸での静振に着目し、未発表のスペクトルを加えて卓越周期が陸棚振動の影響下にある状態を調べ、卓越周期の由来について一定水深の一次元モデルを使って考察を行った。

方法

静振について概説する。測定方法は岸壁から圧力センサーを海中に投入し、ケーブルで地上の記録器に信号を送り 1 分間隔で水位を記録させるものである。測定を続ける時間は 6 時間であるが卓越する振動が観測でき、しかも数多くの地点で測定をすることから設定されたものである。この方法は他の各地で測定してきた方法と変わりはない。変位スペクトルの計算方法と卓越周期の求め方も従来のもので変わりはない（例えば阿部, 2011）。日本海沿岸部で測定を行ったのは 2004 年から 2007 年にかけての 4 年間で、測定場所は青森県大湊市から山口県長門市までの 36 地点である。検潮所が近くにあるところではその極近傍を選んで測定している。その理由は津波の検潮記録と比較する事が出来るようにするためである。2009 年には Abe (2009) において日本海沿岸で測定した静振の卓越周期と津波の卓越周期の関係を調べている。又阿部 (2023) で新潟県沿岸での測定結果に基づき卓越周期が陸棚振動に由来する状況を説明している。ここではすでに発表されているスペクトル以外のスペクトルを表示し、考察においては既に発表しているスペクトルの結果も加えて、本州日本海沿岸全体の静振について行うものである。

結果

図 1 に日本海沿岸のうち佐渡、粟島を除いた全測定点を地図で示し、未発表 26 点の振幅スペクトルを図 2-4 に示した。世久見のスペクトルは前回使用したものは水位記録の修正に不十分な点がある事がわかり、再修正の上スペクトルを求め直して表示してある。表示の短周期側限界の 0.0024Hz は周期 6.9 分にあたる。スペクトルが極大を示すところの中で最大のものを卓越周期と定義している。図 4 の測定点の名前、測定位置の緯度経度、測定開始と終了の時刻、観測されたスペクトルの卓越周期を表 1 に示す。測定点の番号は表 1 の測定点番号である。スペクトル中の印のついた極大値が卓越周期でその値が表 1 の値である。スペクトルを図中で周期ではなく振動数表示にしているのは倍振動の関係がわかりやすくなるためである。図 5 は全観測点で得られた卓越周期を 10 分間隔で集約したものである。最多数の周期は 30 分台で 9 例でありその数は周期の増大とともに漸減するが 100 分をこすものが 4 例あることも注目される。5 例以上のグループは 10, 20, 30, 40 分台の 4 グループで、これは津波で卓越する周期と重なるところである。全 44 点のうち最も長いのは敦賀の 167 分、次いで寺泊、七尾の 139 分、富山 104 分、西舞鶴 93 分、東舞鶴 83 分である。短い方は青森の 7.1 分が最短で、ついで深浦の 9.0 分、田島 10 分、津居山と外浦の 13 分である。全点の平均値は 46.7 分である。

議論

図 6 は日本海に面していない大湊と青森を除いた測定点で、卓越周期と陸棚の長さ

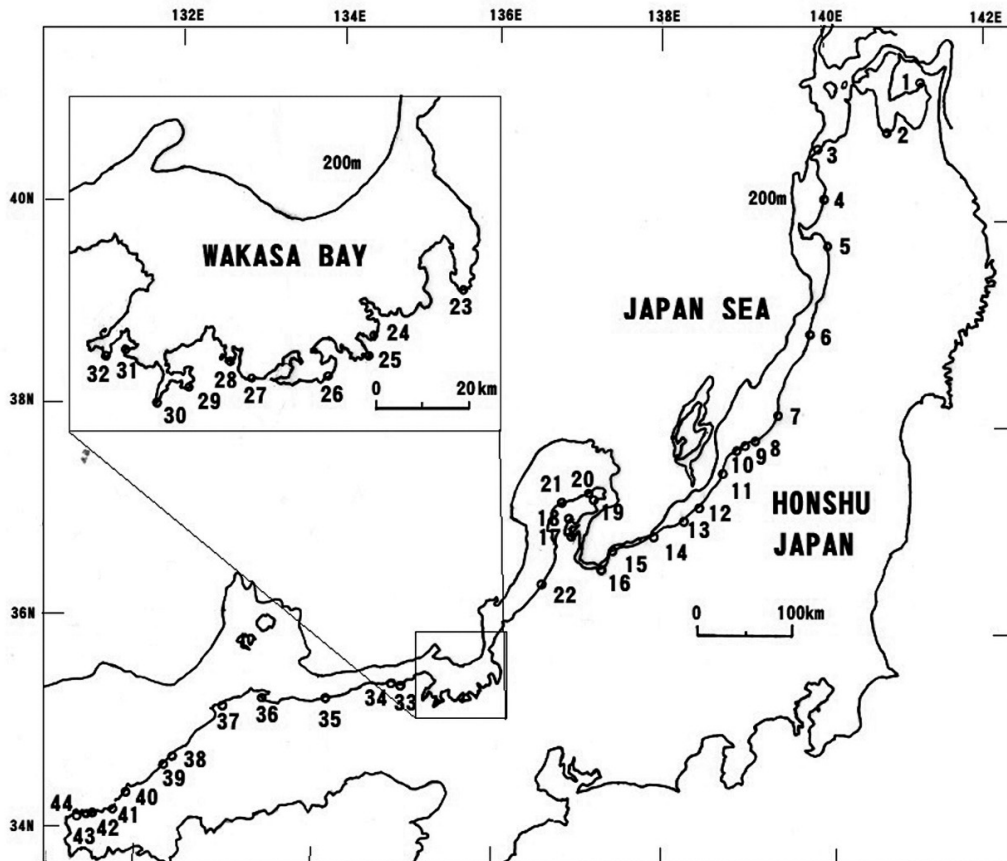


図1 測定点の位置, 番号は表1の番号に対応

考えられる 200m 水深の水深線までの直線距離と卓越周期を並べて図示したものである。200m 水深線距離の定義は図7に示すように 200m 等水深線上で測定点に最も近い点の測定点からの距離である。同時に後で必要になる湾の長さの定義の仕方もこの図で示している。図6からは卓越周期と陸棚の長さに関連がある事が認められる。今日本海沿岸部を海岸線の変化から4地域に区分分けする。深浦から姫川（東北地域）、入善から金沢（富山湾地域）、敦賀から宮津（若狭湾地域）、久美浜から油谷（山陰地域）の4区分である。図8に各地域での陸棚長と卓越周期の関係を示す。100分をこす地点を例外として除外して考えると地域ごとの特徴的分布が見えてくる。東北地域はばらつきの少ない比例関係、富

山湾地域は陸だな長の範囲が広いのに反して、卓越周期の幅が狭いこと、若狭湾地域では陸だな長の範囲が狭いが卓越周期の幅が広い事、山陰地域は両者ともに範囲が広い事とまとめられる。新潟県の沿岸で Abe (2023) は簡単なモデルをもとにした周期の考察から卓越周期を陸棚振動によるとしている。新潟県内の卓越周期は深浦から姫川の一部を占めるが卓越周期と 200m 水深距離の間の関係で新潟県のデータを含めたものを見てもばらつきが少ないことからひとくくりにしても問題はない。もっというと新潟県の静振の議論はこの地域全体に拡大できるということである。一方、山陰地域での卓越周期の幅が広い事は図6で示されている陸棚長が西進するにつれて大きくなっていることと関係しているよう

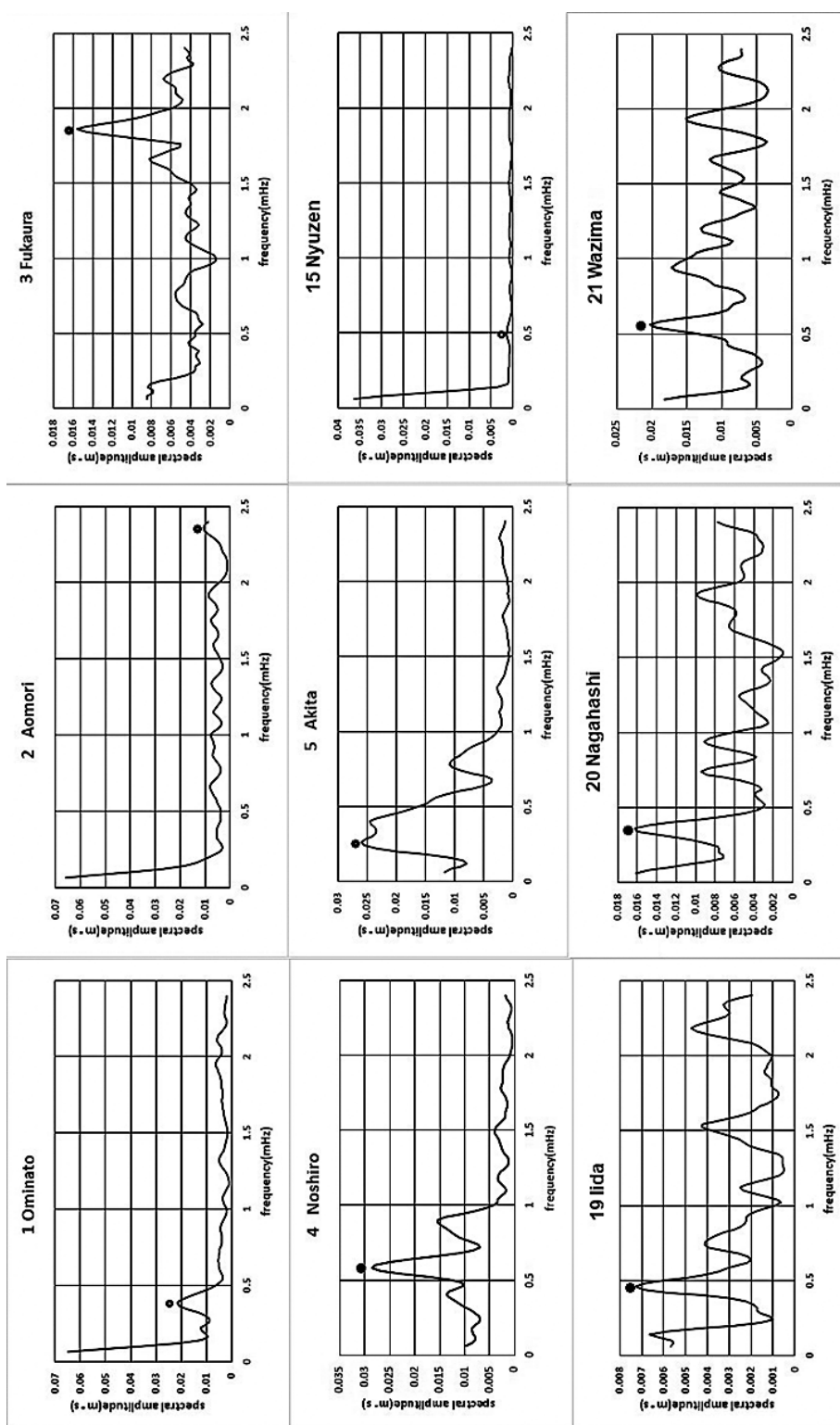


図2 観測された静振のスペクトル1

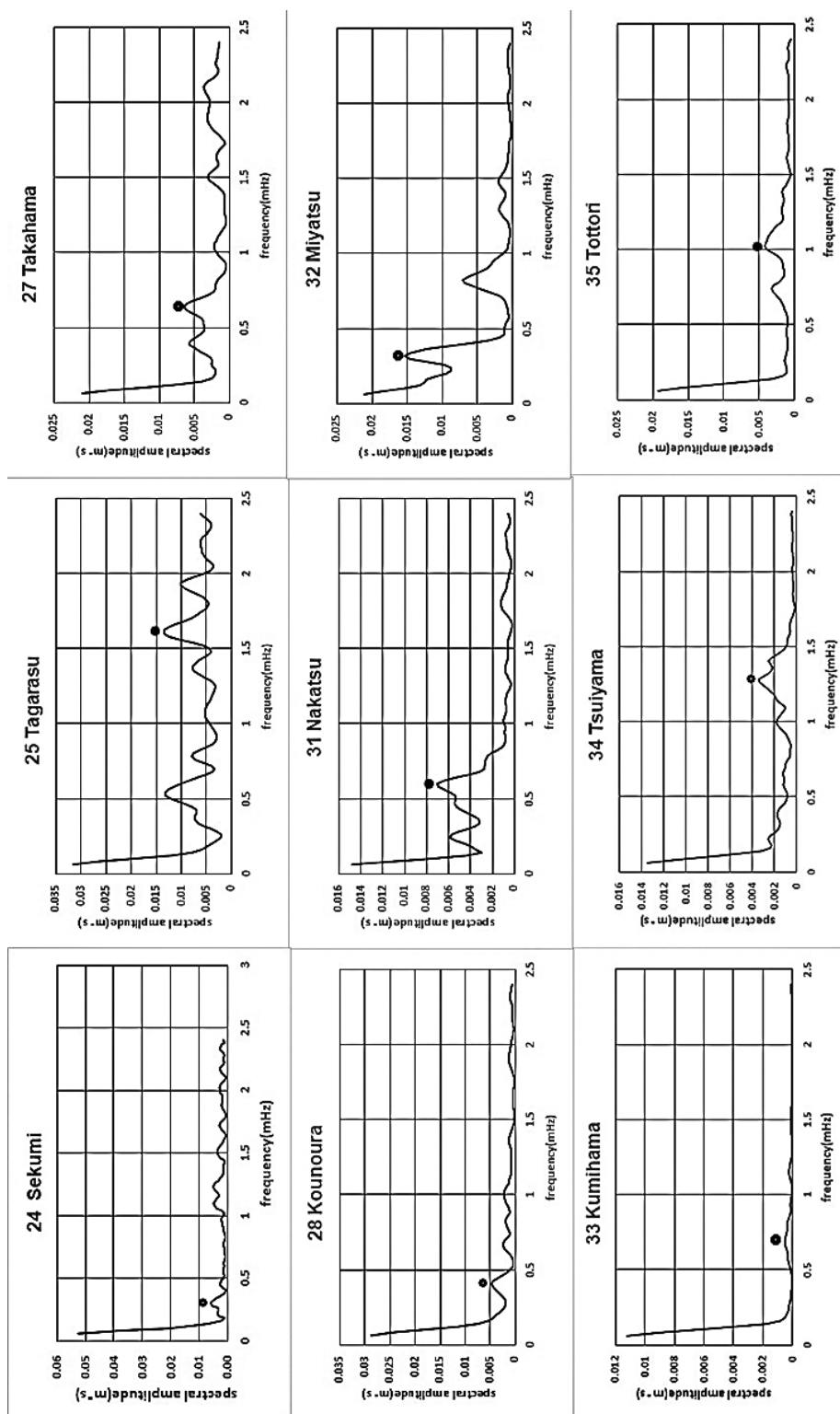


図 3 観測された静振のスペクトル 2

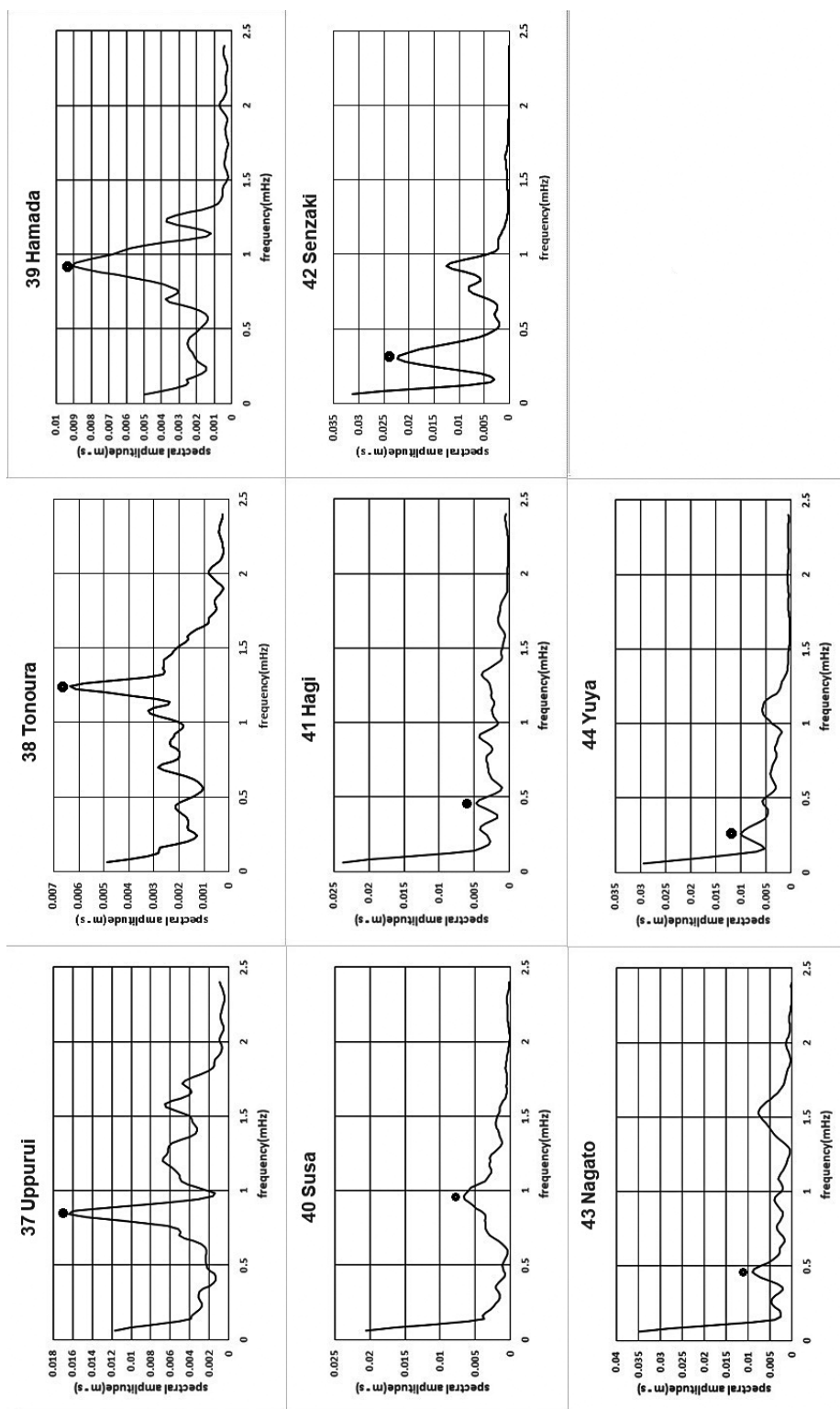


図 4 観測された静振のスペクトル 3

表 1 観測点のリスト, 左から番号, 地名, 緯度, 経度, 測定日, 開始と終了の時刻, 卓越周期 (分)

no	station	latitude	longitude	date	start	stop	dominant period(min)
1	大湊	41.2703	141.1556	2004.3.31	12:40	18:40	44
2	青森	40.8339	140.7642	2005.10.22	19:50	1:50	7.1
3	深浦	40.6428	139.9286	2004.4.1	6:30	12:30	9.0
4	能代	40.2169	140.0050	2004.4.1	14:45	20:45	29
5	秋田	39.7492	140.0642	2004.4.1	22:30	4:30	64
6	酒田	38.9175	139.8292	2004.4.2	9:18	15:18	32
7	岩船	38.1878	139.4149	2003.4.6	11:10	17:10	38
8	新潟東港	37.9893	139.2215	2003.2.14	23:18	5:17	40
9	阿賀野川	37.9481	139.1414	2002.12.22	17:47	23:46	56
10	新潟西港	37.9422	139.0619	2002.11.22	22:02	4:02	44
11	寺泊	37.6431	138.7658	2003.5.3	6:08	12:08	139
12	柏崎	37.3653	138.5306	2003.5.2	16:48	22:48	25
13	直江津	37.1847	138.2547	2003.5.2	9:25	15:25	38
14	姫川	37.0397	137.8367	2007.10.6	10:35	16:35	14
15	入善	36.9256	137.4286	2008.3.8	10:22	16:22	35
16	富山	36.7619	137.2247	2004.5.1	6:43	12:43	104
17	七尾	37.0525	136.9642	2004.4.30	12:21	18:21	139
18	穴水	37.2175	136.9067	2004.4.30	5:17	11:17	64
19	飯田	37.4353	137.2653	2004.4.29	11:48	17:48	36
20	長橋	37.5028	137.1722	2007.4.1	23:00	5:00	46
21	輪島	37.3972	136.9042	2004.4.29	19:10	1:10	30
22	金沢	36.6172	136.6031	2004.4.30	19:50	1:50	40
23	敦賀	35.6606	136.0711	2004.7.20	5:17	11:17	167
24	世久見	35.5719	135.8489	2004.7.20	12:15	18:15	56
25	田島	35.5378	135.8339	2004.7.20	21:55	3:55	10
26	小浜	35.4994	135.7403	2004.7.21	4:32	10:32	76
27	高浜	35.4931	135.5478	2004.7.21	11:23	17:23	26
28	神野浦	35.5239	135.4925	2004.7.21	22:27	4:27	42
29	東舞鶴	35.4819	135.3894	2004.7.23	14:27	20:47	83
30	西舞鶴	35.4528	135.3214	2004.7.22	5:17	11:17	93
31	中津	35.5544	135.2378	2004.7.22	12:27	18:27	28
32	宮津	35.5369	135.1997	2004.7.22	21:58	3:58	52
33	久美浜	35.6086	134.8983	2004.7.23	5:23	11:23	25
34	津居山	35.6469	134.8292	2006.8.4	13:35	19:35	13
35	鳥取港	35.5381	134.1794	2006.8.5	7:36	13:36	16
36	境港	35.5478	133.2431	2006.8.1	13:47	19:47	36
37	十六島	35.4567	132.7586	2006.8.1	16:18	22:18	20
38	外浦	34.9114	132.0811	2006.8.3	15:13	21:13	13
39	浜田	34.8969	132.0664	2006.8.3	15:13	21:13	18
40	須佐	34.6222	131.6000	2006.8.3	6:58	12:58	17
41	萩	34.4389	131.4211	2006.8.2	10:15	16:15	36
42	仙崎	34.3794	131.2089	2006.8.2	18:52	0:52	56
43	長門	34.3775	131.1786	2006.8.2	18:52	0:52	36
44	油谷	34.3786	131.0358	2006.8.2	11:45	17:45	64

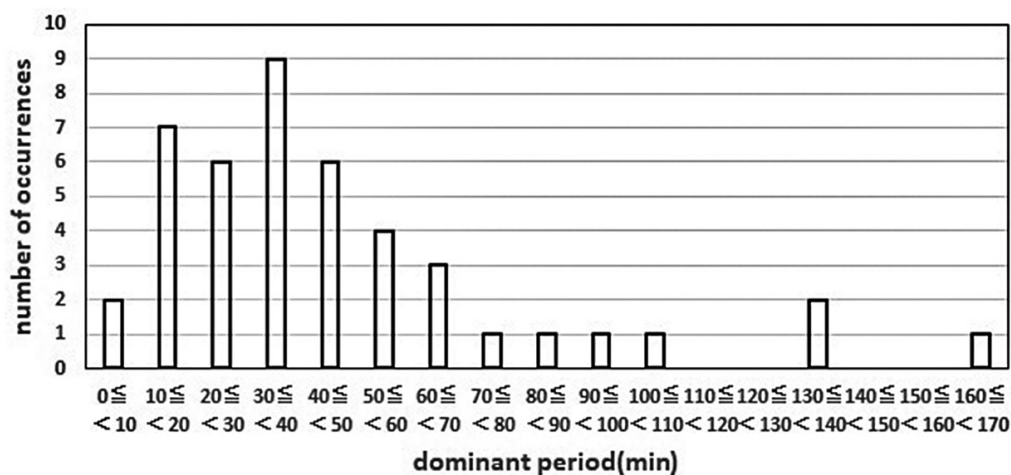


図5 観測された卓越周期の周期による分類

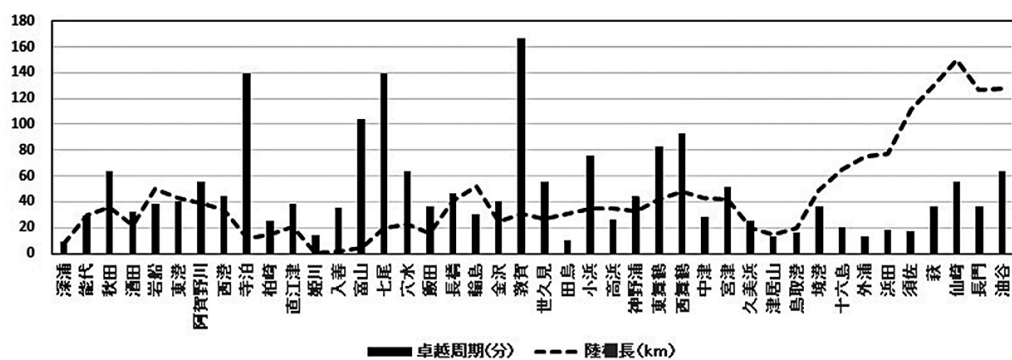


図6 卓越周期（棒グラフ，単位：分）と200m水深線までの距離（点線，単位：km）

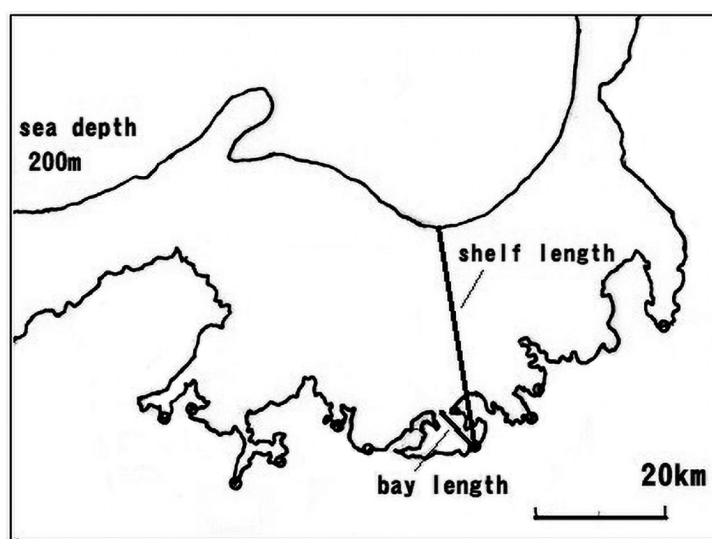


図7 陸棚の長さ（陸棚長）の定義と湾の長さ（湾長）の定義

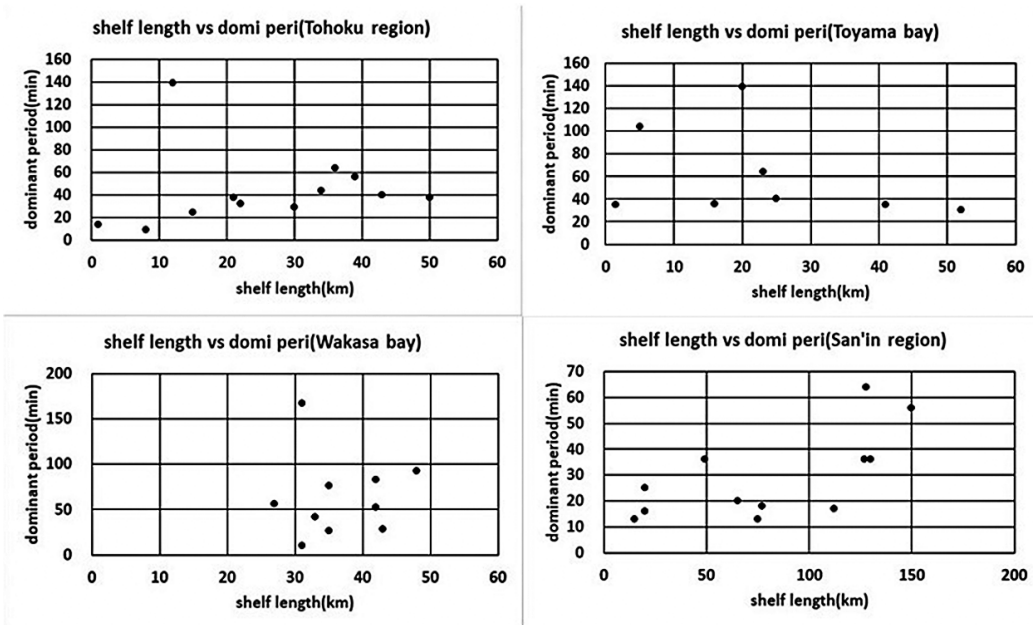


図 8 各地域における卓越周期（横軸，分）と 200m 水深線までの距離（縦軸，km）の関係

に見える。富山湾地域では陸棚長に関係なく同じような卓越周期であることから、卓越周期が陸だなど無関係に決まっている事を示唆している。若狭湾地域では陸棚長が変化するにもかかわらず、卓越周期はそれと対応して変化せず、他の要因があるように見える。各地域について検討する。

1. 東北地域

寺泊の 139 分は他の地点と比べてけた違いに大きい。その時間の長さからみると能登半島との往復時間が考えられる。能登半島の付け根にある七尾の 139 分と同じ値であることはこのことを裏付ける。これを除くと卓越周期はほぼ陸棚長に比例する関係になっている。陸棚振動のメリアンの式で水深を 100m とすれば陸棚長 40km に対して周期が 86 分となる。図 8 でこの値と原点を結ぶ線は観測値の上限になっていることから水深が 100m 以下であればこの分布を説明できるので、水深の平均が 100m 未満で陸棚の基本振動を観測したとするとこれらの値が説明できる。4 地域の中

で卓越周期と陸棚長の比例関係が最も明瞭に表れている。

2. 富山湾地域

ここでは七尾の 139 分、富山の 104 分が突出している。この 2 つの平均は 120 分である。これが富山湾の固有周期であるとする、その 3 分の 1 の 40 分は第一高調波に当たる。ほかの多くの地点の値は 40 分前後で陸棚長に無関係で一定である。このことから富山湾では固有振動とその高調波が発達してこれが観測されていると考えられる。ちなみに飯田と入善は 36 分と 35 分でほぼ同じで、両者は富山湾の対岸同士である。このことは湾を横断する振動が起こっていることを示すので卓越周期は湾に由来する振動である。

3. 山陰地域

この地域では 200m 陸棚境界線が海岸と平行でなく西に行くほど海岸から遠ざかっていく。陸棚境界が西に行くほど長くなるのがこ

の地域の特徴である。その傾向は境港以西で加速する（図 8）。図を見ると陸棚長に対する卓越周期は 50km までは連続的に増加しているがそれより陸棚長が大きくなると卓越周期が減るが 100km を超すと周期は再び増加に転じている。これは陸棚長が伸びると卓越周期がこれに追従できなくなり、周期の短い高調波に遷移して高調波として陸棚長に対応していく過程と考えられる。

4. 若狭湾地域

若狭湾は福井県から京都府の東西約 8km に及ぶ海域で出入りの激しいリアス地形となっていて、多くの支湾を抱えている。そのうち地図上で湾の名前と呼ばれるのは東から敦賀、小浜、舞鶴、宮津の各湾である。静振の測定は湾奥を対象に行われ、それぞれ 167, 76, 83（東舞鶴）93（西舞鶴）、52 分という長い周期になっている。この他に、湾状地形の奥にあたる所の世久見、田島、高浜、神野浦、中津で測定を行い、それぞれ

56, 10, 26, 42, 28 分の値を得ている。前者に比べて概して後者は周期が短く、かつスペクトルのピーク値が小さいのが特徴である。周期が長い前者の中でとりわけ敦賀の 167 分は群を抜いて大きい。これを地図上に示したのが図 9 である。今、これら各点に対して既に定義した 200m 水深までの距離の陸棚長の他に図 7 に示す方式で湾の長さ（湾長）を定義する。これは測定点から湾口までの直線距離である。湾口では両突端の中点を基準にしている。こうして卓越周期と陸棚長の対応を見たのが図 10 の上図であり、卓越周期と湾の長さの対応を見たのが図 10 の下図である。阿部（2023）は陸棚振動にメリアンの式を適用して卓越周期を説明しているが、ここでは湾についても同じ関係が成り立つとする。これはメリアンの式が陸棚長に対しても湾長に対しても成り立つということである。すると陸棚長からと湾長からそれぞれ卓越する周期が得られる。ただし適用するとき水深が前者では 100m、後者では 20m と区別する。すると陸棚長 40km に対し 86 分、湾長 8km に対

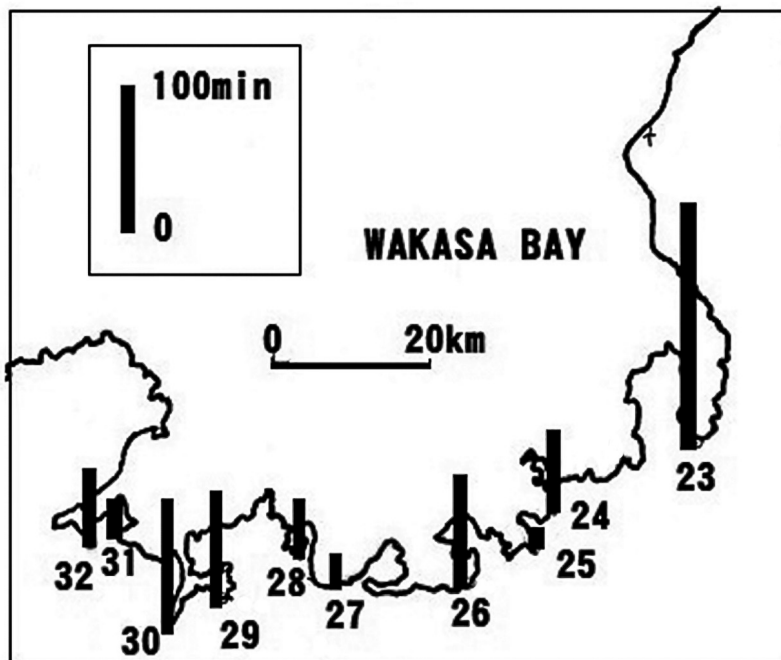


図 9 若狭湾における卓越周期，数字は表 1 の測定点番号に対応する

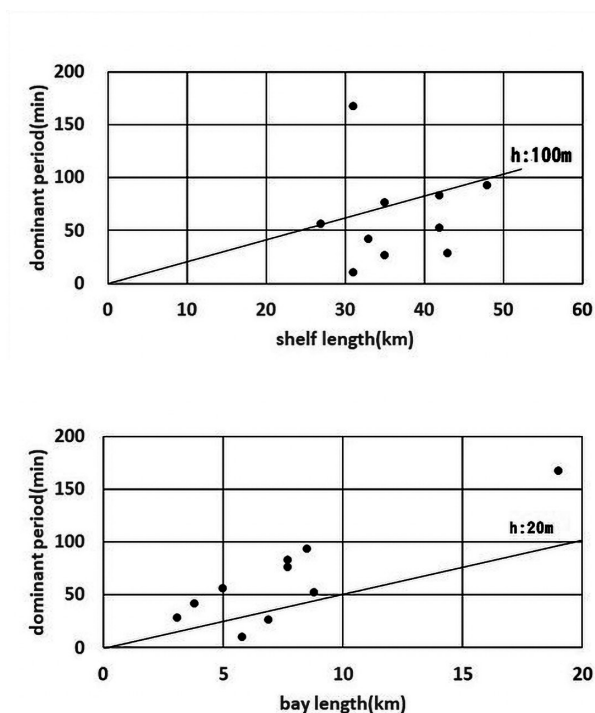


図 10 若狭湾における陸棚長（横軸）と卓越周期（縦軸）の関係（上図），湾長（横軸）と卓越周期（縦軸）の関係（下図），図中の実線はモデルから推定した長さ卓越周期の関係

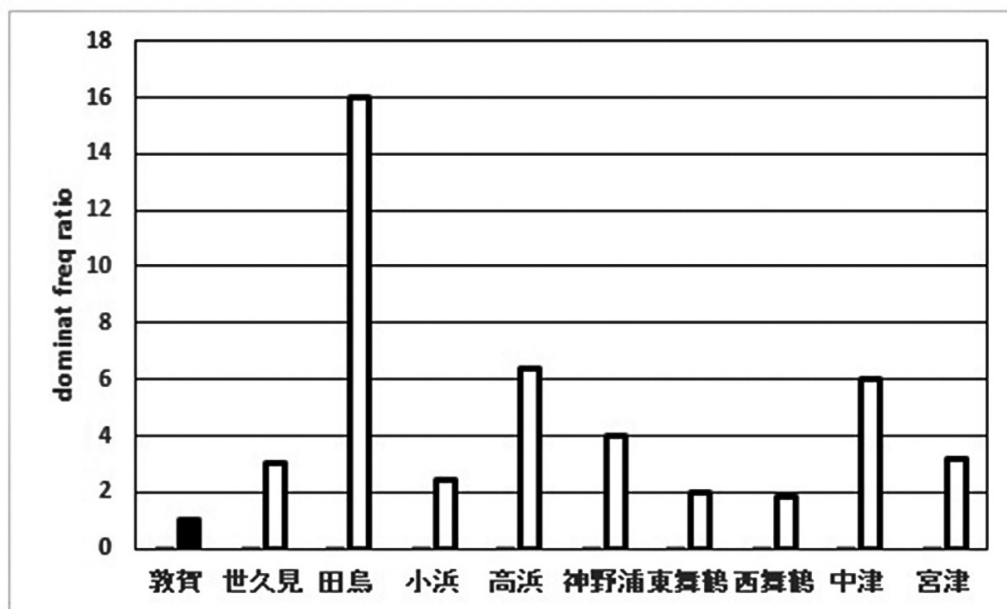


図 11 若狭湾内各地での敦賀の卓越振動数との比

し 38 分の卓越周期が求められる。両者には大きな差があるので得られた卓越周期がどちらに起因するかを区別することができる。この値を基に図 10 の分布を考えると卓越周期 56 分以上の 4 点は陸棚振動と対応し、52 分以下で湾長が 5.8km 以上のところは湾の固有振動と対応していることがわかる。湾長が 3.8km 以下の 2 点はこれらの観点からは説明できない。この 2 点は神野浦 (3.6km) と中津 (3.3km) である。

図 11 は卓越周期を振動数で表して、敦賀の値を 1 にとったとき、その他の地点での卓越振動数をその比で表したものである。すると世久見が 3.0, 神野浦 4.0, 中津 6.0 と正確に整数倍になる。これの意味するものはこれから 3 点の卓越振動数が敦賀の卓越振動数の整数倍で観測されたという事である。これから敦賀の振動数を基本振動数としてその高調波が励起されて観測されたとみなす事が出来る。東西に延びる若狭湾では東西方向の境界で反射する基本振動が起こり、各観測点ではその地形に応じてその高調波が励起されたものと理解される。この関係は一定水深 h , 長さ L の水路を速度 $\sqrt{gh}$ (g は重力加速度) で伝わる長波の振動数 f が n を整数として

$$f = n\sqrt{gh} / 2L$$

とあらわされることから、 L を若狭湾の東西の距離で 80km, 水深を 26m, 重力加速度

を 10m/s^2 にとると n を 1 として $f=0.1\text{mHz}$ となり、敦賀の卓越周期 167 分を説明できる。他の卓越振動数はこの値の整数倍になっているというのが先の説明である。若狭湾では周期 167 分で東西方向の振動が起こっていて敦賀で卓越周期として観測され、世久見で 3 倍, 神野浦で 4 倍, 中津で 6 倍の高調波が励起されて卓越したものと解釈される。ここでの高調波は若狭湾の横方向の振動の高調波のことである。高調波が観測されたのは湾長が小さい湾であることは湾が小さ過ぎて湾の固有振動の励起よりもこの高調波が優先されたことを意味する。

湾の固有振動

卓越周期の湾長との関係を山陰地域の湾に対して調べてみたのが図 12 である。湾長 10km に対するモデル湾の卓越周期は 48 分であるのでこの図の傾向はこの値と調和的である。したがってこれらの点では湾に対する固有振動が発達していてその基本振動が卓越周期として観測されていることを示したと考えられる。ただし湾長 14km の境港の値は他の湾奥の値より小さく、基本振動ではなく高調波の値に近い。

東舞鶴と西舞鶴は入り口を共有し、前者は 83 分、後者は 93 分という互いに近い卓越周

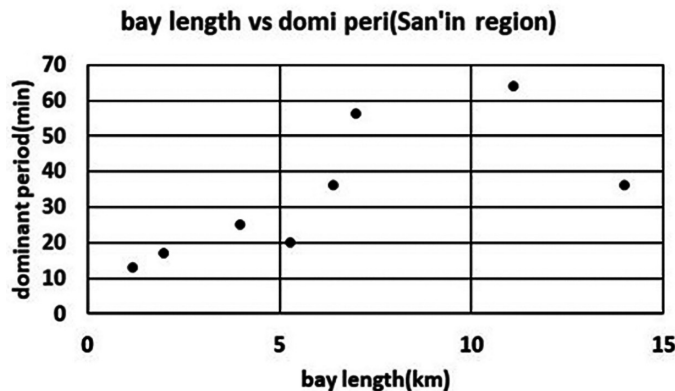


図 12 山陰地域の湾の湾長と卓越周期の関係

期を記録した。仁科 (1930) は近接する 2 湾の間の連成振動の存在を報告している。卓越周期が近く、近接していることはこれと同じ状況下にあることにある。ただ連成振動を言うには時間的に同時に発生していることを示さなければならない。類似の状況は高浜 (26 分) と中津 (28 分) の間にも存在する。同時測定が行われることを期待したい。

最後に本州日本海沿岸の静振の卓越周期の性質を概括することを試みる。日本海側は太平洋側に比べ海岸線の凹凸が少なく、その分陸地な振動の影響が大きくなる。そのため卓越周期が平均で 46.7 分と比較的長いものになっている。新潟県以北と山陰地域東部がその傾向を代表している。ただ平均的な周期 46.7 分は陸棚の基本振動の周期から見ると短い。これは陸棚振動の高調波に関係しているとしなければならない。個別の値を説明するときは卓越周期と陸棚長の関係の図で見られるばらつきまでも説明できなければならない。

まとめ

本州日本海沿岸で観測した静振について、スペクトルから卓越周期を求めた。卓越周

期を一定水深の陸棚、湾のモデルに基づいて、実際の陸棚長、湾長と比較して、要因を判断した。そして日本海沿岸を東北、富山湾、若狭湾、山陰地域の 4 地域に分け、地域ごとの特徴をまとめた。その結果卓越周期に影響しているものとして、大きくは陸棚、富山湾、若狭湾があげられることが分かった。また山陰地域の湾では湾の固有振動が卓越周期の要因になっていることが示された。

参考文献

- 阿部邦昭, 2023, 海岸で観測した静振のスペクトル卓越周期から判明する陸棚振動, 津波工学, 40, 141-151。
- 阿部邦昭, 2011, 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, 日本歯科大学紀要, 40, 13-22
- Abe, K., 2009, Excitation of resonant modes along the Japanese coast by the 1993 and 1983 tsunamis in the Japan Sea, Pure Appl. Geophys. 166, 117-130.
- 仁科伸彦, 1930, 諸磯, 油壺および小網代湾のセイシュ観測, 地震, 第 1 輯, 2 巻, 12, 11-24。