

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

阿部 邦昭*

1. はじめに

北海道は内陸部では地震活動が低調であるが、その外周の海域では地震活動が活発である。これにともない頻繁に津波の来襲を受けている。北海道を襲った地震津波としては 1986 年に札幌管区気象台によってまとめられたものがある (札幌管区気象台, 1986)。これには 1611 年以來, 北海道を襲った津波として外国起源のものを含めて 84 例が採録されている。これはおよそ 4 年に 1 回の割合になる。ところで津波は海岸近傍の地形の影響を強く受ける事が知られている。湾との共鳴はその一つである。1896 年明治三陸津波の後で、津波と湾の関係に関して関心が深まる中で、Honda et al. (1908) は静振の全国的な調査を行った。このとき北海道では、根室、浜中、室蘭、函館、小樽で測定を行って、静振の中でしばしば表れる周期を記録している。1960 年チリ津波の後、高橋・相田 (1963) は同一検潮所で観測した多くの津波のスペクトルを求め、津波が違っても卓越する周期が同じである事を示した。1983 年の日本海中部地震津波は北海道で奥尻島に被害を及ぼし、日本海側の津波に対しても警戒する必要がある事を教えた。この津波の際に石狩湾で観測された検潮記録を高橋 (1986) はスペクトルに分解し石狩湾の卓越周期を調べた。Rabinovich (1997) は湾内で観測される静振のスペクトルが津波の伝達関数になっている事を示した。このように津波と静振の結びつきが明らかにされつつある段階では多くの湾や港で静振を観測し、データを蓄積する事が重要であると考えた。そこで北海道の主な湾と港を対象に、静振の測定を行い、スペ

クトルと卓越周期を決めたので報告する。

2. 方法

方法は Abe (2005) と同じで、湾や港の奥まった所に市販の圧力センサーを岸壁からつり下げて、1 分間隔で水位の測定を行い、6 時間の測定分からゲルツェル法で振幅スペクトルを求めるものである。1 回の調査で 5-6 カ所をまわり、断続的に繰り返して北海道全域をカバーする。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。

3. 結果と考察

測定は 2003 年 7 月 12 日から 2007 年 8 月 18 日までの間に 20 カ所で行われた。測定点の地図上の位置は図 1 に、測定点の緯度、経度、測定日時にそのスペクトルの卓越周期と振幅を加えて表 1 にまとめて示す。なおここで観測した 20 カ所のうち日本海に面した函館を含む 9 点に関してはその卓越周期に関して、またそのスペクトルに関しては石狩と岩内に関して既に Abe (2009a) で公表している。さらに十勝での静振のスペクトルは Abe (2008) で公表してある。今回北海道全域での測定したスペクトルの結果をまとめておく事の重要性を感じて石狩、岩内を含めて公表する。測定の大部分は気候の安定な 7-8 月に実施されたが、それ以外の時期に実施された 2 カ所を含めて、比較的静かな海況のもとで行われた。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、厚岸、

* 日本歯科大学新潟短期大学

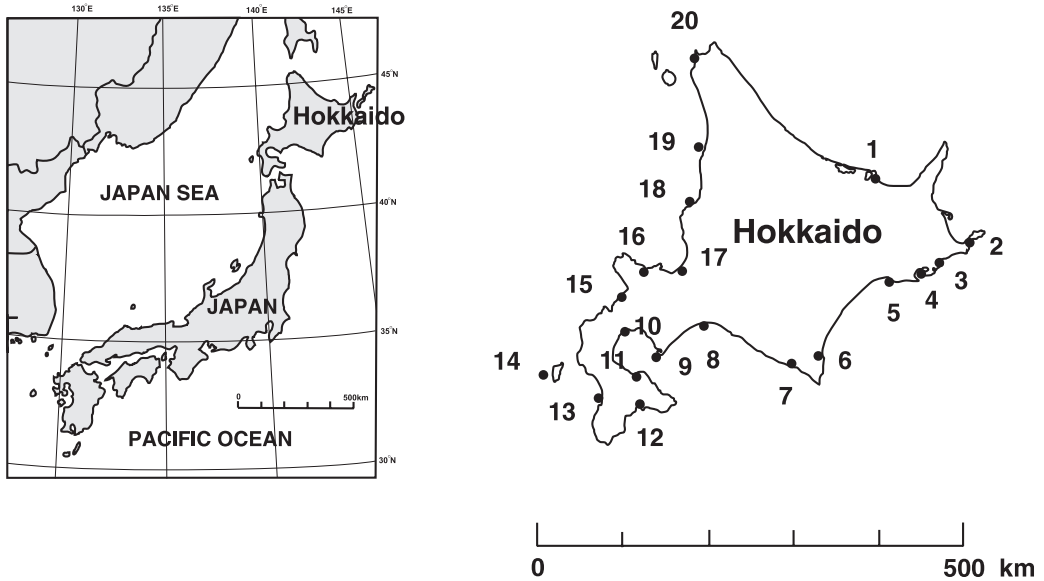


図1 測定点の分布，黒丸が測定点で番号の地名を表1に示す。

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。

No	Obs (J)	Obs	Lati	Long	Date	Time	Period min	Ampl m-s
1	網走	Abashiri	44-01-07	144-17-16	2005/8/6	19:28	23.1	0.005
2	花咲	Hanasaki	43-16-52	145-33-59	2005/8/7	7:44	33.3	0.011
3	浜中	Hamanaka	43-07-26	145-07-00	2005/8/7	15:46	69.4	0.012
4	厚岸	Akkeshi	43-03-03	144-50-48	2005/8/8	5:21	75.8	0.018
5	釧路	Kushiro	42-58-31	144-22-18	2005/8/8	14:48	43.9	0.014
6	十勝	Tokachi	42-17-49	143-19-20	2007/8/16	17:30	19.4	0.007
7	浦河	Urakawa	42-09-55	142-46-06	2007/8/17	13:30	15.2	0.038
8	苫小牧	Tomakomai	42-37-47	141-37-17	2007/8/17	22:23	22.5	0.017
9	室蘭	Muroran	42-19-26	140-58-20	2007/8/18	7:10	55.6	0.035
10	長万部	Oshamanbe	42-31-40	140-23-48	2007/8/18	23:17	9.6	0.012
11	森	Mori	42-06-36	140-35-31	2007/8/18	23:17	41.7	0.008
12	函館	Hakodate	41-47-11	140-43-37	2005/10/21	19:58	55.6	0.030
13	江差	Esashi	41-52-07	140-07-28	2005/10/22	9:42	11.3	0.006
14	神居脇	Kamuiwaki	42-10-18	139-24-35	2003/7/12	0:28	27.8	0.005
15	岩内	Iwanai	42-59-07	140-30-30	2003/7/13	17:55	20.8	0.021
16	小樽	Otaru	43-12-23	141-00-16	2005/8/9	14:03	59.5	0.008
17	石狩	Ishikari	43-12-56	141-18-25	2003/7/14	6:40	119.0	0.036
18	留萌	Rumoi	43-57-06	141-38-06	2005/8/5	7:12	19.4	0.015
19	羽幌	Haboro	44-22-09	141-42-00	2005/8/5	14:30	12.8	0.017
20	稚内	Wakkanai	45-24-17	141-41-04	2005/8/6	4:18	33.3	0.011

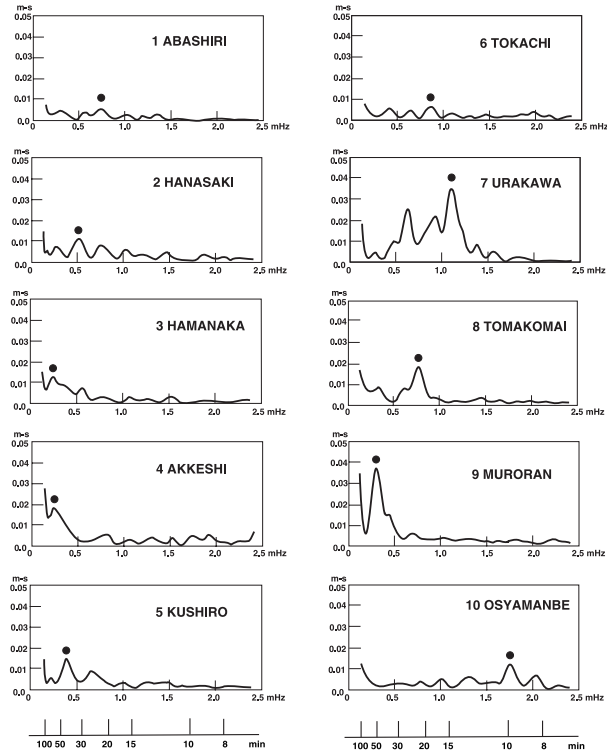


図 2-1 観測した静振の振幅スペクトル 1。卓越振動数 (周期) を●で示す。

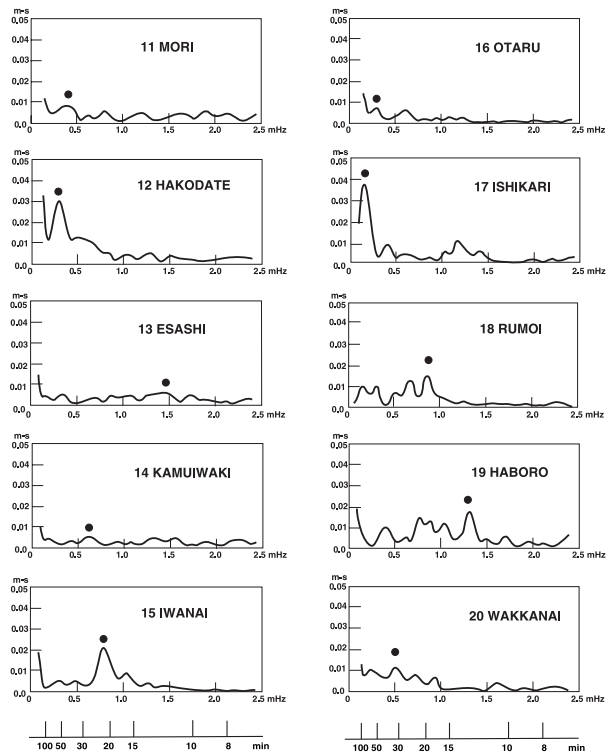


図 2-2 観測した静振の振幅スペクトル 2。

苫小牧, 室蘭, 函館, 岩内, 石狩の 6 例, 連続型に分類されるのは網走, 花咲, 十勝, 浦河, 森, 江差, 神居脇, 小樽, 羽幌, 稚内の 10 例, 中間型は浜中, 釧路, 長万部, 留萌の 4 例である。全測定点のうちで湾入地形の所を選ぶと, 網走湾の網走, 浜中湾の浜中, 厚岸湾の厚岸, 内浦(噴火)湾の長万部, 室蘭, 森, 函館湾の函館, 石狩湾の石狩, 宗谷湾の稚内が上げられる。このうちの固有型に分類されたのは厚岸, 室蘭, 函館, 石狩の 4 例しかなく, 必ずしも湾が固有型を示すものではない事になる。これは, 網走湾, 内浦湾, 石狩湾, 宗谷湾にみられるように湾の入り口の幅が広く, 特定の周期が卓越しにくい構造になっているためと考えられる。その中で石狩湾は唯一の例外である。

次に卓越周期に着目してその長短と振幅の分布を見る。図 3 の左図は卓越周期を, 右図はその振幅を棒グラフで地図上に示したものである。この中で最も卓越周期の長いのが 119 分の石狩で, 大規模な湾入地形の石狩湾の卓越周期に対応するものである。第 2, 3 番目に長いのが厚岸の 76 分, 浜中の 69 分とともに太平洋岸の幅広い陸棚に面した湾である。以下小樽, 室蘭, 函館の順に長くなっている。このうち小樽は石狩湾に, 室蘭は内浦湾に属し, とともに大型の湾内にあるという共通性をもっている。一方, 短い卓越周期に

着目すると, 最も短いものが長万部の 9.6 分, 次が江差の 11 分, 羽幌の 13 分と続いている。長万部は内浦湾の湾奥にあるが, 同じ湾内の室蘭の卓越周期に比べて異常に小さい。その周期の短さからみて港付近の局地的な地形効果の影響と考えられる。浦河, 十勝ではそれぞれ, 15, 19 分で短い卓越周期がえられたが, これらはいずれも南に突き出た襟裳岬の海岸部に位置する。外洋に近い事から短周期成分が半島に捕捉された状況を予想する事が出来る。次にその振幅であるが, 浦河が最も大きく, 石狩, 室蘭, 函館と続くが, これらの間での差は小さい。浦河以外は湾内にあり, 湾に固有の振動が発達したとして理解出来るが, 浦河は湾ではない所で振幅が大きいという説明しにくい結果になっている。振幅の小さい所は網走, 江差, 神居脇といった所でいずれも連続型に分類される所である。

4. 津波との関連性

ここでは静振は外力の有る無しにかかわらず起こっている湾や港の海面振動として理解するが, 同じ湾や港で津波が起こるとどう変化するかを, 津波の検潮記録をもとにして調べ, 比較してみた。使用した津波は 1994 年北海道東方沖地震津波と 1994 年三陸はるか沖地震津波の 2 つの津波で, 花咲, 厚岸, 釧路,

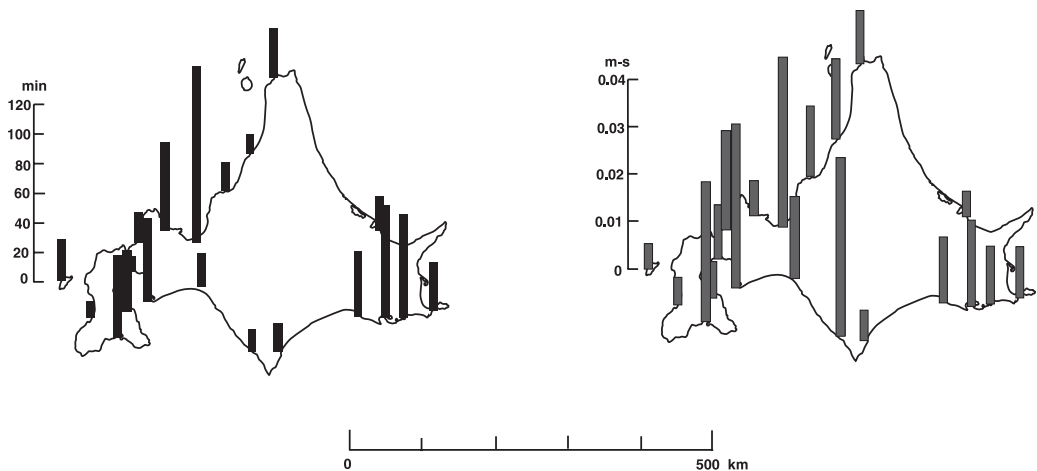


図 3 卓越周期 (左図) とその振幅 (右図) の地理分布。

十勝、浦河、室蘭の各検潮所が観測した記録をもとにする。花咲、厚岸、釧路、十勝、浦河、室蘭では静振はいずれもこれらの検潮所の近くで観測されているので、静振と津波を同じ観測点の名のもとで比較することには問題がない。導水管方式の検潮所では短周期振動に応答の遅れが出るが出る事が知られており、Satake et al. (1988) により定数の求め方と補正の方法が提案されている。両津波の場合、振幅が大きいのでその差は僅かなものであるが、定数のわかっているものはそれを使い、わからないものについては阿部 (2003) と同じく平均的な定数を仮定して、波形を補正した後、到達の直前の正時から6時間の振幅スペクトルを求めた。図4には両津波の震央分布、図5にはスペクトルを示した。図5では比較のために各検潮所の近傍でえられた

静振の振幅スペクトルを、図2と同じものであるが再度掲載した。図5から津波のスペクトルは静振のスペクトルと比べて、三陸はる

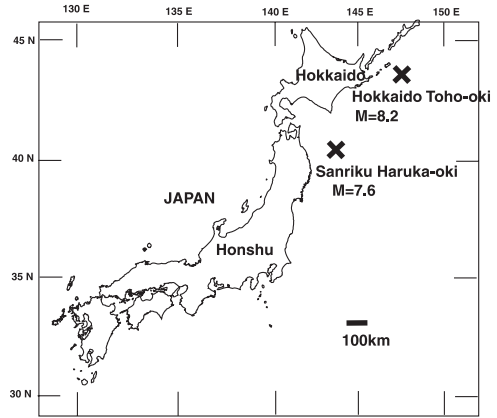


図4 1994年北海道東方沖地震と1994年三陸はるか沖地震の震央分布。

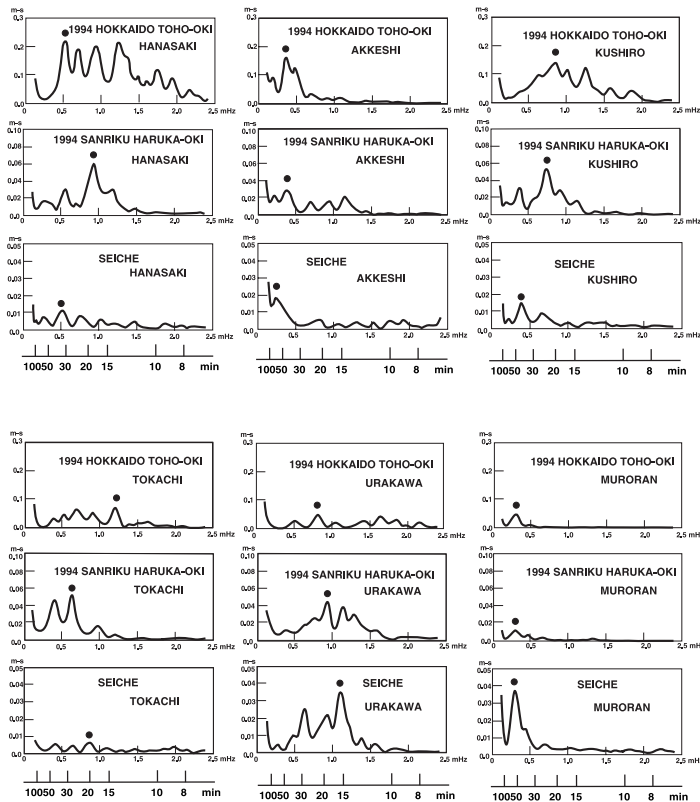


図5 太平洋沿岸6地点での津波と静振の振幅スペクトルの比較。上から1994年北海道東方沖地震津波、1994年三陸はるか沖地震、静振の順で静振の振幅スペクトルは図2と同じ。津波は検潮記録のスペクトル。

か沖津波に見られる 1.5mHz 以上の高振動数成分の極端な減少はあるものの、それを除けば類似したスペクトルになっている事である。これと関連して卓越周期は静振の卓越周期から変化しないか、変化してもその 1/2 から 2 倍の間の狭い範囲でしか変化していない事がわかる。細かく見れば、室蘭の場合は静振の卓越周期 56 分と同じ値が、両津波で励起されている。花咲で北海道東方沖津波の際に励起された 32 分は静振の卓越周期 33 分とほぼ同じ値であるが、三陸はるか沖津波では 18 分と短い周期が励起された。浦河では静振の卓越周期 15 分に対して北海道東方沖津波では 21 分、三陸はるか沖津波では 18 分とより長い周期が励起されている。変化の仕方と先に分類したスペクトルの型との関連をみると、室蘭は固有スペクトル型、花咲、浦河は連続スペクトル型に分類されているので、連続スペクトル型の場合に変化が大きい結果となっている。固有スペクトル型でも、変化する事がある事を厚岸の例は示している。ただし厚岸で両津波とも同じ周期の 46 分を励起している所を見ると、46 分は津波固有のものというより、厚岸の地形に由来する成分である可能性がある。

津波における卓越周期の変化を見るために静振の卓越周期との間で相関を調べたのが図

6 である。図の中に津波の卓越周期の静振の卓越周期に対する比が、1:1 の直線を示してある。これより過半数が 1:1 の直線近傍に分布している事がわかる。釧路（静振の卓越周期 48 分）では 2 つとも、花咲（同 33 分）では 1 つの計 3 つのケースで 1:1 から離れた分布を示している。これは斜め入射によって固有振動が励起されなかったとすれば説明出来る。斜め入射では固有振動が励起されにくい事が Nakamura and Watanabe (1961) によって述べられている。3 つのケースでは津波の周期が 20 分台に集中していることを考慮すると、入射周期 20 分の成分が静振卓越周期の影響を受けずに残ったものと見る事が出来る。また 2 つの津波で卓越周期に 10 分以上の差が出ているのは十勝と花咲の 2 カ所で、いずれも連続型に属する点である。

5. 議論

静振の卓越周期を議論する場合、これは決定論的な値ではなく、確率論的な値である事に注意する必要があるにもかかわらず、その事には触れなかった。確率論による誤差を評価するには、測定を繰り返し行わなければならない。Aida et al. (1975) は静振の季節変化を調べる目的で宮城県女川湾で 1 年間測定

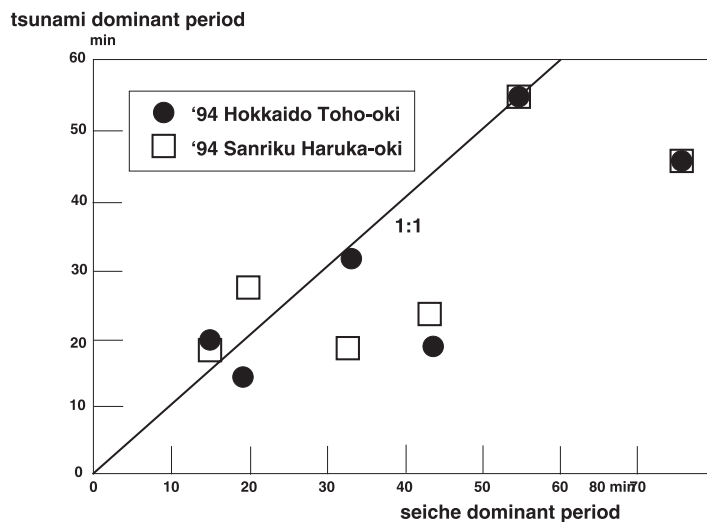


図 6 静振と津波の卓越周期の相関関係。

を行い、基本振動の卓越周期が37.0分から41.7分の間で変化した事を述べている。これによると約10%の変動があった事になる。変動幅として±5%である。この変動幅は今回の津波と静振の卓越周期の変化で見たように場所によっても異なる事が考えられる。女川湾をスペクトルの型に分類すると中間型に近いものと考えられるが実際に測定した値として参考になる。

Honda et al. (1908) は北海道の浜中、室蘭、函館、小樽で静振の測定を行った。このうち函館ではその振幅が大きい事を述べている。そしてその周期は45.5分から57.5分であるとしている。今回観測した卓越周期は55.6分であるからその範囲にあることになる。室蘭でしばしば現れる値として51.1-54.0分を上げているがこれに対して今回得た値は55.6分ではほぼ一致する値である。

Nakano and Unoki (1962) は日本の海岸各地で観測された検潮記録から大振幅の静振について、その卓越周期の頻度分布をまとめている。この中では低気圧、台風、津波等による原因を特定しないで拾い上げられている。期間は1-25年とまちまちであるが、観測点は45点で全国にわたっている。北海道では網走、釧路、稚内の3点が調べられている。それによると網走では31-40分が34.4%で最も多く、釧路は31-40分が最も多く62.3%、稚内は41-50分が最も多く39.0%となっている。これをここでえた静振の卓越周期と比べると網走で23.1分、釧路で43.9分、稚内で33.3分であるから、最も多い周期とはいずれも10分程度の差がある。ちなみにスペクトル型では網走、稚内は連続型、釧路は中間型に分類されている。

石狩湾について高橋(1986)は数値実験の結果から基本振動の周期を110-130分と推定している。この中に今回の卓越周期の測定値119分が入っている。このことから石狩湾では基本振動が静振の卓越周期となっているといえる。また岩内では1993年北海道南西沖地震津波、1983年日本海中部地震津波の検潮記録のスペクトルがAbe(2009a)によっ

て求められた。これによれば静振の卓越周期21分に対して、津波の卓越周期が前者は23分、後者は14分であった。

6. まとめ

北海道の沿岸20地点で静振の測定を行って、そのスペクトルを求めた。そのスペクトルの振幅分布を固有型、連続型、中間型に分類し、かつ最大振幅から卓越周期を決めた。その結果、固有型に分類されたのは厚岸、苫小牧、室蘭、函館、岩内、石狩の各点で、卓越周期はそれぞれ、76、23、56、56、21、119分であった。卓越周期の全体を10分間隔で見たととき10分台が全体の25%を占めて最も多く、最小は9.6分、最大は119分である。1994年北海道東方沖地震津波、1994年三陸はるか沖地震津波の花咲、厚岸、釧路、十勝、浦河、室蘭でのスペクトルから求めた卓越周期を静振の卓越周期と比較したとき、過半数がほぼ同じ卓越周期であったが、厚岸、釧路、花咲では静振とそれと異なる卓越周期を示した。その原因には斜め入射による固有振動の励起不足があるとした。

謝辞

津波の検潮記録は都司嘉宣博士が集めたものを使わせてもらいました。記して感謝します。

参考文献

- 阿部邦昭, 2003, 2000年7月1日神津島での火山性地震に伴う小津波の波源モデル, 地震, 2,56,181-187.
- Abe, K., 2005a. Tsunami resonance curve on dominant periods observed at bays. In: Satake, K., ed. Tsunamis: Case studies and recent developments. Springer Publishing, Netherlands, pp. 97-113.
- Abe, K., 2008, Observation of the 2007 Peru tsunami at Tokachi port by a pressure gauge, Bull.

- Nippon Dental Univ., General Education, 37, 11-14.
- 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.
- 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, J. Oceanogr. Soc. Jpn., 31, 9-18.
- Honda, K., T. Terada, Y. Yoshida and D. Isitani, 1908, Secondary undulations of oceanic tides, Jour. Coll. Sci. Imp. Univ. Tokyo, 24, pp. 113.
- Nakamura, K. and H. Watanabe, 1961, Tsunami forerunner observed in case of the Chile Tsunami of 1960, In: Report on the Chilean Tsunami of May 24, 1960, as observed along the coast of Japan, edited by Committee for field investigation of the Chilean tsunami of 1960, 82-99.
- 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.
- 札幌管区气象台, 1986, 北海道の地震津波, 地震津波防災資料 (II), pp.189.
- Satake, K., Okada, M., Abe, K., 1988. Tide gauge response to tsunamis: Measurements at 40 tide stations in Japan, J. Mar. Res. 46, 557-571.
- 高橋 将, 1986, 石狩湾の津波と副振動, 北海道大学工学部研究報告, 130, 17-32.
- 高橋龍太郎, 相田勇, 1963, 日本沿岸で観測された数個の津波のスペクトルについて, 東京大学地震研究所彙報, 41, 299-314.