

土佐清水および串本で観測された遠地津波の 振動特性について*

佐藤 久*

550.349

On the Oscillation Characteristic of Distant Tsunamis Observed At Tosa-Shimizu and Kushimoto, Western Japan

H. Satoo

(*Seismological Observatory, J.M.A.*)

In order to understand the oscillation characteristic of distant tsunamis, tidal records at Tosa-Shimizu and Kushimoto observatories were investigated by the method of spectral analysis for 8 events from tsunami sources of North and West Pacific Ocean.

The results obtained are summarized in the following.

(1) Spectral structure of tsunamis obtained at Tosa-Shimizu shows clear sharp peak at the period of about 21 min as seen in Fig. 3. But main peak of tsunami spectrum for 1975 Philippines appears at the period of about 4 min as seen in Fig 5. While, spectra at Kushimoto show special structure that double peaks, namely first peak at about 21 min and second peak at about 12 min, appear in all cases as shown in Fig. 4. And such patterns of spectral structure have no change relating to the earthquake and tsunami magnitudes.

(2) The ratios of each tsunami spectrum to noise spectrum are shown in Figs. 9-12. We can see that inclination of spectral ratios for North Pacific Ocean shows upwards and that of West Pacific Ocean shows downwards. These inclinations of slope might be caused by concentrated grade of tsunami energy.

(3) Spectral density of tsunami obtained from time interval of 4, 8 and 12 hours from beginning of tsunami is shown in Fig. 13 and Fig. 14. Conspicuous peaks of power spectra at period of about 21 min are seen in all cases, and the spectral patterns have no relation with time-length of spectral analysis. Moreover, a significant long period peak (80 min. at Tosa-Shimizu and 50 min. at Kushimoto) appears at spectral structure of 4 hours.

§ はじめに

津波の波形解析にスペクトル法を導入したのは、高橋・相田 (1961) の研究に始まるといわれている。高橋・相田は始め宮城県江の島津波観測所での記録をウェーブアナライザーを使用して、直接スペクトルを図示させる方法により波形解析を行った。それによるとスペクトルの山は常時現われる長波の山によく一致し、また山の示す周期は地震のマグニチュード、ひいては、津波の規模の大小に比例することを見出した。

次いで行ったチリ-津波の解析では、スペクトルの山

は湾の静振周期で説明できるものもあり、また東北日本と西南日本とでは振動形式がやや異るとも述べている。

更に高橋・相田 (1963) は、多数の津波記録を解析した結果、各観測点ごとにそれぞれ特有なスペクトル形態を持ち、津波自身によるスペクトル構造の差異は明瞭でないこと、すなわち各観測点を含む湾、あるいは陸棚などの振動特性に大きく影響されていることを明らかにした。そしてその最も顕著な例として土佐清水と宮古をあげ、さらに八戸のようにそれ程明瞭な共振性が認められない場所のあることも示している。また、各津波スペクトルとそれらの平均スペクトルとの比を算出しその地域分布を求めたところ、一定の傾向があることも示した。

一方、羽鳥 (1967) は湾内の津波記録から湾外での波

* Received Sept. 3, 1979.

** 気象庁地震観測所

形を推定し陸棚での振動スペクトルを求めた結果、マグニチュードの大きい地震ほど、津波スペクトルの最大ピークの位置は、長周期帯域へ移動する傾向があると述べている。

これより先、飯田 (1963) は多くの津波記録についてその初まりから約10波をとって解析し、その卓越周期と地震のマグニチュードの間に、一定の関係式を導いている。

また、大阪湾や紀伊半島付近の津波記録を解析した Nakamura et al. (1975) は、津波に伴う水位の時間的変動が定常過程と見做せるかどうかを、あらかじめ検討しておく必要があることを示唆した。

本調査では、以上の諸研究の成果を考慮して、土佐清水ならびに串本の両検潮所で記録された、遠地津波のスペクトル解析を行い、津波による振動の変形特性を考察する。

§ 2. 津波資料と解析方法

ここで用いた土佐清水および串本の両検潮所での遠地津波は、Tab. 1 に示すとおり北太平洋付近に津波源をもつもの4例、西太平洋のフィリピン諸島付近に津波源をもつもの4例をそれぞれ選んだ。

北太平洋津波源の4例はいずれも被害を伴ったもので、我が国沿岸での最大波高は80~200 cmにも達し、アラスカ津波の場合を除くと、東北日本沿岸よりも西日

本沿岸で波高が大きく、特徴的な津波であった。

西太平洋の4例の津波による日本沿岸での波高は、いずれも20~30 cm以下で被害は殆んどなかった。

振動波形のスペクトル計算には神戸海洋気象台のミニコンICOM-C4Pを使わせていただいた。用いたプログラムはBlackman & Tukey法を含む波浪解析用プログラムによる。

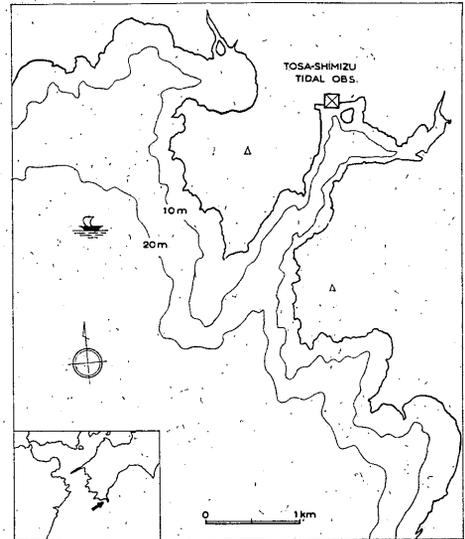


Fig. 1. Location of Tosa-Shimizu Bay and chart of its vicinity.

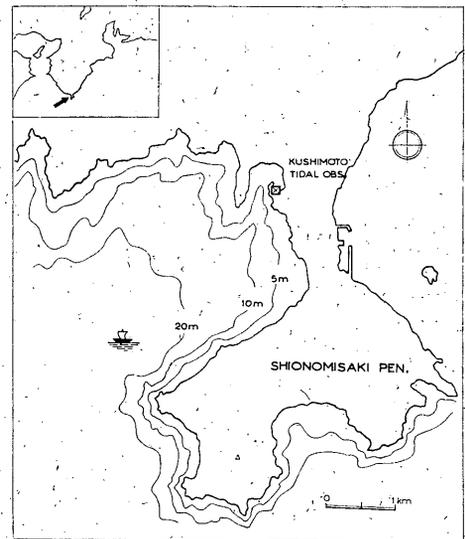


Fig. 2. Location of Kushimoto City and chart of its west coast.

Tab. 1. List of tsunamis used in this investigation.

Tsunami-sources of North Pacific Ocean.

No.	Date (G.M.T.)	Location	Mag.
1.	1951 Nov. 5	East off Kamchatka	8 $\frac{1}{4}$
2.	1957 Mar. 9	Aleutian Is.	8 $\frac{1}{4}$
3.	1964 Mar. 28	Alaska	8.4
4.	1965 Feb. 4	Aleutian Is.	7 $\frac{3}{4}$

Tsunami-sources of West Pacific Ocean.

No.	Date (G.M.T.)	Location	Mag.
1.	1968 Aug. 2	North-East off Luzon Is.	7.0
2.	1972 Dec. 2	Mindanao	7.3
3.	1975 Oct. 31	East off Philippine Is.	7.6
4.	1976 Aug. 17	Mindanao	7.1

Note: Magnitudes referred from Chronology of Science in 1978.

なお、記録からデジタルデータをつくる場合、潮位の日変化傾向はあらかじめ除いておいた。また、デジタルデータのテープへのさん孔は、AMeDAS（地域気象観測システム）に付属している宅内装置などを用いた。

土佐清水検潮所は Fig. 1. に見られるように、南西に開いた湾長約 2 km の細長い湾の奥に位置し、静振が良く発達することで知られ、湾形から得られる一次の固有振動周期は約 13 分である。串本検潮所は Fig. 2. に示すように、串本市の西岸の袋港内に設けられているが、その固有振動は比較的複雑である。

§ 3. 解析結果

i) スペクトル特性について

北太平洋津波源による 4 例の解析結果を Fig. 3. (土佐清水) と Fig. 4. (串本) に示す。この場合、記録のサンプリング間隔は 3 分とし、資料総数は 240、ラグ数は 50 をとった。

図からわかるように、土佐清水の場合 (1952 カムチャッカ津波の記録はサンプリング結果の精度がよくなかつ

たので除いた) 周期 21 分付近にパワーが集中して顕著なピークを示し、ほかに約 13 分と約 7 分付近にも小ピークがそれぞれ認められる。港湾付近の地形から類推すると、この約 21 分周期は湾口外縁のものによると考えられる。また約 13 分ならびに 7 分周期のものは、土佐清水湾の基本ならびに二次の振動周期であろう。

串本でのスペクトル構造をみると、いずれの場合にも明瞭なダブルピークを形成し、主ピークは周期約 21 分付近に鋭くあらわれ、次のピークは同じく 12 分付近に幅をもってあらわれ、それらの示すパワーの比は 4 例平均すると約 3 倍となっている。この主ピークの示す周期は土佐清水の主ピークの周期と一致しており、12 分のものを含めてやはり湾口外縁のものによると考えられる。

Fig. 5. (土佐清水) と Fig. 6. (串本) には西太平洋津波源による 4 例の解析結果を掲げた。この場合、原記録を一見すると短周期振動が卓越していたので、サンプリング間隔を 1 分にとって解析した。その結果、土佐清水では約 20 分周期の主ピーク (分解精度からみて Fig. 3. の周期 21 分に相当する) がやはり顕著であるが、1975 フ

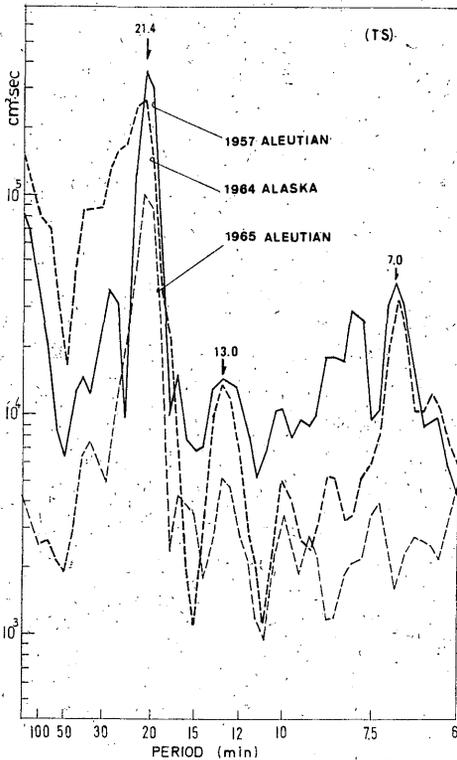


Fig. 3. Power spectra of tsunamis derived from earthquakes of North Pacific Ocean observed at Tosa-Shimizu.

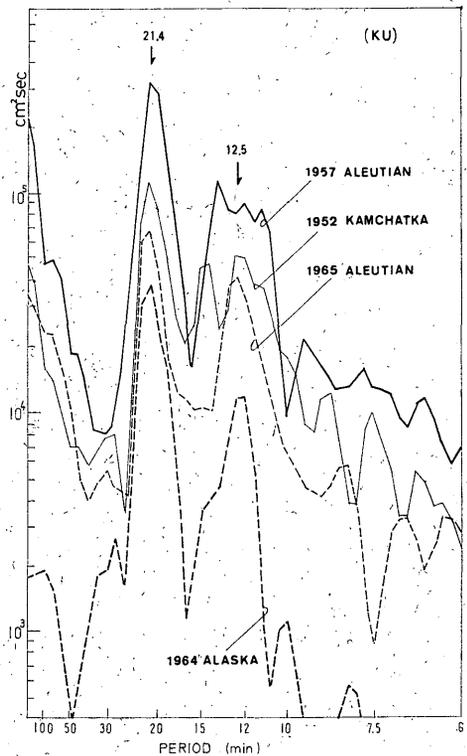


Fig. 4. Power spectra of tsunamis derived from earthquake of North Pacific Ocean observed at Kushimoto.

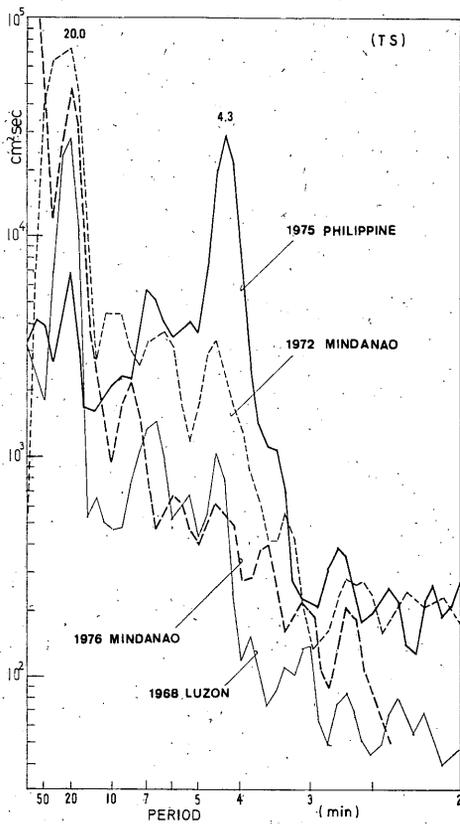


Fig. 5. Power spectra of tsunamis derived from earthquake of West Pacific Ocean observed at Tosa-Shimizu.

イリピン津波に限って約4分付近に大きなピークが現われ、そのパワーは約20分のものの5倍程大きい値を示している。

さて串本の場合は、20分付近 (Fig. 4. の21分周期に相当する) と12分付近の2つのピークが明らかであるが、1975フィリピン津波に限り土佐清水の場合と同じく、20分のパワーより12分のパワーのほうが数倍大きくなっている。

このように、1975フィリピン津波の短周期成分の卓越は、それを誘発する原因が地震や津波の規模によるものかどうかはこの調査からは明らかでないが、一つの特徴あるスペクトル構造を示しているといえよう。

なお、このような港湾付近の地形に由来する各ピークの周期帯に、津波の大きさに原因する変動のようなものは認められない。

ii) スペクトル比について

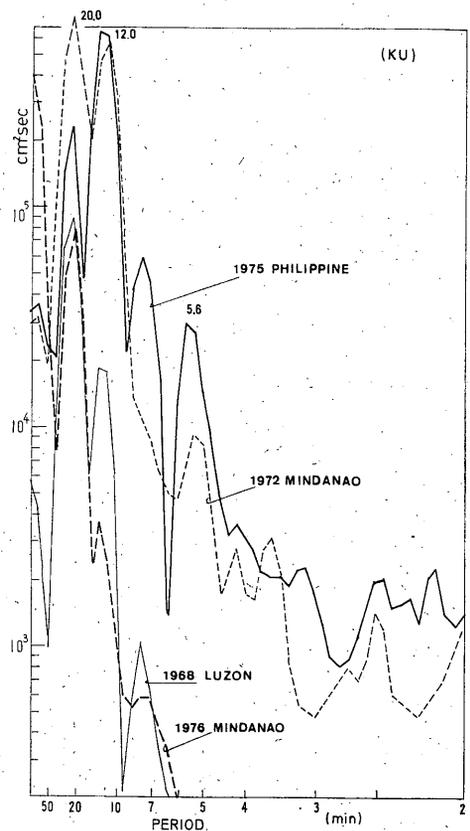


Fig. 6. Power spectra of tsunamis derived from earthquake of West Pacific Ocean observed at Kushimoto.

次に平常の潮位振動つまりバックグラウンドノイズのスペクトルを求め、津波自身のスペクトルと比較してみる。

Fig. 7. (土佐清水) と Fig. 8. (串本) に1965アリューシャン津波のスペクトルとその直前数時間分のノイズのもつスペクトルを示した。これを見ると土佐清水では主ピークの周期は両者とも良く一致し、津波の到達によっても長周期帯の特性は変わらないが、短周期帯ではピークごとの相関性が乏しいことがわかる。

串本の場合は1957アリューシャン津波とその直前のノイズスペクトルを用いた。図に見られるように20分および12分のピークは、津波到達によって殆んど変化を受けていないといえる。

次に、これらアリューシャン津波のスペクトルと、その直前のノイズスペクトルとの比をとって示したのが、Fig. 9. (土佐清水) と Fig. 10. (串本) である。図によ

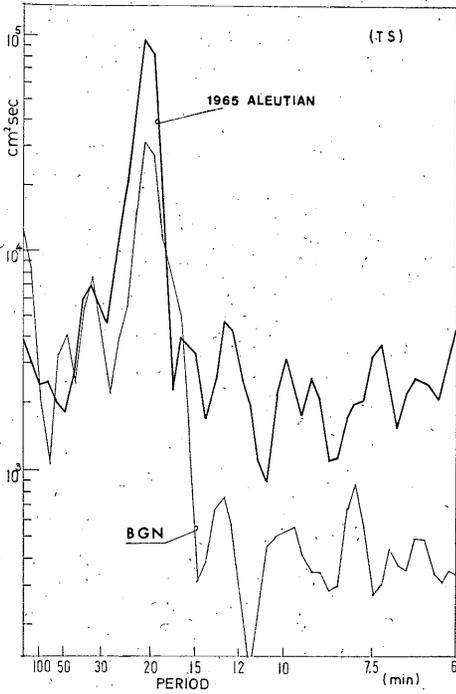


Fig. 7. Comparison between tsunami spectrum (thick curve) and back ground noise spectrum (thin curve) observed at Tosa-Shimizu.

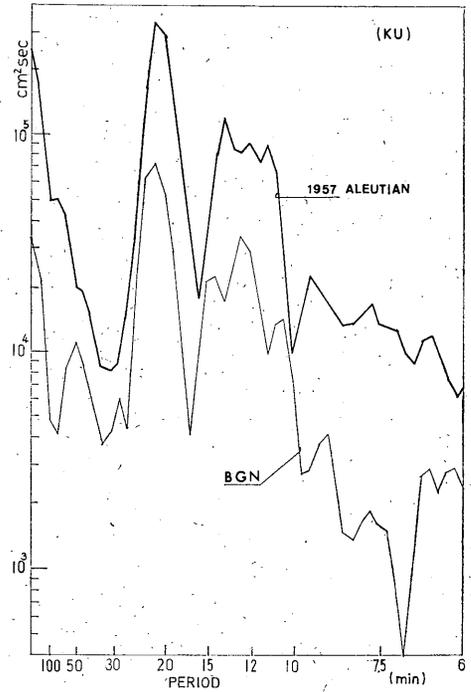


Fig. 8. Comparison between tsunami spectrum (thick curve) and back ground noise spectrum (thin curve) observed at Kushimoto.

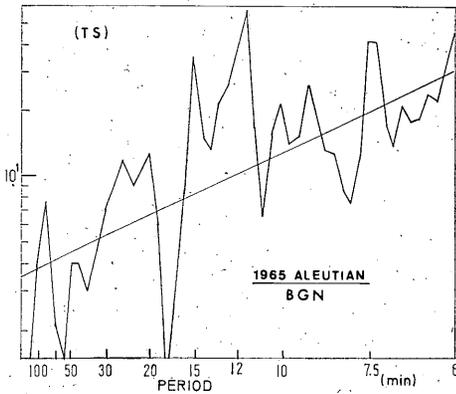


Fig. 9. The spectrum ratio of Aleutian tsunami in 1965 and back ground noise observed at Tosa-Shimizu.

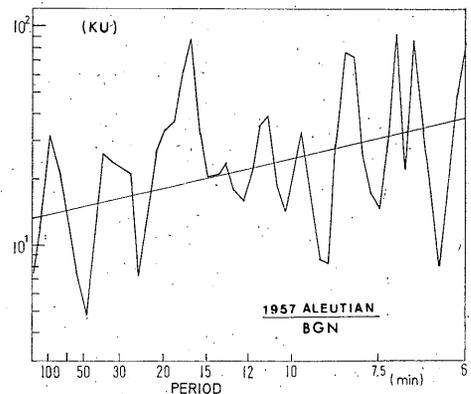


Fig. 10. The spectrum ratio of Aleutian tsunami in 1957 and back ground noise observed at Kushimoto.

るとスペクトルの比は両検潮所とも右上りの直線で近似される。このことは津波の到達によって短周期成分が増幅されたことを示し、直線の勾配は高橋・相田(1963)のいう津波エネルギーの集中度の強弱を示唆していると

考えられる。

更に、Fig. 7. および Fig. 8. に示したノイズスペクトルが、両検潮所の常時の定常状態を代表するものとして、他の6例についてもスペクトル比を作ってみると、

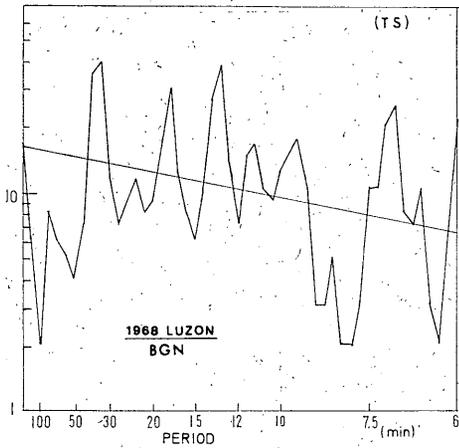


Fig. 11. The spectrum ratio of Luzon tsunami in 1968 and back ground noise observed at Tosa-Shimizu.

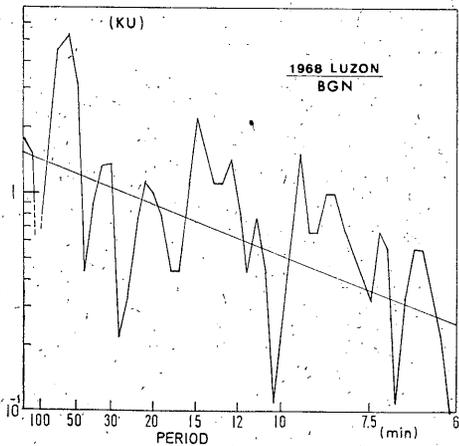


Fig. 12. The spectrum ratio of Luzon tsunami in 1968 and back ground noise observed at Kushimoto.

北太平洋のものは右上り、西太平洋のものは右下りの傾向を示すものが多いことがわかった。後者の例として1968ルソン津波の場合を Fig. 11. (土佐清水)と Fig. 12. (串本)に示した。

iii) 継続時間によるスペクトルの変動

Nakamura et al. (1975) は、津波に伴う水位の時間的変動が定常過程とみなすことができるかどうかを検定する方法として、津波記録のある時間長だけとりだし、その記録の長さによるスペクトルの相違を調べる方法を採用している。

そこで、本調査では1957アリューシャン津波の記録を

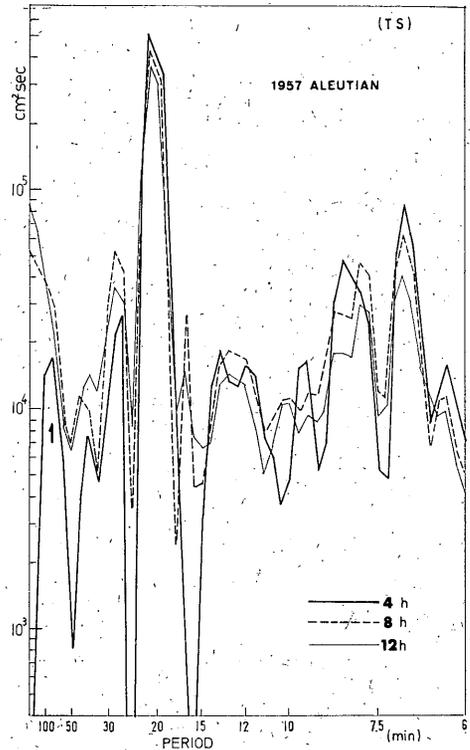


Fig. 13. Tsunami spectra for records of 4, 8 and 12 hours from initial motion of Aleutian tsunami in 1957 at Tosa-Shimizu.

用い、津波の初まりから4時間、8時間および12時間までの3区分を設け、それぞれのスペクトルを求めてみた。その結果は Fig. 13. (土佐清水) および Fig. 14 (串本) に示すとおりで、土佐清水ではピークの出る周期帯は経過時間の長短に関係なくほぼ同じであるが、パワーの値に注目すると、津波の初めから4時間のもののような津波初期波では、長周期帯でパワーが比較的小さく、逆に短周期帯で大きくなる。他方、経過時間を長く取ると、パワーは逆に長周期帯で大きく短周期帯で小さくなる傾向が現われている。なお津波の初めから4時間のような津波初期波の示すスペクトルでは、80分付近に十分有意なピークを認めることができる。

串本では、20分の主ピークがいずれの場合にも明らかに現われるが、それ以外の帯域ではスペクトル構造が乱れている。ただ長周期帯では、4時間のものの示すパワーは相対的に小さいが、土佐清水と同様にやはり初期波スペクトルでは、50分付近に有意なピークがあることがわかる。

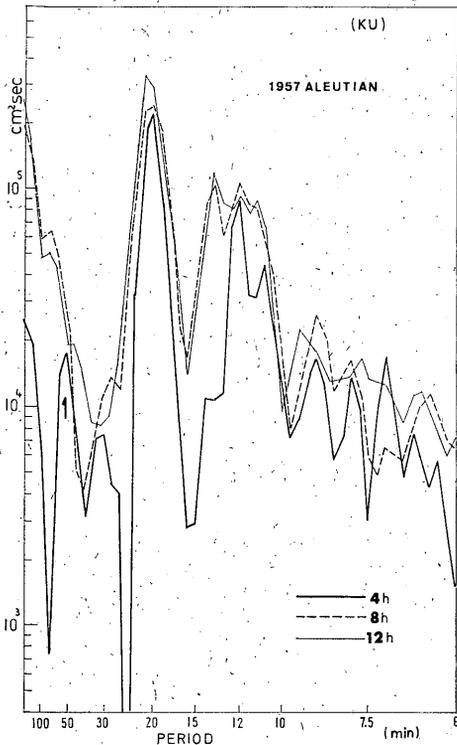


Fig. 14. Tsunami spectra for records of 4, 8 and 12 hours from initial motion of Aleutian tsunami in 1957 recorded at Kushimoto.

以上の二例の場合から言えることは、得られたスペクトルのうち主ピークに着目する限りでは、その基本的スペクトルパターンは解析した時間の長さに依存しないといえようが、なお津波初期波の長周期成分の存在が問題となろう。

§ 4. ま と め

土佐清水と串本の両観測所で記録された津波の振動波形について、スペクトル解析を行った結果を要約すると、

1) 土佐清水でのスペクトル構造は、一般に周期約21分に顕著なピークを示すが、西太平洋源のものには約4分付近に主ピークが現われる場合がある。

串本でのスペクトルの特徴は、津波源の場所に関係なく明瞭なダブルピークを示し、第1のピークは21分付近に、第2のピークは13分付近に現われ、そのパワーの比は約3倍となる。これらの主ピークの示す周期には、地震または津波の規模の大小に因る変動は認められない。

2) 常時におけるノイズスペクトルを求め、津波スペクトルとの比を調べると、北太平洋のものは右回り、西太平洋のものは右下りの傾向を示すことがわかった。

3) 津波の経過時間の長短によるスペクトルの変動を調べると、津波の初期波には長周期付近に有意なスペクトルの存在が認められるが、主ピークに着目する限り全体的パターンはかわらないと言える。

最後に、この調査にあたりコンピューターの使用に格別の御便宜を計っていただき、スペクトル理論についてもいろいろ御教示下された現徳島地方気象台長川鍋安次氏、神戸海洋気象台海上気象課桜井邦雄技官、ならびに拙稿に対し有益な助言と校閲をいただいた地震観測所山岸登主任研究官に対し厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- Blackman, R. B. and J. W. Tukey (1958) : The Measurement of Power Spectra, Dover Publications, (New York), pp. 190.
- Hatori, T. (1967) : The Wave Form of Tsunami on the Continental Shelf, Bull. Earthq. Res. Inst., **45**, 79-90.
- Hatori, T. (1969) : Study on Distant Tsunami along Coast of Japan : Part 3, Tsunamis of Philippines and Indonesia Origin, Bull. Earthq. Res. Inst., **47**, 525-537.
- Iida, K. (1963) : A Relation of Earthquake Energy to Tsunami Energy and the Estimation of the Vertical Displacement in a Tsunami Source, The Journal of Earth Sciences, Nagoya Univ., **11**, No. 1, June, 1963 49-67.
- 高橋竜太郎・相田 勇 (1961) : 津波スペクトルの研究, 地震研究所彙報, **39**, 523-535.
- Takahashi, R. and I. Aida (1963) : Spectra of Several Tsunamis Observed on the Coast of Japan. Bull. Earthq. Res. Inst., **41**, 299-314.
- 高橋竜太郎・相田 勇・永田 豊 (1966) : 海底設置用長波計による大船渡湾の静振観測結果について, 日本海洋学会誌, **22**, 第1号, 7-16.
- Nakamura, S., H. Higuchi, and Y. Tsuchiya (1975) : On the Transformation of Tsunami Inundating into Osaka Bay, Bull. Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., **25**, Part 4, No. 232: 37-53.