

白浜海洋観測塔における波浪の研究 (I)

—台風6420号に伴った波浪について—

国 司 秀 明・西 勝 也・今 里 哲 久

STUDY OF WAVES AT SHIRAHAMA OCEANOGRAPHIC TOWER STATION (I)

—ON THE WAVES CAUSED BY TYPHOON 6420 (WILDA) —

by Dr. Sci. Hideaki KUNISHI, Katsuya NISHI, and Norihisa IMASATO

Synopsis: This is the report of the wave records obtained at Shirahama Oceanographic Tower Station caused by Typhoon 6420 (WILDA). We analyse these wave records in power spectra. The most interesting fact is that the waves which are coming from the region of the typhoon include two sharp frequency bands. The position of the first peak of lower frequency band seems to depend on the depth of the central pressure of typhoon, and that of the second peak of higher frequency band on the speed of the movement of typhoon.

1. ま え が き

1964年9月25日未明、阪神地方を襲った台風6420号(WILDA)は、神戸港や阪神地方沿岸に、特に波浪による甚大な災害をもたらした。この台風は、中心気圧が最低895mbにも達した強烈なもので、九州上陸時でもなお940mbを維持していた。上陸後はやや衰弱したが、台風進路の右側では強烈な風が吹き、丁度その部分にあつた大阪湾には南ないし南西の強風が連吹き、沿岸一帯に高潮を生じたと同時に、甚だしい波浪を生じて、船舶や沿岸施設に大きな被害を与えた。

このような被害をもたらした波浪の性質に関して、いち早く関係諸機関における調査分析がなされているが¹⁾、とくに紀伊水道から進入する波の重要性を指摘した神戸海洋気象台の見解が注目をひく²⁾。この点に関して、紀伊水道内での波浪状況の現実を知ることがきわめて重要だが、その資料ははなはだ乏しい。白浜海洋観測塔では、もう少し一般的に台風にとまなううねりや風浪の現実を明らかにしようとする計画をたて、すでに得られたいくつかの資料の解析を開始している。今回はとりあえず、この台風6420号にとまなう波浪記録を紀伊水道入口付近の資料として提供し、あわせてそこにみられる2、3の興味ある点を指摘しておく。

2. 台風の経路と白浜における気象要素の変化

まず Fig. 1 に台風6420号の経路を示す。図中の円形は毎日9時および21時の1,000mbの等圧線を示し、この中では、15m/s程度以上の風が吹いている強風域と考えられる。この台風の特徴は、すでに述べたように中心気圧が最低895mbにも達した猛烈な台風で、九州接近まで勢力はあまり衰えなかったこと、上陸後衰えはしたが、台風の形はあまりくずれなかったこと、中心付近の勢力が強かった割には暴風圏は小さか

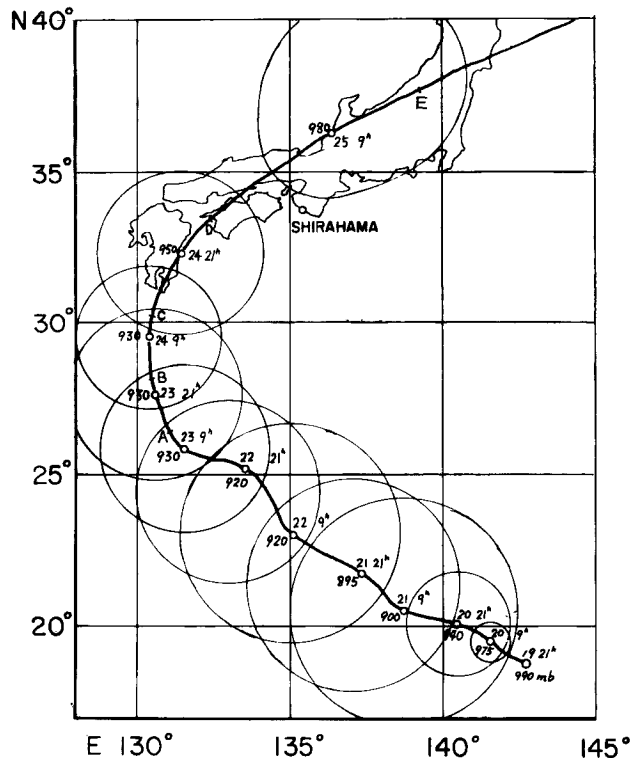


Fig. 1 Path of Typhoon WILDA (6420) The marks A-E are the positions of the center of Typhoon at the dates when wave records analysed in energy spectra were obtained.

ったが、台風の進路の右側では風が強く、風台風の性格をもっていて、紀伊水道から大阪湾、阪神沿岸における暴風は強烈であったことなどである。

次に海洋観測塔における台風接近前後の気圧、風向、風速の変化の様相を毎時の値のプロットによって Fig. 2 に示す。風速は平均海面上 10m の高さのもので、風速、風向とも毎正時の前後 5 分、計 10 分間の平均である。これで見ると、台風の影響があらわれはじめたのは 24 日 0 時頃からで、この頃観測塔と台風の中心迄の距離は 800km 位である。24 日の 15 時から 22 時にかけて風速が弱くなっているのは、台風が九州に上陸していた期間であり、上陸して勢力がやや衰えたことに対応しているようである。その後台風の接近とともに風速は急速に強まり、25 日 5 時には最大値 17.6m/s を記録した。この時、観測塔と台風の中心迄の距離は約 190km で最も近い。一方、気圧も 5 時に最低値 994.4mb を示している。この後台風は速度を早めて急速に遠ざかり、気圧は急に上昇し、風速も急速に弱まって、15 時には 2.7m/s になってしまっている。以上が気象要素とくに気圧、風向、風速の時間変化の様子であるが、次に、問題の波浪の変化の様子を示そう。

3. 有義波波高及び周期の変化

波浪の記録は 1 日 2 回、0 時と 12 時に約 13 分間自動的に記録できるようになっている。台風 6420 号の影響は、22 日 0 時の記録に、周期 10 数秒、波高数 cm の低いうねりの形で現われはじめ、12 時の記録ではかなり

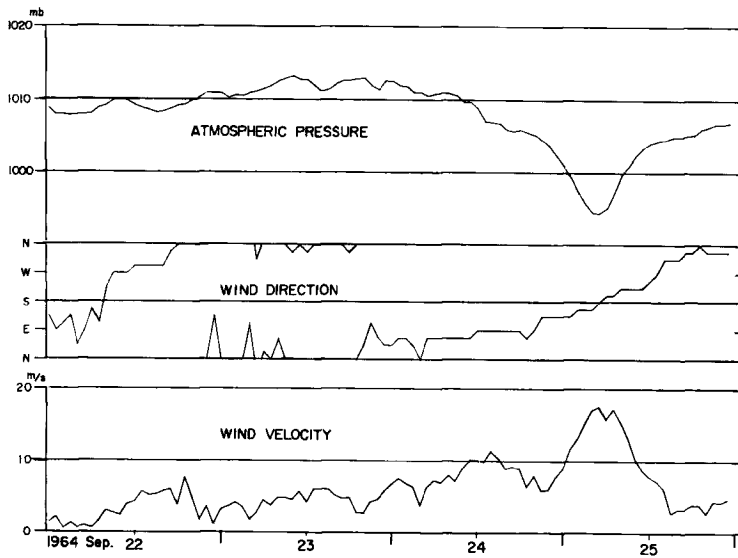


Fig. 2 Change in the atmospheric pressure, wind direction and wind velocity at Shirahama Oceanographic Tower Station during the passage of Typhoon WILDA

顕著となる。この22日12時以後、台風が通過した後の26日12時迄の記録を整理し、有義波波高及び有義波周期を示したのがFig. 3である。なお、波高計は圧力式のもので、平均海面下約2.7mにとりつけられている

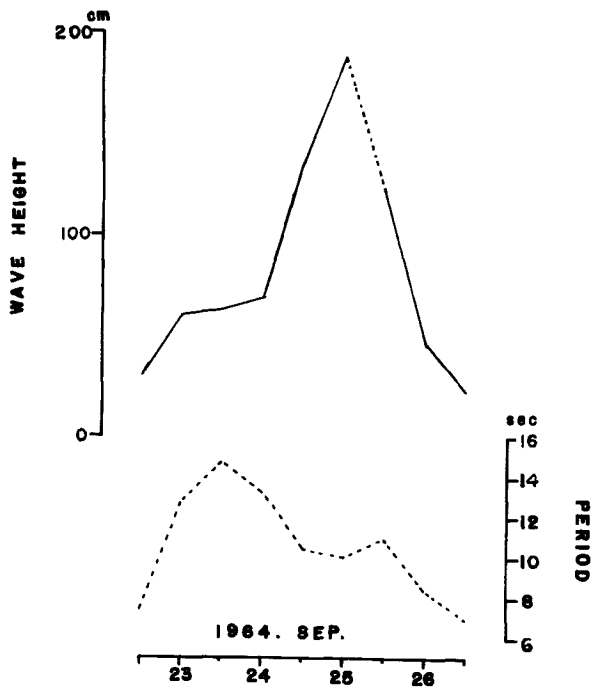


Fig. 3 Change in the height and period of the significant wave during the passage of Typhoon WILDA

ことを付記しておく。

これを見て気がつくことは、22日12時には周期は7.4秒であったのが、次第に長くなり、23日12時には14.7秒にもなっている。この後24日0時から次第に短くなり、台風接近直前の25日0時には10.0秒、台風通過後の25日12時には10.9秒とまたいったん長くなっているが、その後ふたたび次第に短くなっている。

一方波高の方は台風の接近につれてじょじょに高くなり、台風中心迄の距離が700km位になった24日12時には、その前の0時の波高の約2倍の135cmに増し、25日0時には更に増加して187cmに達している。台風の最も接近した5時頃の記録はないのでくわしいことはわからないが、観測塔の平均海面上4.3mのところにある作業床が波で洗われた形跡のあること、しかし目視では全体として観測塔よりうしろで波が碎けているように見えたことなどから推定して、最強風時には、最大波高は6~7m、有義波波高は4m程度と思われる。台風通過後の25日12時には波高は122cmに減少し、26日0時には45cmと非常に小さくなってしまっている。

有義波だけでは、台風にもなう波浪の構造をはっきりさせることはできないので、台風接近前後の記録をスペクトル分析してみた。その結果を次節に示す。

4. 波浪のスペクトル分析

われわれは、まだ台風域内にはっていないと思われる23日12時から、台風通過後の25日12時迄の5つの波の記録をスペクトル分析してみた。観測時間はそれぞれ788秒、このうち最初の18秒を除く770秒を解析の対象とした。分析の方法はTukey(1949)によるdigital方式で、実際の計算は京都大学の電子計算機KDC-1によって行なった。分析結果をFig. 4に示す^{註)}。23日の12時のものをAとし、あと順番にEが25日12時のものを表わしている。なおA, Bの記録およびC, D, Eの記録の読取り時間間隔は、それぞれ1.75秒および1.4秒、従って読取り個数は440および550、ずらしの数は35および37で、自由度は25および30である。またFig. 1の台風の経路を示した図上に、スペクトル分析した時の台風の位置を同じA~Eの符号で示しておいた。

一見して気がつくことは、13秒付近に鋭くて大きなピークが存在し、さらに台風接近前のものには、6~7秒のところに第2のピークが存在することである。この第2のピークはいずれも10%以内の危険度で有意である。

第1の13秒付近のピークは明らかにうねりである。おおざっぱにみると、中心周波数もその鋭い形もほとんど変らないのが目につく。しかし、こまかくみると、記録Aのピークの周期は14秒に近いのに、Bでは13秒に近く、全体としてもスペクトルは短周期側へいくらか移動していることや、その後C, Dとピークの位置や形にはあまり変化はないが、台風通過後のEになると、再びやや短周期側へのスペクトルの移動とわずかな全体的な形のひろがりが出てくるのに気がつく。

これらのうねりが何時何処で発生したかを正確に知るためには、たとえば宇野木³⁾の示したような、うねりが台風内の風浪発生域からどのように抜けてくるかに関する十分な知識を必要とするが、宇野木⁴⁾によれば13~14秒という長い周期の波は台風のごく中心近くにあるとみられるので、まず第1近似としては、これらは台風中心から伝播してきたものと考えてよいであろう。今13秒の波がその群速度で台風の中心を抜け出たと考え、いつ観測塔に到達したかを調べてみたのがFig. 5の実線で示したものである。これから推定し

註) これらのスペクトルは表面波のそれに換算されたものではない。感部は水面下2~3mであるから、この周波数の領域では補正係数はそう大きくはなく、高周波側の端でも3を越えない。また縦軸の $E(f)$ は単位周波数当りの波の全エネルギー密度(=2×ポテンシャルエネルギー密度)である。従って、

$E = \int_0^\infty E(f) df$ は、 $\bar{\zeta}$ を水面の変位として、水面の単位面積あたりの波の全エネルギー(=2×ポテンシャルエネルギー) $\rho g \bar{\zeta}^2$ を与える。通常慣行的によく用いられている Neumann の E -value とは E -value $= 2E/\rho g$ の関係にある。

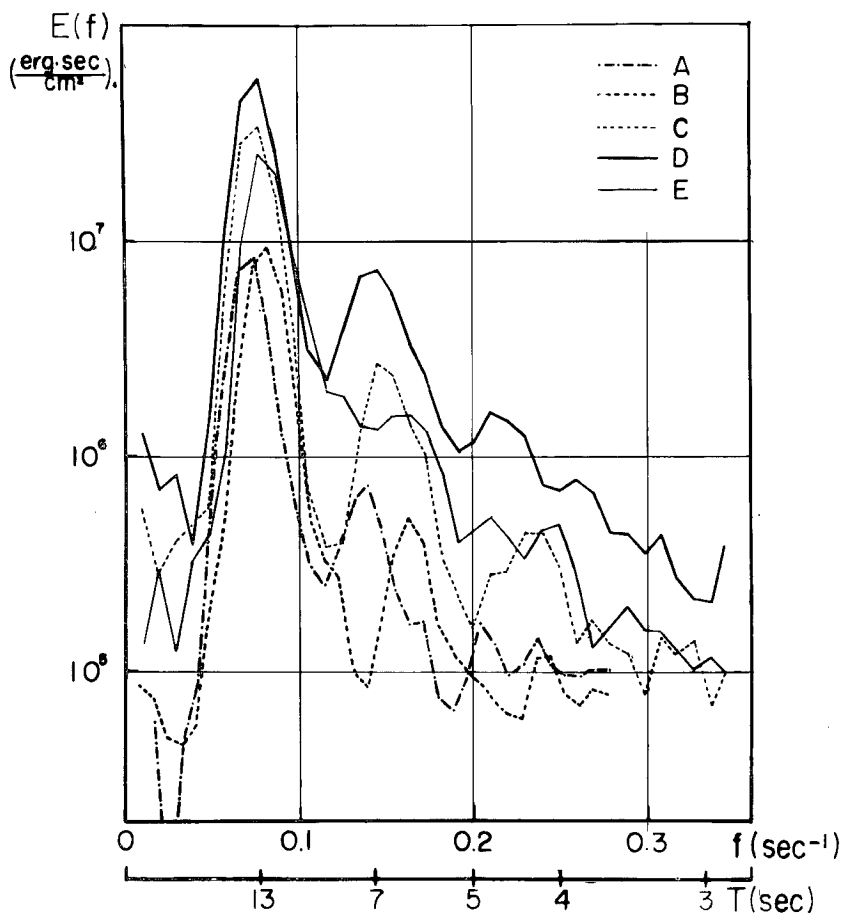


Fig. 4 Energy spectra of waves accompanied with Typhoon WILDA

てみると、たとえばA（23日12h）の記録にみられる長周期のうねりは、22日2時頃に台風中心を出たもので Fig. 1によればその時の中心示度は905mb、Bのうねりは22日22時頃出たもので、920mbだと推定される。これらを一括して示したのが Table 1である。

Table 1

Arrived dates		Started dates		Distance	Center Pressure
day	hr	day	hr	km	mb
23	12	22	2	1260	905
24	0	22	22	960	920
	12	23	10	960	930
25	0	24	2	810	930
	12	25	1	430	960

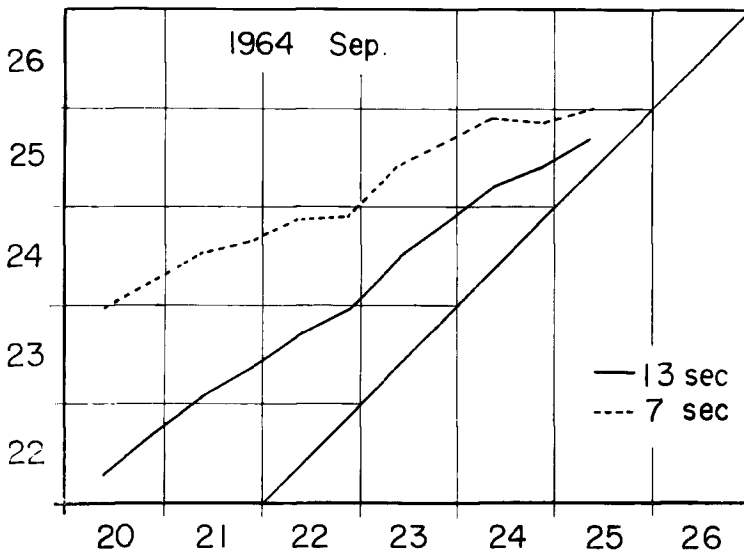


Fig. 5 Relation between the date (abscissa) when waves of periods of 13 sec and 7 sec started from the center of Typhoon and the date (ordinate) when the same waves arrived at Shirahama

とくに興味のあるのは、最後の欄に示したこれらのうねりの発生時における台風の中心示度である。Aでは905mbと非常に深く、B、C、Dでは920~930mbとほぼ一定、Eで960mbと浅くなっている、これがちょうど先に述べたAからBおよびDからEにおけるスペクトル第1ピークの短周期側への移行と対応しているとみられることである。このことは宇野木⁴⁾の示した台風中心付近の卓越波の周期が中心示度の深さとともにのびていることからもうなずける考えである。

要するにこの13秒付近にピークをもつスペクトルの第1の山は台風の中心付近からのうねりで、それがしめている周波数帯のいくつかの移動は台風の気圧の中心示度の変化によるとみられる。なおEは台風通過後で、台風の中心はすでに日本海へ抜けようとしている。一方推定されるうねりの発生位置は、台風中心がようやく四国に再上陸しようとする頃であって、台風が九州上陸の頃から急に早くなったため、いわばとり残されたうねりとなっていることを注意しておこう。またこの頃大阪湾内には、もはやこのような長い周期のうねりは存在していないようにみえることを記しておくのも無駄ではあるまい。

次に問題は7秒付近の第2のピークである。ここでまず気が付くのは、Aでは7秒付近にあったのが、Bでは6秒付近に移り、C、Dで再び7秒付近に長くなるという変化がみられることである。なお台風通過後のEにも、有意とはいえないが、6秒付近にいくつかのふいピークがみられることを記しておこう。

このような7秒付近のピークが何故できるのかはきわめて興味のある問題である。宇野木⁴⁾によれば、卓越波の周期は台風中心から遠ざかるに従って短くなり中心から600哩位のところで7秒位、波高は2mの程度とみられる。この限りにおいて台風中心が1,000kmと遠い頃に7秒前後のピークがでて不思議ではない。しかしわれわれのスペクトルから推定される波高は10cmの程度であって、観測塔が直接波の観測されない湾内に設置されているとはいっても、少し小さすぎるように思えることや、台風の接近にもかかわらず同じ7秒前後のピークが維持されているといったことは、そのような比較的単純な台風内の波浪構造以上の問題が含まれていることを思わせる。

一方この波が局地的な風の場合でおこされたものとも考えることもとうていできない。だいいち周期が長すぎ

るし、その割には波高が小さすぎる。やはりこれは台風域内に関連があってそこから抜け出て来た一種のうねりと考えの方が自然であろう。この点に関してまず気が付くことは、周期7秒の波の群速度は約20km/hで、台風が海上にあって移動している頃の移動速度がちょうどこれと同程度であることである。このことは台風の右半円内に一種の共鳴によって7秒前後の波が最も発達しやすくなる傾向を生じそうな予測を感じさせる。

もしそうだとすると、この波がどの辺りからうねりとして抜けでてくると考えるのが適当かはよくわからないが、かりにこれも中心から抜けでてくるものとして、その発生時刻と到着時刻との関係を示したのがFig. 5の点線である。たとえばAにおける波は19日19時頃に台風中心を出たものと推定され、Fig. 1を参考にすると、この頃の台風の移動速度は約20km/hである。このようにして調べてみると、Bにおける波が発生した頃の台風の移動速度は13km/h、以下C、Dに対してはそれぞれ18km/h、19km/hの程度であることがわかる。明らかにBに対応する台風の移動速度だけがかなり遅くなっていて、このことがBにおいて7秒近くのピークが6秒近くに移ったことと対応しているように思われるのである。

この第2のピークの存在はこれまであまり知られてきていない。このようなスペクトルの2ピーク構造が台風に伴う波浪場の一般的な特性であるのかどうかをいうことは、もちろんまだ早急である。台風にとまなう波浪をスペクトル分析した例は現在まだそう数多くなく、それも主として実際の立場から、実際に港湾施設などに被害を与えた台風の最強風時近くのものに限られている。それらのスペクトルには明らかに局地的な、あるいは陸岸の存在で局地的に変形された風場によって、高周波側から発達して低周波側へのびていくいわゆる風浪の山がみられるが、それを別にすると、本質的には1ピークとみられるものが多い^{5), 6)}。しかしそれだからといって2ピーク構造の存在が必ずしも否定されるわけではない。われわれが問題にしているのは、むしろ海上にある台風に伴う波浪場の構造なのであって、われわれの問題にしているスペクトルは、上に述べたような陸の影響によって大きく変形された波浪場を扱っていると考えられるスペクトルと、必ずしも同一視することはできないからである。

なおこれに関連して、この台風に関する9月25日15時30分の西宮のスペクトル¹⁾が白浜におけるスペクトルとかなり似ていることを指摘しておきたい。明らかに13秒と7秒とにピークを持つ2ピーク構造を示している。神戸海洋気象台の資料²⁾によれば、この時風力10以上の強風域はまだここまでは達していないから、このスペクトルはあるいはわれわれのスペクトルと同じ性質のものであるかもしれない。

5. 結 び

すでにまえがきにも述べたように、白浜海象観測所で台風に伴う波浪場の構造を明らかにしようという計画が進められているが、今回はとりあえず実際的にも被害の多かった台風6420号の白浜海洋観測塔における記録を紀伊水道入口付近の資料として提供した。観測が1日2回、12時間間隔であるため最強風時付近の記録は得られていないので、大阪湾内での状況との関連を十分にみることはできないが、得られた記録のスペクトル自体はたいへん興味ある特長を示している。すなわち13秒および7秒近くの2ピーク構造で、それらの中心周波数の変動は、定性的ではあるが前者では台風の中心気圧の深度の変化に、後者では台風の進行速度の変化に関係していることが認められる。

われわれは今後このような2ピーク構造が台風に伴う波浪場の一般的特性であるのか、またそれらのピークについてすぐ上に述べたような関係が定量的に成立するかどうかをさらに多くの台風時の記録から追求していきたいと考えている。また強風時には自動的に観測回数を増やす方法を現在計画中で、これによって実際的には最も重要な台風の強風域に入った場合の状況、とくに陸によって、台風が海上にある場合とどのように変わってくるのかを明らかにしていきたいと考えている。

参 考 文 献

- 1) 運輸省第三港湾建設局：第2回大阪湾海象会議，6420号台風に関する調査別紙，1965.
- 2) 神戸海洋気象台：波浪技術懇談会資料，1965.
- 3) Unoki, S. : On the Ocean Waves due to Tropical Cyclones (2nd paper) : Distribution of Waves viewed from Geometric Consideration and Typhoon Reconnaissance by Aircrafts, J. Met. Soc. Japan, Series II, Vol.35, No.2, 1957, pp.78~87.
- 4) Unoki, S. : On the Ocean Waves due to Tropical Cyclones (3rd paper) : Mean Distribution of Wave Heights and Periods, J. Met. Soc. Japan, Series II, Vol. 35, No.5, 1957, pp.297~309
- 5) Ijima, T. : The properties of ocean waves on the Pacific coast and the Japan Sea coast of Japan, Transportation Tech. Res. Inst., Report No.25, 1957.
- 6) Bretshneider, C. L. : Wave Spectra from Hurricane Donna, 1959 : Ocean Wave Spectra, Proceedings of a Conference. Chap.5, Appendix, 1963, pp.267~273.