

白浜海洋観測塔における波浪の研究(Ⅱ)

国司 秀明・西 勝也・今里 哲久

STUDY OF WAVES AT SHIRAHAMA OCEANOGRAPHIC TOWER STATION (Ⅱ)

By *Hideaki KUNISHI, Katsuya NISHI and Norihisa IMASATO*

Synopsis

We calculated power spectra from the records of waves which were caused by Typhoons 6309, 6313, 6314, 6420 and 6523, and obtained at Shirahama Oceanographic Tower Station. We have mentioned in the first paper of the same title that the waves coming from the region of typhoon include two sharp frequency bands, and that the position of the first peak seems to depend on the value of the central pressure of typhoon. These points are examined. The period of the first peak increases logarithmically with the central pressure of typhoon, and it also increases linearly with the maximum wind speed in the storm area of typhoon.

1. ま え が き

台風にとまなう波が、沿岸建造物や船舶におよぼす被害は甚大なものである。台風襲来時の波の特性については、近年色々な関係官庁において調査研究がなされているが、われわれは台風にとまなう波浪場の構造を解明すべく、昨年来台風時の波浪記録の解析をおこなってきた。昨年はとりあえず台風6420号にとまなう波浪記録の解析結果について報告した¹⁾。それによると、得られた波浪のスペクトルは、13秒および7秒付近の2ピーク構造をなしており、いずれも台風域からやってきたうねりであり、それらの中心周波数の変動は、前者では台風の中心気圧の示度の変化に、後者では台風の進行速度の変化に関係しているように思われた。われわれは、このような2ピーク構造が台風にとまなう波浪場の一般的特性であるのか、またそれらのピークの変動が上にのべたような関係にあるのかどうかを、ほかの台風にとまなう波の記録について調べ、検討を加えてみた。ただ、7秒付近のピークは、ほかの台風にとまなう波のスペクトルにもあらわれてはいるが、それがはたして台風域からやってきた波なのか、またその中心周波数の変動が台風の進行速度と関係があるのかどうかについては、なお若干の疑問があり、現在それらの点について検討中であるので、今回は13秒付近の波についてのみ報告する。

2. 台 風 の 径 路

今回調べた台風は、台風6309号、6313号、6314号、6523号で、これらの台風ならびに台風6420号の径路をFig. 1に示した。図中の白丸は毎日9時、黒丸は21時の台風の中心位置を示している。各台風のおおまかな特長をのべると、台風6309号は最低中心気圧が930mbで、その移動速度が他の台風にくらべて非常にゆっくりしていて、九州の大分付近に上陸するまで、平均時速12.2km/hを保っていた。

台風6313号は白浜の南方2,100km程の海上を次第に中心気圧の示度を深めながらほぼ一直線に西に向っ

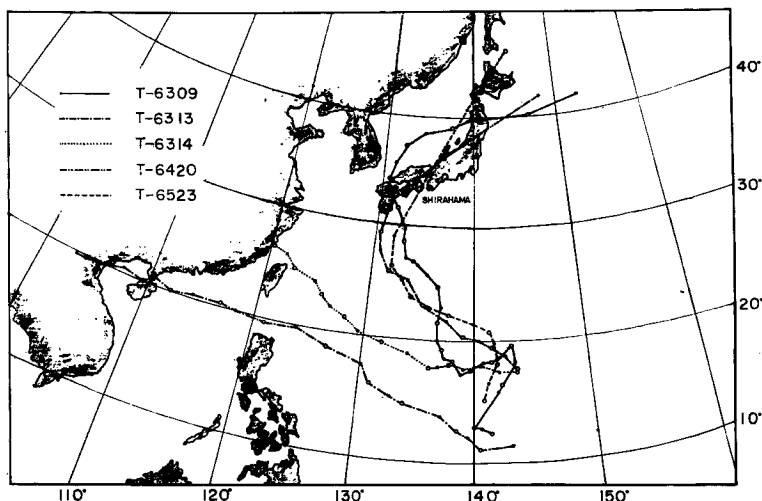


Fig. 1 Paths of Typhoon 6309, 6313, 6314, 6420, and 6523.

て進み、中国大陆南端に上陸した頃に、最低中心気圧 960mb を示した小型台風である。台風6314号は前者におくれること5日程で発生し、前者より 500km 程日本寄りの海上を、白浜と台風中心とを結ぶ距離がほとんど全経路にわたって一定の円弧上を西に向って移動したもので、その最低中心示度は 920mb に達している。

台風6523号は台風6420号とほとんど同じ径路をたどり、四国の安芸市付近に上陸後、阪神地方を通過して日本海に抜けたが、最低中心気圧は 940mb で、それが 895mb にも達した台風6420号にくらべると弱い台風である。

3. 波浪のスペクトル分析

われわれは、これらの台風による波の影響が、白浜の海洋観測塔にあらわれはじめたと思われる頃から、減衰するまでの12時間毎の波の記録をすべてスペクトル分析してみた。海洋観測塔においては毎日0時と12時の2回、毎回約13分間自動的に記録をとるようになっている。分析は昨年(昭和41年)の年報にのべてある通り、Tukey (1949) による digital 方式を使って、京都大学の電子計算機 KDC-I によっておこなった。Fig. 2 から Fig. 5 までが、それぞれの台風にもなった波のスペクトルである。

まず台風6309号の場合についてみる。Fig. 2-a をみると、A で10秒付近にあったわりあいなだらかなピークが、B では11.5秒にのび、C では更に13.5秒と長くなって、D, E では14~15秒付近にまで中心周波数がのびている。

Fig. 2-b では、わずかな変動はみられるが、ほとんど13~14秒付近にピークが集まっており、Fig. 2-c では、13秒付近にあったピークが徐々に短周期側へ移動し、K では11.5秒、L では9秒、そしてM では8.5秒付近まで移動していることがわかる。また7秒付近の第2のピークについては、C からK までのほとんどに存在していることもわかる。

13秒付近の長い周期の波はあきらかに台風域からやって来たうねりであるが、台風域内の何処で、何時頃発生したか正確に知るにはまだ十分な研究がなされていない。今得られた波のスペクトルから、13秒付近のピークの中心周波数の波が、その群速度で台風の中心付近をぬけ出てきたものと考え、記録のとれた時間から逆算して、その波の発生時の台風の状態を調べてみると、A, B, C, は台風の中心気圧が徐々に深くなりつつある発達期の状態であり、F, G, H, はほぼ最低中心気圧前後の最盛期の状態であって、J, K, L

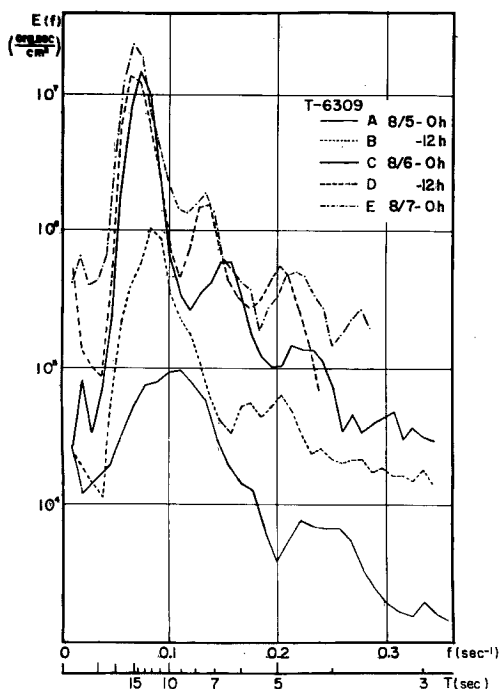


Fig. 2-a Energy spectra of waves accompanied Typhoon 6309 (Aug. 5, 0:00-0:13 to Aug. 7, 0:00-0:13).

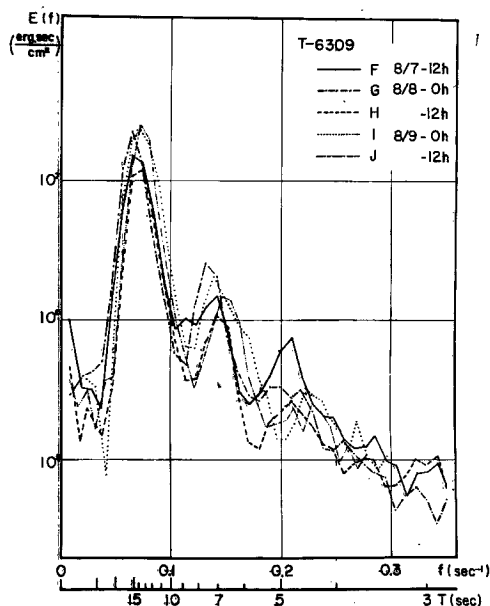


Fig. 2-b Energy spectra of waves accompanied Typhoon 6309 (Aug. 7, 12:00-12:13 to Aug. 9, 12:00-12:13).

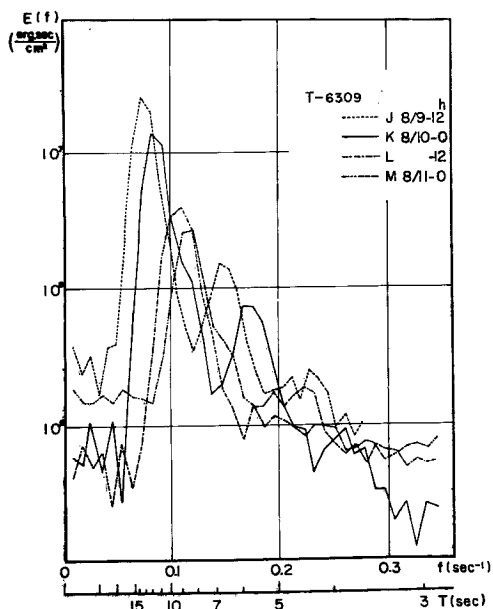


Fig. 2-c Energy spectra of waves accompanied Typhoon 6309 (Aug. 9, 12:00-12:13 to Aug. 11, 0:00-0:13).

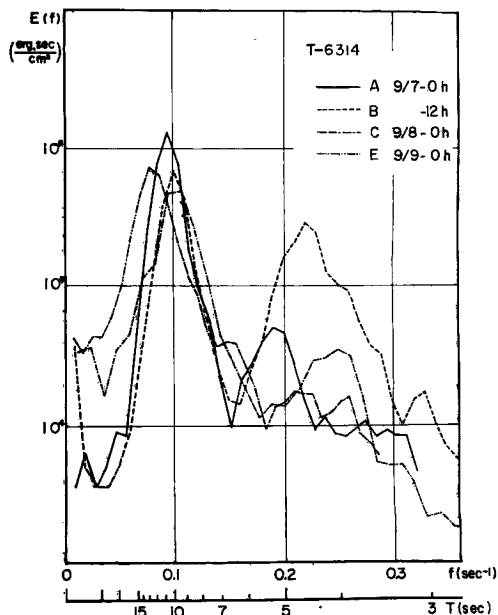


Fig. 3-a Energy spectra of waves accompanied Typhoon 6313 and 6314 (Sep. 7, 0:00-0:13 to Sep. 9, 0:00-0:13).

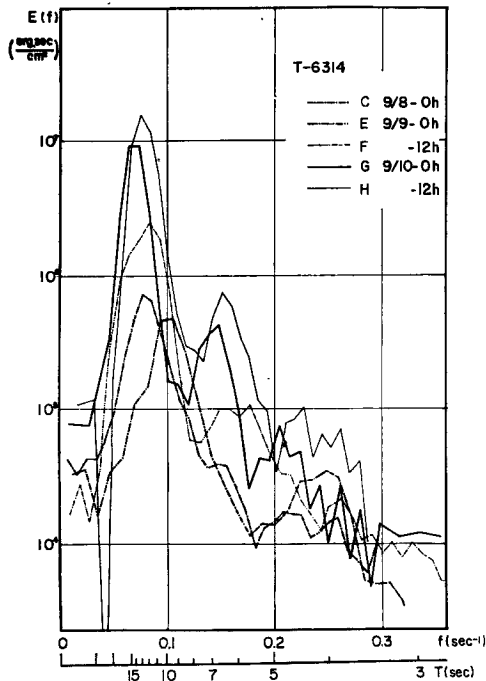


Fig. 3-b Energy spectra of waves accompanied Typhoon 6314 (Sep.8, 0:00-0:13 to Sep.10, 12:00-12:13).

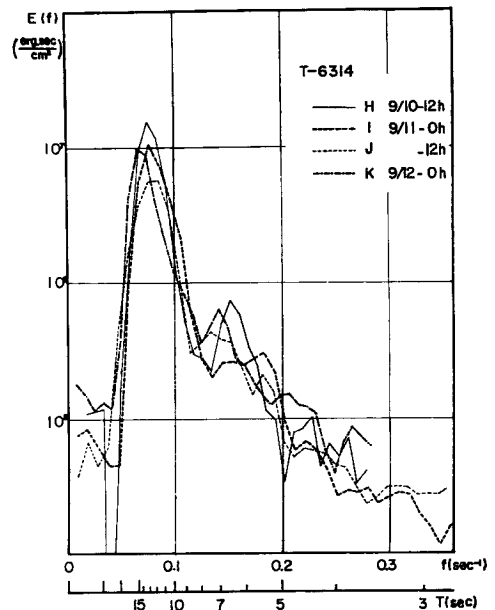


Fig. 3-c Energy spectra of waves accompanied Typhoon 6314 (Sep.10, 12:00-12:13 to Sep.12, 0:00-0:13).

M は中心示度が段々と浅くなっていく減衰期の状態に対応する。すなわち、台風の発達と13秒付近のピークとの間には昨年台風6420号についてのべたのと同様の関係がみられるようである。

Fig. 3-a には、台風6313号にともなう波のスペクトルが発生初期のものを除いてかかれており、*A* で10.5秒付近にあったピークが *B*, *C* ではいったん10秒付近の短周期側へ移動しているが、*E* ではふたたび13秒付近にまで伸びている。台風は徐々に中心気圧を深めている状態であるが、その示度は970mb 位でそれ程深くない。Fig. 3-b では台風6314号にともなう波のスペクトルがあらわれ始めているとみられ、*E*, *F* では12秒付近にピークがあるが、*G* になると急に周期が長くなり、14.5秒にも達している。この波の発生時の台風の状態は発達し始めたばかりの状態であって、まだ最盛期にはなっていない。Fig. 3-c では *H*, *I*, *J*, とともに13秒付近のピークの変動はほとんどみられないが、これらの波の発生時も、まだ台風は発達し続けている状態にあった。*K* で初めてピークは14.3秒付近へ移行しているが、これは台風の中心示度が最も低くなった状態に対応しているとみられる。

Fig. 4 は台風6420号のものである。*A* は最低中心気圧を示した頃を少し過ぎた頃の台風の中心付近からやってきたものと考えられるだけに、第1のピークはもっとも長周期側にあり、*B*, *C*, *D* はすでに減衰期にはいった付近からやってきているけれども、中心気圧は920~930mb 位と考えられるので、*A* とそれほど違ってはいないようである。*E* でやや短くなっているのは、中心気圧が960mb 位に衰えた状態の台風からやってきたものと考えられる。

台風6420号とほとんど同じコースをたどった台風6523号にともなう波のスペクトルを Fig. 5 に示す。*A*, *B* ではまだそれ程顕著な台風による波のピークは形成されていない。*C* ではじめて台風にともなう波の様

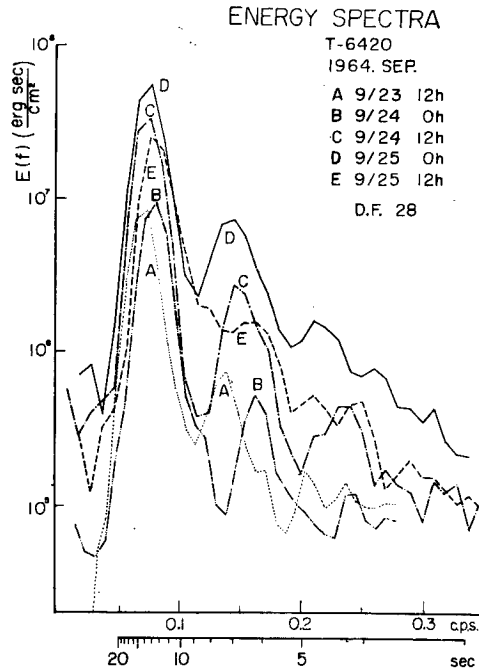


Fig. 4 Energy spectra of waves accompanied Typhoon 6420 (Sep. 23, 12:00—12:13 to Sep. 25, 12:00—12:13).

子がみられる。D, E, と13秒付近のピークの中心周波数はCとほとんど変っていないが、わずかにのびていて、これは中心気圧の示度の深まりに対応しているようである。Fでは中心周波数は14.3秒に、Gでは14.7秒に達して最も長い周期を示しているが、台風の中心気圧も940mbに近い最盛期の状態に対応している。H, Iにみられる短周期側への移動は、台風が四国へ上陸する直前で、その勢力の衰えに対応しているように思われる。

以上5つの台風ともなる波のスペクトルのなかの13～14秒付近のピークの変動と、それらの波の発生源が台風の中心付近だと考えた時の台風の中心気圧との関係について、おおざっぱにみてきた。対応は必ずしもはっきりしているとはいえないが、14秒付近のピークの変動は台風の中心気圧の変動とかなりよく合うように思われる。

その関連の程度をはっきり示すために、波がそれらの群速度で台風の中心付近からやってきたものとして、波の発生時の台風の中心気圧と波の周期との関係をプロットしてみたのが、Fig. 6である。みられるように、点はかなりばらついてはいるけれども、一定の傾向はあるといえるであろう。図中の破線は、台風の中心気圧 P と波の周期 T との関係を最小自乗法によって求めたもので、次の様な対数式であらわせる様である。

$$T = 467.7 - 152.9 \log P \dots \dots \dots (1)$$

13秒付近の波の発生は、おそらく台風域内の最大風速に最も強く結びついていることが予想される。台風域内の風場は風速の切線成分と動径成分、並びに台風の進行にともなう風で規定される。台風が日本の南方海上にあって比較的ゆっくりと進んでいる場合を考えれば、風速の切線成分 G の最大値をもって台風域内の最大風速 U のおおよその推定値とすることができよう。そこでこの値 U と波の周期 T との関係を検討してみた。

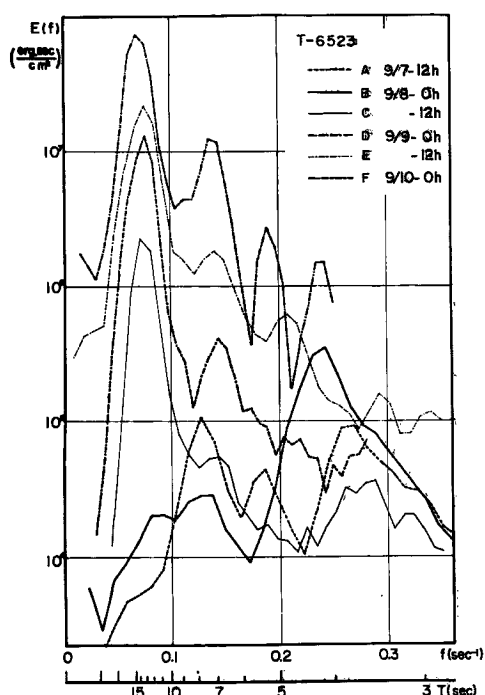


Fig. 5-a Energy spectra of waves accompanied Typhoon 6523 (Sep. 7, 12:00-12:13 to Sep. 10, 0:00-0:13).

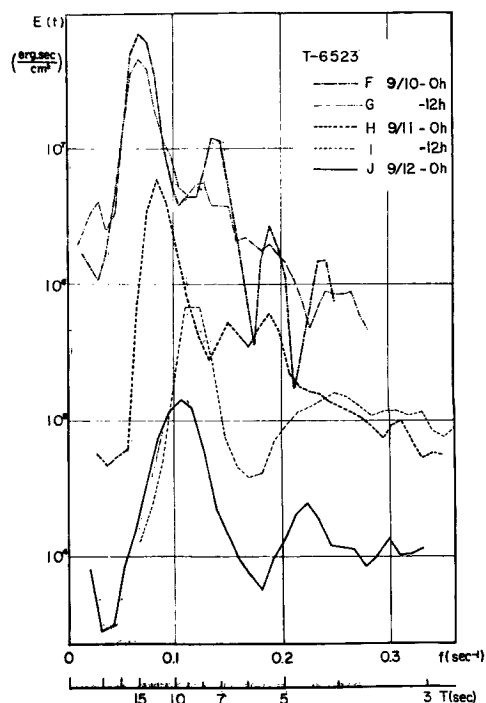


Fig. 5-b Energy spectra of waves accompanied Typhoon 6523 (Sep. 10, 0:00-0:13 to Sep. 12, 0:00-0:13).

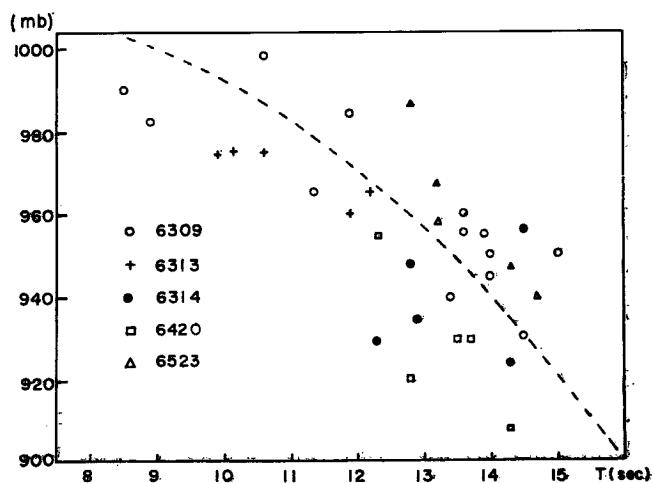


Fig. 6 Relation between the central pressure of typhoon and the period of the first peak of wave spectra.

風速の切線成分 G は運動方程式 (2)

$$\frac{G^2}{r} + fG = \frac{1}{\rho_a} \cdot \frac{dP}{dr} \quad \dots\dots\dots (2)$$

と、藤田が与えた台風域内の気圧分布の式²⁾ (3)

$$P = P_\infty - \frac{a}{\sqrt{1 + \left(\frac{r}{r_0}\right)^2}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

並びに天気図を用いて求めることができ、これから最大風速 U の推定値が得られる。ここで、 r は台風中心からの距離、 f はコリオリのパラメーター、 ρ_a は空気の密度、 P は台風中心からの距離 r での気圧、 P_∞ は台風域外のある地点での気圧、 a 及び r_0 は各台風各瞬間毎にきまる定数である。このようにして得た最大風速 U と第一のピークの波の周期 T との関係を、5つの台風について示したのが Fig. 7 である。点はかなりばらついていて、両者の関係は非常に明確であるとはいえないにしても、ほぼ一定の関係がなりたっている様にみえる。最小自乗法によって、この一次の関係を示したのが、図中の実線であり、これは次の式で表現することができる。

$$T = 0.157U + 6.95 \quad \dots\dots\dots (4)$$

点のばらつきが大きいのは、風速の動径成分と、台風の移動速度を無視したことによる原因の一つがあるのかも知れないし、あるいはまた、気圧分布の式 (3) に問題があるのかも知れない。この点をもう少し調べてみるために、ハリケーンの中心気圧示度とハリケーン域内の最大風速との間になり立つ観測事実³⁾ を使

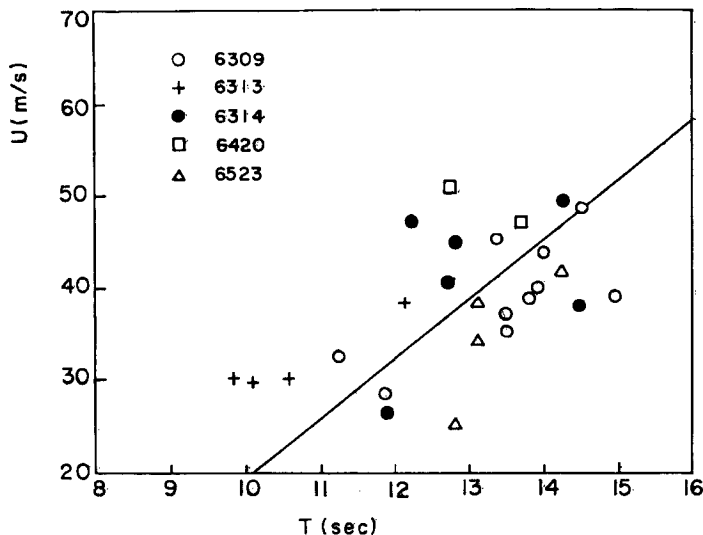


Fig. 7 Relation between the maximum geostrophic wind speed of typhoon estimated from the pressure gradient and the period of the first peak of wave spectra.

って、われわれのデーターを整理し Fig. 7 と同様の図を作ってみたのが Fig. 8 である。図中の線は Fig. 6 の破線に対応するもので、直線

$$T = 0.148U + 5.59 \quad \dots\dots\dots (5)$$

とあらわすことができ、式 (4) と同様 1 次の関係がなりたっていることがわかる。みられるように、最大風速は Fig. 7 の場合よりも、10~15m/sec 程大きくなっている。これは最大風速を切線成分だけから

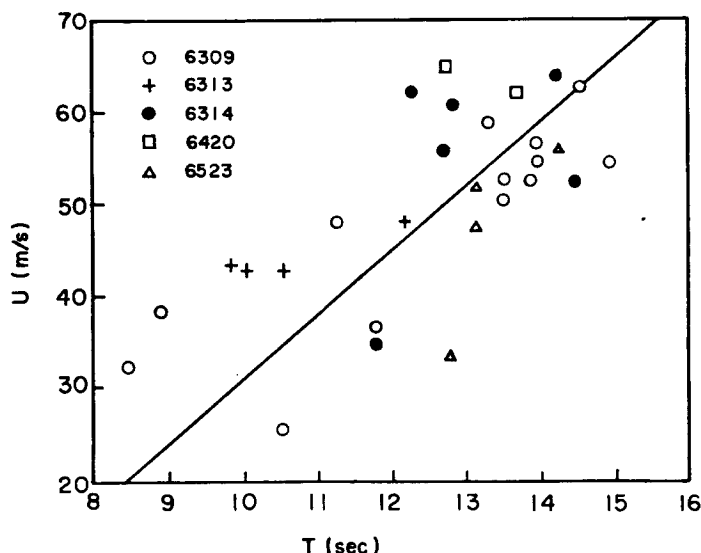


Fig. 8 Relation between the maximum wind speed of typhoon estimated from the central pressure by the use of Fig. 23 of Colon (1963) and the period of the first peak in lower frequencies.

推定すれば、ここで考えられている風速の全範囲にわたって、ほぼ30%程小さく見積る結果になることをあらわしている。点のばらつきは Fig. 7 に較べて、それ程小さいとはいえず、波のスペクトルのピークの中心周波数の推定精度にも問題があるのかも知れない。こういった問題を含みながらも台風域内の風速に比例して波の周期は大きくなっていることが結論できる。

4. む す び

昨年来、われわれは台風にとまなう波浪場の研究を手がけてきたわけであるが、今回は解析例を増して前回13秒付近にピークを持つ波の周期が台風の中心気圧示度と関連しているという結論がほぼ妥当であることが確認された。さらに点はかなりばらついてはいるが、台風の中心気圧示度が深くなると共にこの付近にピークを持つ波の周期は対数関数的に増加することがわかった。またこの波の周期は台風域内の最大風速と共に直線的に増加していることが認められた。ただ、Fig. 6 においても Fig. 7 においても、点がかなりばらついており、台風の中心気圧示度と周期との関係、また最大風速と周期との関係をより明確なものにするために、波のスペクトルのピークの中心周波数の推定精度をどのくらい高めることが必要か、あるいはまた、最大風速の推定値が妥当なものかどうかを検討しなければならない。

一方、7秒付近の第2のピークの問題については、台風域内にその発生源があると考えられると同時に、別の発生源からやってくるとも考えられるふしがあるので、この点について現在検討中である。

参 考 文 献

- 1) 国司秀明, 西勝也, 今里哲久: 白浜海洋観測塔における波浪の研究 (I), 京大防災研年報, 第9号, (1966), pp.677—684.
- 2) T. Fujita: Pressure Distribution within Typhoon, Geophys. Mag., 23, (1952), pp.437—451.
- 3) J.A. Colon: On the Evolution of the Wind Field during the Life Cycle of Tropical Cyclones, National Hurricane Research Project, Report No.65, pp.23—24.