

台風に伴ううねりの発生条件に関する一考察

山口正隆*・畑田佳男**・小沢恵一郎***・早川 淳****

1. 緒 言

わが国のはるか南方洋上にある台風により生成された波浪は、台風がわが国に接近する数日前からうねりとして来襲することがある。この台風に伴ううねりの波高は4~5mに及ぶ場合もあり、海岸・港湾構造物や漁業施設などに対するうねりの影響は無視しえないと考えられる。台風に伴う波浪の研究は観測資料の解析や波浪推算法の適用に基づいて、たとえば宇野木¹⁾、井島ら²⁾、Uji³⁾および山口ら⁴⁾により行われてきたが、これらの研究の主眼は台風に伴う風波特性の考察にあり、その前駆現象であるうねりと台風特性との相互関係にはあまり関心が払われてこなかったように思われる。

こうした立場から、本研究ではまず、これまで著者らが開発してきたエネルギー平衡方程式に基づく波浪推算モデル⁵⁾を、わが国太平洋岸各地で波浪の観測結果が取得されている台風8310号をはじめとする近年の多くの台風や台風内の波高分布が得られている台風3508号に対する波浪追算に適用し、両者の比較からその妥当性を検討する。ついで、1934年から1983年に至る50年間に発生し、わが国に来襲した合計98個の台風に対する波浪追算結果⁴⁾の解析から、わが国太平洋岸での台風に伴ううねりの発生条件を台風経路や移動速度などの台風特性との関連で考察する。

2. 波浪推算モデルの適用性

(1) 波浪推算モデル

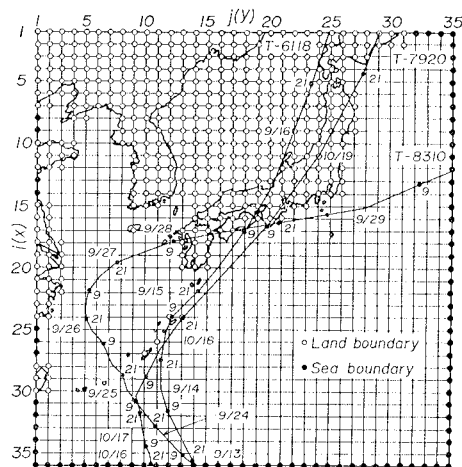
本研究で使用する波浪推算モデルは source function として、風波の発生・発達項、非線型干渉項および碎波、擬似粘性、逆風による減衰項をもつ格子点法に基づく著者らの深海波モデル⁵⁾であり、数値計算は piecewise ray method による伝播計算と解析解による発達・減衰計算を1タイムステップ内で交互に組み合わせて行う。

(2) 計算方法

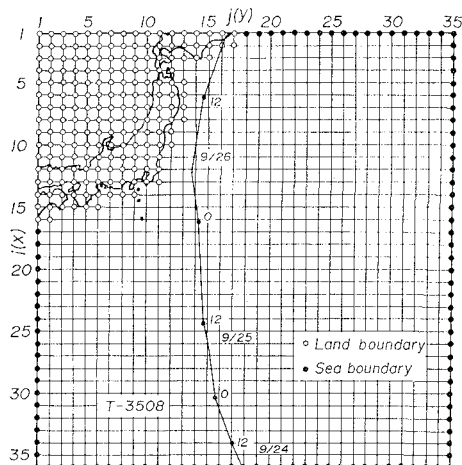
計算領域は図-1(a) (台風8310号など98台風)あ

るいは(b) (台風3508号)に示される太平洋上に設けた格子間隔 $\Delta x = \Delta y = 80$ km の計算格子網 (東西 2720 km, 南北 2800 km) である。計算条件は周波数分割数 20 ($f = 0.036 \sim 1$ Hz), 方向分割数 19 ($\Delta\theta = 20^\circ$), 計算時間間隔 $\Delta t = 1$ h とした。

つぎに、波浪追算に必要な海上風の推定は、台風域内



(a)



(b)

図-1 計算格子網および台風経路

* 正会員 工博 愛媛大学教授 工学部海洋工学科

** 正会員 工修 愛媛大学助手 工学部海洋工学科

*** 工修 横河電機株式会社

**** 学生会員 愛媛大学大学院 工学研究科

の気圧分布として Myers 式を用いた台風モデルによることとし、3時間あるいは6時間ごとの天気図および気象資料から線型内挿した台風半径、気圧深度、吹き込み角および台風位置を1時間ごとと与え、海上風への変換係数を $c_1=0.6$ とした。

(3) 観測結果との比較

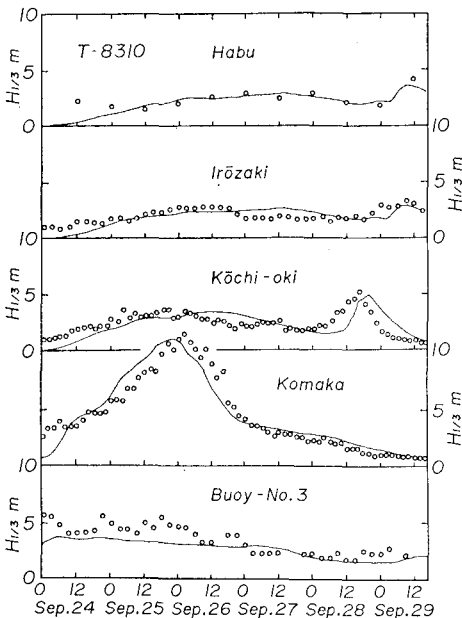
a) 有義波高の経時変化: 図—2 は台風 8310 号時におけるブイ No. 3 (水深 3 470 m), コマカ (水深 24 m), 高知沖 (水深 120 m), 石廊崎 (水深 50 m) および波浮 (水深 49 m) での有義波高の経時変化を計算結果と観測結果について示したものである。まず、ブイ No. 3 をみると、台風期間前半部ではおそらく観測結果が台風計算開始以前の台風以外の気象擾乱の影響を受け、しかも計算風速が観測風速より小さい(図省略)ため、波高の計算結果も観測結果より小さいが、後半部での両者の対応は良好である。これはブイ No. 3 での波が局所風に伴う風波のみならずうねりにより強く影響されるためであろう。また、コマカ、高知沖、石廊崎および波浮では風特性の対応関係(図省略)を反映して両者の経時変化に若干の位相のずれが見られるけれども、いずれの地点においても台風全期間を通じて計算結果と観測結果の対応は良好である。

b) 波高の平面分布: 図—3 は多数の艦艇による連続同時観測結果に基づいて作成された台風 3508 号内の目視波高の等値線分布を有義波高に換算した結果²⁾と計算結果とを示したものである。この観測結果はたまたま台風 3508 号にまきこまれた旧日本海軍第 4 艦隊により最

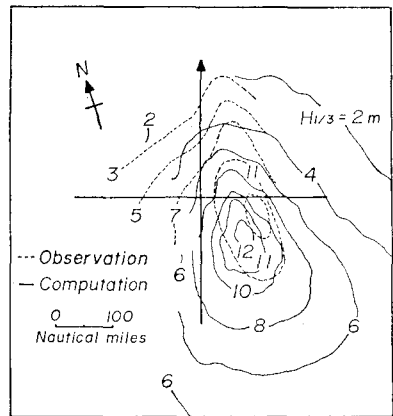
悪の気象海象状況下で得られたものであり、台風域内の波浪分布に関するほぼ唯一の観測資料として非常に貴重である。

さて、比較にあたり注意すべきことは、観測結果が最悪状況下で目視観測によって得られたものであり、必ずしも信頼性の高い資料とは考えられないことおよび観測結果は比較的高緯度の海域で得られており、この時台風はすでに不連続線を伴っていたのに対し、海上風の推定に気圧分布の円近似を仮定する本モデルでは、このような気圧分布を正確には再現できないことなどである。これらのことを念頭において図—3 をみても、台風の右後半円に高波高部が存在することおよび波高の分布形状が比較的良好に対応することから、本モデルは観測結果の傾向を比較的良好に再現するといえる。

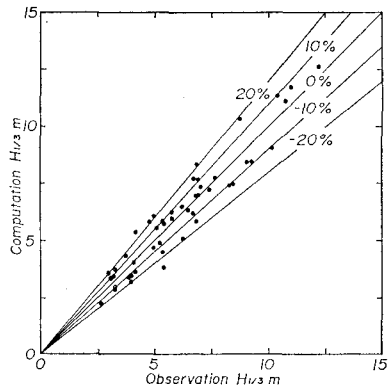
c) 最大有義波高: 近年日本周辺に来襲した多くの台風時に対する波浪追算結果に基づき、各台風時における特定地点での最大有義波高に対して波浪推算モデルがどの程度の推定精度をもつかを検討するために作成したのが図—4 である。この場合、比較対象地点として波高計設置水深が大きく、陸上地形の影響が相対的に小さい江



図—2 有義波高の経時変化に対する比較



図—3 有義波高の平面分布に対する比較



図—4 台風別最大有義波高に対する比較

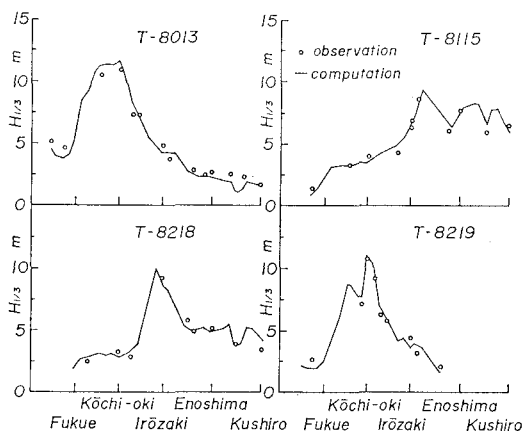


図-5 台風別最大有義波高の沿岸分布に対する比較

ノ島(水深 57 m)、波浮、石廊崎、高知沖および油津(水深 45 m)が選択されており、図中の直線は計算結果が観測結果を 0%, $\pm 10\%$ および $\pm 20\%$ の誤差で評価できる限界を示す。この図によれば、計算結果の誤差は大部分 $\pm 20\%$ 以内であるが、台風の影響が強く現われる高波高の場合には $\pm 10\%$ 以内に納まることがわかる。また、図-5 は最大有義波高の沿岸分布を 4 台風時について比較したものであり、波浪観測地点は九州から北海道に及ぶ。計算は 80 km 格子網で行われており、台風コースとの関連で空間分解能が十分でない場合も多々存在するので、陸地からせいぜい数 km 離れた海域での観測結果をすべての地点について再現することにはおのずと限界がある。しかし、陸地地形の遮蔽効果をあまり受けない場合の観測結果と計算結果との全般的な対応はいずれの台風時にも比較的良好である。

以上の結果を総合すると、海上風が台風モデルによって与えられる場合でも本研究の波浪推算モデルはかなりの推定精度をもつことが結論として得られる。

3. 台風に伴ううねりの発生条件

(1) うねりおよび台風の分類法

本研究におけるうねりは、波浪追算結果から得られた有義波高、有義波周期および風向・風速の経時変化のうち、台風の接近・通過に伴う風速の急増時点以前の穏やかな波高変化部を以下に述べる基準に従って視察・判定することにより決定されている。すなわち、対象地点として選択された鹿児島沖、高知沖、潮岬沖および東京沖の全部または大部分において 2 日以上継続するうねりを波高 3 m 以上 (階級 3)、2 m~3 m (階級 2) および 2 m 未満 (階級 1) の 3 段階とうねりなし (階級 0) の 4 つに分類した。このうねり階級は 0~9 の 10 段階に分類する気象庁うねり階級と異なるので注意が必要である。

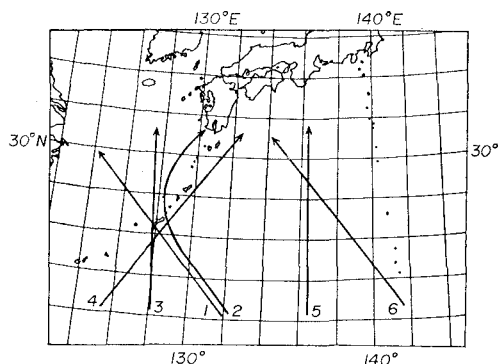


図-6 台風経路の分類

一方、うねりの規模と関係づけられる台風特性として、うねりの発生域をほぼ北緯 30°以南の海域と考え、この間の台風中心の移動速度、気圧深度、台風半径のそれぞれに対する平均値および台風経路が選択された。この場合、台風経路は台風の進行方向および通過海域に従って図-6 に示す 6 つのコースに分類されたが、この基準で分類しがたい台風はコースを 0 とした。なお、台風中心位置の南限は台風ごとにそれぞれ異っており、場合によっては計算領域内で発生する台風もある。

(2) うねりの発生条件

表-1 は階級 3 および 2 のうねりを伴った 36 個の台風についてそれらの台風特性を整理したものである。この表によれば、本研究で定義された階級 3 および 2 をも

表-1 台風特性の分類 (うねり階級 2 以上)

台 風	階 級	コース	移動速度 km/h	気圧深度 mb	台風半径 km
8310	3	2	16.9	87	59
8305	3	5	9.3	79	85
8213	3	2	18.3	66	70
8210	3	6	18.8	78	77
8115	3	5	10.5	44	165
7920	3	2	17.8	92	209
7916	3	2	14.4	64	59
7808	3	2	11.8	36	224
7711	3	6	13.2	32	234
7617	3	2	14.7	67	64
7123	3	2	15.9	56	74
7009	3	2	10.8	52	79
6734	3	2	14.5	55	69
6414	3	0	15.4	44	119
5906	3	2	16.6	29	306
5821	3	2	12.2	71	79
5710	3	2	13.1	48	99
5522	3	2	18.1	69	43
5405	3	2	11.2	56	117
5029	3	2	16.4	62	69
8218	2	5	18.6	47	91
8019	2	2	19.7	86	43
7408	2	2	15.9	43	110
7119	2	2	15.6	38	245
6911	2	1	27.7	67	115
6909	2	2	15.8	53	53
6810	2	2	16.6	25	144
6615	2	0	7.6	22	224
6524	2	2	19.9	65	115
6523	2	2	19.5	53	83
6515	2	2	14.6	43	99
6420	2	2	19.6	93	53
6016	2	6	11.0	34	122
5612	2	2	17.2	45	128
5412	2	2	14.2	73	95
4021	2	2	16.4	27	232

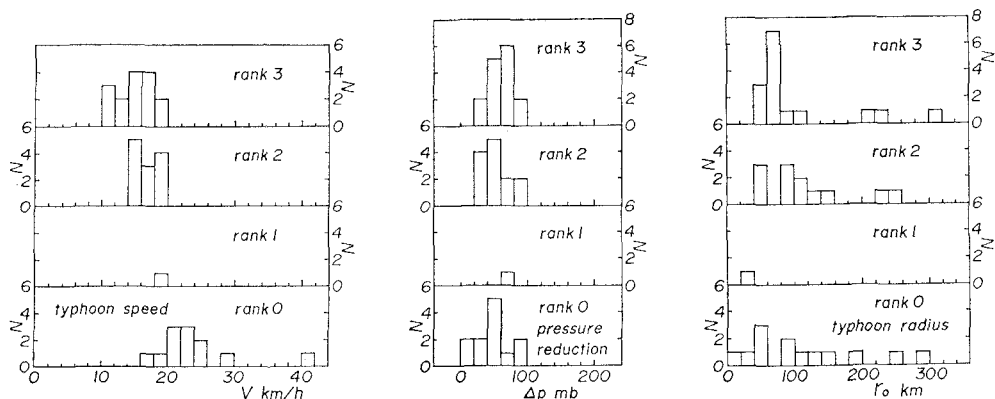


図-7 台風特性による台風個数の頻度分布 (コース 2)

つうねりを発生した 36 個の台風のうち、コース 2 を取った台風は実に 27 個であり、全体の 75% に達する。また、コース 5 および 6 を取った台風がそれぞれ 3 個であり、コース 2 の台風を合わせると全体の 91% になる。従って、波高が大きく継続時間の長いうねりはほとんどコース 2 を取る台風によって発生しており、まれにコース 5 あるいは 6 を取る台風によりもたらされるといえる。

つぎに、コース 2 を取ったすべての台風を 4 つのうねり階級によって分類したのち、それぞれを平均移動速度、平均気圧深度および平均台風半径に関する台風個数の頻度分布として示したのが 図-7 である。これらの図によると、うねりの規模と平均気圧深度および平均台風半径との相関はほとんど見出されないのに対し、平均移動速度との相関はかなり高いようである。すなわち、階級 2 以上のうねりの発生は平均移動速度が 20 km/h 以下の場合にほぼ限られている。そして、コース 2 を取った台風のうち、平均移動速度が 20 km/h 以下のものは 30 個であり、このうち 27 個が階級 2 以上のうねりを伴っている。そこで、コース 2、平均移動速度 20 km/h 以下という基準に従えば、階級 2 以上のうねりを伴う台風と判定される、階級 1 および階級 0 に属する合計 3 台風のうち、後者の 2 台風の平均気圧深度は 20 mb 以下である。結局、以上のことから、平均移動速度 20 km/h 以下、平均気圧深度 20 mb 以上という条件をコース 2 を取る台風に対するうねりの発生基準として使うことができよう。これは南方洋上で移動速度が遅く、ある程度以上の強さをもつ台風は、うねりを発生するに十分な条件を備えていることを意味する。図-8 はコース 2 を取った台風のうち、階級 2 以上のうねりを伴ったものについて個々の経路を示したものである。これらの平均的な経路は 図-6 のコース 2 に示されるが、個々の台風経路の範囲はかなり広いことがわかる。

の検討を行った。この場合も階級 2 以上のうねりを伴う台風の平均移動速度はすべて 20 km/h 以下であるが、平均移動速度が 20 km/h 以下で階級 1 以下のうねりを伴う台風も多いことから、平均移動速度はうねりの発生の判別に対するよい指標とはいえなかった。

最後に、図-9 は階級 2 以上のうねりを伴う台風の月別個数分布を図示したものであり、図の作成にあたり、たとえば 8 月から 9 月というように 2 つの月にまたがる台風は北緯 30° 以南までの滞在時間の大きい月に分類さ

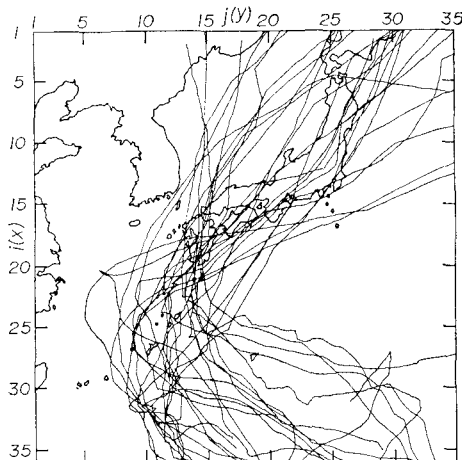


図-8 台風経路 (コース 2、うねり階級 2 以上)

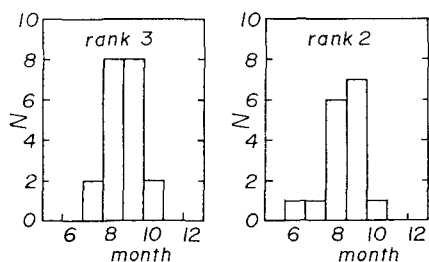


図-9 台風の月別個数分布 (うねり階級 2 以上)

なお、コース 5 および 6 を取った台風についても同様

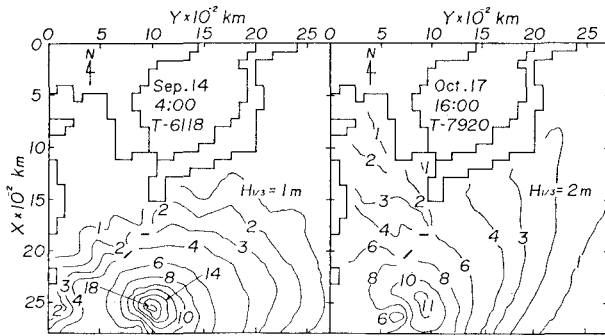


図-10 有義波高の平面分布

れた。わが国太平洋岸ではおおむね8月から土用波が到達することが経験的に知られているが、この図も階級2以上のうねりを伴う台風は8月～9月に集中することを裏付けている。

(3) 台風に伴う波高の平面分布

(2) においてうねりの出現は台風経路および移動速度に密接に関係するという結果が得られたが、ここでは図-1に示すように、ほぼ同じ経路および平均気圧深度をもつが、移動速度が異なる典型的台風として継続時間の長いうねりがあり顕著でなかった6118号(第2室戸台風)と3～4mものうねりを長時間わが国沿岸にもたらした7920号をとりあげる。図-10は台風中心が沖縄本島南方海上に位置するときの有義波高の等値線分布を示したものであり、いずれもこの時点より少なくとも36時間以前から計算が開始されている。さて、等値線は6118号時には円に近い形を示すのに対し、7920号時には低波高部ほど開いた形を与え、時間的により早い段階でのうねりの到達を示唆する。また、6118号時には最大18mに及ぶ高波高域が台風中心付近の狭い海域に出現しているが、台風半径が小さいため、最大波高域か

らの波高の減衰は急激であって、たとえば6m以上の波高域は7920号時の方がかえって広い。

4. 結 語

以上、本研究ではまずエネルギー平衡方程式に基づく深海波浪推算モデルを用いた台風時の波浪追算結果と観測結果との比較から、本モデルは台風モデルに基づく海上風の推定誤差、数値計算における空間分解能の制約および観測結果の信頼性などの問題により観測結果と不一致を生ずる場合もあるけれども、全般的に台風時の波浪を比較的良好に再現することを示した。ついで、著者らが実

施した過去50年間における98台風時の波浪追算結果の解析に基づき、台風に伴うわが国太平洋沿岸での規模の大きいうねりの大部分は、(i) 南方洋上から北西に進んだのち、沖縄付近の海域で進路を北東に転じるという経路を取る台風であること、(ii) 北緯30°以南の平均移動速度が20km/h以下であり、かつ平均気圧深度が20mb以上の台風であること、という発生条件によって規定されることを明らかにした。

参 考 文 献

- 1) 宇野木早苗：台風内の波浪の構造について、第5回海岸工学講演会講演集，pp. 1～6, 1958.
- 2) 井島武士・田淵幹修：数値計算による台風域内の波の分布について(Ⅱ)——実際の台風による検討——，第17回海岸工学講演会論文集，pp. 27～33, 1970.
- 3) Uji, T.: Numerical estimation of the sea wave in a typhoon area, Papers in Meteor. and Geophys., Vol. 26, No. 4, pp. 199～217, 1975.
- 4) 山口正隆・畑田佳男・小渕恵一郎・日野幹雄：波浪推算に基づくわが国太平洋岸での台風発生最大波高の地域分布特性，土木学会論文集，No. 381/II-7, pp. 131～140, 1987.
- 5) 山口正隆：波浪推算法とその適用性，1985年度(第21回)水工学に関する夏期研修会講義集，Bコース，B-2-1～20, 1985.