

太平洋沿岸における冬期低気圧による異常波浪の推算

駒 口 友 章*・土 屋 義 人**

1. 緒 言

わが国は北西太平洋上の台風の常襲地帯に位置し、沿岸を襲う台風はときとして暴風雨および異常波浪をともなっており、海洋構造物および航行船舶に甚大な被害をもたらすので、従来太平洋沿岸の異常波浪の研究は主に夏期の台風を対象としてきた。著者ら(1987a, b)はかつて長期の再現期間に対応する異常波浪を推算し、その実態を究明する立場から、北西太平洋沿岸の台風による異常波浪の発生機構について考察し、上陸前の台風の低緯度における停滞による吹送時間の増加が波浪の異常な発達に重要な役割を果たすことを明らかにした。一方、わが国太平洋沿岸における台風による異常波浪の最大規模の地域分布および沿岸分布を波浪推算モデルによって調べた結果(山口ら, 1987a, b)によると、台風による波浪は九州から関東地方に至る海域で大きく、特に紀伊半島沖では台風6118号によって16m以上の異常波浪が発生しているが、関東北部以北の最大波高は8m程度と相対的に小さめである。磯崎(1990)によると、1974年から1987年までの14年間にわが国沿岸で有義波高5m以上の異常波浪を記録した台風は44例であり、観測された最も顕著な高波としては台風8719号によって和歌山県御坊沖で有義波高11.37m、有義周期13.8secが記録されているが、このような異常波浪は主に関東の南岸から西の太平洋沿岸および沖縄の南岸の海域で発生している。これに対して、関東北部以北の太平洋沿岸の波浪観測値を調べると、台風にとまう異常波浪の他に冬期の季節風や低気圧によって有義波高8m以上の異常波浪が観測される場合がある。1980年12月末には、本州南岸を通過した低気圧が日本海を東進した別の低気圧を併合して台風並に発達し、強風が長時間にわたり継続したために、宮城県江ノ島沖で有義波高9.27m、有義周期14.8secの異常波浪が観測されている。このように、関東北部以北の太平洋沿岸では、冬期低気圧による波浪が台風による異常波浪と同程度以上の異常波浪となる可能性があり、このような異常波浪は外洋で発生した後で直接に伝

播してくる台風による異常波浪とは異なる発生機構によるものと考えられるが、その実態は未だ十分に明らかにされていない。そこで、本研究ではわが国太平洋沿岸で冬期低気圧によって発生する異常波浪を波浪推算モデルにより究明する。

このため、1991年2月の低気圧による擾乱によって太平洋沿岸で発生した異常波浪をスペクトル法の波浪推算モデルによって推算し、その発生機構および伝播特性を明らかにするとともに、波浪観測値を用いて異常波浪の極値統計解析を行い、この沿岸における異常波浪の地域性を調べ、冬期低気圧による異常波浪の発生の可能性を考察する。

2. 1991年2月の低気圧による気象擾乱の概要

(1) 気象概況

極東天気図によれば、1991年2月14日頃に東シナ海で発生した低気圧は、14日～16日にかけて急速に発達しながら本州南岸を北東進し、17日には千島の東海上で中心示度が960mbになるまで猛烈に発達した後、17日～20日にかけて低気圧が北海道東海上で停滞し、冬型が強くなっている。図-1に、この低気圧の進行経路を示す。海上を発達しながら進行した低気圧にとまない、16日から18日にかけての東日本の太平洋沿岸では強風域が形成

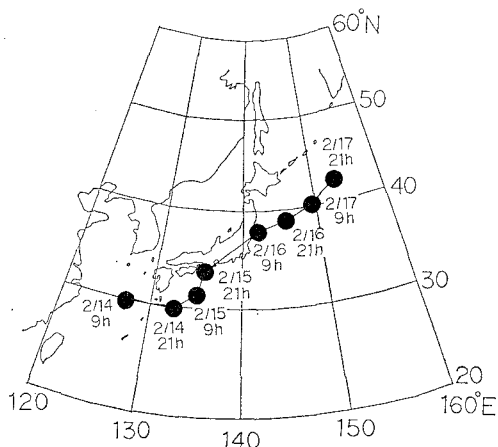


図-1 1991年2月の低気圧の進行経路

* 正会員 日本テトラポッド(株) 応用水理研究所

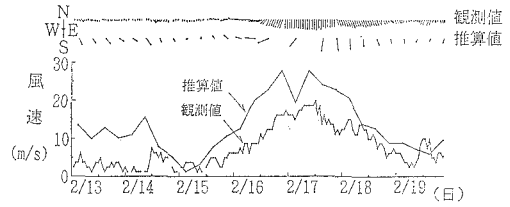
** 正会員 工博 京都大学教授 防災研究所

された。気象要覧によると、16日には八戸で最大瞬間風速 31.9 m/s (NNE)、宮古で 32.1 m/s (N) および大船渡で 35.1 m/s (N) となり、17日には釧路で 33.0 m/s (N) が記録されている。また、この低気圧の移動にともなう強風の継続によって、紀伊半島から三陸沖にかけての海域は大時化となり、異常波浪が沿岸各地に襲撃した。

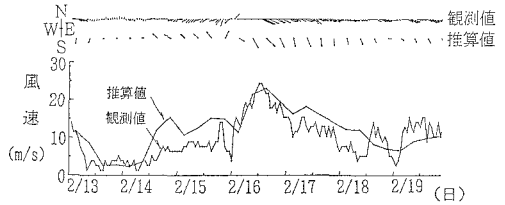
(2) 海上風の推算結果と観測結果との比較

太平洋沿岸の低気圧による風域場の分布は、Cardone の方法 (Cardone, 1969) により推算した。Cardone の方法は、気圧値、気温および水温の平面分布を入力データとして与え、地衡風、傾度風および温度風を計算し、各格子点位置の風向風速を求めるものである。図-2 に、2月15日から17日にかけての6時間ごとの風域場のベクトル分布の時間変化を示す。低気圧が本州南岸に沿って発達しながら進行する場合の太平洋沿岸の広範囲で強風域が形成される様子が精度良く再現されている。

次いで、太平洋沿岸の代表的な観測所のアメダスの観測値および本州南方ブイ (ブイ No. 21004) の観測値に対して対数則による高度補正を行い、近傍の計算点の風の推算値と比較することから風の推算精度を検証した。



(a) 釧路



(b) 御前崎

図-3 風向および風速の推算値と観測値の比較

図-3 は、釧路および御前崎における推算値と観測値との経時変化の比較である。観測値には周辺地形による遮蔽の影響があるので注意を要するが、両地点ともに風向風速の推算値と観測値との対応は十分であり、風推算結果は波浪推算モデルの風外力として適用可能と考えられる。

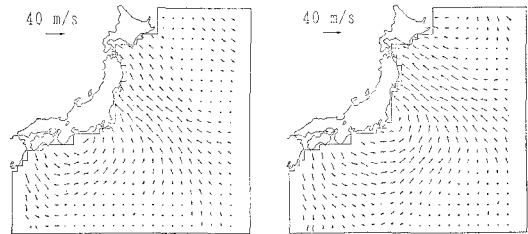
3. 異常波浪の推算結果

(1) 波浪推算の方法

本研究では、エネルギー平衡方程式に基づく深海波浪推算モデルである山口・土屋モデル (山口・土屋ら, 1978) を太平洋沿岸に適用し、各計算格子点上の波浪の方向スペクトルの時空間変化を計算した。この波浪推算モデルの基礎方程式は次式で表される。

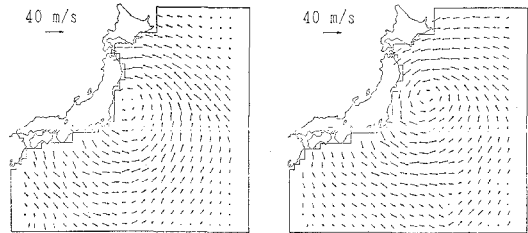
$$\frac{\partial E(f, \theta, X, t)}{\partial t} + V(E(f, \theta, X, t) \cdot C_g) = S(f, \theta, X, t) \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 E は時空間上の波浪のエネルギースペクトル、 S はソースファンクション、 C_g は群速度である。波浪推算の実施において、方向成分は全方向を 20 個に分割



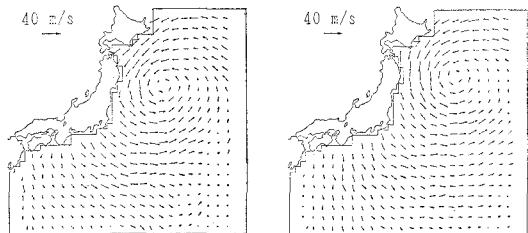
1) At 21:00, FEB. 15, 1991

2) At 3:00, FEB. 16, 1991



3) At 9:00, FEB. 16, 1991

4) At 15:00, FEB. 16, 1991



5) At 21:00, FEB. 16, 1991

6) At 3:00, FEB. 17, 1991

図-2 風域場のベクトル分布

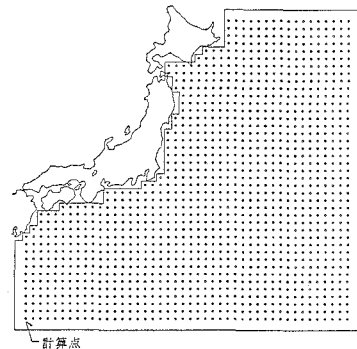


図-4 波浪推算の格子網

し、周波数成分は $0.05 \sim 0.80$ Hz の範囲を17個に不等分割した。また格子間隔は 50 km, 時間間隔は30分とした。次いで, Cardone の方法による風域場の推算結果を波浪推算モデルの外力とし, 初期条件として全格子点上で局所風に対応する Pierson-Moskowitz 型の周波数スペクトルと $\cos^2 \theta$ 型の方向分布関数による方向スペクトルを与えるとともに, 境界条件として外洋の流入境界では同様の方法で計算される方向スペクトルの $1/2$ を与え, 陸地境界では方向スペクトルを 0 として波浪推算を行った。図-4 に太平洋沿岸を対象とする計算格子網を示す。

(2) 波浪の追算値と観測値の比較

次に, 波浪推算の精度を確認するため, 太平洋沿岸の気象庁の観測値と近傍の計算点の波浪の追算値の時系列を比較した。図-5 に, 石廊崎における波浪の追算値と観測値の時系列の比較を示す。この図をみると, 波浪の追算値と沿岸の観測値の対応は良好であり, 最盛時を含む波浪の経時変化を精度良く再現している。したがって, 沖波波浪の推算精度は十分であると判断する。

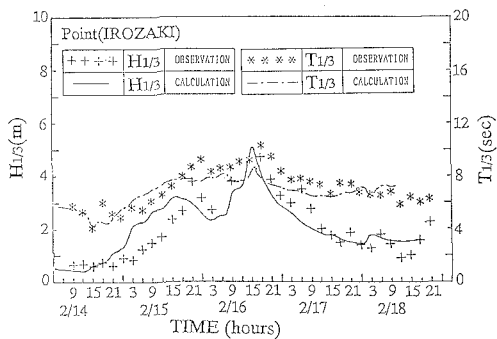


図-5 波浪の追算値と観測値との比較

(3) 異常波浪の発生機構および伝播特性

今回の低気圧による擾乱によって, 江ノ島では16日9時に有義波の最大値で波高 8.17 m, 周期 12.4 sec の異常波浪が観測された。また, 波浪推算の結果, むつ沖の計算点の波浪の最大値は, 17日の3時に波高 9.23 m, 周期 10.3 sec に達し, 波向は北方向から反時計回りに 280.29° であった。そこで, ここではさらに波浪場の平面分布および方向スペクトルの時間変化を調べ, 太平洋沿岸における冬期低気圧による異常波浪の発生機構および伝播特性を考察する。図-6 は, 2月16日から17日にかけての波浪場の平面分布の時間変化を示す。15日の夜から16日の朝にかけて, 吹送距離の長い SE 方向からの強風が継続して吹送した結果, 16日9時には $4 \sim 6$ m の高波浪域が房総半島沖から北海道沿岸に至る海域で広がっている。16日の午後から17日の午前にかけて低気圧は発達しながら三陸沖を通過したが, 三陸沿岸の風向は E $\sim$ NE に急速に変化したため, SE 方向を中心に発達した波浪はさらにうねりに転化したと考えられる。一方,

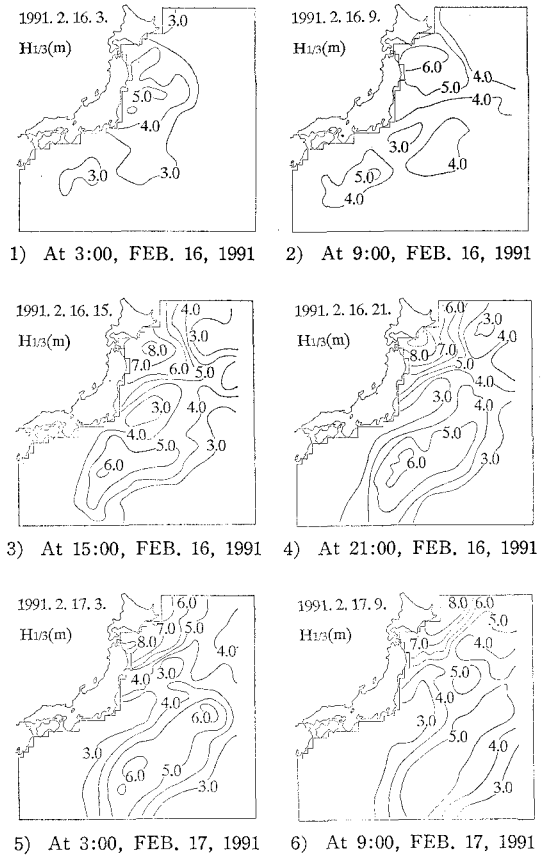
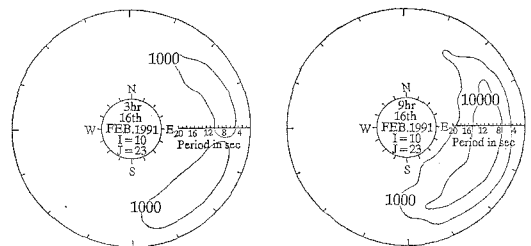


図-6 波浪場の平面分布の時間変化

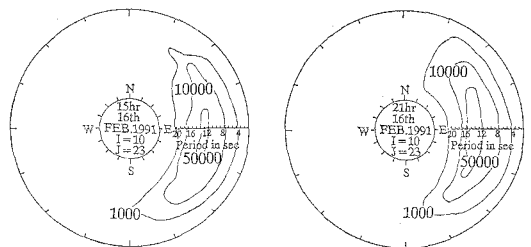
低気圧にともなう強風によって E $\sim$ NE 方向からの風波が新たに発達した結果, 17日3時には三陸沖と北海道東部沿岸の間の海域で 8 m 以上の高波浪域が出現している。

また, 図-7 にはむつ沖の計算点における方向スペクトルの時間変化を示す。図-7 によれば, むつ沖では低気圧が本州南岸に沿って移動する間は, 主に SE 方向を中心とする波浪のエネルギーが発達するが, 16日には低気圧が房総半島から三陸沖へ抜けて風向が E $\sim$ NE 方向へ急変するため, この波浪のエネルギーはうねり成分として残っている。一方, E $\sim$ NE 方向からの強風によって急速に発達した風波のエネルギーがこれに新たに加わることで, 17日早朝には非常に広範囲のエネルギー分布となっている。

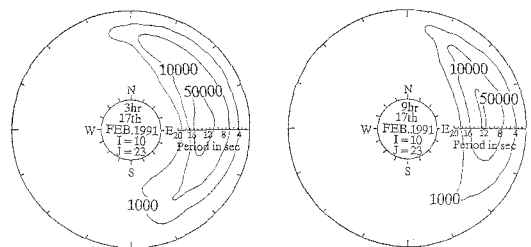
以上の結果から, 今回の低気圧による異常波浪の発生機構を要約すると, 次のようになる。本州南岸に沿って発達しながら移動した低気圧によって吹送距離の長い SE $\sim$ E 方向からの強風が継続した結果, SE 方向を中心とする波浪のエネルギーが十分に発達した後, 低気圧が房総半島から三陸沖に抜けたためにうねり成分に転化し, さらに E $\sim$ NE 方向からの強風によって急速に発達



1) At 3:00, FEB. 16, 1991 2) At 9:00, FEB. 16, 1991



3) At 15:00, FEB. 16, 1991 4) At 21:00, FEB. 16, 1991



5) At 3:00, FEB. 17, 1991 6) At 9:00, FEB. 17, 1991

図-7 波浪の方向スペクトルの時間変化

した風波のエネルギーが合成されて継続時間の長い異常波浪になったものと考えられる。

4. 異常波浪の極値統計解析の結果および考察

ここでは、太平洋沿岸で観測されてきた気象庁の波浪観測資料（江ノ島、石廊崎、佐喜浜、佐多岬）を用いて異常波浪の極値統計解析を行い、この沿岸海域における異常波浪の地域性を明らかにするとともに、冬期低気圧によって異常波浪が発生する可能性を考察する。表-1に波浪観測資料の諸元を示す。また、図-8に太平洋沿岸における気象庁の波浪観測所の位置を示す。

表-1 波浪観測資料の諸元

波浪観測局	波高計の設置位置		設置水深 (m)	観測開始日
	北緯 (N)	東経 (E)		
江ノ島	38°23'40"	141°36'37"	-57	1978年7月1日
石廊崎	34°35'15"	138°50'05"	-50	1976年4月1日
佐喜浜	33°24'12"	134°14'36"	-48	1977年7月1日
佐多岬	31°02'35"	130°44'53"	-45	1982年3月1日

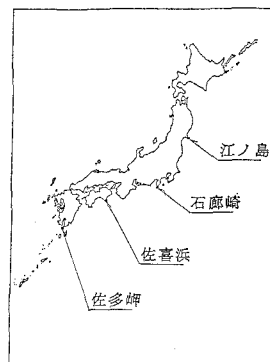


図-8 波浪観測所の位置

(1) 異常波浪の極値統計解析の結果

図-9は、台風および冬期低気圧を発生原因とする波高 3.0 m 以上の高波浪を抽出し、各々の年最大値について極値統計解析を行った結果であり、図中の直線は実測値に対する回帰推定値を表わしている。ただし、佐多岬では冬期低気圧による高波浪の数が非常に少ないので解析から除外している。この場合、極値分布は Gumbel 分布を仮定したが、Gumbel 分布の推定値と実測値の相関係数は、台風を発生要因とする場合は 0.972~0.990、冬期低気圧の場合には 0.968~0.985 であり、いずれの地点についても統計値の数が少ないにも関わらずに、波浪の年最大値の Gumbel 分布への適合性は十分である。図-9によれば、江ノ島を除き台風の場合が冬期低気圧の場合よりも回帰直線の勾配がかなり危険側に傾いており、この沿岸海域では一般に台風による波浪が冬期低気圧による波浪よりも大きくなるのがわかる。また、台風による波浪は、石廊崎および佐多岬が大きく、江ノ島では最も小さくなっているが、一方、江ノ島の冬期低気圧による波浪は台風による波浪よりも高波浪となっている。

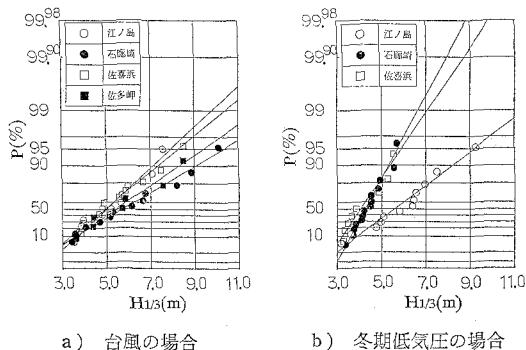


図-9 波浪の極値統計解析の結果

(2) 冬期低気圧による異常波浪の発生の可能性

表-2は、夏期の台風および冬期低気圧の場合について、各観測地点における確率波高の算定結果を示す。台

表-2 各観測地点における確率波高の算定結果

地点	母集団の 抽出基準	確率波高の算定結果 (m)					
		年最大波			期間最大波		
		30年	50年	100年	30年	50年	100年
江ノ島	夏期の台風による場合	8.37	8.95	9.73	8.13	8.61	9.27
	冬期低気圧による場合	9.88	10.60	11.57	8.78	9.29	9.99
石廊崎	夏期の台風による場合	10.90	11.82	13.06	10.55	11.34	12.42
	冬期低気圧による場合	5.97	6.26	6.64	5.55	5.74	6.00
佐喜浜	夏期の台風による場合	8.89	9.56	10.45	8.56	9.13	9.89
	冬期低気圧による場合	5.96	6.33	6.82	5.83	6.14	6.57
佐多岬	夏期の台風による場合	9.88	10.66	11.72	9.03	9.68	10.56
	冬期低気圧による場合	—	—	—	—	—	—

風による確率波高は石廊崎が最も大きく、30年、50年および100年再現期間に対する値は各々 10.90 m, 11.82 m および 13.06 m であり、次いで佐多岬、佐喜浜、江ノ島の順に小さくなっている。これは、九州南西部から関東南部の海域では発達期の台風が来襲するが、三陸沿岸では台風が減衰期にある場合が多いことによるものである。一方、冬期低気圧による確率波高は、石廊崎および佐喜浜では30年再現期間に対して 5.5~5.8 m 程度であり、台風の場合よりもかなり小さめであるが、江ノ島では 9.88 m であり、台風の場合の 8.37 m より約 1.5 m 大きくなっている。この結果は、関東北部以北の太平洋沿岸では冬期低気圧によって台風による波浪と同程度以上の異常波浪が発生する可能性があることを示唆している。また、今回の冬期低気圧によって、三陸沿岸から北海道南部にかけて 8~9 m の高波浪域が現れており、台風と同程度以上の異常波浪が発生したことがわかる。

5. 結 語

本研究では、1991年2月の冬期低気圧による波浪をスペクトル法によって推算し、わが国太平洋沿岸における冬期低気圧による異常波浪の実態を究明した。この研究

で得られた主要な結果を要約すれば以下の通りである。

①1991年2月の冬期低気圧による波浪推算を実施した結果、波浪の推算値は観測値の経時変化を精度良く再現した。また、むつ沖の波浪の最大値は、波高 9.23 m, 周期 10.3 sec まで発達し、冬期低気圧によって夏期の台風と同程度以上の異常波浪が発生したことが確認された。

②冬期低気圧による異常波浪は、本州南岸を低気圧が移動する間に吹送距離の長い SE~E 方向を中心に発達した波浪が、低気圧が房総半島から三陸沖に抜けて風域場が急速に変化することからうねりに転化し、さらに E~NE 方向からの強風によって発達した風波の成分が合成された結果、継続時間の長い異常波浪となる。

③波浪の極値統計解析の結果、冬期低気圧による波浪は石廊崎および佐喜浜では台風の場合よりもかなり小さいが、江ノ島では冬期低気圧によって台風による波浪と同程度以上の異常波浪が発生する可能性がある。

参 考 文 献

- 磯崎一郎 (1990): 波浪概論—解析と推算—, (財)日本気象協会, 260 p.
- 土屋義人・駒口友章 (1987a): 波浪推算モデルによる異常波浪の研究, 京都大学防災研究所年報, 第30号, B-2, pp. 663-693.
- 土屋義人・駒口友章 (1987b): 台風の停滞時間を考慮した異常波浪の推算, 第34回海岸工学講演会論文集, pp. 157-161.
- 山口正隆・土屋義人・小矢田 宏・渡辺 健 (1978): 有限風域場における波浪の数値予知法, 第26回海岸工学講演会論文集, pp. 96-100.
- 山口正隆・畑田佳男・小淵恵一郎・日野幹雄 (1987a): 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の推定, 土木学会論文集, No. 381号/II-7, pp. 131-140.
- 山口正隆・畑田佳男・宇都宮好博 (1987b): 波浪推算に基づくわが国太平洋岸西部での台風発生最大波高の沿岸分布の推定, 土木学会論文集, No. 387号/II-8, pp. 281-290.
- Cardone, V. J. (1969): Specification of the wind distribution in the marine boundary layer for wave forecasting, New York Univ. School of Eng. and Sci., Rept. GSL-TR69-1, 131 p.