

湘南海岸の風および波浪について

広 田 純 也*

1. ま え が き

湘南海岸に風および波浪を生起させる原因については、簡単にはつぎの項目があげられる。

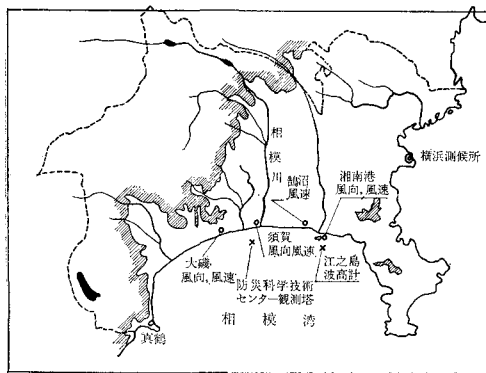
- ㊸ 台風によるもの
- ㊹ 前線の影響によるもの
- ㊺ 低気圧によるもの
- ㊻ 高気圧によるもの
- ㊼ 上記4項目がそれぞれ複合して生ずる場合

この論文では、これらによって生起する風および波浪を種々の角度から検討し、設計波高にも論及したが、主として上記5項目の特性について検討し、湘南海岸に來襲する波について、現場技術者の立場から波高の推定を試みた。港湾工事の作業上簡単に波高を推定し、予報を行なえるように工夫したものである。また精度が比較的良好なので、短期間の波高計の欠測箇所をも埋めることができると思われる。

2. 湘南海岸の風について

神奈川県の海岸線に設置されている風向風速計は、大磯港防波堤基部、須賀海岸（昭和40年3月撤去）、鵠沼海岸（湘南海岸整備事務所管理）、江之島の湘南港のものと計4カ所（図-1）あり、かなりの資料が整っているが、地形的な影響もあって、かなり異なった傾向を示している。大磯港の記録は背後の山塊に、湘南港のものは江之島に影響されている様子を示し、鵠沼海岸と須賀

図-1 神奈川県海岸地帯気象・海象計器位置図



海岸のものは、類似点の多い風速を示すが、鵠沼海岸の計器には風向計がない。また横浜測候所の記録は、須賀海岸の記録と相似点が多い。

以上の理由により主として須賀海岸の風向、風速の記録のうち、最も欠測の少ない（測得率 90%）昭和35年4月～昭和36年3月の1年間の資料を整理すると 図-2、図-3 のごとくなる¹⁾。

図-2 風力 5 (8.8 m/sec) 以上の風方向別頻度数

須賀海岸に設置(江線より250m)

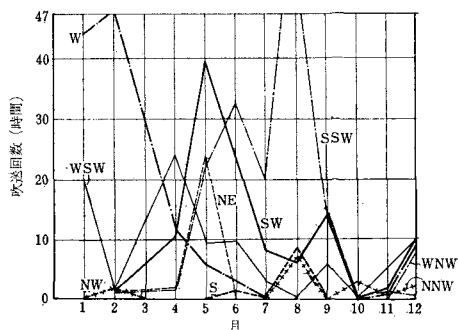


図-3 風力 3 (3.4 m/sec) 以上の風方向別頻度数

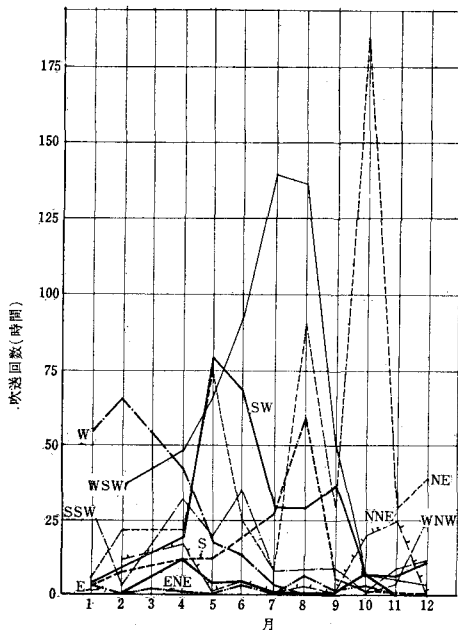


図-4 大島における 5 m/sec
以上の風速頻度
(昭和 28, 29 年)

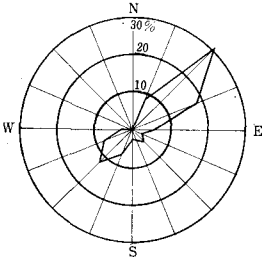
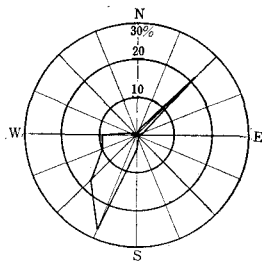


図-5 須賀海岸における 5 m/
sec 以上の風速頻度
(昭和 35, 36 年)



これらの図から海風がかなり卓越していることがわかる。特に夏季に強風が多いのは台風の影響によると考えられる。一方、陸風の代表としては NE が卓越しているにもかかわらず、強風では余り顕著ではない。この結果には、もちろん局地的な地形の影響もかなりあると見なければならぬであろう。

また大島における昭和 28 年、29 年の風の資料を整理した結果を再録すると、図-4 のごとくである。これによると NE 風がかなり卓越している。年度は異なるが、須賀海岸の 5 m/s 以上の風速頻度図を作成すると図

一5 のごとくなり、かなりの相違が見られる。

つぎに湘南海岸に強風をもたらす原因を、須賀海岸の風向風速の記録と天気図による風域を比較検討した結果、下記のごときことがいえるようである。

① 後述する 図-12 中の小円をとおり台風は中心が相模湾上空に達するまでは、NE~NNE の風を観測点にもたらし、相模湾上空に達してから千葉沖へ出るまでに、SE~W に風向が変化することが多い。

② 図-12 において大円を通る台風は、N~NNW の風向を終始示し、台風の終息近くなって S よりの風を記録する、検討した範囲では昭和 41 年 8 月 5 日の台風 10 号のみが、終始 SSE~W の風向を示した。

③ 低気圧の場合は風域の中心が、関東より以西の時は(たとえば浜松付近) NNW~N 方向の風が湘南海岸に吹き、中心が関東上空に達してから S~W 方向に変化するようである。ただし低気圧が八丈島沖にある場合は、NNW~NNE 風向の風を観測点にもたらし。

④ 強大な低気圧が千島、北海道方面にある場合は、WSW の場合が多い。特に上記の低気圧より前線が 2 本~3 本関東上空へ伸びている場合は、ほとんど WSW 寄りの風が湘南海岸に吹く。

⑤ 相模湾より 300~500 km 沖に高気圧があり、関東上空に低気圧がある場合は、S 寄りの風が多い。しかしこの場合は他気団の関係により N 寄りの風に変化することが多い。

⑥ 冬季シベリヤ高気圧が本州へ張り出してきた時

に、関東南岸近くに低気圧がある場合は、NNE~NNW の風が目立つ。

以上は各気団が観測点にもたらし風向について述べたが、このような気圧配置の時は、湘南海岸一帯にかなりの高波が来襲する。

3. 風向と波浪について

江之島沖 140.0 m、水深 T.P.-12.0 m の箇所に沈設してある水圧式波高計を整理し(2時間おき 10 分間作動の記録)有義波高 1.0 m 以上の波について、その波を生起させたと思われる風の風向を調べた。使用した風向記録は、平塚市須賀海岸におけるものであり、欠測箇所は横浜測候所の記録で補った。須賀海岸と横浜測候所の風向の相違の一例を 図-6 に示す。図中大磯海岸の風向は両者と大分異なるが、参考のために記入した。図-7 は昭和 40 年 8 月 15 日より、昭和 41 年 8 月 15 日までの間に生起した各風波群の最高の波を、風向別にプロットしたものであり、矢印は風向の変化の方向を示している。これによれば、北寄りの風(陸風)の場合の波は、年間 17 回あり、南西~南東(海風)の場合は 32 回である。そして北寄りの風の場合は最大有義波高で 2.9 m であり、海風の場合、特に南西風の時に 3.7 m の年度最高の有義波を出している。

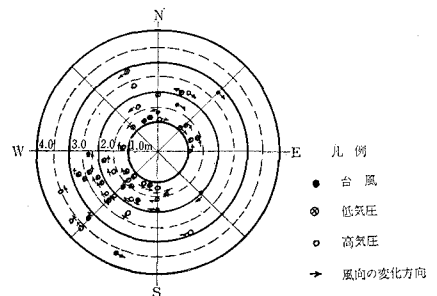
上記の図には、台風、低気圧、高気圧に対しそれぞれの記号を用いて、これらの波の原因別を明らかにした。前線の影響によるものは、低気圧の中に含めた。図によれば昭和 40 年 8 月より昭和 41 年 8 月までの 1 年間に、高気圧により生じた有義波の波高は、最高 3.71 m を示し、台風により生起した波と同じ程度の波高を示してい

図-6 平塚(須賀海岸)、大磯港、横浜測候所の風向関係

年月日	41. 8. 11																					8. 12					
時刻	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6					
平塚 (須賀)	↑	↑	↑	↑	↑	↑							↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑					
大磯 磯								↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑					
横浜 磯	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑					

年月日	41. 8. 23														8. 24													
時刻	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13						
大磯 (須賀)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/						
大磯 磯田	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/						
横浜	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/						

図-7 風向別の波高(最大の波高とその時点における風向)



る。そして風向変化の方向はほとんど右回りであるが、左回りの場合もかなりの数を示している。

4. 湘南海岸の波高の累積頻度

図-8 は昭和39年7月より昭和41年8月までの波高累積頻度分布図である。また図-9は季節別周期比較図であり、周期の大きい季節が夏と秋にあることは明らかであり、回数としては8~9.9secの間に各時期ともに一番多いことを示している。

江之島沖の波高記録は測得率が72%であり、一応実用的には十分と考えられるが、なお須賀海岸沖1.0km、水深20.0mに設置されてある防災科学技術センターの観測塔のパイロトン波高計による記録を整理した。昭和41年12月1日より昭和42年1月31日までの記録は測得率92%であり、10分間の全波数は50~90程度であった。この数は江之島沖のものと同程度の数である。

いま、 $H_{1/3}$:有義波高、 H_m :平均波高、 H_{max} :最大波高とすれば式(1)、(2)のような関係式が得られた。

$$H_{1/3}/H_m = 1.50 \dots\dots\dots (1)$$

$$H_{max}/H_{1/3} = 1.49 \dots\dots\dots (2)$$

図-8 2カ年波高累積頻度分布図
(江ノ島沖)

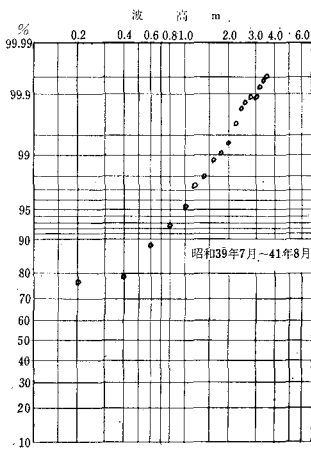
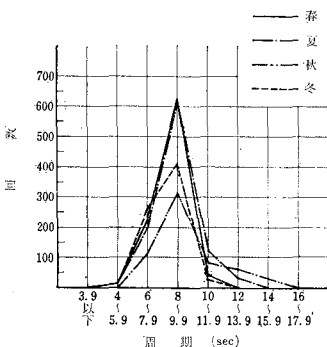


図-9 季節別周期比較図



式(1)の値は少し小さいようであるが、式(2)は水理公式集によれば、波数50~90に対して標準的な値となっている。いま台風4号の江之島沖の有義波の最高が3.71mであるから式(2)より約10分間の最高波として、 $H_{max}=5.53m$ をうる。一方で台風4号の時に連続記録されたもののうちの最高波高は $H_{max}=6.3\sim 6.5m$ であった。

5. 台風の襲来頻度

昭和元年以来の神奈川県に被害をおよぼした台風を全部記載すると表-1のごとくになる。これら37個の台風の月別襲来率は表-2のごとくであり、9月が最高を示し、つぎに10月、8月と続いている。また年襲来数の回数分布は、襲来しなかった年が、年1回襲来の年と同

表-1 昭和元年より神奈川県に被害を及ぼした台風

No.	年・月・日	台風名	最低気圧		最大風速		
			気圧 (mb)	起時	風速 (m/s)	風向	起時
1	昭和 3. 7.30		993.7		14.6		
2	" 4. 9.10		982.4		28.6	NNW	
3	" 4.10.25		993.7		19.3	NNW	
4	" 6. 9.26		995.1		8.6	ENE	
5	" 7. 9. 9		995.2		16.3	S	
6	" 7.11.14		1009.2		10.1	SSE	
7	" 9. 9.21		968.3		36.3	NNW	
8	" 10.10.26	室戸	990.0		25.7	SSW	
9	" 13. 9. 1		999.6		12.7	SSE	
10	" 16. 7.22		970.9		27.1	S	
11	" 19.10. 6		980.7		18.7	E	
12	" 22. 9.13		989.5		16.7	S	
13	" 23. 9.16		990.5		16.5	N	
14	" 24. 8.31	アイオン	966.8		25.8	N	
15	" 24.10.27	キティ	981.3		32.5	SSE	
16	" 26.10.13	バトリシア	993.7		30.0	N	
17	" 26.10.13	ルース	983.6		21.6	WSW	
18	" 27. 6.22	ダイナ	984.5	02, 06	21.0	W	03, 00
19	" 28. 9.24	13号	985.5	23, 13	22.3	S	22, 35
20	" 29. 8.18	5号	991.2	21, 45	18.4	S	17, 10
21	" 29. 9.17	14号	982.1	23, 53	20.8	WNW	01, 00
22	" 29. 9.25	15号	994.5	14, 40	21.7	S	13, 40
23	" 30.10.10	25号	989.1	19, 10	25.5	N	12, 00
24	" 31. 9.26	15号	986.9	13, 55	21.4	NNW	14, 40
25	" 33. 7.21	11号	986.9	08, 41	29.2	SSE	08, 28
26	" 33. 9.16	21号	962.6	0, 7, 45	26.7	WNN	09, 30
27	" 33. 9.25	22号	968.5	0, 18	28.8	SE	0, 03
28	" 34. 8.13	7号	993.6		18.4	SE	
29	" 34. 9.25	15号	989.4		24.4	SSE	
30	" 36. 9.16	(第2室戸)18号	987.7	18, 12	22.3	S	18, 20
31	" 36.10.10	24号	993.6	07, 10	23.2	NNW	06, 30
32	" 39. 9.25	20号	995.6	11, 39	23.3	SSW	10, 4
33	" 40. 5.27	6号	984.9	11, 30	18.3	NW	12, 10
34	" 40. 8.22	17号	903.4	02, 50	14.2	SE	22, 50
35	" 40. 9.17	24号	979.5	01, 39	21.7	SSW	0, 30
36	" 41. 6.28	4号	979.3	20, 00	18.2	N	19, 55
37	" 41. 9.25	26号	990.8	01, 40	26.2	SSE	02, 00

表-2 台風の月別襲来数

月 別	5	6	7	8	9	10	11	計
襲来数	1	2	3	4	17	9	1	37
襲来率(%)	2.7	5.4	8.2	11.0	48.0	22.0	2.7	100%

表-3 年来襲数の回数分布

年襲来数	0	1	2	3	4	5
発生回数	14	14	8	3		

じ回数で 14 回, 年 2 回襲来した年が 8 回, 3 回襲来した年が 3 回となっている(表-3)。平均して大体年 1 回の割で, 多かれ少なかれ県下に被害をおよぼす程度の台風が来襲したことになっている。

6. 台風規模の確率

台風規模あるいは洪水のように, 自然現象が偶発的なものであれば, 長年にわたる記録により, これを統計的に扱うことができる。

台風の規模を示す目盛としては, 最低気圧, 最大風速, また暴風半径等があるが, ここでは最低気圧を台風の規模を示す目盛とした。ゆえに表-1により昭和元年以来県下に被害をおよぼした 37 個の台風のうち各年度の最低気圧の台風をとり出し, 見かけの最大気圧偏差を計算し x で示すと, 頻度分布 $F(x)$ は表-4

図-10 見かけの最大気圧偏差の度数分布

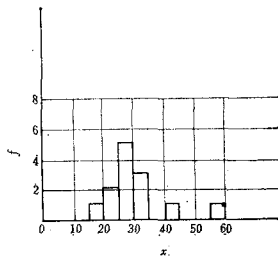


表-4 見かけの最大気圧偏差の度数分布

x	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
発生回数					—	丁	正	下		—		—
$F(x)$						1	2	5	3		1	1

図-11 Gumbel 紙確率計算による結果

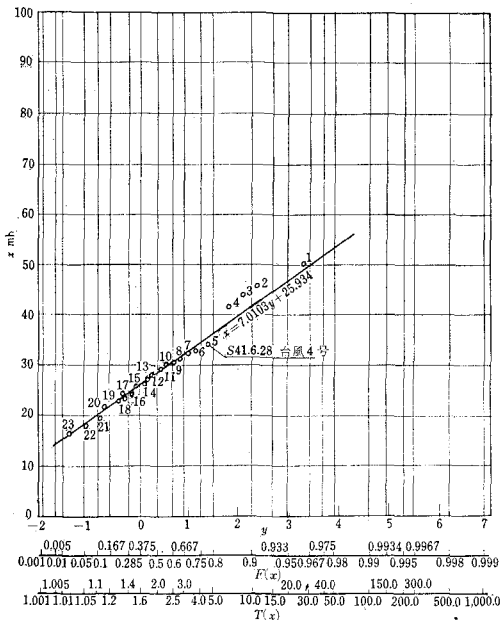


表-5

確率年 T (年)	見かけの最大 気圧偏差 x (mb)	推定気圧 $P=1013.2-x$ (mb)	摘要
2.0	28.0	985.2	台風 4 号
4.5	33.9	979.3	
5.0	36.0	977.2	
10.0	42.0	971.2	
20.0	46.5	966.7	アイオン台風級
30.0	50.0	963.2	
50.0	54.0	959.0	
100.0	58.0	955.2	

および図-10のごとくなり, 非対称分布として Gumbel 法が用いられることがわかる。Gumbel 紙にプロットされた結果を 図-11 に示す。

図-11 によれば昭和 41 年 6 月 28 日神奈川県下に大きな被害を与えた台風 4 号は, 4.5 年に 1 回起こる確率をもっている。さらに 2 年, 5 年, 10 年, 20 年, 30 年, 50 年, 100 年に 1 回起こる台風の規模を推定すると表-5 のごとくなる。

7. 設計波高について

いままで述べて来た事項により, 湘南海岸の風波の性質および台風の頻度分布が明らかになったが, 特定の台風の頻度年数と, それにともなう波高とは必ずしも比例するものではない。いま有義波高と台風の頻度年数を比較すると表-6 のごとくなる。昭和 39 年 9 月 25 日に来襲した台風 20 号は, 頻度年数 1.02 年であるが, 波高 3.46 m であり, 頻度年数 4.5 年の台風時の波高と余り変わらない。

以上は台風の波についてのみ述べたが, 季節風による波にも有義波高で 3.0~3.7 m 程度の波高は記録されており(3. 風向と波浪について参照) 台風の時をも入れて, この程度の波を起こす台風および季節風は年間数回は来襲する。また江之島沖の波高累積頻度分布図によれば, 有義波高で 3.7 m の波が 0.05% 生じている。これは 1 日 12 回観測年間 4380 回の回数より算出したものゆえ, 約 30 回/年は 3.70 m 程度の波高の波が生起していることになる。設計波高としては確率年にして 20 年は考慮する必要があるから, Gumbel 法による台風規模からすれば, アイオン台風に匹敵することになる。台風の頻度年数必ずしも波高に比例しないが, アイオン台風の時が高波のため, 神奈川県はかなりの被害を受けた。この時の高波を推定すると 6.0 m 程度となる。

表-6

頻度年数	有義波高(m)	周期(s)	昭和年月日	摘要
1.02 年	3.46	10.4	39. 9.25	実 測
2.0 "	2.72	12.1	40. 5.27	"
1.1 "	2.74	12.1	40. 8.22	"
3.8 "	3.30		40. 9. 7	波高推定
4.5 "	3.71	13.1	41. 6.28	実 測
1.3 "	2.70		41. 9.25	波高推定

神奈川県では江之島の湘南港、真鶴港等で $H=6.0$ m を採用しているのはやや小さいように思われる。

8. 波高の推定

(1) 台風による波浪について

昭和40年8月15日より、昭和41年8月15日までの大小7個の台風について解析し、台風時の波高推定を試みた。経験および統計的な解析をするためには資料が少ないからがあるが、ある程度のことは知り得たと思う。台風の大きさは閉じた等圧線の一番外側の大きさで決め、大きなものでは直径 3000 km におよぶものがあるが、普通は半径で 400~500 km 内外のものが多い。

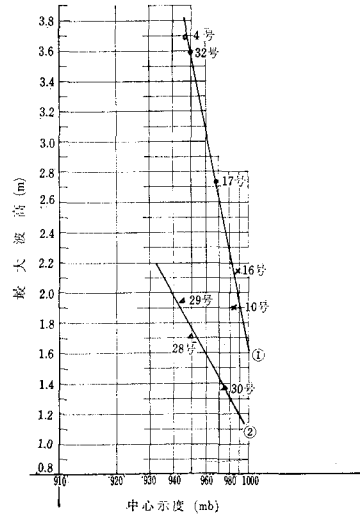
台風の中心では遠心力が大きな作用をおよぼしており、 r : 曲率半径、 v : 風速、 ρ : 空気密度、 $\partial p / \partial r$: 気圧傾度とすれば、

$$v^2/r = 1/\rho \cdot (\partial p / \partial r)$$

の式で与えられる風が吹く、これを旋衡風という⁹⁾。この式より旋衡風は台風圏内では気圧傾度と曲率半径に左右されることがわかる。しかして「それぞれの台風は個性をもっており、必ずしも大きな台風ほど中心示度が深いとは限らないが、大体はその傾向をもっており、猛烈な台風と呼ばれるものは、大きさも中心示度も深いものである⁹⁾。」ゆえに一応風を生ずる主原因は気圧傾度と台風の大きさであると仮定し得る。また同じ大きさの台風でも観測点までの距離により、波浪の程度に差が生ずる。

いま最も普通の台風の半径が 450 km 内外であるから、湘南海岸を中心として半径 450 km の円を描けば(図-12) その円内を通過した台風は、中心気圧が同じならば、同じ程度の波浪が生ずるものと思われる。小さな波高は、台風の位置、進路、速度、気圧配置により微妙に変化するが、少なくとも最大風速は中心示度でほと

図-13 台風の中心気圧(平均)と波高の関係

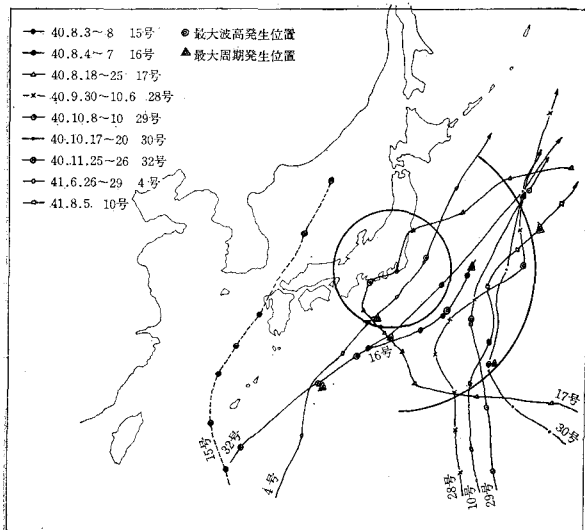


んど決まるゆえ、その台風のもたらす波浪のうち最大のものは中心気圧に左右される。

以上の理由により、与えられた7個の資料のうち、半径 450 km 円内を通過した3個(4号、17号、32号)をとり、中心気圧と生じた最高の波高を片対数用紙にプロットすると直線上にのるようである(図-13)。ただしここにとられた中心気圧は、3時と15時の天気図に表われた台風出現から消失、あるいは熱帯性低気圧に変化するまでの平均をとった。この中心気圧の平均の中には、個々の台風の成長経過、および個性がある程度含み得られるという考えからである。

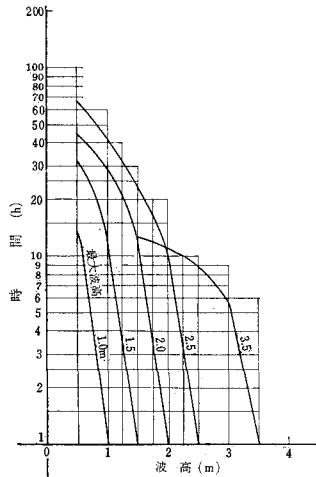
つぎにこの小円からはずれた進路をとった台風3個を、同じ方法によりプロットすると、②の直線が得られた。以上は台風の進行速度が、20 km/hr 以上のものである。速度が非常に遅いもの、あるいは1カ所に停滞しているものは、この小円をはずれたものでも波高は①の直線上にのるようである。これは台風が停滞している間、風波が十分発達するためであろう。図-12には用いた資料の台風進路図を示した。速度の速い台風は、相模湾を過ぎてから最大波高を生じている。そして当然のことながら台風10号は停滞していた位置で、最大波高を観測点にもたらしている。ここに資料として使用した台風は速度は天気図の台風の位置から求めたものである。台風は発生してから消失するまで種々に速度を変えているが、最も遅い場合は前記の10号(昭和41年8月7日)の3時~15時までの0、年間の台風で最も速かったものは32号(昭和40年11月)の25日15時~26日3時までの111.0 km/hrであった。そして速度の速い場合は急激に波高が高くなるようであり、遅い場合は最盛期の継続時間が、長い傾向にある。しか

図-12 台風進路、および区域図



し一般には波の継続時間は最大波高により異なり、最大波高が高ければ、継続時間も大体において長い。図一14 は波高と継続時間の関係を示すものである。年間に発生した台風と、性格的に類似点の多い低気圧の継続時間を平均し、最大波高ごとに各波高の継続時間がわかるようにした。その使用例

図一14 台風および低気圧の波高と継続時間の関係

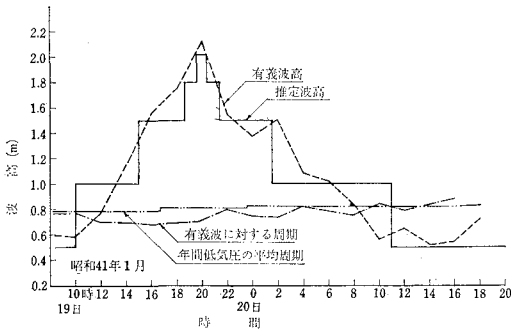


を 図一15 に示す。最大波高 3.5 m は台風 32 号を参考にしたものであり、台風の移動速度が速いので特例かも知れないが、一応表示した。このクラスの資料が得られれば、もっと完備したものができ得であろう。また波高と周期の関係および平均周期は 図一16、表一7 に示した。図一12 において観測点より 1220 km の位置に同心円を描いてあるが、これより外側を通る台風は、あまりないようであり、あってもさ程影響はないのではないかなと思われる。

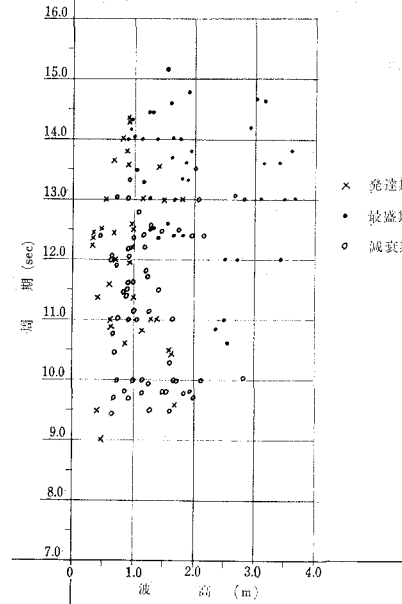
(2) 前線による波浪について

ここでいう前線とは発達した低気圧がともなっているものをいうのではなく、北海道からカムチャッカへ抜けた衰弱した低気圧から出て、本州南岸へのびているも

図一15 波高、継続時間、周期推定例 (低気圧)



図一16 台風の波高と周期



の、あるいは異なる気団が接触してできた前線が地表面とまじわる、まだ発生初期のものを指している。すなわちこのような気団の境界面では、必然的に雨や風が起こるものである。そして温暖前線よりも寒

冷前線の方が激しく、移動速度も早い。

また「この種の寒冷前線の移動は割合規則正しく、それに直角な成分の地衡風速で移動する」⁷⁾ ので、風波の起こる時刻、波高等かなり正確に予測できる。いま天気図より前線の移動速度を算出すると、21~22 km/hr となっている。また波の伝達速度は、

$$C = \frac{gT}{2\pi}$$

を波速とすれば、

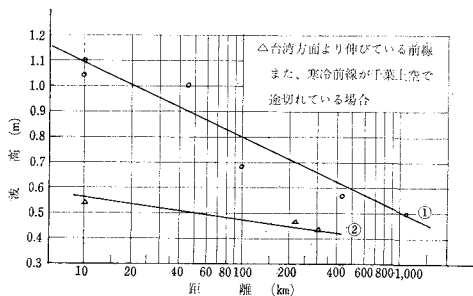
$$C_G = \frac{1}{2} C = \frac{gT}{4\pi}$$

であるから 図一20 より発達期最盛期の周期を 7.5~8.0 sec として計算すると、 $C_G=21\sim23$ km/hr となり、波の伝達速度と、前線の移動速度は大体同じである。一方観測点に最大波高が生じた時間は、天気図より見ると大体相模湾上空に前線が移動した時である。ゆえに一応観測点より 10 km に前線がある時に、最高の波高が生ずるものとして、その時の波高を片対数用紙にプロットした。つぎに相模湾上空まで移動してこない前線がいろいろあるので、観測点に最も近くなった時の観測点からの距離を測定し、それに対応している有義波高をそれぞれ同じ用紙にプロットすると 図一17 の①のようになる。②の線は台湾より伸びている前線、および北海道よりの

表一7 台 風 の 周 期

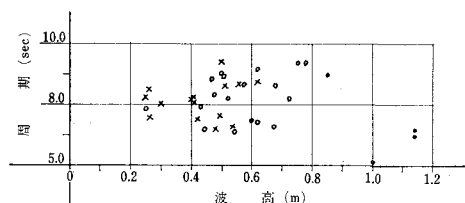
区 別	発 達 期								最 盛 期							減 衰 期				
周 期 (sec)	8~9	9.1 ~10	10.1 ~11	11.1 ~12	12.1 ~13	14.1 ~15	14.1 ~15	15.1 ~16	9.0 ~10	10.1 ~11	11.1 ~12	12.1 ~13	13.1 ~14	14.1 ~15	15.1 ~16	9.0 ~10	10.1 ~11	11.1 ~12	12.1 ~13	13.1 ~14
回 数	1	7	17	10	14	20	1	1	1	4	3	5	14	16	6	13	8	8	14	3
平均周期	12.6 sec								13.9 sec							11.2 sec				

図一17 前線による波高と距離の関係



図一18 前線の影響による波高と周期

× 発達期 ● 最盛期 ○ 減衰期

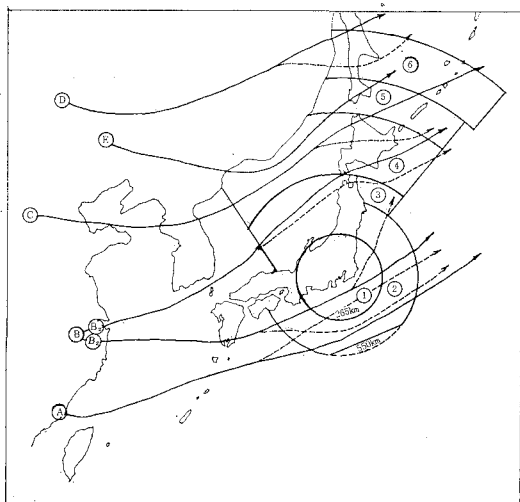


前線が千葉上空で途切れている場合であり、波高も低い。また高気圧の 1010 mb の等圧線が、本州の上空にかかっている場合は、たとえ相模湾近くまで前線が伸びていても波高は低く、①の直線で示される有義波高の約 5 割の波高と思って間違いない。これにより波高 0.2~0.4m 程度の波の場合もかなりよく推定される。前線の影響により生起する波の周期と、波高の関係を 図一18 に示す。

(3) 低気圧による波浪について

本州を縦断する低気圧の進路は、大雑把に分けると 図一19 のごとく ①, ②, ③, ④, ⑤ の 5 つになる。太平洋を通る低気圧としては ① 経路が多く、② が 2 番目である。その他に四国沖、あるいは関東海上で発生したもの、台湾より南方に発生したものがある。③ 経路は太平洋へ出るものと日本海を東進するものと、あるいは主として ① と ②, ③, ④ と ⑤ が同時に発生し、一体となって本州を縦断するものがあり、これを仮りに複合低気圧と名づけておく。そしておのおの低気圧には特徴がある。たとえば ① を通るものは 3 月から 4 月にかけて、大陸高気圧が衰弱する項になると発生し、本州南岸を通って、八丈島沖を東北進するものが多いが、たまには大島と八丈島の間あたりを通ることもある。前者の場合は波もさほど高くはならないが、後者の場合はかなりの波高がたつ。いま観測点を中心として八丈島を含めた海域、すなわち半径 265 km の円を描けば、③ に発生した低気圧を含めて ① に発生したものも、この小円内を通るものは、ほとんど中心示度に比例して最大波高に高低がついている。これを図示すると 図一20 の ① の曲線となる。また観測点より 550 km 外のを通る低気圧

図一19 低気圧の進路および波浪推定区域図

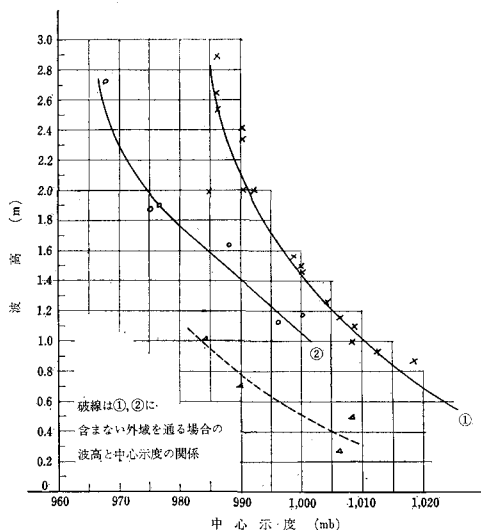


は、ほとんど波高は 20~30 cm 程度なので、一応半径 550 km の同心円を描き、② 区域を通る年間の低気圧の中心示度と、波高の関係をプロットすると 図一25 の ② の曲線が得られた。なお、複合低気圧は太平洋側の中心示度にて波高を判定すれば、この ① の曲線上に乗るようである。

太平洋岸を通る低気圧の閉じられた等圧線の直径は、200 km から 1500 km まであり、どんな大きさの低気圧でも、この決定された円内を通るものは ① および ② の曲線にあてはまるかという、少なくとも調査された 1 年間の低気圧はほとんど以上の方式を満足した。ただ直径 1000 km 以上の低気圧でちょうど ① の円と ② の円の境目あたりを通る低気圧は、① の曲線上にほぼ乗るようである。

台風の場合は、中心付近に吹く遠心力による旋衡風が

図一20 太平洋区域の低気圧中心示度と波高の関係



強烈なため、半径 400~500 km 内では大島、八丈島のしゃへい効果をそれほど感じないが、低気圧の場合は地形的な影響が顕著なようである。波浪注意報の出ている時でも、湘南海岸では海面が鏡のように静かなことが往々あるのは、このためと思われる。そして②区域において破線の部分を通る低気圧の場合、波高が非常に小さくなるのも、このためではなからうか。年間二、三の例はこれにあてはまる。しかし、なお多くの資料があれば決定的なことがいえるのではないかと思う。

日本海方面を東北進する低気圧の中、④にて発生し、単独で進行するものは、数は少ないが、波高はかなり高くなり、中心示度 980 mb ぐらいまでは、①区域と同じ程度の波高を示す。そしてそれより中心示度が低くなっても、①区域の場合ほど波高は高くないようである。これを③区域とした。

また⑥経路を通るもの、すなわち華北方面から東進し、④区域を通して北海道から千島へ抜けるものがある。この場合は SW の風が非常に強くなり、湘南海岸でも風速 10 m/sec 内外に達する。そして波高も③区域について高い。日本海で強烈であった低気圧は、北海道、千島へ抜けてから、なお強大になると、いったんおさましかけた波浪がまた高くなる傾向をもっている。この場合は中心示度と、中心のある区域により推定する。つぎに⑤経路をとるものがあり、これも⑥経路のものとはほとんど同じような波高を示す。⑤経路のものは、閉塞過程のものが多く、それ故かあまり波高も高くはならないようである。しかし、ウラジオ沖あたりで新たに発生したものは、最大 1.0~1.5 m 程度の波高を観測点にもたすので、一応樺太を含めて⑥区域を作った。

以上で日本海を通る低気圧の進路、性格等から③~⑥区域を設定できたので、①、②の区域の場合と同じ方法で、年間に発生した低気圧の中心示度と、最大波高を各区域別にプロットすると図-21のごとくなる。要するに図-19、図-20、図-21を使用し、本州付近を通るほとんどの低気圧のもたらす湘南海岸における波高は、ほぼ推定できる。しかしながら前にも述べたように⑤、⑥区域の場合に判定を誤りやすい低気圧があるから注意を要する。

また副低気圧は大きな作用はないようであり、波高推定に際し、たいがいの場合、無視してさしつかえない。

周期は年間の全低気圧の有義波高と、それに対応する周期の相関図を、台風の場合と同じ要領で作成すると、

図-21 日本海、北海道、千島、樺太区域低気圧の中心示度と波高

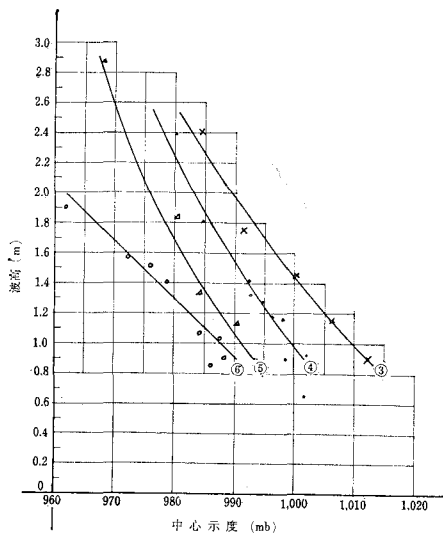


図-22 低気圧の波高と周期

× 発達期 ● 最盛期 ○ 減衰期

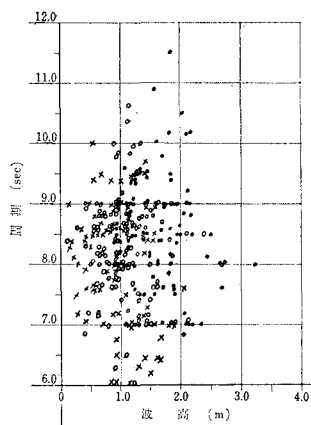


図-22 および表

8 が得られる。最大波高に対する各波高の継続時間は台風の場合とほぼ同じで、図-14に示した。

(4) 高気圧による波浪について
3時と15時の天気図を1年間にわたって調査し、2時間ごとの有義波高を対比させると、高気圧の1020

mbの線が、日本本土にかかっている場合は、波高は20~30 cmであった。しかし、この事例は移動性高気圧の場合であって、大陸の高気圧、北太平洋高気圧の場合は例外的な現象を示す。

このことについては後述するが、太平洋側に波浪を生起こさせる高気圧は、主として移動性高気圧であり、この高気圧が本州をおおっている間は波はたたない。この気団がいったん本土を離れると波がたちはじめ、相模湾沿岸より500~600 km 沖合に達した時、波浪も最高を

表-8 低気圧の周期

区 別	発 達 期						最 盛 期					減 衰 期				
周 期 (sec)	6~7	7.1 ~8	8.1 ~9	9.1 ~10	10.1 ~11	11.1 ~12	6~7	7.1~8	7.1~8	8.1~9	10.1 ~11	6~7	7.1~8	8.1~9	9.1 ~10	10.1 ~12
回 数	25	30	33	8	4		28	21	29	18	8	12	37	67	21	6
平均周期	7.9sec						8.1sec					8.3sec				

記録する。高気圧の移動速度は天気図から推定すると 55~60 km/hr であり、もし太平洋側に強力な低気圧が存在すれば、18 km/hr と遅いこともある（年間 1 度~2 度程度の頻度である）。

移動性高気圧のうち波浪を起こすものは北緯 30° 付近を通る場合が多く、この場合本州南岸に前線ができ、あるいは低気圧が東北進してくることが多いので、波浪の推定をする場合には、高気圧による波と前線あるいは低気圧による波との合成波を考えなければならない。また「高気圧による風速にはある極限值があって、それ以上強くなり得ない¹²⁾。」すなわちおのおの高気圧の大きさ（ここでは長径をとる）により最高波高も大体きまってくるものと思われる。

また H_1 : 高気圧の有義波高, E_1 : 高気圧の波のエネルギー, H_2 : 低気圧の有義波高, E_2 : 低気圧の波のエネルギー, E_{1+2} : 高気圧と低気圧の波の合成されたエネルギーとすれば,

$$H_1 = \alpha \sqrt{E_1}, H_2 = \alpha \sqrt{E_2}$$

であるから,

$$\frac{1}{\alpha^2} (H_1^2 + H_2^2) = E_1 + E_2 = E_{1+2}$$

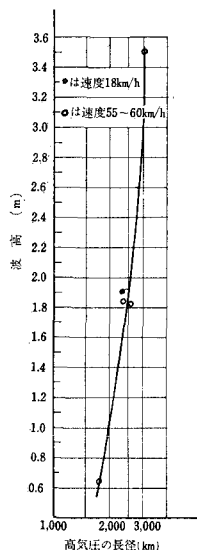
である。いま高気圧と低気圧の相互作用から高波が生じた場合を考えると、記録から得られた 1/3 最大有義波高を H_{1+2} とすれば $H_{1+2} = \alpha \sqrt{E_{1+2}}$ から次式が成立する。

$$\sqrt{H_{1+2}^2 - H_2^2} = H_1 \dots\dots\dots (3)$$

これは見かけの高気圧の波高であり、これを高気圧の波高とすれば、記録から得られた H_{1+2} の波高と (3) で述べた低気圧の波高の推定方法により推定した H_2 とから H_1 は求められる。いま 1 年間に発生した低気圧と高気圧との相互作用から発生したと思われる波の場合を、天気図と江之島沖の波高計の記録から拾い出し式 (3) より計算すると、表—9 のごとくなる。この表によれば 1 月 11 日、2 月 10 日、3 月 3 日の計算された高気圧の波高が、長径に対応していないようであるが、3 月 3 日は速度が、ほかの二つに比較して遅い関係で波高も割合に高くなったものと思われる。また元来が、長径は天気図より測定したものであり、低気圧の波高も推定のものであるから、10~20% の誤差は当然考えられることである。ゆえにこの意味から表—9 の値はほぼ適当な

ものと考えてよいであろう。よって大雑把に高気圧では長径 2300~2600 km の程度の時には、最大有義波高 1.8~1.9 m の波高がたつものとして大差ないと思われる。また気圧の長高径が 3000 km になると 3.5 m 程度の波がたち、長径 1700 km のときは、最大有義波高 0.64 m としてさしつかえないと思われる。これをグラフに示すと 図—23 のごとくなる。

図—23 高気圧の長径と波高の関係



し、相模湾沖の低気圧との相互作用から発達した波は、高気圧の大きさに似合わず、波は割合低かったが、かかる気圧配置の時には北よりの風が吹く（1. 湘南海岸の風についての節参照）ので、これは当然であろう。また昭和41年7月12日の北太平洋高気圧の 1010 mb 等の圧線が本州南岸 120 km に近よった時は最大有義波高 3.5 m を記録した。しかし以上の二例は例外的なものである。

高気圧の起こす波の継続時間は図—24 のごとく割合一定しており、波高と継続間時の関係は明瞭に推定できる。ただ、上述した北太平洋高気圧が本州へ

近よった時に発生した高波は、破線で示してあるが、急に高波が襲来したため、大きなカーブを描いているのが特徴である。

高気圧による波の周期は低気圧、台風と比較して一般に小さく、その発達期には 5 sec 台のものが多い。そして最盛期、減衰期とだんだん大きくなり、高気圧が去るとともに 8 sec 台にもどる。これを図示すると 図—25、また 表—10 のようになる。

5. 低気圧の位置と波高到達時間について

前線および低気圧、あるいは高気圧にしても、一般には比較的規則正しく移動し、速度も大体一定しているので、それらの位置によって、風速の最高を示す時刻、波

表—9

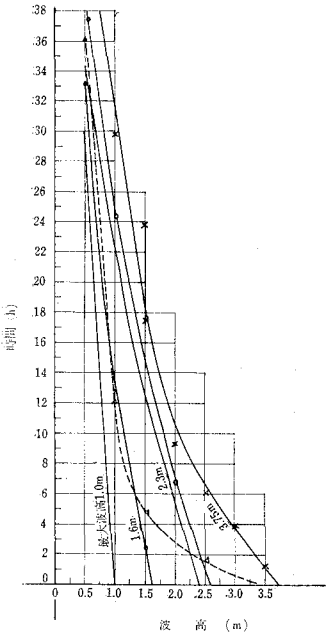
発生年月日 有義波高	昭和 40 年 12 月 21 日	12 月 29 日	昭和 41 年 1 月 11 日	2 月 10 日	3 月 3 日	4 月 7 日	7 月 12 日
H_{1+2}	2.56	2.12	2.35	1.86	2.25	3.70	3.50
H_2	1.08	1.00	1.46	0.98	1.15	1.17	1.24
H_1	0.64	1.87	1.84	1.82	1.91	3.50	3.27
高気圧の長径	1770 km	大陸の高気圧	2380 km	2590 km	2331 km	3000 km	北太平洋高気圧
高気圧の移動速度	55 km/h		55 km/h	55.5 km/h	18 km/h	60 km/h	
波高発生位置	観測点より 550 km 沖		観測点より 550 km 沖	観測点より 550 km 沖	観測点より 600 km 沖		観測点より 120 km 沖

(注) H_{1+2} : 合成有義波高 H_1 : 高気圧の有義波高 H_2 : 低気圧の有義波高

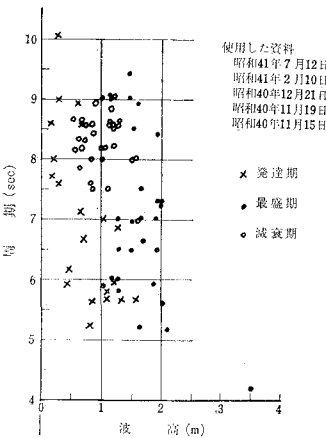
表—10 高 気 圧 の 周 期

区 別	発 達 期						最 盛 期						減 衰 期		
周 期 (sec)	5.1~6	6.1~7	7.1~8	8.1~9	9.1 ~10	10.1 ~11	4~5	5.1~6	6.1~7	7.1~8	8.1~9	9.1 ~10	5.1~6	7.1~8	8.1~9
回 数	8	4	3	6	1	1	1	7	10	4	6	2	1	5	12
平均周期	7.1 sec						6.2 sec						8.1 sec		

図—24 高気圧の時の最大波高各波
高の継続時間



図—25 高気圧の波高と周期の関係



は、6 時間後に紀伊半島沖に達し、同時に相模湾には最大風速が記録される。さらに6 時間後には千葉沖にあ

浪が最大になる時刻等大体の推定はできるようである。しかし年に 1 ～2 回は速度の速い気団が発生するので注意して見きわめねばならない。かかる例外的な気圧配置の特徴は、後の検討にゆだねるとして、いま普通の気圧配置の場合について筆者の知り得たことを個条書にすると下記のとおりで

① 高気圧が太平洋側にあり、低気圧かまたは前線が関東上空にある場合は、風と波は同時または風が観測点に吹いてより 2～4 時間後に波が起る。この場合高気圧の相模湾よりの距離、角度により時間にずれが生ずるのであ

う。

② 四国沖で発達、南海上を東北進している低気圧

り、相模湾には最高波が来襲する。場合によっては、最高波の生ずる時間が 2 時間程度遅れることもある。低気圧が三陸沖へ進行してから、さらに気圧が下ると風速は大となり、10 時間後に再び波高が大きくなる場合が多い。複合低気圧が本州を縦断した場合も、大体同じことがいえるが、進行速度がいくらか早いようである。

③ 低気圧が北海道にある場合、十分発達したものであれば、最高波が生ずるまでに 4～6 時間かかる。その場合前線が関東沖まで伸びている場合が多く、副低気圧が三陸沖、あるいは房総沖にある。

④ 低気圧が日本海にある場合は、非常にまちまちで最大波高が生ずるまでに、16 時間かかる場合もあり、前線が関東上空へのびている場合には、最大風速を記録してから 2～4 時間程度で波が高くなる場合が多い。

6. あとがき

以上昭和 40 年 8 月 16 日より昭和 41 年 8 月 15 日までの資料を使用して、湘南海岸における波高の推定を試みたが、一応の成果はあったと思われる。しかし検討すべき問題が多いので（たとえば波の到達時間、周期、合成波等）、昭和 39 年、あるいは昭和 42 年の波について検討し、いっそう完全なものにしたいと思っている。なお、この論文は神奈川県企業庁が第三次総合開発事業の一環として、相模川の全面的取水を計画しており、それにとともに生ずる相模川の河口閉塞を調査する目的で、土木学会に河口調査を依頼しているが、その間に集められた資料をもとに解析したものである。詳細は昭和 41 年度相模川河口調査報告書を参照されたい。また東京大学教授堀川清司博士にいろいろとご助言、ご指導をいただいた。厚く謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 神奈川県：昭和 35 年度相模川河口調査報告書，昭和 36 年 3 月。
- 2), 3) 1) に同じ。
- 4) 趙 榮耀：波高推算の理論，およびその応用について，東京大学修士論文，1964 年 9 月。
- 5) 山本義一：気象学概論，朝倉書店，昭和 41 年。
- 6) 宇津木政雄：天気予報の手引，日本気象協会，昭和 40 年。
- 7) 1) に同じ。