

風浪階級と風速との関係について

山 口 秀 男

§1. ま え が き

風浪階級は海面の状態をあらわすのに便利で、相当風速についても今まで数多く論ぜられている。しかし海上で作業に従事するものにとりて、また風力計をもたない漁船等では風浪階級（海面状態の説明による）より相当風速を推定することが多い。実際に現場の状態に出会つてみると風浪階級に對して風速の限界をもうけることが極めて困難で調査したものを整理する場合にも常識以上の巾をもつて風浪階級に對應する風速が存在することに気がつく。

更に風向によつて風浪階級と風速との間に相異があるように思える。

では観測位置により風浪階級との間に差があるかどうか。

また筆者は漁場等の海面状態を豫報する場合海上の風速と豫想し海面状態をビ氏の説明（Beoforts scale）や中央气象台の風浪階級表によるわけだが風浪階級を決定する場合風向、位置までも考慮して相当風速の限界を把握する必要がある。

このような調査には長期にわたる定點の観測が必要であるが幸ひ、1951年2月～1952年2月までの中央气象台定點観測部の北点（N39° E15°）及び南点（N29° E135°）の観測資料が手にあつたので、この風速及び風浪階級により調査して見た。

1年間の観測資料では風浪階級が大きい場合充分とは云えないが、實際漁業気象の予報を行う一助となれば幸である。

§2. 風浪階級と相当平均風速について

風浪階級と相当風速の平均については第一表で示される。即ち北方定點観測（北點）と南點及び北点の夜間 O^h （註：昼間は12 h 観測）のものについてこれらは次のような関係式が當符まる。

$$R = 0.39W - 0.7$$

W: 平均風速 m/s

R: 風浪階級

上式の関係は第1圖で示されるが北点、南点共平均風速では略一致した値をとるが風向別の平均風速を検討してみると風向によつて必ずしも同様の風浪階級を示すとは云えない。

即ち風向別風浪階級と平均風速は第2圖に示すとおり。

R	北点12 h W	北点 O^h W	南点12 h W
0	—	—	—
1	4.4	4.0	4.4
2	6.2	6.3	7.2
3	9.5	9.7	9.1
4	13.8	11.9	13.1
5	15.8	15.3	15.9
6	18.0		17.6
7	20.5		19.5
8	20.6		
9	25.5		

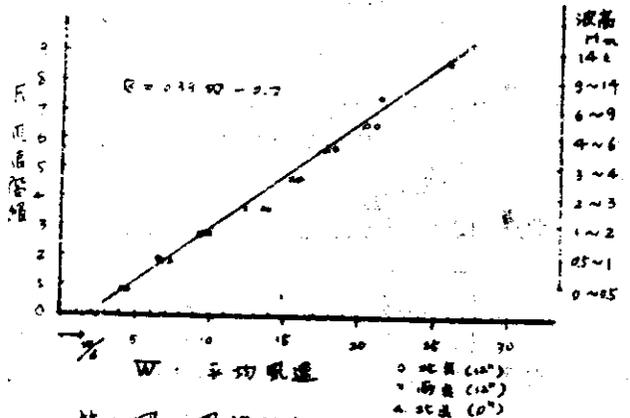
§3 風向別の風浪階級と風速について

今平均風速をWとして平均風浪階級をRとしてこれを風向別にR/Wを計算してみると、第2表のようになる。

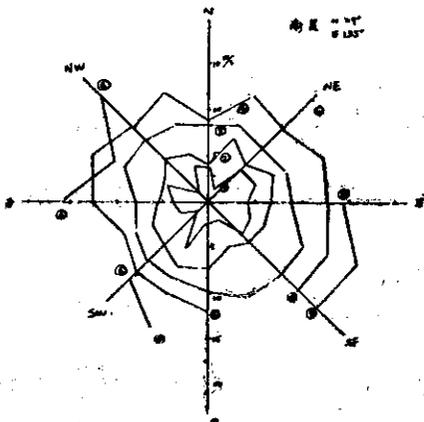
第2表 風向別風浪階級と風速風向

風向		N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W
北 点	回数N	17	17	13	14	11	20	12	14	20	26	30	24	29
	\bar{W}	8.4	8.6	7.6	7.6	9.3	12.2	11.0	11.3	11.2	12.6	12.2	11.2	11.0
	R	3.0	3.1	2.4	2.5	2.8	3.4	2.9	2.9	2.8	3.3	3.6	3.3	4.1
	R/W	0.36	0.36	0.32	0.33	0.30	0.28	0.27	0.25	0.25	0.29	0.30	0.30	0.38
南 点	N	23	17	29	19	28	15	18	9	24	31	28	16	20
	\bar{W}	7.3	7.9	8.0	8.3	8.0	8.8	9.1	8.3	9.5	8.8	8.3	6.8	8.5
	\bar{R}	2.8	2.5	2.7	2.4	2.4	2.5	2.6	2.4	2.8	2.8	2.9	2.5	3.0
	R/W	0.38	0.32	0.34	0.29	0.30	0.28	0.29	0.29	0.30	0.32	0.35	0.37	0.35

風向		WNW	NW	NNW
北 点	回数N	45	37	31
	\bar{W}	12.5	13.1	11.1
	R	4.2	4.4	3.6
	R/ \bar{W}	0.33	0.34	0.33
南 点	N	24	34	26
	\bar{W}	8.9	9.1	8.2
	\bar{R}	2.9	3.0	2.7
	R/ \bar{W}	0.33	0.33	0.33



第1図 風浪階級と平均風速との関係



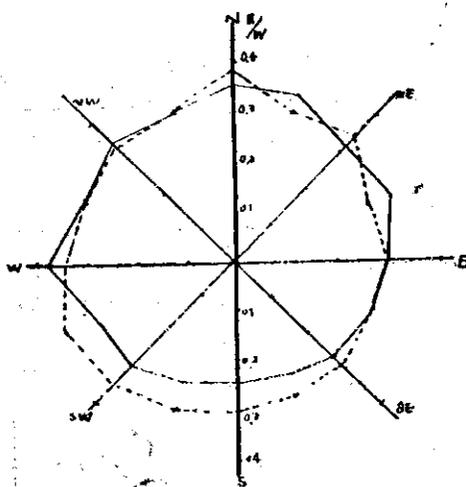
第2図 風向別風浪階級と平均風速

上表を南点、北点を圖示すれば第3圖のようになり、北分の風向に対しては北点、南点共略同様の値を示しているが、南分の風向については、北点より南点の方が R/W の値が大きくなっている。これは同じ風浪階級に対して北点では平均風速が2~3米大きい。

また \bar{R}/\bar{W} は東~南の南東象限では、南点、北点共 0.3 以下で小さく、北西象限は値が大きくなっている。

このことは南東象限の風向では相當風速に対する風浪階級の値が小さいことを意味し、又北西象限の風では風速に対する風浪階級の大きいことを示している。

\bar{R}/\bar{W} の値の風向に対する最大と最小との差は0.1 であるから風速 10 米について風浪階級に差が 1 だけあることになる。



第3図 風向別による
風浪階級と風速との比 R/\bar{W}

次に北東、南東、南西、北西の各象限の風浪階級と風速との関係式を求めてみると北点、南点について各々次の結果を得る。即ち

北点	(1) 北東象限	$R_1' = 0.313W_1' + 0.28$
	(2) 南東 "	$R_2' = 0.266W_2' - 0.09$
	(3) 南西 "	$R_3' = 0.376W_3' - 1.13$
	(4) 北西 "	$R_4' = 0.414W_4' - 0.68$
南点	(1) " "	$R_1'' = 0.339W_1'' - 0.15$
	(2) " "	$R_2'' = 0.322W_2'' - 0.21$
	(3) " "	$R_3'' = 0.426W_3'' - 0.75$
	(4) " "	$R_4'' = 0.32W_4'' + 0.02$

以上の関係を図示すると第4図のようになるが

(1) 北東象限(北～東北東の風浪階級と相当風速平均について)では、南点、北点とも類似しているが、北点の方が平均風速15米/秒以下では \bar{W} に対して R が大きく、15米/秒以上では \bar{W} に対する R が小となっている。

即ち、北点の方が南点より、15米/秒以下の風で風浪が大であり、15米/秒では逆に南点の方が風浪が大きくなることを示している。

(2) 南東象限では5米/秒以上では南点の方が風浪が大きくなることを示している。

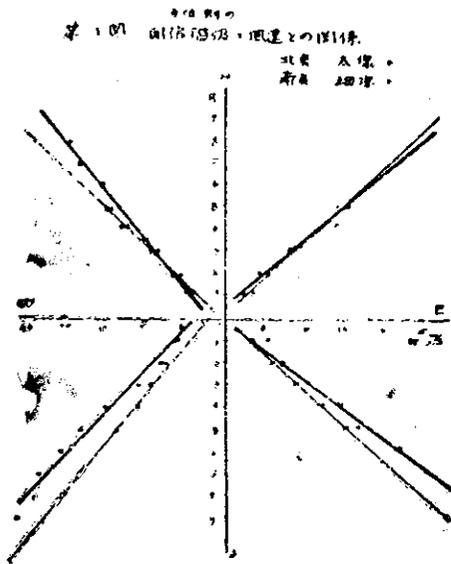
(3) 南西象限では、南点の方が北点より風速に対する風浪が他のどの象限より大きい。即ち風速10米/秒で階級が約1だけ異つている。

(4) 北西象限では少しく逆で、風速7米/秒以上では北点の方が相当風速に対する風浪階級が大となつている。即ち北西風の等しい風速については北点の方が風浪が大きいことを示すものである。

これらのことは風速を推算して風浪の豫想を行う場合注意すべき事柄を示している。しかも風向についても考慮すべきことも意味し、例えば15米/秒の風速に対して、南分の風向では平均風浪階級 R は4であるが、北分の風では R は5またはそれ以上を豫想する必要がある。また平均風速 (\bar{W}) 5米/秒では南分の風向では $R = 1$ で穏やかだが、北分では $R = 2$ 位で幾分波立っている。

ることを示す。

また以上のことは、南点と北点の位置による風浪と風速との関係について示している。こゝで用いた南点及び北点は相當広い海面であるが、更に地形の影響を受け易い海面ではこのことはもつと重要になり沿岸漁業者に対する海面状態の豫想には莫重を要すると共に、漁場となる海域について豫報海域について調査を行つておく必要がある。



§4. 風浪階級と相當風速の限界について

風浪階級に對する風速は風向別について、平均風速の 0.25~0.38 倍の範囲であつたが、家際に観測されるものは相當大きい範囲に互り現われているので、風速を推定して海面状態を豫想する上に考慮を払ふ必要がある。

例えば実際の観測報告の中から、風速 5 米/秒で風浪階級 5 (「やゝ波がある」)「波高 1~2 米」や風速 20 米/秒で風浪階級 3 (「やゝ波がある」)「波高 1~2 米」といふような観測値は担当風の範囲と共に信頼度について検討を加える必要がある。これらの観測値は「どの程度の風速がどの位続いたら風浪はどの位になるか」ということと、風速が弱まつてきて「風浪が納まるまでどの位かゝるか」といふ問題を含んでいる。

さて第 5 圖は風浪階級と相當風速の範囲を示している。太線と点線が北点の昼間 (12^h) と夜間 (0^h) で、細線は南点昼間の観測である。

この圖は次の事柄を示している。

- (1) 風浪階級の小さい場合、南点、北点共大體一致した範囲にある。
- (2) 南点の方が北点に比し相當風速の範囲が狭い。
- (3) 昼間は夜間に比し相當風速の範囲が大きく観測されている。

風速と風浪階級の平均値よりかけはなれている観測値の実例についてみる！、これらは前線附近で見られるようである。即ち

6 月 12 日 (1951 年) 12^h W=1.3 (S) R=3

8 月 29 日 (1951 年) 0^h W=0.1 (E) R=3 C.F 通過前

12 月 28 日 (1951 年) 12^h W=1.5 (wNw) R=3 C.F 通過直後

以上は風速について風浪の大きい場合であるが、逆の場合は

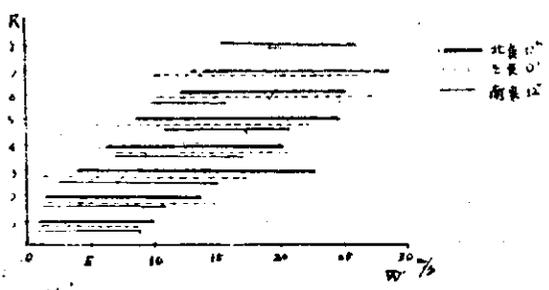
2 月 10 日 (1952) 12^h W=23.1 (S) R=3 充分発達しない低気圧の前面

方位りにみると、東分の風向については、南点、北点共比較的近似しているが、西分の風については相當風速の範囲が大き。これは前線や低気圧通過の後面で風速の変動が大きいことを示している。

これは第 3 表並びに第 6 圖で示すとおりだがこれにはかなり巾があるので、これについては限界を定める必要がある。

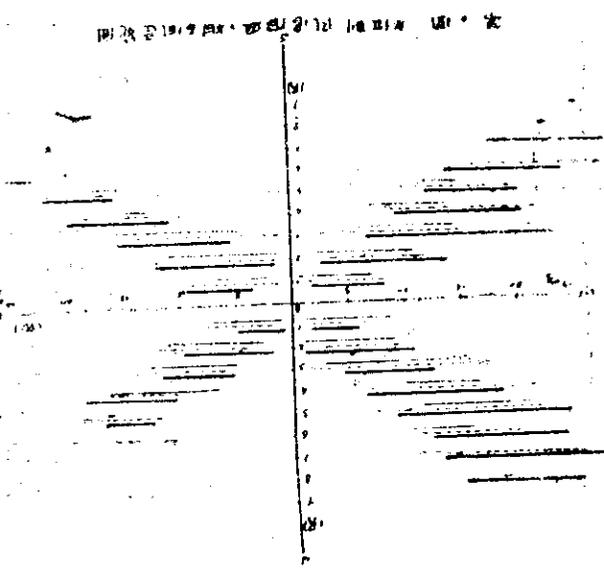
そこで第 3 表の最大及び最小について平均を求めてみる！、第 4 表のようになる。

この図は、北緯10°、北緯20°、北緯30°の各緯度において、北風、東風、南風の各風向の風速の範囲を示している。



第5図 風速の緯度による相対風速の範囲

この図は、北緯10°、北緯20°、北緯30°の各緯度において、北風、東風、南風の各風向の風速の範囲を示している。



第3表 方位別による風速階級と相当風速の範囲

地点 方位	北 點 12h				北 點 0h				南 點 12h			
	N-E	E-S	S-W	W-N	N-E	E-S	S-W	W-N	N-E	E-S	S-W	W-N
1	0.7 ~4.8	3.6 ~9.8	1.9 ~8.2	2.2 ~5.8	1.7 ~7.9	0.9 ~8.9	1.3 ~8.5	1.3 ~6.7	0.7 ~7.1	4.0 ~6.5	0.7 ~7.3	1.3 ~8.9
2	1.3 ~9.1	1.3 ~11.7	2.4 ~13.9	1.1 ~9.6	3.0 ~12.0	1.1 ~15.0	3.6 ~12.0	2.8 ~9.6	2.6 ~10.8	0.9 ~11.0	2.2 ~10.8	1.1 ~9.1
3	5.2 ~11.4	5.2 ~15.2	6.7 ~23.1	4.4 ~12.3	5.9 ~14.0	0.7 ~16.5	1.3 ~15.0	1.5 ~17.4	4.6 ~12.4	4.4 ~15.3	5.9 ~14.4	2.5 ~15.5
4	1.03 ~18.6	10.7 ~1.96	9.3 ~20.4	6.3 ~18.4	9.1 ~17.1	7.3 ~18.4	8.4 ~21.8	6.7 ~21.5	6.4 ~16.1	12.5 ~14.4	6.9 ~13.7	9.8 ~16.5
5	12.4 ~16.1	13.5 ~22.0	12.0 ~20.2	9.0 ~24.6	11.5 ~18.7	16.3 ~17.1	9.6 ~19.7	4.6 ~22.2		14.4 ~17.6	11.8 ~14.9	11.2 ~21.1
6		22.6 ~25.0	13.9 ~24.2	12.0 ~23.9	10.3 ~25.1		15.8 ~27.6	11.0 ~21.6				10.1 ~15.7
7			17.9 ~28.1	13.2 ~27.6		20.7 21.1		10.1 ~25.7				
8				15.2 ~25.4								

第4表 風浪階級に對する風速の最大最小値の平均

R	1	2	3	4	5	6	7
相當風速 W	15~7.5	2.0~11.2	4.0~15.2	8.6~18.0	11.7~19.5	13.7~23.3	15.5~25.6
(R/W)Max	0.67	1.00	0.75	0.47	0.43	0.44	0.45
(R/W)Min	0.13	0.18	0.20	0.22	0.26	0.26	0.27

次に方位別による平均風速の信頼限界を求めてみると、第5表のようになる。但し信頼度 95 %

第5表 方位別による平均風速の信頼限界

R	北				南			
	N - E	E - S	S - W	W - N	N - E	E - S	S - W	W - N
1	2.9 ± 1.02	6.2 ± 2.63	5.4 ± 1.22	3.8 ± 1.46	4.2 ± 1.14	4.1 ± 0.85	3.4 ± 1.23	3.4 ± 1.73
2	4.5 ± 1.34	7.3 ± 1.43	7.2 ± 1.35	6.7 ± 1.87	6.3 ± 1.14	6.4 ± 1.36	7.1 ± 1.34	5.5 ± 0.92
3	8.1 ± 0.90	10.1 ± 1.53	11.2 ± 1.26	8.6 ± 0.79	8.6 ± 0.58	10.0 ± 1.05	9.0 ± 0.72	9.1 ± 0.77
4	14.0 ± 1.35	15.0 ± 1.83	14.2 ± 1.62	12.4 ± 1.12	11.4 ± 1.82	13.6 ± 0.71	10.9 ± 1.07	12.6 ± 1.00
5	13.9 ± 2.54	17.2 ± 6.20	17.6 ± 2.98	15.4 ± 1.77				

又単一測定値の風速の信頼限界については、殘差の吟味を行い確率誤差 (P) の m 倍よりも大きい絶対値をもつ誤差のあらわれる確率を $P_m = 0.05$ とし、これに対応する $m = 2.8$ と定めて誤差の絶対値を計算したのである。(Chauvenet の換定法) 以下第6表に示す。

第6表 方位別による風速(單一測定値)の信頼限界

方位	北				南			
	N - E	E - S	S - W	W - N	N - E	E - S	S - W	W - N
1	$P = \pm 1.02$ $m.P = \pm 2.86$	$P = \pm 1.69$ $m.P = 4.73$	$P = \pm 1.22$ $m.P = 3.42$	$P = \pm 0.93$ $m.P = 2.60$	$P = \pm 1.45$ $m.P = \pm 4.06$	$P = \pm 1.04$ $m.P =$	$P = \pm 1.43$ $m.P =$	$P = \pm 1.63$ $m.P =$
2	$P = \pm 1.56$ 4.37	$P = \pm 1.81$ 5.07	$P = \pm 1.89$ 5.29	$P = \pm 2.12$ 5.92	$P = \pm 1.57$ 4.40	$P = \pm 1.74$ 4.87	$P = \pm 1.63$ 4.56	$P = \pm 1.46$ 4.09
3	$P = \pm 1.22$ 3.42	$P = \pm 1.97$ 5.52	$P = \pm 2.32$ 6.50	$P = \pm 1.57$ 4.40	$P = \pm 1.19$ 3.33	$P = \pm 1.82$ 5.10	$P = \pm 1.49$ 4.19	$P = \pm 1.75$ 4.90
4	$P = \pm 1.59$ 4.45	$P = \pm 1.94$ 5.43	$P = \pm 2.04$ 5.71	$P = \pm 2.22$ 6.22	$P = \pm 2.02$ 5.66	$P = 0.52$ 1.46	$P = \pm 1.31$ 3.67	$P = \pm 1.33$ 3.72
5	$P = \pm 1.16$ 3.25	$P = \pm 2.64$ 7.39	$P = \pm 1.92$ 5.38	$P = \pm 2.64$ 7.39	-	-	-	-

p: 確率誤差

次に第7表によつて、観測値並びに平均値の特性誤差、平均値の信頼限界について計算したものを示す。

第7表 風浪階級 (R) に對する風速の信頼限界

位	階級 R	北					南						
		1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5
特性誤差	u	±2.14	±2.92	±3.06	±3.38	±3.63	±4.46	±3.93	±2.015	±2.38	±2.34	±2.29	±2.61
	u _a	±0.37	±0.37	±0.30	±0.38	±0.63	±0.97	±1.01	±0.27	±0.27	±0.18	±0.32	±0.75
確率誤差	P	±1.44	±1.97	±2.06	±2.28	±2.45	±3.02	±2.65	±1.39	±1.68	±1.58	±1.55	±1.76
	P _a	±0.25	±0.25	±0.21	±0.24	±0.43	±0.66	±0.68	±0.19	±0.18	±0.12	±0.22	±0.51
平均誤差	d	±1.67	±0.24	±2.40	±2.57	±3.11	±4.08	±3.02	±1.66	±2.03	±1.89	±1.82	±1.96
	d _a	±0.29	±0.31	±0.24	±0.29	±0.51	±0.84	±0.78	±0.23	±0.23	±0.15	±0.26	±0.57
	u _a / d _a	1.28	1.21	1.28	1.31	1.23	1.10	1.25	1.21	1.17	1.23	1.26	1.33

位 置	北 點							南 點				
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5
$\alpha=0.5$	± 0.25	± 0.25	± 0.20	± 0.26	± 0.43	± 0.67	± 0.70	± 0.19	± 0.19	± 0.12	± 0.22	± 0.53
$\alpha=0.1$	± 0.26	± 0.62	± 0.50	± 0.63	± 1.07	± 1.68	± 1.78	± 0.46	± 0.46	± 0.30	± 0.54	± 1.36
$\alpha=0.05$	± 0.75	± 0.74	± 0.60	± 0.75	± 1.28	± 2.03	± 2.07	± 0.55	± 0.55	± 0.36	± 0.95	± 1.96
$n=N-1$	33	61	103	80	34	20	14	53	75	163	49	11
信頼限界	4.5	6.4	9.6	13.6	15.8	18.4	20.5	3.8	6.2	9.1	11.9	15.3
$\alpha=0.05$	± 0.75	± 0.74	± 0.60	± 0.75	± 1.30	± 2.00	± 2.10	± 0.55	± 0.55	± 0.36	± 0.65	± 1.60

§.5 む す び

以上中央気象台の定點観測資料について海上の風浪と風速について調査したわけだが、風速に對する風浪は位置及び風向によつて一樣なものではなく

(1) 風速による風浪階級の豫想には風向を考慮する必要があり南東の風が風浪は小さく、北西風では風浪が大きい傾向がある。

(2) 位置による相異は、北点の方が南点にくらべ風速に對する風浪階級が小さい。しかし北西風のみ逆に大きい。

(3) 南西象限の風では北点の方が南点にくらべ風浪階級は 1 位小さい。

(4) 風浪階級に對する風速は相当廣い巾をもっているが、低氣圧又は前線等風向風速の變動による風浪の変化については、更に詳細な資料により調査したい。

(5) 風浪階級に對する風速の信頼限界を求めたことは、漁船その他海上氣象観測の結果のチェックに役立つ。

(6) 漁船等で風力を目測する場合でも、位置風向によつて海面状態を考慮する必要がある。

資料が充分でなく階級が大きい場合等についての検討は不充分であるが一廣風浪の豫報等について、沿岸の豫報海域等についても以上のような調査は必要であろう。

参 考 文 獻

△大阪灣に於ける陸上の風と海上の風及び波 「海と空」 23巻第 4号 安井、瀬木

△相川に於ける沿岸波浪 中央氣象台「研究時報」第 29号 三寺

△風、波及びうねり；豫報のための色々の關係についての理論

「地球物理學文献抄」 第 3 集 6 号 中野譯

△波浪観測報告 中央氣象台「海洋時報」第 1 卷 1 号

△船舶氣象観測讀本 船舶氣象通報連絡會

△測定値整理法 水野善右衛門著