

沿岸波浪の出現特性 (その2)

広瀬 宗一*・高橋 智晴**

1. はじめに

運輸省港湾関係機関においては、昭和 45 年以来全国的な沿岸波浪の観測を実施してきている。この観測成果については、毎年波浪観測年報¹⁾としてとりまとめると共に、累年の成果については統計報としてとりまとめている²⁾。

上述の波浪観測体制下においては、

- (1) 毎偶数正時を中心として前後各 10 分間 (計 20 分間) 行うこと、
- (2) 超音波式波高計により、水深 -50 m で波浪観測を実施すること、
- (3) デジタル記録はサンプリング間隔 0.5 秒でカートリッジ磁気テープに取得すること、

等を標準として規定している。

各波浪観測地点で取得されたデータは、港湾技術研究所で集中処理・解析されている。この集中処理の対象としている地点数は昭和 58 年度現在で 40 に達している。

本稿では、上述の沿岸波浪の観測データを用いて、わが国の沿岸における波浪の出現特性を論ずるものであるが、この目的のためには多大の資料を必要とする。そこで、本稿では、代表波の波高と周期の分布特性および継続時間の分布特性に焦点を絞ることとした。筆者らは、わが国の沿岸における波浪の出現特性に関する本格的な調査・研究には昭和 57 年度に着手したばかりであり、今後も継続的に実施する予定をしている。昨年度とりまとめた成果³⁾をはじめとする一連の資料が、港湾および海岸諸計画の参考資料として活用されることになれば幸いである。

2. 波浪観測状況

図-1 には昭和 58 年度現在における沿岸波浪観測地点の位置図を示す。図-1 において観測地点名の右肩に付した ++ 印および + 印はそれぞれブイの挙動測定による加速度計、水圧式波高計で観測していることを示す。

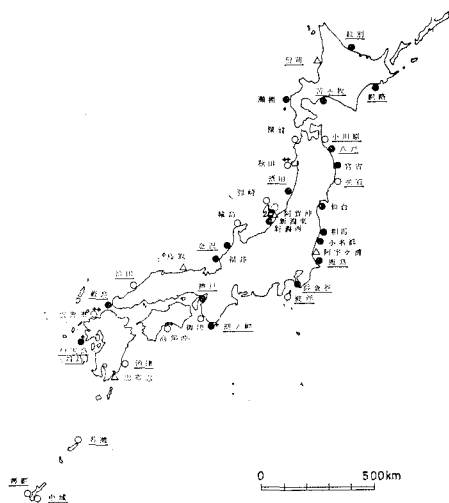


図-1 沿岸波浪観測地点位置図

他の地点は阿賀沖 (ステップ式波高計) を除き、いずれも超音波式波高計を用いている。また、観測地点の位置を表わす○、△および●印は観測水深の相連を示すために付したもので、それぞれ -50 m 程度あるいはそれ以下、-30 m 程度、-20 m 程度であることを表わす。これら各地点における観測の経緯、観測施設等の詳細については、「沿岸波浪観測台帳」⁴⁾に詳しいので参照していただければ幸いである。

3. 沿岸波浪の出現特性

3.1 代表波の波高と周期の結合分布

図-2~5 には、わが国の沿岸を代表する酒田、那覇、鹿島、波浮における有義波の波高と周期の結合分布を示す。図中には、参考のため沖波の波形勾配 H_0/L_0 が 0.01, 0.015, 0.02, 0.03, 0.04 に相当する曲線を記入している。

日本海沿岸に位置する酒田では、波高が大きくなるにしたがって波形勾配が 0.03~0.04 に収束するような傾向が見られる。東シナ海沿岸の那覇においても酒田と同様の傾向が見られるが、波高の小さい部分での分布状況は若干異なり、酒田に比べてやや波形勾配の小さい波が

* 正会員 運輸省港湾技術研究所水工部主任研究官

** 正会員 前運輸省港湾技術研究所水工部海象観測研究室長
(現(財)日本気象協会中央本部参与)

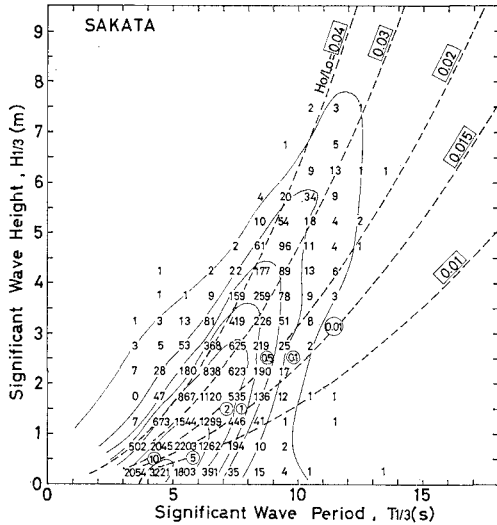


図-2 有義波の波高と周期の結合分布図 (酒田)

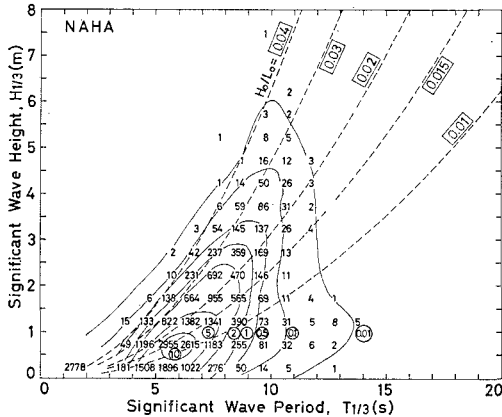


図-3 有義波の波高と周期の結合分布図 (那覇)

多く出現する傾向がある。一方、太平洋岸に位置する波浮では、波高が大きくなるに従って波形勾配が 0.04 に収束する傾向が見られるものの、この他 0.015 あたりの出現率も高くなっている。また、鹿島における分布は波浮とも異なり、上述の三港に見られた $H_0/L_0=0.04$ に収束する傾向は見られず、これに代って $H_0/L_0=0.2\sim 0.3$ に収束する傾向が出現している。

以上の結果、日本海および東シナ海に代表される風波の卓越する海域においては高波時の波形勾配の分布幅は狭く、ほぼ 0.035~0.04 程度と考えてよいが、太平洋岸ではほぼ 0.02~0.04 と非常に分布幅が広がっている。また、鹿島と波浮で顕著な相違が見られることから、房総半島を境にして沿岸にもたらされる波浪の特性がかなり異なることが示唆される。

表-1 には、上記海域における波高と周期の結合分布の相違を特色づけるために、各代表波の波高と周期の間の相関係数を示す。表-1 に示す結果は $H_{1/3} \geq 21$ m を

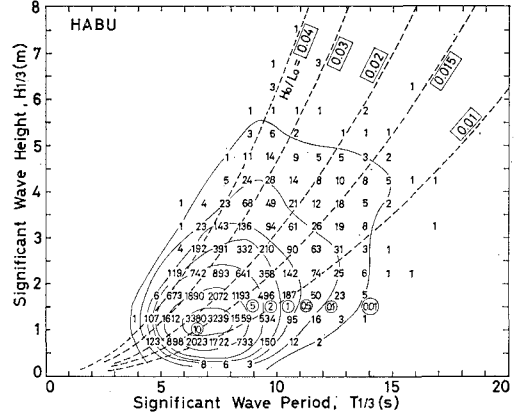


図-4 有義波の波高と周期の結合分布図 (波浮)

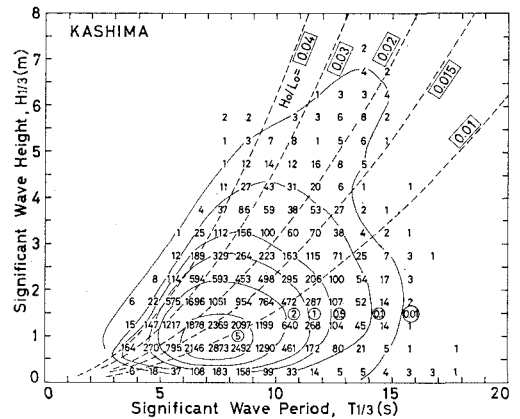


図-5 有義波の波高と周期の結合分布図 (鹿島)

条件に抽出したデータをもとに算定したものである。

図-6 には有義波の波高と周期の相関係数を沿岸分布図として作成したものである。表-1 および 図-6 によると、有義波の波高と周期の相関係数は日本海の中沿岸でもっとも高く、約 0.75~0.85 程度であり、これより

表-1 代表波の波高と周期の相関係数

	記録数	$r(\bar{H}, \bar{T})$	$r(H_{1/3}, T_{1/3})$	$r(H_{1/10}, T_{1/10})$	$r(H_{max}, T_{max})$
紋別	5222	0.465	0.441	0.405	0.288
留萌	13402	0.672	0.630	0.593	0.442
酒田	11894	0.748	0.748	0.609	0.520
新潟	4659	0.862	0.840	0.791	0.559
輪島	3941	0.772	0.774	0.755	0.564
金沢	14812	0.743	0.755	0.734	0.524
浜田	10388	0.587	0.575	0.553	0.417
鹿島	3012	0.510	0.417	0.365	0.234
名瀬	6861	0.590	0.616	0.594	0.434
那覇	9628	0.568	0.582	0.562	0.407
釧路	3134	0.330	0.324	0.297	0.174
苫小牧	8849	0.369	0.281	0.255	0.157
小川原	10483	0.210	0.204	0.196	0.148
八戸	8649	0.317	0.319	0.294	0.213
釜石	2673	0.290	0.254	0.225	0.123
仙台	1649	0.386	0.368	0.362	0.234
鹿島	20870	0.313	0.288	0.271	0.180
波浮	22371	0.438	0.404	0.368	0.235
浜金谷	4002	0.231	0.190	0.128	0.087
潮ノ坪*	5077	0.256	0.228	0.200	0.050
油津	8868	0.496	0.469	0.413	0.329
中城	7518	0.478	0.463	0.445	0.321

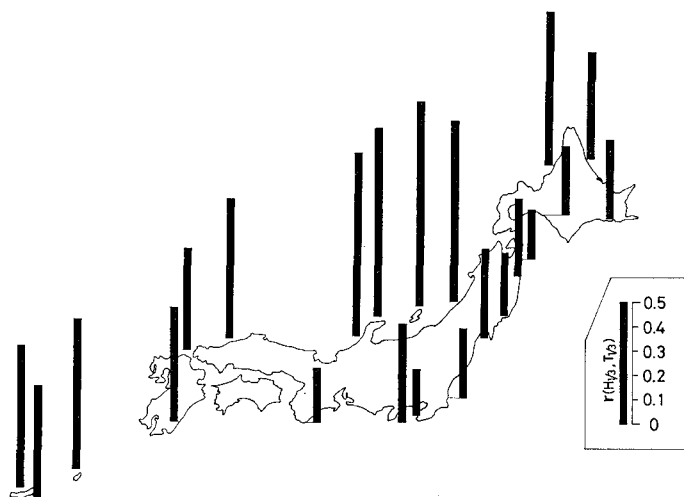


図-6 有義波の波高と周期の相関係数の分布図

も以北および以西ではやや低くなる傾向が見られる。太平洋岸では関東地方の以西の地点の方が関東地方以北の地点に比べて相関が高いが、0.5 を越える地点はない。

代表波間の相関係数を比較すると、概して風波が卓越する日本海および東シナ海沿岸では有義波と平均波で同程度あるいは有義波が高くなる場合も見られるのに対し、うねり性の波浪が卓越する太平洋岸では全般的に平均波のほうが相関係数が高くなる傾向が見られる。

代表波の波高および周期の分布形に関しては以下に示すような対数正規分布あるいは Weibull 分布へのあてはめがよく行なわれる。

対数正規分布:

$$p(y) = \frac{1}{2\pi\sigma_y} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y - \mu_y}{\sigma_y} \right)^2 \right] \quad \dots\dots (1)$$

ここに、 $y = \log X$ 、 X は代表波の波高あるいは周期、 μ_y 、 σ_y はそれぞれ y の平均値および標準偏差である。

Weibull 分布:

$$p(X \leq x) = \begin{cases} 1 - \exp \left[- \left(\frac{X - X_0}{X_0} \right)^{\gamma_x} \right], & x \geq X_0 \\ 0, & x < X_0 \end{cases} \quad \dots\dots (2)$$

ここに、 X_0 はその地点に常時来襲している代表波の波高、周期の最小値であり、 X_0 、 γ_x はパラメーターである。

ここでは、式(2)の Weibull 分布を用いて有義波の波高、周期の分布への適合度および各パラメーターの沿岸分布を調べることとする。

Weibull 分布へのあてはめは、 X_0 の値を波高に対しては 5 cm ごとに、周期に対しては 0.5 秒ずつ変化させながら最小自乗法でパラメーター X_0 、 γ_x の値を求めることにより行った。

表-2 には、有義波の波高および周期の分布に対して

得られた X_0 、 X_0 、 γ_x の値を示している。ただし、表中では波高、周期に対する結果を区別するために、それぞれに対して X を H 、 T に置き換えて表示している。表-2 によると、オホーツク海～日本海東シナ海の各沿岸では H_0 はせいぜい 20 cm 程度であるが、太平洋岸では波浮の 65 cm を除けばおおむね 40 cm 前後となっている。 H_0 については前者ではほぼ 1.0 となっているが、太平洋岸ではかなりばらつきが大きい。 γ_H は関東地方の南東岸でやや大きくなるものの、 H_0 、 H_0 ほど海域による差を示していない。

一方、周期について見ると、 T_0 はオホーツク海～日本海～東シナ海の沿岸ではほぼ 0～2 秒、太平洋岸では 2.5～5 秒と比較的ばらつきが大きい。 T_0 については前者では 6 秒前後、後者ではやはり変動し、波浮でもっとも小さく、これよりも北および西の沿岸では大きくなる傾向が見られる。 γ_T については太平洋岸でやや小さいが、おおむね 2～2.5 となっている。

以上を勘案すると、太平洋岸では常に波高 50 cm 程度の波浪が常時来襲しており、その周期は関東地方南東岸よりも西では 5 秒前後であると言える。

表-2 Weibull 分布パラメーターの値

		H_0 (m)	H_0 (m)	γ_H	T_0 (s)	T_0 (s)	γ_T
紋別	別	0.00	0.87	1.15	0.00	6.26	2.27
留萌	萌	0.00	0.96	1.12	0.00	5.47	2.30
酒田	田	0.05	1.08	1.06	0.00	6.12	3.23
金沢	沢	0.15	0.99	1.00	2.00	4.29	2.31
浜田	田	0.15	0.97	1.14	1.00	5.38	3.04
藍島	島	0.15	0.40	0.97	2.00	3.15	2.23
端島	島	0.00	0.22	0.62	0.00	6.11	1.67
名瀬	瀬	0.20	0.89	1.10	1.00	5.84	3.58
那覇	覇	0.10	0.94	1.16	0.00	6.79	3.26
釧路	路	0.40	0.50	0.93	2.50	4.84	2.03
苫小牧	牧	0.15	0.65	1.15	2.00	3.87	1.68
小川原	原	0.40	0.61	0.99	2.50	5.20	2.25
八戸	戸	0.40	0.47	0.89	3.00	4.59	2.11
釜石	石	0.40	0.40	0.84	1.00	7.57	3.72
鹿島	島	0.45	1.04	1.25	4.50	3.96	1.99
波浮	浮	0.65	0.98	1.28	5.00	2.81	1.77
浜金谷	谷	0.20	0.44	1.12	2.50	2.80	1.49
潮ノ岬	岬	0.15	0.37	0.82	5.50	4.33	2.09
油津	津	0.40	0.67	0.94	4.50	3.38	1.98
中城	城	0.40	0.66	0.99	4.50	3.16	2.04

3.2 波浪の継続時間の分布特性

前報³⁾においては、 $H_{1/3}=3\text{m}$ に対する超過継続時間、 $H_{1/3}=1\text{m}$ に対する未超過継続時間に関連した沿岸分布を示し、海域別の特性を論じた。

ここでは、工学的な活用を目的として波高レベルと超

過および未超過の平均継続日数の関係についての調査結果を紹介する。

表-3 超過に対する平均継続時間と波高レベルの関係

地点名	α_s	β_s	相関係数
紋別	1.015	-0.859	0.9637
留萌	1.254	-1.202	0.9595
酒田	1.713	-1.196	0.9810
(弾崎)	2.166	-1.445	0.9400
(輪島)	2.079	-1.330	0.8925
金沢	1.672	-1.126	0.9691
浜田	1.545	-1.333	0.9640
藍島	0.673	-1.238	0.9088
端島	0.535	-0.637	0.7244
名瀬	1.408	-1.294	0.9394
那覇	1.265	-1.205	0.9666
釧路	0.821	-0.958	0.9474
苫小牧	0.662	-1.025	0.9410
小川原	1.261	-1.251	0.9070
八戸	0.883	-0.924	0.8673
釜石	1.252	-1.273	0.8667
(仙台)	0.745	-0.737	0.9112
鹿島	1.529	-1.185	0.9279
波浮	1.280	-1.341	0.9833
浜金谷	0.453	-1.104	0.9761
潮ノ岬	0.495	-0.600	0.8818
油津	0.926	-0.597	0.8101
中城	1.008	-0.646	0.9782

表-4 未超過に対する平均継続時間と波高レベルの関係

地点名	α_c	β_c	相関係数
紋別	2.134	0.878	0.9805
留萌	1.789	0.786	0.9937
酒田	1.922	0.677	0.9542
(弾崎)	1.517	0.783	0.9919
(輪島)	1.564	0.932	0.9761
金沢	1.750	0.724	0.9937
浜田	1.713	0.887	0.9822
藍島	2.986	0.802	0.9696
端島	3.734	0.532	0.9909
名瀬	1.403	1.250	0.9996
那覇	1.575	1.039	0.9947
釧路	1.763	1.209	0.9756
苫小牧	2.144	1.017	0.9273
小川原	1.544	1.288	0.9862
八戸	1.590	1.164	0.9462
釜石	1.996	1.156	0.9830
(仙台)	1.871	1.133	0.9638
鹿島	0.864	1.487	0.9967
波浮	0.422	1.952	0.9980
浜金谷	2.534	0.907	0.9390
潮ノ岬	2.690	0.695	0.9818
油津	1.447	1.266	0.9933
中城	1.611	1.185	0.9799

Lawson と Abernethy⁵⁾

は、波高レベル $H_{1/3}$ とその超過に対する平均継続時間(日数単位)

$$D = \alpha H_{1/3}^{\beta}$$

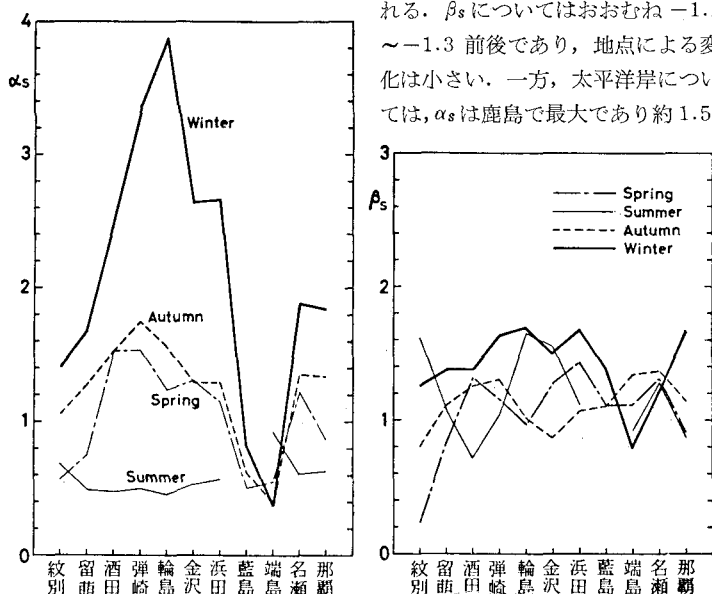
……(3)

で与え、オー

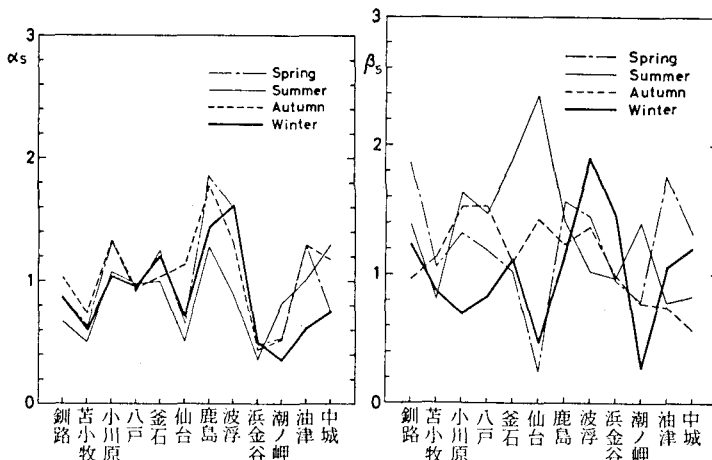
ストラリアの東海岸の観測データによると $\alpha=7$, $\beta=-2$ でよく近似される結果が得られたと報告している。

本稿においても上式を採用し、波高レベルと(未)超過平均継続日数の関係を近似することとした。式(3)から明らかなように、 α は $H_{1/3}=1\text{m}$ に対する超過および未超過の平均継続日数を表わす。なお、ここでは超過および未超過に対してパラメーターを区別するために、それぞれに対応するパラメーターに s, c のサフィックスを付すこととした。表-3 および 表-4 には、それぞれ超過および未超過に対するパラメーターの値を示す。

表-3 によると、日本海沿岸および東シナ海沿岸では、 α_s は日本海の中中部沿岸で大きく 1.7 程度以上で、これよりも北および西の沿岸ほど小さくなる傾向がみられる。 β_s についてはおおむね -1.2 ~ -1.3 前後であり、地点による変化は小さい。一方、太平洋岸については、 α_s は鹿島で最大であり約 1.5、



(1) オホーツク海～日本海～東シナ海



(2) 太平洋岸

図-7 超過継続時間に対するパラメーターの季節変化

これよりも北および南の沿岸では小さくなる傾向がある。 β_s については、日本海沿岸と同じく、おおむね-1.2~-1.3となっている。

表-4によると、日本海沿岸では、 α_c は1.7~1.9、 β_c は0.7~0.9と地点による変化はかなり小さい。一方、太平洋岸の、

α_c については、最も小さい波浮の約0.4から最も大きい釜石の約2.0まで、それぞれの地点によりかなり変動している。 β_c

についても関東地方の南東岸が他の沿岸と異なった特性を示しており、波浮約2.0、鹿島約1.5と大きい、他の地点ではいずれもほぼ1.2前後となっている。表-3と表-4の比較によると、超過に対するよりも未超過に対する方がやや相関が高い。

以上は通年のデータに対して得られた結果であるが、この種の結果は季節によりかなり変わることが予想される。図-7には季別のデータに対して得られた α_s 、 β_s の値を示す。なお、 β_s については負の値となるが、図には絶対値を示している。これによると α_s および β_s は共に日本海沿岸で季別の変動が大きい、太平洋岸では特に α で変動が小さい。また、水圧式波高計で観測している地点では波高レベルに対する平均継続時間の変化が小さくなる傾向がみられる。

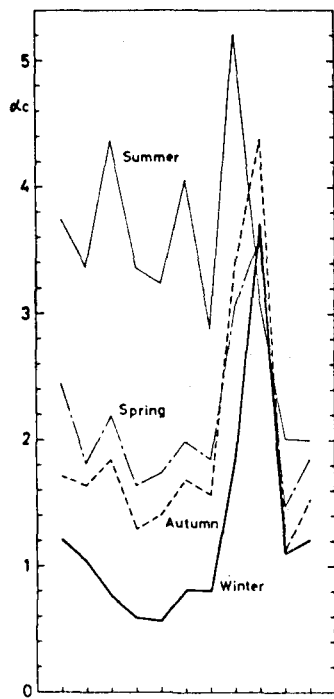
図-8には各地点における α_c および β_c の季別の変化を示す。この結果も図-7に示す α_s 、 β_s に対する結果と同じく、太平洋岸に比べて日本海沿岸で季節変化が大きい傾向はみられるが、 β_c については日本海沿岸および太平洋岸のいずれにおいても β_s に比べてかなり季節変化が小さい。

4. あとがき

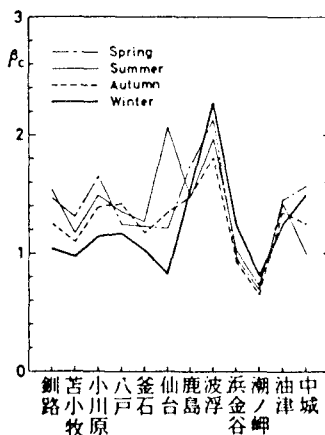
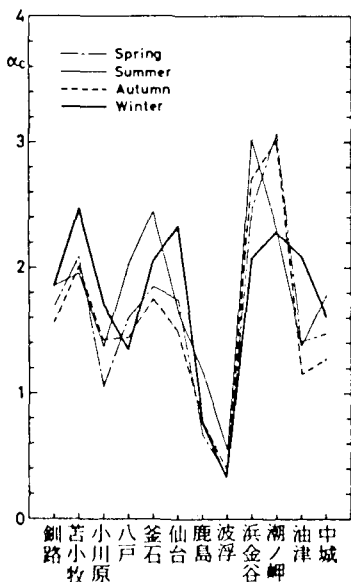
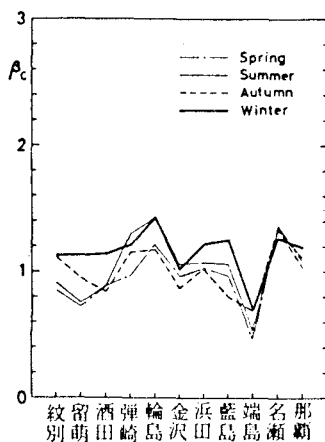
本稿においては、前報³⁾に引き続き、波候の統計量の沿岸分布の特性を示した。波浪の出現特性を論ずるためには多種多様な資料が必要であり、また種々のアプローチが考えられる。今後、引き続き調査・研究を進め、とりまとめたいたいと考えている。

参考文献

- 1) 高橋智晴ほか：波浪に関する拠点観測年報，港湾技研資料，No. 137, 158, 178, 201, 209, 233, 258, 286, 311, 332.
- 2) 高橋智晴ほか：たとえば，波浪に関する拠点観測10か年統計，港湾技研資料，No. 401, 711 p., 1981.
- 3) 広瀬宗一・高橋智晴：沿岸波浪の出現特性，第29回海岸工学講演会論文集，pp. 11~15, 1982.
- 4) 高橋智晴・菅原一晃・広瀬宗一：沿岸波浪観測施設台帳，港湾技研資料，No. 418, 286 p., 1982.
- 5) Lawson, N. V. and C. L. Abernethy: Longterm wave statistics off Botany Bay, Proc. 2nd Australian Conf. on Coastal and Ocean Engg., pp. 167~176, 1975.



(1) オホーツク海~日本海~東シナ海



(2) 太平洋岸

図-8 未超過継続時間に対するパラメーターの季節変化