

長期観測データによる日本沿岸の波候特性の検討

永井紀彦*・清水勝義**・菅原一晃***
橋本典明****・久高将信*****

1. はじめに

沿岸波浪観測網の開始後 25 年が経過し、その観測データの蓄積も次第に充実されつつある。本研究は、長期間の日本沿岸波浪観測記録をとりまとめ、沿岸波浪の海域別出現特性を考察したものである。(永井ら (1993a))

2. 検討対象地点および期間

表一1に検討対象とする観測地点と期間を示す。期間は、各地点について観測開始後 1994 年末までの全データを対象とすることを原則としたが、観測条件の大幅な変更があった場合は、新しい観測条件のデータのみを対象とした。期間中の有義波諸元は既刊の波浪観測年報等できとりまとめたものを用いた。(永井ら (1993b), (1996))

3. 対数有義波高の出現分布

図一1は、日本海側および太平洋側における、観測有義波高の対数値の出現分布例を示したものである。横軸には標準偏差σで正規化した波高階級を、縦軸には各階級毎の出現頻度を示した。図中には同じ平均値と標準偏差を持つ正規分布曲線を示している。有義波高の出現分布は両海域に共通して正規分布に近いものとなっている。

表一2は、各観測地点における対数有義波高の出現分布特性を、その平均値、標準偏差、歪度、尖鋭度の値に注目してとりまとめたものである。

表一3は、この4パラメータをもとに主成分解析をした結果を示し(例えばケンドール (1972)), 4パラメータの固有ベクトルを求め、各成分の寄与率を示したものである。第1主成分の寄与率は66%と非常に高い。

図一2は、第1および第2主成分の寄与率を、各地点毎に、それぞれ横軸と縦軸に図示したものである。第1主成分のスコアは、日本海側で負、太平洋側で正の値をそれぞれ示しており、両海域の間にきわめて特徴的な有義

波高の出現特性の相違があることがわかる。

4. 対数有義波高の経年・季節変動

図一3は、月平均有義波高の変動例を示したものである。縦軸には月平均有義波高(m単位)の自然対数を示している。ここでは、信頼性の高い月平均値だけを検討

表一1 検討対象とする観測地点と検討対象期間

観測地点	検討対象期間	観測数
日本海側		
留萌	1980.10.21.20:—1994.12.31.22:	59475
深浦	1980.1.1.0:—1994.12.31.22:	60896
酒田	1973.9.20.20:—1994.12.31.22:	73252
輪島	1979.1.13.12:—1994.12.31.22:	65957
金沢	1970.1.1.2:—1994.12.31.22:	92417
鳥取	1979.9.27.10:—1994.12.31.22:	59875
浜田	1974.3.14.12:—1994.12.31.22:	72929
藍島	1975.4.7.14:—1994.12.31.22:	79425
名瀬	1980.1.1.0:—1994.12.31.22:	57766
那覇	1974.1.1.8:—1994.12.31.22:	76390
太平洋側		
苫小牧	1982.3.31.10:—1994.12.31.22:	55390
むつ小川原	1974.4.16.14:—1994.12.31.22:	87933
八戸	1973.3.24.16:—1994.12.31.22:	82128
釜石	1978.3.15.0:—1994.12.31.22:	64219
仙台南港	1979.1.27.18:—1994.12.31.22:	60562
常陸那珂	1980.1.1.0:—1994.12.31.22:	59722
波浮	1973.4.11.10:—1994.12.31.22:	74420
潮岬	1987.1.23.16:—1994.12.31.22:	33265
志布志湾	1980.4.11.16:—1994.12.31.22:	60750
中城湾	1973.11.29.14:—1994.12.31.22:	80121

表一2 各観測地点における対数有義波高の出現特性

地点名	平均値	標準偏差	歪度	尖鋭度
1. 留萌	-.2684	.8863	-.1640	2.2120
2. 深浦	-.1470	.8349	.0507	2.1987
3. 酒田	-.1427	.8667	-.0721	2.1687
4. 輪島	-.1176	.7995	-.0744	2.3174
5. 金沢	-.2325	.8485	.0264	2.3106
6. 鳥取	-.1805	.7986	-.1408	2.2762
7. 浜田	-.1261	.7639	-.1495	2.3874
8. 藍島	-.7052	.6370	.2193	2.3332
9. 名瀬	-.0746	.6640	.0927	2.4203
10. 那覇	-.2518	.7218	.0558	2.3563
11. 苫小牧	-.4494	.6009	.2324	2.7442
12. むつ小川原	-.0049	.5601	.3621	2.8025
13. 八戸	-.2026	.5397	.4005	3.0018
14. 釜石	-.3274	.5614	.4379	2.7829
15. 仙台南港	-.3566	.5342	-.0001	3.0608
16. 常陸那珂	.0741	.4482	.3064	2.8961
17. 波浮	.3282	.3978	.2284	2.9238
18. 潮岬	-.0092	.5125	.4794	2.9830
19. 志布志	-.6365	.5743	.6205	3.4104
20. 中城湾	-.0189	.4903	.4286	3.3528

* 正会員 運輸省港湾技術研究所水工部海象調査研究室長
** 正会員 (前)運輸省港湾技術研究所水工部主任研究官
(現)運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所次長
*** 正会員 運輸省港湾技術研究所水工部主任研究官
**** 正会員 工博 運輸省港湾技術研究所海洋環境部水理研究室長
***** 正会員 (株)エコー 波浪プロジェクト室長

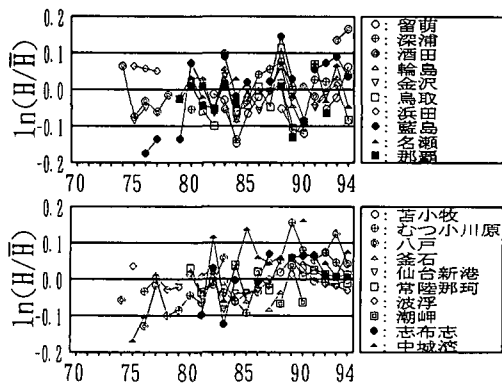


図-4 各観測地点の経年波高変動

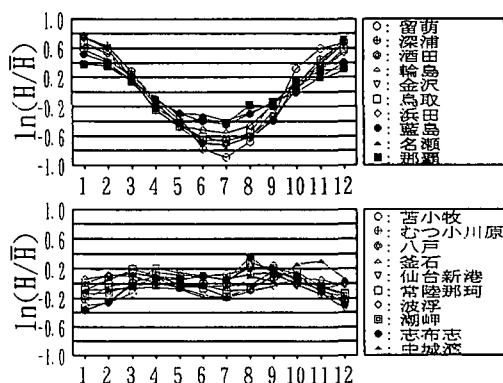


図-5 各観測地点の月別波高変動 (累年平均)

ある。こうした超過率の大小という観点からも、波浪の特異日の抽出を試みる事ができる。例えば、7月20日の海の記念日前後の数日間は、全国的に各観測地点で平均波高超過率が低くなっており、低波浪特異日と考えられている。(永井ら (1993a))

表-4 は、日本海側および太平洋側の各10観測地点における検討対象期間中上位30位までの高浪記録回数を、日別に各観測地点通算してとりまとめたものである。ここでは、ナウファス波浪観測年報(永井ら (1993b))などに準拠して、観測地点ごとに経験的に定められた有義波高の基準値をもとに、高波期間を、基準値を超えてから

基準値以下になるまでの期間として定義している。

日本海側の高波の記録は月平均波高が最も高い1月よりもむしろその前後の12月および2月に多く見られることは、極めて興味深い。太平洋側では、各月に高波の出現が見られるため、特定日への集中も、日本海側ほど顕著ではない。

このように、①日平均有義波高の変動、②基準波高超過未超過率、③高波の出現記録の3指標を用いることによって、波浪の特異日に関する検討が可能となる。

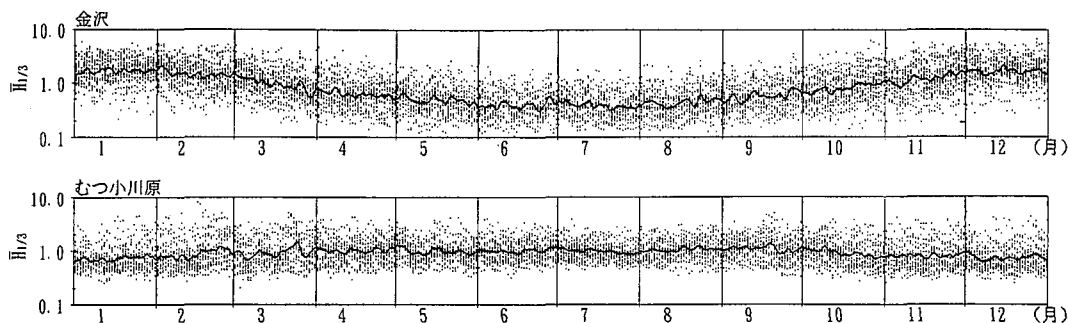


図-6 日平均波高の変動例 (金沢・むつ小川原)

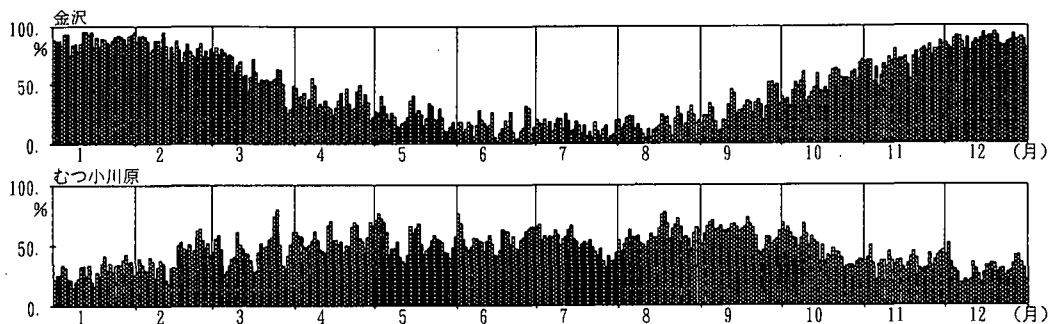


図-7 日別累年平均波高超過率 (金沢・むつ小川原)

表一4 日別高波記録回数 (日本海側・太平洋側)

(1) 日本海側各地点累計上位 30 位高波期間日別高波記録回数																															
日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1月	3	5	5	7	7	8	6	6	5	5	5	8	9	11	12	9	8	9	7	7	6	3	4	5	4	3	6	8	10	10	16
2月	11	15	14	12	12	3	3	2	4	4	4	1	1	2	6	9	10	10	9	9	11	12	15	20	20	14	11	8	1		
3月	4	2	2	0	0	2	3	4	1	1	0	1	0	1	1	3	7	6	4	1	2	2	0	1	1	1	1	0	0	0	1
4月	1	0	0	0	0	0	0	0	1	5	5	3	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5月	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6月	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7月	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8月	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	3	1	1	0	0	1	1	0	0	2
9月	2	1	1	2	1	0	0	0	2	3	4	5	3	3	2	1	1	1	2	2	1	1	2	2	2	3	4	8	6	2	
10月	1	0	1	2	2	3	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	2	4	5	9	12	10	7	7	4	3	5
11月	5	5	1	0	1	1	0	0	0	9	9	7	2	1	1	5	8	12	16	15	13	9	14	13	10	8	5	6	6	6	
12月	13	16	20	16	12	8	8	3	2	2	6	12	10	12	12	8	10	9	11	8	11	13	10	14	15	23	21	18	11		

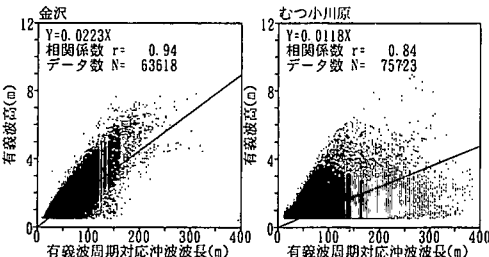
(2) 太平洋側各地点累計上位 30 位高波期間日別高波記録回数																															
日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1月	0	1	1	2	2	2	0	0	0	0	0	1	2	1	4	3	5	7	6	6	4	4	5	6	7	7	7	8	5	2	2
2月	6	6	8	7	6	5	4	1	7	6	7	2	0	1	5	4	13	14	16	15	8	6	7	9	9	8	7	7	2		
3月	5	5	4	3	1	2	3	3	3	4	5	6	3	2	2	0	1	1	2	7	9	12	14	14	11	7	3	2	2	2	3
4月	3	3	4	4	3	2	1	4	4	3	0	1	2	2	1	1	1	4	2	4	3	2	1	1	1	1	2	1	2	3	
5月	2	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	2	2	2	1	1	1	3	2	3	3	1	1	1	1	1	1	1	0
6月	1	2	2	2	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	3	1	4	5	4	4	4	0	0	
7月	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	2	2	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	2	2	5	8	9	9	10	9
8月	9	7	5	5	4	5	9	7	11	10	9	6	8	8	9	12	9	8	9	9	10	9	12	12	9	11	12	11	10	10	10
9月	9	6	5	5	3	3	4	4	7	10	7	10	8	9	9	11	14	17	17	13	11	9	8	7	7	6	8	9	11	9	
10月	7	4	4	8	10	11	14	14	12	13	11	9	11	7	6	6	8	9	11	10	8	11	10	7	5	4	4	2	1	1	3
11月	3	3	2	5	5	6	4	2	3	4	4	3	3	3	2	1	0	0	0	1	1	1	2	2	2	1	1	4	5	7	
12月	7	7	4	1	1	0	0	0	0	0	2	2	1	1	1	1	1	2	3	3	0	1	2	4	4	5	4	3	3	3	3

6. 波高・周期の結合出現分布特性

周期は、波高とともに波浪の特性を記述する重要な諸元であるが、常に波高と結びつけた解析を必要とする。

波形勾配に注目した有義波高と有義波周期の結合出現特性の検討例を図一8に示す。図中には、有義波高 50 cm 以上の全データを対象として、縦軸に有義波高を、横軸に有義波周期に対応する波長をプロットし、原点通過を仮定した回帰直線の勾配とその相関係数を示している。

プロットは、どちらの図でも 2 本の直線に挟まれた範囲となっている。上方の右上がりの直線は、波形勾配 0.04 程度に対応し、発達中の風波の波形勾配と考えられる。すなわち、これより下側のプロットは、波高の減衰の影響を受けたうねり性の波浪状態を意味する。日本海側と太平洋側を比較すると、後者は前者に比較してうね



図一8 波高周期の結合分布例 (金沢・むつ小川原)

り性の波浪状態がより多く見られるため、代表的波形勾配が小さくなっている。

同様の検討を各観測地点について実施した結果、代表的波形勾配は、名瀬・那覇の 2 観測地点を除く日本海側ではすべて 0.02 以上であったのに対して、太平洋側では 10 地点すべてで 0.02 以下の値であった。

7. 高・低波浪の継続時間特性

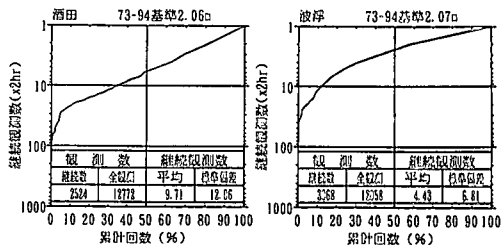
有義波高を、基準値とともに、低波浪状態、常時波浪状態、および高波浪状態の 3 種類に分類した上で、高・低波浪状態の継続時間特性と、低波浪状態から高波浪状態への推移時間特性の検討結果を以下に示す。

こうした検討は、高波継続時間では報告例があるものの(山口ら(1994)), 静穏状況継続時間や、低波浪から高波浪への立ち上がり時間特性については、極めて例が少ない。

ここでは、波浪状態の分類は図一1で求めた基準を用い、観測地点別の有義波高の対数値が、平均値マイナス標準偏差以下の有義波高である状態を低波浪状態、平均値プラス標準偏差以上の有義波高である状態を高波浪状態と定義した。ナウファスの波浪観測は 2 時間毎なので、継続時間は観測数で示し、欠測のない連続した観測結果だけを検討対象とした。

図一9は、高波浪状態の継続観測数についての累積出現分布を図化した例である。縦軸には対数軸で高波浪状態の継続観測数を示し、横軸には総継続観測数をもとにした累積回数 (%) を示している。

表一5は、各観測地点毎の基準有義波高、高波浪状態の



図一9 高波浪の継続時間の出現頻度分布 (酒田・波浮)

表-5 高波浪の継続時間特性

地点名	基準有義波高	平均継続観測数	標準偏差
留萌	1.86 m	8.08	10.54
深浦	1.99 m	9.75	11.70
酒田	2.06 m	9.82	12.29
輪島	1.98 m	9.43	12.37
金沢	1.85 m	9.48	12.30
鳥取	1.86 m	8.79	10.42
浜田	1.89 m	8.11	11.32
藍島	0.98 m	8.08	9.95
名瀬	1.80 m	8.48	10.05
那覇	1.60 m	8.26	10.52
苫小牧	1.16 m	7.42	9.43
むつ小川原	1.59 m	8.27	11.87
八戸	1.40 m	9.89	15.29
釜石	1.26 m	7.87	14.07
仙台新港	1.19 m	7.20	8.94
常陸那珂	1.69 m	7.11	11.52
波浮	2.07 m	4.43	6.81
潮岬	1.65 m	6.25	9.09
志布志	0.94 m	7.48	9.97
中城湾	1.60 m	8.56	15.25

表-7 低波浪から高波浪への立ち上がり時間特性

地点名	基準有義波高 (低) (高)	平均立ち上がり 観測数	標準偏差	事例数
留萌	0.32 m 1.86 m	10.90	8.61	86
深浦	0.37 m 1.99 m	11.28	7.32	125
酒田	0.36 m 2.06 m	7.63	5.90	52
輪島	0.40 m 1.98 m	13.12	8.61	114
金沢	0.34 m 1.85 m	11.71	8.02	94
鳥取	0.38 m 1.86 m	11.12	8.85	118
浜田	0.41 m 1.89 m	10.89	8.53	44
藍島	0.25 m 0.98 m	9.02	8.23	218
名瀬	0.48 m 1.80 m	10.40	7.93	177
那覇	0.38 m 1.60 m	11.30	8.92	100
苫小牧	0.35 m 1.16 m	9.39	8.84	189
むつ小川原	0.52 m 1.59 m	13.13	8.60	56
八戸	0.48 m 1.40 m	11.11	8.09	56
釜石	0.41 m 1.26 m	16.68	9.57	38
仙台新港	0.41 m 1.19 m	13.57	10.03	69
常陸那珂	0.69 m 1.69 m	14.58	9.17	148
波浮	0.93 m 2.07 m	10.81	7.96	149
潮岬	0.59 m 1.65 m	10.83	9.03	77
志布志	0.30 m 0.94 m	10.38	6.40	56
中城湾	0.60 m 1.60 m	17.52	8.91	40

表-6 低波浪の継続時間特性

地点名	基準有義波高	平均継続観測数	標準偏差
留萌	0.32 m	7.77	11.06
深浦	0.37 m	7.53	9.78
酒田	0.36 m	8.42	10.67
輪島	0.40 m	8.65	13.14
金沢	0.34 m	7.98	9.82
鳥取	0.38 m	9.06	12.34
浜田	0.41 m	8.58	11.90
藍島	0.25 m	4.96	6.33
名瀬	0.48 m	6.58	10.22
那覇	0.38 m	6.47	9.86
苫小牧	0.35 m	6.20	7.19
むつ小川原	0.52 m	5.19	7.66
八戸	0.48 m	4.27	5.38
釜石	0.41 m	5.45	8.28
仙台新港	0.41 m	8.62	15.05
常陸那珂	0.69 m	6.16	8.73
波浮	0.93 m	4.27	5.61
潮岬	0.59 m	5.25	6.31
志布志	0.30 m	4.50	5.62
中城湾	0.60 m	7.21	15.31

平均継続観測数およびその標準偏差を示したものである。基準波高がほぼ等しい酒田と波浮を比較すると、高波浪状態の継続時間には大きな差が見られ、酒田の平均継続観測数は波浮の2倍以上となっている。

表-6は、低波浪状態の平均継続観測数およびその標準偏差を示したものである。日本海側では、基準有義波高は非常に低い値となっているが、平均継続回数は4.96回から9.06回までの範囲で分布している。一方、太平洋側では、基準有義波高は高いにもかかわらず、平均観測数は日本海側と大きな差は見られない。これは、日本海沿岸では夏季期間を通じて低波浪状態が長時間継続するのに対して、太平洋沿岸ではうねりによって、低波浪状態の継続が制約されるためと考えられる。

表-7は、低波浪状態から高波浪状態への平均立ち上がり観測数、その標準偏差、および事例数（検討ケース数）を示したものである。ここでは3日間以内の高波浪

状態への立ち上がりを検討対象とした。事例数は、観測地点毎に最小が釜石の38ケース、最大が藍島の218ケースであり、長期の統計期間の割に比較的少ない。これは、欠測の影響によるものである。

太平洋側は日本海側に比べて、総じて平均立ち上がり観測数が若干大きい。太平洋側は、総じて低・高基準波高の差が比較的小さいにもかかわらず、こうした傾向が見られることは非常に興味深い。

8. おわりに

日本沿岸の長期波浪観測記録をとりまとめ、その海域別特性を考察し、3.から7.に示す極めて興味深い結果が得られた。ナウファスは各港湾建設局等の数多くの方に支えられている。ここに慎んで謝意を表する。

参考文献

- M. G. ケンドール著、浦 昭二・竹並輝之共訳 (1972): 多変量解析の基礎、(株)サイエンス社サイエンスライブラリ統計学 4, 160 p.
- 永井紀彦・菅原一晃・橋本典明・浅井 正 (1993a): 沿岸波浪の日変動特性と波浪の特異日、港研報告, 第32巻, 2号, pp. 115-152.
- 永井紀彦・菅原一晃・橋本典明・浅井 正 (1993b): 全国港湾海洋波浪観測20年統計 (NOWPHAS 1970~1989), 港研資料, No. 744, 247 p.
- 永井紀彦・清水勝義・菅原一晃・橋本典明 (1996): 全国港湾海洋波浪観測年報 (NOWPHAS 1994), 港研資料, No. 821, 312 p. この他、1990年, 1991年, 1992年, 1993年版の波浪観測年報は、港研資料, No. 721, 745, 770, 796を、各参照。
- 平山次清・渡辺 巖 (1992): 第1章環境条件、運動性性能研究委員会・第9回シンポジウム、日本造船学会, 50 p.
- 山口正隆・大福 学・畑田佳男・荒井雅人 (1994): 波の継続時間を考慮した波高の極値推定、海岸工学論文集, 第41巻, pp. 196-200.