

運輸省港灣技術研究所

# 港灣技術研究所 報告

---

---

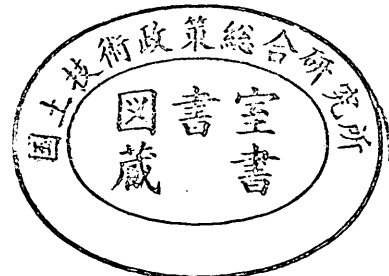
REPORT OF  
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH  
INSTITUTE

MINISTRY OF TRANSPORT

---

VOL. 32      NO. 2      JUNE 1993

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



# 港湾技術研究所報告 (REPORT OF P. H. R. I)

第32巻 第2号 (Vol. 32, No. 2) 1993年6月 (June, 1993)

## 目 次 (CONTENTS)

1. 三陸沿岸を対象とした津波数値計算システムの開発 ..... 後藤智明・佐藤一央 ..... 3  
(Development of Tsunami Numerical Simulation System for Sanriku  
Coast in Japan  
..... Chiaki GOTO and Kazuo SATO)
2. 沖波の方向スペクトルの出現特性 (第1報) - いわき沖の観測結果 -  
..... 永井紀彦・橋本典明・浅井 正 ..... 45  
(On the Properties of the Directional Wave Spectra Observed in Deep Seas  
- 1st Report: The Field Observation off Iwaki -  
..... Toshihiko NAGAI, Noriaki HASHIMOTO and Tadashi ASAI)
3. 沿岸波浪の日変動特性と波浪の特異日 ..... 永井紀彦・菅原一晃・橋本典明・浅井 正 ..... 115  
(Annual Fluctuation of the Observed Coastal Waves and Singularities of High  
and Low Wave Condition  
..... Toshihiko NAGAI, Kazuteru SUGAHARA, Noriaki HASHIMOTO and Tadashi ASAI)
4. 事前混合処理工法による処理土の静的土圧特性  
..... 善 功企・山崎浩之・館下 徹・長沢啓介 ..... 153  
(Static Earth Pressure Characteristics of Coment Treated Sand by  
Premixing Method  
... Kouki ZEN, Hiroyuki YAMAZAKI, Toru TACHISHITA and Keisuke NAGASAWA)
5. 低置換率 SCP 改良地盤中の矢板式岸壁の挙動 ..... 北詰昌樹・村上喜代治 ..... 183  
(Behavior of Sheet Pile Walls in the Improved Ground by Sand Compaction  
Piles of Low Replacement Area Ratio  
..... Masaki KITAZUME and Kiyohara MURAKAMI)
6. 費用便益分析による接岸ドルフィンの最適断面の評価 ..... 白石 悟・上田 茂 ..... 213  
(Evaluation of the Optimal Cross Section of Breasting Dolphins by use of  
Coast-benefit Analysis ..... Satoru SHIRAISHI and Shigeru UEDA)
7. マスコンクリートとしての温度履歴を受けたコンクリートの材料特性  
- 主に耐久性に着目したモルタルによる基礎実験 -  
..... 福手 勤・守分敦郎・鈴木康範 ..... 247  
(An Experimental Study on Mortars to Assess the Durability of Massive  
Concrete  
..... Tsutomu FUKUTE, Atsurou MORIWAKE and Yasunori SUZUKI)

### 3. 沿岸波浪の日変動特性と波浪の特異日

永井紀彦\*  
菅原一晃\*\*  
橋本典明\*\*  
浅井正\*\*\*

#### 要 旨

全国港湾海洋波浪観測20年統計 (NOWPHAS 1970-1989) で取りまとめた我国沿岸の波浪観測データをもとに、沿岸波浪の日変動特性を考察し波浪特異日の抽出を試みた。

検討対象観測地点としては、観測条件が比較的長期間一定となっている地点に注目することとし、日本海側 (東シナ海を含む) 9地点、太平洋側9地点を北海道から沖縄までの広い範囲に分布するように配慮して選定した。さらに外洋からのうねりが入射しにくい大阪湾内の観測地点である神戸港も検討に加えることとした。これらの19観測地点における10年~20年間の波浪観測データを、日平均有義波高 (毎日2時間毎の12回観測の平均有義波高) として取りまとめ整理した。検討対象日平均有義波高のデータ総数は、日本海側40,077データ、太平洋側41,203データ、神戸港4,704データである。

沿岸波浪の変動の時間的スケールを、経年変動 (平均波高の年別の変動)、月変動 (季節変化に対応する月毎の変動)、短期変動 (月内の日平均波高の変動) にわけて、それぞれの変動の大きさを定量評価した。日平均有義波高を対数値で取りまとめれば、その分布特性は神戸港のデータを除いては正規分布に近いものとなることを検証した上で、年別、月別、日別の平均値の偏差についてデータ総数と標準偏差を考慮したt検定を行った。この結果、沿岸波浪の変動スケールとしては季節変動が最も重要ではあるものの (特に日本海側)、経年および短期の変動も無視できるものではないことが示された。

経年変動を調べると、太平洋側で波浪が高く日本海側で低い年と、その逆の年がほぼ交互に出現していること、および、1980年から1989年までの10年間では、日本海側太平洋側ともに波高が増加しつつあるトレンドが見られることが明らかになった。

短期変動に注目し、いわゆる沿岸波浪の特異日 (高波浪特異日および低波浪特異日) の抽出を以下の3手法で行い、両海域それぞれの、高波浪特異日と低波浪特異日を5日程度づつ抽出した。

- ① 時系列図による抽出。
- ② 基準波高超過未超過確率による抽出。
- ③ 高波一覧表をもとにした抽出。

さらに、海の記念日である7月20日前後の数日間は、日本海側太平洋側とも、高波が発生しにくくなっていることも明かにされた。

比較的高波浪特異日と低高波浪特異日が近接している日を日本海側と太平洋側からそれぞれ2ケースづつ選定し、上記の特異日における波浪の出現状況を詳細に検討した。この結果、顕著な日平均波高の相違が、各波浪観測地点に共通して明かにされた。

キーワード: ナウファス, 全国港湾海洋波浪情報網, 波候統計, 波浪観測, 長期波浪統計

\* 海洋水理部 海象調査研究室長  
\*\* 海洋水理部 主任研究官  
\*\*\* 海洋水理部 海象調査研究室

### 3. Annual Fluctuation of the Observed Coastal Waves and Singularities of High and Low Wave Condition

Toshihiko NAGAI\*  
Kazuteru SUGAHARA\*\*  
Noriaki HASHIMOTO\*\*  
Tadashi ASAI\*\*\*

#### Synopsis

Since 1970, Ports and Harbour Research Institute (PHRI) has been cooperating with the Ports and Harbours Bureau, Ministry of Transport, and its associated agencies, on the Nationwide Ocean Wave information network for Ports and HarbourS (NOWPHAS), in order to clarify the characteristics of the coastal waves around Japan. The observed wave data obtained by the District Port Construction Offices of the same ministry has been collected to PHRI and analyzed.

This paper introduces several interesting facts obtained from the 20-year NOWPHAS wave data between 1970 and 1989.

By using the statistical 't' distribution theory, the quantities of the three different time scale fluctuations (long term, seasonal, and short term ones), are evaluated respectively. The result shows that although the seasonal fluctuation is the most dominant one among the three, the long term one and the short term one are also important.

From the view points of the short term fluctuation, particular high and low wave days in the year are picked up, by way of the three different methods. It is also clarified statistically that during several days around July 20th, the Memorial Day of Ocean in Japan, waves are relatively smaller at the both Japan Sea and Pacific Ocean coasts.

**Key Words :** NOWPHAS, Wave climate, Wave observation, Long term wave statistics

---

\* Chief, Marine Observation Laboratory, Marine Hydrodynamics Division  
\*\* Senior Research Engineer, Marine Hydrodynamics Division  
\*\*\* Member, Marine Observation Laboratory, Marine Hydrodynamics Division

## 目 次

### 要 旨

1. はじめに .....	119
2. 検討対象地点および期間 .....	119
3. 日平均波高の出現特性 .....	126
3.1 日平均波高の変動特性 .....	126
3.2 検討対象海域の分類 .....	127
3.3 日平均波高の出現分布 .....	131
4. 経年および年間の波高変動 .....	133
4.1 経年波高変動 .....	133
4.2 年間季節変動（月別波高変動） .....	135
5. 波浪の特異日の抽出 .....	136
5.1 時系列図による特異日の抽出 .....	136
5.2 超過未超過確立を用いた抽出指標 .....	138
5.3 高波出現記録を用いた抽出指標 .....	144
5.4 抽出された特異日における波浪状況 .....	146
6. ま と め .....	150
7. あとがき .....	151
参 考 文 献 .....	151
主 要 記 号 表 .....	152

## 1. はじめに

港湾局および各港湾建設局、北海道開発局、沖縄総合事務所の協力の下に、全国港湾海洋波浪情報網（NOWPHAS：Nationwide Ocean Wave information network Ports and HarbourS）の一環としての港湾技術研究所における全国波浪観測データの集中処理解析が1970年に始まってから、20年以上の歳月が経過した。この間、NOWPHASのデータは、毎年の波浪観測年報<sup>1)~2)</sup>、長期観測統計報<sup>3)~7)</sup>として取りまとめられ、港湾海岸事業の計画・調査・設計・施工ばかりではなく、広く海洋やウォーターフロントの開発や利用に供されている。

沿岸域における波浪の大きさは、その発生原因となる風すなわち気象変動に対応して常に変動を続けている。この変動を時間的スケールで見ると、年毎の平均値の変動として整理される数年あるいは数十年以上の周期を持つ長期変動、年間の季節変動によって生ずる年間変動、数日間程度の気象変動に対応する短期変動に大別することができる。これらの変動が重なりあって現実の波候変動が生じているわけであるが、温帯モンスーン地域に属し四季の変化が顕著である我国周辺においては、年間変動が最も顕著な変動であることがこれまでに明らかにされている<sup>28), 29)</sup>。たとえば、日本海側では、冬は波が高く夏は波が低い傾向が著しいことは、経験的にもNOWPHASの実測データからも明かである。

こうした年間変動が、長期変動や短期変動に比べて支配的であると考えれば、年により多少の差はあっても、毎年同じ時期には（あるいは同じ日には）同じような波浪特性がみられることになる。すなわち、NOWPHASの波浪観測データをもとに、統計的に波の高い時期（日）、波の低い時期（日）を明らかにすることが可能である。本研究は、全国港湾海洋波浪観測20か年統計（NOWPHAS 1970-1989）<sup>27)</sup>で取りまとめられた、長期間にわたって全国各港で観測された波浪データのうちから有義波高の値に注目して、沿岸波浪の日変動特性を明らかにし、高波浪特異日および低波浪特異日の抽出を試みるものである。

気象学の分野では、天気（気象）の特異日（たとえば、晴やすい日や雨が降りやすい日など）が、長年の観測データの上から既に検討されており、毎年の気象年鑑等の各種刊行物の中で紹介されている<sup>30)</sup>。これらの資料は、各種イベント等の開催日の設定などにあって広く活用されている。海上における工事、船舶の運行、漁業、レクリエーションなどにあっては、波浪は最も支配的かつ

特徴的な外力であるので、天気（気象）の特異日と同様に、波浪の特異日を考察検討することもまた、重要であり意義深いものであると考える。

## 2. 検討対象地点および期間

本研究の対象地点および期間を表-1に示す。表-1は、表-2に示す全国港湾海洋波浪観測20か年統計（NOWPHAS 1970-1989）<sup>27)</sup>の作成にあたって著者らを取りまとめたデータの一部となっている。検討対象地点として20か年統計に示される全地点を用いたわけではなく、その中より、データの測得期間が比較的長期間となっている地点だけを選定することとした。さらに、全国的な対象地点の分布を考えて、日本海側（東シナ海を含む）9地点、太平洋側9地点およびうねりが入射しにくい内湾の観測点として1地点（神戸港）を選定し、我国沿岸の広範囲な海域をカバーするように配慮した。

長期間の観測期間中には、表-2に示すように波高計の機種更新や地点移設が行われているが、表-1では、

表-1 解析対象観測地点と期間

地点名	対象期間
留明	1981年 4月 21日～1989年 12月 31日
深浦	1980年 1月 1日～1989年 12月 31日
酒田	1973年 9月 20日～1989年 12月 31日
輪島	1979年 1月 13日～1989年 12月 31日
金沢	1970年 1月 1日～1989年 12月 31日
鳥取	1979年 9月 27日～1989年 12月 31日
浜田	1974年 3月 14日～1989年 12月 31日
藍島	1975年 4月 7日～1989年 12月 31日
那覇	1974年 1月 2日～1989年 12月 31日
むつ小川原	1974年 4月 16日～1989年 12月 31日
八戸	1973年 3月 25日～1989年 12月 31日
釜石	1978年 3月 15日～1989年 12月 31日
仙台新港	1979年 1月 27日～1989年 12月 31日
常陸那珂	1980年 1月 1日～1989年 12月 31日
浜金谷	1972年 9月 5日～1989年 12月 31日
波浮	1973年 4月 11日～1989年 12月 18日
油津	1980年 1月 1日～1989年 12月 31日
中城湾	1974年 1月 1日～1989年 12月 31日
神戸	1975年 1月 8日～1989年 12月 31日

表-2 各観測地点の波高計設置条件(その1)

局名	整理番号	地点名	波高計機種	測定地点			集中処理期間	DMT 導時 入期
				水深 (m)	緯度 (北緯)	経度 (東経)		
一 建	1	秋田	AW USW, CWD, HP	700.0 29.5	40°00'30" 39°41'01"	139°35'30" 140°00'38"	81.10~88.09 88.09~現在	81.10
	2	酒田	PW USW SRW-V	15.0 20.4 45.0	38°56'35" 38°56'47" 39°00'20"	139°48'23" 139°47'58" 139°47'18"	69.11~73.09 73.09~89.09 89.09~現在	81.08
	3	弾崎	USW	54.0	38°20'39"	138°30'25"	78.10~88.12	78.10
	4	阿賀沖	SRW SRW-V	80.0 80.0	38°02'57" 38°02'57"	139°06'33" 139°06'33"	80.01~81.03 82.01~87.06	80.01
	5	新潟西	USW USW, CWD, HP	22.7 22.7	37°58'47" 37°58'46"	139°05'19" 139°05'20"	74.01~82.10 82.10~現在	82.10
	6	輪島	USW USW, CWD, HP	50.0 50.0	37°25'40" 37°25'40"	136°54'19" 136°54'19"	79.01~90.08 90.08~現在	79.01
	7	金沢	USW USW	20.0 20.2	36°38'08" 36°36'32"	136°35'25" 136°34'18"	70.01~71.05 71.11~現在	80.11
	8	福井	USW USW, CWD, HP	21.3 21.3	36°12'39" 36°12'39"	136°06'44" 136°06'44"	80.09~89.01 89.01~現在	80.09
二 建	9	深浦	USW USW	30.0 49.6	40°38'49" 40°39'25"	139°55'11" 139°54'57"	79.12~81.08 81.08~現在	79.12
	10	むつ小川原	USW	49.0	40°55'20"	141°25'40"	74.04~現在	79.12
	11	八戸	SGW USW USW, CWD, HP	16.7 21.0 28.0	40°32'47" 40°33'10" 40°33'29"	141°33'41" 141°33'35" 141°34'19"	71.03~73.03 73.03~88.11 88.11~現在	79.12
	12	宮古	USW	23.3	39°38'13"	141°59'20"	81.07~現在	81.07
	13	釜石	USW USW USW	49.0 43.0 49.0	39°15'44" 39°15'45" 39°15'44"	141°56'19" 141°56'17" 141°56'19"	78.03~80.12 81.08~83.02 83.06~現在	78.03
	14	仙台新港	USW, CWD	20.0	38°14'44"	141°04'09"	79.01~現在	79.02
	15	相馬	USW, CWD	16.0	37°51'19"	140°59'05"	82.08~現在	82.08
	16	小名浜	USW USW, CWD, HP	19.0 19.0	36°54'47" 36°54'47"	140°55'04" 140°55'04"	80.01~87.03 87.03~現在	80.01
	17	常陸那珂	USW, CWD USW, CWD, HP	30.0 30.0	36°23'24" 36°23'24"	140°39'36" 140°39'36"	79.12~84.01 84.01~現在	79.12
	18	鹿島	USW USW, CWD, HP	22.0 23.4	35°55'25" 36°23'24"	140°44'12" 140°39'36"	72.04~89.07 89.07~現在	79.12
	19	浜金谷	USW	22.0	35°10'36"	139°47'48"	72.09~現在	79.10
	20	波浮	USW	49.3	34°40'22"	139°27'18"	73.04~現在	79.12
三 建	21	潮岬	PW USW	12.8 50.5	33°26'10" 33°25'47"	135°45'16" 135°45'00"	70.08~87.01 87.01~現在	80.01
	22	御坊沖	AW	170.0	33°40'00"	135°00'00"	83.12~現在	83.12
	23	高知沖	AW	120.0	33°15'24"	133°30'06"	80.09~89.10	81.01
	24	鳥取	USW	30.0	35°33'00"	134°10'00"	79.09~現在	79.12
	25	浜田	USW	51.0	34°54'07"	132°02'21"	74.03~現在	80.11
	26	神戸	USW USW	13.0 17.0	34°40'27" 34°38'39"	135°15'47" 135°16'46"	71.05~73.07 74.09~現在	78.11

表-2(2) 各観測地点の波高計設置条件(その2)

局名	整理番号	地点名	波高計機種	測定地点			集中処理期間	DMT 導入 時期
				水深 (m)	緯度 (北緯)	経度 (東経)		
四 建	27	油津	USW	50.0	31°33'24"	131°26'31"	75.03~76.01	80.03
			USW	45.0	31°33'33"	131°26'19"	76.08~83.08	
			USW	48.5	31°33'27"	131°26'32"	85.04~91.03	
	28	志布志湾	USW	35.0	31°24'51"	131°06'55"	80.04~現在	80.04
	29	名瀬	USW	50.0	28°27'00"	129°31'35"	77.03~現在	80.03
	30	伊王島	SGW USW	24.0 50.0	32°42'55" 32°43'09"	129°45'27" 129°45'07"	74.12~81.06 82.11~現在	80.04
五 建	31	玄界灘	USW	51.7	33°50'50"	130°20'05"	80.08~80.10	80.08
			USW, AD, HP	45.0	33°48'28"	130°16'49"	83.08~	
	32	藍島	USW	20.7	34°00'34"	130°47'36"	75.04~現在	80.03
北 開	33	下田	USW	50.0	34°38'36"	138°57'22"	88.04~現在	88.04
	34	御前崎	USW	17.0	34°37'55"	138°14'17"	88.04~現在	88.04
局	35	苦小牧	SRW	13.3	42°36'36"	141°36'21"	70.01~77.03	82.04
			USW	24.5	42°35'34"	141°42'15"	77.04~82.03	
			USW	50.7	42°32'30"	141°26'59"	82.03~現在	
局	36	瀬棚	USW	24.0	42°26'46"	139°50'06"	80.01~82.11	82.12
			USW	52.9	42°26'30"	139°49'16"	82.11~現在	
局	37	留明	SRW	12.0	43°55'27"	141°37'20"	70.01~78.03	81.04
			USW	27.0	43°56'00"	141°36'40"	78.04~81.03	
			USW	50.0	43°51'50"	141°28'20"	81.04~現在	
局	38	紋別	USW	18.0	44°23'00"	143°20'48"	75.01~84.07	84.09
			USW	52.0	44°24'58"	143°26'00"	84.09~現在	
沖 総 局	39	中城湾	USW	53.0	26°13'20"	127°56'36"	73.11~81.08	73.11
			USW	55.0	26°14'14"	127°58'10"	81.08~83.03	
			USW	50.0	26°14'15"	127°58'10"	83.04~現在	
局	40	那覇	USW USW	33.0 51.0	26°15'10" 26°15'19"	127°39'12" 127°38'56"	73.07~73.09 73.09~現在	73.07

各観測地点における検討対象期間を、なるべく同一な条件で波浪データが測得されている期間だけに限定した。すなわち、直接の表面波形を測定していない水圧式波高計による観測データは除くこととしている。ただし、表面波形を直接測定する波高計機種(多くは超音波式波高計)の変更や若干の地点移設に関しては、データの質的な違いは小さいと考え、通算して検討対象期間に含めることとした。

NOWPHASにおける波浪観測は、2時間毎に20分間のデータサンプリングを行い有義波高等の波浪諸元を算出している。毎回の観測におけるデータサンプリング間隔は0.5秒間であり1回の観測で2400の水面上下変動データが取得されている。本研究では、特異日の抽出を目的としているため、日単位の代表値として日平均有義波高を用いることとした。欠測がなければ、各地点とも毎日

12回の観測が行われることになり、この12回の各観測の有義波高の平均値を代表値とした。12回とも欠測であった場合には、その日は欠測日として定義することとした。表-1の対象地点における全観測日平均有義波データ数は、85,984データとなったが、この値を地点数19と1年間当たりの日数365日(4年に1回のうろうう年に限っては366日になるが)で除して、欠測期間を除いた平均データ測得年数を求めると、12.4年間となる。

日平均有義波高の出現範囲は、0m以上無限大まで(本研究の範囲では最大値は、油津港1980年9月11日の8.97m)の間に分布することとなる。最多出現頻度帯は、地点によって異なるが、0.25m~1.5m程度であり、下限値は0に限定され(当然のことながら負の値はあり得ない)、上限側には最大8.97mまで分布する非対象な分布となっており、統計解析上必ずしも便利な形と



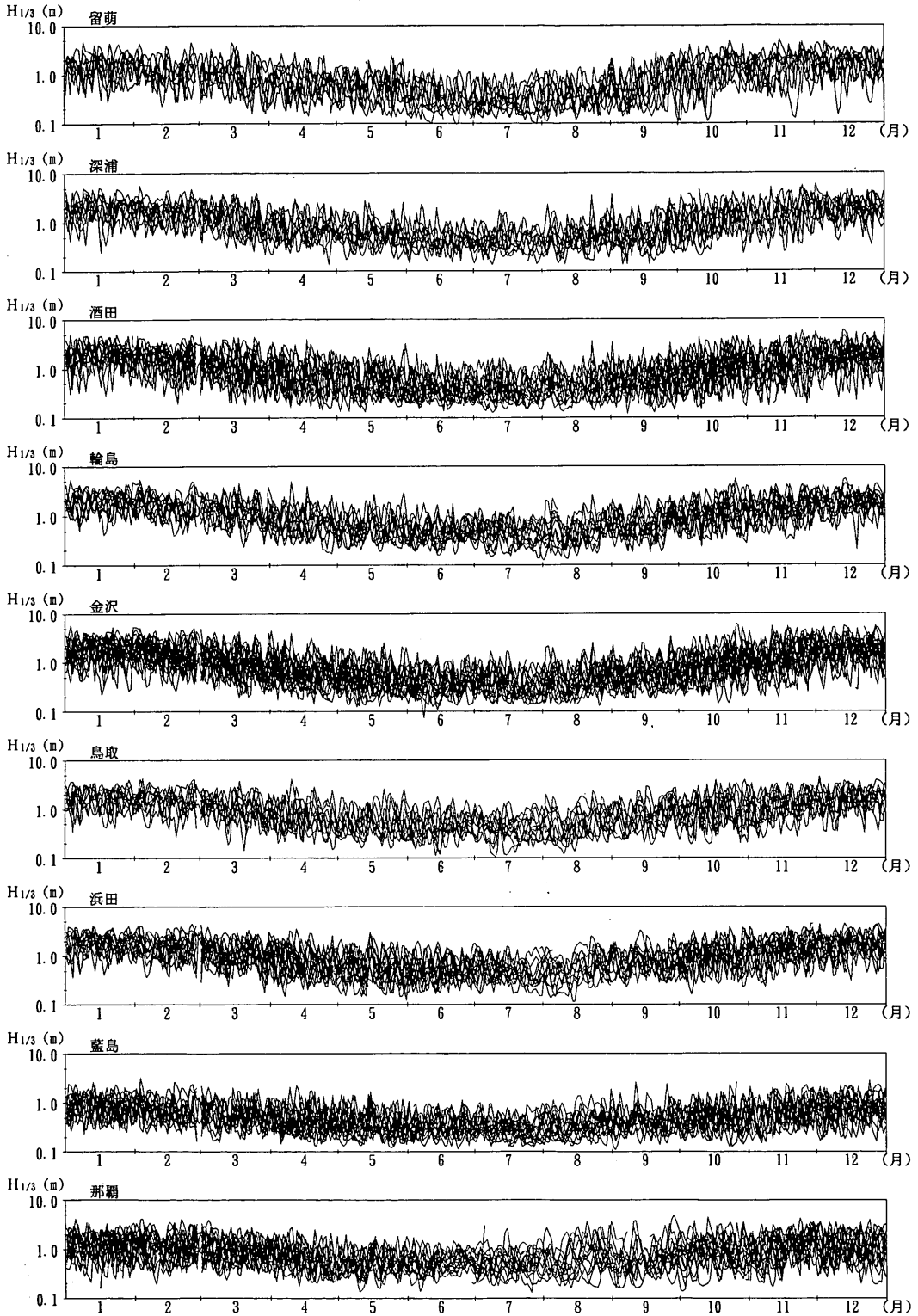


図-1 (1) 日平均有義波高の年間変動 1 (日本海側)

沿岸波浪の日変動特性と波浪の特異日

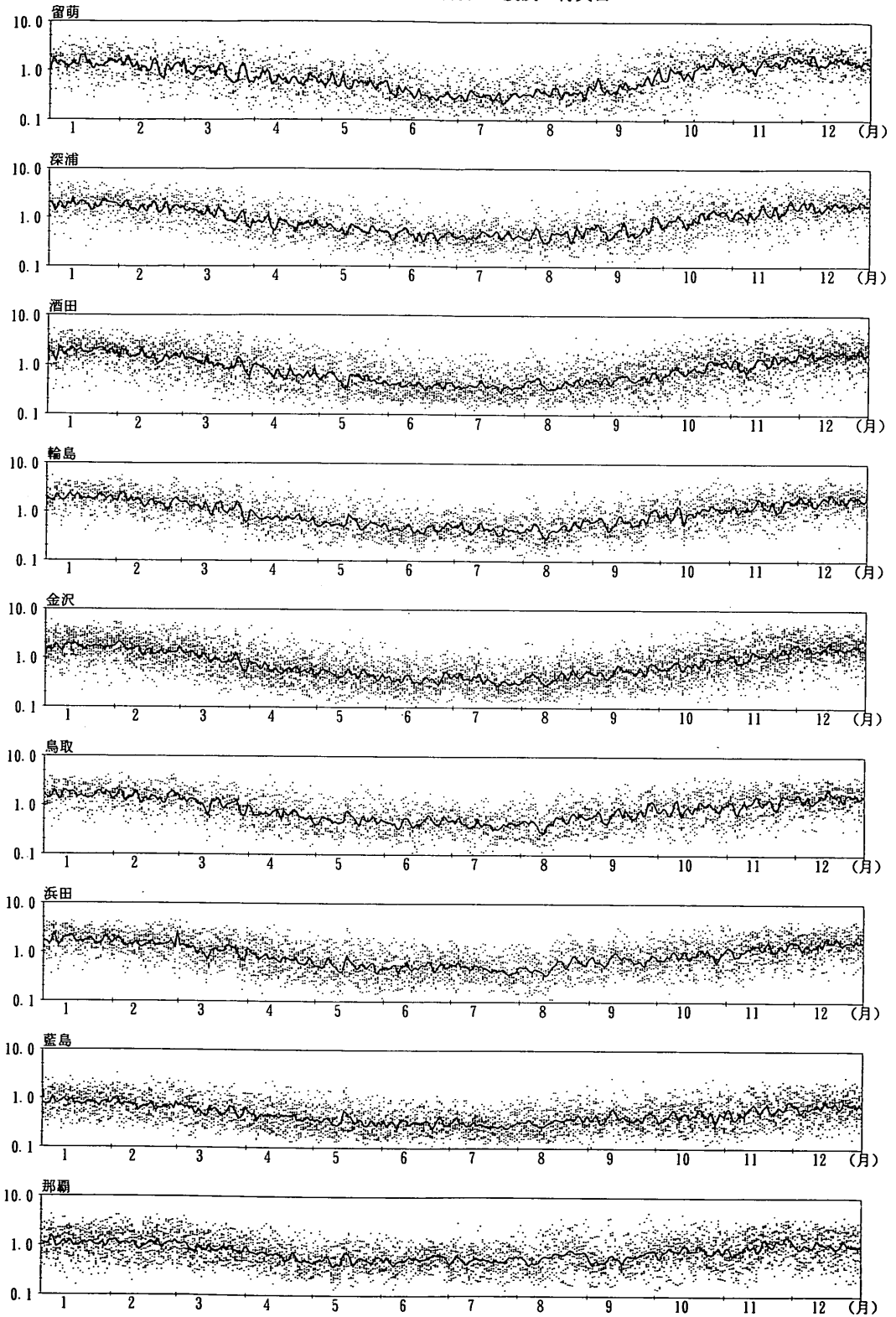


図-2(1) 日平均有義波高の年間変動 2 (日本海側)

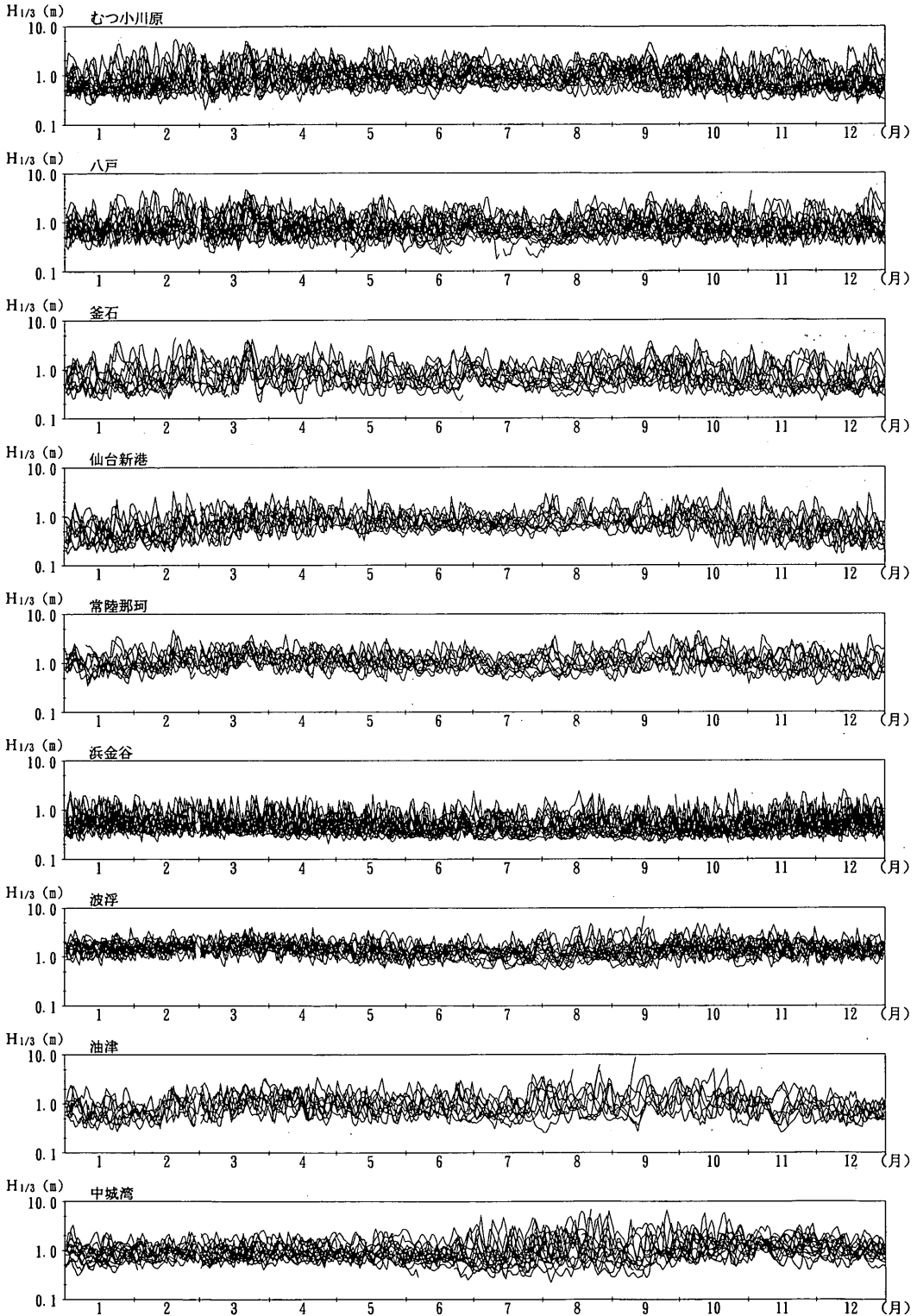


図-1(2) 日平均有義波高の年間変動 1 (大太平洋側)

沿岸波浪の日変動特性と波浪の特異日

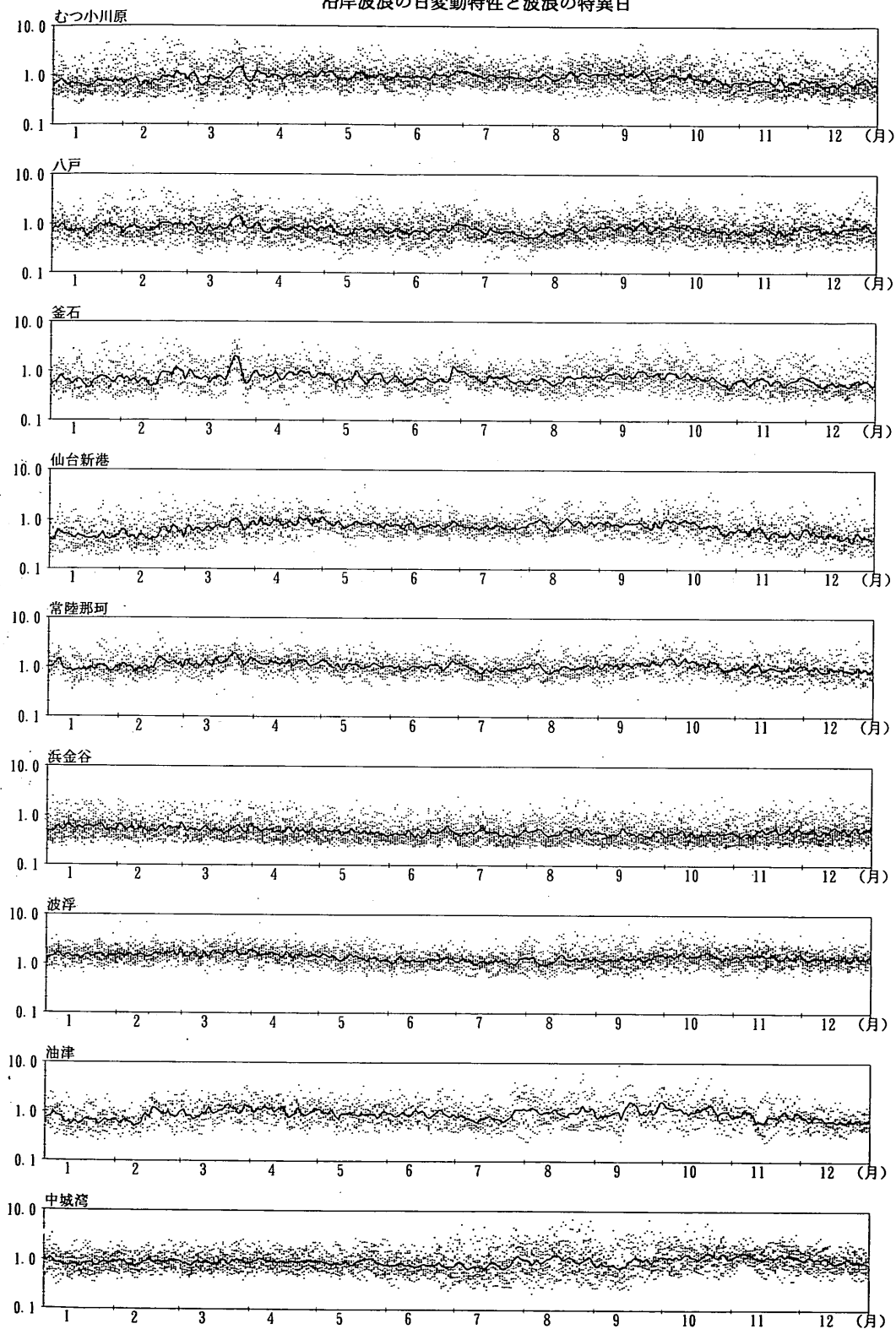


図-2(2) 日平均有義波高の年間変動 2 (太平洋側)

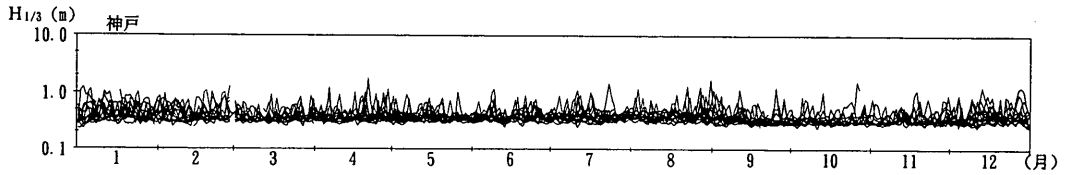


図-1(3) 日平均有義波高の年間変動 1 (神戸)

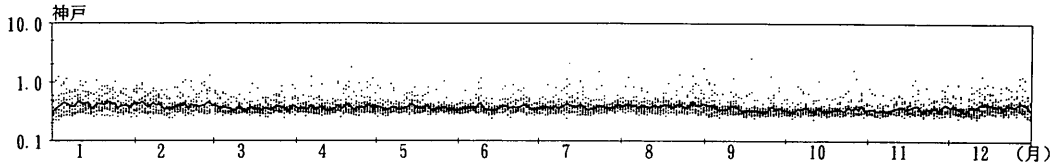


図-2(3) 日平均有義波高の年間変動 2 (神戸)

はなっていない。本研究では、一般に行われている波高分布の極値統計学<sup>20)</sup>の考え方にない、日平均有義波高の出現頻度分布を、対数軸上で整理考察することとした。このように対数軸上で考えれば、最多出現頻度帯を中心に上限側下限側ともほぼ対称的な形状となる正規分布に近い分布となるため、t検定等の統計的解析が容易になる。

### 3. 日平均波高の年間変動特性

#### 3.1 日平均波高の変動特性

図-1は、縦軸に日平均有義波高の対数値を、横軸に1月1日から12月31日までの366日間をとり、表-1に示す各観測地点における各年の日平均有義波高の変動線を、すべての検討対象年に関して重ねて表示したものである。4年に1回あるうらな年すなわち2月29日の取扱は、正確には4年間かかって1日分だけ線がずれるような表示をするべきであろうが、ここでは単純に2月28日と3月1日の間に挿入して表示している。したがって2月29日のデータだけはグラフの中で異質なものとなっている。

図-1(1)は、東シナ海を含む日本海側9地点を表示したものである。折れ線は、各地点とも毎年数日間の周期で上下に変動しているが、この変動の大きさや周期は一定ではなく不規則である。特定の日に注目すれば、縦軸の変動はかなり大きく、同じ日といっても年によって波高は大きく異なっていることを示している。留萌から那覇に至るまで、各地点に共通して見られることとしては、冬高く夏低いU字型の年間変動が顕著にみられること、および、特定日ごとの対数軸上での年毎の波高の変動幅は、年間を通じてほぼ一定であることなどである。

図-1(2)は、太平洋側9地点に関して同様な表示を行ったものである。日本海側と同様に、各地点とも毎年の折れ線は周期的に上下変動しており、特定日についてみるとやはり年によって波高は大きく異なっている。しかし、日本海側と比較して折れ線の変動周期は総じて若干長くなっているようであり、有義波高の時間変化は相対的にゆっくりとしているようである。日本海側のように冬高く夏低い顕著なU字型のトレンドは見られず、平均値変動幅とも、各地点で年間を通じてあまり変化していない。ただし、油津や中城湾では、台風の影響で7月から10月にかけて非常に縦軸の値が大きくなっている年があるため、変動幅が大きくなっている。また、釜石、仙台新港、常陸那珂では、7月ごろの変動幅は、その他の季節に比べて若干小さくなっているようである。

地点別にみると、波浮あるいは常陸那珂では、他の地点と比較して年間を通じて変動幅が小さくなっているようであるが、これらの地点では、常時波が高く50cm以下の日平均有義波高となることが少ないためである。

図-1(3)は、大阪湾北岸に位置し外洋からのうねりが到達しにくい神戸港において同様な表示を行ったものである。有義波高が25cmから50cmにかけてのところには大部分のデータが集中しており、年間を通じての発生頻度の月別な相違は明確ではないが、ときどき、2~3日程度の短期間、波高がそれより高くなる高波期間がみられる。一方、波高が25cm以下になることはほとんどなく、非対称な出現分布となっている。

内湾の波浪観測地点の場合、海面が非常に静穏な状況となり、航跡波などの風波やうねり以外の要因で海面が複雑な微小な上下運動を行う結果、通常のゼロアップクロス法による波別解析を行うことが困難となることが多く存在するため、みかけ上、25cm以下のデータに対し

ては有義波高が求められず欠測扱いとされることが多くなる。このため、このように非対称な出現分布特性を示しているものと考えられる。

図-2(1)(2)(3)は、それぞれ図-1(1)(2)(3)のデータを折れ線で結ぶかわりにプロットで示し、各日ごとの対数軸上での平均値を太線で結んだものである。まず図-2(1)の日本海9地点を見ると、冬に高く夏に低い年間のU字型の季節変動は、より顕著にあらわれている。この大きな年間変動に乗っているような形で、数日間程度の周期で上下に変動する短期変動が各観測地点ではっきり認識されている。この短期変動の振幅は、年間変動よりはずっと小さいものの無視できるものではないと考えられる。たとえば、9地点すべてに関して3月25日ごろ極大値を、3月29日ごろ極小値を持つ傾向が顕著にあらわれており、波浪の特異日が存在することを示唆しているようである。なお、前述したように、2月29日を便宜的に2月28日と3月1日の間に横軸上で示したため、例えば浜田で見られるようなスパイク状の変動となっているが、このスパイクに関しては単純に特異日として位置づけられるものではない。

図-2(2)は、太平洋側9地点について同様に整理したものであるが、太平洋側においても日本海側と同様に、季節変動の上に数日間周期の短期変動が重なっている。ただし、季節変動は日本海側よりはずっと小さいので、3~4月と9~10月ごろに若干月平均値が高くなっているように見えるが、年間を通じて月平均波高は日本海側のような顕著な変動は示していない。短期変動の大きさは地点によって異なっており、波浮や中城湾ではあまり顕著ではないようであるが、他の地点では日本海側とほぼ同じ程度である。ただし、短期変動の変動周期は日本海側より若干長くなっているように見える。ここでも、釜石では特に顕著となっているが、各地点とも3月24日ごろ極大値を3月29日ごろ極小値を示す傾向が日本海側と同様にあらわれているのは非常に興味深い。

図-2(3)の神戸を見ると、前述したようにほとんどのデータが25cm~50cmに集中しているため、太線の短期変動幅も比較的小さくなっているようである。

### 3.2 検討対象海域の分類

表-3(1)は検討対象として各観測地点の日平均有義波高(m単位)のデータ数、対数軸上での平均値、標準偏差、正規分布からのずれの大きさを表す歪度および尖鋭度を示したものである。表-3(2)には、あわせて、全データ、日本海側9観測地点、太平洋側9観測地点の総データに関する値も示しているが、各観測地点ごとに

平均波高が異なっているため、これらの総データ整理にあたっては、その地点の累年平均日平均波高で無次元化した値に関して、平均値、標準偏差、歪度および尖鋭度を算定した。

すなわち、添字nを地点番号(ここではn=1~19)、iをデータ番号(nによって値は異なるが、たとえばn=1の留萌ではi=1~3127)とし、 $H_{ni}$ を、対象地点の対象年月日における日平均有義波高として定義すると、各地点ごとの平均値 $(MV)_N$ 、標準偏差 $(SD)_N$ 、歪度 $(D3)_N$ および尖鋭度 $(D4)_N$ は式(1)~(4)で定義される値となる。ここにNは地点nにおけるデータ総数であり、 $\ln()$ は自然対数である。

$$(MV)_N = \sum_i \ln(H_{ni}) / N \quad (1)$$

$$(SD)_N = \sqrt{\sum_i (\ln(H_{ni}) - (MV)_N)^2 / (N-1)} \quad (2)$$

$$(D3)_N = \sum_i (\ln(H_{ni}) - (MV)_N)^3 / (N-1) / (SD)_N^3 \quad (3)$$

$$(D4)_N = \sum_i (\ln(H_{ni}) - (MV)_N)^4 / (N-1) / (SD)_N^4 \quad (4)$$

一方、全データを総括した平均値 $(MV)_A$ 、標準偏差 $(SD)_A$ 、歪度 $(D3)_A$ および尖鋭度 $(D4)_A$ は式(5)~(8)で定義される。ここに $H_{ni}$ は実軸上における平均値なので式(1)とは異なった値である。

$$(MV)_A = \sum_n \sum_i \ln(H_{ni} / H_{nb}) / N / I \quad (5)$$

$$(SD)_A = \sqrt{\sum_n \sum_i (\ln(H_{ni}) - (MV)_A)^2 / (N-1) / I} \quad (6)$$

$$(D3)_A = \sum_n \sum_i (\ln(H_{ni}) - (MV)_A)^3 / (N-1) / I / (SD)_A^3 \quad (7)$$

$$(D4)_A = \sum_n \sum_i (\ln(H_{ni}) - (MV)_A)^4 / (N-1) / I / (SD)_A^4 \quad (8)$$

なお、日本海側9地点、太平洋側9地点に関する平均値、標準偏差、歪度および尖鋭度も式(5)~(9)と同じ考え方で、nに関する重ねあわせ対象地点をそれぞれ9地点として求めたものである。

各地点における平均値を見ると、最大は波浮の0.3489、最小は神戸の-0.9568であり、それぞれ有義波高1.42mおよび0.38mに対応する。各地点の標準偏差は神戸が最小の0.2746(0.76~1.32倍の範囲)であり、日本海側の各地点が太平洋側の各地点より大きい値となっている。太平洋側では、最小値は波浮の0.3572(0.70~1.43倍)、最大値は釜石の0.5386(0.58~1.71倍)となっており、日本海側では最小値は藍島の0.6422(0.53~1.90倍)最大値は留萌の0.8537(0.43~2.35倍)である。こ

表-3(1) 対数日平均波高の地点別平均値と標準偏差(各観測地点別)

ケース	データ数	平均値	標準偏差	歪度	尖鋭度
日本海9点					
留萌	3127	-.2634	.8537	-.1696	2.1479
深浦	3318	-.1231	.7884	.0532	2.1232
酒田	5074	-.1817	.8473	-.0302	2.0393
輪島	3860	-.0937	.7573	-.0528	2.2174
金沢	6290	-.1948	.8132	.0308	2.2195
鳥取	3642	-.1601	.7458	-.1412	2.2239
浜田	4630	-.0969	.7214	-.1507	2.3247
藍島	5008	-.6938	.6422	.1860	2.2915
那覇	5128	-.2260	.6696	.0679	2.3763
太平洋9点					
むつ小川原	5659	-.0989	.5259	.4049	2.7273
八戸	5585	-.2081	.5109	.4582	3.0749
釜石	3715	-.3232	.5386	.4719	2.7423
仙台新港	3586	-.3576	.5134	-.0162	2.9857
常陸那珂	3508	.0827	.4205	.3041	2.8453
浜金谷	5942	-.6717	.4652	.7144	2.9891
波浮	5116	.3489	.3572	.2102	3.0167
油津	2976	-.0812	.5091	.3471	2.8982
中城湾	5116	-.0244	.4819	.3964	3.3549
内湾観測点					
神戸	4704	-.9568	.2746	1.7239	6.6326

表-3(2) 対数日平均波高の地点別平均値と標準偏差(各観測地点総合)

ケース	データ数	平均値	標準偏差	歪度	尖鋭度
全観測地点	85984	-.1905	.6268	-.1464	3.0160
日本海9点	40077	-.2767	.7616	-.0588	2.2826
太平洋9点	41203	-.1233	.4826	.3661	3.0496

ここに( )内の範囲は、平均値を基準とした標準偏差の範囲を実軸上で求めたものである。

歪および尖鋭度はともに正規分布からのずれの大きさを示す指標であり、それぞれ正規分布では0および3の値を理論上とることが知られている。すなわち、0および3から値が離れるほど正規分布とのずれが大きくなっていることを意味している。神戸においては歪度、尖鋭度とも、それぞれ1.7239、6.6326と、0および3から大

きくずれていて正規分布とはほど遠い分布となっていることがわかる。これは、前述したように、0.25m以下の波浪の出現頻度が、みかけ上ほとんどあらわれていないことによるものと考えられる。神戸以外の地点では、日本海側9地点の尖鋭度が若干3より小さめであり、仙台新港を除く太平洋側8地点の歪度が若干0より大きめ(特に浜金谷で顕著)であることを除いては、正規分布にかなり近い出現頻度特性を示している。

日本海側9地点および太平洋側9地点を総括した平均値は、それぞれ-0.2767, -0.1233とどちらも0よりも小さくなっている。式(5)で示した定義からわかるように、これは、実軸上における整理と対数軸上における整理のちがいからあらわれる差であると言える。すなわち、対数で整理するということは、波高レベルの高いときよりも低いときにおける値の重みづけが、実軸で整理する場合よりも強くあらわれることになる。このため、対数軸上で求める平均値は0よりも小さめ、すなわち負の値をとることになる。

日本海側の方が太平洋側よりも平均値が小さい値となっているのは、日本海側では太平洋側よりはるかに年間の季節変動が大きく、夏期には低い波高の日が長く続いたためであると考えられる。標準偏差が太平洋側より日本海側の方が大きくなっているのも、この季節変動のためであろう。

図-3は、表-3をもとに、横軸に平均値を、縦軸に標準偏差をとり、19地点をプロットしたものである。図-3から、19地点のデータは、日本海側9地点、太平洋側9地点および神戸の3グループに、大きくグループ分けされることがわかる。

表-4は、対象19地点における平均値、標準偏差、歪度、尖鋭度の4種類のデータをもとに主成分解析をした結果を示したものである<sup>30)</sup>。主成分解析の結果は、4成分の各因子の寄与係数(マトリックスとして表中に示されている)を持つ4因子に分解できることを示しており、各因子成分の寄与率は第1成分から第4成分までそ

れぞれ0.925, 0.0508, 0.0189および0.0053となっている。すなわち、第1成分が92.5%を説明することがわかり第1成分の値によって19地点をグループ分けすることが可能であることを示している。表-4の最下段に各地点毎に各成分の係数が示されているが、No.1からNo.9までの地点すなわち日本海側の9地点では-0.834~-0.427の範囲に第1成分の係数が分布し、No.10からNo.18までの太平洋側の9地点では-0.021~0.542の範囲、No.19の神戸では4.175の値を示しており、第1成分の係数の値によって、19地点のデータを日本海側、太平洋側、神戸の3グループに分類することが妥当であることが検証されたことになる。

図-4は、表-4中に示される第1成分の各地点毎の係数値を横軸にプロットし、縦軸には第1成分から第4成分までの値をそれぞれ示している。

第1成分の寄与率は92.5%ときわめて高く、これによって日本海側、太平洋側、神戸の合理的なグループ分類が検証される。

第1成分の係数値は、神戸がとび抜けて大きくなっており、次に太平洋側9地点が次ぎ、日本海側9地点は最も小さい値となっている。太平洋側の中でも、最も値が大きいのは中城湾(神戸の傾向に近い)最も値が小さいのはむつ小川原(日本海側の傾向に近い)となっている。日本海側の中で最も値が大きいのは藍島(太平洋側の傾向に近い)であり、最も値が小さいのは酒田である。以上のことから、第1成分の係数値は、冬期の北西からの季節風に伴う風浪による影響の強さによって決まってい

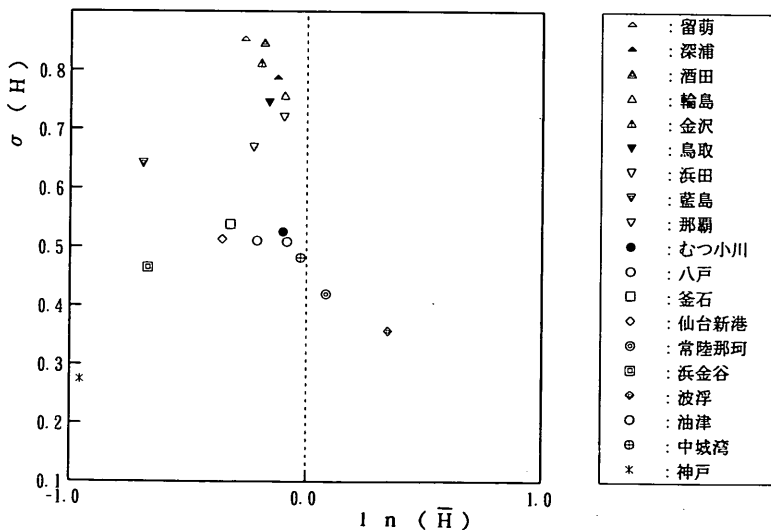


図-3 対数日平均波高の平均と標準偏差



表-4 主成分分析結果

Principal Component Analysis

\*\*\*\*\* BASIC STATISTICS \*\*\*\*\*

Number of data = 19

VAR	MEAN	VARIANCE	SD	MIN	MAX
X( 1)	-0.228	0.085	0.292	-0.957	0.349
X( 2)	0.602	0.030	0.173	0.275	0.854
X( 3)	0.253	0.189	0.434	-0.170	1.724
X( 4)	2.802	1.019	1.010	2.039	6.633

Correlation(upper) and Co-variance(lower) Matrix

	X( 1)	X( 2)	X( 3)	X( 4)
X( 1)	0.085	0.1391	-0.5787	-0.5048
X( 2)	0.007	0.030	-0.7543	-0.7428
X( 3)	-0.073	-0.057	0.189	0.9193
X( 4)	-0.149	-0.129	0.403	1.019

[ NOTE : Variances and Co-variances are divided by n-1 ]

Eigenvalues and eigenvectors of the Co-variance matrix

	1	2	3	4
X( 1) :	-0.1436	0.9367	0.1435	0.2854
X( 2) :	-0.1170	-0.2189	-0.4222	0.8719
X( 3) :	0.3709	-0.1896	0.8174	0.3980
X( 4) :	0.9100	0.1970	-0.3648	-0.0050
Eigen :	1.2235	0.0672	0.0250	0.0070
Propo. :	0.9250	0.0508	0.0189	0.0053
Cum.prop :	0.9250	0.9758	0.9947	1.0000

COMPONENT SCORES

	1	2	3	4
1 :	-0.776	-0.137	-0.218	0.044
2 :	-0.728	-0.039	0.020	0.116
3 :	-0.834	-0.107	-0.050	0.118
4 :	-0.682	0.034	-0.083	0.055
5 :	-0.642	-0.088	-0.054	0.108
6 :	-0.698	-0.007	-0.163	-0.009
7 :	-0.617	0.079	-0.188	-0.017
8 :	-0.427	-0.533	0.047	-0.122
9 :	-0.464	-0.062	-0.025	-0.012
10 :	-0.021	0.094	0.202	0.031
11 :	0.333	0.053	0.109	0.006
12 :	0.048	-0.129	0.213	0.005
13 :	0.097	-0.015	-0.269	-0.222
14 :	0.035	0.329	0.147	-0.049
15 :	0.422	-0.437	0.303	-0.063
16 :	0.126	0.644	0.073	-0.067
17 :	0.113	0.159	0.102	-0.002
18 :	0.542	0.298	-0.005	0.008
19 :	4.175	-0.136	-0.162	0.072

るように思われる。すなわち、最も影響の強い北から西方向にかけて地形によるしゃへいが少なく比較的フェッチが長い地点である酒田や輪島と、冬冬季節風による風浪がほとんど地形的に来襲しないと考えられる神戸や中城湾が両極端に位置しているのである。

次に、寄与率5.08%の第2成分に関して考える。すなわち、第2成分の係数値の大きい上位3地点は波浮、常陸那珂、中城湾であり、地形によるしゃへいが少なく常時外洋からのうねりが来襲し、静穏となる日が比較的少ない地点である。これに対して、第2成分の係数値の

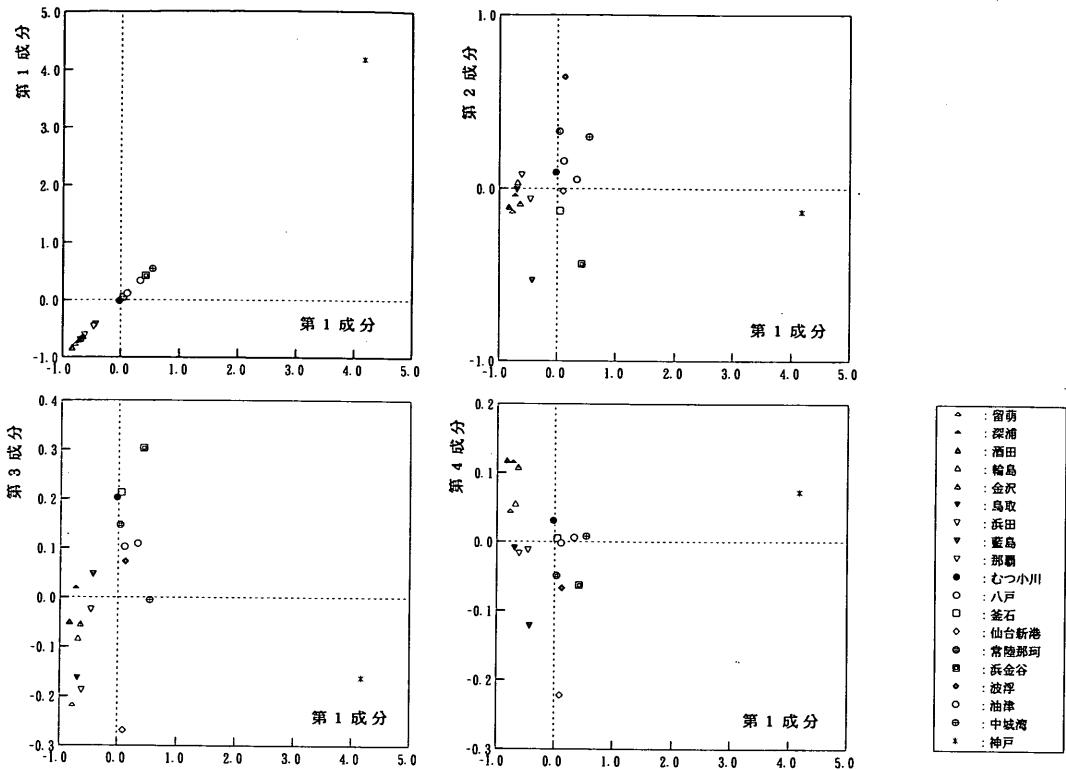


図-4 主成分分析によるグループ分け

小さい下位3地点は、藍島、浜金谷、神戸であり、地形によるしゃへいが比較的大きい地点となっている。日本海側9地点における第2成分の係数値は藍島を除きほぼ0付近に集中しており、太平洋側における第2成分の係数値は、浜金谷が低く、波浮、常陸那珂、中城湾が高く、それ以下の5地点の値は、ほぼ0付近にやはり集中している。

### 3.3 日平均波高の出現分布

図-5(1)~(5)はそれぞれ表-3中に示された全データ、日本海側9地点・太平洋側9地点のデータ、神戸港のデータの波高階級別出現頻度特性を示したものである。横軸には、式(5)で示される累年平均波高で無次元化した  $\ln(H_{m}/H_{ms})$  の階級を示しており、区間幅の設定は、赤池による情報量基準 (ABIC) が最小になるように自動的に設定をしている<sup>3)</sup>。縦軸には出現率 (当該区間幅内のデータ個数を全データ個数で除した値) を示しており、あわせて平滑な曲線でその分布と同じ平均値と標準

偏差を示す正規分布を示し、正規分布からのずれの状況がわかるように表示されている。

図-5(1)は全データを対象として示したものであり、歪度は-0.1464と若干0よりは小さい値となっているもののほぼ0に近い値をとり、尖鋭度は3.016とほとんど3に等しい値となっているため、図中の棒グラフと曲線の一致はよく、正規分布に非常に近い出現分布となっているのはきわめて興味深い。

図-5(1)に示すデータのうち日本海側9地点だけを取り出して図化したものが図-5(2)、太平洋側9地点だけを取り出して図化したものが図-5(4)、神戸について図化したものが図-5(5)である。全データをまとめれば、きわめて正規分布に近い分布を示すものの、それぞれのグループデータごとにみると、若干、一定の傾向を持って正規分布からずれた分布形状となっていることは、注目する。

まず、図-5(2)について見ると、歪度は-0.0588と0に近く平均値を基準に左右ほぼ対称な分布にはなって

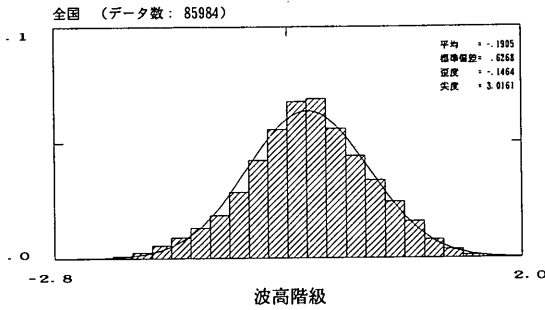


図-5(1) 波高階級別出現特性(全地点)

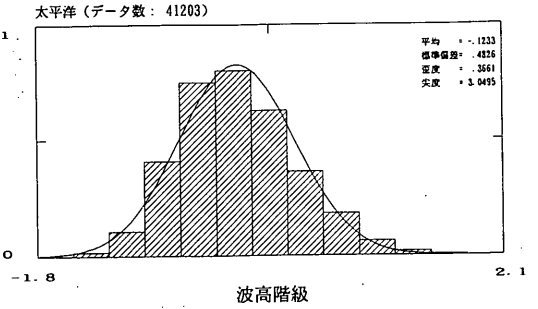


図-5(4) 波高階級別出現特性(太平洋側)

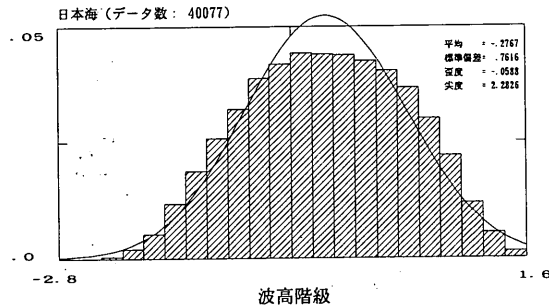


図-5(2) 波高階級別出現特性(日本海側)

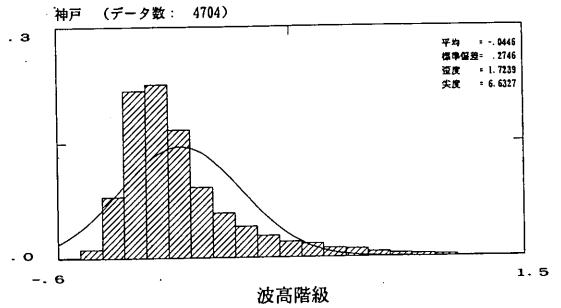


図-5(5) 波高階級別出現特性(神戸)

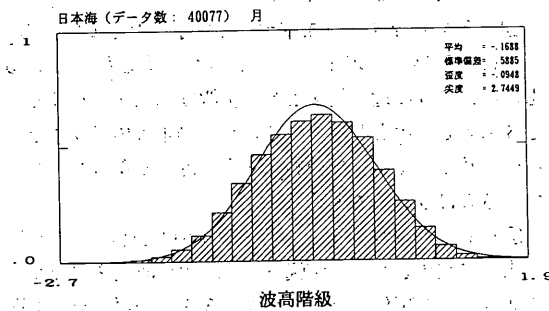


図-5(3) 波高階級別出現特性(日本海側, 月平均値で無次元化)

いるものの、尖鋭度は2.2826と3より若干小さい値となり正規分布よりはピークの広がり大きい分布となっている。これは、日本海側では、冬は高波が続く、夏は低波浪の比較的静穏な日が続くため、年間のすべての季

節を平均した累年平均値を基準に無次元化し出現分布を見た場合には、基準値から左右に比較的広い範囲にわたって、同じ程度の出現率をもつ波高階級が続くためであると考えられる。

このことを検証するため、累年平均値である  $H_{10}$  のかわりに、月別の累年平均値を用いて無次元化し図-5(2)を図化しなおしたものが図-5(3)である。図-5(3)は歪度が-0.0948、尖鋭度が2.7449とそれぞれ0および3に図-5(2)よりはかなり近づいており、正規分布に近いものになっていることがわかる。すなわち、日本海側における日平均波高の出現分布特性から、統計解析を行い特異日の抽出等を行う場合には、季節変動が非常に大きいため、場合によっては累年平均値だけではなく月別の平均値で無次元化して出現特性を議論した方が望ましいこともあるようである。

図-5(4)は、太平洋側9地点について同様にして日平均波高の出現特性を図化したものである。図-5(4)では、図-5(2)とは逆に尖鋭度は3.0495とほぼ3に等し

くなっているものの、歪度は0.3661と若干0よりも大きい値を示しており、分布が若干非対称な形状を示している。これは、太平洋側では、常に外洋で発生したうねりが存在するため、日本海側とは異なり非常に静穏になることが少なく、このため左側の波高値の低い階級における出現頻度が少なくなっているためであると考えることができる。図-5(5)の神戸では、この歪がさらに顕著にあらわれているが、これは、前述したように神戸では波高値を定義できなかった静穏日が多く存在することによる。

なお、図-3~5および表-3~4の作成にあたって、無次元化に用いた累年および月別の地点毎の平均有義波高を表-5に示す。

#### 4. 経年および年間の波高変動

##### 4.1 経年波高変動

表-6は、日本海側9地点および太平洋側9地点における日平均波高を年間単位でそれぞれ取りまとめたものである。平均値および標準偏差の定義は、式(5)~(8)で示した通りである。表-6の取りまとめにあたって、1980年以後のデータに限定したのは、表-1からわかるように1979年以前は観測地点数が少なくなっており、1980年以後のデータとその平均値を比較することには問題があると判断したためである。

日本海側、太平洋側に共通して年間を通じての平均値が年によって若干異なっていることは興味深い。日本海側では、平均値は1988年に-0.2153と最も大きく、1984年に-0.3303と最も小さくなっており、その差は0.115となっている。この差に関して、式(9)を用いてt検定を

行う。

$$t = (MV_{88} - MV_{84}) / \sqrt{SD_{88}^2 / 2975 + SD_{84}^2 / 3094} \quad (9)$$

ここに、 $MV_{88} = -0.2153$  (1988年における平均値)  
 $MV_{84} = -0.3303$  (1984 " " )  
 $SD_{88} = 0.7450$  (1988年における標準偏差)  
 $SD_{84} = 0.8118$  (1984 " " )

また、2975および3094は、それぞれ1988年および1984年における日本海側9地点のデータ総数である。tはt検定上の統計量であり、計算すると $t = 5.75$ となる。

一方、t検定上のtの値は、表-7のように示されている<sup>33)</sup>。表-6中の各年のデータ数は、毎年2000以上となっているため、表-7における自由度φは無限大の値を用いることとして、5%信頼区間の臨界値を表-7から求めると $t = 1.96$ となる。すなわち、5.08は1.96よりも大きいため、日本海側における1988年と1984年の年間を通じた日平均波高の平均値の差は、t検定からは有意なものと結論づけられる。

ここに、実際のデータから求めたtの値 $t_i$ (ここでは5.75)と、5%信頼区間の臨界値 $t_0$ (ここでは1.96)の比Zを式(10)で定義し、5%信頼範囲を基準とした平均値の変動の大きさを示す指標を定義する。

$$Z = t_i / t_0 \quad (10)$$

この場合、 $Z = 5.75 / 1.96 \approx 2.9$ となり、日本海側における年別の波高変動の大きさを定量化することができる。同様の計算を、太平洋側9地点の総データに関して行う。

表-5 地点別 累年および月別平均波高 (m 単位)

観測地点名	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年間
留明	1.704	1.444	1.167	.836	.690	.419	.378	.467	.763	1.458	1.729	1.830	1.071
深浦	2.203	1.890	1.404	.924	.692	.511	.502	.566	.756	1.317	1.737	2.039	1.195
酒田	2.174	1.830	1.349	.964	.670	.478	.456	.559	.713	1.202	1.564	1.996	1.170
輪島	2.191	1.886	1.417	.917	.696	.533	.517	.606	.836	1.276	1.614	2.023	1.197
金沢	2.010	1.782	1.230	.772	.604	.460	.439	.535	.704	1.061	1.583	1.975	1.133
鳥取	1.876	1.727	1.256	.829	.646	.551	.493	.613	.893	1.164	1.449	1.770	1.105
浜田	1.993	1.750	1.307	.942	.698	.620	.572	.675	.880	1.125	1.531	1.804	1.159
盛島	.979	.887	.696	.542	.434	.385	.345	.423	.504	.573	.775	.897	.616
那覇	1.355	1.357	1.096	.781	.616	.626	.615	.819	.778	1.059	1.307	1.371	.996
むつ小川原	.846	1.059	1.175	1.174	1.087	1.115	1.058	1.132	1.171	1.003	.936	.839	1.049
八戸	.976	1.087	1.129	.921	.857	.890	.805	.823	1.002	.931	.896	.949	.935
釜石	.775	.907	1.051	.982	.815	.791	.777	.813	.977	.850	.781	.679	.846
仙台新港	.556	.640	.856	1.014	.905	.834	.767	.947	.946	.922	.672	.573	.798
常陸那珂	1.088	1.233	1.450	1.338	1.191	1.123	1.000	1.110	1.298	1.353	1.105	1.028	1.191
浜金谷	.678	.656	.625	.604	.541	.517	.511	.557	.513	.517	.580	.622	.576
液存	1.567	1.657	1.748	1.659	1.461	1.302	1.235	1.384	1.462	1.654	1.603	1.441	1.513
油津	.796	.890	1.197	1.190	1.032	1.053	.941	1.292	1.288	1.332	.972	.769	1.057
中城湾	.935	.979	.992	1.027	1.004	.902	1.043	1.358	1.154	1.422	1.367	1.109	1.105
神戸	.451	.442	.382	.401	.385	.391	.405	.426	.375	.363	.380	.421	.402

表-6によれば、太平洋側の平均値は1989年に-0.0439と最も高く1981年に-0.1611と最も低いので、以下のように計算される。

$$t_1 = (-0.0439 - (-0.1611)) / \sqrt{0.4809^2/2846 + 0.4716^2/2876}$$

$$= 9.31$$

$$Z = t_1/t_0 = 9.31/1.96 \approx 4.8$$

すなわち、太平洋側においても、日本海側よりもさらに顕著に年別の日平均波高の変動の有意性が確認された。

以上、述べたように通常の日平均波高の変動から考えられるデータのばらつきだけからは説明することのできない、年毎の波高変動が存在することがわかったが、そ

の長期変動周期や、海域毎の変動特性は複雑であり、表-6のデータからだけでは法則性を見いだすことは困難である。今後のより長期間の波浪観測結果の蓄積が待ち望まれるところである。

図-6(1)は、表-6に見られる日本海側と太平洋側の平均値の変動トレンドを示したものである。年別の平均波高の変動状況は複雑であり、断定的な結論を出すことはむずかしいが、以下の2点の傾向が見られるようである。

①84年から87年にかけては若干傾向がちがうようにも思われるが、80年から84年にかけての間と、87年から89年にかけての間は、1年毎にグラフの左上と右下を往復するようなトレンドが見られる。すなわち、太平洋側で平均値が高い年は日本海側の平均値は比較的低くなり、

表-6 対数日平均波高の年別出現特性

地 点 年	日本海 9 点			太平洋 9 点		
	データ数	平 均	標準偏差	データ数	平 均	標準偏差
1980	2092	- .2678	.7850	2721	- .1145	.5000
1981	2581	- .2580	.7824	2876	- .1611	.4716
1982	2696	- .3066	.7700	3155	- .0987	.4753
1983	3079	- .2327	.7475	2685	- .1456	.5130
1984	3094	- .3303	.8118	2673	- .1173	.4967
1985	2920	- .3039	.7631	2764	- .1112	.4741
1986	2883	- .2655	.7488	2958	- .1034	.4741
1987	2859	- .2806	.7684	2879	- .1008	.4718
1988	2975	- .2153	.7450	2767	- .1148	.5084
1989	3022	- .2834	.7010	2846	- .0439	.4809

表-7 t 検 定 表

φ	α					
	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01	0.001
1	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	636.619
2	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	31.598
3	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	12.941
4	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	8.610
5	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	6.859
6	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.959
7	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	5.405
8	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	5.041
9	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.781
10	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.587
12	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	4.318
14	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	4.140
16	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	4.015
18	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.922
20	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.850
25	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.725
30	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.646
40	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.551
60	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.460
120	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	3.373
∞	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.291

その翌年はそれぞれ逆の傾向となり、さらにその翌年はもとの傾向に戻っている。

② 10年間を通じて見ると、左上と右下の往復をくり返しながら、長期的には左下から右上への平行移動が観察される。たとえば、81年から82年にかけての線と88年から89年にかけての線は、どちらもほぼ平行であり左上から右下へ向かっているが、前者の線より後者の線は右上に位置している。すなわち、この10年間に限っては、長期的に太平洋側日本海側とも平均波高が増加する傾向が見られ、船舶技術研究所によって解析された船舶からの目視観測による太平洋における外洋波浪の長期傾向とよく一致している<sup>34), 35)</sup>。

81年のポイントと88年のポイントと比較すると、縦軸横軸とも0.045程度づつ値が大きくなっているようであるが、波高の自然対数を用いてデータ整理していることを考えれば、 $\exp(0.045) \approx 1.046$ であるので、波高に換算すれば5%弱の平均値の増加が見られるようである。

もっとも、この長期トレンドは数十年間にわたって継続していくものであるのか、20~30年間周期で変動するものであるのかは、本データからだけでは結論づけることができないので、次の10年間(1990~1999)においても同様の傾向が見られるかどうかは今後の観測データの蓄積を待たなければならない。

図-6(2)は、縦軸に対数無次元日平均有義波高の年平均値( $\ln(H/H_0)$ )を、横軸に1980年から1989年までの時間軸をとり、図-6(1)の縦軸と横軸の値をプロッ

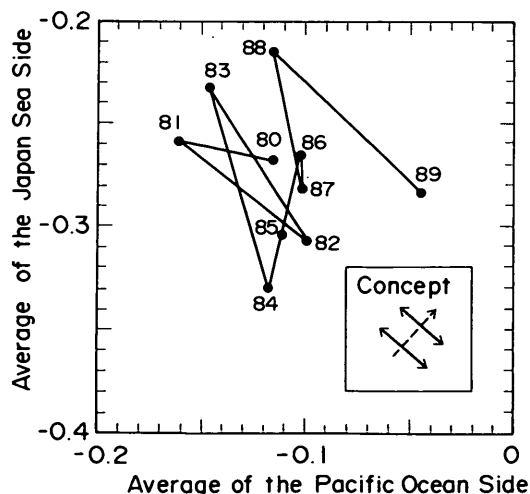


図-6(1) 太平洋側と日本海側の経年平均波高変動(1)

トしたものである。図中の破線は、最小自乗法で求めた回帰直線であり、太平洋側で特に右上がりの傾向が顕著であるが、日本海側でもわずかではあるが右上がりの傾向となっており、図-6(1)に関して述べたことが、より一層、明確に示されている。

#### 4.2 年間季節変動(月別波高変動)

表-8は、表-6と同様に累年の月別の日平均波高の出現分布を取りまとめたものである。表中には、平均、標準偏差に加えて歪度、尖鋭度もあわせて表示している。

日本海側9地点を取りまとめた平均値は、1月で最も大きく0.4062、7月で最も小さく-0.9147となっており、これに対してt検定を行うと、

$$t_1 = (0.4062 - (-0.9147)) / \sqrt{0.5294^2 / 2305 + 0.5656^2 / 2440} = 83.09$$

$$Z = t_1 / t_0 = 83.09 / 1.96 \approx 42.4$$

となり、日本海側における季節変動はきわめて顕著であることがわかる。一方、太平洋側では4月で最も大きく0.0024、12月で最も小さく-0.2392であるので、

$$t_1 = (0.0024 - (-0.2392)) / \sqrt{0.4531^2 / 2315 + 0.4927^2 / 2394} = 17.52$$

$$Z = t_1 / t_0 = 17.52 / 1.96 \approx 8.9$$

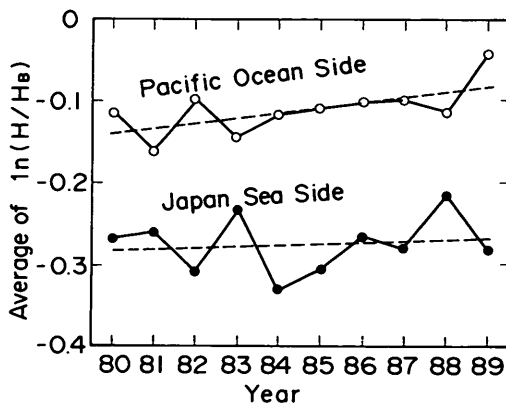


図-6(2) 太平洋側と日本海側の経年平均波高変動(2)

となり、やはり十分に有意な差はあるものの日本海よりはZの値がかなり小さくなっている。10年間（80年～89年）の年平均値の最大と最小から求めたZが、日本海側では2.9、太平洋側では4.8であったことを考えあわせれば、日本海側では年別の変動より月別の変動の方がはるかに統計的に顕著であるのに対して、太平洋側では両者の変動の大きさは近いオーダーとなっているようである。

月別の平均値の変動を日本海側と太平洋側で比較すると、日本海側では最大の1月と最小の7月の間は、平均値は単調に増加（減少）しているのに比べて、太平洋側では最大の4月の他に9月に極大値があり、最小の12月の他に7月に極小値があり、二山型の平均値の季節変動特性となっている。これは、日本海側の高波は冬期の季節風によるものが支配的であるのに対して、太平洋側では4月ごろの低気圧および9月ごろの台風といった2つの高波要因が、共に重要であることを示している。

次に標準偏差に注目すると、日本海側では0.6663～0.5294の間となり、太平洋側より日本海側の方が若干大きくなっているようである。これは、太平洋側に比べて日本海側では年間の季節変動がきわめて顕著に現れるため、同じ月内であっても上旬と下旬とでかなり平均値が異なっているためである。日本海側では、4月および10

月に標準偏差が大きく、1月および6月に小さくなっていることから、月内の季節変化が顕著な月ほど標準偏差値が大きくなる傾向が確認できる。

## 5. 波浪の特異日の抽出

### 5.1 時系列図による特異日の抽出

図-7は、図-2(1)(2)(3)をそれぞれ1つのグラフにとりまとめて表示したものである。横軸には1月1日から12月31日までの時間軸を示し、縦軸には、対応日における各地点各観測年の日平均有義波高をその地点の累年平均有義波高で除して無次元化した値の自然対数値の海域ごとの平均値を示している。各グラフに3本ずつの折れ線が示されているが、中央の折れ線が対応日における縦軸のプロットの平均値を結んだものを示し、上下の折れ線は、各対応日における縦軸の値のばらつき標準偏差の範囲を示している。

日本海側9地点をとりまとめた最上段のグラフを見ると、年間を通じてみれば冬期に平均値が高く夏期に低い年間の季節変動が非常に顕著であるが、数日間の周期で上下に変動する短期変動もまた無視はできない程度の振幅をもっていることがわかる。短期変動の周期は5日～10日程度のものが多いようである。2月29日に限って、非常に鋭い極大値を見ることができ、閏年の取扱

表-8 対数日平均波高の月別出現特性

対象データ	データ数	平均	標準偏差	歪度	尖鋭度
日本海9点1月	2305	.4062	.5294	-.5904	3.1983
日本海9点2月	2146	.2658	.5454	-.2822	2.7901
日本海9点3月	2511	-.0376	.5952	-.2230	2.6491
日本海9点4月	2450	-.4630	.6357	.0791	2.4869
日本海9点5月	2362	-.6948	.6055	.1785	2.5472
日本海9点6月	2393	-.8625	.5524	.1244	2.6541
日本海9点7月	2440	-.9147	.5656	.0601	2.4499
日本海9点8月	2259	-.7935	.6297	.2506	2.7275
日本海9点9月	2245	-.5322	.6412	.0325	2.6391
日本海9点10月	2403	-.1424	.6663	-.1622	2.6768
日本海9点11月	2200	.1325	.6308	-.2995	2.6273
日本海9点12月	2487	.3833	.5273	-.5743	3.4681
太平洋9点1月	2425	-.2014	.4992	.2647	3.0582
太平洋9点2月	2258	-.1444	.4999	.4540	3.4305
太平洋9点3月	2401	-.0080	.5062	.2344	2.8379
太平洋9点4月	2315	.0024	.4531	.0949	2.7085
太平洋9点5月	2396	-.1002	.4298	.3567	2.9303
太平洋9点6月	2483	-.1211	.4215	.3829	2.8594
太平洋9点7月	2505	-.1688	.4291	.4240	3.3256
太平洋9点8月	2313	-.0779	.5103	.5207	2.9482
太平洋9点9月	2198	-.0263	.5039	.3450	3.0172
太平洋9点10月	2323	-.0505	.5155	.3898	2.6850
太平洋9点11月	2313	-.1803	.5080	.2874	2.6402
太平洋9点12月	2394	-.2392	.4927	.4326	3.2594

は、前にも述べたように4年に1回の減少をそのまま2月28日と3月1日の間に挿入してしまっているために、その影響を取り除く必要があるので、このピークについてコメントをおこなうことは困難である。

太平洋側のグラフを見ると、日本海側のような顕著な年間の季節変動は見られないが、やはり数日間程度の短期変動が見られる。太平洋側の短期変動は、日本海側よりも、変動振幅が小さく周期も若干長くなっているようである。

内湾の波浪観測地点である神戸においても、短期変動は見られるようであるが、その振幅は比較的小さく周期も短いため、このグラフから神戸港における波浪特異日の抽出を行うことは困難であると考えた。

日本海側および太平洋側における波浪特異日の抽出を図-7から試みた。図中に示す矢印は、時系列図の中から特に顕著であると定性的に判断された短期変動の極大値（高波浪特異日）と極小値（低波浪特異日）を、それぞれ5点ずつ抽出したものである。日本海側では、5月から9月にかけては波高の絶対値が極めて低いため、対数軸上ではみかけ上振幅の大きい極大値極小値とはなるものの、実スケール上での変動はあまり大きくないことを考慮したため、この期間における抽出特異日としては5月15日の顕著な極大値だけを検討することとし、他の極大値および極小値の抽出は、10月から3月にかけての高波浪期の中から行った。太平洋側では、年間を通じて波高の絶対値の大きい変動はないため、特異日の抽出は年間を通じて行っている。

表-9は、図-7で抽出した日本海側および太平洋側における顕著な極大値と極小値を示した日に関してt検定を行い、月平均値と比較してその日における平均波高の出現状況の特異性を検討したものである。表中に示される日平均値および月平均値は、各観測地点における累年平均波高で除し無次元化した日平均波高の自然対数値である。mは、その日におけるデータ数であり、地点数（各9地点）と観測年数（10~20年）の積となり、欠測のため日によって若干の相違は見られるものの、m=106~116でありほぼ一定値となっている。SDは、データの標準偏差である。ここでは、1ヶ月全体のデータを母集団と考えているのでt検定によるt値（ $t_1$ ）は式(11)で求められる。

$$t_1 = (\bar{x} - \mu) / \sqrt{SD/m} \quad (11)$$

ここに、 $\bar{x}$  は表中の日平均値、 $\mu$  は月平均値である。ここでは、 $m = 106 \sim 116$ であるので、表-7に示す5%信頼区間の臨界値としては $\phi = 120$ の値を用いることとし $t_0 = 1.98$ とする。月平均値に対する日平均値の変動の大きさを示す指標Zは、式(10)で定義される量である。

表-9(1)および(2)から以下のことがわかる。

(1) 日本海側の高波浪特異日

1月5日、2月3日、3月25日および5月15日については、いずれもZは1よりも大きくなっており、日平均値は月平均値よりも統計的に有為な差を持って大きい値を示している。一方、11月2日は $Z = 0.1$ となり1よ

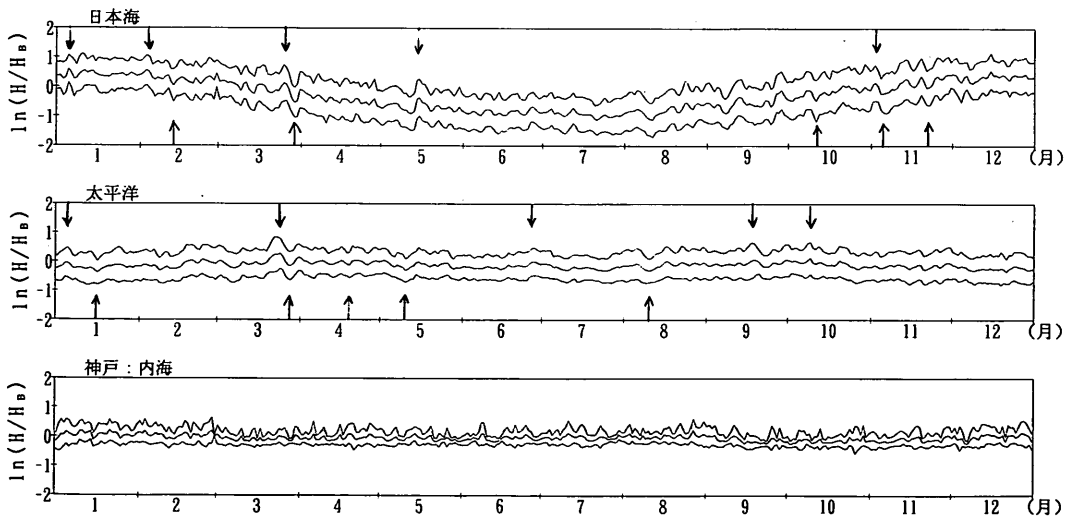


図-7 日平均有義波高とその標準偏差



表-9(1) 時系列図により抽出された  
特異日(日本海側)

特異日	月日	日平均	月平均	m	SD	t	Z
高波浪	1 5	0.598	0.406	107	0.472	4.21	2.1
	2 3	0.560	0.266	106	0.506	5.98	3.0
	3 25	0.116	-0.038	111	0.631	2.57	1.3
	5 15	-0.372	-0.695	110	0.633	5.35	2.7
	11 2	0.143	0.133	111	0.614	0.17	0.1
低波浪	2 13	0.03	0.266	110	0.559	-4.43	-2.2
	3 29	-0.536	-0.038	113	0.507	-10.44	-5.3
	10 11	-0.475	-0.142	115	0.718	-4.97	-2.5
	11 4	-0.237	0.133	112	0.521	-7.52	-3.8
	11 21	-0.034	0.133	116	0.574	-3.13	-1.6

表-9(2) 時系列図により抽出された  
特異日(太平洋側)

特異日	月日	日平均	月平均	m	SD	t	Z
高波浪	1 5	-0.038	-0.201	108	0.523	3.24	1.6
	3 24	0.273	-0.008	110	0.512	5.76	2.9
	6 27	0.007	-0.121	114	0.472	2.90	1.5
	9 18	0.067	-0.026	109	0.588	1.65	0.8
	10 9	0.136	-0.051	112	0.550	3.60	1.8
低波浪	1 16	-0.393	-0.201	110	0.405	-4.97	-2.5
	3 28	-0.146	-0.008	109	0.490	-2.94	-1.5
	4 19	-0.129	0.002	113	0.437	-3.19	-1.6
	5 10	-0.302	-0.100	109	0.398	-5.30	-2.7
	8 10	-0.306	-0.078	118	0.393	-6.30	-3.2

りも小さいので、11月における月平均値との明確な差は確認できなかった。しかし、図-7からもわかるように日本海側の波高変動で支配的である年間の季節変動(前述したように1月と7月では $Z=42.4$ にも及ぶ顕著な変動)によって、11月には月内においても上旬から下旬にかけて平均値が増加しつつある傾向にあることには十分な注意を要する。このため、11月2日の平均波高は11月全体の平均値と比べれば顕著な差はないものの、11月上旬の中では相対的に高かったため図-7においては顕著な極大値として表れたわけである。

#### (2) 日本海側の低波浪特異日

2月13日、3月29日、10月11日、11月4日、11月21日について、いずれも $Z$ は-1よりも小さくなっており、日平均値は月平均値よりも統計的に有意な差を持って小さい値を示している。中でも $Z$ が最も小さいのは3月29日で $Z=-5.3$ となっている。これらの中で特に興味深いのは、2月13日は2月3日の10日後、3月29日は3月25日の4日後、11月4日は11月2日の2日後であり、高波浪特異日に比較的近い日に低波浪特異日がみられることである。

#### (3) 太平洋側の高波浪特異日

1月5日、3月24日、6月27日、10月9日については、いずれも $Z$ は1よりも大きく、有意な差がみられた。中でも $Z$ が最も大きいのは3月24日であり $Z=2.9$ となっている。この日は日本海側の高波浪特異日として示された3月25日の1日前となっているので、3月24~25日にかけては全国的に高波浪が出現しやすいと考えられそうである。また、1月5日についても、日本海側と共通して全国的な高波浪特異日であると考えられる。9月18日については $Z=0.8$ であり1よりも若干小さかったので、5%信頼範囲内であるので顕著な特異日であるとは結論づけることはできなかった。

#### (4) 太平洋側の低波浪特異日

1月16日、3月28日、4月19日、5月10日、8月10日

のいずれについても $Z$ は-1よりも小さくなっており、低波浪特異日と考えてもよさそうである。最も $Z$ が小さい値となったのは8月10日の $Z=-3.2$ であった。なお、3月28日は、太平洋側の高波浪特異日と考えられる3月24日の4日後であり、やはり、日本海側の低波浪特異日と考えられる3月29日の1日前となっている。

### 5.2 超過未超過確率を用いた抽出指標

図-8(1)(2)(3)はそれぞれ日本海側、太平洋側、神戸の各観測地点における特定日毎の累年平均波高の超過率を示したものである。すなわち、縦軸には超過率を100分率で示し、100%であれば対象期間中のすべての年でその日の日平均有義波高は、その地点の累年平均有義波高を超過したことを意味し、逆に0%であれば、その日においては累年平均有義波高を超過した年はなかったことを意味している。横軸には1月1日から12月31日までの366日間を示しているが、ここで2月29日の取扱には注意を払う必要があることについては前述した通りである。

図-8(1)の日本海側各地点のグラフを見ると、年間季節変動が非常に顕著であり、11月~2月にかけての冬期には超過率が高く5月から8月にかけての夏期には低くなっている。一方、図-8(2)の太平洋側についてみると、季節変動は日本海側ほどは顕著でなく、観測地点によっても若干傾向は異なっているようではあるが、3~4月ごろと9~10月ごろに2つの極大ピークを持つ二山型の形状が見られる。図-8(3)の神戸について見ると、2月29日のピークは除外してみても、1~2月および8月は、他の月と比較して超過率が高くなっているようである。年間季節変動より周期の短い短期変動については、これらのグラフから明確な結論を得ることは困難ではあるが、特定の日における超過率がその前後の数日間と比べて高い場合や低い場合が存在していることは、読み取ることができる。

沿岸波浪の日変動特性と波浪の特異日

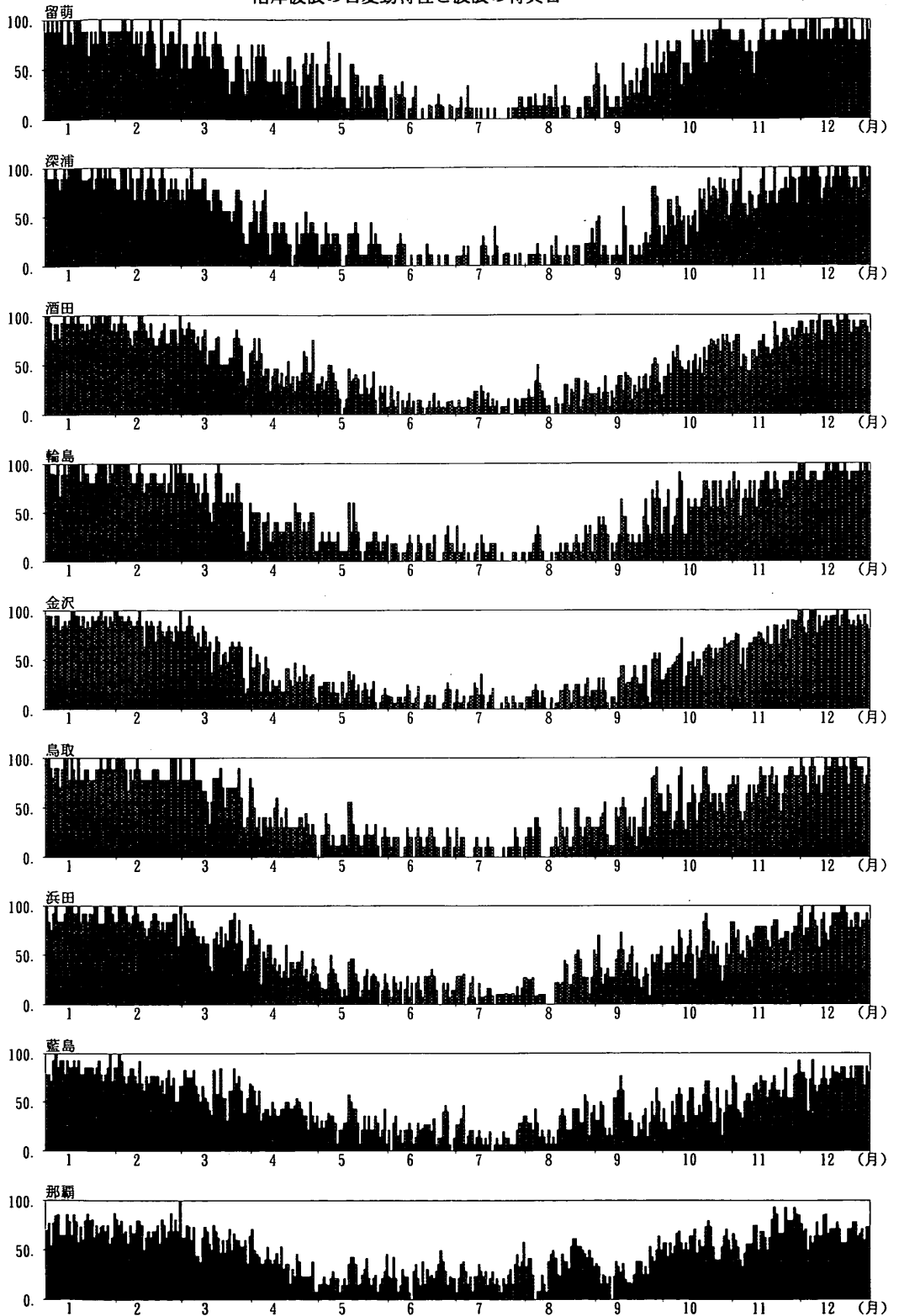


図-8(1) 平均波高超過率の日変動 (日本海側)

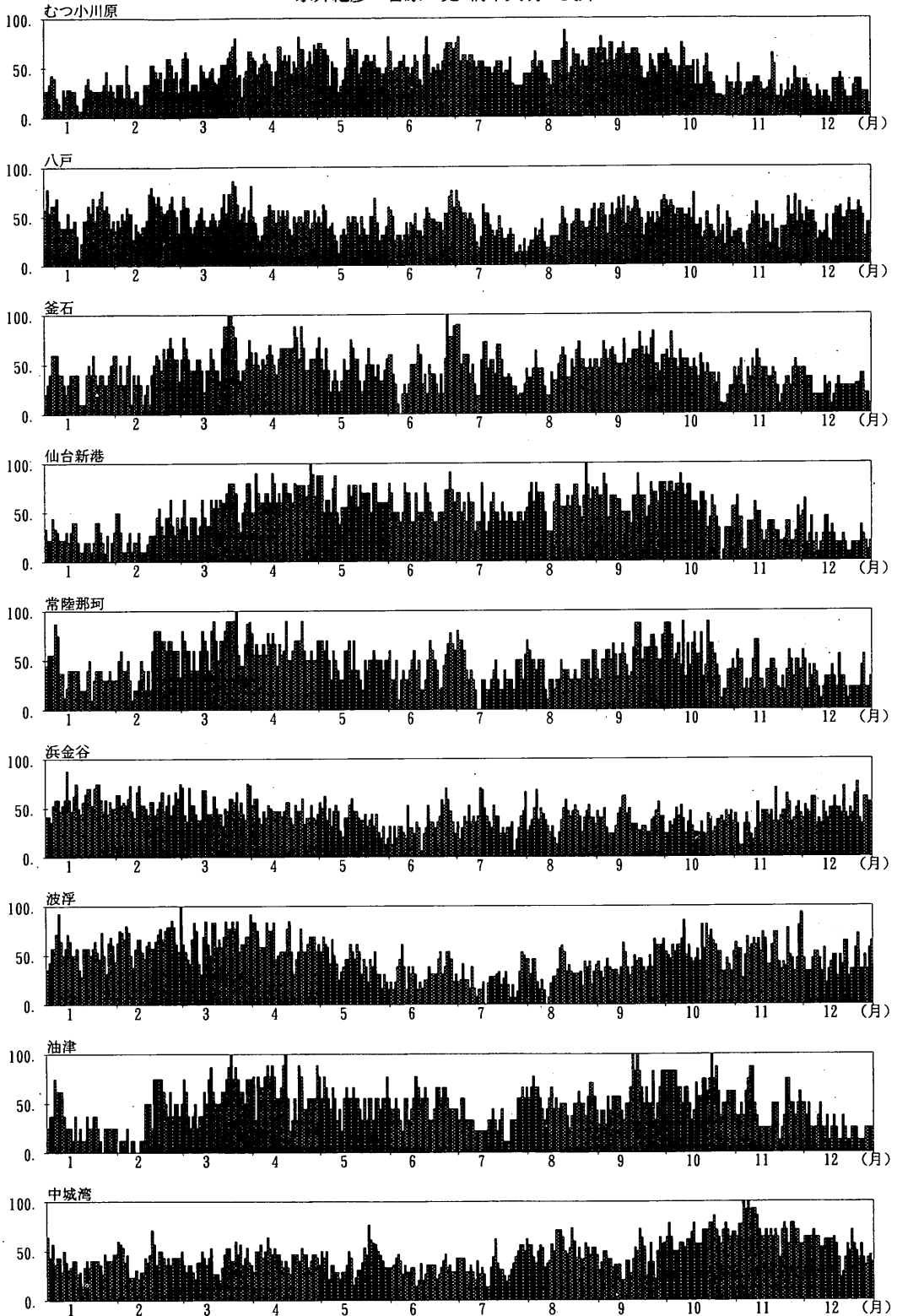


図-8(2) 平均波高超過率の日変動 (太平洋側)

沿岸波浪の日変動特性と波浪の特異日

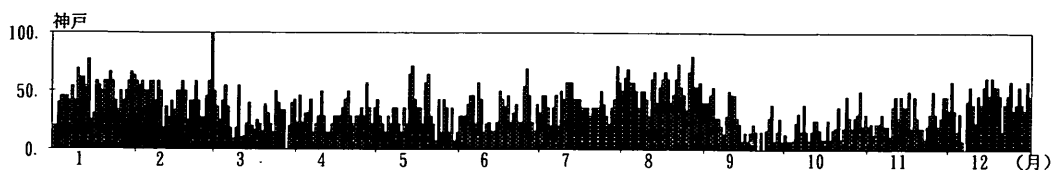


図-8(3) 平均波高超過率の日変動(神戸)

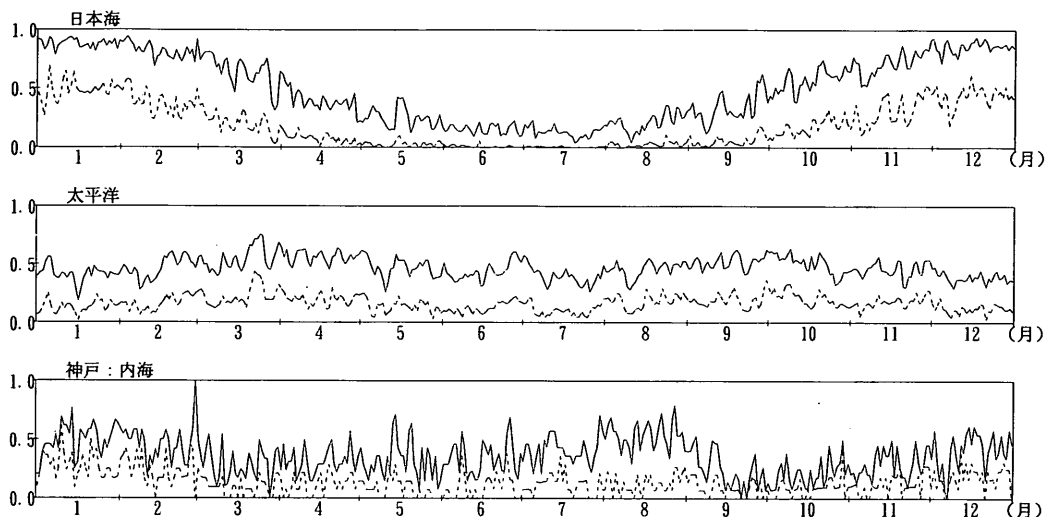


図-9 基準波高超過率

図-9は図-8(1)(2)(3)をそれぞれ海域別に取りまとめたものである。実線は、図-8と同様に基準波高を累年平均有義波高としたものであり、破線は、基準波高を、累年平均有義波高にその標準偏差を加えた値として、比較的高い値に設定したものである。

表-10(1)は図-9をもとに高波浪特異日の抽出を試みたものである。すなわち、図-9の超過率を日本海側9地点、太平洋側9地点および神戸港の3グループにとりまとめ、日別の平均超過率を求め、1年366日間を平均超過率の高い順に並べてその上位20位を示したものである。表中に「 $\text{平均値} + \sigma$ 」として表示している欄は、基準波高を累年平均有義波高のかわりに、累年平均有義波高にその標準偏差を加えた値として、同様な整理を行った結果を示したものである。

表-10(1)で示された日本海側の基準波高超過上位日は、当然のことながらすべて11月28日から2月29日にかけての冬期に集中している。平均値を基準とした第1

位の超過率となった2月3日および平均値プラス標準偏差を基準とした第1位の超過率となった1月5日は、それぞれ表-9(1)で抽出された高波浪特異日と一致していることは大変興味深い。

2月3日について注目すると、この日は、平均値プラス標準偏差の欄でも5位に登場しており、また、その前日の2月2日は、平均値の欄の15位と平均値プラス標準偏差の欄の9位に、その後日の2月4日は平均値プラス標準偏差の欄の8位にそれぞれ登場しており、前後の日を含めて高波浪特異日であると結論づけられそうである。また、1月5日について注目すると、やはり平均値の欄でも4位に登場しているので、やはり、高波浪特異日と考えてよさそうである。

一方、表-10(1)の太平洋側の超過上位日としては、日本海側よりも連続している日が多く登場している特徴があるようである。特に3月21日から25日にかけての5日間で、平均値および平均値プラス標準偏差のいずれ

表-10(1) 基準波高超過上位日(高波浪特異日)

日本海9点			太平洋9点				神戸:内海				
平均值		平均值+σ	平均值		平均值+σ	平均值		平均值+σ			
順	月 日	順 月 日	順 月 日	順 月 日	順 月 日	順 月 日	順 月 日	順 月 日	順 月 日	順 月 日	
1	2/3	1	1/5	1	3/24	1	3/22	1	2/29	1	1/10
2	12/17	2	1/11	2	3/25	2	3/23	2	8/27	2	1/21
3	1/13	3	1/14	3	3/22	3	3/24	3	1/14	3	2/27
4	1/5	4	12/15	3	3/23	4	9/30	4	8/22	4	1/23
5	12/20	5	2/3	5	3/31	5	3/25	5	5/14	4	2/3
6	12/1	6	1/10	6	3/20	6	3/21	5	7/30	4	2/7
7	1/12	7	1/28	7	3/21	7	10/8	7	1/10	4	2/9
8	1/15	8	2/4	8	4/22	8	10/9	7	6/26	4	2/18
9	2/29	9	2/2	8	10/9	9	3/31	7	8/3	4	2/28
10	12/6	10	1/25	10	4/1	10	10/7	10	1/22	10	1/3
11	11/30	11	12/2	11	4/10	11	10/1	10	1/30	11	10/29
12	1/1	12	1/13	12	9/19	12	9/18	10	8/13	12	1/11
13	1/25	13	1/30	13	9/30	13	4/20	10	8/17	13	1/14
13	1/29	14	11/28	14	4/3	14	8/16	10	8/26	12	6/25
15	2/2	15	12/19	15	4/23	14	8/22	15	5/13	12	12/12
16	1/2	16	12/28	16	5/1	16	10/3	15	5/20	16	1/4
16	1/14	17	2/10	17	4/8	17	10/20	17	1/31	16	1/5
16	1/31	18	11/29	17	4/9	18	3/2			16	1/18
		19	12/12	19	10/2	18	4/1			16	2/2
		19	12/24	20	4/7	20	9/29			20	6/8

表-10(2) 基準波高未超過上位日(低波浪特異日)

日本海9点		太平洋9点				神戸	
平均值		平均值		平均值+σ		平均值	
順	月 日	順	月 日	順	月 日	順	月 日
1	7/20	1	1/16	1	1/16	1	3/28
2	8/10	2	5/10	2	12/21	1	9/21
3	7/21	3	7/26	3	5/28	1	9/23
4	7/25	4	2/8	4	7/25	1	12/7
5	7/5	5	1/17	5	7/9	5	9/30
6	7/23	6	7/10	6	6/8	6	5/23
7	7/26	6	8/10	7	12/8	6	5/30
8	6/12	8	12/9	8	5/6	6	9/15
9	6/29	9	7/23	9	7/21	6	9/17
10	6/22	10	12/21	10	7/22	6	9/27
11	7/19	11	2/9	11	7/7	6	10/2
12	7/22	11	11/21	12	11/4	6	10/3
13	6/30	13	7/27	13	5/5	13	10/4
14	6/24	14	6/15	14	5/10	13	10/10
15	7/18	15	7/22	15	7/19	13	12/6
15	8/11	15	8/9	16	7/11	16	10/15
17	8/13	17	11/20	16	7/24	16	10/16
18	6/17	18	1/15	18	7/6	16	10/18
19	6/16	19	6/16				
20	9/17	20	7/24				

表-11 月別超過未超過上位日数

月	基準波高超過上位日(高波日)						未超過上位日(低波日)				
	日本海		太平洋		神戸		日本海	太平洋	神戸		
	H	H+σ	H	H+σ	H	H+σ	H	H	H		
1	1	0	8	0	0	5	9	0	3	1	0
2	3	3	4	0	0	1	7	0	2	1	0
3	0	0	7	7	0	0	0	0	0	0	1
4	0	0	8	2	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	1	0	3	0	0	1	4	2	0
6	0	0	0	0	1	1	7	1	1	0	0
7	0	0	0	0	1	0	9	5	9	0	0
8	0	0	0	2	6	0	3	2	0	0	0
9	0	0	2	3	0	0	1	0	0	6	7
10	0	0	2	6	0	1	0	0	0	0	7
11	1	2	0	0	0	0	0	2	1	0	0
12	4	6	0	0	0	1	0	2	3	2	2
計	18	20	20	20	17	19	20	18	20	18	18

の欄でもすべて7位以内に登場している。これは、表-9(2)で示された高波浪特異日3月24日の前後に対応している。

表-9(2)において太平洋側の高波浪特異日として抽出された10月9日についても表-10(1)中の平均値の欄の9位、平均値プラス標準偏差の欄の8位に登場しており3月24日ほど顕著ではないにしても、これに続く太平洋側の高波浪特異日と考えてよさそうである。

表-10(1)では、神戸についても同様な整理を行っている。神戸において、平均値および平均値プラス標準偏差のいずれの欄でも表中に登場している日は、1月10日および1月14日の2日だけであり、日本海側とも太平洋側とも異なった傾向となっているようである。なお、神戸における順位は、平均値については17位まで、平均値プラス標準偏差については16位までとなっているが、これは、同率となる日がこれ以下の順位では多くなっているため、ちょうど20位までを抽出することができなかったためである。

表-10(2)は、表-10(1)とは逆に未超過率が高い順に(超過率が低い順に)20位を抽出し低波浪特異日の抽出を試みたものである。なお、日本海側や神戸港に関しての平均値プラス標準偏差の欄がないのは、累年平均値プラス標準偏差となる基準波高を1回も超えたことのない日が数多く存在しているためである。

日本海側では年間の季節変動が顕著であるため、6月から9月にかけての夏期だけが抽出されている。一方、太平洋側では年間にわたって超過率の低い低波浪日が分布しているようである。平均値の欄および平均値プラス標準偏差の欄に共通して第1位に1月16日が登場しているが、この日は表-9(2)で抽出された低波浪特異日とも一致している。また、表-9(2)で抽出された5月10日および8月10日についても、前者は平均値の欄の2位と平均値プラス標準偏差の欄の14位に、後者は平均値の欄の6位に登場している。この他に太平洋側の低波浪日として表-10(2)から注目されるのは、7月19日から27日にかけての9日間であり、平均値の欄では26日、23日、27日、22日、24日がそれぞれ3位、9位、13位、15位、20位に、平均値プラス標準偏差の欄では25日、21日、22日、19日、24日がそれぞれ4位、9位、10位、15位、16位に登場しており、7月20日の海の記念日の前後の海の旬間は、統計的に波が低くなることが多いと言えそうである。

表-11は、表-10(1)および表-10(2)に登場した基準波高超過および未超過の上位20位日の月別出現状況を示したものである。

基準波高超過上位日(高波浪日)の出現特性を見ると日本海側では、平均値と平均値プラス標準偏差の出現状況はほぼ一致しており、11月から2月までの間に1月をピークとして集中している。一方、太平洋側では、どちらの欄も3~4月と9~10月の2時期にわかれて出現しているが、両者の出現特性には若干の差があるようである。

すなわち、4月には、平均値を基準とした場合、8日間が表中に出現しているが、平均値プラス標準偏差を基準にした場合はわずか2日間の出現に留まっている。その逆に10月には、前者は2日間、後者は6日間とちょうど逆転している。このことは、太平洋側の波浪は平均的には4月に高くなっているものの、平均値に標準偏差を加えた比較的高い基準値を超過するいわゆる大波浪は、4月よりも台風の来襲しやすい10月に多く出現することを示している。なお、神戸港においても、両基準値による出現特性は異なったものとなり2月および8月にその差が顕著に見られるが、その原因は明かではない。

基準波高未超過上位日(低波浪日)について見ると日本海側では6月~9月の夏期に出現が集中しており、太平洋側では11月~2月の冬期と5月~8月の夏期にその出現がみられる。

日本海側では、年間の季節変動が非常に大きいため、月内における低波浪特異日の抽出を試みることにし、表-10(2)と同様に、高波浪期と考えられる10月~3月に就いて月毎に取りまとめを行ったのが表-12である。表-12(1)は累年平均波高を基準値に、表-12(2)は累年平均波高プラスその標準偏差を基準値にとったものであり、それぞれ月内における未超過率の高い(超過率の低い)順に5日間を抽出し、その日と年間を通じての366日中のその日の順位を表中に示している。

表-12で抽出された日本海側における月内の低波浪日は、表-9(1)とよく対応しており、表-9(1)で示されている10月11日(前日の10月10日を含めて見れば)、11月4日、11月21日、2月13日、3月29日はいずれも表-12に登場しており、これらの日は、11月21日を除いて、特に表-12(1)においてはいずれも月内の1位にランクされている。さらに、11月においては、年間の季節変動のため上旬から下旬にかけて次第に波高が高くなる傾向がみられ、表-12においても11月における抽出は、11月21日を除けばすべて1日~9日の上旬に集中していることを考えあわせれば、やはり、表-12(2)の4位に11月21日が登場しているとは注目すべき事実であろう。

表-12(1) 日本海側における月別未超過上位日(平均波高)

月 位	10月		11月		12月		1月		2月		3月	
	日	順位	日	順位	日	順位	日	順位	日	順位	日	順位
1	11	207	4	176	4	119	7	95	13	129	29	233
2	10	203	6	175	10	105	22	77	28	117	28	208
3	2	197	5	171	8	86	30	71	23	114	14	187
4	1	192	9	155	9	81	20	71	20	110	21	168
5	4	188	8	139	22	78	3	71	19	101	13	167

表-12(2) 日本海側における月別未超過上位日(平均波高+標準偏差)

月 位	10月		11月		12月		1月		2月		3月	
	日	順位	日	順位	日	順位	日	順位	日	順位	日	順位
1	2	214	4	184	7	149	3	111	23	128	29	264
2	10	203	5	171	8	112	8	85	13	124	28	213
3	16	195	7	163	9	100	7	76	20	120	23	183
4	1	194	21	151	22	95	2	73	12	117	9	174
5	5	187	9	142	4	91	9	68	22	109	21	168

### 5.3 高波出現記録を用いた抽出指標

#### (1) 概要

全国港湾海洋波浪情報網(ナウファス)の波浪観測年報では、年間の実測波浪から求めた高波出現解析を行っている。ここでは、観測地点ごとに経験的に定められた有義波高の基準値(上位基準値と下位基準値とがある)をもとに高波期間を定義している。すなわち、上位基準値を超える極大有義波高が観測された場合を高波と定義し、極大有義波高観測時点の前後において有義波高が下位基準値を超えてから下位基準値以下になるまでの期間を1じょう乱とし、じょう乱期間を定義している。参考文献<sup>7)</sup>では、各観測地点における検討対象期間中の各じょう乱を、極大有義波高の高い順に最整理し、上位30位までを掲載している。本節においては、この高波一覧表をもとにした波浪特異日の抽出を試みることにする。

#### (2) 日本海側における高波出現記録を用いた高波浪特異日解析

表-13は、日本海側9地点における高波出現記録を取りまとめたものである。表は、上下方向に月を(1月~12月)、左右方向に日を(1日~31日)とり、年間の各月日における高波の出現回数を、各観測地点ごとに通算して求めて示している。表-13(1)は、全観測地点における上位30位までのじょう乱の極大有義波高の発生日をカウントしたものであり、表-13(2)は、各じょう乱のじょう乱期間内に数えられた日をすべてカウントしたものである。表-13(1)において、5回以上極大有義波高の発生をカウントした日は、全部で13日あり、2

月3日、27日、10月23日、11月7日、11日、18日、19日、24日、25日、12月2日、13日、15日、19日となっている。このうちの最大は12月2日の10回である。

一方、表-13(2)において15回以上じょう乱期間としてカウントされた日は、全部で11日あり、2月3日、11月19日、20日、24日、25日、12月2日、3日、4日、14日、15日である。このうち最大は12月3日の20回である。これらの2つの基準に共通した日を抽出すると、2月3日、11月19日、24日、25日および12月2日、15日ということになる。

今まで述べてきたように、日本海側においては1月に平均有義波高や基準波高超過率がいちばん高くなっているにもかかわらず、高波一覧表からは1月における顕著な高波日が抽出されないことは、極めて興味深い事実である。すなわち、平均的には1月は波浪が高くなっているものの、今までのナウファスの歴史に残る主要な高波浪は、その前後の2月および11~12月に日本海側では多く発生している。これを表-9(1)あるいは表-10(1)と比較すると、2月3日が共通の高波浪特異日として注目されることとなる。また、表-9(1)および表-12(2)で見られた低波浪特異日である11月21日は、表-13(1)および(2)においても11月19日ごろのピークと24~25日のピークには含まれた比較的高波の発生回数の低い日となっているようである。

#### (3) 太平洋側における高波出現記録を用いた高波浪特異日解析

表-14は、表-13と同様に太平洋側9地点における高

沿岸波浪の日変動特性と波浪の特異日

表-13(1) 日本海側における高波出現記録(極大値記録日)

	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	2	0	3	2	1	0	2	1	3	2	1	2	4	2	0	2	0	1	1	0	1	3	1	2	0	0	0	1	3	0	4
2月	3	1	7	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	2	0	3	0	0	1	0	1	0	0	4	5	4	0		
3月	1	1	0	1	0	1	2	1	1	0	0	0	0	0	1	0	3	2	0	0	1	0	0	0	3	0	0	0	0	1	
4月	1	0	0	1	0	0	0	0	2	2	0	1	0	0	0	0	1	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	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6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	
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	
8月	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
9月	2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0		
10月	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	2	0	0	0	1	1	1	0	0	0	5	2	4	1	1	1	3	1	1	
11月	7	1	0	0	0	1	2	0	0	5	0	2	1	1	1	3	5	5	3	0	2	1	6	6	1	1	2	1	0		
12月	4	10	1	4	2	2	0	0	3	1	0	0	7	1	5	1	3	0	6	1	0	0	4	3	0	2	2	1	0	0	3

表-13(2) 日本海側における高波出現記録(高波期間中)

	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	4	5	6	7	7	9	7	6	7	7	7	10	10	8	8	5	4	5	4	4	6	7	7	5	4	4	6	6	7	8	9		
2月	8	12	15	13	13	5	4	2	2	2	1	0	0	4	4	3	3	4	5	3	4	3	3	7	9	9	12	12	2				
3月	7	2	2	3	3	3	4	5	4	1	0	0	0	1	1	2	6	5	4	1	2	2	0	2	3	3	3	0	0	0	2		
4月	2	1	1	1	0	0	0	1	4	4	4	1	1	1	0	1	1	1	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	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
6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			
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			
8月	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	1	1	0	0	0	0	0	4		
9月	4	3	1	1	1	0	0	0	1	2	3	3	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	1	2	2	1			
10月	1	0	1	1	1	2	1	2	0	0	2	2	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	4	6	10	12	9	6	7	6	5	9
11月	9	9	4	0	1	3	2	2	0	4	5	6	3	5	4	7	11	14	19	15	10	7	14	17	16	14	11	7	6	8			
12月	14	17	20	15	11	8	7	5	4	4	1	7	8	15	15	13	10	11	10	7	6	3	6	7	6	6	7	6	4	6			

波出現記録を取りまとめたものであり、表-14(1)は極大有義波高の発生日を、表-14(2)はじょう乱期間内に数えられた日をそれぞれカウントしたものである。表-14を表-13と比較すると、太平洋側では日本海側と異なり、冬期だけでなく年間を通じて高波が発生するため、逆に特定日への高波の発生の集中は少なくなっているようである。

表-14(1)で5回以上カウントしている日数は5日だけであり、3月21日、6月27日、8月31日、9月17日、10月9日である。このうち最大は10月9日の7回となっている。一方、表-14(2)で15回以上カウントしている日数は2日だけしかなく、しかも連続している3月23日と24日であり、15回、16回となっている。これらのことから、太平洋側においても、表-5や表-11で示されるように、月間の対数平均波高が最も高く、かつ平均波高の超過率の最も高い4月には、ナウファスの歴史に残る高波の発生は少なくなっていることがわかる。

表-14を表-9(2)と比較すると表-9(2)で最も顕著な高波浪特異日は表-14にも表れており、表-14(1)(2)では3月21日から24日にかけて高い高波発生回数が4日間にわたって継続している。表-9(2)で抽出されたその他の高波特異日も、1月5日を除いては、6月27日、9月18日(表-14では1日ずれて9月17日となってい

るが)、10月9日も、表-14から抽出された前述の高波発生回数の多い日と対応しているようである。

(4) 高波出現記録を用いた低波浪特異日解析

表-13あるいは表-14においては、発生回数が0となっている日が相当多数存在しているためこれらの表からただちに低波浪特異日を抽出することは困難である。しかし、前後の数日間にくらべての発生回数の相違は見る事ができるので、以下に表-9(1)(2)で抽出された低波浪特異日と比較を試みる。表-9(1)で抽出された日本海側における低波浪特異日と表-13(2)を比較すると以下のことがわかる。

① 2月13日

2月の中では2月12日から続いて高波期間としてカウントされている回数が0回となる日が続いており、表-13(2)からも高波が発生しにくい日となっている。

② 3月29日

3月27日~29日の3日間は回数が0回となっており、その前後数日間にくらべてやはり高波が発生しにくくなっているようである。

③ 10月11日

10月9日~11日の3日間がやはり回数が0回となっており同様の傾向がみられる。

④ 11月4日



表-14(1) 太平洋側における高波出現記録(極大値記録日)

	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	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2	2	1	1	0	0	0	0	1
2月	1	0	2	1	2	0	0	0	3	4	0	0	0	0	0	0	1	4	3	1	2	2	0	1	3	0	3	2	0		
3月	1	0	1	1	1	0	0	1	0	2	1	1	1	1	0	0	0	1	0	3	4	5	4	3	0	0	0	0	0	2	2
4月	1	1	0	1	0	2	0	3	1	1	0	0	1	0	1	1	0	2	2	3	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	
5月	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	2	1	0	0	4	0	1	1	0	0	0	0	0	2	
6月	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	5	0	0	2	
7月	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	1	
8月	1	2	0	2	1	2	0	0	0	1	0	0	1	0	2	1	1	1	0	1	0	1	4	0	1	4	2	0	1	3	5
9月	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	3	1	0	2	2	6	2	0	2	1	0	1	0	2	1	0	3	3	3	
10月	2	0	0	1	0	0	1	1	7	0	0	1	1	0	1	1	2	0	3	4	1	3	2	0	1	1	0	1	0	0	
11月	1	1	1	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	
12月	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	1	2	0	1	0	0	0	

表-14(2) 太平洋側における高波出現記録(高波期間中)

	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	2	3	2	2	2	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	5	6	6	7	7	5	5	5	3	3	
2月	3	3	4	4	5	5	5	3	7	6	6	2	0	0	0	2	8	11	12	11	9	5	7	8	6	7	8	9	2			
3月	8	6	5	5	4	2	1	2	2	4	3	4	3	2	2	1	2	2	3	10	12	14	15	16	13	7	3	3	3	4	6	
4月	6	3	3	3	5	4	3	4	4	4	1	1	2	2	2	2	5	4	7	7	3	2	2	2	2	2	1	1	1	2		
5月	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	6	6	2	5	4	5	5	3	2	2	1	0	0	1	1	
6月	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	3	6	8	8	10	9
7月	2	2	1	1	1	1	0	1	1	1	2	2	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	8	8	7	6	8	9
8月	10	9	9	10	9	6	4	2	3	2	3	4	5	5	6	3	2	3	4	5	5	3	4	4	4	7	9	12	11			
9月	8	6	2	2	2	3	2	2	4	3	9	11	14	14	11	12	10	10	11	7	4	5	3	4	4	7	9	12	11			
10月	11	10	10	9	9	7	9	10	10	12	11	9	10	6	6	6	8	8	12	11	11	11	10	6	6	3	2	1	1	1	1	
11月	2	3	2	2	0	2	2	2	3	3	3	3	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2		
12月	2	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	3	4	3	0	0	1	3	3	4	4	3	3	3	3	

やはりこの日だけが発生回数が0回となり同様の傾向がみられる。

⑤ 11月21日

発生回数は7回と少なくはないが、前後の数日間の中ではやはり極小回数となっている。

一方、太平洋側における表-9(2)と表-14(2)を比較すると以下の通りである。

① 1月16日

1月16日~19日にかけて回数が1となり前後の数日間よりは小さくなっている。

② 3月28日

3月27日~29日にかけて回数が3となり、やはり前後(特に前)の日よりは小さくなっている。

③ 4月19日

表-14(2)からは低波浪特異日として抽出するのは困難である。

④ 5月10日

5月5日~13日にかけて9日間にもわたって発生回数が0回となっている。

⑤ 8月10日

回数が2回となり前後の数日間の中では極小値となっている。

なお、表-10(2)で確認された7月20日前後の海の旬

間においては、表-14(2)においても7月17日から22日にかけて発生回数が0回となり、高波が発生しにくくなっているようである。

5.4 抽出された特異日における波浪状況

以上、表-9、表-10、表-12、表-13、表-14で示したように特異日の抽出を3つの手法で行ってみた。各手法に共通して、高波浪あるいは低波浪日とみなせる日もあれば、手法ごとに異なった日が抽出された場合もあったわけであるが、ここでは、総合的に判断して顕著な特異日とみなすことができそうな以下の日における波浪状況を高波浪特異日と低波浪特異日の比較を行い考察する。比較にあたっては、日本海側と太平洋側それぞれについて季節変動の影響が強く表れないようにするため、比較的近接した高波浪特異日と低波浪特異日を抽出することとした。

(1) 日本海側における2月3日(高)と2月13日(低)

表-15(1)は、日本海側における2月3日と2月13日の各年各観測地点における日平均有義波高を比較したものである。表-9(1)から求められたように、前者は高波浪特異日、後者は低波浪特異日として抽出されている。両者は、10日間だけしか離れていないため、1年間周期の季節変動による波浪特性の相違は小さいものと考えら

沿岸波浪の日変動特性と波浪の特異日

表-15(1) 日平均有義波高の出現状況(日本海側, 2月3日(高)と2月13日(低))

地点	月平均 波高(m)	観測年																		月平均 超過率		
		70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87		88	89
留明	1.44													1.87 ○ 0.63	0.98 ● 2.84	1.57 ○ 0.23	1.35 ○ 0.68	1.87 ○ 1.01	0.70 ● 2.84	4.62 ○ 0.92	1.63 ○ 0.82	6/8 ○ 2/8
深浦	1.89										2.57 ○ 2.46	1.04 ○ 0.81		1.76 ● 3.25	2.14 ○ 0.85	1.76 ○ 0.98	3.70 ○ 1.21	1.25 ○ 1.70	5.82 ○ 1.57	3.04 ○ 0.76	5/9 ○ 2/9	
酒田	1.83				1.83 ● 3.11	0.93 ● 2.58	2.25 ○ 1.21	1.76 ○ 1.24	4.39 ○ 1.88	2.07 ○ 1.76		1.46 ○ 1.35	1.90 ○ 0.64	1.61 ○ 3.84	2.31 ○ 0.92	1.52	2.47 ○ 1.41			2.95 ○ 0.88	7/12 ○ 4/12	
輪島	1.89									2.31 ○ 1.23	4.42 ○ 2.27	1.91 ○ 1.02	1.27 ○ 0.62	1.64 ○ 3.06	3.50 ○ 0.66		2.51 ○ 1.10	2.31 ○ 1.74	5.61 ○ 1.81	3.27 ○ 0.74	8/10 ○ 2/10	
金沢	1.78	2.42 ○ 1.01	1.57 ○ 0.34	1.73 ○ 0.78	1.51 ○ 0.94	0.73 ● 2.55	0.75	2.08 ○ 0.71	4.04 ○ 2.62	2.17 ○ 1.25	4.73 ○ 2.05	1.92 ○ 1.01	1.34 ○ 0.71	1.42 ○ 3.13	3.42 ○ 0.53	1.64 ○ 1.71	2.85 ○ 1.01	2.49 ○ 1.55	5.27 ○ 1.80	2.78 ○ 0.59	11/18 ○ 5/18	
鳥取	1.73											1.68 ○ 0.50	1.02 ○ 0.97	2.27 ○ 2.68	1.02 ○ 0.88	1.38 ○ 1.82	1.92 ○ 0.88	2.94 ○ 1.52	4.33 ○ 1.59	2.49 ○ 0.73	6/9 ○ 2/9	
浜田	1.75					1.33 ○ 1.72	0.98 ○ 0.98	2.07 ○ 0.79	2.85 ○ 2.07	2.38		1.91 ○ 0.51	1.16 ○ 1.24		2.92 ○ 2.63	1.65 ○ 2.21	2.68 ○ 1.14	4.60 ○ 1.68		2.19 ○ 0.84	8/11 ○ 4/12	
藍島	0.89						0.32 ○ 0.41	0.93 ○ 0.43		0.83 ○ 0.35	1.34 ○ 1.07	0.97 ○ 0.39	0.53 ○ 0.73	1.40 ○ 1.41	1.75 ○ 0.69	1.09 ○ 1.43	1.60 ○ 0.49	3.47 ○ 0.68	2.06 ○ 0.69	0.80 ○ 0.53	9/13 ○ 3/13	
那覇	1.36				1.77 ○ 0.82	0.90 ○ 0.73	0.39 ○ 0.31	1.96 ○ 0.39	1.65 ○ 1.77	1.32 ○ 0.38	1.22 ○ 1.50	1.14 ○ 0.52	0.78 ○ 1.70	2.26 ○ 1.82		0.53 ○ 1.28	1.24 ○ 1.78	4.18 ○ 1.43	2.67 ○ 0.53	1.96 ○ 0.67	7/15 ○ 6/16	

下段は2月3日における日平均有義波高(m) ○は2月3日 > 2月13日  
 上段は2月13日における日平均有義波高(m) ●は2月3日 < 2月13日

れる。表中には、左側の欄に各観測地点における累年の日平均有義波高の2月中の月間平均値(m)を示し、その右側に1970年から1989年にかけての20年間における各年の日平均有義波高が示されている。上段が2月3日における値(m)、下段が2月13日における値(m)である。表を見やすくするために、2月3日の波高が2月13日より高かった場合には白丸を、逆に低かった場合には黒丸を上段と下段の間に表示している。白丸および黒丸は、当該地点の当該年において、両日ともに実測データがありかつその値が等しくなかった場合に限り記入している。観測開始以前、あるいは欠測等により両日あるいはどちらか一方の日のデータがない場合には表は空欄としている。また、2月3日と13日の日平均有義波高が等しかったケース(1976年における浜田の観測結果)では、横線を表示している。表の右側には、各地点における2月3日あるいは13日の日平均有義波高が2月の月平均有義波高を超過した年の割合を示しており、やはり、2月3日の超過率が2月13日の超過率より高い場合には白丸を、低い場合に黒丸を表示している。

表中の各観測年における白丸の数は80、黒丸の数は24となり、80%近い観測において2月3日の日平均有

義波高は2月13日よりも高くなっており、2月3日と13日の波高の差は顕著である。月平均超過率の比較においても、9観測地点の全地点において2月3日における超過率は2月13日を上回っている。2月3日と13日は、わずかに10日間しか隔たっていないので、年間を通じての季節変動による差は小さいと考えれば、この両者の顕著な差は、短期変動による波浪の特異日の存在によるものと推論することができる。

地点ごとに2月3日と13日の相違を比較すると、最もその差が顕著に表れているのは輪島であって1979年から1989年までの間、欠測であった1985年を除き10年間のうち、わずか1回しか(1983年)2月13日における波高が2月3日を上回っていない。また2月3日が月平均波高よりも高くなっている年は、1982年と1983年を除く10年のうちの8年となっているのに対して、2月13日が月平均よりも高くなっている年は、逆に1980年と1983年の2年だけである。反対に、那覇においては2月3日が13日を上回る年は15年中11年間とはなっているものの、月平均超過率に限って見れば2月3日は7/15、2月13日は6/16と前者がわずかに後者を上回っているにすぎない。

次に、年ごとの比較を行う。1974年以前は観測地点数も少ないので1975年から1989年までの15年間について注目すると、過半数の地点で2月13日が2月3日より波高が高くなった年は、1975年、1983年、1985年の3年だけでありその他の12年間については大部分の観測地点で白丸となっている。特に、1977年、1979年、1981年、1984年、1986年、1988年、1989年の7年間については、すべての観測地点が白丸となっている。1975年、1978年、1980年、1983年の4年間について見ると、2月3日と2月13日との比較において、那覇だけが他の観測地点と逆の大小関係を示している。那覇は、日本海というよりは東シナ海に面した観測地点であり、緯度も低く空間的にも他の観測地点とかなり離れているため、表中の9観測地点の中では、他の8観測地点とは若干異なった傾向を示すことは十分に考えられる。

(2) 日本海側における3月25日(高)と3月29日(低)

表-15(2)は、日本海側における3月25日と3月29日との日平均有義波高を比較したものである。表-9(1)から前者は高波浪特異日、後者は低波浪特異日として抽出された日であるが、両者はわずかに4日間だけしか離れていないため、1年間周期の季節変動による波浪特性

の相違は極めて小さいものと考えられる。それにもかかわらず、各観測年における白丸と黒丸の数は、表全体でそれぞれ84と27となっており、80%近い観測において3月25日の波高は3月29日より高くなっておりその差は顕著である。月平均超過率の欄を見ても、すべての地点において、日平均波高が月平均波高を超過した確率は、3月25日は3月29日より顕著に高くなっている。

地点ごとにこの傾向を比較すると、3月25日と29日の日平均波高の差が最も顕著にあらわれているのは輪島あるいは留明であり、それぞれ3月25日が29日より低い波高となった年は観測期間中、わずかに1回だけである。また、深浦、輪島、金沢、鳥取の各観測地点では3月29日の日平均波高が3月における月間平均波高を上回った年がまったくないことも注目に値する。年ごとに見れば、1973年以前の観測値点数が1地点しかなかった期間を除外すれば、黒丸が比較的多く見られた年は、16年間のうち1978年、1985年、1988年の3か年となっている。

(3) 太平洋側における1月5日(高)と1月16日(低)

表-15(3)は、太平洋側における1月5日と1月16日と比較したものである。表-9(2)から前者は高波浪特

表-15(2) 日平均有義波高の出現状況(日本海側, 3月25日(高)と3月29日(低))

地点	月平均波高(m)	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	月平均超過率
留明	1.17													2.43 ○ 1.97	0.66 ○ 0.61	2.22 ○ 0.49	0.53 ○ 0.19	0.87 ○ 0.22	2.09 ○ 1.42	2.61 ○ 0.48	0.59 ○ 0.74	4/8 ○ 2/8
深浦	1.40											0.95 ○ 0.56	0.66 ● 0.73	1.16 ○ 0.67	1.85 ○ 0.80	0.27 ○ 0.42	1.65 ○ 0.38	2.86 ○ 0.94	1.65 ○ 0.55	1.15 ○ 0.94	4/9 ○ 0/9	
酒田	1.35				1.46 ○ 0.69	2.71 ○ 1.39	1.17 ○ 0.45	4.59 ○ 0.38	1.44 ● 1.51				0.36 ○ 0.93	3.20 ○ 0.73	1.12 ○ 0.51	1.81 ○ 1.24	0.22 ○ 0.38	2.01 ○ 0.30	4.85 ○ 0.80	1.00 ○ 0.59	2.28 ○ 0.78	9/14 ○ 2/14
輪島	1.42									2.78 ○ 0.51	0.77 ○ 0.27	1.07 ○ 0.77	3.52 ○ 0.34	1.48 ○ 0.88	1.63 ○ 0.87		1.68 ○ 0.61	3.58 ○ 0.60	0.78 ○ 1.05	1.51 ○ 0.87	7/10 ○ 0/10	
金沢	1.23	1.32 ○ 0.26	0.36 ● 0.60	0.65 ○ 0.53	3.17 ○ 0.98		1.66 ○ 0.69	0.69 ○ 0.47	3.97 ○ 0.44	1.16 ○ 1.17	3.06 ○ 0.42	0.68 ○ 0.23	0.80 ○ 0.55	2.88 ○ 0.26	0.97 ○ 0.43	1.34 ○ 0.82	0.62 ○ 0.49	0.95 ○ 0.52	4.07 ○ 0.53	0.63 ○ 0.87	1.43 ○ 0.70	9/19 ○ 0/19
鳥取	1.26											0.63 ○ 0.40	1.10 ○ 0.95	2.51 ○ 0.44	1.41 ○ 0.95	0.93 ○ 0.58	0.49 ○ 0.58	1.35 ○ 0.79	3.02 ○ 0.37	0.64 ○ 1.12	1.63 ○ 0.62	5/10 ○ 0/10
浜田	1.31				0.77 ○ 0.54		1.01 ○ 0.76	2.65 ○ 0.84	0.98 ○ 1.36		0.18	0.90 ○ 0.47	1.41 ○ 0.97	2.29 ○ 0.50		1.27 ○ 1.30	0.62 ○ 1.05	0.84 ○ 0.79	2.86 ○ 1.18	0.89 ○ 0.28	1.73 ○ 1.43	5/13 ○ 2/15
藍島	0.70						0.34 ○ 0.37	1.17 ○ 0.22			0.83 ○ 0.27	0.54 ○ 0.45	0.84 ○ 0.46	0.98 ○ 0.30	0.85 ○ 0.59	0.99 ○ 0.48	0.36 ○ 0.77	0.35 ○ 0.81	1.79 ○ 0.26	0.41 ○ 0.81	1.15 ○ 0.61	8/13 ○ 3/13
那覇	1.10				0.52 ○ 0.63	0.88 ○ 0.83		1.47 ○ 0.52	0.68 ○ 1.19		1.75 ○ 0.34	1.24 ○ 0.94	0.69 ○ 0.34	2.24 ○ 0.86	1.46 ○ 0.81	1.12 ○ 0.73	0.46 ○ 1.62	0.64 ○ 0.80	2.31 ○ 0.44	0.61 ○ 1.09	1.47 ○ 1.62	8/15 ○ 3/15

下段は3月25日における日平均有義波高 (m) ○ は3月25日 > 3月29日  
 上段は3月29日における日平均有義波高 (m) ● は3月25日 < 3月29日

沿岸波浪の日変動特性と波浪の特異日

表-15(3) 日平均有義波高の出現状況 (太平洋側, 1月5日(高)と1月16日(低))

地点	月平均 波高(m)	日																	月平均 超過率
		73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	
むつ小川原	0.85			0.99 ● 1.39	0.76 ○ 0.50	0.47 ○ 0.42	0.45 ● 0.62	0.35 ○ 0.46	1.19 ○ 0.69	1.98 ○ 0.49	1.37 ○ 0.58	0.79 ○ 0.60	1.16 ○ 0.57	0.54 ○ 0.64	1.56 ○ 0.55	0.64 ○ 0.54	0.67 ● 0.68	0.62 ○ 0.41	6/15 1/15
八戸	0.98		1.41 ○ 0.54		0.50 ○ 0.33	0.50 ○ 0.37	0.50 ● 1.29		2.29 ○ 0.72	1.99 ○ 0.42	1.74 ○ 0.60	0.73 ○ 0.72	1.53 ○ 0.60	0.90 ○ 0.54	1.27 ○ 0.77	1.08 ○ 0.53		0.78 ○ 0.32	7/13 1/13
釜石	0.77							0.27 ○ 0.25	1.32 ○ 0.62		1.07 ○ 0.64	0.85 ○ 0.69	1.52 ○ 0.35	0.43 ○ 0.36	1.52 ○ 0.92	1.58 ○ 0.62	0.52 ○ 0.43	0.59 ○ 0.45	6/10 1/10
仙台新港	0.56							0.80 ○ 0.57		1.99 ○ 0.32	0.51 ○ 0.59	0.64 ○ 0.34	0.23 ○ 0.30	0.86 ○ 0.29	1.74 ○ 0.44	0.38 ○ 0.53	0.36 ○ 0.46	0.21 ○ 0.36	4/9 3/10
常陸那珂	1.09							2.58 ○ 1.02	1.80 ○ 0.87	2.37 ○ 1.34	1.12 ○ 1.02	1.98 ○ 1.13	0.85 ○ 0.52	0.89 ○ 0.98	1.21 ○ 0.98	1.18 ○ 0.97	1:01	7/8 2/10	
浜金谷	0.68	0.37	0.37 ● 0.71	0.45 ● 0.60	1.20 ○ 0.35	0.60 ○ 0.28	1.36 ○ 0.80	0.37 ○ 0.61	0.63 ○ 1.40	0.78 ○ 0.45	0.99 ○ 0.48	0.90 ○ 0.33	0.44 ● 0.80	0.49 ○ 2.04	1.82 ○ 0.45	0.61 ○ 0.39	0.50 ○ 0.42	0.53 ○ 0.37	6/17 5/16
波浮	1.57		1.27 ○ 2.03	1.10 ○ 1.27	1.46 ○ 0.82	1.57 ○ 1.00	1.82 ○ 1.43	0.96 ○ 1.41	2.32 ○ 1.93	1.92 ○ 1.02	3.67 ○ 1.05	1.54 ○ 1.15			2.37 ○ 1.02	1.74 ○ 0.99	1.46 ○ 1.26	1.29 ○ 1.77	6/14 3/14
袖摩	0.80							0.87 ○ 0.46	0.34 ○ 0.42	1.95 ○ 0.62	1.34 ○ 0.49			0.57 ○ 0.48	1.11 ○ 0.66	1.15 ○ 1.04	1.18 ○ 0.84	6/8 2/8	
中城湾	0.94		0.86 ○ 0.56	0.86 ○ 0.78	0.55 ○ 0.84	1.23 ○ 0.66	0.40 ○ 0.66		0.60 ○ 0.47	1.92 ○ 1.03	1.54 ○ 0.77	0.92 ○ 0.86	1.27 ○ 0.78	0.80 ○ 0.60	1.00 ○ 0.61	1.30 ○ 1.42	0.93 ○ 0.91	6/14 2/14	

上段は1月5日における日平均有義波高 (m) ○ は1月5日 > 1月16日  
下段は1月16日における日平均有義波高 (m) ● は1月5日 < 1月16日

表-15(4) 日平均有義波高の出現状況 (太平洋側, 3月24日(高)と3月28日(低))

地点	月平均 波高(m)	日																	月平均 超過率
		73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	
むつ小川原	1.17			2.32 ○ 0.76		2.63 ○ 1.21	2.04 ○ 0.64	0.69 ○ 0.53	1.13 ○ 0.36	0.82 ○ 0.75	3.03 ○ 0.33	0.76 ○ 0.78	2.18 ○ 0.35	0.69 ○ 2.01	3.49 ○ 0.55	1.42 ○ 0.46	1.29 ○ 0.77	2.29 ○ 0.88	9/14 3/15
八戸	1.13		1.33 ○ 0.95	2.18 ○ 1.32	0.45 ○ 0.64	1.49 ○ 2.29	2.53 ○ 1.03		1.04 ○ 0.41	1.33 ○ 1.15	3.45 ○ 0.45	0.88 ○ 1.04	2.55 ○ 0.55	0.68 ○ 1.63	3.75 ○ 0.61	1.29 ○ 0.33	1.70 ○ 1.20	1.91 ○ 0.61	11/15 5/15
釜石	1.05						1.82 ○ 0.22	0.91 ○ 0.63			2.78 ○ 0.40		2.27 ○ 0.42	0.62 ○ 1.65	4.35 ○ 0.76	1.05 ○ 0.35	2.04 ○ 0.84	1.68 ○ 0.74	6/9 1/9
仙台新港	0.86							1.09 ○ 0.52		0.56 ○ 0.42	1.12 ○ 0.33	0.67 ○ 0.82	1.07 ○ 0.40	0.82 ○ 1.32	2.00 ○ 0.71	1.26 ○ 0.75	1.05 ○ 1.18	1.26 ○ 1.42	7/10 3/10
常陸那珂	1.45							1.54 ○ 0.73	1.19 ○ 0.94	2.15 ○ 0.94	0.88 ○ 0.87	2.86 ○ 1.61	1.41 ○ 1.29	3.93 ○ 1.07	1.74 ○ 1.07	1.62 ○ 1.39	2.22 ○ 2.61	7/10 2/9	
浜金谷	0.63		0.49 ○ 0.66	0.88 ○ 0.45	0.35 ○ 0.62	2.12 ○ 0.45	0.52 ○ 0.88	1.23 ○ 0.35	0.47 ○ 0.34	0.36 ○ 0.76	0.91 ○ 0.38	0.76 ○ 0.37	0.35 ○ 0.38	0.45 ○ 0.86	0.82 ○ 0.66	1.30 ○ 0.35	0.56 ○ 0.37	0.33 ○ 0.54	7/16 5/16
波浮	1.75		1.37 ○ 2.61	1.91 ○ 1.35	1.17 ○ 2.24	4.31 ○ 1.87	1.75 ○ 2.22	2.94 ○ 0.91		1.37 ○ 1.70	1.91 ○ 1.68	2.22 ○ 2.12	2.24 ○ 1.23		2.14 ○ 1.24	2.35 ○ 0.77		1.87 ○ 2.49	9/13 6/13
袖摩	1.20							0.6 ○ 0.66	1.14 ○ 0.44	1.09 ○ 1.37	1.28 ○ 1.76			1.34 ○ 2.33	1.18 ○ 0.65	1.33 ○ 1.61	2.12 ○ 0.85	4/8 4/8	
中城湾	0.99		0.99 ○ 0.58	0.67 ○ 0.94	1.18 ○ 0.80	1.03 ○ 0.91	0.51 ○ 0.67		0.70 ○ 0.86	1.34 ○ 0.60	0.99 ○ 2.48	0.79 ○ 0.86	1.08 ○ 1.26	1.39 ○ 1.41	0.87 ○ 1.40	0.77 ○ 1.02	1.58 ○ 1.64	2.09 ○ 0.60	7/15 6/15

上段は3月24日における日平均有義波高 (m) ○ は3月24日 > 3月28日  
下段は3月28日における日平均有義波高 (m) ● は3月24日 < 3月28日

異日、後者は低波浪特異日として抽出されている。両者は、11日間だけしか離れておらず、また、表-5や図-7からもわかるように、太平洋側では、1年を周期とする季節変動は日本海側ほどは顕著でないことから、両者の差は短期変動によるものと考えられる。各観測年における白丸と黒丸の数は、表全体で83と24にそれぞれなっており、やはり約80%の観測で、1月5日の波高は1月16日よりも高くなっている。月平均波高を超過した割合を比較しても1月5日は1月16日よりも高くなっている。地点ごとに比較すると、釜石および常陸那珂では、観測期間中のすべての年で、1月5日の波高は1月16日よりも高くなっている。また、むつ小川原、八戸、釜石の各観測地点では、1月16日に1月の月間平均波高を超えた年はそれぞれわずか1年しかなく、1975年、1978年および1986年がそれぞれの地点で月間平均値を超えた年となっている。これに対し、東京湾口に位置する浜金谷では、各年における白丸と黒丸の数はそれぞれ10および6となっており、黒丸の割合が他の観測点に比較して最も多くなっている。また、1月5日および16日それぞれにおける月平均波高超過日数は6日および5日となっており、その差も最も小さい。しかし、他の観測点に比較して地理的に南に大きく離れている油津および中城湾においても、表-15(3)ではやはり1月5日の波高は1月16日よりも高くなっているため、1月5日と1月16日の波高の差は、北から南まで太平洋沿岸全体に見られる傾向と考えてよさそうである。

年ごとの比較を行うと、日本海側とは異なり、太平洋側ではほとんどの観測年において白丸と黒丸の両方が存在しているようであるが、1977年、1980年、1982年、1983年および1986年ではすべての観測地点が白丸となっており、また、1975年、1978年、1979年および1985年には比較的黒丸が多くなっている。

(4) 太平洋側における3月24日(高)と3月28日(低)

表-15(4)は、太平洋側における3月24日と3月28日と比較したものである。表-9(2)から前者は高波浪特異日、後者は低波浪特異日として抽出されている。ここでも両者は、わずか4日しか離れていないわけであるが、特に、表-15(2)の高波浪日および低波浪日のそれぞれが1日づつ前にずれていることは興味深い。

表全体の各年における白丸と黒丸の数はそれぞれ69および38となっており、約60%の観測において、太平洋側では3月24日の波高が3月28日よりも高くなっていることがわかる。ただし、表-15(3)とは異なり、表-15(4)では白丸と黒丸の出現状況は地域的に片寄りがあり、南方に位置する油津や中城湾においては、白丸と黒

丸の比がそれぞれ3:5および5:9と逆に黒丸の方が多くなっている。月平均超過率においては、3月29日の超過率が25日よりも高くなっている観測地点こそ見られないものの、油津ではどちらも4/8と等しい値を示し、中城湾においても3月25日の7/15に対し3月29日は6/15となっておりその差は小さくなっている。すなわち、太平洋側全体として見れば、3月25日は高波浪特異日、3月29日は低波浪特異日と考えてもよさそうであるが、これは波浮よりも北側の観測点において特に顕著な現象であり、油津や中城湾といった南方の観測地点には必ずしもあてはまてはいないようである。各年の比較を行うと、各年とも、表-15(3)と同様に白丸と黒丸が見られるようであるが、1977年、1979年においてはすべて白丸となっていること、および、1976年、1983年、1985年、1989年においては比較的黒丸が多くなっており、特に1985年にはすべての観測地点で黒丸となっていることが注目される。

## 6. まとめ

本研究で明らかにされたことをまとめると以下の通りである。

- (1) 対数日平均有義波高の出現特性をもとに検討対象19地点の海域分類を行った結果、日本海側9地点と太平洋側9地点に明確に分類できることが、主成分解析の結果明らかとなった。神戸港の観測データは、日本海側、太平洋側のいずれの海域とも異なった傾向を示した。
- (2) 日平均有義波高を各地点における累年平均波高で無次元化しその対数をとると、正規分布に非常に近い出現特性を示す。海域別に細かく検討すれば、日本海側では歪度はほぼ0に近いが尖鋭度が3よりも若干小さくなっている。これは顕著な年間変動によるものであり累年平均値のかわりに月平均値で無次元化すれば尖鋭度は3に近づきより正規分布に近い分布となる。一方、太平洋側では逆に尖鋭度はほぼ3に等しいものの歪度が0よりも若干正の値にシフトする傾向がみられる。
- (3) 1980年から1989年の日本海側および太平洋側の日平均有義波高の年間平均値の経年変動を調べると、太平洋側で波高が高く日本海側で低い年と、太平洋側で低く日本海側で高い年がほぼ交互に出現していることがわかった。さらにこの10年間に限って見れば、太平洋側日本海側とも、波高が増加しつつある長期トレンドが確認された。
- (4) t検定上の5%信頼範囲を基準として対数日平均

波高の平均値の変動の大きさを指す一つの指標を用いて、日本海側太平洋側それぞれにおける、経年変動、年間季節変動（月毎の平均値の変動）および短期変動の大きさを定量的に評価した。この結果、年間季節変動が特に日本海側では最も顕著な変動ではあるが、経年変動と短期変動とともに統計的には十分に有意性が見られる重要な変動であることが示された。

(5) 短期変動に注目し、時系列図による方法、基準波高超過未超過確率による方法、および全国港湾海洋波浪観測20か年統計（NOWPHAS 1970-1989）に示される高波一覧表から抽出する方法の3手法で、日本海側・太平洋側それぞれ5日程度づつ高波浪特異日と低波浪特異日を抽出した。

また、日本海側太平洋側に共通して、7月20日の海の記念日前後の数日間は、日本海側と太平洋側に共通して、平均的に波高が低く、高波も発生しにくくなっていることも、明らかにされた。

(6) 比較的高波浪特異日と低波浪特異日が近接している日を、日本海側と太平洋側からそれぞれ2ケースづつ選定し、比較検討した結果、顕著な日平均有義波高の差が確認検証された。

## 7. あとがき

本研究は著者らによって取りまとめられた全国港湾海洋波浪観測20か年統計（NOWPHAS 1970-1989）のデータをもとに沿岸波浪の日変動特性と波浪特異日に関して考察したものである。全国港湾海洋波浪情報網（ナウファス）は、1970年以来20年以上のデータの蓄積があるとは言えるものの、1970年代における超音波式波高計等により直接表面波形を観測していた観測地点数はきわめて限られていたため、実質的には1980年以後のデータによって検討を進めざるを得ない状況となっている。このため、さらに長期的な波候変動などの詳細な検討を行うためには、より長期間のデータの蓄積が望まれる。今後の25か年統計あるいは30か年統計を取りまとめる時点でデータの再整理、再検討を行う所存である。

本研究は、横浜国立大学の合田良実教授（元港湾技術研究所長）からいただいたご教示をきっかけとしてはじめたものである。全国港湾海洋波浪情報網（ナウファス）のデータの蓄積は、運輸本省港湾局、第一から第五までの各港湾建設局、北海道開発局および沖縄総合事務局の波浪観測担当者の各位の日々の御健闘御努力の上に行われているものであり、また港湾技術研究所内部においても全所的な支援体制のもとに行われているものである。

データ解析にあたっては、(財)沿岸開発技術研究センターおよび(株)エコー波浪プロジェクト室の御協力をいただいている。あらためてこれらの方々には謝意を表する。

(1993年3月31日受付)

## 参 考 文 献

- 1) 高橋智晴・副島 毅・中井徹也・佐々木 弘・菅原一晃：波浪に関する拠点観測年報（昭和45年），港湾技研資料 No.137, 1972, 276 p.
- 2) 高橋智晴・副島 毅・中井徹也：波浪に関する拠点観測年報（昭和46年），港湾技研資料 No.158, 1973, 325 p.
- 3) 高橋智晴・副島 毅・中井徹也：波浪に関する拠点観測年報（昭和47年），港湾技研資料 No.178, 1974, 328 p.
- 4) 高橋智晴・副島 毅・佐々木徹也：波浪に関する拠点観測年報（昭和48年），港湾技研資料 No.209, 1975, 494 p.
- 5) 高橋智晴・佐々木徹也・金子大二郎・副島 毅：波浪に関する拠点観測年報（昭和49年），港湾技研資料 No.233, 1976, 452 p.
- 6) 高橋智晴・佐々木徹也・広瀬宗一：波浪に関する拠点観測年報（昭和50年），港湾技研資料 No.258, 1977, 577 p.
- 7) 高橋智晴・佐々木徹也・広瀬宗一：波浪に関する拠点観測年報（昭和51年），港湾技研資料 No.282, 1978, 669 p.
- 8) 高橋智晴・佐々木徹也・広瀬宗一：波浪に関する拠点観測年報（昭和52年），港湾技研資料 No.311, 1979, 682 p.
- 9) 高橋智晴・広瀬宗一・夷塚葉子・佐々木徹也：波浪に関する拠点観測年報（昭和53年），港湾技研資料 No.332, 1980, 624 p.
- 10) 高橋智晴・広瀬宗一・菅原一晃・夷塚葉子：波浪に関する拠点観測年報（昭和54年），港湾技研資料 No.373, 1981, 480 p.
- 11) 高橋智晴・広瀬宗一・菅原一晃・橋本典明：沿岸波浪観測年報（昭和55年），港湾技研資料 No.417, 1982, 835 p.
- 12) 高橋智晴・広瀬宗一・菅原一晃：沿岸波浪観測年報（昭和56年），港湾技研資料 No.445, 1983, 612 p.
- 13) 菅原一晃・広瀬宗一・橋本典明・村田 繁：沿岸波浪観測年報（昭和57年），港湾技研資料 No.480, 1984, 320 p.
- 14) 菅原一晃・小舟浩治・橋本典明・亀山 豊・広瀬宗一：沿岸波浪観測年報（昭和58年）港湾技研資料 No.517, 1984, 333 p.
- 15) 菅原一晃・小舟浩治・橋本典明・亀山 豊：沿岸波浪観測年報（昭和59年），港湾技研資料 No.545, 1986, 324 p.

- 16) 小舟浩治・菅原一晃・亀山 豊・橋本典明・成田明  
：沿岸波浪観測年報 (1985), 港湾技研資料 Na  
574, 1987, 274p.
- 17) 小舟浩治・亀山 豊・成田 明・菅原一晃・後藤智  
明・橋本典明：沿岸波浪観測年報 (1986), 港湾技  
研資料 Na612, 1988, 247p.
- 18) 小舟浩治・亀山 豊・末次広児・菅原一晃・後藤智  
明・橋本典明：沿岸波浪観測年報 (1987), 港湾技  
研資料 Na642, 1989, 259p.
- 19) 小舟浩治・亀山 豊・菅原一晃・橋本典明：沿岸波  
浪観測年報 (1988), 港湾技研資料 Na666, 1990,  
267p.
- 20) 小舟浩治・亀山 豊・永井紀彦・菅原一晃・橋本典  
明：沿岸波浪観測年報 (1989), 港湾技研資料 Na  
712, 1991.
- 21) 永井紀彦・菅原一晃・橋本典明・浅井 正・平野隆  
幸：沿岸波浪観測年報 (1990), 港湾技研資料 Na  
721, 1992, 274p.
- 22) 永井紀彦・菅原一晃・橋本典明・浅井 正：全国港  
湾海洋波浪観測年報 (NOWPHAS 1991), 港湾技  
研資料 Na745, 1993, 304p.
- 23) 高橋智晴・副島 毅・佐々木徹也：波浪に関する拠  
点観測3ヶ年統計 (昭和45年～47年), 港湾技研  
資料 Na208, 1975, 58p.
- 24) 高橋智晴・金子大二郎・佐々木徹也・広瀬宗一・佐々  
木 弘・副島 毅：波浪に関する拠点観測五ヶ年統  
計 (昭和45年～49年), 港湾技研資料 Na234,  
1976, 304p.
- 25) 高橋智晴・広瀬宗一・菅原一晃・橋本典明：波浪に  
関する拠点観測10か年統計 (昭和45年～昭和54年),  
港湾技研資料 Na401, 1981, 711p.
- 26) 菅原一晃・小舟浩治・佐々木 弘・橋本典明・亀山  
豊・成田 明：沿岸波浪観測15か年統計 (昭和45  
年～昭和59年), 港湾技研資料 Na554, 1986, 872  
p.
- 27) 永井紀彦・菅原一晃・橋本典明・浅井 正：全国港  
湾海洋波浪観測20か年統計 (NOWPHAS 1970～  
1989), 港湾技研資料 Na744, 1993, 247p.
- 28) 小舟浩治：わが国沿岸海域における波浪観測手法と  
出現波浪の特性に関する研究, 港湾技研資料 Na  
668, 1990, 188p.
- 29) 小舟浩治：波浪統計とその利用法, 平成2年度港湾  
技術研究所講演会講演集, 1990, pp.239～279
- 30) 中村 繁・北村幸房：理科年表読本 気象データマ  
ニュアル, 丸善, 1987, 205p.
- 31) 合田良実：極値統計におけるプロット公式なら  
びに推定値の信頼区間に関する数値的検討, 港湾  
技術研究所報告第27巻第1号, 1988, pp.31～89
- 32) 例えば M. G. ケンドール著, 浦昭二・竹並輝之  
共訳：多変量解析の基礎, Naサイエンス社 サイ  
エンスライブラリ統計学4, 1972, 160p.
- 33) 例えば 林 周二：統計学講義第2版, 丸善, 1973,  
378p.
- 34) 渡辺 巖・富田 宏・谷澤克治：北太平洋の波と風  
(1974～1988), 船舶技術研究所報告別冊第14号,  
運輸省船舶技術研究所, 1992, 418p.
- 35) 平山次清・渡辺 巖：第1章 環境条件, 運動性  
能研究委員会・第9回シンポジウム, 日本造船学会,  
1992, pp.1～50

主要記号表

- D3: 歪度  
D4: 尖鋭度  
H: (有義) 波高  
MV: 平均値  
N: 各観測地点におけるデータ数  
SD: 標準偏差  
 $\bar{X}$ : 日平均値  
Z: 5%信頼範囲を基準としたt検定における変動  
指標 (式(1)で定義)  
i: データ番号  
ln: 自然対数  
m: 日毎のデータ数  
n: 地点番号  
 $t_0$ : 5%信頼範囲に対応するt検定におけるtの値  
 $t_1$ : t検定におけるtの値  
 $\sigma$ : 標準偏差  
 $\mu$ : 月平均値  
 $\phi$ : t検定上の自由度