

論文

類別化手法に基づく わが国沿岸での風速 および波高の極値の 推定

山口正隆*・大福 学*・畑田佳男*

Estimation of Extremes of Wind Speed and Wave Height around the Coasts of Japan Based on Categorized Sampling Technique

Masataka YAMAGUCHI*, Manabu OHFUKU*
and Yoshio HATADA*

Abstract

This paper discusses the availability of a categorized data sampling technique in the extreme analysis. According to the class of meteorological disturbance and the class of some period in a year such as the season or month, four kinds of categorized maximum wind speed data sets are made from daily maximum wind speed data gathered over 16 to 34 years at 23 lighthouses around the coasts of Japan. The optimum distribution and the return wind speed with the standard deviation are estimated for each of categorized data sets by use of a modified version of Goda's extreme analysis model based on the least square method. Comparison among the results estimated from annual maximum data and those estimated from categorized data reveals that the data categorization method is not so advantageous over the usual method except for the cases where typhoon-generated winds are dominant. A similar conclusion is obtained from the investigation using the wave height data around the coasts of Japan.

キーワード：類別化手法，年最大風速・波高資料，再現確率統計量・信頼区間，最小2乗法，日本沿岸

Key words : categorized sampling technique, annual maximum data of wind speed and wave height, return value and confidence interval, least square method, coasts of Japan

* 愛媛大学工学部環境建設工学科
Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Ehime University

本論文に対する討論は平成10年11月末日まで受け付ける。

1. 緒言

極値統計解析において、標本は統計的に独立かつ等質（同一の母集団に属する）であることが要求される。このため、標本にこれらの特性をできるだけ保持させる目的から、極値資料を発生要因別（Thom, 1973; Cavaleri et al., 1986; 山口・他, 1995）、あるいは月別（Carter and Challenor, 1981）・季節別（Morton et al., 1997）、あるいは温帯低気圧の経路別（Resio, 1978）や台風の経路別（Tsuchiya and Kawata, 1984; 白石・他, 1985）に分類して、別個に解析を行ったのち、それぞれの結果を合成することにより、再現確率統計量や標準偏差を推定する方法（Carter and Challenor, 1981; 合田, 1988, 1990）が提案されている。

これらの研究のうち、Carter and Challenor (1981) は、年最大波高・風速資料が季節変動を含み、その結果、標本の等質性が保証されないことを考慮に入れて、月最大波高・風速資料にあてはめた確率分布（Gumbel 分布、すなわち FT-I 型分布）の乗算により再現確率統計量（50 年確率波高・確率風速）を推定するとともに、年最大値資料に基づく極値統計解析法（Gumbel 分布を使用）は、季節変動のために再現確率統計量をやや低めに評価するが、両者の差は信頼区間と比べて小さいことを指摘している。また、山口・他 (1995) は、わが国沿岸のほぼ全域で取得された波高観測資料から、年最大波高資料および極大波高資料、ならびに台風とそれ以外の気象擾乱を発生要因としてこれらを分類した 4 種類の極値資料の合計 6 種類を作成した。そして、合田 (1988, 1990) の最小 2 乗法に基づく極値統計解析システム（候補確率分布として Gumbel 分布、Weibull 分布を使用）を用いた解析結果の考察から、気象擾乱別極値資料に基づく確率波高および標準偏差の合成は、平均的には、確率波高および標準偏差の増加をもたらすことなど、いくつかの特徴を見出している。

一方、Resio (1978) は、温帯性低気圧によりもたらされる特定地点の波浪や高潮の特性を分類できる単一の指標はその経路であることを見出すと

ともに、波浪追算から得られた極大波高資料を一括解析（FT-II 型分布を使用）して推定した確率波高は、温帯低気圧の経路別に分類した極大波高資料に対する極値統計解析結果（Gumbel 分布を使用）の合成より得られた確率波高よりかなり大きいことを例示している。ただし、これは正側で長い裾を引く分布形状を示す FT-II 型分布の使用によるところが大きく、たとえば、Weibull 分布を使用した場合には、両者の確率波高の差は縮小すると考えられる。

以上のように、種々の方法に基づく極値資料の類別化によって標本の等質化がはかられているが、各種の方法で得られた再現確率統計量相互の関係はあまり明らかでなく、再現確率統計量の標準偏差の特性も、山口・他 (1995) の研究を除いて、ほとんど検討されていない。また、類別化手法によって等質化された極値資料は、上述のように、Gumbel 分布で近似されることが経験的に示されているにすぎない。これは、母集団分布が指数分布で表される場合に標本最大値は Gumbel 分布に漸近するという理論的帰結を反映すると考えられるが、理論はあくまで大標本を前提としている。しかし、現実には標本数や資料期間の制約により、Gumbel 分布の成立は必ずしも保証されないので、極値資料のあてはめには、より広範な候補分布を用意する必要がある。

そこで、本研究では、わが国沿岸多地点で取得された風速および波高観測資料から種々の類別化手法によって等質化した最大値資料を求めたのち、最小 2 乗法に基づく現行の極値統計解析システムに対する修正システム（山口・前川, 1997b）を用いて、それぞれの再現確率統計量と標準偏差を推定するとともに、相互の特性を広範に比較検討しようとするものである。

2. 極値統計解析法の概要

2.1 最小 2 乗法に基づく極値統計解析システム

合田 (1988, 1990) の最小 2 乗法に基づく極値統計解析システム（現行システム）は、Gumbel 分布および形状母数を $k = 0.75, 1.0, 1.4, 2.0$ とする 4 種類の 3 母数 Weibull 分布の合計 5 種類

の候補分布,あるいは形状母数を $k = 2.5, 3.33, 5.0, 10.0$ とする 4 種類の FT-II 型分布を加えた合計 9 種類の候補分布の中から,相関係数基準あるいは MIR 基準に従って最適分布を選択して再現確率統計量を推定するとともに,経験式に基づいて再現確率統計量の標準偏差を算出するものであり,最小 2 乗法に特有のプロットング公式が候補分布ごとに用意されている。また,現行システムは事象の年平均発生数 $\lambda (= N_T/K, N_T$: 資料総数, K : 資料年数) および資料採択率 $\nu = (N/N_T, N$: 採択資料数) を導入することによって,最大値資料および極大値資料の両者に適用可能であるし,標本中の最大値の偏差,および相関係数の残差値に着目した,分布関数のあてはめを棄却するための 2 つの基準 (DOL, REC 基準) を含む。しかし,現行システムは,Weibull 分布の形状母数の上限値を $k = 2.0$ としているため,本来 $k > 2.0$ をとるはずの尖鋭な分布形状をもつ資料に対する再現確率統計量の推定精度に問題を有しており,しかも標準偏差を全般的に過大評価する傾向をもつ (山口・前川, 1997b)。

山口・前川 (1997b) が提案した修正システムは, Gumbel 分布および形状母数を $k = 0.5 \sim 100$ の間の任意個数 (ここでは,現行システムの 4 個を含む 33 個) の 3 母数 Weibull 分布あるいは $k = 2.5 \sim 40$ の間の任意個数 (ここでは,現行システムの 4 個を含む 20 個) の FT-II 型分布を候補分布とし, Weibull 分布および FT-II 型分布に対して形状母数 k の関数で表された合田のプロットング公式 (Gumbel 分布の場合,公式中の係数は固定) を用いた非超過確率表示に基づく再現確率統計量算定法,相関係数基準に基づく最適分布選択法および jackknife 法 (Miller, 1974) に基づく再現確率統計量の分散推定法を組み合わせた方法である。また, DOL 基準および REC 基準による候補分布の棄却検定法は,合田 (1990) が与えた係数を外挿することによって, Weibull 分布では $k = 0.5, 2.5, 3.0$ の場合にも, FT-II 型分布では $k = 15.0, 20.0$ の場合にも適用可能なように拡張されている。

2.2 乗積確率計算に基づく再現確率統計量および分散の推定

類別 (気象擾乱別あるいは期間別) 最大値資料の確率分布 $F_j(x)$ が推定された場合,これらを結合した確率分布 $F(x)$ は, n を最大値資料の類別数として,次式で求められる (合田, 1988, 1990)。

$$F(x) = \prod_{j=1}^n F_j(x) \quad (1)$$

したがって,式 (1) より,類別最大値資料に対する確率分布を合成した場合の再現確率統計量の算定が可能になる。一方,再現確率統計量の分散に対する合成法として,次式による方法 (合田, 1988, 1990) が提案されている。

$$\sigma^2(x_R) = \left[\sum_{j=1}^n N_j \{1 - F_j(x_R)\} \sigma_j^2(x_R) \right] / \left[\sum_{j=1}^n N_j \{1 - F_j(x_R)\} \right] \quad (2)$$

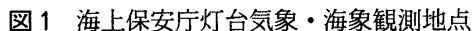
ここに, N_j は類別最大値資料の資料数, x_R は合成確率分布より得られる再現確率統計量, $\sigma_j^2(x_R)$ は x_R に対応する類別最大値資料ごとの再現確率統計量の分散であり,種々の再現期間 R に対する標準偏差 σ_j の数値表を内挿して求める。

3. 極値資料の抽出

3.1 風速の極値資料

本研究で取り扱う第 1 の資料は,わが国沿岸の灯台で取得された海上保安庁灯台気象・海象観測資料のうち,長期の観測期間 (1953~1986 年の間の 16~34 年間) が確保されている,図 1 の 23 地点における日最大風速資料である。解析にあたっては,それぞれの地点における観測風速値を 1/7 乗則の適用により,地上高度 10 m での風速値に変換した。抽出した極値資料は,年最大風速資料 (山口・他, 1997a, c) および気象擾乱別年最大風速資料と 3 種類の期間別最大風速資料である。

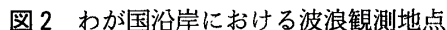
気象擾乱別年最大風速資料とは,1 年間の風速記録の成因を台風およびそれ以外の気象擾乱に分けた場合の,それぞれの気象擾乱に伴う年最大風速資料であり,天気図および台風経路図の視察によりその成因を確認する作業を行った。また,3 種類の期間別最大風速資料とは,① 1 年を 6~10



気象擾乱別年最大風速資料と期間（台風期・非
台風期）別最大風速資料は、台風の影響が卓越す

3.2 波高の極値資料

本研究で取り扱う第2の資料は、わが国沿岸のほぼ全域で運輸省や気象庁などの関係機関によって取得された波浪観測資料のうち、気象擾乱別（台風とそれ以外の気象擾乱）年最大波高資料の抽出が可能であった、図2に示す30地点における観測期間10～25年間の資料である。解析では、年最大波高資料（山口・他, 1997a, c）と気象擾乱別年最大波高資料を用いるが、日本海沿岸における大部分の波浪観測地点では、台風に伴う年最大波高資料を全観測期間にわたって抽出することは困難であったので、日本海沿岸最南西部の藍島および玄界灘（ブイ）以外の地点は、解析対象地点から除外されている。なお、1993年までの年最大値資料の抽出方法や年最大値資料のもつ問題点は山口・他（1995）により詳述されている。また、



今回の研究は、1994 年までの気象擾乱別年最大波高資料に山口・前川 (1997b) の修正システムを適用した点で、1993 年までの資料に合田の現行システム (1988, 1990) を適用した山口・他 (1995) の研究と異なる。

4. わが国沿岸における風速および波高の極値

4.1 類別最大風速資料に基づく確率風速の推定

修正システムは現行システムと同様に、Gumbel 分布、Weibull 分布および FT-II 型分布を候補分布としている。FT-II 型分布はその高適合性のために、最適分布として選択される場合も多い。しかし、FT-II 型分布は、正側に長い裾を引く形状特性により、再現確率統計量および標準偏差を他の分布に比べて大きめに評価する傾向にあるので、ここでは Gumbel 分布および 33 種類の

形状母数 ($k = 0.5 \sim 100$) に対する Weibull 分布を候補分布とした解析結果を検討する。

図 3 は年最大風速資料および気象擾乱別年最大風速資料 U (m/s) に対する最適分布のあてはめ結果および観測値 U_{obs} (m/s) と計算値 U_{cal} (m/s) の Q-Q プロット図 (Muir and Shaarawi, 1986) の 1 例を土佐沖ノ島について示したものである。図中の F は非超過確率を表す。この場合の最適分布の適合度はいずれの資料についてもかなり高く、したがって相関係数の値も大きい。しかし、気象擾乱別最大風速資料に対する最適分布の適合度が両方とも年最大風速資料に対する最適分布の適合度を上まわる地点は少ない。

表 1 は観測期間 30 年以上の 12 地点における風速計の海拔高度、年最大風速資料および気象擾乱別年最大風速資料に対する極値統計解析結果、ならびに気象擾乱別年最大風速資料の確率分布に対する乗積確率計算に基づく確率風速および標準

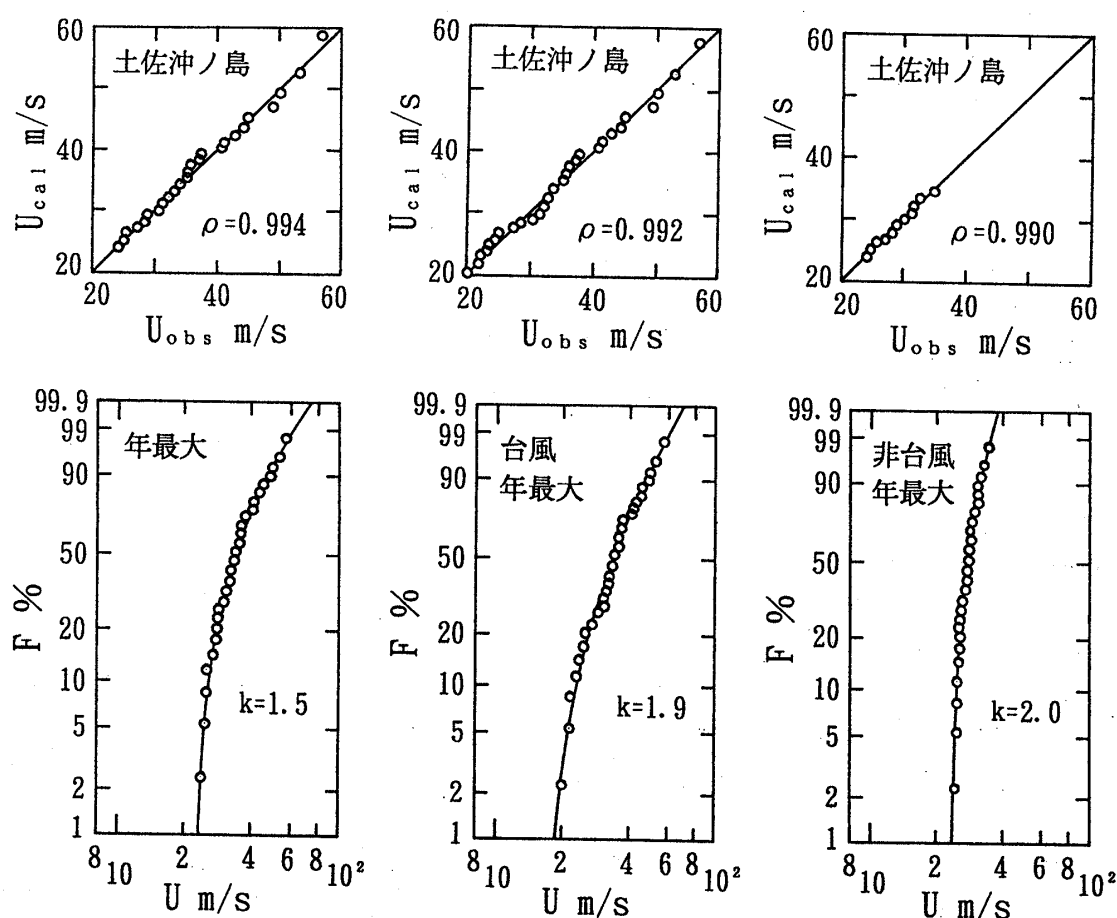


図3 気象擾乱別年最大風速資料に対する最適分布のあてはめ結果および Q-Q プロット図

表1 気象擾乱別年最大風速資料に基づく極値統計解析結果

地点名	高度 (m)	年最大風速						合成風速		台風年最大風速				非台風年最大風速			
		K	$U_{\max}$	k	ρ	U_{100}	U_o	U_{100}	U_o	k	ρ	U_{100}	U_o	k	ρ	U_{100}	U_o
襟裳岬	71	34	48.4	1.9	.994	50.0	1.8	50.3	2.0	2.4	.986	44.0	2.2	1.8	.995	50.2	1.9
恵山岬	47	34	31.6	1.3	.995	33.2	2.4	32.3	3.3	G	.983	30.1	3.6	1.6	.991	30.7	1.8
尻屋崎	26	34	39.4	1.7	.997	41.3	1.8	42.0	3.5	1.3	.994	41.3	3.6	1.8	.995	38.9	1.6
金華山	57	34	26.4	2.4	.987	28.8	1.2	29.5	1.8	2.2	.990	28.8	1.7	1.7	.985	27.4	1.5
大王崎	37	34	36.1	1.7	.996	38.2	2.1	39.6	2.5	1.7	.993	39.5	2.4	G	.995	30.7	1.8
土佐沖ノ島	173	33	56.7	1.5	.994	61.8	4.5	60.8	4.1	2.0	.992	60.8	4.1	1.9	.990	35.3	1.2
佐田岬	41	33	50.8	2.0	.991	55.6	2.7	55.3	2.5	2.8	.995	55.3	2.5	3.5	.988	35.7	.7
佐多岬	62	32	62.7	1.2	.995	68.1	6.3	69.1	6.9	1.3	.989	69.1	6.9	3.0	.988	43.5	1.8
釣掛崎	159	31	42.4	1.8	.983	48.3	3.2	48.0	3.1	2.4	.990	48.0	3.0	G	.983	34.5	2.5
女島	119	34	49.3	1.1	.986	50.0	5.3	50.2	4.6	G	.989	50.2	4.6	2.2	.985	30.2	.7
舩倉島	21	34	39.1	G	.989	39.5	2.7	40.5	4.2	3.0	.986	36.2	1.8	.9	.992	39.9	4.3
経ヶ岬	148	34	32.5	2.8	.986	32.4	1.5	33.8	3.5	G	.989	33.8	3.5	5.0	.984	29.8	.8

 $U_{\max}, U_{100}, U_o$: m/s

偏差（以後、合成確率風速および合成標準偏差と云う）の一覧であり、確率風速および標準偏差は再現期間100年に対して与えられている。また、DOL基準およびREC基準による候補分布の棄却検定結果はそれぞれの年最大風速資料の欄から省略されている。表中の記号は K が観測年数、 k が最適分布として選択されたWeibull分布の形状母数（Gumbel分布の場合にはG）、 ρ がQ-Qプロットにおける観測風速と計算風速との相関係数あるいは風速資料の順序統計量とその非超過確率の推定値によって定義される変量ととの間の相関係数、 U_{100} (m/s) が100年確率風速、 U_o (m/s) が100年確率風速の標準偏差、 $U_{\max}$ (m/s) が観測最大風速を表す。この表から、つぎの特徴が見出される

①気象擾乱別年最大風速資料に対する相関係数は年最大風速資料に対する相関係数に比べて必ずしも増加しておらず、年最大風速資料の類別化によって最適分布の適合度が向上するとは云えない。

②確率風速からみて、台風の影響が卓越する地域は大王崎以西の太平洋岸および東シナ海沿岸であり、太平洋岸北東部や日本海沿岸では台風と台風以外の気象擾乱の影響が拮抗する。また、台風以外の気象擾乱の影響が卓越する地点は、12地点のうち北海道の襟裳岬1地点にすぎない。このように、わが国沿岸では、風速の極値に及ぼす台風の影響が著しい。

③風速計高度や周辺の地形状況の相違を考慮し

ても、100年確率風速は台風の影響が強い地域で大きい。

④標準偏差は形状母数が小さい地点で大きい、形状母数に地域的特性は見られない。

⑤気象擾乱別年最大風速資料に対する確率分布の合成は確率風速の増加をもたらすが、その増加率は気象擾乱別年最大風速資料に基づく確率風速の相対的大きさに依存する。すなわち、合成確率風速は、気象擾乱別資料に基づく確率風速に差がある場合ほど、大きい方の確率風速に近い値をとるか、あるいはほぼ一致する。また、合成確率風速は、気象擾乱別資料に基づく確率風速が同程度の場合、若干大きい値をとる。

⑥合成標準偏差も、気象擾乱別資料に基づく標準偏差に差がある場合ほど、大きい方の標準偏差に近い値をとる。また、両者の差が小さいとき、合成標準偏差は、両者のうち大きい方の標準偏差より若干増加する場合と減少する場合が混在するが、これは合成標準偏差の算出に際して重みとして使用する超過確率の値に依存する。

⑦合成確率風速と年最大風速資料に基づく確率風速の差は、標準偏差を考慮すれば、無視しうる程度である。一方、合成標準偏差が年最大風速資料に基づく標準偏差より大きい地点が多いが、台風の影響が卓越する4地点（土佐沖ノ島、佐田岬、釣掛崎、女島）では逆に小さい。これは台風年最大風速資料に対する最適分布の形状母数の増加によるところが大きい。つまり、台風の影響が卓越

する地域では、母集団の成因を限定することによって、確率風速の推定精度が向上する。

以上のことから、2種類の気象擾乱によって年最大風速資料を類別化した場合、100年確率風速は類別化の影響をほとんど受けないのに対し、標準偏差は増加する傾向にあるが、台風の影響が卓越する地域では、減少する地点が多いと云える。

つぎに、期間別最大風速資料に基づく結果について述べる。表2は1年を台風期(6~10月)と非台風期(1~5月, 11~12月)に分けた場合、および1年を4季節(1~3月, 4~6月, 7~9月, 10~12月)に分けた場合の期間別最大風速資料に対する極値統計解析結果の地点別一覧(観測期間30年以上)であり、つぎの特徴が指摘される。

①類別化によっても、相関係数の増加(適合度の向上)や形状母数の地域特性の顕在化の傾向は

みられない。

②合成確率風速は、期間別最大風速資料に基づく確率風速に差がある場合、最も大きい確率風速にはほぼ一致し、同程度の場合、若干増大する。

③合成標準偏差は計算式の特性上、確率風速の大きい(超過確率の大きい)方の標準偏差の影響を強く受ける。したがって、合成標準偏差は特定の期間別最大風速資料に基づく確率風速が卓越し、しかもその標準偏差が最も大きい値をとる場合、これにはほぼ一致するが、各確率風速が同程度の値を示す場合、各標準偏差のうちの最大値より若干増加あるいは減少する。

④類別数(期間分割数)が増加すれば、合成確率風速は年最大風速資料に基づく確率風速より大きくなる傾向を示すが、全般的には、その差は有意でない。

⑤台風の影響が卓越する大王崎以西の太平洋岸

表2 期間別最大風速資料に基づく極値統計解析結果

地名	年最大風速						合成風速		台風期最大風速				非台風期最大風速			
	K	$U_{\max}$	k	ρ	U_{100}	U_{σ}	U_{100}	U_{σ}	k	ρ	U_{100}	U_{σ}	k	ρ	U_{100}	U_{σ}
襟裳岬	34	48.4	1.9	.994	50.0	1.8	50.7	2.2	3.0	.996	44.7	1.5	1.5	.993	50.6	2.2
恵山岬	34	31.6	1.3	.995	33.2	2.4	31.5	2.8	G	.943	28.3	3.4	1.6	.991	30.8	1.8
尻屋崎	34	39.4	1.7	.997	41.3	1.8	42.4	3.4	1.1	.986	42.3	3.4	2.0	.996	37.5	1.4
金華山	34	26.4	2.4	.987	28.8	1.2	29.8	1.7	1.9	.983	29.6	1.7	1.8	.982	26.2	1.3
大王崎	34	36.1	1.7	.996	38.2	2.1	38.2	2.0	2.2	.993	38.2	2.0	2.0	.996	28.1	1.2
土佐沖ノ島	33	56.7	1.5	.994	61.8	4.5	60.5	4.1	2.0	.993	60.5	4.1	1.9	.990	35.3	1.2
佐田岬	33	50.8	2.0	.991	55.6	2.7	55.3	2.5	2.6	.994	55.3	2.5	3.5	.989	35.8	.7
佐多岬	32	62.7	1.2	.995	68.1	6.3	70.8	7.3	1.1	.988	70.8	7.3	3.0	.987	43.6	1.8
釣掛崎	31	42.4	1.8	.983	48.3	3.2	48.0	3.1	2.2	.987	48.0	3.1	G	.988	32.9	2.4
女島	34	49.3	1.1	.986	50.0	5.3	49.3	4.6	G	.993	49.3	4.6	2.6	.988	29.4	.7
舩倉島	34	39.1	G	.989	39.5	2.7	40.5	4.8	2.6	.988	36.1	1.8	.8	.988	40.1	4.8
経ヶ岬	34	32.5	2.8	.986	32.4	1.5	34.0	3.8	1.0	.974	34.0	3.8	5.0	.983	29.9	.8

地名	K	合成速度		1-3月最大風速				4-6月最大風速				7-9月最大風速				10-12月最大風速			
		U_{100}	U_{σ}	k	ρ	U_{100}	U_{σ}	k	ρ	U_{100}	U_{σ}	k	ρ	U_{100}	U_{σ}	k	ρ	U_{100}	U_{σ}
襟裳岬	34	50.5	2.1	5.0	.982	42.8	1.3	3.5	.996	39.3	1.4	1.8	.992	41.7	2.0	2.0	.997	50.5	2.1
恵山岬	34	32.3	3.8	1.7	.994	29.2	1.9	2.6	.976	25.3	1.3	G	.971	29.7	3.5	1.0	.982	29.0	3.3
尻屋崎	34	43.1	4.0	G	.991	37.6	2.1	G	.984	34.7	2.0	1.1	.992	41.5	4.0	G	.990	38.1	2.3
金華山	34	30.2	2.5	1.4	.985	26.0	1.8	G	.989	23.9	1.8	1.8	.993	27.4	1.8	G	.982	28.5	2.3
大王崎	34	40.4	2.9	1.4	.994	29.0	1.8	2.6	.987	26.3	1.2	1.4	.991	40.3	2.9	1.8	.993	32.3	2.0
土佐沖ノ島	33	61.3	10.4	1.9	.992	33.6	1.1	G	.974	35.0	2.4	1.9	.991	59.8	4.4	.6	.945	48.6	11.8
佐田岬	33	56.2	2.7	3.0	.993	35.4	.9	G	.966	38.7	3.1	2.6	.992	56.2	2.6	G	.986	40.3	3.0
佐多岬	32	70.5	7.1	2.8	.981	43.8	1.9	3.0	.991	37.0	1.6	1.2	.990	70.5	7.1	4.0	.994	38.0	1.4
釣掛崎	31	48.5	3.1	G	.989	32.7	2.8	2.4	.997	30.9	1.6	2.2	.987	48.5	3.1	2.8	.990	26.3	1.3
女島	34	50.1	4.6	5.0	.989	25.5	.5	5.0	.993	29.7	.7	G	.992	50.1	4.6	1.2	.993	29.3	2.0
舩倉島	34	40.9	5.6	.75	.979	39.4	5.7	.9	.971	28.0	2.9	2.2	.989	36.5	2.2	G	.986	34.2	2.0
経ヶ岬	34	33.4	3.5	5.0	.975	29.5	.9	2.2	.994	26.5	1.4	G	.983	33.3	3.5	2.6	.992	28.9	1.1

$U_{\max}$, U_{100} , U_{σ} : m/s

や東シナ海沿岸では、合成標準偏差が年最大風速資料に基づく標準偏差より小さい地点が、とくに2期間別最大風速資料の場合に多くみられる。しかし、土佐沖ノ島の季節別最大風速資料に基づく

表3 月別最大風速資料に基づく極値統計
解析結果の1例(土佐沖ノ島)

月	k	ρ	U_{100}	U_o
1	2.0	.987	33.4	1.4
2	10	.988	28.9	.7
3	3.5	.989	30.6	1.0
4	G	.982	34.4	2.6
5	2.0	.990	29.6	1.2
6	.9	.986	34.0	3.7
7	.7	.983	45.9	9.1
8	1.7	.975	55.1	5.8
9	1.5	.991	59.9	5.2
10	.6	.967	49.4	13.5
11	G	.996	33.5	1.7
12	2.8	.993	32.0	1.1
合成風速			65.2	13.3
年最大	1.5	.994	61.8	4.5

U_{100}, U_o : m/s

結果のように、かなり過大な値を示す地点もある。これは、10~12月期最大風速資料に基づく標準偏差がそこに含まれる台風時異常高風速資料によって突出した値をとるためである。一方、台風以外の気象擾乱の影響が大きい太平洋岸北東部や日本海沿岸では、合成標準偏差は最大値資料の類別化をすすめることによっておおむね増加する。

表3は月別最大風速資料に対する解析結果の1例を土佐沖ノ島について示したものであり、これから、合成確率風速の増加と月別最大風速資料に基づく標準偏差の最大値が合成標準偏差に及ぼす支配的影響を知ることができる。

表4は23地点における類別最大風速資料に対する解析結果を観測期間30年以上の地点と30年以下の地点に分けて示したものであり、つぎの特徴が指摘される。

①月別最大風速資料に基づく合成確率風速および合成標準偏差は、ほとんどすべての地点で、他

表4 類別最大風速資料に基づく極値統計解析結果の比較

地点名	高度 (m)	年最大風速						擾乱別		2期間別		季節別		月別	
		K	U_{max}	k	ρ	U_{100}	U_o	U_{100}	U_o	U_{100}	U_o	U_{100}	U_o	U_{100}	U_o
襟裳岬	71	34	48.4	1.9	.994	50.0	1.8	50.3	2.0	50.7	2.2	50.5	2.1	53.7	3.7
恵山岬	47	34	31.6	1.3	.995	33.2	2.4	32.3	3.3	31.5	2.8	32.3	3.8	33.4	4.5
尻屋崎	26	34	39.4	1.7	.997	41.3	1.8	42.0	3.5	42.4	3.4	43.1	4.0	44.0	4.7
金華山	57	34	26.4	2.4	.987	28.8	1.2	29.5	1.8	29.8	1.7	30.2	2.5	31.7	3.5
大王崎	37	34	36.1	1.7	.996	38.2	2.1	39.6	2.5	38.2	2.0	40.4	2.9	42.2	4.3
土佐沖ノ島	173	33	56.7	1.5	.994	61.8	4.5	60.8	4.1	60.5	4.1	61.3	10.4	65.2	13.3
佐田岬	41	33	50.8	2.0	.991	55.6	2.7	55.3	2.5	55.3	2.5	56.2	2.7	61.0	7.4
佐多岬	62	32	62.7	1.2	.995	68.1	6.3	69.1	6.9	70.8	7.3	70.5	7.1	72.4	9.3
釣掛崎	159	31	42.4	1.8	.983	48.3	3.2	48.0	3.1	48.0	3.1	48.5	3.1	52.5	4.6
女島	119	34	49.3	1.1	.986	50.0	5.3	50.2	4.6	49.3	4.6	50.1	4.6	55.9	8.2
舩倉島	21	34	39.1	G	.989	39.5	2.7	40.5	4.2	40.5	4.8	40.9	5.6	42.6	6.8
経ヶ岬	148	34	32.5	2.8	.986	32.4	1.5	33.8	3.5	34.0	3.8	33.4	3.5	35.4	4.3

地点名	高度 (m)	年最大風速						擾乱別		2期間別		季節別		月別	
		K	U_{max}	k	ρ	U_{100}	U_o	U_{100}	U_o	U_{100}	U_o	U_{100}	U_o	U_{100}	U_o
トドヶ崎	38	20	34.5	2.4	.995	36.9	2.0	38.4	2.8	38.6	2.8	42.0	6.2	43.6	7.4
塩屋崎	61	18	36.3	100	.971	39.5	1.0	41.4	1.4	40.7	1.2	44.3	4.0	53.2	16.3
細島	102	18	53.7	1.6	.979	60.8	7.8	59.0	7.9	60.7	8.7	63.5	12.9	71.7	14.8
都井岬	242	18	69.8	1.2	.993	82.3	11.4	82.7	11.4	82.7	11.4	82.2	11.0	86.0	14.2
臥蛇島	207	16	56.1	G	.978	64.2	7.0	65.6	7.0	65.6	7.0	65.5	7.7	76.1	16.8
草垣島	138	23	57.1	1.8	.971	65.3	3.8	64.1	3.7	64.9	3.6	64.9	3.6	71.5	7.7
焼尻島	50	18	41.3	G	.993	44.0	3.1	46.1	6.6	47.5	5.9	48.2	6.5	50.4	10.7
積丹岬	125	17	36.6	2.2	.991	38.3	1.5	39.2	2.2	38.8	1.5	40.7	2.6	43.2	4.4
青苗岬	26	24	35.8	2.2	.987	38.2	1.8	38.2	1.8	39.1	2.1	41.0	3.5	43.3	12.5
弾崎	65	18	50.4	.9	.994	57.4	7.8	60.5	11.4	59.9	11.8	61.6	12.4	61.0	11.8
見島	80	18	29.8	4.0	.983	31.7	1.1	33.2	2.1	33.1	2.0	33.6	2.6	34.9	3.7

U_{max}, U_{100}, U_o : m/s

の最大値資料に基づく結果よりかなり大きい。この傾向は観測期間の短い地点で著しい。すなわち、資料数（観測年数）が少ないため、類別化を進めることによって資料の統計的変動が増加する特性が上記の結果に反映されていると考えられる。

②気象擾乱別あるいは期間別に2つに分けた年最大風速資料に基づく合成確率風速および合成標準偏差は平均的に同程度の値を与える。

③台風の影響が卓越する太平洋岸西南部や東シナ海沿岸では、合成確率風速は年最大風速資料に基づく確率風速とそれほど変わらず、合成標準偏差はより小さい値をとる傾向にある。一方、台風以外の気象擾乱の寄与が大きい太平洋岸北東部や日本海沿岸では、合成確率風速および合成標準偏差は類別数が多くなるにつれて増加する。

4.2 気象擾乱別年最大波高資料に基づく確率波高の推定

表5はわが国沿岸30波浪観測地点における波高計設置水深と、年最大波高資料および気象擾乱別年最大波高資料に対する極値統計解析結果の一覧であり、確率波高 H_{100} (m) および標準偏差 H_g (m) は再現期間100年に対応する。また、 $H_{\max}$ (m) は観測最大波高である。この表からつぎのことが指摘される。

①気象擾乱別年最大波高資料に基づく確率波高の差が大きい場合、合成確率波高は大きい方の確率波高にほぼ等しい。また、両者が同程度の値をとる場合、合成確率波高は両者の確率波高より若干大きくなる。たとえば、台風に伴う波高が卓越

表5 気象擾乱別年最大波高資料に基づく極値統計解析結果

地点名	水深 (m)	年最大波高						合成波高		台風年最大波高				非台風年最大波高			
		K	$H_{\max}$	k	ρ	H_{100}	H_g	H_{100}	H_g	k	ρ	H_{100}	H_g	k	ρ	H_{100}	H_g
尻羽岬	47	10	7.48	10	.970	8.40	.35	9.04	.64	3.0	.977	9.04	.64	2.6	.990	7.46	.54
苦小牧	51	25	6.10	1.8	.996	6.48	.36	6.27	.38	4.0	.976	5.29	.44	3.5	.988	6.27	.38
むつ小川原	49	21	9.56	G	.970	9.84	1.32	9.80	1.52	1.4	.985	8.81	1.20	G	.952	9.41	1.43
八戸	28	23	6.09	7.0	.981	6.37	.18	6.32	.29	3.5	.986	5.95	.43	30	.986	6.28	.19
宮古	23	14	5.14	1.1	.989	6.03	.83	6.13	.78	2.4	.989	4.21	.39	G	.987	6.13	.78
釜石	49	17	6.13	10	.960	6.17	.28	6.41	.40	2.8	.988	5.92	.49	7.0	.962	6.33	.31
江ノ島	57	17	9.27	2.4	.993	9.68	.73	9.82	.81	3.0	.993	8.76	.69	2.6	.992	9.74	.79
仙台新港	20	16	5.78	3.0	.992	6.37	.36	6.93	.76	G	.983	6.63	.80	2.0	.973	6.46	.43
相馬	16	13	5.99	2.4	.989	6.39	.53	5.95	.60	7.0	.947	5.82	.70	10	.979	5.77	.30
小名浜	19	15	6.80	7.0	.972	7.65	.37	7.87	.52	7.0	.983	7.62	.53	3.0	.986	7.63	.45
常陸那珂	30	14	6.99	G	.966	7.68	.72	7.61	.75	2.8	.983	7.61	.75	15	.976	6.11	.17
鹿島	23	22	7.28	2.6	.990	7.95	.36	7.67	.50	10	.990	7.54	.43	2.8	.969	7.34	.51
浜金谷	22	19	7.30	.7	.979	8.51	2.49	8.36	2.18	.9	.976	8.36	2.18	G	.958	4.55	.56
波浮	49	22	8.36	2.2	.994	9.01	.52	9.29	.71	2.0	.980	9.29	.71	2.6	.982	7.71	.38
石廊崎	50	19	10.15	G	.980	12.04	1.38	12.01	1.29	1.8	.989	12.01	1.29	10	.985	6.02	.18
潮岬	51	25	9.07	2.0	.985	10.69	.80	10.92	.85	2.2	.980	10.92	.85	5.0	.986	6.14	.29
御坊沖	170	11	11.37	1.6	.994	13.86	2.15	14.18	2.18	1.6	.991	14.18	2.18	1.1	.964	7.32	.97
佐喜浜	48	18	8.56	2.2	.989	9.60	.76	10.14	.83	2.0	.990	10.14	.83	5.0	.983	6.36	.28
高知沖	120	11	10.90	1.1	.992	13.61	2.64	13.56	2.58	1.2	.990	13.55	2.58	.9	.982	7.66	1.24
油津	48	15	10.34	1.0	.972	11.97	2.18	11.24	1.84	G	.970	11.24	1.84	2.4	.984	5.13	.23
志布志	35	15	8.30	2.2	.976	10.15	.89	10.19	.90	2.2	.977	10.19	.90	2.8	.991	4.11	.30
佐多岬	45	13	8.63	5.0	.980	10.34	.58	10.34	.58	5.0	.980	10.34	.58	G	.987	4.56	.42
苓北	15	13	7.75	G	.976	8.86	1.48	8.42	1.01	4.0	.987	8.42	1.01	3.5	.993	5.36	.39
伊王島	50	20	10.37	.9	.985	12.78	2.85	12.73	2.78	1.0	.988	12.73	2.78	2.8	.981	4.62	.46
福江島	51	15	6.68	2.0	.996	7.23	.44	7.50	.62	2.4	.985	7.49	.62	2.2	.991	6.58	.29
玄界灘	45	12	7.72	G	.987	9.23	1.07	9.41	1.28	2.8	.992	7.24	.67	G	.984	9.41	1.28
藍島	21	19	5.61	1.1	.977	6.52	.84	6.59	1.36	1.0	.961	6.05	1.27	1.0	.971	6.03	1.03
名瀬	50	18	7.49	G	.978	7.94	.79	7.84	.84	5.0	.992	6.45	.30	G	.985	7.84	.84
那覇	51	21	9.24	.7	.973	10.60	2.30	10.43	2.04	1.0	.971	10.43	2.04	15	.981	5.51	.18
喜屋武岬	51	12	9.90	5.0	.995	11.05	.83	11.14	.81	5.0	.993	11.14	.81	2.6	.972	4.30	.24

$H_{\max}, H_{100}, H_g: m$

する浜金谷以西の太平洋岸や東シナ海沿岸および北海道太平洋岸の尻羽岬では、合成確率波高は台風年最大波高資料に基づく確率波高に一致する。

②合成標準偏差は、一方の気象擾乱別年最大波高資料に基づく確率波高および標準偏差が他方の資料に基づく値より大きい場合には、確率波高が大きい方の標準偏差にほぼ一致し、これ以外の場合には、両資料に基づく標準偏差の中間値をとるか、あるいは両資料に基づく標準偏差より大きくなる。

③合成確率波高と年最大波高資料に基づく確率波高は同程度の値をとり、両者の差は、尻羽岬および仙台新港を除いて、標準偏差より小さい。尻羽岬における合成確率波高が年最大波高資料に基づく確率波高よりかなり大きい値をとるのは、台風年最大波高資料に基づく確率波高が年最大波高資料に基づく確率波高よりかなり大きいためである。これは資料数の不足に起因すると考えられる。一方、仙台新港では、気象擾乱別年最大波高資料に基づく確率波高がいずれも同程度の値をとり、しかも年最大波高資料に基づく確率波高より若干大きいため、合成確率波高はこれらの値よりさらに増大する。

④合成標準偏差が年最大波高資料に基づく標準偏差より大きくなる地点と小さくなる地点が混在してみられるが、台風に伴う波高が卓越する浜金谷以西の太平洋岸や東シナ海沿岸では、合成確率偏差は年最大波高資料に基づく標準偏差より小さい地点が多いし、大きい地点でも両者の差はあまりない。

以上に述べた①～④の結果は類別最大風速資料に対する解析から得られた結果と整合する。

5. 結 語

本研究では、標本の等質性を確保する立場から、類別化した最大値資料に対する解析結果の合成に基づいて再現確率統計量および標準偏差を推定する手法の適用性を、わが国沿岸で取得された風速および波高観測資料を用いて検討した。得られた知見はつぎのように要約される。

①最大値資料の類別数が2の場合、類別方法

(気象擾乱別あるいは期間別)によらず、合成再現確率統計量は年最大値資料に基づく再現確率統計量と有意な差を示さない。一方、合成標準偏差は、台風の影響が卓越する地域では、年最大値資料に基づく標準偏差より減少する傾向を示すが、その他の地域では増大する。

②最大値資料の類別数が4, 12と多くなるとつれて、合成再現確率統計量および合成標準偏差とも増加し、とくに類別数が12(月別最大値資料)の場合、両者は年最大値資料に基づく結果よりかなり大きい値をとる。これは、資料数(観測年数)が少ないため、類別化によって資料の統計的変動が増加することに起因すると考えられる。

③類別最大値資料に基づく極値統計解析法は、本研究の範囲内では、台風の影響が卓越する地点のように母集団が成因別に構成されるとみなされる場合を除いて、再現確率統計量や標準偏差を大きめに評価する傾向にあることから、年最大値資料を一括解析する方法に比べて、全般的に必ずしもより有効な方法であるとは云えない。

最後に、海上保安庁灯台気象・海象観測資料を収録したMTを貸与して戴いた日本海洋データセンター(JODC)に謝意を表するとともに、本研究の一部は京都大学防災研究所特定共同研究「わが国の自然災害研究体制のネットワーク化に関する研究」(代表 河田恵昭教授)の一環として行われたものであることを付記する。

参 考 文 献

- Carter, D. J. T. and P. G. Challenor: Estimating return values of environmental parameter, Quart. Jour. Royal Meteorol. Soc., Vol.107, pp.259-266, 1981.
- Cavaleri, L., De Fillippi, P. L., Grancini, G. F., Iovenitti, G. L. and R. Tosi: Extreme wave condition in the Tyrrhenian Sea, Ocean Eng., Vol.13, No.2, pp.157-180, 1986.
- 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, pp.31-92, 1988.
- 合田良実: 港湾構造物の耐波設計－波浪工学への序説－, 鹿島出版会, 333p., 1990.

- Miller, R. G.: The jackknife-A review, *Biometrika*, Vol.61, No.1, pp.1-15, 1974.
- Morton, I. D., J. Bowers and G. Mould: Estimating return period wave heights and wind speeds using a seasonal point process model, *Coastal Eng.*, Vol.31, pp.305-326, 1997.
- Muir, L. R. and A. H. El-Shaarawi: On the calculation of extreme wave height ; A review, *Ocean Eng.*, Vol.13, No.1, pp.93-118, 1986.
- Resio, D. T.: Some aspects of extreme wave prediction related to climatic variations, 10th Annual Offshore Tech. Conf., OTC 3278, pp.1967-1980, 1978.
- 白石成人・松本 勝・白土博通・油谷康弘・長田 信:
台風による各地の強風特性について, 京大防災研
年報, 第 28 号 B-1, pp.375-388, 1985.
- Thom, H. C.: Extreme wave height distributions over oceans, *Jour. Wat., Port and Coast. Eng.*, ASCE, Vol.99, No.WW3, pp.355-374, 1973.
- Tsuchiya, Y. and Y. Kawata: Extremal statistics of storm surges by typhoon, *Proc. 19th ICCE*, Vol. I, pp.115-131, 1984.
- 山口正隆・畑田佳男・大木泰憲・柚木正樹・中村雄二:
観測資料に基づくわが国沿岸での確率波高の推定,
海岸工学論文集, 第 42 巻, pp.241-245, 1995.
- 山口正隆・畑田佳男・大福 学: わが国沿岸における
気象・海象要素の極値の推定, 自然災害科学 J.
JSNDS, Vol.15, No.4, pp.303-314, 1997a.
- 山口正隆・前川隆海: 最小 2 乗法に基づく極値統計解
析システムの拡張とその精度の検討, 平成 9 年度
第 3 回四国支部技術研究発表会講演概要集, 土木
学会四国支部, pp.160-161, 1997b.
- 山口正隆・大福 学・畑田佳男: わが国沿岸における
気象・海象要素の極値の再評価, 海岸工学論文集,
第 44 巻, pp.186-190, 1997c.

(投 稿 受 理 : 平成 9 年 7 月 9 日

訂正稿受理 : 平成10年 2 月 5 日)