

瀬戸内海沿岸地点における1980年以前の風観測資料の特性

およびその再現性の検討

Winds Measured at Coastal Stations in the Seto Inland Sea during a Year Period before 1980 and Error Evaluation of their Hindcast Winds

山口正隆*・野中浩一**・畑田佳男***

Masataka YAMAGUCHI*, Hirokazu NONAKA** and Yoshio HATADA***

Wind data measured over the period from the 1950s to the 1970s at coastal stations in the Seto Inland Sea are very valuable for investigating the wind characteristics in this period due to their scarcity. In this study, coastal wind data acquired between 1958 and 1982 at Hikari station set on the tip of the sea wall in the Hikari Steel Mill of Shin-Nihon Steel Manufacturing Co. Ltd., together with wind data from coastal stations in the Seto Inland Sea, such as those gathered between 1952 and 1967 at Osaka jetty, are analyzed for annual maximum winds-based yearly variation, trend and return values. Then, accuracy of SDP winds-based hindcast winds at these stations for many cases of strong storms is examined through the comparison with the corresponding measurement data. The main conclusions are summarized as follows ; 1) Estimates of 50-year return wind speed may be 34 - 36 m/s at Hikari and vary from 21 to 43 m/s at each of the coastal stations in the Inland Sea, depending on geographical situation. 2) Error statistics of wind speed and wind direction for many storm cases indicate a reasonable accuracy of SDP winds-based hindcast not only at Hikari but also at coastal stations in Western and Eastern areas of the Inland Sea, though to a lesser degree than the Yamaguchi et al.(2012) results perhaps due to a difference in comparing conditions between the studies.

Key Words ; Measurement data of coastal winds, a year period of the 1950s-1970s, the Seto Inland Sea, Hikari and several stations, return wind speeds, SDP winds-based hindcast winds, error evaluation.

1. 緒 言

周辺地形の影響を受ける内湾・内海（ここでは瀬戸内海）の海上風の時空間分布を再現するために、山口ら^{[1] [2]}は陸上部の気象官署で取得された気象庁 SDP（Surface Data Product）風観測資料を利用する方法を開発し、対象海域の海上地点と沿岸地点で求めた観測相当風資料の精度を、多数のストーム（低気圧・台風）時の風観測資料との比較に基づいて明らかにした。しかし、比較対象期間は観測資料がある程度以上得ら

*愛媛大学名誉教授

Prof. Emeritus, Ehime University

**（前）愛媛大学工学部環境建設工学科

（former）Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Ehime University

***愛媛大学大学院理工学研究科（工学系）生産環境工学専攻

Engineering for Production and Environment, Graduate School of Science and Engineering, Ehime University

原稿受理 平成 26 年 10 月 31 日

れる 1980 年以降であり、1980 年以前の資料に対する検証事例は不足している。瀬戸内海の沿岸部では、1980 年以前においてもいくつかの沿岸地点で風観測資料が得られていることから、これらの資料との比較により SDP 風資料に基づく沿岸地点の観測相当風資料の精度を追加的に検討できる。この中で、山口県光市の新日本製鉄株式会社光製鉄所の埋立て地先端で観測された風資料は 1958 年（4 月）～1982 年に及ぶ測得率の高い長期資料であり、1980 年以前で沿岸海上風を取得した非常に貴重な資料となっている。しかし、観測記録記載簿の原本は光製鉄所にもはや保管されておらず、複写資料が私どもの手元にあるのみである。しかも、これらは紙資料のままであることから、長期の資料に基づく風候の解析には多大の労力を要し、ただちに実施はできないが、ストーム時の風資料や年最大値資料については電子データ化が可能であり、作成作業をすでに終了している。このほか、瀬戸内海の沿岸観測地点における長期あるいはストーム時風観測資料の電子データ化も複数地点で行っている。

そこで、本研究ではまず光における年最大風速を含むストーム時の最大風速・風向に関する一覧を作成し、その経年特性や傾向変動および確率風速を瀬戸内海西部海域の伊予灘の観測地点（佐田岬灯台、塩屋のほか松山气象台）における 1987 年以前の資料^[3]、^[4]や 1952～1965 年の大阪港中央突堤^[5]における資料に基づく結果とともに調べる。

ついで、光製鉄所観測地点における観測風と SDP 風資料に基づく観測相当風（計算風）の比較を多数のストーム時について行い、これから得られる 7 つの誤差指標の統計的な特性を詳細に調べ、計算風の精度検証を行う。

さらに、瀬戸内海の西部海域、中部海域、東部海域の沿岸地点で取得された 1980 年以前の資料および山口ら^[2]の精度検証に用いられていない沿岸観測地点の風資料に対して計算風との比較を行い、誤差指標の地点別特性や海域別特性を調べる。

2. 風の極値資料の検討

2.1 観測風資料

光製鉄所（以下、光と言う）における風記録について説明すると、光製鉄所内埋立て地先端のコンクリート堤防の端（写真があったが、廃棄した模様）に pole が建てられ、そこに 3 杯式風速計と矢羽根式風向計が取り付けられていた。周囲には遮蔽物がほとんどないので、周辺地形や建物の影響を受けない沿岸海上風が観測されていると考えられる。風速・風向計の海面上高度 z は 8～10 m の範囲にあると考えられるが、明確でないので、 $z = 10$ m とした。これは後出の大阪港中央突堤におけるもの^[5]も同様である。風速・風向記録は 1 時間ごとに得られ、日最大風速と風向（ただし、風向や起日については記載ミスが見受けられる）も与えられる。観測資料の期間は 1958 年 4 月～1982 年の 25 年である。Tsuchiya ら^[6]は 1958～1979 年の 2 時間間隔資料を電子データ化し、山口県光市の室積海岸における風候や海浜変形の解析に用いたが、当該資料は記録メディアの変化とともに失われてしまったようである。

Table 1 は今回の検討で用いる風観測資料^[3]、^[4]、^[5]が得られている地点の諸元を示す。また、その位置を Fig. 1 に与える。使用期間は 1980 年以前のものとして 1980 年を越えるものの 2 種類、1980 年以降の資料に対して山口ら^[2]の検証に用いられた地点（○印：九町越、福山、新居浜、飾磨、江井ヶ島、志筑）とそれ以外の地点に分かれる。沿岸地点でも周辺地形や建物の影響が少なく、沿岸海上風に近い沿岸風を観測している地点を選択する。

1980 年以前の海上風記録は大阪湾 MT 局で 1978 年 1 月 1 日から取得されているが、ここでは 1978～1979 年のものを採択していない。各資料区間の終わりは電子データ化した最終ストーム発生年に相当し、*印の地点では観測記録がより最近まで得られているか、観測が継続されている。山口ら^[2]による検討地点については 1979 年までのストーム時資料を用いる。さらに、佐田岬灯台（高度 $z = 40.6$ m）では 1953～1985 年の間で風速・風向の 6 時間間隔値と日最大風速・風向が得られており、西部海域付近を通過したストーム

の抽出に有用である。このほか、参考文献^[3]に記載された塩屋（1980年欠測のため、極値統計解析の結果にほとんど影響しないとみなされる平均的な値 17.5 m/s を補充）では1977～1980年に9時、15時の1日2回の観測、それ以外の期間で1時間ごとの観測となっている。

Table 2は光において風速・風向の1時間間隔資料と日最大風速・風向資料から抽出した年最大風速 U_z ・風向 θ_w （AM資料）と光および大阪港中央突堤における風速20 m/s以上のストーム時最大風速 U_z ・風向 θ_w （POT資料）の一覧（いずれも出現年月日付き）を与える。同時に、瀬戸内海西部海域あるいは沿岸部にある佐田岬灯台、松山気象台^[4]、塩屋^[3]および大阪港中央突堤^[5]における年最大風速と出現年月日の資料を与える。各地点の第1位風速は赤色で、第2位風速は青色で記載している。1965年頃から遡って1950年代の沿岸風観測資料は光、佐田岬灯台、塩屋、そして大阪港中央突堤におけるものなど非常に限られる。とくに、大阪港中央突堤における風資料^[5]は1952年にまで遡る沿岸海上風記録であり、他に例をみないことが資料採録の理由である。海上観測地点の風資料は入手していない。なお、各地点では1/7乗則に基づく10 m高度風速 U_{10} への換算係数 α （= $U_z/(z/10)^{1/7}$ ）を与える。

Table 2によれば、光における第1位風速は台風T6515号時の37.0 m/s、第2位風速は台風T7119号時の32.5 m/s、第3位は台風T7617号時の25.5 m/sといずれも台風により生起している。しかし、第1位風速はその時系

Table 1 Name and wind measurement conditions at each of coastal stations.

location	period	height z(m)
Ieshima	77～86*	13
Hikari	58～82	10
○Kuchogoe	76～77*	216
Hayase Bridge	00～03*	(50)
Shioya	57～96*	8.5
○Fukuyama	67～79*	34
○Niihama	67～79*	11
○Shikama	76～79*	17.5
Takasago	62～75	(15)
○Eigashima	72～75*	13
Gunge	70～77*	16.5
Tsui	67～82*	60.5
○Shizuki	76～79*	14
Osaka	70～77*	39
Osaka jetty	52～67	10
Matsuyama(meteo.)	1890～	21.5

○印：1980年以降の data を山口ら^[2]で使用、
 *印：SDP 風資料との比較の最終年
 （無印：風観測資料の最終年）
 （ ）：推定値（正確な値は不明）

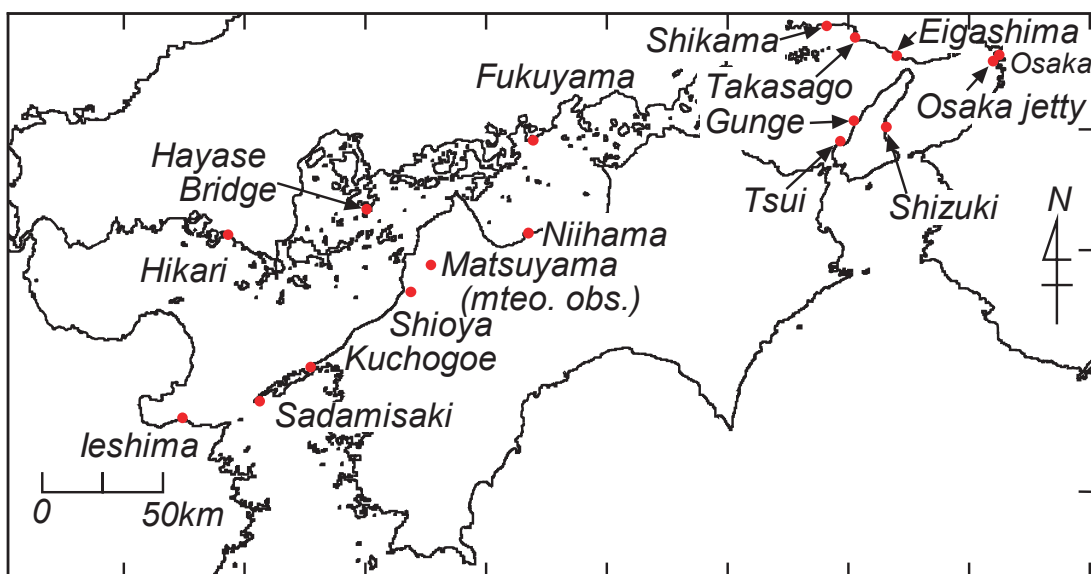


Figure 1 Location of coastal stations for wind measurement in the Seto Inland Sea.

Table 2(1) A list of samples of annual maximum(AM) wind speed data and peaks over threshold (POT) wind speed data at coastal measurement stations.

date Y. M. D	Hikari 1958~1982 z =10m $\alpha =1.0$			Sadamisaki 1953~1985 z =40.6m $\alpha =0.819$		Matsuyama 1890~ z =21.5m $\alpha =0.896$		Shioya 1957~ z =8.5m $\alpha =1.024$		Osaka jetty 1952~1967 z =10m $\alpha =1.0$	
	U_z m/s	θ_w	typ.	MD	U_z m/s	MD	U_z m/s	MD	U_z m/s	MD	U_z m/s
1952						0324	13.7			0204	19.3
1953			T5302	0607	39.1	0112	13.9			0925	32.5
1954			T5412	0913	42.4	0926	24.7			0926	29.8
1955			T5522	0930	49.6	0130	16.1			0220	22.6
1956			T5609	0817	45.0	0910	19.6			0817	22.6
1957				0820	33.3	1213	16.5	1218	18.8	1213	20.8
1958. 12.26	21.1	W		0926	30.7	0302	15.5	0211	23.8	0121	23.9
1959. 09.17	23.5 *	SSE	T5914 *	0917	37.3 *	0404	14.7	0917	19.6 *	0926	29.8
1960. 12.12	22.6	SSW		1229	33.3	0420	13.4	0127	19.6	1205	21.0
1961. 07.25	22.8	SE		0916	43.7	0916	16.7	0125	21.5	0916	30.4
1962. 04.03	19.7	WNW		1230	28.8	0403	14.7	1205	25.5	0102	19.7
1963. 01.18	23.8	W		0121	29.8	0121	13.1	0119	27.0	0831	17.7
1964. 03.26	20.1	W		0925	47.5	0925	16.0	0326	21.3	0925	24.7
1965. 08.06	37.0 *	SSE	T6515 *	0806	42.5 *	0806	12.9 *	0112	19.5	0917	30.0
1966. 06.17	19.2	SE		0909	34.8	0319	12.6	0319	16.2	0319	19.8
1967. 04.03	16.1	WNW		0404	29.2	0525	10.3	1027	13.5	0323	16.7
1968. 01.14	19.7	WSW		0829	33.3	0114	12.5	0114	19.5		
1969. 01.02	14.2	NW		0321	29.8	0822	12.5	1203	16.0		
1970. 08.15	25.2 *	SSE	T7009 *	0815	37.7 *	0821	23.2 Δ	0821	20.0 Δ		

Table 2 (2) A list of samples of annual maximum(AM) wind speed data and peaks over threshold (POT) wind speed data at coastal measurement stations.

date Y. M. D	Hikari 1958~1982 z =10m $\alpha =1.0$			Sadamisaki 1953~1985 z =40.6m $\alpha =0.819$		Matsuyama 1890~ z =21.5m $\alpha =0.896$		Shioya 1957~ z =8.5m $\alpha =1.024$		Osaka jetty 1952~1967 z =10m $\alpha =1.0$	
	U_z m/s	θ_w	typ.	MD	U_z m/s	MD	U_z m/s	MD	U_z m/s	MD	U_z m/s
1971. 08.05	32.5 *	S	T7119 *	0805	50.0 *	0805	14.8 *	0104	16.0		
1972. 03.31	18.0	WNW		0723	41.7	0331	11.5	1130	18.0		
1973. 08.17	14.7	N	T7310	1207	31.3	1222	10.7	1119	18.0		
1974. 07.06	18.0 *	SE	T7406 *	0706	33.0 *	0604	12.7	0901	17.0		
1975. 04.08	22.6	NNW		0128	27.0	0817	9.8	1222	14.5		
1976. 09.13	25.5 *	ESE	T7617 *	0913	39.6 *	0913	13.0 *	1208	16.0		
1977. 04.17	21.7	WSW		0330	25.3	0418	9.6	0418	14.5		
1978. 02.28	22.6	W		0120	29.1	0406	10.7	0228	18.0		
1979. 03.30	21.1	NW		0904	33.4	0930	13.2	0228	15.5		
1980. 12.03	22.6	NW		0911	42.5	0911	12.7		17.5 ad		
1981. 03.26	21.6	NW		0903	26.2	0326	10.5	0315	17.5		
1982. 11.30	18.0			0827	37.7	0925	13.4	0925	17.0		
1983.				0612	29.0	0317	10.0	1117	18.0		
1984.				0821	31.5	0821	10.3	0103	17.0		
1985.				0831	36.0	0221	9.4	0221	17.5		
1986.						0406	9.5	0104	16.0		
1987.						0831	12.1	0202	17.0		

Hikari AM; $U_z > 30\text{m/s}$: $N_p=2$, 25~30m/s: 2, 20~25m/s: 12, <20m/s: 9, $N_t = 25$, ad : addition

列からみて過大な値のように思える。また、20m/s を越えるケースは25年間で25回であるから、平均で1年に1回となる。ここで、T6515号は1965年8月6日4時頃熊本県牛深付近に上陸後NNE方向に進んで9時に周防灘(中心気圧960hPa)を経て日本海に出た、かなり勢力の強い台風であり、最も低い観測気圧は防府(973.9hPa)で記録された。光では982.3hPaである。台風の移動速度はこの付近で約50km/hであるから、進行がやや早まっている。最大観測風速は下関($z=30.5\text{m}$)で26.0m/s、防府($z=15\text{m}$ 程度か。正確な値は不明)で28.5m/s、広島($z=99\text{m}$)で25.8m/sのほか、海上風の収束域(豊予海峡)にあたる佐田岬(灯台)で42.5m/s(10m 高度風速 $U_{10}=34.8\text{m/s}$)であるから、光における37.0m/sはやや過大であるようにみえる。また、記載された最大瞬間風速も32.9m/sと最大風速より小さい矛盾した値となっている。時系列では6日8時に10.1m/s(風向SE)、9時に37.0m/s(SSE)、10時に20.8m/s(S)、11時に19.3m/s(S)、であり、9時の37.0m/sが突出している。著者らとしては周辺の風観測結果や本台風時の海上風分布の推定結果²⁾および記載ミスの可能性などを考慮して、9時で27m/sが妥当でないかと推測する。

一方、T7119号は1971年8月5日10時前後に長崎県島原半島の西有家付近に上陸(中心気圧950hPa)、N方向に進行し福岡を通して日本海に抜けた。観測地点の最低観測気圧は下関での972.7hPaである。この付近における台風の進行速度は34km/hであり、通常のもつ。最大観測風速は下関で24.7m/s、広島で18.3m/sとT6515号時ほど大きくない。しかし、佐田岬で50m/s($U_{10}=40.9\text{m/s}$)と1953~1985年における風速の最大値を与える。光では8月5日13時に14.5m/s(風向S)、14時に25.6m/s(S)、15時に30.5m/s(S)、16時に32.5m/s(S)、17時に30.0m/s(S)、18時に30.5m/s(S)、19時に17.5m/s(S)、20時に21.2m/s(S)、21時に14.0m/s(S)をとる。強風、とくに30m/s以上の暴風の継続時間が3~4時間と非常に長く、継続時間1時間以内の突出した異常風速を生起したT6515号時とその特性が大いに異なる。SDP風資料に基づく西部海域での最大風速分布²⁾においても光付近で30m/sを上回る風速が得られることから、光での32.5m/sはあり得た値と思われる。

ついで、他の地点の年最大風速記録をみると、海上風の収束域(豊予海峡)にある佐田岬において1953~1985年の期間(33年)で40m/s以上の年最大風速が9回得られている。与えた資料期間に対して20m/sを越える年最大風速の出現は市街地に位置する松山(气象台)で2回、塩屋で6回である。第1位風速

Table 2(3) A list of samples of annual maximum(AM) wind speed data and peaks over threshold (POT) wind speed data at coastal measurement stations.

Hikari POT $U_z > 20\text{m/s}$			Osaka jetty POT $U_z > 20\text{m/s}$		
date Y.M.D.	U_z m/s	θ_w	date Y.M.D.	U_z m/s	typ.
1961.3.27	22.0	NW	1953.6.7	20.8	T5302
5.28	22.0	W	(9.25)	32.5)	T5313
(7.25)	22.8	SE)	1954.9.18	20.20	T5414
1965.1.11	20.8	NNW	(9.26)	29.8)	T5415
12.12	24.3	WNW	1955.1.30	20.4	
(8.6)	37.0	SSE)	10.20	21.7	T5526
1976.1.5	24.1	NW	(2.20)	22.6)	
10.28	20.5	W	1956.1.28	21.6	
(9.13)	25.5	ESE)	2.29	21.8	
1978.1.2	21.3	SW	(8.17)	22.6)	T5609
9.11	21.1	SSE	1957.12.18	20.5	
(2.28)	22.6	W)	(12.13)	20.8)	
1980.10.26	21.3	NW	1958.8.25	20.1	T5817
(12.3)	22.6	NW)	12.26	21.0	
			(12.10)	23.9)	
			1965.9.10	26.7	T6523
			(9.17)	30.0)	T6524

(date, AM) (date, AM)

Hikari POT $U_{10} > 20\text{m/s}$; $N_t = 25 (= 2 + 2 + 12 + 9)$

Osaka jetty POT $U_{10} > 20\text{m/s}$; $N_t = 21 (= 3 + 2 + 6 + 10)$

の成因は生起年月日から明らかなように、塩屋を除いて台風であるし、逆に塩屋では季節風・低気圧時の強風が年最大値の上位を占める。また、光に最上位やその近くの強風をもたらした T6515 号, T7119 号, T7617 号, T7009 号は他に 2 カ所以上の地点 (*印で記載) で各地点の年最大風速を生起している。これ以外にも同一のストームにより複数地点で年最大風速が生じているケースも少なからずみられる。とくに、1970 年 8 月 21 日に松山、塩屋で生じた年最大風速は T7010 号 (Δ印) に伴うものである。この台風時に西部海域の東部 (松山付近) から中部海域の西部 (今治付近) にかけて異常風速がもたらされている。一方、1952~1967 年の年最大風速を与える大阪港中央突堤では別のよく知られた台風により第 1~5 位までの最大風速、すなわち第 1 位値 32.5 m/s (T5313 号, テス台風), 第 2 位値 30.4 m/s (T6118 号, 第 2 室戸台風), 第 3 位値 30.0 m/s (T6524 号), 第 4 位値(1)29.8 m/s (T5415 号, 洞爺丸台風), 第 4 位値(2)29.8 m/s (T5915 号, 伊勢湾台風) が生起している。1950 年代と 1960 年代には巨大台風が相次いで襲来したことから、これらの台風の影響がそのまま最上位あるいは最上位値付近の年最大風速記録に現れている。

Fig. 2 は年最大風速の経年変化を光 (1958~1982 年) のほか佐田岬 (1953~1985 年), 松山 (1952~1987 年), 塩屋 (1957~1987 年) および大阪港中央突堤 (1952~1967 年) について示す。風速記録は高度変換していない。同一年で同じ台風で生じたケースに○印を付加しているほか、相対的に大きい風速 (台風) を生じた年に台風名を括弧付きで与えている。年最大風速の年変化は各地点とも激しいが、年最大風速は佐田岬で大きく松山で小さいし、光や大阪港中央突堤では中間の値を占める。また、いずれの地点の年最大風速系列も経年的に減少傾向にあるようにみえる。

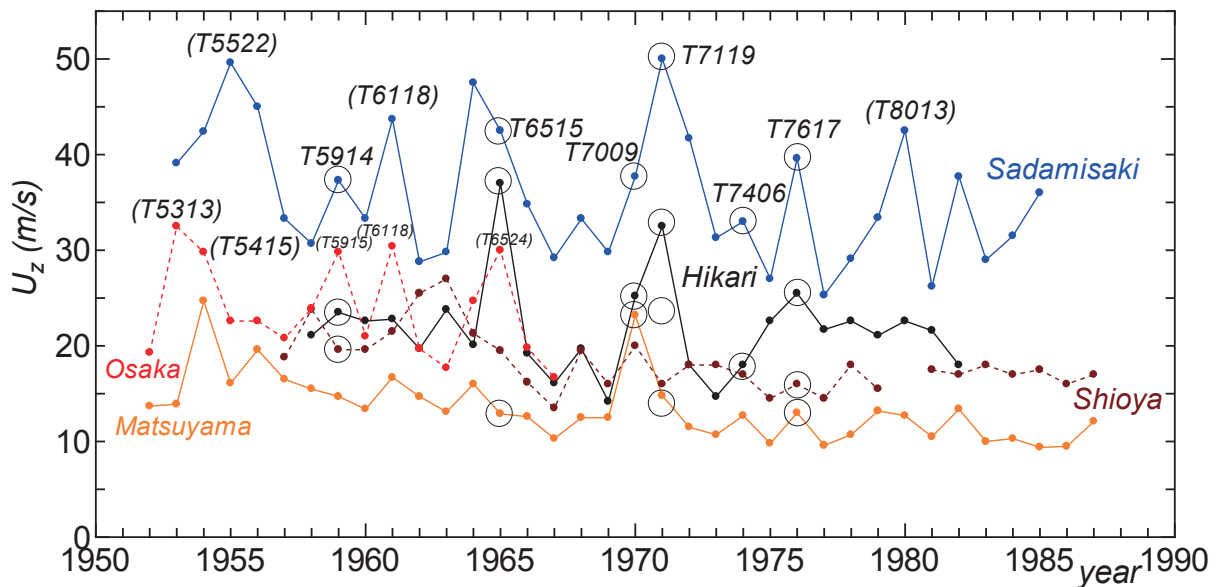


Figure 2 Yearly variations of measurement-based annual maximum(AM) wind speed at coastal stations in the Seto Inland Sea.

2.2 傾向変動および極値の解析

傾向変動解析は、有意水準 5% の片側検定として各地点の AM 資料に対する① t 検定^[7]による傾向変動強度指数 a_t ($= a/a_{95}$, a : AM 資料にあてはめた直線の勾配値, a_{95} : a の 95% 変動域), ② 鈴木^[8]によるトレンド示数 \tilde{I}_t の相対値 I_t ($= \tilde{I}_t/1.6449$), ③ Mann-Kendall 法^[9]に基づくトレンド強度指数 I_{MK} , の 3 種類により行う。これらの指標を I で表すと, $|I| \geq 1$ で統計的に有意な増加 (+側)・減少 (-側) 傾向, $|I| < 1$ で傾向変動なし, と判定する。Table 3 は地点別の AM 資料に対する傾向変動解析の結果一覧を示す。勾配値 a は

Table 3 Results of trend analysis for AM wind speed data sample at each of coastal stations.

site	periods	K yrs.	a (m/s)/y	a_t	I_t	I_{MK}
Hikari	58-82	25	-0.076	-0.32	-0.26	-0.57
Sadamisaki	53-85	33	-0.210	-1.27	-1.11	-1.23
Matsuyama	52-87	36	-0.182	-2.68	-2.80	-2.90
Shioya	57-87	31	-0.194	-2.15	-1.60	-2.10
Osaka jetty	52-67	16	-0.312	-0.65	-0.60	-0.71

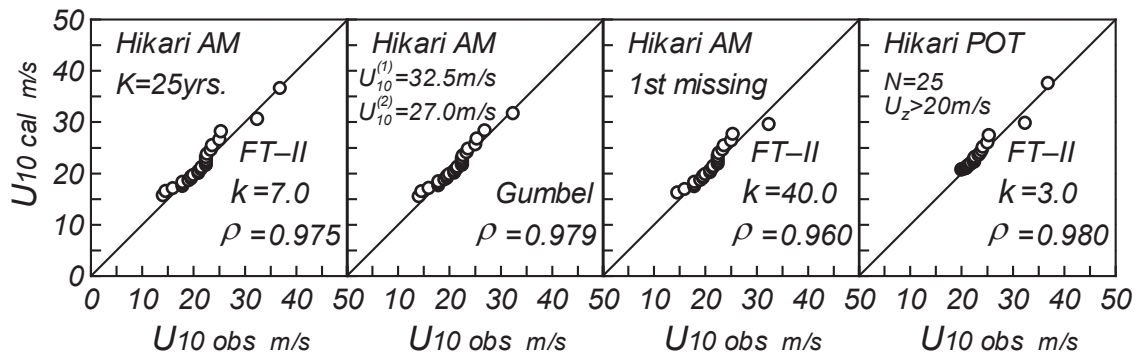


Figure 3 Quantile-quantile plots for samples of measurement-based AM and POT wind speed data at Hikari station.

安居島を除いて負値をとり、AM 資料の経年的な減少傾向がみられる。傾向変動強度指数をみると、光、大阪港中央突堤で統計的に有意な傾向変動は見出されないのに対して、佐田岬で弱い負の傾向変動が、塩屋と松山で強い負の傾向変動が検出される。要するに、与えられた資料期間に対して統計的に有意な減少傾向が見出される地点もあるが、資料期間が短いことから、傾向変動に関して最終的な結論を得るのは早計であろう。ここでは傾向変動の有無を考慮せず、通常の極値解析を行う。

Fig. 3 は光における年最大風速 (AM) 資料および極大風速 (POT) 資料に対する極値統計解析より得た最適分布に基づく Q-Q プロット図を与える。極値統計解析には、候補分布を Gumbel 分布, 27 種類の形状母数 k をもつ Weibull 分布, 20 種類の形状母数 k をもつ FT-II 型分布の計 48 種類, 位置・尺度母数の計算を最小 2 乗法, 最適分布の選択を相関係数最大基準, 再現確率値の分散 (標準偏差) の推定を jackknife 法による Yamaguchi・Hatada^[10] のモデルを用いる。資料年数 $K=25$ 年とする年最大風速資料は、①資料数 $N=25$ の全資料, ②第 1 位風速 $U_{10}^{(1)}=37.0$ m/s を 27.0 m/s と変え, $U_{10}^{(1)}=32.5$ m/s とした $N=25$ の全資料, ③第 1 位風速 $U_{10}^{(1)}$ は第 2 位風速 $U_{10}^{(2)}=32.5$ m/s より大きい, その値は不明とする資料 (第 1 位値欠解析) の 3 通り, POT 資料では $N=25$, 資料総数 $N_T=250$ としてそれぞれの資料の解析を行った。最適分布は資料ごとに変わり, 相関係数 ρ も 1 に近いと言えないが, 資料値は 45° 直線でほぼ表されていることから, 最適分布の適合度は悪くない。

Table 4 は各地点における年最大風速 (AM) 資料および光と大阪港中央突堤における $U_z > 20$ m/s の極大風速 (POT) 資料に対する極値統計解析結果の一覧を与える。各地点の高度 z m における観測風速 U_z は 1/7 乗則により 10 m 高度風速 U_{10} としており, z m での最大 (第 1 位) 風速を $U_z^{(1)}$, 10 m 高度でのそれを $U_{10}^{(1)}$ で表している。解析結果は相関係数 ρ , 最適分布の形状母数 k (W は Weibull 分布, F は FT-II 型分布, G は Gumbel 分布), 50 年確率風速 U_{50} とその標準偏差 $U_{50\sigma}$ および変動係数 ($C_v = U_{50\sigma}/U_{50}$ の % 値) で与える。

まず光では, 通常の AM 資料 (Hikari(2)) で 50 年確率風速とその標準偏差は $U_{50} \pm U_{50\sigma} = 36.3 \pm 4.5$ m/s

Table 4 A list of results of extreme value analyses for AM and POT wind speed data samples at each of coastal stations.

site	z m	period	K yrs.	N	$U_z^{(1)}$ m/s	$U_{10}^{(1)}$ m/s	date (Y.M.D)	$\rho \times 10^3$	Opt. k	U_{50} m/s	$U_{50\sigma}$ m/s	$\frac{U_{50\sigma}}{U_{50}}$ %	Remarks
Hikari (1)	10.0	58-82	25	25	37.0	37.0	65.8.6	980	F3.0	35.6	4.9	13.9	POT, $N_T = 250$, $U_z > 20\text{m/s}$
Hikari (2)	10.0	58-82	25	25	37.0	37.0	65.8.6	975	F7.0	36.3	4.5	12.5	AM
Hikari (3)	10.0	58-82	25	25	32.5	32.5	71.8.5	979	G	31.9	2.7	8.4	AM, 37.0m/s→27.0m/s
Hikari (4)	10.0	58-82	25	24	32.5	32.5	71.8.5	960	F40.0	33.8	4.0	11.9	AM, 1st. missing
Sada- misaki	40.6	53-85	33	33	50.0	40.9	71.8.5	991	W2.0	42.8	2.0	4.6	AM
Matsu- yama	21.5	52-87	36	36	24.7	22.1	54.9.26	987	F7.0	21.3	2.2	10.2	AM
Shioya	8.5	57-87	31	31	27.0	27.6	63.1.19	990	F12.5	27.6	2.0	7.2	AM, add. 17.5m/s(1980)
Osaka jetty(1)	10.0	52-67	16	16	32.5	32.5	53.9.25	969	W2.2	35.6	2.2	6.2	AM
Osaka jetty(2)	10.0	52-67	16	21	32.5	32.5	53.9.25	965	W10	35.9	2.4	6.6	POT, $N_T = 250$, $U_z > 20\text{m/s}$

Opt : Optimum distribution ; F : FT-II Type, W : Weibull, G : Gumbel

(変動係数 $C_v = 12.5\%$), POT 資料 (Hikari(4)) で $35.6 \pm 4.9 \text{ m/s}$ ($C_v = 13.9\%$) であるから, 両資料による U_{50} の差は 0.7 m/s と小さい。3 種類の AM 資料では, 第 1 位風速 37.0 m/s の 27.0 m/s への人為的縮小 (Hikari(3)) は U_{50} の低下 (4.4 m/s) のみならず $U_{50\sigma}$ の減少 (1.8 m/s) を生じており, 第 1 位風速の変更が U_{50} と $U_{50\sigma}$ に及ぼす影響は大きい。第 1 位値を欠測とする解析 (Hikari(4)) では $U_{50} \pm U_{50\sigma} = 33.8 \pm 4.0 \text{ m/s}$ ($C_v = 11.9\%$) と, かなり適切な値が得られているように思われる。また大阪港中央突堤では, 第 1 位風速を $U_{10}^{(1)} = 32.5 \text{ m/s}$ として約 30 m/s に達する AM 資料が 5 個出現していることから, 最適分布は正側にあまり裾を引かない Weibull 分布 ($k = 2.2$) で表され, $U_{50} \pm U_{50\sigma} = 35.6 \pm 2.2 \text{ m/s}$ ($C_v = 6.2\%$) と変動係数が小さい。加えて, 光の場合と同様に, AM 資料と POT 資料に基づく U_{50} と $U_{50\sigma}$ も後者の推定値が若干大きいものの, その差は小さい。

さらに, 他の地点の結果をみると, 光 (36.3 m/s または 33.8 m/s) や大阪港中央突堤 (35.6 m/s) と比べて, U_{50} は佐田岬 (42.8 m/s) でより大きく, 塩屋 (27.6 m/s) でより小さい値をとる。市街地にある松山 (21.3 m/s) では U_{50} は一層小さい。

瀬戸内海における 50 年確率風速 U_{50} の空間分布を示した山口ら^[1]の結果 (Fig. 30) では, 概略値として光で $U_{50} = 32 \sim 33 \text{ m/s}$, 大阪港中央突堤で $U_{50} = 31 \sim 33 \text{ m/s}$, 佐田岬で $U_{50} = 40 \sim 42 \text{ m/s}$ を与え, 観測資料に基づく U_{50} と比較的よく対応する。しかし塩屋でも $U_{50} = 30 \sim 33 \text{ m/s}$ をとり, 観測風に基づく値より 5 m/s 程度大きい。

3. SDP 風資料に基づく計算風と観測風の比較

3.1 SDP 風資料に基づく計算風

すでに 1. 緒言で述べたように, 山口ら^[1]は内湾・内海を囲む陸上気象官署で 1~3 時間ごとに取得され

た 10 分間平均の風速資料 (SDP 風資料) における測定環境等の変化に伴う非等質性を調整したのち、これらの風速・風向 (SDP 風) 資料と外洋境界に沿う代表地点で与えた NCEP/NCAR あるいは ECMWF による表面風再解析資料に台風モデル風を組み込んだ風速・風向資料を空間補間して対象領域内の海上部と沿岸部の観測地点における風速・風向を求め、ついでこの第 1 段階計算風速と観測風速から作成した 2 種類の回帰式を第 1 段階計算風速に適用して海上部と沿岸部の観測相当風速に変換し、さらにこれらを各時間ごとに空間補間して海上風分布を求める方法を開発した。そして観測資料が得られる 1980 年以降を対象として長期資料やストーム時資料に対して計算風と観測風との広範な比較^[2]を行い、この方法の有効性を確認した。作成した海上風分布資料の期間は電子データが得られた 1961~2005 年の 45 年間、時間間隔は 1 時間である。日最大風速・風向は出現時刻に最も近い 1 時間ごとの時系列のデータとして取り込んでいる。

3.2 光における計算風と観測風の比較

ここではまず、山口県の下松に相当する地点の SDP 風資料由来の計算風を光における計算風とみなし、観測風との比較・検討を行う。

Fig. 4 は光における計算風と観測風の経時変化の比較を 2 つの低気圧・季節風時 (①1964 年 3 月 26 日~28 日, ②1970 年 12 月 12~14 日) および 2 つの台風時 (③T7009 号: 1970 年 8 月 14~16 日, ④T7119 号時: 1971 年 8 月 4~6 日) について与える。2 つの低気圧・季節風時については両者の風速・風向時系列は比較的よく符合しているように見える。2 つの台風時についても概略では経時変化に対する両者の対応は

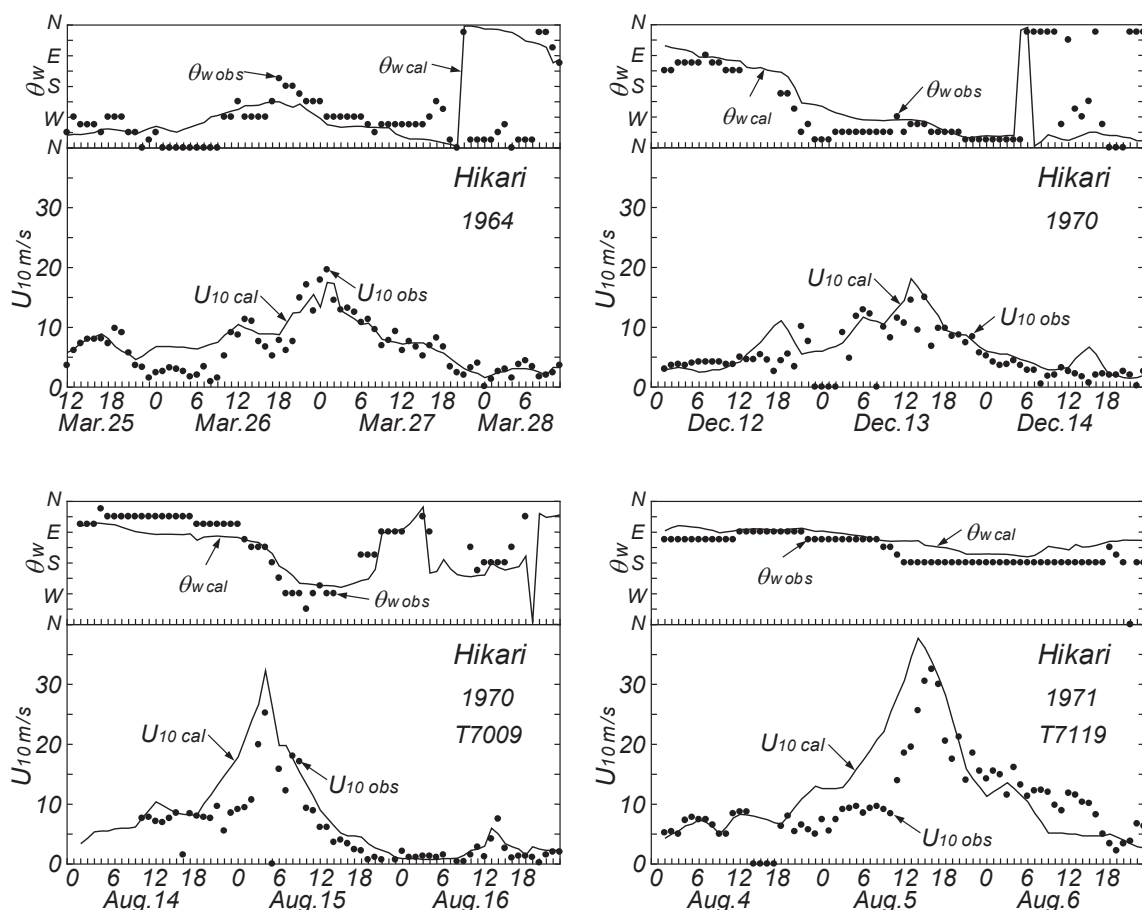


Figure 4 Comparison between hindcast and measurement for time variation of wind speed and direction during a storm at Hikari station.

悪くないが、発達期から最盛期の風速に関して計算風速が観測風速より大きい値を与える。要するに、計算風速の時系列は観測風速の時系列より、言わば太った形をとる。

Fig. 5はFig. 4に与えた4ストーム時の計算風と観測風に対して風速および風向それぞれの相関図(散布図)を示す。2台風時における計算風速の過大評価を除いて、計算風と観測風は風速・風向に対して比較的よい相関を示す。これを表す誤差指標として、観測風速 $U_{10}^{obs} \geq 4 \text{ m/s}$ の時間帯で資料数 $N \geq 5$ 、ストーム期間中の最大観測風速 $U_{10max}^{obs} \geq 12 \text{ m/s}$ かつストーム期間中の風向の変動範囲 $\Delta\theta_w \geq 90^\circ$ のケースについて風速に係わる相関係数 ρ_U 、相関図の勾配値 a_{0U} 、2乗平均(平方根)誤差 σ_U (m/s)、風向に係わる相関係数 ρ_θ 、相関図の勾配値 $a_{0\theta}$ 、2乗平均誤差 σ_θ ($^\circ$)の6つの誤差指標およびストーム時最大風速比 $\tilde{U}_{max}(=U_{10max}^{cal}/U_{10max}^{obs})$ の計7つを導入する。ただし、2乗平均誤差はストーム期間中の平均風速 $\overline{U_{10}^{obs}}$ および 100° でそれぞれ無次元化した $\tilde{\sigma}_U(=\sigma_U/\overline{U_{10}^{obs}})$ と $\tilde{\sigma}_\theta(=\sigma_\theta/100)$ とする。因みに、Fig. 4①の事例では $\rho_U=0.81$ 、 $a_{0U}=0.96$ 、 $\tilde{\sigma}_U=0.23$ 、 $\rho_\theta=0.81$ 、 $a_{0\theta}=0.78$ 、 $\tilde{\sigma}_\theta=0.42$ 、 $\tilde{U}_{max}=0.89$ となる。言うまでもなく、 ρ_U 、 a_{0U} 、 ρ_θ 、 $a_{0\theta}$ 、 \tilde{U}_{max} は1に近いほど、 $\tilde{\sigma}_U$ 、 $\tilde{\sigma}_\theta$ は0に近いほど高い精度を示唆する。しかし、たとえばFig. 5の散布図で資料値が特定の領域に固まれば ρ は小さくなり、 a_0 は1から大きくずれる場合もあり、観測風と計算風の時系列が似ていても位相差をもてば σ が大きくなるなど、これらの指標によって計算風の精度を記述するのが難しい面もある。こうしたことから、時系列や散布図による個々のチェックも必要である。

要するに、計算風と観測風の対応がかなりよい場合には、その誤差特性はこれらの誤差指標によって代表されるが、その時間変化が少なく両者にやや隔たりがみられる場合には、視察による印象以上に、低い精度を表す誤差指標が得られる場合も少なくない点に留意する必要がある。

Fig. 6は光において得たストーム時($N=15$ ケース)の風速・風向資料に関する7つの誤差指標の頻度分布を示す。各図中には平均値 m と標準偏差 σ を与える。標本数が $N=15$ と少ないために、頻度分布におけるばらつきの大きさが目立つ。誤差指標を順にみると、風速に関して相関係数 ρ_U はややばらつきを示し、平均値も0.68と1から少なからず離れている。勾配値 a_{0U} は平均値 $m=1.00$ をとるものの、標準偏差 $\sigma=0.20$ からもわかるように、ばらつきが小さいと言えない。同様に、無次元2乗平均誤差 $\tilde{\sigma}_U$ の値もやや大きい。無次元最大風速 \tilde{U}_{max} に関して平均値は1に近いが、標準偏差は平均値からのある程度のばらつきを示す。風向に関して相関係数 ρ_θ の平均値($m=0.91$)は1に近く標準偏差も小さいし、勾配値 $a_{0\theta}$ も標準偏差がやや大きいものの、同様の挙動を与える。無次元2乗平均誤差 $\tilde{\sigma}_\theta$ の平均値は0.42、標準偏差は0.11であるか

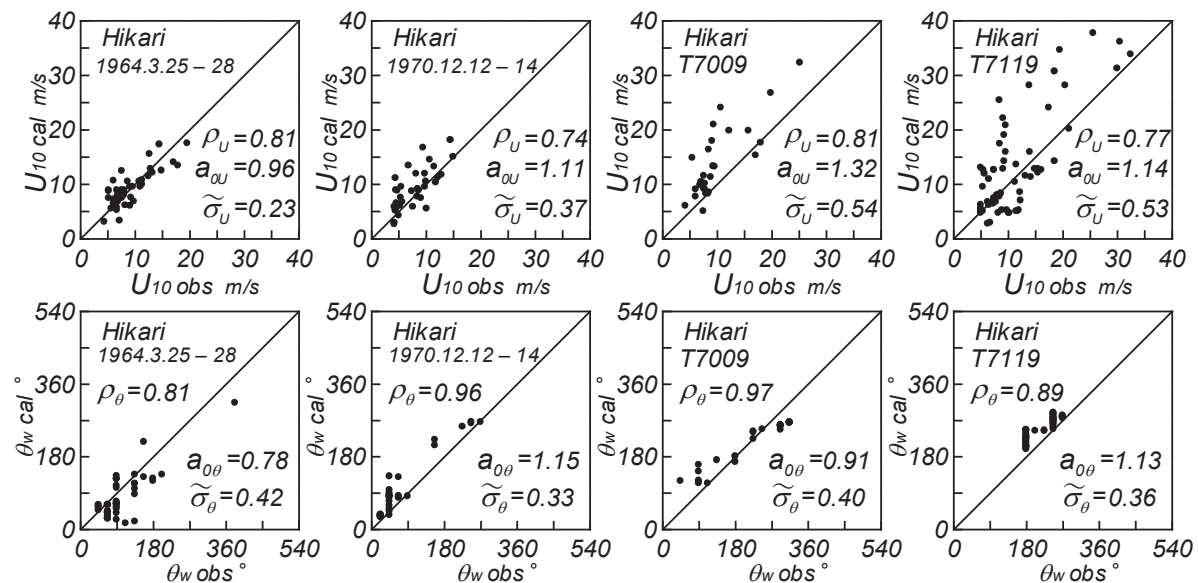


Figure 5 Scatter diagrams between hindcast and measured values for wind speed and wind direction during a storm at Hikari station.

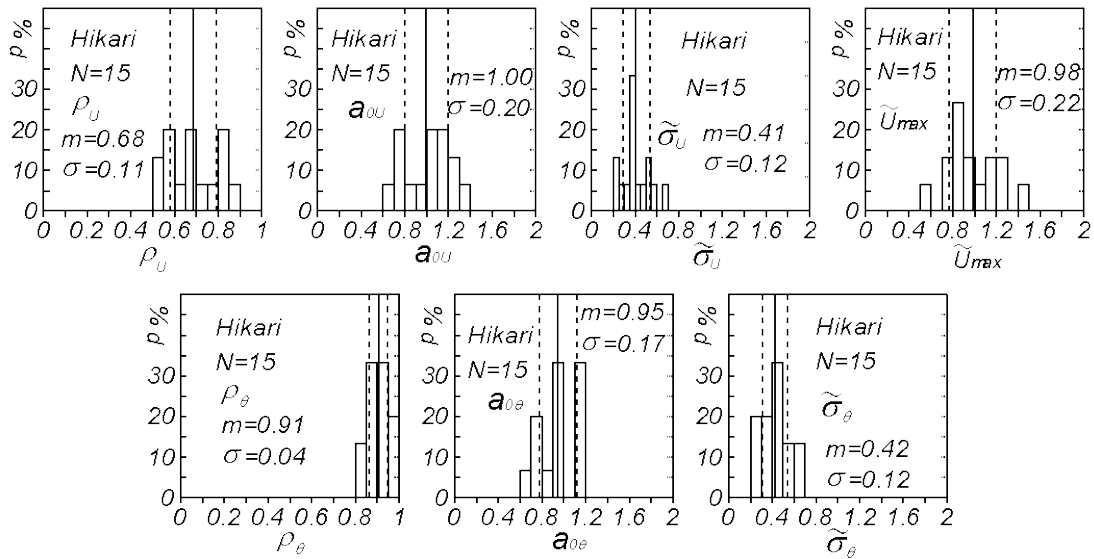


Figure 6 Histograms of 7 error indices for wind speed and wind direction at Hikari station.

ら、平均的な誤差は小さいとは言えない。全体を通じてみると、計算風と観測風の対応は悪くはないが、格別によいとも言えない。光（製鉄所埋立て地先端）における風観測資料は周辺地形の影響を受けない沿岸海上風を適正に代表しているようにみえるけれども、沿岸風に対してもある精度が得られた山口ら^[2]の結果から予想されるほどの精度が得られていない。これは計算風には考慮されていない観測地点周辺の地形の影響によるのかもしれない。

3.3 瀬戸内海沿岸地点における計算風と観測風の比較

Table 5 は瀬戸内海沿岸の各観測地点における計算風と観測風から得た 7 つの誤差指標についての平均値 m と標準偏差 σ の 100 倍値を標本資料数 $N \geq 7$ の地点で与える。表には瀬戸内海の西部海域（家島から塩屋に至る 5 地点に中部海域に属する福山と新居浜を加えた 7 地点）と東部海域（飾磨から大阪に至る 7 地点）および全海域（計 14 地点）における結果ならびに山口ら^[2]が西部海域と東部海域について 1980 年以降の資料について得た同様の結果も与える。標本資料数は西部海域で $N = 88$ （山口ら^[2]では中部海域の結果を加えて $N = 636$ ）、東部海域で $N = 46$ （山口ら^[2]では $N = 215$ ）、全海域で $N = 134$ であるから、1980 年以降の資料を対象とした山口ら^[2]における標本資料数が圧倒的に多い。山口ら^[2]が対象とした沿岸地点は周辺陸上部の SDP 風資料から補間を直接行った地点であり、そこでの風特性は海上風の空間分布の推定結果から求めた本研究の沿岸地点（Table 1 における○印地点を除く）における風特性より基本的には高い精度をもつ。また、Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9 はそれぞれ西部海域、東部海域および全海域の沿岸地点における資料から求めた 7 つの誤差指標の頻度分布（平均値と標準偏差付き）を表す。

表の結果および図を順次みると、つぎのことが言える。

①西部海域および東部海域における沿岸地点の各誤差指標は地点間で有意な相違を伴う。 ρ_U , a_{0U} , ρ_θ , $a_{0\theta}$, \tilde{U}_{max} の平均値 m が 1 に近く、 $\tilde{\sigma}_U$ と $\tilde{\sigma}_\theta$ の平均値はや各標準偏差 σ が 0 に近いほど、高い精度を表すという観点から、Table 5 では相対的に高い精度を表す m や σ に赤色を付けた。赤色で表される m や σ は地点や誤差指標ごとに変わり、すべての誤差指標について赤色をもつ地点はない。この中で赤印の数が多い地点は山口ら^[2]で用いられた飾磨（東部海域）および福山（西部海域）のほか光と大阪（東部海域）である。

②より大きい海域での整理結果として、西部海域の数値をみると、地点別の数値より統計的に安定した結果が得られているが、Fig. 7 からわかるように、 ρ_U や ρ_θ の変動範囲が広く、2 乗平均誤差である $\tilde{\sigma}_U$ や $\tilde{\sigma}_\theta$ の値が大きい。また、東部海域では西部海域に比べてより高い精度を示す指標が多く、Fig. 8 における各指

Table 5 Mean and standard deviation for each of winds-related 7 error indices at coastal stations in Western, Eastern and full areas of the Seto Inland Sea.

location	data	$\rho_U \times 10^2$		$a_{0U} \times 10^2$		$\tilde{\sigma}_U \times 10^2$		$\tilde{U}_{max} \times 10^2$		$\rho_\theta \times 10^2$		$a_{0\theta} \times 10^2$		$\tilde{\sigma}_\theta \times 10^2$	
	N	m	σ	m	σ	m	σ	m	σ	m	σ	m	σ	m	σ
Ieshima	7	64	16	89	17	35	11	110	19	86	10	106	8	42	12
Hikari	15	68	11	100	20	41	12	98	22	91	4	95	17	42	12
○Kuchogoe	8	66	11	101	21	41	12	108	23	89	14	107	12	38	13
Shioya	29	68	14	79	14	39	9	95	17	87	9	98	13	49	15
○Fukuyama	19	70	13	82	8	34	5	87	12	87	12	102	8	31	7
West.	88	67	14	87	17	38	10	96	19	88	11	99	13	43	14
Yama*	636	72	13	97	11	28	7	102	14	95	4	99	7	26	7
○Shikama	6	77	14	99	9	30	9	102	13	91	8	100	3	27	10
Takasago	11	78	9	96	23	36	14	91	22	95	5	102	10	32	14
Tsui	9	64	16	97	24	40	11	109	24	85	12	98	6	29	7
Osaka	11	76	14	114	5	31	5	120	12	93	8	95	5	26	6
East	46	72	15	99	20	36	11	104	24	90	11	99	8	31	11
Yama*	215	76	12	97	12	29	6	106	15	96	4	99	5	21	6
Seto	134	69	15	91	19	37	10	99	22	88	11	99	11	39	14

Yama* : Yamaguchi · Hatada · Ohfuku · Nonaka(2012) [2].

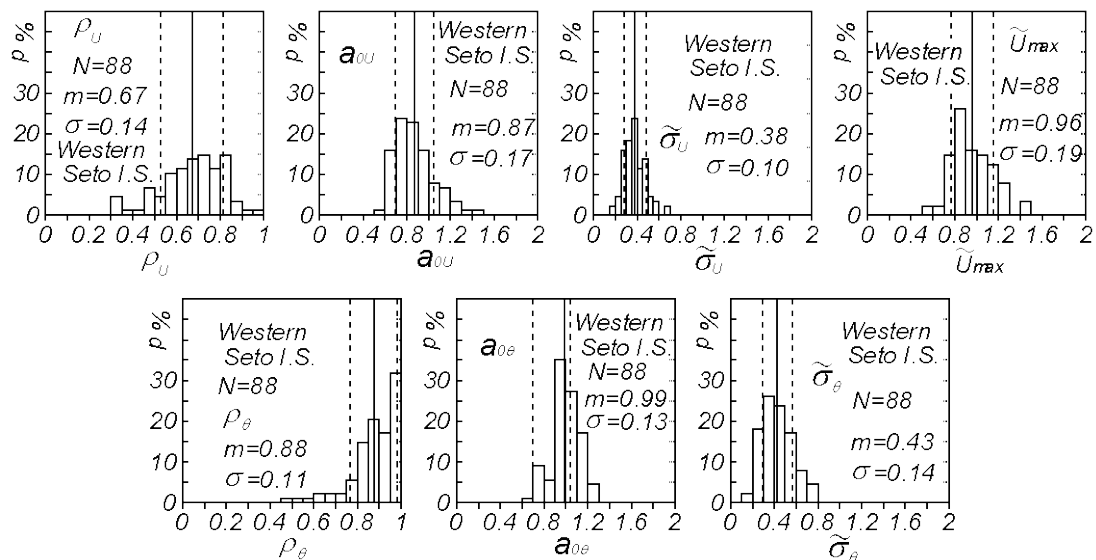


Figure 7 Histograms of 7 error indices for wind speeds and wind directions at 10 coastal stations in the Western Seto Inland Sea.

標のばらつきも小さいものの、 $\tilde{\sigma}_U$ や $\tilde{\sigma}_\theta$ の値は依然として小さくはない。山口ら^[2]および本研究の結果を比べると、勾配値 a_{0U} と $a_{0\theta}$ は同程度の値であるものの、前者に基づく ρ_U 、 ρ_θ の平均値 m が1により近く、 $\tilde{\sigma}_U$ や $\tilde{\sigma}_\theta$ の平均値と全指標の標準偏差 σ がより小さい値をとることから、山口ら^[2]の結果の精度がより高いことが

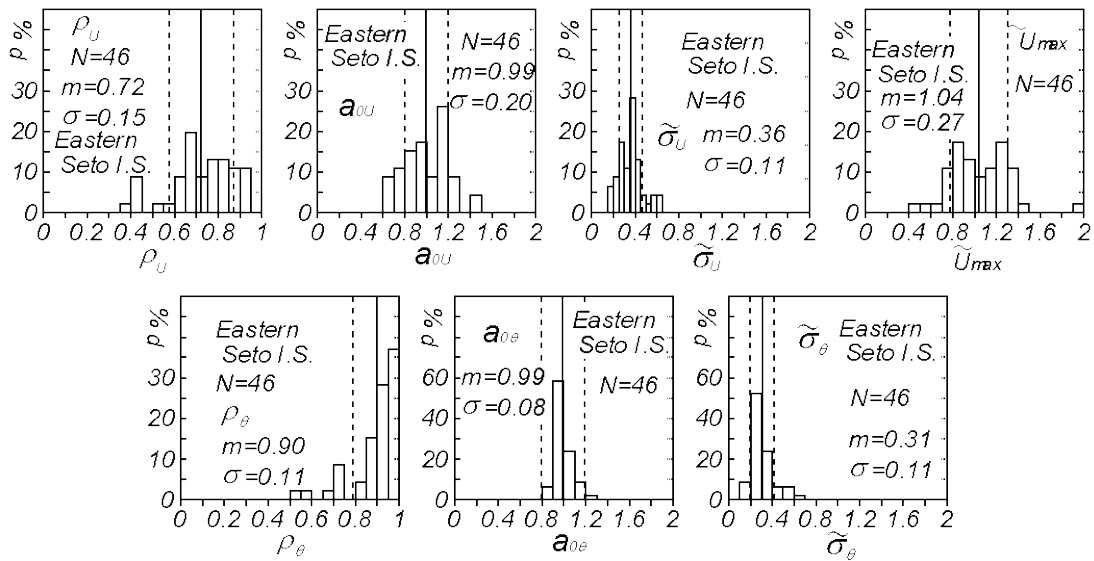


Figure 8 Histograms of 7 error indices for wind speeds and wind directions at 7 coastal stations in the Eastern Seto Inland Sea.

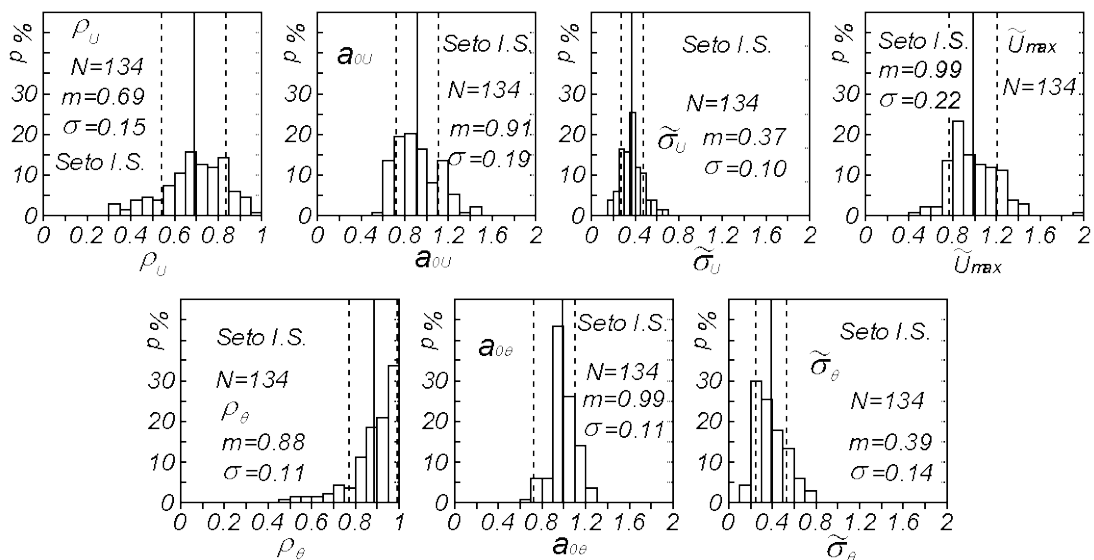


Figure 9 Histograms of 7 error indices for wind speeds and wind directions at 17 coastal stations in the Seto Inland Sea.

示唆される。これは、山口ら²⁾の結果では沿岸地点の観測風の特徴が観測相当風の計算過程で反映されているのに対して、今回新たに対象とした沿岸地点の観測風資料は観測相当風とは独立した資料であり、観測相当風で考慮されない周辺地形の影響を含みうるなどによると推測される。なお、 a_{0U} に関して相対的に小さい値を与える塩屋の結果を除くと、100倍値としての a_{0U} の m は91に増え、 σ_θ の m は40に、 σ は12に減るけれども、他の諸量はほぼ変わらないことから、西部海域での誤差指標の基本特性に変化はない。

③全地点（全領域）でみると、各平均値と標準偏差は西部海域と東部海域における値の間の値をとり、Fig. 9の頻度分布においても変動幅が変わらないものの、区間別値の起伏が少なくなり、滑らかな分布が得られている。

4. 結 語

本研究で得た結果の概要はつぎのようである。

- 1)光（製鉄所の埋立て地先端部）において1958～1982年に取得された沿岸海上風観測資料は高い測得率をもつことから、この期間の当該地点周辺の風特性を知るうえで非常に貴重である。この資料に基づく50年確率風速は、信頼性に疑問を残すT6515号時の第1位値の考慮の仕方により34 m/sあるいは36 m/sと評価される。この値はSDP風資料を基礎資料として推定した値より2～3 m/s大きい程度でほぼ対応する。
- 2)1960年代を中心とする瀬戸内海西部海域の沿岸観測地点および大阪港中央突堤における沿岸風観測資料に基づく50年確率風速は佐田岬で43 m/s、中央突堤で36 m/sをとり、SDP風資料から求めた観測相当風（計算風）に基づく50年確率風速とも概略で対応するが、瀬戸内海西部海域沿岸地点の塩屋で5 m/s、松山气象台で10 m/s低い値を与える。これは観測資料に含まれる地形の影響や観測資料の測得状況や品質に依存するところが大きいと推測される。
- 3)瀬戸内海の沿岸地点における主として1980年以前のSDP風資料に基づく計算風の7つの誤差指標で代表される精度は悪くはないが、1980年以降の資料を対象として西部海域および東部海域の沿岸地点における7つの誤差指標をまとめた山口ら^[2]の結果と比べるとやや低い。これは1980年以前の風観測資料の品質に加えて、海上風分布の作成に直接用いた沿岸地点の計算風と観測風の比較に基づく山口ら^[2]の結果と、海上風分布の作成に用いていない沿岸地点の計算風と観測風の比較に基づく本研究の結果との相違によるところが大きいと推測される。

参 考 文 献

- [1] 山口正隆・大福 学・野中浩一・畑田佳男・日野幹雄：SDP風資料を用いた内湾・内海における45年間の海上風分布データセットの作成，土木学会論文集B2（海岸工学），Vol.B2-65，No.1，pp.186-190，2009.
- [2] 山口正隆・畑田佳男・大福 学・野中浩一：瀬戸内海における1961～2005年のストーム時風速・波高分布の再現と極値の評価，工学ジャーナル（愛媛大学），第11巻，pp.93-128，2012.
- [3] 建設省四国地方建設局松山工事事務所・新日本気象海洋株式会社：昭和62年度海岸資料解析業務委託報告書，290p.，1988.
- [4] 松山地方气象台：愛媛の気象百年，257p.，1992.
- [5] 運輸省第三港湾建設局神戸調査設計事務所：大阪港の波，45p.，1969.
- [6] Tsuchiya, Y., Yamaguchi, M., Kawata, Y., Shibano T. and T. Yamashita : Prediction of beach erosion at Murozumi beach, Natur. Disas. Scie., Vol.2, No.1, pp.33-68, 1980.
- [7] 徐 宗学・竹内邦良・石平 博：日本の平均気温・降水量時系列におけるジャンプ及びトレンドに関する研究，水工学論文集，第46巻，pp.121-126，2002.
- [8] 鈴木栄一：気象統計学（第5版），地人書館，314p.，1975.
- [9] 松山 洋・谷本陽一：UNIX/Windows/Macintoshを使った実践！気候データ解析[第2版]，古今書院，118p.，2008.
- [10] Yamaguchi, M. and Y. Hatada : An extremal analysis system and its application to the estimation of extremes of meteorological and oceanographic elements around the coasts of Japan, Proc. WAVES97, Vol. 2, pp. 932-946., 1997.