

台風時における気圧場から計算した風速 と実測された風速との関係 (第2報)

藤井 健*・光田 寧**・植田 洋匡

*京都産業大学一般教育研究センター

**日本気象協会

要 旨

気象庁の平均風速の測定が風車型風向風速計に変更された1975年以降1994年までの20年間に日本本土に上陸した22個の顕著台風について気圧場から算出した基本地表風を基準として、各気象官署の実測風のとの間の関係を調べた。その結果基本地表風と実測風の間の風向偏角と風速比は、地点により、また風向により大きく変化していた。この変化の顕著な地点について検討したところ、その変化はほぼ地形と対応していた。また、この結果を解析対象外の台風9612号に適用して地表風を推算したところ、中心付近の各地点において風向および風速ともに計算値は実測値とほぼ一致した。

キーワード：台風，気圧分布，傾度風，基本地表風，調和解析

1. はじめに

台風時における気象庁各官署の地上気象観測による実測風の地理的分布は極めて複雑であり、風向や風速の等値線あるいは流線を引くのは困難である。そこで、本研究は、気圧分布がほぼ同心円状であるのに対して、実測風がばらついている原因の解明を目的とし、気圧場から算出した風を基準として各気象官署の実測風の特性について調べてみた。

昨年度の年報(光田・藤井, 1997a)では、1955～94年に日本本土に上陸した顕著台風について、Schloemer (1954) の式による気圧場の客観解析の結果から傾度風速を求め、藤井・光田 (1986) の方法により super-gradient の補正を施した。この風を基本地表風速と呼ぶことにし、近畿地方数カ所の気象官署におけるこの風速と実測地表風速との比の値について傾度風の風向との関係を調べた。その結果、この比の値は風向(すなわち地形)とともに大きく

変化し、また風速計種類変更時やその設置高度変更時にも変化があった。

今回は、基本地表風に対する実測風の風向偏角と風速比について、風向に伴う変化を関東地方から九州地方までの全官署について調べてみた。ただし、計器の種類変更の影響を除くために、気象庁の平均風速測定が三杯型風速計から風車型風向風速計に変更された(藤谷, 1990) 1975年以降1994年までに解析期間を限定した。そして、この期間に本土に上陸した22個の顕著台風(上陸時の中心気圧980hPa以下)について、地点毎に、基本地表風と実測風の間の風向偏角および風速比について調和解析を行って、風向の関数として表し、風向に伴う変化の特性について調べた。また、風向に伴う変化が顕著な地点については、風向方向の地形との対応について考察した。さらに、1996年に九州中部に上陸した台風12号について、気圧場から地表風を算出し、実測風と比較して、調和解析の結果の有効性について検討した。

2. 気圧場から計算した基本地表風

著者たちは、Schloemer (1954) の気圧分布式

$$p = p_c + \Delta p \exp(-1/x) \quad (1)$$

を用いた台風の気圧場客観解析法 (藤井, 1974; 光田・藤井, 1997b) を開発し, 過去に日本本土に上陸した顕著台風について解析を試みた。なお, 式 (1) で, p は中心からの距離 r における気圧, p_c は中心気圧, Δp は中心気圧と周辺気圧の差, x は r と最大風速半径 r_m の比で, r_m を基準とした無次元相対距離に相当する。

気圧場の客観解析により得られた台風の中心の経路のうち, 本研究で対象とした1975-1994年に日本本土に上陸した22個の顕著台風の経路をFig.1に示す。

次に, 解析により得られた気圧場とバランスする風として, 式 (2) により傾度風風速 V_{gr} を算出した。

$$\frac{V_{gr}^2}{r_t} + fV_{gr} = \frac{1}{\rho} \frac{dp}{dr} \quad (2)$$

この式で, ρ は空気密度である。また, r_t は流跡線の曲率半径で, 次のBlatonの式 (Holmboe et al., 1945) を用いて流跡線の曲率半径すなわち等圧線の曲率半径 r で置き換えることにした。

$$\frac{1}{r_t} = \frac{1}{r} \left(1 - \frac{C}{V_{gr}} \sin \theta \right) \quad (3)$$

この式で, C は台風の中心 (気圧場) の進行速度, θ は進行方向から時計回りに測った角である。

式 (3) を式 (2) に代入して, 傾度風風速を求めると, 進行方向の右側で大きく, 左側で小さいという非対称性が生じ, 移動速度を考慮した傾度風風速が得られる。

なお, Blatonの式は等圧線の曲率半径と流跡線の曲率半径が等しいという仮定から運動学的に導出されたものであり, 気圧場が移動しているとき力学的見地からは問題がある (藤部, 1996)。この点については検討する必要があるが, ここでは, Blatonの式により気圧場の移動の効果を表すことにする。

また, 大気境界層では, 地表面の摩擦のため, 傾度風風速が最大となる半径 (ほぼ r_m に等しい) を越えて内側へ流入する。このとき, 角運動量の保存により, 境界層内の風速は傾度風風速を超えて, いわゆるsuper-gradientな風となることが知られている (Gray and Shea, 1973; Mitsuta et al., 1988)。そこで, 過去の台風についての調査に基づいて作成した次の式により補正を行うことにした (藤井・光田, 1986)。すなわち, 傾度風風速に対する地表風速の

比 $G(x)$ を x の関数として,

$$G(x) = G(\infty) + \{G(0.5) - G(\infty)\} (2x)^{1.5} \exp[0.6\{1 - (2x)^{2.5}\}] \quad (4)$$

と表した。なお, この式で, $G(x)$ の最大値 $G(0.5)$ については, Δp の関数として次の式で表した。

$$G(0.5) = G(\infty) (1 + 10^{0.0231 \Delta p - 1.96}) \quad (5)$$

V_{gr} に $G(x)$ を乗じて補正を施した風速を基本地表風の風速とする。

基本地表風の風向については, 等圧線に平行な傾度風風向から30°~45°反時計回りに偏するものと考えられる。しかし, ここでは, 基本地表風風向を求めず, 傾度風風向と地表風風向の偏角を調査の対象とした。

3. 風向偏角と風速比の調和解析の方法

各地点において, 実測風の風向と風速について, 傾度風風向からの偏角 (反時計回りを正とする) および基本地表風速に対する比を求め, これらが傾度風風向とともにどのように変化するかについて調べた。風向偏角および風速比ともに傾度風風向にともなう変化は顕著であるので, これを明確にするために調和解析を行い, 波数4以下のFourier級数の和として表した。すなわち, 風向偏角 DWD および風速比 RWS は次のような式で表した。

$$DWD = a_0 + \sum (a_i \cos i\theta + b_i \sin i\theta) \quad (6)$$

$$RWS = a'_0 + \sum (a'_i \cos i\theta + b'_i \sin i\theta) \quad (7)$$

この式で, θ は風向偏角, a_i, b_i, a'_i, b'_i ($i=1, 2, 3, 4$) は係数であり, 調和解析により求めることにする。

調和解析を行うに当たって, 風向偏角および風速比は傾度風風向に対して等間隔に分布していないので, 風向間隔11.25°ごとに風向偏角と風速比の移動平均値を求めた。このさい, 平均をとる風向幅は22.5°とし, その中央の風向の値とした。もし, この風向幅内の資料が3個未満であれば, 資料数が3個以上になるまで平均をとる範囲を拡げた。

4. 地点別風向偏角と風速比

台風が同心円状の気圧分布の形状を失う北海道と東北地方を除き, また地点の分布密度が粗い南西諸島を除いた気象官署各地点について, 風向偏角および風速比の調和解析を行い, これらを傾度風風向の関数として表した。ただし, 合同庁舎への移転など

のために風速計高度が20m以上高くなった地点については、解析は風速計高度変更前あるいは変更後の長い方の期間に限定した。このように期間を限定した地点と解析期間をTable 1に示す。

讀和解析の結果得られた16方位（傾度風風向）各方位の風向偏角と風速比をTables 2 and 3に示す。なお、長い地点名は、最後1文字を省いてある地点がある。また、巖原など解析に用いたデータ数が32個より少ない地点は、精度の高い解析が行えなかった可能性があるので省略してある。

これらの表によると、風向偏角および風速比ともに、地点により、また風向により大きく変化している。表には、式(6)の α_0 および式(7)の α_0' の値を平均値（Ave.）として示してあるが、風向偏角は -5° から 67° まで、風速比は0.32から1.91まで地点間で大きな差がある。このような地点間の差は、気象官署の周辺の地形の他に、風速計設置高度の差の影響も考えられる。とくに、近年、気象官署は合同庁舎に移転する傾向があり、これに伴って、広島の高94.9m（地上高）、大阪の高94.2mのように、地上高で100m

近い官署も現れている。

Table 1 Weather stations with reduction of in the period of the harmonic analysis. The analysis period at other stations is that from 1975.1.1 to 1994.12.31.

Station	Period of analysis
Utsunomiya	1975. 1. 1 - 1989.12.19
Tsu	1975. 1. 1 - 1987. 8.31
Tokyo	1979. 1. 1 - 1994.12.31
Chiba	1981.3.30 - 1994.12.31
Hiroshima	1975. 1. 1 - 1987.12.31
Okayama	1982.10. 1 - 1994.12.31
Osaka	1975. 1. 1 - 1993. 1.31
Izuhara	1975. 1. 1 - 1991. 8.31
Kagoshima	1975. 1. 1 - 1994. 2.24
Uwajima	1975. 1. 1 - 1993. 1.31

Table 2. Deflection angle of direction of the surface wind from the gradient wind. The angle was obtained by the harmonic analysis. A plus means an angle measured counter-clockwisely from the gradient wind direction to the surface wind direction. Average (Ave.) means a value of α_0 in Eq. (6).

Station name	Number of data	Ave.	Direction of the gradient wind															
			NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N
Wajima	43	37	7	34	52	55	65	78	79	74	71	49	-3	-35	-11	32	34	7
Aikawa	39	27	36	26	20	32	41	35	33	46	54	43	28	20	8	-6	-1	23
Niigata	40	47	49	50	51	49	48	50	47	42	42	47	46	39	37	44	51	51
Kanazawa	67	47	17	29	27	30	46	57	58	66	80	82	72	67	66	46	13	2
Fushiki	66	51	36	40	32	28	38	49	47	42	47	58	68	79	86	76	50	33
Toyama	64	24	35	15	-10	-4	3	-17	-23	20	61	53	34	53	75	52	18	22
Nagano	66	0	33	13	18	44	36	-17	-58	-45	-4	20	11	-14	-36	-33	1	35
Takada	57	42	75	53	34	66	95	57	-1	-0	39	43	22	26	44	37	28	53
Utsunomiya	34	47	43	27	16	11	13	17	20	25	41	60	72	78	87	93	85	65
Fukui	79	46	25	-36	-10	82	104	38	7	52	81	57	49	75	72	40	43	63
Takayama	69	51	60	49	45	60	66	53	42	37	28	29	60	94	83	41	26	46
Matsumoto	72	39	61	65	70	98	108	58	-21	-49	-3	60	82	59	18	-11	-4	32
Suwa	79	65	89	117	119	73	28	28	46	47	55	90	107	71	25	24	52	70
Maebashi	60	36	12	-3	12	27	29	33	46	63	88	110	95	34	-20	-13	28	37
Kumagaya	53	45	33	27	27	35	41	37	31	35	53	71	74	65	55	50	47	41
Tsuruga	90	46	76	63	43	39	38	25	17	28	44	53	63	73	61	34	29	56
Gifu	88	66	97	101	101	81	46	23	25	37	52	75	93	82	52	42	62	86
Nagoya	91	59	57	70	100	92	42	6	10	28	42	63	84	80	61	63	78	72
Iida	77	26	3	46	44	13	27	70	53	-17	-43	1	41	46	53	59	28	-12
Kofu	71	11	38	49	72	77	38	-13	-17	20	30	-14	-62	-65	-32	2	25	36
Chichibu	57	29	59	34	-24	-45	3	44	23	-5	20	61	60	39	42	54	51	51
Ueno	95	45	42	25	30	34	26	27	42	50	47	46	52	51	45	56	75	70
Tsu	54	47	58	61	65	49	22	12	23	35	41	49	56	52	47	54	67	66
Irako	87	43	48	43	40	38	36	32	26	26	35	48	54	51	49	53	57	55
Hamamatsu	78	51	73	67	51	41	42	41	36	39	52	57	45	36	44	58	65	70

Table 2 (continued)

Station name	Number of data	Ave.	Direction of the gradient wind															
			NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N
Omaezaki	62	34	48	27	12	10	16	25	32	32	29	28	33	38	44	52	61	62
Shizuoka	60	42	58	46	37	35	36	34	29	24	22	22	27	40	57	70	73	68
Mishima	54	40	39	24	23	24	22	26	36	42	40	38	42	45	49	59	67	59
Tokyo	44	33	38	15	6	11	16	11	1	1	13	30	45	56	67	78	79	65
Owase	91	46	53	46	47	47	48	50	43	30	31	51	63	47	29	37	59	64
Irozaki	50	38	50	33	21	23	35	48	51	36	13	7	26	50	55	51	53	57
Ajiro	48	-5	32	20	-27	-63	-54	-46	-70	-78	-35	10	15	14	45	70	54	31
Yokohama	43	34	39	22	9	9	20	22	12	9	20	34	42	52	65	71	65	52
Katsuura	33	33	44	20	7	12	16	4	-5	6	24	35	45	62	73	69	61	56
Oshima	42	29	47	51	50	33	8	-4	-3	-1	-1	8	26	43	51	53	52	48
Yokkaichi	88	52	63	62	64	53	33	23	30	41	49	57	61	54	47	53	66	69
Matsue	57	46	17	15	22	32	39	48	63	73	69	57	54	60	62	55	41	27
Sakai	55	38	30	18	27	38	39	48	68	72	59	54	56	37	1	-7	21	41
Yonago	61	35	9	15	23	40	53	48	38	43	52	52	48	50	48	29	6	1
Tottori	78	40	20	34	45	54	65	68	57	44	43	51	53	46	33	19	8	8
Toyooka	84	52	51	62	69	79	79	62	44	43	53	60	59	54	41	25	20	33
Maizuru	95	44	65	67	65	65	68	65	51	31	12	2	6	21	36	43	47	56
Hagi	67	29	21	33	39	43	38	25	15	18	32	50	66	66	40	3	-14	-2
Hamada	58	44	-4	13	28	43	61	75	79	78	76	71	64	57	48	28	2	-11
Tsuyama	89	59	65	71	82	82	63	41	39	49	54	56	63	67	58	48	50	59
Kyoto	99	60	58	50	54	56	50	55	75	82	68	60	70	71	50	38	50	64
Hikone	81	53	72	64	53	37	17	12	30	49	59	75	97	95	60	30	38	63
Shimonosek	84	30	11	21	31	37	40	45	51	50	42	39	43	41	25	6	-1	3
Hiroshima	52	45	25	41	63	64	42	31	41	51	51	52	60	60	45	33	29	25
Kure	92	56	39	40	51	53	48	54	69	73	66	69	77	70	49	40	47	47
Fukuyama	99	67	51	52	59	70	71	63	70	92	101	84	65	65	69	62	51	49
Okayama	57	52	44	48	55	61	62	58	54	53	54	53	47	43	45	51	51	47
Himeji	99	57	32	42	71	85	80	78	74	58	45	52	60	47	35	45	59	49
Kobe	99	50	54	40	37	42	47	56	67	65	52	45	50	50	41	42	56	65
Osaka	84	53	49	37	48	62	64	63	63	54	42	45	55	52	38	43	63	68
Sumoto	96	44	44	45	51	61	65	52	29	16	24	40	47	44	42	45	48	46
Wakaya	97	54	39	46	59	72	75	65	46	34	39	51	56	57	62	65	58	44
Shionomisaki	82	31	44	33	30	26	18	15	18	19	19	24	31	32	32	42	56	57
Nara	97	58	41	35	46	50	49	63	79	67	43	45	69	77	66	65	72	62
Yamaguchi	73	31	21	35	43	33	21	27	40	39	34	45	62	55	24	2	1	10
Hirado	77	35	31	40	56	71	71	61	57	56	44	24	13	12	6	0	6	20
Fukuoka	88	36	34	46	39	43	61	66	54	47	47	38	24	25	30	16	-3	6
Iizuka	90	35	26	31	31	34	45	56	57	51	44	42	43	40	29	15	8	15
Sasebo	86	30	23	31	41	48	49	47	44	39	33	26	20	15	13	15	18	19
Saga	93	49	39	47	54	64	68	66	60	55	49	46	52	58	50	32	22	28
Hita	94	52	77	44	18	20	43	61	62	54	51	52	52	48	44	51	71	87
Oita	109	47	57	57	48	43	42	39	36	41	51	55	53	53	52	45	39	46
Nagasaki	86	50	17	34	50	67	88	96	81	58	51	54	49	38	36	38	29	16
Kumamoto	94	48	42	56	63	63	64	63	56	46	44	50	54	49	39	30	25	29
Asosan	38	27	33	35	40	41	25	3	-5	6	23	33	36	35	31	28	30	33
Nobeoka	104	47	44	46	48	37	29	34	38	33	36	55	67	59	50	56	62	53
Akune	87	35	29	28	31	42	51	49	40	34	35	37	38	36	31	25	23	27
Hitooyoshi	94	53	95	72	35	26	43	53	47	47	56	58	49	43	42	43	55	81
Kagoshima	82	48	60	55	48	43	41	44	51	57	57	55	50	40	31	34	47	59
Miyakonojo	86	42	61	61	50	37	28	24	27	33	35	36	45	56	54	39	33	46
Miyazaki	94	42	47	42	39	23	9	16	35	41	38	40	43	42	48	67	79	67
Makurazaki	66	34	30	36	43	46	44	41	38	35	35	38	38	31	23	21	24	27
Aburatsu	74	24	37	32	25	11	-4	-5	7	17	14	6	12	32	51	56	51	43
Yakushima	44	20	10	6	12	24	32	34	30	25	29	37	36	19	2	1	12	16
Tanegashima	56	27	24	22	24	27	25	23	24	29	36	39	36	26	20	22	28	29
Ushibuka	89	47	56	59	56	52	52	55	54	50	45	40	32	27	31	40	46	50

Table 2 (continued)

Station name	Number of data	Direction of the gradient wind																
		NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	
Fukue	64	22	27	35	44	46	41	39	41	33	15	5	8	9	-1	-7	2	17
Matsuyama	98	52	49	63	64	59	55	48	45	52	59	56	52	57	62	50	32	32
Tadotsu	97	48	48	50	50	51	54	57	57	53	46	39	34	37	46	52	51	47
Takamatsu	94	54	59	60	58	54	51	54	63	64	51	36	36	47	57	56	55	56
Uwajima	93	46	67	66	48	37	46	52	36	23	35	51	44	32	37	51	56	58
Kochi	83	53	61	54	56	57	47	39	45	54	51	47	52	58	54	50	57	65
Tokushima	91	40	67	69	52	27	17	21	26	29	37	46	43	34	32	40	48	56
Sukumo	104	39	45	42	36	34	34	33	33	39	49	50	43	37	35	36	38	42
Shimizu	88	42	55	51	47	44	41	40	44	48	42	27	20	26	39	48	53	55
Murotomsaki	70	35	44	35	27	18	11	14	26	35	37	37	41	44	42	43	48	50

Table 3 Ratio of the surface wind speed to the basic surface wind speed. The ratio was obtained by the hamonic analysis.

Average (Ave.) means a value of α' in Eq. (7).

Station name	Number of data	Ave.	Direction of the gradient wind															
			NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N
Wajima	43	0.99	1.33	1.35	1.21	1.00	0.85	0.80	0.81	0.83	0.86	0.88	0.90	0.91	0.93	0.95	1.03	1.18
Aikawa	39	1.22	1.41	1.04	0.81	0.83	0.92	0.85	0.75	0.84	1.07	1.23	1.31	1.46	1.66	1.79	1.79	1.68
Niigata	40	0.99	1.10	1.05	0.94	0.84	0.74	0.67	0.71	0.82	0.88	0.88	1.01	1.27	1.41	1.30	1.12	1.07
Kanazawa	67	0.59	0.61	0.53	0.51	0.49	0.40	0.34	0.45	0.59	0.59	0.51	0.56	0.73	0.84	0.84	0.79	0.72
Fushiki	66	0.67	0.84	0.77	0.78	0.85	0.77	0.53	0.38	0.46	0.58	0.58	0.55	0.62	0.70	0.73	0.78	0.85
Toyama	64	0.66	0.88	0.64	0.54	0.63	0.62	0.42	0.29	0.42	0.61	0.66	0.68	0.75	0.80	0.81	0.89	0.98
Nagano	66	0.53	1.06	0.38	0.20	0.51	0.57	0.37	0.43	0.62	0.54	0.41	0.60	0.68	0.27	0.01	0.56	1.24
Takada	57	0.49	0.50	0.56	0.60	0.50	0.33	0.20	0.19	0.29	0.38	0.41	0.42	0.54	0.76	0.88	0.77	0.57
Utsunomiya	34	0.70	0.45	0.51	0.56	0.53	0.54	0.69	0.89	0.99	1.01	1.04	1.01	0.84	0.62	0.52	0.49	0.46
Fukui	79	0.68	0.87	0.64	0.60	0.60	0.43	0.29	0.42	0.65	0.69	0.66	0.75	0.83	0.74	0.71	0.89	1.03
Takayama	69	0.41	0.46	0.41	0.30	0.17	0.11	0.16	0.29	0.46	0.61	0.67	0.60	0.51	0.47	0.47	0.47	0.46
Matsumoto	72	0.47	0.36	0.37	0.38	0.44	0.47	0.36	0.22	0.31	0.66	1.00	1.01	0.73	0.40	0.23	0.22	0.30
Suwa	79	0.60	0.61	0.67	0.68	0.52	0.34	0.35	0.52	0.67	0.74	0.81	0.82	0.69	0.54	0.52	0.58	0.60
Maebashi	60	0.94	1.30	1.16	0.67	0.50	0.81	1.14	1.26	1.36	1.46	1.33	0.98	0.71	0.57	0.45	0.50	0.91
Kumagaya	53	0.79	0.58	0.65	0.67	0.56	0.58	0.81	1.07	1.18	1.23	1.21	0.97	0.62	0.49	0.65	0.76	0.66
Tsuruga	90	0.90	0.86	0.57	0.58	0.64	0.57	0.59	0.86	1.11	1.12	1.05	1.04	1.00	0.92	1.03	1.26	1.23
Gifu	88	0.85	0.43	0.39	0.41	0.62	0.89	0.99	1.02	1.21	1.48	1.46	1.15	0.88	0.81	0.77	0.63	0.50
Nagoya	91	0.83	0.50	0.49	0.39	0.40	0.59	0.83	1.08	1.34	1.47	1.34	1.13	1.04	0.98	0.76	0.49	0.42
Iida	77	0.32	0.16	0.23	0.30	0.32	0.28	0.23	0.25	0.32	0.38	0.43	0.51	0.56	0.49	0.32	0.18	0.13
Kofu	71	0.46	0.78	0.63	0.43	0.25	0.22	0.34	0.47	0.49	0.45	0.44	0.42	0.33	0.28	0.41	0.65	0.81
Chichibu	57	0.39	0.34	0.37	0.33	0.24	0.32	0.54	0.64	0.56	0.48	0.48	0.40	0.24	0.20	0.32	0.40	0.36
Ueno	95	0.67	0.42	0.50	0.62	0.74	0.82	0.79	0.70	0.67	0.66	0.66	0.72	0.84	0.91	0.78	0.55	0.41
Tsu	54	0.87	0.69	0.61	0.60	0.78	1.09	1.27	1.22	1.08	0.98	0.92	0.86	0.81	0.79	0.76	0.74	0.72
Irako	87	1.16	0.76	0.95	1.07	1.08	1.14	1.26	1.29	1.26	1.37	1.54	1.50	1.30	1.17	1.13	0.98	0.77
Hamamatsu	78	0.90	0.66	0.60	0.68	0.82	0.85	0.83	0.89	0.93	0.88	0.96	1.27	1.47	1.29	0.91	0.71	0.70
Omaezaki	62	1.34	1.07	0.99	1.06	1.18	1.20	1.19	1.24	1.25	1.27	1.51	1.91	2.06	1.77	1.38	1.22	1.18
Shizuoka	60	0.79	0.59	0.59	0.59	0.65	0.75	0.79	0.74	0.75	0.91	1.16	1.28	1.17	0.91	0.67	0.56	0.55
Mishima	54	0.70	0.58	0.58	0.61	0.68	0.76	0.73	0.63	0.59	0.68	0.83	0.91	0.90	0.82	0.71	0.62	0.58
Tokyo	44	1.00	0.93	0.82	0.81	0.81	0.72	0.74	1.03	1.33	1.35	1.19	1.15	1.18	1.08	0.94	0.94	0.99
Owase	91	0.59	0.33	0.45	0.52	0.67	0.83	0.83	0.74	0.73	0.74	0.63	0.52	0.60	0.71	0.58	0.31	0.22
Irozaki	50	1.01	0.69	0.91	1.00	0.91	0.87	0.82	0.61	0.60	1.11	1.68	1.65	1.21	1.05	1.17	1.06	0.75
Ajiro	48	0.66	0.75	0.61	0.48	0.43	0.42	0.37	0.34	0.39	0.49	0.60	0.79	1.01	1.12	1.04	0.90	0.82
Yokohama	43	1.12	1.01	0.96	0.92	0.83	0.76	0.87	1.18	1.47	1.57	1.51	1.41	1.28	1.12	1.03	1.03	1.05
Katsuura	33	1.35	1.34	1.14	1.05	1.02	0.94	0.88	1.01	1.28	1.51	1.61	1.65	1.68	1.69	1.68	1.65	1.55
Oshima	42	1.78	1.74	1.60	1.55	1.47	1.38	1.41	1.56	1.70	1.83	2.07	2.28	2.22	1.97	1.86	1.92	1.91
Yokkaichi	88	0.96	0.62	0.55	0.53	0.74	1.03	1.20	1.26	1.27	1.22	1.11	1.08	1.19	1.20	0.99	0.73	0.64

Table 3 (continued)

Station name	Number of data	Ave.	Direction of the gradient wind															
			NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N
Matsue	57	0.92	0.71	0.76	0.97	1.25	1.39	1.26	0.95	0.78	0.86	1.00	0.95	0.78	0.71	0.77	0.82	0.77
Sakai	55	0.62	0.55	0.60	0.69	0.78	0.81	0.74	0.62	0.58	0.63	0.67	0.61	0.51	0.49	0.54	0.56	0.55
Yonago	61	0.80	0.79	0.84	0.89	0.93	0.99	0.93	0.70	0.52	0.62	0.81	0.82	0.68	0.69	0.83	0.89	0.82
Tottori	78	0.84	1.03	0.95	0.80	0.65	0.52	0.49	0.66	0.95	1.08	0.97	0.80	0.79	0.88	0.93	0.97	1.02
Toyooka	84	0.55	0.66	0.66	0.55	0.43	0.39	0.46	0.58	0.66	0.63	0.55	0.50	0.51	0.53	0.52	0.53	0.59
Maizuru	95	0.64	0.73	0.74	0.73	0.64	0.57	0.57	0.54	0.46	0.43	0.51	0.57	0.60	0.69	0.83	0.88	0.80
Hagi	67	0.76	0.92	0.63	0.59	0.45	0.30	0.45	0.68	0.66	0.61	0.77	0.87	0.66	0.58	1.04	1.55	1.44
Hamada	58	0.79	0.93	0.98	1.02	0.92	0.68	0.50	0.49	0.57	0.59	0.58	0.66	0.81	0.93	0.99	0.99	0.95
Tsuyama	89	0.69	0.49	0.56	0.59	0.48	0.42	0.65	1.00	1.12	0.97	0.83	0.80	0.77	0.69	0.63	0.59	0.53
Kyoto	99	0.56	0.42	0.47	0.55	0.58	0.58	0.60	0.58	0.49	0.48	0.60	0.71	0.68	0.61	0.61	0.58	0.49
Hikone	81	0.90	0.75	0.78	0.61	0.57	0.75	0.82	0.73	0.81	1.06	1.11	0.97	1.08	1.40	1.39	0.96	0.67
Shimonoseki	84	1.12	0.95	0.88	0.87	1.03	1.15	1.15	1.25	1.48	1.52	1.30	1.14	1.22	1.23	1.03	0.86	0.90
Hiroshima	52	0.93	0.77	0.85	0.93	0.89	0.79	0.78	0.87	0.99	1.11	1.23	1.25	1.12	0.95	0.85	0.81	0.77
Kure	92	0.78	0.55	0.58	0.80	1.00	0.95	0.77	0.68	0.65	0.63	0.76	1.06	1.22	1.01	0.68	0.55	0.57
Fukuyama	99	0.60	0.38	0.34	0.35	0.53	0.72	0.78	0.75	0.63	0.41	0.35	0.68	1.13	1.16	0.74	0.37	0.33
Okayama	57	0.71	0.74	0.69	0.64	0.62	0.62	0.65	0.67	0.68	0.67	0.72	0.83	0.89	0.82	0.71	0.68	0.72
Himeji	99	0.93	0.78	0.75	0.81	0.94	0.95	0.84	0.91	1.22	1.42	1.28	1.03	0.91	0.84	0.73	0.68	0.73
Kobe	99	1.03	1.02	1.21	1.21	1.07	0.99	1.00	0.97	0.86	0.80	0.87	1.07	1.27	1.32	1.16	0.91	0.84
Osaka	84	0.95	0.74	0.78	0.81	0.78	0.75	0.78	0.82	0.85	0.92	1.09	1.26	1.33	1.28	1.15	0.97	0.80
Sumoto	96	0.99	1.02	0.95	0.99	1.08	1.08	1.04	1.07	1.12	1.09	1.02	0.96	0.87	0.76	0.77	0.93	1.05
Wakayama	97	0.92	0.89	0.84	0.68	0.61	0.52	0.43	0.61	1.07	1.36	1.32	1.29	1.41	1.34	0.94	0.64	0.72
Shionomisaki	82	1.16	1.05	1.18	1.12	1.08	1.16	1.18	1.11	1.11	1.23	1.33	1.35	1.39	1.39	1.18	0.90	0.85
Nara	97	0.52	0.38	0.43	0.47	0.53	0.54	0.44	0.34	0.45	0.69	0.82	0.80	0.73	0.63	0.46	0.31	0.29
Yamaguchi	73	0.71	0.65	0.70	0.61	0.48	0.54	0.73	0.82	0.83	0.92	1.02	0.93	0.72	0.62	0.64	0.62	0.58
Hirado	77	0.87	1.05	0.98	0.85	0.69	0.58	0.60	0.70	0.77	0.80	0.87	0.98	1.02	0.99	0.98	1.03	1.07
Fukuoka	88	0.86	1.01	0.77	0.63	0.64	0.64	0.63	0.68	0.80	0.89	0.93	0.96	0.97	0.95	0.99	1.11	1.16
Iizuka	90	0.82	0.60	0.56	0.67	0.77	0.75	0.72	0.78	0.86	0.96	1.12	1.25	1.15	0.86	0.68	0.70	0.70
Sasebo	86	0.66	0.76	0.72	0.63	0.55	0.54	0.59	0.61	0.61	0.63	0.68	0.71	0.71	0.72	0.72	0.72	0.74
Saga	93	0.90	0.78	0.80	0.79	0.85	0.85	0.76	0.85	1.16	1.31	1.14	1.01	1.10	1.10	0.80	0.55	0.61
Hita	94	0.43	0.31	0.33	0.34	0.36	0.37	0.36	0.33	0.34	0.43	0.54	0.64	0.67	0.62	0.49	0.36	0.30
Oita	109	0.76	0.70	0.67	0.81	0.92	0.83	0.73	0.82	0.93	0.89	0.80	0.81	0.76	0.58	0.49	0.61	0.74
Nagasaki	86	0.59	0.53	0.59	0.55	0.47	0.41	0.36	0.32	0.41	0.59	0.70	0.74	0.81	0.91	0.86	0.64	0.49
Kumamoto	94	0.62	0.61	0.52	0.38	0.40	0.56	0.61	0.55	0.56	0.72	0.85	0.86	0.81	0.75	0.64	0.55	0.57
Asosan	38	1.02	1.05	0.93	0.78	0.82	0.91	0.85	0.77	0.93	1.25	1.43	1.41	1.30	1.12	0.91	0.83	0.95
Nobeoka	104	0.62	0.65	0.67	0.65	0.70	0.75	0.66	0.58	0.70	0.92	0.96	0.74	0.47	0.32	0.29	0.36	0.52
Akune	87	0.72	0.62	0.68	0.65	0.61	0.61	0.55	0.52	0.65	0.85	0.86	0.77	0.82	1.00	0.99	0.75	0.58
Hitoyoshi	94	0.53	0.43	0.30	0.29	0.39	0.45	0.51	0.73	0.99	1.00	0.73	0.48	0.41	0.42	0.41	0.44	0.49
Kagoshima	82	0.72	0.59	0.59	0.63	0.71	0.73	0.72	0.79	0.94	0.98	0.81	0.62	0.62	0.73	0.76	0.69	0.62
Miyakonojo	86	0.66	0.60	0.55	0.58	0.56	0.50	0.60	0.85	0.95	0.85	0.73	0.72	0.68	0.57	0.56	0.65	0.69
Miyazaki	94	0.86	0.85	0.88	0.91	1.02	1.07	1.02	0.97	0.91	0.76	0.66	0.82	1.06	0.99	0.66	0.50	0.66
Makurazaki	66	1.00	0.91	0.89	0.66	0.58	0.79	1.01	1.16	1.34	1.44	1.26	1.02	1.07	1.23	1.11	0.80	0.74
Aburatsu	74	1.39	1.47	1.54	1.47	1.56	1.71	1.68	1.56	1.57	1.59	1.48	1.36	1.33	1.20	0.90	0.79	1.09
Yakushima	44	0.74	0.55	0.59	0.78	0.97	0.94	0.80	0.85	1.05	1.09	0.84	0.55	0.48	0.56	0.62	0.62	0.59
Tanegashi	56	1.18	1.37	1.32	1.17	1.06	1.09	1.14	1.10	0.96	0.86	0.93	1.18	1.42	1.48	1.35	1.24	1.28
Ushibuka	89	0.78	0.46	0.51	0.42	0.46	0.75	1.04	1.12	1.08	1.01	0.90	0.83	0.94	1.06	0.91	0.56	0.38
Fukue	64	0.84	0.85	0.73	0.74	0.85	0.88	0.82	0.80	0.83	0.84	0.84	0.87	0.89	0.84	0.81	0.88	0.94
Matsuyama	98	0.62	0.54	0.59	0.57	0.63	0.70	0.64	0.56	0.66	0.84	0.87	0.77	0.71	0.66	0.50	0.34	0.39
Tadotsu	97	0.78	0.73	0.86	0.89	0.79	0.73	0.69	0.61	0.53	0.60	0.77	0.86	0.89	0.96	0.97	0.84	0.69
Takamatsu	94	0.78	0.65	0.68	0.76	0.84	0.89	0.93	0.92	0.81	0.65	0.60	0.69	0.79	0.84	0.84	0.80	0.72
Uwajima	93	0.70	0.34	0.47	0.74	0.95	1.04	0.95	0.74	0.64	0.80	0.92	0.71	0.43	0.48	0.75	0.79	0.52
Kochi	83	0.64	0.55	0.44	0.36	0.52	0.79	0.95	0.98	0.97	0.89	0.75	0.64	0.60	0.52	0.37	0.35	0.48
Tokushima	91	1.10	1.12	0.88	0.74	0.84	0.97	1.07	1.33	1.65	1.63	1.28	1.03	1.04	1.03	0.91	0.93	1.12
Sukumo	104	0.83	0.47	0.58	0.80	1.03	1.17	1.15	1.05	0.96	0.93	0.93	0.93	0.88	0.77	0.63	0.51	0.45
Shimizu	88	1.05	0.69	0.82	0.87	1.10	1.46	1.49	1.10	0.85	1.06	1.37	1.39	1.24	1.13	0.96	0.69	0.56
Murotomisa	70	1.91	1.32	1.47	1.48	1.66	1.99	2.11	2.06	2.19	2.37	2.20	1.92	2.09	2.48	2.32	1.64	1.21

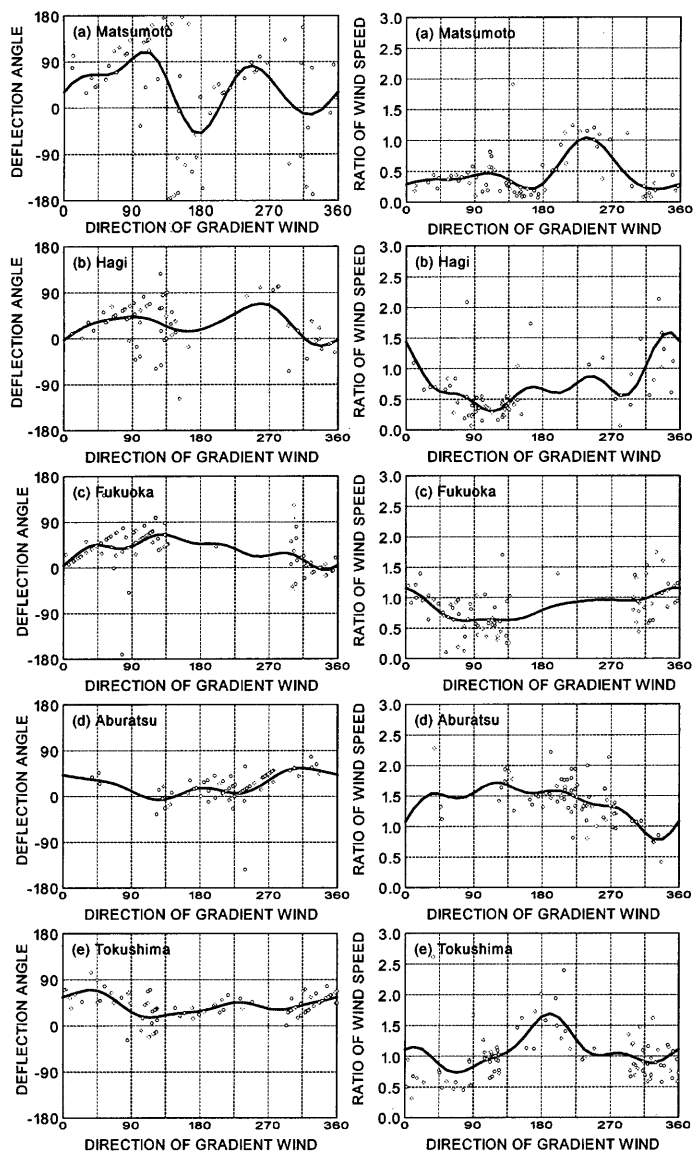


Fig. 2 Examples of a deflection angle of wind direction and a ratio of wind speed between the observed surface wind and the basic surface wind. A curve was obtained by the harmonic analysis. (a) Matsumoto, (b) Hagi, (c) Fukuoka, (d) Aburatsu, (e) Tokushima

一方、風向別に見ると、風向偏角については、 100° を超える場合もあり、またEkman spiralなどの理論では説明できないマイナスになる場合がある。風速比についても、室戸岬の北西風のようにならざる場合や長野の北西風のようにならざる場合がある。

このように風向に伴う風向偏角あるいは風速比の変化が大きい地点の中で、松本、萩、福岡、油津、徳島の5地点について、風向に伴う風向偏角と風速比の変化をFigs.2 (a) - (e) に示す。そして、これらの地点について、風向に伴う顕著な変化が地形との間でのような対応があるのか検討してみることにする。

松本については、風向偏角は 108° から -49° まで大きく変化している。傾度風風向が南南西から西南西のとき地表風風向は南となり、風速比は大きい。また、北東から東のときは地表風風向は北となり、風速比は小さい。このように南あるいは北の地表風風向の出現頻度が高いが、これは南北方向の松本盆地の走向と対応していて、地表風はこの方向に偏向するものと考えられる。

萩については、東から南東の傾度風風向のとき風速比は小さいが、これは山地から風である。一方、北西から北のとき、風向偏角はほぼ 0° で、風速比は大きい。これは海上からの風である。

福岡については、北西から北の傾度風のとき風向偏角は 0° に近く、風速比は大きい、これは玄界灘の方向から吹いてくる風である。一方、北東から南東のとき風向偏角は 45° 程度で、風速比は小さい。これは山地からの風に相当する。

油津（宮崎県南部）については、東から南東にかけての傾度風のとき、風向偏角はほぼ 0° で、風速比は大きい。これは海上からの風である。一方、北北西のとき偏角は 45° 程度で、風速比は小さいが、これは山地からの風である。

徳島については、風速比が最大となるのは傾度風風向が南のときで、地表風風向は南南東となる。これは、紀伊水道から直接に吹き付ける風である。

これらの例で見られたように、風向偏角および風速比は、地形と対応して風向とともに変化する傾向が明瞭に現れている。

5. 調和解析の結果の他の台風への適用

調和解析により得られた結果を解析対象期間外に上陸した台風9612号に適用して、地表風を推算してみた。この台風は1996年8月14日に九州中部に上陸したが、上陸4時間前の6時から山口県に再上陸した

15時までの10時間にわたって、気圧場の客観解析を行った。なお、このさい周辺気圧は1013 hPaとした。気圧場解析の結果得られた中心の経路と気象官署の位置をFig.3に、また式(1)の各種パラメーターの値をTable 4に示す。この台風は眼が非常に大きく、沖縄本島を通過した時には直径は約140kmで、那覇では約10時間にわたって眼の中にあった（大林、1996）。九州上陸時にも、その特性を維持していて、最大風速半径は100 kmを超えている。

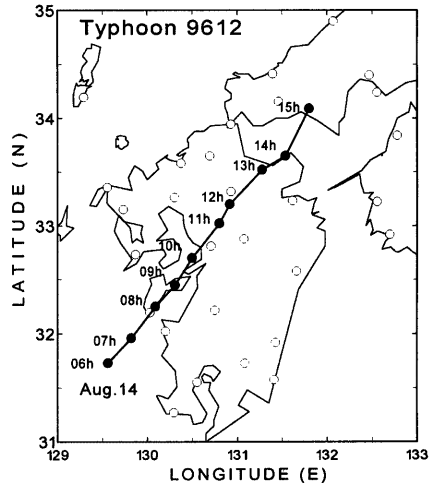


Fig. 3 A track of Typhoon 9612 (KIRK) obtained by the pressure analysis and positions of the weather stations of Japan Meteorological Agency

この気圧場の解析結果から、九州各地点の基本地表風を算出した。そして、調和解析の結果を利用して、傾度風風向から風向偏角と風速比を算出し、地表風の風向と風速に換算した。その値は、実測値とほぼ一致していて、とくに、風速に関しては、九州全地点について求めた相関係数は0.79である。この中で、中心が近くを通過した6地点について、風向と風速の計算値と実測値の時系列をFigs.4 (a) ~ (f) に示す。

Fig.4 (a) に示した長崎は、中心の進行方向の左側に当たり、風向は実測値および計算値ともに北東から北を通り西へと反時計回りに変化している。ただ、東向きの成分から西向きの成分に変わる時刻は、計算値の方が1時間程度遅れている。風速は実測値では10 m/s前後で時間的な変化はほとんどなかったが、計算値でもほぼ同じ値が得られた。

Table 4 The results of pressure analysis of Typhoon 9612 (KIRK)

Date	Time	Number of data	p_c (hPa)	Δp (hPa)	r_m (km)	r.m.s. error (hPa)
Aug. 14	06	20	955.9	57.1	109.0	1.2
	07	22	962.1	50.9	125.0	1.3
	08	25	963.0	50.0	119.5	0.9
	09	28	962.8	50.2	114.5	1.3
	10	28	967.0	46.0	130.0	1.4
	11	31	968.7	44.3	134.5	1.0
	12	31	969.7	43.3	137.0	1.3
	13	32	971.9	41.1	150.5	1.3
	14	35	973.6	39.4	157.0	1.8
	15	36	976.2	36.7	183.5	1.7

Fig. 4 (b) ~ (f) に示した5地点は、中心の進行方向の右側に当たり、風向は時計回りに変化している。風向の計算値は、Fig. 4 (b) に示した熊本の風向急変時では実測値から時間的に少しずれがあるが、これを除いては実測値とほぼ一致している。

一方、風速については、Fig. 4 (b) に示した熊本では、眼の中に入る前は計算値の方が5m/s程度大きい。しかし、眼の通過後の風速の増大やその後の風速はよく一致している。Fig. 4 (c) に示した阿久根でも上陸前に眼に入ったが、時間変化の特徴については実測値とほぼ一致している。また、Fig. 4 (d) の人吉やFig. 4 (e) の枕崎では、眼に入らず最接近時に最大風速が出現しているが、実測値とほぼ一致している。なお、眼の中心が通過したFig. 4 (f) の牛深では、中心通過前後の風速の急激な変化は実測値よりも緩やかである。

6. おわりに

本研究は、台風による風災害を定量的に予測する手法を確立するための研究の一環であり、気象官署における実測風の地理的分布を見ると、ばらつきが大きいのが、これが何に起因しているのかについて調べることを目的とした。そこで、気象庁における平均風速の測定計器の変更の影響を除くために1975年以降1994年までの20年間に日本本土に上陸した22個の顕著台風を対象とした。これらの台風について、気圧場から算出した基本地表風に対する実測地表風との間の風向偏角および風速比について、風向に伴

う変化を調和解析によりFourier級数の和として表した。

この結果によると、傾度風風向からの地表風風向の偏角は風向によって大きく変化している。この偏角は、海上からの風の場合小さいが、山地からの場合には、地形による偏向が見られ、風向に伴う変化が大きい。また、傾度風風速に対する地表風の風速比は海上から吹いてくる風向の場合には大きい。これから判断すると、風向に伴う風向偏角および風速比は、周辺の地形の影響を大きく受けて変化するものと考えられる。この他に、地点間の差の原因としては風速計設置高度の差も無視できない（藤井、1998）。

さらに、調和解析により得られた関係の有効性について確かめるために、独立資料である台風9612号の気圧場解析結果から求めた基本地表風から地表風を算出した。この地表風計算値は、風向および風速ともに、実測値とよく一致し、調和解析の結果がこの台風に適用できることが確認できた。

ただし、これは、ただ1個の台風へ適用しただけであり、さらに多くの台風について適用し、検討してみる必要がある。

気圧場の解析結果から算出した基本地表風と実測地表風との比較に関する今回の調査は長年にわたっての風の観測資料の蓄積がある気象官署について行った。この方法を台風風災害の予測に適用するためには、観測資料の蓄積がない任意の場所における地表風の推算方法について検討する必要がある。しかし、台風9119号による住家の損害のために支払われた火災保険の市区町村別支払率は基本地表風速と密接な関係がある（光田・藤井、1996）。市区町村のような広い範囲の平均的な風速を表すには、地形の効果を直接的には考慮に入れていない基本地表風速で代表した方がよいのかという点も含めて、今後検討してみる必要がある。

謝 辞

本研究の一部は、平成7-10年度文部省科学研究費補助金基盤研究A「実時間的な台風災害予測法の研究」（課題番号07408009、研究代表者光田寧・田中正昭）および平成9年度京都大学防災研究所一般共同研究「台風の強風による被害の確率的予測法に関する研究」（課題番号9G-6、研究代表者藤井健）の補助を受けた。また、台風の解析に当たって、気象庁から地上気象観測資料の提供を受けた。ここに記して謝意を表す。

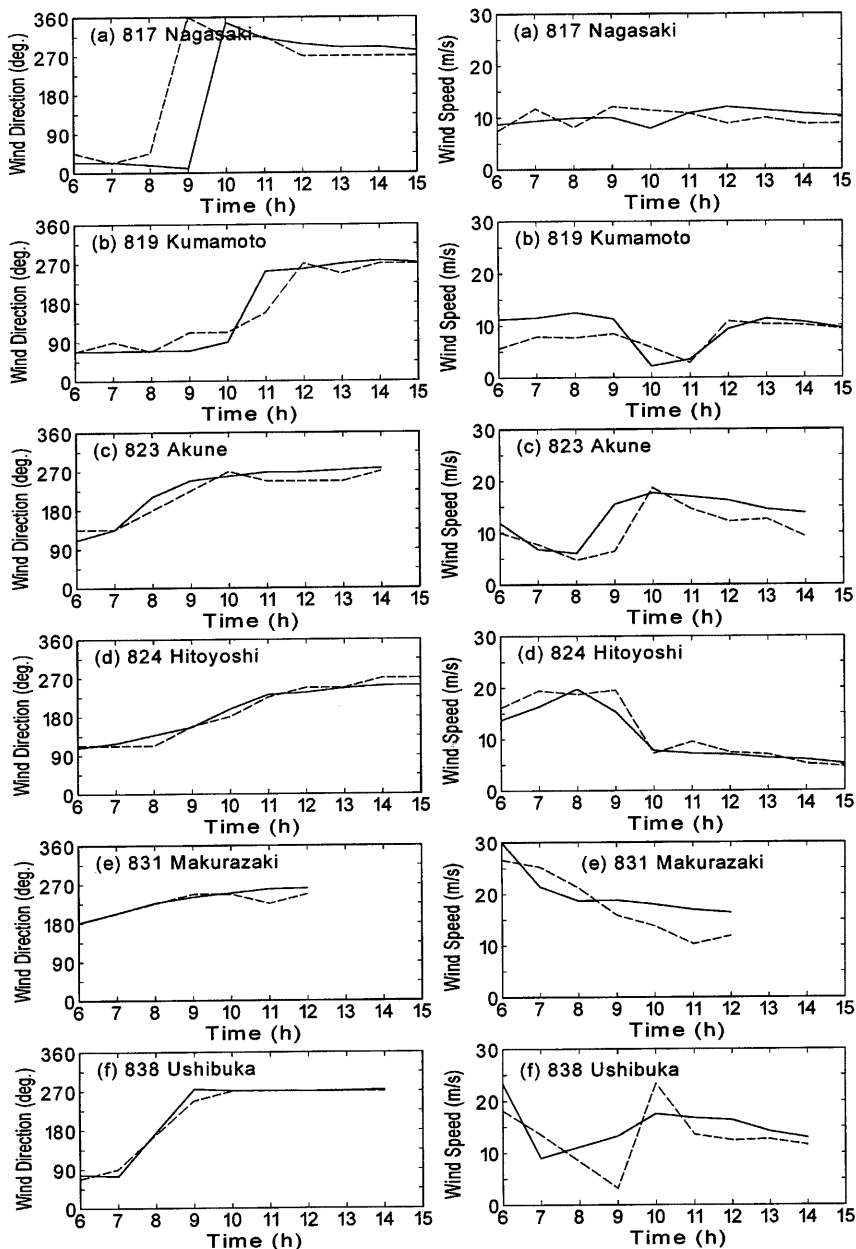


Fig. 4 Examples of observed (a broken line) and estimated (a solid line) surface wind directions and speeds in Typhoon 9612 (KIRK). (a) Nagasaki, (b) Kumamoto (c) Akune, (d) Hitoyoshi, (e) Makurazaki, (f) Ushibuka

参考文献

- 大林正典 (1996) : 台風の眼にすっぽり入った沖縄本島—巨大な眼をもった台風第12号—, 気象, 第475号, pp.14600-14603.
- 藤井 健 (1974) : 台風域内の気圧場の客観解析法. 京都産業大学論集, 第4巻第1号, 自然科学系第4号, pp.77-90.
- 藤井 健・光田 寧 (1986) 台風の確率モデルによる強風のシミュレーション. 日本風工学会誌, 第28号, pp.1-12.
- 藤井 健 (1998) : 気圧分布から計算した風速と実測風速の間の関係. 京都大学防災研究所共同研究9G-6報告書, pp.10-22.
- 藤谷徳之助 (1990) : 構造工学における風観測資料の利用について—気象庁観測資料を中心に—. 日本風工学誌, No.44, pp.85-97.
- 藤部文昭 (1996) : 移動する台風の風速分布を表す計算式について. 天気, 43巻, pp.671-680.
- 光田 寧・藤井 健 (1996) : 台風の風速と被害との関係について. 京都大学防災研究所年報, 第39号B-1, pp.129-134.
- 光田 寧・藤井 健 (1997a) : 台風時における気圧場から計算した風速と実測された風速との関係. 京都大学防災研究所年報, 第40号B-1, pp.165-172.
- 光田 寧・藤井 健 (1997b) : 台風による風災害の予測. 日本風工学会誌, 第72号, pp.73-91.
- Fujii, T. (1998) : Statistical analysis of the characteristics of severe typhoons hitting the Japanese main Islands. Mon. Wea. Rev., Vol.126, pp.1091-1097.
- Gray, W. M and Shea, D. J. (1973) : The hurricane's inner core region, II. J. Atmos. Sci., Vol.30, pp.1565-1576.
- Holmboe, J., Forsythe, G. E. and Gustin, W. (1945) : Dynamic meteorology. John Willy and Sons, Inc., pp.207-209.
- Mitsuta, Y., Suenobu, T. and Fujii, T. (1988) : Supergradient surface wind in the eye of a typhoon. J.Meteor.Soc.Japan, Vol.66, pp.505-508.
- Schloemer, R.W., (1954) : Analysis and synthesis of hurricane wind patterns over Lake Okeechobee, Florida. Hydrometeorological Report, USWB, No.31, 1954, 49pp.

A relation between the wind speeds computed from the pressure field and recorded at the weather stations in typhoons (2)

Takeshi FUJII*, Yasushi MITSUTA** and Hiromasa UEDA

*General Education and Research Center, Kyoto Sangyo University

**Japan Weather Association

Synopsis

The surface winds observed at the weather stations of Japan Meteorological Agency (JMA) are influenced by wind observation conditions. The purpose of this study is in investigating causes of the difference. For this purpose, the radial pressure profiles of 22 severe typhoons having made landfall on the Japanese main islands for the period of 1975-1994 were approximated by the formula presented by Schloemer (1954). The gradient wind was computed from the analyzed pressure pattern, and the basic surface wind was estimated after a super-gradient correction. By the harmonic analysis, the deflection angle and speed ratio between the basic surface wind and the observed surface wind were represented as a function of the gradient wind direction. At some stations, both the deflection angle and the speed ratio vary with the wind direction in corresponding to topography. Using the result obtained by the harmonic analysis, the surface wind direction and speed in Typhoon 9612 (KIRK) could be estimated with a close coincidence with those observed at the some weather stations of JMA.

Keywords: typhoon; pressure profile; gradient wind; basic surface wind; Harmonic analysis