

台風の確率モデルの作成とそれによる 強風のシミュレーション

藤 井 健・光 田 寧

SYNTHESIS OF A STOCHASTIC TYPHOON MODEL AND SIMULATION OF TYPHOON WINDS

By Takeshi FUJII and Yasushi MITSUTA

Synopsis

In the previous paper in 1985, we presented the statistical specifications of the pressure patterns of the typhoons through the analysis of the moderate and severe ones which had made landfall on the Japanese main islands during the period 1951-1984. Basing on these specifications, in this paper, we synthesized a stochastic typhoon model, and carried out simulation of typhoons by Monte Carlo technique. Further, a series of simulated typhoons was applied to the estimation of the design basic wind speeds at Akashi Straits as an example. A series of simulated annual maximum wind speeds was represented as the double exponential distribution, and the expected wind speeds at the site were estimated as 44, 47 and 50 m/sec, for the 50, 100 and 200 year return periods respectively.

1. 序

わが国では、近年、超高層ビルや超長大橋の建設計画が頻繁に実施されているが、このような巨大建造物の建設にあたっては、合理的な方法による設計基本風速の評価が要望されている。カナダ Western Ontario 大学の Triggvason ら¹⁾ (1976) および Georgiou ら²⁾ (1983) は、北米の大西洋沿岸およびメキシコ湾沿岸地帯において、確率モデルによるハリケーンのシミュレーションを行い構造物の設計の基準となる再現期待風速値の地理的分布を求めている。同様な目的で台風のシミュレーションを行うために、われわれの研究グループは、日本本土に上陸した顕著台風について、Schloemer³⁾の気圧分布式により気圧場の客観解析を行い、本土を襲う台風の統計的性質について調べた⁴⁾⁵⁾。このうち、前年度の年報⁵⁾ (前報と呼ぶ)においては、1951年から1984年までの34年間に本土に上陸した49個の顕著台風 (解析による上陸時の中心気圧が 980 mb 以下の台風) について、気圧場の解析結果にもとづき、中心気圧低下量、最大衡風速半径、進行速度およびその方向の4パラメーターについて、台風の確率的再現が容易のように、上陸時の上陸地域別頻度分布を対数正規分布でもって表現した。また、これらのパラメーターの上陸後の時間的変化については上陸地域別の頻度分布を調べた。

本報告においては、前報の統計 (一部修正) を利用して、超大級の台風の経験の不規則性が影響を及ぼさない程度の長期間にわたって、台風の気圧場と経路をモンテカルロ法により確率的に再現する方法を確立し、ケース・スタディとして、明石海峡における海面上の風という条件で地形の影響を考慮に入れずに、台風に伴う強風のシミュレーションを実行し、風速の再現期待値について調べてみた。

2. 台風の再現のための条件

2.1 台風の年間上陸数

前報においては, Schloemer の気圧分布式³⁾ による気圧場の解析の結果の統計の対象とした49個の顕著台風について, Fig. 1 に示すように関東地方以西の太平洋沿岸および東シナ海沿岸の海岸線を3地域に分割した。このとき, 上陸地域別の台風個数は, A地域が20個, B地域が17個, C地域が12個である。すなわち, 年平均上陸数は, A, B およびC地域について, それぞれ, 0.59個, 0.50個および0.35個である。この調査は本土に上陸した顕著台風についてのみ対象としたが, 本土の太平洋沿岸, 東シナ海沿岸および日本海沿岸地帯においては, 上陸せず本土周辺の海上を抜けていく台風による強風災害も無視することはできない。本土各地における台風による強風のシミュレーションのための確率モデルには, どうしても沿岸沖合を通過する台風を含める必要がある。そこで, 九州西方海上を通過する台風については, A地域に上陸した台風と同じ統計的性質を持っているものとし, また, 平均進行方向の単位幅当たりの通過頻度も上陸台風と同じであると仮定する。すなわち, A地域上陸台風の平均進行方向(前報における累積相対度数50%に相当する値)で進行した場合の上陸台風の経路幅 d_A (Fig. 1) を九州北西端から沖合へ 200 km 拡張し, その拡張幅だけ頻度を補正し, 年平均台風発現数を1.04とする。同様に, 関東東方海上を通過する台風の再現についてはC地域に上陸した台風と同じ統計的性質を持つものとし, C地域の上陸台風の経路幅 d_C (Fig. 1) を房総半島から沖合へ 200 km 拡張し, その拡張幅だけ頻度を補正し, C地域の年平均台風発現数を0.67とする。また, 海上を通過する台風については, 海水表面温度の低下などともなう台風の勢力の減衰を上陸台風と同様に考慮にいれる必要がある。そこで, Fig. 1 に示した九州北西端のS点 (33.35°N, 129.44°E) から, A地域に上陸した台風の平均進行方向でS点の沖合 200 km を通過する経路上のS'点まで緯線を延ばし, S'Sを仮の海岸線とする。同様に, 関東東方海上を通過する台風については, 房総半島のV点 (34.15°N, 140.32°E)

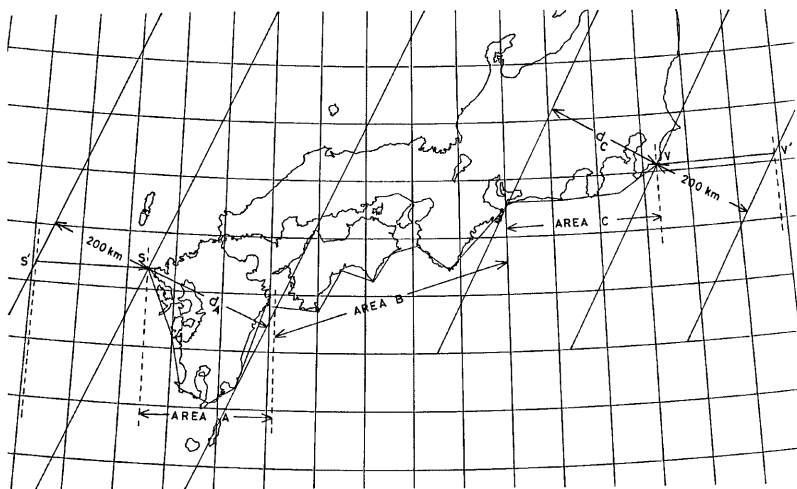


Fig. 1 The smoothed coastlines at the East China Sea and north-western part of the Pacific of the Japanese main islands and division of areas. d_A and d_C denote the widths of areas in the averaged direction of typhoon movement.

から緯線をC地域に上陸した台風の平均進行方向で、沖合 200 km を通過する経路上の V' 点まで延ばし、VV' を仮の海岸線とする。

地域別年間上陸数の頻度分布については、前報のように Poisson 分布で表現する。ただし、この分布の平均値としては上記の海上を通過する台風の頻度の補正を行った地域別年平均発現数とする。この分布を用いて、台風の地域別年間上陸数を乱数により確率的に再現させる。

2.2 台風の気圧場と経路の再現

われわれが、前節で発現させた個々の台風の等圧線は同心円状に分布しているとし、半径方向の気圧分布は顕著台風の気圧分布の解析に用いた Schloemer の気圧分布式³⁾、

$$p = p_c + \Delta p \exp(-r_m/r) \dots\dots\dots (1)$$

で表すことにした。この式で p は中心からの距離 r における気圧、 p_c は中心気圧、 Δp は中心気圧低下量、 r_m は旋衡風速が最大となる r の値である。

Δp , r_m , および中心の位置の移動から決定した進行速度と進行方向について、前報でまとめた統計結果を用いて、ある長い期間に日本を襲う台風の気圧場と経過を乱数により確率的に合成する方法は次のとおりである。

(1) 経路の再現

関東地方以西の本土の太平洋岸、東シナ海に面した海岸線を Fig. 1 に折れ線で示したように単純化し、さらに、九州西方海上および関東東方海上において、仮の海岸線を海上へ延長する（実線で示してある）。前章の方法で発現した個々の台風について、その上陸地域の上陸時の進行方向の統計（前報における相対度数の対数正規分布）に従って乱数により確率的に再現させる。なお、進行方向を始め対数正規分布で表したパラメーターは極端な値の発現を避けるために累積相対度数 0.01 以上 0.99 以下の範囲内で発現させることとした。これは、人為的に現象の極限を定めたことになるが、その可否およびその値については今後さらに検討を必要とする。また、進行方向 γ （東向きを基準とし反時計回りにとる）の範囲は $0^\circ < \gamma < 180^\circ$ とし、北向きの成分を持った台風のみを発現させることとした。また、 γ の時間的変化は考えないことにした。

次に、この発現した進行方向に直角な方向の線分上で経路は一樣に分布していると仮定して、経路を再現させ、海岸線（Fig. 1 における S'S と VV' の仮の海岸線を含む）と最初に交わる点を上陸地点とする。

(2) 進行速度の再現

上陸時の進行速度 C は地域別相対度数の対数正規分布（前報）に従って乱数により確率的に再現させる。なお、進行速度の時間的変化は考慮しないことにする。

(3) Δp の値の再現

上陸時の Δp の値については前報による上陸地域別の相対度数の対数正規分布を利用し、乱数を用いて確率的に再現させる。なお、Georgiou ら²⁾は、ハリケーンについての Δp の調査において、対数正規分布よりも Weibull 分布のほうが直線近似がよく、また、対数正規分布では異常に大きい値の発現を避けるための人為的な cut-off が問題であるとしているが、われわれによる本土に上陸した台風についての調査では、対数正規分布のほうが近似がよいので、前述のように累積相対度数 0.01～0.99 の範囲内でこの分布を用いることにした。

Δp の時間的変化については、上陸前は一定の値とする。また、上陸後については、前報において、上陸後の Δp の時間的変化の統計を平均時間変化率を経過時間の一次式で表した。しかし、上陸後長時間にわたってシミュレーションを行うのには問題があり、 Δp は上陸後の経過時間とともに指数的に減衰するものとする方が適当である。すなわち、上陸 t 時間後の Δp の値は、

$$\Delta p = \Delta p_0 \exp(-at) \dots\dots\dots (2)$$

とする。ここで、 Δp_0 は上陸時の Δp の値で、また、 a は減衰の割合を示すパラメーターであり、上陸地域別

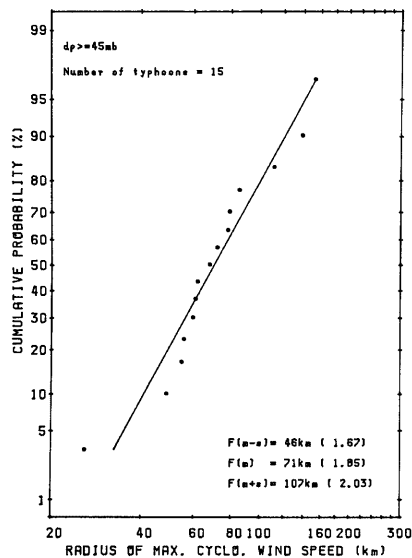


Fig. 2(a) Cumulative probability for the radius of maximum cyclostrophic wind speed, r_m , in the logarithmic scale, for $dp \geq 45$ mb at the time of landfall. A solid straight line indicates a simple linear regression line. $F(m)$ shows a mean value on the regression line. $F(m-s)$ and $F(m+s)$ represent smaller and larger values by a standard deviation from $F(m)$ on the logarithmic scale, respectively. The number in a bracket indicates the common logarithmic value of r_m .

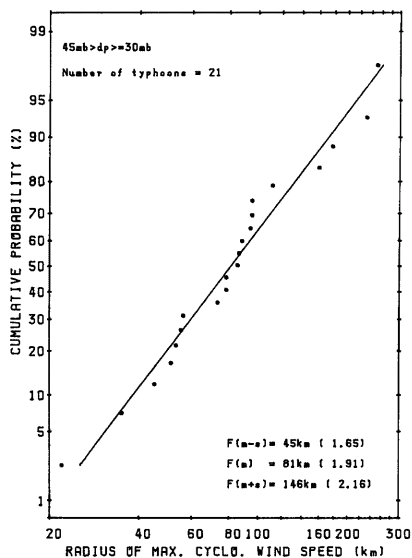


Fig. 2(b) Same as Fig. 2(a), except for the group of dp above 30 mb and under 45 mb.

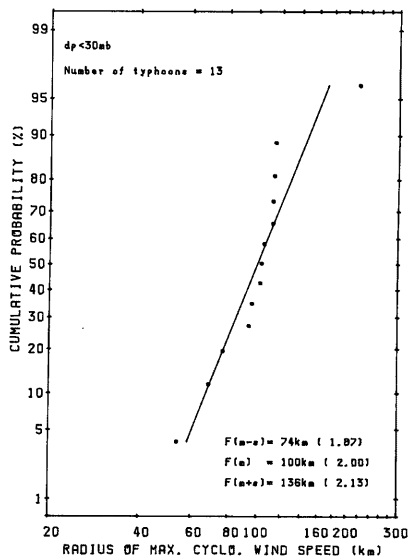


Fig. 2(c) Same as Fig. 2(a), except for the group of dp under 30 mb.

の平均値を用いる。その値は上陸5時間後まで解析を行った37台風についての調査により、A地域は0.042、B地域は0.084、C地域は0.167とする。Georgiouら²⁾によるハリケーンについての調査によると、上陸後の経過時間よりも、むしろ通過距離のほうが Δp の減衰率にばらつきが小さいという結果になっている。しかし、われわれが解析の対象とした台風についての調査では、経過時間で表したほうがばらつきが小さく、そこで、台風の勢力の減衰に伴う Δp の変化を上陸後の経過時間 t で表すことにした。

(4) r_m の値の再現

r_m の上陸時の値の確率分布については、前報では地域別に相対度数を対数正規分布で表したが、地域間には、あまり顕著な差が存在しなかった。しかし、調査によると、 Δp による差が存在したので、上陸時

Table 1 The conditions of simulation of typhoon. $F(m-s)$, $F(m)$, and $F(m+s)$ are same as in Fig. 2(a), and the number in parenthesis indicates a common logarithmic value.

Number of landfall per year			
Frequency distribution		—Poisson	
Selection		—Monte Carlo technique	
Mean value		—1.04 for Area A	
		0.50 for Area B	
		0.67 for Area C	
		uniform distribution in each area	
At the time of landfall			
Probability distribution		—Log-Normal	
Selection		—Monte Carlo technique	
Mean value and standard deviation			
Δp (mb)	Area A	$-F(m-s) = 26(1.42), F(m) = 39(1.59), F(m+s) = 57(1.76)$	
	B	— 25(1.41), 38(1.58), 58(1.76)	
	C	— 24(1.38), 33(1.51), 44(1.65)	
r_m (km)	$\Delta p < 30$ mb	$-F(m-s) = 74(1.87), F(m) = 100(2.00), F(m+s) = 136(2.13)$	
	$30 \text{ mb} \leq \Delta p < 45$ mb	— 45(1.65), 81(1.91), 146(2.16)	
	$45 \text{ mb} \leq \Delta p$	— 46(1.67), 71(1.85), 107(2.03)	
C (km/h)	Area A	$-F(m-s) = 19(1.28), F(m) = 30(1.47), F(m+s) = 46(1.66)$	
	B	— 31(1.50), 47(1.67), 70(1.85)	
	C	— 31(1.50), 46(1.67), 69(1.84)	
γ (deg.)	Area A	$-F(m-s) = 42(1.63), F(m) = 67(1.82), F(m+s) = 105(2.02)$	
	B	— 52(1.71), 72(1.86), 100(2.00)	
	C	— 47(1.67), 60(1.78), 76(1.88)	
Time change after landfall			
Δp	No time change before landfall and exponential decay with the time after landfall		
	Decay rate	Area A	— $a=0.042$
		B	— $a=0.084$
		C	— $a=0.167$
r_m	No time change		
C	No time change		
γ	No time change		

の Δp の値が (a) 45 mb 以上, (b) 30 mb 以上 45 mb 未満, (c) 30 mb 未満の 3 グループに分類し, グループ別に相対度数を対数正規分布として表すことにした。これを Figs. 2(a)~(c) に示す。この上陸時の Δp によって分類した r_m の確率分布にしたがって上陸時の r_m を再現させることにする。なお, r_m の上陸後の時間的变化は考えないことにする。

これらの台風の性質の再現の条件についてまとめて, Table 1 に示す。

3. 任意地点の台風に伴う強風の頻度分布の推算法

台風の気圧場が移動するとき, 任意の地点において, その周囲の地形を考慮に入れ, 合理的に地表風を推算する方法については, 現在われわれは開発を試みつつある段階である。今回は, 地形の影響を考えなくてもよい海面上の風という条件で, 再現した気圧場から明石海峡の風を推算し, その頻度分布について調べることにした。前節の条件により再現した移動する気圧場から地表面の摩擦の効果を無視した風 friction-free wind を推算し, これを地表風に換算するには, 以下に述べるような手法を用いる。

3.1 Friction-free wind (FFW)

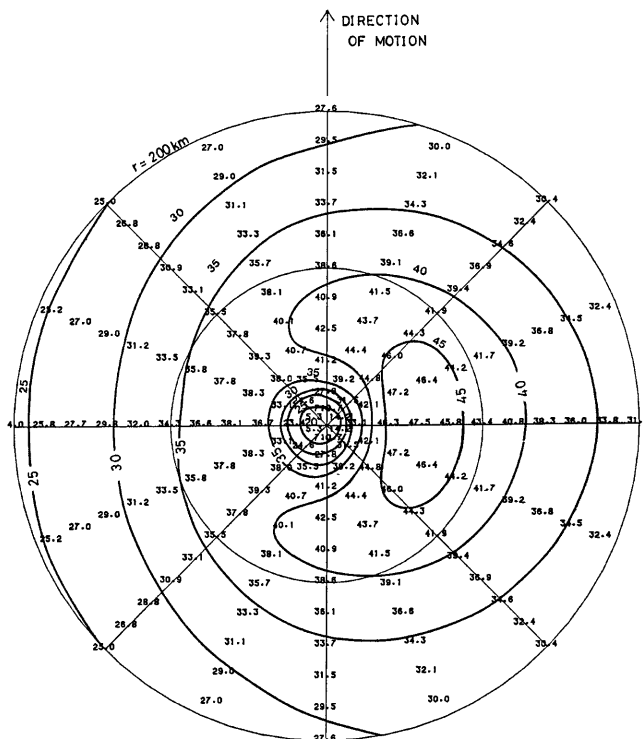


Fig. 3 An example of the distribution of the friction-free wind speed for $\Delta p=60$ mb, $r_m=60$ km, $C=10$ m/sec.

等圧線の分布が与えられたとき、その気圧場に対応し、地表摩擦を考えない風の分布がまず求められる。これは friction-free wind (FFW と略す) と呼ばれ、上空において吹いている風に相当するものであると考えられる。移動する円形等圧線場の FFW の速さは、Blaton の公式を用いて気圧場の移動の補正を行った傾度風速 V_{gr} として表すことができる。すなわち、

$$\frac{V_{gr}^2}{r_t} + fV_{gr} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} \quad (3)$$

f は Coriolis' parameter, ρ は空気密度, r_t は空気塊の流跡線の曲率半径であり、これは台風の中心からの距離 r との間で、Blaton の公式により、

$$\frac{1}{r_t} = \frac{1}{r} \left(1 + \frac{C}{V_{gr}} \sin \alpha \right) \quad (4)$$

の関連で示される。なお、 α は台風の中心から風を推算する場所へ向く半径ベクトルが気圧場の進行方向となす角で、進行方向を基準とし、反時計まわりに測る。

FFW の風速分布の例として、 $\Delta p = 60$ mb, $r_m = 60$ km, $C = 10$ m/sec, $\rho = 1.1$ kg/m³, $f = 0.84 \times 10^{-4}$ sec⁻¹ とした場合について、Fig. 3 に示す。最大風速は中心から距離 r_m の位置より数 km 内側に現われ、進行方向に対して右方向と左方向の最大風速の差は進行速度 C の値にほぼ等しい。

3.2 FFW から海面上の風への換算

台風域内の地表風速 V_s と FFW の速さ V_{gr} の間の比の値は一定ではなくて、台風眼の付近で大きくなり、最大風速半径の少し内側では 1 以上の値となることが知られている。光田ら⁶⁾⁷⁾ は南西諸島を襲った台風 7705 号および 7709 号について、島々の観測資料を解析した結果、最大風速半径の少し内側では、 V_s の値が V_{gr} の値を超え、すなわち、supergradient になっていることを見出した。このことは台風域内の風速を推定する場合において重要な事実である。

台風域内の半径方向の風速分布のこの特徴を考慮し、風速比 V_s/V_{gr} の分布は $x = r/r_m$ とともに変化するものとし、 V_s/V_{gr} の値を次のような関数形 $G(x)$ で表わすこととした。

$$G(x) = G(\infty) + \{G(x_p) - G(\infty)\} \left(\frac{x}{x_p} \right)^{k-1} \cdot \exp \left[\left(1 - \frac{1}{k} \right) \left\{ 1 - \left(\frac{x}{x_p} \right)^k \right\} \right] \quad (5)$$

$G(x)$ の値は、中心から外に向って x の増加とともに増加し、 $x = x_p$ において最大値 $G(x_p)$ をとり、そこから外に向って x とともに減少していく分布型をとる。 k は x 方向の分布の形を決めるパラメーターである。この式を前述の台風 7705 号と 7709 号の風速分布に適合させてみた結果、Fig. 4 に図示するように、 $k = 2.5$ の場合にはほぼ一致させることができた。この結果を参考にして、今回は $k = 2.5$, $x_p = 0.5$, $G(x_p) = 1.2$ とした。また、 $G(\infty)$ の値としては、海面上の風速と傾度風速の比として一般に広く使われている $2/3$ をとった。FFW と地表風との間の風向の偏角についても、一般に広く用いられている 30° とした。

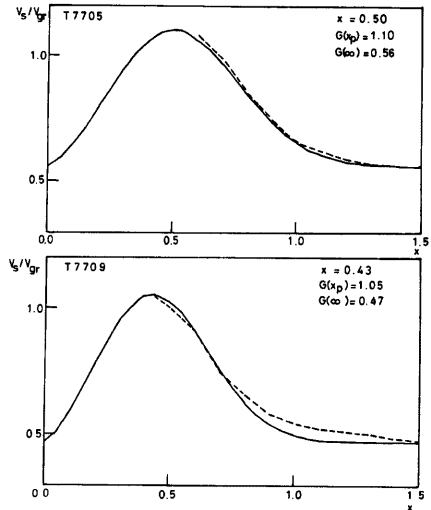


Fig. 4 The fitting of the wind speed ratio V_s/V_{gr} for Typhoons 7705 and 7709 by the function $G(x)$ shown in Equation (5).

4. 台風に伴う強風のシミュレーション——明石海峡における推算例

2章で説明した条件に従って、まずシミュレーションの期間を1000年として台風の気圧分布と経路をモンテカルロ法により再現した。このシミュレーション期間が再現期間100年程度において安定した期待風速値を得るのに十分であるかどうか検討するために、乱数の系列を変えた3回のrunを繰り返した。明石海峡の34.62°N, 135.00°Eの場所を例として、再現した台風の通過にともなう海面上の風を前章の方法に従って推算した。この風の計算については、台風の中心が問題とする場所から半径200 km以内と定めたシミュレーション円内を通過している時間帯において、10分間隔で行なった。その結果、1000年間に於いて最大風速が出現するときの風向は、runによって、Eの場合もあれば、SSEの場合もあった。また、風向別の風速の頻度分布もrunによって異っていた。さらに、年最大風速を二重指数分布により表現すると、風速の再現期待値は不安定で、再現期間50～200年では、runにより3 m/sec程度の差があった。したがって、現在の方法では、1000年間のシミュレーションでは短かすぎ、さらに長い期間にわたってシミュレーションを行う必要があると考えられる。

そこで、シミュレーションの期間を10000年まで延ばして3回のrunを行った。その結果、10000年間の最大風速は風向S～SSEで発現した。また、風速20 m/sec以上の強い風について、風向別の延べ時間が最大となる風向はいずれのrunにおいてもEとなり、その時間も1350～1370時間とほとんど差がなかった。年最大風速を二重指数分布により表現すると、Fig. 5に示すように、再現期間50～200年に対する風速の再現期待値は、runによる差が1 m/sec以下であり、ほぼ安定した風速が得られた。

例として、第2回目のrunの結果をまとめると、次のようである。10000年間の発現した台風は21820個(年間発現数は0～7個)で、このうち、7921個がシミュレーション円内を通過した。Fig. 5に示したRUN 2における年最大風速の二重指数分布によると、風速の再現期待値は、再現期間50年では44 m/sec, 100年では47 m/sec, 200年では50 m/secとなる。

風速20 m/sec以上の強い風について、風向別の延べ時間はTable 2に示すように、風向Eにおいて頻度が最多(生起確率 1.55×10^{-3})で、10000年間に延べ81520分であり、全風向についての頻度の9.6%である。一方、風向WNWにおいて最少(生起確率 0.51×10^{-5})で、延べ26710分(全風向の3.1%)である。この表の風向別風速ランク別延べ時間を風速 V_s の超過確率 $F(\geq V_s)$ に換算し、16方位のうち、四つの風向NNE, ESE, SSWおよびWNWについてFig. 6に示す。このなかで、風向ESEにおいて、風速40 m/sec以上が発現した確率は 5.6×10^{-7} であり、これは100年間につき延べ30分間に相当する。

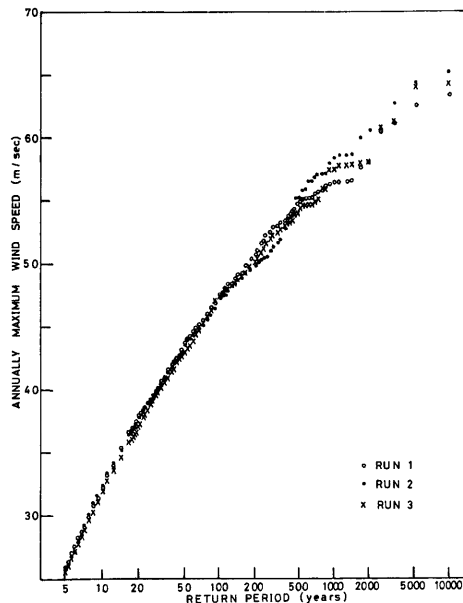


Fig. 5 The double exponential distributions of the annual maximum wind speeds with the simulation period of 10000 years.

Table 2 The occurrence probability (10 min/10000 years) of wind speed over 20 m/sec during the simulation period of 10000 years.

Wind direction	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	Total
Wind speed (m/sec)																	
20~25	3118	3512	4252	4579	4261	3621	3664	3599	3079	4279	2238	1867	1754	1821	2115	2493	48452
25~30	1319	1600	1996	2157	1969	1806	1634	1566	1466	1187	935	704	588	648	795	1022	21392
30~35	424	568	795	877	896	874	854	771	641	554	418	286	234	242	311	362	9107
35~40	184	248	302	331	404	405	388	374	331	247	170	100	80	82	121	121	3888
40~45	81	93	96	143	194	182	175	168	128	99	60	26	14	23	27	49	1558
45~50	24	35	46	48	74	97	75	58	48	39	17	5	1	1	4	14	586
50~55	0	7	16	12	21	11	20	15	8	8	3	0	0	0	0	0	121
55~60	0	0	6	5	6	10	19	15	10	1	0	0	0	0	0	0	72
60~65	0	0	0	0	2	7	5	0	2	0	0	0	0	0	0	0	16
65~70	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Total	5150	6063	7509	8152	8727	7013	6834	6567	5713	4614	3841	2988	2671	2817	3373	4061	85193
Percentage(%)	6.0	7.1	8.8	9.6	9.2	8.2	8.0	7.7	6.7	5.4	4.5	3.5	3.1	3.3	4.0	4.8	100.0
Probability of gale (≥ 20 m/sec)																	
($\times 10^{-5}$)	0.98	1.15	1.43	1.55	1.49	1.33	1.30	1.25	1.09	0.88	0.73	0.57	0.51	0.54	0.64	0.77	16.20
Maximum wind																	
speed(m/sec)	48.5	50.8	57.8	58.3	62.8	64.5	64.5	65.3	63.8	55.5	53.2	49.0	45.6	45.4	46.7	48.0	65.3

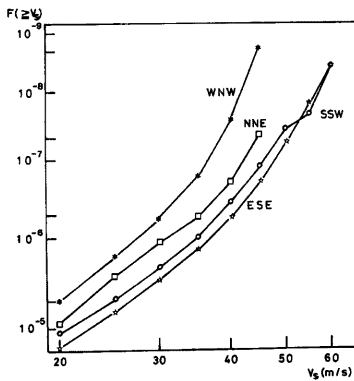


Fig. 6 The exceeded probability of simulated wind speeds. $F(\geq V_s)$ denotes the probability of wind speed exceeding V_s .

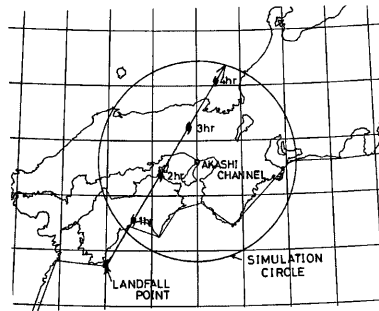


Fig. 7(a) The track of the typhoon which caused the maximum surface wind speed of 65 m/sec in the simulation period of 10000 years.

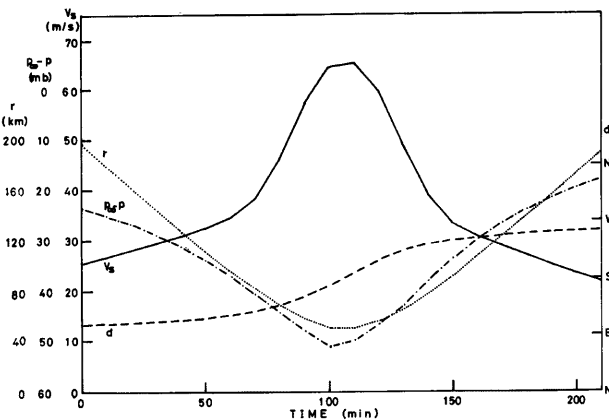


Fig. 7(b) The time changes of surface wind speed V_s and direction d , pressure depth $p_\infty - p$ (difference in pressures between the periphery and the site) and distance r from center, simulated at the Akashi straits with passage of the typhoon shown in Fig. 7(a).

10000 年間での風速の極値 65.3 m/sec が推算された台風 (3917年目に発現) について、その経路を Fig. 7(a) に示す。この台風は足摺岬付近に上陸 ($\Delta p_0 = 79.4$ mb) し、北北東に毎時 107 km で進行し、45分後に高知市付近でシミュレーション円に入り ($\Delta p = 74.5$ mb)、上陸 2.5 時間後に明石海峡の西北西 50 km を通過し、4 時間20分後に若狭湾北方で円外に抜けている ($\Delta p = 55.4$ mb)。台風の中心がシミュレーション円内にあった時間帯において、明石海峡で10分間隔でシミュレートされた風向 d 、風速 V_s 、気圧 (周辺気圧 P_∞ と

この場所の気圧 p の差 $p_{\infty} - p$ で示す), および中心までの距離 r の時間的変化を Fig. 7(b) に示す。気圧は, 風速が最大となる時刻より10分間前に最低となっていて, 周辺気圧との差は 50.1 mb であった。風向は, ESE から中心の最接近時に S となり, さらに, WSW にまで変化した。

なお, 明石海峡における海面上の風を推算した今回のシミュレーションでは, 周囲の地形の影響を考えていなかったが, 現実には多少の影響が存在すると思われ, 今後, その導入について検討する必要がある。

5. 結 語

日本本土に襲撃した台風の統計的性質(前報)を用いて, 本土に襲撃する台風の気圧分布と経路をモンテカルロ法により確率的に合成するモデルを作成した。これを利用して, 台風を確率的に再現し, 例として明石海峡において海面上の風のシミュレーションを行った。10000 年間にわたるシミュレーションの結果によると, 風速 20 m/sec 以上の強い風が発現する確率は 1.62×10^{-4} (延べ 14199 時間) で, 風向別には風向 E で最大で, その生起確率は 1.55×10^{-5} (1359 時間) であった。また, 年最大風速の再現期待値は, 再現期間 50 年では 44 m/sec, 100 年では 47 m/sec, 200 年では 50 m/sec であった。

今後, 本土の任意地点において, その周囲の地形の影響を考慮に入れて, 移動する気圧場から求めた friction-free wind を地表風に換算し, 地表風のシミュレーションを行う方法を確立する予定である。

最後に, 本研究においてシミュレーションの計算作業に協力していただいた日本電子計算株式会社の小西章, 中西隆紀および中司俊之の三氏に謝意を表す。

なお, 本研究の一部は文部省科学研究費補助金(自然災害特別研究(2)60025026, 研究代表者光田寧)によって行われた。

参 考 文 献

- 1) Triggvason, B.V., Surry, D. and Davenport, A.G.: Predicting wind induced response in hurricane zones, Journ. of the Structural Div., ASCE, Vol. 102, No. ST 12, Proc. Paper 12630, 1976, pp. 2333-2350.
- 2) Gergiou, P.N., Davenport, A.G. and Vickery, B.J.: Design wind speeds in regions dominated by tropical cyclones, Journ. Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 13, 1983, pp. 139-152.
- 3) Schloemer, R.W.: Analysis and synthesis of hurricane wind patterns over Okeechobee, Florida. Hydrometeorological Report, No. 31, 1954, pp. 49.
- 4) Mitsuta, Y., Fujii, T. and Kawahira, K.: Analysis of typhoon pressure patterns over Japanese islands, Journ. Nat. Dis. Sci., Vol. 1, 1979, pp. 3-19.
- 5) 藤井 健・塚本 修・光田 寧: 日本本土に襲撃する台風の統計的性質について, 京大防災研年報, 第28号 B-1, 1985, pp. 463-473.
- 6) 光田 寧・文字信貴・塚本 修・浅井東洋: 八重山群島を襲った台風 5 号 (7705) の気象学的特性について, 京大防災研年報, 第21号 B-1, 1978, pp. 405-415.
- 7) 山元龍三郎・光田 寧・文字信貴・塚本 修・末延龍雄: 沖縄永良郡島を襲った台風 9 号 (7709) の気象学的特性について, 京大防災研年報, 第21号 B-1, 1978, pp. 417-425.