

モンテカルロシミュレーションを利用した台風の風速分布の算出

はじめに

風害は台風や季節風、竜巻などにより発生し、過去の調査¹⁾によれば建物に被害をもたらした暴風のうち、台風によるものが6割以上を占めている。また、台風による強風害では建築物や土木構造物への被害のほか、農林水産業や交通機関、ライフラインなど広範囲にわたり、多大な影響を与える場合がある。それ故、台風の被害を予測する上で、再現期間や風速分布を求めることが必要とされている。しかし、既往の台風に関する統計は高々60余年であり、再現期間などの評価を行う上では十分な資料とは言い難い。このため、台風の物理的な性質を考慮し、確率統計的に評価する手法としてモンテカルロシミュレーションがある。本研究では台風をモデル化し、モンテカルロシミュレーションを利用することで、任意の期間の仮想台風を発生させている。さらに、これら仮想台風による日本各地での最大瞬間風速を求め、我が国における再現期間別最大瞬間風速分布図などを作成した。

1. シミュレーションの概要

1.1 モンテカルロシミュレーション

モンテカルロシミュレーションとは現象などに含まれた諸条件を数式で解くことができない場合に用いる手法であり、確率論的モデルを基に乱数を用いて基礎データを作成するものである。本シミュレーションでは、まず台風の特性を決定するパラメータをある確率分布に従う乱数を用いて求め、任意の仮想台風を発生させる。モンテカルロシミュレーションを利用することにより、これまでの観察期間では出現しなかつたよ

うな台風の想定が行え、未発生リスクに対する確率的評価が可能となる。

1.2 台風パラメータ

本シミュレーションにおいて台風は、位置（緯度・経度）進行速度、進行方向、中心気圧深度（=周辺気圧 - 中心気圧）最大旋衡風速半径といった、特性を表す5つのパラメータによってモデル化されるものとし、これらを『台風パラメータ』と呼ぶこととする（図1.2.1）。

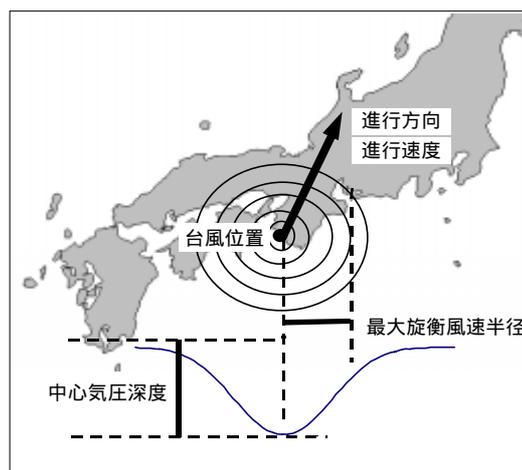


図1.2.1 台風パラメータ

1.3 シミュレーションの流れ

本シミュレーションにおける最大瞬間風速算出までの流れを図1.3.1に示す。まず、既往台風における台風経路データ^{注1)}や海面気圧データ^{注2)}から台風域内の気圧場の客観解析²⁾などを行い、各既往台風それぞれに対して上述の台風パラメータを求める。次に、この既往台風における台風パラメータ及び年間上陸数について統計分析を行い、それぞれの確率分布を決定する。各パラメータの確率分布に従う乱数を発生させ、

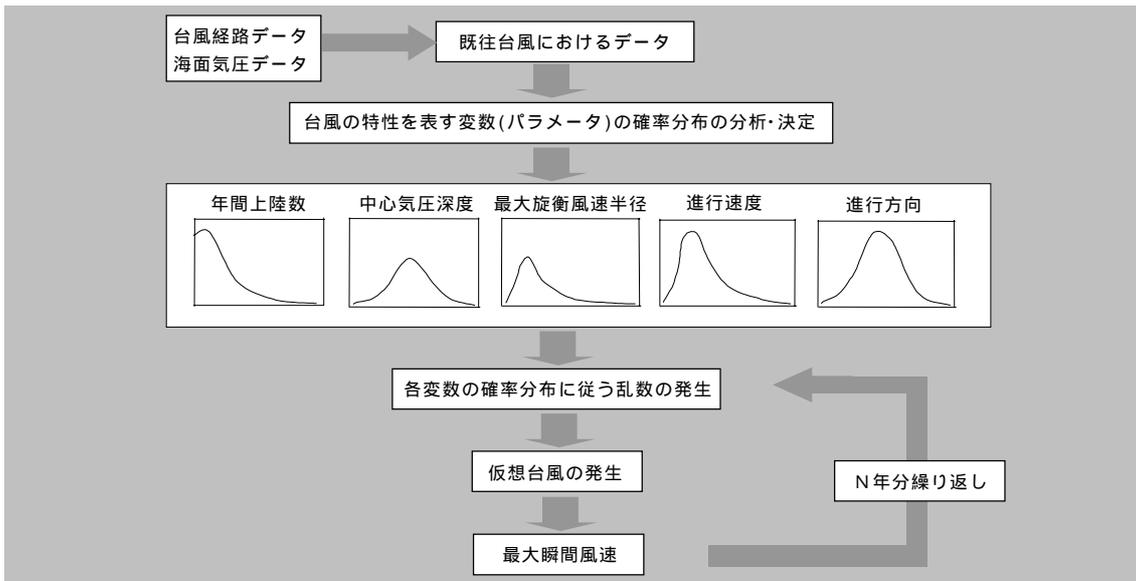


図1.3.1 シミュレーションの流れ

仮想台風を決定し、各地域での最大瞬間風速を算出する。この乱数の発生を繰り返すことにより、任意の期間（N年間）の仮想台風を発生させることが可能となる。

注1) 気象庁ベストトラックデータ(気象庁)

注2) 気象庁地上気象データ(気象庁)

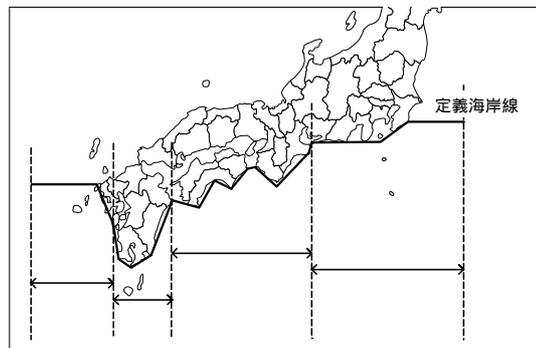


図2.1.1 定義海岸線とエリア

2. 仮想台風の作成³⁾

2.1 定義海岸線とエリア

本土に上陸した台風の統計分析を行うため、本シミュレーションでは日本列島の海岸線を図2.1.1のように平滑化した海岸線として模式化した（『定義海岸線』と呼ぶことにする）。この海岸線に基づき、メッシュ毎に既往の台風の通過度数などを検討した結果、上陸エリアを～の4領域に区分し、それぞれのエリアごとに各台風パラメータを算出した。

2.2 既往台風における諸元データ

1932年から1996年までの65年間に発生した各台風で、台風域内の気圧場の客観解析¹⁾が可能であった約200台風のうち、定義海岸線に上陸した160余の台風について、その諸元を算出した（表2.2.1）。

表2.2.1 既往台風の諸元データ

台風番号	上陸エリア	上陸年月日	上陸時	上陸直後緯度 [度]	上陸直後経度 [度]	周辺気圧 [hPa]	中心気圧 [hPa]	気圧低下量 [hPa]	最大旋衡風速半径 [km]	速度 [km/s]	上陸角度 [度]
3211		321115	1	35.3	140.7	995	956	39	84.0	28.2	45.0
3312		331020	4	31.3	130.6	1000	971	29	82.0	50.3	36.9
...
9612		960814	8	32.2	130.1	1002	958	44	80.8	43.3	45.0
9617		960922	16	35.5	141.4	1010	962	48	52.2	56.3	45.0

2. 上陸時の台風パラメータ

年間上陸数及び上陸時における各台風パラメータに関しては、前述の160余台風の諸元データから、エリアなどの区分ごとにその分布関数を求めた（表2.3.1）。

表2.3.1 上陸時の台風パラメータ値

パラメータ	分布形	区分	平均値	標準偏差
年間上陸数	ポアソン		N_a	N_s
			N_a	N_s
			N_a	N_s
			N_a	N_s
中心気圧深度 P (hPa)	対数正規		P_a	P_s
			P_a	P_s
			P_a	P_s
			P_a	P_s
最大旋衡風速半径 R m (km)	対数正規	$P < p_1$ $p_1 < P < p_2$ $p_2 < P$	R_{a1}	R_{s1}
			R_{a2}	R_{s2}
			R_{a3}	R_{s3}
進行速度 C (km/h)	対数正規		C_a	C_s
進行方向 (deg)	対数正規		a	s
			a	s
			a	s
			a	s

例えば、あるエリアにおける進行方向に関しては、図2.3.1に示すように諸元データの度数分布をもとに、その分布関数を平均 γ_a 、標準偏差 γ_s の対数正規分布であると仮定した。

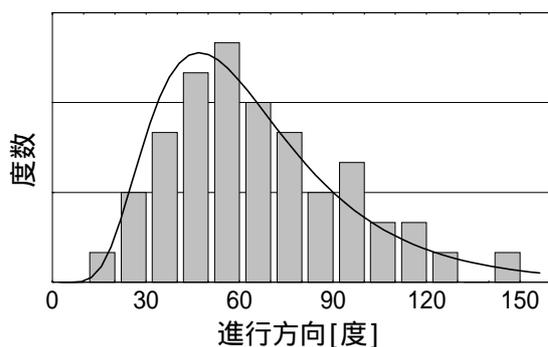


図2.3.1 進行方向の分布（例）

同様に、年間上陸数はエリアごとにポアソン分布を仮定し、中心気圧深度、進行速度、進行方向はエリアごとに対数正規分布

を仮定し、最大旋衡風速半径は中心気圧深度の大きさごとに対数正規分布を仮定した。

2.4 上陸後の台風パラメータ変化

上陸後、各台風パラメータの値を変化させることにより、仮想台風の推移をモデル化している。中心気圧深度、最大旋衡風速半径、進行速度の変化率については、それぞれ関数形を仮定し、エリアごとに既往台風のデータから、上陸後の経過時間に対する回帰式を求めた（表2.4.1）。

表2.4.1 台風パラメータの時間的变化

パラメータ	関数形	区分		
中心気圧深度 P (1/h)	指数変化 $P = P_0 \{ \exp(-t) - 1 \} + 1$		P	P
			P	P
			P	P
			P	P
最大旋衡風速半径 R m (%/h)	線形変化 $R_m = R_{m0}(1 + t)$		R	-
			R	-
			R	-
			R	-
進行速度 C (%/h)	線形変化 $C = C_0(1 + t)$		C	-
			C	-
			C	-
			C	-

例えば、あるエリアにおける中心気圧深度に関しては、図2.4.1に示すように既往台風データに対する回帰曲線として、指数関数を仮定した。（ P_0 は上陸時の中心気圧深度、 P は各経過時間での中心気圧深度の値）

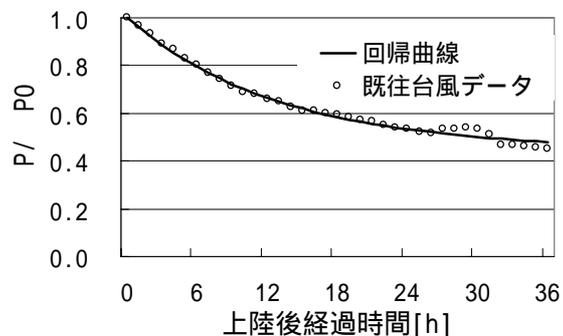


図2.4.1 中心気圧深度比 (P/P_0) と上陸後経過時間の関係（例）

同様に、最大旋衡風速半径と進行速度は線形関数をそれぞれエリアごとに仮定した。

進行方向については、まず、既往台風の経路データにおける統計分析に基づき、偏角領域1～3を仮定した(図2.4.2)。

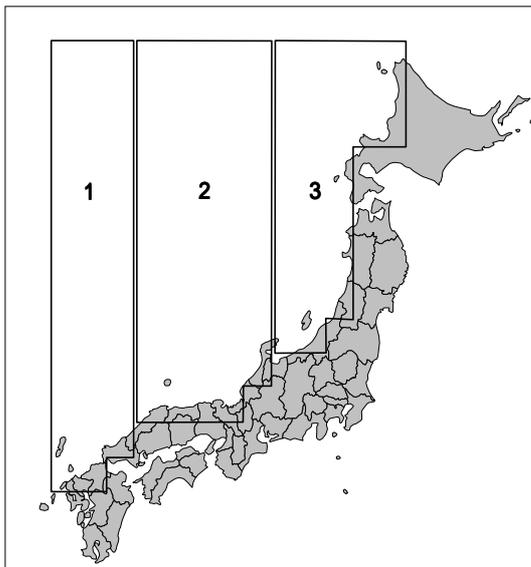


図2.4.2 進行方向における偏角領域

この領域において、時刻tにおける進行方向と時刻t+1における進行方向との角度変化()を偏角領域別・進行方向別に求めることで、上陸後の変化をモデル化した(表2.4.2)。

表2.4.2 進行方向の変化 [度]

進行方向 \ 偏角領域		1	2	3
0° < 1°		11	12	13
1° < 2°		21	22	23
2° < 3°		31	32	33
...	
n-1° < n°		n1	n2	n3

また、台風の勢力が衰え、温帯低気圧へと変わることも考慮し、上陸時と各経過時間における中心気圧深度の関係により、台風の消滅もモデル化した。

2.5 仮想台風発生

仮想台風発生までの流れを図2.5.1に示す。まず、ポアソン分布に従った乱数により、エリア別に年間上陸数、即ち発生仮想台風数を決定する。それぞれの仮想台風に関して、初期値として上陸時の台風パラメータ(上陸位置、進行速度、中心気圧深度、最大旋衡風速半径、進行方向)を、それぞれの確率分布に従った乱数により決定する。続いて、上陸前の台風位置および上陸後の各台風パラメータの時間変化を、それぞれの関数形などにより決定する。

このようにして、上陸前から上陸後までの仮想台風の性状をモデル化した。ただし、上陸前については台風位置(緯度・経度)のみを線形的に求め、他の台風パラメータについては上陸時と同じ値とした。

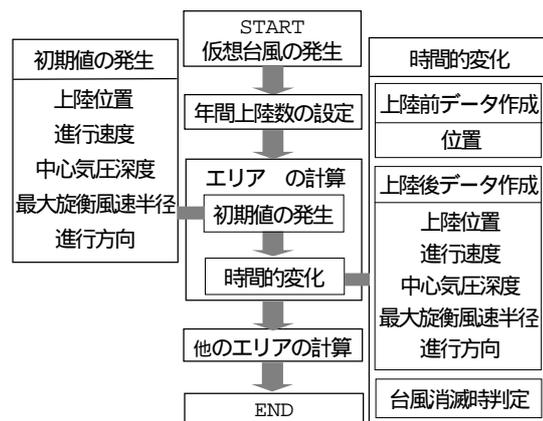


図2.5.1 仮想台風発生の流れ

3. 最大瞬間風速の算出

モンテカルロシミュレーションを利用し、任意の仮想台風を発生させ、この仮想台風による地点別の最大瞬間風速を算出した。手順およびその概念図は下記の通りである(図3.1)。

3.1 傾度風速の算出⁴⁾⁵⁾

仮想台風における台風パラメータを、傾度風速の式とBlaton(1945)の公式から導き

出される式（上空風速を気圧場の移動の補正を行った傾度風速）よりに任意の地点の傾度風速を求めた。なお、本研究では風速算出地点は、役場を代表点とし全国約3,300の市区町村を対象とした。

3.2 代表的地表風速の算出⁴⁾⁶⁾

上空の風である傾度風速を地表の風に変換するため、傾度風速と地表風速との比を関数で表した光田・藤井(1986)の式を用いた。この場合の地表風は、一様に平坦な海面上のような地表を想定しており、起伏度を考慮していない風で、これを『代表的地表風速』と呼ぶ。

3.3 最大瞬間風速の算出

代表的地表風速は10分間最大風速に相当するものであり、最大瞬間風速へ変換するため、代表的地表風速と実際に観測された最大瞬間風速との比を求め、これを代表的地表風速に乗じた。各地点とも各時刻ごとの最大瞬間風速が求められ、その最大値を当該台風の風速とした。

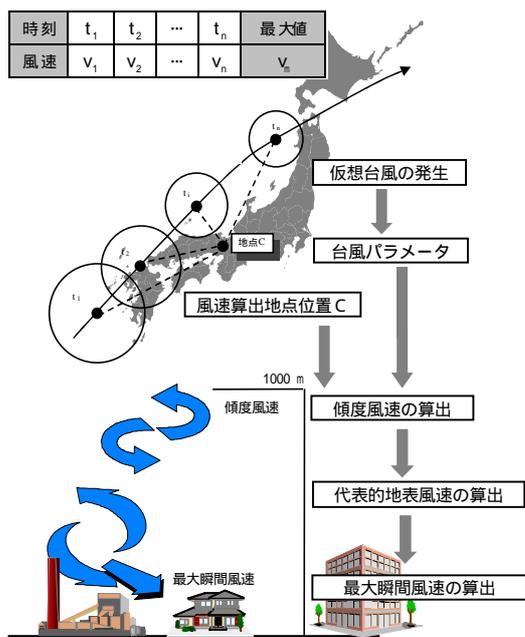


図3.1 最大瞬間風速算出の流れと概念図

4 . シミュレーション結果

4.1 仮想台風の経路

シミュレーション結果の一例として、10年間分の仮想台風の経路を図4.1.1示す。また、比較として主な既往台風の実際の経路(49台風)を図4.1.2に示す。



図4.1.1 モンテカルロシミュレーションによる仮想台風経路



図4.1.2 主な既往台風の経路

シミュレーションで発生させた仮想台風の中には、台風9119号や洞爺丸台風（1954）のように日本海上空で湾曲する台風、狩野川台風（1951）のように関東付近を通過する台風、九州を抜け朝鮮半島や中国大陆へと北上する台風なども出現してお

り、概ね実際の台風と類似した経路の台風が得られた。

4.2 台風9119号の再現

モデルの妥当性の評価として、台風9119号の再現を試みた。台風9119号における上陸時の実際の台風パラメータ（上陸位置、中心気圧深度、進行速度、進行方向、最大旋衡風速半径）を初期値とし(表4.2.1)、その後の経路（時間的变化）を上述のシミュレーションモデルにより発生させ（図4.2.1 丸印は3時間ごとの台風位置）主な都市における最大瞬間風速を算出した。経路及び風速とも、概ね台風9119号の再現が図られている。

表4.2.1 台風9119号の上陸時パラメータ

パラメータ	値
上陸位置(北緯)	33.4 [度]
上陸位置(東経)	130.2 [度]
中心気圧深度	65.0 [hPa]
最大旋衡風速半径	80.0 [km]
進行速度	80.3 [km/h]
進行角度	50.2 [度]
上陸エリア	Area

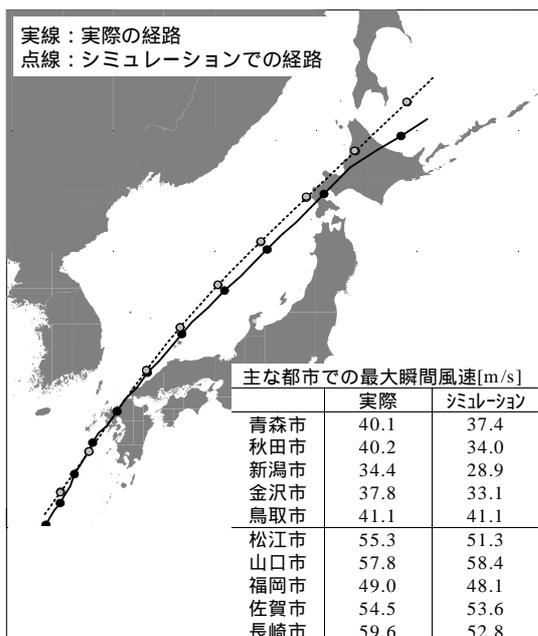


図4.2.1 台風9119号の再現

注)実際の最大瞬間風速値は高さ補正していない

4.3 最大瞬間風速の再現期間

10,000年間のシミュレーションを用いて約25,000個の仮想台風を発生させた。それぞれの仮想台風に対し「3. 最大瞬間風速の算出」で述べた手順に従い、各地域における最大瞬間風速を算出した。この結果から我が国における最大瞬間風速の再現期間を検討した。

本研究では再現期間・再現確率を以下の式で定義することとした。

$$\text{再現期間[年]} = \frac{\text{観察期間[年]}}{\text{降順での順位}}$$

$$\text{再現確率[\%]} = \frac{1}{\text{再現期間[年]}}$$

例えば、ある都市でのこの10,000年間の仮想台風による最大瞬間風速を降順に並べると図4.3.1となったとする。

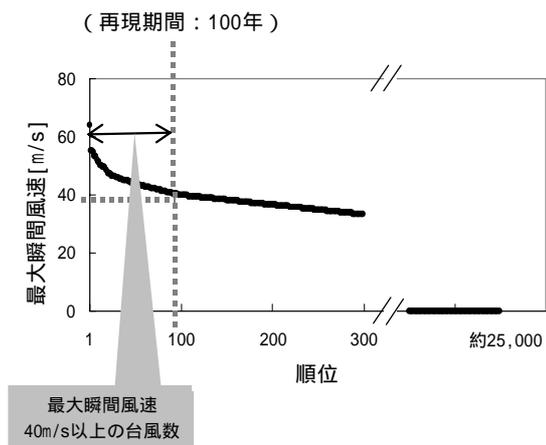


図4.3.1 再現期間・再現確率の算出法

この場合、最大瞬間風速が40m/s以上となる台風の再現期間および再現確率を求めると、最大瞬間風速40m/sが降順の順位で100位となるので、以下のように求められる。

$$\text{再現期間[年]} = \frac{10000}{100} = 100[\text{年}]$$

$$\text{再現確率[\%]} = \frac{1}{100} = 1[\%]$$

もあり、そのような地形要因も考慮するし
なければならない。さらに本研究では解析
上の制約により、沖縄付近の計算風速は精
度が高くないため除いているが、今後この
近海での台風についても別途研究の必要が
あろう。ミクロ的には上述のような事象を
考慮しなければならないが、マクロ的には
今回の成果を利用し、さらに風速と被害と
の関係を検討することにより、我が国にお
ける台風による風災被害の地域別評価が可
能であると考え。

(研究部研究第一グループ)

【参考文献】

- 1) 亀井勇, 松下清夫, 和泉正哲: 建築学体系20,
建築耐風・耐雪論, 彰国社, 1966
- 2) 藤井健: 台風域内の気圧場の客観解析手法,
京都産業大学論集, 第4巻, 第1号, pp. 77-
90, 1974.
- 3) Mitsuta and Fujii : Synthesis of Typhoon Wind
Patterns by Numerical Simulation. Natural
Disaster Science, Vol.8, Num2, 1986
- 4) 藤井健, 光田寧: 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, 1986
- 5) 藤井健, 劉迎: 台風9019号の地表風と地形と
の間の統計的關係について, 京都産業大学
論集, 第22巻, 第1号, pp. 124-148, 1992.
- 6) 藤井健, 光田寧: 台風による強風の出現確率
の予測について, 自然災害科
学, Vol. 11, No. 3, pp. 125-144, 1992
- 7) 気象庁年報 気象庁監修 (財)気象業務支
援センター
- 8) 日本気候表 その1 極値(統計開始-1990年)
気象庁