

4. 台風の強風の性質と確率モデルによる

シミュレーション*

藤井 健**・光田 寧***

1. はじめに

気象官署開設以来記録された日最大風速の上位10位までの強風について、各種の災害年表などにより原因となった気象現象を調べた。それによると、台風に伴って発現した頻度は第1図のように分布している。関東地方以西においては、強風のほとんどすべてが台風の通過に伴って発現している。したがって、この地域においては、強風災害を防ぐための対策は、台風に伴う強風のみを対象としても大きな問題が起こらないと考えられる。

強風災害防止のための対策を立てるにあたっては、強風の発現頻度の予測が基礎となるが、これには、種々の方法が用いられている。ここでは、われわれの研究グループが、防災計画の立案のための利用を目的に開発を進めているモデル台風によるシミュレーションを中心にして、台風に伴う強風の発現頻度の予測法について述べる。また、防災の観点から、台風に伴う強風の2、3の性質についても言及する。

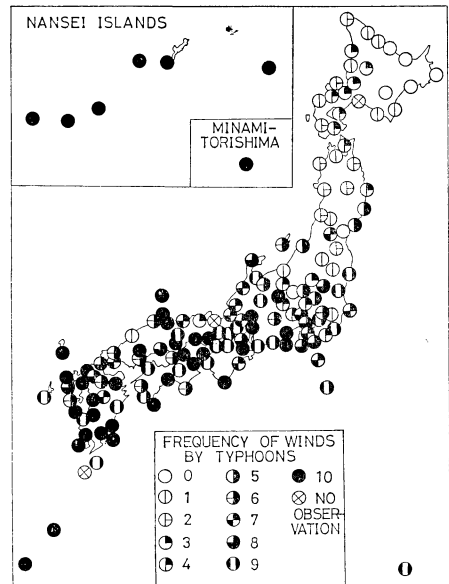
2. 年最大風速の生起確率分布

強風に対する防災計画の立案にあたって、対象とする場所の年最大風速の再現期待値を求めるには、主に次の3つの方法が用いられている。

(1) 対象とする場所における実測風の年最大風速の生起確率分布を二重指数確率分布などの極値分布で近似する。

(2) 極値分布の外挿により求めた年最大風速の再現期待値と周囲の地形因子などの要因との間で、再現期間ごとに重相関分析を行い、重回帰式を作成する。この式により、対象とする場所の再現期待値を求める。

(3) 台風の気圧分布と経路の確率モデルを作成する。これを用いて、長時間にわたってシミュレーションを行い、対象とする場所の傾度風速を求める。これを地表風



第1図 気象官署開設以来1980年までに観測された日最大風速の上位10位のうちで台風の通過に伴って発現した頻度の分布。上位10位の風速は気象庁編『日本気候表その3』(1982)によった(Mitsuta and Fujii, 1987)。

速に換算して、年最大風速の再現期待値を求める。

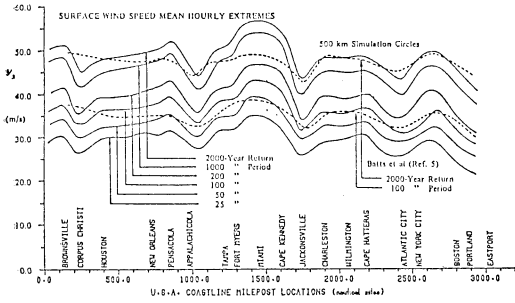
気象官署における年最大風速の再現期待値については、最初の方法により、気象庁(1971)によって求められている。しかし、対象とする場所のすぐ近くに気象官署があることはまれである。そこで、各気象官署についてこの方法で求めた再現期待値と地形などの因子との間の相関を調べて、相関が高い因子を選び出し、重回帰式を作成する。これを用いて、対象とする場所の地形因子などから、風速の再現期待値を計算する。これが2番目の方法であり、実用的には、この方法が用いられることが多く、例えば、阪神高速道路公団(1984)で使われている。

日本では、気象官署の風の実測値はせいぜい数十年しか利用できなく、これは、最大級の台風の来襲頻度比

* Characteristics of Wind Patterns in Typhoons and Simulation by Stochastic Typhoon Models.

** Takeshi Fujii, 京都産業大学教養部.

*** Yasushi Mitsuta, 京都大学防災研究所.



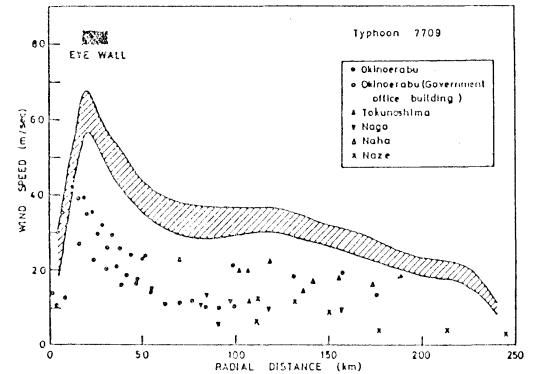
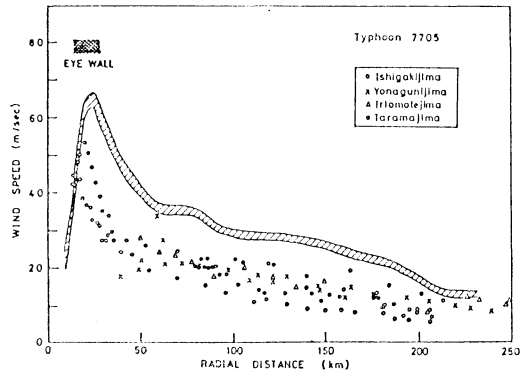
第2図 Western Ontario 大学のグループがハリケーンのシミュレーションにより求めた北米のメキシコ湾および大西洋沿岸地帯における1時間平均地表風速の再現期待値の分布 (Georgiou et al., 1983). 破線は Batts et al. (1980) によるシミュレーションの結果である。

べて短すぎるのである。これに反して、台風による強風のみを対象としてもほとんど問題がないような場所においては、最後の方法は、顕著台風の来襲頻度に比べて短い観測年数を補うことができるので、より合理的な方法であると考えられる。

最後の方法については、カナダの Western Ontario 大学の Davenport を中心とするグループ (Tryggvason et al., 1978, Georgiou et al., 1983) が、北米の大西洋からメキシコ湾の沿岸地帯にかけてハリケーンのシミュレーションを行い、風速の再現期待値の分布を求めている。彼らは、ハリケーンの気圧分布を Schloemer(1954)の式で近似し、中心気圧低下量 $4p$ 、最大旋衡風速半径 r_m 、進行方向、進行速度について、96年間のハリケーンの資料に基づいて確率モデルを作成し、中心気圧と経路のシミュレーションを行った。さらに、1949年8月に Florida 半島の Okeechobee 湖を通過したハリケーンの観測記録に基づいて、傾度風速に対する地表風速(1時間平均)の比の値が半径 r_m において最大値 0.85 となる半径方向の分布を仮定した。彼らは、これに従って、シミュレートした気圧分布から地表風速を計算し、その再現期待値の地理的分布(第2図)を求めた。再現期待値のピークは、Florida 半島にあり、ここでは再現期間100年の期待値は43 m/s である。

3. 台風域内の風速分布

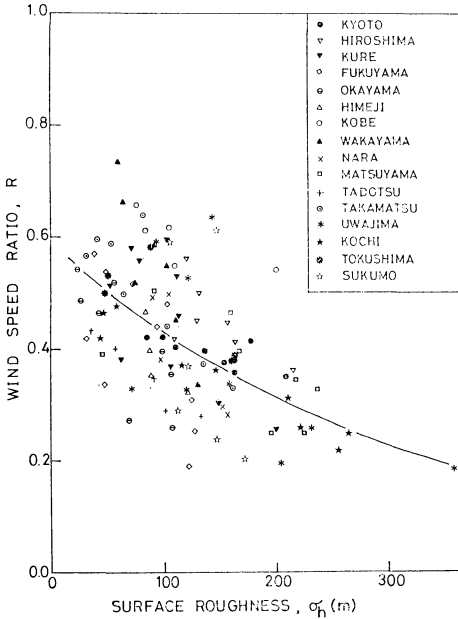
発達した台風の下層の最大風速半径の内側では、実測風速は傾度風速を超えていて、いわゆる super-gradient の風となっている。飛行機観測 (Gray and Shea, 1973)



第3図 台風7705号(上図)と7709号(下図)の傾度風速と地表風速の分布 (Mitsuta et al., 1988). 傾度風方程式の流跡線の曲率半径は、Blatonの式を用いて、流線すなわち等圧線の曲率半径で置き換えた。このために、台風の気圧場の移動の効果が現れていて、進行方向に対して右側と左側とでは風速分布に差が生じている。上側の実線は進行方向に対して右方向の分布、下側の実線は左方向の分布を表している。

の例によると、900 mb では、最大風速半径より25海里内側で傾度風速を25%も上回っていた。Mitsuta et al. (1988)は南西諸島を襲った2個の発達した台風7705号と7709号の気圧場を解析した。その結果、第3図に示すように、やはり最大風速半径の内側で地表風速は傾度風速に近づき、これを超えているところもあった。このように、super-gradient あるいはこれに近い風が吹いているという事実は、防災計画の立案にあたって、傾度風速から地表風速を予測しようとする場合に十分に注意をしなければならないことである。

次に、周囲の地形の影響が風速分布には大きく影響す

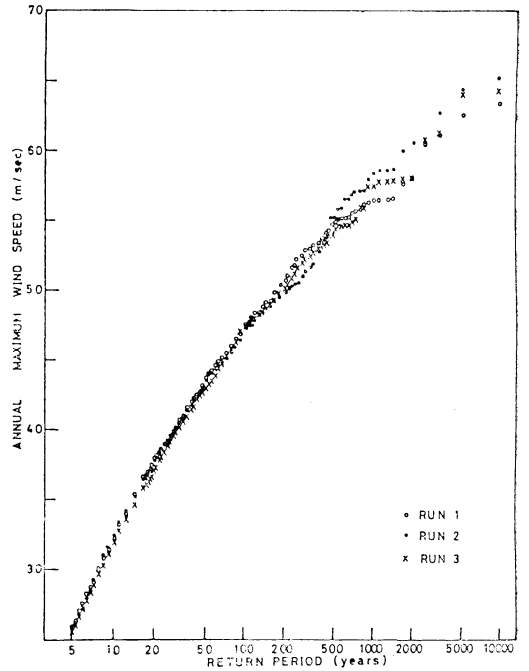


第4図 風上方向の距離30 km 以内の地表面の高度の標準偏差 σ_h (m)と台風域内の気圧場の解析から求めた傾度風速に対する実測地表風速の比 R の関係(Mitsuta and Fujii, 1987).

る。地表面の凹凸のパラメーター化の一つの試みとして、風上方向の標高の標準偏差 σ_h で表してみた(Mitsuta and Fujii, 1987)。 σ_h を求めるさいには、地点に近い標高ほど重視する weight を掛けた。地表風速と傾度風速の比 R (=地表風速/傾度風速)を σ_h と対比させると、第4図のようになる。かなりのばらつきがあるが、 σ_h の増加とともに R は減少する傾向があり、指数的に減少するとして回帰式で近似してみると、 $\sigma_h=50$ m で $R=0.5$ 、 $\sigma_h=100$ m で $R=0.4$ 、 $\sigma_h=200$ で $R=0.3$ 程度となっている。

4. 本土上陸後の台風の確率モデルによるシミュレーション

われわれの研究グループは、防災計画の立案への利用を目的として、台風の確率モデルを作成し、シミュレーションを試みた。確率モデル作成の資料としたのは、1951~84年の34年間に本土に上陸した49個の顕著台風(上陸時の中心気圧980 mb 以下)である。等圧線が同心円状に分布していると仮定し、気象官署の海面気圧の毎時観測資料を用いて、半径方向の気圧分布を Schloemer



第5図 明石海峡における海上風速の再現期待値。乱数列の異なった3種類のシミュレーションを行ったが、再現期間200年以下では乱数列による差はほとんどない(Mitsuta and Fujii, 1986b)。

(1954) の式で近似した。九州から関東地方までの太平洋と東シナ海の沿岸地帯を3地域に分け、上陸地域ごとに気圧場の解析結果の統計をとり、本土に上陸する台風の確率モデルを作成した(Mitsuta and Fujii, 1986a)。地域別年間上陸数は Poisson 分布で近似し、上陸時の Δp 、 r_m 、進行速度、進行方向は log-normal 分布で近似した。上陸後の時間変化については、 Δp のみ指数関数で表し、他の要素は上陸時の値が保持されるとした。このモデルを用いて、日本本土に上陸する台風の経路と気圧分布のシミュレーションを試みた(Mitsuta and Fujii, 1986b)。

シミュレートした気圧分布とバラスする傾度風速から複雑な地形の場所における陸上の風を推算するには、大気境界層内の風速の鉛直分布、複雑な地形の効果、台風の最大風速半径の内側の super-gradient wind などの問題がある。まず、われわれは、super-gradient wind だけを考慮して、 R の値が、半径 $0.5 r_m$ において最大値1.2となる分布を考えて、海上の風として求め、風速の

再現期待値を試算した。

明石海峡において、海上風として、試算した例を第5図に示す。最大級の台風の強度域が通過する頻度が極めて小さいために、100年程度の再現期待値において乱数列の取り方による差が現れないようにするには、10000年程度の長期間にわたってのシミュレーションが必要であった。再現期間200年に対する年最大風速の期待値は50 m/s, 100年では47 m/s, 50年では43 m/sである。

5. 南方海域における台風のシミュレーション

最近、波浪の予測などへの適用を目的として、本土南方海域において台風の確率モデルの作成し、 Δp と経路のシミュレーションを試みた (Fuji and Mitsuta, 1989)。対象とした領域は、北緯23度と43度の緯線、東経123度と147度の経線で囲まれたおよそ2000 km 四方の領域である。この領域を1951年から83年までの33年間に通過した台風のうち、域内での最低中心気圧が980 mb以下の255個の台風を資料とした。中心の位置と中心気圧は、気象要覧に基づいた、また、領域は緯度2度、経度4度のボックスに分けて、ボックスごとに統計をとった。

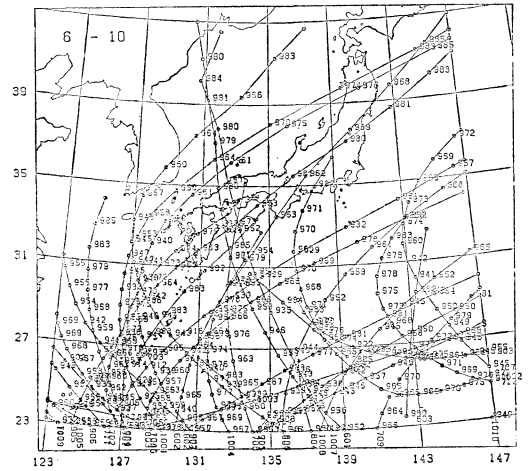
年間台風発現数はポアソン分布で表し、乱数により再現させた。個々の台風の初期位置、 Δp と進行速度の初期値は、進入位置や域内の発生位置の確率分布にしたがって、乱数により発現させた。

Δp の変化について、6時間前からの値と6時間後までの値の間の相関はあまりよくなかった。そこで、 Δp の時間変化率については、前の時間帯とは独立に、乱数を用いて確率的に決めることにした。

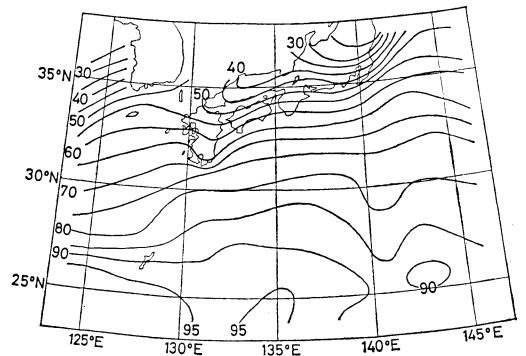
一方、進行速度の東西と南北の各成分については、前6時間のと後6時間の値の間で、それぞれ相関がかなりよい(ほとんどのボックスで相関係数が0.8以上)。そこで、各成分について、6時間前からの進行速度から6時間後までの進行速度を予測する回帰式を作成し、進行速度の時間変化を求めることにした。

5年間にシミュレートした台風の経路と中心気圧の例を第6図に示す。本土南方海域において、台風の進行方向が北西から北東へと転向する放物線状の経路をシミュレートすることができた。

本土に上陸した台風のシミュレーションの場合と同様に、10000年間にわたってシミュレーションを行った。そして、 Δp の年最大値の再現期待値の地理的分布を求め、本土に上陸した台風の Δp の再現期待値の分布と結



第6図 5年間にシミュレートした台風の経路と中心気圧。シミュレーションは中心気圧が980 mb以下に達した後985 mb以上に上昇するまで行った。

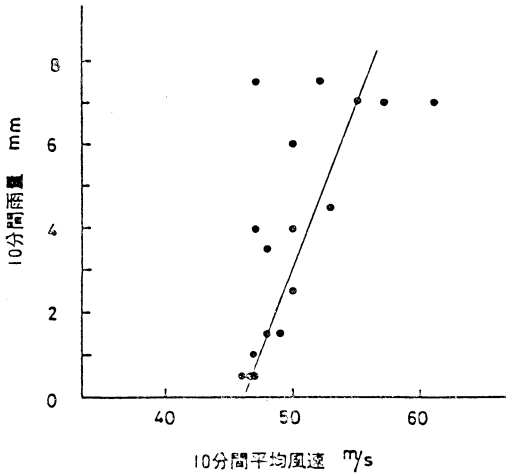


第7図 Δp (mb)の再現期待値の分布。日本本土上陸後と本土南方海域における2種類の台風の確率モデルによるシミュレーションの結果を合成した。

合させた。第7図は半径50 km以内を通過する台風の再現期間50年の Δp の分布である。23°Nあたりでは100 mbに近いが、本土南岸では45~70 mbである。これは、対象とする場所付近を通過する台風の強さと頻度の目安として各方面の防災計画において利用することができる。

6. 強風による雨水の室内への侵入の問題

最後に、強風による被害の問題の一つとして雨水の水



第8図 第2宮古島台風の eye wall 付近の通過(1966年9月5日7~10時)のさいに宮古島地方気象台で観測された10分間平均風速と同時の10分間雨量との間の関係(光田, 1986).

内への侵入(光田, 1986)について述べる。第8図は、1966年9月5日に第2宮古島台風の eye wall が通過しているときの、宮古島での10分間平均風速と同時の10分間雨量を対比させたものである。風速と雨量の間には、正の相関がある。したがって、台風の eye wall が通過して風が強いときには、雨も激しくて、建物の窓や壁に強く打ちつける。その量は水平面の雨量に対して単位面積当たり数倍にもなることがある。水はけが悪いと、サッといえども完全ではなくて、雨水は強い風圧によって隙間から室内に侵入し、部屋の中が水浸しとなることがある。とくに、高層住宅が増加した近年では、このような被害が発生する可能性が高くなっている。

7. おわりに

われわれの研究グループが開発を進めている台風の確率モデルによる強風のシミュレーションは、現在、4pの年最大値の再現期待値の地理的分布を作成したまでである。さらに、シミュレートした台風の傾度風速から海上風速への換算は、比較的容易に開発できるものと思われる。しかし、複雑な地形の陸上の風を推算するには解決すべきさまざまな問題がある。現在、われわれは、地形を単純な形で表現し、地表風と傾度風との関係が地形によってどのように変化するかについて統計的に

調べて、これを利用することを考えている。

参考文献

- Batts, M.E., M.R. Cordes, L.R. Russell, J.R. Shaver, and E. Simiu, 1980: Hurricane wind speeds in the U.S.A., NBS Building Science Series 124, Nat. Bur. of Standards, Washington.
- Fujii, T. and Y. Mitsuta, 1989: Simulation by a stochastic model of typhoon hitting Japan, Proc. Japan-China (Taipei) Joint Seminar on Natural Hazard Mitigation, Kyoto, Japan, 225-234.
- Georgiou, P.N., A.G. Davenport and B.J. Vickery, 1983: Design wind speeds in regions dominated by tropical cyclones, J. Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 13, 139-152.
- Gray, W.M. and D.J. Shea, 1973: The hurricane's inner core region, II. Thermal stability and dynamic characteristics, J. Atmos. Sci., 30, 1565-1576.
- 阪神高速道路公団, 1984: 阪神高速道路の耐風設計に関する報告書, 第3編, 風荷重分科会報告(別冊-2), 9-32.
- 気象庁, 1971: 日本各地の年最大風速(1929-1966), 順位と出現確率, 気象庁観測技術資料, 34, 61-73.
- 気象庁, 1982: 日本気候表その3, おもな気象要素についての極値と順位(観測開始から1980年まで), 気象庁, 96-157.
- 光田 寧, 1986: 都市と気象災害, 都市の変容と自然災害, 日本学術振興会, 35-49.
- Mitsuta, Y. and T. Fujii, 1986a: Analysis of typhoon pressure patterns over Japanese Islands (II), Natural Disaster Science, 8, 19-28.
- , and ———, 1986b: Synthesis of typhoon wind patterns by numerical simulation, Natural Disaster Science, 8, 49-61.
- , and ———, 1987: Analysis and synthesis of typhoon wind pattern over Japan, Bull. Disaster Prevention Res. Ins., Kyoto University, 37, 169-185.
- , T. Suenobu and T. Fujii, 1988: Super-gradient surface wind in the eye of a typhoon, J. Meteor. Soc. Japan, 66, 505-508.
- Schloemer, R.W., 1954: Analysis and synthesis of hurricane wind patterns over Lake Okeechobee, Florida, Hydrometeorological Report, 31, 1-49.
- Tryggvason, B.V., D. Surry and A.G. Davenport, 1976: Predicting wind-induced response in hurricane zones, J. Structural Division, ASCE, 102, 2333-2350.