

## 台風風の風速と被害との関係について

光田 寧・藤井 健

### A RELATION OF TYPHOON WINDS TO DISASTERS

By Yasushi MITSUTA and Takeshi FUJII

#### Synopsis

The basic surface wind was computed from the gradient wind with modifications by typhoon translation and supergradient wind inside the eye. For the data of Typhoon 9119 (MIREILLE), a good relationship between the maximum basic surface wind speed and the rate of wooden house damages was obtained with the correlation coefficient of 0.91. Using this method, a hindcast of wind damages of Typhoon 9019 (FLO) was executed and a significant result was obtained. The basic surface wind was also related well to the rate of electric pole damages by Typhoon 9119 with the correlation coefficient of 0.54. Therefore, the basic surface wind is considered to be valuable for the prediction of disasters by severe winds in typhoons hitting Japan. In the near future, two methods for prediction of damages by high wind in typhoons will be developed. One of the methods can be used for the prediction of wind disasters at the real time, and the other for the prediction of disasters expected in such a long period as 100 years for design purpose.

#### 1. はじめに

1959年の伊勢湾台風、1961年の第二室戸台風以来30年間ほどは、あまり強い台風がわが国を襲って来なかった。しかし、1991年の台風19号は非常に強い風を伴ったものであり、全壊1,056棟、半壊13,482棟、一部損壊665,616棟という近年にはない甚大な住家の被害を引き起こした。この被害に対して火災保険により支払われた補償額は5,675億円<sup>1)</sup>に達した。米国においても、強いハリケーンによる家屋の被害への保険による補償額は、1989年のHurricane HUGOのさいは43億ドル、1992年のHurricane ANDREWのさいは165億ドルに達している<sup>1)</sup>。このように、強い熱帯低気圧の強風による家屋の被害は近年急激に増加する傾向があり、わが国でも、台風の強風による災害を定量的に予測する方法を緊急に確立する必要がある。

そこで、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として、本論文では次のような解析を試みた。まず、1991年の台風19号(9119号)について、気圧分布について客観解析を行い、これから求めた地表風速と木造住宅の被害の割合との関係について調べ、風速から住宅被害を予測する式を作成した。また、台風9119号のさいの配電柱の被害と推算した風速との間の定量的関係についても調べた。

#### 2. 気圧場の解析と基本地表風速の算出

著者らは、日本本土を襲う台風の気圧場について、Schloemerの気圧分布式<sup>2)</sup>

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

についても、台風の中心位置、中心気圧  $p_c$ 、中心気圧低下量  $\Delta p$ 、最大旋衡風速半径  $r_m$  を客観的に解析する方法を開発した<sup>3),4)</sup>。なお、この式で、 $p$  は中心からの距離  $r$  における気圧である。

また、この式にもう一つパラメーターを加えた Holland による拡張式<sup>5)</sup>についても、近年に日本本土を襲った強い台風である台風 9119 号、9313 号および 9426 号の3個の台風について気圧場の解析を試みた。その結果、これらの台風の気圧場についても、Holland の式を用いなくても、Schloemer の式でほぼ近似できることが判った<sup>6)</sup>。

しかしながら、ここに示した台風の気圧場の客観解析法は、台風が上陸するより前の中心付近で気圧の観測データが欠乏している場合には、妥当な解析結果が得られないことがある。台風 9119 号について、沖縄県から北海道に至るまでの全土にわたって風速を計算する場合、南西諸島付近海上や日本海を通過している時間帯は中心付近に観測データが存在しない。そのような場合には、次のような方法で気圧分布を決定することにした。

すなわち、台風の中心の位置については、気象要覧によった。また、台風域内の気圧分布を決定するパラメーターのうち、中心気圧  $p_c$  は気象要覧に基づき、周辺気圧は 1008hPa とした。なお、毎時の位置と中心気圧については、前後の時刻の値から内挿により求めた。

中心と周辺の気圧分布形については、Schloemer の式で表すことにし、客観解析により最大旋衡風速半径  $r_m$  を求めた。

このようにして求めた気圧場とバランスする風として、傾度風方程式

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

を用いて、傾度風速  $V_{gr}$  を算出した。なお、 $r_i$  は流跡線の曲率半径、 $f$  は Coriolis parameter、 $\rho$  は空気密度である。

この式で、気圧場の移動に伴う風速分布の左右非対称性を考慮するために、 $r_i$  については、Blaton の式<sup>7)</sup>

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

により、等圧線の曲率半径で置き換えた。この式で、 $C$  は気圧場の移動速度、 $\theta$  は台風の中心と地点を結ぶ半径が進行方向に対してなす角であり、時計回りを正とする。

このようにして算出した傾度風速には、ある比率を掛けて地表風速に換算することにした。この比率は、Fig. 1 に示すように、最大風速半径  $x = 1.0$  より外側では一定 (= 0.5) 値をとり、内側では地表風速が super-gradient となる特性を考慮に入れて増加させてある。この増加の程度は  $\Delta p$  の値が大きいほど大きくなる。ただし、この補正は、地表面の複雑な起伏や粗度の違いを考慮に入れたものではなく、日本本土の平均的な地表面粗度に対応するものである。そこで、この風速を基本地表風速と呼ぶことにする。

各地の基本地表風速の最大値と気象官署で観測された 10 分間平均最大風速および最大瞬間風速との関係を示すと、Fig. 2 のようになる。相関係数を求めると、10 分間平均最大風速に対しては 0.56 であり、最大瞬間風速に対しては 0.72 であり、基本地表風速は最大瞬間

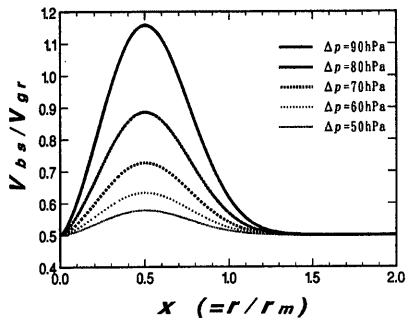


Fig. 1 Radial distribution of the ratio of the basic surface wind speed,  $V_{bs}$ , to the gradient wind speed,  $V_{gr}$

風速の方が相関がよい。なお、このように大きいばらつきがあるのは、風の観測点の周囲の環境がいろいろと異なったものが混じっていることと風速計高度が10 m から 95 m (広島) と一定ではないことによる。

### 3. 基本地表風速と住家の被害との関係

基本地表風速の市区町村別最大値と地方自治体の集計による住家全半壊率との関係を見てみると、Fig. 3 のようになる。相関係数を求めると0.38で、全半壊率との相関はあまりよくない。

住家の被害率を表すものとしては、全半壊率の他に火災保険の支払い率(罹災率と呼ぶことにする)がある。全半壊率は被害者の申告等に基づくものであり、被害者の主観が入っているものと思われる。これに対して、罹災率は、全半壊率よりもはるかに客観的な基準に基づく調査員の綿密な調査によるもので、免責額は200,000円である。したがって、木造住宅罹災率は、住家の被害の割合を表すために全半壊率よりもはるかに信頼がおける資料である。これと最大基本地表風速との関係について調べてみた。

市区郡別に基本地表風速を算出し、その最大値と木造住宅罹災率との間の関係を示すと、Fig. 4 のようになる。風速とともに罹災率は急激に増加していて、両者の対数値の相関係数を求めると0.91と極めてよい関係にある。罹災率は、風速が $20 \text{ ms}^{-1}$ で0.1~3%、 $30 \text{ ms}^{-1}$ で5~20%となっている。最大基本地表風速 $V_{bs}$ と罹災率 $D$ の関係について回帰式を求めると、

$$D = 1.18 \times 10^{-10} V_{bs}^{7.5} \dots\dots\dots (4)$$

となり、罹災率は風速の7.5乗に比例して増加している。

この回帰式を用いて、市区郡別の木造住宅罹災率を計算し、実績値と比較してみると、Fig. 5 のようになる。両者の対数値の相関係数は0.83で、罹災率の計算値は実績値とよく一致している。

次に、この回帰式その他への有効性を検証するために、独立な資料として、台風9019号について罹災率を算出し、実績値と比較してみた。すなわち、台風9119号の場合と同様にして、気圧場の客観解析を行い、市区郡別に基本地表風速を算出した。この最大値から罹災率を求め、都道府県別に平均して、罹災率の実績値のそれと比較してみるとFig. 6 のようになる。これによると、被害が顕著であった三重、和歌山、愛知、

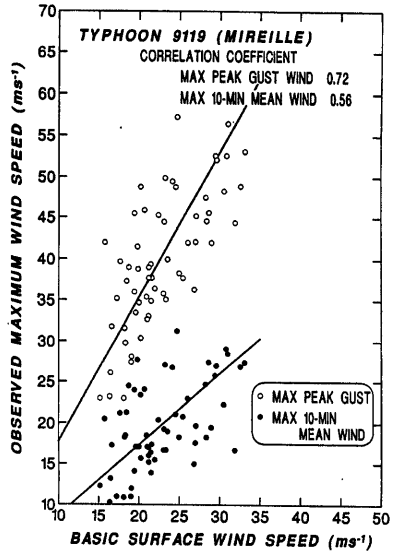


Fig. 2 Comparison of the maximum basic surface wind speed with the maximum peak gust speed and the maximum 10-minute mean wind speed observed at the weather stations of Japan Meteorological Agency in Typhoon 9119 (MIREILLE)

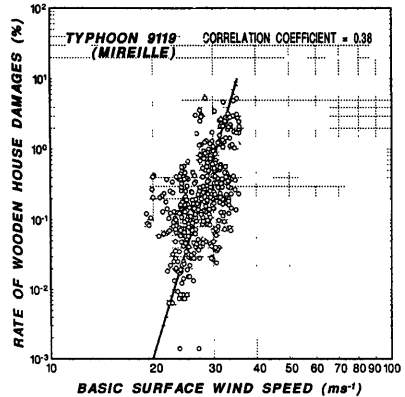


Fig. 3 The relation between the maximum basic surface wind speed and the rate of completely and partially destroyed wooden houses in Typhoon 9119 (MIREILLE)

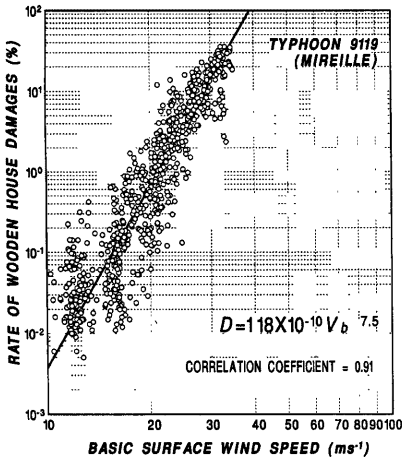


Fig. 4 The relation between the maximum basic wind speed and the rate of number of house damages with insurance payment (frequency of loss occurrences) in Typhoon 9119 (MIREILLE)

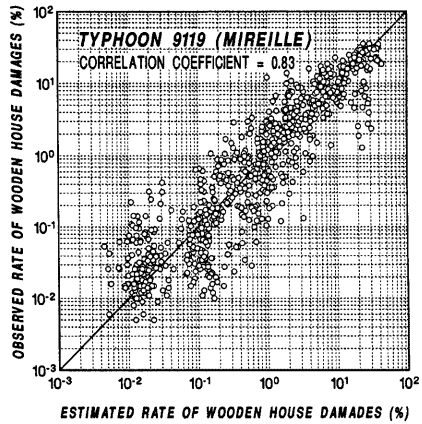


Fig. 5 The relation between the computed and observed rates of number of house damages in Typhoon 9119 (MIREILLE)

鹿児島県の4県では計算値と実績値がほぼ一致している。両者の対数値の相関係数を求めると0.91となり、別の台風でもこの式が適用できることが確認できた。したがって、日本を襲う台風について、気圧場の客観解析の結果から基本地表風速を算出し、上記の回帰式により罹災率を計算すれば、台風の強風による木造住宅の被害の割合がかなりの精度で予測できるものと考えられる。

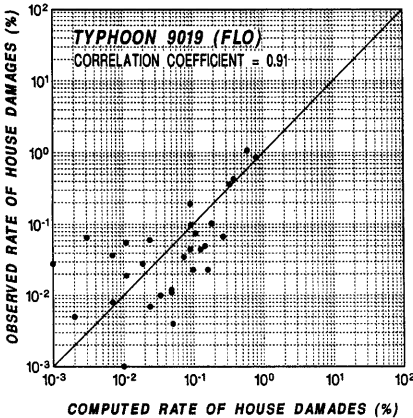


Fig. 6 The relation between the computed and observed rates of number of house damages averaged over a prefecture in Typhoon 9019 (FLO)

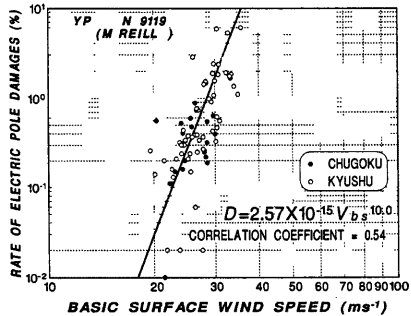


Fig. 7 The relation between the maximum basic surface wind speed and the rate of number of electric pole damages in Typhoon 9119 (MIREILLE)

#### 4. 風速と配電柱被害との関係

配電柱の被害の資料を中国電力と九州電力から提供を受け、最大基本地表風速との関係について調べてみた。

中国電力管轄域では、山口県の被害が最大で2014本（総本数の0.73%）である。種類別では、傾斜が最も多いが、折損も少なくなく、倒壊も含めて被害の46%にも達している。広島県でも、倒壊、折損は51%に及んでいる。

営業所別に総本数に対する被害本数の割合を被害率と定義し、最大基本地表風速との関係を調べてみると、Fig. 7 ようになる。被害率と風速の両者の対数値の相関係数は0.54とあまりよくないが、風速の増大とともに被害率は増加している。図では、中国地方と九州地方と分けてプロットしてあるが、地方別の差はほとんど見られない。風速が $30 \text{ ms}^{-1}$ を超えると0.3%以上、 $35 \text{ ms}^{-1}$ を超えると1%以上の被害が出る営業所が現れている。

#### 5. おわりに

気圧場から推算した地表風速と罹災率の間にはかなりよい関係が得られ、台風による風災害の定量的予測について一応の目安がついた。そこで、今後、台風による風災害予測について、次の2種の方法の開発を行う。これらのいずれの方法においても、台風の経路と中心気圧の再現には、過去の台風の資料に基づいて作成した確率モデルを利用する<sup>8),9),10)</sup>。

##### (1) 実時間における風災害の予測

台風が南方から接近しつつあるときに、実時間で各地の罹災率の予測に利用するものである。実時間で送られてくる気象官署における気圧の観測データの客観解析により台風の位置と気圧分布を決定する。ここを初期位置として、今後の進路と中心気圧の変化を確率モデルにより再現し、各地の基本地表風速を計算して、罹災率を予測する。進路と中心気圧の変化の予測を、乱数列を変えて100回程度繰り返すことにより、ある値以上の罹災率が出現する確率を予測することができる。この方法のうちで、確率モデルによる進路と中心気圧の予測法については、すでに完成してある<sup>8)</sup>。

##### (2) 長期間における風災害の頻度の予測

今後100年間くらいの期間における各地の罹災率の最大値を予測することは、長期の防災計画を立てるに当たって重要な課題である。これは、台風の年間個数と初期位置を確率的に発現させ、確率モデルにより日本本土南方海域から進路と中心気圧のシミュレーションを行うことにより推定できる<sup>9),10),11)</sup>。

最後に、本研究に協力していただいた損害保険料率算定会、中国電力、および九州電力に対して厚く感謝の意を表したい。

#### 参考文献

- 1) 川口 正明：風害と損害保険。日本風工学会誌，第64号，1995，pp.49-59.
- 2) Schloemer, R. W. : Analysis and synthesis of hurricane wind patterns over Lake Okeechobee, Florida. Hydrometeorological Report, USWB, No. 31, 1954, 49pp.
- 3) 藤井 健：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，自然科学系列第4号，1974，pp.77-90.
- 4) Mitsuta, Y. T. Fujii and K. Kawahira : Analysis of typhoon pressure patterns over Japanese Islands. Natural Disaster Science, 1979, pp.3-19.
- 5) Holland, G. J. : An analytic method of the wind and pressure in hurricanes. Mon. Wea. Rev., Vol.

- 108, pp.1212-1218.
- 6) 藤井 健・光田 寧：台風の気圧分布形について. 京都大学防災研究所年報, 第38号B-1, 1995, pp.101-116.
  - 7) Holmboe, J. G., E. Forsythe and W. Gustin : Dynamic meteorology. John Wiley and Sons Inc., 1945, pp.207-209.
  - 8) 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—海上風の予測—. 自然災害科学, Vol. 11, No. 3, 1992, pp.125-144.
  - 9) 光田 寧・藤井 健：日本南方洋上における台風の確率モデルの作成. 京都大学防災研究所年報, 第32号B-1, 1989, pp.335-348.
  - 10) 藤井 健・光田 寧：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. 京都大学防災研究所年報, 第29号B-1, 1986, pp.229-239.
  - 11) Mitsuta, Y. and T. Fujii : Synthesis of typhoon wind patterns by numerical simulation. Natural Disaster Science, Vol. 8, -No. 2, 1986, pp.49-61.