

# 降雨を伴う風速の再現期待値

Annual Maximum Wind Speed with Rainfall for Various Return Period

村上周三\*・森川泰成\*\*・岩佐義輝\*\*\*・茅野紀子\*\*\*

Shuzo MURAKAMI, Yasushige MORIKAWA, Yoshiteru IWASA and Noriko CHINO

全国の代表的な6都市における1961~1980年の風雨の観測資料より、降雨時の年最大風速を抽出し、風と降雨が同時に生じる場合の、風速の再現期待値を極値統計理論により推定する。

## 1. はじめに

本研究は、全国の代表的な6都市に対して、降雨時の年最大風速の再現期待値を求めたものである。風雨の同時性に関する既存の資料としては、1953~1962年の10年間の観測資料により降雨を伴う風速の出現頻度を全国の20の都市について整理したものが<sup>1)</sup>ある。一方、風速だけについては50~100年程度の再現期待値を推定した資料<sup>2)3)4)</sup>等がいくつか発表されている。しかし降雨時に限った風速の再現期待値が検討された例はいまだ見られない。本研究ではこのような現状に鑑み、札幌、仙台、東京、名古屋、大阪、福岡の各管区気象台における1961~1980年の20年間の気象観測資料より、各地域の降雨時における風速の再現期待値を極値統計理論により推定したものである。

本研究結果は建築構法、耐風構造の分野における有意義な設計資料となるばかりでなく、各地域の風環境問題解明のための基礎資料となり得るものである。

[本文中における記号の説明]

$V$ ; 降雨時の年最大風速 (m/s)

$F(V)$ ; 確率分布関数 (非超過確率)

$T$ ; 再現期間 (年)

$V_T$ ; 風速の  $T$  年再現期待値 (m/s)

$y$ ; 規準極値変量 ただし  $y = -\ln(-\ln F(V))$

(3), (4)式参照

$N$ ; 標本数 本研究では  $N=20$

$H$ ; 1時間降水量 (mm)

$m_y$ ; 規準極値変量  $y$  の母平均

$\sigma_y$ ; 規準極値変量  $y$  の母標準偏差

$m_V$ ; 確率変数  $V$  の母平均

$\sigma_V$ ; 確率変数  $V$  の母標準偏差

$\bar{y}$ ; 規準極値変量  $y$  の標本平均

$S_y$ ; 規準極値変量  $y$  の標本標準偏差

$\bar{V}$ ; 確率変数  $V$  の標本平均

$S_V$ ; 確率変数  $V$  の標本標準偏差

## 2. 風速の再現期待値の推定方法

### 2.1 風速の再現期待値

風速  $V_T$  以上の風が平均的にみて  $T$  年に一度の割合で起こると期待される時、この  $T$  年を風速  $V_T$  に対する再現期間 (Return Period) といい、 $V_T$  を風速の  $T$  年再現期待値という。

年最大風速を  $V$ 、その確率分布関数を  $F(V)$  とすれば、ある年の最大風速が  $V_T$  を超える確率 (超過確率) は

$$P_{\text{ob}}(V > V_T) = 1 - F(V_T) \quad (1)$$

で表され、超過確率と再現期間  $T$  の関係は

$$1 - F(V_T) = 1/T \quad (2)$$

で表される。すなわち、確率分布関数  $F(V)$  が確定すれば、(2)式により風速の  $T$  年再現期待値が得られる。したがって、風速の再現期待値を求めるには確率分布関数  $F(V)$  を決定すればよい。

### 2.2 年最大風速の分布

#### (1) 極値分布

極値統計理論によれば、極値(最大値あるいは最小値)の分布は、標本数の増大に伴って特定の極限形式に漸近する。<sup>5)6)</sup> この極限形式には3種類あり、実用的には次の二重指数分布にまとめて表すことができる。

$$F(V) = \exp(-e^{-y}) \quad (3)$$

または

$$y = -\ln(-\ln F(V)) \quad (4)$$

ここでは  $y$  は規準極値変量と呼ばれ、3種類の分布形に応じて次のように表される。

i) Gumbel 分布 (Fisher-Tippett の I 型極値分布)

$$y = a(V - b) \quad (-\infty < V < \infty) \quad (5)$$

ii) 対数極値分布 A 型 (Fisher-Tippett の II 型極値分布)

$$y = K \ln((V+c)/(V_0+c)) \quad (K > 0, -c < V < \infty) \quad (6)$$

iii) 対数極値分布 B 型 (Fisher-Tippett の III 型極値

\* 東京大学生産技術研究所 付属計測技術開発センター, 第5部

\*\* 東京大学大学院

\*\*\* KK 竹中工務店 技術研究所

分布)

$$y = K \ln((u - V_0)/(u - V)) \quad (K > 0, -\infty < V < u) \quad (7)$$

ただし  $V$ ; 確率変数, ここでは降雨時の年最大風速  $a, b, c, K, u, V_0$ ; 分布形を定める定数

年最大風速の分布形に関しては, 種々の議論がなされているが, Gumbel 分布が最も多く用いられている.<sup>24)</sup> 本研究においても, 二重指数確率紙にプロットされたデータの性状は Gumbel 分布に最もよく適合しており, 降雨を伴う風速の再現期待値の推定は, 年最大風速の分布が Gumbel 分布に従うと仮定して行った.

(2) 標本値のプロット

標本値を二重指数確率紙にプロットするには, a) 標本値を大きさの順に並べ換え, 大きい順に  $x_1, x_2, \dots, x_i \dots x_N$  ( $N$  は標本数) とし, b) 大きい方から  $i$  番目の値  $x_i$  に対する非超過確率  $F_i$  を求める.

非超過確率を求めるには, 主として次の方法が用いられる.

- i) ヘイズプロット  $F_i = 1 - (2i - 1)/2N$  (8)
- ii) トーマスプロット  $F_i = 1 - i/(N + 1)$  (9)
- iii) カリフォルニア法  $F_i = 1 - i/N$  (10)

菊地原<sup>2)</sup> は年最大風速に関してこれらの方法について比較検討した結果, ヘイズプロットが最も適当であると述べており, 本研究においても, ヘイズプロットを用いた. (表1参照)

(3) Gumbel 分布の分布形を定める定数の算定法

前述のように, Gumbel 分布の確率分布関数は次式で表される.

$$F(V) = \exp(-e^{-y}) \quad (11)$$

ここで

$$y = a(V - b) \quad (12)$$

ただし, ここで  $a$  は分散の程度を表す定数で  $b$  はモードの位置を表す定数である. この両者の定数を決定すれば確率分布関数  $F(V)$  が確定する. 規準極値変数  $y$  と確率変数  $V$  の母平均をそれぞれ  $m_y, m_v$  また母標準偏差をそれぞれ  $\sigma_y, \sigma_v$  とすれば, (12)式に含まれる定数  $a, b$  は次式で表される<sup>5)</sup>.

$$a = \sigma_y / \sigma_v \quad b = m_v - m_y / a \quad (13)$$

ここで  $m_y, \sigma_y$  は次の値をもつ<sup>5)</sup>.

$$m_y = r = 0.5772 \text{ (オイラー定数)}, \quad \sigma_y = \pi / \sqrt{6} = 1.283 \quad (14)$$

$N$  個の年最大風速  $V_1, V_2, \dots, V_N$  ( $N$ ; 標本数) が得られたときに, これらの分布に Gumbel 分布をあてはめる方法としては, 主として

- (i) Gumbel の積率法,
- (ii) Gumbel の最小二乗法

が用いられる. (13), (14)式は  $N$  が無限大の場合に成り立つ式であり,  $N$  が有限個の場合(13), (14)式を使う

表 1 年最大風速の順位表 (単位 m/s) (1961~1980 東京)

順位	非超過確率 $F_i$	1 時間降水量 (mm 以上)						
		5mm	7mm	11mm	21mm	31mm	41mm	51mm
1	0.9750	14.8	14.8	14.1	11.1	11.1	6.6	6.5
2	0.9250	14.1	14.1	13.3	10.9	10.9	6.5	4.9
3	0.8750	13.3	13.3	11.6	8.8	6.5	4.9	3.4
4	0.8250	12.8	11.6	11.1	8.3	5.9	4.7	—
5	0.7750	12.8	11.2	9.5	7.3	4.9	4.6	—
6	0.7250	11.6	11.1	8.3	6.6	4.7	3.4	—
7	0.6750	11.2	10.4	7.7	6.5	4.6	2.6	—
8	0.6250	11.1	8.3	7.7	5.8	3.4	—	—
9	0.5750	9.8	7.7	7.5	5.0	3.2	—	—
10	0.5250	8.8	7.6	7.5	5.0	2.9	—	—
11	0.4750	7.9	7.5	7.3	4.9	2.1	—	—
12	0.4250	7.7	7.5	7.3	4.7	2.1	—	—
13	0.3750	7.7	7.5	6.9	4.6	1.4	—	—
14	0.3250	7.6	6.3	6.3	4.3	—	—	—
15	0.2750	7.5	6.3	5.8	4.2	—	—	—
16	0.2250	7.5	5.6	5.6	3.7	—	—	—
17	0.1750	6.3	5.0	5.0	3.5	—	—	—
18	0.1250	6.3	4.9	4.9	1.8	—	—	—
19	0.0750	5.6	4.8	4.8	—	—	—	—
20	0.0250	5.6	4.3	3.6	—	—	—	—

表中の風速値は, 地上高さ10mに換算された年最大風速である. 非超過確率  $F_i$  は, ヘイズプロット  $F_i = 1 - (2i - 1)/2N$  により求めた.

ことはできない. このような場合, (13)式の  $m_v, \sigma_v$  のかわりに, それぞれ  $\bar{V}$  (確率変数  $V$  の標本平均),  $S_v$  ( $V$  の標本標準偏差)をつかうしかないので,  $m_y, \sigma_y$  のかわりに何をを使うかが上記(i)(ii)の解析手法の相違点である. また本研究ではこの両者の方法以外に

(iii) 重回帰分析

を行った. これらの各々について以下に説明を行う.

(i) Gumbel の積率法 この方法は規準極値変数  $y$  の平均と標準偏差を(14)式で示す母平均  $m_y$  と母標準偏差  $\sigma_y$  に等しいとおく方法である. また, 上述のように  $m_v, \sigma_v$  をそれぞれ標本平均  $\bar{V}$ , 標本標準偏差  $S_v$  で置きかえる. 以上より(13)式は

$$\left. \begin{aligned} a &= \pi / (\sqrt{6} S_v) = 1.283 / S_v \\ b &= \bar{V} - r/a = \bar{V} - 0.450 S_v \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

となる

ただし

$$\bar{V} = 1/N \sum_{i=1}^N V_i \quad (16)$$

$$S_v = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (V_i - \bar{V})^2} \quad (17)$$

この方法では定数  $a, b$  が標本平均 ( $\bar{V}$ ; 1次モーメント) と標本標準偏差 ( $S_v$ ; 2次モーメント) で表される. このような方法を Gumbel の積率法とよぶ. (17)式に示

すように標本標準偏差 ( $S_V$ ) については、菊地原<sup>7)</sup>に従い、標本数  $N$  を  $N-1$  におきかえ、偏りを補正している。

(ii) Gumbel の最小二乗法 前述の Gumbel の積率法では  $y$  の平均と標準偏差を標本数  $N$  が無限大の場合に得られる値  $m_y, \sigma_y$  にそれぞれおきかえたが (15) 式参照), Gumbel の最小二乗法では  $m_y, \sigma_y$  のかわりに  $N$  個の標本による  $y$  の標本平均値  $\bar{y}$ , 標本標準偏差  $S_y$  を用いる。すなわち、

$$\bar{y} = 1/N \sum_{i=1}^N y_i \quad (18)$$

$$S_y = \sqrt{1/N \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \quad (19)$$

ただし  $y_i$  は次式より得られる。

$$y_i = -\ln(-\ln F_i) \quad (20)$$

また、 $m_y, \sigma_y$  は Gumbel の積率法と同様に標本平均  $\bar{V}$ , 標本標準偏差  $S_V$  でおきかえる。以上より (13) 式は、

$$\left. \begin{aligned} a &= S_y/S_V \\ b &= \bar{V} - \bar{y}/a \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

となる。

$$\text{ただし、} \bar{V} = 1/N \sum_{i=1}^N V_i \quad (22)$$

$$S_V = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (V_i - \bar{V})^2} \quad (23)$$

である。このようにして定数  $a, b$  を決定する方法を Gumbel の最小二乗法と呼ぶ。こうして求めた  $a, b$  は二重指数確率紙上にプロットされた  $y_i (= -\ln(-\ln F_i))$  と  $V_i$  のデータに関し、最小二乗法を用い、プロットされたデータからの垂直距離の 2 乗和が最小になるという条件で求めた回帰直線における定数  $a, b$  に等しい。本研究では降水量の階級別に年最大風速の標本を収集し、Gumbel の積率法および Gumbel の最小二乗法を用いて解析を行い両者による結果を比較した。

(iii) 重回帰分析 本研究では降水量の階級を 5 mm ~ 7 mm, 7 mm ~ 11 mm というような範囲別に分類したのではなく、5 mm 以上の場合、7 mm 以上の場合というように最低値を区切ることで階級を分類している。したがって降水量 5 mm 以上の場合の  $T$  年再現期待値が、たとえば 11 mm 以上の  $T$  年再現期待値より小さくなることはありえない。なぜなら 11 mm 以上の場合の年最大風速は 5 mm 以上の場合の年最大風速に含まれるからである。このことは 5 mm 以上、7 mm 以上…の各々に対応して二重指数確率紙上に描かれる直線は互いに交叉してはならないことを意味する。このことは全ての直線が平行となるかあるいは、降水量が大きくなるほど  $x$  切片 (規準極値変数  $y$ ) の値が大きいかつ直線の傾き ((12) 式の定数  $a$ ) が大きいことに対応するが、実際に Gumbel の積率法や Gumbel の最小二乗法で求めた結果は、標本数が小さい場合にはそのようにはならず交叉することが生じる。このような事情を考慮して本研究では、

前述の二方法以外に風速の再現期待値 ( $V$ ) を規準極値変数 ( $y$ ) と 1 時間降水量 ( $H$ ) をパラメータとして推定することを試みた。すなわち、

$$V = c_0 + c_1 y + c_2 H \quad (24)$$

ただし、 $y$ ; 規準極値変数  $H$ ; 1 時間降水量

$c_0, c_1, c_2$  は定数

をモデルとした重回帰分析を行った。これは降雨時の年最大風速 ( $V$ ) を目的変数とし、規準極値変数 ( $y$ ) と 1 時間降水量 ( $H$ ) を説明変数とした線形結合を仮定して  $V$  の推定を行うものである。すなわち、各降水量 ( $H_i$ ) ごとに  $y_i, V_i$  が求まり、 $\hat{V}_i = c_0 + c_1 y_i + c_2 H_i$  に代入して得られる推定値  $\hat{V}_i$  と実際に得られた値  $V_i$  の差の平方和  $S_e = \sum_{i=1}^N (V_i - \hat{V}_i)^2$  を最小にする  $c_0, c_1, c_2$  を最小二乗法により求めたものである。

また、 $\hat{V}_i$  と  $V_i$  の相関係数を重回帰係数とよび、あわせて算出した。このようにして求めた直線群は二重指数確率紙上で互いに平行となるため、回帰直線が交叉するという前述の矛盾を避けることができる。本研究ではこの重回帰分析の結果と、前述の二方法の結果の比較を行った。本研究による再現期待値の推定は最終的にはこの重回帰分析による結果を用いる。

### 3. 解析概要

#### 3.1 降水量および年最大風速の観測資料

使用した気象管署の観測資料は、気象庁地上気象観測日原簿である。この日原簿には降水量については毎時の 1 時間降水量、日最大 1 時間降水量 (1 時間平均値の最大値)、風速については毎時あるいは 3 時間毎 (観測地、観測年により異なる) の 10 分平均風速および日最大風速 (10 分間平均値の最大値) が記録されている。本研究では、札幌、仙台、東京、名古屋、大阪、福岡の 6 つの管区気象台における 1961~1980 年までの 20 年間の資料から、1 時間降水量の階級別年最大風速を抽出した。降水量の階級は、5 mm 以上、7 mm 以上、11 mm 以上、21 mm 以上、31 mm 以上、41 mm 以上、51 mm 以上の 7 段階に分類した。また、年最大風速を抽出する場合、降水量の観測時間と風速の観測時間が異なるため、この両者の同時性の検討が必要になる。これについては、平均風速が毎時記録されている場合には、降水量の観測時刻からの隔たりが 30 分以内の平均風速を比較し、また平均風速が 3 時間ごとに記録されている場合には、降水量の観測時間からの隔たりが 60 分以内の平均風速を比較し、これらの平均風速の最大値を各降雨時の最大風速と仮定した。このような方法により各降雨時に対応する年最大風速を抽出し、解析の母資料とした。

#### 3.2 風速値の補正について

風速の記録に関しては、観測地、観測年により風速測定器、および測定高さの変更があるため、データの不均質性を補正しなければならない。測定器の変更に関して

は、1975年に三杯型風速計から風車型自記風向風速計(エエロペーン)に切り換えられている。<sup>8)</sup>これに対する気象庁の見解は、風車型自記風向風速計は三杯型風速計に比べ風速は弱めに測定されているが、極値等の累年順位の統計に関しては有意な差は認められないというものである。<sup>9)</sup>したがって本研究においても、測定器の変更によるデータの補正は行っていない。風速の測定高さの変更に関しては、(25)式に示すように、斎藤らの既往の補正方法<sup>9)</sup>にならって、風速の鉛直分布が1/7乗則に従うと仮定し地上10mにおける風速値に換算し、不均質性を補正している。

$$V_{10} = V_z(10/z)^{1/7} \quad (25)$$

ただし、 $z$ ; 風速測定高さ(m)  $V_z$ ; 地上 $z_m$ における風速(m/s)  $V_{10}$ ; 地上10mにおける風速(m/s)

表-1に例として東京における1961~1980年の20年間の年最大風速を大きさの順にならべかえた順位表とヘイズプロットにより計算された非超過確率を示す。ここで示す風速値は上述の1/7乗則により地上10mの高さの風速に補正されたものである。本研究ではこのような表を他の5都市についても作成し、再現期待値算出の基礎資料とした。

#### 4. 解析結果

図1~図4に東京における解析結果の一部を示す。これらは降水量が5mm以上、11mm以上、31mm以上、51mm以上の4つの場合について、前述の(i)Gumbelの積率法、(ii)Gumbelの最小二乗法、(iii)、(24)式をモデルとした重回帰分析の3種類の解析結果をあわせて示し、これらの解析方法の相違が再現期待値に及ぼす影響を分析したものである。また、図中の補正係数1.09については5.2で詳しく説明する。これらより、降水量が5mm以上~11mm以上(図1~図2)の場合に関しては、これらの解析方法による推定値に大きな相違はない。すなわち、ここで新たに試みた重回帰分析による回帰推定値は従来のGumbelの積率法、Gumbelの最小二乗法による回帰推定値にほぼ等しく十分有効な手法であることがうかがえる。降水量が31mm以上~51mm以上(図3~図4)の場合のデータに関しては、相当する降雨の出現しない年もあり、この取り扱いの相違がGumbelの積率法とGumbelの最小二乗法および重回帰分析による推定値に差を生じさせている大きな原因である。すなわち、Gumbelの積率法においては、このような大量の降雨を記録しなかった年には、その年の年最大風速を0m/sと考えるべくまで標本数は $N=20$ として解析を行ったのに対し、Gumbelの最小二乗法や重回帰分析では相当する降雨の出現した年のデータに絞って解析を行った。したがって降水量が多い程相当する降雨の出現した年が少なくデータ数が少くなるため三者による解析結果の

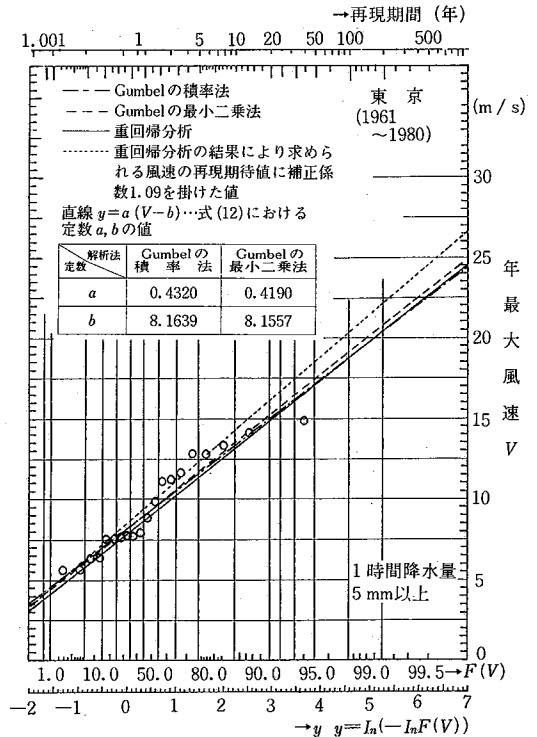


図1 1時間降水量が5mm以上の場合の年最大風速の分布(1961~1980東京)

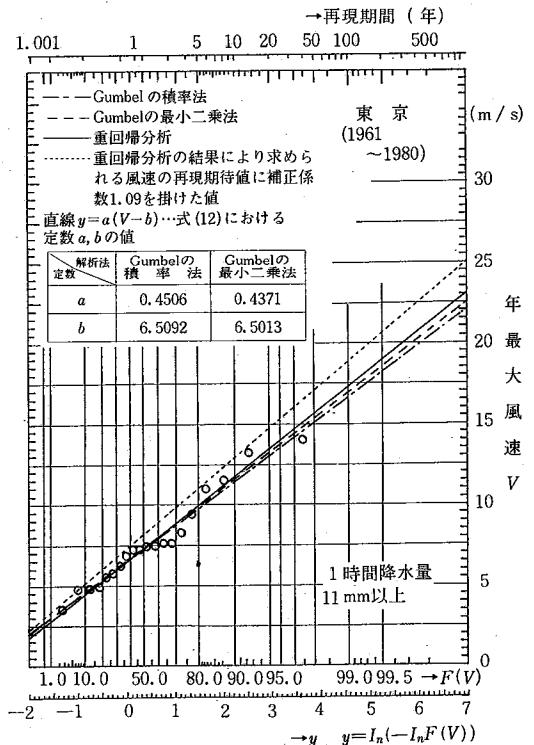


図2 1時間降水量が11mm以上の場合の年最大風速の分布(1961~1980東京)

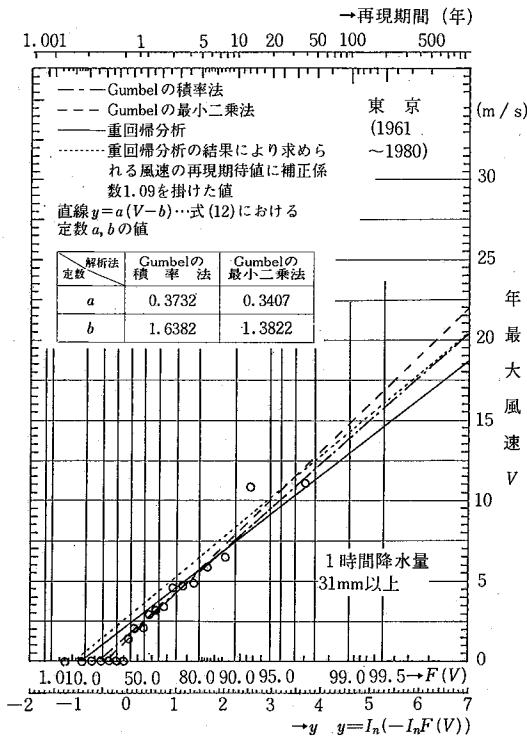


図3 1時間降水量が31mm以上の場合の年最大風速の分布 (1961~1980 東京)

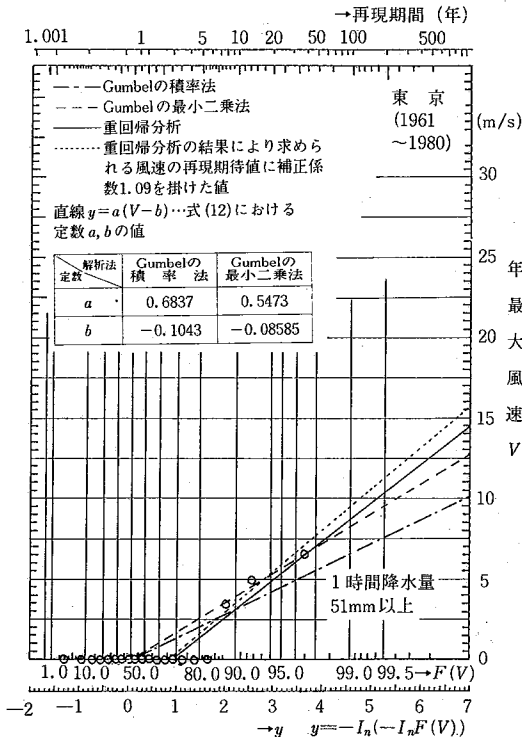


図4 1時間降水量が51mm以上の場合の年最大風速の分布 (1961~1980 東京)

相違が大きくなっている。ここでは示さないが、他の5都市についても同様の結果が得られている。

次に図5~図10に東京を含めた6都市における重回帰分析による解析結果を示す。これは先に述べた通り、年最大風速が規準極値変数(y)と1時間降水量(H)で表されると仮定した(24)式をモデルとして解析を行ったものである。各々の図中に回帰式の定数と重相関係数を示すが、いずれの都市も重相関係数が0.95以上であり、高い精度で回帰されることがわかる。

5. 降雨を伴う風速の再現期待値の算定

以上で全国の代表6都市において、(i)Gumbelの積率法、(ii)Gumbelの最小二乗法、(iii)重回帰分析の3方法による降水量別の年最大風速の再現期待値を求めることができた。しかし実際に再現期待値を本解析結果から精度よく推定するには、さらに以下の2点についての検討が必要である。

(i)上記3手法を比較したうえで、どの手法による推定値を採用すべきかの検討

(ii)本解析は1961~1980年の20年間という比較的短期間の母資料を用いた場合の解析結果であり、風速の長期変動やデータ数の少ないことを考慮した補正

以下に各々に対する検討結果を示す。

5.1 再現期待値を推定する手法の採用について

2.2で述べたように、Gumbelの積率法およびGumbelの最小二乗法による解析結果においては、二重指数確率紙上において異なる降水量に対する直線が交叉することがあり、再現期間の大きい場合に、降水量の大きい方が風速の再現期待値が大きくなるという矛盾を生じることがある。重回帰分析においては、年最大風速と1時間降水量の関係が線形であると仮定することにより、この矛盾を解決している。したがってここでは重回帰分析により推定された再現期待値を採用することが適切であると考えられる。重回帰分析を採用する最も基本的な理由は以上の通りであるが、それ以外にもこの方法には次に示す利点がある。

(i)重回帰分析による解析結果を用いれば、重回帰式に降水量がパラメータとして入っているため、任意の降水量に対し、風速の再現期待値が推定できる。(ii)降水量が多い場合にはデータ数が少なく、推定の精度が低くなるが、重回帰分析によればデータ数が豊富な降水量が少ない場合の観測値を参考にして推定することができる。

5.2 年最大風速の長期変動を考慮した風速の再現期待値

藤野<sup>10)</sup>らの行った1929~1977年までの年最大風速の年変動に関する調査によれば、年最大風速は1960年以降低減傾向にある。図11に1929~1980年までの年最大風速の年変動を示すが、近年高い風速が出現していないこ

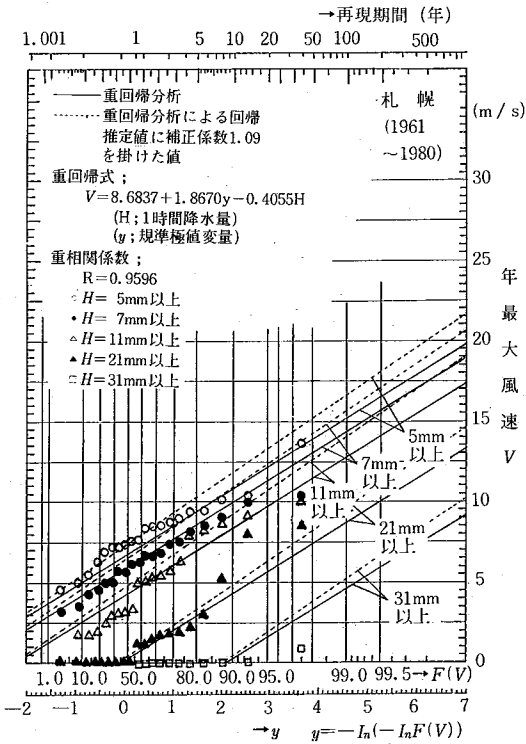


図5 風と降雨が同時に生じる場合の年最大風速の分布 (1961~1980札幌)

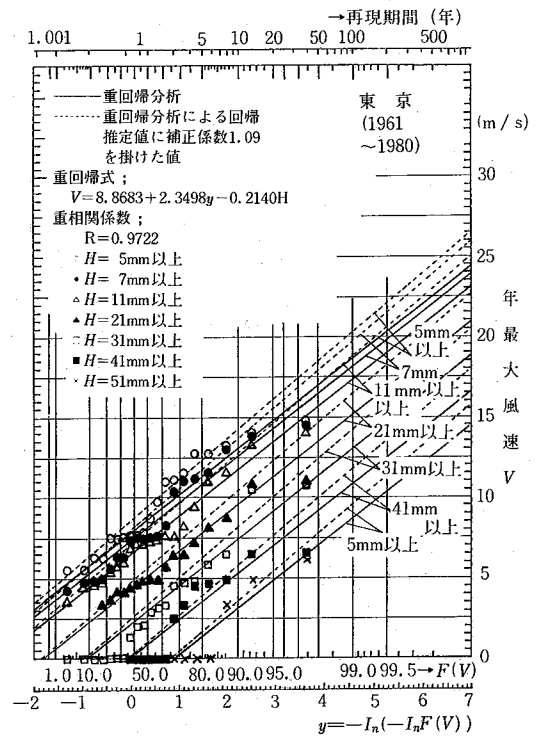


図7 風と降雨が同時に生じる場合の年最大風速の分布 (1961~1980東京)

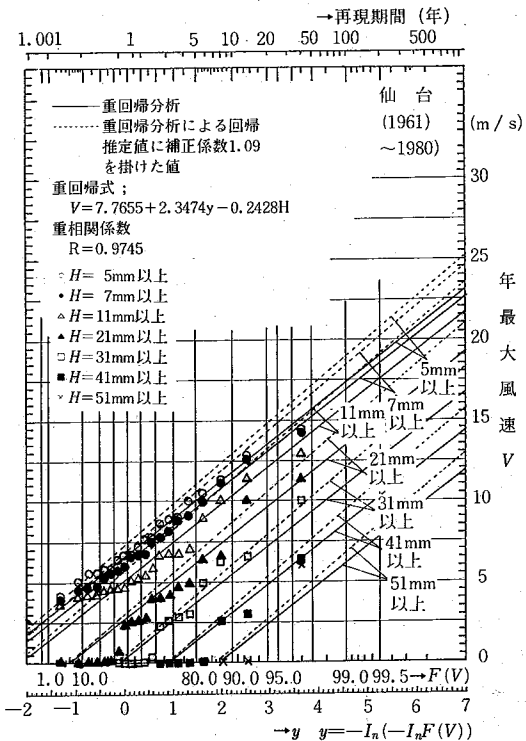


図6 風と降雨が同時に生じる場合の年最大風速の分布 (1961~1980仙台)

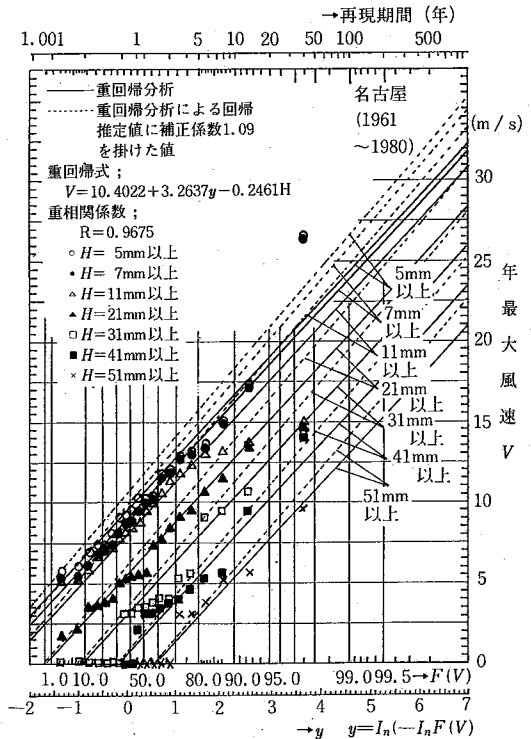


図8 風と降雨が同時に生じる場合の年最大風速の分布 (1961~1980名古屋)

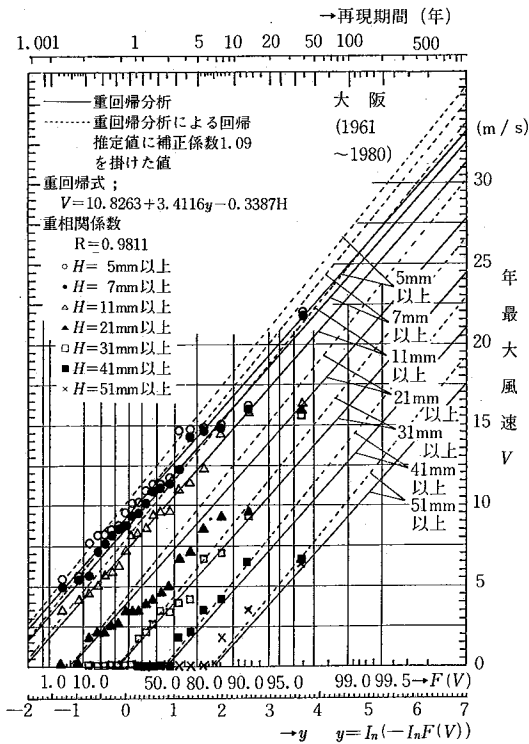


図9 風と降雨が同時に生じる場合の年最大風速の分布 (1961~1980 大阪)

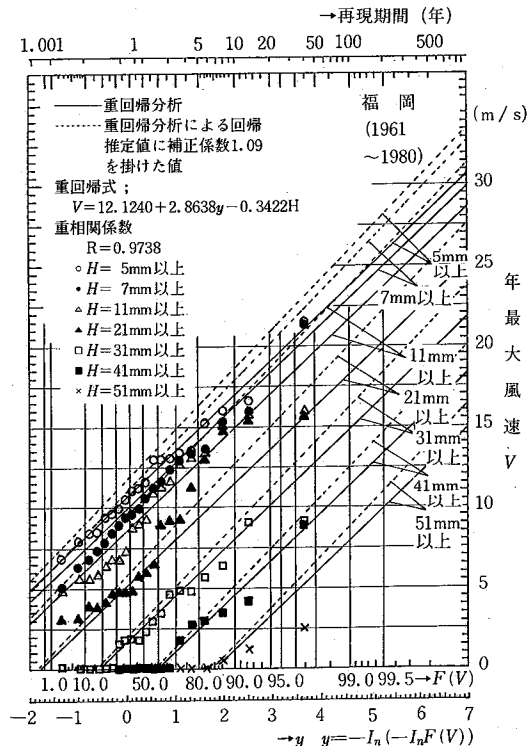


図10 風と降雨が同時に生じる場合の年最大風速の分布 (1961~1980 福岡)

とが明らかである。本研究は 1961~1980 年の 20 年間だけの年最大風速を母資料として極値統計解析を行ったものであり、このことを考慮した推定結果の補正が必要である。藤野ら<sup>10)</sup>らはデータ個数、および年最大風速の低減傾向による再現期待値の相違に関し検討を行っている。すなわち 1929 年から 1977 年まで (49 年間) の全国 136 地点の年最大風速の記録を用い、最近  $n$  年 ( $n=10, 20, 30, 40$ ) のデータから推定される再現期待値を 49 年間のデータにより推定される再現期待値と比較し次のような補正係数の経験式を求めた。

$$\delta_n = -0.255 \ln n + 1.85 \quad V_n^* = \delta_n V_n \quad (26)$$

ただし、 $n$ ；データ個数  $\delta_n$ ；補正係数

$V_n$ ；最近  $n$  年のデータから推定される再現期待値  $V_n^*$ ；設計基本風速

本研究でもこの経験式を適用し、(26)式に  $n=20$  を代入して

$$\delta_{20} = -0.255 \ln 20 + 1.85 = 1.086 \quad (27)$$

を得る。なお本研究においても、東京における 1929~1980 年までの 52 年間の年最大風速に関し解析を行い、先に行った 1961~1980 年までの 20 年間の年最大風速に関する解析結果と比較した。

図 12 に 52 年間のデータに関する解析結果を示す。52 年間のデータにより推定された再現期待値に対し、再現期間 50 年の場合、1.16 倍、100 年の場合には 1.17 倍となっており、これらの値は上述の 1.09 に近い。

本研究では以上の観点から各種の問題の検討資料となる再現期待値として重回帰分析により推定される再現期待値に補正係数 1.09 を乗じたものを用いる。このようにして算出した再現期待値を用いて 1 時間降水量の階級ごとに、20 年、50 年、100 年再現期待値を全国 6 都市について整理したものを表 2 に示す。これより降雨時の強風は、大まかに名古屋、大阪、福岡、東京、仙台、札幌の順に強いことがわかる。

## 6. ま と め

風と降雨が同時に生じる場合の風速の再現期待値を推定するため、1 時間降水量の階級別に抽出された年最大風速に関し、極値統計理論による解析を行い以下の結論を得た。

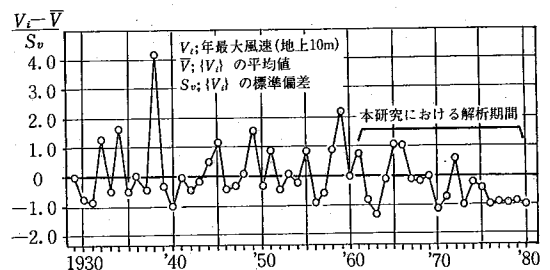


図11 年最大風速の年変動 (1929~1980)

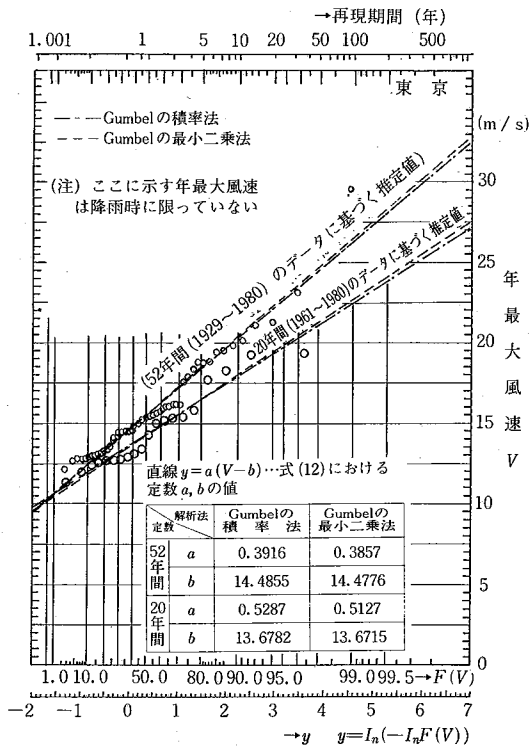


図12 観測年数による年最大風速の分布の相違 (1929~1980, 1961~1980東京)

表2 各都市における降雨時の再現期待風速 (地上高さ10mにおいて)

1時間降水量	再現期間	札幌	仙台	東京	名古屋	大阪	福岡
5mm以上	20年	13.2	14.7	16.1	20.6	21.1	20.7
	50年	15.0	17.1	18.5	24.0	24.5	24.0
	100年	16.6	18.9	20.4	26.3	27.1	26.2
7mm以上	20年	12.4	14.2	15.7	20.2	20.0	20.0
	50年	14.0	16.6	18.1	23.3	23.3	23.2
	100年	15.8	18.4	20.0	25.8	26.1	25.3
11mm以上	20年	10.5	13.2	14.8	19.0	18.9	18.5
	50年	12.1	15.6	17.2	22.2	22.0	21.8
	100年	13.9	17.4	19.0	24.7	25.0	23.7
21mm以上	20年	6.2	10.8	12.4	16.4	15.2	15.0
	50年	8.0	12.8	14.7	19.5	18.5	18.5
	100年	9.5	14.8	16.5	22.0	21.2	20.1
31mm以上	20年	1.7	7.8	9.0	13.6	11.6	11.0
	50年	3.7	10.2	12.5	16.8	15.0	13.9
	100年	5.0	11.9	14.2	19.2	17.5	16.2
41mm以上	20年	—	5.2	7.9	11.5	7.8	7.0
	50年	—	7.8	10.4	14.3	11.3	10.0
	100年	—	9.6	11.9	16.7	14.0	12.5
51mm以上	20年	—	2.8	5.7	8.5	3.5	3.5
	50年	—	5.0	8.0	11.7	8.0	6.5
	100年	—	7.0	9.5	14.0	9.0	8.7

(注) 表中の風速値は重回帰分析結果に(27)式による補正係数1.09を乗じたものである。

① 1時間降水量の階級別に抽出された年最大風速の分布はおおむね Gumbel 分布で近似することができる。

② 再現期待値を推定する方法として、Gumbel の積率法、Gumbel の最小二乗法、さらに1時間降水量と規準極値変量の2変数による重回帰分析の計3つの解析手法について検討した。

③ 重回帰式を用いた解析によれば、(i)各降水量における直線回帰式を平行にすることができ、回帰直線が交叉する矛盾を避けることができる。(ii)任意の降水量に対し風速の再現期待値を推定できる。(iii)重回帰分析により得られた、重相関係数はいずれの都市においても0.95以上であり高い精度で回帰することができた。これらの理由から、降雨時の再現期待風速を求めるにはこの方法が適当であると考えられる。

④ 年最大風速の長期変動に対しデータ個数の違いによる再現期待値の推定結果の差異を検討したところ、藤野らにより得られている結果に類似した結果が得られた。本研究では年最大風速の長期変動を考慮し、最終的に求める再現期待値を20年間のデータに基づく推定値に対し、補正係数  $\delta=1.09$  を乗じることにより求めた。

⑤ 本研究で解析した6都市の中では、大まかに名古屋、大阪、福岡、東京、仙台、札幌の順に降雨時の風が強いことがわかった。

謝 辞

本研究の解析にあたり又木義浩氏(KK竹中工務店技術研究所)の御協力を得ました。ここに記して感謝の意を表します。(1982年1月26日受理)

参 考 文 献

- 1) 勝田高司・寺沢達二・片山忠久「金属製サッシの気密・水密に関する実験的研究」東京大学生産技術研究所報告 Vol. 20, No. 2 (昭和45年8月)
- 2) 日本気象協会「日本各地の年最大風速」気象庁観測技術資料 No. 34 (1971.1)
- 3) 土木研究所・日本気象協会「設計基本風速調査に関する報告書」(1977.3)
- 4) 中原満雄「年最大風速の再現期待値」建設省建築研究所, 建築研究資料 No. 26 (1981.3)
- 5) 例えば E. J. GUMBEL「極値統計学」河田竜夫監訳, 廣川書店 (昭和38年2月)
- 6) 岩井重久・石黒政儀「応用水文統計学」森北出版 (1970.10)
- 7) 菊地原英和「風速の再現期間計算法の比較考察」天気 Vol. 18, No. 1 (1971)
- 8) 気象庁観測部統計課「風の測器変更に伴う統計の接続問題について」測候時報 46, 5~6 (1979)
- 9) 斎藤藤一他「日本各地の年最大風速」災害科学研究会 (1962)
- 10) 藤野陽三・伊藤学・酒井利夫「年最大風速記録による設計基本風速の算定に関する研究」土木学会論文報告集, 第305号 (1981.1)