

瞬時風速的一些統計分析

吳清吉

國立台灣大學大氣科學系

(中華民國七十一年四月六日收件)

摘要

本文以常態、對數常態及韋伯分配來模擬在民國70年10月1日至71年1月14日在台灣大學大氣科學系氣象鐵塔觀測所得的16個個案的瞬時風速頻率分配，每個個案各有三層(9公尺，22.55公尺及33.80公尺)的風速資料，模擬的結果以卡方值檢定，發現以韋伯分配所得的結果最佳。

另外在不考慮地面粗糙度及穩定度下，本文利用各個案的平均風速，以幕次法($V_2 / V_1 = (Z_2 / Z_1)^n$)模擬風速剖面，所得到的幕次方n的值為0.2786與Justus和Mikhail的結果十分接近。

一、前言

風是氣象的重要因素，對風的研究不僅有助於氣象的了解，同時在工程的應用上，如結構物防風的設計，空氣污染的預報與評估，風力能源的利用上都有很大的幫助。

有關風的統計性質的研究很多，例如在風速頻率分配方面有Stewart和Essenwanger(1978)，Huss(1974)，Justus et al(1977)，Corotis(1977)及Widger(1977)等，他們大都以韋伯分配(Weibull distribution)或對數常態分配(log-normal distribution)來處理這一類的問題。Justus和Mikhail(1976)不僅利用韋伯分配來模擬(fitting)風速的頻率分配，同時考慮韋伯分配母數(parameters)隨高度變化的情形。Neumann(1977)曾利用伽瑪分配(gamma distribution)，Luna和Church(1974)曾利用對數常態分配模擬風速頻率分配以推測空氣污染的濃度(Concentration)。Justus et al(1976)，Hennessey(1977)和Auwera et al(1979)等則利用韋伯分配模擬風速頻率分配以推測風能(wind power)。在風速剖面(wind profiles)方面的研究也很多，例如

Frost et al(1977)，Irwin(1979)，Jackson(1978)，Munro和Davies(1978)，Taesler和Karlsso.(1980)及Karlsso(1981)等。

以上的研究所用的風速資料大都以較長時間之氣象觀測之平均風速為主，而較少對短時間的瞬時風速的問題作分析。但短時間的風速性質在結構物防風設計上是很重要的。本文擬對此種瞬時風速的頻率及剖面性質作分析。文中使用韋伯分配，對數常態分配及截頭式常態分配(truncated normal distribution)三種。前二種在一般風速頻率的模擬時是常用的，後者在一般自然現象是常有的分配。風速剖面分析則採用工程上常用的幕次法(power law)來做分析。

二、儀器及使用資料

本文所用的資料是在台灣大學大氣科學系的氣象鐵塔觀測所得的記錄，每星期取樣一次(星期四中午13時)，每次取樣15分鐘。在民國70年10月1日至71年1月14日間，共得到16個樣本(samples)，每個樣本的取樣日期示於表1中。台大氣象科學的氣象鐵塔是正方形結構，共分五層。各層的高度分別為9.00，15.00，22.55

，28.60及33.80公尺。風速計分別裝置在9.00，22.55及33.80公尺三層（文中稱它們為第1，2及3層）各層有X，Y兩個分量，分別為東北及西北方向。所用的風速計為R.M. Young公司生產的Gili風速計，該風速計的靈敏度很高。觀測時，Gili風速計能將風速的大小以電壓形式輸出，磁帶記錄器可將此種類比（analog）訊號記錄下來。記錄器有6個頻道，可記錄三層的風速。

所得到的類比訊號，經由台灣大學土木工程系的小型電腦PDP-11/34的類比/數字轉換系統DIGIT1可轉為數字（digital）記錄，直接存在磁片（floppy disk）上，使用起來十分方便。

在類比/數字轉換時，每一點（樣本點，sample point）取樣的時間間隔（interval）是1秒鐘，因此一個15分鐘的個案（樣本），共可以得到900個樣本點。

三、分析方法

(a) 平均風速和亂流強度

設 u_{ij} ， v_{ij} 分別為第 j 層（ $j=1, 2, 3$ ）第 i 個（ $i=1, 2, \dots, 900$ ）X方向及Y方向瞬時風速大小，則水平瞬時合成風速 V_{ij} 大小為 u_{ij} 及 v_{ij} 平方和的根值，即

$$V_{ij} = (u_{ij}^2 + v_{ij}^2)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

j 層的水平平均風速 \bar{V}_j 為

$$\bar{V}_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V_{ij}, \quad j=1, 2, 3 \quad (2)$$

N 為樣本的大小（sample size），在本文中 N 為900。

j 層的水平亂流強度 I_j 定義為瞬時合成風速的標準差（standard deviation）與平均風速的比值，即

$$I_j = \frac{1}{\bar{V}_j} \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (V_{ij} - \bar{V}_j)^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad j=1, 2, 3 \quad (3)$$

(b) 風速頻率分配

本文所用的三種分配，它們的機率密度函數（probability density function）和分配函數（

cumulative distribution function），分述如下。常態分配的機率密度函數 $f(x)$ 為

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2}(x-\mu)^2\right], \quad -\infty < x < \infty \quad (4)$$

式中 μ 和 σ^2 ，分別為隨機變數 x 的平均數（mean）和變異數（variance）。常態分配的分配函數 $F(x)$ 為

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^x \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2}(t-\mu)^2\right] dt, \quad -\infty < x < \infty \quad (5)$$

μ 和 σ^2 的推定量（estimator） $\hat{\mu}$ ， $\hat{\sigma}^2$ ，分別可由樣本平均數 \bar{x} 及樣本變異數 s^2 得到，即

$$\hat{\mu} = \bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (6)$$

$$\hat{\sigma}^2 = s^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \quad (7)$$

如果變數 x 的範圍受到限制，如 $a \leq x \leq b$ ，則常態分配需要轉化為截頭式常態分配（truncated normal distribution），它們的機率密度函數可由(4)式變為(8)式，

$$f(x) = \frac{1}{k\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2}(x-\mu)^2\right], \quad a \leq x \leq b \quad (8)$$

$$\text{式中 } k = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_a^b \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2}(x-\mu)^2\right] dx \quad (9)$$

風速大小的下限為0，故本文中的常態分配皆指 $a=0$ ， b 不受限制的截頭式常態分配。

對變數 x 取對數，即 $y = \ln x$ ， y 如為常態分配，則 x 為對數常態分配，它的機率密度函數 $f(x)$ 及分配函數 $F(x)$ 分別為

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}x\sigma_y} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma_y^2}(\ln x - \mu_y)^2\right], \quad x > 0, \quad (10)$$

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} \int_0^x \frac{1}{t} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma_y^2}(\ln t - \mu_y)^2\right] dt, \quad x > 0 \quad (11)$$

(10)式中分配的母數 μ_y ， σ_y^2 分別為 y 的平均數和

變異數，它們的推定量可由下式(12)，(13)得到 (Haan, 1977)。

$$\hat{\mu}_y = \bar{Y} = \frac{1}{2} \ln [\bar{x}^2 / (C_v^2 + 1)] \quad (12)$$

$$\hat{\sigma}_y^2 = S_y^2 = \ln (C_v^2 + 1) \quad (13)$$

式中 $C_v = S_x / \bar{x}$ ， S_x 為 x 的樣本標準差。

韋伯分配的機率密度 $f(x)$ 和分配函數 $F(x)$ 分別為(14)式及(15)式。

$$f(x) = \alpha x^{\alpha-1} \beta^{-\alpha} \exp [- (\frac{x}{\beta})^\alpha] , x > 0 \quad (14)$$

$$F(x) = 1 - \exp [- (\frac{x}{\beta})^\alpha] , x > 0 \quad (15)$$

式中母數 β 為尺度因子 (scalar factor)， α 為形狀因子 (shape factor)， α ， β 的推量可由幾種方法得到，例如可由中位數 (median) 和四分位數 (quartiles) 推測，由觀測的頻率分配利用最小二次方法推測，或由平均數及標準差推測 (Justus et al, 1977)。文中使用後兩種方法推測 α 及 β 之值，而以平均數及標準差所得的結果較佳。由平均數及標準差推測 α 和 β 的方法，由下兩可得到

$$\alpha = (\frac{\sigma}{\bar{x}})^{-1.096}$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\Gamma (1 + \frac{1}{\alpha})}$$

式中 Γ 是伽瑪函數 (gamma function)。

(c)資料分組方法及樣本合成方法

觀測的風速頻率的分組方法係以平均風速 \bar{V} 為基準，以風速標準差 s 的一半為組距 (class interval) ΔV ，即 $\Delta V = s / 2$ ，向左延伸 $4s$ (或 $8 \Delta x$) 為分組的起點 V_0 ，即 $V_0 = \bar{V} - 8 \Delta V$ ，如果 V_0 大於 0，則以 V_0 為分組的起點，即以 V_0 至 $V_0 + \Delta V$ 為第 1 組， $V_0 + \Delta V$ 至 $V_0 + 2 \Delta V$ 為第 2 組等等。將小於 V_0 的風速併入第 1 組 (V_0 ， $V_0 + \Delta V$) 頻率中。如果 V_0 小於 0 則以 0 為分組的起點，即以 0 至 ΔV 為第 1 組， ΔV 至 $2 \Delta V$ 為第 2 組等等。此分法可以使得觀測所得的風速大部分在 13 個左右的組中。N 點的觀測資料以分成 1

+ 3.3 $\log_{10} N$ 組 (Haan, 1976) 或 5 $\log_{10} N$ 組 (Panofsky and Brier, 1958) 較為適當。因此 $N = 900$ 的資料以成 11 組 (根據 Haan) 至 15 組 (根據 Panofsky and Brier) 間較為適當。

合成樣本風速頻率組成方法是以每個樣本風速平均值所在的組為中心組 (如果平均值正好是組限 (class limit)，則以平均數為上限 (upper limit) 的組為中心組)，把距離中心組，相同組數的各樣本的組所擁有的頻率分別相加再平均，作為合成樣本該組的頻率。例如有 2 個樣本，每個樣本各有 5 組，它們的頻率分別為 f_{11} ， f_{12} ， f_{13} ， f_{14} ， f_{15} 及 f_{21} ， f_{22} ， f_{23} ， f_{24} ， f_{25} ，如果第 1 個樣本的平均數在 f_{14} 的組中，第 2 個樣本的平均數在 f_{23} 的組中，則我們將 f_{14} 加 f_{23} ， f_{13} 加 f_{22} ， f_{15} 加 f_{24} 等等，然後再將其和除以樣本數 2，則可得到合成樣本的頻率分配。

(d)風速剖面分析

風速剖面有常用的三種形式，即幕次法 (power law)，對數法 (logarithmic law) 及對數—線性關係法 (log-linear relation) (Karlsson, 1981)。幕次法被廣泛的使用在工程上，它是純經驗式，只要推測一個母數幕次方 n 就可以，在實作上比較簡單，同時其結果也相當不錯，尤其是在中性穩定時其結果較好 (Taesler and Karlsson, 1980)。

幕次法的形式為

$$\frac{V(Z_2)}{V(Z_1)} = (\frac{Z_2}{Z_1})^n \quad (16)$$

式中 $V(Z_i)$ 表示在高 Z_i 時的風速。幕次方 n 是地面粗糙度 (surface roughness) 和穩定度的函數。如對(16)式兩邊取對數，則(16)式可化為 n 的線性方程式，利用最小二次方法 (least squares method) 可推測幕次方 n 的大小。

四、結果與討論

(a)平均風速與亂流強度

每個樣本各層的平均風速 \bar{V}_i 及水平亂流強度 I_i ，分別示於表 1 中，由表中可見平均風一般隨高度

的增加而增加，亂流的強度一般則隨高度的增加而減少，風速大時，亂流強度較小，圖 1 為相對亂流強度 (I_i / I_1) 隨相對平均風速 (\bar{V}_i / \bar{V}_1) 的改變情形。橫坐標 \bar{V}_i / \bar{V}_1 為第 i 層 $(i = 2, 3)$ 平均風速與第 1 層平均風速的比值，縱坐標 I_i / I_1 為第 i 層 $(i = 2, 3)$ 亂流強度與第 1 層亂流強度 I_1 的比值。在圖中 \bar{V}_i 小於 3m/sec 的部分已經略去，由圖可知 (I_i / I_1) 與 (\bar{V}_i / \bar{V}_1) 成反比的關係，經計算其相關係數 r 為 -0.7969 。利用最小二次方法，求出 I_i / I_1 對 \bar{V}_i / \bar{V}_1 的迴歸線為

$$\frac{I_i}{I_1} = 1.2770 - 0.3707 \frac{\bar{V}_i}{\bar{V}_1} \quad (17)$$

\bar{V}_i / \bar{V}_1 及 I_i / I_1 的平均值分別為 1.4243 及 0.7497 。迴歸線斜率 (slope) 95% 信賴區間 (confidence interval) 為 $(-0.5098, -0.2316)$ ，截距 (intercept) 95% 信賴區間為 $(1.078, 1.478)$ ， I_i / I_1 平均數 95% 的信賴區間在圖 1 中以虛線表示出來。

(b) 風速頻率分配

16 個樣本 (每個樣本三個層次) 的瞬時風速頻率，以第 3 節所述之三種分配模擬。圖 2 至圖 4

為樣本 1 瞬時風速分配的直方圖以及以韋伯分配 (實線) 與常態分配 (虛線) 模擬之結果。以卡方值 (chi-square value) 可檢查模擬結果是否好 (goodness of fitting)。卡方值 χ^2 為

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^M \frac{(O_i - H_i)^2}{H_i}$$

式中 O_i 及 H_i 分別為第 i 組的觀測頻率及理論分配頻率， M 為組數。卡方值愈小，表示模擬結果愈佳。各層次理論分配模擬結果卡方值的分配示於表 2 中，表中以自由度 9, 1% 顯著水準 (significant level) 的卡方值 21.66 (約 22) 作為分類標準。由表中可看出以韋伯分配的模擬效果最好，常態分配之結果次之，對數常態分配效果最差。例如在第 1 層中，以韋伯分配模擬，16 個樣本有 4 個樣本的卡方值小於 22，合乎卡方檢定 (χ^2 -test) 8 個樣本的卡方值在 22 到 44 之間，4 個樣本的卡方值大於 66。對數常態分配模擬的卡方值則有三分之二左右的樣本大於 66。

圖 5 至圖 7 分別為各層合成樣本瞬時風速頻率分配的直方圖，以及以韋伯分配 (實線) 和常態分配 (虛線) 模擬而得之結果。圖中橫坐標為風速之組別。由圖中直方圖可見風速分配在第 1 層 (圖 5

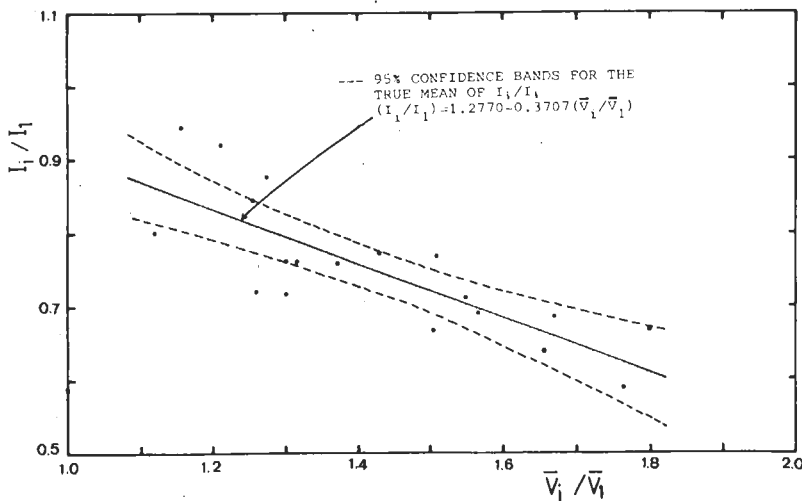


圖 1 高層亂流強度 (I_i) 與第 1 層亂流強度 (I_1) 的比值 (I_i / I_1) 隨其相對平均風速 \bar{V}_i / \bar{V}_1 變化的情形。 \bar{V}_i 與 I_i 分別為第 i 層的平均風速和亂流強度。

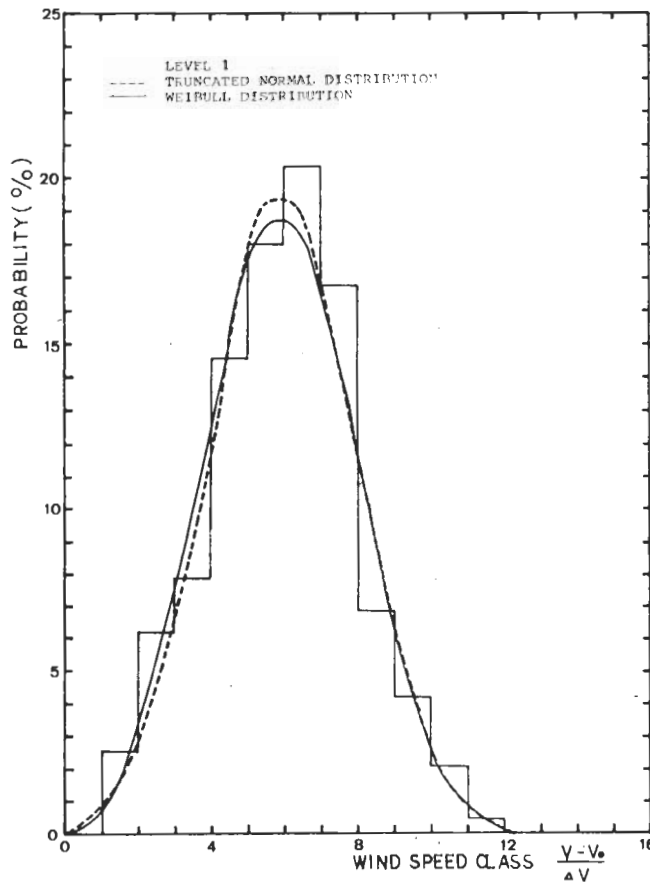


圖2 樣本1第1層(9公尺高)瞬時風速頻率分配的直方圖,及以韋伯分配(實線)和常態分配(虛線)模擬的結果。圖中橫坐標為風速組數 $\frac{V-V_0}{\Delta V}$, ΔV 為組距,是風速標準差的一半(即 $\Delta V = 0.5 s$),以平均風速 \bar{V} 減去4倍的標準差,當做分組的起始值 V_0 (即 $V_0 = \bar{V} - 4s$),如果減下來結果小於0,則以0為起始值。例如0-1表示第1組。縱坐標為頻率,以機率(%)的形式表示,全部的樣本點 N 為900。

有左偏的現象,第2層(圖6)較呈對稱,第3層(圖7)有右偏的情形。三種分配的母數的推定值及卡方值示於表3中,表中括弧內數字表示自由度。0.05顯著水準的卡方值,在自由度8時為15.5,自由度9時為16.9。由表中可見對數常態分配的卡方值較大,無法滿足卡方檢定的要求,而韋伯分配,則皆能滿足卡方檢定的要求。風速頻率在第1層因為左偏,在第3層因為右偏,所以韋伯分配的模擬結果都比常態分配好,第2層因為分配呈對稱形式,所以兩種分配模擬的效果差不多。

因近地層風速隨高度增加而有增加之趨勢,所

以韋伯分配中的尺度因子 β 值是高度的函數,會隨高度的增加而增加。Justus 和 Mikhail (1976) 認為 β 會隨高度有下式的變化。

$$\frac{\beta_{10}}{\beta} = 1 - 0.0881 \ln \left(\frac{Z}{10} \right)$$

式中 β_{10} 及 β 分別為10公尺高度及 Z 高度的 β 值。據上式我們可推得下列結果

$$\frac{\beta_9}{\beta} = \frac{1}{1.0092} \left(1 - 0.0881 \ln \left(\frac{Z}{10} \right) \right)$$

式中 β_9 為9公尺(第1層高度)高度的 β 值。如 $Z = 22.55$ 公尺及 33.80 公尺,代入上式可得 β_9 / β 的值分別為0.92及0.88,而出我們合成樣

本所得之 $\frac{\beta_0}{\beta}$ 值分別為 0.83 及 0.82，較 Justus 和 Mikhail 的結果稍小。

(c) 風速剖面分析

每個樣本皆有 900 組瞬時風速，設此瞬時風速的剖面為幕次的變化 (式 10)。不考慮地面粗糙度，穩定度及其他因素，利用最小二次方法所求得各樣本的幕次方 n ，分別示在表 1。圖 8 則表示 n 隨第 1 層平均風速 \bar{V}_1 的變化情形。由圖中可見 n 值隨 \bar{V}_1 值的變差很大。Justus 和 Mikhail (1976) 認為 n 值會隨 10 公尺高度風速之對數增加而減少

的現象 (圖 9)，在我們瞬時風速剖面分析的結果中 (圖 8) 並不十分明顯。

如不考慮地面粗糙度穩定及其他因素，以 16 個樣本的平均風速來做風速剖面分析，則可以得到 n 為 0.2786，即

$$\frac{\bar{V}}{\bar{V}_1} = \left(\frac{Z}{Z_1}\right)^{0.2786}$$

16 個樣本第 1 層平均風速 \bar{V}_1 的平均值為 3.00 m/sec，如果由 Justus 和 Mikhail 的結果 (圖 9) 看，10 公尺高的風速為 3m/sec 時，則其 n 值約在 0.26 左右和我們所得的 0.2786 十分接近。

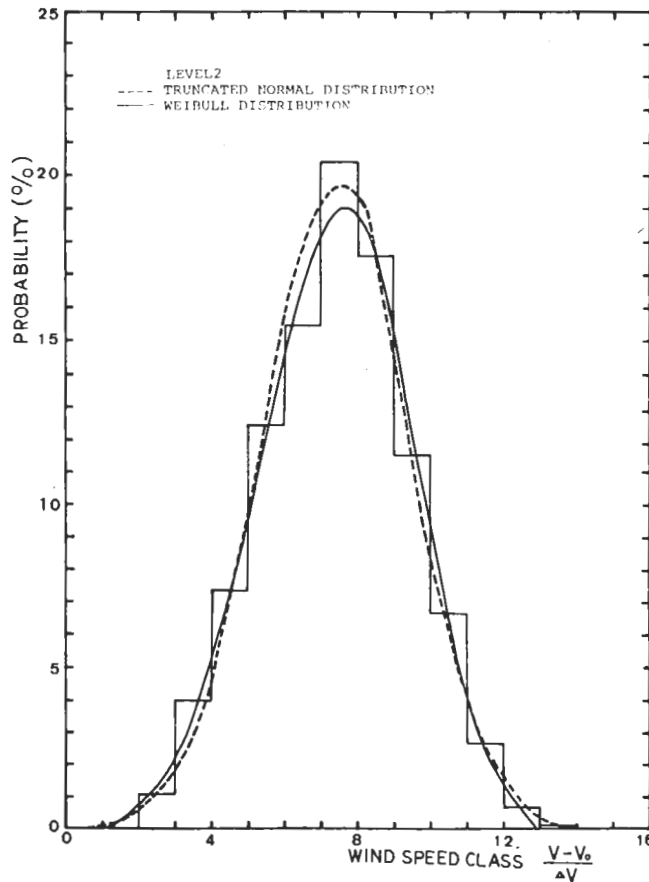


圖 3 樣本 1 第 2 層 (22.55 公尺高) 瞬時風速頻率分配的直方圖，及以韋伯分配 (實線) 和常態分配 (虛線) 模擬的結果，其他說明同圖 2。

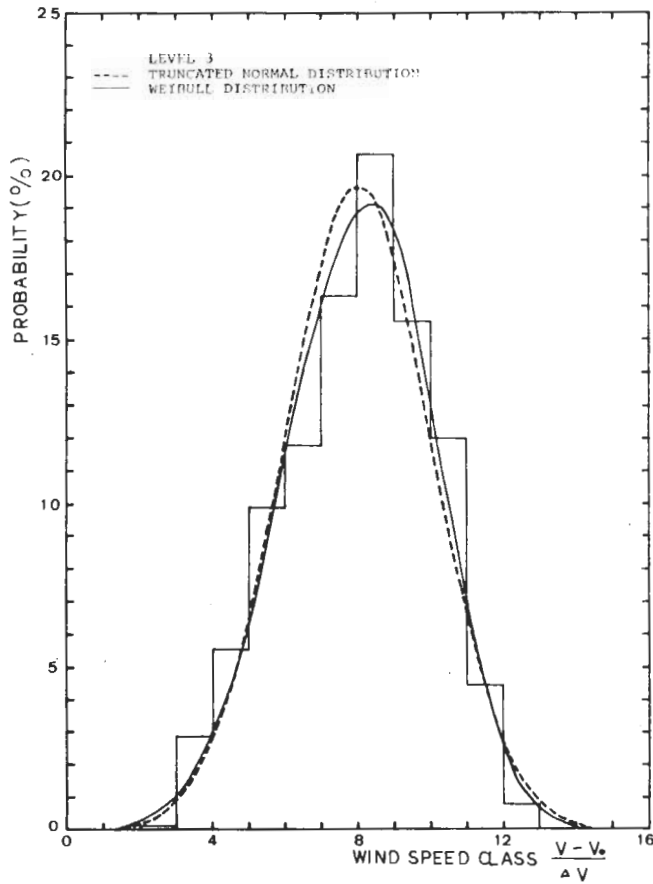


圖 4 樣本 1 第 3 層 (33.80 公尺高) 瞬時風速頻率分配的直方圖及以韋伯分配 (實線) 和常態分配 (虛線) 模擬的結果。其他說明同圖 2。

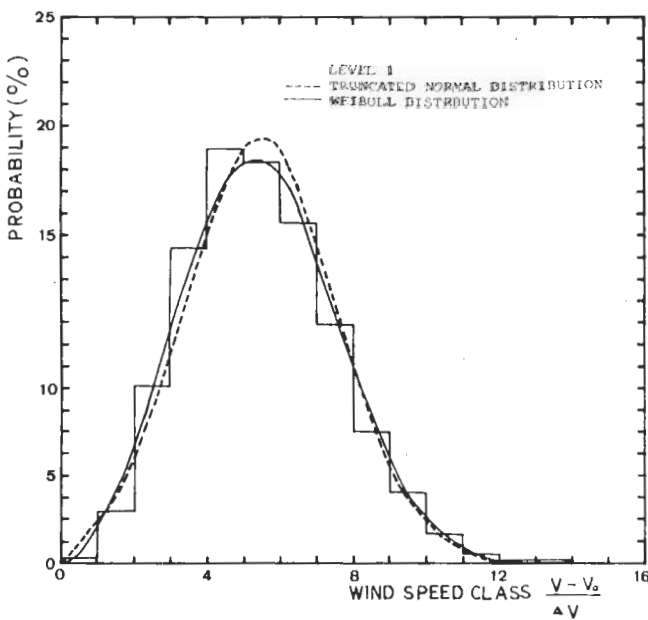


圖 5 合成樣本第 1 層 (9 公尺高) 瞬時風速頻率分配直方圖及以韋伯分配 (實線) 和常態分配 (虛線) 模擬的結果。圖中橫坐標為風速組數 $\frac{V - V_0}{\Delta V}$ ， ΔV 為組距，是風速標準差 5 的一半 (即 $\Delta V = 0.5 s$)，以平均風速 \bar{V} 減去 4 倍標準差當做分組的起始值 V_0 (即 $V_0 = \bar{V} - 4s$)，如果減下結果小於 0，則以 0 為起始值，例如 0-1 表示第 1 組，縱坐標為頻率，以機率 (%) 的形式表示，全部樣本點 N 為 900。

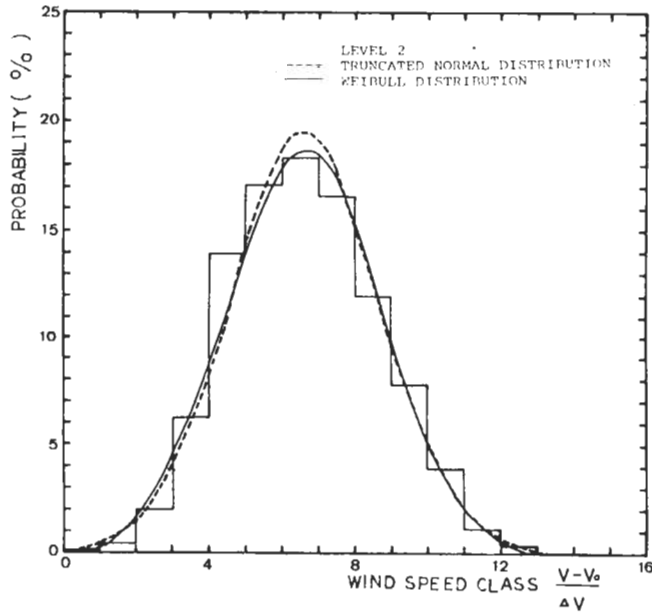


圖6 合成樣本第2層(22.50公尺高)瞬時風速頻率分配的直方圖及以韋伯分配(實線)和常態分配(虛線)模擬的結果,其他說明同圖5。

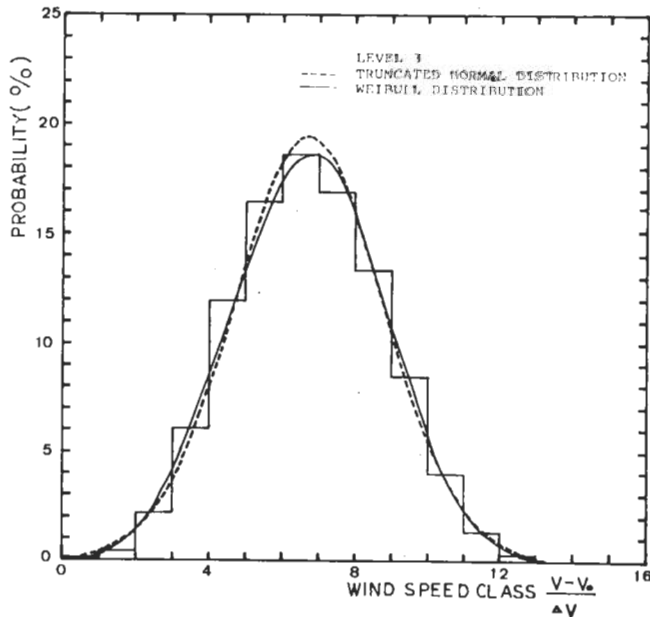


圖7 合成樣本第3層(33.80公尺高)瞬時風速頻率分配的直方圖及以韋伯分配(實線)和常態分配(虛線)模擬的結果,其他說明同圖5。

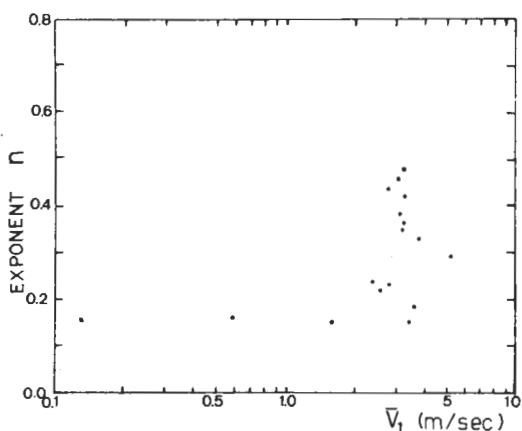


圖 8 各樣本幕次風速剖面的幕次方 n 隨其第 1 層平均風速 \bar{V}_1 的變化情況。

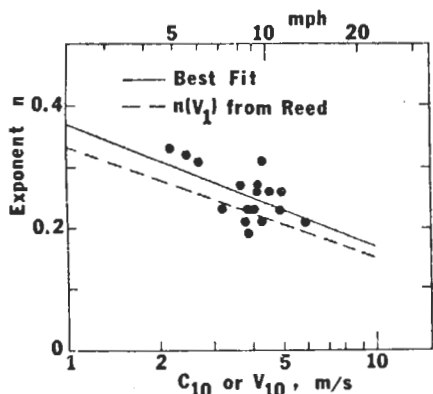


圖 9 Justus 和 Mikhail (1976) 所得在幕次風速剖面的幕次方 n 隨 10 公尺高風速 V_{10} 的變化情況。

五、結 語

由前節之分析可得知下列之結果：

(1) 底層風速較大時 ($\bar{V}_1 > 3\text{m/sec}$) 相對水平亂流強度值 I_1 / I_1 的變化與相對平均風速 \bar{V}_1 / \bar{V}_1 的大小成反比，相對平均風速大時相對亂流強度小，其相關係數為 -0.7969 。

(2) 風速頻率分配以韋伯分配來模擬，可以得到較好的結果。

(3) 以各樣本的平均風速，利用幕次法做平均風速的剖面分析，如不考慮地面粗糙度和穩定度等時得到的幕次方 n 為 0.2786 ，和 Justus 和 Mikhail 之結果十分接近。

本文的研究只是一個開始，所收集分析的資料較少（以冬季為主），但以此不多的資料，仍可找出瞬時風速一些明顯的統計性質，進一步的研究時希望能收集更多資料，考慮風速性質的季節變化，在風速頻率模擬時希望能使用較難推測，但是却更具有適應性的三母數或四母數的韋伯分配，同時將穩定度及地面粗糙的因素加入風速剖面分析中。希望本文的初步結果，對工程的應用上，如結構物的防風設計，風力利用，空氣污染的預報方面能夠提供一些幫助。

致 謝

本文是在周根泉教授及蔡益超教授主持的防風工程計劃（國科計劃編號 NSC-71-0410-E-002-03）的支持下完成，研究進行中承蒙本系蔡清彥教授，張利雄教授，土木系茅聲壽教授及夏威夷大學 Arthur Chiu 教授提供許多寶貴的意見，在此特表謝意。作者十分感謝土木研究所田韜、巫垂見先生及本系何景輝先生在風速觀測及數字化方面，環境工程研究所陳志傑先生在資料收集上提供許多的幫助。

REFERENCES

Auwera, L.V.D., F.D. Meyer and L.M. Malet, 1980: The use of the Weibull three-parameter model for estimating mean wind power densities. *J. Appl. Meteor.*, 19, 819-825.

Corotis, R.B., A.B. Sigl and J. Klein, 1977: Probability models of wind velocity magnitude and persistence. *Solar Energy*, 20, 483-493.

Frost, W., Fichtl, G., J.R. Connell and M.L. Hutto, 1977: Mean horizontal wind profiles measured in the atmospheric boundary layer about a simulated block building. *Boundary-Layer Meteorology*, 11, 135-145.

- Haan, T.C., 1977 : Statistical methods in hydrology. Iowa State Univ. Press, 378 pp.
- Hennessey, I. P., Jr, 1977 : Some aspects of wind power statistics. *J. Appl. Meteor.*, 16, 119-128.
- Huss, P.O., 1974 : Estimation of distribution and maximum value of horizontal wind speed. *J. Appl. Meteor.*, 13, 647-653.
- Levin, J. S., 1979 : A theoretical variation of the wind profile power-law exponent as a function of surface roughness and stability. *Atmos. Envir.*, 13, 191-194.
- Jackson, P.S., 1978 : Wind structure near a city centre. *Boundary-Layer Meteorology*, 15, 323-340.
- Justus, G.G. and A. Mikhail, 1976 : Height variation of wind speed and wind distribution statistics. *Geophy. Res. Letters*, 3(5), 261-264.
- Justus, C.G., W.R. Hargraves and A. Yalcin, 1976 : Nationwide assessment of potential output from wind-powered generators. *J. Appl. Meteor*, 15, 673-678.
- Justus, C.G., W.R. Hargraves, A. Mikhail and D. Graber, 1977 : Methods for estimating wind speed frequency distributions. *J. Appl. Meteor.*, 17, 350-353.
- Karlsson, S., 1981 : Analysis of wind profile data from an urbanrural interface site. *Kungl. University. Reprints-NO. 58*, Uppsala, Sweden
- Luna, R.E. and H.W. Church, 1974 : Estimation of long-term concentrations using a " universal " wind speed distribution. *J. Appl. Meteor.*, 13, 910-916.
- Munro, D.S. and Davies, J. A., 1978 : On fitting the log-linear model to wind-speed and temperature profiles over a melting glacier. *Boundary-Layer Meteorology*, 15, 423-437.
- Neumann, J., 1977 : Averaging for wind speed in a given direction in the concentration equation for pollutants. *J. Appl. Meteor*, 16, 1097-1100.
- Panofsky H.A. and G.W. Brier, 1958 : Some application of statistics to Meteorology, The Pennsylvania State Univ., 224. pp.
- Stewart, D.A. and D.M. Essenwanger, 1978 : Frequency distribution of wind speed near the surface., *J. Appl. Meteor.*, 17, 1633-1642.
- Taesler, R. and S. Karlsson, 1980 : Power-law estimates of the urban wind profile., *Kungl. University Reports-NO. 59*, Uppsala, Sweden
- Widger, W.K., Jr., 1971 : Estimation of wind speed frequency distributions using only the monthly average and fastest mile data., *J. Appl. Meteor.*, 16, 244-247.

表1 各個案的觀測時間，平均風速，亂流強度及瞬時風速剖面的幕次方 n

樣本	觀測日期	第1層 (9公尺)		第2層 (22.55公尺)		第3層 (33.80公尺)		幕次方 n
		平均風速, V_1	亂流強度, I_1	平均風速, V_2	亂流強度, I_2	平均風速, V_3	亂流強度, I_3	
1	70.10.1	3.57	0.337	4.00	0.269	4.49	0.242	0.1860
2	10.8	3.06	0.477	4.21	0.362	5.40	0.280	0.4619
3	10.15	5.22	0.295	6.66	0.257	7.67	0.206	0.2963
4	10.22	3.68	0.315	4.84	0.240	5.54	0.210	0.3283
5	10.29	2.82	0.376	2.79	0.556	4.55	0.271	0.2314
6	11.5	1.64	0.386	1.70	0.436	2.21	0.382	0.1498
7	11.12	3.28	0.385	4.27	0.293	5.08	0.274	0.3535
8	11.19	2.61	0.336	3.19	0.223	3.32	0.226	0.2197
9	11.26	3.31	0.364	4.99	0.281	5.96	0.245	0.4755
10	12.3	3.11	0.396	3.90	0.336	5.51	0.252	0.3760
11	12.10	2.48	0.355	3.09	0.270	3.29	0.292	0.2456
12	12.17	3.39	0.386	3.92	0.365	4.10	0.355	0.1568
13	12.24	3.31	0.372	4.73	0.288	5.52	0.255	0.4126
14	12.31	2.77	0.358	4.08	0.278	4.70	0.236	0.4406
15	71.1.7	3.21	0.384	4.19	0.274	5.02	0.264	0.3694
16	1.14	0.64	0.211	1.13	0.246	0.63	0.387	0.1610

表2 利用三種理論分配，對16個個案（每個個案各有三層）的瞬時風速頻率做模擬，模擬結果卡方值分佈的情形

層次 卡方值	對數常態分配			常態分配			韋伯分配		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
00-22	0	1	0	1	4	4	4	5	4
22-44	3	2	3	5	8	7	8	7	6
44-66	3	2	2	6	1	3	0	1	3
大於66	10	11	11	4	3	2	4	3	3

表3 對合成樣本的瞬時風速頻率分配作三種理論分配的模擬時，各種分配母數的推定值及模擬結果的卡方值及其自由度（括弧內數字）

層次	對數常態分配			常態分配			韋伯分配		
	Y	S_y	卡方值	X	S_x	卡方值	α	β	卡方值
1	1.63	3.63	45.81(9)	5.47	2.05	21.04(9)	2.91	6.13	7.97(8)
2	1.84	2.99	86.55(10)	6.62	2.03	11.96(9)	3.61	7.35	11.54(9)
3	1.86	2.97	67.14(9)	6.73	2.04	5.18(9)	3.66	7.46	3.47(9)

**Some Statistical Analysis of
Instantaneous Wind Speed
Ching-Chi Wu**

Department of Atmospheric Sciences
National Taiwan University

Abstract

Instantaneous wind speed data taken from a meteorological tower of the Department of Atmospheric Sciences, National Taiwan University, are used to study wind speed frequency distributions and wind profiles. Sixteen samples at three different levels are taken from October 1, 1981 to January 14, 1982. The wind frequency distributions of the 16 samples are fitted by the log-normal, truncated normal and Weibull distribution. It is found that Weibull distribution is the best for data at all three levels. Observed histograms of wind speed of composite cases are then compared with those three distributions using goodness-of-fit statistics. On the other hand, mean wind speeds at three levels are used to fit the power law $V_2 / V_1 = (Z_2 / Z_1)^n$ in the surface layer. Regardless of the conditions of stability and roughness, the exponent n of the average wind of 16 samples is 0.2786. The figure is in consistent with the results of Justus and Mikhail.