

東沙島颱風侵襲期間災害分析

張石軍 趙忠倫

海軍氣象中心

摘要

東沙島在颱風侵襲期間災害的主要現象是破壞性的風力，暴雨與風暴激浪，本文採取 1970-1981 的資料分析來檢驗是否具有統計上的意義存在。風速記錄的頻率分佈顯示我們可以推導出平均陣風的特性。同時，平均風速與雨量的極端值再現期也可以採用任何適當的時距來達成。

一、前言

東沙島位於北緯 20.42，東經 116.43，在颱風侵襲期間狂風暴雨與激浪，造成重大損失，這些颱風有些是在 26 °C 以上南海高海溫發展，有些是在太平洋發生通過巴士海峽或菲律賓而經過東沙。降雨強度與颱風大小及強度關係並不十分密切（劉廣英 1983）在東沙島也適用，東沙島地理條件單純，不如台灣本島地勢起伏，不同颱風路徑有不同雨量分佈，副低壓中心等出現，侵襲東沙島的颱風並不是都帶來滂沱大雨，但颱風接近時，降水的預報經常是頭痛的事，應用定量降水模式以電腦技術來說明及預告大氣降水現象係供將來之用，目前我們利用統計技術來補充長期降雨記錄的分析工作，對於極端值再現期以理論上的出現頻率配合實際資料，會有一定程度的價值，風速、雨量、激浪的分析工作業經完成後，以頻率、機率、相關係數、重現週期的方式提出結論，不但可以評估設計建築物的成本效益、土壤流失程度等，也在預期的使用年限裏，增加防護措施，這些似乎在現有的資料中是比較具有可行性及參考性的。

資料及研究方法

本文所分析的資料是由東沙島海軍氣象台觀測所得的記錄，自民國 59 年到民國 70 年共計 12 年間，侵襲東沙島的颱風逐時風速、雨量，有些颱風只有強風而沒有顯著的雨量者都經過過濾，剩下 41 個颱風。雨量的統計分析依距離颱風中心而分成三類，0 ~ 2 個緯度半徑，2 ~ 4 個緯度半徑，4 ~ 6 緯度半徑，距離颱風中心 6 個緯度半徑的風速、雨量逐時記錄就不予以考慮，獨立的雨量個案是以開始與結束時連續至少四個小時沒有雨量記錄為準，而且持續時間（duration）至少要四小時以上，對風速、雨量以不同的機率分配模擬，模擬結果並用卡方檢定（ χ^2 -test）驗證是否適合，爲了解獨立雨量個案是否有週期性，對 61 個個案作自相關分析，再者極端風速、雨量的再現期在從可以採用的記錄中，接受合理的外延。

雨量

在颱風的強風期間測量雨量是極吃力而不討好的，因爲雨量計的準確率隨著風力增強而降低，積聚率很低，所以所顯示的雨量資料有偏低的現象，雖然如此，對東沙島的降雨強度（mm/hr）在颱風侵襲期間仍然根據 Frank 1976 的分類法，將其顯示如表一列。

距離 mm/hr	0°~2°	百分率 %	2°~4°	%		4°~6°	%	6°~8°
trace~0.2	43	11.4%	56	13.7%	42	21.5%	14	14%
0.3~2.5	178	47.1%	170	41.7%	70	35.9%	55	55%
2.6~7.5	105	27.8%	133	32.6%	63	32.3%	19	19%
7.5~25	43	11.4%	48	11.8%	18	9.2%	11	11%
> 25	9	2.3%	1	0.2%	2	1.1%	1	1%

爲了進一步對降雨強度頻率統計特性求更多的了解，我們將0°~2°，2°~4°，4°~6°個緯度半徑細分。N點的觀測資料分成5 log₁₀ N組 (Brier 1958) 或1 + 3.3 log₁₀ N組 (Haan, 1976) 0°~2°，2°~4°，4°~6° 緯度半徑分別有335, 352, 153點，故以12組左右爲適當，從圖一、圖二、圖三來看，雨量的分佈以對數常態分佈來配合 (fitting) 最恰當。

圖一、二、三中的直方塊爲實際觀測頻率次數，黑垂直線爲利用對數常態分配模擬的理論分配頻率次數，各種母數推定值及 χ^2 ——檢定值。

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

O_i 爲觀測值，H_i 爲理論值，M爲組數， χ^2 值愈小表示模擬結果愈好，各個緯度半徑降雨強度理論分配模擬結果的 χ^2 值，列於表2中，由表中可見取自由度9，5%顯著水準的 χ^2 ：

緯度半徑	σ_Y	μ_Y	χ^2
0°~2°	1.1	0.9	5.63(9)
2°~4°	0.91	1.03	9.73(9)
4°~6°	0.94	1.09	6.87(9)

表二對合成樣本降雨強度頻率分配對數常態分配的模擬時，母數的推定值及 χ^2 值及自由度 (括號內數字)。

臨界值16.92時，模擬結果相當良好。

對於這些獨立的雨量個案，總雨量的多寡似乎與持續時間 (duration) 有很好的相關，爲了證實這一點，選取持續時間>6小時且平均降雨強度≥2的個案來分析，檢驗總雨量與持續時間的相關係數。

$$r = \frac{1}{M S_x S_y} \sum_{i=1}^M (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})$$

式中X、Y和S_x、S_y分爲總雨量(X_i)，持續時間(Y_i)的平均數和標準偏差，M爲觀測點數，求出來的r=0.8，因此我們有很好的理由相信它們之間爲正相關，此外，平均降雨強度(X)與持續時間兩者之間，獨立檢定的列聯表顯示於表三，括弧內數字代表假設兩者之間無相關時發生之次數。

計算出來的卡方值爲 $\chi^2 = 11$ ，自由度爲(4-1) × (4-1) = 9，取顯著水準 $\chi^2_{0.05} = 16.19$ ，則 $\chi^2 < \chi^2_{0.05}$ 所以應該承認假設，也就是說平均降雨強度和持續時間無關，表四中所列爲獨立降雨個案的自相關係數，對於變數X_i 延遲爲L的自相關係數定義爲：

$$r_{L} = \frac{1}{(M-L) S_x^2} \sum_{i=1}^{M-L} (X_i - \bar{X})(X_{i+L} - \bar{X})$$

M爲總觀測點數，在此爲持續時間的逐時觀測點總數， \bar{X} ，S_x² 分別爲平均數與變異數，在表四中所列的延遲L取持續時間D的1/6，1/5，1/4，1/3，超過1/3 D的延遲，限於觀測點數而不取。

由表四得知自相關係數通常有正負交替的現象，降雨強度集中於持續時間的某幾個小時內，且有週期現象發生，如果將這幾次暴雨在時間上分布情形，以小時爲橫軸將累計雨量繪成雨量累積曲線，則可發現雨量的縱軸常有跳躍的情形，大約呈Y = ax^b的指數情形增加，暴雨雨量經常在某一時段特別集中，這種情形在自相關係數的表四中也可看得出來，強烈暴雨的發生時機同時應考慮到風暴移動的位置與露點水汽進出的問題，一般來說，降雨強度在颱風後面迅速降低，不管風暴雨如何短暫，降雨強度會有很大的變動，由於記錄的時間長度有限，所以利用統計法在降水量分析上用途很廣，可用來推求各再現期 (return periods) 之降雨強度以供工程設計之用，在此我們採取年系列的實測記錄來推估極端值的再現期，甘勒爾 (Gumbel) 會使用公

平均降雨強度 (hr) 持續時間	≤ 10	11 ~ 20	21 ~ 30	> 30	總 計
≤ 2 mm / hr	10 (8.4)	2 (4.4)	6 (3.7)	1 (3.5)	19
2.1 ~ 4 mm / hr	10 (11.1)	7 (5.7)	3 (4.9)	5 (3.3)	25
4.1 ~ 6 mm / hr	3 (3.5)	2 (1.8)	3 (1.6)	0 (1)	8
> 6 mm / hr	4 (4)	3 (2.1)	0 (1.8)	2 (1.2)	9
總 計	27	14	12	8	61

表三 平均降雨強度和持續時間獨立假設檢定之列聯表，括弧內數字為兩變數無關時之頻率。

表四 各獨立個案的降雨強度自相關係數表

颱風名稱	時 間	降雨持續時間 D	延遲 L 之相關係數			
			L=D/6	L=D/5	L=D/4	L=D/3
JφAN	1970.10.16	12	r=0.1		r=0.07	r=-0.02
DELLA	1971. 9.28	24	r=0.09	r=-0.02	r=0.09	r=-0.43
ELAINE	1971.10. 7	24	r=0.06	r=0	r=-0.01	r=-0.03
DOT	1973. 7.16	31	r=-0.22	r=-0.07	r=-0.3	r=-0.4
CARMEN	1974.10.17	38	r=0.24	r=0.03	r=-0.18	r=0.02
DφRTS	1975.10. 4	19	r=0.08	r=0.05	r=0.22	r=-0.26
ELSIE	1975.10.13	12	r=0.08		r=-0.04	r=-0.13
FLφSSIE	1975.10.21	30	r=0	r=0.15	r=0.33	r=-0.17
VIDLET	1976. 7.25	16	r=0.14	r=-0.52	r=-0.95	r=-0.66
AGNES	1978. 7.23	14	r=-0.79	r=-0.22	r=-0.14	r=0.49
ELAINE	1978. 8.29	11	r=0.2		r=-0.3	r=-0.16
GRODON	1979. 7.29	15	r=0.45	r=-0.05	r=-0.47	r=-0.68
HOPE	1979. 8. 2	18	r=0.16	r=-0.1	r=-0.35	r=0.03
GEORGIA	1980. 5.23	27	r=-0.44	r=-0.4	r=-0.37	r=0.05
KIM	1980. 7.27	12	r=0.67		r=0.45	r=-0.13
IKE	1981. 6.12	19	r=0.2	r=-0.3	r=-0.21	r=-0.09
LYNN	1981. 7. 5	21	r=-0.01	r=0.15	r=-0.01	r=0.02
CLARA	1981. 9.21	30	r=0.01	r=0.24	r=0.05	r=-0.29

式如下：

$$X_{T_r} = X + K S_x \quad K = \frac{Y_{T_r} - Y_n}{S_n}$$

上式 Y_n 和 S_n 的值只是樣本大小的函數。

在表五中所顯示的是年系列的極端值及再現期。

表五 東沙島颱風降雨強度極端值的數據表

年 份	降雨強度 (mm/hr)	排名次序
1980	54.5	1
1971	42	2
1972	37.6	3
1976	34.6	4
1979	30.5	5
1973	30.0	6
1978	18.0	7
1974	16.6	8
1975	15.8	9
1977	15.0	10
1981	11.1	11
1970	10.0	12

平均值 = 26.3 標準偏差 = 13.44

在表六中所列出者為經過計算後各再現期的極端值

表六 東沙島颱風降雨強度極端值的再現期

再 現 期	降雨強度極端值(90%可信賴)
2	30.4 mm/hr
5	51.8 mm/hr
10	66.8 mm/hr
25	86.1 mm/hr

在此信賴水平的 α 值，取 $\alpha = 90\%$ ，雖然各組資料離散度不夠好，但是再現期主要在於從可採用的記錄中接受合理的外延。

風速：

強烈的陣風是颱風的一個主要特性，在東沙島被侵襲時陣風強度與陣性可能持續數小時，甚至一、二天，由於風的記錄顯示始終存在的渦流所造成的陣風與靜風，由此可以確定風的平均陣風性，也可以利用任何適當的平均時間來分析風速的變化，在資料的選取上是以颱風中心距來東沙島 $0 \sim 4^\circ$ 緯度半徑內為準，在圖四中所示的是亂流強度隨平均風速的變化情形，亂流強度I的定義為合成風速的標準差與平均風速的比值。

$$I = \frac{1}{V} \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (V_i - \bar{V})^2 \right]^{1/2}$$

在(吳清吉、周根泉，1983)的論文曾提及合成樣

本風速頻率分配以韋伯分配模擬為最佳，在此處的風速合成樣本的觀測點數 $N = 1313$ ， $X = 11.97$ ， $S_x = 4.42$ ，因為風速計在近地層測量的結果，韋伯分配中的尺度因子 β 值仍沿用，而不另作修正，得出的結果如圖五所示，粗黑線代表理論值，資料的分組以 $\Delta V = S_x / 2$ 為組距。

韋伯分配的推定量 α ， β

$$\alpha = \left(\frac{S_x}{X} \right)^{-1.068}$$

$$\beta = \frac{\bar{X}}{Y \left(1 + \frac{1}{\alpha} \right)}$$

Y為伽瑪函數(Gamma function)。

理論值與觀測值的模擬結果仍用 χ^2 值來檢定，求得 $\chi^2 = 10.7$ ，取5%的顯著水準，自由度=11，則 $\chi_{0.05}^2 = 19.68$ 而 $\chi^2 < \chi_{0.05}^2$ 所以模擬的結果是很好的。

對極端風速的分析應能提供有關機率方面的資料，並且能在各種不同的需求中作有效的應用，表七中所列為年系列的極端值及再現期，仿雨量極端值的推算方法可得到表八的結果，信賴水平也取90%。

表七 東沙島颱風風速極端值的數據表

年 份	風速m/sec	排名次序
1974	26	1
1970	25	2
1978	23	3
1980	22.5	4
1972	22	5
1976	21	6
1981	20.5	7
1979	20	8
1971	19.5	9
1977	19	10
1973	17.5	11
1975	16	12

平均值 = 21 標準偏差 = 2.78

在颱風侵襲東沙島期間，風的分析之最重要特性之一是強烈風出現次數，人們可能更關心極端風速對建築物的影響，此外，根據國外的研究顯示，大約持續三小時的陣風的極端風速往往較一個小時內的平均極端風速

大得多，大約要大30%到50%之間，在東沙島風速隨高度的變化也不可忽視，一百公尺高度的平均風速可能要比十公尺高的平均風速大50%，陣風風速隨高度的變化就沒那麼明顯。

表八 東沙島颱風極端風速的再現期

再現期	風速極端值(90%可信賴)
2	21.3
5	25.3
10	28
25	31.5

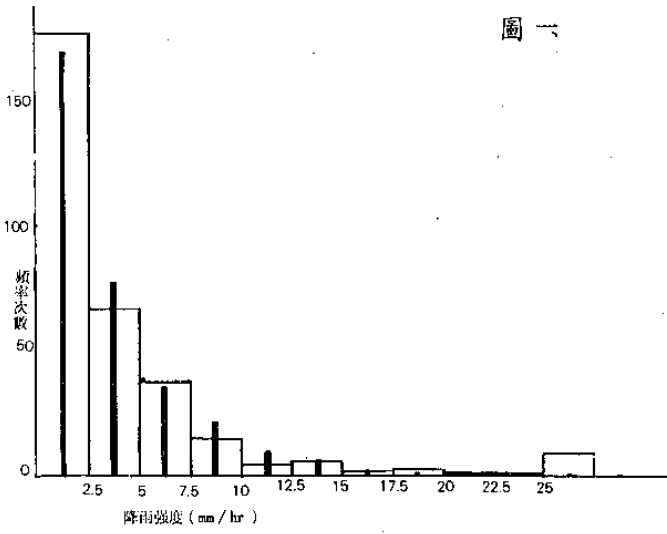
結論：

(一)在東沙島降雨強度與持續時間兩者關係並不密切，降雨強度在不同颱風緯度半徑的頻率分配大約呈對數常態分配，獨立的降雨個案的自相關係數呈現正負交替，降雨呈現陣性，降雨強度的極端值推估具有在防災時的參考價值。

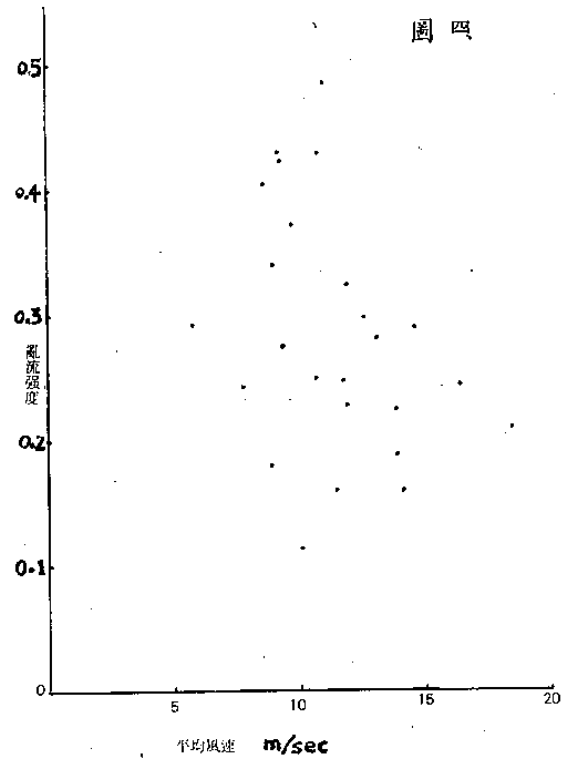
(二)風速頻率分配證實了以韋伯分配模擬為適當(Goodress)風速極端值，離散度不大，推估的結果應當相當可靠，風速隨高度變化及陣風對建築物預期的壽命為不可或缺的因素，所以對於風的資料需求要更詳盡，風暴激浪的問題缺乏可信的波浪觀測，對於潛在性的各種風害、雨害、湧浪必須進一步評估，以便對資源分配決定優先順序，所以氣象人員對分析結果應用情形，應時時不斷觀察修正，建立更優良的模式，找出新問題及次要的觀測技術問題，如此不致使研究成果應用不當或為人所誤解。

誌謝

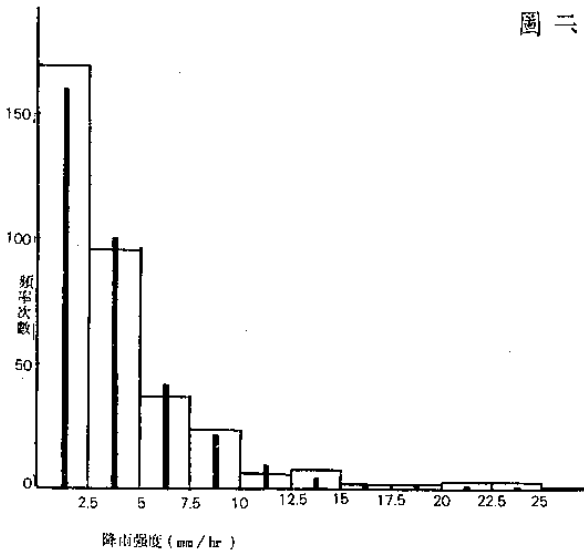
本文是在海軍氣象中心各長官支持與鼓勵下完成計算，氣象人員、徐念慈、陳傳盧、李天祿、姬昂、任于聖協助整理分析，並感謝海軍氣象中心提供東沙島的資料。



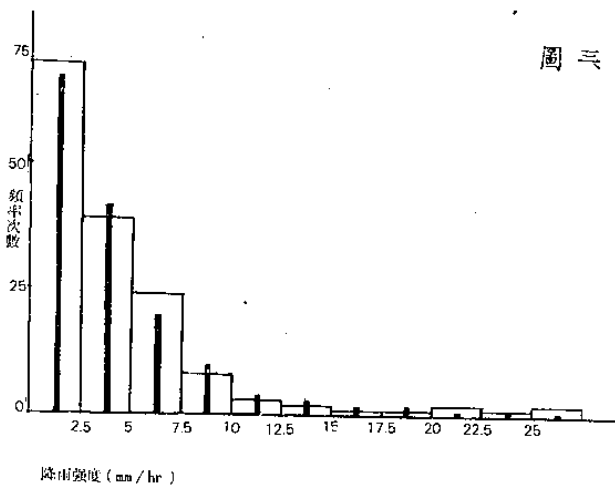
圖一：颱風0-2緯度半徑內降雨強度合成頻率分佈圖



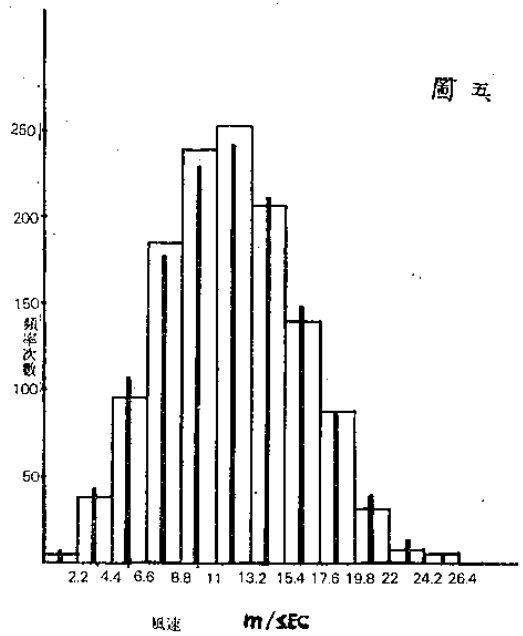
圖四：V平均風速與I亂流強度之分佈圖



圖二：颱風2-4緯度半徑內降雨強度合成頻率分佈圖



圖三：颱風4-6緯度半徑內降雨強度合成頻率分佈圖



圖五：東沙島颱風風速頻率分佈圖

參 考 文 獻

劉廣英，1982：台灣北部風力分析及強風預報之研究。

吳清吉，周根泉，1983：風速之頻率分配與剖面分析。

曲克恭，劉廣英，1983：台灣地區豪雨及暴風雨特殊分布之成因。

Panofsky H.A. and G.W. Brier, 1958: Some applications of statistics to Meteorology
Justus, G.G, W.R. Hargraves, A. Mikhail and D. Graber, 1977: Methods for estimating wind speed frequency distribution. J.A.M; 17, 350-353

羅樹孝，1979：水文氣象學。

蔡清彥，周根泉，1982：颱風路徑與台灣地區之風速及雨量分布。

