

大漢溪流域颱風暴雨量預報之研究

陳毓雷

A Study on Quantitative Precipitation Forecasting for Tahan Watershed

Yulei Chen

Abstract

The introduction of CLIPER method into this particular area of Taiwan in predicting the typhoon movement proved quite successful in the previous study on flood forecasting for Nan-young River watershed (1976). Thus the curvilinear multiple regression technique was again applied on 690 cases of typhoons (1959-1974) to obtain 6 predicting equations which will give the future track of any storm in the vicinity of Taiwan for the next 48 hours.

The estimation of the total amount, the duration and the hourly distribution of rainfall, within the area of Ta-han River watershed, for the storm of interest is based on both the predicted track and the average precipitation pattern of the past storms of which the tracks were essentially the same. The estimation thus obtained will be used as the input data for flood forecasting.

一、前言

本省位於西太平洋為颱風必經之地，而颱風每次侵襲臺灣首推花蓮及宜蘭一帶洪水災害最重，其次是臺北淡水河下游區域。對某一特定流域而言，颱風究將挾若干雨量沛然而降，是否將引起洪災，向為一極嚴重亦極端複雜之問題。前在行政院國家科學委員會之鼓勵及獎助下，曾在六十三年與臺大雷萬清教授合作從事「蘭陽溪流域的洪水預報之研究」(1) 所得蘭陽溪流域的颱風暴雨量預報效果尚可，故再度經國家科學委員會審定「大漢溪流域之洪水預報研究」。筆者負責其中颱風暴雨量預報部份。

由於上次蘭陽溪流域颱風暴雨量預報的時效只有24小時，似嫌過短，本研究計畫進行之初，奉國科會指示應將預估時效延伸至四十八小時，並將研究目標結合石門水庫管理局之需求。另一方面洪水預報作業所需之輸入資料(預估降雨量)希望為一次颱風之降雨量，而非一定時距內(例如24、48小

* 本文曾獲行政院國家科學委員會獎助。

時)之可降雨量，而且最好能有逐時雨量分配之估計。因此設計本次研究途徑時，一面根據檢討保留去年之長(路徑預報)而捨棄其短(繁複之修正步驟)，一面配合特定之期望目標納入各項需求。質言之，先用高次迴歸方程預測颱風未來48小時內之路徑，其次作初步決定視其對大漢溪上游流域是否有暴雨威脅，然後作定量的各項計算，包括該颱風引致本流域降雨起止時間，全部降雨量及逐時雨量分配等，最後以實例對預估步驟作示範說明。

二、大漢溪流域地形及氣象概述

(一)流域地形

石門水庫興建完成後大漢溪上游流域之範圍亦即石門水庫之集水區。故本區暴雨降雨量之預估直接影響水庫之運作。

本流域總面積 622 平方公里，中心定在 24°39'、121°24'之嘎拉賀，標高1,150公尺。此選擇乃基於水文氣象分析之方便及雨量之代表性，與地理學之幾何中心或水文學之流域重心無關。流域

全圖及其與臺灣之相關位置見圖1。

本流域內有白石溪、泰崗溪、玉峯溪、三光溪等四支流匯合至三光合流而稱大漢溪，至石門經調節後北行流入淡水河，故對臺北地區之防洪意義而言亦有重大關係。不過本洪水預報研究計畫暫以大漢溪流域為限，主要目的在事先預估一次颱風暴雨量從而作為瞬時單位歷線法之投入以求洪峯流量、洪峯發生時間，俾供石管局運作及臺北地區洪水平原作洪災消滅計畫之參考。

本區地勢大致東南及南界最高(品田山3529公尺)，西北即大壩所在處最低(135公尺)，但西界之分水嶺亦大部在2000公尺以下，使流域中央略呈盆地形勢，然仍有超過二千公尺之山峯散佈各處。

(二)氣象概述

就氣象及降水之觀點言，本區因地處羣山環抱之中，且東西距海岸線均逾二十公里以上，一般而論水汽來源部份被周界之分水嶺截留，平均等雨量線呈一最低中心，在冬季尤為顯着。然在夏季，尤當七、八、九月之颱風季內，本區平均雨量相對而言雖仍較其鄰近地區略小；但每當颱風接近本區中心經過時，其一次降雨量幾乎均達暴雨量標準以上(按中央氣象局之定義：日雨量大於130公厘)。蓋因1.颱風環流範圍內之探空資料顯示800mb以上(約當本區周界山高)之可降水量仍達4.20g/cm²，與無颱風時夏季平均地面起算之可降水量4.90g/cm²相差不遠(2)。2.由臺灣北部通過之正常颱風路徑常可產生北或西北風，使本區西北缺口正可納入豐富水汽，並在東南高地之迎風面上昇坡凝結降落。位於本區之白石且曾締造暴雨日雨量世界紀錄達1248.0公厘之多。

茲以表1列出石門、嘎拉賀兩站之降雨統計資料。上表內雖以六、七、八、九月為月雨量最多之四個月，但根據各種文獻之研究結果(例如徐晉淮「臺北地區豪雨之研究」(3))均一致指出颱風出現最頻之月份為七、八、九月。六月份之雨量主要屬梅雨，可從雨日特多說明之，因此雨量平均分散，不易引起洪災。反之，七、八、九月內之雨量大部份(約60%)均屬颱風雨；況其雨量皆集中在一、兩天內降下，故易肇洪災。是以本文所研究之暴雨亦以颱風雨為限，而梅雨不與焉。茲以七、八、九月各站之平均月雨量相加繪製成颱風季本流域等雨量線圖如圖2。該圖中可見颱風雨量之分佈大致與地勢高低相一致而提供以後計算流域總雨量時選

擇代表性雨量站之參考。至於颱風各項特性是否影響，如何影響本流域內降雨量之多寡及型式等問題另見下文第六節內之詳細分析說明。

三、資料處理

(一)來源

本研究目標所需之原始資料可初分為兩大部份。一為有關颱風特性(包括位置、路徑、移速等，詳見下節)之歷史資料。一為對應各颱風本流域之雨量資料，包括詳盡之逐時雨量。前者主要藉空軍氣象中心自行整理及關島 JTWC 所整理之事後最佳路徑資料，承該中心允於借用。後者主要為石門水庫管理局觀測及保存之降雨資料，蒙省水利局第一水文站周似成君代為借得(但逐時雨量之資料僅得十九次颱風)。

(二)所取颱風個案空間範圍

所取颱風個案資料均以 110°E, 15°N—30°N 為範圍，如圖3所示。

在此範圍內共得 690次個案，其中67次係在南海發生之熱帶氣旋或風暴。每一個案分別有其24小時、48小時後之各項觀測值資料。

(三)資料之時間範圍

為配合自記雨量站逐時雨量紀錄起見(最早之自記站設立於一九五八年)，上述個案均採自一九五九年迄一九七四年之十六年期間。

(四)資料之精確度

根據上述空間、時間範圍，初步蒐集個案計達 812 次，後經逐案審查其來源而分為三種精確度，最後僅採用空軍氣象中心及美軍 JTWC 經過整理之最佳路徑資料690次。深信此種過濾對分析結果之準確率關係甚大。Neumann 氏曾詳作診斷分析後著文強調原始資料精確程度對客觀預報準確率之重要倚存關係。

(五)降雨量

本流域可分為七個小集水區。按理論最好分別取其代表性雨量站用區域平均法求全流域之降雨量。唯降雨之原始紀錄時有缺漏，對迴歸分析所需眾多原始資料而言，無法應用水文分析中所用劃分過細之區域平均法，故改以較可靠，不常缺漏，且平均分佈在本流域上游能大致代表本流域內三支流小集水區之三雨量站三光、嘎拉賀及秀巒(請參閱圖1)，並僅取其算術平均作為全流域之降雨量值。至於石門之資料雖極完整，但因其已至最下游之大壩，不能代表上游雨量故未加採用。如此經簡化

所求得之降雨量值與詳細之加權區域平均法結果相較，並無很大出入。例如一九七〇年九月二十日至二十二日貝絲颶風之雨量依上述簡化方法所得平均為 543.2 公厘；若依詳細水文分析方法所得平均則為 574.4 公厘，相差不多。事實上由瞬時單位歷線法所求洪峯流量結果與實際情形相較顯然用 574.4 公厘之值偏高，然則此處之簡化方法或反而更具代表性亦未可知。

因全部資料 690 次個案中絕大部份目標區均無雨，以此分析必無結果。故僅擇取颶風路徑在目標區中心兩個緯度以內經過者共計 131 次個案之降雨量從事迴歸分析。另選使本流域降雨量達到暴雨標準之十九次個案（應有 34 次，限於實際能獲得之資料僅有十九次），抄錄上述三站之逐時降雨量紀錄，以備詳細分析之用。

四、高次選擇迴歸分析—CLIPER 方法

預估颶風暴雨量之前提在準確之路徑預報。據一九七五年蘭陽流域暴雨降雨量之研究結果，CLIPER 方法對較小地理範圍（臺灣附近）及較短預報時限而言，其成果凌駕以天氣學導流觀念為主之 NSC-72⁽⁴⁾。故本次研究仍以該法從事預報颶風移動路徑，不過將預報時限除 24 小時外，擴充至 48 小時。

CLIPER 方法與 HURRAN 方法基本同屬類比法颶風預報，茲簡介如下：

(一) HURRAN 方法

本法由 Hope 與 Neumann 於一九七〇年設計試作。其原理極為簡單，將歷史中與前颶風諸特性相類似之颶風個案找出，然後取其平均動向作為當前颶風之路徑預報。本法之詳細步驟可參閱其論文⁽⁵⁾。惟本法有一缺憾：有時歷史中無類似個案可找時，即無從使用。而且類比之標準取得愈嚴時，愈多此種可能。Neumann 氏為求改進上述缺失，乃在一九七一年另行設計新法如下。

(二) CLIPER 方法

所謂 CLIPER 方法，乃指利用氣候學 (Climatology) 及持續性原則 (Persistence) 之意。本文既採用此法，乃以此次研究之特殊情形及資料配合本方法之原則敘述於下，至其原始細節請參閱其論文⁽⁶⁾。

1. 預報目標

我人所欲預測之颶風未來位置係以颶風在未來 24 小時內之位移來計算，以海里為單位；分別

以 Y_{24} 、 X_{24} 、 Y_{48} 、 X_{48} 表示之。此外並有大漢溪流域上游之 24 小時、48 小時平均降雨量亦為預測目標，以 P_{24} 及 P_{48} 表示之。故共有六個預報目標，其意義及本次研究各個案之平均數、標準差等列於表 2。

2. 預報因子

用以預測颶風未來動向之預報因子計有八個。其符號、意義亦如表 2 所列，並將本次研究所結集資料之平均值及標準差亦附列於同表，俾資參考。

3. 高次迴歸方程

以上八個預報因子 R_i ， $i=1, 2, 3, \dots, 8$ 。可以根據原始資料與預報目標 A_j ， $j=1, 2, \dots, 6$ ，構成一次複式迴歸方程式(1)式，

$$A_j = C_0 + \sum_{i=1}^8 C_i R_i \dots\dots\dots(1)$$

式中之 C 為迴歸係數。Neumann 氏認為如此所得之線型（迴歸線）關係不如曲線者為適切，故採用高次迴歸分析，並以三次為限。

由八個變數 R_i 取三個以下任意連乘之組合如下式：

$$\prod_{i=1}^8 R_i^{j_i} (j_1 + j_2 + \dots \leq 3) \dots\dots\dots(2)$$

其結果應有 164 項之多。擁有 165 項之多項式雖亦可構成迴歸方程，但絕不切合實際。是以必需另採選擇迴歸法 (Screening regression technique)，或稱逐步迴歸法 (Stepwise regression)，逐步擇取相關最高之預報因子與預報目標構成迴歸方程，直至繼續選出之因子已不復發生很大作用時為止。結果所得之方程式，其一般形式將如

$$A = \sum_{i=0}^n C_i Z_i \dots\dots\dots(3)$$

式內之 A 為預報目標 Y 、 X 、 P 等六個。此處之 Z_i 為由(2)式展開所得 164 個預報因子中被選擇出來具有最高相關之 n 個，通常 n 為 3 至 10 項。舉本次所得結果諸方程之一，48 小時後南北位移之預報方程為例如下：

$$\begin{aligned} Y_{48} = & 241.34920 + 0.01092L_0L_0V_0 \\ & - 0.00132L_0U_0D + 0.09754V_0V_{-12}U_{-12} \\ & - 0.03537L_0D + 0.00017L_0WD \\ & - 0.03839V_0U_0U_{-12} \dots\dots\dots(4) \end{aligned}$$

設有颶風現在位置 $24.5^\circ N$ ， $122.5^\circ E$ ，現在速

度向北 5.0 哩，向西 6.2 哩，12 小時前速度則為向北 4.5 哩，向西 6.5 哩，最大風速 100 哩，日期為 8 月 6 日 ($D=218$)；以上各值分別代入(4)式之 L_0 、 L_0 、 V_0 、 U_0 、 V_{-12} 、 U_{-12} 、 W 、 D 計算 Y_{48} 結果應為 269.9 哩，表示該颶風預測將在 48 小時後將向北移動 269.9 哩或 4.5 個緯度，亦即將移至 $29.0^\circ N$ 處。

類似上例之計算有六次之多，故最好能利用桌上小型計算機，庶能爭取時效，避免錯誤。如能預先寫成程式，則更為快捷。

選擇迴歸法之原理與步驟自 R.G. Miller 於一九六二年用於氣象預報後，應用日廣，技術細節亦日有改進。自作者於民國六十一年首次引進國內用於臺灣近海之颶風路徑預報⁽⁴⁾後，目前國內亦已廣泛利用此項技術。故有關詳情不再在本文中贅述，請參考上述論文。但以此種分析過程所涉變數過多，原始資料龐大，計算繁複無比，非以計算機代勞不可。幸賴行政院主計處電子處理資料中心以其快速之 IBM-370 全力支援，得能順利且迅速完成全部作業。前者為預報因子展開成爲三次 164 項，並對全部 690 次個案逐一計算其觀測值之程式；後者較為複雜，包括 STPRG 主要程式及其附屬程式 CORRE 等。

五、分析結果（預報方程）

在整理原始資料時，曾將其劃分為三個部份：

- (一) 全部資料 690 次案例，不分颶風自太平洋抑南海而來，亦不論其是否接近或穿越本流域而過。同時原始資料來源之可信賴性高低亦不加分別。
- (二) 除去南海 (67 次) 後之 623 次案例，均自太平洋方面向西或西北而來。除少數情形外信賴度均可靠。
- (三) 接近、掠過或穿越本流域之 131 次案例，信賴度最高，且大部份均有雨量紀錄。（以上(一)(二)兩種情形則均無雨，或有雨而無紀錄可考）。

此三部份資料對 Y_{24} 、 X_{24} 、 Y_{48} 、 X_{48} 四個預報目標均作高次選擇迴歸分析，分別獲得十二個預報方程。然對 P_{24} 、 P_{48} 二個預報目標而言僅以第三部份 (131 次案例) 分析而得二個預報方程，且因受制於觀察次數之不足，不能用原始預報因子之三次展開項而不得不改以二次展開。

審視三種不同案例次數之分析結果，其準確率

（以相關指數或除誤差為準）作比較均在伯仲之間，可自表 3 所列各不同預報方程之相關指數得知。

最後決定以無南海資料之第二部份所獲結果為預報方程，蓋不但此組方程之相關指數比較高，且颶風季內絕大部份颶風均來自西太平洋者。茲以表 4、表 5 分別列出 Y_{24} 、 X_{24} 、 P_{24} 、 Y_{48} 、 X_{48} 、 P_{48} 六個預報方程內逐步選出之預報因子及迴歸係數，選出時之 PCR (per cent reduction)，指該預報因子所能解釋之預報目標變異數之百分比，愈多表示相關愈高) 及累計 PCR。表內最後兩欄為相關指數 R 及估計標準誤 SEE (standard error of estimate)。

檢討以上結果可得下列三端。

(一) 就不獨立資料 (即已參加分析之原始觀測資料) 之校驗，分下述三條說明之。

1. 24 小時之位移預報，南北向及東西向方程之相關指數高達 89.7 及 94.9，與六十四年蘭陽流域研究之結果相若。但就其平均差誤值 (SEE) 分別僅 38.3 哩及 45.3 哩而言，則較上次研究者尤小，與 NSC-72 方法比較 (52.4 及 68.7) 哩自屬更小，可謂本次之結果最佳。

2. 48 小時之位移預報，南北向及東西向方程之相關指數分別為 75.3 及 87.1。此值較 24 小時方程者略差，應在意料之中。因上次 CLIPER 方法實驗中無 48 小時，故無法比較。至於平均誤差值分別為 118.5 及 151.7 哩與 NSC 72 方法之 130.9 及 183.8 哩相比較亦大有進步。

3. 24 及 48 小時之降雨量預報方程之結果雖較上次研究者大有進步，但其平均誤差值分別為 99.4 及 136.3 公厘仍嫌太大，與降雨量標準之數值 116.1 及 162.5 公厘相差不遠。故在本次實驗後，降雨量預報仍祇能認為一種平均值性質，用之於極端值情形下尤不準確。當颶風經過本流域附近時必須另行設法 (見下節)。

(二) 因獨立資料僅剩一九七五年一個颶風季，且該年颶風資料特少，故未加校驗。但以個別案例試算例如今年 (一九七六) 八月九日 0000Z 之畢莉颶風試算兩次結果，其預報位移 Y_{24} 及 X_{24} 分別為 74.1 及 270.4 哩與實際位移 66.0 及 313.2 哩比較，誤差甚小，遠在平均誤差之下；48 小時 Y_{48} 及 X_{48} 分別為 148.4 及 458.1 哩與實際位移 162.0 與 550.0 哩比較， X_{48} 之誤差甚大，蓋畢莉登陸後轉為普通低壓移動太快之故。

(二)審視四個位移預報方程，其中第一被選出之預報因子幾乎皆為 V_0 或 U_0 ，尤以 X_{24} 方程內僅選出唯一之 U_0 。來說明本方法在本特定區域之持續性特別明顯。而在東西向位之意義上言，當我們用此方程於南海發生之颱風時，應予提高警覺，慎重處理，或作必要之主觀判斷，據修正預測位置。另外亦說明 V_0 及 U_0 值本身之推算必須根據當時實際資料儘量求其準確。

六、颱風侵襲本流域時之暴雨量分析

上節分析之結果顯示颱風雨量之預報方程不能符合實際作業上之要求，一方面準確率太低，另一方面預報時限固定為24小時或48小時不能與該颱風一次雨量相吻合，更無從得知暴雨起止之時距，最大雨量出現之時間、雨量之逐時分配等細節。故在本節內就侵襲本流域颱風暴雨之逐時雨量紀錄另作分析，俾據以製訂預估之途徑，並配合洪水預報作業之需求。

初步對原始資料作廣泛之調查，颱風路徑在距離本流域中心一個緯度以外經過時均不致造成200公厘以上之暴雨量（按暴雨量定義為日雨量130公厘以上，而颱風一次暴雨量之延時平均為兩日），故本節所謂侵襲本流域之定義即按颱風通過以 $24.7^{\circ}N$ ， $121.4^{\circ}E$ 為中心，一個緯度為半徑之圓周範圍內為準。依此定義在十六年資料中得34次個案，但有完整逐時降雨量者僅十九次。茲綜述各該颱風降雨之特性如表6。表內雨量計算仍循第三節之(二)所述以三光、嘎拉賀、秀巒三站之平均代表本流域之雨量。

(一)颱風路徑及強度之細分類

欲瞭解不同颱風特性對本流域暴雨量之影響如何，茲以表7、表8分別說明之。

以上兩表說明兩項事實：其一，颱風一次暴雨量與所取路徑之偏南抑偏北無關。但正經過流域中心之路徑則確能使雨量顯著增加（約40%）。其二，颱風侵襲時之一次暴雨量與颱風強度無一定關係。此與曲克恭在「臺北盆地颱風降雨量之計算及預測研究」(7)文中所述一致，似可取信，故此後之分析不再考慮強度之區別。

(二)逐時雨量之分配型態

1. 降雨起止時刻颱風所在地位置線：

逐案查出本流域開始及停止降雨之時間，標記颱風在各該時間之地理位置於天氣圖上，據以繪出正常颱風侵襲期間本流域降雨起止時

刻颱風所在位置線（以後簡稱起止線）如圖4。圖中之虛線為實際開始及停止降雨時間颱風位置線，實線為顯著降雨起止線。此處所謂顯著降雨意指一次颱風暴雨量之96.8%。以颱風中心距流域中心最近之一小時為 H' 小時，則在 $(H'-16)$ 小時以前及 $(H'+13)$ 小時以後之降雨量雖延甚久（共19小時），而其小時雨量則甚微（共計僅9.7公厘，佔總雨量之3.2%而已）。故對洪水之造成不能構成威脅，可不必考慮。

如以侵襲本區颱風之平均移速12哩，顯著降雨起止線之距離（例如圖4中之 AA' ）平均為300哩計算，則顯著降雨之起止時間平均為25小時。

2. 逐時雨量之分配型態：

(1)以時間為橫坐標（小時為單位），流域降雨量為縱坐標，將每次颱風暴雨隨時間之分配型態逐案繪出來，發覺絕大部份均具有常態分配曲線之型態（見表6之第七欄）。

(2)於是初步乃將時間（橫坐標）之參考點定在當颱風位置最接近流域中心之一小時，即 H' 小時，其前後循序 $H'+1$ ， $H'+2$ 等。然後將十七次（已除去葛樂禮及美勞西）曲線予以平均而得，平均逐時雨量分配圖如圖5。

由圖可知最高雨量出現在颱風抵達中心之前五小時（即使將葛、美加入平均，所得結果之型態、高峯時間均無更動，惟雨量將增高而已，如圖5中之虛線所示）。

(3)唯實際上各個案之最高雨量出現時刻則並不一定落在 $(H'-5)$ 小時上。若就逐時雨量分配型態之真實意義言，圖5曲線並非最佳之代表。

(4)故又將橫坐標之參考點定為各該颱風高峯雨量出現時間，稱之為 H 小時。重新平均而得圖6之平均逐時雨量分配圖，此圖中之曲線所代表之逐時雨量變遷情形應為颱風侵襲本流域時之典型分配。經過此一更動後（參考點時間之移動），一次颱風總雨量略有增加，成為337公厘，而顯著雨量起止線範圍內（即25小時）之部份則為295公厘，佔全部之87.5%。

3. 曲線型態是否接近常態分配之試驗：

圖6之曲線由目測知其頗似常態分配曲線

，計算其均數、標準差、偏度及峯度各統計量之值如下。計算時假定時間為變量，小時雨量為出現次數。

$$\begin{aligned} \mu &= -0.85 \\ \sigma &= 4.87 \\ \gamma_1 = \mu_3/\sigma^3 &= -0.98 \\ \beta_2 = \mu_4/\sigma^4 - 3 &= -0.17 \end{aligned}$$

說明此分配確甚接近常態曲線，不過略呈偏左之不對稱型及平峯度。以本流域颱風雨量分配之意義言，亦即颱風前之雨量略較其後為豐，而雨量雖集中在最高點但其前後數小時內均相當豐沛。無論從實際曲線之對稱型態或由 γ_1 及 β_2 看左偏度及平峯度之值均不顯著，故一般而言應可認其為常態分配。

七、暴雨量預估步驟

至此我人可在有颱風侵襲本省趨勢之際，將本流域暴雨量之預估步驟說明如次。

(一)預估時機在颱風行近 $130^{\circ}E$ 前後之天氣圖時間最為適宜，但尚須等待一、二個小時後方可利用天氣圖及同時間之颱風資料報告。

(二)以表4、表5內之颱風位移 (X_{24} 、 Y_{24} 、 X_{48} 、 Y_{48}) 預報方程求得颱風在24小時及48小時後之位置，點入圖4並註記時間。

(三)若落在圖4圈外，則繼續以表4、表5內之 P_{24} 、 P_{48} 、求得此後24及48小時內之降雨量作為參考（注意此非颱風一次暴雨量）。

(四)若落在圖4之圈內，表示颱風將侵襲本流域，有洪災發生之可能性。其一次颱風暴雨預估步驟如下。若路徑落入內圈時，亦按下列同樣步驟計算，不過所得各種雨量之值均增加40%。

1. 從流域中心作垂直線與預測之颱風路徑線相交，用內插法估計該交點之時間為 H' 小時。
2. 決定 $H=H'-5$ 為本次颱風最高雨量出現時間。

3. 本次颱風雨量之計算公式：

$$\begin{aligned} (1) P &= \frac{P}{t} \times \frac{300(n.m.)}{V(kts)} = 11.8 \times \frac{300}{V} \\ &= \frac{3540}{V} \text{ m.m.} \dots\dots\dots(5) \end{aligned}$$

式中符號意義如下所述：

P = 本次颱風在顯著雨量起止時間 t (= $\frac{300}{V}$) 小時內之厘米值。

\bar{P} = 侵襲本流域颱風之平均顯著雨量 (295公厘)

\bar{t} = 侵襲本流域颱風之平均小時數 (25小時)

V = 本次颱風當時之移速 (如有明顯之增速或減速跡象而經預報正式發佈者應加採用)。

P_t (本次颱風一次總雨量) = $1.15P$ 。

以上 P 及 P_t 為 V 之函數，茲列表如表9，以利查閱。

(2) 降雨延時之計算

顯著雨量起止之時間為 H 小時前後各

$$\frac{(t-1)}{2} \text{ 小時。 } t = \frac{300}{V} \text{ 之值見表9之第四欄，進為整數奇數如同表之第五欄。}$$

(3) 顯著雨量之逐時分配

決定 P 及 t 後，根據下列常態分配公式計算各 $(H \pm x)$ 小時上之雨量 $p_{H \pm x}(8)$ 。

$$P_{H \pm x} = \frac{P}{\sigma} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \dots\dots\dots(6)$$

(6)式內 $1/\sqrt{2\pi} \exp(-x^2/2\sigma^2)$ 部份之值可直接由表10查得。不過表10中 x/σ 值由 σ 決定，而 σ 又由延雨時間 t 而有所不同。從實際分配情況得之與各 t 值相對應之 σ 值，取其約數（整數）後如表11。

表10中查得之值乘以 p/σ 後即各該 x 小時之雨量。例如已知 $P=292$ 公厘，延雨時數為23小時。則 σ 採用4。若欲知最大雨量前三小時 ($x=-3$) 之小時雨量 p_{H-3} ，先查

$$\text{表10內 } \frac{x}{\sigma} = \frac{3}{4} = 0.75$$

之所當值為0.301。再乘以

$$\frac{P}{\sigma} = \frac{292}{4} = 73$$

後，得22公厘。其他各小時之雨量均可依此類推而一一得出整個顯著雨量 P 之逐時分配情形。此而得之逐時分配為標準之常態分配， H 小時之前後完全對稱。當然不可能與真實情形（略呈偏左之不對稱型）完全符合，通常高峯雨量出現時間 H 小時上之 P_H 預測值亦往往較真實者為小；然鑒於其他因素均可能有一定程度誤差存在之情況下，作為一種預估，上述方法所包含之偏差應可被允許

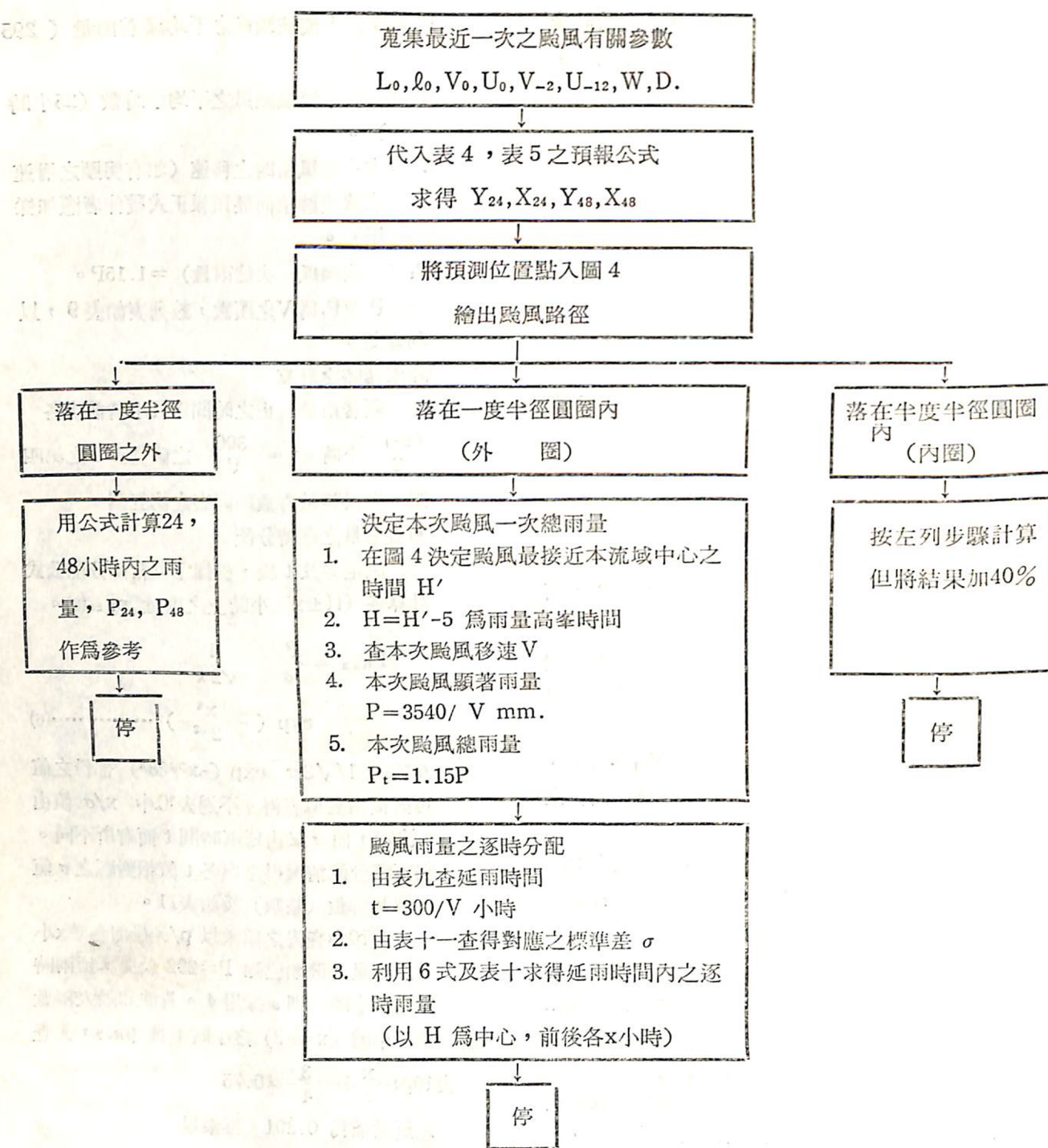


圖7 颱風暴雨量預估梯程圖

而不必苛求分配之完全適切。

(五)茲將上述預估步驟製成梯程圖 (ladder steps) 如圖7。其中須用之各種圖、表等宜加複製置於梯程圖一起俾利應用。

(六)實例說明

1. 颱風名稱及資料時間：貝絲 (Bess)，1971. 9.21.0000Z。
2. 將上述時間之颱風有關資料

$L_0=22.2, l_0=129.6, V_0=3.5,$
 $U_0=10.8, V_{-12}=3.0, U_{-12}=11.9,$
 $W=130, D=264。$

作為預報目標代入方程得

$Y_{24}=78.4, X_{24}=247.9; Y_{48}=182.2,$
 $X_{48}=444.1$

點入圖4後繪成預測路徑圖，落入內圈之內。

3. 計算颱風暴雨量：

則易致重大之誤差。

誌 謝

本研究為國立臺灣大學土木研究所雷萬清教授所主持研究計劃「大漢河流域洪水預報之研究」之一部份。除對國科會工程組之大力支援及雷先生之全盤策劃致無上感激之外，亦蒙臺大大氣科學系亢教授之激勵及指導，此外臺灣省水利局第一水文站，石門水庫管理局，行政院主計處，本校林正中教官，或借予資料，或提供電子計算時間，或協助資料之整理分析與繪圖工作，於此一併表示作者衷心謝忱。

參考文獻

1. 陳毓雷、雷萬清，1976：「蘭陽河流域洪水預報研究計畫——颱風暴雨降雨量之推估」，國科會研究彙報第九期。
2. Gordon Bell, 1973: "Some typhoon Soundings and their comparison with soundings in hurricanes", Jour. of Appl. Meteor., Vol. 12, No. 1, pp. 74-93.
3. 徐晉淮，1971：「臺北地區豪雨之研究」，氣象學報十七卷三期，第四十六頁。
4. 陳毓雷、鮑學禮，1973：「颱風移動路徑及強度之客觀預報」，國科會研究彙報第六期，第121-129頁。
5. Hope and Neumann, 1970: "An operational technique for relating the movement of existing tropical cyclones to past tracks", Mon. Wea. Rev., Vol. 98, No. 12, pp. 925-933.
6. Charles J. Neumann, 1972: "An alternate to the HURRAN tropical cyclone forecast system", NOAA TM NWS SR-62.
7. 曲克恭，1971：「臺北盆地颱風降雨量之計算及預測研究」，氣象學報十七卷三期，第46頁。
8. C.E.P. Brooks, 1953: "Handbook of statistical methods in meteorology" p. 378.

(1)顯著雨量 P

先求颱風當時移速為 11 哩，查表 9 知
 $P=321.8$ 公厘，增加40%後為 450.5公厘。

(2)一次總雨量 P_t

$P_t=1.15P=518.1$ 公厘

(3)逐時雨量分配

①決定高峯雨量出現時間 H，

H' ：由圖中得知為 9月23日 0300Z
 $H=H'-5$ ，亦即在 9月22日 2200Z

② t (顯着雨量延時) = 27小時 (查表 9 第五欄) 故逐時分配之時距在 (H-13) 至 (H+13) 之間，相當於 9月22日 0900Z 至 9月23日 1100Z 之間。

③ 以 $\sigma=5, x=0, 1, 2, \dots, 13$ 代入(6)式計算結果得逐時分配表如表 12。

4. 實際貝絲颱風之一次暴雨總量為 574.4公厘，預估之 518.1公厘偏低約 10.9%；實際高峯時間為 9月22日 1800Z，預估之 2200Z 落後四小時。顯着雨量之延時，實際與預估均為 27小時；至於預估逐時分配之每小時雨量自與實際者有相當出入。

八、結 論

(一)本研究分兩步驟預測大漢河流域之颱風暴雨量，先以高次複式選擇迴歸法預測颱風之 48小時未來路徑，然後預測某一颱風之一次降雨量，以及逐時雨量分配。

(二)颱風路徑預測部份，實際上為美國 CLIPER 方法之引進，經校驗結果顯示：對 48小時以內之預報較其他客觀方法之準確率為高，故本法亦可單獨使用於颱風路徑之預報。(惟因所採原始資料不包括南海發生之個案，故不宜應用於該海域發展之熱帶氣旋)。

(三)降水之定量預報一向極為困難，尤以臺灣地區之地形特殊，隨颱風之源地、路徑、風向、強度、移速，而一地雨量可有懸殊之結果。本文就大漢河流域為範圍，所得颱風暴雨降雨量之預測結果雖不能臻於理想，然對上述颱風諸因素均已作客觀之考慮，尚不失為一種客觀預報法，應可作為洪水預報之投入資料。惟在實際應用時，宜先考慮來臨之颱風是否具有如雙渦旋；極強氣壓梯度(寒潮南下)等特殊系統或天氣圖形勢存在，否

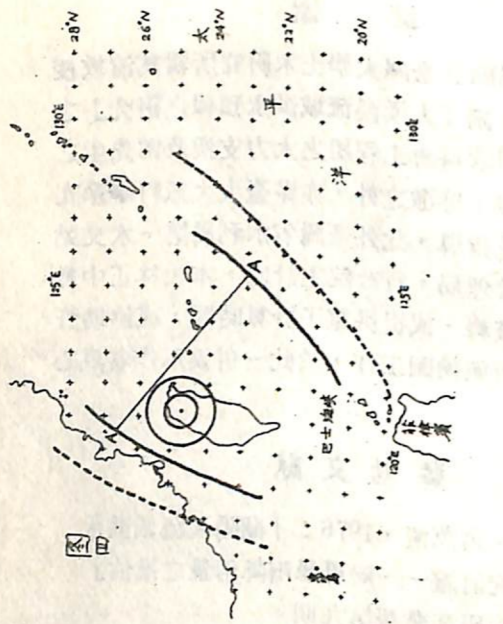


圖 1 大漢溪上游流域 (石門水庫集水區) 圖 2 颱風季 (七、八、九月) 內平均等雨量線圖 圖 4 本流域在颱風侵襲期之起止降雨線圖 (虛

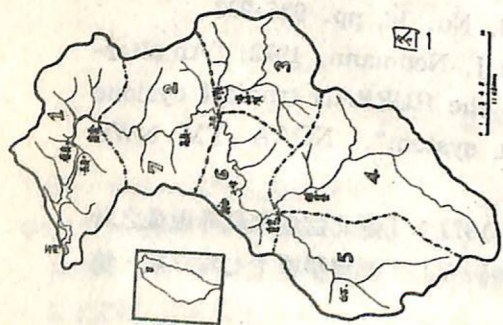
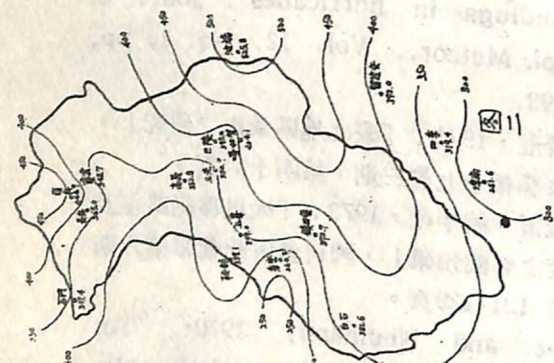


圖 3 製訂資料所取颱風個案空間範圍圖 圖 5 平均逐時雨量分配圖 (時間參考點為颱風最接近流域中心時間) 圖 6 平均逐時雨量分配圖 (時間參考點為最高峯出現時間)

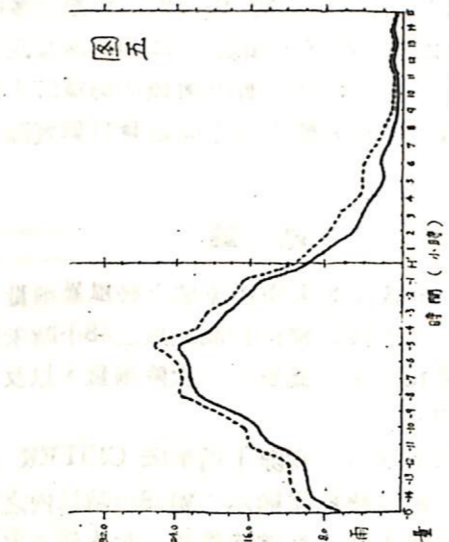
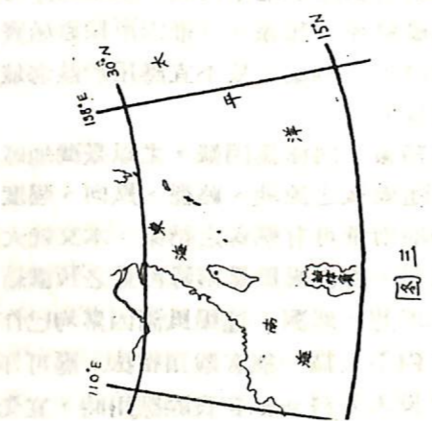


圖 3 製訂資料所取颱風個案空間範圍圖
線為實際降雨起止線，實線為顯著降雨起
止線)

圖 5 平均逐時雨量分配圖 (時間參考點為颱風最接近流域中心時間)

圖 6 平均逐時雨量分配圖 (時間參考點為最高峯出現時間)

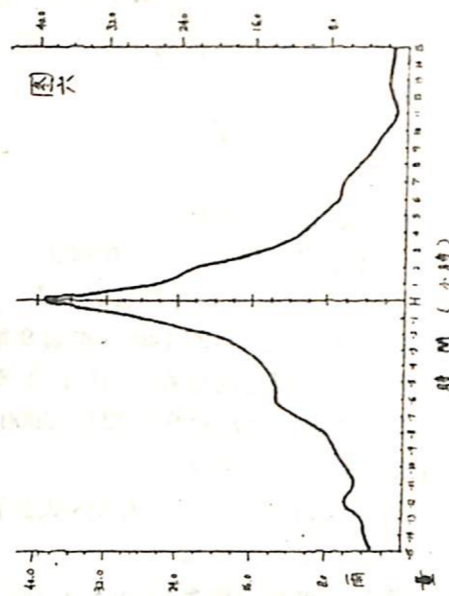


圖 2 颱風季 (七、八、九月) 內平均等雨量線圖

圖 4 本流域在颱風侵襲期之起止降雨線圖 (虛

項目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	平均	
石門 (160M)	平均降雨量	112.1	174.9	211.3	227.6	200.9	438.5	404.0	328.4	221.7	32.6	77.5	82.2	2600.0
	平均雨日	13.2	15.1	15.8	14.4	15.0	15.0	15.4	14.2	11.0	7.6	8.3	10.7	156.7
囉拉賀 (1,150M)	平均降雨量	89.4	121.1	124.1	77.4	201.9	200.5	320.1	328.9	266.4	121.4	93.0	45.9	2318.2
	平均雨日	10.3	12.3	11.4	11.0	15.1	15.5	14.0	15.8	13.9	9.6	9.4	10.3	152.8

表 1 石門、囉拉賀各月及年平均雨量

預報目標	1 全部資料 690 次	2 無雨資料 623 次	3 接近本流域資料 131 次
Y ₂₄	88.3	89.7	91.5
X ₂₄	95.4	94.9	93.6
Y ₄₈	73.7	75.3	77.2
X ₄₈	87.5	87.1	86.0
P ₂₄	—	—	55.8
P ₄₈	—	—	61.0

表 3 以三種不同劃分之原始資料用 CLIPER 方法所得預報方程準確率之比較

預報目標	預報因子	迴歸係數	PCR	累計 PCR	R (%)	S.E.E.
Y ₂₄	Vo	19.40045				
	Vo ² Vo	21.67126	78.4	78.4		
	Lo ² Uo	-0.01571	1.7	80.1	89.7	38.3 海里
	Lo ² Uo	-0.00197	0.5	80.6		
X ₂₄	Uo	5.51924				
	Uo	22.44386	90.1	90.1	94.9	45.3 海里
P ₂₄	Lo ²	915.11426				
	LoW	1.22934	14.9	14.9		
	LoW	0.25517	5.1	20.0		
	LoW	-0.04361	4.7	24.7		
	V ₋₁₂ U ₋₁₂	0.23531	1.6	26.3	55.8	99.4 公厘
	WD	0.00407	1.0	27.3		
	Lo	-71.02519	0.6	27.9		
	LoV ₋₁₂	2.27111	0.5	28.4		
	V ₋₁₂	-45.26567	2.8	31.2		

表 4 24 小時颱風風位及降雨量之高次複式迴歸方程三係

符號	代表之意義及所用單位	平均值	標準差	備註
預 Lo	颱風所在位置之緯度 (度)	20.0	3.6	
預 Lo	颱風所在位置之經度 (度)	127.1	6.1	
報 Vo	颱風當時移動之南北分速 (哩)	4.4	3.8	向北為正
報 Uo	颱風當時移動之東西分速 (哩)	5.3	6.1	向西為正
因 V ₋₁₂	颱風 12 小時前移動之南北分速 (哩)	4.0	3.5	
因 U ₋₁₂	颱風 12 小時前移動之東西分速 (哩)	6.0	6.1	
子 W	颱風近中心最大風速 (哩)	75.4	33.0	
D	日期	232.6	45.2	元目為 1，順序計算
預 Y ₂₄	24 小時內以風向北位移 (海里)	106.6	86.3	
報 X ₂₄	24 小時內以風東西位移 (海里)	124.8	143.8	
目 Y ₄₈	48 小時內以風向北位移 (海里)	233.1	178.9	
目 X ₄₈	48 小時內以風東西位移 (海里)	203.9	307.7	
報 P ₂₄	24 小時內流域平均降雨量 (公厘)	61.4	116.1	
報 P ₄₈	48 小時內流域平均降雨量 (公厘)	118.8	162.5	

表 2 CLIPER 方法所用預報因子以及預報目標表

預報目標	預報因子	迴歸係數	PCR	累計 PCR	R (%)	S.E.E.
Y ₂₄ (南北位移)	LoVo	243.36670				
	LoVoD	-1.46905	48.1	48.1		
	Vo ² U ₋₁₂	-0.00189	2.0	50.2		
	LoD	0.08111	2.1	52.2		
	LoD	-0.10198	1.2	53.4		
	LoWD	0.00013	1.7	55.1	75.3	118.5 海里
X ₂₄ (東西位移)	Lo ² Uo	0.00053	0.5	55.6		
	U ² U ₋₁₂	0.00006	0.5	56.1		
	VoU ₋₁₂	-0.04328	0.6	56.7		
	Uo	19.50797				
P ₂₄ (降雨量)	Vo ² W	48.31984	71.4	71.4		
	Vo ² UoW	-0.01479	2.4	73.8		
	Vo ² UoW	0.01089	1.0	74.8	87.1	151.7 公厘
	Lo ² U ₋₁₂	-0.01478	0.5	75.3		
	U ²	-0.03215	0.6	75.9		
	LoW	173.27618				
	W	-0.34867	13.8	13.8		
	V ₋₁₂ D	-4.55005	3.7	17.5		
	V ₋₁₂	0.11904	2.6	20.1		
	V ₋₁₂	-41.69899	2.0	22.1		
Lo ²	-0.64490	1.3	23.4			
LoV ₋₁₂	1.32555	0.7	24.1	61.0	136.3 公厘	
V ₋₁₂ U ₋₁₂	0.17842	0.5	24.6			
UoU ₋₁₂	-1.83974	1.1	25.7			
LoUo	0.27110	1.7	27.4			
U ₋₁₂	1.54517	2.2	29.6			
U ₋₁₂ W	-0.12907	3.3	32.0			
VoUo	2.34725	1.0	33.9			
VoU ₋₁₂	-1.49209	2.1	36.0			
VoV ₋₁₂	-1.34010	1.2	37.2			

表 5 48 小時颱風風位及降雨量之高次複式迴歸方程三係

颱風名稱	日期	路徑 (在澎湖中之 南向北)	強度 (最大 風速)	延遲時間 (以天為 單位)	一次雨量 (公厘)	分配型態 (√表示 常態)	備 考
1 畢 莉	1969. 7. 15	北	75	2.30	247.4	✓	另有甚 犀利雨 量特大 ，英勞 西路徑 不正常 ，均未 列入。
2 瓊 恩	1969. 8. 29	南	130	1.74	221.7	✓	
3 露 露	1969. 9. 3	中	100	1.71	134.9	✓	
4 雲 莉	1969. 7. 31	中	110	2.12	389.7	✓	
5 崔 絲	1969. 8. 8	北	100	1.97	274.6	✓	
6 貝 蒂	1961. 5. 26	南	100	1.42	133.1	✓	
7 番 露	1961. 9. 11	中	120	1.02	409.7	✓	
8 莎 莉	1961. 9. 28	南	60	1.46	154.4	✓	
9 奧 伯 兒	1962. 8. 5	中	120	1.28	277.8	✓	
10 艾 米	1962. 9. 5	中	100	2.17	376.5	✓	
11 溫 蒂	1963. 7. 15	中	95	1.88	184.5	✓	
12 瑪 麗	1965. 8. 18	中	130	1.61	304.8	✓	
13 吉 兒 蓮	1967. 11. 18	南	80	1.62	241.4	✓	
14 愛 兒 雷	1969. 9. 26	南	100	1.88	511.1	✓	
15 露 定	1971. 7. 25	南	110	1.18	153.9	✓	
16 阿 格 妮	1971. 9. 18	中	70	3.34	611.7	✓	
17 貝 絲	1971. 9. 22	中	100	1.85	543.2	✓	

表 6 侵襲本流域十七次颱風之路徑、強度、降雨等特性表

路 徑	次 數	平均雨量 (公 厘)	備 註
經過流域以北	3	261.0	按流域面之範圍
經過流域中心	9	359.2	
經過流域以南	6	235.9	

表 7 不同路徑下之颱風一次暴雨量

颱風強度 (中心最大風速)	次 數	平均雨量 (公 厘)	備 註
< 80	5	324.5	如兩日超過三日時，仍 以三日計算，也最大雨 量日之前後共三日，俾 比較時有一準繩。
81-100	7	307.5	
101-120	5	309.8	
> 120	2	263.3	

表 8 不同強度下之颱風一次暴雨量

V (哩)	P (公厘)	Pt (公厘)	t (小時)	t (進為奇數次)
6	590.0	678.5	50	51
7	505.7	581.6	42.9	43
8	442.5	508.9	37.5	37
9	393.3	452.3	33.3	33
10	354.0	407.1	30	31
11	321.8	370.1	27.3	27
12	295.0	339.3	25	25
13	272.3	313.1	23.1	23
14	252.9	290.8	21.4	21
15	236.0	271.4	20	21
16	221.3	254.5	18.7	19

表 9 由颱風移速 V 查一次雨量及累積雨量延時表

z/σ	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.0	0.399	0.397	0.391	0.381	0.368	0.352	0.333	0.312	0.290	0.266
1.0	0.242	0.218	0.194	0.171	0.150	0.130	0.111	0.094	0.079	0.0656
2.0	0.054	0.044	0.035	0.028	0.022	0.0175	0.0136	0.0104	0.0079	0.00595
3.0	0.00443	0.00327	0.00238	0.00172	0.00123	0.00087	0.00061	0.00042	0.00029	0.00020

表 10 $\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2\sigma^2}}$ 值

t	51	43	37	33	31	27	25	23	21	19
σ	10	9	7	7	6	5	5	4	4	4

表 11 各延時數應採用之標準差(σ)值

-z (目前 x 小時)	z/σ	順序時間	小時雨量 (公厘)	+z (以後 x 小時)	z/σ	順序時間	小時雨量 (公厘)
-13	2.6	22/9 0900	1.2	1	0.2	22/9 2300	35.2
-12	2.4	1000	2.0	2	0.4	2400	33.1
-11	2.2	1100	3.2	3	0.6	23/9 0100	30.0
-10	2.0	1200	4.9	4	0.8	0200	26.1
-9	1.8	1300	7.1	5	1.0	0300	21.8
-8	1.6	1400	10.0	6	1.2	0400	17.5
-7	1.4	1500	13.5	7	1.4	0500	13.5
-6	1.2	1600	17.5	8	1.6	0600	10.0
-5	1.0	1700	21.8	9	1.8	0700	7.1
-4	0.8	1800	26.1	10	2.0	0800	4.9
-3	0.6	1900	30.0	11	2.2	0900	3.2
-2	0.4	2000	33.1	12	2.4	1000	2.0
-1	0.2	2100	35.2	13	2.6	1100	1.2
-0		2200	35.9			(共計 27 小時)	

表 12 預測貝絲颱風延時雨量分配表