

曾文水庫集水區降水特性分析 及颱風降水預報之研究

吳宗堯

謝信良 喬鳳倫

陳正改 黃清芬

中央氣象局

(中華民國七十年二月二十日收件，三月六日修正)

摘要

本研究根據曾文水庫集水區自記測報雨量站過去十年之雨量記錄(民國59~68年)，分析該集水區降雨之特性，發現年雨量有83%集中在5~9月；而導致日雨量達100公厘或以上之原因，以颱風(或熱帶性低氣壓)為主，梅兩次之。

調查民國59~68年間影響曾文水庫集水區之颱風路徑與雨量之關係，得知西進而通過集水區以北之颱風對曾文水庫集水區之降水最有影響；暴雨發生時間甚短而強度最強；雨量尖峰平均出現在颱風最接近集水區時之前約2小時。

應用一半經驗方法之颱風降水預測模式，考慮颱風環流之輻合作用及地形抬升兩種效應，模擬計算颱風以各種不同路徑侵襲集水區時之逐時雨量。結果顯示以西進颱風類之降水型態與實際情況最為接近，具有可預測性。故此一模式為曾文集水區颱風雨量預報之依據。

一、前言

曾文水庫之營運目標為多元性，其運轉規則早先由日本工營株式會社制定。民國64年為改善營運績效，曾在農復會支援下，由曾文水庫管理局、嘉南農田水利會及台灣大學合作辦理「曾文水庫多目標運轉規則之研究」，其內容多偏重防洪運轉及蓄水利用規則之探討方面，對降雨及洪水預報問題則未觸及。本研究計畫乃應曾文水庫管理局之需求而進行，同時配合台灣大學農業工程研究所主持之洪水預報模式研究，期使曾文水庫之防洪運轉規則更趨完備。

本研究主要內容分為兩部份，第一部份着重於曾文水庫上游集水區雨量資料之蒐集與分析。由曾文水庫集水區雨量站逐年、逐月及逐日之降雨資料，分析雨量隨地形高度變化及隨季節變化之情形，

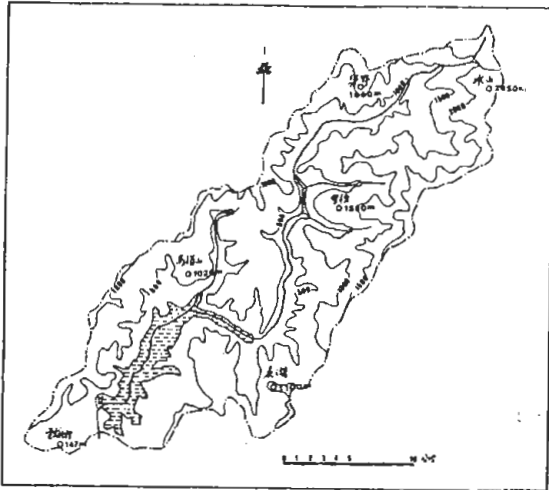
並配合歷史天氣圖的資料，將降雨成因加以分類，尤其注意於導致暴雨因素的分析，藉以深入了解各種降雨的類型；第二部份為颱風降雨預報模式之設計及校驗。此一模式以颱風環流及地形影響為降水之主要原因，利用此模式，參照曾影響曾文水庫集水區之颱風個案，按其不同之路徑，預測各颱風侵襲台灣地區時，集水區之逐時降水強度及總降水量，最後以實際的降水情形予以校驗，以探討此颱風降雨預報模式應用於曾文水庫集水區之可行性。

二、引用資料

(1)雨量紀錄

曾文水庫集水區範圍內，經調查計有10個雨量站，自民國59年起此諸站*都有相當完整的日雨量

記錄。其中 6 站包括水山、佳里、樂野、表湖、馬頭山及曾文新村為曾文水庫管理局所設置（測站分佈如圖一），均屬自動測報雨量站，且有本研究所



圖一 曾文水庫集水區地形及自動雨量站分佈圖

需之逐時降水強度記錄，其他測站分屬林務局、水利局及輔導會為非自記測站無逐時記錄，故本文選用里佳、水山、馬頭山、曾文新村（民國 59 年至 68 年資料）及樂野、表湖（民國 64 年至 68 年資料）六站之雨量記錄，作為分析集水區降水特性的主要依據，同時並選取集水區下游之台南測站，同期間的氣象資料，包括雨量、氣壓及風向風速記錄，以作研究比較參考。

*樂野及表湖資料自民國 64 年開始。

(2) 其他資料

民國 59 至 68 年中央氣象局每日天氣圖，台灣地區每月重要天氣紀要及逐時天氣一覽表摘要，颱風路徑圖，中央氣象局與關島聯合颱風警報中心所出版颱風報告等均為本研究重要參考資料，亦作為曾文水庫集水區降雨特性分析及分類的依據。

另馬公、台北及東港探空報告，為颱風降雨預報模式研究之重要資料。

三、曾文水庫集水區降雨特性

曾文水庫位於曾文溪中游之柳藤潭狹谷，其上游集水區之地形如圖一所示，呈東北—西南走向，水庫西南方之曾文新村氣象站海拔僅 147 公尺，而其上游之雨量站標高均在 1,000 公尺以上，最高的水山雨量站已達 2,450 公尺。流域東側還有高度險

3,000 公尺的玉山山脈及中央山脈屏障，因此冬季強勁的東北季風均不易影響到本區域；然而在夏季，當南海至台灣海峽一帶盛行西南風時，水汽含量充沛的西南氣流極易受地形抬升而入侵集水區上空，並帶來可觀的降水。

從水山、里佳、馬頭山、曾文新村（民國 59～68 年）及樂野、表湖（民國 64～68 年），各月份的降雨量記錄顯示，集水區主要降雨期間集中於每年的 5 月至 9 月，而各雨量站歷年 5～9 月平均總雨量佔全年總雨量的百分比極高，均在 83% 以上（表 1）。

由表 1 可知，每年 10 月起至次年 4 月之間雨量少，為曾文水庫集水區的乾季，在此可以說明冬季影響台灣地區的主要降水天氣系統—鋒面，對本集水區影響很小，當鋒面南移至台灣南部（嘉義以南）時多已呈強弩之末，給曾文水庫集水區帶來日雨量達 100 公厘以上之豪雨**，極為少見（詳見表 2）。

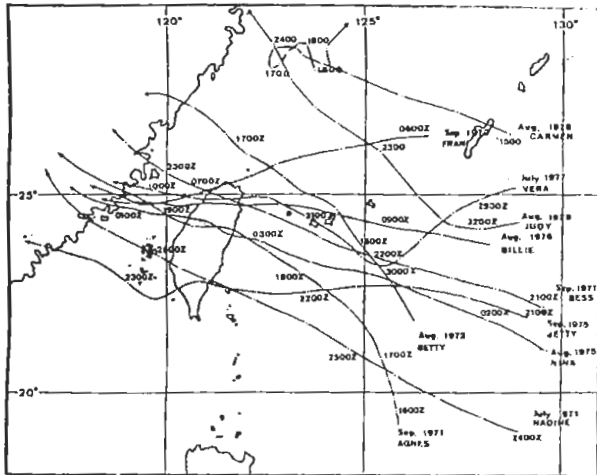
在曾文水庫集水區內，水山（標高 2,450 公尺）、樂野（1,850 公尺）、里佳（1,550 公尺）、表湖（1,100 公尺）、馬頭山（1,020 公尺）、曾文新村（147 公尺）等六雨量站，年雨量以里佳的 4,298 公厘最高，樂野的 3,720 公厘次之，馬頭山的 3,243 公厘居第三。由此顯示，雨量分佈隨高度之變化情形頗為複雜，並非隨高度增加而一直上升，當高度達 1,900 公尺以上時，雨量反而有遞減的現象。今就年雨量最多的里佳雨量站十年之逐日雨量記錄（民國 59～68 年），按月將日雨量達 100 公厘或以上之日數加以統計，並配合相對應日期之天氣圖，把導致豪雨的天氣型態加以分類，發現在十年當中，日雨量超過 100 公厘以上之總日數，以六月份最多，八、七兩月則分列第二及第三（如表 2）。就成因而言，以颱風（包括熱帶性低氣壓）影響的日數最多，梅雨鋒之影響位居第二，而冷鋒及西南氣流（指非颱風直接引進者）所佔比例僅為總數的 10.8%（如表 2）。由此可知，台灣低壓（每年 12 月～2 月出現頻率較高）及夏季之氣團雷雨對曾文水庫集水區的降水影響極微，而五、六月份的梅雨及七、八月份颱風兩種性質截然不同且最為活躍之天氣系統對水庫影響最大，故本文以下各節將針對颱風（包括熱帶性低氣壓）及梅雨這兩個主要課題作進一步探討。

* * 本文為分析方便起見定義日雨量達 100 公厘者稱為豪雨。

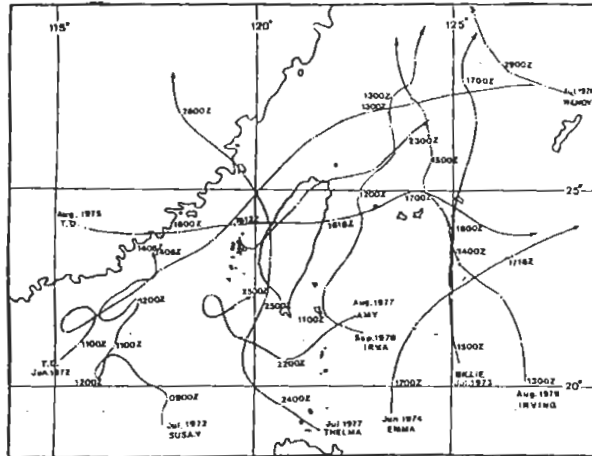
四、影響曾文水庫集水區之颱風降雨分析

(1) 颱風路徑之分類

為配合曾文水庫雨量記錄起始年限 (民國 59 年) , 本文收集民國 59 ~ 68 年, 十年間侵襲台灣之颱風 (包含熱帶性低氣壓) 共 63 次, 經分析過濾之後, 發現實際對集水區有影響的颱風有 19 次, 另有 2 次為熱帶性低氣壓, 合計 21 次 (詳見表 3) , 而歷次影響曾文水庫颱風之路徑均不相同 (如圖二) , 但將其歸納起來, 可分為以下四類:



圖二 A 影響曾文水庫之西進颱風路徑圖 (民國 59. - 68 年)



圖二 B 影響曾文水庫之颱風路徑圖 (民國 59. ~ 68 年)

1) 第一類: 西進颱風

(A) 通過集水區北方 (包括經過基隆外海者) 9 次。

(B) 通過集水區一次。

(C) 通過集水區南方一次。

2) 第二類: 沿台灣東方海面北上颱風 5 次。

3) 第三類: 沿台灣海峽北上颱風 2 次。

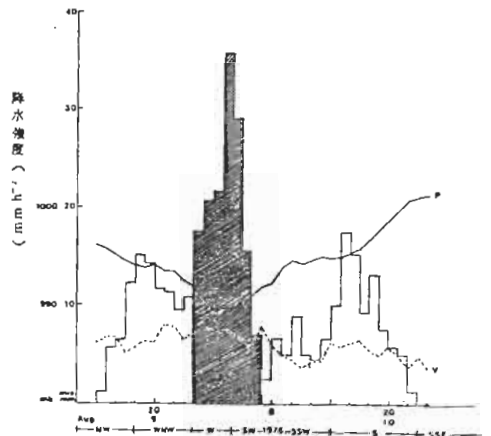
4) 第四類: 特殊路徑颱風 3 次。

(2) 不同路徑颱風之降水特性

1) 第一類: 西進颱風

(A) 通過集水區北方者, 在民國 59 ~ 68 年間總共有 9 次 (如表 3) 。

此類颱風侵襲時, 集水區逐時面積雨量分配情形如圖三所示, 其暴雨相當集中尤以直接受颱風環

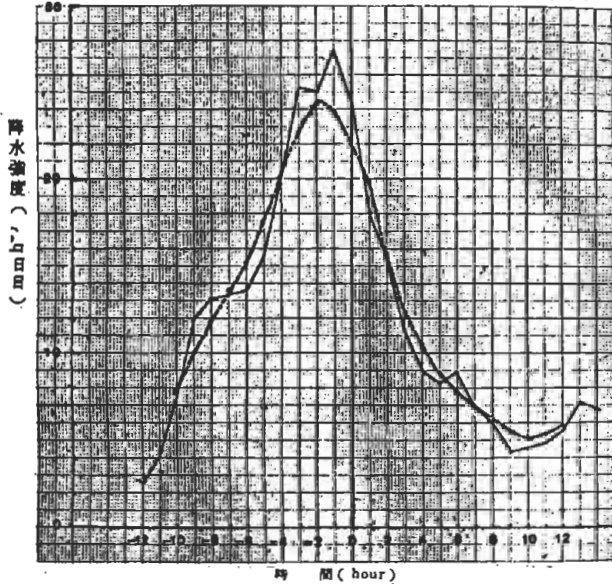


圖三 民國 65 年 8 月 9 ~ 10 日舉莉颱風侵襲期間曾文水庫集水區逐時面積雨量及台南氣壓 (實線) 風向 (虛線) 風速 (箭頭) 表示颱風最接近集水區之時間, 斜線區表示颱風環流直接影響之期間。

流影響時最為顯著。雨量最高峯出現在颱風中心最近集水區前 1 ~ 2 小時, 其中以艾妮絲、妮娜、畢莉、薇拉、卡門、萊迪等六個颱風在颱風中心遠離 4 ~ 10 小時後出現另一雨量尖峯, 除萊迪之外, 其強度已不如前者。由集水區下游的台南測站之逐時氣壓及風向、風速之變化 (如圖三) 可看出, 颱風接近集水區北方時, 氣壓逐漸下降至最低值, 而風向由北北西逆轉為西北-西北西, 風速達最高值, 此時正為集水區暴雨出現的時刻, 持續時間約 4 ~ 6 小時。當颱風中心逐漸遠離, 進入台灣海峽北部, 台南氣壓開始回升, 風向轉為西南至南, 風速在 4 ~ 6 m / s 間, 此時西南氣流開始入侵集水區上空, 加上地形的抬升作用, 而造成另一次雨量高峯

，持續時間亦可達 4 ~ 6 小時之久。

將本路徑 6 個颱風之逐時面積雨量 (貝蒂颱風資料不全，而卡門、茱迪颱風環流未直接影響集水區，已除外)，以颱風中心最接近集水區的時間為 0 時，前後時間以 ± 1、± 2 …… 表示，把對應的每小時雨量加以平均，得此類颱風影響期間逐時平均雨量分配，如圖四實線所示，其平均值為 12.54，標準差 6.08，偏度 0.54，峯度 2.79。圖中

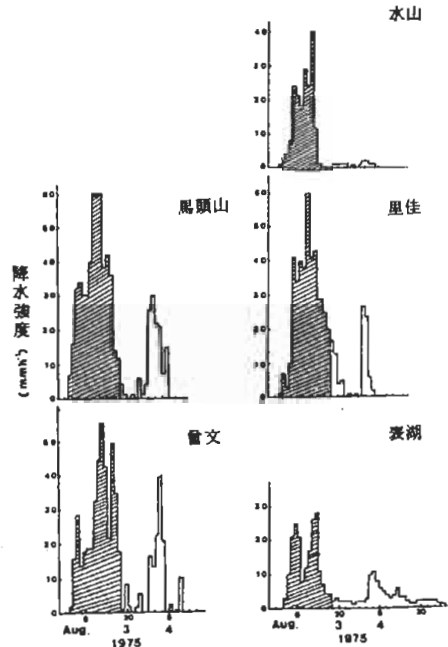


圖四 通過集水區北方之西進颱風影響曾文水庫集水區期間逐時平均面積雨量分配曲線 (實線)。虛線表經過移動平均後之分配曲線。○ 表颱風中心最接近集水區之時刻。負正值表颱風接近及遠離集水區之時序。

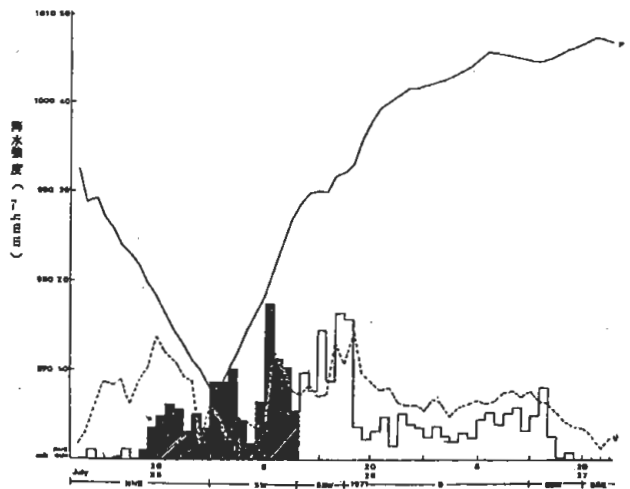
虛線代表經過移動平均後的情況，近似常態分配，雨量最大值出現在颱風中心最接近集水區之前 2 小時。

圖五為此類路徑之妮娜颱風影響期間集水區各雨量站逐時雨量，依測站地理位置排列的情形，圖中斜線區表示直接受颱風環流影響的持續時間，此與颱風本身強度、進行速率、移動方向、暴風半徑大小有密切關係。對同一颱風而言各雨量站雨量高峯出現之時間近乎一致，並無因雨量站位置及高度不同而有顯著之差異。

(B) 通過集水區上空者，此路徑颱風在民國 59 ~ 68 年間僅有一次，為民國 60 年 7 月 25 ~ 28 日娜定颱風，其逐時面積雨量的分配，無顯著暴雨尖峯，在颱風中心通過之前後約 3 小時，有兩個雨量高峯出現 (如圖六)，此時在台南之氣壓降至最低值，風速呈現最小值，風向則由偏北風逆轉



圖五 64 年 8 月 3 ~ 4 日 妮娜 (NINA) 颱風侵襲期間曾文水庫集水區各雨量站之逐時雨量變化，斜線區表颱風環流直接影響期間。

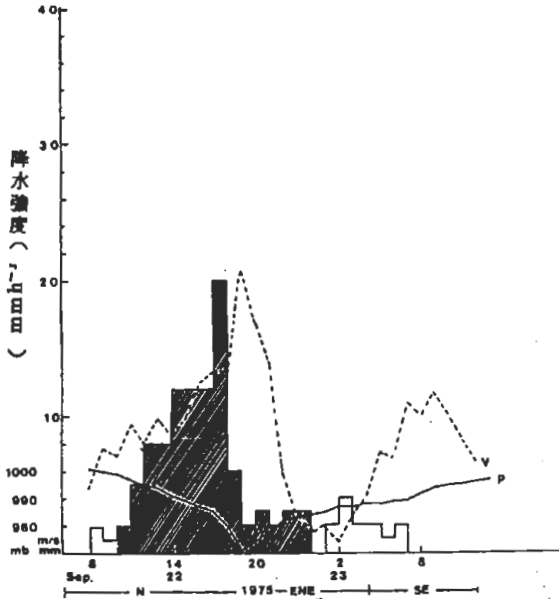


圖六 民國 60 年 7 月 25 - 27 日 娜定颱風侵襲期間曾文水庫集水區逐時面積雨量之變化。(說明同圖三)

為偏南風與前述路徑相似，集水區直接受颱風環流影響的時間長達 18 小時，而颱風中心遠離後另出現一雨量尖峯亦延續 8 ~ 10 小時，顯然與西南氣流有關。

(C) 通過集水區南方之颱風亦只有一次 (民國 64 年 9 月 22 ~ 23 日貝蒂颱風)，此颱風的

集水區面積雨量，因資料不全無法計算，但由各雨量站之逐時變化情形可知，其雨量並不多，雨量尖峯出現在颶風接近前約3~4小時。又由圖七顯示台南風向變化與前述兩路徑完全不同，風向由北風

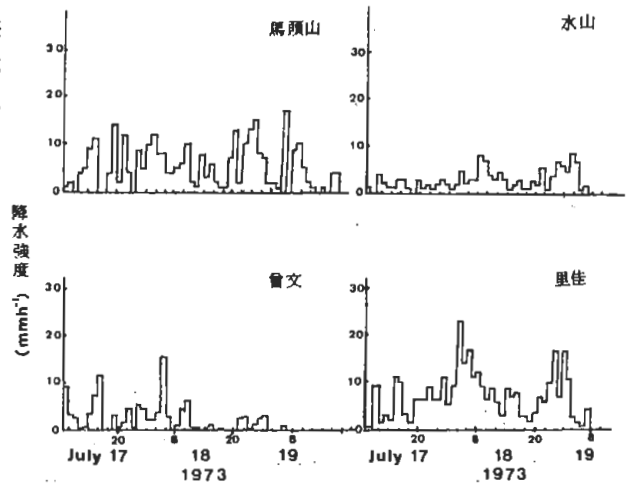


圖七：民國64年9月22-24日貝蒂颱風侵襲期間
水山雨量站之逐時雨量變化

隨時間順轉，至颶風到達集水區南方之後變成東南風，無西南氣流入侵本區，風速在颶風中心最接近前一小時達最高為21 m/s (北風)，為各路徑之冠，此可能與颶風右半圓通過集水區有關，氣壓亦同時降至最低值。

2) 第二類：為沿台灣東方海面北上之颶風，此路徑之颶風有5次，分別為畢莉(民國62年7月17~19日)、鸞瑪(民國63年6月17~18日)、范迪(民國67年7月31日~8月2日)、伊瑪(民國67年9月10~14日)及歐敏(民國68年8月14~17日)，詳見表3。此路徑颶風降雨主要特徵為雨勢相當平均(如圖八)，無顯著暴雨集中現象。因台南之逐時氣壓變化甚微，且風速亦小，可知集水區未直接受到颶風環流影響。集水區之降雨是在颶風到達琉球附近海面時才開始，此時台南之風向以西南風為主，由此可知集水區之降雨與西南氣流有直接關係，而降雨持續時間達48小時之久，為其另一特色。

3) 第三類：為沿台灣海峽北上之颶風或熱帶



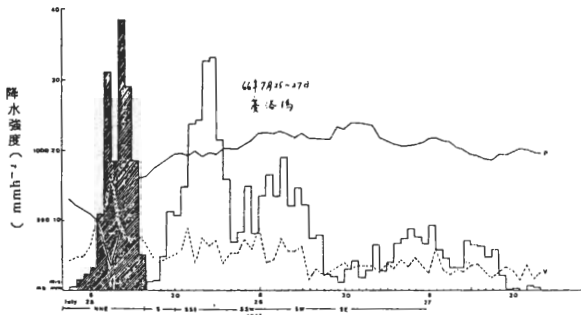
圖八：62年7月17-19日 畢莉(BILLIE)
說明同圖五

性低氣壓，屬於本路徑之颶風一次為61年7月12~14日蘇珊颶風，另一次為61年6月11~14日熱帶性低氣壓。此路徑之颶風和熱帶性低氣壓在集水區所出現之雨量分配型態甚為複雜，無一定之型態可循，其降水時間持續達2天之久，雨量尖峯均出現在颶風及熱帶性低氣壓遠離集水區之後，也是台南出現西南風最強之時，足見此路徑之熱帶氣旋所引進之西南氣流亦可給集水區帶來相當的降水。

4) 第四類：為特殊路徑，有熱帶性低氣壓一次(民國64年8月16~17日)，颶風二次，分別為賽洛瑪(民國66年7月25~27日)及愛美(民國66年8月22~23日)。其中愛美颶風及熱帶性低氣壓均由台灣海峽東進，登陸台灣中部，後經曾文集水區北方，在集水區出現之暴雨相當集中，強度亦強，其逐時之雨量分配型態與第一類通過集水區北方之颶風相似，愛美颶風之雨量尖峯出現於颶風中心接近集水區前2小時，然而熱帶性低氣壓之雨量尖峯出現於其離開集水區之後3~5小時，此兩者之持續降雨時間均達一日之久。

賽洛瑪颶風之雨量分配型態甚為複雜，屬於多峯型(圖九)，第一高峯出現於颶風中心最接近集水區之後2~3小時，與颶風環流有直接關係，此時台南氣壓出現極端最低值，風速亦高達18 m/s，風向由北北東逆轉至颶風遠離時變成偏南風(南南東~西南)，此時集水區降雨再度出現兩個相當高峯，降雨延續達60小時，為本研究所有颶風中最

長者。

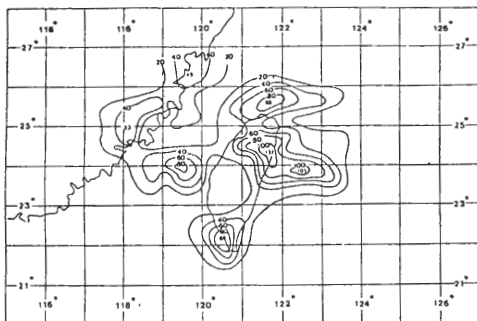


圖九：民國66年7月25-27日賽洛瑪颱風侵襲期間曾文水庫集水區逐時面積雨量變化。(說明如圖三)

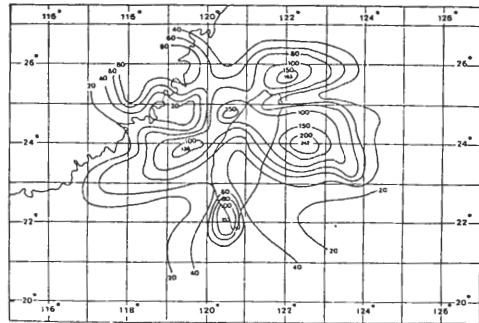
(3) 颱風相對位置與曾文集水區雨量之關係

將民國59~68年影響集水區的17個*颱風(其中有一熱帶性低氣壓)，每3小時、6小時位置與其未來3小時及6小時在集水區之累積面積雨量填於颱風圖上，然後繪等雨量線，如圖十~十一。由圖中發現，當颱風中心在23°~25°N，121°~123°E範圍內時，集水區未來3小時及6小時之雨量最多，分別為137及242公厘，另兩個中心分別出現在台灣北部近海及台灣南端，其雨量值近似。又當颱風中心在台灣海峽中部時，集水區亦有相對雨量高峯出現。由此兩颱風相對位置與集水區雨量分佈圖，可以作為未來3及6小時集水區面積雨量預測之參考。

*原應有21個，但因其中四個資料不全無法求面積雨量。



圖十：颱風位置與曾文水庫集水區未來三小時降水等雨量線圖(單位：公厘)(資料時間：民國59-68年)



圖十一：颱風位置與曾文水庫集水區未來六小時降水等雨量線圖(單位：公厘)(資料時間：民國59-68年)

五、曾文水庫集水區梅雨期之降水特性

由於梅雨鋒面系統在台灣及其附近地區滯留之時間，久暫不一，最長可達13天，最短亦為3-4天(陳、蔡，1979)，故知梅雨鋒使台灣地區呈現陰雨之時日遠較受颱風侵襲為長，但是梅雨期間之逐時雨量分配較平均(吳、陳，1977)，不像颱風降雨多屬於暴雨型態。根據目前所搜集到逐時雨量資料，發現梅雨期間曾文水庫集水區之各雨量站的逐時雨量資料亦不像颱風期間那麼完整，故有關梅雨期的降水特性初步分析著重於日雨量(9時~9時)及逐時雨量之個案分析。

梅雨鋒面系統在台灣地區所造成的降雨量，每次之差距相當懸殊，分析民國59~68年梅雨期間，曾文水庫集水區之降水資料，發現梅雨期曾文水庫集水區之面積雨量，平均總雨量為768公厘(表4)，較北部及南部平地約多出300公厘，佔曾文水庫集水區平均年總雨量(3492公厘)的22%。在梅雨期間，曾文水庫集水區平均雨日有28天(日雨量在0.1公厘以上)，故平均日降水量約為27公厘，在過去之十年間，曾出現之一日之最大降水量為252公厘(民國66年5月29日)，詳見表5。

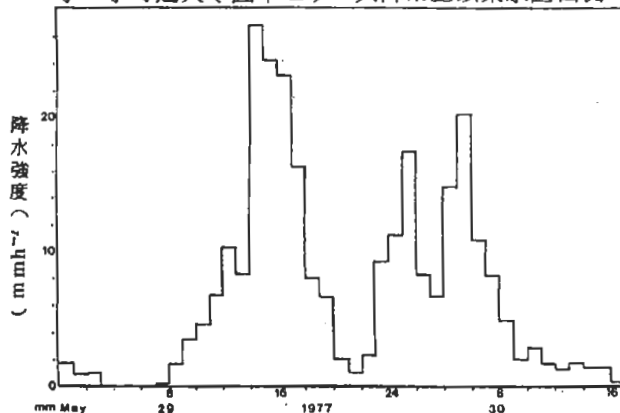
又於十年之梅雨期間，曾文水庫集水區日雨量超過100公厘以上共有20次之多(詳見表5)，大部分都出現於梅雨後半期；除民國59年之梅雨季未曾出現豪雨之外，其他的9年於每個梅雨季內至少均有一天以上出現豪雨的記錄，其中以民國66年最高達7天，而以6月1日~6日最為顯著，另民

國65年5月27~29日之雨量亦相當可觀，此乃因當時，梅雨鋒面系統正在台灣地區及其附近徘徊，而來自南海的潮濕水汽經由梅雨鋒面南側低層西南氣流的輸送至曾文水庫集水區，被地形抬升造成空氣極端的對流性不穩定，而引發豪雨(陳、蔡，1979)。

現選取最近的二個最顯著的梅雨個案加以分析其逐時雨量的分配型態，以進一步探討曾文水庫集水區於梅雨期間降水的一般特性，以供降水預報及水庫營運之參考。

(1) 民國66年5月29~30日梅雨鋒面個案

66年5月29日9點至30日9點曾文水庫集水區面積雨量高達252公厘，為集水區有記錄以來最大的一次梅雨降雨。分析當時之天氣圖形勢，發現29日梅雨鋒面系統於台灣北部至華南沿海地區徘徊滯留，而曾文水庫集水區均受到梅雨鋒面南方所引進之強勁的溫濕西南氣流之影響，於集水區各雨量站自29日下午14點起即出現顯著的雷陣雨，並持續了4小時之久(圖十二)，其降雨量以集水區西側



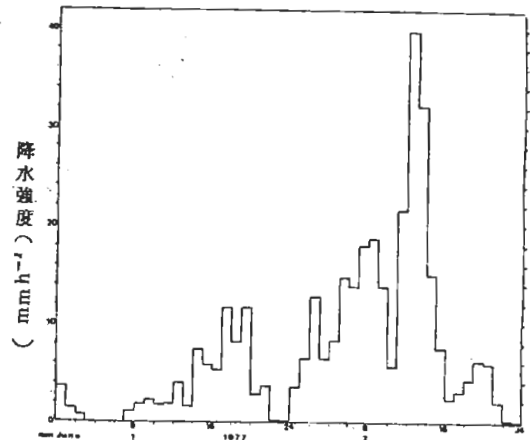
圖十二：民國66年5月29-30日梅雨鋒影響曾文水庫集水區期間之逐時面積雨量

的馬頭山及曾文新村為最大，每小時最大雨量達40~50公厘，整個集水區之逐時面積雨量，最大雨量在25公厘左右。梅雨鋒面於29日午夜繼續南移至台灣南部地區，亦即在集水區之附近徘徊，30日清晨起，集水區再出現雨量的另一高峯，持續時間達6~8小時之久，而暴雨中心亦由集水區的下游北移到樂野附近並東移到集水區東側，尤其以里佳為最，此時流域的逐時最大面積雨量在20公厘左右。此次梅雨鋒面系統之逐時降雨曲線之分配型態近似雙峯型，第一高峯為鋒前西南氣流促發雷陣雨所造成

的，第二高峯乃直接源自梅雨鋒面本身的水汽所致。

(2) 民國66年6月1~2日梅雨鋒面個案

5月30日的梅雨鋒面系統於31日逐漸減弱消失，但此時伴隨華南低氣壓的鋒面，於6月1日起又形成梅雨鋒面徘徊於台灣北部海面至華南沿海地區，曾文水庫集水區受西南氣流之影響。自1日傍晚起至2日上午普遍出現雷陣雨，但雨勢並沒有5月29日大，2日下午由於梅雨鋒面系統南移位於台灣中南部地區，使集水區於午後再度出現另一暴雨高峯，此乃直接受梅雨鋒面本身所攜帶的溫濕而極端不穩定的水汽影響所致。分析集水區之逐時面積雨量(圖十三)，發現雨量之分配型態近似呈單峯曲線型態，降雨時間亦長達2天之久。



圖十三：民國66年6月1-2日梅雨鋒影響曾文水庫集水區期之逐時面積雨量變化。

由以上之分析，得知曾文水庫集水區於梅雨期間，其雨量曲線之分配型態有二，一為近似單峯曲線，此乃受梅雨鋒面系統本身所攜帶之溫濕水汽所致；另一為近似雙峯曲線，此時之第一高峯為鋒前西南氣流所促發的雷陣雨造成的，第二高峯才是梅雨鋒面本身的水汽所造成的。不論是單峯或雙峯，其暴雨強度雖不如颱風降雨，但因降雨之持續時間遠較颱風為長，可達2天之久，因此能給曾文水庫集水區帶來充沛的雨量。

六、颱風降雨預取模式

一般而言，颱風降雨係由兩種降雨相加而成，一為環流雨，另一為地形雨。環流雨係因颱風四周低層高溫高濕空氣向颱風中心輻合上升，以致所含

水汽冷却凝結下降而形成，地形雨則係進行中之颶風氣流受山脈阻擋被迫抬升而降雨。彭立等（1967）、王時鼎等（1977）曾分別研究颶風環流雨及地形雨之計算方法，求得達見水庫及翡翠谷集水區之「最大」可降水量，供水庫設計規畫之參考。本文則着重在颶風侵襲曾文水庫集水區期間逐時降雨量之預測，以供洪水預報之需。

(1)環流雨之計算

設颶風之結構為對稱之環流，且令 P_0 為距颶風中心 r_1 及 r_2 ($r_1 \neq r_2$) 兩同心圓間之單位面積、單位時間之降水量。由水汽保守定律 (The law of conservation of moisture) 得：

$$P_0 \pi (r_2^2 - r_1^2) = 2\pi (r_2 v_2 - r_1 v_1) M$$

$$\text{則 } P_0 = \frac{2M (r_2 v_2 - r_1 v_1)}{r_2^2 - r_1^2} \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{式中之 } M = \frac{-1}{g} \int_{P_0}^{P_1} q dp \text{ (可降水量)} \dots\dots(2)$$

P_0 ：單位面積單位時間之環流雨降水量

q ：混合比（或比濕）

p ：氣壓， P_1 (P_0) 颶風頂（底）部之氣壓

g ：重力加速度

v ：徑向風速

[徑向風速即表示吹向颶風中心之風速， v_1 、 v_2 分別為在 r_1 、 r_2 處吹向颶風中心之分風速；至於徑向風速 (v) 與實際風速 (v) 之關係為 $v = v \cos \theta$

θ 為觀測點至颶風中心連線與實際風向間之夾角，在實際計算中，通常假設 $\theta = 70^\circ$ 。

即 $v = v \cos 70^\circ = v \sin 20^\circ$ (Gray 等, 1978)]。

如已知颶風眼之半徑及其中心附近最大風速，則集水區與颶風中心之距離及其風速之關係，可由 $vr^a = \text{const}$ 關係式求得， a 為一經驗值，Riehl (1963, 1969)，Gray 等 (1978) 分別由理論與觀測得其值為 0.5，經以影響台灣且較重要之颶風予以驗證，以 $a = 0.6$ 較適合台灣地區。

$$\text{即 } vr^{0.6} = \text{const}$$

(2)地形雨 (P_0) 之推估

將大氣對流層分為數層次，且令每一層次空氣之降雨強度為 P_1 ，則根據 Fulks (1935) 之降雨強度公式：

$$P_0 = \sum_i P_i \dots\dots\dots(3)$$

$$\text{而 } P_1 = -\rho \frac{dq}{dt} \Delta Z \dots\dots\dots$$

$$= -\frac{P}{RT} \cdot \frac{dq}{dZ} \cdot V_z \cdot \Delta Z \dots\dots\dots(4)$$

ρ ：乾空氣密度

R ：乾空氣氣體常數 ($2.87 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{sec}^{-2} \cdot \text{deg}^{-1}$)

q ：比濕（或混合比）(g / kg)

e ：水汽壓

V_z ：垂直風速 ($V_z = V \cdot \nabla Z$, V 為實際風速， ∇Z 為有效地形坡度)

ΔZ ：氣柱之厚度

P_i ：每一層次單位時間之降水量

(3)計算方法及步驟

本節依據颶風降雨理論之模式，對颶風逐時降水量之計算方法及步驟予以說明如下：

(1)參照關島颶風聯合警報中心 (JTWC) 之颶風中心位置報告，並依據中央氣象局及琉球所屬氣象雷達站颶風逐時定位報告，確定颶風中心之逐時位置，求得颶風的最佳路徑圖 (Best Track)。

(2)分析曾文水庫集水區實際降水資料，確定集水區因受颶風之影響而開始下雨之時刻，於最佳路徑圖上定此時刻為 0 點，由此向後順延，定其降水時序為 1 2 3……一直到颶風對曾文水庫集水區無影響為止，並量取集水區與各時序颶風中心位置的距離。

(3)由 JTWC 之颶風報告資料，得到颶風之近中心最大風速 (V_{max}) 及颶風眼之半徑 (r)，然後由 $vr^{0.6} = C$ 求得常數 C 之數值。

(4)由 $vr^{0.6} = C$ 之關係式求得集水區受颶風影響時，各時序應有的風速 (v)。

(5)由於曾文水庫集水區未有完整的地面觀測風之報告，且本集水區之地形相當複雜，以致當其受颶風影響時，集水區之風向甚難決定，為了便於未來能直接應用於預報作業上，而設計一風盤，利用此風盤可由颶風中心與曾文集水區之相對位置決定集水區因受颶風環流之影響而各時序應有之理想風向。

(6)依據颶風侵襲台灣地區時，馬公或東港之探

$$\text{空資料，應用公式(2)} M = \frac{-1}{g} \int_{P_0}^{P_1} q \Delta p$$

求取集水區 1000 - 900 mb 及 900 - 800 mb 二層之可降水量 (M)，每一層之M大約在 1.5 ~ 2.0 g · cm⁻² 之間。王時鼎等 (1977) 計算環流雨時只考慮 1000 - 900 mb 之近地氣層。Gray (1978) 由實際觀測資料分析颱風之垂直結構，發現颱風之徑向分風速由地面隨高度減小，至 700mb 高度時接近零，最大值則出現在 950 mb 處，由此可見颱風之水平向輻合氣流發生在 700 mb 以下之對流層中，並非僅限於地面 1000 mb 至 900 mb 之間。根據颱風侵台期間之馬公、東港等探空資料顯示，地面至 800 mb 間之空氣柱中水汽含量相當高，接近飽和，因此本文計算颱風環流雨時分別取 1000 - 900 mb，900 - 800 mb 兩層，然後將所得值相加為環流雨。為方便起見，假設徑向風速隨高度呈線性遞減，1000 至 900 mb 之平均風速以地面風代之，900 至 800 mb 平均風速則以 850 mb 風速代之，且 $v_{850 \text{ mb}} = 0.52 v_{1000 \text{ mb}}$ 。

(7)由颱風降雨模式理論的地形雨計算部份得知，垂直速度是影響地形雨之主要因子；而垂直速度 (Vz) 乃受集水區地形之有效坡度 (∇Z) 及風速 (V) 所左右；而地形對降水之影響程度直接取決於當地地形之走向與風之來向的關係。

表 6 為曾文水庫集水區之風向及其地形有效坡度之關係表；由 $Vz = V \cdot \nabla Z$ 可求取颱風侵襲台灣地區時，集水區各時序之垂直風速 (Vz)。

$$(8) \text{應用 } P_0 = \sum_i P_i \dots\dots\dots(3)$$

$$P_i = -\frac{P}{RT} \cdot \frac{dq}{dz} \cdot Vz \cdot \Delta Z \dots\dots\dots(4)$$

可求颱風侵襲時之地形雨。

於實際計算過程中，吾人係將大氣層分為四層：

- ① 850 mb 以下
- ② 850 - 700 mb
- ③ 700 - 550 mb
- ④ 550 mb 以上

然因 550 mb 以上氣層之濕度太小，對 P₀ (地形雨) 之影響甚小，故可忽略。又根據台灣地區十年無線電探空資料之分析 (王時鼎, 1977) 發現，850 - 700 mb 及 700 - 550 mb 為台灣地區

之飽和層，故本文求地形雨時，乃針對此二層來計算，並取平均層 775 mb 及 625 mb 各代表此二飽和層，以便於計算。

在(4)式中之 $Vz = V \cdot \nabla Z$ 之計算已於第(7)步詳述，至於地形雨的計算係數 $(\frac{P}{RT} \cdot \frac{dq}{dz} \cdot \Delta Z)$ 則將實際探空資料代入，即可求得。

(9)將上述所求得的資料數值，代入颱風降雨模式 [公式(1)(3)] 之內，即可求得颱風侵襲期間，曾文水庫集水區之逐時降水量。

(4)計算結果與討論

本節將依據上述之計算方法及步驟，模擬過去曾影響曾文水庫集水區之不同路徑之颱風，選取個案逐次的加以計算其逐時降水量，並以實際的降水量加以比較，以探討此降水模式應用於曾文水庫集水區之可行性。(所有個案之詳細分析，請參考吳、謝等，1980)。

1) 通過集水區北方之西進颱風：

妮娜颱風 (NINA)，侵襲日期：民國 64 年 8 月 3 日 ~ 4 日。

表 7 為妮娜颱風侵襲期間，集水區與各時序颱風中心位置的距離，集水區之理想風向，垂直風速和集水區逐時之環流雨、地形雨及預測之降水量。

圖十四為妮娜颱風期間，實際與預測降水量之比較。

分析上述圖表，得知：

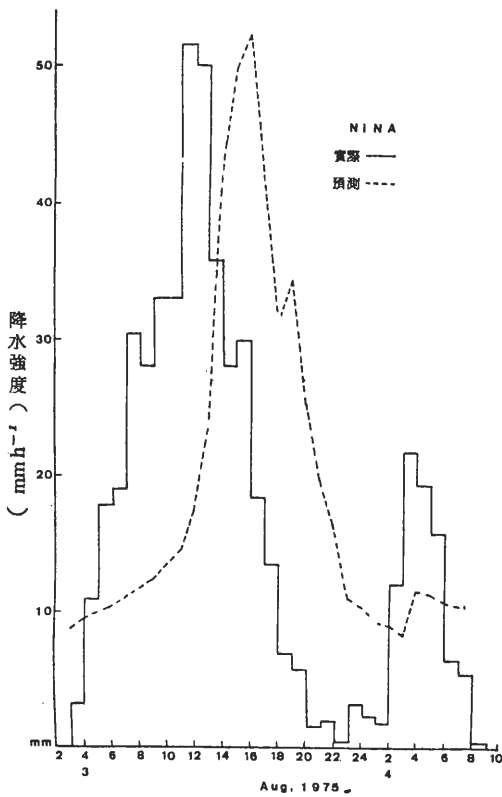
①預測及實際逐時雨量之分佈型態，相當一致；但預測雨量之高峯是出現在 3 日 14 ~ 16 點，而實際之高峯是在 3 日的 12 ~ 13 點，即暴雨高峯之預測時間較實際落後 2 小時。

②實際最大之暴雨量為 51mm/hr，而預測為 52 mm/hr，相當一致。

③妮娜颱風侵襲期間，集水區有二個高峯，一在 3 日的 12 ~ 13 點，此乃颱風環流所造成，另一為 4 日的 4 ~ 6 點，其降雨量在 15 ~ 20 mm/hr，此為西南氣流所造成，而依據模式所計算的，此第二個高峯亦於 4 日 4 ~ 6 時出現，但降水強度祇有 10 ~ 12 mm/hr，不如實際的那樣強。

④颱風侵襲期間 (3 日 4 點至 4 日 7 點)，集水區實際降水量共 514 公厘，而預測降水量為 552 公厘，在 27 小時之內祇高估 38 公厘。

2) 通過集水區上空之颱風



圖十四：妮娜颱風侵襲期間，曾文水庫集水區逐時之預測及實際降水量之比較。

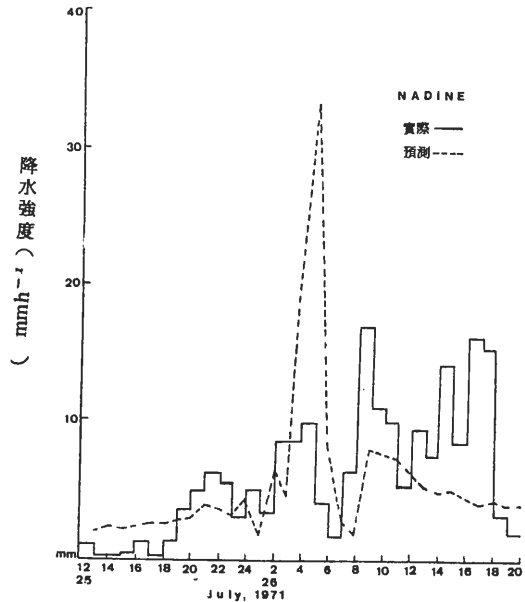
娜定颱風 (NADINE)，侵襲日期：民國60年7月25日~26日。

圖十五為娜定颱風預測與實際降水量之比較。分析圖十五，得知：

①此颱風之降水主要是集中在當颱風進入台灣海峽之後，而引進之西南氣流所造成，即在26日的9~18點。由預測雨量曲線看，其第一個高峯是在26日之4~5點，為颱風環流所造成，與實際的高峯時間相同，但降水強度比實際大了20公厘；第二個預測之高峯是在26日的9點，此即為西南氣流所造成，與實際相吻合，但逐時降水強度之變化甚小，均在5~8公厘之間，此與實際的10~15公厘之差距較大，但由降雨之分佈型態看，還差強人意。

②颱風侵襲期間(25日13點~26日20點)，集水區降雨量共200公厘，而預測之降水量為184公厘。

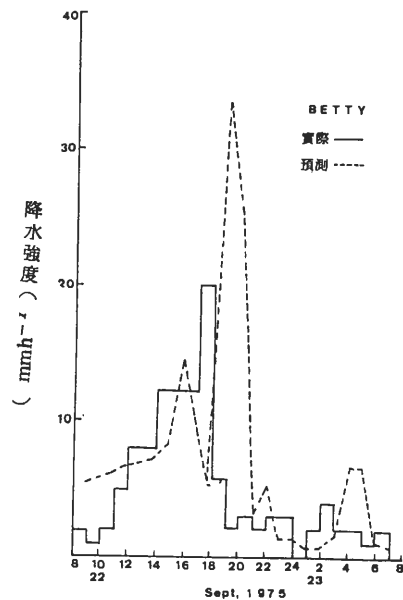
3) 通過集水區南方之颱風



圖十五：娜定颱風侵襲期間，曾文水庫集水區逐時之預測及實際降水量之比較。

貝蒂颱風 (BETTY)，侵襲日期：民國64年9月22日~23日。

圖十六為貝蒂颱風之實際及預測降水量之比較。



圖十六：貝蒂颱風侵襲期間，曾文水庫集水區逐時之預測及實際降水量之比較。

分析圖十六，得知：

①此颱風之雨量，主要是出現在颱風登陸之前，由颱風環流所造成的。登陸後，由於颱風環流受破壞，以致其降水亦偏少。

②最大之降水強度是出現在22日16點的14.6公厘，而預測之最大降水強度是18點的20公厘，即預測比實際落後了2小時。

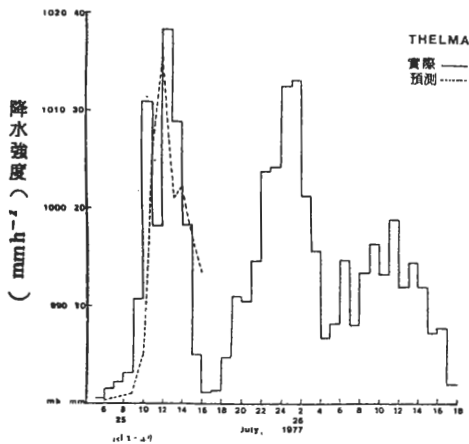
③第二個高峯為西南氣流於23日3點所造成，而預測之時間為23日的5點，亦落後2小時，且降水強度亦偏高。

④颱風侵襲期間（64年9月22日9點～23日7點），水山之實際降水量為114公厘，而預測集水區之降水量為163公厘。

4) 特殊路徑之颱風

在近十年內對曾文水庫集水區具有影響的特殊路徑颱風計有3個（詳見表4），本文選取民國66年7月25日的賽洛瑪颱風，應用降水預報模式模擬集水區之可能降水情形。

圖十七為賽洛瑪颱風之實際及預測降水量之比較。



圖十七：賽洛瑪颱風侵襲期間，曾文水庫集水區逐時之預測及實際降水量之比較。

分析圖十七，得知：

①賽洛瑪颱風之雨量分配型態相當複雜，屬於多峯型，在25日6～16點之間，集水區的降雨乃是颱風環流直接影響之結果，而18時以後，是颱風進入台灣海峽變成熱帶性低壓所引進的西南氣流之結果，其雨勢亦相當大，平均每小時在20公厘左右

，而降雨時間亦延續達60小時之久（詳見圖九）。

②集水區受颱風環流直接侵襲期間，其預測及實際逐時雨量之分配型態相當配合，而雨量高峯之預測時間比實際的祇提前1小時。最大降水強度之預測值為35.8 mm/hr，實際之強度為38.4 mm/hr，甚為接近。

綜合上述個案之分析，得到下列結果：

①曾文水庫集水區整個大氣層在颱風侵襲期間平均之可降水量（M）約為3～4 gm·cm⁻²。

②每個颱風之地形雨的計算係數（ $\frac{P}{RT} \cdot \frac{dq}{dz} \cdot \Delta Z$ ）之差距不大，約為20～26 mm·cm⁻²·hr⁻¹，所以地形雨大小主要受垂直速度（V_z）所影響，然一個地區垂直速度之大小是決定於當地之實際風速及地形的有效坡度（V_z = V·∇Z），故地形雨主要是受實際風速（V）及地形之有效坡度（∇Z）所左右。

③除艾妮絲、娜定之預測雨量比實際少外，其他颱風之預測值比實際略多，而差距最多的薇拉颱風，其於25小時內高估了145公厘。

④逐時雨量分佈之預測曲線與實際之型態，大體上是一致；然雨量高峯之出現時間有提前2小時或落後3小時之差距。

⑤颱風遠離後所引進的西南氣流而造成的第二個雨量高峯亦可由預報模式顯示出來，然其降水強度與實際值略有差距。

⑥此預報模式對西進且由集水區北方通過之第一類颱風之效果最為理想。

由颱風降雨預報模式之實例計算過程中，幾個因素對計算之結果具有相當程度之影響，特別提出加以討論：

(1) 颱風強度之變化——Brand等（1974）曾研究1960～72年間，侵襲台灣之廿二個颱風的特性，發現颱風通過台灣前後，其強度變化非常之大，颱風之近中心最大風速減弱達40%以上。本文最初應用所設計之理論模式計算颱風之逐時降雨量，未考慮到台灣地形對颱風強度的影響，以致在颱風登陸至出海這段時間之雨量計算值均有高估之現象。隨後經將颱風分登陸及出海兩個階段，考慮分別以20%及40%～60%之強度遞減值加以修正，所得結果相當良好。

(2) 地形有效坡度計算問題——由於曾文水庫集

水區之地形非常複雜，要精確求得各方位之有效地形坡度相當困難，而此等坡度值對計算因地形產生之氣流垂直上升速度（即 $V \cdot \nabla Z$ ）具有關鍵性的影響，更直接關係到所求得地形雨之準確性。本文所使用之有效地形坡度值是利用集水區之地形圖上的等高線梯度推算而得，其準確度仍有待進一步的修正。

(3)集水區風之變化——曾文水庫集水區因缺乏完整之測風記錄，故本文計算環流雨及地形雨時，利用設計好之風盤，依颱風中心與集水區之相關位置，推估集水區之理想風向。經比較集水區下游之台南測站的風與理想風向發現兩者角度之相差大者達90度，小者20度，這可能之風向偏差，亦足以影響到預測雨量之準確性。實際情形如何，則於將來有足夠之觀測資料時，應詳加分析校驗。

(4)颱風最佳預測路徑之選擇——本文在計算颱風環流影響期間集水區的風向風速時，是利用實際已出現之歷史颱風最佳路徑為例，作模擬試驗，而在將來應用於預報颱風之降水時，則需使用預測之颱風路徑，與實際情況可能有所出入，因此對最佳颱風預測路徑之選擇，是為決定降雨預報成功與否的重要因素。

(5)探空資料之應用——目前台灣地區有台北、桃園、馬公、東港四個探空站，其中以東港最接近曾文水庫集水區；本文計算地形雨時，以東港之探空報告為主要依據，然由於作個案分析時，往往資料付缺，而以其他站之資料取代，故可能影響可降水量之數值及空氣比濕之垂直變化的估計值，此兩者對環流雨及地形雨之預測準確度亦可能有所影響。

七、結 論

綜合以上所述，得到下列結論：

(1)曾文水庫集水區之年雨量有83%集中在5—9月；導致日雨量達100公厘或以上之氣壓系統，以颱風（或熱帶性低氣壓）佔首位，梅雨次之；冬季之鋒面降水及夏季之氣團雷雨對曾文水庫集水區之影響極微。

(2)颱風或熱帶性低氣壓侵襲時，曾文水庫集水區出現之暴雨尖峯，可分為兩種成因，其一是直接受颱風環流影響，另外之雨量高峯則是受西南氣流及地形效應所產生。

(3)在颱風中心通過集水區北方時，雨量分佈型態具有共同的特性，即暴雨集中，且持續時間較短；而自集水區及其南方通過之颱風降雨不如通過集水區北方者來的顯著。沿台灣東方海面及台灣海峽北上之颱風，降雨時間持續可達36~48小時，但無明顯的暴雨集中現象。不規則路徑中的賽洛瑪颱風，其降雨時間不但長達三天，且有顯著的暴雨高峯出現於颱風侵襲時及颱風遠離之後。

(4)至於梅雨期間造成暴雨尖峯之成因亦有二，當梅雨鋒面於台灣北部海面至華南地區徘徊滯留時，集水區由於受到鋒面前西南氣流之影響而出現急驟的雷陣雨，另當梅雨鋒面南移到位於集水區附近時，由於直接受到梅雨鋒面本身暖濕且極端不穩定的氣流之影響而造成第二個高峯。梅雨期間之暴雨強度並不如颱風大，然因其降雨之持續時間往往可長達二天或二天以上，遠較颱風侵襲時為長，故亦可引發山洪。

(5)颱風降雨係由颱風本身之環流雨及地形雨相加而成，而環流雨及地形雨之強度均可由颱風降雨預報模式予以求得。

(6)颱風降雨預報模式對西進且由曾文水庫集水區北方通過之第一類颱風之效果最為理想。

(7)颱風降雨預報模式不僅可應用於逐時雨量的預報，亦可用來預報每3小時，6小時的累積雨量，此可供曾文水庫營運單位於颱風侵襲期間運轉操作之參考依據。

八、致 謝

本研究計劃之經費承蒙曾文水庫管理局支助，並提供有關雨量資料。在計劃進行中，承蒙朱曙光、紀國瑜先生協助分析資料及紀美杏、劉淑珍小姐分別協助打卡、謄稿，特此致謝。

參 考 文 獻

- Brand, S. and J.W. Blelloch, 1974: Changes in the characteristics of typhoons crossing the Island of Taiwan. *Mon. Wea. Rev.*, 102, 708-713.
- Fulks, J.R., 1935: Rate of precipitation from adiabatically ascending air. *Mon. Wea. Rev.*, 63, 291-294.
- Gray, W.M. and W.M. Frank, 1978: New results of tropical cyclone research from observational analysis. NAVENVPREDRSCHFAC Tech. Rep. TR 78-01, 105 PP.
- Riehl, H., 1963: Some relation between wind and thermal structure of steady state hurricanes. *J. Atms. Sci.*, 20, 276-287.
- Riehl, H., 1969: The tropical meteorology. 293-297.
- 彭立、王時鼎、俞家忠, 1967: Investigation of probable maximum precipitation caused by typhoon in Tachien Watershed, 45 PP.
- 彭立、王時鼎、俞家忠, 1967: Probable maximum precipitation caused by typhoon over Tachien Watershed, 30 PP.
- 王時鼎、劉廣英、曲克恭、林則銘、黃中成、謝維權, 1977: 翡翠谷壩址最大可能暴雨研究, 空軍氣象中心研究報告 13 號, 86 PP.
- 吳宗堯、陳正改, 1978: 台灣北部地區豪雨特性之分析, 氣象預報與分析, 77, 69-115。
- 吳宗堯、謝信良、喬鳳倫、陳正改、黃清芬、朱曙光、紀國瑜, 1980: 曾文水庫集水區降水特性分析及颱風降水預報之研究, 中央氣象局研究報告 53 號, 131 PP.
- 陳毓雷, 1978: 大漢河流域颱風暴雨量預報之研究, 氣象預報與分析, 74, 16-44。
- 陳正改、蔡清彥, 1979: 台灣地區梅雨系統之降水特性及天氣形式, 台灣大學大氣科學系研究報告梅雨-003, 38 PP.

表 1 : 曾文水庫集水區各雨量站 5 ~ 9 月總雨量與年雨量百分比 (民國 59 ~ 68 年)

站 名	水 山	樂 野	表 湖	里 佳	馬 頭 山	曾 文 新 村
百 分 比	84.6	83.7	83.2	85.8	87.2	89.2

* 資料年限為民國 64 ~ 68 年

表 2 : 民國 59 ~ 68 年里佳日雨量超過 100 公厘以上之日數及天氣型態

天 氣 型 態	日 月 別 數												合 計	百 分 比
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
冷 鋒	-	-	-	1	-	-	**	-	-	-	-	-	3	4.6
梅 雨	-	-	-	-	6	20	-	-	-	-	-	-	26	40.0
颱 風	-	-	-	1	-	1	9	9	4	-	-	-	24	36.9
熱 帶 性 低 壓	-	-	-	-	-	4	-	3	1	-	-	-	8	12.3
* 西 南 氣 流	-	-	-	-	-	-	2	2	-	-	-	-	4	6.2
合 計	-	-	-	2	6	25	13	14	5	-	-	-	65	100

* 指非颱風直接引進者

** 民國 65 年 7 月 4 日及 5 日，因冷鋒過境導致里佳出現豪雨，其日雨量分別為 389 公厘及 235 公厘。

表 3 : 影響曾文水庫集水區之颱風及熱帶性低氣壓一覽表
(民國 59 ~ 68 年)

路 徑	颱風名稱	颱風強度	侵 襲 日 期	
第一類 (西進颱風)	通過集水區北方	美 安	輕 度	59年9月6~8日
		艾 妮 絲	中 度	60年9月18~19日
		貝 絲	強 烈	60年9月22~23日
		貝 蒂	中 度	61年8月16~18日
		妮 娜	強 烈	64年8月3~4日
		畢 莉	中 度	65年8月9~10日
		薇 拉	強 烈	66年7月31日~8月1日
		卡 門	中 度	67年8月18~19日
		茱 迪	強 烈	68年8月24~26日
	上 空	娜 定	強 烈	60年7月25~28日
南 方	貝 蒂	中 度	64年9月22~23日	
第二類	沿台灣東方海面 北 上 之 颱 風	畢 莉	強 烈	62年7月17~19日
		鶯 瑪	輕 度	63年6月17~18日
		范 迪	中 度	67年7月31日~8月2日
		伊 瑪	中 度	67年9月10~14日
		歐 敏	中 度	68年8月14~17日
第三類	沿海峽北上 台 灣	T.D		61年6月11~14日
		蘇 珊	中 度	61年7月12~14日
第四類	特殊路徑	T.D		64年8月16~17日
		賽 洛 瑪	中 度	66年7月25~27日
		愛 美	輕 度	66年8月22~23日

表 4 : 曾文水庫集水區近十年來梅雨期之特性 (民國 59 ~ 68 年)

年 代	入 梅	出 梅	梅 雨 期	雨 日	不 下 雨 日 數	雨 量 (mm)
59	5 月 7 日	6 月 28 日	52	41	11	682
60	6 月 1 日	6 月 12 日	11	8	3	336
61	5 月 9 日	6 月 19 日	41	36	5	878
62	5 月 9 日	6 月 17 日	39	32	7	694
63	5 月 24 日	6 月 26 日	33	32	1	623
64	5 月 16 日	6 月 20 日	35	34	1	927
65	5 月 26 日	6 月 15 日	20	14	6	550
66	5 月 15 日	6 月 22 日	39	33	5	1708
67	5 月 18 日	6 月 10 日	23	21	2	663
68	5 月 17 日	6 月 18 日	31	26	5	621
平 均			32	28	4	768

表 5 : 曾文水庫集水區梅雨期間日雨量
超過 100 公厘一覽表 (民國 59 ~ 68 年)

時 間 (年月日)	60.6.3	60.6.6	61.6.5	61.6.6	62.6.13	63.6.22	64.6.6	64.6.7	65.5.27	65.5.28	65.5.29
雨 量 (公厘)	103	121	204	181	102	118	136	105	110	162	131
時 間 (年月日)	66.5.29	66.6.1	66.6.2	66.6.5	66.6.6	66.6.19	66.6.21	67.5.19	68.6.8		
雨 量 (公厘)	252	156	186	120	205	122	140	120	150		

表 6 : 曾文水庫集水區之風向及其地形有效坡度之關係表

風 向	N	NNW	NW	WNW	W	WSW	SW	SSW	S	SSE
地形之有 效 坡 度	0.012	0.028	0.035	0.065	0.070	0.057	0.054	0.031	0.043	0

表 7 : 紀錄颱風登陸期間, 曾文集水區降水量之計算因子及環流雨、地形雨和預測雨量 (公厘)

年	月	日	時間 (L)		時序	距離 (km)	風速 (m/s)	風向	地形坡度	垂直風速 (m/s)	環流雨		地形雨		預測雨量		
			時	分							800-900mb	700-850mb	550-700mb	合計			
1975	8	2	24	0	350	12.2	NNW	0.028	0.34	0.24	0.20	0.44	5.32	2.94	8.26	8.70	
		3	1	1	327	12.8	"	"	0.35	0.43	0.36	0.79	5.62	3.11	8.73	9.53	
			2	2	300	13.4	"	"	0.37	0.39	0.29	0.64	5.93	3.28	9.20	9.84	
			3	3	278	14.1	"	"	0.39	0.53	0.44	0.97	6.08	3.36	9.44	10.41	
			4	4	261	14.6	"	"	0.40	0.42	0.44	0.96	6.38	3.53	9.91	10.88	
			5	5	244	15.2	"	"	0.42	0.45	0.48	1.07	6.84	3.78	10.62	11.69	
			6	6	222	16.1	"	"	0.45	0.47	0.56	1.23	7.14	3.95	11.09	12.32	
			7	7	205	16.9	"	"	0.47	0.50	0.67	1.48	7.60	4.20	11.80	13.28	
			8	8	186	17.9	"	"	0.50	0.67	0.95	1.73	10.18	5.63	15.81	17.54	
			9	9	164	19.3	NW	0.035	0.67	0.74	1.00	2.20	11.25	6.22	17.46	19.66	
			10	10	140	21.2	"	"	0.74	0.77	1.20	3.84	11.70	6.47	18.17	22.01	
			11	11	128	22.0	"	"	0.77	1.82	1.51	3.33	25.54	14.11	39.65	42.98	
			12	12	98	25.9	WNW	0.065	1.68	2.22	4.87	28.88	15.96	44.84	49.71		
			13	13	90	27.2	W	0.070	1.90	3.03	6.57	22.80	12.60	35.40	42.07		
			14	14	71	23.6	WSW	0.057	1.34	4.55	10.00	13.53	7.48	21.00	31.62	52.14	
			15	15	54	27.8	SW	0.054	1.50	3.75	8.24	16.72	9.24	25.96	34.20		
			16	16	50	29.0	SSW	0.031	0.89	5.46	2.28	5.02	13.38	7.39	20.77	25.79	
			17	17	61	25.8	S	0.043	1.10	4.49	1.30	2.86	10.94	6.05	16.99	19.85	
			18	18	89	20.6	"	"	0.88	0.72	1.56	3.08	6.23	3.44	9.68	10.96	
			19	19	124	16.9	"	"	0.72	0.62	0.94	0.78	1.72	9.42	5.21	14.63	16.35
			20	20	157	14.6	"	"	0.62	0.40	0.70	0.58	1.28	6.23	3.44	9.68	10.96
			21	21	178	13.5	SSW	0.031	0.41	0.94	0.52	1.14	5.93	3.28	9.20	10.35	
			22	22	200	12.6	"	"	0.39	0.62	0.40	0.87	5.47	3.02	8.50	9.37	
			23	23	222	11.8	"	"	0.36	0.48	0.41	0.90	5.17	2.86	8.02	8.92	
			24	24	244	11.2	"	"	0.34	0.49	0.41	0.90	5.02	2.77	7.79	8.37	
1975	8	4	1	25	254	10.9	"	"	0.33	0.32	0.27	0.58	5.02	2.77	7.79	8.37	
			2	26	258	10.8	S	0.043	0.46	0.39	0.32	0.71	6.99	3.86	10.86	11.56	
			3	27	266	10.6	"	"	0.45	0.35	0.29	0.64	6.84	3.76	10.62	11.26	
			4	28	283	10.2	"	"	0.43	0.32	0.27	0.58	6.54	3.61	10.15	10.73	
			5	29	305	9.8	"	"	0.42	0.35	0.29	0.64	6.38	3.53	9.91	10.56	

**A Study on Characteristics of Precipitation Patterns and
Typhoon Rainfall Forecasting over Tsengwen Watershed**

Tsung-Yao Wu

Shinn-Liang Shieh , Feng-Lun Chiao

Cheng-Kai Chen , Ching-Fen Hwang

Central Weather Bureau

ABSTRACT

An intensive analysis of the rainfall data over Tsengwen Watershed for the period from 1970 to 1979 has been carried out. One of the results indicates that about 83 % of the yearly rainfall occurs in the months from May to September. It is also seen that most cases of heavy rain with daily rainfall 100mm or above were caused by typhoons or tropical depressions while a few occasions with the same daily rainfall were observed in Mei-Yu seasons.

All typhoon tracks which affected the watershed during the years mentioned above have been classified into several categories according to their orientations. It is noted that the rainfall over the watershed was mostly introduced by typhoons which moved westward and passed in the north of the watershed; and their peaks appeared at 2 hours in average before the typhoon reached the nearest position to the watershed.

The rainfall forecasting model consists of two terms, namely, the topographical term and the typhoon circulation terms. Simulations of typhoon precipitations for variously oriented tracks reveal that the simulated west-moving-typhoons give the rainfall patterns fairly close to the actual ones; hence it is reasonable to conclude that the said model is applicable to the typhoon rainfall forecasting over Tsengwen Watershed.