

國立中央大學

水文與海洋科學研究所

碩士論文

大甲溪流域上游集水區極端降雨事件

之雨型分析與水文模擬

Rainfall pattern analysis and hydrological simulation of Dajia River
upstream watershed under severe weather condition

研究生：劉承翰

指導教授：蔡武廷教授

中華民國九十八年六月



國立中央大學圖書館 碩博士論文電子檔授權書

(98 年 4 月最新修正版)

本授權書所授權之論文全文電子檔(不包含紙本、詳備註 1 說明)，為本人於國立中央大學，撰寫之碩/博士學位論文。(以下請擇一勾選)

- () **同意** (立即開放)
- () **同意** (一年後開放)，原因是：_____
- () **同意** (二年後開放)，原因是：_____
- () **同意** (三年後開放)，原因是：_____
- () **不同意**，原因是：_____

以非專屬、無償授權國立中央大學圖書館與國家圖書館，基於推動「資源共享、互惠合作」之理念，於回饋社會與學術研究之目的，得不限地域、時間與次數，以紙本、微縮、光碟及其它各種方法將上列論文收錄、重製、公開陳列、與發行，或再授權他人以各種方法重製與利用，並得將數位化之上列論文與論文電子檔以上載網路方式，提供讀者基於個人非營利性質之線上檢索、閱覽、下載或列印。

研究生簽名： 劉承翰 學號： 966205007

論文名稱：大甲溪流域上游集水區極端降雨事件之雨型分析與水文模擬

指導教授姓名：蔡武廷 教授

系所：水文與海洋科學研究 所 博士班 碩士班

日期：民國 98 年 7 月 17 日

備註：

1. 本授權書之授權範圍僅限電子檔，紙本論文部分依著作權法第 15 條第 3 款之規定，採推定原則即預設同意圖書館得公開上架閱覽，如您有申請專利或投稿等考量，不同意紙本上架陳列，須另行加填聲明書，詳細說明與紙本聲明書請至 <http://thesis.lib.ncu.edu.tw/> 下載。
2. 本授權書請填寫並親筆簽名後，裝訂於各紙本論文封面後之次頁（全文電子檔內之授權書簽名，可用電腦打字代替）。
3. 請加印一份單張之授權書，填寫並親筆簽名後，於辦理離校時交圖書館（以統一代轉寄給國家圖書館）。
4. 讀者基於個人非營利性質之線上檢索、閱覽、下載或列印上列論文，應依著作權法相關規定辦理。

摘要

本研究將大甲溪上游德基水庫集水區之 1987 年到 2000 年颱風降雨資料於予整理、分類和分析出符合流域特性之颱風降雨型態。依颱風事件之雨型與降雨延時探討，並考慮颱風路徑與降雨型態的可能關係，以了解大甲河流域上游颱風降雨的特性。研究中利用二種方法定義颱風事件的始末，以得到颱風降雨在時間上的分布，討論颱風雨型與降雨延時於大甲河流域上游集水區之特性。

研究中將颱風降雨事件應用於降雨-逕流模式，模擬大甲溪上游集水區之地表逕流量變化，證實我們研究室發展之降雨-逕流模式能適用於大甲溪上游集水區，有效推算洪峰流量與洪峰時間。其中模擬結果不盡理想可能是數值高程模型造成之錯誤，未來可以對其修正以求得該集水區最佳模擬結果。

Abstract

We analyze the rainfall data from year 1987 to 2000 in the watershed of Te-Chi reservoir, which is located in the Dajia River upstream watershed. The analyses by considering the typhoon pathways and rainfall patterns help us understand the characteristics of typhoon rainfall in the Dajia River upstream watershed. We discuss the typhoon rainfall patterns and durations by using two methods to determine the durations of the typhoon rainfall. The typhoon rainfall events are applied to a rainfall-runoff model to simulate the hydrological processes in the Dajia River upstream watershed. We confirm that this rainfall-runoff model can be applied to the Dajia River upstream watershed by validating the peak discharges and time between simulations and observations. The simulations may be biased because of the errors in DEM. We would correct the errors in DEM to acquire better simulation data in the future.

誌 謝

來到中央大學不知不覺二年就過去了，很慶幸能順利完成這本論文。首先要感謝地是這二年辛苦指導我的指導教授蔡武廷老師，和抽空前來參加我的畢業口試委員們李明旭老師、張中白老師以及石棟鑫博士，在口試中給予我諸多建議，使我的論文可以更進步。還有同研究室的世明學長和煜欽學長在學業上給予我諸多幫助與糾正，生活上帶領我玩和吃遍美食。在水文所的二年，也感謝同學思達、東鳴、文誠、怡玢、韻圓、文彬、美惠、東政、妙珊、峻祥對我的關懷與幫助，一起度過這二年的求學生涯。接著感謝水文所上的老師、學長姊、學弟妹、秀芬和慧琳，對我在中央大學這二年的照顧，很高興可以加入水文所這個大家庭，感謝大家在這期間給予我的幫助。

目 錄

	頁次
摘 要	i
Abstract	ii
誌 謝	iii
目 錄	iv
圖目錄	vi
表目錄	viii
第一章 序論	1
1-1 前言	1
1-2 大甲溪集水區流域	2
1-3 雨型分析	4
1-4 集水區水文過程模擬	5
1-5 論文架構	6
第二章 大甲溪上游流域颱風降雨型態分析	11
2-1 颱風事件降雨延時之定義	11
2-2 大甲溪上游流域雨量站資料	13
2-3 颱風降雨雨型分析	15
2-4 颱風降雨延時分析	18
2-5 颱風路徑與降雨型態的可能關係	20
第三章 大甲溪上游流域颱風降雨事件水文模擬	48

3-1	模式簡介	48
3-2	流域資料	54
3-2-1	數值高程模型	54
3-2-2	河系圖層	55
3-2-3	土壤種類圖層	58
3-2-4	土地利用圖層	58
3-3	颱風事件降雨資料	59
3-4	模擬參數與初始化	61
3-5	流量資料	62
3-6	颱風降雨事件之模擬與結果分析	64
第四章	結論與建議	94
4-1	結論	94
4-2	建議	97
參考文獻		98

圖目錄

	頁次
圖 1.1：大甲溪流域圖·····	7
圖 1.2：大甲溪上游德基水庫集水區·····	7
圖 1.3：德基水庫集水區數值高程模型·····	8
圖 1.4：無因次法設計雨型示意圖·····	9
圖 2.1：百年（1897~1996）侵台颱風之所在區域範圍調查（中央氣象局，颱風資料庫）·····	22
圖 2.2：經緯度座標決定颱風降雨事件始末示意圖（中央氣象局，颱風資料庫）·····	23
圖 2.3：中央氣象局之雨量站於德基水庫集水區位置分布圖·····	24
圖 2.4：台灣電力公司之雨量站於德基水庫集水區位置分布圖·····	25
圖 2.5：六種颱風設計雨型示意圖·····	26
圖 2.6：賀伯無因次百分比雨型和六種颱風設計雨型之差異示意圖·····	27
圖 2.7：以 90%降雨量定義颱風事件始末之無因次百分比雨型·····	28
圖 2.8：以經緯度座標定義颱風事件始末之無因次百分比雨型·····	34
圖 2.9：侵台颱風各類降雨路徑圖（中央氣象局，颱風資料庫）·····	39
圖 2.10：以 90%降雨量方法定義之颱風降雨延時分佈·····	40
圖 2.11：以經緯度座標方法定義之颱風降雨延時分佈·····	40
圖 2.12：侵台颱風各類路徑圖（中央氣象局，颱風資料庫）·····	41
圖 3.1：本研究使用之數值高程模型（40×40）·····	69
圖 3.2：Fill sink 平面前後變化示意圖·····	69
圖 3.3：流向資料製作示意圖·····	70
圖 3.4：累積流量示意製作圖·····	70

圖 3.5：河道製作流程圖·····	71
圖 3.6：解析度 40 公尺與 200 公尺之河系修正示意圖·····	72
圖 3.7：渠道深度與寬度製作示意圖·····	74
圖 3.8：德基水庫集水區土壤分布圖·····	74
圖 3.9：德基水庫土地利用 jpg 檔（德基水庫水質管理網）·····	75
圖 3.10：德基水庫集水區土地利用分布圖·····	75
圖 3.11：模擬區域雨量站分佈圖·····	76
圖 3.12：寶莉颱風路徑圖（中央氣象局，颱風資料庫）·····	77
圖 3.13：寶莉颱風平均降雨強度組體圖·····	77
圖 3.14：寶莉颱風各雨量站降雨強度組體圖·····	78
圖 3.15：賀伯颱風路徑圖（中央氣象局，颱風資料庫）·····	80
圖 3.16：賀伯颱風平均降雨強度組體圖·····	80
圖 3.17：賀伯颱風各雨量站降雨強度組體圖·····	81
圖 3.18：象神颱風路徑圖（中央氣象局，颱風資料庫）·····	83
圖 3.19：象神颱風平均降雨強度組體圖·····	83
圖 3.20：象神颱風各雨量站降雨強度組體圖·····	84
圖 3.21：德基水庫集水區流量站位置分布圖·····	86
圖 3.22：賀伯颱風事件之南湖和合歡流量資料修正前後示意圖·····	87
圖 3.23：寶莉颱風觀測與模擬流量歷線圖·····	88
圖 3.24：賀伯颱風觀測與模擬流量歷線圖·····	89
圖 3.25：象神颱風觀測與模擬流量歷線圖·····	90

表目錄

	頁次
表 1.1：大甲溪主要控制站之洪峰流量（經濟部水利署水利規劃試驗所，2000）·····	10
表 2.1：台灣電力公司德基水庫集水區雨量站一覽表·····	42
表 2.2：中央氣象局發布侵襲台灣颱風表（1987~2000）·····	43
表 2.3：賀伯颱風無因次百分比雨型與六種颱風設計雨型之差異性··	44
表 2.4：（方法一）大甲河流域上游雨量站雨型統計表（1987~2000）	45
表 2.5：（方法二）大甲河流域上游雨量站雨型統計表（1987~2000）	46
表 2.6：1987 至 2000 年各颱風路徑發生次數統計表·····	47
表 2.7：（方法一）1987 至 2000 年各颱風路徑平均降雨延時·····	47
表 2.8：（方法二）1987 至 2000 年各颱風路徑平均降雨延時·····	47
表 3.1：Green-Ampt 入滲公式參數表（Rawls & Brakensiek, 1983）··	91
表 3.2：土地利用對照參數表·····	91
表 3.3：不同颱風事件各流量站之觀測流量與模擬流量方均根誤差··	92
表 3.4：不同颱風事件各流量站觀測與模擬的洪峰流量和時間·····	92
表 3.5：不同颱風事件集水區水體分佈表·····	93

第一章 序論

1-1 前言

大甲溪為台灣中部之重要河川，處於亞熱帶季風氣候區，年平均雨量約為2500至3000毫米以上，降雨集中於5至9月，約佔全年總降雨量之75%，6至8月更因颱風季節而降雨量大增，日降雨量常達500毫米以上，在空間與時間分配不均的狀況下，每當颱風來臨，挾帶豐沛雨量就會造成大甲溪水暴漲，對附近建築物構成威脅，且河川洪水來不及宣洩而影響低窪區域淪為水鄉澤國。2008年辛樂克颱風，為大甲溪帶來豐沛之降雨量，當日雨量就超過1000毫米，當時下游石岡壩紀錄之流量為每秒4500立方公尺，根據「大甲溪九二一地震後治理規劃檢討」（經濟部水利署水利規劃試驗所¹，2000），大甲溪主要三個控制點（石岡、天冷以及河口）之洪峰流量整理（如表1.1），此場颱風事件對大甲溪流量之影響，屬於5至10年才會發生一次的洪水災害，而後溪水暴漲沖斷了后豐大橋，從颱風事件了解雖然颱風為台灣提供了充沛的水資源，但也帶來嚴重災害，因此如果可以對颱風的降雨特性進一步了解，進而推估大甲溪上游集水區出口流量，將有助於大甲溪下游洪災防治工作。

目前在水資源相關工程之規劃與設計中，常以降雨-逕流模式來模擬降雨-逕流的狀況，經過計算以得到地表逕流量等資料，當作推估洪水量之依

¹ <http://www.wra.gov.tw/ct.asp?xItem=12829&ctNode=2388&comefrom=lp#2388>

據。在模擬時，降雨資料為模式的主要輸入參數，其中所需降雨資料之型態為降雨量在時間上的分佈情形，此分佈函數稱為雨型。降雨量在時間上的分布不但影響流量歷線尖峰時間，對於地表逕流在時間的分布上也有不可忽視的影響，因此雨型在水資源相關工程中扮演重要的角色。

台灣現有文獻於降雨型態分析很少有對颱風降雨事件進行分析，並未將特定集水區內其颱風降雨資料依其降雨特性分類。為了瞭解颱風降雨型態，我們將歷年颱風降雨資料於予整理、分類並分析出符合流域特性之颱風降雨型態，依颱風雨型和降雨延時探討，並考慮颱風路徑與降雨型態的可能關係以了解颱風降雨的特性。

研究中將颱風降雨事件應用於降雨-逕流模式，模擬大甲溪上游集水區之地表逕流量變化，檢定我們研究室發展之降雨-逕流模式是否可適用於大甲溪流域上游集水區，推估集水區出口之洪峰流量與洪峰時間，以期未來達到地表逕流預報等研究目的。

1-2 大甲溪集水區流域

大甲溪位於台灣中西部，北鄰大安溪，南界烏溪，主流發源於中央山脈之次高山及南湖大山，分水嶺高峰多在3000公尺以上，為典型急流性河川，上游為南湖溪，至太保久附近與伊卡丸溪匯合後，始名大甲溪，流經梨山、佳陽至達見段，河幅漸次開展，達見以下則成帶形，再流經谷關、白冷、馬鞍寮至東勢流入平原，過石岡蜿蜒西北流於清水附近注入台灣海

峽（經濟部水利署全球資訊網¹），如圖1.1所示，流程124.2公里，流域面積為1236平方公里，年平均流量約每秒 31 立方公尺，河川坡度陡急，平均坡降為2.6%。由於中、上游河床陡峻、落差極大，水量均勻且豐沛，致使其單位河長蘊藏水力高居全台河川首位，為台灣水資源蘊藏最豐富的河川，亦為水力發電的重心，自下游往上游計有馬鞍壩、天輪壩、谷關壩、青山壩與德基水庫等5座，各壩均以發電為主，亦具有對下游之防洪功效。

本研究之區域為大甲溪上游德基水庫集水區，如圖1.2所示，此集水區分別轄屬台中、宜蘭、花蓮及南投等四縣，集水區面積約為592平方公里，該區河系以大甲溪為主流，山壁陡峭狹窄且山勢高聳，兩岸坡度介於40至60度，大甲溪主河道高程約介於1300至3300公尺，主要有志榮溪、南湖溪、合歡溪等，匯集了桃山、雪山、佳陽山等東南坡之水注入德基水庫，德基水庫總庫容量為230,000,000立方公尺，具有截洪濟枯、灌溉、給水、發電等效益，為台灣首座拱型高壩（德基水庫水質管理網²）。研究中將德基水庫集水區範圍劃分為颱風降雨型態分析範圍與水文模擬範圍，圖1.3為德基水庫集水區數值高程模型，黃色邊框區域為德基水庫集水區範圍，此為本研究降雨型態分析之範圍，紅色邊框區域為德基水庫上游集水區（不含庫區），此為本研究水文模擬之範圍。

¹ <http://www.wra.gov.tw/ct.asp?xItem=12828&ctNode=2388&comefrom=lp#2388>

² http://hysearch.wra.gov.tw/wra_ext/tech/AA/AA-01.htm

1-3 雨型分析

雨型為水資源相關工程設計中的重要水文資料，表示降雨量在時間上的分佈情形。余濬（1988）將國內外常用諸多設計雨型方法整理為七種，分別為組合法、無因次法、分配法、級序平均法、三角形法、位序法以及降雨強度法，由以上方法設計的雨型所代表之物理意義皆不相同。其中無因次法又稱平均法，適用於推求同一地區降雨事件之雨型，依不同降雨尖峰發生時間將降雨事件分類，再把同類型降雨事件無因次化後，以平均方式得到這個地區之設計雨型。本論文研究目的之一是希望利用大甲溪流流域上游集水區內之雨量站資料建立颱風雨型，因此我們選用符合研究目的之無因次法（Huff，1967），研究此集水區颱風雨型，如圖 1.4 所示。

計算步驟如下：

1. 由時雨量資料求出各場降雨事件的總降雨量。
2. 求出各場降雨事件每一小時降雨量佔總降雨量之百分比，此即各場降雨事件之百分比雨型。
3. 將各場降雨事件之每一小時雨量百分比進行累加，即得各場降雨事件之累加百分比雨型。
4. 將各場降雨事件的累積百分比雨型相加平均，最後再予以累減，即得到無因次法百分比雨型。

其他國內有關雨型之研究，石棟鑫（2001）對台灣颱風事件進行雨型

分析，將颱風降雨事件無因次化後，與六種不同降雨尖峰發生時間的假想颱風雨型做比較，決定颱風降雨事件所屬之假想雨型，以推算颱風事件場數內發生頻率較高雨型當作該區域之代表性颱風雨型。

本研究利用無因次法求出 1987 年至 2000 年間 41 場颱風降雨事件於大甲溪上游集水區之無因次百分比雨型，並採用石棟鑫（2001）提出六種依不同降雨尖峰時間分布的設計雨型和颱風事件之無因次百分比雨型做比較，得到大甲溪上游集水區颱風雨型，其詳細過程詳述於第二章。

1-4 集水區水文過程模擬

洪水為台灣重要天然災害之一，為減輕此災害損失，適時的洪水預報更顯的重要，目前在水資源相關工程之規劃與設計中，常以降雨-逕流模式來模擬降雨-逕流的狀況，經過計算以得到地表逕流量等資料，當作推估洪水量之依據。由於計算機能力的大幅提升，降雨-逕流模式已由早期集塊式模式（lumped model），發展至今以分散式模式（distributed model）為主的階段，主因係集塊式模式過度簡化集水區時空的變異性，結果過於簡單；反之，分散式模式可以考慮空間和時間上的變異性，針對任意位置和時間點之模擬結果進行分析，有助於了解各種水文過程的時空變化及交互作用。

研究中所使用之模式為分散式降雨-逕流模式（黃奕章，2007；李煜欽，2008），並將地理資訊系統（geographic information system, GIS）配合模式進行水文模擬，其中係以數值高程模型（digital elevation model, DEM）製

作集水區高程和河系圖層等資料，然後應用於降雨-逕流模式，模擬集水區地表逕流現象，針對集水區內短時間之暴雨進行模擬，推求集水區出口之地表逕流量，以達到洪水預報等目的。

1-5 論文架構

本論文架構分為四章，第一章為序論，首先介紹本研究之目的和大甲溪集水區流域，接著是說明雨型分析利用之方法和集水區水文過程模擬。第二章為大甲溪上游集水區颱風降雨型態分析，利用二種不同方法決定颱風降雨事件的起始，對颱風雨型與颱風降雨延時進行分析，並考慮颱風路徑和降雨型態的可能關係，討論其結果。第三章為大甲溪上游流域颱風降雨事件水文模擬，首先簡介研究所用之水文模式，然後說明模擬所需要的地形圖層和降雨資料，並詳述其來源與製作方式，最後分析模擬結果與討論。第四章為結論和建議，對降雨型態分析和模擬結果提出結論與建議。



圖 1.1 大甲溪流域圖（德基水庫水質管理網¹）

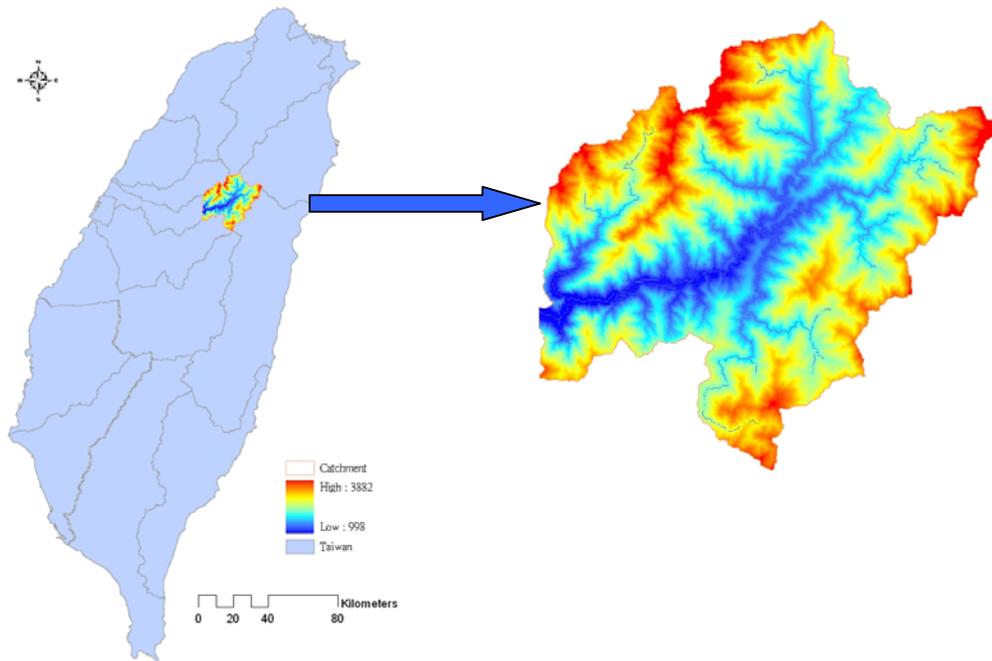


圖 1.2 大甲溪上游德基水庫集水區

¹ http://hysearch.wra.gov.tw/wra_ext/tech/AA/AA-01.htm

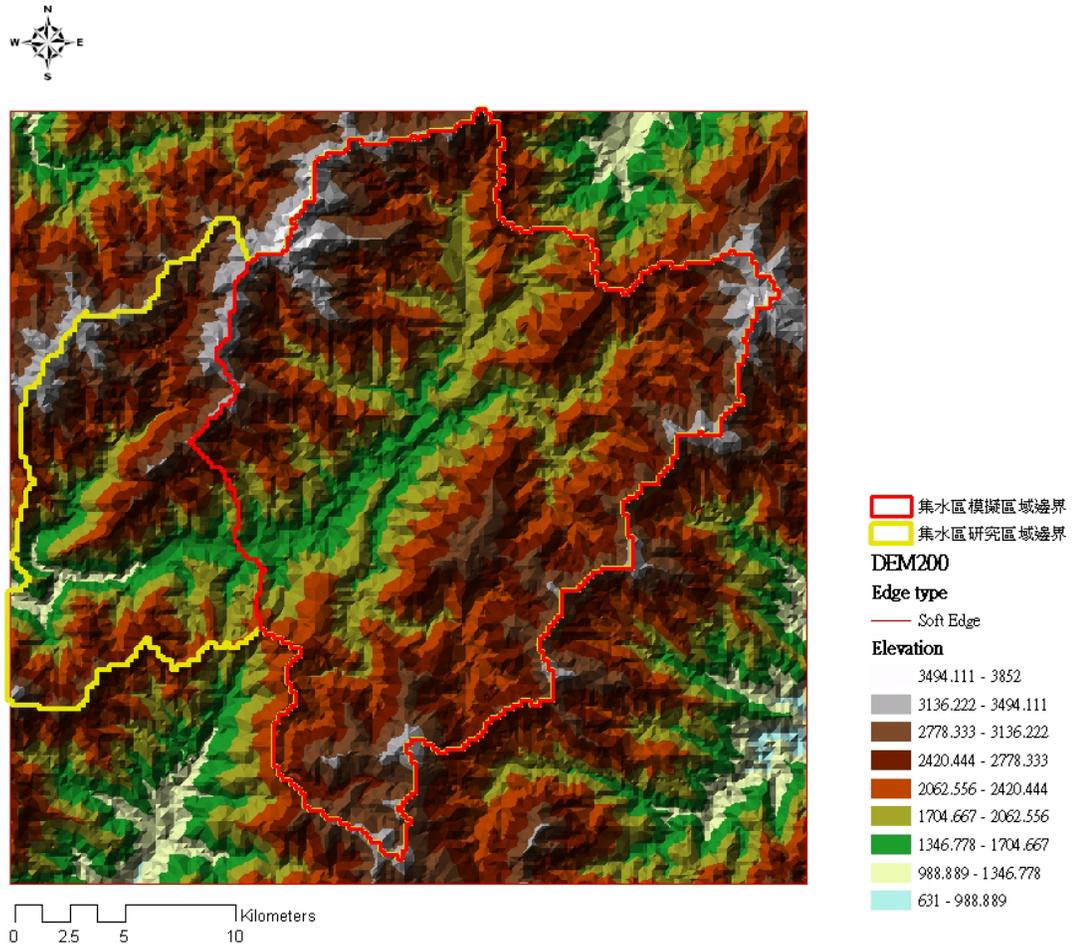
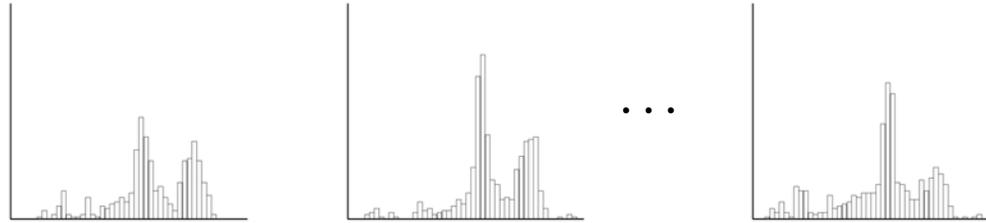


圖 1.3 德基水庫集水區數值高程模型，黃色邊框區域為德基水庫集水區範圍，此為本研究降雨型態分析之範圍，紅色邊框區域為德基水庫上游集水區（不含庫區），此為本研究水文模擬之範圍

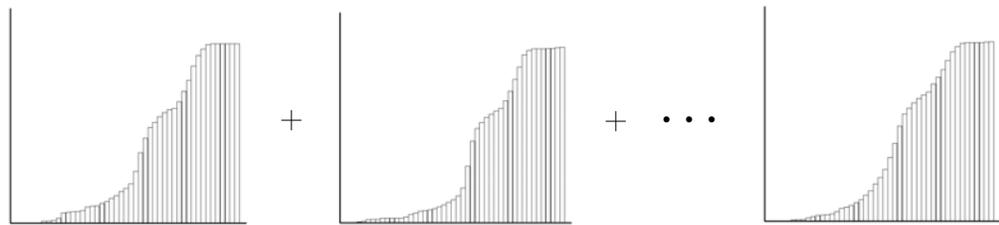
1. 由時雨量資料求出各場降雨事件的總降雨量。

2. (一) 百分比雨型 (二) ... (N)



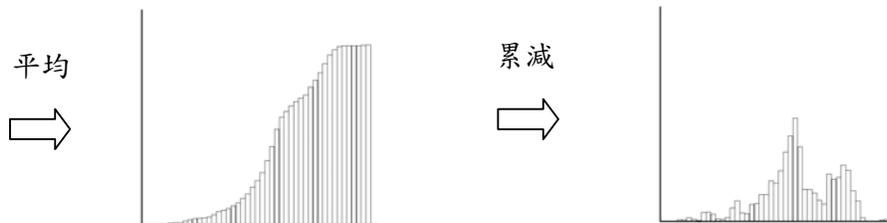
求出各場降雨事件每一小時降雨量佔總降雨量之百分比，求得各場事件百分比雨型。

3. (一) 累加百分比雨型 (二) ... (N)



將各場降雨事件之每一小時雨量百分比進行累加，即得各場降雨事件之累加百分比雨型。

4. 平均累加百分比雨型 無因次百分比雨型



將各場降雨事件的累積百分比雨型相加平均，最後再予以累減，即得到無因次法百分比雨型。

圖 1.4 無因次法設計雨型示意圖

表1.1 大甲溪主要控制站之洪峰流量(經濟部水利署水利規劃試驗所,2000)

河系	控制站	重現期距 (年)							
		200	100	25	20	10	5	2	1
大甲溪	河口	11500 cms	10300 cms	8900 cms	7300 cms	5900 cms	4500 cms	2600 cms	1200 cms
	石岡	9800 cms	8800 cms	7600 cms	6200 cms	5000 cms	3800 cms	2200 cms	1000 cms
	天冷	8840 cms	8000 cms	6900 cms	5600 cms	4500 cms	3400 cms	1980 cms	910 cms

第二章 大甲溪上游流域颱風降雨型態分析

本章將由歷年颱風降雨資料，分析大甲溪上游德基水庫集水區其颱風降雨型態，依颱風事件之雨型與降雨延時探討，並考慮颱風路徑與降雨型態的可能關係，以了解大甲溪流域上游颱風降雨的特性。首先本研究利用二種方法定義颱風降雨事件的始末，討論颱風雨型和降雨延時，然後說明研究中採用之雨量站資料，接著在颱風事件之雨型分析部份，利用無因次法求出大甲溪流域上游各場颱風事件之無因次百分比雨型，並採用石棟鑫（2001）提出六種依不同降雨尖峰時間分布的颱風設計雨型和無因次百分比雨型比較，以標準誤差估計值最小值的設計雨型當成此颱風事件之雨型，然後分別求出各場颱風事件的設計雨型，以出現頻率最高的設計雨型當成大甲溪上游德基水庫集水區的颱風雨型，接著由分析結果探討二種不同方法定義颱風降雨事件的始末對雨型之影響。之後由各場颱風事件之降雨延時分別求出平均延時、標準偏差、偏態以及峰度去探討大甲溪流域上游德基水庫集水區之降雨延時特性。然後跟根據中央氣象局所劃分的九種颱風路徑為基礎，討論颱風路徑與降雨型態的可能關係，和各種颱風路徑的發生頻率其來源。

2-1 颱風事件降雨延時之定義

在分析颱風降雨事件型態之前必須先定義颱風降雨事件，如何完整定

義颱風降雨之始末作為颱風降雨事件的開始與結束，至今沒有一套標準的決定方法，如果將颱風事件中的間歇雨分割為數個事件，會造成不合理現象。石棟鑫（2001）認為颱風降雨會受到外圍環流和滯留的影響，而且颱風降雨的延時通常很長，因此採用以颱風侵台日期內之總雨量的百分之九十當作此颱風的參考降雨量，而達到此參考降雨量之延時為颱風降雨延時。研究中利用此方法定義颱風降雨事件的始末，結果發現考慮了外圍環流和颱風滯留問題，在少數的颱風事件下，還是會將環流考慮進去，且在決定颱風降雨事件前後時會沒有依據判斷何時開始和結束，由颱風降雨事件之降雨量百分之九十，可能將颱風部分雨型破壞，而影響颱風雨型結果。因此本研究提出以颱風位置的經緯度座標決定颱風降雨事件的始末，而不考慮颱風降雨受其他氣候因素影響。此方法我們參考中央氣象局定義百年內颱風侵襲台灣之區域研究¹，其研究係以台灣為中心，計分為三區，如圖 2.1 所示，以 A、B、C 區表示。統計過去 100 年發生 374 颱風侵襲台灣區域，有 95.2% 係在 A 區範圍內，有 4.8% 為在 A 區範圍之外（在 B 與 C 區之中），A 區之南北界限為 19°~27°N，東西界限為 118°~124°E，其範圍略相當於颱風之距台灣海岸線約 200 公里內之範圍，故初步結論對於定義侵台颱風，圖中 A 區為一頗佳之參考區域，可將進入該區域內颱風視為侵台颱風。因此本研究參考中央氣象局之方法利用經緯度定義一範圍決定完

¹ <http://photino.cwb.gov.tw/tyweb/tyfnweb/report/rpt-3-2/rpt2-4.htm>

整颱風事件之開始與結束，其中是以台灣中心點經緯度座標各加減 4 度，決定出東西向與南北向皆跨 8 度之範圍，如圖 2.2 所示。圖中藍色三角型即為台灣中心點，紅色邊框範圍為北緯 20 度至北緯 28 度，東經 117 度至東經 125 度，以 1996 年賀伯颱風為例，從進入紅色邊框範圍到離開這段時間當作該颱風事件的始末，則颱風降雨延時為七月三十一日零時至八月一日十八時，而期間延時之降雨為總降雨量。該方法對於不同路徑之颱風皆可客觀定義出颱風事件的始末，並決定出每場颱風的降雨延時和降雨量。之後本研究便以這二種方法定義颱風降雨事件的始末，進行颱風雨型與降雨延時之分析。

2-2 大甲溪上游流域雨量站資料

降雨資料屬於水文資料中眾多資料的一種，係集水區水資源開發、生態保育、防災預警及各項水利工程規劃設計最重要之基礎。為充分瞭解及即時掌握降雨資料於時間及空間上之變化特性趨勢，必須長期連續之觀測記錄，並藉由分析與整合，當作水資源規劃、生態保育及防災預警之依據。本研究之大甲溪上游德基水庫集水區雨量資料，是和經濟部水利署、中央氣象局以及台灣電力公司申請，使得研究所需區域雨量資料蒐集得以完整。暨於研究時間和降雨資料記錄年份不會相差太遠，所以申請降雨資料紀錄之年份由 1987 年開始至 2007 年結束，共計 21 年。降雨資料之單位為每小時毫米，其內容包含雨量站站號、站址、紀錄日期之開始與結束、海

拔高度、經緯度座標、所屬縣市、所屬流域以及雨量資料，而研究所需雨量站位置座標為二度分帶座標，所以必須先將經緯度座標轉換成二度分帶座標，以標記於大甲溪上游德基集水區其分佈位置，發現經濟部水利署在大甲溪上游德基水庫集水區無雨量測站，因此不予考慮。接著中央氣象局之雨量站可分為局屬雨量站和自動雨量站，局屬雨量站皆位於低海拔地區，所以在大甲溪上游德基水庫集水區亦無設雨量站，而自動式雨量站在大甲溪上游德基水庫集水區僅有六個，為梨山、合歡山、思源、翠巒、上谷關以及稍來，如圖 2.3 所示，由圖可發現雨量站於空間位置分配不均，可能在推求德基水庫水庫集水區之降雨分佈會有影響，且梨山、合歡山、上谷關和稍來自動雨量站之雨量資料紀錄年份從 1990 年七月設站開始紀錄，而翠巒自動雨量站從 1992 年開始紀錄，思源自動雨量站從 1996 年開始紀錄，受限於自動式雨量站空間位置分配不均和降雨資料之紀錄年份不完整，因此也不予考慮。台灣電力公司在大甲溪上游德基水庫集水區之雨量測站為十五站(如表 2.1)，雨量站分布位置如圖 2.4 所示，分別為思源(2)、桃山、志佳陽大、環山、平岩山、捫山、松茂(2)、梨山、達見、佳陽山、青山(3)、松峰、合歡啞口、無明山和合歡山，從圖觀察發現雨量站之空間位置分佈均勻，適用於推求德基水庫集水區之降雨分佈，但是多數雨量站於 2000 年以後陸續停止記錄，可能受到 921 地震或是其他因素影響。因此本研究只採用台灣電力公司 1987 年至 2007 年期間之完整時雨量資料，

並根據中央氣象局在 1987 至 2000 年對台灣地區共發佈了 67 次颱風警報，從中選取有路徑分類和雨量站資料的 41 個颱風事件進行分析（如表 2.2）。由降雨資料蒐集與整理能了解大甲溪上游集水區之歷年降雨資料極為稀少，可能是德基水庫集水區位於高海拔地區以及雨量站在紀錄及維修上有一定難度，以致於台灣在高山集水區的雨量站數目稀少，在這種情況下，對於需要大甲溪上游集水區降雨資料之相關研究可能會有一定的困難度。

2-3 颱風降雨雨型分析

研究中利用無因次法求得各場颱風降雨事件在大甲溪上游德基水庫集水區之無因次百分比雨型，並假設六種依不同降雨尖峰時間分布的颱風設計雨型，如圖 2.5 所示，圖 2.5 (a) ~ (f) 分別為前峰式雨型、擬前峰式雨型、中峰式雨型、擬後峰式雨型、後峰式雨型以及雙峰式雨型，六種颱風設計雨型隨颱風降雨事件之每小時降雨強度大小排列，將降雨尖峰的時間發生位置分為六種情況，之後和無因次百分比雨型比較，配合標準估計誤差（standard error of estimate），其為設計值和真實值的誤差平方和再除上真實值開方，用來計算設計值和真實值之間的誤差，其方程式為：

$$SEE = \sqrt{\sum_{j=1}^n \frac{(i_{oj} - i_{mj})^2}{i_{mj}}} , \quad (2.1)$$

式中 i_{oj} 為設計雨型時雨量百分比、 i_{mj} 為實際雨型時雨量百分比、 j 為降雨時數。標準誤差估計值為正值，越接近 0 代表設計雨量和真實雨量差異性

越小，反之越大。然後以標準誤差估計值最小值的設計雨型當成此颱風事件的雨型。這裡我們以 90%降雨量定義賀伯颱風降雨事件延時為例，說明如何去決定賀伯颱風事件是何種雨型，如圖 2.6 所示，粉紅色線為賀伯颱風之無因次百分比雨型，藍色線為颱風設計雨型，其中利用標準估計誤差計算無因次百分比雨型和六種颱風設計雨型之每小時降雨百分比差異性，以標準誤差估計值最小值作為賀伯颱風之颱風雨型（如表 2.3），其結果如圖 2.6 (d) 所示，因此賀伯颱風是屬於擬後峰式雨型。之後再分別求出各場颱風事件之雨型，以出現頻率最高的設計雨型當成大甲溪上游德基水庫集水區的颱風雨型。

接著將侵襲大甲溪上游德基水庫集水區的41場颱風事件進行分析，利用第一種方法以颱風侵台期間90%降雨量定義各場颱風事件的始末，再以無因次法求出41場颱風事件之無因次百分比雨型，如圖2.7所示，圖中橫軸為颱風事件之降雨延時，縱軸為無因次降雨百分比。然後將各場無因次百分比雨型和六種颱風設計雨型利用標準誤差估計計算其差異結果（如表2.4），從中觀察出41場颱風中有14場颱風事件是屬於擬後峰式雨型的降雨型態，所佔的比例約有34%，為六種設計颱風雨型所佔比例最高，而雙峰式雨型發生機率較低，因此利用第一種方法定義颱風事件的始末推求颱風雨型，得知大甲溪上游德基水庫集水區颱風雨型多數是以擬後峰式雨型為主。

然後利用第二種方法以經緯度座標位置定義各場颱風事件的始末，對

侵襲大甲溪上游德基水庫集水區的41場颱風事件進行分析，以無因次法求出41場颱風事件之無因次百分比雨型，如圖2.8，然後將無因次百分比雨型和六種颱風設計雨型利用標準誤差估計計算其差異結果（如表2.5），從中觀察出41場颱風中有14場颱風事件是屬於擬後峰式雨型的降雨型態，所佔的比例約有34%，為六種設計颱風雨型所佔比例最高，而雙峰式雨型也是發生機率較低，因此利用第二種方法經緯度座標位置定義颱風事件的始末推求雨型，得知大甲溪上游德基水庫集水區颱風雨的雨型多數是以擬後峰式雨型為主。

研究中利用兩種方法定義颱風事件的始末，雨型分析結果相當接近，表示颱風雨型在大甲溪上游德基水庫集水區是以擬後峰式雨型為主。從圖 2.7 和圖 2.8 觀察利用不同方法定義颱風事件所得到的無因次百分比雨型，可以發現多數颱風的雨型都很相似，並有明顯的颱風降雨尖峰。其中有少數颱風事件雨型較不對稱，從圖 2.7 (e) 和圖 2.8 (e) 觀察 1988 年的蘇珊颱風，發現蘇珊颱風為多峰式雨型，此颱風在台灣西南海域打轉，以至於大部分颱風降雨是受到環流影響，所以在決定颱風降雨事件的起始較難判定，依時間推估可知圖 2.7 蘇珊颱風的第 2 個降雨尖峰為最靠近台灣時所發生。另一例事件為 1999 年的瑪姬颱風，由圖 2.7 (aj) 和圖 2.8 (aj) 觀察，圖 2.8 後半部雨型屬於環流雨影響，受限於考慮 90% 降雨量，所以造成雨型前後有點偏差。因此從各場颱風事件觀察，颱風事件必須考慮環流影響，才能

決定完整颱風事件的始末。根據中央氣象局對台灣颱風各類降雨的研究，如圖 2.9 所示，考慮颱風降雨，也包含了當時季節環流影響，所以對於颱風降雨事件應考慮完整延時之降雨分佈，並包含其環流之影響。

兩種方法定義颱風降雨事件的始末屬於客觀的做法，視情況經人工修正各有優缺點，第一種方法在決定颱風降雨事件的始末時沒有一定的依據，還有受限於必需考慮 90%降雨量，所以在決定颱風雨型時可能有所誤差。而第二種方法利用經緯度座標位置給予範圍，在定義颱風事件的始末有相同的起始條件，對於颱風雨型相比較有根據性，透過圖 2.8 觀察，利用此方法能完整決定各場颱風降雨之雨型。

2-4 颱風降雨延時分析

颱風降雨延時分析，由上述二種不同方法定義颱風事件的始末，進而得到各場颱風降雨延時，針對二種方法得到之各場颱風降雨延時求出平均延時、標準偏差、偏態以及峰度去了解大甲溪上游德基水庫集水區之颱風降雨延時特性。以下為統計颱風降雨延時所使用統計方法，

平均數 (average) 為所有觀測資料的平均，其方法為：

$$AVE = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (2.2)$$

式中 x_i 為各場颱風事件之降雨延時、 n 為颱風事件的場數。

標準差 (standard deviation) 為比較各場颱風事件之降雨延時和平均降

兩延時之間的離散程度，其方法為：

$$STD = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n \bar{x} \right)^2}{n(n-1)}} \quad , \quad (2.3)$$

式中 \bar{x} 為颱風事件總場數之平均降雨延時。

偏態 (skewness) 是描述一個資料分配以其平均值為中心的不對稱程度，偏態係數大於 0 峰值正偏，反之負偏，其方法為：

$$SKEW = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \bar{x}}{STD} \right)^3 \quad . \quad (2.4)$$

峰度 (kurtosis) 係反應資料與常態分佈相比時某一分佈之尖銳程度或平坦程度，峰度值大於 0 表示分布上為尖峰高聳，反之相對分布較為平坦，其方法為：

$$KURT = \left[\frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \bar{x}}{STD} \right)^4 \right] - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)} \quad . \quad (2.5)$$

以第一種方法對 41 場颱風事件求得之降雨延時進行分析，分別求出平均延時、標準偏差、偏態以及峰度，將其結果繪製成圖 2.10，圖中橫軸以 9 個小時為一個單位表示延時分佈，縱軸為延時所佔百分比，41 場颱風事件之平均降雨延時約為 34 小時和標準偏差為 12.9 小時，表示 41 場颱風事件之降雨延時分佈離散，然後偏態為 0.7，峰度為 3.6，表示降雨延時分佈在常態分佈為正偏，由圖 2.10 觀察降雨延時分布集中在 35 小時附近。由第一種方法求

得41場颱風事件之降雨延時，降雨延時最長的為1992年侵襲台灣中部的寶莉颱風，降雨延時為74小時，降雨延時最短的是1991年侵襲台灣北部的愛麗颱風，降雨延時為11小時。

以第二種方法對 41 場颱風事件求得之降雨延時進行分析，分別求出平均延時、標準偏差、偏態以及峰度，並將其結果繪製成圖 2.11，圖中橫軸以 8 個小時為一個單位表示延時分佈，縱軸為延時所佔百分比，41 場颱風事件之平均降雨延時約為 41 小時和標準偏差為 14.4 小時，表示 41 場颱風事件之降雨延時分佈離散，然後再求出偏態為 1，峰度為 3.5，表示降雨延時分佈在常態分佈為正偏，由圖 2.11 觀察降雨延時分布集中在 41 小時附近。由第二種方法求得 41 場颱風事件之降雨延時，降雨延時最長的為 1992 年侵襲台灣中部的寶莉颱風，降雨延時約為 80 小時，降雨延時最短的是 2000 年侵襲台灣北部海域的巴比倫颱風，降雨延時約為 22 小時。

以上利用二種方法得到各場颱風事件之降雨延時，第一種方法所求颱風事件之平均降雨延時為 35 小時，較第二種方法所求之平均降雨延時 41 小時短，但降雨延時結果都相當接近，表示颱風降雨延時分布在一至二天。此二種方法屬於客觀的做法，必須經過人工判斷，由使用者定義而有不同結果，如經緯度決定範圍大小不同，所得到颱風事件之降雨延時就不同。

2-5 颱風路徑與降雨型態的可能關係

颱風侵台路徑根據中央氣象局對歷年的颱風資料共分類為9類侵台路

徑，如圖2.12，由歷年颱風降雨資料知道各類路徑對台均具威脅及破壞性，由2-3節利用兩種方法決定颱風事件的始末，在颱風降雨雨型分析結果中都加入颱風路徑，考慮雨型和路徑關係，探討同一種颱風路徑會有相同颱風雨型的可能關係，結果發現颱風路徑和颱風雨型並無顯著關係，表示路徑並不是唯一影響雨型因素，可能需要考慮颱風半徑和行走速率等物理因素。

由 1987 至 2000 年之 41 個颱風降雨事件對各路徑發生頻率和降雨延時探討，由表 2.6 各路徑發生次數的統計結果發現，其中有 13 場颱風是 6 號路徑，比例為 26.8%，為發生頻率最高之侵台路徑，然後以第一種方法所求的颱風降雨延時再求出各路徑的平均降雨延時（如表 2.7），由結果可以知道 6 號路徑的颱風降雨延時最長，平均延時為 39 小時，會對台灣帶來長時間的降雨。而利用第二種方法所求出各颱風路徑的平均降雨延時（如表 2.8），由結果可以知道 3 號路徑的颱風降雨延時最長，平均延時 48 小時，也會對台灣帶來長時間的降雨。由平均降雨延時結果知道，颱風降雨事件會為台灣帶來長時間的降雨，對台灣影響較大。從各颱風路徑侵襲台灣之發生比例所知，侵襲台灣的颱風大都來自北太平洋西部，而少數颱風是來自南中國海的海面。

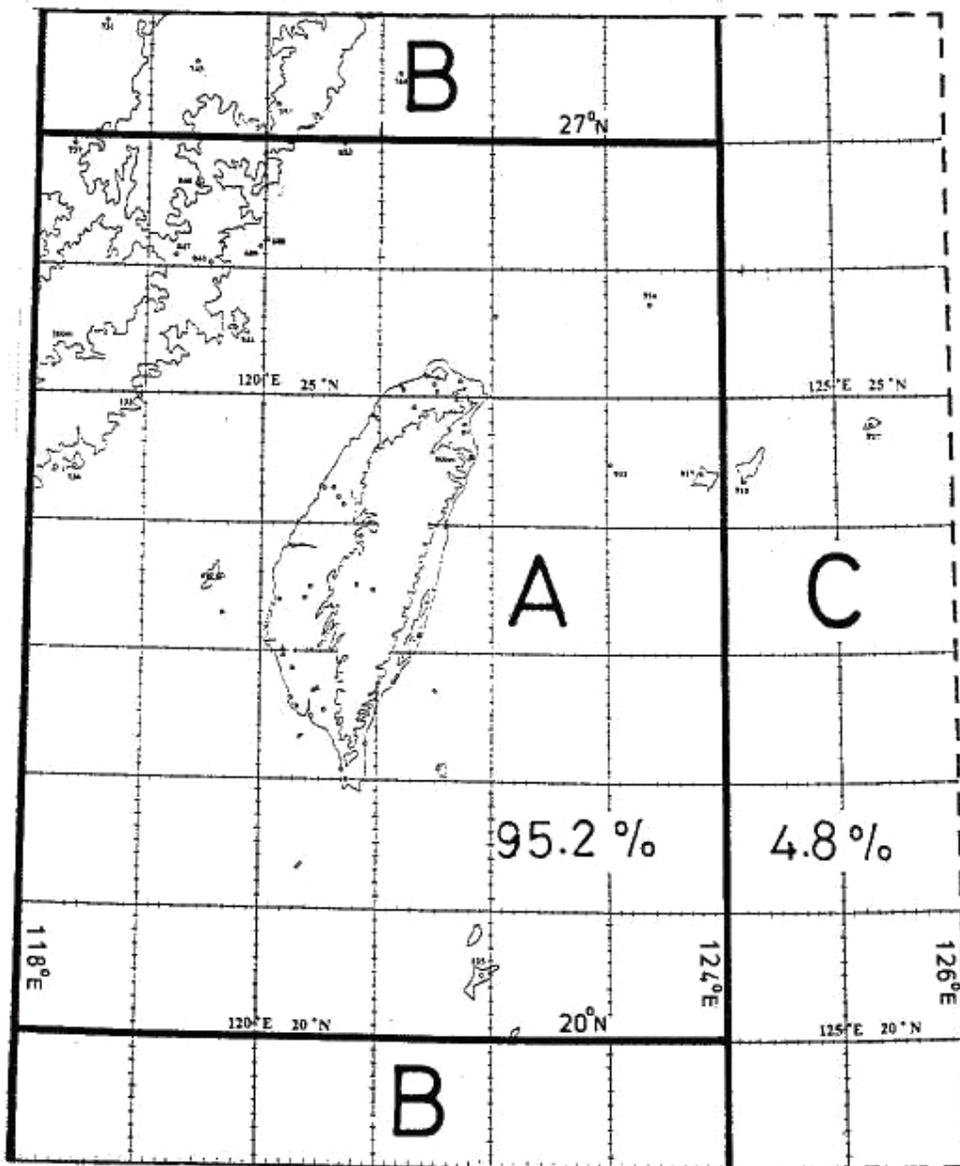


圖 2.1 百年 (1897~1996) 侵台颱風之所在區域範圍調查。計分三區：A 區如圖粗實線範圍所示，其範圍據台灣海岸約 200 公里；B 區為 A 區在南北各增加一個緯度而成；C 區為 B 區再向東伸展二個經緯度範圍而成（中央氣象局，颱風資料庫¹）

¹ <http://photino.cwb.gov.tw/tyweb/tyfnweb/report/figure/3-2-2/F3-2-2-02.gif>

1996 年賀伯颱風侵台路徑

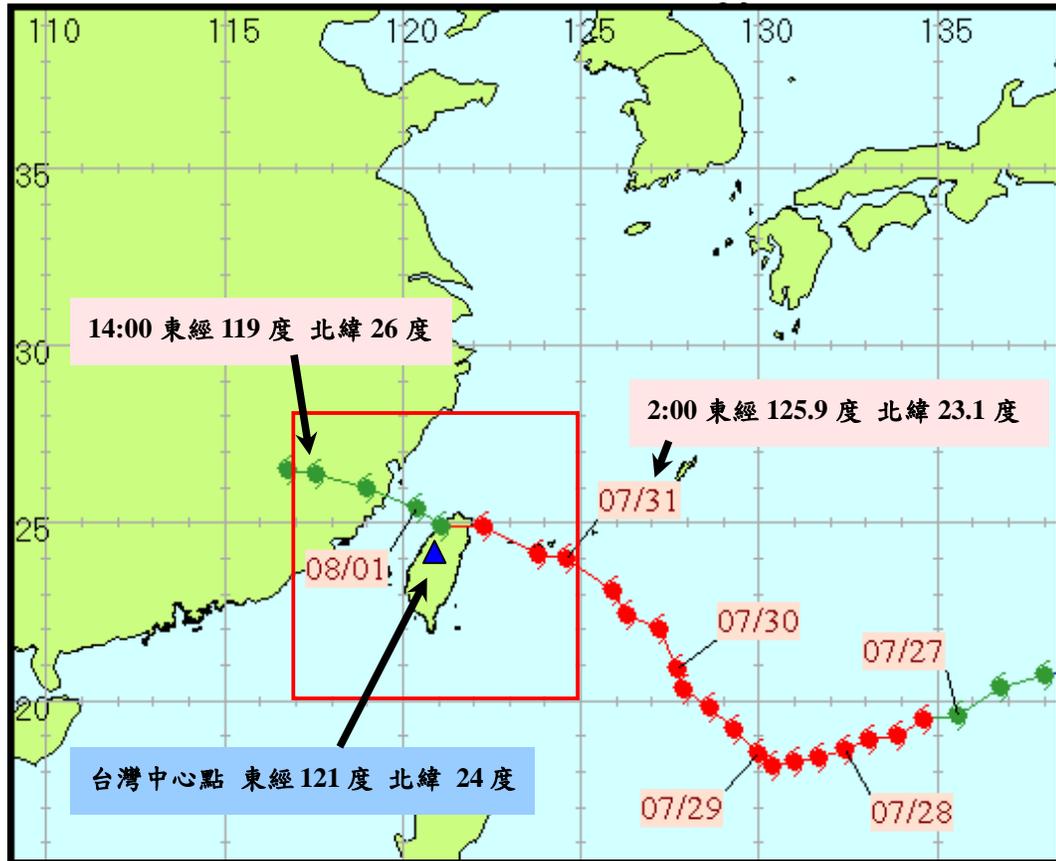


圖 2.2 經緯度座標決定颱風降雨事件始末示意圖，以台灣中心點經緯度座標各加減 4 度，決定出東西向與南北向皆跨 8 度之範圍，紅色邊框範圍為北緯 20 度至北緯 28 度，東經 117 度至東經 125 度，以 1996 年賀伯颱風為例，從進入紅色邊框範圍到離開這段時間當作該颱風事件的始末，則颱風降雨延時為七月三十一日零時至八月一日十八時，而期間延時之降雨為總降雨量（中央氣象局，颱風資料庫¹）

¹ http://rdc28.cwb.gov.tw/data.php?num=1996080724&year=1996&c_name=賀伯&e_name=HERB

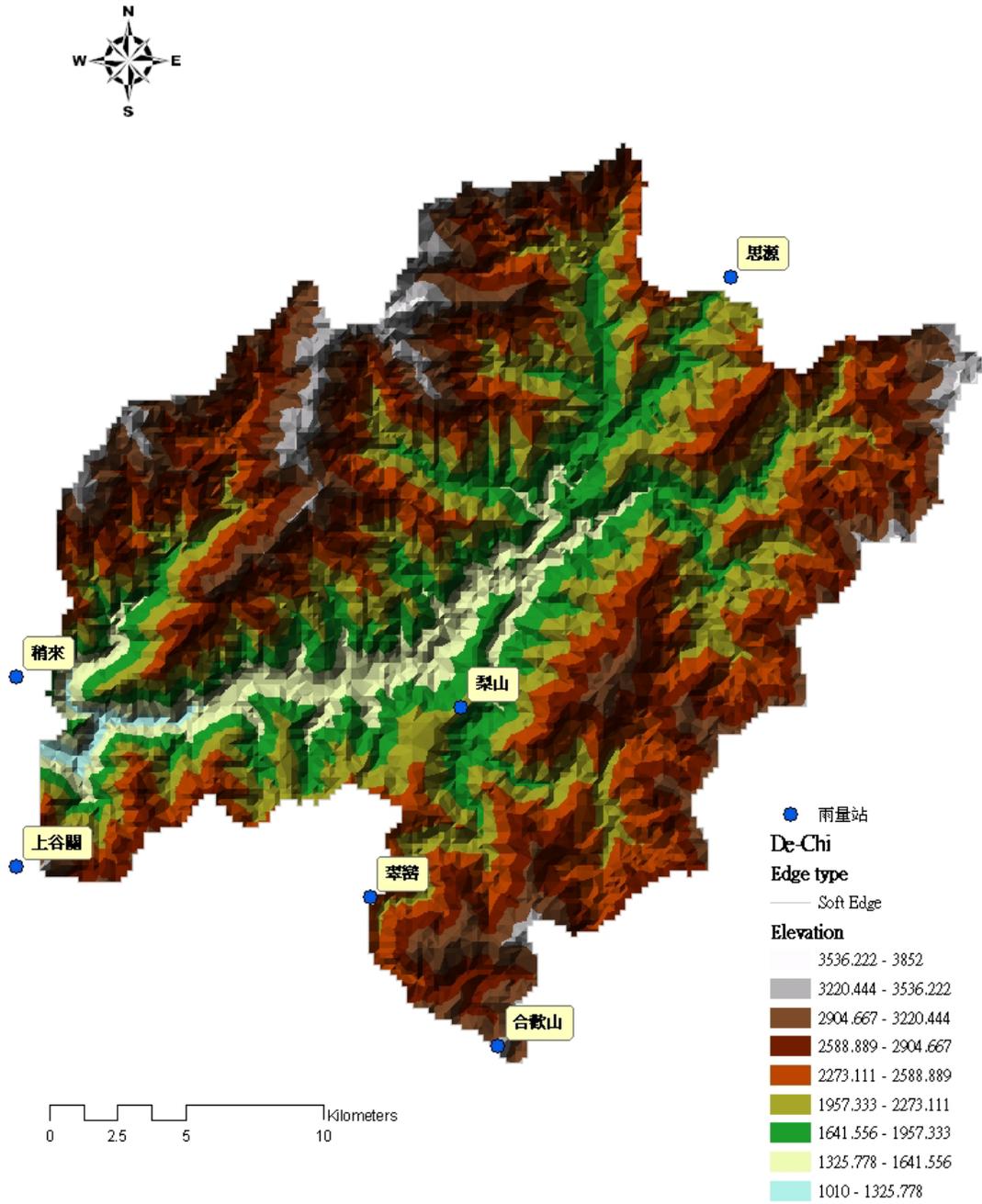


圖 2.3 中央氣象局之雨量站於德基水庫集水區位置分布圖

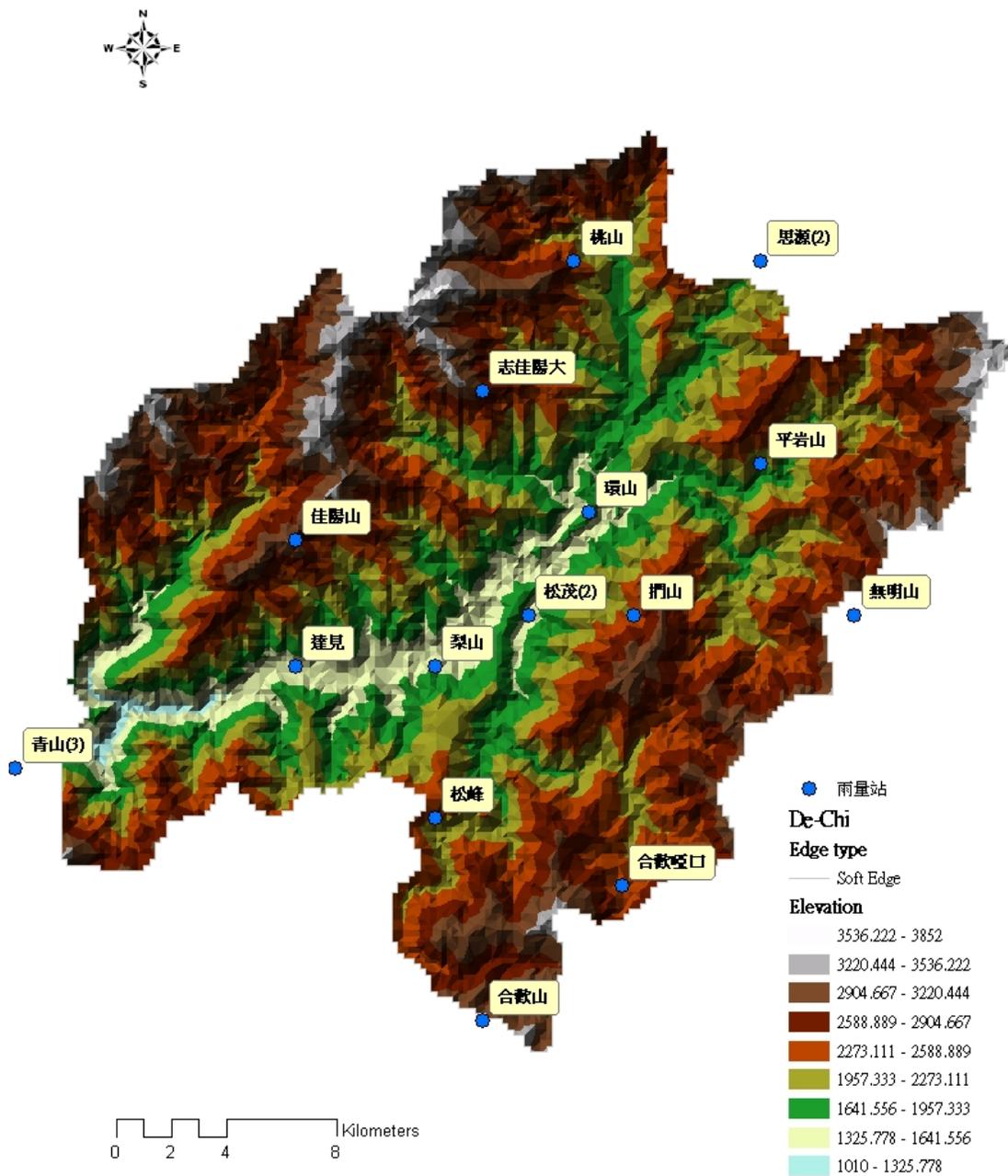
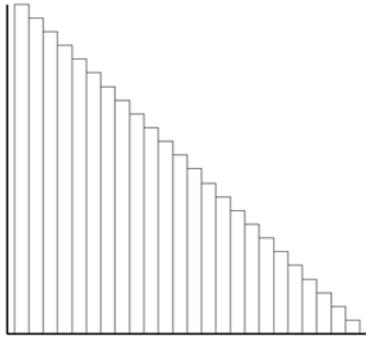
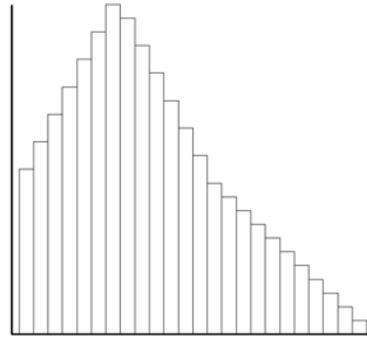


圖 2.4 台灣電力公司之雨量站於德基水庫集水區位置分布圖

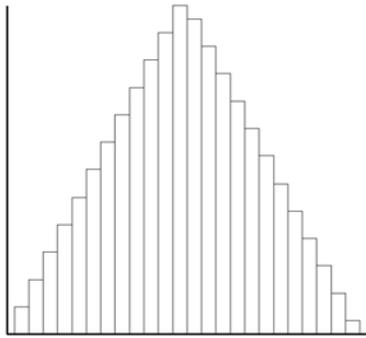
(a)



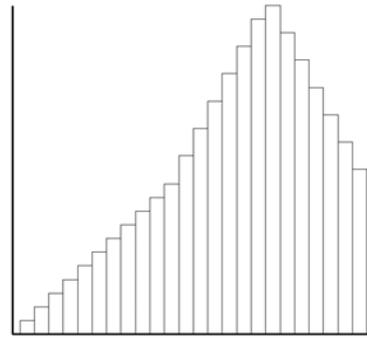
(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

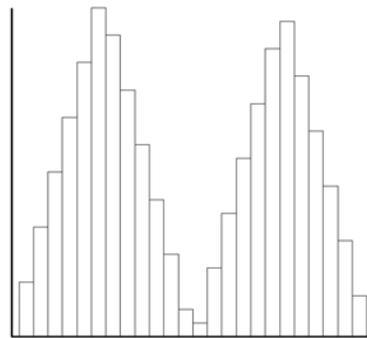


圖 2.5 六種颱風設計雨型示意圖，依降雨尖峰的時間發生位置分為六種情況，(a) 前峰式雨型、(b) 擬前峰式雨型、(c) 中峰式雨型、(d) 擬後峰式雨型、(e) 後峰式雨型、(f) 雙峰式雨型

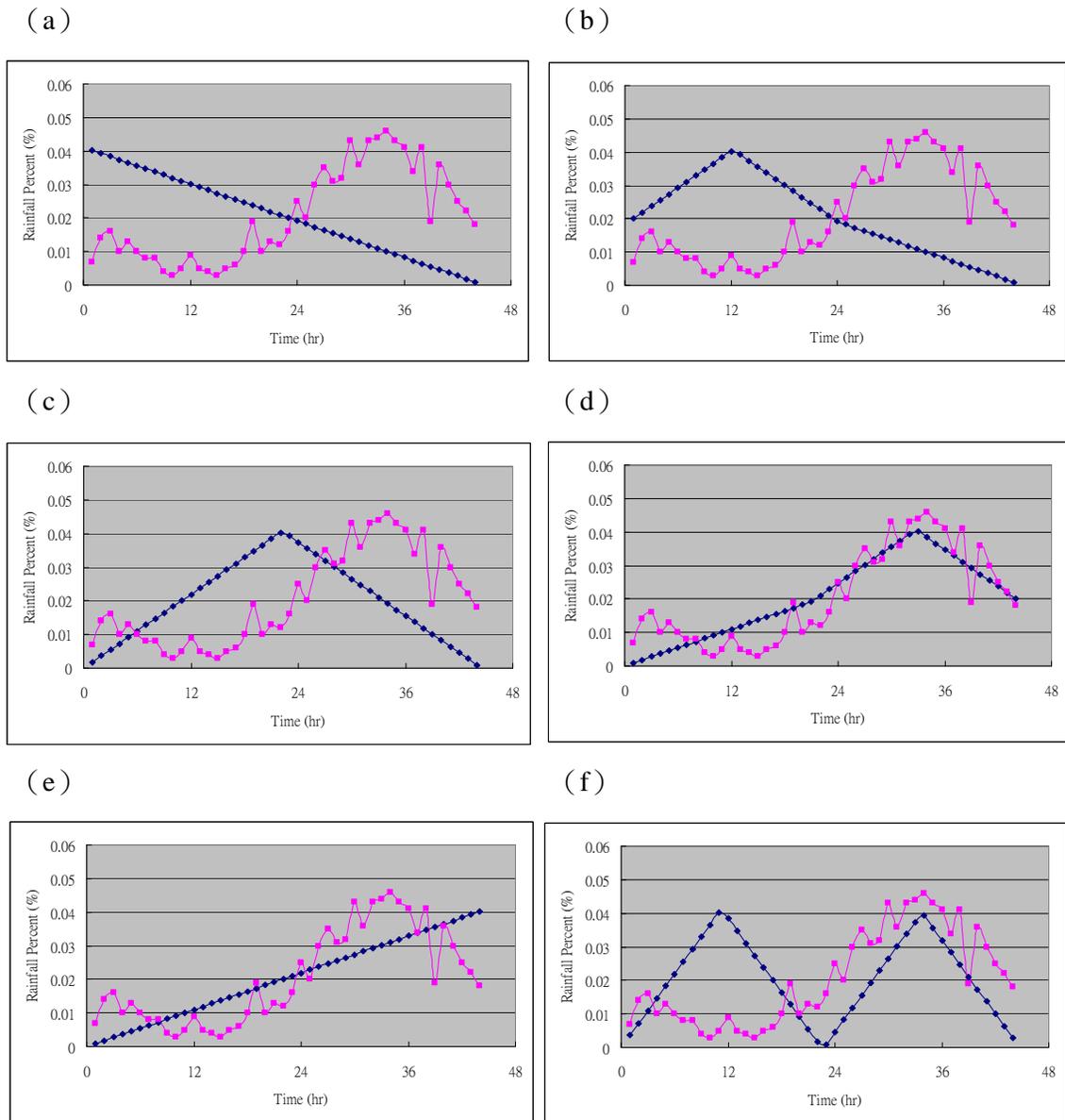


圖 2.6 賀伯無因次百分比雨型和六種颱風設計雨型之差異示意圖，粉紅色線為賀伯颱風無因次百分比雨型，藍色線為設計雨型，(a) 賀伯無因次百分比雨型與前峰式雨型、(b) 賀伯無因次百分比雨型與擬前峰式雨型、(c) 賀伯無因次百分比雨型與中峰式雨型、(d) 賀伯無因次百分比雨型與擬後峰式雨型、(e) 賀伯無因次百分比雨型與後峰式雨型、(f) 賀伯無因次百分比雨型與雙峰式雨型

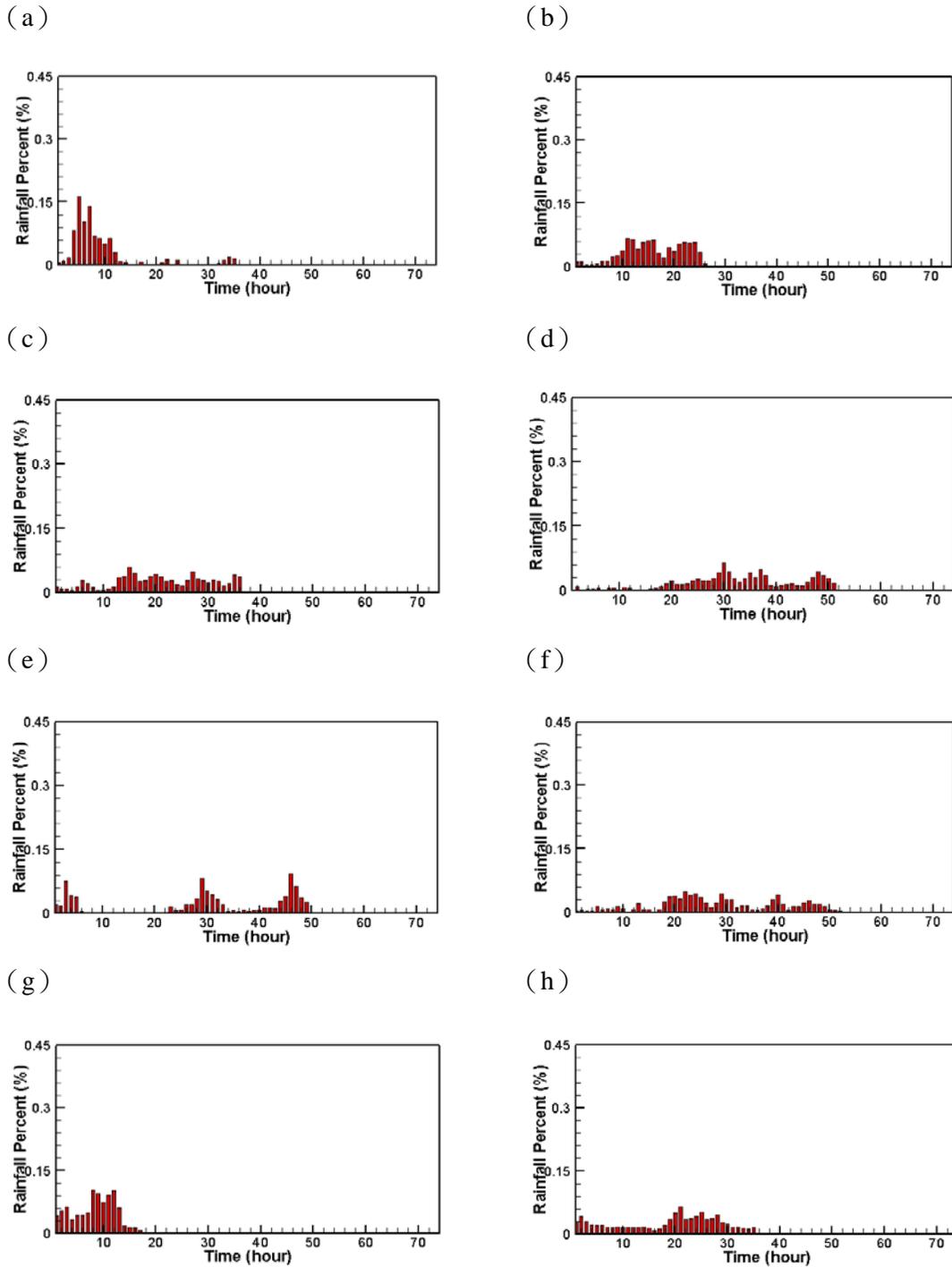
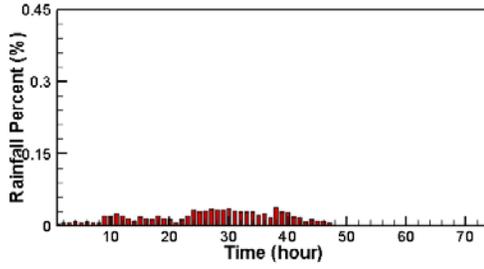
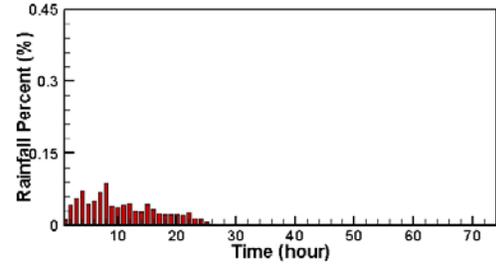


圖 2.7 以 90% 降雨量定義颱風事件始末之無因次百分比雨型，(a) 1987 費南颱風 (7/21 8:00~7/22 18:00)、(b) 1987 亞力士颱風 (7/26 15:00~7/27 16:00)、(c) 1987 琳恩颱風 (10/23 21:00~10/25 8:00)、(d) 1987 傑魯得颱風 (9/8 13:00~9/10 15:00)、(e) 1988 蘇珊颱風 (5/31 13:00~6/2 16:00)、(f) 1989 莎拉颱風 (9/10 23:00~9/13 5:00)、(g) 1990 瑪麗安颱風 (5/19 2:00~5/19 18:00)、(h) 1990 歐菲莉颱風 (6/22 19:00~6/24 5:00)

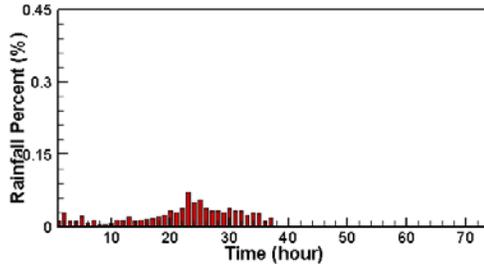
(i)



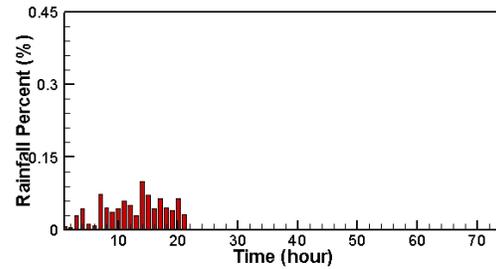
(j)



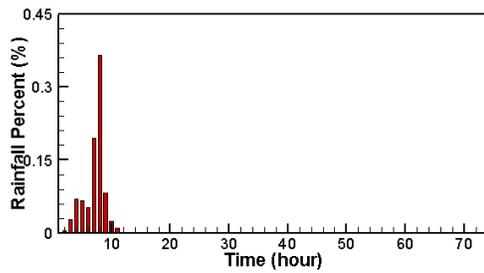
(k)



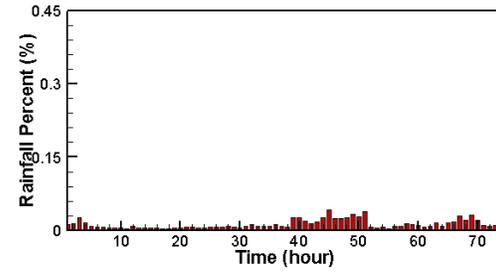
(l)



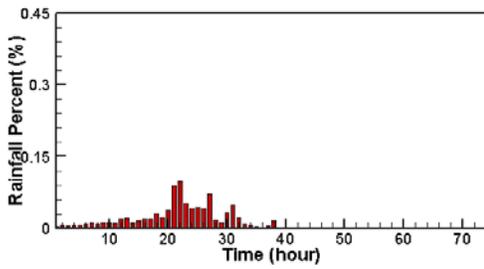
(m)



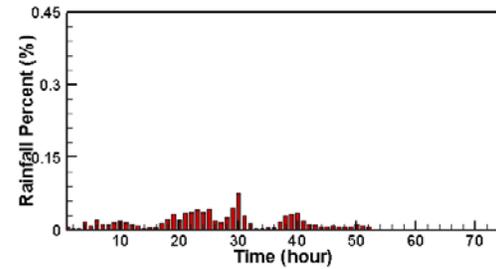
(n)



(o)

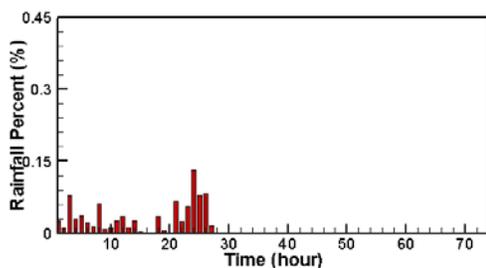


(p)

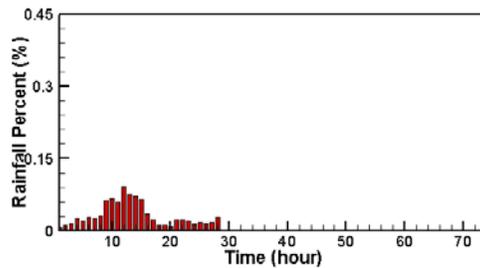


(續) 圖 2.7 以 90%降雨量定義颱風事件始末之無因次百分比雨型，(i) 1990 楊希颱風 (8/18 8:00~8/20 6:00)、(j) 1990 亞伯颱風 (8/30 5:00~8/31 7:00)、(k) 1990 黛特颱風 (9/6 24:00~9/8 12:00)、(l) 1991 艾美颱風 (7/18 14:00~7/19 10:00)、(m) 1991 愛麗颱風 (8/17 19:00~8/18 5:00)、(n) 1992 寶莉颱風 (8/28 5:00~8/31 6:00)、(o) 1992 歐馬颱風 (9/3 16:00~9/5 5:00)、(p) 1992 泰德颱風 (9/21 11:00~9/23 15:00)

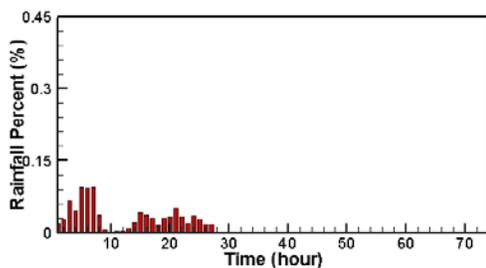
(q)



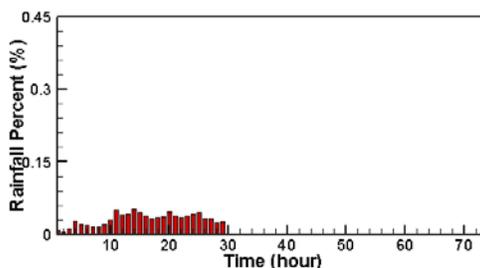
(r)



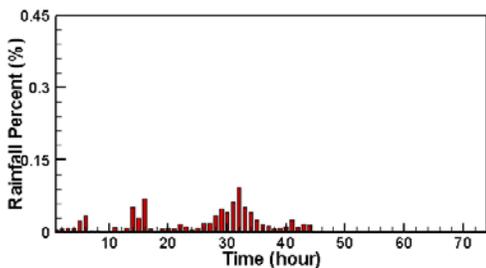
(s)



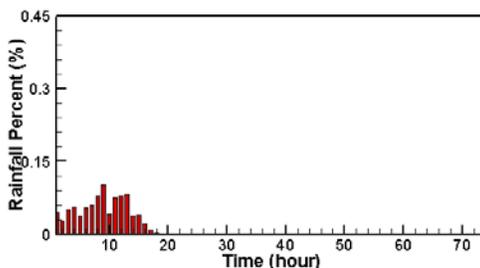
(t)



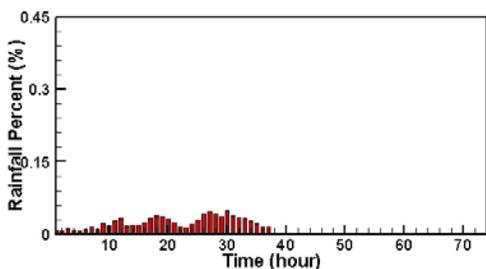
(u)



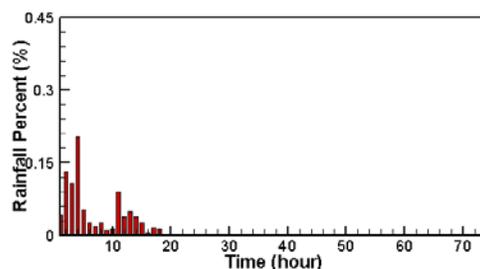
(v)



(w)

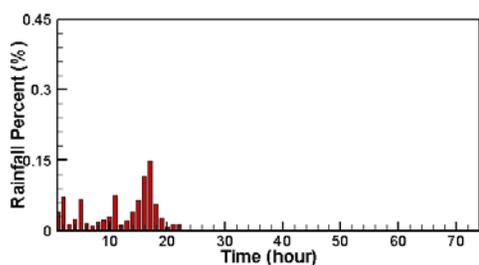


(x)

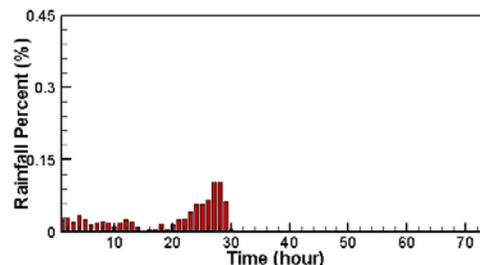


(續) 圖 2.7 以 90%降雨量定義颱風事件始末之無因次百分比雨型，(q) 1993 亞伯颱風 (9/12 21:00~9/13 24:00)、(r) 1994 提姆颱風 (7/10 9:00~7/11 12:00)、(s) 1994 凱特琳颱風 (8/3 14:00~8/4 16:00)、(t) 1994 道格颱風 (8/7 16:00~8/8 20:00)、(u) 1994 弗雷特颱風 (8/19 21:00~8/21 16:00)、(v) 1994 葛拉斯颱風 (9/1 2:00~9/1 19:00)、(w) 1994 席斯颱風 (10/8 24:00~10/10 12:00)、(x) 1995 蓋瑞颱風 (7/31 1:00~7/31 18:00)

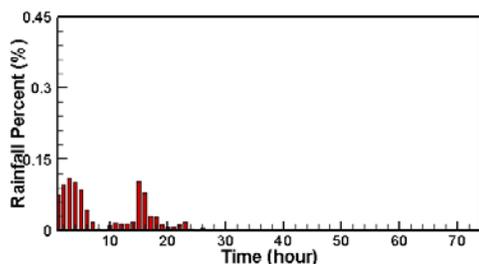
(y)



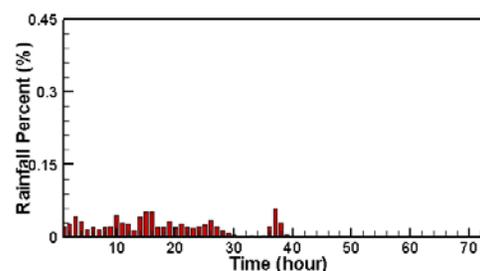
(z)



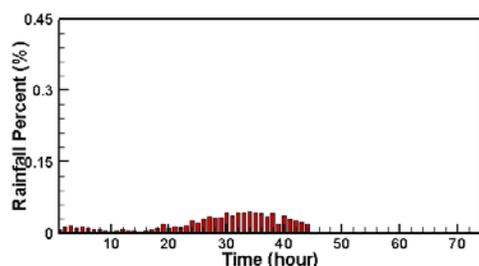
(aa)



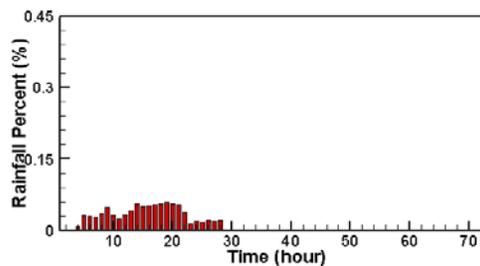
(ab)



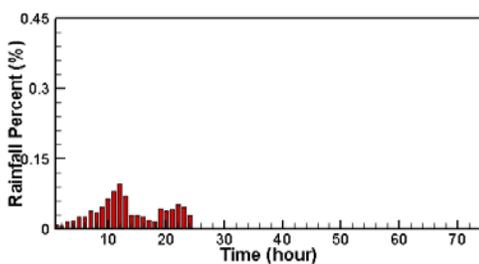
(ac)



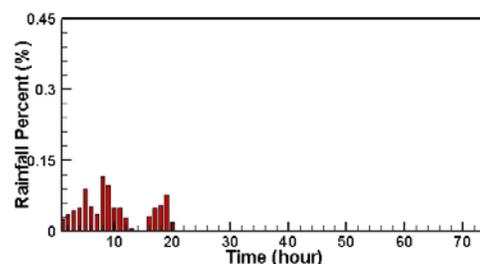
(ad)



(ae)

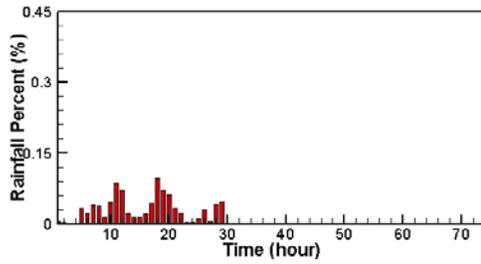


(af)

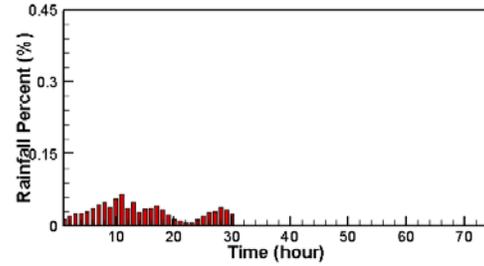


(續) 圖 2.7 以 90%降雨量定義颱風事件始末之無因次百分比兩型，(y) 1995 肯特颱風 (8/30 10:00~8/31 7:00)、(z) 1995 賴恩颱風 (9/21 4:00~9/22 9:00)、(aa) 1996 凱姆颱風 (5/22 0:00~5/23 4:00)、(ab) 1996 葛樂禮颱風 (7/25 18:00~7/27 8:00)、(ac) 1996 賀伯颱風 (7/30 13:00~8/1 8:00)、(ad) 1997 溫妮颱風 (8/17 14:00~8/18 17:00)、(ae) 1997 安柏颱風 (8/28 17:00~8/29 16:00)、(af) 1998 奧托颱風 (8/4 6:00~8/5 1:00)

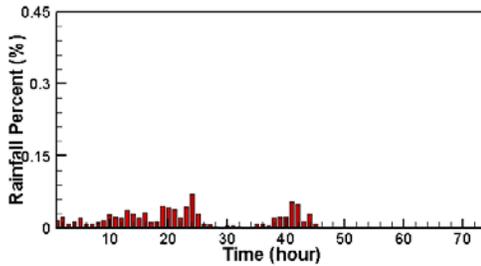
(ag)



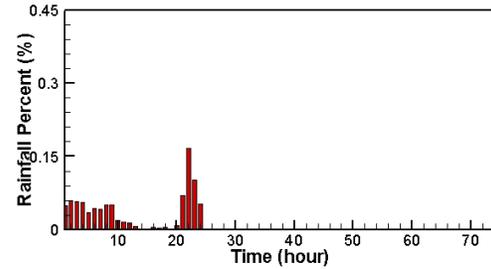
(ah)



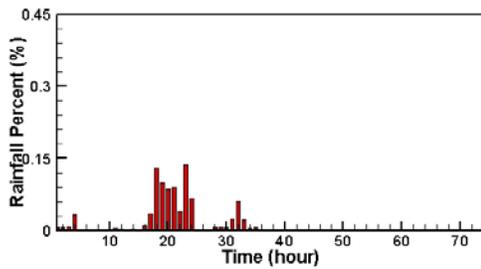
(ai)



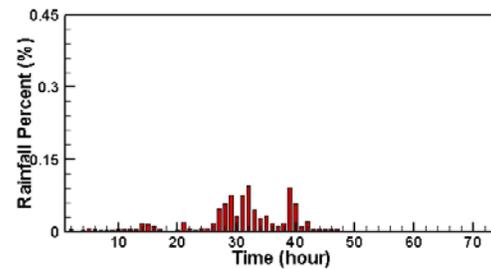
(aj)



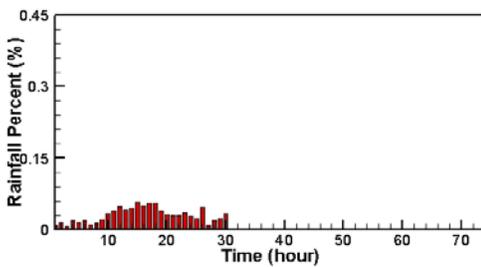
(ak)



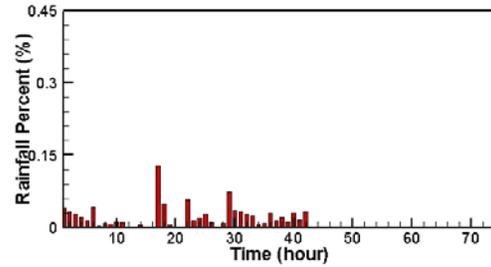
(al)



(am)

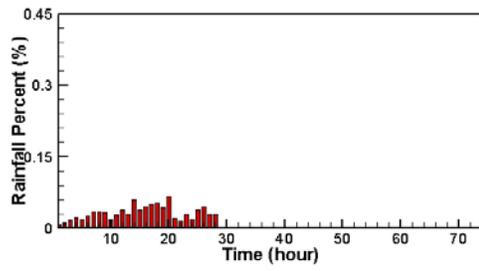


(an)



(續) 圖 2.7 以 90% 降雨量定義颱風事件始末之無因次百分比雨型，(ag) 1998 楊妮颱風 (9/27 20:00~9/29 1:00)、(ah) 1998 瑞伯颱風 (10/15 9:00~10/16 14:00)、(ai) 1998 芭比斯颱風 (10/24 14:00~10/26 12:00)、(aj) 1999 瑪姬颱風 (6/6 0:00~6/6 24:00)、(ak) 1999 丹恩颱風 (10/7 13:00~10/8 23:00)、(al) 2000 啟德颱風 (7/8 5:00~7/10 5:00)、(am) 2000 碧利斯颱風 (8/22 7:00~8/23 12:00)、(an) 2000 巴比倫颱風 (8/28 16:00~8/30 9:00)

(ao)



(續)圖 2.7 以 90%降雨量定義颱風事件始末之無因次百分比雨型，(ao) 2000 象神颱風 (10/31 5:00~11/1 8:00)

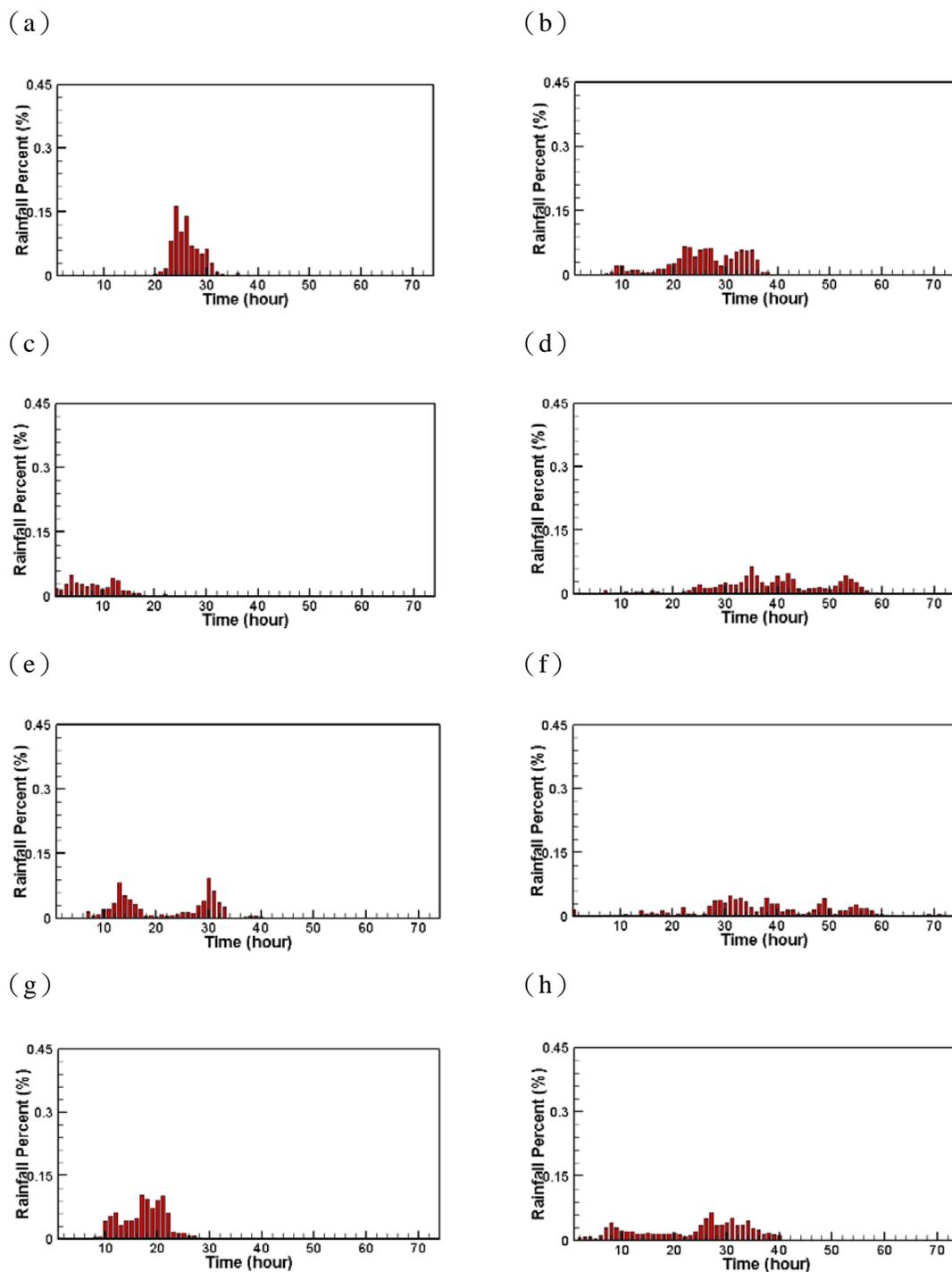
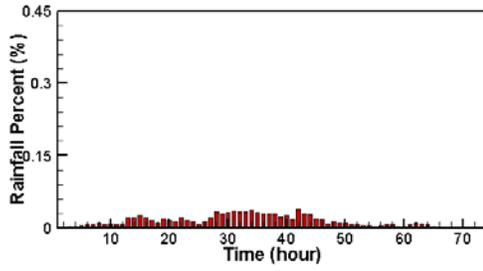
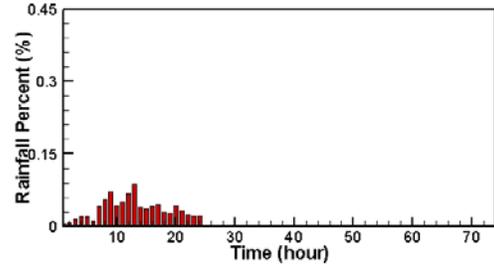


圖 2.8 以經緯度座標定義颱風事件始末之無因次百分比雨型，(a) 1987 費南颱風 (7/20 14:00~7/22 4:00)、(b) 1987 亞力士颱風 (7/26 6:00~7/27 20:00)、(c) 1987 琳恩颱風 (10/24 21:00~10/26 16:00)、(d) 1987 傑魯得颱風 (9/8 9:00~9/10 24:00)、(e) 1988 蘇珊颱風 (6/1 6:00~6/2 21:00)、(f) 1989 莎拉颱風 (9/10 15:00~9/13 14:00)、(g) 1990 瑪麗安颱風 (5/18 18:00~5/19 21:00)、(h) 1990 歐菲莉颱風 (6/22 14:00~6/24 5:00)

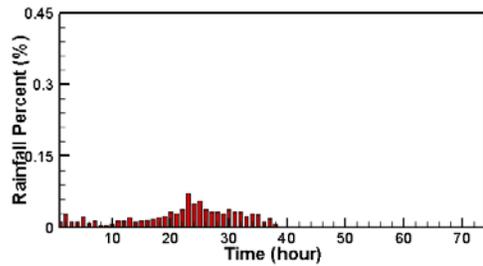
(i)



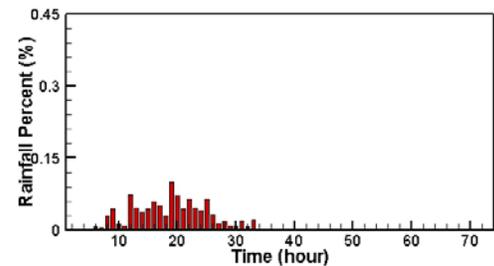
(j)



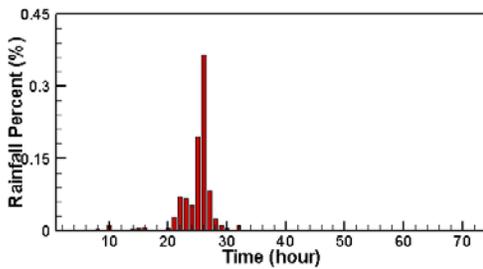
(k)



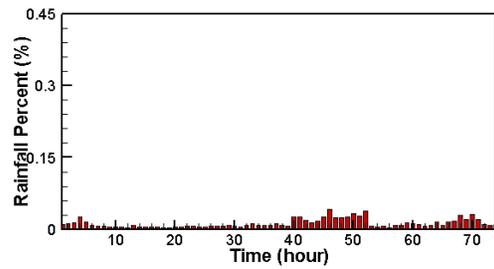
(l)



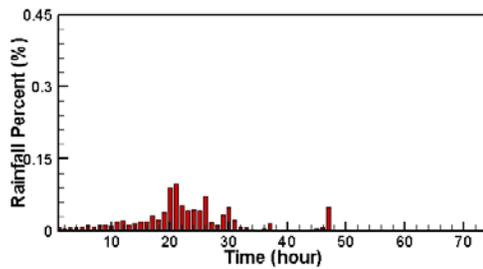
(m)



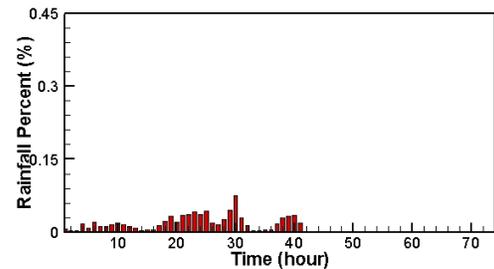
(n)



(o)

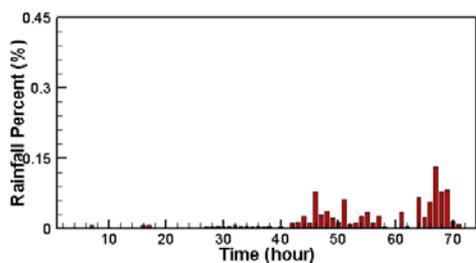


(p)

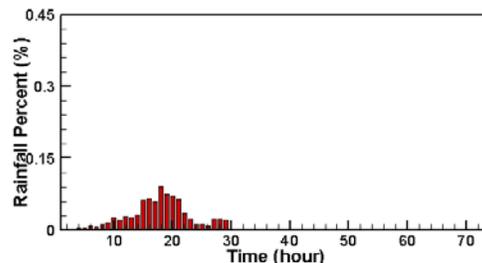


(續) 圖 2.8 以經緯度座標定義颱風事件始末之無因次百分比雨型，(i) 1990 楊希颱風 (8/18 5:00~8/20 24:00)、(j) 1990 亞伯颱風 (8/30 0:00~8/30 24:00)、(k) 1990 黛特颱風 (9/7 0:00~9/8 14:00)、(l) 1991 艾美颱風 (7/18 10:00~7/19 18:00)、(m) 1991 愛麗颱風 (8/17 2:00~8/18 12:00)、(n) 1992 寶莉颱風 (8/28 5:00~8/31 12:00)、(o) 1992 歐馬颱風 (9/3 18:00~9/5 16:00)、(p) 1992 泰德颱風 (9/21 12:00~9/23 4:00)

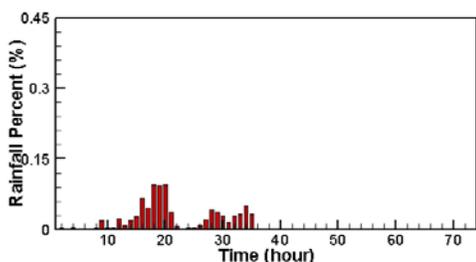
(q)



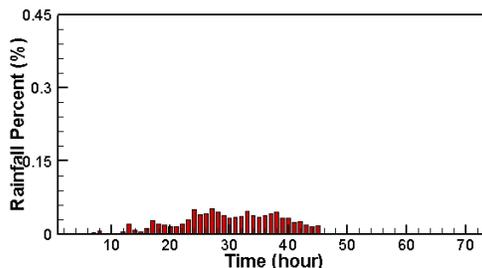
(r)



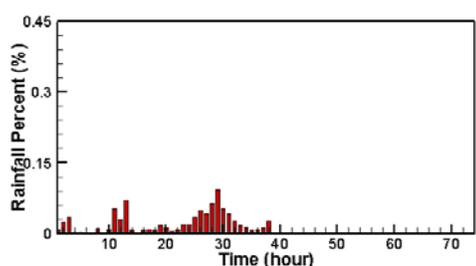
(s)



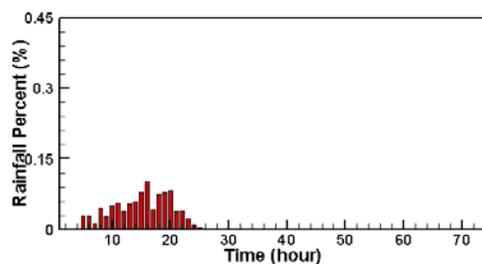
(t)



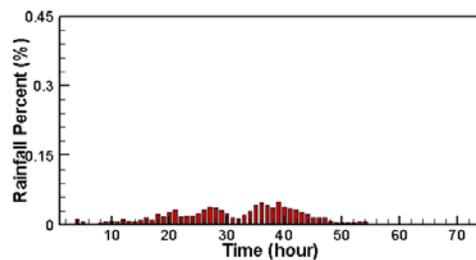
(u)



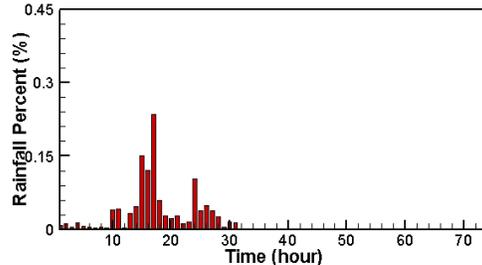
(v)



(w)

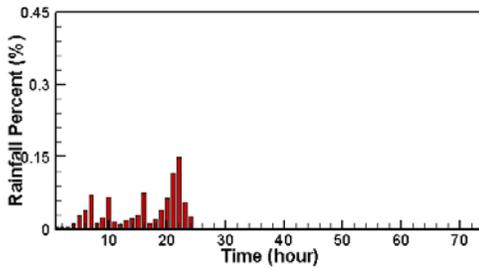


(x)

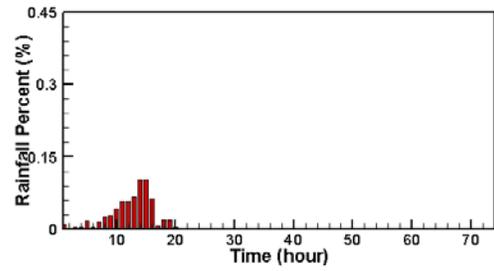


(續) 圖 2.8 以經緯度座標定義颱風事件始末之無因次百分比雨型，(q) 1993 亞伯颱風 (9/11 2:00~9/14 2:00)、(r) 1994 提姆颱風 (7/10 4:00~7/11 8:00)、(s) 1994 凱特琳颱風 (8/3 2:00~8/4 12:00)、(t) 1994 道格颱風 (8/7 4:00~8/8 24:00)、(u) 1994 弗雷特颱風 (8/20 0:00~8/21 14:00)、(v) 1994 葛拉斯颱風 (8/31 20:00~9/1 24:00)、(w) 1994 席斯颱風 (10/8 12:00~10/10 12:00)、(x) 1995 蓋瑞颱風 (7/30 12:00~7/31 19:00)

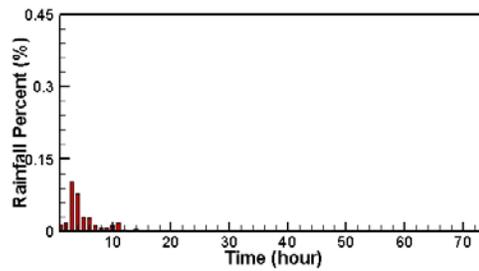
(y)



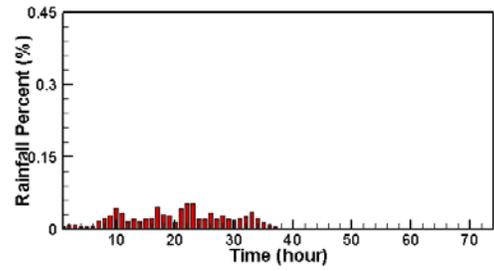
(z)



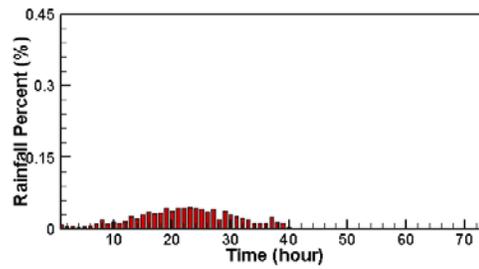
(aa)



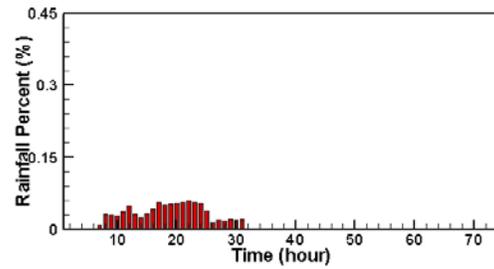
(ab)



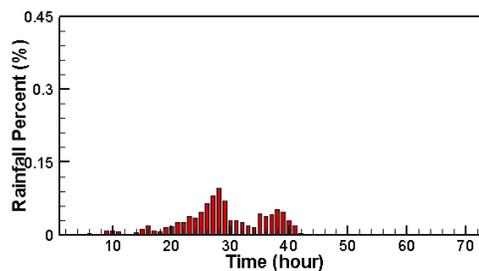
(ac)



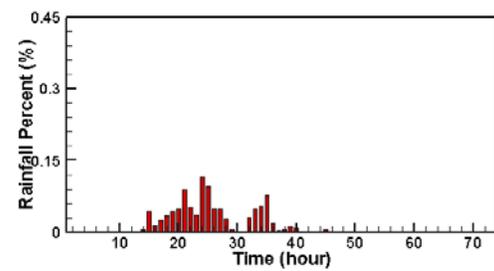
(ad)



(ae)

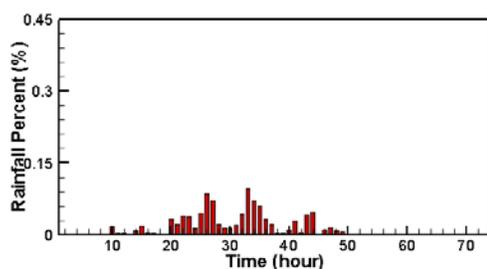


(af)

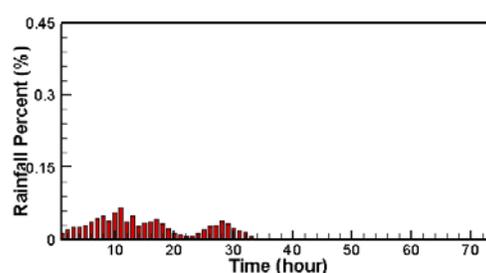


(續) 圖 2.8 以經緯度座標定義颱風事件始末之無因次百分比雨型，(y) 1995 肯特颱風 (8/30 6:00~8/31 6:00)、(z) 1995 賴恩颱風 (9/21 18:00~9/23 24:00)、(aa) 1996 凱姆颱風 (5/22 12:00~5/23 12:00)、(ab) 1996 葛樂禮颱風 (7/25 12:00~7/26 24:00)、(ac) 1996 賀伯颱風 (7/31 0:00~8/1 18:00)、(ad) 1997 溫妮颱風 (8/17 12:00~8/18 18:00)、(ae) 1997 安柏颱風 (8/28 2:00~8/29 24:00)、(af) 1998 奧托颱風 (8/3 19:00~8/5 18:00)

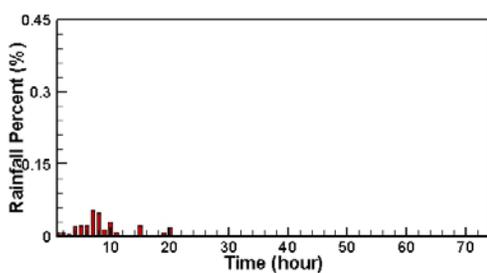
(ag)



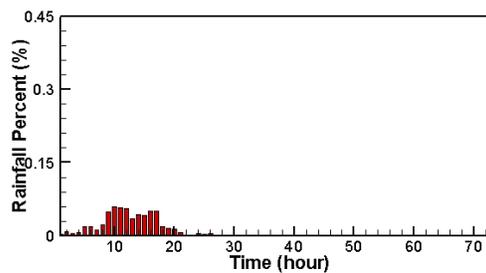
(ah)



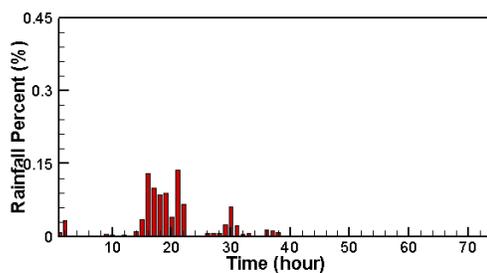
(ai)



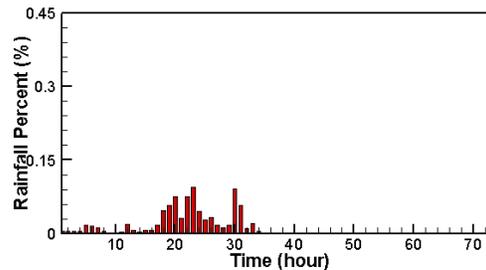
(aj)



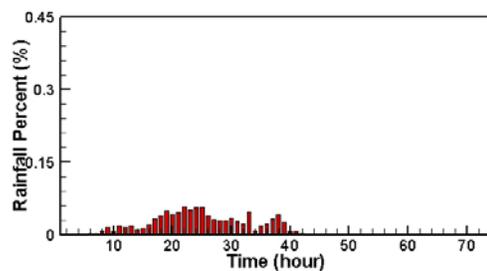
(ak)



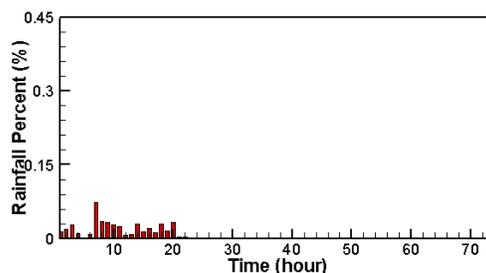
(al)



(am)

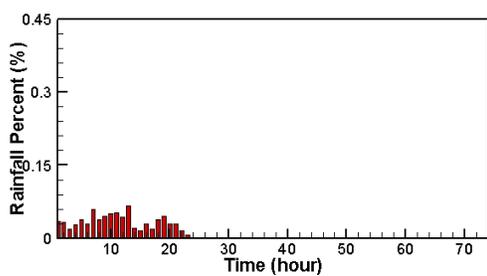


(an)



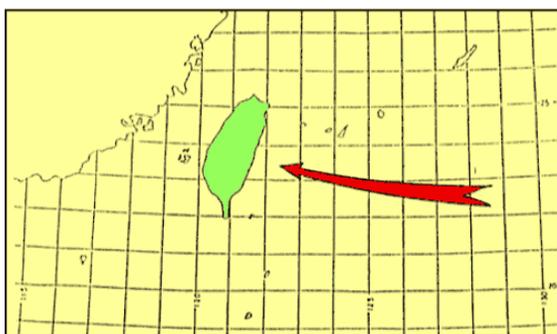
(續) 圖 2.8 以經緯度座標定義颱風事件始末之無因次百分比雨型，(ag) 1998 楊妮颱風 (9/27 2:00~9/29 14:00)、(ah) 1998 瑞伯颱風 (10/15 10:00~10/16 20:00)、(ai) 1998 芭比斯颱風 (10/26 0:00~10/26 24:00)、(aj) 1999 瑪姬颱風 (6/5 16:00~6/6 18:00)、(ak) 1999 丹恩颱風 (10/7 12:00~10/9 18:00)、(al) 2000 啟德颱風 (7/8 14:00~7/9 24:00)、(am) 2000 碧利斯颱風 (8/22 0:00~8/23 18:00)、(an) 2000 巴比倫颱風 (8/29 14:00~8/30 12:00)

(ao)

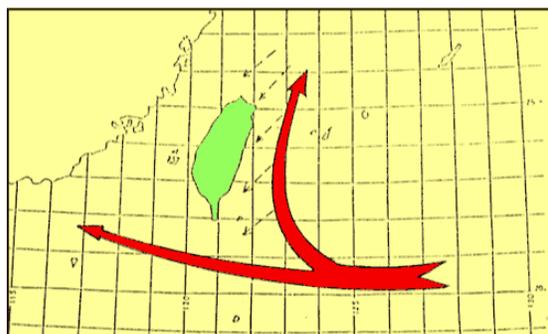


(續) 圖 2.8 以經緯度座標定義颱風事件始末之無因次百分比雨型，(ao) 2000 象神颱風 (10/31 12:00~11/1 18:00)

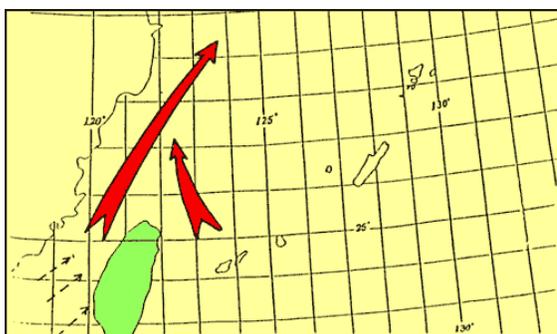
(a)



(b)



(c)



(d)

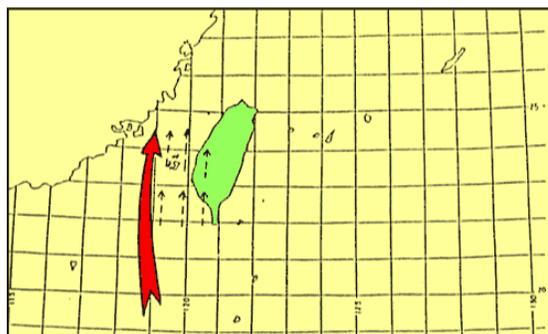


圖 2.9 侵台颱風各類降雨路徑圖，(a) 直接侵襲台灣、(b) 颱風與冬季季風共伴環流、(c) 颱風與夏季西南季風共伴環流、(d) 南海北上颱風，
(中央氣象局，侵台颱風路徑預報專家系統¹)

¹ http://photino.cwb.gov.tw/tyweb/typhoon_eye/forcastuse_rain02.htm

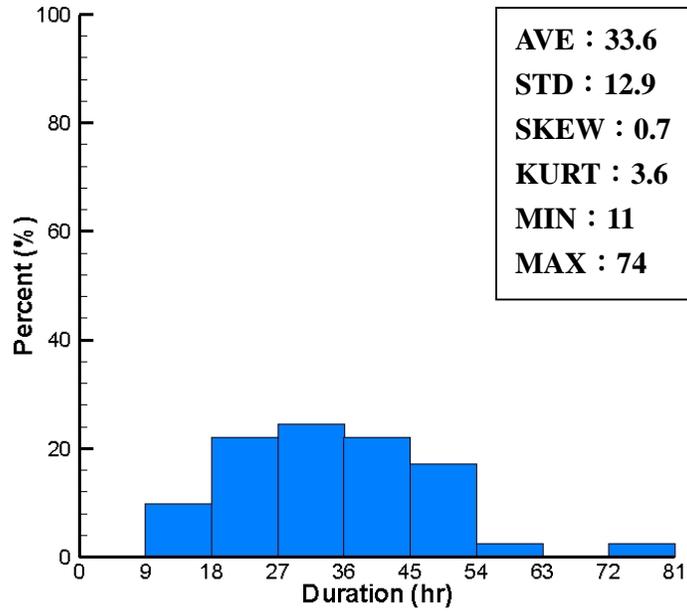


圖 2.10 以 90%降雨量方法定義之颱風降雨延時分佈

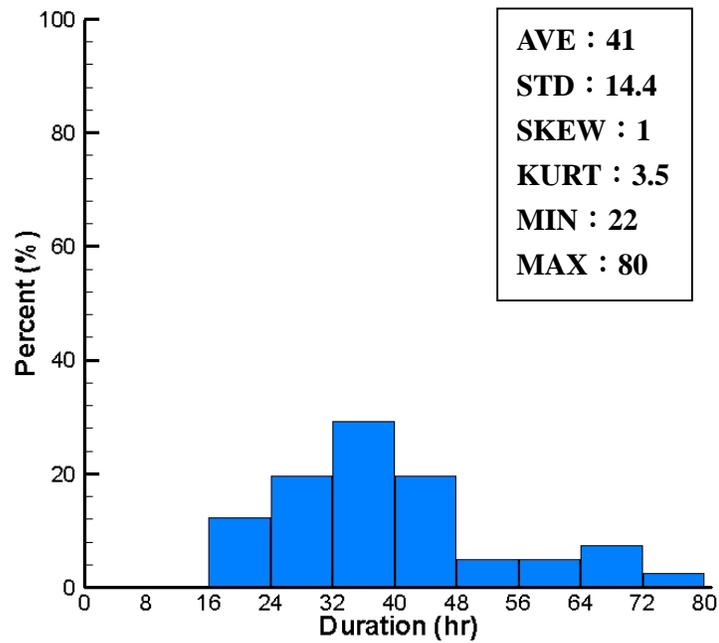


圖 2.11 以經緯度座標方法定義之颱風降雨延時分佈

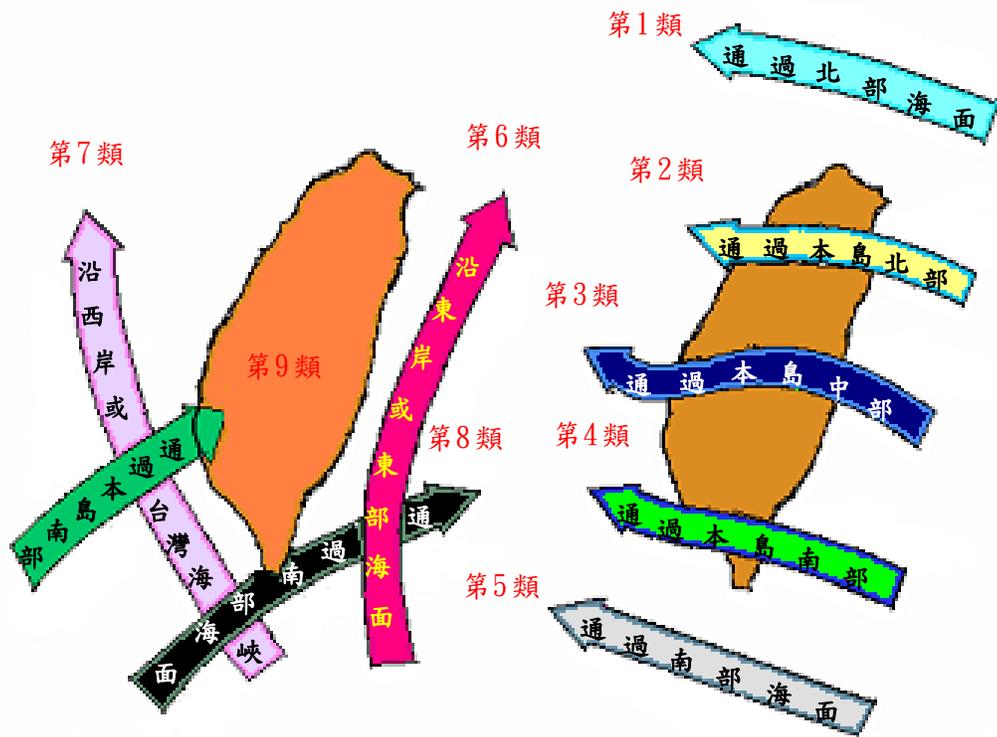


圖 2.12 侵台颱風各類路徑圖（中央氣象局，颱風資料庫¹）

¹ <http://photino.cwb.gov.tw/tyweb/database/htm/b301.htm>

表 2.1 台灣電力公司德基水庫集水區雨量站一覽表

站碼	站名	北緯	東經	TM-2 度分帶		流域	標高 (m)
				X 座標	Y 座標		
40F16	梨山	24°15'40"	121°14'50"	273690	2684585	大甲溪	1858
41H22	合歡山	24°09'	121°15'	275405	2671667	大甲溪	3160
40F12	環山	24°19'02"	121°17'23"	279263	2690225	大甲溪	1750
40F17	松茂(2)	24°18'01"	121°15'29"	276071	2686437	大甲溪	1458
41F22	桃山	24°23'21"	121°17'47"	278737	2699361	大甲溪	2350
41T14	合歡啞口	24°10'59"	121°18'11"	280476	2676599	立霧溪	2600
41U09	思源(2)	24°23'56"	121°20'46"	285498	2699377	大甲溪	1930
40F13	達見	24°16'	121°11'	268614	2684577	大甲溪	1513
41F19	志佳陽大	24°20'59"	121°15'14"	275421	2694648	大甲溪	3000
41F20	平岩山	24°20'17"	121°19'31"	285517	2691993	大甲溪	2800
41F21	佳陽山	24°18'41"	121°12'34"	268608	2689192	大甲溪	2700
41F25	無明山	24°18'09"	121°19'41"	288915	2686464	大甲溪	2887
41F24	捫山	24°16'56"	121°18'39"	280906	2686445	大甲溪	3000
41F26	松峰	24°12'05"	121°13'37"	273699	2679047	大甲溪	2596
41F14	青山(3)	24°15'14"	121°05'29"	258463	2680876	大甲溪	977

表 2.2 中央氣象局發布侵襲台灣颱風表 (1987~2000)

編號	中文名稱	英文名稱	警報期間	強度	颱風路徑 (九類)	近中心 最低 氣壓 (hPa)	近中心 最大 風速 (m/s)
200020	象神	XANGSANE	10/30~11/01	中度	6	960	38
200012	巴比倫	PRAPIROON	08/27~08/30	中度	6	965	33
200010	碧利斯	BILIS	08/21~08/23	強烈	3	930	53
200004	啟德	KAI-TAK	07/06~07/10	中度	6	965	35
199920	丹恩	DAN	10/04~10/09	中度	7	968	38
199906	瑪姬	MAGGIE	06/04~06/06	中度	5	965	38
199812	芭比絲	BABS	10/25~10/27	中度	9	950	43
199810	瑞伯	ZEB	10/13~10/17	強烈	6	920	55
199809	楊妮	YANNI	09/27~09/29	輕度	6	975	30
199802	奧托	OTTO	08/03~08/05	輕度	3	985	30
199717	安珀	AMBER	08/27~08/30	中度	3	945	48
199714	溫妮	WINNIE	08/16~08/19	強烈	1	905	55
199608	賀伯	HERB	07/29~08/01	強烈	2	920	53
199607	葛樂禮	GLORIA	07/24~07/27	中度	7	965	35
199603	凱姆	CAM	05/20~05/23	輕度	8	995	20
199515	賴恩	RYAN	09/20~09/23	中度	8	955	45
199509	肯特	KENT	08/27~08/31	中度	5	955	45
199505	蓋瑞	GARY	07/31~07/31	輕度	7	980	28
199427	席斯	SETH	10/07~10/11	強烈	6	925	51
199416	葛拉絲	GLADYS	08/31~09/01	中度	2	970	35
199415	弗雷特	FRED	08/19~08/21	強烈	1	935	55
199413	道格	DOUG	08/06~08/08	強烈	6	930	58
199412	凱特琳	CAITLIN	08/03~08/04	輕度	3	987	25
199405	提姆	TIM	07/09~07/11	強烈	3	945	53
199316	亞伯	ABE	09/10~09/14	中度	5	950	43
199219	泰德	TED	09/20~09/23	輕度	6	985	30
199216	寶莉	POLLY	08/27~08/31	輕度	3	975	23
199215	歐馬	OMAR	09/03~09/05	強烈	3	945	51
199111	愛麗	ELLIE	08/16~08/18	中度	2	970	33
199107	艾美	AMY	07/17~07/19	強烈	5	925	51

(續) 表 2.2 中央氣象局發布侵襲台灣颱風表 (1987~2000)

編號	中文名稱	英文名稱	警報期間	強度	颱風路徑 (九類)	近中心 最低 氣壓 (hPa)	近中心 最大 風速 (m/s)
199017	黛特	DOT	09/06~09/08	中度	3	960	38
199014	亞伯	ABE	08/29~08/31	中度	1	945	45
199012	楊希	YANCY	08/17~08/20	中度	2	945	40
199005	歐菲莉	OFELIA	06/21~06/24	中度	6	960	38
199003	瑪麗安	MARIAN	05/18~05/19	中度	9	950	40
198919	莎拉	SARAH	09/08~09/13	強烈	3	950	51
198802	蘇珊	SUSAN	05/31~06/02	中度	9	965	40
198720	琳恩	LYNN	10/22~10/27	強烈	5	910	53
198714	傑魯得	GERALD	09/07~09/11	強烈	5	945	51
198708	亞力士	ALEX	07/25~07/27	中度	6	970	35
198706	費南	VERNON	07/19~07/22	中度	6	970	33

表 2.3 賀伯颱風無因次百分比雨型與六種颱風設計雨型之差異性

設計雨型	前峰式 雨型	擬前峰式 雨型	中峰式 雨型	擬後峰式 雨型	後峰式 雨型	雙峰式 雨型
標準誤差估計	1.52	1.67	1.15	0.45	0.53	1.37

表 2.4 (方法一) 大甲溪流域上游雨量站雨型統計表 (1987~2000)

降雨型態	侵襲颱風	颱風個數	百分比(%)
前峰式雨型	費南(6) [*] 、瑪麗安(9)、歐菲利(6)、亞伯(5) [*] 、蓋瑞(7)、瑪姬(5)、凱姆(8)	7	17.1%
擬前峰式雨型	蘇珊(9)、亞伯(1) [*] 、葛樂禮(7)、奧托(3)、芭比斯(9)	5	12.2%
中央集中式雨型	莎拉(3)、愛麗(2)、提姆(3)、葛拉絲(2)、楊妮(6)、象神(6)、碧利斯(3)、安柏(3)、歐馬(3)、泰德(6)、瑞伯(6)	11	26.8%
擬後峰式雨型	亞力士(6)、琳恩(5)、楊希(2)、艾美(5)、黛特(3)、肯特(5)、凱特琳(3)、道格(6)、弗雷特(1)、席斯(6)、賀伯(2)、溫妮(1)、啟德(6)、賴恩(8)	14	34.1%
後峰式雨型	傑魯得(5)、寶莉(3)、丹恩(7)、巴比倫(6)	4	9.8%
雙峰式雨型		0	0%

※颱風名稱(侵台路徑)。

*亞伯(5)為 1993 年發生之颱風，亞伯(1)為 1990 年發生之颱風。

表 2.5 (方法二) 大甲溪上游測站雨型統計表 (1987~2000)

降雨型態	侵襲颱風	颱風個數	百分比 (%)
前峰式雨型	費南(6) [*] 、琳恩(5)、蘇珊(9)、凱姆(8)、丹恩(7)、奧托(3)	6	14.6
擬前峰式雨型	芭比斯(9)、象神(6)	2	4.9
中央集中式雨型	傑魯得(5)、莎拉(3)、艾美(5)、楊希(2)、亞伯(1) [*] 、歐馬(3)、葛拉斯(2)、賴恩(8)、葛樂禮(7)、安柏(3)、瑞伯(6) 泰德(6)	12	29.3
擬後峰式雨型	亞力士(6)、瑪麗安(9)、黛特(3)、寶莉(3)、提姆(3)、道格(6)、弗雷特(1)、蓋瑞(7)、賀伯(2)、溫妮(1)、楊妮(6)、瑪姬(5)、啟德(6)、碧利斯(3)	14	34.1
後峰式雨型	歐菲莉(6)、愛麗(2)、凱特琳(3)、席斯(6)、肯特(5)、巴比倫(6)、亞伯(5) [*]	7	17.1
雙峰式雨型		0	0

※颱風名稱(侵台路徑)。

*亞伯(5)為 1993 年發生之颱風，亞伯(1)為 1990 年發生之颱風。

表 2.6 1987 至 2000 年各颱風路徑發生次數統計表

颱風路徑	侵襲颱風	颱風個數	百分比 (%)
1	亞伯、弗雷特、溫妮	3	7.3
2	楊希、愛麗、葛拉斯、賀伯	4	9.8
3	莎拉、黛特、寶莉、歐馬、提姆、凱特琳、安柏、奧托、碧利斯	9	22
4		0	0
5	琳恩、傑魯得、艾美、亞伯、肯特、瑪姬	6	14.6
6	費南、亞力士、歐菲利、泰德、道格、席斯、楊妮、瑞伯、啟德、巴比倫、象神	11	26.8
7	蓋瑞、葛樂禮、丹恩	3	7.3
8	賴恩、凱姆	2	4.9
9	蘇珊、瑪麗安、芭比斯	3	7.3

表 2.7 (方法一) 1987 至 2000 年各颱風路徑平均降雨延時

颱風路徑	1	2	3	4	5	6	7	8	9
平均降雨延時 (hr)	33	30	36.9	0	30.2	39.3	30.7	29.5	38.7

表 2.8 (方法二) 1987 至 2000 年各颱風路徑平均降雨延時

颱風路徑	1	2	3	4	5	6	7	8	9
平均降雨延時 (hr)	31	43.5	48	0	43.8	39.6	40.6	27.5	30.7

第三章 大甲溪上游流域颱風降雨事件水文模擬

本章節介紹大甲溪上游流域颱風降雨事件之水文模擬，首先簡介研究所用之水文模式，和模式考慮之水文過程與其對應控制方程式，然後介紹模式模擬需要的輸入資料與其製作方式，輸入資料分為流域資料和降雨資料，大甲溪上游流域資料主要包含數值高程模型、河系圖層、土壤種類圖層以及土地利用圖層，係利用地理資訊系統（geographic information system, GIS）製作，應用於降雨-逕流模式，進行地表逕流模擬。模式另一輸入資料為降雨資料，因模擬集水區地表逕流現象係針對集水區內短時間之暴雨進行模擬，故研究中選取颱風降雨事件為降雨資料，以推求颱風降雨後於集水區之地表逕流情況，之後為檢定模式是否可適用於大甲溪上游集水區，探討不同颱風降雨事件模擬集水區地表逕流之模擬結果，以各流量站觀測資料和模擬結果分析比較。

3-1 模式簡介

本研究所使用水文模式為參考 CASC2D (Julien et al., 1995) 所發展之分散式降雨-逕流模式 (黃奕璋, 2007; 李煜欽, 2008)，分散式模式係將集水區數值網格化，考慮各網格空間和時間上的變異性，可針對任意位置和時間點之模擬結果進行分析，降雨-逕流模式模擬地表逕流的狀況，計算集水區內地表水文過程以得到地表逕流量等資料，在地表上從降雨到產生

逕流的水文過程，即一般所謂的降雨-逕流關係，而逕流為集水區水文循環過程的其中一部分，在考慮降雨-逕流關係中，每一個水文過程均與逕流發生有關，若將集水區視為一封閉系統，則集水區內水體之輸入量為降雨（rainfall），儲存量則包含漫地流（overland flow）、蒸發散（evapotranspiration）、地下水逕流（groundwater runoff）、渠道流（channel flow）、湖泊或窪蓄（depression storage）之地表水、截留（interception）量、土壤入滲（infiltration）量和地下水（groundwater）量；而輸出量為流出集水區之水體。本研究模式考慮之地表水文過程有降雨分布、地表漫地流、河川渠道流、截留和入滲，每種水文過程皆有其相對應控制方程式，並以顯式有限差分法將其各控制方程式數值離散使模式進行計算（黃奕章，2007；李煜欽，2008）。

研究中降雨分布的計算係採用距離平方反比權重公式，此公式係以集水區內各網格點與各雨量站之距離關係，計算出雨量站對附近網格點的影響權重，而估算集水區每個網格點的降雨強度，此法適用於雨量測站均勻分布之集水區，其公式如下：

$$r(x, y) = \frac{\sum_{m=1}^{NRG} \frac{r(xrg, yrg)}{d_m^2}}{\sum_{m=1}^{NRG} \frac{1}{d_m^2}}, \quad (3.1)$$

其中， x 為集水區 x 方向座標、 y 為集水區 y 方向座標、 $r(x, y)$ 集水區內任意位置之降雨強度、 $r(xrg, yrg)$ 為雨量站所測得的降雨強度、 d_m 為欲求降雨強

度位置與雨量站間的距離、 NRG 為雨量站數目。

漫地流計算部分是以連續方程式，配合動量方程式和阻抗定律式求解。在模式漫地流模擬上，因為模擬之集水區其面積廣達為數百平方公里，相較水深變化至多達數公尺，水平尺度和垂直尺度差距甚大，故為簡化模式使用淺水假設，忽略了在垂直方向的影響，壓力項只考慮靜水壓，所以將三維方程式簡化為二維方程式，為模式之漫地流控制方程式。漫地流連續方程式，由質量守衡定理可以得到：

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = \frac{\partial r}{\partial t} - \frac{\partial V_i}{\partial t} - \frac{\partial F}{\partial t} \quad , \quad (3.2)$$

其中 h 為地表水深、 t 為時間、 q_x 為 x 方向單位寬度流量、 q_y 為 y 方向單位寬度流量、 x 為 x 方向邊長、 y 為 y 方向邊長、 r 為降雨量、 V_i 為截留量、 F 為土壤入滲量。

漫地流動量方程式是以動量守衡為基礎，經過淺水假設，忽略在垂直方向的影響，壓力項只考慮靜水壓，將方程式簡化為二維的動量方程：

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = g_x S_{0x} - g_x S_{fx} - g_x \frac{\partial h}{\partial x} \quad , \quad (3.3a)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = g_y S_{0y} - g_y S_{fy} - g_y \frac{\partial h}{\partial y} \quad , \quad (3.3b)$$

其中 u 為 x 方向流速、 v 為 y 方向流速、 t 為時間、 x 為網格點 x 方向邊長、 y 為網格點 y 方向邊長、 g_x 為重力在 x 方向上之分量、 g_y 為重力在 y 方向上

之分量、 S_{0x} 為 x 方向之地表坡降、 S_{0y} 為 y 方向之地表坡降、 S_{fx} 為 x 方向之摩擦坡降、 S_{fy} 為 y 方向之摩擦坡降、 h 為地表水深。模式所考慮之漫地流為淺水自由液面流，而對淺水自由液面流而言重力項的影響相對於其他項較為顯著，故可忽略掉慣性力項。因考慮迴水效應故保留壓力梯度項 (Rojas et al., 2003)，故式 (3.3) 可表示為：

$$S_{fx} = S_{0x} - \frac{\partial h}{\partial x} \quad , \quad (3.4a)$$

$$S_{fy} = S_{0y} - \frac{\partial h}{\partial y} \quad , \quad (3.4b)$$

由於簡化動量方程式的關係，無法藉由連續方程式和動量方程式解出所有未知數，「地表水深」、「 x 方向單位寬度流量改變量」、「 y 方向單位寬度流量改變量」、「 x 方向之摩擦坡降」、「 y 方向之摩擦坡降」等五個未知數。故在模式中加入了阻抗定律式 (Woolhiser, 1975)：

$$q_x = \frac{S_{fx}^{\frac{1}{2}}}{n} h^{\frac{5}{3}} \quad , \quad (3.5a)$$

$$q_y = \frac{S_{fy}^{\frac{1}{2}}}{n} h^{\frac{5}{3}} \quad , \quad (3.5b)$$

其中 n 為曼寧粗糙係數，阻抗定律式為類似曼寧公式之經驗公式，類似曼寧公式是以曼寧粗糙係數計算流量。最後模式是以連續方程式和動量方程式和阻抗定律式求得漫地流流量。

渠道流計算部分是以連續方程式配合動量方程式和經驗公式求解。因為

模擬之渠道長度尺度遠大於寬度、深度尺度，故為簡化模式我們使用淺水假設，忽略了渠道寬度方向和水深的變化，只考慮長度方向的變化，壓力項只考慮靜水壓，將渠道流簡化為一維方程式，且假設渠道通水斷面皆為矩形。渠道流連續方程式由質量守衡定理可以得到：

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q_c}{\partial x} = q_{ov} \quad , \quad (3.6)$$

其中 A 為渠道通水斷面積、 t 為時間、 Q_c 為渠道流量、 x 為渠道長度、 q_{ov} 為漫地流注入渠道之流量。

渠道流動量方程式是以動量守衡為基礎，經過淺水假設，我們只考慮渠道長度方向的變化，壓力項只考慮靜水壓，將方程式簡化為一維的動量方程：

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} = g_x S_{0x} - g_x S_{fx} - g_x \frac{\partial h_{ch}}{\partial x} \quad , \quad (3.7)$$

其中 u 為 x 方向流速、 t 為時間、 x 為網格點 x 方向邊長、 g_x 為重力在 x 方向上之分量、 S_{0x} 為 x 方向之地表坡降、 S_{fx} 為 x 方向之摩擦坡降、 h_{ch} 為渠道水深。模式所考慮之渠道流為淺水自由液面流，而對淺水自由液面流而言重力項的影響相對於其他壓力項較為顯著，故可忽略掉慣性力項，故式(3.7)可表示為：

$$S_{fx} = S_{0x} - \frac{\partial h_{ch}}{\partial x} \quad , \quad (3.8)$$

此為本模式渠道流之動量方程。由於簡化動量方程式的關係，無法藉由連續方程式和動量方程式解出所有未知數，「渠道水深」、「渠道流量」、「摩擦坡降」等三個未知數，故在模式中加入了曼寧公式：

$$Q_c = \frac{1}{n} AR^{\frac{2}{3}} S_f^{\frac{1}{2}} \quad , \quad (3.9)$$

其中 n 為曼寧粗糙係數、 R 為水力半徑，曼寧公式是以曼寧粗糙係數計算流量之經驗公式。最後模式是以連續方程式和動量方程式和曼寧公式求得渠道流流量。

雨水降落在有植被覆蓋的山坡上時，有些雨水被樹葉和莖留住，這過程稱為截留。模式截留計算方式是依據研究區域土地利用資料，透過降雨在不同土地利用所形成穿落量推估可能最大截留量，穿落量強度表示如下：

$$r_{it}(x, y, t) = r(x, y, t) - V_i(x, y, t) \quad , \quad (3.10)$$

其中， $r_{it}(x, y, t)$ 為穿落量強度、 $r(x, y, t)$ 為降雨強度、 $V_i(x, y, t)$ 為剩餘截留深度。

當降水經過截留降落地表後，一部分水體會經由土壤滲入地面下，此部分水體稱為土壤入滲 (Bras, 1990)，計算部份模式使用格林-安普入滲公式 (the Green and Ampt method)，其計算公式如下：

$$f(x, y, t) = K_s \left(1 + \frac{H_f \cdot M_d}{F(x, y, t)} \right) \quad , \quad (3.11)$$

其中， $f(x, y, t)$ 為入滲率、 $F(x, y, t)$ 為入滲深度、 M_d 為土壤有效孔隙率、 K_s 為

飽和水力傳導係數、 H_f 為濕潤邊緣的毛細壓力，進行計算。入滲公式基本假設是土壤為均質，降雨之前土壤為乾燥狀態，降水現象開始後格林-安普入滲公式以水力傳導係數、濕潤邊緣毛細壓力、有效孔隙率、入滲深度去推算入滲率，最後由入滲率就可得到土壤入滲深度。

3-2 流域資料

本節介紹大甲溪上游流域圖層輸入資料，流域資料分別為數值高程模型、河系圖層、土壤種類圖層和土地利用圖層，以下說明各圖層製作方式。

3-2-1 數值高程模型

數值高程模型，是利用規則網格以數值方式表示地表高程資料，一般是由傳統的人工航測或藉由衛星技術取得地表高程資料，再根據解析度存為陣列格式或向量格式，本研究之數值高程模型資料由農林航空測量所提供之資料，如圖 3.1 所示。原始數值高程模型解析度為 40 公尺，由於模式所需之渠道斷面深度和寬度資料需要較高解析度之數值高程模型資料，和計算成本考量，所以將原始解析度 40 公尺 DEM 資料利用 ArcGIS 中的再採樣 (resample) 得到解析度 200 公尺之 DEM 資料，之後研究相關圖層皆配合數值高程模型為解析度 200 公尺之格式。

近年來測量技術的進步，數值高程模型資料的取得已可透過不同技術快速得到，因此不同方式製作的數值高程模型，可能造成的誤差都不同。

在研究中遇到問題為數值高程模型網格中存在凹點 (sink)，使網格異常低窪或凸起，此現象在水文模擬中可能造成單位網格水體淤積，使模式模擬地表逕流量發生錯估的狀況，因此必須在模擬前修正數值高程模型，我們採用 ArcMap 中的凹點填平 (fill sink) 功能修正，處理方式係取凹點相鄰八個網格中最低的高程值來取代凹點高程，以達到凹點填平之目的，圖 3.2 為凹點填平平面前後變化示意圖。

3-2-2 河系圖層

模式在水文演算部份需要河系和渠道圖層資料，所以必須明確的定義出河系分佈和集水區範圍，我們利用 DEM 200 公尺透過 ArcMap 外掛模組 Hydrology 中的流向 (flow direction) 功能，製作人工河系分佈圖層，水流的流向判斷原理是由 DEM 中心網格與鄰近網格的坡度來比較，坡度是指中心網格與鄰近網格的高程差除以兩網格間的距離。計算方式是將中心網格點與周圍八個網格點比較，求出坡度最大者為河流方向，如圖 3.3 (a) 流向判斷示意圖。ArcMap 並以數值表示每個網格的流向，其中數字代表如 1：東；2：東南；4 南；8：西南；16：西；32：西北；64：北；128：東北。如圖 3.3 (b) 所示，依其坡度和流向判斷，最後得到流向圖層，如圖 3.3 (c)。

由上述求得流向資料後，再以累積流量 (flow accumulation) 功能由流向判斷求出累積流量資料，其原理為判斷此網格之水流是由幾個上游網格所提供，假想每網格代表一單位水體，如圖 3.4 (a)，配合流向資料，如圖

3.4 (b)，水體會依照流向資料重新計算累加每網格單位水體，即得到累積流量，如圖 3.4 (c)。最後 ArcMap 會根據上述圖層的資料，對累積流量設定一門檻值，令累積流量超過門檻值之網格為渠道單元位置，依此方式將河系分段得到渠道資料，其完整過程，如圖 3.5。

在製作以上圖層時，其中河系圖層是透過數值高程模型製作，因此數值高程模型的品質攸關製作人工河系之真實性，所以在製作大甲溪上游集水區解析度 200 公尺之河系完成後，我們利用真實大甲溪流域航照圖和經濟部國土資訊系統自然環境 NGIS 基本資料庫¹比對解析度 200 公尺河系之正確性，發現真實河系在七家灣溪下游有發生轉彎情況。為了瞭解問題所在，我們再製作大甲溪上游集水區較高解析度之 40 公尺河系（圖 3.6 (a)）和解析度 200 公尺之河系（圖 3.6 (b)）進行比較，經由河系套疊比較後（圖 3.6 (c)），發現解析度 40 公尺之河系也有發生轉彎情況，而 200 公尺河系沒發生轉彎情況，所以我們再進行解析度 40 公尺之數值高程模型和解析度 200 公尺之數值高程模型比較，經過比對之後，發現河系會發生轉彎情況，是受到不同解析度之數值高程模型影響，在轉彎區域內之解析度 200 公尺網格高程數值幾乎都一樣，而 ArcMap 在利用網格高程差判斷流向時，會選取距離下一網格之臨近網格作為河流之流向，故省略河系轉彎情況。因此為了使人工河系近似真實河系，使模擬地表流量不發生錯估狀況，我們將

¹ <http://ngis.moea.gov.tw/moeaWeb/Main.aspx>

修正解析度 200 公尺之河系，藉由解析度 40 公尺和解析度 200 公尺數值高程模型比較，重新決定流向，在不改變原始數值高程模型資料製作出轉彎情況，如圖 3.6 (d) 所示，即為研究中所用之解析度 200 公尺河系。

渠道斷面資料為模式在渠道演算中的重要參數，渠道斷面資料包含渠道種類、渠道深度、渠道寬度、渠道之曼寧粗糙係數、渠道蜿蜒度和渠道斜率等六種斷面資料。但目前台灣河川只有中下游有渠道斷面資料，上游部份仍無相關實測資料，受限於交通和地形影響，觀測上有難度。因此根據李煜欽（2008）在研究石門水庫集水區時，假設高山河谷之邊坡為峽谷地形，峽谷地形之河谷高程一般差異不大，但河谷兩旁銜接河岸之高程變化較大，故如果可以定義出河谷範圍，即可計算出渠道寬度與深度。而大甲溪上游流域河道兩岸山壁陡峭，兩岸坡度介於 40 度至 60 度，屬於假設之地形，所以使用這方法推估渠道深度和寬度，首先係利用原始 40 公尺 DEM 配合程式去分析判斷集水區渠道深度與寬度，其分析方法由圖 3.7 說明，圖中淺藍色為渠道單元，黑色箭頭代表流向，取網格中心點（黃色網格），依渠道流向做切線定義出渠道斷面，在渠道網格給定一高程值（distance）作為判斷，高程值我們設為 1 公尺，以黃色網格點為中心，切線方向無限延伸，比較兩側網格和中心網格點高程差，如小於高程值，判斷為渠道網格，大於高程值之網格為河岸所在位置，即可由網格間距定義出渠道深度和寬度，最後求得大甲溪上游德基水庫集水區的渠道寬度為 40 公尺至 129 公尺

間。由於模式目前僅容許渠道單元為單一網格，所以為了使渠道單元能容納下渠道寬度，在模擬部分我們所使用之輸入圖層解析度必須大於渠道寬度，而非原始解析度 40 公尺圖層。

3-2-3 土壤種類圖層

土壤資料係由行政院農委會林業試驗所的土壤調查報告書取得，土壤報告書將台灣土壤分佈依其位置、顏色、土型、土系、複合土等分類，其內容繁雜，而土壤層大多以多種土壤所組成，因水體於土壤入滲現象只達地表淺層部分，我們選擇表土 30 公分至 60 公分間土壤種類所佔比例較高的部份做為分類依據，以得到研究中需要的土壤資料，如圖 3.8 所示，德基水庫集水區表土由三種土壤所構成，分別為壤土、玢質壤土和粘質壤土，並配合 Green-Ampt 入滲公式參數表（表 3.1）取得模式模擬所需參數。

3-2-4 土地利用圖層

本研究土地利用資料從德基水庫水質管理網取得，如圖 3.9 所示，由於取得圖檔為 jpg 檔，無法直接輸入模式，所以我們利用 MATLAB 等軟體將其圖檔數值網格化，則會將圖檔分成許多像素 (Pixel)，將屬於土地利用部分予以保留並依照（表 3.2）重新分類為八種，分別為水體、果園、林地、建築、荒地、草地、崩塌地以及稻作，而圖檔中不屬於土地利用之部分像素就不予以保留，最後經過人工修正製作出模擬所需解析度之土地利用圖

層，如圖 3.10 所示。

3-3 颱風事件降雨資料

颱風降雨事件水文模擬之降雨資料如 2-2 節所述，但模擬區域並不包含德基水庫庫區部分，因此本研究模式水文模擬颱風降雨資料所採用雨量站，如圖 3.11 其分佈位置，少了德基水庫內的達見雨量站和下游的青山(3)雨量站，颱風降雨資料根據颱風路徑發生頻率較高的三種路徑，從中選取三個颱風事件應用於降雨-逕流模式，採用颱風事件為 1992 年 3 號路徑之寶莉颱風、1996 年 2 號路徑之賀伯颱風和 2000 年 6 號路徑之象神颱風。

寶莉 (POLLY) 颱風為 1992 年的夏季颱風，形成之後，以西北方向行進一直朝台灣台東方向撲來，但行進至台東外海減弱消失，由宮古島南方雲系取代並增強形成寶莉二號。該寶莉二號於 8 月 30 日下午 2 時左右於花蓮立霧溪口登陸，於當天晚間 8 時左右由新竹北方新豐附近出海。出海後仍以西北方向行進，登陸福建福州附近後減弱消失。寶莉帶來豪雨造成雲林、嘉義、台中、台南等地農漁業嚴重受損，尤以雲林、嘉義、台南、彰化適逢滿潮，嚴重海水倒灌，沖毀水利設施(中央氣象局，颱風資料庫¹)。寶莉颱風侵台路徑，根據中央氣象局分類為 3 號路徑，圖 3.12 為寶莉颱風路徑圖，屬於從台灣中部侵襲之颱風，圖 3.13 為寶莉颱風各雨量站平均降雨組體圖，從圖中可觀察出寶莉颱風為多峰式不規則雨型，可能受台灣中

¹ http://rdc28.cwb.gov.tw/data.php?num=1992160827&year=1992&c_name=寶莉&e_name=POLLY

央山脈地形影響所致，圖 3.14 為模擬寶莉颱風採用之各雨量站降雨強度組體圖，由圖顯示寶莉颱風在德基水庫集水區內的雨量站有相似之降雨型態。

賀伯 (HERB) 颱風為 1996 年的夏季颱風，形成後以西北西方向向台灣前進，於 7 月 31 日 20 時 44 分在基隆與蘇澳間登陸，強度開始減弱，繼續偏西進行。8 月 1 日 04 時在新竹附近出海後，以西北西方向前進，8 月 1 日 11 時在福建平潭附近登陸大陸。至 8 月 1 日 21 時台灣本島、澎湖、及台灣東部海面始脫離暴風圈之影響。賀伯颱風帶來強風豪雨，全國各地災情嚴重，航空、鐵路交通全面停飛、停駛，公路坍方、橋樑斷裂，嚴重受損 (中央氣象局，颱風資料庫¹)。賀伯颱風侵台路徑，根據中央氣象局分類為 2 號路徑，圖 3.15 為賀伯颱風路徑圖，屬於從台灣北部侵襲之颱風，圖 3.16 為賀伯颱風各雨量站平均降雨組體圖，圖中綠色標記表示颱風登陸時間，且賀伯颱風為擬後峰式雨型，圖 3.17 為模擬賀伯颱風採用之各雨量站降雨強度組體圖，圖中綠色標記表示颱風登陸時間，並由圖觀察賀伯颱風在德基水庫集水區內的雨量站有相似之降雨型態。

象神 (XANGSANE) 颱風為 2000 年的秋季颱風，形成後向北轉北北東移動，在宜蘭東北方近海轉向東北前進。因颱風外圍環流及鋒面雙重影響，台灣北部、東半部、恆春半島及中南部山區降下豪雨，造成台北縣汐止、台北市、基隆及宜蘭部分地區積水嚴重。全台道路多處坍方，電力、

¹ http://rdc28.cwb.gov.tw/data.php?num=1996080724&year=1996&c_name=賀伯&e_name=HERB

電信系統嚴重受損，近 26 萬戶停水。農業損失約 36 億。(中央氣象局，颱風資料庫¹)。象神颱風侵台路徑，根據中央氣象局分類為 6 號路徑，圖 3.18 為象神颱風路徑圖，屬於由台灣東部海面由南往北侵襲台灣之颱風，圖 3.19 為象神颱風各雨量站平均降雨組體圖，從圖中可觀察出象神颱風為擬後峰式雨型，圖 3.20 為象神颱風各雨量站降雨強度組體圖，由圖顯示象神颱風在德基水庫集水區內的雨量站有相似之降雨型態。

3-4 模擬參數與初始化

研究中模擬三個不同颱風降雨事件分析其結果，在模擬之前必須設定模式各項參數及初始條件，模擬時所使用參數之網格解析度為 200 公尺，時間解析度為 1 秒，考慮降雨、漫地流、渠道流、截留、入滲五種水文過程。

因真實地表情況，在降雨前地表應已有水體存在，而模式在進行水文模擬時，地表並沒有水體存在，故模擬前會先設定臨前降雨，使模擬開始前之地表水體情況和現實相符，而我們沒有集水區詳細地表水體分佈資料，所以我們採用流量站之觀測流量與模擬流量做為比較標準。由於地表水受地形坡度影響，水是由上游流至下游，因此我們以集水區內上游七家灣流量站之觀測資料作為水文模擬前之臨前降雨標準，藉由持續均勻降雨所產生之流量直到符合颱風降雨前之觀測流量，因此降雨強度大小和降雨

¹ http://rdc28.cwb.gov.tw/data.php?num=2000201026&year=2000&c_name=象神&e_name=XANGSANE

時間必須經過多次測試，再選擇適用於該場颱風事件之臨前降雨強度與時間。之後在寶莉颱風事件以每小時4毫米之降雨強度進行48小時的臨前降雨，賀伯颱風事件以每小時4毫米之降雨強度進行48小時的臨前降雨，象神颱風事件則以每小時7毫米之降雨強度進行12小時的臨前降雨，作為水文模擬前之初始化。

3-5 流量資料

河川流量觀測為水文觀測最重要之環節，觀測資料品質之好壞及測站位置之選擇攸關流域水資源利用、生態保育措施及洪災降減之成效。在傳統之流量觀測主要由人力現場觀測，耗時費力且洪水期間常因作業人員之安全顧慮而無法觀測，故洪水流量觀測作業主要藉由水位流量率定曲線推估而得。本研究之大甲溪上游德基水庫集水區流量資料是和台灣電力公司申請，流量單位為每小時立方公尺，其內容包含流量站站號、站址、紀錄日期之開始與結束、海拔高度、經緯度座標、所屬縣市、所屬流域以及流量資料，而研究所需流量站位置座標為二度分帶座標，所以必須先將經緯度座標轉換成二度分帶座標，以標記於大甲溪上游德基集水區其分佈位置，如圖 3.21 所示，流量站由上游至下游依序為七家灣、有勝溪、南湖、合歡、四季朗、環山合流點和松茂，其中有勝溪觀測流量資料有所欠缺，因此不使用此流量站資料。流量資料在使用之前，已由台灣電力公司利用

水位流量率定區線推估而得，不需自行再推估流量。

流量資料於模擬集水區地表逕流現象，是當作與模擬結果比較之依據，檢定水文模擬之結果好壞，故如果沒有該集水區模擬時間之流量觀測資料比對，將會使水文模擬無意義，因此流量資料紀錄比照模擬所用颱風降雨事件之時間。由 3-2 節所選取之颱風降雨事件，我們檢查相同時間降雨事件對應於各流量站之觀測資料，發現台灣電力公司所測得流量之數據並不是很好，可能觀測設備精度受橋樑等跨河構造物干擾及人員操作誤差，且河床斷面變化過程掌握不易等因素造成流量資料不正確。由 1992 年寶莉颱風事件、1996 年賀伯颱風事件和 2000 年象神颱風事件之觀測流量資料觀察，發現以賀伯颱風事件之南湖和合歡流量站之觀測資料不正確性最高，而後對其修正，如圖 3.22 所示，圖中 (a)、(b) 分別表示賀伯颱風事件之南湖與合歡流量觀測原始資料，橫軸為觀測時間，零時為七月二十九日 6 時，時間紀錄至八月二日 18 時，縱軸為流量，從圖中能觀察出南湖以及合歡流量紀錄時間有所誤差，因此我們利用賀伯颱風的降雨尖峰時間比對，在不更動原始觀測資料值的情況下，將南湖以及合歡流量站之時間序列流量資料重新排列，如圖 3.22 (c)、(d) 所示，結果發現上游南湖流量比下游合歡流量高，不應有此情況，所以再比對此二流量站之長期時流量資料，發現不正確性很高，並觀察其他颱風事件於南湖以及合歡所測得之流量資料，發現部分颱風事件並沒有發生上游南湖流量高於下游合歡流量之情

況，因此在使用南湖與合歡流量資料，僅能當作一個參考依據。為檢定模式是否適用於大甲溪流域上游集水區，我們使用模擬區域內之流量站觀測資料與模擬結果做比較，檢定模式在大甲溪上游集水區之模擬結果。

3-6 颱風降雨事件之模擬與結果分析

本節主要係探討模式在大甲溪上游集水區於寶莉、賀伯和象神三個颱風降雨事件之模擬結果，模擬結果皆使用方均根誤差 (root mean square error, RMSE) 公式如下：

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \left[\frac{Q_{si} - Q_{oi}}{Q_{oi}} \right]^2}{N-1}}, \quad (3.12)$$

其中 Q_{si} 為每小時模擬流量、 Q_{oi} 每小時觀測流量、 N 為總模擬小時數。分別估計六個流量站中每小時之觀測流量與模擬流量間的差異程度，其值愈小代表模擬與觀測之流量愈接近，反之差距愈遠。

颱風降雨事件於各流量站模擬結果使用方均根誤差計算 (如表 3.3)，並將模擬之流量數據分別繪出流量歷線圖。寶莉颱風模擬時間為 8/27 13 時至 9/1 24 時，如圖 3.23 所示，圖中橫軸 0 時為 8/27 13 時開始至 9/1 24 時結束，共計 132 小時。賀伯颱風模擬時間為 7/29 13 時至 8/2 24 時，如圖 3.24 所示，圖中橫軸 0 時為 7/29 13 時開始至 8/2 24 時結束，共計 108 小時。象神颱風模擬時間為 10/29 13 時至 11/2 24 時，如圖 3.25 所示，圖中橫軸 0 時

為 10/29 13 時開始至 11/2 24 時結束，共計 108 小時。圖中紅色降雨組體圖為該場颱風降雨事件所使用雨量站之平均雨量，黑色圓點線為觀測流量，紅色線為模擬流量。

寶莉颱風降雨事件之模擬結果（如表 3.3），發現六個流量站的方均根值其中以南湖和合歡的值大於 1，而合歡的方均根值更高達 4.76，結果差異性很大，而松茂的方均根值為 0.71，為六個流量站中最佳之結果，並從圖 3.23 觀察發現，各流量站觀測和模擬之洪峰時間相當接近（如表 3.4），七家灣、南湖、四季朗和松茂之觀測與模擬洪峰時間差距 4 小時內，而合歡和環山合流點差距至 6 小時，模式在推估洪峰時間結果是不錯的，而模式推算七家灣、四季朗、南湖、合歡和松茂之洪峰流量與觀測流量相比皆有高估現象，大約高估 69 至 247.8 m^3/s ，由上述結果觀察，在模擬寶莉颱風降雨事件，以南湖、合歡和環山合流點所得到的模擬結果最差。

賀伯颱風降雨事件之模擬結果（表 3.3），發現六個流量站的方均根值其中以合歡的 1.31 為最大，而松茂的方均根值為 0.65，是六個流量站最佳之結果。並從圖 3.24 觀察發現，各流量站觀測和模擬的洪峰時間相當接近（如表 3.4），七家灣、南湖、合歡、四季朗和松茂之觀測與模擬洪峰時間差距 2 小時內，而環山合流點差距至 5 小時，模式在推估洪峰時間以環山合流點結果較差。由模式推算南湖、合歡、四季朗和松茂之洪峰流量與觀測流量相比有高估現象，大約高估 50 至 151 m^3/s ，而環山合流點有低估現象，大

約低估了 $273 \text{ m}^3/\text{s}$ ，由上述結果觀察，在模擬賀伯颱風降雨事件，以合歡和環山合流點所得到的模擬結果最差。

象神颱風降雨事件之模擬結果（表 3.3），發現六個流量站的方均根值其中以七家灣、南湖、合歡和環山合流點皆大於 1，而松茂的方均根值為 0.74，是六個流量站最佳之結果。並從圖 3.25 觀察發現，各流量站觀測和模擬的洪峰時間相當接近（如表 3.4），各流量站之觀測與模擬洪峰時間差距 2 小時內，模式在推估洪峰時間結果是不錯的。模式推算各站之洪峰流量與觀測流量相比皆有高估現象，大約高估 12 至 $198 \text{ m}^3/\text{s}$ ，由上述結果觀察，在模擬象神颱風降雨事件，以七家灣、南湖、合歡和環山合流點所得到的模擬結果最差。

從三場颱風降雨事件的模擬結果比較，各流量站的方均根值皆在 0.6 以上，模擬結果並不理想，表示模擬中各種參數並未達到最佳化，且集水區內還有許多不確定性並未考慮，從不同颱風事件的模擬結果比較，模式在模擬洪峰流量結果以下游松茂流量站結果最佳，而推估洪峰時間這部份結果都不錯，在推估洪峰流量部分有高估現象，並且尖峰流量後的退水速度比觀測流量還快，和現實不太符合，從宋睿唐（2004）和李煜欽（2008）研究中所提到模擬集水區洪峰流量退水部份，可能是未考慮水文過程中的地下水，地下水影響有待未來模式開發再對其研究。

接著在模擬結束後比較不同颱風事件在集水區各種水文過程所佔有之

水體比例（如表 3.5），若將集水區視為一封閉系統，則集水區內水體可分為輸入量、儲存量和輸出量，輸入量為降雨，儲存量為截流、入滲、漫地流和渠道流，輸出量為流出集水區之水體。從表 3.5 觀察，在不同颱風事件中的截留量皆佔總水體比例 1% 以下，表示截留對於地表逕流影響最小，而入滲過程佔總水體比例約為 60% 左右，對於地表逕流影響極大，因此模式未考慮地下水部分對於集水區總水體分佈應該會有極大影響。而入滲過程主要受土壤種類影響，在德基水庫集水區內土壤多以特性相似之壤土為主，所以土壤含水量較高。然後是漫地流、渠道流以及流出集水區之水體約佔總水體 40% 左右，表示德基水庫集水區之水文過程以入滲最為重要。由此可知對於集水區土地利用之水土保持工作更顯的重要，如果破壞集水區之水體平衡，可能使大甲溪流域洪流量增加，對下游造成嚴重洪水災害，所以如能有效控制大甲溪流域水量穩定，即可減少洪水災害發生。

然後從不同颱風事件模擬結果觀察發現，以合歡和環山合流點的結果最差，從圖 3.23、3.24 和 3.25 觀察合歡，流量在降雨尖峰對應洪峰流量部分，洪峰流量變化不是很大，而且流量不高，還比上游南湖流量還低，不應該發生下游流量站比上游流量站還低之情況，所以此站資料可能不是很正確或有其他因素影響，另外德基水庫集水區中河系是由許多不同支流構成，而南湖、合歡和環山合流點位在同一河系附近，從不同颱風事件中的模擬結果發現南湖、合歡和環山合流點之方均根值忽大忽小，有可能德基

水庫集水區右邊之區域所使用模擬輸入資料不正確，而影響模擬結果，未來研究可能依其問題探討。接著環山合流點在三場颱風事件下，模擬流量歷線變化差異性大，推測是因為環山合流點位於四條河系交接口附近，在模式模擬這部份，由於數值計算振盪較大，而影響此流量站模擬結果。

因此由以上結果顯示集水區之數值高程模型對水文模擬之重要性，尤其是在台灣高海拔之集水區，受到地形影響，不同集水區之地形參數都需經過各別檢定以求得該集水區最佳地形參數。

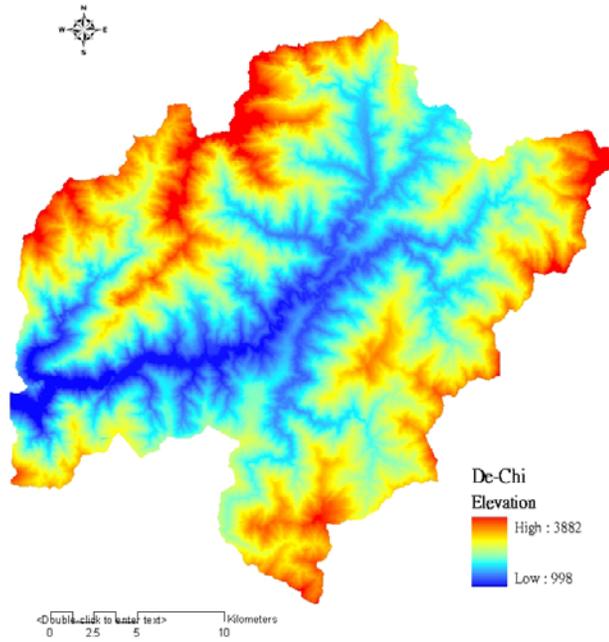


圖 3.1 本研究使用之數值高程模型 (40 m × 40 m)

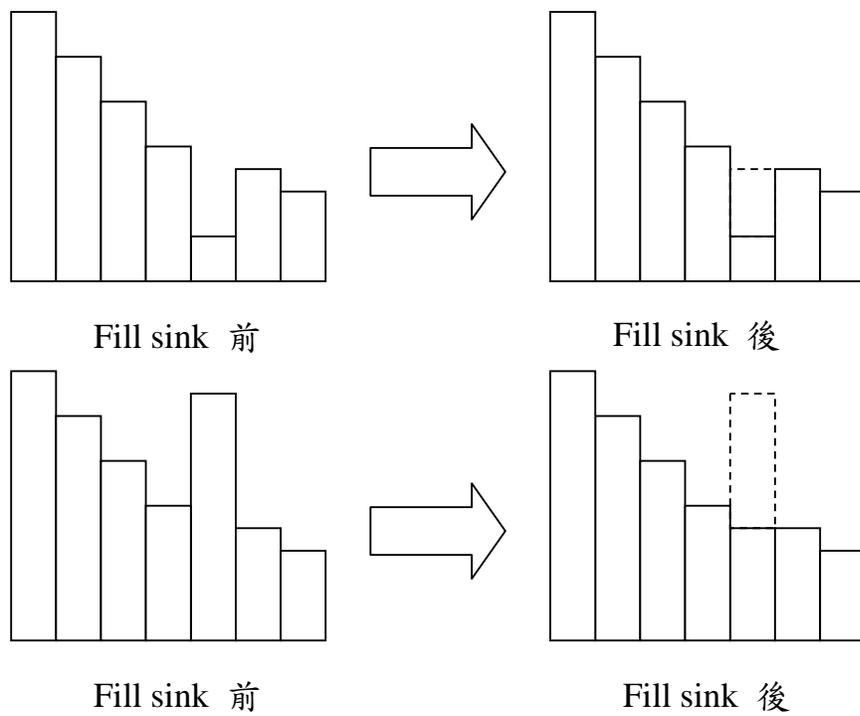
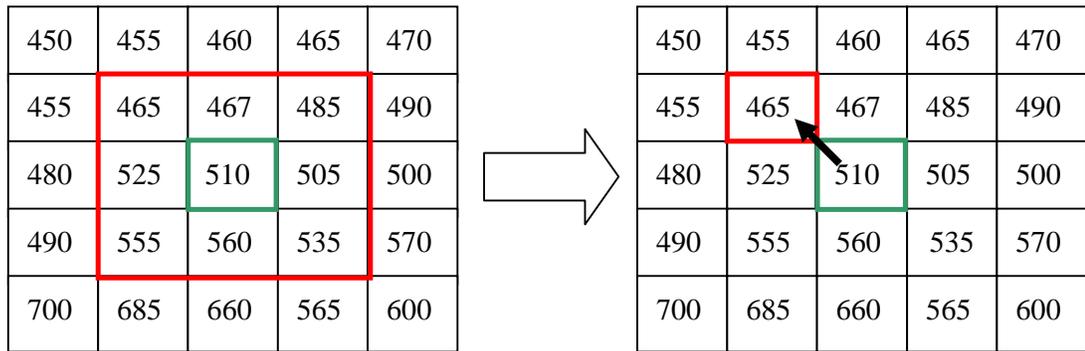
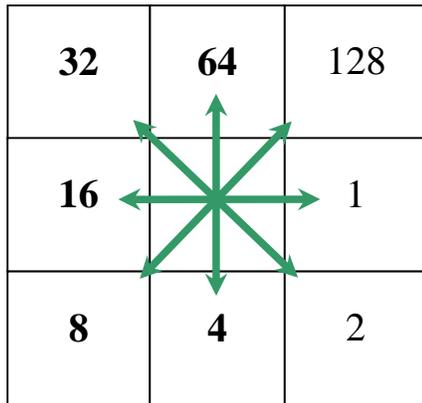


圖 3.2 Fill sink 平面前後變化示意圖

(a)



(b)



(c)

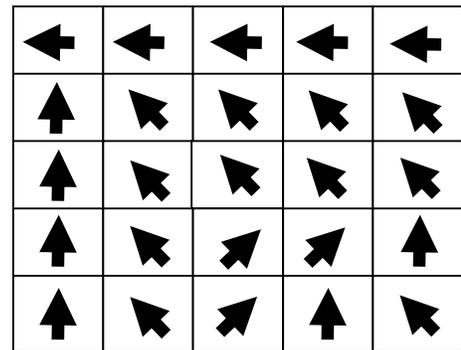
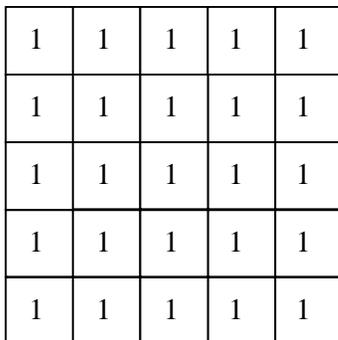
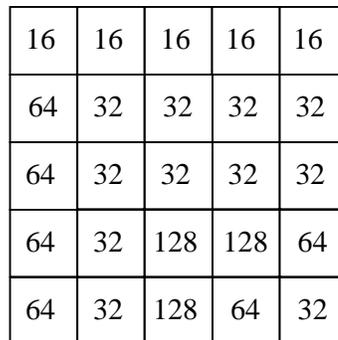


圖 3.3 流向製作示意圖，(a) 流向判斷、(b) 流向編號、(c) 流向圖層

(a)



(b)



(c)

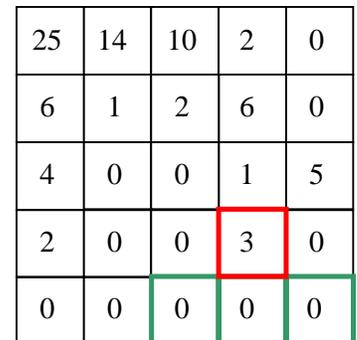
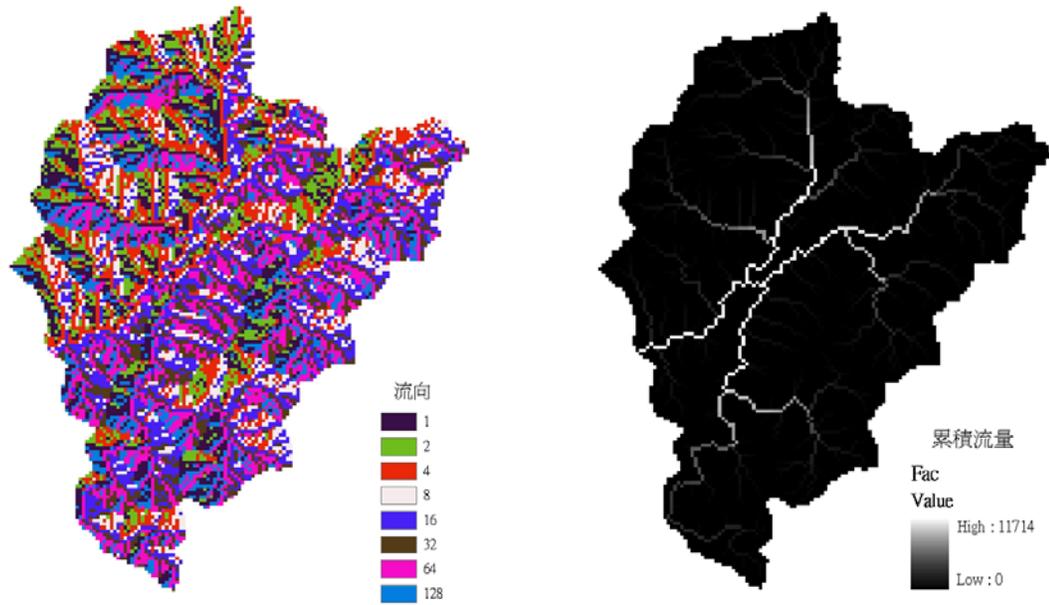


圖 3.4 累積流量製作示意圖，(a) 網格單位水體、(b) 流向編號、(c) 網格

累積流量示意圖

(a)

(b)

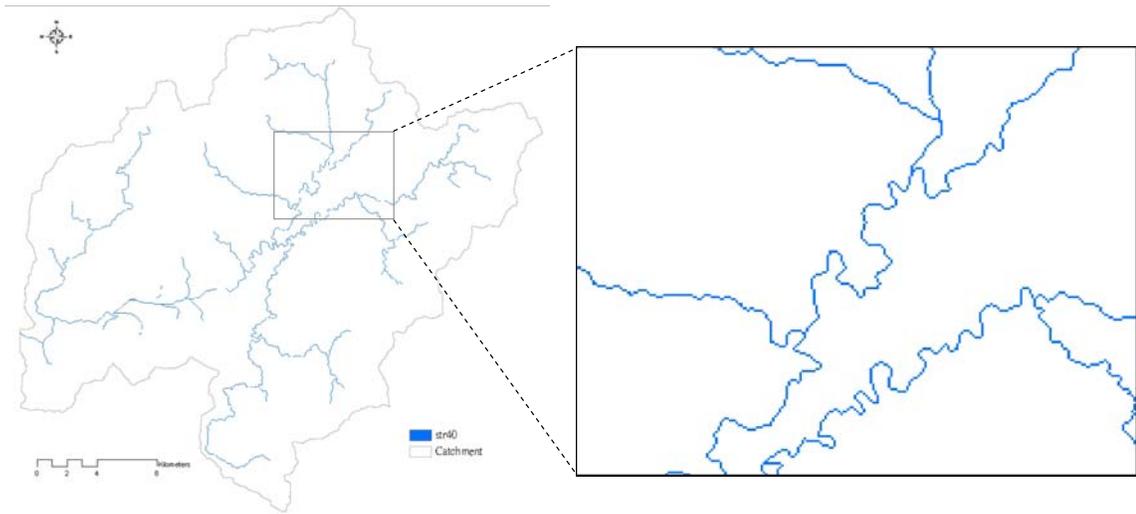


(c)



圖 3.5 河道製作流程圖，(a) 為流向圖層，以不同顏色之網格數字表示河川流向。(b) 為累積流量圖層，網格數字表示網格水體量，顏色越黑表示水體量越少，反之越多。(c) 為渠道圖層，其值為渠道段數

(a)



(b)

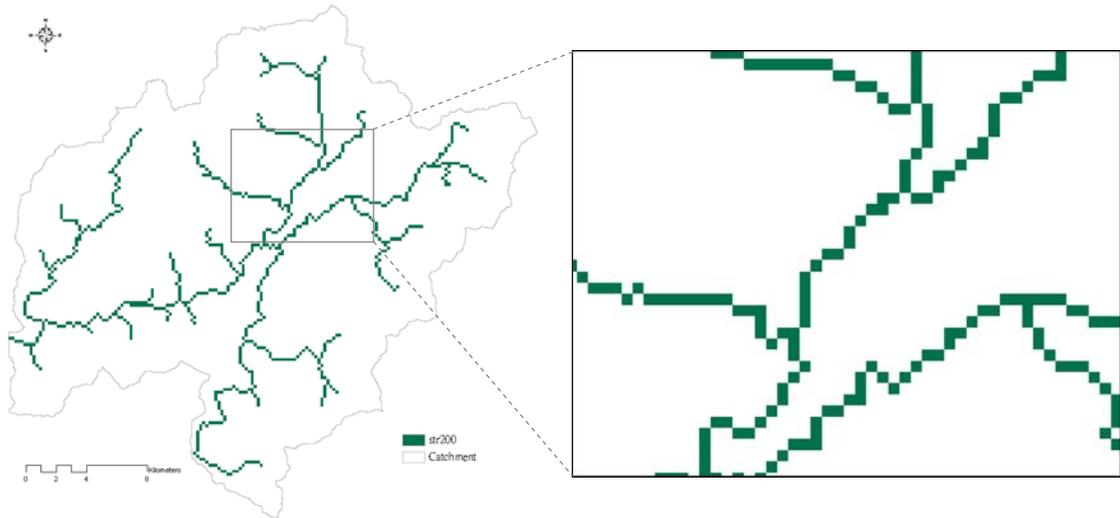
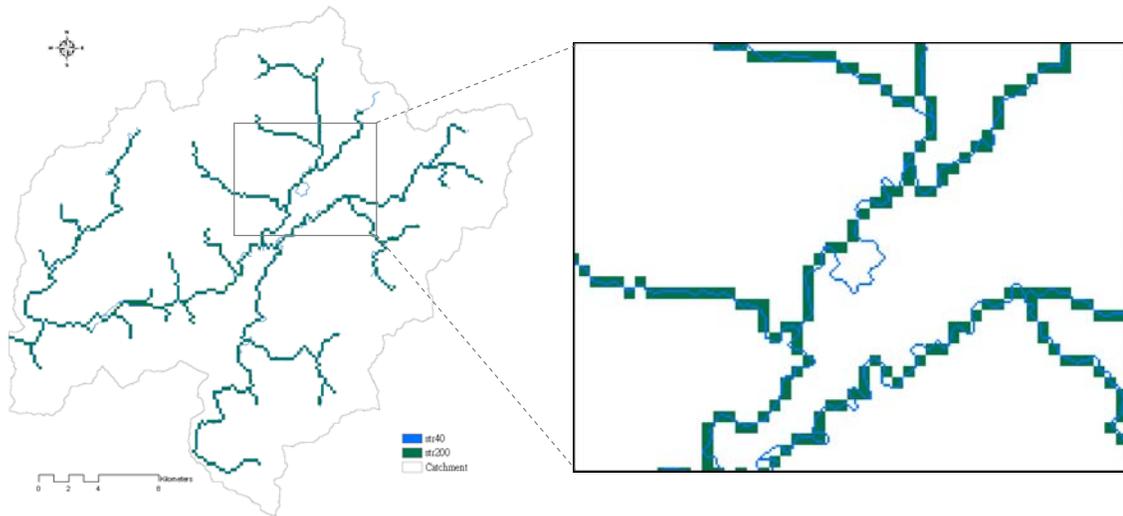


圖 3.6 解析度 40 公尺與 200 公尺之河系修正示意圖，(a) 解析度 40 公尺之河系、(b) 解析度 200 公尺之河系

(c)



(d)



(續)圖 3.6 解析度 40 公尺與 200 公尺之河系修正示意圖，(c)解析度 200 公尺與 40 公尺之河系套疊、(d) 修正後 200 公尺之河系

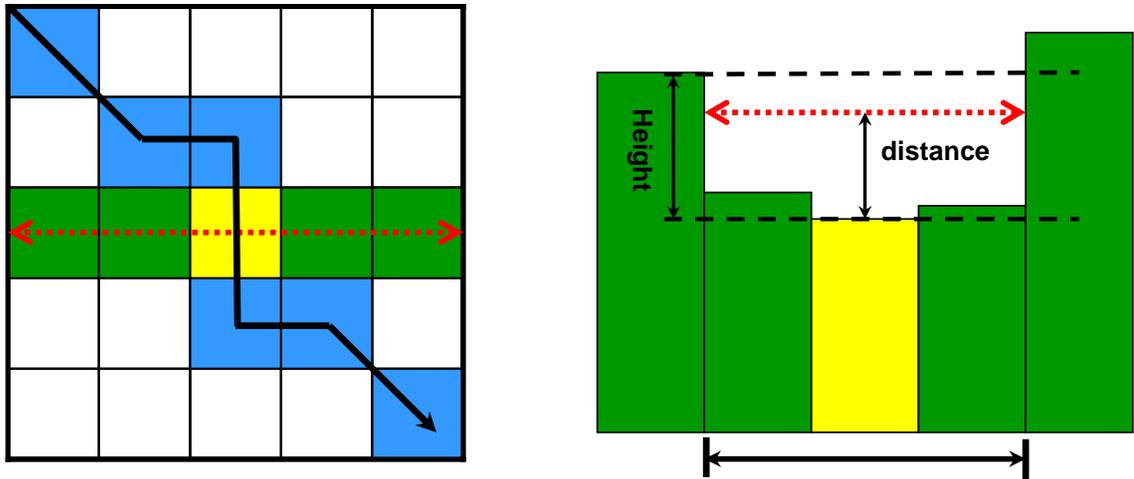


圖 3.7 渠道深度與寬度製作示意圖

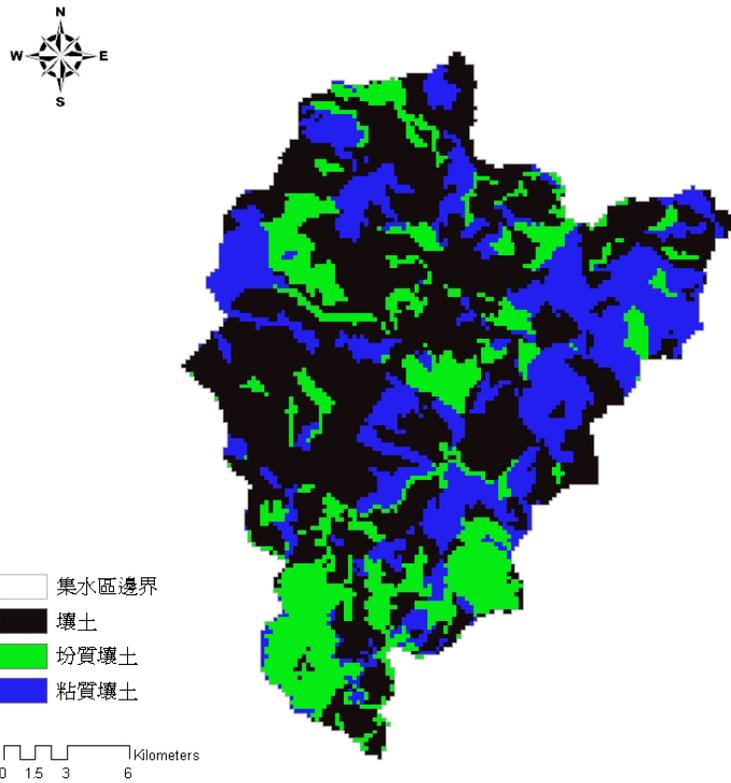


圖 3.8 德基水庫集水區土壤分布圖

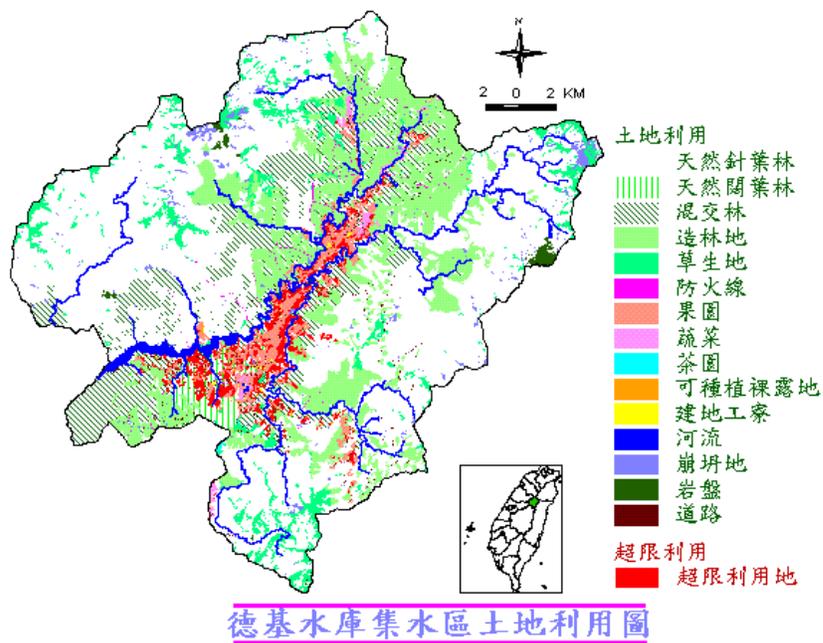


圖 3.9 德基水庫土地利用 jpg 檔 (德基水庫水質管理網¹)

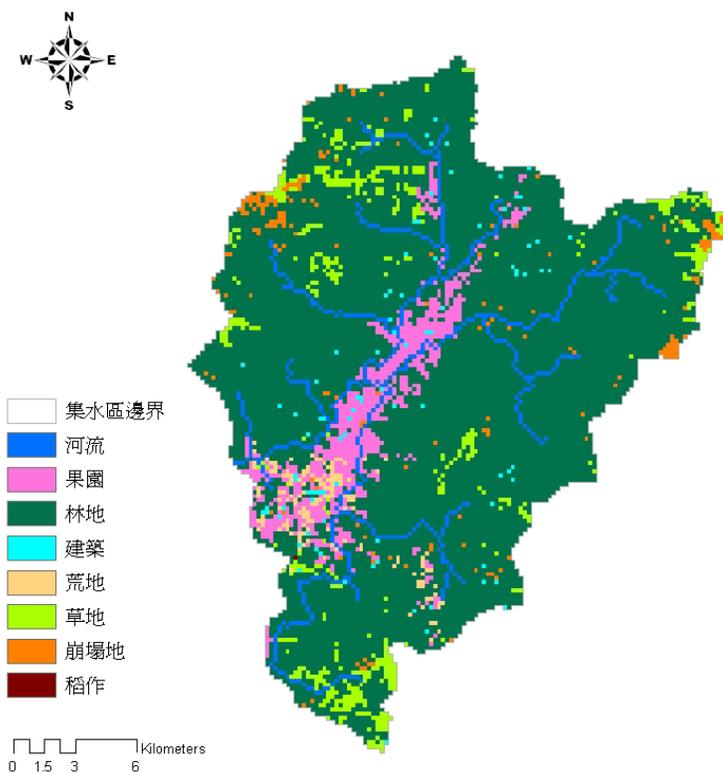


圖 3.10 德基水庫集水區土地利用分布圖

¹ http://hysearch.wra.gov.tw/wra_ext/tech/AA/AA-01.htm

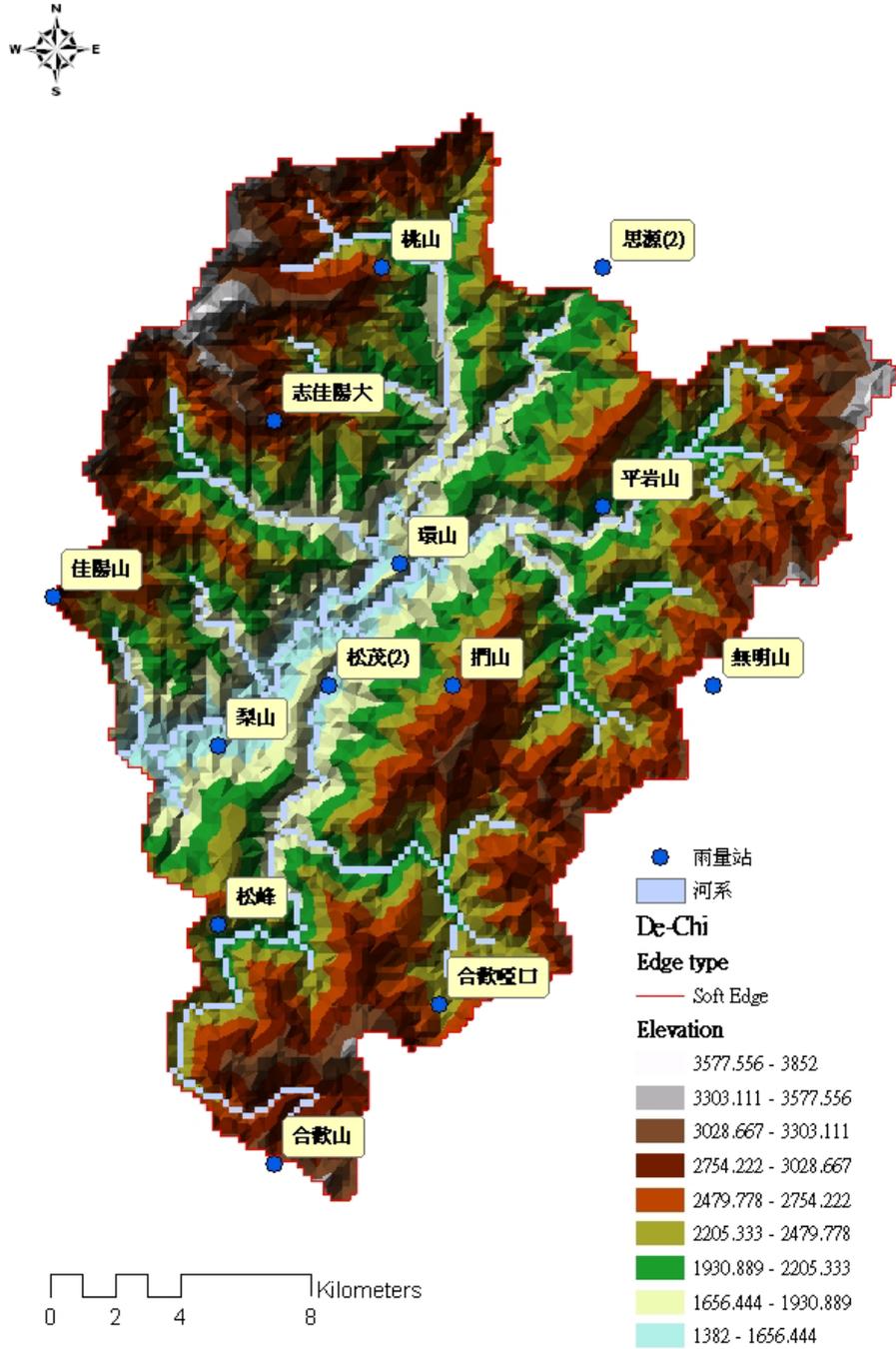


圖 3.11 模擬區域雨量站分佈圖

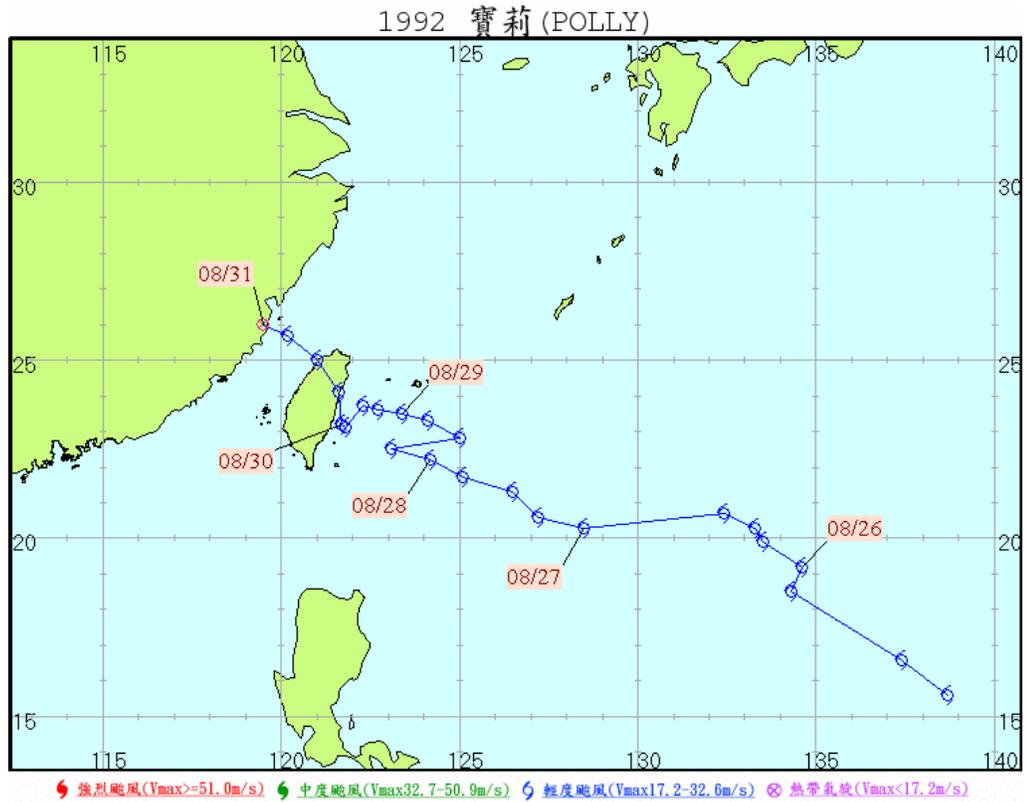


圖 3.12 寶莉颱風路徑圖 (中央氣象局, 颱風資料庫¹)

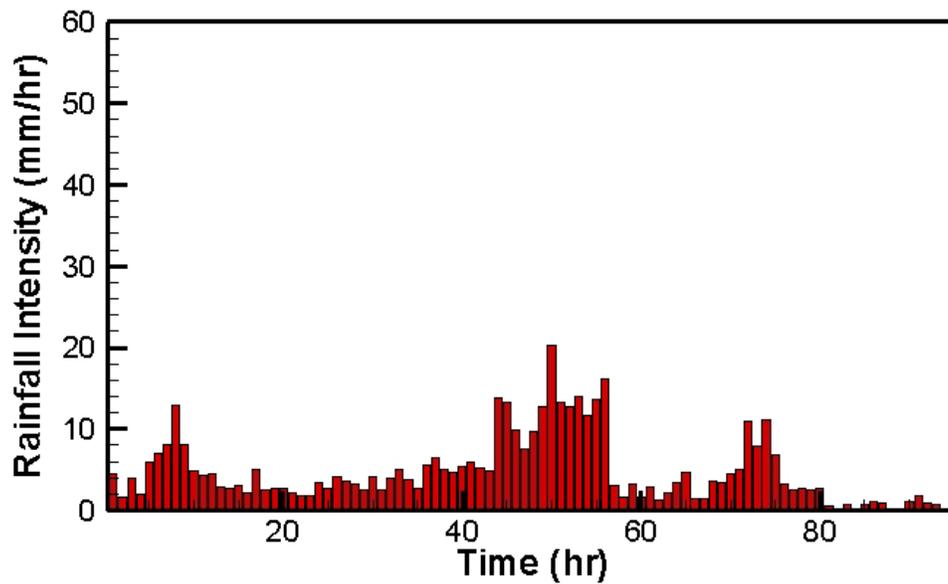


圖 3.13 寶莉颱風平均降雨強度組體圖

¹ http://rdc28.cwb.gov.tw/data.php?num=1992160827&year=1992&c_name=寶莉&e_name=POLLY

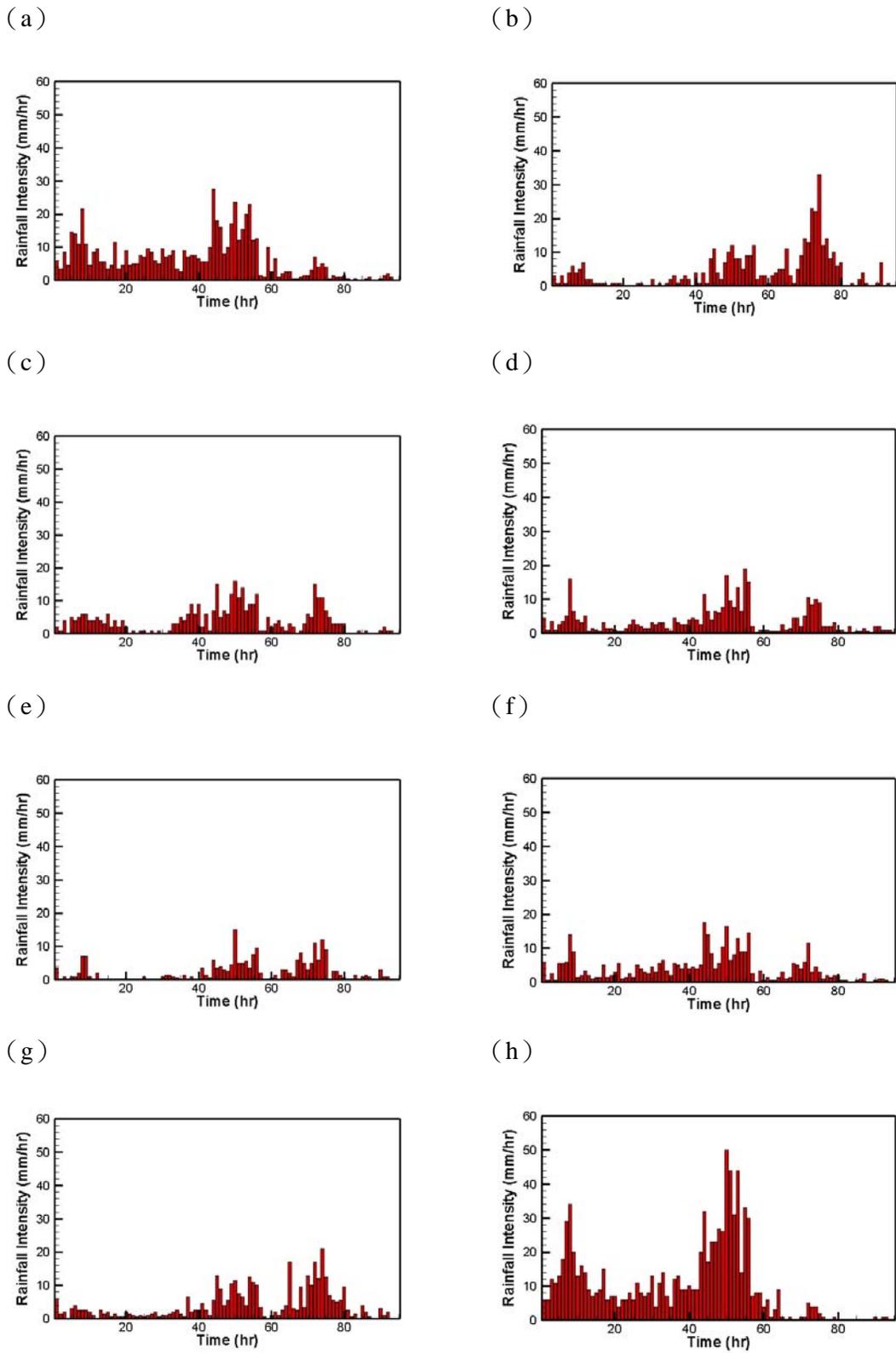
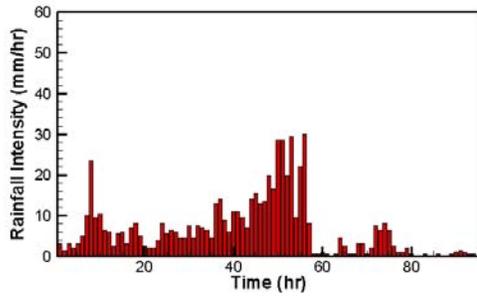
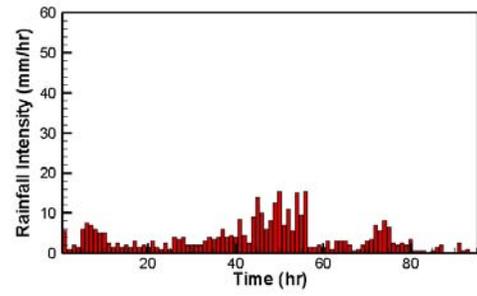


圖 3.14 寶莉颱風各雨量站降雨強度組體圖，(a) 平岩山、(b) 合歡山、(c) 合歡啞口、(d) 志佳陽大、(e) 佳陽山、(f) 松茂(2)、(g) 松峰、(h) 思源(2)

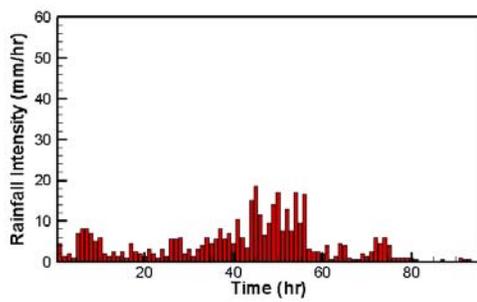
(i)



(j)



(k)



(續) 圖 3.14 寶莉颱風各雨量站降雨強度組體圖，(i) 桃山、(j) 捫山、(k) 無明山

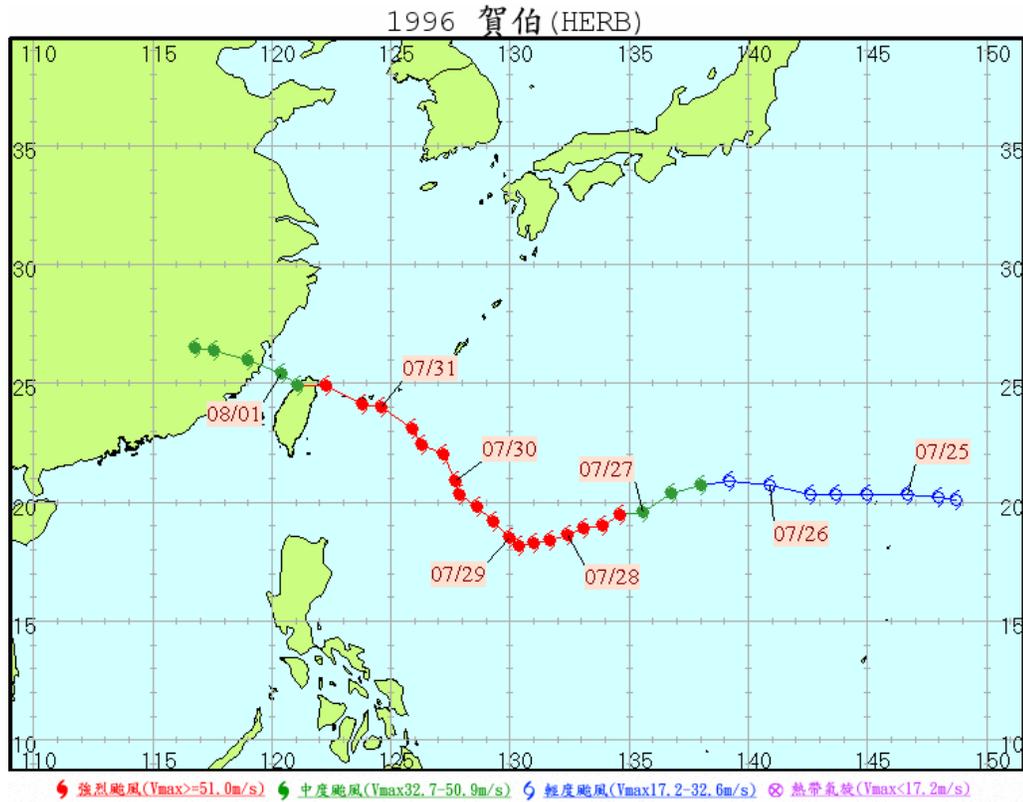


圖 3.15 賀伯颱風路徑圖 (中央氣象局, 颱風資料庫¹)

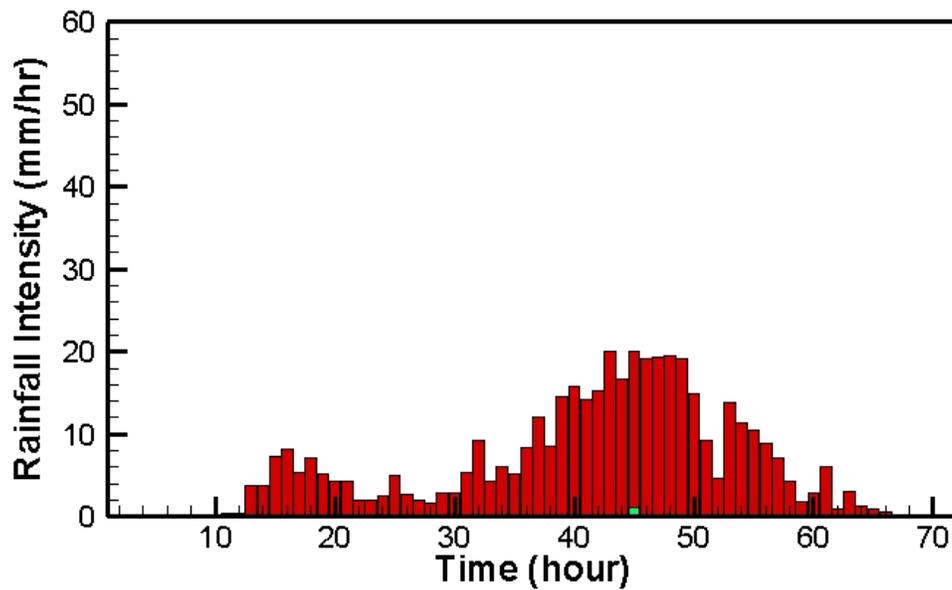


圖 3.16 賀伯颱風平均降雨強度組體圖

¹ http://rdc28.cwb.gov.tw/data.php?num=1996080724&year=1996&c_name=賀伯&e_name=HERB

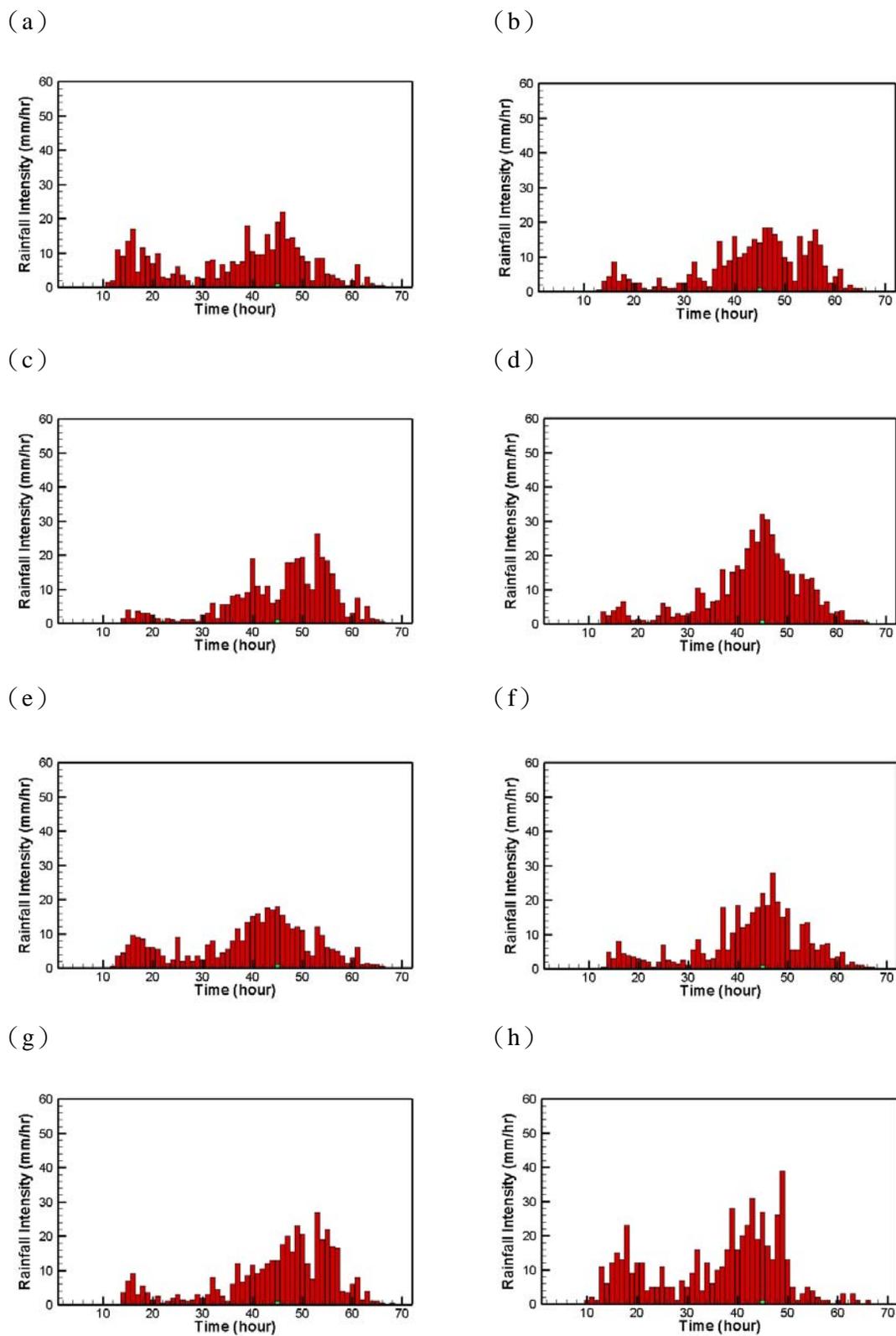
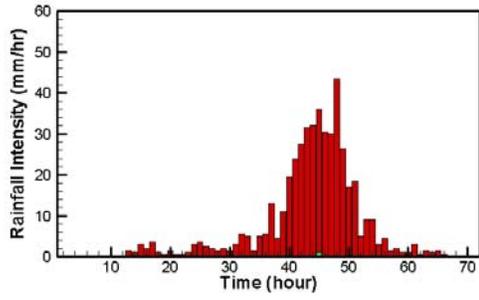
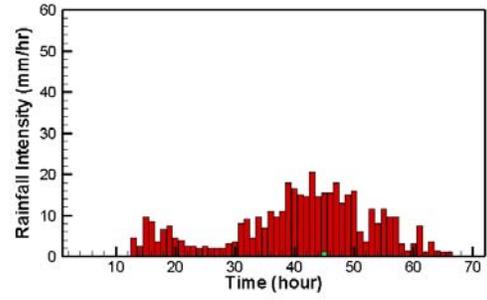


圖 3.17 賀伯颱風各雨量站降雨強度組體圖，(a) 平岩山、(b) 梨山、(c) 合歡啞口、(d) 志佳陽大、(e) 環山、(f) 松茂(2)、(g) 松峰、(h) 思源(2)

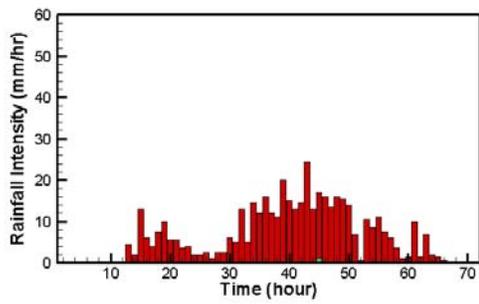
(i)



(j)



(k)



(續) 圖 3.17 賀伯颱風各雨量站降雨強度組體圖，(i) 桃山、(j) 捫山、(k) 無明山

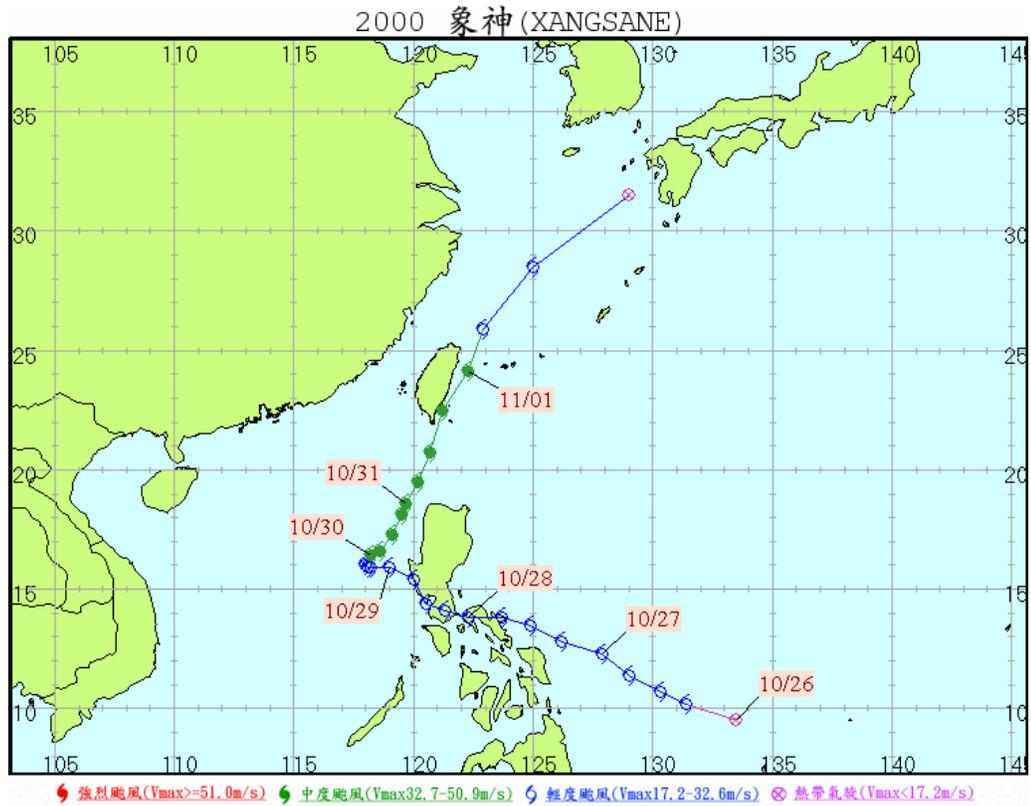


圖 3.18 象神颱風路徑圖 (中央氣象局, 颱風資料庫¹)

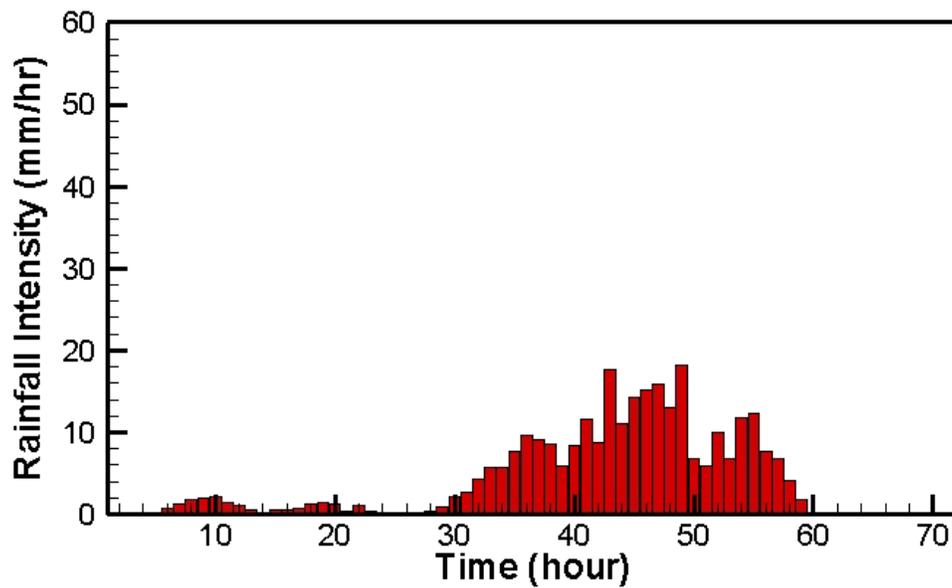


圖 3.19 象神颱風平均降雨強度組體圖

¹ http://rdc28.cwb.gov.tw/data.php?num=2000201026&year=2000&c_name=象神&e_name=XANGSANE

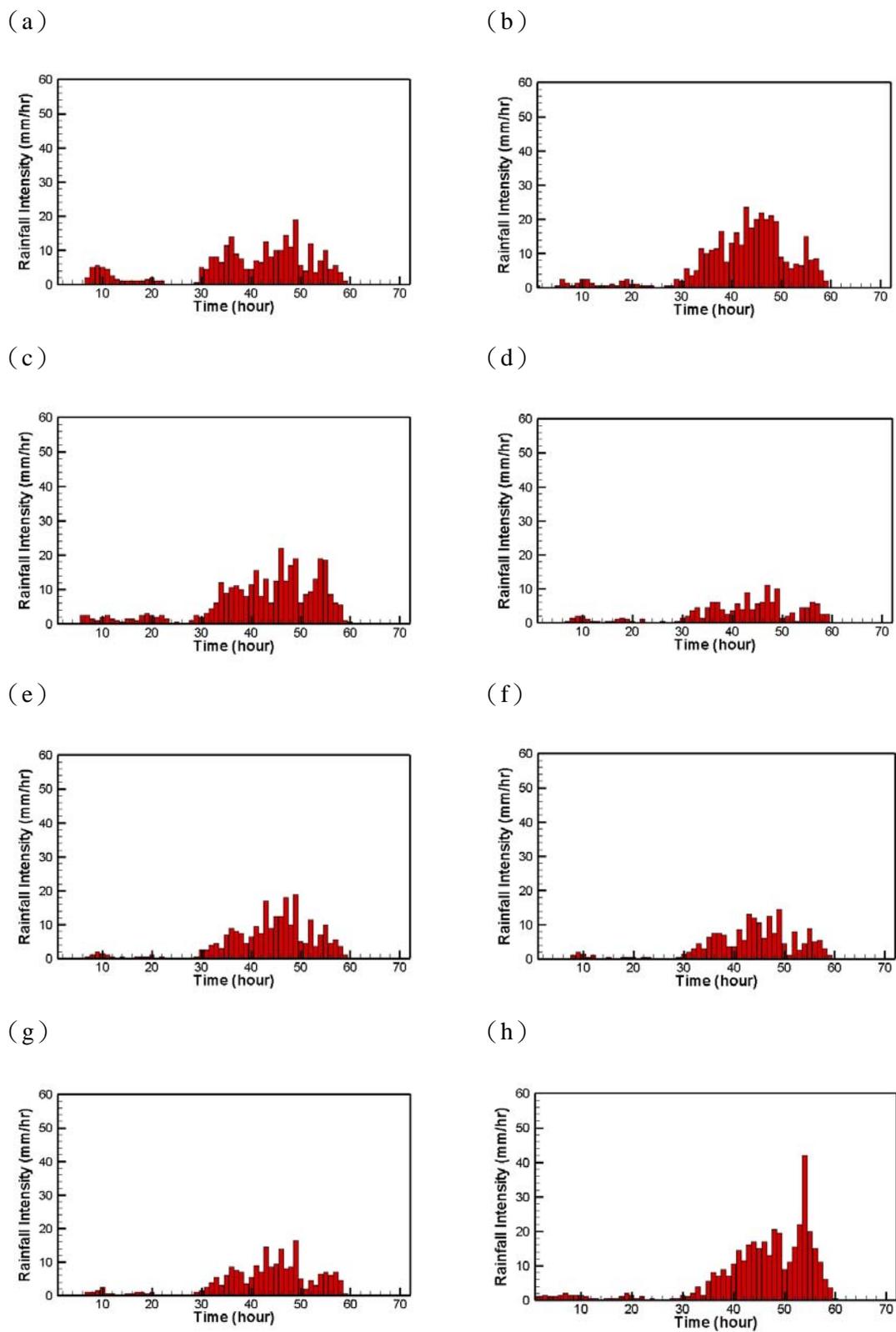
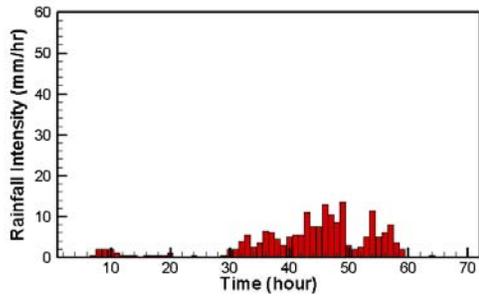
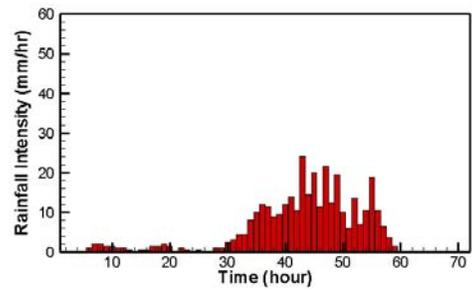


圖 3.20 象神颱風各雨量站降雨強度組體圖，(a) 平岩山、(b) 合歡山、(c) 合歡啞口、(d) 志佳陽大、(e) 環山、(f) 松茂(2)、(g) 梨山、(h) 思源(2)

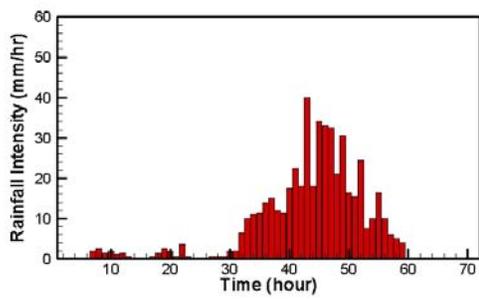
(i)



(j)



(k)



(續) 圖 3.20 象神颱風各雨量站降雨強度組體圖，(i) 桃山、(j) 捫山、(k) 無明山

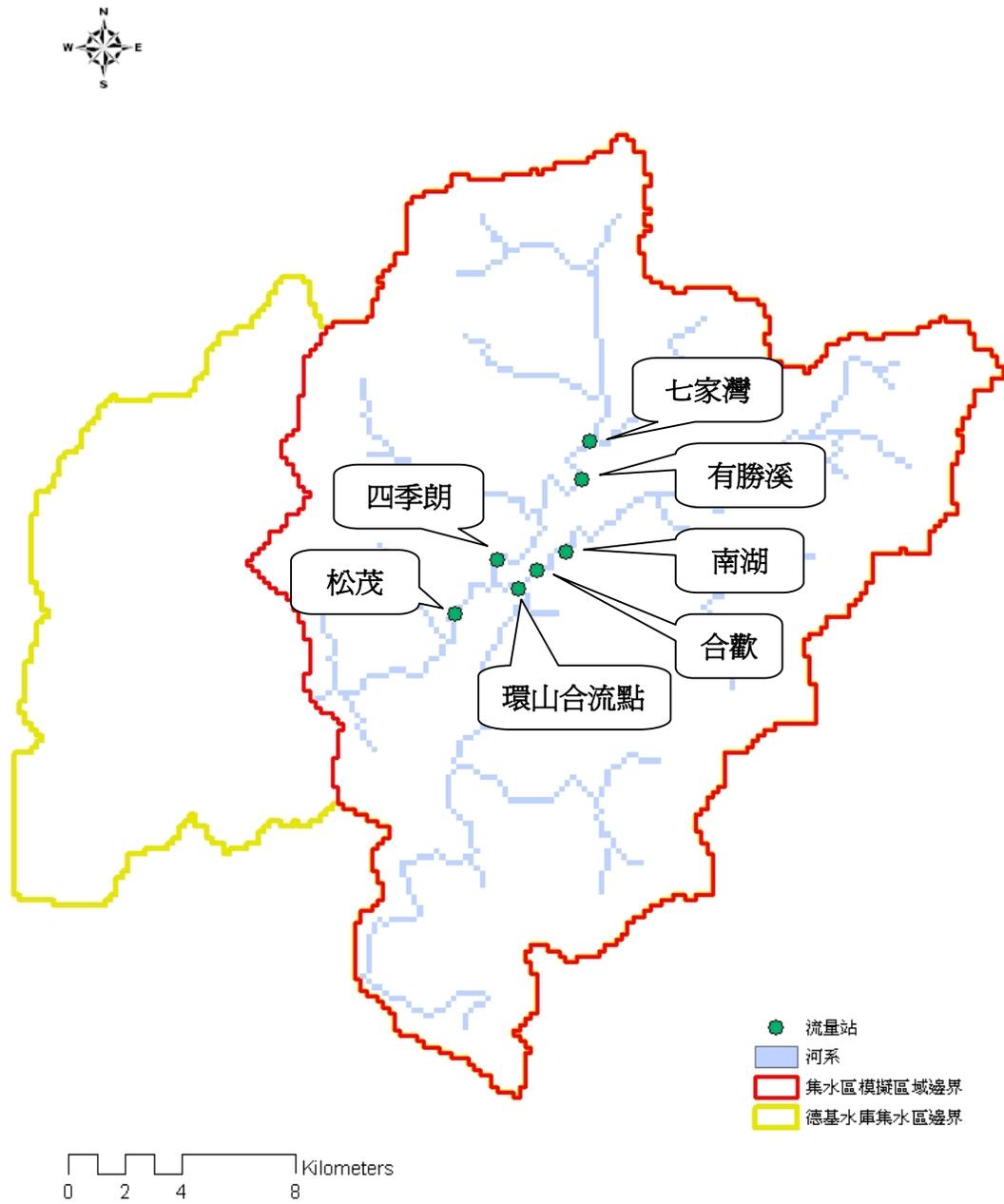
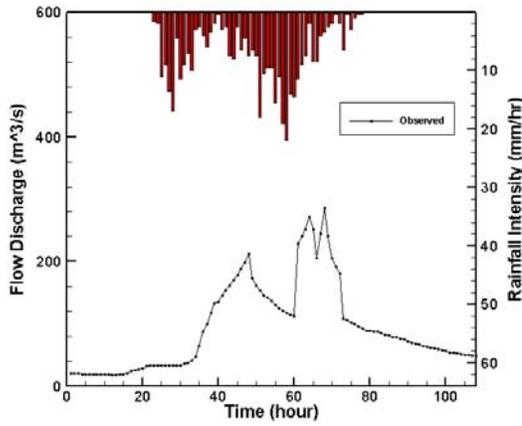
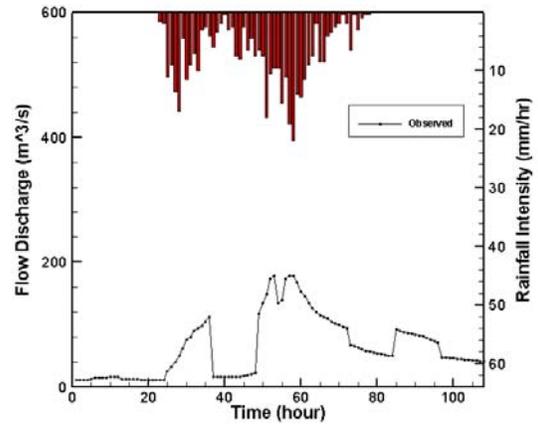


圖 3.21 德基水庫集水區流量站位置分布圖

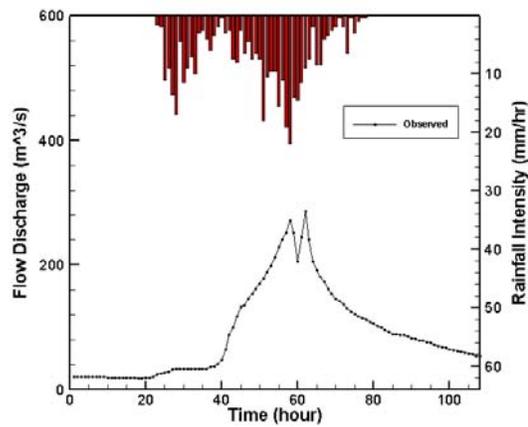
(a)



(b)



(c)



(d)

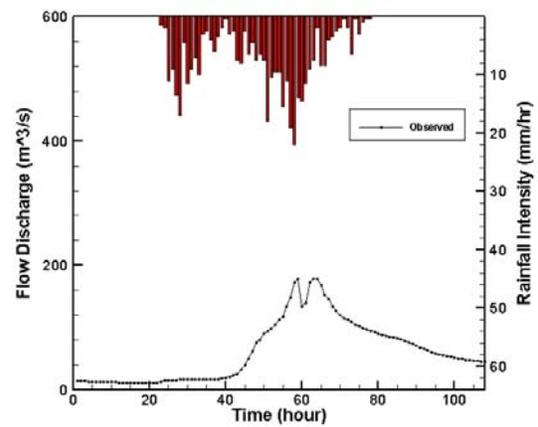


圖 3.22 賀伯颱風事件之南湖和合歡流量資料修正前後示意圖，(a) 南湖流量站原始流量資料、(b) 合歡流量站原始流量資料、(c) 南湖流量站修正後流量資料、(d) 合歡流量站修正後流量資料

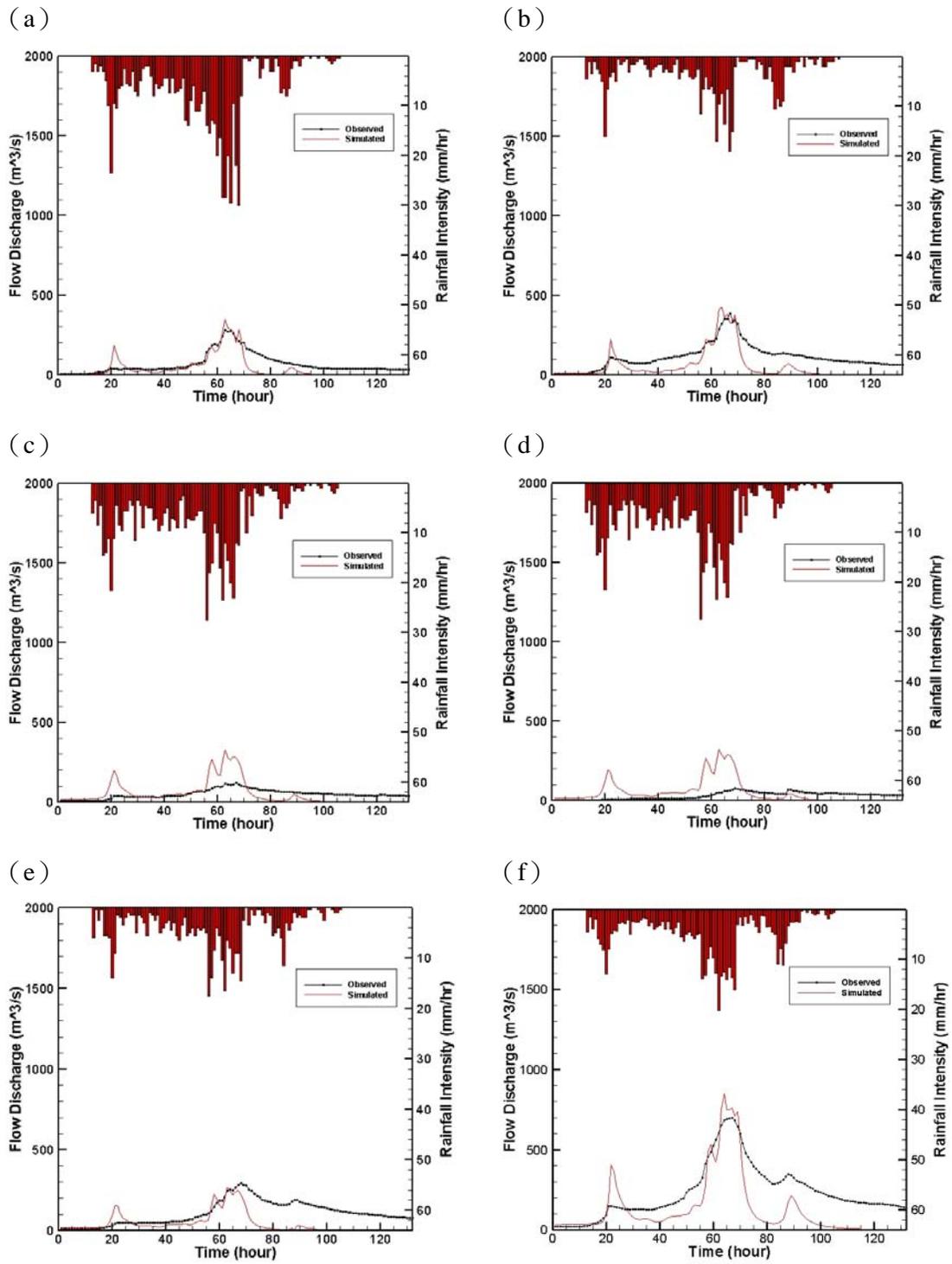


圖 3.23 寶莉颱風觀測與模擬流量歷線圖、(a) 七家灣、(b) 四季朗、(c) 南湖、(d) 合歡、(e) 環山合流點、(f) 松茂

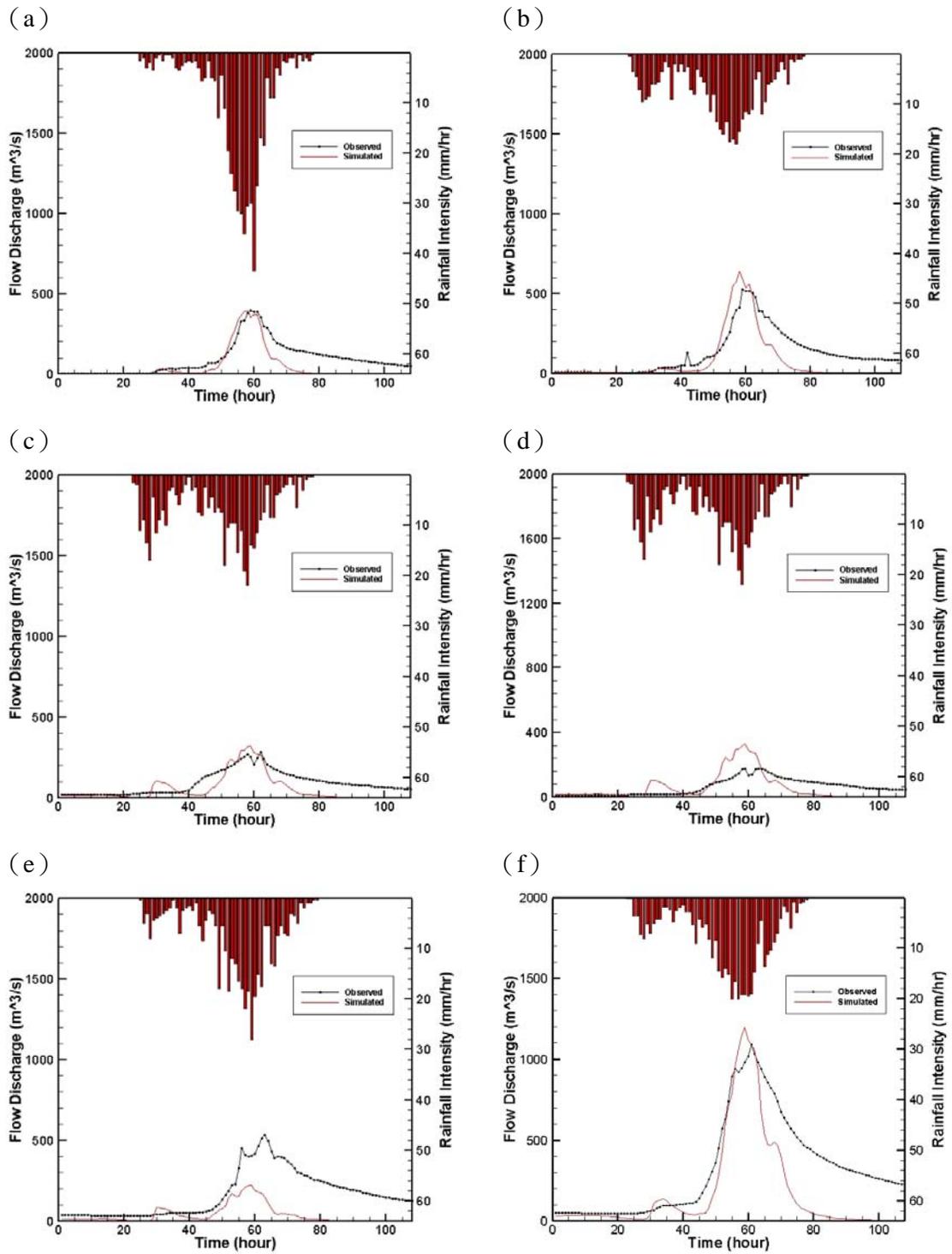


圖 3.24 賀伯颱風觀測與模擬流量歷線圖，(a) 七家灣、(b) 四季朗、(c) 南湖、(d) 合歡、(e) 環山合流點、(f) 松茂

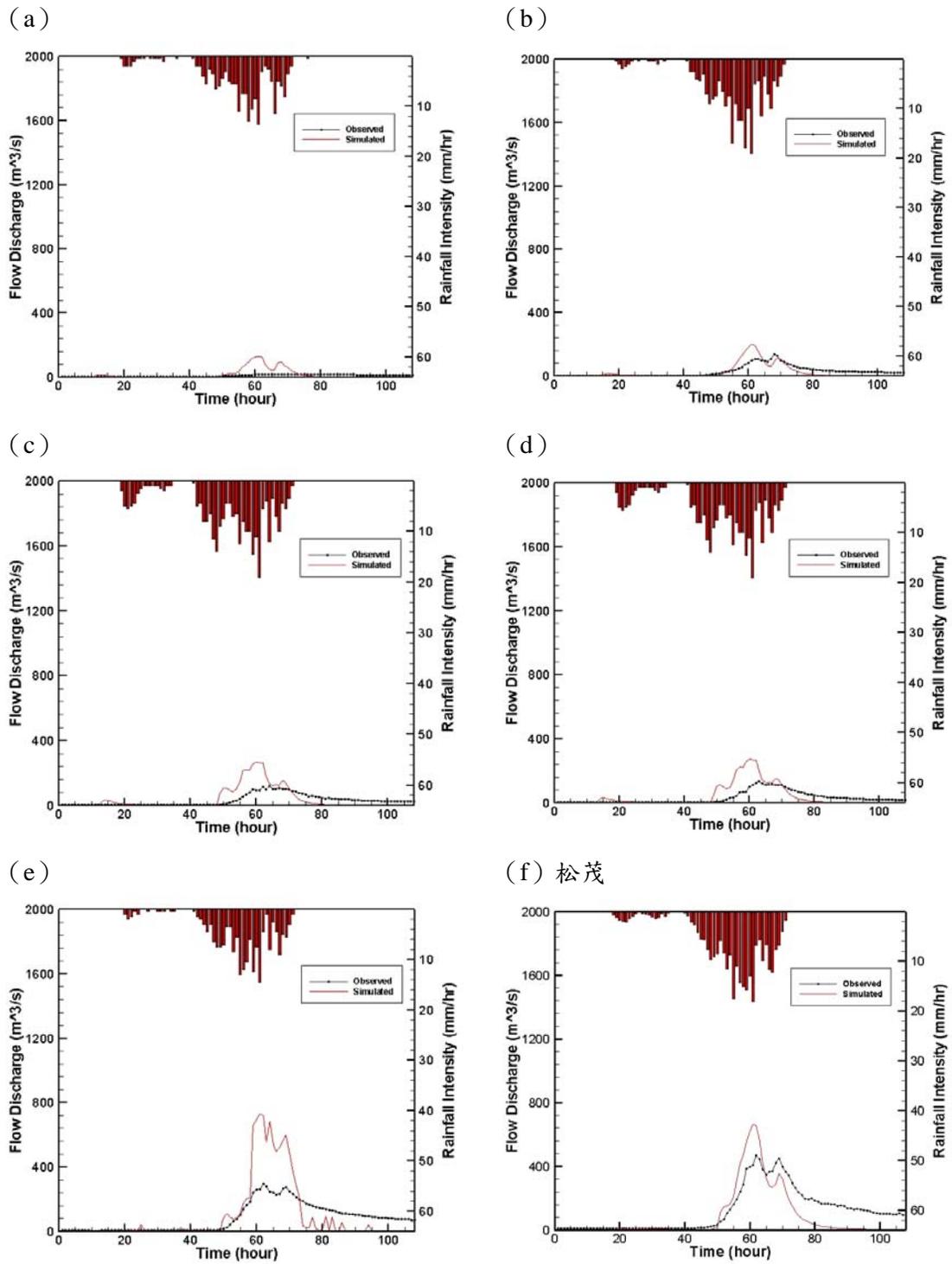


圖 3.25 象神颱風觀測與模擬流量歷線圖、(a) 七家灣、(b) 四季朗、(c) 南湖、(d) 合歡、(e) 環山合流點、(f) 松茂

表 3.1 Green-Ampt 入滲公式參數表 (Rawls & Brakensiek, 1983)

土壤分類 (Soil classification)	有效孔隙率 M_d	濕潤邊緣水壓 H_f (mm)	水力傳導率 K_s (mm/hr)
砂土 (Sand)	0.417	49.5	117.8
壤質砂土 (Loamy sand)	0.401	61.3	29.9
砂質壤土 (Sandy loam)	0.412	110.1	10.9
壤土 (Loam)	0.434	88.9	3.4
粉質壤土 (Silt loam)	0.486	166.8	6.5
砂質粘壤土 (Sand clay loam)	0.330	218.5	1.5
粘質壤土 (clay loam)	0.309	208.8	1.0
粉質粘壤土 (Silt clay loam)	0.432	273.0	1.0
砂質粘土 (Sand clay)	0.321	239.0	0.6
粉質粘土 (Silt clay)	0.423	292.2	0.5
粘土 (Clay)	0.385	316.3	0.3

表 3.2 土地利用對照參數表

植物種類	水體	果園	林地	建築	荒地	草地	崩塌地	稻作
曼寧粗糙係數	0.03	0.04	0.09	0.025	0.04	0.03	0.04	0.03
最大截留深 (mm)	0	2.4	2.9	3.0	0	0.2	0	0.4

表 3.3 不同颱風事件各流量站之觀測流量與模擬流量方均根誤差

颱風事件	七家灣	南湖	合歡	四季朗	環山合流點	松茂
寶莉	0.80	1.32	4.76	0.72	0.79	0.71
賀伯	0.70	0.77	1.31	0.68	0.79	0.65
象神	2.20	4.83	3.25	0.89	1.19	0.74

表 3.4 不同颱風事件各流量站觀測與模擬的洪峰流量和時間

颱風事件	洪峰流量 與 洪峰時間	七家灣	南湖	合歡	四季朗	環山 合流點	松茂
寶莉	觀測流量 (m ³ /s)	278	120	75	386	291	699
	模擬流量 (m ³ /s)	347	325	324	425	268	850
	觀測洪峰時間(hr)	63	67	69	67	68	67
	模擬洪峰時間(hr)	63	63	63	64	63	64
賀伯	觀測流量 (m ³ /s)	395	271	178	528	497	1096
	模擬流量 (m ³ /s)	395	321	329	637	224	1196
	觀測洪峰時間(hr)	59	58	59	59	64	61
	模擬洪峰時間(hr)	58	59	59	58	59	59
象神	觀測流量 (m ³ /s)	16	117	131	190	297	469
	模擬流量 (m ³ /s)	130	266	270	202	734	666
	觀測洪峰時間(hr)	60	62	63	63	62	62
	模擬洪峰時間(hr)	61	60	60	61	61	61

表 3.5 不同颱風事件集水區水體分佈表

颱風事件	水體分佈	水文過程	水體積(m ³)	水體百分比 (%)
寶莉	輸入量	降雨	326191847	100
	儲存量	截留	1172752	0.36
		入滲	218615276	67.02
		漫地流	38003033	11.65
		渠道流	3369953	1.03
	輸出量	離開集水區	65030833	19.94
	平衡	質量守衡	-0.18%	100.18
賀伯	輸入量	降雨	312035238	100
	儲存量	截留	1172752	0.38
		入滲	185787859	59.54
		漫地流	44183260	14.1
		渠道流	3781469	1.21
	輸出量	離開集水區	77135111	24.72
	平衡	質量守衡	-0.11%	100.11
象神	輸入量	降雨	169061324	100
	儲存量	截留	1172752	0.69
		入滲	104083861	61.57
		漫地流	25779091	15.25
		渠道流	3508952	2.08
	輸出量	離開集水區	34522322	20.42
	平衡	質量守衡	-0.01	100.01

第四章 結論與建議

4-1 結果討論

本研究在大甲溪上游集水區探討颱風降雨型態與降雨延時，利用二種方法定義颱風降雨事件的始末，分別求出大甲溪上游集水區的颱風雨型與降雨延時，由第一種方法所求颱風雨型，對決定颱風降雨事件的始末沒有一定標準，因此本研究提出以經緯度座標範圍定義颱風事件的始末，利用台灣中心點經緯度座標各加減4度，決定出東西向與南北向皆跨8度之範圍，定義颱風事件的始末，由2-3節圖2.5觀察各場颱風事件雨型，此方法可以適用於任何影響台灣之颱風降雨事件，所以該方法對於定義颱風事件的始末是可行的，且中心經緯度座標各加減四度是最適合之範圍。

由颱風雨型和降雨延時結果，研究中利用兩種方法定義颱風降雨事件的始末，然後以無因次百分比雨型和六種颱風設計雨型比較其差異性，由不同方法之颱風雨型分析結果發現，大甲溪上游德基水庫集水區是以擬後峰式雨型為主，且從颱風雨型分析結果發現該區域颱風應屬於單峰雨型，不會產生雙降雨尖峰之情況。可能原因為颱風在台灣遠處生成後，至侵襲台灣期間，在登陸時降雨達到尖峰，而未登陸颱風，則是最接近台灣時降雨達到尖峰，所以颱風降雨屬於單峰式雨型且降雨尖峰位在該場颱風事件的四分之三降雨延時處，受到侵襲時間和距離所影響。颱風降雨延時分析，利用二種方法所求出平均延時、標準偏差、偏態以及峰度，其結果相

當接近，表示颱風降雨延時分佈為32至36小時附近。

從颱風雨型分析結果中，探討颱風路徑和雨型的可能關係，發現颱風路徑和颱風雨型並無顯著關係，表示路徑並不是唯一影響雨型因素，可能需要考慮颱風半徑和行走速率等物理因素。從各颱風路徑侵襲台灣之發生比例所知，侵襲台灣的颱風大都來自北太平洋西部，而少數颱風是來自南中國海的海面。

在模擬結果分析部份，由不同颱風事件的均方根值、洪峰流量與時間以及流量歷線圖，多數流量站結果並不理想，仔細探討模擬過程，從模擬圖層資料製作、降雨以及流量資料收集，其中包含許多人為誤差，在模擬中數值高程模型是最重要的圖層資料，許多圖層都是根據數值高程模型依序得到，假如數值高程模型出現部分誤差，製作出的河系就不一樣。研究中所採用數值高程模型解析度為 200 公尺，可能為模擬結果不佳原因之一，觀察大甲溪上游德基水庫集水區之河系，發現德基水庫集水區的河系較為繁雜，係由許多細小支流構成，如果網路解析度採用 200 公尺未必適用於德基水庫集水區，可能將靠近之二條河流當作成一條河流模擬，在流量推算就會出現誤差。且研究中有針對部分河道修正，所以可能還有其他河系也有錯誤，而河系是由數值高程模型所製作，表示數值高程模型的優劣將會影響模擬結果。接著是土地利用，土地利用來源為圖檔經由人工判斷製成，其中可能會有部份區域跟實際不合進而影響模擬結果。最後集水區內

之觀測雨量與流量資料部份，由 2-2 節與 3-5 節可知本研究所採用降雨資料和流量資料為台灣電力公司所屬測站，受限於台灣在高山集水區之雨量和流量測站設站稀少，所以完整降雨和流量資料取得不易。研究中曾想嘗試模擬近年發生之颱風事件，但台灣電力公司所屬流量測站在 2000 年以後皆已停止記錄，可能受到 921 地震或其他因素影響，直到 2007 年部份流量站開始重新記錄，所以在進行研究德基水庫集水區前，於取得相關水文資料方面就會有一定困難度。從流量資料發現南湖以及合歡的資料不是很精確，可能受於當地地形影響或是其他因素，如果有其他測站資料比較，對模擬結果會有很大幫助。

颱風降雨後於集水區之水文過程佔有水體比例，以入滲所佔比例最高，表示大甲溪上游集水區之入滲過程對於地表逕流影響極大，但入滲比例約佔 60%，和石門水庫集水區水體之入滲所佔 30%比較（李煜欽，2008）明顯過大，初步推論原因可能是土壤分佈不同所造成土壤含水量不同。由颱風事件模擬結果比較，在推算洪峰流量和洪峰時間有一定可信度，因此推論研究室發展之降雨-模式可以模擬大甲溪上游集水區，本研究模擬大甲溪上游集水區之地表逕流情況並未對各種參數進行校正，且參考國外所用之曼寧粗糙係數和土壤參數未必適用於台灣集水區，所以未來必須對各種參數檢定達到最佳化，以得到最佳模擬結果。

4-2 建議

研究中利用經緯度座標決定矩形範圍定義颱風事件的始末，未來可依颱風半徑決定圓形範圍定義颱風事件的始末比較其結果，找出最佳定義颱風事件的方法。我們利用無因次法推求雨型考慮降雨分佈的特性，並未使用其他方法，未來可在多採用幾種方法推求颱風雨型進行比較，整理最佳設計颱風雨型方法。大甲溪上游德基水庫集水區之地表逕流模擬，南湖、合歡以及環山合流點模擬結果並不理想，可能為集水區之地形變化劇烈，因此部份區域之地形資料不正確而影響結果，未來可以對其修正以求得該集水區最佳模擬結果。由不同颱風事件的模擬結果觀察，降雨組體圖和流量歷線相關性非常高，如果能整理出颱風雨型與降雨的相關性，則可有效的推估逕流情況。

參考文獻

1. Bras, R. L., *Hydrology, An Introduction to Hydrologic Science*, Addison-Wesley, 1990.
2. Huff, F. A., "Time distribution of rainfall in heavy storms", *Water Resources Research*, 3(4), pp. 1007-1019, 1967.
3. Julien, P. Y., Saghafian, B., & Ogden, F. L., "Raster-based hydrologic modeling of spatiality-varied surface runoff", *Water Resources Bulletin*, Vol 31(3), pp. 523-536, 1995.
4. Rawls, W. J., & Brakensiek, D. L., "A procedure to predict Green and Ampt infiltration parameters", In : Proceedings of ASAE Conference on Advances in Infiltration, Chicago, IL ASAE, St. Joseph, MI, pp. 102-112, 1983.
5. Rojas, R., Julien, P., & Johnson, B., *CASC2D-SED version 1.0 Reference Manual*, Colorado State University, July 2003.
6. Woolhiser, D. A., "Simulation of unsteady overland flow, in Unsteady Flow in open channels", vol. II, edited by K. Mahmood and V. Yevjevich, pp. 485-508, *Water Resource Publications*, Fort Collins, Colo., 1975.
7. 王如意、易任，應用水文學(新編上冊)，國立編譯館，臺北，1988年。
8. 石棟鑫，「台灣地區颱風雨降雨型態之分析研究」，國立中央大學土木工程研究所碩士論文，2001年。
9. 余濬，「降雨設計雨型之研究」，國立台灣大學土木工程研究所碩士論文，1988年。
10. 宋睿唐，「分散式降雨逕流模式之建立及暴雨時期流量之模擬」，國立中央大學水文科學研究所碩士論文，2004年。

11. 李煜欽，「分散式逕流模式應用於石門水庫極端降雨事件之模擬」，國立中央大學水文科學研究所碩士論文，2008 年。
12. 黃奕璋，「極端降雨事件分散式集水區逕流模式之發展與驗證」，國立中央大學水文科學研究所碩士論文，2007 年。