計畫編號：SWCB-106-067

QPE於颱風事件的估計差異與空間之關聯性分析

An Analysis of the Correlation Between the Estimated Difference of QPE and Space in the Typhoon Events

執 行 單 位：逢甲大學

執 行 期 間：民國 106 年 02 月 20 日至民國 106 年 12 月 31 日

計畫主持人 ：黃碧慧 研究副教授

研究人員: 陳穗碧 研究助理教授

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國 106 年 12 月

（本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本局施政參考）

QPE 於颱風事件的估計差異與空間之關聯性分析

摘要

颱風天然災害，並無法改變其路徑或降雨等，進而避免其豪雨成災。因此，在土石流災害預警上，了解降雨量的時空分布，為防災的關鍵環節。

本研究選取 2012 年~2016 年有發出颱風警報的期間，分析 204 個參考雨量站，比對地面觀測雨量與定量降雨估計(QPE)估計雨量在不同雨量站與不同颱風事件的特性分布，並進一步探討 QPE 於時空上的差異，分析結果顯示地面觀測雨量與 QPE 估計雨量於時雨量、有效累積雨量皆呈現高度相關(r=0.95)，本研究採用最大有效累積雨量為變數，分析 204 個雨量站於 28 個颱風事件之最大有效累積雨量估計差異的分布，結果顯示低估的比例偏高(22%)以及地面觀測雨量與 QPE 估計雨量於最大有效累積雨量存在線性關係(斜率約為 0.8)，進一步，探究估計差異於空間上的分布，28 個颱風事件於各雨量站之最大有效累積雨量估計差異皆存在空間正自相關之相依性(p-value<0.01)，發現最大有效累積雨量估計差異的空間自相關與颱風路徑有關。

同時，透過變異數分析，發現颱風路徑與颱風強度的組合與 QPE 估計誤差有相關性以及找出 QPE 無法有效估計雨量的位置是分布於高山的邊緣，後續建議就這類型雨量站研發其他有效估計雨量的方法，以及在後續應用 QPE 上，應該避免選取高山的邊緣的網格資料點;同時，後續應研析時序型雨量預測，避免因地面雨量無法及時回傳的問題

關鍵字：颱風、定量降雨估計(QPE)、參考雨量站、空間自相關

An Analysis of the Correlation between the Estimated Differences of QPE and Space in the Typhoon Events

Abstract

Typhoons in Taiwan are natural disasters, but we can not change its path or rain when the face of typhoons. Therefore, it is important to understand the temporal and spatial distribution of rainfall for the disaster prevention.

For 28 typhoon events in 2012~2016, we analyze the distribution between the ground observation rainfall and QPE estimated rainfall in 204 reference rainfall stations.

The results show that the ground observation rainfall and the QPE estimated rainfall are highly correlated with the hour rainfall and effective accumulated rainfall ($r = 0.95$). Further, we analyze the difference between the ground observation rainfall and QPE estimated rainfall with the maximum effective accumulated rainfall. 22% of the data points are underestimated. Furthermore, there is a linear relationship between the observed rainfall and the QPE estimated rainfall in the maximum effective cumulative rainfall (slope is about 0.8). Finally, we find out there is the positive spatial autocorrelation between the differences of the maximum cumulative rainfall significantly and the spatial autocorrelation is related to the path of typhoons.

Through ANONA analysis, the combination of the intensity of typhoons and the path of typhoons has high correlation with QPE estimation error. Moreover, the ability of estimation of QPE is

weaker at the edge of the mountain. Therefore, the new method of the prediting the rain is the imporatant thing through the deep learning algorithm and the QPE grid data points at the edge of the mountain should be avoided to use.

Keywords: Typhoon, Quantitative Precipitation Estimation (QPE), Reference Rainfall Station, Spatial Autocorrelation

目次

摘要 I

Abstract II

目次 IV

表次 VI

圖次 VII

第一章　前言 1-1

第一節 計畫緣起 1-1

第二節 計畫大綱 1-3

第三節 計畫執行流程 1-6

第四節 計畫期程規劃 1-7

第二章　文獻回顧 2-1

第一節 QPE 的發展歷程 2-1

第二節 水土保持局內與 QPE 相關之計畫回顧 2-7

第三節 QPE 準確度議題 2-11

第三章　資料彙整與清理 3-1

第一節 資料彙整 3-1

第二節 資料清理 3-7

第四章　探索性分析 4-1

第一節 其他研究變數 4-1

第二節 時雨量與有效累積雨量 4-6

第三節 最大有效累積雨量 4-14

第五章　QPE 估計差異之誤差分析 5-1

第六章　QPE 估計差異之空間聚集分析 6-1

第七章　QPE 估計誤差與各因子之關聯性分析 7-1

第一節 高程與 QPE 估計誤差之關聯性分析 7-1
第二節 颱風強度及颱風路徑與 QPE 估計誤差之關聯性分析 .. 7-5
第三節 坡向與 QPE 估計誤差之關聯性分析 7-8
第八章 QPE 信心度變化分析 8-1
第一節 QPE 信心度等級 8-1
第二節 QPE 信心度變化分析 8-4
第三節 QPE 信心度與 QPE 低估雨量站比較分析..... 8-9
第九章 結論與建議..... 9-1
第一節 結論..... 9-1
第二節 建議..... 9-2
第三節 各工作項目之結論 9-5
參考文獻 附-1
附錄 附-1
附錄一 學術文章投稿證明 附-1
附錄二 期中審查會議紀錄及辦理情形 附-3
附錄三 期末審查會議紀錄及辦理情形 附-5

表次

表 1 計畫進度期程規劃 1-7
表 2 全台作業雷達現況..... 2-2
表 3 降雨型態通用之 Z-R 關係式表(劉鑛鎏，2009)[7]..... 2-4
表 4 水土保持局與 QPE 相關計畫列表 2-9
表 5 2012 年~2016 年颱風事件(本計畫整理) 3-4
表 6 地面觀測雨量異常值列表 3-13
表 7 QPE 低估比例偏高之雨量站列表..... 4-16
表 8 最大有效累積雨量誤差平均超過 50MM 之雨量站列表..... 7-4
表 9 尼伯特颱風時間雨量站故障清單[16]..... 8-9
表 10 QPE 信心度與 QPE 低估雨量站統計表..... 8-10

圖次

圖 1 計畫執行流程圖 1-6
圖 2 台灣氣象雷達發展紀錄(陳台琦,2014)[4]..... 2-2
圖 3 雷達回波圖(中央氣象局)..... 2-3
圖 4 受到地形影響之示意圖[8] 2-4
圖 5 雷達最低仰角造成 QPE 之誤差[8]..... 2-5
圖 6 非正常傳播回波[8]..... 2-5
圖 7 經雨量站修正後雷達降雨估計雨量(唐玉霜等，2016)[2] .. 2-6
圖 8 13 場颱風豪雨事件參考站及三四分位估計結果之差異 2-8
圖 9QPESUMS 估計雨量與地面觀測雨量之比較(陳憲宗等，2010)[12]
..... 2-12
圖 10.QPESUMS 估計雨量與地面觀測雨量之高程(陳憲宗等,2010)[12]
..... 2-12
圖 11 資料彙整與清理流程圖 2-1
圖 12 中央氣象局 QPE 網格點分布圖 2-3
圖 13 雷達估計雨量的選取方式-垂直對應網格(劉鎮鎏，2009[7])3-3
圖 14 347 個參考雨量站分布圖..... 3-4
圖 15 影響臺灣地區颱風路徑分類圖(1911－2015 年) 3-6
圖 16 各雨量站在 28 個颱風事件於時雨量的遺失比例..... 3-7
圖 17 各雨量站時雨量遺失比例直方圖..... 3-8
圖 18 各雨量站在 28 個颱風事件於時雨量的遺失比例..... 3-9
圖 19 204 雨量站於各颱風事件遺失值的比例長條圖 3-10
圖 20 204 個雨量站分布情形..... 3-10
圖 21 QPE 標記異常的參考雨量站分布..... 3-11
圖 22 鼻頭角雨量站於蘇迪勒颱風的實際雨量與估計雨量..... 3-12

圖 23 204 個雨量高程分布情形..... 4-2
圖 24 2012 年~2016 年颱風侵台月份分布情形 4-2
圖 25 2012~2016 年 侵台颱風強度於各颱風類型之分布情形.... 4-3
圖 26 9 類颱風路徑雨量分布情形(朱宏杰等，2011)[13] 4-4
圖 27 2012~2016 年 28 個颱風路徑於各颱風強度分布情形 4-5
圖 28 204 個雨量站地面觀測雨量之時雨量分布情形 4-6
圖 29 204 個雨量站 QPE 估計雨量之時雨量分布情形 4-7
圖 30 地面觀測雨量之時雨量與 QPE 估計雨量之時雨量於 28 個颱風事件之相關係數..... 4-8
圖 31 地面觀測雨量之時雨量與 QPE 估計雨量之時雨量於 28 個颱風事件之相關係數分布..... 4-8
圖 32 第 1-40 個雨量站在 28 個颱風事件於地面觀測雨量與 QPE 估計雨量之時雨量的相關係數..... 4-9
圖 33 第 41-80 個雨量站在 28 個颱風事件於地面觀測雨量與 QPE 估計雨量之時雨量的相關係數..... 4-9
圖 34 第 81-120 個雨量站在 28 個颱風事件於地面觀測雨量與 QPE 估計雨量之時雨量的相關係數..... 4-10
圖 35 第 121-160 個雨量站在 28 個颱風事件於地面觀測雨量與 QPE 估計雨量之時雨量的相關係數..... 4-10
圖 36 第 161-204 個雨量站在 28 個颱風事件於地面觀測雨量與 QPE 估計雨量之時雨量的相關係數..... 4-11
圖 37 204 個雨量站在 28 個颱風事件於地面觀測雨量與 QPE 估計雨量於時雨量之相關係數..... 4-11
圖 38 9 個雨量站相關係數小於 0.7 的地理位置分布圖 4-12
圖 39 地面觀測雨量與 QPE 估計雨量於時雨量散布情形 4-13

圖 40 八卦雨量站於蘇拉颱風之時雨量與有效累積雨量 4-14
圖 41 地面觀測雨量與 QPE 估計差異於最大有效累積雨量分布 . 4-16
圖 42 低估族群雨量站分布圖 4-18
圖 43 低估族群在高程上的分布 4-19
圖 44 低估族群在坡向上的分布 4-19
圖 45 低估族群在坡度上的分布 4-20
圖 46 各雨量站於各颱風事件之最大有效累積雨量之差異示意圖 5-1
圖 47 最大有效累積雨量差異分布 5-2
圖 48 28 個颱風事件最大有效累積雨量差異之平均 5-3
圖 49 204 個雨量站(1-40)最大有效累積雨量差異之平均 5-4
圖 50 204 個雨量站(41-80)最大有效累積雨量差異之平均 5-4
圖 51 204 個雨量站(81-120)最大有效累積雨量差異之平均 5-5
圖 52 204 個雨量站(121-160)最大有效累積雨量差異之平均 ... 5-5
圖 53 204 個雨量站(161-204)最大有效累積雨量差異之平均 ... 5-6
圖 54 28 個颱風事件之空間自相關(Moran´s)..... 6-2
圖 55 潭美與菲特颱風路徑 6-2
圖 56 蘇迪勒(左)與梅姬颱風(右)地面觀測雨量於最大有效累積雨量之分布 6-4
圖 57 蘇迪勒(左)與梅姬颱風(右)地面觀測雨量於最大有效累積雨量估計差異之分布..... 6-4
圖 58 蘇迪勒與梅姬颱風地面觀測雨量之有效累積雨量估計差異之區域 6-6
圖 59 204 個雨量站高程分布情形..... 7-2
圖 60 不同高程組別最大有效累積雨量估計差異..... 7-3
圖 61 地面雨量站高程與 QPE 及地面觀測於最大有效累積雨量趨勢圖

..... 7-3
圖 62 地面雨量站高程於最大有效累積雨量誤差趨勢圖 7-4
圖 63 各颱風強度及颱風路徑的組合次數統計..... 7-6
圖 64 各颱風強度及颱風路徑的組合最大累積估計誤差平均.... 7-7
圖 65 各颱風強度及颱風路徑的組合於地面雨量站與 QPE 雨量之最大有效累積雨量平均..... 7-7
圖 66 內政部 20 公尺網格數值地形圖 7-8
圖 67 坡向網格示意圖 7-8
圖 68 各坡向組別數量統計圖 7-9
圖 69 204 個雨量站之坡向圖..... 7-9
圖 70 各坡向雨量站之最大有效累積雨量誤差平均值..... 7-10
圖 71 整合 6 部雷達的最低雷達可用仰角高度色階表(KM)[15]... 8-2
圖 72 雷達仰角高度與 QPE 和地面雨量站相關係數趨勢圖[15].. 8-2
圖 73 信心度分類設定(最低可用仰角高度單位為公里(KM))[15] 8-3
圖 74 雷達定量降雨信心度分級[15] 8-4
圖 75 2016 年 7 月信心度平均分布圖..... 8-5
圖 76 2016 年 7 月信心度標準差分布圖..... 8-5
圖 77 2016 年 11 月信心度平均分布圖..... 8-6
圖 78 2016 年 11 月信心度標準差分布圖..... 8-6
圖 79 颱風吹壞雨量站導致信心度指標的變動..... 8-8
圖 80 雨量站資料沒有接收到資料導致信心度指標變動..... 8-8
圖 81 信心度指標 2017 最低可用仰角離地高度..... 8-9
圖 82 QPE 的估計能力結論..... 9-1
圖 83 QPE 估計差異特性結論..... 9-2
圖 84 QPE 應用建議 9-3

圖 85 QPE 應用網格選取方式建議..... 9-4
圖 86 研析地面雨量預測 9-4

第一章 前言

第一節 計畫緣起

行政院農業委員會水土保持局(以下簡稱水土保持局)為中央災害應變中心之防救災幕僚機關，防汛時間負責蒐集氣象資訊，執行土石流災害防救應變並適時發布土石流災害警戒區。然而，近年全球氣候變遷劇烈與時空上的分布不均，台灣地區降雨型態呈現「短延時、強降雨」的極端現象頻率增加，仍以颱風及豪雨等劇烈天氣最具威脅，引發水災、土石流等嚴重災害。

在土石流災害預警上，雨量參數為土石流發生的驅動因子，因此，了解降雨量的時空分布，為防災、救災及減災體系的關鍵環節。目前，水土保持局土石流災害警戒發布的依據，以土石流警戒基準值架構為基礎，輔以實體雨量站的雨量資訊以及中央氣象局劇烈天氣監測系統(QPESUMS)等資訊發布土石流黃紅警戒，其中，以雷達回波配合雨量站校驗之定量降雨估計(Quantitative Precipitation Estimation，以下簡稱 QPE)資料，為決策發布土石流警戒的主要依據之一。

QPE 是以雷達回波透過雨量擬合 Z-R 關係式來估計雨量，研究顯示，QPE 資料之準確度會因雷達觀測受到地形遮蔽、雷達掃描策略與距離雨量站之遠近等因素而準確度受到影響，目前，僅止於以少數的雨量站為分析對象，或僅以固定區間(單日、單個颱風事件)為對象進行分析。

本計畫的目的在於以時間與空間兩個觀點切入分析，視覺化掌握 QPE 在時空上的估計差異，後續可以輔助於不同颱風事件、

不同地區土石流的發布的決策，以便於防災單位於防汛時間能更有效整合氣象資訊，達到減災防災的目的。

第二節 計畫大綱

每年的5月至9月為台灣主要的汛期，強烈降雨皆引發不小的災害，如土石流與淹水等。造成人民生命財產的重大損失，因此，如有高時空解析度精確的區域雨量資料輔助決策，將有助於達到事先預警、減低災害的效果。因此， QPE 的準確性就顯得相當重要。

國內學者丘台光等(2003) [1]利用 2003 年梅雨個案與 2004 年冬季鋒面個案之分析結果發現，以雷達回波透過雨量擬合 Z-R 關係式估計定量降水估計發現，QPE 的估計差異會因個案降雨季節、區域、降雨型態不同有關。目前，QPE 系統內建的 Z-R 關係式設定值為:$Z = 32.5R^{1.65}$。至今，有許多學者研究 QPE 準確度的相關議題，研究皆顯示 QPE 資料之準確性會因為雷達觀測時受到地形遮蔽、雷達掃描策略與距離雨量站之遠近等因素而準確度受到影響(唐玉霜;2016 ,張智昌;2006)[2,3]，但皆僅止於以少許雨量測站為分析對象，或僅以固定時間區間(單一小時、單日、單個颱風事件)為對象進行分析，無法全面性了解 QPE 的估計特性在不同的颱風路徑、不同高程、不同雨量站上的估計能力差異，如能經由過往資料的分析，了解 QPE 在時空上的分布差異與找出影響 QPE 估計能力的特徵因子，期輔助於不同事件、不同地區土石流發布的決策，達到防災減災之目的。

因此，本計畫結合空間與統計分析、空間探索性分析(Exploratory Spatial Data Analysis;ESDA))等相關技術，分析水土保持局內部資料，計算全台用於發布土石流警報的參考雨量站的實際雨量與 QPE 的估計雨量，並結合外部異質颱風資料

庫，同時考慮颱風時期、颱風路徑，颱風強度與高程等變數，探究上述因子與 QPE 估計差異的關聯性，並以空間分布視覺化的呈現，從「時間」與「空間」兩觀點同時切入，掌握過去 QPE 的估計差異在時空上的變化，同時為未來進入應用相關預測式分析的基礎。

本計畫工作項目包含：

一、國內外文獻回顧

透過研讀與彙整 QPE 相關的國內外文獻，了解 QPE 的發展演進歷程與限制，建立後續分析架構的基礎。

二、資料彙整與清理

以 2012~2016 颱風警報的時期，彙整與雨量的相關資料，包含雨量站雨量資料(水土保持局)、QPE 估計資料(中央氣象局)、颱風資料(中央氣象局)，建置資料分析大表，並進行遺失值的資料清理。

三、QPE估計誤差之誤差分析

分析各雨量站於近五年的颱風事件中誤差的分布情形，輔助 QPE 此單一估計數值在決策土石流警戒上之不足。

四、QPE估計誤差之空間聚集分析

分析各颱風事件，雨量站估計差異是否有全域(global)或地區性(local)等空間聚集的現象，以空間視覺化呈現空間聚集分布。

五、QPE估計誤差之關聯性分析

比對 5 年內的雨量估計差異資料，與不同高程位置、不同的颱風強度與不同的颱風路徑的關聯性，探討高程、颱風強度與颱風路徑是否為影響 QPE 估計能力的因子。

第三節 計畫執行流程

本計畫期程自契約生效日起106年12月31日內完成所有工作項目，依據工作內容及各工作項目間先後順序分階段執行，本計畫執行流程如圖 1所示。

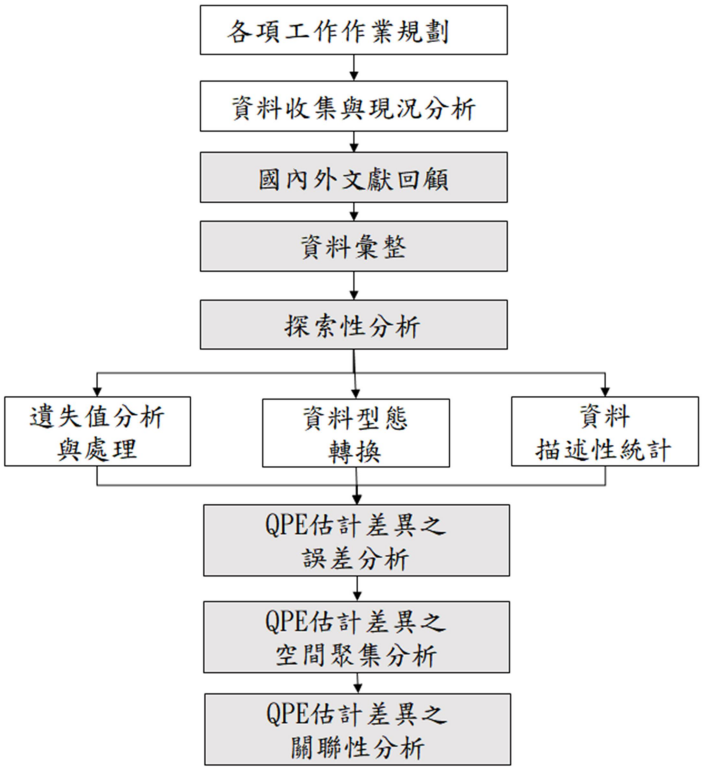


圖 1計畫執行流程圖

第四節 計畫期程規劃

本計畫總執行期間為契約生效日(106 年 2 月 20 日)起至 106 年 12 月 31 日前，據此訂定專案進度查核點，在查核日期檢視專案進度及執行情況，如有發現進度落後，立即檢討及改進，期使本計畫能如期完成。各工作項目進度期程規劃如表 1 所示。

表 1 計畫進度期程規劃

重要工作項目\月份	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
國內外文獻回顧	*	*	*	*							
建置雨量與颱風分析資料表			*	*							
資料彙整與清理				*	*						
探索性資料分析					*	*					
QPE 估計差異之誤差分析						*	*				
QPE 估計差異之空間聚集分析							*	*			
QPE 估計差異之關聯性分析								*	*		
繳交期中報告書						*					
參與期中審查會議							*				
繳交期末報告書										*	
參與期末聯合審查會議										*	
繳交成果報告書及會計報告										*	*

第二章 文獻回顧

降雨估計一直都是氣象領域中待解決的問題，因為氣象是一個循環的系統，估計出正確的雨量需要多個領域的結合與協助。因此，本節研讀並彙整 QPE 降雨估計的發展歷程以及相關 QPE 準確度議題，了解 QPE 的限制與現況，建立後續分析架構的基礎，詳細說明如下:

第一節 QPE 的發展歷程

由於雨量器等實地觀測儀器的設置，會受到當地的電力、通訊、成本與離道路遠近等因素限制，因此山區無法廣設雨量站，因此由 2002 年起，由中央氣象局、美國劇烈風暴實驗室、經濟部水利署及水土保持局共同開發建置劇烈天氣系統(QPESUMS,Quantitative Precipitation Estimation and Segregation Using Multiple Sensor)，此系統整合多項觀測資料，提供多項天氣報告產品，如:定量降雨估計(Quantitative Precipitation Estimation, QPE)、定量降水預報(Quantitative Precipitation Forecast, QPF)等多項劇烈天氣即時系統。其中，QPE 為雷達回波降雨估計，可以提供沒有雨量站地區之累積雨量的參考，應用於土石流警戒的發布。

由於遙測技術的進步，氣象雷達遙測儀器日新月異(如圖 2)，台灣觀測雷達已經由都卜勒雷達漸漸汰換成雙偏極化雷達。

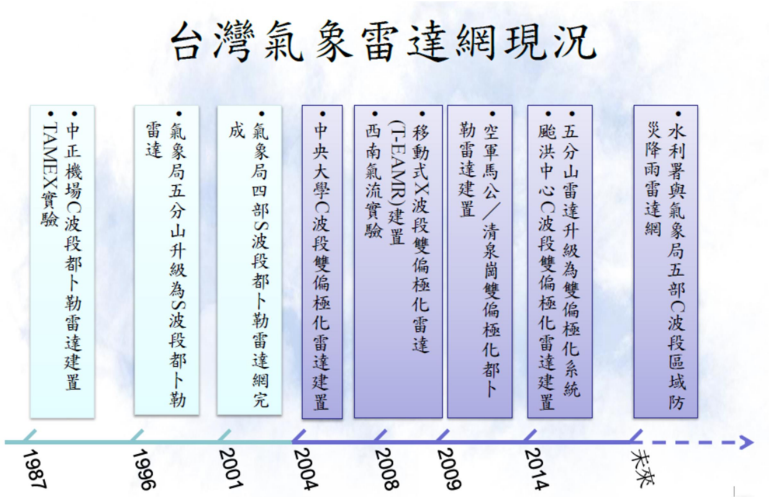


圖 2 台灣氣象雷達發展紀錄(陳台琦,2014)[4]

目前，全台作業雷達網共包含 8 座雷達站(如表 2)，利用連續的雷達觀測，根據接收到的雨滴所反射回來的訊號強度，再利用不同的顏色顯示，即可製成雷達回波圖(如圖 3)。一般而言，距離雷達較近的範圍內(約 100~200 公里)所觀測到的回波強度，15-20dBZ 代表中等雨勢，45dBZ 以上則代表較強的雨勢。

表 2 全台作業雷達現況

雷達名稱	所屬單位	雷達種類
五分山	氣象局	雙偏極化
七股	氣象局	都卜勒
墾丁	氣象局	都卜勒
花蓮	氣象局	都卜勒
五分山維修平台	氣象局	雙偏極化
綠島	空軍	雙偏極化
清泉崗	空軍	雙偏極化
馬公	空軍	雙偏極化

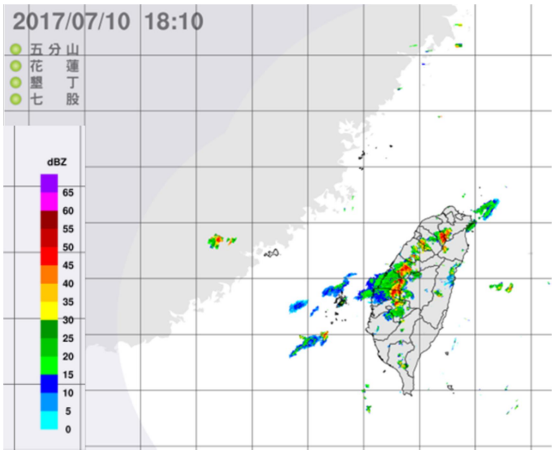


圖 3 雷達回波圖(中央氣象局)

整合多座雷達最低可用仰角回波，經由回波-降雨率（Z-R）關係式($Z = 32.5 \times R^{1.65}$, Xin et al.(1997)[5])，可以估計出地面可能產生的降雨量，稱之為雷達定量降雨估計(QPE，Quantitative Precipitation Estimation, Zhang et al.(2008)[6])，提供每 10 分鐘各網格不同延時的累積雨量(例如:1、3、6、12、24 小時累積雨量)，QPE 的水平網格解析度為 1.3×1.3 平方公里，有助於得到降雨區的分布的輪廓。

然而，QPE 為雷達遙測技術的產品，會受到下列原因而影響到估計的準確度：

(1)Z-R 關係式計算誤差

Z-R 關係式僅為一經驗公式，由於不同地點和不同類型降水的 Z-R 關係式都有所差異，以及回波和降雨間並非是一對一的關係，在相同降雨率情況下，其雨滴譜的組成，會影響觀測的回波值大小；而相同的回波值，也可能代表著不同的降雨率，所以採用單一 Z-R 關係式來估計 QPE，其誤差程度可能因此變大，造成雨量估計表現不佳。 表 3 為各種降雨型態所對應使用之 Z-R 關係式。

表 3 降雨型態通用之 Z-R 關係式表(劉鑛銿，2009)[7]

降雨型態	通用之 Z-R 關係式
毛雨	$Z = 140R^{1.5}$
雷陣雨	$Z = 500R^{1.5}$
Marshell & Palmer	$Z = 200R^{1.6}$
NEXRAD 雷達	$Z = 300R^{1.4}$
QPESUMS 系統	$Z = 32.5R^{1.65}$

(2) 山脈遮蔽

台灣地形複雜，雷達波束在山區會產生地形雜訊，於山後會受到地形遮蔽影響，會使資料缺失或回波值變弱(中央氣象局氣象衛星中心，2015)[8]，下圖 4 為受到地形遮蔽之示意圖。

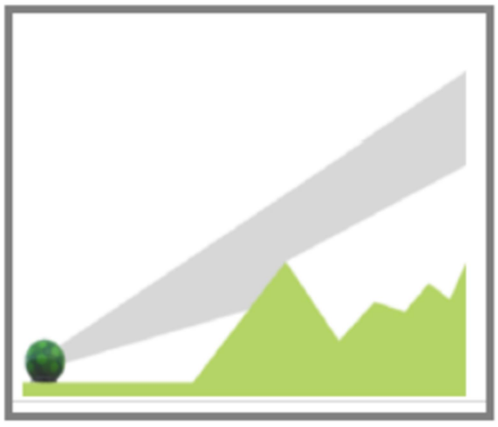
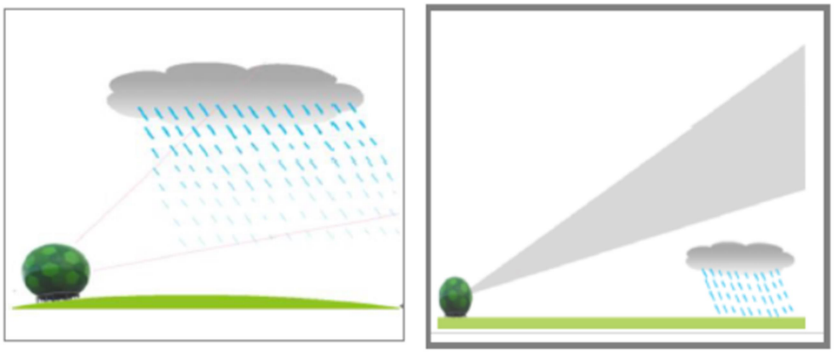


圖 4 受到地形影響之示意圖[8]

(3) 雷達最低仰角

雷達最低仰角產生的 QPE 估計誤差有兩種情形，一種為當雲雨系統的底部離地面過高時，雷達必須以相對應高度的仰角來偵測，雨滴在降落到地面的過程中已蒸發殆盡，致地面觀測無降雨(如圖 5 左)。雷達掃描之最低仰角為 0.5 度，離雷達越遠，雷達回波離地面越高，當降雨系統垂直方向的發展頂部低於雷達回波的高度時，就無回波出現，此為第二種情形(如圖 5 右)。



（左:回波離地面過高　　右:雷達掃描高於降雨系統頂部）

圖 5 雷達最低仰角造成 QPE 之誤差[8]

(4) 資料品管

雷達接收到的回波，包含正常傳播回波與非正常回波。正常回波為因降雨系統所傳回來的波，非正常傳播回波包含了因雷達電磁波可能直接觸及地形起伏區域，產生反射性回波(即所謂的地形雜波)以及當大氣有逆溫層(氣溫隨高度增加的區域)，電磁波路徑會產生超折射(super refraction)現象，產生大幅偏離，觸及地面或海面而回傳至雷達(如圖 6)。

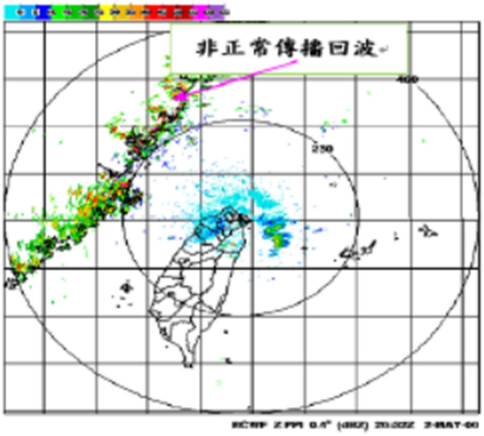


圖 6 非正常傳播回波[8]

由於上述的原因皆可能造成 QPE 之誤差，因此，為得到更接近地面觀測資料的降雨，使用雨量站即時觀測資料進行降雨量修正。利用雨量站與其上雷達估計降雨格點上差值，經過客觀分

析，將格點上的差值加上原本的雷達降雨估計量，得到經雨量站修正後雷達降雨估計產品。除了可以得到在無雨量站處的降雨值外，更可以得到相較於單用雨量站資料客觀分析結果更細緻的累積降雨分布圖(如圖 7)。因此，目前國內之 QPE 的估計方法，主要採用單一因子 Z-R 關係式($Z = 32.5R^{1.65}$)以及結合地面雨量站與雷達估計雨量(rader-rain gauge method)的方法。

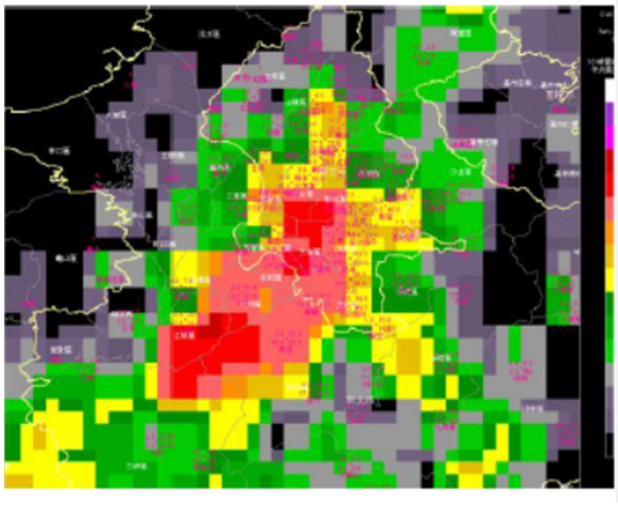


圖 7 經雨量站修正後雷達降雨估計雨量(唐玉霜等，2016)[2]

第二節 水土保持局內與QPE相關之計畫回顧

由水土保持局之電子圖書管理中心(http://elibrary.swcb.gov.tw/)，以 QPE 關鍵字進行全文檢索，檢索年度從民國 99 年至民國 105 年度，共找到 41 件計畫與 QPE 相關的論文，文件列表彙整於表 4，由於部分計畫只是提及 QPE 名詞於全文中，因此，本節只摘要與歸納 41 件中與 QPE 相關的具體計畫成果,其主要包含 QPE 相關應用與 QPE 相關分析兩種。

一、QPE相關應用:

首先，QPE 相關應用規要有兩種：

1. 虛擬雨量站的累積降雨量

山區雨量站容易因風勢或雨勢的影響，雨量站的異常頻率較高，導致實體雨量站資料無法回傳至中央氣象局，造成在土石流警戒分析研判上的誤差，由 QPESUMS 中的雷達降雨推估產品資料擷取雨量站資料，並依雨場分割累積雨量(ETR1)與前期降雨累積雨量(ETR2)，計算出虛擬雨量站的累積降雨量。

2. 降雨致災風險熱區地圖

取出 QPE 網格雨量資料，以全台每個網格歷年最大有效累積雨量值(EAR)作為分母，搭配網格目前即時有效累積雨量為分子，計算出每個網格的降雨風險值。依據水土保持局提供降雨風險分級公式，共分為風險非常高、高、中高、中、低等 5 類。

二、QPE相關分析

民國 105 年度之土石流警戒基準值檢討與更新期末報告中有 QPE 相關分析成果，以雷達雨量估計資料(QPE)評估土石流警戒發布成效分析，分析 99 年度至 104 年度期間，由蘇迪勒、杜鵑、

麥德姆與鳳凰等 13 場颱風豪雨事件，主要分析各土石流警戒分區內 QPE 所有網格降雨估計之平均值、區域最大值與第三四分位數 3 種區域代表降雨計算方法，與全台參考雨量站觀測結果之差異程度，採用平均絕對誤差(MAPE)為選取區域代表降雨計算方法的評估指標，計算公式如下：

$$MAPE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{x(i)-x'(i)}{x(i)}\right| \times 100\%$$

式中 $x(i)$ 為參考站觀測值；$x'(i)$ 為雷達降水估計值；n 為樣本數，即每場颱風豪雨事件被納入計算的警戒區數量，分析結果如圖 8。

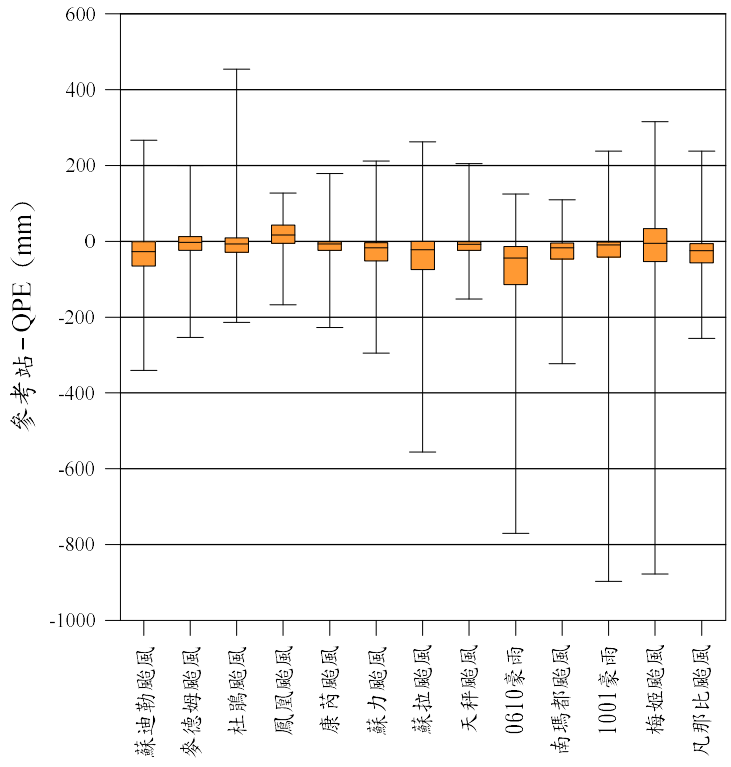


圖 8 13 場颱風豪雨事件參考站及三四分位估計結果之差異

由圖 8 觀察到 1001 豪雨以及梅姬颱風 QPE 與參考雨量站的差距很大，有些警戒分區的第三四分位 QPE 雨量代表值有 200~300mm 的低估，有些警戒分區的第三四分位 QPE 雨量代表值有 800mm 的高估。同時，在此計畫的分析過程中發現使用 QPE 需注意雷達掃描盲區之問題，如：宜蘭、花蓮及臺東地區，受制於地形因素，部分山區雷達估計降水可能產生低估之情形。

因此，有必要對於 QPE 的估計誤差往不同特性進行分析與找出 QPE 無法有效估計雨量的地區位置，此也為本計畫之目的。

表 4 水土保持局與 QPE 相關計畫列表

年度	計畫名稱
105	1. 土石流防災應變系統維護與擴充計畫 2. 氣象守視預警計畫 3. Google Earth Enterprise 成果展示平台系統維護暨功能擴充 4. 土壤雨量指數防災整備模式建立動態土石流警戒預報系統 5. 土石流防災專員培訓計畫 6. 土石流警戒基準值檢討與更新期末報告 7. 多尺度遙測空間資訊資料建置即擴充維運 8. 防災氣象資訊分析研判 9. 臺中分局土石流災害緊急應變效能提升計畫 10. 現地資料蒐集暨觀測站維運管理及設備更新計畫 11. 以預報可靠度為考量之豪雨期間坡地淺崩塌即時預警報架構研擬與作業化平台開發
104	1. 防災氣象資訊分析研判及山區降雨監測系統建置評估 2. 土石流警戒基準值檢討與更新 3. 新建資訊機房暨合署辦公資訊網路架構規劃設計 4. 強化土石流防災應變及備援機制 5. 新建資訊機房暨合署辦公資訊網路架構規劃設計(農村)

年度	計畫名稱
	6. 度南投分局土石流災害緊急應變效能提升計畫 7. 坡地易損性曲線 8. 土石流防災應變系統維護與擴充計畫 9. 水土保持工程參考大數據資料集分析暨智慧應用光期計畫 10. 神木國際土砂災害觀測研究中心暨坡地水文試驗研究場域規劃
103	1. 易損性曲線於坡地崩塌警戒模式應用與坡地巨災保險研析
102	1. 土石流防災應變系統維護與擴充及備援系統建置 2. 多尺度遙測空間資訊資料建置及擴充維護計畫 3. 防災氣象資訊分析研判及雷達降雨監測評估 4. 臺中分局土石流緊急應變及設備提升
101	1. 土石流防災應變系統整合與維運 2. 強化土石流防災與應變升級計畫 3. 整體性治山防災（第一期）計畫執行成效評估 4. 整體性治山防災（第一期）計畫執行成效評估
100	5. 土石流警戒基準值 6. 台南分局清疏作業專案管理計畫 7. 衛星影像應用於土石流發生特性分析 8. 重大土砂災害及堰塞湖緊急調查評估計畫
99	1. 莫拉克重建區雷達降雨監測系統建置評估計畫 2. 土石流潛勢地區易致災因子調查與危害頻率分析 3. 土石流警戒基準值檢討與更新 4. 整合性颱風豪雨防災即時資訊分析研判 5. 全流域防災應變資訊平台暨推廣計畫 6. 坡地崩塌及土石流動態預測模式雛形開發

第三節 QPE 準確度議題

雷達應用在天氣觀測上技術越來越進步，除了硬體雷達技術的提升，另一方面，降雨率推估雷達回波的技術也不斷精進，許多學者投入研究，從最早之單一 Z-R 關係式，近年研究使用各種迴歸關係式、空間內插法以及類神經網路方法等，皆為了改善及提升雷達觀測空間降雨之精確度。

然而，雷達估計雨量與實際地面觀測雨量之間仍有誤差存在，Austin (1987)[9]及 Jordan et al. (2003)[10]將雷達雨量的誤差分為三類:物理性誤差(physical basies)，測量性誤差(measurement biases)以及隨機性誤差(random sampling errors)，物理性的誤差包含地形雜訊、雷達波束遮蔽率以及波束異常傳遞等現象，測量性誤差包含因電磁波衰減而影響回波估計或是使用不適當的 Z-R 關係式於不同地區或不同的天氣型態，而隨機誤差存在於任何時間及空間分布。

因此，許多學者投入改善 QPE 準確度的議題與分析。國內學者丘台光等人(2003) [1]利用 2003 年梅雨個案與 2004 年冬季鋒面個案之分析結果發現，以雷達迴波透過雨量擬合 Z-R 關係式估計定量降水估計發現，QPE 的估計差異會因個案降雨季節、區域、降雨型態不同有關。根據李清勝等(2005)[11]，選取 2004 年敏督利颱風與艾利颱風的雨量初步分析結果，雷達估計降雨時雨量與地面雨量站時雨量的線性相關良好，敏督利颱風 7 天的時雨量相關係數為 0.83，艾利颱風 4 天的時雨量相關係數為 0.85，顯示颱風降雨估計具有相當的穩定性。陳憲宗等(2010)[12]研究台灣西南部，北起嘉義之埔子溪流域，南至屏東南湖溪流域裡的 126

地面雨量站，選取 2005 年以後的 7 場颱風事件，分析地面雨量站與 QPE 的估計差異，發現部分 QPE 有低估的現象，且 QPE 估計差異在小雨時與地面觀測雨量較為接近，而在大雨則有明顯低估(如圖 9)。

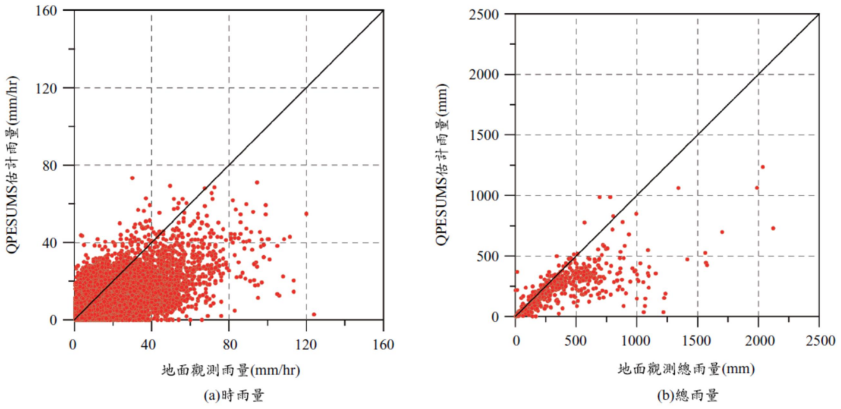


圖 9QPESUMS 估計雨量與地面觀測雨量之比較(陳憲宗等，2010)[12]

同時觀察到隨著地面雨量站之高程越高，颱風降雨的總雨量越大，主要發生高程較高的地區，並顯示高程約 200 公尺以上有明顯的低估情形(如圖 10)。

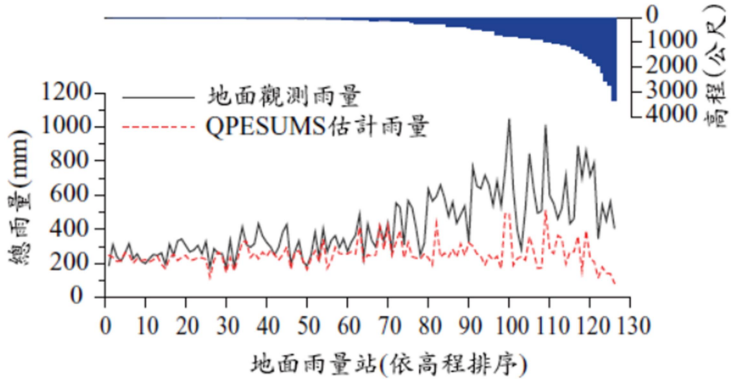


圖 10.QPESUMS 估計雨量與地面觀測雨量之高程(陳憲宗等，2010)[12]

至今，有許多學者研究 QPE 準確度的相關議題，研究皆顯示 QPE 資料之準確性會因為雷達觀測時受到地形遮蔽、雷達掃描策略與距離雨量站之遠近等因素而準確度受到影響(唐玉霜,2016;

張智昌,2006)[2,3]，但皆僅止於以少許雨量測站，分析對象，或僅以固定時間區間(單一小時、單日、單個颱風事件)為對象進行分析，無法全面性了解 QPE 的估計差異特性特性在不同的颱風路徑、不同高程、不同雨量站上的估計能力差異。

因颱風造成土石流的災害較為嚴重，有鑑於此，為了更全面性的了解 QPE 降雨估計與實際地面觀測雨量，因此，本研究分析最近五年(2012 年~2016 年)有發出颱風警報的颱風事件，颱風事件分析的起訖時間規劃，以颱風警報發布為分析的開始時間點，颱風警報解除的時間為分析的結束時間點，分析 300 多個用於發布土石流警報的參考雨量站的實際雨量，比對雨量的實際觀測資料與 QPE 的估計數值在不同雨量站與不同颱風事件的估計差異量，探討在不同的颱風路徑、不同高程、不同雨量站上的估計能力差異，同時分析差異在時間與空間上的分布，以及進行估計差異的空間聚集性分析與討論。

第三章　資料彙整與清理

研究區域以 347 個用於發布土石流警報的參考雨量站，整合 QPE 資料以及參考雨量站之地面雨量觀測資料，選用 2012~2016 年共 28 場颱風事件，採用 R 語言進行資料彙整、資料清理與資料分析，確認資料的一致性與正確性。圖 11 為資料彙整與清理之流程圖，本章節說明資料彙整與資料清理的流程，詳細說明如下:

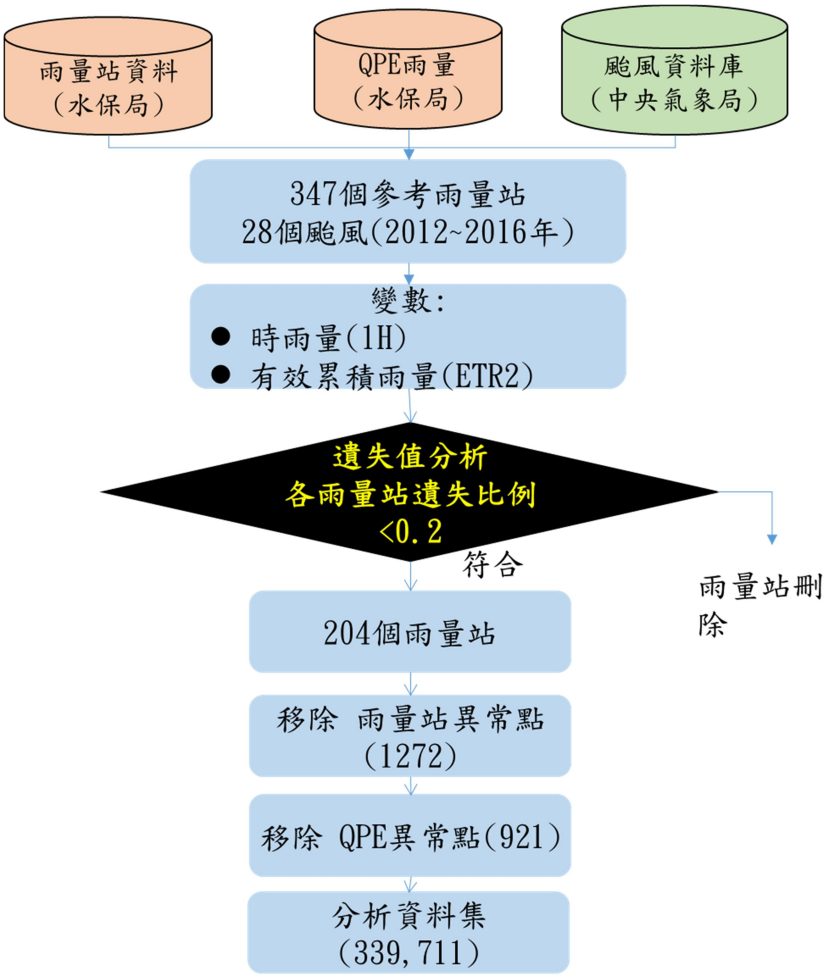
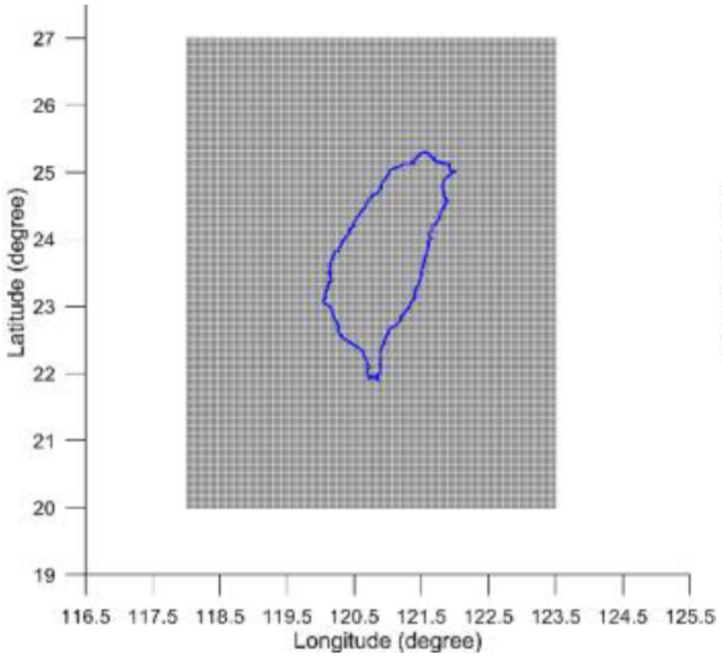


圖 11 資料彙整與清理流程圖

第一節　資料彙整

本研究總共彙整了 347 個用於發布土石流警報的參考雨量站，整合 QPE 資料以及參考雨量站之地面雨量觀測資料，同時記錄每小時的時雨量以及計算對應的有效累積雨量，有效累積雨量(EAR)為本次降雨量加 1 小時前的有效累積雨量，其公式為 $R_t = I_t + R_{t-1} \times (0.7)^{\frac{1}{24}}$，除了水土保持局的內部資料，同時彙整中央氣象局的颱風資料庫[1]，選取 2012~2016 中有發布颱風警報的 28 個颱風事件，與相關的颱風因子，如:侵台路徑、警報型態、颱風警報開始時間、颱風警報結束時間、颱風強度、進台近中心最大風速、進台 7 級暴風半徑與警報發布數等 8 個變數。本分析採用 QPESUM 之 QPE(Quantitative Precipitation Estimation;QPE) 定量降雨估計資料，其資料網格之空間解析度為 0.0125 度 x 0.0125 度(1.3 km x 1.3 km)(如圖 12)。



[1]颱風資料庫，網址:http://rdc28.cwb.gov.tw/

圖 12 中央氣象局 QPE 網格點分布圖[2]

選取 QPE 估計雨量資料的方式，本研究選用對應參考雨量站上方的垂直對應網格的方式，來選取雷達觀測資料，圖 13 所示紅色為地面雨量站之位置，比對垂直對應往上的 QPE 深藍色的網格，所以單一雨量站所比對 QPE 網格的面積大小為 1.3 km x 1.3 km，347 個參考雨量站分布如圖 14 所示。

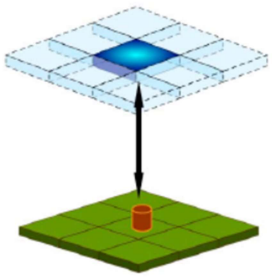


圖 13 雷達估計雨量的選取方式-垂直對應網格(劉鎮銮，2009[7])

[2] 陳怡彣、顧欣怡、黃于盈、李天浩、鄭安孺、于芃,”應用普通克利金內插雨量差值法修正雷達降雨估計推估地面雨量分析廠之研究”,105 天氣分析與預報研討會

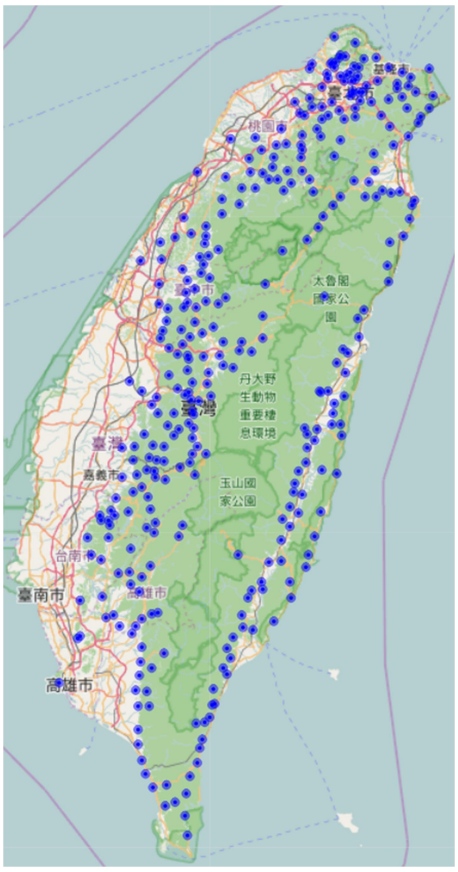


圖 14 347 個參考雨量站分布圖

表 5 彙整近五年(2012 年~2016 年)的颱風事件，包含 2012 年 8 個颱風、2013 年 6 個颱風、2014 年 3 個颱風、2015 年 6 個颱風與 2016 年 5 個颱風，共 28 個颱風事件。

表 5 2012 年~2016 年颱風事件(本計畫整理)

颱風 事件	年份	颱風警報 開始時間	颱風警報 結束時間	颱風 路徑
泰利颱風	2012	2012/6/19 05:30	2012/6/21 19:56	9
杜蘇芮颱風	2012	2012/6/28 05:30	2012/6/29 10:07	0
蘇拉颱風	2012	2012/7/30 20:30	2012/8/3 17:32	2
海葵颱風	2012	2012/8/6 11:30	2012/8/7 17:30	0
啟德颱風	2012	2012/8/14 14:30	2012/8/15 18:10	0
天秤颱風 1	2012	2012/8/21 14:30	2012/8/25 14:30	特殊

颱風事件	年份	颱風警報開始時間	颱風警報結束時間	颱風路徑
天秤颱風 2	2012	2012/8/26 11:30	2012/8/28 23:30	特殊
杰拉華颱風	2012	2012/9/27 02:00	2012/9/28 20:37	0
蘇力颱風	2013	2013/7/11 08:30	2013/7/13 23:30	2
西馬隆颱風	2013	2013/7/17 10:30	2013/7/18 11:30	0
潭美颱風	2013	2013/8/20 11:30	2013/8/22 22:52	1
康芮颱風	2013	2013/8/27 11:30	2013/8/29 20:30	6
天兔颱風	2013	2013/9/19 23:30	2013/9/22 18:29	5
菲特颱風	2013	2013/10/4 23:30	2013/10/7 09:03	1
哈吉貝颱風	2014	2014/6/14 23:30	2014/6/15 17:30	0
麥德姆颱風	2014	2014/7/21 17:30	2014/7/24 08:12	3
鳳凰颱風	2014	2014/9/19 08:30	2014/9/22 09:39	特殊
紅霞颱風	2015	2015/5/10 08:30	2015/5/11 20:38	0
昌鴻颱風	2015	2015/7/9 05:30	2015/7/11 11:30	0
蓮花颱風	2015	2015/7/6 08:30	2015/7/11 11:36	0
蘇迪勒颱風	2015	2015/8/6 11:30	2015/8/11 19:03	3
天鵝颱風	2015	2015/8/20 17:30	2015/8/23 20:33	0
杜鵑颱風	2015	2015/9/27 08:30	2015/9/29 17:30	2
尼伯特	2016	2016/7/6 14:30	2016/7/9 14:30	4
莫蘭蒂	2016	2016/9/12 23:30	2016/9/15 11:30	7
馬勒卡	2016	2016/9/15 23:30	2016/9/18 08:30	0
梅姬	2016	2016/9/25 23:30	2016/9/28 17:30	3
艾利	2016	2016/10/5 11:30	2016/10/6 14:30	0

因颱風路徑，會影響降雨量的多寡，因此，本計畫依據中央氣象局對於颱風路徑的定義(如圖 15)，把颱風分為 9 大類以及

特殊路徑，總共 10 類，而特殊路徑的定義[3]為無法歸於上述 9 大路徑的皆屬於特殊路徑。但從彙整資料的過程中，發現有些海警無法以中央氣象局的分類法分類，因此，本研究把無法歸類的颱風事件彙整為同一類，並標註為第 0 類，

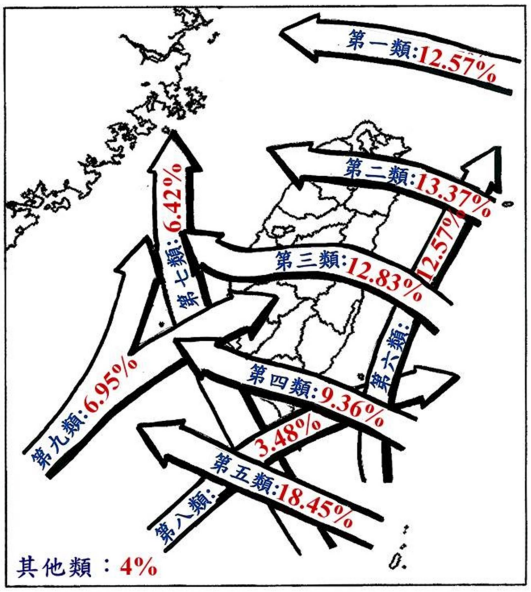


圖 15 影響臺灣地區颱風路徑分類圖(1911－2015 年)[4]

[3] 颱風路徑的定義來源:中央氣象局
(http://www.cwb.gov.tw/V7/knowledge/encyclopedia/ty041.htm)

[4] 資料來源: http://www.cwb.gov.tw/V7/knowledge/encyclopedia/ty041.htm

第二節 資料清理

資料清理，為挖掘出有用資訊的重要步驟，主要在清除資料內不合理的狀況，提高資料的品質。

本研究檢視彙整的資料集，發現有很多遺失值與不合理的異常值的存在，因此，在進入資料分析前，必須針對遺失值與異常值進行處理，確保資料的正確性，降低分析的錯誤率，本章節說明遺失值分析與異常值的處理，詳細說明如下。

一、遺失值分析

本研究分別對地面觀測雨量以及 QPE 估計雨量進行遺失值的檢查，圖 16 分析發現 QPE 估計雨量資料沒有遺失的情形，但是地面觀測雨量有遺失值的情形發生，有些雨量站遺失值高達 0.75。

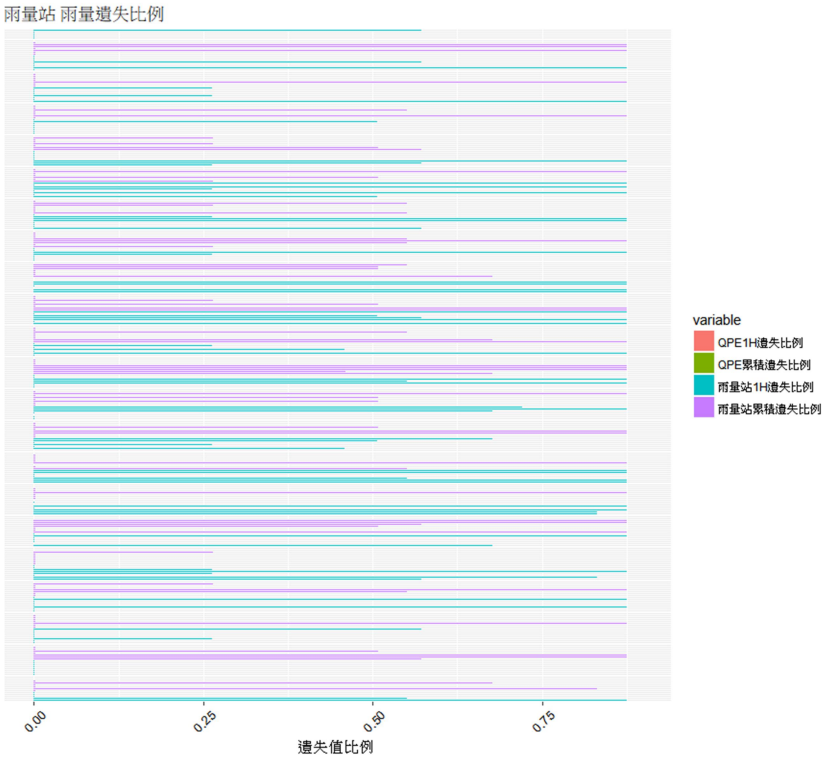


圖 16 各雨量站在 28 個颱風事件於時雨量的遺失比例

因此，深入探究遺失值發生的型態與原因，分析各雨量站在28 個颱風事件中的遺失比例，發現有少部分的遺失比例偏高(如圖 17)，更進一步了解遺失的原因，以颱風事件發生的先後順序，探討雨量站資料遺失的特性，顏色越深的代表遺失的比例越高(如圖 18)，觀察到大部分的遺失值發生的情形與雨量站建置的時間有關，例如近年才建置的雨量站。

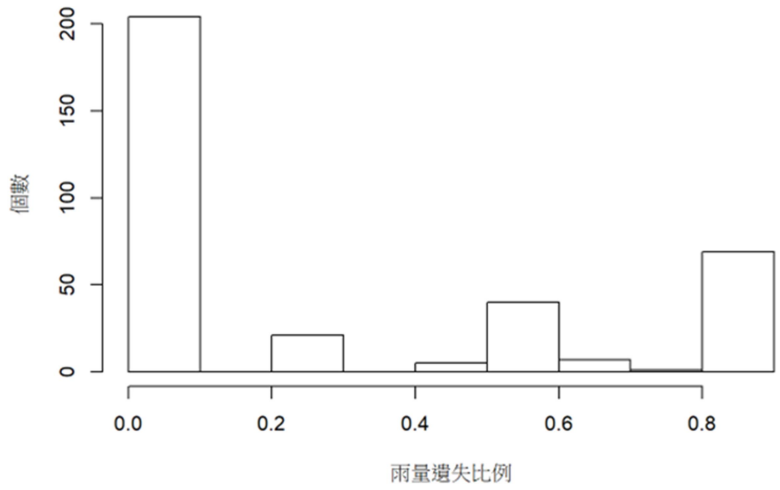


圖 17 各雨量站時雨量遺失比例直方圖

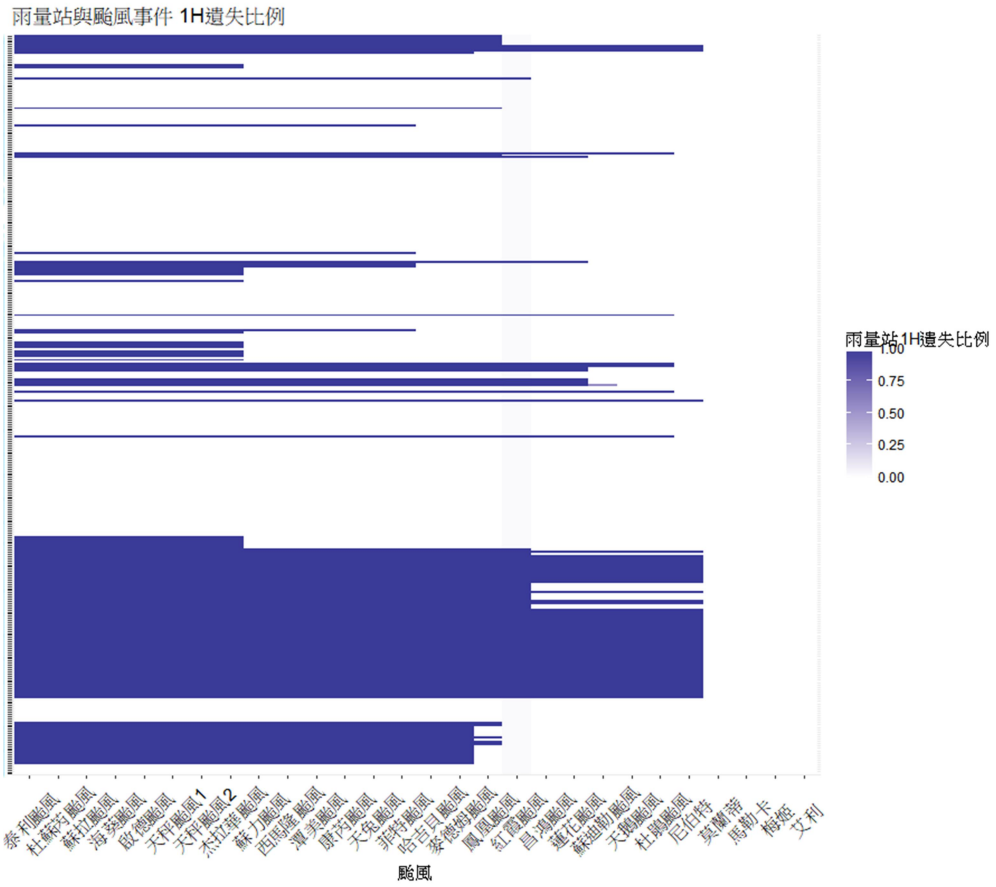


圖 18 各雨量站在 28 個颱風事件於時雨量的遺失比例

遺失值處理的方式很多，比較常見方法為補值，但補值的方式會左右分析的結果，又考量到雨量是一個不連續分布的情況，所以也較無法用鄰近的雨量站來補值，因此，本研究以較合理的方式來處理，減少因遺失值而影響分析的結果，選擇遺失比例小於 0.2 的雨量站才納入作為後續分析，留下來的雨量站其遺失比例極低，依各颱風事件來看(如圖 19)，僅有紅霞颱風與鳳凰颱風才有遺失值發生，其遺失值僅有 0.027，比例很低，依據此門檻值的篩選，全台 347 個雨量站，共計有 204 個雨量站其遺失比例小於 0.2，其空間分布如圖 20 所示，雖刪除了 143 個雨量站，但 204 個雨量站仍均勻分布於台灣各地，與原 347 個雨量站之空間分布情形無異。經上述的步驟與流程，只剩下零星的時間點有遺失值的狀態且遺失的情形無規律性與特殊性，因此，本研究刪

除零星的遺失點，納入分析的資料點於時雨量均無遺失值的情形。

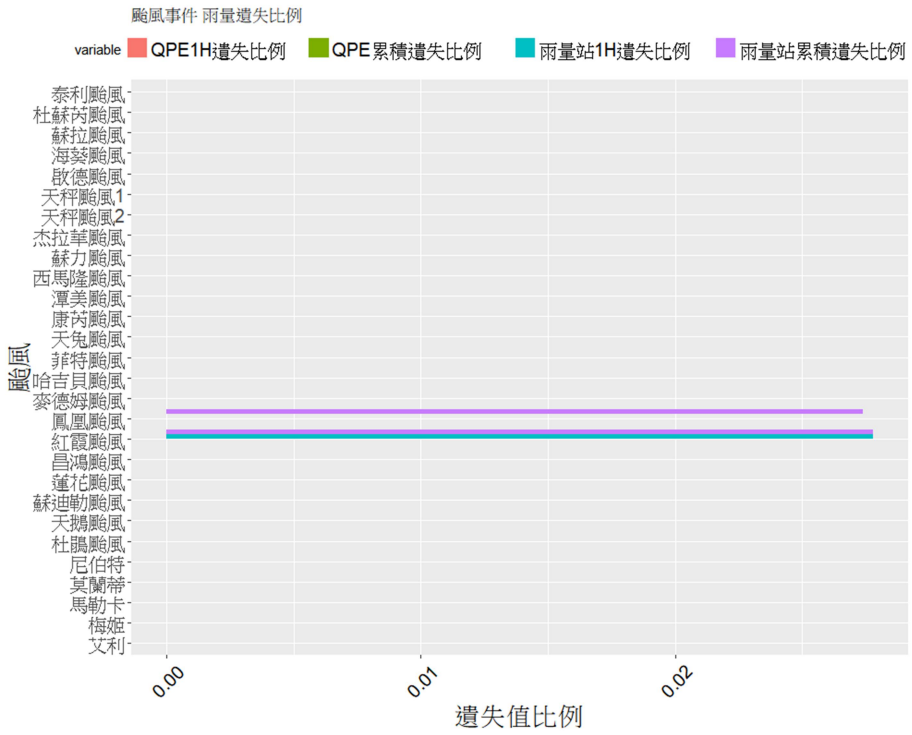


圖 19 204 雨量站於各颱風事件遺失值的比例長條圖

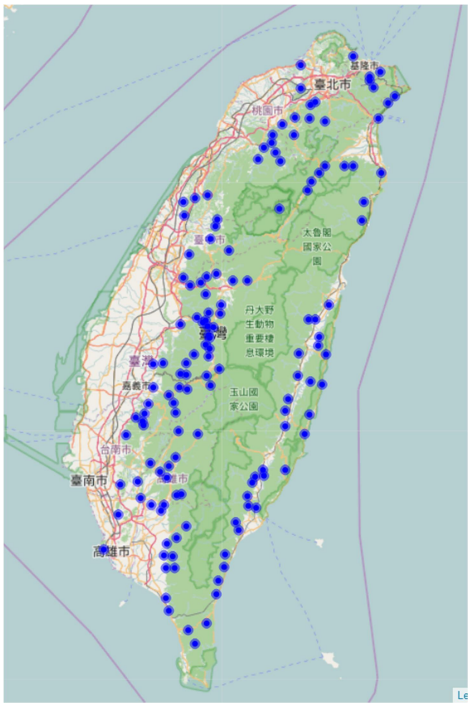


圖 20 204 個雨量站分布情形

二、異常值分析

分別對地面觀測雨量以及 QPE 估計雨量進行異常值的檢查，發現地面觀測雨量以及 QPE 估計雨量皆有異常值發生，以下分別就異常值的部分，加以探討與進行處理。

1. QPE 估計雨量值異常

台灣地形複雜，雷達波束在山區會產生地形雜訊，於山後會受到地形遮蔽影響，會使資料缺失或回波值變弱(中央氣象局氣象衛星中心(2015))[8]，當雷達最低仰角回波覆蓋不到的區域，系統就會記錄為異常值，標記為-1，進一步分析 QPE 為-1 時發生的頻率與位置，發生的位置都落在北部山區與東部沿岸等 14 個參考雨量站(如圖 21)，且發生的比率最高佔全部觀測值的 4.1%，發生的時間點聚集在泰利颱風與杜蘇芮颱風，這兩個為 2012 年的颱風，2013~2016 年就無 QPE 出現異常值的問題，共刪除 921 個時間點的資料。



圖 21 QPE 標記異常的參考雨量站分布

2. 地面雨量觀測值異常

雨量站可能由於網路傳輸故障或雨量計異常，造成地面與量有異常值的情形。藉由，地面雨量觀測值與 QPE 估計雨量值之時雨量相關係數發現，在某些雨量站在特定的颱風事件中，相關係數偏低，因此，進一步研析資料的正確性。由資料中觀察到異常值的樣態，如地面雨量觀測值連續多個相同數值的出現，例如，2015 年的蘇迪勒颱風，鼻頭角的地面雨量觀測值(如圖 22)。

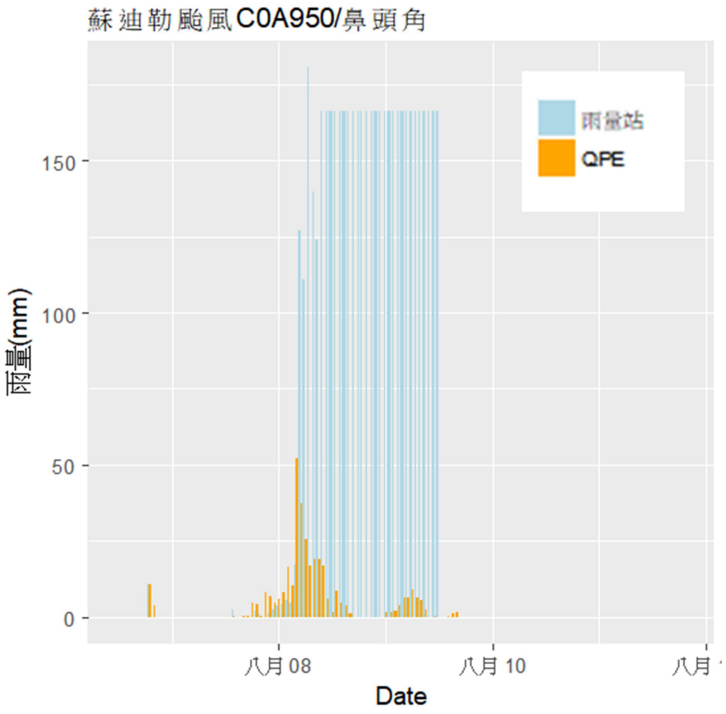


圖 22 鼻頭角雨量站於蘇迪勒颱風的實際雨量與估計雨量

從 2015-08-08 10:00:00 起連續 27 個小時，時雨量皆觀測到 166.5mm 相同值，以機率的角度來看，這樣的機率是非常低的，且對應當時的 QPE 估計雨量值都偏低，因此，出現這樣的現象，地面雨量觀測值應該是異常的狀態，避免異常值影響分析的趨勢，且無法採用補植的方式來處理這樣的異常值，所以，針對只要出現此樣態的異常值，此雨量站屬於此颱風時期的資料皆刪除

的方式來處理。彙整擁有此樣態特性的異常值如表 6，研析地面觀測異常值的樣態，應為颱風事件的偶發並無出現反覆的出現的規律性，因此，共刪除 1272 個時間點的資料。

表 6 地面觀測雨量異常值列表

雨量站 ID	雨量站	颱風事件	異常數值	重複次數
C1U660	三星	天兔颱風(2013)	108.5	25
C0T9H0	加路蘭山	麥德姆颱風(2014)	132	12
21C070	巴陵	蓮花颱風(2015)	54	18
21C070	巴陵	昌鴻颱風(2015)	54	18
21C080	高義	蓮花颱風(2015)	62	18
21C080	高義	昌鴻颱風(2015)	62	18
21C090	嘎拉賀	蓮花颱風(2015)	51	18
21C090	嘎拉賀	昌鴻颱風(2015)	51	18
21C140	霞雲	蓮花颱風(2015)	57	17
21C140	霞雲	昌鴻颱風(2015)	57	17
21D150	玉峰	蓮花颱風(2015)	89	18
21D150	玉峰	昌鴻颱風(2015)	89	18
C0A950	鼻頭角	蘇迪勒颱風(2015)	166.5	27
C1U580	北關	杜鵑颱風(2015)	16.5	24
C0T9D0	和中	尼伯特(2016)	17	32

第四章　探索性分析

探索性數據分析為資料探勘流程中的一個能影響多個環節的關鍵步驟。這個階段，本研究對於 QPE 估計雨量、地面觀測雨量以及其他研究變數(地面觀測站的高度與颱風相關變數)進行概括性描述，研析 QPE 估計雨量與地面觀測雨量的相關性，透過作圖與統計計算，探討 QPE 估計雨量與地面觀測雨量可能存在的規律性形式，本研究依時雨量、有效累積雨量以及各雨量站於各颱風事件之有效累積雨量的最大值這三個變數以及其他研究變數，進行探索性分析，詳細說明如下：

第一節　其他研究變數

除了地面觀測雨量與 QPE 估計雨量外，本計畫研究變數範疇，還包含雨量站高程、颱風強度、颱風路徑。納入分析的雨量站共 204 個，圖 23 為依據不同的高程將雨量站分成五類，135 個雨量站(66%)高程小於 500 公尺，界於 500 公尺至 1000 公尺的雨量站有 44 個，界於 1000 公尺至 1500 公尺的雨量站有 19 個，界於 1500 公尺至 2000 公尺的雨量站有 5 個，高於 2500 公尺的雨量站只有 1 個，因雨量站高程分布不均，高於 2500 公尺只有一個雨量站，因此，後續進行關聯性之統計分析時，需與鄰近類別做合併的動作。

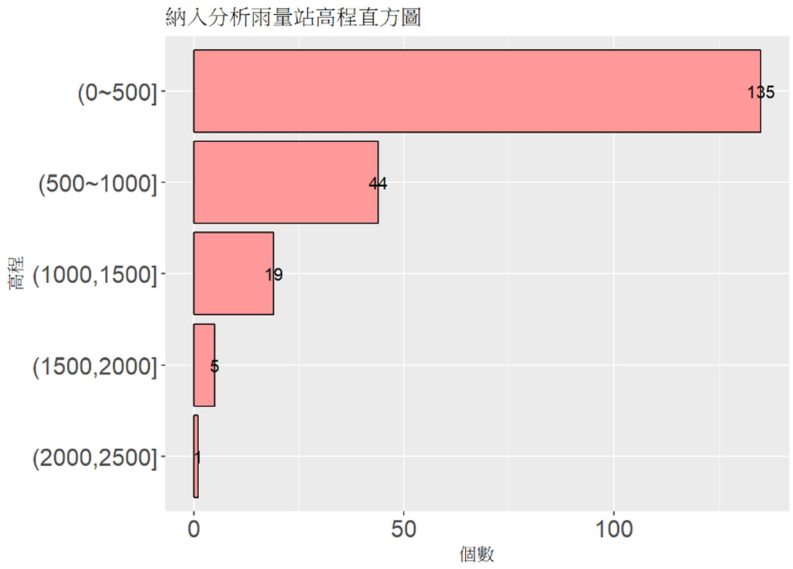


圖 23 204 個雨量高程分布情形

颱風相關變數研究的範疇，包含了颱風月份、颱風路徑、颱風強度。依月分彙整 2012 年至 2016 年 28 個颱風(如圖 24)，絕大部分的颱風於 7~9 月份侵襲台灣，其餘零星出現於 5、6 與 10 月。

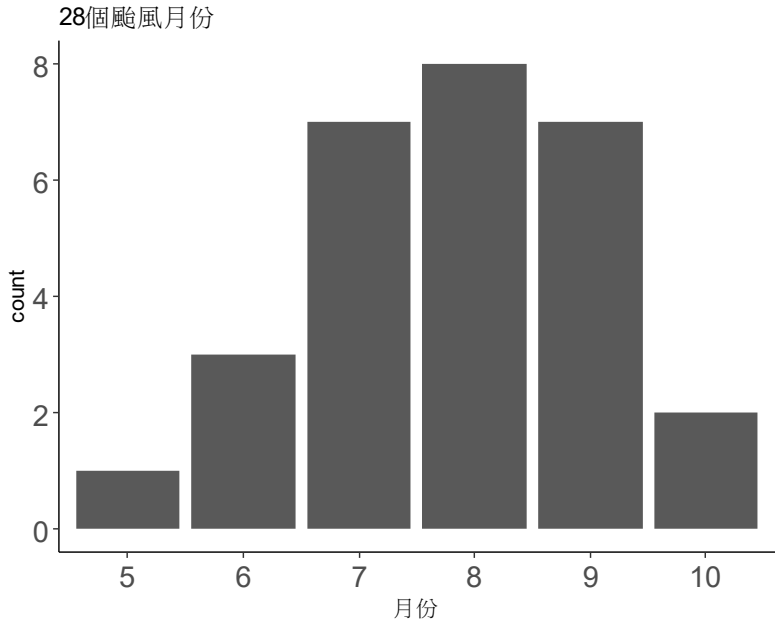


圖 24 2012 年~2016 年颱風侵台月份分布情形

依輕度、中度、強度颱風來看，圖 25 顯示各颱風強度分布很平均，約各占 1/3 左右，如果依陸警來看，近五年，中強度的颱風佔的比例為 73%，侵台的陸警強度都偏高。

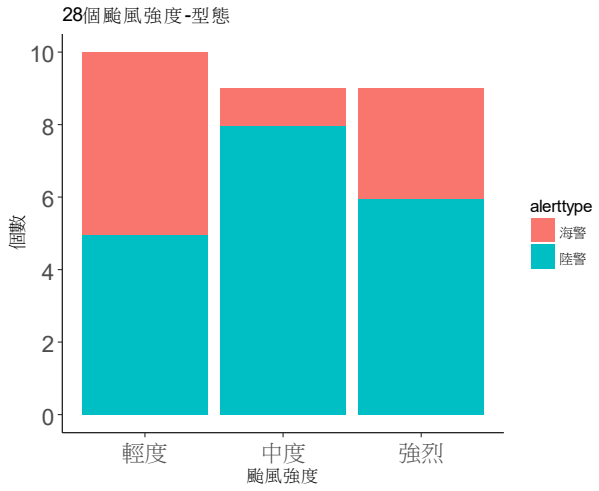


圖 25 2012~2016 年 侵台颱風強度於各颱風類型之分布情形

如果以颱風路徑來看，依中央氣象局 1897~2008 年颱風路徑統計資料，將颱風路徑區分為 9 大類，1~5 類可歸類為西行颱風及 6~9 類為北行颱風，圖 26 統計不同颱風路徑下，全台的降雨量分布特性，第 1 類颱風路徑，通過台灣北部海面向西或西北進行者，降雨集中於北縣市及桃竹苗等地區。第 2 類颱風路徑，通過台灣北部，降雨集中在中南部與阿里山地區，第 3 與第 4 類颱風路徑，由東部登陸，因此，降雨集中在花東地區，西半部則因有中央山脈的阻擋，雨量較少。第 5 類颱風路徑，颱風由巴士海峽上經過，降雨集中在東部與屏東墾丁等地。第 6 類颱風路徑，因沿東岸太平洋向北行進，全台皆有雨，降雨集中於東部地區。第 7 類颱風路徑，沿西南沿岸由台灣海峽北上，降雨主要分布於南部縣市及台東。第 8 類颱風路徑，通過臺灣南部海面向東或東北進行者，降雨主要分布於花東地區和南部縣市，第 9 類颱風路

徑，通過臺灣南部向東或東北進行者，降雨主要分布於東北部地區以及東部地區，由此可知，不同的颱風路徑，因颱風路徑與台灣地形相互影響的關係，有其不同的降雨分布特性，颱風路徑影響降雨分布，或許也是潛在影響 QPE 估計差異的因子之一。

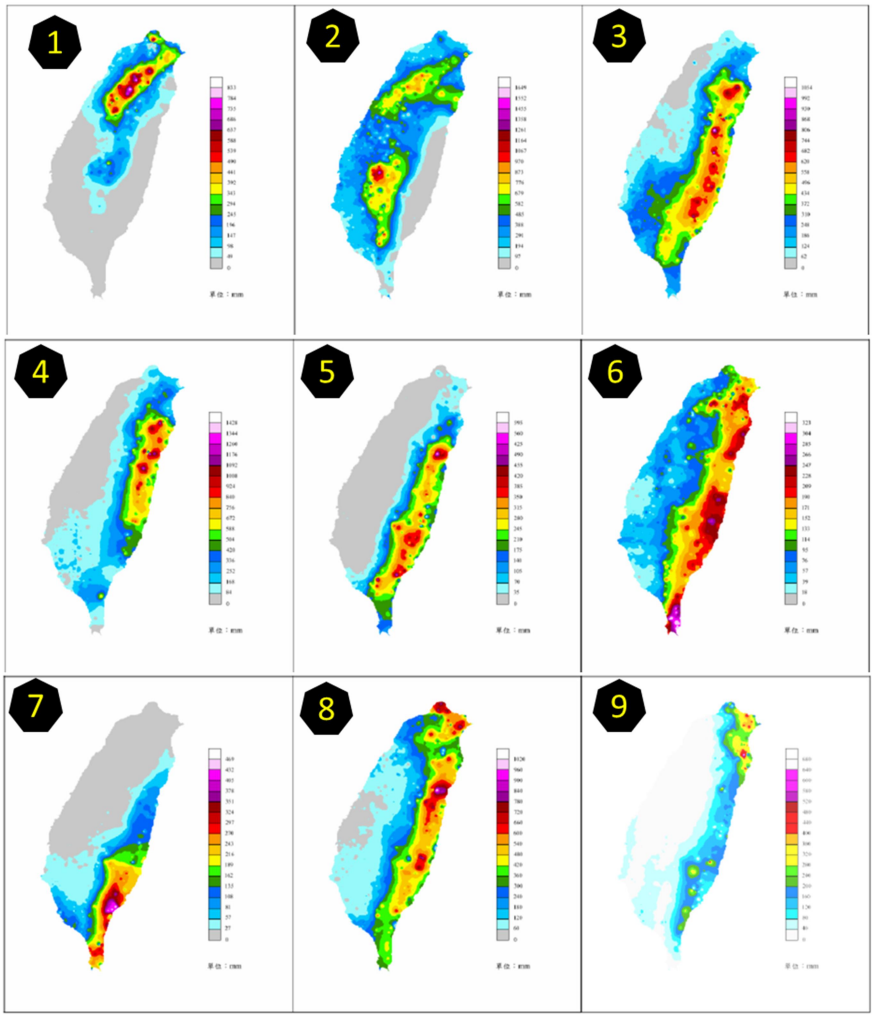


圖 26 9 類颱風路徑雨量分布情形(朱宏杰等，2011)[13]

因此，本研究分析 2012~2016 年，28 個颱風路徑(12 個海警與 14 個陸警)的分布情形，圖 27 呈現不同颱風路徑之颱風強度分布情形，顯示陸警在各颱風路徑分布平均，但第 2 類與第 3 類颱風路徑颱風數量偏多，為蘇拉颱風、蘇力颱風、蘇迪勒颱風、杜鵑颱風與梅姬颱風，均造成較嚴重的災害損失。

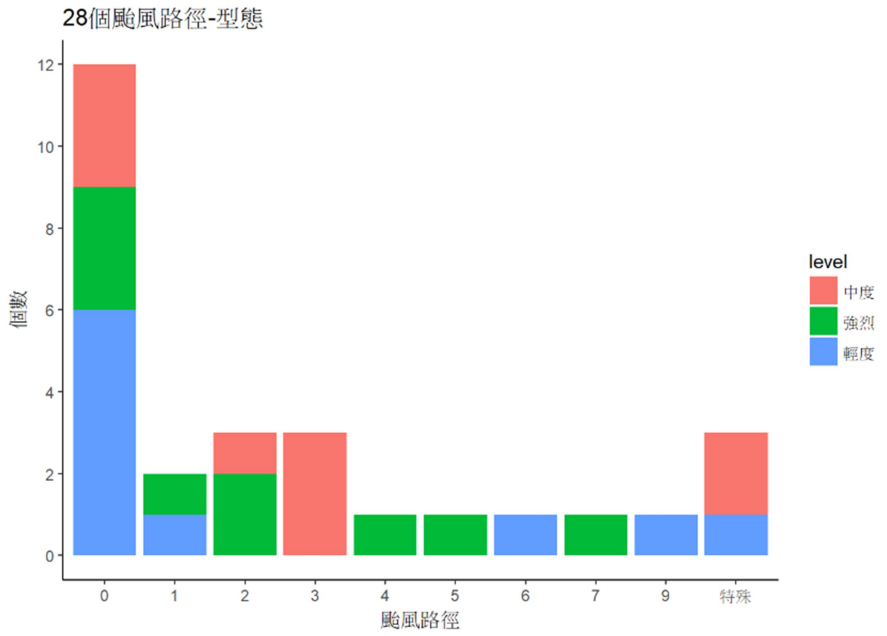


圖 27 2012~2016 年 28 個颱風路徑於各颱風強度分布情形

第二節 時雨量與有效累積雨量

本研究彙整了 2012~2016 年，204 個參考雨量站於 28 個颱風事件，紀錄地面觀測雨量與 QPE 估計雨量之時雨量，本節研析 QPE 估計雨量與地面觀測雨量於各雨量站以及各颱風事件於時雨量與有效累積雨量(EAR)的相關性。

一、時雨量

首先，初步分析地面觀測雨量於時雨量的分布情形(如圖 28)與 QPE 估計雨量於時雨量之分布情形(圖 29)，地面觀測雨量之時雨量的平均值為 1.87mm，標準差 5.82 mm，最大值為 180.50 mm。QPE 估計雨量之時雨量的平均值為 1.9 mm，標準差 5.75 mm，最大值為 157.5 mm，發現兩者的分布是類似的，並觀察到颱風警報期間，時雨量的分布大部分都集中於 0~10mm 的區間。

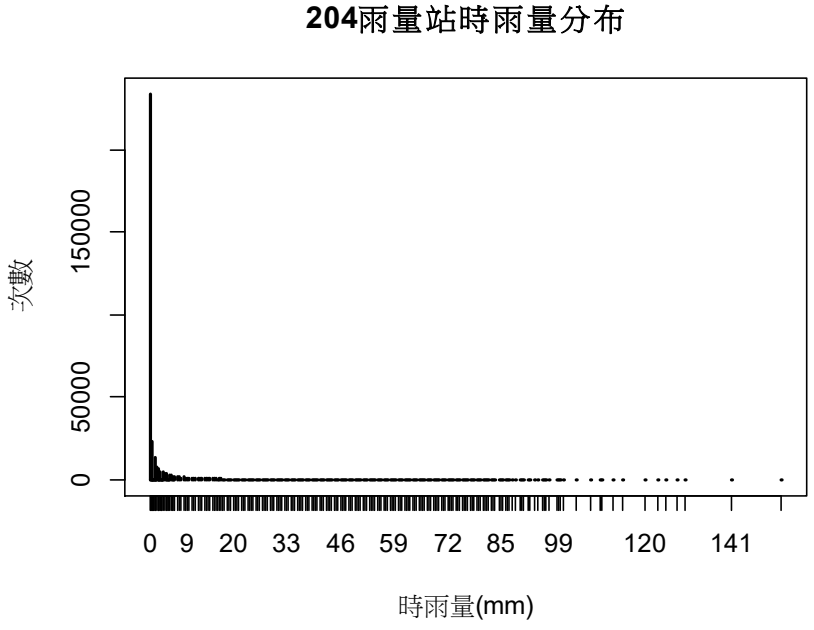


圖 28 204 個雨量站地面觀測雨量之時雨量分布情形

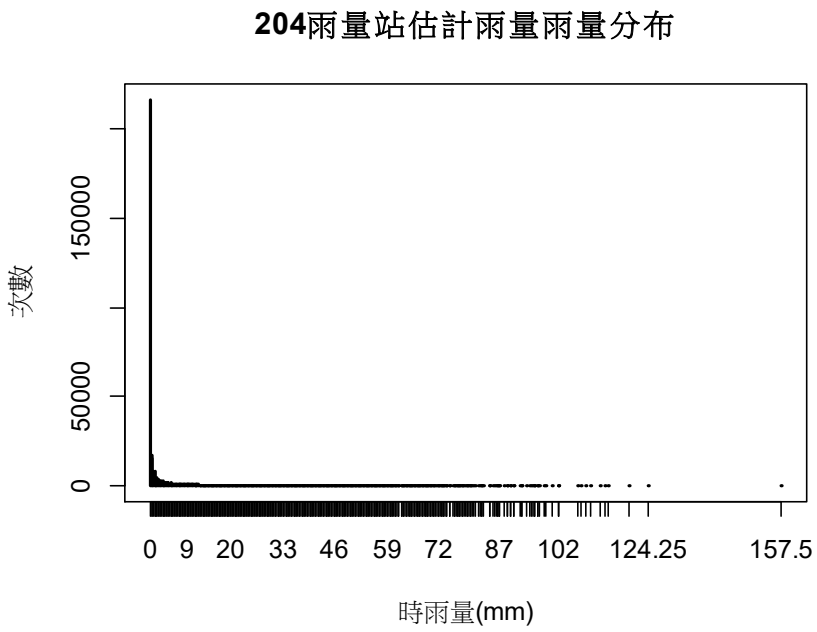


圖 29 204 個雨量站 QPE 估計雨量之時雨量分布情形

若從地面觀測雨量之時雨量與 QPE 估計雨量之時雨量於 28 個颱風事件，其相關係數為 0.95，代表地面觀測雨量與 QPE 估計雨量呈現高度的線性相關。因此，更進一步探討地面觀測雨量之時雨量與 QPE 估計雨量之時雨量於不同颱風事件之相關係數，結果彙整於圖 30 和圖 31。大部分颱風事件(92.9%)的相關係數大於 0.9，僅有紅霞颱風與尼伯特颱風的相關係數稍低，分別為 0.872 與 0.871。

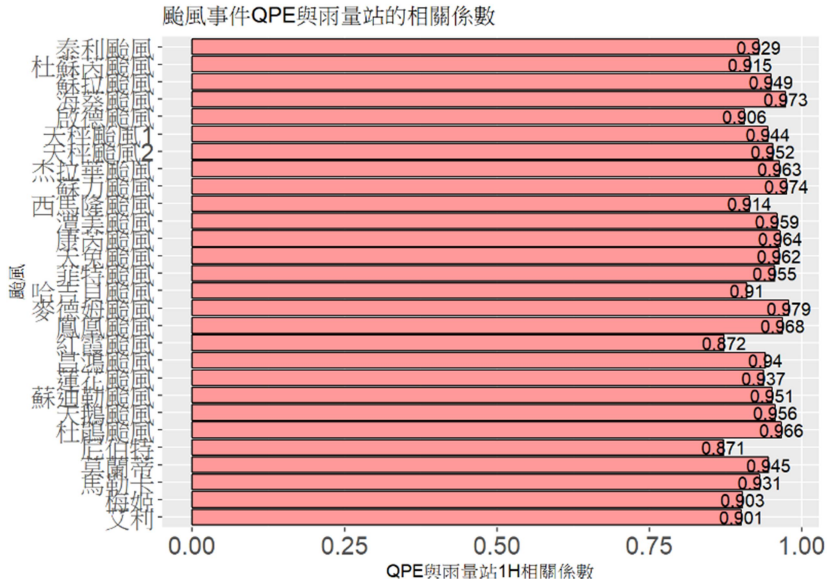


圖 30 地面觀測雨量之時雨量與 QPE 估計雨量之時雨量於 28 個颱風事件之相關係數

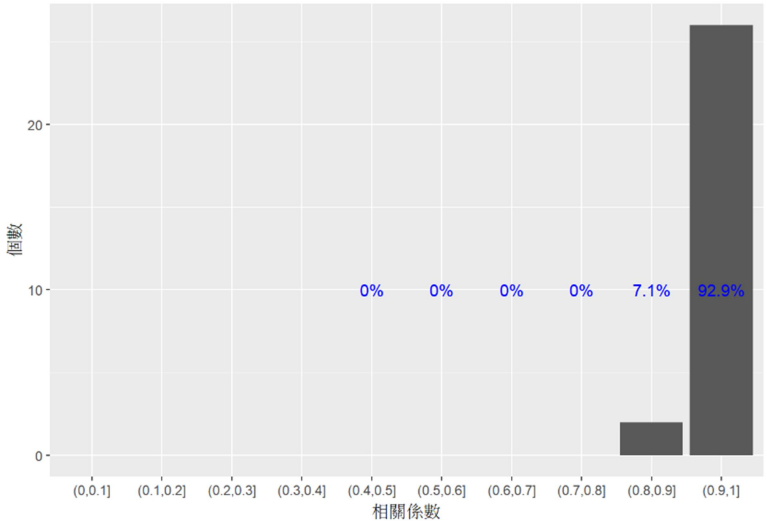


圖 31 地面觀測雨量之時雨量與 QPE 估計雨量之時雨量於 28 個颱風事件之相關係數分布

另一方面，以各雨量站的角度出發，探討地面觀測雨量之時雨量與 QPE 估計雨量之時雨量於不同雨量站之相關係數(如圖 32 圖 33、圖 34、圖 35 與圖 36)，並統計不同相關係數區間的個數(如圖 37)。

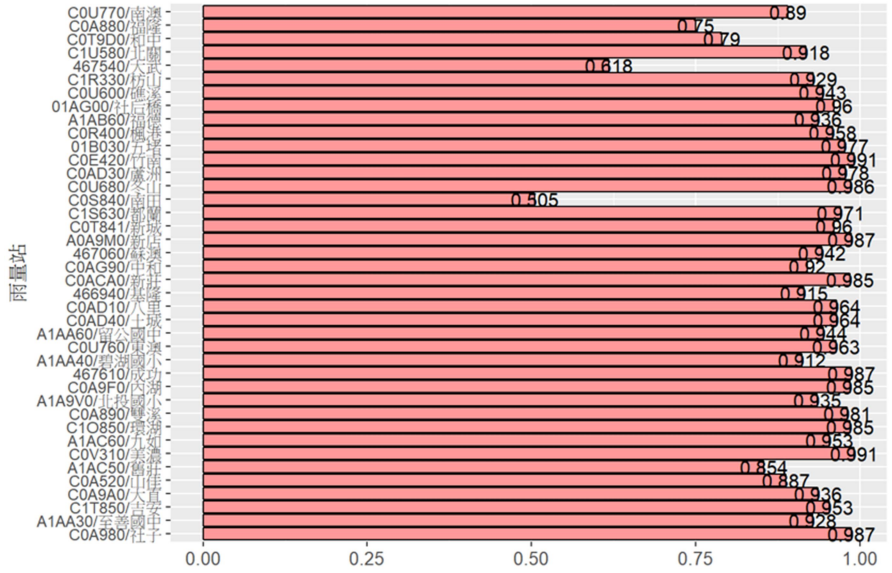


圖 32 第 1-40 個雨量站在 28 個颱風事件於地面觀測雨量與 QPE 估計雨量之時雨量的相關係數

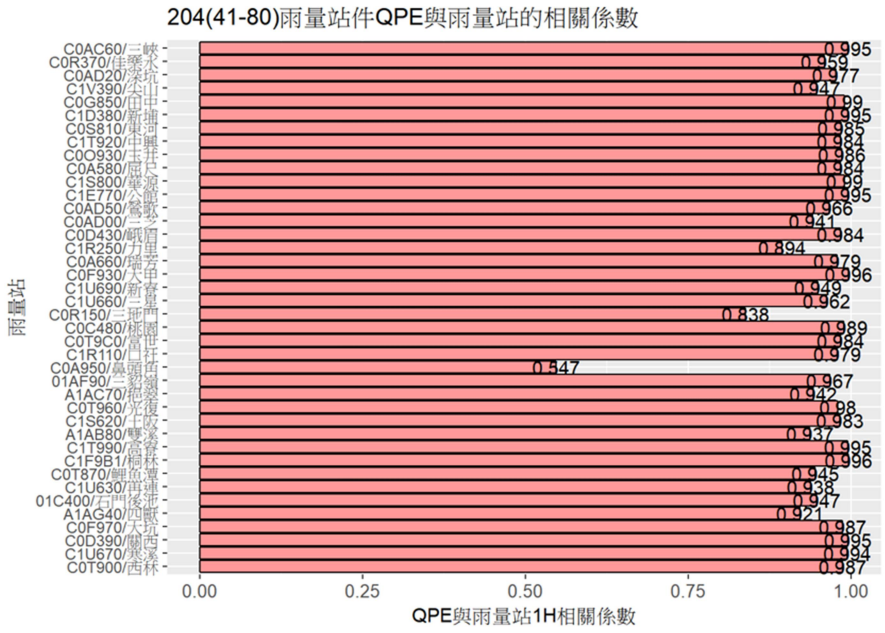


圖 33 第 41-80 個雨量站在 28 個颱風事件於地面觀測雨量與 QPE 估計雨量之時雨量的相關係數

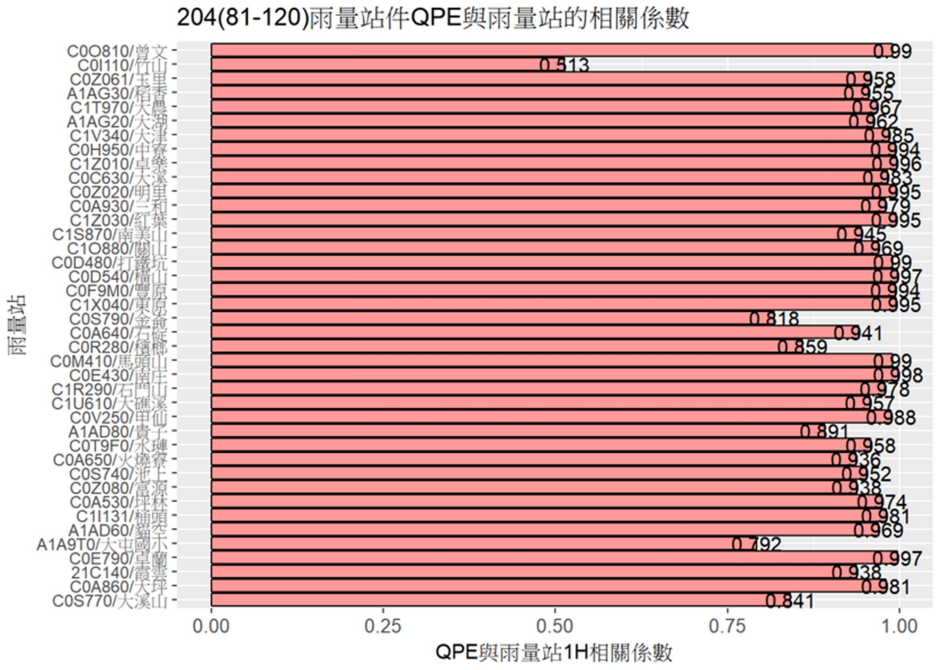


圖 34 第 81-120 個雨量站在 28 個颱風事件於地面觀測雨量與 QPE 估計雨量之時雨量的相關係數

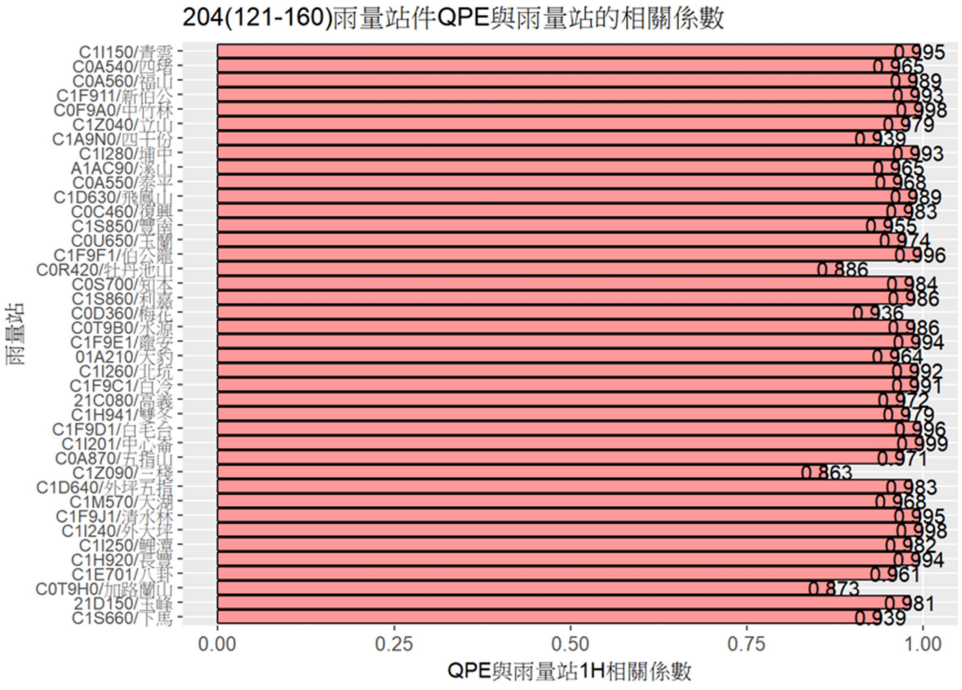


圖 35 第 121-160 個雨量站在 28 個颱風事件於地面觀測雨量與 QPE 估計雨量之時雨量的相關係數

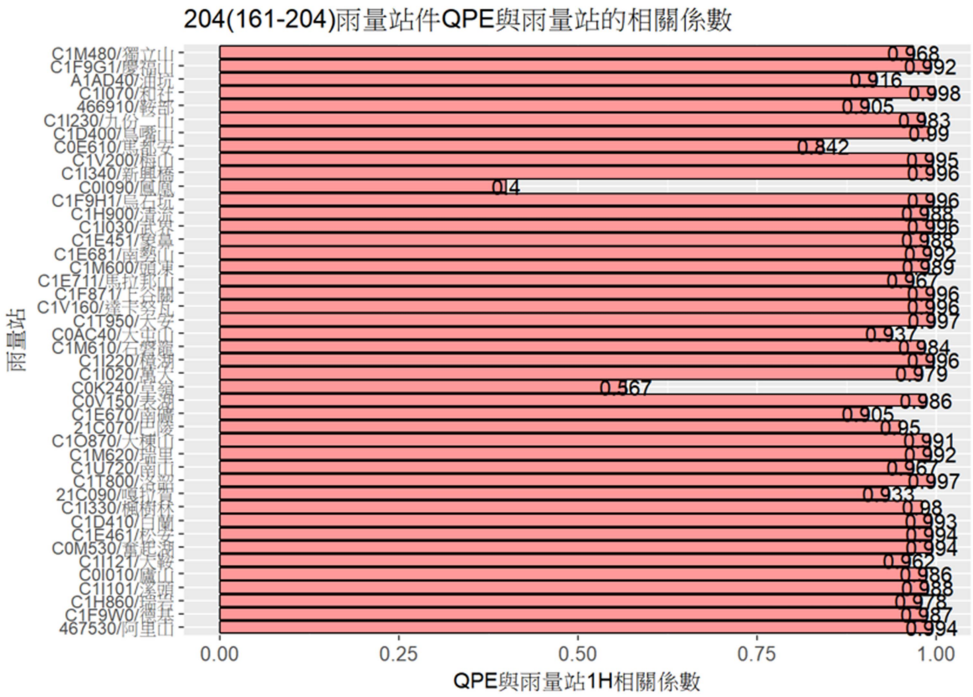


圖 36 第 161-204 個雨量站在 28 個颱風事件於地面觀測雨量與 QPE 估計雨量之時雨量的相關係數

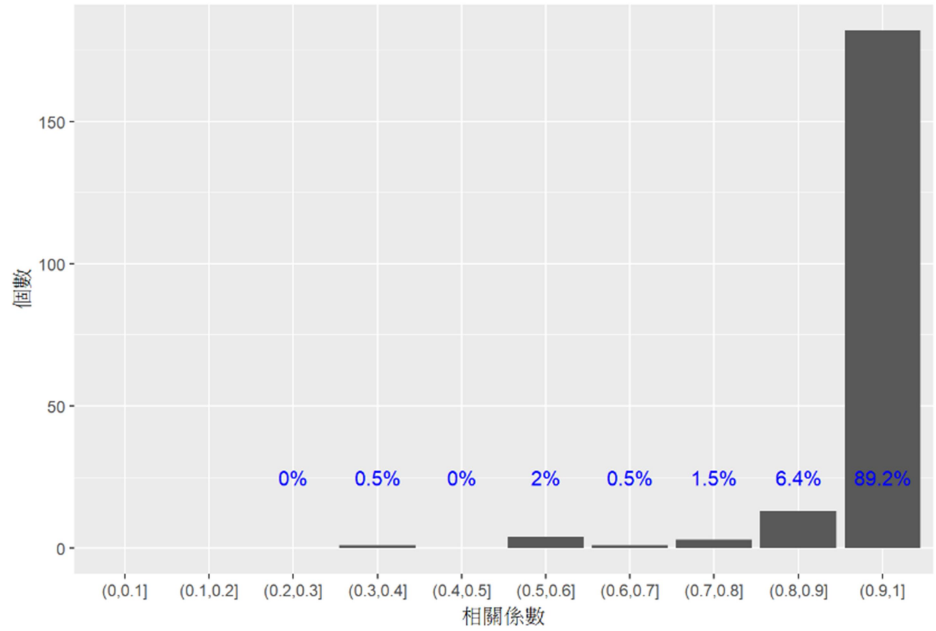


圖 37 204 個雨量站在 28 個颱風事件於地面觀測雨量與 QPE 估計雨量於時雨量之相關係數

204 個雨量站中，有 9 個雨量站之相關係數小於 0.8，圖 38 呈現 9 個雨量站之空間分布情形，其分別為大屯國小(r=0.792)、

鼻頭角(r=0.547)、福隆(r=0.75)、和中(r=0.79)、鳳凰(r=0.4)、竹山(r=0.513)、草嶺(r=0.567)、大武(r=0.618)、南田(r=0.505)。

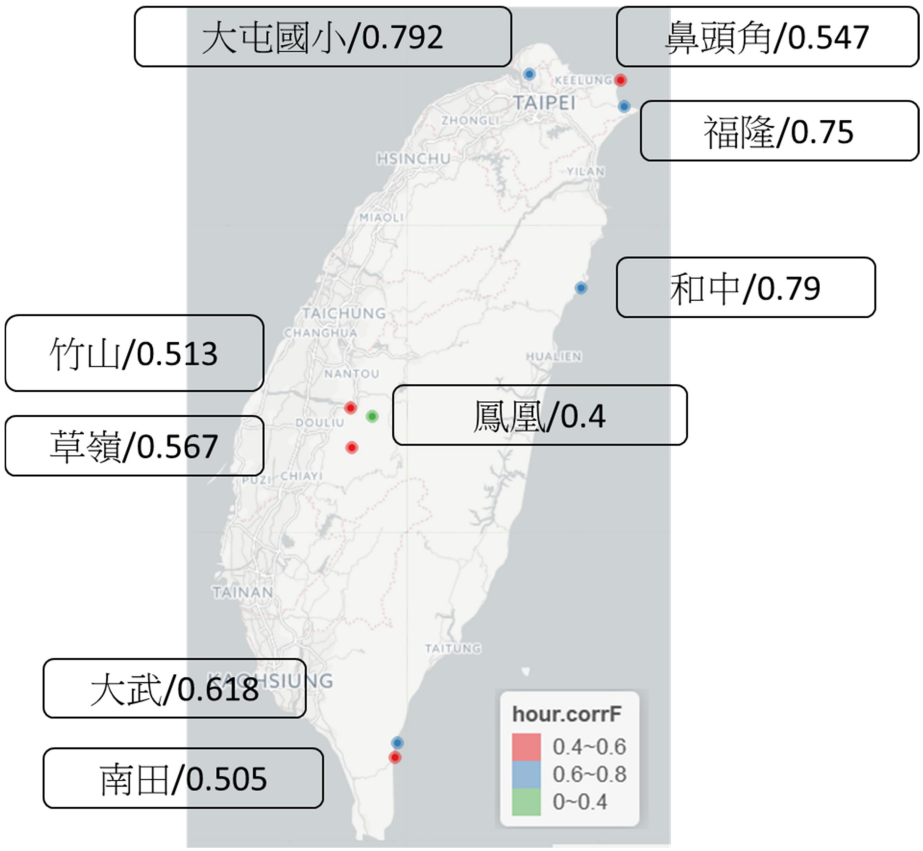


圖 38 9個雨量站相關係數小於0.7的地理位置分布圖

再更進一步，將地面觀測雨量與QPE估計差異於時雨量以散布圖呈現(如圖 39)，看雨雨對應的關係，發現有兩種特殊的樣態，第一種樣態為地面雨量站為0，但QPE卻有估計值的狀況發生。第二種樣態為當地面觀測雨量越大時，QPE 估計雨量與地面觀測雨量的差異越大的趨勢。第一種情況，有一部分的原因可能是由於地面遮蔽或者因雷達最低仰角產生的 QPE 估計誤差(一種為當雲雨系統的底部離地面過高時;二為當降雨系統垂直方向的發展頂部低於雷達回波的高度時，就無回波出現)。

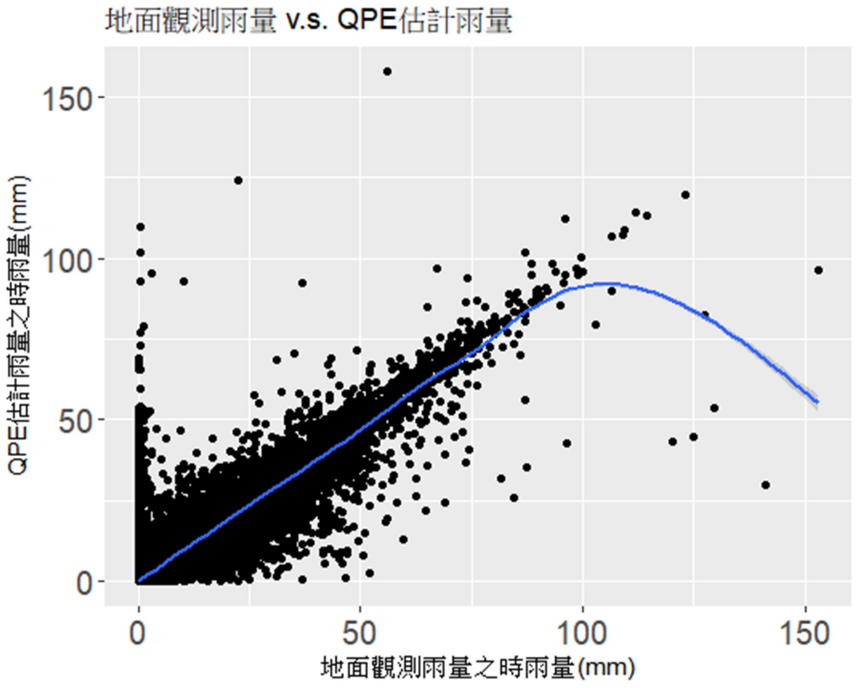


圖 39 地面觀測雨量與 QPE 估計雨量於時雨量散布情形

二、有效累積雨量

可以觀察到 QPE 估計雨量與地面觀測雨量，從整體角度、各雨量站角度以及各颱風事件來看，兩者的相關性都很高，但土石流警戒的發布，除了以時雨量監測降雨強度外，發布的主要參考依據還是以有效累積雨量為主，因有效累積雨量為時雨量之函數，計算地面觀測雨量與 QPE 估計雨量於有效累積雨量(EAR)的相關性，兩者的相關係數也高達 0.95。

第三節 最大有效累積雨量

呈上節所述，可以觀察到 QPE 估計雨量與地面觀測雨量於時雨量，從整體角度、各雨量站角度以及各颱風事件來看，兩者於時雨量的相關性都很高，兩者於有效累績雨量之相關係數亦呈現高度相關，然而，原本資料記錄每個小時的有效累積雨量，這樣的資料型態為累加性質，不易看出整體的特性，因此，本研究以有效累積雨量進行變數轉換，選取各雨量站於個颱風事件之有效累積雨量的最大值為此雨量站於此颱風事件的代表，以此探討有效累積雨量於不同變數間之特性。

首先，定義如何計算最大有效累積雨量，其時間區間依各雨量站於各颱風事件為一個區間，取這時間區間中之有效累積雨量之最大值，舉例說明：如圖 40 為八卦雨量站於蘇拉颱風之時雨量與有效累積雨量，黑色線條的時間點為雨量站有效累積雨量最大值發生的時間點，此時間點的有效累積雨量即為最大有效累積雨量。

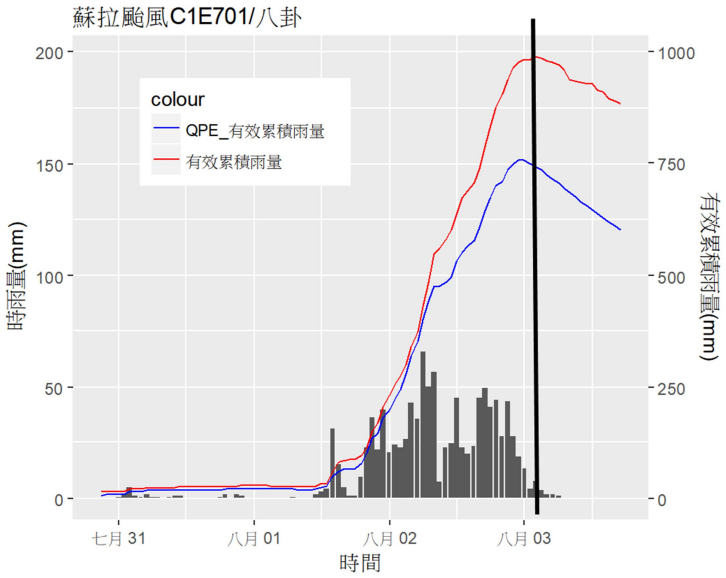


圖 40 八卦雨量站於蘇拉颱風之時雨量與有效累積雨量

以此方式，資料轉換後的分析資料集，204 個雨量站於 28 個颱風事件，扣除因前述異常值處理中扣除掉的數據，總共值 5677 筆資料。

初步分析地面觀測雨量於最大有效累積雨量的分布情形與 QPE 估計雨量之最大有效累積雨量之分布情形，地面觀測雨量之最大有效累積雨量的平均值為 138mm，標準差為 145mm，最大值為 989mm。QPE 估計雨量之最大有效累積雨量的平均值為 109 mm，標準差為 118mm，最大值為 825mm，計算地面觀測雨量與 QPE 估計雨量於最大有效累積雨量的相關性，兩者的相關係數也高達 0.96。

更進一步，圖 39 呈現地面觀測雨量與 QPE 估計差異於最大有效累積雨量的分布情形，紅色的線代表地面觀測雨量與 QPE 估計雨量相等的值，藍色的線為小區域的線性迴歸方程式，發現有兩種特殊的樣態，第一種樣態，發現以最大有效累積雨量來看，大部分 QPE 估計雨量較地面觀測雨量小。第二種樣態，發現地面觀測雨量與 QPE 估計雨量於有效累積雨量似乎有線性的關係存在，其斜率約為 0.8。

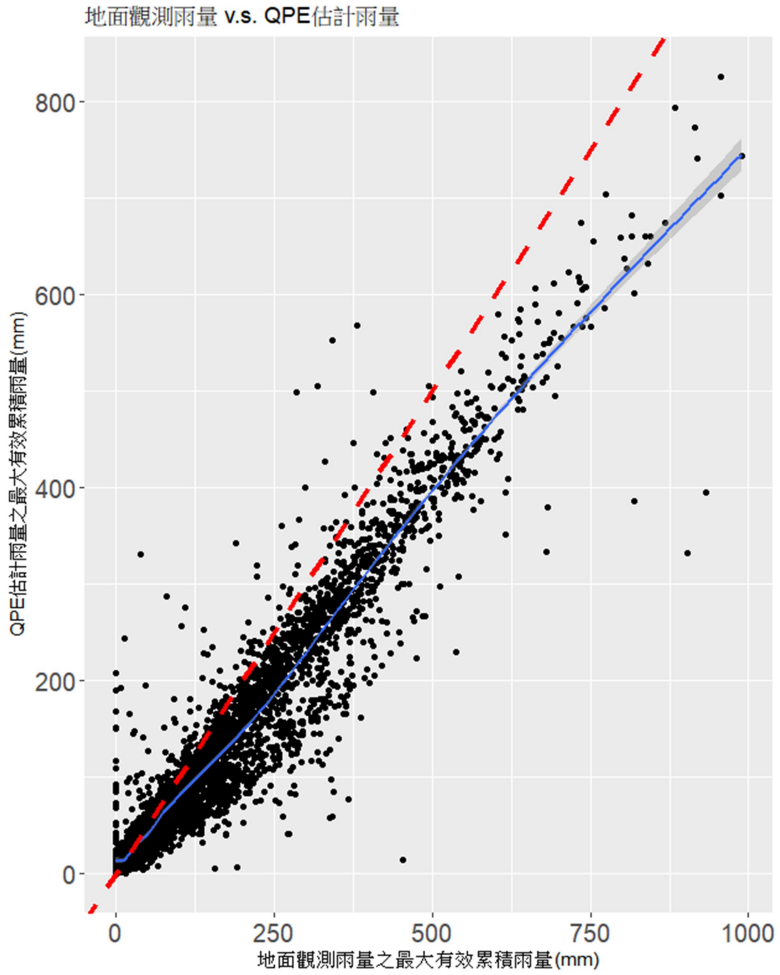


圖 41 地面觀測雨量與 QPE 估計差異於最大有效累積雨量分布

因此，進一步分析落在藍色實現線下半部族群的特性，本分析定義當 QPE 最大有效累積雨量小於地面最大有效累積雨量的百分之 80 為低估資料點。首先，擷取那些雨量站有百分之 50 以上的資料點都落在低估區，共有 53 個雨量站其資料點有百分之 50 以上都落在低估區。低估比例偏高之雨量站彙整如表 7。

表 7 QPE 低估比例偏高之雨量站列表

雨量站	低估資料比例	雨量站	低估資料比例
東河	84.6	曾文	60.7
福隆	84.6	新寮	60.7
基隆	80.8	碧湖國小	60.7
鞍部	78.6	鼻頭角	59.3

雨量站	低估資料比例	雨量站	低估資料比例
和中	76	太安	57.1
溪山	75	油坑	57.1
大武	73.1	社子	57.1
蘇澳	73.1	留公國中	57.1
石碇	71.4	寒溪	57.1
大溪山	69.2	加路蘭山	55.6
南田	69.2	八里	53.6
中和	67.9	大棟山	53.6
東澳	67.9	五堵	53.6
南澳	65.4	四十份	53.6
三和	64.3	立山	53.6
冬山	64.3	西林	53.6
北關	63	佳樂水	53.6
金崙	61.5	卓蘭	53.6
九份二山	60.7	明里	53.6
三貂嶺	60.7	東原	53.6
外坪五指	60.7	知本	53.6
玉井	60.7	南山	53.6
甲仙	60.7	挹翠	53.6
成功	60.7	貴子	53.6
美濃	60.7	貓空	53.6
都蘭	60.7	環湖	53.6
復興	60.7		

同時，圖 42 呈現低估雨量站的空間分布，低估雨量站集中在台灣北端與東部以及南部山區的部分，進一步套疊台灣地形圖，發現低估雨量站都位於高山的邊緣，也正呼應文獻上提到的雷達會受到地形的影響，造成有些地方雷達無法有效估計雨量的地區。

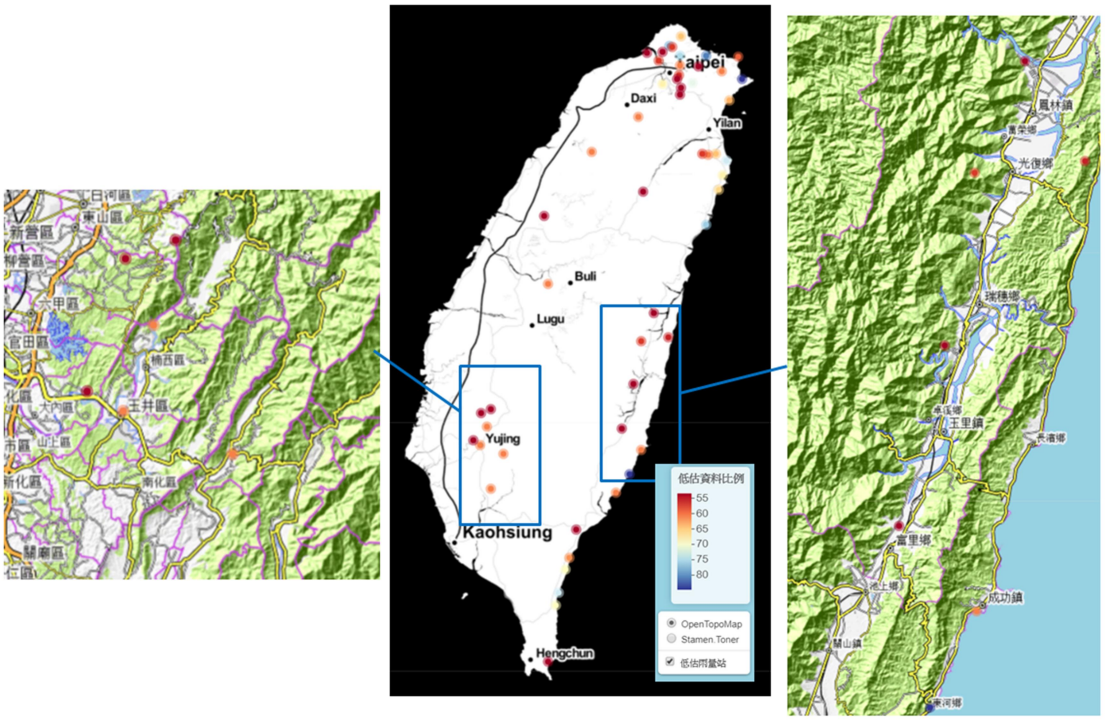


圖 42 低估族群雨量站分布圖

再進一步探討 QPE 最大有效累積雨量低估是否會受到高程、坡度與坡向的影響，彙整如圖 43、圖 44、圖 45 所示，發現在這些雨量站的特性，在這些變數都是均勻的，沒有偏向某一個類別。

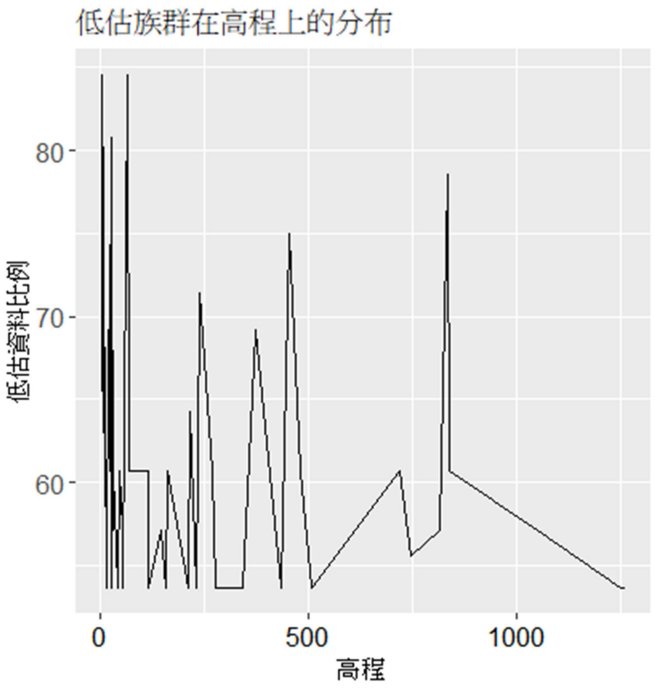


圖 43 低估族群在高程上的分布

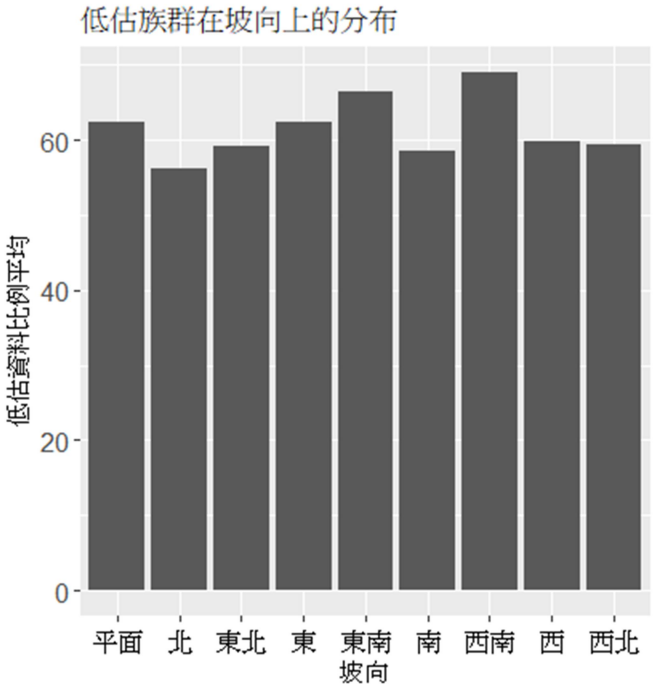


圖 44 低估族群在坡向上的分布

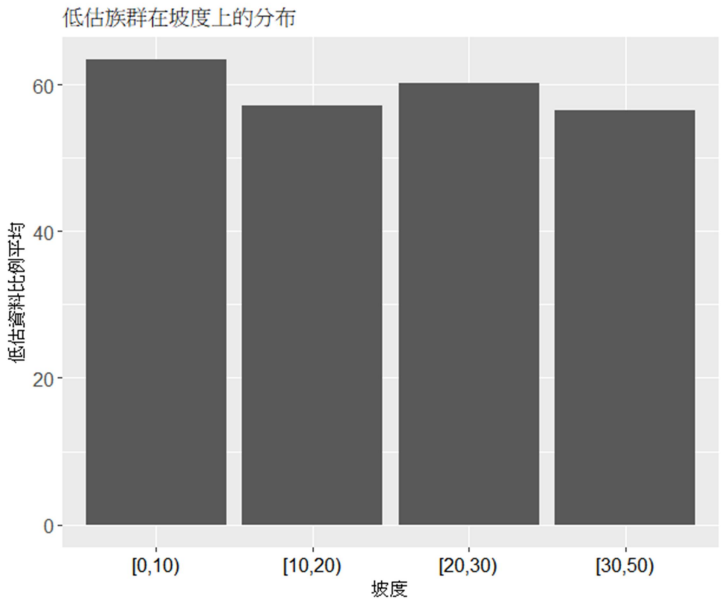


圖 45 低估族群在坡度上的分布

第五章　QPE 估計差異之誤差分析

呈前一章節所述，從整體角度、各雨量站角度以及各颱風事件來看，可以觀察到 QPE 估計雨量與地面觀測雨量在時雨量，的相關性都很高，然而，相關性只能描述兩者的趨勢是接近，但無法說明兩者的估計差異之大小，以水土保持局使用 QPE 的目的為輔助土石流紅黃警戒的發布，此發布依據為有效累積雨量(EAR)大於警戒值時，就會發布土石流警戒，以使用的角度來看，應該關注於估計差異之大小，而不僅是探究相關性。因此，本章節以各雨量站最大有效累積雨量為分析變數主軸，探討各雨量站於 28 個颱風事件的最大有效累積雨量之估計差異，如圖 46 所示黃色標示的長度為最大有效累積雨量之估計差異，以此探討 QPE 估計差異的特性。

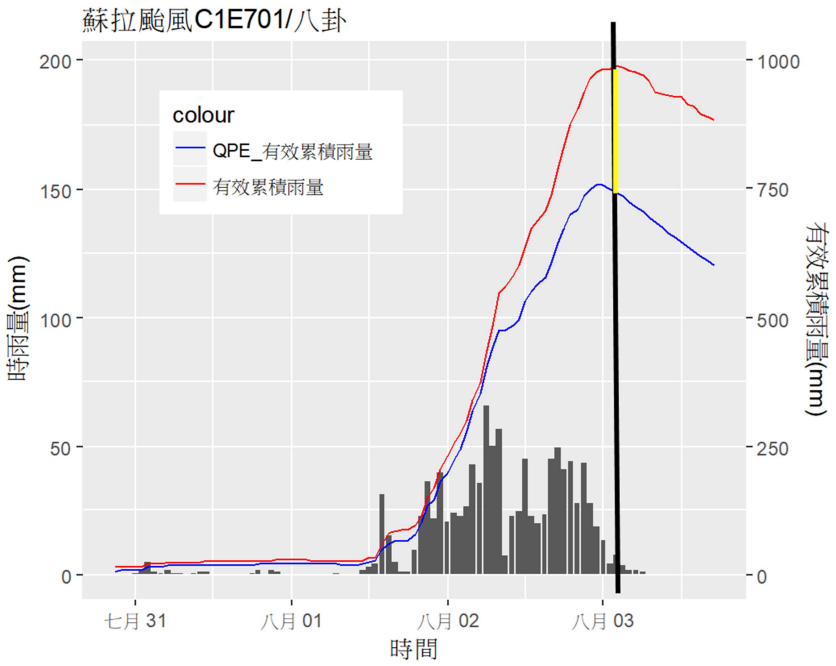


圖 46 各雨量站於各颱風事件之最大有效累積雨量之差異示意圖

首先，初步分析地面觀測雨量於最大有效累積雨量的分布情形與 QPE 估計雨量之最大有效累積雨量差異之分布情形，最大有效累積雨量之差異平均為-29.mm，標準差為 47.8 mm，最大值為 291.2mm，最小值為-571.3mm，平均而言都是低估的狀態。

圖 47 呈現 204 個雨量站於 28 個颱風事件之最大有效累積雨量估計差異分布情形。因土石流警戒以 50mm 為一個單位級距，此處之估計差異分組的級距也以 50mm 為一個單位，有 76%的資料估計差異之絕對值小於 50mm，1.1%的資料 QPE 估計雨量比地面觀測雨量大 50mm，但有高達 22.8%的資料 QPE 估計雨量比地面觀測雨量小 50mm，為低估的狀態，低估的狀態越多，會延後土石流警戒發布的時間，同時，減少人民撤離準備的時間，因此需進一步以各雨量站與各颱風事件的角度，探究 QPE 於最大有效累積雨量之差異。

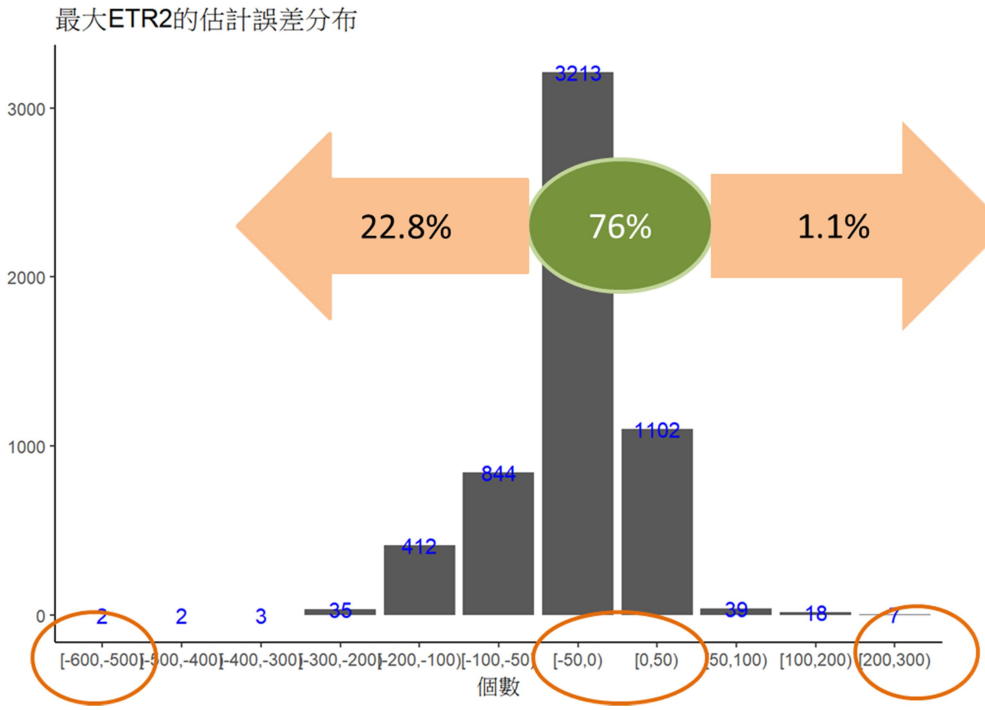


圖 47 最大有效累積雨量差異分布

依颱風事件的檢視最大有效累積雨量之差異，圖 48 呈現 28 個颱風事件(依颱風發生先後排序)於各雨量站之最大有效累積雨量差異的平均，發現 QPE 於最大有效累積雨量的差異，雖然仍為低估，但似乎有遞減的趨勢，有可能與遙測技術精進與雷達硬體設備之提升有關。

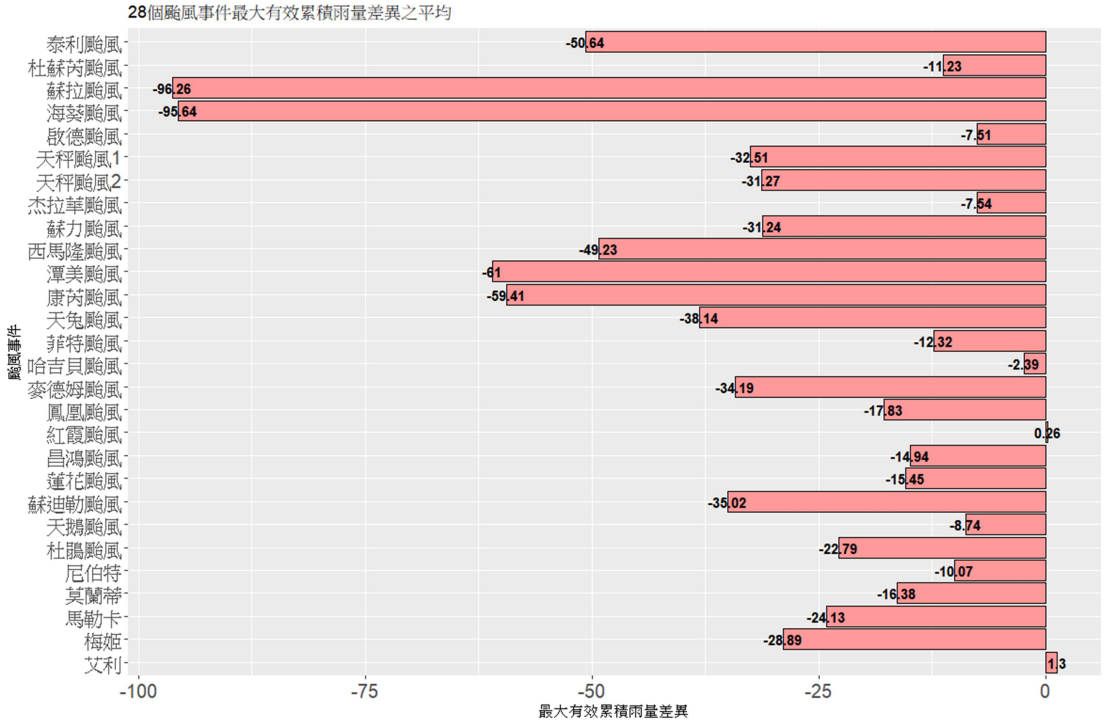


圖 48 28 個颱風事件最大有效累積雨量差異之平均

圖 49~圖 53 呈現 204 個雨量站於 28 個颱風事件之最大有效累積雨量差異的平均值，大部分的雨量站為低估，只有 4 個雨量站之最大有效累積差異平均值大於 0，分別為竹山、大屯國小、鳳凰與萬大。

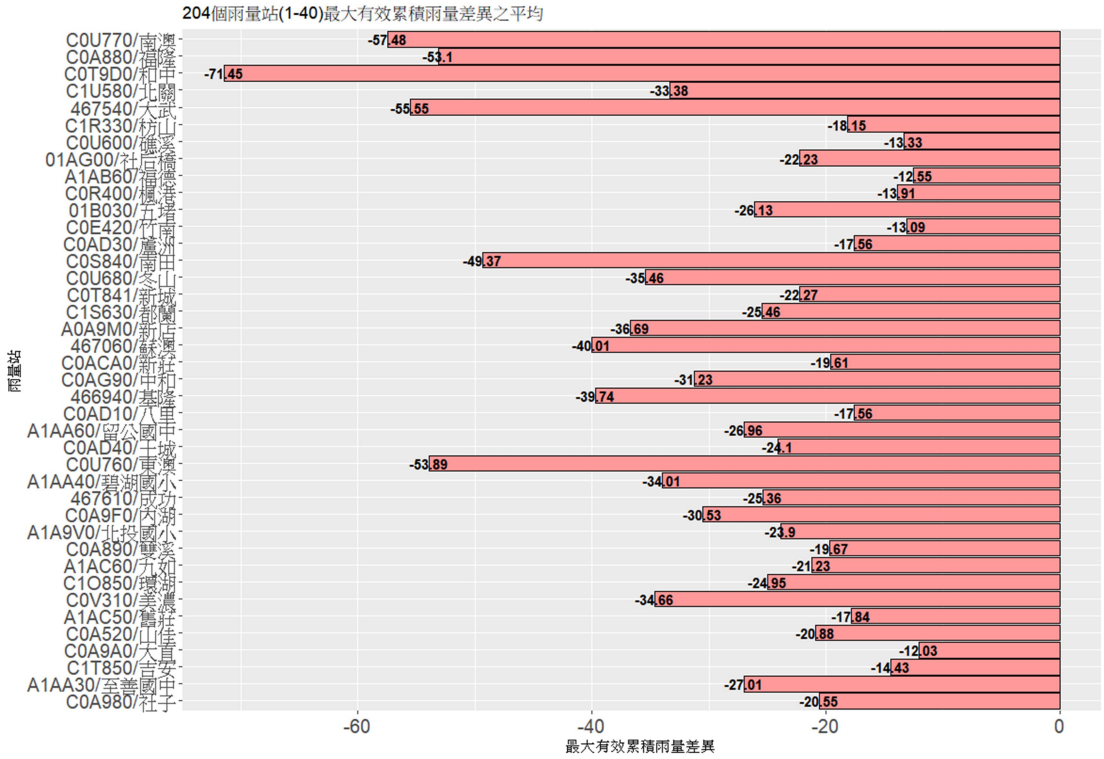


圖 49 204 個雨量站(1-40)最大有效累積雨量差異之平均

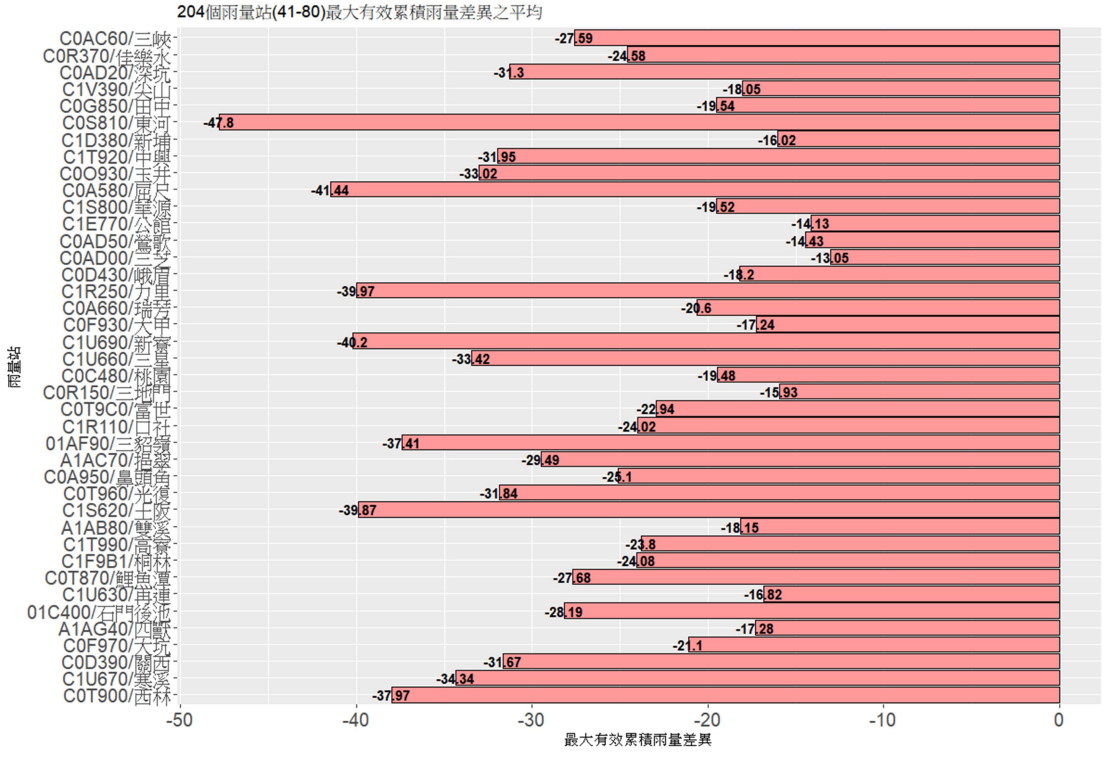


圖 50 204 個雨量站(41-80)最大有效累積雨量差異之平均

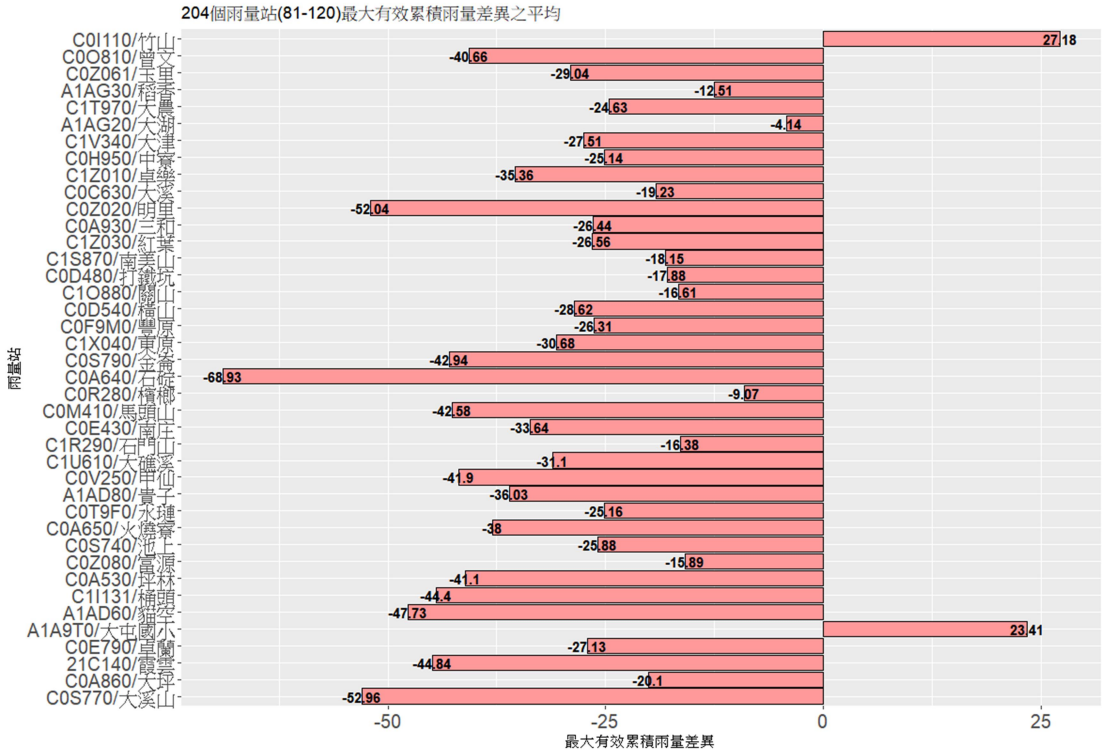


圖 51 204 個雨量站(81-120)最大有效累積雨量差異之平均

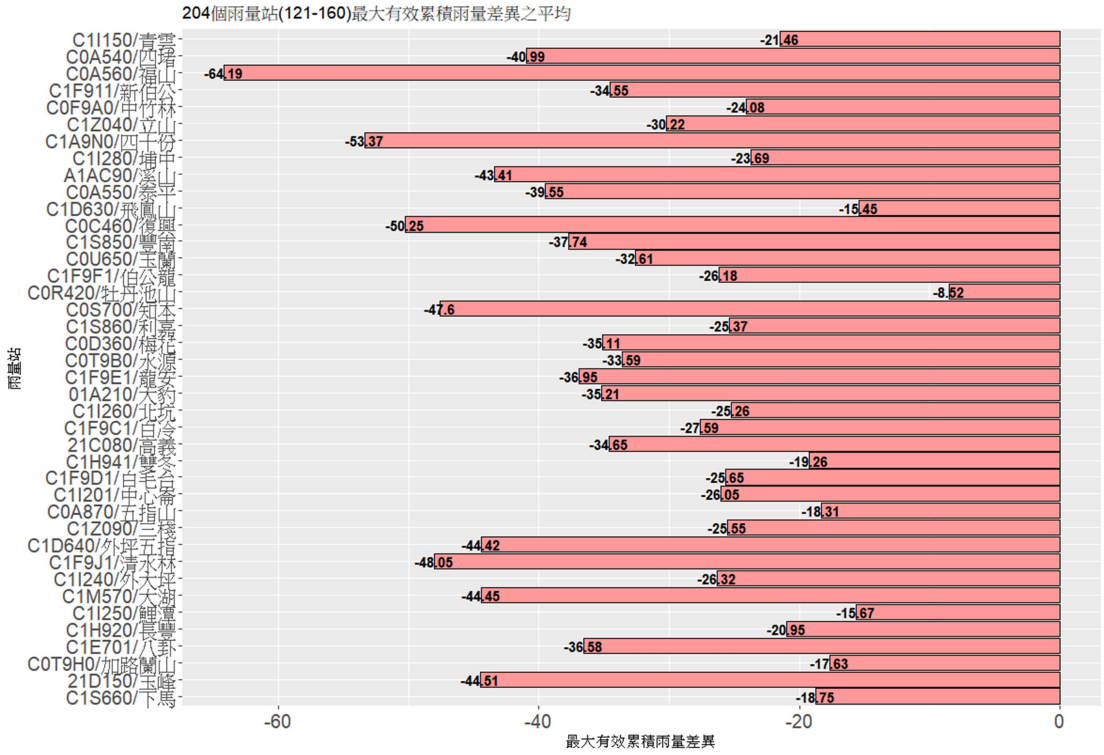


圖 52 204 個雨量站(121-160)最大有效累積雨量差異之平均

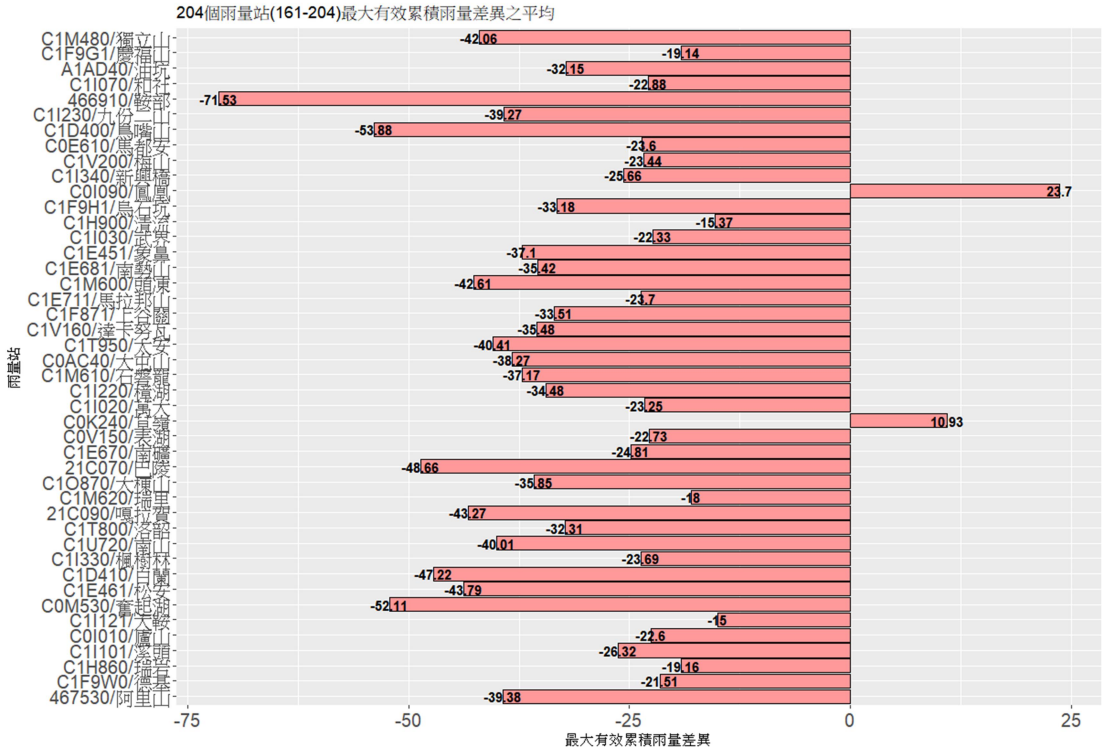


圖 53 204 個雨量站(161-204)最大有效累積雨量差異之平均

第六章　QPE 估計差異之空間聚集分析

呈前一章節所述，以各雨量站於 28 個颱風事件來看，QPE 的最大有效累積雨量之估計大部分呈現低估的狀態，因此，本章節透過分析不同颱風事件，各雨量站 QPE 估計差異是否有全域型(global)或地域性(local)的聚集，同時以空間視覺化呈現空間聚集分布，以期協助水土保持局了解 QPE 低估與高估的分布區域，進而研議 QPE 輔助土石流警戒發布的策略。

由於雨量站彼此之間是相鄰或是鄰近的資料點，且降雨量有著相近資料點通常較相離較遠資料點相似度更高的特性，再者，降雨量屬於空間中的連續性變化，所以本研究採用空間自相關來探究 QPE 於最大有效累積雨量的估計差異是否存在空間相依性，利用全域型空間自相關分析，來判斷 QPE 於最大有效累積雨量在空間上聚集的程度，並且利用地域性空間自相關分析方法來了解聚集區域。

以 28 個颱風事件為軸，計算 28 個颱風事件之各雨量站於最大有效累積雨量估計差異之Moran's I值，Moran's I 為描述各雨量站估計差異的相關性是否與空間相對位置有關，當該點與鄰近的點有相似的估計差異時，則稱為空間正相關(Positive Spatial Autocorrelation)，反之，當該點與鄰近的點有不同的估計差異時，則稱之為空間負相關(Negative Spatial Autocorrelation)，圖 54 結果顯示 28 個颱風事件於各雨量站之最大有效累積雨量估計差異皆存在空間正相關之相依性(p-value<0.01)，並以不同的颱風路徑分析Moran's I的分布，例如: 2013 年潭美颱風與 2013 年菲特颱風皆為第一類颱風路徑(如

圖 55)，最大 EAR 在 600 mm 左右，兩者之最大有效累積雨差異之空間自相關性較高(Moran's I = 0.5)，發現最大有效累積雨量估計差異的空間相關性與颱風路徑有關。

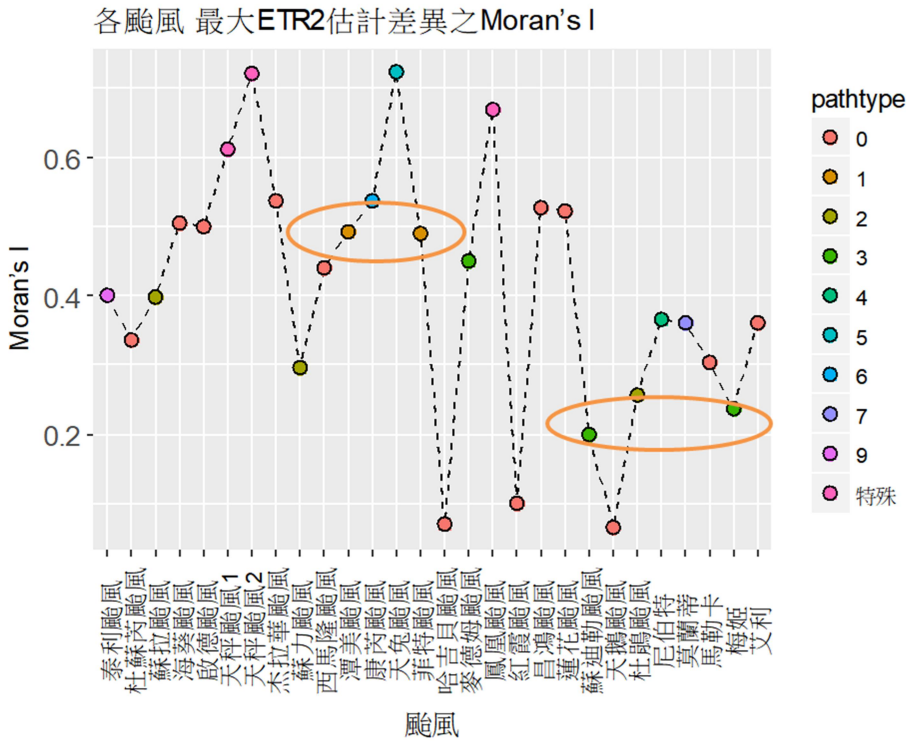


圖 54 28 個颱風事件之空間自相關(Moran's)

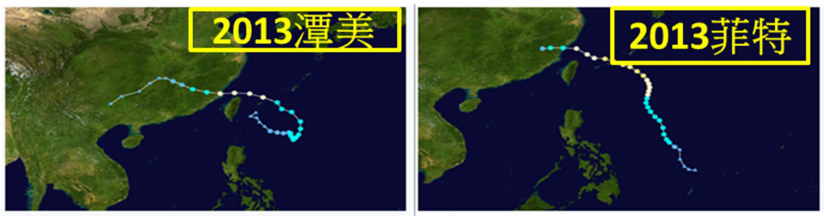


圖 55 潭美與菲特颱風路徑

因此，更進一步分析 28 個颱風事件中，路徑最為相近的兩個颱風-蘇迪勒颱風與梅姬颱風，圖 56 為兩個颱風事件之最大有效累積雨量分布圖，差異點在於最大雨量出現的位置點不同，蘇迪勒降雨最多的地點於北部福山雨量站(815mm)，梅姬降雨最多的地點於南部甲仙雨量站(867mm)，整體而言，兩個颱風事件，

降雨分布情形類似。圖 57 為最大有效累積雨量估計差異之分布圖，顯示地面觀測雨量小於 200mm 左右，較易出現高估的情形，地面觀測雨量大於 400mm 左右，較易出現低估的情形，綜觀來看，當地面觀測雨量接近時，QPE 的估計差異也存在再現性趨勢的現象。由於 QPE 是由資料藉由特定函數與方法來做估計，通常估計模型都存在的一種特性，估計值會往中心點(平均值)來趨近，也就是說對於高估或低估的部分，估計能力就沒有那麼強，在這次分析結果，我們也看到 QPE 有此特性，因此，在後續應用上面，如果以有效累積雨量(EAR)當作警報發布依據時，要特別注意此特性，或者在實際運用上，要搭配實體的地面雨量站的資訊，如將地面雨量站與 QPE 估計出來的 EAR 取其最大值，來當作發布的依據。

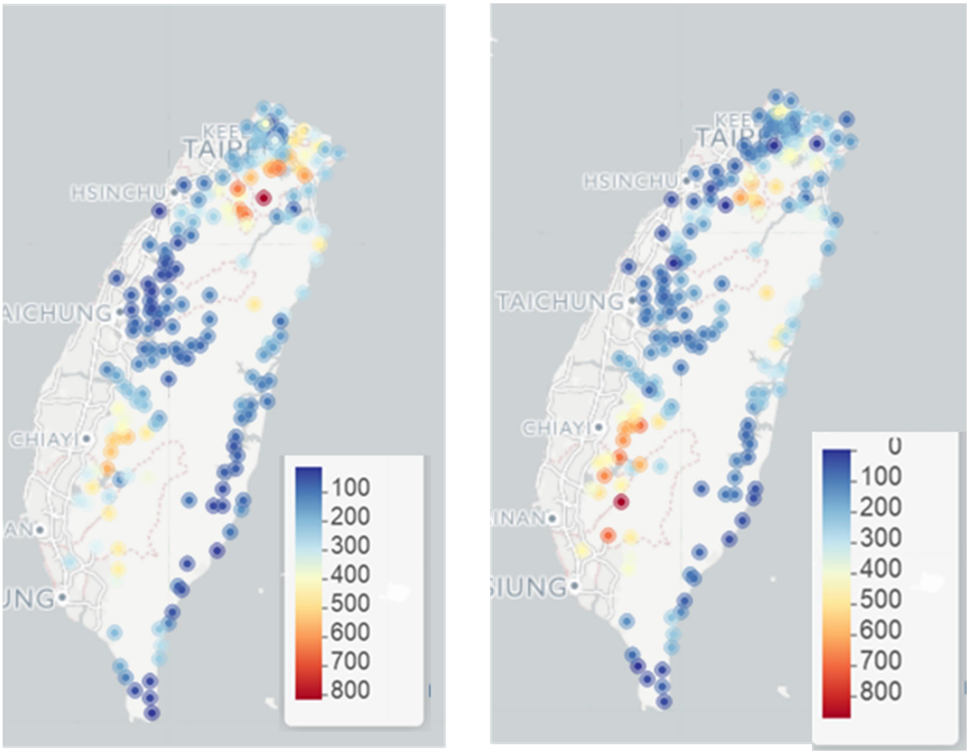


圖 56 蘇迪勒(左)與梅姬颱風(右)地面觀測雨量於最大有效累積雨量之分布

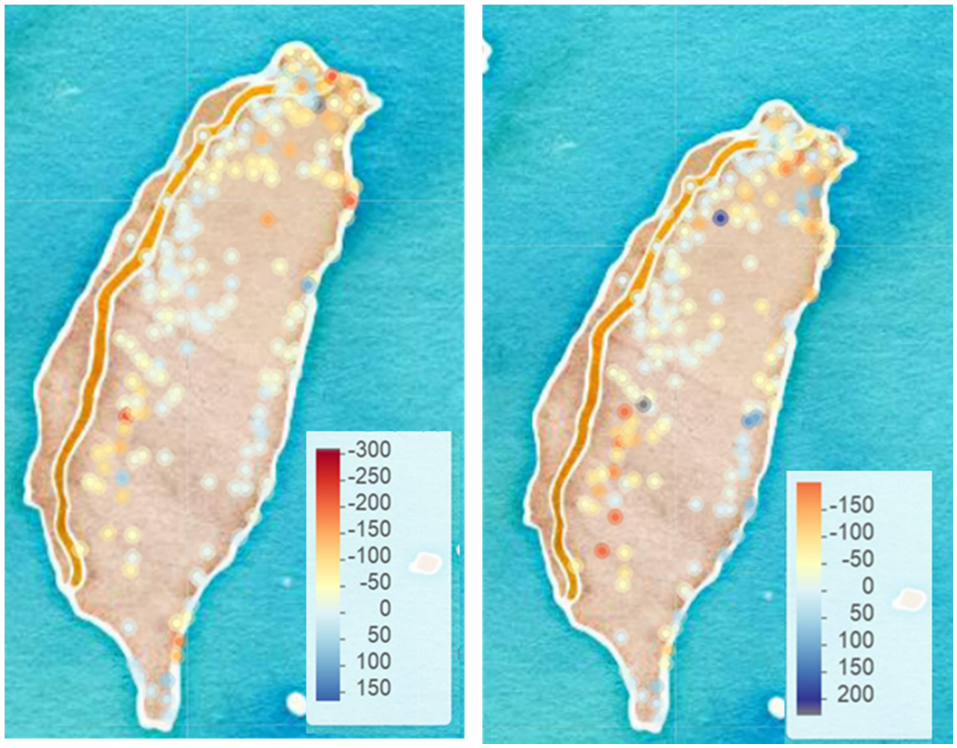


圖 57 蘇迪勒(左)與梅姬颱風(右)地面觀測雨量於最大有效累積雨量估計差異之分布

藉由全域型空間自相關分析，發現雖然蘇迪勒颱風與梅姬颱風於最大有效累積雨量差異估計的相依性不高，Moran's I值分別為 0.2 與 0.24 左右，但本研究想瞭解是否有某些雨量站與鄰近的雨量站會同時存在比預期高或低的估計差異值，探知空間聚集的現象，因此，採用地域型空間自相關 LISA 指標推算最大有效累積雨量差異估計之聚集區域，圖 58 顯示兩種不同的聚集類別，紅色的區域代表此點估計差異高於平均值且與此點鄰近的位置之估計差異也高於平均值，稱之為熱區(hot spot)，藍色的點代表此點估計差異低於平均值且與此點鄰近的位置之估計差異也低於平均值冷區(cold spot)，冷區也就是所謂估計差異為低估的地區，結果顯示蘇迪勒颱風與梅姬颱風於最大有效累積雨量估計差異有相似的群集聚集，低估地區大部分都聚集在中南部山區與東北角，熱區為估計差異趨近 0 或偏向高估，主要集中在南部與東部地區。

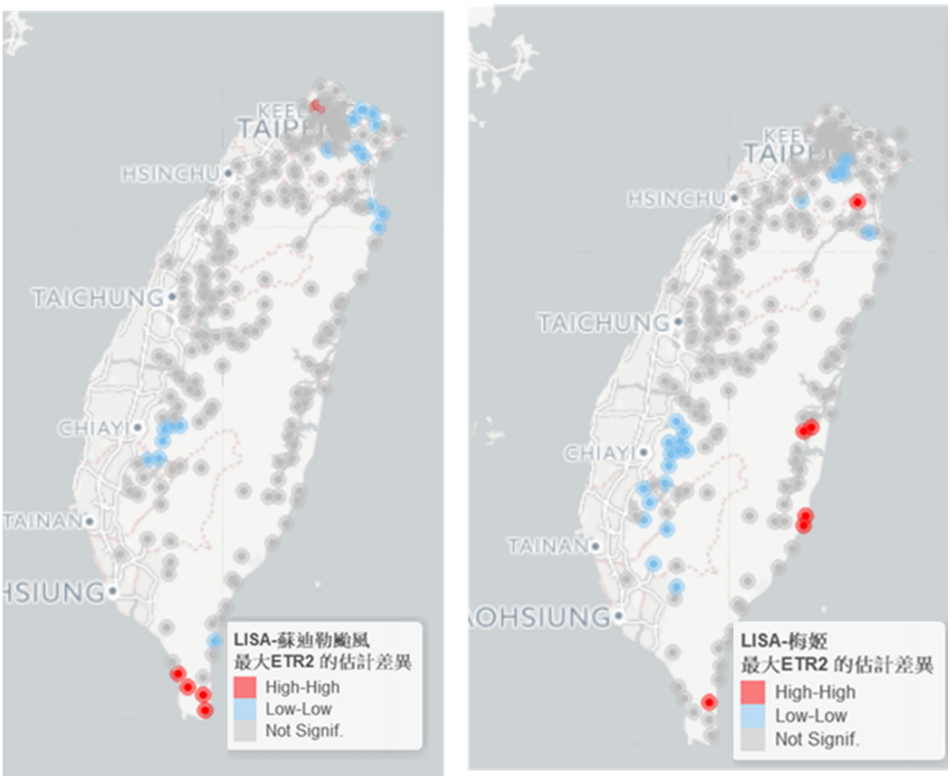


圖 58 蘇迪勒與梅姬颱風地面觀測雨量之有效累積雨量估計差異之區域

第七章　QPE 估計誤差與各因子之關聯性分析

由上述章節可以得知，分析 204 個雨量站於 28 個颱風事件之最大有效累積雨量估計差異分布，QPE 估計雨量比地面觀測雨量小 50 mm 的比例約為 22.8%，配對分析蘇迪勒颱風與梅姬颱風(兩者路徑相似以及降雨分布相似)的 QPE 估計雨量與地面觀測雨量資料，當地面觀測雨量接近時，QPE 的估計差異也存在再現性的現象，因此，如能掌握 QPE 估計誤差的特性與特徵，有利於後續 QPE 的相關應用。因此，比對過往之文獻，雨量站高程、颱風路徑與颱風強度，似乎會影響 QPE 估計誤差大小，因此本章節透過全面性的分析，探討台灣 QPE 的估計差異是否會因各因子不同而產生顯著性的影響，同時，呈現不同因子下各類別的影響的程度，為後續應用 QPE 的基礎。

第一節　高程與 QPE 估計誤差之關聯性分析

依據不同的高程，將 204 個雨量站分成五類，其中 135 個雨量站(66%)高程小於 500 公尺，界於 500 公尺至 1000 公尺的雨量站有 44 個，界於 1000 公尺至 1500 公尺的雨量站有 19 個，界於 1500 公尺至 2000 公尺的雨量站有 5 個，高於 2500 公尺的雨量站只有 1 個，因雨量站高程分布不均，高於 2500 公尺只有一個雨量站(如圖 59)。

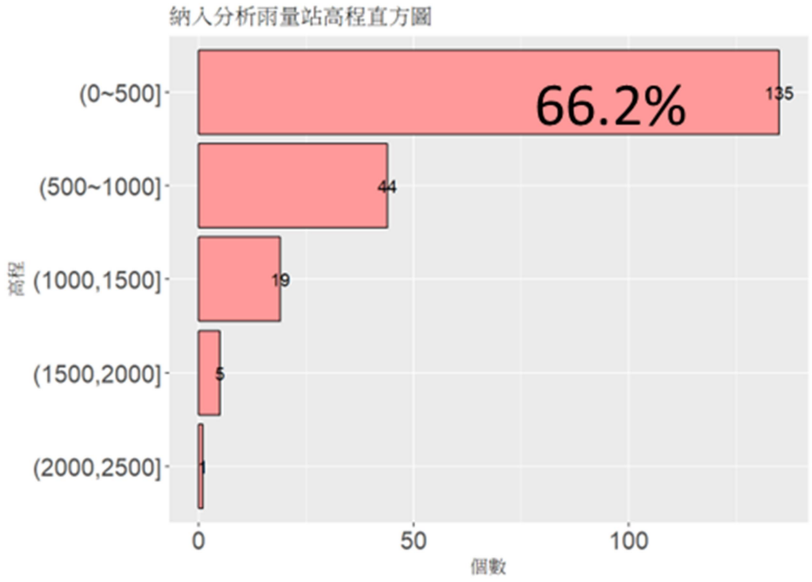


圖 59 204 個雨量站高程分布情形

圖 60 為 28 個颱風事件中累積雨量的分布情形，並以高程分類來看，盒子的中線為這組別中最大 EAR 估計誤差的中位數，發現不同高程組別中中位數都接近於零，但會有些颱風事件或雨量站的其他因子，造成最大 EAR 估計誤差有比較大變異，因此，進一步以 ANOVA 分析發現各高程類別最大有效累積雨量平均並不完全相等(p-value=0.039)，採用 Turkey 事後比較分析，發現[1500,2000]這組別的平均數顯著比[1000,1500]來的大。

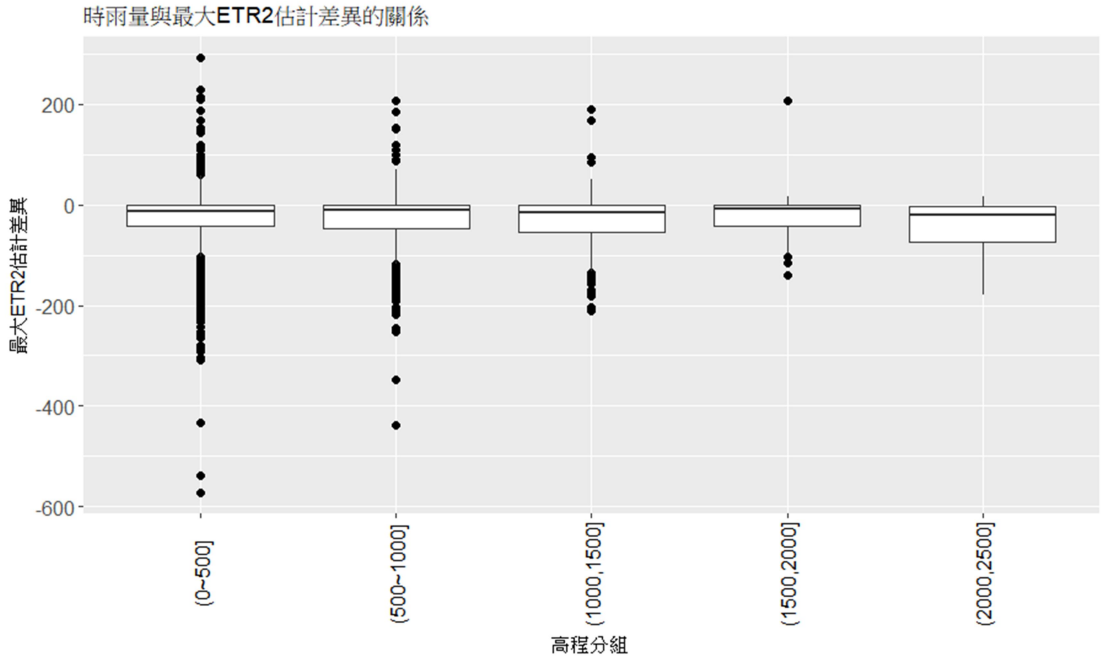


圖 60 不同高程組別最大有效累積雨量估計差異

從高程連續性的角度來分析，圖 61 呈現不同地面雨量站高程的 QPE 及地面觀測的最大有效累積雨量量變化，發現地面觀測最大有效累積雨量平均而言都大於 QPE 最大有效累積雨量。

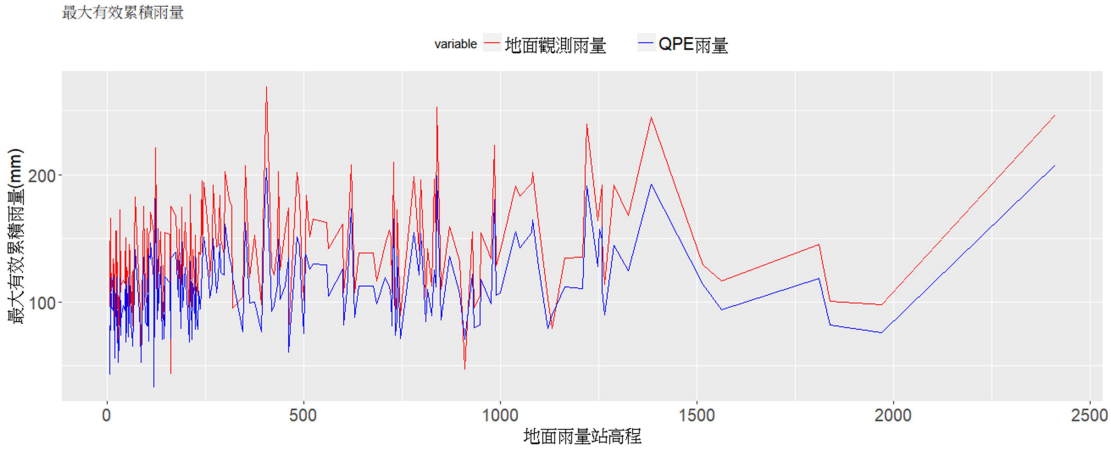


圖 61 地面雨量站高程與 QPE 及地面觀測於最大有效累積雨量趨勢圖

圖 62 呈現地面雨量站高程於最大有效累積雨量誤差，在和中、福山以及鞍部最大有效累積平均誤差超過 60mm，總計有 14 個雨量站最大有效累積平均誤差超過 50mm(如表 8)，但本次資料分析上沒有發現與文獻相同的現象，呈現高程越高，最大有效累

積平均誤差越大的情形，有可能台灣的雨量站高程集中於 500 公尺以內有關，在高程的分布上較不平均。

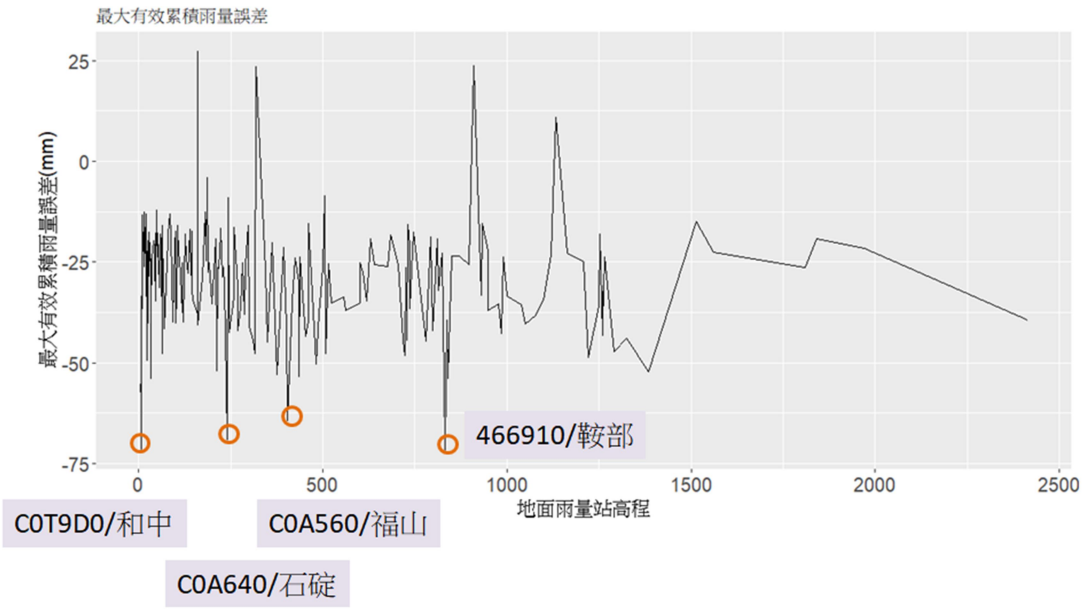


圖 62 地面雨量站高程於最大有效累積雨量誤差趨勢圖

表 8 最大有效累積雨量誤差平均超過 50mm 之雨量站列表

雨量站	最大有效累積雨量誤差平均	高程	地面雨量站最大有效累積雨量平均	QPE 最大有效累積雨量平均
466910/鞍部	-71.5	832.6	196.5	125.0
C0T9D0/和中	-71.4	7.0	147.7	76.2
C0A640/石碇	-68.9	241.0	194.8	125.9
C0A560/福山	-64.2	405.0	269.2	205.1
C0U770/南澳	-57.5	5.0	138.5	81.0
467540/大武	-55.5	8.1	166.1	110.5

雨量站	最大有效累積雨量誤差平均	高程	地面雨量站最大有效累積雨量平均	QPE 最大有效累積雨量平均
C0U760/東澳	-53.9	32.0	172.2	118.3
C1D400/鳥嘴山	-53.9	839.0	252.8	199.0
C1A9N0/四十份	-53.4	435.0	202.6	149.2
C0A880/福隆	-53.1	6.0	96.6	43.5
C0S770/大溪山	-53.0	375.0	152.7	99.8
C0M530/奮起湖	-52.1	1385.0	244.8	192.7
C0Z020/明里	-52.0	211.0	184.2	132.1
C0C460/復興	-50.3	482.0	201.6	151.3

第二節 颱風強度及颱風路徑與 QPE 估計誤差之關聯性分析

分析 2012~2016 共 28 個颱風事件，依輕度、中度、強度颱風來看，約各占 1/3 左右，如果依陸警來看，近五年，中強度的颱風佔的比例為 73%，侵台的陸警強度都偏高。以颱風路徑來看，颱風路徑 0 於本分析中歸類於海警，而路徑方面以路徑 2 與路經 3 的走勢較多。由於當一個颱風過來，颱風強度與路徑是一起考量，因此本節分析改以組合颱風強度及颱風路徑探究與 QPE 估計誤差之關聯性。在這五年當中，颱風強度及颱風路徑的組合數共有 15 個，統計這 15 各颱風路徑於這五年間，發生的次數統計如圖 63，以輕度颱風海警最多。

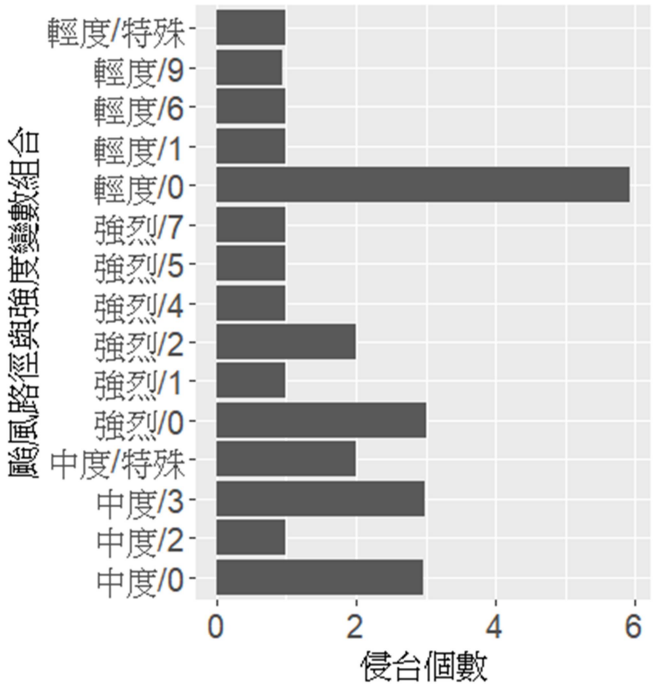


圖 63 各颱風強度及颱風路徑的組合次數統計

然而，採用變異數分析(ANOVA)，發現各颱風強度及颱風路徑組合的最大有效累積雨量誤差平均值間有顯著的差異(p-value<0.0001)，因此，颱風強度與颱風路徑的組合會影響最大有效累積雨量誤差。同時，以圖 64 與圖 65 可以看出，所有的組合數皆為低估，以中度颱風路徑 2 最大有效累積雨量誤差為最多，達-96.3mm，次之為輕度颱風路徑 1，達-61mm，由此圖可以看出，每一個颱風強度與路徑的組合對於最大有效累積誤差的影響是不一致的。

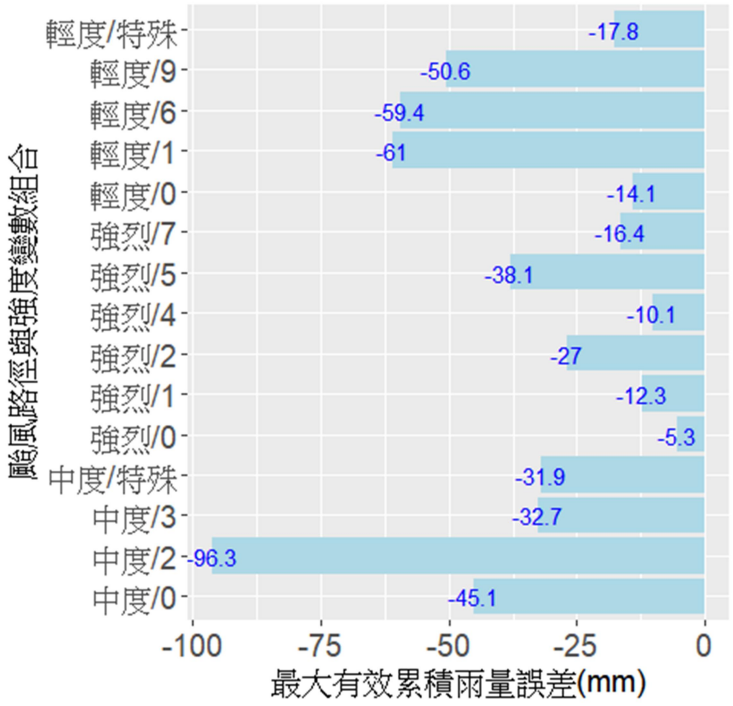


圖 64 各颱風強度及颱風路徑的組合最大累積估計誤差平均

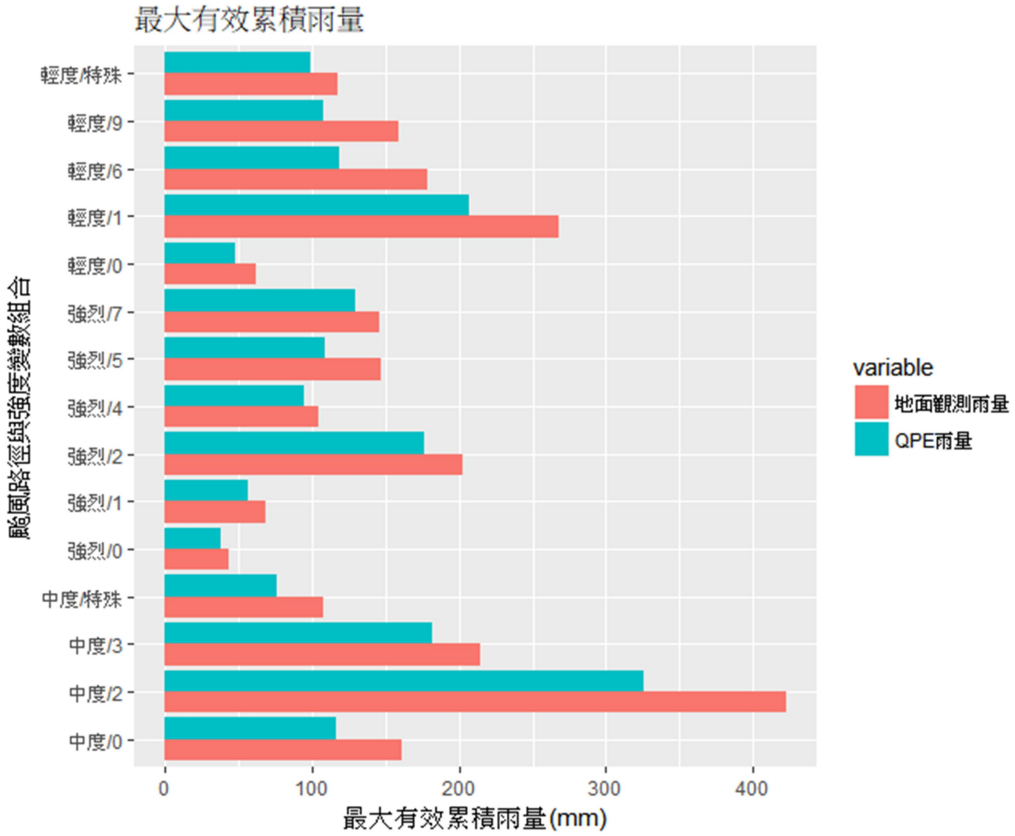


圖 65 各颱風強度及颱風路徑的組合於地面雨量站與 QPE 雨量之最大有效累積雨量平均

第三節 坡向與 QPE 估計誤差之關聯性分析

本節探討坡向是否是影響 QPE 估計誤差的因子之一。由於雨量站坡向這資訊隱藏在地形之中，透過 ArcGIS 分析軟體，匯入內政部 20 公尺網格數值地形模型資料(如圖 66)，進行坡向分析，再套疊 204 個雨量站點位取出 204 個雨量站之坡向類別變數，後續採用 R 語言進行相關性分析。

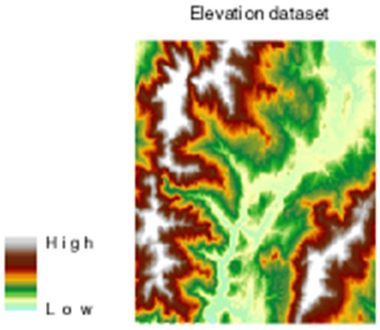


圖 66 內政部 20 公尺網格數值地形圖

將坡向分為 9 個類別，包含平面、北、東北、東、東南、南、西南、西、西北、北，如圖 67。

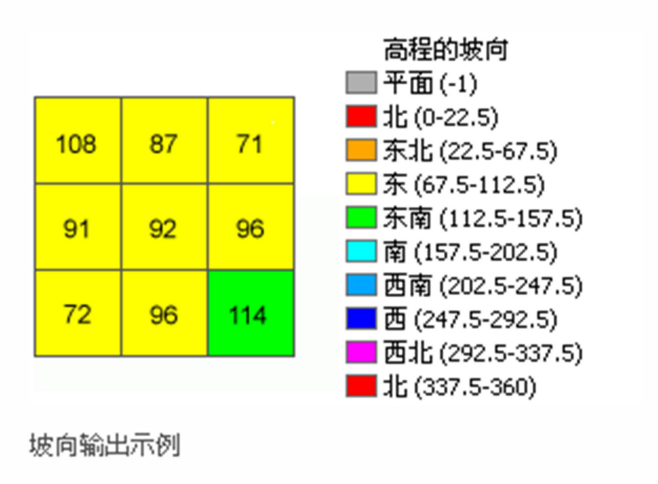


圖 67 坡向網格示意圖

204 個雨量站之坡向組別數量的統計如圖 68 所示，雨量站以西北方向為最多，其次依序為南、西南等。圖 69 是以地圖呈現 204 個雨量站之坡向及雷達站位置圖。

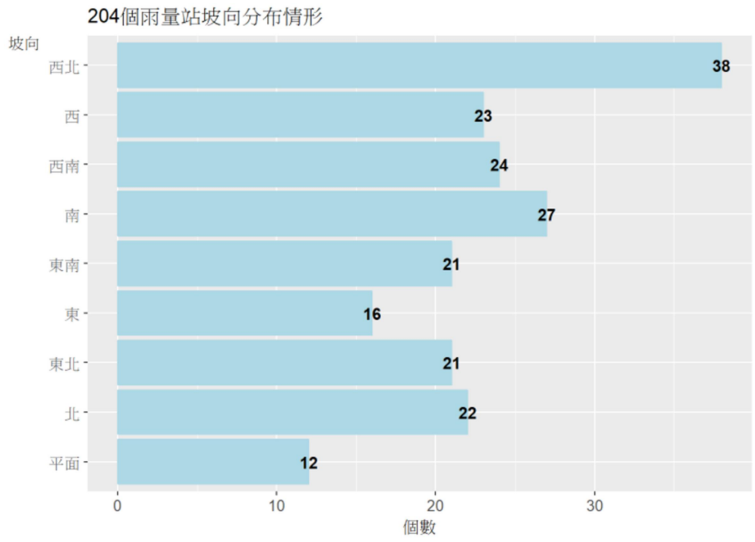


圖 68 各坡向組別數量統計圖

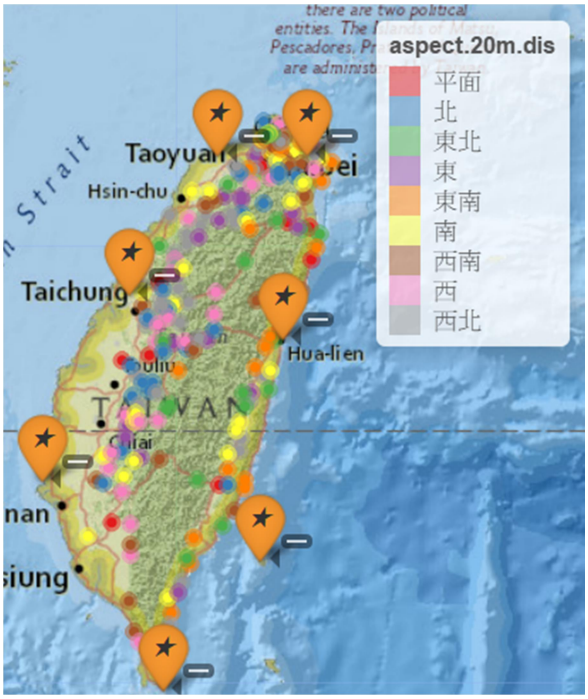


圖 69 204 個雨量站之坡向圖

圖 70 呈現各坡向雨量站最大有效累積雨量誤差平均值，坡向為東的最大有效累積雨量估計誤差最大，約為-35.5mm，採用

變異數分析(ANOVA)看坡向對於最大有效累積雨量估計差異的變異，發現各坡向最大有效累積雨量誤差的平均沒有顯著的差異(p-value=0.07)，比對圖 69 可能是由於台灣北部、西部、南部與東部皆有各坡向之雨量站，因此，坡向對於最大有效累積估計誤差無顯著之影響。

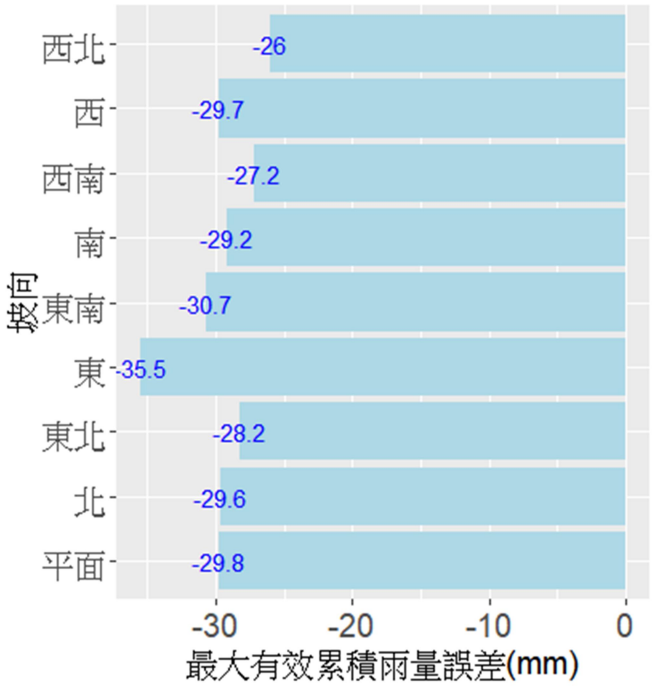


圖 70 各坡向雨量站之最大有效累積雨量誤差平均值

第八章　QPE信心度變化分析

中央氣象局QPESUMS產品之QPE，會受到地形與每一網格距離地面雨量站個數與遠近的影響，因此搭配信心度產品來呈現每個網格QPE之信心度。然而，此信心度指標以最低仰角高度與地面雨量站和 QPE 的相關係數以及地面雨量站的修正程度來做計算，然而相關係數描述兩兩數值的線性相關性，無法考量倆倆的差距，因此，本章以QPE信心度等級、QPE信心度變化與QPE信心度與QPE誤差比較分析這三個面向進行探討。

第一節 QPE信心度等級

劇烈天氣系統(QPESUMS，Quantitative Precipitation Estimation and Segregation Using Multiple Sensor)，從西元2002年起，提供定量降水估計(QPE)及短時定量降水預報等產品[14]。其中，雷達定量估計降雨(QPE)透過回波與降雨量的關係進行估計降雨，然而，QPE 會受到地形的影響，使用雨量站即使觀測資料進行降雨量修正，方法是利用雨量站與其上雷達估計降雨格點上差值，經客觀分析，將格點上的差值加上原本的雷達降雨估計量，得到QPE的數值，然這樣的數值無法明確說明其每個網格資料之準確度，因此搭配開發了雷達定量降雨估計信心度產品[15]，以最低仰角高度與權重函數(W)來定義格點上雷達降雨估計信心度等級。圖 71 為台灣整合六部雷達後之最低雷達可用仰角高度色階圖，西部的最低雷達可用仰角大部分高於5km。

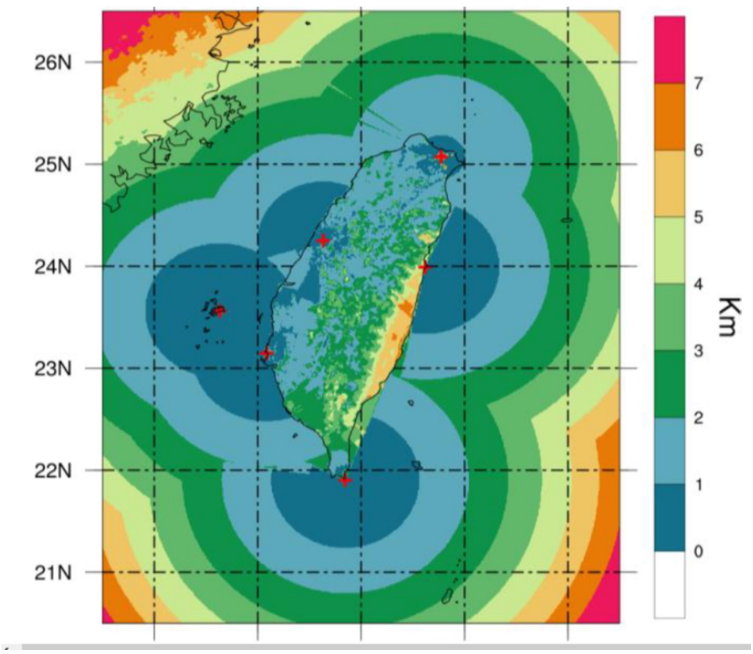


圖 71 整合 6 部雷達的最低雷達可用仰角高度色階表(km)[15]

透過 2014 年梅雨季的資料，分析雨量站與 QPE 網格的相關係數與仰角高度的關係得到圖 72，藍色線為雷達降雨估計與雨量站間相關係數，直方圖統計各雨量站位置之雷達仰角高度，顯示最低仰角高度越低，其雷達估計降雨量與實際觀測雨量相關性高，因此雷達仰角高度判斷信心度等級以高度 3 公里為門檻。

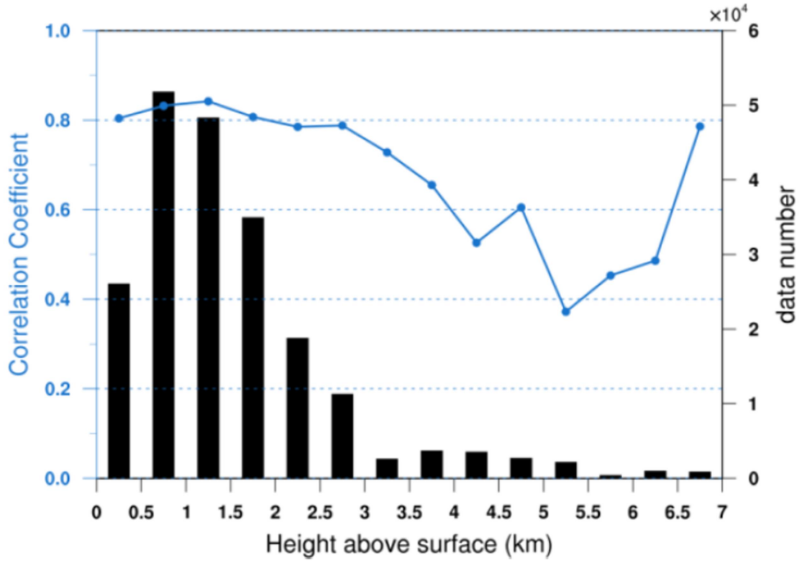


圖 72 雷達仰角高度與 QPE 和地面雨量站相關係數趨勢圖[15]

信心度等級將陸地上的格點資料分為三個等級，分別為佳(1)、中等(2)和不佳(3)，格點解析度為 1.3 km x 1.3 km。由於 QPE 使用地面雨量站進行降雨量的修正，因此在信心度產品中以權重函數(W)來了解雨量站資料對於 QPE 降雨修正的影響，收集半徑 30 公里內雨量站個數，最多取最近 6 站，計算範圍內雨量站與格點距離之倒數之和。

$$W_{i,j} = \sum_{n=1}^{M} \frac{1}{r}$$

權重函數越大，代表雷達定量估計降雨受雨量站資料修正程度越大。判斷法則如圖 73。發現，此信心度分類主要以權重函數為主當 W>0.3 信心等級為佳，包含有一個雨量站距離網格點小於 3.3 公里以及多個雨量站雖然大於 3.3 公里但距離倒數累加起來超過 0.3，則代表這個網格之信心度等級為佳；中等維權重函數小於 0.3，但最低可用仰角高度小於 3 公里；不佳為最低可用仰角高度大於 3 公里且權重函數也小於 0.3 公里，代表這各網格較無地面雨量站之修正。圖 74 呈現全台的雷達降雨估計之信心度分級，有百分之 34%屬於佳、百分之 51%屬於中與 15%屬於不佳。

等級	權重函數	最低可用仰角高度
佳	> 0.3	
中等		≦ 3
不佳	≦0.3	>3

圖 73 信心度分類設定(最低可用仰角高度單位為公里(km))[15]

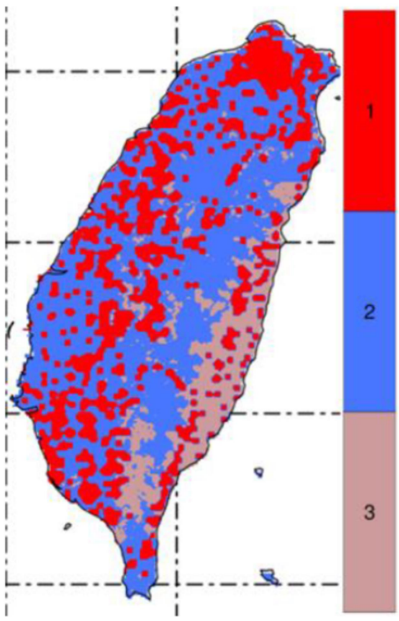


圖 74 雷達定量降雨信心度分級[15]

第二節 QPE 信心度變化分析

為了瞭解水保局內部目前 QPE 信心度數值的變化，本節彙整台灣時間 2016 年 7 月與 2016 年 11 月裡，分析 204 各雨量站上垂直的對應網格的信心度指標，分析颱風月份以及非汛期月份 QPE 信心度的變化，抽取每天早上 8:00 的信心度值為每日的代表值進行分析。透過平均數與標準差這兩個指標，分析信心度數值的變化(如圖 75~圖 78)，以信心度的變化可分為四大類型：

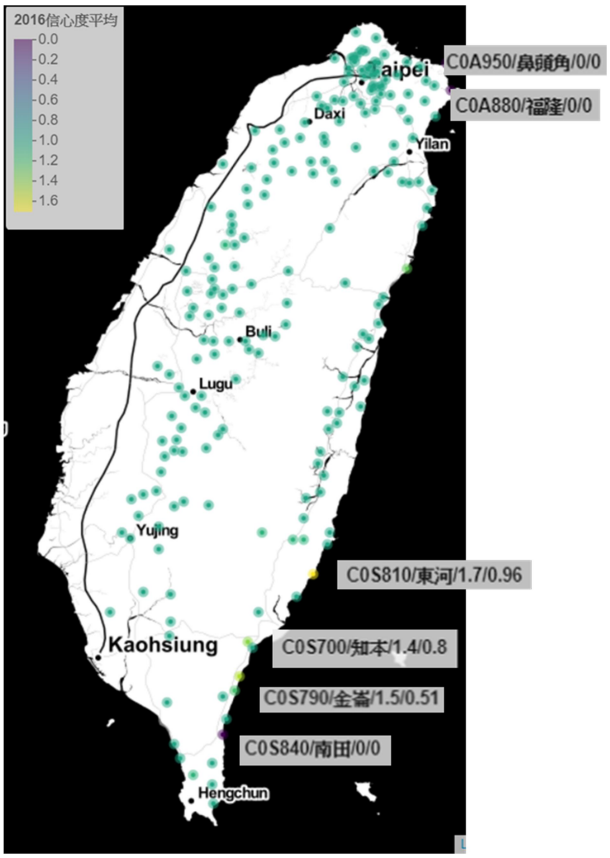


圖 75 2016 年 7 月信心度平均分布圖

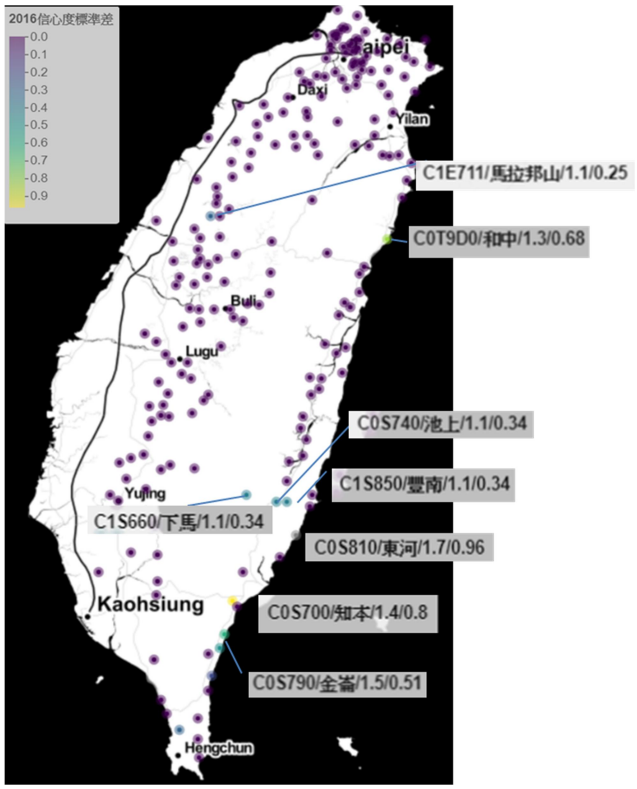


圖 76 2016 年 7 月信心度標準差分布圖

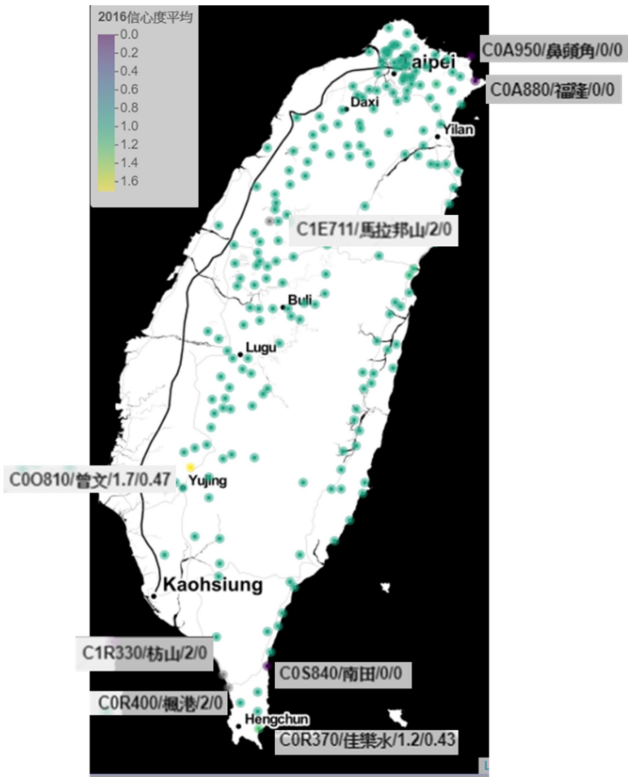


圖 77 2016 年 11 月信心度平均分布圖

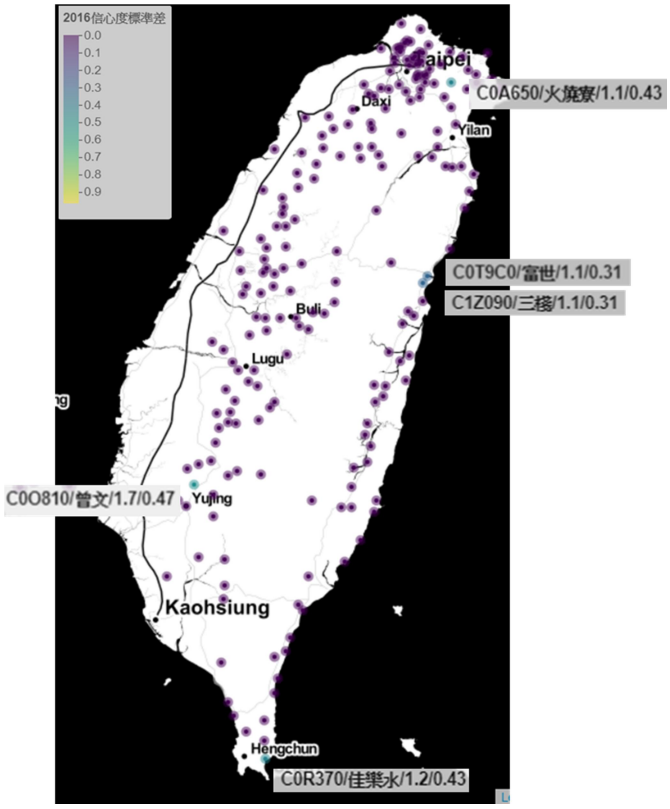


圖 78 2016 年 11 月信心度標準差分布圖

一、大部分雨量，信心度為佳(1)

由於信心度分類設定的關係，雨量站上方的網格絕大部份信心度為佳(1)。

二、少數雨量站，信心度為0

在這兩個月中，發現鼻頭角、福隆與南田此三個站信心度指標為 0，但是比對地面雨量資料是有數值的，透過空間分布發現此三個雨量站網格點靠近海邊，透過中央氣象局的承辦，原來中央氣象局的信心度數值，只有台灣本島的陸地才會有資料，所以靠近沿海的雨量站信心度指標大多會變成 0。

三、少部分雨量站，信心度指標大於1

7 月份在東河的信心度平均為 1.7 與金崙的信心度平均為 1.5，11 月份在馬拉邦信心度平均 2、曾文信心度平均為 1.7、楓港信心度平均為 2、枋山的信心度平均為 2 與佳樂水信心度平均為 1.2。

四、少部分雨量站，信心度指標會有所變動，不為固定值

透過信心度標準差的指標，我們發現，信心度指標會因為一些因素而有所變動，如西元 2016 年 7/6~7/9 號有強颱尼伯特颱風經過，比對雨量站的資料發現有些雨量站因颱風吹壞(如表 9)，信心度指標就會有所變動(如圖 79)，與劇烈天氣監測系統(QPESUMS)之防災應用[2]所羅列計算的準則有所不同，透過與中央氣象局聯繫，得知當時雨量站資料沒有接收到資料，權重就會降低，沒有雨量站資料的可能原因包含雨量站儀器故障、資料傳輸不穩定延遲等，皆會造成沒有雨量站資料，信心度指標會隨著雨量站的最新狀態而有所變化(如圖 80)。最新 QPE 信心度指標

於 2017 年初根據即時雷達狀態改變的最低可用仰角高度進行信心度指標的計算如圖 81 所示，然而，不同的計算法則，在水土保持防災的應用上流程與方式可能會有所不同，因此，建議水保局應持續追蹤與紀錄 QPESUMS 信心度與 QPE 的計算方法更新的時間與變動的情形，後續的追蹤分析才能發揮效用。

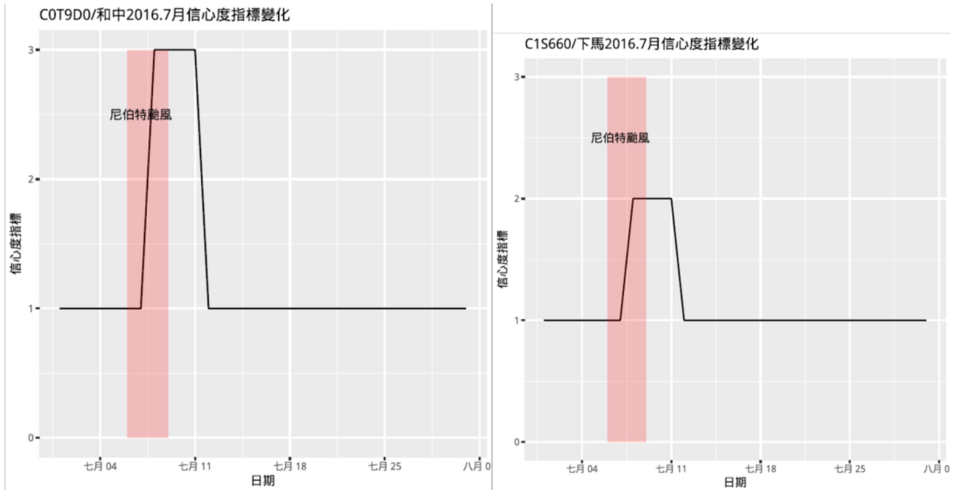


圖 79 颱風吹壞雨量站導致信心度指標的變動

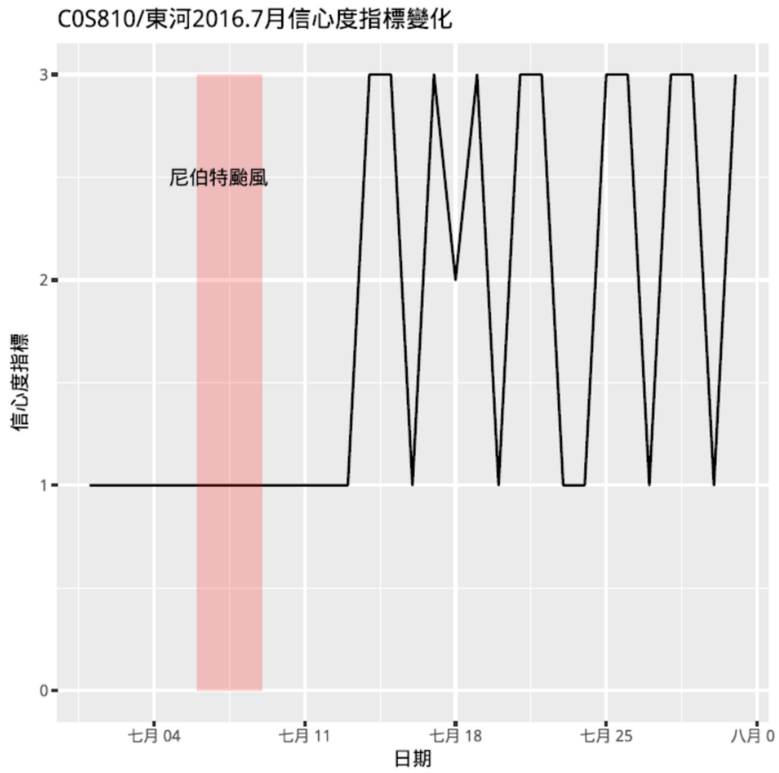


圖 80 雨量站資料沒有接收到資料導致信心度指標變動

表 9 尼伯特颱風時間雨量站故障清單[16]

雨量站故障清單	故障發生時間
台東縣大武鄉－大鳥(參考雨量站)(88S670)	2016/7/8 06:00~ 2016/7/8 06:40
台東縣池上鄉－池上(參考雨量站)(C0S740)	
台東縣長濱鄉－長濱(參考雨量站)(C0S830)	
台東縣海端鄉－下馬(參考雨量站)(C1S660)	
台東縣海端鄉－紅石(參考雨量站)(C0S760)	
台東縣鹿野鄉－鹿野(參考雨量站)(C0S710)	
台東縣鹿野鄉－鹿鳴橋(參考雨量站)(00S120)	
花蓮縣秀林鄉－三棧(參考雨量站)(C1Z090)	
花蓮縣秀林鄉－和中(參考雨量站)(88T830)	
花蓮縣秀林鄉－和中(參考雨量站)(C0T9D0)	
花蓮縣富里鄉－明里(參考雨量站)(01T720)	
花蓮縣富里鄉－豐南(參考雨量站)(C1S850)	
花蓮縣壽豐鄉－大坑(參考雨量站)(C0T9E0)	
花蓮縣豐濱鄉－靜浦(參考雨量站)(C0T9M0)	
花蓮縣豐濱鄉－豐濱(參考雨量站)(01T730)	
臺東縣關山鎮－關山(參考雨量站)(C0S890)	

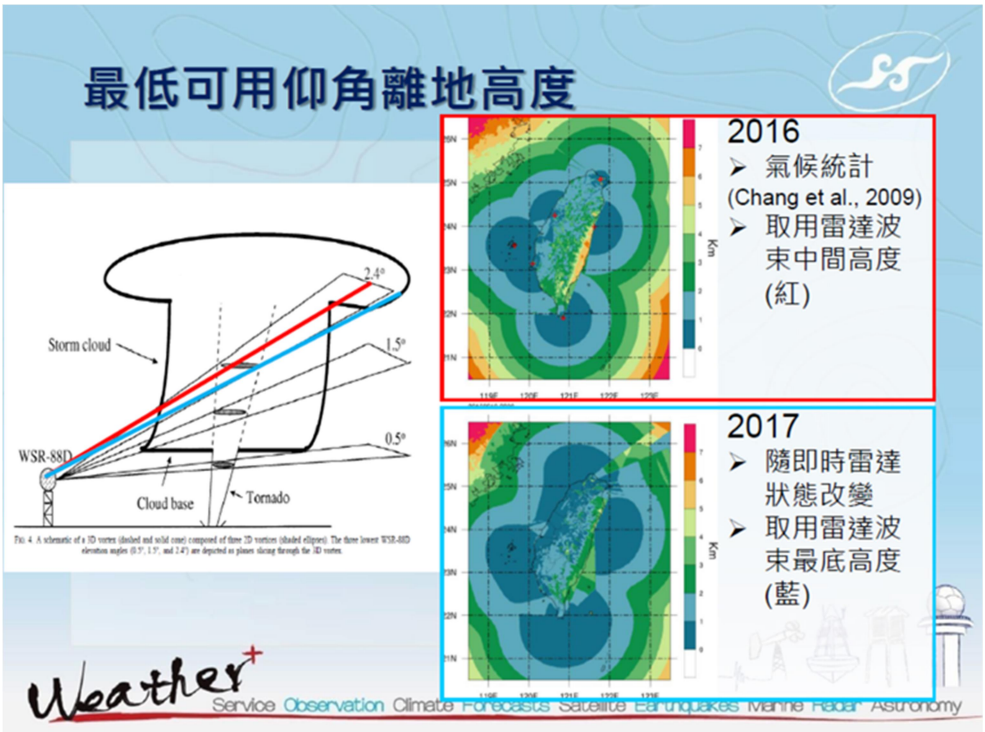


圖 81 信心度指標 2017 最低可用仰角離地高度

第三節 QPE 信心度與 QPE 低估雨量站比較分析

透過本研究之分析結果，發現到有 53 個雨量站之資料超過百分之五十落在低估區(QPE <地面雨量站*0.8)，因此，進一步比對中央氣象局之信心度產品，由於信心度的產品以最低仰角高度與權重函數(W)來定義格點上雷達降雨估計信心度等級，計算雨量站上的垂直對應網格的信心度，大部分皆屬於佳(1)，只有少部分是無法得到信心值(0)與信心值大於 1 的情形。因此，把雨量站區分成兩類，透過表 10 顯示 QPE 低估的狀態與信心度指標無有明顯的相關性,綠色標記為信心度指標平均為 0 的雨量站。

表 10 QPE 信心度與 QPE 低估雨量站統計表

STID	STNAME	落在低估 [註 1]	落在高估 [註 2]	信心度平均 7 月	信心度標準差 7 月	信心度平均 11 月	信心度標準差 11 月
01AF90	三貂嶺	1	0	1	0	1	0
01B030	五堵	1	0	1	0	1	0
466910	鞍部	1	0	1	0	1	0
466940	基隆	1	0	1	0	1	0
467060	蘇澳	1	0	1	0	1	0
467540	大武	1	0	1	0.18	1	0
467610	成功	1	0	1	0	1	0
A1AA40	碧湖國小	1	0	1	0	1	0
A1AA60	留公國中	1	0	1	0	1	0
A1AC70	挹翠	1	0	1	0	1	0
A1AC90	溪山	1	0	1	0	1	0
A1AD40	油坑	1	0	1	0	1	0
A1AD60	貓空	1	0	1	0	1	0
A1AD80	貴子	1	0	1	0	1	0
C0A640	石碇	1	0	1	0	1	0
C0A880	福隆	1	0	0	0	0	0
C0A930	三和	1	0	1	0	1	0
C0A950	鼻頭角	1	0	0	0	0	0

STID	STNAME	落在低估[註1]	落在高估[註2]	信心度平均7月	信心度標準差7月	信心度平均11月	信心度標準差11月
C0A980	社子	1	0	1	0	1	0
C0AD10	八里	1	0	1	0	1	0
C0AG90	中和	1	0	1	0	1	0
C0C460	復興	1	0	1	0	1	0
C0E790	卓蘭	1	0	1	0	1	0
C0O810	曾文	1	0	1	0	1.7	0.47
C0O930	玉井	1	0	1	0	1	0
C0R370	佳樂水	1	0	1	0	1.2	0.43
C0S700	知本	1	0	1.4	0.8	1	0
C0S770	大溪山	1	0	1.2	0.4	1	0
C0S790	金崙	1	0	1.5	0.51	1	0
C0S810	東河	1	0	1.7	0.96	1	0
C0S840	南田	1	0	0	0	0	0
C0T900	西林	1	0	1	0	1	0
C0T9D0	和中	1	0	1.3	0.68	1	0
C0T9H0	加路蘭山	1	0	1	0	1	0
C0U680	冬山	1	0	1	0	1	0
C0U760	東澳	1	0	1	0	1	0
C0U770	南澳	1	0	1	0	1	0
C0V250	甲仙	1	0	1	0	1	0
C0V310	美濃	1	0	1	0	1	0
C0Z020	明里	1	0	1	0	1	0
C1A9N0	四十份	1	0	1	0	1	0
C1D640	外坪五指	1	0	1	0	1	0
C1I230	九份二山	1	0	1	0	1	0
C1O850	環湖	1	0	1	0	1	0
C1O870	大棟山	1	0	1	0	1	0
C1S630	都蘭	1	0	1	0	1	0
C1T950	太安	1	0	1	0	1	0
C1U580	北關	1	0	1	0	1	0
C1U670	寒溪	1	0	1	0	1	0
C1U690	新寮	1	0	1	0	1	0

STID	STNAME	落在低估[註1]	落在高估[註2]	信心度平均7月	信心度標準差7月	信心度平均11月	信心度標準差11月
C1U720	南山	1	0	1	0	1	0
C1X040	東原	1	0	1	0	1	0
C1Z040	立山	1	0	1	0	1	0
01A210	大豹	0	0	1	0	1	0
01AG00	社后橋	0	0	1	0	1	0
01C400	石門後池	0	0	1	0	1	0
21C070	巴陵	0	0	1	0	1	0
21C080	高義	0	0	1	0	1	0
21C090	嘎拉賀	0	0	1	0	1	0
21C140	霞雲	0	0	1	0	1	0
21D150	玉峰	0	0	1	0	1	0
467530	阿里山	0	0	1	0	1	0
A0A9M0	新店	0	0	1	0	1	0
A1A9T0	大屯國小	0	0	1	0	1	0
A1A9V0	北投國小	0	0	1	0	1	0
A1AA30	至善國中	0	0	1	0	1	0
A1AB60	福德	0	0	1	0	1	0
A1AB80	雙溪	0	0	1	0	1	0
A1AC50	舊莊	0	0	1	0	1	0
A1AC60	九如	0	0	1	0	1	0
A1AG20	大湖	0	0	1	0	1	0
A1AG30	稻香	0	0	1	0	1	0
A1AG40	四獸	0	0	1	0	1	0
C0A520	山佳	0	0	1	0	1	0
C0A530	坪林	0	0	1	0	1	0
C0A540	四堵	0	0	1	0	1	0
C0A550	泰平	0	0	1	0	1	0
C0A560	福山	0	0	1	0	1	0
C0A580	屈尺	0	0	1	0	1	0
C0A650	火燒寮	0	0	1	0	1.1	0.43
C0A660	瑞芳	0	0	1	0	1	0
C0A860	大坪	0	0	1	0	1	0

STID	STNAME	落在低估[註1]	落在高估[註2]	信心度平均7月	信心度標準差7月	信心度平均11月	信心度標準差11月
C0A870	五指山	0	0	1	0	1	0
C0A890	雙溪	0	0	1	0	1	0
C0A9A0	大直	0	0	1	0	1	0
C0A9F0	內湖	0	0	1	0	1	0
C0AC40	大屯山	0	0	1	0	1	0
C0AC60	三峽	0	0	1	0	1	0
C0ACA0	新莊	0	0	1	0	1	0
C0AD00	三芝	0	0	1	0	1	0
C0AD20	深坑	0	0	1	0	1	0
C0AD30	蘆洲	0	0	1	0	1	0
C0AD40	土城	0	0	1	0	1	0
C0AD50	鶯歌	0	0	1	0	1	0
C0C480	桃園	0	0	1	0	1	0
C0C630	大溪	0	0	1	0	1	0
C0D360	梅花	0	0	1	0	1	0
C0D390	關西	0	0	1	0	1	0
C0D430	峨眉	0	0	1	0	1	0
C0D480	打鐵坑	0	0	1	0	1	0
C0D540	橫山	0	0	1	0	1	0
C0E420	竹南	0	0	1	0	1	0
C0E430	南庄	0	0	1	0	1	0
C0E610	馬都安	0	0	1	0	1	0
C0F930	大甲	0	0	1	0	1	0
C0F970	大坑	0	0	1	0	1	0
C0F9A0	中竹林	0	0	1	0	1	0
C0F9M0	豐原	0	0	1	0	1	0
C0G850	田中	0	0	1	0	1	0
C0H950	中寮	0	0	1	0	1	0
C0I010	廬山	0	0	1	0	1	0
C0I090	鳳凰	0	0	1	0	1	0
C0I110	竹山	0	0	1	0	1	0
C0K240	草嶺	0	0	1	0	1	0

STID	STNAME	落在低估[註1]	落在高估[註2]	信心度平均7月	信心度標準差7月	信心度平均11月	信心度標準差11月
C0M410	馬頭山	0	0	1	0	1	0
C0M530	奮起湖	0	0	1	0	1	0
C0R150	三地門	0	0	1	0	1	0
C0R280	檳榔	0	0	1	0	1	0
C0R400	楓港	0	0	1	0	2	0
C0R420	牡丹池山	0	0	1	0	1	0
C0S740	池上	0	0	1.1	0.34	1	0
C0T841	新城	0	0	1	0	1	0
C0T870	鯉魚潭	0	0	1	0	1	0
C0T960	光復	0	1	1	0	1	0
C0T9B0	水源	0	0	1	0	1	0
C0T9C0	富世	0	0	1	0	1.1	0.31
C0T9F0	水璉	0	0	1	0	1	0
C0U600	礁溪	0	0	1	0	1	0
C0U650	玉蘭	0	0	1	0	1	0
C0V150	表湖	0	0	1	0	1	0
C0Z061	玉里	0	0	1	0	1	0
C0Z080	富源	0	0	1	0	1	0
C1D380	新埔	0	0	1	0	1	0
C1D400	鳥嘴山	0	0	1	0	1	0
C1D410	白蘭	0	0	1	0	1	0
C1D630	飛鳳山	0	0	1	0	1	0
C1E451	象鼻	0	0	1	0	1	0
C1E461	松安	0	0	1	0	1	0
C1E670	南礦	0	0	1	0	1	0
C1E681	南勢山	0	0	1	0	1	0
C1E701	八卦	0	0	1	0	1	0
C1E711	馬拉邦山	0	0	1.1	0.25	2	0
C1E770	公館	0	0	1	0	1	0
C1F871	上谷關	0	0	1	0	1	0
C1F911	新伯公	0	0	1	0	1	0
C1F9B1	桐林	0	0	1	0	1	0

STID	STNAME	落在低估[註1]	落在高估[註2]	信心度平均7月	信心度標準差7月	信心度平均11月	信心度標準差11月
C1F9C1	白冷	0	0	1	0	1	0
C1F9D1	白毛台	0	0	1	0	1	0
C1F9E1	龍安	0	0	1	0	1	0
C1F9F1	伯公龍	0	0	1	0	1	0
C1F9G1	慶福山	0	0	1	0	1	0
C1F9H1	烏石坑	0	0	1	0	1	0
C1F9J1	清水林	0	0	1	0	1	0
C1F9W0	德基	0	0	1	0	1	0
C1H860	瑞岩	0	0	1	0	1	0
C1H900	清流	0	0	1	0	1	0
C1H920	長豐	0	0	1	0	1	0
C1H941	雙冬	0	0	1	0	1	0
C1I020	萬大	0	0	1	0	1	0
C1I030	武界	0	0	1	0	1	0
C1I070	和社	0	0	1	0	1	0
C1I101	溪頭	0	1	1	0	1	0
C1I121	大鞍	0	0	1	0	1	0
C1I131	桶頭	0	0	1	0	1	0
C1I150	青雲	0	0	1	0	1	0
C1I201	中心崙	0	0	1	0	1	0
C1I220	樟湖	0	0	1	0	1	0
C1I240	外大坪	0	0	1	0	1	0
C1I250	鯉潭	0	0	1	0	1	0
C1I260	北坑	0	0	1	0	1	0
C1I280	埔中	0	1	1	0	1	0
C1I330	楓樹林	0	0	1	0	1	0
C1I340	新興橋	0	0	1	0	1	0
C1M480	獨立山	0	0	1	0	1	0
C1M570	大湖	0	0	1	0	1	0
C1M600	頭凍	0	0	1	0	1	0
C1M610	石磐龍	0	0	1	0	1	0
C1M620	瑞里	0	0	1	0	1	0

STID	STNAME	落在低估[註1]	落在高估[註2]	信心度平均7月	信心度標準差7月	信心度平均11月	信心度標準差11月
C1O880	關山	0	0	1	0	1	0
C1R110	口社	0	0	1	0	1	0
C1R250	力里	0	0	1	0	1	0
C1R290	石門山	0	0	1.1	0.25	1	0
C1R330	枋山	0	0	1	0	2	0
C1S620	土阪	0	0	1	0	1	0
C1S660	下馬	0	0	1.1	0.34	1	0
C1S800	華源	0	0	1	0	1	0
C1S850	豐南	0	0	1.1	0.34	1	0
C1S860	利嘉	0	0	1	0	1	0
C1S870	南美山	0	0	1	0	1	0
C1T800	洛韶	0	0	1	0	1	0
C1T850	吉安	0	0	1	0	1	0
C1T920	中興	0	0	1	0	1	0
C1T970	大農	0	0	1	0	1	0
C1T990	高寮	0	0	1	0	1	0
C1U610	大礁溪	0	0	1	0	1	0
C1U630	再連	0	0	1	0	1	0
C1U660	三星	0	0	1	0	1	0
C1V160	達卡努瓦	0	0	1	0	1	0
C1V200	梅山	0	0	1	0	1	0
C1V340	大津	0	0	1	0	1	0
C1V390	尖山	0	0	1	0	1	0
C1Z010	卓樂	0	0	1	0	1	0
C1Z030	紅葉	0	0	1	0	1	0
C1Z090	三棧	0	0	1	0	1.1	0.31

[註1]:代表此雨量站有超過50%的資料點落在QPE < 地面雨量 × 0.8

[註2]:代表此雨量站有超過50%的資料點落在QPE > 地面雨量 × 1.2

第九章　結論與建議

第一節　結論

本研究採用地面觀測雨量、QPE 估計雨量與颱風資料庫，透過探索性分析、關聯性分析以及空間自相關分析探究 QPE 的估計能力與 QPE 估計差異特性並以這兩個面向進行彙整總結:

一、QPE的估計能力

發現 QPE 的估計能力於時雨量、有效累積雨量的相關係數都很高(r>0.95)，QPE 估計雨量可以捕捉到地面觀測雨量之趨勢；然而以最大有效累積雨量的差異量來看，QPE 有 22%的數值估計差異大於 50mm，透過定義 QPE 比地面觀測雨量的 80%小為低估資料區，有 53 個雨量站包含 50%以上的資料點都落於低估資料區，為 QPE 低估高風險類別，套疊地形圖，發現 53 個雨量站大部分位於高山的邊緣或山谷中間(如圖 82)。



圖 82 QPE 的估計能力結論

二、QPE估計差異特性

本研究發現颱風路徑與颱風強度組與高程和 QPE 估計差異特性有高度關聯性，同時透過 2015 的蘇迪勒颱風與 2016 年的梅姬颱風配對分析發現，QPE 估計差異有再現性的特性，由於有再現性的特性，可利用歷史的資料進行 QPE 的修正估計(如圖 83)。

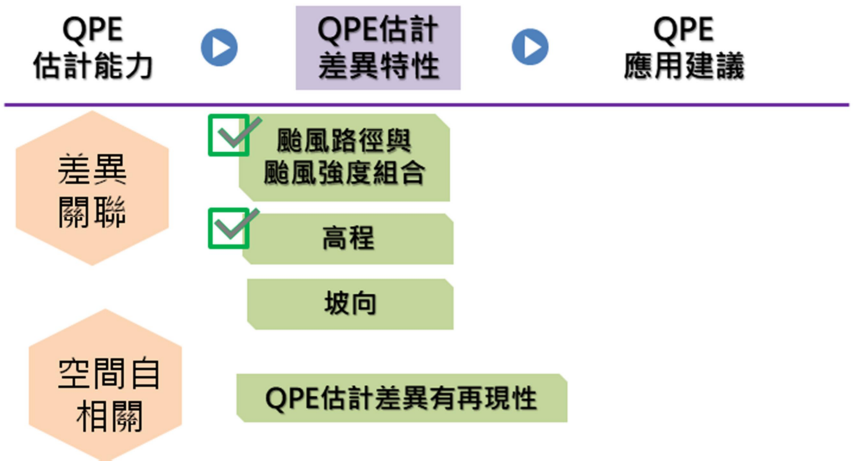


圖 83 QPE 估計差異特性結論

第二節 建議

本研究所分析的資料集為氣象局提供之 QPE 的網格資料，會受到地面雨量站傳輸效率以及雨量站校正方式的影響，因此，QPE 網格雨量資料與地面雨量站雨量資料仍有所落差，透過本分析發現 QPE 估計差異有低估現象與估計差異於颱風路徑及颱風強度和高程有相關性，因此，對於 QPE 後續的防災應用，有以下建議，詳述如下：

一、以相同颱風強度與路徑的QPE資料取代使用全部QPE的資料做推論

透過變異數分析方法，找出 QPE 估計雨差異與颱風路徑及颱風強度的組合有高度相關，後續 QPE 的相關應用，應該選取相同的颱風路徑與颱風強度下 QPE 資料進行後續應用(如圖 84)。

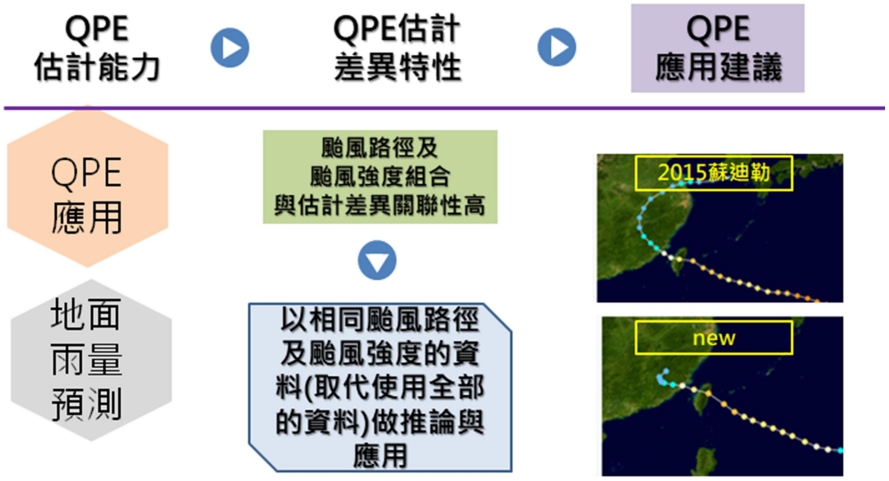


圖 84 QPE 應用建議

二、避免選取高山的邊緣的網格資料點

透過深入分析低估族群資料，發現有 53 個雨量站屬於低估高風險類別，因此 53 個雨量站附近的警戒分區的相關 QPE 應用要特別謹慎;由於 53 個雨量站落於高山邊緣，因此 QPE 應用要避免選取高山邊緣的網格資料點(如圖 85)。

QPE 差異的原因很廣，差異來源分為量測型的誤差如雷達的量測、模型估計的誤差與隨機誤差，本研究結果套疊地形圖，進一步發現 QPE 的估計誤差發生在高山邊緣，後續應該以具體分類(高山邊緣與非高山邊緣)進行特性差異分析。同時，應該再結合更多的外部資訊，如風向與風速，但由於不是所有的雨量站皆有風向與風速的數據，目前 Windy 只能看即時的風速，後續須建立資料庫即時的把所有資料都儲存下來，則後續可以分析風向對於 QPE 估計差異的影響。

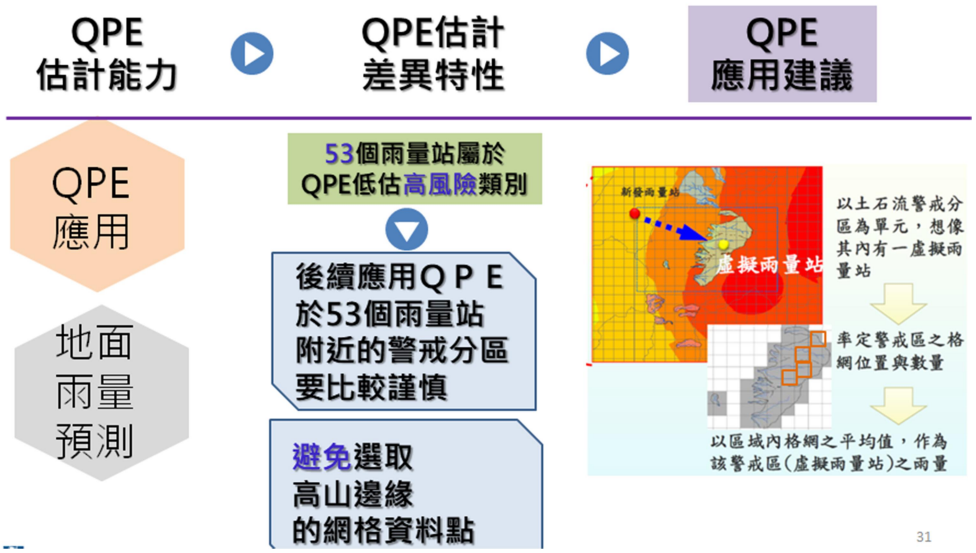


圖 85 QPE 應用網格選取方式建議

三、研析時序型雨量預測

透過本次分析，發現颱風來襲，地面觀測雨量站之雨量資料無法有效傳回或量測;同時，QPE 估計雨量存有低估高風險，後續應透過時序型雨量預測演算法，如時間序列模型分析或遞歸神經網路（recurrent neural networks，RNN）等方法，推估有效估計雨量的方法(如圖 86)。

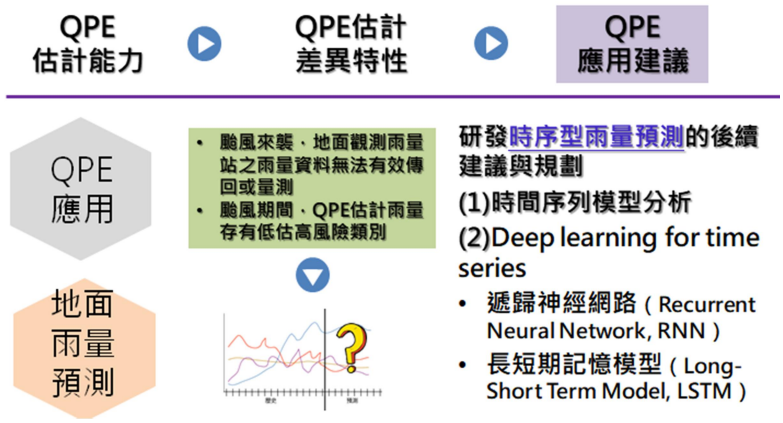


圖 86 研析地面雨量預測

四、以警戒分區微氣候的概念，探究QPE於警戒分析的準確度

由於地面觀測雨量並不能全面描述警戒分區的雨量狀況，因此，以 QPESUMS 網格為警戒發布單元之坡地災害預警模式應為未來之趨勢，但由於現行量測裝置的限制，仍無法全面性的探究警戒分區雨量的真實面貌，近年來由於物聯網與硬體裝置的進步，建議後續應以警戒分區微氣候的概念，於各網格中佈署可以量測雨量的微型裝置，進行小區域的實驗設計，分析 QPE 於警戒分析的準確度，為後續 QPE 應用的基礎。

五、建議紀錄QPESUMS各產品功能更新時間與功能差異

後續如要推動相關 Data_Driven 的相關決策，建議紀錄 QPESUMS 各產品功能更新時間與功能差異，以利了解其改變的原因，後續對於資料輔助決策會有更大的效益。

第三節 各工作項目之結論

以下以各工作項目詳細闡述本案之研究成果，詳述如下：

一、完成資料彙整與清理

本研究彙整 2012~2016 年間 28 場颱風事件期間、347 個參考雨量站於地面觀測雨量、QPE 估計雨量與颱風相關變數，經資料遺失值處理與異常值分析，以 204 個雨量站於 28 個颱風事件期間的資料進行分析。遺失值發生的原因大部分為雨量站啟用的時間點不同造成，異常值分析發現地面觀測雨量以及 QPE 估計雨量皆有異常值發生，QPE 異常值可能由於台灣地形複雜，雷達波束在山區會產生地形雜訊造成，QPE 異常值發生的時間點聚集在 2012 年的颱風，2013~2016 年就無 QPE 出現異常值的問題，資料

品質趨於穩定，另外，地面觀測雨量可能由於網路傳輸故障或雨量計異常，造成地面雨量有異常值的情形，異常值為偶發事件無規律性的情形。

二、完成QPE估計差異之探索性分析

研析 QPE 估計雨量與地面觀測雨量於時雨量、有效累積雨量以及最大有效累積雨量，結果顯示地面觀測雨量與 QPE 估計雨量於時雨量呈現高度線性相關(r=0.95)、204 個雨量站中，有 9 個雨量站之時雨量的相關係數小於 0.8，同時 QPE 估計雨量與地面觀測雨量於有效累積雨量亦呈現高度線性相關(r=0.95)，代表 QPE 估計雨量可以捕捉到地面觀測雨量之趨勢。

然而，以誤差值的角度出發，分析各雨量站於 28 颱風事件中的最大有效累積雨量，發現地面雨量觀測與 QPE 估計雨量存在兩種特殊的樣態，第一種樣態，大部份的最大有效累積雨量 QPE 估計雨量比地面觀測雨量小。第二種樣態，地面觀測雨量與 QPE 估計雨量於最大有效累積雨量似乎有線性的關係存在，斜率約為 0.8。

因此，本分析定義當 QPE 最大有效累積雨量小於地面最大有效累積雨量的 80%資料點為低估區，探討低估區的族群特性，有 53 個雨量站其資料點有 50%以上都落在低估區，低估雨量站的集中在台灣北端與東部以及南部山區的部分，進一步套疊台灣地形圖，發現低估雨量站都位於高山的邊緣，也正呼應文獻上提到的雷達會受到地形的影響，當雷達無法有效估計雨量的地區我們稱之為盲區，因此，53 個雨量站點位所在位置可能為雷達的盲區點。

三、完成QPE估計差異之誤差分析

分析 204 個雨量站於 28 個颱風事件之最大有效累積雨量估計差異分布，QPE 估計雨量比地面觀測雨量小 50 mm 的比例約為 22.8%，顯示低估的比例偏高，以颱風事件發生先後排序分析最大有效累積雨量之估計差異，發現 QPE 之最大有效累積雨量估計差異，雖然仍為低估，但似乎有遞減的趨勢，有可能與遙測技術精進與雷達硬體設備之提升有關。以雨量站分析最大有效累積雨量之估計差異，大部分的雨量站為低估，只有 4 個雨量站之最大有效累積差異平均值大於 0。

四、完成QPE估計差異之空間聚集分析

以 28 個颱風事件為主軸，計算 28 個颱風事件之各雨量站最大有效累積雨量估計差異之空間相關性。結果顯示 28 個颱風事件於各雨量站之最大有效累積雨量估計差異皆存在空間正相關之相依性(p-value<0.01)，發現最大有效累積雨量估計差異的空間相關性與颱風路徑有關。深入探討，以蘇迪勒颱風與梅姬颱風進行配對分析(兩者路徑相似以及降雨分布相似)，綜觀來看，當地面觀測雨量接近時，QPE 的估計差異也存在再現性的現象。進一步，以地域型空間自相關 LISA 辨識群集之熱區與冷區，結果顯示蘇迪勒颱風與梅姬颱風於最大有效累積雨量估計差異有相似的狀況，低估地區大部分都聚集在中南部山區與東北角，熱區為估計差異趨近 0 或偏向高估，主要集中在南部與東部地區。

五、完成QPE估計誤差與各因子之關聯性分析

分析 204 個雨量站於 28 個颱風事件之最大有效累積雨量估計誤差分布，透過變異數分析(ANOVA)探討雨量站高程、颱風強度與颱風路徑、坡向對於最大有效累積雨量估計誤差的影響。結果顯示：

(1)高程

各高程組別最大累積有效累積雨量誤差平均並不完全相等(p-value=0.039)，採用 Turkey 事後比較分析，發現[1500,2000]這組別的平均數顯著比[1000,1500]來的大。

(2)各颱風強度及颱風路徑組合

採用變異數分析(ANOVA)，發現各颱風強度及颱風路徑組合的最大有效累積雨量誤差平均並不完全相等(p-value<0.0001)，以颱風路徑 2 的中度颱風的最大有效累積雨量誤差為最多，達-96.3mm，次之為颱風路徑 1 的輕度颱風，達-61mm，因此，每一個颱風強度與路徑的組合對於最大有效累積誤差的影響是不一致的。

(3)坡向

透過坡向分析擷取雨量站的坡向資料，包含平面、北、東北、東、東南、南、西南、西、西北、北等 9 個類別，以變異數分析(ANOVA)了解坡向對於最大有效累積雨量估計差異的變異，各坡向最大有效累積雨量的平均沒有顯著的差異(p-value=0.07)，可能是由於台灣北部、西部、南部與東部皆有各坡向之雨量站，因此，坡向對於最大有效累積估計誤差無顯著之影響。

因此，比較以上三各因子，颱風強度及颱風路徑的組合為影響最大有效累積誤差的最重要的因子。

六、完成研究之成果發表於學術研討會

本研究案之分析成果已發表兩篇研討會論文，分別於第 26 屆南區統計研討會暨 2017 中華機率統計學會年會及學術研討會

暨 2017 中華資料採礦協會年會及學術研討會以及 2017 台灣地理資訊學會年會暨學術研討會(如附件 1)，於會議中與多位專家學者交流並討論相關議題。

參考文獻

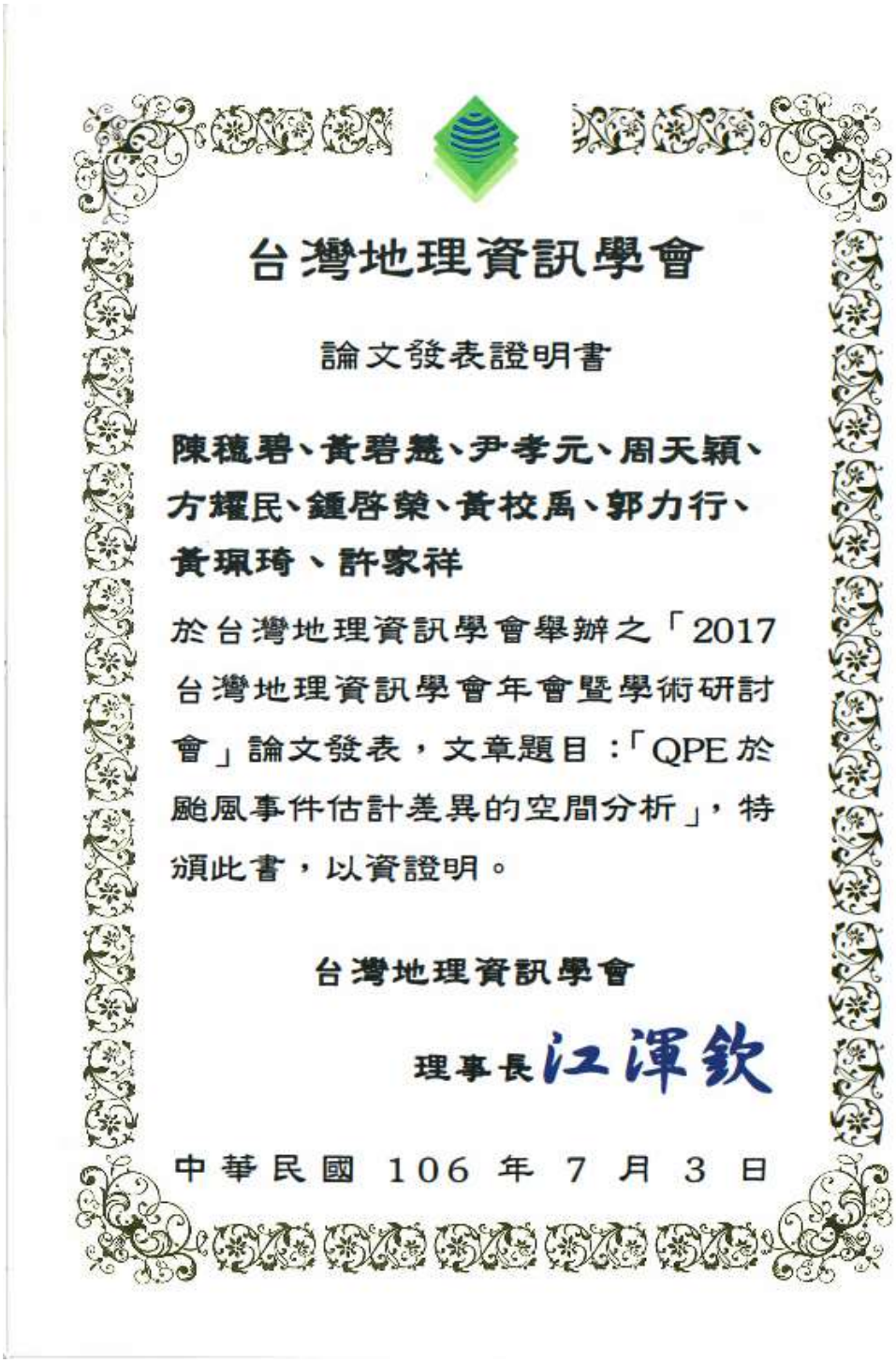
1. 丘台光、陳嘉榮、張保亮、林品芳(2003)，**應用多重觀測工具之定量降雨估計之研究**。中央氣象局衛星中心。
2. 唐玉霜、黃葳芃、張保亮、陳嘉榮(2016)，**劇烈天氣監測系統(QPESUMS)之防災應用**。105 年天氣分析與預報研討會論文彙編，中央氣象局。
3. 張智昌(2006)，整**合氣象雷達與即時降雨資料於颱風降雨推估之研究**。環境與世界 第 13 期(1-22) 。
4. 陳台琦(2014)，**臺灣劇烈天氣的雷達觀測**。http://www.phys.ndhu.edu.tw/ezfiles/25/1025/img/407/134324376.pdf
5. Lingyan Xin , Gerhard Reuter & Bruno Larochelle (1997). **Reflectivity–rain rate relationships for convective rainshowers in Edmonton: Research note.** Atmosphere-Ocean, 35:4,513-521, DOI: 10.1080/07055900.1997.9649602
6. Jian Zhang, Kenneth Howard, Pao-Liang Chang, Paul Tai-Kuang Chiu, Chia-Rong Chen, Carrie Langston, Wenwu Xia, Brian Kaney, Pin-Fang Lin (2009).**High-Resolution QPE System for Taiwan**. Data Assimilation for Atmospheric, Oceanic and Hydrologic Applications. Springer, Berlin, Heidelberg
7. 劉鎮鎏(2009)，**利用機器學習修正 QPESUMS 雷達估計降雨**。國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。
8. 中央氣象局氣象衛星中心(2015)，**氣象遙測觀測-氣象衛星與氣象雷達**。

9. Austin, P.M. (1987).**Relation between measured radar reflectivity and surface rainfall**. Monthly Weather Review 115: 1053-1070.
10. Phillip W. Jordan, Alan W. Seed, P. Erwin Weinmann(2003). **A stochastic model of radar measurement errors in rainfall accumulations at catchment scale.** American Meteorological Society 4: 841-855.
11. 李清勝、劉格非、周仲島、何興亞、林李耀、陳建元(2005)，**土石流潛勢區之雨量估計與即時預報技術發展研究**。土石流潛勢區之雨量估計與即時預報技術發展研究，行政院農業委員會水土保持局。
12. 陳憲宗、劉鎮鎏、游保杉(2010)，**應用支撐向量機與輻狀基底神經網路修正 QPESUMS 雨量**。農業工程學報，第 56 卷第三期。
13. 朱宏杰、詹麗梅(2011) ，**侵台/近台颱風路徑分群及空間分析**。2011 台灣地理資訊學會年會暨學術研討會論文集。
14. Zhang, J., K. Howard, C. Langston, S. Vasiloff, B. Kaney, A. Arthur, S. V. Cooten, K. Kelleher, D. Kitzmiller, F. Ding, D.-J. Seo, E. Wells and C. Dempsey(2011).**National mosaic and multi-sensor QPE (NMQ) system**.Bull. Amer. Meteor. Soc., 92, 1321–1338.
15. 唐玉霜與張保亮(2016)，劇烈天氣系統(QPESUMS)發展與客製化服務，105 年天氣分析與預報研討會論文彙編，中央氣象局。
16. 詹錢登、王志賢(2016)土石流警戒基準值檢討與更新期末報告, 行政院農業委員會水土保持局委辦計畫。

附錄

附錄一 學術文章投稿證明

一、2017 年台灣地理資訊學會年會暨學術研討會
子題：空間資訊與防救災
投稿文章：QPE 於颱風事件估計差異的空間分析



台灣地理資訊學會

論文發表證明書

陳穗碧、黃碧慧、尹孝元、周天穎、方耀民、鍾啓榮、黃校禹、郭力行、黃珮琦、許家祥

於台灣地理資訊學會舉辦之「2017 台灣地理資訊學會年會暨學術研討會」論文發表，文章題目：「QPE 於颱風事件估計差異的空間分析」，特頒此書，以資證明。

台灣地理資訊學會

理事長江渾欽

中華民國 106 年 7 月 3 日

二、 第 26 屆南區統計研討會暨 2017 中華機率統計學會年會及學術研討會暨 2017 中華資料採礦協會年會及學術研討會

Topic: 應用統計

Paper: QPE 的估計差異與颱風事件的關聯性分析

分組議程 E

[E1] **Contributed Session : 應用統計** 商學院 1F04

Chair : 黃凱斌 (財團法人台灣電子檢驗中心量測與校正技術部)

■ 黃凱斌 (財團法人台灣電子檢驗中心量測與校正技術部)

結合氣象數值預測資訊及機器學習技術之先進太陽能發電量

■ 陳穗碧 (逢甲大學地理資訊研究中心)

QPE 的估計差異與颱風事件的關聯性分析

■ 蔡昊廷 (國立中山大學應用數學研究所)

附錄二 期中審查會議紀錄及辦理情形

行政院農業委員會水土保持局

「QPE 於颱風事件的估計差異與空間之關聯性分析」案

期中審查會議紀錄及辦理情形

壹、時間：106 年 8 月 2 日下午 13 時 30 分

貳、地點：本局第一會議室

參、主持人：柯總工程司燦堂　　記錄：黃珮琦

肆、出(列)席單位人員：詳簽到簿。

伍、受委託單位簡報：略。

陸、審查意見：如后附件。

柒、結論：

一、請逢甲大學參照與會人員相關意見辦理。

二、逢甲大學所提期中報告書，經審查通過，同意依本局 106 年度創新研究計畫執行說明會會議紀錄撥付第 2 期款。

審查委員意見	回覆辦理情形
一、 本研究具有持續研究的價值,對於 QPE 誤差的降低或提升之前，宜先瞭解誤差的來源，例如 P.4-15 圖 39 的資料點中出現另一個族群(在近 X 軸的方向)，建議可以萃取出該族群的資料特性，以瞭解其成因。	遵照辦理，詳細內容可參閱期末報告書第四章第三節。
二、 就目前研究的成果發現 QPE 對於地面雨量小於 200mm 時，易出現高估；反之，大於 400mm 時，易出現低估。未來若利用 QPE 來計算有效累積	遵照辦理，詳細內容可參閱期末報告書第六章 P6-3。

審查委員意見	回覆辦理情形
雨量(EAR)時，水保局應該有的警報發佈風險或作為為何，可於期末報告中說明。	
三、 本案精進 QPE 的運用，相當重要，應持續進行初步結論最大有效累積雨量的估計差異，以自相關函數來表達，並與颱風路徑有關很合乎理。	謝謝委員的建議。詳細內容可參閱期末報告書第第六章。
四、 後續可以加強 QPE 本身的特性，局裡有另外委託研究，了解 QPE 的優缺點及限制。	遵照辦理，已增列第二章第二節歸納分析局裡有關 QPE 的委辦計畫的目前運用規劃與分析成果，請參閱第二章第二節。
五、 請補充說明單一雨量站資料所比對 QPE 網格面積之大小。	遵照辦理，詳細內容可參閱期末報告書第第三章第一節 P3-3。
六、 請補充說明坡向對本計畫研究成果之可能影響。	遵照辦理，透過變異數分析(ANOVA)，坡向對於 QPE 最大有效累積估計誤差無顯著之影響，請委員參閱第七章第三節，
七、 P3-5，未說明颱風”特殊路徑”之定義。	遵照辦理，詳細內容可參閱期末報告書第三章第一節 P3-6。
八、 據了解氣象局所提供 QPE 網格資料已與地面雨量站資料做校正，如果是這樣本案與地面雨量站做相關性比較意義為何？	本研究所分析的資料集為氣象局提供之 QPE 的網格資料，因網格資料會因地面雨量站傳輸的關係以及雨量站校正方式的影響，因此，QPE 網格雨量資料與地面雨量站雨量資料仍有所落差，本分析的目的要釐清 QPE 估計差異的量與探究估計差異上的特性，本分析建立基礎，以利後續使用 QPE 做後續的防災應用。

附錄三 期末審查會議紀錄及辦理情形

行政院農業委員會水土保持局

「QPE 於颱風事件的估計差異與空間之關聯性分析」案

期末審查會議紀錄及辦理情形

壹、時間：106 年 11 月 29 日下午 13 時 30 分

貳、地點：本局第一會議室

參、主持人：柯總工程司燦堂　　記錄：黃珮琦

肆、出(列)席單位人員：詳簽到簿。

伍、受委託單位簡報：略。

陸、審查意見：如后附件。

柒、結論：

一、逢甲大學所提期中報告書，期末審查通過，請依審查意見修正成果報告，並於 12 月 22 日前提送成果報告及結案會計報告，剩餘款也請一併繳回。

審查委員意見	回覆辦理情形
一、 建議可再與中央氣象局提供有關 QPESUMS 產品之信心度資料加以比較。	謝謝委員的建議，詳細內容可參閱成果報告書第八章。
二、 QPE 與雨量的比較基礎，宜區分為 QPE 有納入雨量站差異之結果與未納入雨量站平差之結果。	謝謝委員的建議，在計畫之初，本計畫密切與氣象局承辦討論過程發現 QPE 未納入平差之結果與雨量為氣象局的作業範疇，再者，水保局目前以氣象局 QPE 平差後的資料進行防災相關應用，因此，本計畫即針對以 QPE 納入雨量站平差為主，進行 QPE 與雨量的比較分析。
三、 ETR2 計算是以逐日折減方式計算,但 EAR 計算方法是逐時折減，二者不同，宜注	謝謝委員的提醒，經資料確認比對是 EAR 逐時折減，已於成果報告書中一併修正。

審查委員意見	回覆辦理情形
意。	
四、 本報告資料，分析都整理得很好，值得肯定。	謝謝委員的鼓勵。
五、 簡報架構整理得比書面報告好，建議修正報告。	謝謝委員的建議，遵照辦理。
六、 這些目前的成果值得未來進一步與其他因子交互分析,提供水保局使用 QPE 時的注意事項。	謝謝委員的建議，未來如有相關計畫會持續與其他因子進行交互分析。
七、 因為 QPE 已經有經地面雨量站修正過，其差異的原因建議進一步論述。	謝謝委員的意見,QPE 差異的原因很廣，差異來源分為量測型的誤差如雷達的量測、模型估計的誤差與隨機的誤差，本分析的結果套疊地形圖，進一步發現 QPE 的估計誤差發生在山谷上，後續可以具體分類(高山邊緣與非高山邊緣)進行特性差異分析。同時，應該再結合更多的外部資訊，如風向與風速，但由於只有部分雨量站有風向與風速的數據，目前 Windy 只能看即時的風速與風向，後續須建立資料庫即時的把所有資料都儲存下來，便能分析風向與風速對於 QPE 估計差異的影響。
八、 本研究具學術價值，研究成果未來可利用於雨量推估之參考，但仍建議於第八章「結論與建議」具體評論 QPE 的可信賴程度。	謝謝委員的建議，遵照辦理，詳細內容可參閱成果報告書第九章。
九、 目前 QPE 對於累積雨量的估算較有效累積雨量為低的肇因，建議儘早探討並評估 QPE 的可行性及實務應用上應注意的事項，以做為未來行政單位擬訂降雨預測值得參	謝謝委員的建議，遵照辦理，詳細內容可參閱成果報告書第九章。

審查委員意見	回覆辦理情形
考。	
十、 新技術的研究對跨域整合及產業發展均可有協助。	謝謝委員的建議，後續著墨於新技術的研究，希冀對防災能貢獻一份心力。
十一、 對策略擬定可以提供部分因子。	謝謝委員的建議，詳細內容可參閱成果報告書第九章。
十二、 屬基礎性之學術研究，其成果尚具參考價值。	謝謝委員的建議。
十三、 做為行政計畫之推動，可再思考，似可再具體說明，以利參考。	謝謝委員的建議，遵照辦理，詳細內容可參閱成果報告書第九章。