



短期豪雨監控預警及中長期乾旱趨勢分析  
Short-term torrential rainfall monitoring, early  
warning and long-term drought analysis



委辦機關：經濟部水利署

受託機關：台灣整合防災工程技術顧問有限公司

中華民國 111 年 12 月

**短期豪雨監控預警及中長期乾旱趨勢分析**  
Short-term torrential rainfall monitoring, early  
warning and long-term drought analysis

**委辦機關：經濟部水利署**

**受託機關：台灣整合防災工程技術顧問有限公司**

**中華民國 111 年 12 月**

## 摘要

本計畫自 3 月起至 11 月中為止，期間氣象局共發布大雨特報 441 次、豪雨 216 次、大豪雨以上 83 次，發布海上颱風警報共計 3 個，無發佈大規模降雨作業。今年度梅雨滯留鋒面共有 3 場，6 月中旬後梅雨季結束，正式進入受太平洋高壓主宰的夏季午後雷雨好發季節，達短時豪雨事件更是達 30 次以上，9 月起熱帶系統發展時序亦進入秋季時節，熱帶系統水氣配合一波波東北季風增強時，造成迎風面的東北部及北部有異常降雨發生，共造成 5 次東北風異常降雨事件，迎風面的北部山區及東北部達到大豪雨、超大豪雨等級。

另外，本計畫亦分別於 3 月 21 日配合署內三查三巡，律定相關天氣及氣候情資提供之時機點。並於 6 月 20 日及 10 月 27 日分別進行第二次和第三次工作會議，本計畫並於 5 月 25 日與本計畫協力團隊，台大天災中心針對精進短時豪雨預報技術工作，進行視訊會議的討論。本計畫分別於 3 月至 11 月共提供氣候展望 9 次，梅雨和西南季風指標共 9 次。梅雨鋒面情資 4 次，有利颱風生成指標 15 次，降雨提醒共 343 次，未來三天天氣分析 224 次，午後強降雨提醒及夜間至隔日強降雨提醒各 227 次。熱帶低壓/颱風圖卡 35 次，連假天氣、其他圖卡共 7 次。並於熱帶性低氣壓可能生成、發展為颱風並可能影響臺灣之前提下，提供 9 次分析簡報。

水庫集水區每月降雨歷史資料收集，本計畫雖取得 18 座水庫降雨資料，經濾錯、整理後發現，水庫降雨資料均有缺漏。於 5 月底協請水利署協助洽得北、中、南水局的石門、鯉魚潭、曾文水庫降雨資料，以及台電管轄的德基水庫完整資料進行分析。水庫集水區資料分析顯示，雖然於天氣系統影響下，降雨具有明顯的區域性差異，但根據水庫流域和相對應氣象站的年降雨和季節降雨的長期相關分析顯示，兩者在長期的雨量特性上，均具有高度的相關特性。

臺灣乾旱文獻回顧顯示，臺灣乾旱發生時段多發生於颱風季結束後至隔年梅雨季前。梅雨季和夏季副熱帶太平洋高壓(簡稱 WNPSH)的強度和高壓脊位置是影響極端乾期的重要因素。而影響 WNPSH 的變化，主要有 5 個關鍵區域的海溫距平(簡稱 SSTA)，赤道東太平洋的正 SSTA、熱帶印度洋出現正 SSTA、副熱帶西北太平洋的負 SSTA 以及海洋大陸附近出現正 SSTA，均會使 WNPSH 增強。

另外，本計畫分析臺灣秋季至隔年春季降雨極端偏少雨時的大氣特徵發現，臺灣至中國廣東及福建一帶降雨均異常偏少並被一個異常的高壓環流所壟罩，此異常偏強的高壓環流東南方則是一個異常的低壓氣旋式環流。另外，本計畫分析秋季至冬季東北部異常降雨的大氣特徵發現，主要跟反聖嬰年時秋冬季大氣的型態有關。至於，當臺北春季降雨異常偏少時，菲律賓東方具有明顯的低壓環流，中國福建至廣東一帶具有明顯偏強的高氣壓環流，臺灣附近主要以偏東北氣流為主。反之，當臺北春季降雨異常偏多時，菲律賓東方至南海具有明顯偏強的高氣壓環流，臺灣附近主要以偏南氣流為主。

至於，應用巢狀自組織映射網路(Nest-SOM)訓練測站的雷達回波及淹水關係，採用 K-Means 聚類方法，建立了 31 個氣象指標特徵和淹水特性。模型建立在 SOM 的基礎上，藉由歷史數據分析，選定特定數據，可以為淹水預報提供有用的信息，並可準確指出歷史淹水事件及高平均時雨量，的確已有能力提前掌握相關降雨和災害訊號。

除此之外，本計畫並整理 UNDRR 的 2021 年乾旱特別報告，報告中指出完整的乾旱管理計畫，包含三大支柱，第一是乾旱監測預警系統(DEWS)，第二為乾旱脆弱性和影響評估，第三是乾旱防備、減緩和回應。DEWS 是積極乾旱政策的基礎，而成功且有效的 DEWS 設計需要從端到端(end to end)和以人為本的角度出發。根據 UNISDR 和 NIDIS 認為 DEWS，至少需要具有並包括四個相互關聯的關鍵要素：觀測和監測、預測、規劃和準備及傳播和溝通等四大組成。

## ABSTRACT

The Central Weather Bureau has issued 441 heavy rain warnings, 216 torrential rains, 83 severe torrential rains, and 3 offshore typhoon warnings from March to middle November. This year, there are 3 Meiyu lingering fronts. Because of the strong Western-North Pacific High Pacific high pressure, the tropical cyclone activity was unactivity. In the La Niña background, the abnormal rainfall occurs in the northeastern part of Taiwan, causing a total of 5 abnormal rainfall events from October to November this year.

A literature review of drought in Taiwan shows that the drought in Taiwan usually occurs after the end of the typhoon season and before the next rainy season. The intensity of the Western-North Pacific High Pacific high pressure (WNPSH) and the location of the WNPSH ridge are important factors affecting the extreme dry period during the rainy season and summer. The interannual variability of WNPSH are depended on five key regions SST anomaly.

When the rainfall is extremely low from autumn to next spring, this study found that an anomalous anticyclones high-pressure circulation is located around Taiwan areas, vice versa an anomalous cyclone low pressure system is located.

A nested self-organizing map network (Nest-SOM) model, the K-Means clustering method were used to establish the characteristics of 31 meteorological indicators and flooding characteristics. Indeed, it has the ability to grasp the relevant rainfall in advance and disaster signals.

In addition, this plan also reviewed UNDRR's 2021 Drought Special Report, which points out that a complete drought management plan includes three pillars, the first is the Drought Early Warning System

(DEWS), and the second is drought vulnerability and impact assessment, and the third is drought preparedness, mitigation and response. The DEWS are the foundation of proactive drought policy. A successful and effective DEWS design requires an end-to-end and people-oriental design perspective. DEWS also include at least four interrelated key elements: observation and monitoring, prediction, planning and preparation, and dissemination and communication.

Keyword: La Niña 、 self-organizing map network 、 Drought Early Warning System

## 目錄

摘要 .....	I
ABSTRACT.....	III
目錄 .....	V
圖目錄 .....	VII
表目錄 .....	XI
第一章 計畫起源及目的 .....	1-1
第二章 計畫執行成果 .....	2-1
2.1 各集水區降雨歷史資料蒐集及分析 .....	2-4
2.1.1 水庫集水區每月降雨歷史資料收集 .....	2-4
2.1.2 造成臺灣乾旱的氣候因子分析 .....	2-11
2.1.3 造成臺灣乾旱的氣候因子特徵：西北太平洋副熱帶高壓 ..	2-22
2.1.4 聯合國減少災害風險辦公室 2021 年乾旱特別報告 ....	2-24
2.1.5 乾旱早期預警系統 .....	2-27
2.2 梅雨環境指標及西南氣流監控和預測 .....	2-29
2.3 短時豪雨預測技術研發及應用 .....	2-33
2.4 依本署需求提供天氣及氣候訊息，建立多元預警資訊 .....	2-52
2.4.1 於短時豪雨發生前提供短時豪雨風險預警，並加強夜間至	
隔日清晨情資分析 .....	2-54
2.4.2 豪雨風險圖預報回顧、校驗 .....	2-57
2.4.3 每月提供中、長期氣候趨勢分析 .....	2-67
第三章 結論與建議 .....	3-1
3.1 結論.....	3-1
3.2 建議.....	3-2

參考文獻.....	參-1
附件 期中、期末審查意見回覆.....	附-1



## 圖目錄

圖 2-1 計畫工作項目圖 .....	2-1
圖 2-2 自 3 月 1 日至 11 月 10 日止重要天氣事件及工作會議 .....	2-2
圖 2-3 5 月 25 日與本臺大天災中心進行視訊會議討論 .....	2-3
圖 2-4 6 月 20 日第二次視訊工作會議 .....	2-3
圖 2-5 10 月 27 第三次工作會議 .....	2-3
圖 2-6 石門水庫歷史雨量資料，(左)水利署水源組提供；(右)北水局 網頁下載 .....	2-5
圖 2-7 1964 年至 2021 年，石門水庫流域年降雨量(長條圖)，及 7 年 滑動平均線(黑色實線) .....	2-6
圖 2-8 1964 年至 2021 年，臺北氣象站年降雨量(長條圖)，及 7 年滑 動平均線(黑色實線) .....	2-7
圖 2-9 石門水庫雨量與臺北氣象站全年降雨相關分析 .....	2-8
圖 2-10 石門水庫雨量與臺北雨量站春季(2-4 月)、夏季(5-7 月)、 秋季(8-10 月)、冬季(11-1 月)降雨相關分析 .....	2-8
圖 2-11 德基水庫雨量與臺中雨量站全年降雨相關分析 .....	2-9
圖 2-12 德基水庫雨量與臺中氣象站春季(2-4 月)、夏季(5-7 月)、 秋季(8-10 月)、冬季(11-1 月)降雨相關分析 .....	2-9
圖 2-13 曾文水庫與臺南氣象站全年降雨相關分析 .....	2-11
圖 2-14 曾文水庫與臺南氣象站春季(2-4 月)、夏季(5-7 月)、秋季 (8-10 月)、冬季(11-1 月)降雨相關分析 .....	2-11
圖 2-15 1947 年以來至 2022 年 6 月 13 個平地氣象站降雨百分化時序 圖 .....	2-14
圖 2-16 同圖 2-15，但為小波分析圖，圖 a 為觀測資料和以小波重建 的資料，圖 b 為小波分析週期圖，c 圖為小波波譜檢定，d 圖為 小波能譜圖分布 .....	2-15
圖 2-17 極端少雨年的大氣環流特徵，暖色系表示降雨偏少、冷色系 為降雨偏多，流場圖為 850-hPa 氣流距平 .....	2-16
圖 2-18 極端少雨年的海溫距平特徵，暖色系表示海溫偏暖、冷色系 為海溫偏冷，流場圖為 850-hPa 氣流距平 .....	2-16
圖 2-19 同圖 2-17，但為降雨極端偏多的大氣特徵 .....	2-17
圖 2-20 同圖 2-18，但為降雨極端偏多的特徵 .....	2-17
圖 2-21 宜蘭氣象站自 1938 年至 2021 年 10 月至 12 月降雨百分化 .....	2-18
圖 2-22 反聖嬰年時秋冬季大氣的型態，暖色系表示降雨偏少、冷色	

系為降雨偏多，流場圖為 850-hPa 氣流距平 .....	2-19
圖 2-23 左圖是 PDO 正相位時的海溫和風場距平圖，右圖則是 PDO 負相位時的海溫和風場距平圖，資料來源 NOAA.....	2-20
圖 2-24 上圖是臺灣北部春雨偏多時大氣海洋的關鍵因子，PDO 處於正相位示意圖，下圖則是臺灣北部春雨偏少時大氣海洋的關鍵因子，PDO 處於負相位示意圖，摘自 Hung et. al. (2004) 的圖 5 .....	2-20
圖 2-25 1997 年 11 月至 2022 年 10 月的 PDO 時間序列圖，資料來源: NOAA .....	2-21
圖 2-26 臺北氣象站 1897 年至 2022 年春季降雨百分化圖，圖中黑色實線為 7 年滑動平均。 .....	2-21
圖 2-27 左圖為臺北春季降雨異常偏少時大氣的型態，右圖為臺北春季降雨異常偏多時大氣的型態。暖色系表示降雨偏少、冷色系為降雨偏多，流場圖為 850-hPa 氣流距平 .....	2-22
圖 2-28 2022 年 7 月 1 日至 9 月 18 日的大氣 500-hPa 的平均高度場和距平圖.....	2-23
圖 2-29 乾旱風險的系統架構.....	2-25
圖 2-30 乾旱政策和準備過程的 10 個步驟.....	2-26
圖 2-31 完整的乾旱管理計畫，包含三大支柱.....	2-27
圖 2-32 以人為本的早期預警系統主要 4 個面向 .....	2-28
圖 2-33 乾旱早期預警系統主要 5 個面向 .....	2-28
圖 2-34 有利於臺灣梅雨之渦度場環境條件區域.....	2-29
圖 2-35 1979 至 2020 年臺灣降雨和 850-hPa 緯向風相關圖 .....	2-30
圖 2-36 梅雨指標及西南季風指標（紫色） .....	2-31
圖 2-37 今年 5 月 1 日至 6 月 28 日實際觀測梅雨指標、西南季風指標和臺灣 13 個平地站的平均逐日降雨量 .....	2-32
圖 2-38 今年梅雨季實際 3 波梅雨鋒面影響下的降雨分布.....	2-33
圖 2-39 臺灣 JJA 降雨(120-122.5e;22-25.5n)和 850-hPa 緯向風相關圖 1979-2020 .....	2-34
圖 2-40 研究概念圖 .....	2-34
圖 2-41 SOM 30X30 拓樸圖縮小範圍至 Nest-SOM 10X10 拓樸圖 .....	2-35
圖 2-42 研究流程圖 .....	2-35
圖 2-43 雙北之水患自主防災社區及相鄰雨量測站.....	2-37
圖 2-44 使用雷達回波事件之雷達回波值建模.....	2-39
圖 2-45 使用雨量事件之雷達回波值建模 .....	2-39
圖 2-46 無加入西南氣流指標之模式建立，藍色越深顯示雨量越高，	

紅色框為較高雨量之神經元 .....	2-41
圖 2-47 加入西南氣流指標之模式建立，拓撲中每個神經元為平均降雨量。藍色越深雨量越高，紅色框為較高雨量之神經元 .....	2-41
圖 2-48 (左)各神經元 K-means 分群結果，(右)平均時雨量排名之熱區神經元.....	2-42
圖 2-49 (左)各神經元 K-means 分群結果，(右)風向及風速之特徵分佈至神經.....	2-43
圖 2-50 (左)短延時降雨熱區 Cluster 3，(右)較低淹水警戒風險區 Cluster 1 .....	2-43
圖 2-51 不同氣候因子(有無加入西南氣流指標)之訓練結果 .....	2-44
圖 2-52 加入不同測站恆春及淡水之訓練結果表現比較圖.....	2-45
圖 2-53 研究區域之第二層巢狀自組織映射網路(Nest-SOM)淹水機率拓撲圖.....	2-47
圖 2-54 研究區域之雨量-警戒與淹水機率關係圖.....	2-48
圖 2-55 五個防災社區其一最高機率淹水及最高平均雨量之三維雷達回波值特徵.....	2-49
圖 2-56 中華里 2017/06/02 梅雨鋒面事件之雷達回波-降雨-淹水機率-下水道水位時序圖 .....	2-50
圖 2-57 中央氣象局新增短延時大豪雨降雨量標準 .....	2-52
圖 2-58 本計畫提供之情資統計圖 .....	2-53
圖 2-59 5-10 月午後雷雨好發區域圖，來源：林品芳等 (2012)	2-54
圖 2-60 雷雨胞的生命期週期 (CFI Brief: Thunderstorms, BOOM!)	2-55
圖 2-61 環境偏西南風時，和陸風產生輻合造成的降雨型態.....	2-56
圖 2-62 情資提供時間軸 .....	2-56
圖 2-63 3 月 26 日 8 時至 28 日 8 時豪雨風險預報圖 (鄉鎮) -0326 提供.....	2-57
圖 2-64 3 月 26 日 8 時至 28 日 8 時實際累積雨量 (NCDR) .....	2-58
圖 2-65 5 月 13 日 08 時至 17 日 8 時豪雨風險預報圖 (鄉鎮) -0513 提供.....	2-59
圖 2-66 5 月 13 日 08 時至 17 日 8 時實際累積雨量 (NCDR) .....	2-59
圖 2-67 6 月 6 日 8 時至 10 日 8 時豪雨風險預報圖 (鄉鎮) -0606 提供.....	2-60
圖 2-68 6 月 6 日 8 時至 10 日 8 時實際累積雨量 (NCDR) .....	2-61
圖 2-69 9 月 3 日 8 時至 5 日 8 時豪雨風險預報圖 (鄉鎮) -0902 提供.....	2-62

圖 2-70 9 月 3 日 8 時至 5 日 8 時實際累積雨量 (NCDR) .....	2-62
圖 2-71 10 月 5 日 20 時至 8 日 8 時豪雨風險預報圖 (鄉鎮) -0905 提供.....	2-63
圖 2-72 10 月 5 日 20 時至 8 日 8 時實際累積雨量 (NCDR) .....	2-63
圖 2-73 10 月 15 日 8 時至 18 日 8 時豪雨風險預報圖-1014 至 1015 提供.....	2-64
圖 2-74 10 月 15 日 8 時至 18 日 8 時實際累積雨量 (NCDR) .....	2-65
圖 2-75 10 月 29 日 20 時至 11 月 2 日 8 時豪雨風險預報圖-1029 至 1031 提供.....	2-66
圖 2-76 10 月 29 日 20 時至 11 月 2 日 8 時實際累積雨量 .....	2-67
圖 2-77 11 月提供之中長期氣候趨勢分析部分圖 .....	2-68

## 表目錄

表 2-1 18 座水庫歷史降雨資料 .....	2-4
表 2-2 由北、中、南水局及台電取得之水庫歷史降雨資料 .....	2-5
表 2-3 石門水庫雨量與臺北雨量站全年與四季相關分析列表 .....	2-7
表 2-4 德基水庫雨量與臺中雨量站全年與四季相關分析列表 .....	2-9
表 2-5 曾文水庫與臺南氣象站全年與四季相關分析列表 .....	2-10
表 2-6 本計畫提供梅雨環境指標和西南季風指標的時間和重點摘錄 .....	2-31
表 2-7 新北市與臺北市水患社區名單 .....	2-36
表 2-8 2014 年至 2018 年臺北市中央區歷史淹水警戒事件 .....	2-37
表 2-9 2014 年至 2018 年臺北市中央區歷史淹水警戒事件 .....	2-38
表 2-10 本計畫提供相關天氣和氣候趨勢等分析情資 .....	2-53

## 第一章 計畫起源及目的

聯合國政府間氣候變遷專門委員會（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）於 2021 年公布氣候變遷第六次評估報告-最終版草案。其報告指出極端高溫、豪雨、部分地區的農業及生態乾旱發生的頻率與強度將會增加。在最壞情境下，地球如於 21 世紀末增溫超過 4°C，則 10 年重現期距之豪雨事件增加 2.7 倍，降雨強度增加 30.2%；而 10 年重現期距之乾旱事件也增加 4.1 倍，乾旱強度增加 1 個標準差。一般研常使用連續三個月的標準化降水指標（Standardized Precipitation Index 3，簡稱 SPI3），來具體量化乾旱的強度。2018 年 0823 水災事件及 2021 年 8 月的西南氣流事件，突顯極端氣候下的暴雨，往往超過一般防洪排水系統標準，工程硬體再怎麼精良紮實，淹水似仍無可避免。隔年，水利署和成功大學合作編撰「韌性水城市評估-地方政府首長參考手冊」，強化與提升城市的水韌性。

國際面對極端氣候，聯合國減災策略組織（United Nations International Strategy for Disaster Reduction, 以下簡稱 UNISDR）於 2005 年發布「兵庫行動綱領」與 2015 年發布「仙台減災綱領」中，特別強調「提升韌性」是降低氣候變遷影響下災害風險衝擊之重要基礎。UNISDR 於 2017 年發布「2016 至 2021 戰略框架」中強調：為永續的未來，持續地減少災害風險和損失並提升國家及城市的水韌性。UNISDR 認為韌性是指一個系統、社區或社會抵抗、吸收、適應災害造成的影響並從災害的影響中及時有效恢復的能力，包括保護並恢復其重要基本結構和功能。除此之外，每年世界經濟論壇（World Economic Forum）發布全球風險評估報告指出，未來十年全球前五大風險都和極端氣候、環境災害息息相關。該報告示警，政府和企業若未能及時緩解、調適氣候變遷，對財產、基礎設施和生命恐造成重大損害。

因應氣候變遷使得臺灣降雨旱澇益趨明顯，尤其夏季午後對流降

雨又大又急，需進一步關注及掌握；又臺灣每逢前一年秋冬季降雨不足，加上來年春季降雨不夠的情況下，梅雨季的降雨時間與量值，對水資源的管理更形重要。中研院環變中心特聘研究員許晃雄教授認為，依據氣候變遷推估的情境，雖然 2021 年號稱百年一遇的大旱，但未來類似的旱象極可能更加頻繁，2021 年的旱象應該視為水資源管理的重要警訊。

本計畫延續 110 年極短期降雨分析監控及預警計畫之成果，除了建立西南季風指標的監測及預警資訊，作為本署防災預警的重要參考資料。另外，提出以非監督式學習之自組織映射網路 (Self-Organizing Map, SOM) 的基礎上透過歷史雷達回波、降雨及淹水數據進行分析，挑選出具有特定屬性的數據而建立的模型。結果證實，結合來自 SOM 拓撲圖之具有特定數據並搭配時雨量能提高預測性能，並且後續由公館站驗證此機率積淹水預警系統的可信度，能提出模型對極端事件的敏感度以提出相關場域之適用性。此外，西南季風指標又跟恆春氣象站的觀測風場具有 0.81 的高度相關。因此，本計畫亦將精進 110 年度的成果，以 SOM 藉由三維雷達回波資料進行短時豪雨預警模型開發成果，進一步加入恆春氣象站的觀測風場，並擇定大臺北地區之水患自主防災社區，發展淹水預警方法。

至於在中長期乾旱趨勢，除了收集水庫集水區每月降雨歷史資料，分析其降雨特徵外，並收集分析造成臺灣乾旱的相關文獻資料，且於每月提供中長期降雨趨勢分析，以作為乾旱的監控和預警之用。另外，也於梅雨季前及梅雨期間，提供有利梅雨環境建立指標和西南氣流監控和預警資訊。並於短時豪雨發生前提供短時豪雨及短時大豪雨風險預警，特別加強夜間至隔日清晨情資分析。強化風險管理於災害來臨前，提供更即時精確之天氣和氣候預警資訊，期能減少因天氣、氣候災害造成的損失。

## 第二章 計畫執行成果

本計畫主要工作項目架構如圖 2-1 所示，主要工作大項包含：一：收集水庫集水區每月降雨歷史資料，並分析造成臺灣乾旱的氣候因子分析。二：針對梅雨環境指標及西南氣流監控和預測，三：應用雷達回波資料及西南氣流指標參數，擇定研究區域，發展淹水預警方法。四：依本署需求提供天氣及氣候訊息，以建立多元預警資訊，於短時豪雨發生前提供短時豪雨及短時大豪雨風險預警，並加強夜間至隔日清晨情資分析，並於每月提供中、長期氣候趨勢分析，作為水資源調度參考。

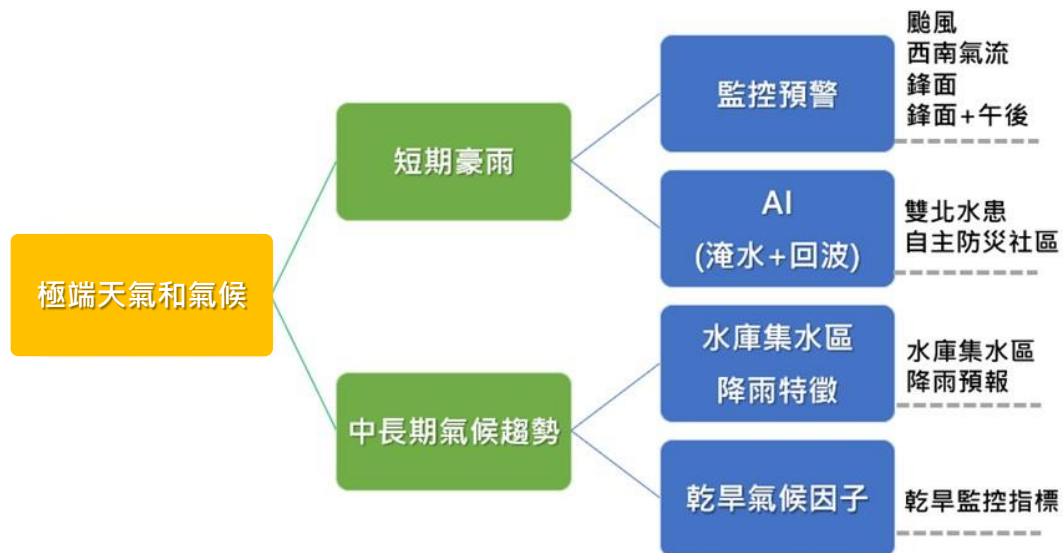


圖 2-1 計畫工作項目圖

本計畫自 3 月至 11 月中為止，重要天氣事件時間序列及本計畫召開之工作會議如圖 2-2 所示。由圖 2-2 中可見，當時序進入春季後期（3 月下旬），大雨事件頻率增加，圖示中黃色標示為中央氣象局發布達豪雨（含）以上事件，進入梅雨季（5-6 月期間）更有達 20 場的豪雨事件，今年度梅雨滯留鋒面共有 3 場，6 月中旬後梅雨季結束，正式進入受太平洋高壓主宰的夏季午後雷雨好發季節，達短時豪雨事件更是達 30 次以上，9 月起熱帶系統發展時序亦進入秋季時節，熱帶系統水氣配合一波波東北季風增強時，容易造成迎風面的東北部及北部地區有異常降雨發生，造成 5 次東北風異常降雨事件，迎風面的



北部山區及東北部達到大豪雨、超大豪雨等級。造成東北部異常降雨的氣候特徵，將於詳細說明。

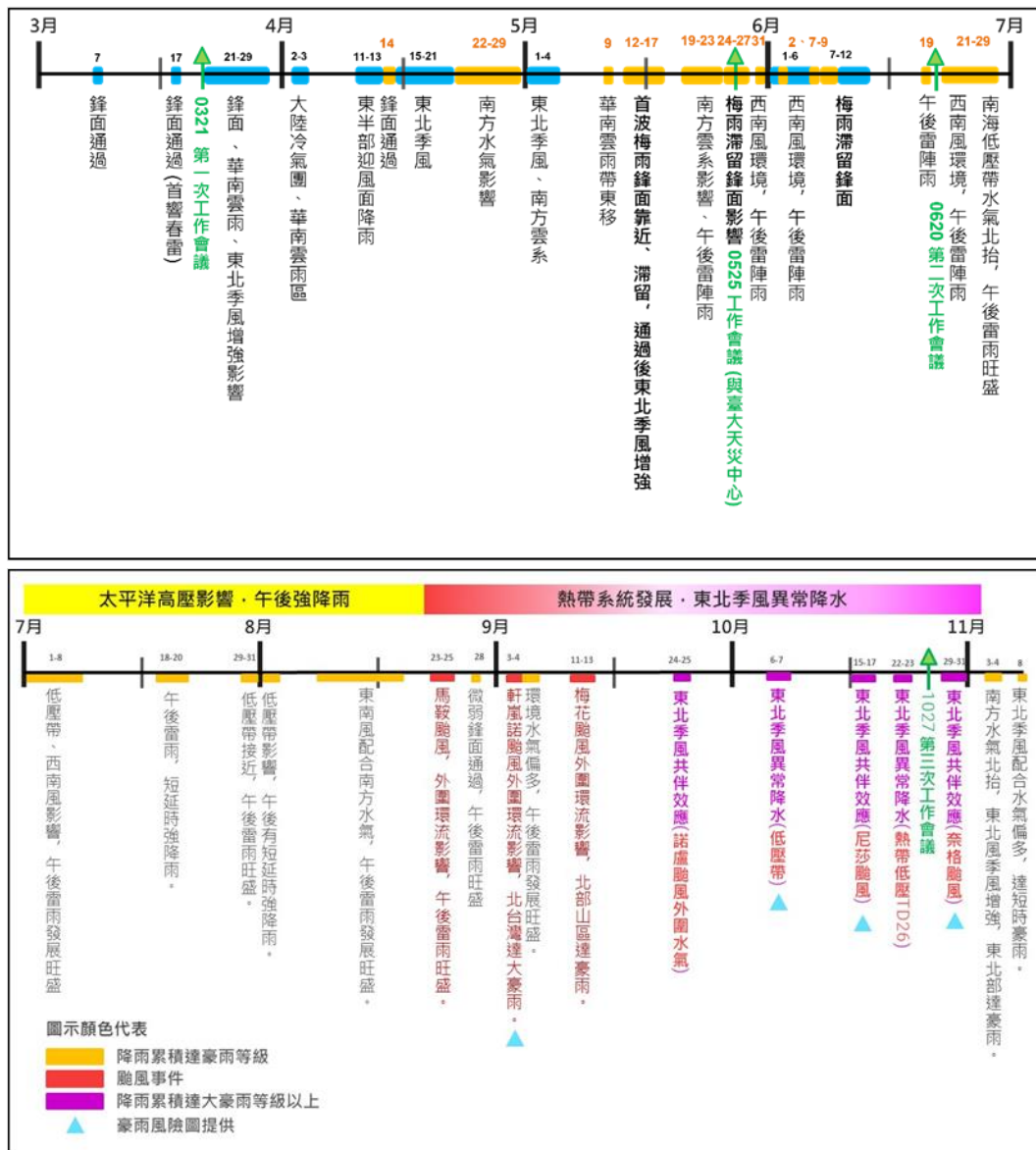


圖 2-2 自 3 月 1 日至 11 月 10 日止重要天氣事件及工作會議

另外，本計畫分別於 3 月 21 日與水利署防災中心召開第一次工作會議，配合署內三查三尋，律定相關天氣及氣候情資提供之時機點。並於 5 月 25 日針對精進短時豪雨預報技術工作，進行視訊會議的討論。之後，於 6 月 20 日進行第二次視訊工作會議，針對本案進行的相關工作及需尋求水利署協助之事項進行討論。最後，於 10 月 27 日進行第三次工作會議，針對本計畫成果做重點說明，相關會議截圖分別

示於圖 2-3 至圖 2-5。



圖 2-3 5 月 25 日與本臺大天災中心進行視訊會議討論

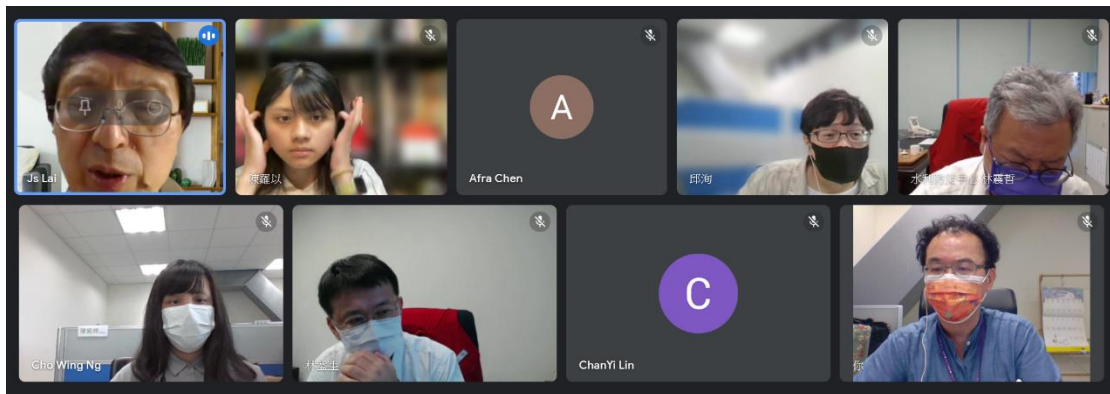


圖 2-4 6 月 20 日第二次視訊工作會議



圖 2-5 10 月 27 第三次工作會議

## 2.1 各集水區降雨歷史資料蒐集及分析

### 2.1.1 水庫集水區每月降雨歷史資料收集

#### A. 水庫集水區每月降雨歷史資料收集

水庫集水區每月降雨歷史資料收集方面，本計畫於 4 月中取得 18 座水庫降雨資料，經濾錯、整理後發現，水庫降雨資料略有缺漏，各水庫之歷史資料長度以及缺漏筆數詳見表 2-1，其中以仁義潭水庫有 43 筆資料為零、烏山頭水庫有 29 筆、蘭潭水庫有 26 筆資料顯示為零。因為，長期歷史降雨資料對於分析水庫集水區降雨特性至關重要。因此，於 5 月底取得北、中、南水局的石門、鯉魚潭、曾文水庫降雨資料，以及台電管轄的德基水庫完整資料，詳如表 2-2。本計畫亦於北水局網頁營運統計資料處下載，取得石門水庫歷史資料，雖資料較為完整，但發現與原本資料有差異，差異之處詳見圖 2-6。

表 2-1 18 座水庫歷史降雨資料

項次	水庫	歷史資料	計算方法	備註
1	石門水庫	1943/1-2021	平均	有 11 筆資料為 0
2	翡翠水庫	2002/4-2021		有 6 筆資料為 0
3	寶山水庫	1999/3-2021		有 4 筆資料為 0
4	寶山第二水庫	2006/5-20201	平均	有 1 筆資料為 0
5	永和山水庫	1998/8-2021	平均	有 4 筆資料為 0
6	明德水庫	1998/6-2021	加權平均	有 9 筆資料為 0
7	鯉魚潭水庫	1996/1-2021	加權平均	有 13 筆資料為 0
8	德基水庫	1998/6-2021	平均	有 34 筆資料為 0
9	霧社水庫	1998/5-2021		有 6 筆資料為 0
10	日月潭水庫	1998/5-2021		有 18 筆資料為 0
11	湖山水庫	2016/6-2021		有 4 筆資料為 0
12	仁義潭水庫	1987/7-2021		有 43 筆資料為 0
13	南化水庫	1995/5-2021	平均	有 20 筆資料為 0
14	烏山頭水庫	1998/6-2021		有 29 筆資料為 0
15	曾文水庫	1974/7-2021	平均	有 17 筆資料為 0
16	新山水庫	1998/8-2021		有多處資料為 5
17	蘭潭水庫	1999/2-2021		有 26 筆資料為 0
18	牡丹水庫	1998/6-2021		有 2 筆資料為 0

表 2-2 由北、中、南水局及台電取得之水庫歷史降雨資料

項次	水庫	歷史資料	計算方法	備註
1	石門水庫	1964/1-2021	平均	
2	鯉魚潭	2002/4-2021	平均	
3	德基水庫	2004/1-2021	平均	
4	曾文水庫	1975/5-2020	平均	

--	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	--	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
1963	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	7	1963	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
1964	214	73	42	11	123	279	141	306	62	179	25	32	1964	120	36.2	26.6	2.7	74.4	277	108	295	49.7	152.3	9	21.8
1965	87	38	83	125	225	336	265	345	114	55	92	59	1965	70	25.9	72.1	132	216	350	232	361	99.4	44.2	69.2	50.7
1966	26	82	167	101	196	576	104	196	674	31	31	51	1966	19.6	87.3	155	101	164	522	103	172	637	23.2	14.5	33.6
1967	84	116	60	82	336	200	152	245	135	300	267	81	1967	61.2	110	59.4	68.6	266	196	149	223	125	257.9	218.3	69.5
1968	36	311	193	70	242	372	453	202	411	90	24	26	1968	19.6	333	183	64.2	224	389	502	182	398	76.2	16.5	17.6
1969	79	92	186	42	102	330	358	266	975	476	47	23	1969	50.9	113	188	33.9	93.6	300	322	259	891	510.9	30.3	10.1
1970	166	44	244	51	186	290	101	312	665	186	41	113	1970	166	37.4	235	44.5	180	288	84	306	657	141.5	15.7	94.4
1971	116	83	65	72	222	231	203	93	1152	121	65	94	1971	113	73.8	53.1	62.8	200	229	175	51	1221	169	43.3	73.2
1972	151	98	42	102	242	18	552	1	45	24	0	4	1972	145	105	34.4	101	245	249	502	946	36.3	72.7	99	115.7
1973	122	56	63	228	134	205	0	0	10	306	0	1	1973	114	53.1	52.7	255	137	190	143	229	171	237.7	62.1	24.3
1974	40	107	111	261	343	548	185	133	269	507	77	106	1974	30.2	111	98.8	276	315	633	175	118	230	423.4	42.2	78.2
1975	103	75	230	114	351	418	223	539	314	233	57	145	1975	93.4	73.6	221	112	327	435	239	539	327	179.2	34.9	124.6
1976	68	55	85	83	280	155	185	543	204	57	40	24	1976	47.3	60.1	79	82.1	252	161	161	490	175	47.1	30.9	11.6
1977	137	63	42	39	259	376	486	333	381	59	76	99	1977	119	78.4	35.5	30.9	248	364	478	331	363	46	55.5	83.4
1978	132	88	394	157	324	171	64	224	346	279	56	135	1978	126	84.5	376	152	313	158	50.7	216	352	251.3	28.6	115.8
1979	58	61	178	133	298	363	138	913	160	245	128	32	1979	50.5	63.8	175	124	265	370	77.2	929	147	252.6	110.6	18.5
1980	127	159	91	213	182	165	109	314	278	108	123	32	1980	128	169	87.7	229	174	165	103	304	243	96.7	100.3	17
1981	20	120	193	91	412	662	525	148	344	99	132	83	1981	3.9	118	193	88	380	642	569	129	337	95.2	113	71.8
1982	40	117	146	120	139	257	570	378	136	23	86	72	1982	40.1	129	146	123	126	259	529	395	144	27.1	86.5	71.5
1983	154	490	599	101	276	182	113	138	259	81	26	39	1983	147	540	570	94.8	181	266	104	132	272	100.4	43.5	37.1
1984	35	53	157	271	353	508	127	896	184	119	67	23	1984	43.3	50	160	266	339	547	114	925	187	145.3	84.6	30
1985	81	475	113	197	127	231	251	691	375	233	85	177	1985	73.4	549	110	206	119	245	242	720	404	263.1	80	153.3
1986	34	164	365	73	433	411	185	580	445	47	144	45	1986	91.1	154	364	62.7	436	433	164	590	453	45.1	194.2	51.6
1987	43	73	260	102	248	207	525	159	470	383	57	48	1987	44.2	74.9	259	104	248	189	541	142	509	447.5	63.2	60.3
1988	85	59	188	243	179	140	87	235	376	279	61	33	1988	92.7	66.4	173	263	177	145	85.2	234	408	397.4	67.6	38.4
1989	56	20	107	233	373	143	358	245	763	66	61	100	1989	66.5	24	101	222	370	137	362	207	803	91.6	77.1	101
1990	151	105	125	496	98	412	132	1110	485	62	65	16	1990	162	120	111	508	92.6	432	102	1111	510	75.1	74.6	22.5
1991	95	74	77	87	0	0	0	0	0	0	0	2	1991	108	87	78	90	138	457	174	330	535	164.6	91.5	85.1
1992	71	313	209	242	276	130	148	720	529	45	36	67	1992	70.6	364	201	260	275	149	122	721	618	64	57.7	84.4
1993	96	30	206	206	190	246	212	94	81	54	57	23	1993	104	27.4	211	227	168	269	213	109	85.6	77.9	78.8	41.4
1994	83	214	99	71	227	206	324	913	219	542	4	52	1994	80.1	252	110	71.2	223	207	334	944	243	584.2	16.8	77.7
1995	71	164	156	129	248	194	339	182	103	50	27	26	1995	77.3	188	160	133	238	199	354	191	124	92	43.8	41.6
1996	16	89	87	255	270	166	789	285	376	105	74	22	1996	18.8	109	83.5	268	265	150	811	283	377	132.5	111.9	26.4
1997	62	167	164	85	196	593	301	822	176	37	23	53	1997	67	195	161	83.6	169	624	281	883	190	46.2	25.7	53.9
1998	177	397	215	152	354	213	70	189	344	139	50	104	1998	168	450	214	153	357	249	83.5	256	363	985.7	69.6	144.1
1999	53	8	72	56	189	383	121	268	71	123	42	120	1999	94.4	15.2	123	73.1	263	422	190	447	155	129.4	47	123
2000	50	336	99	296	111	386	221	741	175	264	271	139	2000	63.3	334	105	298	111	393	218	750	178	268.5	276.3	137.8
2001	186	26	128	226	283	160	345	150	1628	181	32	29	2001	179	22.4	132	237	234	185	346	153	1628	184.1	37.1	46.9
2002	45	10	22	7	27	135	579	40	237	69	21	49	2002	61.1	48.8	52.8	21	105	161	670	97.2	357	95.6	47.2	99.6
2003	31	13	95	149	52	259	114	115	326	95	87	8	2003	38.2	18.8	105	150	49.8	282	116	115	333	96.8	88	10
2004	80	155	163	122	211	35	294	1342	477	309	17	194	2004	80.6	154	163	122	195	26.1	300	1422	496	319.1	2.9	257.9
2005	61	298	294	54	391	192	577	1325	300	287	60	61	2005	53.6	296	309	57.6	402	193	580	1326	299	304.7	60.9	66
2006	71	75	165	268	315	442	311	147	452	27	167	104	2006	74.6	83.6	172	290	324	439	300	155	428	28.5	158.1	94.7
2007	107	53	138	147	236	388	151	611	562	707	246	33	2007	103	49.9	142	166	237	381	145	595	555	680	149.8	32.9
2008	65	98	157	108	195	257	450	70	1463	73	126	54	2008	65.6	98.3	157	108	195	257	451	70.1	1463	73.8	126	53.8
2009	22	28	198	157	49	270	89	594	72	288	54	52	2009	22.3	28.7	199	160	48.8	271	89.7	595	69.9	288.2	54.4	53
2010	91	222	42	114	128	346	258	126	267	338	57	60	2010	91.3	222	42.4	117	129	346	259	127	268	338.4	57.8	60.6
2011	88	37	96	33	296	423	194	220	78	355	233	122	2011	88.9	37.2	105	33.2	297	423	195	221	78.2	352.7	233.2	122.2
2012	167	212	83	211	318	488	179	990	257	49	215	174	2012	164	213	83	212	319	488	298	991	260	49.7	215	174.7
2013	45	15	62	304	278	131	554	663	349	325	66	173	2013	45.4	14.1	62.5	284	279	131	558	663	348	325	66.6	173.4
2014	12	125	125	71	314	208	302	112	136	85	62	120	2014	12.2	126	125	69.6	314	209	303	113	136	80.8	62.4	121
2015	22	56	109	94	256	124	359	718	547	87	44	82	2015	23.6	56.6	104	95	257	125	361	718	548	87.4	44	82.8
2016	299	68	325	151	169	345	472	161	760	102	99	26	2016	299	68.6	325	150	170	350	248	161	761	102.5	100.4	27
2017	18	72	129	231	191	596	320	45	130	403	132	82	2017	18.5	74.6	130	232	192	597	321	45.8	131	403.3	132.8	82.2
2018																									

## B. 分析水庫集水區每月降雨歷史資料特徵

因目前資料缺漏部分礙於早年自動化建檔不普及，大多以人工建檔，因此資料缺失補遺較為困難。經由工作會議討論後，暫以相對較為齊全的最新校正過的資料數據或較可靠的年度區間進行加值分析。

初步分析石門水庫長期年雨量資料顯示如圖 2-7，由圖 2-7 可見，石門水庫長期年雨量具有明顯的年代際變化（10 年至 20 年之間的變化），1964 年至 1983 年石門水庫年降雨量容易出現比長期年雨量中位數 2494.7 毫米偏少的狀況發生，長達 20 年的期間有 13 年的年雨量比長期中位數低。但 1984 年自 2013 年石門水庫年雨量則進入容易偏多的時期，隨後又進入年雨量偏少的時期。比較臺北氣象站同期間的年雨量長期趨勢顯示（圖 2-8），亦具有類似的長期趨勢特性，於 1964 年至 1983 年出現容易偏少雨的特性，但 1983 年至 2013 年則易偏多雨，隨後則進入偏少雨時期。石門水庫長期年雨量的標準差約為 612.2 毫米，年雨量最多的一年是 2005 年，高達 3948.2 毫米，主要是當年 8 月受馬莎和泰利颱風侵襲臺灣造成，降雨異常偏多，最少的一年為 1964 年的 1172 毫米。

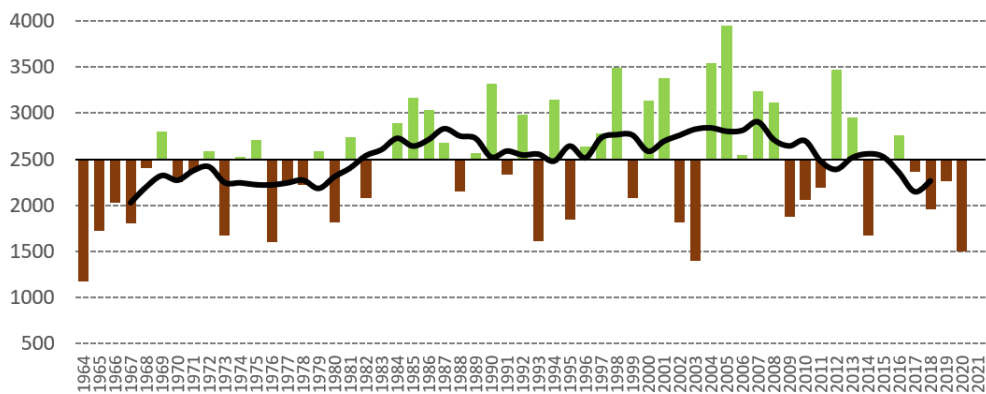


圖 2-7 1964 年至 2021 年，石門水庫流域年降雨量(長條圖)，及 7 年滑動平均線  
(黑色實線)

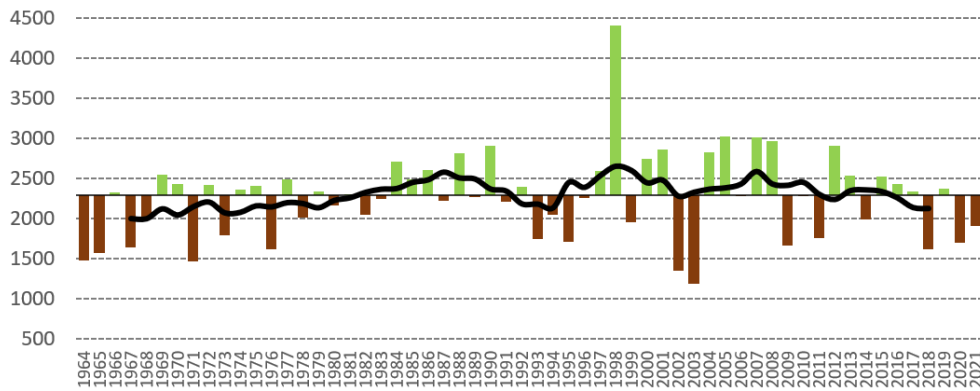


圖 2-8 1964 年至 2021 年，臺北氣象站年降雨量(長條圖)，及 7 年滑動平均線(黑色實線)

### 石門水庫與臺北氣象站

進一步比較 1964 年至 2021 年石門水庫和臺北氣象站的長期年雨量相關特性，由圖 2-9 可見兩者年雨量的相關係數 $R^2$ 為 0.8，具有高度的相關，且  $p < 0.05$  表示有統計上顯著水準，95%統計區間 (Confidence interval) 為 0.69~0.88 之間。另外，石門水庫和臺北氣象站四季的相關性皆高(圖 2-10)，分別為春季(2 月至 4 月) 0.94、夏季(5 月至 7 月) 0.72、秋季(8 月至 10 月) 0.84、冬(11 月隔年 1 月) 0.81，且通過顯著水準 (significance level) 95%的檢定，詳見表 2-3。綜合以上分析顯示，雖然於天氣系統影響下，降雨具有明顯的區域性差異，但根據石門水庫流域和臺北氣象站年降雨和季節降雨的長期相關分析顯示，兩者在長期的雨量特性上，則具有高度的相關特性。

表 2-3 石門水庫雨量與臺北雨量站全年與四季相關分析列表

註 \*:  $p < 0.05$  , \*\*:  $p < 0.01$

台北	R	p-value	95%CI
全年	0.8	**	[0.69, 0.88]
春	0.94	**	[0.90, 0.96]
夏	0.72	**	[0.56, 0.82]
秋	0.84	**	[0.74, 0.90]
冬	0.81	**	[0.70, 0.88]

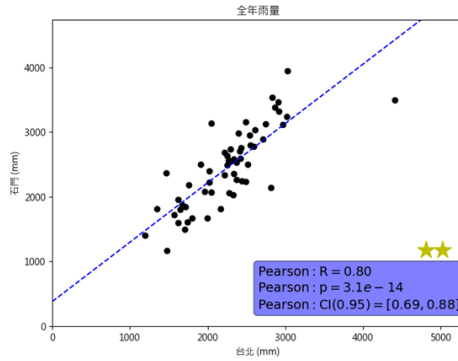


圖 2-9 石門水庫雨量與臺北氣象站全年降雨相關分析

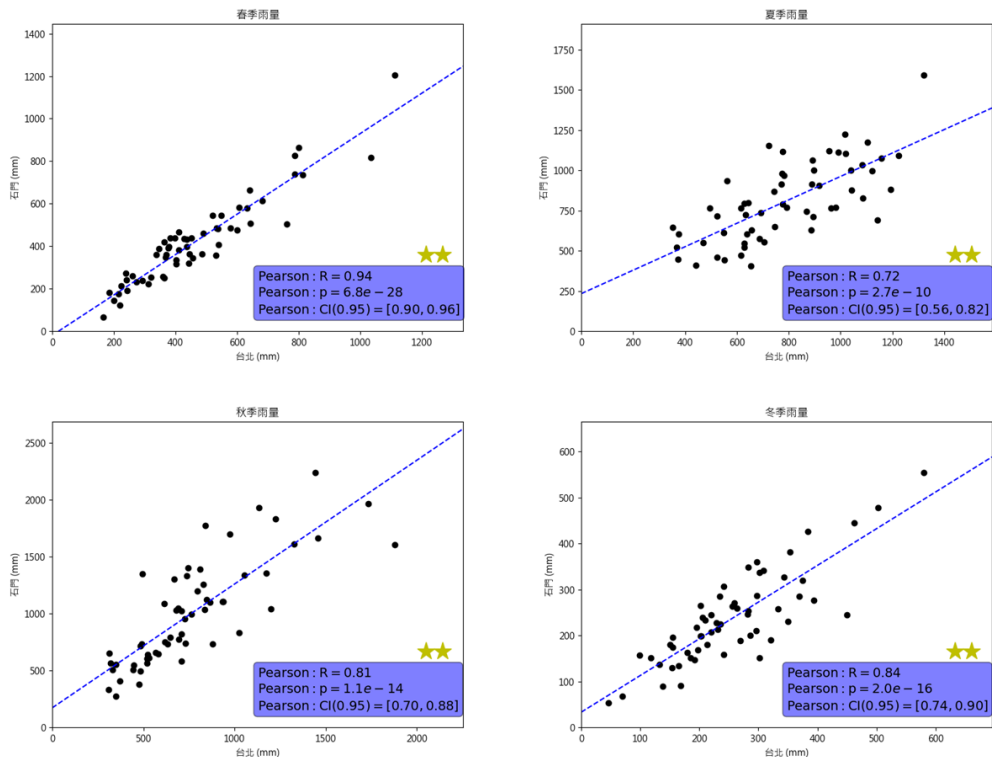


圖 2-10 石門水庫雨量與臺北雨量站春季 (2-4 月)、夏季 (5-7 月)、秋季 (8-10 月)、冬季 (11-1 月) 降雨相關分析

### 德基水庫與臺中氣象站

比較 2004 年至 2021 年德基水庫和臺中氣象站的長期年雨量相關特性，由圖 2-11 可見兩者年雨量的相關係數 $R^2$ 為 0.97 具有高度的相關，且  $p < 0.05$  表示有統計上顯著水準，95%統計區間 (Confidence interval) 為 0.92~0.99 之間。另外德基水庫和臺中氣象站四季的相關性皆高(圖 2-12)，分別為春季 (2 月至 4 月) 0.95、夏季 (5 月至 7 月) 0.98、秋季 (8 月至 10 月) 0.92、冬 (11 月隔年 1

月) 0.99，其他顯著水準 (significance level) 等詳見表 2-4。

表 2-4 德基水庫雨量與臺中雨量站全年與四季相關分析列表

註 \*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$

台中	R	p-value	95%CI
全年	0.97	**	[0.92, 0.99]
春	0.95	**	[0.87, 0.98]
夏	0.98	**	[0.94, 0.99]
秋	0.92	**	[0.78, 0.97]
冬	0.99	**	[0.97, 1.00]

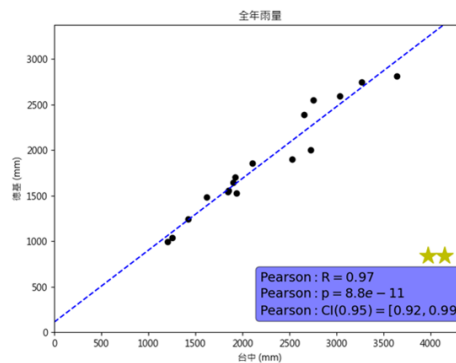


圖 2-11 德基水庫雨量與臺中雨量站全年降雨相關分析

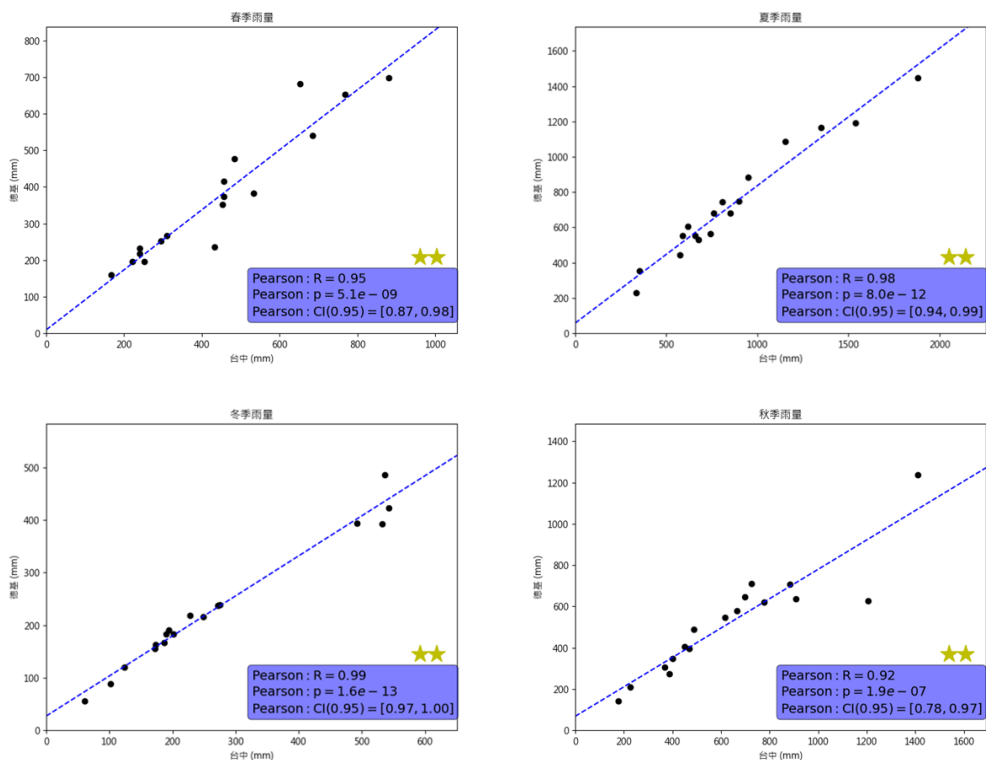


圖 2-12 德基水庫雨量與臺中氣象站春季 (2-4 月)、夏季 (5-7 月)、秋季 (8-10 月)、冬季 (11-1 月) 降雨相關分析



## 曾文水庫與臺南氣象站

比較 1975 年至 2021 年曾文水庫和臺南氣象站的長期年雨量相關特性，由圖 2-13 可見兩者年雨量的相關係數  $R^2$  為 0.97 具有高度的相關，且  $p < 0.05$  表示有統計上顯著水準，95% 統計區間 (Confidence interval) 為 0.92~0.99 之間。另外曾文水庫和臺南氣象站四季的相關性皆高 (圖 2-14)，分別為春季 (2 月至 4 月) 0.76、夏季 (5 月至 7 月) 0.75、秋季 (8 月至 10 月) 0.65、冬 (11 月隔年 1 月) 0.83，且顯著水準 (significance level) 等詳見表 2-4。跟臺北氣象站兩石門水庫、臺中氣象站與德基水庫與量的相關性比較，臺南氣象站和曾文水庫流域降雨的相關性相對較低，主要可能的原因和曾文水庫流域集水區，位於嘉義縣與台南縣境內，主流溪源出於阿里山山脈，南流至吳鳳鄉附近與支流伊斯基安那溪匯合後稱為曾文溪。全區地勢陡峭，越往上游地勢越發急遽傾斜有關。

綜合以上分析顯示，雖然於天氣系統影響下，降雨具有明顯的區域性差異，但根據水庫流域和相對應氣象站的年降雨和季節降雨的長期相關分析顯示，除了曾文水庫和臺南氣象站降雨相關性較低外，其它兩者在長期的雨量特性上，則具有高度的相關特性。

表 2-5 曾文水庫與臺南氣象站全年與四季相關分析列表

註 \*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$

台南	R	p-value	95%CI
全年	0.70	**	[0.52, 0.82]
春	0.76	**	[0.60, 0.86]
夏	0.75	**	[0.59, 0.85]
秋	0.65	**	[0.44, 0.79]
冬	0.83	**	[0.71, 0.90]

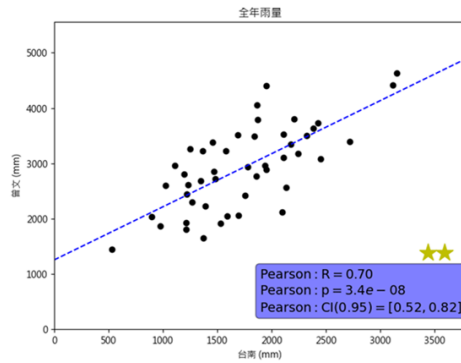


圖 2-13 曾文水庫與臺南氣象站全年降雨相關分析

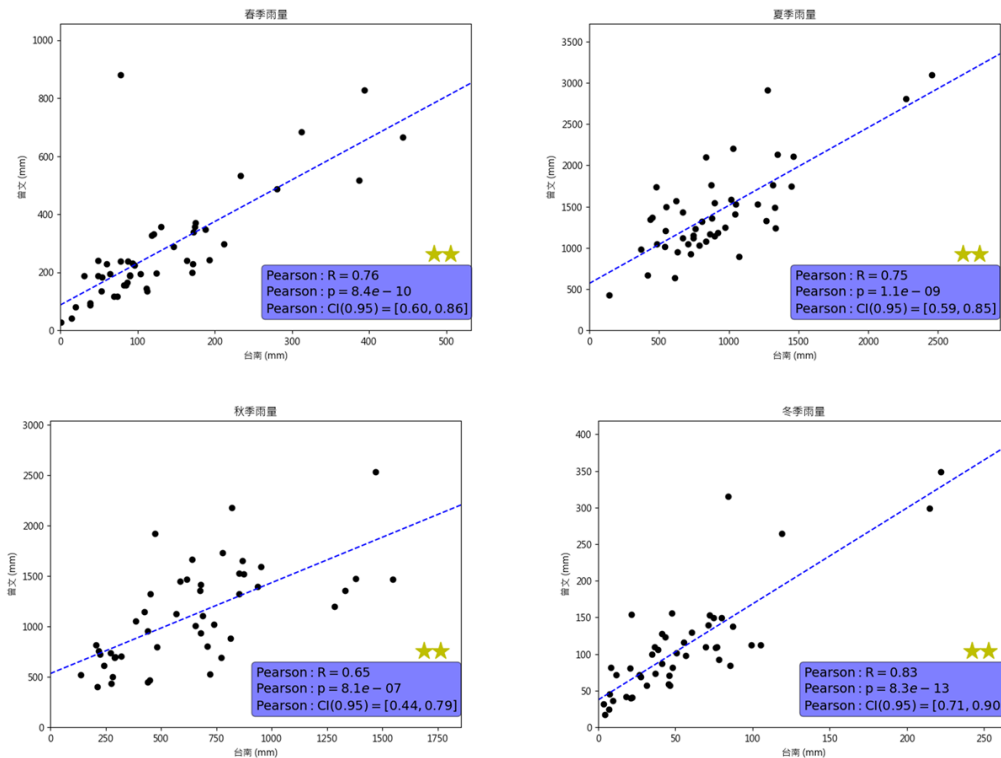


圖 2-14 曾文水庫與臺南氣象站春季（2-4 月）、夏季（5-7 月）、秋季（8-10 月）、冬季（11-1 月）降雨相關分析

## 2.1.2 造成臺灣乾旱的氣候因子分析

### A. 文獻回顧

本計畫先從文獻的回顧，整理臺灣乾旱的分析和研究結果。根據 1982 年經濟部水資源統一規劃委員會，分析臺灣地區不同重現期距的最大連續不降雨日數，指出北部全年乾旱的平均週期為 16 年，中南部地區為 11 年。黃等（2003）發現近三十年臺灣西部小旱範圍有向上游集水區擴散的跡象，西部平原則屬於大旱的可能發生地區。

北部及東部每年發生小旱機率低於 0.01，屬於不易發生乾旱的地區，可見臺灣中部和南部為乾旱發生的主要地區，南部乾旱發生情形明顯較北部嚴重。宋（2003）分析臺灣西半部乾旱的變化，發現中南部地區年不降雨日數於 1960 年代左右出現變化，1960 年以後中南部乾旱發生頻率增多。

賴（2006）更指出隨著乾旱重現期距的增加，旱象發生地區也逐漸擴展至北部與東部，連續不降雨日數也逐漸增加至 100 日以上。呂（2006）指出 1956 年以後南部地區因颱風季降雨量減少，造成乾旱發生頻率增加，中度、嚴重和極端程度乾旱發生頻率都有明顯增加趨勢，延時也有增長的情況。林（2007）利用三個月的標準化降雨指標（Standardized Precipitation Index, SPI）分析近八十年來臺灣乾旱的變化特性，發現北部乾旱變化的改變點在 1960 1970 年代左右，之後乾旱有稍微減弱的現象。中、南部改變點發生在 1950 1960 年代，之後乾旱發生機率逐漸增加，且南部之增加趨勢較中部明顯。游（2007）分析了近八十年來臺灣的乾旱次數、乾旱延時、乾旱量和強度等特性發現，1950 至 1960 年期間雨量有顯著的改變，在 1956 年之後，梅雨、颱風降雨和枯水期雨量都有減少的情形發生，尤其是颱風季雨量顯著減少。北部乾旱發生次數雖然有增加但幅度不大，其餘各項乾旱特性都顯示北部有漸趨為多雨的趨勢，氣象乾旱漸趨緩和。中、南部乾旱發生次數雖然有略為減少的趨勢，但乾旱延時、乾旱量及強度三方面均呈現明顯增加，表示氣象乾旱有嚴重化趨勢。

卓與盧（2013）以 11 年為一個窗區，近百年臺灣極端乾期事件發生頻率有明顯 20 至 30 年尺度的年代際變化，並有季節差異。整體來說 1960 年之後極端乾期發生頻率變多，1920 至 1940 年代期間極端乾期發生頻率較低。1960 至 1980 年代異常乾期主要發生在夏、秋二季，梅雨季的異常偏乾事件在 1970 至 1980 年較其他年代

稍多。1990 年代之後，11 月至隔年 4 月冬半年的臺灣極端乾期發生頻率則有明顯增多趨勢，近 20 年極端乾期事件發生在乾季的頻率明顯高於雨季。本計畫分析石門水庫流域長期降雨資料，亦具有和卓與盧（2013）發現的 20 至 30 年尺度的年代際變化特性。

根據卓與盧（2013）分析極端乾期事件發生的大尺度環流條件，發現梅雨季和夏季太平洋副熱帶高壓強度和高壓脊位置是影響極端乾期的重要因素，冬季極端乾期發生頻率則受到東亞冬季風強弱以及印度洋和太平洋上熱帶對流系統活躍程度的影響。之後洪與施（2017）分析嚴重乾旱事件發生時臺灣及附近區域的大氣環境場，結果發現，嚴重乾旱發生時臺灣及附近區域為不利對流系統發展的條件，因此少雨是可預期的。

李等（2021）初步分析 2020 至 2021 年造成臺灣乾旱事件的大氣和環流特徵指出，2020 年夏季太平洋副熱帶高壓偏強，東亞季風偏弱，西北太平洋創下有史以來 7 月首次無颱風生成的紀錄，而且 2020 年並未有颱風登陸臺灣。且其發生的時間與過去研究一致（洪與施,2017），臺灣的乾旱發生時段多發生於颱風季結束後至隔年梅雨季前，且嚴重乾旱發生時臺灣及附近區域為不利對流系統發展的條件。

## **B. 臺灣秋季至隔年春季乾旱因子分析**

分析 1947 年以來至 2022 年 6 月以來，由 13 個平地氣象站包括基隆、宜蘭、淡水、臺北、新竹、臺中、臺南、高雄、花蓮、成功、臺東、大武及恆春等氣象站組合而成代表全臺降雨紀錄（圖 2-15）。

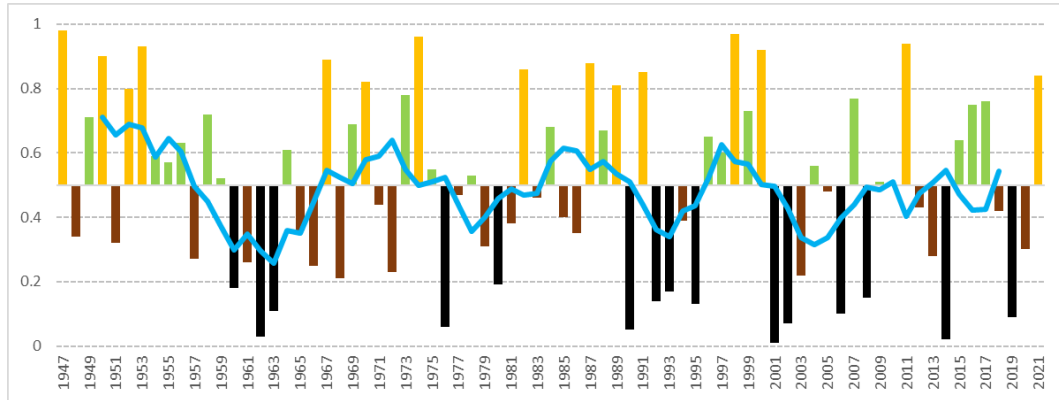


圖 2-15 1947 年以來至 2022 年 6 月 13 個平地氣象站降雨百分化時序圖

根據前述的論文回顧，以及整理自水利署年報的乾旱應變紀錄，分析每年 10 月至隔年 4 月的 13 個平地站平均累積雨量，由最多雨排至最少雨計算其百分位，如圖 2-15 所示，藍線表示 7 年滑動平均。由圖中可見臺灣秋季至隔年春季降雨呈現週期擺盪的現象，但自 2001 年後臺灣秋季至隔年春季降雨似乎進入到一個容易偏少雨的時期。這期間經歷了 2013-2015 年的旱象、2017-2018 年的旱象以及 2020-2021 的百年大旱。進一步藉由小波分析 (wavelet analysis) 顯示 (圖 2-16)，可以看到臺灣秋季至隔年春季降雨具有明顯的 2 至 4 年的變化，並通過 95% 的統計檢定。分析臺灣秋季至隔年春季降雨與 1950 年起至 2022 年的聖嬰指標 Niño 4 ( $5^{\circ}\text{N}-5^{\circ}\text{S};160^{\circ}\text{E}-150^{\circ}\text{W}$ ) 以及 Niño 3.4 ( $5^{\circ}\text{N}-5^{\circ}\text{S};170-120^{\circ}\text{W}$ ) 區域平均海溫的相關分別為 -0.39 及 -0.27。除此之外，圖中亦可見臺灣秋季至隔年春季降雨亦具有 8 至 16 年的周期變化，但並沒有通過統計的檢定。這個長周期的變化特性，於 1990 年代末期後相對明顯。

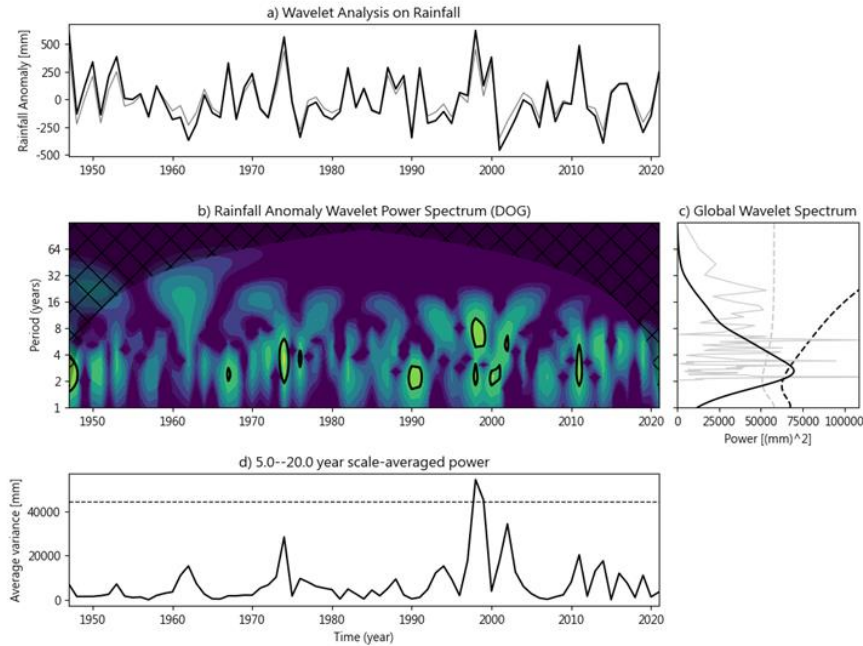


圖 2-16 同圖 2-15，但為小波分析圖，圖 a 為觀測資料和以小波重建的資料，圖 b 為小波分析週期圖，c 圖為小波波譜檢定，d 圖為小波能譜圖分布

根據圖 2-15，將百分位數小於或等於 0.2 定義為極端少雨年，百分位數大於或等於 0.8 定義為極端多雨年。極端少雨年如下：1960、1962、1963、1976、1980、1990、1992、1993、1995、2001、2002、2006、2008、2014 及 2019 年共 15 個個案。極端多雨年如下：1947、1950、1952、1953、1967、1970、1974、1982、1987、1989、1991、1998、2000、2011 及 2021 共 15 個個案。分別分析極端少雨年和極端多雨年的大氣環流特徵發現：當秋季至隔年春季臺灣降雨極端偏少雨時，臺灣至中國廣東及福建一帶降雨均異常偏少並被一個異常的高壓環流所壟罩，此異常偏強的高壓環流東南方則是一個異常的低壓氣旋式環流。另外，於  $10^{\circ}\text{N}$ - $10^{\circ}\text{S}$  大約在  $125^{\circ}\text{E}$  附近以東具有明顯的西風距平；在  $125^{\circ}\text{E}$  附近以西則具有明顯的東風距平，赤道東太平洋至中太平洋則為東風距平（圖 2-17）。

由 SSTA 和低層風場距平圖顯示（圖 2-18），東亞地區、西北太平洋、印度洋及赤道東太平洋 SSTA 呈現微弱負距平。 $180^{\circ}\text{E}$  附近以東具有明顯的東風距平；在  $125^{\circ}\text{E}$  附近以東至  $180^{\circ}\text{E}$  附近則具有明顯的西風距平；整個  $10^{\circ}\text{N}$ - $10^{\circ}\text{S}$ 、 $125^{\circ}\text{E}$  附近以西至整個印度洋均

具有明顯的東風距平。

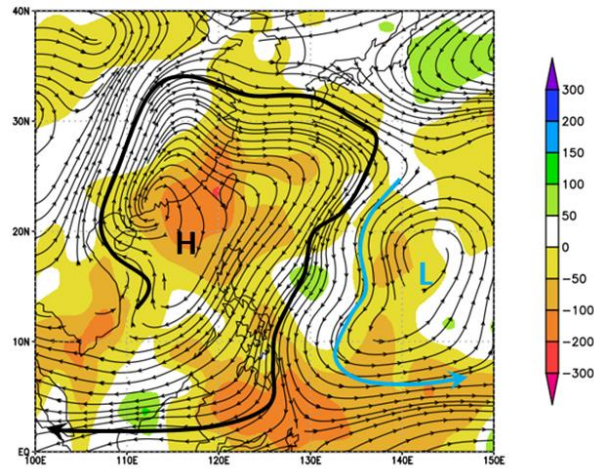


圖 2-17 極端少雨年的大氣環流特徵，暖色系表示降雨偏少、冷色系為降雨偏多，流場圖為 850-hPa 氣流距平

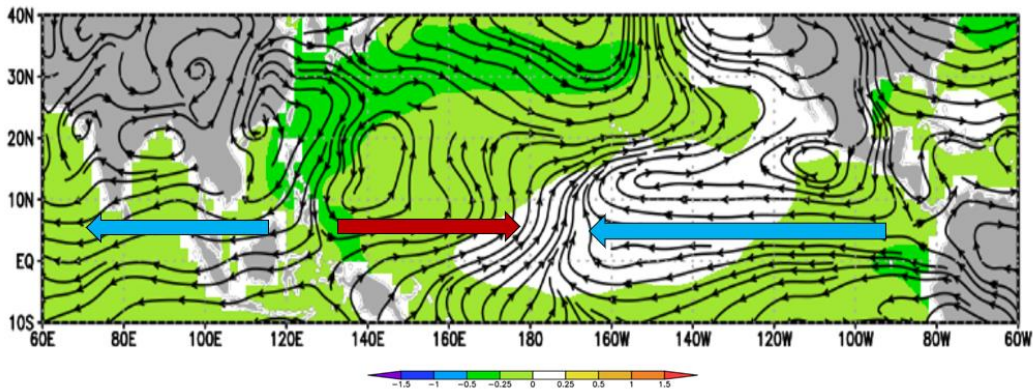


圖 2-18 極端少雨年的海溫距平特徵，暖色系表示海溫偏暖、冷色系為海溫偏冷，流場圖為 850-hPa 氣流距平

反之，當秋季至隔年春季臺灣降雨極端偏多雨時（圖 2-19），臺灣至中國廣東及福建一帶降雨均異常偏多，並被一個異常的低壓環流所籠罩，它的北方則是一個異常的高壓環流。另外，於圖中可見菲律賓東方外海的季風槽相對明顯且偏強（圖 2-19 中黑色實線），從中南半島至南海一帶的西風異常偏強。由 SST 和低層風場距平圖顯示（圖 2-20），大範圍 SST 呈現微弱負距平，赤道附近 160°E 至 180°E 的 SST 呈現較強的負距平且 180°E 以東具有明顯的東風距平，在 180°E 以西一路至赤道印度洋具有明顯的西風距平。

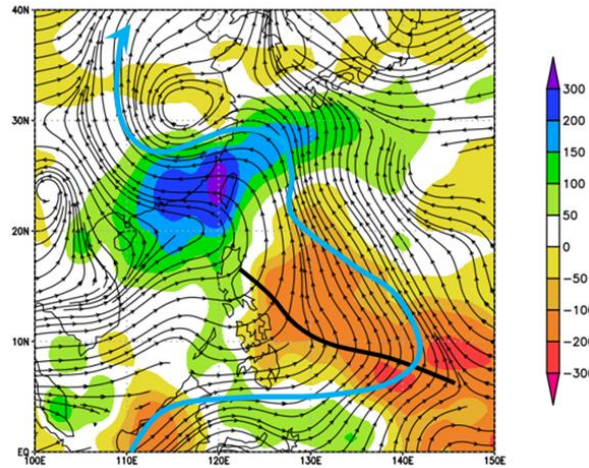


圖 2-19 同圖 2-17，但為降雨極端偏多的大氣特徵

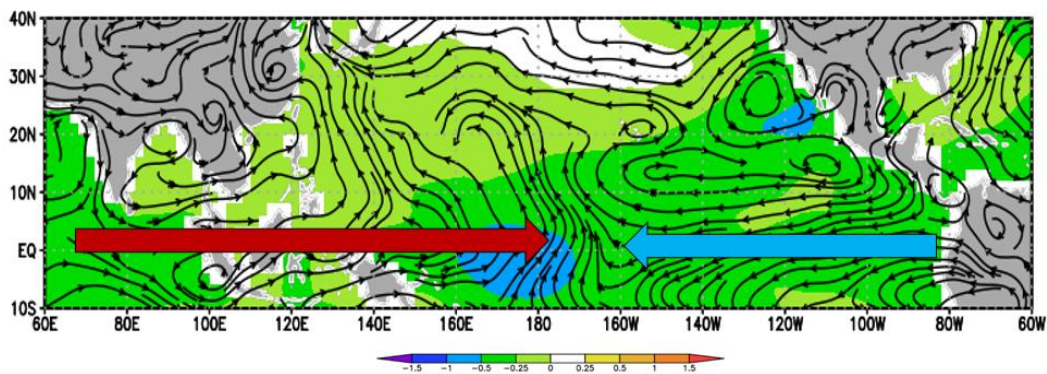


圖 2-20 同圖 2-18，但為降雨極端偏多的特徵

### C. 秋季至冬季東北部異常降雨分析

分析宜蘭氣象站自 1950 年至 2021 年每年 10 月至 12 月降雨百分化如圖 2-21 所示，圖 2-21 中淺藍色長條圖為反聖嬰年，當宜蘭站 10 月至 12 月降雨百分化大於或等於 0.8 定義為異常多兩年（圖 2-21 中淺綠色長條圖）。圖 2-21 中顯示，降雨異常偏多的年份共有 14 個年份，其中共有 10 個是反聖嬰年（聖嬰和反聖嬰的年份自 1950 年開始）。統計過去幾年反聖嬰發生時，於秋季期間造成東北部宜蘭有幾場異常強降雨事件，如，2020 年 11 月 27 日開始到 12 月 25 日，宜蘭氣象站連續下雨天數達 29 天，打破了 1970 年連續降雨 27 天的紀錄。另於今年 10 月受尼莎颱風影響，配合東北風增強，亦造成宜蘭劇烈降雨並造成淹水的災情。



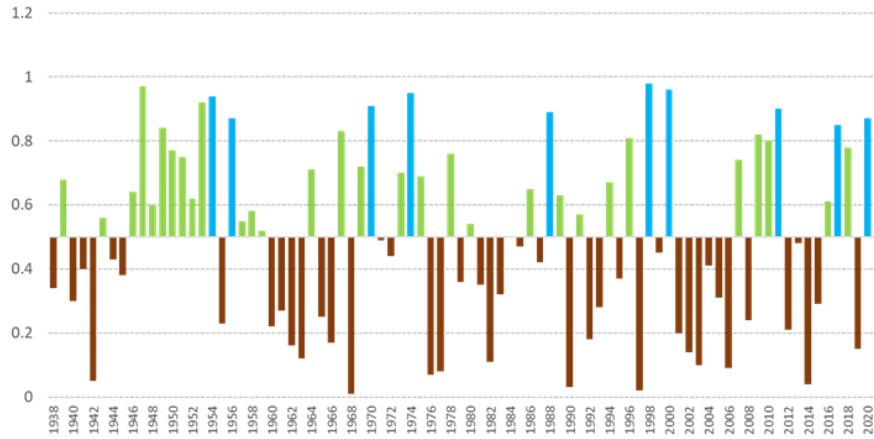


圖 2-21 宜蘭氣象站自 1938 年至 2021 年 10 月至 12 月降雨百分化

因為反聖嬰年時秋冬季大氣的型態如圖 2-22 顯示，當出現反聖嬰年時，東亞冷高壓相對偏強，從圖 2-22 中清楚看到長江流域以北被大陸冷空壓盤據，因此臺灣容易受到東北季風的影響。除此之外，在南海至菲律賓一帶具有偏強的低氣壓環流。當這個低氣壓環流條件合適時，容易會有颱風或熱帶性低氣壓生成。因此，反聖嬰的氣候背景之下，東北季風相對容易偏強，也會為宜蘭地區帶來異常的降雨。如果，又有熱帶性低氣壓或颱風行經呂宋島及南海一帶，兩者互相配合下就造成颱風和東北季風的雙重影響，也就是一般我們常聽到的共伴秋颱的威力。

宜蘭的氣象觀測在 1935 年的日據時代，『宜蘭測候所』就開始有常態性的氣象觀測紀錄。而當時出任所長的樺澤實先生，透過分析最早觀測到的氣象紀錄，發現到宜蘭地區冬季的降雨有從海岸線向內陸山區遞減的現象。二戰結束後，樺澤實先生將帶回日本的資料經過整理與分析，提出宜蘭地區特殊簸箕型地形，導致東北風發生迴流，進而在平原地區發生較強的降雨機制。他推測宜蘭地區在東北季風的環境下，中低層氣流受蘭陽平原西南方山脈的阻擋，會在低層產生迴流形成西風。而此迴流風場與大尺度環境的低層東北風在低層產生輻合，因為氣流輻合所誘發的對流系統發展進而造成蘭陽平原地區的降雨。詳細的說明，可以參考探索一個既熟悉又陌生問題－2020 年宜蘭劇烈降雨實驗（2020 YESR）簡介（蘇和劉

2020)。

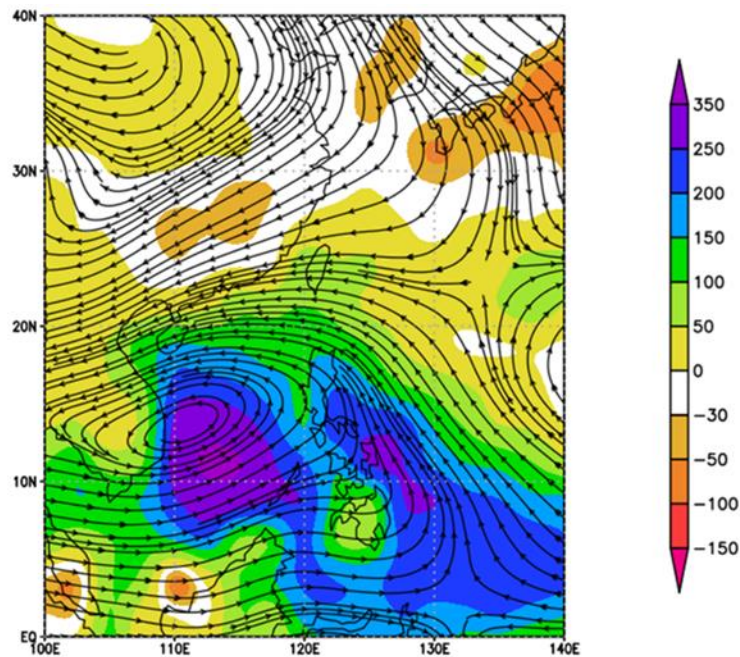


圖 2-22 反聖嬰年時秋冬季大氣的型態，暖色系表示降雨偏少、冷色系為降雨偏多，流場圖為 850-hPa 氣流距平

#### D. 臺灣春季乾旱降雨因子分析

Hung 等 (2004) 的研究發現，北臺灣春季降雨和太平洋年代際振盪 (Pacific Decadal Oscillation, PDO) 具有顯著的關係。當 PDO 正相位時，此時赤道中-東太平洋的海溫偏暖 (圖 2-23)，會激發菲律賓海附近的反氣旋環流，此反氣旋環流西南側的西南風增強，並且使得日本南方至北臺灣附近的槽線加深，導致臺灣北部的春雨偏多 (圖 2-24)。反之，當 PDO 負相位時，臺灣北部的春雨則偏少。根據 NOAA 資料顯示 (圖 2-25)，目前最近的 PDO 指標自 2019 年 10 月起即進入一個明顯偏負相位的時期。

## Pacific Decadal Oscillation

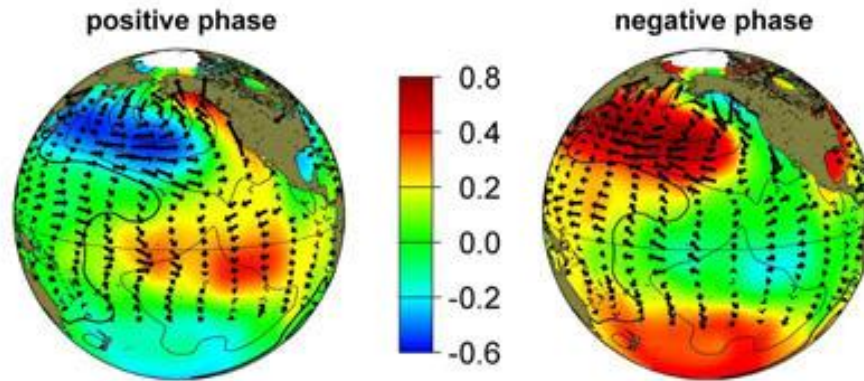


圖 2-23 左圖是 PDO 正相位時的海溫 and 風場距平圖，右圖則是 PDO 負相位時的海溫 and 風場距平圖，資料來源 NOAA

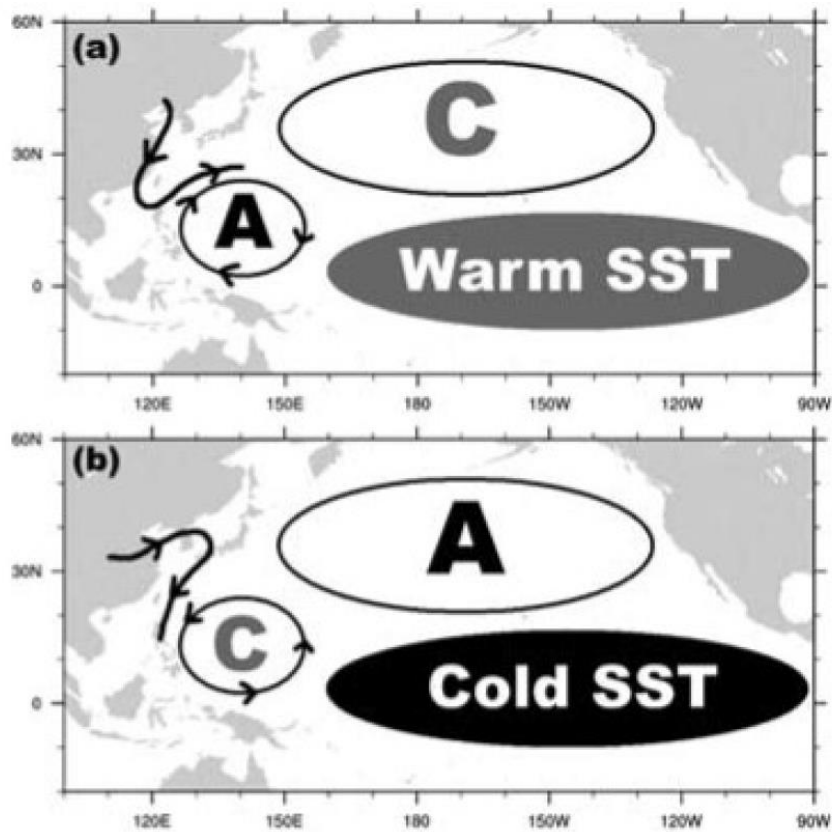


圖 2-24 上圖是臺灣北部春雨偏多時大氣海洋的關鍵因子，PDO 處於正相位示意圖，下圖則是臺灣北部春雨偏少時大氣海洋的關鍵因子，PDO 處於負相位示意圖，摘自 Hung et. al. (2004) 的圖 5

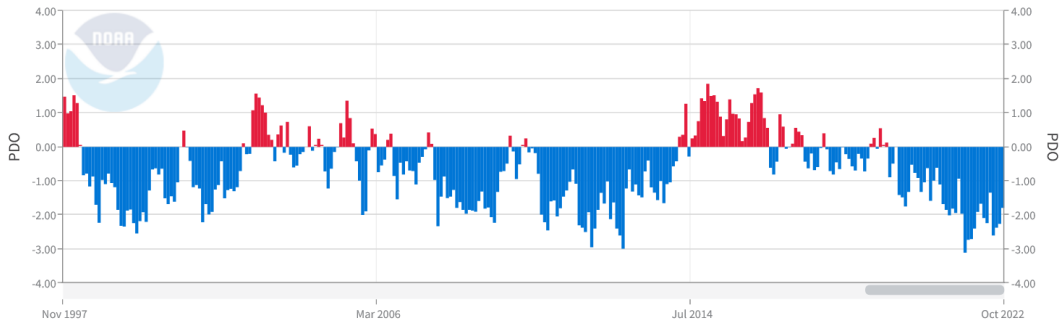


圖 2-25 1997 年 11 月至 2022 年 10 月的 PDO 時間序列圖，資料來源: NOAA

本計畫分析臺北氣象站自 1897 年至 2022 年春季(2 月至 4 月)累積雨量百分化如圖 2-26 所示，圖 2-26 中顯示臺北氣象站春季降雨於 1922 至 1941 年、1978 至 1998 年春雨容易偏多。而 1898 至 1921 年、1942 至 1977 年，以及 1999 年後春雨進入明顯易偏少的時期，具有明顯的 10 年以上的年代際變化現象(Hung et. al. 2004)。進一步根據百分化大於或等於 0.8 定義為異常多雨年、百分化小於或等於 0.2 定義為異常少雨年，分析關鍵之大氣環流特徵。當臺北春季降雨異常偏少時(圖 2-27 左圖)，菲律賓東方具有明顯的低壓環流，中國福建至廣東一帶具有明顯偏強的高氣壓環流，臺灣附近主要以偏東北氣流為主。反之，當臺北春季降雨異常偏多時(圖 2-27 右圖)，菲律賓東方至南海具有明顯偏強的高氣壓環流，臺灣附近主要以偏南氣流為主。

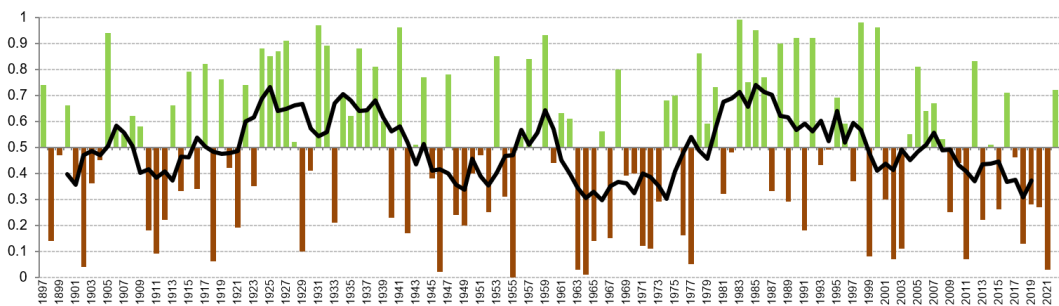


圖 2-26 臺北氣象站 1897 年至 2022 年春季降雨百分化圖，圖中黑色實線為 7 年滑動平均

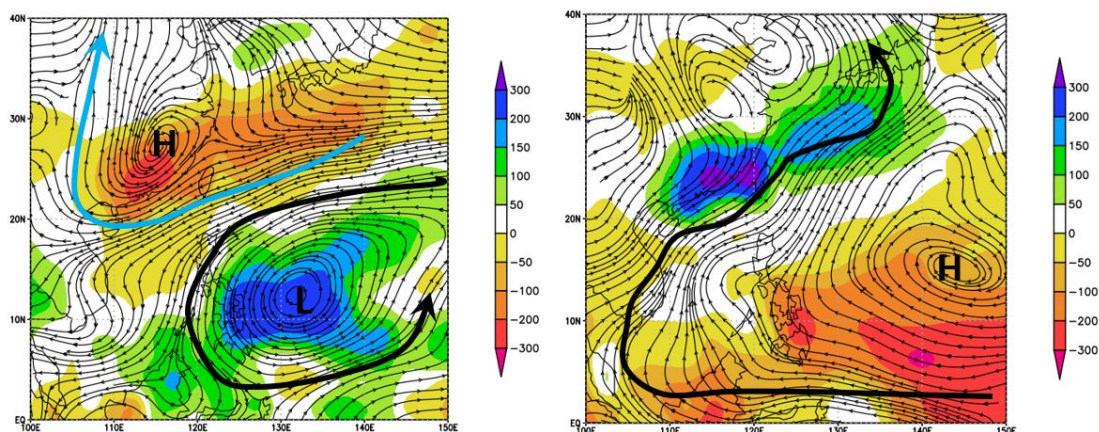


圖 2-27 左圖為臺北春季降雨異常偏少時大氣的型態，右圖為臺北春季降雨異常偏多時大氣的型態。暖色系表示降雨偏少、冷色系為降雨偏多，流場圖為 850-hPa 氣流距平

### 2.1.3 造成臺灣乾旱的氣候因子特徵：西北太平洋副熱帶高壓

根據李等 (2021)、洪與施 (2017) 以及卓與盧 (2013) 初步分析指出，臺灣的乾旱發生時段多發生於颱風季結束後至隔年梅雨季前，且嚴重乾旱發生時臺灣及附近區域為不利對流系統發展的條件，西北太平洋副熱帶高壓 (Western North Pacific Subtropical High, 簡稱 WNPSH) 強度和高壓脊位置是影響極端乾期的重要因素。WNPSH 是東亞夏季風系統的主要組成部分，對東亞夏季氣候有重要的影響。一般當 WNPSH 異常偏強時，系統西側的南風攜帶來自熱帶海洋的大量水汽與來自北部的乾冷空氣相遇，導致夏季長江中下游地區降水偏多，甚至發生嚴重的洪澇災害。

例如 2020 年夏天，異常偏強的 WNPSH 導致長江中下游地區發生嚴重洪水。以及 2022 年夏季，於中國華南及西南出現高溫 and 乾旱，據中國水利部稱長江夏季降水量創 1961 年有記錄以來最低，中國國家氣候中心也稱這波持續熱浪強度也創下 1961 年以來的最強紀錄。除此之外，今年 7 月和 8 月都沒有颱風侵襲臺灣，也跟異常偏強的 WNPSH 有關 (圖 2-28)。圖為 2022 年 7 月 1 日至 9 月 18 日的大氣 500-hPa 的平均高度場和距平圖，圖中顯示太平洋高壓異常偏強 不止是偏強更是一路向西延伸，圖中紅色實線是今年的 5880 等高線氣

候上的 5880 等高線是黑色實線。

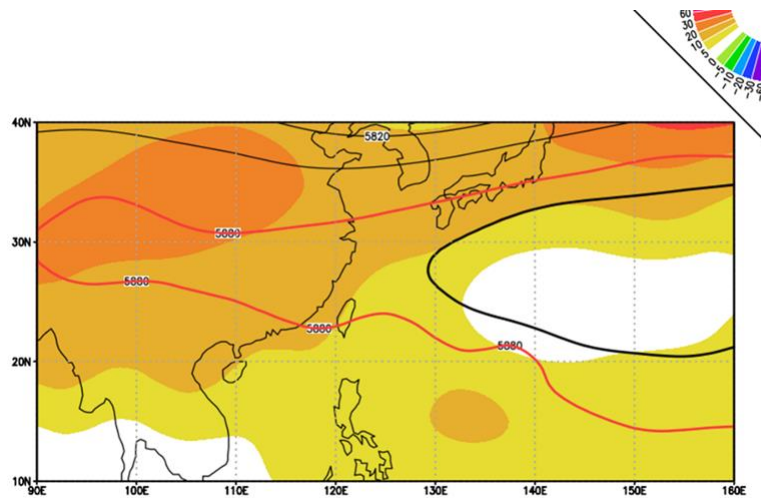


圖 2-28 2022 年 7 月 1 日至 9 月 18 日的大氣 500-hPa 的平均高度場和距平圖

研究指出，一些關鍵海區的海溫異常(簡稱 SSTA)均對 WNPSH 具有顯著影響。以下從有利於 WNPSH 偏強的角度，說明影響 WNPSH 的關鍵海溫區。第一個區域是赤道東太平洋的正 SSTA：根據研究 (Zhang et al, 1999；Wang et al, 2013) 發現，夏季赤道東太平洋的正 SSTA，及赤道中太平洋負 SSTA 也有利於 WNPSH 偏強。而在聖嬰年減弱的夏季，赤道東太平洋仍然存在殘餘的正 SSTA 而增強 WNPSH。此外，聖嬰年期間由於赤道西太平洋海溫相對偏低、對流減弱，也有利於 WNPSH 偏強。

第二個區域是熱帶印度洋的海溫，當熱帶印度洋出現正 SSTA 也會使 WNPSH 增強。簡單來說，印度洋海溫偏暖會使當地對流發展旺盛，暖濕空氣上升至高空後往水平方向外流，其中一支下沉氣流抑制了南海對流發展，同樣也助長了太平洋高壓勢力向西擴展。研究顯示北印度洋偏暖、西北太平洋偏冷的，會造成赤道西太平洋的異常東風，導致 WNPSH 的增強 (Wu et al, 2010)。第三個區域是副熱帶西北太平洋 (WNP) 的負 SSTA，也會增強 WNPSH (Wang et al, 2000、2013; Xiang et al, 2013)。第四個區域是海洋大陸附近海溫 ( $10^{\circ}\text{S}—10^{\circ}\text{N}$ ， $100^{\circ}—150^{\circ}\text{E}$ )，當這區域出現正 SSTA，也會使 WNPSH 增強 (Sui et al, 2007; Chung et al, 2011)。第五個區域是熱

帶大西洋的 SSTA，近期的許多研究顯示，熱帶大西洋的正 SSTA 有利於 WNPSH 增強 (Hong et al, 2014)。當熱帶大西洋出現正 SSTA，會使赤道印度洋至赤道西太平洋均受異常東風控制，進而造成 WNPSH 的增強。

另外，WNPSH 有具有週期性的變化，研究指出 WNPSH 具有 2 至 3 年 和 3 至 5 年的週期特性。2 至 3 年週期的振盪和海洋大陸附近的 SSTA 有關 (Sui et al, 2007; Chung et al, 2011; Chen et al, 2014)。3 至 5 年週期的振盪，可能跟副熱帶西北太平洋局地海溫異常 (Sui et al, 2007; Chung et al, 2011) 或熱帶印度洋海溫異常 (Chen et al, 2014) 有關。20 世紀 90 年代初期以前，夏季西太副高主要表現為 3 至 5 年的週期振盪，而在此之後主要表現為 2 至 3 年的週期振盪。這一年代際變化的原因在於，20 世紀 90 年代初期以後海洋大陸附近海區的海溫異常對 WNPSH 的強迫增強了 (Chen et al, 2014)。

綜合以上分析顯示，赤道東太平洋的正 SSTA、熱帶印度洋出現正 SSTA、副熱帶西北太平洋的負 SSTA 以及海洋大陸附近出現正 SSTA，均會使 WNPSH 增強。

#### **2.1.4 聯合國減少災害風險辦公室 2021 年乾旱特別報告**

聯合國減少災害風險辦公室 (簡稱 UNDRR，其前身為 UNISDR)，發布的 2021 年乾旱特別報告的決策者摘要指出，乾旱對社會、生態系統和經濟產生了深刻、廣泛而被低估的影響。並且，造成的損失卻不成比例地由最脆弱群體所承擔。乾旱不僅影響到數百萬人口和眾多部門和領域，例如農業生產、公共供水、能源生產、水運交通、旅遊、人類健康以及生物多樣性，並加劇了糧食不安全、貧窮和不平等。人類活動造成溫室氣體的增加，使得地球的溫度不斷升高，進而打亂了降雨模式，並增加了許多地區乾旱的頻率、嚴重程度和持續時間。全球升溫逐漸加劇，因此需要採取緊急行動，更瞭解並更有效地管理乾旱風險(圖 2-29)，減少對人類生命和生計

造成的破壞性損失。

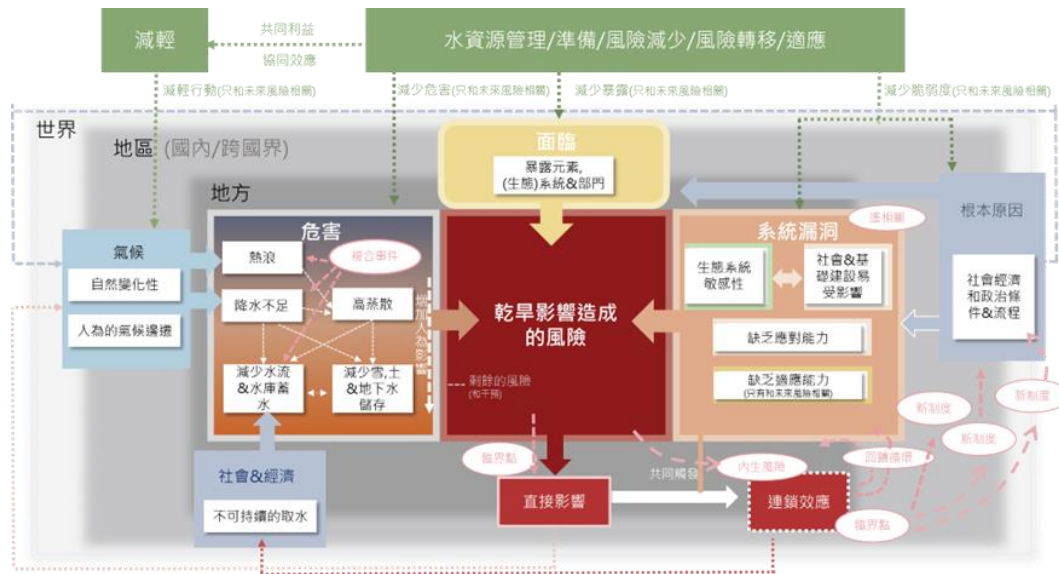


圖 2-29 乾旱風險的系統架構

報告指出，雖然乾旱對於實現 2030 可持續發展議程以及 2015-2030 仙台減少災害風險框架的目標構成重大威脅，但藉由採用前瞻性、主動性和創新性的乾旱風險管理方法，可以大幅減少這種威脅。這份報告也借鏡世界各地的案例研究，所獲得的經驗教訓認為：根據我們現在對乾旱及其對社會、經濟和生態系統等風險的瞭解，我們可以而且必須在管理乾旱方面做得更好。報告也指出，可以藉由乾旱政策和準備過程的十步驟(圖 2-30)，進行整個乾旱的政策制定。並呼籲要更加注重預防：透過解決引發乾旱的根本因素和社會生態脆弱性，避免和儘量減少風險，從而實踐從被動回應的方法轉變為提前預防的方式。報告中還指出，不斷增加的溫室氣體排放、以及暴露於乾旱的人口和生態系統的脆弱性，是乾旱風險的重要驅動因素，解決這些方面的問題是降低乾旱風險的核心。

預防和減緩乾旱風險的成本遠低於回應和應對乾旱的成本，報告中也針對，如何藉由促進奠基於實際經驗的整體系統方法來實踐乾旱恢復力提出建設性的建議。報告呼籲對乾旱風險治理以及達成和實施集體決策的行動、進程、傳統和機構（正式和非正式）進行



改革。這將有助於社會更有能力長期應對系統的不確定性、意外情況和變化。

報告中更建議，必須建立新的協調與合作機制，迅速推進對乾旱風險的理解和管理。並呼籲，建立一個新的全球機制，以支持各國：解決乾旱風險的聯集性和跨域特性；擴大合作的夥伴關係；促進創新、反覆學習和調適及治理；分享能力和經驗；通過社區、跨越尺度和邊界以及在現有區域實體和方案之間聯繫起來。報告還提倡建立國家乾旱恢復力建設合作夥伴關係，動員公共、私營和民間社會合作夥伴，努力確保國家和地方各級之間保持無縫聯繫。這些合作夥伴關係會有助於消除阻礙對乾旱風險管理採取整體方法的體制孤島，從而使廣泛的部門和利益相關方都參與進來，加快集體預防行動。



圖 2-30 乾旱政策和準備過程的 10 個步驟

報告中也提到，完整的乾旱管理計畫，包含三大支柱(圖 2-31)：第一是乾旱監測預警系統，第二為乾旱脆弱性和影響評估，第三是乾旱防備、減緩和回應。乾旱監測和預警系統是積極乾旱政策的基礎。由於它們不僅僅是用於監測和預測危害以及發布警報的科學和技術工具，如果有效使用，早期預警系統可以降低脆弱性以及提高面臨風險的人及系統的反應能力。

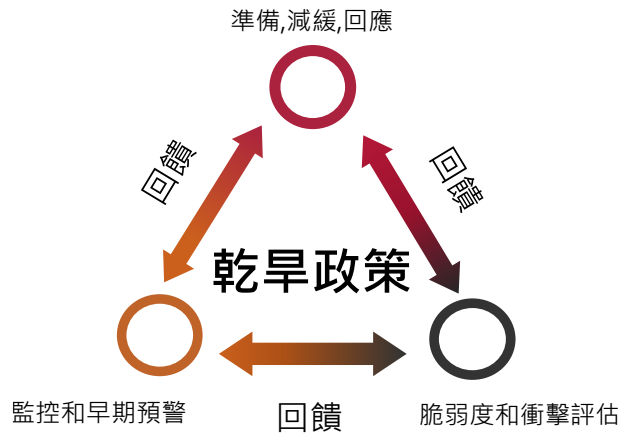


圖 2-31 完整的乾旱管理計畫，包含三大支柱

### 2.1.5 乾旱早期預警系統

UNISDR 認為早期預警系統（簡稱 EWS）是一個涵蓋：災害監測、預測、災害風險評估、溝通和預備等所有流程的整合系統，使個人、社區、政府、企業和其他人能夠及時採取行動，在災害事件發生之前降低災害風險。而成功且有效的 EWS 設計概念，需要從端到端（end to end）和以人為本。並包括四個相互關聯的關鍵要素（圖 2-32）：（1）藉由系統化資料數據收集和災害風險評估為基礎的災害風險知識；（2）對於造成災害的成因和災害的後果，進行監測、分析和預報並評估可能造成的衝擊影響評估；（3）使用官方和具權威專業德傳播管道，將相關訊息及時、準確的相關訊息傳播出去；（4）針對收到的預警資訊進行所有層級的準備工作。這四個相互關聯的組成，需要在部門內部和部門之間以及各個層面進行協調，以便系統有效運行，並且需要有定期檢討及回饋機制來持續改進 EWS 的機制。

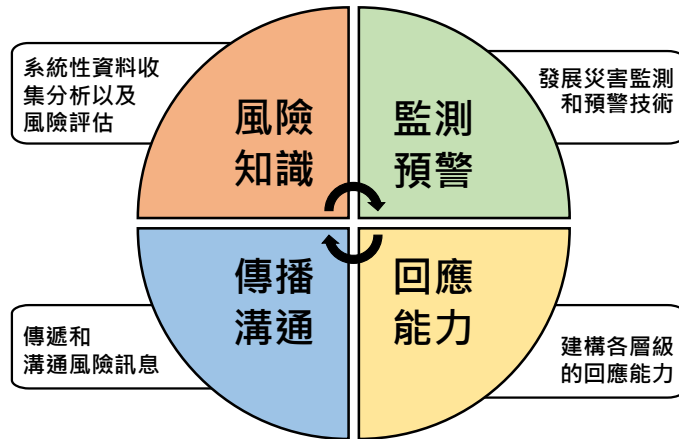


圖 2-32 以人為本的早期預警系統主要 4 個面向

美國國家乾旱整合資訊系統（簡稱 NIDIS），區域乾旱預警系統（DEWS），研究人員、資源管理者、決策者、私營部門、學術界和其他利益相關者的地方網絡在該系統中共享信息和行動，以幫助他們的社區應對乾旱。DEWS 負責協調這一主要區域合作夥伴網絡，以便決策者和公民在規劃和準備乾旱時能夠系統地整合乾旱監測和預報。區域 DEWS 通過整合新的、與當地相關的乾旱信息以及支持引入和測試檢測和傳達乾旱風險和警報的技術來鼓勵創新。區域 DEWS 活動側重於乾旱預警的五個關鍵領域（DEWS 組成部分）：觀測和監測、預測和預報、規劃和準備、交流和外展以及跨學科研究和應用（圖 2-33）。



圖 2-33 乾旱早期預警系統主要 5 個面向

## 2.2 梅雨環境指標及西南氣流監控和預測

關於梅雨環境指標和西南氣流監控和預警，本計畫分別收集美國的系集預報資料 (NCEP ENS)，共 21 個預報成員、預報未來兩週；歐洲的系集預報資料 (EC ENS)，共 51 個預報成員，取其系集平均提供未來 10 天的預測資訊。以及美國的氣候系集預報資料 (CFSV2)，繪製有利梅雨建立的環境指標。CFSV2 每天雖然只有 4 個預報成員，至少提供未來 3 個月的預測資訊。本計畫把過去 8 天的 CFSV2 預報資料彙整，因此全部有 32 個預報成員資料。本計畫利用上述的系集預報資料，作為有利梅雨建立的環境指標和西南季風監測和預警之用。

卓與盧 (2017) 的研究顯示，梅雨季極端降雨事件發生，有 70% 的個案出現正渦度距平低壓氣旋環流從華南經臺灣通過東海到日本南方洋面，並有從西南往東北方向的負渦度距平高壓反氣旋環流，從南海東北部經菲律賓往西北太平洋延伸，而在南海北部到琉球附近的正、負渦度距平之間有強勁的西南氣流等特徵，據此設計了西南氣流指數 (Southwesterly Flow Index, SWFI) 作為預報因子 (圖 2-34)。

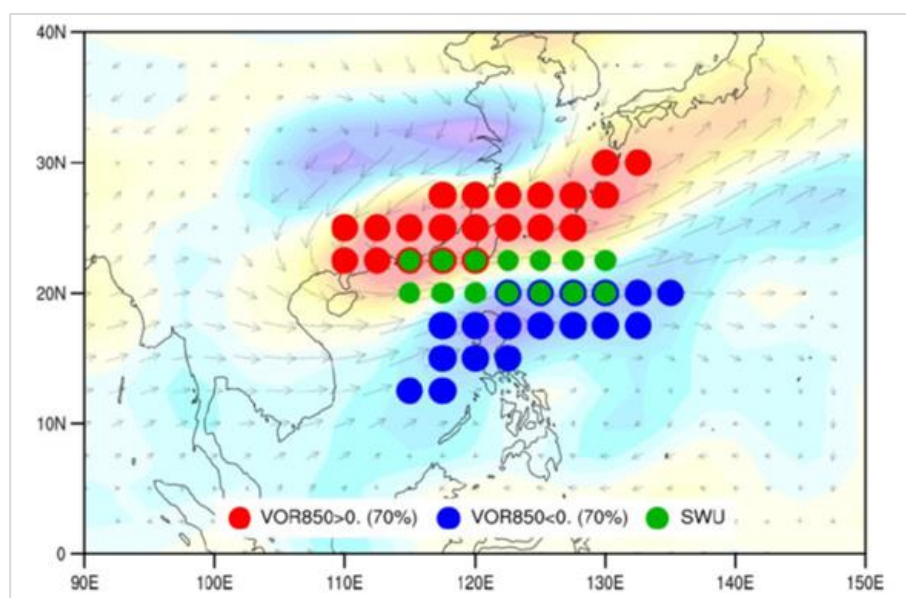


圖 2-34 有利於臺灣梅雨之渦度場環境條件區域

本計畫分析臺灣夏季 6 月至 8 月降雨，和大氣的環境特徵發現，

臺灣夏季降雨和大氣 850-hPa 緯向風場相關具有高度的正相關。呈現，中南半島-南海-呂宋島正相關、中國長江流域一帶負相關，以及北韓至日本北海道一帶的正相關，其中相關性最高的區域位於 110-130E、15-20N（圖 2-35）。本計畫進一步分析 1949 年至 2021 年，卓與盧（2017）所定義的西南季風區域（115-130E;17.5-22.5N），以及臺灣夏季降雨和 850-hPa 緯向風的最高相關區域（110-130E；15-20N），兩者的相關係數高達 0.86。因此，本計畫以中 850-hPa 緯向風的最高相關區域（110-130E；15-20N），做為西南季風的監控和預警。

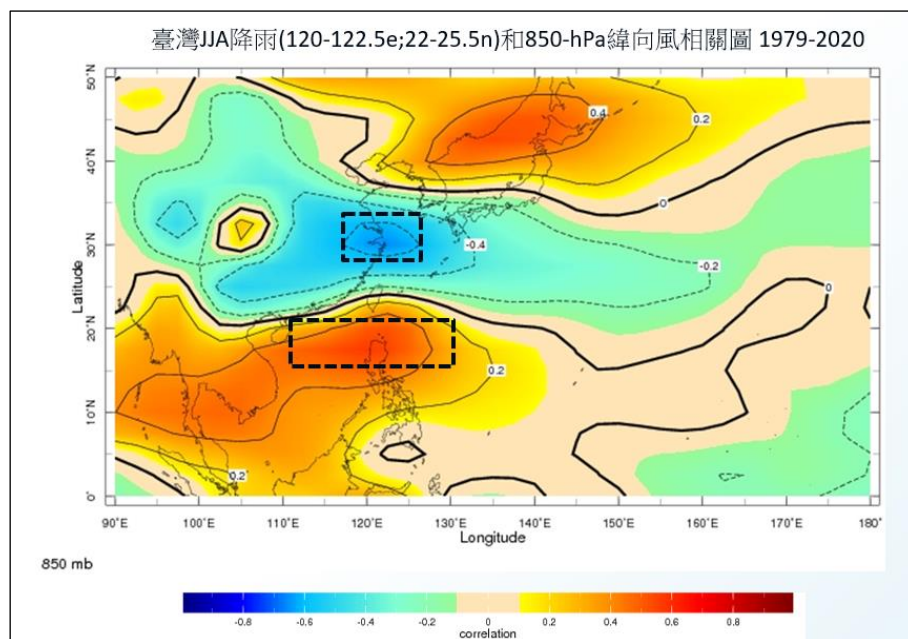


圖 2-35 1979 至 2020 年臺灣降雨和 850-hPa 緯向風相關圖

本計畫於 3 月 31 日梅雨季尚未正式開始前，先提供梅雨指標和西南季風指標怎麼看得說明，並利用 NCEP 的 CFSV2 氣候預報資料，提供有利梅雨建立的環境指標以及西南季風指標的預測。如圖 2-36 中所示，梅雨指標是用來判斷，何時環境有利於梅雨鋒面的建立。當垂直風切和水平風切都同時由負值轉為正值時，即藍色線和紅色線同時都在零值線以上時，表示環境有利梅雨鋒面的建立。西南季風指標，當紫色線大於零且數值超過 6 的持續時間長，則西半部的降雨明顯且持續。當時資料顯示，5 月 21 日至 26 日，有利梅雨鋒面的建立，初

步研判屬於移動型的梅雨鋒面。之後，本計畫固定於每週五提供有利梅雨建立的環境指標以及西南季風指標的預測。歷次提供的梅雨指標預測重點，詳如表 2-6 所示。

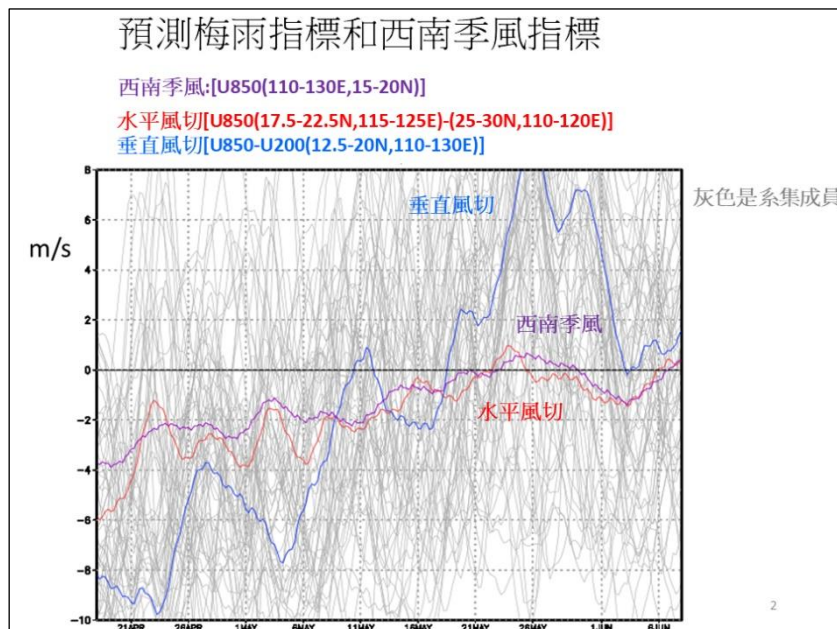


圖 2-36 梅雨指標及西南季風指標（紫色）

表 2-6 本計畫提供梅雨環境指標和西南季風指標的時間和重點摘錄

日期	重點摘要，預估有利梅雨建立指標
0331	指標如何看；5 月 21 日至 26 日
0407	5 月 21 日至 26 日及 6 月 1 日至 10 日
0415	5 月 19 日至 22 日、27 至 29 日，6 月 3 日至 11 日
0422	5 月 26 日至 31 日
0429	5 月 15 日至 21 日
0506	5 月 13 日至 21 日
0513	5 月 21 日至 22 日可能又一波
0520	5 月 23 日至 29 日
0603	6 月 7 日至 10 日
0609	6 月 16 日梅雨結束

圖 2-37 是今年 5 月 1 日至 6 月 25 日實際發生的有利梅雨環境指標、西南季風（紫色實線）以及臺灣 13 個平地站平均（綠色長條圖）如圖所示，根據圖 2-37 水平風切線（紅色實線 HS）和垂直風切線（藍色實線 VS）。今年 5 月 11 日紅色的水平風切線開始由負值轉為正值，

但藍色的垂直風切線至 5 月 13 日才轉為正值，很快地於 5 月 15 日又轉為負值。雖然實際上於 5 月 13 日至 16 日，是臺灣受今年梅雨季第一道鋒面的影響，但實際的大環境到 5 月 23 日才同時都大於零，並且持續至 5 月 27 日（此為今年第二波梅雨鋒面的影響），5 月 28 日藍色的垂直風切線又轉為負值，並持續至 6 月 3 日，這段期間進入梅雨的暫時歇息的時間，一般稱作梅雨的暫歇（break）。第二次環境開始有利梅雨鋒面建立的時候，從 6 月 5 日持續至 6 月 11 日，此時為今年第三波梅雨鋒面的影響。整體大環境於 6 月 15 日至 16 日，藍色的垂直風切線又轉為負值，也正式宣告今年臺灣梅雨季的結束。至於，今年三波梅雨鋒面影響的降雨分布，如圖 2-38 所示。

根據圖 2-37 實際的梅雨指標顯示，環境於 5 月 23 日至 27 日有利梅雨的建立。比較發現，於 4 月 15 日之前的預報，對於第二波和第三波實際梅雨鋒面影響的時期，具有一定的參考價值。然而，之後的預報顯示，今年梅雨鋒面可能於 5 月中或 5 月底就結束，相對誤差較大。進入 5 月的預報，主要參考 NCEP 的系集 14 天預報和歐洲的 10 天預報資料顯示，預測有利梅雨鋒面建立的環境指標，對於實際今年 3 波的梅雨鋒面降雨(圖 2-37)影響、梅雨的暫歇和梅雨的結束，預報的掌握具有相當高的參考價值。

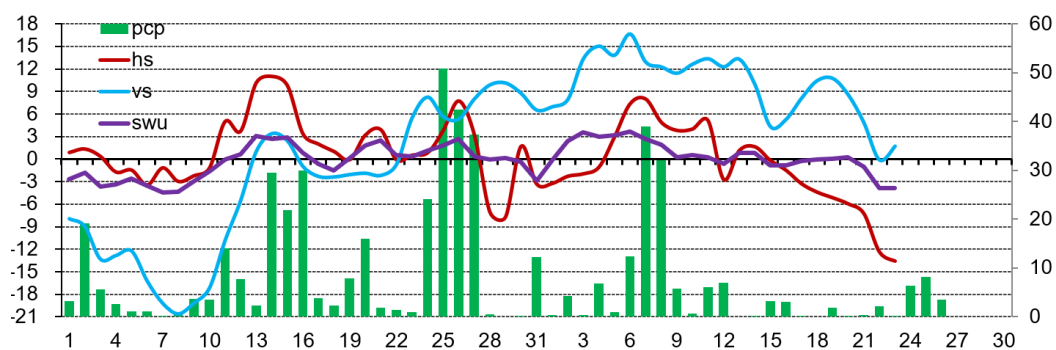


圖 2-37 今年 5 月 1 日至 6 月 28 日實際觀測梅雨指標、西南季風指標和臺灣 13 個平地站的平均逐日降雨量

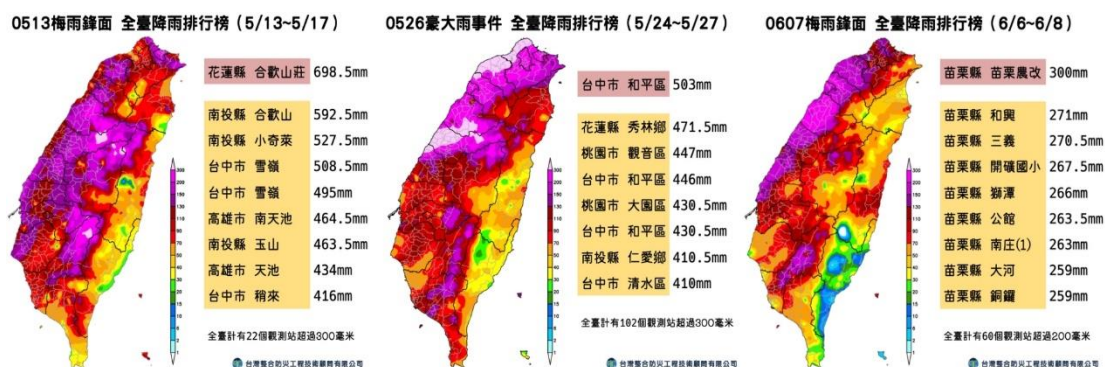


圖 2-38 今年梅雨季實際 3 波梅雨鋒面影響下的降雨分布

## 2.3 短時豪雨預測技術研發及應用

### A. 應用雷達回波資料及西南氣流指標參數，精進短時豪雨預報技術

短延時強降雨是在不同時空尺度之大氣因子複雜交互作用下所引致之極端降雨情形，若用傳統多變量統計分析模式仍不易得到滿意之相關性分析。本計畫擬應用非監督式學習之自組織映射網路(Self-Organizing Map, SOM) (Kohonen, 1982)，由降雨雷達所提供之三維回波資料、西南氣流觀測數據(圖 2-39)，綜觀天氣型態中豪大雨檢查表之因子，將分為颱風系統、鋒面及午後熱對流系統進行資料探勘。因此，本計畫嘗試結合雷達資料與西南氣流指標，利用短延時強降雨個案分析的方式，由周仲島等(2016)研究顯示西南及東北氣流易提供水氣通量，並期望能得出相關氣流和回波的關係式，嘗試找出西南及東北氣流和降雨的關係。利用自組織映射網路自我學習之特性，研析造成短延時強降雨之氣候因子與降雨量相關性，如圖 2-40 所示。以下說明本計畫主要採用之理論及研究設計。



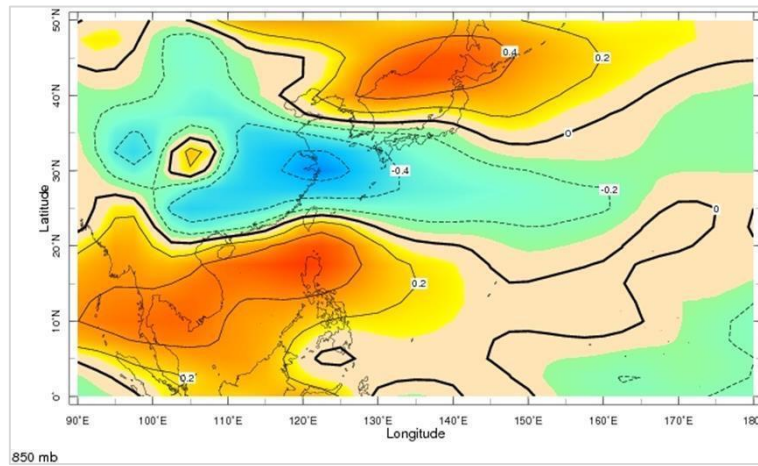


圖 2-39 臺灣 JJA 降雨(120-122.5e;22-25.5n)和 850-hPa 緯向風相關圖 1979-2020

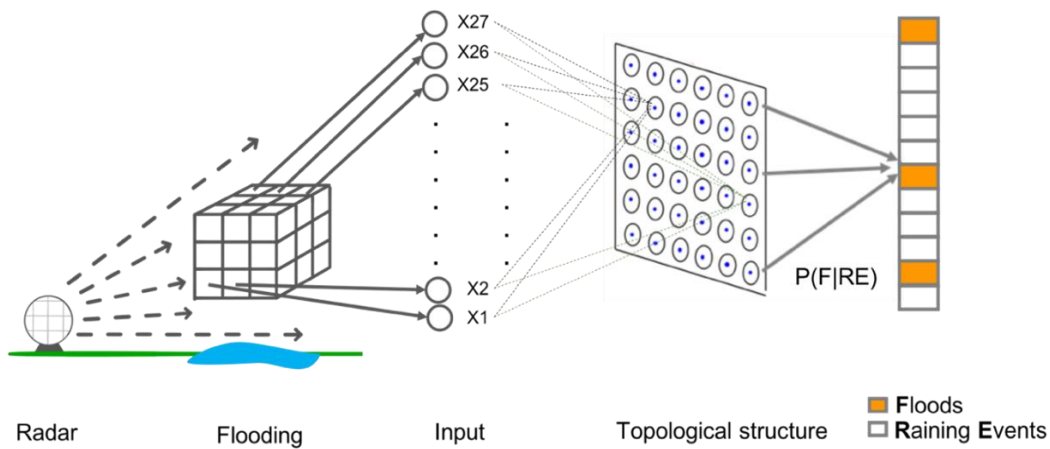


圖 2-40 研究概念圖

本計畫將使用 SOM 模式為基礎，探討短延時強降雨在不同時空尺度之大氣因子複雜交互作用下所引致之極端降雨情形(陳羅以, 2021)，並依著後續所選定之分析資料大小做參數上的調整。因資料特性會做更精細分析，即為 Nest-SOM 也是本計畫極為重要的分析步驟。由於所要分析的資料樣本與母體數量差異極大，主要母體中有三分之一的雷達回波值接近於 0 dBZ，而挑出的樣本數即為淹水事件中的雷達回波值僅只佔整體筆數的萬分之一，因此將會主導 SOM 分類的結果表現。

此分析步驟會先有第一層由雨量測站所建立的回波值之 SOM 模式，接續分析此拓撲圖結果中的神經元，選定出平均回波值以及回波值較大的神經元範圍，並藉由 k-means clustering 分類進行評估，k-

means 這一應用能成功地與自然語言處理和電腦視覺中半監督學習的簡單線性分類器結合起來(張巧薇等, 2019), 以及各個神經元排名高之平均時雨量, 將相關範圍選定為即將作為 Nest-SOM 的區域, 也就是第二層的 SOM 發生淹水熱區分析, 由選定標準分析也將隨著訓練筆數不同有不同的模式參數設定, 示意圖如圖 2-41 從上萬筆訓練資料數量降資料維度至適合的訓練空間, 整體研究流程圖如圖 2-42。

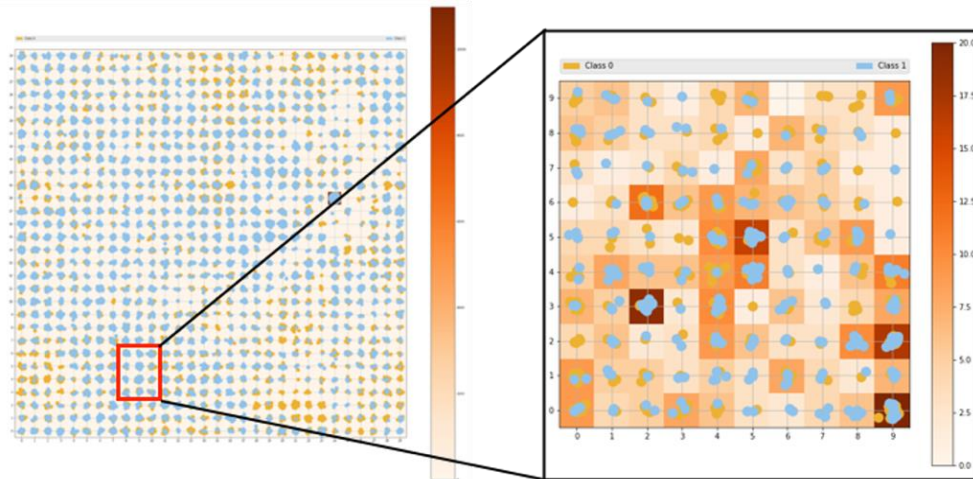


圖 2-41 SOM 30X30 拓樸圖縮小範圍至 Nest-SOM 10X10 拓樸圖

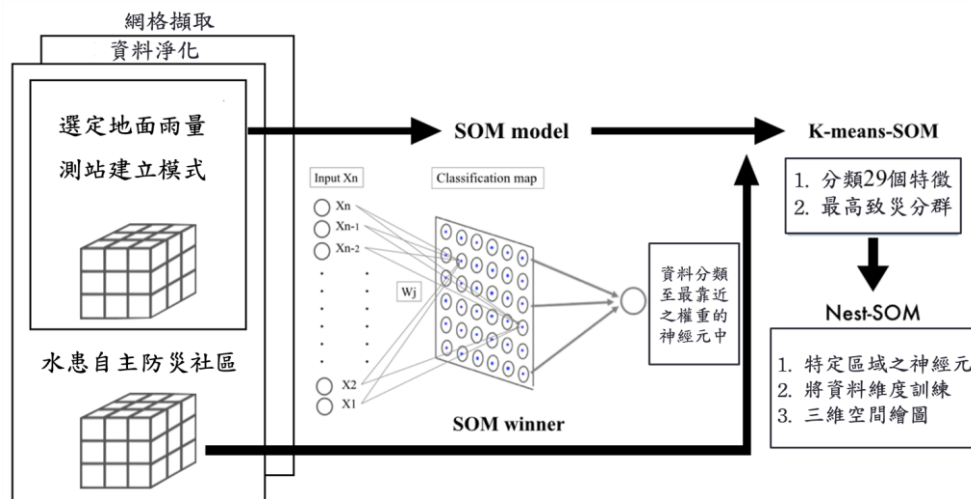


圖 2-42 研究流程圖

## B. 擇定研究區域，發展淹水預警方法

研究區域參考近年臺北市、新北市在水利署補助下推動的水患自主防災社區，擴大分析各社區近年積淹水災情，自 101 年起推動「水

患自主防災社區」以來，雙北共成立 34 個防災社區(表 2-7)，另有九處社區已提報退場。本計畫藉由分析 2014 至 2021 年較易淹水之警戒區域如表 2-8(全臺北淹水災情管制表, WRA)，再依據地形特性排除高海拔高度，因山區雷達恐有遮蔽效應影響建模，且選定易發生淹水之經濟重要區域，最後選定近年易淹水之五個社區：松山區中華里(主要建模測試區)、中山區江山里、大安區群賢里、中山區集英里、文山區興旺里，另外在原定的研究區域包含基隆安樂區武崙社區，但後續資料搜集完整性無法如其他研究區域，測站歷史資料時間解析度不同，以及相鄰測站基隆站距離武崙社區較遠，所對應的雷達回波網格點並沒有重疊，因此尚未做淹水機率分析。成果將以其他社區：中華里、江山里、群賢里、興旺里及集英里呈現(圖 2-43)。

表 2-7 新北市與臺北市水患社區名單

縣市政府	社區名稱	社區數量
新北市政府	新店區廣興里、三峽區中埔里	2
	烏來區烏來里	1
	鶯歌區鳳鳴里、三峽區礁溪里 五股區民義里	3
	深坑區深坑里、新莊區裕民里 泰山區全興里	3
	五股區成泰里、新莊區光明里、汐止區中興里、 淡水區民生里	4
	瑞芳區龍安里、樹林區三龍里	2
	汐止區保長里	1
	<b>小計</b>	<b>16</b>
臺北市政府	內湖區大湖里、大同區光能里、中山區江山里	3
	北投區一德里、松山區中華里、萬華區和平里、 大安區群賢里、中山區集英里、文山區興旺里	3
	<b>小計</b>	<b>9</b>

表 2-8 2014 年至 2018 年臺北市中央區歷史淹水警戒事件

No.	事件	日期	淹水警戒區域								
			臺北市						新北市		基隆市
			內湖	中山	松山	文山	大安	北投	淡水	汐止	安樂
E01	0515 豪雨事件	2014/05/15	0	0	1	0	0	-	-	-	-
E02	0519 豪雨事件	2014/05/19	0	1	1	1	1	-	-	-	-
E03	0605 豪雨事件	2014/06/05	0	0	1	0	0	-	-	-	-
E04	104年6月14日豪雨事件	2015/06/14	0	0	1	0	1	-	-	-	-
E05	104年7月23日水災災害	2015/07/23	1	1	0	0	1	-	-	-	-
T01	蘇迪勒颱風	2015/08/07	1	1	1	1	1	1	1	1	1
T02	杜鵬颱風	2015/09/28	0	0	1	1	0	0	1	1	0
E06	105年6月17日豪雨事件	2016/06/17	0	1	1	0	1	0	-	-	-
T03	梅姬颱風	2016/09/25	0	1	0	1	1	1	0	0	0
E07	0602梅雨鋒面	2017/06/02	1	1	1	1	1	1	1	1	1
E08	107年9月8日水災災害	2018/09/08	1	1	1	1	1	1	1	1	1
E09	0520 豪雨事件	2019/05/20	1	1	1	1	0	1	1	0	0
E10	0722 豪雨事件	2019/07/22	0	1	1	1	1	1	0	0	0
E11	0604 豪雨事件	2021/06/04	1	0	1	1	1	0	0	0	0
總計			6	9	12	9	10	6	5	4	3

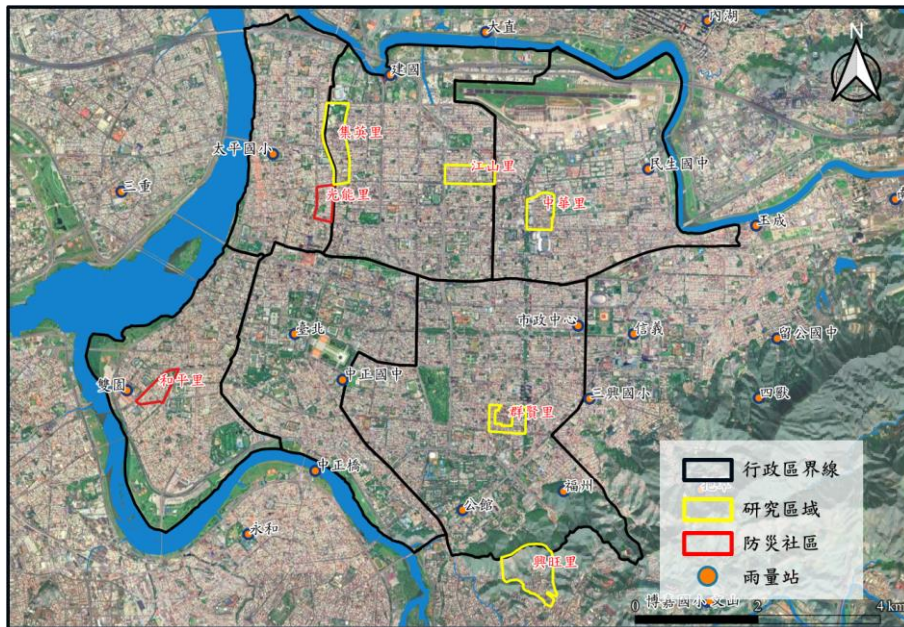


圖 2-43 雙北之水患自主防災社區及相鄰雨量測站

### C. 修訂訓練資料，更新至最新年份並提高時間解析度

此次將雷達回波值更新從 2014 年至去年(2021 年)，並由逐時的雷達回波值提高時間解析度到每 10 分鐘一筆，由此上述的方法讀取資料，將因年份增加且短時間尺度使得雷達回波值的資料筆數大幅增加。在過往雷達回波資料解析度為逐時時，模式建立原使用選取三維空間任何一有雷達回波值來作為訓練資料，稱此為「雷達回波事件」

選取訓練資料，但本次雷達回波資料尺度為每 10 分鐘一筆，若使用此選取方式，將有 235,000 多筆資料需訓練，且當時刻所對應到的時雨量眾數小於 0.5 毫米，對此訓練方式較不適用於本計畫目標之短延時強降雨警戒。因此，研擬出「降雨事件」來做選取訓練資料方式，意為每一 10 分鐘時刻的時雨量大於 0.5 毫米時，其時刻所對應之雷達回波值將選取作為訓練資料，此方式將可篩選掉約 72.3%之無雨量訊號值，最終訓練資料總筆數為 65,000 多筆，並且 SOM 拓樸設計大小與後續分析之神經元較為適量(表 2-9)，由原雷達回波事件選取，神經元為 2,500 個且其中 64%之平均時雨量皆小於 0.5 毫米；由此次降雨事件選取方法，後續所需分析之神經元數量為 1,296 個，其中只有 3.47%的平均時雨量小於 0.5 毫米。如圖 2-44、圖 2-45 可見，x、y 座標軸為 SOM 拓樸圖設計大小(方程式：5 乘以開根號 N，N 為訓練資料筆數)，右方縱軸標籤只分平均時雨量有否大於 0.5 毫米兩顏色，大於 0.5mm/hr 則為紅色，另小於則是藍色，兩種資料選取方式差異顯著，此次修訂方法可大幅降訓練資料維度來建置模式，能精簡運資源及提高分析效率。

表 2-9 2014 年至 2018 年臺北市中央區歷史淹水警戒事件

事件選取	雷達回波事件	雨量事件
訓練資料總數(筆)	235088	65150
神經元size個數	50X50 (2500)	36X36 (1296)
神經元平均時雨量<0.5mm	1600(64%)	45(3.47%)

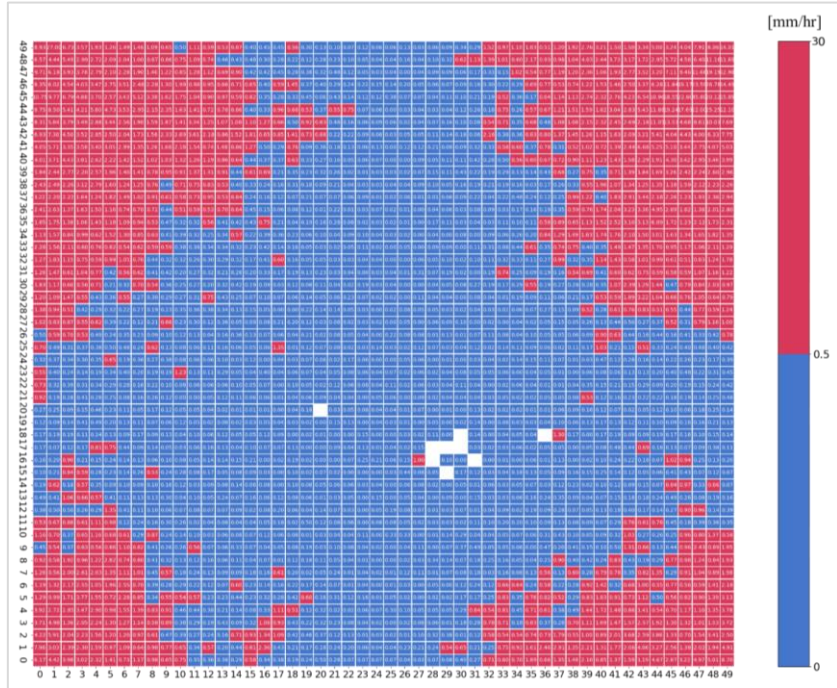


圖 2-44 使用雷達回波事件之雷達回波值建模<sup>1</sup>

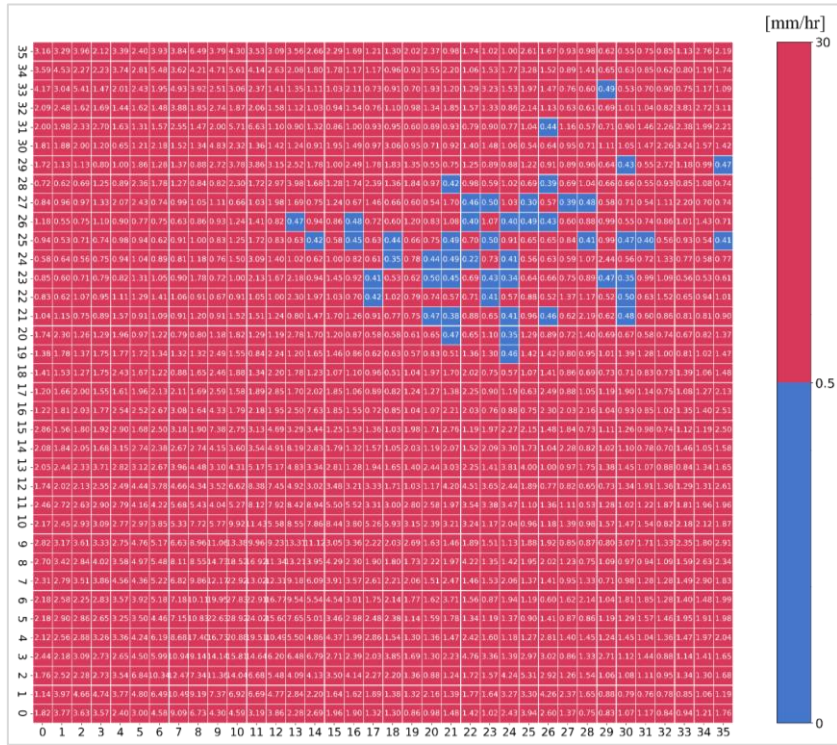


圖 2-45 使用雨量事件之雷達回波值建模

<sup>1</sup> 拓撲中每個神經元為平均降雨量。紅色區域是大於 0.5 毫米/小時的神經元平均降雨量。拓撲中每個神經元為平均降雨量。紅色區域是大於 0.5 毫米/小時的神經元平均降雨量。根據中央氣象局的定義，一小時內累積雨量小於 0.5 毫米的雨被歸類為陣雨或毛毛雨。

#### D. 新增氣候因子，加入西南氣流指標參數

經由上述介紹本次建模調整的部分外，本次結合雷達資料與西南氣流指標，分析過去每日西南氣流指標和恆春氣象站之風場做相關性測試，相關係數高達 0.8，因此加入恆春氣象站逐時資料。利用短延時強降雨個案分析的方式，分析西南氣流與雷達回波強度的關係，並期望能得出西南氣流和雷達回波的關係式，嘗試找出西南氣流和降雨的關係。為了比較新增氣候因子模式之差異，此步驟仍有建置無加入西南氣流指標之模式，所以第一個模式每筆訓練資料只有三維空間共 27 個特徵值，爾後再加入恆春氣象站之風速風向來建置第二個模式，所訓練資料為研究區域上方三維空間雷達回波以及對應時刻之恆春站風速和風向，每筆訓練資料共為 29 個特徵值。由初步的分析結果得出(圖 2-46、圖 2-47)，加入西南氣流建模可提高各分類神經元的平均時雨量，並優化訓練進而分離出極端降雨事件，如圖 2-44、圖 2-45 兩張熱力圖顯示，藍色較深區域為各神經元中分類後的訓練資料之平均時雨量。圖 2-46 為無加入西南氣流指標之模式建立，使用紅框表達平均時雨量前兩名之神經元為：28.92 mm/hr、27.83 mm/hr；圖 2-47 為再加入西南氣流指標建立之模式，使用紅框表達前三高平均時雨量之神經元為：33.60 mm/hr、32.79 mm/hr 及 32.55 mm/hr。

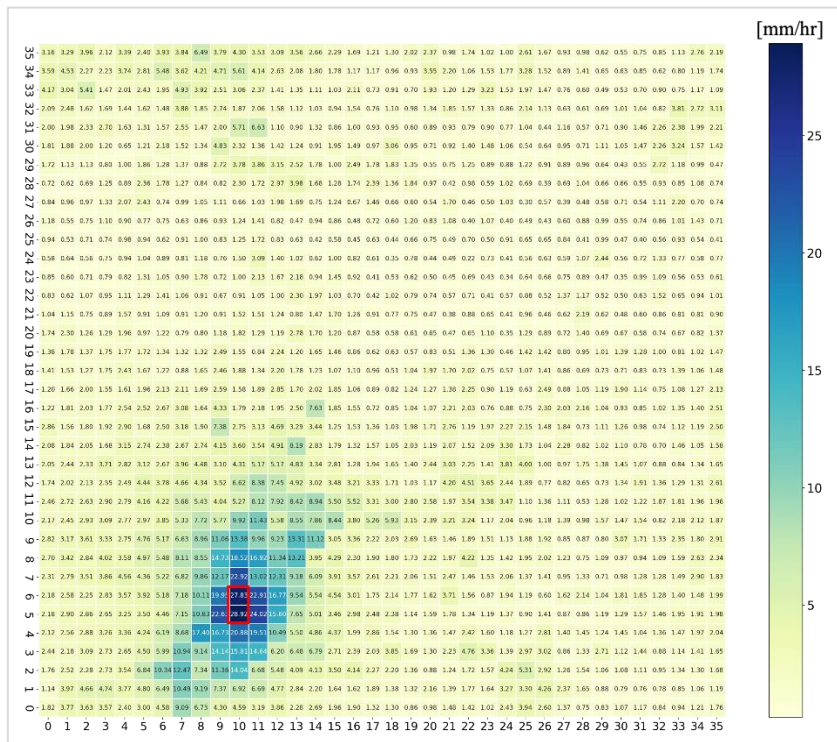


圖 2-46 無加入西南氣流指標之模式建立，藍色越深顯示雨量越高，紅色框為較高雨量之神經元

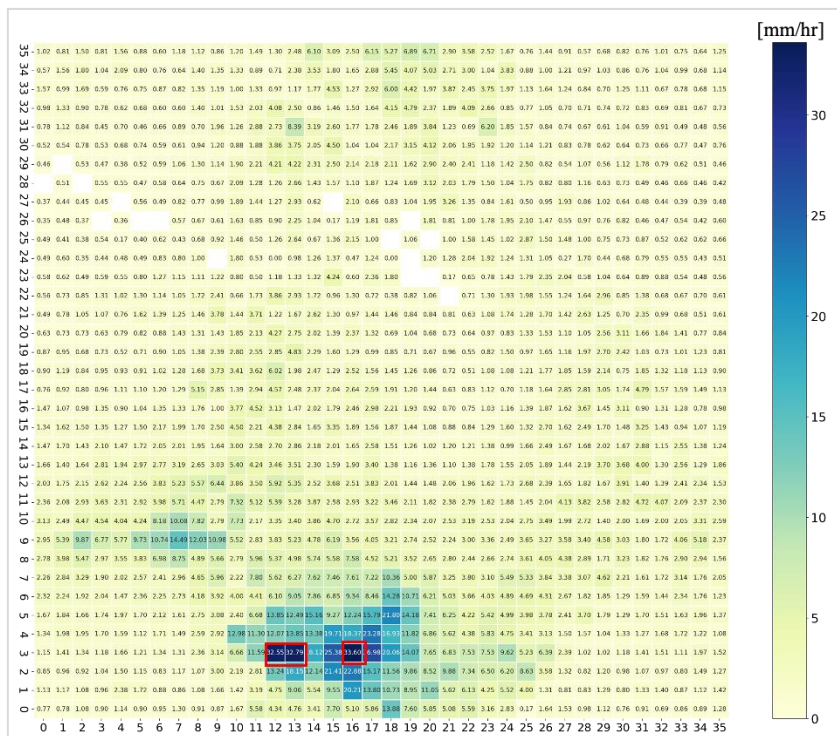


圖 2-47 加入西南氣流指標之模式建立，拓撲中每個神經元為平均降雨量。藍色越深顯示雨量越高，紅色框為較高雨量之神經元



在結合雷達資料與西南氣流指標之結果，總神經元個數為 1,296(36X36)個，而各個神經元中皆有 27 格雷達回波值和風速、風向共 29 個特徵值。因此，另使用 K-means 做特徵分群，K-means 訓練做 10 個分群，從圖 2-48 左圖為 K-means 結果，將此圖對照圖 2-48 右圖一平均時雨量由低至高排名(1,296 名將為平均時雨量最高)，圖中拓樸圖藍色框起來為較低淹水警戒風險區，紅色框屬於短延時降雨熱區分布，確定 K-means 分群穩定將可建立各神經元之 29 個氣候因子特徵值。

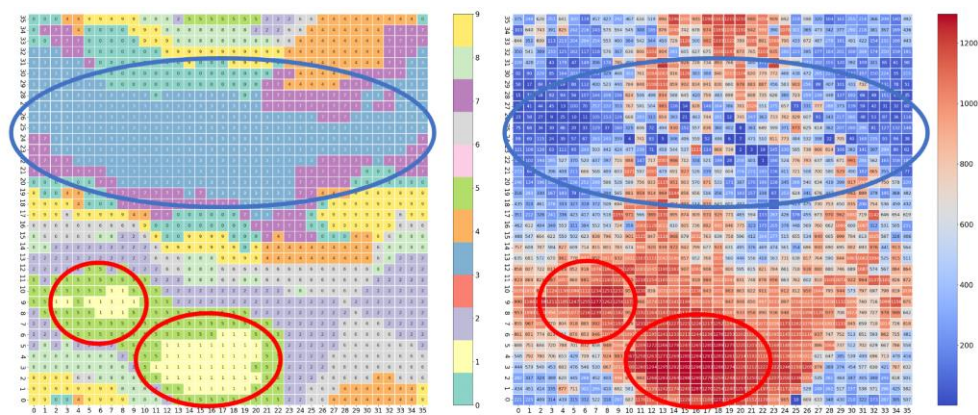


圖 2-48 (左)各神經元 K-means 分群結果，(右)平均時雨量排名之熱區神經元

另外在各個神經元挑出風速、風向分析，可顯示出在各分群中仍有不同的風速、風向如圖 2-49，模式中將因不同氣候因子將訓練出不同的結果，風速、風向特徵明顯影響模式分類，因而將影響雷達回波值分類。以本次加入西南氣流指標初步結果，分類的辨識度是高的，對應平均時雨量高強度的極端值將可以呈現出來。最後再 K-means 分群中，畫出較低淹水警戒風險區 Cluster 1 之風花圖及短延時降雨熱區 Cluster 3，從圖 2-50 中顯示，在低淹水警戒風險分群之風花圖，除弱西風以外，皆受東北風面的影響，反之，短延時降雨熱區主要為西南風向，與本計畫所預期在各氣流指標中，西南氣流與強降雨關係最高，而其他綜觀環境尤其是東北風較不顯著。

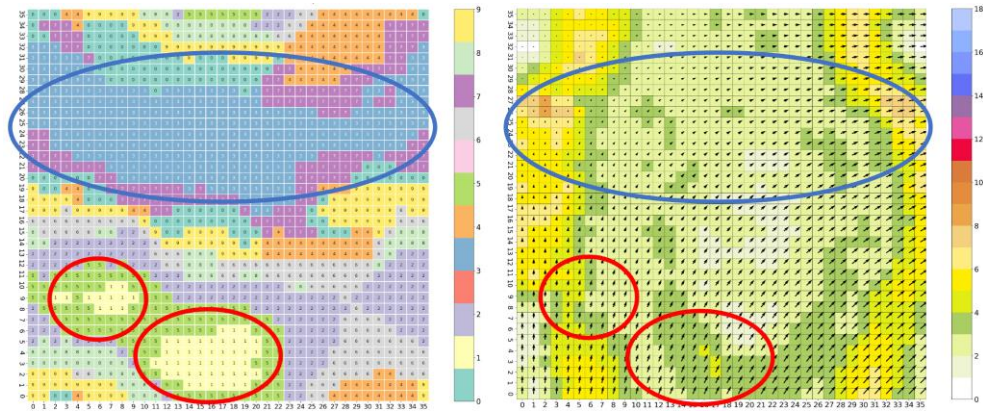


圖 2-49 (左)各神經元 K-means 分群結果，(右)風向及風速之特徵分佈至神經

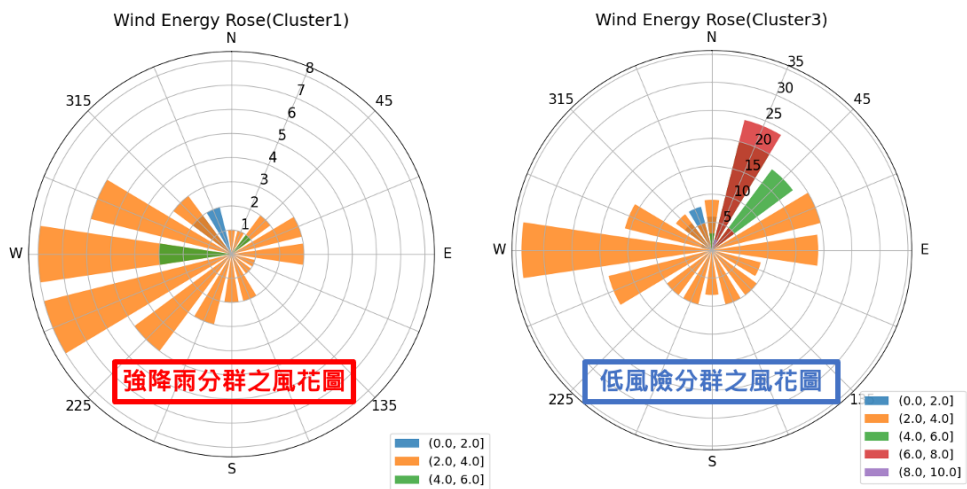


圖 2-50 (左)短延時降雨熱區 Cluster 3，(右)較低淹水警戒風險區 Cluster 1

綜合以上分析結果，在開始修訂過往選取訓練資料方式，由雷達回波事件改為降雨事件之雷達回波值，大幅降低訓練資料維度建置模式，除精簡運算資源，也能更準確且效率取得分析結果。後續再新增了西南氣流指標來提升模式 SOM 淹水風險預警(圖 2-51)，因分類的辨識度是高的，對應平均時雨量高強度的極端值將可以呈現出來，將可加強後續預警風險分析，另外從初步研究結果得出淹水熱區之風向多受西南氣流影響。

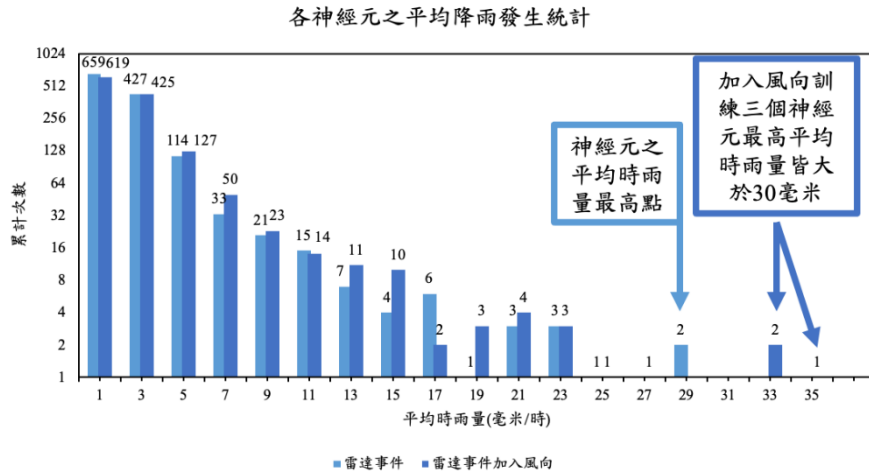


圖 2-51 不同氣候因子(有無加入西南氣流指標)之訓練結果

### E. 調整訓練參數，除西南氣流指標再加入淡水站風場

研究區域以雙北社區(臺北市及新北市)為目標區，因應相關氣候因子之物理特性分析，雖考慮恆春風向與短延時強降雨在不同天氣類型有不同激發強降雨事件，在後續模擬中，大氣環境除容易因熱帶擾動影響，另外東北風也是影響天氣系統的關鍵因子。因此，選定位於新北市淡水測站之風速及風向，此測站位於臺灣出海口區較無高山地形影響，納入此風速、風向作為模式訓練參數。

加入淡水站風場測試建模後，淡水測站在部分研究區域如興旺里可提高所對應之神經元的淹水警示，但整體表現並無恆春測站顯著。爾後，使用加入兩個測站做建模訓練，此時訓練參數除了三維空間之 27 個雷達回波值，再加入淡水測站之風速、風向，及恆春測站之風速、風向，共 31 個訓練參數。最終比較此三種建模表現，以前十名時雨量之神經元做平均，為加入兩測站的表現較好如圖 12，從圖中可看出在不同防災社區建立的模式中，有三個地區為加入恆春風場之高平均時雨量的極端值可以呈現的出來。另外，在後續分析中訓練兩測站建立之模式可提高整體神經元的分類辨識度，因此，本計畫各個社區之模式最終使用每筆有 31 個參數作為訓練資料。

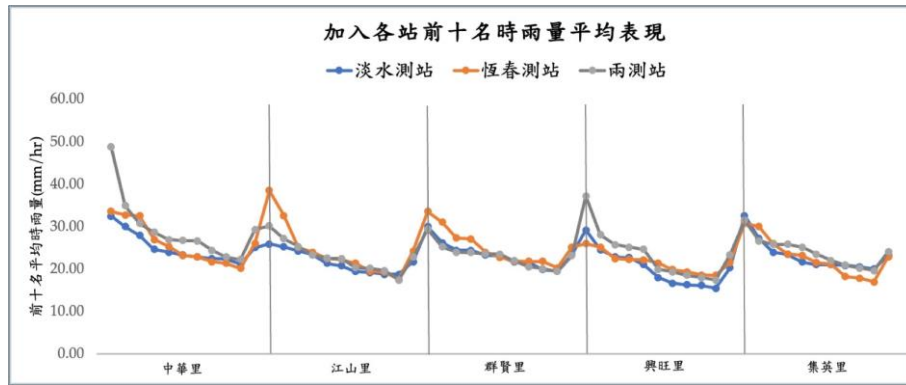


圖 2-52 加入不同測站恆春及淡水之訓練結果表現比較圖

## F. 五個防災社區結果分析

在原定的研究區域有包含基隆安樂區武崙社區，但後續資料搜集完整性無法如其他研究區域，測站歷史資料時間解析度不同，以及相鄰測站基隆站距離武崙社區較遠，所對應的雷達回波網格點並沒有重疊，因此尚未做淹水機率分析。成果將以其他社區：中華里、江山里、群賢里、興旺里及集英里呈現(如圖 2-52)。蒐整完畢五社區之各項氣象因子後，以及由應變管理資訊系統(EMIC)、消防署、經濟部水利署、各市政單位之淹水感測紀錄之整合歷史事件時刻和災點，所分析方式可參考下方公式(1)-(3)。接續透過 SOM 之自我學習，可得到拓樸關係圖，並從中選出致災熱區之神經元，除了各個神經元中平均時雨量排名前十名，以及分群類較高雷達回波值，和訓練結果發生淹水事件之獲勝神經元，最後做模式訓練 Nest-SOM(巢狀自組織映射網路)。模式大小因應不同社區的資料筆數，故具有 64 至 100 個神經元不等。本計畫需要建立 Nest -SOM 之主要原因為 8 年間每 10 分鐘有降雨之回波值資料筆數過多，因此會主導 SOM 分類結果表現，在整體模式中透過巢狀自組織映射網路分類做更精細及各指標上差異的觀測。分析結果可知，Nest-SOM 降維度至 200~500 筆左右關鍵資料，可使整體模式訓練表現更好。

本計畫完整計算預警機率驗證方法為比率計算，如下。首先，按照上述各縣市及部門所記錄發生淹水事件(Flood event)的時刻，若第  $i$  次淹水事件其中  $T_i$  的觀測小時，則數據可表示為式(1)：

$$F_i = \{f_i(1), \dots, f_i(2), \dots, f_i(t), \dots, f_i(T_i), i = 1 \dots t, \quad (1)$$

$F_i$  為各個淹水事件，其中第  $i$  次  $t_i$  小時的降雨量為  $f(t)$  序列，連續三小時無雨量紀錄則為事件結束 ( $k=1, \dots, 3$ )， $f(t_j)$  的  $j$  為每事件不同的小時數，此模式淹水機率預警完整計算如下式(2)：

淹水事件  $Flood\ event_{i,j}$

$$= \left\{ f_i(t_{begin,j}), f_i(t_{begin,j} + 1), f_i(t), \dots, f_i(t_{end,j} - 1), f_i(t_{end,j}) \left| \begin{array}{l} f_i(t_{begin,j} - k) = 0 \\ f_i(t_{end,j} + k) = 0 \\ f_i(t_{begin,j}) = 0 \end{array} \right. \right\}, \quad (2)$$

for  $k = 1, \dots, 3$ .

一共取  $n$  個樣本，淹水機率為  $p$ 。若在  $n$  次所有事件中有淹水事件  $F_i$ ，最後則可算出各個神經元中淹水機率為何，可由式(3)計算：

$$p = \frac{\sum_{i=1}^t F_i}{n} = \frac{Flood\ event_{i,j}}{n} \quad (3)$$

分析結果中找出更精準的回波和雨量關係，仍是用各社區鄰近之測站資料訓練，所得出回波空間資料，並得出五個里在模式中之個神經元淹水「致災熱區」，並進一步分析各個神經元歷史致災之淹水機率，如圖 2-53 所示。本計畫所選取之歷史淹水紀錄為水利署災害應變提供之地面感測系統資料，共有 11 場豪雨事件及 3 場颱風事件(表 2-8)，其中部分資料不納入淹水機率警戒計算，因研究區域在 14 場降雨事件中並不是皆有淹水記錄，另外部分雷達回波值也無資料紀錄，原因可能因觀測誤差及天災衝擊觀測儀(2015 年蘇迪勒颱風)等。此外，在 Nest-SOM 中藉由歷史淹水事件進行降雨-淹水關係之對應，各個神經元可呈現發生淹水事件之機率圖，且在五個社區結果中皆有超過 50% 淹水機率之神經元，可說明在不同的防災社區中，未來所發生的氣象因子型態若分類至「致災熱區」之神經元中，將有 50% 高機率將會淹水，並且當落在特定神經元時，如中華里的(5,9)時，有百分之百機率將淹水。另外，以中華里其餘為 0% 機率的神經元中平均時雨量 23.60 mm/hr，而最高神經元平均時雨量為 57.25 mm/hr；江山里為 0%

機率的神經元中平均時雨量 17.58 mm/hr，而最高神經元平均時雨量為 66.13 mm/hr；群賢里為 0% 機率的神經元中平均時雨量 15.87 mm/hr，而最高神經元平均時雨量為 57.18 mm/hr；興旺里為 0% 機率的神經元中平均時雨量 19.28 mm/hr，而最高神經元平均時雨量為 64.00 mm/hr；群賢里為 0% 機率的神經元中平均時雨量 19.49 mm/hr，而最高神經元平均時雨量為 85.00 mm/hr。

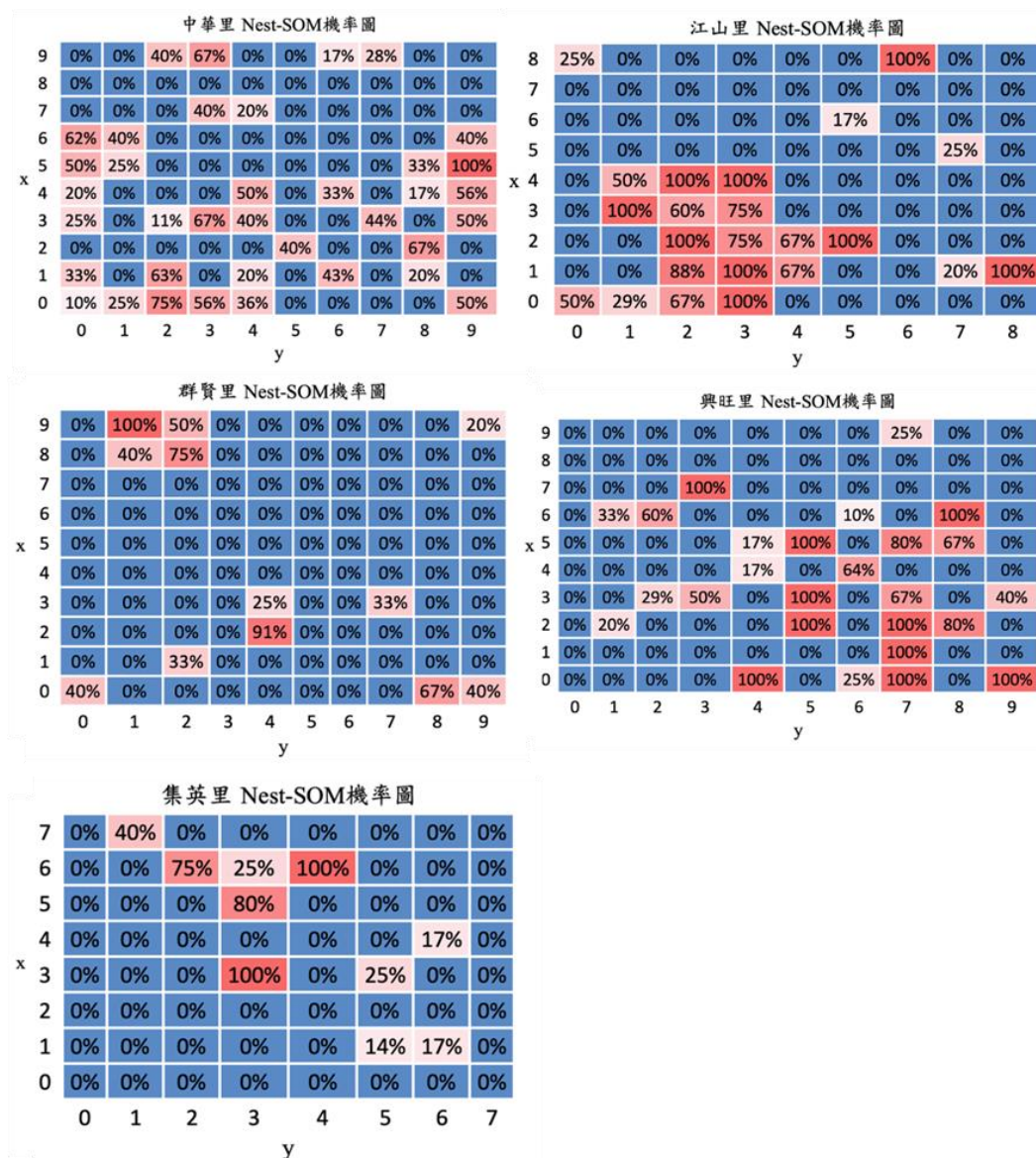


圖 2-53 研究區域之第二層巢狀自組織映射網路(Nest-SOM)淹水機率拓撲圖

本計畫分析所有進入第二層巢狀自組織映射網路之雷達回波組 (set)，其對應之觀測降雨與歷史積淹水(含發布警戒)機率之關係圖如

圖 2-53 所示。由圖中可知，當雷達回波組進入第一層 SOM 之熱區(圖 2-48 右圖)，即會觸發第二層巢狀 SOM，此時對於 5 個研究區域而言，淹水警戒機率界於 11%至 31%之間。其中以江山里之 31%為最高。代表當雷達回波組進入第二層巢狀 SOM 時，江山里即應提高警覺，守視雷達回波及適時提高社區易積淹水地區之巡守工作。將雷達回波組依其對應之觀測雨量進行分類，時雨量達到 20mm 之雷達回波組，江山里之歷史積淹水機率已超過 50%；時雨量達到 30mm 時，江山里、中華里、興旺里之歷史積淹水機率超過 50%；時雨量達到 40mm 時，所有研究區域皆超過 50%之歷史積淹水機率。由圖 2-54 可知，5 個研究區域之淹水機率於時雨量小於 30mm 時皆相當分散，但時雨量達到 40mm 時，淹水機率收斂趨勢明顯，由 35%~67%收斂至 60%~73%之間。除了社區本身積淹水機率高之外，亦代表城市之雨水下水道系統整體性之排洪壓力升高。

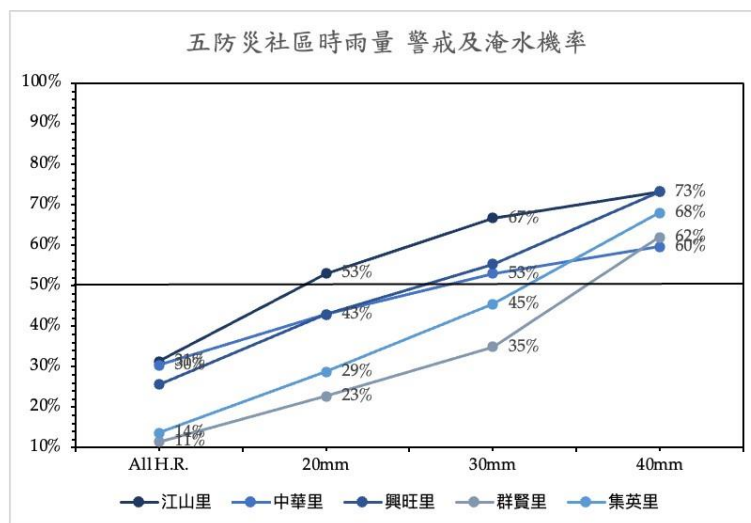


圖 2-54 研究區域之雨量-警戒與淹水機率關係圖<sup>2</sup>

此外，每一個神經元都代表一類氣象因子群組向量，畫出五社區其一最高機率淹水及最高平均雨量之三維雷達回波值特徵，共有 27

<sup>2</sup> All H.R. 表示被分類至巢狀-SOM 的所有時雨量，也可說明當分類進巢狀-SOM 時，此刻無論降雨量為多少，淹水警戒機率將界於 11%至 31%之間。

個回波值所繪製。圖 2-55 中可觀察靠近地表層之雷達回波值相較其他兩層高，從分析結果中發現並不是回波值最高即為最高機率淹水及最高平均雨量之神經元，推測可能為旺盛對流形成中之階段。從過去歷史對應之淹水及降雨事件，將可提供短延時強降雨時之各類氣象因子大致類別。

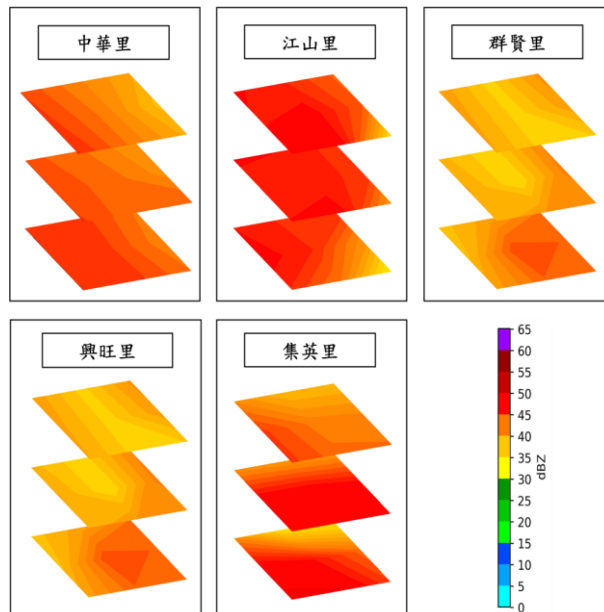


圖 2-55 五個防災社區其一最高機率淹水及最高平均雨量之三維雷達回波值特徵

本計畫選擇 2017 年於中華里造成嚴重積淹水事件之 2017/06/02 梅雨鋒面進行深入分析，並將每 10 分鐘觀測之雷達回波、降雨強度、淹水機率、水位變化之時間序列圖製於圖 2-56。其中，雷達回波為模式輸入變數、淹水機率為模式輸出之積淹水風險、地面雨量測站測得之降雨強度及實際雨水下水道水位計為模式之驗證對照資料。圖 2-56 中，第一張直條圖(圖 2-56-(b))X5 radar (dBZ) 表示三維空間最靠近地表層中間的雷達回波值，可參考上方圖 14 的雷達回波特徵值，接著第二張直條圖為當時刻且加入前五次共六次每十分鐘累積時雨量(圖 2-56-(c))，從圖中得知在 04:10 時累積時雨量已超過 50 毫米，第三張折線圖(圖 2-56-(d))是所對應的歷史淹水百分比機率折線圖，相等於最上方拓撲圖(圖 2-56-(a))中所顯示對應到的神經元機率值。此外，雨水下水道水位「中山 3」(圖 2-56-(e))當時刻的水位圖(Water level (m))，



當超過地表高層(Ground elevation)時，地面即有積淹水的紀錄。

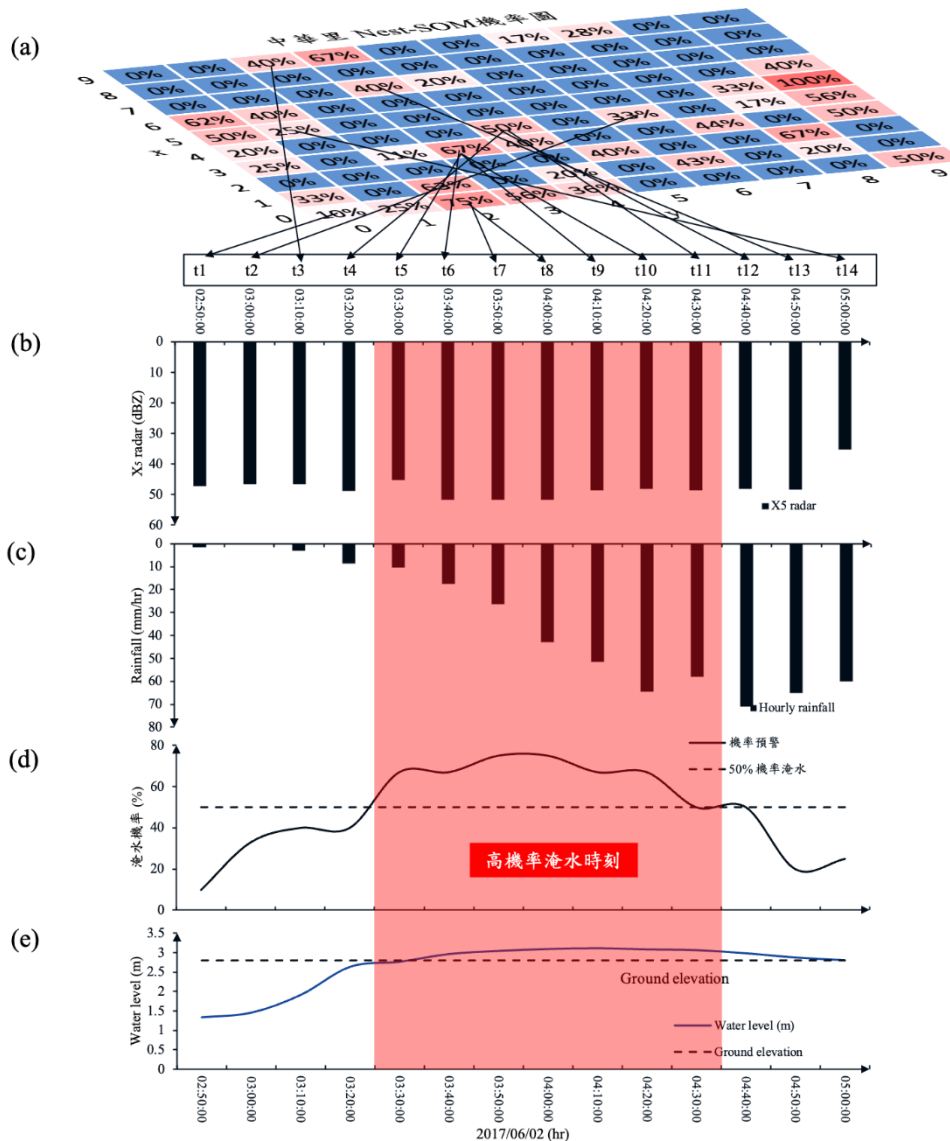


圖 2-56 中華里 2017/06/02 梅雨鋒面事件之雷達回波-降雨-淹水機率-下水道水位時序圖

本計畫應用巢狀自組織映射網路(Nest-SOM)訓練兩測站的雷達回波及淹水關係，並對中華里的淹水降雨氣象因子型態之特徵進行分類。採用 K-Means 聚類方法，建立了西南氣流氣象指標特徵和淹水特性，後續所加入淡水測站風速、風向，因優化短延時強降雨模式表現，則直接進行研發後續步驟。此外，Nest-SOM 用於訓練和分析更多區域數據，構建研究區域的概率洪水預警系統(PFEWS)，而由分析結果

可歸納出以下結論：

(1) SOM 的模型之間的區別在於三維雷達回波空間數據分析。模型建立在 SOM 的基礎上，藉由歷史數據分析，選定特定數據，為淹水預報提供有用的信息。

(2) 歷史觀測事件建立之 SOM 以改進提前預測。結果證實，SOM 拓撲圖中的數據提供淹水熱區之神經元，可準確指出歷史淹水事件及高平均時雨量。

(3) 開發機率式淹水預警系統，所提出的極端事件模型的性能。顯示研究區在預警和淹水災害發生前的預警、不同網格特徵的降雨特徵，以及相對應的氣象因子特徵和降雨量範圍。

上述結論顯示，目前使用 SOM 針對降雨量預估和預警，的確已有能力提前掌握相關降雨和災害訊號。但是在雷達回波與不同地形高程、距離關係上掌握程度仍有不確定性；經過單學理高強度雷達回波值及相對降雨量做分析結果，評估後選定特定訓練區域以及使用頻率式降雨量預報之方式，能適當的發布警戒和淹水預警，更能提前發布機率性預警以及雷達回波所對應之降雨範圍。未來因將擴大發展鄉、鎮、縣市尺度模式及自動化作業，將參考中央氣象局預報做地貌等差異分區，以及此區域最易淹水之氣象測站做代表氣流，並即時收集單一最大雷達回波值，精簡運算及分析資源將模式表現研發最佳化。此模型可以提供具有增強空間分辨率的機率性淹水預警，以便當地居民及使用端對當前的積淹水預警預測採取防災措施。未來也將納入前一刻之參數資訊，參考水文模式並研發淹水預報，不僅能提供評估相關之積淹水和降雨量警戒，可更完整地產生未來 1-3 小時(lead time)之機率淹水警戒，來提升及健全面對未來極端降雨之調適能力。

## 2.4 依本署需求提供天氣及氣候訊息，建立多元預警資訊

根據中央氣象局的雨量分級定義（圖 2-57），當最大 3 小時累積雨量超過 100 毫米者，代表達到中央氣象局短時豪雨之事件，若最大 3 小時累積雨量超過 200 毫米者，則達到中央氣象局定義的短時大豪雨事件。

### 豪雨增列短時大豪雨(200mm/3hr)

名稱	雨量	警戒事項
大雨	80mm/24hr以上 或 40mm/1hr以上	山區或地質脆弱區：可能發生山洪暴發、落石、坍方 平地：排水差或低窪易發生積、淹水 雨區：注意強陣風、雷擊
豪雨	200mm/24hr以上 或 100mm/3hr以上	山區：應防山洪暴發、落石、坍方、土石流 平地：極易發生積、淹水 雨區：視線不良，注意強陣風、雷擊、甚至冰雹
	350mm/24hr以上 或 200mm/3hr以上	山區：慎防山洪暴發、落石、坍方、土石流或崩塌 平地：淹水面積擴大 雨區：視線甚差，注意強陣風、雷擊、甚至冰雹
	500mm/24hr以上	山區：嚴防大規模山洪暴發、落石、坍方、土石流或崩塌 平地：嚴重淹水，事態擴大 雨區：視線惡劣，注意強陣風、雷擊、甚至冰雹
※ 對突發性或連日降雨雖未達特報等級，研判有致災之虞，將發布即時訊息		

圖 2-57 中央氣象局新增短延時大豪雨降雨量標準

Wu 等（2019）根據天氣型態類型研究 1993 年至 2015 年臺灣極端降雨的氣候特徵和長期趨勢顯示，造成臺灣極端降雨事件最多的天氣系統分別為颱風、梅雨鋒面或鋒面系統及午後雷雨。颱風事件帶來的極端降雨多屬於長延時（>6 小時）的極端降雨，梅雨鋒面或鋒面系統所帶來的極端降雨多介於 3 小時至 6 小時之間。至於午後雷雨多屬於小於 3 小時的極端降雨事件。本計畫於 2021 年分析近 20 年極短期（6 小時內）降雨淹水事件之天氣事件特徵發現，52 件淹水事件中之代表雨量站達短時豪雨事件共有 48 件，其中 29 件都是因為颱風事件所造成的，其它則是跟鋒面、西南季風、低壓帶和午後雷雨有關。

統計本期自 11 月 11 日止，本計畫提供相關天氣和氣候趨勢等分析情資，如表 2-10、圖 2-58 所示。此期間，氣象局共發布大雨特報 441 次、豪雨 216 次、大豪雨以上 83 次，發布海上颱風警報共計 3

個，無侵臺颱風及無發佈大規模豪雨作業。另外，分別於 3 月至 11 月共提供氣候展望 9 次，梅雨和西南季風指標共 9 次。梅雨鋒面情資 4 次，有利颱風生成指標 15 次，降雨提醒共 343 次，未來三天天氣分析 224 次，午後強降雨提醒及夜間至隔日強降雨提醒各 227 次。熱帶低壓/颱風圖卡 35 次，連假天氣、其他圖卡共 7 次。並於熱帶性低氣壓可能生成、發展為颱風並可能影響臺灣之前提下，提供 9 次分析簡報。

表 2-10 本計畫提供相關天氣和氣候趨勢等分析情資

日期	事件
0628	97W 熱帶擾動發展趨勢
0629	熱帶性低氣壓生成及發展趨勢
0630	第 3 號芙蓉颱風生成及發展趨勢
0829	第 11 號軒嵐諾颱風趨勢分析
0830	第 11 號軒嵐諾颱風趨勢分析
1024	未來 10 天天氣趨勢分析
1026	97W 熱帶擾動發展趨勢
1027	27 號熱帶性低氣壓發展趨勢
1028	第 22 號奈格颱風趨勢分析

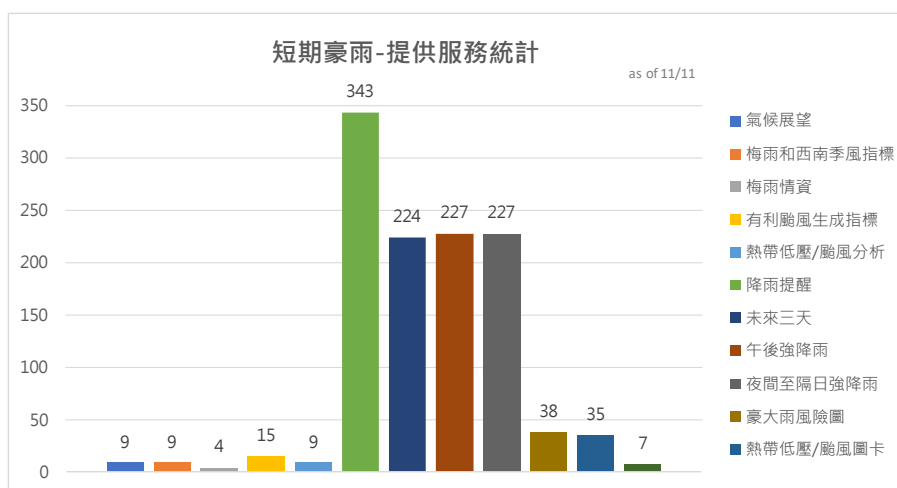


圖 2-58 本計畫提供之情資統計圖

並針對今年強降雨事件，共提供 38 次之短時豪雨風險圖評估。分別為，事件一：3 月 26 日至 3 月 28 日鋒面事件，事件二：5 月 13 日至 5 月 16 日首波梅雨滯留鋒面事件，事件三：6 月 6 日至 6 月 9 日梅雨鋒面事件，事件四：9 月 3 日至 9 月 4 日軒嵐諾颱風外圍環流

降雨事件，事件五：10月6日至10月7日東北風異常降雨，事件六：尼莎颱風與東北季風共伴，事件七：奈格颱風與東北季風共伴。

#### 2.4.1 於短時豪雨發生前提供短時豪雨風險預警，並加強夜間至隔日清晨情資分析

午後雷雨的特徵，就是時常聽到的「西北雨落不過田埂」的現象。當太平洋高壓勢力籠罩整個臺灣，所帶來穩定下沉空氣，抑制了對流雲的發展。但是，當勢力減弱時，午後雷雨就非常容易出現。由於太陽照射的熱力作用到下午二、三點時達到最強，使得接近山坡的地方，因空氣受熱就比較容易發生雷雨，惟此種雷雨多屬於區域性，就是「西北雨落不過田埂」的現象。有時，受近地層風場後續激發或對流駛流影響，也會朝平地的方向移動。出現雷雨時，表示空氣是非常不穩定，常挾帶強風、暴雨、閃電、雷擊，甚至伴隨有冰雹或龍捲風出現。西北雨其平均小時雨量最大值大多發生於下午三點至四點間，且降雨主要分布於平行北部雪山山脈或是中央山脈走向的斜坡帶上（林等 2012,圖 2-59）。

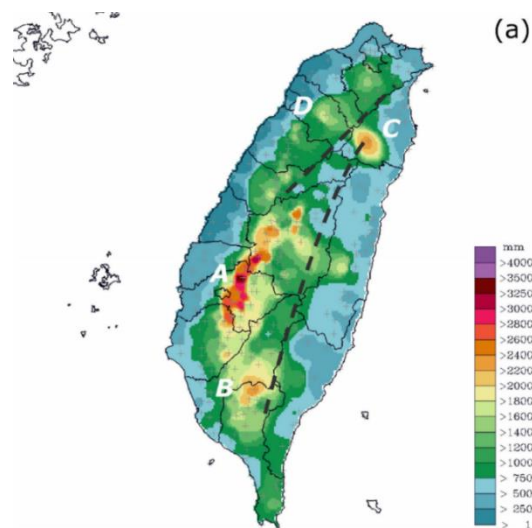


圖 2-59 5-10 月午後雷雨好發區域圖，圖片來源林品芳等（2012）

單獨一個雷雨胞的生命期通常僅一至兩小時，並可劃分為積雲期、成熟期及消散期（圖 2-60，資料來源）。在第一階段，先形成一股上升氣流，把溫暖潮濕的空氣送到半空中。上升的空氣遇冷，其

中水氣即開始凝結而變成雲。當氣流繼續上升形成積雲，雲中的小水滴部分凍結成雪或冰雹，因水滴及冰晶過重，使得上升氣流無法承托其重量而開始落下，其表面所產生的摩擦會帶動四周的空氣向下，並逐步增強下墜力從而產生下降氣流。因此當雨還沒落下時，將從高空帶下來的下降氣流，即是陣風也代表著雷雨將來臨。最後，在積雨雲消散階段時，上升氣流逐漸消失，此時主要受到下沉氣流影響，雲裡大部份的水滴已落下，雷雨胞逐漸消散。

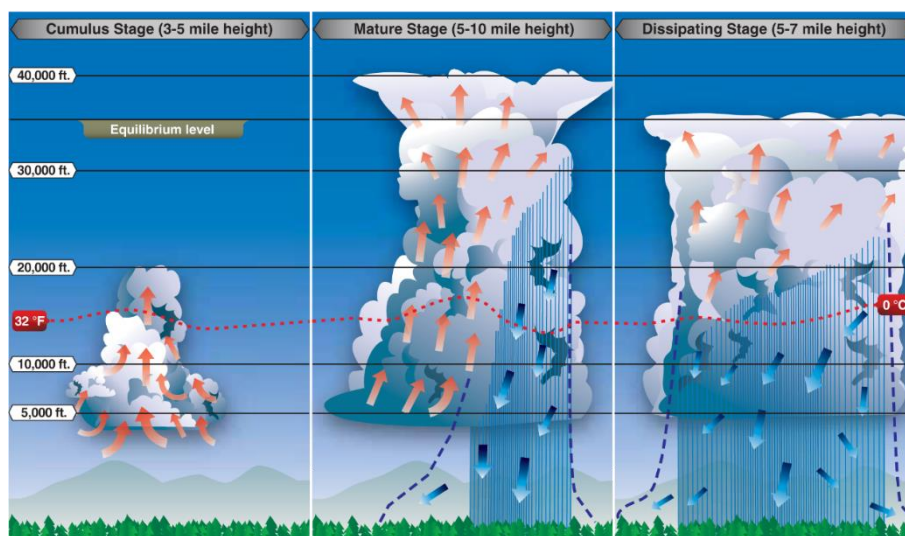


圖 2-60 雷雨胞的生命期週期 (CFI Brief: Thunderstorms, BOOM!)

另外，在一些時候臺灣周邊如果是吹著偏東南風，到了深夜至早上，因為東部山區的山風或是陸風，會和盛行風的東南風交會，此時會在東部沿海一帶發展出雷雨。或者是，當臺灣周邊盛行吹西南風，於中南部夜間至清晨的陸風，和盛行的西南風產生交互影響，也會在中南部沿海一帶發展出雷雨。當這兩種情況發生，也會讓午後雷陣雨延伸到晚上至中午前（圖 2-61）。

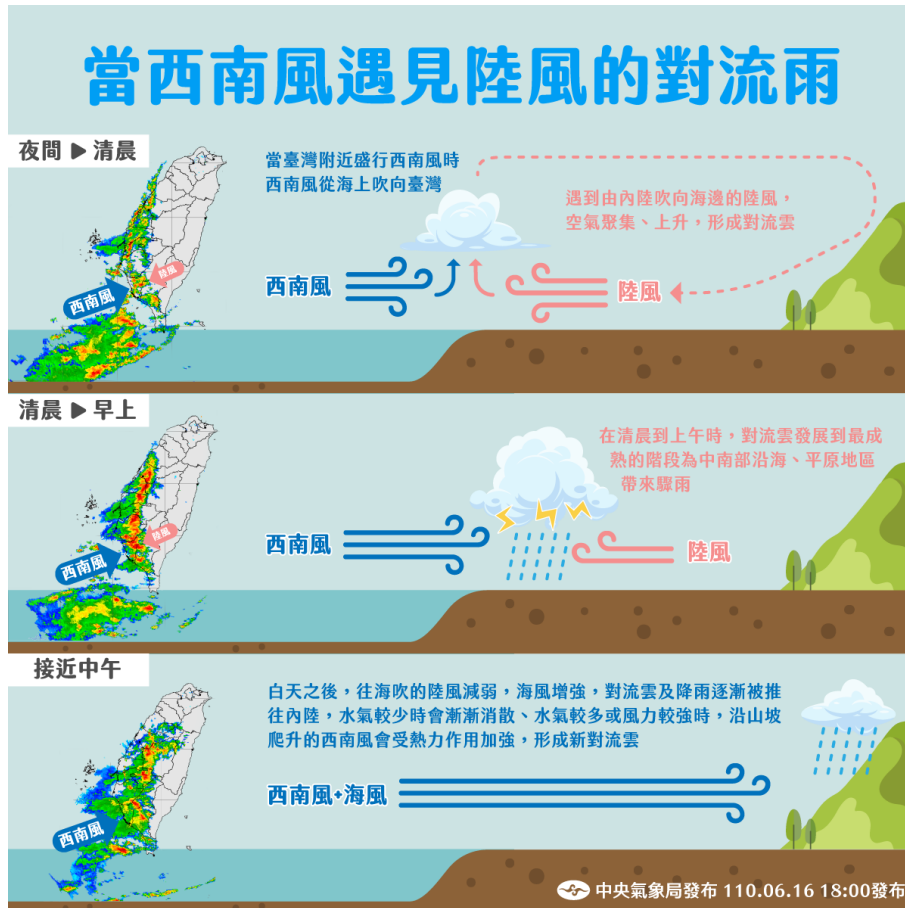


圖 2-61 環境偏西南風時，和陸風產生輻合造成的降雨型態

本計畫於汛期期間假日亦不間斷提供每日三查三報之天氣情資，整個詳細情資提供時間軸如下圖 2-62 所示。



圖 2-62 情資提供時間軸

## 2.4.2 豪雨風險圖預報回顧、校驗

截至 10 月底提供強降雨事件之豪雨風險圖評估，相關事件分別說明如下，事件一：3 月 26 日至 3 月 28 日鋒面事件，事件二：5 月 13 日至 5 月 16 日首波梅雨滯留鋒面事件，事件三：6 月 6 日至 6 月 9 日梅雨鋒面事件，事件四：9 月 3 日至 9 月 4 日軒嵐諾颱風事件，事件五：10 月 6 日至 10 月 7 日東北風異常降雨，事件六：尼莎颱風與東北季風共伴，事件七：奈格颱風與東北季風共伴。以下針對七次事件的短時豪雨預報風險校驗如下。

### A. 0326-0328 鋒面事件

春季鋒面通過，於 3 月中響起第一道春雷，後 21 日至 29 日大致為鋒面及華南雲雨帶通過的天氣型態，其中又以 26 日晚間至 28 日期間中部以北雨勢較大，有局部大雨及大雷雨發生。因此本署於 3 月 26 日提供 26 日 8 時至 28 日 8 時之全臺豪雨風險預報圖 2-63，並提供鄉鎮豪雨評估，實際降雨如圖 2-64，分別比較發現降雨熱區未完全掌握，僅命中 26 日臺中及南投山區及 28 日清晨臺中的局部大雨，沿海移入降雨預報尚需加強，另外整體降雨強度評估有高估情形，鋒面影響期間僅發布大雨、長時豪雨特報，無短時豪雨或短時大豪雨發生。

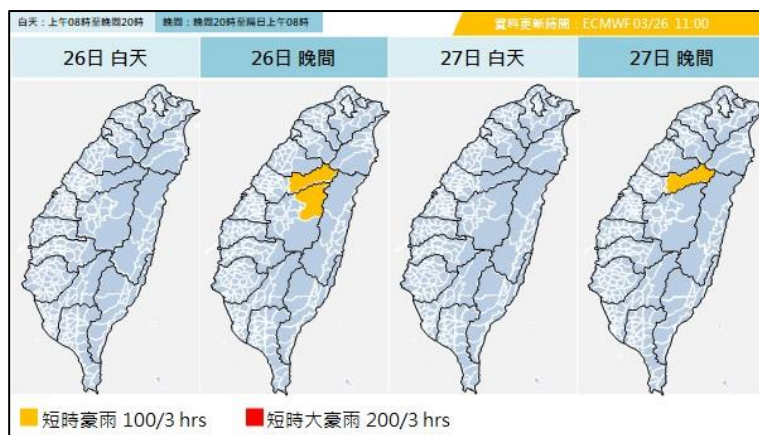


圖 2-63 3 月 26 日 8 時至 28 日 8 時豪雨風險預報圖（鄉鎮）-0326 提供



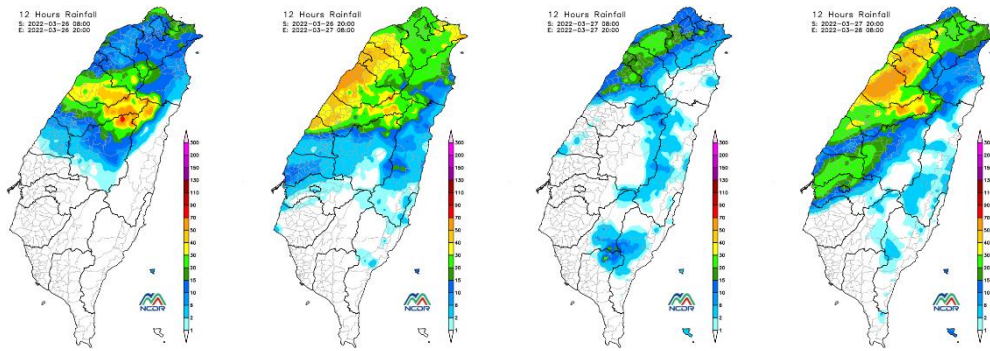


圖 2-64 3 月 26 日 8 時至 28 日 8 時實際累積雨量 (NCDR)

## B. 0513-0516 梅雨滯留鋒面

此次梅雨鋒面系統於 13 日晚間起由臺灣西北部沿海一帶移入臺灣，但由於北方冷空氣強度過強、且未有明顯西南季風配合，鋒面系統並未長期滯留於臺灣上空。14 日鋒面位置持續向南推進，降雨熱區也逐漸由北往南移動，整體梅雨鋒面系統於 15 日逐漸移至巴士海峽一帶，降雨熱區也轉為中南部山區，16 日則是受到槽線前緣及中層西南風影響，為中部山區帶來明顯的累積雨勢。

於 5 月 13 日提供 13 日 8 時至 16 日 8 時之全台豪雨風險預報圖 2-65，並提供鄉鎮豪雨評估，可以看到此次事件提供之短時豪雨風險預報圖，降雨熱區與鋒面通過影響位置與時間相符，實際降雨請見圖 2-66，其降雨熱區的位置掌握不錯，但降雨強度評估仍有高估情形，本次事件僅於 15 日及 16 日有出現長時累積達豪雨等級之降雨，無短時豪雨/大豪雨發生。

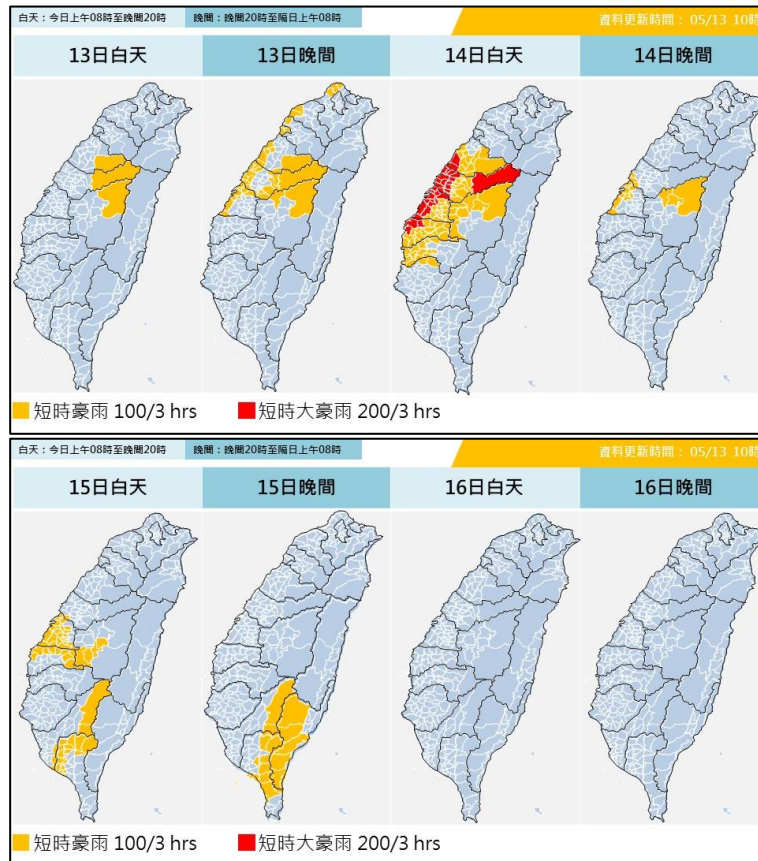


圖 2-65 5 月 13 日 08 時至 17 日 8 時豪雨風險預報圖（鄉鎮）-0513 提供

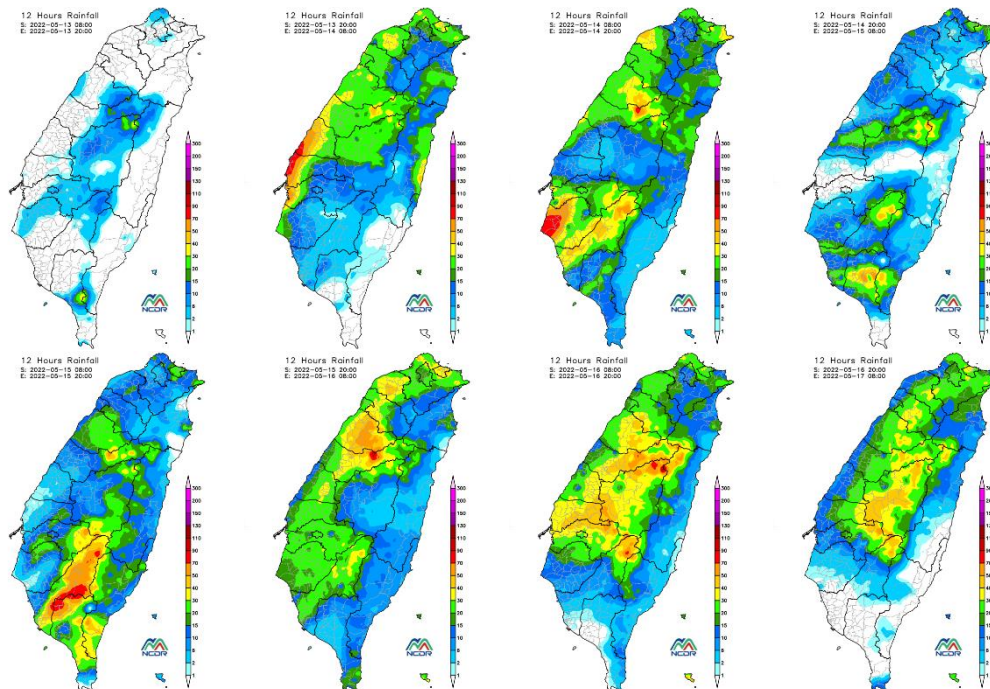


圖 2-66 5 月 13 日 08 時至 17 日 8 時實際累積雨量（NCDR）

### C. 0606-0609 梅雨滯留鋒面

本次事件為今年度第三波梅雨鋒面系統，6 日白天受鋒面前緣

水氣移入的影響，於北部及西部沿海地區出現明顯雨勢，晚間起由臺灣西北側沿海開始移入，由北往南通過，降雨熱區由西北側沿海逐漸轉為中部山區，於 7 日各地已有明顯雨勢出現，並伴隨臺灣西南部外海中尺度對流系統發展，其外圍環流移入高雄至屏東沿海一帶，造成高雄地區有出現接近短時豪雨等級的雨勢出現。7-8 日鋒面於臺灣上空徘徊影響，配合西南風帶來充足水氣，使得西部沿海地區及中南部山區有短延時強降雨之現象發生，整體梅雨鋒面於 9 日白天起北抬至臺灣北部海面，後續無短時豪雨/大豪雨發生。

於 6 月 6 日提供 6 日 8 時至 10 日 8 時之全台豪雨風險預報如圖 2-67 所示，可以看到此次事件提供之風險預報降雨熱區與鋒面通過影響位置與時間相符，其降雨熱區及強度掌握皆相當不錯，本次事件主要降雨落在於 7 日至 8 日期間，期間有短時豪雨發生，實際降雨如圖 2-68，無短時大豪雨。

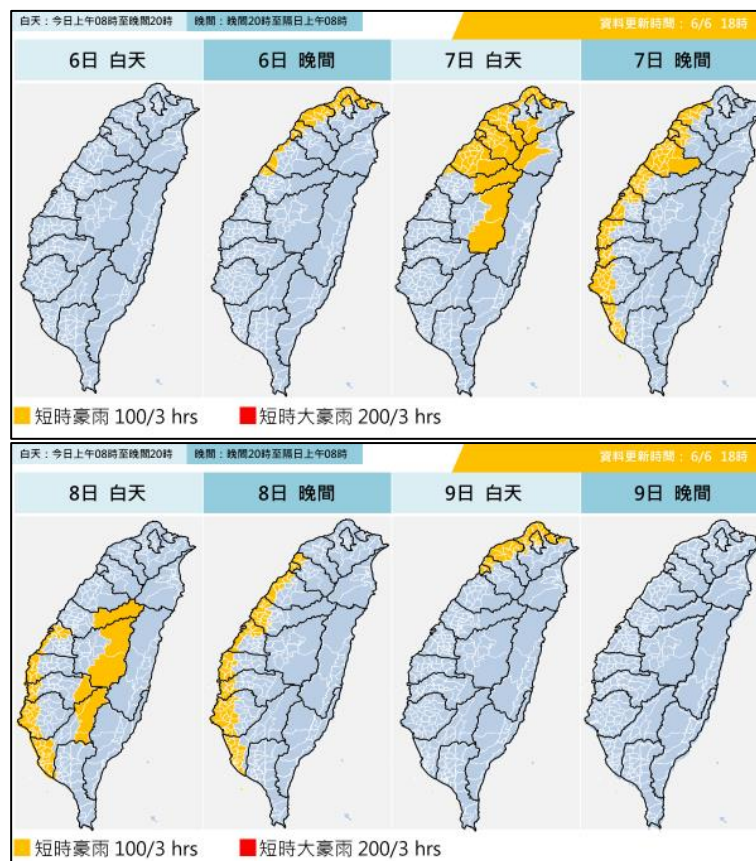


圖 2-67 6 月 6 日 8 時至 10 日 8 時豪雨風險預報圖（鄉鎮）-0606 提供

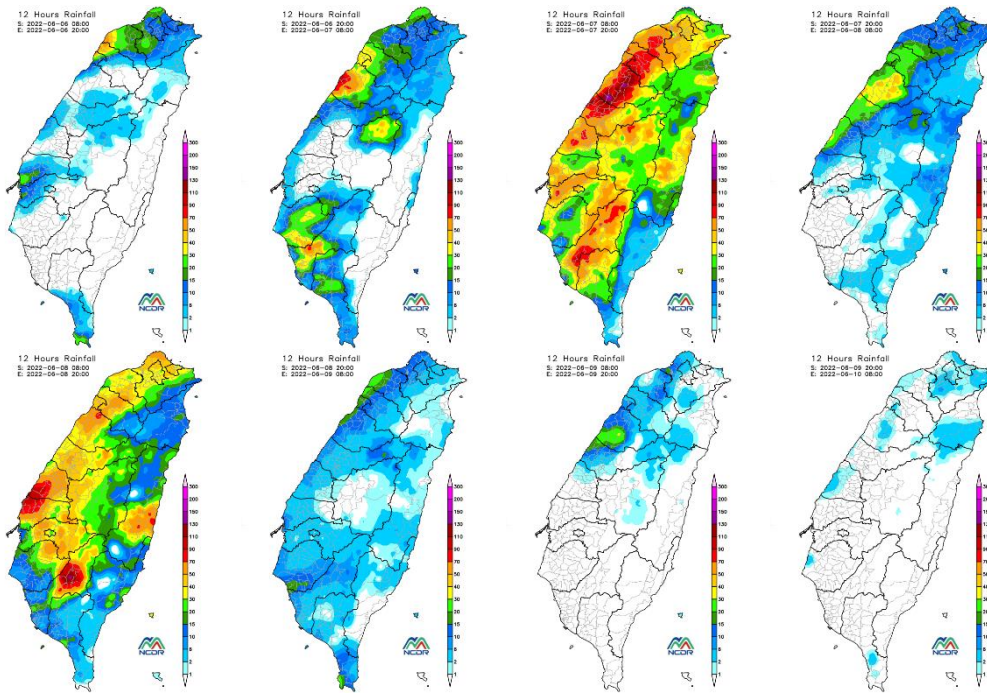


圖 2-68 6 月 6 日 8 時至 10 日 8 時實際累積雨量 (NCDR)

#### D. 0903-0904 軒嵐諾颱風

軒嵐諾颱風事件，降雨於 9 月 2 日上午開始，於颱風警報前北臺灣累積已達豪雨，降雨亦於警報期間持續增強，3 日深夜颱風於臺灣東方海域北上，其暴風圈掠過臺灣東北部陸地後，9 月 4 日 20 時 30 分解除海上颱風警報，由於僅外圍 7 級暴風半徑碰觸新北市陸地時間僅 12 小時，因此整體強風豪雨時間短，颱風遠離後即無強降雨發生。

於 9 月 2 日提供 3 日 8 時至 5 日 8 時之全台豪雨風險預報如圖 2-69 所示，可以看到此次事件提供之風險預報降雨熱區與影響時間掌握度佳，其降雨熱區及強度掌握皆相當不錯，本次主要短時強降雨期間落在 3 日至 4 日之間，降雨熱區則落於中北部、東部宜蘭山區、北海岸至東海岸等，實際降雨如圖 2-70，期間有短時豪雨及長時累積達大豪雨發生。

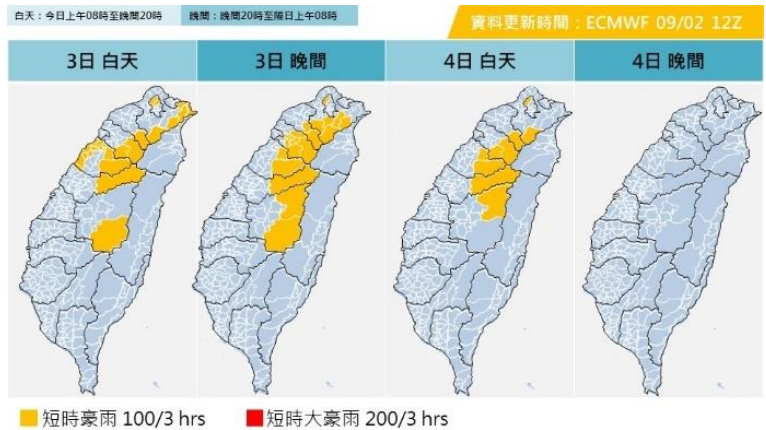


圖 2-69 9 月 3 日 8 時至 5 日 8 時豪雨風險預報圖（鄉鎮）-0902 提供

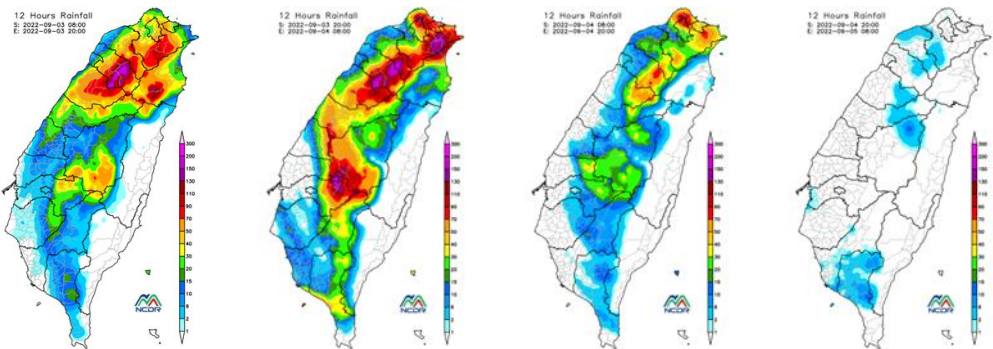


圖 2-70 9 月 3 日 8 時至 5 日 8 時實際累積雨量（NCDR）

### E. 1006-1007 東北風異常降雨

時序進入秋季天氣型態，西北太平洋環境配置由以往太平洋高壓主導逐漸轉變大陸冷高壓主導天氣型態，臺灣附近風場轉為東北風環境。於 10 月 6 日至 7 日期間，臺灣上空為大陸冷高壓勢力範圍內，配合中層水氣多，因此迎風面北部、宜蘭及花蓮地區全日有間歇性降雨，其中宜蘭地區有短時強降雨，8 日隨大陸高壓東移，環境風場逐漸轉變為偏東風，降雨區域向南延伸轉至花蓮沿海，宜蘭地區強降雨減緩。

於 10 月 5 日至 6 日提供 5 日 20 時至 8 日 8 時之全臺豪雨風險預報如圖 2-71 所示，可以看到此次事件提供之風險預報降雨熱區與影響時間掌握度皆佳，短時強降雨期間落在 6 日至 7 日之間，降雨熱區則落於東半部宜花地區，期間有短時豪雨及長時累積達大豪雨發生，實際降雨見圖 2-72。

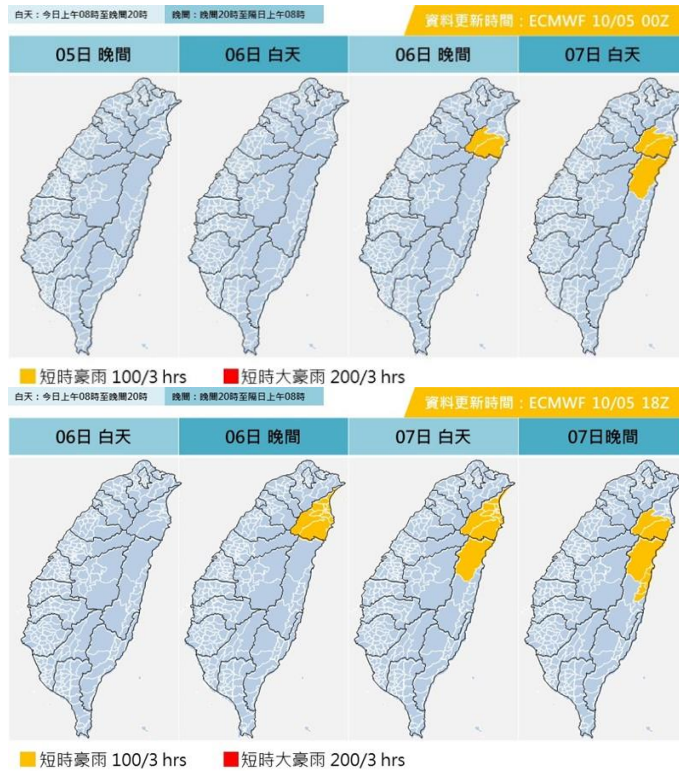


圖 2-71 10 月 5 日 20 時至 8 日 8 時豪雨風險預報圖（鄉鎮）-0905 提供

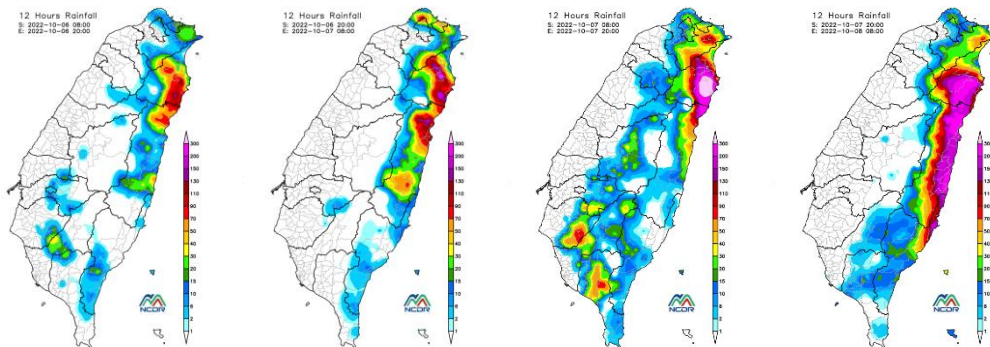


圖 2-72 10 月 5 日 20 時至 8 日 8 時實際累積雨量（NCDR）

## F. 1015-1017 尼莎颱風與東北季風共伴

尼莎颱風為今年第 3 個發布颱風警報的事件，於 15 日 14 時生成為輕度颱風，並於當日 16 時隨即發布海上颱風警報，隨著颱風尼莎由東向西通過巴士海峽，其外圍環流水氣配合東北季風逐漸增強，造成共伴效應，導致北部、東半部地區有旺盛對流發展，影響至 17 日隨颱風遠離降雨轉趨緩和。

於 10 月 14 日至 16 日提供 15 日 8 時至 18 日 8 時之全臺豪雨風險預報如圖 2-73 所示，可以看到此次事件提供之風險預報降雨熱

區與影響時間掌握度皆佳，短時強降雨期間落在 15 日至 17 日上午半天，降雨熱區落於基隆北海岸、大臺北、桃園及宜花地區，尤其臺北市、宜蘭縣山區雨勢較大且持續，期間有短時豪雨及短時大豪雨發生，長時累積更是達超大豪雨等級，實際降雨見圖 2-74。

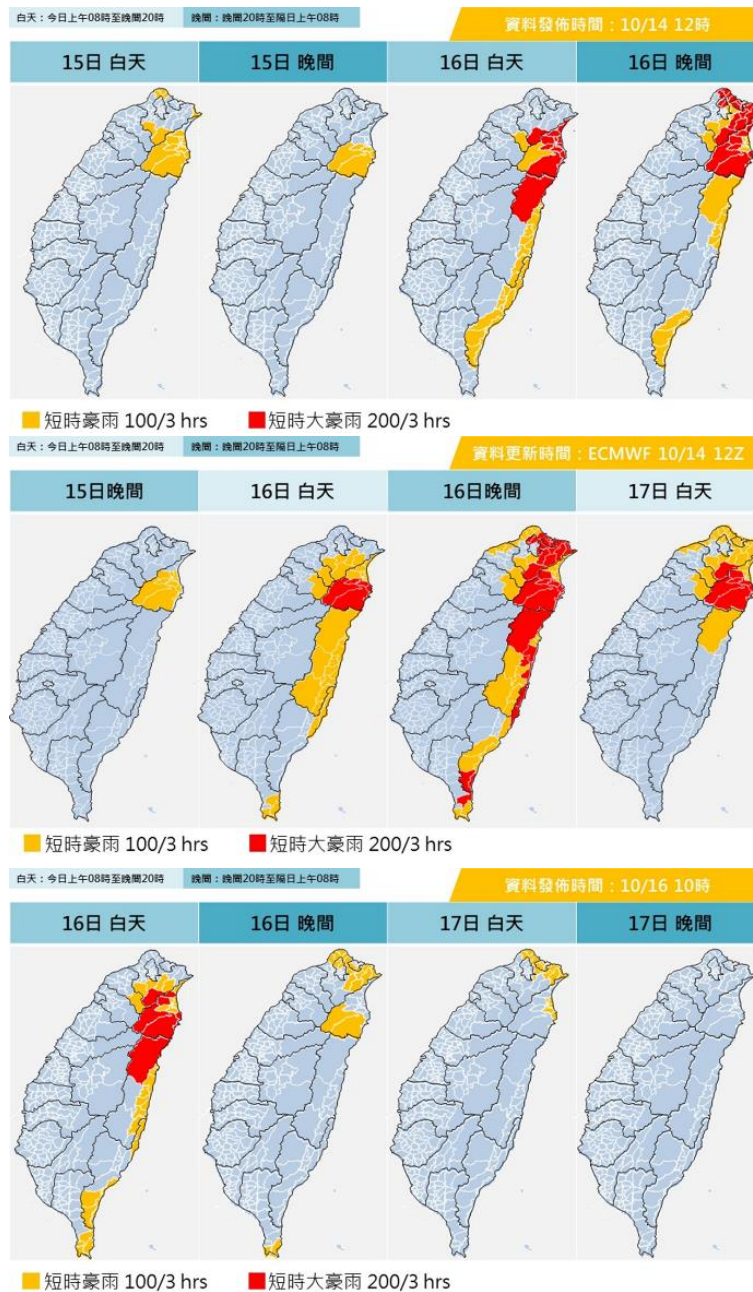


圖 2-73 10 月 15 日 8 時至 18 日 8 時豪雨風險預報圖-1014 至 1015 提供

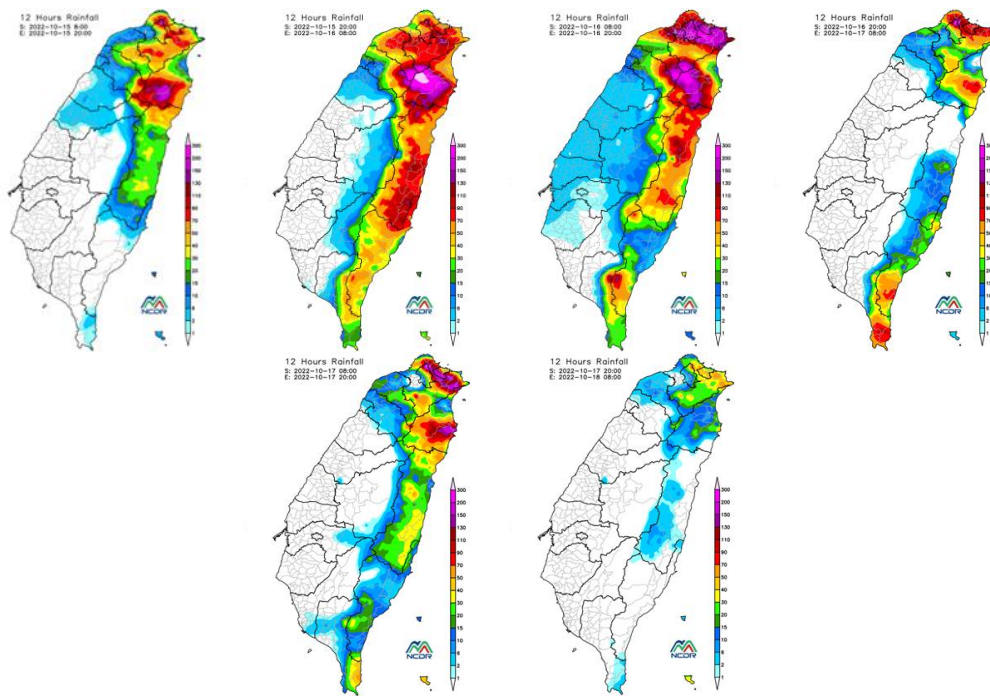


圖 2-74 10 月 15 日 8 時至 18 日 8 時實際累積雨量 (NCDR)

### G. 1029-1101 奈格颱風與東北季風共伴

27 日 8 時奈格颱風生成於菲律賓東方一帶，其當時預估華南上空相對高壓勢力仍強，臺灣附近為強東北風環境，而颱風初期 27 日至 30 日期間路徑沿高壓駛流往呂宋島移動，31 日落入相對高壓及太平洋高壓鞍型場中，後通過呂宋島環境導引氣流減弱，緩慢逐漸北轉，11 月 1 日颱風在進入東沙島海面後，持續往西偏轉朝廣東海面前進降雨轉趨緩和。

於 10 月 29 日至 31 日提供 29 日 20 時至 11 月 2 日 8 時之全臺豪雨風險預報如圖 2-75 所示，可以看到此次事件提供之風險預報降雨熱區與影響時間在掌握度皆佳，在颱風外圍環流水氣配合東北季風增強影響，於 29 日晚間起宜蘭地區日累積已達豪雨等級，31 至 1 日期間因颱風緩慢移動水氣持續移入影響大臺北及東半部地區，有短時豪雨及短時大豪雨發生，長時累積更是達超大豪雨等級，實際降雨請見圖 2-76。



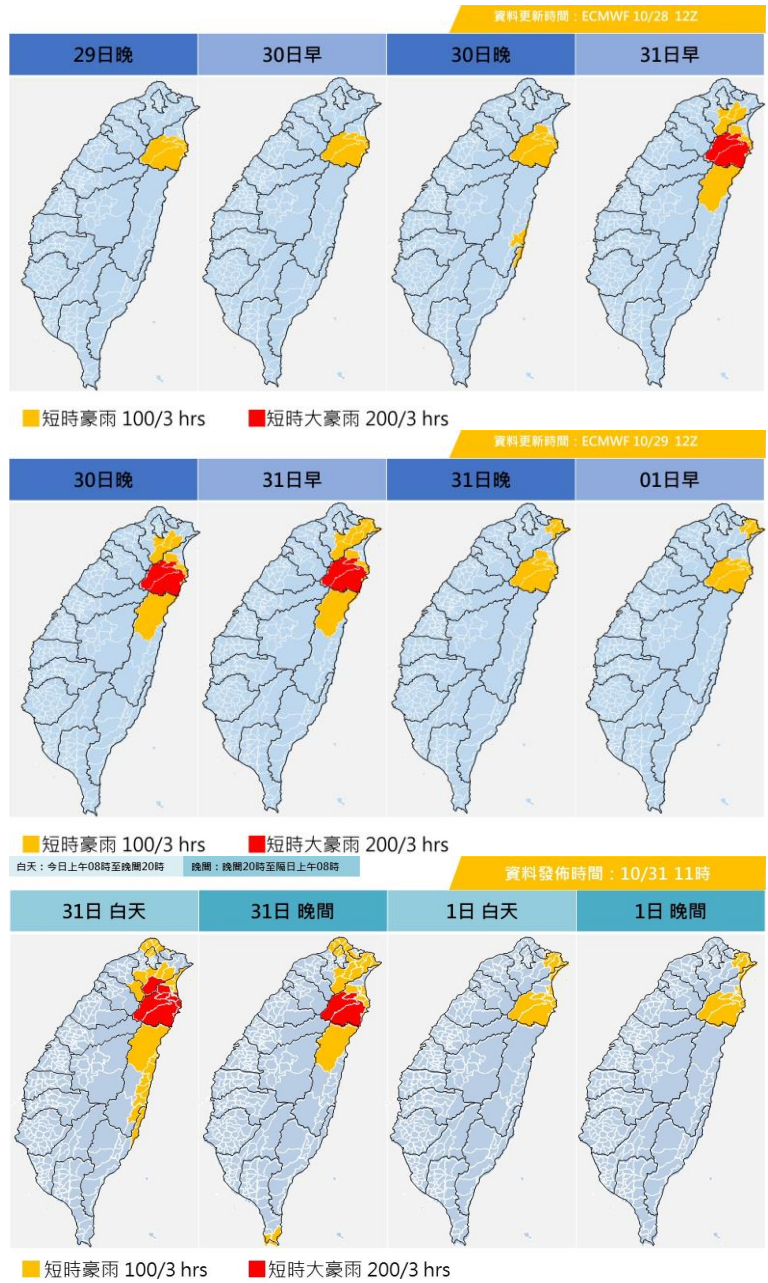


圖 2-75 10 月 29 日 20 時至 11 月 2 日 8 時豪雨風險預報圖-1029 至 1031 提供

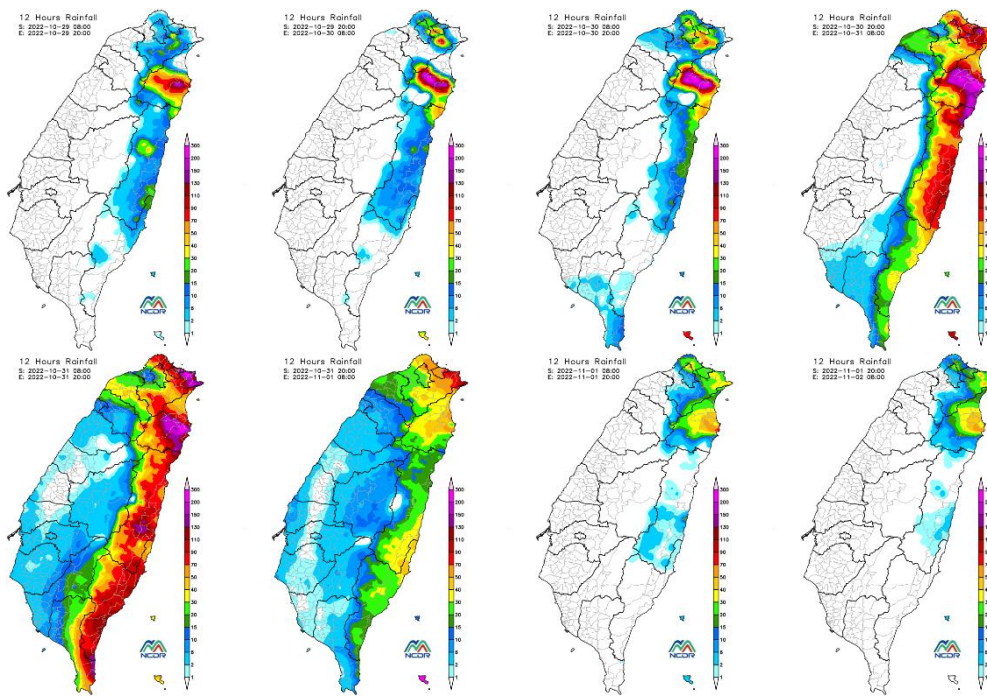


圖 2-76 10 月 29 日 20 時至 11 月 2 日 8 時實際累積雨量

### 2.4.3 每月提供中、長期氣候趨勢分析

本計畫於每月月底，提供未來 3 個月臺灣降雨趨勢分析報告，內容包含過去一季的海溫狀況、聖嬰及反聖嬰現象的現況及預報、氣候模式對於東亞降雨類別的機率預報、臺灣主要水庫降雨的預估和校驗，以及重點結論，本期自 3 月底開始共提供 9 次的臺灣中長期降雨趨勢分析報告，其中 11 月的中長期氣候趨勢分析相關的資料分別圖 2-77 所示。

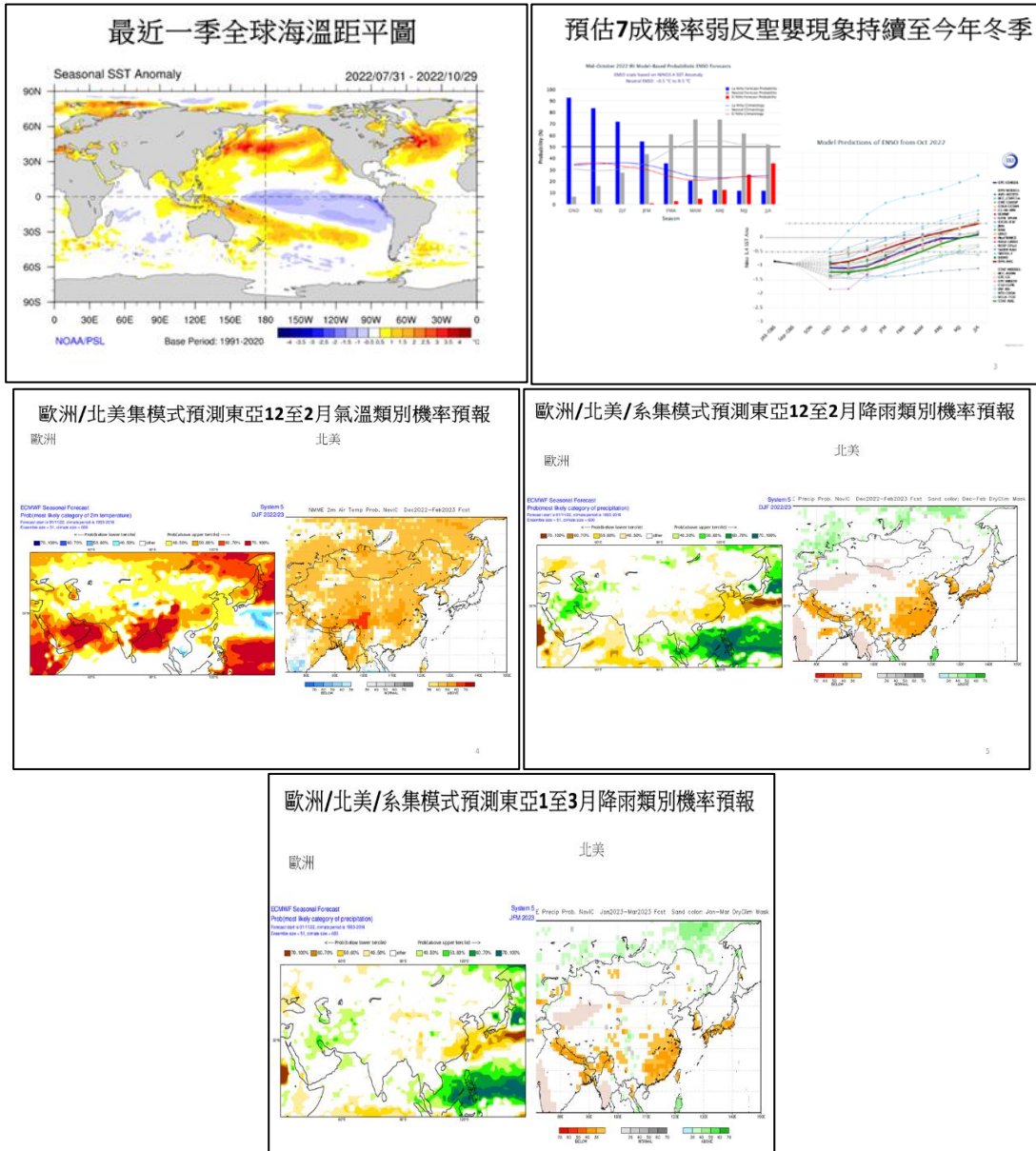


圖 2-77 11 月提供之中長期氣候趨勢分析部分圖

## 第三章 結論與建議

### 3.1 結論

1. 本計畫至 11 月中為止，期間氣象局共發布大雨特報 441 次、豪雨 216 次、大豪雨以上 83 次，發布海上颱風警報共計 3 個，無發佈大規模降雨作業。今年度梅雨滯留鋒面共有 3 場，達短時豪雨事件約 30 次。秋季時節迎風面的東北部及北部有異常降雨發生，共造成 5 次東北風異常降雨事件，達到大豪雨、超大豪雨等級。
2. 本計畫亦分別於 3 月 21 日配合提供三查三巡，律定相關天氣及氣候情資提供之時機點。並於 6 月 20 日及 10 月 27 日分別進行第二次和第三次工作會議，本計畫並於 5 月 25 日針對精進短時豪雨預報技術工作，進行視訊會議的討論。
3. 本計畫至 11 月前共提供：氣候展望 9 次，梅雨和西南季風指標共 9 次。梅雨鋒面情資 4 次，有利颱風生成指標 15 次，降雨提醒共 343 次，未來三天天氣分析 224 次，午後強降雨提醒及夜間至隔日強降雨提醒各 227 次。熱帶低壓/颱風圖卡 35 次，連假天氣、其他圖卡共 7 次。並於熱帶性低氣壓可能生成、發展為颱風並可能影響臺灣之前提下，提供 9 次分析簡報。
4. 水庫集水區資料分析顯示，雖然於天氣系統影響下，降雨具有明顯的區域性差異，但根據水庫流域和相對應氣象站的年降雨和季節降雨的長期相關分析顯示，兩者在長期的雨量特性上，均具有高度的相關特性。
5. 臺灣乾旱文獻回顧顯示，臺灣乾旱發生時段多發生於颱風季結束後至隔年梅雨季前。梅雨季和夏季 WNPSH 的強度和高壓脊位置是影響極端乾期的重要因素。而影響 WNPSH 的變化，主要有 5 個關鍵區域的海溫距平(簡稱 SSTA)，赤道東太平洋的正 SSTA、熱帶印度洋出現正 SSTA、副熱帶西北太平洋的負 SSTA 以及海

洋大陸附近出現正 SSTA，均會使 WNPSH 增強。

6. 分析臺灣秋季至隔年春季降雨極端偏少雨時的大氣特徵發現，臺灣至中國廣東及福建一帶降雨均異常偏少並被一個異常的高壓環流所壟罩，此異常偏強的高壓環流東南方則是一個異常的低壓氣旋式環流。分析秋季至冬季東北部異常降雨的大氣特徵發現，主要跟反聖嬰年時秋冬季大氣的型態有關。
7. 分析臺北春季降雨異常偏少時，菲律賓東方具有明顯的低壓環流，中國福建至廣東一帶具有明顯偏強的高氣壓環流，臺灣附近主要以偏東北氣流為主。反之，當臺北春季降雨異常偏多時，菲律賓東方至南海具有明顯偏強的高氣壓環流，臺灣附近主要以偏南氣流為主。
8. 應用巢狀自組織映射網路 (Nest-SOM) 訓練測站的雷達回波及淹水關係，採用 K-Means 聚類方法，建立了 31 個氣象指標特徵和淹水特性。模型建立在 SOM 的基礎上，藉由歷史數據分析，選定特定數據，可以為淹水預報提供有用的信息，並可準確指出歷史淹水事件及高平均時雨量，的確已有能力提前掌握相關降雨和災害訊號。

### 3.2 建議

1. 利用對應氣象站的長期降雨資料，採用小波分析方法，進行水庫集水區歷史資料的重建外，並將各水庫流域雨量資料的計算和說明文件彙集。並產製出高解析度的網格化日降水資料庫，作為水庫集水區歷史降雨量的計算。之後，再跟以小波分析法所重建的流域長期歷史資料比較。
2. 嘗試發展 WNPSH 的季節預報外，並可以利用氣象預報模式資料和氣候預報模式資料，建立 WNPSH 從天氣尺度至氣候尺度的監測和預報。

3. 於 UNDRR 的 2021 年乾旱特別報告中指出，不斷增加的人為溫室氣體排放、以及暴露於乾旱的人口和生態系統的脆弱性，是乾旱風險的重要驅動因素，解決這些方面的問題是降低乾旱風險的核心。藉由前瞻性、主動性和創新性的乾旱風險管理方法，則可以大幅降低乾旱的威脅。
4. 而成功且有效的 DEWS 計需要從端到端（end to end）和以人為本。並包括四個相互關聯的關鍵要素。根據 UNISDR 和 NIDIS 認為 DEWS 至少需要具有：觀測和監測、預測、規劃和準備及傳播和溝通等四大組成。

## 參考文獻

- 林志彥，2007：臺灣乾旱特性變動與頻率分析之研究。國立成功大學水利及海洋工程學系碩士論文。
- 林品芳、張保亮和周仲島，2012：弱綜觀環境下臺灣午後對流特徵及其客觀預報。大氣科學，40期，77-106頁。
- 呂季蓉，2006：臺灣南部地區長期乾旱趨勢分析之研究。國立成功大學水利及海洋工程學系碩士論文。
- 全臺北淹水災情管制表 - Emergency Response Center, WRA，<https://fhy.wra.gov.tw/fhy/>，2022年7月28日讀取。
- 宋嘉文，2003：氣候變遷對臺灣西半部地區降雨及乾旱影響之研究。國立成功大學水利及海洋工程學系碩士論文。
- 李思瑩、李清騰、林昀靜和張庭槐，2022：2020-2021 臺灣乾旱事件特徵初步分析，天氣分析研討會
- 卓盈旻和盧孟明，2013：臺灣地區近百年極端乾期變化分析。大氣科學，41期，171-188。
- 卓盈旻和盧孟明，2017：運用大尺度西南氣流指數法預報臺灣梅雨季極端降雨頻率年際變化。大氣科學，45期，83-100。
- 周仲島，高聿正，修榮光，鍾吉俊，李宗融，& 郭鴻基。（2016）。臺北都會區豪雨型午後雷暴的觀測特徵與預報挑戰: 2015年6月14日個案研究。大氣科學，44（1），57-82.
- 洪致文與施明甫，2017：臺灣氣象乾旱指數的建立與嚴重乾旱事件分析，大氣科學，45期，145-165.

- 陳羅以 (2021)。應用 SOM 於雷達回波之機率淹水預警。國立臺灣大學氣候變遷與永續發展國際學位學程碩士論文，臺北市。取自 <https://hdl.handle.net/11296/a93yh9>
- 陳孟詩, 2012：臺灣梅雨期開始及乾溼之指標研究，氣象學報, 48 卷第 4 期, 39-52.
- 游保杉，2007：氣候變遷對災害防治衝擊調適與因應策略整合研究—臺灣地區乾旱變異趨勢與辨識研究。國家科學委員會研究計畫報告。
- 黃文政、張守陽、陳孝宇、吳建興、劉欣霈、張益家、蘇元風，2003：臺灣地區近 30 年來連續不降雨日數分析與探討。臺灣水利，51，2，1-9。
- 張巧薇、江建霆、劉高源、蘇世顥，2019：臺灣地區鋒面系統客觀辨識方法之比較。大氣科學，第 47 期第 1 號。
- 賴怡君，2006：臺灣地區降雨乾旱分析之研究。國立臺灣海洋大學河海工程學系碩士論文。
- 經濟部水資源統一規劃委員會，1982：歷年來臺灣枯旱研究。
- Chang, C. P., Y. S. Zhang, and T. Li (2000), Interannual and interdecadal variations of the East Asian summer monsoon and tropical Pacific SSTs. Part I: Roles of the subtropical ridge, *J. Clim.*, 13, 4310–4325.
- Chen, X. & Zhou, T. Relative role of tropical SST forcing in the 1990s periodicity change of the Pacific–Japan pattern interannual variability. *J. Geophys. Res. Atmos.* 119, 13043–13066 (2014).
- Chung, P. H., C. H. Sui, and T. Li (2011), Interannual relationships between the tropical sea surface temperature and summertime subtropical anticyclone over the western North Pacific, *J. Geophys.*



Res., 116, D13111, doi:10.1029/2010JD015554.

Hong, C., T. Chang, and H. Hsu, 2014: Enhanced relationship between the tropical Atlantic SST and the summertime western North Pacific subtropical high after the early 1980s. *J. Geophys. Res.*, 119, 3715–3722.

Huang, W-R., Wang, S-Y. S., & Guan, B. T. , 2018. Decadal fluctuations in the western Pacific recorded by long precipitation records in Taiwan. *Climate Dynamics*, 50 ( 5 ) , 1597-1608.

Hu, Z.Z. , 1997. Interdecadal variability of summer climate over East Asia and its association with 500-hPa height and global sea surface temperature. *J. Geophys. Res. Atmos.* 102 ( D16 ) , 19403–19412 .

Hung, C.-w., H.-H. Hsu, and M.-M. Lu, 2004: Decadal Oscillation of Spring Rain in Northern Taiwan. *Geophys. Res. Letters.*, 31, L22206

Kohonen, Teuvo ( 1982 ) . "Self-Organized Formation of Topologically Correct Feature Maps". *Biological Cybernetics*. 43 ( 1 ) : 59–69. doi:10.1007/bf00337288. S2CID 206775459.

Sui, C., P. Chung, and T. Li, 2007: Interannual and interdecadal variability of the summertime western North Pacific subtropical high. *Geophys. Res. Lett.*, 34, L11701.

Wang, B., B. Xiang, and J. Y. Lee, 2013: Subtropical High predictability establishes a promising way for monsoon and tropical storm predictions, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 110 ( 8 ) , 2718–2722,

Wang, B., R. Wu, and X. Fu, 2000: Pacific–East Asian teleconnection: How does ENSO affect East Asian climate? *J. Climate*, 13, 1517–1536,

Wu, B., T. Li, and T. Zhou ( 2010 ) , Relative contributions of the Indian

Ocean and local SST anomalies to the maintenance of the Western North Pacific anomalous anticyclone during the El Niño decaying summer, *J. Clim.*, 23, 2974–2986,

Wu, B., Zhou, T. & Li, T., 2009: Seasonally evolving dominant interannual variability modes of East Asian climate. *J. Clim.* 22, 2992–3005.

Wu, Y.-C., S.-Y. Wang, Y.-C. Yu, C.-Y. Kung, A.-H. Wang, S. A. Los., W.-R. Huang, 2019: Climatology and Change of Extreme Precipitation Events in Taiwan Based on Weather Types. *International Journal of Climatology*, 39, 5351-5366.

Xiang, B., B. Wang, and T. Li, 2013: A new paradigm for the predominance of standing central Pacific warming after the late 1990s. *Climate Dyn.*, 41, 327–340,

Zhang, Q. Y., and Tao, S. Y. (1999). The study of the sudden northward jump of the subtropical high over the western Pacific (in Chinese). *Acta Meteorol. Sin.* 57, 539–548.

## 附件 期中、期末審查意見回覆

### 一、 期中審查意見

項次	審查意見	意見回覆
<b>羅偉誠 委員</b>		
1	肯定本計畫的執行方向及成果。	感謝委員肯定
2	NCDR 及水利署在乾旱的時間並不一致(表 3-1、表 3-2)，建議說明其差異及定義。	水利署的乾旱時間是以開設第一場應變會議開始，因此與 NCDR 所列表時間有些微出入，但整體乾旱發生時間是相符的。
3	建議說明圖 3-12 Legend 的代表意義 (pcp、hs、vs 及 swu)	P.22 圖 3-12，圖說已補充說明。
4	目前臺灣有 90 幾座水庫，各由不同機關管理，計畫在表 3-3 及表 3-4 已蒐集其 22 座水庫。未來是否將涵蓋所有水庫或先以一級水庫為主？	感謝委員建議，目前仍以本署管理之水庫為主。
5	(P.12) $R^2$ 在學理上並不是判定兩個變數的相關性，而是迴歸方程式的判定係數。建議應使用 correlation coefficient。	已根據委員意見新增相關係數。
6	使用 SOM 法時，如果輸入的資料不夠多時，分群的結果將兩資料輸入的前後順序有極大的相關，建議確認是否有這偏差影響。	感謝委員意見，目前從研究診斷結果中，因過去雷達回波輸入資料達上萬筆，去年研究初期為求慎重亦進行測試，分析結果顯示並不會因為輸入順序而有差異。
7	在 SOM 法的學習完成前，是無法在加入新的分群，請再次確認。	感謝委員提醒，此部分為建模完成後的後續分群訓練。
8	結論統計了今年提供了不少降雨情資的分析與提醒。建議是否可以與實際觀測雨量做比較，並以水利領域的指標 RMSE 及 EC 做量化成果。	感謝委員建議，因短期豪雨部分乃提供風險的概念，故只提供定性上的校驗。
<b>陳維良 委員</b>		
1	(P.15)若文獻上可推論，請補充說明目前(2022 年)屬於 Pacific Decadal Oscillation (PDO)之太平洋十年震盪之「暖相位」(或「正相位」；西太平洋偏冷而東太平洋偏暖)，或是「冷相位」(或「負相位」；西太平洋偏暖而東太平洋偏冷)。	今年的 PDO 仍屬於負相位，已補充於內文中
2	(P.22)有關西南氣流及西南季風是否係指 850hPa 之緯向風?另請於 P.29 補充說明西南季風指標之定義。P.31 第 17 行，皆受東北風「面」的影響，是否係指東北風迎風面，若不是請補充	1. P.22 西南季風是指於「110-130E、15-20N」這個區域的 850-hPa 平均緯向風場即定義為西南季風指標。 2. 西南季風指標之定義及相

項次	審查意見	意見回覆
	說明。	關說明已於 P.23-24 說明。 3. P.31 第 17 行「面」為誤植，原意為「除弱西風以外，皆受東北風的影響，反之，短延時降雨熱區主要為西南風向」。
3	P.27 第 26 行，陣雨之定義為對流性降雨，原文建議調整為一小時累積雨量小於 0.5 毫米的降雨被歸類為小雨或毛毛雨。	相關內容已根據委員意見修正。
4	P.35，鑑於近年相關文獻對午後對流初期發展大多有由海風輻合激發之共識，爰第 4-5 行原文建議調整為「當垂直大氣存在不穩定熱力環境，加上海風或臺灣複雜地形之近地層風場輻合激發對流發展，就比較容易發生雷雨，惟此種雷雨多屬於區域性……」；另第 7 行「有時受近地層風場後續激發或對流駛流影響，它也會朝平地的方向移動。」	感謝委員意見，相關內容已修正。
5	部分缺漏文字建議修訂： (a) P.I 摘要第 5 行、P.34 第 14 行及 P.52 第 5 行，其他圖卡共 5「次」。 (b) P.VIII 及 P.9 表 3-2 圖說，根據 NCDR「氣」候變遷調適平台……。 (c) Pacific Decadal Oscillation (PDO) 之 Oscillation 無需斷字。 (d) P.38 第 3 行，「以降”低”短時強降雨下的衝擊」。	已根據委員意見修正。
6	請補充說明圖 3-20、3-21a.b、3-22a.b、3-23a.b，坐標軸代表意義及相對應之地理位置。	圖 3-20、3-21a.b、3-22a.b、3-23a.b，坐標軸代表意義，已補充於內文 P.28-30。
<b>鍾高陞 委員</b>		
1	本計畫同時處理中、長期預報與短期預報，工作內容涵蓋範圍廣，成果可圈可點。	感謝委員肯定。
2	以跨領域知識建構與資訊交換來看，建議書面內容可詳細描述圖表說明及方程式，同時，結論可針對目前已達到目標以及接下來到期末期望達成之目標。	已根據委員意見新增相關說明。
3	關於大數據深度學習，貴單位應明確定位目的是短期降水之”定量預估”還是”定量預報”。目前的分析比較偏”定量降水預估”，對於淹水模式所需之”定量預報”資訊，現階段尚未看到。	本研究主要根據回波值和西南風指標進行淹水風險機率預警為主。
4	CRess 模式已有系集預報產品，可考慮使用。	根據了解 CRess 模式於實驗期間才有系集預報產品，目前無系

項次	審查意見	意見回覆
		集的作業預報。
5	分析石門水庫與臺北氣象站所得之高相關性能夠有什麼用途？	因臺北站具有將近 120 多年的長期資料，建立兩者的相關分析，未來可應用於石門水庫長期降雨資料的回溯。
6	時累積雨量門檻設 0.5 毫米雖可增加個案數，但對於強降雨或短延時強降雨的事件分析未必有用。	感謝委員意見，由於本計畫研發之模式最後將應用於實務操作 (operational) 階段，故只要有發生降雨之任何回波型態皆為 SOM 訓練學習之範圍。針對強降雨或短延時強降雨事件，本研究已利用巢狀式 SOM 進行第二層分析。
7	文獻參考有遺漏，另外 P.29 圖 3-21，何謂“熱力圖”？	P.29”熱力圖”為誤植，已修正。
<b>張國強 委員</b>		
1	於集水區降雨歷史資料分析部分： (a) P.9 提及各水庫資料有缺漏部分，不知是如何處理了？ (b) 又 P.11 之石門水庫歷史雨量之表 3-24 內，二單位提供的資訊部分時段差異甚大，能否說明圖 3-5 又是依那一份資訊求得？	a. 目前資料缺漏部分礙於早年自動化建檔不普及，大多都以人工建檔，因此資料缺失補遺較為困難。因此與署內長官討論後，暫以相對較為齊全的最新校正過的資料數據或較可靠的年度區間進行加值分析。 b. 資料不一致等情形，推測其主要原因為早年多以人工紀錄、計算填報或集水區各雨量站平均化方式不同等因素所致。 c. 圖 3-5 為水利署北水局所提供之資料。
2	P.14 起之造成臺灣乾旱的氣候因子，建議分類列表，並補充說明如何觀測，或若要發展預警系統應如何處理：如長期觀察那些因子，在什麼條件下可能形成乾旱等。	期中主要先以文獻回顧為主，之後將進行大氣環境的分析，嘗試找出重要的監控指標。
3	有關梅雨指標部分，垂直風切與水平風切的預報部分，有沒有可能自動化？且最佳的預報時機應為多少天？	目前梅雨指標、西南季風指標等均已自動化產出，目前最佳預報參考時機大約為 14 天至 28 天左右。
4	而 p.22，提及之西南氣流監控部分，為以 850-hPa 緯向風的最高相關區域為主，惟監看的標準及何種狀況下會發佈預警，建議補充說明。	當垂直風切和水平風切都同時由負值轉為正值時，即藍色線和紅色線同時都在零值線以上時，表示環境有利梅雨鋒面的建立。西南季風指標，當紫色線大於零且數值超過 6 的持續時間長，則西半部的降雨明顯且持續。

項次	審查意見	意見回覆
5	p.25 擇定的臺北市 5 個區都屬都市排水的型態，全受雨水下水道的排水能力 (78mm/hr) 控制，而安樂區武崙社區則近年來排水能力有大幅改善，故以上點位是否合適，建議再酌。(西南氣流或西南風影響最大的區域恐是中、南部)	感謝委員意見，這部分為計畫未來進一步延伸的部分，這兩年主要因雙北地區資料收集完整度最高，所以落實想法及建模較為快速，技術成熟後將會往中南部或其他社區等，並會因應各地區改善後的排水能力做建模的評估。
6	團隊在各項值勤期間，所提供之情資，確實有一定的效果，值得肯定。	感謝委員肯定。
<b>NCDR 氣象組 于宜強 組長</b>		
1	團隊在今年上半年氣象諮詢服務期間相當認真值得肯定。	感謝委員的肯定。
2	梅雨檢查表對汛期僅提供季風肇始的訊號，也僅可告知防災啟動守視的啟動資訊，梅雨季之後即失去對強降雨直接關聯性。	感謝委員提醒。
3	利用 SOM 進行短時強降雨與雷達估計，降雨 Z-R 關係模式建模，雖考慮恆春風向與短延時強降雨在不同天氣類型有不同激發強降雨事件，因此很難準確建模，另本研究中目標區(臺北市及新北市)似乎與恆春風向關係不高，是否考慮其他指標。	感謝委員意見，目前原計畫根據降水、淹水資料，使用與實際雨量回歸校正過的雷達回波來提供社區機率式的預報，並統整可加入訓練之氣象因子，將會整合其他可參考指標，目前預計加入淡水站風場。
<b>水利署防災中心 林震哲 簡任正工程司</b>		
1	本計畫在短期豪雨監控給予適時的預警，提供各單位提前警戒，實有助益。	感謝委員的肯定。
2	計畫報告書中有關 ECMWF 之預測圖資及 CReSS 降雨模式是否有解析資料，建議可提供做後續集水區流量、河川水位警戒或淹水模式運用。	後續集水區流量、河川水位警戒或淹水模式運用...等，將與署內長官討論相關可行性。
3	有關 WNDRR 2021 乾旱特別報告之乾旱政策和準備過程的 10 個步驟，為非常有參考價值的資料，建議可與相關單位研議，並與臺灣現行政策做比較，更能提供策進參考。	感謝委員意見，後續將與署內同仁討論並研議相關資訊，以供策進參考。
4	使用 SOM 採取 29 個特徵進行非監督式分群雖較有客觀性，惟分群後建議仍需歸納其物理特性，以利做為實際運用，另採取臺北市之社區其淹水事件較少，如何比較、驗證或可另選市區驗證。	感謝委員意見，相關氣候因子之物理特性將會依照各神經元參數之特徵值進行歸納，並整合研究區域大環境做分析，後續模式驗證也會由相似地理環境區域做選定。

<b>水源經營組 蔡明道</b>		
1	各水庫集水區降雨歷史資料蒐集及分析部分，感謝執行團隊協助研析缺漏或資料不一致等情形，推測其主要原因為早年多以人工紀錄、計算填報或集水區各雨量站平均化方式不同等因素所致，而檢視 P.11 圖 3-4 資料得知，在 2008 年後各月累積降雨量已較具一致性；爰後續相關分析，建議以最新校正過的資料數據或較可靠的年度區間進行加值分析。	感謝委員協助。
2	乾旱氣候因子及監控指標分析部分，除梅雨環境指標及西南氣流監控和預測外，後續建議執行團隊也可以針對冬雨、春雨、颱風生成、太平洋副熱帶高壓等，協助研析及提供後續監控運用建議等報告內容。	相關內容將於期末報告中呈現。
<b>水利署防災中心 林呈益</b>		
1	計畫書撰寫格式，建議依後續成果報告提交格式；另外，文章內容所列”本計畫”、”本研究”等字眼，建議調整為”本計畫”。	已根據委員意見修正。
2	第二章主要描述計畫整體執行方法，以及採用之理論、系統等，建議再調整文字敘述，譬如說那些系統、理論、方法是由本計畫發展，哪些是參考前人的，建議再說清楚，畢竟計畫主要是以自身發展或研究之成果為主；另外，第二章題名建議調整為計畫工作概述。	相關內容已根據委員意見修正。
3	計畫提及雲解析風暴模式 CReSS 可提供未來 5 天不同時間間距之預報資料，是否可提供網格資料，以做為降雨預報產品提供參考應用。	此預報資料是否能提供並加以應用，將進一步與師大王老師討論。
4	乾旱氣候因子分析目前看到文獻回顧以及聯合國乾旱特別報告的說明，尚未看到分析成果，建議後續補充說明。	相關成果將於期末報告中呈現。
5	7 月 15 日團隊辦理短時豪雨預測技術說明會議，當中談論很多細節，建議將 3.3 節內容依當天討論方向，再整體性的說明。	感謝委員建議。3.3 節已依 7 月 15 日之技術說明細節進行整體性說明。
6	短時豪雨預測技術研發似乎應該先針對雨量站建模，並進行檢定驗證後，再依據淹水風險較高的地區，再整合模式建立預警方式，甚至可以擴大到鄉鎮、縣市。	感謝委員意見，本預測技術研發的確是先針對雨量站建模，再依據淹水風險較高的地區，建立預警方式。
7	結論與建議部分，敘述方式建請逐點論述。	已根據委員意見修正。

8	參考文獻不用列為章節。	已根據委員意見修正。
<b>水利署防災中心 林益生 主任</b>		
1	P.7 圖 3-1 不同顏色代表意義請予補充，或增加圖例。	已根據委員意見修正。
2	P.14 造成乾旱的氣候因子分析，目前偏重以往研究文獻分析，尚未提出貴團隊分析成果，期中至期末報告期間工作規劃如何?其他工項期中階段已完成進度亦請補充	相關成果將於期末報告中呈現。
3	P.27 訓練所需資料要花多少時間進行前置作業? 若資料缺漏或錯誤如何判斷篩選? 同理，實際作業時若遇有資料缺漏或錯誤，如何因應，避免誤報?	本計畫之前置作業從雷達回波資料切割、三維空間讀取，並做資料淨化、補遺以及對應相對之氣象、水文資訊，一測站點平均需花 7-10 天。其中，雷達資料缺漏則做幾何內差，若無水文資訊，則資料不納入訓練。未來所讀取到的即時雷達回波，應有指令確認有無需補遺作業再進入訓練。
4	P.29 除新增西南氣流指標參數外，是否有其他因子可納入，例如:該區下水道水位、臨前降雨量。	感謝委員建議。本研究所應用之巢狀自組織應射圖類神經網路具有擴充因子之特性。將列為未來年度工作項目，將研究區之下水道水位、臨前降雨量納入探討。
5	P.43 圖 3-37、3-39、3-41 為事件前預報降雨等級，僅以圖 3-38 事件後實際日雨量作為校驗，比較基準不同無法進行比對，請將實際是否達大雨或豪雨等級繪成相同圖示比較。	已根據委員意見修正。。
6	P.46 圖 3-42 等 CReSS 模式預測與實際降雨比較，可與現行其他模式，例如:NCDR、氣象局、EC、GFS 等模式，預報結果加以比較，以瞭解本模式表現是否較佳;另外，請補充說明 CReSS 模式多久提供一次預報? 除了校驗 24 小時外，逐 1、3、6、12、48、72 小時預報，校驗結果如何?	後續將研議精進預報校驗方法及呈現結果。另 CReSS，逐 1、3、6、12、48、72 小時預報，校驗結果因資料量龐大，後續將進行研議。



## 二、 期末審查意見回覆

項次	審查意見	意見回覆
<b>羅偉誠 委員</b>		
1	在短期豪雨的工作項目，今年透過回波資料(6萬5千多筆)，以SOM拓樸設計來發展淹水預警方法。這些歷史資料以2014年為開始，但目前已經2022年這8年的地形地貌也有差異，過去的資料是否能反映現在的淹水熱區，建議應將地形地貌的差異加入訓練過程。	感謝委員建議，經討論可如委員加入地形地貌差異的指標做測試，並且模式需不定期更新建置資料母體及樣本，此外，也可從後端結果做應對調整，未來淹水警戒值可提高並搭配此模式做預警調整，確保短延時強降雨之淹水預警在可性範圍內。
2	今年的工作項目-分析水庫集水區每月降雨歷史資料特徵，在曾文水庫與台南氣象站的相關分析，大部分皆低於0.8。建議是否可以再找到更具高相關性的指標測站。	經查曾文水庫流域集水區，位於嘉義縣與台南縣境內，主流溪源出於阿里山山脈，南流至吳鳳鄉附近與支流伊斯基安那溪匯合後稱為曾文溪。全區地勢陡峭，越往上游地勢越發急遽傾斜有關。未來，將利用阿里山氣象站資料做進一步的嘗試。
3	今年的工作項目-豪雨風險預報回顧與校驗。檢驗七場德降雨事件，目前僅已定性說明，建議可以量化說明其預報成果，例如指標係數CC、CE、RSME…等。	感謝委員意見，因豪雨風險圖呈現的是出現短時豪雨或短十大豪雨發生的風險，故仍以定性的方式說明預報和實際的比對。未來將針對，團隊參考的氣象局wrfd資料進行客觀的校驗。
4	今年的工作項目-水庫集水區每月醬與歷史資料收集。在水源組與北水局的資料有部分落差，建議可以考慮水規所有發展的水文資料補遺與校正方法。	感謝委員提醒，未來將針對水規所發展的水文資料補遺與校正方法。
5	目前報告的撰寫模式，皆將所有工作項目放在第二章，與傳統署裡報告不同，建議可以卓參其他報告。	感謝委員意見，已根據署內報告修正。
<b>陳維良 委員</b>		
1	請補充說明第1頁第6行「乾旱強度」之定義。	已根據委員意見補充。
2	第16頁第1行「...百年大”和”。」請訂正為「...百年大”早”。」。	已根據委員意見修正。
3	圖目錄編號缺少圖2-15，請其後圖目編號與內文不一致，請調整其後之圖目編號及圖說，以求與內文一致。另22頁第16行「圖2-236」請依更正後之圖目編號調整。	已根據委員意見修正。
4	第24頁最後一行「圖-24)」缺少左括弧。	已根據委員意見修正。

項次	審查意見	意見回覆
5	第 28 頁第 6 行「...與當地相關的”干”旱訊息...」；及第 7 行「...傳達”干”旱風險...」，請訂正為「...傳達”乾”旱風險...」。	已根據委員意見修正。
6	第 33 頁第 4、5 行，「至於，今年第三波梅雨季的降雨分布。」之文義似未結束，請補充下文。	已根據委員意見修正。
7	因中央氣象局僅定義毛雨之雨滴直徑小於 0.5 毫米、及毛雨能見度 $\geq 1.1$ KM；爰建議刪除 p.39 頁第 8、9 行，「根據中央氣象局的定義，一小時內累積降雨小於 0.5 毫米的雨被歸類為陣雨或毛毛雨。」之敘述。	已根據委員意見刪除該段文字。
8	請補充說明圖 2-44 中，風花圖標籤框內數字之單位，如[0.0,2.0]、[2.0,4.0]、[4.0,6.0]。	已根據委員意見補充於報告書中。
9	第 46 頁第 6 行「...(如圖 2-“50”)」似應為「...(如圖 2-“47”)。」	已根據委員意見修正。
10	第 46 頁第 19 行「...(如圖 2-“50”)」似應為「...(如圖 2-“48”)。」	已根據委員意見修正。
11	請補充說明第 48 頁第 4 行，「...圖 2-48 “右圖”)」所指之圖示，另圖 2-48 中請以對比鮮明之線條顏色區分江山里、中華里、興旺里、群賢里及集英里。	已根據委員意見修正。
12	請增加說明第 51 頁第 1 行敘述，「...訓練“兩測站”的“雷達回波”淹水關係」，希望表達之意義。	已根據委員意見修正。
13	第 70 頁第 3 行，「...，無大規模”降”雨作業。」，請調整為「無大規模”豪”雨作業。」	已根據委員意見修正。
<b>曾鴻陽 委員</b>		
1	乾旱趨勢分析，因相關研究在許多研究單位也在進行(例如中央氣象局、中央研究院等)是否可以建議團隊將角色由研發調整為彙整分析，將各不同乾旱分析的結果，經綜整後提出各項指標、模式預測的風險性分析，提供署裡內部參考的氣象專業解讀、評估。	感謝委員肯定，相關科研的團隊整合，未來將與署內討論。至於，本計畫經綜整後提出各項指標，未來將進一步作為實際的預報參考指引。
2	梅雨期為銜接其前一年乾早期至第二年進入颱風期之間重要的降水來源，即使梅雨期降水有趨於年變化極端傾向，但其可靠性仍覺颱風季降水有相對的可靠性，因此建議可對梅雨期的降水進行動態性的預估建議。	感謝委員意見，梅雨的預估除了透過本計畫的多元預警提供未來一季的降雨量預估外，也藉由有利梅雨開始指標的預測提供相關情資供署內參考。
3	短時豪雨的 AI 研究成果或發展為未來的解決方案之一是極值得考慮強化	感謝委員建議，未來可以採用 QPESUM 做結果參考，整體模

項次	審查意見	意見回覆
	的，但預測的校驗是否至少與採用 QPSUME 的結果做比較。	式主要會以淹水機率做研發，雨量值等相關氣象因子可作為參考。
4	水庫區的資料(歷史資料)是否可採用氣象局的歷史回顧重建的網格資料。	根據臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台(簡稱 TCCIP)，將位置分佈不均勻的測站資料，內插到 1 公里解析度的網格上，產製出高解析度的網格化日降水資料庫也可以作為水庫集水區歷史降雨量的計算。
5	有機會將研究成果轉換為可操作的程序?	本計畫經綜整後提出各項指標，未來將進一步作為實際的預報參考指引。
<b>鍾高陞 委員</b>		
1	本計畫主要分析臺灣地區”短期豪雨”及”中長期乾旱”之歷史統計分析。工作項目涵蓋廣泛，且根據期中報告委員們隻建議進行修改，成果值得肯定	感謝委員肯定。
2	p.II(摘要 p.2)，海溫距平應為 SSTA 非為 SST。 p.16 拜年大和 > 百年大旱。 p.19”下列整個…崩潰，忘記太陽的樣子”。過於口語，請修正。 p.30，第二行”呈現，中南半島-南進-呂宋島”？ p.46，圖 2-50，是否為 2-47	已根據委員意見修正。
3	圖 2-10、2-14 在春秋之相關並不顯著，在乾旱、豪大雨的預警是否有其限制。	此部分主要在於測是水庫集水區降雨資料和氣象局具有長期歷史資料之氣象站作為相關分析之用，並未以此作為預警之用。
4	關於 AI、SOM 深度協建議有 1.可考慮最大回波值進行分析；2.降雨資訊與淹水之間有時間差，是否有考慮?此外分析之產品如何應用在水利預警預報上?小區域之分析如何延伸至全台不同鄉鎮區?	感謝委員建議，未來將擴大發展鄉、鎮、縣市尺度模式及自動化作業，並即時收集單一最大雷達回波值，以及此區域最易淹水之氣象測站做代表氣流，精簡運算及分析資源將模式表現研發最佳化，分區建置不同區域性積淹水預警預測。
5	面對 2021 年與 2022 年之極端事件情境不同，貴單位目前分析後在因應上是否有不同的方式?在預測與後續校驗和定量呈現，可以考慮。	感謝委員意見未來將針對此兩年的差異進行分析和校驗。
6	K-Means and SOM 皆為非監督是分群法，為何需要 2 種非監督方式?	SOM 是針對原始資料進行分群學習，K means 是針對 SOM 之學習結果進行分析，可協助我們

項次	審查意見	意見回覆
		更清楚辨識致災熱區的神經元
<b>林益生 主任</b>		
1	乾旱分析部分以 10 月至隔年 4 月,但之後的梅雨季如果來一場,有時就能救急或解旱,這部分是否有特別分析?	感謝委員意見,未來將針對隔年梅雨季降雨的多寡進行分析。
2	預警技術如果要擴大範圍,對於模式是否要重新再訓練?	因為會受地貌差異等分區而需要建置不同的模組。
<b>水利署防災中心 林震哲 簡任正工程司</b>		
1	短時豪雨的技術研發是否規畫投入到實際應用面?目前類神經方法與淹水模式進行預測方式。如持續發展為本署淹水預測產品,建議要對目前發布警戒淹水鄉鎮市區或村里為單位。	感謝委員建議,本計畫正在規劃實際應用作業,將參考中央氣象局預報做地貌等差異分區,建置可提供具有增強空間分辨率的機率性淹水預警戒。
2	短時豪雨監控預警目前多為 1、3、6 小時雨量為警戒,惟部分地方政府惟排水系統限制造成淹水之預警,因取 10 分鐘雨量設定警戒值,可作為對流性短的強降雨之參考。	感謝委員提醒,本計畫已收集每 10 分鐘雨量資料,正在擬定可適用於 10 分鐘雨量警戒值之門檻。
3	WMO 對於反聖嬰連續三年極為罕見,持續影響溫度與降水,加劇世界性的乾旱與洪水,對於此狀況 11 月 24 日已成立旱災經濟部災害緊急應變小組,對於連續反聖嬰之影響是否有特別之差異。	感謝委員意見,後續將與署內同仁討論並研議相關資訊,以供策進參考。
4	SOM 模式 4-1 的雨量要納入降水 QPSUM Plus 的未來降雨量資料或是自行推估?	感謝委員建議,未來將納入即時定量降水預報等資訊或前一時刻之參數資訊,期望可提高預測未來雨量值所造成淹水機率之推估。
<b>水利署防災中心 林呈益</b>		
1	報告書請依據成果報告書格式撰寫。	已根據委員意見修正。
2	摘要內容對於短時豪雨預測技術之內容,請再補充。成果報告書請補上 Abstract。結論與建議請依正式報告書格式撰寫。	已根據委員意見修正。
3	P.20, 臺灣春季乾旱降雨因子分析內容,似乎僅為文獻回顧說明,並無臺灣氣候分析說明。	已根據委員意見修正,新增春季降雨大氣環境條件分析。
4	P.36, 內容提及經濟重災區這個名詞,有降雨才有機會致災,建議再調整文字。	已根據委員意見修正。
5	圖 2-36 中,分類 29 個特徵數,惟本計畫最終應該是採用到 31 個,請再確認;另外,31 個特徵數似乎沒有包含	本研究流程在期中前先測試加入西南氣流指標為主,因西南氣流指標和恆春氣象站的風場具

項次	審查意見	意見回覆
	西南氣流指標，是否有納入模式分析，若無，是如何分析？	有高度相關，故以恆春氣象站的觀測風場資料作為西南氣流指標的參考。後續根據委員們建議額外再加入淡水測站觀測風場指標。因此前半部分研究確實為 27 個雷達回波因子加入西南風速、風向，共 29 個特徵數值。後續額外再加入東北風速、風向，最終為 31 個特徵值。
6	圖 2-44 中，圖名說明與圖內說明似乎有誤，請再確認。	已根據委員意見修正。
7	P.46，淹水機率分析內容似乎沒有呈現，請再補充說明，甚至可用 1 個小節來說明。	已根據委員意見修正。
8	參考文獻不用列為章節。	已根據委員意見修正。

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

短期豪雨監控預警及中長期乾旱趨勢分析 =  
Short-term torrential rainfall monitoring, early  
warning and long-term drought analysis / 台灣整  
合防災工程技術顧問有限公司編著. -- 初版. --  
臺北市：經濟部水利署, 2022.12  
面；公分  
ISBN 978-986-533-329-4(平裝)

1.CST: 氣候預測 2.CST: 自動化 3.CST: 降  
水量 4.CST: 乾旱

328.888

111020842

短期豪雨監控預警及中長期乾旱趨勢分析

出版機關：經濟部水利署

地址：台北市大安區信義路三段 41-3 號 9-12 樓

電話：(02) 37073000

傳真：(02) 37073124

網址：<http://www.wra.gov.tw>

編著者：台灣整合防災工程技術顧問有限公司

出版年月：2022 年 12 月

版次：初版

定價：新台幣 700 元

展售門市：五南文化廣場 台中市中山路 6 號 (04) 22260330

<http://www.wunanbooks.com.tw>

國家書店松江門市 台北市松江路 209 號 1 樓 (02) 25180207

<http://www.govbooks.com.tw>

GPN：1011102231

ISBN：978-986-533-329-4

著作權利管理資訊：經濟部水利署保有所有權利。欲利用本書全部或部分內容者，須徵求經濟部水利署同意或書面授權。

聯絡資訊：經濟部水利署

電話 (02) 37073000



廉潔、效能、便民



## 經濟部水利署

台北辦公區

地址：台北市信義路三段 41 之 3 號 9~12 樓

總機：(02) 3707-3000

傳真：(02) 3707-3166

免費服務專線：080-0212239

台中辦公區

地址：台中市黎明路二段 501 號

總機：(04) 2250-1250

傳真：(04) 2250-1628

免費服務專線：080-0001250

ISBN : 978-986-533-329-4



9 789865 333294

GPN : 1011102231

定價：750