



防災淹水機率圖資產製及應用服務系統精進

Stochastic Flood Inundation Mapping Program and Its
Decision-Making Support Services



主辦機關：經濟部水利署
執行單位：國立臺灣大學

中華民國 108 年 12 月

防災淹水機率圖資產製及應用服務系統精進

Stochastic Flood Inundation Mapping Program and Its
Decision-Making Support Services

主辦機關：經濟部水利署
執行單位：國立臺灣大學
編著者：張倉榮

摘要

水利署於 107 年完成第三代淹水潛勢圖資的公開作業，提供淹水防災作業規劃使用，但繪製淹水潛勢圖資所使用的設計雨型，係使用 Horner 雨型且在空間上為均一分布，與實際降雨的時空間分布情形仍有差距，導致淹水潛勢圖與實際淹水情形認知有落差。

為補足水利防災人員對於各地區發生淹水的決策判斷支援能力，本計畫發展了暴雨時空間分布序率模式，藉此產製大量符合實際降雨特性的不同模擬雨型，進而搭配臺灣大學新開發的 CA-model 快速淹水模式，完成數千場事件的模擬，分析積淹水的發生機率繪製成淹水機率圖資，提供不同角度的防救災參考資訊。

在研究區域的選取上，考量到降雨紀錄、數值高程、下水道管線設置情形與下水道水位等各種測量紀錄的完整性，因此選擇以臺北市與基隆市地區進行分析。臺灣的降雨大致可以依據季節與形成原因分為 4 大類：鋒面雨、梅雨、颱風雨與對流雨，然而考量到全部類型降雨資料龐大，所以選擇使用會造成較為嚴重災害損失的颱風類型降雨作為本計畫的分析對象。本計畫蒐集淡水河流域範圍內 30 個雨量站的颱風事件雨量紀錄，從中篩選降雨站數及延時足夠的降雨事件進行時雨量的時間與空間特性分析，建立颱風降雨的時空間共變異函數，再使用隨機變域序率模擬方法據此繁衍出降雨量不同且符合歷史颱風降雨時空間分布特性的模擬降雨事件共 83,000 場。

淹水機率分析情境參考水利署淹水潛勢圖情境，設定為 24 小時延時降雨量 125mm 至 275mm、275mm 至 425mm、425mm 至 575mm，以及大於 575mm 等 4 組，從前述的 83,000 場模擬降雨事件中，分別隨機挑選 750、750、1,000 與 162 場降雨，使用 CA-Model 快速淹水模式進行臺北市與基隆市的淹水模擬。本計畫採用臺灣大學新開發的 CA-Model 快速淹水模式進行淹水模擬，此模式使用細胞自動機概念演算二維漫地流的傳遞，並耦合

SWMM 模式進行雨水下水道演算，能夠依據降雨空間分布指定各計算網格的雨量輸入值且考量到各種土地覆蓋的排水情況，及大幅縮短模擬所需要的時間。臺北市以及基隆市的 CA-Model 皆能在 30 分鐘內完成一場颱風降雨的淹水模擬。根據淹水模擬的結果，決定一水深作為標準，統計每個網格點積淹水的發生機率，繪製防災淹水機率圖。

本計畫以 15 公分水深門檻統計臺北市與基隆市地區的積淹水發生機率，並繪製 15 公分積淹水的淹水機率圖資作為防災規劃的參考資訊。此外亦留存 2,662 場模擬淹水事件的降雨及淹水模擬結果資料，後續能夠可依據需求另行計算不同降雨量或淹水深度的積淹水發生機率。防災淹水機率圖資將匯入水災潛勢風險圖資應用服務系統，提供指定降雨情境查詢圖資的功能，搭配系統介接的中央氣象局的預報降雨量，根據雨量值挑選防災淹水機率圖資進行展示，提供災中預警及決策支援之充足資訊。此外，本計畫亦持續維運精進水災風險圖資應用服務系統，優化各項服務功能，俾供颱風期間災害應變情資研判之用。

關鍵字：暴雨序率模式、淹水機率、淹水潛勢圖、快速淹水模式

Abstract

In 2017, the Water Resources Agency has revealed the third version of potential inundation maps for flood disaster prevention. The designed storm pattern is derived by using Horner formula and is assumed to be spatially homogeneous, which is inconsistent with actual rainfall. Thus, the corresponding simulated flood maps may have some inconsistencies with actual flood maps.

In order to strengthen the decision-making ability of the water-related disaster management, the Storm Rainfall Spatiotemporal model was developed to produce massive rainfall scenarios that consider all possible temporal and spatial distribution of actual storms. Corresponded flood simulations were then carried out by utilizing the CA rapid flood inundation model which is developed by NTU. The simulated results were used to produce flooding probability maps to provide supported information of disaster prevention.

Taipei City and Keelung City were selected as research areas in this project because of their high completeness of measured data such as precipitation, terrain elevation, sewer system and sewer water level, etc. In Taiwan, rainfalls could be divided into 4 categories according to seasons and mechanisms of formation, i.e., winter frontal rains, plum rains, typhoon rains and convectional rains. In this project, we took typhoon rains as the analyzed category, while the other 3 categories were ignored because their measured data is too massive to be analyzed. The precipitation data of about 200 typhoons events was collected from 30 rainfall stations in Tamsui River watershed. 83 typhoon events are selected to establish the spatio-temporal covariance function, while other typhoon events were discarded because their rain duration is relative short or their rainfall area is relative small. 83,000 rainfall scenarios were generated by using the analyzed spatio-temporal covariance function.

The duration of rainfall scenarios were all 24 hours. In order to produce flood probability map, we had divided flood probability analyzed scenarios into 4 groups according to the potential inundation maps from Water Resources Agency, i.e., 125 to 275 mm, 275 to 425 mm, 425 to 575mm, and above 575mm. Stratified sampling was used to randomly choose rainfall scenarios from 83,000 rainfall scenarios. 750, 750, 1000 and 162 rainfall scenarios were chosen from group 1, 2, 3 and 4, respectively. Therefore, there were 2662 rainfall scenarios were chosen from 83,000 rainfall scenarios in total. These 2662 rainfall scenarios were then used as input data to perform 2662 flood simulation by using CA rapid flood inundation model. The CA rapid flood inundation model is developed by National Taiwan University. The overland flow is simulated by utilizing the framework of cellular automata while the sewer is simulated by storm water management model (SWMM 5.1). The flood simulations of typhoon rains in this project can all be done within 30 minutes. The simulated results were the used to calculate the occurrence probability of flooding at each mesh to draw the flood probability maps.

In this project, the flood probability maps in Taipei City and Keelung City were produced to provide referenced information for decision-making of disaster prevention. The depth threshold to judge whether a cell is flooded or not was set as 15cm. Additionally, the simulated results of all of 2,662 rainfall scenarios are kept and can be applied to calculate the flood probability of other water depth threshold. The produced flood probability maps will be imported to the service system for flood potential estimation. Different flood probability map can be shown based on the forecast rainfall scenario from the Central Weather Bureau to provide information for decision making of disaster prevention. Through this project, the service system for flood potential estimation will be continuously

improved to achieve more accurate estimations and information for decision making of disaster prevention.

Keywords: Storm Stochastic Model, Flood Probability, Potential Inundation Maps, Rapid Flood Inundation Simulation Model.

目錄

摘要	摘-1
Abstract	A-1
目錄	目-1
表目錄	表-1
圖目錄	圖-1
第壹章 前言	1-1
1.1 計畫緣起與目的	1-1
1.2 計畫工作項目	1-3
1.3 以往相關之研究與計畫	1-4
第貳章 建立暴雨事件大數據資料庫	2-1
2.1 彙整國內外暴雨資料庫建置方法及序率模擬分析相關文獻	2-1
2.2 蒐集中央氣象局及水利署等單位之降雨觀測資料	2-7
2.3 研擬整合雨量觀測資料並萃取各類型暴雨之時空分布特性	2-9
第參章 研發暴雨事件降雨量時空分布序率模擬模式	3-1
3.1 選定一縣市做為研究區域	3-1
3.2 分析各類型暴雨期間測站時雨量之機率分布	3-1
3.3 分析各類型暴雨降雨延時之機率分布	3-17
3.4 分析各類型暴雨期間測站時雨量之時間空間共變異特性	3-19
3.5 建立並驗證暴雨降雨量時空分布序率模擬模式	3-29
第肆章 建立暴雨事件淹水時空分布資料庫	4-1
4.1 蒐集研究區域相關地文與排水條件之現況資料	4-1
4.2 建立研究區域淹水模式並進行歷史淹水事件模擬	4-6
4.3 以歷史淹水事件模擬結果分析淹水深度之時空分布	4-27
第伍章 建立暴雨淹水機率預報及防災淹水機率圖資	5-1
5.1 擬定雨量預報情境	5-1

5.2 結合淹水時空分布資料庫，分析各網格之淹水深度機率分布 ...	5-6
5.3 將各網格淹水機率圖像化，並建立防災淹水機率圖	5-7
第陸章 應用服務維護更新及運算功能精進研發.....	6-1
6.1 蒐集本署已公開之第三代淹水潛勢圖資並更新至系統資料庫 ...	6-1
6.2 蒐集歷史淹水事件並更新至系統資料庫.....	6-2
6.3 結合特定延時預報雨量展示防災淹水機率圖	6-3
6.4 更新與精進即時篩選淹水潛勢圖及防災淹水機率圖	6-4
第柒章 結論與建議.....	7-1
7.1 結論.....	7-1
7.2 建議.....	7-1
參考文獻.....	參-1
附件一、期初工作會議紀錄.....	附 1-1
附件二、期中報告書審查會議紀錄.....	附 2-1
附件三、期中報告書審查意見回覆.....	附 3-1
附件四、第二次工作會議紀錄.....	附 4-1
附件五、期末報告書審查會議紀錄.....	附 5-1
附件六、期末報告書審查意見回覆.....	附 6-1

表目錄

表 1-1 我國淹水潛勢圖製作歷程	1-9
表 1-2 我國淹水潛勢圖資相關應用研發計畫	1-10
表 2-1 研究地區雨量測站基本資料表	2-8
表 3-1 各站不同時刻跨事件統計特性	3-3
表 3-2 降雨事件類型定義.....	3-18
表 3-3 區域平均降雨事件延時、總降雨量、降雨事件間距之特性分析 .	3-18
表 3-4 套配空間半變異元函數之成對資料統計	3-23
表 3-5 套配時間半變異元函數之成對資料統計	3-25
表 3-6 時間半變異元值與映射前後時間距離變化	3-27
表 3-7 徐昇式測站權重.....	3-42
表 3-8 歷史事件(1978~2018)及模擬事件頻度表	3-45
表 4-1 地文及水文資料蒐集情形	4-5
表 4-2 2015 年 0614 豪雨文山區淹水範圍模擬比較結果	4-24
表 4-3 2015 年 0614 豪雨大安區淹水範圍模擬比較結果	4-25
表 4-4 2017 年 0602 豪雨基隆市淹水模擬比對結果	4-25
表 4-5 2017 年 0602 豪雨基金一路淹水模擬比對結果	4-26
表 4-6 2017 年 0602 豪雨松山區淹水模擬比對結果	4-27
表 4-7 2017 年 0602 水災大安區淹水模擬比對結果	4-28
表 4-8 2018 年 0908 豪雨松山區淹水模擬比對結果	4-28
表 4-9 2018 年 0908 豪雨大安區淹水模擬比對結果	4-29
表 4-10 2019 年 0722 豪雨大安區淹水模擬比對結果	4-29
表 5-1 模擬雨型於各雨量站發生最大時雨量一覽表	5-2
表 5-2 四種降雨情境分組時雨量超過 60、70、80mm 的最大機率	5-3

圖目錄

圖 1-1 臺灣近年發生的豪雨淹水災害	1-1
圖 1-2 水災潛勢風險圖資應用服務平台介面	1-2
圖 1-3 雙變量伽瑪分布序率模擬之示意圖	1-5
圖 1-4 木柵次分區俯瞰圖.....	1-7
圖 1-5 第三代淹水潛勢圖.....	1-8
圖 1-6 我國歷代淹水潛勢圖的條件與規格比較表	1-10
圖 2-1 時空多元變數模擬流程圖(謝心怡，2014).....	2-5
圖 2-2 颱風時空相關降雨模擬流程圖	2-6
圖 2-3 研究地區雨量測站分布圖	2-7
圖 2-4 各測站極高尖峰降雨百分率發生時序	2-11
圖 2-5 尖峰降雨百分率與總降雨量值的關係	2-12
圖 2-6 尖峰降雨百分率大於 70% 颱風降雨百分率	2-13
圖 3-1 測站颱風降雨時雨量特性：平均與標準差(測站 1~6)	3-7
圖 3-2 測站颱風降雨時雨量特性：尖峰降雨頻度(測站 1~6)	3-12
圖 3-3 各小時降雨百分率平均與標準差及降雨量平均與標準差比較圖	3-17
圖 3-4 標準化降雨量 LMRD 檢定.....	3-20
圖 3-5 降雨事件多測站降雨量時空變異示意圖	3-20
圖 3-6 多測站降雨量時空分布資料結構示意圖	3-21
圖 3-7 均勻隨機變域之半變異元函數與共變異函數之關係示意圖	3-22
圖 3-8 空間半變異元函數圖.....	3-24
圖 3-9 時間半變異元函數圖.....	3-25
圖 3-10 半變異元函數映射示意圖	3-28
圖 3-11 共變異矩陣轉換於等向性皮爾遜三型隨機變域模擬流程圖	3-30
圖 3-12 $M_{T,S,n}$ 區塊模擬 1000 次平均與標準差	3-33
圖 3-13 $S_{T,S,n}$ 區塊模擬 1000 次平均與標準差.....	3-34

圖 3-14 偏態係數頻度圖.....	3-35
圖 3-15 實際雨量與模擬雨量平均值色階圖	3-36
圖 3-16 實際雨量與模擬雨量標準差色階圖	3-38
圖 3-17 子矩陣(30 × 30)示意圖.....	3-39
圖 3-18 母矩陣(24 × 24)示意圖.....	3-39
圖 3-19 理論相關係數矩陣及模擬樣本相關係數矩陣	3-40
圖 3-20 理論相關係數矩陣與模擬樣本相關係數矩陣誤差	3-41
圖 3-21 測站集水區劃分.....	3-42
圖 3-22 模擬雨量與實際雨量頻度圖	3-43
圖 3-23 模擬雨量與實際雨量累積機率圖	3-44
圖 3-24 區域平均雨量 126(mm)空間分布色階圖(1~6 小時).....	3-47
圖 3-25 區域平均雨量 126(mm)空間分布色階圖(7~12 小時).....	3-48
圖 3-26 區域平均雨量 126(mm)空間分布色階圖(13~18 小時)	3-49
圖 3-27 區域平均雨量 126(mm)空間分布色階圖(19~24 小時)	3-50
圖 3-28 區域平均雨量 297(mm)空間分布色階圖(1~6 小時).....	3-51
圖 3-29 區域平均雨量 297(mm)空間分布色階圖(7~12 小時).....	3-52
圖 3-30 區域平均雨量 297(mm)空間分布色階圖(13~18 小時)	3-53
圖 3-31 區域平均雨量 297(mm)空間分布色階圖(19~24 小時)	3-54
圖 3-32 區域平均雨量 431(mm)空間分布色階圖(1~6 小時).....	3-55
圖 3-33 區域平均雨量 431(mm)空間分布色階圖(7~12 小時).....	3-56
圖 3-34 區域平均雨量 431(mm)空間分布色階圖(13~18 小時)	3-57
圖 3-35 區域平均雨量 431(mm)空間分布色階圖(19~24 小時)	3-58
圖 3-36 區域平均雨量 576(mm)空間分布色階圖(1~6 小時).....	3-59
圖 3-37 區域平均雨量 576(mm)空間分布色階圖(7~12 小時).....	3-60
圖 3-38 區域平均雨量 576(mm)空間分布色階圖(13~18 小時)	3-61
圖 3-39 區域平均雨量 576(mm)空間分布色階圖(19~24 小時)	3-62

圖 4-1 臺北市下水道管線配置圖	4-2
圖 4-2 臺北市人孔配置圖.....	4-2
圖 4-3 臺北市下水道水位站配置圖	4-3
圖 4-4 臺北市局屬與市轄雨量站位置圖	4-3
圖 4-5 基隆市人孔點位及河道斷面	4-4
圖 4-6 基隆市下水道管線及河道	4-4
圖 4-7 歷史淹水調查範圍資料(2018 年 0908 水災).....	4-5
圖 4-8 常用方形 Von Neumann 型示意圖	4-6
圖 4-9 細胞水量轉移流程示意圖	4-6
圖 4-10 CADDIES 模式演算示意圖	4-7
圖 4-11 細胞權重係數計算舉例示意圖.....	4-9
圖 4-12 CADDIES 模式自適應步長示意圖	4-13
圖 4-13 人孔節點與管線輸送演算示意圖	4-15
圖 4-14 雨水蒐集機制示意圖.....	4-18
圖 4-15 二維漫地流模式耦合雨水下水道模式之交互演算流程圖	4-18
圖 4-16 快速都市淹水模式之雙向交互演算機制示意圖	4-20
圖 4-17 快速淹水模式分析流程圖	4-22
圖 4-18 臺北市快速淹水模式模擬分區圖	4-22
圖 4-19 準確率與捕捉率的定義.....	4-23
圖 4-20 2015 年 0614 豪雨文山區淹水模擬比對：SOBEK 模式	4-24
圖 4-21 2015 年 0614 豪雨文山區淹水模擬比對：快速淹水模式	4-24
圖 4-22 2015 年 0614 豪雨大安區淹水模擬比對：快速淹水模式	4-25
圖 4-23 2017 年 0602 豪雨基隆市淹水模擬比對：快速淹水模式	4-25
圖 4-24 2017 年 0602 豪雨基金一路淹水模擬比對：快速淹水模式	4-26
圖 4-25 2017 年 0602 豪雨松山區淹水模擬比對	4-27
圖 4-26 2017 年 0602 豪雨大安區淹水模擬比對	4-28

圖 4-27 2018 年 0908 豪雨松山區淹水模擬比對	4-28
圖 4-28 2018 年 0908 豪雨大安區淹水模擬比對	4-29
圖 4-29 2019 年 0722 豪雨大安區淹水模擬比對	4-29
圖 4-30 2019 年 0722 豪雨大安區大安森林公園淹水時序圖	4-30
圖 4-31 承德路與錦西街口水位站位置圖	4-31
圖 4-32 2018 年 0908 豪雨水位紀錄與模擬水位比對情形	4-31
圖 5-1 第一組(200mm/24hr)時雨量大於 60mm/hr 的機率	5-3
圖 5-2 第二組(350mm/24hr)時雨量大於 60、70mm/hr 的機率	5-4
圖 5-3 第三組(500mm/24hr)時雨量大於 60、70、80mm/hr 的機率	5-5
圖 5-4 第四組(650mm/24hr)時雨量大於 60、70、80mm/hr 的機率	5-5
圖 5-5 防災淹水機率圖製作流程示意圖	5-6
圖 5-6 辛亥路二段 DEM 圖與 200mm/24hr 淹水機率圖	5-7
圖 5-7 基隆路四段 DEM 圖與 200mm/24hr 淹水機率圖	5-8
圖 5-8 基金一路 DEM 圖與 650mm/24hr 淹水機率圖	5-8
圖 5-9 仁一路 DEM 圖與 650mm/24hr 淹水機率圖	5-8
圖 5-10 淹水機率圖圖例.....	5-9
圖 5-11 萬華中正區 200 mm/24hr 降雨淹水機率圖	5-11
圖 5-12 萬華中正區 350mm/24hr 降雨淹水機率圖	5-11
圖 5-13 萬華中正區 500 mm/24hr 降雨淹水機率圖	5-12
圖 5-14 萬華中正區 650mm/24hr 降雨淹水機率圖	5-12
圖 5-15 大同中山區 200 mm/24hr 降雨淹水機率圖	5-13
圖 5-16 大同中山區 350 mm/24hr 降雨淹水機率圖	5-13
圖 5-17 大同中山區 500 mm/24hr 降雨淹水機率圖	5-14
圖 5-18 大同中山區 650 mm/24hr 降雨淹水機率圖	5-14
圖 5-19 中山松山區 200 mm/24hr 降雨淹水機率圖	5-15
圖 5-20 中山松山區 350 mm/24hr 降雨淹水機率圖	5-15

圖 5-21	中山松山區 500mm/24hr 降雨淹水機率圖.....	5-16
圖 5-22	中山松山區 650mm/24hr 降雨淹水機率圖.....	5-16
圖 5-23	松山區 200 mm/24hr 降雨淹水機率圖.....	5-17
圖 5-24	松山區 350 mm/24hr 降雨淹水機率圖.....	5-17
圖 5-25	松山區 500mm/24hr 降雨淹水機率圖.....	5-18
圖 5-26	松山區 650mm/24hr 降雨淹水機率圖.....	5-18
圖 5-27	內湖區 200mm/24hr 降雨淹水機率圖.....	5-19
圖 5-28	內湖區 350mm/24hr 降雨淹水機率圖.....	5-19
圖 5-29	內湖區 500mm/24hr 降雨淹水機率圖.....	5-20
圖 5-30	內湖區 650mm/24hr 降雨淹水機率圖.....	5-20
圖 5-31	南港區 200mm/24hr 降雨淹水機率圖.....	5-21
圖 5-32	南港區 350mm/24hr 降雨淹水機率圖.....	5-21
圖 5-33	南港區 500mm/24hr 降雨淹水機率圖.....	5-22
圖 5-34	南港區 650mm/24hr 降雨淹水機率圖.....	5-22
圖 5-35	大安信義區 200mm/24hr 降雨淹水機率圖.....	5-23
圖 5-36	大安信義區 350mm/24hr 降雨淹水機率圖.....	5-23
圖 5-37	大安信義區 500mm/24hr 降雨淹水機率圖.....	5-24
圖 5-38	大安信義區 650mm/24hr 降雨淹水機率圖.....	5-24
圖 5-39	文山區 200mm/24hr 降雨淹水機率圖.....	5-25
圖 5-40	文山區 350 mm/24hr 降雨淹水機率圖.....	5-25
圖 5-41	文山區 500mm/24hr 降雨淹水機率圖.....	5-26
圖 5-42	文山區 650mm/24hr 降雨淹水機率圖.....	5-26
圖 5-43	士林區 200mm/24hr 降雨淹水機率圖.....	5-27
圖 5-44	士林區 350mm/24hr 降雨淹水機率圖.....	5-27
圖 5-45	士林區 500 mm/24hr 降雨淹水機率圖.....	5-28
圖 5-46	士林區 650mm/24hr 降雨淹水機率圖.....	5-28

圖 5-47 北投區 200mm/24hr 降雨淹水機率圖	5-29
圖 5-48 北投區 350mm/24hr 降雨淹水機率圖	5-29
圖 5-49 北投區 500 mm/24hr 降雨淹水機率圖	5-30
圖 5-50 北投區 650mm/24hr 降雨淹水機率圖	5-30
圖 5-51 基隆市 200mm/24hr 降雨淹水機率圖	5-31
圖 5-52 基隆市 350mm/24hr 降雨淹水機率圖	5-31
圖 5-53 基隆市 500mm/24hr 降雨淹水機率圖	5-32
圖 5-54 基隆市 650mm/24hr 降雨淹水機率圖	5-32
圖 5-55 基隆市 200mm/24hr 降雨淹水機率圖(放大)	5-33
圖 5-56 基隆市 350mm/24hr 降雨淹水機率圖(放大)	5-33
圖 5-57 基隆市 500mm/24hr 降雨淹水機率圖(放大)	5-34
圖 5-58 基隆市 650mm/24hr 降雨淹水機率圖(放大)	5-34
圖 6-1 圖資平台展示淹水潛勢圖	6-1
圖 6-2 圖資平台提供淹水潛勢圖檔案下載	6-1
圖 6-3 歷史淹水點位套疊查詢示意圖	6-2
圖 6-4 歷史淹水範圍套疊查詢示意圖	6-2
圖 6-5 圖資平台自動展示預報淹水機率功能示意圖	6-3
圖 6-6 圖資平台自動展示預報潛勢圖功能示意圖	6-4

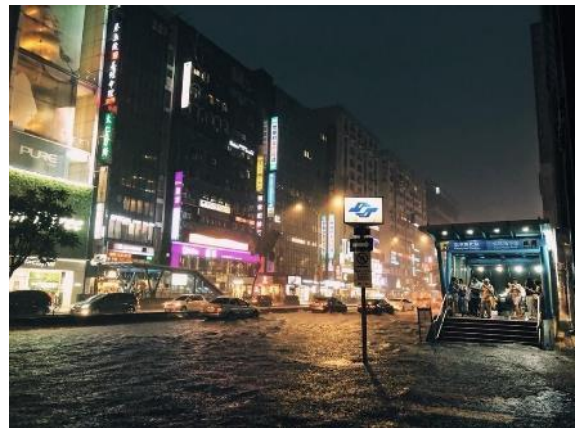
第壹章 前言

1.1 計畫緣起與目的

水利署民國 107 年完成更新第三代淹水潛勢圖資，並公開上網讓民眾瀏覽查詢與下載，第三代淹水潛勢圖資係依據設計 6、12 及 24 小時延時定量降雨情境評估淹水潛勢情形繪製而成，提供水利防災規劃使用。然而近年受到氣候變遷影響，延時 1 至 3 小時的強降雨發生頻率漸增，都會區或低窪地區因排水不及或排水能力不足引起的積淹水頻發。例如 106 年 06 月 01 日水災造成臺灣多處淹水、107 年 8 月下旬的連日豪雨水淹嘉南高屏等縣市，同年 9 月 8 日午後雷陣雨在臺北市與新北市部分地區導致淹水等案例，如圖 1-1 所示，屢破觀測紀錄的短延時強降雨讓現行的淹水潛勢圖無法充分發揮作用，再加上淹水潛勢圖使用的設計雨型與真實降雨的時空分布情形不盡相同，導致淹水潛勢圖的呈現與實際淹水發生的位置仍會存在落差，亦會影響淹水潛勢圖應用於災中應變的決策支援。



2017/06/01 水災-基隆市大武崙溪



2018/09/08 豪雨-臺北市忠孝敦化捷運站



2018/08/23 水災-嘉義縣東石鄉掌潭村

圖1-1 臺灣近年發生的豪雨淹水災害

為補強目前淹水潛勢圖資的不足之處，本計畫將蒐集歷史颱風豪雨事件的降雨量觀測資料，分析其時空分布情形，建立大數據資料庫。資料庫蒐集歷年的降雨量資料可透過時空分布序率模擬模式，衍生推估出模擬用的降雨情境，進行大量的淹水模擬，再構成淹水位置時空分布的資料庫，用以計算特定降雨量下每個位置的淹水機率，繪製成防災淹水機率圖資，在地圖網格上呈現淹水機率，展示各網格的淹水風險程度高低。

水災潛勢風險圖資應用服務系統目前提供淹水潛勢圖與水災風險圖的查詢及預報服務，如圖 1-2 所示，防災淹水機率圖資製作完成後，會將該圖資匯入圖資系統，提供防救災人員情資研判的參考。而且搭配本系統的圖資預報資訊，根據中央氣象局的預報降雨量，即時展示該情境的防災淹水機率圖，以期提供災中預警及決策支援之充足資訊。本計畫亦持續推動水災風險圖資應用服務系統之研發與精進，優化本系統之各項服務功能，俾供颱風期間災害應變情資研判之用。

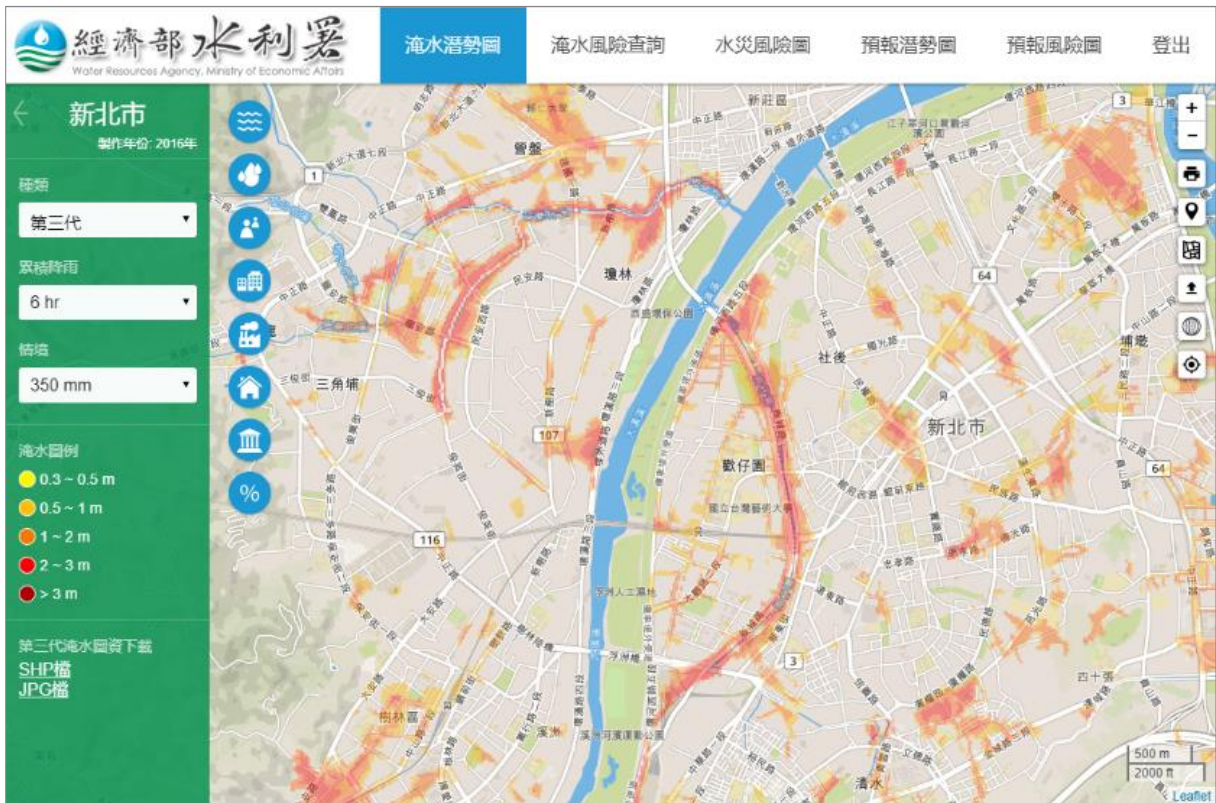


圖1-2 水災潛勢風險圖資應用服務平台介面

1.2 計畫工作項目

(一) 建立暴雨事件大數據資料庫

1. 彙整國內外暴雨資料庫建置方法及序率模擬分析相關文獻。
2. 蒐集中央氣象局及水利署等單位之降雨觀測資料。
3. 研擬整合雨量觀測資料並萃取各類型暴雨之時空分布特性。

(二) 研發暴雨事件降雨量時空分布序率模擬模式

1. 選定一縣市做為研究區域。
2. 分析各類型暴雨期間測站時雨量之機率分布。
3. 分析各類型暴雨降雨延時之機率分布。
4. 分析各類型暴雨期間測站時雨量之時間空間共變異特性。
5. 建立並驗證暴雨降雨量時空分布序率模擬模式。

(三) 建立暴雨事件淹水時空分布資料庫

1. 蒐集研究區域相關地文與排水條件之現況資料。
2. 建立研究區域淹水模式並進行歷史淹水事件模擬。
3. 以歷史淹水事件模擬結果分析淹水深度之時空分布。

(四) 建立暴雨淹水機率預報及防災淹水機率圖資

1. 擬定雨量預報情境。
2. 結合淹水時空分布資料庫，分析各網格之淹水深度機率分布。
3. 將各網格淹水機率圖像化，並建立防災淹水機率圖。

(五) 應用服務維護更新及運算功能精進研發

1. 蒐集本署已公開之第三代淹水潛勢圖資並更新至系統資料庫。
2. 蒐集歷史淹水事件並更新至系統資料庫。
3. 結合特定延時預報雨量展示防災淹水機率圖。
4. 更新與精進即時篩選淹水潛勢圖及防災淹水機率圖。

1.3 以往相關之研究與計畫

1.3.1 序率暴雨模式

由過去之研究成果，暴雨事件之延時與總降雨量密切相關，構成一組雙變數機率分布，故序率暴雨連續模擬模式之一項核心工作為空間、時間雙變數聯合分布之序率模擬。本計畫依據雙變量伽瑪分布模擬之方法，利用水文頻率分析中的頻率因子(frequency factor)關係式，進行雙變數伽瑪分布之繁衍。本計畫可解決過去無法直接使用雙變量伽瑪分布之參數設定而模擬雙變量伽瑪分布之問題，並只需透過頻率因子即可進行雙變量伽瑪分布之模擬。研究結果亦顯示模擬產生之隨機向量具有假設之單變量分布且可掌握兩變量之相關係數。

根據觀測紀錄顯示降雨事件延時與總降雨量呈現具有偏態型式之分布，可利用雙變數聯合分布描述此兩變量之統計特性。本計畫使用一個依據頻率因子(frequency factor)為基礎之雙變數聯合分布模擬模式，並利用頻率因子轉換，可將各種隨機變數之模擬轉換為標準常態分布之模擬，亦可將非常態雙變數聯合分布之模擬轉換為雙變數標準常態分布之模擬；在此以雙變數伽瑪分布為例，在進行利用雙變數標準常態分布以得到雙變數伽瑪分布之模擬時，需知道雙變數標準常態分布與雙變數伽瑪分布兩者間相關係數之轉換關係，才可進行雙變數伽瑪分布之模擬。而本計畫成功推導出兩者相關係數之轉換式，並證明該轉換關係呈現一對一之對應關係，如圖 1-3 說明本計畫雙變數伽瑪分布模擬之流程。

不同類型分布之雙變數聯合分布模擬(例如颱風雨事件之延時與事件總降雨量為迦瑪截斷分布與對數常態分布之雙變數聯合分布)，則可將兩個不同機率分布之隨機變數分別利用其頻率因子轉換為標準常態變量，並推行不同類型分布之雙變數聯合分布相關係數與對應之雙變數標準常態分布相關係數之轉換關係。

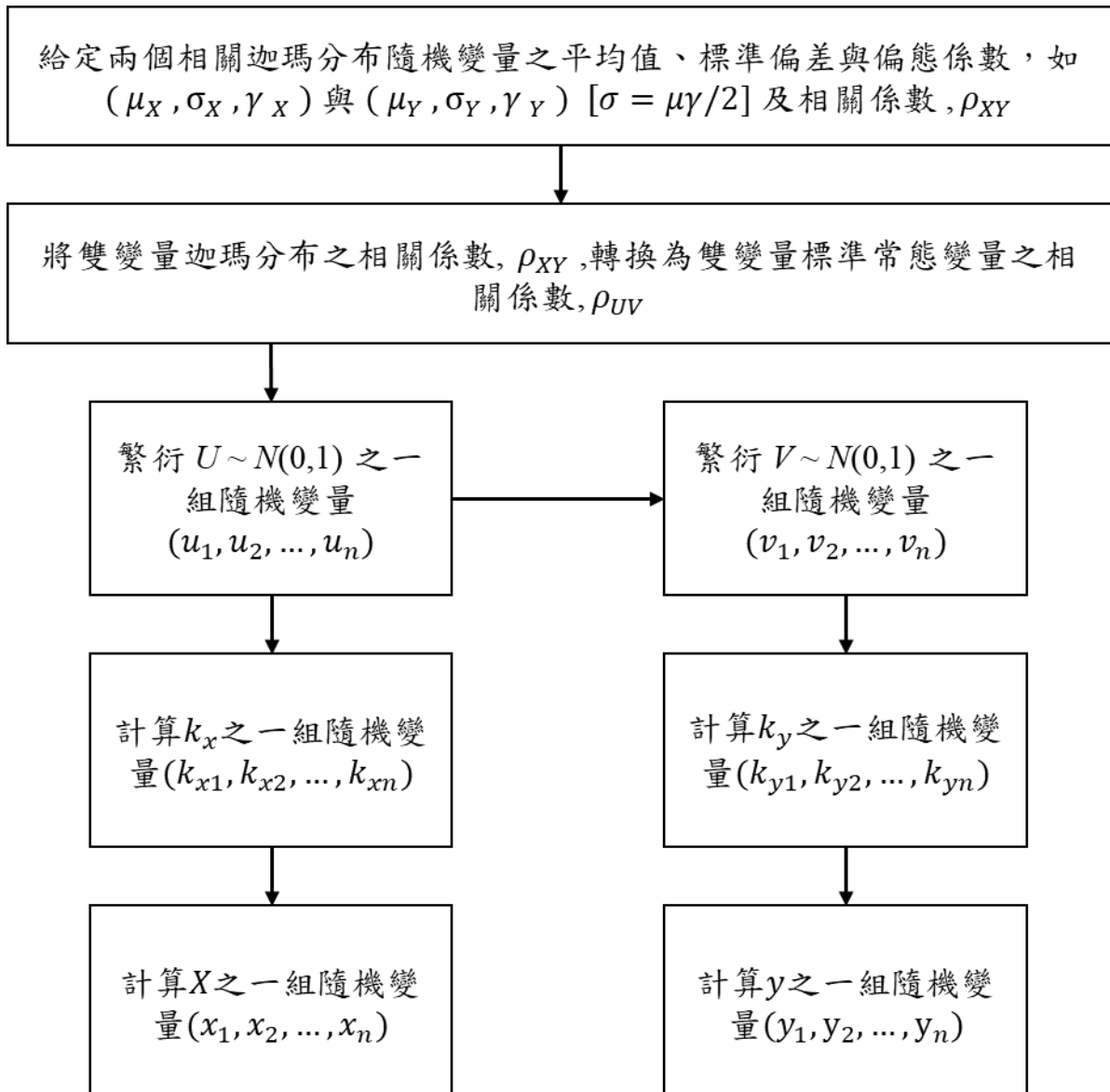


圖1-3 雙變量伽瑪分布序率模擬之示意圖

完成降雨延時、總降雨以及降雨事件間距之模擬後，需針對事件總降雨量適當地分配於事件延時之各時段，本計畫參考 Cheng et al.,(2001)所提出之無因次且具尺度不變性之雨型於降雨歷程之隨機模擬，將降雨延時依各暴雨類型切割成適當個數之時段，以臺灣地區颱風雨為例，將其雨量切割成 24 個時段，並將各時段之降雨百分率(即無因次降雨量)之時間變化利用一階伽瑪馬可夫歷程(first order gamma Markov process)模擬之。對於淹水規劃設計而言，為能掌握降雨歷程中最重要的為降雨的尖鋒發生時間，在進行一階伽瑪馬可夫歷程模擬時，先產生尖鋒發生時間，再由尖鋒發生的時間點，分別往前面以及後面的時段模擬降雨百分率。且由觀測資料的分析結果研

究中發現，每個等分的資料特性為一個截斷迦瑪分布。並且截斷迦瑪分布的模擬需先找出其所對應非截斷迦瑪分布以及截斷值，才能進行後續的模擬。而尖鋒發生時間的尖鋒降雨百分比為此事件的最大值，因此在模擬的過程中，需加上非尖鋒時刻等分的降雨百分率不可能大於尖鋒時刻的條件，以使整個降雨百分率的模擬符合實際情況。隨機歷程模式可描述各時段無因次降雨量之遺傳效應，並可掌握尖鋒發生時間、尖鋒降雨百分率。

1.3.2 快速都市淹水模式

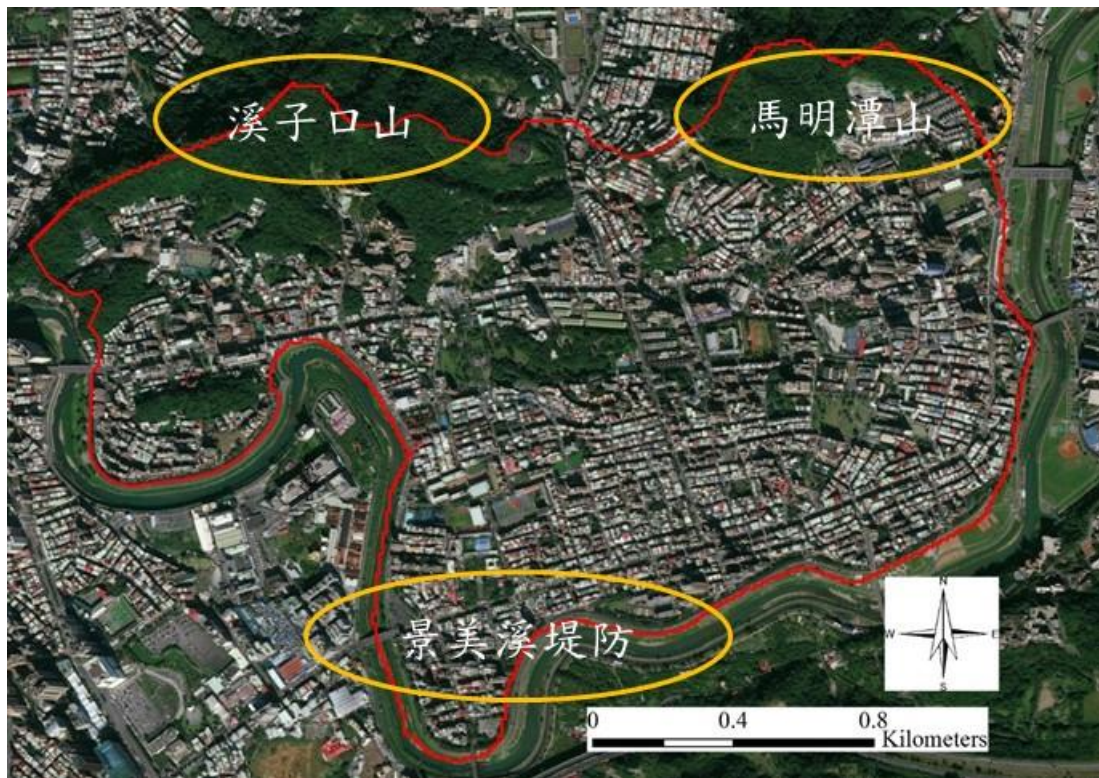
傳統都市淹水模式係以求解淺水波方程式之二維漫地流模式結合一維雨水道模式進行淹水模擬，此方法發展多年以來已有相當的成果與應用之處，如臺灣第二代以及第三代淹水潛勢圖等，但此法有一缺點：模擬時間過長，難以作為多種降雨延時、降雨強度情境以及即時淹水模擬使用。因此本計畫採用二維快速漫地流模式替代二維傳統漫地流模式，並將其與一維雨水下水道模式耦合，藉以建立快速都市淹水模式。

近年來因暴雨發生機率漸增，都市地區淹水所造成的損失慘重，故都市高淹水潛勢地區的評估顯得相當重要，以往多以二維地表淹水結合一維雨水下水道之交互演算模式來模擬淹水範圍與深度，此模式雖然準確，但計算耗時，往往只能在非災害發生期間預先模擬完幾種降雨情境，找出易淹水之區域，再擬定減災與防災策略，此種做法缺乏當下水文條件的考量，如前池水位、下水道水位等，模擬結果會產生遺漏之處。本計畫著眼於都市淹水的快速評估的重要性，採用的快速都市淹水模式可以利用當前時刻之觀測資料以及降雨預報資料進行即時淹水評估，並可以進行數百場水文情境模擬，增加模擬結果與實際情形的貼合度。

本計畫使用臺灣大學與英國艾克斯特大學水系統中心(Centre for Water Systems, University of Exeter)研究團隊共同研發基於細胞自動機概念(Cellular automaton)發展之快速都市淹水模式 Cellular Automata Dual-Drainage Simulation(簡稱 CADDIES)，將其進行改良(Ghimire et al., 2013、

Guidolin et al., 2016)，並與艾克斯特大學水系統中心進行合作，臺灣大學方完成二維快速漫地流模式與一維雨水下水道模式耦合，並能夠依據降雨空間分布指定各計算網格的雨量輸入值以及考量各種土地覆蓋的排水情況。

臺灣大學過去曾經以文山區木柵次分區等區域進行研究，如圖 1-4 所示(林吉堃，2018)，針對快速都市淹水模式與都市傳統淹水模式(FLO-2D)之演算效率比較，以兩場降雨事件評估兩種模式之演算時間：於 101 年 0612 豪雨事件時，快速都市淹水模式與都市傳統淹水模式花費的計算時間分別為 8 分鐘與 56 分鐘；於 101 年 0616 暴雨事件時，快速都市淹水模式與都市傳統淹水模式之計算時間分別為 6 分鐘與 39 分鐘。本測試顯示在該研究區域下，快速都市淹水模式模擬時間只需要都市傳統淹水模式的 15%。



林吉堃，2018

圖1-4 木柵次分區俯瞰圖

1.3.3 淹水潛勢圖

我國的淹水潛勢圖係從 88 年起，由行政院國家災害防救科技中心辦理全臺第一次淹水潛勢圖的製作計畫，於 2001 年完成臺灣地區 22 縣市淹水潛勢圖的分析與製作。95 年，內政部完成全國數值高程更新之工作，土地數值高程資料精度提高，所以在 96 至 97 年間，由經濟部水利署規劃進行全臺的第二代淹水潛勢圖之製作，其中於 97、98 年進行更新時，除原本 40m x 40m x 0.1m 之空間精度外，更針對都會區增加 20 公尺 x 20 公尺 x 0.1 公尺或 10 公尺 x 10 公尺 x 0.1 公尺的空間精度。103 年至 105 年間，為因應近年在降雨形態、地形地貌、基礎建設、以及水利工程等各方面的變化，水利署著手進行第三代淹水潛勢圖的更新，於 107 年完成臺灣本島 19 縣市不同降雨情境下的淹水潛勢圖資製作，以及圖資審議程序，並公開上網提供民眾查詢瀏覽。第三代淹水潛勢圖如圖 1-5 所示，國內淹水潛勢圖製作歷程與模擬情境說明的範例可參考表 1-1，一部分相關研發應用之研究如表 1-2 所列舉，圖 1-6 為歷代淹水潛勢圖的條件與規格之比較。

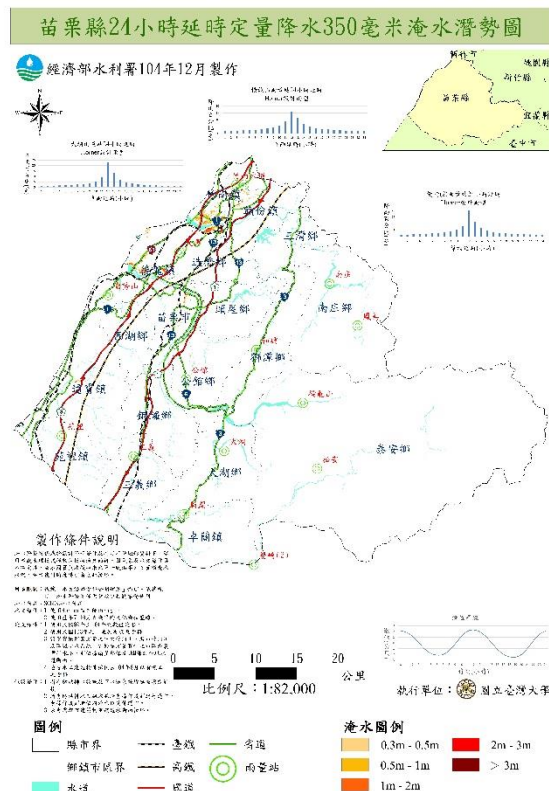


圖1-5 第三代淹水潛勢圖

表 1-1 我國淹水潛勢圖製作歷程

項目 年份	製作單位	範圍	降雨延時
96 年 第二代	中興工程	臺中縣市、南投縣、高雄 縣市、屏東縣	24 小時
97 年 第二代	中興工程	新竹縣市、苗栗縣	24 小時
	臺灣大學	宜蘭縣、花蓮縣、臺東縣	24 小時
98 年 第二代	中興工程	嘉義縣市、臺南縣市	24 小時、48 小時、72 小時
	臺灣大學	基隆市、桃園縣、臺北 市、臺北縣	24 小時、48 小時、72 小時
		彰化縣、雲林縣	24 小時、48 小時、72 小時
103 年 第三代	逢甲大學	臺中市	6 小時、12 小時、24 小時
	臺灣大學	高雄市	6 小時、12 小時、24 小時
	環興工程	屏東縣	6 小時、12 小時、24 小時
104 年 第三代	臺灣大學	新竹縣、新竹市、苗栗 縣、彰化縣、宜蘭縣	6 小時、12 小時、24 小時
	環興工程	雲林縣	6 小時、12 小時、24 小時
	巨廷工程	嘉義縣、嘉義市	6 小時、12 小時、24 小時
	成功大學	臺南市	6 小時、12 小時、24 小時
105 年 第三代	環興工程	臺北市	6 小時、12 小時、24 小時
	臺灣大學	新北市、基隆市	6 小時、12 小時、24 小時
	巨廷工程	桃園市	6 小時、12 小時、24 小時
	逢甲大學	南投縣、花蓮縣、臺東縣	6 小時、12 小時、24 小時
淹水潛勢圖 製作背景說明	<p>淹水潛勢圖係基於設計降雨條件及特定年份地形資料下，運用客觀水理模式經數值模擬演算而得。因氣象及水文條件具不確定性，故本圖資無法模擬未來單一颱風事件之實際淹水狀況，參考使用時應特別留意此情形。</p> <p>用途限制：依據「水災潛勢資料公開辦法」辦理。依其規定，淹水潛勢圖僅供防救災相關業務使用。</p> <p>淹水模式：SOBEK 淹水模式。</p> <p>水文條件：1.使用 Horner 設計降雨雨型。 2.使用歷年 7-10 月大潮平均高低潮位歷線。</p> <p>地文條件：1.使用民國 99 年至 104 年之數值地形。 2.使用民國 102~104 年之土地利用調查資料。 3.設置實施斷面測量之中央管河川、縣市管河川及區域排水系統。對於無測量資料之市區或農業排水路，則依據衛星影像及 DEM 佈設合理水道斷面。 4.重要水工建造物係採民國 103~105 年 6 月以前完工之資料。</p> <p>假設條件：1.所有防洪排水設施及下水道系統皆無破壞或毀損。 2.所有防洪排水設施依照既有操作規則進行運作，無操作規則者依內外水位關係運作。 3.未考慮都市建築物阻礙通水斷面情形。</p>		

表 1-2 我國淹水潛勢圖資相關應用研發計畫

年份	應用之計畫名稱	示範區域
96 年	水利防洪設施受新類型災害之脆弱度與調適度分析(1/2)	臺北市
97 年	水利防洪設施受新類型災害之脆弱度與調適度分析(2/2)	雲林縣、嘉義縣市
98 年	淹水潛勢圖應用科技之研究--淹水預警系統更新(1/2)	宜蘭縣、雲林縣、屏東縣
98 年	脆弱度及風險地圖分析方法研究	林邊鄉、佳冬鄉
99 年	淹水潛勢圖應用科技之研究-淹水預警系統更新(2/2)	全臺灣
99 年	高屏溪、東港溪及高雄市、高雄縣、屏東縣脆弱度及風險地圖製作示範	高雄縣市、屏東縣
100 年	曾文溪、北港溪、八掌溪、朴子溪、急水河流域與台南市、嘉義市、嘉義縣脆弱度及風險地圖製作	嘉義縣市、臺南市
100 年	全國海岸海岸溢淹潛勢圖資製作之研究(1/2)	北海岸、中部海岸
101 年	全國海岸海岸溢淹潛勢圖資製作之研究(2/2)	西南部與花蓮海岸
101 年	台灣脆弱度及風險地圖製作與整合應用(1/2)	全臺灣
102 年	台灣脆弱度及風險地圖製作與整合應用(2/2)	全臺灣
102 年	全國淹水潛勢圖資更新及整合先期計畫	全臺灣
104 年	水災潛勢風險圖資更新研發及加值應用	全臺灣
105 年	水災風險圖資決策支援服務建置及應用(1/2)	全臺灣
106 年	水災風險圖資決策支援服務建置及應用(2/2)	全臺灣
107 年	107 年水災風險圖資決策支援技術精進研發	全臺灣

國內淹水潛勢圖製作演進

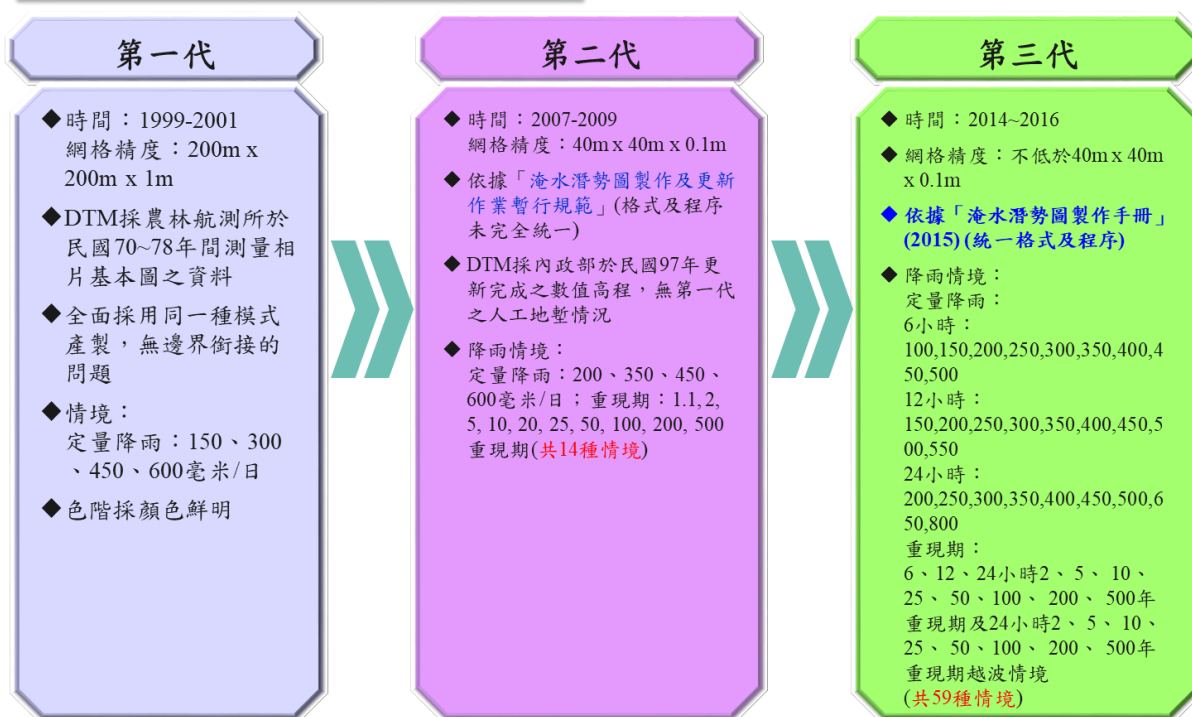


圖1-6 我國歷代淹水潛勢圖的條件與規格比較表

第貳章 建立暴雨事件大數據資料庫

2.1 彙整國內外暴雨資料庫建置方法及序率模擬分析相關文獻

臺灣位處西太平洋邊緣，每年受到不同類型天氣系統影響，導致降雨之主要類型會因季節而有所不同。一般而言，可大致分為梅雨(5~6月)、對流雨(7~10月)、颱風降雨(7~10月)及鋒面雨(11~4月)等四類。暴雨事件之降雨時間分布、降雨空間分布、降雨事件延時等特性亦會隨著暴雨類型而異。

本計畫擬針對不同暴雨類型，建立暴雨事件時空序率模擬模式，故需先收集研究區域內各雨量站歷史降雨紀錄，並擷取各暴雨類型之暴雨事件降雨量時間數列，再經由分析各暴雨類型事件之降雨特性，建立暴雨時空分布序率模擬(Storm rainfall spatiotemporal simulation)模式，後續再進行模擬，繁衍不同暴雨類型事件數量龐大之降雨量時空分布出象(outcome)或實現值(realizations)。

本計畫之暴雨事件大數據資料庫包含：(1)歷史觀測資料所擷取之各暴雨類型之暴雨事件各測站降雨量時間數列，及(2)模擬之各暴雨類型之暴雨事件各測站降雨量時間數列。

雖然降雨量頻率分析為水文分析之基礎，但環顧國內相關文獻，並未發現有針對各暴雨類型建立暴雨事件多測站時空降雨量資料庫之先例。我國中央氣象局雖有針對個別颱風事件建立其相關氣象觀測資料查詢系統，但尚無以事件為對象之多測站降雨量資料庫建置，故暴雨事件大數據資料庫之建立為本計畫之創新構想。尤其本計畫所收集的暴雨事件降雨量，將可被應用於設計降雨之雨型分析以及以事件最大降雨量為基礎之水文頻率分析。

2.1.1 暴雨資料庫建置方法

暴雨事件的合理選取，對於暴雨資料庫之建置有著重大影響。Restrepo et al. (1982)年針對降雨事件之切割方面，提出最小降雨事件間距符合指數分布，亦推導出於濕季時，平均年雨量、平均降雨季節長度與降雨事件間隔時間之相關式。該切割完成之序列事件互相獨立，且符合卜松歷程。Bonta et al. (1988)比較級序相關係數法與指數法於決定降雨最小間隔時間，使得可成功切割出獨立之降雨事件；研究結果顯示指數法較適用於降雨事件之切割，即假設降雨間隔時間為指數分布。Bonta(2001)指出降雨最小間隔時間會和月份及位置有關，以研究區域範圍之最小間隔時間作等值圖，為估測其他未設站地點之最小間隔時間的最好方法。張守陽等人(1995)以北部地區之中央氣象局測站進行暴雨事件分析，分析年限約在 39 年以上，找出時雨量大於 30mm 之暴雨事件，篩選出降雨事件以進行雨型設計，所採用之降雨事件間距(inter-event time)為 3 小時。許恩菁(1999)、鄭等(1999)以水利署之雨量測站進行暴雨事件分析，提出以 4 小時作為降雨事件間距，並由設計延時 1、2、3、4、6、12、18、24、48、72 之年最大降雨序列找出其對應之年最大暴雨事件；最後顯示長短設計延時對應到之事件並不相同，故採用無因次累積雨型、四分點、尖峰降雨與尖峰時間等雨型特性參數進行分析，發現長短延時之降雨事件為不同之降雨機制，應分開處理。由上述文獻可將暴雨資料庫建置方法分為兩大原則：

(一)蒐集選定測站之雨量資料：

必須使用紀錄期限長且資料正確性良好之雨量資料，因水文頻率分析之最小設計延時採 1 小時，故蒐集之雨量資料需為時雨量資料。水利署與氣象局屬測站(測站 1~16)紀錄年分較長優先選取，紀錄最早自 1958~2018 年。自記站設置年代較晚，但記錄時間較為一致，紀錄年分為 1985~2017 年。自記站選用考量地理位置，增加測站涵蓋研究區域密度，以求抓取更完整的空間變異特性。

(二) 萃取暴雨事件：

臺灣地區之降雨量之季節變化極為明顯，主要之雨量是由春季之梅雨與夏秋季之對流雨、颱風雨所造成。每年之 11 月至次年 4 月為乾季，降雨量多為鋒面型降雨，佔全年之總降雨量 25% 左右(行政院農委會 92 年度科技研究計劃研究報告「氣候變遷對降雨時空分布特性影響之探討(2/2)」，2003)。本計畫便將暴雨事件分為冬季鋒面雨(11~次年 4 月)、梅雨(5~6 月)、夏季對流雨及颱風雨(7~10 月)等四種類型降雨，依照不同之發生時期、事件延時長度、降雨事件發生間距和降雨強度等降雨水文參數來萃取暴雨事件。

2.1.2 序率模擬分析

序率模擬為利用電腦繁衍具給定統計特性的隨機變數或隨機歷程大量樣本或實現值的技術，此技術已被廣泛應用於水文、氣象、環境與製造業等各領域，尤其是針對風險管理或不確定性分析。本計畫研究暴雨事件之時間空間分布，並建立降雨量時空變異之序率模式，最後繁衍大量暴雨事件之多測站降雨量時間數列。

在模擬暴雨事件之隨機歷程之前，需先分析降雨事件之統計特性，包含降雨事件延時、總降雨量、降雨事件間距等。不同類型的暴雨，如颱風、梅雨、對流雨、鋒面雨之特性也不同，需分開討論。

在降雨歷程方面，Koutsoyiannis et al. (1993) 提出單一尺度不變性模式 (Simple scaling model)，其考慮具定常性的瞬時降雨量在時間上的分布，及描述各時刻增加的降雨深度。由於尺度不變性可證明降雨歷程中之降雨增量、累積降雨量、事件總降雨量滿足尺度不變性(scale-invariant)，雖然假設降雨歷程為平穩歷程(stationary process)，然而上述特性對非平穩歷程(non-stationary process)事實上亦成立。

廖元熙(1992)利用序率水文模式產生大量可能的合成流量，對水庫系統進行序率模擬分析，藉此進行缺水風險分析，以了解未來發生缺水狀況的各種可能，展示序率模擬的優點：兼顧系統的各種可能性，包含在過去歷史未

發生的情況。許恩菁(1999)以序率觀點進行雨型設計之研究，考慮非定常性的降雨歷程，並掌握尖峰時間與尖峰降雨的特性。其研究建立之暴雨雨型視每一場降雨事件為一隨機歷程，考慮每個時刻之序列符合常態分布，以一階高斯馬可夫歷程敘述水文條件的遺傳效應，以序率方法得到具最大概似度的雨型。吳進龍(2002)利用序率模擬概念，繁衍暴雨連續歷程，研究中選定濁水溪流域內的 12 個雨量站，將時雨量資料分成鋒面雨、梅雨、對流雨及颱風四種類型，並針對不同類型之降雨事件分析其統計特性、進行模擬。研究中之降雨事件間距為指數分布，以卜阿松歷程模擬；各類型降雨事件延時和總降雨量則以聯合雙變數指數分布模擬。以模擬之降雨特性(降雨事件總降雨量、延時、發生間距)的標準差和觀測資料降雨特性的標準差進行比對，發現暴雨歷程之連續模擬結果，確定能掌握降雨統計特性及歷程特性。

吳宜珍(2011)研究石門水庫集水區之空間相關性，建置空間相關性之颱風降雨模式，提出一多雨量站颱風事件降雨量之序率模擬，即多變量伽瑪隨機變數模擬法模擬各站年颱風事件的總降雨量，配合 8 種氣候變遷情境設定，評估不同的氣候變遷情境對集水區年颱風事件雨量降雨量的影響。謝心怡(2014)提出以多變量伽瑪隨機變數之序率模擬，研究嘉南地區 12 個流量站在時間及空間上的變化，可知灌區各旬缺水率的機率分布，以作水資源規劃的參考。研究中將各隨機變數標準化以消除絕對時間、位置的特性，再以非等向性半變異元模式建立時間-空間變異結構。將多變量伽瑪隨機變數模擬法的應用延伸到時間及空間的二維環境，其模擬流程如圖 2-1 所示。

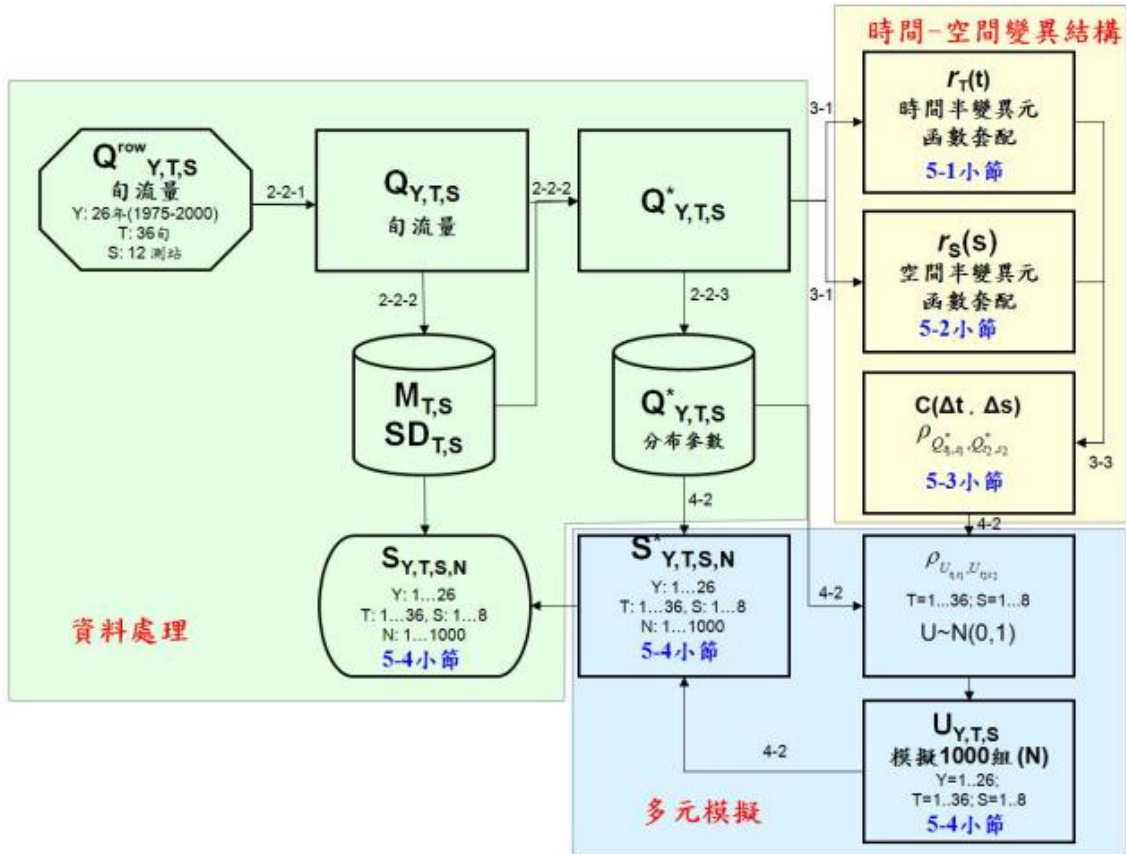


圖2-1 時空多元變數模擬流程圖(謝心怡，2014)

蘇冠銘(2014)的研究考慮空間相關性，由半變異元模式建立共變異矩陣，進行多變量伽瑪隨機變數之序率模擬，繁衍颱風事件各延時的雨量頻率因子，再以水文頻率分析通式轉換成模擬降雨量，計算頻率分析之重現期雨量值。應用此序率模擬技術能改善傳統頻率分析方法，計算多測站雨量超越某一定值的重現期。謝景翔(2017)應用雙變數截斷伽瑪分布進行宜蘭雨量站之序率暴雨模擬，繁衍颱風事件之時雨量。其研究將颱風事件隨時間之變化視為一非平穩性伽瑪馬可夫歷程，結果顯示此方式保留了歷史雨量資料之統計特性(平均值、標準差、偏態係數、一階自相關係數)。其方法可作為極端降雨下對氣候變遷之衝擊評估。

透過前述研究的發展，本計畫所採用的序率暴雨模擬模式建置流程步驟如圖 2-2，各流程步驟的詳細說明將在右側標示的章節進行說明。

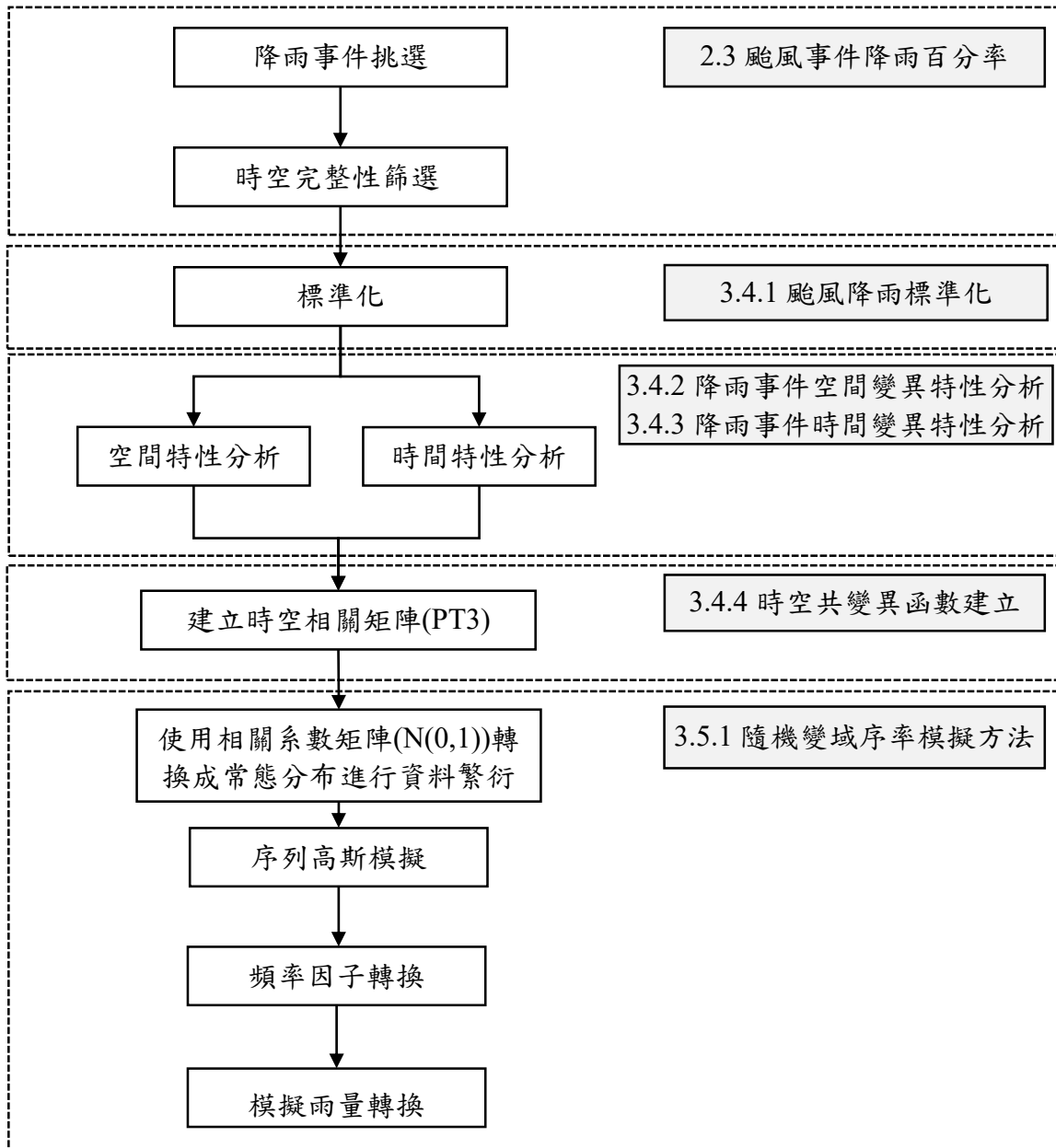


圖2-2 颱風時空相關降雨模擬流程圖

2.2 蒐集中央氣象局及水利署等單位之降雨觀測資料

本計畫的降雨量分析研究地區考量雨量站的地理分布稠密度、觀測年限長度以及觀測資料的完整性，選擇以雨量站分布密集，且觀測紀錄資料充足之大臺北地區與基隆市進行分析，研究範圍為淡水河流域，內有大漢溪、新店溪、基隆河、三峽河、景美溪、北勢溪、疏洪道等支流，流域總面積為 2,726 平方公里，佔臺灣本島總面積一成左右。使用北部水利署 11 個雨量站、中央氣象局的 5 個局屬專業氣象站，以及 14 個氣象局自動雨量站站之觀測雨量資料，資料型態皆為小時(hr)雨量。各站雨量資料長度為 21 年以上，最長紀錄年份為 1958-2018 年。各測站的地理位置分布如圖 2-3，基本資料如表 2-1。

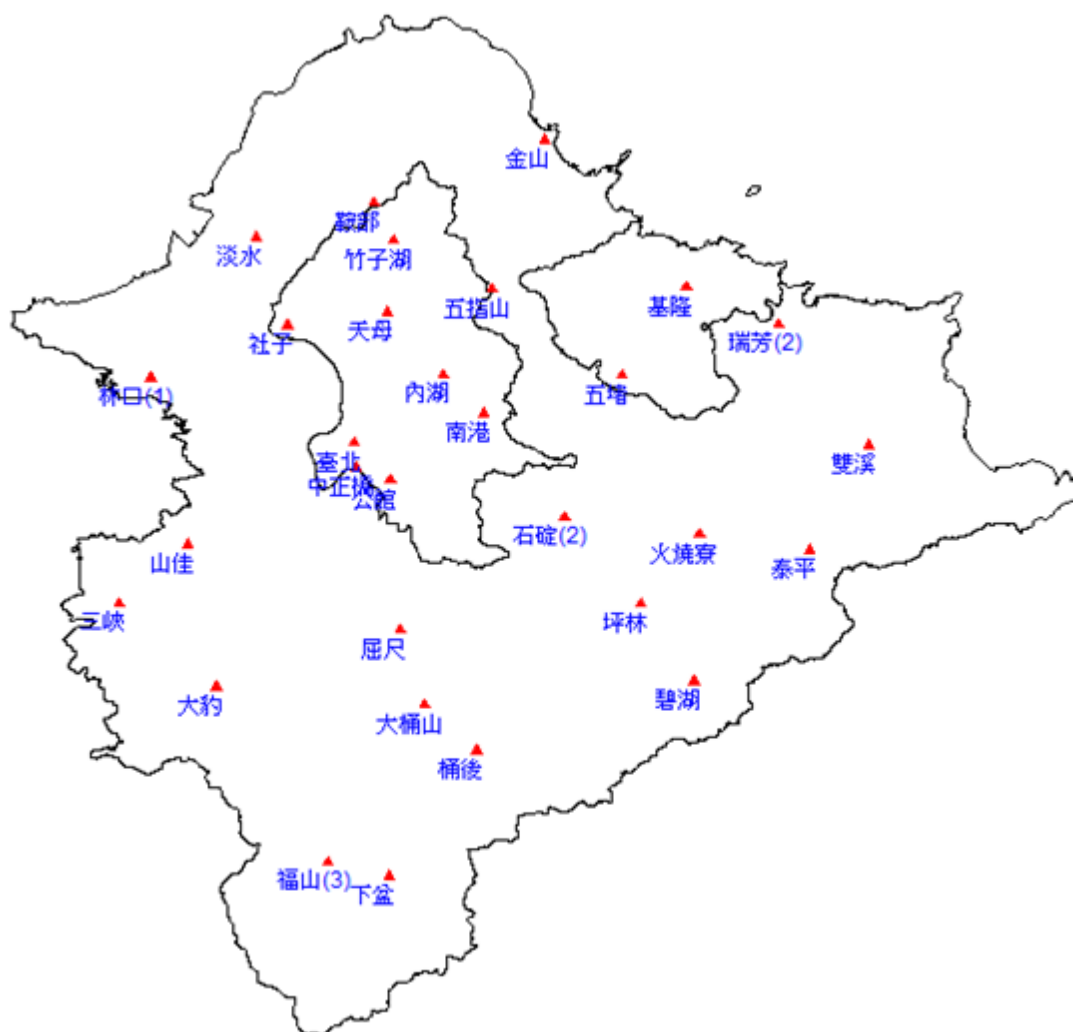


圖2-3 研究地區雨量測站分布圖

表 2-1 研究地區雨量測站基本資料表

站號	站名	經度	緯度	分屬	縣市	紀錄年分	分析年數
00A130	石碇(2)	121.658	24.9916	水利署	新北市	1971-2018	35
01A160	林口(1)	121.377	25.0772	水利署	新北市	1974-2018	37
01A190	碧湖	121.746	24.8908	水利署	新北市	1971-2018	37
01A200	火燒寮	121.749	24.981	水利署	新北市	1958-2018	37
01A210	大豹	121.421	24.8872	水利署	新北市	1974-2018	37
01A220	三峽	121.356	24.9389	水利署	新北市	1980-2018	30
01A380	瑞芳(2)	121.803	25.1103	水利署	新北市	1981-2018	34
01A410	中正橋	121.516	25.0219	水利署	新北市	1978-2018	36
01A430	福山(3)	121.497	24.7798	水利署	新北市	1978-2018	36
01A440	大桶山	121.563	24.8762	水利署	新北市	1979-2018	35
01B030	五堵	121.697	25.079	水利署	基隆市	1965-2018	35
466900	淡水	121.448	25.1638	氣象局	新北市	1960-2018	37
466910	鞍部	121.528	25.1847	氣象局	臺北市	1960-2018	37
466920	臺北	121.515	25.0378	氣象局	臺北市	1960-2018	37
466930	竹子湖	121.542	25.1621	氣象局	臺北市	1960-2018	37
466940	基隆	121.74	25.133	氣象局	基隆市	1960-2018	37
C0A520	山佳	121.402	24.9749	自記站	新北市	1985-2017	31
C0A530	坪林	121.709	24.9382	自記站	新北市	1985-2017	29
C0A550	泰平	121.824	24.9712	自記站	新北市	1985-2017	29
C0A570	桶後	121.598	24.8482	自記站	新北市	1985-2017	31
C0A580	屈尺	121.546	24.9224	自記站	新北市	1985-2017	31
C0A870	五指山	121.609	25.1322	自記站	新北市	1985-2017	25
C0A890	雙溪	121.864	25.036	自記站	新北市	1985-2017	25
C0A940	金山	121.644	25.2236	自記站	新北市	1985-2018	23
C0A980	社子	121.47	25.1095	自記站	臺北市	1985-2017	21
C0A9C0	天母	121.537	25.1175	自記站	臺北市	1985-2017	21
C0A9F0	內湖	121.576	25.0794	自記站	臺北市	1985-2017	21
C0A9G0	南港	121.603	25.0554	自記站	臺北市	1985-2018	22
C1A630	下盆	121.539	24.771	自記站	新北市	1985-2018	31
C1A730	公館	121.54	25.0144	自記站	臺北市	1985-2018	31

2.3 研擬整合雨量觀測資料並萃取各類型暴雨之時空分布特性

本計畫蒐集大臺北地區以及基隆市全部雨量站的歷年降雨量觀測資料，依據前述的四種類型降雨(梅雨、對流雨、颱風雨、鋒面雨)將觀測雨量資料進行分類。考量颱風影響期間除強烈雨勢亦伴隨強風發生，且若同時間發生淹水情事，導致人力物力損失可能較其他三類降雨嚴重，因此決定先以颱風雨類型的降雨量資料進行時空分布特性的分析。此外本區域雨量站密度較高，且記錄較為完善有利於後續降雨時間、空間資料分析與繁衍。

首先根據中央氣象局颱風資料庫(Typhoon Database)紀錄中，有發警報颱風列表之颱風發生時間為參考基礎，由各測站歷年雨量紀錄挑選颱風發生期間時雨量資料。以颱風發布時間為起始參考點，採移動窗格沿時間軸往較早時間方向搜尋。當連續四小時降雨量為零，也就是降雨量為零的時雨量連續出現四次時，第一個降雨量為零所對應的小時即是該場颱風雨降雨事件之起始時間。颱風雨事件結束時間判斷與起始時間相似，以颱風發布時間後 24 小時為結束參考點，經移動窗格沿時間軸往較晚時間方向搜索，當連續四小時降雨量為零，則選定四小時中的第一個小時為該場颱風降雨事件之結束時間。颱風降雨事件起訖時間確定後，再以移動窗格尋找 24 小時累積雨量最大之發生時間區間，並以此 24 小時時雨量紀錄作為該場颱風於該測站之颱風雨降雨量。

初步挑選颱風事件紀錄由 1978 年至 2018 年，共計 41 年颱風事件有 213 場，每場降雨紀錄 24 小時時雨量。為顧及時間及空間方向資料完整性，再透過降雨強度與降雨百分率的分析，做更進一步的颱風事件挑選。

(一)降雨強度篩選

初步挑選之颱風雨事件其降雨強度需大於等於 2(mm/hr)，不符合之降雨事件予以剔除。理想狀態下颱風事件發生時，研究範圍中 30 個測站皆發生降雨，並能夠測得最大之 24 小時累積降雨量。單一測站最大 24 小時累積降雨量可求出平均降雨強度。挑選颱風事件時以所有測站平均降雨強度

之平均為門檻，30 測站平均降雨強度之平均大於等於 2(mm/hr)之颱風事件始選作後續分析使用。

(二)颱風事件降雨百分率

為分析颱風降雨特性，首先將 24 小時的各小時的時雨量除以颱風降雨事件總雨量，計算各個時雨量佔該場颱風總雨量之百分比。將颱風事件時雨量計算為降雨百分率，可消除颱風事件強度不同造成的差異，以了解 24 小時降雨歷程中不同小時降雨佔總雨量多少百分比。24 小時中最高降雨百分率是為尖峰降雨百分率，可顯示一場 24 小時的颱風降雨，強度最高之降雨發生於哪一小時。

24 小時降雨百分率累加後為 100%，能比較不同場颱風降雨在 24 小時間降雨特性。時雨量轉以降雨百分率呈現，即是該小時降雨佔整場降雨之百分比，降雨百分率越高表示雨量越集中於少數小時內，例如：單小時降雨百分率高達 70%，也就顯示該場颱風總降雨有 70%集中於一小時內，其餘 23 個小時降雨量極低甚至為 0。檢視 213 場颱風降雨百分率發現，少數颱風降雨百分率出現極高的單小時降雨百分率，如圖 2-4 所示，其中 X 軸為時間(小時)，Y 軸為降雨百分率(%)。

若 24 小時內降雨量為 0 之小時數過多，則形成時間軸上降雨量紀錄的不連續，無法彰顯雨量隨時間變化而變動之特性。故針對 213 場颱風事件進行挑選，24 小時降雨量須至少三分之二以上時間降雨量不為 0。同時為了維持空間上降雨紀錄足夠，以呈現該颱風事件於研究地區形成的空間降雨變化，同一颱風需於總測站數三分之二以上測站造成降雨。上述篩選條件要求颱風降雨紀錄須滿足：24 小時中至少 16 小時有降雨紀錄，以及颱風事件至少需 20 個測站有降雨紀錄。依上述條件針對 213 個颱風事件進行篩選後，可發現總降雨量低卻具有極高尖峰降雨百分率的颱風降雨事件已經被篩除，如圖 2-5 所示，留下 83 場適合進行後續降雨特性分析之颱風降雨事件。

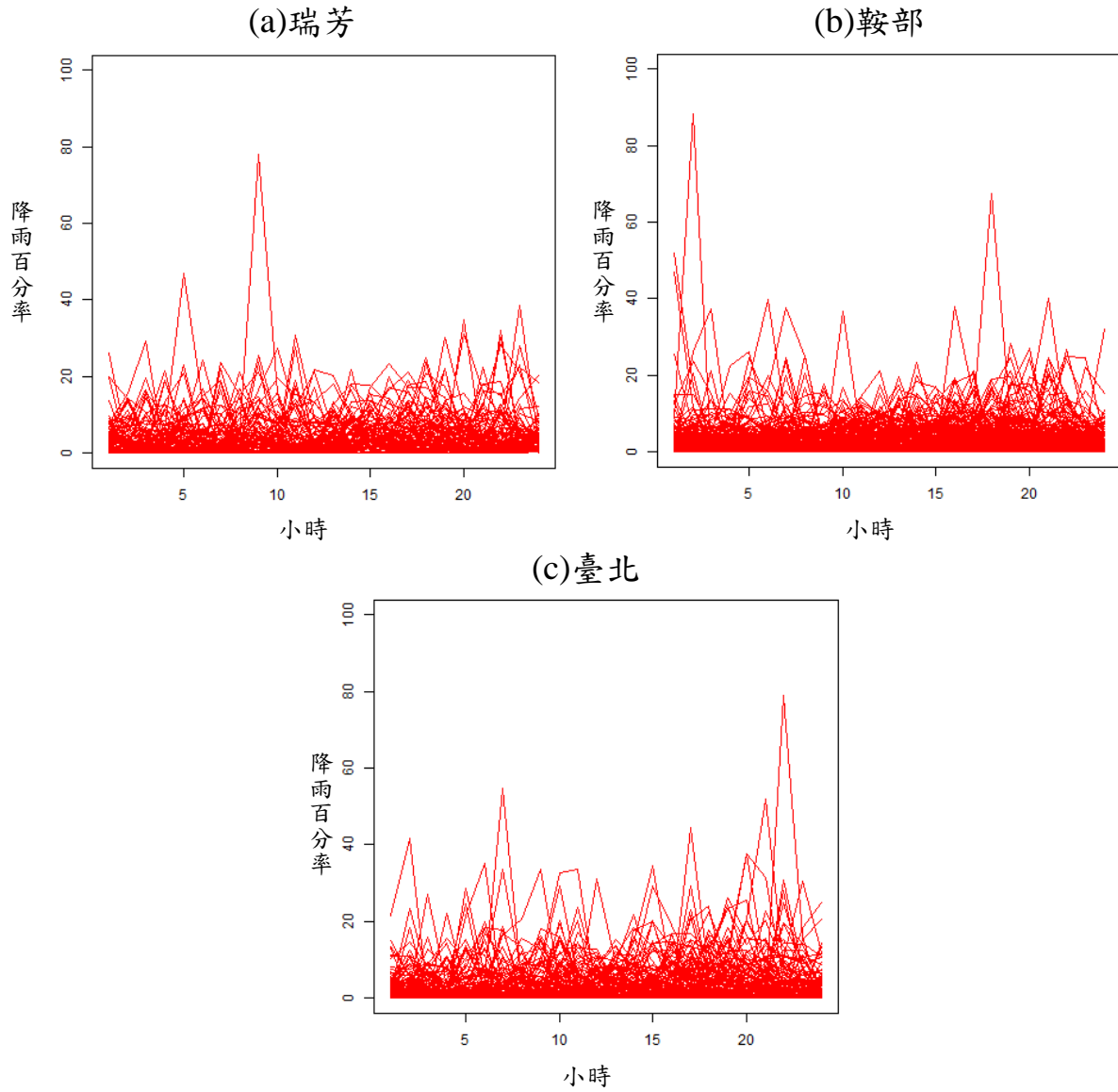
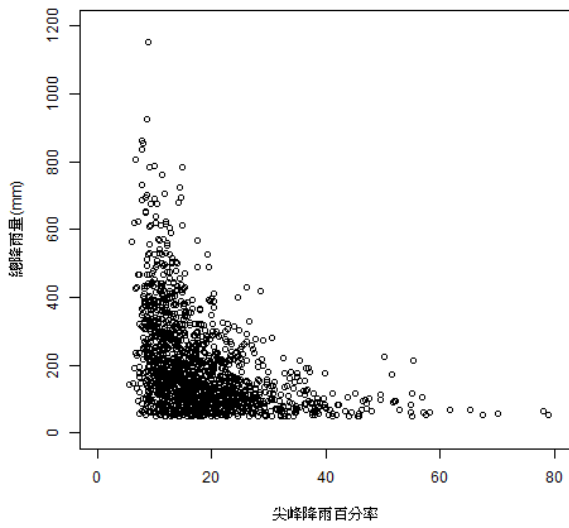


圖2-4 各測站極高尖峰降雨百分率發生時序

(a) 篩選前颱風降雨事件(213 場)



(b) 篩選後颱風降雨事件(83 場)

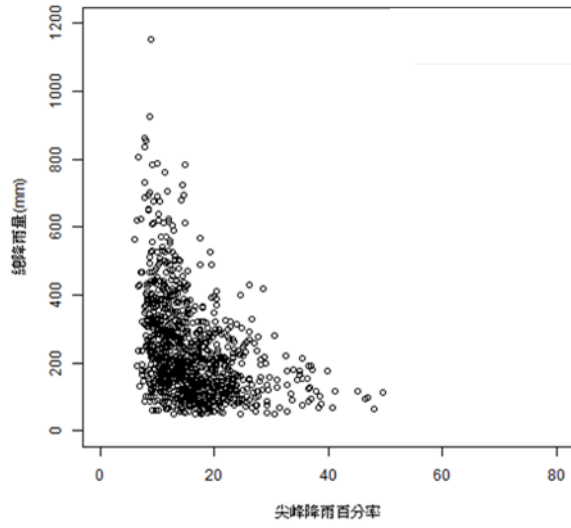


圖2-5 尖峰降雨百分率與總降雨量值的關係

偏高的降雨百分率顯示降雨集中於少數小時，其他多數小時降雨量極低。為釐清較高降雨百分率是否代表較強颱風降雨，將尖峰降雨百分率對其總降雨量作圖，如圖 2-5(a)，可發現總降雨量最高的颱風事件，其尖峰降雨百分率卻低於 10%。假設一場颱風降雨 24 小時內雨勢穩定，則 24 小時降雨百分率約為 4.2%，而總雨量較高的颱風降雨事件其尖峰降雨百分率約在 8~15%，相當於均勻降雨時單小時降雨百分率的 2~3 倍。也就是颱風事件降雨強度越高，24 小時內每個小時皆有一定程度的降雨，使得尖峰降雨百分率低於 20%。相反的情況，偏高的降雨百分率其總降雨量偏低，這種總降雨偏低的颱風事件，極可能出現連續多個小時降雨量為 0 的雨量紀錄，如圖 2-6，則此類的降雨事件將不會納入後續的時空間分析。

第參章 研發暴雨事件降雨量時空分布序率模擬模式

3.1 選定一縣市做為研究區域

本計畫的降雨量分析研究地區考量雨量站的地理分布稠密度、觀測年限長度以及觀測資料的完整性，最後選擇以雨量站分布密集，且觀測紀錄資料充足之北北基地區進行分析，以區域內 30 個雨量站資料建置颱風暴雨事件的降雨量時空分布序率模式，並針對臺北市以及基隆市產製分析淹水機率所需要的大量模擬降雨情境。因臺北市雨水下水道資料為全臺最齊全的縣市，面積大小較為合適進行數千場淹水模擬評估測試，故此研究區域適合現階段模式測試使用。

3.2 分析各類型暴雨期間測站時雨量之機率分布

根據第二章說明的原則篩選後，有 83 場颱風降雨事件於大臺北地區造成降雨，30 個測站中至少 20 個測站有降雨紀錄，且 24 小時降雨紀錄中至少 16 小時降雨量不為 0。為了解颱風事件降雨於 24 小時變化情形，計算颱風歷程屬於同小時的降雨量其平均與標準差，如表 3-1 所示。由於不同測站測得之雨量因空間位置不同而有差異，需先將颱風事件降雨依測站區分後，再計算每小時降雨量之平均與標準差。降雨百分率因具有消除颱風雨勢差異之特性，故同樣將颱風事件降雨百分率，依測站區分再分別計算同小時降雨百分率之平均與標準差。檢視 30 個測站每小時降雨百分率及降雨量平均，24 小時中 15~20 小時降雨量平均值較高，顯示颱風降雨事件於 15~20 小時產生較大的雨量，且平均雨量較大的降雨發生小時，其雨量標準差也較大，如圖 3-1 所示。

測站颱風降雨時雨量平均與標準差，每場颱風降雨事件發生時，測站獲得 24 小時時雨量。以第一小時時雨量為例，83 場颱風事件即有 83 個第一小時時雨量紀錄，求此 83 筆第一小時時雨量平均與標準差，可呈現第一小時時雨量特性。依此求得 24 個時雨量平均與標準差。各測站因位置不同平均雨量有所差異，30 測站時雨量平均大致為 10mm 或以下，少數測站時雨

量平均較高可達 20mm，如：測站 9(福山(3))、測站 15(竹子湖)。時雨量標準差呈現雨勢變動程度，當時雨量平均較大時標準差亦較大，顯示時雨量平均較高時，時雨量變異程度也較高。檢視 24 小時時雨量平均變化可發現，颱風降雨事件 24 小時變化過程，於中後期時(14~20 小時)雨量平均與標準差較高，呈現出颱風雨勢於 24 小時中後段增強且變異性較大之特性。

圖 3-2 彙整 30 個測站颱風降雨事件尖峰降雨發生小時，尖峰降雨為降雨事件最高之時雨量，由尖峰降雨發生小時可知最高時雨量發生於何時。將 24 小時以每 6 小時畫分，分別代表初期、中前期、中後期及後期等四個時段。30 測站中約 10 站尖峰降雨發生於中後期及後期，測站 4(火燒寮)、測站 7(瑞芳(2))、測站 12(淡水)、測站 13(鞍部)、測站 14(臺北)、測站 17(山佳)、測站 20(桶後)及測站 21(屈尺)。其他 20 測站尖峰降雨主要集中於中前及中後兩時段。

由各測站時雨量平均及標準差檢視雨量特性隨時間變化，可發現研究區域中各測站 24 小時時雨量平均呈現漸增趨勢，約於 18 小時達到最高，而較大時雨量平均其時雨量標準差變動也較大(圖 3-3(a))。若以降雨百分率平均及其標準差檢視雨量隨時間變化趨勢，因降雨百分率消弭不同颱風降雨強度差異，可發現降雨百分率隨時間漸增，並且於 18 小時達到最大(圖 3-3(b))。

表 3-1 各站不同時刻跨事件統計特性

小時	測站 1			測站 2			測站 3			測站 4			測站 5			測站 6			測站 7			測站 8		
	Mean	SD	Skew	Mean	SD	Skew	Mean	SD	Skew	Mean	SD	Skew	Mean	SD	Skew	Mean	SD	Skew	Mean	SD	Skew	Mean	SD	Skew
1	7.08	7.57	1.87	5.49	8.16	2.00	8.05	12.84	4.43	9.77	10.79	2.38	6.84	9.87	2.40	4.76	6.51	2.03	5.92	7.91	2.03	3.78	7.58	3.77
2	7.40	10.59	3.10	5.32	6.99	2.91	9.93	11.39	2.04	8.36	8.70	1.84	6.02	8.53	2.20	4.81	7.62	2.84	5.56	8.82	2.74	4.98	8.98	2.66
3	7.81	12.91	4.81	5.20	6.72	2.61	7.84	10.83	2.65	9.05	11.35	1.97	5.73	7.22	2.21	4.44	7.17	2.44	5.24	8.27	2.67	3.35	4.92	2.53
4	7.43	8.09	1.69	4.57	7.34	2.80	8.14	8.78	1.54	9.59	14.22	3.73	5.87	7.57	3.05	4.80	7.95	2.19	4.97	6.42	1.80	3.05	5.23	4.04
5	7.21	6.14	0.73	5.29	7.61	2.60	8.90	9.43	1.49	10.27	11.81	2.06	7.10	6.92	1.06	4.42	6.43	2.88	6.71	8.80	1.92	4.12	6.73	2.42
6	7.26	9.47	2.29	5.74	9.41	2.85	10.26	12.15	1.75	10.45	13.05	2.17	7.47	7.78	1.66	4.50	5.78	1.79	5.71	8.16	3.42	4.69	6.38	2.08
7	7.30	7.69	1.35	6.23	7.19	1.38	9.09	9.05	1.55	11.62	12.08	1.45	8.23	9.34	1.40	3.99	5.05	1.36	5.43	7.03	2.02	4.07	6.46	1.86
8	8.08	8.71	1.95	7.26	8.73	1.75	9.02	9.36	1.44	9.27	10.43	1.98	7.18	10.00	3.37	5.68	8.09	2.99	6.07	7.95	1.67	3.48	4.49	1.58
9	7.21	7.71	1.73	7.37	9.60	1.58	8.50	7.89	1.43	10.95	12.71	2.09	7.10	8.20	1.51	4.09	5.54	1.81	8.38	10.55	1.74	4.30	6.16	1.71
10	9.33	10.69	1.46	7.97	10.85	1.98	10.78	11.26	1.75	11.92	13.06	1.56	7.86	8.78	1.62	4.90	7.07	1.91	6.62	8.27	1.45	4.31	6.42	1.88
11	9.11	11.18	1.76	8.71	12.16	1.72	10.01	11.66	1.62	10.60	10.94	1.58	7.67	9.40	1.73	6.07	8.15	1.60	6.30	7.78	1.48	5.66	8.47	2.15
12	9.59	11.60	1.85	7.00	8.51	1.96	11.47	13.31	1.95	10.78	12.58	1.88	8.07	9.61	1.56	5.18	8.52	3.70	7.60	9.95	1.70	5.65	9.56	2.71
13	9.85	15.58	3.47	8.85	11.03	1.71	11.52	12.26	1.47	12.35	14.08	2.45	9.31	9.89	1.72	5.59	10.36	4.04	6.45	9.39	2.44	5.83	7.53	1.66
14	9.51	11.08	1.46	11.08	13.06	1.64	10.72	12.55	2.45	12.28	12.75	1.73	10.95	12.53	1.45	5.40	7.49	2.23	7.57	9.27	2.31	5.95	7.74	1.74
15	8.82	9.35	1.41	9.70	11.39	1.55	10.98	12.97	2.25	11.36	12.42	2.05	10.10	11.32	1.20	6.25	8.88	2.01	8.97	12.49	2.41	7.49	14.40	3.65
16	10.33	9.62	1.28	8.80	8.61	1.07	11.24	13.30	1.62	11.70	11.77	1.53	10.73	9.87	0.60	6.85	9.65	2.92	7.76	8.97	1.78	7.01	9.29	2.24
17	11.10	9.90	1.10	8.93	9.70	1.80	12.57	14.83	1.77	12.17	12.04	1.23	9.61	9.40	1.16	7.07	10.78	3.11	8.35	10.92	1.94	7.34	10.27	2.53
18	10.48	10.04	1.34	9.03	11.73	2.31	11.56	12.32	1.80	12.44	12.93	1.77	9.99	8.81	0.96	7.18	9.30	1.93	7.70	10.17	1.93	6.52	7.99	1.62
19	11.56	10.78	1.59	9.51	10.01	1.61	10.72	11.17	1.41	12.01	11.49	1.65	11.01	9.80	1.08	6.68	8.53	1.87	7.19	9.49	3.66	7.24	11.33	2.87
20	11.13	13.54	2.60	8.32	10.53	1.92	11.63	15.04	1.77	11.10	11.69	1.47	8.86	9.26	2.00	7.74	10.27	1.95	6.84	8.50	1.82	5.58	7.36	2.36
21	11.06	12.08	2.05	6.91	8.23	1.63	12.24	12.90	1.88	9.79	11.44	3.12	8.76	9.25	2.33	7.38	9.19	1.86	7.97	12.25	2.46	5.55	8.24	2.76
22	9.85	12.32	2.22	7.18	9.18	2.03	11.42	12.13	1.51	10.04	11.87	2.23	8.13	9.51	2.50	6.07	7.57	1.54	7.29	10.06	2.21	5.53	9.32	3.55
23	7.67	8.17	1.87	6.84	9.83	2.29	11.61	13.42	2.49	11.06	12.47	2.32	7.49	8.17	1.69	5.95	8.08	3.00	8.06	12.13	2.73	5.30	11.54	5.29
24	6.97	7.00	2.30	6.46	13.85	6.73	8.44	9.05	2.07	10.12	12.81	2.12	6.23	7.93	3.74	4.85	8.09	5.02	6.34	11.19	4.46	4.88	8.62	5.78

Mean:平均(mm) ; SD 標準差 ; Skew 偏態係數

表 3-1 各站不同時刻跨事件統計特性

小時	測站 9			測站 10			測站 11			測站 12			測站 13			測站 14			測站 15			測站 16		
	Mean	SD	Skew	Mean	SD	Skew	Mean	SD	Skew	Mean	SD	Skew	Mean	SD	Skew	Mean	SD	Skew	Mean	SD	Skew	Mean	SD	Skew
1	7.54	7.73	1.98	7.84	8.36	1.87	7.00	10.00	2.91	3.23	4.02	1.67	10.03	9.65	1.38	4.67	7.21	3.07	9.43	9.58	1.41	5.41	8.08	3.09
2	8.90	10.79	3.34	7.02	7.11	1.19	6.47	10.77	2.83	5.03	6.69	2.59	10.43	11.29	2.51	5.33	8.71	4.02	9.29	9.76	1.35	4.52	5.57	1.70
3	8.62	10.38	2.93	6.91	7.24	2.03	5.06	7.91	2.80	4.96	8.23	3.98	9.13	10.06	1.61	3.98	5.16	3.37	8.41	10.36	1.78	5.73	9.30	2.31
4	8.99	11.52	2.64	8.18	10.41	2.18	5.94	8.52	2.77	4.99	7.21	3.11	10.04	10.55	1.72	3.98	6.69	2.51	8.44	9.67	1.92	5.85	8.49	2.88
5	6.98	7.93	1.87	9.09	10.78	1.76	7.09	10.34	2.17	5.10	7.49	2.50	10.89	11.81	1.70	4.26	5.79	1.90	10.98	14.63	3.34	7.35	10.83	2.60
6	9.98	10.80	1.65	9.04	10.27	1.97	8.52	11.03	2.02	5.17	7.62	3.04	11.20	12.39	1.96	5.19	7.14	2.29	10.35	11.89	1.46	5.78	8.58	3.16
7	9.27	8.94	0.99	9.13	10.51	1.72	7.12	8.21	1.51	5.73	9.11	2.83	12.90	11.94	1.21	4.30	6.02	2.25	11.77	11.39	1.33	6.67	8.86	2.32
8	11.25	15.40	3.11	8.73	8.90	1.99	7.81	10.93	2.18	5.28	6.54	1.76	11.62	10.40	1.27	5.11	6.00	1.40	12.30	12.44	1.33	6.13	6.78	1.11
9	12.37	14.55	2.50	10.33	9.71	1.55	7.20	9.39	1.39	6.43	8.40	1.84	11.95	12.51	1.17	5.79	7.33	1.52	12.00	11.78	1.28	7.01	10.20	2.86
10	13.02	12.01	1.17	9.67	9.53	2.01	7.10	9.38	1.67	5.77	8.26	3.02	13.52	13.76	1.04	5.91	7.96	2.17	13.65	14.35	1.28	6.68	8.35	1.88
11	11.75	11.44	1.06	9.04	8.86	1.73	7.46	9.29	1.38	6.36	8.86	2.11	12.79	15.16	1.80	6.69	9.51	2.28	13.57	14.04	1.56	6.47	8.58	1.88
12	14.58	14.48	0.97	10.60	12.62	2.09	9.57	12.22	1.57	6.20	8.44	2.01	13.11	13.50	1.72	5.77	7.44	1.89	15.02	15.07	1.34	7.61	8.23	1.49
13	15.23	13.80	0.91	10.74	11.26	1.31	8.28	10.79	1.72	6.22	7.98	1.76	14.20	13.76	1.20	6.32	7.80	2.02	16.97	16.45	0.99	6.59	7.08	1.58
14	16.47	15.57	1.04	10.17	10.61	1.70	10.63	16.26	3.58	6.13	8.47	1.91	13.07	13.09	1.27	7.07	8.61	1.69	15.23	14.85	1.32	5.79	6.46	2.32
15	15.01	14.78	1.23	10.90	10.18	1.38	9.02	11.67	2.46	5.07	7.58	3.13	12.13	11.86	1.91	7.23	11.94	3.33	15.59	16.62	1.47	6.78	9.55	2.55
16	15.91	14.55	0.91	12.55	11.58	0.84	8.46	9.51	1.40	6.03	7.82	1.67	14.11	13.86	1.82	6.71	8.50	2.14	17.24	17.77	2.23	6.17	7.12	1.68
17	17.16	16.50	1.36	12.68	12.60	1.35	10.42	14.85	2.28	7.74	11.61	4.20	12.47	12.67	2.54	7.43	9.40	2.02	15.06	14.24	1.20	8.06	13.07	3.03
18	19.22	17.95	0.95	11.13	11.91	1.62	9.78	14.47	2.39	7.48	10.40	2.24	12.62	12.24	1.82	7.34	8.95	1.73	16.81	15.73	1.29	7.12	8.58	2.10
19	17.16	17.51	1.51	12.59	11.51	1.83	8.17	9.77	2.20	6.18	7.93	2.36	15.31	16.57	3.52	6.96	9.24	2.51	16.40	12.92	1.08	6.17	11.06	6.35
20	15.77	16.31	1.58	11.87	11.74	1.32	6.65	7.46	1.85	6.49	10.24	2.80	14.81	12.71	1.25	6.22	7.07	1.98	15.24	14.39	1.27	5.33	6.70	2.94
21	13.23	13.81	1.71	10.78	11.35	1.60	8.70	16.10	4.47	6.41	8.50	2.17	12.65	13.18	2.14	5.99	7.64	3.11	15.94	16.88	1.61	6.82	9.38	2.23
22	11.57	13.05	1.98	9.89	10.51	1.40	6.79	11.99	4.90	7.97	12.74	2.52	11.35	11.94	1.51	6.14	10.79	4.10	13.92	13.76	1.65	8.11	12.92	2.41
23	11.84	11.90	1.37	8.71	8.00	1.13	7.12	9.85	2.64	5.39	9.02	2.74	9.73	9.17	1.07	5.69	9.99	4.39	10.82	10.89	1.82	7.34	11.71	3.11
24	9.67	9.75	1.72	7.52	6.35	1.06	6.17	8.36	3.00	4.82	6.45	2.30	9.34	9.13	1.53	4.82	7.10	2.81	8.27	7.28	1.41	5.78	9.25	2.91

Mean:平均(mm); SD 標準差; Skew 偏態係數

表 3-1 各站不同時刻跨事件統計特性

小時	測站 17			測站 18			測站 19			測站 20			測站 21			測站 22			測站 23		
	Mean	SD	Skew	Mean	SD	Skew	Mean	SD	Skew	Mean	SD	Skew	Mean	SD	Skew	Mean	SD	Skew	Mean	SD	Skew
1	3.95	5.00	1.98	6.36	6.70	1.58	6.82	9.44	3.18	8.89	8.68	1.99	7.31	7.69	1.18	6.22	8.18	2.59	5.69	7.26	1.61
2	4.32	5.92	2.29	5.64	7.40	1.95	5.08	6.07	1.47	8.11	7.23	1.70	8.16	10.42	2.21	4.93	5.62	1.68	5.16	6.55	1.56
3	4.66	7.90	3.79	5.42	6.22	1.29	5.93	6.79	1.59	7.73	7.41	2.08	8.30	9.50	2.63	4.70	6.41	2.78	5.18	8.15	2.75
4	4.61	7.22	2.54	6.16	7.63	2.20	5.52	6.15	1.62	8.43	7.67	1.36	6.88	6.34	1.70	4.83	5.79	2.10	6.53	7.89	1.68
5	4.38	5.32	1.67	7.35	9.20	1.71	7.06	9.62	2.38	8.66	10.30	2.39	5.78	6.11	1.57	5.26	7.39	2.99	7.90	10.62	2.57
6	4.57	5.81	1.64	7.81	10.42	2.83	8.32	11.29	2.41	8.79	9.66	2.25	6.09	6.04	2.54	5.62	7.30	1.65	7.61	7.95	1.34
7	4.14	5.61	1.95	7.39	8.53	1.53	6.46	7.38	1.23	9.55	8.84	1.23	6.50	6.41	1.36	6.17	6.90	1.14	5.83	6.27	1.29
8	4.28	5.78	1.67	6.42	8.35	2.69	6.31	8.92	2.25	8.75	8.47	2.10	6.05	7.12	2.63	6.05	7.00	1.45	6.34	9.06	3.20
9	4.33	7.24	2.94	7.27	9.20	1.62	7.25	10.32	2.32	9.94	9.15	1.39	6.60	6.92	1.53	6.48	8.86	1.52	6.98	8.45	1.49
10	5.52	8.26	1.99	6.40	7.91	1.50	7.90	10.64	2.10	10.23	8.94	1.45	6.75	8.01	1.70	6.68	8.76	1.67	6.84	10.01	2.25
11	5.93	8.18	1.54	7.81	10.63	2.06	7.72	10.33	1.66	8.98	8.71	1.39	7.57	8.49	1.64	6.37	8.69	1.98	6.48	7.52	2.29
12	4.60	6.24	1.59	8.90	11.46	1.89	7.90	9.15	1.47	9.00	8.63	1.30	6.80	6.41	0.95	6.92	8.63	2.12	8.69	10.62	2.07
13	4.63	6.49	1.94	8.80	10.35	1.66	8.56	12.26	3.24	10.41	10.37	1.33	8.82	8.77	1.13	8.02	9.05	1.53	9.52	10.45	1.43
14	7.25	9.04	1.84	7.87	10.25	1.72	8.40	9.35	1.40	11.47	11.00	1.07	9.17	9.78	1.27	8.05	8.64	1.77	10.62	18.76	4.86
15	6.67	8.14	1.83	9.08	11.13	1.33	6.84	8.50	1.56	11.71	11.83	0.97	8.89	8.73	1.40	7.52	8.70	1.95	10.80	11.81	1.76
16	5.45	5.37	1.29	9.04	11.59	1.84	8.83	10.87	2.09	11.05	11.49	1.38	9.29	9.54	1.26	8.37	8.43	1.70	8.09	7.38	1.38
17	7.96	8.94	1.82	10.52	12.32	1.38	9.25	11.38	1.85	12.82	11.47	1.26	10.05	10.20	1.47	8.21	8.00	1.46	8.00	7.41	1.34
18	6.31	7.43	1.68	9.39	10.11	1.06	10.70	14.74	2.79	12.69	11.33	1.28	10.46	10.26	1.12	9.57	9.51	1.58	8.31	8.87	1.83
19	5.55	5.26	1.08	9.71	11.96	1.77	11.75	16.10	2.69	13.39	13.83	2.17	11.25	11.05	1.23	10.01	10.03	1.72	8.66	9.24	1.82
20	5.79	6.59	1.53	9.19	11.99	2.07	8.76	11.72	2.54	12.64	13.79	2.16	9.58	11.32	1.81	9.79	10.41	1.83	8.67	11.01	2.60
21	5.73	6.88	1.65	9.82	11.97	1.67	9.40	13.38	2.00	10.88	11.35	1.98	8.55	9.76	2.33	9.52	10.51	1.91	9.30	11.80	2.21
22	6.02	9.33	3.98	8.67	10.36	1.82	7.23	9.38	1.86	11.40	10.15	1.23	7.97	8.75	2.78	8.75	10.09	1.91	10.39	17.21	3.66
23	5.16	7.78	2.71	6.37	7.70	1.31	6.55	7.65	1.15	11.39	10.54	1.17	6.95	7.80	1.72	6.24	7.09	1.71	8.57	11.04	1.55
24	4.11	5.18	2.48	5.77	7.36	3.24	6.95	8.32	2.19	8.10	6.46	1.27	5.84	5.82	1.58	5.66	5.06	1.67	6.62	10.67	3.85

Mean:平均(mm); SD 標準差; Skew 偏態係數

表 3-1 各站不同時刻跨事件統計特性

小時	測站 24			測站 25			測站 26			測站 27			測站 28			測站 29			測站 30		
	Mean	SD	Skew	Mean	SD	Skew	Mean	SD	Skew	Mean	SD	Skew	Mean	SD	Skew	Mean	SD	Skew	Mean	SD	Skew
1	2.47	4.08	2.04	2.37	3.64	2.36	3.72	5.54	2.95	3.70	3.65	1.28	5.44	5.84	1.71	6.10	6.75	1.22	4.69	6.78	2.09
2	2.82	5.19	4.37	3.23	4.74	2.51	4.21	5.34	2.02	4.41	6.64	3.28	6.96	15.84	5.35	6.23	7.52	1.25	6.14	10.67	2.72
3	2.81	5.30	3.28	3.30	4.47	2.68	5.32	6.73	1.87	4.23	7.77	3.49	5.71	12.77	4.57	6.13	7.02	1.27	4.21	5.94	2.51
4	3.20	5.32	2.93	3.60	5.22	1.71	3.75	5.25	1.99	4.63	7.28	3.26	6.36	11.41	3.31	6.81	8.00	2.16	4.27	6.09	3.35
5	3.91	6.51	2.19	3.44	5.03	2.13	4.38	7.22	2.94	4.46	6.63	2.47	6.88	10.57	2.43	7.56	9.84	2.43	4.60	6.22	1.56
6	4.22	6.90	2.93	4.96	6.68	1.68	6.71	9.10	1.49	6.18	8.65	1.55	7.05	11.97	2.84	6.13	7.43	1.74	5.52	9.57	4.34
7	3.56	5.36	1.83	3.92	7.15	3.91	6.54	11.03	4.74	6.42	9.22	2.06	8.95	17.18	2.89	6.22	6.25	1.15	4.67	6.74	2.00
8	4.62	5.83	1.60	3.51	5.03	1.79	6.65	8.46	1.76	5.83	8.24	2.19	10.05	17.29	3.07	6.72	8.16	1.63	4.80	7.02	2.08
9	5.88	11.48	3.01	3.48	5.35	3.03	6.91	9.74	2.00	8.56	13.89	2.23	9.11	11.70	1.25	7.71	10.51	1.97	5.90	8.11	1.54
10	5.96	11.83	3.07	4.30	6.61	2.44	8.75	12.51	1.84	6.38	8.73	1.50	9.06	21.31	5.38	7.56	8.85	1.44	6.14	8.27	2.00
11	3.90	5.30	1.65	4.46	7.17	2.05	9.47	14.51	2.49	8.34	12.37	1.62	9.44	15.01	2.33	8.60	9.64	1.50	7.86	10.15	1.84
12	5.22	6.84	1.57	4.43	6.90	2.31	9.10	10.66	1.85	8.88	11.01	1.66	8.95	11.39	1.35	8.27	9.70	1.47	7.34	7.85	1.57
13	5.94	9.03	3.10	4.32	6.79	2.82	10.73	12.40	1.47	8.60	9.05	1.32	8.63	12.82	3.36	10.78	14.16	1.86	7.94	9.69	1.51
14	5.30	5.99	1.29	4.46	6.86	2.04	9.32	11.04	1.61	9.89	12.70	3.10	8.55	9.17	1.58	9.33	10.68	1.14	7.83	8.44	1.45
15	5.70	7.33	2.25	5.04	8.17	3.10	10.17	12.33	2.06	8.25	15.89	5.03	6.65	8.70	2.58	9.85	11.19	1.33	7.57	9.48	1.82
16	5.50	7.52	2.10	5.53	6.93	1.74	9.60	9.39	1.05	7.14	6.96	1.59	6.33	6.47	1.70	10.45	13.81	1.84	6.60	9.52	2.54
17	6.54	7.54	1.46	4.85	5.49	1.44	7.36	6.75	1.64	7.68	9.11	2.74	7.12	7.57	1.85	11.01	13.99	1.71	9.60	11.29	1.81
18	7.21	8.69	2.02	4.73	6.09	1.66	10.54	11.36	1.18	8.28	9.54	1.91	8.01	8.29	1.09	10.86	11.72	1.38	7.48	9.79	1.94
19	7.12	9.04	2.36	5.12	6.00	1.68	10.52	9.90	1.40	7.44	7.09	1.50	7.52	7.85	1.74	10.63	12.45	1.56	10.21	13.90	2.62
20	5.47	6.28	1.78	5.06	7.25	2.49	8.95	9.02	1.72	6.75	5.83	0.93	8.12	13.85	4.39	10.83	12.90	2.00	6.91	8.89	2.58
21	4.91	6.11	2.29	5.25	8.45	3.14	9.69	10.65	1.78	7.21	10.37	4.08	7.34	15.53	4.81	9.98	12.55	2.03	7.77	9.78	2.59
22	3.79	4.54	2.27	5.44	9.65	4.32	8.05	11.23	2.85	7.10	12.36	4.41	6.47	11.37	4.15	8.43	9.53	1.19	6.14	9.06	3.41
23	4.59	6.71	3.03	4.68	6.62	2.35	6.04	7.48	1.82	4.94	6.33	2.53	5.58	6.37	1.81	7.88	8.56	1.76	6.35	11.11	4.60
24	3.35	4.80	2.77	3.76	4.51	1.31	4.68	4.89	2.27	4.99	5.72	1.99	5.14	6.11	2.16	6.03	7.26	2.63	5.29	6.58	3.14

Mean:平均(mm); SD 標準差; Skew 偏態係數

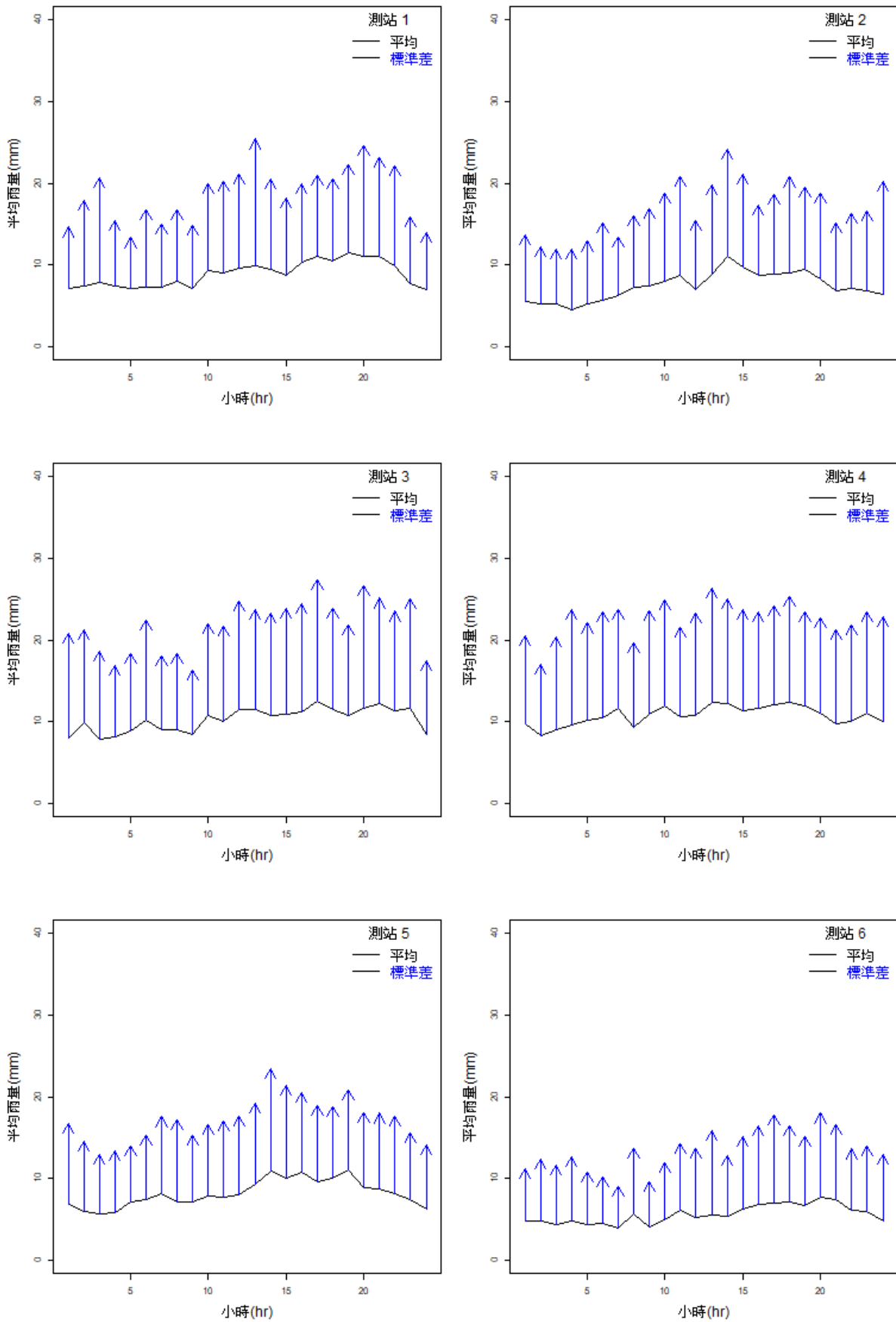


圖3-1 測站颱風降雨時雨量特性：平均與標準差(測站1~6)

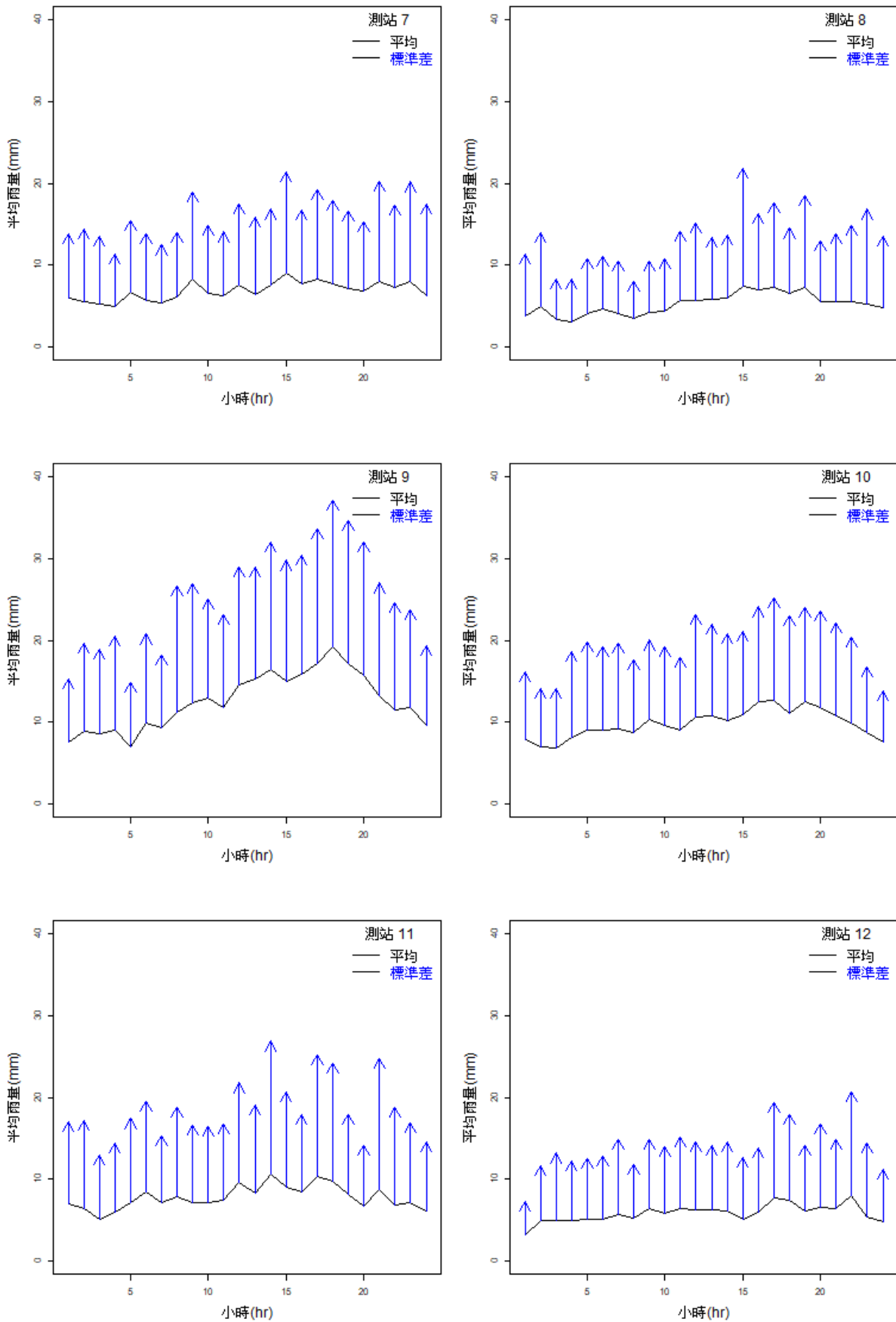


圖 3-1 測站颱風降雨時雨量特性：平均與標準差(測站 7~12)(續)

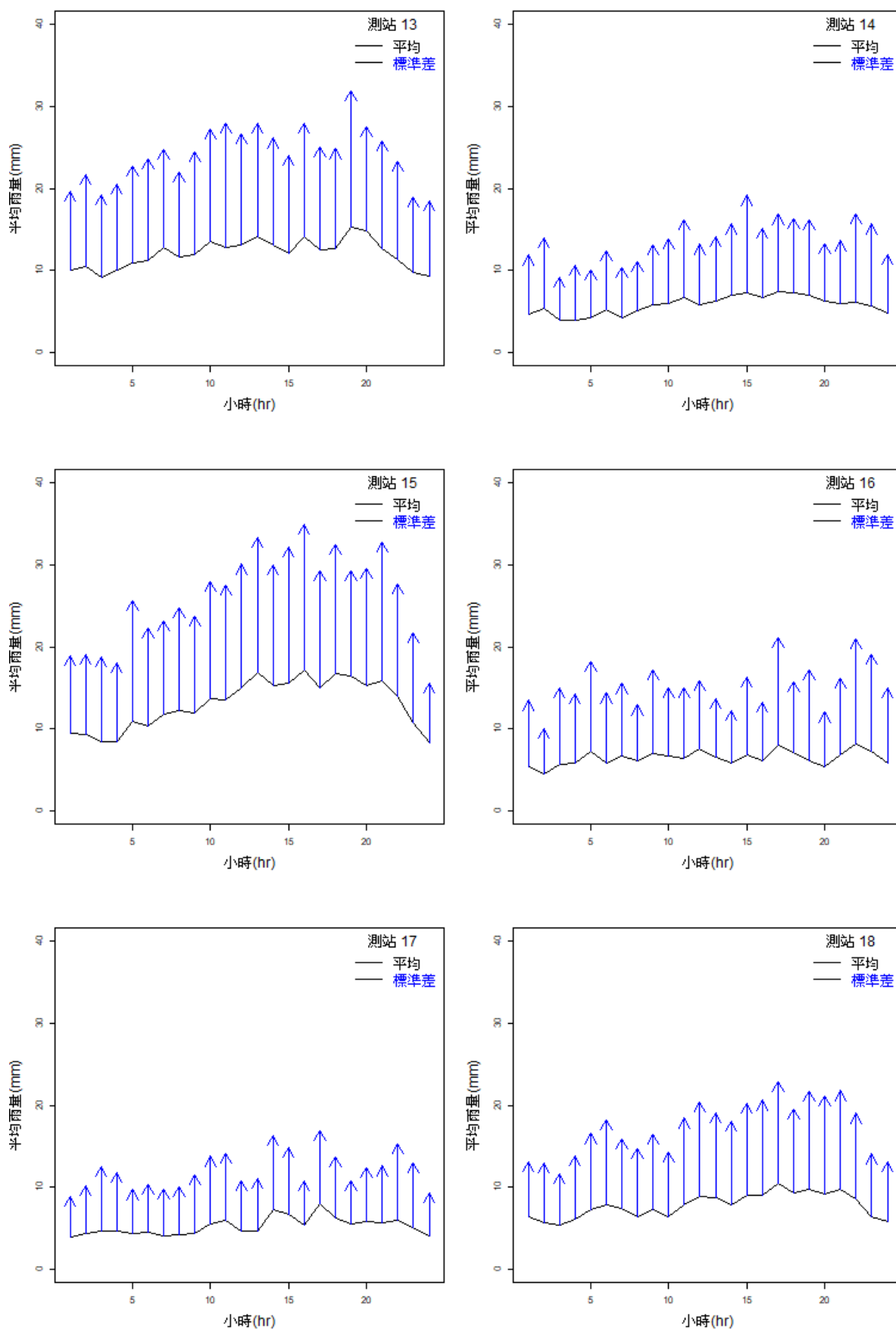


圖 3-1 測站颱風降雨時雨量特性：平均與標準差(測站 13~18)(續)

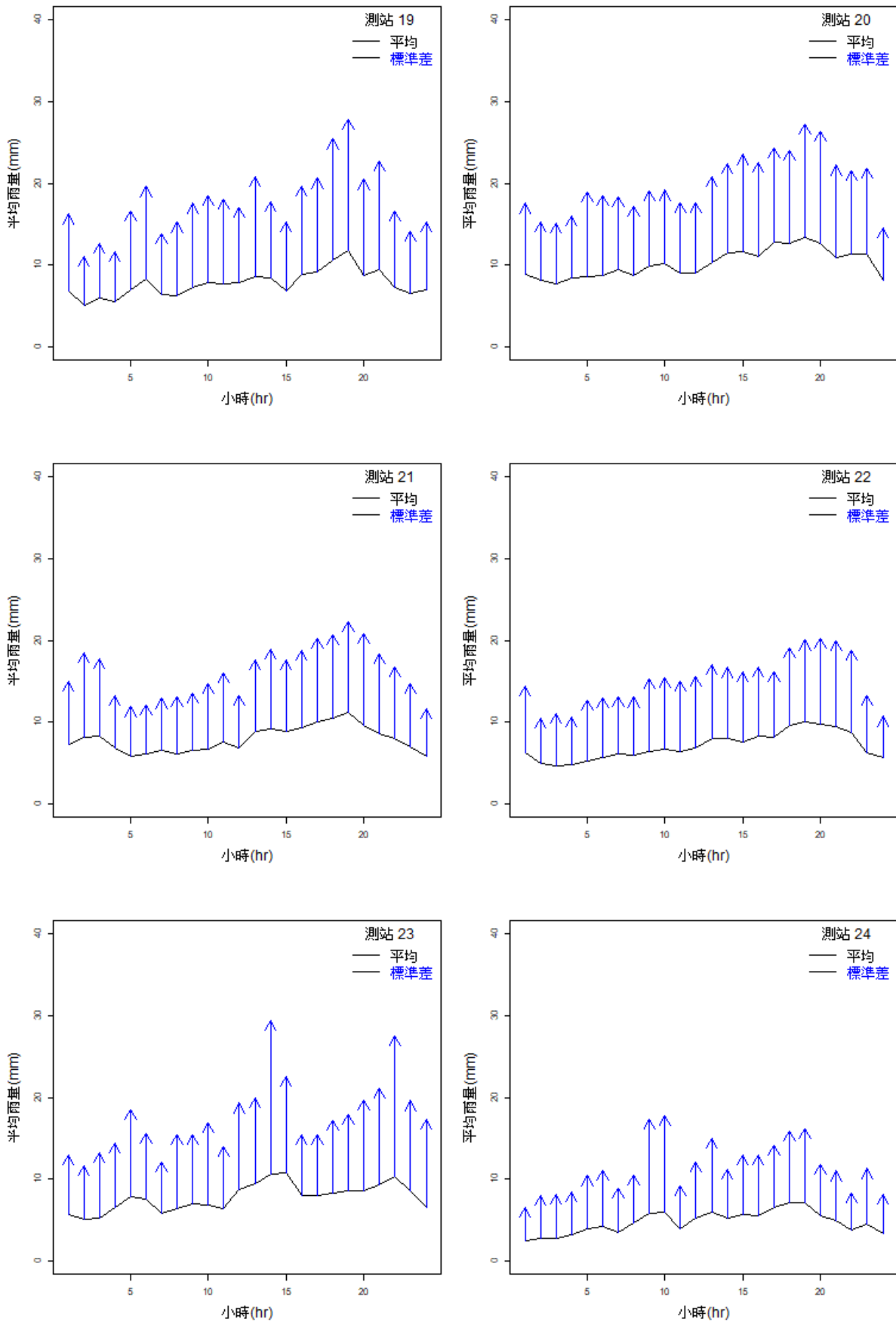


圖 3-1 測站颱風降雨時雨量特性：平均與標準差(測站 19~24)(續)

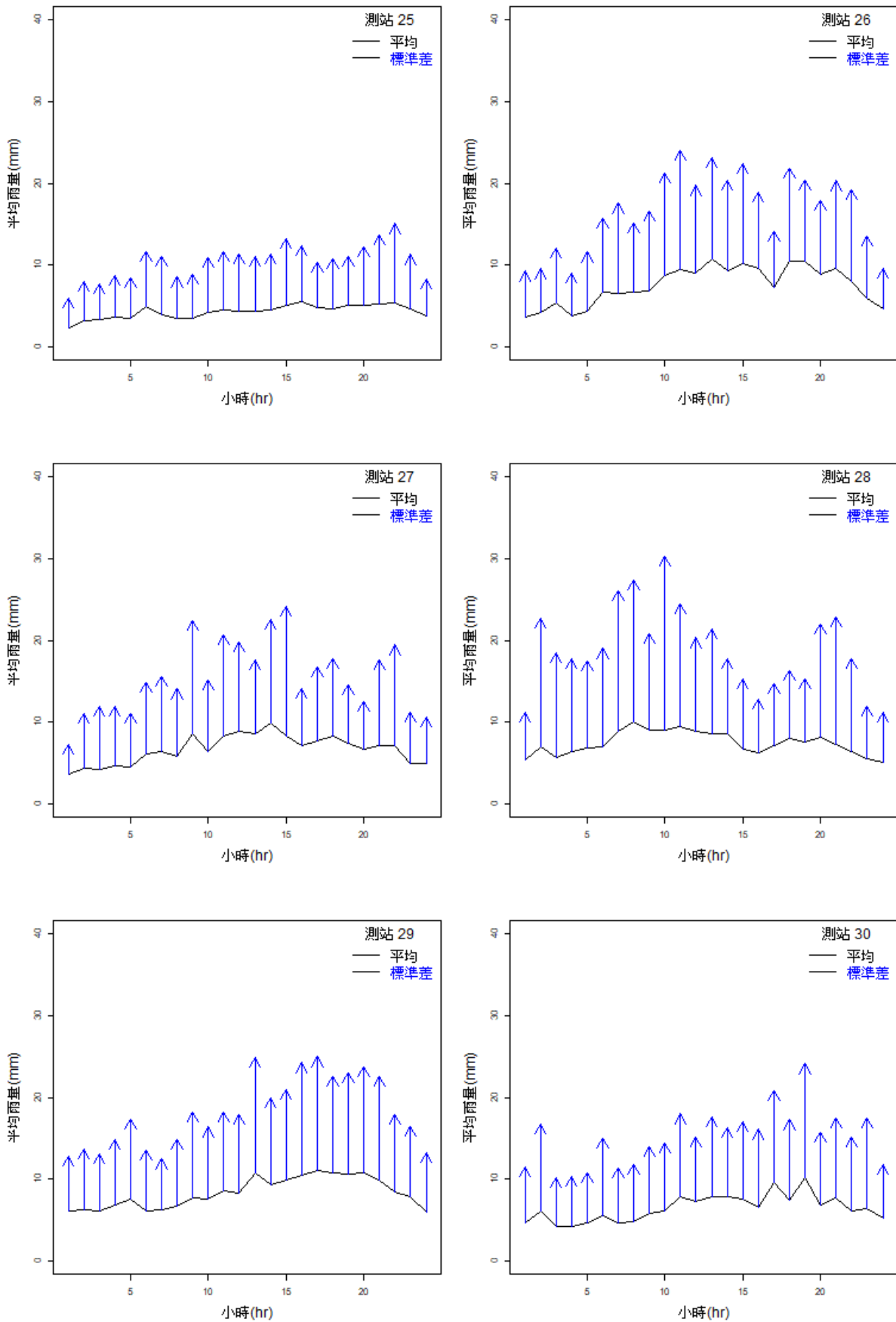


圖 3-1 測站颱風降雨時雨量特性：平均與標準差(測站 25~30)(續)

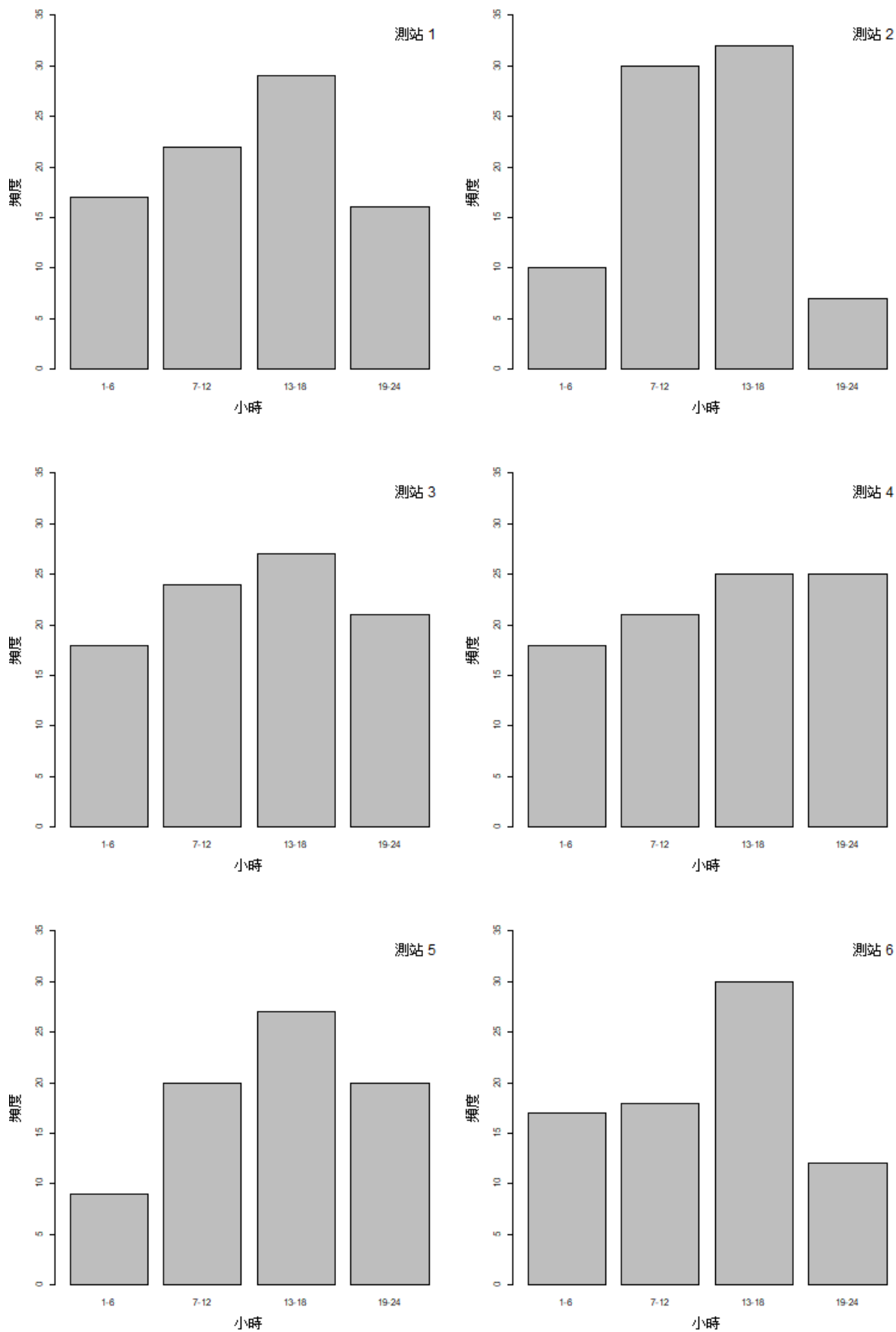


圖3-2 測站颱風降雨時雨量特性：尖峰降雨頻度(測站1~6)

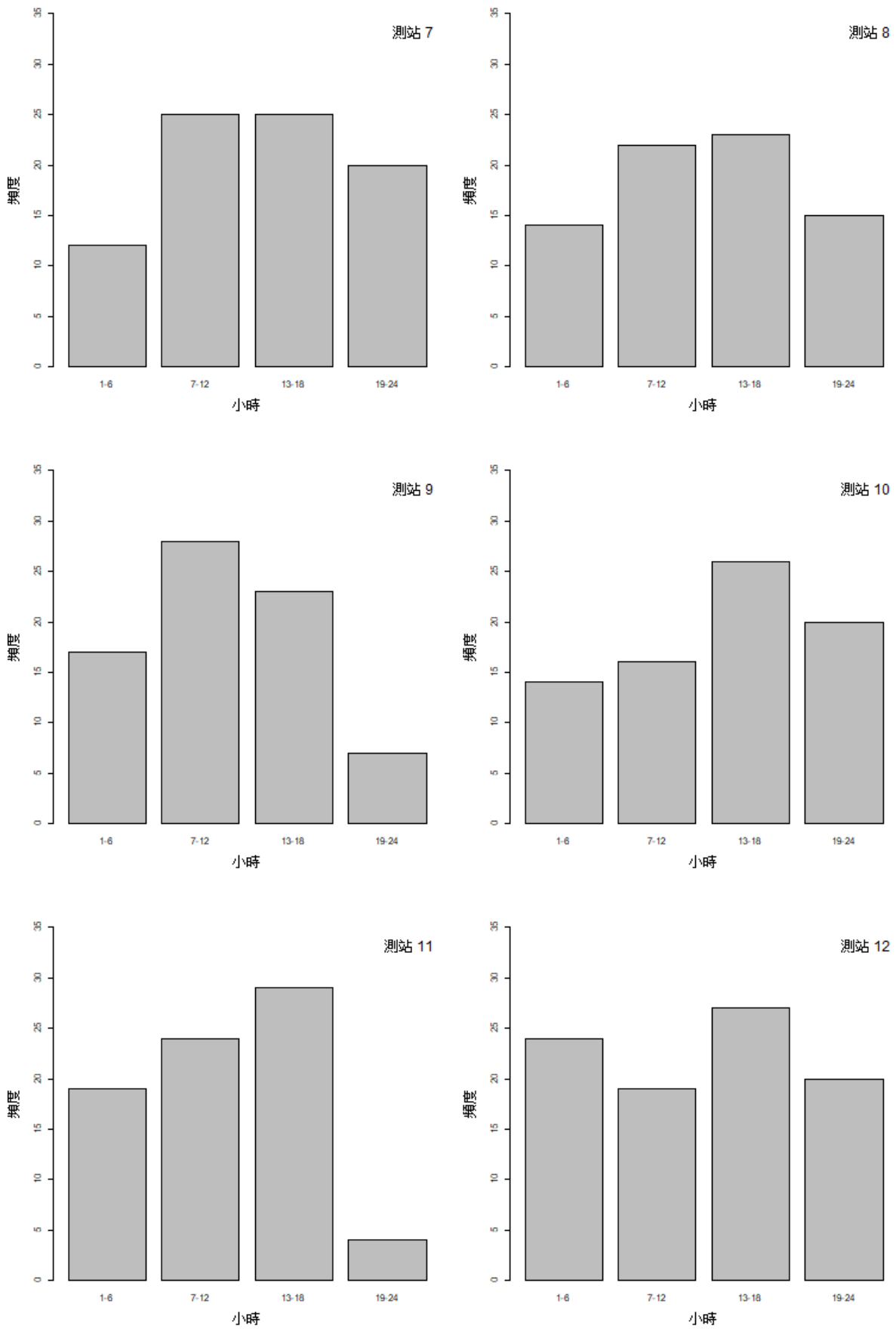


圖 3-2 測站颱風降雨時雨量特性：尖峰降雨頻度(測站 7~12)(續)

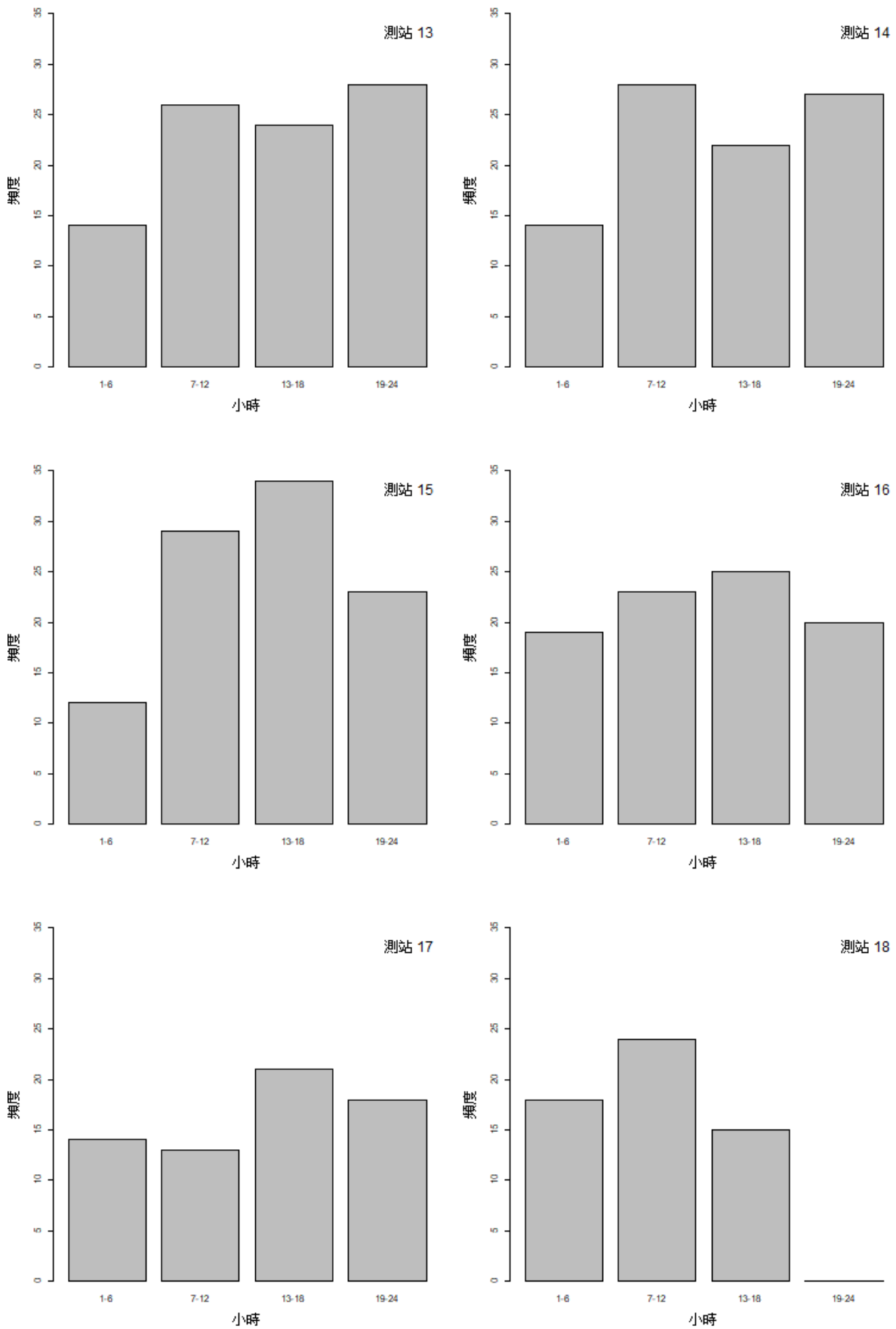


圖 3-2 測站颱風降雨時雨量特性：尖峰降雨頻度(測站 13~18)(續)

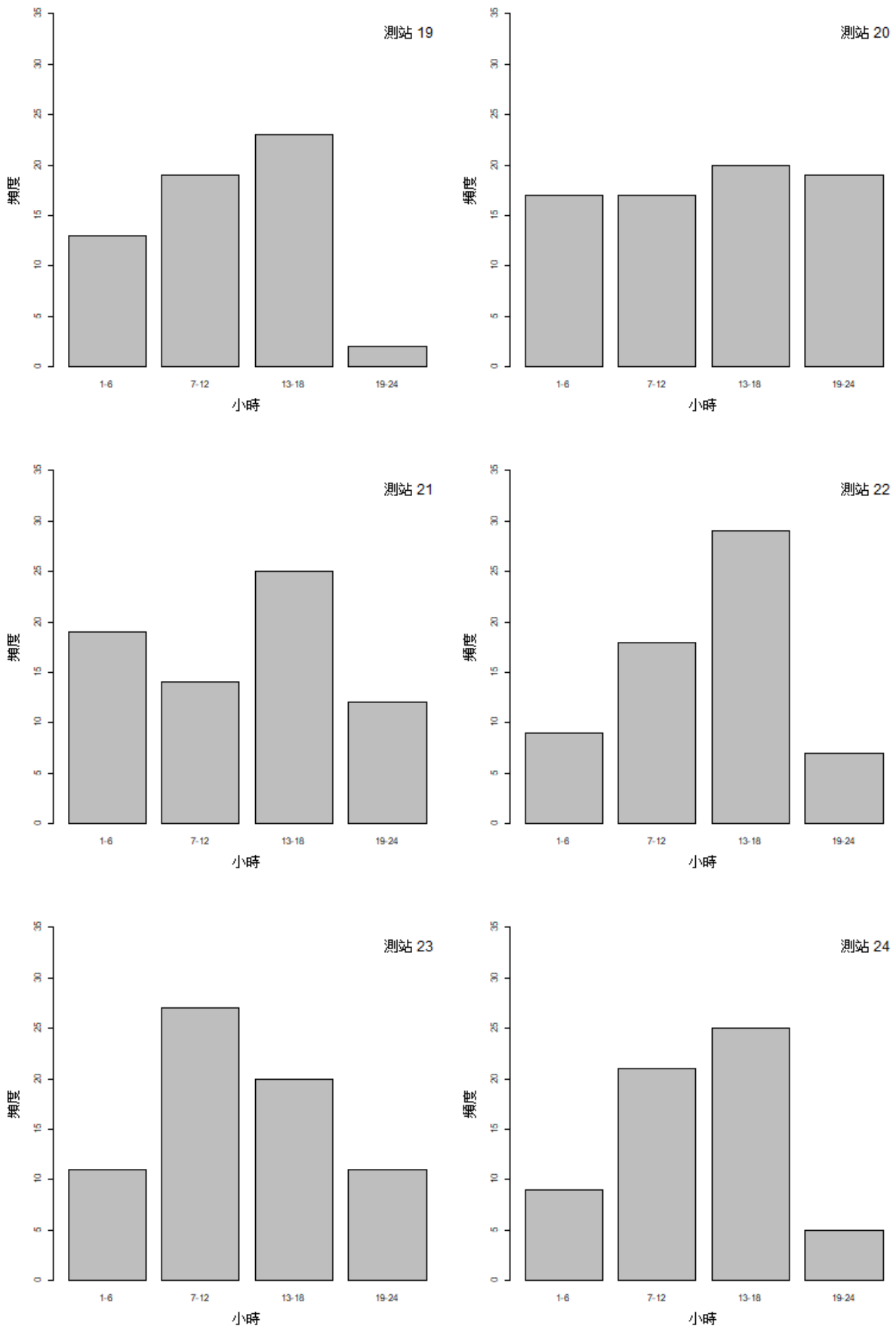


圖 3-2 測站颱風降雨時雨量特性：尖峰降雨頻度(測站 19~24)(續)

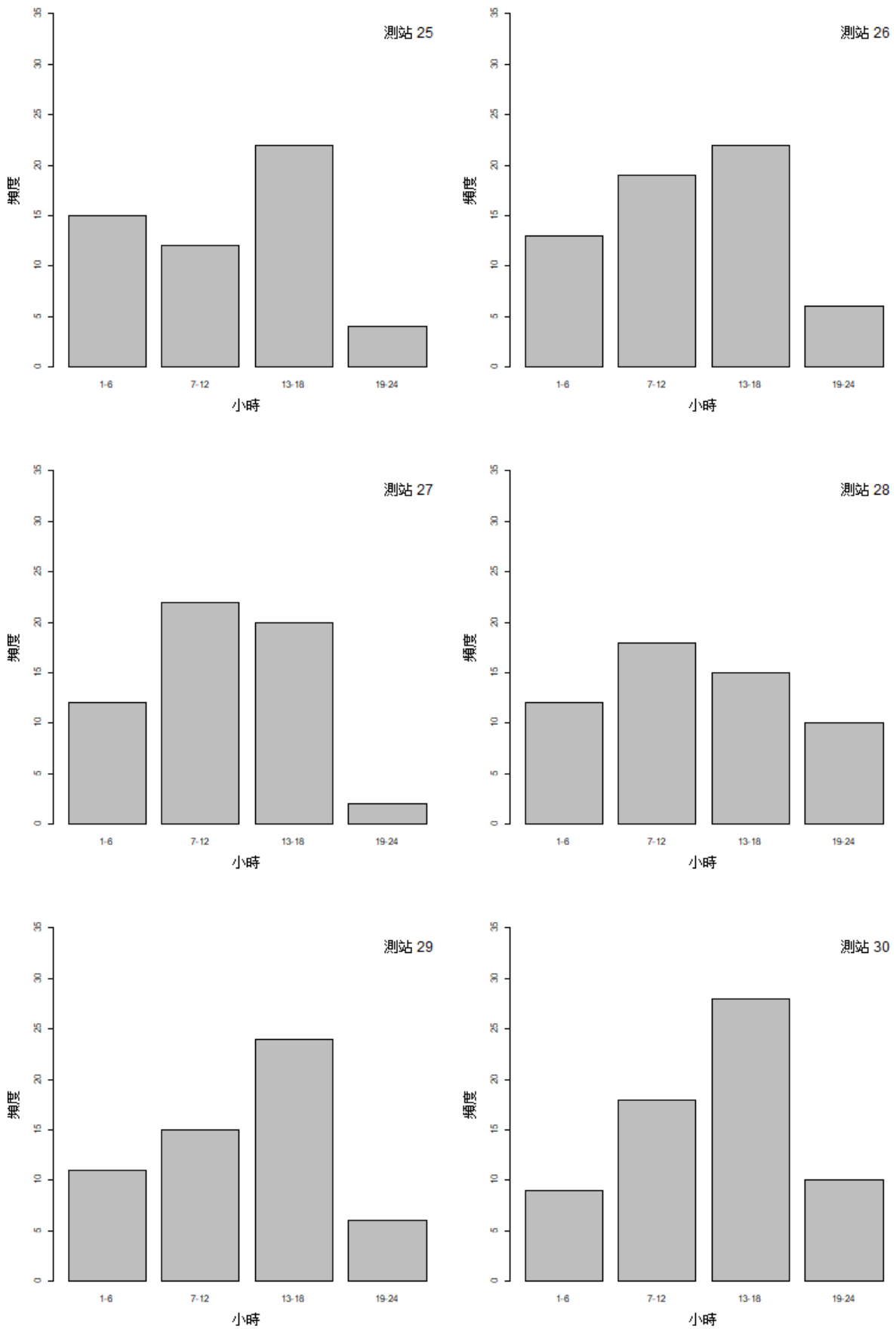


圖 3-2 測站颱風降雨時雨量特性：尖峰降雨頻度(測站 25~30)(續)

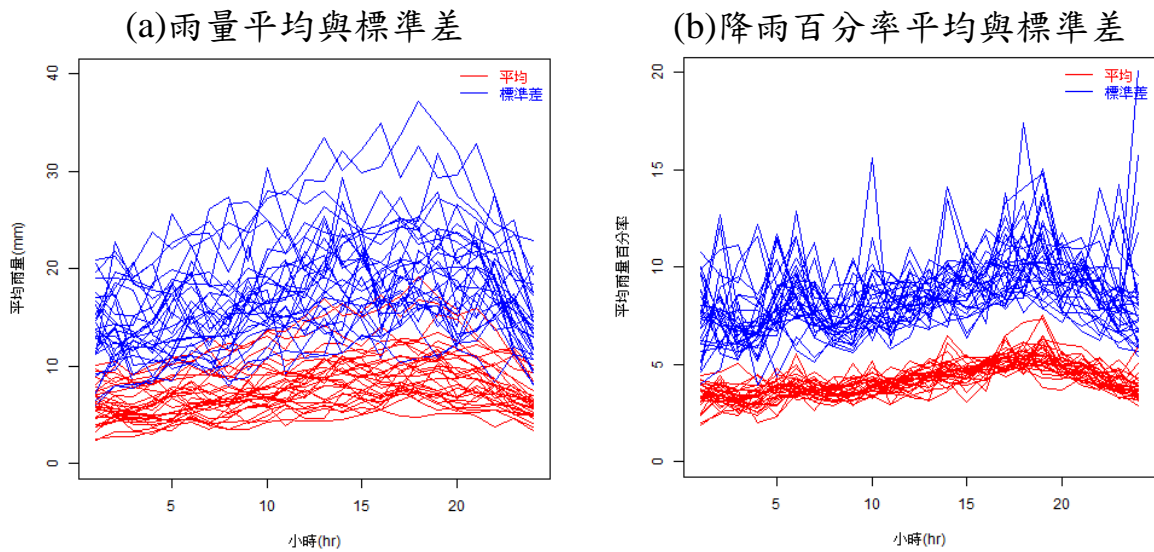


圖3-3 各小時降雨百分率平均與標準差及降雨量平均與標準差比較圖

3.3 分析各類型暴雨降雨延時之機率分布

臺灣降雨類型可區分為鋒面雨、梅雨、夏季對流雨及颱風雨等四種降雨類型，發生期間分別為冬季(11月至次年4月)、5~6月、夏季(7月至10月)及颱風季(7月至10月)，分類依據如表3-2所示。分析歷史降雨事件特性並模擬降雨歷程，降雨事件之選取合理性相當重要。Restrepo 與 Eagleson(1982)提出：切割降雨事件最小降雨事件間距符合指數分布，並推導出降雨季節、平均年雨量、平均降雨季節長度與降雨事件間隔時間之相關式。經切割完成序列事件互相獨立且符合卜瓦松歷程。Bonta 與 Rao(1988)使用級序相關係數法與指數法，以決定最小間隔時間，使之得以切割獨立降雨事件，據該研究結果顯示假設降雨間隔時間為指數分布，並進行事件切割具有較佳成果。

許恩菁(1999)以臺灣省水利處所提供報與事件逐時雨量紀錄，以不同時距間隔進行降雨事件分割。經由研究結果發現間隔時距3小時會明顯低估降雨延時情形，4小時與5小時結果相近，6小時造成多個連續5小時不降雨資料被納入，造成整個事件延時過長。因此該研究指出以4小時降雨事件間距分割原始紀錄之降雨事件，再以總雨量挑選暴雨事件。(氣候變遷水文情境評估研究(2/2)，經濟部水利署，2013)。

根據經濟部水利署(2013)研究中，冬季鋒面雨、梅雨、颱風雨及夏季對流雨等四種降雨類型，計算臺灣各地雨量站基期時段(1980~1999)之降雨事件延時、總降雨量及事件間距之統計特性。以地區區域為單位，彙集為大範圍之四種降雨類型歷史水文特性，如表 3-3。由歷史雨量資料分析可知，北部地區四種降雨類型之事件總降雨量、事件延時均以颱風事件為最大，故本計畫先以颱風雨做為北部地區研擬防災策略之防護要點的對象。

表 3-2 降雨事件類型定義

降雨類型	月份	延時(hr)	降雨強度
冬季鋒面雨	1~4 月、11~12 月	dr>1	2 (mm/hr)
梅雨	5~6 月	dr>3	2 (mm/hr)
颱風雨	7~10 月	dr>12	2 (mm/hr)
夏季對流雨	7~10 月	3<dr≤12	2 (mm/hr)

表 3-3 區域平均降雨事件延時、總降雨量、降雨事件間距之特性分析

降雨類型	區域	延時(hr)	總降雨量(mm)	降雨事件間距(hr)
冬季鋒面雨	全臺灣	13.8	60.27	292.00
	北部	18.07	73.06	289.79
	中部	12.05	55.29	216.43
	南部	9.3	49.56	305.24
	東部	12.91	63.19	356.55
梅雨	全臺灣	14.32	78.85	149.29
	北部	12.55	60.43	130.28
	中部	14.64	77.81	138.90
	南部	14.81	89.06	130.70
	東部	15.27	88.08	197.27
颱風雨	全臺灣	37.49	233.75	462.25
	北部	39.69	233.19	418.92
	中部	32.29	215.05	553.56
	南部	39.39	258.44	401.37
	東部	38.60	228.34	475.15
夏季對流雨	全臺灣	6.60	45.30	195.27
	北部	6.61	43.81	207.97
	中部	6.44	47.43	194.54
	南部	6.56	52.18	174.25
	東部	6.80	37.78	204.31

資料來源：經濟部水利署(2013)

3.4 分析各類型暴雨期間測站時雨量之時間空間共變異特性

3.4.1 颱風降雨標準化

經篩選後適用於呈現大臺北地區降雨時空特性之颱風雨事件共計 83 場，研究區域內有 30 個雨量測站($S_i, i = 1, 2, \dots, 30$)，每個測站紀錄降雨事件之 24 小時延時降雨量時間數列。令 $R(t, s, e) (t = 1, 2, \dots, 24; s = 1, 2, \dots, 30; e = 1, 2, \dots, 83)$ 代表第 e 個事件第 s 個雨量站第 t 小時之降雨量。當雨量測站位於同集水區內，暴雨期間各雨量站之降雨量具空間相關性，但各測站降雨量也因所處位置不同，致使雨量受地形影響，而具地形效應 (orographic effect)。分析降雨量空間共變異特性前需先將各測站降雨量進行式標準化 (standardized)，以去除各測站因地形效應造成之降雨量差異，如(1)式。

$$R_s(t, s, e) = \frac{R(t, s, e) - \text{mean}(t, s)}{sd(t, s)} \quad (1)$$

上式中 $R_s(t, s, e)$ 代表標準化降雨量， $\text{mean}(t, s)$ 與 $sd(t, s)$ 分別代表第 s 站第 t 小時降雨量之長期平均值與標準差。經標準化後，各測站各時刻之標準化時雨量 (standardized hourly rainfalls) 均具有期望值為 0 且標準差為 1 之相同統計特性，故若僅考慮二階動差統計特性，標準化降雨量之時空分布可被視為一個穩定 (stationary) 或均勻 (homogeneous) 的隨機變域 (random field)，而每一個降雨事件的多測站標準化降雨量則為該隨機變域的一次出象 (outcome) 或實現值 (realization)。標準化降雨量經線性動差比適合度檢定 (L-Moment Ratios Diagram Goodness-of-Fit Test) 符合皮爾遜三型分布，如圖 3-4 所示。

分析降雨特性時可將時間域 (time domain) 與空間域 (spatial domain) 拆開處理，如圖 3-5 所示。而圖 3-6 中每一個事件的任一時刻均有 83 個雨量站的標準化時雨量觀測值 $R(t, s, e), e = 1, 2, \dots, 83$ 。這些相同時刻的觀測值即為降雨量空間變異分析的一次實現值。欲分析空間特性時，針對同事件同一時

刻於同樣集水區之各測站雨量進行分析。分析時間特性時，則取同事件同測站發生之連續 24 小時降雨量進行分析。

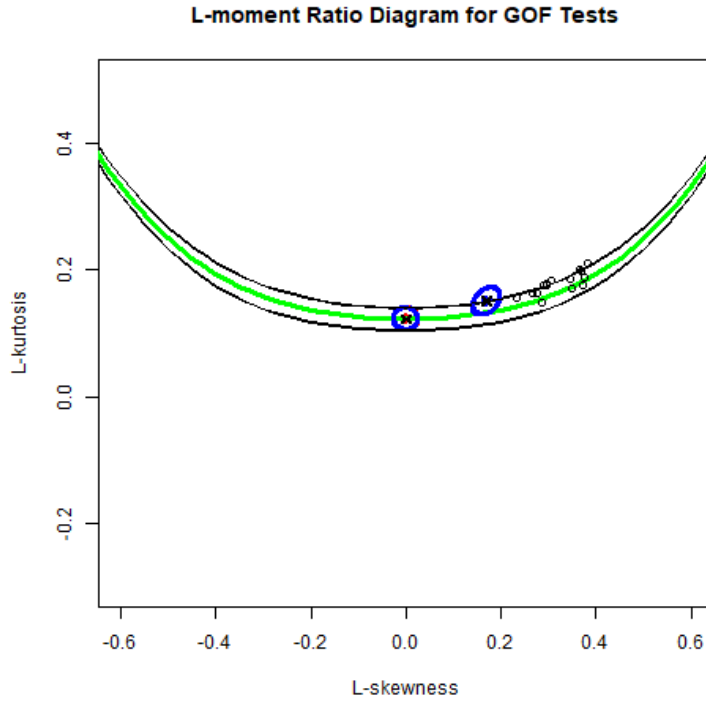


圖3-4 標準化降雨量LMRD檢定

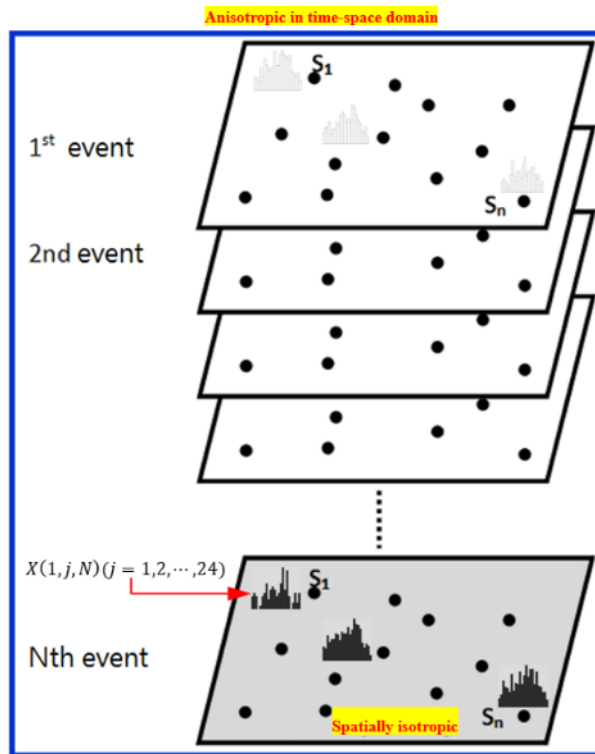


圖3-5 降雨事件多測站降雨量時空變異示意圖

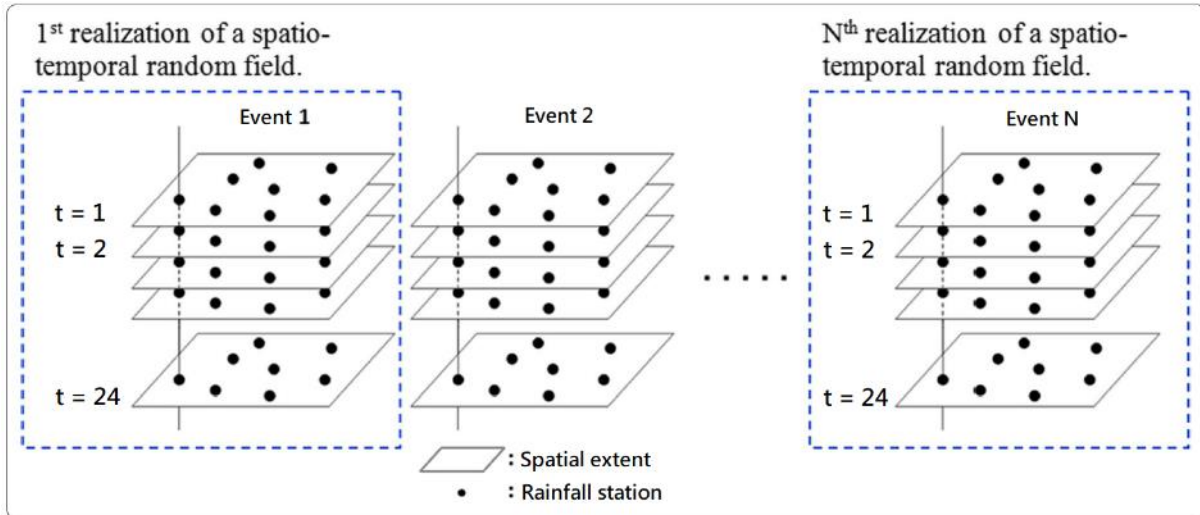


圖3-6 多測站降雨量時空分布資料結構示意圖

3.4.2 降雨事件時雨量空間變異特性分析

標準化降雨量的空間共變異特性可利用地理統計理論中之半變異元 (semi-variogram) 分析探討之。一個均勻隨機變域可以 $Z(x), x \in \Omega$ 表之， x 代表在空間域 Ω 中之任一位置點， z 為該點之觀測值。此隨機變域之空間變異結構可以如下之半變異元函數 $\gamma(x, x')$ 代表之：

$$\gamma(x, x') = \frac{1}{2} E \left[(Z(x) - Z(x'))^2 \right], x, x' \in \Omega \quad (2)$$

上式中 $E(Z(x))$ 代表隨機變數 $Z(x)$ 之期望值。對隨機變數 $Z(x)$ 屬於均勻隨機變域，半變異元函數與空間位置無關，而僅為兩空間位置間距離 $h = |x - x'|$ 之函數，一般以 $\gamma(h)$ 表之。半變異元函數為距離之單調上升函數，且具有影響距 (influence range) 與閾值 (sill) 兩項特性。閾值代表半變異元函數之極限 ($h \rightarrow \infty$) 逼近值，且等於隨機變域 $Z(x)$ 之變異數 σ_Z^2 。影響距代表兩個隨機變數 $Z(x)$ 與 $Z(x')$ 互相獨立的最小空間距離 $|x - x'|$ 。半變異元函數種類甚多，但如下之指數半變異元函數最被普遍應用，

$$\gamma(h) = \omega [1 - e^{-(h/a)}] \quad (3)$$

其中 ω 為閾值， a 為影響距。均勻隨機變域之半變異元函數與共變異函數 (covariance function) $C(h)$ 滿足以下之關係，如圖 3-7 所示。

$$\gamma(h) = C(0) - C(h) [C(0) = \omega] \quad (4)$$

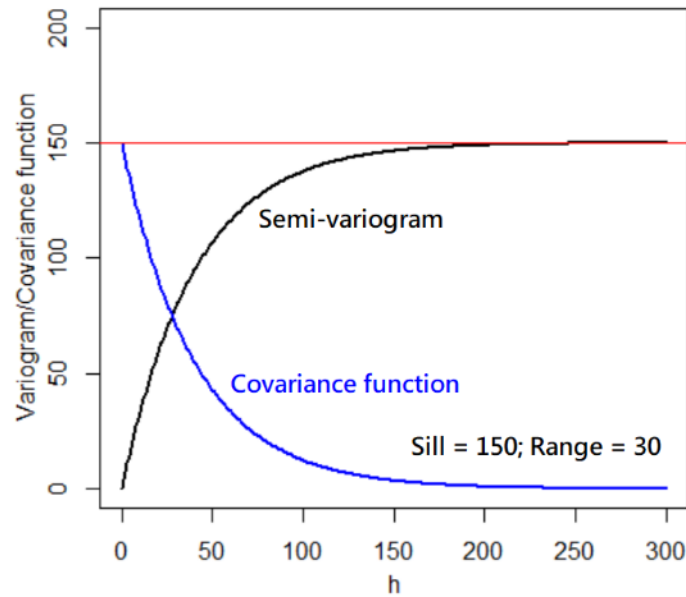


圖3-7 均勻隨機變域之半變異元函數與共變異函數之關係示意圖

降雨事件多測站標準化降雨量時空變異由研究範圍內 30 個雨量測站及 24 小時時雨量構成。同一降雨事件之同一時刻，由空間上至多 $C(30, 2)$ 組雨量值配對，依測站間空間距離不同，半變異元值可分為 435 組，如表 3-4 所示。空間距離與空間半變異元值可供估計空間上半變異元函數。配適半變異元函數時，依經驗取最大距離之一半，約 25,000(公尺)，半變異函數配適採最小平方法(Least-squares fitting)估計指數模式參數。根據估計結果空間域半變異元函數 $\gamma_S(h)$ 如下， $a_s=12,000$ 為影響距離(公尺)，如圖 3-8 所示。

$$\gamma_S(h) = 0.2 + 0.63(1 - e^{-\left(\frac{h}{a_s}\right)}) \quad (5)$$

表 3-4 套配空間半變異元函數之成對資料統計

距離差 (公里)	成對數	半變異 元值	距離差 (公里)	成對數	半變異 元值	距離差 (公里)	成對數	半變異 元值
1.77	1344	0.27	19.17	1560	0.69	30.56	1224	0.86
2.84	1968	0.33	19.25	1248	0.72	30.76	1536	0.66
6.83	1536	0.46	19.47	1320	0.82	31.06	1440	0.80
7.43	1536	0.57	19.71	1560	0.89	31.08	1368	0.80
8.41	1752	0.52	20.27	1704	0.73	31.71	1896	0.72
8.77	1320	0.59	20.61	1656	0.63	31.74	1800	0.64
9.30	1824	0.64	21.42	1584	0.75	32.34	1440	0.80
9.44	1752	0.61	22.07	1320	0.78	32.75	1680	0.75
10.00	1848	0.61	22.11	1728	0.73	32.79	1752	0.67
10.44	1608	0.63	22.12	1704	0.73	33.61	1536	0.88
11.30	1416	0.64	22.23	1896	0.67	33.83	1728	0.85
12.08	1584	0.59	22.71	1296	0.78	33.90	1584	0.70
12.57	1752	0.56	23.94	1392	0.78	34.35	1800	0.71
14.03	1776	0.65	24.47	1728	0.75	34.68	1752	0.70
14.17	1680	0.63	25.00	1560	0.87	34.71	1680	0.80
14.24	1824	0.64	25.06	1560	0.79	34.98	1536	0.81
14.36	1704	0.60	25.07	1896	0.69	35.51	1464	0.87
14.67	1368	0.63	25.72	1272	0.85	36.29	1512	0.80
15.31	1704	0.61	26.20	1560	0.81	36.41	1896	0.67
15.32	1608	0.73	26.53	1680	0.71	36.50	1680	0.75
15.49	1584	0.69	26.62	1296	0.69	37.77	1248	0.91
15.74	1440	0.70	26.76	1488	0.71	38.77	1536	0.89
15.97	1728	0.68	26.82	1632	0.85	39.24	1896	0.71
16.33	1776	0.66	26.89	1368	0.83	39.75	1440	0.83
16.81	1344	0.70	26.98	1632	0.68	40.03	1416	0.89
16.85	1656	0.70	27.32	1368	0.72	42.16	1512	0.84
17.16	1272	0.71	27.94	1728	0.69	42.59	1800	0.74
17.74	1680	0.79	28.41	1704	0.67	42.60	1680	0.75
17.74	1344	0.70	28.48	1680	0.70	42.83	1584	0.76
18.08	1440	0.69	28.52	1728	0.76	44.39	1272	0.92
18.13	1656	0.60	28.64	1608	0.75	44.97	1800	0.80
18.52	1728	0.65	28.91	1632	0.74	45.79	1440	0.83
18.55	1608	0.70	28.99	1896	0.67	46.18	1536	0.92
18.66	1152	0.75	29.65	1536	0.78	47.91	1464	0.90
18.89	1464	0.66	30.18	1512	0.81	49.02	1320	0.85

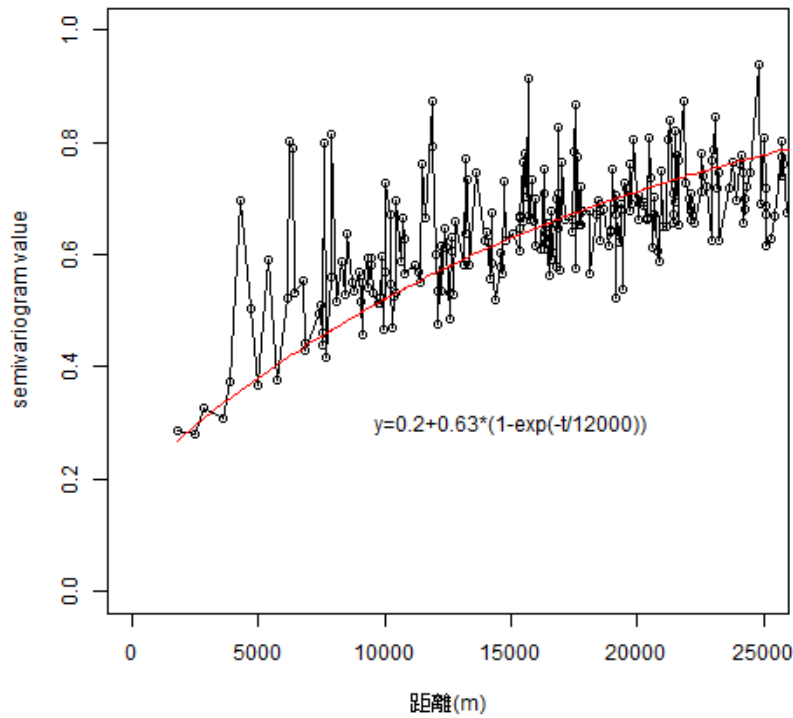


圖3-8 空間半變異元函數圖

3.4.3 降雨事件時雨量時間變異特性分析

時間變異特性分析與建立空間半變異元函數步驟相似，對任一測站、任一降雨事件之 24 小時標準化降雨量而言，計有 $C(24,2) = 276$ 組之 $(Z(t), Z(t'))$ 配對，可供計算半變異元函數。經過整合所有 83 場颱風降雨事件不同測站之配對組合，計有 $C(24,2) \times 30 \times 83$ 組之 $(Z(t), Z(t'))$ 配對可供計算時間域半變異元函數，如表 3-5 所示。時間差距範圍為 0~23 小時，配適範圍若照經驗約取最大值一半的 11 小時，但降雨時程最大差距僅為 23 小時，故將配適範圍增為 14 小時，標準化降雨量之時間域半變異元函數如下， $a_t=2.7$ 為影響時距(小時)，如圖 3-9 所示。

$$\gamma_T(t) = 0.1 + 0.73(1 - e^{-\left(\frac{t}{a_t}\right)}) \quad (6)$$

表 3-5 套配時間半變異元函數之成對資料統計

時間差(小時)	成對數	半變異元值
1	25277	0.362
2	24178	0.513
3	23079	0.588
4	21980	0.646
5	20881	0.702
6	19782	0.735
7	18683	0.767
8	17584	0.790
9	16485	0.798
10	15386	0.807
11	14287	0.825
12	13188	0.841
13	12089	0.850
14	10990	0.852

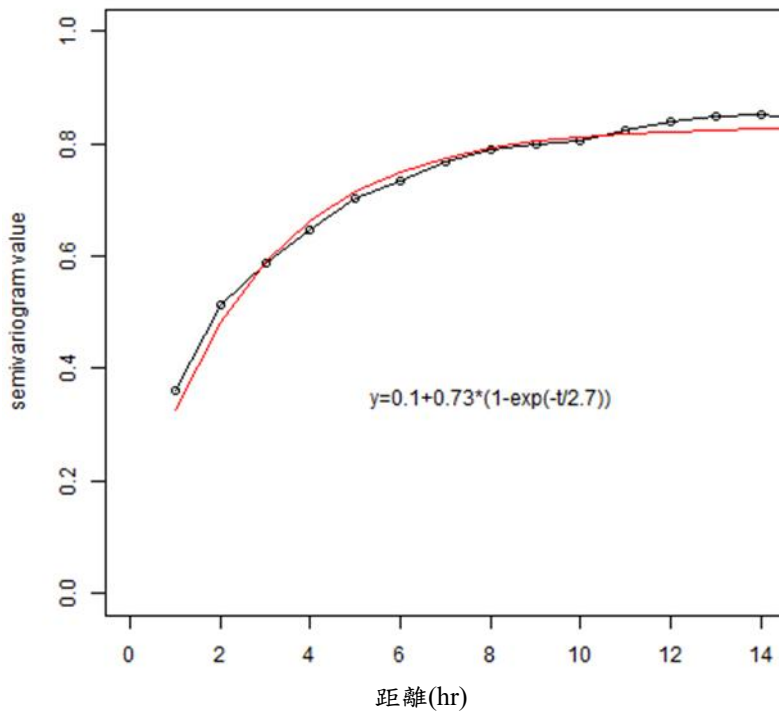


圖3-9 時間半變異元函數圖

3.4.4 時空共變異函數建立

經由區分空間域及時間域建立空間兩時間半變異元模式，(5)、(6)兩式可分別描述標準化降雨量於空間與時間上的變化特性。當空間差異及時間變化同時發生時，則需同時考慮降雨量於空間上及時間上的變化，無法僅使用空間域或時間域之半變異元函數描述標準化降雨量。例如：第一測站第一小時降雨及第二測站第二小時降雨，若兩測站空間位置接近，於空間上雨量相關性較高，則第一測站第一小時降雨量與第二測站第二小時降雨量相關性亦較高，故兩測站時雨量之間存在共變異關係。此共變異關係同時牽涉時間域與空間域之共變異，須另行建立能夠同時描述時間及空間共變異之時空半變異元函數(spatiotemporal semi-variogram)。

(一)半變異元函數映射：

本計畫採半變異元函數映射法，將空間半變異元函數影響距離轉為時間差，藉以建立等向性半變異元函數，可描述時間與空間共變異特性。如圖 3-10 所示，半變異元函數映射將空間距離及空間半變異元值映射至時間半變異元函數，再對應至時間差距。影響空間變異之空間距離 h 經映射轉換後成為影響時間變異之時間差 t^* 為時間半變異元函數之影響距離，如表 3-6。則時空共變異函數建立如下：

$$C(t, t^*) = e^{-\frac{\sqrt{t^{*2} + t^2}}{a_t}} \quad (7)$$

a_t 為時間半變異元函數之影響距離。

表 3-6 時間半變異元值與映射前後時間距離變化

空間距離(m)	$r(h)$	時間距離 $t^*(hr)$	空間距離(m)	$r(h)$	時間距離 $t^*(hr)$
1769.70	0.29	0.44	23936.13	0.74	2.52
6153.69	0.45	1.02	24899.93	0.75	2.57
7516.37	0.49	1.19	25732.58	0.76	2.61
8770.09	0.53	1.33	26455.08	0.76	2.64
9738.27	0.55	1.44	26847.06	0.76	2.65
10338.66	0.56	1.50	27316.06	0.77	2.67
11436.32	0.59	1.61	28083.74	0.77	2.70
12413.15	0.61	1.71	28722.16	0.77	2.72
13274.54	0.62	1.79	29660.32	0.78	2.76
14359.89	0.64	1.89	30757.11	0.78	2.79
15353.77	0.65	1.97	31709.39	0.79	2.82
15885.00	0.66	2.01	32754.42	0.79	2.85
16482.48	0.67	2.06	33646.19	0.79	2.87
16869.03	0.68	2.09	34669.44	0.79	2.90
17638.32	0.69	2.14	35248.03	0.80	2.91
18517.30	0.70	2.21	36409.69	0.80	2.93
19169.14	0.70	2.25	37671.05	0.80	2.96
19802.56	0.71	2.29	38869.16	0.81	2.98
20639.30	0.72	2.34	41684.37	0.81	3.02
21415.25	0.72	2.39	43187.22	0.81	3.04
22074.58	0.73	2.43	45792.48	0.82	3.07
22712.82	0.74	2.46	49017.94	0.82	3.10

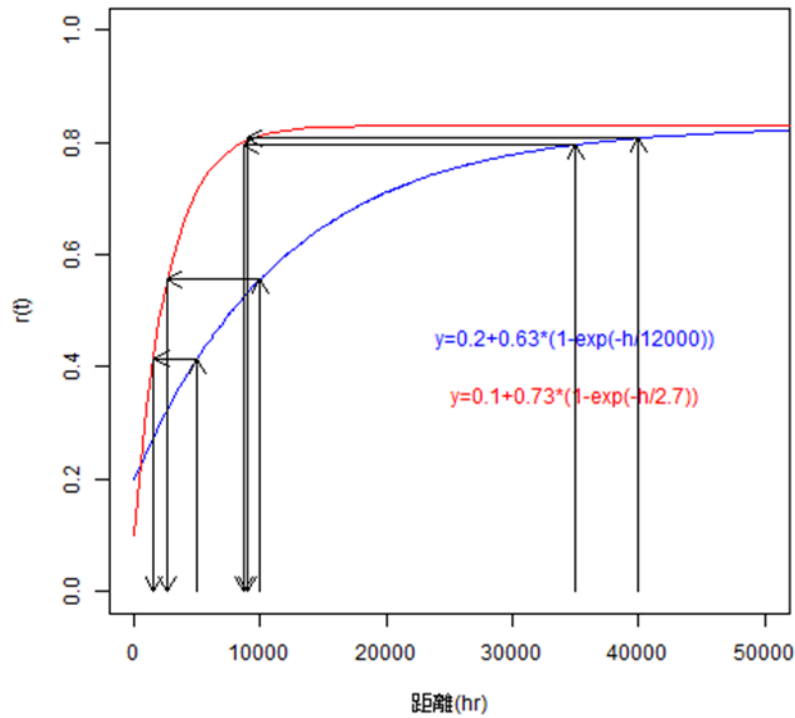


圖3-10 半變異元函數映射示意圖

將空間距離所對應之空間半變異元值映射至時間半變異元函數上，取得空間半變異元函數映射至時間半變異元函數上之時間距離，當時間及空間半變異元函數皆以時間距離呈顯影響範圍時，時空共變異函數可表示如下：

$$C_{S,T}(s, t) = 0.73e^{-\frac{\sqrt{\Delta t^2 + \Delta t^{*2}}}{a_t}} \quad (8)$$

時間影響距離 $a_t = 2.7$ 。

當求取兩個不同測站於不同時刻之相關性時，因時間及空間皆不相同，共變異可藉由 Δt 與 Δt^* 代入(8)式求得。而僅有空間差異存在或是僅時間有差異的相關性求取，則時空半變異元函數不適用。當求取同測站於不同時間下雨量的相關性時，因不受空間變化影響，不同時間雨量相關性即是時間域上的變化，因此相關性即為時間共變異函數，如下：

$$\rho_T(t) = 0.73e^{-\left(\frac{t}{a_t}\right)} \quad (9)$$

考慮求取同一小時不同測站發生之降雨量，與前述類似，同時刻不同測站間之相關性，因不受時間變化影響，雨量間之相關性即是空間域的變化，因此相關性即為空間共變異函數，如下：

$$\rho_S(h) = 0.63e^{-\left(\frac{h}{a_s}\right)} \quad (10)$$

最後考慮求取同測站同時刻雨量，由於空間與時間差距皆為 0，共變異即是對自身之相關係數，因此同測站同時刻雨量之共變異即為 1。

3.5 建立並驗證暴雨降雨量時空分布序率模擬模式

3.5.1 隨機變域序率模擬方法

隨機變域序率模擬已被許多研究廣泛應用(Franco et al. 2006; Guillot 1999; Herrick et al. 2002)。大多數之應用均是以高斯隨機變域模擬產生數量龐大的實現值。然而許多水文變數與環境變數均具非對稱分布，而無法以高斯隨機變域模擬之。本計畫在先前之研究(Liou et al., 2011)已研發以共變異數矩陣轉換為基礎之等向性非高斯隨機變域模擬技術。但本計畫之標準化降雨量為時空非等向隨機變域，故將以(10)式之時空共變異函數應用於等向性非高斯隨機變域模擬，以繁衍大量之標準化降雨量實現值。皮爾遜三型分布為水文分析常用之機率分布，故本計畫擬以之套配標準化降雨量。等向性皮爾遜三型(Pearson Type III)隨機變域模擬之概念如圖 3-11，其詳細步驟說明如下。

颱風降雨事件 83 場，由 30 個測站及 24 小時時雨量構成本計畫分析樣本歷史雨量。測站及各時刻雨量構成一個時空平面，為了維持時空平面上各變數間之相關性，需要同時模擬時空平面上的變數。標準化後時雨量服從皮爾遜三型分布，不易直接進行模擬，需以標準高斯隨機場域作為媒介。時空共變異函數與時雨量同樣屬皮爾遜三型分布，經由轉換成為服從高斯隨機場域之共變異函數。假設 $Z(x)$ 代表皮爾遜三型隨機變域，其共變異函數為 $C_Z(h)$ ，而 $W(x)$ 代表與之對應之標準常態隨機變域，共變異函數為 $C_W(h)$ 。

(A) 將 $C_Z(h)$ 依據(11)式轉換為 $C_W(h)$ 。

$$\rho_{z_1 z_2} \approx (A^2 - 6AC + 9C^2)\rho_{w_1 w_2} + 2B^2\rho_{w_1 w_2}^2 + 6C^2\rho_{w_1 w_2}^3 \quad (11)$$

$$A = 1 + \left(\frac{\gamma}{6}\right)^4, B = \frac{\gamma}{6} - \left(\frac{\gamma}{6}\right)^3, C = \frac{1}{3}\left(\frac{\gamma}{6}\right)^2 \quad (12)$$

前述的(11)式中， $\rho_{z_1 z_2}$ 與 $\rho_{w_1 w_2}$ 分別代表雙變數皮爾遜三型分布之相關係數與雙變數標準常態分布之相關係數， γ 為皮爾遜三型分布之偏態係數 (coefficient of skewness)。

(B) 以序列高斯模擬法(sequential Gaussian simulation)繁衍數量龐大之 $W(x)$ 隨機變域實現值，隨機場域實現值服從標準高斯隨機場域。

(C) 將 $W(x)$ 隨機變域實現值利用如下之隨機變數轉換法轉換為 $Z(x)$ 隨機變域實現值。

$$z \approx w + (w^2 - 1)\frac{\gamma}{6} + \frac{1}{3}(w^3 - 6w)\left(\frac{\gamma}{6}\right)^2 - (w^2 - 1)\left(\frac{\gamma}{6}\right)^3 + w\left(\frac{\gamma}{6}\right)^4 - \frac{1}{3}\left(\frac{\gamma}{6}\right)^5 \quad (13)$$

經上述步驟所繁衍得之皮爾遜三型隨機變域實現值即為(1)式之標準化降雨量 $R_s(t, s, e)$ ，需再以 $mean(t, s)$ 與 $sd(t, s)$ 將之還原為 $R(t, s, e)$ 。

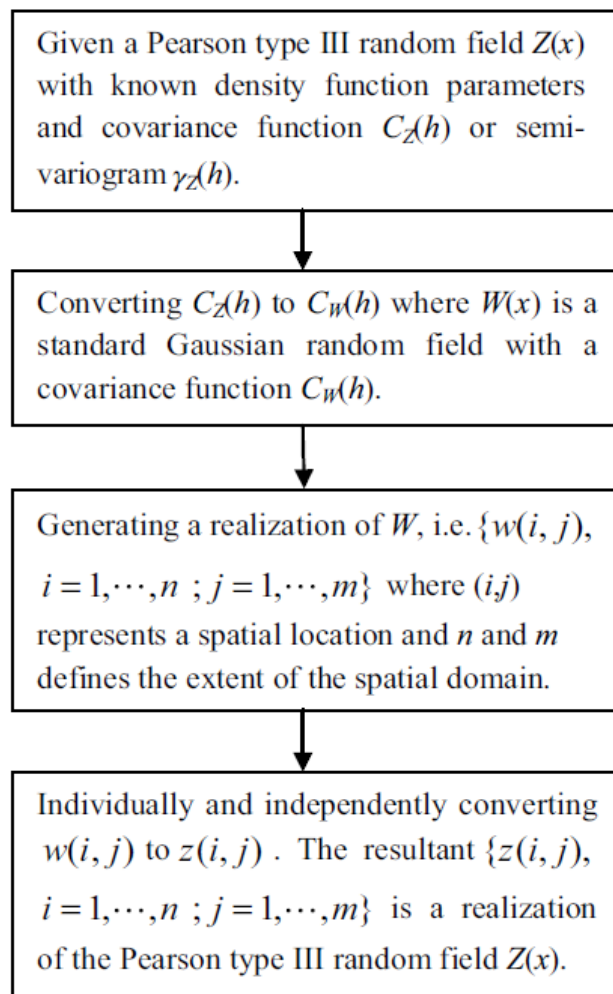


圖3-11 共變異矩陣轉換於等向性皮爾遜三型隨機變域模擬流程圖

歸納整個颱風時空相關降雨模擬的主要步驟，如下文概述：

(1) 標準化

$$R_s(t, s, e) = \frac{R(t, s, e) - \text{mean}(t, s)}{sd(t, s)} \quad (1)$$

上式 $R_s(t, s, e)$ 表第 e 事件第 s 測站第 t 小時時雨量， $R_s(t, s, e)$ 表標準化降雨量， $\text{mean}(t, s)$ 與 $sd(t, s)$ 分別代表第 s 站第 t 小時降雨量之長期平均值與標準差。

(2) 建立時空相關矩陣 $C_z(h)$

藉時空共變異函數(8)式建立時空相關矩陣

$$C_{S,T}(s, t) = 0.73e^{-\frac{\sqrt{\Delta t^2 + \Delta t^*^2}}{a_t}} \quad (8)$$

(3) 高斯相關係數矩陣轉換

將 $C_z(h)$ 依據(11)式轉換為 $C_w(h)$ 。

$$\rho_{z_1 z_2} \approx (A^2 - 6AC + 9C^2)\rho_{w_1 w_2} + 2B^2\rho_{w_1 w_2}^2 + 6C^2\rho_{w_1 w_2}^3 \quad (11)$$

$$A = 1 + \left(\frac{\gamma}{6}\right)^4, B = \frac{\gamma}{6} - \left(\frac{\gamma}{6}\right)^3, C = \frac{1}{3}\left(\frac{\gamma}{6}\right)^2 \quad (12)$$

$\rho_{z_1 z_2}$ 與 $\rho_{w_1 w_2}$ 分別代表雙變數皮爾遜三型分布之相關係數與雙變數標準常態分布之相關係數， γ 為皮爾遜三型分布之偏態係數(coefficient of skewness)。

(4) 以序列高斯模擬法根據 $C_w(h)$ 產生隨機樣本，隨機樣本屬於標準常態隨機變域 $W(x)$ 。

(5) 將隨機樣本以(13)式轉換屬於皮爾遜三型隨機變域 $Z(x)$ 之頻率因子。

$$z \approx w + (w^2 - 1)\frac{\gamma}{6} + \frac{1}{3}(w^3 - 6w)\left(\frac{\gamma}{6}\right)^2 - (w^2 - 1)\left(\frac{\gamma}{6}\right)^3 + w\left(\frac{\gamma}{6}\right)^4 - \frac{1}{3}\left(\frac{\gamma}{6}\right)^5 \quad (13)$$

(6) 以歷史雨量跨事件平均及標準差將頻率因子轉為模擬雨量。

$$R_{simulation}(t, s, e, n) = z(t, s, e, n) \times sd(t, s) + \text{mean}(t, s) \quad (14)$$

3.5.2 驗證模擬結果

高斯率列模擬生成隨機樣本 $w_{e,T,S,n}$ ，其中事件數($e=83$)、時間($T=24$)、測站($S=30$)以及區塊模擬(block simulation)次數($n=1,000$)。區塊模擬是為了比較模擬產生之隨機樣本統計量特性與降雨歷史資料是否相符，每次模擬產生 83 場降雨事件，將 83 場降雨事件視為一個區塊，與颱風歷史降雨事件數量相同。每次區塊模擬產生隨機樣本包含 59,760 個數值，即是 30 個測站及每測站之 24 個小時時雨量以及 83 場降雨事件($30 \times 24 \times 83 = 59,760$)，而單次降雨事件產生 720 個 ($30 \times 24 = 720$ ，30 測站、24 小時)平均值與標準差。

$$\text{平均值 } M_{T,S,n} = \text{mean}(w_{T,S}) = \frac{1}{83} \sum_{e=1}^{83} w_{e,T,S,n}, n = 1 \quad (15)$$

$$\text{標準差 } S_{T,S,n} = \text{sd}(w_{T,S}) = \sqrt{\frac{1}{83} \sum_{e=1}^{83} (w_{e,T,S,n} - \text{mean}(w_{T,S}))^2}, n = 1 \quad (16)$$

以 24 小時為橫軸 30 個測站為縱軸，可將 720 個降雨分布置於二維矩陣，分別計算降雨分布之平均、標準差，並以色階呈現數值範圍，如圖 3-12。藉由 1,000 次區塊模擬可求得 $\overline{M_{T,S}}$ 和 $\text{sd}(M_{T,S})$ ，分別代表 1,000 個 $M_{T,S,n}$ 之平均及標準差，可評估模擬樣本是否準確與穩定。 $\overline{S_{T,S,n}}$ 及 $\text{sd}(S_{T,S,n})$ 代表 1,000 個 $S_{T,S,n}$ 之平均及標準差，可呈現模擬樣本標準差是否接近設定值 1 且穩定差異性不至過大。

$$\overline{M_{T,S}} = \frac{1}{1000} \sum_{n=1}^{1000} M_{T,S,n} \quad (17)$$

$$\text{sd}(M_{T,S}) = \sqrt{\frac{1}{1000} \sum_{n=1}^{1000} (M_{T,S,n} - \overline{M_{T,S}})^2} \quad (18)$$

$$\overline{S_{T,S,n}} = \frac{1}{1000} \sum_{n=1}^{1000} SD_{T,S,n} \quad (19)$$

$$\text{sd}(S_{T,S,n}) = \sqrt{\frac{1}{1000} \sum_{n=1}^{1000} (SD_{T,S,n} - \overline{SD_{T,S}})^2} \quad (20)$$

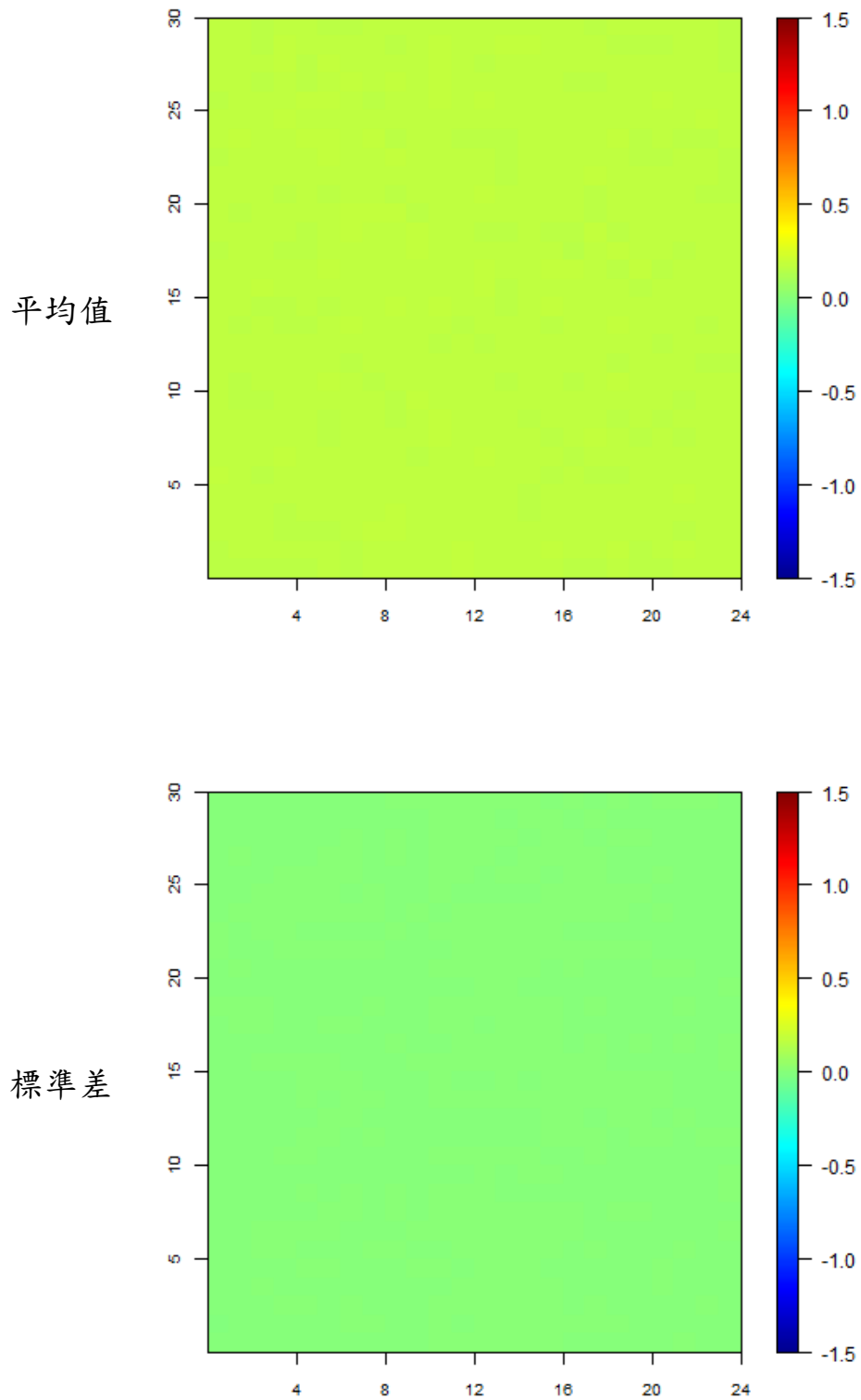


圖3-12 $M_{T,S,n}$ 區塊模擬1000次平均與標準差

(一) 頻率因子平均與標準差

暴雨降雨量時空分布序列模擬可區分為：時空特性分析及序列模擬兩大部分。分析時空特性後建立時空相關性矩陣，並藉此產生具時空相關性之隨機樣本。序列模擬依照時空相關性矩陣，以高斯序列模擬產生服從標準常態分布之隨機樣本，經轉換成為服從皮爾遜三型之頻率因子。以序列高斯模擬產生標準常態隨機樣本，經轉換為頻率因子，理論上仍應維持樣本平均為 0、樣本標準差為 1。1,000 次區塊模擬所產生 1000 個樣本平均 $\overline{M_{T,S}}$ 接近理論值 0，1,000 個樣本標準差 $sd(M_{T,S})$ 極小顯示模擬樣本穩定。由圖 3-13 可知 1,000 次區塊模擬所產生 1,000 個樣本標準差 $\overline{S_{T,S,n}}$ 與理論值 1 差異極小，1,000 個樣本標準差 $sd(S_{T,S,n})$ 極小顯示模擬標準差穩定。

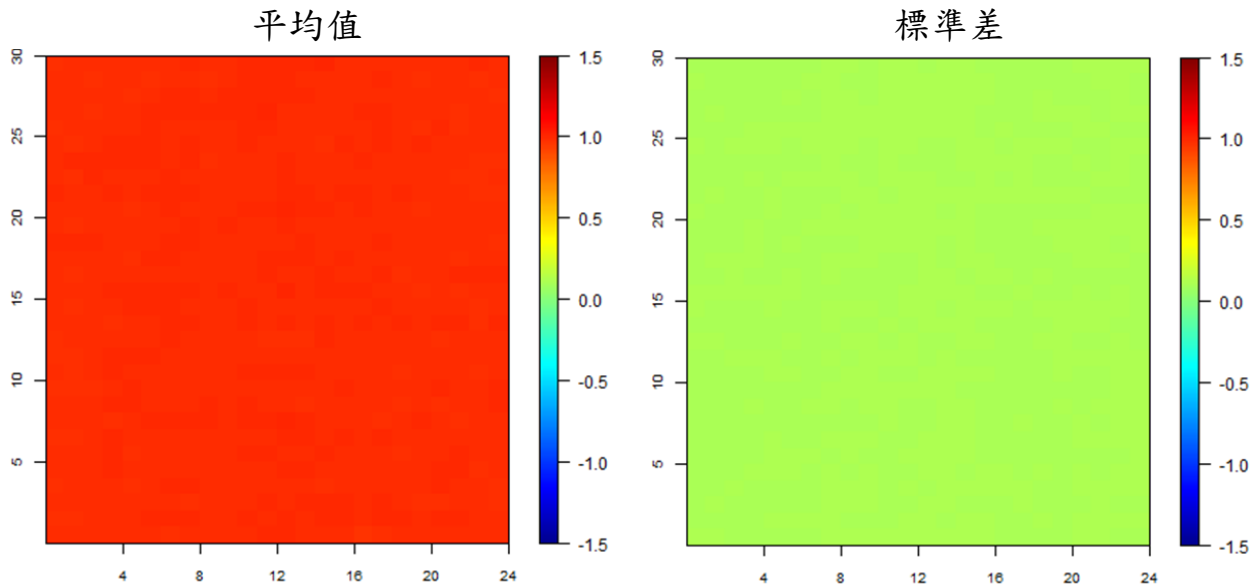


圖3-13 $S_{T,S,n}$ 區塊模擬1000次平均與標準差

(二) 頻率因子偏態係數

頻率因子服從皮爾遜三型分布，偏態係數應接近轉換時設定偏態係數 2.147。偏態係數 2.147 係據 83 場歷史降雨事件求得，因此模擬降雨量之偏態係數同樣需以 83 場降雨事件為單位進行驗證，也就是每一區塊模擬產生模擬降雨事件求取一次偏態係數，並且檢視重複區塊模擬 1,000 次之偏態係數統計量特性是否與歷史事件偏態係數 2.147 相符。距計算結果重複模擬 1,000 次偏態係數之平均為 2.217 與設定值 2.147 相當接近，差距僅有 0.069，如圖 3-14 所示。

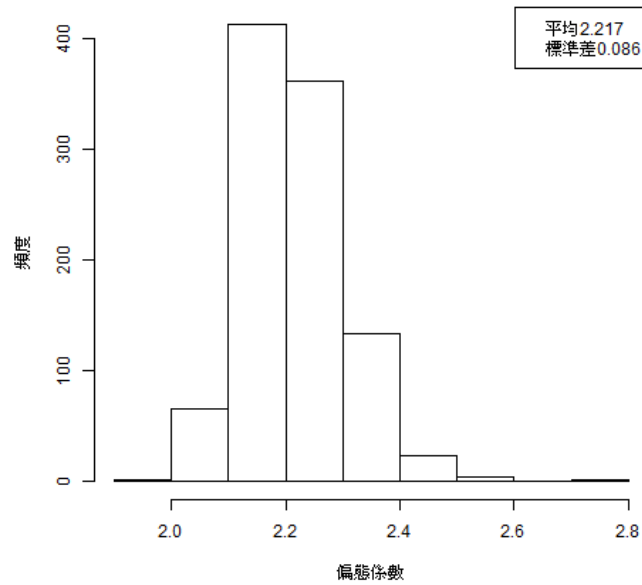


圖3-14 偏態係數頻度圖

(三)模擬雨量平均

區塊模擬 1,000 組雨量資料 $R_{e,T,S,N}$ ，每一區塊模擬包含事件數 83 場 ($e=83$)、24 小時($T=24$)、30 測站($S=30$)，一千組區塊模擬($N=1,000$)。一次區塊模擬降雨事件產生 720 個平均值($30 \times 24 = 720$ ，30 測站、24 小時)，以第一測站第一個小時降雨量為例，歷史降雨事件為 83 場，第一測站第一小時時雨量同為 83 筆，83 筆降雨量之平均值，即是測站於單一小時跨事件雨量平均值，以 $M_{T,S,N} = \frac{1}{83} \sum_{e=1}^{83} R_{e,T,S,N}$ 表示。模擬 1000 組區塊模擬後，720 個平均值各自將有 1,000 個模擬雨量平均 $M_{T,S,N}$ 。

$$M_{T,S,N} = \frac{1}{83} \sum_{e=1}^{83} R_{e,T,S,N} \tag{21}$$

$$\text{小時} : T = 1, \dots, 24 \tag{22}$$

$$\text{測站} : S = 1, \dots, 30 \tag{23}$$

$$\text{模擬次數} : N = 1, \dots, 1000 \tag{24}$$

$$\text{平均值} : \overline{M_{T,S}} = \frac{1}{1000} \sum_{n=1}^{1000} M_{T,S,n} \tag{25}$$

$$\text{標準差} : sd(M_{T,S}) = \sqrt{\frac{1}{1000} \sum_{n=1}^{1000} (M_{T,S,n} - \overline{M_{T,S}})^2} \tag{26}$$

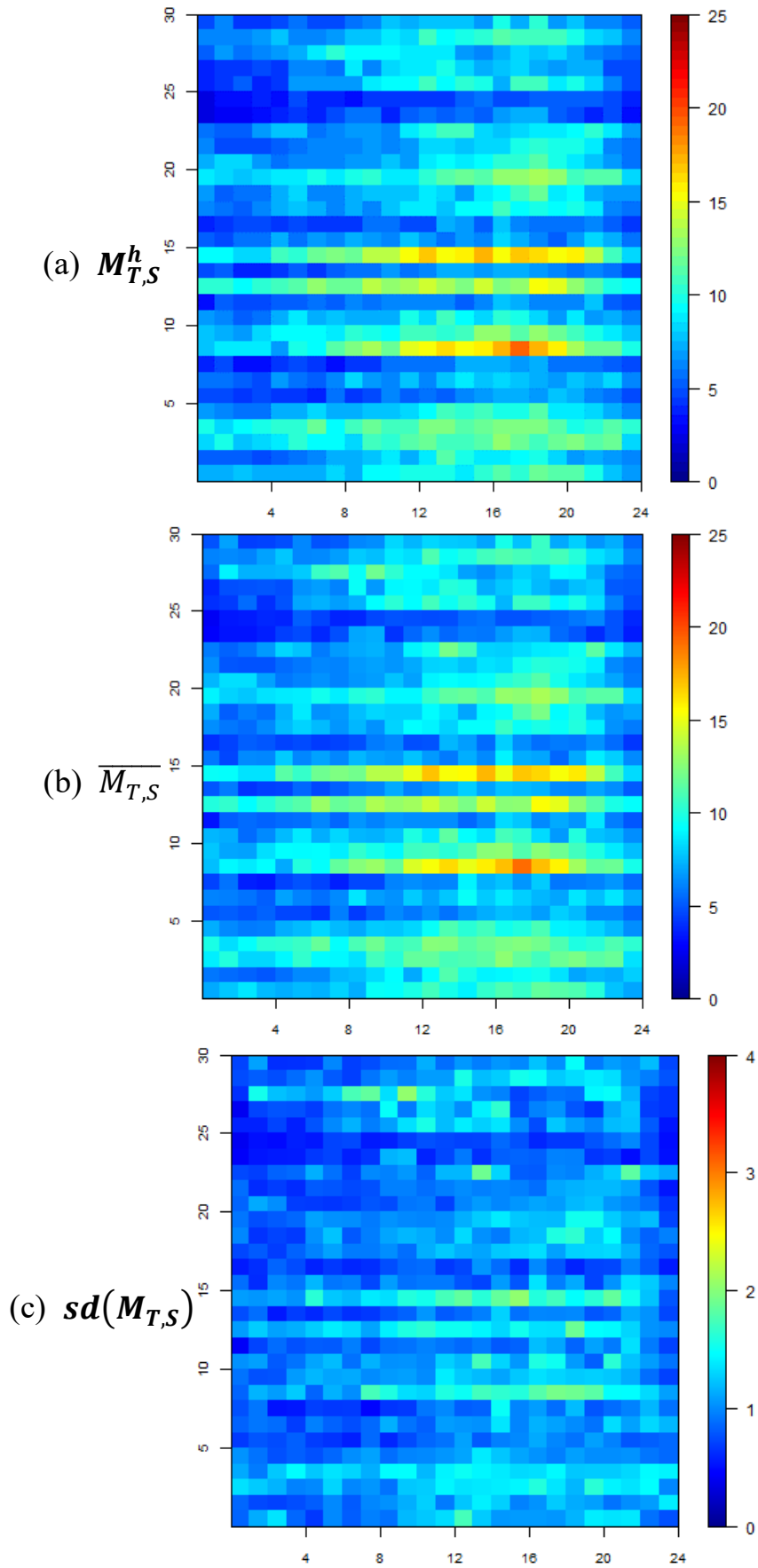


圖3-15 實際雨量與模擬雨量平均值色階圖

模擬時空相關降雨，產生時空相關之測站時雨量。當模擬方法適當時，模擬時雨量應該具備一定程度的變動，並且能夠維持住不變的統計量特性。83 場歷史降雨事件，包含 30 個測站於 24 小時內發生之時雨量。若歷史降雨事件於各測站各小時的降雨紀錄是完整的，則某測站某小時有 83 筆歷史資料。區塊模擬 1,000 次產生之隨機樣本，即是將 83 筆歷史資料重複模擬 1,000 次，且 1,000 個區塊模擬隨機樣本之統計量特性應與歷史事件之統計量特性相符。

以第一測站第一小時為例，歷史降雨事件共有 83 場，因此第一測站第一小時時雨量共有 83 筆。這 83 筆時雨量之平均及標準差即是第一測站第一小時雨量平均以及雨量標準差，雨量平均可呈現平均雨勢強度，雨量標準差則可顯示雨勢變化程度。每次的區塊模擬產生 83 場降雨事件與歷史事件數相同，因此可採同樣方式求得第一測站第一小時之雨量平均及標準差。當模擬次數增加，隨機樣本統計量的平均將會更貼近歷史事件之統計量。區塊模擬 1,000 次後可得 1,000 個測站時雨量平均及標準差，此 1,000 個測站時雨量及標準差之平均，理論上應等於歷史事件 83 場的時雨量平均及標準差。

(四)模擬雨量標準差

樣本標準差可呈現樣本資料離散程度，歷史事件標準差 $SD_{T,S}^h$ 可呈現跨 83 場事件雨量變化程度， $SD_{T,S,N}$ 表示一次區塊模擬中(N)，屬於同小時(T)、同測站(S)降雨量之標準差。頻率因子標準差應與設定值相同為 1，1,000 次區塊模擬樣本標準差平均後也應該為 1。

$$SD_{T,S,N} = \sqrt{\frac{1}{83} \sum_{e=1}^{83} (R_{e,T,S,N} - M_{T,S,N})^2} \quad (27)$$

$$\overline{SD_{T,S}} = \frac{1}{1000} \sum_{n=1}^{1000} SD_{T,S,n} \quad (28)$$

$$sd(SD_{T,S}) = \sqrt{\frac{1}{1000} \sum_{n=1}^{1000} (SD_{T,S,n} - \overline{SD_{T,S}})^2} \quad (29)$$

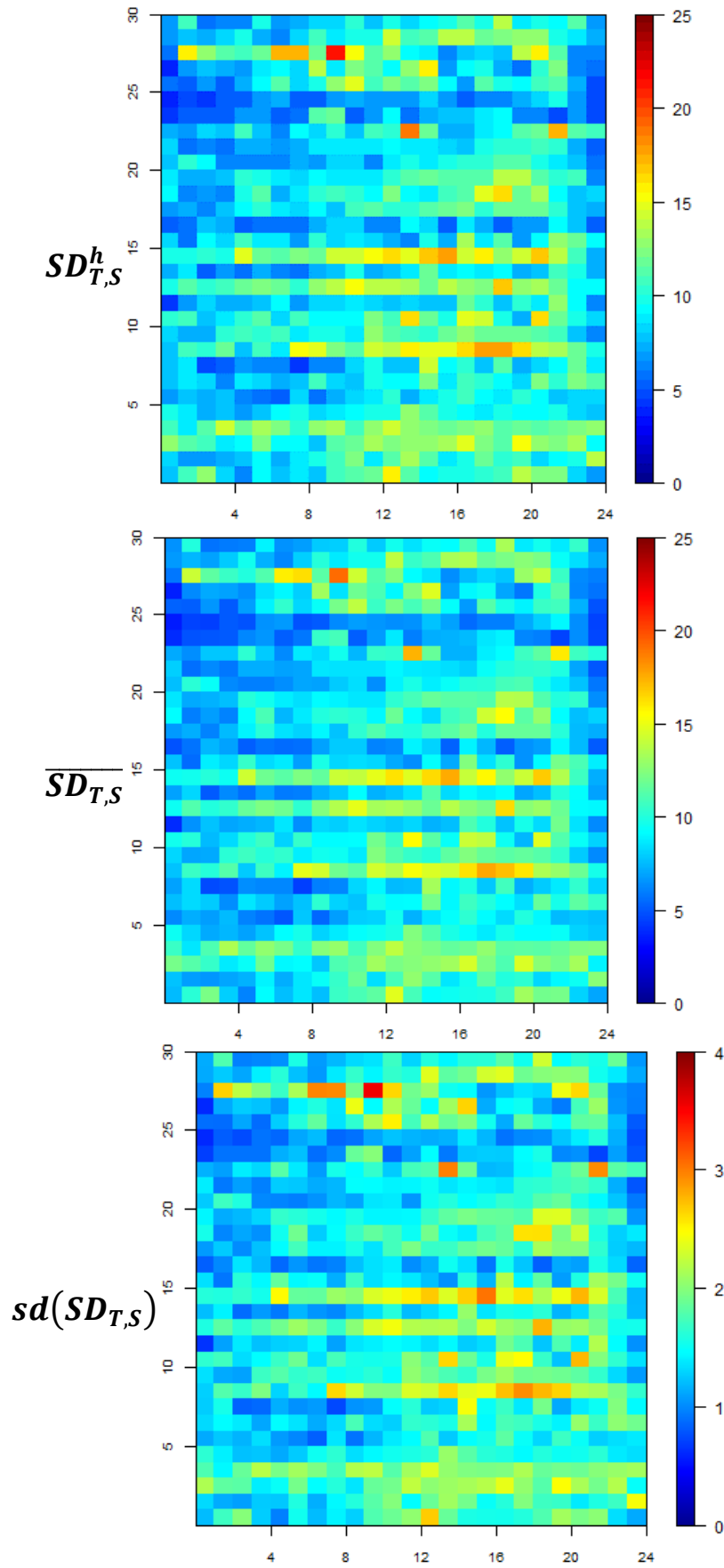


圖3-16 實際雨量與模擬雨量標準差色階圖

(五)相關係數矩陣

經時間與空間半變異元函數建立時空共變異函數(covariance function)，由於歷史降雨資料經過標準化，共變異值即為相關係數。共變異函數可供計算各測站各小時時雨量相關係數。相關係數以下列簡式表示：

$$\rho(R_{t,s}, R_{t,s}), t = 1, 2, \dots, 24, s = 1, 2, \dots, 30 \quad (30)$$

例如：測站 $s1$ 於 $t1$ 時雨量與測站 $s2$ 於 $t2$ 時雨量之相關係數為 $\rho(R_{t1,s1}, R_{t2,s2})$ 。所有測站(30 站)及 24 小時時雨量共有 720 個組合，可構成維度為 720×720 之大型矩陣。佈置相關係數矩陣時，先將大型矩陣切割成維度 24×24 之母矩陣。母矩陣中擺放維度 30×30 的子矩陣，子矩陣由給定時間條件下相關係數組成，子矩陣可顯示給定時間條件下測站間相關性。例如：30 個測站第一、第二小時雨量相關係數 $\rho(R_{t1,s}, R_{t2,s}), s = 1, 2, \dots, 30$ 。維度 30×30 子矩陣需佈置於母矩陣 [1,2] 及 [2,1] 中。當時間相同時(如： $t1 = t2 = 1$)，子矩陣顯示第一小時測站間雨量相關性，對角線為相同時間各測站對自身之相關係數($\rho = 1$)。子矩陣佈置於母矩陣對角線 [1,1]。

$\rho(R_{T,s30}, R_{T,s1})$	...	...	$\rho(R_{T,s30}, R_{T,s30})$
...
$\rho(R_{T,s2}, R_{T,s1})$	$\rho(R_{T,s2}, R_{T,s2})$	...	...
$\rho(R_{T,s1}, R_{T,s1})$	$\rho(R_{T,s1}, R_{T,s2})$	...	$\rho(R_{T,s1}, R_{T,s30})$

圖3-17 子矩陣(30 × 30)示意圖

將時間相同的相關係數子矩陣依序佈置於母矩陣對角線上，

$\rho(R_{t24,s}, R_{t1,s})$	...	...	$\rho(R_{t24,s}, R_{t24,s})$
...
$\rho(R_{t2,s}, R_{t1,s})$	$\rho(R_{t2,s}, R_{t2,s})$	...	...
$\rho(R_{t1,s}, R_{t1,s})$	$\rho(R_{t1,s}, R_{t2,s})$	...	$\rho(R_{t1,s}, R_{t24,s})$

圖3-18 母矩陣(24 × 24)示意圖

相關係數介於 ± 1 。時間影響距離 $a_t = 2.7$ ，由當時間距離為影響距離三倍(8.1)時，相關係數趨於穩定，由圖 3-19 與圖 3-20 可發現色階變化於時間

差 8 之後相關係數接近 0 且趨於穩定，與時間半變異元模式特性相符。將理論相關係數矩陣與模擬樣本相關係數矩陣相減，以比較兩者差異。兩者差值介於 ± 0.04 之間，顯示差異極小。

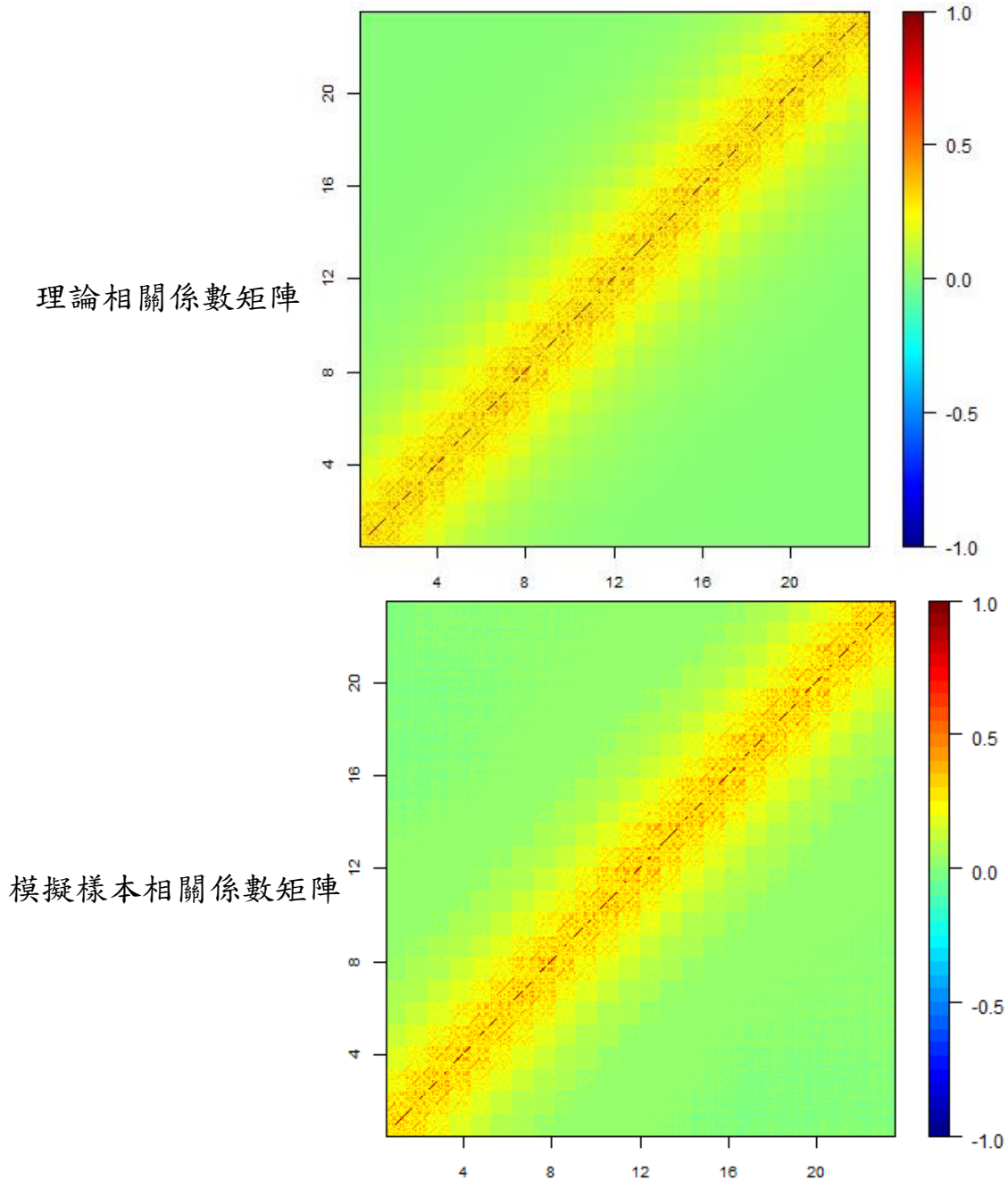


圖3-19 理論相關係數矩陣及模擬樣本相關係數矩陣

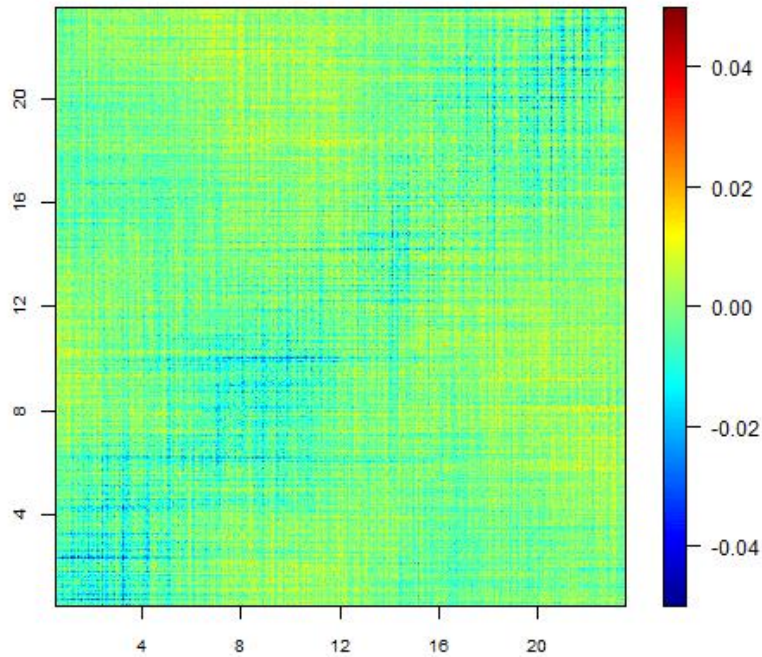


圖3-20 理論相關係數矩陣與模擬樣本相關係數矩陣誤差

(六)區域平均雨量

測站降雨量可代表該座標位置測得之降雨量，為了評估降雨事件於整個研究區域造成的降雨量，須由各測站降雨量計算區域平均降雨量。本計畫採徐昇式法，以測站為中心劃分集水區，並且依照集水區面積比例，給予各測站雨量不同加權，以求得區域平均雨量。徐昇式法係將相鄰雨量站以直線相連形成多個三角形，計算三角形各邊上之中垂線。多個三角形三邊中垂線將研究區域劃分為數個區塊，形成徐昇式多邊形，如圖 3-21 所示。其中集水區面積最大與最小差距可達 5 倍，以各多邊形面積佔總面積比例做為計算區域平均雨量權重加權，如表 3-7。

加權因子 $w_i = a_i/A$ ，其中 a_i 為多邊形面積， $A = \sum_{i=1}^n a_i$ 即總面積。

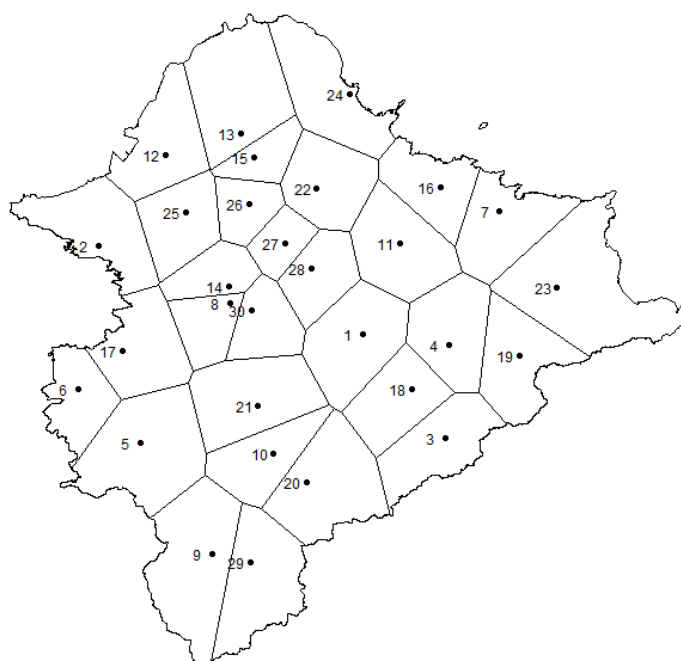


圖3-21 測站集水區劃分

表 3-7 徐昇式測站權重

測站編號	權重	測站編號	權重
1	0.0395	16	0.027
2	0.0382	17	0.0333
3	0.0339	18	0.0294
4	0.0335	19	0.0343
5	0.0533	20	0.0444
6	0.0244	21	0.0414
7	0.0347	22	0.0314
8	0.0179	23	0.0681
9	0.0525	24	0.0396
10	0.0272	25	0.0279
11	0.0375	26	0.0161
12	0.0351	27	0.0135
13	0.0489	28	0.0229
14	0.0181	29	0.0406
15	0.0145	30	0.0209

將 83 場歷史事件及 1,000 次區塊模擬以徐昇式法計算區域平均雨量。歷史降雨事件區域平均雨量最小及最大值分別為 36.78mm 及 576.98mm，1,000 組區塊模擬區域總降雨量最小值為 20.84mm、最大值則是 895.46mm。

將區域平均雨量以 25mm 為區間分組檢視頻度，歷史事件共有 83 場降雨的區域平均雨量，而模擬降雨事件則有 83,000 場區域平均降雨量。將模擬事件頻度除以 1,000 後同繪於歷史事件頻度圖上，可發現歷史事件與 1,000 組區塊模擬事件之區域平均雨量，各組頻度變化趨勢大致與歷史事件各組頻度相符，如圖 3-22。由此可知本計畫模擬產生降雨事件，各雨量區間的場次數和歷史事件具有相近的趨勢，表示區間模擬結果在不同降雨量降雨的發生機率上亦接近實際降雨發生的特性。

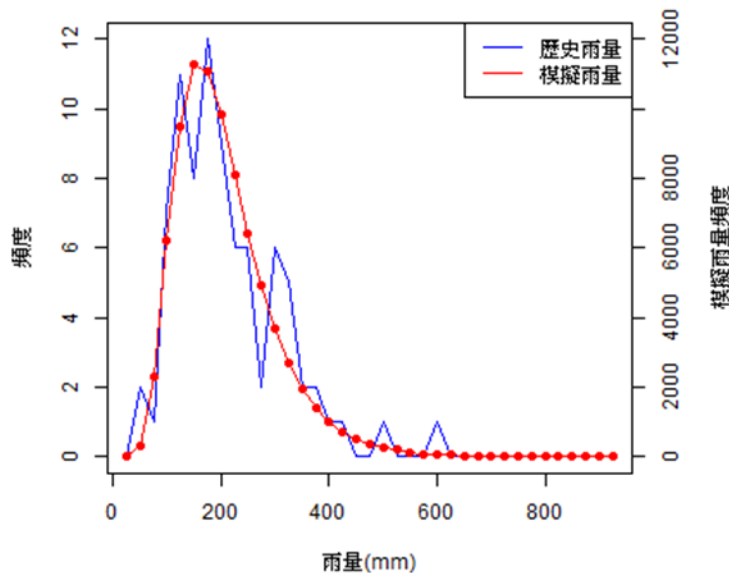


圖3-22 模擬雨量與實際雨量頻度圖

區塊模擬產生與歷史事件相同數量的隨機樣本，若模擬雨量與歷史雨量屬於相同分布，則累積機率函數(CDF)應呈現相同趨勢。圖 3-23 為模擬事件與實際事件的雨量累積機率圖，圖中 1,000 組區塊模擬 CDF 形成條帶狀，顯示每次模擬有所差異，但變動範圍與歷史事件趨勢相似，且 1,000 組 CDF 平均(綠色)與歷史事件 CDF 趨勢及其相符。

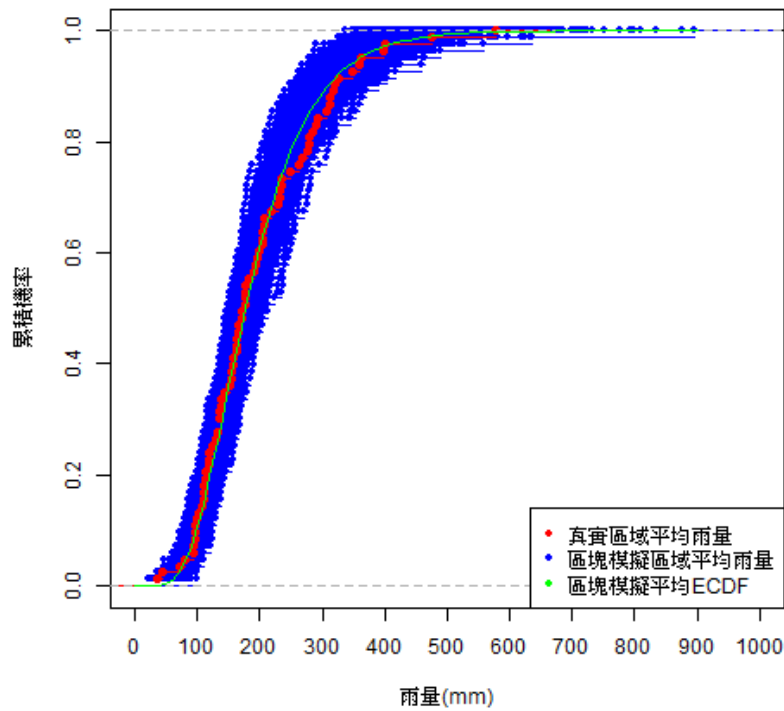


圖3-23 模擬雨量與實際雨量累積機率圖

(七)暴雨事件挑選

目前完成驗證之模擬降雨事件共計 83,000 場次，考慮後續進行淹水模式演算，優先挑選一定數量且具代表性降雨事件，進入後續演算程序。參照水利署的三代淹水潛勢圖公開情境，將模擬降雨事件依 24 小時降雨量分為 4 個等級，即 125mm~275mm、275mm~425mm、425mm~575mm 以及超過 575mm，各自代表雨量情境為 200mm/24hr、350 mm/24hr、500 mm/24hr、650 mm/24hr。

表 3-8 為 24 小時降雨量達 125mm 以上的歷史降雨事件與模擬降雨事件場數一覽表，表中依照前述的 4 組分析情境區分，各組再依據降雨量以 25mm 區間細分成數層，並列出各層在 83 場歷史颱風事件、83,000 場模擬情境降雨事件、後續淹水分析選用事件所包含的場次數，以呈現本計畫選用分析事件的總降雨量多寡分布情形。

在淹水分析用的降雨事件挑選上，考量到淹水演算需要時間與本計畫的時程等限制，選取大約 3,000 場模擬降雨事件進行淹水模擬與淹水機率分析使用。200mm/24hr 及 350mm/24hr 情境降雨的事件數量多但致災可能性較低，因此兩組各挑選 750 場次進行淹水模擬分析；500mm/24hr 情境降雨量較大，有較高機會導致淹水災害發生，雖然模擬的場次數量較少，但為確保所有易淹水地區能夠於後續分析中充分地被淹水模式捕捉到，故多選到 1,000 場用以淹水模擬分析；650mm/24hr 情境的事件數不多，因此 162 場次全部進行淹水模擬分析。此處各組選用事件的數量與全部模擬事件次數的比例並不相同，係因後續淹水機率分析會將各組情境分開進行討論，為能夠充分討論各種可能的淹水情形，所以在大雨量情境選取較多場次進行分析。

各降雨情境分組中，依據分層抽樣概念，各層內樣本數配置應考量各層中降雨事件之比例，以求各組的挑選事件數與該組所有模擬降雨事件之總雨量分布比例相同，確保樣本具恰當之代表性。

表 3-8 歷史事件(1978~2018)及模擬事件頻度表

雨量 (mm)	歷史事件 次數	模擬事件 次數	選用事件 次數	雨量 (mm)	歷史事件 次數	模擬事件 次數	選用事件 次數
125-150	8	11,294	163	575-600	1	54	54
150-175	12	11,089	161	600-625	0	37	37
175-200	9	9,843	144	625-650	0	27	27
200-225	6	8,122	117	650-675	0	20	20
225-250	6	6,394	93	675-700	0	5	5
250-275	2	4,932	72	700-725	0	8	8
275-300	6	3,696	246	725-750	0	2	2
300-325	5	2,688	177	750-775	0	1	1
325-350	2	1,922	126	775-800	0	4	4
350-375	2	1,402	91	800-825	0	1	1
375-400	1	992	65	825-850	0	1	1
400-425	1	681	45	850-875	0	0	0
425-450	0	486	340	875-900	0	2	2
450-475	0	357	234				
475-500	1	243	166				
500-525	0	194	138				
525-550	0	103	67				
550-575	0	77	55				

(八)空間推估

區域平均雨量代表研究區域內所有位置雨量之平均，本計畫視降雨空間分布為隨機場域，以克利金法將模擬降雨量布置於研究區域內空間位置上。克利金法公式如下：

$$\begin{bmatrix} W \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Var_{xi} & \mathbf{1} \\ \mathbf{1}^t & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} Cov_{xi,x*} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(x1, x1) & \cdots & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & \cdots & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \gamma(x1, x*) \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix}$$

其中， Var_{xi} 為兩兩測站間半變異元值，由距離推估點鄰近 10 測站求得。 $Cov_{xi,x*}$ 推估點至鄰近 10 測站間半變異元值。

根據研究區域範圍，設置網格點座標位置，二度分帶 X 座標 277,750~351,000、Y 座標 273,000~279,500，網格解析度為 250 公尺。研究區域內共計 40,174 個網格點位。每筆模擬降雨事件皆包含 30 個測站於 24 個小時內之降雨量，透過克利金法可將每個小時的雨量測站降雨量進行空間推估，產製整個研究區域範圍的網格降雨量，供淹水模擬使用。

根據上述方法，從四個降雨情境分組隨機選出各挑選出 1 組模擬雨量資料繪製成 24 小時的空間雨量分布圖進行降雨時空間變化的展示，呈現研究區域網格點推估雨量隨時間演進之空間分布變動情形。圖 3-24 至圖 3-27 為區域平均雨量 126mm/24hr 的事件；圖 3-28 至圖 3-31 為區域平均雨量 297mm/24hr 的事件；圖 3-32 至圖 3-35 為區域平均雨量 431mm/24hr 的事件；圖 3-36 至圖 3-39 為區域平均雨量 576mm/24hr 的事件。

本計畫蒐集的歷史颱風事件的 83 場降雨與暴雨序率模式產製的 83,000 場降雨時空變化資料，皆存放在暴雨大數據資料庫，提供後續研究或應用使用。

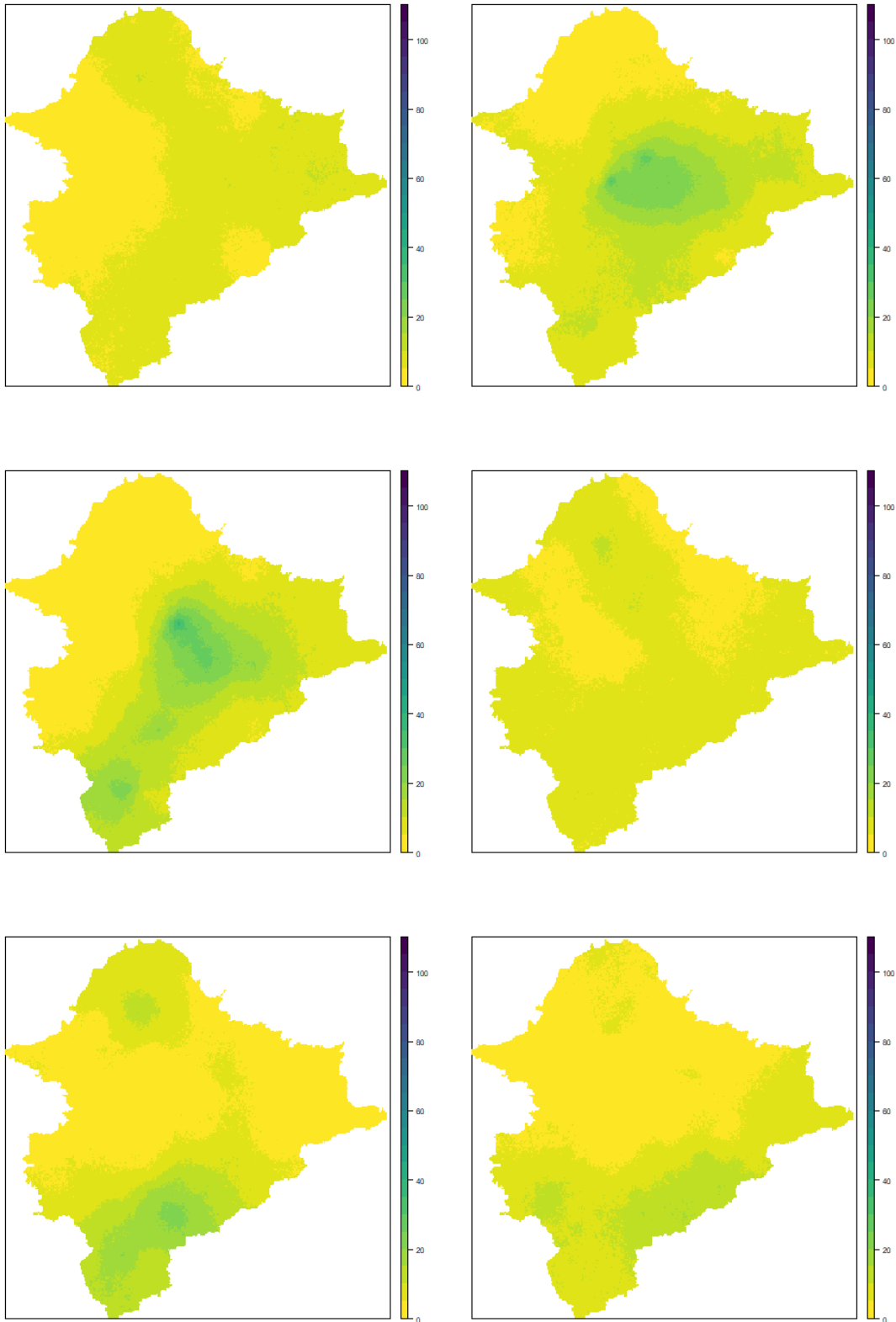


圖3-24 區域平均雨量126(mm)空間分布色階圖(1~6小時)

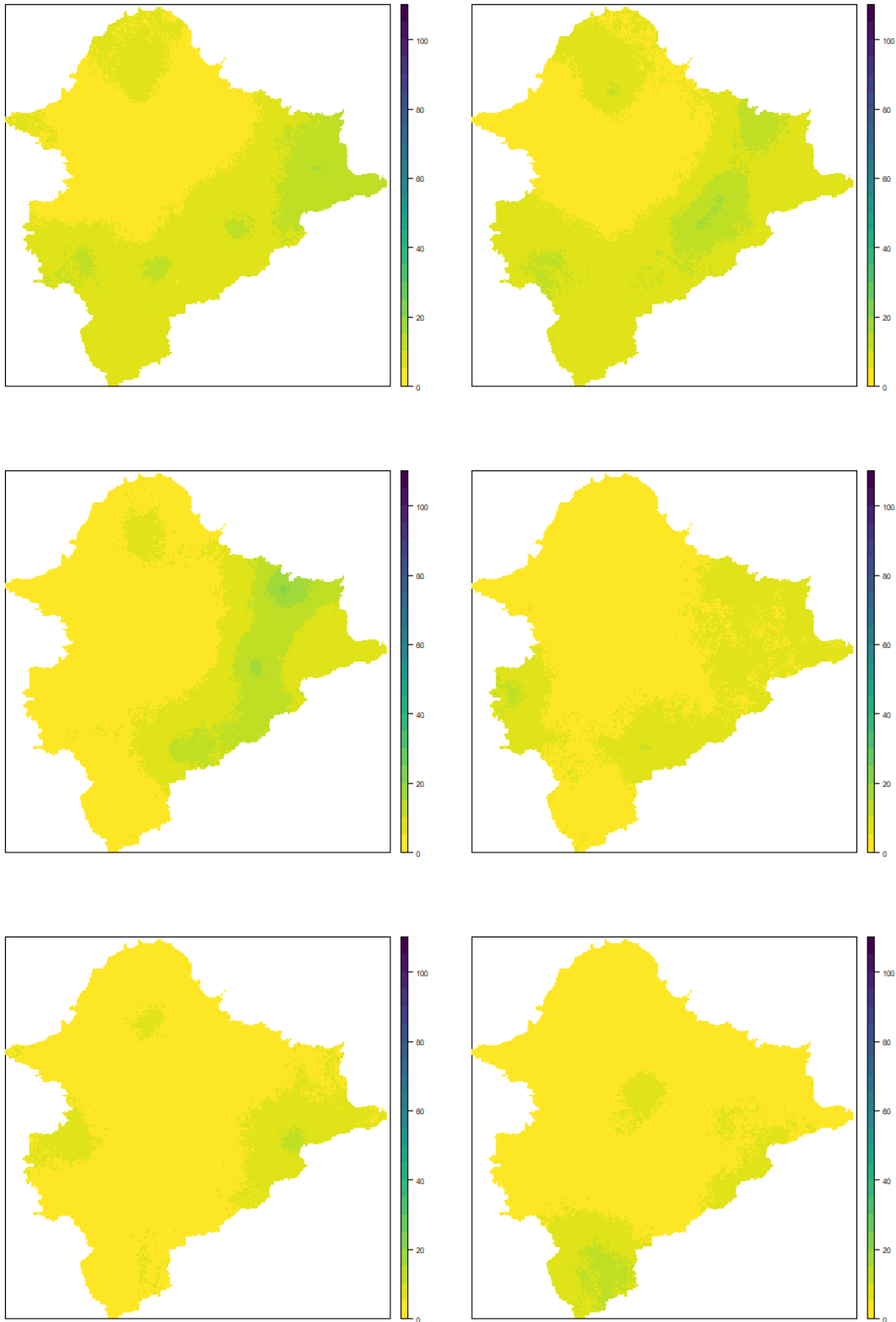


圖3-25 區域平均雨量126(mm)空間分布色階圖(7~12小時)

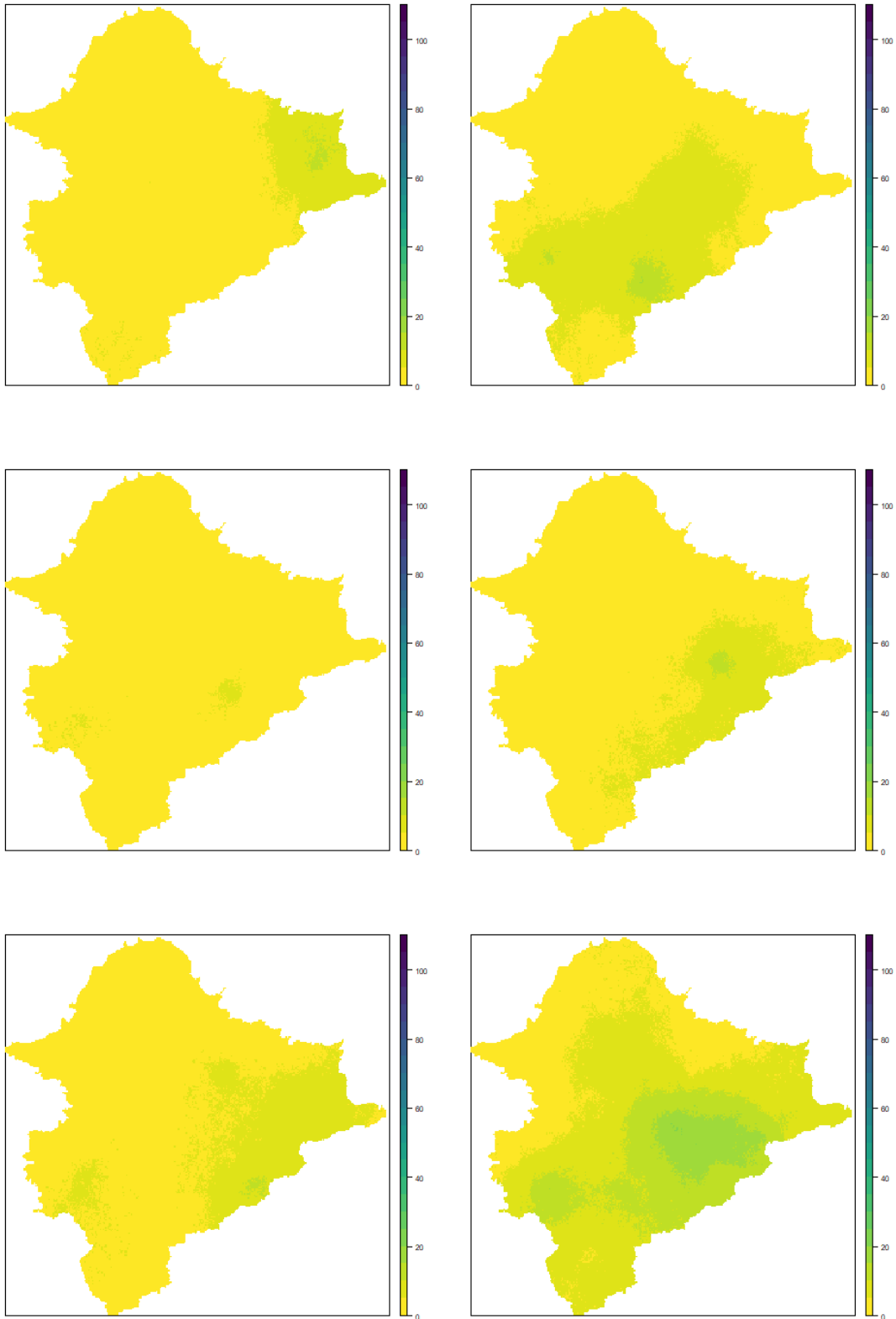


圖3-26 區域平均雨量126(mm)空間分布色階圖(13~18小時)

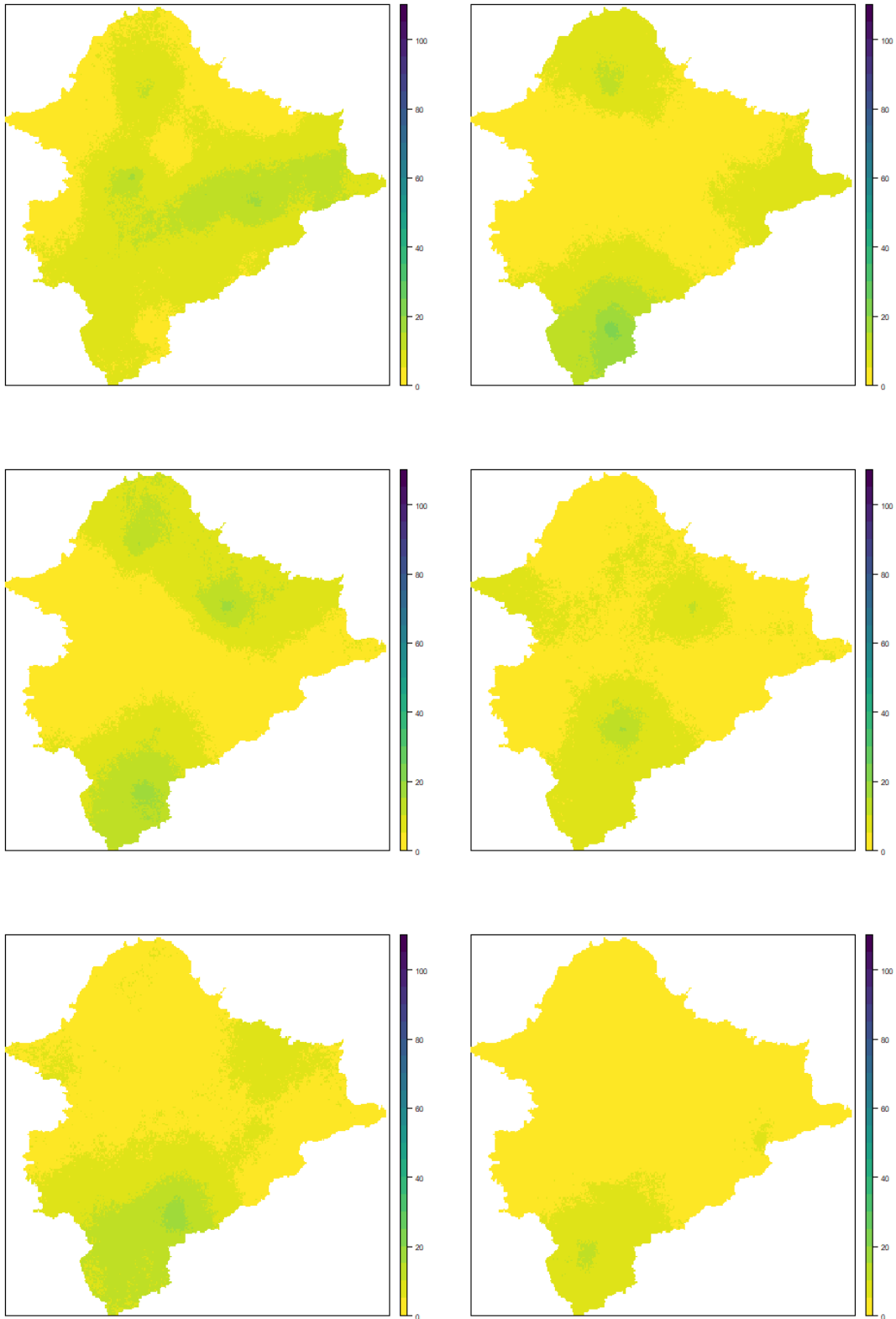


圖3-27 區域平均雨量126(mm)空間分布色階圖(19~24小時)

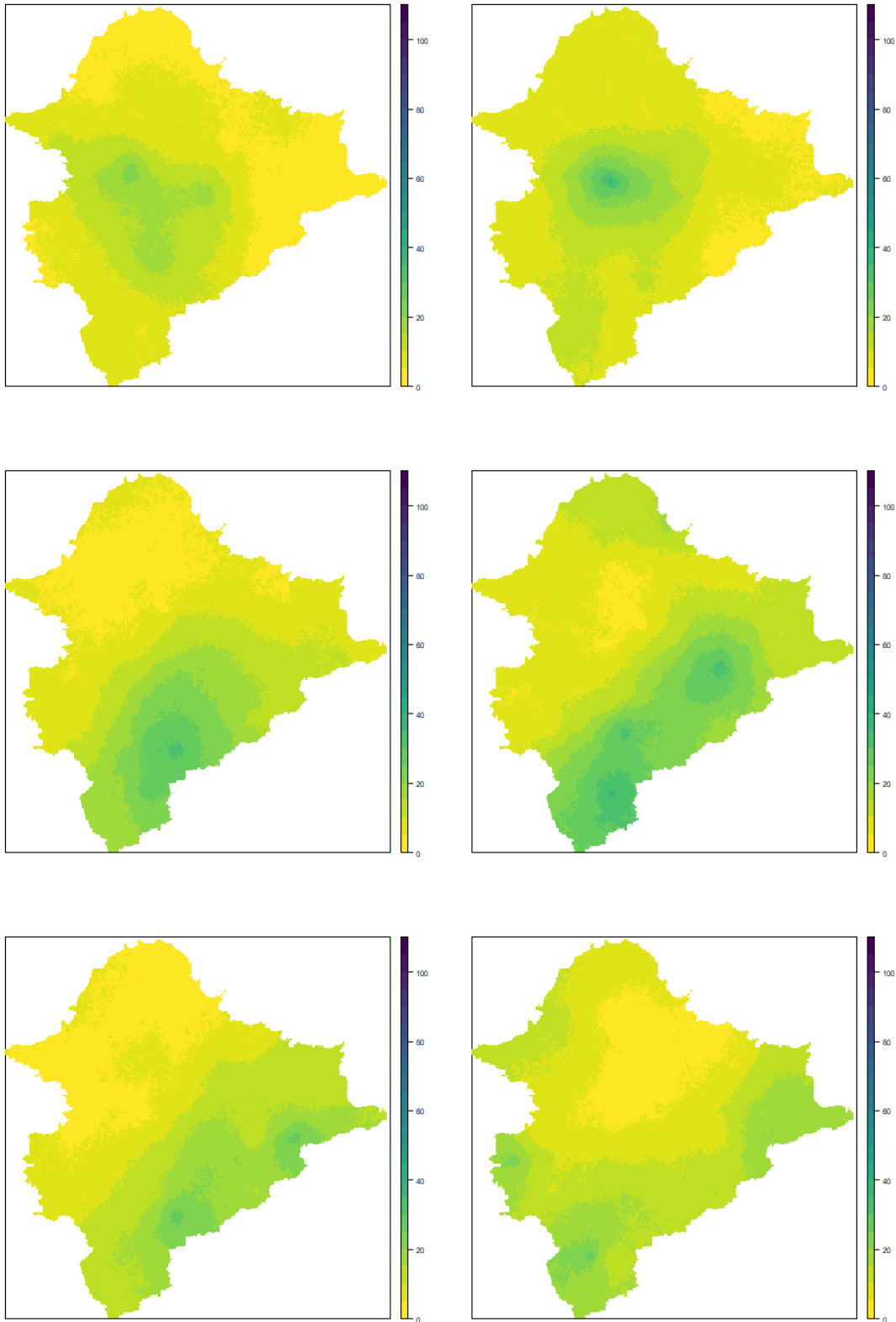


圖3-28 區域平均雨量297(mm)空間分布色階圖(1~6小時)

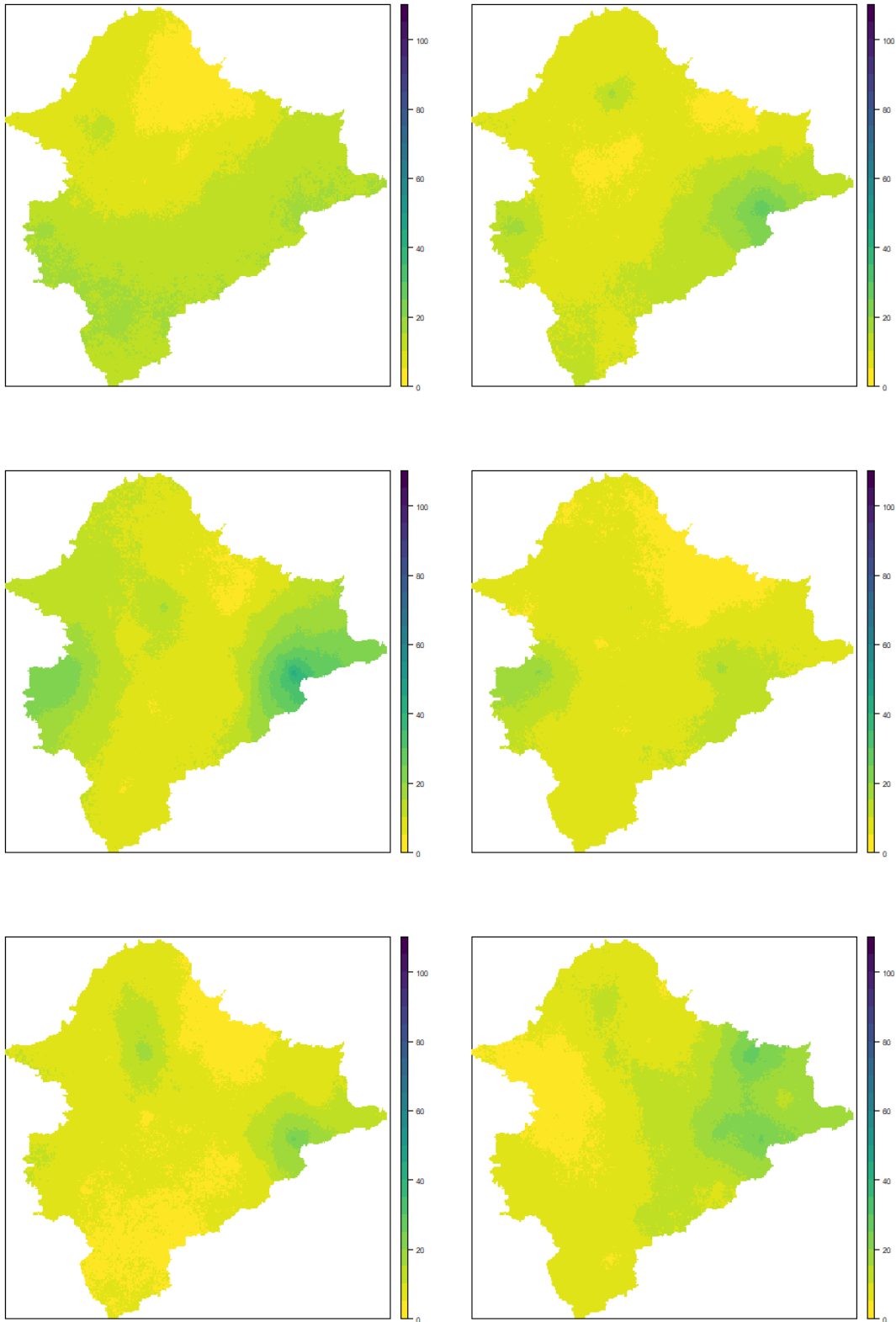


圖3-29 區域平均雨量297(mm)空間分布色階圖(7~12小時)

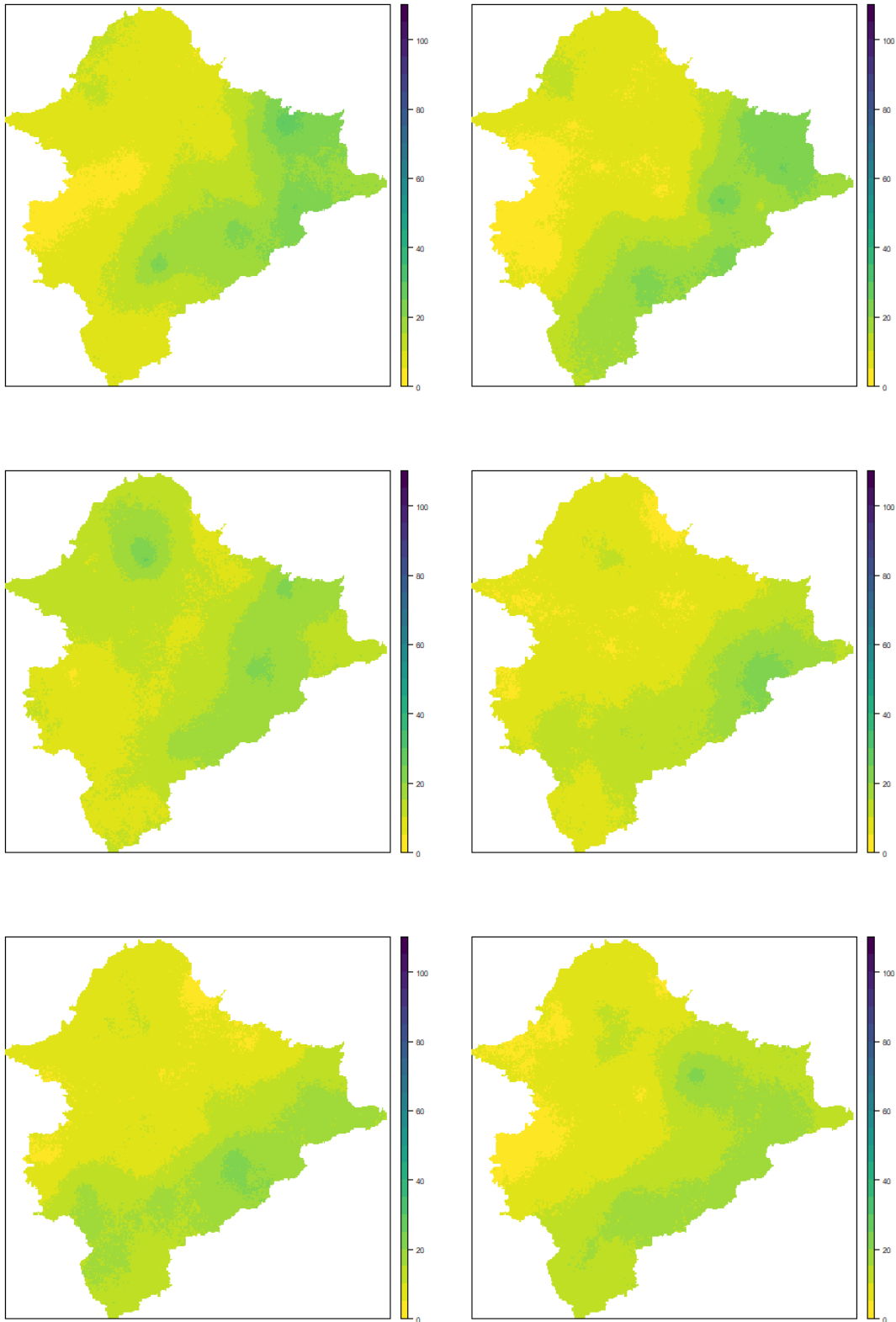


圖3-30 區域平均雨量297(mm)空間分布色階圖(13~18小時)

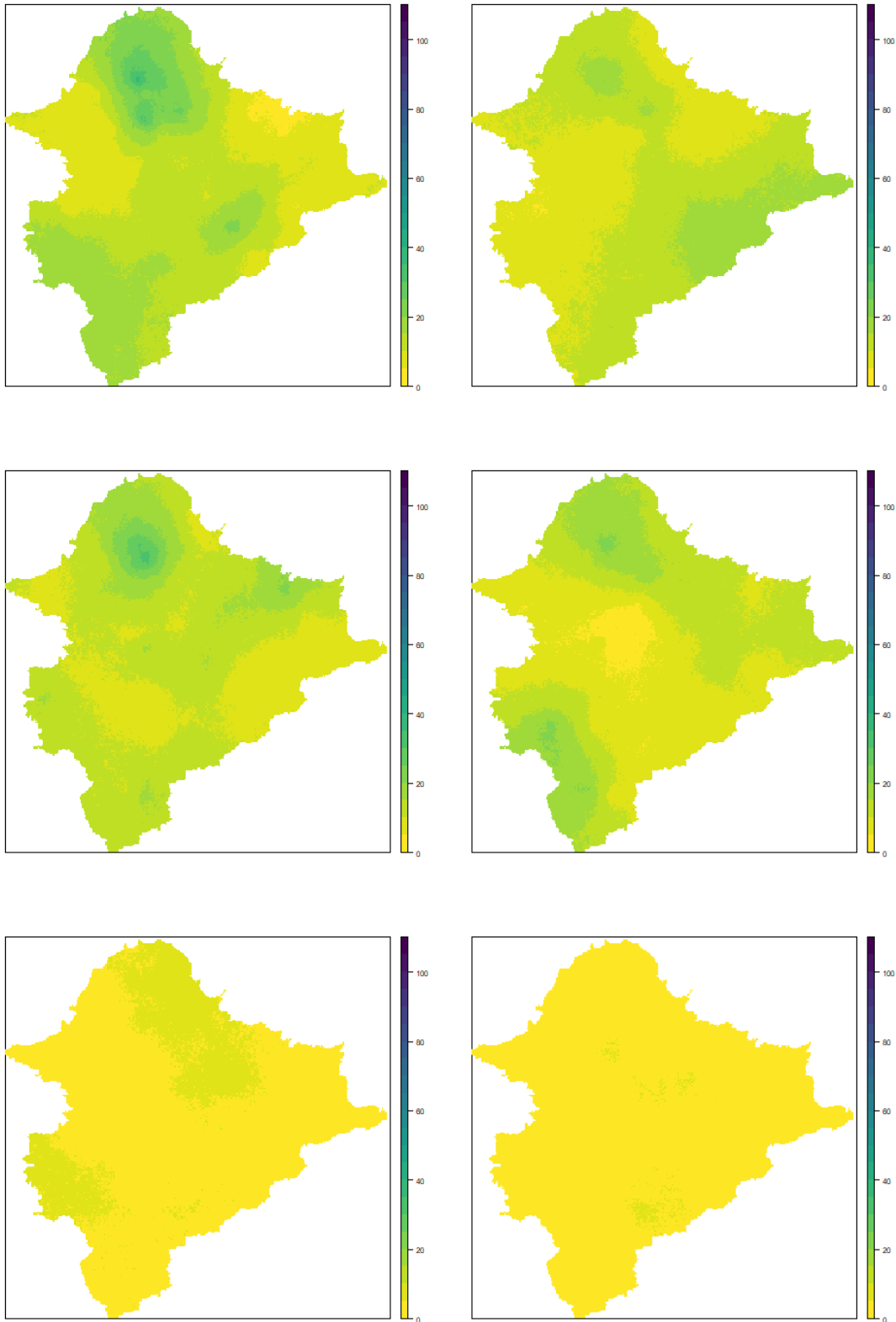


圖3-31 區域平均雨量297(mm)空間分布色階圖(19~24小時)

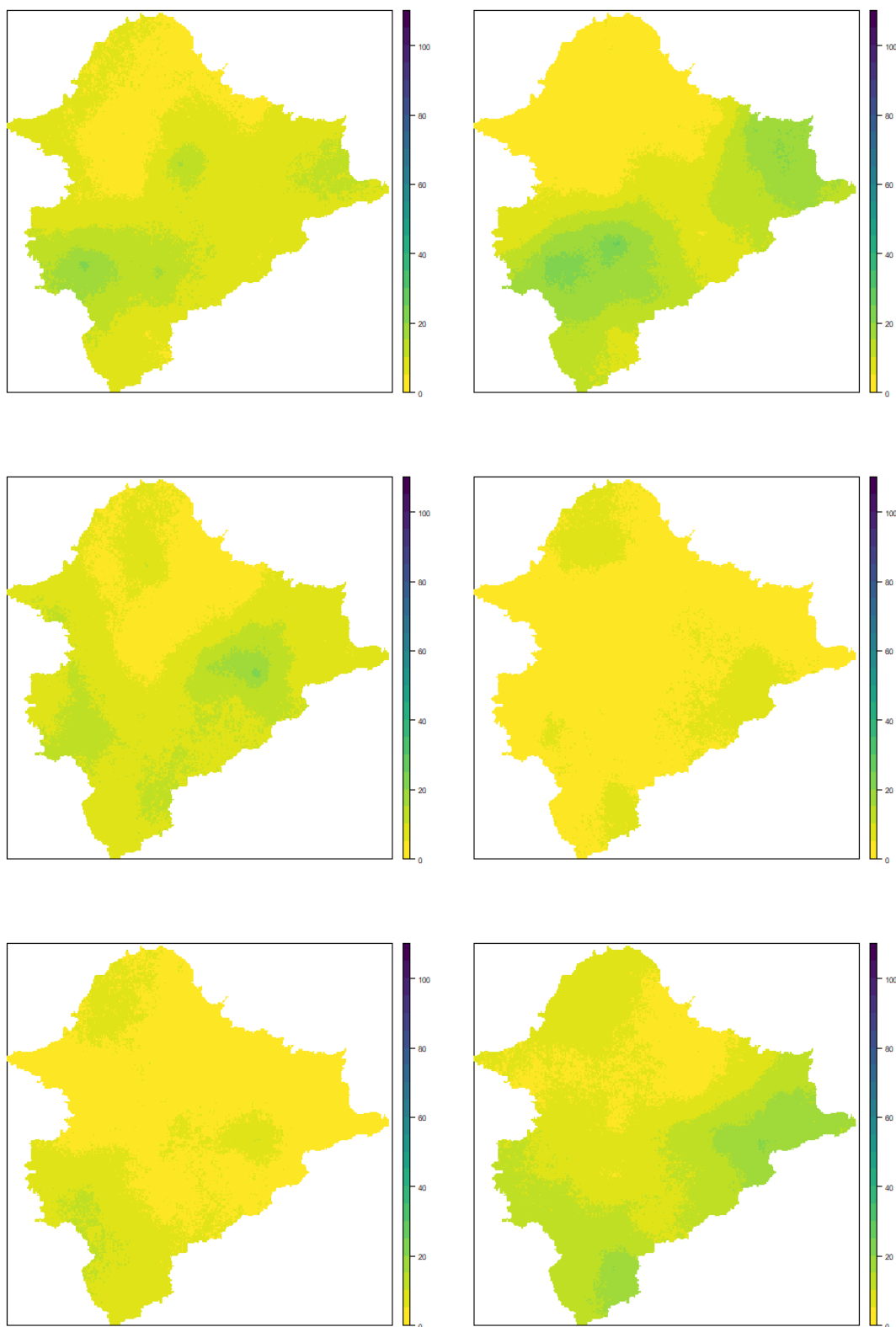


圖3-32 區域平均雨量431(mm)空間分布色階圖(1~6小時)

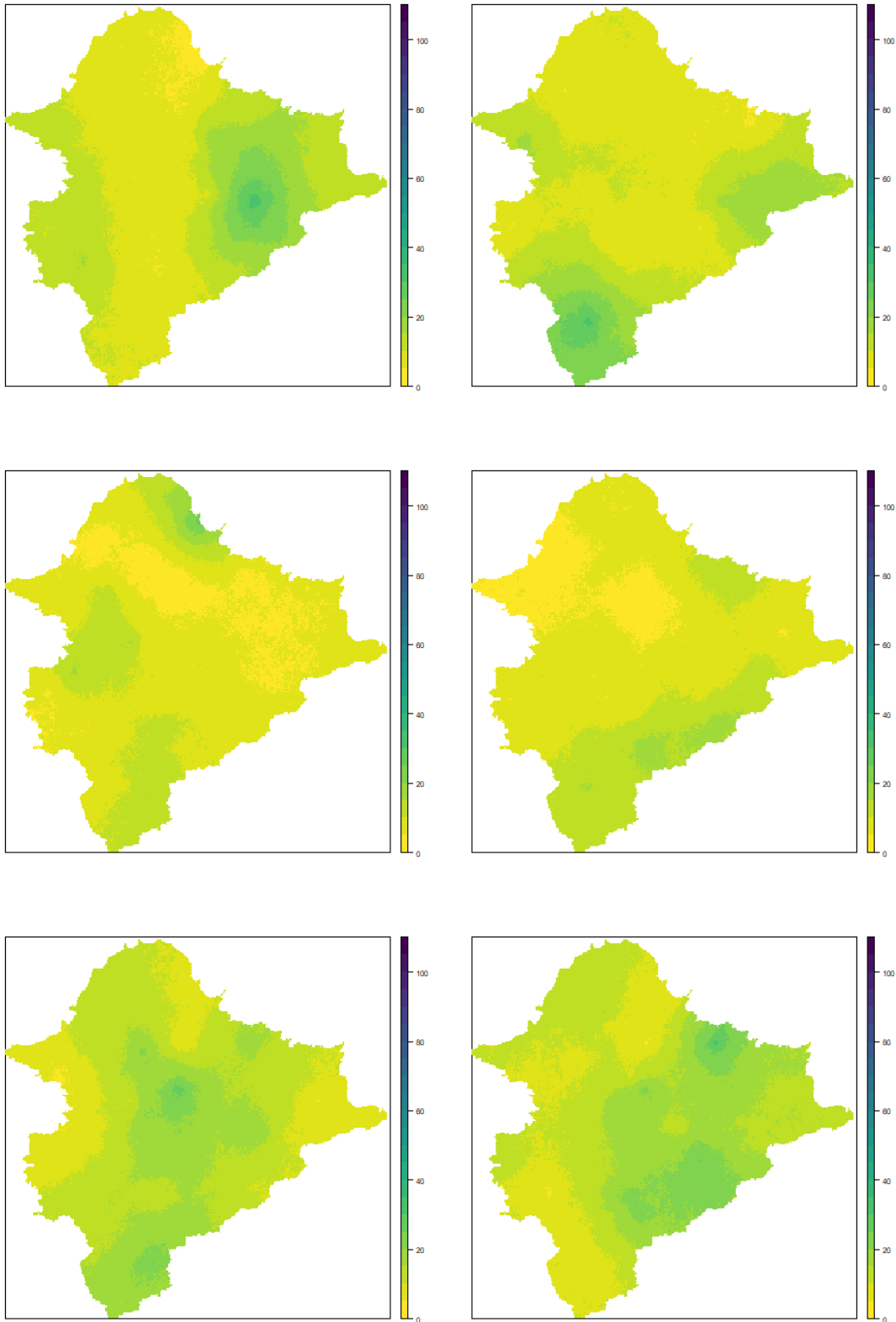


圖3-33 區域平均雨量431(mm)空間分布色階圖(7~12小時)

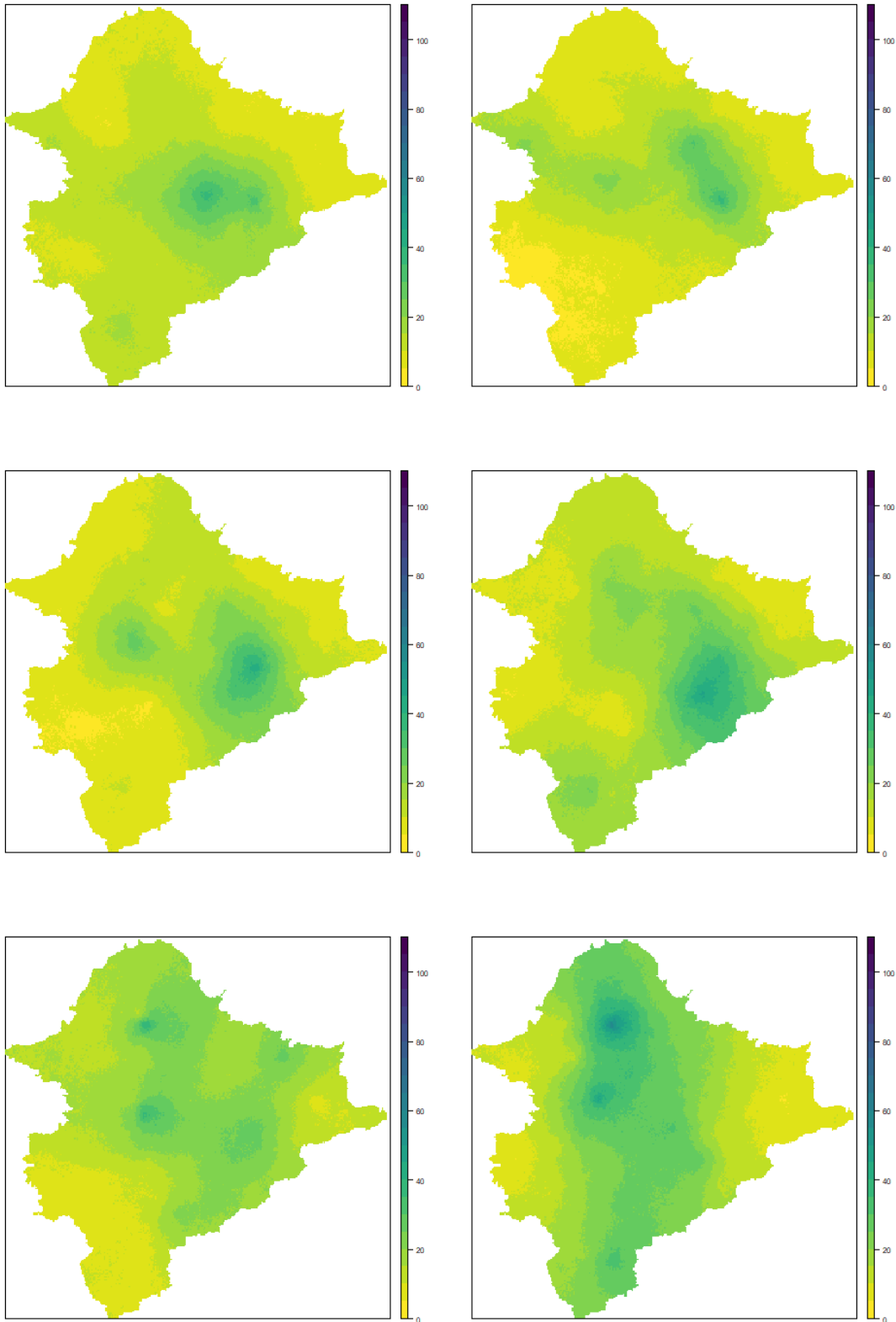


圖3-34 區域平均雨量431(mm)空間分布色階圖(13~18小時)

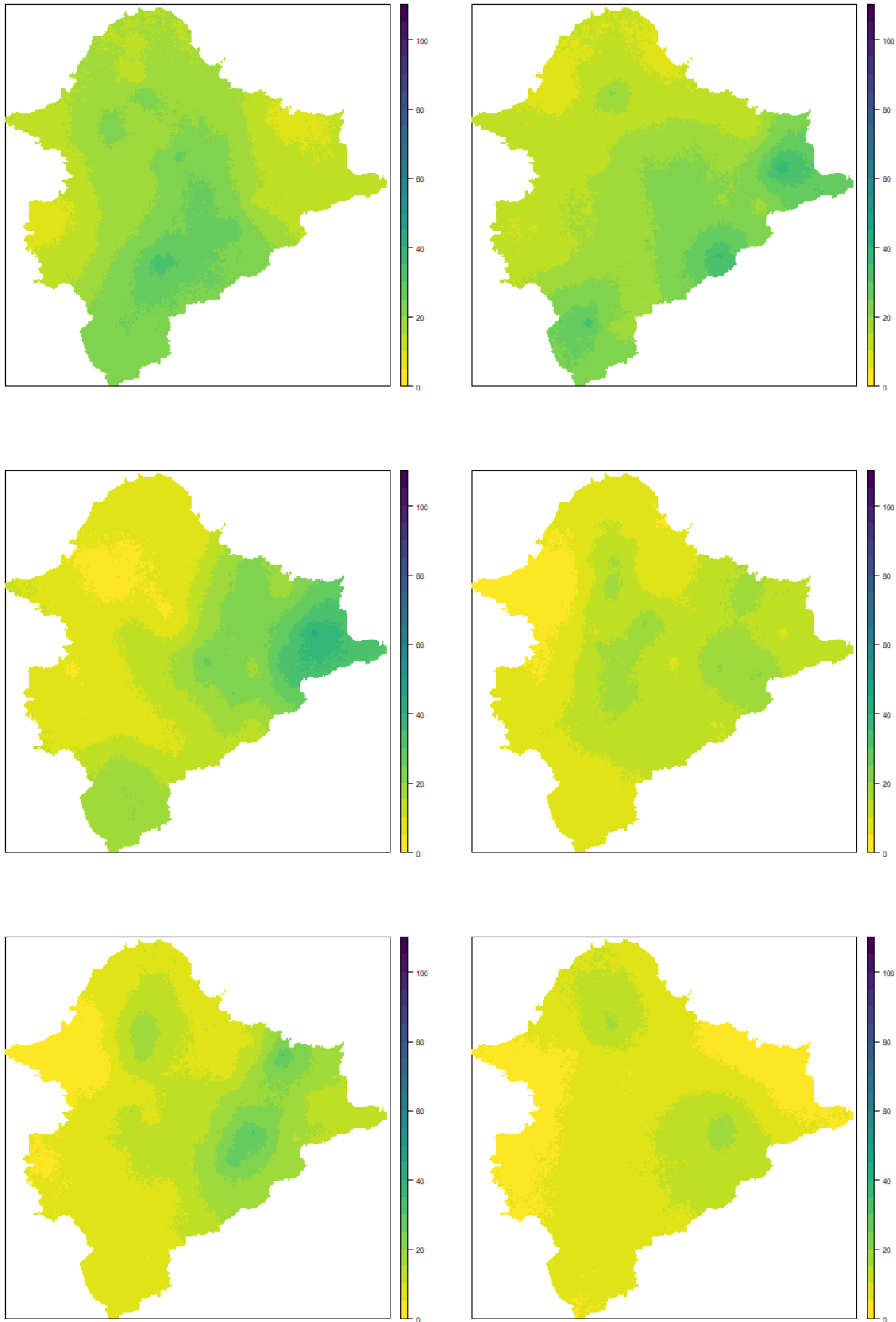


圖3-35 區域平均雨量431(mm)空間分布色階圖(19~24小時)

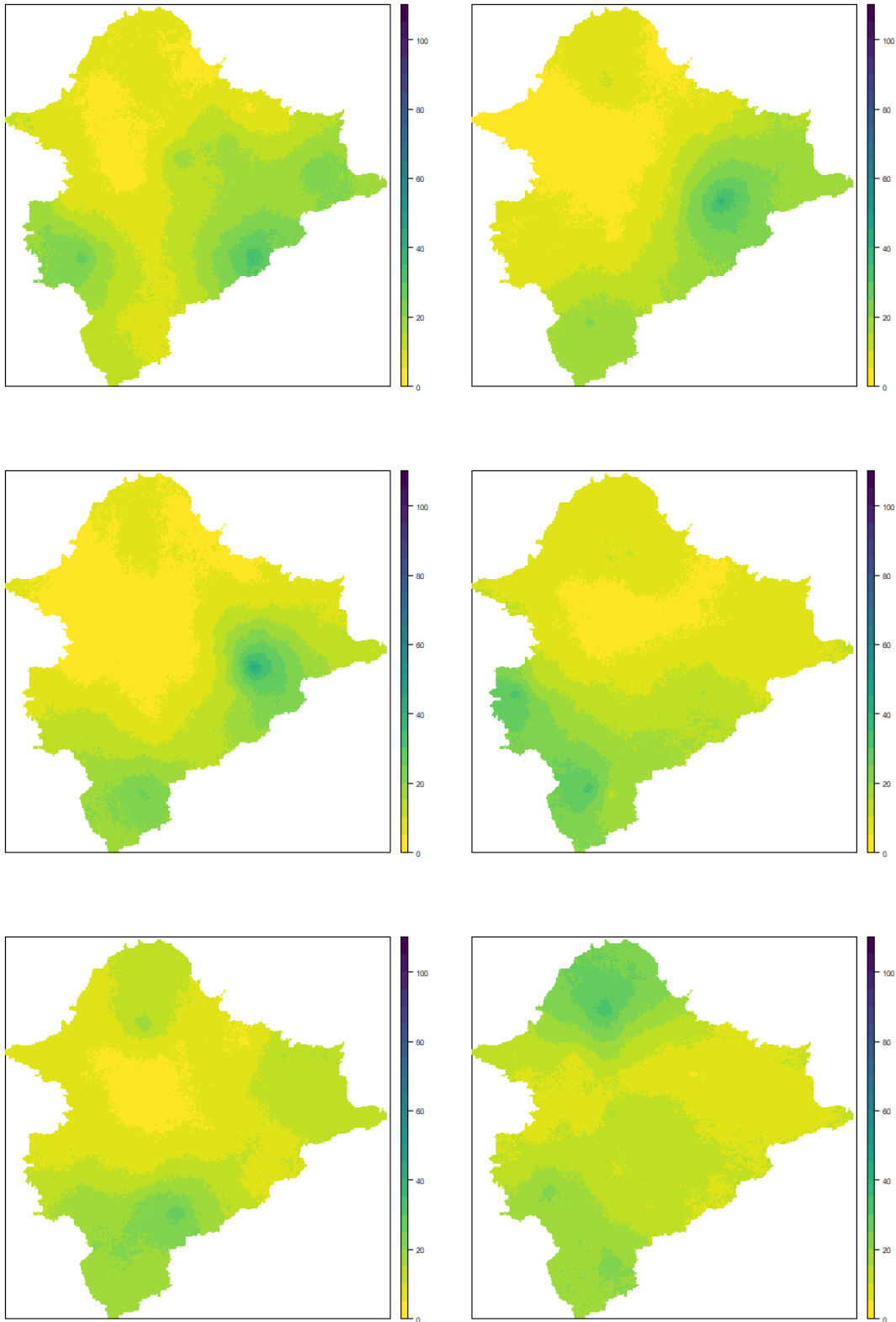


圖3-36 區域平均雨量576(mm)空間分布色階圖(1~6小時)

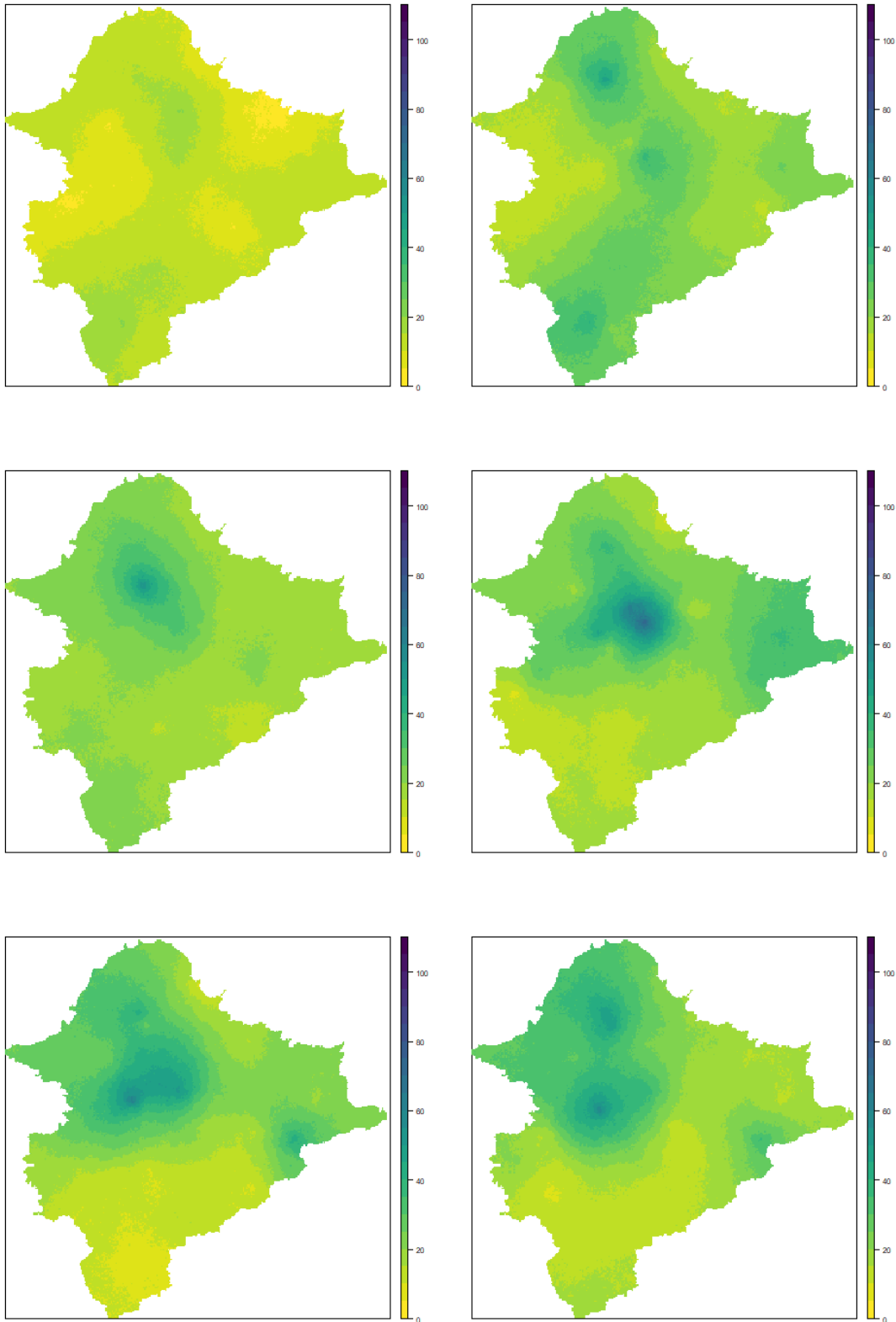


圖3-37 區域平均雨量576(mm)空間分布色階圖(7~12小時)

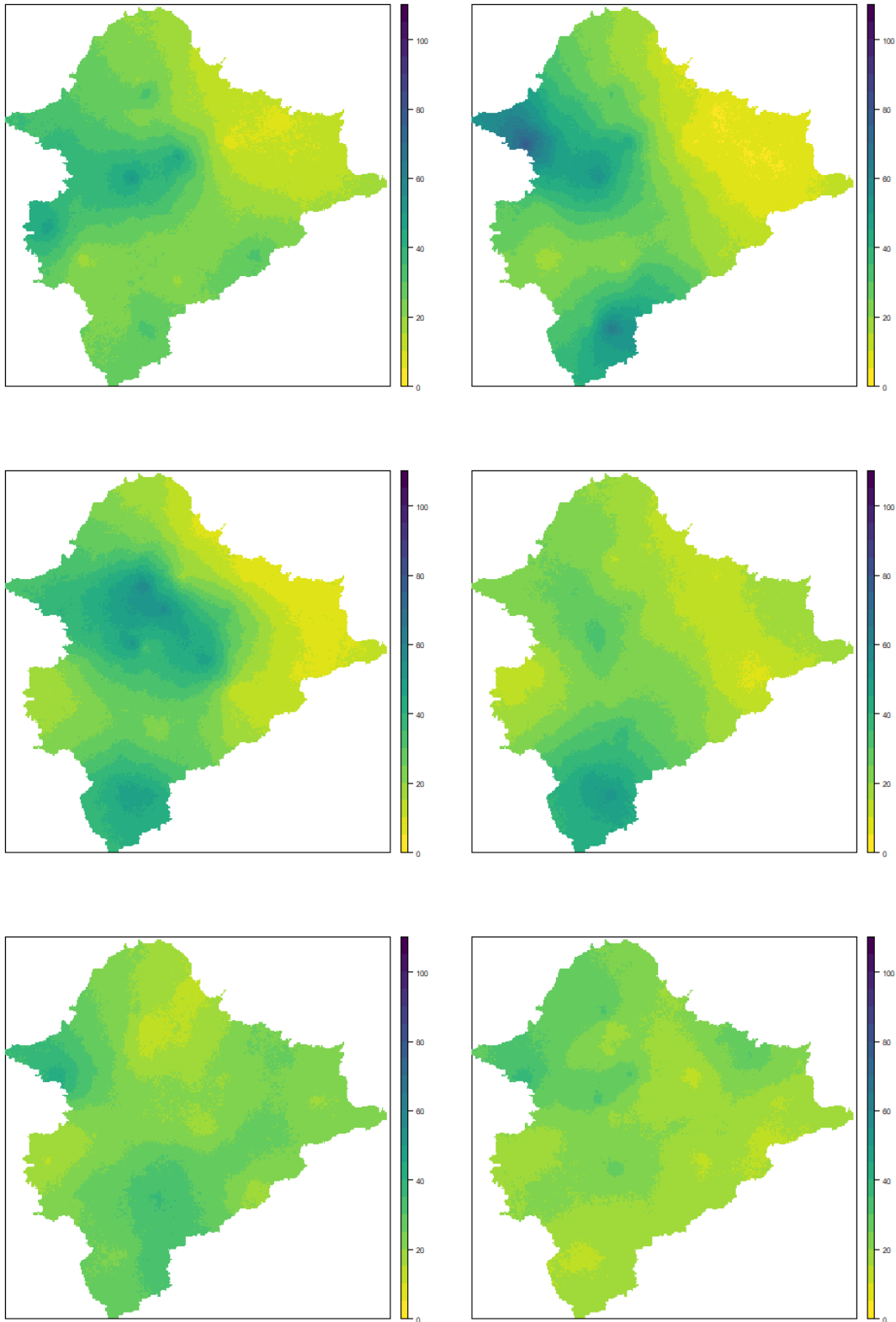


圖3-38 區域平均雨量576(mm)空間分布色階圖(13~18小時)

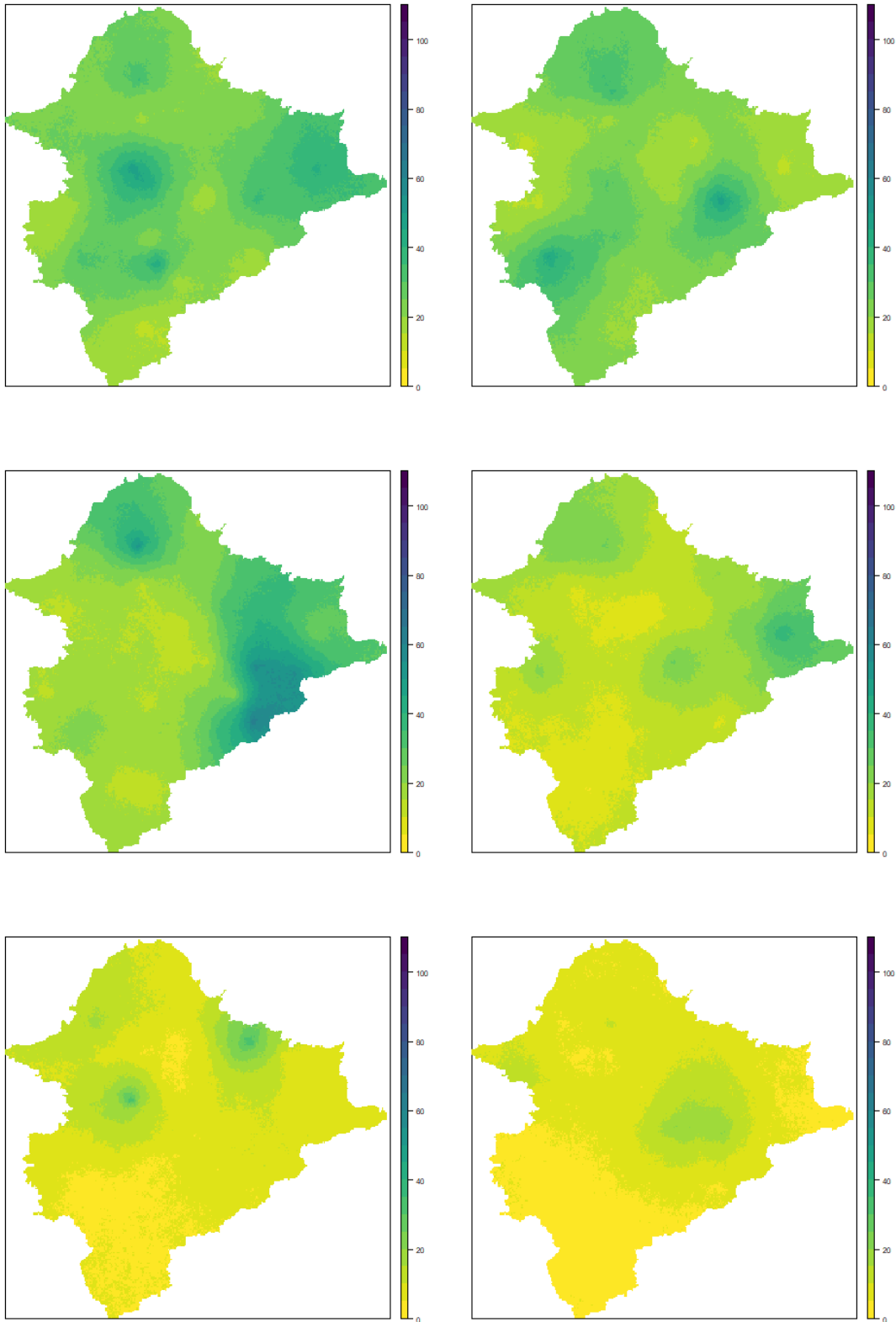


圖3-39 區域平均雨量576(mm)空間分布色階圖(19~24小時)

第肆章 建立暴雨事件淹水時空分布資料庫

4.1 蒐集研究區域相關地文與排水條件之現況資料

為建立研究區域的二維快速淹水模式與一維下水道模式，本計畫蒐集臺北市地區的地文及水文資料，包括數值高程模型、人孔位置配置圖、下水道管線配置圖、下水道水位觀測資料進行模式的建置；另亦蒐集雨量站的觀測雨量紀錄、抽水站的抽水量紀錄及歷史淹水位置與範圍資料，做為模擬輸入值的設定與模擬結果的比對使用。

數值高程模型(DEM)資料蒐集臺北市 2019 年 3 月更新之資料，解析度為 1 公尺網格之高程資料，在本計畫中將 DEM 資料轉成 10 公尺網格解析度匯入淹水模式進行模擬。下水道管線配置資料含管線位置及尺寸資料，如圖 4-1，管線共計 15,443 條，總長度 66,2262.5 公尺；地表人孔分布位置計 16,936 點，如圖 4-2；下水道系統水位觀測站的水位紀錄，蒐集 155 個測站的歷史水位觀測資料，其位置如圖 4-3 所示，以及臺北市與基隆市的 SOBEK 淹水模式建置資料，用以進行地表二維與下水道一維淹水模式的建置與模擬設定。

歷史雨量觀測紀錄蒐集到 2018 年，臺北市地區雨量站 68 站的歷史觀測雨量資料，包含氣象局屬雨量站 20 站與臺北市管轄雨量站 48 站，如圖 4-4；抽水站抽水量資料蒐集臺北市管轄抽水站，共有 230 台抽水機組的歷史運轉抽水量紀錄資料，基隆市下水道與河道資料如圖 4-5 及圖 4-6 所示；而歷史淹水位置與範圍調查資料則有蒐集到 2014 年至 2018 年間發生積淹水的位置與範圍紀錄，臺北市淹水示意圖如圖 4-7 所示，做為歷史淹水事件模擬比對之用。

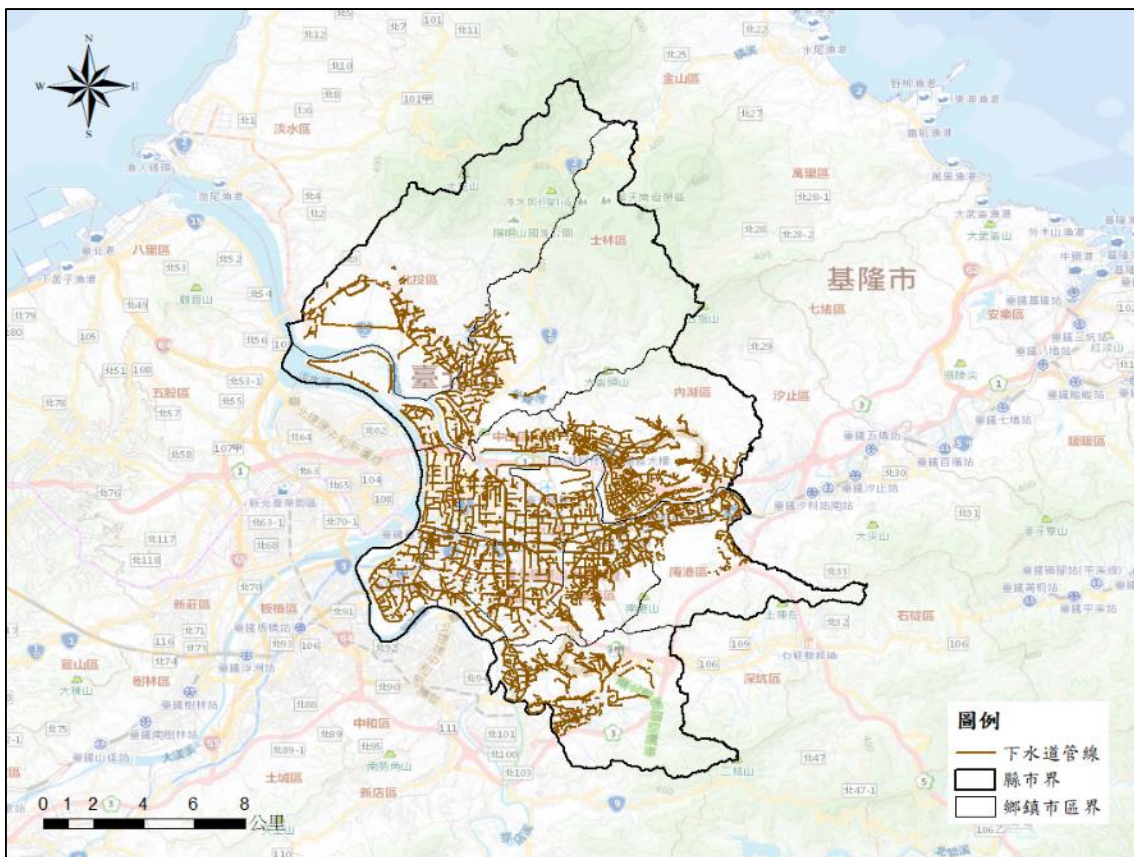


圖4-1 臺北市下水道管線配置圖

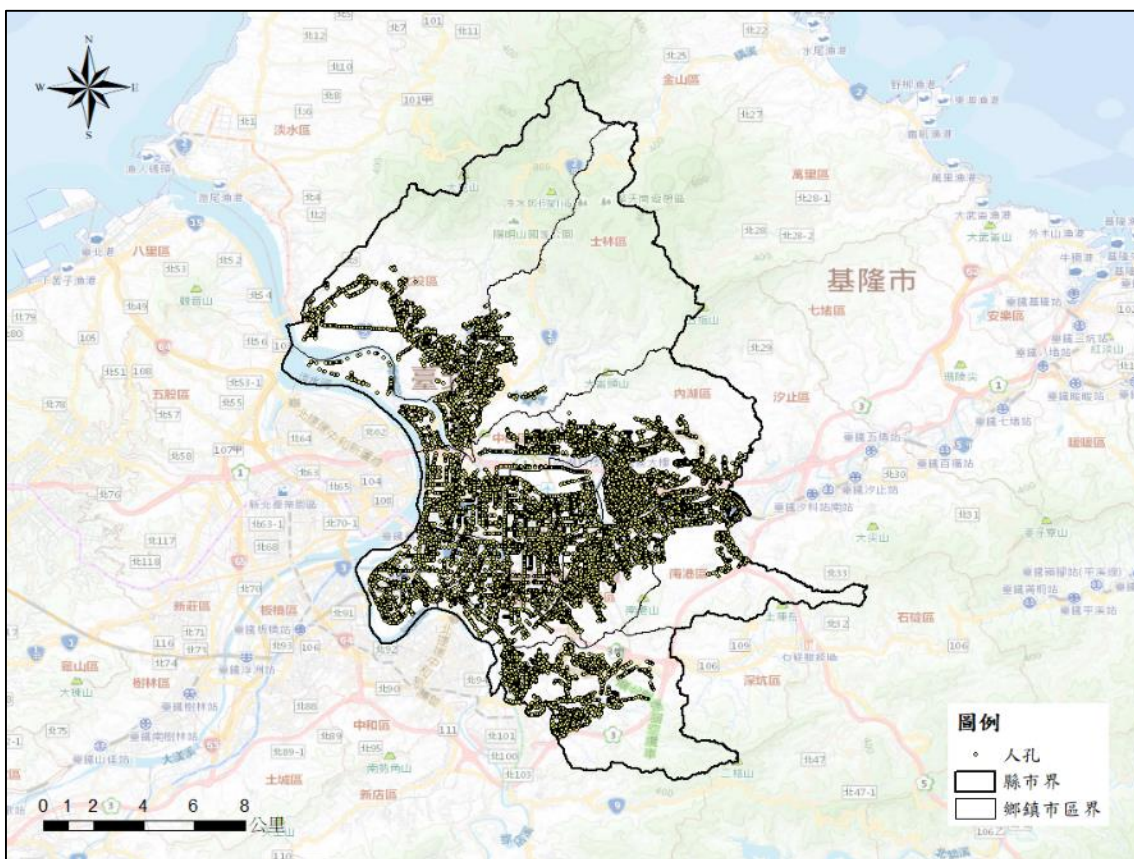


圖4-2 臺北市人孔配置圖

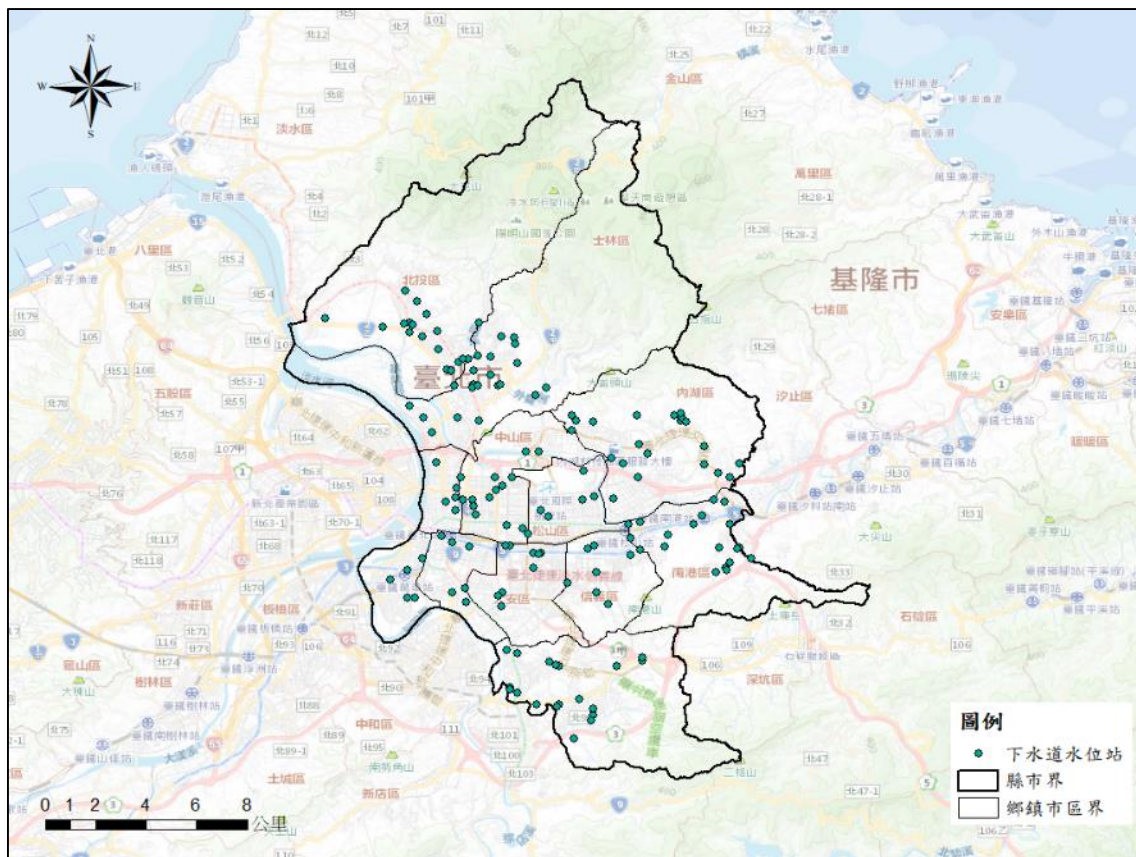


圖4-3 臺北市下水道水位站配置圖



圖4-4 臺北市局屬與市轄雨量站位置圖

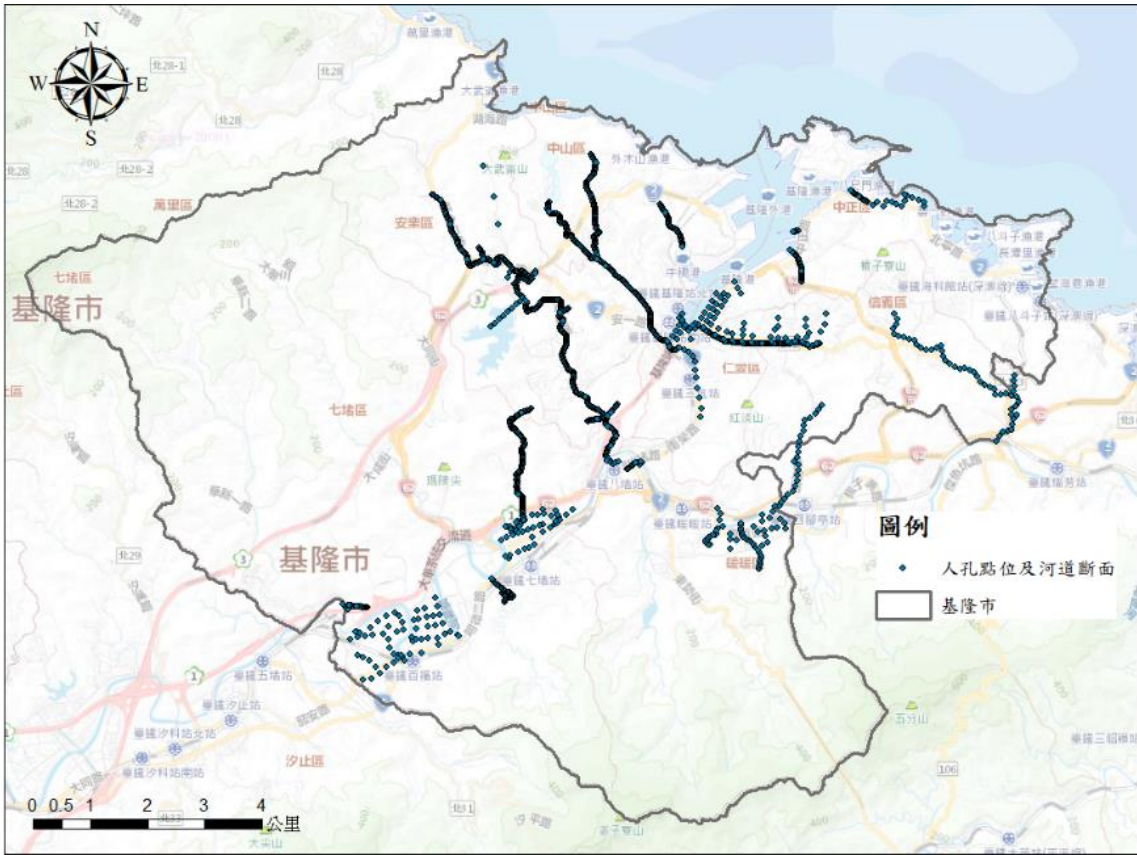


圖4-5 基隆市人孔點位及河道斷面



圖4-6 基隆市下水道管線及河道

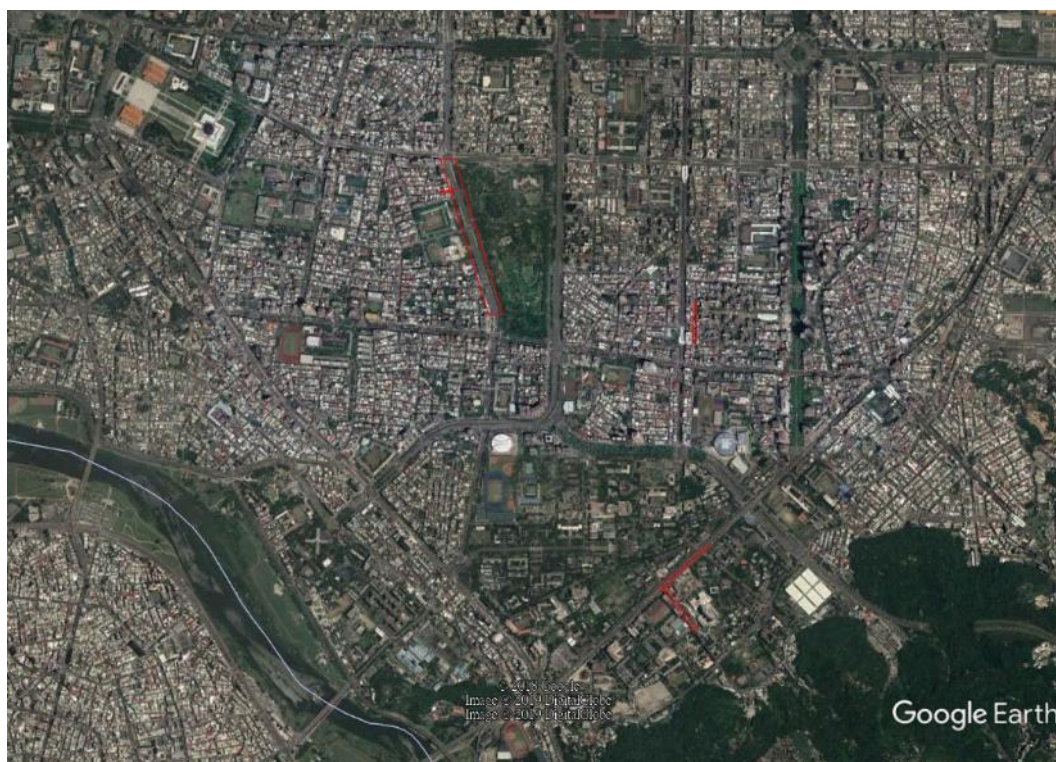


圖4-7 歷史淹水調查範圍資料(2018年0908水災)

表 4-1 地文及水文資料蒐集情形

項目	資料說明	資料來源	資料更新時間
數值高程模型	臺北市地表高程資料	臺北市政府	2019年3月
下水道管線	下水道管線分布 與管線尺寸資料	臺北市政府	2019年3月
下水道水位站	下水道水位站點位與 觀測水位紀錄	臺北市政府	2019年3月
人孔位置	臺北市地表人孔配置圖	臺北市政府	2019年3月
雨量觀測紀錄	臺北市地區局屬與市轄 雨量站觀測雨量紀錄	中央氣象局 臺北市政府	2019年3月
抽水站紀錄	抽水量紀錄資料	臺北市政府	2019年3月
歷史淹水位置 與範圍	2014年至2018年淹水 位置調查資料	水利署 臺北市政府 國家災害防救 科技中心	2018年12月
淹水模式 建置資料	臺北市與基隆市的 SOBEK淹水模式 建置資料	水利署	2016年

4.2 建立研究區域淹水模式並進行歷史淹水事件模擬

4.2.1 二維快速漫地流模式

本計畫所使用的 CADDIES 快速漫地流模式是利用規律網格作離散空間的建置，其鄰域型態為方形 von Neumann 型，如圖 4-8，並使用排序演算法(Ranking algorithm)來計算中央細胞向鄰域細胞轉移的水量，稱為細胞間轉移水量。排序演算法之細胞水量轉移流程以圖 4-9 簡述：將中央細胞與鄰域細胞的水位一同進行由高到低的排序，水位愈高者其排名愈高，反之則愈低，將水位低於中央細胞的鄰域細胞定義為下游接收細胞，並按照零慣性波之理論，若下游接收細胞之可蓄水體積愈大則表示從中央細胞流動到此下游接收細胞的水體量愈大，因此為了更進一步減少水體傳遞之計算量，定義每個下游接收細胞的接收水體量之權重係數於中央細胞設置一個保留權重係數，以防止水體震盪的情況。此淹水模式有三個特點：使用基於權重概念之轉換規則來計算中央細胞向鄰域細胞轉移的水量；中央細胞和鄰域細胞之間轉移的水量受曼寧方程式和臨界流方程式限制；模式中設置較大的更新時間步長(Update Time Step)來計算速度場與新的自適應時間步長，以便提高演算速度。

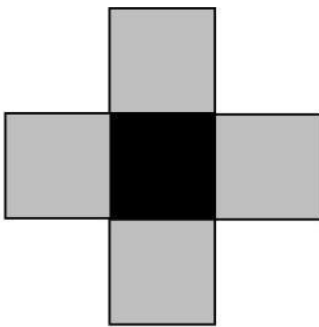
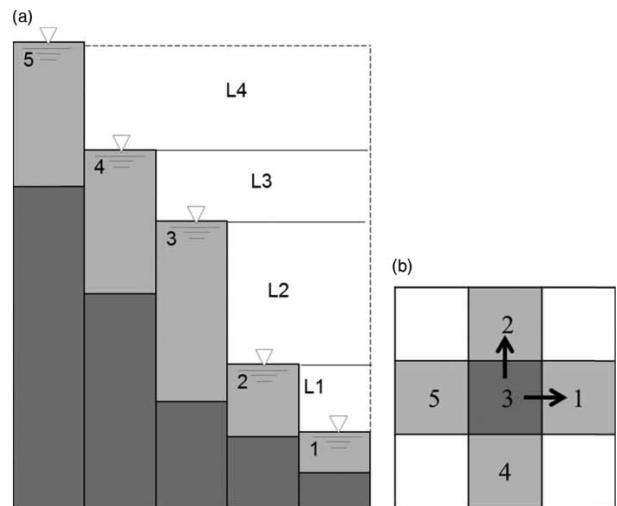


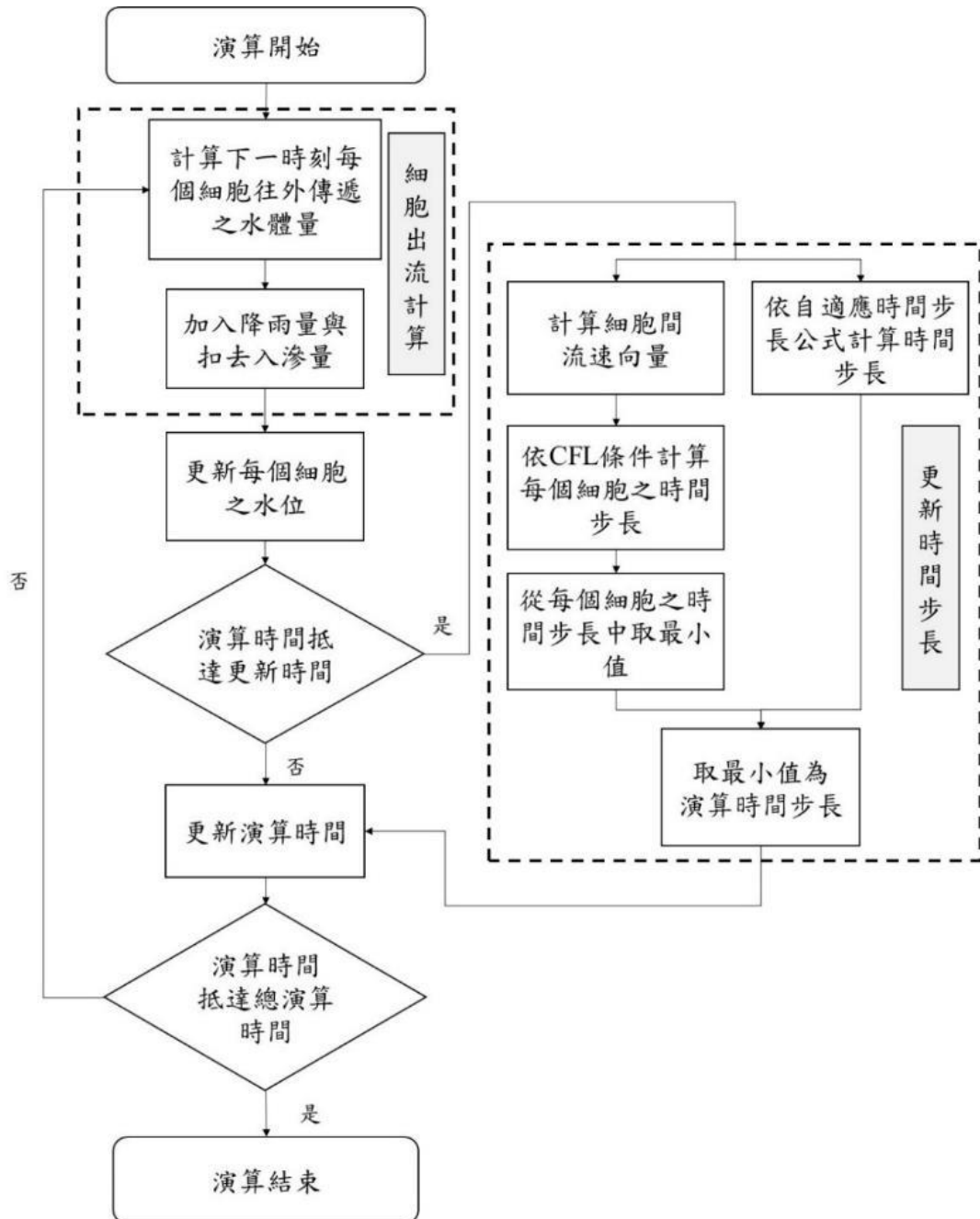
圖4-8 常用方形Von Neumann型示意圖



(Ghimire et al., 2013)

圖4-9 細胞水量轉移流程示意圖

模式中的控制方程式為適用於緩變速流之零慣性波方程式，CADDIES 模式主要演算步驟如圖 4-10 所示。為了加快演算速度並減少計算資源之需求，將原先動量方程式之求解更替為建構於 Cellular Automata 之轉換規則來近似原動量方程式。此模式之轉換規則敘述如下：



林吉堃，2018

圖4-10 CADDIES模式演算示意圖

由於零慣性波為依照水位來決定傳遞水體多寡與快慢，因此首先從鄰域細胞中挑選低於中央細胞之水位者作為下游接收細胞，並計算各個下游接收細胞之可蓄水體積量。再來，可從下游接收細胞之可蓄水體積得到最小可蓄水體積與總可蓄水體積，計算方法如式(31)至式(34)所示(Guidolin et al., 2016)：

$$\Delta l_{o,i}^t = l_o^t - l_i^t, \quad i = 1 \sim m \quad (31)$$

$$\Delta V_{o,i}^t = A_i \max\{\Delta l_{o,i}^t, 0\}, \quad i = 1 \sim m \quad (32)$$

$$\Delta V_{min}^t = \min\{\Delta V_{o,i}^t \mid_{i=1 \sim m}^{\Delta l_{o,i}^t > \tau}\} \quad (33)$$

$$\Delta V_{total}^t = \sum_{i=1}^m \Delta V_{o,i}^t \quad (34)$$

- 式中，
- l_o^t : 中央細胞水位(m)；
 - l_i^t : 第 i 個鄰域細胞水位(m)；
 - m : 鄰域細胞數量；
 - $\Delta l_{o,i}^t$: 中央細胞與第 i 個鄰域細胞水位差(m)；
 - $\Delta V_{o,i}^t$: 第 i 個鄰域細胞可蓄水體積(m³)；
 - A_i : 第 i 個鄰域細胞面積(m²)；
 - ΔV_{min}^t : 下游接收細胞最小可蓄水體積(m³)；
 - ΔV_{total}^t : 總可蓄水體積(m³)；
 - t : 時間(s)；
 - τ : 水位容差值(m)。

按照零慣性波之理論，若下游接收細胞之可蓄水體積愈大則表示從中央細胞流動到此下游接收細胞的水體量愈大，因此為了更進一步減少水體傳遞之計算量，定義每個下游接收細胞的接收水體量之權重係數如式(35)並於中央細胞設置一個保留權重係數如式(36)，設置保留權重係數的目的是避免水位更新後下游細胞水位比中央細胞水位高，權重計算之範例如圖 4-11

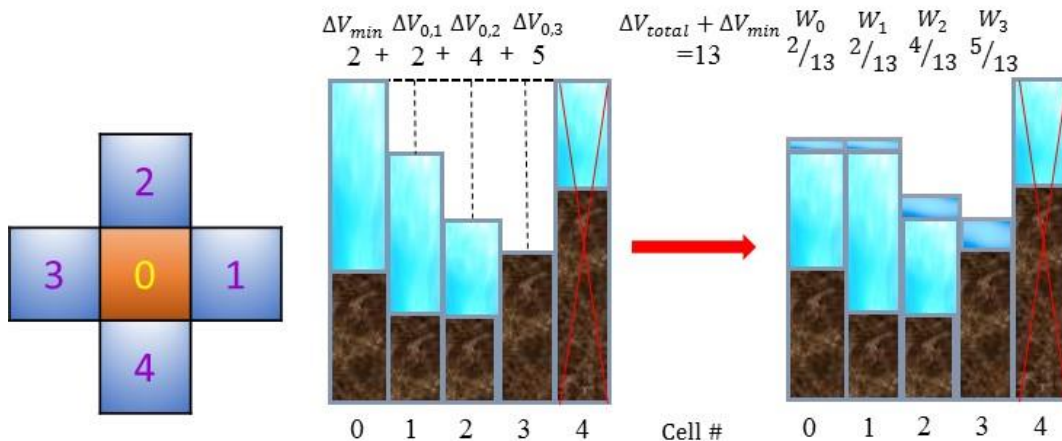
所示。圖 4-11 中編號為 4 的鄰域細胞不列入下游接收細胞內，而編號 2、3 的下游接收細胞從此中央細胞(編號 0 之細胞)所接收到的水體量之比值為 $(4/13)/(5/13) = w_2/w_3$ ，表示只需計算最大權重係數之下游接收細胞的接收水體量則其餘下游接收細胞的接收水體量可由他們之間的權重值比值得到，並去除水體震盪情況。

$$W_i^t = \frac{\Delta V_{0,i}^t}{\Delta V_{total}^t + \Delta V_{min}^t}, \quad i = 1 \sim m \quad (35)$$

$$W_0^t = \frac{\Delta V_{min}^t}{\Delta V_{total}^t + \Delta V_{min}^t} \quad (36)$$

式中， W_i^t : 第 i 個鄰域細胞之權重係數；

W_0^t : 中央細胞之權重係數；



(Guidolin et al., 2016)

圖4-11 細胞權重係數計算舉例示意圖

計算下一時距($t + \Delta t$)從中央細胞與下游接收細胞間之總可轉移水體量係由取三個計算項中之最小值，計算如式(37)所示(Guidolin et al, 2016)：第一項為當下中央細胞擁有之水體量；第二項為權重係數最大的下游接收細胞之接收水體量(I_M^t)除以最大權重係數(W_M^t)，其中 I_M^t 由式(38)計算所得；第三項為最小可蓄水體積(ΔV_{min}^t)加上當前時刻(t)從此中央細胞往外傳遞之總水體量(I_{total}^t)，用以避免相鄰細胞接收過多之水量或是前後時距(t 與 $t +$

Δt)從中央細胞往外傳遞的水量差異過大而導致水位振盪發生。下標 M 為具有最大權重係數之下游接收細胞。

$$I_{total}^{t+\Delta t} = \min\{d_o^t A_o, I_M^t/W_M^t, \Delta V_{min}^t + I_{total}^t\} \quad (37)$$

$$I_M^t = v_M^t d_o^t \Delta t \Delta e_M \quad (38)$$

式中，
 $I_{total}^{t+\Delta t}$: 於 $t + \Delta t$ 時刻之總可轉移水體量(m^3)；
 Δt : 時間步長(s)；
 d_o^t : 中央細胞水深(m)；
 I_M^t : 權重係數最大的下游接收水體量(m^3)；
 W_M^t : 鄰域細胞中最大權重係數；
 v_M^t : 中央細胞往最大權重細胞的最大流速(m/s)；
 Δe_M : 最大權重係數的下游接收細胞邊緣長(m)。

其中，中央細胞往最大權重係數之下游接收細胞的最大允許傳遞流速(v_M^t)由式(39)所得(Guidolin et al., 2016)，主要由臨界流方程式與曼寧方程式(Manning's equation)控制。模式建置時各網格以相同曼寧糙度值進行設定。

$$v_M^t = \min\left\{\sqrt{g d_o^t}, \frac{1}{n} d_o^{t 2/3} \sqrt{\frac{\Delta l_{o,M}^t}{\Delta X_{o,M}}}\right\} \quad (39)$$

式中，
 g : 重力加速度(m/s^2)；
 n : 曼寧糙度值($s/m^{1/3}$)；
 $\Delta X_{o,M}$: 中央細胞與最大權重鄰域細胞中心距離(m)。

最後，依上述所得之傳遞水體量以前述決定之權重係數來得到各個下游接收細胞之接收水體量如式(40)所示。

$$I_i^{t+\Delta t} = W_i^t I_{total}^{t+\Delta t}, \quad i = 1 \sim m \quad (40)$$

式中， $I_i^{t+\Delta t}$: 第 i 個鄰域細胞於 $t + \Delta t$ 時刻可獲得水量(m^3)。

以上之步驟稱為一個細胞向鄰域細胞傳遞水體之轉換規則。當每個細胞都完成轉換規則之運算後，可更新每個細胞之水深如式(41)所示(Guidolin et al., 2016)。

$$d_o^{t+\Delta t} = d_o^t - \frac{\sum_i^m I_i^{t+\Delta t}}{A_o} + \frac{\Delta V_{in,o}}{A_o} - \frac{\Delta V_{out,o}}{A_o} \quad (41)$$

式中， $d_o^{t+\Delta t}$ ：於 $t + \Delta t$ 時刻中央細胞水深(m)；
 $\Delta V_{in,o}$ ：中央細胞入流水體量(m³)；
 $\Delta V_{out,o}$ ：中央細胞出流水體量(m³)；
 A_o ：中央細胞面積(m²)。

其中 $\sum_i^m I_i^{t+\Delta t}$ 為從中央細胞往下游接收細胞轉移水量之加總； $\Delta V_{in,o}$ 為中央細胞的側向入流水體量如降雨量、上游細胞傳遞水體量等； $\Delta V_{out,o}$ 為中央細胞之出流水體量如入滲量、側向出流水體量等。

細胞間流速向量的計算如式(42)至式(44)式所示(Guidolin et al., 2016)：

$$v_i^{t+\Delta t} = \frac{I_i^{t+\Delta t}}{d_o^{t+\Delta t} \Delta e_i \Delta t}, \quad i = 1 \sim m \quad (42)$$

$$a = \sum_{i=1}^m v_i^{t+\Delta t} \cos \phi_i, \quad b = \sum_{i=1}^m v_i^{t+\Delta t} \sin \phi_i \quad (43)$$

$$\vec{v}^{t+\Delta t} = (r, \theta) = \left(\sqrt{a^2 + b^2}, \tan^{-1} \frac{b}{a} \right) \quad (44)$$

式中， $v_i^{t+\Delta t}$ ：中央細胞與第 i 個細胞間之流速(m/s)；
 Δe_i ：第 i 個下游接收細胞邊緣長(m)；
 a, b ：細胞間流速向量分量(m/s)；
 $\vec{v}^{t+\Delta t}$ ：細胞間流速向量(m)；
 r ：向量大小；
 θ ：角度。

為提高模式演算效率，此模式採用自適應時間步長來動態決定時間步長。當需要更新時間步長時，此模式採用由 Hunter et al. (2005)提出之自適應時間步長公式以及依 Courant–Friedrichs–Lewy (CFL)條件來計算每個網格細胞邊界之最小時間步長，並以各個網格的最小時間步長中之最小值為新的自適應時間步長。Hunter et al. (2005)所提出之自適應步長公式以及 CFL

條件之最小時間步長公式分別如式(45)與式(46)所示，而新的自適應時間步長如式(47)所示：

$$\Delta t_{Hunter} = \frac{\Delta x^2}{4} \min \left(\frac{2n}{R^{5/3}} S^{1/2} \right), s > \sigma \quad (45)$$

$$\Delta t_{CFL} = \frac{\Delta x}{v^{t+\Delta t}} \quad (46)$$

$$\Delta t_{min} = \min\{\Delta t_{Hunter}, \Delta t_{CFL}\} \quad (47)$$

- 式中，
- Δt_{Hunter} : 自適應步長(s)；
 - Δt_{CFL} : CFL 條件之最小時間步長(s)
 - σ : 斜率容差值；
 - R : 水力半徑(m)；
 - Δt_{min} : 網格細胞邊界之最小時間步長(s)。

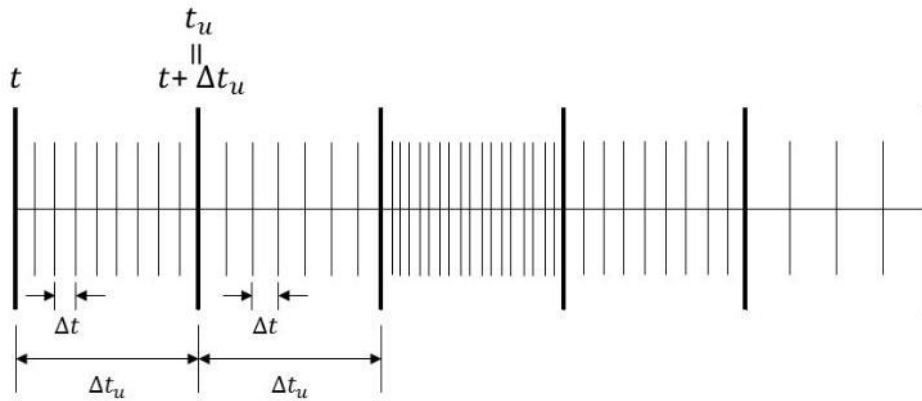
其中，水力半徑 R 是由式(48)計算，為中央細胞及其鄰域細胞間較高水位與較高地表高度之差值。

$$R = -\max\{z_o, z_i\} \quad (48)$$

- 式中，
- l_o : 中央細胞水位(m)；
 - l_i : 第 i 個鄰域細胞水位(m)；
 - z_o : 中央細胞地表高度(m)；
 - z_i : 第 i 個鄰域細胞地表高度(m)。

由式(45)自適應時間步長之計算可發現當網格大小減小一半時，時間步長會隨之二次方減小。此外，如 Hunter et al., (2005)所觀察之結果，當兩個網格之間的斜率趨於零時其時間步長會趨於零。為避免時間步長趨近於零的情況發生，設置斜率容差值(slope tolerance)來避免依式(45)得到的自適應時間步長過小，斜率容差值之建議值為平均坡度上升百分比(percent of rise)乘以 0.1，如研究區域平均坡度為 5.28%則斜率容差值為 0.528 (Guidolin et al., 2015)。

由於得到新的自適應時間步長需依序掃視每個細胞網格邊界，為了更近一步減少計算量，此模式設置更新時間步長(update time step, Δt_u)來只在更新時間(update time, t_u)更新速度場與計算新的自適應時間步長，而在達到新的更新時間前都使用上次計算得到的自適應步長，如圖 4-12 所示，可以觀察到在不同的更新時間之間會採用不同的自適應時間步長。



林吉堃，2018

圖4-12 CADDIES模式自適應步長示意圖

4.2.2 一維雨水下水道模式

都市因開發而使得土地使用情況改變，不透水面積的增加導致地表曼寧粗糙度、不透水係數、入滲量等水理參數產生變動，進而影響地表逕流量與洪峰流量，故常藉由建置雨水下水道系統以改善都市之排水能力。

本計畫採用暴雨經理模式(STROM WATER MANAGEMENT MODEL，簡稱 SWMM，Huber et al., 1988)來模擬水體於下水道系統內的傳遞情形，SWMM 模式是由美國環境保護署(United States Environmental Protection Agency)在 1969~1971 年所研發，模式可進行都會區或非都會區的暴雨逕流、下水道系統以及水質污染、低衝擊開發設施(Low Impact Development, LID)等多項模擬分析。SWMM 模式主要有兩個模組，分別為幹線輸水模組(Extran Module)與地表逕流模組(Runoff Module)。

SWMM 模式以迪·聖凡南(De Saint-Venant)方程式為主要控制方程式，於 SWMM 模式中，可依需求選擇動量方程式如動力波方程式、運動波方程式或擴散波方程式，其方程式如式(49)及式(50)所示(Yen, 1986)：

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (49)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\frac{Q^2}{A} \right)}{\partial t} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + gAS_f + gAh_L = 0 \quad (50)$$

式中，
 Q : 流量(m³/s)；
 A : 通水斷面積(m²)；
 x : 沿流動方向之空間座標；
 t : 時間(s)；
 g : 重力加速度(m/s²)；
 h : 水位(m)；
 S_f : 摩擦坡降；
 h_L : 損失水頭(m)。

式(50)中的摩擦坡降 S_f 可由曼寧公式計算，如式(51)，式中給定絕對值是避免斷面流量於數值計算時因正負相抵銷而失去方向性。

$$S_f = \frac{n^2 v |v|}{R^{4/3}} \quad (51)$$

式中，
 n : 曼寧糙度值(s/m^{1/3})；
 v : 斷面平均流速(m/s)；
 R : 水力半徑(m)；

損失水頭 h_L 透過式(52)計算：

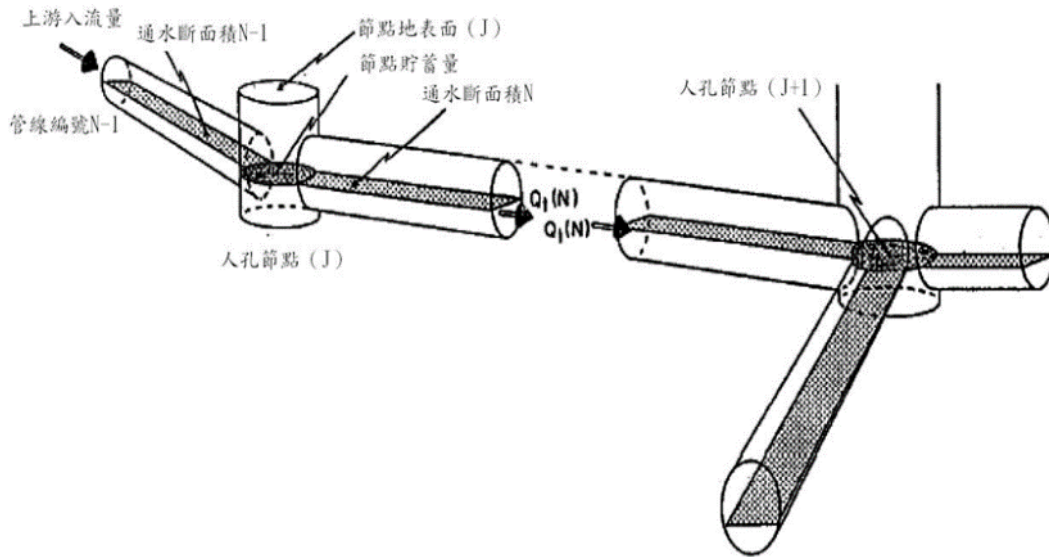
$$h_L = \frac{Kv^2}{2gL} \quad (52)$$

式中， K : 損失係數；

L : 管線長度(m)。

利用其控制方程式及各項參數進行數值演算，並給予適當邊界條件及初始條件後，即可透過聯立式(49)與式(50)求解管線流量 Q 以及通水斷面積 A 。

本計畫採用 SWMM 模式中的幹線輸水模組(Extran Module)來模擬水體在雨水下水道系統內流動的過程，幹線輸水模組主要以人孔節點(Node)-管線(Link)之概念進行模擬，其人孔節點儲蓄水體特性與管線輸送概念如圖 4-13 所示。



(Huber et al., 1988)

圖4-13 人孔節點與管線輸送演算示意圖

對於管線(link)而言，其具有滿管流與非滿管流兩種水流情況：非滿管流流況可視為明渠流況，此時可依式(49)和式(50)求解；滿管流流況時，流況主要取決於上下游的壓力水頭，此時管線之通水斷面積為常數，並改以連續方程式和能量方程式為控制方程式，分別如式(53)及式(54)所示。

$$Q_c = A_c v_c \quad (53)$$

$$\frac{\partial Q_c}{\partial t} = g A_c \frac{h_u - h_d}{L} - (K_u + K_d) \frac{Q_c^2}{2 A_c L} - g A_c S \quad (54)$$

式中， Q_c : 管線滿管流量(m³/s)；

- A_c : 管線滿管時之通水斷面積(m^2) ;
- v_c : 管線平均流速(m/s) ;
- h_u : 管線上游入口處之壓力水頭(m) ;
- h_d : 管線下游出口處之壓力水頭(m) ;
- K_u : 管線上游入口處之水頭損失係數 ;
- K_d : 管線下游出口處之水頭損失係數。

在管線上下游端人孔節點的壓力水頭、出入口處的水頭損失係數已知情況下，可由式(54)求解管線內之流量，再代入至式(53)求得管線內之流速 v_c 。

人孔節點(Node)對雨水下水道系統而言，主要為連結管線、承接集水區的入流與蓄積水體等功能。當下游管線無法負荷上游管線的流量時，人孔水位會因為管線宣洩不及而抬高。若人孔水位未大於其儲蓄水位時則不會產生人孔溢流；反之，若人孔水位已大於其可儲蓄水位時，人孔即發生溢流。

人孔溢流量 Q_o 之計算，可依質量守恆方程式表示如式(55)所示(Yen, 1986)：

$$Q_o = \sum_i Q_{c,i} + Q_k - A_s \frac{\partial h_c}{\partial t} \quad (55)$$

- 式中， Q_o : 人孔溢流量(m^3/s) ;
- $Q_{c,i}$: 連接人孔節點管線流量(m^3/s) ;
- i : 連結人孔節點之管線數 ;
- Q_k : 地表集水區集流器入流量(m^3/s) ;
- A_s : 人孔之截面積(m^2) ;
- h_c : 人孔水位(m)。

人孔節點亦可分為未滿管及滿管兩種情況，當輸水管線及人孔節點均未滿管時，人孔溢流量 Q_o 為零，則式(55)簡化為式(56)。

$$\frac{\partial h_c}{\partial t} = \frac{1}{A_s} \left(\sum_i Q_{c,i} + Q_k \right) \quad (56)$$

當連接人孔節點之管線流量 $Q_{c,i}$ 與地表集水區集流器入流量 Q_k 均為已知條件下，可由式(56)求解人孔水位 h_c 。

而當人孔節點及輸水管線均為滿管情況時，式(55)中有 h_c 及 Q_o 兩未知數，此時人孔節點則改由式(57)計算，於人孔溢流量 Q_o 求得後，再藉由式(58)建立人孔節點水位變量 Δh_c 及流量 $Q_{c,i}$ 、 Q_k 、 Q_o 之間的關係。

$$Q_o = \sum_i Q_{c,i} + Q_k \quad (57)$$

$$\sum_i Q_{c,i} + Q_k - Q_o + \sum_i \frac{\partial Q_{c,i}}{\partial h_c} \Delta h_c = 0 \quad (58)$$

透過上述方法可計算求得人孔節點水位變量 Δh_c 以及人孔節點水位 h_c 。當人孔節點水位未高於地表高程時，則因人孔節點之儲蓄能力，而不產生溢流情形；反之，若人孔節點水位高於地表高程時，溢流情形發生，此時需計算人孔溢流量 Q_o ，並將溢流量以點源方式輸入至二維漫地流模式內。

4.2.3 模式銜接

本計畫模式參考陳(2002)、Chang(2015、2018)所建立之雙向演算機制來模擬二維漫地流模式與一維與水下水道模式間水流之傳遞，模擬過程中，當雨水下在建築物時，讓雨水直接由屋頂流入雨水下水道之中；而當雨水下在道路、廣場時，考慮集流器收集能力並依據不同雨水下水道情況與地表逕流量來判定集流器收集能力，如圖 4-14 所示，先將雨水降至地表再經由雨水收集器進行集流，但在建物區是將雨水直接導入雨水下水道系統中以符合建物屋頂排水情況，此方法最為符合真實之物理機制，可以反映短延時強降的積水情況，亦考慮了建物區域的排水情況；當地表之水體流經下水道未滿管狀態之人孔時，則水體將由人孔進入雨水下水道系統內；反之，若下水道為滿管狀態，則水體將無法由人孔進入下水道系統。當人孔發生溢流時水體會以點源方式傳遞到二維漫地流模式內，而水體也可再次經由未滿管之人

孔節點以點匯方式離開漫地流模式並重新進入雨水下水道內，整體流程如圖 4-15 所示。

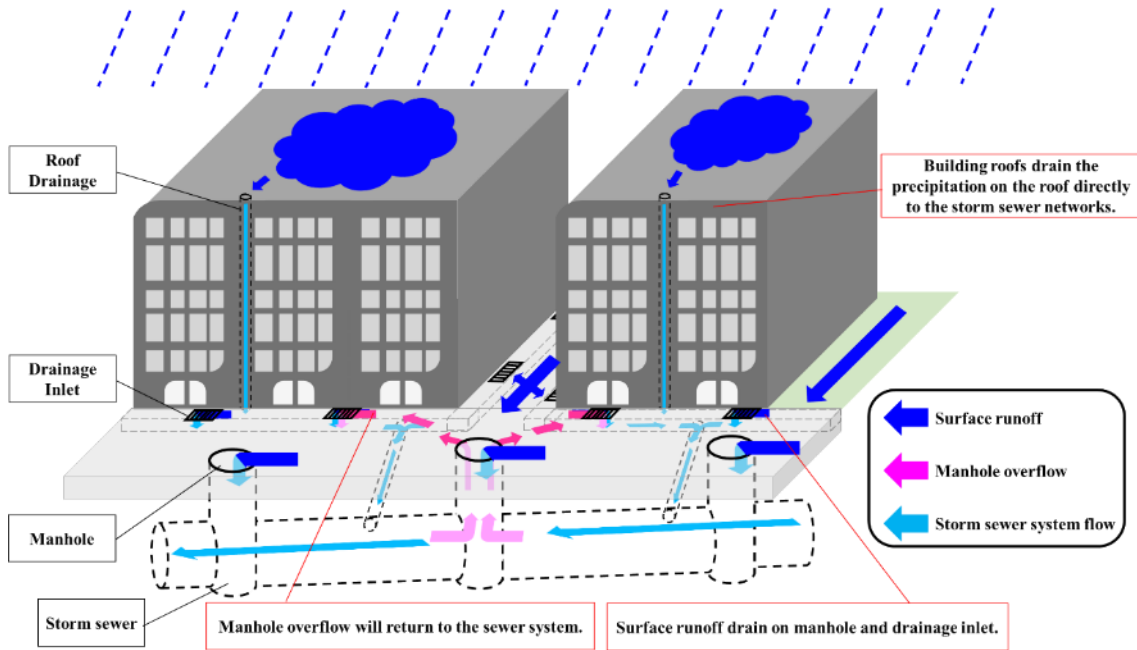


圖4-14 雨水蒐集機制示意圖

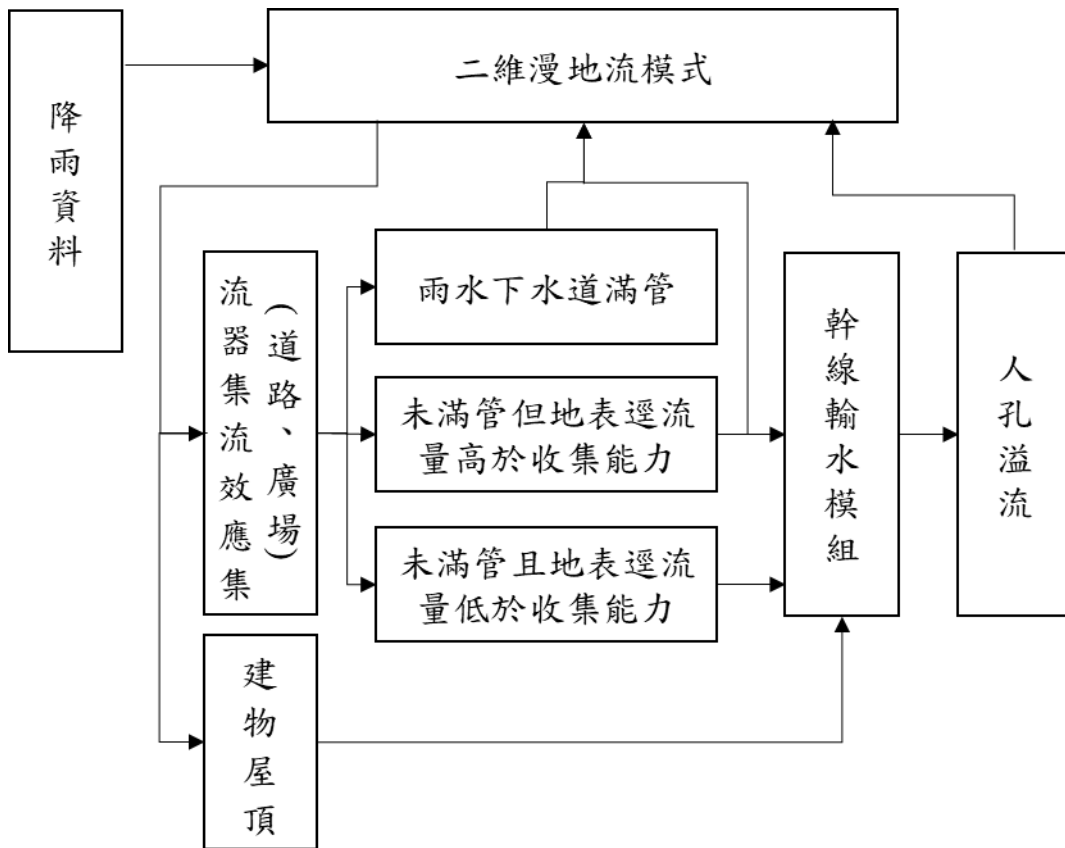


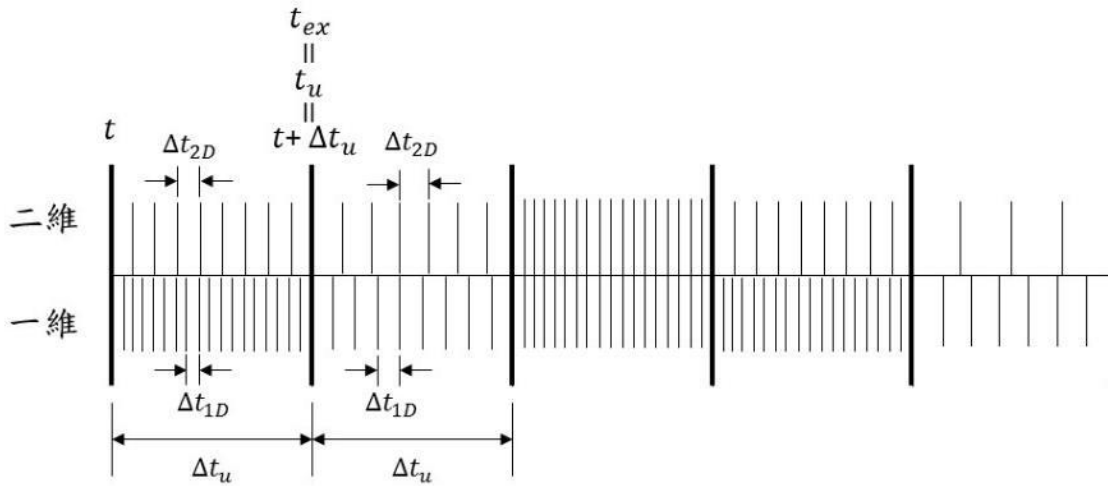
圖4-15 二維漫地流模式耦合雨水下水道模式之交互演算流程圖

當地表之水體流經人孔節點且下水道為未滿管狀態時，此時水流會以孔口流方式流入雨水下水道系統內，人孔節點之入流量計算如式(59) (O'Brien, 2012)所示：

$$Q_{in} = C_d A_m \sqrt{2gd} \quad (59)$$

式中， Q_{in} ：人孔節點之入流量(m³/s)；
 C_d ：孔口流係數(0.6~0.8)；
 A_m ：人孔面積(m²)；
 d ：地表水深(m)；

為了將二維快速漫地流模式與一維雨水下水道模式進行銜接，定義固定時間間隔的交換時間(t_{ex})來讓一維與二維模式在相同時刻點交換入流或溢流水體量。由於二維模式在得到溢流水體量或是損失入流水體量後應該再更新其自適性時間步長，因此本計畫將交換時間取為與快速都市淹水模式中更新時間(t_u)相同的值，而交換時間步長(Δt_{ex})故與更新時間步長相同(Δt_u)。SWMM 模式亦可選擇由模式本身決定其符合 CFL 條件之自適應步長，因此本計畫在 SWMM 模式內加入判斷式來調整 SWMM 內決定的自適應步長，當其值大於給定之交換時間步長時則取為交換時間步長。此外，若 SWMM 內之模擬時間加上其自適應時間步長會超過交換時間點，則自動將自適應時間步長調整為交換時間點減掉模擬時間。本計畫之模式銜接機制如圖 4-16 所示，於 t 時刻一維與二維模式會各自計算出其所要求的自適應時間步長，一維模式之自適應時間步長為 Δt_{1D} 而二維模式之自適應時間步長為 Δt_{2D} ，當演算時間到達交換時間(t_{ex})時會進行一維與二維模式水體量之交換，且同一時刻將重新計算一維與二維模式在下一個更新時間(t_u)前各自的時間步長。從 t 到 $(t + \Delta t_u)$ 時二維模式會採用固定的 Δt_{2D} 來進行模式演算，至於一維模式則會依其流況而可能不斷變動 Δt_{1D} ，如圖 4-16 所示。



林吉堃，2018

圖4-16 快速都市淹水模式之雙向交互演算機制示意圖

根據上述之銜接方式，下水道人孔入流之水體量由式(59)所計算之人孔節點入流量(Q_{in})乘以更新時間步長(Δt_u)所得，計算如式(60)所示，而下水道人孔溢流之水體量係由式(55)所計算之人孔溢流量(Q_o)乘以 Δt_u 所得，計算如式(61)所示，其人孔溢流之水體量會分配於與人孔相對應的之網格，演算中視人孔溢流水體量為中央細胞之入流水體量由式(34)計算，以點源方式回到二維漫地流模式中。

$$V_{in} = Q_{in}\Delta t_u \quad (60)$$

$$V_o = Q_o\Delta t_u \quad (61)$$

式中，
 V_{in} ：下水道人孔入流之水體量(m^3)；
 V_o ：下水道人孔溢流之水體量(m^3)；
 Q_o ：人孔溢流量(m^3/s)；
 Δt_u ：更新時間步長(s)。

本計畫使用快速都市淹水模式建置臺北市與基隆市的淹水模式，能夠考量入滲鋪面、雨水下水道、抽水站、閘門控制、建物蓄留等相關水量控制條件進行淹水模擬。

4.2.4 研究區域快速淹水模式的建置

本計畫依據所蒐集的相關水文、地文、水利等資訊進行快速淹水模式建構，其中包含山區逕流、地表漫地流、雨水下水道系統、河道系統、水庫操作等模組，其各模組計算分析流程如圖 4-17 所示，而各模組分析功能如下列說明：

- 一、將降雨相關資料依據空間分布輸入山區逕流、地表漫地流以及雨水下水道系統模組中，進行分析，並將山區逕流模組分析結果的流量輸入河道以及雨水下水道中作為上游入流量。
- 二、將上游山區逕流結果以及水庫觀測水位輸入水庫操作模組中，並依據水庫操作情況進行情境設定，其放流量作為河道系統模組上游入流條件。
- 三、河道系統模組需要上、下游邊界條件資料，上游邊界資料分別上游水庫放流、山區逕流，可由山區逕流以及水庫操作模組取得，下游邊界資料為淡水河水位，由觀測資料取得，本計畫後續下游水位使用與第 3 代淹水潛勢圖相同之大潮平均高潮位潮位歷線做為下游邊界條件。
- 四、雨水下水道模組利用堰流或孔口流公式將地表漫地流的水體進入雨水下水道系統中，而且雨水下水道系統依據閘門與抽水站操作進行放流。
- 五、地表漫地流模組直接利用降雨資料進行二維漫地流評估，當流經人孔或集流器時以孔口流或堰流公式流入雨水下水道系統，而流經河川周邊低地時以堰流公式流入河川，反之，當雨水下水道系統溢淹、河川溢堤時水體由雨水下水道系統、河川以堰流公式淹回地表。

此外因為臺北市的模擬範圍較大，將其分為士林北投、大直內湖、信義南港、木柵景美、政大道南、雙園及新生等 7 個分區進行淹水模擬運算，如圖 4-18 所示。

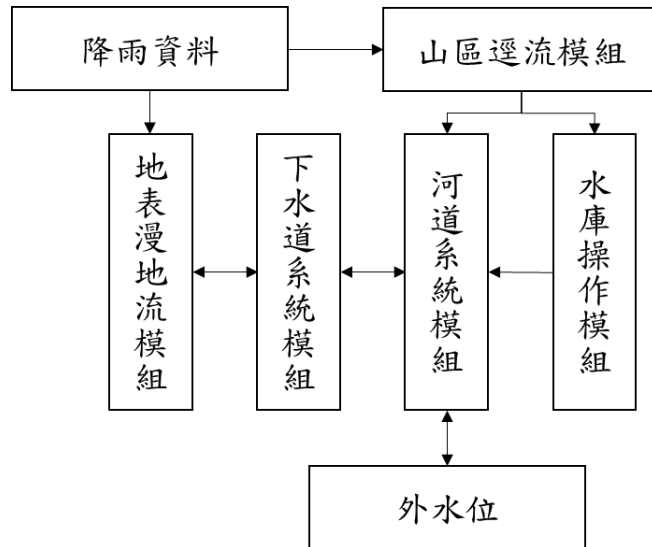


圖4-17 快速淹水模式分析流程圖



圖4-18 臺北市快速淹水模式模擬分區圖

4.2.5 淹水模式驗證

以 2015 年 0614 豪雨事件驗證本計畫建置的臺北市快速淹水模式，製作第三代淹水潛勢圖所建置的 SOBEK 模式亦是使用此事件的資料進行模式驗證。模式的驗證方法是比對實際淹水範圍的調查結果與模式模擬的淹水範圍，評估淹水模式的準確率與捕捉率。準確率與捕捉率的計算方式如圖 4-19 說明，紅色的部分為觀測值，即實際淹水範圍；藍色的部分為模擬值，即模擬淹水範圍；綠色的部分則是正確值，代表有發生淹水且被模擬到的範圍。因此，準確率越高代表模式模擬結果越貼近實際淹水範圍，且誤報的比

率越少；捕捉率則是比較在實際淹水範圍內有多少比率可以被模式捕捉到。

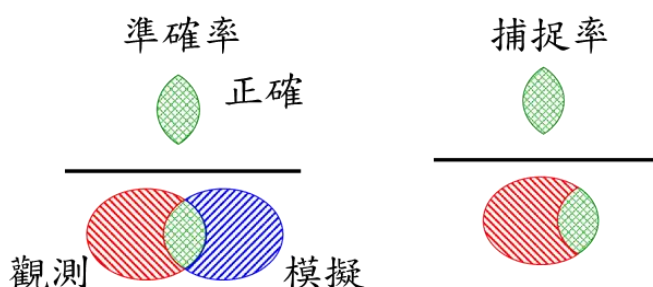


圖4-19 準確率與捕捉率的定義

比較本計畫建置的快速淹水模式與第三代淹水潛勢圖的 SOBEK 模式模擬 2015 年 0614 豪雨事件的結果，如圖 4-20 至圖 4-22，與表 4-2、表 4-3 所示。在臺北市文山區萬芳醫院站附近的淹水區域，兩模式都有達到 6 成的準確率與 8 成的捕捉率；另以臺北市大安區臺灣大學附近的淹水區域與快速淹水模式模擬結果比對，捕捉率亦有達到 77%。

在模擬速度方面，使用兩模式模擬全臺北市在 0614 豪雨的淹水情形，快速淹水模式僅需 5.4 分鐘，約 1/30 的運算時間可以模擬完成，已能夠充分運用於大量情境的淹水運算上。

基隆市則使用 2017 年 0602 豪雨事件的淹水調查資料與快速淹水模式模擬結果進行比對，並擷出該事件中淹水最嚴重的基金一路 208 巷口附近進行細部比對。結果如圖 4-23、圖 4-24 與表 4-4、表 4-5 所示，快速淹水模式能夠捕捉到基金一路的淹水區域。

根據驗證的結果顯示，本計畫的快速淹水模式搭配最新蒐集的水文、地文測量調查資料，能夠有效提升淹水模擬的運算速度，並且與 SOBEK 模式有接近的準確率與捕捉率，達到精進淹水模式的成效。

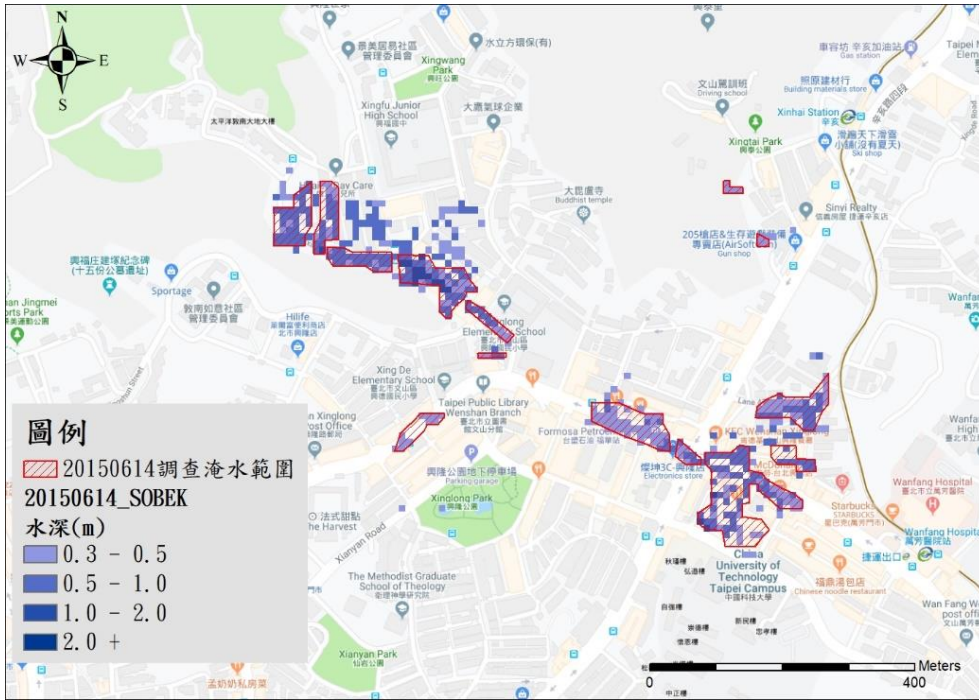


圖4-20 2015年0614豪雨文山區淹水模擬比對：SOBEK模式

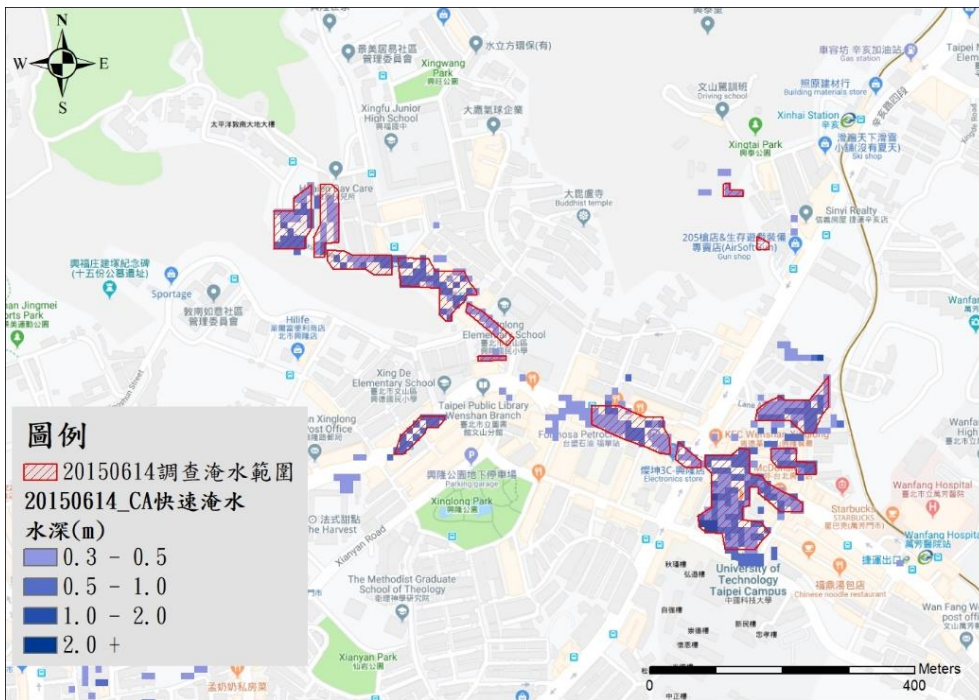


圖4-21 2015年0614豪雨文山區淹水模擬比對：快速淹水模式

表 4-2 2015 年 0614 豪雨文山區淹水範圍模擬比較結果

	準確率	捕捉率	模擬時間
SOBEK 模式	63.61%	81.8%	159 分鐘
快速淹水模式	64.3%	82.1%	5.4 分鐘

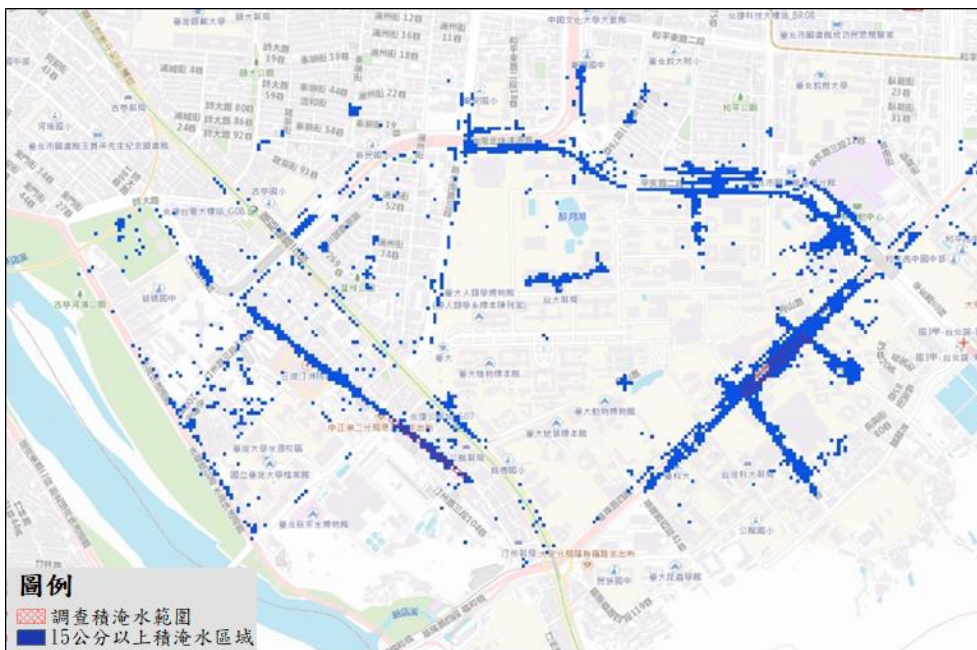


圖4-22 2015年0614豪雨大安區淹水模擬比對：快速淹水模式

表 4-3 2015 年 0614 豪雨大安區淹水範圍模擬比較結果

	準確率	捕捉率
快速淹水模式	5.1%	77.2%

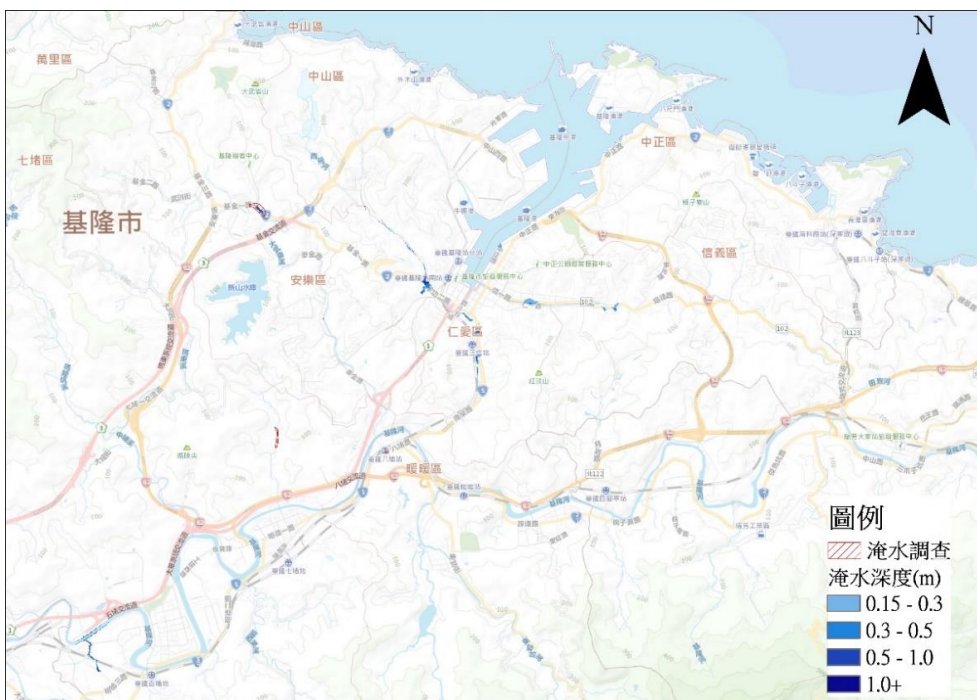


圖4-23 2017年0602豪雨基隆市淹水模擬比對：快速淹水模式

表 4-4 2017 年 0602 豪雨基隆市淹水模擬比對結果

	準確率	捕捉率
快速淹水模式	5.5%	23.5%

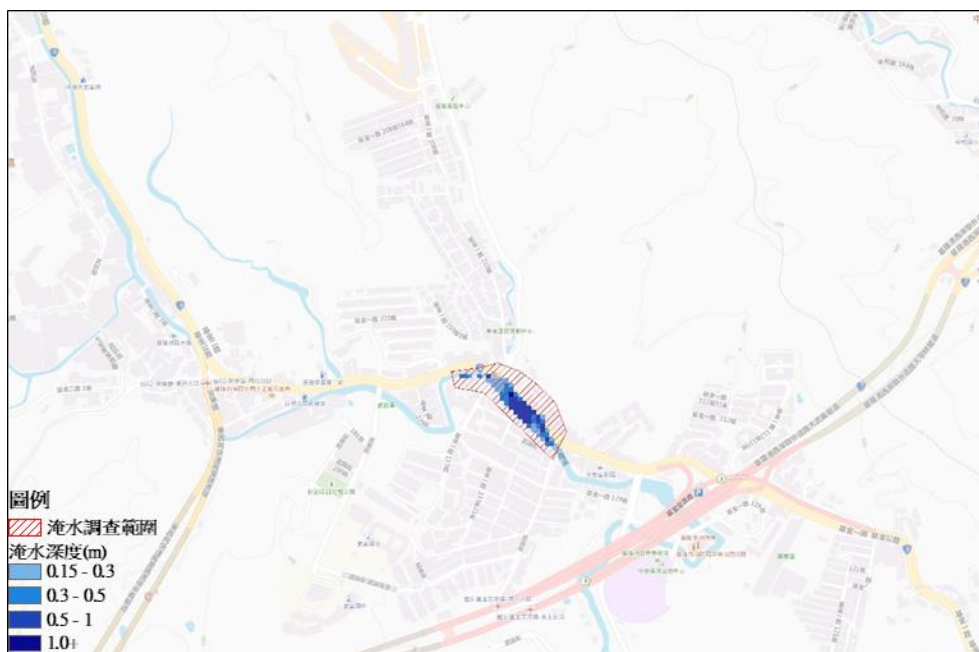


圖4-24 2017年0602豪雨基金一路淹水模擬比對：快速淹水模式

表 4-5 2017 年 0602 豪雨基金一路淹水模擬比對結果

	準確率	捕捉率
快速淹水模式	31.4%	31.4%

4.3 以歷史淹水事件模擬結果分析淹水深度之時空分布

因現有歷史淹水事件的水深調查資料受限於觀測技術的困難，所以大多為資料不充分足夠且描述概略的民眾通報與訪查紀錄，難以與模擬結果進行時空分布的比對。因此，本計畫比較快速淹水模式與歷史淹水事件的淹水範圍，採用 2017 年 0602 豪雨、2018 年 0908 豪雨與 2019 年 0722 豪雨三場事件進行比對，分別如圖 4-25 至圖 4-28 所示。

其中 2017 年 0602 豪雨快速淹水模式淹水模擬比對結果如表 4-6、表 4-7 所示，松山區小巨蛋周邊、大安區基隆路-長興街一帶淹水評估情況均為快速淹水模式較好；而 2018 年 0908 豪雨快速淹水模式淹水模擬比對結果如表 4-8、表 4-9 所示，松山區小巨蛋周邊、大安區大安森林公園周邊淹水評估情況亦以快速淹水模式較好。而在淹水的時間分布上，以 2019 年 0722 豪雨大安區大安森林公園周邊淹水模擬結果為例，每 10 分鐘輸出時間歷程淹水圖如圖 4-33 所示，可以看出淹水開始時間以及退水情況。

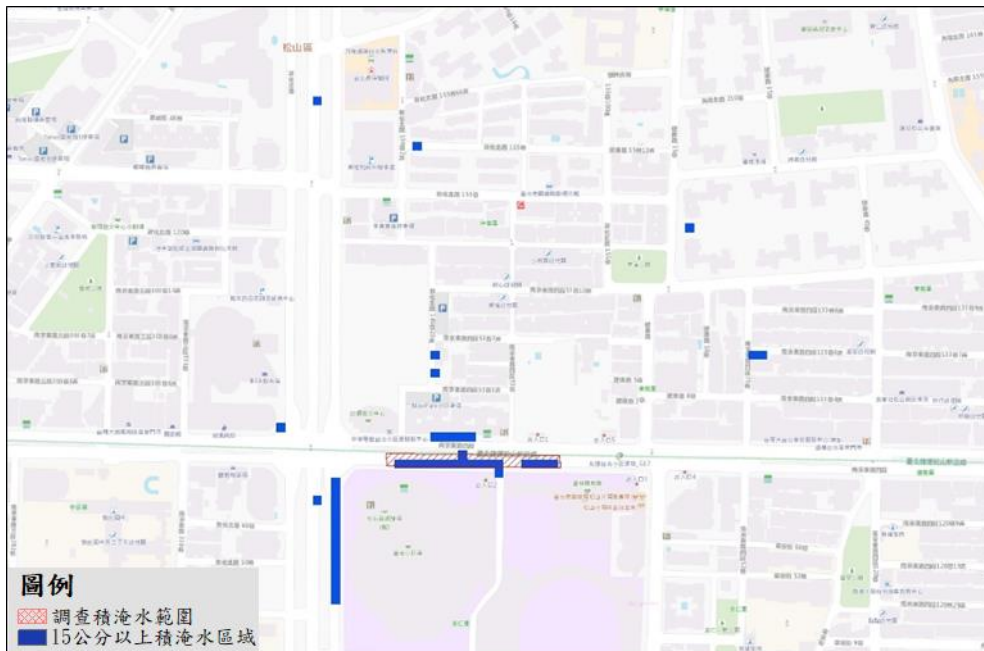


圖4-25 2017年0602豪雨松山區淹水模擬比對

表 4-6 2017 年 0602 豪雨松山區淹水模擬比對結果

捕捉率
50%

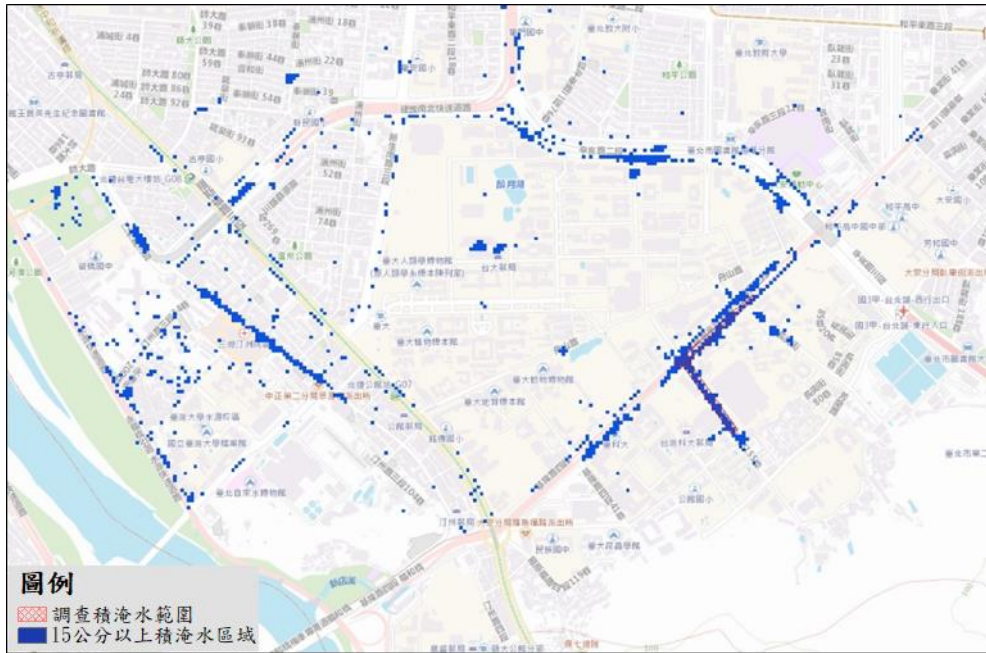


圖4-26 2017年0602豪雨大安區淹水模擬比對

表 4-7 2017 年 0602 水災大安區淹水模擬比對結果

捕捉率
67.3%

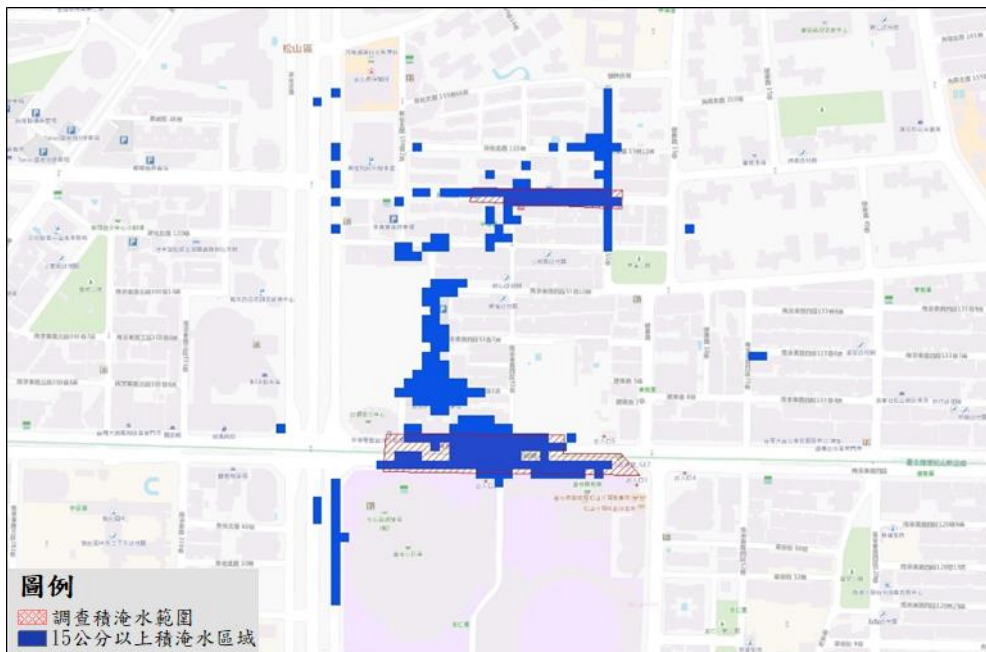


圖4-27 2018年0908豪雨松山區淹水模擬比對

表 4-8 2018 年 0908 豪雨松山區淹水模擬比對結果

捕捉率
73.7%

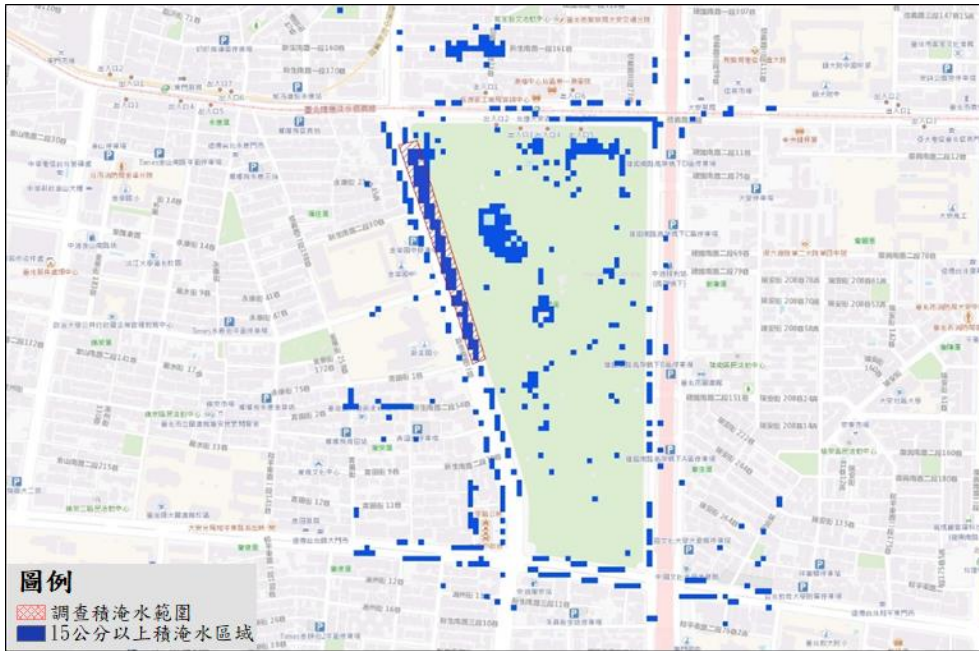


圖4-28 2018年0908豪雨大安區淹水模擬比對

表 4-9 2018 年 0908 豪雨大安區淹水模擬比對結果

捕捉率
61.6%

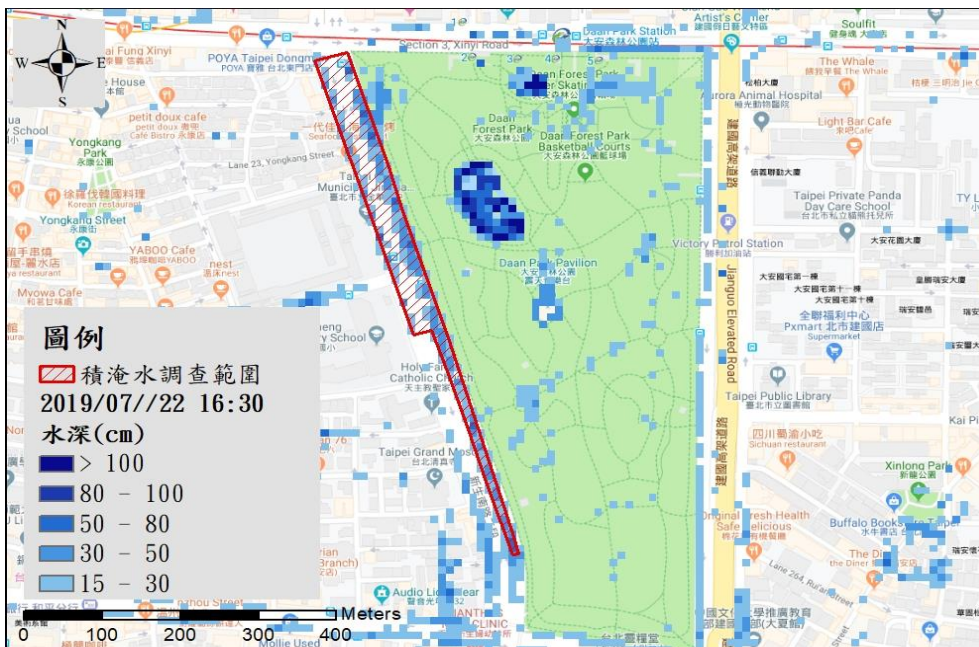


圖4-29 2019年0722豪雨大安區淹水模擬比對

表 4-10 2019 年 0722 豪雨大安區淹水模擬比對結果

捕捉率
64.3%

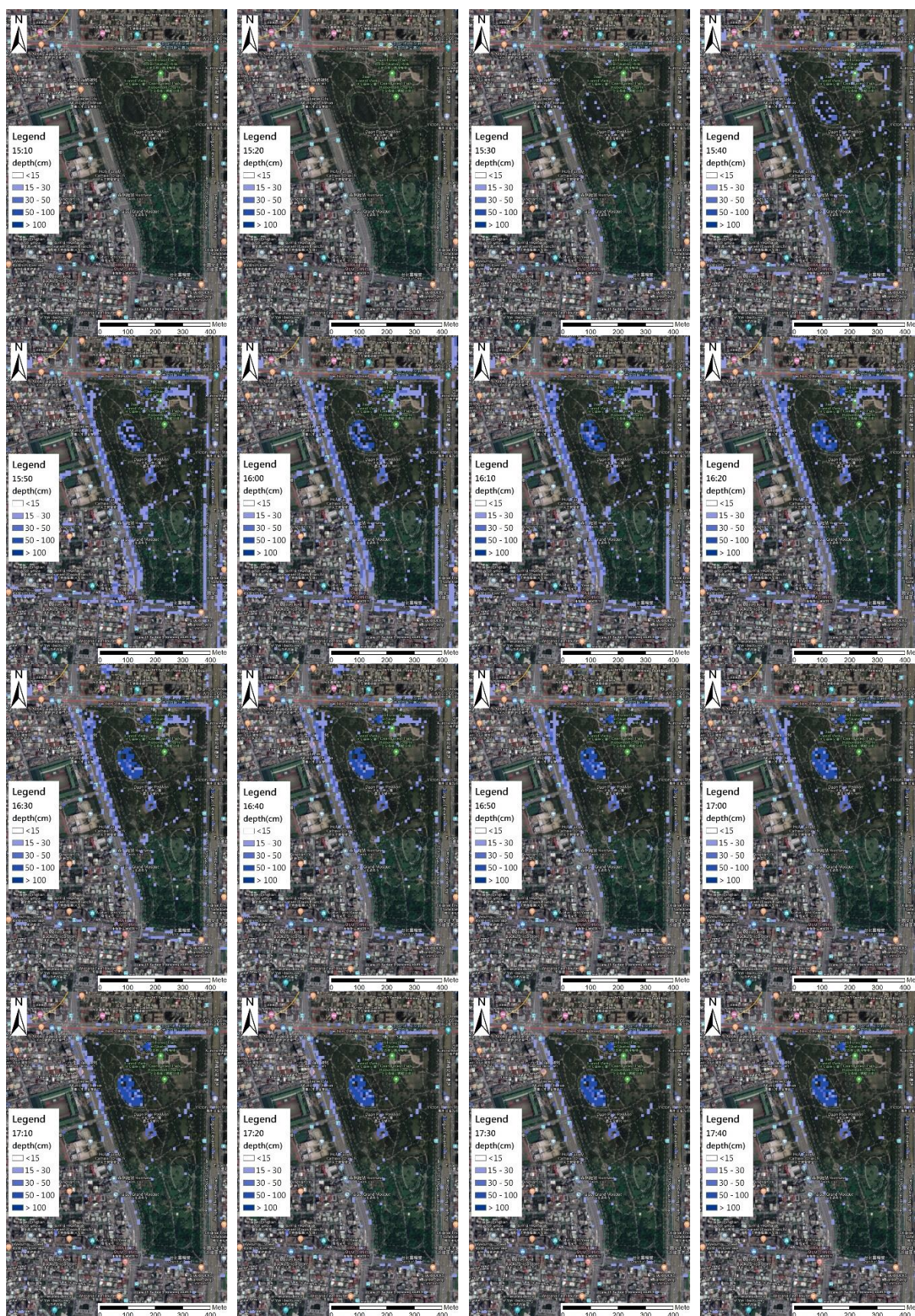


圖4-30 2019年0722豪雨大安區大安森林公園淹水時序圖

另外比較下水道水位之模擬情形，以 2018 年 0908 豪雨事件，臺北市承德路 2 段與錦西街路口的水位站為例，圖 4-31 為承德路 2 段附近的水位站位置圖，圖 4-32 為承德路 2 段上的 2 處水位站水位紀錄資料與快速淹水模式模擬得出的水位資料比較圖，顯示快速淹水模式對於下水道的水位模擬能夠符合實際情形。

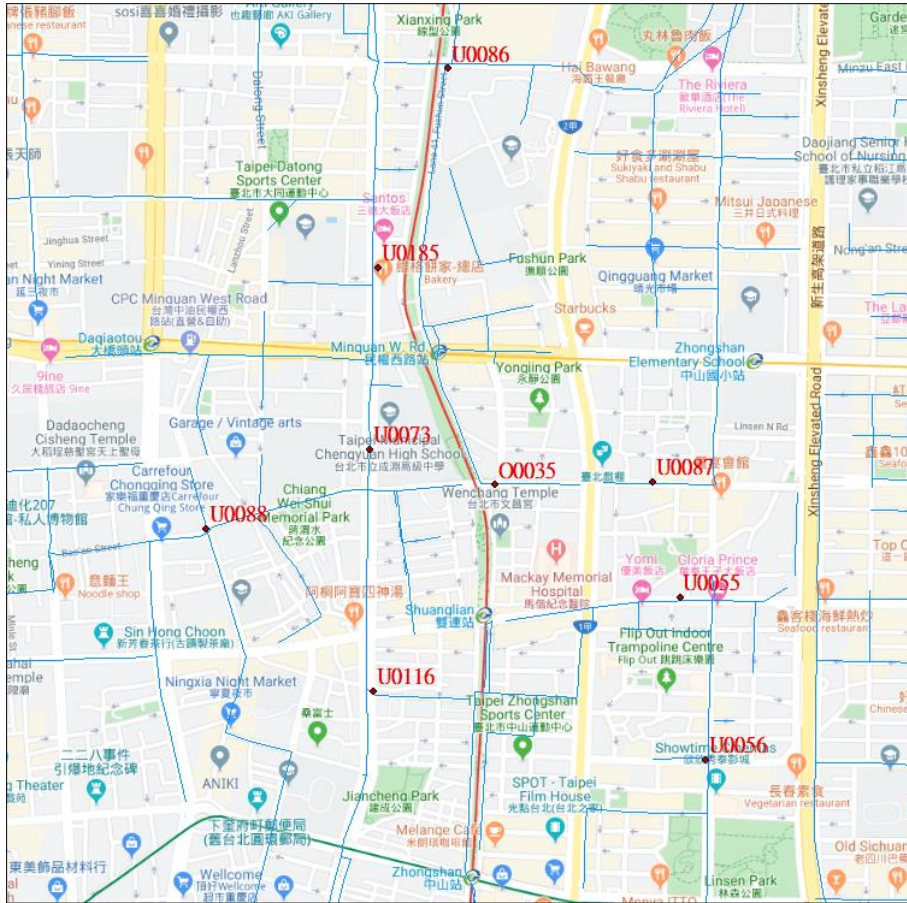


圖4-31 承德路與錦西街口水位站位置圖

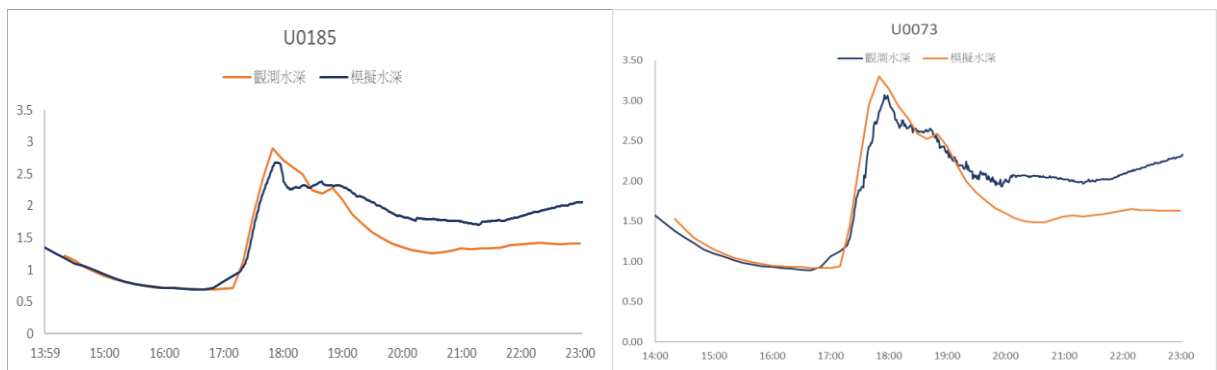


圖4-32 2018年0908豪雨水位紀錄與模擬水位比對情形

第五章 建立暴雨淹水機率預報及防災淹水機率圖資

5.1 擬定雨量預報情境

目前中央氣象局的颱風雨量預報是針對各縣市發佈 24 小時累積雨量預報及未來 0~6、6~12、12~18、18~24 小時定量降水格點累積雨量預報，可提供較長預警與應變之作業時間。而水利署製作公開的淹水潛勢圖情境有 6 小時降水 150、250、350 毫米，12 小時 200、300、400 毫米，以及 24 小時降水 200、350、500、650 毫米等十種情境。本計畫所分析的颱風類型降雨與長延時降雨特性較為符合，因此以 24 小時延時的四種情境，將序率暴雨模式產製的模擬雨量區分為 4 組：第一組(Group_1, G_1)為 200mm/24hr，繁衍 750 場雨型；第二組(Group_2, G_2)為 350mm/24hr，繁衍 750 場雨型；第三組(Group_3, G_3)為 500mm/24hr，繁衍 1,000 場雨型；第四組為 650mm/24hr，繁衍 162 場雨型，4 組模擬情境總共模擬 2,662 場降雨淹水情形，進行淹水機率統計的計算。

雖然本計畫是以長延時的颱風降雨進行模擬分析，但繁衍的模擬情境降雨事件仍有機會發生短時間的集中降雨，整理本計畫所使用的北北基地區 30 個雨量測站的模擬雨型的最大時雨量資料，結果如表 5-1 所示。表中的『測站雨量』欄位為各個雨量測站所繁衍出來模擬降雨事件中，產生的最大時雨量值；而『網格雨量』欄位是用 30 個測站的雨量資料透過克利金法內插計算研究區域內全部網格雨量值的最大時雨量值，本計畫的網格降雨量資料依據模擬區域的臺北市與基隆市的範圍，劃分成 40,174 格的 250×250 公尺網格。此外透過本表可以觀察到從點資料內插轉換成網格雨量資料後，因為將單點資料按照距離比例劃分致空間平面會有平均化的過程，因此最大時雨量有降低的現象。

各組降雨情境的前三大時雨量發生測站分別為，第一組為鞍部、雙溪與碧湖站，第二組為竹子湖、鞍部與五堵站，第三組為南港、鞍部與天母站，

第四組為南港、內湖與竹子湖站，藉由此表格可以大略窺探出符合歷史事件的颱風類型降雨在大臺北地區的空間分布情形。

表 5-1 模擬雨型於各雨量站發生最大時雨量一覽表

情境分組		200mm/24hr(G_1)		350mm/24hr(G_2)		500mm/24hr(G_3)		650mm/24hr(G_4)	
站號	站名	網格雨量	測站雨量	網格雨量	測站雨量	網格雨量	測站雨量	網格雨量	測站雨量
00A130	石碇(2)	45.9	58.6	52.3	63.6	33.8	37.3	59.4	59.7
01A160	林口(1)	18.2	21.1	70.0	78.9	31.6	40.1	42.3	49.5
01A190	碧湖	66.4	89.8	44.1	44.1	37.1	45.7	64.3	80.5
01A200	火燒寮	30.9	41.8	58.2	78.5	42.5	58.0	49.0	53.9
01A210	大豹	24.2	29.4	57.2	63.7	32.9	36.2	51.7	63.0
01A220	三峽	25.3	32.8	52.7	55.8	38.7	47.5	39.2	44.4
01A380	瑞芳(2)	52.5	61.4	76.9	97.7	40.8	53.6	60.7	77.7
01A410	中正橋	31.1	40.4	57.0	61.9	31.6	55.1	51.6	50.0
01A430	福山(3)	52.6	72.8	45.8	49.4	51.8	57.0	74.2	94.9
01A440	大桶山	31.6	39.2	67.7	80.3	70.6	90.4	40.8	47.4
01B030	五堵	41.3	51.3	94.3	123.0	46.2	58.7	62.7	75.6
466900	淡水	29.6	30.0	75.6	68.6	35.7	42.1	31.0	29.7
466910	鞍部	114.6	187.1	121.3	124.7	69.5	94.9	74.1	98.2
466920	臺北	24.1	19.9	51.1	42.1	29.2	34.2	50.5	40.2
466930	竹子湖	55.5	68.4	165.6	237.6	50.9	51.2	69.9	100.7
466940	基隆	22.9	22.9	50.5	50.7	45.1	53.1	76.3	95.8
C0A520	山佳	21.7	23.0	58.0	69.8	28.0	33.6	23.3	25.3
C0A530	坪林	35.7	39.5	46.8	59.9	35.4	47.8	47.2	58.0
C0A550	泰平	38.8	45.9	51.3	52.1	25.7	28.3	45.1	53.5
C0A570	桶後	30.6	33.5	49.6	56.0	63.6	73.0	46.1	58.5
C0A580	屈尺	28.0	32.8	66.2	77.2	43.6	44.3	41.7	41.9
C0A870	五指山	41.3	46.3	85.1	96.9	50.1	55.6	52.6	50.3
C0A890	雙溪	74.8	94.9	51.8	53.4	35.1	42.8	31.8	34.1
C0A940	金山	65.3	83.2	68.2	67.8	36.7	36.8	38.9	37.1
C0A980	社子	23.2	29.6	72.9	76.4	26.9	21.6	35.9	39.0
C0A9C0	天母	36.6	37.4	75.8	85.3	70.4	94.7	71.1	80.8
C0A9F0	內湖	23.3	29.6	76.5	89.3	66.7	73.8	92.6	122.8
C0A9G0	南港	28.0	34.2	56.3	53.9	162.3	258.2	147.7	245.6
C1A630	下盆	41.1	55.1	39.3	45.4	43.0	49.4	63.8	76.0
C1A730	公館	33.3	41.0	62.1	73.6	40.9	43.0	67.8	80.6
最大值		114.6	187.1	165.6	237.6	162.3	258.2	147.7	245.6
			最大值			次大值			第三大

進一步分析模擬雨型的降雨強度分布情形，從前述的各個網格統計最大時雨量超過 60、70 或 80mm/hr 的發生次數，依照不同降雨強度的門檻列出最高的發生機率，如表 5-2 所示。在 650mm/24hr 的情境下，降雨強度超

過 80mm/hr 的最高機率為 23.5%，可見臺北市下水道排洪標準的 78.8mm/hr 來比較，是足以承受大部分颱風的降雨強度。

而圖 5-1 至圖 5-4 分別是 4 組模擬情境降雨在各網格的時雨量超過 60、70 與 80mm/hr 的機率圖，此圖顯示臺北市與基隆市各地發生高強度降雨的可能性，結果顯示颱風降雨在陽明山區域、南港與七堵區等地會有較高的機率發生強降雨。

表 5-2 四種降雨情境分組時雨量超過 60、70、80mm 的最大機率

分組	強度	網格最大機率	分組	強度	網格最大機率
第一組 200mm/24hr (750 場)	60mm/hr	5.5%(41 次)	第三組 500mm/24hr (1000 場)	60mm/hr	32.0%(320 次)
	70mm/hr	2.7%(20 次)		70mm/hr	18.7%(187 次)
	80mm/hr	1.5%(11 次)		80mm/hr	10.3%(103 次)
第二組 350mm/24hr (750 場)	60mm/hr	17.9%(134 次)	第四組 650mm/24hr (162 場)	60mm/hr	58%(94 次)
	70mm/hr	9.5%(71 次)		70mm/hr	35.8%(58 次)
	80mm/hr	5.3%(40 次)		80mm/hr	23.5%(38 次)

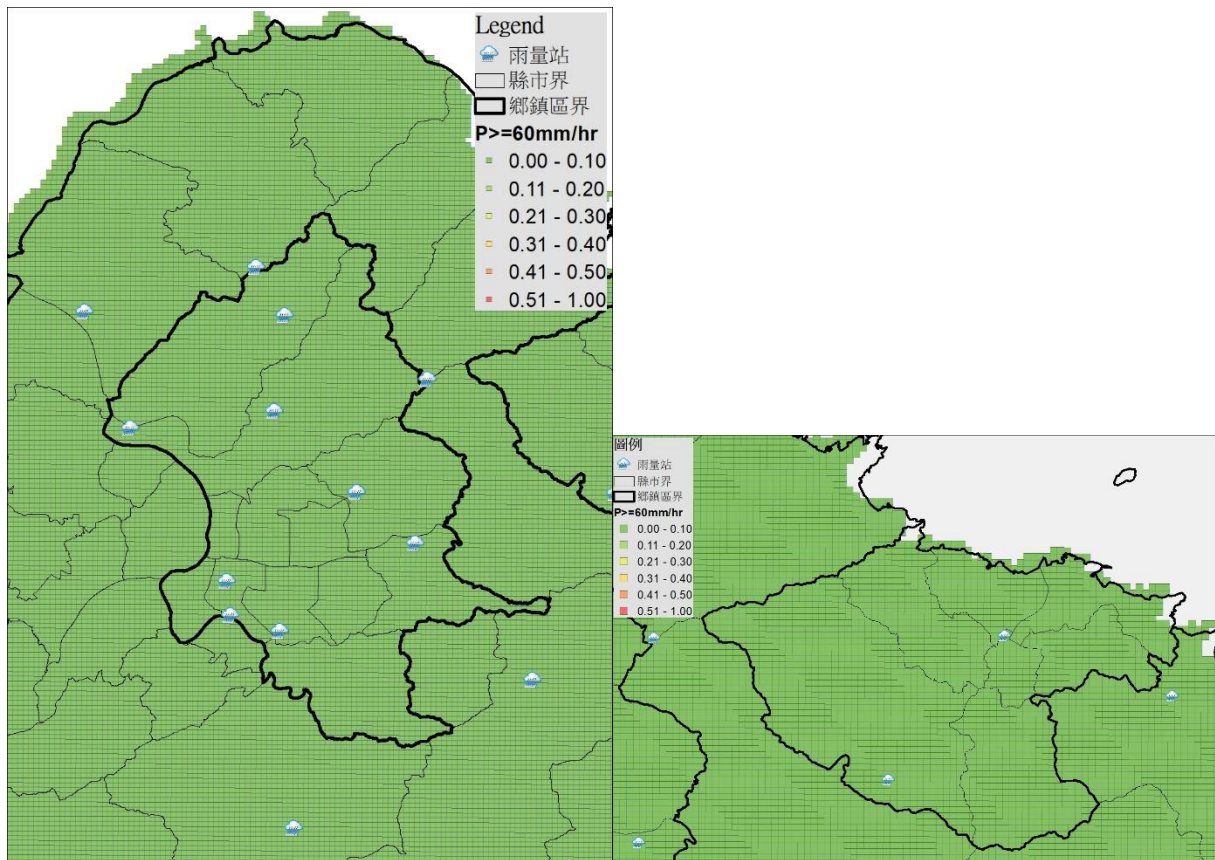


圖5-1 第一組(200mm/24hr)時雨量大於60mm/hr的機率

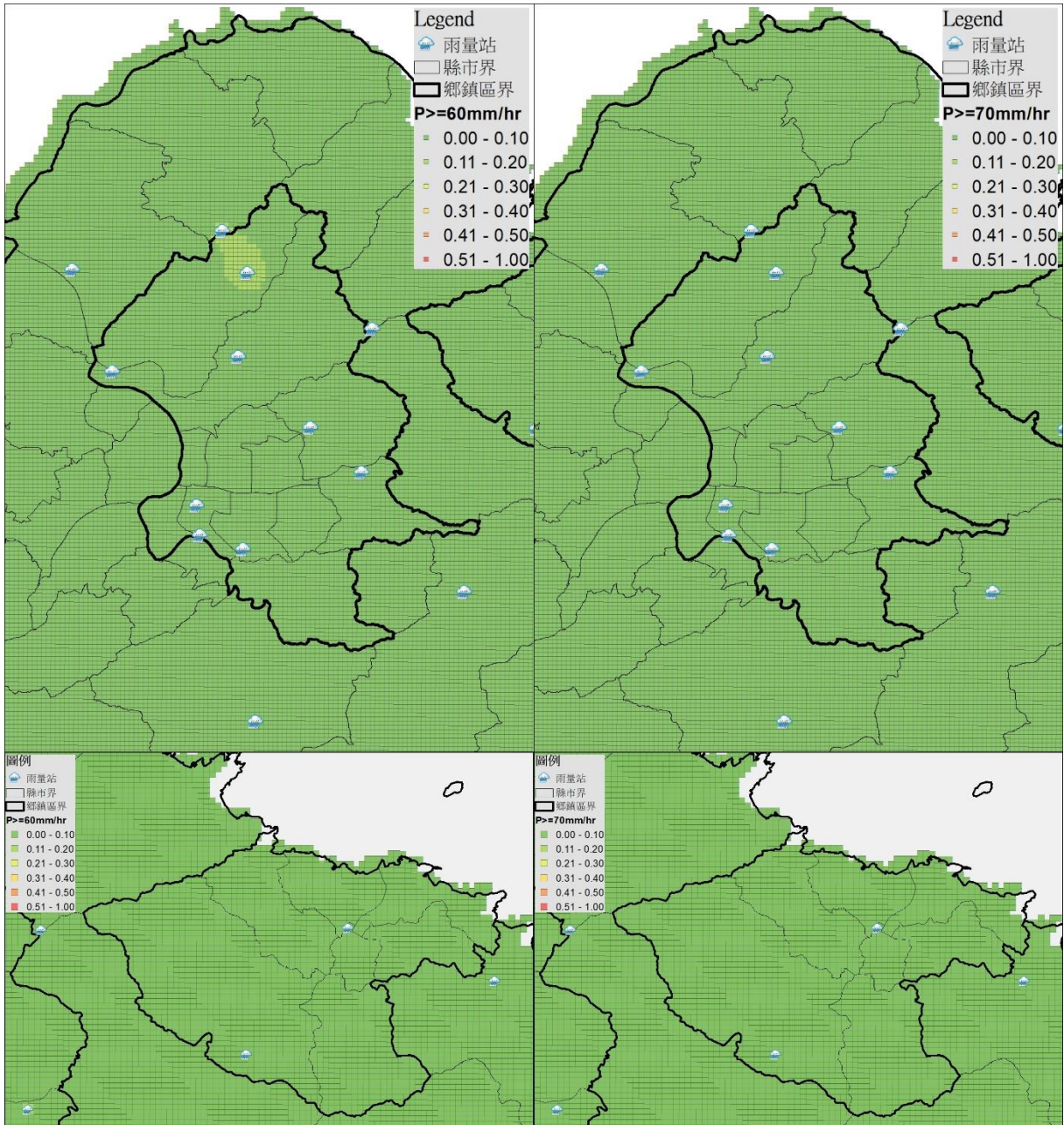


圖5-2 第二組(350mm/24hr)時雨量大於60、70mm/hr的機率

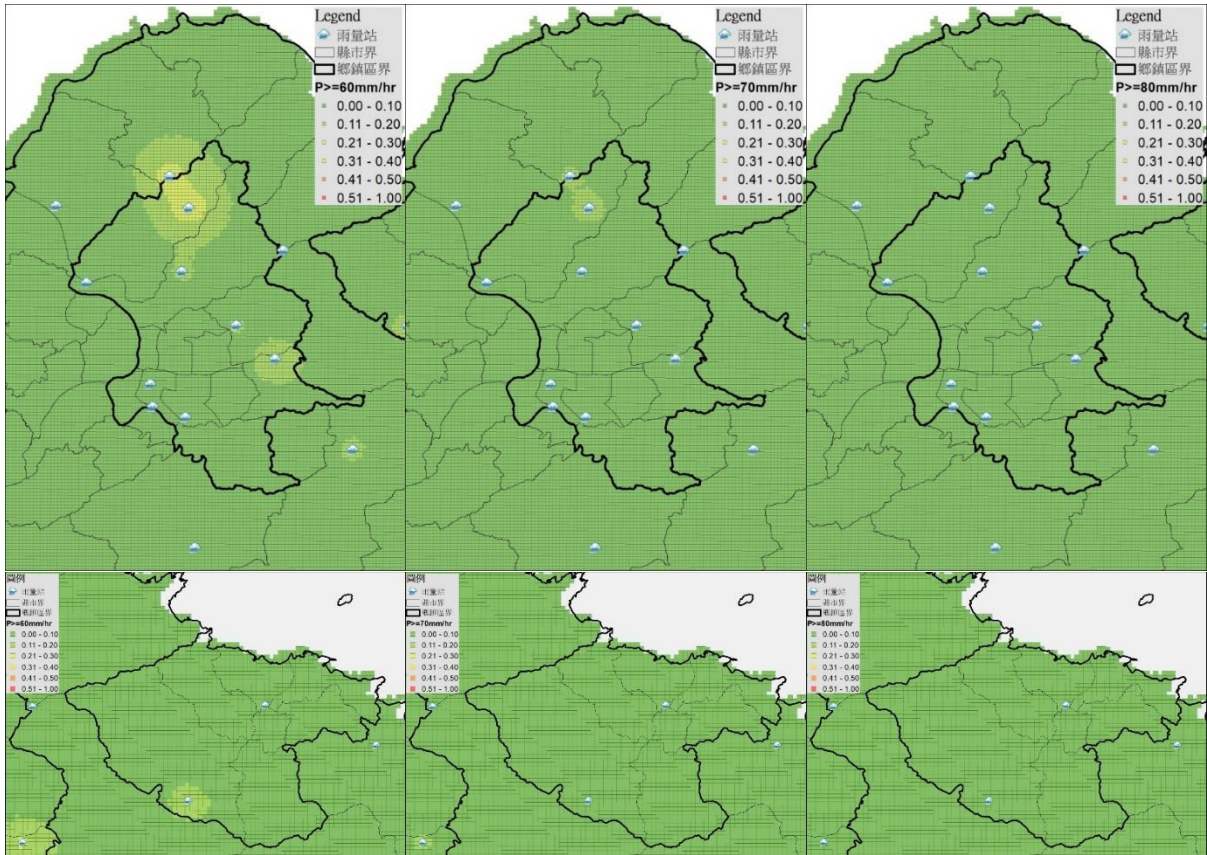


圖5-3 第三組(500mm/24hr)時雨量大於60、70、80mm/hr的機率

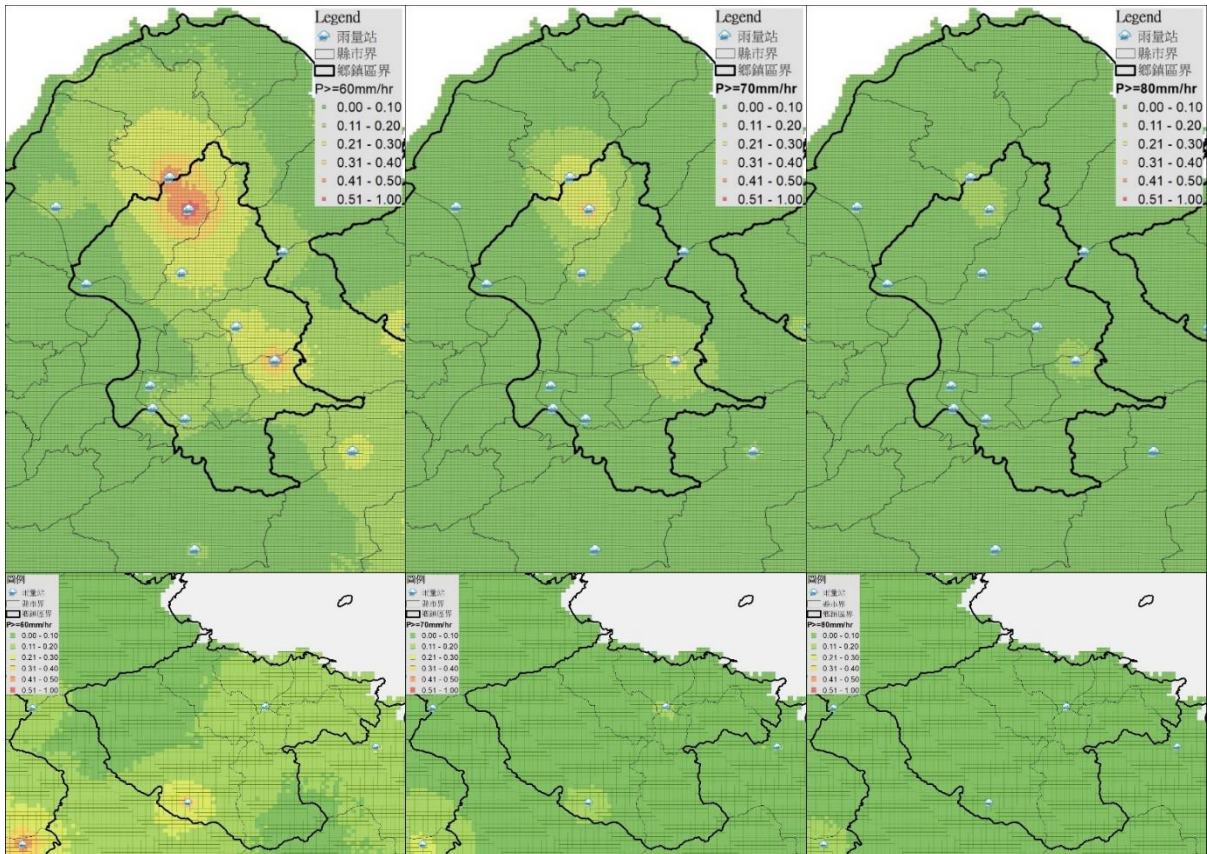


圖5-4 第四組(650mm/24hr)時雨量大於60、70、80mm/hr的機率

5.2 結合淹水時空分布資料庫，分析各網格之淹水深度機率分布

為評估研究區域的淹水發生機率，本計畫使用報告 5.1 小節所描述的 4 組情境降雨雨型，進行暴雨事件淹水模擬，並透過淹水深度門檻值篩選各種情境降雨下的淹水網格點，並將相同雨量不同時空分布之降雨情境的淹水模擬結果進行套疊，計算各網格的淹水發生機率，方法流程如圖 5-5 所示。

第三組(Group_3, G_3)模擬雨量情境為 500mm/24hr，繁衍 1,000 場所進行的淹水模擬為例，如果編號第 888 的網格在此 1,000 場模擬中，有出現積淹水高過 15 公分的場次有 30 場，此時編號第 888 的網格在 500mm/24hr 颱風風雨事件下淹水機率就為 0.03(30/1000)。

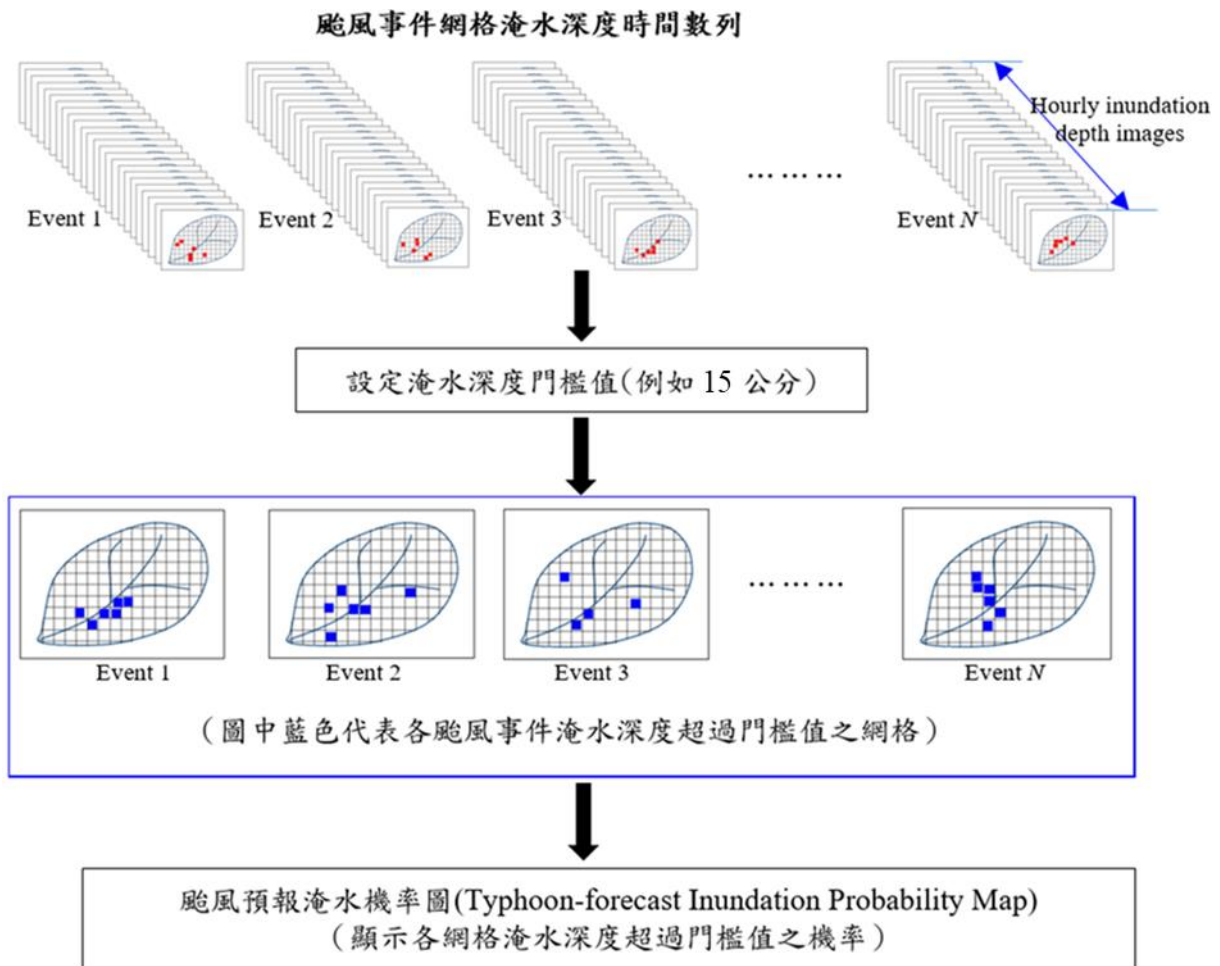


圖5-5 防災淹水機率圖製作流程示意圖

5.3 將各網格淹水機率圖像化，並建立防災淹水機率圖

根據 5.2 小節的各降雨情境淹水模擬結果分析得到的淹水機率分布資料，可以繪製成防災淹水機率圖資。模擬結果的圖資採用積淹水 15 公分以上的機率進行繪製，承 5.1 小節模擬降雨分布資料所述，各情境模擬雨型中有發生達到時雨量 60 毫米以上的機率都不高，因此以積淹水 15 公分以上的機率繪製淹水機率圖資，分析臺北市與基隆市的易淹水地區。

本計畫使用的細胞自動機快速淹水模式，進行地表的水體傳遞時，因其演算方式的特性，會產生水體聚集在局部性低窪處的情形。因此，在使用高解析度的臺北市 DEM 資料進行淹水模擬繪製成淹水機率圖後，會造成點狀的雜訊產生，如圖 5-6 與圖 5-7 所示。而基隆市的 DEM 資料則是使用已經修正過高程誤差的資料，從圖 5-8 與圖 5-9 可看出其地形變化是較為平滑的，淹水機率圖就比較沒有點狀雜訊的問題發生。此種現象可以在淹水模式將側溝與集流器進行完整建置，讓有排水的地方可以將低窪處的水導入下水道系統，不會停留在地表產生積淹水的雜訊，使淹水範圍模擬結果不會過分高估。

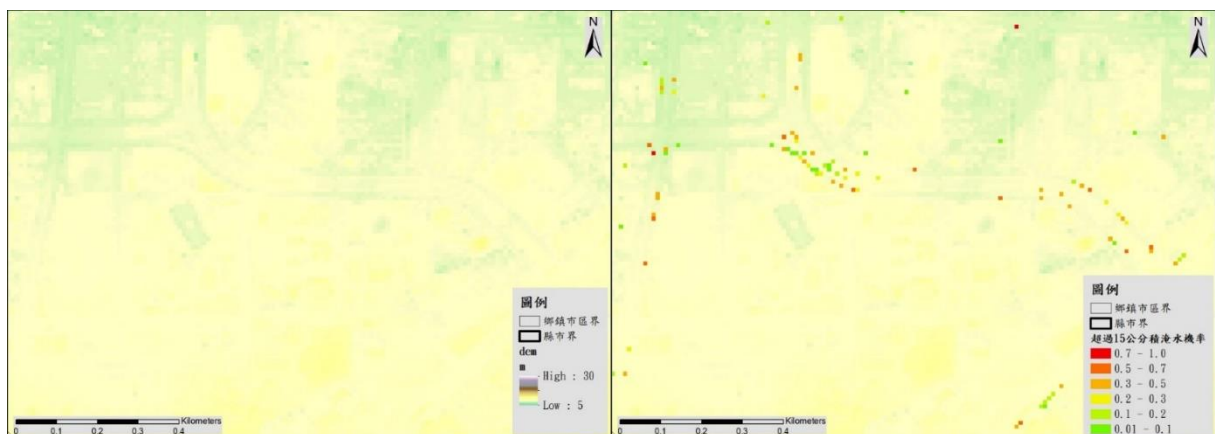


圖5-6 辛亥路二段DEM圖與200mm/24hr淹水機率圖

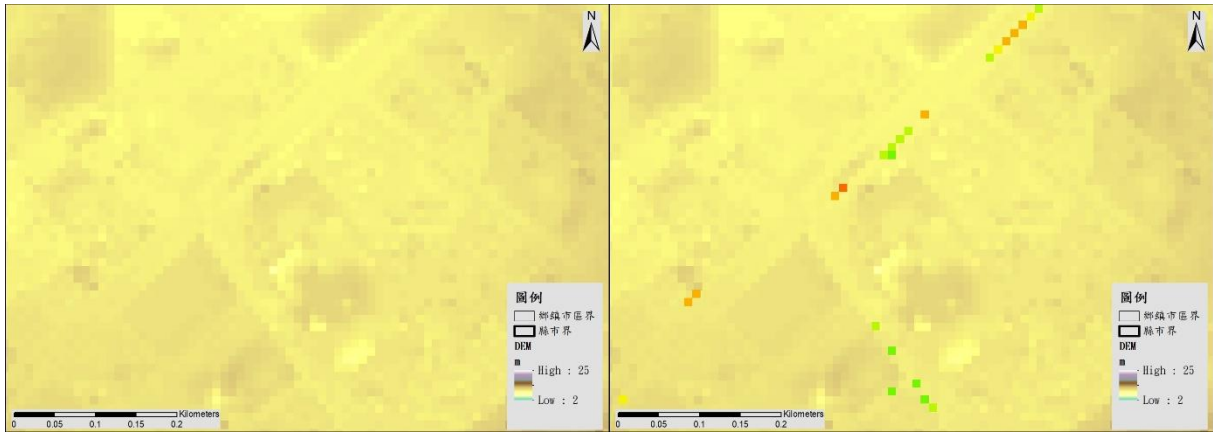


圖5-7 基隆路四段DEM圖與200mm/24hr淹水機率圖

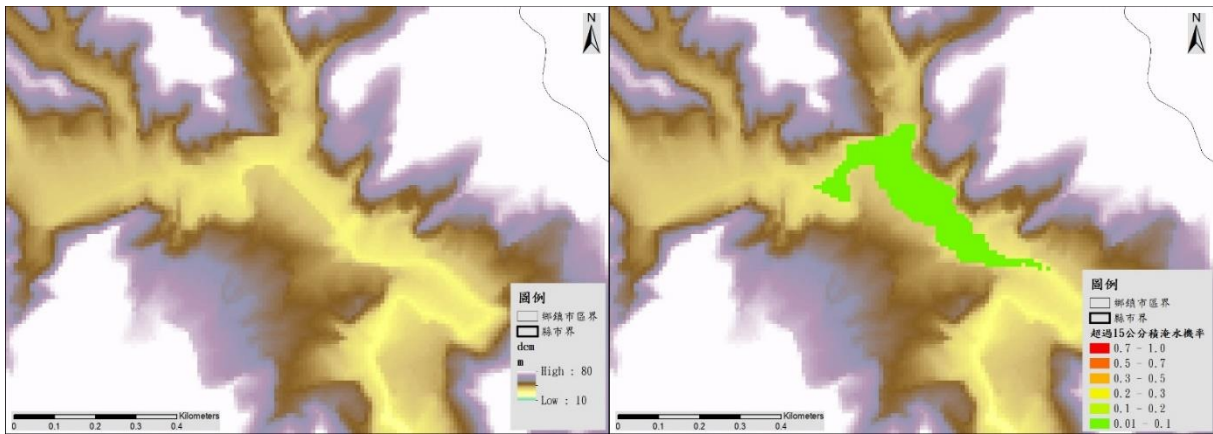


圖5-8 基金一路DEM圖與650mm/24hr淹水機率圖

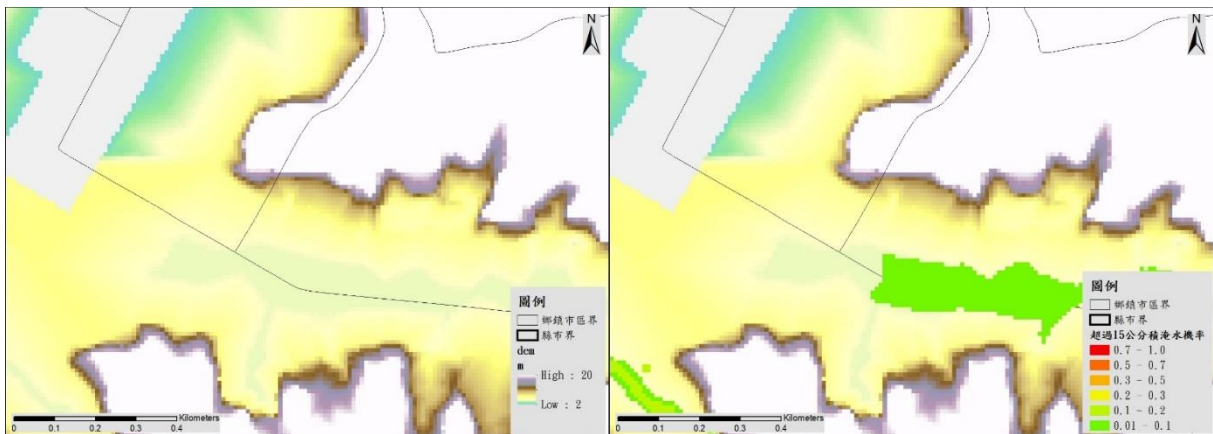


圖5-9 仁一路DEM圖與650mm/24hr淹水機率圖

本計畫繪製的積淹水 15 公分以上淹水機率圖，依照積淹水發生機率 1~10%、10~20%、20~30%、30~50%、50~70%與 70~100%分成 6 個級次，如圖 5-10 所示。因此淹水機率圖中，橘色與紅色的範圍便是相對上有較高機率發生積淹水的地點，在低雨量情境中，高機率淹水地點則是平日該進行防汛準備的易淹水位置；而在高雨量情境中，橘色與紅色區塊越大的易淹水地區，亦有可能容易發生嚴重災情的地點。透過淹水機率圖資，可以快速地判斷易淹水位置與可能發生大範圍淹水災害的地區，並能夠透過發生機率的比較，評估救災人員物資調度的優先度，決定相對的應變作為。

標色	分級	淹水機率
亮綠色	1	0.01~0.1
黃綠色	2	0.1~0.2
黃色	3	0.2~0.3
橘黃色	4	0.3~0.5
橘紅色	5	0.5~0.7
紅色	6	0.7~1.0

圖5-10 淹水機率圖圖例

臺北市的淹水機率圖範圍較大，為了方便閱覽，劃分成萬華中正、大同中山、中山松山、松山、內湖、南港等 10 個區域呈現，如圖 5-11 至圖 5-50。基隆市區域的各情境降雨淹水機率如圖 5-51 至圖 5-58，在 4 種降雨情境中，各情境有隨著雨量變大而有積淹水範圍與機率值變大的情況。

以第四組(Group_4, G_4) 650mm/24hr 情境為例，如圖 5-9、13、17、21、25、29、33、37、41、45 為例，萬華、中正主要易積淹水區域為青年公園(公園低窪處機率 0.5~1.0，周邊道路機率<0.2)、萬大路 277 巷(機率<0.1)、和平西路-中華路(機率<0.2)、植物園(園內低窪處機率 0.5~1.0)、新公園(公園低窪處機率 0.5~1.0)、中山南路(臺大醫院周邊<0.2)、北平東路(機率<0.2)等；大同、中山主要易積淹水區域為錦西街-承德路一帶(雙連站、赤峰街，

機率 <0.2)、花博公園(園內低窪處，機率 0.5~1.0)、台北交流道(局部低窪處，機率 0.5~0.1)等；松山主要易積淹水區域為小巨蛋周邊(機率 <0.2)、光復北路底、民生公園周邊(機率 <0.2)等；內湖、大直主要易積淹水區域為北安路-通北街(機率 <0.1)、崇實路(機率 <0.1)、明水路-北安路一代(機率 <0.1)、金面山下(機率 <0.1)、文德路-內湖路(機率 <0.1)、文德路-成功路(機率 <0.1)、成功路-康寧路(機率 <0.1)、碧山路與金龍路一帶(機率 <0.1)、大湖山莊(機率 <0.1)、內湖交流道(機率 <0.2)等。

而南港主要易積淹水區域為後山埤(滯洪公園，機率 0.5~1.0)、忠孝東路-向陽路(機率 <0.2)、市民大道 8 段(機率 <0.1)、忠孝東路 7 段(南港站，機率 <0.1)等；大安、信義主要易積淹水區域為基隆路-長興街(機率 <0.2)、大安森林公園(機率 <0.7)、辛亥路二段(部分低窪處，機率 0.7~1.0)、國父紀念館(機率 <0.2)、松仁路(95 巷口，機率 <0.1)、和平東路三段(國防部福利站，機率 0.5~1.0)等；文山主要易積淹水區域為景美便道(萬慶公園，機率 0.5~1.0)、興隆路-辛亥路(機率 <0.2)、興隆路 3 段(海巡署，機率 <0.2)、老泉街(堤岸邊局部低窪處，機率 0.5~1.0)、和平東路 4 段(莊敬隧道口，機率 0.7~1.0)、木柵路-新光路(機率 <0.2)等；士林主要易積淹水區域為士林捷運站周邊(機率 0.1~0.2)、國家安全局(仰德山腳大水田，機率 0.7~1.0)、天母棒球場周邊(機率 <0.2)、社子島(機率 0.5~1.0)等；北投主要易積淹水區域為關渡平原、大業路一帶(三合街、大興街，機率 0.1~0.2)、文林北路-明德路一代(機率 <0.1)、榮富公園(機率 0.5~0.7)等；基隆市的主要易積淹水為基金一路 129 巷至 208 巷、麥金路、西定路、南榮路、信一路、國道一號五堵交流道周邊等。

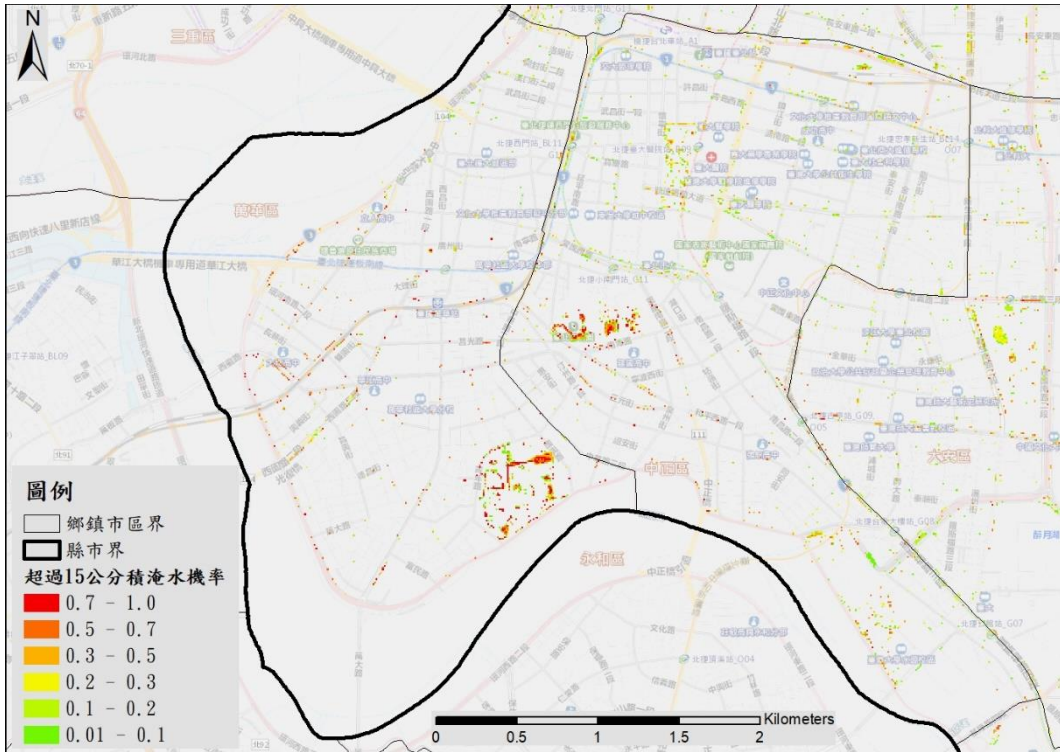


圖5-11 萬華中正區200 mm/24hr降雨淹水機率圖

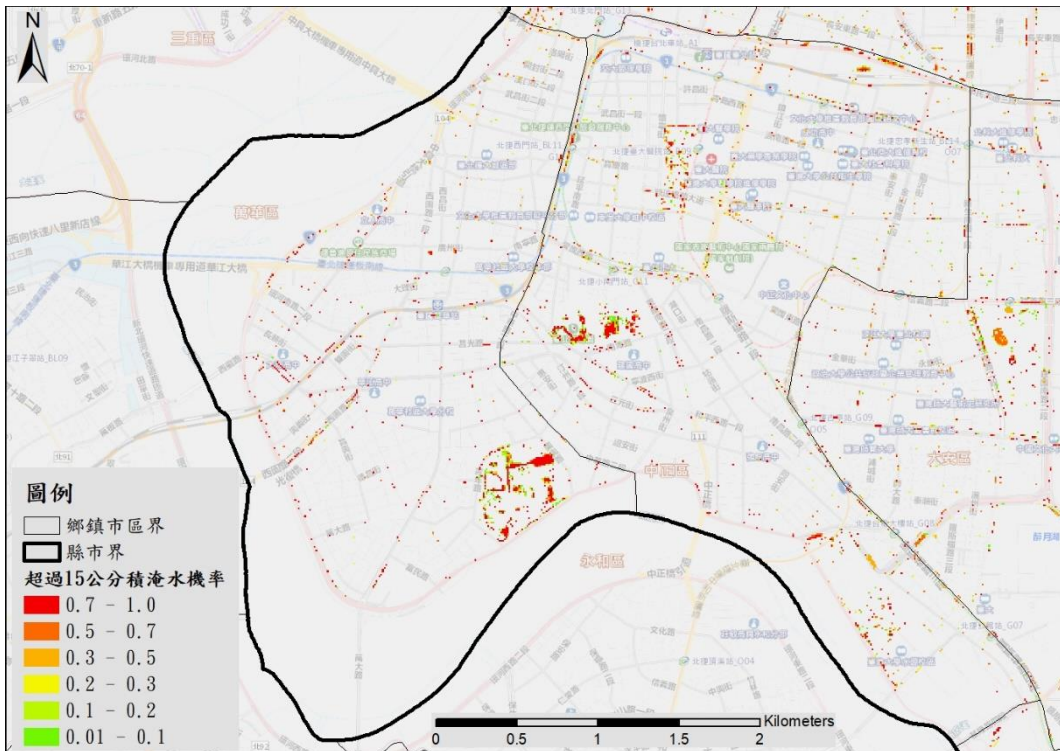


圖5-12 萬華中正區350mm/24hr降雨淹水機率圖

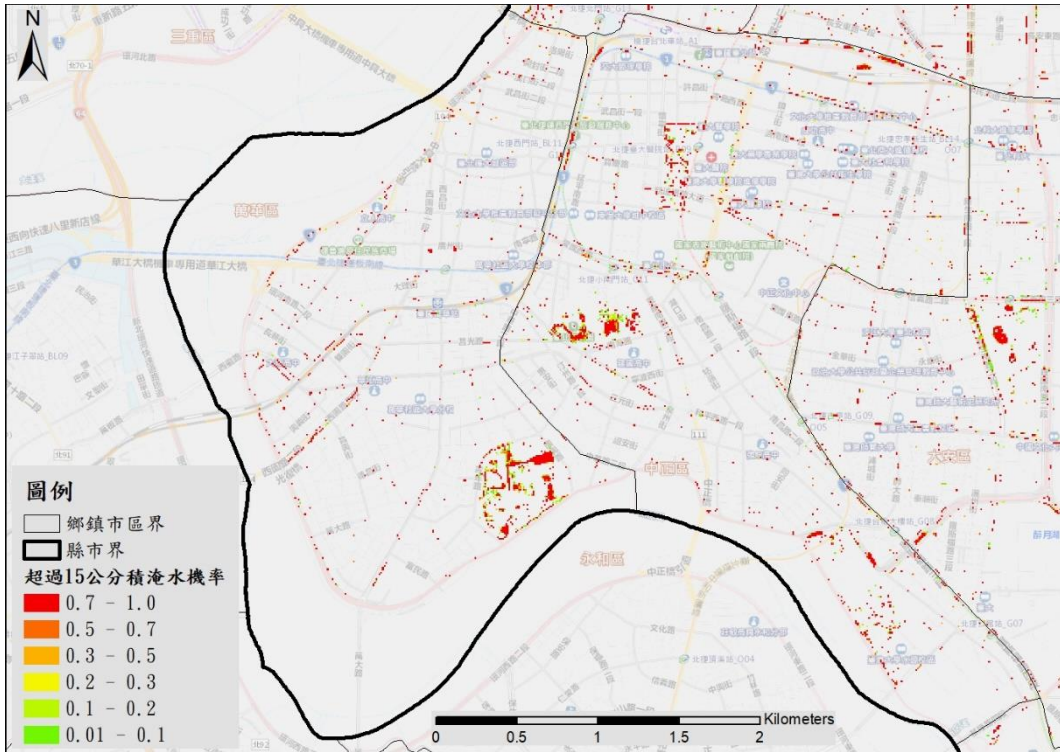


圖5-13 萬華中正區500 mm/24hr降雨淹水機率圖

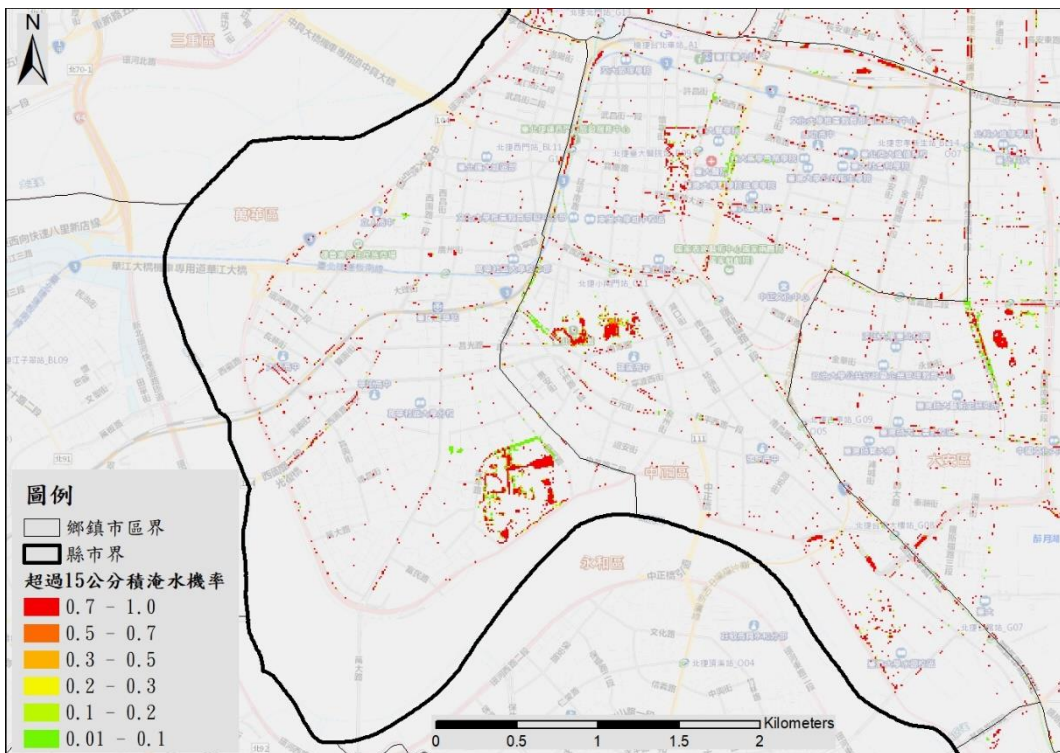


圖5-14 萬華中正區650mm/24hr降雨淹水機率圖

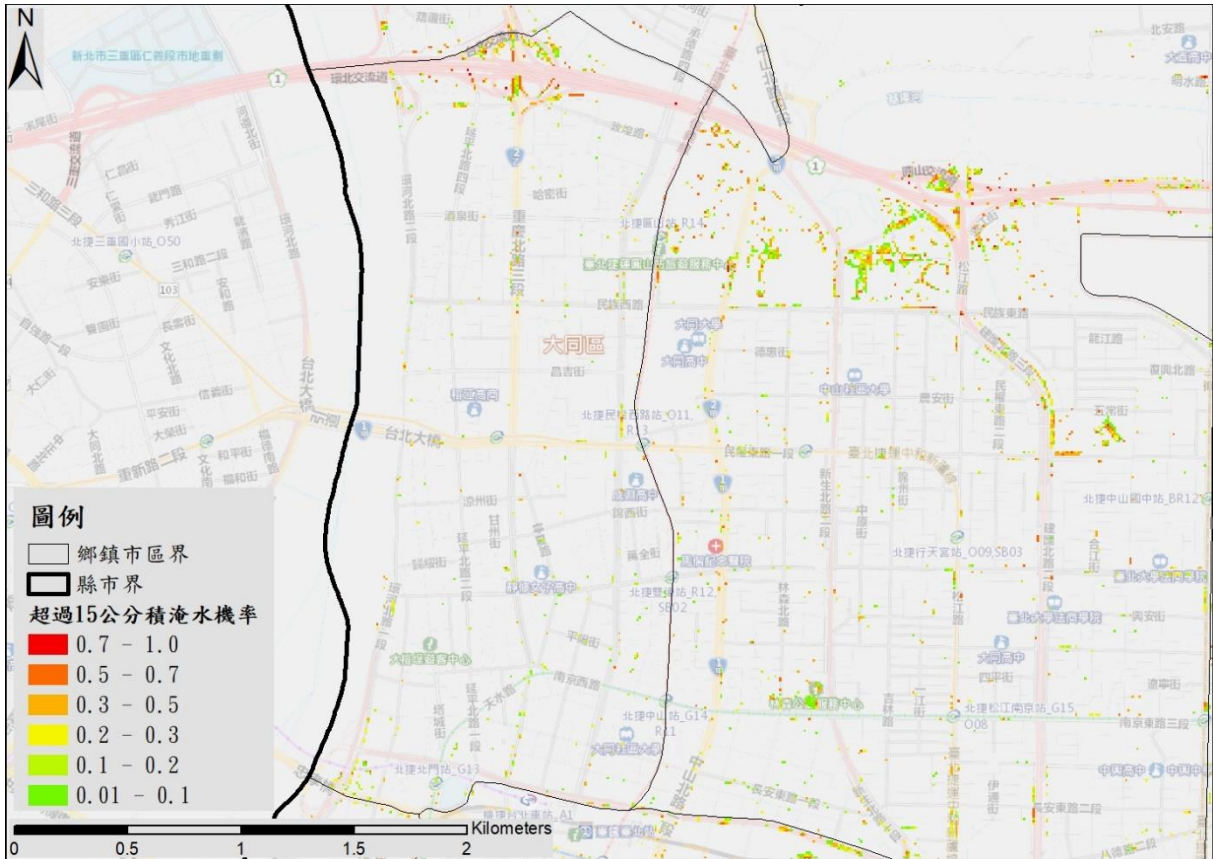


圖5-15 大同中山區200 mm/24hr降雨淹水機率圖

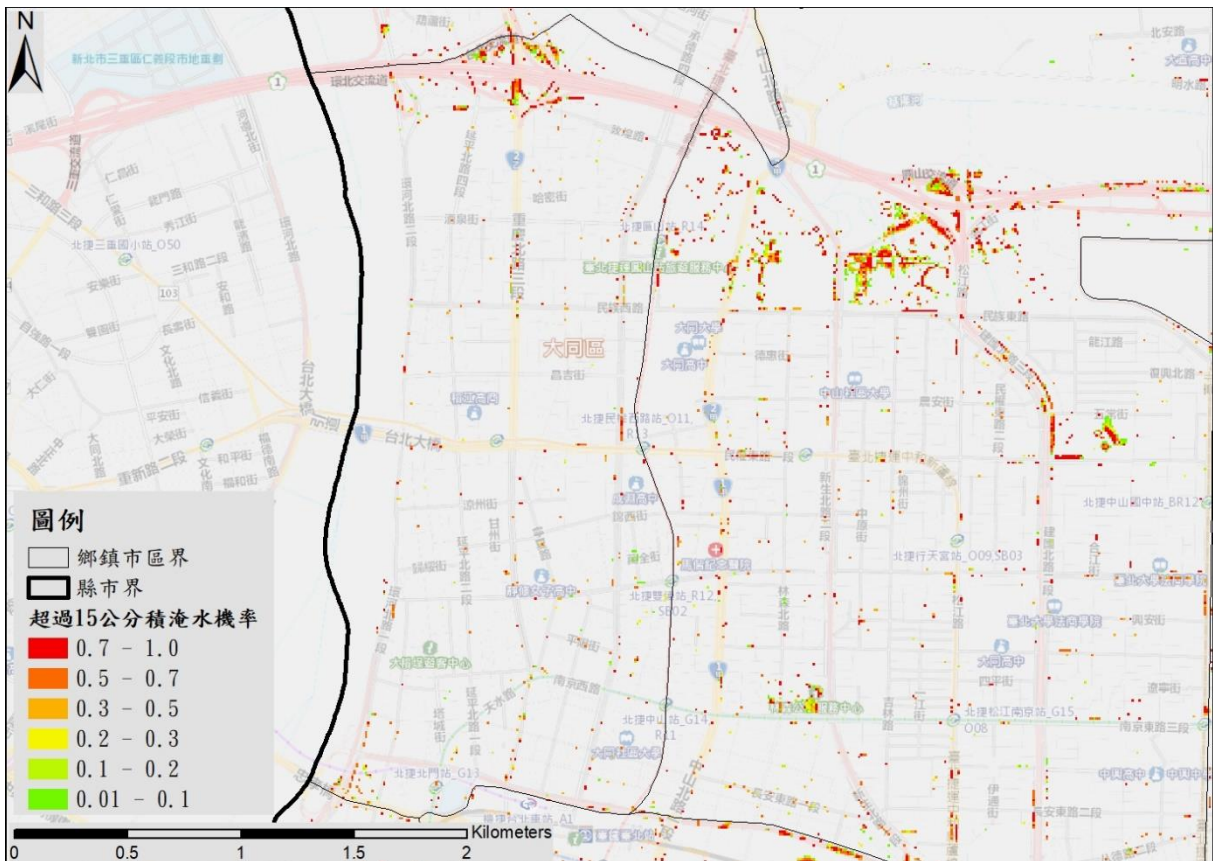


圖5-16 大同中山區350 mm/24hr降雨淹水機率圖

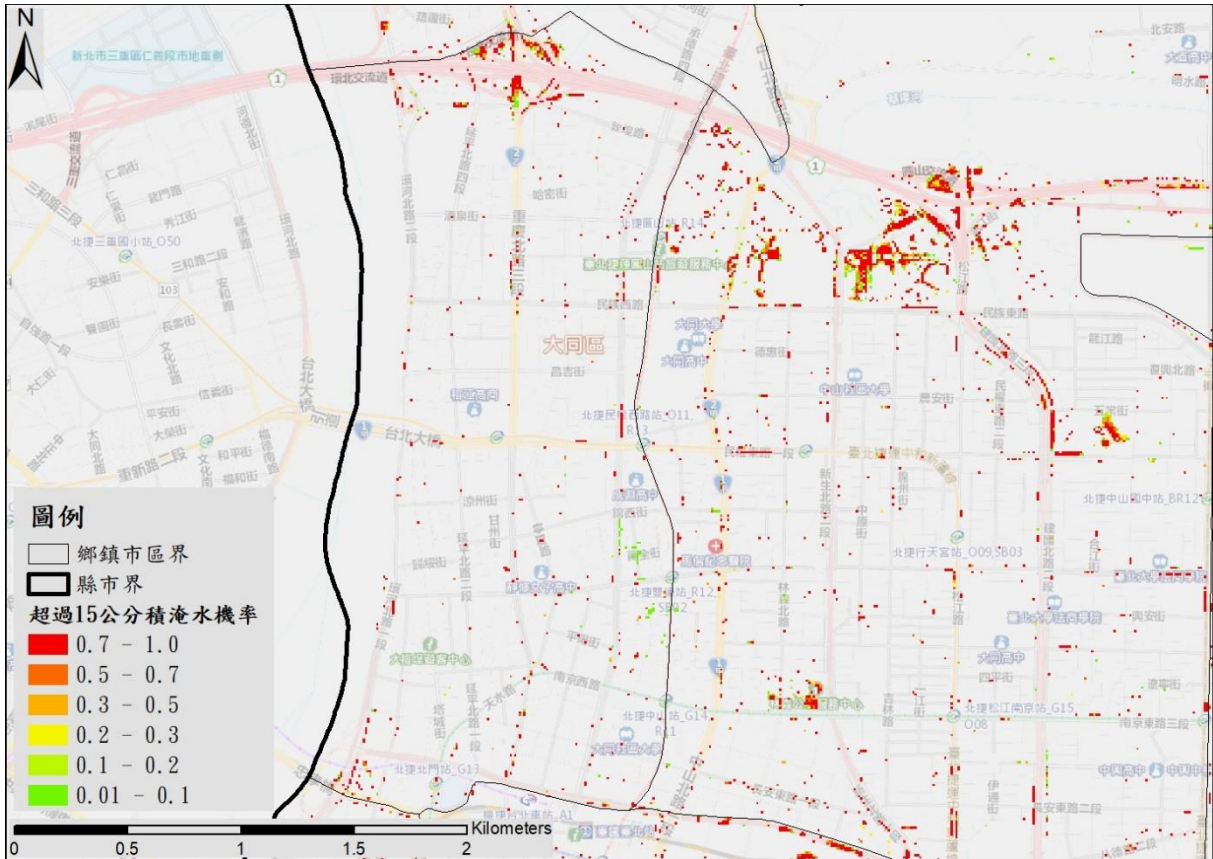


圖5-17 大同中山區500 mm/24hr降雨淹水機率圖

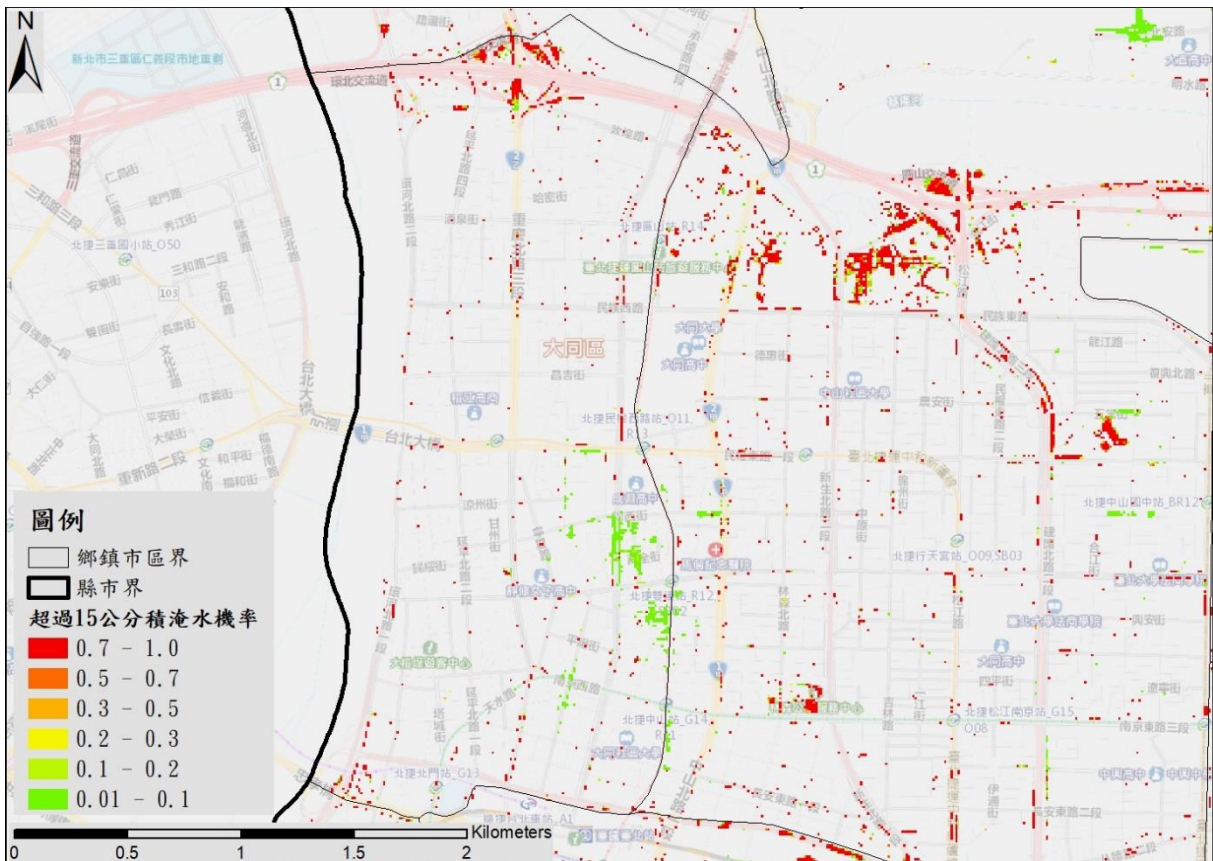


圖5-18 大同中山區650 mm/24hr降雨淹水機率圖

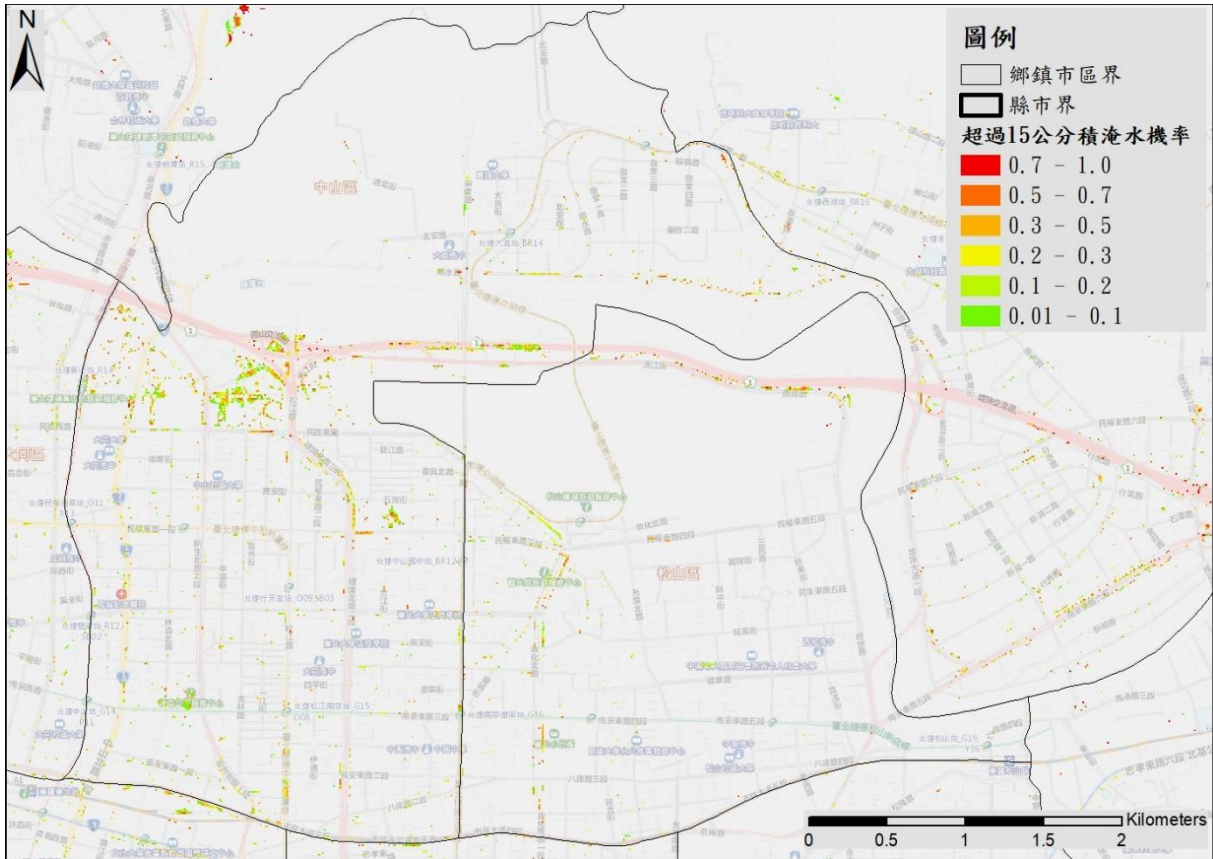


圖5-19 中山松山區200 mm/24hr降雨淹水機率圖

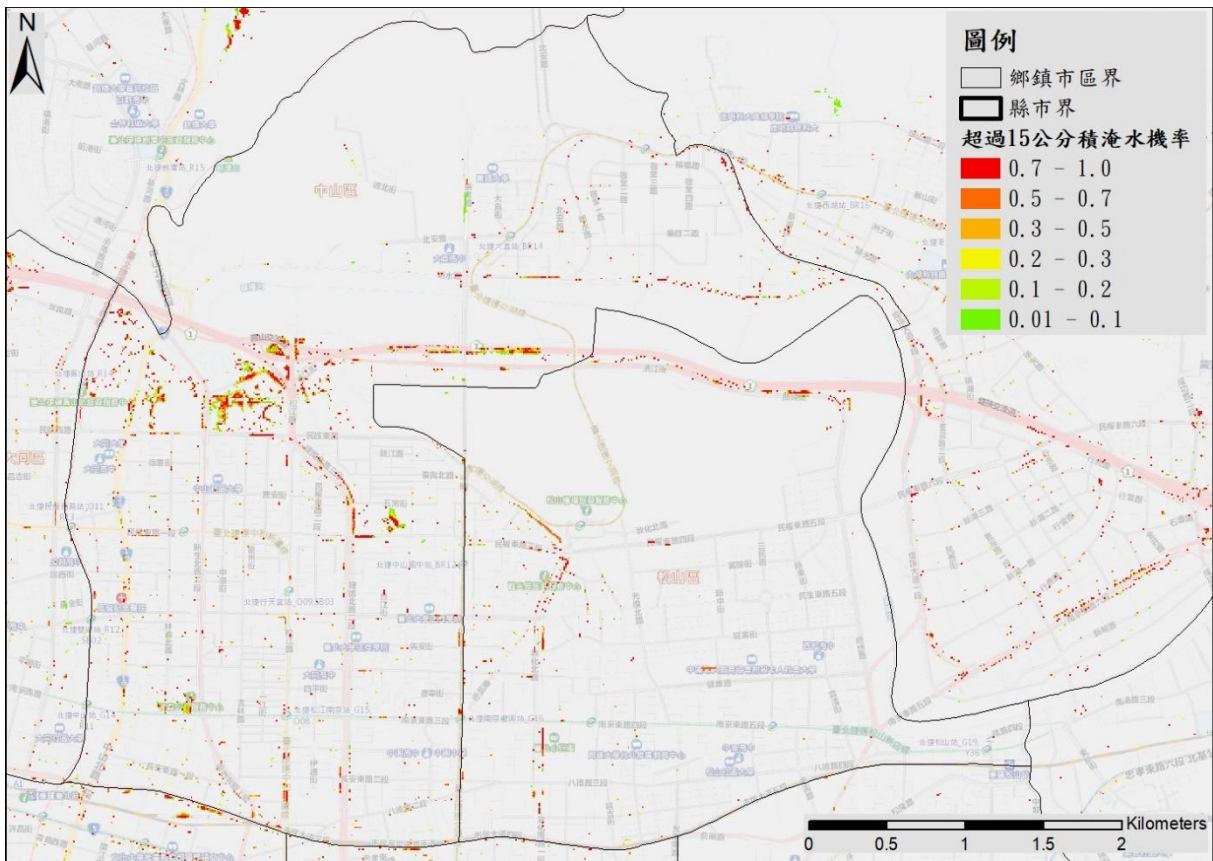


圖5-20 中山松山區350 mm/24hr降雨淹水機率圖

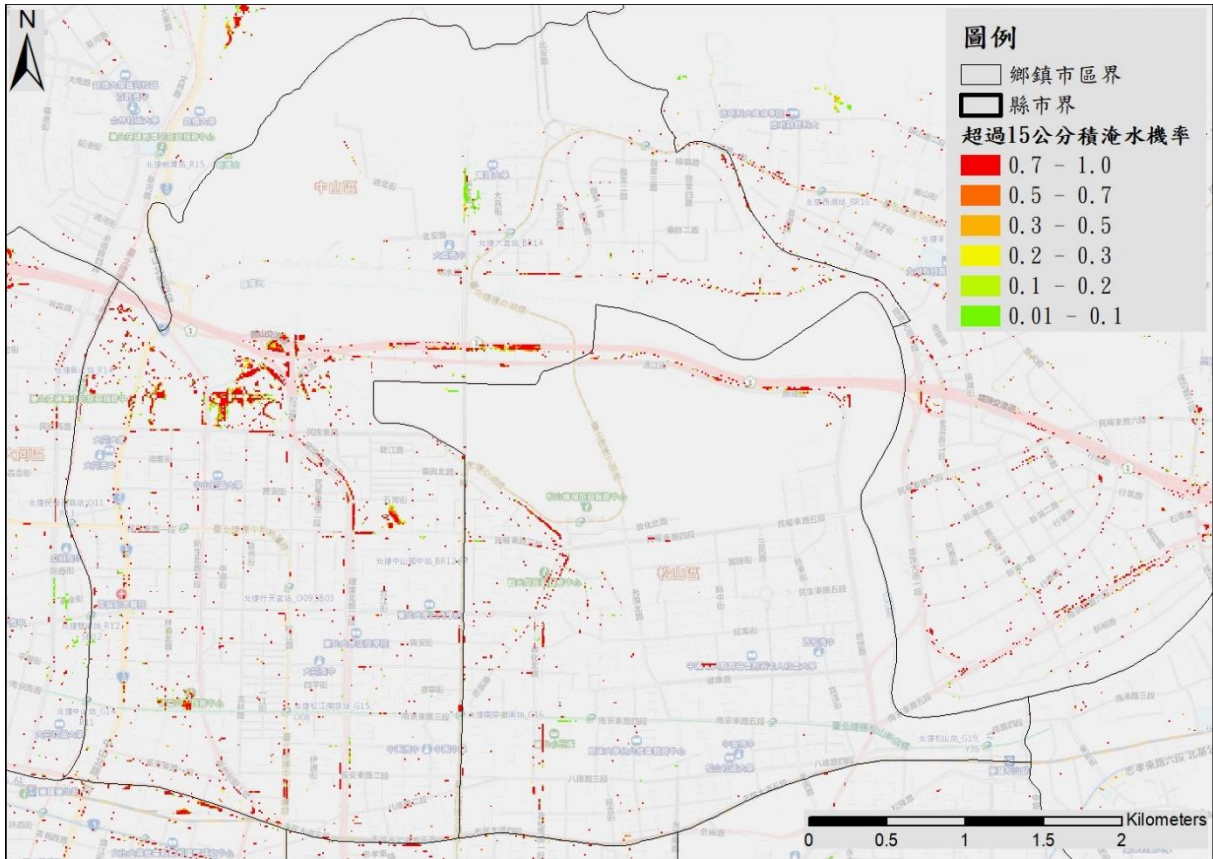


圖5-21 中山松山區500mm/24hr降雨淹水機率圖

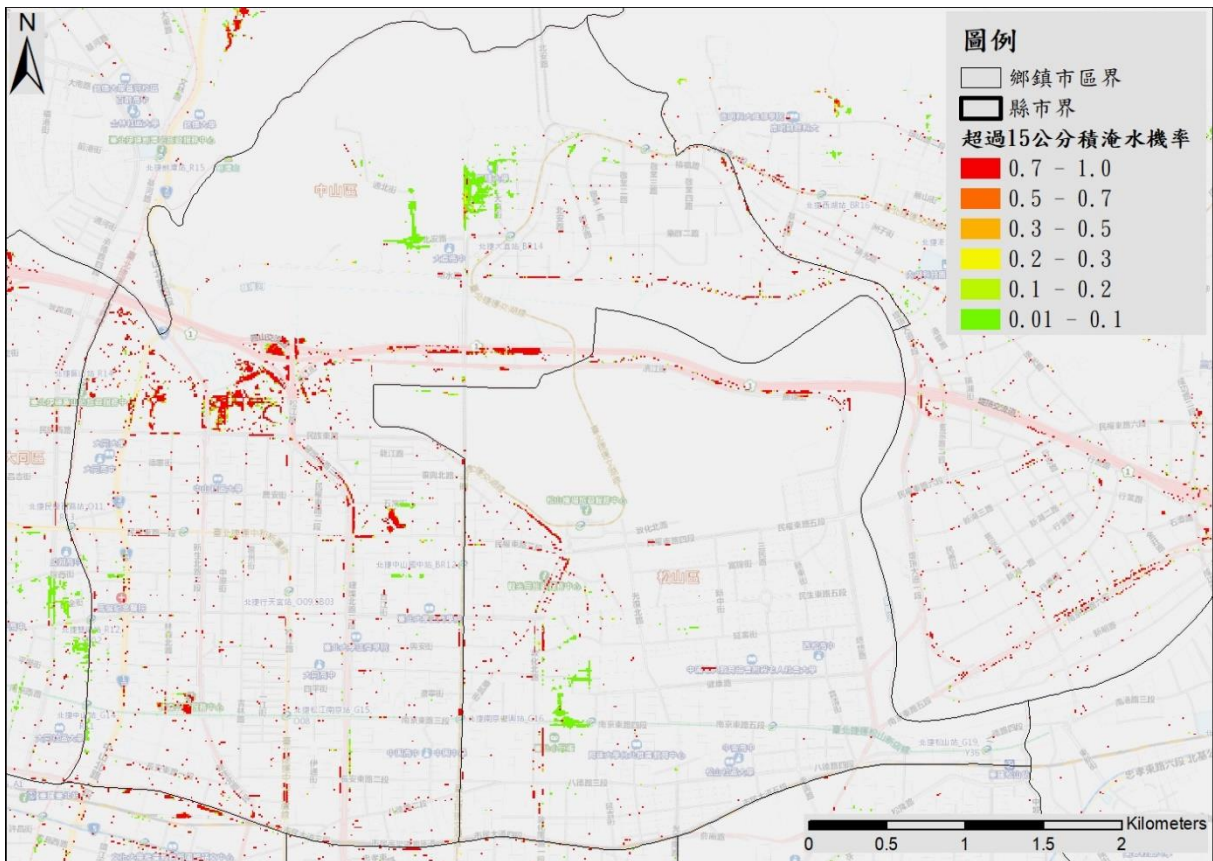


圖5-22 中山松山區650mm/24hr降雨淹水機率圖

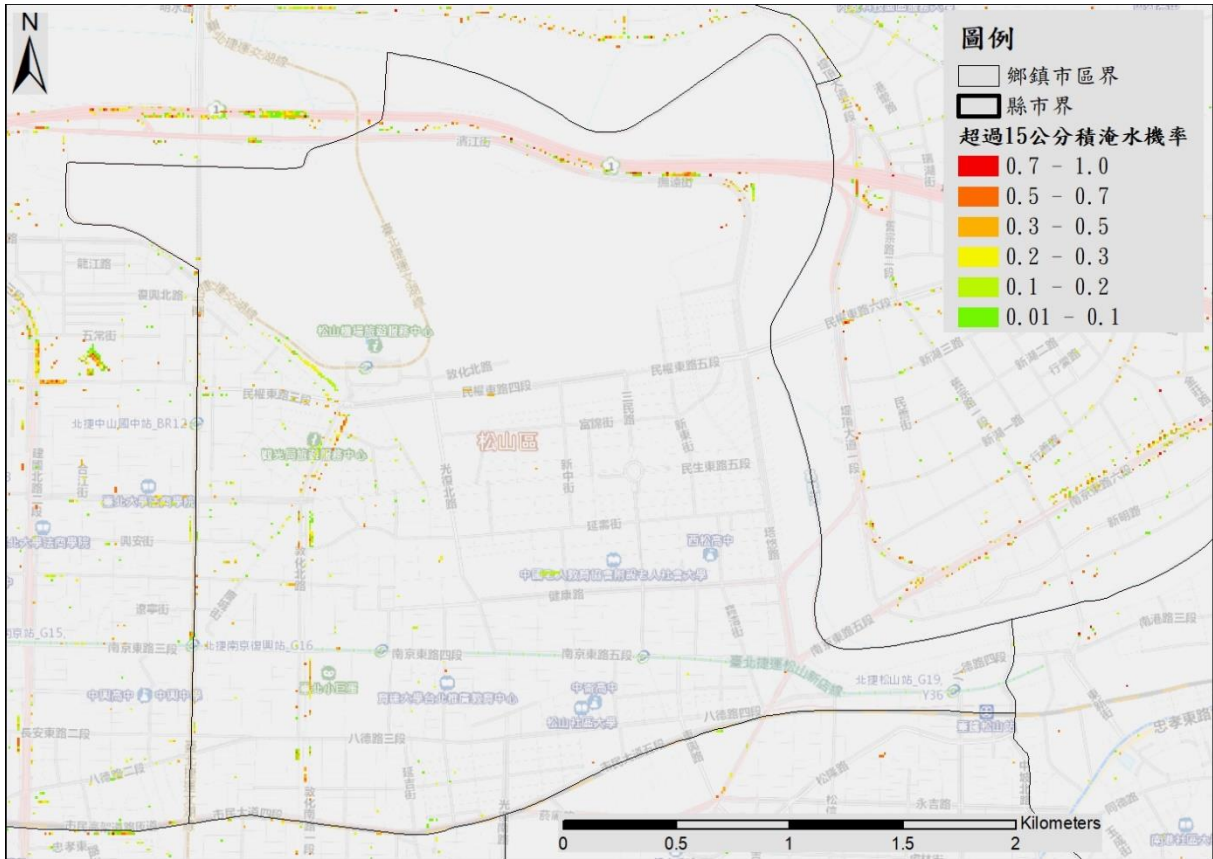


圖5-23 松山區200 mm/24hr降雨淹水機率圖

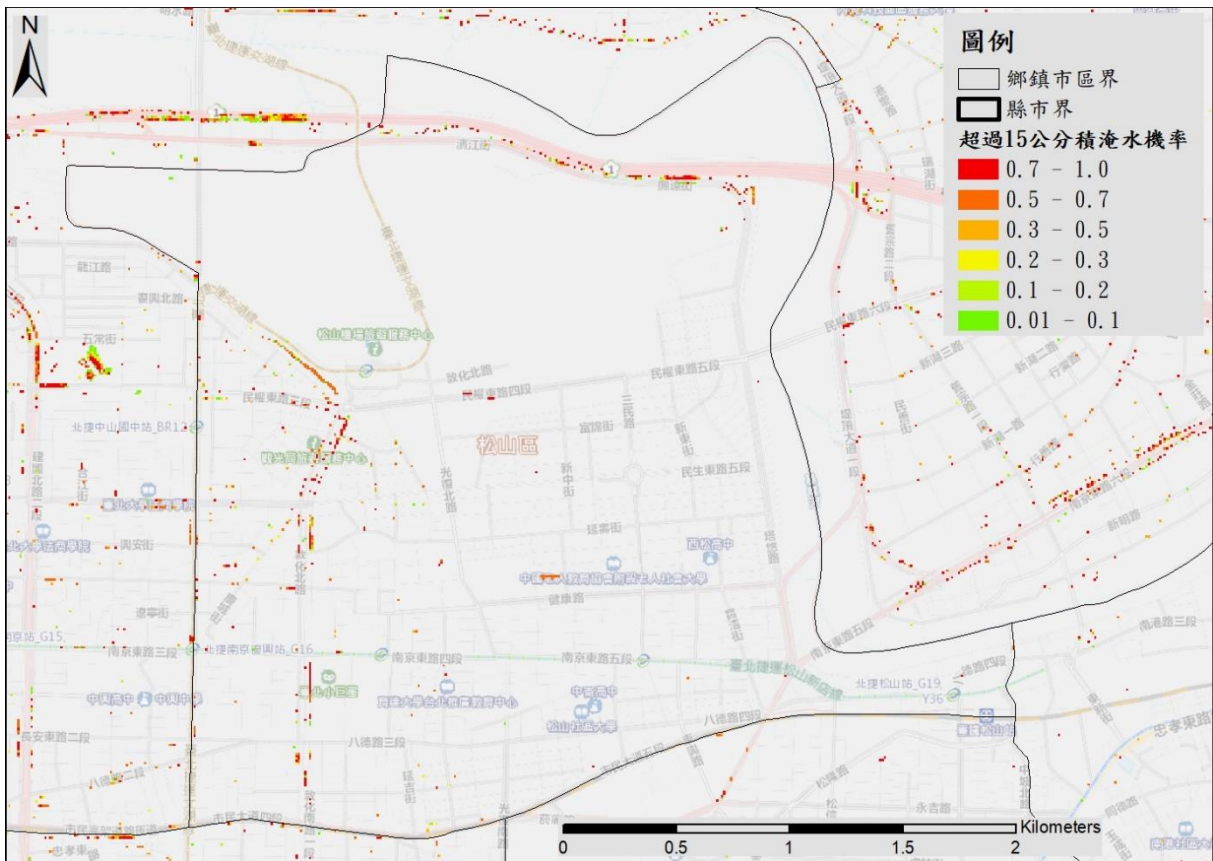


圖5-24 松山區350 mm/24hr降雨淹水機率圖

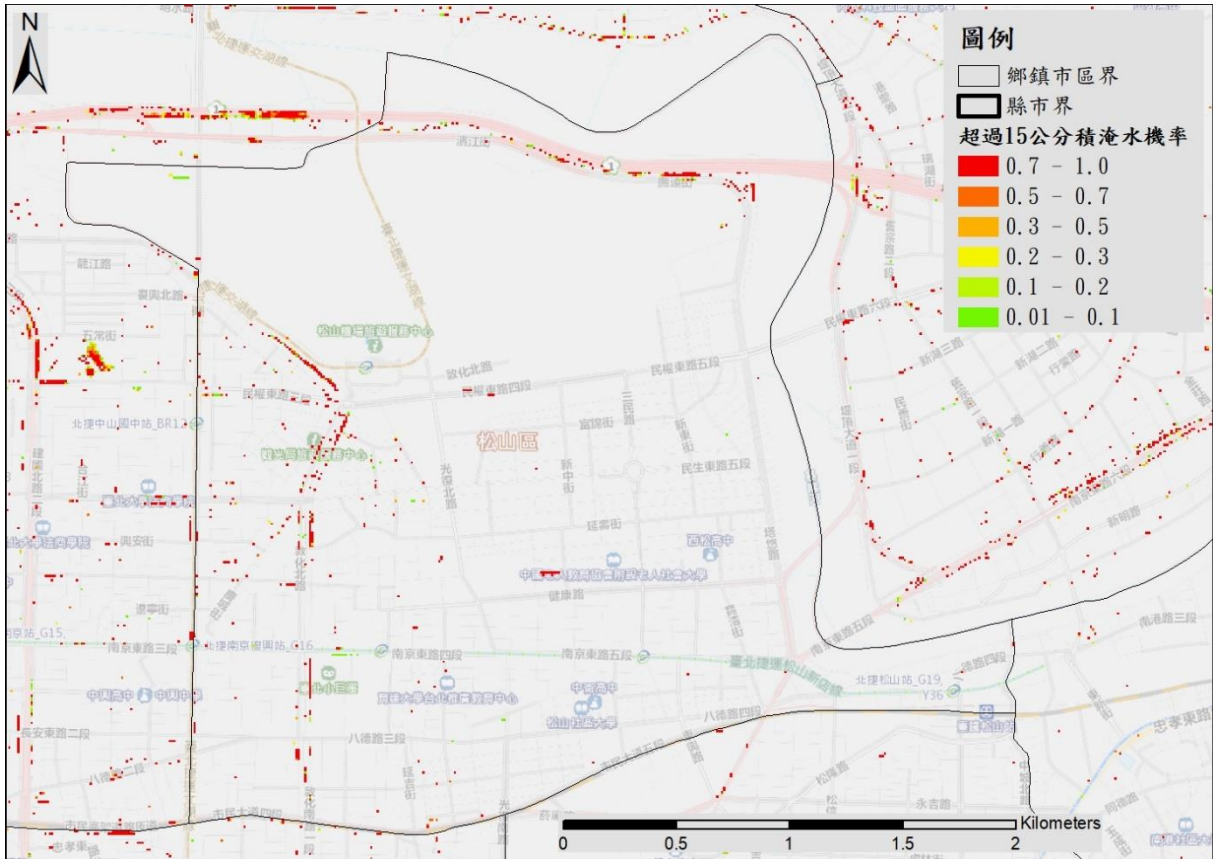


圖5-25 松山區500mm/24hr降雨淹水機率圖

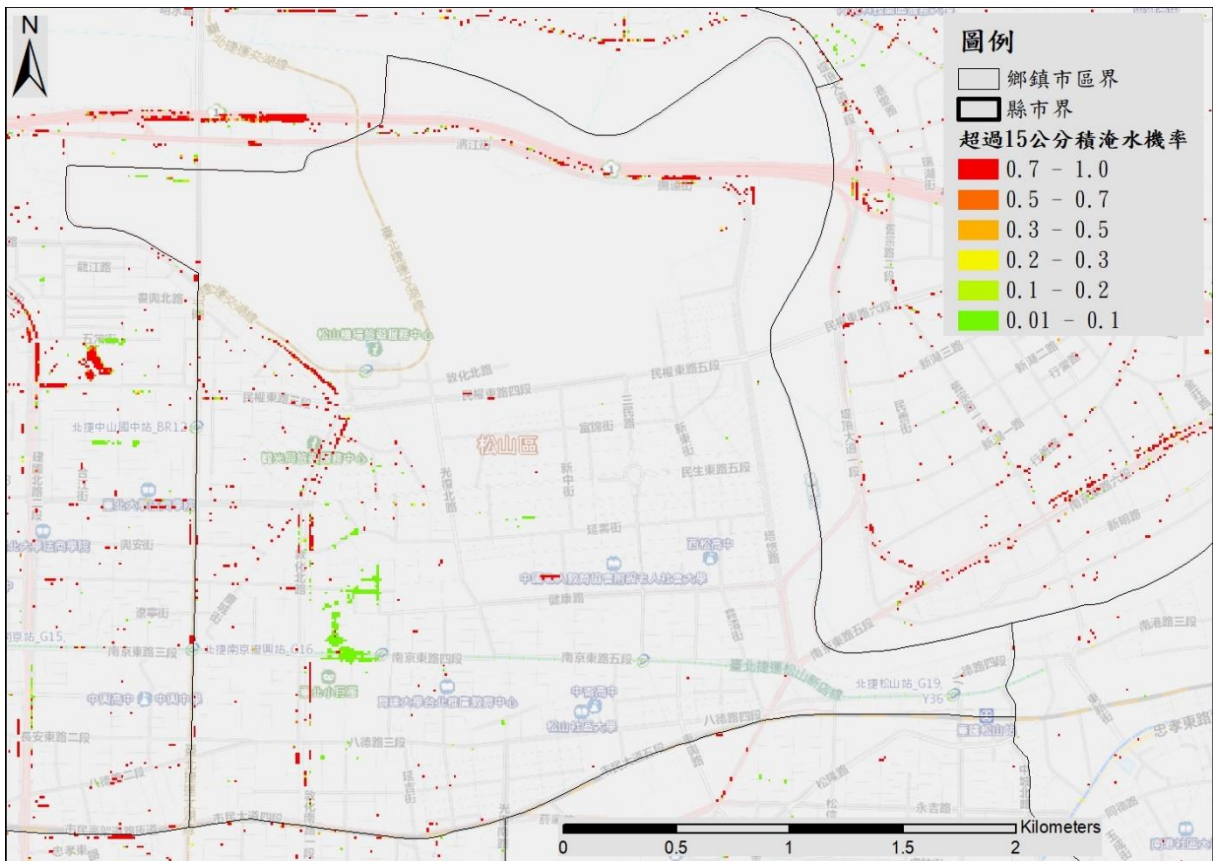


圖5-26 松山區650mm/24hr降雨淹水機率圖

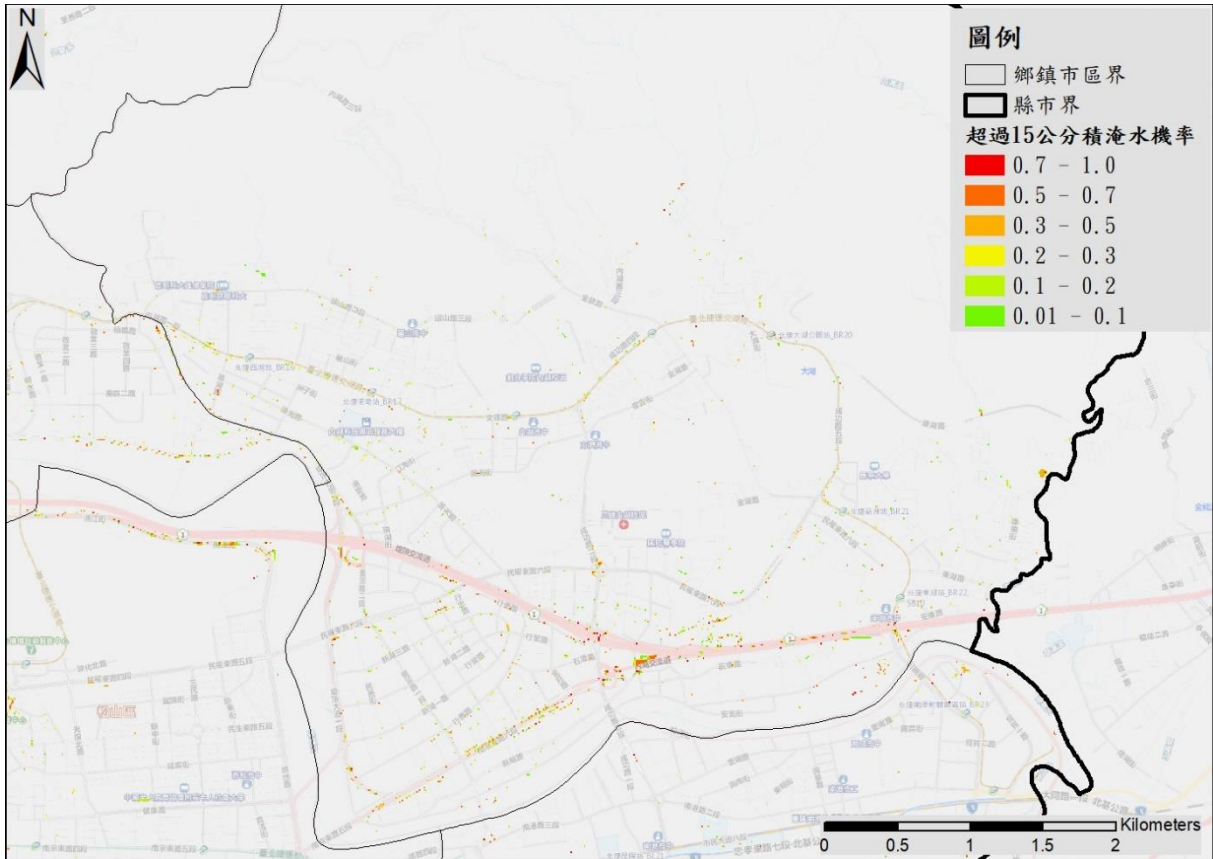


圖5-27 內湖區200mm/24hr降雨淹水機率圖

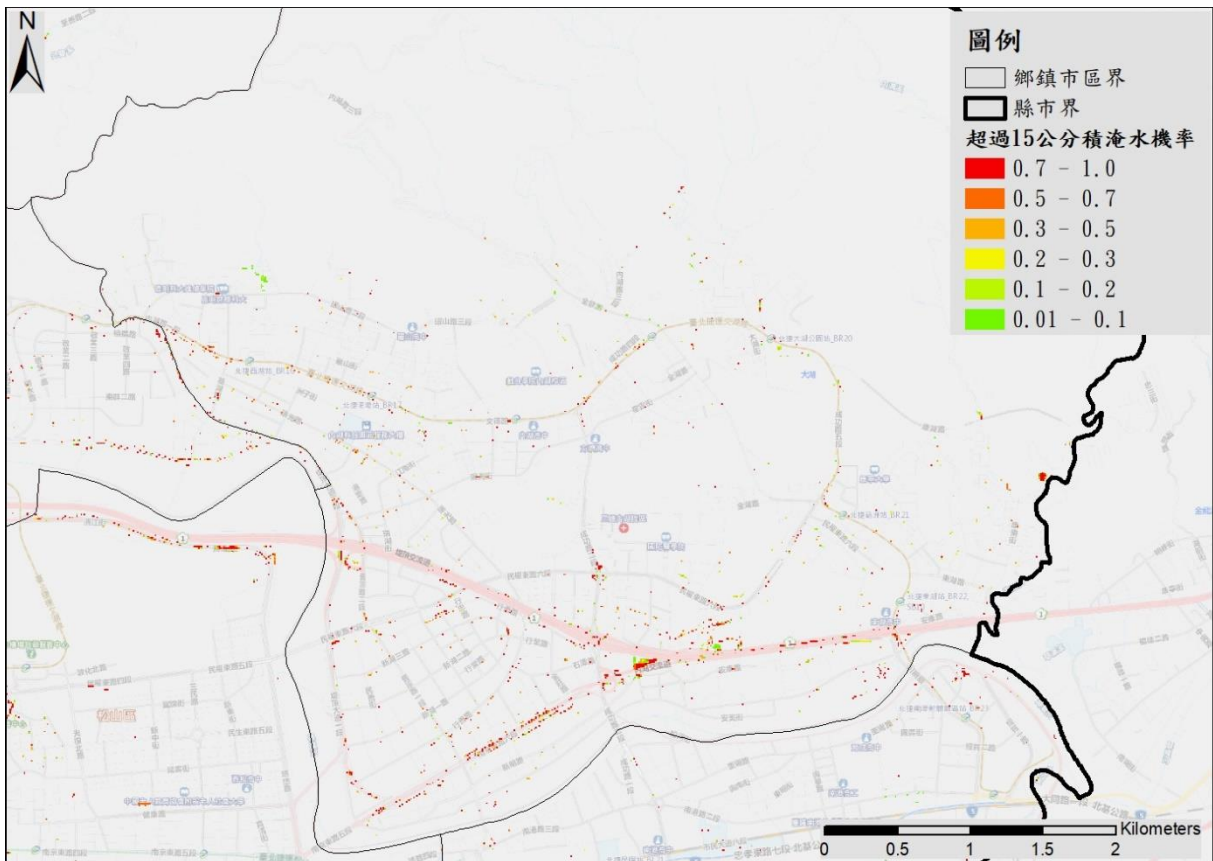


圖5-28 內湖區350mm/24hr降雨淹水機率圖

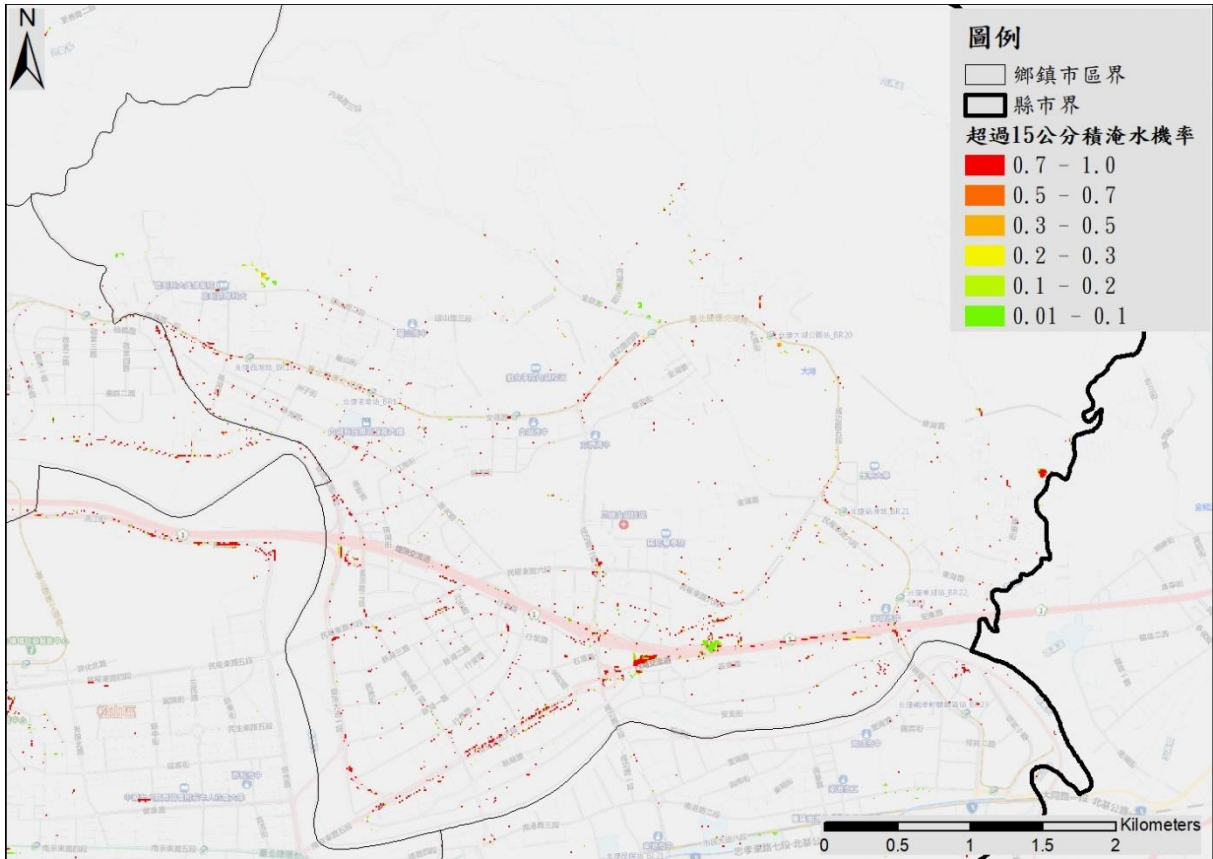


圖5-29 內湖區500mm/24hr降雨淹水機率圖

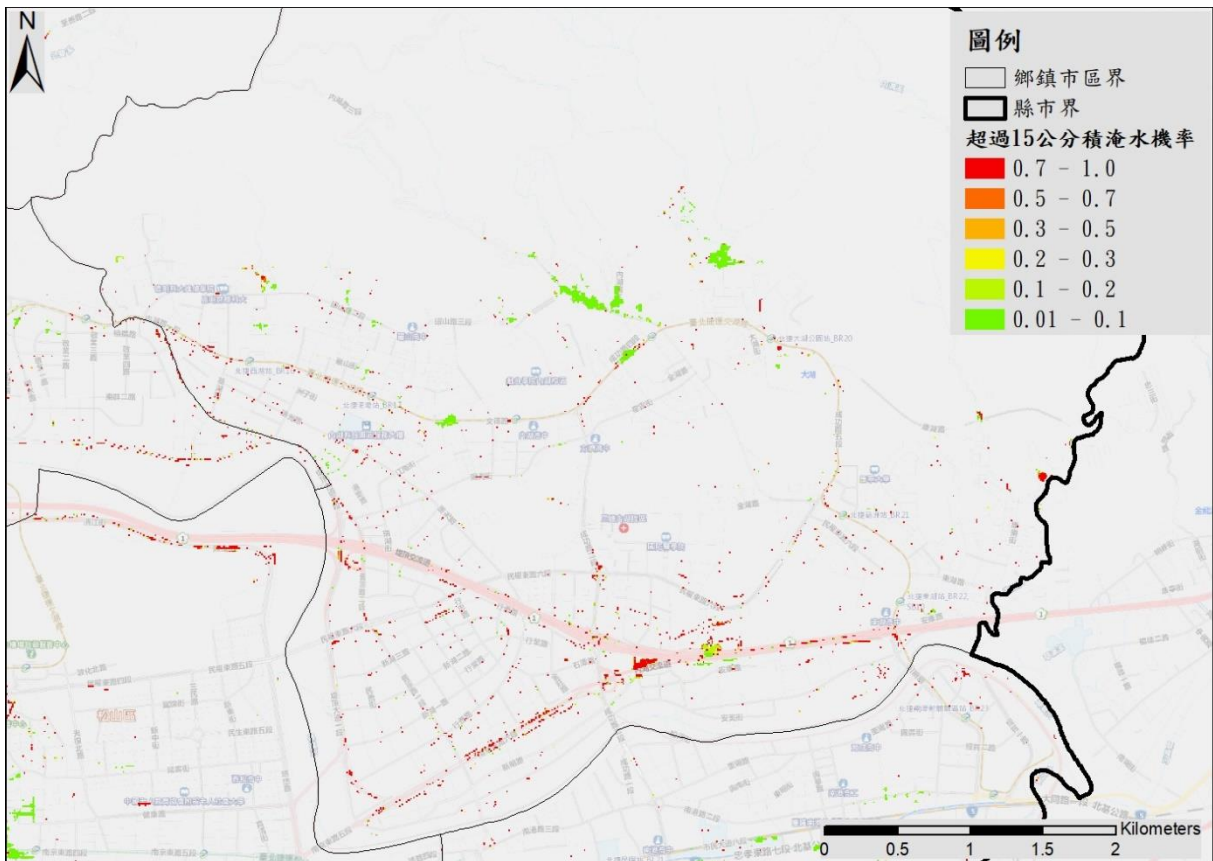


圖5-30 內湖區650mm/24hr降雨淹水機率圖

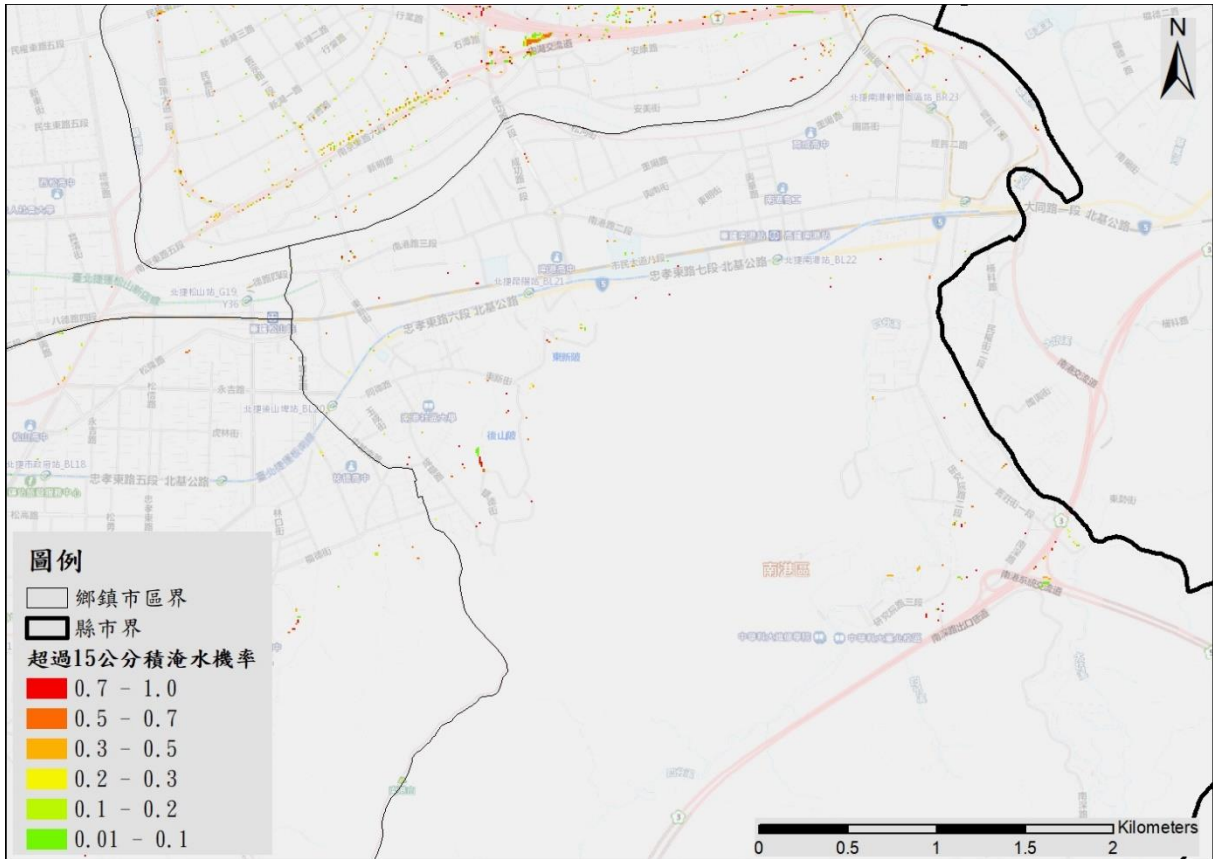


圖5-31 南港區200mm/24hr降雨淹水機率圖

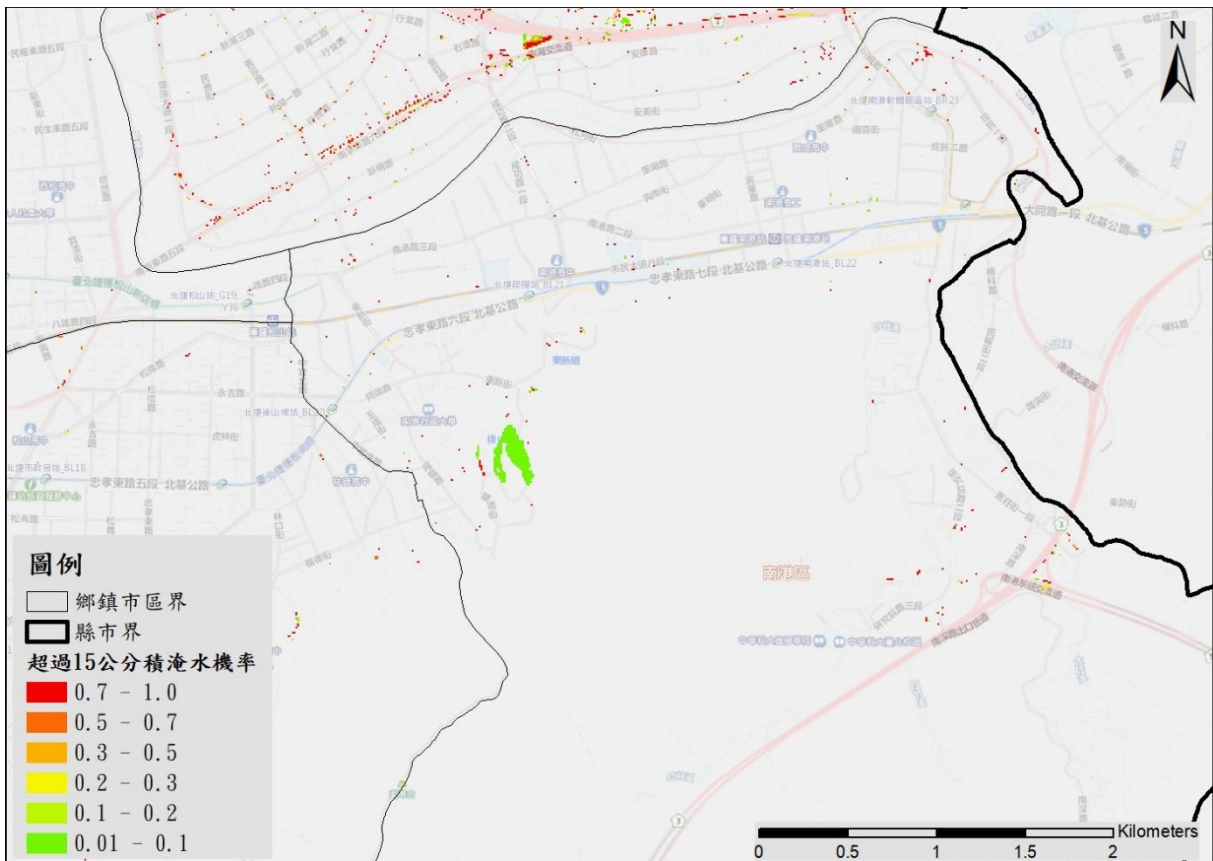


圖5-32 南港區350mm/24hr降雨淹水機率圖

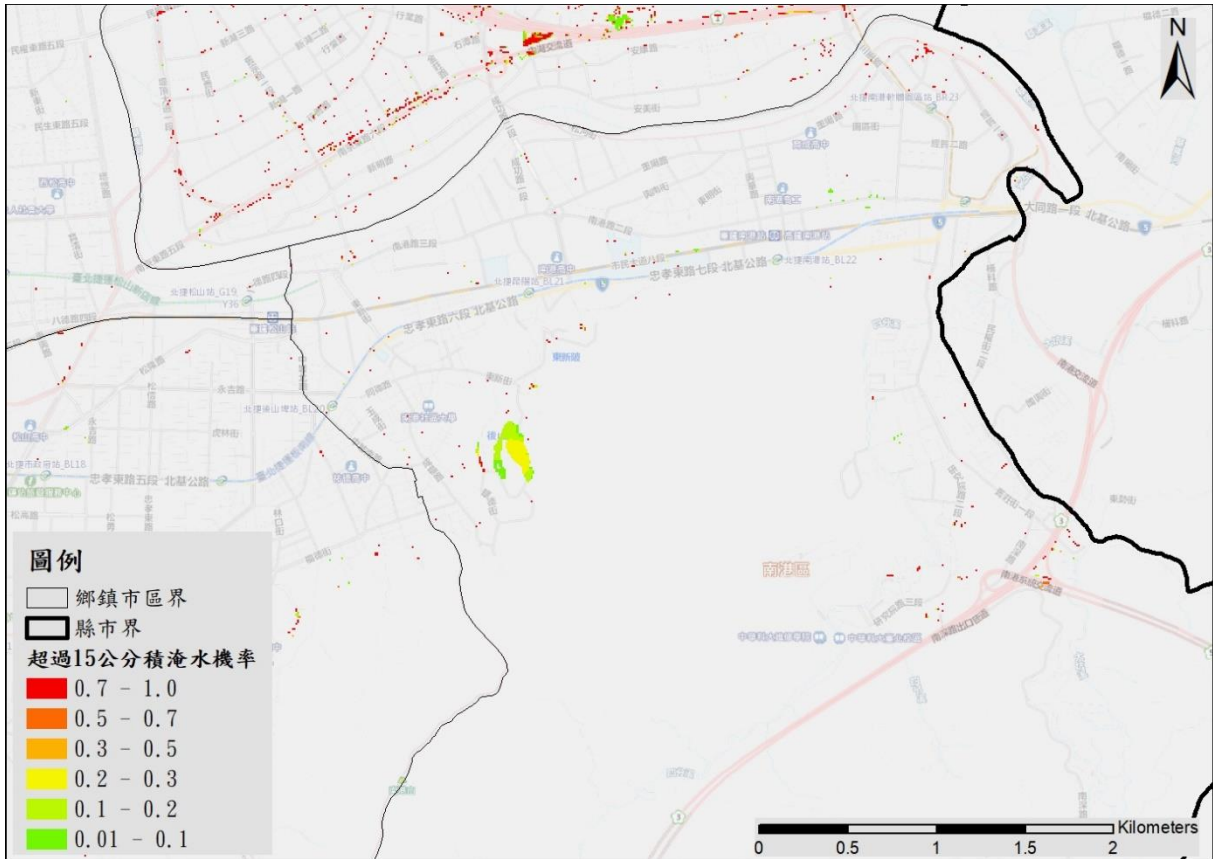


圖5-33 南港區500mm/24hr降雨淹水機率圖

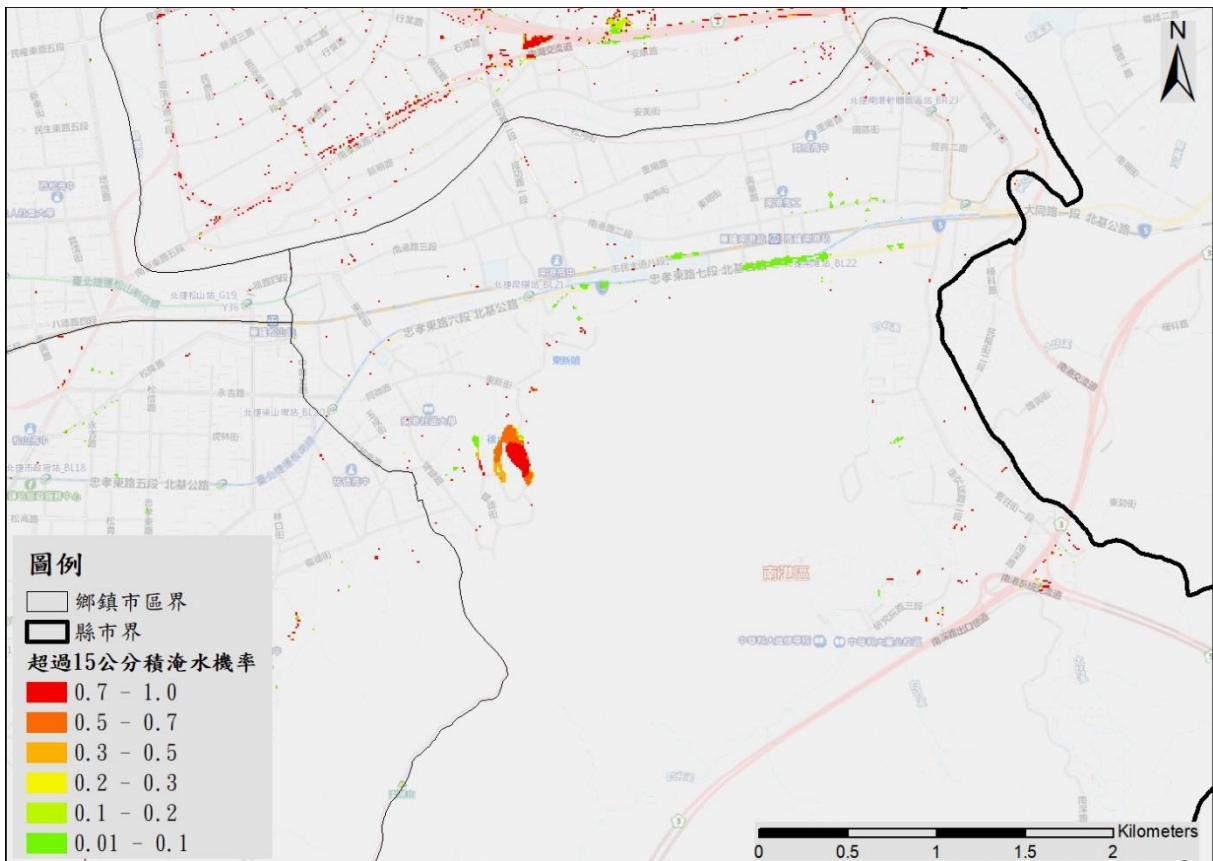


圖5-34 南港區650mm/24hr降雨淹水機率圖

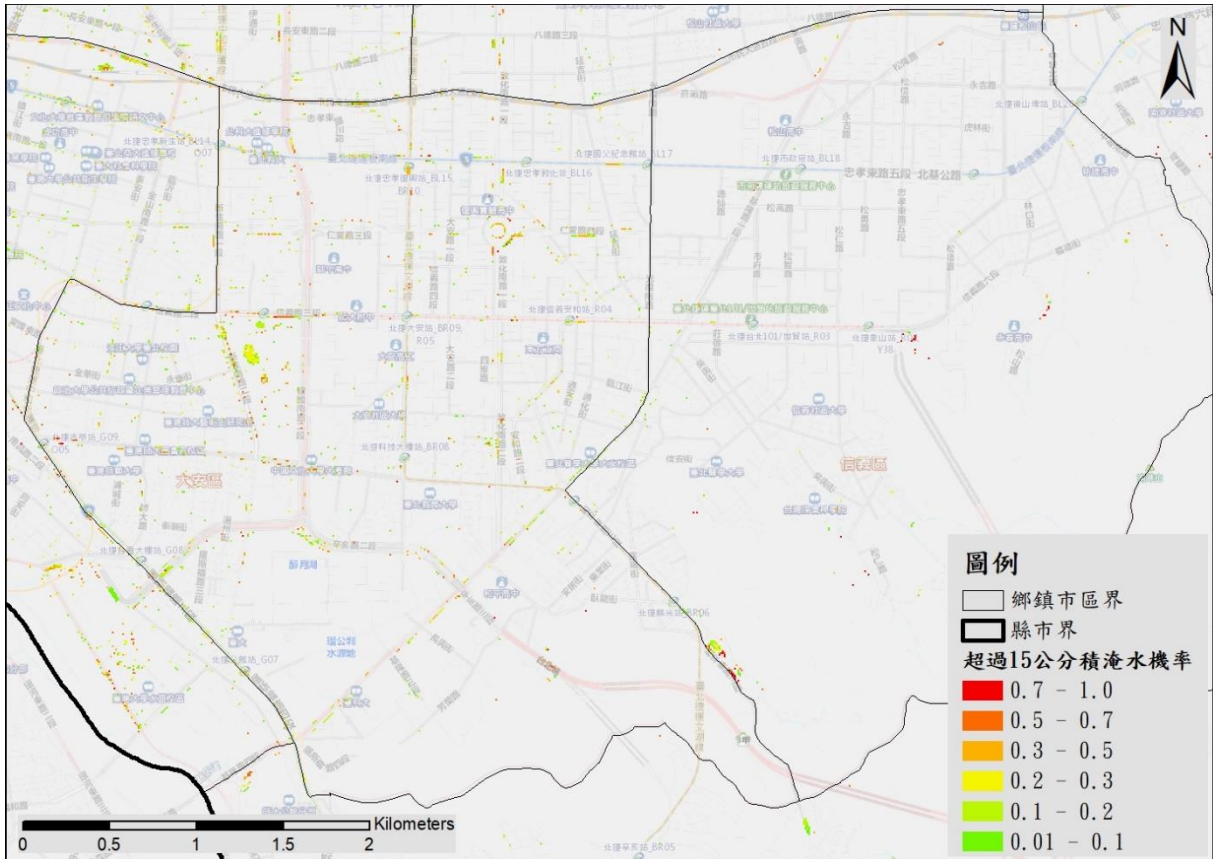


圖5-35 大安信義區200mm/24hr降雨淹水機率圖

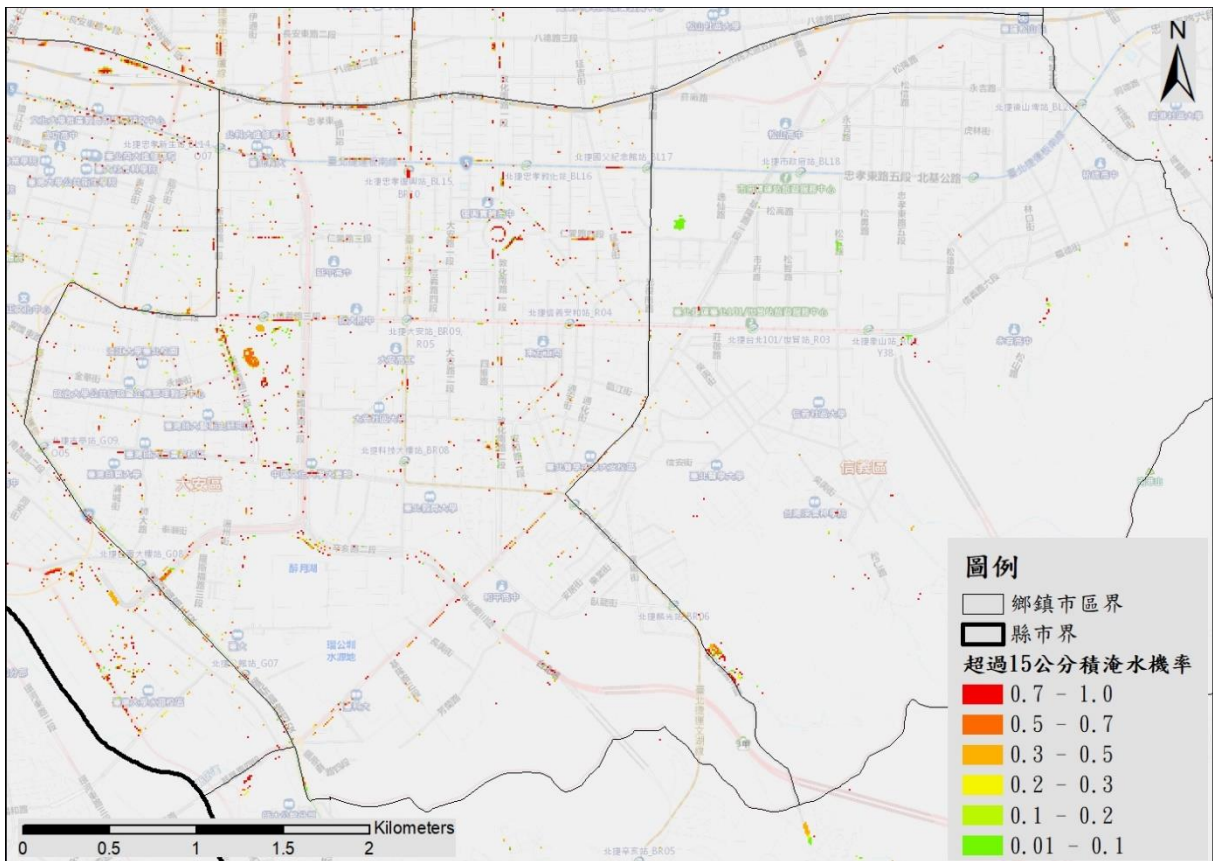


圖5-36 大安信義區350mm/24hr降雨淹水機率圖

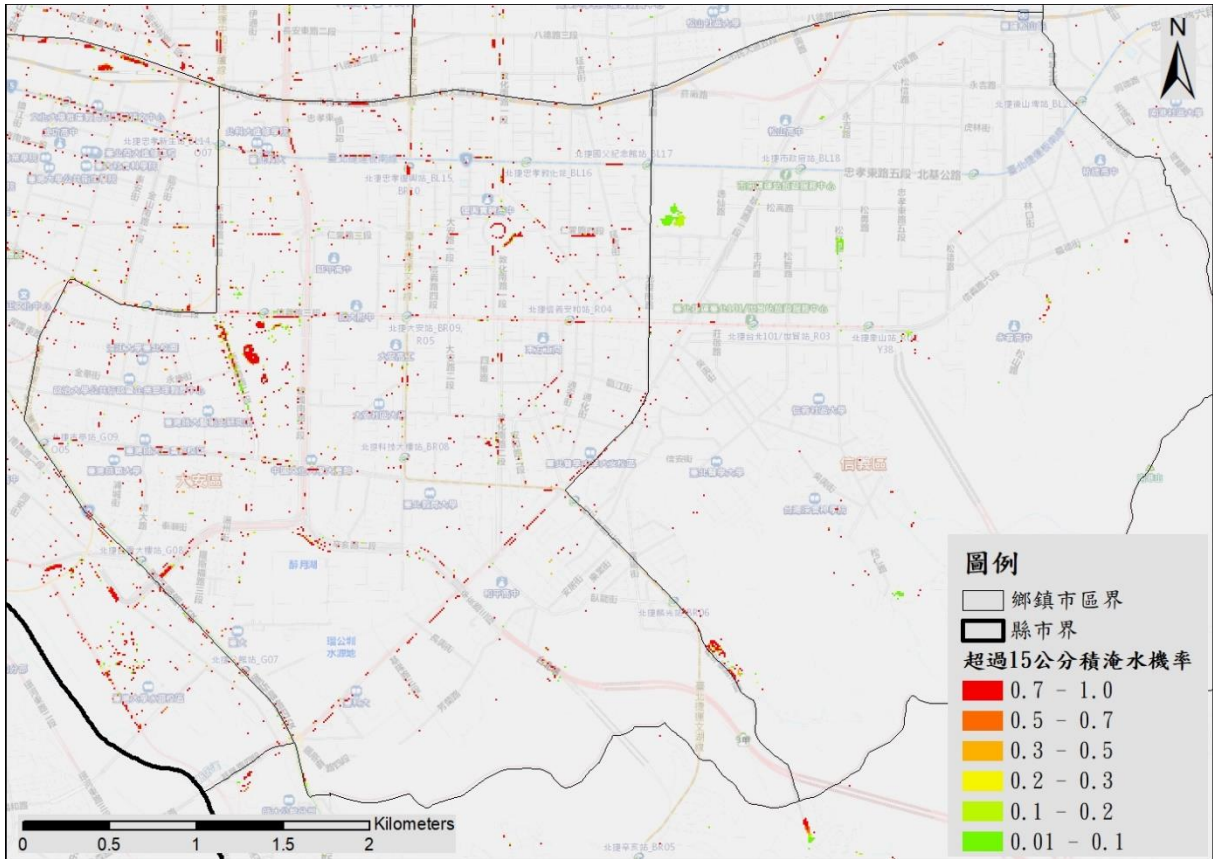


圖5-37 大安信義區500mm/24hr降雨淹水機率圖

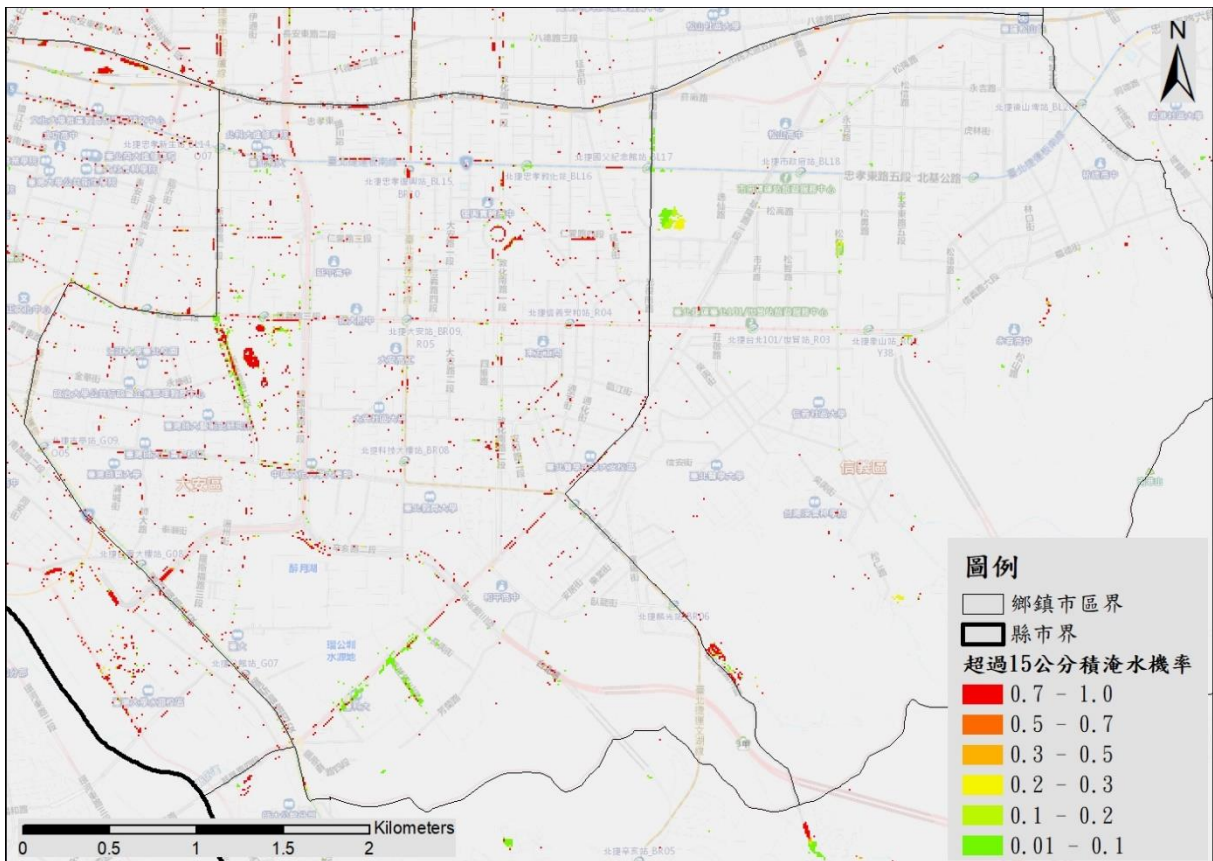


圖5-38 大安信義區650mm/24hr降雨淹水機率圖

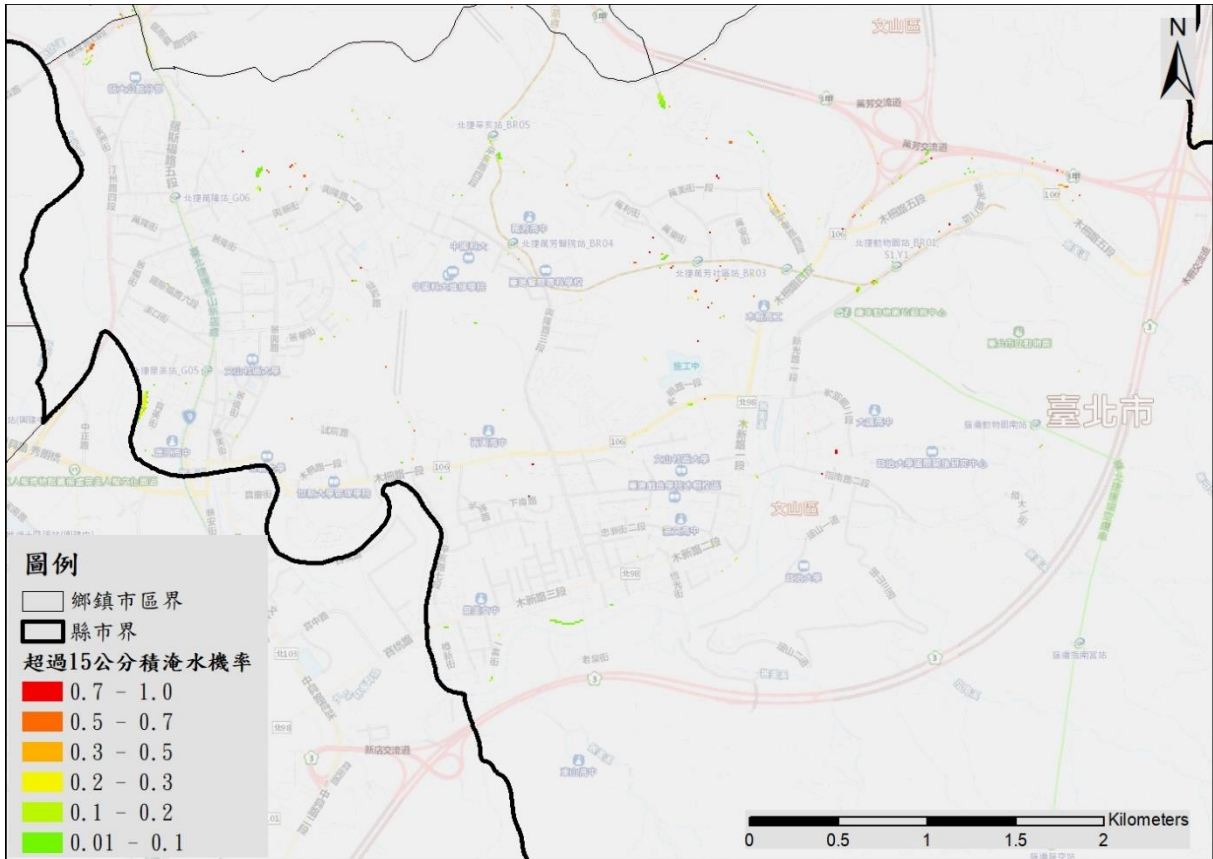


圖5-39 文山區200mm/24hr降雨淹水機率圖

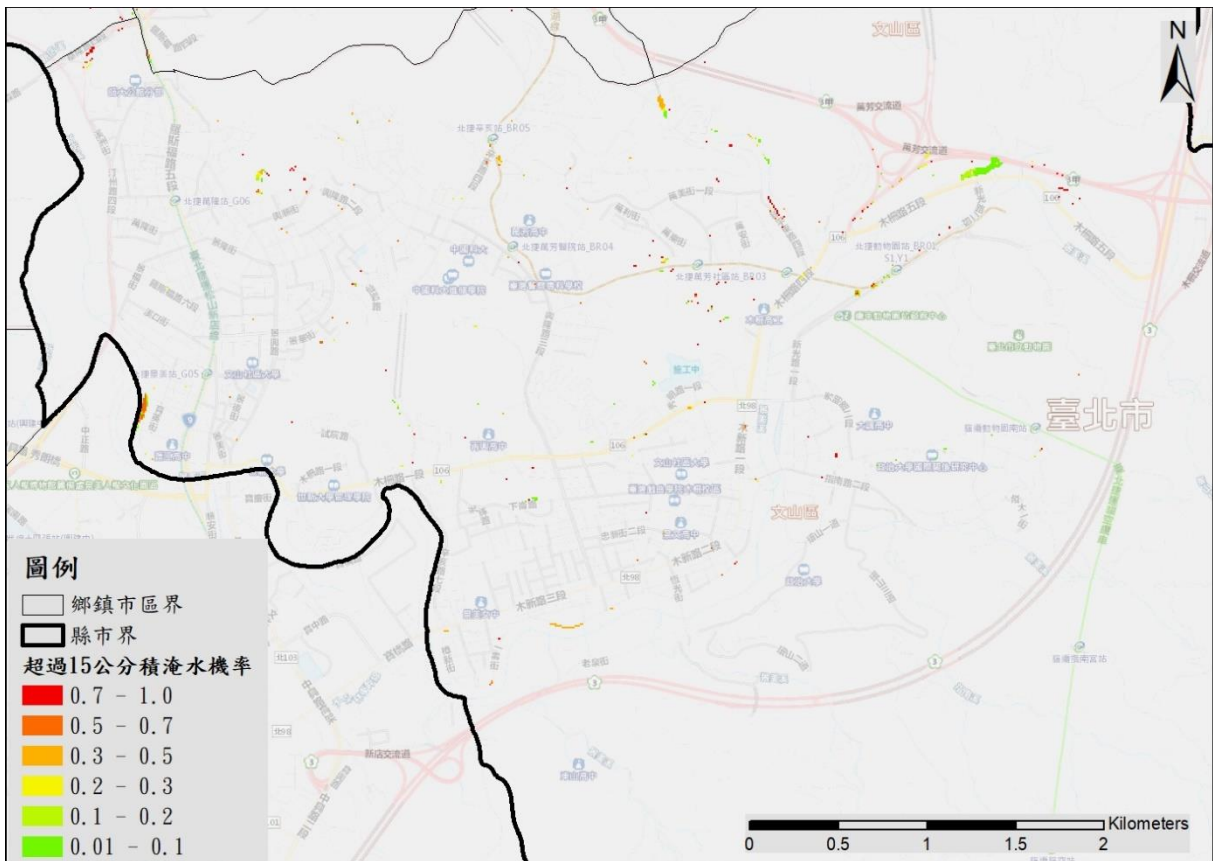


圖5-40 文山區350 mm/24hr降雨淹水機率圖

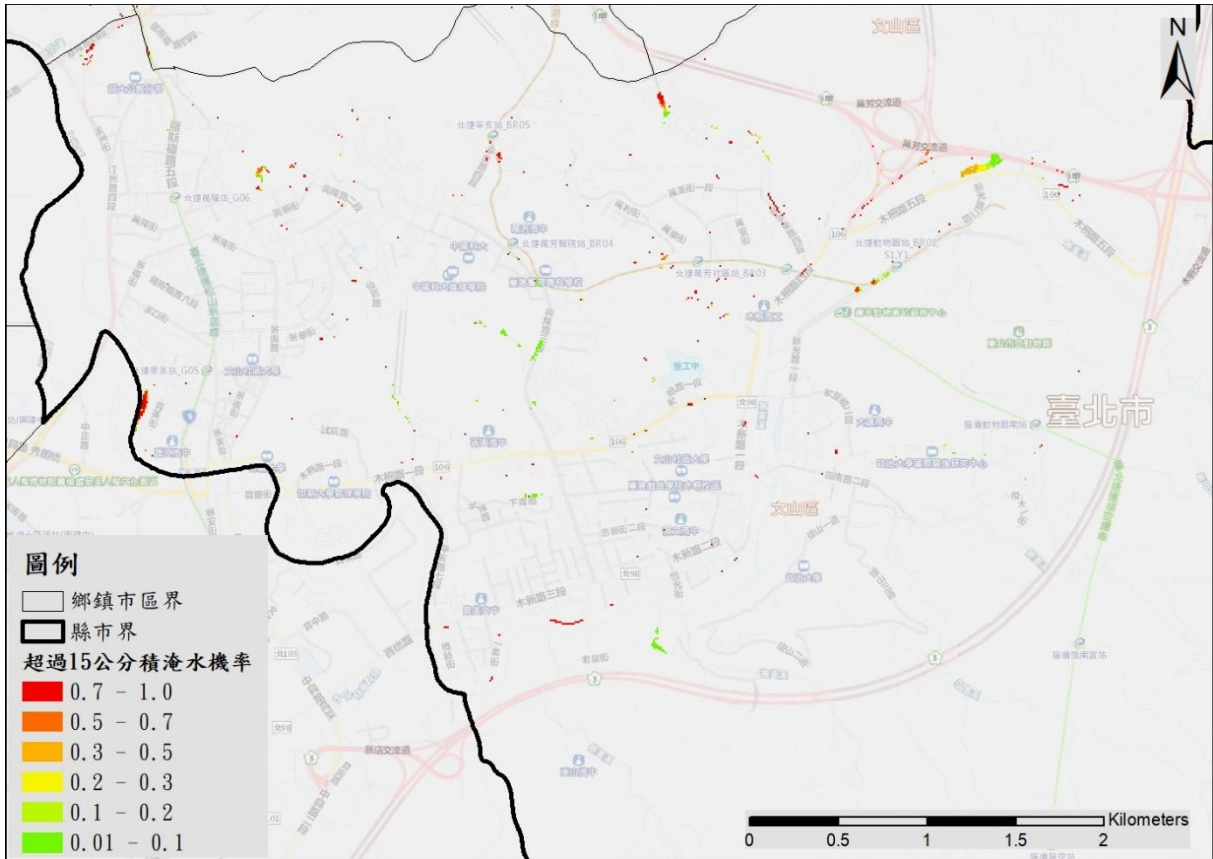


圖5-41 文山區500mm/24hr降雨淹水機率圖

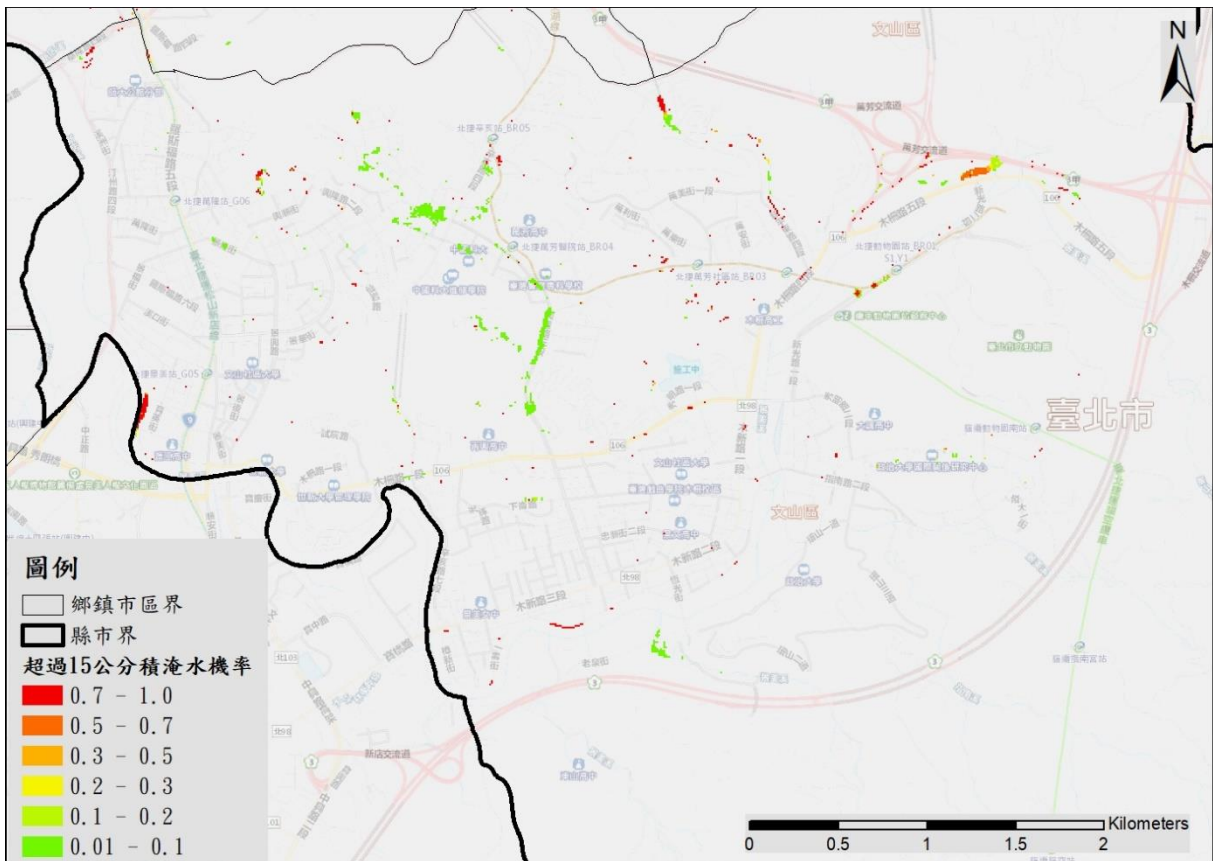


圖5-42 文山區650mm/24hr降雨淹水機率圖

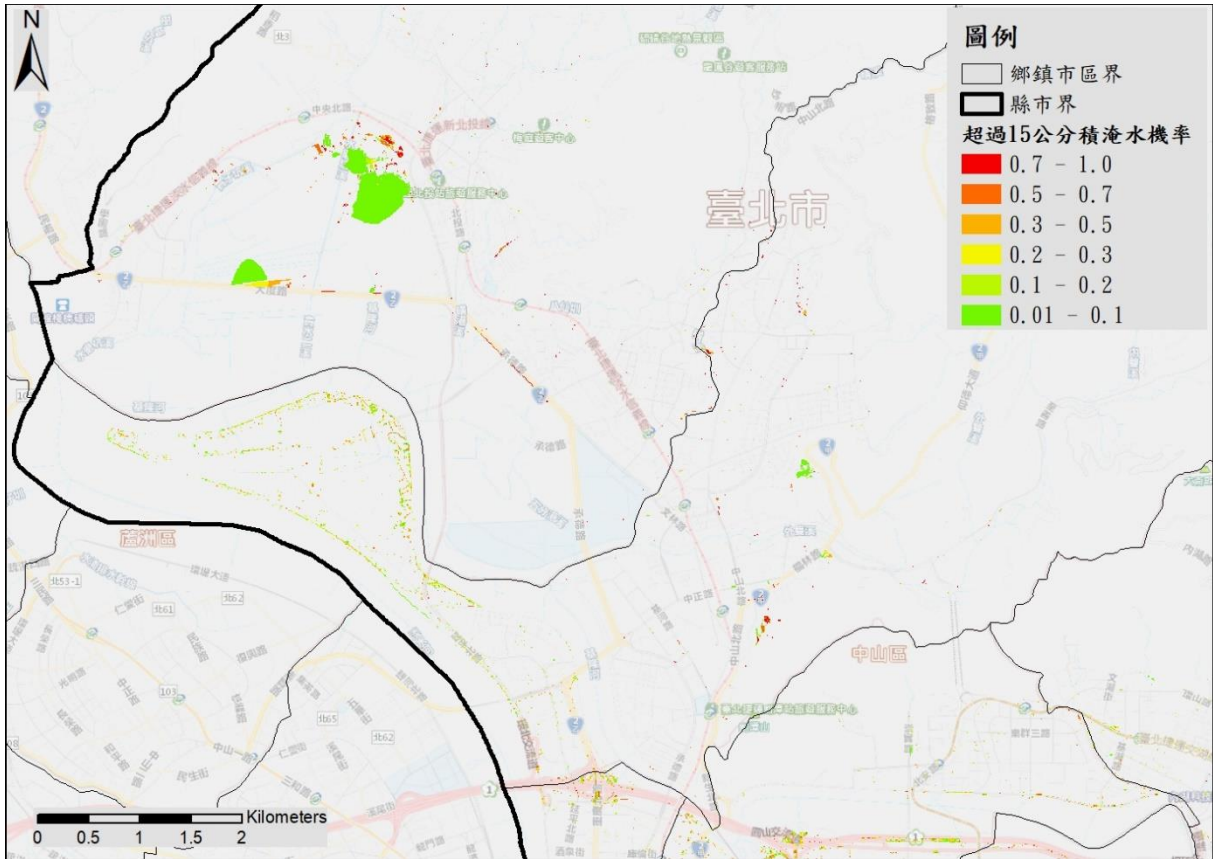


圖5-43 士林區200mm/24hr降雨淹水機率圖

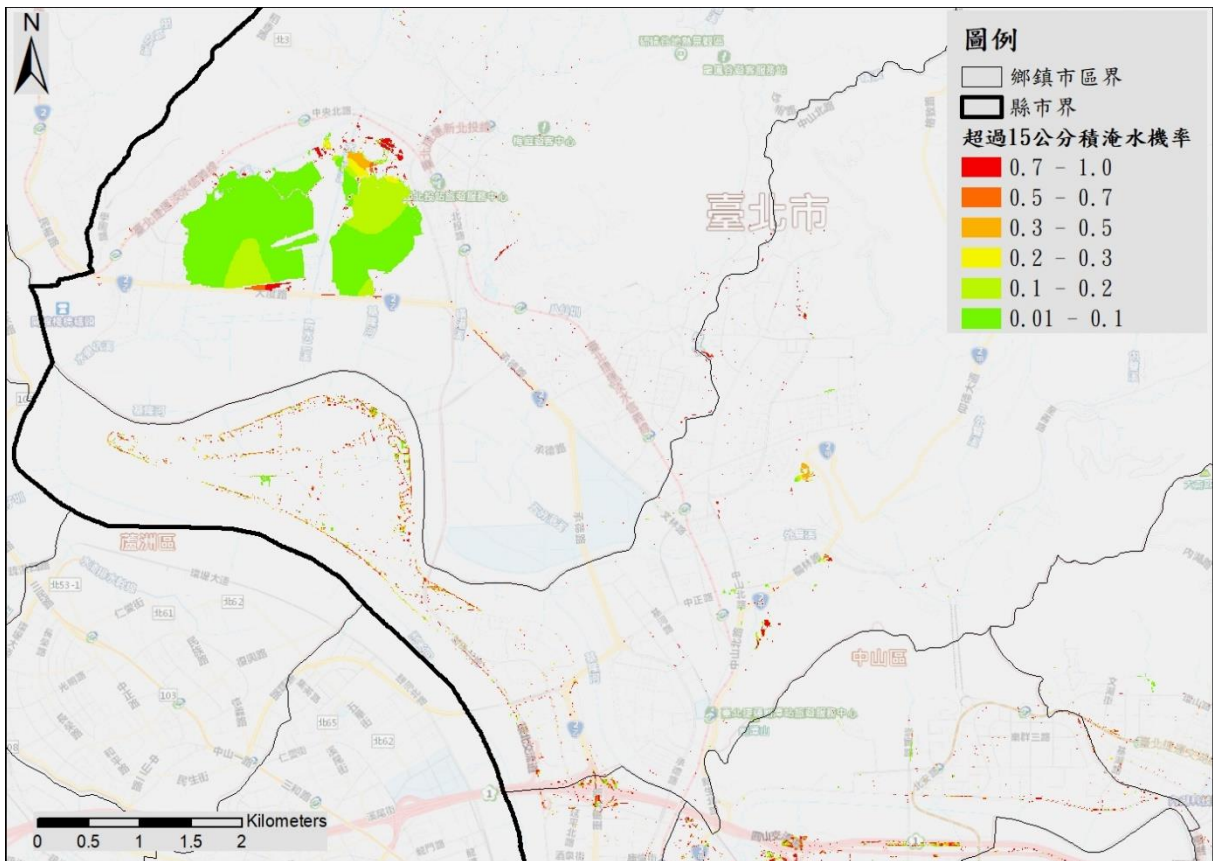


圖5-44 士林區350mm/24hr降雨淹水機率圖

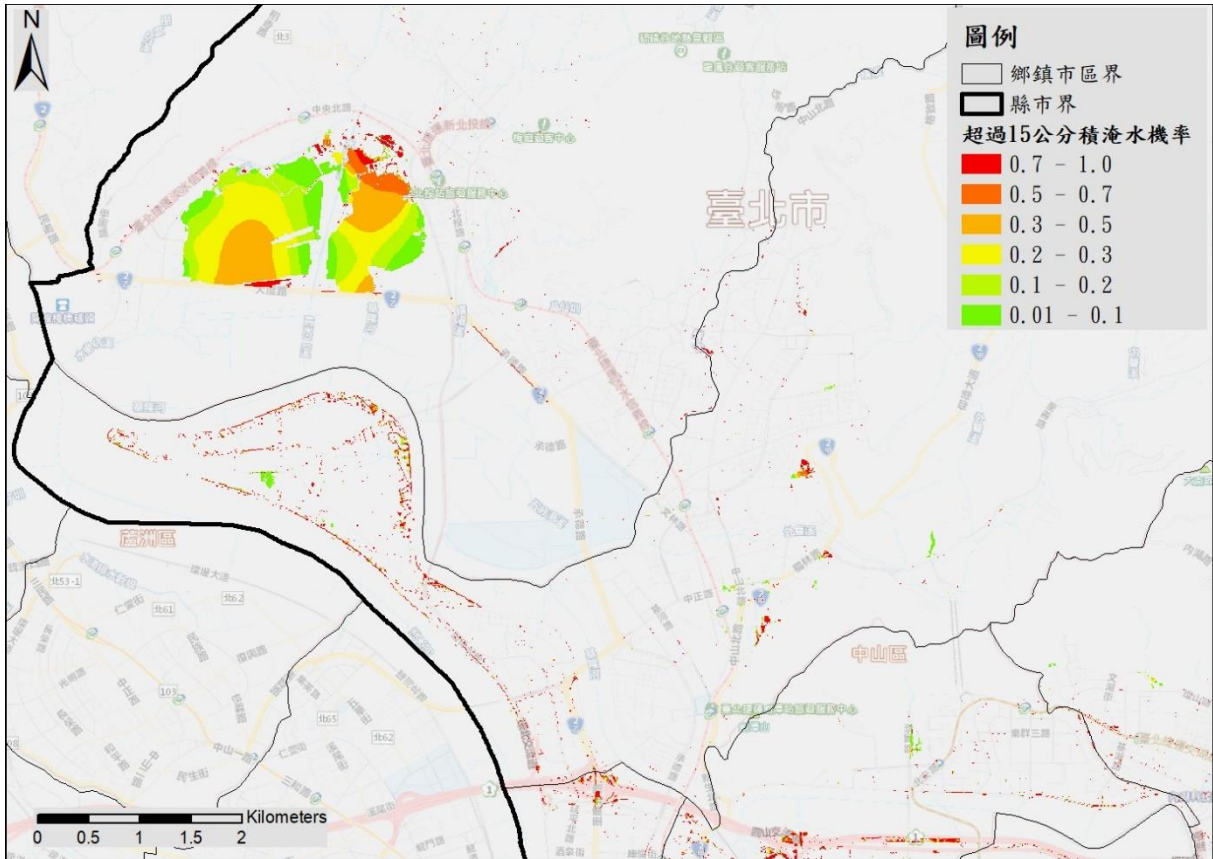


圖5-45 士林區500 mm/24hr降雨淹水機率圖

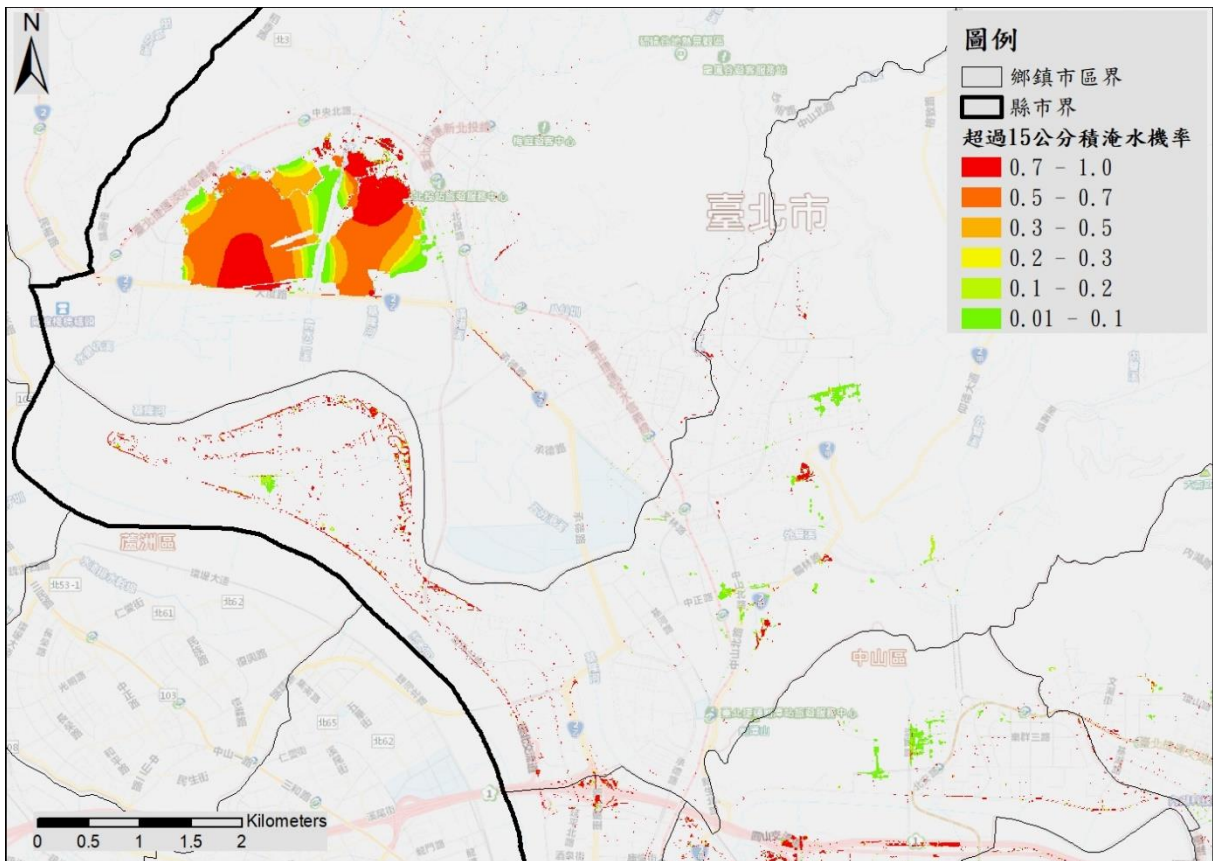


圖5-46 士林區650mm/24hr降雨淹水機率圖

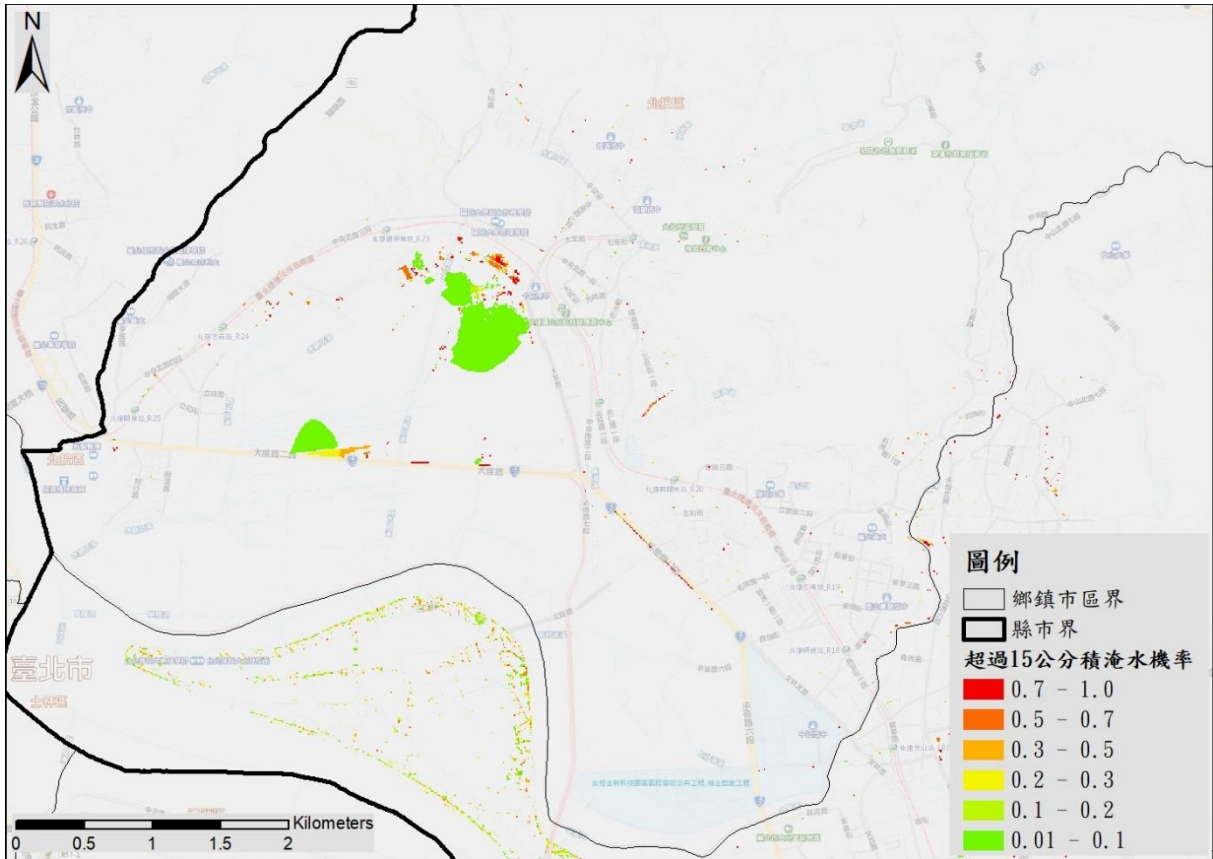


圖5-47 北投區200mm/24hr降雨淹水機率圖

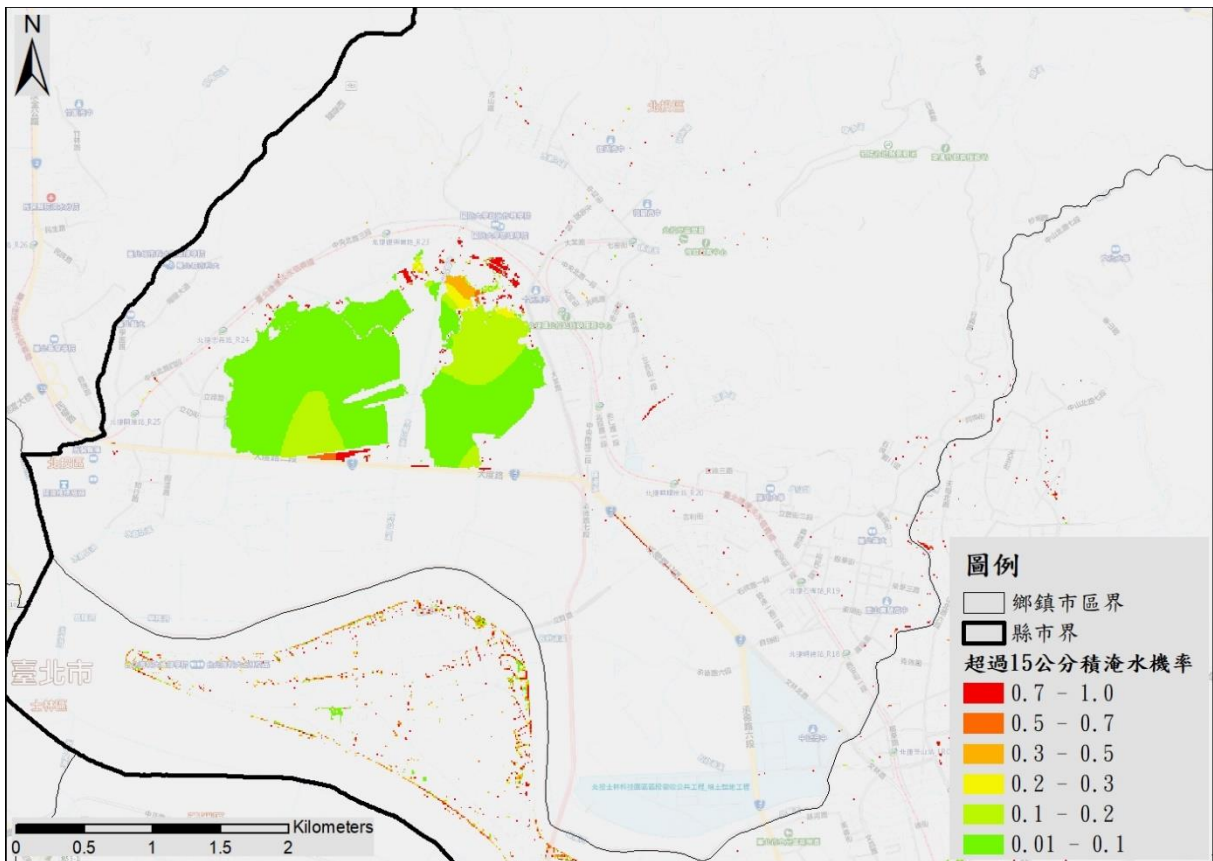


圖5-48 北投區350mm/24hr降雨淹水機率圖

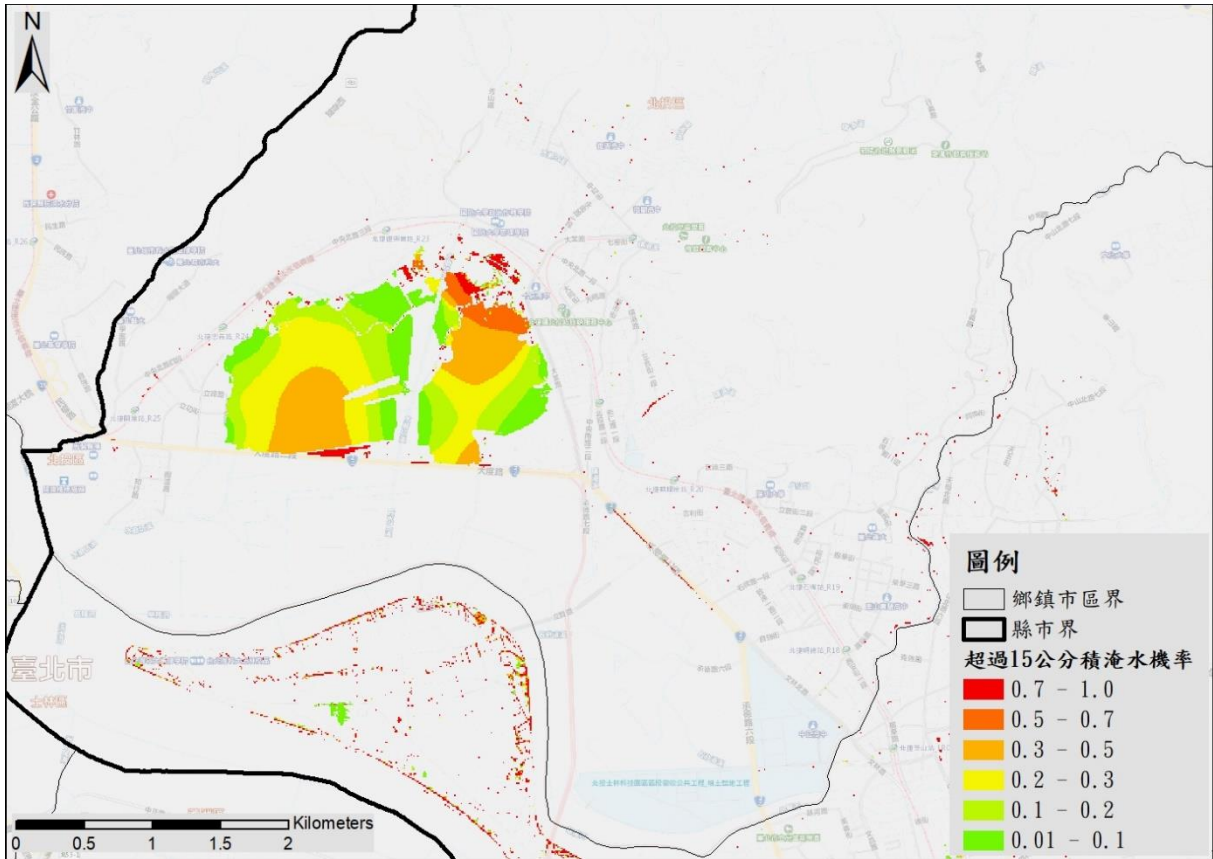


圖5-49 北投區500 mm/24hr降雨淹水機率圖

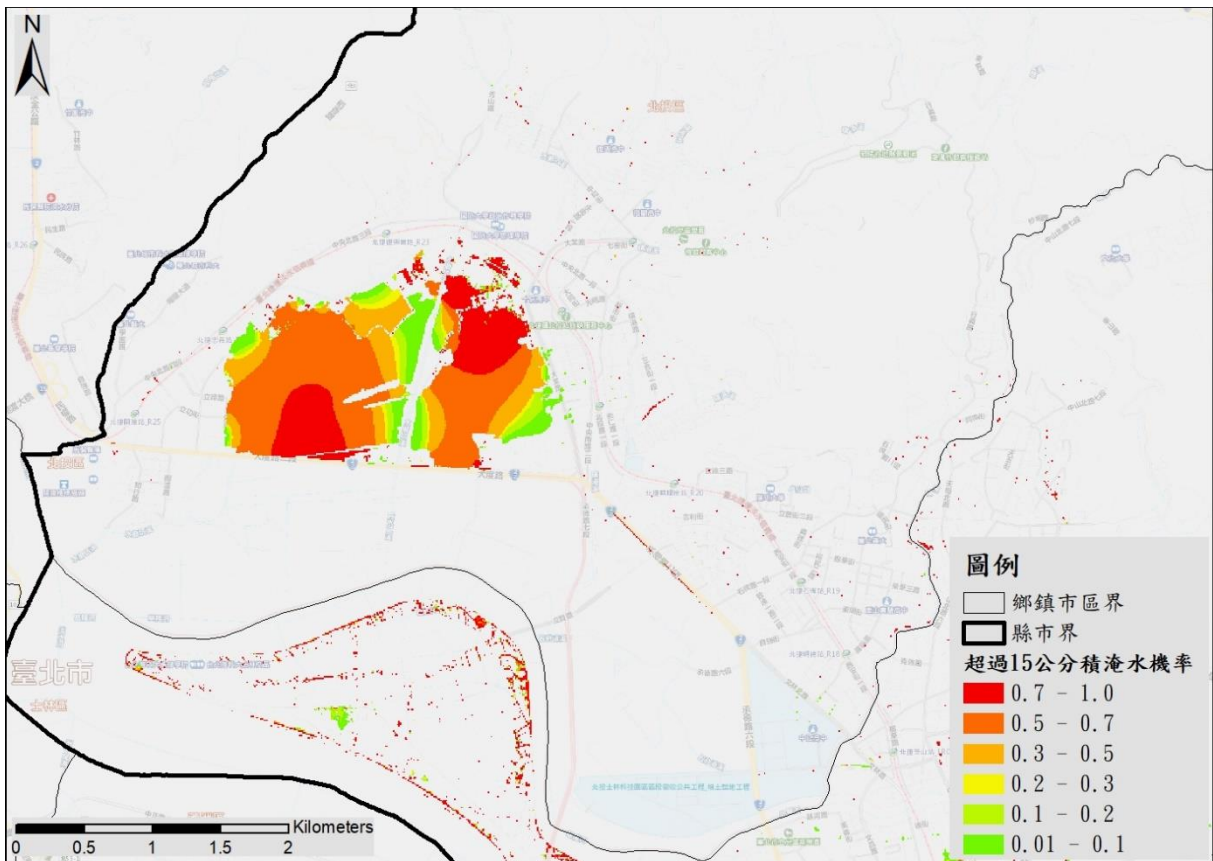


圖5-50 北投區650mm/24hr降雨淹水機率圖

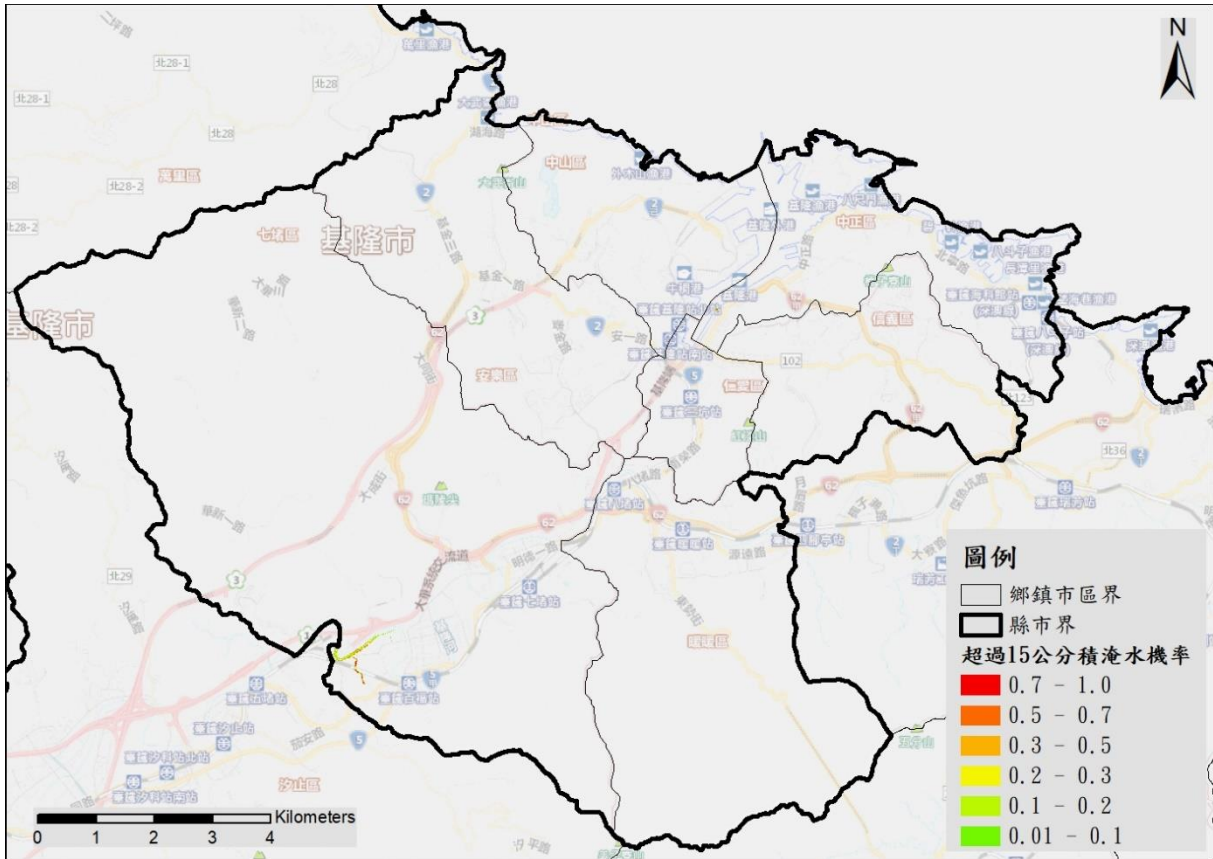


圖5-51 基隆市200mm/24hr降雨淹水機率圖

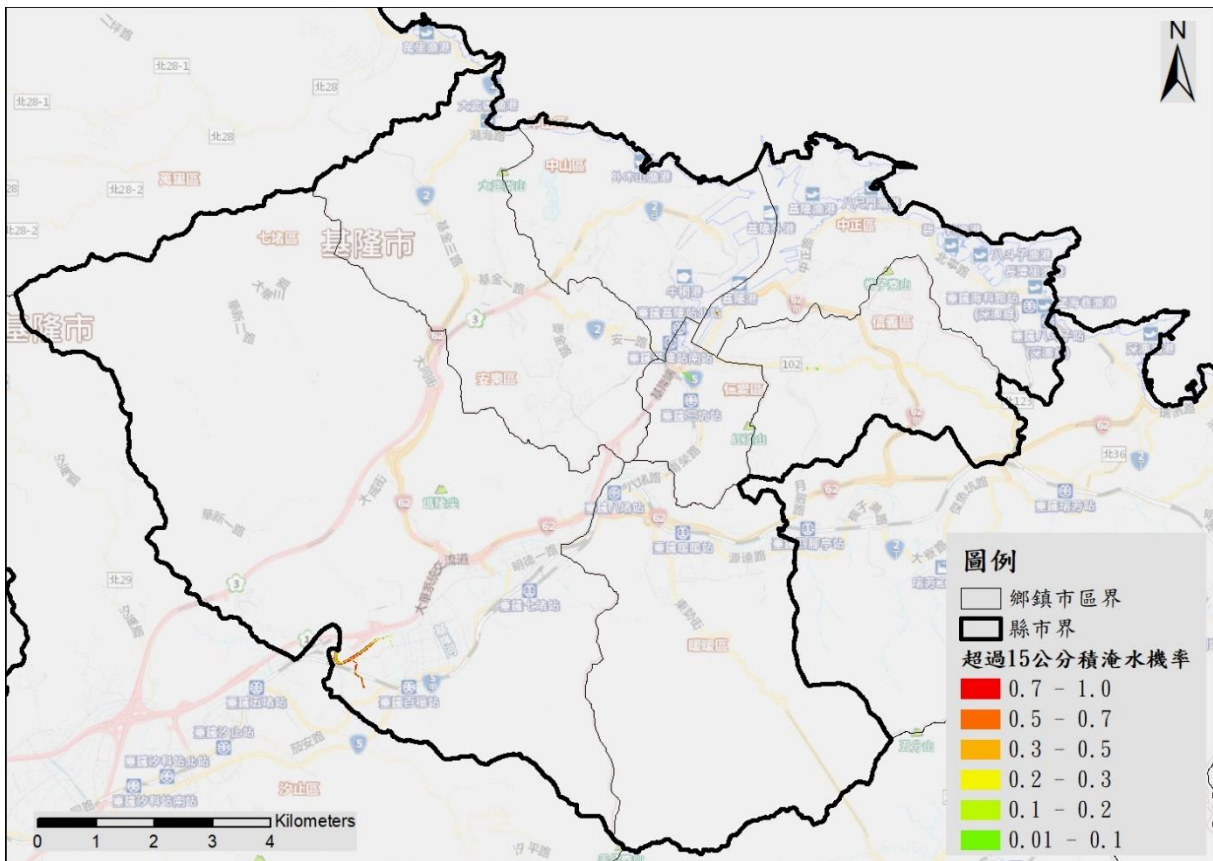


圖5-52 基隆市350mm/24hr降雨淹水機率圖

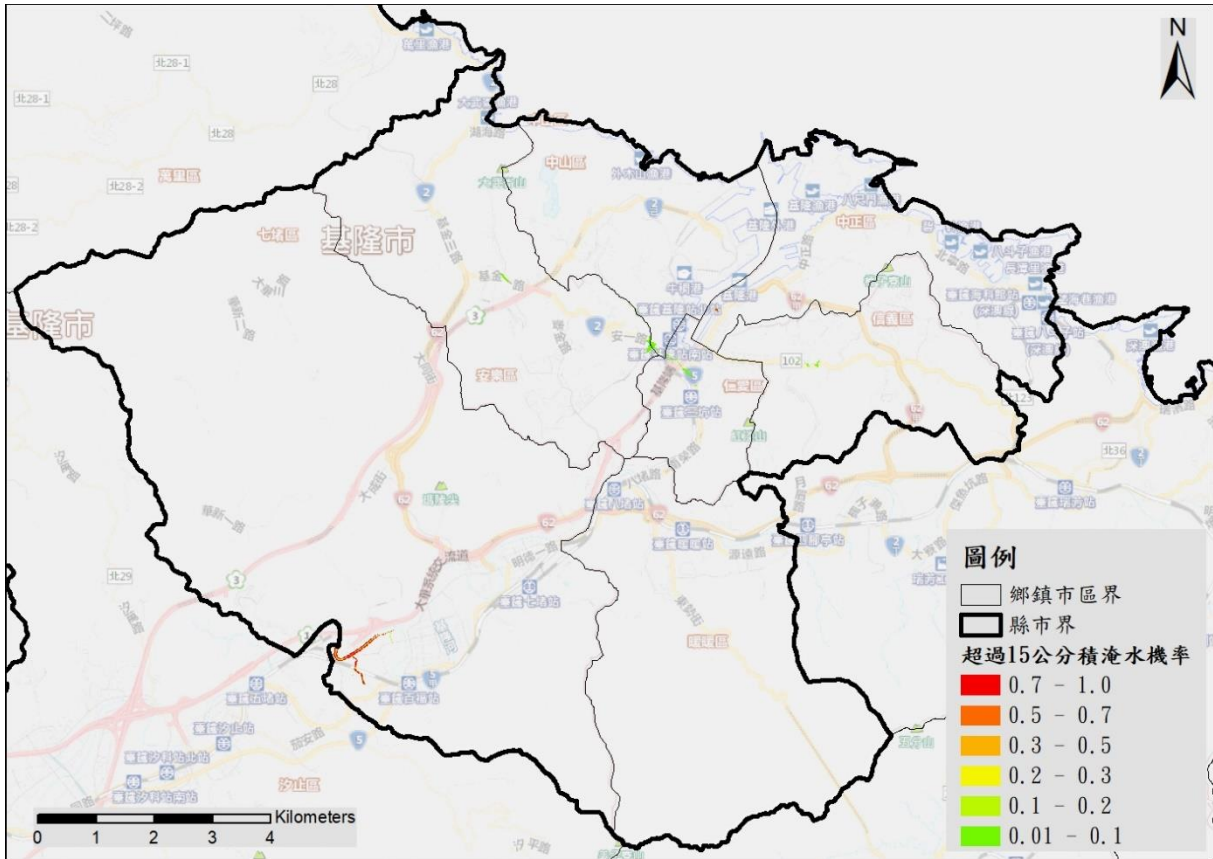


圖5-53 基隆市500mm/24hr降雨淹水機率圖

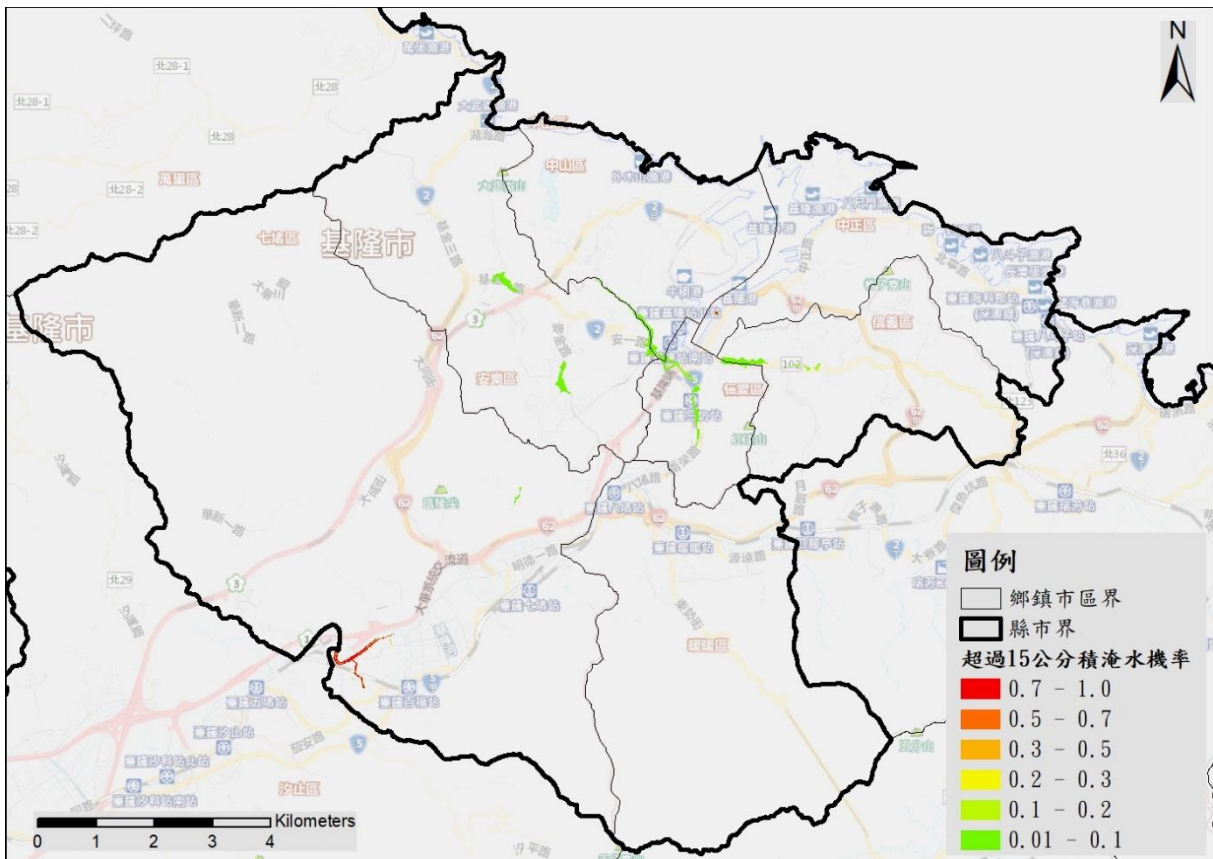


圖5-54 基隆市650mm/24hr降雨淹水機率圖

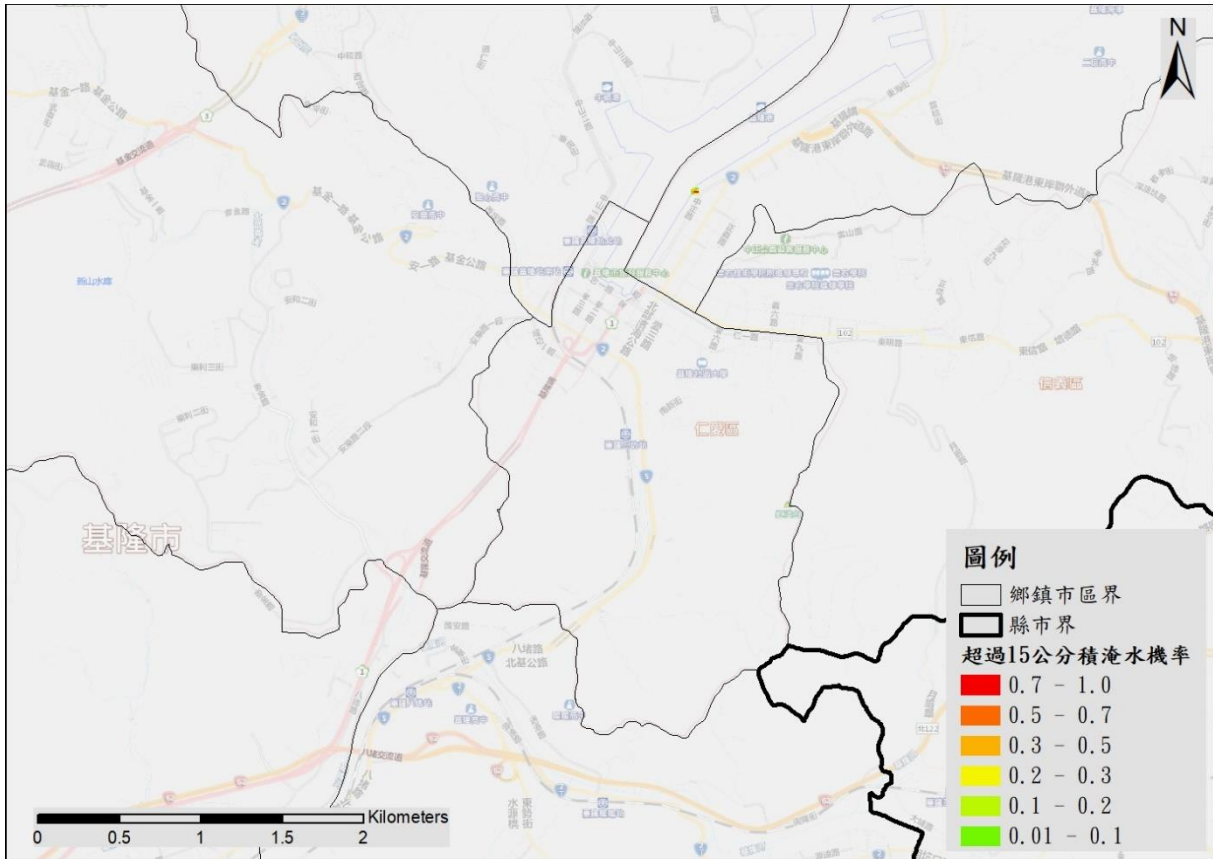


圖5-55 基隆市200mm/24hr降雨淹水機率圖(放大)

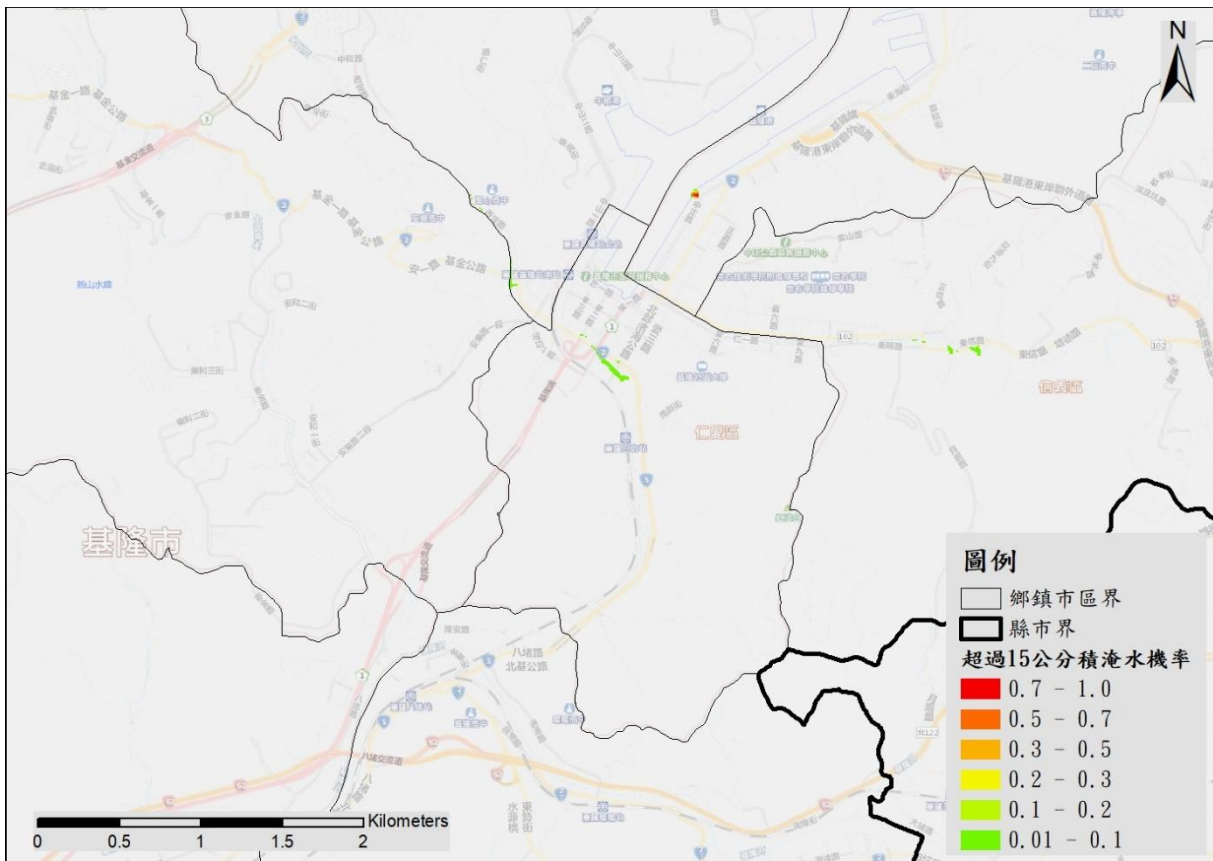


圖5-56 基隆市350mm/24hr降雨淹水機率圖(放大)

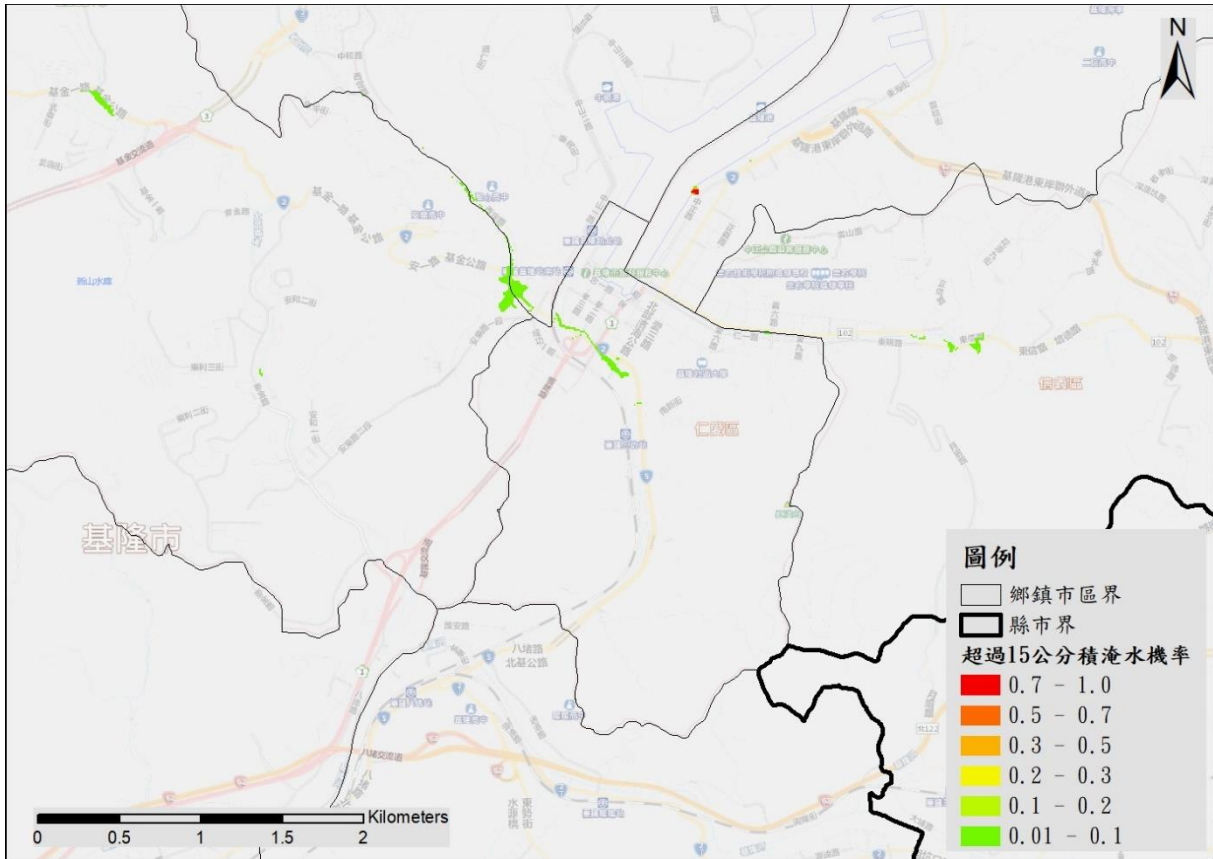


圖5-57 基隆市500mm/24hr降雨淹水機率圖(放大)

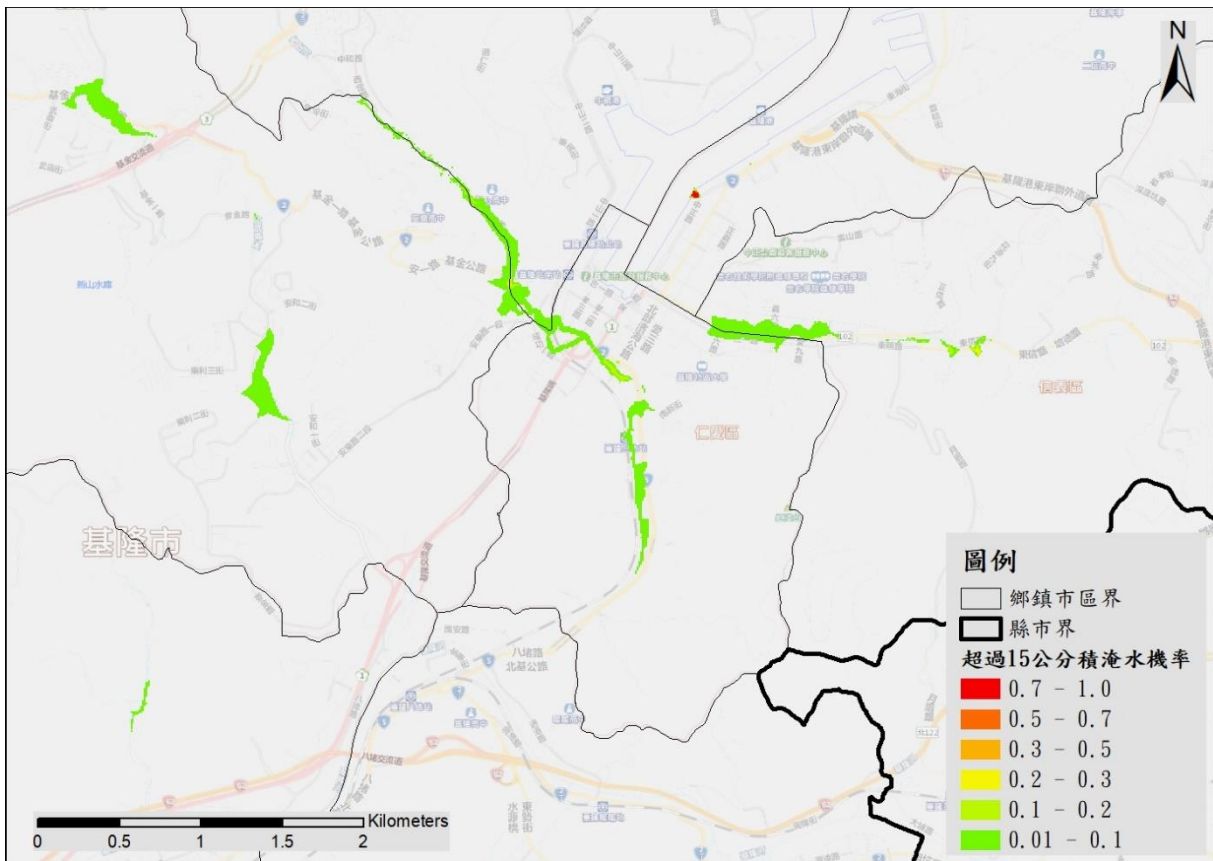


圖5-58 基隆市650mm/24hr降雨淹水機率圖(放大)

第陸章 應用服務維護更新及運算功能精進研發

6.1 蒐集本署已公開之第三代淹水潛勢圖資並更新至系統資料庫

圖資平台為提供使用者最新的正確資訊，本計畫蒐集水利署於 2018 年公開的最新版第三代淹水潛勢圖資，作為查詢閱覽之基礎，包括 6 小時、12 小時、24 小時三種降雨延時，其雨量分別為 6 小時：150 毫米、250 毫米、350 毫米，12 小時：200 毫米、300 毫米、400 毫米，24 小時：200 毫米、350 毫米、500 毫米、650 毫米，並配合水利署公開作業提供此 10 種公開情境圖資的下載連結，圖資平台的查詢與展示介面如圖 6-1 所示，圖資下載頁面如圖 6-2 所示。



圖6-1 圖資平台展示淹水潛勢圖

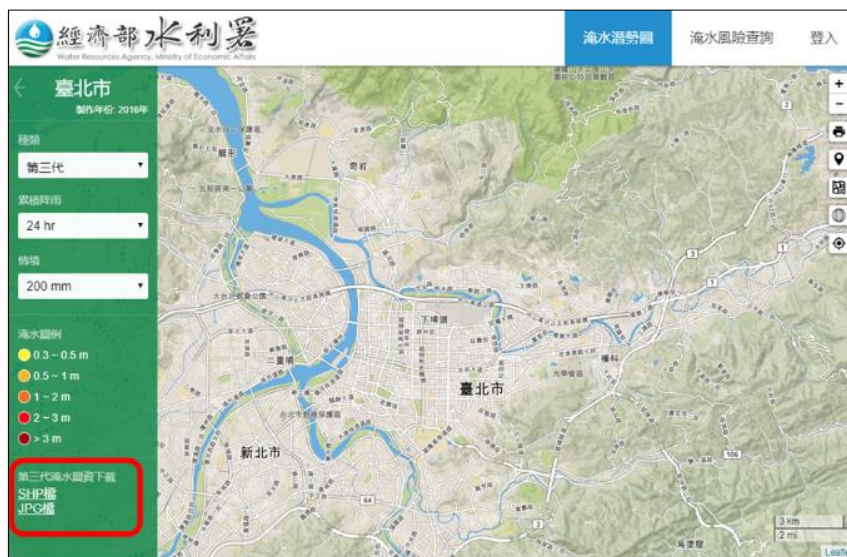


圖6-2 圖資平台提供淹水潛勢圖檔案下載

6.2 蒐集歷史淹水事件並更新至系統資料庫

為加強圖資平台系統資料之完整性與可參考性，本計畫蒐集至 2018 年為止的歷史淹水調查資料，將平台資料庫的歷史淹水點位及範圍資料進行更新，提供平台使用者搭配淹水潛勢圖或後續製作的淹水機率圖資進行套疊查詢，瞭解欲查詢地點的淹水發生可能性，平台圖資套疊歷史淹水點位示意畫面如圖 6-3 所示，套疊歷史淹水範圍示意畫面如圖 6-4 所示。



圖6-3 歷史淹水點位套疊查詢示意圖



圖6-4 歷史淹水範圍套疊查詢示意圖

6.3 結合特定延時預報雨量展示防災淹水機率圖

防災淹水機率圖資完成後，資料將會匯入平台資料庫中，提供平台前端界面的查詢及展示功能；亦會將防災淹水機率圖資，搭配圖資平台既有的淹水潛勢圖即時預報展示系統，如圖 6-5 所示，根據中央氣象局即時的預報雨量資料，挑選對應情境的防災淹水機率圖資進行同步的展示，提供應變人員即時性的決策參考資訊。



圖6-5 圖資平台自動展示預報淹水機率功能示意圖

6.4 更新與精進即時篩選淹水潛勢圖及防災淹水機率圖

除了提供快速與正確地自動圖資篩選展示功能外，本計畫也會再視水利署之需求，調整改進平台的淹水潛勢圖資與防災淹水機率圖篩選或查詢展示等相關功能，精進淹水潛勢圖資與防災淹水機率圖的即時篩選展示速度，增強使用者的便利性與舒適性，提升使用者的體驗感受。圖 6-6 為圖資平台自動展示預報淹水潛勢圖功能的示意圖。

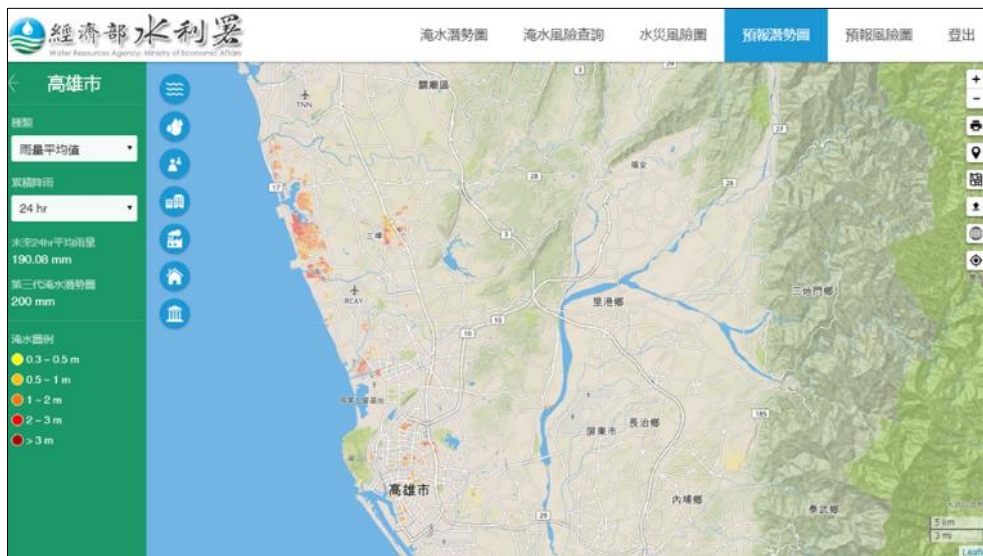


圖6-6 圖資平台自動展示預報潛勢圖功能示意圖

第七章 結論與建議

7.1 結論

- 1、完成蒐集大臺北區域 30 個雨量測站的歷史觀測降雨量資料，建置颱風事件的降雨量資料庫，並建立降雨量時空分布序率模擬模式之計算方法與流程。
- 2、完成降雨分析使用的歷史颱風事件挑選，以及歷史颱風降雨的時間、空間半變異元函數分析，建立颱風降雨的時空分布序率模擬模式。
- 3、使用颱風降雨的時空分布序率模擬模式繁衍出符合歷史颱風降雨時空間特性的模擬雨型共 83,000 場，可提供颱風降雨的大數據資料庫使用。
- 4、完成蒐集臺北市與基隆市地區的地表高程，及下水道系統配置與測量資料，建置兩地區的快速都市淹水模式，並使用歷史淹水事件資料完成驗證，且模式的運算速度、準確率與捕捉率皆比現行運用的 SOBEK 模式有較好的表現。
- 5、從繁衍雨型隨機挑選 2,662 場完成模擬颱風雨型的淹水模擬，並建置 200、350、500、650mm/24hr 此 4 種雨量各場次淹水模擬結果資料庫，可供後續使用。
- 6、以空間網格分析臺北市與基隆市地區發生超過 15 公分積淹水的機率，繪製成防災淹水機率圖，探討研究區域內的易積淹水地區分布。

7.2 建議

- 1、待後續完成梅雨以及對流雨之模擬事件後，可與颱風雨合併，完成大臺北地區各種降雨淹水致災可能淹水機率圖，可供洪災保險使用。
- 2、快速淹水模式可介接相關觀測、預報之水位、雨量進行即時淹水評估，做為即時預警與超前佈署之參考。

參考文獻

1. Bonta, J.V., (2001), Characterizing and estimating spatial and temporal variability of times between storms. *American Society of Agricultural Engineers*, 44(6): 1593-1601.
2. Bonta, J.V. and Rao, A.R., (1988), Factors affecting the identification of independent storm events. *J. Hydrol.*, 98: 275-293.
3. Chang, T.J., Wang, C.H., and Chen, A.S., (2015), A Novel Approach to Model Dynamic Flow Interactions between Storm Sewer System and Overland Surface for Different Land Covers in Urban Areas. *Journal of Hydrology*, 524: 662-679.
4. Chang, T.J., Wang, C.H., Chen, A.S., Djordjević, S., (2018), The Effect of Inclusion of Inlets in Dual Drainage Modelling. *Journal of Hydrology*, 559: 541-555.
5. Cheng, K.S., I., Hueter, E.C., Hsu, H.C., Yeh., (2001), A scale-Invariant Gauss-markov Model for Design Storm Hyetographs. *Journal of the American Water Resources Association*, 37(3):723-736.
6. Franco, C., Soares A., Delgado, J., (2006), Geostatistical modelling of heavy metal contamination in the topsoil of Guadiamar river margins (S Spain) using a stochastic simulation technique. *Geoderma*, 136:852-864
7. Ghimire, B., Chen, A. S., Guidolin, M., Keedwell, E. C., Djordjevic', S. and Savić, D. A., (2013), Formulation of a fast 2D urban pluvial flood model using a cellular automata approach. *Journal of Hydroinformatics*, 15(3): 676-686.
8. Guidolin, M., Chen, A. S. and Pasquale, N., (2015), CADDIES: caflood application user guide.
9. Guidolin, M., Chen, A. S., Ghimire, B., Keedwell, E. C., Djordjevic', S. and Savić, D. A., (2016), A weighted cellular automata 2D inundation model for rapid flood analysis. *Environmental Modelling and Software*, 84: 378-394.
10. Guillot, G., (1999), Approximation of Sahelian rainfall fields with meta-Gaussian random functions. Part 1: model definition and methodology. *Stochastic Environ Res Risk Assessment*, 13:100-112
11. Herrick, M.G., Benson, D.A., Meerschaert, M.M., McCall, K.R., (2002), Hydraulic conductivity, velocity, and the order of the fractional dispersion derivative in a highly heterogeneous system. *Water Resources Res.*

38(11):1227-1239

12. Huber, W. C. and Dickinson, R. E. (1988), Storm Water Management Model, User's Manual, Ver. IV. U.S. EPA.
13. Hunter, N. M., Horritt, M. S., Bates, P. D., Wilson, M. D. and Werner, M. G. F., (2005). An adaptive time step solution for raster-based storage cell modelling of floodplain inundation. *Advances in Water Resources*, 28: 975-991.
14. Koutsoyiannis, D., Foufoula-Georgiou, E., (1993), A scaling model of a storm hyetograph. *Water Resources Research* 29 (7): 2345-2361.
15. Liou, J.J., Su, Y.F., Chiang, J.L., Cheng, K.S., (2011), Gamma random field simulation by a covariance matrix transformation method. *Stochastic Environ Res Risk Assessment* 25(2):235-251.
16. O'Brien, J. S. (2012), FLO-2D User Manual Version 2009, FLO-2D EPA SWMM Guidelines.
17. Restrepo-Posada, P.J. and Eagleson, P.S., (1982), Identification of independent rainstorms. *J. Hydrol.*, 55: 303-319.
18. Yen, B. C., (1986). *Hydraulics of Sewers*. *Advances in Hydrosience*, 14: 1-122.
19. 吳宜珍,「序率模擬應用於氣候變遷衝擊評估與線性動差機率分布適合度檢定」,國立臺灣大學生物環境系統工程研究所博士論文,2011年。
20. 吳進龍,「暴雨歷程連續模擬之研究」,國立臺灣大學生物環境系統工程研究所碩士論文,2002年。
21. 林吉堃,「都會區快速淹水模擬模式之研發與應用」,國立臺灣大學生物環境系統工程學系碩士論文,2018年。
22. 張守陽、林國峰,「臺灣地區降雨歷時分佈之特性(二) 臺灣地區」,行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告,1995年。
23. 許恩菁,「設計暴雨雨型序率模式之研究」,國立臺灣大學農業工程學研究所碩士論文,1999年。
24. 陳宣宏,「漫地流與雨水下水道水流之交互動態模擬」,國立臺灣大學生物環境系統工程學系博士論文,2002年。
25. 廖元熙,「水庫系統最佳營運及風險分析:以鯉魚潭水庫及石岡壩旬聯合營運為例」,國立臺灣大學農業工程學研究所碩士論文,1992年。
26. 鄭克聲、許恩菁、葉惠中,「具隨機碎形特性之設計暴雨雨型」,臺灣水利期刊,47(3),1999年。
27. 謝心怡,「多測站流量時間-空間序率模擬研究」,國立臺灣大學生物環境

系統工程研究所博士論文，2014 年。

28. 謝景翔，「應用雙變數截斷迦瑪分布於序率暴雨模擬」，國立臺灣大學生物環境系統工程研究所碩士論文，2017 年。
29. 蘇冠銘，「考慮空間相關之暴雨頻率分析」，國立臺灣大學生物環境系統工程研究所碩士論文，2014 年。
30. 經濟部水利署，「氣候變遷水文情境評估研究(2/2)」，國立臺灣大學水工試驗所，2013 年。

附件一、期初工作會議紀錄

防災淹水機率圖資產製及應用服務系統精進 期初工作會議紀錄

- 壹、時間：中華民國 108 年 3 月 15 日(星期五)下午 3 時 30 分
- 貳、地點：本署台北辦公區第一會議室
- 參、主持人：郭主任純伶
記錄：林呈益
- 肆、出(列)席單位及人員：(詳簽名冊)
- 伍、主席致詞：(略)
- 陸、業務單位報告：(略)
- 柒、執行單位簡報說明：(略)
- 捌、討論事項：
- 一、暴雨事件大數據資料庫的資料型式為何？降雨類型(梅雨、對流雨、鋒面雨、颱風雨等)、雨型、累積雨量之採用如何決定？提請討論。
 - 二、計畫採用之淹水模式與 SOBEK 模式差異性(基本資料、模式學理、模擬成果)，提請討論。
 - 三、淹水機率圖資呈現方式(不同淹水深度的淹水機率、每個網格的淹水機率)，提請討論。
 - 四、系統平台淹水潛勢圖查詢方式(單筆查詢、批次查詢、查詢步驟)，提請討論。
- 玖、決議
- 一、計畫執行倘若需要相關水利署雨量站資料，再請水文組協助提供。
 - 二、有關研究區域選定原則，請臺大團隊詳細補充說明。
 - 三、序率暴雨模式建置可區分不同類型降雨，惟淹水機率圖資是以不同類型降雨來區分或是整合所有降雨類型，請臺大團隊再評估並提出建議。

- 四、請計畫主辦確認各地方政府淹水潛勢圖公開情形，再調整系統平台圖資公開資訊。
- 五、有關研究區域的 SOBEK 模式建置之基本資料，請水規所協助提供團隊參考。
- 六、本計畫所應用之序率暴雨模式與快速淹水模式，請臺大團隊協助辦理教育訓練說明。

壹拾、 散會

附件二、期中報告書審查會議紀錄

「防災淹水機率圖資產製及應用服務系統精進」 期中審查會議紀錄

- 壹、時間：108年6月19日(星期三)上午10時
貳、地點：本署臺北辦公區第1會議室
參、主持人：張副總工程司國強(郭主任純伶代) 紀錄：林呈益
肆、出席單位及人員：(詳如簽名冊)
伍、主席致詞：(略)
陸、主辦單位報告：(略)
柒、執行單位簡報：(略)
捌、審查委員及相關單位意見：

一、林委員連山：

1. 本計畫之成果之一為(一)擬定預報降雨情境、(二)繪製防災淹水機率圖資，則
 - (1)所採用的預報降雨延時如何採用？30分、1小時、2小時？
 - (2)除了考慮雨型外，需否考量集流時間的差異？
 - (3)需否評估內、外水的水位因素？
 - (4)預測未來降雨的來源？
 - (5)需否考慮子集水區的特性？
 - (6)建議配合逕流分擔及出流管制的成果來預測。
2. 本計畫擬建置颱風降雨的時空分布序率來預測，則此一成果可否作為決策的參考依據？建請予以評析。
3. 本計畫執行迄今的具體成果建議有所交代。
4. 所得到的成果需否進行驗證到現場的情境？
5. 應考量本項工作欲解決的問題與淹水第三代地圖的差異性，個人以為：現有的防災地圖主要在作為颱風期間的淹水預警，而本計畫所發生的短延時強降雨，除了颱風降雨因素外，其他如：低氣壓、對流雨等均可能發生，則兩者考量的因素需否區隔？
6. 本計畫的研究成果如何擴充到全省來運用？
7. 有關淹水機率建議以現有的預報模式加以精進後，以淹水機率百分比來表示，並且所呈現的機率宜有一個範圍。

二、徐委員誌國：

1. 本計畫持續推動水災風險圖資應用系統研發與精進工作，而水利署在105-106年分別執行水災風險圖資決策服務建置與應用(1/2)(2/2)，及107年決策支援技術精進研發，請問3項計畫有何實質不同？差異？建議應將本計畫與上述計畫之區別說明，

免外界有重複之嫌？

2. 本計畫係以暴雨事件分析強降雨中最大尖峰降雨時間，律定後即可模擬地區淹水情形，並計算其淹水機率；但這是歷史暴雨事件之資料分析，而本計畫強調「即時」淹水評估，請問如何在介接氣象局之「預報」降雨後可達到「即時」之淹水成果？固然預報非即時，是否運用歷史暴雨資料庫選取類似情境比對後，提出淹水機率之建議？
3. 本計畫各種淹水情境模擬結果，繪製於防災淹水機率圖資及淹水風險程度前，建議可至研究區域之地方民眾訪查，驗證模擬結果與歷史淹水範圍、深度之正確性後，再進行套繪圖資。
4. 本計畫完成之防災淹水機率圖資成果係提供水利署防災應變決策支援參考，未來要如何轉化為地方政府(民眾)淹水警戒之疏散撤離之情資，目前水利署之淹水警戒發布系統，已廣為民眾熟知及接受，這2種系統要如何整合或併行，建議納入考量。

三、本署楊委員介良：

1. P.4-21 提供歷史淹水模擬時間表，又提到要進行模式的細部調整，是否模擬結果與實際淹水結果有很大的差別？
2. 圖 2-5 中有許多點的降雨百分率為 0，與颱風事件的篩選條件有落差，這樣是如何篩選颱風事件的？
3. 選定研究區域的說明沒有其他區域與大臺北地區的比較，建請再提供更具體的比較說明。

四、本署水規所 李副工程司家彰：

1. 水災潛勢風險圖資應用還是水災風險地圖資，文字請確認。
2. 四類降雨類型雨量篩選方法，報告中有提及颱風雨量之分析方式，然文章閱讀較難理解，建議製表說明，另其餘三種的分析方式為何，請再說明。
3. 短延時強降雨的時間分布雨型，可能有兩種型態：一為整場降雨的延時為短延時，雖為強降雨，但因降雨範圍通常不大，故洪災範圍有限；另一種型態為整場降雨為長延時，但其中有一段短延時強降雨，由於降雨範圍大，此種雨型對較大流域會造成洪災威脅。本計畫在上述兩種雨型之空間分布特性分析如何因應。
4. 本計畫為更符合現況，請持續收集最新工程資料及最新之水文地文資料，建置至模型中。
5. 請將快速淹水模擬成果與第三代淹水模型之成果進行準確率、演算時間等優缺點比較，以說明此模型具代表性。

6. 簡報 P.13，由各測站各時刻降雨特性平均結果，顯示其雨型較為平均化，而淹水潛勢圖是以 Horner 設計雨型之水文條件進行評估，其提供方式雖較符合實際，然較不保守，是否可供防災使用。
7. 本計畫除雨量站空間分析外，其水文條件另外影響因素潮位是否有進行評估，以搭配不同機率情形。
8. 第三代淹水潛勢圖評估只有一種降雨情境，本計畫在同一雨量下其雨型有幾種類型，差異為何？
9. 機率圖製作完成後，其後續搭配預報雨量如何進行，是否有須觀測幾小時雨量、預報幾小時雨量。
10. 本計畫以 24 小時雨量進行挑選，此挑選方式是否可代表出短延時事件，其機率圖是否有 3、6 小時的圖資。

五、本署水規所 莊工程司賢達：

1. P.1-9，表 1-1 之製作背景說明之地文條件應是針對某一縣市之個案，而非所有縣市通用，建議說明清楚。
2. P.1-10 表 1-2，目前國內應用淹水潛勢圖資相關應用研發計畫應非常多，不止表內所列，建議說明清楚。
3. P.1-10 圖 1-6，部分資料漏列或有誤，如第三代時間應為 2014~2016 及情境等，建議可參考「淹水潛勢圖製作手冊」修正。
4. P.5-3 圖 5-2 顯示淹水會侷限在街道上而未溢淹一大片(包含建物及道路)，也就是會呈現出類似街廓(道)效應，建議在報告中說明，本計畫採用臺北市政府 1m×1m DEM，然後作何種假設或處理，使得溢淹水流侷限在道路上而不溢淹入建物內。
5. 報告所述，根據中央氣象局的預報降雨量，本系統可即時展示防災淹水機率圖，建議可補充說明當中央氣象局公布預報雨量後，本系統大約多久可完成更新得到最新成果。

六、本署水文技術組 吳副工程司一平：

1. 因目前致災包含颱風、梅雨、對流雨、鋒面雨等事件，因不同降雨其特性亦不同，本次期中報告僅對颱風類型去做驗證、分析，於期末部分是否可完成不同類型之驗證。
2. 本計畫之圖示，示意不清，如：圖 3-3，紅色、藍色之意義？圖 2-3，X=時間？Y=百分比？請檢視。

七、本署水利防災中心 林副工程司呈益：

1. 暴雨事件大資料庫裡面資料會是什麼？就報告內容為測站降雨量時間數列，是什麼資料？有沒有空間分布在內？建請再補充說明。
2. 降雨類型之梅雨、對流雨、颱風雨、鋒面雨各特性不同，建請說明，並補充首先選擇颱風雨之原因。為何颱風事件分析的時間為 24 小時，是否有特殊原因？颱風事件降雨強度篩選，所稱 24 小時平均雨量即是降雨強度，而所有發生降雨之測站降雨強度，即視為該場颱風事件之降雨強度，這是分析序率模擬的特定方法嗎？
3. 第參章測站時雨量與降雨延時之機率分布，其內容、表格、圖所彙整的資料(如平均值、標準差、偏態係數、頻度圖)目的為何？建請再詳加說明。
4. 第參章序率模擬模式結果統計量，標準常態分布與頻率因子之分析平均值、標準差、偏態係數之標準不同，建請再補充說明。
5. 本計畫淹水模式檢定驗整方法，建請再補充說明。
6. 淹水機率要由幾場降雨來決定，才具有代表性？
7. 82,000 場降雨如何選用來做淹水模擬？還是說全部都跑，時間上來得及嗎？
8. 建議後續所有降雨事件拿來進行二維淹水模擬之結果也建立資料庫，俾利 AI 訓練應用。
9. 計畫內容中，”記錄”應調整為”紀錄”。


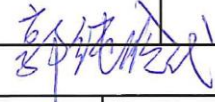
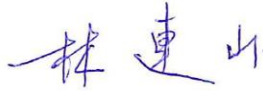
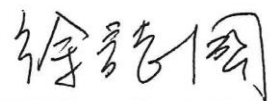

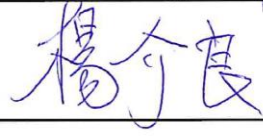
玖、會議結論：

1. 關於颱風降雨分析的部分，請補充說明不同類型降雨的分析方法，再述明採用颱風降雨分析的理由。
2. 暴雨序率模擬繁衍出來的資料為本計畫的重要成果，請建立資料庫，俾利後續應用。
3. 快速淹水模式檢定驗證工作請完整確實，另外淹水模擬區域請團隊再評估大臺北地區其他縣市，需協助或者困難之處可提出共同商討克服。
4. 本計畫的成果未來將投入實際應用，主要可分為兩個層面，一是提出淹水潛勢模擬的創新方法，二是即時防災情資產製的運用，其運用與呈現方式可再探討。
5. 本計畫期中報告審查原則通過，請依據契約規定辦理後續相關行政事宜，並依照本次會議各委員及與會單位所提意見修正計畫後續執行方向。

拾、散會

「防災淹水機率圖資產製及應用服務系統精進」
委託服務計畫期中審查會議出席人員簽名冊

主辦單位：水利防災中心

時間	108年6月19日上午10時	地點	北辦第1會議室
主持人	張副總工程司國強	紀錄	林呈益 
出席人員 			
機關 (單位)	職稱	簽名 (請以正楷書寫，以利辨識)	備註
1	林委員連山		
2	施委員進村		
3	羅委員俊昇		
4	許委員文科		
5	徐委員誌國		
6	郭委員純伶		
7	楊委員介良		
8			
9			
10			

11	科技部		李彥君	
12				
13	國家災害防救 科技中心			
14				
15	水利規劃試驗所		李承育	
16			莊賢達	
17	本署 水文技術組		吳一平	
18				
19	本署 水利防災中心		林昱益	
20			鄒宗穎	
21			黃振豐	
22				
23				

24	國立臺灣大學		信念子	
25			鄭克忠	
26			王嘉和	
27			王黎穎	
28			何若維	
29				
30				
31				
32				
33				
34				
35				

附件三、期中報告書審查意見回覆

「防災淹水機率圖資產製及應用服務系統精進」

期中審查會議紀錄

壹、時間：108年6月19日(星期三)上午10時

貳、地點：本署臺北辦公區第1會議室

參、主持人：張副總工程司國強(郭主任純伶代)

紀錄：林呈益

審查意見	意見回覆
林委員連山	
<p>1. 本計畫之成果有(一)擬定預報降雨情境、(二)繪製防災淹水機率圖資，則</p> <p>(1)所採用的預報降雨延時如何採用？30分、1小時、2小時？</p> <p>(2)另；除了考慮雨型外，需否考量集流時間的差異？</p> <p>(3)需否評估內、外水的水位因素？</p> <p>(4)預測未來降雨的來源？</p> <p>(5)需否考慮子集水區的特性？</p> <p>(6)建議配合逕流分擔及出流管制的成果來預測。</p>	<p>感謝委員的意見。</p> <p>(1)今年度是採用颱風情境，降雨延時為24小時之雨量，預報雨量更新為每小時1次。</p> <p>(2)因今年度主要考慮颱風情境，均以24小時降雨延時為主，因此尚未針對特定流域考慮集流時間。</p> <p>(3)今年度主要以臺北市為主要研究區域淹水機率圖資，外水邊界以大潮高潮位為設定。</p> <p>(4)預測雨量以氣象局之ETQPF為主。</p> <p>(5)本計畫有針對地形高程、人孔集流區域進行子集水區劃分。</p> <p>(6)逕流分擔及出流管制需要建築物以及綠地面及比例以及相關排水計畫書，其資料過於龐大，本計畫尚未考量。</p>
<p>2. 本計畫擬建置颱風降雨的時空分布序率來預測，則此一成果可否作為決策的參考依據？建請予以評析。</p>	<p>感謝委員的意見，本計畫是以過去的颱風資料進行時空分布序率分析並進一步的繪製機率淹水圖資，因此，此機率淹水圖資為過去各種強度、路徑條件下之颱風淹水機率，較適用於洪災保險以及整體規劃之使用，若要作為颱風來臨前之決策參考依據，需要從時空資料庫中將淹水模擬結果經由特定路徑、強度等氣象條件進行篩選並進行分析評估。</p>
<p>3. 本計畫執行迄今的具體成果建議有所交代。</p>	<p>感謝委員的意見，本計畫的期中階段因在進行資料蒐集與暴雨、淹水模式的建置與模擬，因此多為學術理論，期末時會有具體成果。</p>

4. 所得到的成果需否進行驗證到現場的情境？	感謝委員的意見，淹水模式建置時皆可使用歷史淹水事件的水文資料進行檢定驗證。
5. 應考量本項工作欲解決的問題與淹水第三代地圖的差異性，個人以為：現有的防災地圖主要在作為颱風期間的淹水預警，而本計畫所發生的短延時強降雨除了颱風降雨因素外，其他如：低氣壓、對流雨等均可能發生，則兩者考量的因素需否區隔？	感謝委員的意見，因為建置暴雨序率模擬模式需要使用大量的過去降雨事件資料進行時空序率分析，難以在計劃期程內完成所有類型降雨的序率分析，故本計畫先針對颱風降雨進行分析，未來一年會針對梅雨、夏季對流雨(短延時強降雨)進行評估，並以 10 分鐘雨量進行分析，會與使用時雨量分析的第三代淹水潛勢圖有所不同。
6. 本計畫的研究成果如何擴充到全省來運用？	感謝委員的意見，本計畫所使用的暴雨及淹水模擬方法已訂定資料格式、分析流程等，未來可應用到其他縣市，建置各地的暴雨序率模式與快速淹水模式，除能夠進行淹水機率演算外，亦可做其他應用。
7. 有關淹水機率建議以現有的預報模式加以精進後，以淹水機率百分比來表示，並且所呈現的機率宜有一個範圍。	感謝委員的意見，因為模擬場次限制，本計畫先針對與第三代淹水潛勢圖 24 小時公開情境之雨量進行分析評估，分別為 24 小時 200、350、500、650 毫米之淹水機率進行展示，並以特定淹水機率進行色階顏色分級，以區別機率高低。
徐委員誌國	
1. 本計畫持續推動水災風險圖資應用系統研發與精進工作，而水利署在 105-106 分別執行水災風險圖資決策服務建置與應用(1/2)(2/2)，及 107 決策支援技術精進研發，請問 3 項計畫有何實質不同？差異？建議應將本計畫與上述計畫之區別說明，免外界有重複之嫌？	感謝委員的意見，105 至 106 年的計劃為檢討調整水災風險地圖的製作方法，並建置水災潛勢風險圖資平台網站提供基本的查詢檢視功能。107 年計劃則是針對圖資與平台在使用上的問題再進行改進，將水災風險地圖細緻化為村里單位、探討關鍵基礎設施的水災風險度、強化圖資平台的套疊查詢與自動預報功能等。而本年度計畫則是以歷史降雨資料模擬大量符合降雨特性的雨型，再透過快速淹水模式進行淹水模擬評估各地區淹水發生機率，繪製為圖資。與水災風險地圖的製作概念不同，應用方式亦不相同。
2. 本計畫係以暴雨事件分析強降雨中最大尖峰降雨時間，律定後即可模擬地區淹水情形，並計算其淹水機率；但這是歷史暴雨事件之資料分析，而本計畫強調「即時」淹水評	感謝委員的意見，本計畫介接中央氣象局即時降雨預報，並依據預報雨量即時篩選出雨量最接近的第三代水潛勢圖資以及淹水機率圖資，而非進行即時淹水模擬。

估，請問如何在介接氣象局之「預報」降雨後可達到「即時」之淹水成果？故預報非即時，是否運用歷史暴雨資料庫選取類似情境比對後提出淹水機率之建議？	
3. 本計畫各種淹水情境模擬結果，繪製於防災淹水機率圖資及淹水風險程度前建議可至研究區域之地方民眾訪查，驗證模擬結果與歷史淹水範圍、深度之正確性後再進行套繪圖資。	感謝委員的意見，本計畫建置的快速淹水模式有與第三代淹水潛勢圖的模式進行比對，而第三代淹水潛勢圖有進行地方民眾訪查，而且本計畫今年度主要針對颱風雨進行分析評估，但大臺北地區近 10 年較少有颱風淹水事件，因此，明年度計畫會多加分析梅雨以及對流雨，以滿足淹水發生的主要降雨情境，此時會與地方水利單位進行訪查與比對淹水機率正確性。
4. 本計畫完成之防災淹水機率圖資成果係提供水利署防災應變決策支援參考，未來要如何轉化為地方政府(民眾)淹水警戒之疏散撤離之情資，目前水利署之淹水警戒發佈系統，已廣為民眾熟知及接受，這 2 種系統要如何整合或併行，建議納入考量。	感謝委員的意見，現行的淹水警戒系統是以觀測雨量資料為標準判斷警戒通知發布與否，而本計畫產製的淹水機率圖資為考慮過去降雨資料所分析的淹水機率，但降雨的空間、時間分布會與當下水情有所不同，因此較適用於洪災保險分析、以及搭配降雨預報做為未來淹水機率預報，亦可配合淹水警戒告知淹水機率。
楊委員介良	
1. P.4-21 提供歷史淹水模擬時間表，又提到要進行模式的細部調整，是否模擬結果與實際淹水結果有很大的差別？	感謝委員的意見，因仍有小部分區域與實際淹水情形有所出入，為了讓模式能夠更加精確，在進行淹水機率分析前再針對細部進行檢證與調整。
2. 圖 2-5 中有許多點的降雨百分率為 0，與颱風事件的篩選條件有落差，這樣是如何篩選颱風事件的？	感謝委員的意見，颱風事件挑選依據氣象局發布颱風發生時間前後，於測站歷史紀錄挑選累積雨量最大之 24 小時區間。然後再以圖 2-5 的條件進行篩選以排除此類降雨事件，剩下的即是符合本計畫分析條件的颱風降雨事件。
3. 選定研究區域的說明沒有其他區域與大臺北地區的比較，建請再提供更具體的比較說明。	感謝委員的意見，降雨量時空分布序列模擬主要是針對淡水河流域進行分析，包含了臺北市、新北市、基隆市，但因為要進行 2,662 場淹水模擬評估來建置淹水機率資料庫，因此，本年度先針對臺北市、基隆市進行分析評估。
水利規劃試驗所李家彰	

1. 水災潛勢風險圖資應用還是水災風險地圖資，文字請確認。	感謝委員的提醒，本計畫的圖資平台的名稱為水災潛勢風險圖資應用平台，內有收錄淹水潛勢圖與水災風險地圖等圖資。
2. 四類降雨類型雨量篩選方法，報告中有提及颱風雨量之分析方式，然文章閱讀較難理解，建議製表說明，另其餘三種的分析方式為何，請再說明。	感謝委員的意見，依委員意見新增表格說明，包含梅雨、對流雨、颱風雨、鋒面雨(冬雨)，因降雨量時空分布序率模擬分析以及數千場淹水模擬需要時間，因此，本年對先針對颱風雨進行評估，其餘三種降雨預計於後續研究進行。
3. 短延時強降雨的時間分布雨型，可能有兩種型態：一為整場降雨的延時為短延時，雖為強降雨，但因降雨範圍通常不大，故洪災範圍有限；另一種型態為整場降雨為長延時，但其中有一段短延時強降雨，由於降雨範圍大，此種雨型對較大流域會造成洪災威脅。本計畫在上述兩種雨型之空間分布特性分析如何因應。	感謝委員的意見，因為本年度主要針對颱風雨進行分析評估，因此，會有包含颱風事件中間風強降雨，在雨量分析解果中常有時雨量超過 100 毫米的事件發生，但若推測短延時強降雨由對流雨造成，則短延時強降雨特性須經由分析對流雨，並建立模擬產生適當降雨資料，此種水文事件將會在後續研究進行。
4. 本計畫為更符合現況，請持續收集最新工程資料及最新之水文地文資料，建置至模型中。	感謝委員的意見，本計畫有限臺北市政府取較新的水文及地文資料用，並向臺北市政府以及營建署申請雨水下水道資料以建置模式。
5. 請將快速淹水模擬成果與第三代淹水模型之成果進行比較其準確率、演算時間等進行優缺點比較，以說明此模型具代表性。	感謝委員的意見，已於報告增加 2017 年 0602 水災、2018 年 0908 水災歷史淹水事件的模式比較說明，其捕抓率、演算時間較佳，又因其為地表蒐集雨水，因此會反映 DEM 的局部低窪處積水情況。
6. 簡報 P.13，由各測站各時刻降雨特性平均結果，顯示其雨型較為平均化，而淹水潛勢圖是以 Horner 設計雨型水文條件進行評估，其提供方式雖較符合實際，然較不保守，是否可供防災使用。	感謝委員的意見，本計畫係以實際降雨的時空分布特性分析大量模擬降雨情境的淹水發生機率，已有考慮到大量事件造成的不確定性，模擬的雨型中亦有包含降雨集中的情境。且機率圖與淹水潛勢圖的目的較為不同，期望能夠提供較為貼近實際淹水情形的參考資訊。
7. 本計畫除雨量站空間分析外，其水文條件另外影響因素潮位是否有進行評估，以搭配不同機率情形。	感謝委員的意見，本計畫淹水模擬的下游邊界條件是天文潮位資料，沒有另外評估潮位在各情境下的機率分布情形。
8. 第三代淹水潛勢圖評估只有一種降雨情境，本計畫在同一雨量下其雨型有幾種類型，差異為何？	感謝委員的意見，淹水潛勢圖所使用的降雨雨型，是假設在模擬範圍內均降下相同的雨量，但實際的降雨情形會有時間與空間分布的差異。因此本計畫以 24 小時颱風雨的 4 個降雨量情境，分別繁

	<p>行了時空間分布皆不盡相同的 750、750、1000 及 162 場模擬雨型用以進行淹水模擬，因此每場都有各自的降雨雨型，藉此凸顯出研究區域降雨的時空間分布特性，並計算在這種分布下各網格點的淹水發生機率，希望能夠提供較為貼近實際降雨與淹水情形的參考資訊。</p>
<p>9. 機率圖製作完成後，其後續搭配預報雨量如何進行，是否有須觀測幾小時雨量、預報幾小時雨量。</p>	<p>感謝委員的意見，本計畫今年度先針對颱風雨進行分析評估，其雨量分析是針對過去颱風事件進行分析，非定強度或路徑之颱風，因此，先針對颱風雨的 24 小時 ETQPF 預報資料進行應用，若要使用觀測資料與預報資料結合，建議以即時淹水模擬評估使用或對本計畫建置的資料庫進行路徑、強度之人工智慧塞選。</p>
<p>10. 本計畫以 24 小時雨量進行挑選，此挑選方式是否可代表出短延時事件，其機率圖是否有 3、6 小時的圖資。</p>	<p>感謝委員的意見，目前 24 小時時雨量挑選為針對颱風降雨事件，淹水機率圖亦是以颱風降雨序率模式繁衍的 24 小時降雨進行淹水模擬的結果，因此本年度主要針對 24 小時颱風雨為主，後續研究將會針對對流雨降雨型態進行分析就能產生短延時降雨事件的雨型。</p>
<p>水利規劃試驗所莊賢達</p>	
<p>1. P.1-9，表 1-1 之製作背景說明之文字條件應是針對某一縣市之個案，而非所有縣市通用，建議說明清楚。</p>	<p>感謝委員的提醒，已修改相關說明文字。</p>
<p>2. P.1-10 表 1-2，目前國內應用淹水潛勢圖資相關應用研發計畫應非常多，不止表內所列，建議說明清楚。</p>	<p>感謝委員的提醒，已修改相關說明文字。</p>
<p>3. P.1-10 圖 1-6，部分資料漏列或有誤，如第三代時間應為 2014~2016 及情境等，建議可參考「淹水潛勢圖製作手冊」修正。</p>	<p>感謝委員的提醒，圖片內容說明已修正完成。</p>
<p>4. P.5-3 圖 5-2 顯示淹水會侷限在街道上而未溢淹一大片(包含建物及道路)，也就是會呈現出類似街廓(道)效應，建議在報告中說明，本計畫採用臺北市政府 1m×1m DEM，然後作何種假設或處理，使得溢淹水流侷限在道路上而不溢淹入建物內。</p>	<p>感謝委員的意見，本計畫有在淹水模式裡設定將建築物部分區域的水導引到下水道的處理，使淹水情形貼近實際狀況。</p>
<p>5. 報告所述，根據中央氣象局的預報降雨量，本系統可即時展示防災淹</p>	<p>感謝委員的意見，因為選圖只是針對雨量值進行塞選，而非特定路徑、特定時</p>

水機率圖，建議可補充說明當中央氣象局公布預報雨量後，本系統大約多久可完成更新得到最新成果。	空分布的資料庫塞選，因此，只是針對200、350、500、650 毫米之4張籍線圖進行塞選，雨量資料介接後，不會超過5秒。
水文技術組吳一平	
1. 因目前致災包含颱風、梅雨、對流雨、鋒面雨等事件，因不同降雨其特性亦不同，本次期中報告僅對颱風類型去做驗證、分析，於期末部分是否可完成不同類型之驗證。	感謝委員的意見，因全部降雨資料龐大，時空分布特性分析完成後還需要進行模擬雨型的繁衍與淹水模擬，難以在期程內全部完成，因此先以颱風類型降雨進行時空分布特性與淹水機率的分析。
2. 本計畫之圖示，示意不清，如圖 3-3，紅色、藍色之意義？圖 2-3，X=時間？Y=百分比？請檢視。	感謝委員的提醒，已於報告書內補充該圖表的詳細說明。
水利防災中心林呈益	
1. 暴雨事件大資料庫裡面資料會是什麼？就報告內容為測站降雨量時間數列，是什麼資料？有沒有空間分布在內？建請再補充說明。	感謝委員的意見，根據本計畫第二次工作會議的討論結果，暴雨事件資料庫將會提供各測站時雨量，以及 250 公尺網格點之空間推估雨量。
2. 降雨類型之梅雨、對流雨、颱風雨、鋒面雨各特性不同，建請說明，並補充首先選擇颱風雨之原因。為何颱風事件分析的時間為 24 小時，是否有特殊原因？颱風事件降雨強度篩選，所稱 24 小時平均雨量即是降雨強度，而所有發生降雨之測站降雨強度，即視為該場颱風事件之降雨強度，這是分析序率模擬的特定方法嗎？	感謝委員的意見，1.颱風帶來暴雨及強風，若造成淹水情事，則造成人力物力損失可能性較大，因此先行分析颱風暴雨型態。2.氣象局進行颱風預報時，提供未來 24 小時降雨量預測，故以 24 小時為分析時間。3.依委員意見增加說明。
3. 圖 2-5 中，很多時間降雨百分率為 0，這樣與颱風事件篩選條件有落差，颱風事件是如何篩選？	感謝委員的意見，颱風事件挑選依據氣象局發布颱風發生時間前後，於測站歷史紀錄挑選累積雨量最大之 24 小時區間。然後再以圖 2-5 的條件進行篩選以排除此類降雨事件，剩下的即是符合本計畫分析條件的颱風降雨事件。
4. 選定研究區域的說明並無針對其他區域與大臺北地區之比較，建請再具體比較並說明。	感謝委員的意見，因為水文時空分布序模擬會針對各地區之水文特性進行分析，因此不同區域會有不同特性，而地貌、水工構造物不同區域亦不同，會在水理模式中展現其差異性，以台北市與基隆市之差異來說明，台北市主要依據下水道來排水，淹水原因多為時雨量過大，而基隆市可分為山區以及港灣區域，

	山區主要淹水是因為 1-3 小時累積雨量過大造成中游支流排水不急的淹水，港區域為時雨量過大下水道排水不急，以及 1-3 小時區域排水水位過高排水不急之淹水。
5. 第參章測站時雨量降雨延時之機率分布，其內容、表格、圖所彙整的資料(如平均值、標準差、偏態係數、頻度圖)目的為何？建請再詳加說明。	感謝委員的意見，測站時雨量降雨延時機率分布的說明，是想由測站平均值、標準差、尖峰降雨發生檢視各測站降雨特性，讓後續模擬繁衍的雨量能夠與原先測站降雨特性相符。
6. 第參章序率模擬模式結果統計量，標準常態分佈與頻率因子之分析平均值、標準差、偏態係數之標準不同，建請再補充說明。	感謝委員的意見，頻率因子平均值及標準差呈現標準已改為同一尺度。後續雨量平均及標準差因資料範圍，須將標準差範圍調整較小以呈現變異情形。
7. 本計畫淹水模式檢定驗證方法，建請再補充說明。	感謝委員的意見，已於報告內淹水模式建置的部分補充模式驗證的結果與說明。
8. 淹水機率要由幾場降雨來決定，才具有代表性。	感謝委員的意見，本計畫在模擬雨型的分析與繁衍時，有篩選符合歷史颱風降雨時空分布特性且不同降雨量的模擬雨型進行後續的淹水分析。因此本計畫所模擬的 2,000 多場降雨應該可以充分表現出研究區域的颱風降雨時空分布特性，其淹水模擬結果亦然。
9. 計畫內容中，”記錄”應調整為”紀錄”。	感謝委員的提醒，已經誤字的部分修正完畢。
10. 82000 場降雨如何選用來做淹水模擬？還是說全部都跑，時間上來得及嗎？	感謝委員的意見，本計畫最後產製符合北北基地區降雨特性的雨型 2,662 場，並完成淹水模擬與淹水機率分析。
11. 建議後續所有降雨事件拿來進入二維淹水模擬結果也建立資料庫，俾利 AI 訓練應用。	感謝委員的意見，水文分息以及淹水模擬結果的資料都會留下來，後續如有需要，可供 AI 訓練應用。
主席結論	
1. 關於颱風降雨分析的部分，請補充不同類型降雨的分析方法說明，再陳述先以颱風降雨分析的理由。	感謝委員的意見，已於報告內補充不同類型降雨分析方法的說明。
2. 暴雨序率模擬繁衍出來的資料為本計劃的重要成果，請留存下來，可以進行後續的應用。	感謝委員的意見，暴雨序率模擬的降雨資料會予以保留，以供後續使用。
3. 快速淹水模式的檢定驗證做得再完整一點，另外淹水模擬區域請團隊再評估進行新北市模擬的困難點能否克服。	感謝委員的意見，檢定驗證已經在報告中補充，新北市區域過於遼闊，在近年的期程中較難完成，因此，先以臺北市以及基隆市進行。

<p>4. 本計畫的成果未來將投入實際應用，主要可分為兩個層面，一是可以提出淹水潛勢模擬的創新方法，二是即時防災情資產製的運用，其運用與呈現方式可以再探討。</p>	<p>感謝委員的意見，已經在第二次工作會議進行討論。</p>
<p>5. 期中審查原則通過，請團隊依照委員意見進行計劃工作調整與修正。</p>	<p>感謝委員的意見，已經依照委員意見進行計劃工作調整與修正。</p>

附件四、第二次工作會議紀錄

防災淹水機率圖資產製及應用服務系統精進

第二次工作會議紀錄

- 壹、 時間：中華民國 108 年 8 月 30 日(星期五)上午 10 時 0 分
- 貳、 地點：本署台北辦公區第三會議室
- 參、 主持人：郭主任純伶
紀錄：林呈益
- 肆、 出(列)席單位及人員：(詳簽名冊)
- 伍、 主席致詞：(略)
- 陸、 業務單位報告：(略)
- 柒、 執行單位簡報說明：(略)
- 捌、 討論事項：
- 一、暴雨事件大數據資料庫的資料格式為何？如何提供參考應用？提請討論。
 - 二、計畫採用之淹水模擬模式檢定驗證方法，提請討論。
 - 三、淹水機率圖資情境設定及應用層面(颱風雨型之不同降雨量)，提請討論。
- 玖、 決議
- 一、暴雨時空分布序率模式共模擬繁衍出 83,000 場暴雨事件，相關雨量資料請以單站及 250 公尺網格之格式提供參考使用。
 - 二、有關淹水模式檢定驗證請增加長延時降雨事件；另營建署即將完成雨水下水道普查，請防災中心洽該署取得本計畫研究範圍之相關資料，以利淹水模式基本資料補充建置。
 - 三、淹水機率圖資情境選用 200、350、500、650 毫米等情境原則可行，惟需要演算多少場次之淹水結果產製機率圖才具統計特性，再請團隊研究評估。
- 壹拾、 散會

「防災淹水機率圖資產製及應用服務系統精進」
第二次工作會議出席人員簽名冊

主辦單位：水利防災中心

時間	108年8月30日 上午10時0分		地點	北辦第3會議室
主持人	郭主任純伶		紀錄	林呈益 
出席人員				
機關 (單位)	職稱	簽名 (請以正楷書寫，以利辨識)	備註	
1	水利規劃試驗所			
2				
3				
4	本署水文技術組			
5				
6	本署水利防災中心			
7				
8				
9				
10				

11	國立臺灣大學	主持人	信倉 崇	
12			鄭克 榮	
13			王 嘉 弘	
14			王 榮 穎	
15			楊松 勳	
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				

附件五、期末報告書審查會議紀錄

「防災淹水機率圖資產製及應用服務系統精進」 委託服務計畫期末審查會議紀錄

- 壹、時間：中華民國108年11月18日(星期一)下午3時0分
- 貳、地點：本署台北辦公區第三會議室
- 參、主持人：張副總工程司國強(林主任益生代) 紀錄：林呈益
- 肆、出(列)席單位及人員：(詳簽名冊)
- 伍、主席致詞：(略)
- 陸、業務單位報告：(略)
- 柒、執行單位簡報說明：(略)
- 捌、審查委員及相關單位意見：

一、林委員連山：

- (一)本計畫採用 CADDIES 快速漫地流模式來演算淹水機率，模式的準確率、捕捉率及耗時等均較第三代淹水潛勢圖所使用的 SOBEK 模式更為精準，由於 SOBEK 乃廣被使用的模式，則本模式較 SOBEK 模式更佳的緣由？相關參數的採用之差別情況？是否將來的淹水模式均建議由本項模式來取代其他模式？
- (二)超過24小時降雨延時的颱風事件，如何選取24小時的降雨資料？
- (三)由於本計畫共選用北部地區30個雨量站來分析，則在演算臺北市文山區或基隆地區的漫地流時將依何種標準來選用雨量站？或全部30個雨量站均被選取？
- (四)本計畫僅辦理颱風模擬，另有關梅雨及對流雨的演算成果如何呈現？

(五)本計畫所得成果主要乃作為洪災保險使用，惟台灣現階段對於洪災保險的作法尚屬初步，則如何擴大本計畫的適用範圍？

二、許委員文科：

(一)本計畫針對臺灣地區主要的四種降雨型態中，先以颱風降雨事件為研究標的，研究採用歷史颱風降雨的觀測資料(83場次)，建立各測站間的時空關聯性，進而模擬出83,000個場次的颱風降雨事件，包含不同時序的降雨量分布，作為淹水機率的分析基礎。因台灣地形的影響，颱風事件降雨的時序空間分布與颱風的路徑有很大的關係，計畫所採用的歷史颱風路徑分布為何(各類路徑的比例)？本研究有無依颱風路徑建立各自的時空降雨關聯性？如沒考量，其對模擬出的模擬事件是否有影響？

(二)目前淹水機率的計算為抽樣出不同降雨量(如350 mm, 275~425mm)的推衍降雨事件，再以抽樣出的降雨事件以淹水模式計算各網格可能淹水情形，再統計各網格發生淹水的機率，但是每一組的統計樣本中，雨量差距可能高達150mm，其中各細分組的機率是否一致？各分組中分為6個細分組(如275-300、300-325、....)，雖樣本數較少，但可否略分析各細分組的淹水機率，以檢視以一分組作為淹水機率計算依據的合理性。

(三)目前淹水模式模擬結果與水利署現建立 SOBEK 的模式分析結果，本計畫採用的方法，不論模擬效率和捕捉率等均較佳，其使用基本資料是否一致？或採用方法的基本資料有精進，但 SOBEK 部分未有？建議在報告略作說明。

(四)圖3-12為降雨模擬方法的核心，建議可再詳細依流程圖舉例說明作法。

(五)所得的淹水機率圖，以較低降雨量(如200mm)的70%以上機率區域，一般會解讀成高淹水潛勢區，其與近年的淹水區位相符度？建議可作套疊圖，略作說明。

(六)圖資平台上的淹水機率圖目前僅為颱風降雨，建議平台分頁標題上括號加註(颱風)，如圖6-5。

(七)4.3節為工作項目之一”以歷史事件模擬結果分析淹水深度之時空分布”，目前內容呈現為最終的淹水深度空間分布，較沒呈現時間的影響，建議可適當呈現各歷史事件模擬所得不同時序淹水範圍與深度的發展，以呼應工作項目的目標。

(八)P3-45 日降雨200、350mm 各挑750場次，500mm 挑1,000場次，500mm 場次數不同，請於文中說明原因？挑選數量的決定因素(分析時間)？有無統計抽樣上的依據？對結果的敏感度分析？

(九)完成的淹水機率圖如何解讀與實務上使用，建議可再說明，以免解讀錯誤與誤用。

(十)表3-8建議註明歷史紀錄的統計時段。

(十一)圖3-23至圖3-38是否為一示範事件的模擬結果？如是，請於文中說明。

(十二)P3-47 本文說明為126mm，圖標題為129mm，請確認。

(十三)表3-3是否為平均值？如是，請加註說明。

(十四)錯別字修正：

1.P.2-2最後一段倒數第二行”水利署雨”應為”與”的錯別字。

2. P.3-18、P.3-47中的”分部”應為”分布”的錯別字。

三、林委員益生

- (一)本計畫使用的快速淹水模式與 SOBEK 模式若將來使用在非都市地區會有怎樣的差異？
- (二)報告中使用歷史淹水事件的災情調查資料與模式結果進行比較，但年代較早的淹水災情精度，是否適宜作為淹水模式驗證，請再檢視。
- (三)計畫團隊提及未來希望能朝向即時模擬的方向發展，因此想請問本計畫的快速淹水模式在使用上的前置資料準備時間需要多長？
- (四)請再補充說明本計畫系統平台目前的運用情形，或是未來計畫結束後如何移轉。

四、水利規劃試驗所 李副工程司家彰

- (一)P.摘-1，文字內容水災整治並非淹水潛勢圖資之目的，請修正。
- (二)請補充更詳細之摘要內容。
- (三)檢定驗證應與實際淹水調查情形作比對，非以 SOBEK 模擬作比對，因本計畫建模之基本資料大致以原 SOBEK 數值模型資料作轉換，且可能有將最新之下水道資料建入模式中，基礎可能已有不同，因此比對 SOBEK 可能會失真。
- (四)計畫以淹水15cm 作為淹水機率，是否可再以不同深度之級距更細緻分類出各網格可能水深影響之機率；另第三代淹水潛勢圖係以淹水30cm 以上才呈現淹水深，且網格有不同深淺程度，在本計畫如何與之搭配使用？
- (五)挑選降雨事件有83,000場，在雨量級距隨機挑選750~1,000

場件，其挑選機制為何？如每次重新挑選750~1,000場，其趨勢是否相同？

- (六)計畫中顯現15cm之淹水機率，可知發生淹水之可能性，惟其危害程度為何？建議可再搭配淹水深淺或災損程度，防災應變人員會更了解急需應變之位置。

五、本署水利防災中心 林副工程司呈益

- (一)摘要內容請再補充具體成果。
- (二)研究區域擇定，請再補充具體的比較說明。
- (三)P.3-45暴雨事件挑選中，在200mm及350mm兩組模擬降雨事件較多，各挑選出750場事件；然而，500mm這組模擬事件較前開2組模擬事件少，為何挑選1,000場事件，進行後續分析。
- (四)表3-8中，歷史降雨事件次數並無顯示雨量越大區間的事件發生次數會越多，但是模擬事件次數卻是雨量由小至大，次數是由大而小，是否有什麼原因？
- (五)圖4-20、21增加圖例說明。表4-3中2015年0614豪雨大安區淹水模擬比較，快速淹水模式準確率5.1%，而捕捉率卻達77.2%；另表4-7中2017年0602水災大安區淹水模擬比較，快速淹水模式準確率10%，而捕捉率亦達67.3%；表4-9亦有相同的情形，建議再檢視。
- (六)5.3節內容說明係針對易積淹水區域，惟計畫重點淹水機率的描述較少，建議再補充說明。
- (七)透過降雨量時空分布序率模擬模式繁衍出83,000場次，建議於結論中補充；這些資料相當寶貴，後續如何提供使用者應用？

(八)結論4完成2,662場事件淹水模擬結果資料庫，可供後續使用，放在哪邊使用？如何使用？

玖、 結論：

本次期末報告審查原則通過，請執行團隊參酌各委員及與會單位代表意見修正，並將回應處理情形對照表納入成果報告內。

拾、 散會

「防災淹水機率圖資產製及應用服務系統精進」
委託服務計畫期末審查會議出席人員簽名冊

主辦單位：水利防災中心

時間	108年11月18日下午3時	地點	北辦第3會議室
主持人	張副總工程司國強 林益生	紀錄	林呈益 林呈益
出席人員			
機關 (單位)	職稱	簽名 (請以正楷書寫，以利辨識)	備註
1	林委員連山	林連山	
2	施委員進村		請假
3	羅委員俊昇		請假
4	許委員文科	許文科	
5	徐委員誌國		請假
6	林委員益生	林益生	
7	楊委員介良		請假
8			
9			
10			

11	科技部			
12				
13	國家災害防救 科技中心			
14				
15	水利規劃試驗所	副工	李象彰	
16				
17	本署 水利防災中心			
18			林昱益	
19			黃勁勳	
20	國立臺灣大學		洪信子	
21			鄭堯志	
22			王嘉和	何若維
23			譚穎	

附件六、期末報告書審查意見回覆

「防災淹水機率圖資產製及應用服務系統精進」

期末審查會議紀錄

壹、時間：108 年 11 月 18 日(星期一)下午 3 時 0 分

貳、地點：本署臺北辦公區第 3 會議室

參、主持人：張副總工程司國強(林主任益生代) 紀錄：林呈益

審查意見	意見回覆
林委員連山	
1. 本計畫採用 CADDIES 快速漫地流模式來演算淹水機率，模式的準確率、捕捉率及耗時等均較第三代淹水潛勢圖所使用的 SOBEK 模式更為精準，由於 SOBEK 乃廣被使用的模式，則本模式較 SOBEK 模式更佳的緣由？相關參數的採用之差別情況？是否將來的淹水模式均建議由本項模式來取代其他模式？	感謝委員的意見，本計畫使用的快速淹水模式係近年所發展的淹水模式，運用細胞自動機的概念進行水理演算，搭配近年大幅提升的電腦運算速度，可以在短時間內達成有相當準確性的淹水模擬運算，因此相對於 SOBEK 模式是較具有演算時間上的優勢；本計畫所採用的地文及水文參數皆是最新的測量與觀測資料，這部分與 SOBEK 模式建置當時的資料亦有些差別；不同的淹水模式皆有其適用的情形與特長，建議先進行各模是優缺點比較，再針對需求來挑選適合的淹水模式進行模擬分析才能達到最好的效果。
2. 超過 24 小時降雨延時的颱風事件，如何選取 24 小時的降雨資料？	感謝委員的意見，超過 24 小時降雨延時的颱風事件，選取累積雨量最大時間範圍為颱風降雨事件，即選取降雨量最大的 24 小時進行分析。
3. 由於本計畫共選用北部地區 30 個雨量站來分析，則在演算臺北市文山區或基隆地區的漫地流時將依何種標準來選用雨量站？或全部 30 個雨量站均被選取？	感謝委員的意見，本計畫的降雨分析是一次分析整個北北基地區的降雨時空間分布特性，並經由克利金分析產製降雨空間分布，擷取臺北市與基隆市地區的降雨空間網格資料輸入淹水模擬的網格中，而不是使用雨量站降雨資料輸入模式中。
4. 本計畫僅辦理颱風模擬，另有關梅雨及對流雨的演算成果如何呈現？	感謝委員的意見，本計畫因時間限制，以及分析雨量資料龐大等因素，僅對颱風類型降雨進行時空間特性分析與序率暴雨模式的建置，梅雨及對流雨預計於明年度進行分析。
5. 本計畫所得成果主要乃作為洪災保險使用，惟臺灣現階段對於洪災保險的作法尚屬初步，則如何擴大本	感謝委員的意見，本計畫主要目的是在於研析淹水機率圖資的製作理論與方法，以及暴雨序率模式產製的大量模擬

計畫的適用範圍？	降雨事件及淹水模擬結果，淹水機率圖與這些資料可以提供水利署做為防汛規劃的參考以及後續研究或應用所使用。
許委員文科	
1. 本計畫針對臺灣地區主要的四種降雨型態中，先以颱風降雨事件為研究標的，研究採用歷史颱風降雨的觀測資料(83 場次)，建立各測站間的時空關聯性，進而模擬出 83,000 個場次的颱風降雨事件，包含不同時序的降雨量分布，作為淹水機率的分析基礎。因臺灣地形的影響，颱風事件降雨的時序空間分布與颱風的路徑有很大的關係，計畫所採用的歷史颱風路徑分布為何(各類路徑的比例)？本研究有無依颱風路徑建立各自的時空降雨關聯性？如沒考量，其對模擬出的模擬事件是否有影響？	感謝委員的意見，本計畫在選取分析事件時，考量颱風雨於研究區域上，時間及空間紀錄是否完整，即超過整體的 2/3 測站且超過 2/3 的時間有發生降雨，經選取颱風事件主要影響範圍為臺灣北部，而偏南的颱風路徑造成降雨時間或空間紀錄完整性不足，這些事件並非本計畫降雨時空分析的目標，會從分析事件中被剔除，因此尚未針對颱風路徑進行塞選，但各場次資料均由保存，可從資料庫中再次依據颱風特性、路徑進行塞選。
2. 目前淹水機率的計算為抽樣出不同降雨量(如 350 mm, 275~425mm)的推衍降雨事件，再以抽樣出的降雨事件以淹水模式計算各網格可能淹水情形，再統計各網格發生淹水的機率，但是每一組的統計樣本中，雨量差距可能高達 150mm，其中各細分組的機率是否一致？各分組中分為 6 個細分組(如 275-300、300-325、…)，雖樣本數較少，但可否略分析各細分組的淹水機率，以檢視以一分組作為淹水機率計算依據的合理性。	感謝委員的意見，本計畫在各組進行抽樣時，各細分組的抽樣數有考慮整體模擬降雨事件的比例進行分配，能夠確保樣本具有恰當的代表性；而各細分組的淹水機率特行均有保留，因此可以再將 2,662 組淹水模擬的結果依照細分組進行整理與統計分析，後續若統計完成後會再提供。
3. 目前淹水模式模擬結果與水利署現建立 SOBEK 的模式分析結果，本計畫採用的方法，不論模擬效率和捕捉率等均較佳，其使用基本資料是否一致？或採用方法的基本資料有精進，但 SOBEK 部分未有？建議在報告略作說明。	感謝委員的意見，本計畫淹水模擬所使用的資料是最新蒐集的資料並參考 SOBEK 設置資料，而 SOBEK 成果為民國 106 年所產製，因此本計畫有較好的成效，如報告 P.4-23 描述。
4. 圖 3-12 為降雨模擬方法的核心，建議可再詳細依流程圖舉例說明作法。	感謝委員的意見，已針對該流程圖補充較詳細的說明，詳見 2.1.2 節與 3.4 至 3.5 節。
5. 所得的淹水機率圖，以較低降雨量(如 200mm)的 70%以上機率區域，	感謝委員的意見，本計畫的淹水機率圖是以颱風雨進行繪製，但近年臺北市與

<p>一般會解讀成高淹水潛勢區，其與近年的淹水區位相符度？建議可作套疊圖，略作說明。</p>	<p>基隆市的淹水多為夏季對流雨或是梅雨，因此較難比對，後續若有進行梅雨及對流雨將會進行比對說明。</p>
<p>6. 圖資平台上的淹水機率圖目前僅為颱風降雨，建議平台分頁標題上括號加註(颱風)，如圖 6-5。</p>	<p>感謝委員的意見，平台頁面上會進行加註說明。</p>
<p>7. 4.3 節為工作項目之一”以歷史事件模擬結果分析淹水深度之時空分布”，目前內容呈現為最終的淹水深度空間分布，較沒呈現時間的影響，建議可適當呈現各歷史事件模擬所得不同時序淹水範圍與深度的發展，以呼應工作項目的目標。</p>	<p>感謝委員的意見，因為淹水時序圖為每 10 分鐘一張圖資，若要放置於紙本報告上，篇幅會相當多，因此，以 2019 年 0722 大安森林公園為例，如圖 4-33 所示，其資料均有保留，後續若有需要，均可以提供。</p>
<p>8. P3-45 日降雨 200、350mm 各挑 750 場次，500mm 挑 1,000 場次，500mm 場次數不同，請於文中說明原因？挑選數量的決定因素(分析時間)？有無統計抽樣上的依據？對結果的敏感度分析？</p>	<p>感謝委員的意見，因不同降雨量情境分組會各別進行分析，因此場數選取的主要標準是選擇足夠多場次，並且能夠在計畫期程裡完成淹水模擬與機率統計，因此 200 與 350mm 情境各選擇 750 場降雨事件，而 500mm 情境降雨量較容易造成淹水災害，為能夠充分分析淹水機率分佈情形，因此選擇 1,000 場進行淹水模擬。</p>
<p>9. 完成的淹水機率圖如何解讀與實務上使用，建議可再說明，以免解讀錯誤與誤用。</p>	<p>感謝委員的意見，颱風淹水機率圖是利用過去實際發生過的颱風雨進行繁衍與模擬產製而成，因此，此淹水機率圖可以配合颱風降雨預報，選找相似 24 小時雨量下的淹水機率圖，並從圖中得知可能發生的淹水位置與其機率。</p>
<p>10. 表 3-8 建議註明歷史紀錄的統計時段。</p>	<p>感謝委員的意見，已在該表格增加相關說明。</p>
<p>11. 圖 3-23 至圖 3-38 是否為一示範事件的模擬結果？如是，請於文中說明。</p>	<p>感謝委員的意見，圖 3-22 至圖 3-37 是從 83,000 場模擬降雨事件中，4 個降雨情境分組裡隨機各挑選一場事件的雨量時空分布模擬結果。</p>
<p>12. P3-47 本文說明為 126mm，圖標題為 129mm，請確認。</p>	<p>感謝委員的指正，誤字已經修正。</p>
<p>13. 表 3-3 是否為平均值？如是，請加註說明。</p>	<p>感謝委員的意見，該表格的延時、總雨量與事件間距時間皆是各區域的平均值。</p>
<p>14. 錯別字修正： (1) P.2-2 最後一段倒數第二行”水利署雨”應為”與”的錯別字。 (2) P.3-18、P.3-47 中的”分部”應為”</p>	<p>感謝委員的指正，錯別字皆已修正完畢。</p>

分布”的錯別字。	
林委員益生	
1. 本計畫使用的快速淹水模式與 SOBEK 模式若將來使用在非都市地區會有怎樣的差異？	感謝委員的意見，本計畫的快速淹水模式若使用於非都會區，更能顯示局部低窪處的積淹水情況，因為 SOBEK 假設特定集水區降雨會完全排入水路或下水道，若超過水路或下水道的排水能力產生溢流才會開始淹水，但實際狀況下，降雨是經由二維地表漫地流流經排水設施再進入水路或下水道，當降雨流經局部低窪處的積淹水 SOBEK 無法反映。
2. 報告中使用歷史淹水事件的災情調查資料與模式結果進行比較，但年代較早的淹水災情精度，是否適宜作為淹水模式驗證，請再檢視。	感謝委員的意見，本計畫的歷史淹水事件比較已有盡量挑選近 5 年左右的淹水事件做為比較對象，並補充 2019 年 0722 豪雨的淹水事件模擬比較結果。
3. 計畫團隊提及未來希望能朝向即時模擬的方向發展，因此想請問本計畫的快速淹水模式在使用上的前置資料準備時間需要多長？	感謝委員的意見，若要進行即時淹水模擬，僅需要取得預報降雨資料即可輸入模式進行模擬，前置預報降雨資料約在 10 分鐘內可以完成資料轉檔並進行模擬。
4. 請再補充說明本計畫系統平台目前的運用情形，或是未來計畫結束後如何移轉。	感謝委員的意見，已補充相關說明於平台的介紹章節裡，後續會將系統平台相關資料、程式碼等移交資訊室。
水利規劃試驗所李副工程司家彰	
1. P.摘-1,文字內容水災整治並非淹水潛勢圖資之目的，請修正。	感謝委員的意見，已調整相關敘述。
2. 請補充更詳細之摘要內容。	感謝委員的意見，已在摘要補充計畫主要成果的相關說明。
3. 檢定驗證應與實際淹水調查情形作比對，非以 SOBEK 模擬作比對，因本計畫建模之基本資料大致以原 SOBEK 數值模型資料作轉換，且可能有將最新之下水道資料建入模式中，基礎可能已有不同，因此比對 SOBEK 可能會失真。	感謝委員的意見，檢定驗證部分有與實際淹水情形進行比對，與 SOBEK 比較部份係採納期中報告書審查委員之建議比對兩模式的差異，成果報告書會刪除歷史淹水模擬的 SOBEK 比較部份。
4. 計畫以淹水 15cm 作為淹水機率，是否可再以不同深度之級距更細緻分類出各網格可能水深影響之機率；另第三代淹水潛勢圖係以淹水 30cm 以上才呈現淹水深，且網格有不同深淺程度，在本計畫如何與之搭配使用？	感謝委員的意見，本計畫原本亦是以 30 公分積淹水深度作為淹水機率圖門檻，但因為淡水河流域近 15 年來較少因為颱風雨而淹水，而模式模擬結果亦是如此，因此若以 30 公分為門檻，淹水區域相當的小，故改用 15 公分為門檻，較能呈現易積淹水區域；本計畫 2,662 場的淹水模擬結果資料都有留存，若有需要

	可以使用不同淹水深度做為門檻值計算淹水發生機率並製圖。
5. 挑選降雨事件有 83,000 場，在雨量級距隨機挑選 750~1,000 場事件，其挑選機制為何？如每次重新挑選 750~1,000 場，其趨勢是否相同？	感謝委員的意見，各組挑選 750~1,000 事件係考量淹水模擬所需要的時間，且考慮雨量較大的情境容易造成淹水，因此模擬較多場次數以便呈現淹水的特性；各組內的模擬降雨事件挑選，會依照降雨量分布的比例進行隨機挑選；若是重新隨機挑選 750~1,000 場事件出來，仍會符合相同的降雨時空間分布特性。
6. 計畫中顯現 15cm 之淹水機率，可知發生淹水之可能性，惟其危害程度為何？建議可再搭配淹水深淺或災損程度，防災應變人員會更了解急需應變之位置。	感謝委員的意見，本計畫主要目的是在於使用暴雨時空序率分析的模擬雨型，求取盡可能接近實際降雨情形的淹水發生機率，分析危害的發生可能性。至於發生淹水的危害與災損程度，則需要借助其他資訊進行搭配，再提供給防災應變人員使用，此部分算是後續的運用方法，本計畫僅能提供建議供署方參考評估；而本計畫 2,662 場的淹水模擬結果資料都有留存，若有需要可以使用不同淹水深度做為門檻值計算淹水發生機率並製圖。。
本署水利防災中心林副工程司呈益	
1. 摘要內容請再補充具體成果。	感謝委員的意見，已將計畫主要成果說明補充至摘要中。
2. 研究區域擇定，請再補充具體的比較說明。	感謝委員的意見，因淡水河流域雨量站密度最高，且記錄較為完善有利於後續降雨時間、空間資料分析與繁衍，並且臺北市雨水下水道資料最為齊全，面積合適進行數千場淹水模擬評估測試，因此，此研究區域適合現階段模式測試使用，今年度測試完成訂定 SOP 後可用於其他大範圍縣市使用。
3. P.3-45 暴雨事件挑選中，在 200mm 及 350mm 兩組模擬降雨事件較多，各挑選出 750 場事件；然而，500mm 這組模擬事件較前開 2 組模擬事件少，為何挑選 1,000 場事件，進行後續分析。	感謝委員的意見，500mm 降雨情境所選擇的模擬事件比較多的原因是考量到雨量較大的情境會比較容易造成淹水發生，為能夠充分模擬到各種降雨情形的淹水分布，因此選用較多的場次。
4. 表 3-8 中，歷史降雨事件次數並無顯示雨量越大區間的事件發生次數會越多，但是模擬事件次數卻是雨	感謝委員的意見，表 3-8 是根據圖 3-21 紅線模擬值所得，由於歷史事件頻度與模擬事件相似，歷史事件場次為 83 場，

<p>量由小至大，次數是由大而小，是否有什麼原因？</p>	<p>各降雨量頻度可能略有差異，但大致上仍與模擬事件頻度相符，模擬事件次數卻是雨量由小至大，次數是由大而小均屬巧合。</p>
<p>5. 圖 4-20、21 增加圖例說明。表 4-3 中 2015 年 0614 豪雨大安區淹水模擬比較，快速淹水模式準確率 5.1%，而捕捉率卻達 77.2%；另表 4-7 中 2017 年 0602 水災大安區淹水模擬比較，快速淹水模式準確率 10%，而捕捉率亦達 67.3%；表 4-9 亦有相同的情形，建請再檢視。</p>	<p>感謝委員的意見，準確率為評估區域內有多少區域評估正確，而捕捉率為觀察淹水區域內有多少評估正確，當淹水調查區域外有模擬出淹水情況，準確率就會降低，但捕捉率不變，因此，當在非淹水區域淹水高估時，就會造成此捕捉率高，準確率低的情況；但在實際淹水範圍很小的時候，容易因為淹水模擬解果有稍微高估，造成準確率降低的情況，此時使用捕捉率一起對照的效果就相對重要。</p>
<p>6. 5.3 節內容說明係針對易積淹水區域，惟計畫重點淹水機率的描述較少，建議再補充說明。</p>	<p>感謝委員的意見，已於報告書中補充關於淹水區域機率描述的說明。</p>
<p>7. 透過降雨量時空分布序率模擬模式繁衍出 83,000 場次，建議於結論中補充；這些資料相當寶貴，後續如何提供使用者應用？</p>	<p>感謝委員的意見，已於報告書中補充說明；繁衍出 83,000 場次降雨空間分布以及 2,663 場淹水模擬資料將會依據雨量進行資料夾分類並以實體硬碟或雲端空間方式提供。</p>
<p>8. 結論 4 完成 2,662 場事件淹水模擬結果資料庫，可供後續使用，放在哪邊使用？如何使用？</p>	<p>感謝委員的意見，本計畫模擬的 2,662 場降雨事件淹水模擬結果資料都有留存，並已經存儲於 google 雲端空間，將會與計畫成果報告一併繳交，此 2,662 場淹水結果可供 AI 淹水評估之資料庫使用。</p>
<p>主席結論</p>	
<p>1. 本次期末報告審查原則通過，請執行團隊參酌各委員及與會單位代表意見修正，並將回應處理情形對照表納入成果報告內。</p>	<p>感謝委員的意見，將遵照辦理修正報告書內容。</p>

國家圖書館出版品預行編目資料 CIP

防災淹水機率圖資產製及應用服務系統精進 / 國立臺灣大學編著. -- 初版. -- 臺北市：經濟部水利署，2019.12

面；公分

ISBN 978-986-5442-33-0(平裝)

1. 防洪 2. 災害應變計畫 3. 自動化

443.6

108019808

防災淹水機率圖資產製及應用服務系統精進

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：國立臺灣大學

出版年月：2019 年 12 月

版次：初版

定價：新台幣 250 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：1010802118

ISBN：978-986-5442-33-0

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

臺北辦公區(出版)

地址：臺北市信義路三段 41 之 3 號 9-12 樓

網址：<http://www.wra.gov.tw>

總機：(02)37073000

傳真：(02)37073166

免費服務專線：0800212239

臺中辦公區

地址：臺中市黎明路二段 501 號

總機：(04)22501250

傳真：(04)22501628

免費服務專線：0800001250

ISBN 978-986-5442-33-0

GPN：1010802118

定價：新臺幣 250 元