

臺中市政府 106 年度市政發展研究論文獎助計畫

論文節錄重點

地區淹水特性與水災調適策略探討-以臺中市為例

The Characteristics of Flood and Adaptation Strategic
-A Case Study on Taichung County

研 究 生：鄭 得 權

指導教授：張 學 聖

學校：國立成功大學

系所：都市計劃學系

中 華 民 國 一 〇 六 年 八 月

摘要

全球氣候變遷造成極端氣候使得水災頻率與強度增加，以及危險地區水災風險大幅提升。在歷經重大水災事件後，各國逐漸意識面對水災的危害應同時考量工程與非工程方法。為因應淹水特性差異，研提各類水災特性調適策略基礎。本研究以實際歷史淹水資料為基礎，分類不同淹水型態與轉變情形。

研究成果中，「淹水增加型」主要位於都市發展程度較高地區，建議增加地區滯洪、入滲、逕流分擔與再利用管理，並納入空間規劃與管理過程；「淹水趨緩型」在短期工程減災獲得一定保護標準的改善，建議持續加強該地區居民自主水災的調適能力；「持續中淹水型」以零星淹水範圍為主，建議以輔助性逕流降低為原則。期望藉由本研究成果，了解臺中市淹水空間演變特性，並作為水災調適策略研擬依據。

關鍵字：氣候變遷、水災調適策略、歷史淹水特性分類

目 錄

第一章 前言	1
第一節 研究動機與目的	1
第二章 文獻探討	4
第一節 水災與土地使用	4
第二節 水災的時空尺度	4
第三節 水災調適	5
第三節 文獻回顧總結	7
第三章 研究設計	8
第一節 研究架構與範圍界定	8
第二節 歷史淹水特性地區分類	10
第四章 實證分析及研究發現	15
第一節 驗證地區概述	15
第二節 淹水空間分布特性	17
第三節 淹水型態與調適策略	20
第五章 結論與建議	33
第一節 結論	33
第二節 建議	34
參考文獻	35

圖 目 錄

圖 3-1 研究架構圖.....	9
圖 3-2 時間尺度空間分析之操作流程圖.....	10
圖 3-3 時期切分後空間變動情形示意.....	13
圖 4-1 臺中市 2001-2016 重大淹水事件各村里累積淹水次數圖	16
圖 4-2 各事件全域空間自相關指標折線圖.....	18
圖 4-3 局部空間自相關分析結果圖.....	19
圖 4-4 臺中市間尺度空間分析分類圖.....	20
圖 4-5 淹水增加 II 型象限變化圖.....	21
圖 4-6 淹水增加型空間分布與現行都市計畫範圍圖.....	22
圖 4-7 淹水增加型之 24 小時累積雨量達 450 毫米淹水潛勢圖	22
圖 4-8 淹水趨緩 II 型象限變化圖.....	24
圖 4-9 淹水趨緩型空間分布與現行都市計畫範圍.....	25
圖 4-10 淹水趨緩型之 24 小時累積雨量達 450 毫米淹水潛勢圖	25
圖 4-11 淹水微幅趨緩型(HH-LL)第二類象限變化圖.....	27
圖 4-12 淹水可能趨緩型空間分布與現行都市計畫範圍.....	28
圖 4-13 淹水可能趨緩型之 24 小時累積雨量達 450 毫米淹水潛勢圖	28
圖 4-14 持續中淹水型象限變化圖.....	30
圖 4-15 持續中水型空間分布與現行都市計畫範圍圖.....	31
圖 4-16 持續中水型之 24 小時累積雨量達 450 毫米淹水潛勢圖	31

表 目 錄

表 3-1 空間聚集情形與對應象限意義.....	12
表 3-2 淹水變動空間型態意義.....	14
表 4-1 臺中市 2001-2016 重大淹水事件概況	16
表 4-2 各事件全域空間自相關指標分析結果.....	18
表 4-3 淹水增加型概述.....	21
表 4-4 淹水趨緩型概述.....	24
表 4-5 淹水可能趨緩型概述.....	27
表 4-6 持續中淹水型概述.....	30
表 4-7 淹水型態與水災調適策略建議.....	32

第一章 前言

第一節 研究動機與目的

一、研究動機

Intergovernmental Panel on Climate Change(2014) 第五次評估報告中，提出氣候變遷下洪水、颱風的增加，對於生態系統和許多人類系統的影響將可能愈來愈強烈。United Nations International Strategy for Disaster Reduction (2012) 基於 Herold 和 Mouton 的全球洪災風險模型(Herold & Mouton, 2011)，分析了 1980-2010 年間亞太地區人類與洪水暴露度，結果說明了亞太地區因為人口變化，人類對於洪水暴露度增加了一倍以上。其中東南亞、南亞和西南亞，呈現較高的暴露度和增幅。另外，比較亞太地區 1970 至 2010 年間各類型災害經濟暴露度的增加率，洪災經濟暴露度亦是所有危害中最高的，在東南亞上升了近 800%。

回顧臺灣過去 40 年，造成高強度降雨的颱風有急劇增加的趨勢，以 200 年以上重現期的颱風而言，從過去平均每十年約 2.7 個，到近十年約 11 的情況。皆顯示了臺灣在面對大環境的氣候改變對災害的可能衝擊時，無法忽略其嚴重性(行政院經濟建設委員會，2012)。其中發生在 2009 年的莫拉克颱風造成的「八八水災」，其所挾帶的超大豪雨重創臺灣中南部山區，造成了 700 人以上的傷亡與失蹤，以及估計高達 900 億元的經濟損失，凸顯了臺灣的國土環境，在面對極端氣候下的高脆弱與高風險。

為因應氣候變遷衝擊，行政院經濟建設委員會(2012)提出國家氣候變遷調適政策綱領，透過災害、維生基礎、水資源、土地使用、海岸、能源供給及產業、農業生產及生物多樣性及健康等八大領域行動方案具體落實政策綱領。其中土地利用變遷所導致的物理過程與回收，會改變地球反射與接收的光線之比率、原有的地表面，和在陸地、大氣的水蒸氣與溫室氣體之間的交換作用，並衝擊到氣候(陳亮全、周仲島，2010)。因此，氣候變遷不僅衝擊人類的生存及生活環境，人類對於環境及土地利用的方式，也影響氣候。因此，在面對氣候變遷下，空間規劃與管理成為愈來愈重要的課題及挑戰。其中，土地使用領域調適包含基本二大思維(一)避開風險：優先避開環境敏感或高災害風險地區發展，降低遭受氣候變遷的衝擊影響，以及(二)降低風險：透過提升調適能力來降低風險，強化極端天氣事件之衝擊因應能力，包

含加強既有空間規劃在氣候變遷調適之不足、社區自主防災、防災教育、災害資訊流通等調適力 (adaptive capacity) 提升，列為未來重要氣候政策。

前述提升地區與居民調適能力降低氣候變遷與災害風險，此理念符合 Intergovernmental Panel on Climate Change AR5(2014)對調適(adaptation)的界定：「針對實際的或預計的氣候及其影響進行調整的過程」，因而本研究對於調適的界定，亦採用此定義。此外，在 IPCC AR5 相較於 AR4 對於落實永續提出更實際的建議，其中包含修改了原先以發展為導向的調適方法，轉以"風險管理"為主要概念，風險管理是基於倫理、心理、文化或社會等因素，進而區分各類型定性值、目標和重點的方法，是不要求精確地量化風險水平，因此可以增加風險管理的有效性。在氣候變遷下位處高洪災暴露度的台灣而言，了解地區水災風險差異和各項社會差異，將有助於未來災害管理之避開於水災高地區發展，以及提高調適力並降低水災風險。

關於水災調適與土地使用規劃管理的相關研究中，均有豐碩的成果，包含探討土地使用變遷、發展、空間配置與水災的關係(Beighley & Moglen, 2003；鄒克萬與黃書偉，2007；Haase, 2009)、水災風險管理與土地使用調洪策略(陳韋伶，2010；謝昕穎，2013，張學聖與廖晉賢，2013)，以及利用歷史淹水資料探討地區水災特性(陳亮全與陳海立，2007；Kellens, Terpstra, & De Maeyer, 2013；Skakun, Kussul, Shelestov, & Kussul, 2014)等

前述皆是協助相關調適策略與行動計畫擬定的重要依據，但對於歷史水災的分析，以及未能針對地區水災型態變遷對應之策略加以探討。因此，有別於上述課題，本研究試圖透過「實際」歷史水災事件，進行歷史淹水特性地區分類。並以臺中市為驗證地區，從歷史淹水空間分析分類各種淹水型態地區，並檢視各種類型之特性，分別研擬各種淹水型態對應之空間發展調適策略，做為土地使用計畫、管理以及社區自主救災等調適策略的研擬基礎。

二、研究目的

近年全球氣候變遷造成各種隨機極端氣候而產生的水災頻率、強度增加及危險地區風險大幅提升。歷經氣候變遷所造成的重大災害事件後，各國逐漸意識到回應水災應同時考量工程與非工程方法的概念。本研究以重大歷史淹水資料為基礎，並考量淹水情況在空間上距離遠近之空間自相關特性，分類不同淹水演變特性地區，再進一步探討各類淹水型態成因與特性，做為調適政策研擬基礎。

總結前述研究動機與研究內容，以下為本研究期望達成目的：

(一)淹水特性分類，分類一地區前期與本期淹水特性變化與空間分布，彙整出不同淹水特性類型並加以討論。

(二)以實際歷史淹水資料為基礎，分類不同淹水特性地區後，再進一步驗證地區中探討「淹水增加」、「淹水趨緩」及「持續淹水」等類型地區特性，並以此為基礎提出土地使用規劃管理之調適行為建議。

期望能藉由本研究成果，了解受災情形轉變地區水災特性。有助於驗證地區未來水災災害調適管理與規劃政策參考。

第二章 文獻探討

本章主要分為四個小節：(一)水災與土地使用：探討水災害的意義與本研究對於淹水情形的定義，並對應到土地使用與水災的關係；(二)水災的時空尺度：延續自然災害的探討，回顧文獻探討以歷史資料分析水災的意涵；(三)水災調適：回顧水災調適策略脈絡與策落，包含水災的風險、逕流管理，以及社區自主防災的意義。透過本章文獻回顧，做為接續研究設計與驗證分析的討論基礎。

第一節 水災與土地使用

荷蘭的氣候變遷的空間調適國家計畫 (National Programme for Spatial Adaption to Climate Change, 2007)」，亦明確指出氣候變遷與空間規劃議題的重要性，故在探討氣候變遷極端降雨所帶來的威脅時，空間規劃與管理成為愈來愈重要的課題與挑戰。過去許多研究顯示土地使用發展、空間配置會影響地區水文特性與洪水的形成，並探討土地使用變遷與水文之間的關係。如 Beighley 與 Moglen(2003)比較不同時期土地利用資料作為對照，探討都市化對於地表逕流之影響；Haase(2009)利用萊比錫城(Leipzig)土地利用變化與土地覆蓋資料，以水平衡的模型計算水文循環過程中的變化、鄒克萬與黃書偉(2007)在台南市土地利用變遷對自然環境衝擊分析中，也提及都市土地變遷對於逕流增加有正面影響。

因此，除了天然因素外，人為的土地開發亦是導致都市地區洪災發生的重要因素之一。因此，土地使用規劃的空間布局、管制與開發機制，亦是降低洪災衝擊重要的探討面向。

第二節 水災的時空尺度

水災也是由異常氣候現象造成，但所造成的危害卻不全然由自然條件所決定 (Mitchell, 1998)，其中土地利用的改變對於水災的發生頻度與損失情況，更具影響力，像是都市發展趨勢所造成的不透水表層面積增加進而影響水循環過程的變化，皆與都市水災損失程度有著密切的關係。相關研究包含 Skakun 等人(2014)使用時間序列的淹沒區衛星影像圖做為洪水風險地圖分析基礎，估算洪水的相對頻率(Relative frequency of Inundation, RFI)並利用洪水頻率估算最大水深度值，最後製作成水災之風險地圖並加以驗證。以及陳亮全與陳海立(2007)利用敘述性統計方法分析歷年水災事件之分布區位與災情，並輔以經驗式推估法比較不同時期之估算結果，檢討導致

都市水災的社會易致災性。結果發現從過去水災事件中掌握都市水災的特性，有助於脆弱度分析，以及具體討論都市計畫在水災防治工作上應具備的功能。

第三節 水災調適

本節將針對洪災調適的思維進行回顧，並探討洪災調適能力的在土地使用規劃中的功能與定位，作為本研究探討地區淹水特性與洪災調適策略的基礎。

一、水災非結構減災思維

洪水減災方式依據所使用的手段可分為結構式減災措施(Structural Mitigation Measure)與非結構式減災措施(Non-structural Mitigation Measure)兩類。過去水災治理多以設定一定重現期之洪水量作為工程設施之保護標準，如台灣中央管河川設計標準為100年；一般河川25~50年，都市排水系統以5年重現期等。但現有之工程設施設計標準是以當前之水文條件所計算，因此在面對未來極端事件下，很有機會超過現有保護標準而造成居民之生命財產損失。

在歷經全球氣候變遷所造成的重大災害事件後，各國逐漸意識到工程式的防災措施遠不及氣候變遷所帶來的衝擊。就台灣而言，行政院經濟建設委員會（2012）提出國家氣候變遷調適政策綱領，調適策略包含兩大基本思維(一)避開風險：優先避開高風險區位或行為，免於遭受氣候變遷的衝擊影響，以及(二)降低風險：透過提升能力來降低風險，並包含強化及預防兩種角度思考。強化為加強極端天氣事件衝擊之因應能力，包含防災教育、災害資訊流通、民眾參與及風險溝通等調適力(adaptive capacity)提升，列為未來重要氣候政策，促使居民更有效因應氣候變遷與災害衝擊，及採取適當調適策略，並達到一定程度自主性防救災的目標。

二、土地使用規劃與洪災調適

本節針對土地使用與洪水調適進行回顧，包含洪水風險管理的發展脈絡、今日台灣洪水逕流管理思維以及從社區尺度而言，居民所應扮演的調適腳色等，並釐清土地使用於洪災調適中的定位。

(一)洪水風險管理

1960年代起，容受力(Carrying Capacity)的概念開始運用在都市及區域規劃領域，如McHarg之生態規劃方法即著重於分析自然環境資源，並探討土地使用適宜性，以減輕開發行為對環境的衝擊。而在1980年代起，土地使用規劃過程中又加入了風險評估(Assessment of Risk)與風險地圖(Risk Map)的探討(Coeur &

Lang, 2008; Böhm et al., 2004)。在前述容受力與風險管理的思維下，洪水管理也開始從以工程為主的防洪轉向針對洪水風險的管理(Mostert & Junier, 2009)，許多國家亦將風險管理視為國土規劃過程中重要的一部分，如美國使用風險評估作為環境政策討論與決策工具。瑞士、德國、荷蘭及法國等萊茵河流域周邊國家之空間規劃系統，以風險管理作為土地使用計畫擬定之指導之一，提出災害地圖區分不同規劃的層級，以有效規範不同程度水災發生區(Böhm, Haupter, Heiland, & Dapp, 2004; Cœur & Lang, 2008)。

國內相關研究包含陳韋伶(2010)分析水災風險管理概念應用與土地使用調洪策略的有效性，並建立一量化評估架構，歸納常用土地使用調洪策略，並模擬策略實施前後各情境之洪水淹溢範圍和深度改變，評估整體風險管理結果；張學聖與廖晉賢(2013)利用 FLO-2D 淹水模式模擬不同情境的水災潛勢，研判出各類土地使用類型可能受災的風險狀況與特性，進而劃出不同情境的風險範圍，作為防災式土地使用規劃的基礎。

(二)洪水逕流管理

洪水逕流管理以回復水的自然循環能力之概念為基礎，亦被視為可行的洪災調適策略之一(Ferguson, 1995; Echols, 2008)。近年相關的模式與方法，包含暴雨最佳管理作業(Best Management Practices, BMPs)、低衝擊開發(Low Impact Development, LID)及永續都市排水系統(Sustainable Urban Drainage System, SUDS)等。前述方法主要透過各種入滲設施(Infiltration Devices)的設置，以提升入滲減少逕流。

此外，在台灣流域綜合治理計畫(2014)中，亦以「加強集水區出流管制及推動逕流分擔之實施」政策為上位指導原則。其中，透過流量分擔之設定達到逕流管理的目的，在決定地區保護基準後，設定各土地須負擔之逕流量，作為未來設施或區域土地流量分擔之標準。因此，結合水災風險管理與洪水逕流管理，以及今日流域綜合治水的新思維下，土地使用規劃過程中，有需要針對一地區不同水文或受災情形，給予適當的調適策略。

三、社區與洪災調適

Grothmann and Reusswig (2006)指出洪水氾濫的城市居民自我保護行為可以將洪水災害的損失降低80%，並減少對公共風險管理的需求。過去研究發現居民對於政府防災工程的信任程度可反映在居民面對災害的態度，例如當居民對於政府防

減災工程愈信任及依賴者，愈不會從事調適行為(Wachinger et al., 2013 ;洪鴻智、盧禹廷, 2015)。但社區居民扮演直接面臨災害威脅與衝擊的角色，因此社區居民是降低災害脆弱度、減少人員傷亡以及經濟損失最根本的一環。因此，了解不同地區災害情形，有助於協助居民調適策略的研擬。透分擔過水災災害責任，亦是降低災害威脅與加強對洪災管理有效的手段。

因此，持續加強易淹水地區社區居民水災的調適力，包含防災教育、宣導與疏散計畫與演練，提升災害應變效率，減少生命財產損失，與政府共同負擔水災的責任。

四、小結

但台灣今日在回應面對水災防治上，仍以工程治水為主，如共分三期進行之「易淹水地區水患治理計畫(95-102)」該計畫預定分8年編列共1,160億元，其中，經濟部主管編列之800億元中工程費共占574億元(71.8%)。工程減災雖然能夠在設計的保護標準下發揮一定程度功用並減緩淹水狀況，但在面對今日氣候變遷下極端淹水事件仍有其侷限性，且難以保證未來不再淹水的可能。因此，在台灣今日水災工程減災措施的基礎下，應同時配合相關非結構減災調適措施，包含土地使用計畫之開發設計與管制，以及加強居民對於災害的認知與識覺(perception)，以降低極端降雨下洪災的風險。

第三節 文獻回顧總結

從前四節的文獻回顧中，可以整理出與本研究最直接相關的四項基礎：(一)水災是自然現象，因為有人才形成災害，並可能造成社會機能的崩解或人類、經濟和環境的損失。本研究分析歷史水災時引用國內一般性與經濟部水利署對水災之定義，以淹水深度達0.3公尺以上視為淹水；(二)水災的時空間特性將有助於災害事件的分析，並有助於本研究進一步掌握個體水災調適行為對應之水災時空特性的討論；(三)回應水災的威脅時，工程治理措施在今日極端淹水事件下仍有其侷限性，且難以保證未來不再淹水的可能。故在工程減災措施應同時配合相關非結構減災調適措施，以降低極端降雨下洪災的風險。故地區空間發展規劃過程中，以長時間的水災時間與空間特性的分析，有助於土地使用計畫之開發設計、管制以及社區自主救災等調適策略的研擬。

第三章 研究設計

本研究以歷史淹水資料為基礎，透過歷史淹水之時間尺度空間自相關分析，分類不同淹水演變特性地區，再進一步探討淹水趨緩及淹水情形增加地區可能致使空間型態變化的原因。做為後續土地使用洪災調適策略與非工程減災策略政策研擬基礎。本章節共包含三個部分：第一部分為本研究之整體研究架構與內容概述，包含研究基礎資料、研究範疇以及研究設計架構；第二部分為時間尺度空間分析，包含基本概念、變數選取及資料來源等。

第一節 研究架構與範圍界定

一、研究設計架構

(一)資料建立

以建立歷史淹水深度資料為研究基礎，首先依據前述文獻回顧定義淹水情形，並設定淹水事件篩選原則，包含各淹水事件空間位置與屬性資料。配合研究目的，本研究探討水災事件選定發生持續時間較短和單一壓力來源之事件。

(二)空間型態探討

依據前述所建的資料庫為依據，透過研究設計分析出各類型的淹水型態。共包含三個步驟：(一)全域空間自相關量測，以 Global Moran' I 指標度量整體空間型態；(二)局部空間自相關量測，以反映出淹水深度事件之局部空間型態，並加以分類；(三)時間尺度空間關聯分析，利用 Time-series Moran Scatterplot Quadrant Signature 描述淹水深度事件的空間變動特徵，並依據類型分類，分類後即為考量時間尺度之歷史淹水資料空間分析。

本研究架構如下圖 3-1。

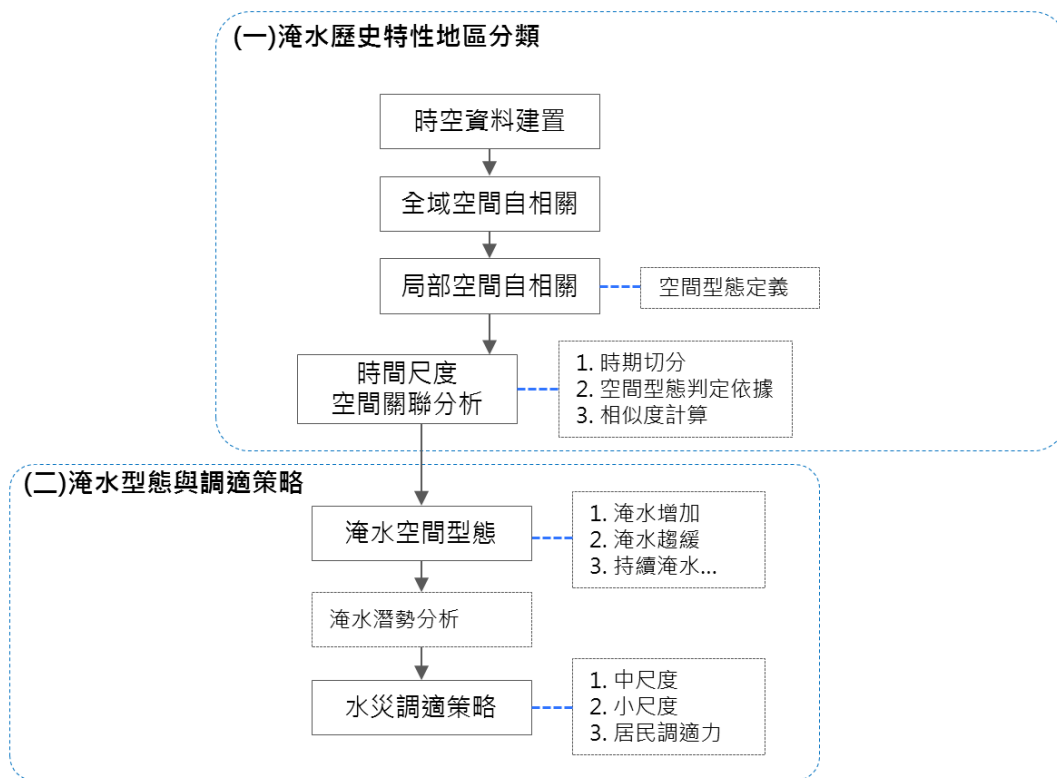


圖 3-1 研究架構圖

二、研究範圍界定

(一)時間向度

本研究資料配合歷史淹水資料調查資料成果取得，本研究時間範圍定為 2001~2016 年，以經濟部水利署與國家災害防救科技中心統計彙整之臺中市歷史淹水資料為分析基礎。並以單一事件淹水村里數超過 30 為淹水事件篩選原則，事件包含：納莉、敏督利、卡玫基、莫拉克、蘇力、潭美等颱風事件。

(二)空間向度

本研究選定臺中市為研究實證分析對象，臺中市過去易發生淹水災情，自 2006 年起開始執行「易淹水地區水患治理計畫」，積極投入淹水防治作業，陸續完成各項治水計畫，並發揮一定成效，因此在空間上屬於本研究關心之受災地區受災情形產生變化的情況。其中，臺中市區劃為 29 區，村里數共計為 625，因此一共 625 個空間分析單元。

第二節 歷史淹水特性地區分類

一、時間尺度空間關聯分析架構

本研究嘗試透過空間資料分析(exploratory spatial data analysis)技術之概念對歷史水災之空間區位屬性進行檢測，以收斂出具體可表空間資料分布的狀態與特徵(Haining, Wise, & Ma, 1998))。並進一步探討為從長期時間下水災事件之空間演變或擴散過程的分布特徵，以比較過去與近年之水災空間變動情形。故本研究以(Rey, 2001；Ahn, Kim, & Lee, 2009)透過建立 MSQS(Moran scatterplot quadrant signature)模式，探討事件在時間序列下的空間分析方法為基礎。以建立歷史淹水事件之空間分析架構。研究架構包含三個階段如下圖 3-2 所示。



圖 3-2 時間尺度空間分析之操作流程圖

二、時空數據建立

(一)淹水資料取得

由經濟部水利署河川局於中央氣象局發布豪大雨特報或颱風警報時，當各職責轄區內降雨及淹水達一定規模致發生淹水災害者，視災情自行啟動淹水災害調查，並由經濟部水利署水利規劃試驗於後續進行彙整。

(二)淹水資料特性

水利署歷史淹水資料其調查目的為供分析歷次淹水災害致災事件及範圍，水利署各河川局於中央氣象局發布豪大雨特報或颱風警報，倘轄區內降雨及積(淹)水達一定規模致發生淹水災害者，視災情自行啟動淹水災害調查。資料屬於大尺

度之淹水調查，因此，局部、零星、都市道路或低窪農漁塭區淹積水範圍則不在調查範圍內。該調查資料受限調查時間、人力及經費等因素，資料僅呈現大尺度淹水情況。同時，其淹水程度會隨局部或系統性工程完成時間而有所改變。

(三)淹水事件篩選

由於水利署之歷史淹水調查資料屬於大尺度淹水調查，由於無法同時取得完整研究區歷史淹水深度及範圍的資料作為分析，為配合後續時間尺度空間統計分析準確性，本研究採用資料量較完整之淹水深度資料為分析依據，並採用某一村里之最大淹水深度為空間分析依據。

此外，本研究以全市型重大淹水為分析事件，並設定單一事件於臺中市造成淹水情形之村里數需大於 30 者。

三、空間自相關

針對空間關聯性的問題，可以結合空間單元間位置的「接近性」與屬性的「相似性」，用以判斷指標的空間分布特性，如：Moran' s I、Geary' s C、Getis-Ordgerenal 與統計量與局部空間關聯指標 (Local Indicator of Spatial Association, LISA) 等空間自相關統計係數。

(一)空間自相關

空間自相關本質上是探討「空間單元」與「鄰近地區」的相關性，相關性高，代表兩者數值近似，全域空間自相關(Global Moran' s I)統計量是常用來度量整體空間型態之方法。本研究以淹水深度為 x ；空間單元為村里界；空間權重以質心距離矩陣。由於本研究淹水資料係由水利署河川局於轄區內，當降雨及淹水達一定規模時所進行調查之結果紀錄。本研究以村里為分析之空間單元，故選定各淹水村里之最大淹水深度為計算參數。本研究探討的淹水情形主要因降雨量超過設計標準因而使低窪地區產生淹水，故具有越接近易淹水的區位越容易淹水的特性，因此選定質心距離為鄰近空間矩陣。

(二)局部空間自相關(LISA)程度分析

由於研究區域內不同的觀測單元與其相臨單元之間可能會表現出不同水平的空間自相關，亦可以透過 Moran 散佈圖(Anselin, 1993)以表現局部空間關聯特徵。在 Moran' s I 散佈圖的四個象限各有不同意義，第一象限代表目標地區的變數

值大於平均值，鄰近地區的變數值亦然。同理類推，第二象限代表目標地區小於平均值，鄰近地區大於平均值；第三象限代表目標地區小於平均值，鄰近地區亦小於平均值；第四象限代表目標地區大於平均值，鄰近地區小於平均值。離中心點愈遠，代表此種趨勢愈明顯。故本研究將透過計算個別淹水事件空間關聯之局部指標(LISA)可以探討淹水現象在空間局部變異情形，並將結果繪製成地圖，以分析各事件的空間分布特徵，並確認研究區個別淹水事件是否存在空間自相關的局部變異。

(三)空間型態分類

本研究對象為淹水深度，依據 LISA 結果之各類淹水事件進行空間型態分類，分別識別一地區與其他鄰近地區淹水關係。HH 為高淹水空間型態、HL 為次高淹水空間型態、LH 為中淹水空間型態、LL 為低淹水空間型態，個別對應意義如下表 3-1 所示：

表 3-1 空間聚集情形與對應象限意義

象限	型態	意義
HH	高淹水空間型態 (HH spatial pattern)	表示高淹水地區被高淹水的其他地區包圍；或者代表該區域淹水情形較高且淹水空間差異程度較小。
HL	次高淹水空間型態 (HL spatial pattern)	表示高淹水地區被低淹水的其他地區包圍，該區域淹水情形高，並且該區域淹水空間差異程度較大。
LH	中淹水空間型態 (LH spatial pattern)	表示低淹水地區被高淹水的其他地區包圍，該區域淹水情形較低，並且該區域淹水空間差異程度較大。
LL	低淹水空間型態 (LL spatial pattern)	表示低淹水地區被其他低淹水的其他地區所包圍；該區淹水情形低，並且區域淹水情形空間差異程度較小。

四、時間尺度空間自相關

(一)時期切分

為比較過去與現在空間變動特徵，需劃分歷史資料時期為「前期」與「當期」。本研究選定臺中市為研究實證分析對象，台中自 2007~2008 年起開始執行第一期「易淹水地區水患治理計畫」，此後陸續完成各項治水計畫，並發揮一定成效，因此在空間特性上具有受災地區受災情形產生變化的特性。因此，本研究以 2008 年為分界，定義 2008 年之前為「前期」；2009 年之後為「當期」。

(二)空間型態判定依據

為得知「前期」與「當期」某一空間單元之主要空間型態，本研究定義「前期」2001-2008：3期有2期屬於i型態則為i；「當期」2009-2016：3期有2期屬於i型態則為i（如：3期事件中有2期屬於高淹水空間型態，則該空間單元前期屬於高淹水空間型態）。透過判定依據設定，能夠彙整本研究區內某村里幾年間主要呈現的淹水空間型態或前期與當期空間型態變化情形。

(三)相似度計算

依據時期劃分與空間型態判定依據資料分組後，比對前期與當期之空間型態變化，即可能產生16種空間變動情形，如圖3-3所示。接著依據空間型態分類之定義，即可彙整16種淹水變動空間型態，各別對應意義如表3-2所示。

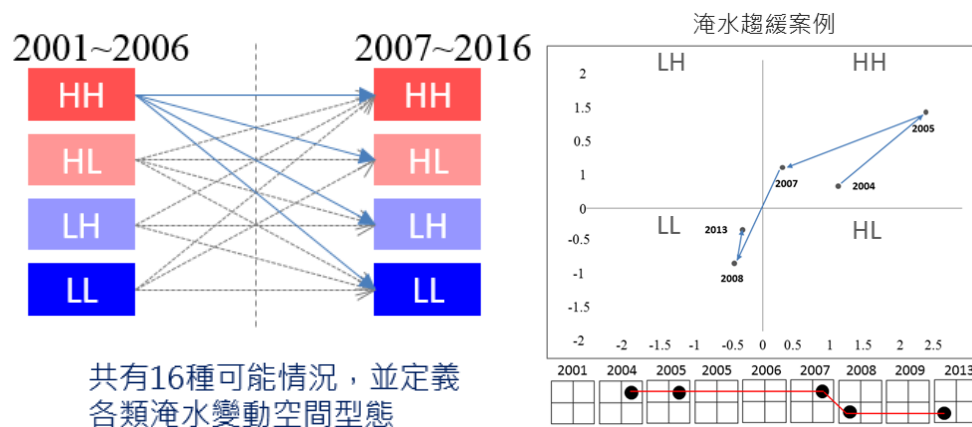


圖 3-3 時期切分後空間變動情形示意

表 3-2 淹水變動空間型態意義

前期	當期	淹水變動空間型態意義
HH	HH	持續高淹水
	HL	高淹水轉次高淹水
	LH	淹水微幅趨緩
	LL	淹水大幅趨緩
HL	HH	次高淹水轉高淹水
	HL	持續屬次高淹水
	LH	次高淹水轉中淹水
	LL	次高淹水轉低淹水
LH	HH	中淹水轉高淹水區
	HL	中淹水轉次高淹水
	LH	持續中淹水
	LL	中淹水轉低淹水
LL	HH	淹水大幅增加
	HL	淹水次高增加
	LH	淹水微幅增加
	LL	持續低淹水

五、特性與限制

透過時間尺度空間自相關的歷史淹水分析，相較於歷史淹水次數色溫圖分析，空間自相關可以探討地淹水特性之空間距離遠近的關係，並利用長時間的資料彙整地區淹水長期聚集處。

由於研究進行之時間、經費及資料取得上的限制，因此本研究時間尺度空間關聯分析之內容包含以下幾項限制：

(一)由於台灣在淹水資料的量測、整理及取得上的受限，無法同時取得研究區淹水深度、時間及範圍之淹水資料，因此本研究以資料最完整之淹水深度為水災研究基礎資料。並採用某一村里之最大淹水深度為空間分析依據。

(二)由於研究對象以淹水深度為主，為配合空間統計分析操作，本研究空間單元以個別村里為研究單元。由於水利署各河川局之淹水調查係以當轄區內降雨及積(淹)水達一定規模致發生淹水災害情形時，視災情自行啟動之淹水災害調查，因此各筆淹水深度資料之調查是在該村裡具有一定淹水情形下之調查行為，本研究採用各村里之最大淹水深度為依據，其假設意義為每一村里居民會因為居住村里之最大淹水深度記憶而影響本身調適行為。

(三)以時間尺度之空間分析探討歷史淹水現象，無法區分淹水實際原因，主要描述淹水現象的時間與空間變動特徵，若要配合探討淹水成因，則需透過相關資料進行比對分析。

第四章 實證分析及研究發現

本章以臺中市為實證分析地區，透過前述研究設計，試圖探討臺中市之歷史淹水空間型態與變化，做為臺中市洪災調適策略研擬參考依據。本章節共包含三個部分：第一部分為之驗證地區概述；第二部分為時間尺度空間分析，其中包含整體和個別空間變動概述，最後綜整本研究結果。

第一節 驗證地區概述

本研究選定台灣易發生淹水災情之縣市為研究對象，且亦著重於受災地區受災情形之變化，如：過去容易發生淹水，近年不常發生淹水，並配合資料取得豐富度。本研究選定臺中市為研究實證分析對象。臺中市過去易發生淹水災情，自 2006 年起，配合經濟部水利署執行「易淹水地區水患治理計畫」，投入相關淹水防治作業，陸續完成各項治水計畫，並發揮一定成效，因此在空間上屬於本研究關心之受災地區受災情形產生變化的情況，因此選定臺中市為研究驗證地區。

一、地區概述

台中位於台灣西半部，東臨宜蘭、花蓮縣，西臨台灣海峽，南邊隔著烏溪與彰化縣為臨，北邊隔著大甲溪與苗栗縣相接。台中盆地屬構造盆地，盆地盆底部分的平原主要是由許多沖積扇聯合形成的，北部以大甲溪流域為主；南部以烏溪流域為主。整體地勢東高西低，地形由西到東包含濱海、平原及丘陵山岳等，其中山岳地形佔全縣面積約 46%。本研究實證地區之臺中市區劃為 29 區，村里數共計為 625。總面積約為 2,215 平方公里。依據內政部戶政司 2016 年 7 月統計資料，臺中市總人口數為 2,778,182 人。臺中市屬副熱帶氣候氣候，降雨集中於 6~10 月，夏季的西南氣流和夏秋兩季多有颱風，常帶來大量的降雨。

二、災害情形與受災經驗

回顧臺灣過去 40 年，造成強降雨的颱風有急劇增加的趨勢，以 200 年以上重現期的颱風而言，從過去平均每十年約 2.7 個，到近十年約 11 的情況。皆顯示了臺灣在面對大環境的氣候改變對災害的可能衝擊時，無法忽略其嚴重性(經建會, 2012)。臺中市近年重大水災災害包含：2004 年敏督利颱風連日豪雨造成造成大面積淹水，以及大里溪、頭汴坑溪、大甲溪、旱溪等溪水暴漲與溢堤；2009 年莫拉克颱風造成臺中市地區平原一帶嚴重淹水，共計 13 區發生淹水災情，其中最大淹水深度發生於

東勢區約 1.2 公尺。至近期 2013 年的潭美颱風，短期瞬間大雨，同樣嚴重淹水情形，共計 15 區發生淹水災情，其中以沙鹿、龍井淹水面積最為嚴重。

本研究選定 2001-2016 年重大淹水事件之淹水村里數與累積降雨量極值如表 4-1 所示。

表 4-1 臺中市 2001-2016 重大淹水事件概況

年度	事件名稱	淹水村里數	累積雨量極值
2001	納莉颱風	44	371.0(台中)
2004	敏督利颱風	60	527.7(台中)
2008	卡玫基颱風	81	478.9(台中)
2009	莫拉克颱風	100	347.4(台中)
2013	蘇力颱風	68	282.3(台中)
2013	潭美颱風	52	240.9(台中)

註：累積雨量極值為 24 小時累積雨量極值發生鄉鎮，單位為毫米(mm)。

資料來源：中央氣象局

從 2001-2016 重大淹水事件各村里累積淹水次數統計圖可以發現，台中內主要淹水地區位於中南部地區，包含西屯、南屯、烏日、大里及太平等計區，東部西部沿海則較少有淹水災情，如圖 4-1 所示。有鑑於台中部份地區淹水與排水問題嚴重，加上今日全球氣候變遷下極端降雨的威脅情形，臺中市之防洪治水一直是中央及臺中市政府施政治理的重點之一。

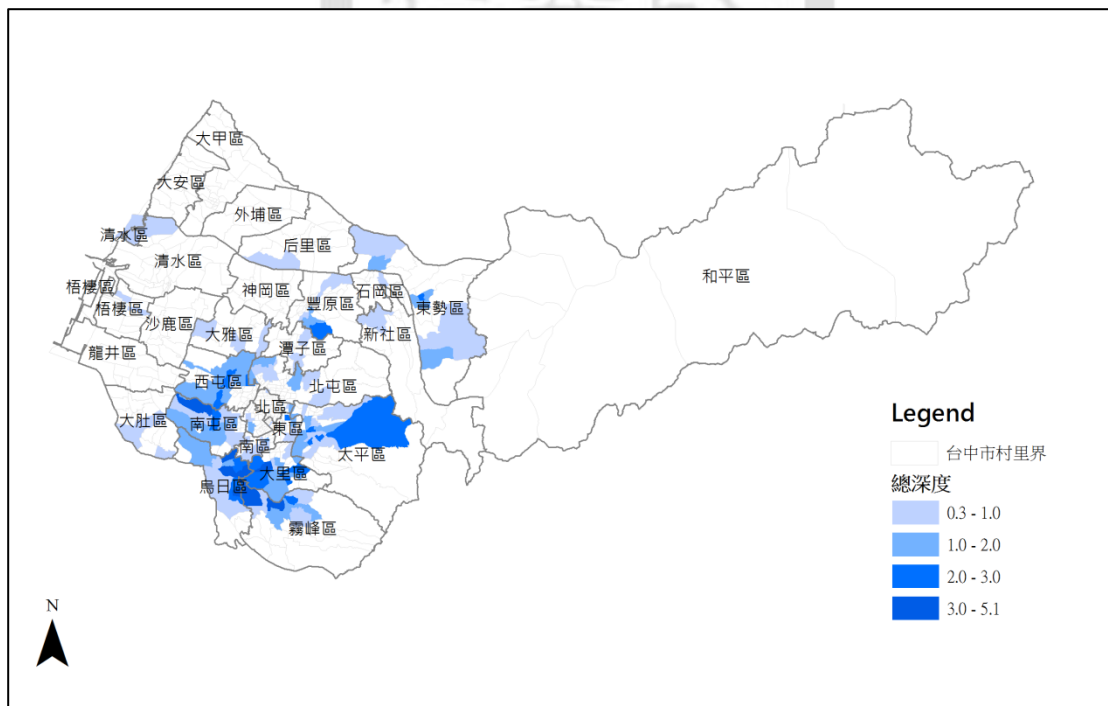


圖 4-1 臺中市 2001-2016 重大淹水事件各村里累積淹水次數圖

三、治水歷程

臺中市主要淹水因素包含：強降雨超過防洪設計標準、都市化導致地表逕流量徒增、山坡地開發及超限利用造成水土流失、排水道束縮形成瓶頸等問題。

經濟部於 2006 年開始推動之「易淹水地區水患治理計畫」中，全台劃定 1,150 平方公里為易淹水區進行治理，並依據經費分配分為三個階段進行治理：第一階段 2006-2008 年；第二階段 2008-2011 年；第三階段 2011-2013 年。其中臺中市政府與經濟部水利署，陸續透過上游水保、中游減洪、下游防洪的綜合治水方式，改善淹水問題及提升都市防洪力，至 2016 年 11 月底，總計改善 55 處易淹水點，以及提升滯洪量至 53 萬噸。此外，臺中市雨水下水道建置率亦達 70%，提升一定防洪效果。

四、小結

依目前台灣河川防洪頻率設計，縣市管理河川設計為 25 年，區域排水系統為 10 年，雨水下水道 2-5 年。然而，在近年氣候變遷極端降雨下，洪災頻率、強度皆大幅的提升，如莫拉克蘇力颱風、潭美等，其所挾帶的強降雨皆超過排水道設計標準，造成部分區域嚴重淹水。與台中長期已投入相關治水措施，但在面對氣候變遷之極端降雨，臺中市仍然需關注防洪治理之課題，並且有需要透過歷史淹水的空間變化，以檢討淹水情形之變化，做為治水之結構與非結構減災策略之依據。

第二節 淹水空間分布特性

一、全域空間自相關

本文首先針對 2001-2016 年間各村里淹水深度，逐年計算空間自相關指標 Global Moran' s I，以評估其整體的全域空間型態是否存在群聚趨勢。本研究結果如表 4-1 所示，在 0.05 的統計顯著水準下，臺中市歷史淹水事件有空間群聚的特性。若從每年的 Global Moran' s I 空間自相關係數來看，在 9 個事件中，納莉、敏督利、卡玫基、莫拉克、潭美颱風之 Moran' I 值皆高等於 0.3，顯示出上述造成淹水的事件在臺中市所造成的淹水情形具有較明顯的空間聚集現象；而蘇力颱風之 Moran' I 值則低於 0.2，顯示出上述造成淹水的事件在臺中市所造成的淹水情形聚集現象低。

表 4-2 各事件全域空間自相關指標分析結果

序號	年分	事件名稱	Global Moran' s I	E(I)	Z-value	空間聚集
01	2001	納莉颱風	0.54***	-0.0016	24.26	存在
02	2004	敏督利颱風	0.30***	-0.0016	13.15	存在
03	2008	卡玫基颱風	0.32***	-0.0016	13.92	存在
04	2009	莫拉克颱風	0.45***	-0.0016	19.29	存在
05	2013	蘇力颱風	0.08***	-0.0016	4.24	存在
06	2013	潭美颱風	0.33***	-0.0016	14.19	存在

*p<0.05 **p<0.01 ***p<0.001

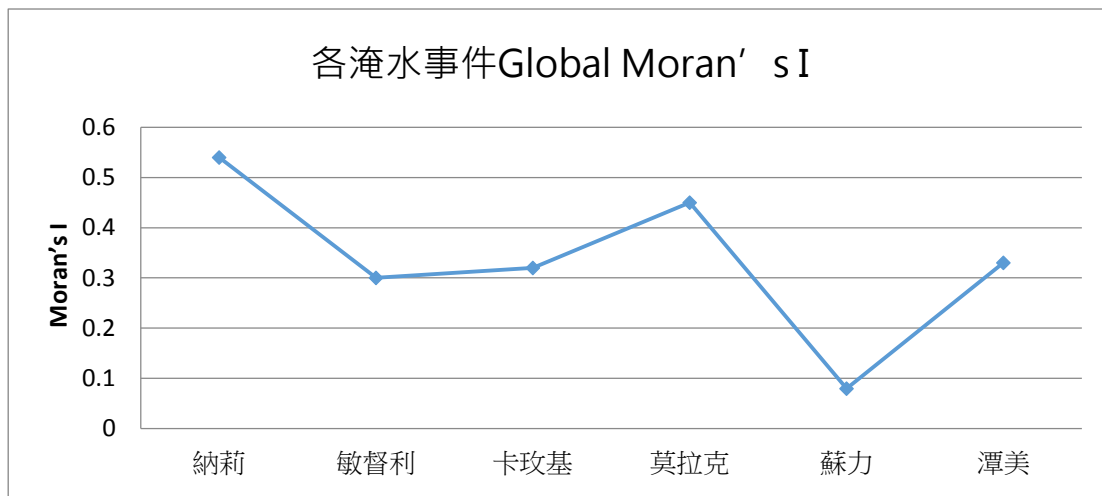


圖 4-2 各事件全域空間自相關指標折線圖

二、局部空間自相關

接著針對驗證初探之 6 個事件淹水事件進行局部空間自相關分析，計算個別淹水事件空間關聯之局部指標(Local Indicators of Spatial Association, LISA)，並將結果繪製成地圖，以確認研究區個別淹水事件是否存在空間自相關的局部變異。圖 4-3 為在 0.05 的統計顯著水準下，以質心距離為鄰近定義之 LISA 地圖分析結果。

從局部空間自相關結果可以發現：

(一)納莉颱風高淹水空間型態(HH)集中於台中中南部包含西屯、南屯，為筏子溪沿岸，在高淹水空間型態(HH)周圍圍繞著中淹水空間型態(LH)，低淹水空間型態(LL)則位於和平區與西部沿海一帶。(二)敏督利、卡梅基颱風主要高淹水空間型態(HH)同樣多集中於中南部元臺中市一帶包含西屯、南屯、太平、烏日、大里等，且多緊鄰河川，如筏子溪、大里溪、綠川、南屯溪等。

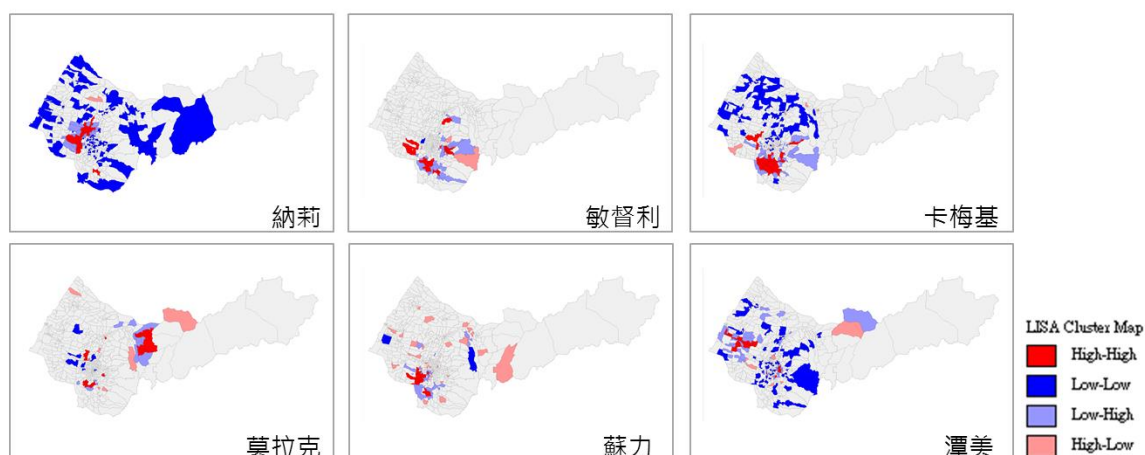


圖 4-3 局部空間自相關分析結果圖

(三)莫拉克颱風之高淹水空間型態(HH)則集中於東勢區，周圍圍繞著中淹水空間型態(LH)。過去常淹水中南部如西屯、南屯、大里等地區之高淹水空間型態範圍則縮減。(四)蘇力颱風在全域空間自相關指標中即呈現則呈現較低度的聚集型態，在 LISA 圖中亦可以反映此一現象。其中，高淹水空間型態(HH)無明顯集中情形，從 LISA 圖可以發現分布於西屯、北屯、南屯、霧峰、大里等部分地區，並且周邊圍繞中淹水空間型態(LH)，低淹水空間型態則位於西北部沿海地區。(五)潭美颱風高淹水空間型態(HH)同樣無明顯集中情形，從 LISA 圖可以發現分布於清水、沙鹿、龍井、西屯之部分地區，並且周邊圍繞中淹水空間型態(LH)，低淹水空間型態則位於中西部地區。

三、小結

本節基礎空間分析析結果中可以得知(一)全域空間自相關：在 6 個事件中，淹水空間分布並非隨機分布，而是存在一定程度的聚集。其中納莉、敏督利、卡玫基、莫拉克、潭美颱風的淹水情形有較明顯的空間聚集現象。(二)局部空間自相關：在 2001~2008 納莉、敏督利、卡玫基事件中，主要高淹水空間型態(HH)多集中於中南部都市地區，在 2009~2016 莫拉克、蘇力、潭美、莫拉克事件中，可以發現過去高淹水空間型態(HH)集中之地區範圍有明顯縮減的趨勢。

第三節 淹水型態與調適策略

一、整體概述

為量測淹水型態之空間變動特徵，本研究利用第三章所述歷史淹水現象時間尺度空間分析架構，探討水災的空間演變特性及針對不同淹水演變特性區進行分類，臺中市實證結果包含：淹水趨緩、淹水增加、可能趨緩、持續中淹水型及持續低淹水型低淹水轉淹水區等類型，詳細分類情形個別村里數與空間分布如圖 4-4 所示。

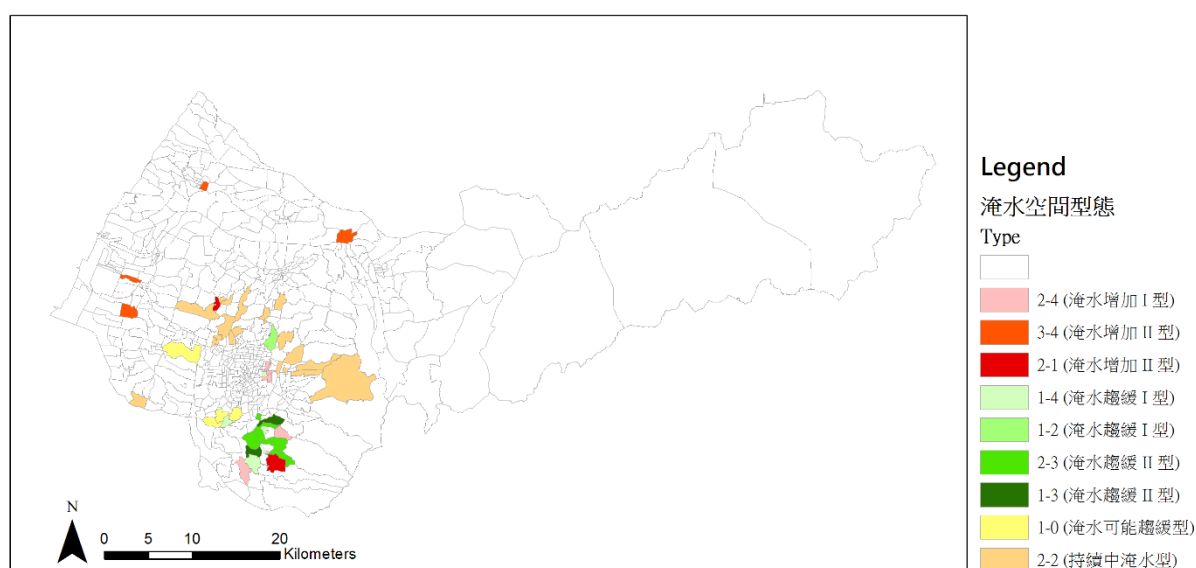


圖 4-4 臺中市間尺度空間分析分類圖

以下進一步說明各類型態的空間分布與村里各事件的局部空間自相關象限變化趨勢，最後配合相關資料中解釋與說明空間變動情形背後可能的原因。個別象限之淹水型態定義請參閱第三章研究設計。

本研究進一步選定空間變化明顯者，因此選定「淹水增加型」、「淹水趨緩型」、「可能趨緩型」及「持續低淹水」等淹水空間類型進行探討。並配合臺中市第三代淹水潛勢圖(104 年)輔助探討淹水特性與目前的淹水潛勢之關係。並可以得知在最近期的淹水潛勢模擬中，淹水趨緩地區淹水潛勢情形，以協助後續調適政策研擬。

二、淹水增加型

(一)類型概述

「淹水增加型」在本研究之 6 個事件歷史淹水資料中，淹水次數前期介於 0~1 次；當期介於 1~2 次，依據淹水空間型態程度差異共可分為 I 及 II 型，如下表 4-3 所述。

表 4-3 淹水增加型概述

類別	村里	類型說明
I 型 (微幅增加)	2-4(中淹水轉次高淹水)	淹水趨緩 I 型為淹水情形微幅增加者。
	東區早溪、十甲、合作里、霧峰區丁台里、 太平區新福里、大里區塗城里	
II 型 (大幅增加)	3-4(低淹水轉次高淹水)	淹水趨緩 II 型為淹水情形大幅增加者，且當期屬於高或次高淹水空間型態，亦表示近期(2009 後)淹水災情較嚴重，依據增加強度差異分成二小類。
	2-1(中淹水轉高淹水) 龍井區山腳里、大甲區中山里、梧棲區大庄里、 東勢區泰興里、北區建成里 大雅區文雅里、霧峰區菜園里、	

進一步觀察淹水增加 II 型之象限變化，該類別屬於前期淹水次數為 0~1 次；當期 2 次者，從象限變化圖中可以發現龍井區山腳里、大甲區中山里、梧棲區大庄里、東勢區泰興里、大雅區文雅里、霧峰區菜園里、北區建成等村里中，從前期象限集中於第三象限，至當期集中第四、第二象限於。因此表示該類型村里從前期低淹水型態轉變為中、次高淹水型態，淹水情形有增加的趨勢，如圖 4-5 所示。

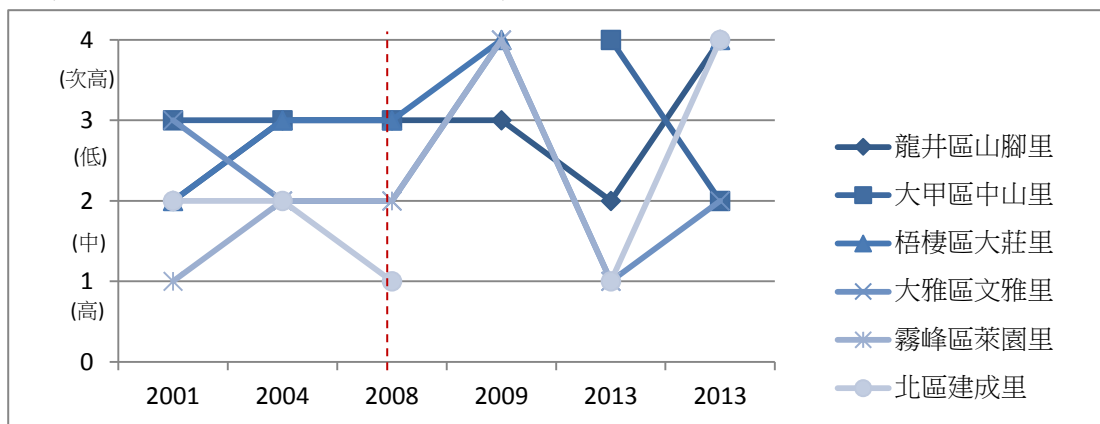


圖 4-5 淹水增加 II 型象限變化圖

註：1~4 表示各別村里局部空間自相關(LISA)之象限；0 表示不顯著

(二)調適策略探討

本研究針對淹水增加型之現行都市計畫地區，研提水災調適策略，本類型包含(一)發展程度較高：大雅都市計畫、臺中市主要計畫；(二)發展程度較低：霧峰都市計畫、台中港特定區、石岡水壩特定區。接著以淹水潛勢輔助觀察淹水增加型地區淹水潛勢情形，本研究採用 24 小時累積雨量達 450 毫米之大豪雨情境¹，可以發現都市計畫範圍內淹水增加型皆位於淹水潛勢範圍，如圖 4-6 及 4-7 所示。

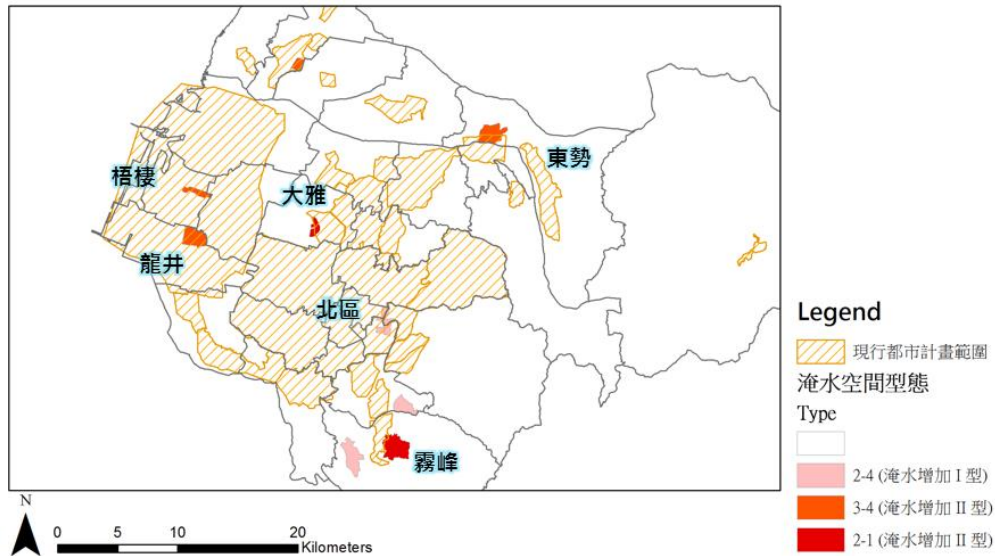


圖 4-6 淹水增加型空間分布與現行都市計畫範圍圖

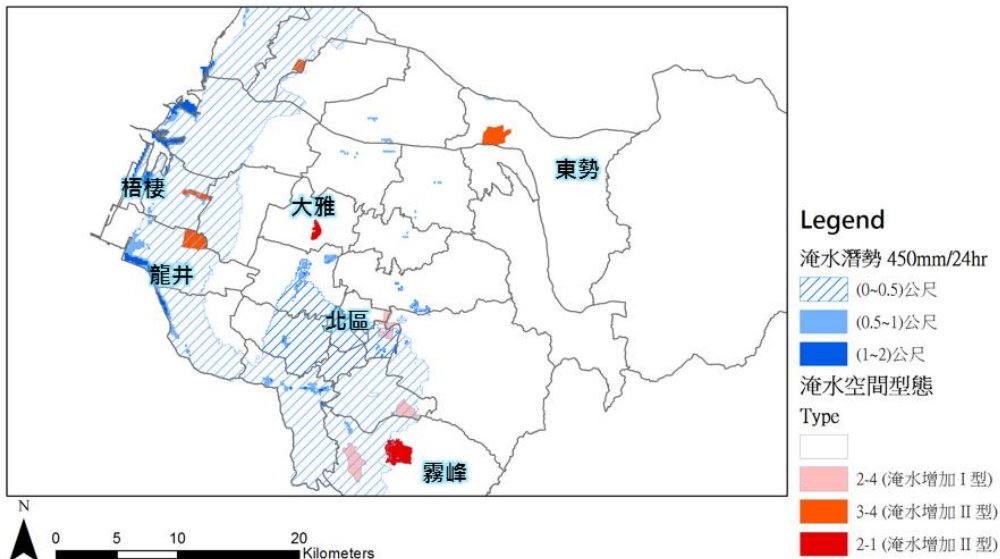


圖 4-7 淹水增加型之 24 小時累積雨量達 450 毫米淹水潛勢圖

資料來源：經濟部水利署 2017

¹ 依據中央氣象局雨量分級定義，24 小時累積雨量達 350 毫米以上稱之為大豪雨

針對淹水增加型，本研究建議針對都市發展程度差異，分別洪災調適策略如下：

(一)發展程度較高(城鄉 1 類)

依據現行國土計畫法國土功能分區及其分類之劃設原則，發展程度較高計畫區原則上屬第一類城鄉發展地區，建議透過(一)中尺度調適策略，以增加地區滯洪空間為主，包含公共設施多目標滯洪、增加道路及人行空間入滲；(二)小尺度調適策略，透過逕流總量管理制度納入都市開發的過程，在土地使用管制中檢討與落實逕流分擔與減量，包含：基地保水、建築雨水儲留、再利用等規範。

(二)發展程度較低(城鄉 2-1 類)

依據現行國土計畫法國土功能分區及其分類之劃設原則，發展程度較低計畫區原則上屬第 2-1 類城鄉發展地區，建議透過(一)中尺度調適策略，以增加地區滯洪空間為主，包含地區洪泛空間留設、農地作暫時性滯洪設施；(二)小尺度調適策略，透過道路入滲、基地入滲規範分擔逕流與減量。

三、淹水趨緩型

(一)類型概述

「淹水趨緩型」在本研究之 6 個事件歷史淹水資料中，淹水前期次數介於次 1~2 次；當期介於 0~1 次。依據淹水空間型態程度差異共可分為 I 及 II 型，如下表 4-4 所述。

表 4-4 淹水趨緩型概述

次類別	村里	類型說明
I 型 (微幅趨緩)	1-4(高淹水轉次高淹水)	淹水趨緩 I 型為淹水情形微幅趨緩者，但仍然具有淹水情形，依據下降後強度差異分成二類。
	東區東南里、大里區金城、霧峰區南柳、甲寅、本鄉、中正、本堂里、烏日區五光里	
II 型 (大幅趨緩)	1-2(高淹水轉中淹水)	淹水趨緩 II 型為淹水情形大幅下降者，且當期屬於低淹水空間型態，亦表示近期(2009 後)已無淹水災情。
	北屯區舊社里	
	2-3(中淹水轉低淹水)	
	霧峰區吉峰、錦榮里、大里區東湖西湖、中新、仁德里	
	1-3(高淹水轉低淹水)	
	霧峰區北柳里、大里區仁化里	

進一步觀察淹水增加 II 型之象限變化，該類別屬於前期淹水次數為 1~2 次；當期 0~1 次者，從象限變化圖中可以發現霧峰區吉峰、錦榮里、大里區東湖西湖、中新、仁德里、霧峰區北柳里、大里區仁化等村里中，從前期象限集中於第一、二象限，至當期集中第三象限於。因此表示該類型村里從前期高、中淹水型態轉變為低淹水型態，淹水情形有減緩的趨勢，如圖 4-8 所示。

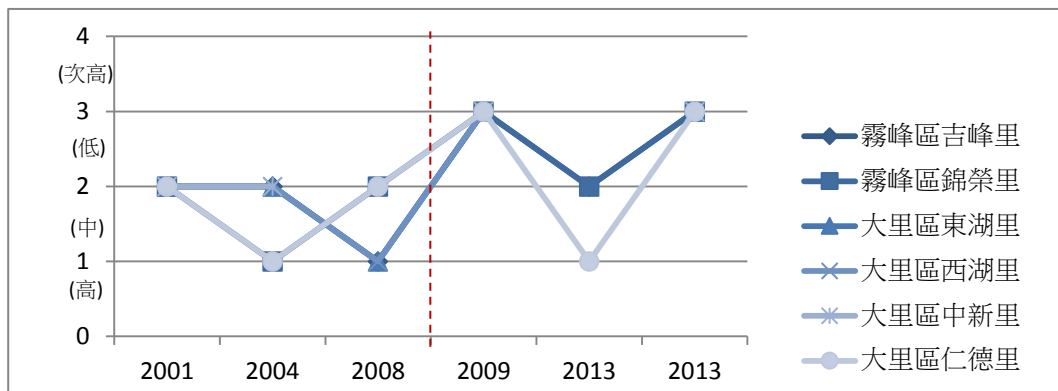


圖 4-8 淹水趨緩 II 型象限變化圖

註：1~4 表示各別村里局部空間自相關(LISA)之象限；0 表示不顯著

(二)調適策略探討

本研究針對現行都市計畫地區研提水災調適策略，本類型包含(一)發展程度較高：大里都市計畫、臺中市主要計畫；(二)發展程度較低：霧峰都市計畫。接著以淹水潛勢輔助觀察淹水增加型地區淹水潛勢情形，本研究採用 24 小時累積雨量達 450 毫米之大豪雨情境，可以發現除北屯區屬於零星淹水潛勢外，其餘淹水趨緩型仍位於淹水潛勢範圍中，如圖 4-9 及 4-10 所示。

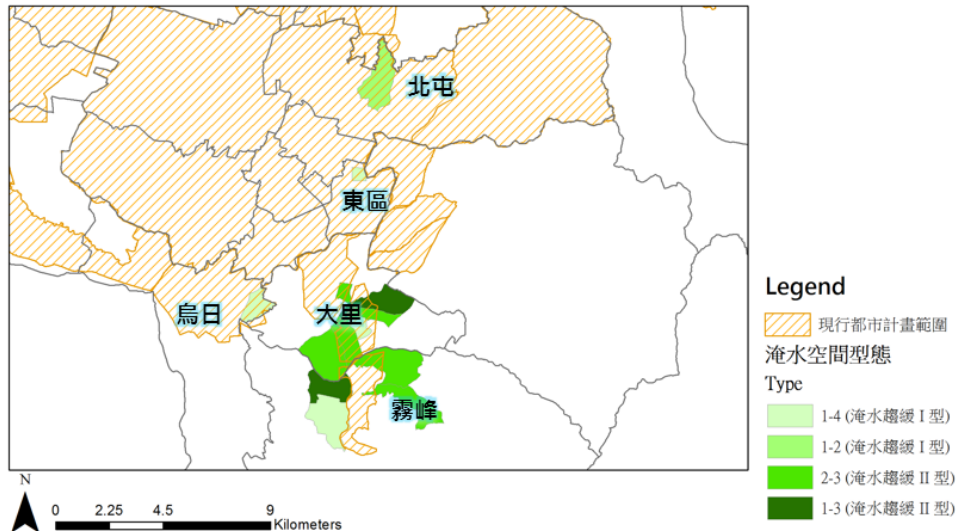


圖 4-9 淹水趨緩型空間分布與現行都市計畫範圍

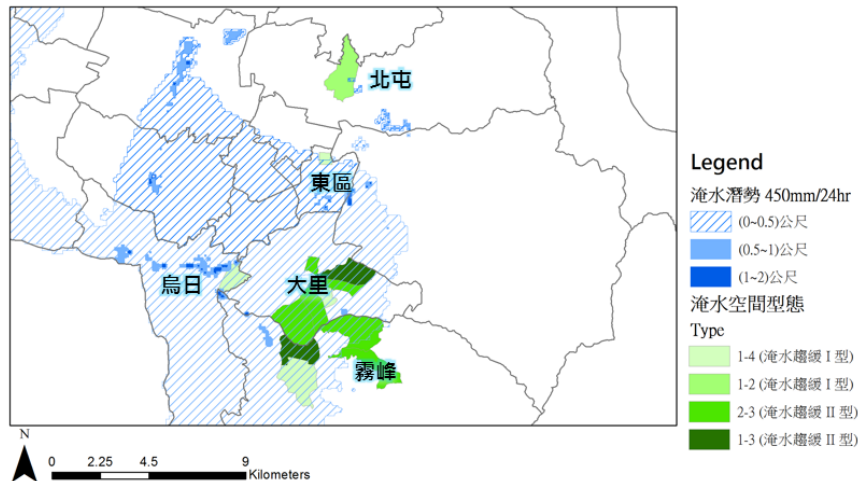


圖 4-10 淹水趨緩型之 24 小時累積雨量達 450 毫米淹水潛勢圖

資料來源：經濟部水利署 2017

在大里都市計畫、大里(草湖)都市計畫中，包含淹水大幅趨緩 II 型，本地區由於早期都市發展快速淹水問題嚴重，如前期之納莉、敏督利、卡梅基等淹水災害。因此本區一直是治水的重點區域。在 2006 起易淹水地區水患治理計畫、2015 之大屯區綜合治水工程等，使地區淹水情形獲得改善，故在空間分析成果中呈現淹水大幅趨緩。

然而，雖然本區淹水情形趨緩，但過去研究指出居民可能因為短期防災工程的信任，降低對於災害的意識。且對於政府防減災工程愈信任及依賴者，愈不會從事調適行為(Wachinger et al., 2013 ;洪鴻智、盧禹廷, 2015)。因此，針對仍位於淹水潛勢範圍之淹水區緩型地區，本研究建議加強該類型地區居民水災的調適能力，包含防災教育、宣導與疏散計畫與演練，提升災害應變效率，減少生命財產損失，與政府共同負擔水災的責任。



三、淹水可能趨緩型

(一)類型概述

「淹水趨緩型」在本研究之 6 個事件歷史淹水資料中，淹水前期次數介於次 3 次；當期介於 0~1 次。在前期屬於高淹水空間型態，當期則無達顯著之空間型態，因此表示該類型淹水情形可能趨緩，但未來仍需要持續觀察，如下表 4-5 所述。

表 4-5 淹水可能趨緩型概述

次類別	村里	類型說明
I 型 (微幅趨緩)	1-0(高淹水轉無顯著象限)	淹水可能趨緩型為淹
	烏日區前竹、明里	水情形近年趨緩者，但
	大里區樹王里	當期並非屬低淹水型
	西屯區協和里	態，故仍具有較高淹水可能性情形。

進一步觀察象限變化，從象限變化圖中可以發現烏日區前竹、明里大里區樹王里西屯區協和等村里中，從前期象限集中於第一象限，至近年則趨向集中不顯著。因此表示該類型村里淹水情形有減緩的趨勢，但並不顯著，未來有需要持續觀察之需要，如圖 4-11 所示。

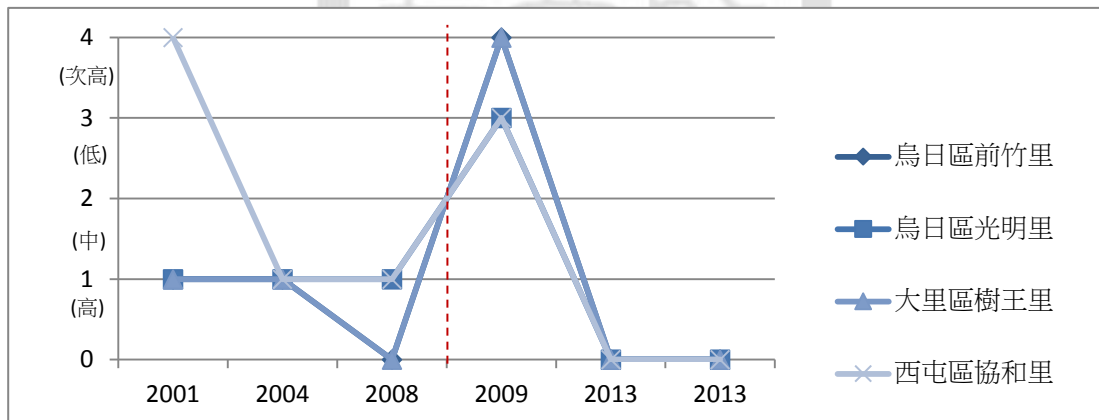


圖 4-11 淹水微幅趨緩型(HH-LL)第二類象限變化圖

註：1-4 表示各別村里局部空間自相關(LISA)之象限；0 表示不顯著

(二)調適策略探討

本研究針對現行都市計畫地區研提水災調適策略，本類型以發展程度較高都市計畫區為主，包含：大里都市計畫、烏日都市計畫區、臺中市主要計畫，在淹水潛中，本研究採用 24 小時累積雨量達 450 毫米之大豪雨情境，可以發現淹水可能趨緩型地區主要接近河川，包含筏子溪與大里溪沿岸，且然仍屬於水潛勢範圍中，如圖 4-12 及 4-13 所示。

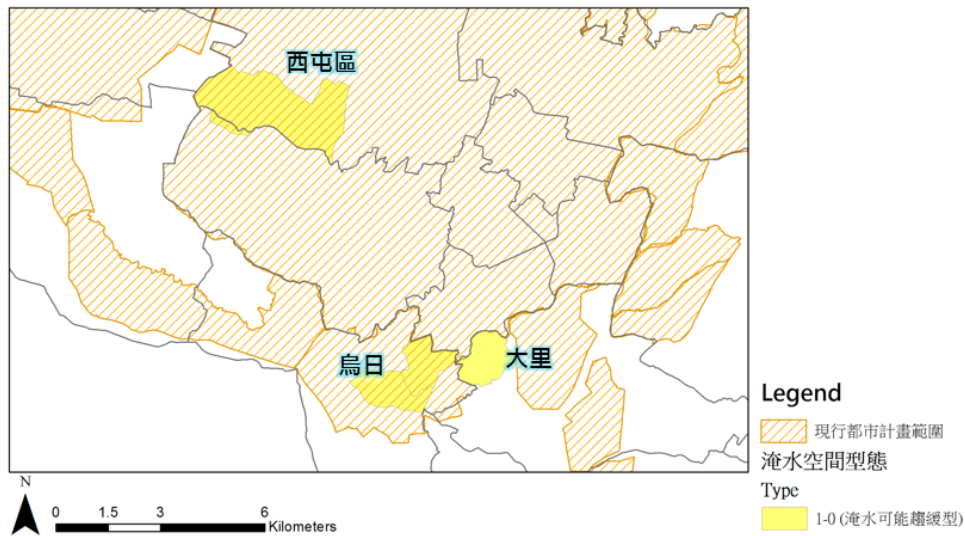


圖 4-12 淹水可能趨緩型空間分布與現行都市計畫範圍

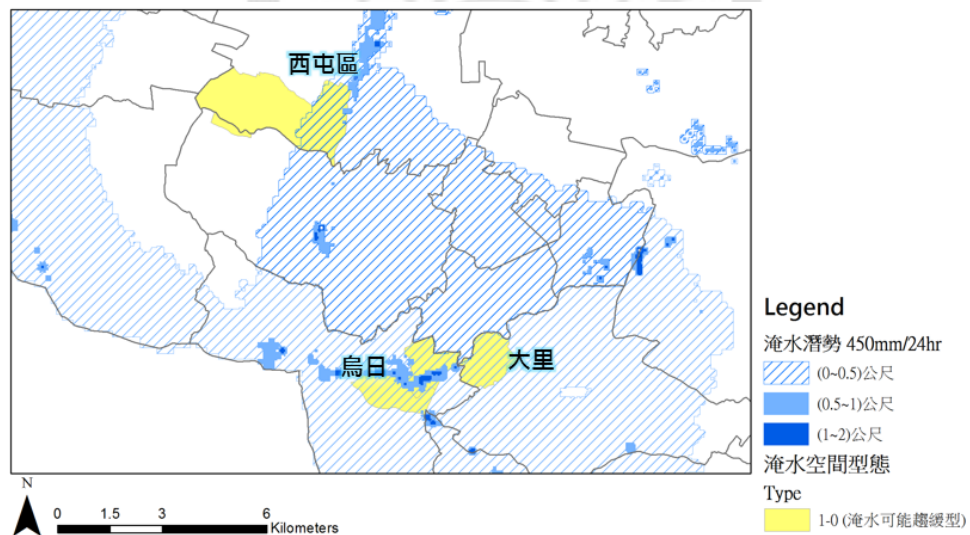


圖 4-13 淹水可能趨緩型之 24 小時累積雨量達 450 毫米淹水潛勢圖

資料來源：經濟部水利署 2017

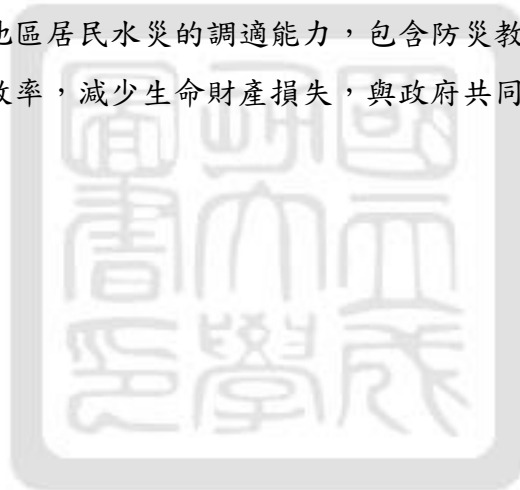
在大里都市計畫、烏日都市計畫區中，在 2006 起易淹水地區水患治理計畫、2015 之大屯區綜合治水工程等系列的治水計畫執行後，可以發現使地區淹水情形獲得短期的改善，但仍屬於高淹水潛勢地區，建議透過土地使用水災調適與增加居民水災的調適能力策略並型。

(一) 土地使用水災調適

包含透過(一)中尺度調適策略，以增加地區滯洪空間為主，包含公共設施多目標滯洪、增加道路及人行空間入滲、農地作暫時性滯洪設施；(二)小尺度調適策略，透過逕流總量管理制度納入都市開發的過程，在土地使用管制中檢討與落實逕流分擔與減量，包含：基地保水、建築雨水儲留、再利用等規範。

(二) 土地使用水災調適

建議加強該類型地區居民水災的調適能力，包含防災教育、宣導與疏散計畫與演練，提升災害應變效率，減少生命財產損失，與政府共同負擔水災的責任。



四、持續中淹水型

(一)類型概述

「持續中淹水型」在本研究之 6 個事件歷史淹水資料中，淹水前期次數介於次 0~1 次；當期介於 0~1 次。本類型村里長期處於本身淹水低但周圍村里程度高之情形。依據淹水空間型態程度差異共可分為 I 及 II 型，如下表 4-6 所述。

表 4-6 持續中淹水型概述

次類別	村里	類型說明
I 型	2-2	持續中淹水型 I
	北屯區軍功里、部子里、后庄里、新平里、大雅區大雅里、橫山里、西寶里、二和里、大肚區營埔里、太平區坪林里、頭汴里、新高里、新吉里、大興里、西屯區西平里、港尾里、西安里、潭子區、甘蔗里、潭子區嘉仁里	型為 6 個事件中淹水事件 4 期以下者。
II 型	2-2	持續中淹水型 II 型為
	北屯區仁美里、四民、松茂、松強、松勇里、潭子區家興、家福、潭陽、潭秀、潭北、頭家里、大肚區中和里	6 個事件中淹水事件 5 期以上者，為長期處於型態者。

進一步觀察淹水增加 II 型之象限變化，該類別屬於前期淹水次數為 1~2 次；當期 0~1 次者，從象限變化圖中可以發現北屯區仁美里、四民、松茂、松強、松勇里、潭子區家興、家福、潭陽、潭秀、潭北、頭家里、大肚區中和等村里中，從長期集中於第二象限，如圖 4-14 所示。

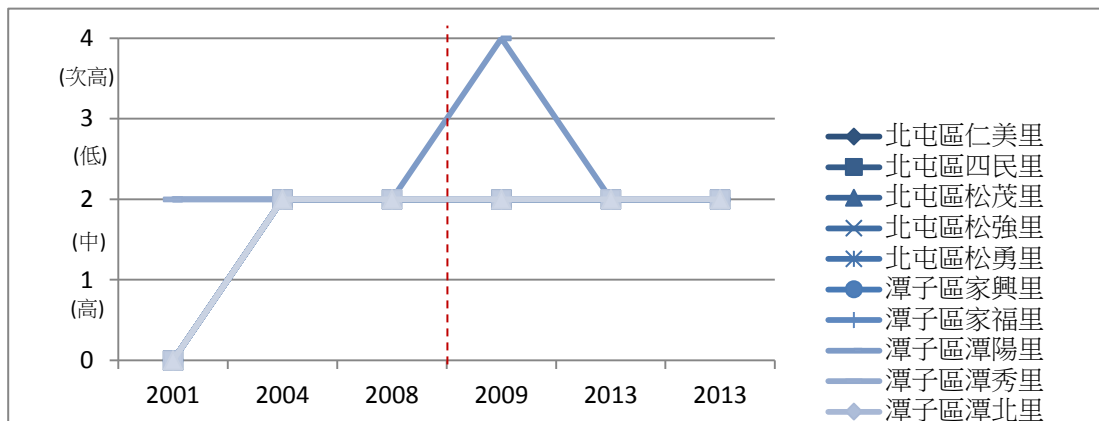


圖 4-14 持續中淹水型象限變化圖

註：1~4 表示各別村里局部空間自相關(LISA)之象限；0 表示不顯著

(二)調適策略探討

本研究針對持續中水型之現行都市計畫地區，研提水災調適策略，本類型包含(一)發展程度較高：大雅都市計畫、臺中市主要計畫、潭子都市計畫；(二)發展程度較低：太平都市計畫。接著以淹水潛勢輔助觀察淹水增加型地區淹水潛勢情形，本研究採用 24 小時累積雨量達 450 毫米之大豪雨情境，可以發現都市計畫範圍內持續中淹水型以零星潛勢範圍為主，如圖 4-15 及 4-16 所示。

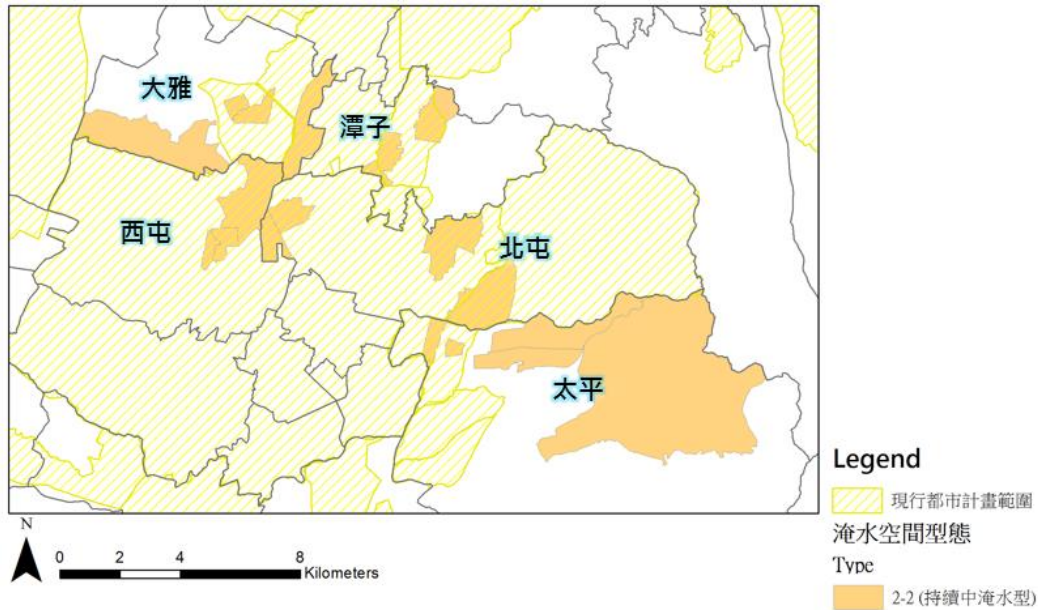


圖 4-15 持續中水型空間分布與現行都市計畫範圍圖

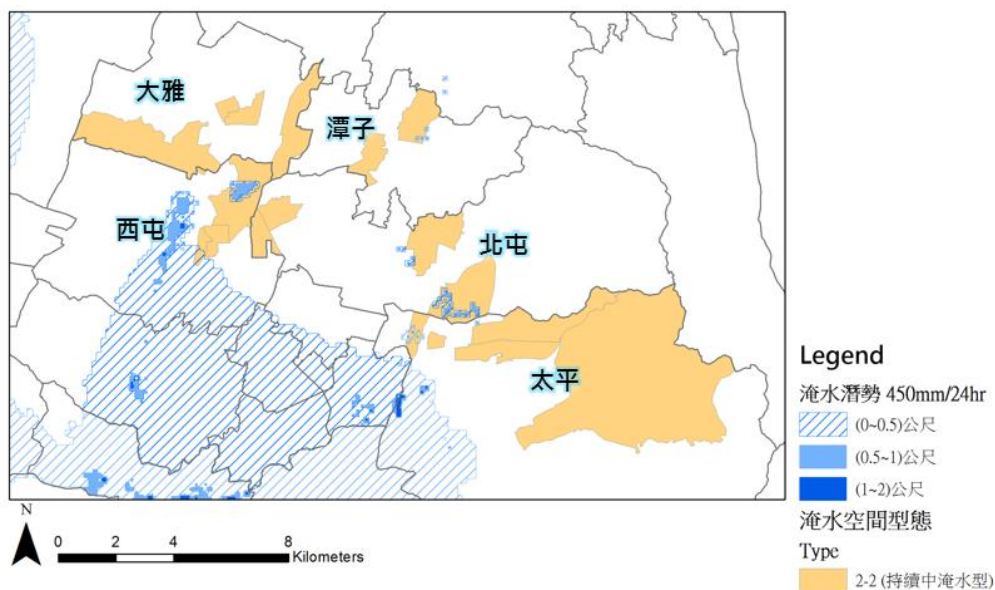


圖 4-16 持續中水型之 24 小時累積雨量達 450 毫米淹水潛勢圖

資料來源：經濟部水利署 2017

在大雅都市計畫、臺中市主要計畫、潭子都市計畫中持續中淹水村里，由於淹水程度不若淹水增加型嚴重，故建議以輔助性降低逕流為主，如透過低衝擊開發設施的導入，包含道路及人行空間、公園綠地，以及公共建築雨水再利用的推動等。

三、小結

透過本節之研究設計操作分析後，在各個分析結果中可以得知(一)全域空間自相關：在 9 個事件中，淹水空間分布並非隨機分布，而是存在一定程度的聚集。其中其空間自相關係數隨著在納莉、卡玫基、莫拉克及康芮颱風中呈現較低的情形，表示部分淹水事件在空間雖存在一定程度的聚集，但聚集的情形並不明顯。(二)地域空間自相關：前期高淹水空間型態(HH)集中於台中中南部包含西屯、南屯，為筏子溪沿岸，在當期則過去常淹水地區空間範圍則有縮減的趨勢，以及趨向無明顯集中情形，低淹水空間型態則位於中西部地區。(三)依據臺中市淹水空間型態驗證分類結果，本研究建議土地使用水災調適策略應從環境容受力與調整都市發展型態出發，並在配合今日現行國土計畫的推動下，重新檢討城鄉發展地區水文環境，並針對不同受災類別因地制宜研擬策略，淹水型態與水災調適策略建議彙整如下表 4-7 所示。

表 4-7 淹水型態與水災調適策略建議

淹水型態	城鄉發展地區	水災調適策略
淹水增加型	第 1 類	中尺度：洪泛空間留設、公共設施多目標滯洪 小尺度：道路及建物入滲、建物防洪減災、雨水再利用規範
	第 2-1 類	中尺度：洪泛空間留設、農地作暫時性滯洪設施 小尺度：道路入滲、基地入滲規範
淹水趨緩型	-	加強該類型地區居民水災的調適能力，包含防災教育、宣導與疏散計畫與演練為主。
持續淹水型	第 1 類	輔助性降低逕流為主，如透過低衝擊開發設施的導入，包含道路及人行空間、公園綠地，以及公共建築雨水再利用的推動等。

第五章 結論與建議

第一節 結論

依據本研究成果，以下分別針歷史淹水特性地區分類、驗證地區分類等成果進行結論說明：

一、歷史淹水時間尺度空間分析

本研究應用空間自相關於探討地區歷史淹水特性，相較於歷史淹水次數分布圖分析，空間自相關可以探討地淹水特性之空間距離遠近的關係，並利用長時間的資料彙整地區淹水長期聚集處。透過了解水災發生的時空間特性能進一步討論水災與環境、人類以及水災治理的關係。也因水災發生與土地使用因素息息相關，故藉由歷史水災事件的分析有助於掌握不同地區特性，提供調適策略擬定參考。

二、驗證地區淹水空間型態分類

在驗證地區中，「淹水增加型」地區為前期至當期長期且持續的常淹水區，是未來水災調適策略重點區；「淹水趨緩型」地區為近年大型颱洪事件中並未發生嚴重淹水地區，比較過去的淹水狀況可以反應一定的治水成效；「淹水可能趨緩型」地區為前期屬於高淹水空間型態，當期則無達顯著之空間型態，因此表示該類型淹水情形可能趨緩，但未來仍需要持續觀察；「持續中淹水型」地區為長期處於本身淹水低但周圍村里程度高之情形，並以小範圍淹水為主之地區。

第二節 建議

一、淹水空間型態與水災調適策略

依據臺中市驗證地區之淹水空間型態分類結果，本研究建議土地使用水災調適策略應從環境容受力與調整都市發展型態出發，並配合現行國土計畫的推動，針對不同受災類別水文特性因地制宜研擬策略，並做為未來臺中市國土計畫，城鄉發展地區水災調適策略參考。

(一)淹水增加型

淹水增加型地區建議配合現行國土計畫法推行，於縣市國土計畫規劃階段納入調適策略，透過(一)中尺度增加地區滯洪與入滲空間為主要調適策略，包含公共設施多目標滯洪、增加道路及人行空間入滲、農地作暫時性滯洪設施；以及(二)小尺度逕流分擔與再利用管理，並納入土地使用管制要點及都市設計準則中。

(二)淹水趨緩型

淹水趨緩型地區在短期工程減災獲得一定保護標準改善後，建議加強該類型地區居民水災的調適能力，包含防災教育、宣導與疏散計畫與演練，提升災害應變效率，減少生命財產損失，與政府共同負擔水災的責任。避免居民可能因為短期防災工程的信任，降低對於災害的意識反而降低調適意願，在面對未來極端氣候可能之極端降雨下造成更大的損失。

(三)持續中淹水型

持續中淹水地區，以零星淹水範圍為主，由於淹水程度不若淹水增加型嚴重，建議以輔助性降低逕流為原則，包含在公共設施開闢或更新時導入低衝擊開發設施，如道路及人行空間、公園綠地，以及公共建築雨水再利用的推動。

二、淹水特性地區分類

由於台灣在淹水資料的量測、整理及取得上的受限，無法同時取得研究區淹水深度、時間及範圍之淹水資料，因此本研究以資料最完整之淹水深度為水災研究基礎資料，因此在分析的精度上有侷限。未來若能取得長時間淹水深度與範圍歷史資料，則有助於時間尺度空間關聯分析之精確性，此為本研究限制或未能探討面向，建議後續研究探討參考。

參考文獻

- Ahn, J.-S., Kim, H., & Lee, Y.-W. (2009). Classification of changing regions using a temporal signature of local spatial association. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 36(5), 854-864.
- Anselin, L. (1993). *The Moran scatterplot as an ESDA tool to assess local instability in spatial association*. Morgantown, WV: Regional Research Institute, West Virginia University.
- Beighley, R. E., & Moglen, G. E. (2003). Adjusting measured peak discharges from an urbanizing watershed to reflect a stationary land use signal. *Water Resources Research*, 39(4).
- Böhm, H. R., Haupter, B., Heiland, P., & Dapp, K. (2004). Implementation of flood risk management measures into spatial plans and policies. *River research and applications*, 20(3), 255-267.
- Cœur, D., & Lang, M. (2008). Use of documentary sources on past flood events for flood risk management and land planning. *Comptes Rendus Geoscience*, 340(9), 644-650.
- Echols, S. (2008). Split-flow theory: Stormwater design to emulate natural landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 85(3-4), 205-214.
- Ferguson, B. K. (1995). STORM-WATER INFILTRATION FOR PEAK-FLOW CONTROL. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering-Asce*, 121(6), 463-466.
- Grothmann, T., & Reusswig, F. (2006). People at risk of flooding: why some residents take precautionary action while others do not. *Natural hazards*, 38(1), 101-120.
- Haining, R., Wise, S., & Ma, J. (1998). Exploratory spatial data analysis. *Journal of the Royal Statistical Society: Series D (The Statistician)*, 47(3), 457-469.
- Haase, D. (2009). Effects of urbanisation on the water balance—A long-term trajectory. *Environmental Impact Assessment Review*, 29(4), 211-219.
- Herold, C., & Mouton, F. (2011). Global flood hazard mapping using statistical peak flow estimates. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 8(1), 305-363.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). *Climate Change 2014—Impacts, Adaptation and Vulnerability: Regional Aspects*. Cambridge University Press.
- Kates, R. W., Burton, I., & White, G. F. (1986). *Geography, resources, and environment: Selected writings of Gilbert F. White*: University of Chicago Press.
- Legendre, P. (1993). Spatial autocorrelation: trouble or new paradigm?. *Ecology*, 74(6), 1659-1673.
- Mitchell, J. K. (1998). Introduction: hazards in changing cities. *Applied Geography*, 18(1), 1-6.
- Mostert, E., & Junier, S. (2009). The European flood risk directive: Challenges for research. *Hydrology and Earth System Sciences Discussion*, 4961–4988.

- Rey, S. J. (2001). Spatial empirics for economic growth and convergence. *Geographical Analysis*, 33(3), 195-214.
- Skakun, S., Kussul, N., Shelestov, A., & Kussul, O. (2014). Flood hazard and flood risk assessment using a time series of satellite images: A case study in Namibia. *Risk Analysis*, 34(8), 1521-1537.
- Wachinger, G., Renn, O., Begg, C., & Kuhlicke, C. (2013). The risk perception paradox—implications for governance and communication of natural hazards. *Risk Analysis*, 33(6), 1049-1065.
- White, G. F. (1974). *Natural hazards, local, national, global*: Oxford University Press.
- 李俊霖, 黃書禮, & 詹士樑. (2007). 生態永續思潮下之國土資源保育. *都市與計劃*, 34(3), 167-191.
- 林永峻, 張向寬, 馬國宸, 賴進松, 張倉榮, 吳祚任, 譚義績. (2014). 海嘯危險度地圖—以新北市金山與萬里區為例. *農業工程學報*, 60(3), 42-54.
- 洪鴻智, & 陳令韡. (2012). 颱洪災害之整合性脆弱度評估-大甲溪流域之應用. *地理學報*, (65), 79-96.
- 洪鴻智、盧禹廷. (2015). 沿海居民的氣候變遷與颱洪災害調適. *都市與計劃*, 42(1), 87-108.
- 夏興生、朱秀芳、潘耀忠、張錦水. (2016). 基于历史案例的自然灾害灾情评估方法研究. *灾害学*, 31(1), 219-225.
- 張學聖, & 廖晉賢. (2013). 臺南市土地使用計畫之水災風險分析. *都市與計劃*, 40(1), 59-79.
- 經建會. (2012). 國家氣候變遷調適政策綱領. 行政院經濟建設委員會 (現稱行政院國家發展委員會), 台北市, 台灣.
- 陳韋伶. (2010). 以水災風險管理觀點評估土地使用調洪策略之研究--以鹽水溪流域為例. 成功大學都市計劃學系學位論文, 1-109.
- 陳亮全、周仲島. (2010). 劇烈氣候變異與臺灣風險環境的形構：全球風險環境的形構-氣候變遷對台灣總體安全的衝擊. 遠景基金會, 台北市, 台灣.
- 陳亮全、陳海立. (2007). 易致災都市空間發展之探討：以臺北盆地都市水災形成為例. *都市與計劃*, 34(3), 293-315.
- 鄒克萬, & 黃書偉. (2007). 都市土地利用變遷對自然環境衝擊之空間影響分析. *地理學報*, (48), 1-18.
- 謝昕穎. (2013). 減洪式土地使用規劃架構之研究-以高雄新市鎮為例. 成功大學都市計劃學系學位論文, 1-94.