國立成功大學 都市計劃研究所 碩士論文

臺中市基於綠色基盤地景特徵探討減洪策略之研究
A Research of Flood Reduction Strategy
in Taichung City based on Landscape Characteristic of Green
Infrastructure

研究生:潘冠伶

指導教授:林漢良

中華民國 108 年 6 月 12 日



隨著氣候變遷和不透水表面的蔓延,全球一直面臨淹水頻繁發生的嚴峻挑戰,台中市亦同。面對這樣的挑戰,台中市府已進行許多綠色基盤之建設,但文獻指出,規劃者在以綠色基盤進行淹水改善策略擬定時,應考量綠色基盤的地景特徵。因此,本研究以景觀指數進行台中市地景特徵之定量計算,配合 Physiographic Drainage-Inundation Model 淹水模擬軟體評估在不同綠色基盤大小、形狀和位置之改善策略下,不同地景特徵對淹水減緩效果之影響。

研究結果指出,依據雙變量局部空間自相關設計之綠色基盤改善策略在宏觀模擬中產生大量淹水減少,並且在以面積指數為標的進行綠色基盤配置時達到最高之減洪與聚集效果。最後,本研究從該模擬結果中抽樣 8 個網格,進行個別模擬以觀察抽樣網格周圍之微觀水文,並提出一套考量地景特徵之綠色基盤規劃策略框架。

#### Abstract

Amid climate change and sprawling of impervious cement surface, urban area encounters severe challenges from increasing run-off and frequency of floods around the world. This research interests in the contribution of Green Infrastructure (GI) in Taichung City to flood reduction. Literature pointed out that taking advantage of GI to increase vegetation and to reduce flood, planners should consider the landscape characteristic of GI. Therefore, this research assesses the effectiveness to mitigate flood with different landscape characteristics of urban GI in Taichung City, such as parks, schools, squares, in terms of the size, shape, and location of GI, which are quantitatively calculated with Landscape Metrics (LMs) in this research.

The research approach in this study is Simulation Approach. The flood is simulated by Physiographic Drainage-Inundation Model (PDIM), which is developed based on the inundation theory presented by Cunge (1975) (Shiau, 2012) and programmed by Professor Chang-Tai Tsai in National Cheng Kung University, and the flood simulation is run under different GI distribution. The relationship between GI distribution and flood is examined in an empirical case study based on the initial result of the simulation and the LMs of GI. New simulation results in the empirical study are further analyzed with Local Spatial Autocorrelation (including Univariate Local Spatial Autocorrelation and Bivariate Local Spatial Autocorrelation) and Narrative statistics, which are the research methods in this research.

This research designates GI at H\_L (flood height high but GI LMs low) cell, which does engender generous flood reduction in macro simulation, and the GI strategy achieves the highest effect

and clustering phenomenon in SA (flood height high but GI Area LMs low). Finally, this research samples 8 cells in Taichung City from SA to observe micro hydrology around these cells. Flow direction and hydrology graph show that the influence of strategy implementation to every target cell and its surrounding cells differs in extent and location, which signifies the dynamic feature of flood and provides planners a more concrete reference in the respective of comprehensive environment characteristics.

Keywords: Flood Reduction Strategy, Green Infrastructure, Landscape Characteristic, Physiographic Drainage-Inundation

Model, Landscape Metrics



# Contents

Chapter 1. Introduction1
1.1 Research Background and Motivation1
1.2 Goal and Objectives2
1.3 Thesis Structure
1.4 Research Scope
Chapter 2: Literature Review6
2.1 The Importance of GI to Flood Reduction6
2.2 The Development of Water Management in the World9
2.3 The Current Development of Flood Reduction Action in Taiwan9
2.4 The Application of Landscape Metrics (LMs) in Previous Research9
Chapter 3: Research Methodology11
3.1 Research Approach11
3.2 Research Tools
3.3 Research Method
3.4 Noun Definition14
3.5 Research Process
3.6 Basic Data and Calculation Construction of PDIM18
Chapter 4: Empirical study23
4.1 Current Land Use and Landscape Metrics
4.2 Current Flood Simulation (S0)
4.3 Bivariate Local Spatial Autocorrelation of Flood and LMs in the Research Area

4.4 Case Simulation and Analysis	. 34
4.5 Micro Hydrology Analysis	39
Chapter 5: Conclusion and Advice	50
5.1 Research Finding	50
5.2 Limitations of the Study and Recommendation for Future	
Research	51
Reference	52



(圖表目錄由於部分內容刪減而予以刪除,且標號為利於與原文進行對 照,而保留原編號,若欲完整對照,可參閱本研究原文)



# Chapter 1. Introduction (前言、研究緣起與目的)

# 1.1 Research Background and Motivation

在氣候變化和不透水泥表面蔓延的情況下,世界各地都市地區面臨著淹水氾濫頻率增加的嚴峻挑戰,台中市也是如此。在這種情況下,當局和規劃者採取非結構性策略,如土地利用空間規劃,淹水保險和防洪建設(Pilon,2002)已超過10年。(第2.2節和第2.3節)在本研究中,作者主要關注上述第一個策略——土地利用空間規劃,其背景將在以下段落中描述。

應用土地利用空間規劃來減輕淹水意味著人們應該從更高的角度來看 待淹水問題:將減災策略與法定城市規劃相結合。法定城市規劃對於減少淹 水至關重要,因為城市規劃通過分區和相關法規來限制土地利用類別(第 2.3.1節),過去的大量研究指出土地利用變化是影響淹水程度的主要因素。 土地利用與淹水之間的關係來自地表滲透率,而與不透水表面相比,植被可 以提供更多滲透,以及樹冠和土壤的儲水率。(2.1.1節)

能夠為植被提供空間,開放空間是最好地利用植被作為減少城市空間規劃淹水的策略。(2.1.1 節)台灣有大量的研究討論如何通過在開放空間設置保留設施來適應氣候變化,甚至通過淹水模擬評估不同配置的開放空間的減洪效果(第2.3.2 節)。另一方面,文獻指出,利用開放空間增加植被和減少淹水,人們不得不考慮開放空間的景觀特徵。這個想法涉及綠色基礎設施(GI)的概念,它比開放空間具有更廣泛的意義,並強調網絡的重要性。(2.1.2 節)因此,本研究致力於評估都市中不同綠色基盤地景特徵對於減緩淹水的影響。

然而,GI的景觀特徵難以量化。少數的研究將景觀指標(LMs,源自景觀生態學的定量分析指標)應用於水文學,也就是以現況的淹水模擬和 LM 來探索它們之間的關係(第 2. 4 節),然而本研究的目的是探討當 GI 改善時,淹水是如何受到調整的 LM 所影響。在本研究中,改善 GI 的相關行為被稱為「GI 策略」,下一節將說明,本研究如何在「GI 座落位置規劃框架」下,研究「GI 的地景特徵」在「GI 策略」中的影響。

# 1.2 Goal and Objectives

本研究旨在探討在台中市實施 GI 策略時,調整後的景觀特徵如何影響淹水。這裡的「影響」包括:淹水改善的總面積、淹水減少的總量、淹水改善地點的聚集地點和範圍。探索此些影響的目標是提出一套評估方法,讓規畫人員在為台中市以減少淹水的目標而規劃 GI 時,能有效地將景觀特徵的影響納入考量。這項研究的實證結果並不會是台中市規劃及坐落 GI 的直接參考依據,但整套評估框架將適用於不同情境、不同地區之重複模擬。因此,本研究更像是對 GI 規劃與座落框架在台中市的試驗,同時探索 GI 策略在中市的影響。在該框架下,必須查看每個 GI 的影響,以決定是否應在特定地點坐落 GI。因此,框架在宏觀和微觀兩者中操作,且微觀框架是基於宏觀結果操作。(Figure 1)

綜合上述,本研究是一項實證研究,旨在以 GI 的景觀特徵評估台中市 GI 的座落,並使地理空間規劃有助於台中市淹水減緩。測試框架的具體操作細節可見於第 3 章,操作過程則將在 3.5 節中詳細說明。通過本研究的整體設計,本研究將實現的目標包括:

- (1) 有關於本研究之整體文獻回顧:包括植被和 GI 的重要性、過內外 減少淹水之土地利用空間規劃和 LMs 的應用
- (2)探討在台中市實施本研究 GI 策略的影響
- (3) 提出一套根據 GI 的景觀特徵評估 GI 配置的框架

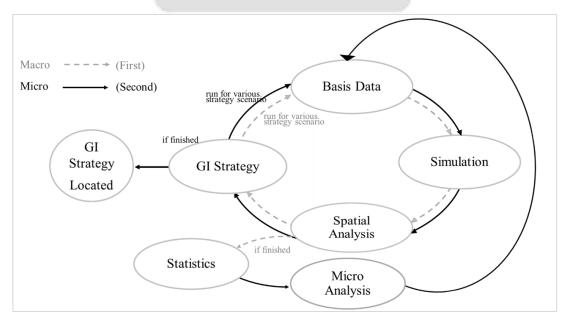


Figure 1. Graph of concept framework for GI locating planning

### 1.3 Thesis Structure

本研究的論文結構包括 Ch1:前言,Ch2:文獻回顧,第3章:研究方法,第4章:實證研究,以及第5章:結論與建議。 Ch2 中的文獻回顧有助於本研究闡明 Ch1 和研究設計。研究設計在 Ch3 中進行了解釋,並在 Ch4中進行展開。 最後,從 Ch4 的結果總結的結論和建議將寫在 Ch5 中。

整體論文結構如 Figure 2 所示。

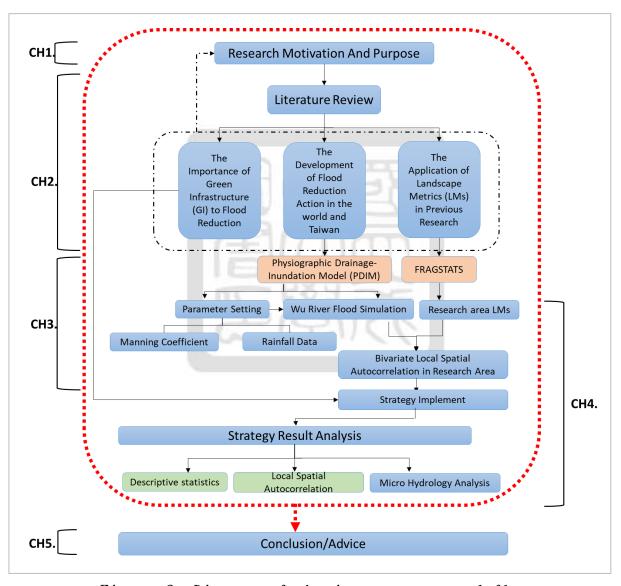


Figure 2. Diagram of thesis structure and flow

# 1.4 Research Scope

本研究選擇烏溪流域作為淹水模擬區域,與台中市相交的區域(圖3)則為應用綠色基礎設施改善策略(GI 策略)的範圍(以下稱為研究範圍)。選擇這樣的實施範圍是基於這項研究對於都市範圍內 GI 的景觀特徵之重視,但淹水模擬範圍又必須在一整體集水區進行。

烏溪位於台灣中部,其源頭來自中央山脈的合歡山。下游的一部分經過台中市,向西流入台灣海峽。全長 119.13 公里,流域範圍共 2025.6 平方公里。

本研究的研究範圍是鳥溪流域的一部分,包括原台中市和部分舊台中縣(霧峰區,太平區,大里區,鳥日區,大肚區,潭子區,大雅區和部分的豐原區及神岡區)。研究範圍的某些部分過去是農地,而近年的市地重畫劃減少了這些農地的面積。面對極端氣候和不斷增加的災難規模,我們需要不斷思考如何使台中市變得更具韌性。根據下一章的文獻回顧,GI被定義為具有網絡特性的綠色空間,能夠為自然生態系統提供保護功能,並為人類提供相關益處(Benedict&McMahon,2002),便是可以被考慮在極端氣候條件下減少淹水的角色。本研究將模擬GI策略在台中市不同地方改善淹水的效果,以檢驗景觀特徵的影響,據以提出實際之規劃與座落框架。

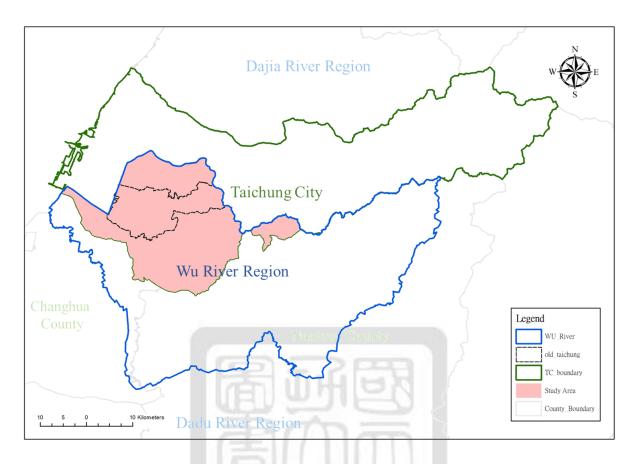


Figure 3. Graph of research area

### Chapter 2: Literature Review (文獻探討)

2.1 The Importance of Green Infrastructure (GI) to Flood Reduction

土地利用與淹水之間的關係一直受到水文、土地利用政策、城市規劃、 災害管理等方面影響。在這種關係中,植被是減災的關鍵,規劃者可以充分 利用都市裡開放空間與 GI 的植被來減輕淹水。在本節中,本研究回顧文獻 以確認並討論開放空間和 GI 值得關注的原因,並列舉了 GI 的益處和功能。 2.1.1 The importance of vegetation and open space

淹水程度與一個地區的土地使用有關。Weatherhead 和 Howden(2009) 通過回顧相關研究來分析土地利用對水資源的影響。研究指出,土地利用對 淹水的主要影響是峰值流量的變化。Brath 等人(2006)用空間分佈的降雨 一徑流模型進行了模擬,分別評估了 1955 年和 1980 年義大利峰值流量的變 化。由於森林、草地、牧場、農作物等的面積比例不同,研究中的峰值流量 發生了變化。Liu and Shi (2017)的研究試圖考察土地利用變化的影響, 並比較武漢四個歷史時期三次淹水情境中脆弱度的不同。根據上述研究,本 研究證實土地利用與淹水之間存在明顯的關係。

土地利用與淹水之間的密切關係在於植被。在透水鋪面技術被廣泛用於減災之前(尤其低衝擊開發策略),許多研究主要集中在處理淹水管理的不透水面上。然而,不透水表面只是換個角度看待植被變化。因此很多研究致力於探討植被改變與淹水之間的關係。例如,Bultot等人(1990)的研究結果表明,由於植被冠層和土壤中的表面滲透率、滲透率與儲水率,植被的存在會對淹水產生影響。布朗等人(2005)在澳洲則進行了雙流域研究以檢查植被變化導致的水量變化。另一方面,還有一些研究著重在流域內濕地的不同比例,並得出自然濕地和人工濕地的益處(Brody等,2007)。在得知植被影響淹水後,規劃者和研究人員應該考慮如何利用這種關係來減少淹水。

雖然上述研究主要都是在評估農村地區植被與淹水的關係,但這一概念也可以在都市地區採用。在都市裡,開放空間可以通過種植植物和設置滯洪池儲存徑流,甚至可以相互連接來擴大都市內植被比例。Brody和Highfield (2012)的研究評估 1999-2009 年採用 FEMA 社區評級系統 (CRS) 計劃(一個透過開放空間減緩淹水的計畫)的 450 個美國在地社區,確認了開放空間

減少淹水破壞的影響。這項研究是一個具體的證據,證明開放空間應該是減災時的應該被關注的點。

### 2.1.2 From open space to GI

開放空間包括公園、學校、廣場等,通常有很多植被空間可以用來減輕淹水。然而,GI 也代表公園、學校、廣場等,考慮到 GI 在定義裡重視其「聯結」的特性,本研究認為其更適合作為減災策略的標的代稱。大量的研究已經證明了 GI 的好處。本節將系統地回顧一些提及 GI 益處和功能的文獻。

文獻通常通過回顧以前的研究或通過在實證研究中檢驗他們的研究假設來總結 GI 的益處和功能。Demuzere 等人(2014)審查 GI 的服務和效益,將其分為兩類:(1)物理功能(2)心理和社會功能,並根據它們在不同空間尺度上對氣候變化適應和減緩的相關性提出一個框架(Figure 4)。為了回應 Demuzere 研究中列出的物理功能的例子,在 Merrow(2017)的研究中,底特律的 GI 可以揭示當城市管理局劃設 GI 後,這些 GI 有減輕雨水、城市熱島和空氣污染的功能。另一方面,對於心理和社會功能,在 Demuzere 的參考文獻中有大量證據可以證實 GI 具有這些功能。例如,Tzoulas等人(2007)基於來自跨學科的大量研究證明了 GI 的心理和社會功能,並將所有益處與GI 聯繫起來(Figure 5)。所有這些文獻都反映了一本專門談論 GI 的書籍 Green Infrastructure: Smart Conservation for the 21st Century (Benedict and McMaho, 2006, P. 5)中的陳述::

"Green infrastructure means different things to different people depending on the context in which it is used."

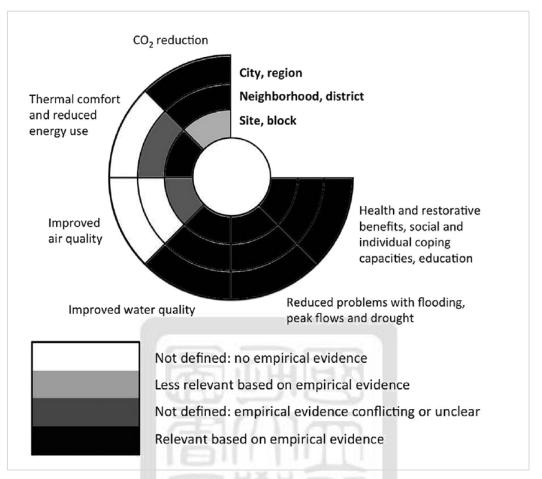


Figure 4. Framework of benefits and functions of GI proposed (Demuzere et al., 2014)

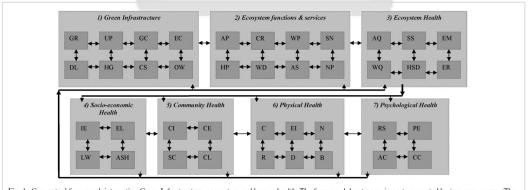


Fig. 1. Conceptual framework integrating Green Infrastructure, ecosystem and human health. The framework has two main parts separated by two-way arrows. The top half (ecosystem) has three interrelated boxes and the bottom half (human health) four interrelated boxes. Two-way arrows indicate two-way interactions. Key: GR: green roofs; UP: urban parks; GC: green corridors; EC: encapsulated countryside; DL: derelict land; HG: housing green space and domestic gardens; CS: churchyards, cemeteries and school grounds; OW: open standing and running water; AP: air purification; CR: climate and radiation regulation; WP: water purification; SN: soil and nutrient cycling; HP: habitat provision; WD: waste decomposition; AS: aesthetic and spiritual; NP: noise pollution control; AQ: air quality; SS: soil structure; EM: energy and material cycling; WQ: water quality; HSD: habitat and species diversity; ER: ecosystem resilience; IE: income and employment; EL: education and lifestyle; LW: living and working conditions; ASH: access to services and housing; CI: sense of community identity; CE: community empowerment; SC: social capital; CL: culture; C: cardiovascular; EI: endocrine functions and immunity; N: nervous system; R: respiratory; D: digestive; B: bone tissue; RS: relaxation from stress; PE: positive emotions; AC: attention capacity; CC: cognitive capacity.

Figure 5. Framework of benefits of GI to human health proposed (Tzoulas et al., 2014)

2.2 The Development of Water Management around the World

此部分本研究回顧了Best Management Practices (BMPs), Stormwater Control Measures (SCMs), Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS), Water Sensitive Urban Design (WSUD), Integrated Water Management (IWM)等國際上水資源管理重要名詞與概念,然考量篇幅限制且已有眾多研究做此等文獻之回顧,本重點節錄在此省略之,詳細可參閱本研究之原文。

- 2.3 The Current Development of Flood Reduction Action in Taiwan
- 此部分本研究回顧了台灣的淹水管理架構以及其與台灣規劃體系之關聯,並回顧在這樣的體系下,有關當局已經進行的其他淹水減緩行動,同樣有鑑於篇幅限制與相關回顧眾多,本重點節錄在此省略之,詳細可參閱本研究之原文。
- 2.4 The Application of Landscape Metrics (LMs) in Previous Research

利用保護或促進 GI 來減輕淹水時,規劃者需要考量它們的位置、形狀和大小,以及與周圍土地利用的整合 (Brody 和 Highfield, 2012)。這些考慮可以概括為「Pattern」,也就是 2.1 節 (Bultot, 1990; Brody 等, 2007; Weatherhead 和 Howden, 2009; Liu 和 Shi, 2017) 中提到的大多數研究都強調的概念。本研究將其稱為 GI 的景觀特徵,並在本研究中以景觀指標(LMs)進行這些特徵的定量評估。本節將回顧 LM 的基本概念、LM 的傳統研究以及應用 LMs 評估景觀特徵對淹水影響研究。

LMs 源自景觀生態學(LE),被用於評估土地利用的分布。 LM 用於在不同情況下評估相同的坵塊,而不是比較不同的坵塊。 因此,大多關於 LMs的研究是在研究綠地的變化。例如,Lee 等人用 LM 來分析墾丁國家公園(2006)和清境地區(2012)的土地覆蓋過渡情況; Hesieh(2011)也用 LMs研究了台中的綠色空間過渡。與此同時,一些研究進一步建立了 LMs 的評估因子。例如,Ho(1999)通過 LE 方法建立了城市公園的評價因子; Tseng(2000)在城市公園和綠地的層次分析過程中建立了 LMs 評估因子,並以這些因子的評估結果進行公園與綠地的分配。顯然的,LM 是評估傳統 LE 土地利用覆蓋率的好工具。

另一方面,一些研究將LM和其他學科結合起來進行相對和比較的研究。

例如,在水文學,Brody 等人(2017)使用 Moran' I 將 LMs 和淹水損失進行空間自相關分析。在研究中,LMs 表明了哪些類型和空間特徵的開放空間,對於減少淹水較有效果。Tsai(2017)使用 Physiographic Drainage-Inundation Model 模擬現況淹水和模擬情景之間,模擬的情境便是以 LM 進行調整。通過模擬,研究篩選出與曼寧係數變化相關的 LM,可用於解釋城市的韌性。這兩項研究皆在近兩年前發表,這意味著將 LM 應用於其他領域是 LMs 應用的新趨勢。然而,前者使用淹水損失作為評價標準,由於淹水損失受多種因素的影響,因此不足以直接看到減災的有效性。後者強調城市中的模式,側重於建築環境,而不是植被。因此,本研究對 Tsai(2017)的研究採用了類似的方法,並側重於植被。

綜上所述,LMs 在過去的研究中有很多應用,而 LMs 確實提供了景觀特徵與淹水之間的關係訊息。想要探索地景特徵的人可以善用 LM 做為研究的工具。本研究關於 LMs 的選擇與應用將撰寫於 3.4.1 和 4.3 節中。



### Chapter 3: Research Methodology (研究設計、架構、分析方法)

本研究旨在通過統計分析 GI 策略的影響來測試 GI 規劃框架。該框架包括宏觀和微觀的水文分析。參考大多數關於淹水影響分析的相關研究,本研究從淹水模擬中捉取統計數據。另一方面,本研究提出了一套操作以探索淹水在實施 GI 策略時如何受景觀特徵的影響。當前的淹水模擬結果揭示了面臨高淹水深度的地方,再用 LM 計算 GI 的當前景觀特徵數值,便可找到 GI 較不完善的地方。本研究認為,高淹水深度的地區若配有較不完善的 GI(以下稱為 H\_L(High flood depth and low LMs)地區),就將明顯無法容納逕流。因此,本研究在這些 H\_L 地區實施 GI 策略並進行實施前後淹水比較。這些 H\_L 地區將通過雙變量局部空間自相關 (BLSA) 找出,並在 3.5 節中詳細描述操作過程的細節。

為了完成 BLSA,本研究應用 FRAGSTATS 來指認出低 LM 的 GI。H\_L 地區被找出後,方案模擬便會依據改善這些地區的 GI 後的情境進行。此部分的方案模擬是 GI 規劃與座落框架中「宏觀」的部分,第 4 章中的案例稱為 SA, SG 和 SS。在這些案例模擬後,本研究利用統計分析找出 GI 策略中哪些景觀特徵在淹水結果中具有較高的影響。

基於宏觀模擬和統計比較的結果,可以得出研究領域中較有影響價值的景觀特徵。找出較有影響價值的景觀特徵後,本研究再依據該景觀特徵進行「微觀」的模擬檢驗,包括所選地點周圍的流向和水文圖。在本研究所提出的此套框架下,規劃者和當局可以決定他們改善GI的地方。此外,還可以透過統計檢查了每個選定的地區中不同GI改善的具體影響,這樣的整體研究設計與研究框架將會為未來的研究、規劃或設計都提供更多信息。

綜上所述,本研究的一切分析是以模擬為基礎。為了進行模擬並進一步將模擬內容與景觀特徵相結合,地文性淹水模型 (PDIM) (將在 3.2.1 節中介紹)和 FRAGSTATS 是本研究的研究工具。局部空間自相關和敘述統計則是分析模擬結果的研究分析方法。本章將在 3.1~3.3 節中介紹上述各項內容,專有名詞的定義和實證研究的過程則分別在 3.4 節和 3.5 節中說明。最後,第3.6 節展示 PDIM 淹水模擬的基本數據和計算結構,以供第4章中實證研究之需要。本研究特繪製 Figure 9 呈現本研究方法論整體結構關係以利了解。

# 3.1 Research Approach

根據 Sahu (2013) 的定義和分類,社會科學的研究方法可以分為三類: 推理方法,實驗方法和模擬方法,本研究中的研究方法是模擬方法 (Figure 9 中最左邊的分支)。模擬方法是一個運行模擬以重新生成結果的過程,直 到結果收斂或在不同條件、參數和外生變量下生成欲求之結果 (Sahu,2013)。 換句話說,模擬方法構建了一個人工環境來生成所需的信息。在這項研究中, 淹水模擬是在不同的 GI 分佈下進行的。基於模擬的初始結果和 GI 的 LMs 數值,本研究得以檢驗 GI 分佈與淹水之間的關係。後再利用局部空間自相 關(包括單變量局部空間自相關和雙變量局部空間自相關)和描述統計,本 研究可進一步分析實證研究中的新模擬結果(包括宏觀與微觀)。(Figure 9)

#### 3.2 Research Tools

本研究使用地文性淹水模擬(PDIM)進行模擬,並使用 FRAGSTATS 計算 LMs。通過淹水模擬和 FRAGSTATS 的結果,本研究討論了規劃者使用綠色基 礎設施減少淹水時,淹水與景觀指標之間的關係。(Figure 9)以下將分別 介紹 PDIM 與 FRAGSTATS 此二軟體。

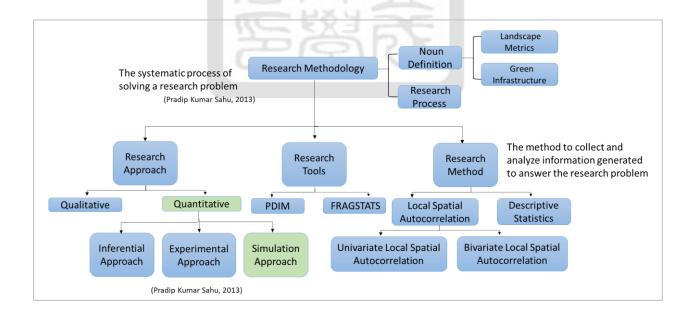


Figure 6. Dendrogram of Research Methodology

# 3. 2. 1 Physiographic Drainage-Inundation Model (PDIM)

地文性淹水模型(PDIM)是由成功大學的Chang-Tai Tsai教授基於Cunge (1975)(Shiau,2012)的淹水理論開發編程而成。它是一個準二維洪氾平流模型,旨在模擬設計降兩條件下給定區域的淹水深度和持續時間。模擬乃基於數值高程模型(DEM)數據和土地利用進行操作,這使其能夠反映地形特徵的複雜性。

### 3. 2. 2 FRAGSTATS

FRAGSTATS 由俄勒岡州立大學的 McGarigal 博士和 Barbara Marks 於 1995 年所開發。它是一個旨在計算景觀指標的電腦軟體。許多研究已經應用 FRAGSTATS 來計算景觀指標並完成相關研究,甚至將 LM 結合到其他學科領域之中。

#### 3.3 Research Method

研究分析方法用於分析研究結果。本研究在接下來各階段將有數個研究結果,需要不同的研究分析方法進行分析。首先,為了找出改善 GI 的位置,本研究以雙變數空間自相關將淹水高度和 LM 進行比較。再者,為了將新模擬中的淹水高度變化與初始模擬中的高度進行比較,本研究進行了敘述統計分析(包括宏觀與微觀)。 此外,為了研究淹水高度的改善是否有在某些地方發生聚集,本研究還進行了單變量空間自相關。以下分別描述與說明這三者的概念和相關公式。

# 3.3.1 Local Spatial Autocorrelation

一直以來,地理分佈數據是否影響自身或其鄰域是地理學家所關注的重要問題 (Moran,1948)。Moran (1948) 於是設計了一個案例來處理這個問題,並得出統計計算。在該次研究中,Moran 發明了 Moran's I 指標,該指標至今皆是空間研究領域中檢驗空間自相關的重大指標。Ord和 Getis(1992)進一步討論了局部情況下的空間自相關現象,並提出了局部空間自相關 (Ord和 Getis,1992; Anselin,2010)。Anselin (1995)組織了前人的成就,列出了空間自相關的各種局部指標,並將其定義為 Local Indicators of Spatial Association (LISA),且這樣的指標必須符合以下兩個要求:

a. the LISA for each observation gives an indication of the extent of significant spatial clustering of similar values around that observation;

b. the sum of LISAs for all observations is proportional to a global indicator of spatial association

而在本研究中,研究者選擇 Local Moran's I 作為使用的指標, 其定義為如下 (Anselin, 1995)

$$I_i = z_i \sum_j w_{ij} z_j$$

where the observations  $z_i$ ,  $z_j$  are in deviations from the mean, and the summation over j is such that only neighboring values  $j \in J_i$  are included. For ease of interpretation, the weights  $w_{ij}$  may be in row-standardized form, though this is not necessary, and by convention,  $w_{ij} = 0$ .

該指標將在本研究中用以檢查淹水改善地區是否有聚集現象 (單變量局部空間自相關)和用以找出 H L 地區 (雙變量局部空間自相關)。

# 3.3.2 Descriptive statistics

描述性統計用於幫助研究人員和讀者理解數據的特徵和含義。在本研究中,描述性統計在 Ch4 中被廣泛使用。在 4.3 節中,它用於描述研究區域淹水和 LM 之間的雙變量局部空間自相關分析的結果;在 4.4 節中,它用於比較 3 種情境模擬中的減洪效果與當前的淹水模擬比較;在 4.5 節中,它用於描述模擬所挑選的特定地區及其周圍的土地的淹水狀況與 LMs 數值。

#### 3.4 Noun Definition

# 3.4.1 Landscape Metrics

如文獻回顧所述,LMs源自景觀生態學。因此,景觀生態學研究人員使用 LM 搭多用來評估自然土地利用變化及其對生物遷移的影響。然而,評估土地利用變化的功能是廣泛的,當分析側重於單一坵塊土地(稱為 Patch level 的分析)時,它甚至可以針對特定種類的土地利用類型進行分析。Patch level 是 LMs 分類中的最小級別,另外還有 Class level 和 Landscape level (Leitão 等人,2012)。在本研究中,LMs 用於量化 Patch level 的

GI 的大小和形狀特徵(並且通過水文學的微觀分析討論 GI 的位置的影響)。在本研究中選擇用來分析 GI 的 LM 是 Area,Shape 和 Radius of Gyration (Gyrate),Table 3 中列出了此三 LMs 的內容和公式。這三個 LM 對 GI 的預期影響涉及實證研究(第 4 章) 中局部空間自相關的結果,因此本研究將在第 4 章第 4.3 節中對此進行解釋。然而,為了避免讀者混淆,這裡值得解釋的是,儘管 Shape 和 Radius of Gyration 都是有關形狀的 LM,但由於計算公式的不同,此二 LM 的值和代表含義也不同。因此,本研究同時考慮了兩者,以避免忽視研究區內某些特殊坵塊特徵的影響。

Table 1. The Description and Formula of Selected LMs in this Research

Feature to be quantify	Landscape metrics	Description	Formula
Size	Area	The size of patch	Geometrically calculated by Arc GIS
	Gyrate	The mean distance between each cell in a cluster of contiguous cells and the patch centroid	Gyrate= $\sum_{r=1}^{Z'} \frac{h_{ijr}}{z}$ $b_{ijr}$ = distance (m) between cell $ijr$ (located within patch $ij$ ) and the centroid of patch $ij$ (the average location), based on cell-center-to-cell-center distance. $z$ = number of cells in patch $ij$ .  Units: distance units of the dataset (typically meters)  Range of values: $\geq 0$ , without limit.
Shape	Shape	The ratio of actual patch perimeter to the perimeter of the theoretically most compact patch	$minp_{ij}$ =minimum perimeter of patch $ij$ in terms of

(Leitão et al., 2012, P. 83, 93, 106)

### 3. 4. 2 Green Infrastructure

根據 2.1.2 節 (Benedict 和 McMaho, 2006) 中提到的專書,有些人認為 GI 只是樹木或環保工程結構的空間。儘管如此,正如 Benedict 和 McMaho (2006) 以及大多數關注 GI 的研究人員所做的那樣,本研究重視了 GI 的基本功能和網絡連接特性。 因此,本研究對 GI 的採認參考 Benedict 和 McMaho 的專書定義 (2006,第5頁) 如下:

"an interconnected network of green space that conserves natural ecosystem values and functions and provides associated benefits to human populations."

根據這一定義,本研究再基於台灣土地利用調查地圖(2014年)的分類 與調查結果,挑選出農業用地、林地、公園、草地、河流和洪氾平原等土地, 將其視為本研究的 GI。

### 3. 5 Research Process

總合以上,本研究採用地文性淹水模擬(PDIM)進行淹水模擬; GI是實施減洪策略的標的; LMs是量化GI景觀特徵的指標; FRAGSTATS是計算LMs的工具; 最後,局部空間自相關和描述性統計是分析模擬和策略實施結果的方法。為了深入解釋,以下將進一步說明整個研究過程。

首先,確認烏溪流域的土地利用分佈是第一個步驟,因為 PDIM 和 LM 都是基於土地利用分佈進行的。本研究以台灣土地利用調查圖(2014)為基礎,根據 PDIM 的分類系統將土地利用分為 10 類。台灣土地利用調查圖(2014)原始網格分割揭示的土地利用分配接近實際情況,但根據淹水模擬的網格分割,還有另一種網格分割,本研究稱為「次集水區網格」。因此,實證研究另外以土地利用面積所佔的比例加權計算,以認定 PDIM 模擬中每一次集水區網格的土地利用分類。

另一方面,為了另 LMs 的計算符合真實,在 FRAGSTATS 中,仍然以台灣土地利用調查圖(2014)的原始網格切格進行計算。此外,由於 GI 策略僅在研究範圍內實施,LMs 僅在研究範圍進行計算。由於同樣的原因,雖然淹水模擬仍然在整個烏溪流域進行,但後續的分析與製圖將只聚焦於研究範圍進行。同時具有淹水模擬結果和 LMs 數據後,本研究在研究範圍內進行了淹水和 LM 的雙變量局部空間自相關,以找到 H\_L 地區,也就是本研究認為進行 GI 改善的最適合地方,並且依據此 H L 地區的分布改變 PDIM 中的

土地利用分配。在研究區域內建立了新的土地利用配置後,PDIM 將再次運行新的模擬,這代表了植被和滲透率的新分布。然後通過描述統計和單變量局部空間自相關來評估減洪效果。

接下來,依據本研究所提出的 GI 規劃與座落框架,本研究將進一步進入微觀分析,也就是探討 GI 策略在個別網格中的影響。為此,本研究抽樣了 8 個在宏觀模擬中具有高度減洪效果的網格,將這些網格個別做調整後,以 PDIM 進行新的模擬,每一次的模擬為獨立事件,以避免任一調整受到網格調整的影響。此部分的模擬結果會被進一步畫出挑選出的網格(以下稱為目標網格)與其周圍的水文流動方向,以研究受目標網格影響的網格。這些網格的水文圖將顯示出淹水的時間與空間變化。最後,通過觀察每一受影響網格的 LMs、土地利用類型和相鄰關係,本研究討論了實施 GI 策略後,每個微觀模擬中不同水文變化的可能原因。為了更清楚表示本研究的研究流程,本研究繪製了一張實證研究的流程圖,如 Figure 10 所示。

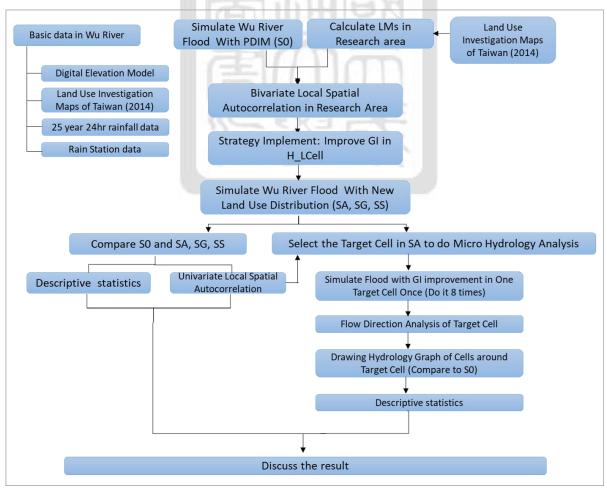


Figure 7. Flow Diagram of procedure in empirical study

3.6 Basic Data and Calculation Construction of PDIM

(本節用以說明淹水模擬之運作與基礎資料建置,由於牽涉英文專有名詞眾多,保留 英文原文)

### 3.6.1 Formula and Basic Operation of PDIM

According to the geographical attribute data of grids, the rainfall runoff is calculated first. Assume the i-th cell is surrounded by  $N_i$  cells, and the change of the rainfall-runoff of the i-th cell can be calculated by the following equation:

$$A_{si}\frac{\partial h_i}{\partial t} = \sum_{k=1}^{N_i} Q_{i,k}(h_i, h_k) + P_{ei}A_{si}$$
(1)

t: time

 $A_{si}$ : the area of the i-th cell

 $h_i$ : the water stage of the i-th cell

 $h_k$ : the water stage of the k-th cell, respectively

 $N_i$ : the total number of cells surrounding the i-th cell

 $Q_{i,k}$ : the discharge flowing from the k-th cell into the i-th cell

 $P_{ei}$ : the effective rainfall of the i-th cell, which is estimated by the SCS method (Chow et al. 1988).

$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}, S = \frac{25400}{CN} \vdash 254$$
 (2)

P: rainfall depth in mm

CN: dimensionless curve number ranged between 0 and 100. The values of CN for various soil types and land uses can be referred to Chow et al. (1988).

The flow fluxes  $Q_{i,k}$  between the i-th and k-th cells depend both on the water stages of these two cells and border types. If two cells are separated by hydraulic structures such as embankment and dike, flow crossing the border is assumed similar to the flow

$$Q_{i,k} = \mu_2 b \sqrt{2g} (h_i - Z_w) (h_k - Z_w)^{1/2}, \text{ when } h_i - Z_w \ge \frac{2}{3} (h_k - Z_w)$$
 (3b)

through a broad-crested weir. Thus, the flow rate between cells follows the weir formulas, which is categorized into free overfall and submerged weirs. The flow rate between two cells for a free overfall weir and a submerged weir respectively determines by

 $Z_w$ : the elevation of the weir crest, which representing the elevation of the border between the i-th and k-th cells

b: the effective length of the weir, which representing the length of the border

 $\mu_1$  and  $\mu_2$ : the weir discharge coefficients of the free overfall weir and submerged weir, respectively

If the hydraulic structures do not exist between borders of two cells, the flow rates follow Manning's equation, that is  $\frac{\Psi(n_k)\sqrt{|n_k-n_i|}, \text{wnen}}{\frac{\partial h_i}{\partial h_i}} > 0$ 

 $h_{i,k}$ : the water stage at the border of the i-th and k-th cells  $\Phi(h)$  is defined as  $\frac{\Phi(n) - \frac{1}{n\sqrt{\Delta x}}}{\frac{1}{n\sqrt{\Delta x}}}$ 

 $\Delta x$ : the distance between the centers of the *i-th* and *k-th* cells *A* and *R*: crosssection area and hydraulic radius of the border between the *i-th* and *k-th* cells

n: the Manning's roughness coefficient, which is determined by land uses.

Finite difference scheme is adopted to solve the above equations and determine the water stage for each cell. A detailed description of the computation scheme can be found in Chen et al. (2007). The water depth at the i-th cell is then determined by  $a_i = n_i - z_i$ 

di: the water depth of the i-th cell

zi : the land surface elevation of the i-th cell.

# 3.6.2 The Model's Parameter Setting in PDIM

The model's parameter including the following two parts:

# (1)Basic information before executing PDIM

It needs Digital Elevation Model (DEM) data to be the basic and processes in Arc GIS for PDIM. This research uses 20m resolution DEM data in 2016 from the Department of Land Administration, Ministry of the Interior in Wu river catchment. (Figure 11) With the DEM data, a catchment is divided into thousands of sub-catchments. The other needed information includes the slope of the land, the location of embankments, weather station, pumping station and so on. All the information influences the simulation in PDIM and was set into corresponding sub-catchments. The parameters in the next point and flood simulation result are also set and displayed depending on sub-catchments segmentation.

# (2) Parameters for physiographic inundation model

#### A. Rainfall data

This research use rainfall in 24 hours 600mm with the reference of 17 rainfall stations in the Wu river catchment as rainfall data. (Figure 12)

# B. Manning coefficient

In PDIM, the effect of land use is mainly reflected by "Manning coefficient", which represents the ability of infiltration of different land use, and it is calculated in equation (4) in the first part of this section.

Manning coefficient setting in this research refers to the standard from Water Resources Agency, Ministry of Economic Affairs in Taiwan. Table 4 is the classification and corresponding Manning coefficient values of 10 different kinds of land use. Weighted calculation of land use area in each subcatchment is applied to get the manning coefficient of one cell.

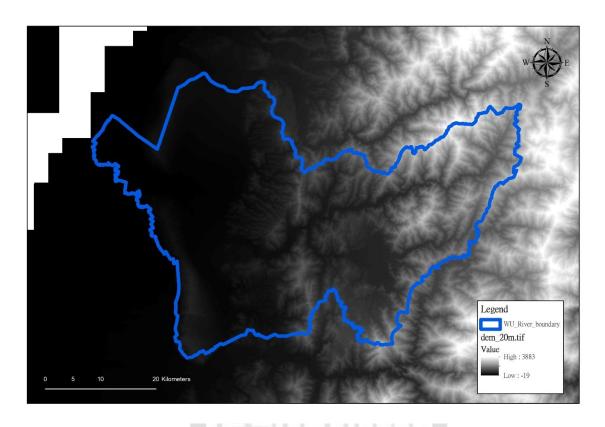


Figure 8. DEM in Wu river catchment

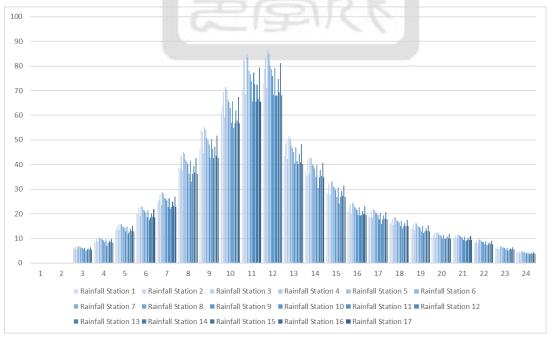


Figure 9. Design hyetograph of 24 hours 600mm

Table 2. Manning coefficient setting

LAND USE	CODE	MANNING
		COEFFICIENT
BUILDING LAND, RECREATION LAND	Rtype1	0.10
RICE CULTIVATION, PADDY FIELDS	Rtype2	0.15
FORESTRY, BUSHLAND, WOODLAND	Rtype3	0.35
DRY FARMING, PASTURE, GRASSLAND	Rtype4	0. 25
ARTIFICIAL CHANGING LAND, UNUSED LAND, QUARRY	Rtype5	0.20
SALT PAN	Rtype6	0.05
RESERVOIR, FISH FARM, LAKE, DRAINAGE ROAD	Rtype7	0.02
FLOOD PLAIN	Rtype8	0.07
RIVER	Rtype9	0.03
PARK, GREEN LAND, PLAZA,	Rtype10	0.20
LIVESTOCK HOUSE, GRAVE		
IZC EX		
	5116	

# Chapter 4: Empirical study (分析過程、結果與發現)

有了前一章節所建立的 PDIM 基礎數據和計算結構後,本章將開始說明實證研究的內容。根據第 3 章的研究過程說明,本實證研究可以總結歸納如以下 4 個步驟:

- (1) 基於次集水區網格分割繪製鳥溪流域的土地利用分佈,以及根據台灣土地利用調查圖(2014)的原始網格分割計算研究範圍的 LMs(4.1)
- (2) 根據次集水區網格分割下的當前土地利用分佈模擬淹水(4.2)
- (3) 進行雙變數局部空間自相關找出 H\_L 地區 (4.3)
- (4) 做案例模擬和分析(4.4)

以下 4 個小節 (4.1~4.4) 將分別說明這 4 個步驟的實際操作方式,並展開實際的操作結果,微觀案例模擬的詳細過程則會在 4.5 小節之後開始進行。

4.1 Current Land Use and Landscape Metrics

# 4.1.1 Wu River region

本研究依據如前所述之步驟操作,得出 Figure 13 台灣土地利用調查圖 (2014年)下,烏溪流域的原始土地利用分佈,與實際土地利用分布情況接近。另一方面,透過加權計算,可以得到 Figure 14 為基於 PDIM 中次集水區網格分割的簡化版土地利用分佈。

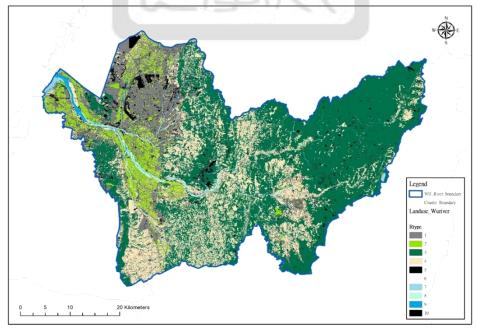


Figure 10. Original land use distribution in Wu river region

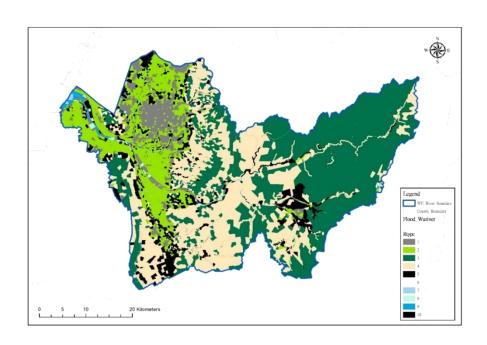


Figure 11. Land use distribution based on cell segmentation of PDIM in Wu river region

#### 4. 1. 2 Research area

如第一章所述,本研究的研究範圍是烏溪流域的一部分,是烏溪流域與台中市的交界。該研究範圍包括原台中市和部分先前的台中縣(霧峰區、太平區、大里區、烏日區、大肚區等),該研究範圍共有前述烏溪流域中的4663個次集水區網格。次集水區網格下的土地利用分佈在Figure 15中放大並繪製。

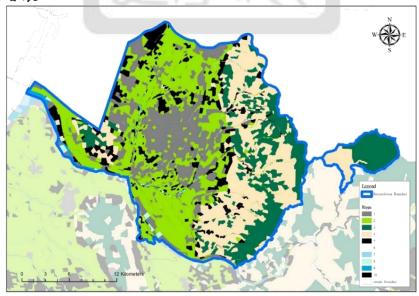


Figure 12. Land use distribution based on cell segmentation of PDIM in the research area

再來,要計算LMs,需要將研究範圍的原始土地利用分佈作為 FRAGSTATS的基礎。台灣土地利用調查圖(2014)原始網格下的土地利用 分佈如Figure 16所示。

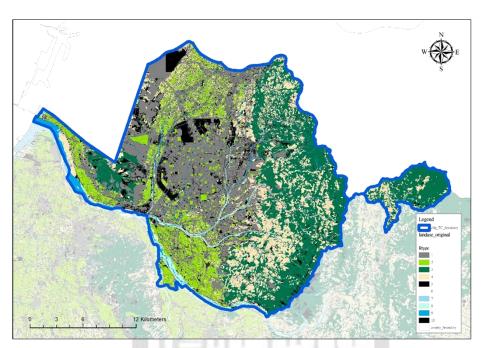


Figure 13. Original land use distribution in the research area

在將數據輸入FRAGSTATS之前,本研究將土地利用分佈從向量數據(台灣土地利用調查地圖(2014)中的原始數據形式)轉換為網格數據。(Figure 17)此過程是必要的,因為FRAGSTATS只能讀取網格數據以計算LMs。為了可以顯示足夠接近原始數據的土地利用分佈網格卻又不要過於細緻導致資料量過大,本研究將網格尺寸定為30 \* 30m。

,

有了原始土地利用分佈的網格數據,本研究在此可以進入最後計算研究範圍中的LMs的部分。在FRAGSTATS中,坵塊會按土地利用類別和相鄰關係進行排序。具有相同土地利用類別的相鄰網格將被分類為相同的坵塊並給出坵塊編碼與相對應的LM數值。這項研究的重點是GI的地景特徵,因此本研究會至GI的坵塊0分佈如Figure 18所示,GI斑塊的Area,Shape,Gyrate數值分布如Figure 19~21所示。

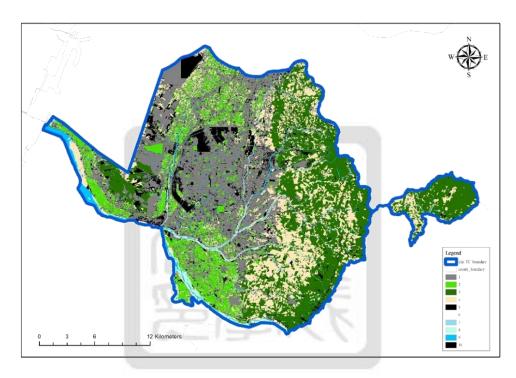


Figure 14. Raster data of Original land use distribution in the research area

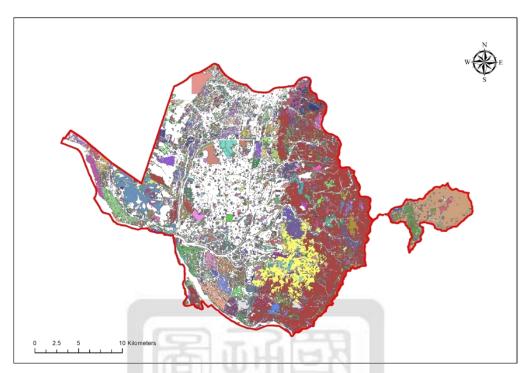


Figure 15. Patch distribution of GI in the research area

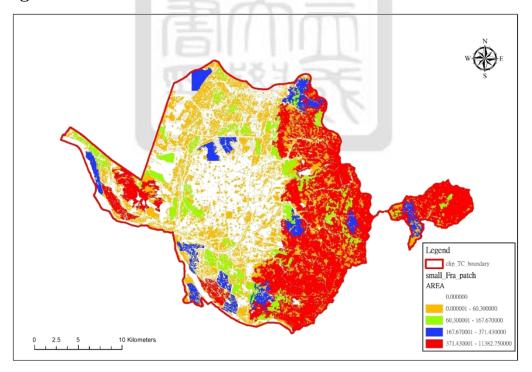


Figure 16. Area LMs distribution of GI in the research area

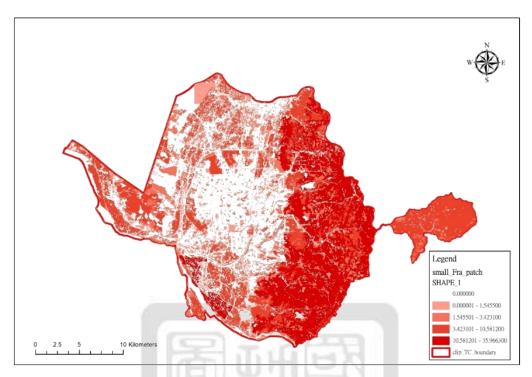


Figure 17. Shape LMs distribution of GI in the research area

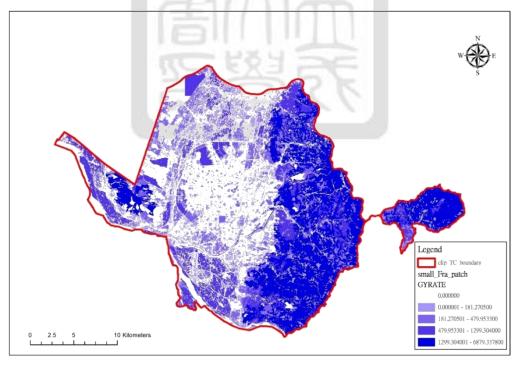


Figure 18. Gyrate LMs distribution of GI in the research area

#### 4.2 Current Flood Simulation (S0)

有了4.1.1節中鳥溪流域的現況土地利用分佈,本研究據以設定曼寧係數供PDIM進行模擬(編號 Simulation 0,以下縮寫 S0),代表鳥溪流域在Ch3 第3.6.2節中的雨型下,現況的淹水模擬結果。而為呈現本研究中淹水深度分佈圖,本研究採國家災害防救科技中心的定量分級作為參考(https://ncdr.nat.gov.tw/):

- (1) 0.3~1m:淹水高度與人的腰部一樣高,導致行走與駕駛小型車輛困難
- (2)1~2米:淹水高度高於人,阻礙了大多數車輛的行走和駕駛
- (3) 2~3 米:淹水高度高達正常建築物的一層
- (4)>3米:淹水高度高於普通建築物的一層。

然而,為了更細緻地呈現淹水深度,本研究將 0.3~1 再細分為 0.3~0.6 和 0.6~1,此外,為了有助於檢驗策略的有效性,本研究增加了 0.1~0.3 的分類。依據這樣的分級,烏溪流域現況的淹水模擬(S0)結果顯示在 Figure 22,圖中網格根據分級標準從淺藍色到深藍色表示。每個網格的值是在降雨事件期間達最高淹水時的淹水高度。Figure 23 進一步提供了研究範圍的水文信息,其中包括水文圖、降雨事件期間每小時達到峰值的網格數量和每個淹水水位分級的網格數量。前二者的意圖是讓人們了解峰值發生的時間點與發生峰值的網格多寡。每個網格在不同時間發生峰值流量,但大多數在約第15 小時達到峰值,這告訴我們當時淹水發生最為頻繁。後者是所有網格淹水高度的統計計算和分類。根據其設計,後一水文圖表示研究區淹水的嚴重程度,可以與下一節中的其他模擬進行比較。因此,GI 策略下的模擬水文圖也以相同的方式顯示在 4.4 節中。

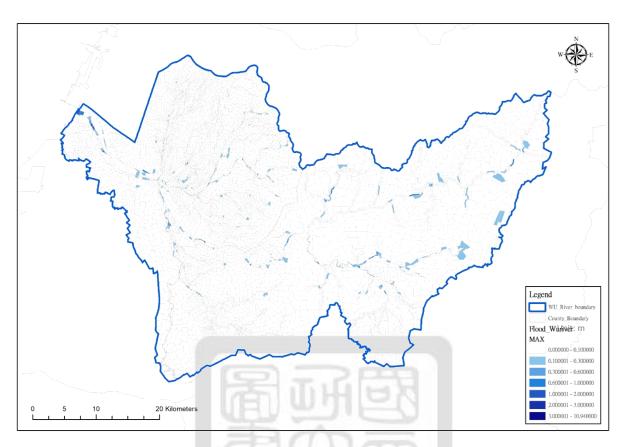


Figure 19. Current flood simulation (S0) result in Wu river catchment

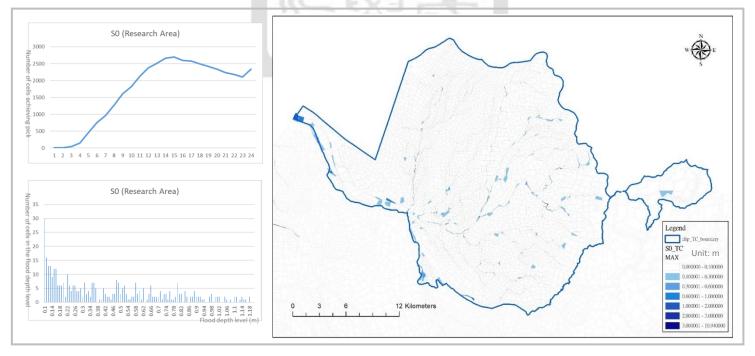


Figure 20. Current flood simulation result in the research area

# 4.3 Bivariate Local Spatial Autocorrelation of Flood and LMs in the Research Area

本研究將雙變量局部空間自相關與當前的淹水模擬結果和研究範圍內的 3個LM數值結果進行比較。Figure 24~26顯示了雙變量局部空間自相關(BLSA) 結果的分佈。在圖中,紅色意味著具有高LM與高淹水的網格;藍色意味著具 有低LM與低淹水的網格;紫色意味著低淹水與高LM的網格;橙色意味著具有 低LM與高淹水的網格。此外,具有白色的網格意味著淹水和LM之間的關係太 微小而不足以被分類。

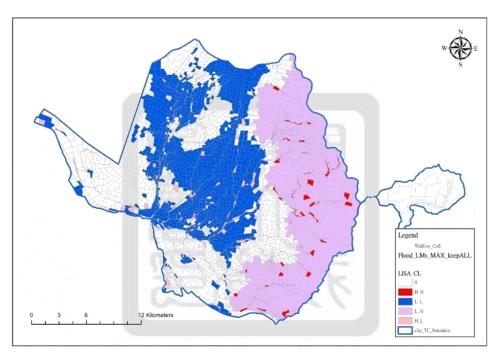


Figure 21. Distribution of BLSA between flood and Area (FA)

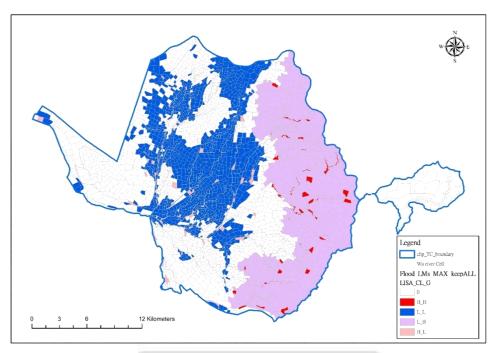


Figure 22. Distribution of BLSA between flood and Gyrate LM (FG)

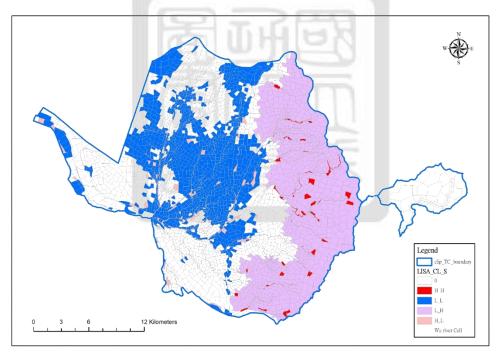


Figure 23. Distribution of BLSA between flood and Shape LM (FS)

淹水和LM之間的BLSA分佈在3個圖中看起來相似。但是,仍然存在一些差異。首先,通過顯著性水平的網格數量是不同的。在BLSA\_FA中通過顯著性水平的網格數是2999;在BLSA\_FS中通過顯著性水平的網格數是2766;在BLSA\_FG中通過顯著性水平的網格數是2800.其次,網格分為4個級別。這部分雖也受到通過顯著性水平的網格數量的影響,但是三個BLSA結果的分佈

也是不同的,這可以在Figure 24~26中被觀察出來。因此,在不同分析中檢查每個級別的不同網格數仍然是值得的。本研究進一步繪製Figure 27表現其各分類下數量的不同。

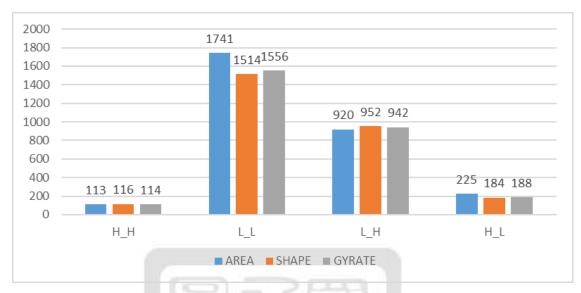


Figure 24. Histogram of BLSA between flood and 3LMs

由於3個LM的含義不同,H\_H, L\_L, L\_H和H\_L也代表每個BLSA分析中的不同現象。然而,通常情況下,淹水氾濫的地方是將土地利用調整作為淹水改善策略的合適目標。在Area LM的分析中,具有高淹水和低面積LM(H\_L網格)的網格值得GI改善而不是具有大GI的網格(H\_H網格)。在Gyrate LM的分析中,Gyrate LM代表網格達到網格邊界的平均距離(表3),因此較大的Gyrate LM意味著生物體或徑流更難以到達網格邊界。本研究認為,如果GI的Gyrate LM較大,那麼該GI可以分擔更多的徑流。因此,本研究選擇BLSA\_FG中的H\_L網格來調整GI。另一方面,基於形狀LM(表3)的公式,該比率意味著地塊接近圓形或正方形(整體形狀)的程度。具有較大Shape LM數值的垃塊意味著它更完整。本研究認為Shape LM的含義與Gyrate LM相似,並選擇BLSA\_FS中的H\_L網格作為實施GI改善的地方。總結本段的陳述,本研究將在下一節分別對BLSA FA,BLSA FG和BLSA FS的H L網格進行GI改善。

在下一部分中,本研究將透過將淹水模擬中的Rtype從原始Rtype改變為Rtype10來執行GI改善。三種策略的模擬分別命名為模擬A(SA),模擬G(SG)和模擬S(SS)。在每次淹水模擬之後,都會有單變量局部空間自相關(ULSA)來檢查淹水改善的空間特徵。

# 4.4 Case Simulation and Analysis

基於 4.3 的結果,案例模擬將通過以下步驟進行分析:

- (1)調整 BLSA\_FA, BLSA\_FS, BLSA\_FG 中 H\_L 網格的土地利用,從原 Rtype 到 Rtype 10 (代表公園,綠地,廣場,畜舍和墳墓的土地使用)來運行新的 PDIM (SA, SS, SG),繪製模擬結果以檢查淹水減少並進行敘述統計分析 (4.4.1)
  - (2) 進行單變量局部空間自相關檢測減洪網格是否有聚集現象 (4.4.1)
  - (3) 比較和討論 SA, SS和 SG (4.4.2)

然在此重點節錄中,由於篇幅的限制,再加上此部分的模擬結果以 Simulation A 最有淹水減緩效果,以下將以 Simulation A 作為模擬結果 呈現範例,其他兩項模擬可參閱本研究之原文。。

4.4.1Simulation A, S, G (SA, SS, SG) and Its Comparison to SO

(1) Simulation A

在SA中,BLSA\_FA中的H\_L網格(Figure 24中的橙色網格)的土地使用從原始Rtype變為Rtype 10,並且有225個網格被改變。通過新的Rtype分配,研究範圍中新模擬的結果如Figure 28所示。

在SA的結果中,雖然有39個網格得到更高的淹水,但有561個網格得到  $0\sim0.1$  m的淹水改善,佔59,855,222 m²,總改善量為519,316 m³;有55個網格得到  $0.1\sim0.3$  m的淹水改善,佔2666,806 m²,總改善量為454,209 m³;有 32個單元增加 $0.3\sim0.6$  m的淹水,佔579,565 m²,總改進量為244,185 m³;有 16個單元增加 $0.6\sim1$  m淹水,佔地234,885 m²,總改進量為186,625 m³;最終有13個單元增加 $1\sim2$  m淹水,佔地265,945 m²,總改進量為323,310 m³。 (Figure 28) 總淹水改善(淹水變化>0)面積為63,602,423 m²(約63.60 km²),改善量為1,727,644 m³。淹水改善分佈如圖29所示。

至於淹水改善群聚現象的實驗證據,本研究將單變量局部空間自相關(ULSA)與SA中的淹水改善高度進行比較。H\_H網格意味著高淹水改善網格被高淹水改善網格包圍;L\_L網格意味著低淹水改善網格被低淹水改善網格包圍;L\_M網格意味著低淹水改善網格包圍;L\_M網格意味著低淹水改善網格被高淹水改善網格包圍。(在SG和SS中相同)其中,H\_H 單元代表高淹水改善群聚的地方。 168個改善網格中,共有25個網格為H\_H 網格,主要聚集在大雅區、烏日區和大里區。(Figure 30)

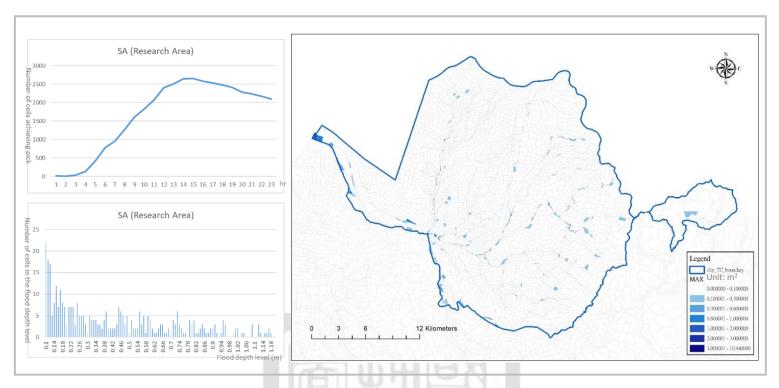


Figure 25. Flood simulation result in SA

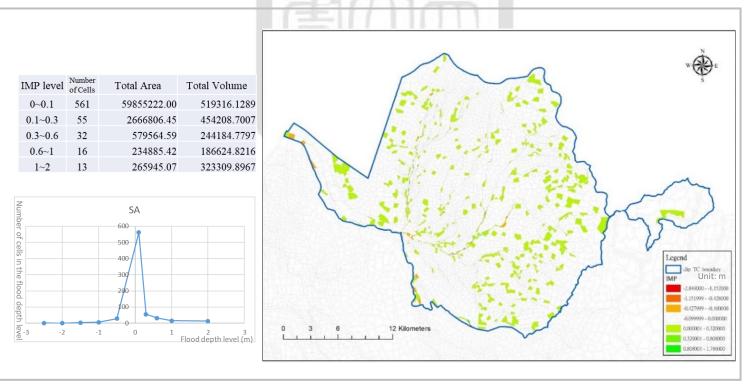


Figure 26. Flood improvement distribution and statistic chart in  $$\operatorname{SA}$$ 

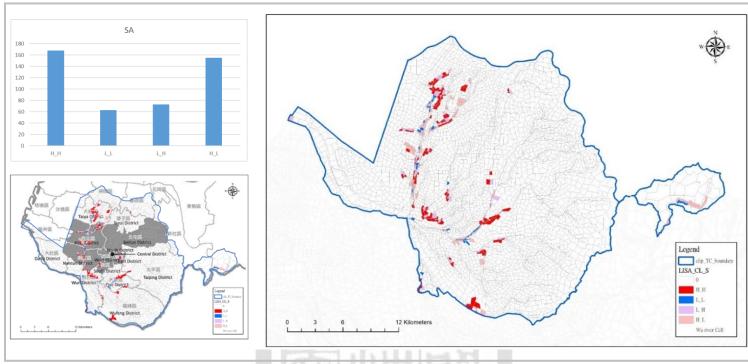


Figure 27. Distribution of ULSA of flood improvement height and statistic chart in SA

- (2) Simulation G (略)
- (3) Simulation S (略)

# 4.4.2 Comparation and discussion of SO, SA, SS and SG

根據 4.4.1 中的模擬統計和空間自相關分析,本研究發現,在具有高淹水和低 LM 的網格中改善 GI 確實具有減緩淹水的效果 (Figure 37 和 Table 5) 並且在以 Area LM 作為改善網格挑選依據的 SA 中具有最高的有效性。與 SG 和 SS 相比,SA 有更多的網格得到淹水改善 (Table 5)。 SA 在淹水高度分級的高分級 (1~2 m) 上也具有較高的總體改善面積,並且除了 0.3~0.6 m 這個高度分級外,其總體改善的淹水量比 SG 和 SS 高。然而,這也可能受到三個模擬中,被改善網格數量不同所影響,但關於聚集現象,SA 在 ULSA 中的 H\_H 網格數量也多於 SG 和 SS (Figure 38)。 本研究認為淹水改善的顯著集群現象意味著淹水改善集中在某些地區,並可能引起淹水減少的協同效應,是極為重要的淹水改善參考標準之一

Table 5. Numbers of cells with positive and negative flood improvement value in SA, SG, and SS respectively

	SA	SG	SS
Number of cells with flood improvement height > 0	677	635	614
Number of cells with flood improvement height < 0	39	26	28

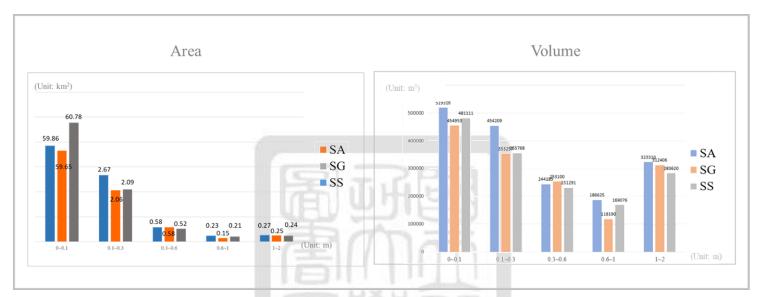


Figure 28. Statistic charts of flood improvement in SA, SG,

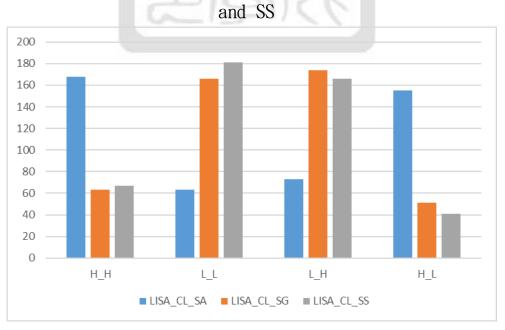


Figure 29. ULSA classification result of SA, SG, and SS

# 4.4.3 Phased summary

通常,具有較高Area LM的GI意味著較大的GI,其能夠保持更多的淹水。 因此,規劃者應該在具有高淹水高度的網格處改善GI,尤其是那些甚至目前具有較差GI的網格。此外,基於本研究的動機和文獻的指示(Brody和Highfield,2012),本研究進一步還通過Shape LM和Gyrate LM評估研究範圍內GI的form(shape)方面的影響(BLSA\_FG和BLSA\_FS)。

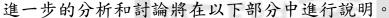
該部分已經證明,改善BLSA\_FA,BLSA\_FG和BLSA\_FS中H\_L網格中的GI帶來了有效的淹水改善(來自SA,SG和SS的表5和Figure 37)。其中,SA具有更高的性能,洪峰更低、淹水改善的網格數量更多、總淹水改善量更大,ULSA中的H\_H網格也更多(淹水減少的更顯著的集群現象)。這可能是因為台中的GI的形狀特徵是簡單的,因為較高的Shape LM和Gyrate LM意味著具有相同面積的網格具有更複雜的邊界(Leitão等人,2012),若大多GI形狀簡單,便很難進一步觀察到不同LM的影響。然而,這也可能表明,在減少淹水策略規劃中,GI的面積比GI的形狀更值得作為選取被改善GI的依據。本研究對於GI形狀特徵的探索上有限,因此尚不將此一推測定為必然,更進一步的研究還是需要的。

儘管如此,本研究依據提出的 GI 規劃與座落框架,在此還是會進一步通過放大微觀水文分析來進一步嘗試探索 GI 景觀特徵的其他影響。本研究想知道這些 H\_L 網格中的 GI 改善策略是否且如何影響到其他網格。因此,本研究選擇 8 個具有高淹水改善的 H\_L 網格(下文稱為「目標網格」)以觀察這些網格周圍的微觀水文。 所謂的微觀水文包括流向和水文圖,將在下一節中展開。最後,作為一個實現較高淹水減緩效果的模擬, SA 當中得到地 H\_L 網格被選擇為進行微觀水文分析的依據。

# 4.5 Micro Hydrology Analysis

如前一節所述,目標網格選自SA中具有高淹水改善的H\_L網格。此外,為了確保所選擇的網格能有效地促進淹水的改善而值得分析,筆者還設定了其他兩項條件:(1)網格不應為河川用地(2)網格面積不應過小(5000 m²作為門檻,此門檻參考高雄典寶業滯洪池的面積4460平方米,該滯洪池為ABRI(2013)綜合水管理計劃中最小的滯洪區。在這樣的條件篩選之下,最後有32個網格滿足所有條件。 (Figure 39中的黃色網格)本最終從32個網格中取樣8個網格作為目標網格。(Figure 39中帶紅色邊框的網格)。這些網格的分佈如Figure 39所示。有了這些網格的定位和分佈,以下分析過程分為以下3個步驟:

- (1) 將這些目標網格的土地利用從原始Rtype調整為Rtype 10,逐一運行新PDIM (Simulation1~8,S1~8)(4.5.1)
- (2) 繪製結果圖,檢查淹水減少情況,分析所選網格的流向,比較目標網格和周圍網格的水文圖(4.5.1)
- (3)分析影響周圍網格可能影響水文的因素:LMs、土地利用類型和鄰近關係(4.5.2)



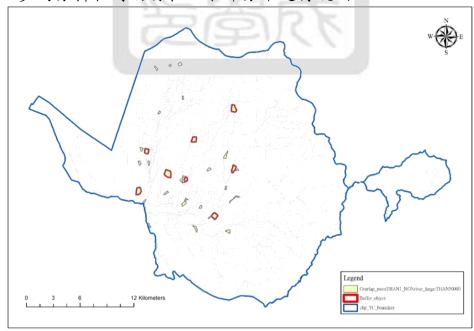


Figure 30. Distribution of cells satisfying all condition and final target cells

# 4.5.1 Micro Hydrology Analysis of Simulation1~8 in SA

以下部分在原論文中分為八個小節,每個小節分別介紹每個目標網格的流向、水文圖和敘述統計結果。本重點節錄收錄模擬1作為參考,重點放在下一小節之階段性小節討論。而模擬1的流動方向和水文圖分析從目標網格開始,水文圖分析涉及流入或流出目標網格的網格。隨後,研究發現明顯的水文變化發生在目標網格周圍約1公里範圍內。因此,以下流動方向和水文圖分析皆著重在目標網格周圍1公里內。Figure 40顯示了每個目標網格為中心的1公里範圍。

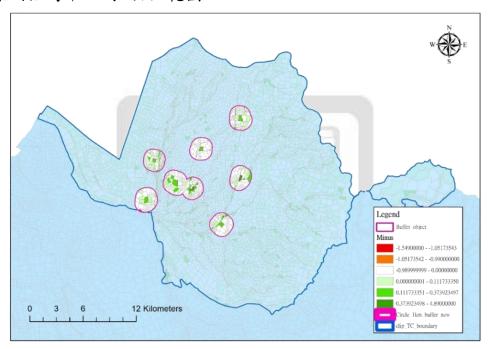


Figure 31. Illustraion of 1-KM buffer range of 8 target cell

#### (1) Simulation1

模擬1中的目標網格是944 (Figure 41)。原始土地利用的Rtype是2 (Table 4)。 淹水從網格844和網格859流到944,並且流出到網格1092、1103和993. 淹水進一步流入其他網格,例如1123和1092,並且大多數聚集在網格1249中。本研究繪製了網格944、844、859、1103、1123和1249的在S0和S1中的水文圖。本研究發現,944網格的淹水改善最多,在第24小時從S0最高的0.073米下降到S1的0.005米。然而,它的上游網格859從S0中0.06米的平緩線到S1在第24小時達到最高0.06米的峰值獲得更高的淹水。其他網格略有變化,變化幾乎停止在網格1249處。(Figure 42)

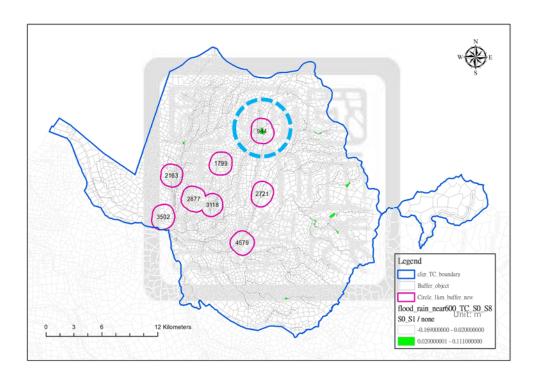


Figure 32. Distribution of flood improvement in S1

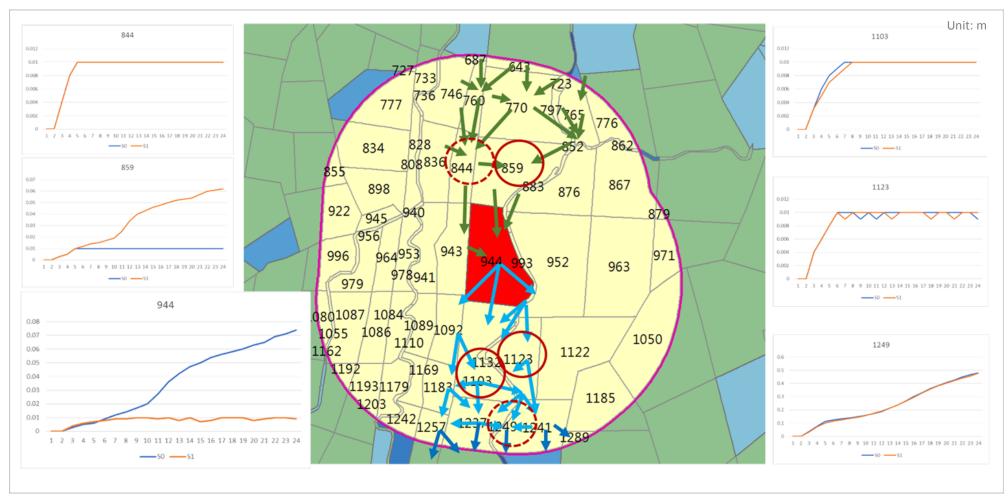


Figure 33. Flow direction and hydrology graph in S1

- (2) Simulation2 (略)
- (3) Simulation3 (略)
- (4) Simulation4 (略)
- (5) Simulation5 (略)
- (6) Simulation6 (略)
- (7) Simulation7 (略)
- (8) Simulation8 (略)



#### 4. 5. 2 Phased summary

總結上述分析,本研究總結了微觀水文分析的結果如下。目標網格(表5中的粗框)在8個模擬中的5個中得到淹水改善;8個模擬中的2個獲得更高的淹水;8個模擬中的1個維持幾乎相同的淹水結果。這8個模擬是本研究中的獨立事件,微觀案例模擬中的網格有兩個角色:目標網格和周圍網格。本節將整理這8個目標及其周圍網格的不同條件。

考慮到淹水的時間空間特徵,這裡的條件包括(1)相鄰關係:在目標網格的上游或下游;目標網格旁邊(編號上游/下游1)或不(編號上游/下游2)(Table 5 的第 5 行)(2)土地利用:用 Rtype 代碼表示(Table 4),目標網格中的代碼表示它們的原始Rtype(表 5 第 6 行粗框欄和 Figure 58);周圍網格中的代碼是指 GI 策略周圍的土地利用條件,這可能會影響 GI 策略在目標網格中的有效性(Table 5 的第 6 行非粗框欄和 Figure 58)(3) GI LMs:代表目標網格實施 GI 策略之前 GI 的原始景觀特徵(表 5 右側三行的粗框欄和 Figure 57);表示周圍網格 GI 景觀特徵,用於檢查目標網格周圍的景觀特徵是否影響微觀模擬的結果(Table 5 右側三行不的非粗框)。

將上述條件的因素和淹水模擬結果數據結合在 4.5 節中有改變的網格中(這裡沒有包括一些只有微小改變的網格),本研究做了一些歸納和推斷。目標網格上游的網格在 S5 中得到淹水改善,淹水改善在初始時發生,這對於災害減緩具有重要意義,因為淹水滯後為人們和土地提供了反應的時間。目標網格下游的網格在 S3 和 S5 中得到改善,但是在兩次模擬中都發生在降雨事件的後期,這不是減災策略的預期目標。因此,本研究發現,GI 策略不僅可以在目標網格上,而且可以在目標網格上游的網格中實現淹水減緩,但是策略實施的影響通常僅發生在目標網格旁邊的網格,除了像 S5 中網格 3154 的一些例外。

本研究推測網格 3154 的例外是由 S5 中目標網格下游的農業用地造成的。然而,S1,S2,S7和 S8 的目標網格也被農田所包圍,但這幾個淹水模擬的結果並不理想。在 S1 和 S2 中,目標網格得到改善,但其上游或下游網格的淹水高度更高;在 S7和 S8 中,目標網格達到更高的淹水高度,但上游網格的淹水得到改善。換句話說,兩種模擬結果在不同的空間

分配各自有一定的淹水改善。雖然這些地方的GI 策略也有助於淹水改善,但在那些目標網格和周圍網格都有積極影響的地方,GI 策略才更值得投資。這正是為什麼需要本研究提出的GI 規劃與座落框架要透過微觀水文分析檢驗每個GI 策略的具體影響。

最後,關於這樣一個問題:目標網格和周圍網格的景觀特徵是否會影響微觀模擬的結果?由於缺乏樣本,本研究在此還無法斷論。Figure 59中可以看到淹水變化和 LMs 的散點圖。Table 5 的數據在散點圖中依據(1)不同的 LMs (2)目標或周圍網格 被分成 6 組。Table 5 中的目標網格的 LM表示在實施 GI 策略之前 GI 原本的景觀特徵,而周圍網格中的 LM則在 GI 策略實施前後都相同,因為 GI 策略只實施於目標網格。這就是為何 Figure 59 必須分為六張圖個別檢查淹水變化與 LM 之間的關係。然而,當本研究中只有 8 個微觀模擬並且數據被分成 6 組時,每個散點圖包含很少的數據點,這導致本研究無法進行回歸分析。儘管如此,未來的研究仍可以應用本研究框架下的宏觀和微觀模擬,過濾更多目標網格以獲得足夠的數據進行回歸分析,並探索淹水改變與 LM 之間的關係,以便提供規劃者和當局資訊以了解對於防洪減災策略來說,哪些景觀特徵至提供規劃者和當局資訊以了解對於防洪減災策略來說,哪些景觀特徵至關重要。了解到這一點,規劃人員可以在各自的整體環境特徵中更具體地參考、規劃和設計 GI

Table 3. Factors to target cells and the cells around target  $$\operatorname{cells}$$ 

Simulati on Number	Cell Number	Note	Max Flood Alterati on(cm)	Adjacen t Relatio nship	(Origin al) Land Use	GI Area _LM	GI Gyrate _LM	GI Shape _LM
S1 (Beitun Dist.)	944	Target Cell	-6. 5	/	2	22.68	223. 82	3. 25
	859	/	+5	upstre am 1	2	5. 49	109. 51	2
S2 (West Dist.)	1799	Target Cell	-2	/	1	1.8	55. 05	1.22
	1927	/	+1. 35	downst ream 1	2	0.36	30	1. 25
S3 (Nantun Dist.)	2163	Target Cell	-4.5	/	2	5. 58	109. 51	2. 13
	2186	/	恩	downst ream 1	10	5. 58	109. 51	2. 13
	2268	/	-2	downst ream 1	3.15	1. 26	56. 82	1.5
S4 (East Dist.)	2721	Target Cell	-10	/	2	4. 5	96. 46	1.6
	2861	/	-6	downst ream 1	8	3. 51	86. 46	1.46
	2877	Target Cell	-6	/	1	5. 67	92. 33	1.5
S5 (Nantun Dist.)	2753	changes little but causes delay	-0.2	upstre am 1	1	3.06	68. 13	1.33

	3154	/	-3	downst ream 2	2	102. 3 3	434. 10	4. 09
S6 (South	3118	Target Cell	/	/	1	0.9	75	1. 57
S7 (Wuri Dist.)	3502	Target Cell	+5	/	2	124. 6 5	634. 76	5. 35
	3155	/	+0.5	upstre am 2	2	124. 6 5	634. 76	5. 35
	3297	/	-0.8	upstre am 1	2	3. 69	95. 10	2.14
S8 (Dali Dist.)	4579	Target Cell	+7	/	4	3. 15	115. 69	2. 17
	4496	/	-3	upstre am 1	10	18. 72	532. 49	4. 28

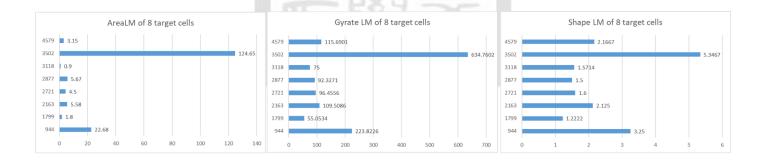


Figure 34. Original LMs of 8 target cells

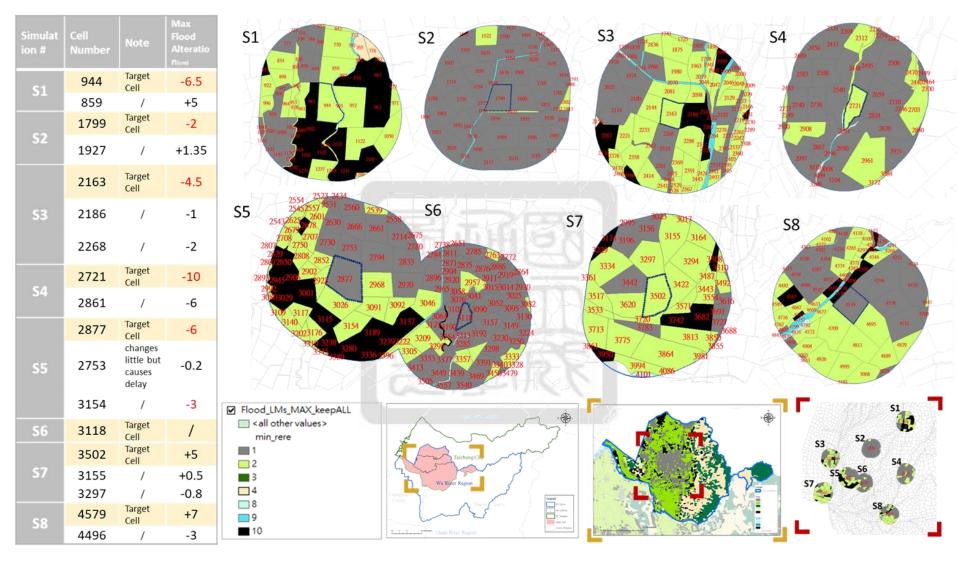


Figure 35. Land use distribution around target cells with referring table and maps

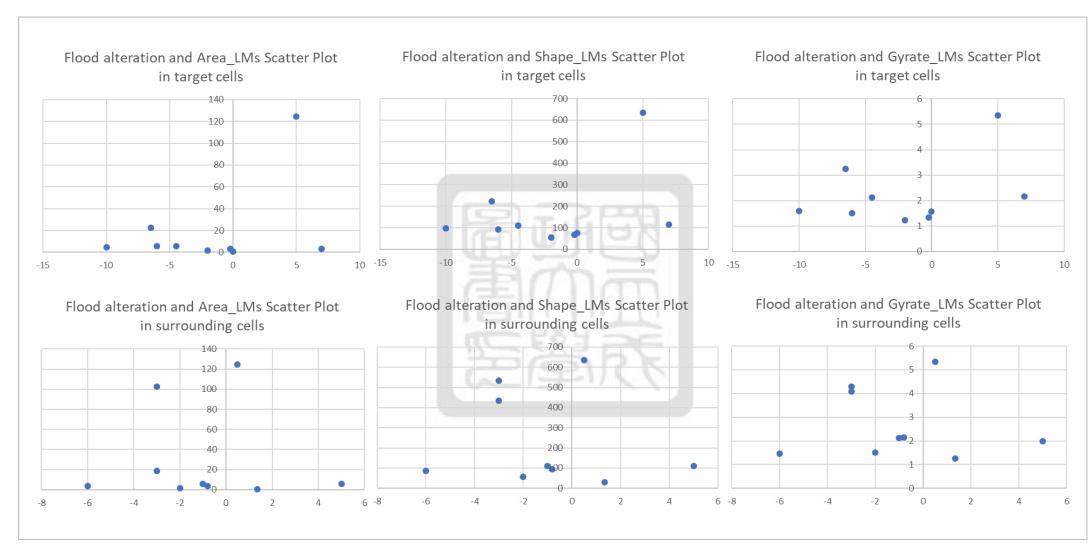


Figure 36. Flood alteration and LMs scatter plot in target cells and surrounding cells

#### Chapter 5: Conclusion and Advice (結論與政策建議)

本研究回顧了植被對淹水的重要性,並選擇 GI 作為減災策略。通過回顧世界和台灣減災行動發展現狀以及 LMs 在以往研究中的應用,本研究設計了以 LM 為景觀特徵評估指標的 GI 規劃與坐落框架。本研究中的研究方法是由 PDIM 進行的模擬。實際的 GI 策略是在現況模擬下得到 H\_L網格(淹水深度高但 GI LM 低)的地區進行 GI 改善。本研究還取樣 8 個網格進行微觀分析,並進一步觀察這些網格周圍的微觀水文。本研究的主要發現整理於此最後一章的 5.1 節中。本章的第二部分則提出相關的政策建議。

#### 5.1 Research Finding

第4章第4.4.1 節驗證了在H\_L網格中改善GI 確實引起了大量的淹水減緩效果,且GI 策略在SA中實現了最高的效果和聚集現象。儘管如此,這並不意味著「Area(SA當中的A)」是每個地區在實施本研究GI策略時最重要的景觀特徵。這必須取決於一個地區GI 現況的景觀特徵及其在一個地區的分佈狀況。對於未來其他研究欲在其他地區採用本研究所提出之規劃框架,必須從此框架的開始再一次進行(Figure 1),以確保得出在研究範圍內需要著重的景觀特徵,並依據該景觀特徵挑出重要的GI 進行改善,再觀察其在微觀水文中的變化,以決定是否要投入資源進行GI建設。

另一方面,第4章第4.4.2 節展示了微觀水文分析和8個目標網格及其周圍網格結果的可能因素。微觀分析和討論的結果另本研究得出以下四個發現:

- (1) 地理標誌策略的影響範圍約為1 km
- (2) 同一地區不同地區的策略導致不同的淹水改善空間分佈
- (3)GI 策略帶來的淹水改善主要發生在目標網格和目標網格上游一網格
- (4) 農田土地利用的目標網格發生不穩定的淹水改變(包括淹水變嚴重 與改善),但不穩定情況當中包括了一個最佳的淹水改善

最後一個發現意味著城市紋理的細微差別必定在這8個網格中仍然發揮著重要作用,並需要在未來的研究中進一步研究。第三個發現則表明,

規劃者和當局可以考慮改善具有高度災害脆弱性的地區下游的 GI。最後,由於淹水的動態特徵,GI 策略的影響不僅僅在目標網格中引起,但與此同時,單一 GI 策略的改善程度也是有限的(基於上述第一個發現)。因此,規劃者可以考慮以數個網格來做聯合 GI 策略,使策略得到聚集和加成效果(基於上述第二個發現)。

#### 5.2 Recommendation for Authority

不論從宏觀或微觀的角度,這個領域仍需要極大的努力來探索土地利 用(GI)與淹水之間的關係,但從上述之研究結論與四個微觀水文分析之 研究發現可以得知,未來我市在進行綠色基盤規劃時,可以考量綠色基盤 之地景特徵進行,以利綠色基盤之規劃同時達到美化、綠化、促進市民身 心健康以及本研究重視之減洪效果,以令我市建設之利益最大化。而在考 量綠色基盤之地景特徵進行綠色基盤規劃時, 貴府可參考本研究之策略 規劃框架,以兼顧宏觀與微觀下之減洪效果。本研究宏觀之減洪評估旨在 找出研究範圍內重要之綠色基盤地景特徵,在現況下,市府可直接參考本 研究之結果,以面積指數為重(其中又以大雅區、烏日區和大里區最有聚 集效果,值得參考),再以微觀水文分析選定我市適合再行綠色基盤改善 之地區,此乃根據前述微觀分析研究發現中之第二點:同一綠色基盤規劃 策略實施於不同地區將導致不同的淹水改善空間分佈,因此,若欲在本研 究抽樣網格外進行綠色基盤改善,建議參考本研究之分析步驟進行進一 步評定。但倘若礙於時間與經費之限制無法再行評估,本研究依據前述微 觀分析中後二研究發現提出以下兩點通用性具體建議:(1)在極欲防範淹 水之地區(例如:易淹水地區、人口密度高之地區)的下游進行綠色基盤改 善 (2)在農地周圍進行綠色基盤建設,或極力保留既有農地周圍之綠色 基盤(包括農地本身)。

# Reference (文獻回顧)

- 1. Anselin, L. (1995). Local indicators of spatial association—LISA. Geographical analysis, 27(2), 93-115.
- 2. Anselin, L., & Rey, S. J. (2010). Perspectives on spatial data analysis. In Perspectives on Spatial Data Analysis (pp. 1-20). Springer, Berlin, Heidelberg.
- 3. Architecture and Building Research Institute, Ministry of the Interior; National United University (2013). A study on implementing the concept of comprehensive water management into the urban planning deliberative system and related norms (I) overall review of urban planning. (in Chinese)
- 4. Architecture and Building Research Institute, Ministry of the Interior; Chinese Institute of Urban Design (2014). A study on implementing the concept of comprehensive water management into the urban planning deliberative system and related norms (II) Urban design and land use development permit. (in Chinese)
- 5. Architecture and Building Research Institute, Ministry of the Interior (2014). Demonstration plan for setting up flood detention facilities in Schools. (in Chinese)
- 6. Architecture and Building Research Institute, Ministry of the Interior (2015). A research of flood control planning manual from the view of overall review of urban planning. (in Chinese)
- 7. Architecture and Building Research Institute, Ministry of the Interior (2015). Application Research of Introducing Flood Reduction Strategy in the Overall Review of Urban Planning—A case study on Wanhua District in Taipei City. (in Chinese)
- 8. Architecture and Building Research Institute, Ministry of

- the Interior (2015). A research of flood control planning manual from the view of urban design. (in Chinese)
- 9. Ashley, R., Lundy, L., Ward, S., Shaffer, P., Walker, A. L., Morgan, C., ... & Moore, S. (2013). Water-sensitive urban design: opportunities for the UK. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Municipal Engineer* (Vol. 166, No. ME2, pp. 65-76). ICE Publishing.
- 10. Benedict, M. A., & McMahon, E. T. (2002). Green infrastructure: smart conservation for the 21st century. Renewable resources journal, 20(3), 12-17.
- 11. Biswas, A. K. (1981). Integrated water management: Some international dimensions. Journal of Hydrology, 51(1-4), 369-379.
- 12. Brown, A. E., Zhang, L., McMahon, T. A., Western, A. W., & Vertessy, R. A. (2005). A review of paired catchment studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation. Journal of hydrology, 310(1-4), 28-61.
- 13. Brath, A., Montanari, A., & Moretti, G. (2006). Assessing the effect on flood frequency of land use change via hydrological simulation (with uncertainty). Journal of Hydrology, 324(1-4), 141-153.
- 14. Brody, S. D., Highfield, W. E., Ryu, H. C., & Spanel-Weber, L. (2007). Examining the relationship between wetland alteration and watershed flooding in Texas and Florida. Natural Hazards, 40(2), 413-428.
- 15. Brody, S. D., & Highfield, W. E. (2013). Open space protection and flood mitigation: A national study. Land use policy, 32, 89-95.
- 16. Bultot, F., Dupriez, G. L., & Gellens, D. (1990). Simulation

- of land use changes and impacts on the water balance—a case study for Belgium. Journal of Hydrology, 114(3-4), 327-348.
- 17. Chocat, B., Krebs, P., Marsalek, J., Rauch, W., & Schilling, W. (2001). Urban drainage redefined: from stormwater removal to integrated management. *Water Science and Technology*, 43(5), 61-68.
- 18. Cho-Fang Tsai, Wen-Cheng Liu, Chuan-Ming Tung, Po-Han Chen, Chih-Hung Chen, Wei-Ru Lyu (2017). A Study of Applying Overall Reviewing of Original Urban Planning from Viewpoint of Adaptive Strategies in Climate Change—A case study on Luzhou Urban Planning Division in New Taipei CityJOURNAL OF ARCHITECTURE, No. 99, Special Issue on Technology, pp. 49~71. (in Chinese)
- 19. Davis, A. P., Traver, R. G., Hunt, W. F., Lee, R., Brown, R. A., & Olszewski, J. M. (2011). Hydrologic performance of bioretention storm-water control measures. *Journal of Hydrologic Engineering*, 17(5), 604-614.
- 20. DeBusk, K. M., Hunt, W. F., & Line, D. E. (2010). Bioretention outflow: Does it mimic nonurban watershed shallow interflow?. *Journal of Hydrologic Engineering*, 16(3), 274-279.
- 21. Demuzere, M., Orru, K., Heidrich, O., Olazabal, E., Geneletti, D., Orru, H., ... & Faehnle, M. (2014). Mitigating and adapting to climate change: Multi-functional and multi-scale assessment of green urban infrastructure. Journal of environmental management, 146, 107-115.
- 22. Dietz, M. E. (2007). Low impact development practices: A review of current research and recommendations for future directions. Water, air, and soil pollution, 186(1-4), 351-363.

- 23. Fletcher, T. D., Andrieu, H., & Hamel, P. (2013). Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: A state of the art. *Advances in water resources*, *51*, 261-279.
- 24. Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, W. F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., ... & Mikkelsen, P. S. (2015). SUDS, LID, BMPs, WSUD and more-The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, 12(7), 525-542.
- 25. Geary, R. C. (1954). The contiguity ratio and statistical mapping. The incorporated statistician, 5(3), 115-146.
- 26. Geldof, G. D. (1995). Adaptive water management: integrated water management on the edge of chaos. *Water Science and Technology*, 32(1), 7-13.
- 27. Harremoës, P. (1997). Integrated water and waste management. *Water Science and Technology*, *35*(9), 11-20.
- 28. Hoban, A., Wong, T., & Breen, P. (2006, October). Water sensitive urban design for resilience to climate change. In *Proceedings of the 1st Australian National Hydropolis Conference*.
- 29. Hsiao-Ting Huang (2017). The evaluation of multi-use for school land as flood-detention space in urban areas—a case study of Annan District, Department of urban planning, National Cheng Kung University. (in Chinese)
- 30. Hsin Hi Ho (1999). A Study on the Evaluation Factors of Urban Parkway through Landscape Ecological Approach— A Case Study on Jing-Guo Parkway in Taichung City, Department of Landscape Architecture, Tunghai University. (in Chinese)
- 31. Ice, G. (2004). History of innovative best management practice development and its role in addressing water quality

- limited waterbodies. Journal of Environmental Engineering, 130(6), 684-689.
- 32. I-Chin Hesieh (2011). Study on the Green Space Transition in Taichung from the Perspectives of Landscape Ecology, Landscape and Recreation Master's Degree Program, National Chung Hsing University. (in Chinese)
- 33. Leitão, A. B., Miller, J., Ahern, J., & McGarigal, K. (2012). Measuring landscapes: A planner's handbook. Island press.
- 34. Liu, J., & Shi, Z. W. (2017). Quantifying land-use change impacts on the dynamic evolution of flood vulnerability. Land Use Policy, 65, 198-210.
- 35. Lloyd, S. D., Wong, T. H., & Chesterfield, C. J. (2002). Water sensitive urban design: a stormwater management perspective.
- 36. Meerow, S., & Newell, J. P. (2017). Spatial planning for multifunctional green infrastructure: Growing resilience in Detroit. Landscape and Urban Planning, 159, 62-75.
- 37. Miao-Chi Tsai (2017). An Assessment of the Impact of Urban Pattern to Inundated Potential via Landscape Ecology-A Case of Taichung City. (in Chinese)
- 38. Ming-Chin Ho, Jiann-Harng Lin, Chung-Hong Song, Wei-Ting Chen (2012). Planning of flood retention space in urban area under climate change environment, Architecture and Building Research Institute, Ministry of the Interior. (in Chinese)
- 39. Mitchell, V. G. (2006). Applying integrated urban water management concepts: a review of Australian experience. *Environmental management*, *37*(5), 589-605.
- 40. Moran, P. A. (1948). The interpretation of statistical maps. Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological), 10(2), 243-251.

- 41. Niemczynowicz, J. (1999). Urban hydrology and water management present and future challenges. Urban water, 1(1), 1-14.
- 42. Ord, J. K., & Getis, A. (1995). Local spatial autocorrelation statistics: distributional issues and an application. Geographical analysis, 27(4), 286-306.
- 43. Petrucci, G., Deroubaix, J. F., De Gouvello, B., Deutsch, J. C., Bompard, P., & Tassin, B. (2012). Rainwater harvesting to control stormwater runoff in suburban areas. An experimental case-study. *Urban Water Journal*, 9(1), 45-55.
- 44. Re-Yang Lee, Shih-Chiang Lin (2006). Urilizing Spatial Technology and lands Utilizing Spatial Technology and Landscape Ecology Indices to Analyze the Influences of the Land Cover Transition in Kenting National Park, JOURNAL OF GEOGRAPHICAL SCIENCE (46): 31-48. (in Chinese)
- 45. Re-Yang Lee, Kun-Yu Chen (2012). Utilizing Spatial Technology and Landscape Ecology Indices to Analyze Landscape Change in Cingjing Area, Journal of Geographical Research No. 57. (in Chinese)
- 46. Pilon, P. J. (2002). Guidelines for reducing flood losses. United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR).
- 47. Rogers, P. (1993, February). Integrated urban water resources management. In Natural Resources Forum (Vol. 17, No. 1, pp. 33-42). Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd.
- 48. Weatherhead, E. K., & Howden, N. J. K. (2009). The relationship between land use and surface water resources in the UK. Land use policy, 26, S243-S250.
- 49. Wheater, H., & Evans, E. (2009). Land use, water management and future flood risk. Land use policy, 26, S251-S264.

- 50. Sahu, P. K. (2013). Research methodology: A guide for researchers in agricultural science, social science and other related fields (p. 432). New Delhi: Springer.
- 51. Shiau, J. T., Chen, C. N., & Tsai, C. T. (2012). Physiographic drainage-inundation model based flooding vulnerability assessment. Water resources management, 26(5), 1307-1323.
- 52. Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Kaźmierczak, A., Niemela, J., & James, P. (2007). Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review. Landscape and urban planning, 81(3), 167-178.
- 53. Water Resources Planning Institute, Water Resources Agency, Ministry of Economic Affair; National Cheng Kung University (2016). Study on the use of idle public land to set a detention facility. (in Chinese)
- 54. Water Resources Agency, Ministry of Economic Affairs (2011).

  Development plan of Yiwu flood detention. (in Chinese)
- 55. Wong, T. H. (2006). An overview of water sensitive urban design practices in Australia. Water Practice and Technology, 1(1).
- 56. Yung-Yi Tseng (2000). A Study on the Evaluation of Allocation of Urban Parks & Green Space through Landscape Ecological Approach—Case Studies on Dong-Feng park and Feng-Le park in Taichung City, Department of Landscape Architecture, Tunghai University. (in Chinese)