

NCDR 108-T20

土地利用變遷模式建立與災害評估應用測試
Stochastic Frequency Analysis of Daily and Hourly
Precipitation in Future Projection



國家災害防救科技中心

National Science and Technology Center
for Disaster Reduction

國家災害防救科技中心

中華民國 109 年 01 月

NCDR 108-T20

土地利用變遷模式建立與災害評估應用測試

Stochastic Frequency Analysis of Daily and Hourly Precipitation in Future Projection

趙益群、李欣輯、陳永明、陳俊哲、許至璫



國家災害防救科技中心

中華民國 109 年 01 月

中文摘要

環境的變化及擾動通常為自然生態演化過程或受人類活動影響所導致；故長期氣候變化及土地利用變遷均屬於環境變遷範疇之內。盤點中心過往研究，多進行未來土地利用不變及人口不變等假設，主要著墨於氣候變遷所造成的災害衝擊研究。故今年度先針對桃園市示範區進行土地利用變遷初步示範研究。

透過文獻回顧選取 9 個主要影響桃園市土地利用變化的環境因子，運用二元羅吉斯迴歸建立土地利用變遷機率模式，進行土地利用變遷空間分佈推估。接續運用馬可夫鏈及人口發展情境，推估 2036 年桃園市土地利用需求量，並將其空間分佈結果進行水資源及淹水衝擊評估。

綜合上述，本年度成功建立土地利用變遷及空間分析模式，並將結果與災害衝擊評估進行鏈結。故未來可透過相關土地管理政策，進行氣候變遷調適行為，減低未來氣候變遷所帶來的衝擊影響。

關鍵字：土地利用變化、空間分配、馬可夫鏈、人口發展情境

ABSTRACT

Environmental changes and disturbances are usually caused by natural ecological evolution processes or human activities. Climate change and land use change are within the scope of environmental change. According to the previous study in NCDR, most research focused on the disaster impact under climate change and was assumed that the land use and population are unchanged in the future. Therefore, we try to build a land use change model to discuss the land use spatial distribution in the future in Taoyuan City in this year.

This study applied that Markov chain and population development scenario to project the land use demand in 2036 in Taoyuan City. Then, the nine mainly environmental factors, which affect the land use change, were selected and used the binary logits regression to establish the land use change probability model to allocate the land use spatial distribution in the future in Taoyuan City. The land use spatial distribution in 2036 are integrated to evaluate for water resources and flooding impact.

This year successful established land use spatial allocation model, and linked the allocated results to disaster impact assessment. Climate change adaptation activities could connect the land use management policies to reduce the climate change disaster impact in the future.

Keywords: Land use change, Spatial distribution, Markov chain, Population development scenario

目錄

第一章 前言	1
第二章 研究方法	3
2.1 文獻回顧	3
2.1.1 土地利用變遷	3
2.1.2 土地利用變遷及模擬研究	4
2.2 研究試區介紹	5
2.3 土地利用空間變遷模式及檢定方法介紹	14
2.3.1 土地利用空間變遷模式	14
2.3.2 土地利用空間分配模組介紹	15
第三章 土地利用空間分配模組設定與驗證	20
3.1 土地利用空間分配模組設定	20
3.1.1 土地轉換許可	20
3.1.2 土地利用變遷驅動力分析	24
3.1.3 羅吉斯迴歸模式檢定	25
3.1.4 土地利用驅動利因子分析結果	31
3.2 土地利用空間分配模組驗證	35
第四章 未來土地利用變遷模擬及分析結果	39
4.1 2036 年土地利用需求量推估	39

4.1.1	馬可夫鏈預測.....	39
4.1.2	人口發展趨勢預測.....	42
4.2	2036 年土地利用空間分派結果	50
第五章	土地利用變遷對災害衝擊應用測試結果.....	53
5.1	水資源衝擊測試結果.....	53
5.2	淹水衝擊測試結果.....	55
第六章	結論與建議	59
參考文獻	62

圖目錄

圖 1 環境變遷與淹水災害衝擊研究現況	2
圖 2 桃園市邊界範圍與鄉鎮區位置	8
圖 3 桃園市高程及水系分布圖	9
圖 4 桃園市地層單位.....	10
圖 5 桃園市 1986 至 2015 年間平均累積雨量分布圖	11
圖 6 桃園市 1985 至 2014 年間平均溫度分布圖	12
圖 7 雙北及桃園市近十年人口發展趨勢	13
圖 8 桃園市 2018 年各區人口分佈圖	13
圖 9 Dyan-CLUE 模式架構圖	15
圖 10 土地利用轉換矩陣式意圖	17
圖 11 Dyna-CLUE 模式土地利用變遷分派流程圖.....	19
圖 12 桃園市水源特定區-空間限制發展區.....	22
圖 13 ROC 曲線式意圖	28
圖 14 各土地利用分類 ROC 曲線.....	30
圖 15 桃園市 2008 年土地利用調查成果	36
圖 16 桃園市 2017 年土地利用調查成果	37
圖 17 桃園市 2017 年模式驗證成果	38
圖 18 人口與各土地利用線性迴歸關係圖.....	43

圖 19 桃園市各區未來 2036 年低度人口推估分布結果	45
圖 20 桃園市各區未來 2036 年中度人口推估分布結果	45
圖 21 桃園市各區未來 2036 年高度人口推估分布結果	46
圖 22 桃園市 2036 年各土地利用類別需求量推估結果	48
圖 23 桃園市 2036 年與 2017 年土地利用增減百分比	49
圖 24 桃園市 2036 年馬可夫鏈土地利用空間分配結果	50
圖 25 桃園市 2036 年低度人口發展情境土地利用空間分配結果.....	51
圖 26 桃園市 2036 年中度人口發展情境土地利用空間分配結果.....	51
圖 27 桃園市 2036 年高度人口發展情境土地利用空間分配結果.....	52
圖 28 土地利用變化對石門水庫入庫流量關係圖	54
圖 29 土地利用改變後淹水面積增加差異圖	56
圖 30 土地利用改變後淹水較為嚴重之區域.....	57

表目錄

表 1 土地利用類別九大分類彙整表	23
表 2 土地利用轉換許可彙整表	23
表 3 土地利用變遷驅動因子彙整表	25
表 4 二元羅吉斯迴歸模型參數及 Hosmer & Lemeshow 檢定表	28
表 5 各土地利用二元羅吉斯迴歸模型正確率分類表	29
表 6 各土地利用類別 AUC 面積	29
表 7 2008 年至 2017 年各土地利用類別需求面積	37
表 8 土地利用空間分配 Kappa 值驗證結果彙整表	38
表 9 桃園市 2008 至 2017 年間各土地利用類別演變彙整表	40
表 10 桃園市 2008 至 2017 年間各土地利用類別演變或然率矩陣	41
表 11 2017 至 2036 年間馬可夫鏈推估之各土地利用類別需求面積	41
表 12 低中高人口發展情境下桃園市人口推估成果	44
表 13 低度人口發展情境下桃園市土地利用需求面積	47
表 14 中度人口發展情境下桃園市土地利用需求面積	48
表 15 高度人口發展情境下桃園市土地利用需求面積	49
表 16 土地利用變化對石門水庫 CN 值之影響	54
表 17 淹水測試案例	56

第一章 前言

環境的變化及擾動通常為自然生態演化過程或受人類活動影響所導致；故長期氣候變化及土地利用變遷均屬於環境變遷範疇之內。盤點中心過往在未來情境推估式的災害衝擊研究，多半著墨於氣候變遷的研究，例如氣候變遷下五大流域極端災害的衝擊模擬，尚缺搭配環境變遷的研究，卻已呈現未來極端災害衝擊模擬的全貌。以淹水衝擊評估研究為例，目前中心相關研究假設未來人口及土地利用不變，僅改變未來降雨進行氣候變遷下的淹水衝擊評估；因此在未來受氣候變遷影響的人口數，由於災害規模變大，所以影響人口數有增加之趨勢。但如果有可慮未來人口增加之情況，未來淹水災害影響規模變大，影響的人口數相對亦會增加；如圖 1 所示。而土地利用的改變，除了會增加洪峰流量外，亦會增加洪水發生之頻率，增加淹水災害影響之規模（ Akter et al., 2018; Apollonio et al., 2016; Brath et al., 2006; Rogger et al., 2017; Szwagrzyk et al., 2018 ）。

因此，本年度預計進行示範區土地利用變遷空間分析模式建立，並推估未來 2036 年示範區的土地利用空間分配，進而與水資源及淹水災害衝擊評估進行連結。

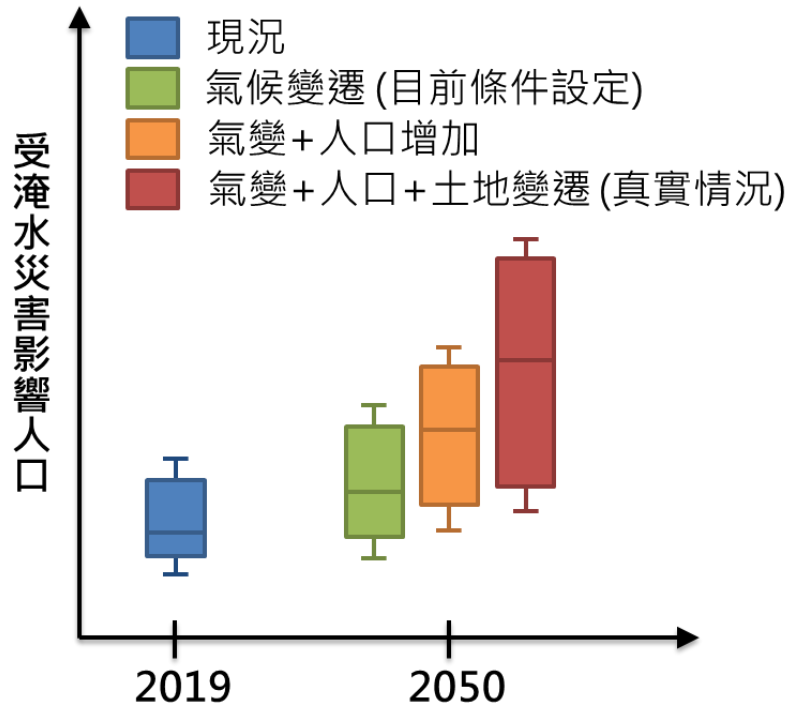


圖 1 環境變遷與淹水災害衝擊研究現況

第二章 研究方法

本章節指在進行簡短的土地利用變遷相關研究，並介紹今年主要測試區域桃園市及土地利用變遷推估模式，相關介紹如下。

2.1 文獻回顧

2.1.1 土地利用變遷

土地利用 (Land use) 與土地覆蓋 (Land cover) 在描述土地時均有其特定含義；土地利用通常被定義為人類在土地上進行的一系列操作，目的是通過利用土地資源獲得產品或收益；土地覆蓋通常被定義為出現在地球表面的植被(自然或種植)、人造結構(如建物等)、水、冰及裸露的岩石等，均可稱為土地覆蓋(Coffey, 2013)。

簡言之，土地利用為受人類活動與土地交互作用後的展現結果(吳幸娟，2008；吳振發，2006；張曜麟，2005)。土地利用分佈狀態可反應人類活動類型與決策行為，如氣候、社會、經濟、文化、政治、政策、土地所有權等，均為影響土地利用變化的驅動性因子。

瞭解未來土地受到人類活動影響後所造成的變化，包含社會經濟發展、土地資源規劃與經營與土地使用政策等，對未來的土地利用所造成的變化，是否會加劇災害的規模。故瞭解未來土地利用變化，進行未來土地利用變遷模擬為必要工作。

2.1.2 土地利用變遷及模擬研究

土地利用變遷為時間、空間及人類活動等交互作用所形成，故包含複雜及大量的不確性存在。所以在討論土地利用變遷及模擬之議題上大致可分為定性或屬性資料說明、數學模式或統計計量方法及整合模式等三大類。

(1) 定性或屬性資料說明

此部分主要透過時序列資料或影像等方式進行評估。如景觀指數、碎形理論及遙測等(李元喻, 2013; 李盈潔, 2013; 蔡杰廷, 2011; 陳冠升, 2014; 黃炫國, 2011)。透過此方式所獲得之資料, 僅可瞭解某類特定土地利用在不同年代間之關聯性, 但在空間特性上, 無法直接提供相關研究結果。故無法直接提供土地利用變遷過程的解釋及預測。

(2) 數學模型或統計計量方法或

在土地利用變遷分析方法中, 最直接的方式就是統計出各土地利用面積的各種指標或統計量, 在時間序列上的變化情形。或透過數學模型去推估未來各土地利用面積, 及在時間及空間上的變化。如馬可夫鏈模式(丁志堅, 1997; 廖怡雯, 2003; 林志儒, 2016; 王鎮宇,

2017；陳柏霖，2018）、羅吉斯迴歸（Verburg et al., 2010；林峰田等，2009；鄒克萬等，2004）及細胞自動化理論（Ku, 2016；Soares-Filho et al., 2006；鄒克萬等，2014）等。

(3) 整合型模式

整合型模式主要如整合生態與人類活動的 DELTA 模式（Southworth et al., 1991）、整合統計與土地變遷系統的 CLUE 模型（Verburg et al., 1999；Verburg et al., 2002；Verburg et al., 2009）、交通經濟與人口發展的 TELUM 模型等（Wang et al., 2017）。此外尚有許多整合全模發展與土地利用變遷之整合模式，不在此討論範圍。

綜觀上述模式，主要是分析土地利用空間變遷，或同時處理時間與空間變遷議題，但仍缺乏可同時處理時間、空間與人類決策等三方面議題之分析模式。因此，可透過情境式模擬方式，評估政策可行性、適用性及影響範圍等，進一步模擬出土地利用受人類決策影響後在空間及時間的變化關係。

2.2 研究試區介紹

桃園市，通稱桃園，為臺灣六都之一，位於臺灣本島西北部的雙核心都市。於 2014 年改制為直轄市，成為臺灣北部第三個直轄市。原縣轄鄉鎮市於 2014 年一併改制為區，目前有桃園區、龜山區、八

德區、大溪區、蘆竹區、大園區，以上稱為北桃園；中壢區、龍潭區、平鎮區、楊梅區、新屋區及觀音區，稱為南桃園，復興區為原住民區等 13 個鄉鎮區，如圖 2 所示。

桃園市西面臺灣海峽、東臨宜蘭縣、北接新北市、南與新竹縣為界，面積約 1,180 km²。地形高程位於桃園市及新竹縣兩行政區交界的雪白山為桃園市最高峰，海拔 2,444 m。地形大部分為丘陵台地，地形呈西北向東南之狹長形，臨山面海，自石門水庫起經大溪區東北出市境之大漢溪，將本市劃分為東南和西北兩大部分。東南部分為標高 300 m 以上之丘陵地、階地及山岳，地勢向東南漸次升高，山勢峻峭，河谷窄狹。西北部地勢則較為平緩，台地、階地甚為發達，河流短而呈放射狀入海，如圖 3 所示。

桃園市有河流 20 餘條，除大漢溪外，其餘均河流流路短且水量少，主要為切割各臺地之河流。石門水庫則位於龍潭、大溪及復興區交界，為臺灣第一座多功能水庫，配合桃園大圳及石門大圳提供大桃園地區農業灌溉之用；此外，亦提供給水、發電及防洪等多樣功能。相關河流及石門水庫位置，如圖 3 所示。

桃園市西北部主要由沖積層及紅土臺地堆積組成。東南部主要由頭嵙山層、卓蘭層、錦水頁岩層、三峽層、瑞芳群、野柳群、澳底層、

大桶山層、乾溝層及四稜砂岩等地層所組成，如圖 4 所示。

桃園市全區平均年雨量介於 1,500 至 2,000 mm 間，以夏季較多，冬季較少；降雨多集中於山區，降雨分布由東南往西北遞減，如圖 5 (翁叔平等，2018)。全年平均溫度約為攝氏 22.6 度；夏季平均 29 度，冬季平均約 16 度；溫度亦由東南山區往西北平地遞減，山區平均溫度較平地平均溫度差異約 10 °C 左右，如圖 6(翁叔平等，2018)。

根據內政部戶政司統計資料顯示，桃園市於 2018 年底人口總數為 2,220,872 人，近 10 年人口增加 262,186 人，均呈現正成長趨勢，與 2008 年底相比，約增加 13 %。反觀雙北人口於 2015 年後有減少之趨勢，且與 2008 年相比，雙北人口增加率約 3 %，如圖 7 所示。由此可知，桃園人口快速增長，其成長率亦高於雙北區域。目前桃園市人口集中於桃園及中壢兩區，其次為平鎮及八德區，如圖 8 所示。未來隨著國土計畫的推動，人口的遷移將會有所改變，此變化將於 4.1.2 節討論。



圖 2 桃園市邊界範圍與鄉鎮區位置



圖 3 桃園市高程及水系分布圖

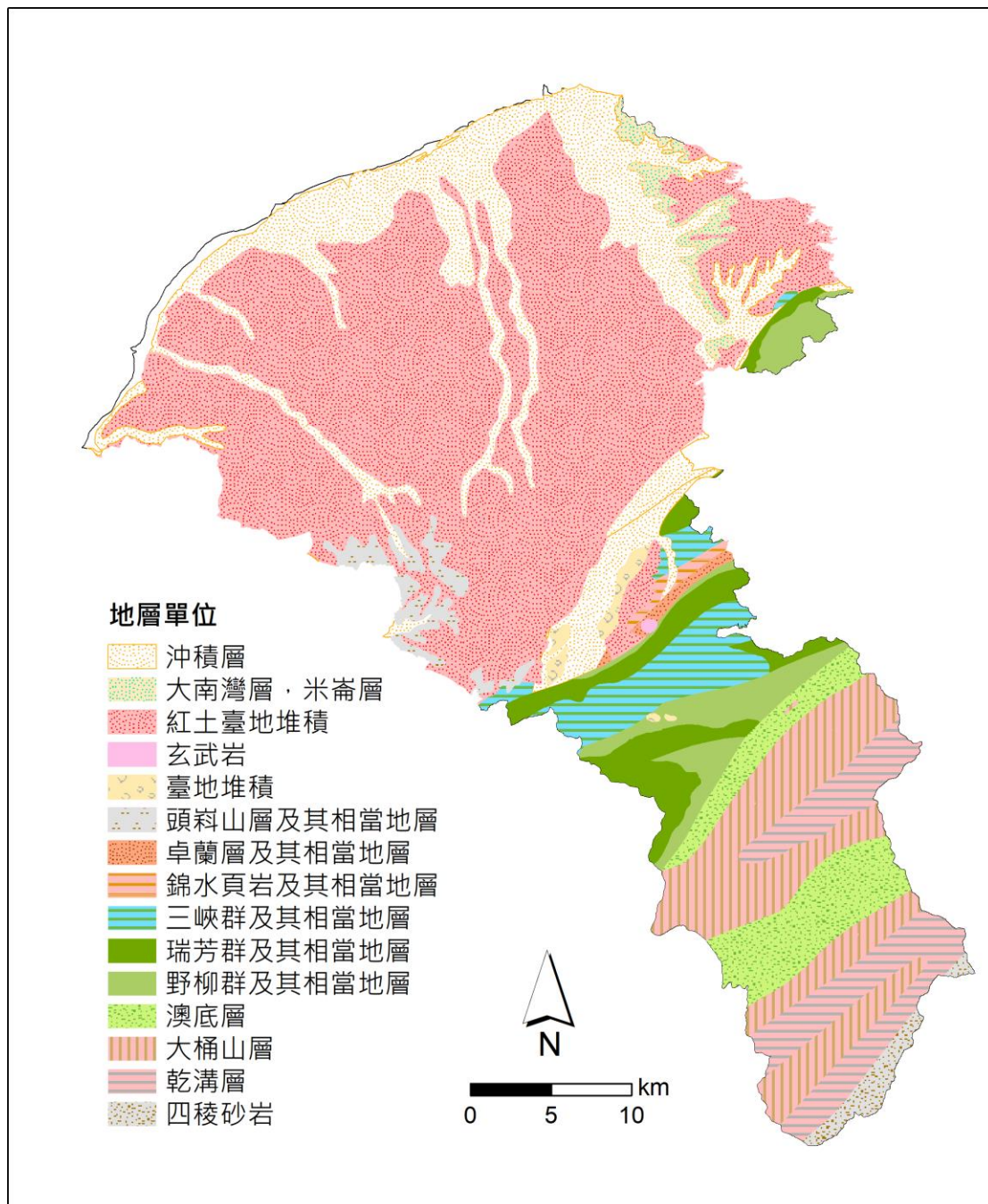


圖 4 桃園市地層單位

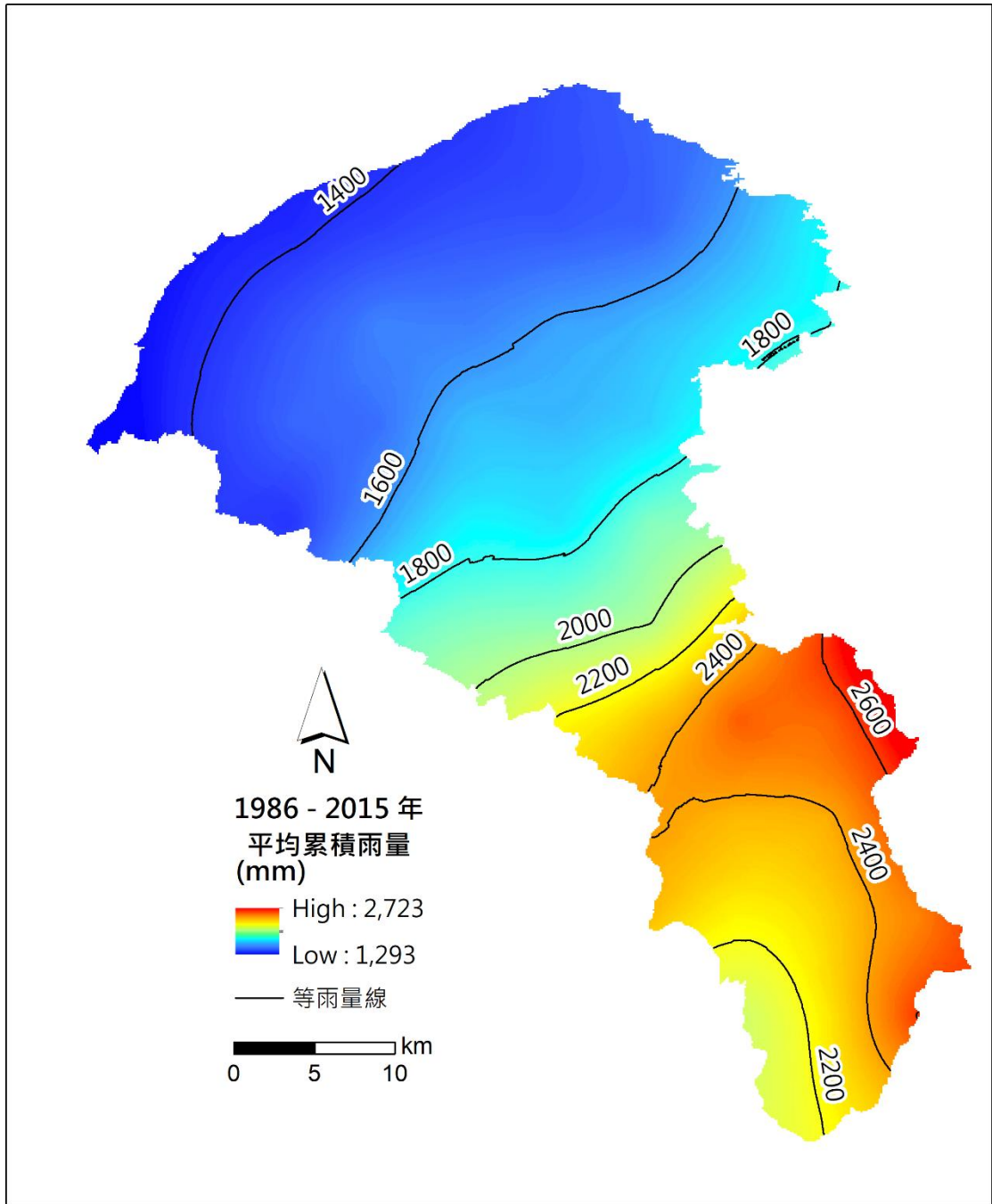


圖 5 桃園市 1986 至 2015 年間平均累積雨量分布圖 (翁叔平等, 2018)

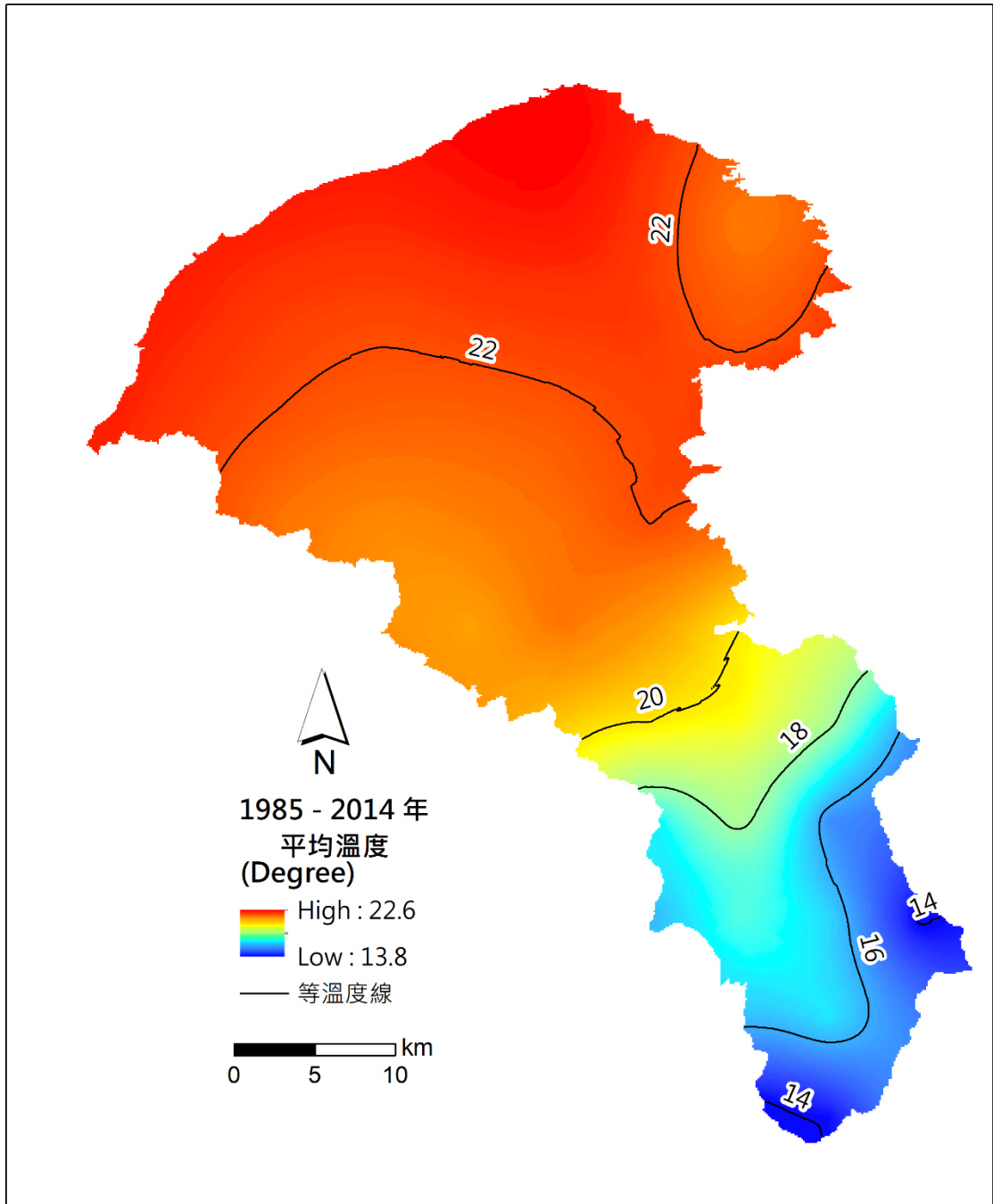


圖 6 桃園市 1985 至 2014 年間平均溫度分布圖 (翁叔平等, 2018)

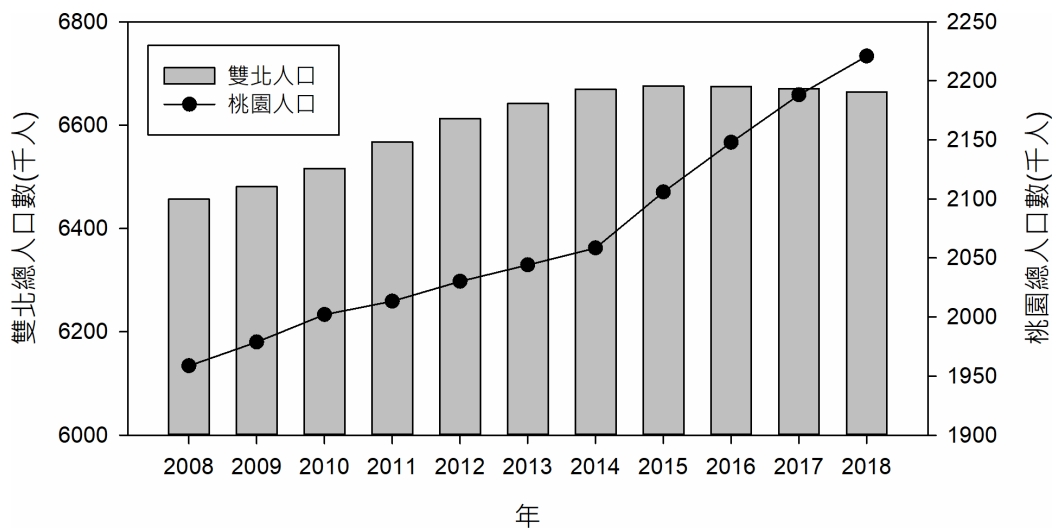


圖 7 雙北及桃園市近十年人口發展趨勢

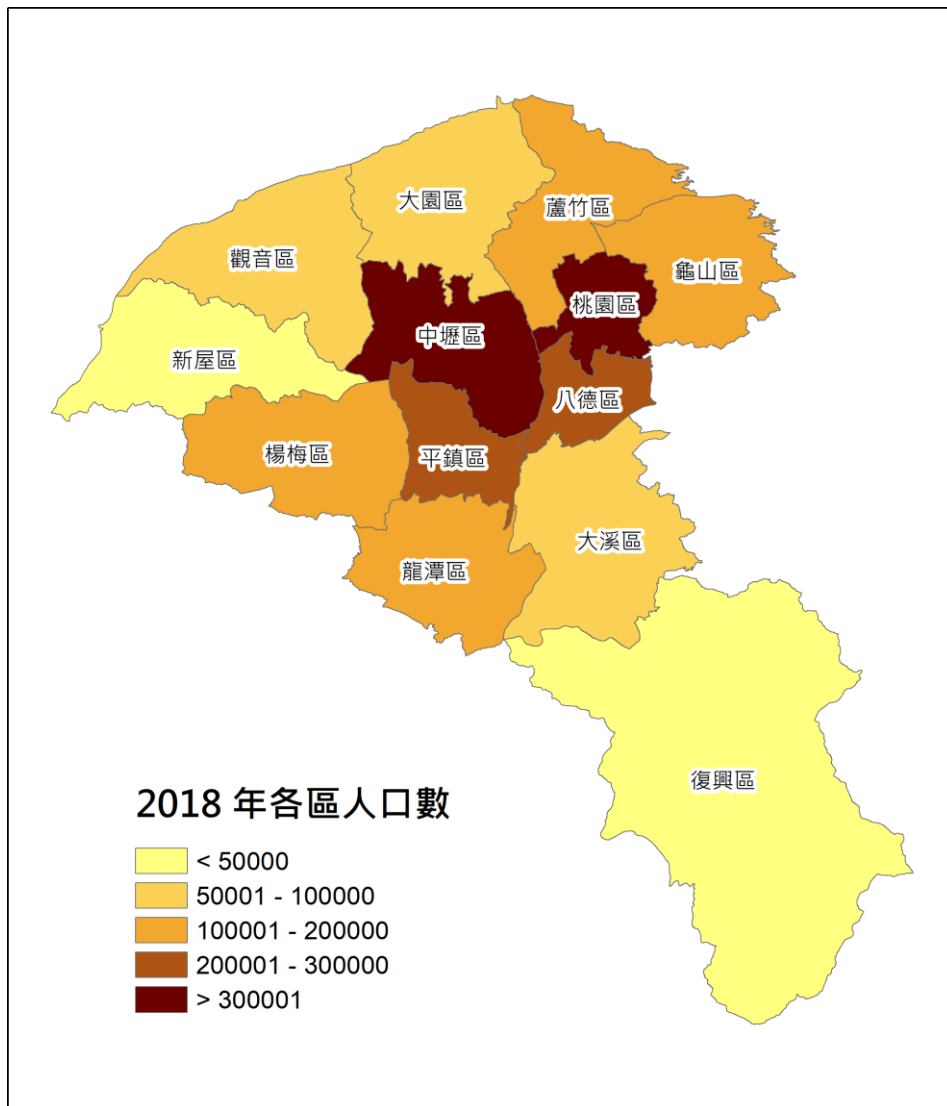


圖 8 桃園市 2018 年各區人口分佈圖

2.3 土地利用空間變遷模式及檢定方法介紹

2.3.1 土地利用空間變遷模式

土地利用空間變遷推估是討論未來短期、中期土地利用變遷對自然災害發生關聯性的重要工具。可進行土地利用變遷推估的模式多元，依各種不同目的與議題，發展出許多不同演算方法。

本研究在土地利用變遷模式的選擇上，主要考量以下幾點原則：

- 模式須能整合防災與土地利用管理機制或政策需求
- 空間尺度適合國家、縣市、鄉鎮尺度或集水區單元等
- 時間尺度可進行逐年模擬
- 為配合未來災害模擬使用，資料解析度需為百公尺內之精度

因此，根據上述原則，本研究選取 Dyna-CLUE 模式進行土地利用變遷模擬。Dyna-CLUE 模式主要由土地利用需求量及土地利用分配模組所組成，如圖 9。土地利用需求量为各土地利用類別需求，如土地使用面積等；此需求可透過未來發展趨勢、情境需求或相關經濟模型獲得。在瞭解未來土地利用需求後，再透過土地利用推估模組進行地區層級在空間上之分配。在地區層級的土地利用分派過程中，主要結合經驗式、空間分析與動態模式而成；並考量相關空間政

策與限制、土地利用類型特殊轉換限制等。透過此一系列的條件、機率及相關下對上需求（Bottom-up processes）之循環迭代過程進行未來土地利用空間型態的分配。

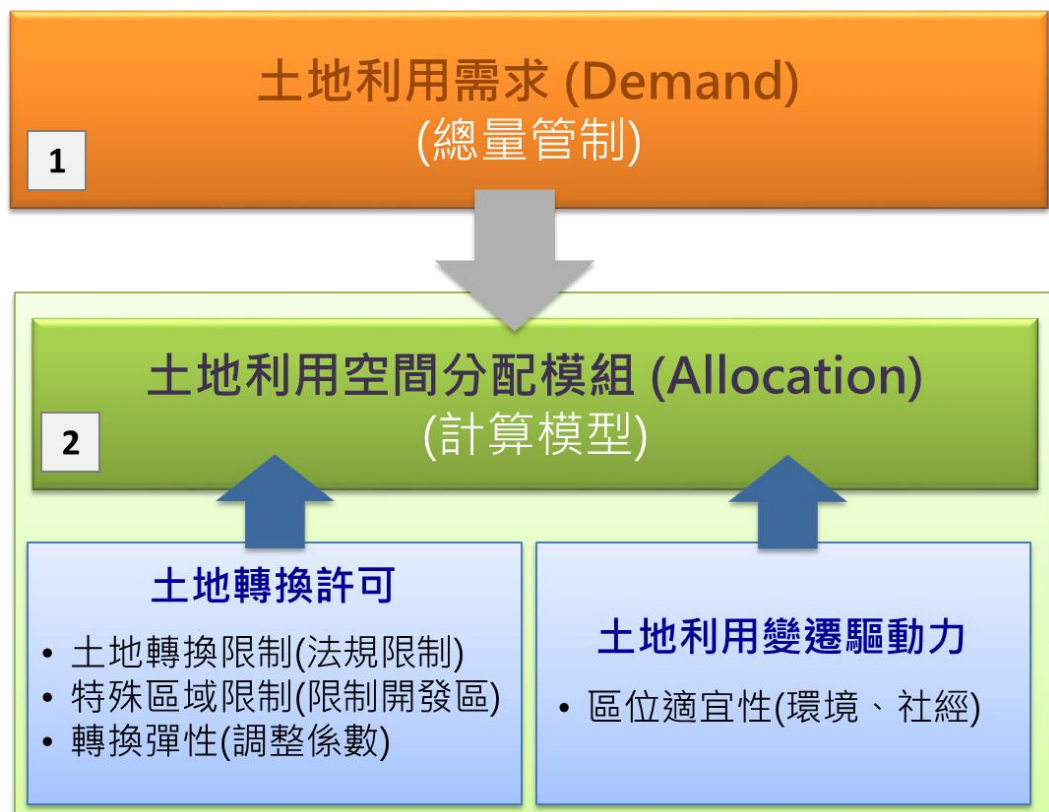


圖 9 Dyan-CLUE 模式架構圖（改繪自 Verburg et al., 2009）

2.3.2 土地利用空間分配模組介紹

(1) 特殊區域限制

特殊區域限制主要考量土地利用變化會受到空間政策與土地使用權力的影響，即某些區域的土地利用發展，會受某空間政策之限

制。如桃園市轄內石門水庫周圍的水庫水質保護區，此保護區會限制該處土地利用發展，無法轉換為其他土地使用類型。故模式中可透過空間限制或相關土地利用政策，限制開區域的土地利用變化。

(2) 土地利用型態轉換設定

土地利用型態轉換設定在模式中主要以土地利用轉換序列 (land use transition sequences) 與轉換彈性 (conversion elasticities) 呈現個別土地利用特性。

土地利用轉換主要系指「土地利用是否允許轉移、哪些區域允許或禁止特定土地利用類型轉換、區域現況土地使用型態可維持多久或可維持相同土地利用型態的最大年限」。Dyna-CLUE 模式中主要以土地利用轉換矩陣表示，如圖 10 所示。

轉換彈性則與土地利用被轉換可行性有關。通常花費高額資本投資的土地利用類型，需花費更高的金額進行土地利用類型換轉；故此土地利用類型不容易被轉換為其他土地利用類型，如交通等重大公共工程建設。而轉換農地為其他土地利用類型，相對性所需付出較少的金額，故農地為容易被轉換成其他土地利用類型。Dyna-CLUE 模式中主要利用介於 0 至 1 的數值表示，其中 0 表示極易改變，1 表示不可改變 (Verburg et al., 2002)。

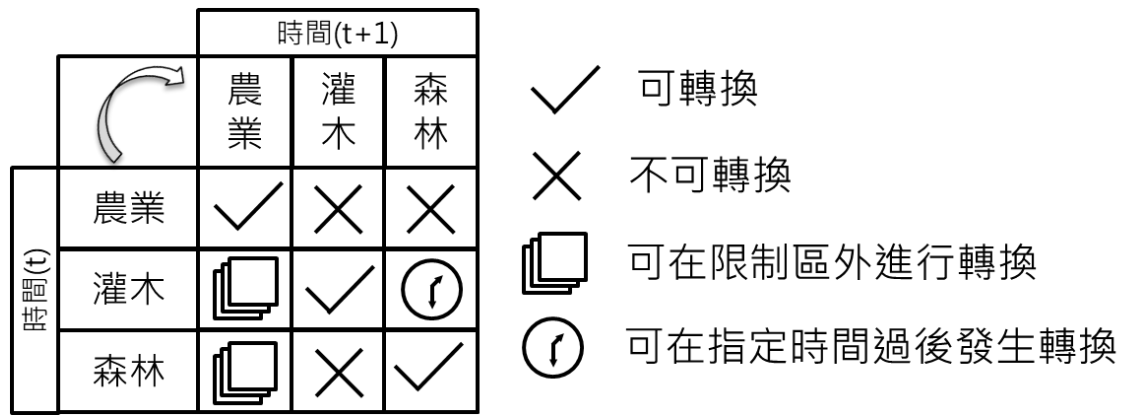


圖 10 土地利用轉換矩陣式意圖 (改繪自 Verburg et al., 2009)

(3) 土地利用需求

土地利用需求是提供土地利用總體需求量。需求量計算可透過過去發展趨勢推估未來發展趨勢，如馬可夫鏈模式 (Ku, 2016、張政亮, 2006)；情境分析，如人口發展及鄉村農業發展等情境進行需求量推估；或利用其他分析預測模型，如進行土地利用變遷相關政策分析十，其土地需求量可透過總體經濟模型來預測未來土地用需求量變化 (Verburg et al., 2010、吳振發, 2006)。

(4) 區位特性

土地利用類型在受到不同影響因子等驅動力交互影響下，可能轉變為其他土地利用類型；此驅動力泛指與該區域空間及區位相關的環境因子與社會經濟因子等相關因子。如該地區高程、坡度、坡向、河流、人口數、都市發展區及工業區等，均可視為驅動該地土地利用發展的驅動力。

土地利用變遷驅動力分析方法主要在討論自然與人為等因素對土地利用轉變的影響。概念與迴歸分析之基本概念，即土地利用發展類別為因變數，各種驅動力為自變數，可由此建立土地利用變遷驅動力分析模式。

二元羅吉斯迴歸在使用上不受多元常態分配的假設限制，在解釋變數時可同時存在連續或離散資料，係分析土地利用變遷機率及驅動因子影響程度的重要方法。故 Dyna-CLUE 模式中以二元羅吉斯迴歸分析結果，預測未來各種土地利用變遷之機率 (Verburg et al., 2009)。

二元羅吉斯迴歸關係式如下，

$$\text{Log}\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 \cdots + \beta_n X_{n,i} \quad (1)$$

式中， P_i 代表位置 i 的出現該土地利用類別的機率、 X_n 為影響土地利用變化的驅動因子、 β_0 為常數項、 β_n 為驅動因子之迴歸係數。

(5) 分派過程

Dyna-CLUE 模式主要利用土地利用需求量並透過分派過程進行土地利用變遷模擬推估。模式首先定義出可允許土地利用類型改變之區域，即界定出限制區及轉移矩陣中不可轉移之部分。接續在可進行

土地利用類別變化的區域上進行最高土地利用機率計算 ($P_{tot_{i,t,lu}}$)。

其關係式如下，

$$P_{tot_{i,t,lu}} = P_{loc_{i,t,lu}} + P_{nbh_{i,t,lu}} + elas_{lu} + comp_{t,lu} \quad (2)$$

式中， $P_{loc_{i,t,lu}}$ 代表位置適宜性 (location suitability)、 $P_{nbh_{i,t,lu}}$ 代表鄰近區域適宜性 (neighborhood suitability)、 $elas_{lu}$ 代表轉換彈性與 $comp_{t,lu}$ 代表土地利用類別的競爭優勢 (competitive advantage)。其中， t 表示某時間、 i 代表某區位及 lu 表示土地利用類別 (Verburg et al., 2009)。

結束土地利用變遷計算後，下一步則判斷計算後的各土地利用類別總量是否符合設定之土地利用需求量，如果符合則完成土地利用變遷分配；如不符合，則自動調整各土地利用類別間之競爭優勢，在進行最高土地利用類別機率計算，透過重複迭代的過程，找出最佳的土地利用分配結果。

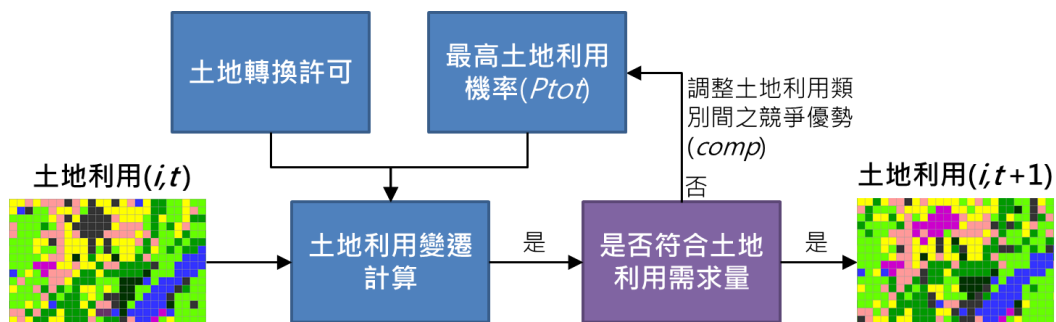


圖 11 Dyna-CLUE 模式土地利用變遷分派流程圖 (改繪自 Verburg et al., 2009)

第三章土地利用空間分配模組設定與驗證

本章節主要介紹 Dyna-CLUE 中土地利用分配模組參數選擇、設定及模組透過 2008 年及 2017 年土地利用調查資料所進行的驗證結果。

3.1 土地利用空間分配模組設定

3.1.1 土地轉換許可

土地轉換許可在本研究中主要可分為限制發展區域及土地利用轉換許可（轉換矩陣）等兩部分。石門水庫位處於桃園市境內，主要供應新北市、桃園市及新竹縣部分區域公共用水及農業用水，為臺灣北部主要水源供應區。根據自來水法第十一條，「自來水事業對其水源之保護，除依水利法之規定向水利主管機關申請辦理外，得視事實需要，申請主管機關會商有關機關，劃定公布水質水量保護區，依本法或相關法律規定，禁止或限制左列貽害水質與水量之行為」；故屬水源特定區屬限制開發區域。相關位置如圖 12 所示。

本研究主要探討未來土地利用變遷與災害發生規模大小之相互影響關係。為了後續將土地利用變遷推估成果，提供給淹水領域進行相關測試應用，如土地整體規劃，非特定土地利用推估，故土地利用類別維持農業、森林、交通、水利、建築、公共、遊憩、礦業及其他

等九大分類，相關分類如表 1 所示。

土地利用轉換許可，除考量土地轉換成本外，亦考慮現行法規，如農業發展條例、森林法、水利法與礦業法等進行相關設定。農業、森林等由於土地轉換成本相對較低，除可相互轉換外，亦可轉換為水利、建築、公共遊憩等土地利用類別。水利類別則受限於法規命令，不能轉為其他土地利用類別使用。建築由於轉換成本高，除國家徵收作為交通與公共類別外，無法轉換為其他土地利用。公共與遊憩因轉換成本高，故除其他類外，均設定為無法轉換為其他土地利用。桃園市礦業已逐漸轉衰，故礦業在設定上僅能轉為其他土地利用類別，其他土地利用類別無法轉變為礦業。其他類因轉換成本較低，故能轉換為其他土地使用類別。

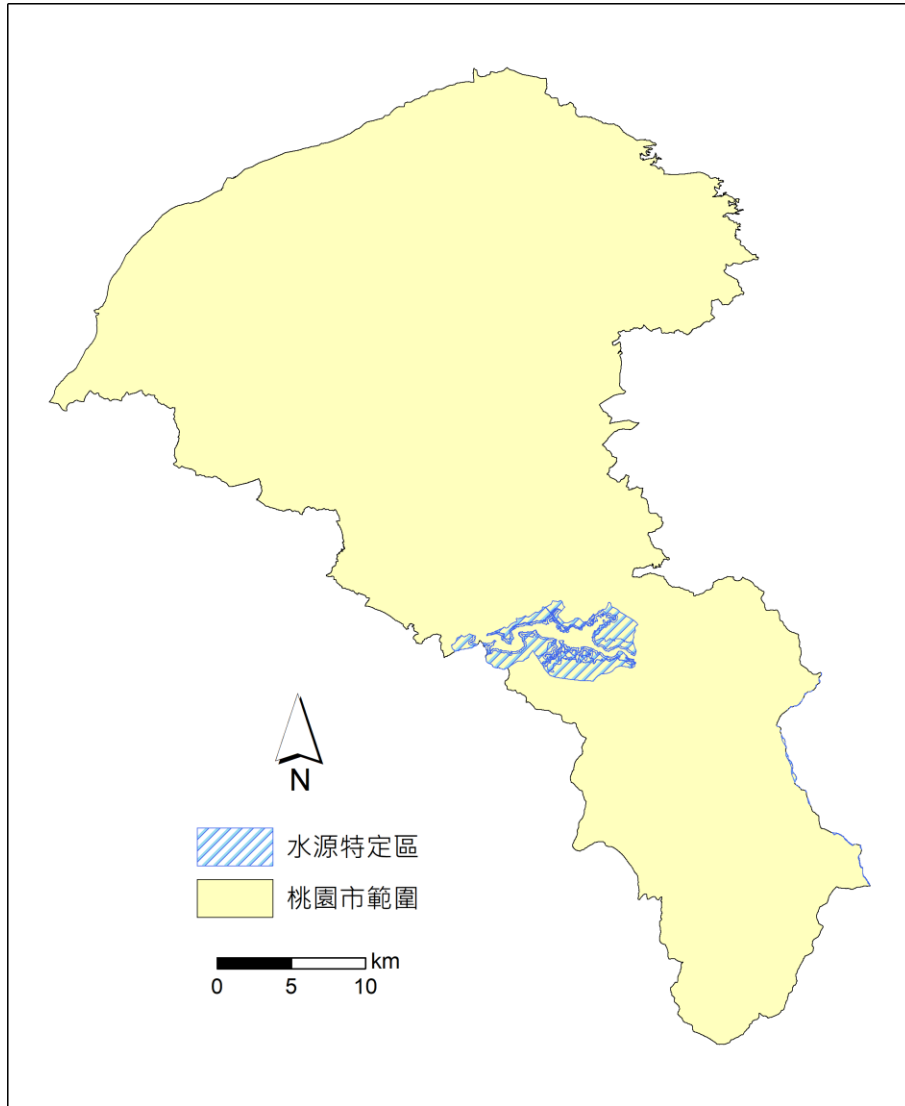


圖 12 桃園市水源特定區-空間限制發展區

表 1 土地利用類別九大分類彙整表

農業	農作、水產養殖、畜牧、附屬設施
森林	天然林、人工林、其他
交通	機場、鐵路、道路、港口
水利	河道、溝渠、蓄水池、沙洲、構造物等
建築	商業、住宅、工業、其他
公共	政府、學校、醫療、社福、公用、環保
遊憩	文化、休閒
礦業	礦業、土石、鹽業
其他	軍事、濕地、草生地、空地、崩塌等

表 2 土地利用轉換許可彙整表

		後一期土地利用								
		農業	森林	交通	水利	建築	公共	遊憩	礦業	其他
前 一 期 土 地 利 用	農業	1	1	1	1	1	1	0	0	1
	森林	1	1	1	0	1	1	1	0	1
	交通	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	水利	1	0	0	1	0	0	0	0	0
	建築	0	0	1	0	1	1	0	0	0
	公共	0	0	1	1	1	1	1	0	1
	遊憩	0	0	0	0	0	1	1	0	1
	礦業	0	1	0	0	1	1	1	1	1
	其他	1	1	1	1	1	1	1	0	1

1：允許土地利用轉換、0：不允許土地利用轉換

3.1.2 土地利用變遷驅動力分析

土地利用變遷驅動力分析，可瞭解驅動該地土地利用變遷主要組成因子與建立土地利用變遷機率模式等；前者可作為後續土地利用管制策略研擬參考，後者可作為土地利用變遷模擬應用。

Dyna-CLUE 模式以二元羅吉斯迴歸分析來建立及預測未來各種土地利用變遷之機率。本研究主要以草地、森林、交通、水利、建築、公共、遊憩；礦業及其他等 9 大土地利用類別為應變數，建立相關迴歸方程式。

土地利用變遷趨動力主要可分為自然及社會經濟等兩大因素。根據文獻回顧（吳幸娟，2008、陳珮琪，2017、陳婕雯，2018、經濟部水利署，2019）及分析結果，高程、坡度、與河流距離、土壤沖蝕 K 值、年平均累積雨量及年平均溫度為改變桃園市土地利用的自然驅動因子。另選取里人口密度及與道路距離，作為改變桃園市土地利用的社會經濟驅動因子；其中透過里人口密度來代表當地的經濟發展情形，與鄉道、縣道、省道、快速道及國道等道路距離及高鐵、臺鐵車站距離，代表未來該處的發展潛能。相關土地利用變遷驅動因子彙整，如表 3 所示。

表 3 土地利用變遷驅動因子彙整表

		吳幸娟 (2008)	陳珮琦 (2017)	陳婕雯 (2018)	水利署 (2019)	本研究
地點		鳳山溪 流域	大屯溪 流域	蘭陽平原	桃園市	桃園市
自然 因素	地文 特性		高程	高程	高程	高程
		坡度		坡度	坡度	坡度
	水文 特性	與主河道 距離	與河流 距離	與河流 距離	與河流 距離	與河流 距離
	土壤 特性		土壤沖蝕 K 值	土壤沖蝕 K 值		土壤沖蝕 K 值
			土壤深度	土壤深度		
	氣候		降雨			降雨
			溫度			溫度
	社會 經濟	人口	里人口 密度	人口	里人口 密度	
交通		與道路 距離	與省道 距離	主要道路 距離	與道路 距離	與道路 距離
		與交流道 距離	與縣道 距離	與公車站 距離	與國道 距離	與車站 距離
			與鄉鎮道 距離			
規劃 區		都市計畫 距離	與工廠 距離	與都市 距離		
		土地 所有權		與商業 距離		
				與住宅 距離		
				與學校 距離		

3.1.3 羅吉斯迴歸模式檢定

二元羅吉斯迴歸檢定結果，如表 4 所示。表 4 中模型摘要為自變數與應變數之關聯性強度檢定結果。此關聯強度旨在說明迴歸模式中

的自變數與應變數關係之強度，無法說明應變數的變異量可被自變數解釋百分比（吳明隆，2010）。其中農業及交通與自變數有中度及中強度之關聯。

在羅吉斯迴歸模式的假設驗證方面，Hosmer & Lemeshow 檢定之卡方統計量越小越好，因卡方值越小越不易達到顯著，表示迴歸模式適配度越佳（吳明隆，2010）。表 4 中農業、公共及遊憩等檢定值均未達顯著水準（ $p > 0.05$ ），代表整體迴歸模式適配度良好。而各土地利用二元羅吉斯迴歸模型正確率分類，總百分比越高越好，代表該模式在進行各土地利用分類時之適配度佳，如表 5 所示。

另外本研究亦使用 ROC 方法來進行評估（Pontius et al., 2001）。此評估方法乃係以對角線為參考基準線，如曲線剛好落在參考線上，即代表該分類不具鑑別性；如曲線越往左上方，則代表分類的敏感度越高，亦代表預測值之分類越接近實際值，如圖 13 所示。本研究各土地利用類別 ROC 曲線，如圖 14 所示。

此外，Fawcett(2006)指出可透過 ROC 曲線下的面積(AUC, Area under cover)來進行判斷預測模型的優劣標準。當 AUC 值等於 1 時，表示預測與實際值完全相符；當值介於 0.5 至 1 之間時，代表此結果有預測價值；當值等於或小於 0.5 時，代表此結果無預測價值。故

AUC 越接近 1 代表模式預測能力越佳。本研究中各土地利用類別的 AUC 值除礦業等於 0.5 外，其餘 AUC 值均大於 0.5，且以森林 0.938 為最高。

表 4 二元羅吉斯迴歸模型參數及 Hosmer & Lemeshow 檢定表

土地利用 類別項目	模型摘要			Hosmer & Lemeshow 檢定	
	-2 對數概似	Cox & Snell R 平方	Nagelkerke R 平方	卡方	顯著性
農業	11919.228	0.320	0.427	6.279	0.616
森林	5996.878	0.471	0.692	106.034	0.000
交通	4252.841	0.024	0.077	29.027	0.000
水利	2860.369	0.014	0.061	33.464	0.000
建築	6553.561	0.074	0.159	80.615	0.000
公共	1298.748	0.006	0.055	13.220	0.105
遊憩	1384.424	0.005	0.043	5.889	0.660
礦業	-	-	-	-	-
其他	4485.546	0.009	0.029	30.306	0.000

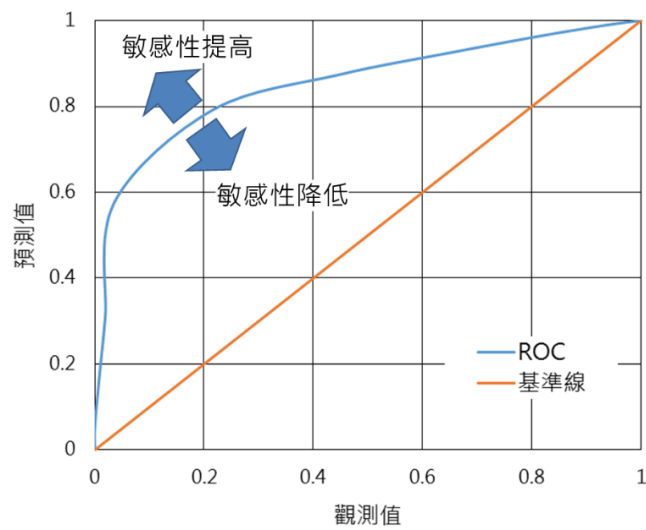


圖 13 ROC 曲線示意圖

表 5 各土地利用二元羅吉斯迴歸模型正確率分類表

土地利用 類型項目	觀測值		預測值		正確率(%)
			0	1	
農業	觀測值	0	3676	2249	62.1
		1	769	5209	86.9
	總百分比				74.6
森林	觀測值	0	8523	334	96.2
		1	808	2252	73.6
	總百分比				90.4
交通	觀測值	0	11346	6	99.9
		1	559	6	1.1
	總百分比				95.3
水利	觀測值	0	11586	0	100
		1	331	0	0
	總百分比				97.2
建築	觀測值	0	10745	43	99.6
		1	1088	41	3.6
	總百分比				90.5
公共	觀測值	0	11794	0	100
		1	123	0	0
	總百分比				99.0
遊憩	觀測值	0	11786	0	100
		1	131	0	0
	總百分比				98.9
礦業	觀測值	0	11904	0	100
		1	13	0	0
	總百分比				99.9
其他	觀測值	0	11344	0	100
		1	573	0	0
	總百分比				95.2

表 6 各土地利用類別 AUC 面積

項目	農業	森林	交通	水利	建築	公共	遊憩	礦業	其他
AUC	0.811	0.938	0.686	0.776	0.599	0.724	0.727	0.500	0.615

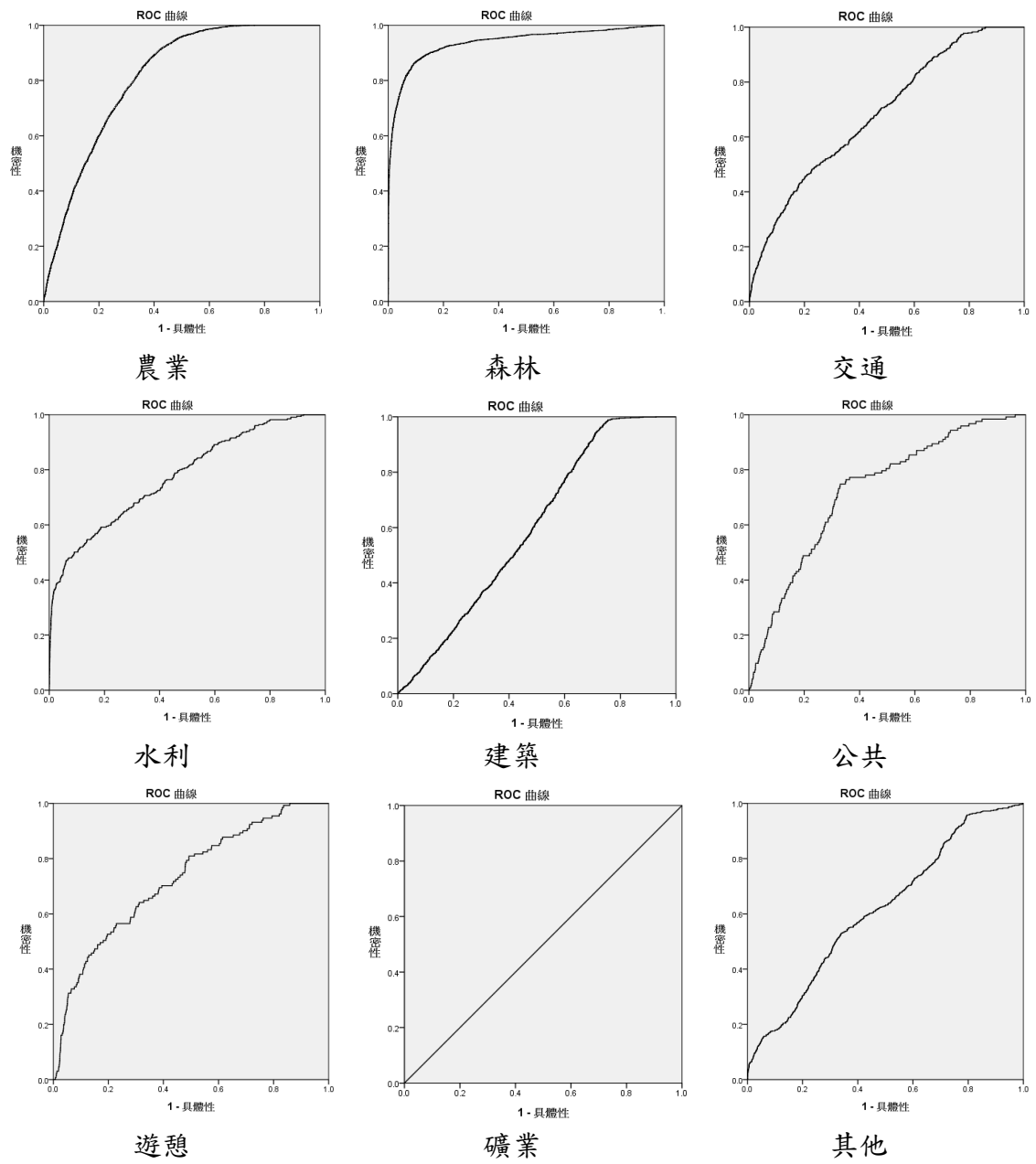


圖 14 各土地利用分類 ROC 曲線

3.1.4 土地利用驅動因子分析結果

透過二元羅吉斯迴歸所建立各土地利用類別變遷機率模式如下。

(1) 農業

在農業的二元羅吉斯迴歸機率模型中，以雨量影響最大，土壤沖蝕影響最小。結果呈現，農業用地在平均雨量及溫度適中、坡度緩、里人口密度少及離道路距離近的地方，且土壤沖蝕作用相對強烈的地方即土壤化育較佳較易進行農業耕作之處，分佈機率較高，如((3))。

$$\begin{aligned} \text{Log}\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) = & 15.0080 - 0.0028 \text{ 平均雨量} - 0.0496 \text{ 坡度} \\ & - 0.0092 \text{ 里人口密度} - 0.0097 \text{ 與道路距離} \quad (3) \\ & - 0.4624 \text{ 平均溫度} + 0.0260 \text{ 土壤沖蝕K值} \end{aligned}$$

(2) 森林

在森林的二元羅吉斯迴歸機率模型中，以坡度影響最大，高程影響最小。結果呈現森林用地在坡度較陡、海拔較高、氣候適中、離道路較遠與人口少的地方，森林分佈機率較高。

$$\begin{aligned} \text{Log}\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) = & -22.3496 + 0.0655 \text{ 坡度} + 0.0036 \text{ 平均雨量} \\ & + 0.0038 \text{ 與道路距離} + 0.6094 \text{ 平均溫度} \quad (4) \end{aligned}$$

$$-0.0081 \text{ 里人口密度} + 0.0015 \text{ 高程}$$

(3) 交通

在交通的二元羅吉斯迴歸機率模型中顯示，人口集中區、道路鄰近處與溫度較溫暖之處，出現交通的機率較高。

$$\begin{aligned} \text{Log}\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) = & -10.3305 + 0.0054 \text{ 里人口密度} \\ & + 0.3374 \text{ 平均溫度} - 0.0024 \text{ 與道路距離} \end{aligned} \quad (5)$$

(4) 水利

在水利的二元羅吉斯迴歸機率模型中顯示，僅與河流距離及高程有關。當與河流距離越接近，高程越平緩之地方，呈現水利的機率越高。

$$\text{Log}\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) = -2.6316 - 0.0014 \text{ 與河流距離} - 0.0012 \text{ 高程} \quad (6)$$

(5) 建築

在建築的二元羅吉斯迴歸機率模型中，呈現人口密度越高、離車站及道路越近之地區，出現建築的機率越大。

$$\begin{aligned} \text{Log}\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) = & -1.7501 + 0.0069 \text{ 里人口密度} \\ & - 0.0001 \text{ 與車站距離} - 0.0174 \text{ 與道路距離} \end{aligned} \quad (7)$$

(6) 公共

在公共的二元羅吉斯迴歸機率模型中顯示，越靠近車站、坡度越緩、人口密度越高且雨量較多的地方，出現公共用地的機率則越高。

$$\begin{aligned} \text{Log}\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) = & -7.9787 - 0.0001 \text{ 與車站距離} \\ & +0.0027 \text{ 平均雨量} - 0.0348 \text{ 坡度} \\ & +0.0028 \text{ 里人口密度} \end{aligned} \quad (8)$$

(7) 遊憩

在遊憩的二元羅吉斯迴歸機率模型中顯示，土壤化育較佳之區域、溫度適中且較為山上之區域，呈現遊憩的機率較高。

$$\begin{aligned} \text{Log}\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) = & -42.1865 + 0.0845 \text{ 土壤沖蝕K值} \\ & +1.5722 \text{ 平均溫度} + 0.0062 \text{ 高程} \end{aligned} \quad (9)$$

(8) 礦業

而礦業在二元羅吉斯迴歸機率模型中，在所挑選的因子中適配度最低，無任何統計關係存在。

$$\text{Log}\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) = -6.8197 \quad (10)$$

(9) 其他

在其他的二元羅吉斯迴歸機率模型中，僅與溫度及雨量相對較高

之處，出現其他的機率越高。

$$\begin{aligned} \text{Log}\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) &= -13.2719 + 0.4237 \text{ 平均溫度} \\ &+ 0.0007 \text{ 平均雨量} \end{aligned} \tag{11}$$

3.2 土地利用空間分配模組驗證

本研究利用 2008 年作為土地利用變遷預測基準年，透過土地轉換許可、土地利用變遷趨動力及各土地利用類別需求面積（表 7）等資料，進行土地利用變遷空間分配模擬，並以 2017 年土地利用調查資料作為模式驗證。為求預測可信度，本研究利用 Pontius（2000）提出之 Kappa 值最為模式可信度標準。

圖 15 為 2008 年桃園市土地利用調查分布情形，即基準年；圖 16 為 2017 年桃園市土地利用調查分布情形，即模擬結果驗證年；表 7 則為模式輸入中 2008 年至 2017 年間各土地利用類別需求面積。

根據 Pontius（2000）提出，可透過 Kappa 值評估預測結果與實際結果之誤差，測量預測值之可信度。Kappa 值主要介於 0 至 1 之間，其公式如下，

$$Kappa = \frac{(P_o - P_c)}{(1 - P_c)} \quad (12)$$

式中， P_o 代表觀測值正確率、 P_c 代表期望值的一致性，即結果相同的機率。Pontius（2000）更指出依據模擬工具對數量和位置的分配能力可劃分為無能力、中等能力和完全能力等三個等級。陳婕雯（2018）將 Kappa 值分為五組進行判斷。當值介於 0 至 0.2 時，表示

可信度極低；當值介於 0.2 至 0.4 時，表示可信度一般；當值介於 0.4 至 0.6 時，表示中度可信度；當值介於 0.6 至 0.8 時，表示高度可信度；當值介於 0.8 至 1 時，代表可信度極高。故可知，當 Kappa 值越接近 1，代表預測結果與觀測值越相近，表示預測結果越好。

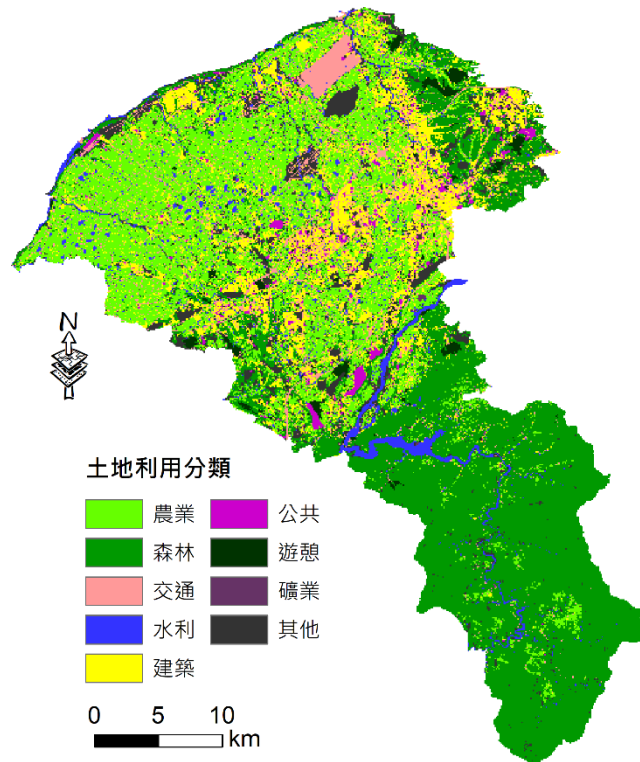


圖 15 桃園市 2008 年土地利用調查成果

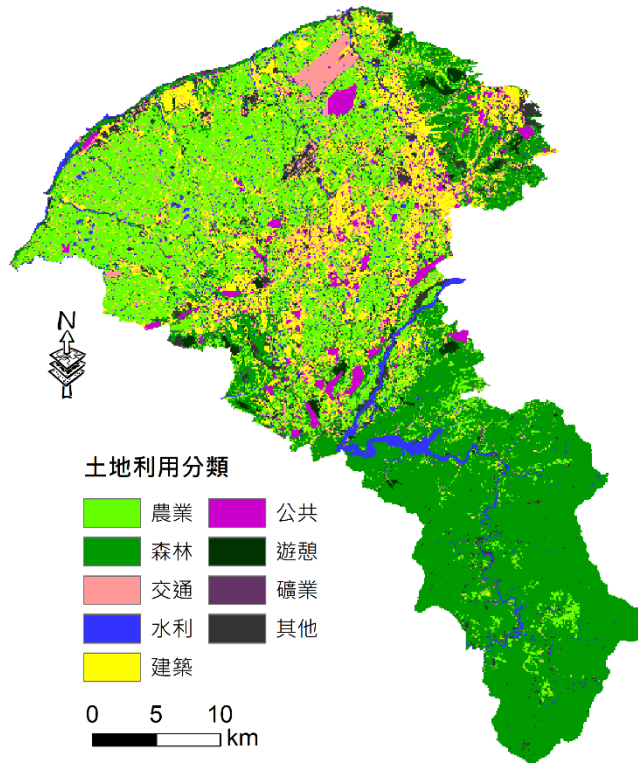


圖 16 桃園市 2017 年土地利用調查成果

表 7 2008 年至 2017 年各土地利用類別需求面積

年	農業	森林	交通	水利	建築	公共	遊憩	礦業	其他
2008	34,328	44,769	8,216	4,906	16,091	2,023	1,853	136	8,282
2009	34,235	44,768	8,241	4,886	16,174	2,232	1,858	131	8,080
2010	34,142	44,766	8,266	4,866	16,256	2,441	1,863	127	7,877
2011	34,049	44,765	8,291	4,846	16,339	2,650	1,868	122	7,675
2012	33,956	44,764	8,316	4,826	16,421	2,859	1,873	118	7,472
2013	33,862	44,762	8,340	4,806	16,504	3,067	1,879	113	7,270
2014	33,769	44,761	8,365	4,786	16,586	3,276	1,884	109	7,067
2015	33,676	44,760	8,390	4,766	16,669	3,485	1,889	104	6,865
2016	33,583	44,758	8,415	4,746	16,751	3,694	1,894	100	6,662
2017	33,490	44,757	8,440	4,726	16,834	3,903	1,899	95	6,460

單位：公頃

圖 17 為模式 2017 年土地利用空間分配結果。表 8 為土地利用空間分配 Kappa 值驗證結果。本研究 Kappa 值達 0.764，亦即代表測測的準確度良好，可作為後續推估未來土地利用分配之模組。

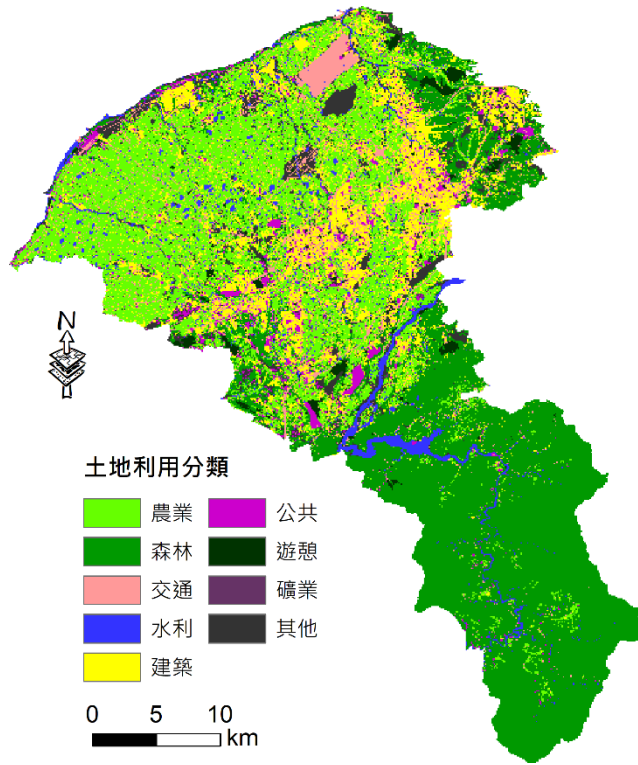


圖 17 桃園市 2017 年模式驗證成果

表 8 土地利用空間分配 Kappa 值驗證結果彙整表

		2017 年模式預測									總計
		農業	森林	交通	水利	建築	公共	遊憩	礦業	其他	
2017 年 實 際 調 查	農業	29,160	1560	384	529	648	236	54	6	913	33,490
	森林	385	43,572	75	33	82	270	63	0	277	44,757
	交通	456	180	6,941	62	467	76	31	3	224	8,440
	水利	419	190	60	3,794	57	25	27	1	153	4,726
	建築	1,136	195	389	39	14,207	198	58	4	608	16,834
	公共	105	66	69	5	212	2,083	24	0	1,339	3,903
	遊憩	62	61	49	27	80	47	1,470	0	103	1,899
	礦業	10	3	1	3	8	12	0	47	11	95
	其他	1,254	751	300	216	932	546	77	34	2,350	6,460
總計		32,987	46,578	8,268	4,708	16,693	3,493	1,804	95	5,978	120,604

Kappa Coefficient = 0.764

第四章 未來土地利用變遷模擬及分析結果

4.1 2036 年土地利用需求量推估

土地利用變遷主要是透過不同時期地土地利用變化情形進行討論。因此，可透過案例分析、情境模擬或其他分析預測模型，進行未來土地利用需求量變化預測。本研究未來土地利用需求量推估方法如下。

4.1.1 馬可夫鏈預測

然而，在地理學界常使用馬可夫鏈 (Markov Chain) 模式應用在預測未來土地可能的發展。張政亮 (2006) 指出，「馬可夫鏈模式是一種預測的方法，模式先假設某一事件各種狀態的轉變機率，是根基於此時狀態的改變而不考慮其他因素，然後利用此一轉換率來推測未來事物地分布狀態」。因此，本研究將運用馬可夫鏈轉換矩陣預測未來 2036 年桃園市土地利用可能之發展。

表 9 為桃園市 2008 年至 2017 年間各土地利用類別演變彙整表，表中粗體字為 2008 年至 2017 年間維持原土地利類別的面積。如以此為界，表格往右表示轉換為其他土地利用的面積，表格往下為其他用地轉為該用地面積。以農業為例，2008 總農業用地為 34,328 公頃；2008 年至 2017 年間，共有 29,974 公頃的土地仍維持農業，898 公頃

農地轉為森林、473 公頃農地轉為交通用地等依此類推。在 2017 年時，農業用地減少為 33,490 公頃；其中 29,974 為維持農業用地之面積，有 1,137 公頃的森林開發為農業用地、254 公頃的交通用地轉為農地使用等依此類推。故根據表 9 中各土地利用類別間的轉換或然率，轉換為表 10 的各土地類別的演變或然率矩陣。之後再藉由此一時期內各項的演變或然率，依據其相乘定律及相加定律，推測未來更長時期之演變或然率（梁靳善，2000）。表 11 為利用馬可夫鍊模型所推求之 2017 年至 2036 年間各土地利用類別需求面積。

表 9 桃園市 2008 年至 2017 年間各土地利用類別演變彙整表

		2017 土地利用類別									總計
		農業	森林	交通	水利	建築	公共	遊憩	礦業	其他	
2008 土地 利用 類別	農業	29,974	898	473	315	1,180	106	71	10	1,301	34,328
	森林	1,137	2,349	197	194	229	71	67	3	522	44,769
	交通	254	201	6,941	59	379	59	46	1	276	8,216
	水利	555	86	65	3,907	40	6	27	3	217	4,906
	建築	386	168	424	43	14,074	134	55	8	799	16,091
	公共	14	12	40	3	70	1,833	28	1	22	3,023
	遊憩	52	142	31	27	58	21	1,470	-	52	1,853
	礦業	7	-	3	2	11	-	-	58	55	136
	其他	1,111	901	266	176	793	1,673	135	11	3,216	8,282
總計		33,490	44,757	8,440	4,762	16,864	3,903	1,899	95	6,460	120,604

註：單位為公頃。粗體字為 2008 年至 2017 年間沒有轉換的面積。

表 10 桃園市 2008 年至 2017 年間各土地利用類別演變或然率矩陣

		2017 土地利用類別分配									總計
		農業	森林	交通	水利	建築	公共	遊憩	礦業	其他	
2008 土地 利用 類別 分配	農業	0.87	0.03	0.01	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.04	1
	森林	0.03	0.95	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	1
	交通	0.03	0.02	0.84	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.03	1
	水利	0.11	0.02	0.01	0.80	0.01	0.00	0.01	0.00	0.04	1
	建築	0.02	0.01	0.03	0.00	0.87	0.01	0.00	0.00	0.05	1
	公共	0.01	0.01	0.02	0.00	0.03	0.91	0.01	0.00	0.01	1
	遊憩	0.03	0.08	0.02	0.01	0.03	0.01	0.79	0.00	0.03	1
	礦業	0.05	0.00	0.02	0.01	0.08	0.00	0.00	0.43	0.40	1
	其他	0.13	0.01	0.03	0.02	0.10	0.20	0.02	0.00	0.39	1
2008 年(%)		28.5	37.1	6.8	4.1	13.3	1.7	1.5	0.1	6.9	100
2017 年(%)		27.8	37.1	7.0	3.9	14.0	3.2	1.6	0.1	5.4	100

註：粗體字為 2008 年至 2017 年間沒有轉換的比率。

表 11 2017 至 2036 年間馬可夫鏈推估之各土地利用類別需求面積（公頃）

年	農業	森林	交通	水利	建築	公共	遊憩	礦業	其他
2017	33,490	44,757	8,440	4,726	16,834	3,903	1,899	95	6,460
2018	33,383	44,734	8,459	4,706	16,892	4,052	1,904	92	6,383
2019	33,276	44,711	8,478	4,686	16,949	4,201	1,908	90	6,305
2020	33,168	44,688	8,497	4,666	17,007	4,350	1,913	87	6,228
2021	33,061	44,665	8,515	4,646	17,065	4,499	1,917	84	6,151
2022	32,954	44,642	8,534	4,626	17,123	4,648	1,922	82	6,073
2023	32,847	44,619	8,553	4,606	17,180	4,798	1,927	79	5,996
2024	32,740	44,596	8,572	4,586	17,238	4,947	1,931	76	5,919
2025	32,633	44,573	8,591	4,565	17,296	5,096	1,936	74	5,841
2026	32,525	44,550	8,610	4,545	17,354	5,245	1,940	71	5,764
2027	32,422	44,519	8,627	4,526	17,399	5,365	1,943	71	5,733
2028	32,319	44,487	8,644	4,507	17,444	5,485	1,945	70	5,702
2029	32,215	44,456	8,661	4,488	17,489	5,606	1,947	70	5,670
2030	32,112	44,425	8,678	4,469	17,535	5,726	1,950	70	5,639
2031	32,008	44,394	8,695	4,450	17,580	5,846	1,952	70	5,608
2032	31,905	44,363	8,713	4,431	17,625	5,967	1,955	69	5,577
2033	31,801	44,332	8,730	4,412	17,670	6,087	1,957	69	5,546
2034	31,698	44,301	8,747	4,393	17,716	6,207	1,959	69	5,515
2035	31,594	44,270	8,764	4,374	17,761	6,328	1,962	68	5,483
2036	31,501	44,235	8,779	4,358	17,799	6,430	1,966	67	5,470

4.1.2 人口發展趨勢預測

人口發展會帶動周邊經濟發展，促進相關土地開發與建設，進而造成土地利用變化 (Meyer et al. 1992; Turner 1992; Li et al. 2015; Wang et al. 2017)。所以本研究透過 2008 年至 2017 年人口發展及各土地利用類別面積變化趨勢建立關係式，來設定未來各年度土地利用面積需求。

圖 18 為 2008 年至 2017 年人口與各土地利用類別線性迴歸關係圖。從此關係圖可知，農業、森林、水利、鹽礦等都與人口呈現負相關，而交通、建築、公共及遊憩面積，將會隨著人口增加。

桃園市未來人口發展趨勢資料來源，主要由臺北大學詹士樑教授提供，主要透過 TELUM 模式 Wang et al (2017) 進行人口發展趨勢低、中及高等發展趨勢進行未來人口推估至 2036 年。相關人口推估成果如表 12 所示。由於該人口推估係由 2016 年開始進行未來 20 年人口推估至 2036 年止，故從 2017 年開始發展出低度、中度及高度等不同人口發展情境結果。根據人口高度發展結果，未來桃園市在 2036 年人口將到達 2,528,227 人。

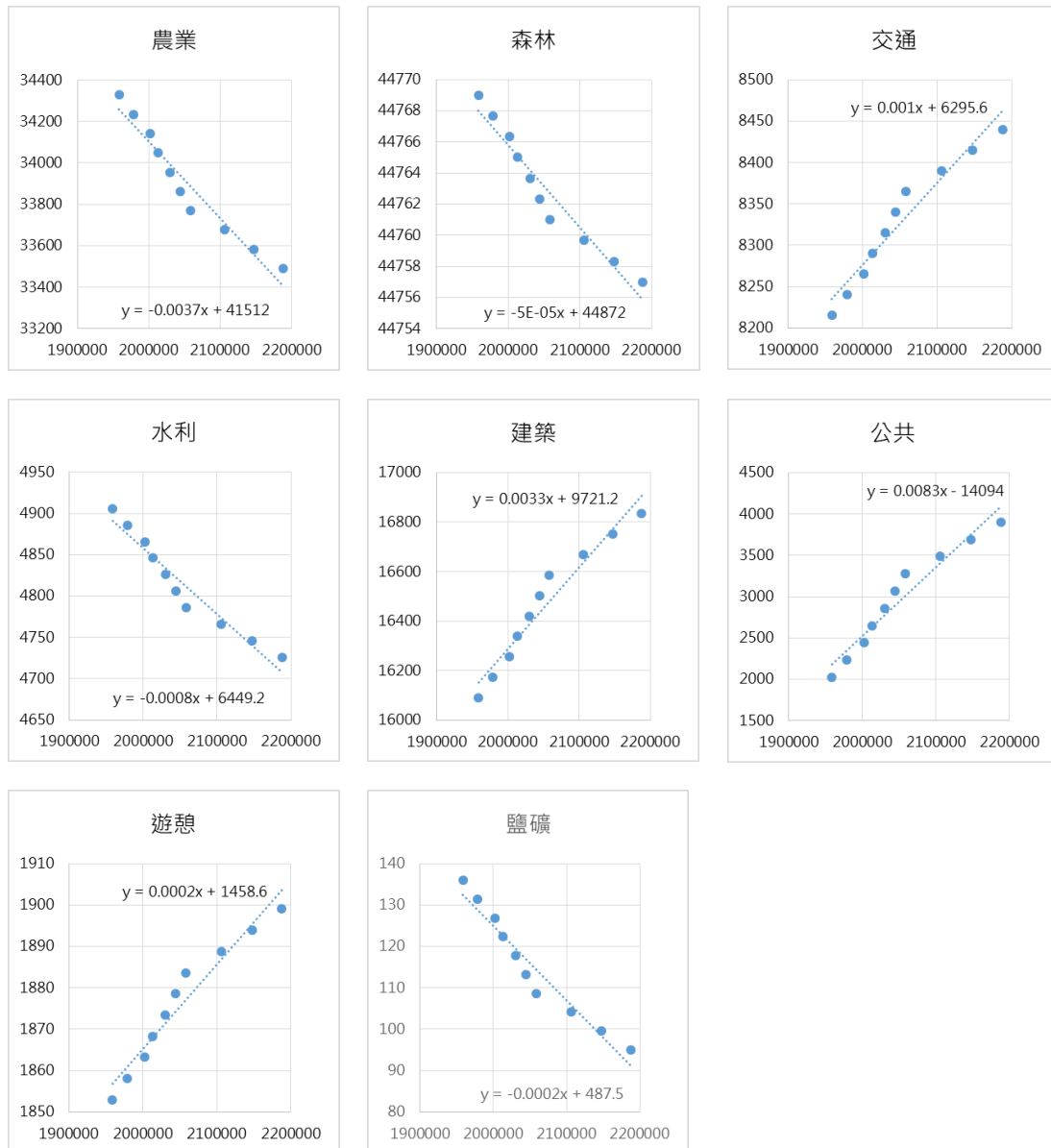


圖 18 人口（橫坐標）與各土地利用（縱座標）線性迴歸關係圖

圖 19 至圖 21 為桃園市 2036 年各區人口推估分布成果。在 2036 年時，新屋區及復興區在低度人口推估時，人口數均少於 50,000 人；中度人口推估時，新屋區人口數將增加一個級數至 50,001 至 100,000 人口數間；在高度發展時，龜山區人口將增加至 200,001 至 300,000 人口數間。

表 12 低中高人口發展情境下桃園市 2016 年至 2036 年人口推估成果

年	低度人口	中度人口	高度人口
2016	2,061,312	2,061,312	2,061,312
2017	2,084,412	2,084,789	2,085,228
2018	2,107,511	2,108,266	2,109,144
2019	2,130,611	2,131,743	2,133,059
2020	2,153,710	2,155,220	2,156,975
2021	2,176,810	2,178,697	2,180,891
2022	2,197,492	2,201,280	2,205,893
2023	2,218,174	2,223,863	2,230,895
2024	2,238,857	2,246,447	2,255,896
2025	2,259,539	2,269,030	2,280,898
2026	2,280,221	2,291,613	2,305,900
2027	2,297,933	2,312,451	2,329,727
2028	2,315,646	2,333,289	2,353,553
2029	2,333,358	2,354,126	2,377,380
2030	2,351,071	2,374,964	2,401,206
2031	2,368,783	2,395,802	2,425,033
2032	2,382,152	2,412,906	2,445,672
2033	2,395,521	2,430,010	2,466,311
2034	2,408,889	2,447,114	2,486,949
2035	2,422,258	2,464,218	2,507,588
2036	2,435,627	2,481,322	2,528,227

註：臺北大學提供成果。

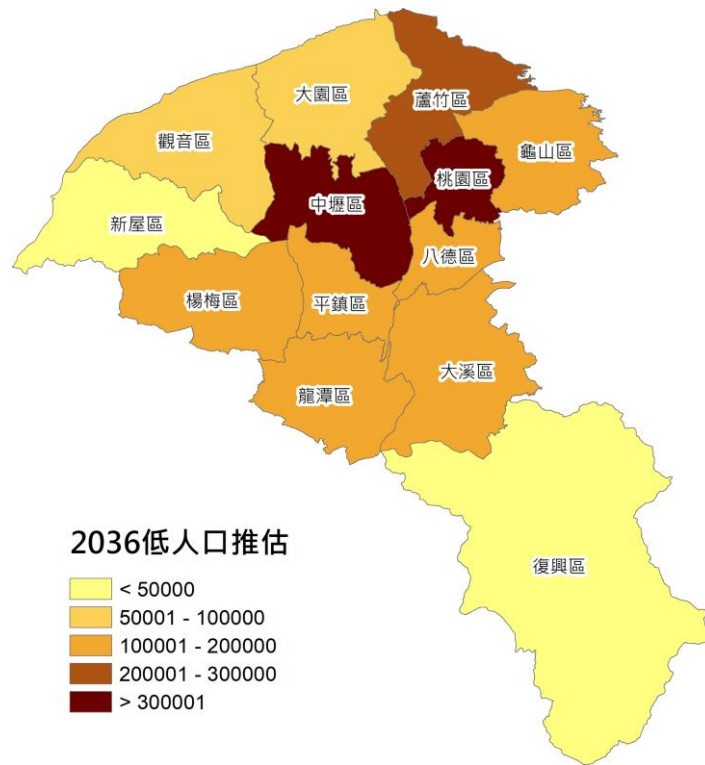


圖 19 桃園市各區未來 2036 年低度人口推估分布結果（臺北大學提供）

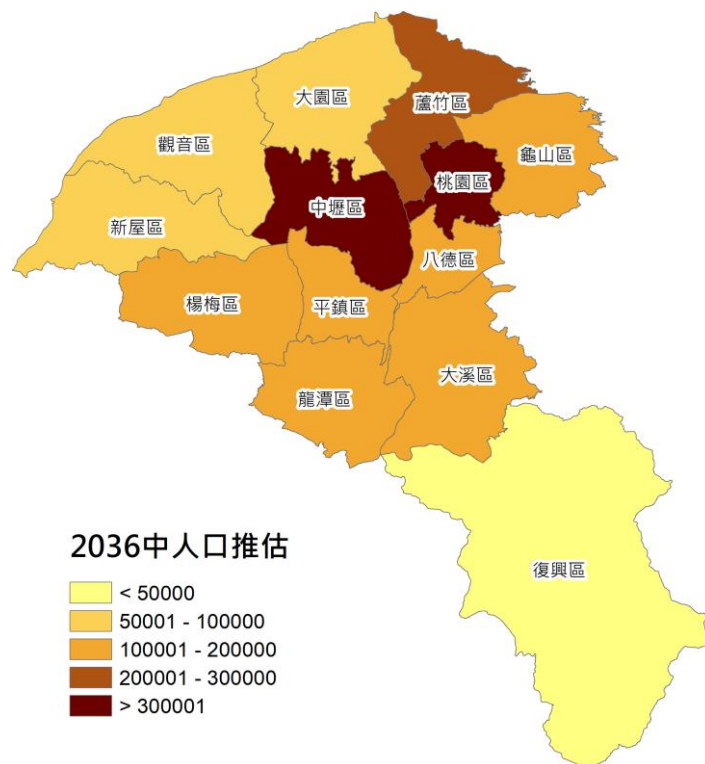


圖 20 桃園市各區未來 2036 年中度人口推估分布結果（臺北大學提供）

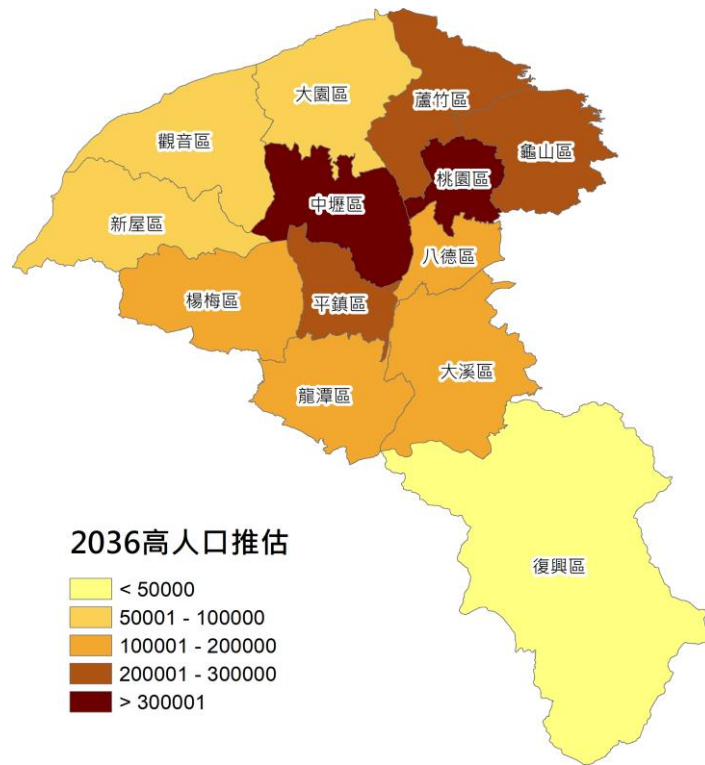


圖 21 桃園市各區未來 2036 年高度人口推估分布結果（臺北大學提供）

表 13 至表 15 為透過低、中及高度人口發展情境所推估的 2036 年各土地利用類別需求面積結果。其中，農業、森林、交通、水利、建築、公共、遊憩及礦業均透過人口與土地利用關係式推求而得；另為求每年整體土地利用需求固定，故透過其他類土地利用面積作為調整。礦業則限制於 2021 年後不轉作其他土地利用類別，故於 2021 年後均為定值。

圖 22 為馬可夫鏈模型及低中高度人口發展情境推估之 2036 年各土地利用需求量結果圖。圖 23 則為不同推估方法所得 2036 年土地利用需求量與 2017 年相比較後之改變百分比過結果圖。如以馬可夫鏈

模型與中度人口發展推估成果比較，兩者推估成果相似；除利用馬可夫鍊模型推求的農業土地利用減少量較中度人口發展多，中度發展人口推求的其他類土地利用減少較多外，其餘土地利用之改變率均類似。

表 13 低度人口發展情境下桃園市 2017 至 2036 年土地利用需求面積（公頃）

年	農業	森林	交通	水利	建築	公共	遊憩	礦業	其他
2017	33,885	44,769	8,357	4,800	16,524	3,015	1,871	75	7,308
2018	33,800	44,768	8,380	4,782	16,600	3,207	1,875	71	7,122
2019	33,714	44,767	8,403	4,763	16,676	3,398	1,880	66	6,936
2020	33,629	44,765	8,426	4,745	16,752	3,590	1,885	61	6,750
2021	33,543	44,764	8,449	4,726	16,828	3,782	1,889	57	6,564
2022	33,458	44,763	8,472	4,708	16,905	3,974	1,894	57	6,374
2023	33,381	44,762	8,493	4,691	16,973	4,145	1,898	57	6,203
2024	33,305	44,761	8,514	4,675	17,041	4,317	1,902	57	6,033
2025	33,228	44,760	8,534	4,658	17,109	4,489	1,906	57	5,862
2026	33,152	44,759	8,555	4,642	17,178	4,660	1,911	57	5,691
2027	33,075	44,758	8,576	4,625	17,246	4,832	1,915	57	5,521
2028	33,010	44,757	8,594	4,611	17,304	4,979	1,918	57	5,375
2029	32,944	44,756	8,611	4,597	17,363	5,126	1,922	57	5,229
2030	32,879	44,755	8,629	4,583	17,421	5,273	1,925	57	5,082
2031	32,813	44,754	8,647	4,568	17,480	5,420	1,929	57	4,936
2032	32,748	44,754	8,664	4,554	17,538	5,567	1,932	57	4,790
2033	32,698	44,753	8,678	4,543	17,582	5,678	1,935	57	4,680
2034	32,649	44,752	8,691	4,533	17,626	5,789	1,938	57	4,570
2035	32,599	44,752	8,704	4,522	17,671	5,900	1,940	57	4,459
2036	32,550	44,751	8,718	4,511	17,715	6,011	1,943	57	4,349

表 14 中度人口發展情境下桃園市 2017 至 2036 年土地利用需求面積（公頃）

年	農業	森林	交通	水利	建築	公共	遊憩	礦業	其他
2017	33,798	44,768	8,380	4,781	16,601	3,210	1,876	71	7,119
2018	33,711	44,767	8,404	4,763	16,678	3,405	1,880	66	6,930
2019	33,625	44,765	8,427	4,744	16,756	3,599	1,885	61	6,741
2020	33,538	44,764	8,451	4,725	16,833	3,794	1,890	56	6,552
2021	33,451	44,763	8,474	4,706	16,911	3,989	1,894	56	6,359
2022	33,367	44,762	8,497	4,688	16,985	4,177	1,899	56	6,172
2023	33,284	44,761	8,519	4,670	17,060	4,364	1,903	56	5,986
2024	33,200	44,760	8,542	4,652	17,134	4,552	1,908	56	5,800
2025	33,117	44,759	8,565	4,634	17,209	4,739	1,912	56	5,613
2026	33,033	44,757	8,587	4,616	17,284	4,926	1,917	56	5,427
2027	32,956	44,756	8,608	4,599	17,352	5,099	1,921	56	5,255
2028	32,879	44,755	8,629	4,583	17,421	5,272	1,925	56	5,083
2029	32,802	44,754	8,650	4,566	17,490	5,445	1,929	56	4,911
2030	32,725	44,753	8,671	4,549	17,559	5,618	1,934	56	4,739
2031	32,648	44,752	8,691	4,533	17,627	5,791	1,938	56	4,568
2032	32,584	44,751	8,709	4,519	17,684	5,933	1,941	56	4,426
2033	32,521	44,750	8,726	4,505	17,740	6,075	1,945	56	4,285
2034	32,458	44,750	8,743	4,492	17,797	6,217	1,948	56	4,144
2035	32,394	44,749	8,760	4,478	17,853	6,359	1,951	56	4,003
2036	32,331	44,748	8,777	4,464	17,910	6,501	1,955	56	3,862

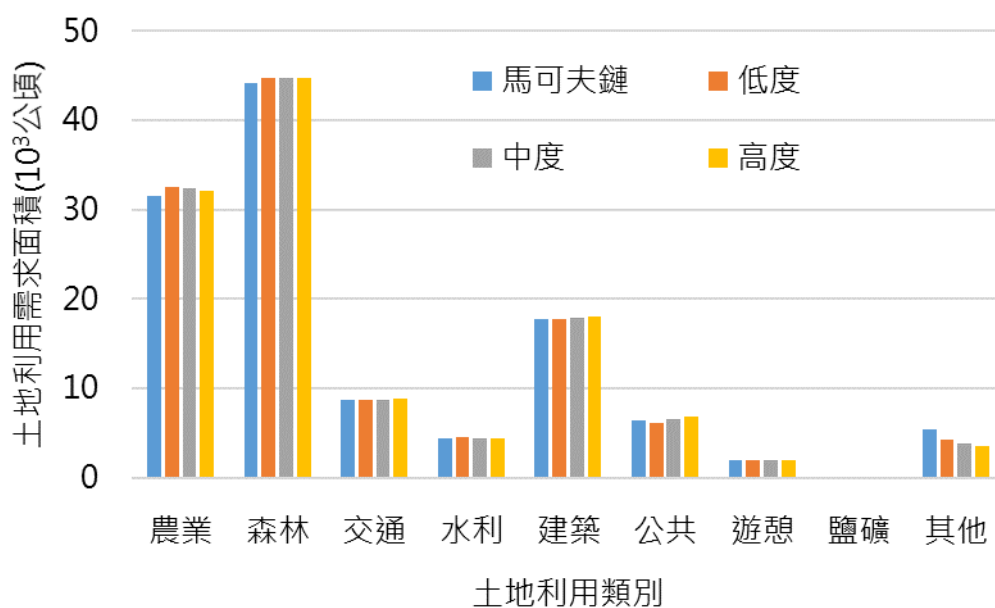


圖 22 桃園市 2036 年各土地利用類別需求量推估結果

表 15 高度人口發展情境下桃園市 2017 至 2036 年土地利用需求面積（公頃）

年	農業	森林	交通	水利	建築	公共	遊憩	礦業	其他
2017	33,800	44,768	8,380	4,782	16,600	3,207	1,875	71	7,122
2018	33,714	44,767	8,403	4,763	16,676	3,398	1,880	66	6,936
2019	33,629	44,765	8,426	4,745	16,752	3,590	1,885	61	6,750
2020	33,543	44,764	8,449	4,726	16,828	3,782	1,889	56	6,538
2021	33,458	44,763	8,472	4,708	16,905	3,974	1,894	56	6,341
2022	33,381	44,762	8,493	4,691	16,973	4,145	1,898	56	6,135
2023	33,305	44,761	8,514	4,675	17,041	4,317	1,902	56	5,928
2024	33,228	44,760	8,534	4,658	17,109	4,489	1,906	56	5,722
2025	33,152	44,759	8,555	4,642	17,178	4,660	1,911	56	5,516
2026	33,075	44,758	8,576	4,625	17,246	4,832	1,915	56	5,310
2027	33,010	44,757	8,594	4,611	17,304	4,979	1,918	56	5,113
2028	32,944	44,756	8,611	4,597	17,363	5,126	1,922	56	4,916
2029	32,879	44,755	8,629	4,583	17,421	5,273	1,925	56	4,720
2030	32,813	44,754	8,647	4,568	17,480	5,420	1,929	56	4,523
2031	32,748	44,754	8,664	4,554	17,538	5,567	1,932	56	4,327
2032	32,698	44,753	8,678	4,543	17,582	5,678	1,935	56	4,157
2033	32,649	44,752	8,691	4,533	17,626	5,789	1,938	56	3,986
2034	32,599	44,752	8,704	4,522	17,671	5,900	1,940	56	3,816
2035	32,550	44,751	8,718	4,511	17,715	6,011	1,943	56	3,646
2036	32,500	44,750	8,731	4,501	17,759	6,122	1,946	56	3,475

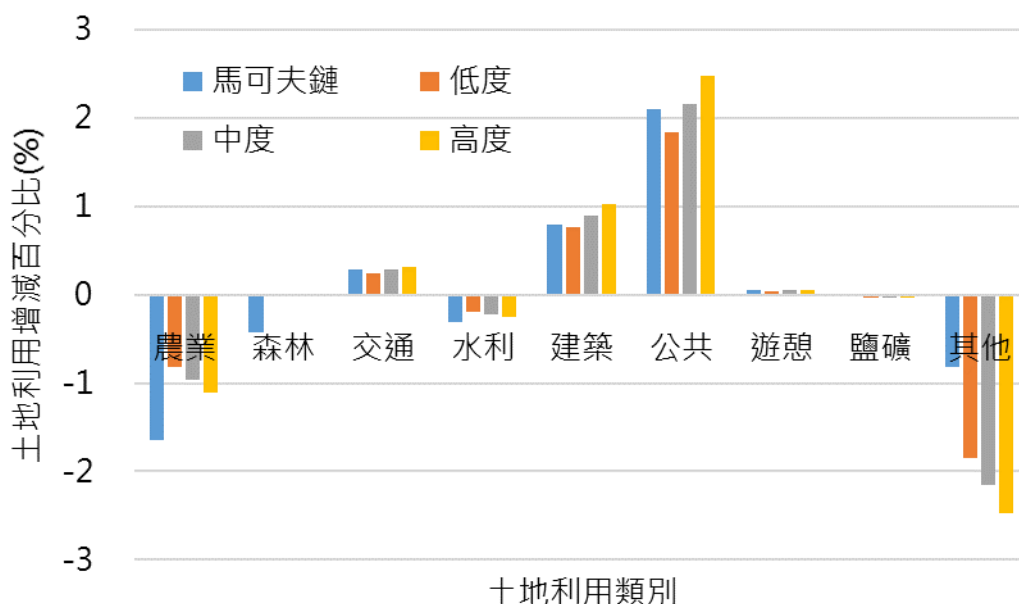


圖 23 桃園市 2036 年與 2017 年土地利用增減百分比

4.2 2036 年土地利用空間分派結果

本小節將透過 3.2 節土地利用空間分派建模成果與 4.1 未來土地利用推估成果進行 2036 年土地利用空間分配推估。相關 2036 年土地利用空間分配結果如圖 24 至圖 27 所示。

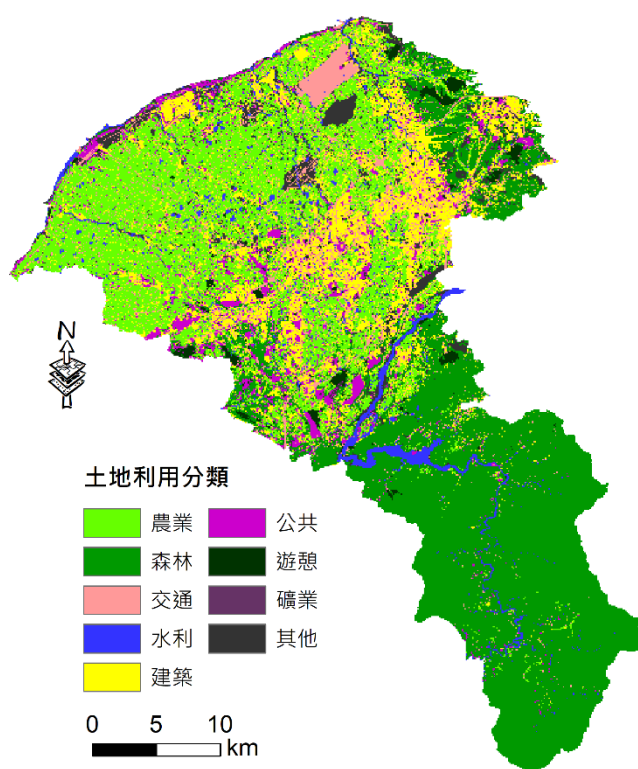


圖 24 桃園市 2036 年馬可夫鏈土地利用空間分配結果

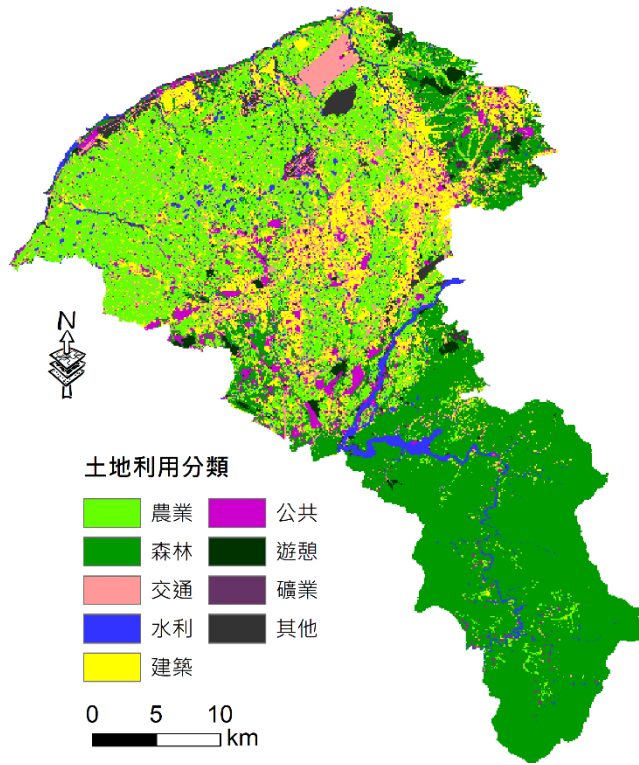


圖 25 桃園市 2036 年低度人口發展情境土地利用空間分配結果

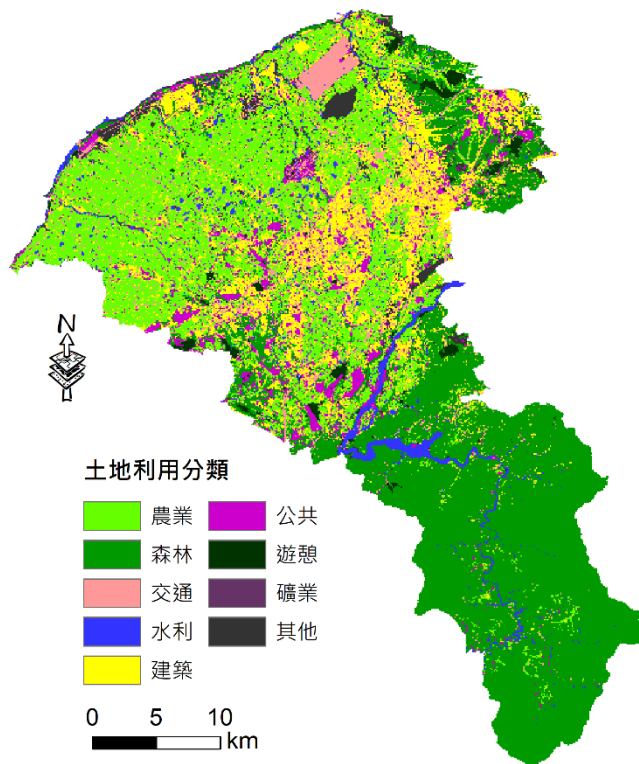


圖 26 桃園市 2036 年中度人口發展情境土地利用空間分配結果

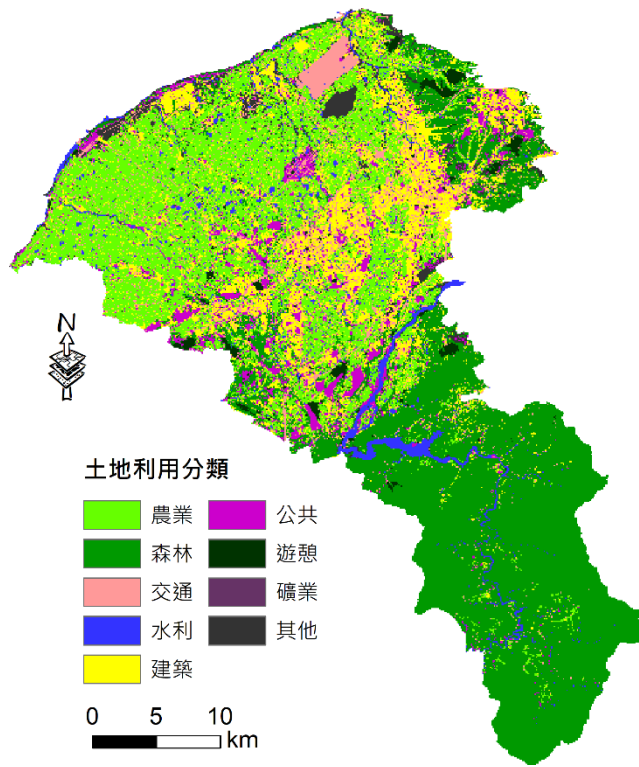


圖 27 桃園市 2036 年高度人口發展情境土地利用空間分配結果

第五章 土地利用變遷對災害衝擊應用測試結果

為瞭解土地利用變化對災害衝擊所造成之影響，本研究選擇水資源及淹水進行相關災害衝擊測試。未來土地利用空間分佈結果採用馬可夫鏈模型推估結果進行相關測試，結果分述如下。

5.1 水資源衝擊測試結果

石門水庫集水區位於桃園市上游，為北臺灣重要水資源地區，為瞭解未來土地利用變化是否造成北臺灣用水危機，故於此節討論。經換算後，各土地利用類別分別佔石門水庫集水區比例如表 16 所示。其中，2017 年時主要以森林為最多，佔將近 91%，其次為河道及水庫所組成的水利類 3.7%。在 2036 年土地利用分佈上，仍以森林最多，且增加至 93%，農業減少 1% 為最多。

最後透過水資源系統模擬 1986 年至 2005 年月平均流量，如圖 28 所示。其結果發現，土地利用變化對石門水庫水資源平均月入流量影響變化不大。主要原因為未來土地利用在石門水庫內變化不大，故對於月平均流量影響不大。

表 16 土地利用變化對石門水庫 CN 值之影響

	各土地利用所佔比例(%)		各土地利用 CN 值	
	2017 年	2036 年	2017 年	2036 年
農業	2.7	1.0	2	1
森林	91.3	92.9	64	65
交通	0.9	0.9	1	1
水利	3.7	3.6	4	4
建築	0.5	0.7	1	1
公共	0.6	0.6	1	1
遊憩	0.1	0.1	0	0
礦業	0.0	0.0	-	-
其他	0.2	0.1	0	0

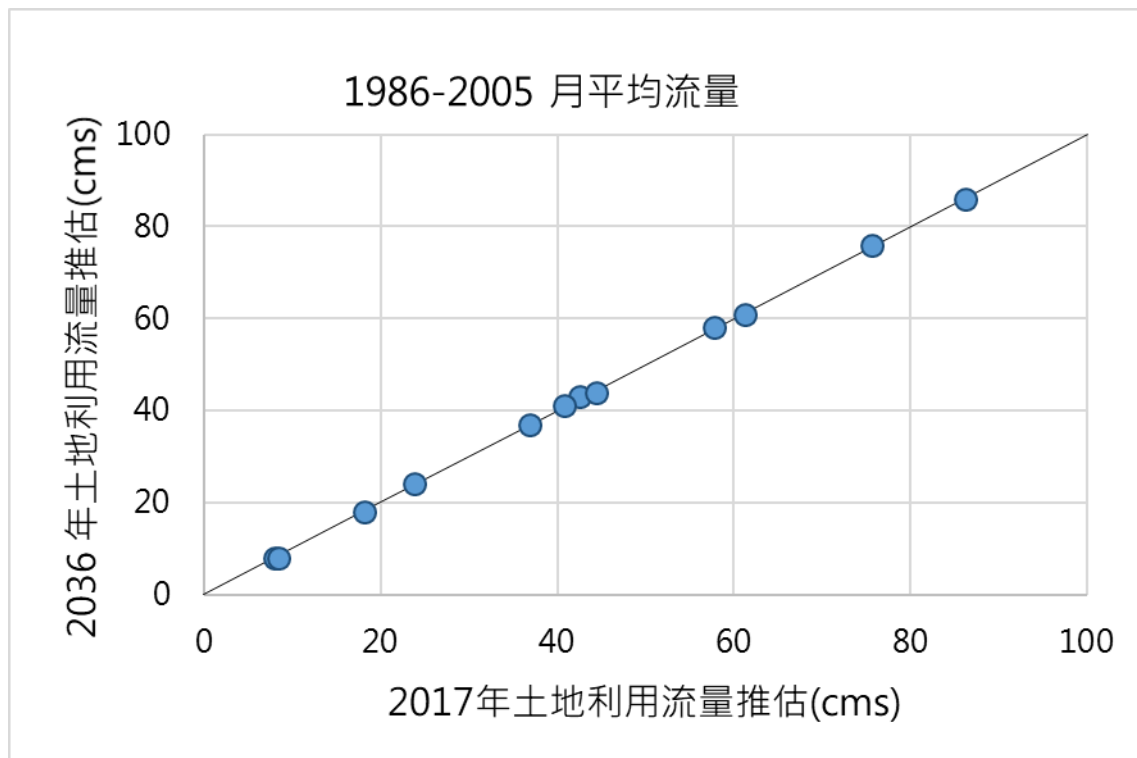


圖 28 土地利用變化對石門水庫入庫流量關係圖

5.2 淹水衝擊測試結果

土地利用的改變除了會增加洪水發生的頻率外，亦會增加洪峰流量，造成該地水患事件及規模均增加之趨勢（Brath et al. 2006; Szwagrzyk et al. 2018; Apollonio et al. 2016; Rogger et al. 2017; Akter et al. 2018）。故本研究亦將 2036 年土地利用空間分佈推估資料，透過 SOBEK 模式進行歷史事件模擬，並與 2017 年土地利用之模擬結果相比較。表 17 為淹水模擬歷史事件，事件一為一般淹水事件，事件二為嚴重淹水事件；兩場事件之相關降雨特性如表中所示。

圖 29 為土地利用改變後總積淹水面積增加差異表。圖中明顯可知，土地利用改變確實會增加積淹水面積；然而事件一增加面積較事件二多，此表示當雨量強度增加時，土地利用改變所造成的影響則相對減少。圖 30 為土地利用改變後淹水災害變嚴重之區域。上述結果僅為兩場降雨事件測試結果，其結果可信度需待未來增加相關模擬提昇。

表 17 淹水測試案例

模擬事件	事件一 (2019-0517)	事件二 (2012-0610)
事件延時(hr)	37	31
最大 1 小時	85.5	128.1
最大 24 小時	472.8	560.6

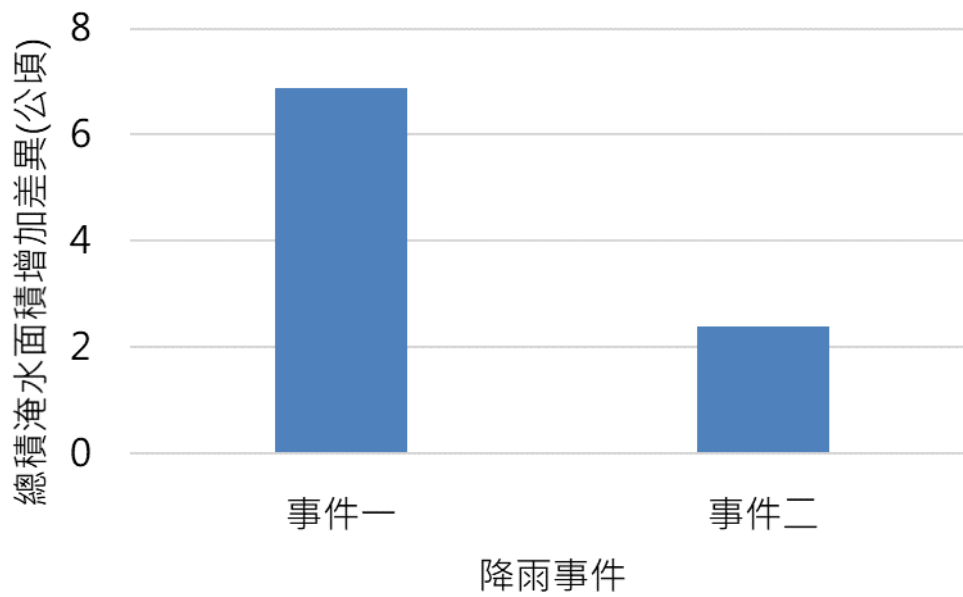


圖 29 土地利用改變後淹水面積增加差異圖

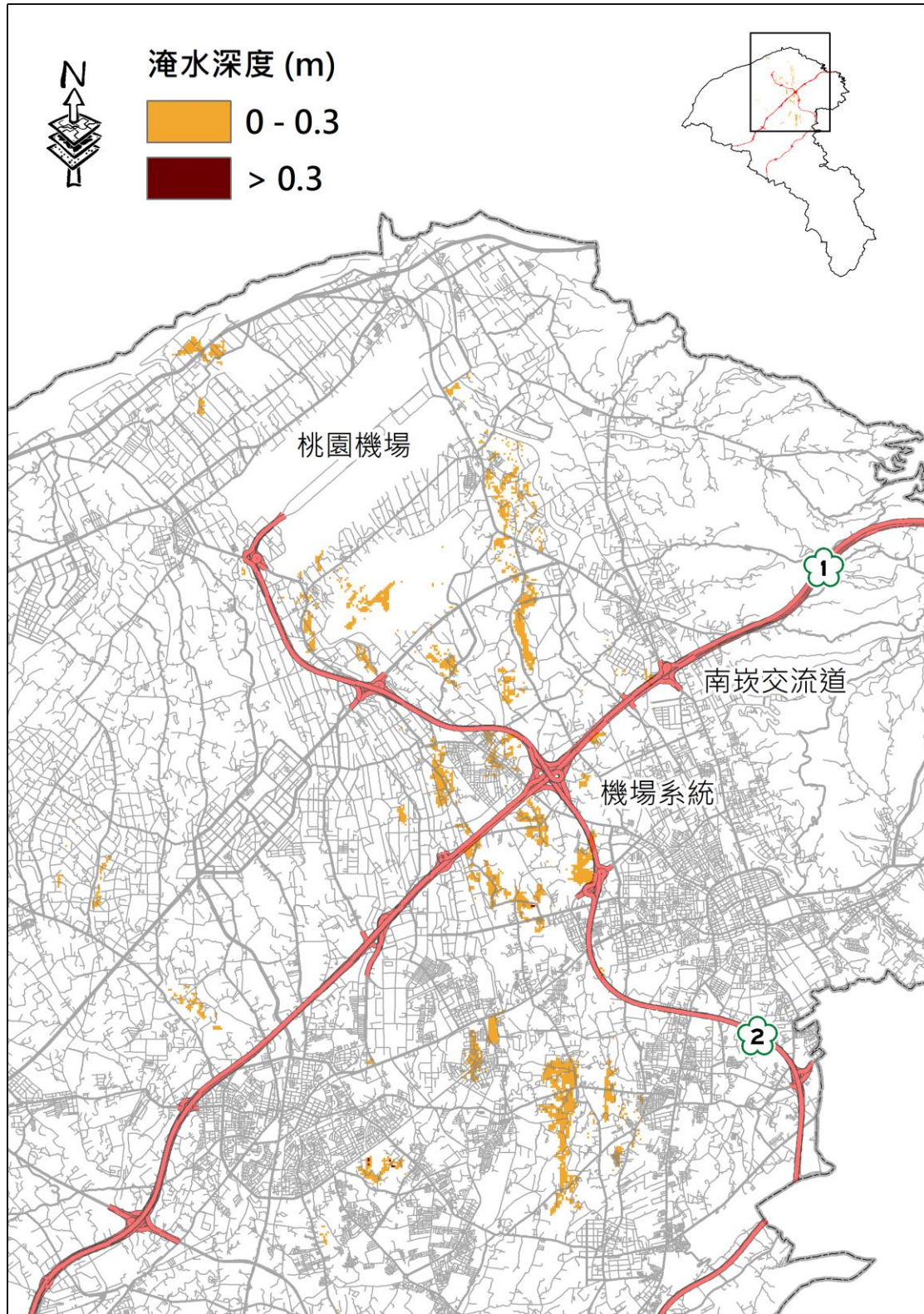


圖 30 土地利用改變後淹水較為嚴重之區域

第六章 結論與建議

環境的變化及擾動通常為自然生態演化過程或受人類活動影響所導致；故長期氣候變化及土地利用變遷均屬於環境變遷範疇之內。盤點中心過往在未來情境推估式的災害衝擊研究，多半著墨於氣候變遷的研究，例如氣候變遷下五大流域極端災害的衝擊模擬，尚缺搭配環境變遷的研究，卻已呈現未來極端災害衝擊模擬的全貌；故今年度先針對桃園市示範區進行環境變遷（主要著重於土地利用變遷）初步示範研究，相關重點結論及建議如下。

本研究利用 Dyna-CLUE 模式，成功建立桃園市土地利用空間變化分析模式。透過馬可夫鏈模型及人口發展趨勢，推估 2036 年桃園市土地利用需求面積。隨著未來人口的增加，農業、森林、水利及其他等土地利用類別需求面積減少，建築、公共及遊憩等土地利用類別需求面積增加之趨勢；但不管透過何種方式所獲得之未來未來土地利用需求面積，正負均介於 3% 內。接續利用土地利用空間變化模式進行 2036 年桃園市土地利用空間分配；最後將此分配成果，進行水資源及淹水衝擊模擬。根據模擬結果，由於桃園市未來土地利用變化不大，故對水資源沒有立即性影響。在淹水模擬方面，土地利用變化確實會加劇淹水衝擊。但上述衝擊結果，乃單純測試案例分析結果；未來可透過大量模擬來增加其可信度。

根據今年度測試成果，本研究確實可掌握土地利用變遷模擬能力並成功與災害衝擊鏈結。未來可透過土地管理政策，進行空間與災害衝擊模擬分析，進行氣候變遷下相關調適選項。

參考文獻

- Akter, T., Quevauviller, P., Eisenreich, S. J., & Vaes, G. (2018). Impacts of climate and land use changes on flood risk management for the Schijn River, Belgium. *Environmental Science and Policy*, 89, 163–175.
- Apollonio, C., Balacco, G., Novelli, A., Tarantino, E., & Piccinni, A. F. (2016). Land use change impact on flooding areas: The case study of Cervaro Basin (Italy). *Sustainability*, 8(10).
- 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.
- Coffey, R. (2013). The difference between “land use” and “land cover.” Retrieved from https://www.canr.msu.edu/news/the_difference_between_land_use_and_land_cover
- Fawcett, T. (2006). An introduction to ROC analysis. *Pattern Recognition Letters*, 27(8), 861–874.
- Ku, C. A. (2016). Incorporating spatial regression model into cellular automata for simulating land use change. *Applied Geography*, 69, 1–9.
- Li, F., Zhang, S., Bu, K., Yang, J., Wang, Q., & Chang, L. (2015). The relationships between land use change and demographic dynamics in western Jilin province. *Journal of Geographical Sciences*, 25(5), 617–636.
- Meyer, W. B., & Turner, B. L. (1992). Human Population Growth and Global Land-Use/Cover Change. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 23, 39–61.
- Pontius, R. G. J. (2000). Quantification error versus location error in comparison of categorical maps. *Photogramm Eng Remote Sensing*, 66(8), 1011–1016.
- Pontius, R. G., & Schneider, L. C. (2001). Land-cover change model validation by an ROC method for the Ipswich watershed, Massachusetts, USA. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 85(1–3), 239–248.
- Rogger, M., Agnoletti, M., Alaoui, A., Bathurst, J. C., Bodner, G., Borga, M., ... Blöschl, G. (2017). Land use change impacts on floods at the catchment scale: Challenges and opportunities for future research. *Water Resources Research*, 53(7), 5209–5219.

- Soares-Filho, B. S., Nepstad, D. C., Curran, L. M., Cerqueira, G. C., Garcia, R. A., Ramos, C. A., ...Schlesinger, P. (2006). Modelling conservation in the Amazon basin. *Nature*, 440(7083), 520–523.
- Southworth, F., Dale, V. H., & O'Neill, R. V. (1991). Contrasting patterns of land use in Rondonia, Brazil: simulating the effects on carbon release. *International Social Sciences Journal*, 130, 681–698.
- Szwagrzyk, M., Kaim, D., Price, B., Wypych, A., Grabska, E., & Kozak, J. (2018). Impact of forecasted land use changes on flood risk in the Polish Carpathians. *Natural Hazards*, 94(1), 227–240.
- Verburg, P.H., deKoning, G. H. J., Kok, K., Veldkamp, A., & Bouma, J. (1999). A spatial explicit allocation procedure for modelling the pattern of land use change based upon actual land use. *Ecological Modelling*, 116(1), 45–61.
- Verburg, Peter H, & Overmars, K. P. (2009). Combining top-down and bottom-up dynamics in land use modeling: exploring the future of abandoned farmlands in Europe with the Dyna-CLUE model. *Landscape Ecology*, 24(9), 1167.
- Verburg, Peter H, Soepboer, W., Veldkamp, A., Limpiada, R., Espaldon, V., & Mastura, S. S. A. (2002). Modeling the Spatial Dynamics of Regional Land Use: The CLUE-S Model. *Environmental Management*, 30(3), 391–405.
- Verburg, Peter H, vanBerckel, D. B., vanDoorn, A. M., vanEupen, M., & van denHeiligenberg, H. A. R. M. (2010). Trajectories of land use change in Europe: a model-based exploration of rural futures. *Landscape Ecology*, 25(2), 217–232.
- Wang, C. H., Chen, N., & Chan, S. L. (2017). A gravity model integrating high-speed rail and seismic-hazard mitigation through land-use planning: Application to California development. *Habitat International*, 62, 51–61.
- 丁志堅。(1997)。運用馬可夫鏈模式度量土地利用變遷之研究。地理學系。國立臺灣大學。台北市。
- 吳幸娟。(2008)。應用土地利用變遷模式與水文模式分析氣候變遷下水文通量之變化。土木工程學系。國立中央大學。
- 吳振發。(2006)。土地利用變遷及景觀生態評估方法之建立。都市計畫研究所。國立臺北大學。
- 吳明隆。(2010)。SPSS 操作與應用：問卷統計分析實務。臺北市：五南圖書出版股份有限公司。(二版)

- 廖怡雯。(2003)。運用馬可夫鏈模式於台中市土地利用變遷之研究。土地管理研究所。逢甲大學。臺中市。
- 張政亮。(2006)。馬可夫鏈模型 (Markov Chain Model) 在地理學研究之運用。國教新知, 53 (1), 72-86。
- 張曜麟。(2005)。都市土地利用變遷之研究。都市計畫學系。國立成功大學。臺南市。
- 李元喻。(2013)。應用景觀指數評估地景變遷與其對水質及生態之衝擊-以臺北水源特定區為例。土木與防災研究所。國立臺北科技大學。臺北市。
- 李盈潔。(2013)。台灣西部海岸平原土地使用變遷對農地景觀與其生態系統服務影響之研究。都市計畫研究所。國立臺北大學。新北市。
- 林峰田、曾琬瑜、胡傳中。(2009)。土地使用變遷模型估計能力之探討—以臺北縣新店市為例。都市與計畫。36 (4)。387-413。
- 林志儒。(2016)。分析氣候及土地利用變遷情境對鳳山溪流域水文通量之影響。土木工程學系。國立中央大學。桃園縣。
- 梁新善。(2000)。地理學計量分析。臺北市：中國文化大學出版部。
- 王鎮宇。(2017)。土地利用變遷與氣候變遷對 2030 年鳳山溪流域水文系統之影響。土木工程學系。國立中央大學。桃園縣。
- 經濟部水利署。(2019)。因應氣候變遷遙連結應用於新興治水策略之研究 (1/2)。
- 翁叔平、楊承道。(2018)。臺灣地區日降雨網格化資料庫 (1960~2015) 之建置與驗證。台灣水利。66 (4)。33-52。
- 蔡杰廷。(2011)。以景觀指數探討台北都會區綠地變遷趨勢之研究。地政研究所。國立政治大學。臺北市。
- 鄒克萬、張曜麟。(2004)。土地利用變遷空間動態模型之研究。地理學報。51。35-51。
- 鄒克萬、顧嘉安、郭幸福。(2014)。以馬可夫鍊細胞自動機模型模擬極端洪水對都市土地利用型態之影響：以台北市為例。都市與計畫。41 (1)。43-66。
- 陳冠升。(2014)。衛星影像應用於都市發展趨勢之研究。遙測科技碩士學位學程。博碩士論文中央大學。
- 陳婕雯。(2018)。土地利用變遷與洪水調節服務功能之關係時空變化研究。都市計畫研究所。國立臺北大學。

陳柏霖。(2018)。沿海都市地區洪災風險對土地利用型態影響之探討：以高雄市為例。都市計劃學系。國立成功大學。臺南市。

陳珮琪。(2017)。氣候變遷與土地利用變遷對水文服務的影響-以大屯溪流域為例。生物環境系統工程學系。國立臺灣大學。臺北市。

黃炫國。(2011)。海岸地區土地利用變遷對生態環境影響之分析。海洋環境及工程學系研究所。國立中山大學。高雄市。

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

土地利用變遷模式建立與災害評估應用測試 / 趙
益群等作. -- 第一版. -- 新北市：國家災害防救
科技中心, 民 109.01
面；公分
ISBN 978-986-5436-09-4(平裝)

1.土地利用

554.5

109000411

土地利用變遷模式建立與災害評估應用測試

發行人：陳宏宇

出版機關：國家災害防救科技中心

地址：新北市新店區北新路三段 200 號 9 樓

電話：02-8195-8600

報告完成日期：中華民國 108 年 12 月

出版年月：中華民國 109 年 01 月

版次：第一版

ISBN 978-986-5436-09-4(平裝)

非賣品

地址：23143新北市新店區北新路三段200號9樓

電話：++886-2-8195-8600

傳真：++886-2-8912-7766

網址：<http://www.ncdr.nat.gov.tw>