



因應氣候變遷遙連結
應用於新興治水策略之研究(1/2)

The application of telecoupling in emerging water
management strategy under climate change



主辦機關：經濟部水利署
執行單位：國立臺灣大學

中華民國 108 年 12 月

因應氣候變遷遙連結
應用於新興治水策略之研究(1/2)

The application of telecoupling in emerging water
management strategy under climate change

主辦機關：經濟部水利署
執行單位：國立臺灣大學
計畫主持人：林裕彬

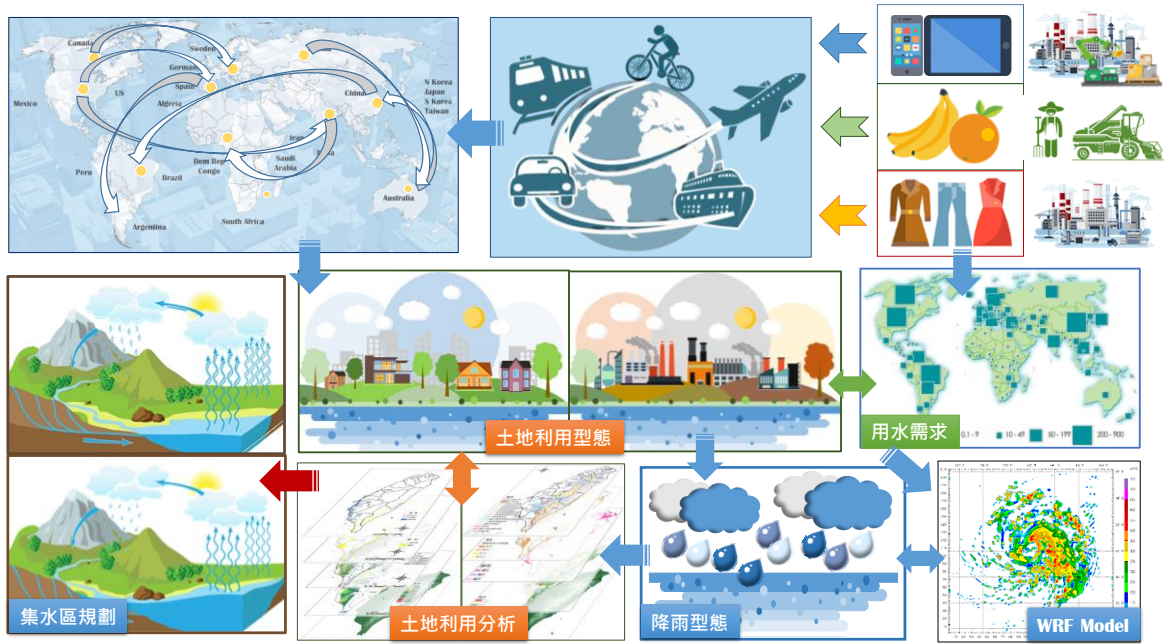
摘要

一、前言

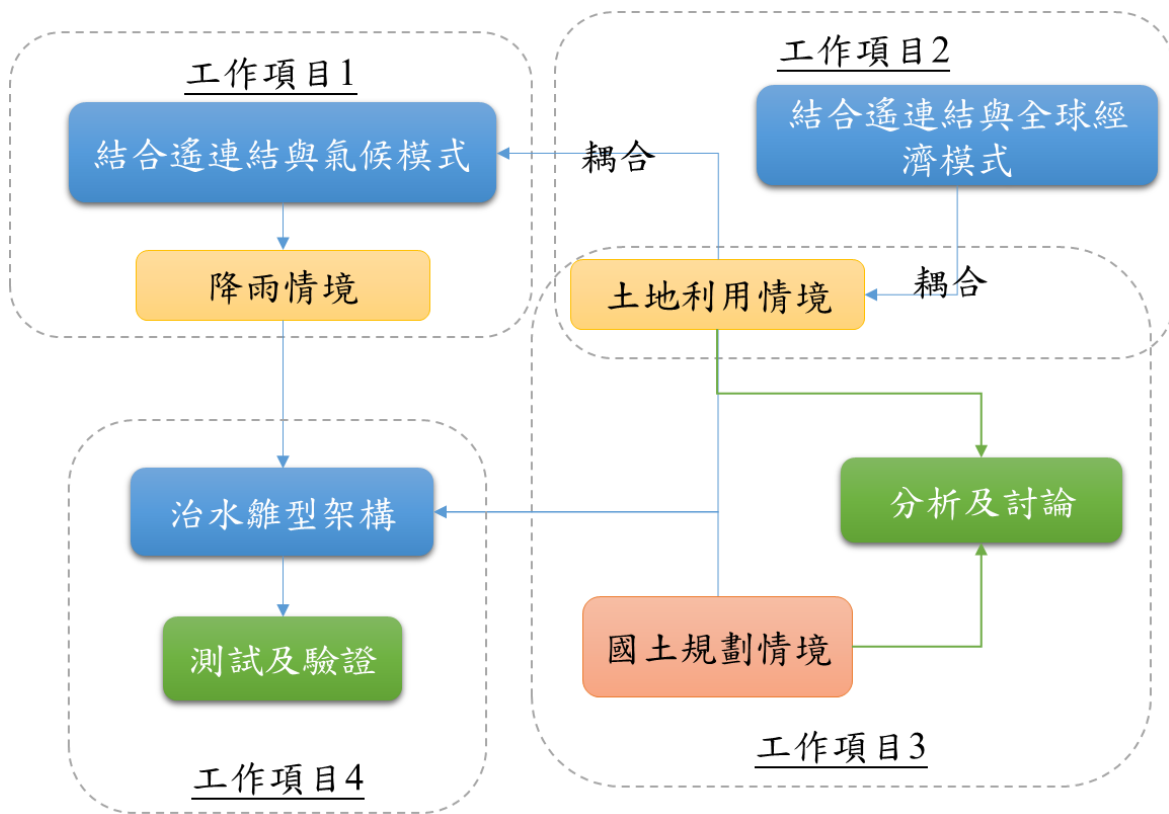
隨著全球化的發展，社會、經濟與自然環境間具有交互影響的關係，而全球暖化下的氣候變遷情勢，使跨域水資源管理、環境污染等議題也從而顯現。臺灣經濟型態亦深受全球化效應影響，民眾更易聚集於經濟活動較頻繁的區域，使得都市化的情況加劇；極端氣候條件下的降雨事件，其強度與頻率均較以往劇烈，進而衍生更為嚴峻的區域淹水問題，107年0823熱帶低壓暴雨引致的南部地區淹水災情即是明證。此外，由於氣候變遷不確定性因素較多，評估降低氣候變遷所造成的影響時，應以風險管控為出發點，並採取分散式的調適策略為宜。

本計畫主要目的為結合遙連結與氣候模式及全球經濟模式，結合土地利用變遷模式，模擬不同情境下之土地利用空間分布，再利用結合遙連結與氣候模式探討區域遙連結對未來氣候型態及降雨強度之分析結果，藉由淹水模式模擬可能之淹水情形，本計畫建構分散式治水雛形架構，將不同之土地利用策略、國土規劃情境與治水策略帶入所建構之模式，以示範區域為例測試所建立之雛型架構。此外，本計畫亦將評析目前國土規劃與依據結合遙連結與全球經濟模式所分析之未來土地利用之差異，本計畫之概念圖及各工作項目之關聯性如摘圖1及摘圖2所示。

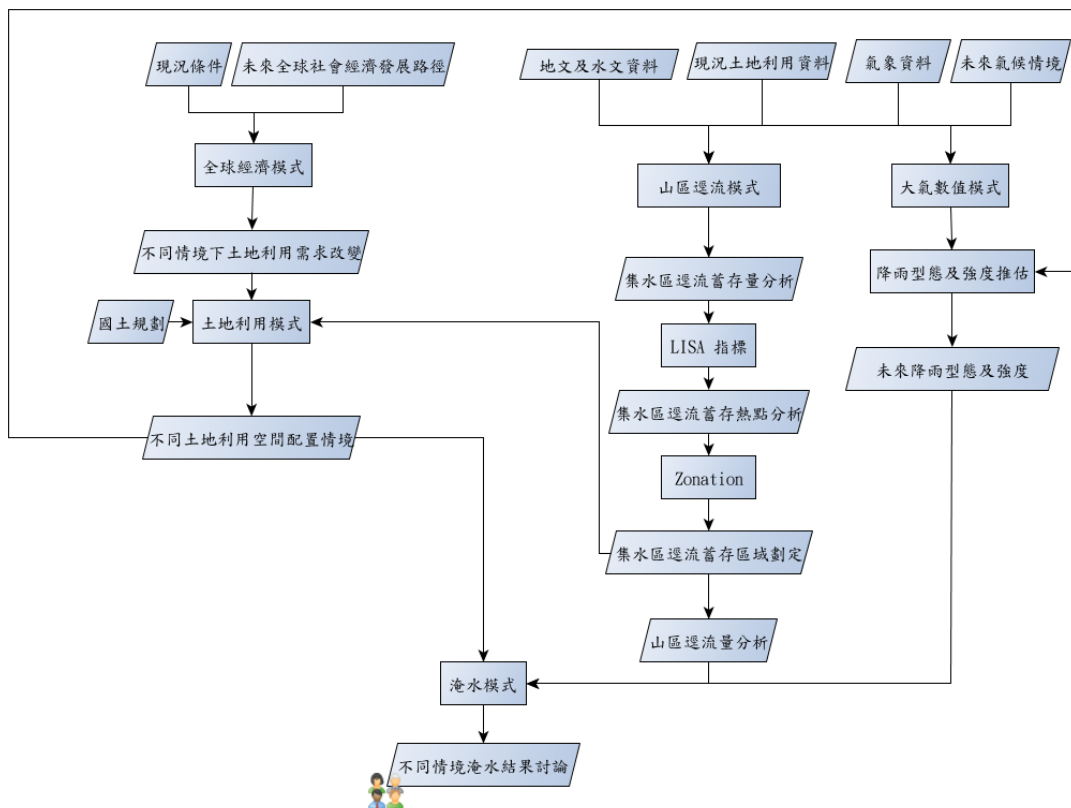
本計畫以桃園地區為主，討論區域的發展對於不同地形區之水文循環影響程度，分析在未來氣候變遷情境與不同土地利用情境下，研究區之對流降雨空間與時間分布的特徵以及其變化，並利用局部氣候模式（Weather Research Forecast, WRF）透過一系列的數值實驗探討地表變遷如何改變當地的降水型態，解釋其中改變的物理機制，進而討論未來氣候改變情況下，土地變遷如何影響降水過程。此外，亦透過全球經濟模式，推估不同社會發展情境下土地需求改變，並結合國土模擬結果，分析未來土地利用空間配置情形，以及當上游及下游都考量分擔部分洪水時，對都會區淹水的影響為何（摘圖3）。



摘圖 1 各工作項目概念圖



摘圖 2 各工作項目之關聯性



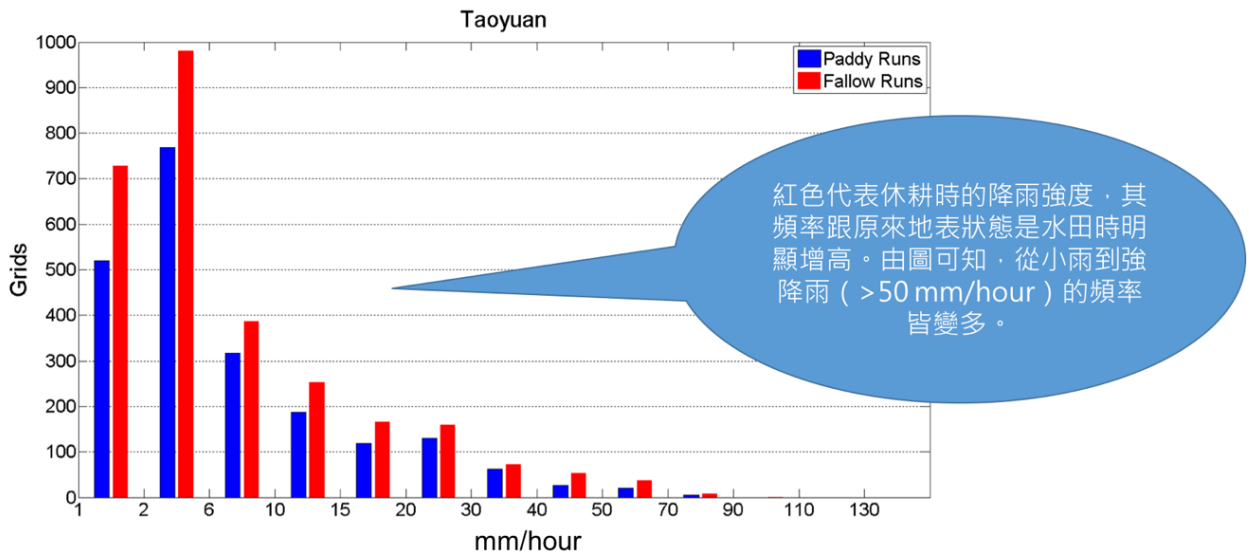
摘圖 3 計畫流程圖

二、結合遙連結與氣候模式探討區域遙連結對未來氣候型態及降雨強度之關係與影響

(一) 利用大氣數值模式探討土地利用變遷與對流降雨強度關係

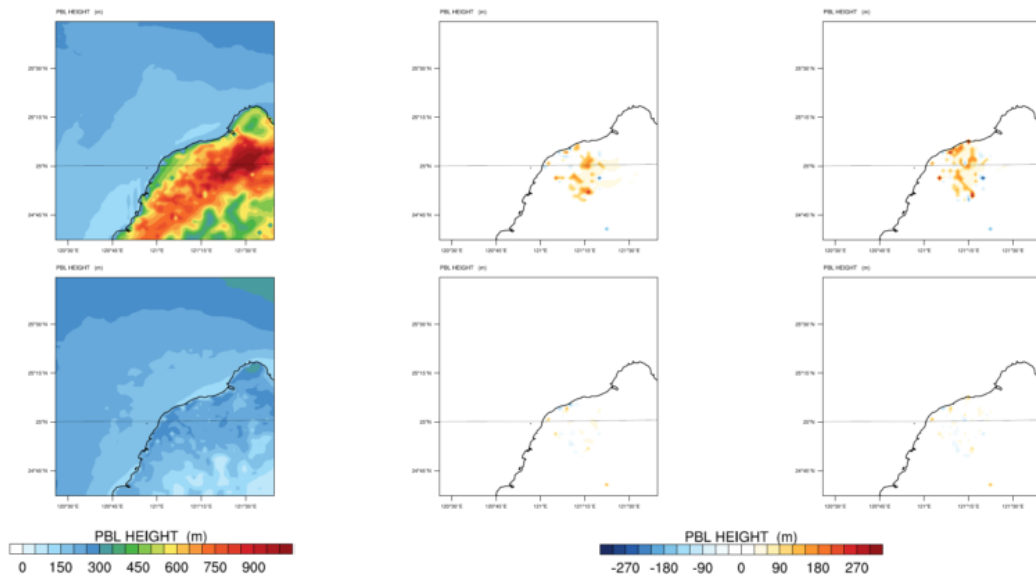
本計畫中使用 Noah 地表模式(Noah land surface model)，結合美國國家大氣研究中心(National Center for Atmospheric Research, NCAR)所發展的天氣研究預測模式(Weather Research Forecast, WRF)(Skamarock et al., 2008)，探討土地利用的變化如何影響桃園的氣候水文狀態，挑選 1999 年至 2011 間 8 月弱綜觀條件(臺灣鄰近區域無颱風或鋒面影響)下，18 個晴朗個案(無午後陣雨)及 10 個有雨個案(有午後陣雨)，土地利用資料則以臺灣全區 2007 年的調查為基底，將桃園地區分別抽換成 1995 年、2007 年、2015 年之土地利用情況進行討論。計畫中首先以設計實驗討論將水田區域轉為休耕區域後，對區域之降雨影響，結果顯示

平均降雨量在桃園休耕時有增加的趨勢，且小雨到強降雨的頻率也有增加(摘圖 4)；而在考量不同土地利用下之分析結果顯示，在晴朗條件個案下，2015 年及 2007 年相對 1995 年，桃園地區都市增加的比例較多，水田的比例則有所減少，都市化的結果改變這些區域的能量收支比例，白天潛熱釋放減少，夜晚增溫更為明顯(摘圖 5)；有雨條件個案下，能量收支及溫度場以及水氣場的改變與晴朗個案分布相似，惟受到平均雲量較多之影響，變化幅度較晴朗個案來的略小一些，而從降雨強度分布來看，午後降水在時間上似乎有更集中的變化(摘圖 6 及摘圖 7)。成果說明地表的變遷對於大氣降水是有潛在影響的，然而由於大氣的不確定性相當大，影響多寡是需要夠多的資料與模式結果來驗證的。

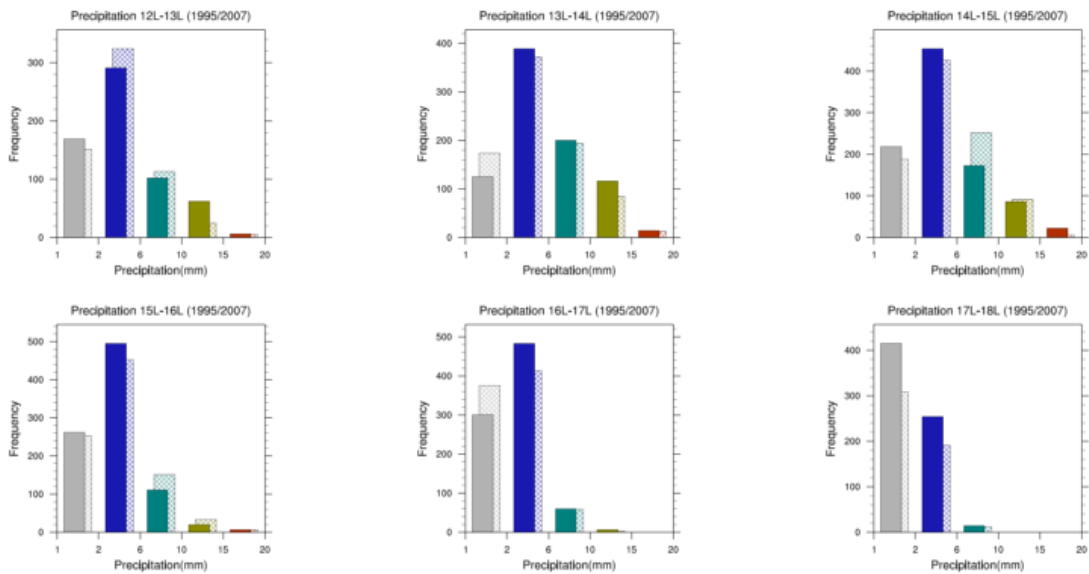


摘圖 4 降雨強度在桃園休耕時的變化

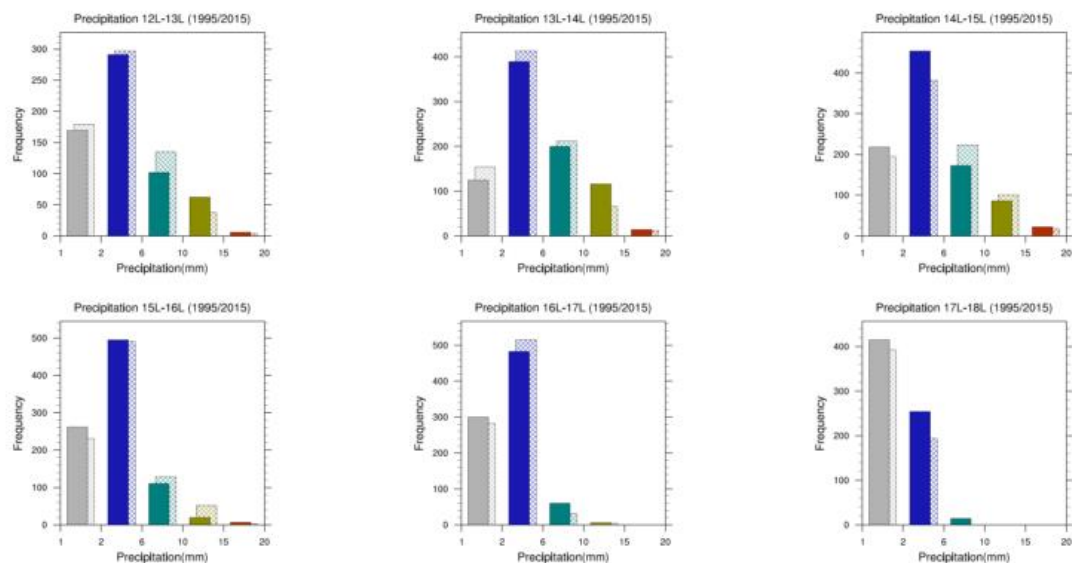
Sunny Cases: PBLH Difference



摘圖 5 晴朗個案下邊界層厚度變化：1995 年(左)、2007 年-1995 年(中)、2015 年-1995 年(右)，上排為日間，下排為夜間變化



摘圖 6 有兩個案下，利用 1995 年(實心)及 2007 年(斜線)桃園區土地利用資料模擬下午 12L-18L 逐時雨量強度分佈

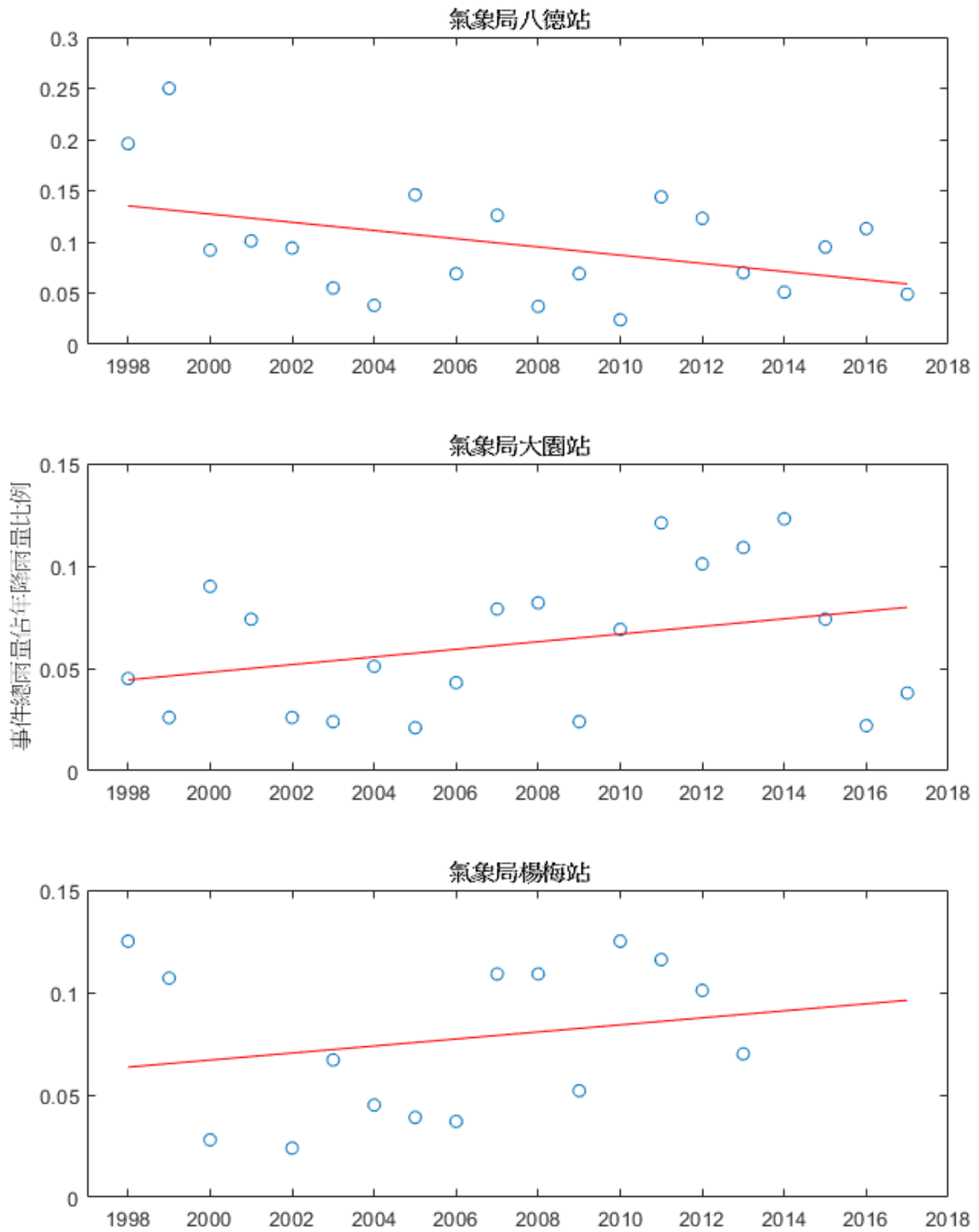


摘圖 7 有兩個案下，利用 1995 年(實心)及 2015 年(斜線)桃園區土地利用資料模擬下午 12L-18L 逐時雨量強度分佈

(二) 區域土地利用變遷與對流降雨強度關係之時間空間分析

本計畫主要針對桃園都會區進行長時間的空間統計分析，以夏季月份弱綜觀事件的案例作為探討。針對桃園地區土地利用改變情形分析結果顯示，桃園地區的都市建成環境在 1991 年主要集中在沿海桃園機場附近相關區域以及靠內陸區域的中壢及桃園，2006 年時八德和蘆竹區域呈現高度發展的趨勢，而 2006 到 2016 之間，三種土地利用的變化幅度相對而言趨於穩定。桃園地區年雨量變化及夏季雨量變化分析顯示，在過去平地較靠內陸的測站雨量較於其他測站較高，然而近年來這部分空間差異的特徵則較不明顯，其顯示出桃園地區平地測站降雨的熱點有隨著時間演變呈現重心轉移的現象。

為了瞭解桃園地區在長期趨勢下，夏季對流強降雨雨量變化特徵，選則八德測站、大園測站、以及楊梅測站進行長期趨勢分析。結果顯示，由於長時間土地利用地改變，會使夏季弱綜觀強降雨事件的熱點由內陸東側地區往沿海西側地區移動的趨勢，且夏季對流強降雨在年雨量的貢獻量熱區也逐年由內陸東側區域往西側或沿海地區移動(摘圖 8)。顯示桃園地區長期土地利用的變化，使得整體地區的強降雨事件無論是在單次降雨強度或是總降雨量的貢獻上，都呈現重心移轉的特徵。



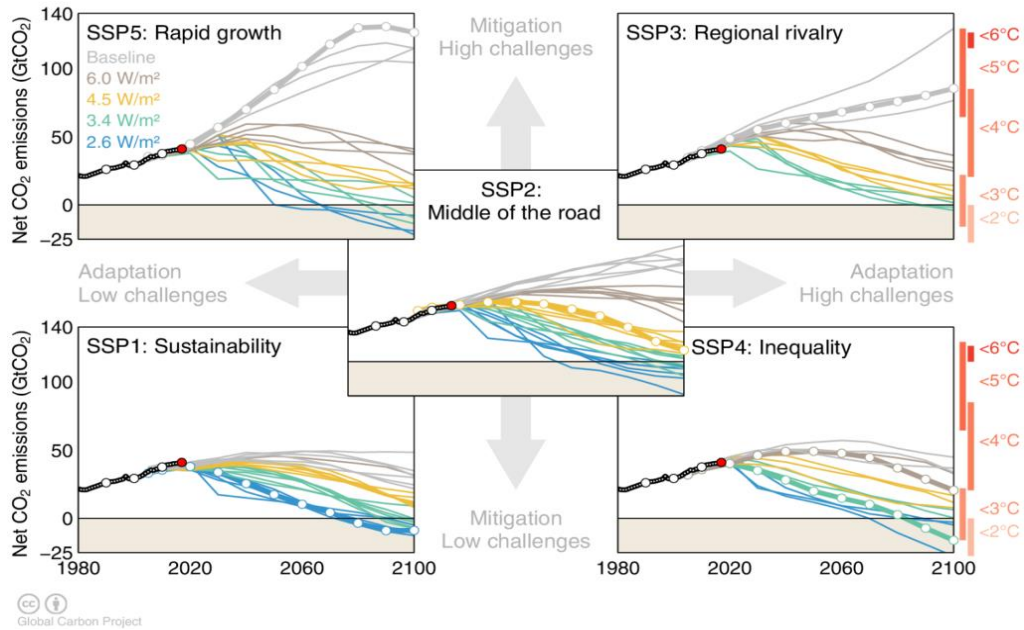
摘圖 8 氣象局八德，大園，楊梅測站 1998 至 2017 年夏季月份弱綜觀條件下對流降雨事件總雨量與年雨量比例長期變化趨勢圖。其中藍色圓圈符號為該年分對流降雨事件總雨量與年雨量比例，紅色直線為趨勢線

三、結合遙連結與全球經濟模式探討區域遙連結對未來都會區土地利用之影響

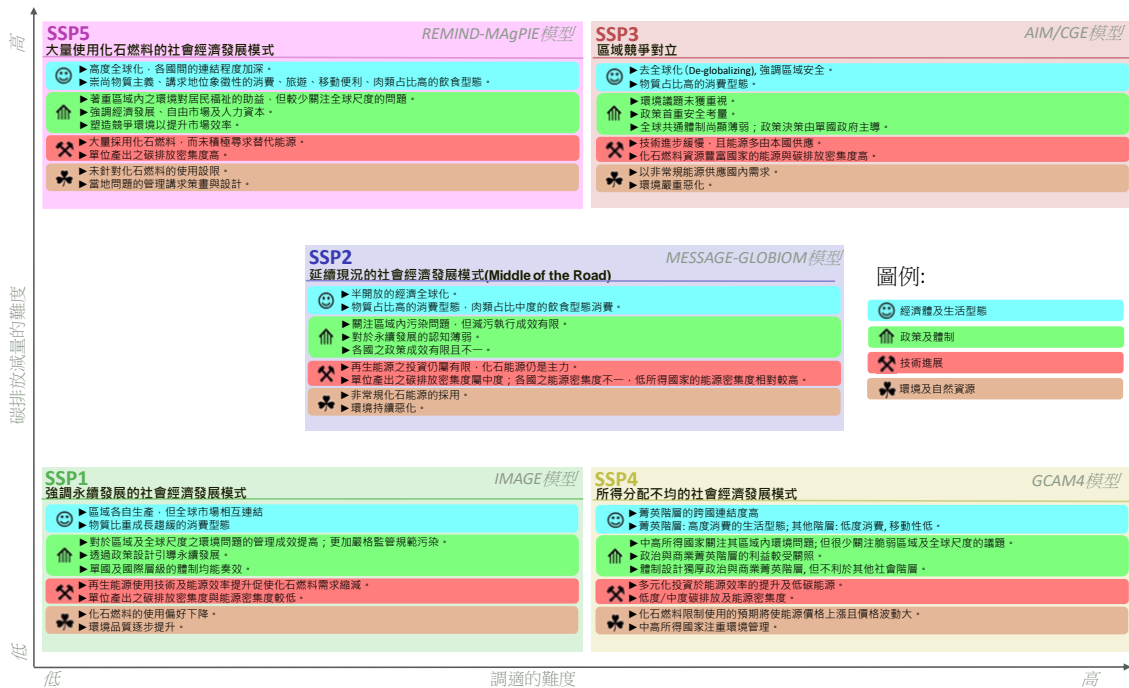
(一) 全球經濟模式

本計畫根據政府間氣候變遷專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)氣候變遷第五次評估報告(Fifth Assessment Report, AR5)所描繪的未來全球社會經濟發展路徑(Shared Socio-economic Pathway, SSP)作為全球氣候變遷整合評估模型中之全球經濟模式的基準情境。此外，亦納入氣候變遷衝擊，以模擬2030年時全球與台灣經濟體各生產與消費部門在IPCC AR5所選薦之全球各國社會經濟發展路徑情境下的經濟成長展望以及國際貿易型態，作為經驗式土地利用變遷模式(Conversion of Land Use and its Effect at Small regional extent, CLUE-s)在經濟外生環境的設定參數。

依社會經濟發展所可能導致全球溫室氣體減量排放和氣候變遷調適之難易程度劃分為五類SSPs(摘圖9)：(1) SSP1：強調永續發展的社會經濟發展路徑(sustainability)，其減量排放及調適的難度均相對其他四種發展路徑為低；(2) SSP2：延續現況的社會經濟發展路徑(middle of the road)，其減量排放及調適的難度介於其他四種發展路徑之間；(3) SSP3：區域競爭對立(regional rivalry)，其減量排放及調適的難度均相對其他四種發展路徑為高；(4) SSP4：所得分配不均的社會經濟發展路徑(inequality)，調適難度相對較SSP1、SSP2及SSP5發展路徑為高，但減量排放的難度相對較SSP2、SSP3及SSP5發展路徑為低；以及(5) SSP5：大量使用化石燃料的社會經濟發展路徑(fossil-fueled development)，其減量排放的難度相對較SSP1、SSP2及SSP4發展路徑為高，但調適的難度相對較SSP2、SSP3及SSP4發展路徑為低。各個社會經濟發展路徑情境的主要假設詳摘圖10。



摘圖 9 全球社會經濟發展路徑下的碳排放量及世紀末暖化程度 (彙整自 Le Quéré et al. (2018), Riahi et al. (2017)及 Rogelj et al. (2017))



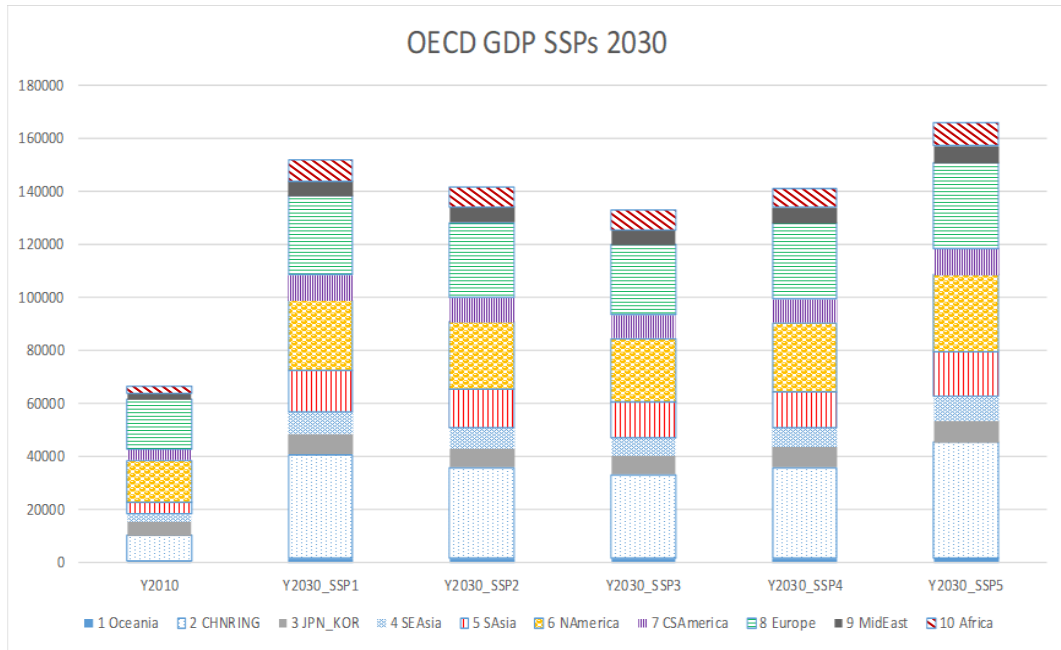
摘圖 10 全球社會經濟發展路徑之主要模型情境假設(編譯自 Bauer et al., 2017)

摘圖 11 與摘圖 12 分別為 OECD Env-Growth 模式與 IIASA 模式所預測 2030 年 10 國/區域經濟體在 5 個 SSP 情境下的 GDP 前景 (以 2005 年購買力平價(PPP)係數計價)。OECD Env-Growth 模式與 IIASA 模式對於全球經濟體整體成長預測一致，但其對個別國家/區域成長預測，則因其所假設各國未來發展前景不同而有所差異。在 OECD Env-Growth 模式與 IIASA 模式之 SSP 預測情境下，於開發中國家的人口(與勞動力)大幅成長，對比台灣的人口(及勞動力)僅小幅成長，勞動密集型產業難與勞動力廉價的開發中國家競爭，因而減產，其他產業之產出則多有成長。

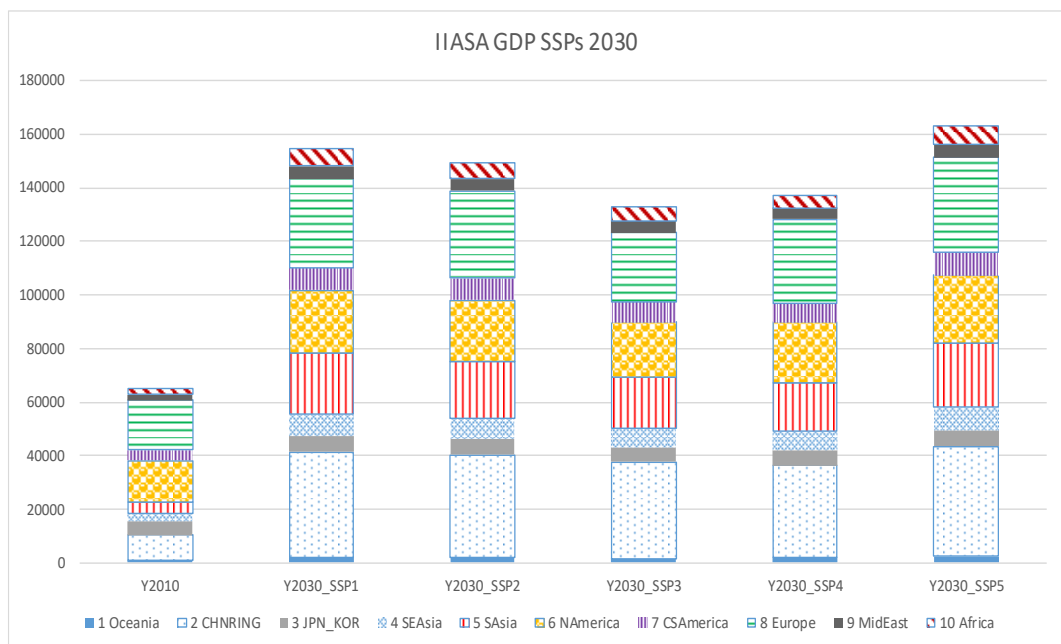
另後續桃園市之產業成長與用地需求推估中，選擇以較為保守的 IIASA 模式預測值來進行區域降解(downscaling)。在 SSP3 情境下，桃園市 2030 年農業利用(包括農、漁、畜牧業)土地面積需求將較 2011 年減少 714.47 公頃，森林利用土地面積需求減少 224.86 公頃，建築利用土地面積需求增加 399.88 公頃；在 SSP5 情境下，桃園市 2030 年農業利用(包括農、漁、畜牧業)土地面積需求將較 2011 年增加 739.25 公頃，森林利用土地面積需求增加 167.62 公頃，建築利用土地面積需求增加 1663.80 公頃，如摘表 1 所示。

摘表 1 IIASA 全球 SSP3 及 SSP5 情境桃園市 2030 年各類土地利用需求量預測

桃園市面積需求變動量(公頃)	SSP3 情境	SSP5 情境
農業利用土地	-714.47	739.25
森林利用土地	-224.86	167.62
建築利用土地	399.88	1663.80
荒地利用土地	2.14	2.19



摘圖 11 OECD Env-Growth 模式所預測 2030 年各國/區域經濟體在 5 個 SSP 情境下的 GDP 前景 (單位：十億美元，以 2005 年購買力平價(PPP)係數計價)

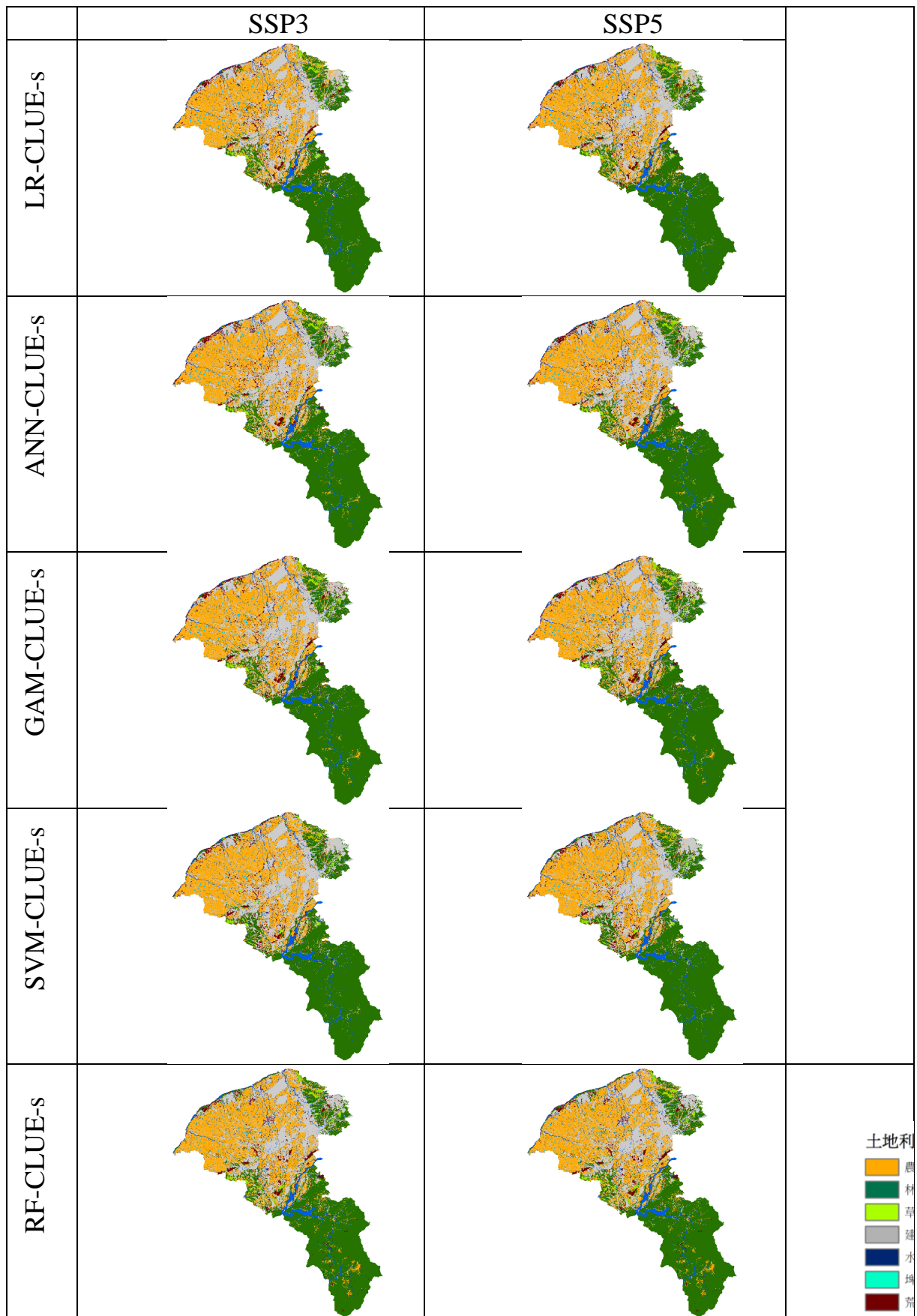


摘圖 12 IIASA 模式所預測 2030 年各國/區域經濟體在 5 個 SSP 情境下的 GDP 前景 (單位：十億美元，以 2005 年購買力平價(PPP)係數計價)

(二) 土地利用變遷模式

本計畫利用經驗式土地利用變遷模式(Conversion of Land Use and its Effect at Small regional extent, CLUE-s)納入利用全球經濟模式所分析之未來各類型土地利用需求改變情形，以及各項可能限制土地利用開發政策，模擬未來土地利用空間分布情形。將桃園地區 2007 年及 2014 年之土地利用分布輸入 CLUE-s 模式，選用驅動土地利用改變的環境變數，並將目前桃園機場範圍設定為限制土地利用改變區域，分析在 SSP3 及 SSP5 兩種情境下之桃園地區土地利用改變情境。

結果顯示，SSP3 情境中農業、森林及草地面積減少，而建地及荒地面積增加，但在 SSP5 情境中，農業、森林、荒地及建地是增加的，尤其是建地的面積大幅增加，而據此各類型土地利用面積及土地利用適宜性推估結果，所模擬之 2030 年各類型土地利用空間配置結果如摘圖 13 所示。此外，利用 5 種適宜性分布模式模擬土地利用適宜性後，再結合 CLUE-s 模式進行土地利用空間分布推估結果顯示(摘圖 13)，Random Forest (RF) 模式所模擬之各類型土地利用之 AUC 值均大於 0.8，且 RF 模式搭配 CLUE-s 所模擬土地利用空間分布結果之 kappa 值為 0.86，顯示 RF-CLUE-s 模式所推估之模擬結果具有可信度，因此，在後續工作中，以 RF-CLUE-s 模式所推估之結果與國土功能分區進行套疊，討論模擬之結果各類土地利用是否符合預定或是已設定之功能，以適切評估未來可能的土地利用空間配置情形。



摘圖 13 SSP3 及 SSP5 情境下推估之未來土地利用空間分布

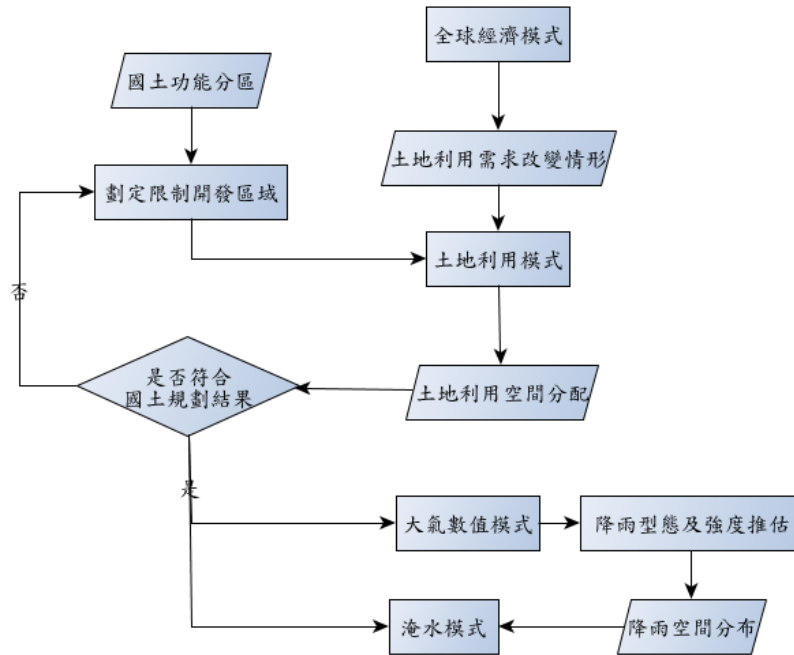
四、評析目前國土規劃與依據結合遙連結與全球經濟模式所分析之未來土地利用之差異

(一) 目前國土規劃之發展

根據公告施行之國土計畫法及全國國土計畫之土地使用指導原則，為達資源保育、環境保護以及不破壞原生態環境及景觀資源，以及為確保農業土地長期為面積完整且生產條件優良的農地資源，因此國土保育地區第一類及農業發展地區第一類之土地利用應盡量閉眼有開發利用或建築之行為產生，或是得調降其使用強度及減少容許使用項目。因此，在進行未來土地利用空間配置模擬時，可將國土功能分區之國土保育地區第一類及農業發展地區第一類設定為限制開發區域，限制該區域之土地利用轉換之可能性，進而討論不同限制區域畫設對於未來土地利用空間配置之差別。

(二) 國土規劃與未來土地利用模擬比較分析之操作步驟

本計畫使用桃園市陸地區域之國土功能分區圖，並依據全球經濟模式所推估之未來各類型土地利用之需求改變情形，以土地利用變遷模式所推估之各類型土地利用空間配置，詳細流程如摘圖 14 所示。本計畫設定三種限制發展情境進行討論：(1).限制情境一：僅將桃園機場範圍劃定為限制開發地區；(2).限制情境二：將桃園機場範圍及國土保育地區第一類及農業發展地區第一類劃定為限制開發地區；(3).限制情境三：將桃園機場範圍及所有的國土保育地區與農業發展地區第一類劃設為限制開發地區。若限制情境一之各類型土地利用空間配置結果不符合國土功能分區規劃，則將進一步分析評估可能的限制發展區域(限制情境二與三)，再重新進行土地利用空間配置模擬。



摘圖 14 結合國土規劃與全球經濟模式分析未來土地利用空間分布流程圖

(三) 國土規劃與未來土地利用模擬之差異分析結果與評析

限制情境一下，自 2007 年至 2030 年 SSP3 情境之模擬結果，建地不論是那個國土功能分區，都有明顯增加之情形；就 SSP5 情境模擬結果而言，各功能分區之草地與埤塘變化則有明顯減少現象，而建地則有明顯增加。

限制情境二下，SSP3 情境之模擬結果，城鄉發展地區之建地增加量大於限制情境一，國土保育地區及農業發展地區的農地與林地減少量小於限制情境一，而城鄉發展地區的農地與林地面積減少量也明顯大於限制情境一；SSP5 國土功能分區各土地利用面積變化差異與 SSP3 情境結果相似，城鄉發展地區的土地變遷變化情形明顯增加。

限制情境三下，SSP3 情境之模擬結果，位於農業發展地區的林地減少量大於其他兩個情境，而位於城鄉發展地區的農地減少量亦明顯大於其他兩個情境，且建地增增加量都明顯大於另外兩個情境；SSP5

則因為國保地區及農發一的各種土地使用類型無法變動，所以導致城鄉發展地區的土地變遷變化情形明顯增加。

三種情境之結果如摘表 2 所示。整體來說，比較三種限制情境造成的土地變化差異後，發現限制情境一因未加以限制，使得位於國土保育地區及重要農業發展地區之土地使用仍有變遷之可能。但限制情境三的全部國土保育地區及農業發展地區第一類劃設為限制發展地區時，使得其他土地變遷壓力都轉移到其餘的農業發展地區及城鄉發展地區。相較之下，限制情境二僅國保一及農發一劃設限制發展區，使得國土保育地區及農業發展地區之建地不至於增加太多，且讓農業發展地區農地變化幅度減少，亦能讓國土保育地區之林地有面積增加的空間。

此外，結果顯示限制情境一過於寬鬆，使得土地使用變遷情形會分布於國土保育地區及重要農業發展地區。而過於嚴格管制之限制情境三亦使得所有土地變遷壓力都轉移到農業發展地區及城鄉發展地區。因此，僅將國保一及農發一劃設限制發展區之限制情境二，能讓國土保育地區的林地面積增加，亦使農業發展地區農地減少幅度降低，同時也讓位於國土保育地區及農業發展地區之建地增加幅度降低。

摘表 2 不同限制情境之各類土地利用面積差異(單位：公頃)

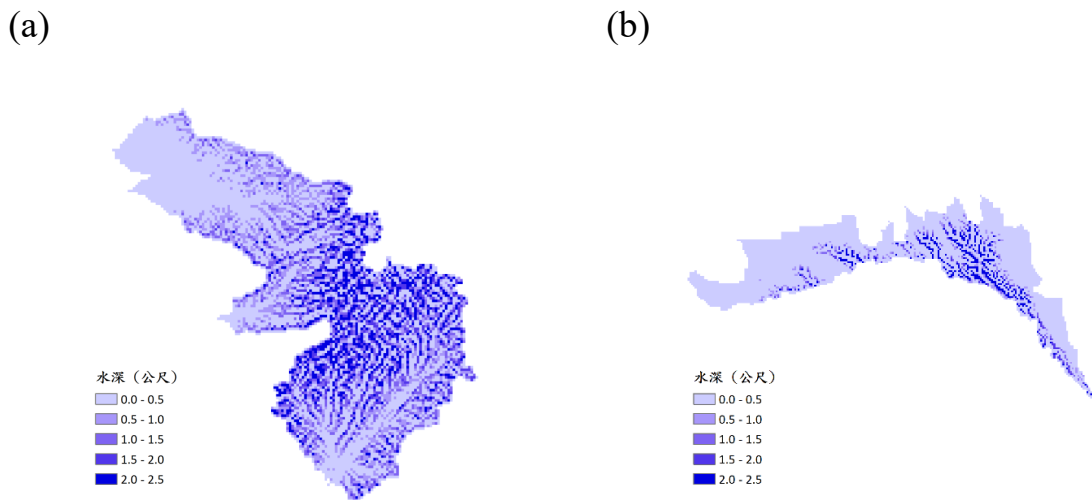
土地利 用類別	2007 年	SSP3			SSP5			
		限制情 境一	限制情 境二	限制情 境三	限制情 境一	限制情 境二	限制情 境三	
國 土 保 育 地 區	農地	4,657	4,327 (-330)	4,378 (-279)	4,657 (0)	4,593 (-64)	4,597 (-60)	4,657 (0)
	林地	32,619	32,473 (-146)	32,522 (-97)	32,619 (0)	32,783 (164)	32,708 (89)	32,619 (0)
	草地	732	630 (-102)	648 (-84)	732 (0)	145 (-587)	273 (-459)	732 (0)
	建地	5,359	5,957 (598)	5,849 (490)	5,359 (0)	6,008 (649)	5,896 (537)	5,359 (0)
	水利	2,828	2,828 (0)	2,828 (0)	2,828 (0)	2,828 (0)	2,828 (0)	2,828 (0)
	埤塘	455	361 (-94)	421 (-34)	455 (0)	205 (-250)	343 (-112)	455 (0)
	荒地	1,238	1,312 (74)	1,242 (4)	1,238 (0)	1,326 (88)	1,243 (5)	1,238 (0)
農 業 發 展 地 區	農地	23,424	22,527 (-897)	22,655 (-769)	22,600 (-824)	23,378 (-46)	23,374 (-50)	23,321 (-103)
	林地	4,517	4,178 (-339)	4,242 (-275)	4,167 (-350)	4,463 (-54)	4,505 (-12)	4,505 (-12)
	草地	1,326	1,310 (-16)	1,354 (28)	1,344 (18)	325 (-1,001)	439 (-887)	309 (-1,017)
	建地	7,737	8,907 (1,170)	8,756 (1,019)	8,943 (1,206)	9,064 (1,327)	8,956 (1,219)	9,153 (1,416)
	水利	1,264	1,264 (0)	1,264 (0)	1,264 (0)	1,264 (0)	1,264 (0)	1,264 (0)
	埤塘	617	488 (-129)	485 (-132)	456 (-161)	230 (-387)	229 (-388)	228 (-389)
	荒地	1,031	1,242 (211)	1,160 (129)	1,142 (111)	1,192 (161)	1,149 (118)	1,136 (105)
城 鄉 發 展 地 區	農地	5,228	4,729 (-499)	4,587 (-641)	4,553 (-675)	5,133 (-95)	5,179 (-49)	5,170 (-58)
	林地	5,593	5,336 (-257)	5,303 (-290)	5,245 (-348)	5,628 (35)	5,668 (75)	5,685 (92)
	草地	2,131	1,680 (-451)	1,705 (-426)	1,641 (-490)	900 (-1,231)	699 (-1,432)	415 (-1,716)
	建地	12,165	14,087 (1,922)	14,156 (1,991)	14,397 (2,232)	14,157 (1,992)	14,292 (2,127)	14,583 (2,418)
	水利	1,409	1,409 (0)	1,409 (0)	1,409 (0)	1,409 (0)	1,409 (0)	1,409 (0)
	埤塘	321	248 (-73)	200 (-121)	188 (-133)	122 (-199)	4 (-317)	0 (-321)
	荒地	2,218	1,576 (-642)	1,705 (-513)	1,632 (-586)	1,716 (-502)	1,814 (-404)	1,803 (-415)

備註：括號內數字為與 2007 年相減的面積變化量

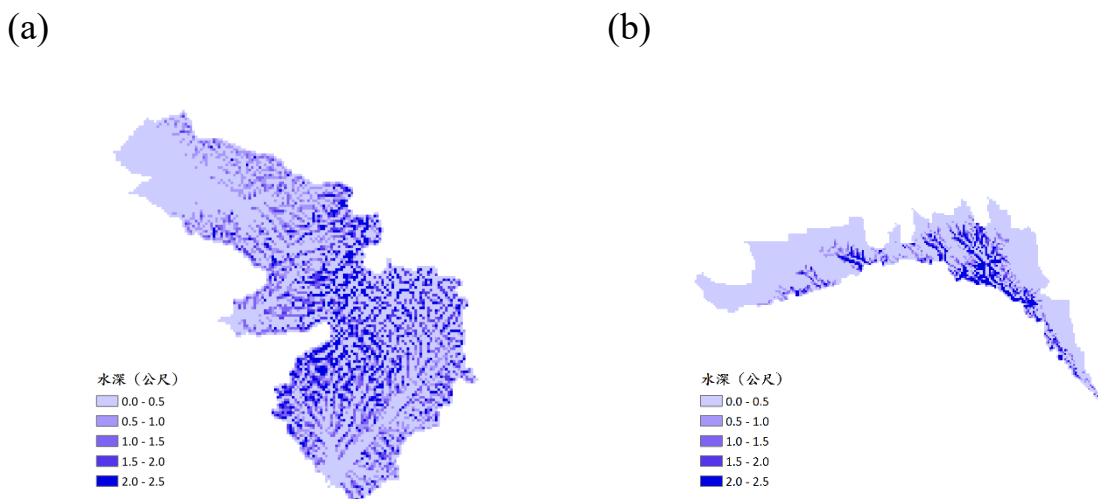
五、分散式治水雛形架構方法建立及測試

(一) 山區逕流模式

本計畫針對桃園淹水模擬所設定之山區進行模擬，模擬事件選定近年對桃園市造成重大淹水之豪雨及颱風事件(包含 2012 年 0611 豪雨及蘇拉颱風(摘圖 15)、2016 年 0516 豪雨及 0602 豪雨)，並同時以 50 年重現期雨量之三種土地利用限制情境進行模擬(摘圖 16 顯示限制情境一之結果)。以 DHSVM 模式模擬出各事件山區集水區出流量歷線做為淹水模式模擬時之上游山區流邊界條件。



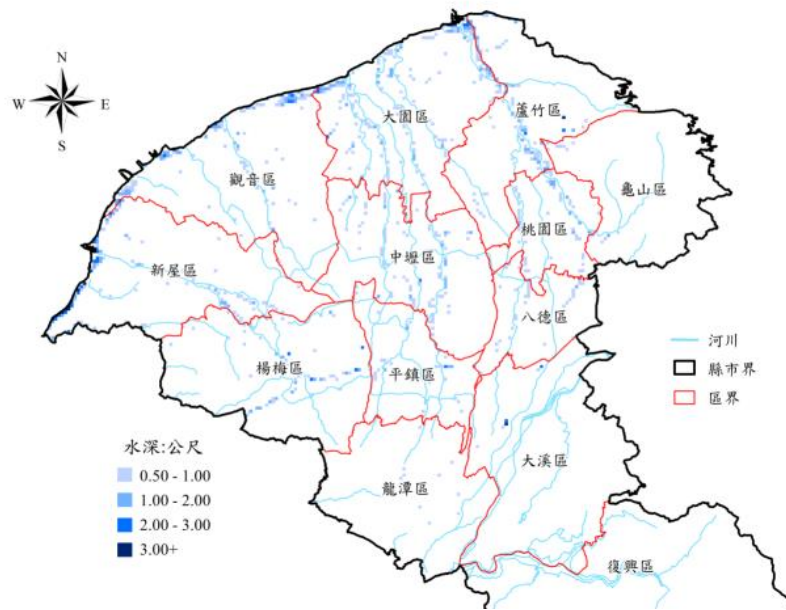
摘圖 15 20120611 豪雨事件山區各網格地表最大水深(a)第一區(b)第二區



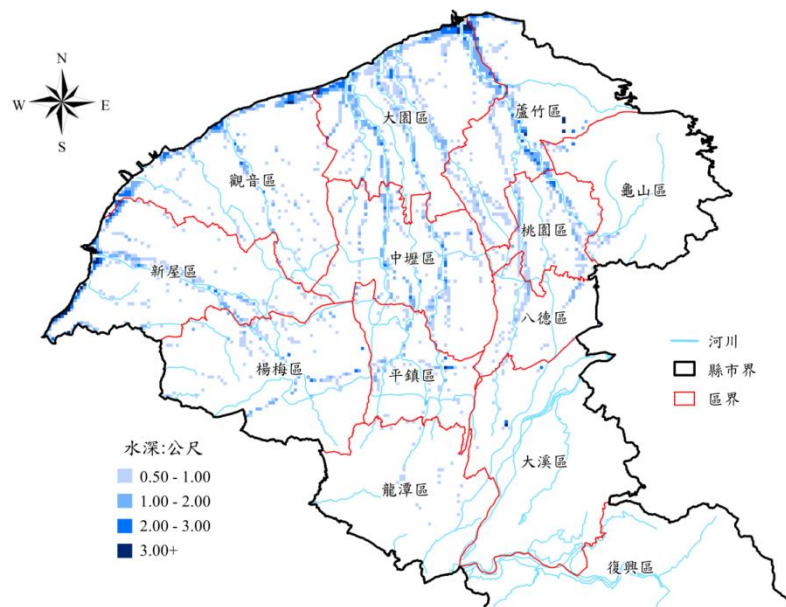
摘圖 16 限制情境一於 50 年重現期降雨事件之山區各網格地表最大水深 (a)第一區(b)第二區

(二) 淹水模式

摘圖 17 及摘圖 18 為 20120611 豪雨事件及 50 年重現期降雨條件限制情境一模擬最大淹水深度圖，由於桃園市多為丘陵台地，因此主要的淹水集中區域有四：(1)大園區、蘆竹區及桃園區之南崁溪沿岸；(2)大園區及中壢區之埔心溪、新街溪及老街溪沿岸；(3)新屋區之社子溪沿岸及(4)大園區、觀音區與新屋區之沿海低窪地區。



摘圖 17 桃園市 2012 蘇拉颱風模擬最大淹水深圖



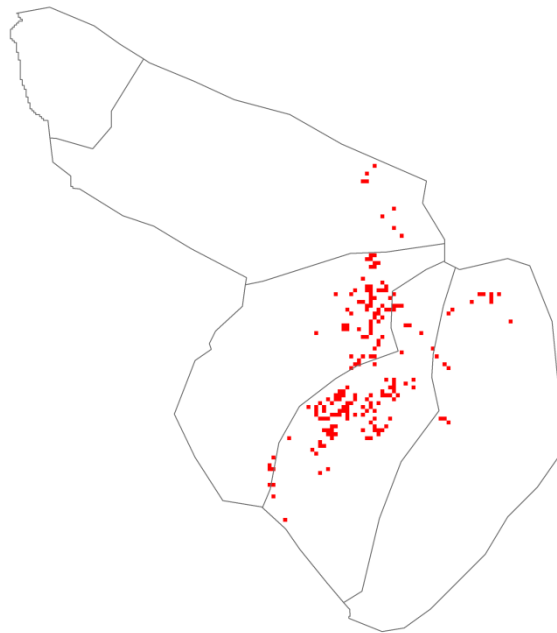
摘圖 18 桃園市 50 年重現期模擬最大淹水深圖(限制情境一)

(三) 熱點分析

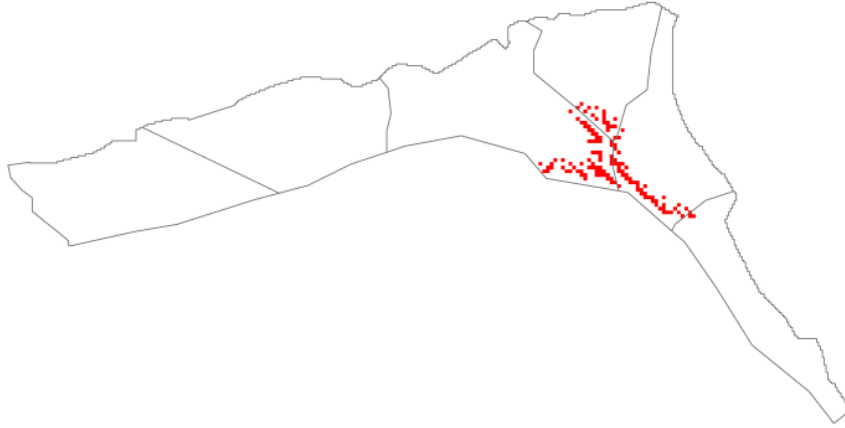
計算熱點時需考慮鄰近區域之淹水情形，當鄰近區域為 200 公尺時，所得到之熱點分析結果較能反應局部區域的淹水情形，後續將以此進行分析。此外，各時間點之淹水熱點也有所區別，在降雨前期以及降雨後期之淹水熱點則較以最大淹水深所選取之熱點為少，故將以不同降雨事件所導致淹水之最大淹水深進行分析。

(四) 管制區域劃定

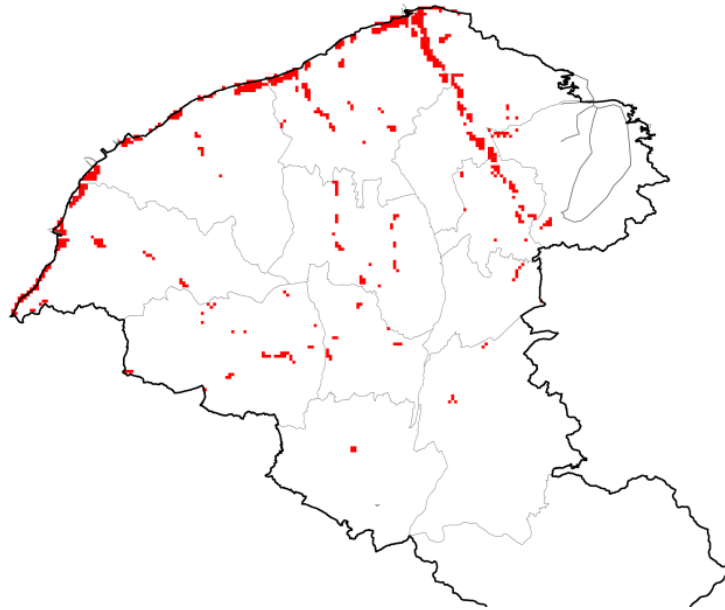
管制區劃設上，以上游山區地表水深及下游水最大深水所求得之熱點，進行管制區劃設，並分別以 7 場降雨事件之熱點進行分析。由於不同降雨情境所畫設之熱點範圍接近，因此上游山區及下游地區所畫設之管制區域大致上與熱點區域相同(摘圖 19、摘圖 20 及摘圖 21)。



摘圖 19 上游山區第一區之管制區劃設結果



摘圖 20 上游山區第一區之管制區劃設結果



摘圖 21 下游地區管制區劃設結果

(五)小結

考慮 4 場歷史降雨事件及三種土地利用限制情境搭配 50 年重現期降雨之管制區分析結果顯示，在上游山區第一區管制區主要集中在中間三個小集水區，而在第二區在上游山區第二區的部分與第一區有相似的情形，降雨導致地表水深所計算出的熱點集中在其中三個小集水區，在下游地區淹水熱點分析結果主要集中於蘆竹區及大園區的南崁溪沿岸及沿海低窪地區。

六、結論與建議

(一) 結論

- 1、本計畫利用大氣數值模式 (WRF) 模式的結果得知，休耕所造成的效應要比單純只有土地使用的改變對於降水以及當地水文氣候所造成的影響要大。
- 2、結果顯示桃園地區都市建成環境面積在 1991 年至 2006 年成長 30%，因而使得植被及水體面積減少，而在 2006 年至 2016 年之間，三種土地利用的變化幅度相對而言以趨於穩定。而在弱綜觀事件的情況下，桃園地區長期土地利用的變化，使得整體地區的強降雨事件無論是在單次降雨強度或是總降雨量的貢獻上，都呈現重心移轉的特徵。
- 3、計畫中以較為保守的 IIASA 模式 SSP 情境下的全國產值預測值來進行區域降解，進行桃園市之產業成長與用地需求推估。
- 4、在所有情境中 RF 模式搭配 CLUE-s 所模擬土地利用空間分布結果之 kappa 值最佳，因此分析時採用此模式所推估之結果與國土功能分區進行評估。
- 5、相較之下，限制情境二使得國土保育地區及農業發展地區之建地不至於增加太多，且讓農業發展地區農地變化幅度減少，亦能讓國土保育地區之林地有面積增加的空間。
- 6、先分析淹水熱點而劃設之管制區較為集中，而直接以逐時淹水劃設管制區不但範圍較大也較零散，顯示劃設管制區之先進行熱點分析的重要性。

(二) 建議

本計畫討論土地利用改變對於降雨特性間之關係，分析結果亦顯示土地利用改變的確會對於降雨特性產生影響，後續須蒐集桃園地區

過去土地每年之土地利用資料，結合降雨觀測資料與大氣模式，分析歷史土地利用改變對於降雨特性所造成之影響及改變。

Abstract

1. Preface

Due to the globalization, the relationship between society, economy and natural environment has an interactive influence, and with global warming, it is obvious that some issues such as cross-discipline water resources management or environmental pollution combat climate change. In Taiwan, economic pattern is deeply affected by the globalization and citizens are more likely to gather in the busy zone, which increases dramatically urbanization. Under the extreme climatic conditions, the rainfall has become more frequent and intense, which lead to severe flood problem. For example, in 2018, 0823 tropical low-pressure rainstorm caused the damage in the southern region. In addition, due to the uncertainties of climate change, when assessing the reduction of the impact, it should consider both risk management and decentralized adjustment strategy.

The project aims to combine teleconnection with climate model, global economic model and land-use change model. After simulating different scenarios of spatial distribution, using teleconnection and climate model analyze future climate type and rainfall intensity, or the possibilities of flood. The project builds the structure of decentralized water regulation, including land use strategies, land planning scenarios and water management strategies and establishes a demonstration area to validate. Besides that, the project also analyzes the difference between present and future land use by teleconnection and global economic model.

The research area is Taoyuan City, and its development is studied the impact of hydrological cycles by different kinds of terrains, analyzing the characteristics of convective rainfall spatial and temporal distribution in future climate change and different land use scenarios. While using Weather Research Forecast (WRF) to explore how to change local precipitation patterns and explain the physical

mechanisms, it can be known how land-use change affect the process in the future. In addition, through the global economic model, it is estimated that the land-use change in different situations and combine with national spatial planning to analyze future land use, and what the impact is when both upstream and downstream sharing part of the run-off.

2.Combine teleconnection with climate model to explore future climate patterns and rainfall intensity

2.1 The relationship between land-use change and convectional rain intensity by atmosphere numerical model

The project applies Noah land-surface model and WRF for study cases, which were selected weak synoptic-scale during August from 1999-2011, including 18 sunny cases and 10 rainy cases. The design experiment was conducted to discuss the impact on rainfall pattern after the paddy area was converted to fallow area. The results showed that the average rainfall and the rainfall intensity were increased during the fallow period. In sunny condition and different land use scenarios, compared with 1995, the proportion of cities in Taoyuan increased both in 2015 and 2007, while the proportion of paddy fields decreased. The increased urbanization lead to the reducing latent heat release at daytime and increasing temperature at night. In rainy condition, it is quite similar with sunny condition in the energy budget and the change of temperature. However, the temporal distribution of rainfall intensity was more concentrated over time. The results show that the change of surface has a potential impact on atmospheric precipitation, but due to the uncertainty of the atmosphere, it still needs to verify by sufficient data and model results.

2.2 Spatial and temporal analysis of the relationship between land-use change and convective rain intensity

The project focuses on the long-term spatial statistical analysis specifically for the Taoyuan metropolitan area. In addition, summer convective rainfall events will be the object of analysis and mainly selected of cases of weak synoptic-scale. The built-up area in 1995 was concentrated on the located on the nearing area of Taoyuan Airport, Chungli and Taoyuan and changed to Bade and Luzhu in 2006. From 2006 to 2016, the land use change in the study area was relatively stabilized. The change of annual rainfall and summer rainfall showed that the higher rainfall was observed in those stations which were located on the flat and more inland area in the past. In recent years, the characteristics of these spatial differences are less obvious. These results indicated that the the rainfall center was shifted in the study area.

To understand the change of characteristics in heavy convective rainfall in summer, the rainfall data in Bade Station, Dayuan Station, and Yangmei Station were selected for long-term trend analysis. Due to the long-term land use change, the hotspot of weak summer comprehensive rainfall event move from the eastern part of the inland to the western part of the coastal area. The contribution of heavy summer convective rainfall to annual rainfall hotspot area also moved from the east inland area to the west or coastal area . The results show that the long-term land-use change in Taoyuan area makes the heavy rainfall events shift the characteristics of gravity no matter in the single rainfall intensity or the total rainfall.

2.3 Brief summary

The results show that the effects of land retirement have a greater impact on precipitation and local hydrological climate than land-use changes (from 1995 to 2015). It is expected that the relationship between actual land use change and convective rain intensity in the next stage will also be included in the boundary conditions of the WRF model by the present outcome. In terms of land-use identification of satellite data in Taoyuan area, the results show that the urban built environment area grew by 30% from 1991 to 2006, thus the reduction of the vegetation and water area, and between 2006 and 2016, three types of land use changed stably, which indicated that land use change before 2006 will affect the thermal nature.

3. Combine teleconnection with global economics model to explore future urban land use

3.1 global economics model

The project is based on Shared Socio-economic Pathway (SSP) described in the Fifth Assessment Report (AR5) by Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), as an integrated assessment model for the baseline of global climate change. In addition, it is considered the impact of climate change to simulate the economic growth prospects and international trade patterns of production and consumption sectors in the global and Taiwan in 2030, as the parameters of Conversion of Land Use and its Effect at Small regional extent (CLUE-s) land use model.

Under the five SSP scenarios of GDP in 2030, there is the same prediction trend for both OECD Env-Growth model and IIASA model on global economy, but different on individual country/region. In both models, the population and labor force in developing countries rise dramatically,

while there has only a slight increase in Taiwan and labor-intensive industries are hard to compete with those in developing countries, while other industries have grown.

The project uses IIASA model, which is more conservative, to downscale in the prediction of industrial growth and land demand in Taoyuan City. In the SSP3 scenario, the demand of land use for agriculture will be reduced by 714.47 hectares from 2011 to 2030, and those for forest will be reduced by 224.86 hectares and those for construction will increase by 399.88 hectares. In the SSP5 scenario, the demand of land use for agriculture will increase by 739.25 hectares from 2011 to 2030, and those for forest will be reduced by 167.62 hectares and those for construction will increase by 1663.80 hectares.

3.2 Land-use change model

The project intends to use CLUE-s to incorporate changes of the demand of land use by the global economic model and the policies, which may control land-use development, to simulate the spatial distribution of land use in the future. The land use distribution of the Taoyuan area in 2007 and 2014 will be input into the CLUEs model, and five environmental variables that drive land use change will be selected.

The results also showed that the AUC values of all types of land use are greater than 0.6. The kappa value of CLUE-s model are greater than 0.8, meaning the simulated land use allocation are credibility. The future land allocated results show that the area of agriculture, forests and grassland decreased, while the area of land construction and wasteland increased in the SSP3 scenario. However, in the SSP5 scenario, agriculture, forests, wasteland and land construction increased, especially the last one increased

greatly. Moreover, because the AUC values of land use simulated by Random Forest (RF) model are greater than 0.8, and the kappa value of the RF model combined with CLUE-s is 0.86, which indicates that the results have credibility. Therefore, the spatial distribution of land use simulated by the RF-CLUE-s model is nested with the national functional partitions, to establish functions to properly assess the land use space plan in the future.

4. The difference of land use between present national spatial planning and the result by teleconnection and global economics model

4.1 The development of present national spatial planning

According to the National Spatial Planning Law and the Land Use Guidelines Principle, while allocating land use space in the future, the first category of land conservation areas and agricultural development areas should be the same as the previous period. Therefore, the process of future land use space allocation simulation, those areas can be set as the restricted development area, limiting the possibility of land use conversion.

4.2 Operational steps for comparative analysis of national spatial planning and future land use simulation

The project uses national spatial function map of the land area in Taoyuan City, and according to the changes in the demand for various types of land use estimated by the global economic model, the spatial allocation of the types of land use estimated by the land use change model. (A) Restricted Scenario 1: Only Taoyuan Airport is designated as a restricted area; (B) Restricted Scenario 2: Taoyuan Airport, the first category of land

conservation areas and the first category of agricultural development areas are designated as restricted areas; (C) Restricted Scenario 3: Taoyuan Airport, all categories of land conservation areas and the first category of agricultural development areas are designated as restricted areas.

4.3 The analysis and discussion of the difference between national spatial planning and future land use simulation

Under Restricted Scenario 1, as the results of the SSP3 situation from 2007 to 2030, the construction of the land is obviously increased regardless of the functional division of area. In terms of the SSP5 situation, the changes in the grassland and the pond in each functional area are significantly reduced, and the construction area has increased significantly.

Under Restricted Scenario 2, as the results of SSP3 situation, the increase of construction land in urban and rural development areas is greater than Scenario 1. While the reduction of agricultural land and forest land in land conservation areas and agricultural development areas is less than Scenario 1, the reduction of agricultural land and forest area in urban and rural development areas is greater than Scenario 1. In terms of the SSP5 situation, it is similar to that of SSP3, and the change of land change in urban and rural areas is obviously increased.

Under Restricted Scenario 3, the results of SSP3 situation show that the reduction of forest land in the agricultural development area is greater than other scenarios, while the reduction of agricultural land in the urban and rural development area and the increase of construction land are also significantly greater than others. In terms of the SSP5 situation, due to the unchangeable of land conservation areas and agricultural development areas, the land-use change in urban and rural development areas has increased significantly.

Due to the illimitation of Restricted Scenario 1, there still has the possibilities to change in the land use of land conservation areas and critical agricultural development areas. However, in Restricted Scenario 3, other land-use changes are transferred to the remaining agricultural development areas and urban and rural development areas. By contrast, Restricted Scenario 2 has made the construction of the land conservation areas and agricultural development areas not increase too much, and also allow for an increase in the area of forest land in the land conservation area.

5. Establishment and test of the decentralized water control prototype

5.1 Mountain run-off model

The project simulates flood in the mountainous area in Taoyuan and selects the rainfall and typhoon events that caused heavy flooding (including 0611 rainfall in 2012, Sura typhoon, 0516 and 0602 rainfall in 2016), and simulate three Restricted Scenario of 50-year return period. By the DHSVM mode, the hydrograph of the mountain catchment area in each event is regarded as the boundary condition of the upstream inflow.

5.2 Inundation model

The main flooding areas: A. Dayuan District, Luzhu District, Nankan River of Taoyuan District; B. Pushin Creek, Xinjie River, and Laojie River of Dayuan District and Zhongli District; C. Shezi Stream of Xinwu District; D. coastal low-lying areas of Dayuan District, Guanyin District and Xinwu District.

5.3 Hot spot analysis

When calculating the hot spot, it is necessary to consider the flooding situation of the adjacent area. When the adjacent area is 200 meters, the analysis result can reflect well of the local flooding area. In addition, the flooding hotspots at different time are also different. The flooding hotspots in the early and the late period are less than the hotspots selected in the maximum flooding depth, so the maximum flooding depth will be selected to use.

5.4 Control area design

While designating the control area, the hot spots are obtained from the surface water depth in the upper mountainous area and the maximum flooding depth in the downstream water, and then the hot spots of the seven rainfall events were analyzed. Because the hotspots of different rainfall situations are close to each other, the control areas designated in the upper mountainous areas and downstream areas are roughly the same as the hotspots area.

5.5 Brief summary

The results show that the first zone control zone is mainly concentrated in the middle of three small catchments in the upper mountainous area, while in the second zone, the second zone in the upper mountainous zone has a similar situation with the first zone, and the hot spots are concentrated in three small catchment areas, and the results of flooding hotspots in the downstream areas are mainly concentrated in the Nankan River and coastal low-lying areas of Dayuan District and Luzhu District.

6. Conclusion and suggestion

6.1 Conclusion

- (1)The project applies for WRF and the results show that the effects of land retirement have a greater impact on precipitation and local hydrological climate than land-use changes
- (2)The results show that the urban built environment area grew by 30% from 1991 to 2006, thus the reduction of the vegetation and water area, and between 2006 and 2016, three types of land use changed stably. Under the weak synoptic-scale situation, the long-term land-use change makes the heavy rainfall events shift the characteristics of gravity no matter in the single rainfall or the total.
- (3)The project uses IIASA model, which is more conservative, to downscale in the prediction of industrial growth and land demand in Taoyuan City.
- (4)The kappa value of the RF model combined with CLUE-s is the best, so it is used to establish functions to properly assess the land use space plan in the future.
- (5)Restricted Scenario 2 has made the construction of the land conservation areas and agricultural development areas not increase too much, and also allow for an increase in the area of forest land in the land conservation area.
- (6)The control areas designated for flooding hotspots are relatively concentrated, and those that are directly flooded with time-by-time flooding are not only wide but also scattered, indicating the importance of conducting hotspot analysis.

6.2 Suggestion

The results show that land-use change effect rainfall characteristics, and it is necessary to collect historical annual land use data in Taoyuan area during the future work, combining with rainfall observation data and atmospheric patterns and analyzing the impact and changes of land-use change on rainfall characteristics.

因應氣候變遷遙連結應用於新興治水策略之研究(1/2)

目錄

摘要	摘-1
Abstract	A-1
目錄	目-1
表目錄	表-1
圖目錄	圖-1
第一章 前言	1-1
一、計畫緣起	1-1
二、工作項目及內容	1-4
三、預期成果	1-6
四、計畫工作內容及流程	1-7
五、示範區域挑選	1-9
六、工作進度	1-16
第二章 結合遙連結與氣候模式探討區域遙連結對未來氣候型態及降雨強度之關係與影響	2-1
一、利用大氣數值模式探討土地利用變遷與對流降雨強度關係	2-1
二、區域土地利用變遷與對流降雨強度關係之時間空間分析	2-18
三、小結	2-47
第三章 結合遙連結與全球經濟模式探討區域遙連結對未來都會區土地利用之影響	3-1
一、全球經濟模式	3-1
二、土地利用變遷模式	3-37
三、小結	3-52
第四章 評析目前國土規劃與依據結合遙連結與全球經濟模式所分析之未來土地利用之差異	4-1
一、目前國土規劃之發展	4-1
二、國土規劃與未來土地利用模擬比較分析之操作步驟	4-13

三、 國土規劃與未來土地利用模擬之差異分析結果.....	4-16
四、 綜合評析：限制發展區設定之比較分析.....	4-29
五、 小結.....	4-31
第五章 分散式治水雛形架構方法建立及測試.....	5-1
一、 山區逕流模式.....	5-2
二、 淹水模式.....	5-17
三、 熱點分析.....	5-26
四、 管制區域劃定.....	5-34
五、 小結.....	5-40
第六章 結論與建議.....	6-1
一、 結論.....	6-1
二、 建議.....	6-3
參考文獻.....	參-1
附錄一 期中簡報暨期中報告書審查意見及處理情形.....	附 1-1
附錄二 期末簡報暨期末報告書審查意見及處理情形.....	附 2-1

表目錄

表 1-1	2016 年六都工業及服務業場所單位基本概況表	1-12
表 1-2	桃園市 2006 年及 2015 年土地利用分類面積	1-14
表 1-3	工作進度表.....	1-16
表 2-1	土地利用改變(灌溉、都市化、去森林化)、降雨(強降雨)、極端氣候 間關聯之文獻.....	2-2
表 2-2	晴朗條件個案列表.....	2-6
表 2-3	有雨條件個案列表.....	2-6
表 2-4	1991 年、2006 年及 2016 年，桃園地區建成環境(built-up)，植被 (vegetation)以及水體(water body)三種土地利用面積及面積百分比	2-27
表 2-5	桃園市氣象測站基本資料測站位置	2-30
表 2-6	桃園市氣象測站之土地利用分類	2-31
表 2-7	桃園市氣象測站雨量資料概況	2-33
表 3-1	全台農地資源盤查.....	3-2
表 3-2	全球經濟模式校準資料庫：11 個加總區域經濟體組成國家	3-16
表 3-3	全球經濟模式之校準資料庫：26 個加總生產部門之組成產業	3-16
表 3-4	台灣 2030 年的農業部門用地需求(單位：公頃).....	3-28
表 3-5	IIASA 全球 SSP3 及 SSP5 情境桃園市 2030 年各類土地利用需求量 預測.....	3-36
表 3-6	土地利用轉移矩陣.....	3-42
表 4-1	全國國土計畫各國土功能分區劃設條件	4-2
表 4-2	全國國土計畫各國土功能分區土地使用指導原則	4-6
表 4-3	全國國土功能分區模擬面積統計	4-14
表 4-4	桃園市 2007 年與模擬限制情境一之 2030 年土地利用面積比較.....	4-16
表 4-5	2007 年與限制情境一之 2030 年土地利用面積差異	4-17
表 4-6	2007 年與限制情境一之 2030 年 SSP3 情境土地利用轉移矩陣	4-18

表 4-7	2007 年與限制情境一之 2030 年 SSP5 情境土地利用轉移矩陣	4-18
表 4-8	2007 年與限制情境一各類土地利用落於國土功能分區面積統計	4-22
表 4-9	各類土地利用自 2007 年轉變至限制情境一 2030 年 SSP3 情境於國土功能分各區面積變化.....	4-23
表 4-10	各類土地利用自 2007 年轉變至限制情境一 2030 年 SSP5 情境於國土功能分各區面積變化.....	4-24
表 4-11	各類土地利用自 2007 年轉變至限制情境二 2030 年 SSP3 情境於國土功能分各區面積變化.....	4-25
表 4-12	各類土地利用自 2007 年轉變至限制情境二 2030 年 SSP5 情境於國土功能分各區面積變化.....	4-26
表 4-13	各類土地利用自 2007 年轉變至限制情境三 2030 年 SSP3 情境於國土功能分各區面積變化.....	4-27
表 4-14	各類土地利用自 2007 年轉變至限制情境三 2030 年 SSP5 情境於國土功能分各區面積變化.....	4-28
表 4-15	不同限制情境之各類土地利用面積差異	4-30
表 5-1	桃園市土地利用及曼寧糙度值	5-21

圖目錄

圖 1-1	大氣-土地利用遙耦合概念圖	1-2
圖 1-2	經濟-土地利用遙耦合概念圖	1-3
圖 1-3	各工作項目概念圖.....	1-7
圖 1-4	各工作項目之關聯性.....	1-8
圖 1-6	桃園市 24 小時累積雨量 350mm(上)及 650mm(下)天然災害潛勢地圖	1-10
圖 1-7	北台都會區交通與產業分布	1-12
圖 1-8	桃園市區域發展架構.....	1-13
圖 1-9	2008 年起全台及六都每年人口增加百分比	1-13
圖 1-10	桃園地區土地利用圖(a)2007 年，(b)2014 年	1-15
圖 1-11	計畫流程圖	1-15
圖 2-1	WRF 模式模擬的空間範圍與巢狀網格設計.....	2-3
圖 2-2	天氣研究與預報模式 (Weather Research and Forecasting Model, WRF) 作業流程圖	2-4
圖 2-3	1995 年(左上)、2007 年(右上)、2015 年(左下)桃園地區土地利用狀況、2015 年與 1995 年土地利用差別(右下).....	2-7
圖 2-4	累積(12:00-18:00)降水的差異性(休耕組減去水田組).....	2-9
圖 2-5	降雨強度在桃園休耕時的變化	2-10
圖 2-6	晴朗個案下潛熱通量變化：1995 年(左)、2007 年-1995 年(中)、2015 年-1995 年(右)，上排為日間變化，下排為夜間變化.....	2-11
圖 2-7	晴朗個案下可感熱通量變化：1995 年(左)、2007 年-1995 年(中)、2015 年-1995 年(右)，上排為日間變化，下排為夜間變化	2-11
圖 2-8	晴朗個案下兩米高溫度場變化：1995 年(左)、2007 年-1995 年(中)、2015 年-1995 年(右)，上排為日間變化，下排為夜間變化	2-12
圖 2-9	晴朗個案下邊界層厚度變化：1995 年(左)、2007 年-1995 年(中)、2015 年-1995 年(右)，上排為日間，下排為夜間變化.....	2-12
圖 2-10	晴朗個案下近地表混合比變化：1995 年(左)、2007 年-1995 年(中)、	

	2015 年-1995 年(右)，上排為日間，下排為夜間變化.....	2-13
圖 2-11	晴朗個案下白天 10 米高風場及氣壓場變化：1995 年(左)、2007 年-1995 年(中)、2015 年-1995 年(右).....	2-13
圖 2-12	有雨個案下，使用 1995 年桃園區土地利用資料進行模擬，下午 12L-18L 的逐時雨量空間分佈.....	2-15
圖 2-13	有雨個案下，使用 2007 年桃園區土地利用資料進行模擬，下午 12L-18L 的逐時雨量空間分佈.....	2-15
圖 2-14	有雨個案下，使用 2015 年桃園區土地利用資料進行模擬，下午 12L-18L 的逐時雨量空間分佈.....	2-16
圖 2-15	有雨個案下，分別利用 1995 年(實心)及 2007 年(斜線)桃園區土地利用資料進行模擬，下午 12L-18L 的逐時雨量強度分佈.....	2-16
圖 2-16	有雨個案下，分別利用 1995 年(實心)及 2015 年(斜線)桃園區土地利用資料進行模擬，下午 12L-18L 的逐時雨量強度分佈.....	2-17
圖 2-17	2003 年的休耕情形(摘自農委會年報).....	2-18
圖 2-18	針對氣象測站量測資料估算混合層高度以及舉升凝結高度，並做為篩選強降雨事件的條件。.....	2-22
圖 2-19	桃園地區研究樣區範圍，包括蘆竹，桃園，八德，大園，中壢，平鎮，觀音，新屋以及楊梅區域.....	2-26
圖 2-20	研究區範圍內，1991 年(上)、2006 年(中)及 2016 年(下)桃園地區建成環境(built-up)、植被(vegetation)及水體(water body)三種土地利用空間分佈.....	2-28
圖 2-21	桃園行政區氣象局局屬測站與自動測站空間分布圖.....	2-29
圖 2-22	桃園行政區土地利用分布圖.....	2-32
圖 2-23	桃園市氣象測站年雨量變化圖.....	2-34
圖 2-24	桃園市各氣象測站年雨量變化圖.....	2-35
圖 2-25	桃園市氣象測站夏季月份雨量變化圖.....	2-36
圖 2-26	桃園市各氣象測站夏季月份雨量變化圖.....	2-37
圖 2-27	2007 至 2012 桃園年雨量內插分析圖.....	2-39
圖 2-28	2013 至 2018 桃園年雨量內插分析圖.....	2-40

圖 2-29	2007 至 2012 桃園夏季月份雨量內插分析圖	2-41
圖 2-30	2013 至 2018 桃園夏季月份雨量內插分析圖	2-42
圖 2-31	氣象局八德，大園，楊梅測站 1998 至 2017 年夏季月份弱綜觀條件下對流降雨事件單次降雨強度長期變化趨勢圖.....	2-45
圖 2-32	氣象局八德，大園，楊梅測站 1998 至 2017 年夏季月份弱綜觀條件下對流降雨事件總雨量與年雨量比例長期變化趨勢圖.....	2-46
圖 3-1	全球經濟模式與 CLUE-s 模型的連結	3-5
圖 3-2	全球經濟模式中個別國家產業部門之生產函數結構	3-7
圖 3-3	全球經濟模式中個別國家之最終需求函數結構	3-8
圖 3-4	全球經濟模式中各國生產與消費部門間及國家間的相互連結 ...	3-10
圖 3-5	GTAP 全球貿易可計算一般均衡模型中商品/服務的跨國貿易連結	3-11
圖 3-6	全球經濟模式之校準資料庫：以開發中國家之產業關聯帳表為例	3-12
圖 3-7	全球經濟模式之校準資料庫：以 2011 年雙邊貿易(產品別)為例.....	3-12
圖 3-8	全球經濟模式之校準資料庫：以 2011 年雙邊貿易(產品別)為例.....	3-13
圖 3-9	全球社會經濟發展路徑下的碳排放量及世紀末暖化程度	3-14
圖 3-10	全球社會經濟發展路徑之主要模型情境假設	3-15
圖 3-11	OECD Env-Growth 模式所預測 2030 年各國/區域經濟體在 5 個 SSP 情境下的 GDP 前景	3-17
圖 3-12	IIASA 模式所預測 2030 年各國/區域經濟體在 5 個 SSP 情境下的 GDP 前景	3-18
圖 3-13	台灣 2030 年各 SSP 情境之人口成長預測與經濟成長前景	3-19
圖 3-14	OECD Env-Growth 模式之 SSP 預測情境下台灣 2030 年的各產業部門實質產出水準.....	3-21
圖 3-15	IIASA 模式之 SSP 預測情境下台灣 2030 年的各產業部門實質產出水準	3-22

圖 3-16	IIASA 模式之 SSP 預測情境下台灣 2030 年的各產業部門產值結構：相較於 2011 年.....	3-23
圖 3-17	2030 年各國/區域經濟體在 5 個 SSP 情境下的出口前景：根據 IIASA 模式之成長預測情境.....	3-24
圖 3-18	2030 年各國/區域經濟體在 5 個 SSP 情境下的進口前景：根據 IIASA 模式之成長預測情境.....	3-25
圖 3-19	2030 年各國/區域經濟體在 5 個 SSP 情境下的出口值變動：根據 IIASA 模式之成長預測情境.....	3-26
圖 3-20	2030 年各國/區域經濟體在 5 個 SSP 情境下的出口值變動：根據 IIASA 模式之成長預測情境.....	3-27
圖 3-21	OECD-EnvGrowth 模式之 SSP 預測情境下台灣 2030 年的農業部門用地需求.....	3-29
圖 3-22	IIASA 模式之 SSP 預測情境下台灣 2030 年的農業部門用地需求.....	3-29
圖 3-23	OECD-EnvGrowth 模式之 SSP 預測情境下台灣 2030 年的製造業部門用地需求.....	3-31
圖 3-24	IIASA 模式之 SSP 預測情境下台灣 2030 年的製造業部門用地需求.....	3-32
圖 3-25	全國產業產出之區域配置：不完全替代.....	3-34
圖 3-26	民國 95 年及 100 年全國各縣市工商服務業產業產出之成長情形 (資料來源：繪自全國工商普查統計.....)	3-34
圖 3-27	桃園市耕地面積變遷趨勢.....	3-35
圖 3-28	桃園市工業用地面積變遷趨勢：105 年與 100 年.....	3-36
圖 3-29	CLUE-s 模式架構圖.....	3-40
圖 3-30	CLUE-s 模式結構組成.....	3-42
圖 3-31	土地利用轉移順序.....	3-43
圖 3-32	選用之環境變數(a)高程；(b)坡度(c)與國道之距離 (d)與省道之距離 (e)與河流距離.....	3-44
圖 3-33	不同模式所模擬之各類別土地利用 AUC 值.....	3-47

圖 3-34	以 CLUE-s 模式模擬之桃園市 2014 年土地利用	3-49
圖 3-35	土地利用模擬驗證結果	3-50
圖 3-36	SSP3 及 SSP5 情境下推估之未來土地利用空間分布	3-52
圖 4-1	國土功能分區示意圖.....	4-1
圖 4-2	結合國土規劃與全球經濟模式分析未來土地利用空間分布流程圖	4-15
圖 4-3	桃園市國土功能分析模擬結果	4-15
圖 4-4	限制情境一下桃園市之林地變遷分布圖	4-20
圖 4-5	限制情境一下桃園市之農地變遷分布圖	4-20
圖 4-6	限制情境一下桃園市之建地變遷分布圖	4-21
圖 5-1	分散式治水評估方式雛形架構初步規劃	5-2
圖 5-2	DHSVM 模式架構流程圖	5-4
圖 5-3	模擬植生與根層之水平衡關係	5-5
圖 5-4	飽和的次表面流格網運算示意圖	5-9
圖 5-5	桃園淹水模擬山區邊界.....	5-10
圖 5-6	第一區(山區編號 1-5)各網格地表最大水深(20120611 豪雨).....	5-10
圖 5-7	第一區(山區編號 1-5)各網格地表最大水深(2012 蘇拉颱風)	5-11
圖 5-8	第一區(山區編號 1-5)各網格地表最大水深(20160516 豪雨)	5-11
圖 5-9	第一區(山區編號 1-5)各網格地表最大水深(20160602 豪雨)	5-12
圖 5-10	第一區(山區編號 1-5)各網格地表最大水深(50 年重現期限制情境 一).....	5-12
圖 5-11	第一區(山區編號 1-5)各網格地表最大水深(50 年重現期限制情境 二).....	5-13
圖 5-12	第一區(山區編號 1-5)各網格地表最大水深(50 年重現期限制情境 三).....	5-13
圖 5-13	第二區(山區編號 6-11)各網格地表最大水深(20120611 豪雨)...	5-14
圖 5-14	第二區(山區編號 6-11)各網格地表最大水深(2012 蘇拉颱風)...	5-14
圖 5-15	第二區(山區編號 6-11)各網格地表最大水深(20160516 豪雨)...	5-15
圖 5-16	第二區(山區編號 6-11)各網格地表最大水深(20160602 豪雨)...	5-15

圖 5-17	第二區(山區編號 6-11)各網格地表最大水深(50 年重現期限制情境一).....	5-16
圖 5-18	第二區(山區編號 6-11)各網格地表最大水深(50 年重現期限制情境二).....	5-16
圖 5-19	第二區(山區編號 6-11)各網格地表最大水深(50 年重現期限制情境三).....	5-17
圖 5-20	建物網格示意圖.....	5-19
圖 5-21	建物進水體積之相對面積比 α' 示意圖	5-20
圖 5-22	桃園市 20120611 豪雨模擬最大淹水深圖	5-22
圖 5-23	桃園市 2012 蘇拉颱風模擬最大淹水深圖	5-23
圖 5-24	桃園市 20160516 豪雨模擬最大淹水深圖	5-24
圖 5-25	桃園市 20160602 豪雨模擬最大淹水深圖	5-24
圖 5-26	桃園市 50 年重現期模擬最大淹水深圖(限制情境一).....	5-25
圖 5-27	桃園市 50 年重現期模擬最大淹水深圖(限制情境二).....	5-25
圖 5-28	桃園市 50 年重現期模擬最大淹水深圖(限制情境三).....	5-26
圖 5-29	下游地區淹水熱點分析結果(a)原淹水模擬結果;(b)鄰近範圍為 200 公尺所畫定之熱點;(c)鄰近範圍為 400 公尺所畫定之熱點;(d)鄰近範圍為 1000 公尺所畫定之熱點.....	5-29
圖 5-30	淹水逐時熱點分析結果(a)第 4 小時;(b) 第 8 小時;(c) 第 12 小時;(d) 第 16 小時;(e) 第 20 小時;(f) 第 24 小時	5-30
圖 5-31	上游山區第一區熱點分析結果(a) 2012 年蘇拉颱風;(b) 20160602 豪雨;(c) 20160516 豪雨;(d) 20160602 豪雨;(e) 50 年重現期(限制情境一);(f) 50 年重現期(限制情境二);(g) 50 年重現期(限制情境三).....	5-31
圖 5-32	上游山區第二區熱點分析結果(a) 2012 年蘇拉颱風;(b) 20160602 豪雨;(c) 20160516 豪雨;(d) 20160602 豪雨;(e) 50 年重現期(限制情境一);(f) 50 年重現期(限制情境二);(g) 50 年重現期(限制情境三).....	5-32
圖 5-33	下游地區淹水熱點分析結果(a) 2012 年蘇拉颱風;(b) 20160602 豪	

	雨；(c) 20160516 豪雨；(d) 20160602 豪雨；(e) 50 年重現期(限制 情境一)；(f) 50 年重現期(限制情境二)；(g) 50 年重現期(限制情境 三).....	5-33
圖 5-34	Zonation 模式演算流程圖	5-36
圖 5-35	以最大淹水深之熱點進行管制區範圍劃設	5-38
圖 5-36	以逐時淹水深熱點進行管制區範圍劃設	5-38
圖 5-37	以逐時淹水深直接進行管制區範圍劃設	5-39
圖 5-38	上游山區第一區之管制區劃設結果	5-39
圖 5-39	上游山區第一區之管制區劃設結果	5-40
圖 5-40	下游地區管制區劃設結果	5-40

第一章 前言

一、計畫緣起

隨著全球化的發展，社會、經濟與自然環境間具有交互影響的關係，而全球暖化下的氣候變遷情勢，使跨域水資源管理、環境污染等議題也從而顯現。臺灣經濟型態亦深受全球化效應影響，民眾更易聚集於經濟活動較頻繁的區域，使得都市化的情況加劇；極端氣候條件下的降雨事件，其強度與頻率均較以往劇烈，進而衍生更為嚴峻的區域淹水問題，107年0823熱帶低壓暴雨引致的南部地區淹水災情即是明證。此外，由於氣候變遷不確定性因素較多，評估降低氣候變遷所造成的影響時，應以風險管控為出發點，並採取分散式的調適策略為宜。

遙耦合(Telecoupling)為一瞭解全球超聯結之物理與社會現象，以及實現其永續發展的研究方法，遙耦合之概念緣起於遙連結(Teleconnection)，遙連結起源於氣候科學研究，探討某地區氣候受其他遙遠地區自然作用影響；而後社會科學將其延伸應用於人與環境間的遠距複合關係，如結合遙連結於自然科學與社會科學，以研究人類與自然環境間的互動與整合關係，這些探討跨領域學科間交互影響關係之，如社會-生態系統、社會-環境系統、社經-生態系統、人口-環境系統等，則稱之為遙耦合。因此，透過遙耦合框架可深入分析、釐清與區別距離甚遠的多個不同系統間的複雜關係。而為瞭解影響區域尺度到全球尺度永續性的各類因子，則需建立一套全面性的空間分析工具，以描述並量化遠距的多種社會經濟與環境的相互作用，進而探討系統交流與跨距整合等課題。

遙連結最早是 Bjercknes (1969)研究結果發現赤道東風表面風應力造成太平洋赤道中部與東部海洋表面溫度異常的原因，這種跨空間、跨時間尺度對於各項自然反應影響之行為稱為遙連結，而經由地氣交換行為導致異地水文系統變化(Wang-Erlandsson et al., 2018)，或是地表變遷改變土地與大氣間的交互作用，使得土壤水分可透過蒸發散量及地

表能量平衡變化，直接影響局部降水(Hsu et al., 2017; Kanamitsu & Mo, 2003; Wey et al., 2015)，或是透過大氣環流的變化間接地影響到降水型態與強度(Chen et al., 2018; Hsu et al., 2017)(詳圖 1-1)則屬於討論大氣、水文與土地利用間之遙耦合關係。

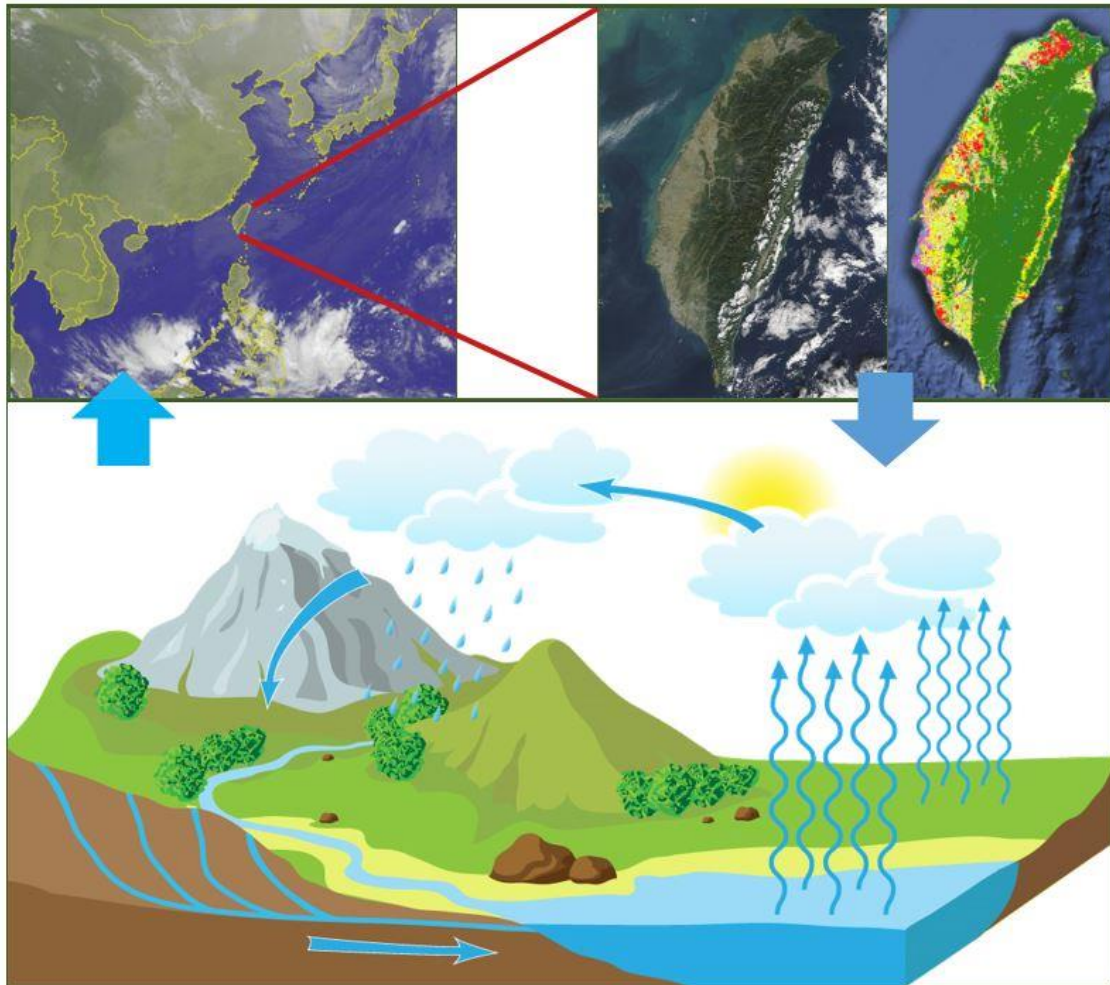


圖 1-1 大氣-土地利用遙耦合概念圖

為距離過長而不容易被發現，因此需要透過土地利用溢出機制，討論土地、市場、科技、資訊與經濟之連結(Faust et al., 2000)，透過社會地理學、社會經濟學、人類學等社會學理論討論全球生產與全球價值鏈(Isakson, 2014; Munroe, Croissant, & York, 2005)(詳圖 1-2)。在全球化的影響下，土地利用改變受到全球經濟的影響，以中國與巴西間的大豆貿易為例，由於中國向巴西進口大量大豆，促使巴西開墾大量農地種植大

豆，造成巴西雨林系統地損失，而中國則因此得以復甦其自然生態系統 (da Silva et al., 2017; Torres et al., 2017)，全球對橡膠原料的需求也促使寮國與越南大量種植橡膠樹，導致農地面積改變與移動 (Baird & Fox, 2015)。據此，土地利用變遷已經不僅只是區域性人類行為與自然環境之間的交互作用，各項跨國交流、各國政策及國際公約等可能導致土地利用改變，台灣地區經濟成長深受國際經濟景氣影響，土地利用需求也將因為經濟行為及各項政策影響而改變，因此，透過全球經濟模式推估未來可能之經濟發展情境，進而瞭解未來土地利用需求改變是有其必要性。

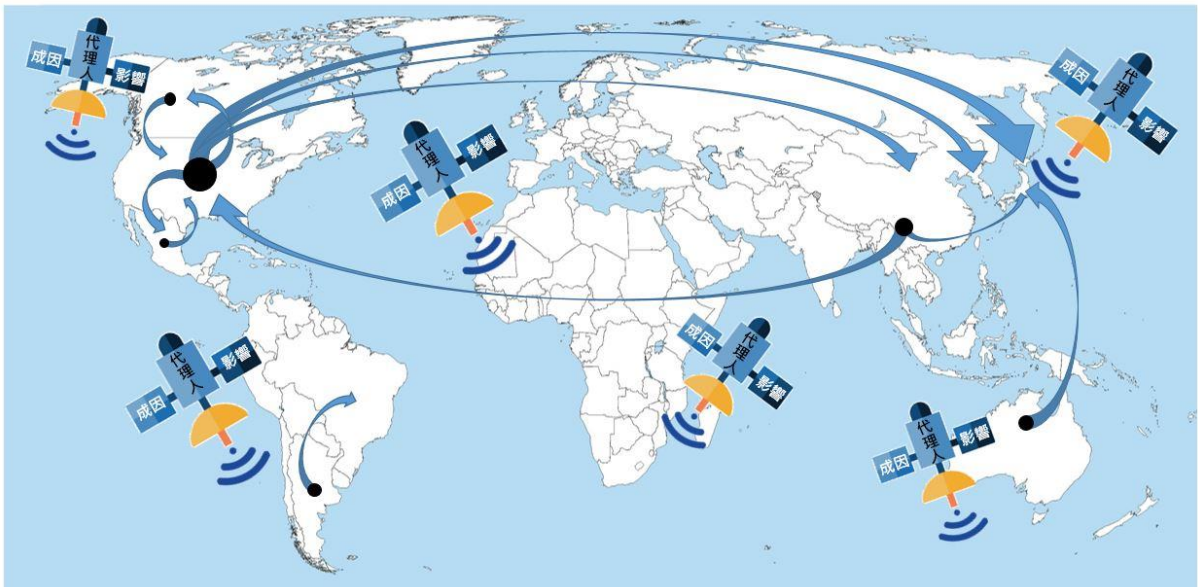


圖 1-2 經濟-土地利用遙耦合概念圖

因此以全球化導致整體環境的改變為例，藉由結合遙連與全球經濟模式，可分析不同經濟活動對氣候及土地利用改變之影響，有助瞭解未來氣候在區域及全球尺度的變異；而結合遙連結與氣候模式，則可探討氣候及經濟活動對未來區域降雨型態與淹水特性的影響，進而規劃氣候變遷下之新興治水策略。

縱觀當前氣候變遷衝擊下之全球環境，浮現於各領域表象間之關鍵課題，其內涵實存在繁複之連動關係，非單一面向之應對措施所能含

括；而應以跨域視野綜覽全局，方能以研擬整體因應策略。因此，本計畫之研提，目的為利用遙連結之宏觀體系與分析方法，結合全球經濟模式及氣候模式，探討區域遙連結對未來都會區土地利用及降雨特性之影響，針對不同土地利用情境討論可能的淹水情況；再透過分散式治水架構的研析建立，以風險分攤的概念探討降低風險的可行性，並評估因應國土規劃之新興治水策略。

二、工作項目及內容

(一) 整體工作項目：

- 1、結合遙連結與氣候模式探討區域遙連結對未來氣候型態及降雨強度之關係與影響。
- 2、結合遙連結與全球經濟模式探討區域遙連結對未來都會區土地利用之影響。
- 3、結合遙連結、氣候模式與全球經濟模式，綜合討論區域遙連結對未來氣候型態、降雨強度及土地利用之衝擊。
- 4、示範區淹水風險評估。
- 5、分散式治水架構及方法建立。
- 6、因應國土規劃下風險分攤逕流管理之治理政策及策略評估。

(二) 108 年度工作項目：

- 1、結合遙連結與氣候模式探討區域遙連結對未來氣候型態及降雨強度之關係與影響。
 - (1) 遙連結結合氣候模式之評估模式建立，並利用所建立之模式評估示範區未來氣候型態及降雨強度改變情形。

2、結合遙連結與全球經濟模式探討區域遙連結對未來都會區土地利用之影響。

(1) 遙連結與全球經濟模式之評估模式建立，並利用建立之模式評估區域遙連結對示範區土地利用與治水之影響。

3、評析目前國土規劃與依據結合遙連結與全球經濟模式所分析之未來土地利用之差異。

4、分散式治水雛形架構方法建立及測試。

(1) 分散式治水評估方式雛形架構建立。

(2) 以示範區為例，初步評估建立之雛形架構。

5、本署指示配合及協助事項。

(1) 出席會議、行政配合及交辦事宜。

(2) 提供相關事項技術協助。

(三) 109 年度工作項目：

1、結合遙連結、氣候模式與全球經濟模式，綜合討論區域遙連結對未來氣候型態、降雨強度及土地利用之衝擊。

(1) 遙連結與氣候模式及全球經濟模式之評估模式建立，並利用所建立之模式同時評估及討論示範區未來氣候型態、降雨強度及土地利用改變情形。

(2) 評析目前國土規劃與依據結合遙連結與氣候模式，以及全球經濟模式所分析之未來土地利用與降雨強度之差異。

2、示範區淹水風險評估。

(1) 現況及未來不同氣候型態、降雨強度、不同土地利用情況下之淹水情境分析。

3、分散式治水架構確定及方案評估。

(1) 建立分散式治水方法及架構。

(2) 評估不同情境下之治理策略。

4、因應國土規劃下風險分攤逕流管理之治理政策與策略評估。

5、水利署指示配合及協助事項。

(1) 出席會議、行政配合及交辦事宜。

(2) 提供相關事項技術協助。

三、預期成果

(一) 整體預期效益及成果

1、完成結合遙連結與氣候模式建立，並探討區域遙連結對未來氣候型態及降雨強度之關係及影響。

2、完成結合遙連結與全球經濟模式之建立，探討區域遙連結對未來都會區土地利用與降雨關係與影響

3、完成結合遙連結、氣候模式與全球經濟模式之模式建立，綜合討論區域遙連結對未來氣候型態、降雨強度及土地利用之衝擊。

4、完成分散式治水架構及方法建立。

5、完成因應國土規劃下風險分攤逕流管理之治理政策與策略評估。

(二) 年度預期效益及成果

1、完成結合遙連結與氣候模式之評估模式建立，並探討區域遙連結對未來降雨及氣候型態與強度之關係及影響。

2、完成結合遙連結與全球經濟模式之評估模式建立，並探討區域遙連結對未來都會區土地利用與降雨之影響。

3、完成目前國土規劃與依據結合遙連結與全球經濟模式，分析未來土地利用與降雨之差異評析。

4、完成分散式治水雛型架構及策略建立及案例測試。

四、計畫工作內容及流程

本計畫主要目的為結合遙連結與氣候模式及全球經濟模式，結合土地利用變遷模式，模擬不同情境下之土地利用空間分布，再利用結合遙連結與氣候模式探討區域遙連結對未來氣候型態及降雨強度之分析結果，藉由淹水模式模擬可能之淹水情形，本計畫建構分散式治水雛形架構，將不同之土地利用策略、國土規劃情境與治水策略帶入所建構之模式，以示範區域為例測試所建立之雛型架構。此外，本計畫亦將評析目前國土規劃與依據結合遙連結與全球經濟模式所分析之未來土地利用之差異，本計畫之概念圖如圖 1-3 所示。

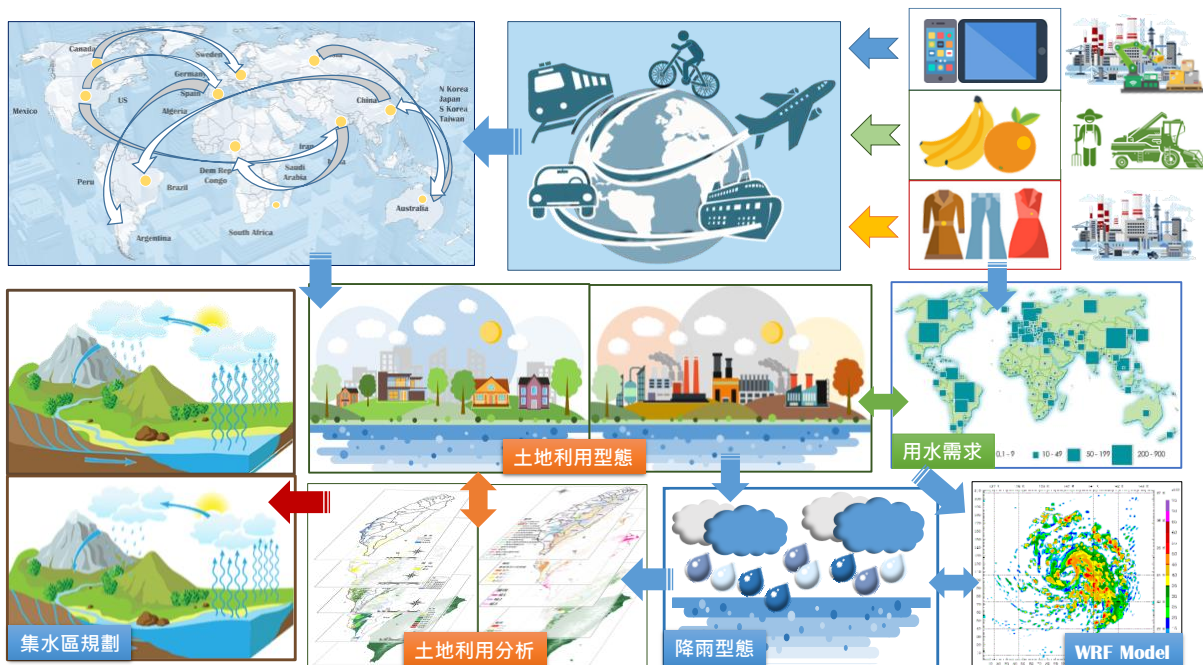


圖 1-3 各工作項目概念圖

本計畫藉由工作項目 1 結合遙連結與氣候模式探討區域遙連結對未來氣候型態及降雨強度之關係與影響，評估現況及未來可能之降雨情形，再藉由工作項目 2 結合遙連結與全球經濟模式探討區域遙連結對未來都會區土地利用之影響，分析不同情境下之土地利用空間分布情形，結合作業項目 1 及工作項目 2，可分析可能之淹水情境，而透過分散式治水雛形架構方法建立，以示範區為例，代入將前述兩項工作項目分析結果，評估測試所建構架構之可行性，並針對分析結果進行評析。此外，本計畫亦針對目前國土規劃與依據結合遙連結與全球經濟模式所分析之未來土地利用之差異進行評析(工作項目 3)，討論不同土地利用空間分布對於可能之淹水情境所造成之影響。整體計畫流程與工作間之關聯性如圖 1-4 所示，詳細各部分之工作構想、執行策略等則分述如後續章節。

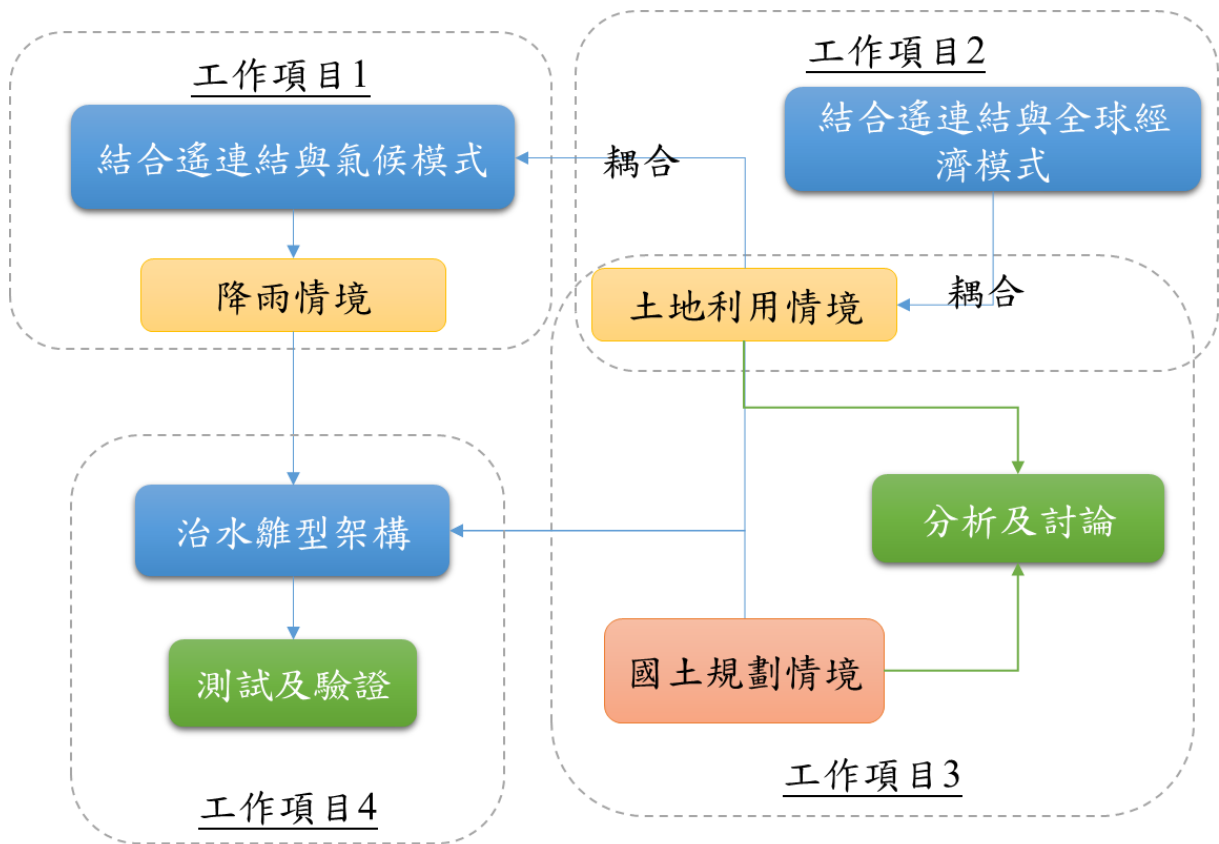


圖 1-4 各工作項目之關聯性

五、示範區域挑選

在全球化的影響下，各城市之交流逐漸由原來單核心轉變為結合周邊區域發展，而都會區的形成，一方面使建築物往郊區擴張，造成森林、水體面積減少，另一方面使經濟活動更加頻繁，帶來更多的車輛等人為熱源之排放，其公共空間與能源使用都將影響大氣環境及土地利用變遷。劉小蘭等人(2010)指出，台灣都會型生活圈從 1986 年到 2006 年開始呈現蔓延的趨勢，尤其是 1991 年至 1996 年之間，徐國城(2010)也以台北都會區為例，提出近年來都市空間發展型態由市中心往外擴張，而公路運輸、所得增加及就業人口結構等都是造成此現象之因素。

桃園市位於台灣西北部，形狀呈西北向東南狹長形，地勢由東南隅的山地向西北遞降，原為東向西流的古石門溪之沖積扇，因地殼抬升及河川侵蝕，使得現今地形以丘陵及台地為主，地質則以酸性、肥力低的紅壤及黃壤為主。過去因河川襲奪造成下游數條河川成為斷頭河，在沒有充足的灌溉水源之下，當地農家利用台地地形的高低差，挖掘埤塘儲蓄灌溉用水，也讓桃園產生千塘之鄉的美名，然而在 1928 年桃園大圳竣工及 1964 年石門水庫及石門大圳竣工後，河川供水使得埤塘灌溉功能逐漸被取代，再加上都市擴張及交通建設，埤塘數量由 1964 年的八千多口，如今僅餘約兩三千口，也讓政府及民間團體開始思考埤塘活化利用、聯合供水調度及滯洪空間等生態系服務之可能性。

氣候方面，桃園市屬於副熱帶季風型氣候，每年 10 月到隔年 2 月受東北季風影響，5 月到 9 月受西南季風及颱風影響，年降雨量 1500-2000mm，夏季降雨多而集中、冬季較少但連續，而因都市擴張所造成的都市熱島(Patz et al., 2005)，將影響都會區的局部對流系統，進而改變其降雨型態(Jauregui, 2002)，尤其午後對流降雨明顯增加。潘宗毅等人(2015)指出，短延時降雨在都市下風處有增加，在山區及上風處則有減少的趨勢，故位於下游臨海的蘆竹、大園、新屋及觀音等區屬高淹水潛勢區，而人口密度較高之桃園、中壢、平鎮及八德等區則較易因淹水

造成衝擊。依國家災害防救科技中心公布之天然災害潛勢地圖(詳圖 1-5)，當 24 小時累積雨量達到大豪雨等級的 350mm 時，河口及河川沿線周邊即可能產生 1 公尺深的淹水，當 24 小時累積雨量達到 650mm 時，淹水範圍及深度也將更為嚴重，當降雨型態改變導致雨量集中之地方承受更多降水，將使現有排水系統無法負擔而造成淹水。「桃竹易致災環境調查與評估」(國家災害防救科技中心，2014)及「桃竹縣市易致災環境指標調查與評估」(國家災害防救科技中心，2016)提及桃園市易淹水村里多屬人口密集之都市地區，因綠地稀少而造成過多地表逕流，近期政府推動前瞻基礎建設-水環境建設，在桃園市進行如下水道工程、改善河川堤坊及新建滯洪池等，增進區域排水能力與緩和極端降雨所造成之影響；反之，若降雨型態使當地水資源短缺，則須面臨水庫淤積及枯水期限水等挑戰。

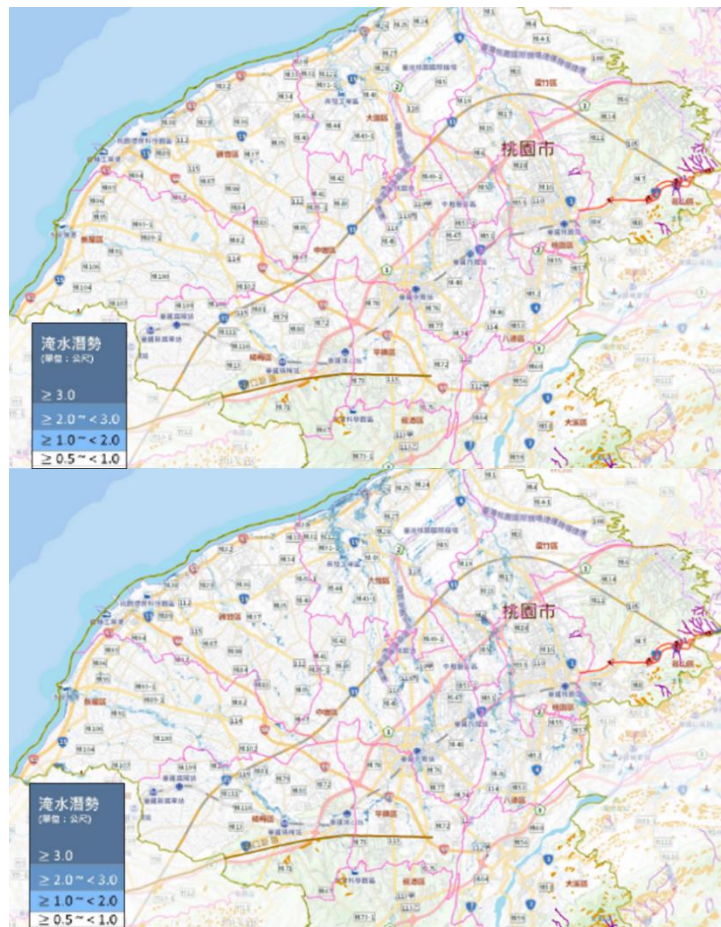


圖 1-5 桃園市 24 小時累積雨量 350mm(上)及 650mm(下)天然災害潛勢地圖
(資料來源：災害潛勢地圖網站)

1960 年代起，桃園地區廣設工業區，人口成長與工業發展帶動建成地的開發，且大多沿著原有建成地之周邊擴張，亦受人口與產業員工成長、重要交通設施之距離、土地使用政策及原土地利用比例等變數影響(張文崧等人，2017)。當前，桃園市從交通運輸或是產業區位角度，都已經成為北台灣都會區之重要核心(詳圖 1-6)，而在內部發展策略採取工農業並重，同時考量交通基礎建設，選定桃園、中壢及航空城為 3 個主要都心，區分為 6 大空間發展區域(詳圖 1-7)，分別採取城鄉發展都會核心區域、鄉村發展區域及生態遊憩區域之發展策略，其中，都會核心區域之計畫包括近期政府推動桃園國際機場周邊建構「亞洲·矽谷」、桃園區之「虎頭山物聯網創新基地」及中壢區之「開發創新研發中心」等，附帶之公共建設與機場捷運也將影響都會核心區之土地利用。

近年來，桃園市已有多項指標達到全國城市之前段位置，根據人口統計資料，桃園市在 2015 年至 2018 年間，人口增加比例為六都之冠，皆維持在 1.5% 以上(詳圖 1-8)，此外，根據 2016 年工業及服務業普查統計結果(詳表 1-1)，桃園市之場所單位數較 2011 年成長 14.6%，成長幅度僅次於新北市(15.6%)，居六都第 2，就業機會較 2011 年成長 12.4%，成長幅度僅次於台中市(18.5%)，居六都第 2，而工業部門創造之生產總額為 2 兆 5,973 億元，居六都之冠，航空運輸業(屬服務業部門)亦佔全國四分之三之生產總額，其結果皆顯示桃園市發展已在全國名列前茅。

表 1-1 2016 年六都工業及服務業場所單位基本概況表
(資料來源：行政院主計總處及中華民國統計資訊網)

		場所單位數 (家)	增減 (%)	從業人數 (人)	增減 (%)	生產總額 (百萬元)
台北市	工業部門	17,088	5.9	232,378	-10.5	1,474,312
	服務業部門	185,492	2	1,558,085	7.9	5,821,329
	總和	202,580	2.4	1,790,463	5.1	7,295,641
新北市	工業部門	58,855	12.1	557,133	1.6	2,391,478
	服務業部門	163,833	16.9	757,667	17.5	1,261,755
	總和	222,688	15.6	1,314,800	10.2	3,653,233
桃園市	工業部門	27,392	17.3	509,515	7.9	2,597,281
	服務業部門	83,663	13.8	422,128	18.2	954,543
	總和	111,055	14.6	931,643	12.4	3,551,824
台中市	工業部門	48,960	8.6	528,486	11	2,431,906
	服務業部門	138,839	13.6	665,695	25.2	1,282,337
	總和	187,799	12.3	1,194,181	18.5	3,714,243
台南市	工業部門	24,278	11.2	351,680	7.5	1,778,183
	服務業部門	87,355	9.5	310,159	11.8	477,536
	總和	111,633	9.8	661,839	9.5	2,255,720
高雄市	工業部門	30,000	13.3	385,367	10.1	2,537,225
	服務業部門	137,328	9.9	578,557	10.2	1,060,562
	總和	167,328	10.5	963,924	10.2	3,597,787

*增減量為與民國 100 年相比



圖 1-6 北台都會區交通與產業分布(資料來源：桃園市國土計畫資訊網)

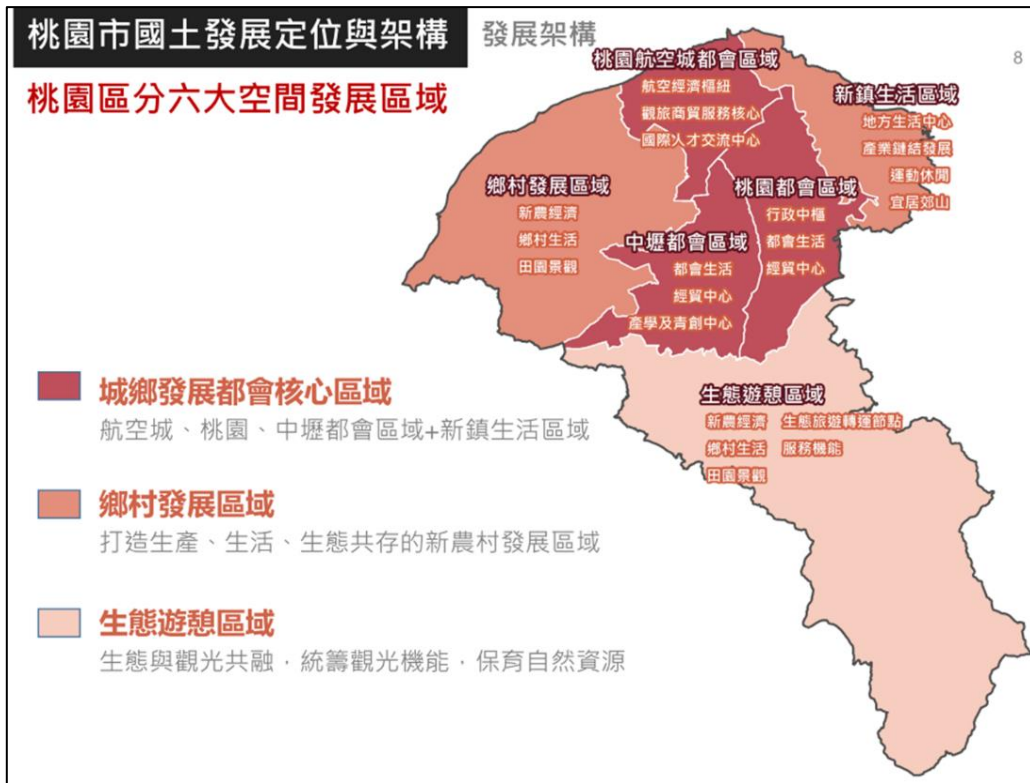


圖 1-7 桃園市區域發展架構(資料來源：桃園市國土計畫資訊網)

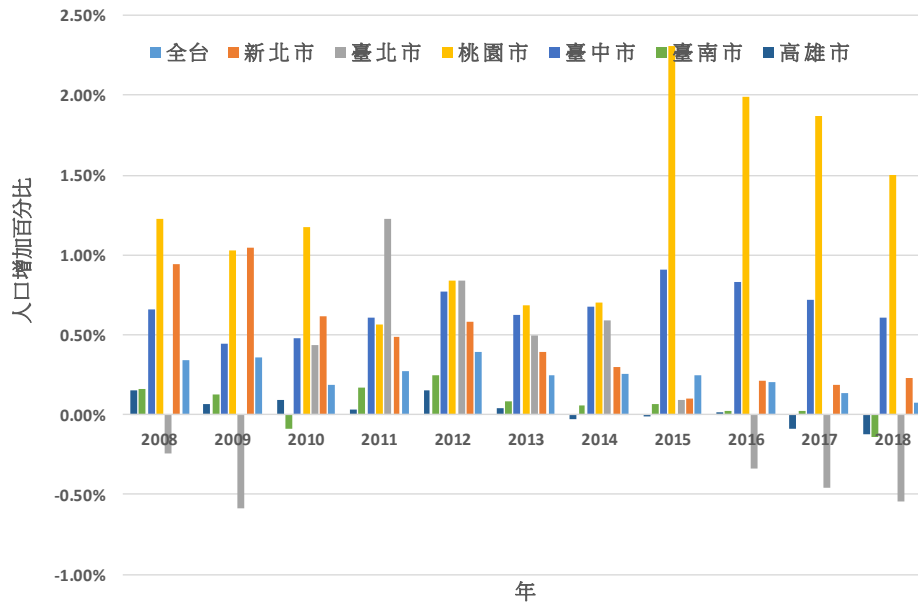


圖 1-8 2008 年起全台及六都每年人口增加百分比

綜合上述而言，桃園市不論是水資源彈性運用能力，或是都會區發展性潛力，在全國皆具有指標性意義，故本計畫將選用桃園地區作為示

範圍區域。依據 2006 年及 2015 年兩次國土利用調查資料，進行土地利用分類(詳圖 1-9 及表 1-2)，其結果顯示期間內桃園地區的農地、林地及水體之面積減少，而交通用地、建設、草地及裸露荒地之面積增加，此主因為都市發展，導致原有自然土地人工化之過程，後續將探討桃園地區在未來氣候變遷情境與不同土地利用情境下，推估當地降水形態改變、未來土地利用空間配置情形及都會淹水區之逕流分擔與出流管制策略等分析，其詳細計畫流程如圖 1-10 所示。

表 1-2 桃園市 2006 年及 2015 年土地利用分類面積
(資料來源：內政部國土測繪中心及本計畫整理)

	2006 年		2015 年	
	面積(公頃)	面積百分比	面積(公頃)	面積百分比
農地	33247.81	27.31%	32425.39	26.64%
林地	44741.85	36.76%	43761.7	35.95%
交通用地	8420.25	6.92%	8813.03	7.24%
水體	5741.64	4.72%	4753.72	3.91%
工商建設	9002.31	7.40%	9768.33	8.03%
非工商建設	13369.13	10.98%	13483.39	11.08%
草地	1522.91	1.25%	1886.71	1.55%
裸露荒地	5676.42	4.66%	6830.07	5.61%
總計	121722.32	100.00%	121722.34	100.00%

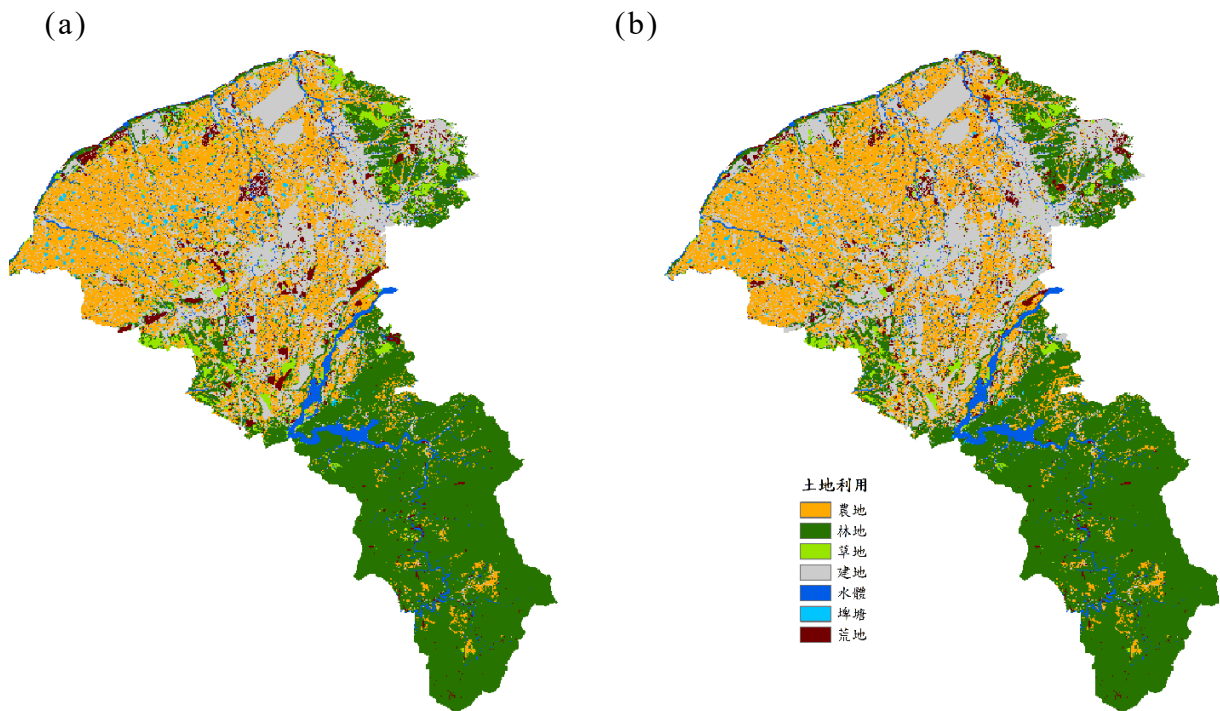


圖 1-9 桃園地區土地利用圖(a)2007 年，(b)2014 年

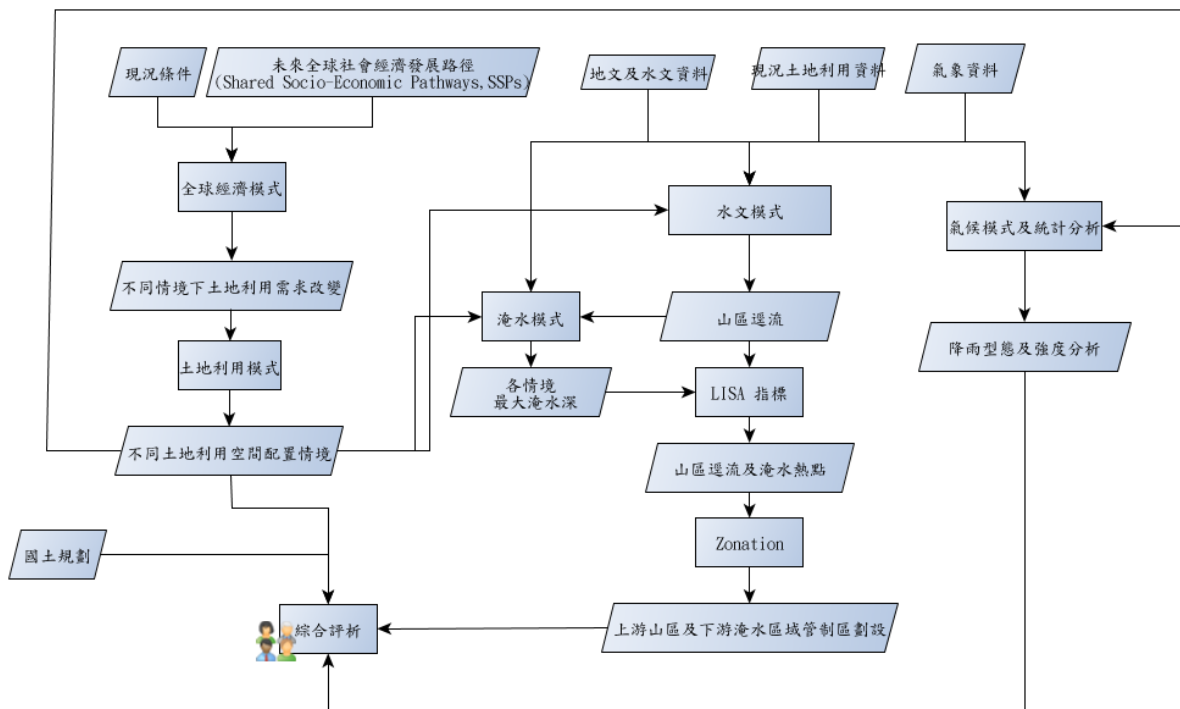


圖 1-10 計畫流程圖

六、工作進度

本計畫自決標日起至 108 年 12 月 20 日止完成，各項工作進度期程繪製如表 1-3 所示。

表 1-3 工作進度表

年月 工作項目	2019																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12												
結合遙連結與氣候模式探討區域遙連結對未來氣候型態及降雨強度之關係與影響																								
結合遙連結與全球經濟模式探討區域遙連結對未來都會區土地利用之影響																								
目前國土規劃與依據結合遙連結與全球經濟模式所分析之未來土地利用之差異評析																								
分散式治水雛形架構方法建立及測試																								
水利署指示配合及協助事項																								
期中及期末報告						●					●	●												
累積進度百分比(%)	3	7	10	12	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	93	95	97	99	100
.....：目前進度 ●：已提送 ○：待辦理																								

第二章 結合遙連結與氣候模式探討區域遙連結對未來氣候型態及降雨強度之關係與影響

一、利用大氣數值模式探討土地利用變遷與對流降雨強度關係

在過去的數十年裡，桃園地區地表變遷相當顯著，這些變化可以改變土地與大氣之間的交互作用，也成為改變當地和區域氣候的一個重要的強迫力。Kanamitsu and Mo (2003)、Wey et al. (2015) 及 Chou et al. (2018)證明土壤水分可以直接地影響局部降水(通過蒸發散量和地表能量平衡的變化)或通過大氣環流的變化(Chen et al., 2018; Hsu et al., 2017)，間接地影響到降水型態與強度，過去亦有許多學者針對土地利用改變(灌溉、都市化、去森林化)、降雨(強降雨)、極端氣候間之關聯性進行研究(詳表 2-1)。本計畫中使用 Noah 地表模式，結合美國國家大氣研究中心(NCAR)所發展的天氣研究預測模式(WRF, (Skamarock et al., 2008))探討土地利用的變化如何影響桃園的氣候水文狀態，從局部到區域尺度的能量和水文收支以及降水的變化，利用地表變遷型態作為 Noah 模式的下邊界條件，再結合 WRF 模式後，連結地表變遷所導致的近地表溫度、潛熱、可感熱通量、邊界層發展等，至大氣對流與降水的變化。計畫中使用 WRF+ Noah 區域氣候模型理解土地利用變化對當地和區域氣候的影響，以及降水的變化，也將在數值模式中考慮到未來暖化的效應。此外，數值模式的結果與統計結果部份相互比較與驗證。

表 2-1 土地利用改變(灌溉、都市化、去森林化)、降雨(強降雨)、極端氣候間關聯之文獻

作者	模式/觀測	事件/區域	驅動力
Avila et al., 2012	CSIRO Mk3L; CABLE	極端溫度/全球性	植被覆蓋改變
Bonan 1999; 2001	CCM3; NCAR LSM	極端溫度/美國中部及東部	森林濫墾
Bonfils and Lobell, 2007	Stationary observations	極端溫度/美國加州	灌溉
Bradshaw et al., 2007	Dartmouth Flood Observatory	洪水/全球性	森林濫墾
Chen et al., 2007	Stationary observations	增強降雨強度/台北盆地	都市化
Christidis et al., 2013	HadGEM2-ES; DGVM	極端溫度/全球性	森林濫墾
Clark, 1987	Stationary observations	洪水/英國薩默塞特郡東部及多塞特郡北部	森林濫墾
Deo et al., 2009	Australia CSIRO GCM	增加乾、熱天數/澳洲東部	土地覆蓋改變
Dirmeyer, 1994	GCM	乾旱/中緯度	植被減少及植物蒸發散減少
Fischer et al., 2007	CHRM	熱浪/ 1976、1994、2003、2005 年 歐洲 夏季熱浪	較乾燥土壤導致低蒸散量及高地表溫度
Grossman-Clarke et al., 2010	WRF; Noah UCM	熱事件/美國鳳凰城	都市發展
Hirschi et al., 2011	Stationary observations	極端溫度/東南歐	缺少土壤含水量對降雨的反饋
Hurkmans et al., 2009	VIC	洪水/萊茵河	都市化
Jothityangkoon et al., 2013	distributed rainfall-run off model	洪水/泰國北部湄平河上游	森林濫墾
Laurance, 2007	review paper	洪水	森林濫墾
Lin et al., 2011	WRF; UCM	增加降雨強度 /台灣北部	都市化
Mahmood et al., 2006; 2013;	Stationary observations	極端溫度/美國中部	灌溉
Miao et al., 2006	WRF; Noah-SLUCM	強降雨/北京	都市化
Mishra1 et al., 2015	Stationary observations	熱浪、無風/全球性	都市發展
Müller et al., 2014	WRF	2008 南美洲南部乾旱	土地覆蓋改變及植被變異
Stéfanon et al., 2014	CCM; RegCM ; BIOME4	熱浪/法國中部	植被覆蓋改變
Teuling et al., 2013	Stationary observations	乾旱/歐洲中部及西部	土壤水份異常增大
Vautard et al., 2010	MM5	地表風速下降/北半球	森林濫墾、都市化
Wei et al., 2015	WRF;	較強降雨/美國南部	土壤含水量改變地表蒸散及降雨效率
Zaitchik et al., 2013	NU-WRF	乾旱/美國南部大平原	由於當地土壤含水量之反饋造成降雨量集中於潮濕的區域
Zhao and Pitman, 2002	CCM3; BAT	極端溫度/全球性	土地覆蓋改變、增加 CO ₂

(一) 模式說明

計畫中使用 WRF 3.5.1 版，地表模式選用 Noah land surface model(詳圖 2-1)。水平空間模擬設定為三層巢狀網格，水平解析度目標分別為 18、6、2 公里，垂直解析度則為 45 層。積雲參數化將採用 Betts-Miller-Janjic 參數法，第二層、第三層(水平解析度 6、2 公里) 將不使用積雲參數化，直接為雲解析的網格。模式選用 RRTM 長波輻射參數法、Goddard 短波輻射法、WSM5 微物理參數化、YSU 邊界層參數法。初始場資料來自 NCEP 的 Final Reanalysis Data，積雲參數化選用 Kain-Fritsch scheme，第二及第三槽不使用積雲參數化；選用 RRTM 的長波輻射參數法；Goddard 的短波輻射參數法；WSM5 微物理參數化；YSU 的邊界層參數化；地表模式則使用 Noah LSM。

WPS Domain Configuration

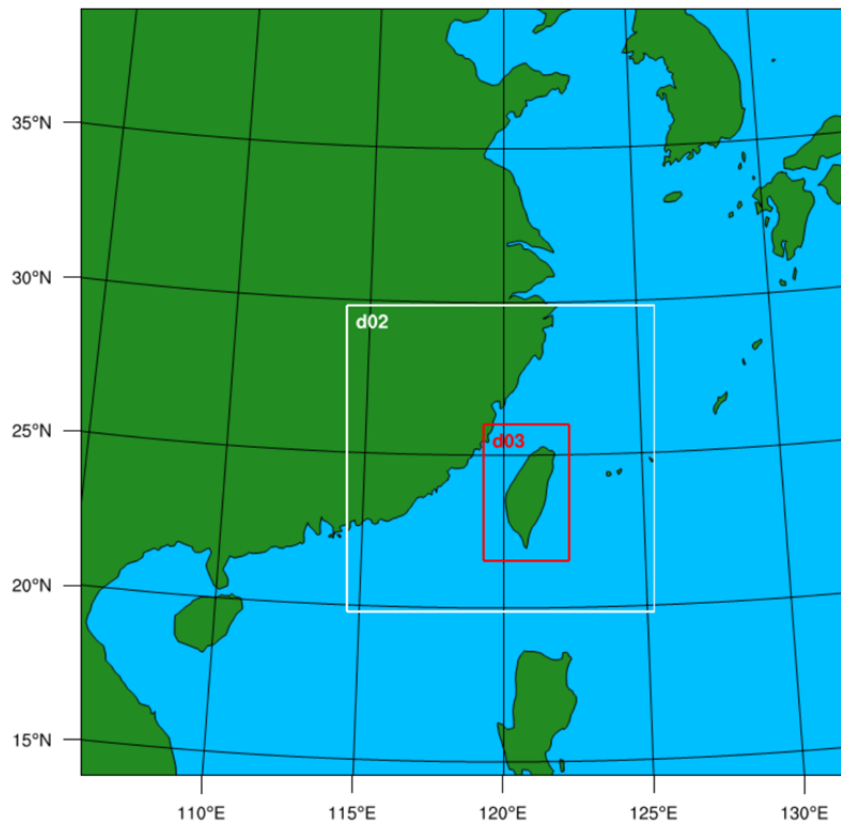


圖 2-1 WRF 模式模擬的空間範圍與巢狀網格設計

運行模式前由前處理 (WRF Preprocessing System, WPS) 建立地圖與地形等資訊，並與全球再分析資料內插到 WRF 網格上的氣象場變數相結合，作為 WRF 模式的初始條件與邊界條件。在執行 WRF 模式前設定所選用的物理參數法，包括長短波輻射、雲微物理、積雲參數化、地表過程、邊界層參數化等，WRF 模式會依照所設定的物理參數化模組進行計算，最後再將模式輸出結果(主要有近地表溫度、風場與降雨量等輸出場)以 NCL 等繪圖軟體進行描繪，整個 WRF 模式作業流程詳圖 2-2。

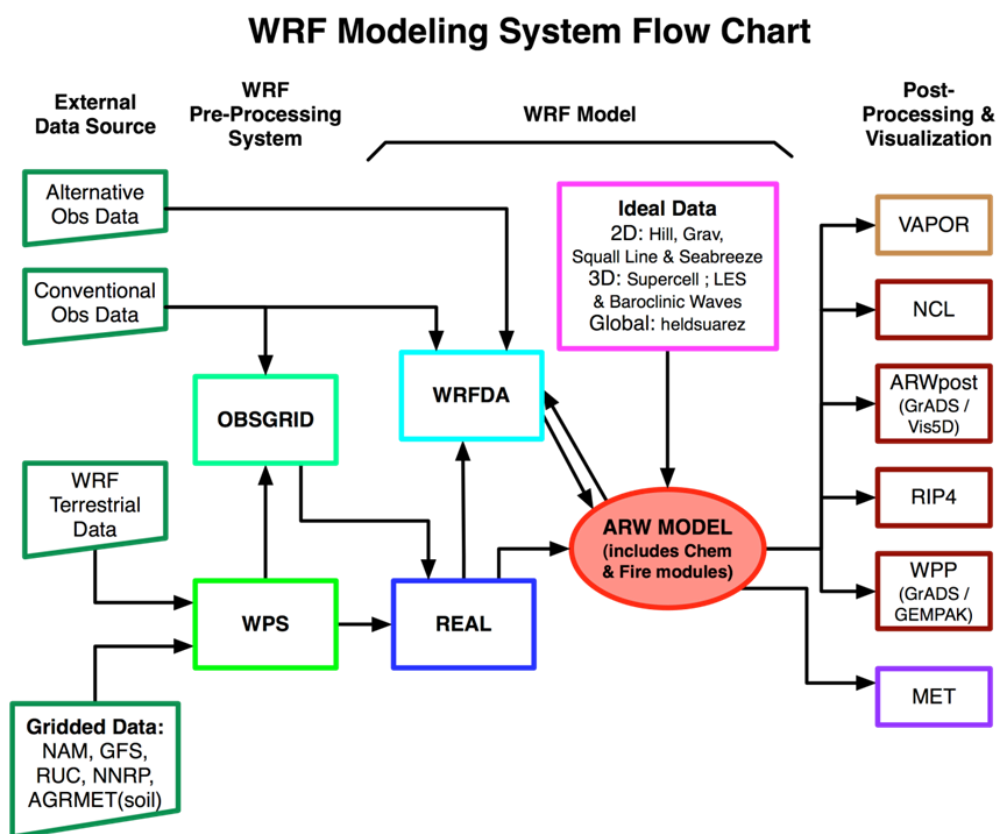


圖 2-2 天氣研究與預報模式 (Weather Research and Forecasting Model, WRF) 作業流程圖

(摘自 <http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/model.html>)

(二) 案例說明

挑選 1999 年到 2011 年間 8 月弱綜觀條件(臺灣鄰近區域無颱風或鋒面影響)下，18 個晴朗個案(無午後陣雨)(詳表 2-2)及 10 個有雨個案(有午後陣雨)(詳表 2-3)，利用天氣研究與預報模式(Weather Research and Forecasting model，WRF V3.5.1)進行 36 小時的模擬，將前 12 小時當作模式 spin up 時間，取模擬的第 12 到 22 小時作為日間平均(0800L-1800L)，第 24 到 34 小時做為夜間平均(2000L-0600L)。為突顯地表改變之間能量收支的差異以及對大氣降水的潛在影響，個案選取的時間均為 8 月(地表溫度為最高時)，個案挑選的方法為利用臺北、新竹、嘉義、臺南四個局屬測站，以及新屋、佳里、新營、善化等四個自動氣象站，以及茶業改良場、桃園農業改良場兩個農業測站，從 1999 年到 2011 年 13 年間 8 月份的雨量資料，取 10 個測站降水連續三天皆小於 5mm 的日子作為晴朗個案，共 18 個個案，藉此了解在晴朗的狀況下能量收支特性的日夜變化；另外取前述 10 測站至少有兩測站最大時雨量大於 15mm 且發生在下午到傍晚時間做為有雨個案。前述之個案挑選均避開臺灣地區發佈颱風警報的時間。透過這些個案的選擇，來模擬夏季弱綜觀大氣條件下土地使用變化對局部區域氣候所造成的影響，利用天氣研究與預報模式(Weather Research and Forecasting model，WRF V3.5.1)進行 36 小時的模擬，將前 12 小時當作模式 spin up 時間，取模擬的第 12 到 22 小時作為日間平均(0800L-1800L)，第 24 到 34 小時做為夜間平均(2000L-0600L)。

土地利用資料來自內政部國土測繪中心進行之全國土地利用調查，以臺灣全區 2007 年的調查為基底，將桃園地區分別抽換成 1995 年、2007 年、2015 年之土地利用情況，

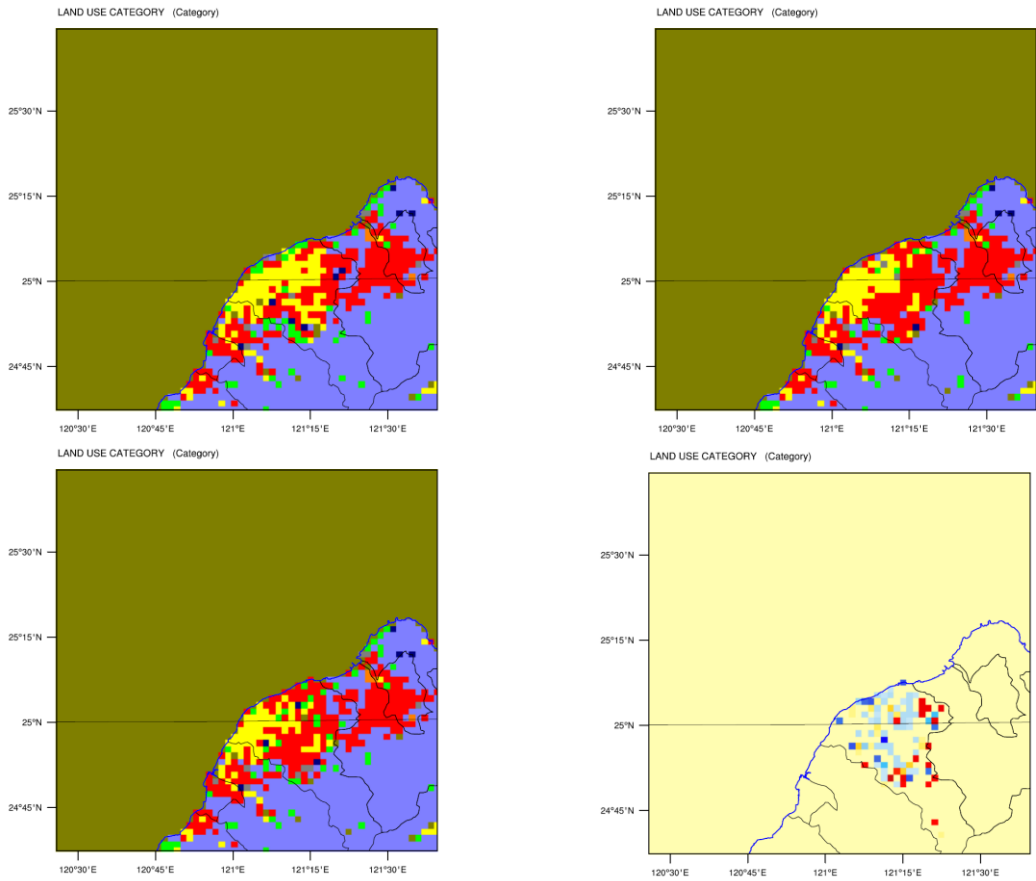
做成三筆不同的土地利用資料(對應 WRF 模式中原始之 USGS 地表利用資料的 24 種土地利用分類)(詳圖 2-3)置於 WRF 模式中進行模擬。

表 2-2 晴朗條件個案列表

個案編號	日期	個案編號	日期
1	1999/08/16	10	2004/08/08
2	2000/08/19	11	2005/08/28
3	2001/08/05	12	2006/08/14
4	2001/08/20	13	2006/08/30
5	2002/08/15	14	2008/08/02
6	2002/08/24	15	2008/08/13
7	2002/08/28	16	2008/08/26
8	2003/08/09	17	2009/08/21
9	2003/08/28	18	2009/08/28

表 2-3 有雨條件個案列表

個案編號	日期	個案編號	日期
1	1999/08/04	6	2006/08/23
2	2001/08/30	7	2007/08/04
3	2003/08/11	8	2008/08/11
4	2004/08/20	8	2010/08/16
5	2005/08/18	10	2011/08/10



- | | |
|------------------------------------|--------------------------------|
| ■ Urban and Built-Up Land | ■ Mixed Shrubland/Grassland |
| ■ Dryland Cropland | ■ Savanna |
| ■ Irrigated Cropland | ■ Deciduous Broadleaf Forest |
| ■ Mixed Dryland/Irrigated Cropland | ■ Evergreen Broadleaf Forest |
| ■ Cropland/Grassland Mosaic | ■ Evergreen Needleleaf Forest |
| ■ Cropland/Woodland Mosaic | ■ Mixed Forest |
| ■ Grassland | ■ Water Bodies |
| ■ Shrubland | ■ Barren or Sparsely Vegetated |

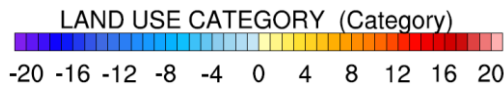


圖 2-3 1995 年(左上)、2007 年(右上)、2015 年(左下)桃園地區土地利用狀況、2015 年與 1995 年土地利用差別(右下)

地表利用的改變在模式中的設定將會改變地表粗糙度、蒸發散的效率、近地表與邊界層的紊流等微氣候的參數，進而影響到邊界層的發展與降雨型態。

模式結果與統計數據分析相互比較並利用數值實驗確定其潛在機制。在數值模式的結果中我們會特別關注從日夜循環的強降水改變。在未來暖化情境下，已有研究指出極端氣候出現的頻率將會變高，然而再加上地表變遷的效應下，降水將會如何改變將是本計畫要特別探討的問題，將採用工作項目 2(第三章)及工作項目 3(第四章)提供的未來土地利用分類情境，放進陸地模式中結合 WRF 模式再加上未來的暖化大氣條件，探討未來的降水變化。

其模式結果將與統計數據分析相互比較並利用數值實驗確定其潛在機制。在數值模式的結果中我們會特別關注從日夜循環的強降水改變。在未來暖化情境下，已有研究指出極端氣候出現的頻率將會變高，然而再加上地表變遷的效應下，降水將會如何改變將是本計畫要特別探討的問題，將採用工作項目 2(第三章)及工作項目 3(第四章)提供的未來土地利用分類情境，放進陸地模式中結合 WRF 模式再加上未來的暖化大氣條件，探討未來的降水變化。

(三) 結果與討論

1、休耕對於桃園的局地降水之影響

為瞭解休耕對於桃園的局地降水之影響，計畫中設計水田組與休耕組實驗。將桃園區域的各層土壤濕度都加到飽和，藉此來接近插秧期灌滿水的水田，稱為”水田組”。另外在桃園地區的一塊矩形區域 (121°01'00"E -

121°23'46"E, 24°53'18"N - 25°03'21"N)做一個理想化的實驗將灌溉田換成作物/草地混合的土地利用型態，視為該區域休耕之後的土地利用，其它剩餘的水田區則仿照前述水田組的方式處理，先轉換為裸土再將土壤濕度達到飽和，成為休耕組。兩組實驗的初始下邊界條件只有在兩個休耕區有所不同。利用 WRF 模式將地表換成休耕的型態(假設全部桃園都休耕的情況)後，利用下兩個案的模擬之敏感度測試，再將將休耕地的午後(12:00~18:00)降水做分析，跟未休耕的模擬比較(詳圖 2-4 及圖 2-5)，可發現平均降雨量在桃園休耕時有增加的趨勢且小雨到強降雨的頻率也有增加。

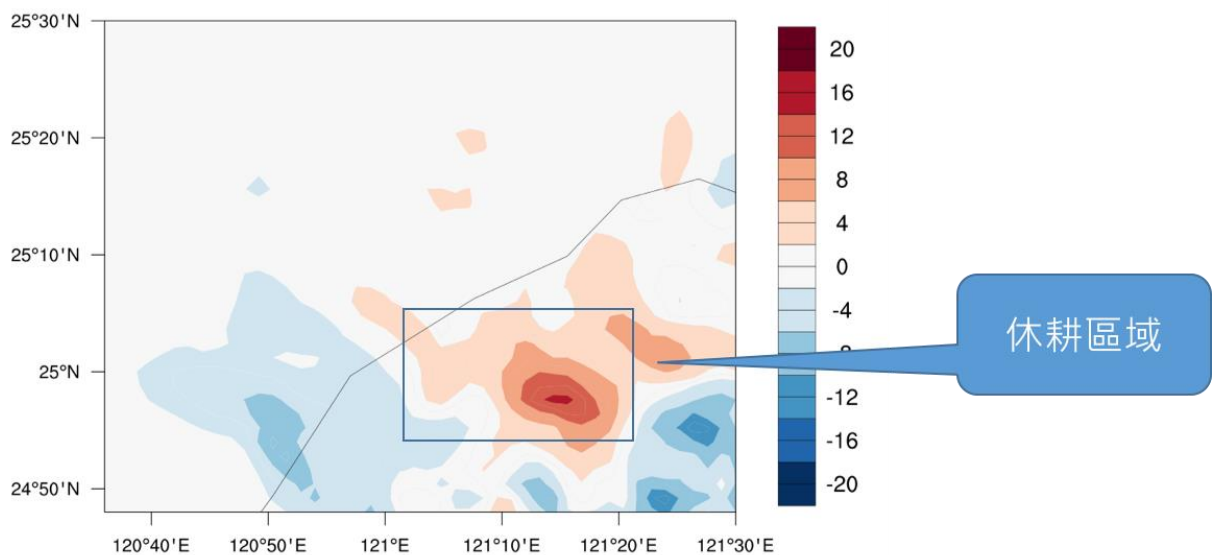


圖 2-4 累積(12:00-18:00)降水的差異性(休耕組減去水田組)(單位：
mm/6 hours)

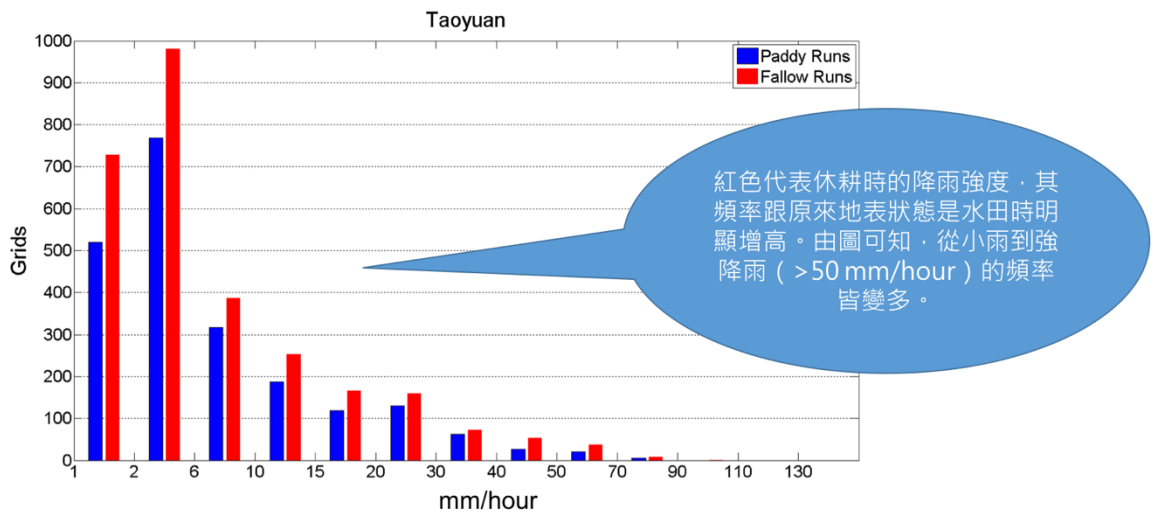


圖 2-5 降雨強度在桃園休耕時的變化

2、晴朗條件個案

2015 年及 2007 年相對 1995 年，桃園地區都市增加的比例較多，水田的比例則有所減少，都市化的結果改變這些區域的能量收支比例，白天潛熱釋放減少大約 $300\text{W}/\text{m}^2$ (詳圖 2-6)，可感熱通量增加 $150\text{W}/\text{m}^2$ (詳圖 2-7)，兩米高溫度場白天平均上升大約 0.6 度 (詳圖 2-8)，多餘的能量透過地表長波輻射及地熱通量平衡。地表增溫將會加強邊界層的混合作用，使白天邊界層厚度增加大約 150m (詳圖 2-9)。另外由於白天地表加溫較多，陸地多吸收的熱能於夜晚放出，夜晚增溫更為明顯，大約可以上升 1.4 度左右 (詳圖 2-8)；水氣場的部分，都市取代農田會使白天地表蒸發散作用減少，兩米高混合比下降大約 $1.5\text{g}/\text{kg}$ (詳圖 2-10)。風場的部分由於地表的增溫使氣壓場重新分配，地表粗糙長度的改變也有所影響，使得在近都市區域的偏西風有所減弱 (詳圖 2-11)。

Sunny Cases: LH Difference

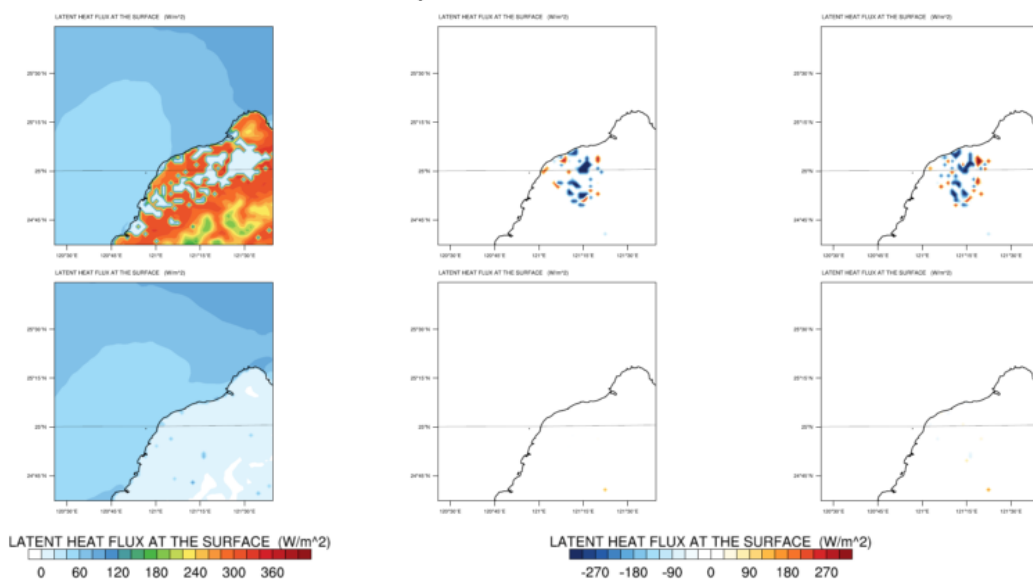


圖 2-6 晴朗個案下潛熱通量變化：1995 年(左)、2007 年-1995 年(中)、2015 年-1995 年(右)，上排為日間變化，下排為夜間變化。

Sunny Cases: HFX Difference

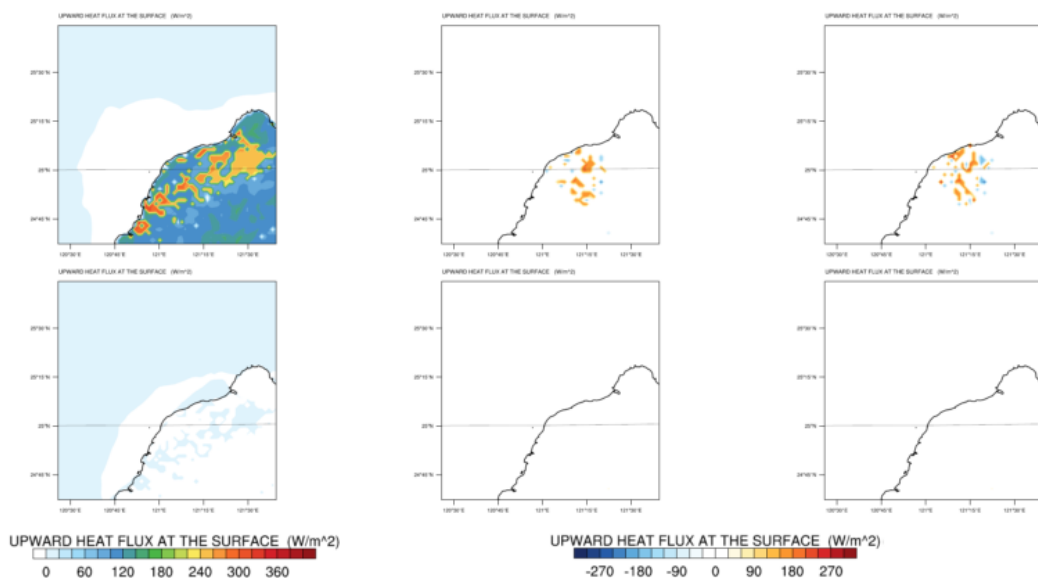


圖 2-7 晴朗個案下可感熱通量變化：1995 年(左)、2007 年-1995 年(中)、2015 年-1995 年(右)，上排為日間變化，下排為夜間變化

Sunny Cases: T2 Difference

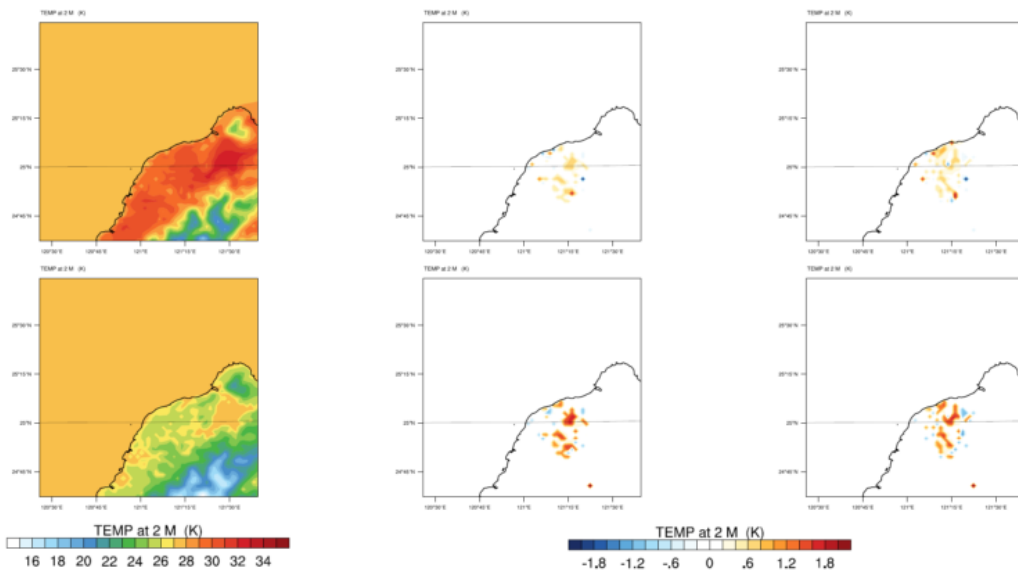


圖 2-8 晴朗個案下兩米高溫度場變化：1995 年(左)、2007 年-1995 年(中)、2015 年-1995 年(右)，上排為日間變化，下排為夜間變化

Sunny Cases: PBLH Difference

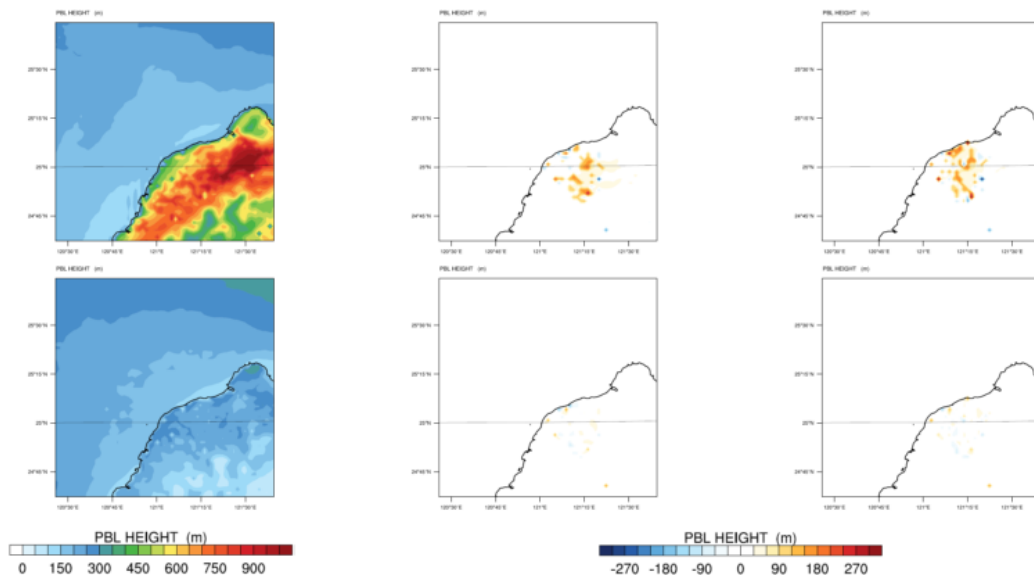


圖 2-9 晴朗個案下邊界層厚度變化：1995 年(左)、2007 年-1995 年(中)、2015 年-1995 年(右)，上排為日間，下排為夜間變化

Sunny Cases: Q2 Difference

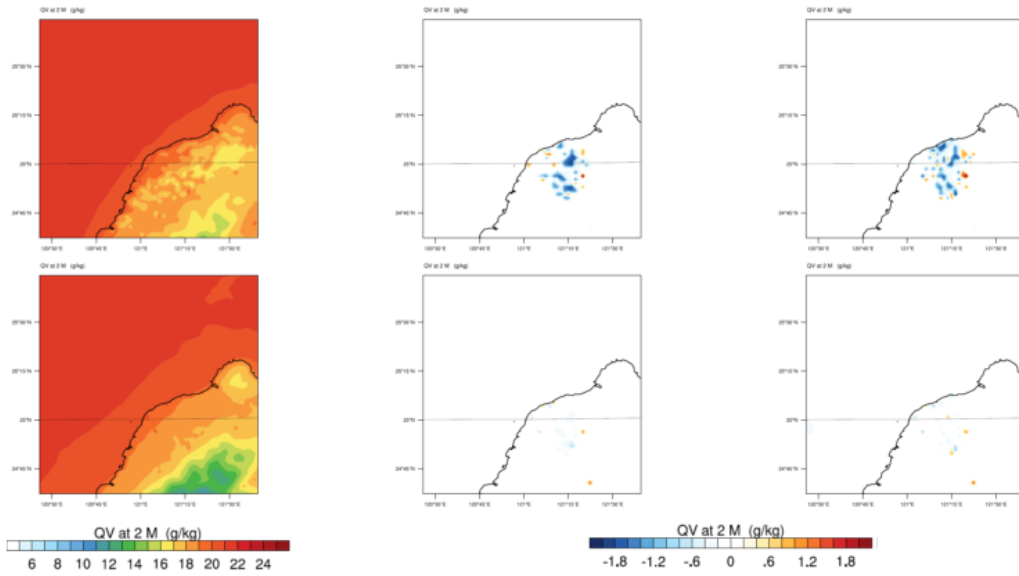


圖 2-10 晴朗個案下近地表混合比變化：1995 年(左)、2007 年-1995 年(中)、2015 年-1995 年(右)，上排為日間，下排為夜間變化

Sunny Cases: WIND Difference_DAY

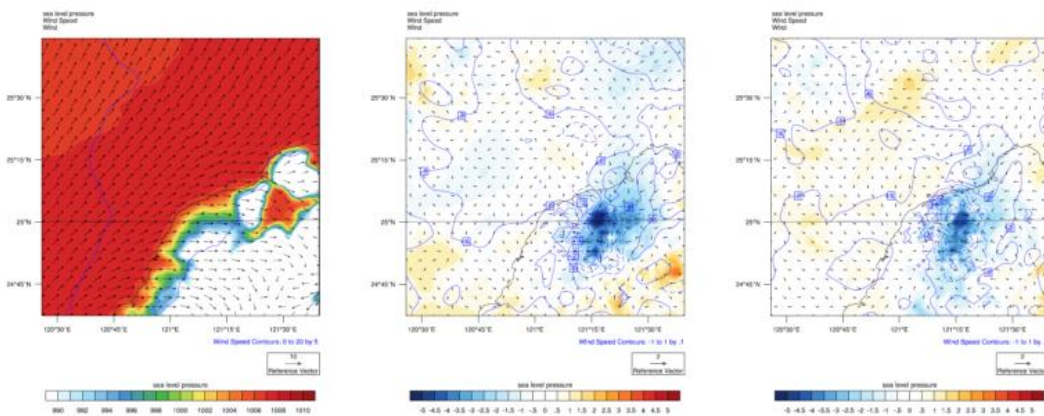


圖 2-11 晴朗個案下白天 10 米高風場及氣壓場變化：1995 年(左)、2007 年-1995 年(中)、2015 年-1995 年(右)

3、有雨條件個案

有雨條件個案下，能量收支及溫度場以及水氣場的改變與晴朗個案分布相似，惟受到平均雲量較多之影響，變化幅度較晴朗個案來的略小一些。降雨的部分，本研究針對午後降水(12L-18L)的空間分佈進行討論(詳圖 2-12 及圖 2-14)：我們可以發現到說，相對於 1995 年的土地利用，2007 及 2015 年的土地利用都市範圍擴大，在 12-14L 降水的平均強度有減少，範圍則往海邊擴散；14-16L 近都市區域降水增加，其餘地區降水則有減少的情形。16-18L 降水普遍減少，似乎呈現午後陣雨提早結束的樣態，可能與水氣場的來源減少有關。如果針對逐時不同降雨強度發生筆數做統計分析(詳圖 2-15 及圖 2-16)，可以發現到說：無論是用 2007 年或 2015 年的土地利用資料進行模擬，相較使用 1995 年的土地利用，在中午 12 點到下午 2 點間，10mm/hr 以下的中小雨有所增加，但 10mm 以上的大雨則有減少；下午 2 點到下午 4 點間，6mm/hr 以下的中小雨略有減少，但 6mm/hr 以上的大雨明顯增加；下午 4 點之後則無論大中小雨都有減少之趨勢。從此強度分布來看，午後降水在時間上似乎有更集中的變化。

95

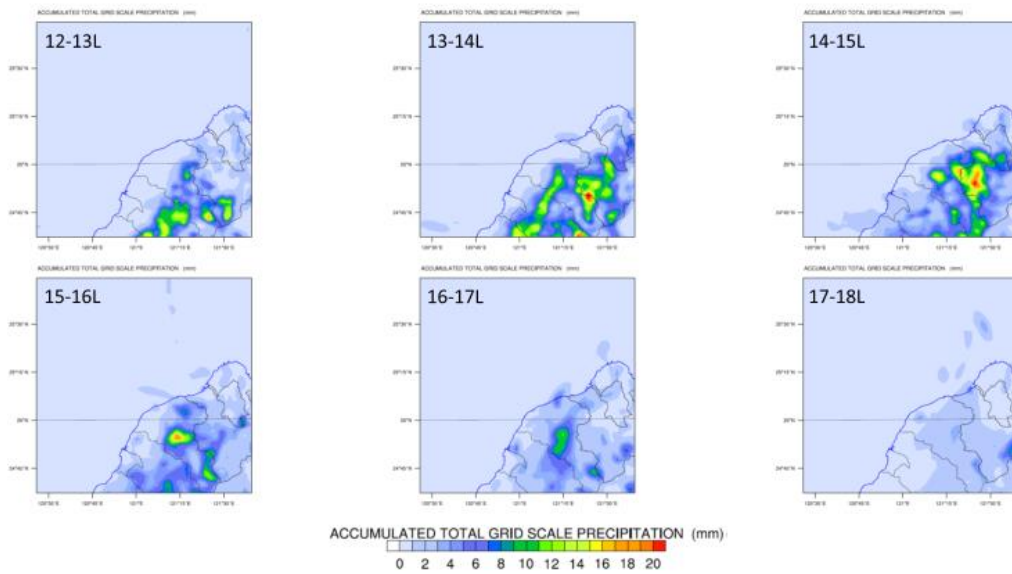


圖 2-12 有兩個案下，使用 1995 年桃園區土地利用資料進行模擬，下午 12L-18L 的逐時雨量空間分佈

07

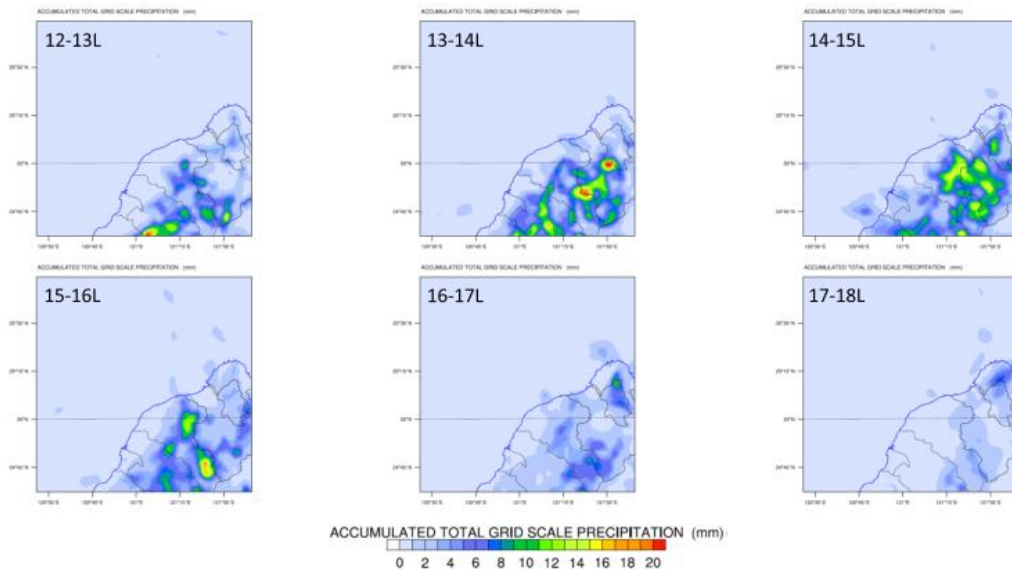


圖 2-13 有兩個案下，使用 2007 年桃園區土地利用資料進行模擬，下午 12L-18L 的逐時雨量空間分佈

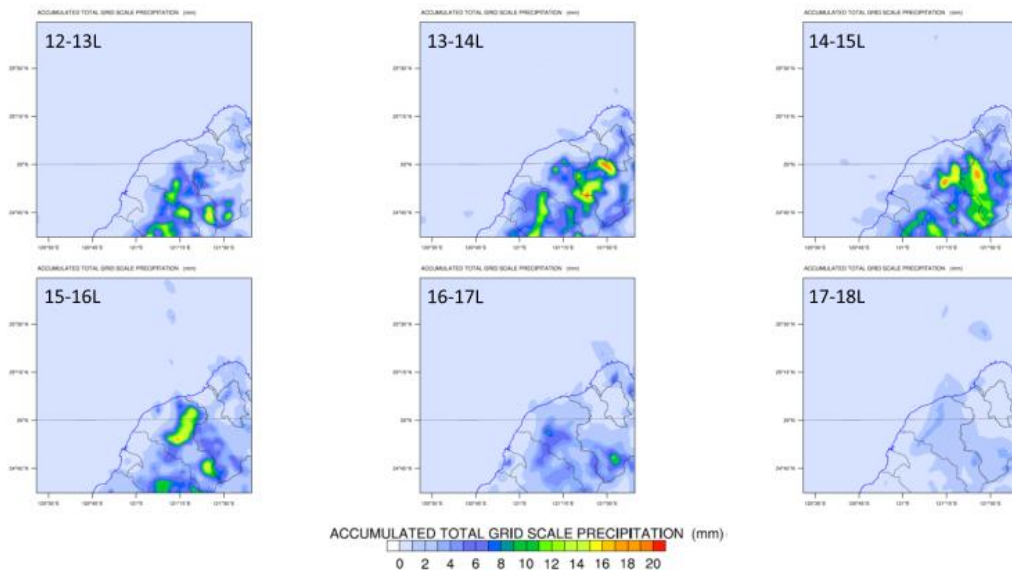


圖 2-14 有兩個案下，使用 2015 年桃園區土地利用資料進行模擬，下午 12L-18L 的逐時雨量空間分佈

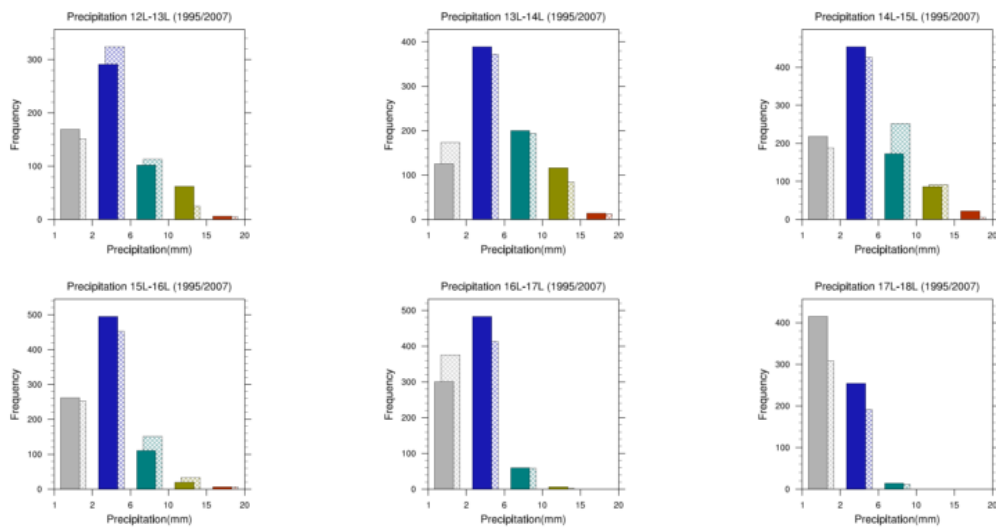


圖 2-15 有兩個案下，分別利用 1995 年(實心)及 2007 年(斜線)桃園區土地利用資料進行模擬，下午 12L-18L 的逐時雨量強度分佈

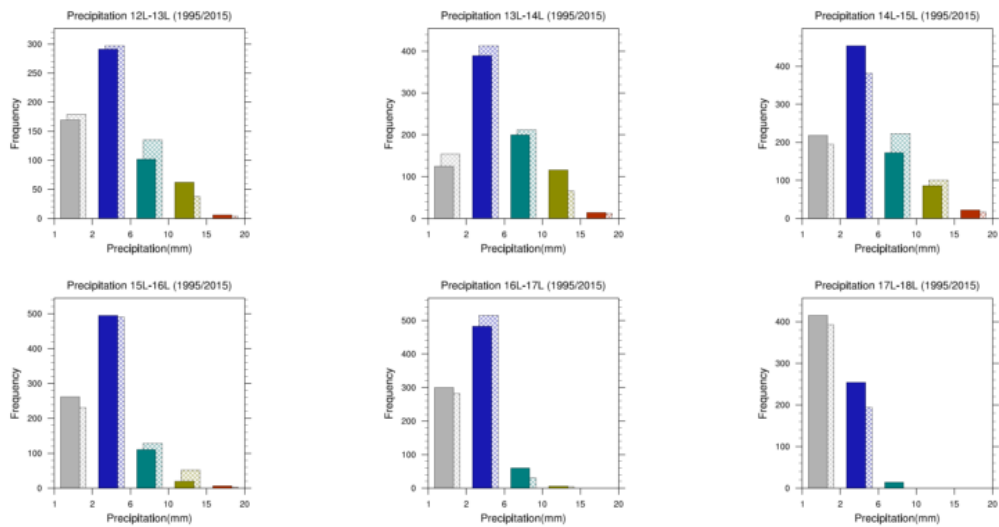


圖 2-16 有兩個案下，分別利用 1995 年(實心)及 2015 年(斜線)桃園區土地利用資料進行模擬，下午 12L-18L 的逐時雨量強度分佈

4、小結

本計畫目前的研究成果說明了，地表的變遷對於大氣降水是有潛在影響的，然而由於大氣的不確定性相當大，降水是否會受到地表變遷的影響以及影響有多大，是需要夠多的資料與模式結果來驗證的。同時也需要進一步量化土地利用改變的程度與降雨強度改變的關係，例如多少程度(面積、強度)的土地利用，可以讓當地以及局部地區的降水改變多少。這需要有一系列的模式實驗設計，以達到有信心的結果，像是人為的在數值模式以每 10% 的速度改變地表狀態，去探討改變後的降水改變量，這樣一來可以試著量化其土地變遷的影響。

同時目前所有的數值模擬實驗都是選定在 8 月份，根據農糧署的休耕地圖(詳圖 2-17)，在 8 月份時如果面臨缺水的情況時，桃園地區也是會休耕，也就是當地的二期稻作插秧時期。不過明年的計畫，會考慮探討一期稻作的時

期(3 月)的休耕對於春雨的影響，也是會從有下雨的個案選取，進行 WRF 模式的模擬。

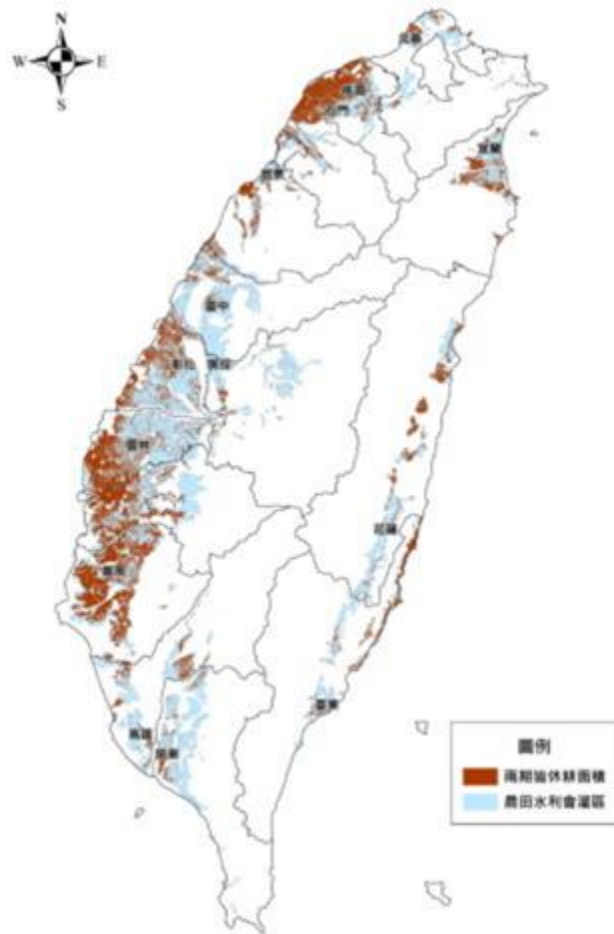


圖 2-17 2003 年的休耕情形(摘自農委會年報)

二、區域土地利用變遷與對流降雨強度關係之時間空間分析

傳統對於台灣地區的都市熱島與降雨關係的研究，在研究區的設定方面，有些研究以行政區為邊界，本計畫規劃探討都市擴張是否影響到都會區與鄰近相關區域的降雨以及水循環，因此在區域的選擇上選用行政院主計處訂定「中華民國統計地區標準分類」之「臺灣地區都會區分類」各都會區的涵蓋鄉鎮中，「所有流經這些鄉鎮的河川」之集水區總和作為該都會區的研究範圍。

主要針對台北市、新北市、基隆市及桃園市等幾個行政區進行探討。其中也將特別針對桃園都會區，尤其是在近幾年高度發展的地區進行長時間的空間統計分析，以進一步了解土地利用變遷、都市熱島強度、與對流降雨型態分析的研究。相關研究區的土地利用變化將利用衛星遙測資料，而為考量到地形效應，本計畫主要將針對海拔高度 1000 公尺以下的測站進行分析。在本計畫之中，會先以夏季對流降雨事件作為分析的對象。相關篩選方式主要會以挑選夏季月份弱綜觀事件的案例作為探討。

本計畫選用 1995 年至 2017 年之氣象及土地利用資料，結合歷史土地利用資料進行分析。而在未來情境的部分，將依據工作項目 2(第三章)及工作項目 3(第四章)所產製之未來土地利用分類情境進行分析。另外，將依據示範區域內氣象局局屬測站以及自動測站的資料進行後續時間空間分析以及對流降雨強度之空間統計。此外，在本計畫中，將進行地溫反演，相關資料將由美國 Landsat 衛星資料獲得。

(一) 研究理論假設

為了解析都市熱島以及土地利用對都會區以及相鄰區域降雨型態的影響，提出以下 3 項統計假說，以檢視在弱綜觀環境下，土地利用與對流降雨兩者的關聯程度：

1、假說一：由於都市的擴張會使地表建物面積增加，進而增加地表的可感熱通量排放，再加上人為熱源的排放，使都市上空的對流更有機會發展(Dixon & Mote, 2003; Salamanca et al., 2011; Zhao et al., 2014)。故都市擴張的情況下，推測都市上空對流會改變原來的環流系統，進而使降雨的空間分布發生變化。

2、假說二：台灣在弱綜觀環境下，帶來降雨的是當地的海陸風系統(Freitas, Rozoff, Cotton, & Dias, 2007)。因此，推測當都市擴張的情況發生，都市上空的對流會改變海陸風系統，進而改變對流降雨發生的區域。

3、假說三：台灣的都會區主要分布在盆地及平原兩大地形區。相較於平原區，盆地較為封閉，使盆地地區海風僅能從河口地區進入；平原區的開放環境則能讓海風不受限制的進入陸地。故，當降雨發生地區有集中的趨勢下，推測盆地地區受影響情況會較明顯，而平原區會因為有其他方向的海風進入，讓不是都市下風處的地方還能夠降雨，影響情況較不如盆地明顯。

在本計畫中，將針對過去桃園地區土地利用變遷進行分析，另外也將針對桃園地區長期夏季月份強降雨資料進行分析，主要分析年份最早自 1987 年開始，篩選的方式以上述的弱綜觀條件作為資料篩選原則。

(二) 對流個案篩選

都市熱島會提升都市地區的混合層高度，加強對流的發生。為了瞭解都市熱島對當地環流帶來多大影響，是否會改變對流系統，使降雨型態發生變化？本計畫以氣象局測站(含局屬測站與自動測站)所計算的混合層高度(mixing layer height)與舉升凝結高度(lifting condensation level) 得到的高度差，作為判斷該測站對流強度以及熱島強度指標。

由於混合層高度為整個大氣邊界層內，空氣垂直運動容易發生的最大範圍(Dixon & Mote, 2003)；而舉升凝結高度為空氣塊受到抬升後，水氣開始凝結的高度(Kandel, Melesse, &

Whitman, 2016; Williams et al., 2015)。因此可將測站的混合層高度視為對流雲容易發展到的最高高度；舉升凝結高度視為對流雲的雲底高度。相減之後所得之數值，用來估計測站上空的對流能發展到多高，藉此數值的變化代表來都市提供的熱能對於對流系統的改變程度。

為了瞭解降雨的空間分布，本計畫在事件篩選的方式為先將弱綜觀環境下發生降雨的日期挑選出來，用當日雨量站資料繪製該日的降雨分布圖。接著對該日的雨量分布圖切出網格，計算各網格的平均雨量。然後以空間自相關的方式，計算該日雨量分布圖的 Global moran's I 指標，用來檢視該日降雨的群聚狀況。

在本計畫分析的應變數的 Global moran's I 指標，僅能看出降雨型態在整個研究區中是否有集中情況，並不能回答降雨發生的地點是否發生在都市下風處。加上都市地區會隨時間不斷擴張，所以這邊將利用 Landsat 的衛星影像，辨識都會區內的土地利用狀況，將都會區分出各時期的都市地區、郊區、山區、鄉村、都市下風處。再對各分區進行不同時期雨量變化的比較，以瞭解該分區雨量的變化情形。

本計畫在這個部分，將針對混合層高度以及舉升凝結高度的變化進行處理。並以此做為強降雨事件的篩選方法。相關的方法在篩選上具有可靠度。示意圖如圖 2-18 所示。

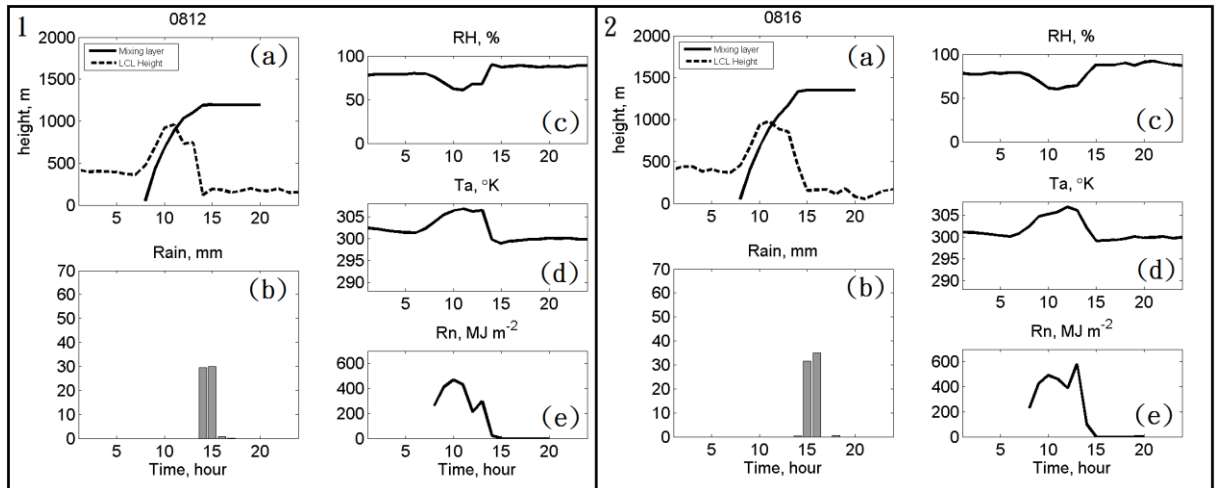


圖 2-18 針對氣象測站量測資料估算混合層高度以及舉升凝結高度，並做為篩選強降雨事件的條件。

(三) 統計檢定方法

對於本計畫 3 項假說的檢定，提出以下檢定方法，回答假說是否成立：

1、假說一:欲解釋都市熱島是否造成降雨空間型態的改變，將進行以下 3 種檢定:

(1) 空間型態是否改變：Robeson and Shein (1997)曾經使用空間自相關來探討風力與風速是否有空間上的相關性，以此推論風力及風速是否有隨距離遞減。因此，欲借用上述的研究方法，來探討每個時間的降雨是否有群聚的特徵。再利用各時期的 Global moran's I 指標，進行時間序列的分析，檢視群聚的情形是否有隨時間改變。

(2) 改變是否來自都市熱島：若 a 的結果中，群聚型態有改變，再利用 Global moran's I 指標與都市熱島指標進行迴歸分析，觀察其 r^2 值。接著進行係數的 t-test，檢視係數是否有統計上的顯著性。

(3) 降雨空間分布差異檢定：若只檢視 a 的結果，僅能看出群聚上的差異。當群聚程度一樣，但空間分布不一樣時，並不能被檢定出來。故再利用各網格不同時間的資料，檢定各網格是否有時間上的變化。

2、假說二：欲解釋都市熱島是否影響不同土地利用分區的降雨型態，進行以下 2 種檢定：

(1) 各地表使用分區改變程度：對各土地利用分區，進行一段時間內的降雨改變程度迴歸分析。接著比較在不同的期間的改變情形，對各時期的迴歸結果進行 Chow test 比較是否有顯著差異。Chow test 可用來測試兩組不同數據線性迴歸係數是否相等，而 Chow test 應用時間序列分析上則可檢驗結構性的變化存在與否(Chow, 1960)。

(2) 集水區受改變程度：對於集水區，進行一段時間內的降雨改變程度迴歸分析。接著比較在不同的期間的改變情形，對各時期的迴歸結果進行 Chow test 比較是否有顯著差異。說明都市熱島是否影響集水區的水資源

3、假說三：比較不同地形區的影響程度：將都會區分成盆地及平原兩組，將假說一及假說二的結果，分組進行 Chow test，檢定盆地地區受影響程度是否較大。

(四) 資料處理

在土地利用資料來源方面，一方面，將使用不同年份土地利用資料進行處理，另外為了同步比對不同時期土地利用資要，本計畫將利用遙測影響分析軟體 Envi (The

Environment for Visualizing Images, Envi), 進行土地利用辨識。由於未取得過去實際的土地利用實際勘查情形及其各類別的光譜反應值, 故採用非監督式分類, 其可以事先依據給定的類別數目及多個波段的影像灰度值, 利用數值迭代的方式將影像分類成特定個數的集合。

在分類工作上, 將用 K-means 的方式, 先指定較多的類別數, 待分類完成後再將數種集合予以合併成一類。優點為只需要考慮類別數目及所需之收斂狀況; 缺點為分類之決定完全取決於像元之特徵空間特性, 缺乏類別於空間分佈的特性考慮

在混合層高度計算方面, 參考 Juang et al. (2007) 提出之計算方式。為了測量混合層高度(Z_i)的時間變化, 整個混合層被視為 single slab, 忽略控制體積內的熱源及熱匯項(Dixon & Mote, 2003; Zhao et al., 2014), 並利用地表能量收支計算相對應的可感熱通量, 以計算各個時間相對應的混合層高度。在舉升凝結高度的計算上, 本計畫將利用測站所量測的溫度, 濕度進行計算。經由上述兩個氣象參數計算, 進一步針對各測站對流強度與降雨事件進行篩選。

(五) 土地利用與對流降雨空間統計分析

在土地利用與對流降雨空間統計分析方面, 本計畫由研究區內所有測站雨量資料篩選出事件之後, 針對其和相對應年份的土地利用類型進行空間分析。

繪製雨量分布圖常用地內插方法有反距離權重法(IDW)、克利金法(Kriging)等方法。IDW 法為利用它鄰近的已知點之數值來進行加權運算。距離已知點越近, 受已知點

影響程度越大，反之則越小。而 Kriging 法則假設空間並不完全隨機，以及完全的決定性。

謝惠紅等人(2006)利用以上兩種方法，對石門水庫集水區進行 84 年至 89 年夏季的雨量空間推估。經過交叉驗證後，發現 IDW 法所求的降雨空間分布優於 Kriging 法。因此建議在雨量站分布不多的地區，要推估夏季的雨量，以 IDW 法較為適用。由於本計畫主要探討弱綜觀環境下的降雨事件，大致類似謝惠紅等人(2006)的研究時間，故在計畫之中選用 IDW 法進行雨量空間分布圖處理。

在空間統計方面，本計畫將使用 Global Moran's I 方法進行處理。Global Moran's I 計算方式，主要來自於統計學相關係數的共變數(covariance)概念。當 $(x_i - \bar{x})$ 與 $(y_i - \bar{y})$ 兩組數同時為正，或為負時，則 $(x_i - \bar{x}) (y_i - \bar{y})$ 必為正，代表兩組數變化相同，或大部分方向相同，因此其為正相關。反之，為負相關。 $(x_i - \bar{x}) (y_i - \bar{y})$ 的大小，亦受 $(x_i - \bar{x})$ 與 $(y_i - \bar{y})$ 兩組數與其平均數變化有關，兩者均大、一大一小，或是兩者皆小，都會使得 $(x_i - \bar{x}) (y_i - \bar{y})$ 變化甚微，因此共變數的大小程度亦即代表兩組數的相關性大小。

藉由空間自相關的分析，可以知道空間現象是否有空間相依性。當每個地區與鄰近地區越相似，空間相依性高，存在空間正相關。反之，則為空間負相關。若空間上有顯著的正相關存在，則可以用來代表相似的空間型態有群聚的現象。

(六) 分析結果

1、桃園地區衛星資料的土地利用判識

在桃園地區衛星資料的土地利用判識方面，選用桃園市較低海拔區域的行政區作為研究對象(詳圖 2-19)，主要包括蘆竹、桃園、八德、大園、中壢、平鎮、觀音、新屋及楊梅等區。這些區域在過去數十年經歷了顯著的土地利用變化，為了探討其變化過程，本計畫以 Landsat 5 衛星資料擷取 1991 以及 2006 年的土地利用資料，同時以 Landsat 8 衛星資料擷取 2016 年土地利用資料進行分析。

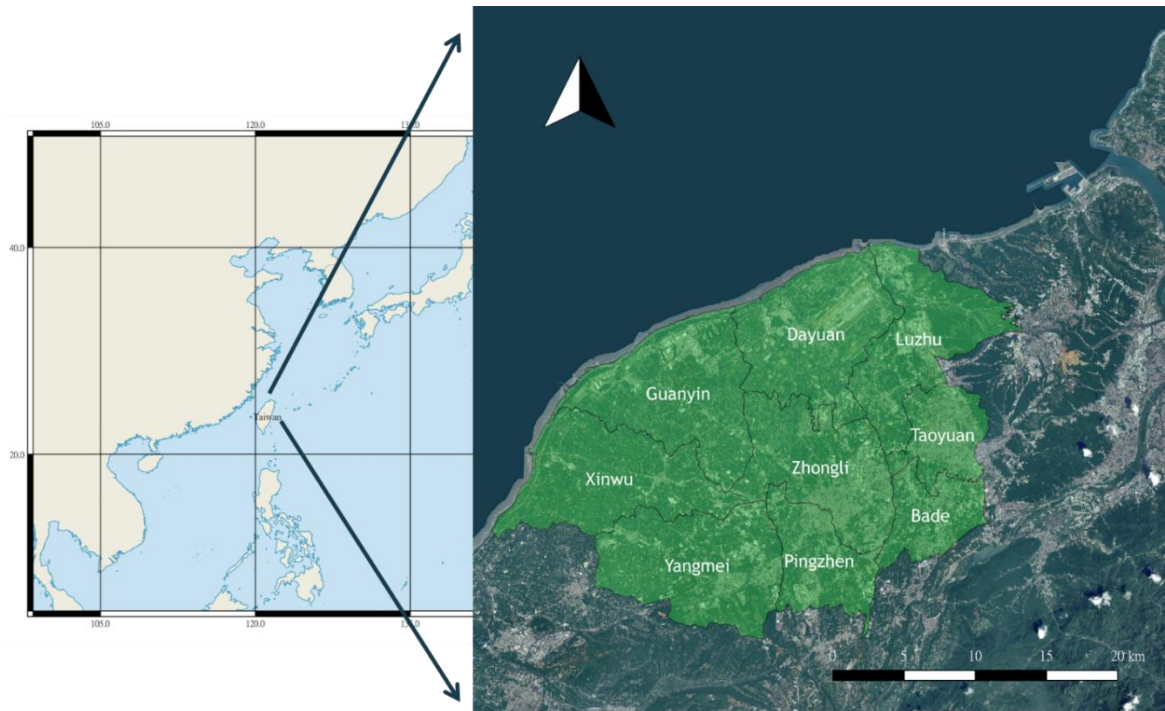


圖 2-19 桃園地區研究樣區範圍，包括蘆竹，桃園，八德，大園，中壢，平鎮，觀音，新屋以及楊梅區域

為了探討桃園地區土地利用的變化情形，整理上述三個年份(1991 年、2006 年及 2016 年)土地利用分布狀況，包括建成環境(built-up)，植被(vegetation)以及水體(water body)，並將 Landsat 衛星資料，以監督式分類方式進行土

地利用判識，相關空間分布整理於圖 2-20，相對應的面積以及個別所佔有的百分比，整理於表 2-4。

由圖 2-20 的空間分布圖可以發現，桃園地區的都市建成環境在 1991 年主要集中在沿海桃園機場附近相關區域以及靠內陸區域的中壢，桃園兩個主要的人口密集區域。而在 2006 年時，桃園區鄰近的八德和蘆竹區域呈現高度發展的趨勢。由表 2-4 的面積百分比變化可以看出，從 1991 年到 2006 年，研究區域內，桃園地區都市建成環境的面積大幅成長近 30%(13400 公頃變為 17422 公頃)，而相關的變化則顯示在植被以及水體面積的變少。而 2006 到 2016 之間，三種土地利用的變化幅度相對而言以趨於穩定。因此在 2006 年之前的土地利用變化，將會造成本研究區域內，熱力性質的改變，本計畫整理 1990 年至 2009 年桃園地區 8 月雨量空間分布資料，結果顯示桃園地區雨量也有改變。為了因應 WRF 模式處理所需，後續的土地覆蓋將轉換成 WRF 所使用的美國地質調查所 25 種土地利用分類類型作為處理分類。

表 2-4 1991 年、2006 年及 2016 年，桃園地區建成環境(built-up)，植被(vegetation)以及水體(water body)三種土地利用面積及面積百分比

土地分類	1991		2006		2016	
	面積 (公頃)	百分比	面積 (公頃)	百分比	面積 (公頃)	百分比
Built-up	13,400.28	21.70%	17,422.29	28.21%	16,783.65	27.18%
Vegetation	46,659.69	75.56%	42,813.99	69.33%	43,743.24	70.84%
Water Body	1,692.45	2.74%	1,516.14	2.46%	1,225.53	1.98%
Total	61,752.42	100%	61,752.42	100%	61,752.42	100%

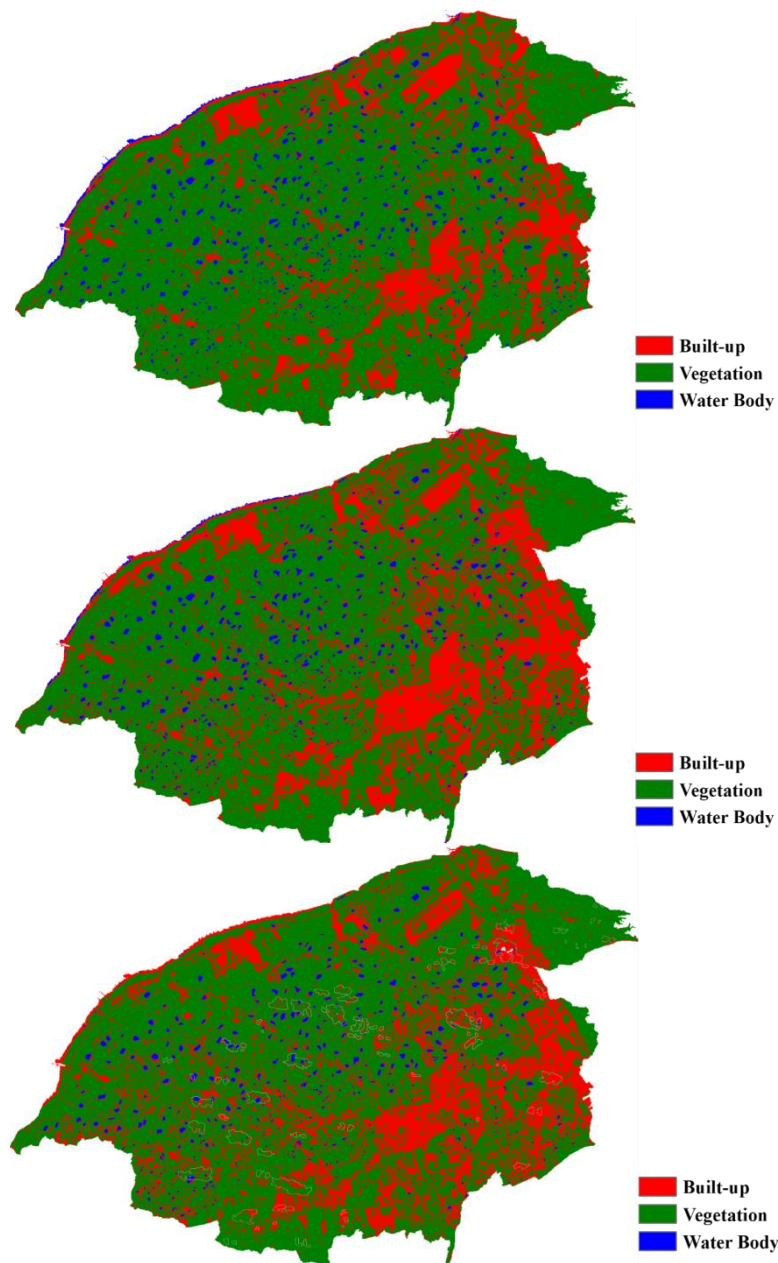


圖 2-20 研究區範圍內，1991 年(上)、2006 年(中)及 2016 年(下)桃園地區建成環境(built-up)、植被(vegetation)及水體(water body)三種土地利用空間分布

2、雨量測站空間分布圖

本研究使用 ESRI ArcGIS 10.5 軟體進行分析，桃園市高程資料採用政府資料開放平台之內政部 20 公尺網格數值地形模型資料，氣象測站資料取自大氣水文資料庫。研

究區範圍內中央氣象局局屬測站及自動測站空間分布如圖 2-21 所示，桃園市氣象測站共有 14 個氣象測站，分別是新屋、復興、桃園、八德、大園、觀音、蘆竹、大溪、平鎮、楊梅、龍潭、龜山、中壢以及大溪永福等 14 個測站，桃園市測站基本資料如表 1 所示。從圖 2-21 及表 2-5 中可得知桃園市氣象測站皆位於海拔 1000 公尺以下。大部分的測站位於海拔 200 公尺以下，僅復興測站位於海拔較高的位置。

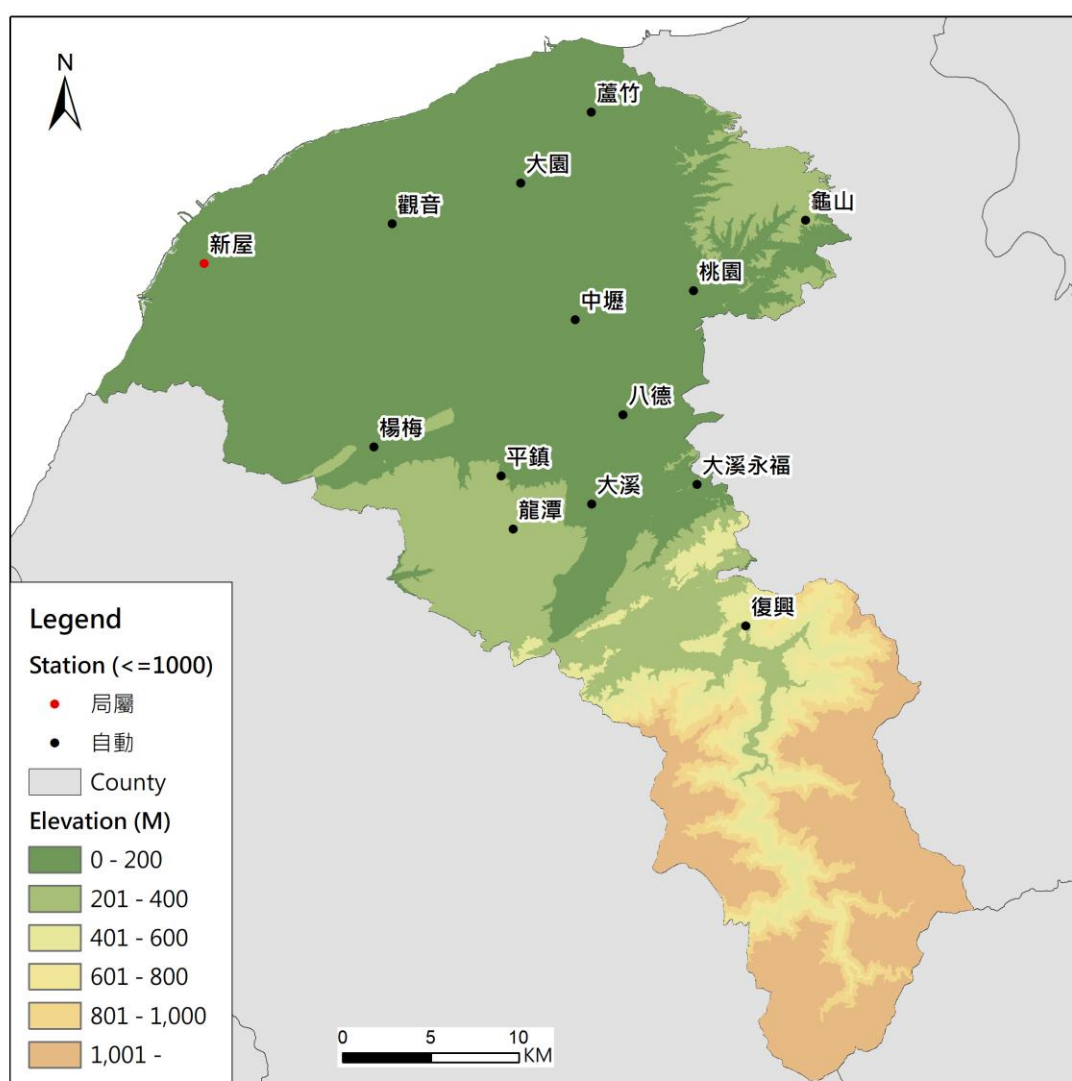


圖 2-21 桃園行政區氣象局局屬測站與自動測站空間分布圖

表 2-5 桃園市氣象測站基本資料測站位置

站號	站名	(WGS84)		高程 (m)	地址	資料起始日
		經度	緯度			
467050	新屋	121.048	25.0067	20.6	新屋區東興路二段 946 號	2013/7/1
C0C460	復興	121.352	24.8202	482	復興區澤仁里中正路 248 號(介壽國民中學內)	1987/6/1
C0C480	桃園	121.323	24.9924	105	桃園區成功路二段 144 號(桃園高級農工職業學校校園內)	1987/6/1
C0C490	八德	121.283	24.9287	157	八德區興仁里中山路 94 號(八德國民小學校園)	1987/6/12
C0C540	大園	121.226	25.0478	46	大園區埔心里中正東路 1 段 189 巷 35 號(埔心國小)	1995/7/1
C0C590	觀音	121.153	25.0271	72	觀音區廣福里 10-42 號(逸福農場)	2007/10/1
C0C620	蘆竹	121.266	25.0843	19	蘆竹區坑口里 14 鄰旁	2007/10/1
C0C630	大溪	121.266	24.8829	209	大溪區員林路 2 段 450 號(員樹林國小校園內)	2007/12/1
C0C650	平鎮	121.215	24.8975	208	平鎮區中豐路山頂段 375 巷 45 號(山豐國小)	2007/11/30
C0C660	楊梅	121.143	24.9124	176	楊梅區金華街 100 號(楊心國小)	2013/8/1
C0C670	龍潭	121.221	24.8701	250	龍潭區中興路 726 號(龍潭消防分隊)	2014/4/1
C0C680	龜山	121.387	25.0285	228	龜山區文化一路 250 號(國立體育大學田徑場)	2017/4/6
C0C700	中壢	121.256	24.9777	151	中壢區成章四街 120 號(內壢高中樓頂)	2017/12/27
C0C710	大溪永福	121.325	24.8929	143	大溪區信義路 1165 號(永福國小)	2018/12/26

資料來源：大氣水文資料庫(<https://e-service.cwb.gov.tw/wdps/obs/state.htm>)

3、測站與土地利用分布圖

桃園市土地利用圖資採用內政部國土測繪中心於1996年之國土利用調查資料，而國土利用調查分類系統採層級式樹狀結構，共分為3級。2006至2015年度，為依據內政部民國95年訂定「土地使用分類系統表」辦理至第3級分類作業，第1級分為9大類(農業、森林、交通、水利、建築、公共、遊憩、礦鹽及其他)。

本研究將土地使用分類合併為四大項，分別為農業、森林(包含森林及)、水體以及建成(包含交通、建築、公共、礦鹽及其他)。研究範圍土地利用圖如圖2-22所示。桃園市氣象測站位置之土地利用類型如表2-6所示，可得知除了新屋、大園、蘆竹測站為農業使用土地，其餘測站皆為建成使用土地。

表 2-6 桃園市氣象測站之土地利用分類

站號	站名	土地利用分類	站號	站名	土地利用分類
467050	新屋	農業	C0C630	大溪	建成
C0C460	復興	建成	C0C650	平鎮	建成
C0C480	桃園	建成	C0C660	楊梅	建成
C0C490	八德	建成	C0C670	龍潭	建成
C0C540	大園	農業	C0C680	龜山	建成
C0C590	觀音	建成	C0C700	中壢	建成
C0C620	蘆竹	農業	C0C710	大溪永福	建成

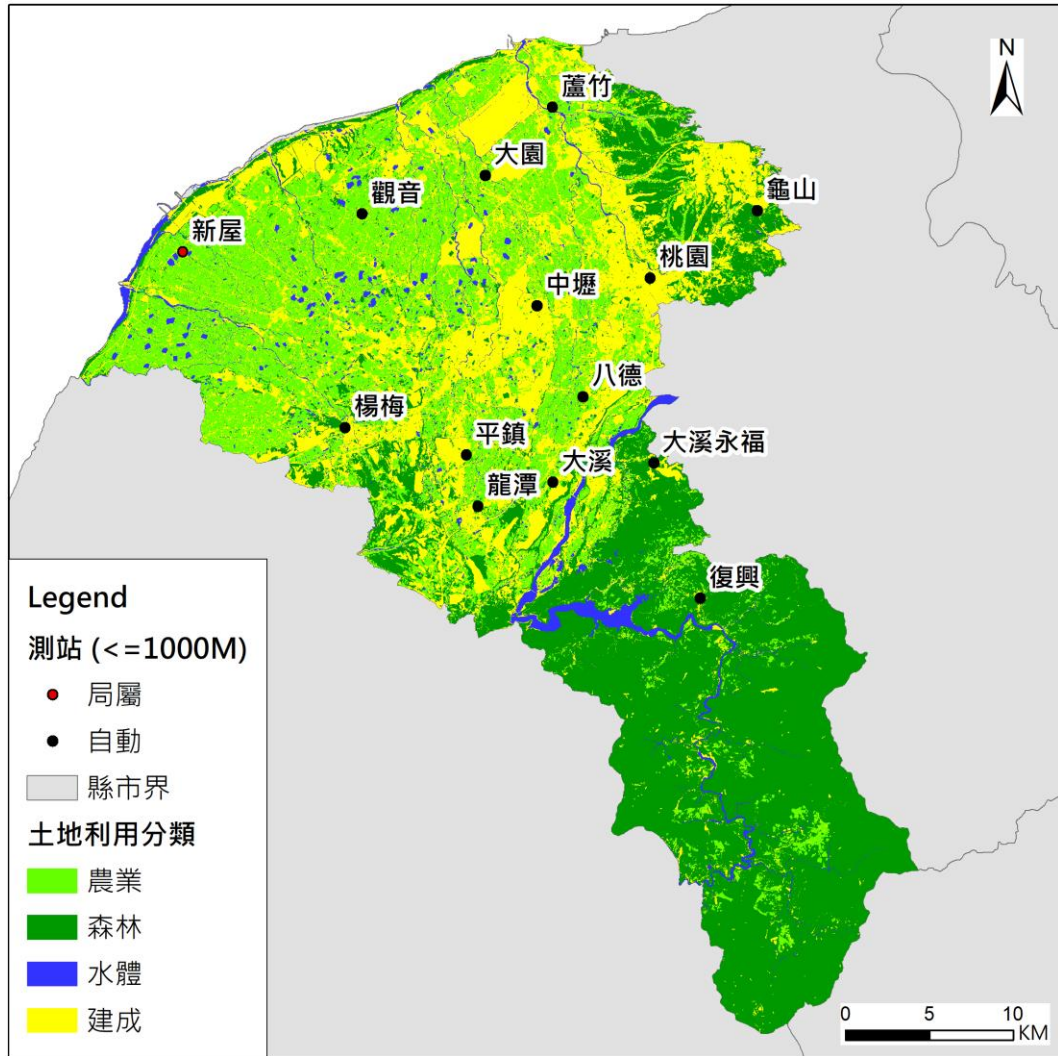


圖 2-22 桃園行政區土地利用分布圖

4、桃園市氣象測站年雨量變化圖與夏季雨量變化圖

桃園市雨量資料取自大氣水文資料庫。其原檔案類型為文字文件檔案，本研究使用 Python 進行雨量資料整理與統計分析。本研究將桃園市氣象測站雨量資料收集概況整理如表 2-7 所示，桃園市 14 個氣象測站資料收集資料的時間不一，最早由 1987 年開始收集雨量資料。

表 2-7 桃園市氣象測站雨量資料概況

測站	站號	資料 起始日	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
新屋	467065	2013/7/1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○	○
復興	C0C460	1987/6/1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
桃園	C0C480	1987/6/1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
八德	C0C490	1987/6/12	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
大園	C0C540	1995/7/1	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
觀音	C0C590	2007/10/1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
蘆竹	C0C620	2007/10/1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
大溪	C0C630	2007/12/1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
平鎮	C0C650	2007/11/30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
楊梅	C0C660	2013/8/1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○	○
龍潭	C0C670	2014/4/1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○
龜山	C0C680	2017/4/6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○
中壢	C0C700	2017/12/27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○
大溪 永福	C0C710	2018/12/26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

註：“-” 無雨量資料；“○” 有雨量資料

(1) 年雨量變化

由桃園市 14 個氣象測站雨量資料所統整繪製出之園市氣象測站年雨量變化圖 2-23 所示。桃園市測站中之大溪永福測站 C0C710 是於 2018/12/26 開始記錄雨量，由於資料數不足，因此沒有呈現大溪永福測站的資料。從年雨量變化圖可以看出復興測站 C0C460 的年雨量都比其他測站高，年雨量約為 2800 毫米，又復興測站位於海拔 482 公尺處，可得知海拔較高的地區降雨量明顯多於低海拔地區。大部分的測站年雨量約為 1600 毫米。

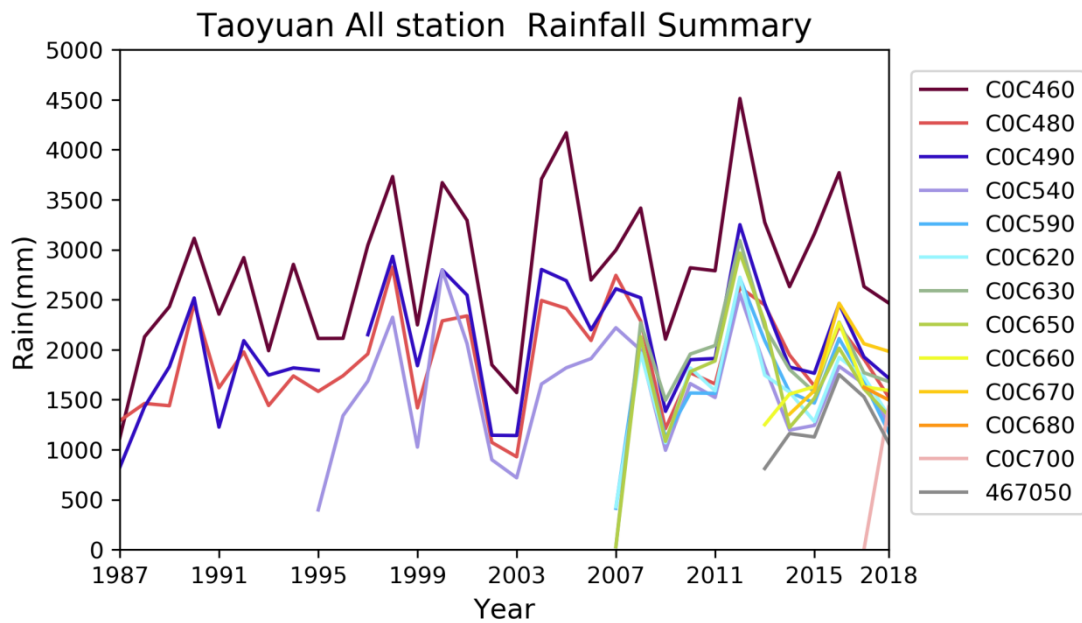


圖 2-23 桃園市氣象測站年雨量變化圖

(2) 桃園市氣象測站各測站年雨量變化

桃園市 14 個氣象測站雨量資料之測站年雨量變化如圖 2-24 所示。由於大溪永福測站 C0C710 是於 2018/12/26 開始記錄雨量，因雨量資料不足，因此沒有無法呈現大溪永福測站的年雨量變化圖。

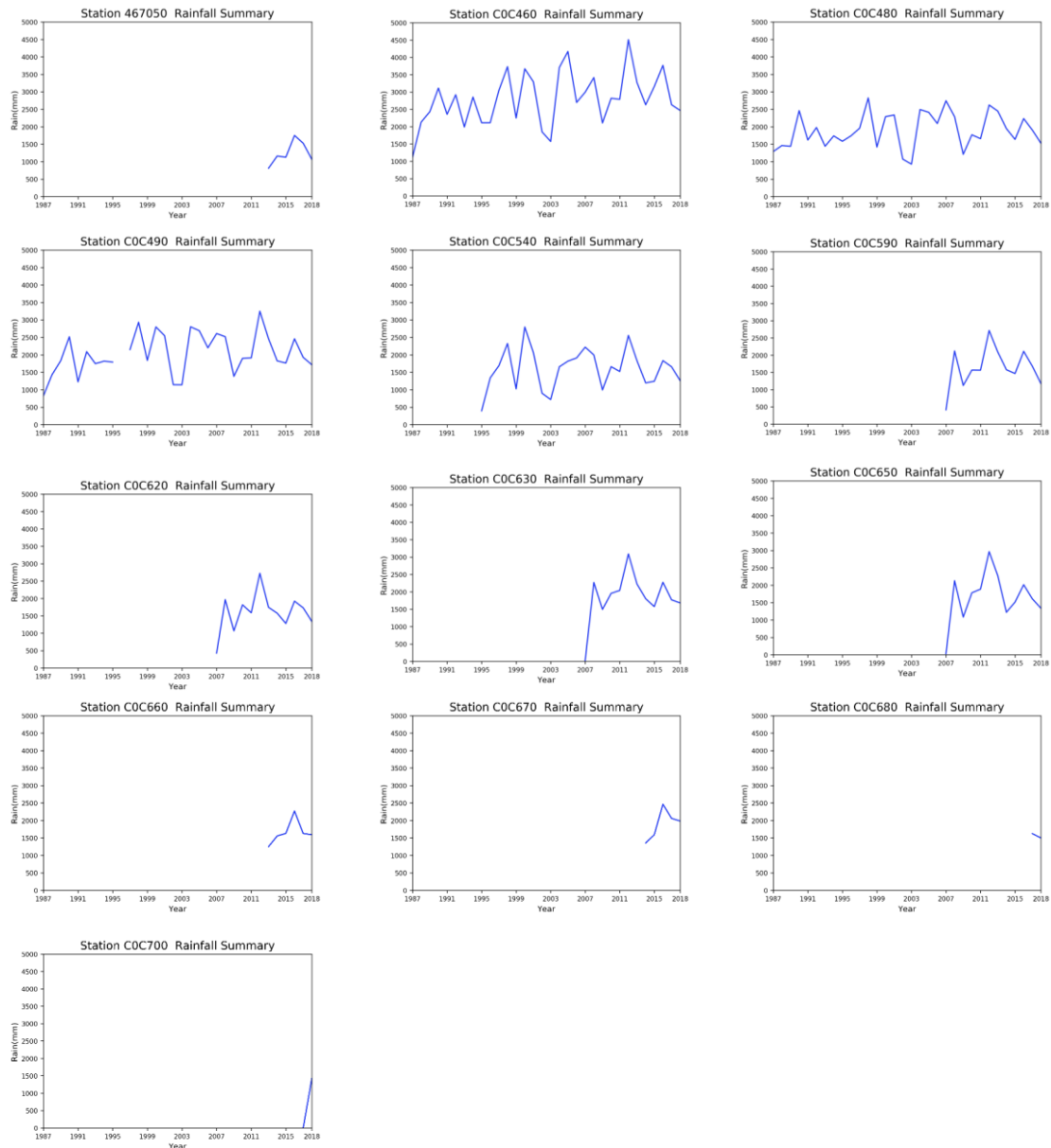


圖 2-24 桃園市各氣象測站年雨量變化圖

(3) 夏季雨量變化圖

本研究設定的夏季月份是指 6 月至 9 月，共 4 個月，而桃園市 14 個氣象測站之夏季月份雨量變化如圖 2-25 所示。桃園市測站中之中壢測站 C0C700 及大溪永福測站 C0C710 分別是於 2017/12/27 及 2018/12/26 開始記錄雨量，由於資料此兩站無夏季月份雨量資料，因此無法呈現兩測站的資料。從夏季月份雨量變化圖可以看出復興測站 C0C460 的夏季雨量都比其他測站高，降雨量約有 1500 毫米，其他測站夏季雨量約為 800 毫米。

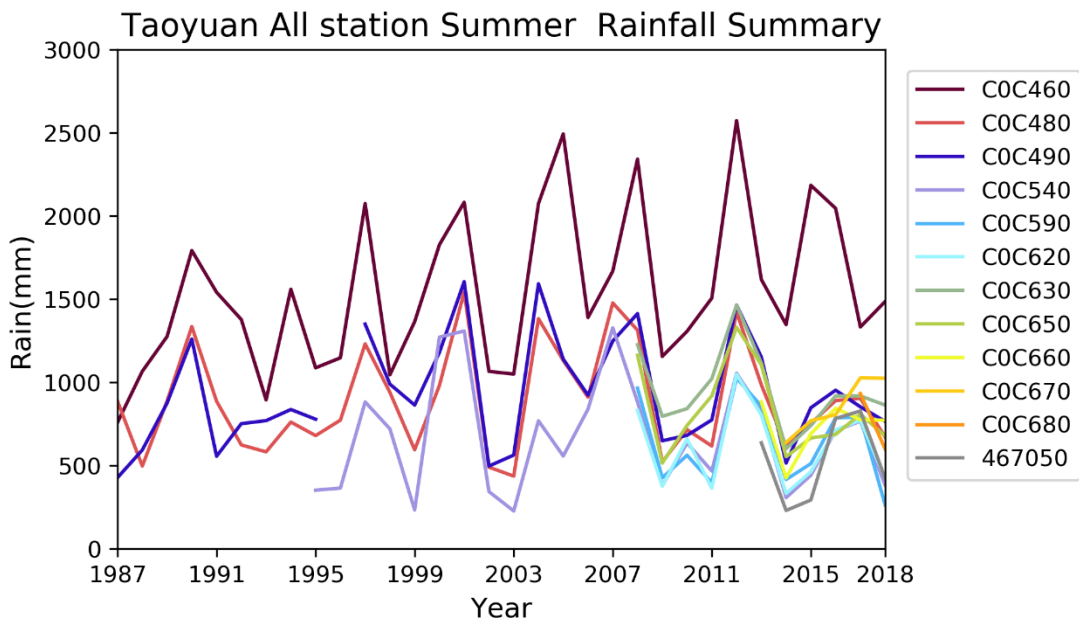


圖 2-25 桃園市氣象測站夏季月份雨量變化圖

(4) 桃園市氣象測站各測站夏季月份雨量變化

本研究將桃園市 14 個氣象測站夏季月份雨量資料統整各自繪製出其測站夏季月份雨量變化圖，如圖 2-26 所示。由於中壢測站 C0C700 及大溪永福測站 C0C710 分別是於 2017/12/27 及 2018/12/26 開始記錄雨量，因此沒有無法呈現中壢測站與大溪永福測站此兩個氣象測站的夏季月份雨量變化圖。

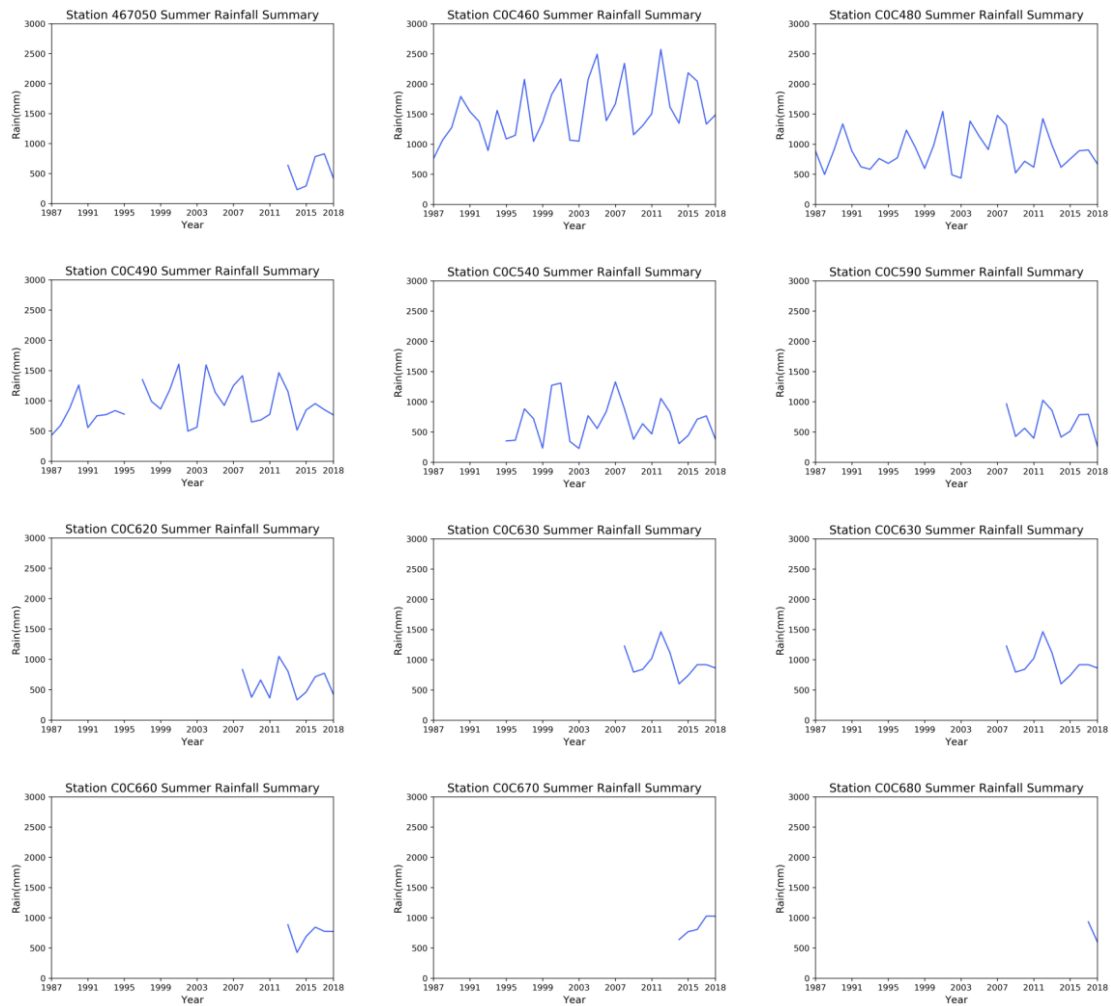


圖 2-26 桃園市各氣象測站夏季月份雨量變化圖

(5) 桃園市年雨量及夏季月份雨量內插分析

繪製雨量分布圖常用的內插方法主要以反距離權重法(IDW)之內差方法進行處理。IDW 法為利用它鄰近的已知點之數值來進行加權運算，距離已知點越近，受已知點影響程度越大，反之則越小。

桃園市氣象測站之雨量資料在 1987 年時僅有 3 個氣象測站運作(詳表 2-7)，而在 2007 年時已有 8 個測站紀錄雨量資料，因此進行內插分析推估桃園市每年的降雨量空間分布以及每年夏季月份降雨量空間分布時，取用 2007 年至 2018 年，共 12 年的雨量資料進行分析。

雨量資料中，由於中壢測站 C0C700 是 2017/12/27 開始記錄雨量資料、大溪永福測站 C0C710 是 2018/12/26 開始記錄雨量資料，從時間尺度上來說資料量不足，會影響一整年的分析結果。於是本研究在進行 2017 年的年雨量內插分析時，將中壢測站資料忽略；處理 2018 年年雨量內插分析時，將大溪永福測站資料忽略。每年的降雨量空間分布如圖 2-27 至圖 2-28 所示；每年夏季月份降雨量空間分布如圖 2-29 至圖 2-30 所示。

觀察發現降雨量在越高海拔地區降雨量越高，顯示了桃園市雨量受地形影響較大。內插分析方法在歷年的分析結果相近。此外，不論在全年或是夏季月份，可以顯現出較早的年份，平地較靠內陸的測站，如八德，桃園等地的測站，均顯示相較於其他測站較高的雨量，然而在較近年的年份，這部分空間差異的特徵則較不明顯。其顯示出桃園地區平地測站降雨的熱點有隨著時間演變呈現重心轉移。

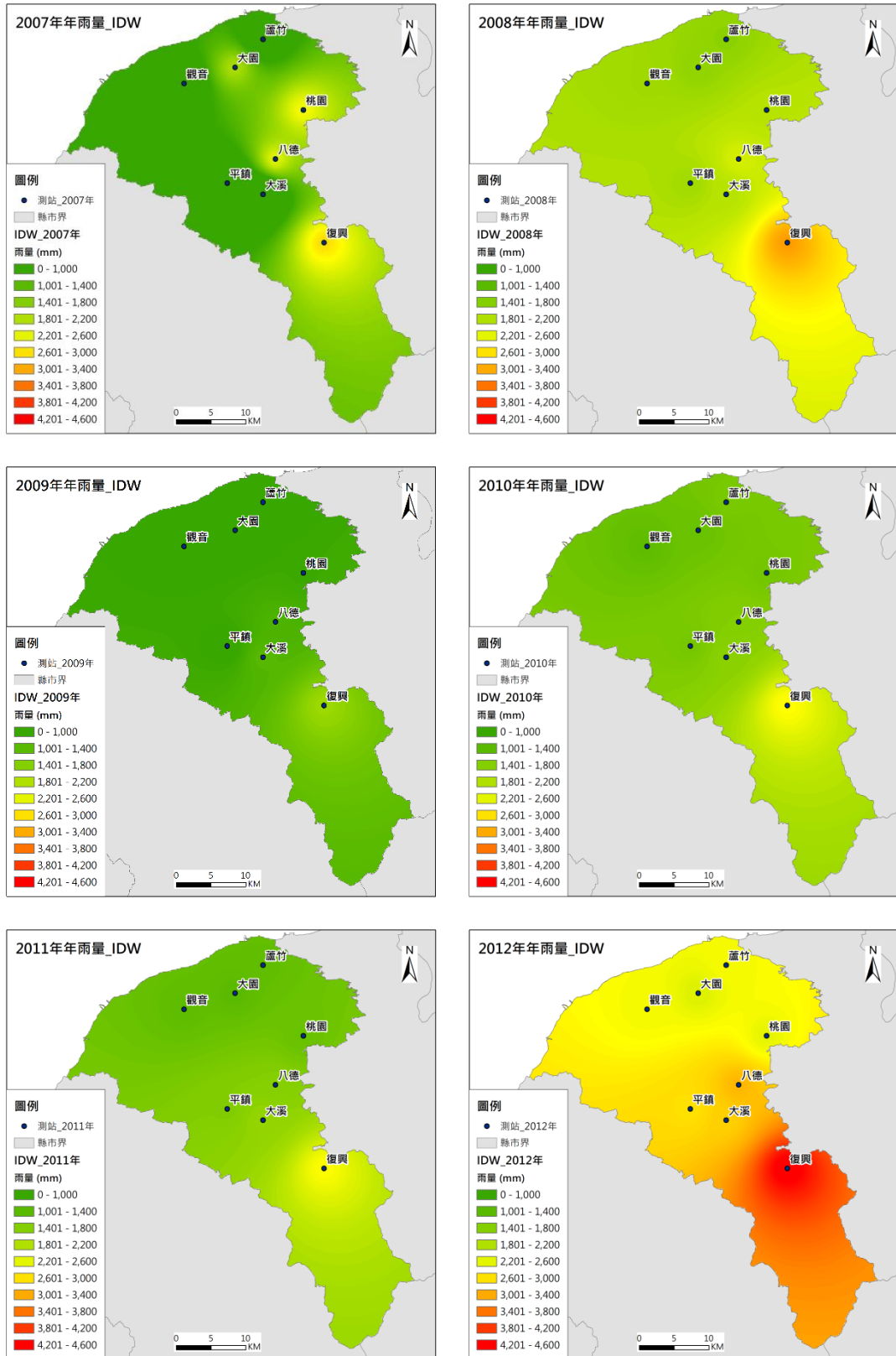


圖 2-27 2007 至 2012 桃園年雨量內插分析圖

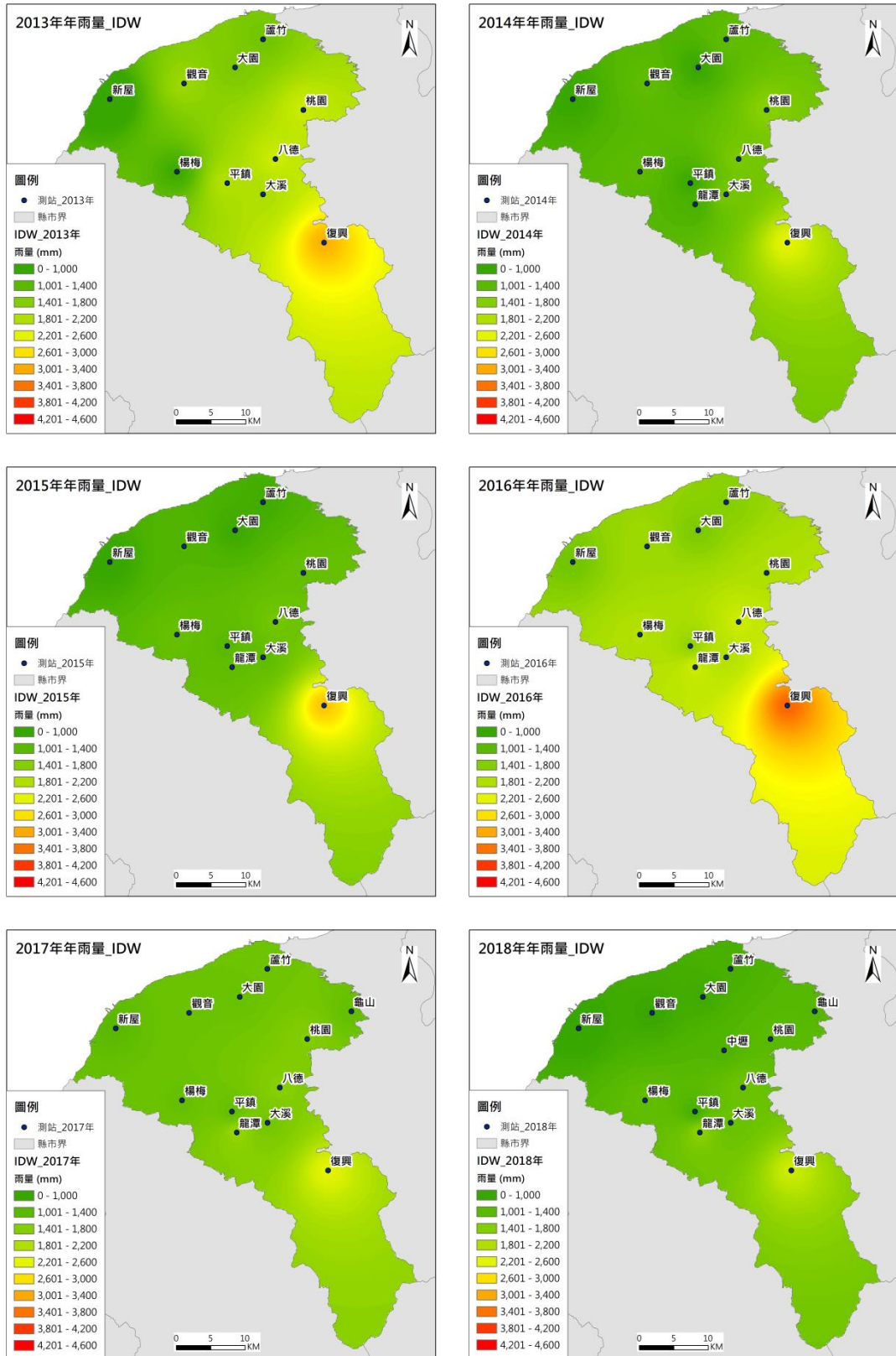


圖 2-28 2013 至 2018 桃園年雨量內插分析圖

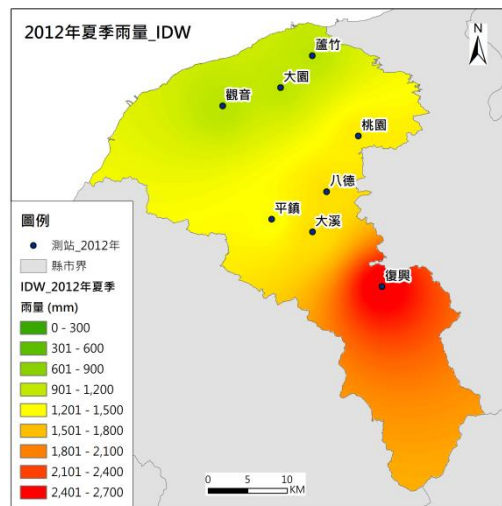
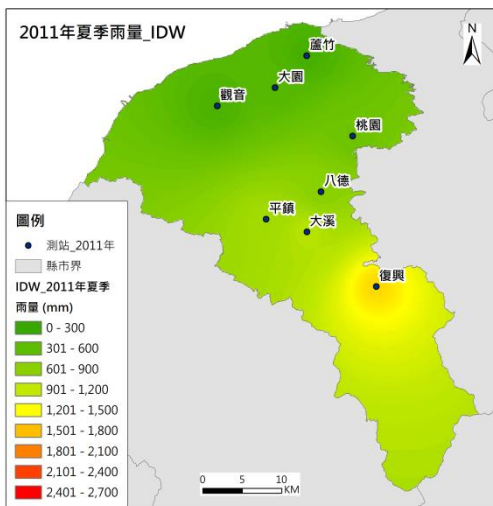
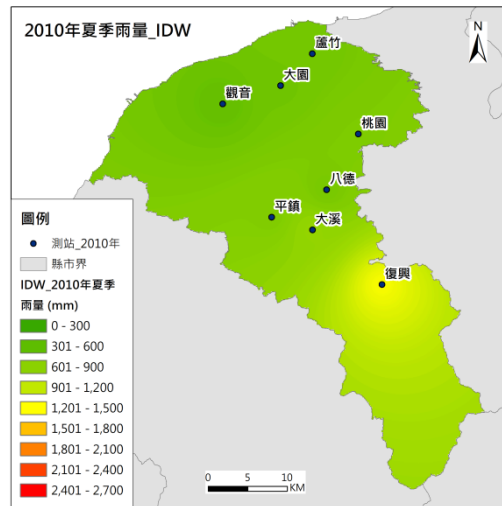
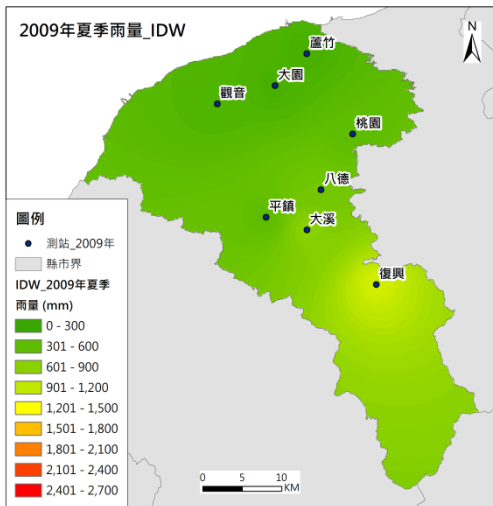
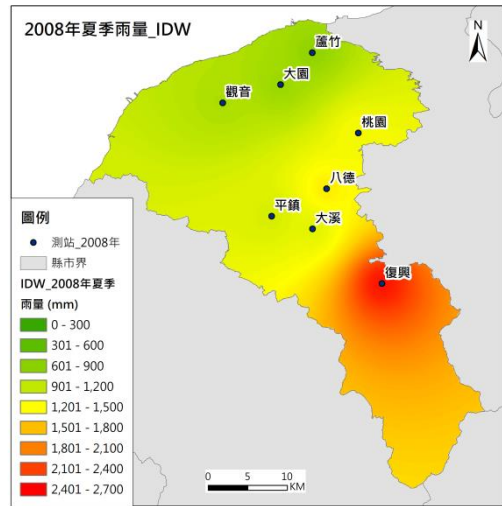
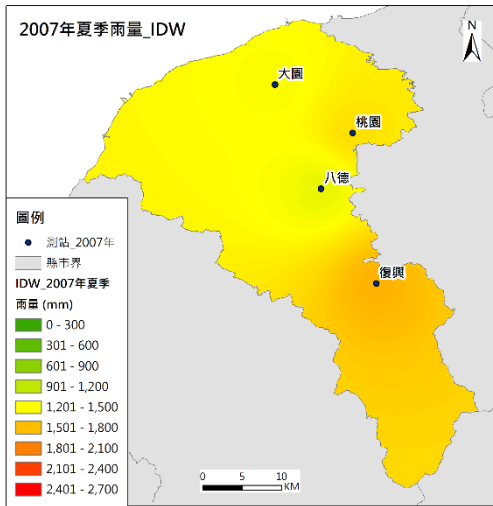


圖 2-29 2007 至 2012 桃園夏季月份雨量內插分析圖

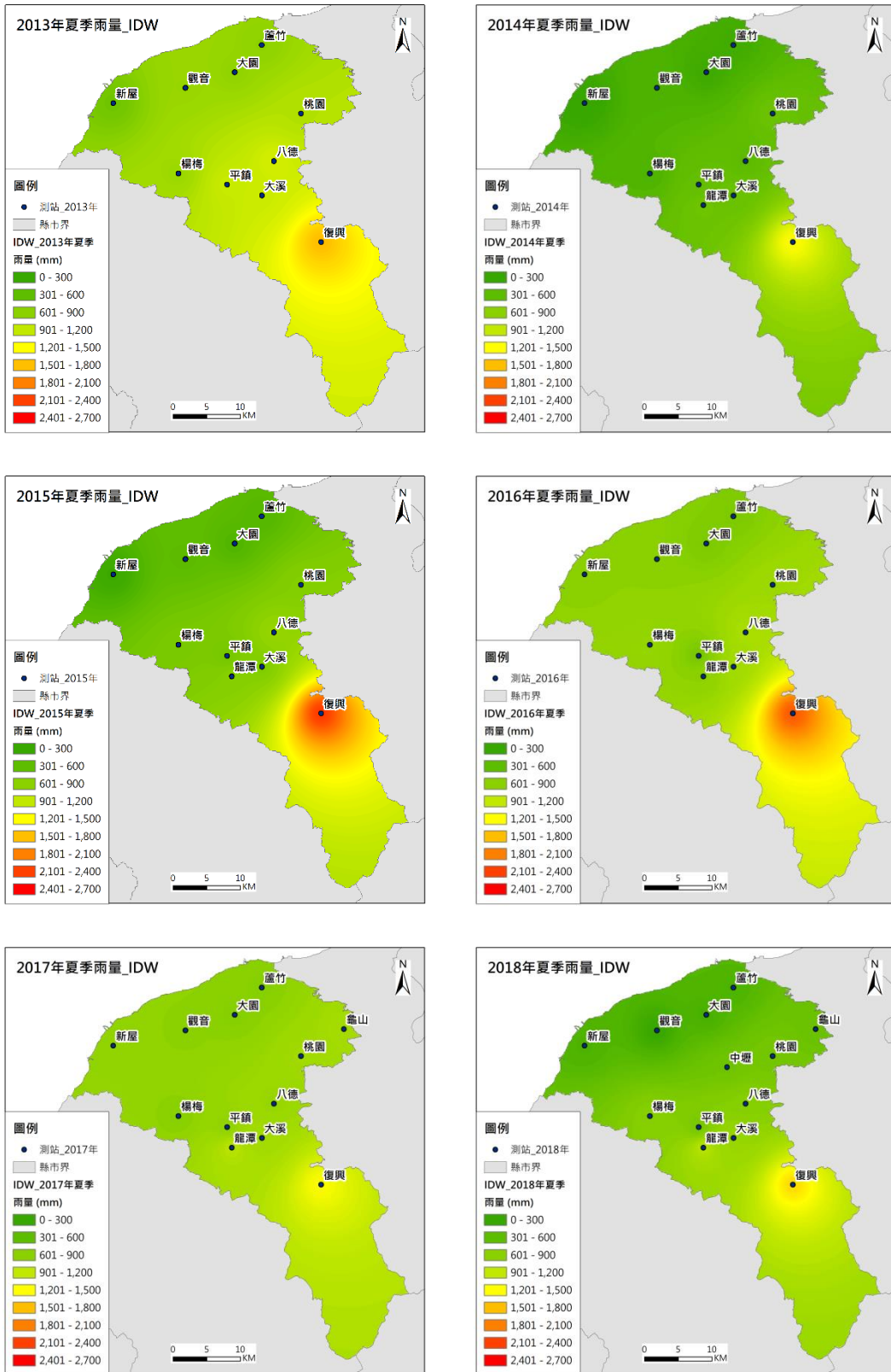


圖 2-30 2013 至 2018 桃園夏季月份雨量內插分析圖

5、弱綜觀事件篩選空間特徵

為了瞭解桃園地區在長期趨勢下，夏季對流強降雨雨量變化特徵，本計畫針對桃園地區三個測站的資料進行長期趨勢分析。主要挑選的測站包括八德測站，大園測站，以及楊梅測站。在地理特徵上，三個測站皆屬於平地測站，但是在空間分布上，八德佔較靠近內陸丘陵地邊緣，大園測站在空間位置上最靠海。而楊梅測站的地理位置介於適中的位置，但與上述八德與大園測站相比，較靠桃園地區西側。在分析的年分上，主要分析的年分自 1998 年到 2017 年 20 年間的相關資料。

在事件篩選方面，特別針對夏季弱綜觀事件進行篩選，並排除較大的氣象系統影響，如颱風，或是明顯地高壓系統日期，所挑選出地事件主要都由區域的海陸風系統以及地面熱力性質所控制。挑選的月份為 1998 至 2017 年每年地 6 月至 9 月四個月期間之資料。

在結果方面，圖 2-31 為上述三個氣象局測站在 1998 至 2017 年夏季月份弱綜觀條件下對流降雨事件單次降雨強度長期變化趨勢圖。由圖中可以發現。八德站夏季強降雨事件單次強度隨著時間，有逐漸變小的趨勢。而大園站和楊梅站在強降雨事件單次強度的變化趨勢上，隨著時間則會有逐步加強的趨勢。由相關結果可以看出。桃園地區夏季強降雨事件單次降雨強度在靠近內陸以及東側地區，有逐漸下降的趨勢，而整個強降雨的強度變化趨勢，有往海岸線以及西側地區移動的特徵。這部分顯示，在桃園地區。由於長時間土地利用地改變，會使夏季弱綜觀強降雨事件的熱點由內陸東側地區往沿海西側地區移動的趨勢。

此外，為了解弱綜觀情況下，桃園地區夏季強降雨事件總雨量的貢獻量，針對上述三個測站，分析其 1998 至 2017 年夏季月份弱綜觀條件下對流降雨事件總雨量與年雨量比例長期變化

趨勢，如圖 2-32 所示。由圖中可看到，八德站夏季強降雨事件佔年雨量的比例(約 0.12)相較於另外兩個測站(大園約 0.06，楊梅約 0.09)而言，平均值較高。但是其長期趨勢，是呈現逐年下降的特徵，而大園測站以及楊梅測站，都呈現逐年逐步上升的趨勢。相關的趨勢圖顯示，桃園地區夏季對流強降雨事件在年雨量的貢獻量上，其熱區也逐年由內陸東側區域往西側或沿海地區移動。

上述相關趨勢顯示，桃園地區長期土地利用的變化，使得整體地區的強降雨事件無論是在單次降雨強度或是總降雨量的貢獻上，都呈現重心移轉的特徵。

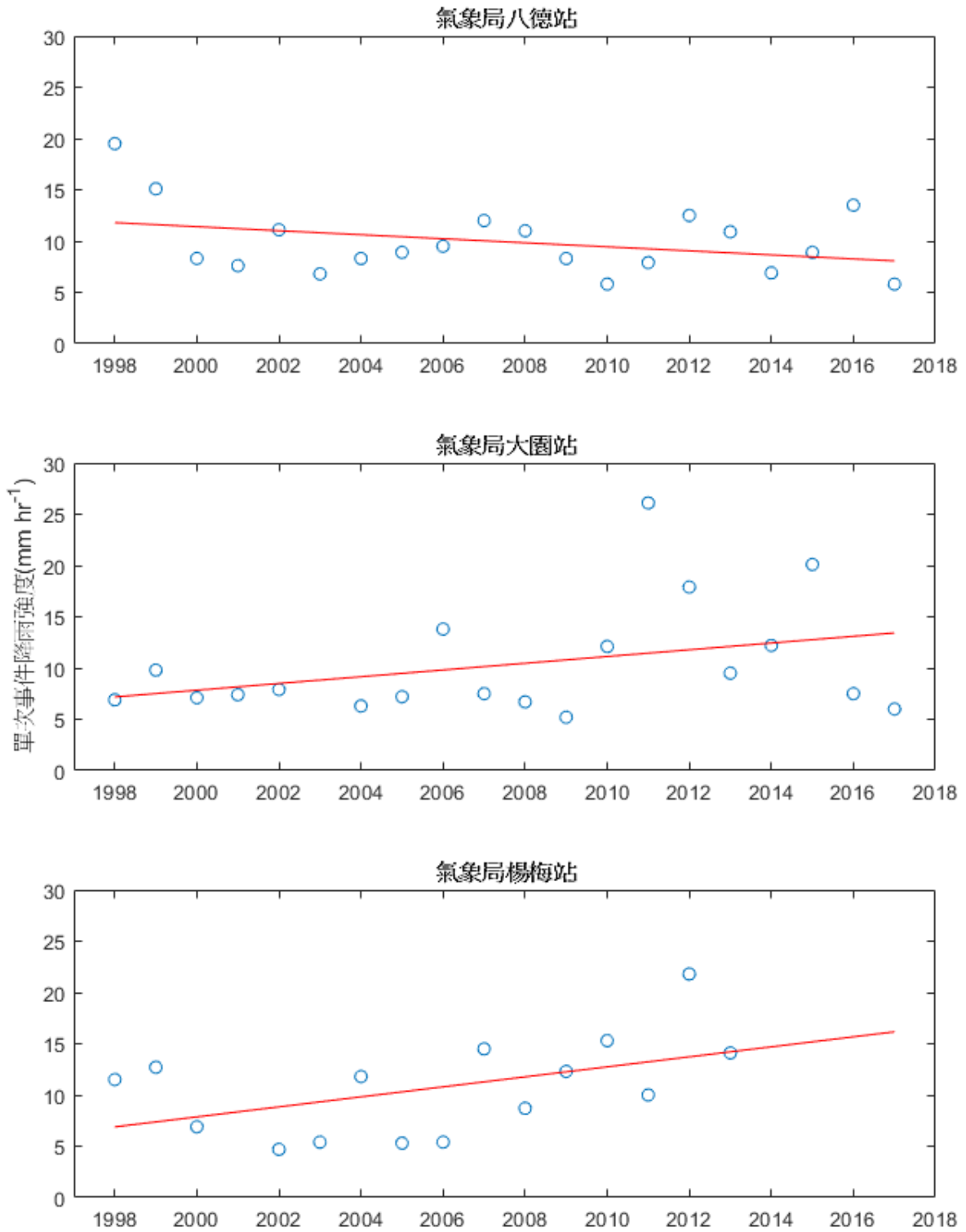


圖 2-31 氣象局八德，大園，楊梅測站 1998 至 2017 年夏季月份弱綜觀條件下對流降雨事件單次降雨強度長期變化趨勢圖。其中藍色圓圈符號為該年分平均事件降雨強度，紅色直線為趨勢線

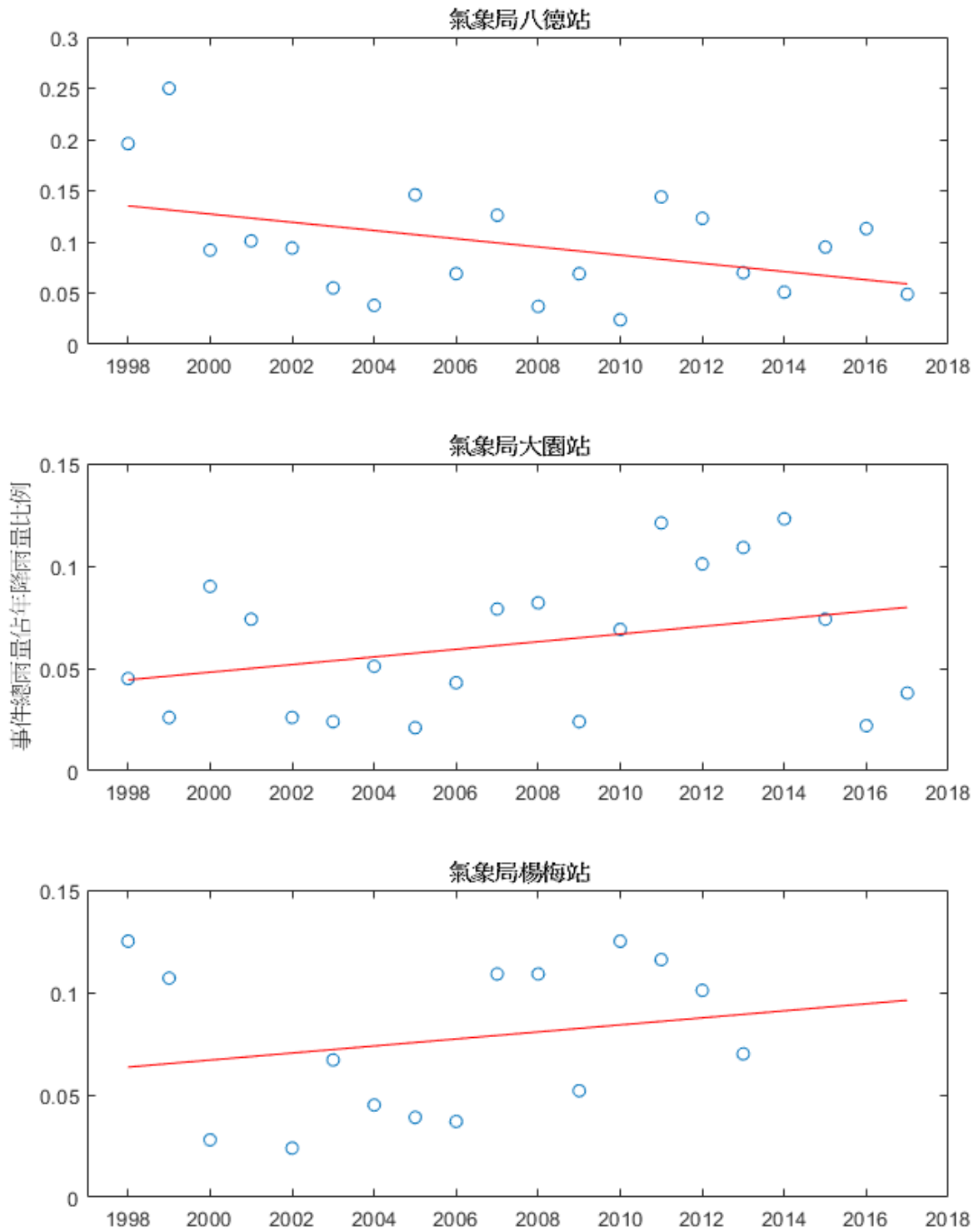


圖 2-32 氣象局八德，大園，楊梅測站 1998 至 2017 年夏季月份弱綜觀條件下對流降雨事件總雨量與年雨量比例長期變化趨勢圖。其中藍色圓圈符號為該年分對流降雨事件總雨量與年雨量比例，紅色直線為趨勢線

三、小結

本計畫利用大氣數值模式(WRF)探討桃園土地利用改變與對流雨強度之關係以及對當地水文氣候的影響。模式的結果得知，休耕所造成的效應要比單純只有土地使用的改變(從 1995 年到 2015 年)對於降水以及當地水文氣候所造成的影響要大。本計畫依據設定條件，篩選出 10 個雨天個案，然而更多的個案分析與實驗設計是必要的，以確定休耕對於氣候水文的影響。預計於下一階段針對實際土地利用變化與對流雨強度間之關係，以及理想化的實驗設計分析。此外，亦將納入本計畫所推估之來未土地利用空間配置結果做為 WRF 模式之邊界條件，以進行後續分析研究。

而在桃園地區衛星資料的土地利用判識方面，已先針對桃園地區過去數十年土地利用顯著變化之低海拔區域的行政區，如蘆竹、桃園、八德、大園、中壢、平鎮、觀音、新屋以及楊梅等區，進行土地利用變化分析，結果顯示桃園地區都市建成環境面積在 1991 年至 2006 年成長 30%，因而使得植被及水體面積減少，而在 2006 年至 2016 年之間，三種土地利用的變化幅度相對而言以趨於穩定，顯示 2006 年之前的土地利用變化將對研究區域內之熱力性質改變。而在弱綜觀事件的情況下，桃園地區長期土地利用的變化，使得整體地區的強降雨事件無論是在單次降雨強度或是總降雨量的貢獻上，都呈現重心移轉的特徵，其重心移動的趨勢，是由靠內陸以及東側的區域(八德)往沿海(大園)以及西側(楊梅)方向移動。

第三章 結合遙連結與全球經濟模式探討區域遙連結對未來都會區土地利用之影響

本計畫建立結合遙連結與全球經濟模式之評估模式，並利用建立之模式評估區域遙連結對示範區土地利用之影響，進而討論不同土地利用對示範區淹水情形與不同治水策略對淹水情形之影響。

一、全球經濟模式

土地利用變動是經濟發展與社會進步必要且重要的過程(Wu, 2008)，且土地利用變遷深受人口成長及經濟發展所影響(Koomen et al., 2007)。在高度全球化的時代，國際經濟情勢變遷透過國際貿易影響國內的經濟結構及土地利用(林裕彬等人，2018)。Lambin & Meyfroidt (2011)指出，經濟全球化(economic globalization)大大影響各國(尤其是開發中國家)的土地利用變動，並使土地轉用的速度加快。

台灣長年來積極參與國際貿易，近十年來出口占 GDP 比重高達 60%~70%，進口比重亦達 50%~65%，經濟成長深受國際經濟景氣影響，其中製造業產品之出口比重高達 80%，顯示製造業尤其仰賴國際市場之訂單，而全球未來經濟成長前景以及出口市場潛在競爭對手國的未來發展將會大大影響台灣未來經濟表現，在追求經濟成長目標下的製造業擴張使得工業用地需求隨之增加，這將驅動土地利用改變，例如：農地轉為工業之用，將衝擊本國糧食安全及陸域生態保育。

「全國國土計畫」規劃保留 74-81 萬公頃之農業發展區，以維護國家糧食自給率 40%的目標。然而，行政院農業委員會(2017)所公開的農地盤查結果(詳表 3-1)反映台灣過去在追求經濟發展目標下的農工住商爭地情形，盤點數據顯示，在盤查總面積 280.6 萬公頃中，全台平地範圍之法定農業用地(共 62 萬公頃)中

有 4.5 萬公頃並未實際作為農業使用，其中工廠非法占用 1.3 萬公頃，住宅、農舍、商場/餐廳及其他用途等非法佔用農地面積則高達 2.4 萬公頃；山坡地範圍中宜農牧地之法定農業用地(共 40 萬公頃)中有 5.3 萬公頃並未實際作為農業使用，其中工廠、住宅、農舍、商場/餐廳及其他用途等非法佔用農地面積高達 4.6 萬公頃。目前全國可供糧食生產使用之法定農業用地面積(含平地與山坡地範圍)為 64.8 萬公頃，尚有 10 萬公頃的糧食安全所需用地缺口。

表 3-1 全台農地資源盤查

(資料來源：行政院農委會，2017)(單位：公頃)

使用類型		可供糧食 生產土地	法定農業 用地平地 範圍：農 業使用	法定農業 用地山坡 地範圍： 宜農牧地	非法定農 業用地供 農業生產 使用
可供農業使用面積 (= I + II)			620135	399242	
I. 農業使用		682162	553008	335756	33996
II. 非 農業 使用	總計	130613	67127	63486	
	合法占用：道路/停 車場/河川水利設施		21866	10649	
	非法 占用				
	小計		45261	52837	
	農舍		4930	1907	
	住宅		6795	4962	
	工廠		13859	1854	
	商場或餐廳		3017	992	
	殯葬設施		1914	2151	
	宗教寺廟		1055	1179	
	公共或公用設施		2369	1641	
土石採取或堆置		1448	341		
遊憩設施		878	1364		
其他使用		8996	36446		

國內農地面積狹小且破碎分散，國產農產品在生產成本較難與國際上糧食出口大國競爭，因此，在農產品供給上頗為依賴進口。農委會所編製之農產貿易統計顯示，近十年來台灣農產品進口額高達 150 億美元，主要進口來源國有美國、中國、澳大利亞及泰國等，農產品貿易逆差維持在 100 億美元上下。當全球氣候改變，農業生產首當其衝，國際農產品供給與價格將有所波動。此外，開發中國家及新興經濟體大多為糧食淨進口國，未來人口成長以及所得成長而衍伸的糧食需求增長也將可能推升國際糧食價格，在這樣的未來國際社會經濟變遷趨勢下，台灣民生消費之糧食支出將會大受影響。對出口市場倚賴甚深的台灣工業部門也將面臨更嚴峻的國際競爭，尤其是勞動力與土地成本相對低廉的新興經濟體，土地資源配置政策對於工業發展及國際競爭力的支持是相當關鍵的因素，因此，台灣必須未雨綢繆積極籌畫部署全球經濟與氣候環境變遷下的國家經濟發展、糧食安全及國土利用策略。

Engelen et al. (1995)是國際文獻中最早出現的整合空間決策支援系統(Integrated Spatial Decision Support Systems, ISDSS)模型，其特色在於將土地利用與社會經濟體系之間的互動連結納入考量，進行土地利用與空間規劃配置決策評估，但由於跨領域連結需要投入相當多的心力溝通與相互理解，直到近期才有更進一步的整合評估模式的出現。Van Delden and McDonald (2010)回顧並比較 LUMOCAP (Van Delden et al., 2010)，WISE (Rutledge et al., 2008)，Eururalis (Verburg et al., 2008)，以及 MedAction (Van Delden et al., 2007)等四個整合空間決策支援系統模型，此四個系統模型在經濟模型的選擇上各有其特色，但經濟連結均涵蓋總體多部門。在經濟模型的選擇上，1973 年諾貝爾獎經濟學桂冠 Wassily Leontief 所開發之投入產出分析(Input-Output Analysis)模型 (Leontief, 1986)以及呈現多部門總體經濟的可計算一般均衡模型

(Johansen, 1960)最能呈現生產與消費部門間的土地用地需求及競爭。Hertel (2018)以中國近三十年來的經濟發展及產業結構變遷歷程為例說明全球可計算一般均衡模型尤其適合應用於分析單國經濟體在全球化趨勢下的長期土地利用變動。

本計畫根據政府間氣候變遷專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)氣候變遷第五次評估報告(Fifth Assessment Report, AR5)所描繪的未來全球社會經濟發展路徑(Shared Socio-economic Pathway, SSP)作為全球氣候變遷整合評估模型之全球經濟模式的基準情境。整合評估模型中包括全球土地利用模式，其與全球經濟模式連結，以預測全球土地利用在未來全球經濟發展下因部門間(農工住商)土地需求競爭影響所致之土地利用變動情形。全球各區域之土地利用變動所(淨)排放的溫室氣體將會影響大氣中二氧化碳濃度，進而影響全球氣候系統，而個別區域/國家因其社會經濟發展進程與政策/制度不同，其在全球氣候變遷下的脆弱度與韌性亦有所差異。此外，亦納入氣候變遷衝擊，以全球可計算一般均衡模型模擬 2030 年時全球與台灣經濟體各生產與消費部門在 IPCC AR5 所選薦之全球各國社會經濟發展路徑情境下的經濟成長展望以及國際貿易型態，並計算農業及製造業部門經濟成長所需之用地面積，作為 CLUE-s (The Conversion of Land Use and its Effect at Small regional extent)模式土地利用空間模型在經濟外生環境的設定參數。CLUE-s 土地利用空間模型之最適土地利用模擬結果亦可供經濟模式設定未來情境下的土地資源供給限制(圖 3-1)。

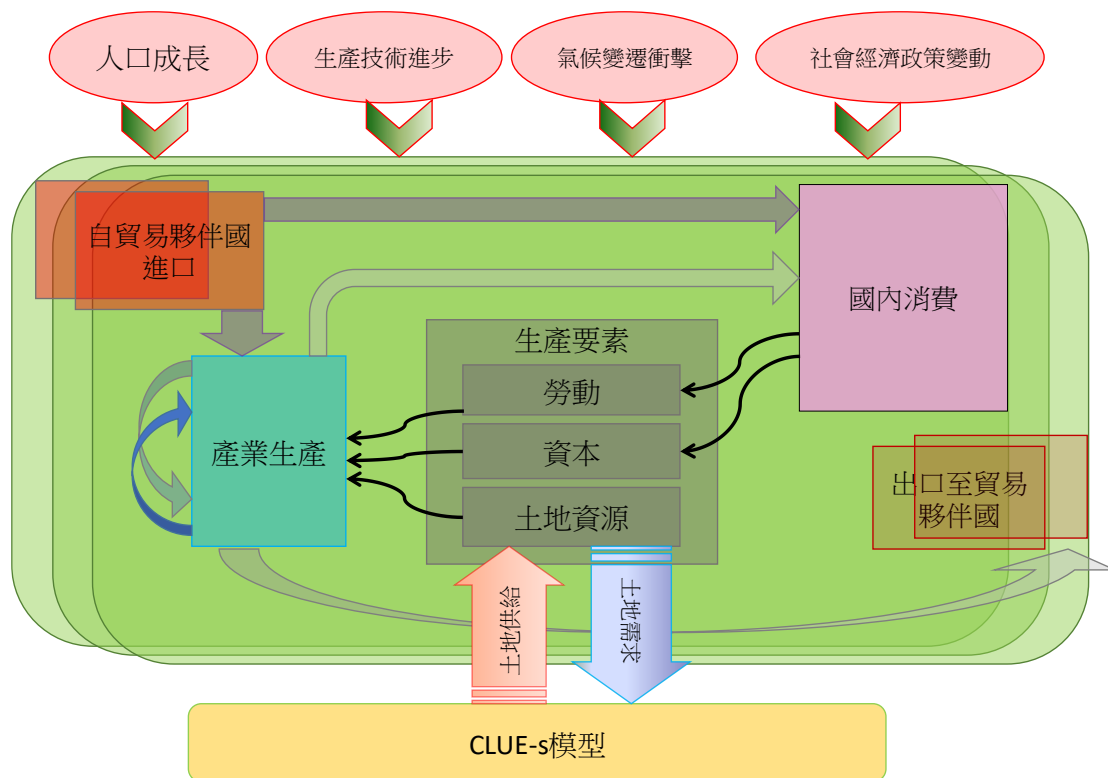


圖 3-1 全球經濟模式與 CLUE-s 模型的連結
(資料來源：經濟部水利署，2018)

(一) 模式說明

可計算一般均衡模型仿真實際經濟體的運作，細部個別描繪經濟體系中所有生產與消費活動，並呈現生產端與需求端的連結互動，因此其在經濟學術文獻中被歸類為總體多部門經濟模型，尤其適合應用於影響層面廣泛的經濟與生產資源配置問題之模擬分析。全球可計算一般均衡模型涵蓋全球各國經濟體，不僅細部描繪個別國家的經濟活動以及生產者與消費者行為，同時也具體呈現跨國間雙邊貿易關係，因此，相當貼近本計畫所規劃之模擬背景環境需求。

本計畫採用 GTAP(Global Trade Analysis Project, GTAP) 全球可計算一般均衡模型及校準資料庫(Hertel, 1997; Lee et al., 2018)，其廣泛涵蓋全球 140 個國家/區域經濟體的 57 種

產品生產部門以及家計與政府消費需求及投資，以及 140 個經濟體間的雙邊貿易。GTAP 模型之核心理論的方程式包括：

1、經濟體各參與者之行為方程式：

- (1) 區域家計消費單位行為方程式，
- (2) 產業部門生產行為方程式，及
- (3) 投資部門行為方程式；

2、產品價格與要素價格連結方程式；

3、產業部門零經濟利潤條件方程式；

4、市場供需均衡方程式，及

5、區域家計單位所得、政府收入來源及儲蓄會計式。

全球可計算一般均衡模型中設定所有生產部門追求利潤極大，因此，依據成本極小化原則選擇生產所需之中間財投入與初級要素組合。模型中設定所有消費以其提供生產部門初級要素服務(如：勞動、資本)所賺取的所得來支應其產品消費需求，而其產品消費組合則依據消費滿足度最大化原則來選取。

全球可計算一般均衡模型中個別國家經濟體的生產部門所需之生產投入種類不盡相同，投入係數各異，因應要素價格變動調整要素投入組合的彈性也有所差異。在生產函數設定上，採用經濟學理論方法中的弱可分割性(weak separability)假設，因此，各產業部門之生產函數以巢式結構(如圖 3-2 所示)來分層描繪生產投入間的替代/互補關係。產業部門的生產函數在弱可分割性(weak separability)的假設分為兩層，生產函數的第一層代表其產出水準是由總合初級要素與複合中間投入依固定投入比例之 Leontief 函數加總而成；生產函數第二層中，將勞動、自然資源、土地及資本依

固定替代彈性(constant elasticity of substitution, CES)函數加總為其複合原始要素。生產部門所生產之產品可供銷國內與國外市場，國內與國際市場的相對價格若有變動，將會帶動國內生產部門調整國內與國外銷售配比，以使生產部門在給定的生產成本下得以賺取最大可得的利潤。

最終消費部門(家計單位與政府)則提供生產部門初級要素服務(如：勞動、資本、土地)所賺取的要素所得來支應其產品消費需求(包含國產品與進口品)，產品消費組合則依據可支配所得預算限制下消費滿足度最大化原則來選取。我們採用 Armington(1969)的假設將國產品與進口品設定為不完全替代品(imperfect substitutes)，亦即，在消費者的認知上，國產品與進口品之間存在差異，因此，兩者之相對價格的變動會影響其消費配比，但兩者間不會完全取代彼此。

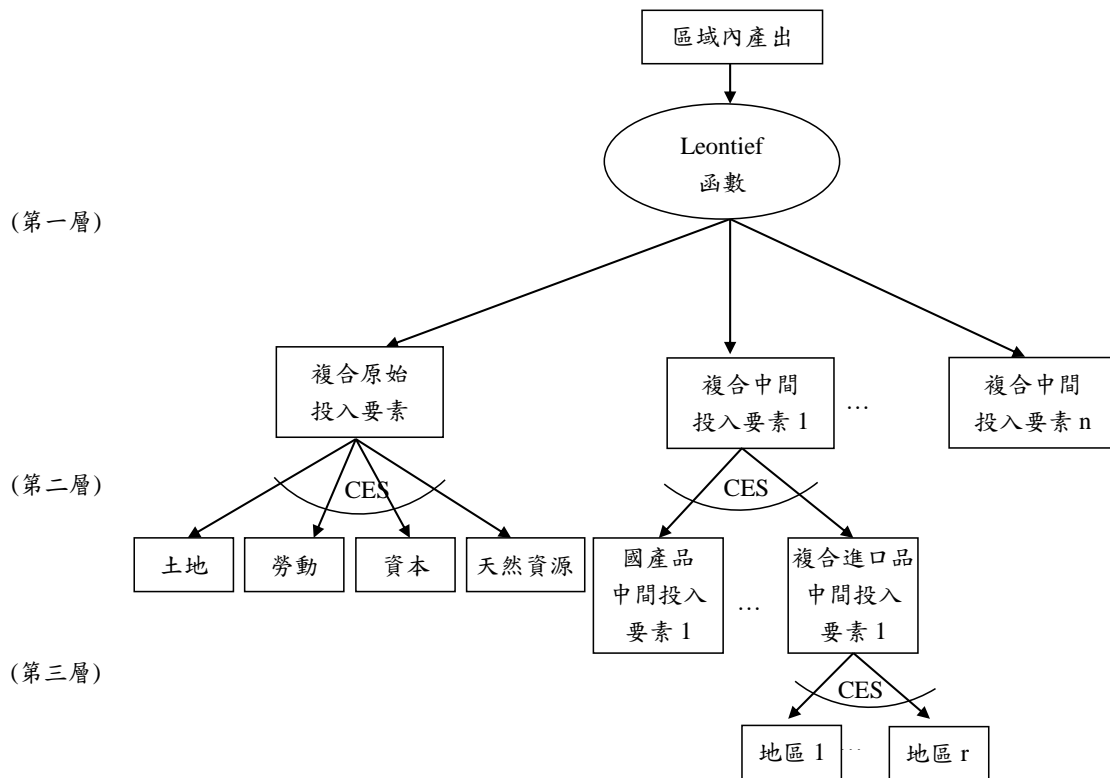


圖 3-2 全球經濟模式中個別國家產業部門之生產函數結構
(改繪自 Hertel (1997))

圖 3-3 為 GTAP 模型之區域家計單位之所得來源及其最終需求系統的巢狀式結構圖。圖 3-3 下半部支出面部分第一層表示區域家計單位之人均(per capita)總合效用函數為 Cobb-Douglas 函數型式，在所得(來源為工資、資本報酬、地租以及稅收)限制下，區域家計單位將所得分配到私部門家計單位消費、政府部門消費與儲蓄來極大化其效用水準；第二層為私人家計單位需求結構與政府部門需求結構，其需求系統設定為一非齊次性(non-homothetic)的 CDE(Constant Difference of Elasticity)消費支出函數，以決定私人家計單位對各種複合商品的需求量，政府部門最終需求是以 Cobb-Douglas 效用函數來決定各種複合商品的需求量。

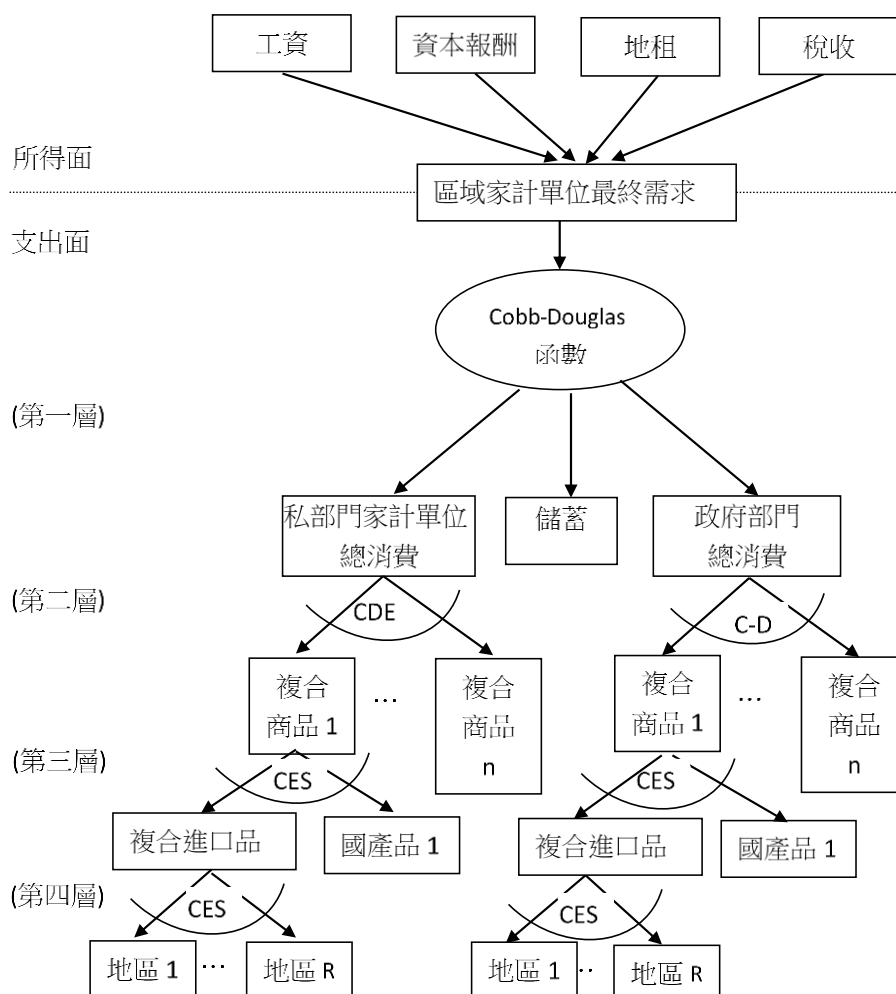


圖 3-3 全球經濟模式中個別國家之最終需求函數結構
(改繪自 Hertel (1997))

圖 3-4 為 GTAP 全球貿易可計算一般均衡模型中各國生產與消費部門間及國家間的相互連結，箭頭方向代表各項支出及收入的流向。GTAP 模型中的經濟主體包括區域家計單位、生產部門、全球銀行、全球運輸部門及全球其他地區，其中區域家計單位(regional household)又分為私人家計單位(private household)與政府部門。圖 3-4 之上半部描述區域家計單位提供要素賺取要素所得(VOA)，並經由家計與政府消費(PRIVEXP、GOVEXP)、儲蓄(SAVE)來參與經濟活動。因此，區域家計單位也因透過國內消費以及供給生產要素與生產部門連結。圖 3-4 之中間圖示描述本國生產部門因生產行為所需而對中間投入要素的購買(VDFA、VIFA)以及透過產品的銷售賺取收入(VDFA、VIFA)；兩旁圖示則說明私人家計單位與政府部門於購買國產品與進口品時所支付的購買支出，國產品支出(VDPA、VDGA、VDFA)流入本國生產部門成為本國生產部門的收入，而進口品支出(VIPA、VIGA、VIFA)流出至世界其他地區而成為其出口收入，也因此透過雙邊貿易與世界其他國家連結。全球銀行則統籌各區域的區域家計單位儲蓄(SAVE)並提供每一地區的投資需求(REGINV)，最後使得全球投資等於全球儲蓄而達到均衡。

人口成長、社會變遷、生產技術變動、消費偏好改變、經濟政策變動等外部條件若有所變動(如圖 3-4 所示)，經濟體中的生產者與消費者也會因應調整決策。雙邊貿易連結貿易夥伴國經濟體的生產與消費活動(如圖 3-5 所示)。全球化的大勢下所有國家均被涵蓋於此一貿易網絡中，任一國家的社會經濟條件有所變動，其影響將會透過全球貿易網絡傳遞至其它國家，造成漣漪效應。

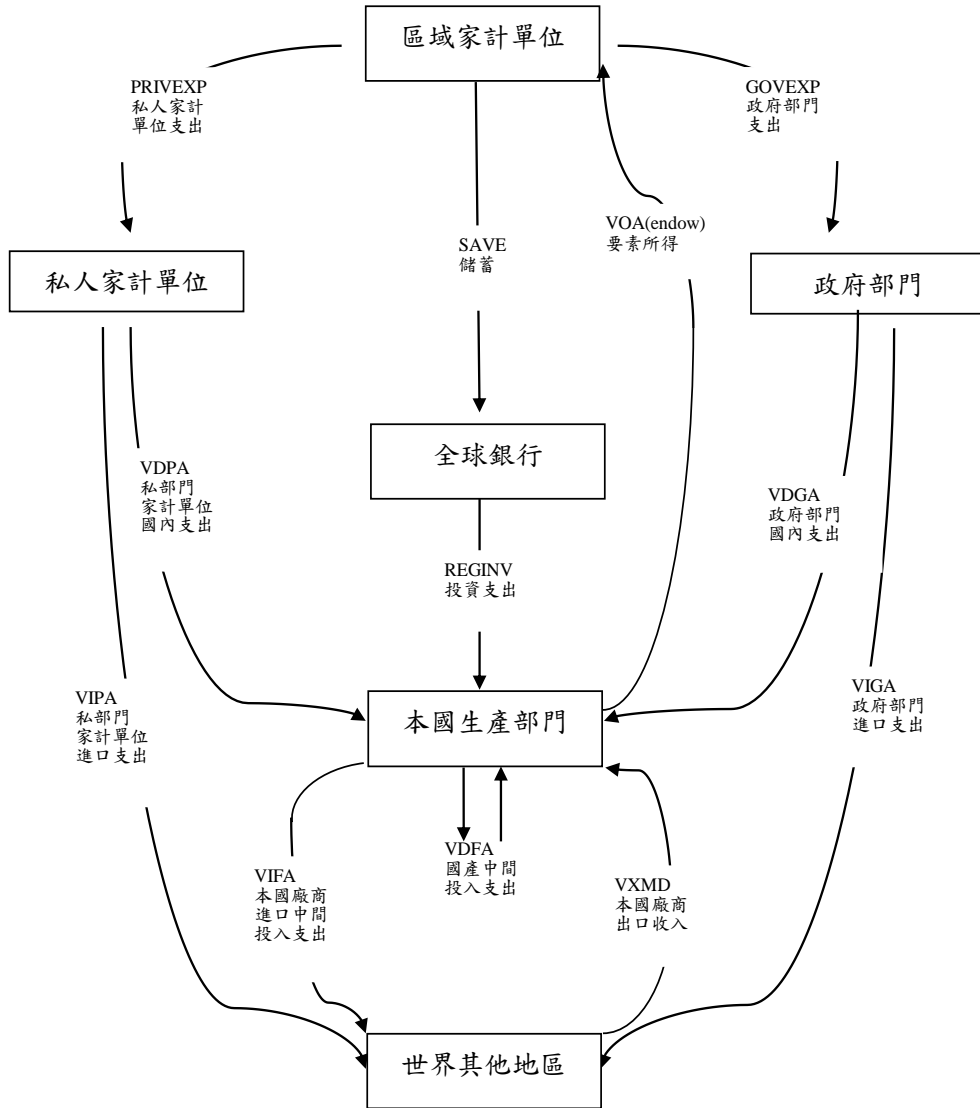


圖 3-4 全球經濟模式中各國生產與消費部門間及國家間的相互連結
(改繪自 Hertel (1997))

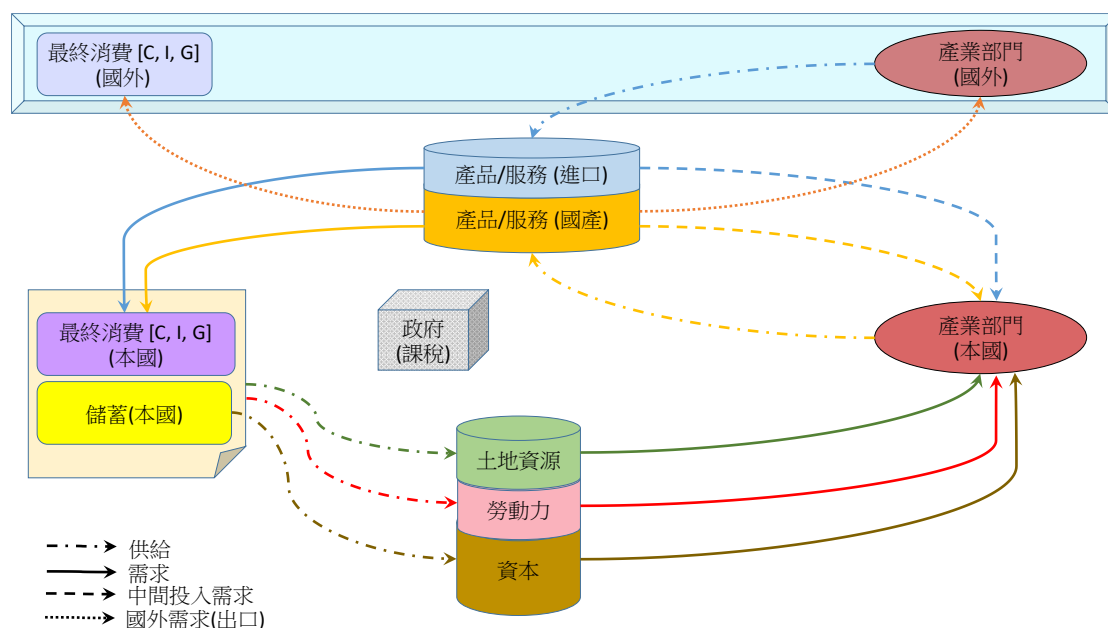


圖 3-5 GTAP 全球貿易可計算一般均衡模型中商品/服務的跨國貿易連結

前述全球經濟模式之各國生產與消費部門的行為方程式需依據各國產業關聯帳表所呈現之成本結構及消費結構進行校準，國產業關聯帳表及雙邊貿易流量數據，以及生產部門與消費部門行為方程式中替代彈性之數值，均取自 GTAP 資料庫(Aguiar et al, 2016)。本計畫將所有開發中國家加總為一個區域來呈現全球經濟模式之校準資料庫中單一國家/區域的產業關聯帳表，如圖 3-6 所示。圖 3-7 及圖 3-8 分別為全球經濟模式之校準資料庫中依離岸價格及到岸價格(內含運費及保險)計算之產品別雙邊貿易(2011 年)數據。全球經濟模式中的跨國進出口供需方程式即根據此雙邊貿易流量數據進行基期年的校準。

開發中國家 產業關聯表											
單位: 十億	農畜漁礦	製造業	服務業	批發零售運輸服務	投資(I)	民間消費(C)	政府消費(G)	出口(X)	總產出		
國	農畜漁礦	419	2599	39	118	110	988	5	1625	5902	
	製造業	720	10004	1140	1094	5275	3770	78	4196	26277	
	服務業	191	1191	1427	629	299	3438	3049	360	10585	
產	批發零售運輸服務	290	2029	514	606	296	2139	50	443	6366	
進	農畜漁礦	48	982	5	12	4	71	1	0	1123	19
	製造業	208	2327	233	288	819	817	46	0	4739	256
口	服務業	22	80	91	45	27	83	60	0	409	0
(M)	批發零售運輸服務	9	52	27	49	4	117	7	0	264	0
初	土地	552	0	0	0						
級	非技術勞動	1075	2410	1317	1088						
要	技術勞動	131	773	2338	467						
素	資本	1503	3458	3103	1742						
	自然資源	645	0	0	0						
	間接稅	40	267	298	178	334	778	24	110		
	生產稅	50	105	54	51						
	總成本	5902	26277	10585	6366	7169					

圖 3-6 全球經濟模式之校準資料庫：以開發中國家之產業關聯帳表為例

農畜漁牧礦產品進口(來源國,目的國)	開發中國家	已開發國家	低度開發國家
開發中國家	642	980	7
已開發國家	238	698	4
低度開發國家	73	76	3

製造業產品進口(來源國,目的國)	開發中國家	已開發國家	低度開發國家
開發中國家	1510	2694	98
已開發國家	2736	6288	76
低度開發國家	16	33	13

服務業進口(來源國,目的國)	開發中國家	已開發國家	低度開發國家
開發中國家	78	278	5
已開發國家	328	1258	24
低度開發國家	3	10	0

批發零售運輸服務(直接)進口(來源國,目的國)	開發中國家	已開發國家	低度開發國家
開發中國家	62	227	3
已開發國家	200	656	8
低度開發國家	2	8	0

圖 3-7 全球經濟模式之校準資料庫：以 2011 年雙邊貿易(產品別)為例(依離岸價格計算，單位:十億)

農畜漁牧礦產品進口(來源國,目的國)	開發中國家	已開發國家	低度開發國家
開發中國家	718	1067	8
已開發國家	327	760	5
低度開發國家	78	79	4

製造業產品進口(來源國,目的國)	開發中國家	已開發國家	低度開發國家
開發中國家	1704	2902	116
已開發國家	3018	6544	88
低度開發國家	17	34	16

服務業進口(來源國,目的國)	開發中國家	已開發國家	低度開發國家
開發中國家	78	278	5
已開發國家	328	1258	24
低度開發國家	3	10	0

批發零售運輸服務(直接)進口(來源國,目的國)	開發中國家	已開發國家	低度開發國家
開發中國家	62	227	3
已開發國家	200	656	8
低度開發國家	2	8	0

圖 3-8 全球經濟模式之校準資料庫：以 2011 年雙邊貿易(產品別)為例(依到岸價格計算，內含跨國運費及保險，單位:十億)

(二) 模擬情境設定

全球溫室氣體排放量及世紀末暖化程度與未來全球社會經濟發展路徑息息相關。政府間氣候變遷專門委員會(IPCC)氣候變遷第五次評估報告(AR5)(Riahi et al., 2017)依社會經濟發展所可能導致全球溫室氣體減量排放和氣候變遷調適之難易程度劃分為五類(詳圖 3-9 及圖 3-10)社會經濟發展可能路徑(Shared Socioeconomic Pathways, SSPs)：(1) SSP1：強調永續發展的社會經濟發展路徑(sustainability)，其減量排放及調適的難度均相對其他四種發展路徑為低；(2) SSP2：延續現況的社會經濟發展路徑(middle of the road)，其減量排放及調適的難度介於其他四種發展路徑之間；(3) SSP3：區域競爭對立(regional rivalry)，其減量排放及調適的難度均相對其他四種發展路徑為高；(4) SSP4：所得分配不均的社會經濟發展路徑(inequality)，調適難度相對較 SSP1、

SSP2 及 SSP5 發展路徑為高，但減量排放的難度相對較 SSP2、SSP3 及 SSP5 發展路徑為低；以及(5) SSP5：大量使用化石燃料的社會經濟發展路徑(fossil-fueled development)，其減量排放的難度相對較 SSP1、SSP2 及 SSP4 發展路徑為高，但調適的難度相對較 SSP2、SSP3 及 SSP4 發展路徑為低。圖 3-10 中亦摘錄各個社會經濟發展路徑情境的主要假設。

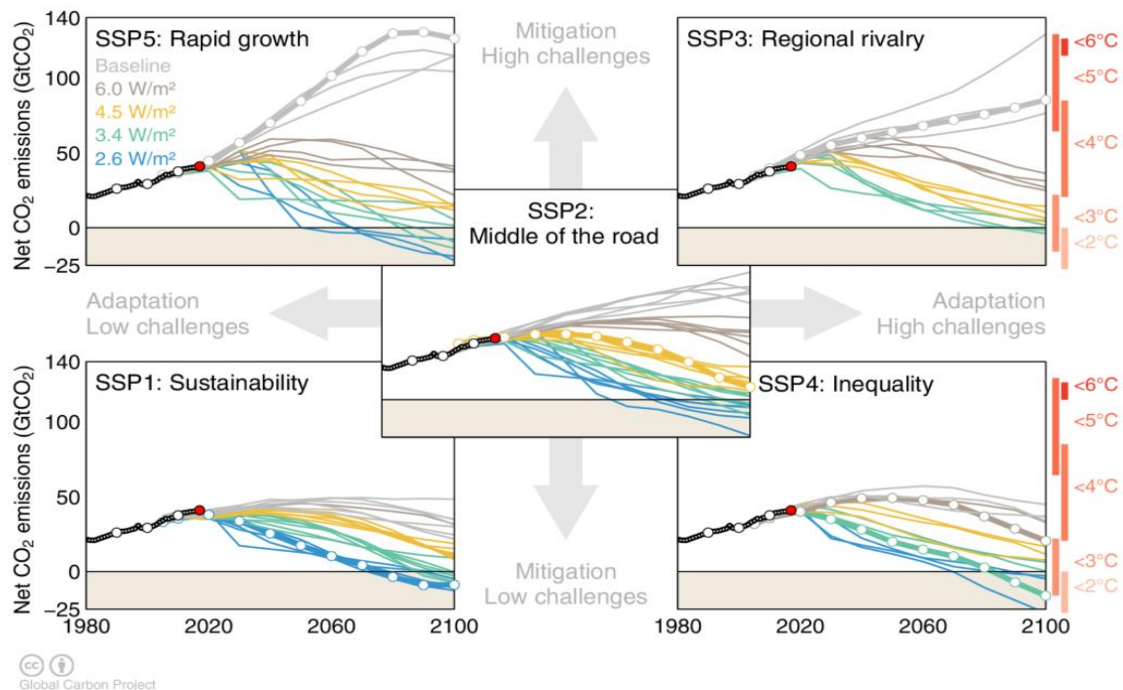


圖 3-9 全球社會經濟發展路徑下的碳排放量及世紀末暖化程度 (彙整自 Le Quéré et al. (2018)、Riahi et al. (2017)及 Rogelj et al. (2017))。

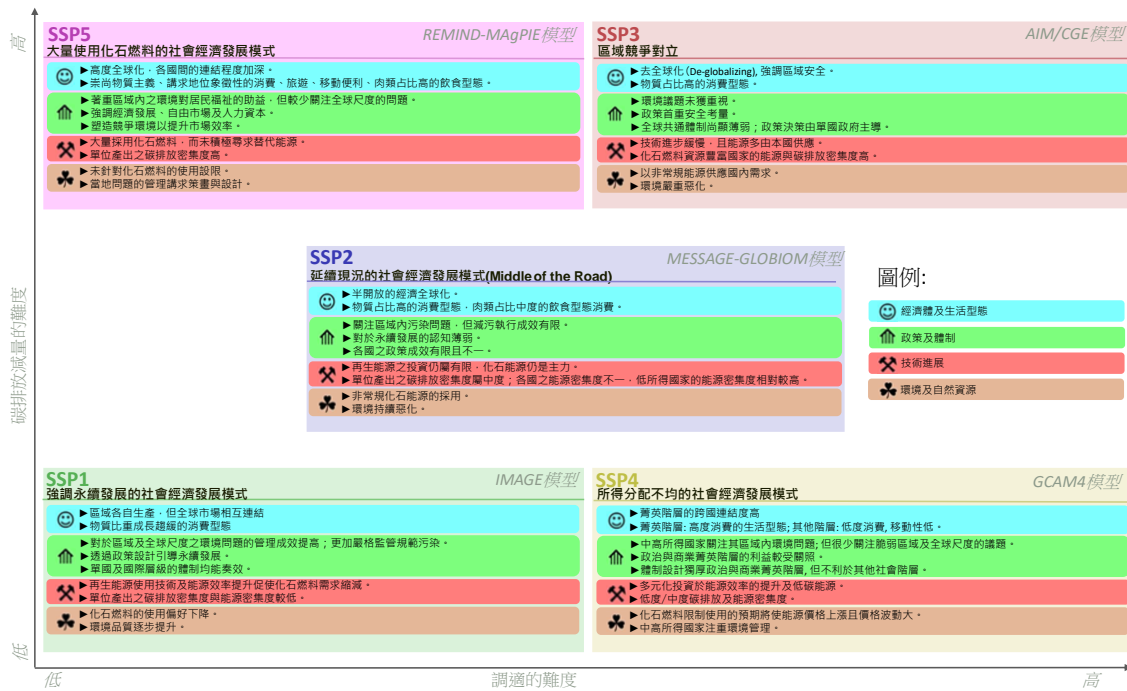


圖 3-10 全球社會經濟發展路徑之主要模型情境假設
(編譯自 Bauer et al., 2017)

本計畫採用 OECD Env-Growth 模式與 IIASA 模式所推估預測的兩組 SSP 經濟成長預測值—包括各國 2030 年的人口與經濟成長預測值—作為全球可計算一般均衡模型的模擬環境設定依據，模擬全球與台灣經濟各生產與消費部門 2030 年時的成長展望，並據以估算台灣各產業在全球社會經濟成長情境下所需之土地面積需求。分析時假設 2030 年時台灣各產業部門的單位產出所需用地面積與 2011 年時相同，因此，各部門之用地需求與其產出將同幅度成長，再進一步將全國尺度的經濟成長結果降解(downscale)到選定研究區域—桃園市，以推算桃園市各產業部門在此全球及台灣經濟成長情境下所需之用地面積。

本計畫將全球可計算一般均衡模型之校準資料庫中的全球 140 個國家/區域依照地理區位以及其與台灣之間的貿

易連結強度加總成 11 的國家/區域，如表 3-2 所示；各經濟體的 57 個細分部門加總成 26 個粗部門，如表 3-3 所示。

表 3-2 全球經濟模式校準資料庫：11 個加總區域經濟體組成國家

編號	代碼	區域	組成國家
1	Oceania	大洋洲	Australia; New Zealand; Rest of Oceania.
2	CHNRING	中國/香港/蒙古/北韓	China; Hong Kong; Mongolia; Rest of East Asia.
3	JPN_KOR	日本/韓國	Japan; Korea.
4	tw	台灣	Taiwan.
5	SEAsia	東南亞	Brunei Darassalam; Cambodia; Indonesia; Lao People's Democratic Republ; Malaysia; Philippines; Singapore; Thailand; Viet Nam; Rest of Southeast Asia.
6	SAsia	南亞	Bangladesh; India; Nepal; Pakistan; Sri Lanka; Rest of South Asia.
7	NAmerica	北美洲	Canada; United States of America; Mexico; Rest of North America.
8	CSAmerica	中南美洲	Argentina; Bolivia; Brazil; Chile; Colombia; Ecuador; Paraguay; Peru; Uruguay; Venezuela; Rest of South America; Costa Rica; Guatemala; Honduras; Nicaragua; Panama; El Salvador; Rest of Central America; Dominican Republic; Jamaica; Puerto Rico; Trinidad and Tobago; Caribbean.
9	Europe	歐洲	Austria; Belgium; Cyprus; Czech Republic; Denmark; Estonia; Finland; France; Germany; Greece; Hungary; Ireland; Italy; Latvia; Lithuania; Luxembourg; Malta; Netherlands; Poland; Portugal; Slovakia; Slovenia; Spain; Sweden; United Kingdom; Switzerland; Norway; Rest of EFTA; Albania; Bulgaria; Belarus; Croatia; Romania; Russian Federation; Ukraine; Rest of Eastern Europe; Rest of Europe; Kazakhstan; Kyrgyzstan; Rest of Former Soviet Union; Armenia; Azerbaijan; Georgia; Turkey; Rest of the World.
10	MidEast	中東	Bahrain; Iran Islamic Republic of; Israel; Jordhan; Kuwait; Oman; Qatar; Saudi Arabia; United Arab Emirates; Rest of Western Asia.
11	Africa	非洲	Egypt; Morocco; Tunisia; Rest of North Africa; Benin; Burkina Faso; Cameroon; Cote d'Ivoire; Ghana; Guinea; Nigeria; Senegal; Togo; Rest of Western Africa; Central Africa; South Central Africa; Ethiopia; Kenya; Madagascar; Malawi; Mauritius; Mozambique; Rwanda; Tanzania; Uganda; Zambia; Zimbabwe; Rest of Eastern Africa; Botswana; Namibia; South Africa; Rest of South African Customs.

表 3-3 全球經濟模式之校準資料庫：26 個加總生產部門之組成產業

編號	代碼	部門	組成產業
1	pdr	稻作	Paddy rice.
2	OtherCrops	其他作物	Wheat; Cereal grains nec; Vegetables, fruit, nuts; Oil seeds; Sugar cane, sugar beet; Plant-based fibers; Crops nec.
3	MeatLstk	畜牧業	Cattle,sheep,goats,horses; Animal products nec; Raw milk; Wool, silk-worm cocoons.
4	frs	林業	Forestry.
5	fs	漁業	Fishing.
6	Mining	礦石採取業	Coal; Oil; Gas; Minerals nec.
7	ProcFoods	食品製造業	Meat: cattle,sheep,goats,horse; Meat products nec; Vegetable oils and fats; Dairy products; Processed rice; Sugar; Food products nec.
8	b_t	飲料菸草製造業	Beverages and tobacco products.
9	tex	紡織業	Textiles.
10	wap	成衣、服飾、紡織製品製造業	Wearing apparel.
11	lea	皮革、毛皮及其製品製造業	Leather products.
12	lum	木竹製品製造業	Wood products.
13	ppp	紙漿、紙及紙製品/印刷	Paper products, publishing.
14	p_c	石油及煤製品製造業	Petroleum, coal products.
15	crp	化學材料製品製造業	Chemical,rubber,plastic prods.
16	nmm	非金屬礦物製品製造業	Mineral products nec.
17	Metals	金屬基本工業	Ferrous metals; Metals nec.
18	fmp	金屬製品製造業	Metal products.
19	ele	電子零組件/電子產品製造業	Electronic equipment.
20	ome	機械/電力機械製造業	Machinery and equipment nec.
21	mvh	汽車及其零件製造業	Motor vehicles and parts.
22	otn	運輸工具製造業	Transport equipment nec.
23	omf	家具及其他工業製品製造業	Manufactures nec.
24	ELYGDT	電力/瓦斯供應業	Electricity; Gas manufacture, distribution.
25	wtr	自來水供應業	Water.
26	OthServices	服務業	Construction; Trade; Transport nec; Sea transport; Air transport; Communication; Financial services nec; Insurance; Business services nec; Recreation and other services; PubAdmin/Defence/Health/Educat; Dwellings.

(三) 全球經濟發展情境

圖 3-11 與圖 3-12 分別為 OECD Env-Growth 模式與 IIASA 模式所預測 2030 年 10 國/區域經濟體在 5 個 SSP 情境下的 GDP 前景 (以 2005 年購買力平價(PPP)係數計價)。OECD Env-Growth 模式與 IIASA 模式預測所有國家/區域之 GDP 至 2030 年時均有大幅成長，其中，中國、印度與開發中國家(如：東南亞、拉丁美洲)人口增加相對較多，其 GDP 增長幅度亦相對較大，而高度開發經濟體(如：歐洲、北美洲)人口成長趨緩，其 GDP 增長幅度相對較開發中國家為小，但仍持續穩定成長。OECD Env-Growth 模式與 IIASA 模式對於全球經濟體整體成長預測一致，但其對個別國家/區域成長預測，則因其所假設各國未來發展前景不同而有所差異，如：OECD Env-Growth 模式所預測日本與韓國(3 JPN_KOR)的 2030 年經濟成長前景較 IIASA 模式之預測樂觀。

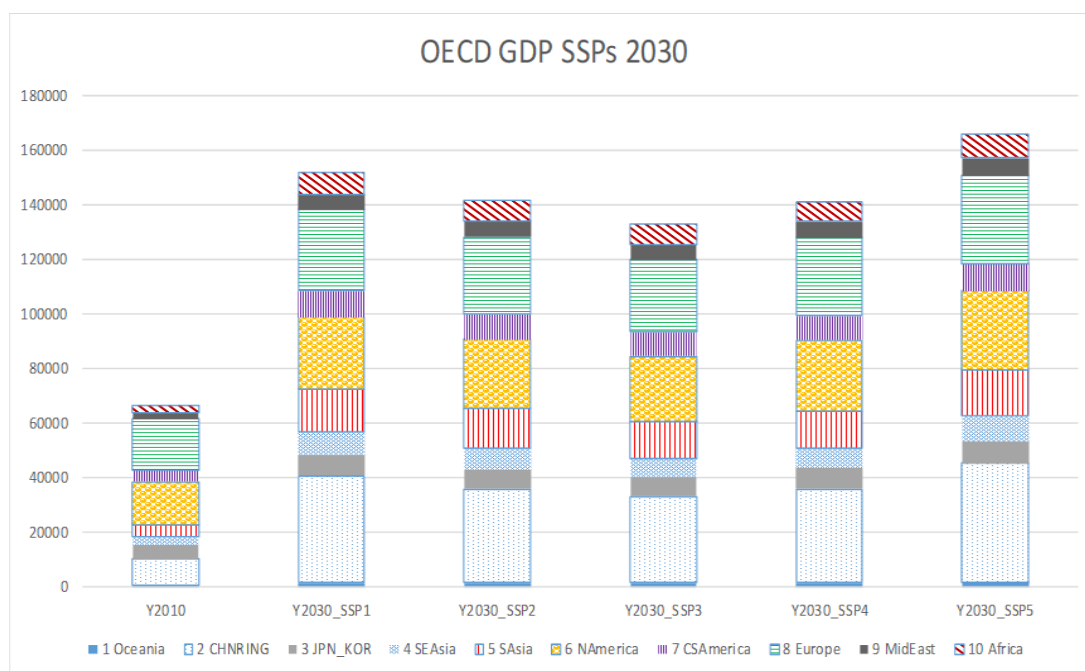


圖 3-11 OECD Env-Growth 模式所預測 2030 年各國/區域經濟體在 5 個 SSP 情境下的 GDP 前景 (單位：十億美元，以 2005 年購買力平價(PPP)係數計價)

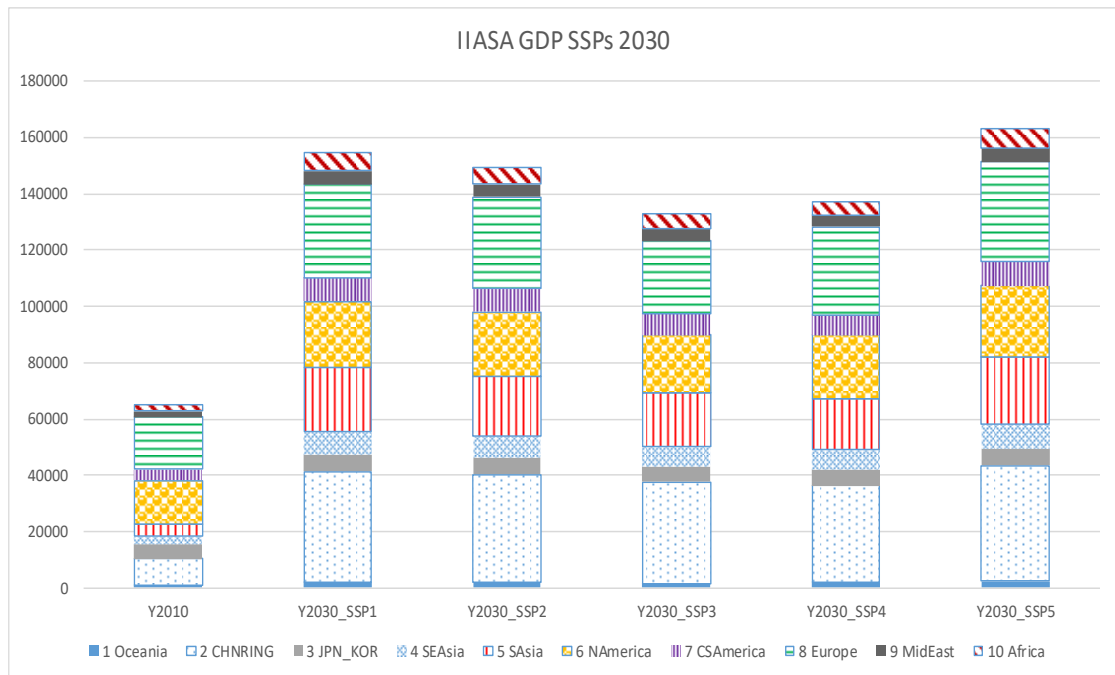


圖 3-12 IIASA 模式所預測 2030 年各國/區域經濟體在 5 個 SSP 情境下的 GDP 前景 (單位：十億美元，以 2005 年購買力平價(PPP)係數計價)

(四) 全球經濟發展情境下的台灣經濟成長及產業產出成長推測

計畫中採用國家發展委員會所發佈之 2018~2065 年台灣人口推計值來設定全球可計算一般均衡模型中台灣的人口成長前景。國家發展委員會之台灣人口成長低推計版本(2030 年相對 2011 年成長 0.435%)對應 SSP3，中推計版本(2030 年相對 2011 年成長 1.695%)對應 SSP2 及 SSP4，高推計版本(2030 年相對 2011 年成長 2.365%)對應 SSP1 及 SSP5(如圖 3-13 中之圖例 pop 所示)。圖 3-13 中之圖例 qgdp 所示為台灣 2030 年相較於 2011 年的經濟成長率。由於台灣僅有短期(未來一年)經濟成長預測，因此，本研究參考 OECD Env-Growth 模式在情境設定上採取區域收斂(regional convergence)原則(即：長期下開發中國家人均所得將隨其經濟成長而與已開發國家接近)，以及考量台灣的經濟發展模

式及產業結構與日本及韓國相似，假設台灣 2011 年至 2030 年時人均 GDP 成長幅度與日本及韓國(3 JPN_KOR)相同。

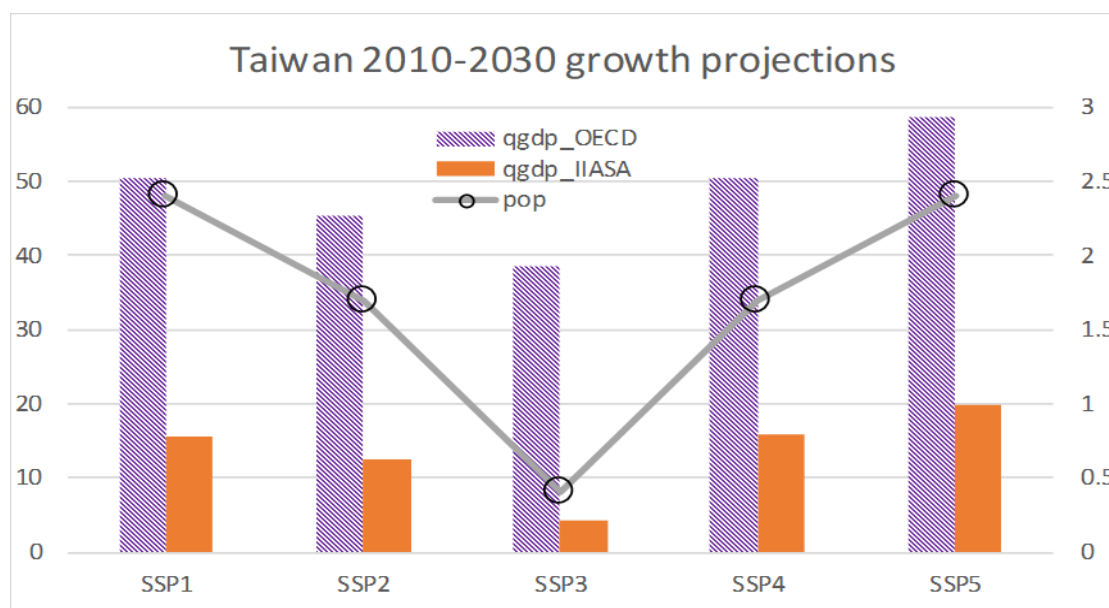


圖 3-13 台灣 2030 年各 SSP 情境之人口成長預測(pop, 右軸, 單位：%)與經濟成長(qgdp, 左軸, 單位：%)前景

圖 3-14 與圖 3-15 分別為 OECD Env-Growth 模式與 IIASA 模式之 SSP 預測情境下台灣 2030 年的各產業部門實質產出水準(以 2011 年價格計價)。由於開發中國家的人口(與勞動力)大幅成長，對比台灣的人口(及勞動力)僅小幅成長，勞動密集型產業，如：紡織業(tex)、服飾(wap)、皮革製品(lea)，難與勞動力廉價的開發中國家競爭，因而減產。其他產業之產出則多有成長，其中，造紙業(ppp)、煤與石油煉製品(p_c)、化工製品(crp)、鋼鐵產業(Metals)則受開發中國家經濟成長需求帶動而相對其他產業有較大幅度的增產。由於其他競爭國家的總要素生產力(total factor productivity)相對成長較多，在 IIASA 模式之 SSP 預測情境下台灣的電子業(ele)部門因成本競爭處於劣勢，其 2030 年時的產出水準相對 2011 年縮減。

OECD EnvGrowth 模式在情境設定上認為 OECD 國家經濟體發展已臻成熟，未來經濟持續成長幅度有限，且認為非 OECD 國家未來將受惠於已開發國家之技術進步外溢效果而大幅成長，逐步趨近高所得國家之人均所得水準，因此，其對非 OECD 國家之經濟成長前景預測值相對較 IIASA 模式樂觀。在後續桃園市之產業成長與用地需求推估中，我們選擇以較為保守的 IIASA 模式 SSP 情境下的全國產值預測值來進行區域降解。

圖 3-16 為 IIASA 模式之 SSP 預測情境下台灣 2030 年各產業部門的產值結構相較於 2011 年的變動情況。由於開發中國家的經濟相對快速成長，尤其是初級與相對勞力密集型產業，其生產成本下降，在國際市場上具有價格優勢，因此，台灣的農畜漁礦業及紡織業在 2030 年時的產值占比均較 2011 年萎縮。由於開發中國家經濟成長需要更多工業投入，台灣的重點出口產業煉油及金屬產業 2030 年時產出及出口成長，其產值占比均較 2011 年提高。

圖 3-17 及圖 3-18 分別為本研究根據 IIASA 模式之成長預測情境所模擬之 2030 年各國/區域經濟體在 5 個 SSP 情境下的出口及進口前景。圖 3-19 及圖 3-20 分別為各國/區域經濟體在 5 個 SSP 情境下相較 2011 年的出口及進口變動量。開發中國家的進出口量增加，而已開發國家在國際貿易上的重要性則相對下降。台灣與日本韓國因為人口縮減，勞動力減少，成本競爭力下降，以致其出口量相對 2011 年為少。進口需求量亦受到人口縮減影響，此外，出口供給減少也是導致其進口需求減少的原因之一。

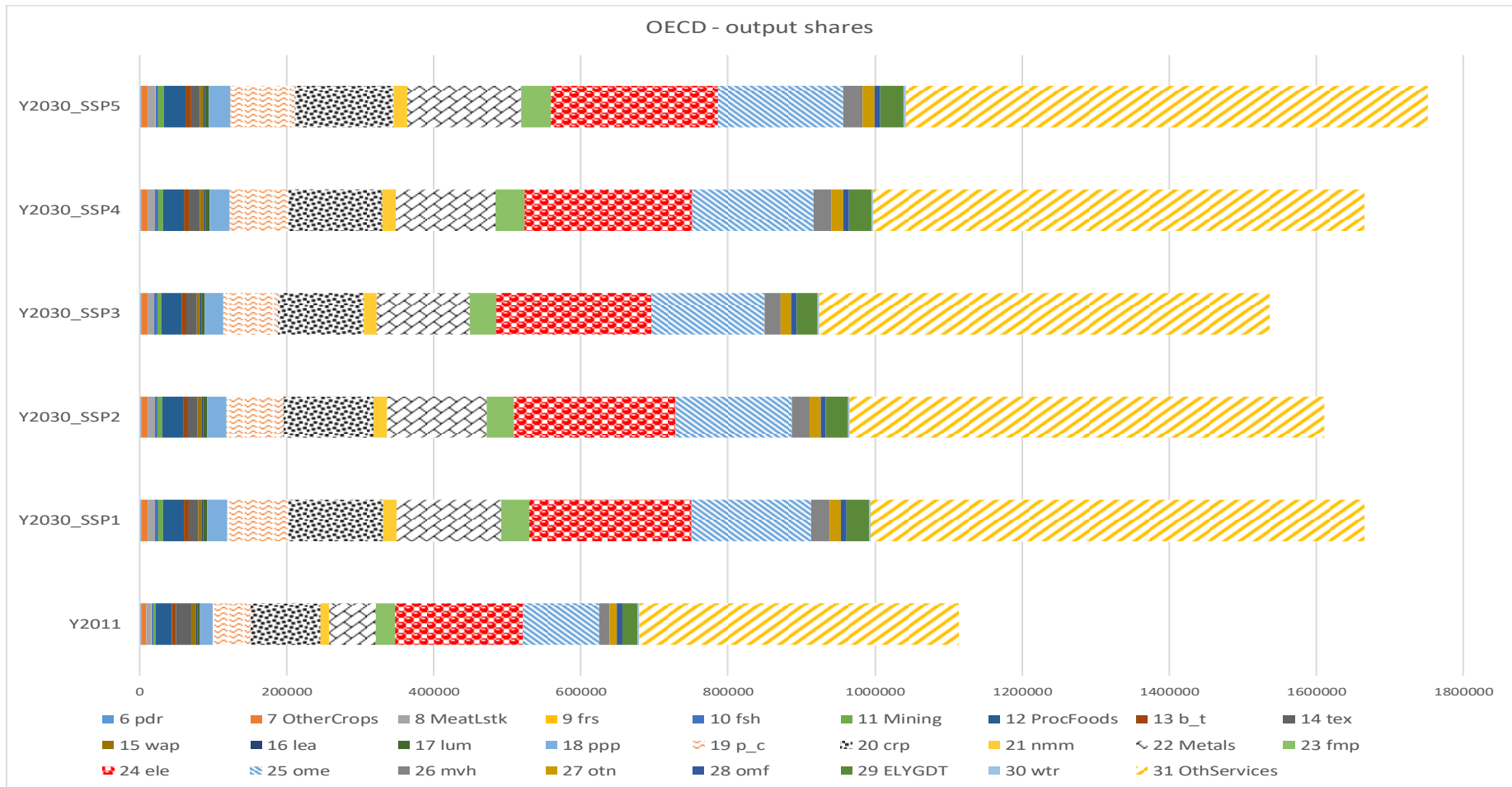


圖 3-14 OECD Env-Growth 模式之 SSP 預測情境下台灣 2030 年的各產業部門實質產出水準
(單位：百萬美元，以 2011 年價格計價)

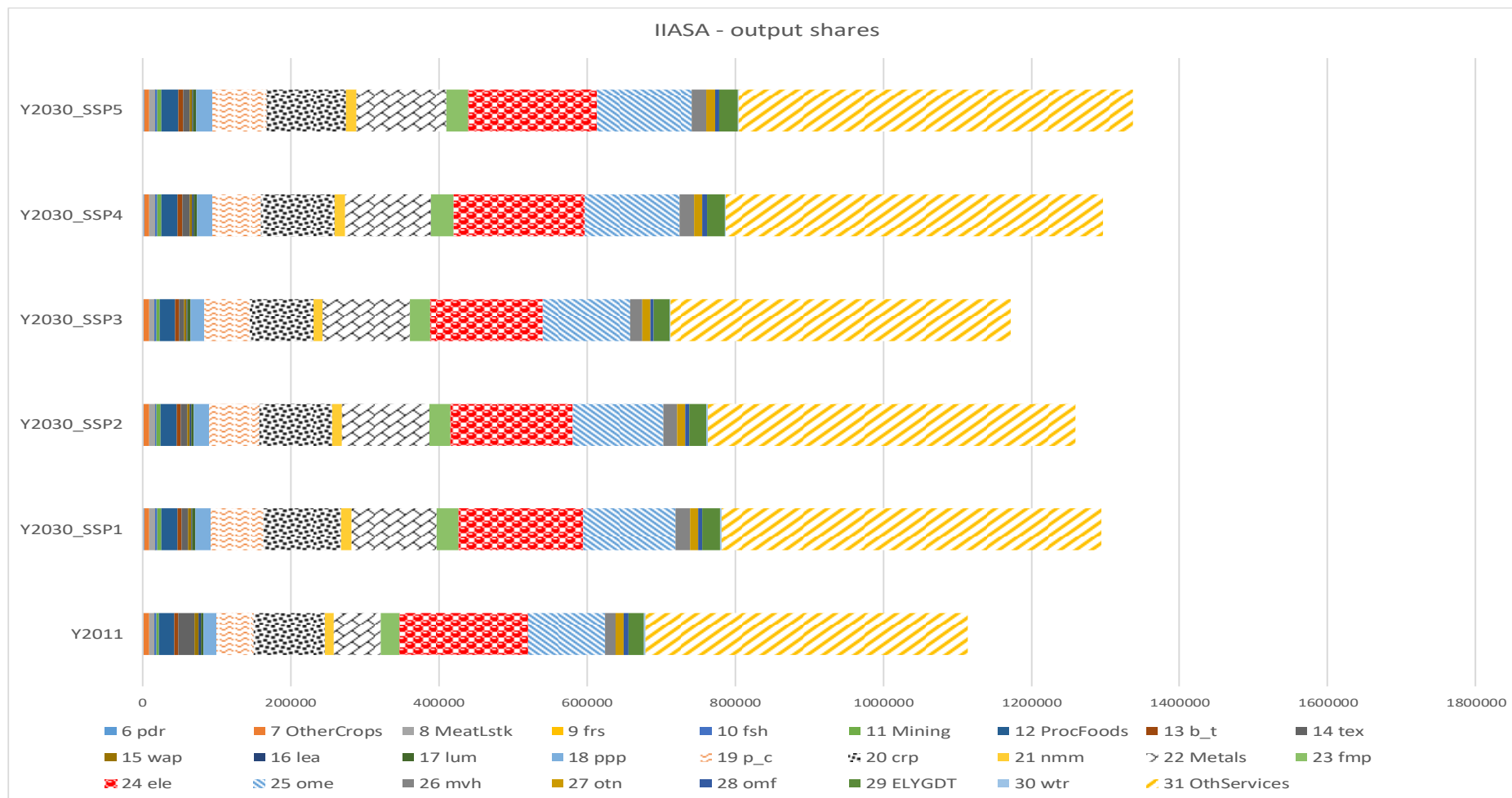


圖 3-15 IIASA 模式之 SSP 預測情境下台灣 2030 年的各產業部門實質產出水準
(單位：百萬美元，以 2011 年價格計價)

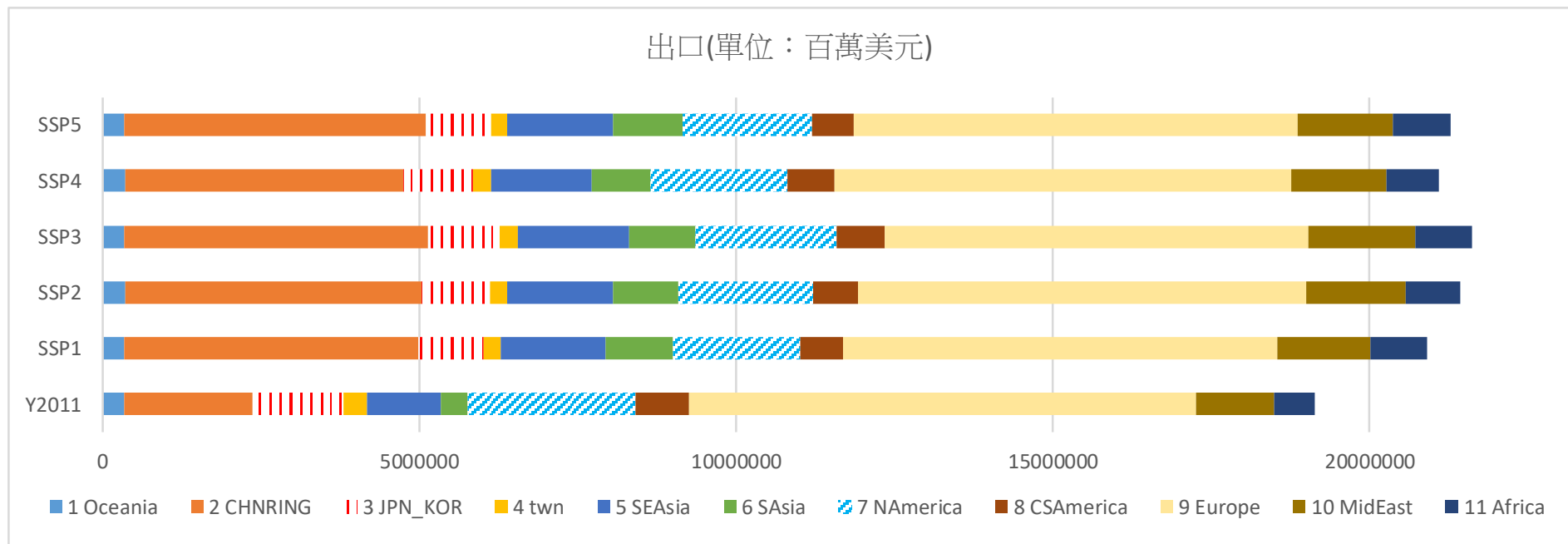


圖 3-17 2030 年各國/區域經濟體在 5 個 SSP 情境下的出口前景：根據 IIASA 模式之成長預測情境

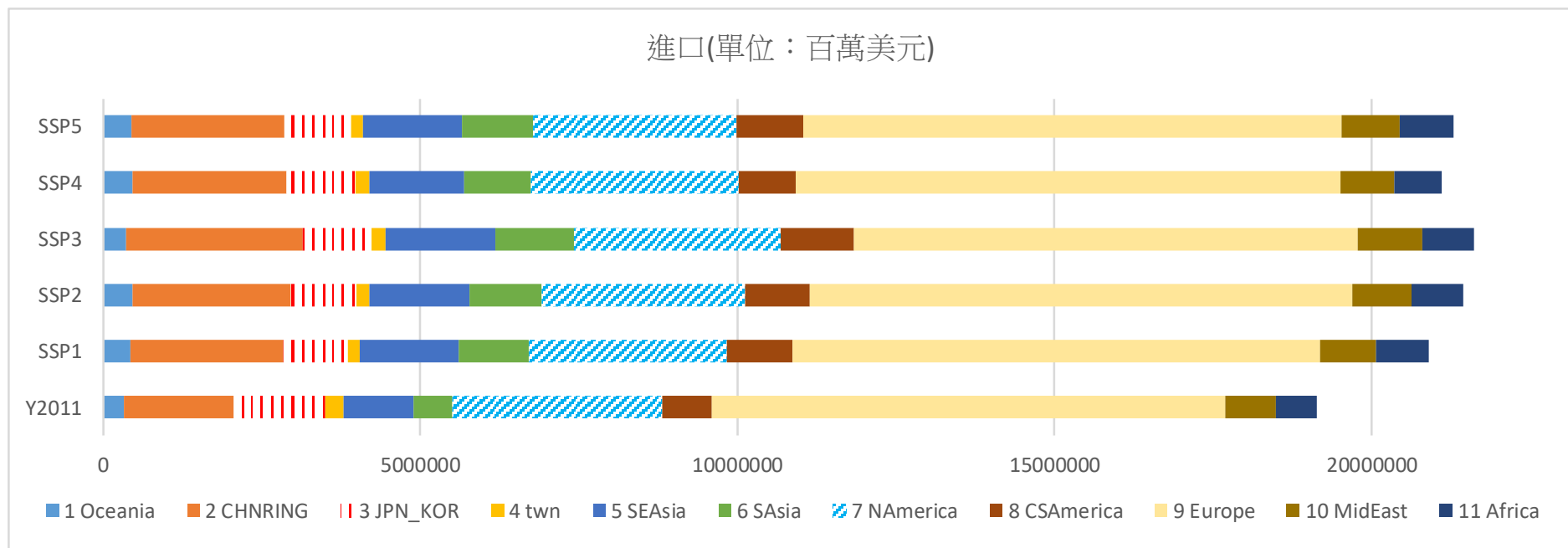


圖 3-18 2030 年各國/區域經濟體在 5 個 SSP 情境下的進口前景：根據 IIASA 模式之成長預測情境

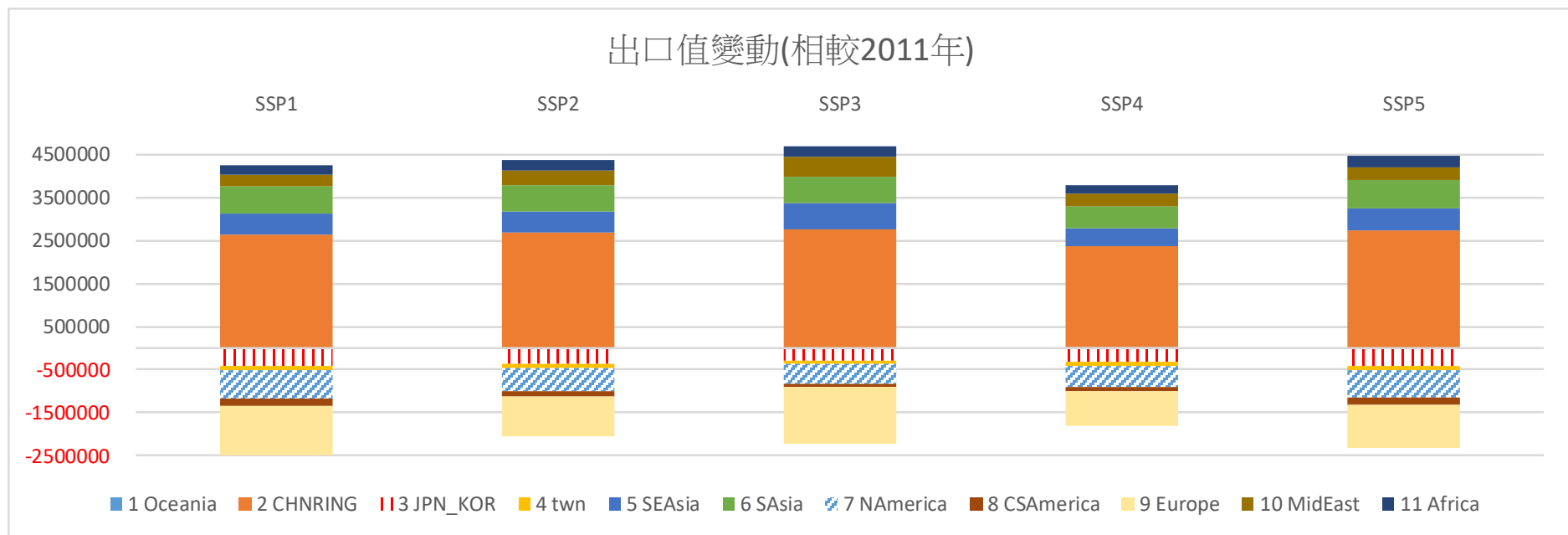


圖 3-19 2030 年各國/區域經濟體在 5 個 SSP 情境下的出口值變動：根據 IIASA 模式之成長預測情境

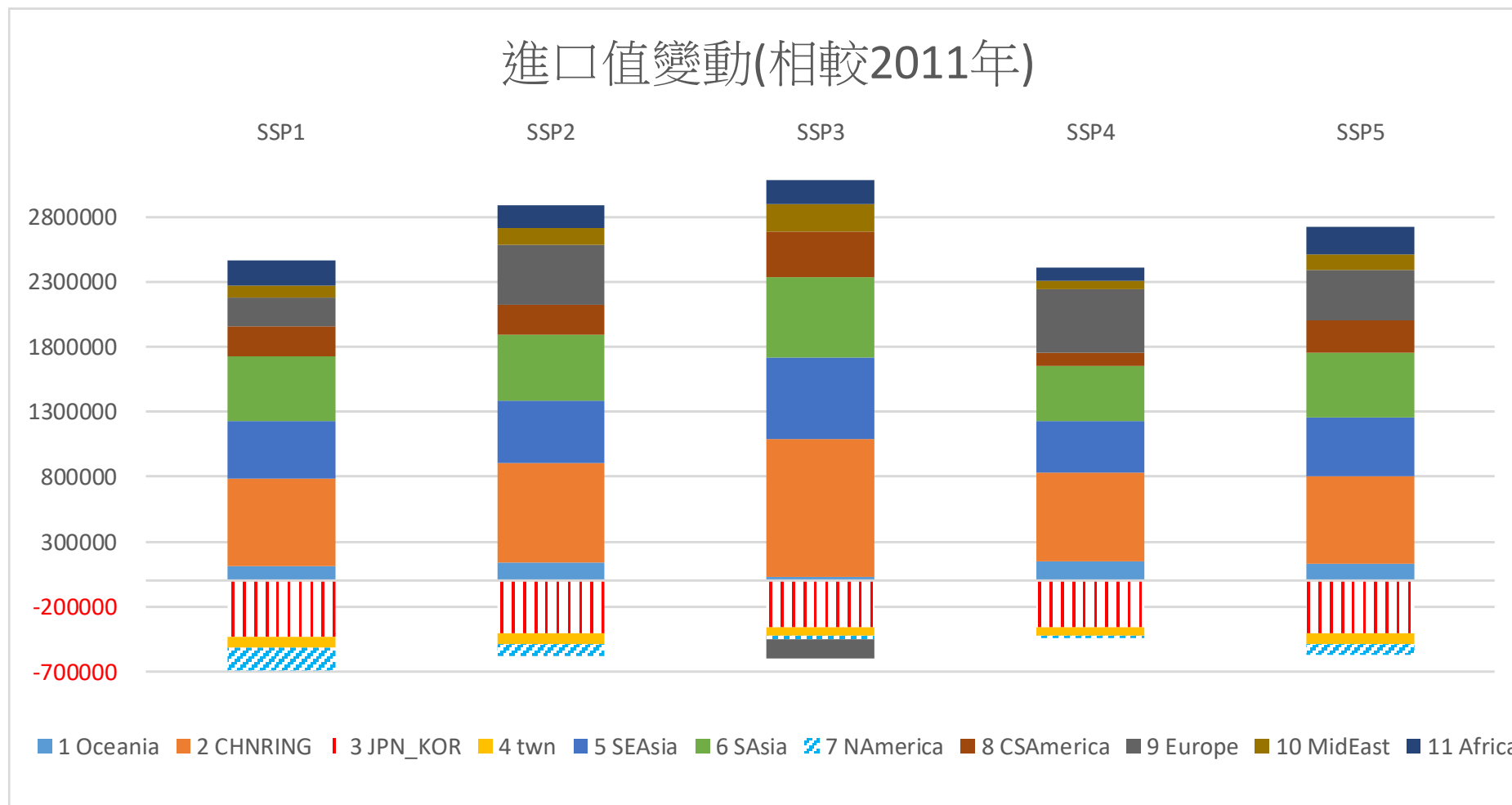


圖 3-20 2030 年各國/區域經濟體在 5 個 SSP 情境下的出口值變動：根據 IIASA 模式之成長預測情境

圖 3-21、圖 3-22 及表 3-4 分別為 OECD Env-Growth 模式與 IIASA 模式之 SSP 預測情境下台灣 2030 年的農業部門用地需求。在 OECD Env-Growth 模式之 SSP 預測情境下，台灣 2030 年的部門用地需求於年 SSP5 情境下農業部門土地總需求成長(相較於 2011 年)幅度最大，達 33.49%；SSP3 情境下的農業部門土地總需求成長率則為 5 個 SSP 情境中最小者，僅 25.15%(詳圖 3-21 及表 3-4)。在 IIASA 模式之 SSP 預測情境下，台灣 2030 年農業部門用地需求詳圖 3-22 及表 3-4，在 SSP5 情境下農業部門土地總需求成長(相較於 2011 年)幅度最大，為 7.5%；SSP3 情境下的農業部門土地總需求成長率則為 5 個 SSP 情境中最小者，僅 0.39%。

表 3-4 台灣 2030 年的農業部門用地需求(單位：公頃)

模式	類別	SSP1	SSP2	SSP3	SSP4	SSP5
OECD Env-Growth 模式	稻作	203415	199427	193137	206023	210625
	雜作	763271	762067	747621	774106	786145
	畜牧	11218	10984	10635	11342	11651
	水產養殖	52302	50923	49021	52563	54837
IIASA 模式	稻作	160002	156166	145735	162303	163990
	雜作	631445	631445	617600	648299	644687
	畜牧	8778	8561	7986	8877	9019
	水產養殖	41156	40075	37353	41193	42498

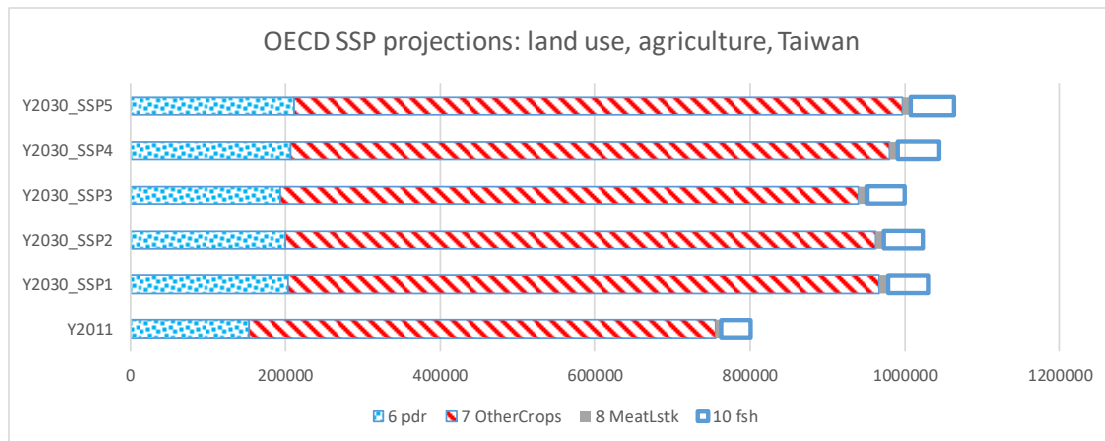


圖 3-21 OECD-EnvGrowth 模式之 SSP 預測情境下台灣 2030 年的農業部門用地需求 (單位：公頃)

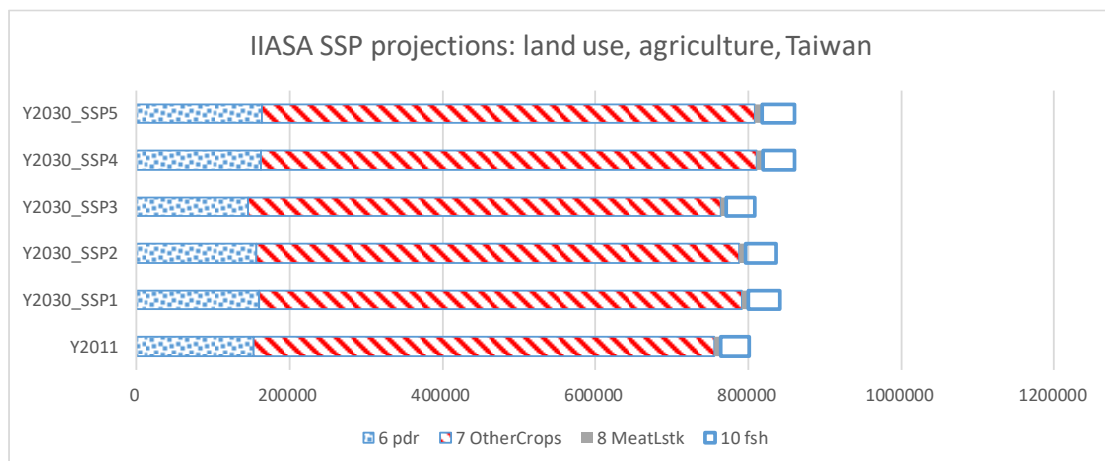


圖 3-22 IIASA 模式之 SSP 預測情境下台灣 2030 年的農業部門用地需求 (單位：公頃)

圖 3-23 與圖 3-24 分別為 OECD Env-Growth 模式與 IIASA 模式之 SSP 預測情境下台灣 2030 年的製造業部門用地需求。OECD Env-Growth 模式之 SSP5 情境下 2030 年台灣製造業部門土地總需求成長(相較於 2011 年)幅度最大,達 49.07%；SSP3 情境下的製造業部門土地總需求成長率則為 5 個 SSP 情境中最小者,為 31.80%。煤與石油煉製品(p_c)、化工製品(crp)、金屬製品(fmp)、機械設備(ome)等土地相對密集產業,其 2030 年產出水準高度成長,因此,這 5 個產

業加總之用地需求量佔整個製造業總需求量之比重從 2011 年的 50%提高到 52%。IIASA 模式所預測之製造業的產出及用地需求成長幅度雖較 OECD Env-Growth 模式之預測為小，但其預測中，2030 年土地相對密集且產出高成長之產業的用地需求佔比為 53%，稍高於 OECD Env-Growth 模式之預測結果。

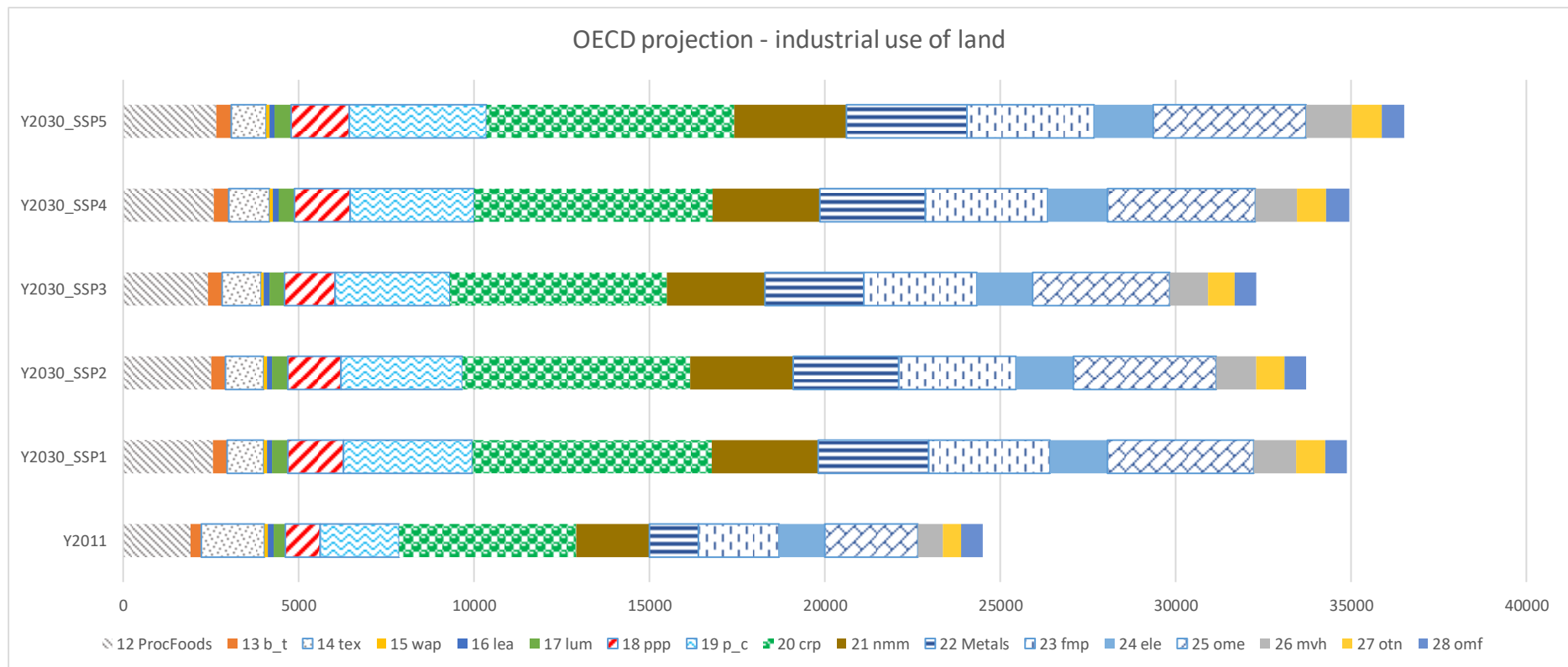


圖 3-23 OECD-EnvGrowth 模式之 SSP 預測情境下台灣 2030 年的製造業部門用地需求 (單位：公頃)

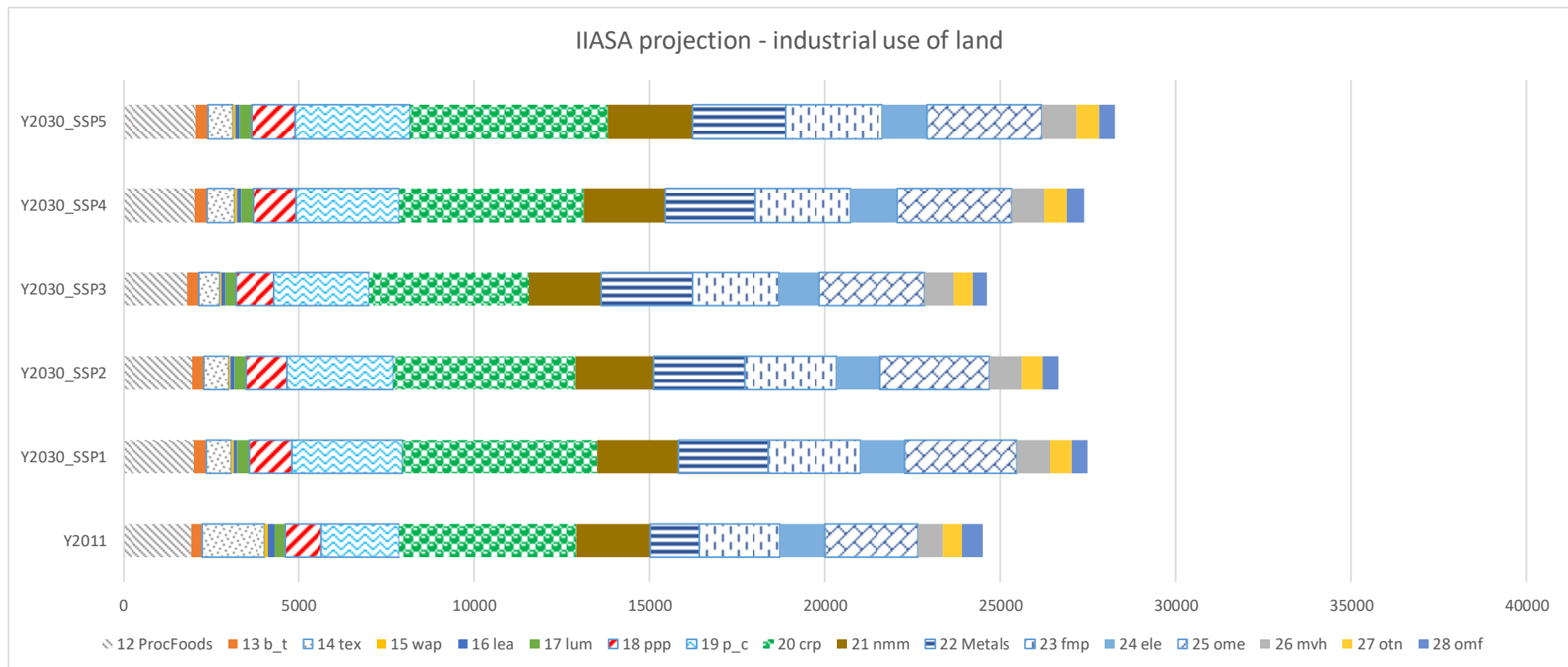


圖 3-24 IIASA 模式之 SSP 預測情境下台灣 2030 年的製造業部門用地需求 (單位：公頃)

(五) 桃園市產業產出及用地需求量之預測

1、全國尺度的經濟成長結果降解(downscale)至桃園市

本計畫採用區域可計算一般均衡模型文獻中建議的「由上而下」(top-down)方法，依據主計總處編製之民國 100 年工商及服務業普查及農林漁牧業普查數據(行政院主計總處，2013)中桃園市個別產業產出(如電子零組件製造業)佔全國個別產業產出之份額，將全球經濟模式中台灣的模擬結果降解(downscale)得到桃園市的產業產出前景。桃園市的產業用地需求量則假設與其產業產出同幅度成長。由於台灣國土面積小，商品及人力跨區域流通容易，各區域之產業生產所需要素的價格差異不大。因此，在降解全國產出的區域配置時假設同一產業(所有生產同一類產品之工廠的集合)位在不同區域之工廠的生產技術相同，亦即，各區域同一產業的要素投入成本結構相同，並且其產品供給之價格彈性相同。模型中設定一固定替代彈性(constant elasticity substitution, CES)函數來配置一產業 i 的全國產出到各個區域的產業 i ，如圖 3-25 所示。若各區域因相關產業政策的變動而導致區域間的產業生產成本有所差異，全國產出量的區域配置亦將因應調整，生產成本相對較低的區域將增產，反之，生產成本相對較高的區域將減產，以使全國生產成本最小化。這樣的區域因素影響將使新的產出區域配置型態不同於基準年的配置型態。

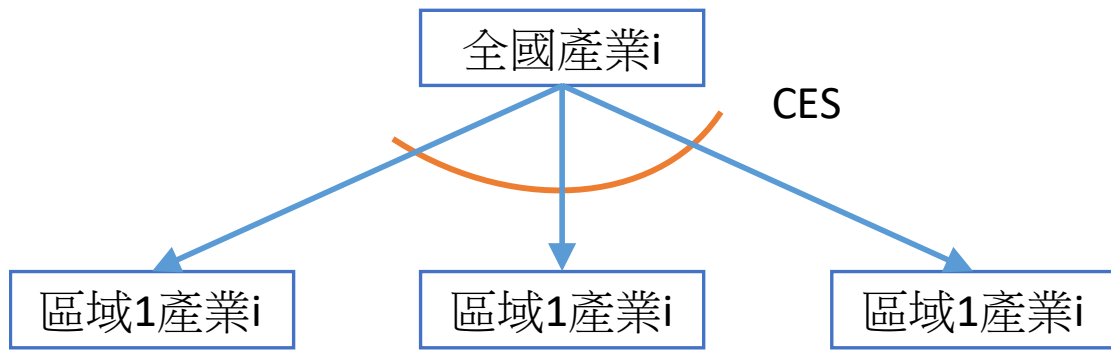


圖 3-25 全國產業產出之區域配置：不完全替代

2、桃園市之產業產值成長及重要性

民國 100 年全國工商普查(主計總處, 2013)資料顯示，桃園市(含舊桃園縣及桃園市)之工商及服務業全年生產總額達 3,557,438.244 百萬元，其占全國所有產業全年生產總額的 12.09%。如圖 3-26 所示，桃園市工商及服務業全年生產總額在民國 95 年到 100 年間大幅成長了 29.74%，高於全國之 22.93%，亦較新北市的產值成長(12.81%)為大，因而超越新北市成為全國第 3 位(前兩大縣市分別為台北市及高雄市)。電子零組件製造業、電腦、電子產品及光學製品製造業，與汽車及其零件製造業為桃園市之重點製造業，其產值占全國產值比重頗大，分別為 17.45%、32.99%及 47.88%，而這些重點產業之產值則占桃園市製造業產值的 50%。

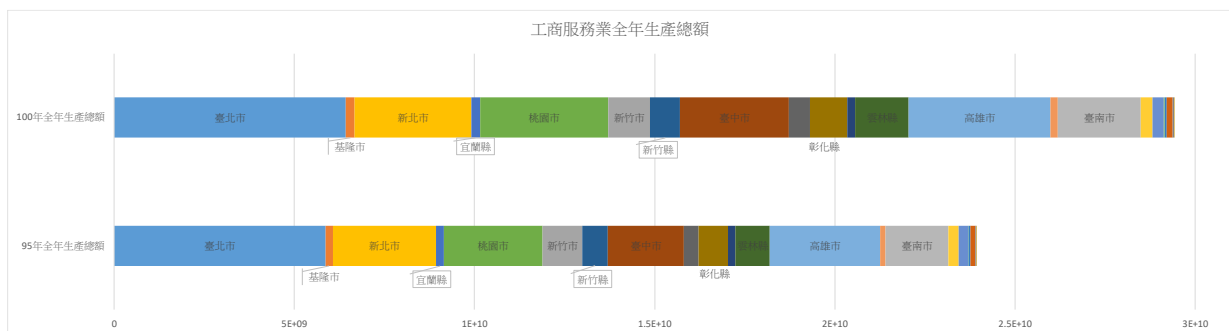


圖 3-26 民國 95 年及 100 年全國各縣市工商服務業產業產出之成長情形 (資料來源：繪自全國工商普查統計(主計總處, 2013; 2008))

3、桃園市之土地利用變遷

桃園市的耕地面積逐年縮減(如圖 3-27 中藍色實線所示)，民國 91 年尚有 39,608 公頃，至民國 106 年時則縮減為 32,355 公頃，減幅達 18%。103-106 年間長期休耕地面積也大幅減少(如圖 3-27 中橘色虛線所示)，休耕地縮減面積(如圖 3-27 中灰色長條所示)占耕地縮減面積(如圖 3-27 中斜紋長條所示)一半以上。圖 3-28 所示為桃園市 100 年及 105 年工業用地面積，其中，金屬製品製造業用地面積增加 98.75 公頃，塑膠製品製造業用地面積增加 47.05 公頃，為所有製造業中增幅最大者。桃園市耕地面積縮減(詳圖 3-27)與工業用地增加(詳圖 3-28)反映了桃園市的產業部門間在經濟成長下的土地利用競爭。

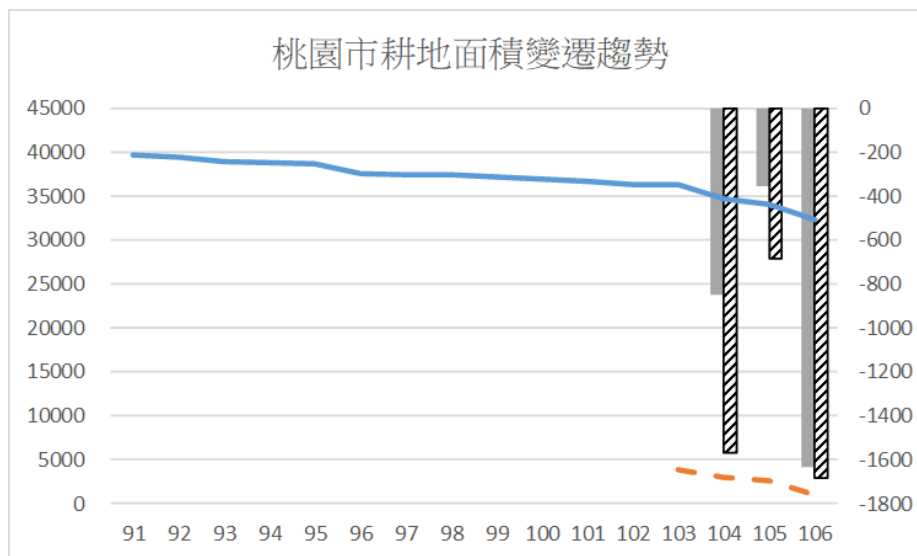


圖 3-27 桃園市耕地面積變遷趨勢(左軸：面積(公頃)；右軸：變動量(公頃))(資料來源：主計總處，縣市政府統計資料庫)

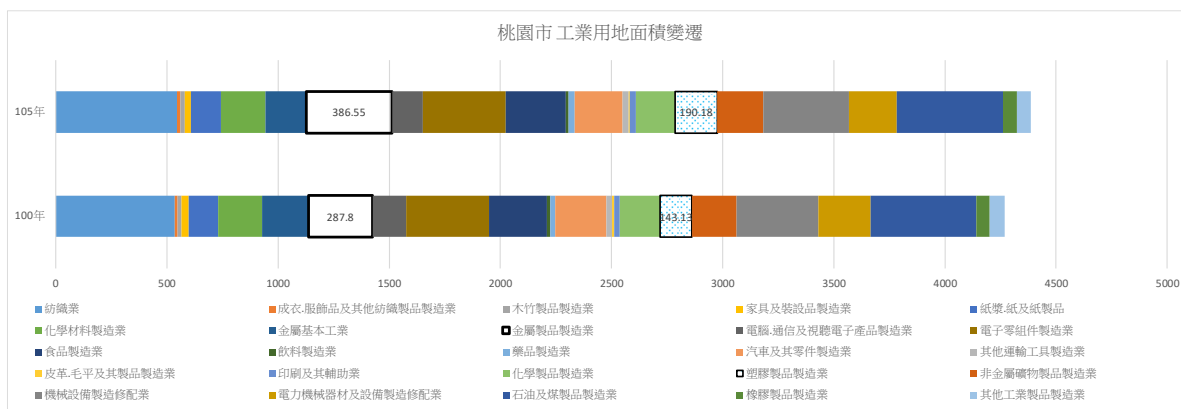


圖 3-28 桃園市工業用地面積變遷趨勢：105 年與 100 年(單位：公頃)(資料來源：水利署用水統計)

4、桃園市 2030 年各土地利用類別之面積需求量預測

本計畫選擇以 IIASA 模式之經濟成長情境下的台灣各部門產出成長預測值結果進行區域降解(downscaling)。表 3-5 所列为 IIASA 全球 SSP3 及 SSP5 情境下 2030 年桃園市各土地利用類別(依據第一級分類)面積需求量預測。SSP3 及 SSP5 情境分別為 5 個 SSP 情境預測中台灣經濟成長較不樂觀與較為樂觀之情境。在 SSP3 情境下，桃園市 2030 年農業利用(包括農、漁、畜牧業)土地面積需求將較 2011 年減少 714.47 公頃，森林利用土地面積需求減少 224.86 公頃，建築利用土地面積需求增加 399.88 公頃。在經濟前景較為樂觀的 SSP5 情境下，桃園市 2030 年農業利用(包括農、漁、畜牧業)土地面積需求將較 2011 年增加 739.25 公頃，森林利用土地面積需求增加 167.62 公頃，建築利用土地面積需求增加 1663.80 公頃。

表 3-5 IIASA 全球 SSP3 及 SSP5 情境桃園市 2030 年各類土地利用需求量預測

桃園市面積需求變動量(公頃)	SSP3 情境	SSP5 情境
農業利用土地	-714.47	739.25
森林利用土地	-224.86	167.62
建築利用土地	399.88	1663.80
荒地利用土地	2.14	2.19

二、土地利用變遷模式

土地利用及覆蓋(Land use/Cover Change, LUCC)的變化因自然及人類的發展相互影響及改變，因此 Veldkamp 及 Fresco 兩位學者於 1996 年建構土地利用變遷模式(Conversion of Land Use and its Effects, CLUE)，討論不同時空、背景受生物物理及人類因子等交互作用下，較大尺度的土地轉換與變遷，進而推估與分析未來變化趨勢(Veldkamp & Fresco, 1996)。CLUE 模式使用土地利用與驅動因子間的量化關係，將其整合至動態模擬後計算土地利用情況。相較於其他以經驗為模擬基礎的模式，CLUE 模式可運用土地利用類型間相互競爭的動態模擬，推算出多種土地利用類型及土地變化(Verburg et al., 2002)。CLUE 模式包含三種基本類型的土地利用變化：土地利用擴張、集約化和收縮，此特性有助於理解因時間轉換而形成的土地利用動態(Veldkamp & Fresco, 1996)。CLUE 模式的整體架構由需求、人口、產量和空間分配等四個模組所組成，其中的需求模組代表土地覆蓋/利用類型之需求量、人口模組代表人口數的變化、產量模組代表農作物等產量及其分佈之變化，空間分配用於模擬土地利用形態的變化。需求量與人口變化對空間分佈及土地利用類別所造成的影響較大 (Verburg et al., 2002)。CLUE 模式具有多層次的特性，可以更準確的理解與分析土地利用下空間格局之變化過程，可推測未來不同空間尺度下得土地利用及其情境設定與條件(Verburg et al., 2002；Verburg et al., 2008)。CLUE 模式可以計算在整體尺度上之土地需求量，還可以需求為基礎預測未來土地利用狀況及合理分配。在特定的社會經濟條件下，CLUE 模式在反映大範圍的精確需求能力仍需改善(Luo et al., 2010)。自 CLUE 模式提出後，多被應用於較大規模的土地研究，如美洲大陸(Kok&Winograd, 2002)、中國、印尼(Verburg et al., 1999)、厄瓜多(De Koning et al.,1999)等。而 CLUE 模式對空間分辨率之像素及數據尺度皆大於一平方公里，單個網格可大至幾十平方公里。以蒐集的數據在網格內設置各個較具有代表性的土地利用類別之百分比，各網格像素代表的空間分辨率所呈現的土地利

用；此方式可能忽略較小比例的類別，其它較大比例的類別也可能根據土地覆蓋的空間和機率分佈狀況而上升。故 CLUE 適用於大規模的土地尺度，其分析空間分辨率較為粗略，亦極有可能導致模擬的結果偏差 (Verburg et al., 2002)。

CLUE 模式在整體土地規模分析中可分為兩種尺度：第一種為整體的國家/洲際性尺度，其顯示結果率較為粗略(coarse resolution)，主要應用於呈現概要性的土地利用變化趨勢及分配，並且顯示可能對變化產生影響的驅動因子；第二種為地域性尺度，此階段納入地區性的限制，從而呈現出更加精確的分辨率(fine resolution)。然而在 CLUE 模式下，占據較大比例的土地利用類型將代表整個分析的單位，故概略分派尺度的網格所呈現出的土地利用類型變化若較平均趨勢高，則在精確分派尺度下的網格中該土地利用類型之變化也會根據前期之粗略分派尺度的結果相對增長。因為 CLUE 模式仍無法準確的解釋驅動因子及不同尺度間的交互關聯，其精確度仍需提升。多數土地利用數據涵蓋範圍較為偏向區域性，且多數通過多邊形或是分類像素，以土地利用圖或是遙感圖呈現出土地利用的類型。當整體研究區域縮至小尺度時，區域型之數據呈現方式及特徵即呈現出與整體大範圍尺度上的差異，致使 CLUE 模式無法應用於小尺度土地研究中(Verburg et al., 2002)。隨著 CLUE 模式更為廣泛地應用於各項土地及環境分析，CLUE 模式無法確切的應用於各式不同尺度及不同地區的研究和模擬。Verburg 等學者(2002)因應較小規模的土地利用及環境變遷模擬需求，以 CLUE 模式為基礎架構，計算驅動因子、空間分配等功能進行發展，於 2002 年正式發展出應用於小尺度區域的土地利用變遷模式 (Conversion of Land Use and its Effects at Small Region Extent, CLUE-S)。

因應小尺度區域所發展出的 CLUE-s 模式，是以小尺度地區為主的多尺度土地利用變遷模式(Verburg et al., 2002)，其為 CLUE 模式的衍生版本。CLUE-S 模式是應用地點適宜性的經驗式分析，再結合土地系統中的空間和時間動態競爭與交互關係，發展動態模擬，適合應用於區域

性土地利用變遷的空間顯性模擬所開發的新形態模式，以更加精確的空間解析度，針對小尺度區域土地利用進行分析。CLUE-s 模式的基本架構建立於於系統理論，透過將社會經濟和生物物理驅動因子間的關聯，應用於土地利用變化後再進行整合性分析，從而區分土地使用系統的階層式組織架構、地區和穩定性間的空間關係，CLUE-s 模式的演算過程適用於不同規模，且能模擬不同類型的土地利用變化改變。

(一) 模式簡介

人類活動所帶來之各種經濟行為與環境因子互相影響，導致土地利用型態因而改變，因此，透過不同時期土地利用空間分布情形，可了解人類活動、經濟活動轉變及各項政策等之行為(方琮雅, 2001)，反之，評估未來土地利用空間分布情形，也可以應用相關模式納入人類活動、經濟發展因子以及環境驅動力因子等加以分析討論。本計畫擬利用經驗式土地利用變遷模式(Conversion of Land Use and its Effect at Small regional extent, CLUE-s)納入利用全球經濟模式所分析之未來各類型土地利用需求改變情形，以及各項可能限制土地利用開發政策，以模擬未來土地利用空間分布情形。CLUE-s 是考量一個小尺度地區之多尺度土地利用變遷預測模型(Verburg et al., 2002)，模式中以土地利用變化反應空間格局的動態變化，藉由輸入未來如農地、林地等不同類別土地利用的需求量，結合模式推估之區域適宜性分析結果，模擬不同土地利用類型與空間的分布情形。圖 3-29 為 CLUE-s 模式架構圖，在本計畫中，土地利用需求非由 CLUE-s 模式推求，而是利用全球經濟模式結合現況與未來經濟發展情形，推估未來各類型土地利用改變量，進而求得未來不同情境下各類型土地利用需求量。

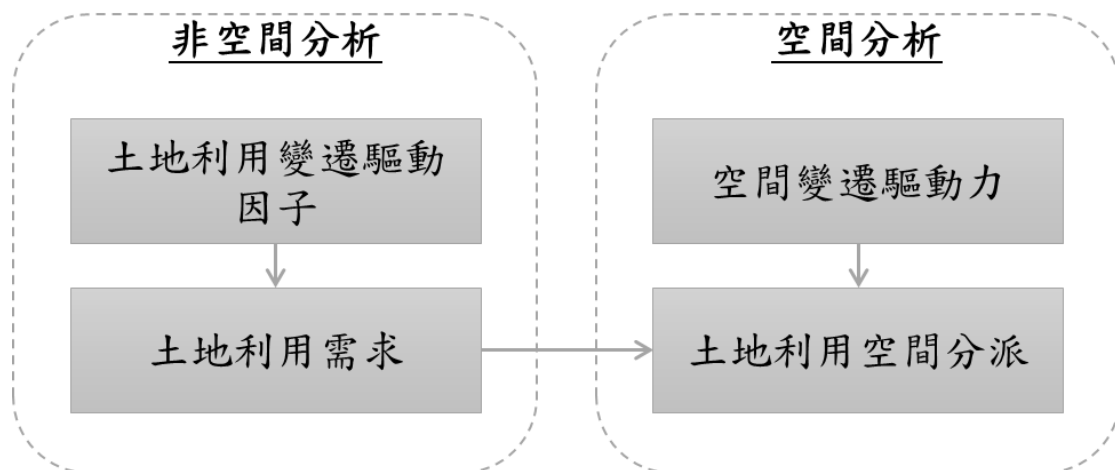


圖 3-29 CLUE-s 模式架構圖(改繪自 Verburg et al., 2002)

CLUE-s 模式可納入考慮空間政策與限制、土地利用類型特殊轉換設定、土地利用需求及區位特性等四個面向，結合經驗性 (empirical)、空間分析與動態模式等，求得未來可能的土地利用的空間分布情形(圖 3-30)。區位特性主要是透過理論或是對研究區域認識程度，以數學模式評估適合特定土地利用類型使用之程度 (Verburg & Veldkamp, 2004)，模式中藉由羅吉斯(Logistic)回歸或是類神經網路(Artificial Neural Network, ANN)，解釋土地利用類型與驅動因子間之關係。式(3-1)為利用羅吉斯(Logistic)回歸表示之土地利用類型與驅動因子間之關係：

$$\log\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_m X_{mi} \quad (3-1)$$

式中 P_i 為每一網格單元可能出現某一土地利用類型 i 之機率； X 表示各驅動因子； β 為各影響因子之回歸係數(即羅吉斯回歸係數)。類神經網路是將節點分層排列，進行高速平行演算，節點藉由加權方式連結其他節點，使得每一個節點可以從其他結點接受輸入訊息 (Pijanowski et al., 2002)，計畫中選用倒傳遞 (Back-propagation) 網絡建構土地利用類型與驅動因子間關係，演算法中類似於節點之神經元可用來連節土地利用類型與驅動因子 (Rumelhart & McClelland, 1986)，並藉由多層感知器 (multilayer

perceptron, MLP)的設計，在輸入層中以每個神經元結合如對土地利用轉變的獨立變數之輸入便亮，隱藏層級輸出層則產生土地利用變化轉換機率(Li & Yeh, 2002)，藉由學習過程決定權重值，進行土地利用變化的轉換機率預測，其方程式如式(3-2)。

$$\begin{aligned}
 U_{b1} &= f\left(\sum_a U_a w_{a,b1} - d_{j1}\right) \\
 U_{bn} &= f\left(\sum_{bn-1} U_{bn-1} w_{bn-1,bn} - d_{bn}\right) \\
 U_c &= f\left(\sum_{bn} U_{bn} w_{bn,c} - d_c\right)
 \end{aligned}
 \tag{3-2}$$

式中， a 、 b 和 c 表示輸入單位、隱藏單位與輸出單位， U_a 表示輸入； $U_{b1}, U_{b2}, \dots, U_{bn}$ 表示隱藏層第一、第二……第 n 個的隱藏單位； U_c 表示輸出； w 表示連接權重； d 表示偏移值； f 為傳遞函數。

不同區位土地利用類型的偏好程度可透過經驗或是相關決策規則決定(Overmars & Verburg, 2005)，在本計畫中，不同土地利用類型之需求則透過前節之全球經濟模式計算而得。空間策略與限制則是指因為政策限制等因素，使得某些特定區域之土地改變受到限制，舉例來說，位於國家公園保護區內之土地是受到限制不能進行開發行為，因此藉由區位偏好及鄰域組合之關係，分析在每個模擬時距下，各網格之土地利用結構是否需要更新。土地利用類型轉換討論的是不同土地利用類型間之轉換可能性及轉換彈性，受到土地利用類型變化不一定具有可逆性，如居住區不容易轉換為農業區，但草地有可能轉換為農地、建地或荒地等，因此藉由彈性轉換描述土地利用類型轉換為另一土地利用類型的的可能性，當轉換彈性越接近 1，表示轉換的可能性越低(如表 3-6)，而土地利用類型轉換順序則定義各類型土地利用之間的轉變是否能夠實現(圖 3-31)。空間分配的過程則是基於上述四個面向，透過多次疊代計算，進行土地利用空間配置。

表 3-6 土地利用轉移矩陣

未來 目前	林地	農地	荒地	草地
林地	1	1(1)	1(2)	1(2)
農地	0	1	1(3)	1(3)
荒地	0	1(4)	1	1
草地	0	1(4)	1	1

註：(1)、(2)、(3)、(4)同圖 3-31

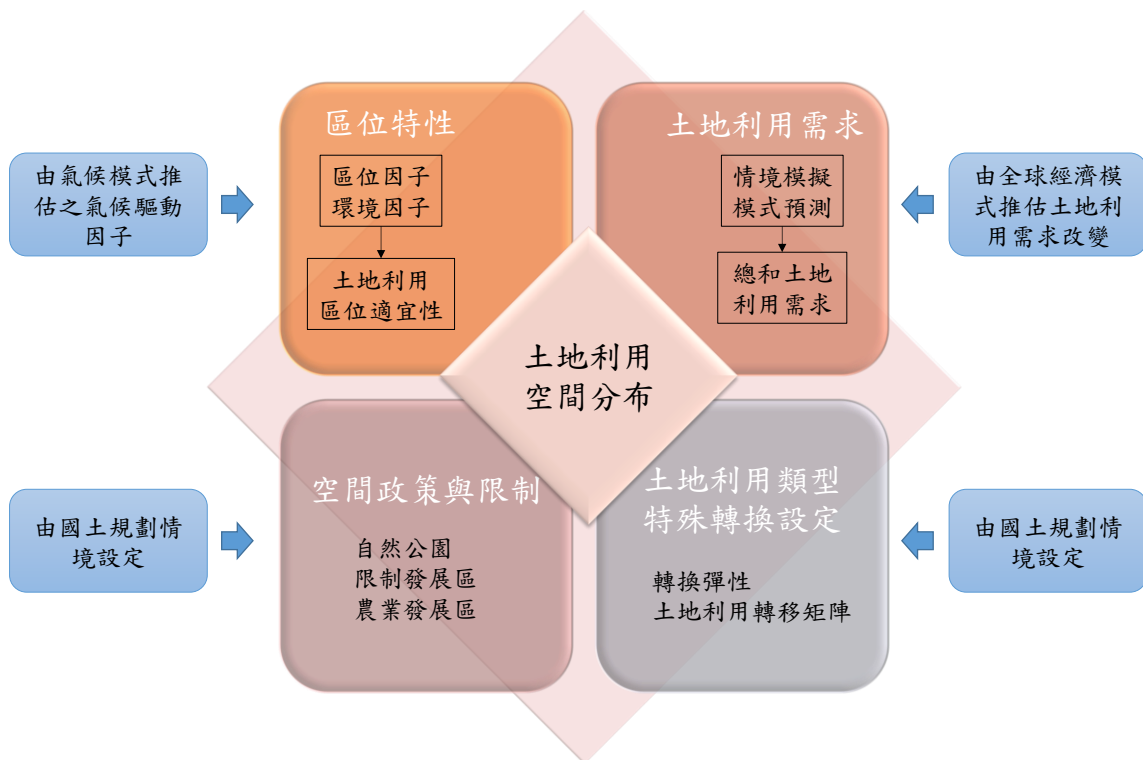


圖 3-30 CLUE-s 模式結構組成(改繪自 Verburg and Veldkamp, 2004)

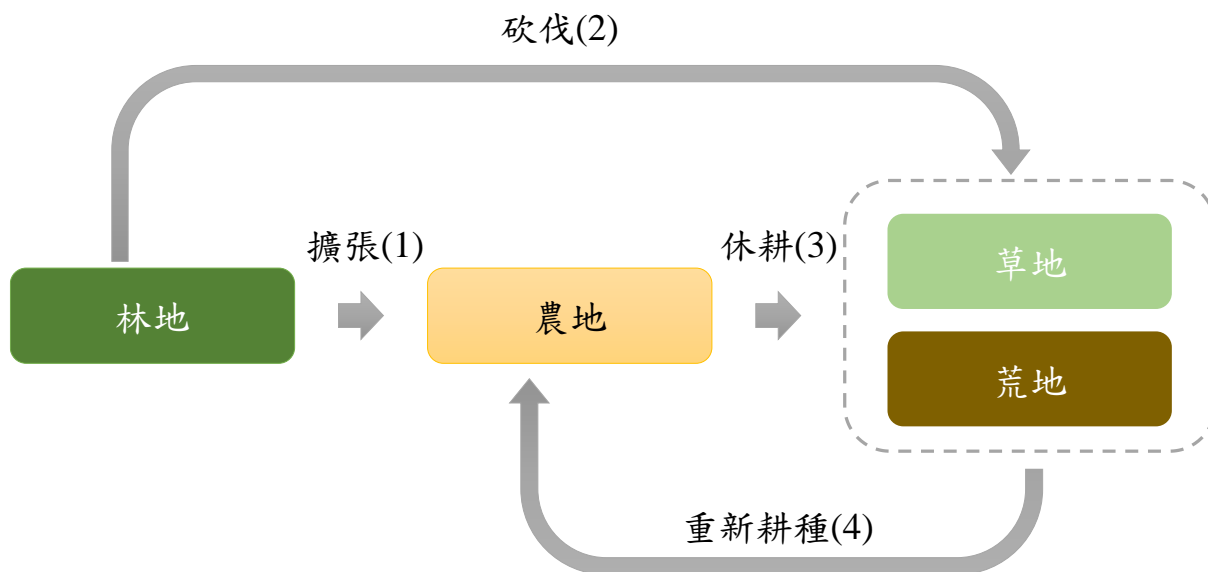


圖 3-31 土地利用轉移順序

(二) 模式驗證及未來土地利用空間分布推估

本計畫利用桃園地區 2007 年及 2014 年之土地利用分布(詳圖 1-9)輸入 CLUE-s 模式，選用 5 個驅動土地利用改變的環境變數(詳圖 3-32)，並將目前桃園機場範圍設定為限制土地利用改變區域，分析在 SSP3 及 SSP5 兩種情境下之桃園地區土地利用改變情境。

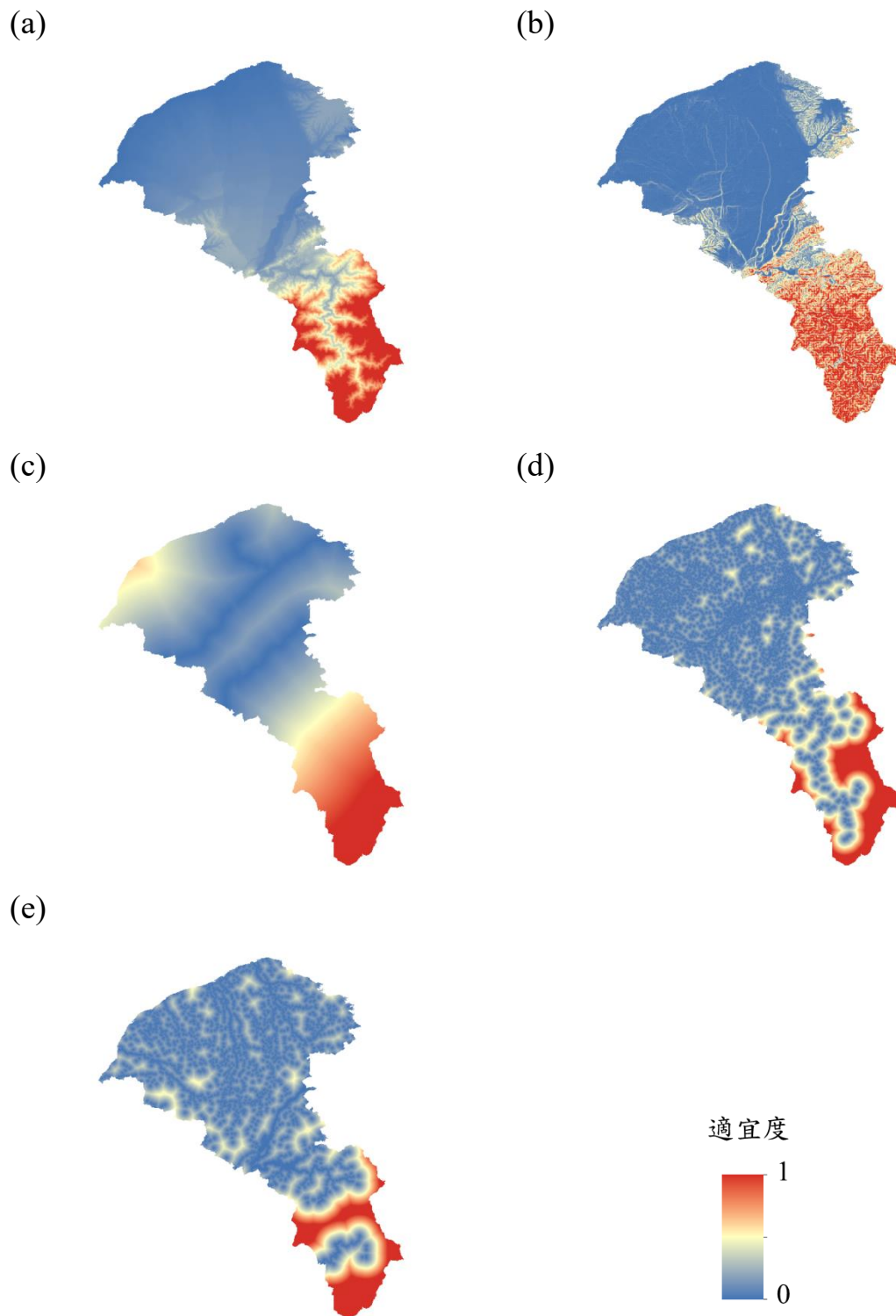


圖 3-32 選用之環境變數(a)高程；(b)坡度(c)與國道之距離 (d)與省道之距離 (e)與河流距離

本計畫首先利用羅吉斯迴歸(Logistic Regression, LR)、廣義可加模式(Generalized Additive Model, GAM)、類神經網路(Artificial

Neural Network, ANN)、支持向量機(Support Vector Machine, SVM)及隨機森林(Random Forest, RF)等 5 種模式，考慮不同環境變數及 2007 年與 2014 年之土地利用，分析各類別土地利用空間分布適宜性，並以 AUC 值做為評估標準。當 AUC 值越接近 1 表示此模式模擬效果越佳，若 AUC 值為 1，表示採用這個模式進行預測時，存在一完美預測；而當 AUC 值在 0.9 以上時有較高準確性，AUC 值在 0.7~0.9 時有一定之準確性；當 AUC 值為 0.5 時，說明模式沒有預測價值，而當 AUC 值小於 0.5 時代表代表模擬結果不符合實際情況。而模擬結果顯示，RF 模式所模擬之各類別土地利用模擬之曲線下面積(Area Under Curve, AUC)值(圖 3-33)之 AUC 值均大於 0.8，顯示 RF 模式所模擬之結果具有優良之判別力，而 LR 及 GAM 兩個模式所模擬之結果，AUC 值均大於 0.65，顯示此二模式具有可接受之判別力，ANN 及 SVM 兩個模式所模擬之 AUC 值雖然較差，但也大於無鑑別力之 0.5。

利用不同模式所模擬之土地利用適宜度，代入 CLUE-s 模式推估 2014 年土地利用空間分布(圖 3-34)及模式驗證結果(圖 3-35)顯示，圖 3-35 中 Overall Figure of Merit、Overall fit、Persistence simulated correctly(灰色區域)、Change simulated correctly(紅色區域)會隨著網格解析度上升而上升，而模擬之 2014 年土地利用空間配置結果當解析度為 1 時(單位網格原始解析度)，Overall fit 的值為 90%左右，雖然隨著解析度放大時 Overall fit 的值也隨之增加，但在單位網格原始解析度下 Overall fit 的值已大於 90%，顯示在單位網格原始解析度下，模式已能準確的模擬桃園地區的土地利用配置。模式驗證之 kappa 值均在 0.84-0.86 之間，表示不論是以何種方式推估之土地利用適宜度再搭配 CLUE-s 模式，推估之土地利用空間分布均具有可信度。

比較推估 2014 年土地利用(詳圖 3-34)及實際土地利用(詳圖 1-9(b))情形亦可發現,推估之各類別土地利用面積與實際結果接近,據此可採用模式驗結果進而推估未來土地利用情境。SSP3 情境中農業、森林及草地面積減少(詳表 3-5),而建地及荒地面積增加,但在 SSP5 情境中,農業、森林、荒地及建地是增加的(詳表 3-5),尤其是建地的面積大幅增加,為符合桃園地區總面積,草地及埤塘面積則為減少。而據此各類型土地利用面積及土地利用適宜性推估結果,所模擬之 2030 年各類型土地利用空間配置結果如圖 3-36 所示。由於 RF 模式所模擬各類別土地利用之均 AUC 值大於 0.8 為最佳,且 RF-CLUE-s 驗證之 kappa 值為 0.86,因此,在後續研究中,將以 RF-CLUE-s 所模擬之結果進行後續分析。

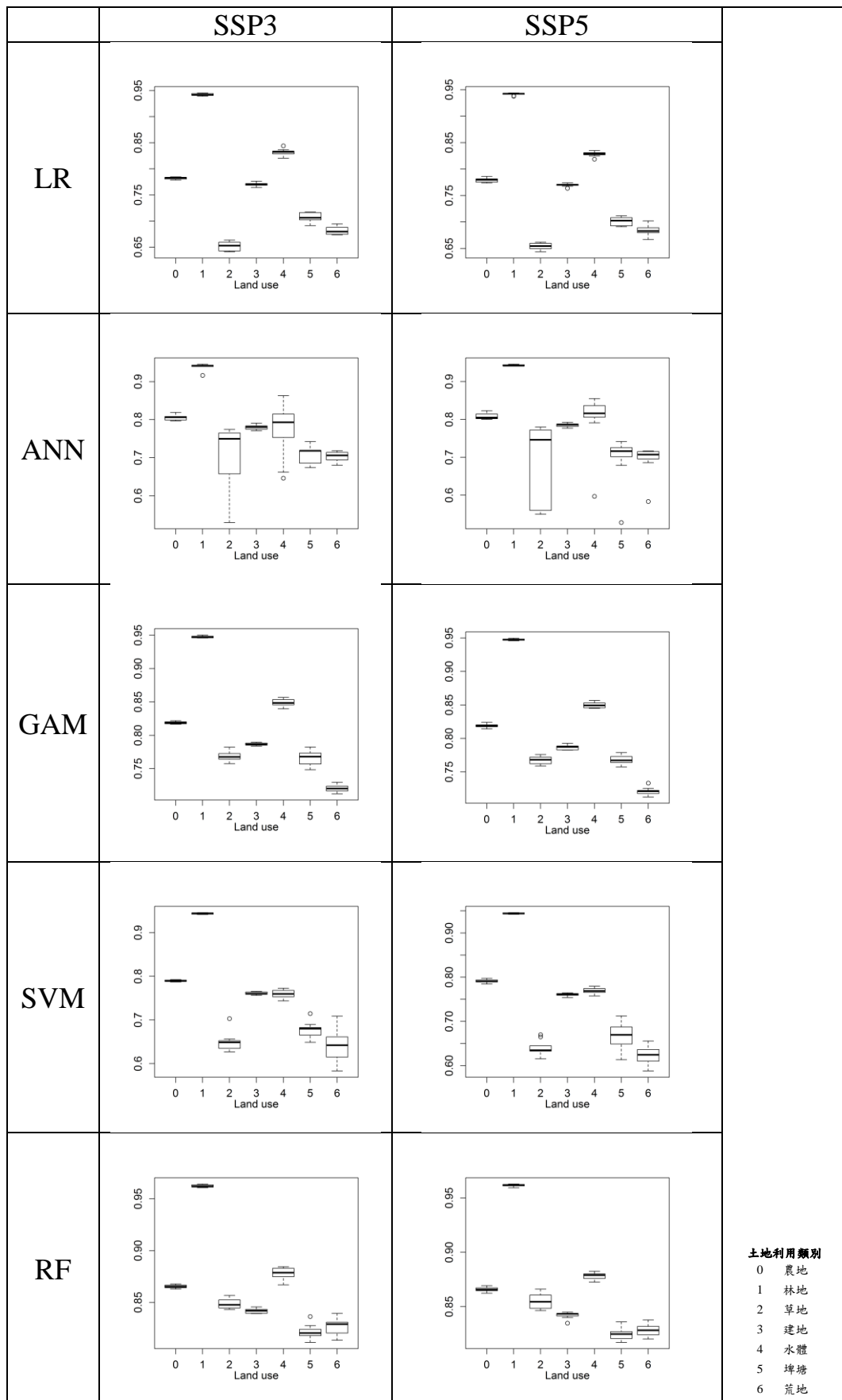
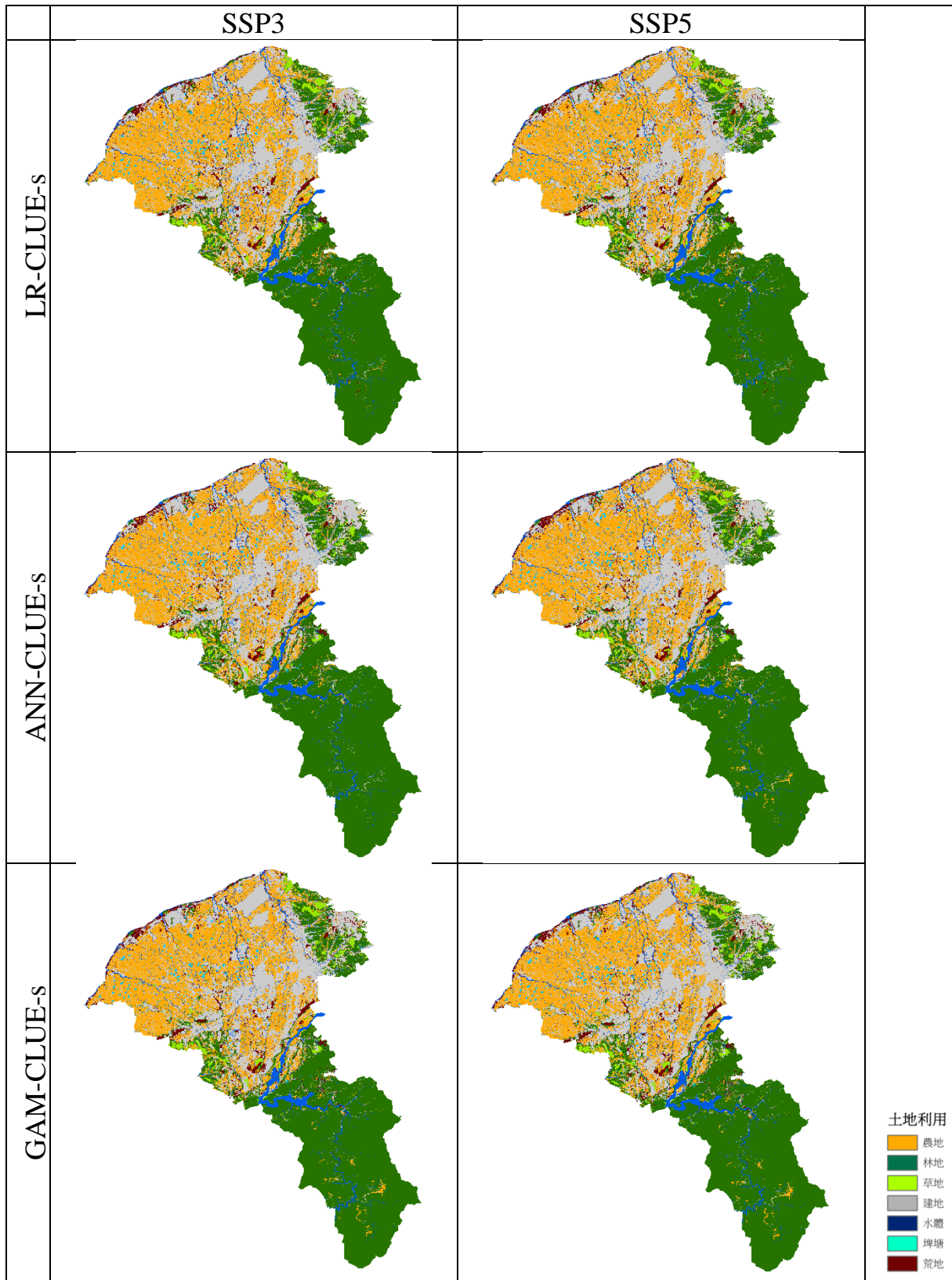


圖 3-33 不同模式所模擬之各類別土地利用 AUC 值



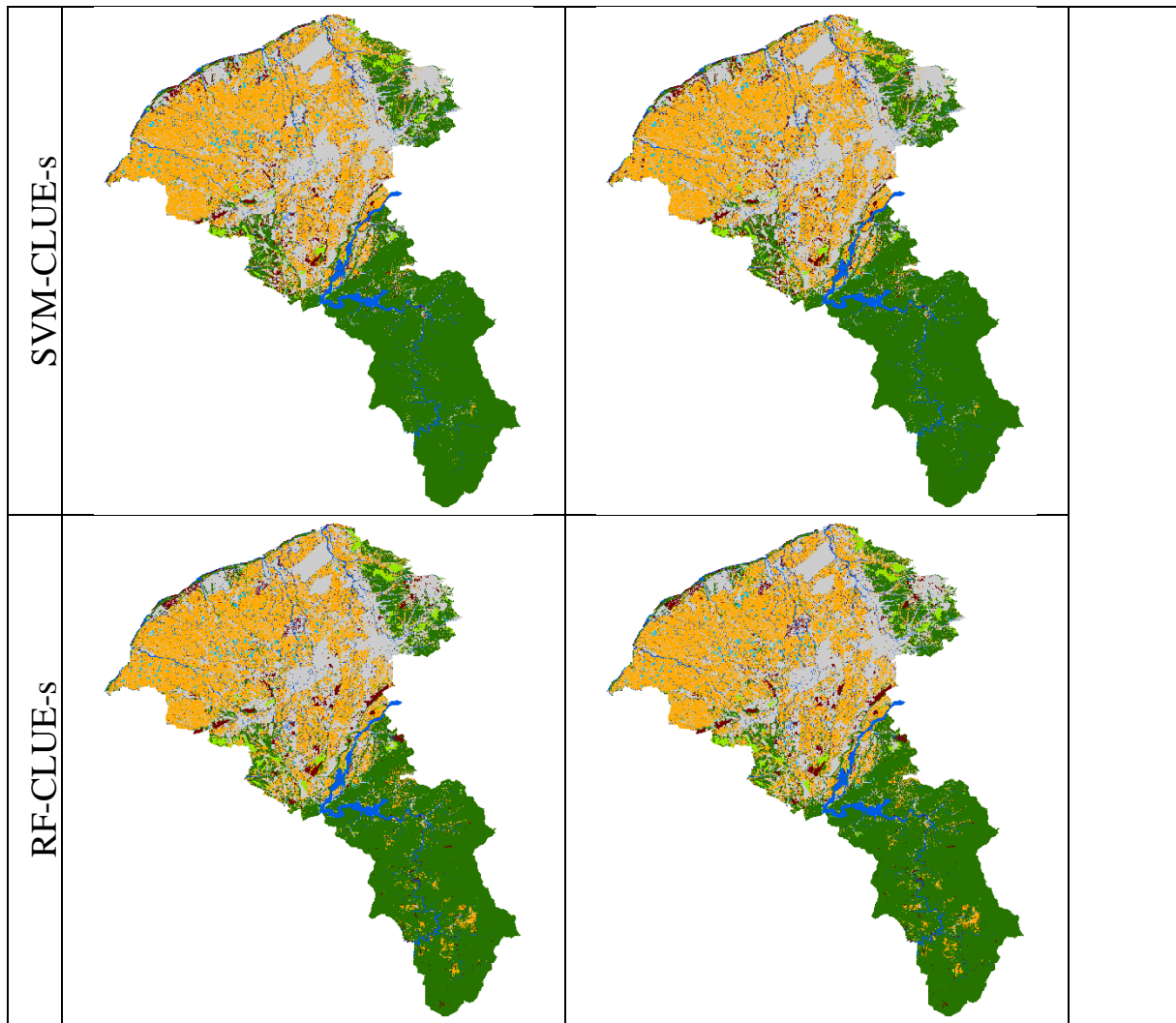


圖 3-34 以 CLUE-s 模式模擬之桃園市 2014 年土地利用

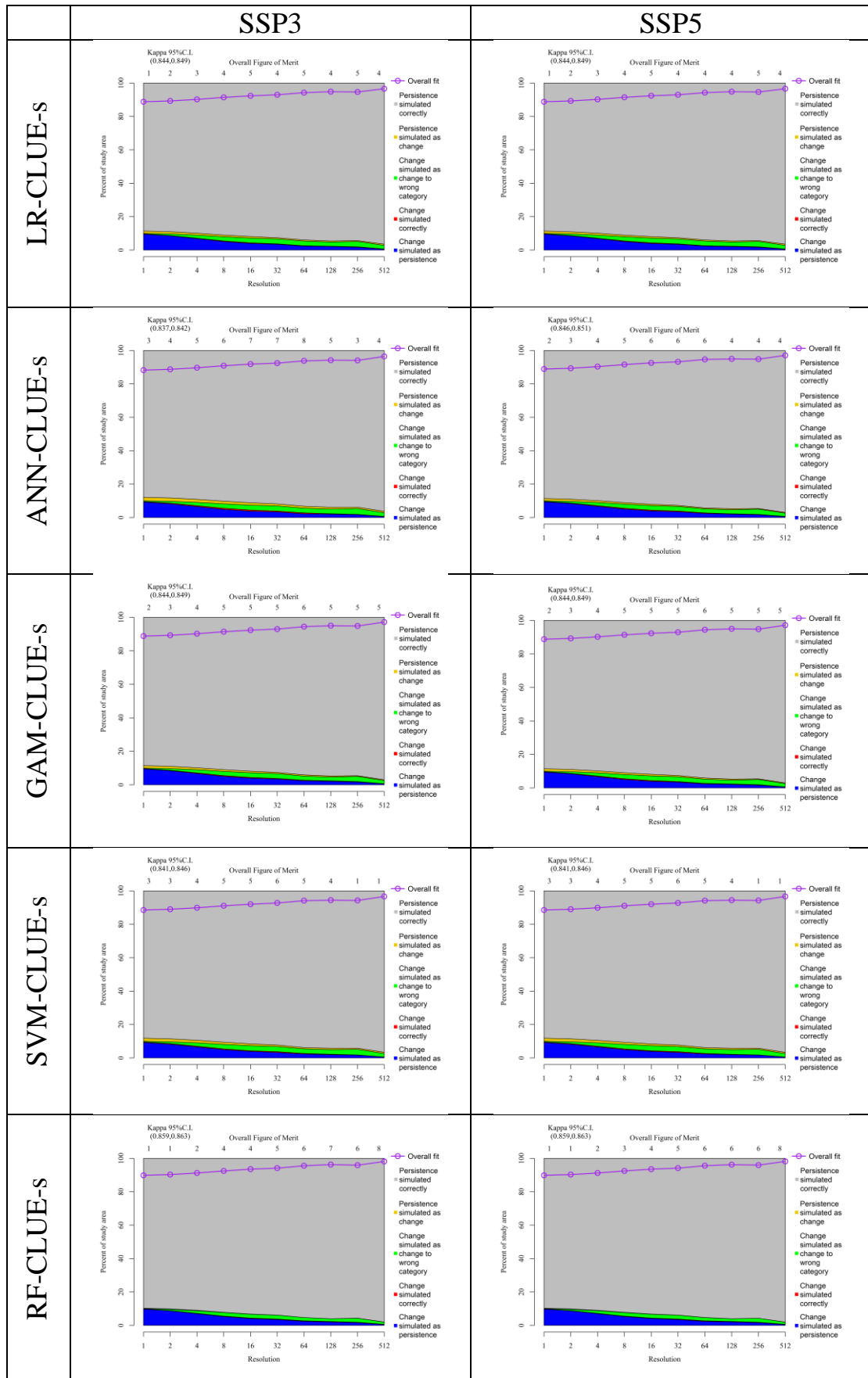
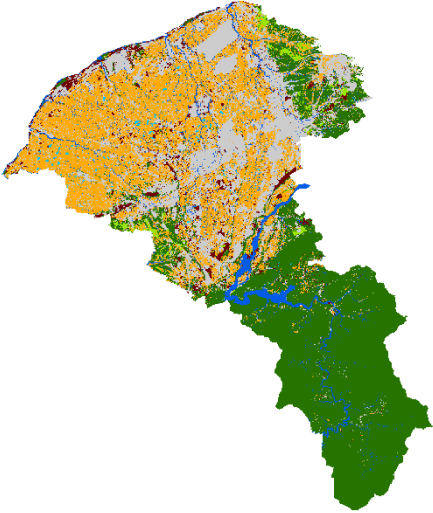
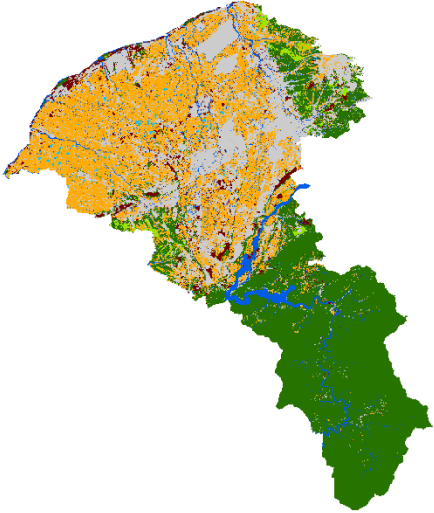
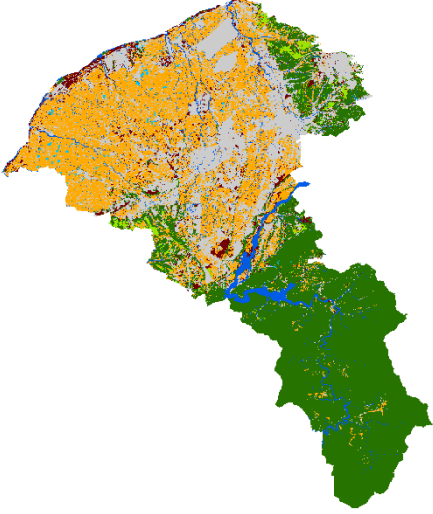
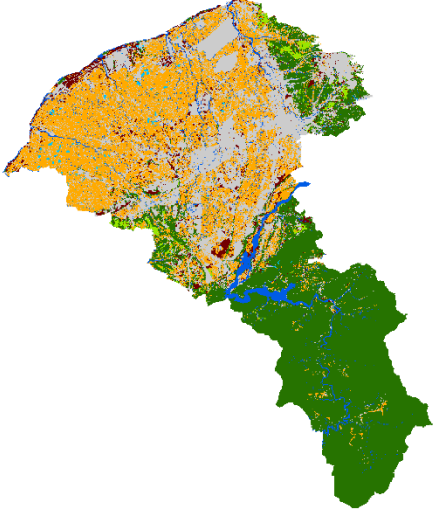
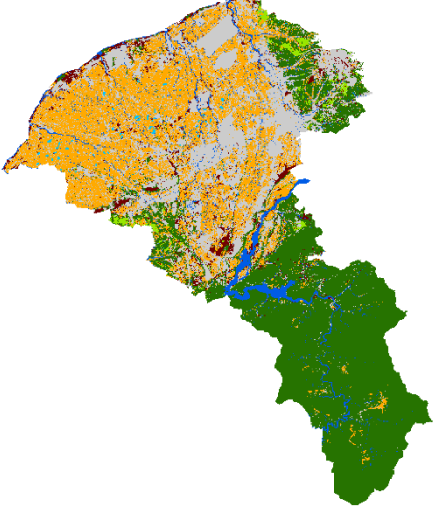
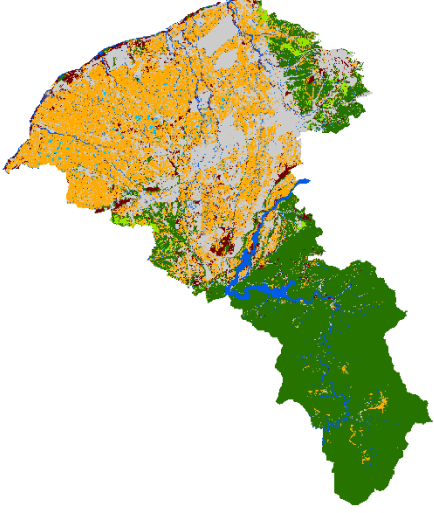


圖 3-35 土地利用模擬驗證結果

	SSP3	SSP5	
LR-CLUE-s			
ANN-CLUE-s			
GAM-CLUE-s			

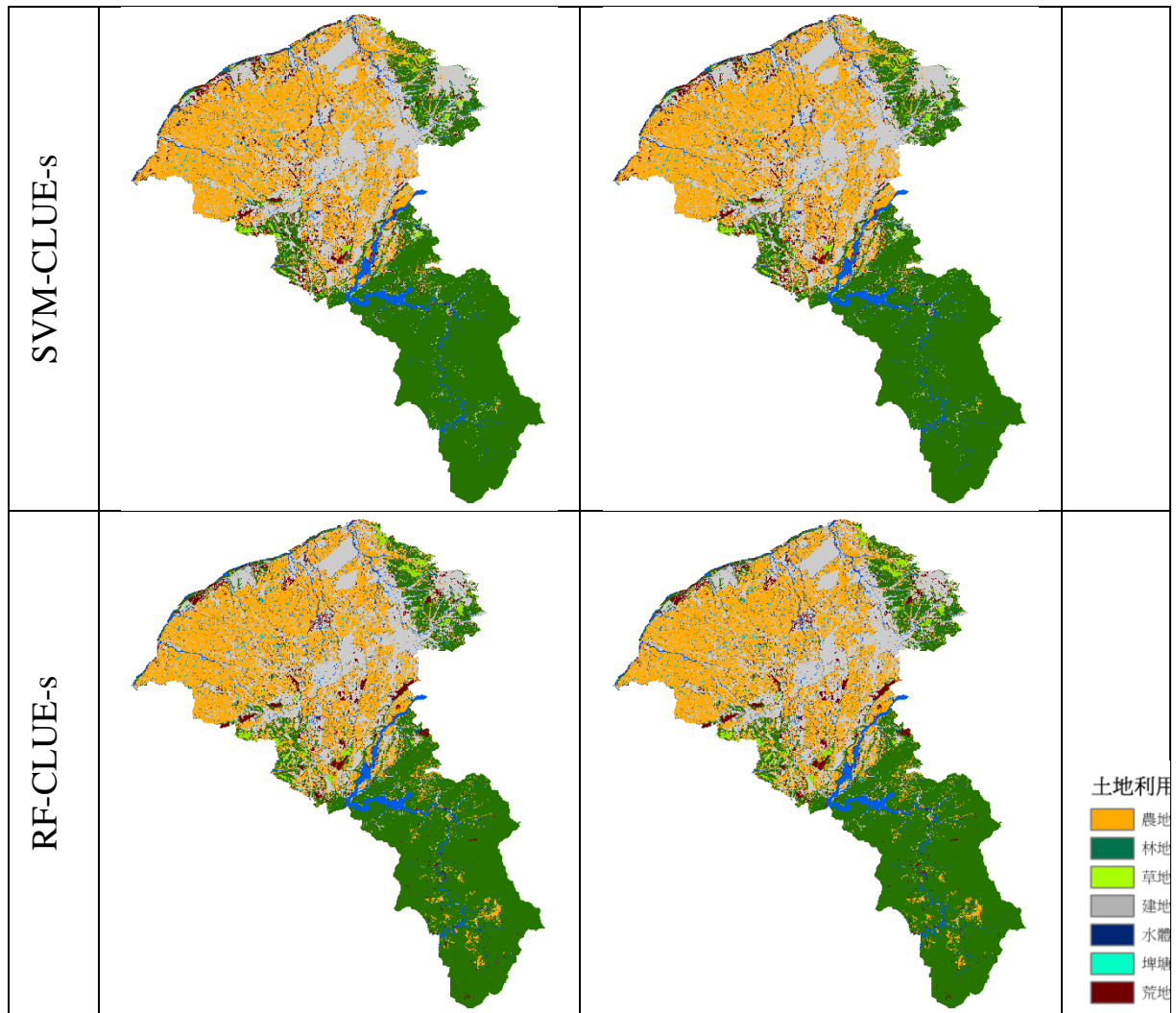


圖 3-36 SSP3 及 SSP5 情境下推估之未來土地利用空間分布

三、小結

本計畫利用全球經濟模式，以政府間氣候變遷專門委員會(IPCC)氣候變遷第五次評估報告(AR5)中所列舉 5 類未來全球社會經濟發展可能路徑(Shared Socioeconomic Pathways, SSPs)下的全球碳排放量及世紀末暖化程度基礎，採用 OECD Env-Growth 模式與 IIASA 模式所推估預測的兩組 SSP 經濟成長預測值—包括各國 2030 年的人口與經濟成長預測值—作為全球可計算一般均衡模型的模擬環境設定依據，模擬全球及台灣經濟各生產與消費部門於 2030 年時之成長展望，以推估於 2030 年時各產業所需之土地面需求量，並降至桃園尺度，推估桃園市未來各

類型土地利用改變量。OECD Env-Growth 模式與 IIASA 模式對於全球經濟體整體成長預測一致，但其對個別國家/區域成長預測，則因其所假設各國未來發展前景不同而有所差異，且 OECD Env-Growth 模式對非 OECD 國家之經濟成長前景預測值相對較 IIASA 模式樂觀。在後續桃園市之產業成長與用地需求推估中，我們選擇以較為保守的 IIASA 模式 SSP 情境下的全國產值預測值來進行區域降解。

據此，本計畫應用 CLUE-s 模式，以所推估之土地利用改變情形，推估未來土地利用之空間分布。結果顯示，分析所得之各類型土地利用之 AUC 值均大於 0.6，由於 RF 模式所模擬之各類型土地利用之 AUC 值均大於 0.8，且 RF 模式搭配 CLUE-s 所模擬土地利用空間分布結果之 kappa 值為 0.86，為所有結果中之最佳，因此後續工作中，以 RF-CLUE-s 模式所推估之結果與國土功能分區進行套疊，討論模擬之結果各類土地利用是否符合預定或是已設定之功能，以適切評估未來可能的土地利用空間配置情形。

第四章 評析目前國土規劃與依據結合遙連結與全球經濟模式所分析之未來土地利用之差異

一、目前國土規劃之發展

根據 105 年度公告施行之國土計畫法第一條說明，為因應氣候變遷，確保國土安全，保育自然環境與人文資產，促進資源與產業合理配置，強化國土整合管理機制，並復育環境敏感與國土破壞地區，追求國家永續發展，特制國土計畫法，國土計畫法中基於保育利用及管理之需要，並依照土地資源特性，劃分國土保育地區、海洋資源地區、農業發展地區及城鄉發展地區等 4 種國土功能分區(詳圖 4-1)。此外，於 107 年度公告實施之全國國土計畫中，依國土計畫法第 20 條規定國土功能分區劃設原則下，予以劃分其他必要分類，以進行適當土地使用管制，這四種國土功能分區及其分類之劃設原則詳表 4-1。

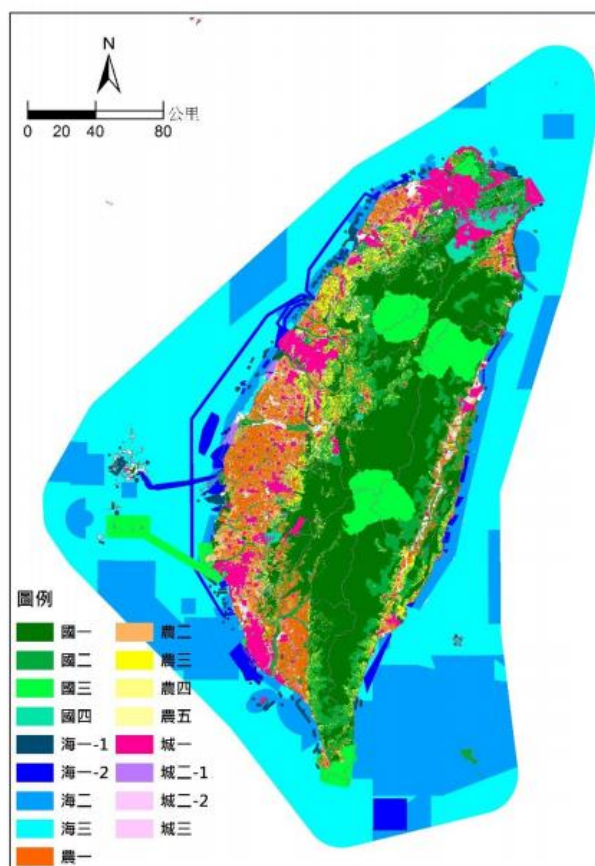


圖 4-1 國土功能分區示意圖(資料來源：內政部營建署, 2016)

表 4-1 全國國土計畫各國土功能分區劃設條件(資料來源：內政部, 2018)

國土功能分區		全國國土計畫劃設條件
國土保育地區	第一類	<p>1. 位處山脈保育軸帶(中央山脈、雪山山脈、阿里山山脈、玉山山脈、海岸山脈)、河川廊道、重要海岸及河口濕地等地區內，具有下列條件之陸域地區，得劃設為國土保育地區第一類：</p> <p>(1). 具保育自然價值之自然區域、地形、植物及礦物之地區。</p> <p>(2). 於重要特殊或多樣之野生動物棲息環境，為保育野生動物，維護物種多樣性，與自然生態平衡需要，應加強保護地區。</p> <p>(3). 具有生態及保育價值之原始森林，具有生態代表性之地景、林型，特殊之天然湖泊、溪流、沼澤、海岸、沙灘等區域，為維護森林生態環境，保存生物多樣性，所應保護之國有林、公有林地區；及為涵養水源及防止災害等目的，所劃設保安林地。</p> <p>(4). 為保障水資源供應及維護水庫功能，經目的事業主管機關公告之水庫蓄水範圍。</p> <p>(5). 為確保飲用水水源水質，避免有非法砍伐林木或開墾土地，土石採取及探礦、採礦，或相關污染水源水質之行為，所應劃定之地區。</p> <p>(6). 符合國土保育性質，或屬於水資源開發、流域跨區域治理之水系或經公告之水道。</p> <p>(7). 沿海富含珍貴稀有動植物棲地及生態廊道，或生態景觀及自然地貌豐富特殊，具有重要海岸生態系統，為保護與復育海岸資源劃定之地區。</p> <p>(8). 海岸河口具生態多樣性及重要保育物種，具水資源涵養功能之濕地。</p> <p>2. 位於前 1.範圍內之零星土地，得一併予以劃入。</p>
	第二類	<p>1. 鄰近山脈保育軸帶、河川廊道、重要海岸及河口濕地周邊地區內，具有下列條件之陸域地區，得劃設為國土保育地區第二類：</p> <p>(1). 國公有林地，依永續使用及不妨礙國土保安原則，發展經濟營林、試驗實驗、森林遊樂等功能之地區。</p> <p>(2). 高山丘陵易因地質脆弱鬆軟或坡向特殊，致重力承載不足並產生坡度災害之地區。</p> <p>(3). 河川野溪周邊因地質敏感及坡地特性，易因水土混合及重力作用後，夾帶土石沿坡面或河道流動所造成災害地區。</p> <p>(4). 山坡地經辦理土地可利用限度分類，查定為加強保育地區。</p> <p>(5). 為維護自來水供應水質水量，就水源保護需要所劃定地區。</p>

國土功能分區		全國國土計畫劃設條件
		2. 現況尚未劃定使用分區及編定使用地之離島。 3. 位於前 1.範圍內之零星土地，得一併予以劃入。
	第三類	國家公園計畫地區。
	第四類	屬都市計畫地區內保護或保育相關分區或用地，具有下列條件者，得劃設為國土保育地區第四類： 1. 水源(水庫)特定區、風景特定區都市計畫內保護或保育相關分區或用地，符合國土保育地區第一類劃設條件者。 2. 其他都市計畫地區內保護或保育相關分區或用地，符合國土保育性質，屬水資源開發、流域跨區域治理之水系或經公告之水道範圍內者。
海洋資源地區	第一類之一	依其他法律於海域劃設之各類保護(育、留)區。
	第一類之二	使用性質具排他性之地區，於核准使用之特定海域範圍(包括水面、水體、海床或底土等)，設置人為設施，管制人員、船舶或其他行為進入或通過之使用。
	第一類之三	屬第一類之一及第一類之二以外之範圍，於直轄市、縣(市)國土計畫核定前，經行政院或中央目的事業主管機關會商相關機關核定之重大建設計畫，其使用需設置人為設施且具排他性者。
	第二類	使用性質具相容性之地區，於核准使用之特定海域範圍(包括水面、水體、海床或底土等)，未設置人為設施；或擬增設置之人為設施，能維持其相容使用者。除特定時間外，有條件容許人員、船舶或其他行為進入或通過之使用。
	第三類	其他尚未規劃或使用之海域。
農業發展地區	第一類	具優良農業生產環境，或曾投資建設重大農業改良設施之地區，符合下列條件中之一，且滿足面積規模大於 25 公頃以上與農業生產使用面積比例達 80% 以上者；但依修正全國區域計畫辦理分區檢討變更後之特定農業區，得劃設為本分類土地： 1. 投資重大農業改良設施之地區。 2. 原依區域計畫法劃定之特定專用區仍須供農業使用之土地。 3. 農業經營專區、農產專業區、集團產區。 4. 養殖漁業生產區。 5. 直轄市、縣(市)政府依據地方農業發展需要劃設者。
	第二類	具良好農業生產環境與糧食生產功能，為促進農業發展多元化之地區，不符合農業發展地區第一類條件，或符合條件但面積規模未達 25 公頃或農業生產使用面積比例未達 80% 之地區。

國土功能分區		全國國土計畫劃設條件
	第三類	<p>具有糧食生產功能且位於山坡地之農業生產土地，以及可供經濟營林，生產森林主、副產物及其設施之林產業用地，條件如下：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 供農業使用，且無國土保育地區第一類或無第二類(國土保安、水源保護必要)之山坡地宜農、牧地。 2. 可供經濟營林之林產業土地，且無國土保育地區劃設條件之山坡地宜林地。
	第四類	<ol style="list-style-type: none"> 1. 依原依區域計畫法劃定之鄉村區，屬於農村主要人口集居地區，與農業生產、生活、生態之關係密不可分之農村聚落。 2. 原住民族土地範圍內屬原依區域計畫法劃定之鄉村區，或經中央原住民族主管機關核定部落範圍內之聚落，屬於農村主要人口集居地區，與農業生產、生活、生態之關係密不可分之農村，得予劃設。 3. 位於已核定農村再生計畫範圍內，屬原依區域計畫法劃定之鄉村區，優先劃入。 4. 於符合直轄市、縣(市)國土計畫及鄉村地區整體規劃、農村再生情形下，於依本法取得使用許可後得適度擴大其範圍。
	第五類	<p>具優良農業生產環境，能維持糧食安全且未有都市發展需求者，符合農業發展地區第一類劃設條件、或土地面積完整達 10 公頃且農業使用面積達 80%之都市計畫農業區。</p>
城鄉發展地區	第一類	<p>非屬國土保育地區第四類及農業發展地區第五類範圍之都市計畫土地。</p>
	第二類之一	<ol style="list-style-type: none"> 1. 原依區域計畫法劃定之工業區。 2. 原依區域計畫法劃定之鄉村區，符合下列條件之一者，得劃設城鄉發展地區： <ol style="list-style-type: none"> (1). 位於都市計畫地區(都市發展率達一定比例以上)周邊相距一定距離內者。 (2). 非農業活動人口達一定比例或人口密度較高者。 (3). 符合都市計畫法規定應擬定鄉街計畫者。 3. 原依區域計畫法劃定之特定專用區達一定面積規模以上，且具有城鄉發展性質者。 4. 位於前 1、2、3.範圍內之零星土地，得一併予以劃入。
	第二類之二	<ol style="list-style-type: none"> 1. 核發開發許可地區(除鄉村區屬農村社區土地重劃案件者、特定專用區屬水資源設施案件者外)、屬依原獎勵投資條例同意案件或前經行政院專案核定免徵得區域計畫擬定機關同意案件，且具有城鄉發展性質者。

國土功能分區	全國國土計畫劃設條件
第二類之三	<p>2. 位於前 1.範圍內之零星土地，得一併予以劃入。</p> <p>1. 經核定重大建設計畫及其必要範圍或城鄉發展需求地區，且有具體規劃內容或可行財務計畫者。</p> <p>2. 符合直轄市、縣(市)國土計畫之成長管理計畫及鄉村地區整體規劃下，為因應居住或產業發展需求、提供或改善基礎公共設施、提高當地生活環境品質等原因，符合下列條件之一，得適度擴大原依區域計畫法劃定之鄉村區或工業區範圍，其範圍應儘量與既有鄉村區或工業區性質相容，避免影響當地居住或產業發展情形：</p> <p>(1). 為居住需求者，應儘量配合當地人口發展趨勢及人口結構情形，且當地鄉(鎮、市、區)範圍內既有鄉村區可建築土地並無閒置或可提供再利用情形。</p> <p>(2). 為產業需求者，應儘量與當地既有產業相容者為原則，除係配合當地產業發展趨勢，且當地鄉(鎮、市、區)範圍內既有工業區並無閒置或可提供再利用情形。</p> <p>(3). 為提供或改善基礎公共設施者，以污水處理設施、自來水、電力、電信、公園、道路、長期照護或其他必要性公共設施，且以服務當地既有鄉村區或工業區為原則。</p> <p>(4). 為提高當地生活環境品質者，以當地既有鄉村區居住密度高於全國標準為原則。</p> <p>3. 基於集約發展原則，依原區域計畫法規定取得開發許可案件或依本法取得使用許可案件，得依下列規定檢討劃設其適度擴大範圍：</p> <p>(1). 與原開發許可計畫或使用許可計畫範圍相毗鄰，且經目的事業主管機關認定屬同一興辦事業計畫，並取得目的事業主管機關核准興辦事業計畫文件或原則同意等意見文件。</p> <p>(2). 需符合各級國土計畫部門空間發展策略(計畫)之總量或區位指導。</p> <p>(3). 需符合各級國土計畫之空間發展及成長管理策略(計畫)指導，避免使用環境敏感地區土地。但因零星夾雜無可避免納入該等土地者，於檢討變更國土功能分區後，該零星夾雜土地依環境敏感地區土地使用指導原則使用。</p> <p>4. 位於前 1.、2.、3.範圍內之零星土地，得一併予以劃入。</p>
	第三類

全國國土計畫亦依照國土計畫法之立法精神提出各國土功能分區及其分類之土地使用指導事項(詳表 4-2)。根據全國國土計畫之土地使用指導原則(詳表 4-2)指出，國土保育地區第一類目的為資源保育、環境保護及不破壞原生態環境及景觀資源，因此得限制、禁止開發利用或建築行為。此外，為提供基礎維生公共設施及提供當地既有集居聚落之服務設施，得申請使用，但原則上國土保育地區第一類仍屬於不可開發之限制區域。而國土保育地區第二類限制較第一類寬鬆，在不超過環境容受力下，得允許一定規模以下開發利用或建築行為。國土保育地區第三類及第四類則分別依循國家公園法及都市計畫法及相關法規實施管制。農業發展地區第一類旨在劃設具優良農業生產環境，或曾投資建設重大農業改良設施之地區。因此，為確保國家糧食安全，其土地利用管制以農業生產及必要產銷設施使用為原則，並減少非農業生產使用項目，以達積極維護農業生產用地面積數量及完整性。因此原則上位於農業發展地區第一類之可建築用地，得調降其使用強度及減少容許使用項目，其面積與數量不應再增加。

表 4-2 全國國土計畫各國土功能分區土地使用指導原則
(資料來源：內政部, 2018)

國土功能分區		全國國土計畫土地使用指導原則
國 土 保 育 地 區	第一類	<ol style="list-style-type: none"> 1. 提供水資源、森林資源、動植物資源、文化景觀資源保育使用，土地使用以加強資源保育、環境保護及不破壞原生態環境及景觀資源為原則，並得限制、禁止開發利用或建築行為，同時防止生態系統服務功能穿孔破碎，除符合公益性、必要性及區位無可替代性等情形外，原則禁止有妨礙前開資源保育利用之相關使用。 2. 必要性基礎維生公共設施、維護自然資源保育設施及古蹟等，得申請使用。 3. 提供當地既有集居聚落日用品零售及服務設施，得申請使用。 4. 在不影響國土保安原則下，自然資源體驗設施，得申請使用。 5. 既有合法農業在不影響國土保安、水源涵養及避免土砂災害原則下，得維持原來合法使用，配合農業經營引導其改變經營方式及限縮農業使用項目。

國土功能分區		全國國土計畫土地使用指導原則
		6. 原依區域計畫法編定之可建築用地，經直轄市、縣(市)主管機關會商有關機關認定不妨礙國土保育保安者，得繼續編定為可建築用地，並得調降其使用強度及減少容許使用項目；並得由直轄市、縣(市)主管機關變更為非可建築用地，其所受之損失，應予適當補償。
	第二類	<p>1. 提供水資源、森林資源、動植物資源、文化景觀等資源之永續經營，土地使用在不超過環境容受力下，得允許一定規模以下開發利用或建築行為，以避免重要自然資源與環境破壞。</p> <p>2. 一般性公共設施、基礎維生公共設施、維護自然資源保育設施及古蹟等，得申請使用。</p> <p>3. 提供當地既有集居聚落日用品零售及服務設施，得申請使用。</p> <p>4. 生態旅遊、環境教育及自然資源體驗之遊憩設施，原則應經申請使用許可，其建築量體限制在一定規模以下，且以必要性需求為限。</p> <p>5. 既有合法農業在不影響國土保安、水源涵養及避免土砂災害原則下，得維持原來合法使用，配合農業經營引導其改變經營方式及限縮農業使用項目。</p> <p>6. 原依區域計畫法編定之可建築用地，經直轄市、縣(市)主管機關認定不妨礙國土保育保安者，得繼續編定為可建築用地，並得調降其使用強度及減少容許使用項目。</p>
	第三類	本地區係實施國家公園計畫地區，依國家公園法及其相關法規實施管制。
	第四類	<p>本地區係實施都市計畫地區，依都市計畫法及其相關法規實施管制。惟都市計畫主管機關應配合辦理下列事項：</p> <p>1. 遵循本計畫國土保育地區第一類土地使用指導原則，檢討本地區土地使用分區、土地使用管制規定。</p> <p>2. 如有檢討變更為保護或保育以外相關分區或用地需要時，除國防、重大之公共設施或公用事業外，應將國土功能分區檢討變更為城鄉發展地區。</p>
海洋資源地區	第一類之一	<p>1. 係供維護海域生態環境、自然與人文資源，依其他法律於海域劃設之各類保護(育、留)區時，依本法第 23 條所訂定之土地使用管制規則，採「免經申請同意使用」，至其經營管理均依其法律規定辦理。</p> <p>2. 為達保育、保護及保存目的，並避免破壞保護標的，嚴格管制範圍內之使用申請。</p>

國土功能分區	全國國土計畫土地使用指導原則
	<ol style="list-style-type: none"> 3. 漁業資源利用、海洋觀光遊憩、港埠航運、海洋科研利用、軍事及防救災相關使用及原住民族傳統海域使用等設施等，得申請使用。 4. 一定規模以下之資料浮標站、海上觀測設施及儀器、底碇式觀測儀器之設置範圍等，得申請使用。
第一類之二	<ol style="list-style-type: none"> 1. 新申請案件以不得干擾既有設施主要用途之正常運作為原則。漁業資源利用、非生物資源利用、海洋觀光遊憩、港埠航運、工程相關使用、海洋科研利用、軍事及防救災相關使用等，得申請使用。 2. 因開發行為致造成海岸或海域災害之虞者，申請人須研訂防護對策，並定期實施調查監測，適時檢驗或修正防護措施。 3. 為確保設施安全，須研訂因應氣候變遷引發海平面上升或極端氣候之調適策略，並確實執行。 4. 為確保航行安全，施工及營運階段，均應考量設置警示裝置，並依航運主管機關之通報規定辦理。
第一類之三	<ol style="list-style-type: none"> 1. 屬經行政院或中央目的事業主管機關會商相關機關核定重大建設計畫之預留發展區位，於依本法完成使用許可程序前，如該海域有其他經核准之使用，仍得依該核准使用計畫管制。 2. 新申請案以供原規劃之重大建設計畫為限。依本法完成使用許可程序後，於下次通盤檢討時檢討變更為適當之分類。但分類尚未配合調整前，依使用許可計畫管制。 3. 直轄市、縣(市)主管機關於辦理各該直轄市、縣(市)國土計畫通盤檢討作業時，應檢視前開重大建設計畫之開發情形，如未於實施期限內辦理開發且經評估無須繼續保留者，應檢討變更為其他適當之分類。
第二類	<ol style="list-style-type: none"> 1. 新申請案件以能繼續維持原分類之相容性使用為原則。 2. 漁業資源利用、非生物資源利用、海洋觀光遊憩、港埠航運、工程相關使用、海洋科研利用、環境廢棄物排放或處理、軍事及防救災相關使用及原住民族傳統海域使用等，得申請使用。 3. 除違反經許可之有條件相容原則，對於其他依法使用之非排他性用海活動不得限制。
第三類	<p>尚未規劃或使用之海域，按海洋資源特性以維持其自然狀態及環境容受力為原則。除為劃設保護(育、留)區、漁撈、非動力機械器具之水域遊憩活動、船舶無害通過等行為得逕為使用，並得供相容性質之使用，惟仍應依本法第 23 條或第 24 條規定辦理。</p>

國土功能分區		全國國土計畫土地使用指導原則
農業發展地區	第一類	<ol style="list-style-type: none"> 1. 以農業生產及必要產銷設施使用為原則，減少非農業生產使用項目，以確保此類土地長期為面積完整且生產條件優良的農地資源。 2. 為確保國家的糧食安全，積極維護農業生產用地面積數量及完整性，避免夾雜其他使用而造成農地穿孔、切割及碎裂等情形。 3. 本地區具有優良糧食生產功能，應儘量持續進行農地改良並維護農業生產之基礎重要設施，例如灌溉設施、防護設施等，以提升農業生產條件。 4. 屬原依區域計畫法編定之可建築用地，經直轄市、縣(市)主管機關及農業主管機關認定不妨礙農業生產環境者，得繼續編定為可建築用地，並得調降其使用強度及減少容許使用項目。
	第二類	<ol style="list-style-type: none"> 1. 得依農業產業特性給予不同程度之使用管制，並減少非農業使用項目，以維持農業生產、維護糧食安全之功能。 2. 本地區具有農業生產功能及多元使用價值，依農業發展多元需求規劃為農業生產、農業科技研發、儲運、加工、行銷或其他農產業發展所需設施使用，但仍以農用為原則，並避免農地持續流失。 3. 屬原依區域計畫法編定之可建築用地，經直轄市、縣(市)主管機關及農業主管機關認定不妨礙農業生產環境者，得繼續編定為可建築用地，並得調降其使用強度及減少容許使用項目。
	第三類	<ol style="list-style-type: none"> 1. 為提供坡地農業及供營林使用之地區。 2. 從事坡地農業、林產業經營時，應儘量順應自然地形地貌，避免改變原有地形地貌或有大規模整地行為，以維護地表植被排水與入滲之功能，以避免坡地災害發生。 3. 本地區土地使用以適合坡地農業生產及必要產製儲銷設施使用，以及營林必要之設施使用，應儘量避免非坡地農業及非林產業發展所需設施容許使用。從事前述開發利用時應儘量順應自然地形地貌，避免大規模整地行為。 4. 屬原依區域計畫法編定之可建築用地，經直轄市、縣(市)主管機關及農業主管機關認定不妨礙農業生產環境者，得繼續編定為可建築用地，並得調降其使用強度及減少容許使用項目。
	第四類	<ol style="list-style-type: none"> 1. 為提供農村生活及其相關設施使用之地區。 2. 促進農村永續發展及農村活化再生，改善基礎生產條件，維護農村生態及文化，提升農村生活品質與生態系統服務功能。

國土功能分區	全國國土計畫土地使用指導原則	
		3. 屬原依區域計畫法編定之可建築用地，經直轄市、縣(市)主管機關及農業主管機關認定不妨礙農村生活環境者，得繼續編定為可建築用地，並得調降其使用強度及減少容許使用項目。
	第五類	<p>本地區係實施都市計畫地區，依都市計畫法及其相關法規實施管制。惟都市計畫主管機關應配合辦理下列事項：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 遵循本計畫農業發展地區第一類土地使用指導原則檢討修正本地區土地使用分區、土地使用管制規定。 2. 如有檢討變更為農業區以外之分區需要時，除國防、重大之公共設施或公用事業外，應先將國土功能分區檢討變更為城鄉發展地區。
城鄉發展地區	第一類	本地區係實施都市計畫地區，依都市計畫法及其相關法規實施管制，並配合本計畫指導事項進行必要之檢討。
	第二類之一	<ol style="list-style-type: none"> 1. 為原依區域計畫法劃定之鄉村區、工業區及特定專用區，提供住宅、產業或特定活動之地區。 2. 既有鄉村區土地以提供住商使用為主，並得提供必要之公共設施，以提升生活品質；並視與農業發展地區或國土保育地區等之相鄰情形，提供規劃緩衝與隔離帶。 3. 既有工業區土地以提供產業使用、產業關聯使用、必要公共設施及緩衝空間所需空間為主。 4. 既有特定專用區以提供其原申請事業項目有關使用、必要公共設施及緩衝空間為主。 5. 住商、工業、遊憩、一般性公共設施、基礎維生設施及古蹟等，得申請使用。 6. 屬原依區域計畫法編定之可建築用地，經直轄市、縣(市)主管機關認定不妨礙城鄉發展者，得繼續編定為可建築。
	第二類之二	<ol style="list-style-type: none"> 1. 原依區域計畫法核發開發許可之地區。 <ol style="list-style-type: none"> (1). 依許可開發計畫實施管制。 (2). 變更原開發計畫內容，依本法使用許可規定辦理。 2. 原獎勵投資條例同意案件之地區，經工業主管機關認定不變更原獎勵投資條例工業區興辦事業計畫性質下，依工業主管機關相關法令規定辦理，如有變更原獎勵投資條例工業區興辦事業計畫性質，限達本法第 24 條所定一定規模後循使用許可規定辦理，避免零星變更為其他使用。 3. 前經行政院專案核定案件之地區，經目的事業主管機關認定不變更原核定之興辦事業計畫性質下，依各該主管機關相關法令

國土功能分區	全國國土計畫土地使用指導原則
	<p>規定辦理，如有變更原核定之興辦事業計畫性質，限達本法第24條所定一定規模後循使用許可規定辦理，避免零星變更為其他使用。</p> <p>4. 有關原依區域計畫法核發開發許可地區、原獎勵投資條例同意案件及前經行政院專案核定免徵得區域計畫擬定機關同意案件之後續變更計畫審查原則及程序，納入本法使用許可相關規定辦理。</p>
<p>第二類之三</p>	<p>1. 具備具體開發計畫，將循都市計畫法或本法使用許可程序辦理，供作城鄉發展建設之地區。</p> <p>2. 依都市計畫法完成新訂或擴大都市計畫法定程序，或依本法完成使用許可程序後之範圍，於下次通盤檢討時應調整為適當國土功能分區及其分類；國土功能分區尚未配合調整前，仍分別依各該都市計畫或使用許可計畫進行管制。</p> <p>3. 未完成開發前，其土地使用原則如下：</p> <p>(1). 一般性公共設施、基礎維生設施及古蹟等，得申請使用。</p> <p>(2). 避免新增住商、工業及遊憩使用，但得維持原來合法使用。</p> <p>(3). 原依區域計畫法編定之可建築用地，經直轄市、縣(市)主管機關認定不妨礙重大建設計畫或城鄉發展需求者，得繼續編定為可建築用地，並得調降其使用強度及減少容許使用項目。</p> <p>4. 配合重大建設計畫或城鄉發展需求劃設國土功能分區配套措施：</p> <p>(1). 直轄市、縣(市)國土計畫應研擬整體發展願景，提出空間發展構想，並指認重大建設計畫及其必要範圍或城鄉發展需求地區；此外，應訂定各該直轄市、縣(市)之成長管理計畫，包含城鄉發展總量、區位、優先順序等。</p> <p>(2). 核定之重大建設計畫之性質以產業、重大公共設施公用事業等為原則。</p> <p>(3). 核定之城鄉發展需求地區以因應當地人口發展趨勢及人口結構情形，且當地鄉(鎮、市、區)範圍內既有鄉村區可建築土地並無閒置或可提供再利用情形者為限。</p> <p>(4). 重大建設計畫及其必要範圍或城鄉發展需求地區，其具體規劃內容至少包含：</p> <p>A. 規劃原則。</p>

國土功能分區	全國國土計畫土地使用指導原則
	<p>B. 土地使用、產業活動、交通運輸及公共設施與公用設備等計畫發展構想。</p> <p>C. 實施年期，以不超過各該直轄市、縣(市)國土計畫目標年為原則。</p> <p>5. 重大建設計畫及其必要範圍或城鄉發展需求地區，符合下列之一者，始認定具有可行財務計畫：</p> <p>(1). 新訂或擴大都市計畫應經地政、財政等單位評估財務可行性。</p> <p>(2). 屬政府興辦之使用許可案件，應經編列預算或獲取有關機關經費補助，且財務具有可行性。</p> <p>6. 核定之重大建設計畫及其必要範圍或城鄉發展需求地區，採新訂或擴大都市計畫辦理開發為原則；如採使用許可方式，應具體說明採使用許可之必要性及可行性。</p> <p>7. 核定之重大建設計畫及其必要範圍或城鄉發展需求地區，直轄市、縣(市)政府應於各該直轄市、縣(市)國土計畫通盤檢討時，檢視開發情形，如未於實施期限內辦理開發者，配合變更為其他適當國土功能分區分類。</p> <p>8. 依原區域計畫法規定取得開發許可案件或依本法取得使用許可案件，於適度擴大範圍經變更為適當之國土功能分區及分類後，其使用許可以原使用許可計畫併同檢討辦理。</p>
第三類	<p>1. 為原住民族居住及其所需相關設施之地區。</p> <p>2. 土地使用上應考量原住民族土地之空間劃設並依「原住民族土地或部落範圍土地劃設辦法」，作為執行劃設作業之參考。</p> <p>3. 住商、工業、遊憩、一般性公共設施、基礎維生設施及古蹟等，得申請使用。</p> <p>4. 屬原依區域計畫法編定之可建築用地，且經直轄市、縣(市)主管機關認定不妨礙國土保育保安者，得繼續編定為可建築用地，並訂定容積總量管制規定，以彈性規劃配置使用強度及調整容許使用項目。</p>

綜上，在進行未來土地利用空間配置時，落於國土保育地區第一類及農業發展地區地第一類之土地利用應與前期土地利用相同，或是與規劃之土地利用相符合。因此在進行未來土地利用空間配置模擬時，可將國土功能分

區之國土保育地區第一類及農業發展地區第一類設定為限制開發區域，限制該區域之土地利用轉換為其他土地利用之可能性。

二、國土規劃與未來土地利用模擬比較分析之操作步驟

桃園市國土計畫預計於民國 109 年 4 月 30 日前公告實施，為進行評估及方法測試，在桃園市之國土功能分區正式公告前，本計畫以行政院營建署城鄉發展分署於民國 105 年度委託中華經濟研究院執行之「國土計畫 - 國土功能分區規劃委託技術服務案」所模擬之全國功能分區結果做為參考依據，進行相關分析工作。依據該研究提出之四類別國土功能分區模擬結果可知(詳表 4-3)，各功能分區以國土保育地區及海洋資源地區面積為最高，然本計畫重點在於陸地區域，因此，本計畫選定桃園市陸地區域之國土功能分區圖(詳圖 4-3)作為後續分析與討論之用。全國國土計畫指導的國土功能分區僅為指導性質之上位土地使用管制原則，根據國土計畫法第 22 條規定：「直轄市、縣(市)國土計畫公告實施後，應由各該主管機關依各級國土計畫國土功能分區之劃設內容，製作國土功能分區圖及編定適當使用地，報經中央主管機關核定後公告，並實施管制」，故各功能分區底下仍有不同之使用地，本計畫依據全球經濟模式所推估之未來各類型土地利用之需求改變情形，以土地利用變遷模式所推估之各類型土地利用空間配置結果，需進一步討論所推估之結果是否與國土功能分區圖之分區結果及其土地利用使用原則相符合。若模擬結果符合國土功能分區之土地使用指導原則，則可作為工作項目 1 之輸入因子，與工作項目 2 進行淹水模擬時之輸入資料，進而討論不同情境下之降雨空間分布與淹水情境(詳圖 4-2)，若不符合國土功能分區規劃，則須重新檢視，分析評估可能的限制發展區域，再重新進行土地利用空間配置模擬。本計畫設定三種限制發展情境進行討論，三種情境設定說明如下：(1).限制情境一：僅將桃園機場範圍劃

定為限制開發地區；(2).限制情境二：配合全國國土計畫之土地使用指導原則，將桃園機場範圍及國土保育地區第一類及農業發展地區第一類劃定為限制開發地區；(3).限制情境三：將桃園機場範圍及及所有的國土保育地區與農業發展地區第一類劃設為限制開發地區。

本計畫運用空間分析的疊圖分析(overlay analysis)評估國土功能分區圖與未來土地利用模擬之關係，以了解各國土功能分區的各種土地利用的面積變化以及變遷空間分布。本計畫先將國土功能分區圖及未來土地模擬結果(SSP3 與 SSP5 之分析結果)進行疊圖分析後，評估限制情境一之土地利用空間分布模擬結果，若發現國土保育地區及農業發展地區之土地使用變遷情形明顯者，再依據國土功能分區模擬結果，將國土保育地區與農業發展地區劃設限制發展地區後，再重進行土地利用空間分布推估，再將限制情境二與限制情境三之未來土地空間分布推估結果與國土功能分區疊圖，瞭解劃設限制發展地區後的各國土功能分區的各種土地利用的面積變化情形。

表 4-3 全國國土功能分區模擬面積統計(資料來源：內政部營建署, 2016)

國土功能分區	分類	面積(公頃)	小計(公頃)	總計(公頃)
國土保育地區	國保一	1,278,267.04	3,079,129.46	9,429,732.11
	國保二	989,871.19		
	國保三	754,224.64		
	國保四	56,766.59		
海洋資源地區	海洋一-1	91,924.43	5,063,665.64	
	海洋一-2	226,842.57		
	海洋二	1,629,391.95		
	海洋三	3,115,506.69		
農業發展地區	農發一	405,452.63	829,070.69	
	農發二	185,394.07		
	農發三	193,434.94		
	農發四	19,642.75		
	農發五	25,146.30		
城鄉發展區地區	城鄉一	395,549.01	457,866.32	
	城鄉二-一	22,922.11		
	城鄉二-二	38,482.01		
	城鄉三	913.19		

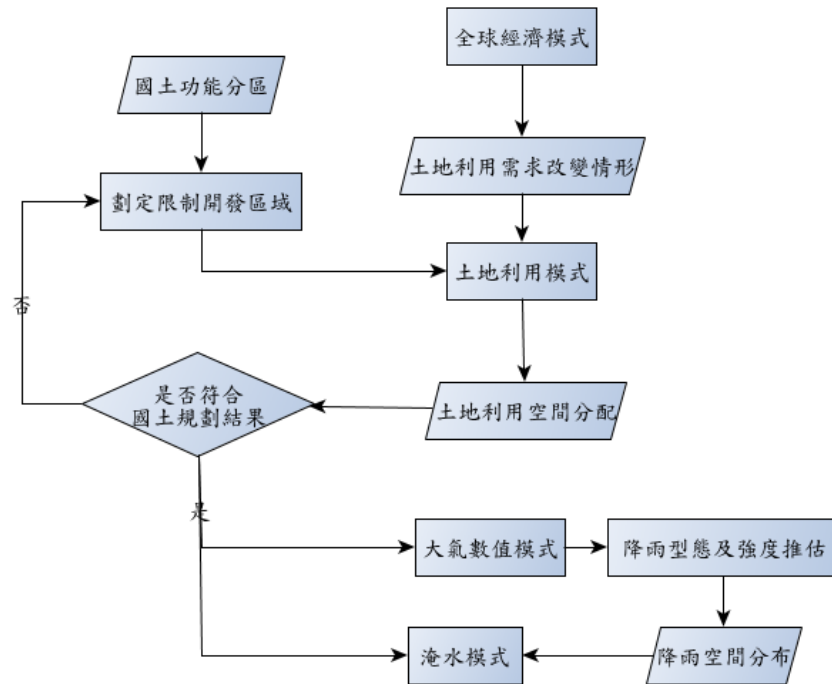


圖 4-2 結合國土規劃與全球經濟模式分析未來土地利用空間分布流程圖

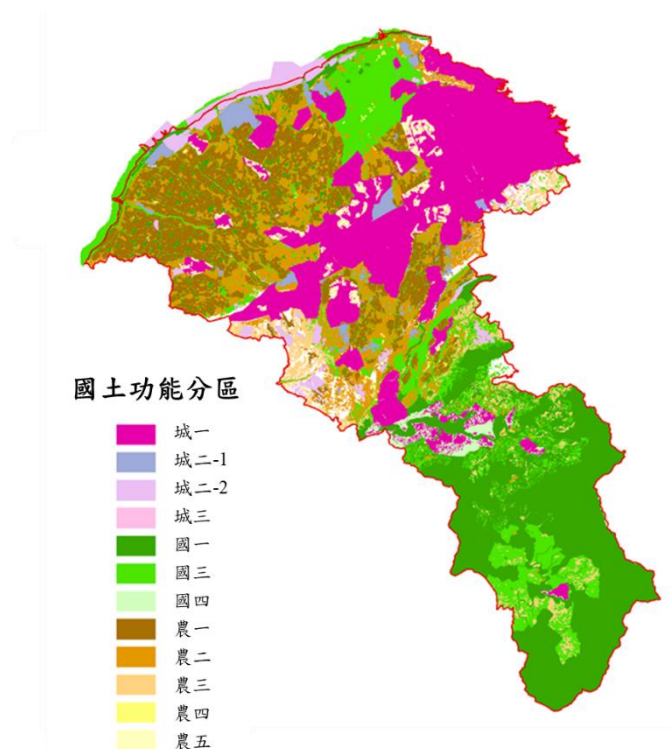


圖 4-3 桃園市國土功能分析模擬結果(資料來源：內政部營建署，2016)

三、國土規劃與未來土地利用模擬之差異分析結果

(一) 限制情境一下桃園市未來土地利用空間推估及分析

桃園市 2007 年土地利用圖與 2030 年土地利用模擬(限制情境一)之面積統計如表 4-4 所示，桃園市於 2007 年時，土地利用面積最大者為林地，約有 4.4 萬公頃，其次為農地(約 3 萬多公頃)及建地(約 2.6 萬公頃)。而透過前章之全球經濟模式所推估之未來各類型土地利用需求，進而推估未來 2030 年桃園市土地利用模擬之配置與數量(詳表 4-4)。在 SSP3 情境當中，林地面積減少至 4.3 萬公頃；農地亦從 3.34 萬公頃減少至 3.19 萬公頃；建地則增加至 29,860 公頃。

表 4-4 桃園市 2007 年與模擬限制情境一之 2030 年土地利用面積比較

土地利用類別	2007 年	限制情境一 2030 年	
		SSP3	SSP5
農地 公頃 (%)	33,746 (28.03)	31,939 (26.53)	33,531 (27.85)
林地 公頃 (%)	44,131 (36.65)	43,361 (36.01)	44,294 (36.79)
草地 公頃 (%)	4,471 (3.71)	3,907 (3.25)	1,513 (1.26)
建地 公頃 (%)	26,055 (21.64)	29,860 (24.80)	30,140 (25.03)
水利 公頃 (%)	5,673 (4.71)	5,673 (4.71)	5,673 (4.71)
埤塘 公頃 (%)	1,411 (1.17)	1,111 (0.92)	565 (0.47)
荒地 公頃 (%)	4,911 (4.08)	4,547 (3.78)	4,682 (3.89)

本計畫將 2030 年土地利用模擬結果與 2007 年之土地利用面積相減，了解各土地利用之面積增減情形，結果如表 4-5 所示。從 2007 年至 2030 年(SSP3)之間，農地面積減少最多(1,807 公頃)，其

次依序為林地(770 公頃)及草地(564 公頃)，而建地增加了 38,05 公頃。而從 2007 年至 2030 年(SSP5)間，面積減少最多之土地利用則為草地(2,958 公頃)，其次為埤塘(846 公頃)。而面積增加之土地利用為建地(4,085 公頃)及林地(163 公頃)。

表 4-5 2007 年與限制情境一之 2030 年土地利用面積差異(單位：公頃)

土地利用類別	SSP3	SSP5
農地	-1,807	-215
林地	-770	163
草地	-564	-2,958
建地	3,805	4,085
水利	0	0
埤塘	-300	-846
荒地	-364	-229

進一步透過轉移矩陣(transition matrix)，了解各土地利用類別分別變遷轉移為哪種土地利用類別。表 4-6 為桃園市 2007 年與限制情境一下 2030 年之 SSP3 情境土地利用轉移結果，結果顯示與 2007 年相較，農地雖保留 31,899 公頃，但部份農地仍轉移為草地(838 公頃)、荒地(580 公頃)及建地(357 公頃)；林地則有 457 公頃轉移為草地、304 公頃轉移為荒地以及 121 公頃轉移為建地；草地則主要轉變成建地(1,805 公頃)；建地主要是由草地(1,805 公頃)以及荒地(1,276 公頃)轉移而來。SSP5 情境土地利用轉移結果則如

表 4-7 所示，在此情境中，草地的主要轉移至建地(1,844 公頃)、荒地(544 公頃)、農地(290 公頃)及林地(281 公頃)；而埤塘則主要轉變成建地(383 公頃)、農地(263 公頃)及荒地(199 公頃)。而不論是 SSP3 或 SSP5 之結果，桃園市的草地及荒地皆為主要變遷的土地使用類別。

表 4-6 2007 年與限制情境一之 2030 年 SSP3 情境土地利用轉移矩陣

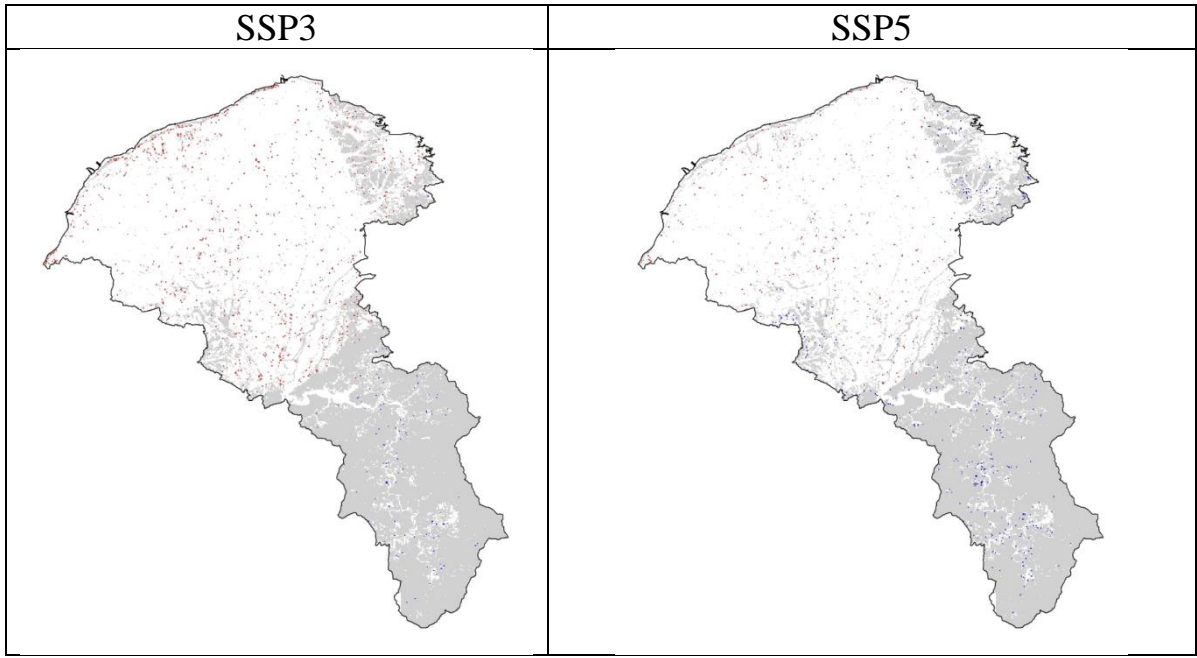
		2030 年之 SSP3 情境						
		農地	林地	草地	建地	水利	埤塘	荒地
2007	農地	公頃	31,899	72	838	357		580
		%	(26.49)	(0.06)	(0.70)	(0.30)		(0.48)
	林地	公頃	8	43,241	457	121		304
		%	(0.01)	(35.92)	(0.38)	(0.10)		(0.25)
	草地	公頃	22	25	2,585	1,805		34
		%	(0.02)	(0.02)	(2.15)	(1.50)		(0.03)
	建地	公頃				26,055		
		%				(21.64)		
水利	公頃					5,673		
	%					(4.71)		
埤塘	公頃			12	246		1,111	42
	%			(0.01)	(0.20)		(0.92)	(0.03)
荒地	公頃	10	23	15	1,276			3,587
	%	(0.01)	(0.02)	(0.01)	(1.06)			(2.98)

表 4-7 2007 年與限制情境一之 2030 年 SSP5 情境土地利用轉移矩陣

		2030 年之 SSP5 情境						
		農地	林地	草地	建地	水利	埤塘	荒地
2007	農地	公頃	32,797	133	1	440		375
		%	(27.24)	(0.11)	(0.00)	(0.37)		(0.31)
	林地	公頃	84	3,829		154		64
		%	(0.07)	(36.40)		(0.13)		(0.05)
	草地	公頃	290	281	1,512	1,844		544
		%	(0.24)	(0.23)	(1.26)	(1.53)		(0.45)
	建地	公頃				26,055		
		%				(21.64)		
水利	公頃					5,673		
	%					(4.71)		
埤塘	公頃	263	1		383		565	199
	%	(0.22)	(0.00)		(0.32)		(0.47)	(0.17)
荒地	公頃	97	50		1,264			3,500
	%	(0.08)	(0.04)		(1.05)			(2.91)

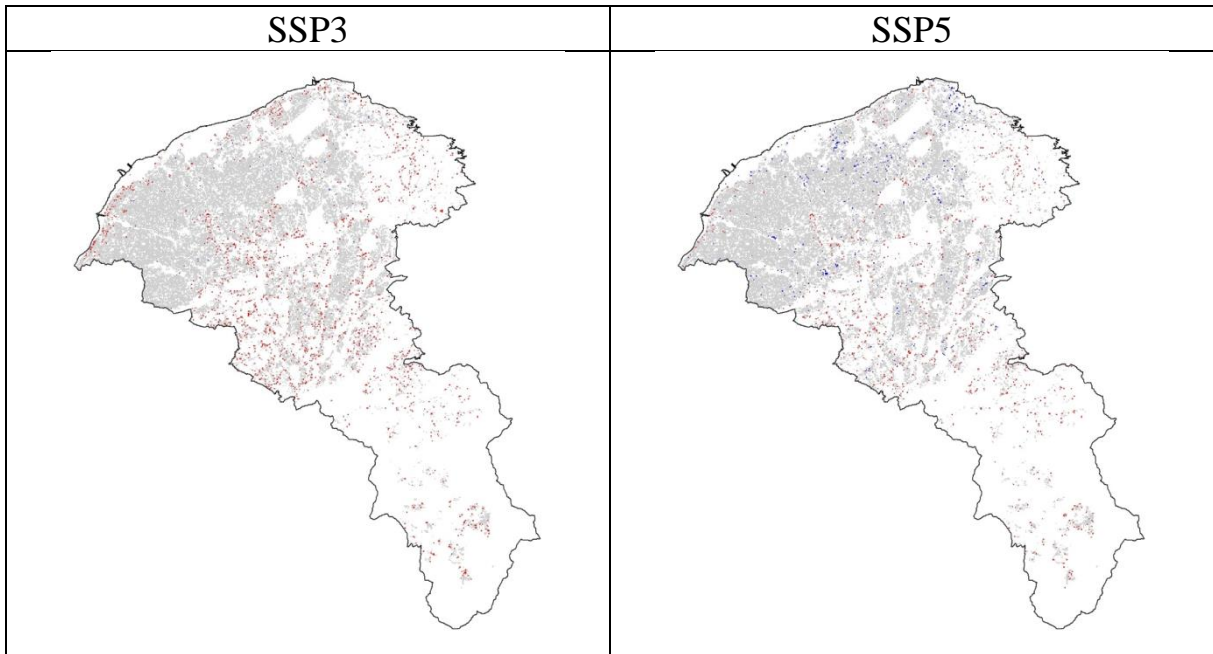
將桃園市所佔面積最大之土地使用類別(林地、農地與建地)進行疊圖空間分析，辨識出桃園市從 2007 年到 2030 年各種土地利用的變遷空間分布情形，以瞭解此三類土地使用類別在 SSP3 及 SSP5 情境模擬下的空間分布差異。從 2007 年至 2030 年 SSP3 之林地變遷疊圖來看，林地減少的區域多位在桃園市西北側之平地及臨海地區(詳圖 4-4)，該地區多為建地及農地分布之區域，但在山區有零星的林地增加情形；而 2007 年至 2030 年 SSP5 之疊圖結果發現，平地的林地有減少之情形，而山坡地之林地增加情況明顯增加。不論哪種情境，桃園地區的林地減少均為在地勢較平緩之地方，而林地增加多發生在山坡地。在農地變遷結果推估結果顯示(詳圖 4-5)，SSP3 情境下農地變化多分佈在桃園市平地的中部區域，檢視原本土地發展狀況，則可發現農地減少多位於建地周邊，且農地減少亦發生在桃園山坡地的地區；而在 SSP5 情境中農地減少的分布面積變少，雖然仍分佈於建地周邊以及山坡地的地方，但從疊圖結果可以發現原本 2007 年的部分農地週邊於 2030 年 SSP5 時轉變成為農地了。建地變遷模擬結果則顯示(詳圖 4-6)，不論是 SSP3 或 SSP5 之情境，桃園市的建地僅有增加而無減少之情形。比較這兩者之差異，SSP3 之山坡地的建地增加較多且零星，而 SSP5 之山坡地建地增加則較不明顯。這兩個情境之主要建地增加面積多分佈在 2007 年的建地周邊地區，形成都市蔓延(urban sprawl)的現象。

綜整上述，桃園市的林地、農地與建地變遷主要分佈的區位與樣態均不相同：林地變遷主要呈現零星的分布；農地變遷主要減少區位為在 2007 年的都市與聚落周邊，而增加情形則是發生在 2007 年的農地周邊；建地變遷之增加情形不論哪種情境都多分佈在現有的建地周邊地區。



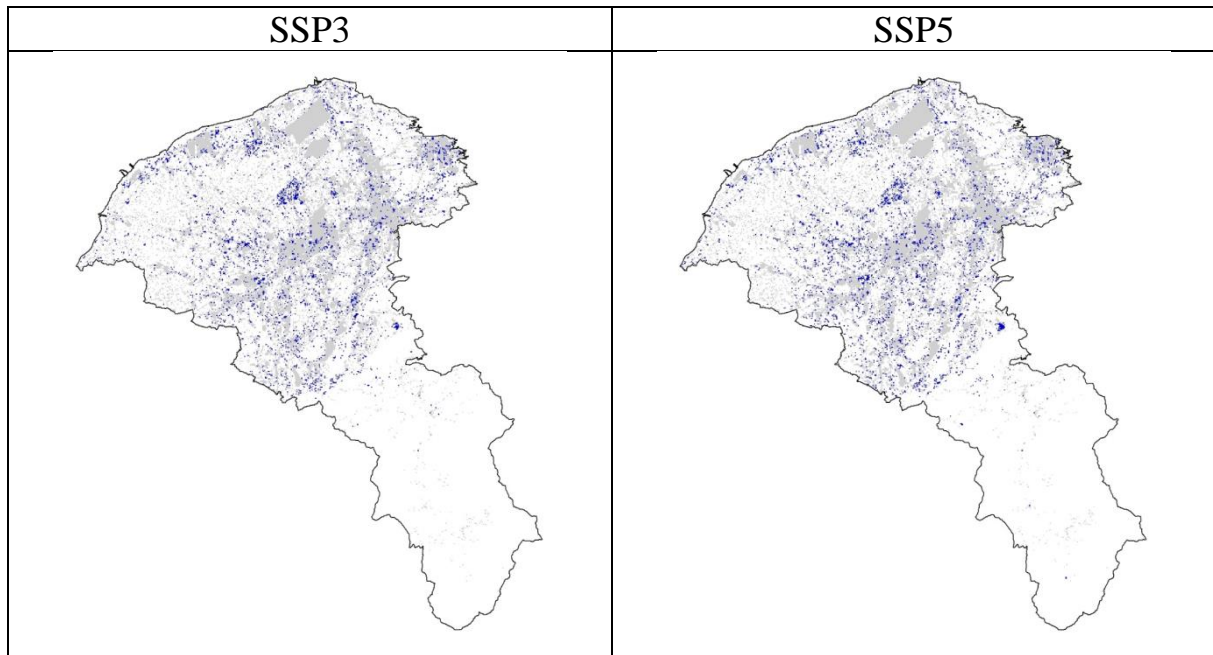
顏色意義：灰色(維持林地使用)、藍色(林地增加)、紅色(林地減少)

圖 4-4 限制情境一下桃園市之林地變遷分布圖



顏色意義：灰色(維持農地使用)、藍色(農地增加)、紅色(農地減少)

圖 4-5 限制情境一下桃園市之農地變遷分布圖



顏色意義：灰色(維持建地使用)、藍色(建地增加)

圖 4-6 限制情境一下桃園市之建地變遷分布圖

完成轉移矩陣與疊圖空間分析後，將 2007 年土地利用圖及 2030 年土地利用模擬結果與國土功能分區圖相疊，以瞭解各國土功能分區之土地利用類別面積(詳表 4-8)。整體而言，2007 年國土保育地區各土地利用類別依面積大小排序分別為林地(32,619 公頃)、建地(5,359 公頃)、農地(4,657 公頃)及水利(2,828 公頃)；農業發展地區之土地利用類別分別為農地(23,424 公頃)、建地(7,737 公頃)、林地(4,517 公頃)以及草地(1,326 公頃)；城鄉發展地區之土地利用類別依面積大小排序則為建地(12,165 公頃)、林地(5,593 公頃)、農地(5,228 公頃)及荒地(2,218 公頃)。而 2030 年土地利用模擬(情境一)之結果中，2030 年 SSP3 土地利用類別於各國土功能分區之面積分布與原先 2007 年相比，差異不大。然而，檢視 2030 年 SSP5 之土地利用模擬結果，不論是何種國土功能分區，其草地面積接有明顯減少之情形。進一步將表 4-8 之結果進行空間疊圖分析，以了解桃園市各國土功能分區中的各土地利用之面積增減情形。

表 4-8 2007 年與限制情境一各類土地利用落於國土功能分區面積統計

(單位：公頃)

	農地	林地	草地	建地	水利	埤塘	荒地	
2007 年	國土保育地區	4,657	32,619	732	5,359	2,828	455	1,238
	農業發展地區	23,424	4,517	1,326	7,737	1,264	617	1,031
	城鄉發展地區	5,228	5,593	2,131	12,165	1,409	321	2,218
	總計	33,309	42,729	4,189	25,261	5,501	1,393	4,487
限制情境一 之 2030 年 SSP3 情境	國土保育地區	4,327	32,473	630	5,957	2,828	361	1,312
	農業發展地區	22,527	4,178	1,310	8,907	1,264	488	1,242
	城鄉發展地區	4,729	5,336	1,680	14,087	1,409	248	1,576
	總計	31,583	41,987	3,620	28,951	5,501	1,097	4,130
限制情境一 之 2030 年 SSP5 情境	國土保育地區	4,593	32,783	145	6,008	2,828	205	1,326
	農業發展地區	23,378	4,463	325	9,064	1,264	230	1,192
	城鄉發展地區	5,133	5,628	900	14,157	1,409	122	1,716
	總計	33,104	42,874	1,370	29,229	5,501	557	4,234

桃園市 2007 年與限制情境一之 2030 年 SSP3 及 SSP5 兩情境之各類土地用於國土功能分區面積變化如表 4-9 與表 4-10 所示。從表 4-9 來看，自 2007 年至 2030 年 SSP3 情境之農地變化差異主要分布於農業發展地區以及國土保育地區，在農業發展地區中，從農發一到農發三的農地減少量幾乎都多於 200 公頃；國土保育地區農地也減少 300 公頃以上。林地變化主要位於農業發展地區(林地減少量為 339 公頃)以及城鄉發展地區(林地減少量為 257 公頃)。而未設定限制發展區之 SSP3 模擬結果使得建地不論是那個國土功能分區，都有明顯增加之情形：城鄉發展地區增加 1,922 公頃、農業發展地區 1,170 公頃以及國土保育地區增加 598 公頃。

就 SSP5 情境模擬結果而言(詳表 4-10)，農地減少面積小於 120 公頃，於農發一與農發二之農地亦有增加，分別增加 49 公頃與 19 公頃。林地在國土保育地區也有增加情形，增加面積為 164 公頃。而各功能分區之草地與埤塘變化則有明顯減少現象：位於國土保育地區之草地面積減少 587 公頃、位於農業發展地區之草地面積

減少 1,001 公頃以及位於城鄉發展地區之草地減少 1,231 公頃；埤塘面積也都減少至少 199 公頃以上。建地在各個國土功能分區中都有明顯增加：城鄉發展地區增加 1,992 公頃、農業發展地區 1,327 公頃以及國土保育地區增加 649 公頃。此二模擬結果顯示有無設定國土功能分區之限制發展地區會影響到各土地利用之分布，因此進一步將國土保育區及農業發展區設定為限制發展地區，瞭解其土地利用模式分布情形。

表 4-9 各類土地利用自 2007 年轉變至限制情境—2030 年 SSP3 情境於國土功能分各區面積變化(單位：公頃)

		農地	林地	草地	建地	水利	埤塘	荒地
國土保 育地區	國保一	-105	-62	6	149	0	-75	87
	國保二	-219	-88	-108	448	0	-19	-14
	國保四	-6	4	0	1	0	0	1
	小計	-330	-146	-102	598	0	-94	74
農業發 展地區	農發一	-267	-98	27	289	0	-47	96
	農發二	-388	-222	-118	743	0	-70	55
	農發三	-200	-3	69	86	0	-5	53
	農發四	-6	-3	2	6	0	0	1
	農發五	-36	-13	4	46	0	-7	6
	小計	-897	-339	-16	1,170	0	-129	211
城鄉發 展地區	城鄉一	-485	-221	-438	1,852	0	-70	-638
	城鄉二-1	-4	-15	6	19	0	-1	-5
	城鄉二-2	-10	-21	-19	51	0	-2	1
	城鄉三	0	0	0	0	0	0	0
	小計	-499	-257	-451	1,922	0	-73	-642
總計		-1,726	-742	-569	3,690	0	-296	-357

表 4-10 各類土地利用自 2007 年轉變至限制情境一 2030 年 SSP5 情境於
國土功能分各區面積變化(單位：公頃)

		農地	林地	草地	建地	水利	埤塘	荒地
國土保 育地區	國保一	1	96	-167	168	0	-169	71
	國保二	-62	61	-412	480	0	-81	14
	國保四	-3	7	-8	1	0	0	3
	小計	-64	164	-587	649	0	-250	88
農業發 展地區	農發一	49	-35	-191	320	0	-146	3
	農發二	19	-88	-626	858	0	-214	51
	農發三	-119	77	-162	99	0	-9	114
	農發四	0	0	-2	2	0	0	0
	農發五	5	-8	-20	48	0	-18	-7
	小計	-46	-54	-1,001	1,327	0	-387	161
城鄉發 展地區	城鄉一	-98	32	-1,134	1,916	0	-191	-525
	城鄉二-1	1	-2	-12	18	0	-3	-2
	城鄉二-2	2	5	-85	58	0	-5	25
	城鄉三	0	0	0	0	0	0	0
	小計	-95	35	-1,231	1,992	0	-199	-502
總計		-205	145	-2,819	3,968	0	-836	-253

(二) 限制情境二下桃園市未來土地利用空間推估及分析

限制情境二將桃園機場範圍、第一類國土保育地區及第一類農業發展地區劃設為限制發展地區，禁止區域內之土地利用改變，限制情境二土地利用類型之面積變化差異如表 4-11 與表 4-12 所示。因限制國保一及農保一範圍內之土地改變，所以這兩地區土地使用是維持現狀使用，符合全國國土計畫對於國保一及農保一之土地使用指導項目。但由於國保一及農發一的限制，使得建地增加多位於城鄉發展地區，比較 2007 年至 2030 年 SSP3 之限制情境一(表 4-9)與限制情境二(表 4-11)差別，限制情境一於城鄉發展地區之建地增加為 1,922 公頃，於限制情境二之建地增加量為 1,991 公頃。限制情境二之國土保育地區及農業發展地區的農地與林地減少量也小於限制情境一之減少量；而限制情境二位於城鄉發展地

區的農地與林地面積減少量也明顯大於限制情境一。限制情境二位於城鄉發展地區與農業發展地區的建地增加量也明顯少於限制情境一的建地增加量。

表 4-11 各類土地利用自 2007 年轉變至限制情境二 2030 年 SSP3 情境於國土功能分各區面積變化(單位：公頃)

		農地	林地	草地	建地	水利	埤塘	荒地
國土保 育地區	國保一	0	0	0	0	0	0	0
	國保二	-273	-101	-85	489	0	-34	4
	國保四	-6	4	1	1	0	0	0
	小計	-279	-97	-84	490	0	-34	4
農業發 展地區	農發一	0	0	0	0	0	0	0
	農發二	-490	-248	-88	865	0	-115	76
	農發三	-220	-8	107	89	0	-6	38
	農發四	-8	-5	3	7	0	0	3
	農發五	-51	-14	6	58	0	-11	12
	小計	-769	-275	28	1,019	0	-132	129
城鄉發 展地區	城鄉一	-625	-251	-404	1,915	0	-115	-520
	城鄉二-1	-4	-16	8	17	0	-2	-3
	城鄉二-2	-12	-23	-30	59	0	-4	10
	城鄉三	0	0	0	0	0	0	0
	小計	-641	-290	-426	1,991	0	-121	-513
總計		-1,689	-662	-482	3,500	0	-287	-380

限制情境二 2007 年至 2030 年 SSP5 國土功能分區各土地利用面積變化差異(見表 4-12)，與 SSP3 情境結果相似(詳表 4-11)，城鄉發展地區的土地變遷變化情形明顯增加，如限制情境二位於國土保育地區及農業發展地區之建地面積增加量(國保建地增加量 537 公頃、農發建地增加量 1,219 公頃)小於限制情境一之增加量(國保建地增加量 649 公頃、農發建地增加量 1,327 公頃)(詳表 4-10)；位於城鄉發展地區建地面積增加 2,127 公頃則大於限制情境一之 1,992 公頃(詳表 4-10)。SSP5 相較於 SSP3 的土地使用變化差異，在於 SSP5 的草地與埤塘面積變化差異大於 SSP3，而在限制

情境二當中，位於國保區(-459 公頃)與農發區(-887 公頃)的草地減少量明顯少於限制情境一的草地面積減少量(分別為-587 公頃與-1,011 公頃)，但相對的，限制情境二位於城鄉發展地區的草地減少量(-1,432 公頃)明顯大於限制情境一(-1,231 公頃)。而限制情境二位於城鄉發展地區的埤塘減少量(-317 公頃)也遠大於限制情境一的埤塘面積減少量(-199 公頃)。

表 4-12 各類土地利用自 2007 年轉變至限制情境二 2030 年 SSP5 情境於國土功能分各區面積變化(單位：公頃)

		農地	林地	草地	建地	水利	埤塘	荒地
國土保 育地區	國保一	0	0	0	0	0	0	0
	國保二	-57	78	-451	535	0	-110	5
	國保四	-3	11	-8	2	0	-2	0
	小計	-60	89	-459	537	0	-112	5
農業發 展地區	農發一	0	0	0	0	0	0	0
	農發二	56	-102	-663	1,037	0	-338	10
	農發三	-113	98	-202	125	0	-26	118
	農發四	0	0	-2	3	0	0	-1
	農發五	7	-8	-20	54	0	-24	-9
	小計	-50	-12	-887	1,219	0	-388	118
城鄉發 展地區	城鄉一	-55	67	-1,304	2,034	0	-306	-436
	城鄉二-1	1	-2	-12	19	0	-3	-3
	城鄉二-2	5	10	-116	74	0	-8	35
	城鄉三	0	0	0	0	0	0	0
	小計	-49	75	-1,432	2,127	0	-317	-404
總計		-159	152	-2,778	3,883	0	-817	-281

(三) 限制情境三下桃園市各國土功能分區之土地利用模擬結果

限制情境三將桃園機場範圍、所有國土保育地區及第一類農業發展地區劃設為限制發展地區，禁止區域內土地利用發生改變。限制情境三土地利用類型之面積變化差異如表 4-13 與表 4-14 所示，因限制全部國保地區及農保一之土地發生改變，所以不論是表

4-13 或表 4-14，位於在這兩地區的土地類型均沒有面積變化差異。由於國土保育地區無法變動任何土地利用，所有土地需求而導致的變化均發生在農保一以外的農業發展地區以及城鄉發展地區，因此在限制情境三 2007 年至 2030 年 SSP3 國土功能分區各土地利用面積變化差異中，位於農業發展地區的林地減少量(-350 公頃)大於其他兩個情境，而位於城鄉發展地區的農地減少量(-675 公頃)亦明顯大於其他兩個情境。而不論在農業發展地區或是城鄉發展地區，建地增加量都明顯大於限制情境一與限制情境二，於農業發展地區的建地增加量為 1,206 公頃；於城鄉發展地區的建地增加量為 2,232 公頃。此外，埤塘的減少量大於另外兩個情境，於農業發展地區的埤塘面積減少量為-161 公頃，而城鄉發展地區的埤塘面積減少量為-133 公頃。

表 4-13 各類土地利用自 2007 年轉變至限制情境三 2030 年 SSP3 情境於國土功能分各區面積變化(單位：公頃)

		農地	林地	草地	建地	水利	埤塘	荒地
國土保 育地區	國保一	0	0	0	0	0	0	0
	國保二	0	0	0	0	0	0	0
	國保四	0	0	0	0	0	0	0
	小計	0	0	0	0	0	0	0
農業發 展地區	農發一	0	0	0	0	0	0	0
	農發二	-531	-311	-84	1,006	0	-141	61
	農發三	-228	-16	82	127	0	-6	41
	農發四	-8	-6	4	7	0	0	3
	農發五	-57	-17	16	66	0	-14	6
	小計	-824	-350	18	1,206	0	-161	111
城鄉發 展地區	城鄉一	-658	-299	-461	2,134	0	-126	-590
	城鄉二-1	-4	-19	11	20	0	-3	-5
	城鄉二-2	-13	-30	-40	78	0	-4	9
	城鄉三	0	0	0	0	0	0	0
	小計	-675	-348	-490	2,232	0	-133	-586
總計		-1,499	-698	-472	3,438	0	-294	-475

在限制情境三 2007 年至 2030 年 SSP5 國土功能分區各土地利用面積變化差異結果中(詳表 4-14), 因為國保地區及農發一的各種土地使用類型無法變動, 所以導致城鄉發展地區的土地變遷變化情形明顯增加, 例如於城鄉發展地區草地面積改變量(限制情境三)高達-1,716 公頃(限制情境一及限制情境二之-1,001 公頃與-887 公頃); 城鄉發展地區的埤塘減少量(限制情境三)也是增加至-321 公頃(限制情境一為-199 公頃、限制情境二為-317 公頃)。而建地增加量不論是在農業發展地區(建地增加量為 1,416 公頃)或城鄉發展地區(建地增加量為 2,418 公頃)都是大於限制情境一及限制情境二。限制國土保育地區及農業發展地區第一類區域內土地利用改變之緣故, 使得農業發展地區的農地減少量(-103 公頃)大於前兩個情境(限制情境一為-46 公頃、限制情境二為-50 公頃)。

表 4-14 各類土地利用自 2007 年轉變至限制情境三 2030 年 SSP5 情境於國土功能分各區面積變化(單位：公頃)

		農地	林地	草地	建地	水利	埤塘	荒地
國土保 育地區	國保一	0	0	0	0	0	0	0
	國保二	0	0	0	0	0	0	0
	國保四	0	0	0	0	0	0	0
	小計	0	0	0	0	0	0	0
農業發 展地區	農發一	0	0	0	0	0	0	0
	農發二	8	-117	-711	1,190	0	-339	-31
	農發三	-117	114	-284	165	0	-26	148
	農發四	0	0	-2	3	0	0	-1
	農發五	6	-9	-20	58	0	-24	-11
	小計	-103	-12	-1,017	1,416	0	-389	105
城鄉發 展地區	城鄉一	-65	83	-1,544	2,292	0	-310	-456
	城鄉二-1	-1	-2	-12	23	0	-3	-5
	城鄉二-2	8	11	-160	103	0	-8	46
	城鄉三	0	0	0	0	0	0	0
	小計	-58	92	-1,716	2,418	0	-321	-415
總計		-161	80	-2,733	3,834	0	-710	-310

四、綜合評析：限制發展區設定之比較分析

為了解國土計畫限制發展之管制強度以及不同經濟成長情境對於未來土地利用差異，本計畫提出了三個限制發展情境，並針對不同情境進行綜合討論(表 4-15)。

比較各功能分區建地面積的變化差異，不論是 SSP3 或 SSP5，在國土保育地區限制情境一的建地增加面積為最大，其次為限制情境二。限制情境三因為嚴格管制全部國土保育地區皆不能變更，使得限制情境三的農業發展地區及城鄉發展地區之建地面積遠大於另外兩個限制情境。雖然限制情境三讓國土保育地區及農發一之土地利用無法變化，但亦使得位於國土保育地區的林地無法增加或減少，在 SSP5 經濟情境中，限制情境一及二的國土保育地區林地面積均有增加的現象，而限制情境三 SSP5 之林地面積因有增加需求，反而增加在城鄉發展地區(限制情境三 SSP5 之城鄉發展地區林地面積大於另外兩個限制情境)。

最後，就農地而言，在限制情境一中國土保育地區之農地面積為三個情境中減少最多的。而位於農業發展地區農地中，SSP3 經濟情境的限制情境一之農地減少量是最多的、限制情境二農地減少量為最少；而 SSP5 經濟情境的限制情境三之農地減少量為最多、限制情境一農地減少量為最少。

總結上述，比較三種限制情境造成的土地變化差異後，發現由於限制情境一僅限制桃園機場範圍，國土保育地區及農業發展地區未加以限制，使得位於國土保育地區及農業發展地區之土地使用仍有變遷情事發生。而限制情境三除桃園機場範圍外，將全部國土保育地區及農業發展地區第一類劃設為限制發展地區，因嚴格管制缺乏彈性，使得所有土地變遷之需求與壓力都轉移到其餘的農業發展地區及城鄉發展地區。相較之下，限制情境二(僅增加國保一及農發一劃設限制發展區)使得國土保育地區及農業發展地區之建地不至於增加太多，且讓農業發展地區農地變化幅度減少，亦能讓國土保育地區之林地面積得以增加。

表 4-15 不同限制情境之各類土地利用面積差異(單位：公頃)

土地利用類別		2007 年	SSP3			SSP5		
			限制情境一	限制情境二	限制情境三	限制情境一	限制情境二	限制情境三
國土保育地區	農地	4,657	4,327 (-330)	4,378 (-279)	4,657 (0)	4,593 (-64)	4,597 (-60)	4,657 (0)
	林地	32,619	32,473 (-146)	32,522 (-97)	32,619 (0)	32,783 (164)	32,708 (89)	32,619 (0)
	草地	732	630 (-102)	648 (-84)	732 (0)	145 (-587)	273 (-459)	732 (0)
	建地	5,359	5,957 (598)	5,849 (490)	5,359 (0)	6,008 (649)	5,896 (537)	5,359 (0)
	水利	2,828	2,828 (0)	2,828 (0)	2,828 (0)	2,828 (0)	2,828 (0)	2,828 (0)
	埤塘	455	361 (-94)	421 (-34)	455 (0)	205 (-250)	343 (-112)	455 (0)
	荒地	1,238	1,312 (74)	1,242 (4)	1,238 (0)	1,326 (88)	1,243 (5)	1,238 (0)
農業發展地區	農地	23,424	22,527 (-897)	22,655 (-769)	22,600 (-824)	23,378 (-46)	23,374 (-50)	23,321 (-103)
	林地	4,517	4,178 (-339)	4,242 (-275)	4,167 (-350)	4,463 (-54)	4,505 (-12)	4,505 (-12)
	草地	1,326	1,310 (-16)	1,354 (28)	1,344 (18)	325 (-1,001)	439 (-887)	309 (-1,017)
	建地	7,737	8,907 (1,170)	8,756 (1,019)	8,943 (1,206)	9,064 (1,327)	8,956 (1,219)	9,153 (1,416)
	水利	1,264	1,264 (0)	1,264 (0)	1,264 (0)	1,264 (0)	1,264 (0)	1,264 (0)
	埤塘	617	488 (-129)	485 (-132)	456 (-161)	230 (-387)	229 (-388)	228 (-389)
	荒地	1,031	1,242 (211)	1,160 (129)	1,142 (111)	1,192 (161)	1,149 (118)	1,136 (105)
城鄉發展地區	農地	5,228	4,729 (-499)	4,587 (-641)	4,553 (-675)	5,133 (-95)	5,179 (-49)	5,170 (-58)
	林地	5,593	5,336 (-257)	5,303 (-290)	5,245 (-348)	5,628 (35)	5,668 (75)	5,685 (92)
	草地	2,131	1,680 (-451)	1,705 (-426)	1,641 (-490)	900 (-1,231)	699 (-1,432)	415 (-1,716)
	建地	12,165	14,087 (1,922)	14,156 (1,991)	14,397 (2,232)	14,157 (1,992)	14,292 (2,127)	14,583 (2,418)
	水利	1,409	1,409 (0)	1,409 (0)	1,409 (0)	1,409 (0)	1,409 (0)	1,409 (0)
	埤塘	321	248 (-73)	200 (-121)	188 (-133)	122 (-199)	4 (-317)	0 (-321)
	荒地	2,218	1,576 (-642)	1,705 (-513)	1,632 (-586)	1,716 (-502)	1,814 (-404)	1,803 (-415)

備註：括號內數字為與 2007 年相減的面積變化量

五、小結

為了解國土計畫限制發展之管制強度以及不同經濟成長情境對於未來土地利用差異，本計畫參考全國國土計畫之土地使用指導原則，提出三種限制發展情境進行比較與討論。其結果顯示限制情境一過於寬鬆，使得土地使用變遷情形會分布於國土保育地區及重要農業發展地區。而過於嚴格管制之限制情境三亦使得所有土地變遷壓力都轉移到農業發展地區及城鄉發展地區。因此，僅將國保一及農發一劃設限制發展區之限制情境二，能讓國土保育地區的林地面積增加，亦使農業發展地區農地減少幅度降低，同時也讓位於國土保育地區及農業發展地區之建地增加幅度降低。

第五章 分散式治水雛形架構方法建立及測試

氣候變遷造成氣候條件改變，使得極端降雨發生頻率增加且降雨強度亦可能超過現有防洪設施可防護之標準，再加上土地開發導致不透水面積增加，促使地表逕流量增加，因此需透過逕流分擔與出流管制之策略，將逕流量分擔至土地、河道或水道，以降低可能的淹水風險。

本計畫規畫分散式治水雛形架構，透過上游分擔及下游分擔(詳圖 5-1)的機制，降低示範區域淹水程度或可能性。在分析時，擬蒐集歷史淹水事件資料，在上游的部分，依據集水區特性挑選適合之山區逕流模式，分析不同的事件造成的山區逕流量，進而分析集水區可蓄留逕流體積，接著分析集水區蓄留逕流熱點，進而劃定可能的逕流蓄留區域；在下游分擔的部分，則透過淹水模式模擬歷史事件之淹水情形，進而分析可能的淹水熱點，並劃定可能的淹水管制區域，淹水管制區域其淹水風險高，因此藉由降低此區域之淹水風險，達到風險分攤的概念。最後，不同的畫設情境作為限制開發的區域，結合全球經濟模式所推估之土地利用需求量改變情形，藉由土地利用模式模擬各類型土地利用之空間分布情形，將改變後之土地利用再作為輸入資料，分別模擬上游山區逕流量及下游淹水情形，判斷是否達到預期效益。

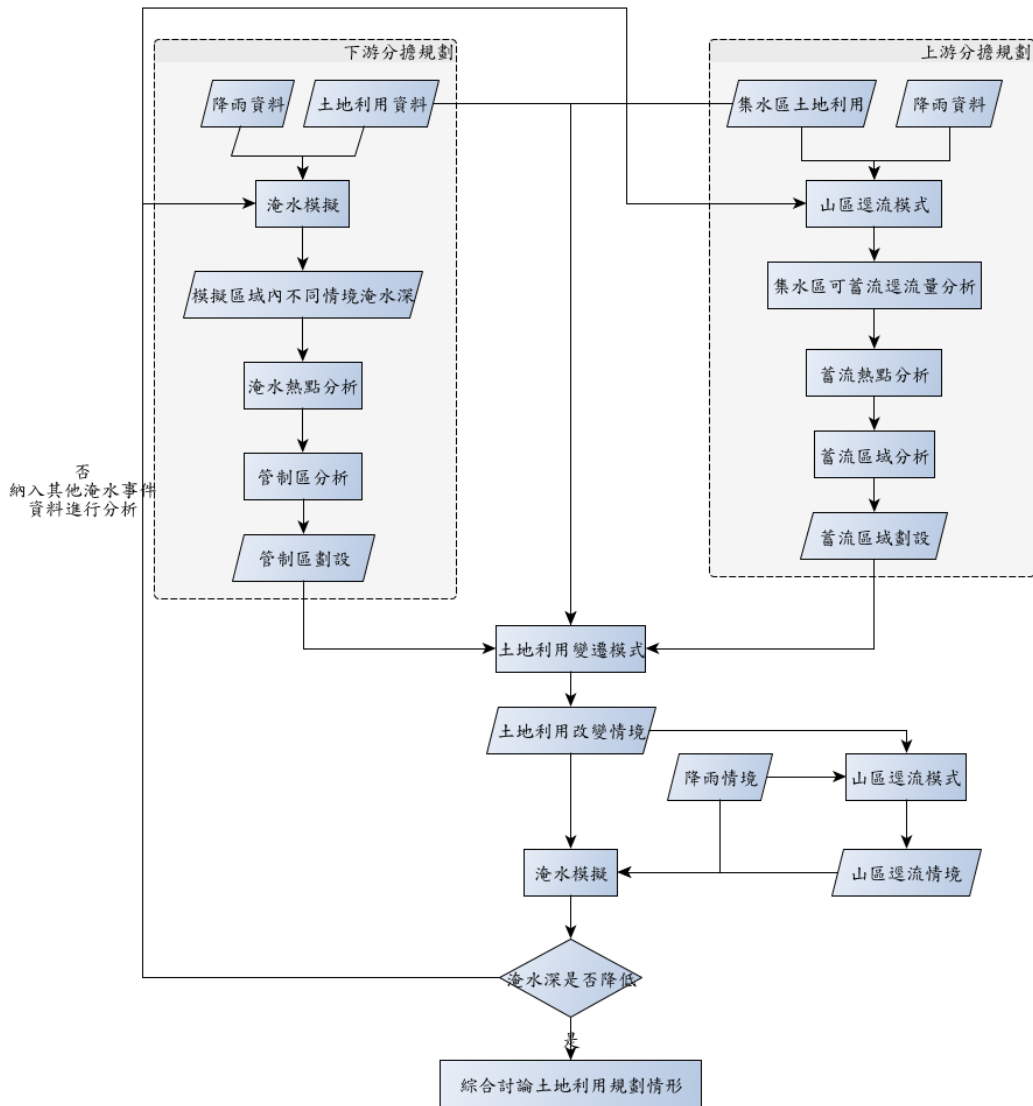


圖 5-1 分散式治水評估方式雛形架構初步規劃

一、山區逕流模式

水文模式能模擬集水區過去或是未來水文狀況(Niehoff et al., 2002)，透過水文模式可瞭解集水區內流量特性變化情形(廖依玲, 2003)，常用的水文模式種類繁多，如 Beven 與 Kirkby 於 1979 年所發展之地形指數模式(Physically Based Runoff reduction Model, TOPMODEL)(Beven & Kirkby, 1979)，該模式以地形指數反映流域水文現象，藉以模擬逕流量，黃誌川等人(2007)亦應用該模式模擬台灣北部山區之降雨逕流情形；Bergström 及 Jönsson 於 1976 年所發展 HBV(Hydrologiska Byråns

Vattenbalansavdelning) (Bergström & Jönsson, 1976)模式已廣泛應用於全球 30 多個國家，李俊逸 (2013)亦應用 HBV 模式與 TOPMODEL 模式分析台灣地區流量特徵與暴雨事件之間的關係，楊與游於 1997 年修正該模式後並應用於台灣地區之逕流量模擬，修正後之模式稱為修正型 HBV(modified HBV)模式(楊道昌 & 游保杉, 1997)，其後陳獻宗等人也於 2011 年應用修正型 HBV 模式模擬氣候變遷下曾文水庫集水區之低流量特性變化情形(陳憲宗等人, 2011)；Arnold 等人(1998)發展可評估不同土地利用與管理策略改變對於集水區水文與水質之衝擊之 SWAT 模式(the Soil Water Assessment Tool)，模式可評估針對集水區水文進行模擬(Hundecha & Bardossy, 2004)、集水區非點源污染模擬(Di Luzio et al., 2004)、流域管理(Arabi et al., 2007)等各項議題，近年來亦有許多學者應用 SWAT 模式模擬台灣地區之集水區規劃管理(吳佩蓉, 2008)、土地及氣候變遷對流量之影響(林子平等人, 2016)與污染負荷(施恆益, 2013)等。

水文模式可區分為集塊(lumped)與分佈(distributed)型模式，集塊型模式將集水區視為一個整體，並未考量地形、土地利用等空間分布可能造成之影響，而分布型模式則考量集水區內地形、土壤、降雨等因子之空間分布對流量影響，由於本計畫考量集水區內不同區域的逕流蓄留能力，因此挑選 Wigmosta 及 Lettenmaier 加入土壤模組於 Wigmosta 等人(1994)發展之 Distributed Hydrology-Vegetation Model 之 Distributed Hydrology Soil Vegetation Model (DHSVM)(Wigmosta & Lettenmaier, 1999)之分布型水文模式進行集水區逕流量分析與模擬。

(一) 模式簡介

DHSVM 模式以網格為計算單位，利用各網格之高程資料模擬各網格氣候、地形、土壤、植生與水流間之交互關係(詳圖 5-2)(Chu et al., 2010; Wigmosta & Lettenmaier, 1999; Wigmosta et al., 1994)。

DHSVM 模式利用 Penman-Monteith 公式推估植物蒸發散量，故可針對不同土地利用計算其蒸發散量，以評估不同土地利用對逕流量造成之影響。

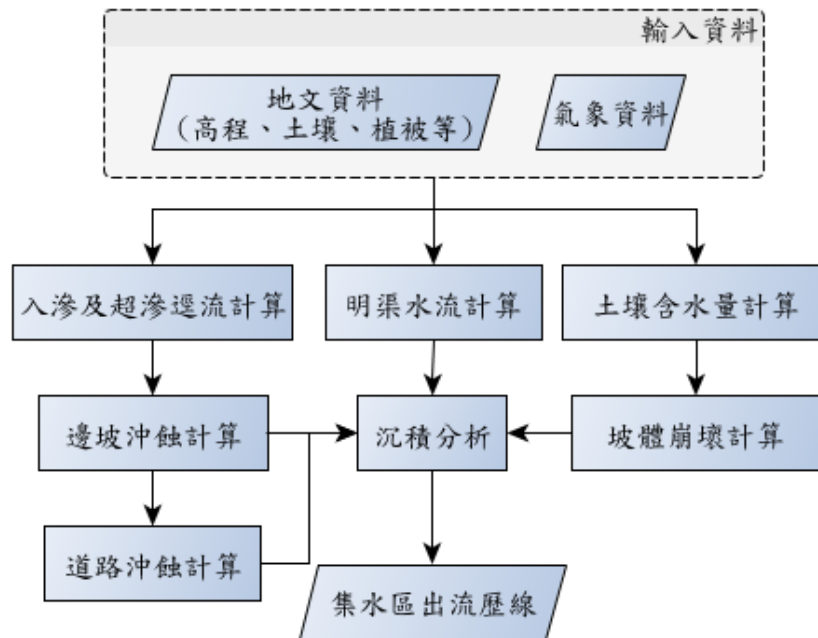


圖 5-2 DHSVM 模式架構流程圖

DHSVM 模式中包含計算蒸發散之雙層樹冠模式(two-layer canopy model for evapotranspiration)、計算積雪能量之平衡模式(an energy balance model for snow accumulation)、兩層之根層模式(two-layer rooting zone model) 及飽和地下水流模式(saturated subsurface flow model)。模式中藉由高程資料模擬地形對於輻射量、溫度雨量等之影響，並透過計算集水區中每個網格之能量與水文量變化的傳遞情形，說明植生與水文之間的動態關係(詳圖 5-3)，其水平衡方程式說明如下式

$$\Delta S_{s1} + \Delta S_{s2} + \Delta S_{io} + \Delta S_{iu} + \Delta W = P - E_{io} - E_{iu} - E_s - E_{to} - E_{tu} - P_2 \quad (5-1)$$

式中， ΔS_{s1} 及 ΔS_{s2} 分別是上下根層的土壤水分改變量， ΔS_{io} 及 ΔS_{iu} 為是喬木層與地被層截留改變量， ΔW 是雪水的變化量， P 為總降水量， P_2 為下根層的流出水量， E_s 為表面土壤蒸發量， E_{io} 、

E_{iu} 、 E_{to} 、 E_{tu} 分別是喬木層及地被層截留量的蒸發量與蒸散量(詳圖 5-3)。

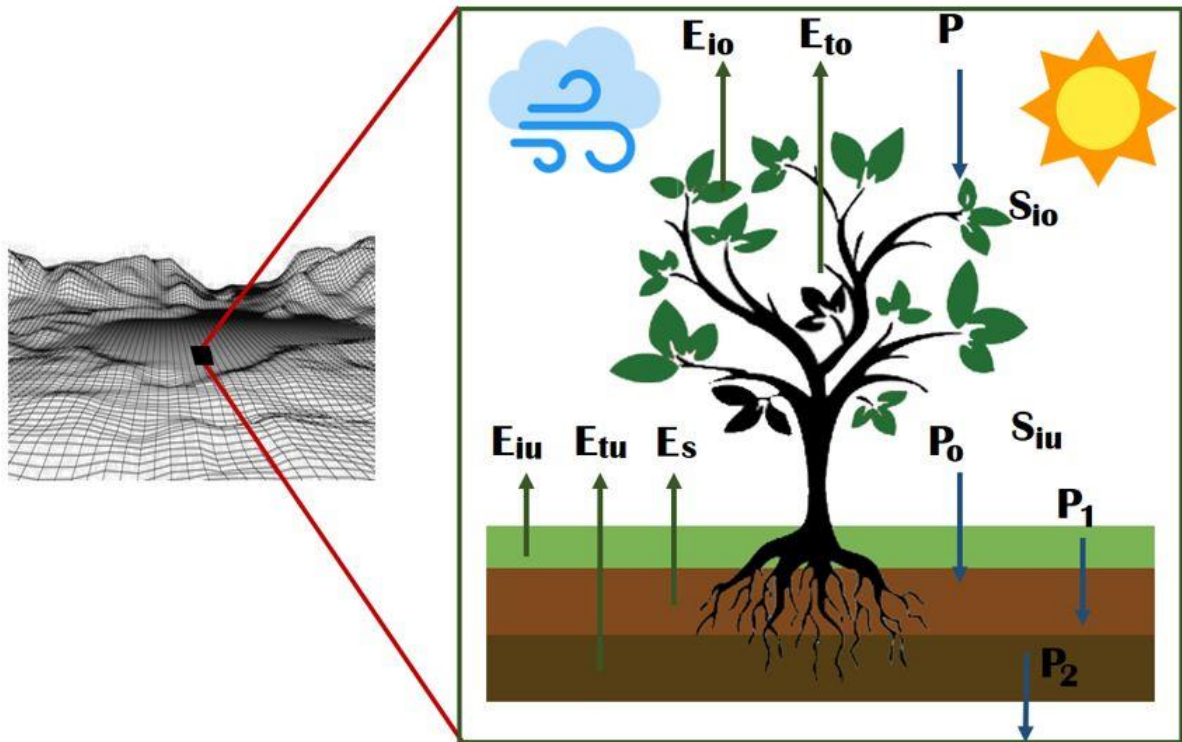


圖 5-3 模擬植生與根層之水平衡關係

1、計算蒸發散之雙層樹冠模式

蒸發散包含蒸發與蒸散，蒸發主要為植物葉面上的截留水。模式假設所有降水達到最大截留儲存量(maximum interception storage capacities)前都儲存於喬木層與地被層，當喬木層與地被層的截留水滿足最大儲存量時，降水則會入滲至土壤中(P_0)。最大截留儲存量由葉面積指數(leaf area index, LAI)決定：

$$I_{cj} = 10^{-4} LAI_j F_j \quad (5-2)$$

式中， j 可以為 o 或 u ，分別代表喬木層(overstory)與地被層(understory)(以下皆同)， F 是地表被喬木層覆蓋的比例， I_c 是最大截留儲存量， LAI 是葉面指數。截留的改變量 S_i 為：

$$S_{ij}^{t+\Delta t} = S_{ij}^t + P - E_{ij} \quad (5-3)$$

當 $S_{ij}^{t+\Delta t}$ 大於 I_{cj} 時，穿透降水(throughfall)為 $(S_{ij}^{t+\Delta t} - I_{cj})$ 且 $S_{ij}^{t+\Delta t}$ 設為等於 I_{cj} 。

當葉面無截留水時，水分會直接從植物氣孔蒸散，其水分蒸散量 E_t 可由 Penman-Monteith 公式計算：

$$E_{ij} = \frac{\Delta R_{nj} + \rho c_p (e_s - e) / r_{aj}}{\lambda_v [\Delta + \gamma (1 + r_{cj} / r_{aj})]} \Delta t \quad (5-4)$$

其中， R_{nj} 是淨輻射通量密度(net radiation flux density)， ρ 是溼空氣的比重， c_p 是空氣於穩定氣壓下之比熱， e_s 是飽和水蒸氣壓， e 為水蒸氣壓， r_{aj} 為蒸氣壓的空氣阻力， λ_v 為水蒸氣壓之潛熱， γ 為溼度常數， r_{cj} 為樹冠層之蒸氣壓阻力。當葉面有截留水時，蒸發散量由溼植生表面(wet vegetative surface)截留而蒸發的水分計算，此時發生最大蒸發率，令蒸氣壓的空氣阻力(r_{aj})為零，得到最大蒸發率：

$$E_{pj} = \frac{\Delta R_{nj} + \rho c_p (e_s - e) / r_{aj}}{\lambda_v [\Delta + \gamma]} \quad (5-5)$$

由上述 2 式，可計算乾植生表面與溼植生表面蒸發散量的比值：

$$E_{ij} / E_{pj} = \frac{\Delta + \gamma}{\Delta + \gamma (1 + r_{cj} / r_{aj})} \quad (5-6)$$

計算時間段內的截留水蒸發量(E_{ij})可逐步計算喬木層與地被層之蒸發量和蒸散量。首先，截留的水分蒸發於最大蒸發率(potential rate)，其數值限制於最大蒸發率(E_{PJ})或初始時間之截留水體積(S_{ij})

$$E_{ij} = \min(E_{pj}, S_{ij}) \quad (5-7)$$

當所有截留水皆蒸發後，乾植生表面的蒸散量以上述三項公式計算可得：

$$E_{ij} = (E_{pj} - E_{ij}) \frac{\Delta + \gamma}{\Delta + \gamma(1 + r_{cj} / r_{aj})} \quad (5-8)$$

藉由逐步計算的方式，模擬植生表面由溼到乾的變化。

2、計算積雪能量之平衡模式

此模式中，單層的能量與質量平衡模式被用來模擬積雪與融雪。能量平衡的單元用來模擬雪的融化、再冰凍與積雪中的熱能變化；質量平衡的單元則模擬雪累積及消融、雪水與雨水間的變化(changes in snow water equivalent)以及融出之水量。

氣溫將決定降水的形式為雨水(P_r)或雪(P_s)則透過氣溫決定(式 5-9 及式 5-10)，當氣溫(T_a)小於最小臨界溫度(T_{min})時，所有的降水會是雪的形式，最小臨界溫度通常是攝氏零下 1.10 度；當氣溫大於最大臨界溫度(T_{max})，所有降水都會是雨水的形式，最大臨界溫度通常是攝氏 3.30 度；當溫度介於臨界溫度兩之間時，假設降水為雨水及雪的混合物。

$$P_s = \begin{cases} P & \text{if } T_a \leq T_{min} \\ \frac{T_{max} - T_a}{T_{max} - T_{min}} & \text{if } T_{min} < T_a < T_{max} \\ 0 & \text{if } T_a \geq T_{max} \end{cases} \quad (5-9)$$

$$P_r = P - P_s \quad (5-10)$$

3、未飽和土壤的水分流動(Unsaturated Soil Moisture Movement)

本模式並無限制入滲量的方程式；所有的穿透水(throughfall)或是融化的雪進入土壤層中，直到土壤水分達飽和，當土壤水分

達到飽和，多出來的水就成為地表逕流(surface runoff)。兩層之根層模式用於模擬未飽和的水分流動的動態。上層土壤的厚度(d_1)代表為地被層的平均根深；下層土壤的厚度(d_2)代表自上層土壤延伸至樹冠層的平均根深的距離。兩層土壤的差別在於：上層土壤的水分能同時被樹冠層與地被層的植物吸收，但下層土壤的水分只能被樹冠層的植物吸收。上下兩層的質量平衡式分別為式 5-11 及式 5-12：

$$d_1(\theta_1^{t+\Delta t} - \theta_1^t) = P_0 - P_1(\theta_1) - E_{to} - E_{tu} - E_s + V_{sat} - V_r \quad (5-11)$$

$$d_2(\theta_2^{t+\Delta t} - \theta_2^t) = P_1(\theta_1) - P_2(\theta_2) - E_{to} + V_{sat} \quad (5-12)$$

其中， θ_j 是平均土壤水份， j 可以為 1 或 2，分別代表上層土壤與下層土壤， P_0 是入滲的雨水或融雪的體積， E_s 則是自土壤水份蒸發之體積， V_{sat} 是上升水層(rising water table)補注的水體積， V_r 是回流水之體積(當上生水層達到地表時)， V_j 是上層土壤流出的水體積， j 可以為 1 或 2，代表上層土壤與下層土壤。

4、飽和的次表面流(Saturated Subsurface Flow)

飽和的次表面流(Saturated Subsurface Flow)使用 Wigmosta 等人提出的類三維飽和次表面流模式(quasi three-dimensional saturated subsurface flow model) (Wigmosta et al., 1994)進行計算，藉由高程資料可計算地表的斜度，並假設區域水力梯度大致與地表斜率接近，進而推算每個網格與鄰近八個網格交換水流的可能性(圖 5-4)，飽和地下水流在時間 t 從網格點(i, j)流至其臨近低水力點之比例為：

$$q(t)_{i,j,k} = \begin{cases} T(t)_{i,j} \beta_{i,j,k} w_k & \text{if } \beta_{i,j,k} < 0 \\ 0 & \text{if } \beta_{i,j,k} \geq 0 \end{cases} \quad (5-13)$$

式中， $q_{i,j,k}$ 為由網格點 (i,j) 流向 k 方向的比率，當 $k=2$ 表示網格點 (i,j) 與網格點 $(i+1,j-1)$ 間的方向(詳圖 5-4)， $T_{i,j}$ 為網格點 (i,j) 之傳導率， $\beta_{i,j,k}$ 則是 k 方向的地表斜率，當 $\beta_{i,j,k} < 0$ 表示水流將由網格點 (i,j) 往 k 方向流動；而 w_k 為 k 方向的水流寬度。

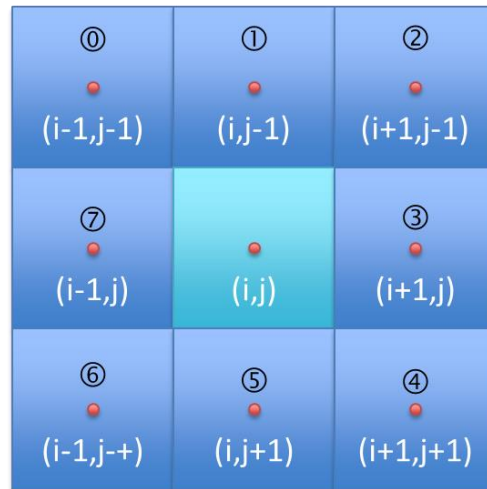


圖 5-4 飽和的次表面流格網運算示意圖

(二) 模擬結果

本計畫針對桃園淹水模擬所設定之山區進行模擬(詳圖 5-5)，集水區範圍劃分共分為 11 個子集水區，模擬事件選定近年對桃園市造成重大淹水之豪雨及颱風事件(包含 2012 年 0611 豪雨及蘇拉颱風、2016 年 0516 豪雨及 0602 豪雨)，並同時以 50 年重現期雨量之三種土地利用限制情境進行模擬。豪雨及颱風事件雨量以桃園市雨量站之實測雨量，利用徐昇氏分區進行降雨之空間分布處理，土地利用限制情境則以桃園市之 50 年重現期設計降雨量搭配不同土地利用進行分析。第一區及第二區之各網格最大地表水深模擬結果分別如圖 5-6 至圖 5-19 所示。以 DHSVM 模式模擬出各事件之山區集水區出流量歷線做為淹水模式模擬時之上游山區入流邊界條件。

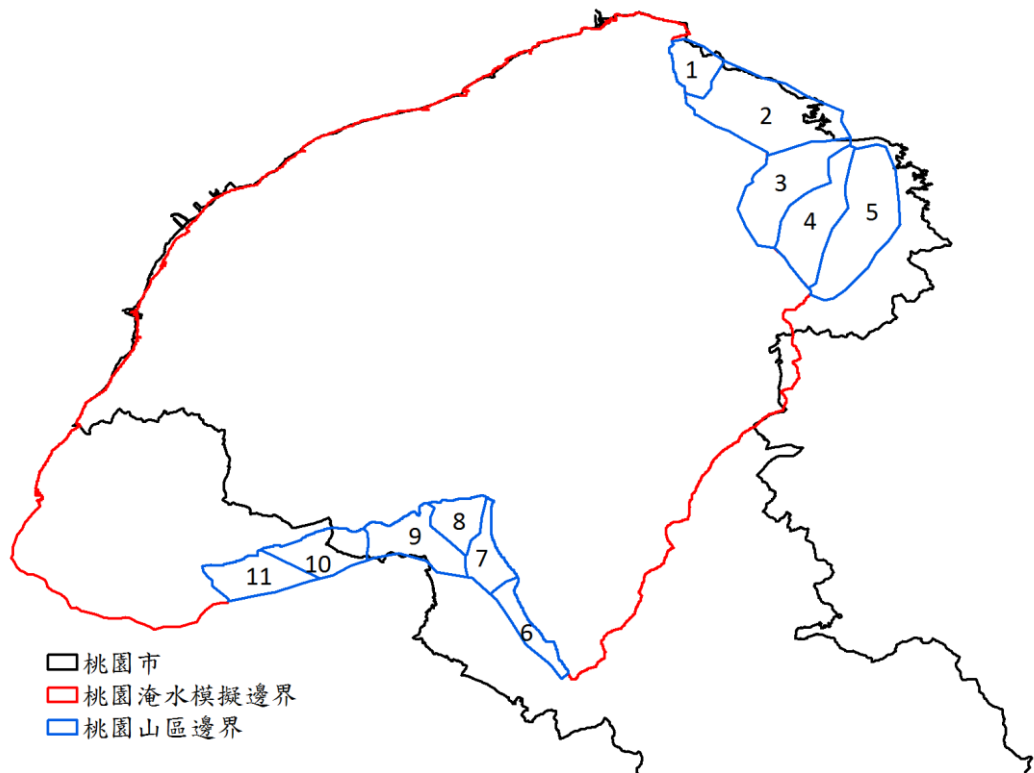


圖 5-5 桃園淹水模擬山區邊界

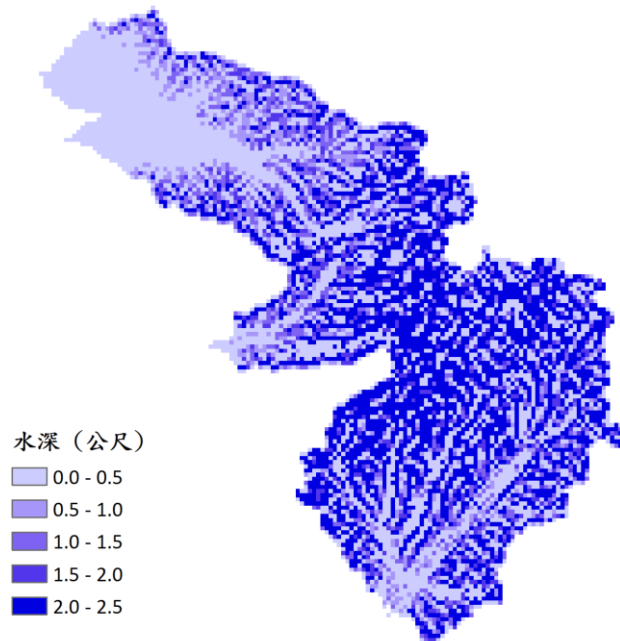


圖 5-6 第一區(山區編號 1-5)各網格地表最大水深(20120611 豪雨)

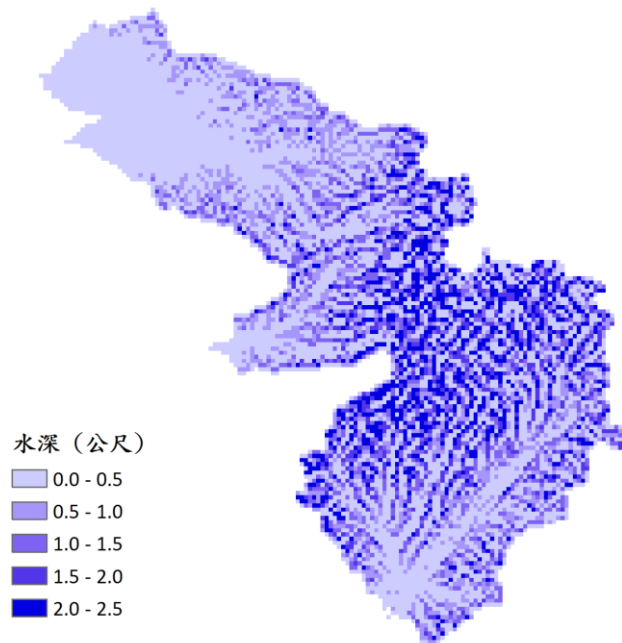


圖 5-7 第一區(山區編號 1-5)各網格地表最大水深(2012 蘇拉颱風)

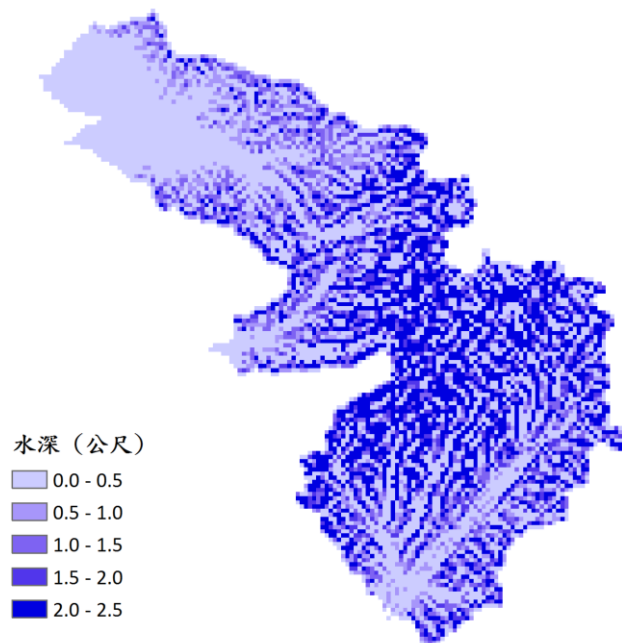


圖 5-8 第一區(山區編號 1-5)各網格地表最大水深(20160516 豪雨)

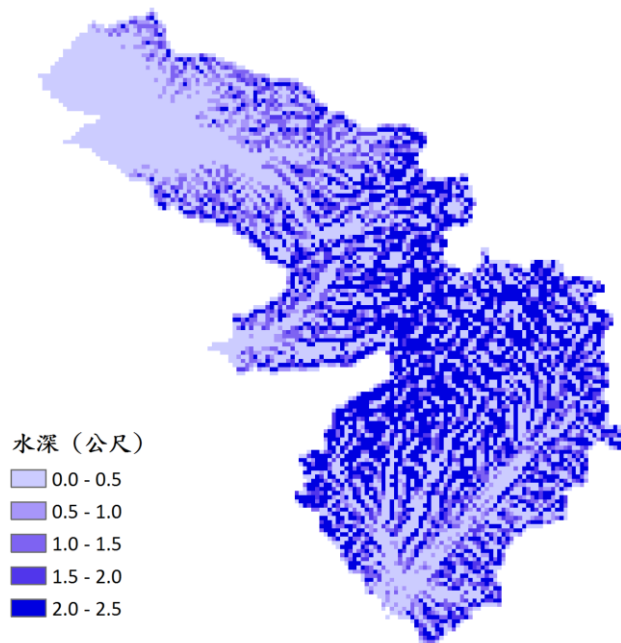


圖 5-9 第一區(山區編號 1-5)各網格地表最大水深(20160602 豪雨)

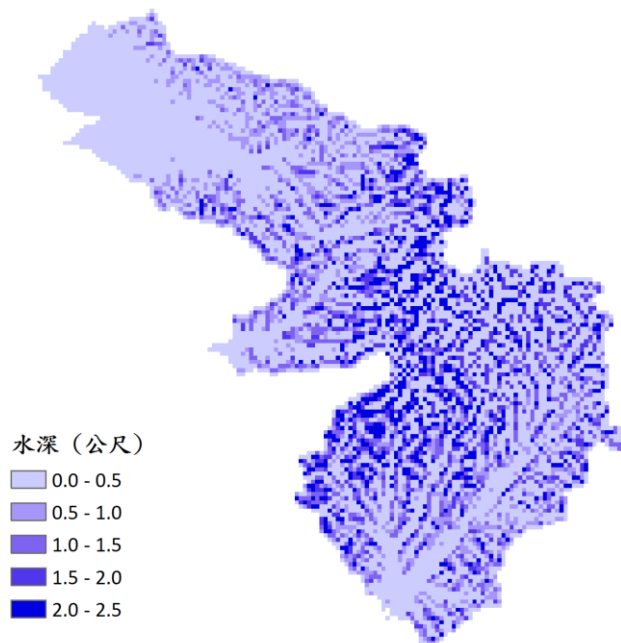


圖 5-10 第一區(山區編號 1-5)各網格地表最大水深(50 年重現期限制情境一)

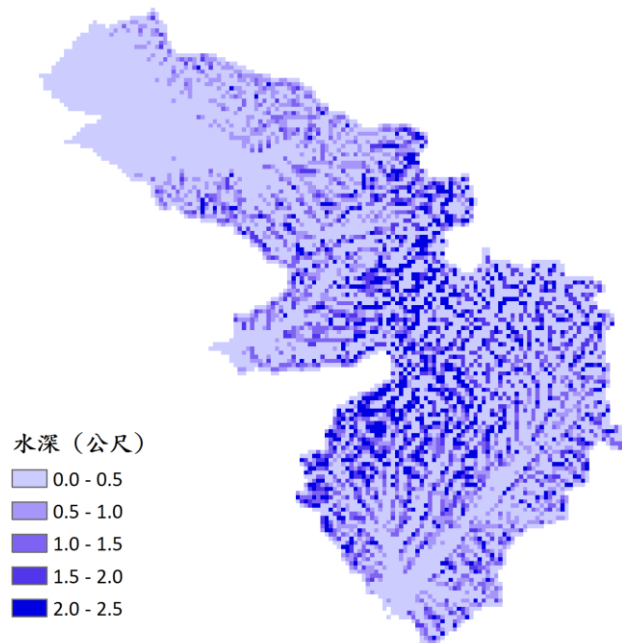


圖 5-11 第一區(山區編號 1-5)各網格地表最大水深(50 年重現期限制情境二)

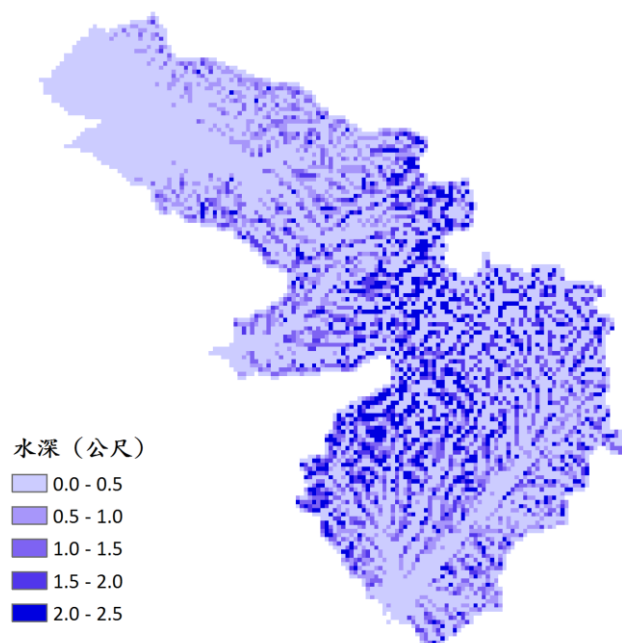


圖 5-12 第一區(山區編號 1-5)各網格地表最大水深(50 年重現期限制情境三)

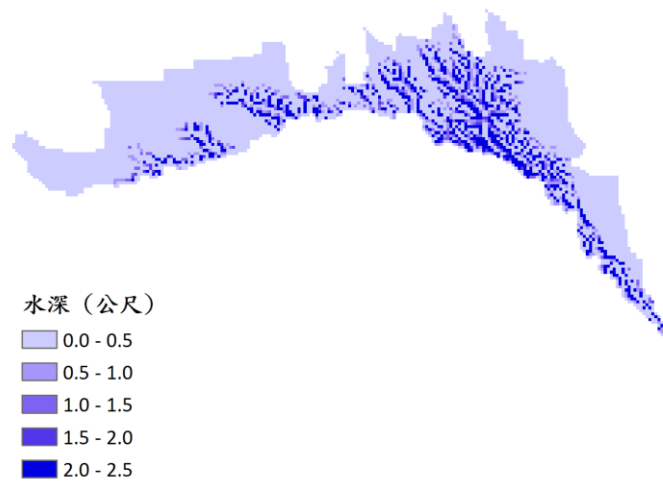


圖 5-13 第二區(山區編號 6-11)各網格地表最大水深(20120611 豪雨)

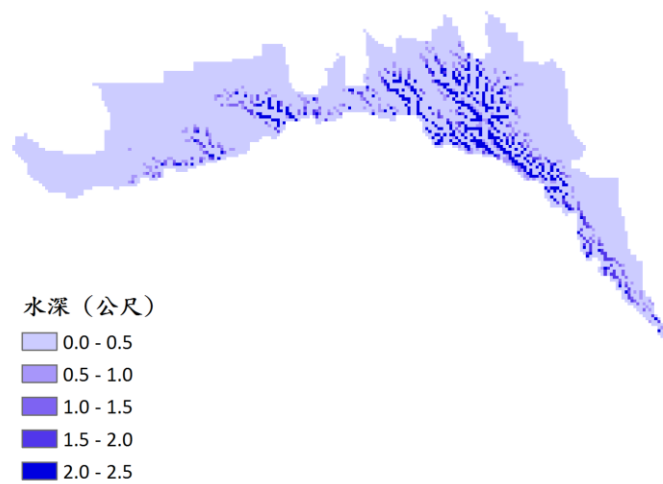


圖 5-14 第二區(山區編號 6-11)各網格地表最大水深(2012 蘇拉颱風)

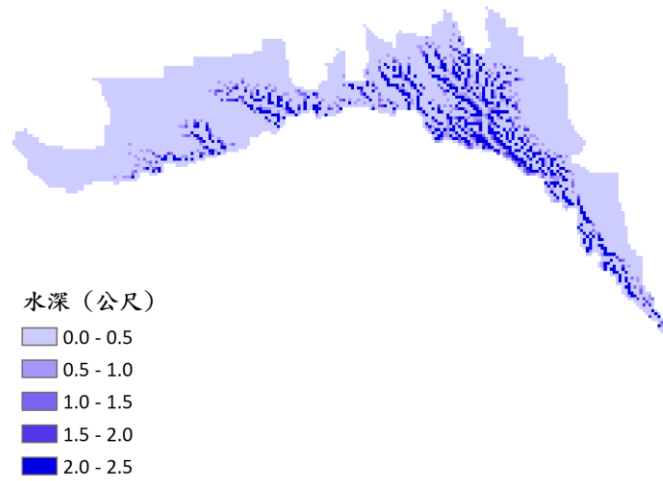


圖 5-15 第二區(山區編號 6-11)各網格地表最大水深(20160516 豪雨)

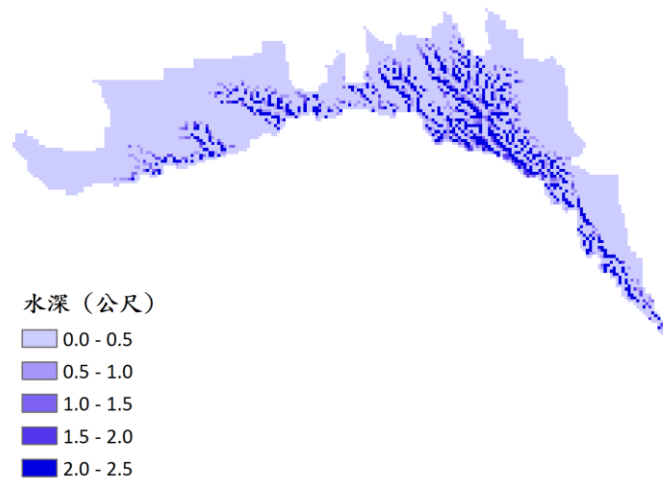


圖 5-16 第二區(山區編號 6-11)各網格地表最大水深(20160602 豪雨)

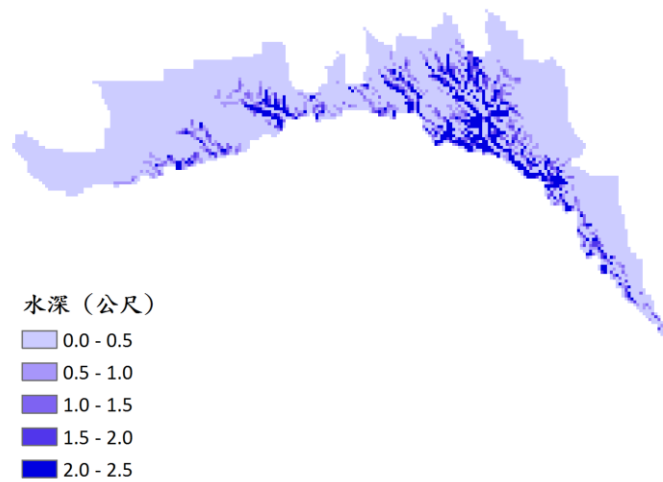


圖 5-17 第二區(山區編號 6-11)各網格地表最大水深(50 年重現期限制情境一)

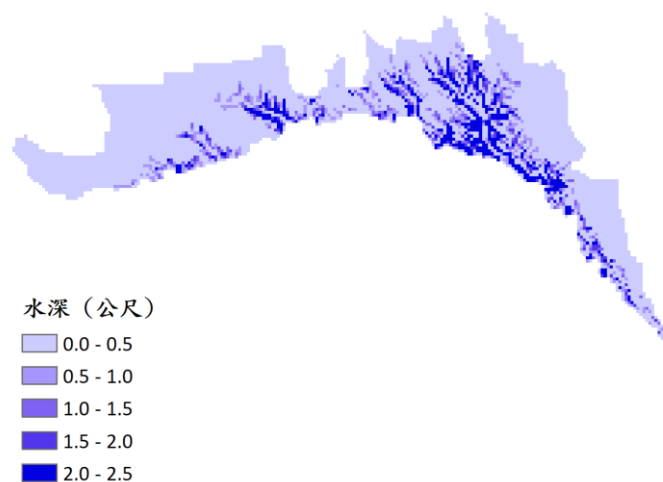


圖 5-18 第二區(山區編號 6-11)各網格地表最大水深(50 年重現期限制情境二)

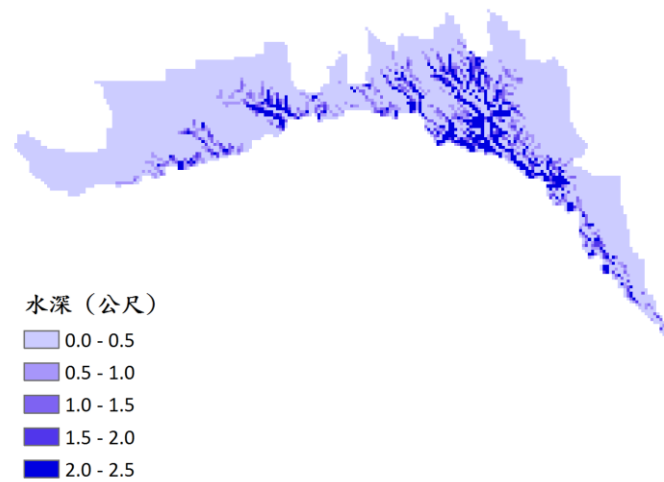


圖 5-19 第二區(山區編號 6-11)各網格地表最大水深(50 年重現期限制情境三)

二、淹水模式

(一) 模式簡介

本計畫採用二維淹水模式模擬不同情境下之淹水發生情形估算，在一般坡度平緩、水深不大之漫地流中，變量流方程式中加速項通常遠小於重力項與摩擦項，因此加速項可忽略不計，故可透過二維零慣性模式描述地表漫地流流況，其二維連續方程可由式(5-14)描述，而沿 x 及 y 方向之二維運動方程式則分別由式(5-15)及式(5-16)描述(Chen et al., 2011; Huang et al., 2014)。

$$\frac{\partial d}{\partial t} + \frac{\partial(ud)}{\partial x} + \frac{\partial(vd)}{\partial y} = q \quad (5-14)$$

$$-\frac{\partial h}{\partial x} = u \left[\frac{n^2 |u|}{d^{4/3}} + \frac{q}{dg} \right] \quad (5-15)$$

$$-\frac{\partial h}{\partial y} = v \left[\frac{n^2 |v|}{d^{4/3}} + \frac{q}{dg} \right] \quad (5-16)$$

式中， x 及 y 為模擬地區標示之卡氏座標(m)； t 為時間(sec)； d 為模擬區地表水深(m)； u 及 v 分別為沿 x 及 y 方向之平均流速(m/sec)； n 為曼寧糙度值(s/m^{1/3})，依據不同土地利用狀況決定其曼寧糙度值； h 為地表水位(m)，為地表水深(d)與地表高程(z)之總和； g 為重力加速度(m/s²)； q 單位表面積之進流量(m/sec)，包括有效降雨強度、河川潰堤流量及山區逕流量之總和。

都會地區地表有建物覆蓋時，應考慮建物之水流阻抗及蓄水效應。若建物所遮蔽之面積佔地表面積比例為 a_0 ，則 a_0 為建蔽率，此時可蓄水面積比為 $1-a_0$ ，如圖 5-20 所示，此時式(5-14)應改寫為下式：

$$\frac{\partial(1-a_0)d}{\partial t} + \frac{\partial(ud)}{\partial x} + \frac{\partial(vd)}{\partial y} = q \quad (5-17)$$

因建物外牆的阻擋，地表漫地流會被阻隔於建物外，當建物外部水位超過建物進水門檻值 d_0 後，積水將流入建物中，其單位面積之流量 q_t 可利用堰流公式進行計算。

$$q_t = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot B \cdot (2g)^{1/2} \cdot \frac{(d-d_0)^{3/2}}{\Delta x \cdot \Delta y} \quad (5-18)$$

式中， μ 為堰流係數； B 為門檻入口寬度(m)； d_0 為建物入口門檻高度(m)； q_t 為單位面積之建物入流量(m/s)。因 q_t 可考慮為連續方程式之點匯(sink)，故式(5-17)可改寫為：

$$\frac{\partial(1-a_0)d}{\partial t} + \frac{\partial(ud)}{\partial x} + \frac{\partial(vd)}{\partial y} = q - q_t \quad (5-19)$$

建物總進水體積為入流量對時間之積分，即 $\int_{t_0}^t q_t \cdot dt$ ， t_0 為建物開始入流之時間。因建物入流量為網格內部流況，故此時可將 q_t 以 $\partial \left(\int_{t_0}^t q_t \cdot dt \right) / \partial t$ 取代，代入式(5-19)中，並其移至左項：

$$\frac{\partial(1-a_0)d}{\partial t} + \frac{\partial\left(\int_{t_0}^t q_i \cdot dt\right)}{\partial t} + \frac{\partial(ud)}{\partial x} + \frac{\partial(vd)}{\partial y} = q \quad (5-20)$$

假設 a' 為建物進水體積之相對面積比，即 $a' = \int_{t_0}^t q_i \cdot dt / d$ ，且令 $a = a_0 - a'$ ，表示建物目前可蓄水之面積比，此時式(5-20)可改寫為

$$\frac{\partial(1-a)d}{\partial t} + \frac{\partial(ud)}{\partial x} + \frac{\partial(vd)}{\partial y} = q \quad (5-21)$$

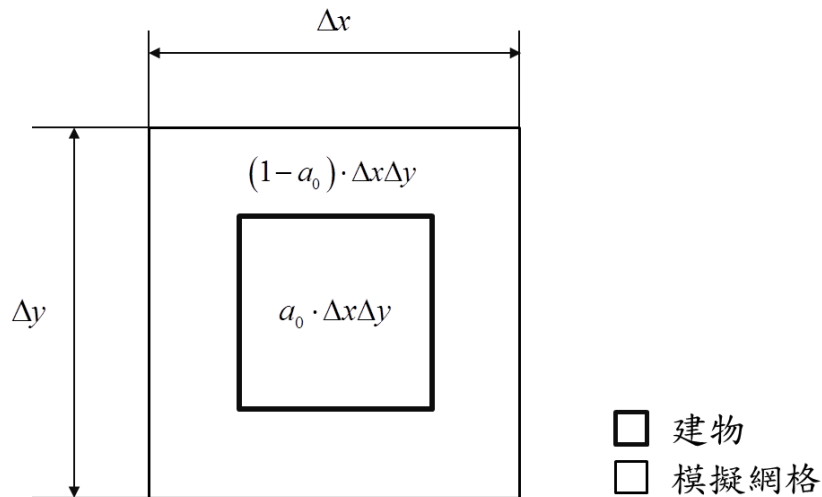


圖 5-20 建物網格示意圖

建物進水面積比 a' 之示意如圖 5-21，若忽略建物外牆厚度及建物高程下的蓄水空間， a' 之值介於 0 到 a_0 之間，若建物外淹水高度尚未超過建物門檻值時，建物進水面積比為 0，建物若全部進水時，建物進水面積比為 a_0 。

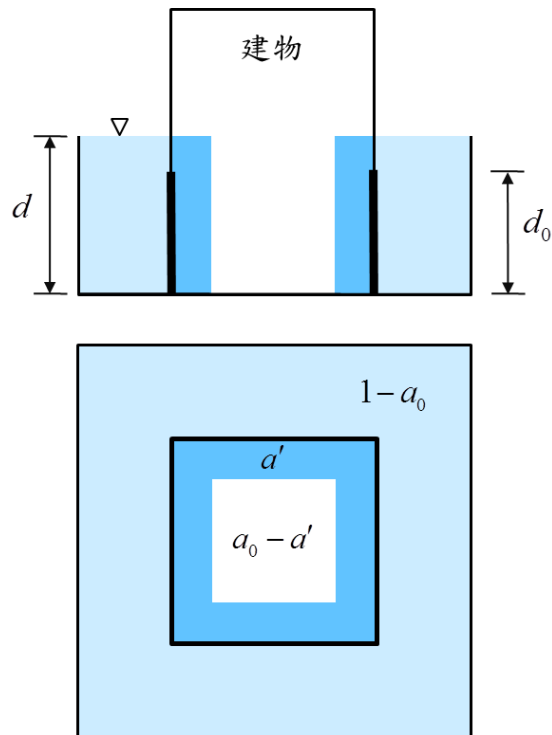


圖 5-21 建物進水體積之相對面積比 α' 示意圖

上游集水區採用 DHSVM 模式計算山區逕流量，以作為二維漫地流之上游入流邊界條件。模式亦可納入評估抽水站位置、抽水量及河川溢堤等對於模擬區域淹水情形之影響。

(二) 模式驗證

2012 年 6 月 11 日豪雨在桃園市各地造成嚴重淹水災情，二維淹水模式以此 0611 豪雨事件作為模式驗證。研究區域依照內政部地政司的國土利用現況調查數化資料分為水利用地、建築、工業用地、農業、交通、遊憩、礦業、軍事及其他用地等不同利用型態(詳圖 1-9(b))，不同土地利用之曼寧 n 值則依表 5-1 決定。

表 5-1 桃園市土地利用及曼寧糙度值

土地利用	曼寧糙度值
農業用地	0.13
交通用地	0.13
水利用地	0.10
建築用地	0.20
工業用地	0.20
遊憩用地	0.13
鹽業用地	0.10
土石用地	0.13
軍事用地	0.13
其他	0.13

雨量資料使用桃園市雨量站之觀測資料，輸入二維淹水模式進行地表逕流之計算，圖 5-22 為模擬結果與調查淹水範圍比較(桃園市 611 水災淹水改善工程執行報告)，由圖中可看出淹水主要集中在桃園市、楊梅區、蘆竹區、大園區及新屋區等河川兩岸低窪地區，其中桃園區、蘆竹區及大園區之南崁溪及埔心溪兩岸出現大面積淹水情形；楊梅區及新屋區之淹水則集中於社子溪沿岸，由比較可看出二維淹水模擬結果與調查淹水範圍相當一致，可反應出桃園市之真實淹水情況。

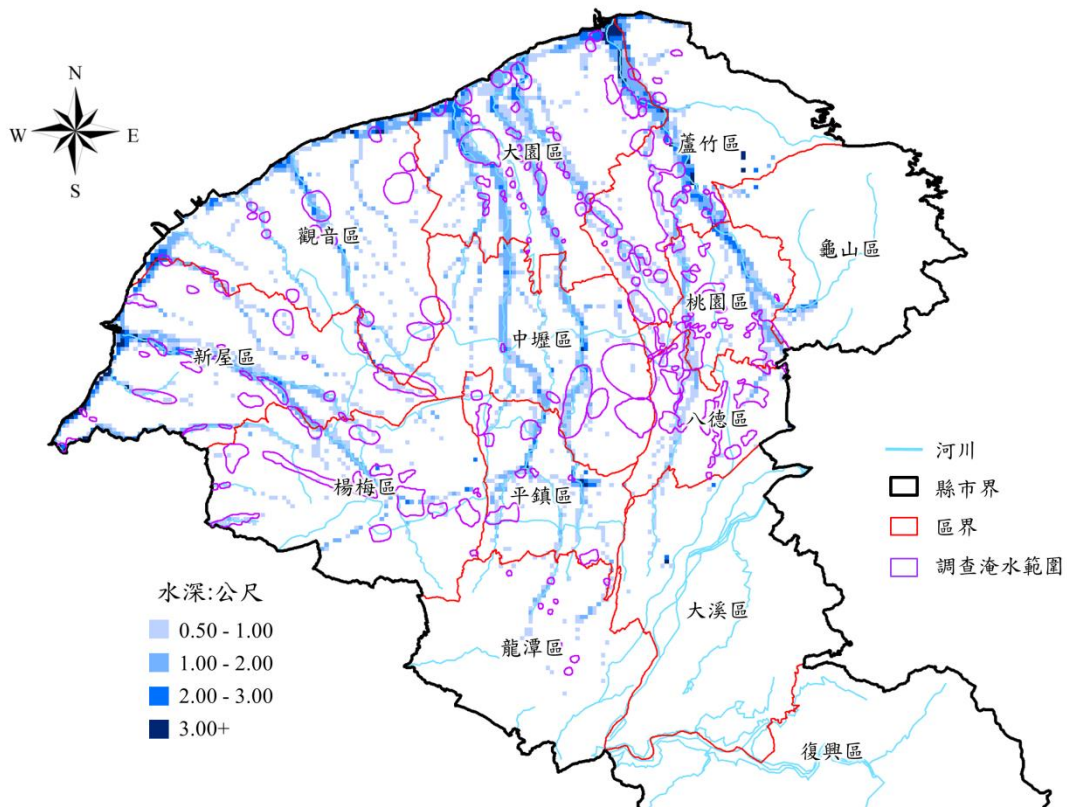


圖 5-22 桃園市 20120611 豪雨模擬最大淹水深圖

(三) 模擬結果

圖 5-23 為 2012 年蘇拉颱風模擬最大淹水深，可看出只有位於蘆竹區及大園區的南崁溪沿岸出現較明顯的淹水情形，其餘淹水區域則集中於沿海低窪地區。圖 5-24 為 2012 年 0516 豪雨事件之模擬最大淹水深，由於只有楊梅區之尖峰時雨量接近 20 年重現期，桃園區尖峰時雨量接近 10 年重現期外，其他地區僅有小於 2 年重現期之尖峰時雨量(0516 豪雨災情處置報告)，故整個桃園市僅有零星之淹水，只在南崁溪沿岸有較大的淹水情形。圖 5-25 為 2016 年 0602 豪雨事件之模擬最大淹水深，其中大園區及蘆竹區之尖峰時雨量接近 20 年重現期，觀音區之尖峰時雨量接近 10 年重現期(0602 豪雨災情處置報告)，故此三區內之低窪地區出現較明顯的淹水情形。圖 5-26 到圖 5-28 為 50 年重現期降雨條件三種限制情境模擬最大淹水深度圖，由於桃園市多為丘陵台地，從圖中可看出三種限制情境之淹水區域差別不大，主要的淹水集中區域有

四：(1)大園區、蘆竹區及桃園區之南崁溪沿岸；(2)大園區及中壢區之埔心溪、新街溪及老街溪沿岸；(3)新屋區之社子溪沿岸及(4)大園區、觀音區與新屋區之沿海低窪地區。

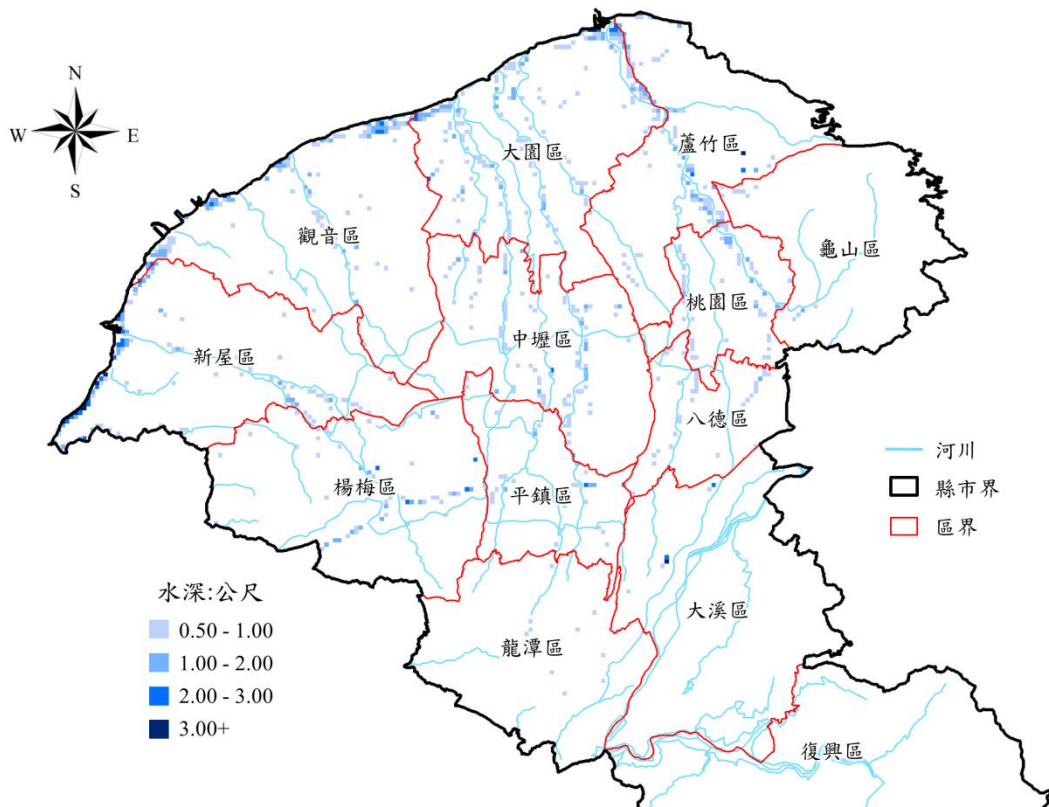


圖 5-23 桃園市 2012 蘇拉颱風模擬最大淹水深圖

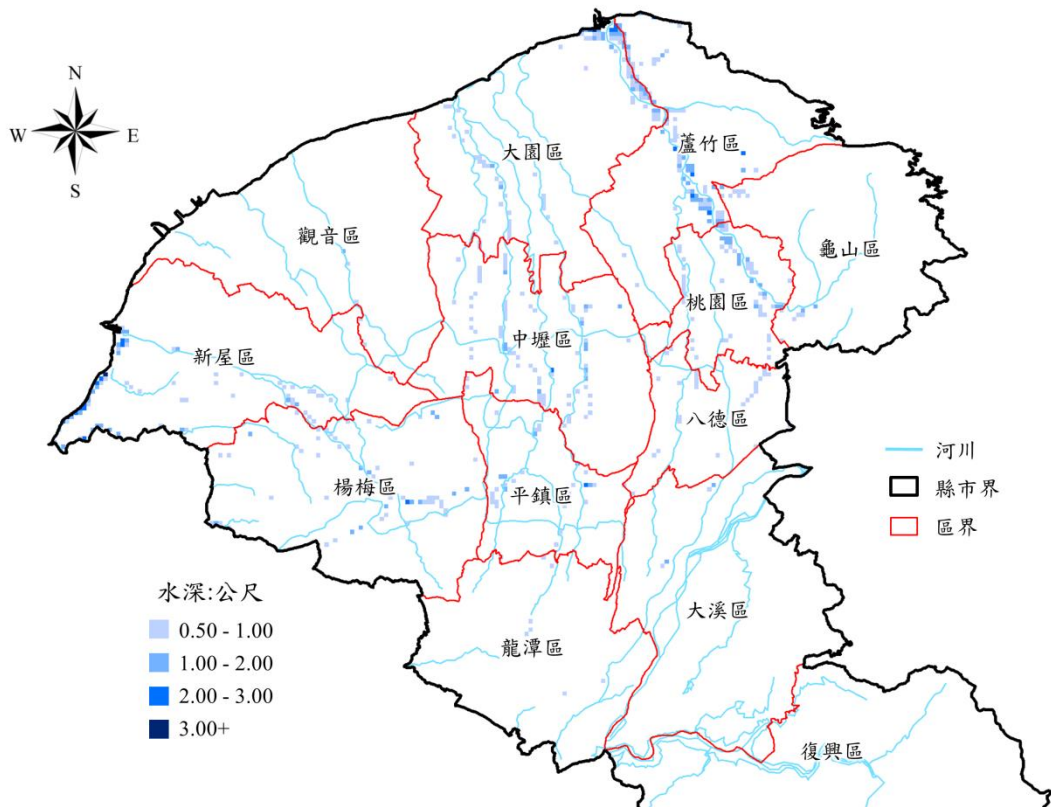


圖 5-24 桃園市 20160516 豪雨模擬最大淹水深圖

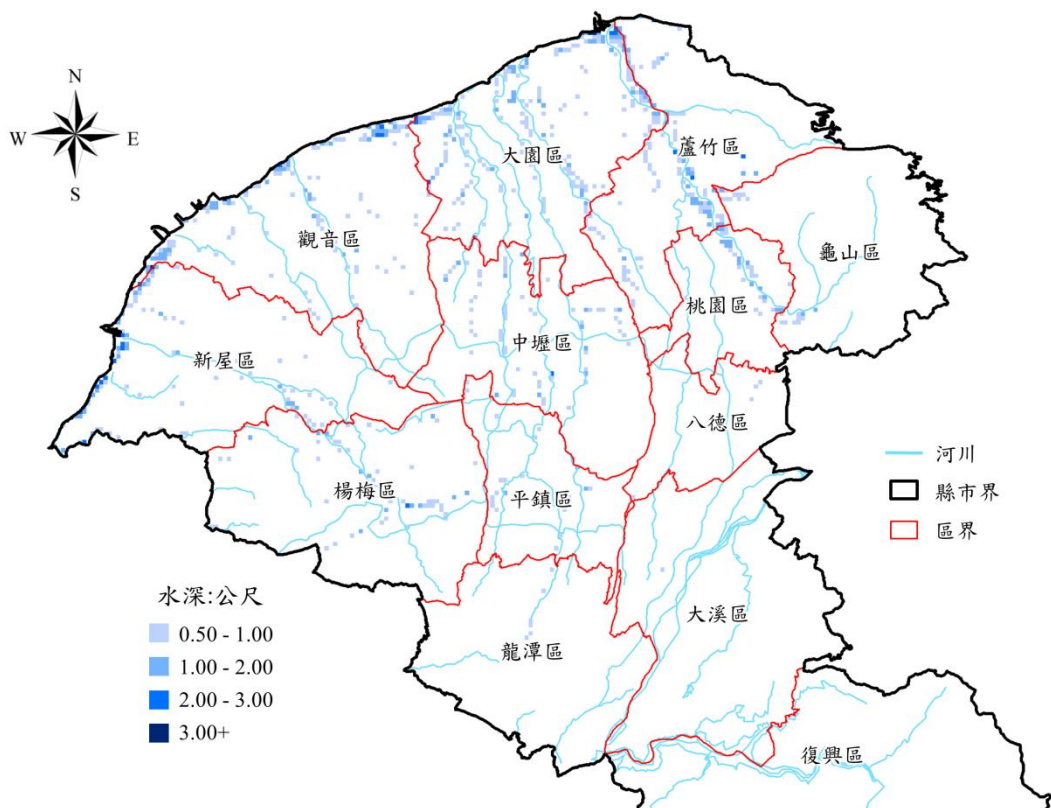


圖 5-25 桃園市 20160602 豪雨模擬最大淹水深圖

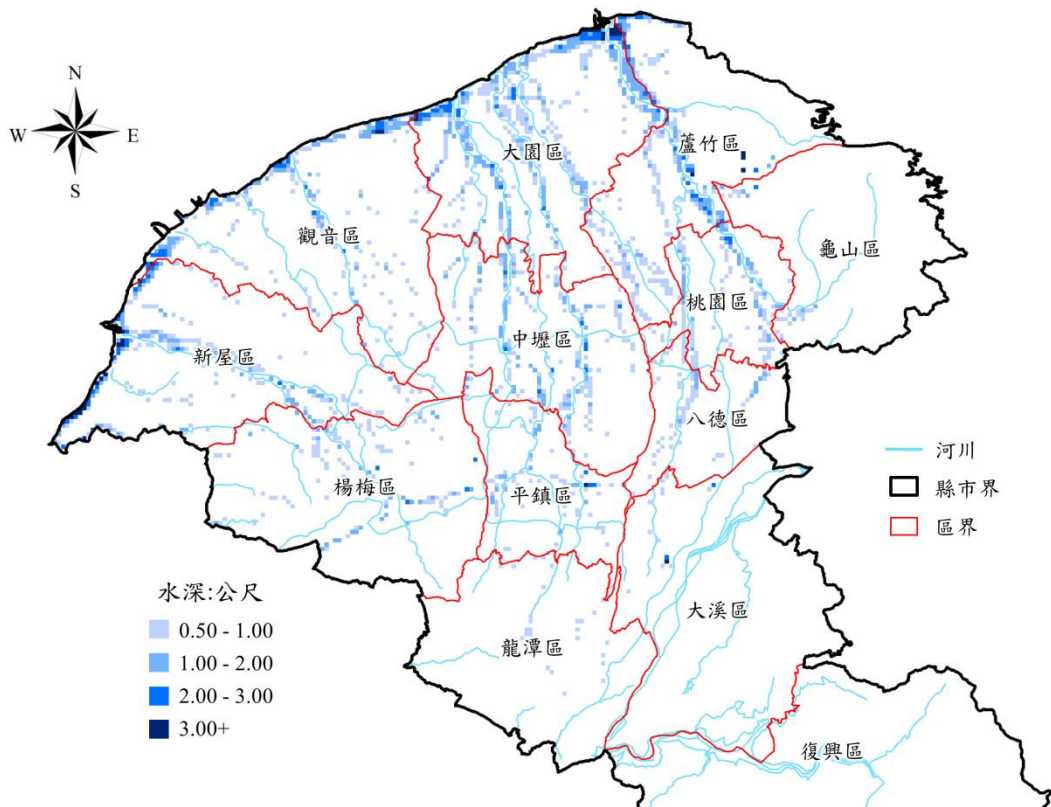


圖 5-26 桃園市 50 年重現期模擬最大淹水深圖(限制情境一)

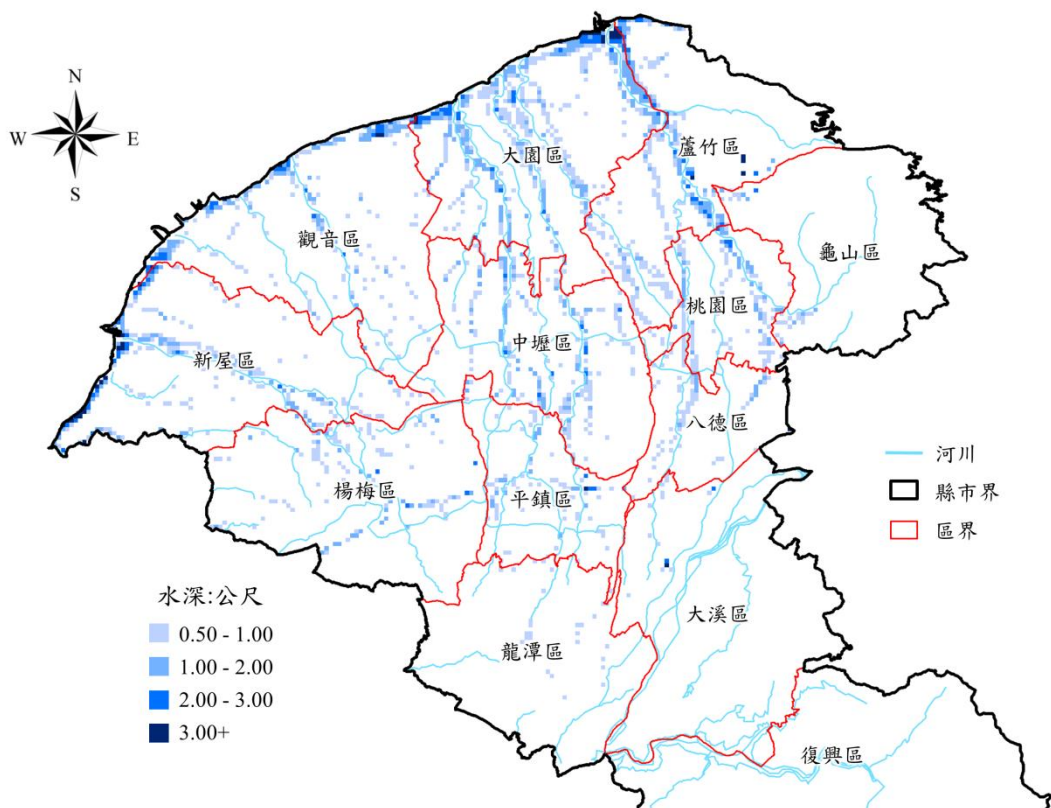


圖 5-27 桃園市 50 年重現期模擬最大淹水深圖(限制情境二)

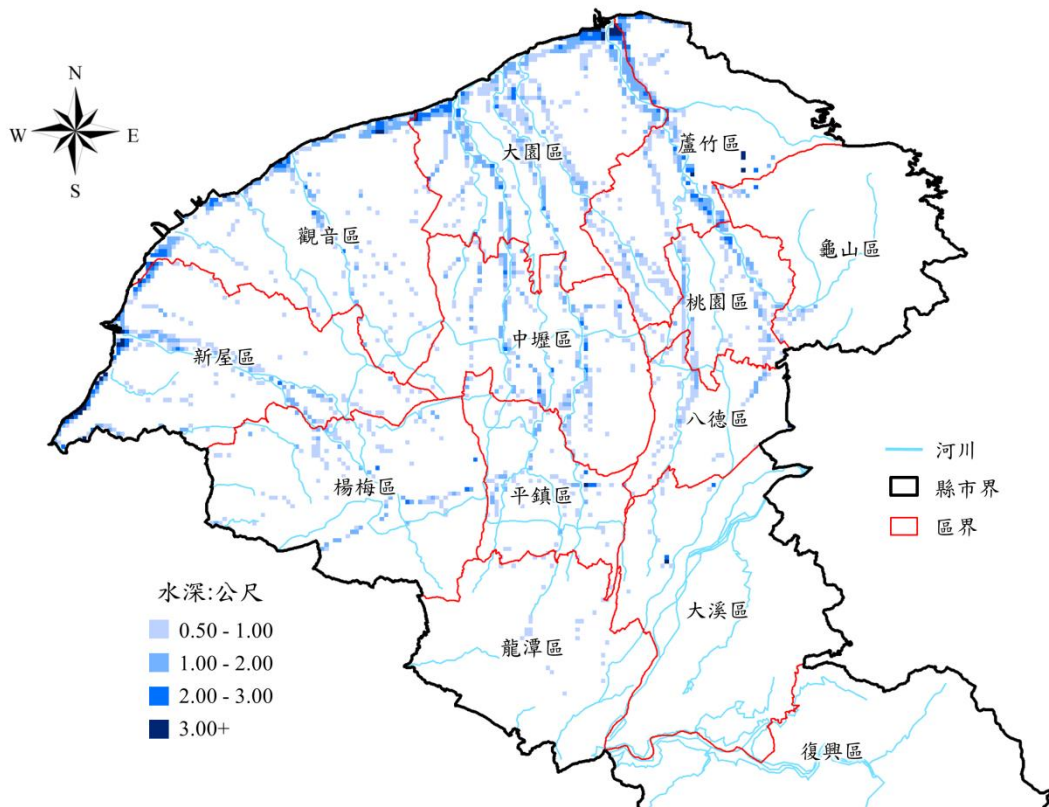


圖 5-28 桃園市 50 年重現期模擬最大淹水深圖(限制情境三)

三、熱點分析

鑑別空間聚集程度可透過空間統計進行分析，並瞭解探討標的是否有特殊分布型態，而其中空間自相關性分析可定量潛在的空間相依性(spatial dependency)，並評估討論探討標的所在位置與鄰近區域之相似程度(Goodchild, 1986; Kitron & Kazmierczak, 1997)，全域空間自相關(global spatial autocorrelation)於 1950 年代起，便已應用於探討流行病分布的空間相關程度(Lin & Wen, 2011; 薛益忠 & 郭士鳳, 2010)，而後也有學者應用於火災熱點之分析(Siljander, 2009)。在真實情況中，研究區域具有空間不穩定性，與全域空間自相關方法之假設整個研究區域具有空間穩定性(spatial stationarity)不符，顯示全域空間自相關方法雖可代表研究區域空間分布之關聯性與程度，但細部的差異卻無法評估，因此本計畫擬採用區域空間自相關方法，藉以評估空間聚集(熱點)與空間

離群點(spatial outliers)(Getis & Ord, 1992)，區域空間自相關方法近年來也已應用於土地利用空間相依性探討(黃國慶 & 詹士樑, 2009)、土地利用與植群結構關係探討(Fernandes et al., 2011)，土壤重金屬空間聚集程度分析(Huo et al., 2011)，生態系統服務聚集程度分析(Lin et al., 2017b)，及森林分佈與貧窮人民分布位置關係評估(Sunderlin et al., 2008)。

(一) 方法說明

Anselin(1995)歸納各種空間聚集的研究方法，以常用之全域空間自相關 Moran's I 為基礎，提出區域空間相關量測指標(Local Indicators of Spatial Association, LISA)。Moran's I 由相關係數的共變數(covariance)關係推算，其計算公式如式(5-22)所示：

$$I = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \times \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5-22)$$

式中，n 為研究區域網格數， x_i 及 x_j 為地區 i 和 j 的的觀察值， \bar{x} 為該變數在所有網格中的平均值， W_{ij} 為空間權重矩陣，說明地區 i 和 j 的鄰近關係，計算所得之 Moran's I 介於-1~1 之間，Moran's I 值越大表式具有空間聚集性，反之則表示空間分布相關性小，以 Moran's I 為基礎之 LISA 指標則如式(5-23)所示：

$$I(v_a) = \left[\frac{z(v_a) - \mu}{s} \right] \times \left\{ \sum_{j=1}^{j(v_a)} \frac{1}{j(v_a)} \times \left[\frac{z(v_j) - \mu}{s} \right] \right\} \quad (5-23)$$

式中， μ 為變數在此區域中的平均數； s 為變數在此區域中的標準差； $z(v_a)$ 為 a 網格的觀察值； $z(v_j)$ 為 j 網格的觀察值； $j(v_a)$ 為 a 網格周遭區域的網格數目。透過 LISA 指標可以顯示空間聚集的程度，而後利用拒絕無空間相關的虛無假設來判定是否具有空間聚集性，若結果通過顯著性檢定，且顯著水準為正，則有空間相關

的現象，本計畫定義的熱點則為在此分類下， X_i 高於平均，且區域 i 周邊區域之觀察值亦高於平均的點位；若顯著水準為負，則屬於空間負相關單元；若結果不顯著則表示無空間相關性。

(二) 模擬結果

利用前節所計算之上游山區地表水深及下游淹水分析結果，計算桃園市上游山區及下游區域分別可蓄留水量及淹水熱點。計算熱點時需考慮鄰近區域之地表水深/淹水情形，因此以淹水情形為例，討論考量鄰近區域為 200 公尺、400 公尺及 1000 公尺等 3 種範圍(圖 5-29)所得之熱點劃設情形，結果顯示，當鄰近區域為 200 公尺時，所得到之熱點分析結果較能反應局部區域的淹水情形，因此採用鄰近範圍為 200 公尺進行分析，而上游山區在劃設熱點時，鄰近區亦設定為 200 公尺。

此外，以桃園地區 1-24 小時逐時淹水模擬結果及鄰近區域為 200 公尺進行熱點區域劃設時發現，由於不同時間點之淹水結果並不相同，因此各時間點之淹水熱點也有所區別(圖 5-30)，此外，熱點的選取為與鄰近網格比較之淹水深度相對高的點位，因此相較於利用最大淹水深所劃設之熱點有所差異，在降雨前期(如圖 5-30(a) 及圖 5-30 (b))以及降雨後期(如圖 5-30(e)及圖 5-30 (f))之淹水熱點較以最大淹水深所選取之熱點為少，且淹水熱點也較為分散。為完整考量可能的熱點區域，後續分析以不同降雨事件所導致淹水之最大淹水深進行分析；山區的部份也以各降雨事件所導致之地表最大水深進行分析。

模擬結果顯示，在上游山區第一區的部分，不論是何種的降雨事件，導致的熱點雖然有所差異，但主要集中在中間三個小集水區(圖 5-31)，在上游山區第二區的部分與第一區有相似的情形，降雨導致的地表水深所計算出的熱點集中在其中三個小集水區，但與

第一區有所差異的地方在於當降雨量為 50 年重現期的雨量時，少部分的熱點會出現在左邊的兩個小集水區(圖 5-32)。在下游地區淹水熱點分析結果則顯示(圖 5-33)桃園地區主要的淹水熱點區域集中於蘆竹區及大園區的南崁溪沿岸及沿海低窪地區，其他地區則有零星的熱點區域。

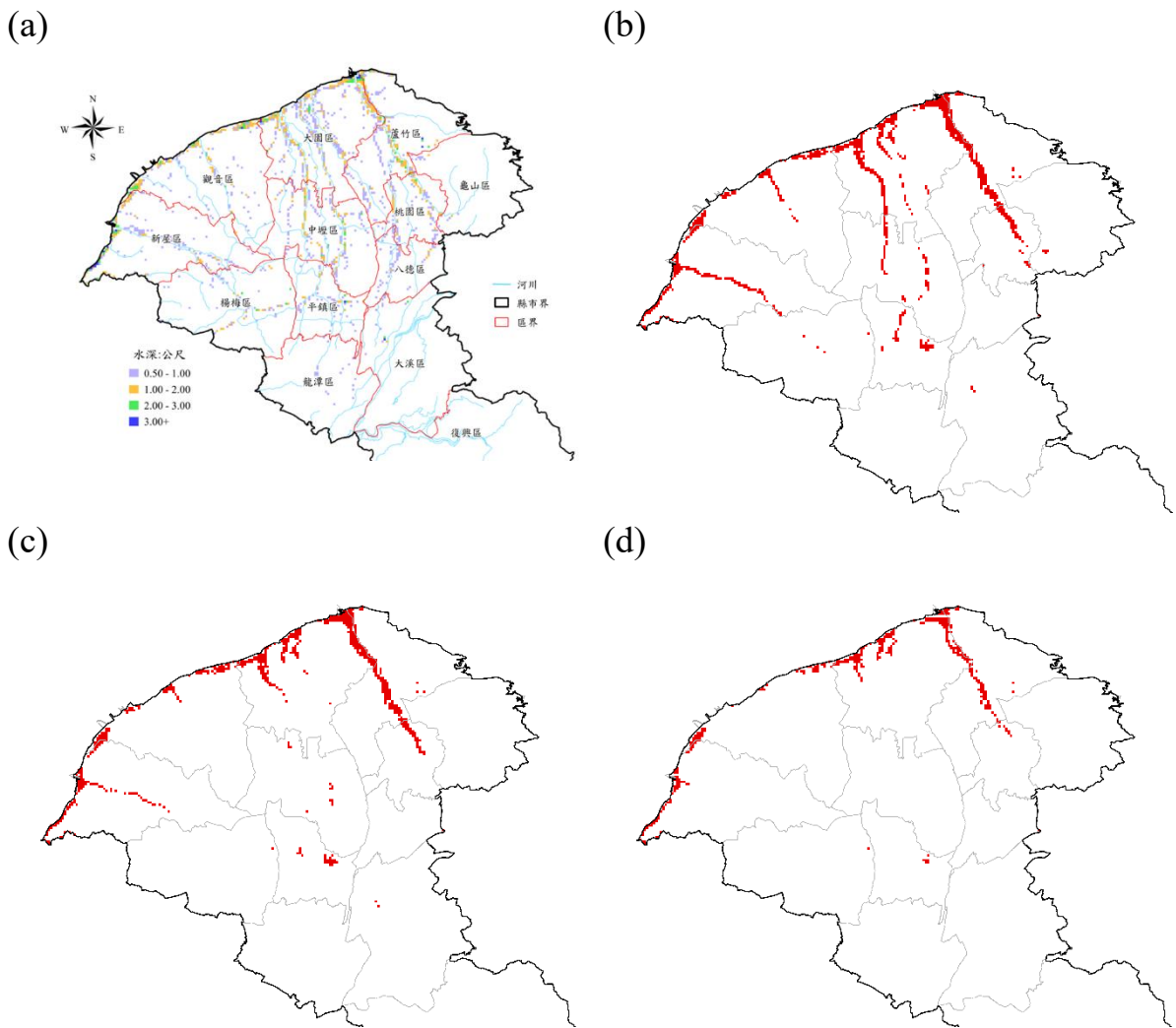
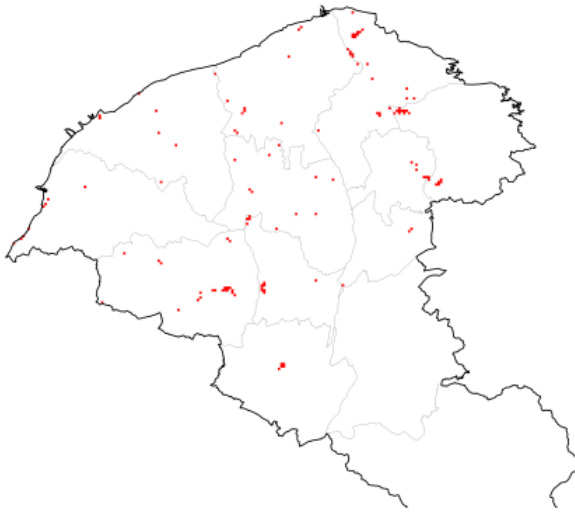
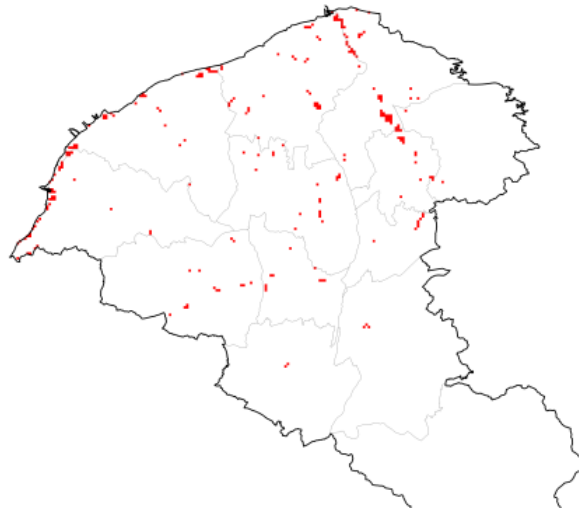


圖 5-29 下游地區淹水熱點分析結果(a)原淹水模擬結果；
(b)鄰近範圍為 200 公尺所畫定之熱點；(c)鄰近範圍為 400 公尺
所畫定之熱點；(d)鄰近範圍為 1000 公尺所畫定之熱點

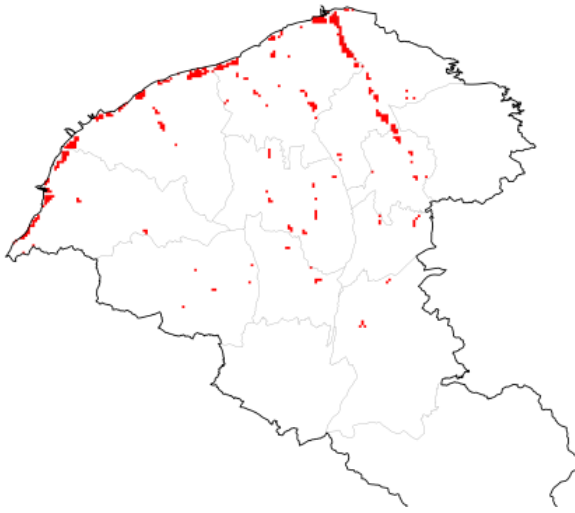
(a)



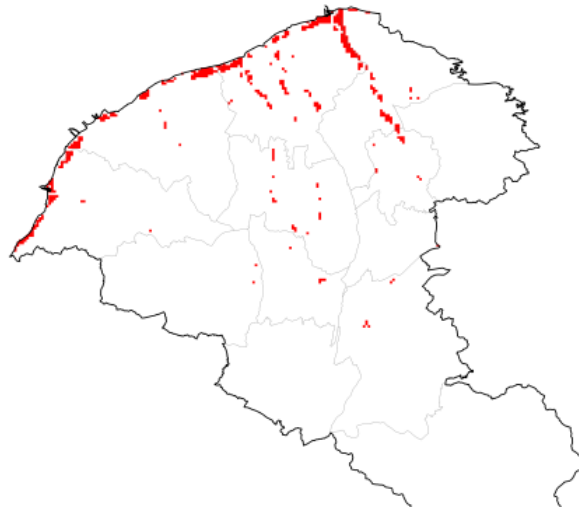
(b)



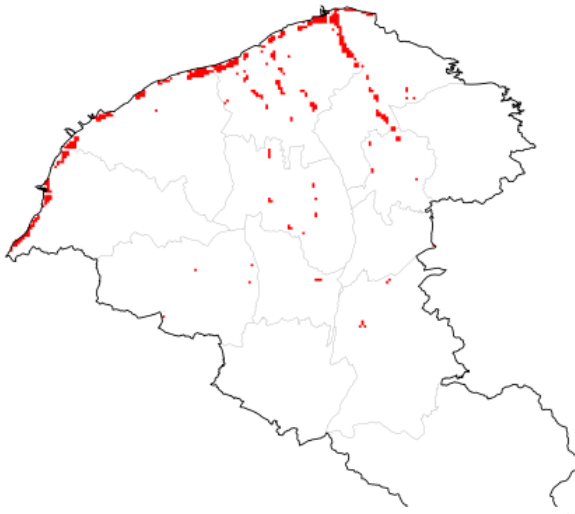
(c)



(d)



(e)



(f)

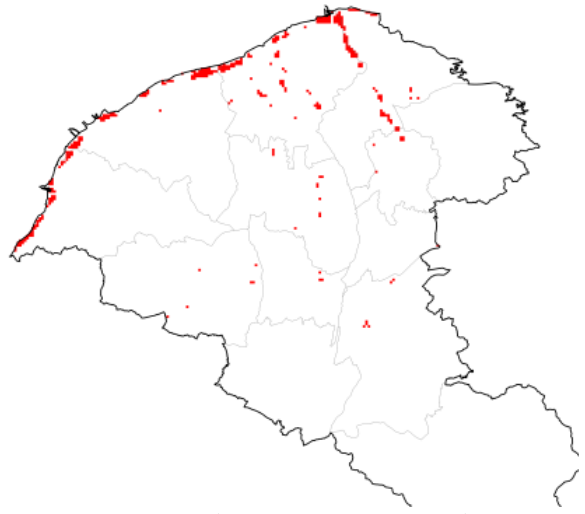


圖 5-30 淹水逐時熱點分析結果(a)第 4 小時；(b) 第 8 小時；(c) 第 12 小時；(d) 第 16 小時；(e) 第 20 小時；(f) 第 24 小時

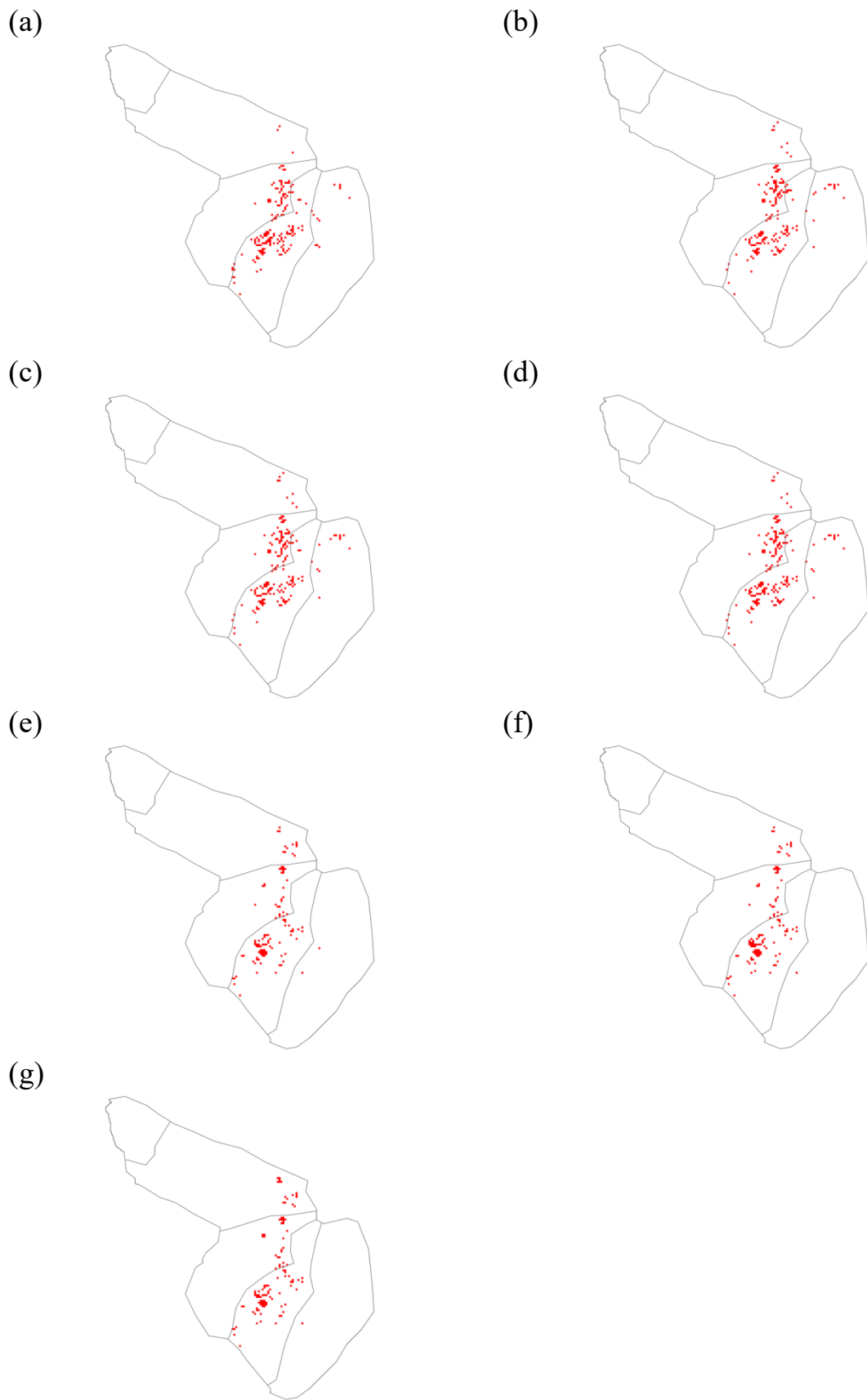


圖 5-31 上游山區第一區熱點分析結果(a) 2012 年蘇拉颱風；(b) 20160602 豪雨；(c) 20160516 豪雨；(d) 20160602 豪雨；(e) 50 年重現期(限制情境一)；(f) 50 年重現期(限制情境二)；(g) 50 年重現期(限制情境三)

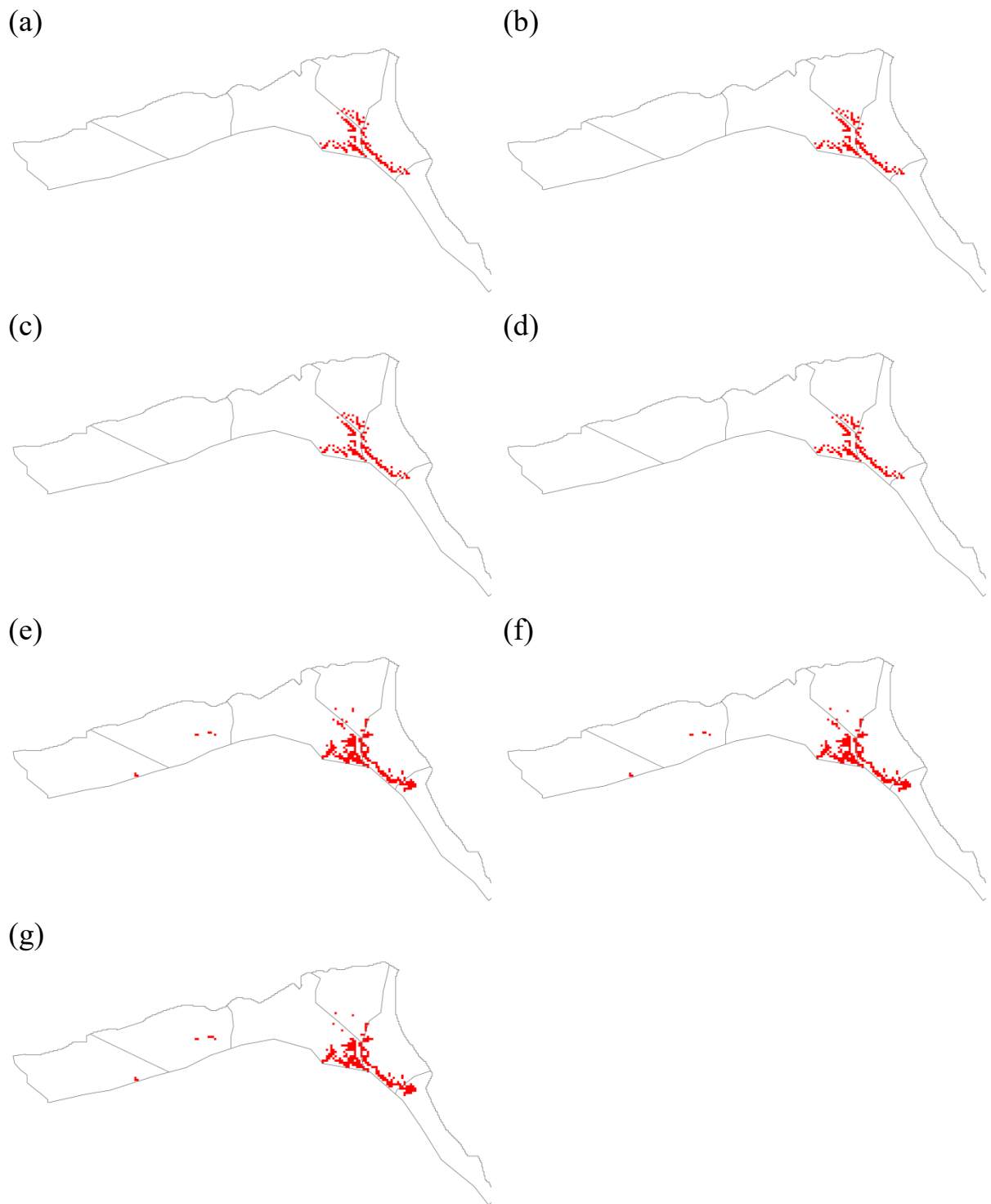


圖 5-32 上游山區第二區熱點分析結果(a) 2012 年蘇拉颱風；(b) 20160602 豪雨；(c) 20160516 豪雨；(d) 20160602 豪雨；(e) 50 年重現期(限制情境一)；(f) 50 年重現期(限制情境二)；(g) 50 年重現期(限制情境三)

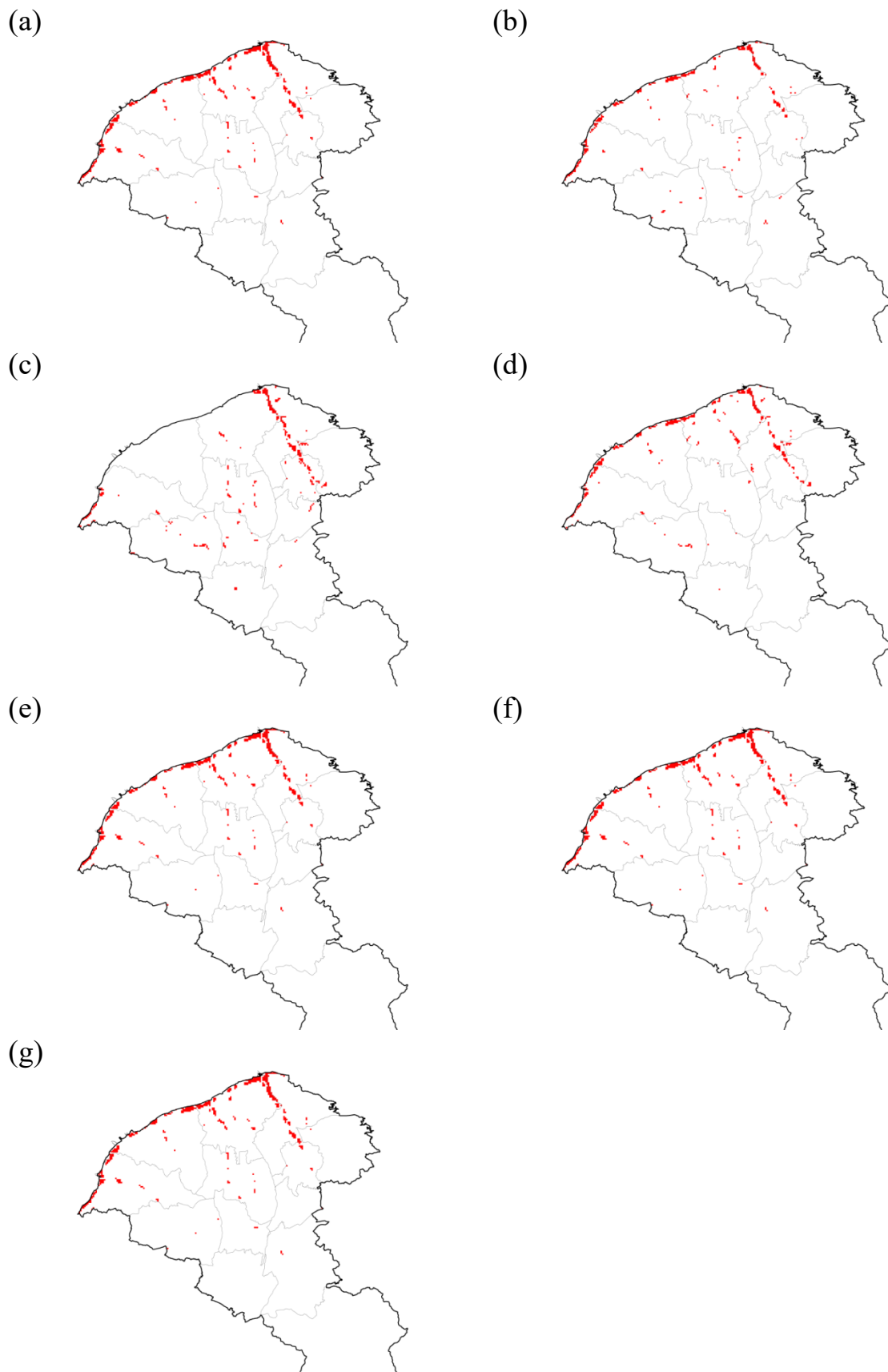


圖 5-33 下游地區淹水熱點分析結果(a) 2012 年蘇拉颱風；(b) 20160602 豪雨；(c) 20160516 豪雨；(d) 20160602 豪雨；(e) 50 年重現期(限制情境一)；(f) 50 年重現期(限制情境二)；(g) 50 年重現期(限制情境三)

四、管制區域劃定

本計畫以生態環境及物種保育區劃設的概念，劃設逕流蓄流區及管制區域，亦即設逕流蓄留區及管制區相當於生態保育概念中之生態保育區域。近年來保育區規劃多以系統性保育規劃(Systematic conservation planning)之概念進行(Davey, 1998; Groves, 2003; Leslie, 2005; Margules & Pressey, 2000; Pressey et al., 1993)，系統性保育規劃在規劃時同時考量研究區域之需求、限制以及治理策略之管理方式，並以確保生態系統健全為目標，達成以區域尺度為考量之保育區規劃(Smith et al., 2006)。系統性保育規劃方法可分為六個階段(Margules & Pressey, 2000)，包括：(A)調查區域內的生物多樣性資料、(B)確認區域內的保育目標、(C)確認保育區域內現況、(D)擬訂需增加之保育區劃、(E)保育區域保護及復育規劃、(F)持續監測及管理保育區域。為確保能達成有效之保育規劃，進行系統性保育規劃初期，需先確認利益相關者的參與狀況，並確認保育規劃目的，透過資料蒐集以瞭解保育特徵、可能的威脅，並評估可能的機會成本以及適宜程度，接著建立保育目標與保護區設計原則，討論保護比例及保護區空間配置，確保保育區之選取位置與連接程度為合理的情況，此外，也須評估目前區域內可能保育區可提供的保育程度，避免資源的浪費，再規劃新的保護區位置時，以填補現有保育區與保育目標之差距，由各方案中挑選可能且符合目標之保育區位置，挑選的方式包括考量在最小成本下可達成保育目標之配置組合、考量最滿足最大保育效率之最大涵蓋範圍方法與考量再最大化有限資源下最大保育價值之配置組合。由於保育政策包含多項決策或管理方法，因此若選定之保育區位置無法滿足或降低保育效果，則需重新評估挑選各項替代方案，以挑選適宜之保育區，當保育政策開始實施時，亦須定期評估此管理方式是否能達成預定之目標(Ardron et al., 2008; Hale & Lamb, 1997; Mace et al., 2007; Margules & Pressey, 2000; Smith et al., 2006; Tear et al., 2005)。

系統性保育規劃決策工具以上述概念為基礎進行發展，目前已有包括 Marxan、Zonation、ConsNet、C-Plan 等各項評估工具，其中較為廣泛應用的工具為 Marxan 與 Zonation(Moilanen et al., 2009)，Delavenne 等人(2012)利用 Marxan 及 Zonation 模式進行保育區規劃分析，結果顯示兩個模式所劃設之優勢保育區的位置相似，因此本計畫選用 Zonation 模式進行規劃分析。Zonation 屬於最大涵蓋範圍(maximal coverage approach)程式(Delavenne et al., 2012)，可保持棲地品質與棲地間的連接度，適用於傳統的保育區選擇，也可應用於保育區土地規劃分析(Lin et al., 2017a; Lin et al., 2017)，在計算過程中，Zonation 模式將研究區域依照生態價值進行排序，依序移除生態價值低的網格，使移除所造成保育價值的邊際損失達到最小，而應用於此計畫，生態價值也就是蓄留逕流量的能力，利用 Zonation 模式移除蓄留能力低之網格，使得移除所造成的蓄留能力邊際損失最小，維持最大的連接度，辨別出優先保育的區域，再針對選定之區域進行進一步分析。

(一) 方法說明

Zonation 是一種能涵蓋最大範圍(maximal coverage approach)的應用程式(Delavenne et al., 2012)，應用於傳統的保育區評估，以及分析不同類型的保育區土地規劃，模式可評估的狀況包含：區分適宜連接度的保育區、將既有保育區域範圍擴大、現行保育區的效益評估及區分生態價值較低的區域，以利瞭解因經濟發展及依據不同的目標決定優先保育順序。Zonation 模式的計算過程，是將目標區域依照生態價值先行排序，運用演算法反覆移除生態價值最低的網格，移除的過程使保育價值的邊際損失降到最低，以維護最好的連接度與生物多樣性。以此演算方式推估出高度連接的景觀結構，被排序為移除次序較後區域，代表物種分布的中心，移除排序次序較先者代表該區域適宜設為物種中心緩衝帶，即為較不需要保育的範圍，即使人為活動對此區域生態的仍可維持，影響甚微。

經由排序的程序，可設定的範圍目標，對區域中的各小區域設定不同程度的保育方法，這樣的規劃模式將可辨別需要優先保育的區域，再針對此需要優先保育區域進行更細部的分析及規劃。

Zonation 模式運算可輸入網格資料格式，可直接輸入地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)資料，再進行修改及編輯圖層等工作後輸出，操作易學便利。輸入必須的生態資料：目標物種分布、目標規劃區域土地覆蓋等；也可輸入該區域土地利用的商業價值等與決策相關資訊，使模式運算時將成本等資料納入考慮。Zonation 模式利用 Zonation meta-algorithm 演算法，迭代計算每個網格移除後之邊際損失，邊際損失最小的網格也就是下一個被移除的網格(詳圖 5-34)，亦即最先被移除的網格為最不重要的區域，最後被移除的網格則為須優先保育之區域，而在計算過程中，記錄網格移除後目標區域生態價值變化以及剩餘物種變化比例，因此可得知藉此方法所畫設之保育區可保留多少物種(A Moilanen & Kujala, 2008)。

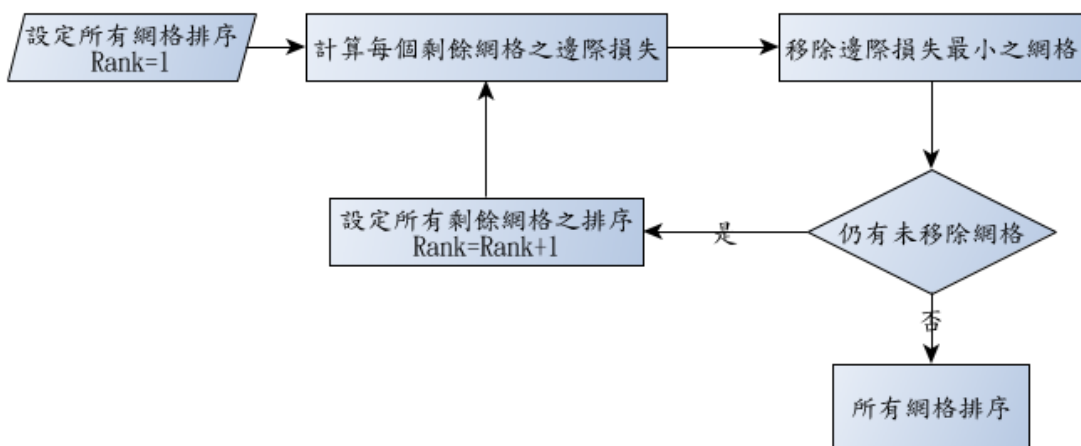


圖 5-34 Zonation 模式演算流程圖(改繪自 Lehtomaki and Moilanen (2013))

Zonation 模式對限制區域劃定的優先順序邏輯是以參考每一網格之移除等級為推估依據，即以最不重要的區域為最先移除的網格，最後移除的網格即為優先保育區域。相較於一般以網格依序加入預定保育區的演算法，Zonation 的特有演算法所計算出的結果具較佳的連接度。面對需決策規劃面積較大時，為精簡演算時間，可以增加移除網格的數量，但相對的，演算結果將較不精準。Zonation 模式的演算法不只記錄所有分等級移除的網格，也記錄在演算過程中網格移除後，的區域生態價值變化與物種剩餘比例變化。故藉由 Zonation 模式的演算法可瞭解區域優先保育順序與劃出保育區可保留的物種數(A Moilanen & Kujala, 2008)。

(二) 模擬結果

利用前節所分析之鄰近範圍為 200 公尺之熱點分析結果，進行管制區域劃設(詳圖 5-35)，由於只採用最大淹水深之熱點分析結果進行討論，因此所畫設之管制區與熱點區域相同。然而，以 24 個小時的逐時淹水熱點進行分析(詳圖 5-36)，則可發現因為每個時間點之淹水深並不相同，會產生淹水的點位也不同，因此所劃設之管制區域與僅採用最大淹水深之單一熱點進行劃設之管制區域有所差異，且因為各時間點淹水點位並不相同，因此所劃設之管制區域也較為零散。此外，本計畫亦直接以 24 小時逐時淹水深進行管制區劃設(詳圖 5-37)，由於並未考慮淹水熱點，表示只要是在 24 小時降雨事件中曾經發生過淹水的地點，都考慮劃設為管制區，因此除了管制區域面多較其他兩種情境為多之外，也較為零散。然而若管制區較為零散，則可能發生管理不易的情形，因此在管制區劃設上，仍以上游山區地表水深及下游水最大深水所求得之熱點，進行管制區劃設。在進行管制區劃設時，以 7 場降雨事件分別求得之熱點進行分析，上游山區及下游地區之管制區劃設結果分別如圖 5-38、圖 5-39 及圖 5-40 所示。由於不同降與情境所畫設之熱點

範圍接近，因此三個區域所畫設之管制區域大致上與熱點區域相同。

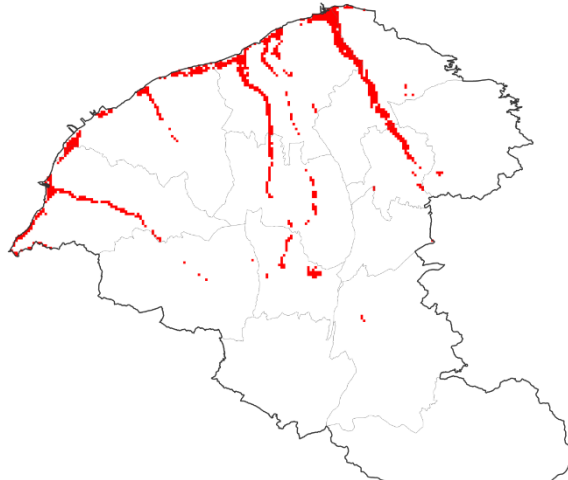


圖 5-35 以最大淹水深之熱點進行管制區範圍劃設

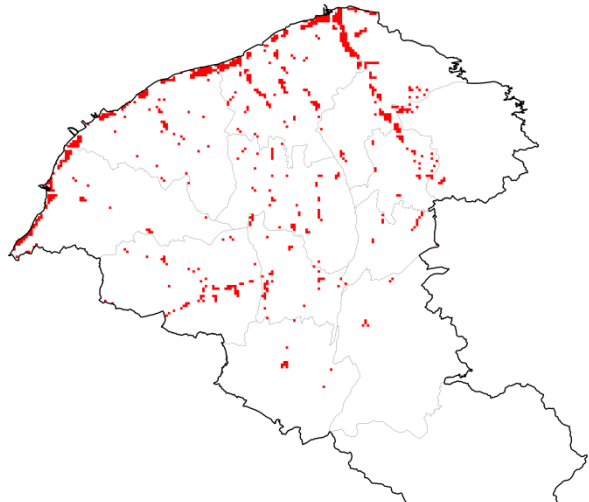


圖 5-36 以逐時淹水深熱點進行管制區範圍劃設

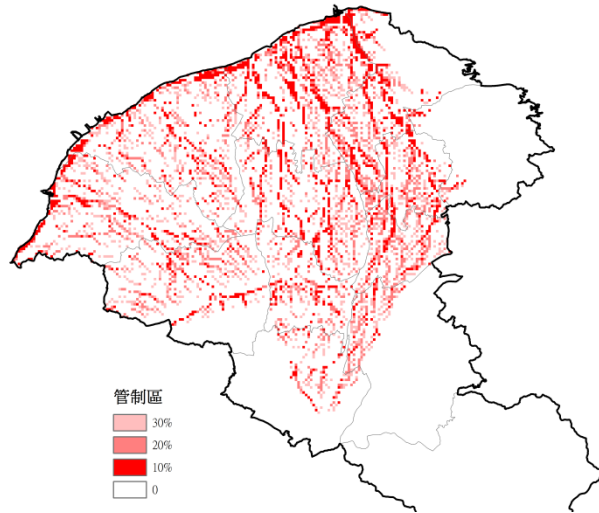


圖 5-37 以逐時淹水深直接進行管制區範圍劃設

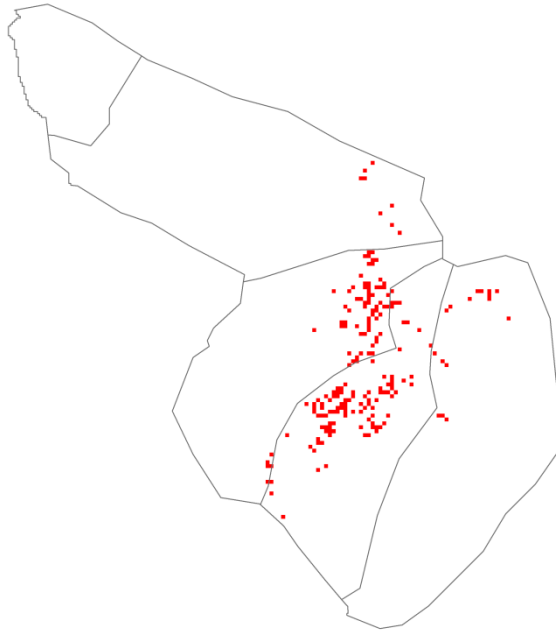


圖 5-38 上游山區第一區之管制區劃設結果

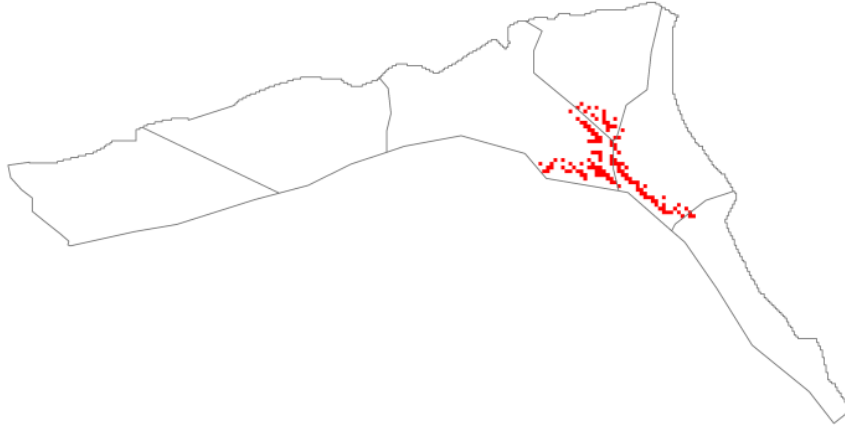


圖 5-39 上游山區第一區之管制區劃設結果

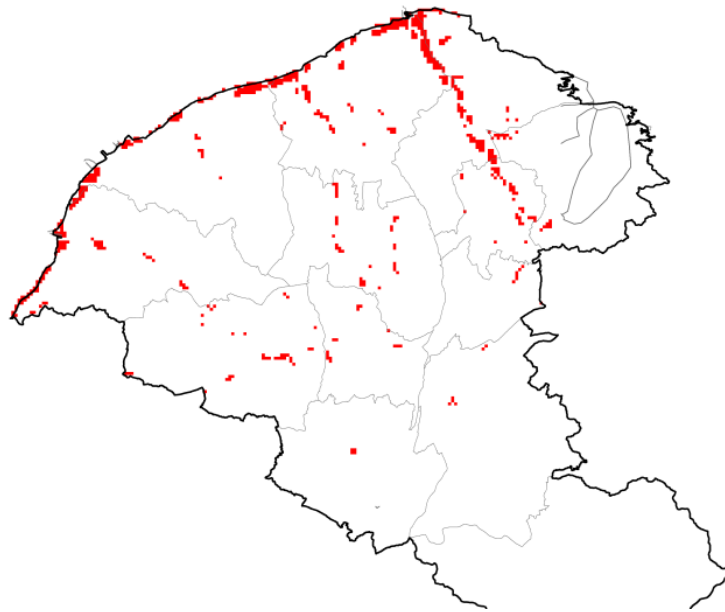


圖 5-40 下游地區管制區劃設結果

五、小結

本計畫規劃分散式治水架構雛形，首先應用 DHSVM 模式模擬上游山區逕流量，作為二維漫地流之上游入流邊界條件，並以二維漫地流模式模擬下游淹水情形，模擬結果顯示(1)大園區、蘆竹區及桃園區之南崁溪沿岸；(2)大園區及中壢區之埔心溪、新街溪及老街溪沿岸；(3)新屋區之社子溪沿岸及(4)大園區、觀音區與新屋區之沿海低窪地區為主要淹水區域。在進行熱點分析及管制區域畫設時，首先討論是否須先

進行熱點分析再進行管制區劃設以及選用最大淹水深或是逐時淹水深進行分析，分析結果顯示先分析淹水熱點後劃設之管制區較為集中，而直接以逐時淹水劃設管制區不但範圍較大也較零散，顯示以最大淹水深先進行熱點分析再進行管制區劃為較可行之作法。考慮 4 場歷史降雨事件及三種土地利用限制情境搭配 50 年重現期降雨之管制區分析結果顯示，在上游山區第一區管制區主要集中在中間三個小集水區，而在第二區在上游山區第二區的部分與第一區有相似的情形，降雨導致的地表水深所計算出的熱點集中在其中三個小集水區，在下游地區淹水熱點分析結果主要集中於蘆竹區及大園區的南崁溪沿岸及沿海低窪地區。

第六章 結論與建議

一、結論

為瞭解大尺度驅動因子對土地利用變遷的影響，需連結不同學門、不同尺度等規模對土地系統變遷的影響，方能解釋土地變遷的機制，再加上台灣經濟受到國際經濟活動影響甚深，量化經濟層面對於土地利用變遷之影響是重要的課題。

本計畫以全球化導致整體環境改變為架構，透過結合遙連結與全球經濟模式，分析不同經濟活動對於土地利用改變之影響，並結合大氣模式，藉由討論不同土地利用與大氣間互動之情形，評估土地利用改變對降雨之影響。並討論不同土地利用情境之可能淹水情形再透過分散式治水架構的研析建立，以風險分攤的概念探討降低風險的可行性，此外，計畫中亦討論土地利用空間分布模擬結果與國土功能分區間之關係。計畫重要成果說明如下：

(一) 本計畫利用大氣數值模式(WRF)探討桃園土地利用改變與對流雨強度之關係以及對當地水文氣候的影響，分析結果顯示休耕所造成的效應要比單純只有土地使用的改變(從 1995 年到 2015 年)對於降水以及當地水文氣候所造成的影響要大。然而仍需透過各多之個案分析與實驗設計，以確定休耕對於氣候水文的影響。

(二) 本計畫針對桃園地區過去數十年土地利用顯著變化之低海拔區域的行政區，如蘆竹、桃園、八德、大園、中壢、平鎮、觀音、新屋以及楊梅等區，進行土地利用變化分析，結果顯示桃園地區都市建成環境面積在 1991 年至 2006 年成長 30%，因而使得植被及水體面積減少，而在 2006 年至 2016 年之間，三種土地利用的變化幅度相對而言以趨於穩定，顯示 2006 年之前的土地利用變化將對研究區域內之熱力性質改變。而在弱綜觀事件的情況下，桃園地區長期土地利用的變化，使得整體地區的強降雨事件無論是在單次降雨強度或是總降雨量

的貢獻上，都呈現重心移轉的特徵，其重心移動的趨勢，是由靠內陸以及東側的區域(八德)往沿海(大園)以及西側(楊梅)方向移動。

(三) 本計畫利用全球經濟模式，以政府間氣候變遷專門委員會(IPCC)氣候變遷第五次評估報告(AR5)中所列舉 5 類未來全球社會經濟發展可能路徑(Shared Socioeconomic Pathways, SSPs)下的全球碳排放量及世紀末暖化程度基礎，採用 OECD Env-Growth 模式與 IIASA 模式所推估預測的兩組 SSP 經濟成長預測值—包括各國 2030 年的人口與經濟成長預測值—作為全球可計算一般均衡模型的模擬環境設定依據，然而，OECD Env-Growth 模式對於非 OECD 國家之經濟成長前景預測值相對較 IIASA 模式樂觀，因此在計畫中以較為保守的 IIASA 模式 SSP 情境下的全國產值預測值來進行區域降解，進行桃園市之產業成長與用地需求推估。

(四) 本計畫應用 CLUE-s 模式，推估未來土地利用之空間分布。分析結果顯示，各類型土地利用之 AUC 值均大於 0.6，且進行土地利用空間分布時推估時，模式驗證之 kappa 值均大於 0.8，顯示此模式可適切模擬桃園土地利用空間分布，而在所有情境中 RF 模式搭配 CLUE-s 所模擬土地利用空間分布結果之 kappa 值為 0.86，為所有模擬組合中最佳，因此分析時採用 RF-CLUE-s 模式所推估之結果與國土功能分區進行，評估未來可能的土地利用空間配置情形。

(五) 為了解國土計畫限制發展之管制強度以及不同經濟成長情境對於未來土地利用差異，設定三種限制發展情境進行討論，結果顯示限制情境一因未加以限制，使得位於國土保育地區及重要農業發展地區之土地使用仍有變遷之可能，但限制情境三的嚴格管制(全部國土保育地區及農業發展地區第一類劃設為限制發展地區)亦因為缺乏彈性，使得其他土地變遷壓力都轉移到其餘的農業發展地區及城鄉發展地區，相較之下，限制情境二的輕度管制(僅國保一及農發一劃設限制發展區)使得國土保育地區及農業發展地區之建地不至於增加太多，且讓農業

發展地區農地變化幅度減少，亦能讓國土保育地區之林地有面積增加的空間。

(六) 本計畫規劃分散式治水架構雛形，分別模擬上游山區子集水區之地表水深及下游地區淹水情形，並以下游淹水模擬結果為例，進行最大淹水深之熱點分析及逐時淹水之熱點分析，並而以此熱點分析結果進行管制區劃設，此外，亦直接以逐時淹水深進行管制區劃設，結果顯示，先分析淹水熱點而劃設之管制區較為集中，而直接以逐時淹水劃設管制區不但範圍較大也較零散，顯示劃設管制區之先進行熱點分析的重要性。

二、建議

本計畫討論土地利用改變對於降雨特性間之關係，分析結果亦顯示土地利用改變的確會對於降雨特性產生影響，然而，桃園市在近 30 年土地利用有明顯的改變，因此後續須蒐集桃園地區過去土地每年之土地利用資料，結合降雨觀測資料與大氣模式，分析歷史土地利用改變對於降雨特性所造成之影響及改變。

第二年度工作內容原以第一年工作成果為基礎，評估及討論示範區未來氣候型態、降雨強度及土地利用改變情形，及目前國土規劃之土地利用空間分布情形與模擬之差異，並評估示範區風險分攤逕流管理之治理政策與策略。然而，截至本報告撰寫完成時間為止，桃園市之國土計畫仍在審議階段，其國土功能分區並未正式公告，故應待未來土地利用空間分布實際公告後，方能對桃園市國土功能分析進行調整及模擬。

參考文獻

1. Aguiar, A., Narayanan, B., & McDougall, R. (2016). An overview of the GTAP 9 data base. *Journal of Global Economic Analysis*, 1(1), 181-208.
2. Anselin, L. (1995). Local Indicators of Spatial Association - Lisa. *Geographical Analysis*, 27(2), 93-115.
3. Arabi, M., Govindaraju, R. S., & Hantush, M. M. (2007). A probabilistic approach for analysis of uncertainty in the evaluation of watershed management practices. *Journal of Hydrology*, 333(2-4), 459-471.
4. Ardron, J. A., Possingham, H. P., & Klein, C. J. (2008). *Marxan good practices handbook*. Pacific Marine Analysis and Research Association, Vancouver.
5. Arnold, J. G., Srinivasan, R., Mutiah, R. S., & Williams, J. R. (1998). Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 34(1), 73-89.
6. Baird, I. G., & Fox, J. (2015). How land concessions affect places elsewhere: Telecoupling, political ecology, and large-scale plantations in Southern Laos and Northeastern Cambodia. *Land*, 4(2), 436-453.
7. Bergström, S., & Jönsson, S. (1976). The application of the HBV runoff model to the Filefjell research basin: Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut.
8. Beven, K. J., & Kirkby, M. J. (1979). A physically based, variable contributing area model of basin hydrology/Un modèle à base physique de zone d'appel variable de l'hydrologie du bassin versant. *Hydrological Sciences Journal*, 24(1), 43-69.
9. Chen, A. S., Hsu, M. H., Huang, C. J., & Lien, W. Y. (2011). Analysis of the Sanchung inundation during Typhoon Aere, 2004. *Natural Hazards*, 56(1), 59-79. doi:10.1007/s11069-010-9549-y
10. Chen, W.-T., Huang, K.-T., Lo, M.-H., & LinHo, L. (2018). Post-Monsoon Season Precipitation Reduction over South Asia: Impacts of Anthropogenic Aerosols and Irrigation. *Atmosphere*, 9(8), 311.
11. Chou, C., Ryu, D., Lo, M.-H., Wey, H.-W., & Malano, H. M. (2018). Irrigation-Induced Land-Atmosphere Feedbacks and Their Impacts on Indian Summer Monsoon. *Journal of Climate*, 31(21), 8785-8801.
12. Chow, G. C. (1960). Tests of equality between sets of coefficients in two linear regressions. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 591-605.
13. Chu, H. J., Lin, Y. P., Huang, C. W., Hsu, C. Y., & Chen, H. Y. (2010). Modelling the hydrologic effects of dynamic land-use change using a distributed hydrologic model and a spatial land-use allocation model. *Hydrological Processes*, 24(18), 2538-2554.

14. da Silva, R. F. B., Batistella, M., Dou, Y., Moran, E., Torres, S. M., & Liu, J. G. (2017). The Sino-Brazilian Telecoupled Soybean System and Cascading Effects for the Exporting Country. *Land*, 6(3). doi:10.3390/land6030053
15. Davey, A. G. (1998). National system planning for protected areas: IUCN.
16. Delavenne, J., Metcalfe, K., Smith, R. J., Vaz, S., Martin, C. S., Dupuis, L., . . . Carpentier, A. (2012). Systematic conservation planning in the eastern English Channel: comparing the Marxan and Zonation decision-support tools. *Ices Journal of Marine Science*, 69(1), 75-83. doi:10.1093/icesjms/fsr180
17. de Koning, G. H., Verburg, P. H., Veldkamp, A., & Fresco, L. O. (1999). Multi-scale modelling of land use change dynamics in Ecuador. *Agricultural systems*, 61(2), 77-93.
18. Di Luzio, M., Srinivasan, R., & Arnold, J. G. (2004). A GIS-coupled hydrological model system for the watershed assessment of agricultural nonpoint and point sources of pollution. *Transactions in Gis*, 8(1), 113-136.
19. Dixon, P. G., & Mote, T. L. (2003). Patterns and causes of Atlanta's urban heat island-initiated precipitation. *Journal of Applied Meteorology*, 42(9), 1273-1284. doi:10.1175/1520-0450(2003)042<1273:pacoau>2.0.co;2
20. Engelen, G., R. White, I. Uljee, and P. Drazan. (1995) Using Cellular Automata for Integrated Modelling of Socio-environmental Systems, *Environmental Monitoring and Assessment*, 30, 203-214.
21. Faust, K., Entwisle, B., Rindfuss, R. R., Walsh, S. J., & Sawangdee, Y. (2000). Spatial arrangement of social and economic networks among villages in Nang Rong District, Thailand. *Social networks*, 21(4), 311-337.
22. Fernandes, M. R., Aguiar, F. C., & Ferreira, M. T. (2011). Assessing riparian vegetation structure and the influence of land use using landscape metrics and geostatistical tools. *Landscape and Urban Planning*, 99(2), 166-177.
23. Freitas, E. D., Rozoff, C. M., Cotton, W. R., & Dias, P. L. S. (2007). Interactions of an urban heat island and sea-breeze circulations during winter over the metropolitan area of Sao Paulo, Brazil. *Boundary-Layer Meteorology*, 122(1), 43-65. doi:10.1007/s10546-006-9091-3
24. Getis, A., & Ord, J. K. (1992). The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics. *Geographical Analysis*, 24(3), 189-206.
25. Goodchild, M. F. (1986). *Spatial autocorrelation* (Vol. 47): Geo Books.
26. Groves, C. (2003). *Drafting a conservation blueprint: a practitioner's guide to planning for biodiversity*: Island Press.
27. Hale, P. T., & Lamb, D. (1997). *Conservation outside nature reserves*: Centre for Conservation Biology, University of Queensland Brisbane.
28. Hertel, T. W. (1997). *Global trade analysis: modeling and applications*: Cambridge university press.
29. Hsu, H., Lo, M. H., Guillod, B. P., Miralles, D. G., & Kumar, S. (2017). Relation between precipitation location and antecedent/subsequent soil

- moisture spatial patterns. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122(12), 6319-6328.
30. Huang, C. J., Hsu, M. H., Chen, A. S., & Chiu, C. H. (2014). Simulating the Storage and the Blockage Effects of Buildings in Urban Flood Modeling. *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences*, 25(4), 591-604. doi:10.3319/TAO.2014.02.11.01(Hy)
 31. Hundecha, Y., & Bardossy, A. (2004). Modeling of the effect of land use changes on the runoff generation of a river basin through parameter regionalization of a watershed model. *Journal of Hydrology*, 292(1-4), 281-295. doi:10.1016/j.jhydrol.2004.01.002
 32. Huo, X. N., Zhang, W. W., Sun, D. F., Li, H., Zhou, L. D., & Li, B. G. (2011). Spatial Pattern Analysis of Heavy Metals in Beijing Agricultural Soils Based on Spatial Autocorrelation Statistics. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8(6), 2074-2089. doi:10.3390/ijerph8062074
 33. Isakson, S. R. (2014). Food and finance: The financial transformation of agro-food supply chains. *Journal of Peasant Studies*, 41(5), 749-775.
 34. Jauregui, E., & Romales, E. (1996). Urban effects on convective precipitation in Mexico city. *Atmospheric Environment*, 30(20), 3383-3389. doi:10.1016/1352-2310(96)00041-6
 35. Juang, J. Y., Porporato, A., Stoy, P. C., Siqueira, M. S., Oishi, A. C., Detto, M., . . . Katul, G. G. (2007). Hydrologic and atmospheric controls on initiation of convective precipitation events. *Water Resources Research*, 43(3), 10. doi:10.1029/2006wr004954
 36. Kanamitsu, M., & Mo, K. C. (2003). Dynamical effect of land surface processes on summer precipitation over the southwestern United States. *Journal of Climate*, 16(3), 496-509.
 37. Kandel, H., Melesse, A., & Whitman, D. (2016). An analysis on the urban heat island effect using radiosonde profiles and Landsat imagery with ground meteorological data in South Florida. *International Journal of Remote Sensing*, 37(10), 2313-2337. doi:10.1080/01431161.2016.1176270
 38. Kitron, U., & Kazmierczak, J. J. (1997). Spatial analysis of the distribution of Lyme disease in Wisconsin. *American Journal of Epidemiology*, 145(6), 558-566.
 39. Kok, K., & Winograd, M. (2002). Modelling land-use change for Central America, with special reference to the impact of hurricane Mitch. *Ecological Modelling*, 149(1-2), 53-69.
 40. Koomen, Eric, Stillwell, John, Bakema, Aldrik, & Scholten, Henk J. (Eds.). (2007). *Modelling Land-Use Change: Progress and Applications*: Springer Netherlands.
 41. Lambin, E. F., & Meyfroidt, P. (2011). Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(9), 3465-3472.

42. Lee, H.-L., Lin, Y.-P., & Petway, J. (2018). Global Agricultural Trade Pattern in A Warming World: Regional Realities. *Sustainability*, 10(8), 2763.
43. Lehtomaki, J., & Moilanen, A. (2013). Methods and workflow for spatial conservation prioritization using Zonation. *Environmental Modelling & Software*, 47, 128-137. doi:10.1016/j.envsoft.2013.05.001
44. Leslie, H. M. (2005). A synthesis of marine conservation planning approaches. *Conservation Biology*, 19(6), 1701-1713.
45. Li, X., & Yeh, A. G.-O. (2002). Neural-network-based cellular automata for simulating multiple land use changes using GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, 16(4), 323-343.
46. Lin, C. H., & Wen, T. H. (2011). Using Geographically Weighted Regression (GWR) to Explore Spatial Varying Relationships of Immature Mosquitoes and Human Densities with the Incidence of Dengue. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8(7), 2798-2815. doi:10.3390/ijerph8072798
47. Lin, Y.-P., Lin, W.-C., Li, H.-Y., Wang, Y.-C., Hsu, C.-C., Lien, W.-Y., . . . Petway, J. R. (2017a). Integrating social values and ecosystem services in systematic conservation planning: A case study in Datuan watershed. *Sustainability*, 9(5), 718.
48. Lin, Y.-P., Lin, W.-C., Wang, Y.-C., Lien, W.-Y., Huang, T., Hsu, C.-C., . . . Crossman, N. D. (2017b). Systematically designating conservation areas for protecting habitat quality and multiple ecosystem services. *Environmental Modelling & Software*, 90, 126-146.
49. Luo, W., Feng, W., He, W., Wang, N. Y., & Luo, Y. J. (2010). Three stages of facial expression processing: ERP study with rapid serial visual presentation. *Neuroimage*, 49(2), 1857-1867.
50. Mace, G. M., Possingham, H. P., Leader-Williams, N., Macdonald, D., & Service, K. (2007). Prioritizing choices in conservation. *Key topics in conservation biology*, 17-34.
51. Margules, C. R., & Pressey, R. L. (2000). Systematic conservation planning. *Nature*, 405(6783), 243-253. doi:Doi 10.1038/35012251
52. McCord, P., Tonini, F., & Liu, J. (2018). The Telecoupling GeoApp: A Web-GIS application to systematically analyze telecouplings and sustainable development. *Applied Geography*, 96, 16-28.
53. Moilanen, A., & Kujala, H. (2008). ZONATION: Spatial conservation planning framework and software. User manual. Metapopulation Research Group, Finland. www.helsinki.fi/bioscience/ConsPlan.
54. Moilanen, A., Possingham, H. P., & Polasky, S. (2009). Mathematical Classification of Conservation Prioritization Problems. In A. Moilanen, K. A. Wilson, & H. P. Possingham (Eds.), *Spatial Conservation Prioritization: Quantitative Methods & Computational Tools* (pp. 29): Oxford University Press Oxford.

55. Munroe, D. K., Croissant, C., & York, A. M. (2005). Land use policy and landscape fragmentation in an urbanizing region: Assessing the impact of zoning. *Applied Geography*, 25(2), 121-141.
56. Overmars, K. P., & Verburg, P. H. (2005). Analysis of land use drivers at the watershed and household level: Linking two paradigms at the Philippine forest fringe. *International Journal of Geographical Information Science*, 19(2), 125-152. doi:10.1080/13658810410001713380
57. Patz, J. A., Campbell-Lendrum, D., Holloway, T., & Foley, J. A. (2005). Impact of regional climate change on human health. *Nature*, 438(7066), 310-317. doi:10.1038/nature04188
58. Pijanowski, B. C., Brown, D. G., Shellito, B. A., & Manik, G. A. (2002). Using neural networks and GIS to forecast land use changes: a land transformation model. *Computers, environment and urban systems*, 26(6), 553-575.
59. Pressey, R. L., Humphries, C. J., Margules, C. R., Vanewright, R. I., & Williams, P. H. (1993). Beyond Opportunism - Key Principles for Systematic Reserve Selection. *Trends in Ecology & Evolution*, 8(4), 124-128. doi:Doi 10.1016/0169-5347(93)90023-I
60. Robeson, S. M., & Shein, K. A. (1997). Spatial coherence and decay of wind speed and power in the north-central United States. *Physical Geography*, 18(6), 479-495. doi:10.1080/02723646.1997.10642631
61. Rumelhart, D. E., & McClelland, J. L. (1986). *Parallel distributed processing: explorations in the microstructure of cognition. volume 1. foundations.*
62. Rutledge, D.T., M. Cameron, S. Elliott, T. Fenton, B. Huser, G. McBride, G. McDonald, M. O'Connor, D. Phyn, J. Poot, R. Price, F. Scrimgeour, B. Small, A. Tait, H. van Delden, M.E. Wedderburn and R. Woods. (2008) Choosing regional futures: challenges and choices in building integrated models to support long-term regional planning in New Zealand, *Regional Science Policy & Practice*, 1(1), 85-108.
63. Salamanca, F., Martilli, A., Tewari, M., & Chen, F. (2011). A Study of the Urban Boundary Layer Using Different Urban Parameterizations and High-Resolution Urban Canopy Parameters with WRF. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 50(5), 1107-1128. doi:10.1175/2010jamc2538.1
64. Shepherd, J. M., Pierce, H., & Negri, A. J. (2002). Rainfall modification by major urban areas: Observations from spaceborne rain radar on the TRMM satellite. *Journal of Applied Meteorology*, 41(7), 689-701. doi:10.1175/1520-0450(2002)041<0689:rmbmua>2.0.co;2
65. Siljander, M. (2009). Predictive fire occurrence modelling to improve burned area estimation at a regional scale: a case study in East Caprivi, Namibia. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 11(6), 380-393.

66. Skamarock, W., Klemp, J., Dudhia, J., Gill, D., Barker, D., Duda, M., . . . Powers, J. (2008). A description of the Advanced Research WRF Version 3, Report, NCAR.
67. Smith, J. L., Lewis, K., & Laughren, J. (2006). A policy and planning framework for marine protected area networks in Canada's Oceans: WWF-Canada. Atlantic Region Office.
68. Sunderlin, W. D., Dewi, S., Puntodewo, A., Muller, D., Angelsen, A., & Epprecht, M. (2008). Why Forests Are Important for Global Poverty Alleviation: a Spatial Explanation. *Ecology and Society*, 13(2).
69. Tear, T. H., Kareiva, P., Angermeier, P. L., Comer, P., Czech, B., Kautz, R., . . . Ruckelshaus, M. (2005). How much is enough? The recurrent problem of setting measurable objectives in conservation. *Bioscience*, 55(10), 835-849.
70. Torres, S. M., Moran, E. F., & Silva, R. F. B. (2017). Property Rights and the Soybean Revolution: Shaping How China and Brazil Are Telecoupled. *Sustainability*, 9(6). doi:10.3390/su9060954
71. van Delden, Hedwig, Stuczynski, Tomasz, Ciaian, Pavel, Paracchini, Maria Luisa, Hurkens, Jelle, Lopatka, Artur, . . . Vanhout, Roel. (2010). Integrated assessment of agricultural policies with dynamic land use change modelling. *Ecological Modelling*, 221(18), 2153-2166.
72. Veldkamp, A., & Fresco, L. O. (1996). CLUE: a conceptual model to study the conversion of land use and its effects. *Ecological modelling*, 85(2-3), 253-270.
73. Verburg, P. H., De Koning, 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.
74. Verburg, P., Soepboer, W., Limpiada, R., Espaldon, M., Sharifa, M., & Veldkamp, A. (2002). Land use change modelling at the regional scale: the CLUE-S model. *Environmental Management*, 30(3), 391-405.
75. Verburg, P. H., & Veldkamp, A. (2004). Projecting land use transitions at forest fringes in the Philippines at two spatial scales. *Landscape Ecology*, 19(1), 77-98. doi:Doi 10.1023/B:Land.0000018370.57457.58
76. Verburg, P. H., Eickhout, B., & van Meijl, H. (2008). A multi-scale, multi-model approach for analyzing the future dynamics of European land use. *The annals of regional science*, 42(1), 57-77.
77. Wey, H. W., Lo, M. H., Lee, S. Y., Yu, J. Y., & Hsu, H. H. (2015). Potential impacts of wintertime soil moisture anomalies from agricultural irrigation at low latitudes on regional and global climates. *Geophysical Research Letters*, 42(20), 8605-8614.
78. Wigmosta, M. S., & Lettenmaier, D. P. (1999). A comparison of simplified methods for routing topographically driven subsurface flow. *Water Resources Research*, 35(1), 255-264.

79. Wigmosta, M. S., Vail, L. W., & Lettenmaier, D. P. (1994). A distributed hydrology - vegetation model for complex terrain. *Water Resources Research*, 30(6), 1665-1679.
80. Williams, A. P., Schwartz, R. E., Iacobellis, S., Seager, R., Cook, B. I., Still, C. J., . . . Michaelsen, J. (2015). Urbanization causes increased cloud base height and decreased fog in coastal Southern California. *Geophysical Research Letters*, 42(5), 1527-1536. doi:10.1002/2015gl063266
81. Wu, J. (2008). Land use changes: Economic, social, and environmental impacts. *Choices: The Magazine of Food, Farm, and Resource Issues*, 23(4), 94681.
82. Zhao, L., Lee, X., Smith, R. B., & Oleson, K. (2014). Strong contributions of local background climate to urban heat islands. *Nature*, 511(7508), 216-219. doi:10.1038/nature13462
83. 內政部營建署. (2016). 105 年度「國土計畫-國土功能分區規劃委託技術服務案」結案成果報告書。
84. 方琮雅. (2001). 桃園臺地水域用地空間結構變遷之研究. 臺灣大學生物環境系統工程學研究所學位論文。
85. 行政院農委會. (2015). 104 年度「農地資源空間規劃總顧問指導計畫」全台灣成果報告。
86. 吳佩蓉. (2008). 整合土地利用模式與水文模式於集水區景觀生態規劃管理. 臺灣大學生物環境系統工程學研究所學位論文, 1-96.
87. 李俊逸. (2013). 臺灣山地集水區河川流量特徵變化: 以觀測與模式取徑分析. 臺灣大學地理環境資源學研究所學位論文, 1-116.
88. 林子平, 連宛渝, 林裕彬, & 江莉琦. (2016). 土地及氣候變遷情境對流量之影響. *臺灣水利*, 63(3), 52-65.
89. 林裕彬、詹士樑、陸曉筠、江莉琦、徐家雯、林昭遠等人 (2018)。土地資源核心議題—土地系統動態變遷之因果與機制研究。台灣土地研究, 21(2), 頁 111-136。
90. 施恆益. (2013). 應用概似不確定性估計 (GLUE) 於集水區營養鹽總最大日負荷規劃. 國立台北科技大學。
91. 徐國城, 賴宗裕, & 詹士樑. (2010). 台北都會區空間蔓延與緊密發展型態趨勢之研究. *都市與計劃*, 37(3), 281~303.
92. 陳憲宗, 曾宏偉, 林錦源, 楊道昌, & 游保杉. (2011). 氣候變遷情境下曾文水庫集水區水文乾旱特性推估. *農業工程學報*, 57(3), 44-60.
93. 黃國慶, & 詹士樑. (2009). 台北都會區土地使用/覆蓋變遷驅動力之空間近鄰效果探討. *都市與計劃*, 36(4), 415-443.
94. 黃誌川, 高樹基, 郭鎮維, & 李宗祐. (2007). 地形指數模式在臺灣北部山地集水區降雨逕流之模擬. *地理研究*.
95. 楊道昌, & 游保杉. (1997). 目標函數對連續型降雨-逕流模式率定之影響. *臺灣水利*, 45(4), 63-77.
96. 經濟部水利署. (2018). 氣候變遷下水環境跨領域動態策略技術評析與規劃。

97. 廖依玲. (2003). 基隆河流域降雨—逕流模式建置之研究. 國立中興大學水土保持學研究所碩士論文.
98. 潘宗毅, 陳思瑋, 廖啟勳, 張高華, & 張倉榮. (2015). 熱島效應對臺北都會區水文型態之影響評估. 農業工程學報, 61(4), 23-45.
99. 薛益忠, & 郭士鳳. (2010). 利用 [空間自相關] 探索 1999 年至 2005 年台灣腸病毒病例之空間擴散. 華岡地理學報(25), 37-52.
100. 謝惠紅, 鄭士仁, 劉璟燁, 周世昌, & 蕭博仁. (2006). 夏季日降雨量空間分佈特性之研究. 農業工程學報, 52(1), 47-55.
101. 國家災害防救科技中心. (2014). 102 年「桃竹易致災環境調查與評估」期末報告.
102. 國家災害防救科技中心. (2016). 104 年「桃竹縣市易致災環境指標調查與評估」期末報告.
103. 經濟部水利署北區水資源局. (2006). 利用桃園地區埤塘輔助民生及工業用水之可行性評估.
104. 劉小蘭, 許佩漩, 蔡育新. (2010). 臺灣都市蔓延之影響因素分析. 地理學報, 58, 49-63.
105. 張文菘, 陳嘉惠, 張國楨. (2017). 應用空間統計於桃園地區土地利用變遷因素分析. 地理研究, 67, 137-161.
106. 桃園市政府水務局. (2015). 桃園市 611 水災淹水改善工程執行報告. 桃園市政府水務局.
107. 桃園市政府水務局. (2016). 0516 豪雨災情處置報告. 桃園市政府水務局.
108. 桃園市政府水務局. (2016). 0602 豪雨災情處置報告. 桃園市政府水務局.

附錄一

期中簡報暨期中報告書 審查意見及處理情形

附錄一 「因應氣候變遷遙連結應用於新興治水策略之研究(1/2)」 期中簡報暨期中報告書審查會議及處理情形

壹、開會時間：民國 108 年 07 月 12 日（星期五）下午 2 時整

貳、會議地點：本署臺北辦公區第 1 會議室

參、主持人：張副總工程司國強

肆、記錄人：徐浩仁

審查意見	處理情形	答覆說明納入報告	
		章節/圖/表	頁次
一、闕委員雅文：			
1. 全球經濟模式結合遙連結之評估模式，確實為重要的挑戰，唯總體模式，後續連結到示範區土地利用之影響之總體到區域之轉換，需要更多的說明。	謝謝委員意見，本研究採用區域可計算一般均衡模型文獻中建議的「由上而下」(top-down)方法，依據主計總處編製之民國 100 年工商及服務業普查及農林漁牧業普查數據(行政院主計總處，2013)中桃園市個別產業產出(例如：電子零組件製造業)佔全國個別產業產出之份額，將全球經濟模式中台灣的模擬結果降解(downscale)得到桃園市的產業產出前景。	第三章 第一節	p.3-33
2. 全球經濟模式連結到土地利用的情境改變，既而耦合氣候模式之關係、國土規範及治水，為重要且跨領域的議題，其間之假設與耦合，確關係未來執行實驗來驗證與模擬。	謝謝委員意見，本研究所採用的全球未來社會經濟發展路徑 (Shared Socio-economic Pathway, SSP)情境為 IPCC 第五及第六次評估報告中作為全球氣候變遷整合評估模型中之全球經濟模式的基準情境。整合評估模型中亦包括全球土地利用模式，其與全球經濟模式連結，預測全球土地利用在未來全球經濟發展下因部門間(農工住商)土地需求競爭影響所致之土地利用變動情形。全球各區域之土地利用變動所(淨)排放的溫室氣體將會影響大氣中二氧化碳濃度，進而影響全球氣候系統。個別區域/國家因其社會經濟	第三章 第一節	p.3-4

附錄一 「因應氣候變遷遙連結應用於新興治水策略之研究 (1/2)」
 期中簡報暨期中報告書審查會議及處理情形

審查意見	處理情形	答覆說明納入報告	
		章節/圖/ 表	頁次
	發展進程與政策/制度不同，其在全球氣候變遷下的脆弱度與韌性亦有所差異，此亦為本研究之目的。		
3. 跨領域的模式建構對於新興治水策略確為重要議題，跨領域聯結之耦合與確認及參數設定工作龐大，宜說明清楚。	謝謝委員意見，模式整合及跨領域整合時，皆針對模式間之資料及結果銜接進行討論，並已進行參數的協調。	—	—
二、林委員昭遠：			
1. 本計畫利用許多模式，部分模式需降尺使用，宜注意 downscale 之精度說明。	謝謝委員意見，本研究採用區域可計算一般均衡模型文獻中建議的「由上而下」(top-down)方法，依據主計總處編製之民國100年工商及服務業普查及農林漁牧業普查數據(行政院主計總處，2013)中桃園市個別產業產出(例如：電子零組件製造業)佔全國個別產業產出之份額，將全球經濟模式中台灣的模擬結果降解(downscale)得到桃園市的產業產出前景。	第三章 第一節	p.3-34
2. 降水為點源，逕流為非點源，模式在操作上宜以風險概念(復現期距)來評估集水區淹水之熱點區位。	謝謝委員意見，進行淹水分析時，除採用歷史事件外，也加上50年重現期之降雨事件進行分析，熱點及管制區劃設分析時則同時將歷史降雨事件及重現期降雨事件導致之淹水情況納入考慮。	第五章	p.5-9、 p.5-22、 p.5-28
3. 各類模式之分析單元及邊界條件，甚至限制條件宜清楚說明。	謝謝委員意見，各模式之分析邊界及限制條件已於各模式之模式簡介中說明。	—	—
4. 土地利用分類係採 Land use 或 Land Cover，宜有合理性之分類說明。	謝謝委員意見，本計畫之土地利用分類為 Land use，參考圖資來源為內政部國土測繪中心之「國土利用調查成果圖」，國土利用調查為透過實地調查所得出的分類成果，因	—	—

附錄一 「因應氣候變遷遙連結應用於新興治水策略之研究 (1/2)」
 期中簡報暨期中報告書審查會議及處理情形

審查意見	處理情形	答覆說明納入報告	
		章節/圖/ 表	頁次
	本計畫係針對實際土地利用情形探討區域遙連結對未來都會區土地利用及降雨特性之影響，為求資料貼近現況土地使用需求並有效推估未來都會區土地利用，選擇以國土分類第一級階層之 Land use 為本計畫之分類，而非以航空照片或衛星影像進行判讀或分類之 Land cover。本計畫採用之 Land use 依國土測繪中心的土地使用分類系統：第一級 9 大類別為參考依據，針對計畫需求重新分類為 7 大類別。		
5. 夏季對流降雨事件與颱風暴雨事件，其對淹水致災之統計宜有分析說明。	謝謝委員意見，在本計畫之中，會先以夏季對流降雨事件作為分析的對象。主要會以挑選弱綜觀事件的案例作為探討。至於颱風暴雨則不在本次分析的對象之中。	第二章 第二節	p.2-20
6. 土地利用現況，部分分類為不可逆或變更，宜有操作說明。	謝謝委員意見，在進行未來土地利用空間配置時，假設三種限制開發情境進行討論，分別為桃園機場、國土保育地區第一類及農業發展地區地第一類之土地利用應與前期土地利用相同。因此在進行模擬時，可將其設定為限制開發區域，限制該區域之土地利用轉換為其他土地利用之可能性	第四章 第二節	pp.4-13~ 4-14
7. Clues 模擬之 Kappa 為 0.56，「有足夠可信度」之說明，宜再檢討修正，一般而言 Kappa 最好大於 0.7。	謝謝委員意見，已重新檢視土地利用分類，因此，模式驗證之 kappa 值達到 0.86，具有可信度。	第三章 第二節	p.3-45
8. 逕流分擔宜有蓄洪之概念，逕流分擔熱點區位宜有再清楚之論述，最好有集水分區或邊坡單元分區之劃定說明。	謝謝委員意見，在上游地區係透過地形高程資料 (DEM) 決定集水區範圍，而下游淹水模擬範圍也是以集水區為單位	圖 5-5	p.5-10

附錄一 「因應氣候變遷遙連結應用於新興治水策略之研究 (1/2)」
 期中簡報暨期中報告書審查會議及處理情形

審查意見	處理情形	答覆說明納入報告	
		章節/圖/ 表	頁次
	進行分析。上游及下游範圍如圖 5-5 所示。		
三、劉委員敏梧：			
1. 土地利用與降雨強度改變關係如何量化？對地文之影響及淹水關係是否進一步補充。	謝謝委員意見，土地利用與降雨強度改變的分析，主要是透過歷史資料的分析與探討，了解其在不同時間點的強度變化特徵，另外也考量濾除較大尺度系統的干擾(如聖嬰現象)。	第二章 第二節	p.2-19
2. 請補充選訂桃園作為示範區之理由。	謝謝委員意見，桃園市位於北台都會區的重要核心，當前發展策略採取工農業並重，近年之公共建設與機場捷運將影響核心區的土地利用，另一方面，桃園市易淹水的村里多屬人口密集之都市地區，且可能面臨水資源短缺之雙重挑戰，已補充於內文。	第一章 第五節	pp.1-9 ~1-12
3. 所挑選之模式，山區與平地採用模式不同，是否採用同一模式分析？是否考慮漫地流模組，真實反映淹水情形。	謝謝委員意見，二維淹水模式使用零慣性波模式，適用於計算坡度較平緩之地表漫地流，故山區需利用 DHSVM 模式計算山區集水區出流歷線作為二維淹水模式之上游邊界條件	第五章 第二節	pp.5-17~ 5-20
4. 淹水模式之採用，是否考慮山區、平地之一般性，採用如 sobek 模式等，並與淹水潛勢圖來比較驗證。	謝謝委員意見，二維淹水模式使用零慣性波模式，適用於計算坡度較平緩之地表漫地流，故山區需利用 DHSVM 模式計算山區集水區出流歷線作為二維淹水模式之上游邊界條件。淹水模式模擬結果使用實際之淹水事件進行驗證，驗證結果說明於第五章第二節。	第五章 第二節	pp.5-20~ 5-26
5. 依模擬結果分析的淹水熱點與管制區域是否合理？未來能否	謝謝委員意見，本計畫規畫分散式治水雛形架構，透過上游	—	—

**附錄一 「因應氣候變遷遙連結應用於新興治水策略之研究(1/2)」
期中簡報暨期中報告書審查會議及處理情形**

審查意見	處理情形	答覆說明納入報告	
		章節/圖/ 表	頁次
落實操作？	分擔及下游分擔的機制，降低示範區域淹水程度或可能性。主要透過熱點的分析及管制區域的決定，討論潛在較易發生淹水的地區，可提供做為未來治理之參考依據。		
6. 何為分散式治水架構宜有所定義，與目前本署推動之逕流分擔出流管制策略有何不同？請補充。	謝謝委員意見，本計畫規畫分散式治水雛形架構，透過上游分擔及下游分擔的機制，降低示範區域淹水程度或可能性。主要透過熱點的分析及管制區域的決定，討論潛在較易發生淹水的地區，可提供做為未來治理之參考依據。	—	—
四、本署張副總工程司國強：			
1. 本計畫選定桃園做為示範區，考量目前桃園的天氣變化、埤塘減少及工業發展情形應屬適宜，請再補充說明。	謝謝委員意見，桃園屬於副熱帶季風型氣候，年降雨量1500-2000mm，埤塘數量由1964年的八千多口，如今只剩約兩三千口，且近年推動「五加二產業創新計畫」，已補充於內文。	第一章 第五節	pp.1-9 ~1-12
2. 桃園雨量站數量不多，要以過去至今的土地利用變遷做為主軸應不容易，且目前桃園的雨量差異並不大，是否尚未反應在數據上？或是變化太小尚無成果？建議再深入探討。	謝謝委員意見，目前分析結果發現篇內陸地區的測站(如八德,桃園)在夏季強降雨的比例有升高，在統計上可以看出其變化，然而需要更多後續的研究近一步釐清其機制。	第二章 第二節	p.2-38
3. 本計畫採用多種參數及分析模式，未來是否會聚焦或是會再篩選？建議須有足夠的討論及工作會議持續釐清。	謝謝委員意見，本計畫已透過工作會議討論各項工作內容，並充分討論所使用之模式及分析工具與方法。	—	—
4. 經濟模式變遷與水足跡的差異為何？宜再補充說明。	謝謝委員意見，水足跡的分析為根據已發生之現況數據進行事後(ex post)分析。本研究則是根據氣候變遷之國際研究社群認可的未來全球各國	—	—

附錄一 「因應氣候變遷遙連結應用於新興治水策略之研究(1/2)」
期中簡報暨期中報告書審查會議及處理情形

審查意見	處理情形	答覆說明納入報告	
		章節/圖/ 表	頁次
	社會經濟發展情境來模擬預測未來台灣產業在全球經濟環境下的經濟前景，屬事前(ex ante)分析。		
五、本署張副總工程司廣智(林委員益生代)：			
1. P2-3 本研究個案選取均為八月，該期間桃園地區約略進入二期稻作，較不似一期作時受春雨枯旱休耕，對研究有影響？	謝謝委員意見，目前所有的數值模擬實驗皆選定在8月份，根據農糧署的休耕地圖，如面臨缺水桃園地區仍有休耕(二期稻作)可能性。未來將考慮探討一期稻作時期之休耕對於春雨的影響，並進行 WRF 模式模擬。	第二章 第一節	p.2-18
2. 本計畫理論及研究方法論述嚴謹詳實，對於模擬成果例如土地開發對氣候或水文的影響如何？可再加強論述。	謝謝委員意見，本計畫選用1995年至2017年之氣象及土地利用資料，結合歷史土地利用進行分析，其相關模擬成果已補充至報告中。	第二章 第二節	pp.2-9 ~2-12
3. P5-27 報告以淹水熱點來規劃管制區，該區域多位於中下游平原區，均已高度社經發展，規劃管制區恐不易推動，是否還有其他可能的新興治水策略（例如，利用遙連結概念在其他適合地區推動）。	謝謝委員意見，熱點分析結果為模擬區域內相對較易淹水區域，而管制區劃設結果則考慮不同降雨事件所模擬之熱點所分析之結果，因此可做為策略擬定之參考依據之一。因此，若發現高度發展區域落於管制區域內，則可透過強化如抽水或規畫其他策略，以降低位於管制區之可能。	—	—
4. P3-51 “應論所模擬……”，所指為何？文字謬誤？P5-16”集中於南由圖……”也請修正。	謝謝委員意見，已修正誤植。	第三章 第三節、 第五章 第二節	p.3-53、 p.5-22
5. P6-1，期中之後工作如何進行？有哪些工作重點？報告中未見。	謝謝委員意見，期中之後各項工作均依照時程進行分析及模擬，期末報告各章節詳述各項工作內容與重點。	—	—
六、本署河川海岸組 黃工程司爾強：			
1. 本計畫非服務建議書，內容多有以”本計畫團隊”立場編撰，建議	謝謝委員意見，已修改報告內容。	全文	全文

附錄一 「因應氣候變遷遙連結應用於新興治水策略之研究(1/2)」
期中簡報暨期中報告書審查會議及處理情形

審查意見	處理情形	答覆說明納入報告	
		章節/圖/表	頁次
整體檢修，另過去執行團隊以台北測站所評估之相關案例，建議一併補充來源出處。			
2. P2-8 最後兩小段有重複撰寫情形，再請修正。	此處為誤植，已修正	第二章 第一節	p.2-8
3. P2-18 第三段所述經驗證發現 IDW 法之空間降雨分布優於克利金法，卻在本計畫選用克利金法之原因為何？	已修正，應為 IDW 法。	第二章 第二節	p.2-25
4. P2-19 對於土地利用分類目前期中所述先以建成環境、植被及水體三種來區分，後續是否增加分類種類？另對於土地分類之空間分布除以年間面積變化討論外，建議增加土地利用轉移矩陣方式探討，而研究樣區未包含大溪復興等之緣由應補充。	謝謝委員意見，後續在模式當中，將轉成 WRF 模式所使用的 25 種類型土地利用分類。至於未使用大溪以及復興等地的資料，主要是因為為了排除掉因為地形所造成的偏差，不過在後續將會針對山區測站另外做獨立的分析，以探討其是否會受到分析結果的影響。	第二章 第二節	p.2-27
5. P3-34 影響土地利用改變的驅動主要係自然環境條件、人為影響，其中包含許多變數，建議補充為何選用這 5 項。	謝謝委員意見，本計畫所挑選之環境變數因子係依據前期研究所得，該研究中以邏吉斯迴歸分析方法挑選適合研究區域之環境變數因子。	第三章 第二節	p.3-43
6. P5-16 在淹水模擬部分期中採用 HEC-HMS、期末改用 DHSVM 之緣由，另與本署公開淹水潛勢差異為何？	謝謝委員意見，DHSVM 模式將模擬區域網格化，以模擬各網格之地表水深，故可了解上游山區之地表水深空間分布情形。然而在期中階段，由於模式 DHSVM 模式尚未完成檢定驗證，因此為降低因上游山區流量不確定性使得模擬之淹水範圍有誤差，故先以過去研究以發展完成之 HEC-HMS 模式模擬上游山區逕流量，作為淹水模式之輸入條件。	第五章 第二節	pp.5-17~ 5-20
7. 上游分擔、下游管制之相關影響	謝謝委員意見，熱點分析結果	—	—

**附錄一 「因應氣候變遷遙連結應用於新興治水策略之研究(1/2)」
期中簡報暨期中報告書審查會議及處理情形**

審查意見	處理情形	答覆說明納入報告	
		章節/圖/ 表	頁次
區應連結說明(例：上游熱點分擔後，可改善下游淹水之區位)，另目前多以都市、鄉鎮及開發處淹水事件居多，因此透過逕流分擔、出流管制辦理，對於下游逕流分擔及國土韌性又如何考量？	為模擬區域內相對較易淹水區域，而管制區劃設結果則考慮不同降雨事件所模擬之熱點所分析之結果，因此可做為策略擬定之參考依據之一。因此，若發現高度發展區域落於管制區域內，則可透過強化如抽水或規畫其他策略，以降低位於管制區之可能。此外，計畫中亦與國土功能分區之規畫結果進行分析討論，唯正式之國土功能分區結果尚未公告，因此仍待後續研究持續進行評估。		
七、會議結論：			
1. 履約情形： 計畫依契約書第8條規定，應於108年6月14日(含)以前送達期中報告書，執行單位業於108年6月14日送達報告書至本署，尚符合規定。	—	—	—
2. 審查結果： 本計畫期中報告經出席委員審查原則通過，請依據契約規定辦理後續相關行政事宜。	遵照辦理	—	—
3. 其他必要事項： 請研究團隊依本次會議各委員及與會單位所提意見進行回復與修正，並將回復說明對照表納入期末報告中。	遵照辦理	—	—

附錄二

期末簡報暨期末報告書 審查意見及處理情形

附錄二 「因應氣候變遷遙連結應用於新興治水策略之研究(1/2)」 期末簡報暨期末報告書審查會議及處理情形

壹、開會時間：民國 108 年 12 月 06 日（星期五）下午 2 時整

貳、會議地點：本署臺北辦公區第 4 會議室

參、主持人：張副總工程司廣智

肆、記錄人：徐浩仁

審查意見	處理情形	答覆說明納入報告	
		章節/圖/ 表	頁次
一、闕委員雅文(書面意見)：			
1. 本計畫結合國土規劃與全球經濟模式分析未來土地利用空間分布，為創新且重要之研究議題，應有助因應氣候變遷之調適策略模擬分析。	謝謝委員肯定。	—	—
2. 本計畫利用大氣數值模式探討桃園土地利用改變與對流雨強度之關係及對當地水文氣候的影響，發現休耕所造成的效應要比單純只有土地使用的改變對於降水及當地水文氣候所造成的影響大。請說明其比較基礎模式與相關假設。及後續是否再採行個案與實驗設計，再行確認休耕對於氣候水文之影響。	桃園地區水田面積廣大，休耕可以視為更加劇烈，範圍更廣之土地利用改變。使用弱綜觀條件天氣個案，初始場及側邊界場相同，模式物理參數化除了地表模式設定外也相同。未來可針對不同時間之土地利用資料，分別進行水田組及休耕組之模擬，挑選更多不同時間個案，來對休耕造成的效應有更完整的探討。此外，本計畫採用近幾年間八月份之無雨和弱綜觀有兩個案，進行台灣區域氣候與土地模式的耦合模擬，確認桃園地區的休耕之於局地微氣候之影響。 在模式與資料的使用上： (1) 區域氣候模式：WRF V3.5.1 (2) 陸地模式：CLM (3) 土地利用資料：採用桃園市 1995、2007 及 2015 年的資料（已對應到 USGS 的 24 種土地利用分配），另外加入了桃園市未來土地利用推估的資料(2030	—	—

附錄二 「因應氣候變遷遙連結應用於新興治水策略之研究 (1/2)」
 期末簡報暨期末報告書審查會議及處理情形

審查意見	處理情形	答覆說明納入報告	
		章節/圖/ 表	頁次
	<p>年)。</p> <p>在實驗設計上：</p> <p>(1) 理想化實驗：休耕組減去水田組</p> <p>(2) 桃園市隨時間土地利用變遷之實驗：2030 年減去 1995 年。</p> <p>並非休耕所造成的效應要比單純只有土地使用的改變對於降水及當地水文氣候所造成的影響大，而是因為休耕的結果來自於理想化實驗，將大面積位於桃園市的水稻田轉換為休耕田的狀態，因此變化量會大於直接比較土地利用變遷之差異。理想化實驗能夠告訴我們，休耕對於一個地方水文氣候的潛在影響為何？進一步我們想要利用實際的土地利用變化，去探討真實情況下，區域氣候會如何轉變。</p>		
<p>3. 本計畫利用全球可計算一般均衡模型進行分析，請說明從全國尺度的經濟成果結果降解至桃園市之假設與可能之限制。</p>	<p>本研究採用區域可計算一般均衡模型文獻中建議的「由上而下」(top-down)方法，假設桃園市之產業屬全國型產業，依主計總處編製民國 100 年工商及服務業普查及農林漁牧業普查數據(行政院主計總處,2013)中桃園市個別產業產出(例如：電子零組件製造業)佔全國個別產業產出之份額，將全球經濟模式中台灣的各產業產出前景的模擬結果降解(downscale)以推算桃園市的產業產出前景。</p>	—	—
<p>4. 計畫中以較為保守的 IIASA 模式 SSP 情境之全國產值預測來進行桃園市之降解，請說明使用保守的 IIASA 模式 SSP 情境之</p>	<p>OECD 模式情境預測對各國(尤其是開發中國家)的經濟成長前景過分樂觀。由於開發中國家未來發展趨勢及其豐沛</p>	—	—

**附錄二 「因應氣候變遷遙連結應用於新興治水策略之研究 (1/2)」
期末簡報暨期末報告書審查會議及處理情形**

審查意見	處理情形	答覆說明納入報告	
		章節/圖/ 表	頁次
緣由。	勞動力優勢對於台灣未來經濟成長前景影響甚大，因此，選擇 IIASA 模式之全球經濟預測情境進行桃園市之降解。		
二、林委員昭遠：			
1. 大氣的不確定性相當大，宜將模式模擬之邊界及干擾因子加以界定說明，另水田組及休耕組之相比較並不妥當，應有對照組作為 baseline 加以呈現。	<p>在水田組及休耕組的比較中，是直接將水田組當成對照組，由於計算地表能量收支後，使用模式中原始之下邊界條件無法真實描述水田的能量收支特性，因此進行 control run 作為實際土地利用型態的實驗組作為 baseline 來當作對照之基準。</p> <p>1. 模式模擬之邊界及干擾因子：</p> <p>(1) 地表模式到大氣模式之間的作用，在模式中並未完整被模擬出來。</p> <p>(2) 大氣模式中對於地表模式的影響，也未必能在數值模式中完整模擬。</p> <p>2. 水田組及休耕組：</p> <p>設計這組實驗的目的是為了透過理想化實驗，來了解如果只有休耕的變因，會如何影響當地的水文氣候。</p> <p>3. 對照組作為 baseline 加以呈現：</p> <p>若以氣候變遷推估角度來看，baseline 可以是 1995、2007 及 2015 這幾個已經擁有歷史土地利用資料的年份，當作對照組。未來的部分則是利用 2030 年未來土地利用推估得那份資料，來比較與 baseline 的差異。</p>	—	—
2. 土地利用變遷部分，各模式分析之土地利用類別宜有相同分類	謝謝委員意見，土地利用主要分類是相同的，但為了符合	—	—

**附錄二 「因應氣候變遷遙連結應用於新興治水策略之研究 (1/2)」
期末簡報暨期末報告書審查會議及處理情形**

審查意見	處理情形	答覆說明納入報告	
		章節/圖/ 表	頁次
之情境模擬，並應注意有條件之限制(管制)變遷之土地利用類別。	WRF 模輸入所需或是統計分析所需，因此在各類土地利用中再進行細分。		
3. 各模式之 input, output, 以及圖資的 resolution 和模式 limitation 宜繪製總表對照說明其間之關係。	謝謝委員意見，模式之輸出及輸入關係已說明於圖 1-10。	—	—
4. 本研究宜回歸至淹水解決，建議以風險分析進行探討，淹水之危害宜以超滲降雨取代降雨方能反映土地利用變遷，並以脆弱度及暴露度找出易淹水之區位。	謝謝委員意見，目前淹水危害系考量不同降雨、地形、地表覆蓋等條件，以淹水模式進行模擬，未來之研究中可納入以超滲降雨取代降雨進行模擬，評估其脆弱度與暴露度，以找出易淹水之區位。	—	—
5. 建議以易地補償及就地滯洪之概念進行空間分析，提出淹水韌性提升對策。	謝謝委員意見，管制區域劃設完成之後，可再將異地補償或就地滯洪概念納入評估，據以提升淹水韌性的可能。	—	—
6. 本計畫之土地利用變遷與對流降雨強度關係之探討主要是針對地域性，其與氣候變遷遙連結之間的關係宜有著墨。	土地利用與氣候變遷兩者相互影響密切，在此若要更完整描述，可以利用不同年代之氣候平均場搭配不同時間之土地利用進行交叉比對，來釐清土地利用改變對於氣候變遷的影響比重。	—	—
三、候委員進雄：			
1. 本計畫報告書摘要對成果有詳細的描述，但僅見在不同模式或不同情境下，各種土地分類的面積的消長，建議對其消長的原因與真正代表的意義，做更適切的描述與推測。簡單來說，摘要可以寫的科普一點，讓長官或其他領域的人能看得懂摘要內容，並說明本計畫帶來的信息與意義。	謝謝委員意見，已修改並調整摘要內容。	摘要	摘-1~摘-23
2. 相同的在文中對於圖與表的說明，除了展示圖像不同或數據的消長外，也能針對不同或消長的	謝謝委員意見，已修改並調整摘要內容，並補充相關內容。	摘要	摘-1~摘-23

附錄二 「因應氣候變遷遙連結應用於新興治水策略之研究 (1/2)」
 期末簡報暨期末報告書審查會議及處理情形

審查意見	處理情形	答覆說明納入報告	
		章節/圖/ 表	頁次
原因做說明，並試著推測其帶來的信息及背後的意義，考驗看圖或看表說故事的能力。			
3. 同上，摘要中第三節中就全球經濟模式以 OECD Env-Growth 與 IIASA 兩種模式作為推測，建議在摘要中仍應對兩種模式內容參數有何異同。另就 SSP1~SSP5 等不同情境下，各種土地分類的面積的消長，建議摘要中仍應對這五種情境做說明，沒說明就只是英文與數字而已，失去意義了。就像第四節(二)，限制情境一~三，至少各有說明其代表原始狀態、輕度管制、嚴格管制，但對於三種情境的內容，仍建議在此說明，即(四)小節中有針對其限制之內容以括符說明之。	謝謝委員意見，已重新調整摘要內容，說明各項縮寫之定義。並已補充說明限制情境之設定。	摘要	摘-1~摘-23
4. P1-17，六、預定工作進度，建議更正為 工作執行進度。	謝謝委員意見，已修正為”工作執行進度”。	第一章 第六節	P1-16
5. P3-45，各類別土地利用模擬之曲線下面積(Area Under Curve, AUC)值，大於 0.8 代表具有優良的判斷力，大於 0.65 具有可接受的判斷力，另 ANN 及 SVM 兩個模式所模擬之 AUC 值雖然較差，但也都大於無鑑別力之 0.5，請加以說明值域區間代表的意義。另對模式驗證的 Kappa 值域區間代表的意義也應加以說明。	謝謝委員意見，已加入 AUC 值不同範圍的說明，並已說明 Kappa 值區間代表的意義。	第三章 第二節	P3-45
6. P5-23~P5-28，針對桃園地區 3 次豪雨與 50 年重現週期在 3 個不同限制情境下等模擬最大淹水深度圖，其中圖 5-26~圖 5-28，50 年重現週期在 3 個不同限制情境下最大淹水深度圖，建議加以說明其異同之處，即使沒什麼差異，也應說明。	謝謝委員意見，已於報告中說明淹水模擬結果。	摘要	摘-1~摘-23

**附錄二 「因應氣候變遷遙連結應用於新興治水策略之研究(1/2)」
期末簡報暨期末報告書審查會議及處理情形**

審查意見	處理情形	答覆說明納入報告	
		章節/圖/ 表	頁次
7. 結論中出現弱綜觀條件，建議應該加註(臺灣鄰近區域無颱風或鋒面影響)；另結論中，(二)顯示2006年之前的土地錄用變化將對研究區域內之熱力性質改變，何謂熱力性質，請加以補充說明。另「重心移轉」「重心移動」之詞是否加以修飾。	謝謝委員意見，已修改並調整摘要內容。	摘要	摘-1~摘-23
8. 文中有『植披』與『植被』，建議更正之。	謝謝委員意見，已更正為”植被”。	—	—
9. 報告中應加以說明為何挑選桃園地區的原因。	謝謝委員意見，已進一步補充說明挑選桃園地區作為研究區域之原因。	第一章 第五節	P1-9~1-15
四、劉委員敏悟：			
1. 請補充新興治水策略中，對於所提分散式治水架構與傳統或目前推動的治水策略有何不同。	謝謝委員意見，本計畫所指之分散式治水架構即為目前推動之逕流分攤出流管制之治水策略。	—	—
2. 近年台灣受氣候變遷影響，短延時強降雨為主要治水原因，惟主要仍以颱風豪雨事件為主，故區域土地利用變遷除了對流降雨強度相關以外，是否包括颱風豪雨事件，請補充。	土地利用變遷最直接影響的是地表的水氣及能量收支，然而像是颱風所帶來的豪雨事件，其水氣來源來自溫暖的熱帶洋面，且降雨分布受到路徑及臺灣地形很大的影響，個案間的差異較大，預期受到土地利用改變的影響可能比較缺乏一致性。 本計劃在個案挑選時，已去除颱風豪雨事件，主因在於我們的目標是『土地變遷對於區域氣候之影響』，所以若只單純討論土地利用這個變因，我們就需要去除掉其他可能影響降雨的因素，因此在個案挑選時就已先排除綜觀天氣系統(如颱風、鋒面、梅雨...等等)	—	—
3. 休耕所造成的效應中，休耕之定義或條件為何，請補充。	休耕情境是水田不再有整層的水及水稻，而是轉作旱作或	—	—

**附錄二 「因應氣候變遷遙連結應用於新興治水策略之研究 (1/2)」
期末簡報暨期末報告書審查會議及處理情形**

審查意見	處理情形	答覆說明納入報告	
		章節/圖/ 表	頁次
	是綠肥作物，於 WRF 模式中設定為 Cropland/Grassland Mosaic。		
4. 2030 年桃園市各土地利用需求變動預測以 ssp3 情境及 ssp5 情境(表 1)為參考，4 類土地利用變動之面積差異甚大，宜補充說明其中之原因。	SSP3 情境中的台灣經濟成長較不樂觀，而 SSP5 則是較為樂觀之情境，以致兩情境下的土地利用變動有顯著的差異。	—	—
5. 淹水模擬 50 年重現期雨量，其採用降雨延時為何？(6 小時、12 小時、24 小時)，本計畫所採用模式是否符合強降雨淹水特性及需求。	淹水模擬使用之 50 年重現期雨量為 24 小時延時，本研究所採取之二維淹水模式已使用於淹水潛勢資料及多場颱風事件之模擬，可反應模擬區域內強降雨淹水情形。	—	—
6. 淹水熱點區位僅靠模式模擬依據是否足夠？是否依模擬結果全部劃設管制區？請補充說明。	謝謝委員意見，淹水模擬結果已利用淹水事件進行檢定驗證，因此利用不同降雨/不同土地利用情況下之淹水模擬結果所模擬之淹水熱點，可反映可能的管制區為。由於淹水管制區域的畫設採用熱點分析結果進行模擬，當納入考慮的情境越多，可分析評估不同程度的管制情形。	—	—
五、本署張副總工程司廣智：			
1. 本計畫之主旨應用遙連結探討治水策略，從人類活動、經濟活動等面向反推及探索氣候變遷，為一嶄新主題，有其獨特性。但僅針對以桃園土地利用為參考依據採用模式模擬，本計畫仍需補充相關定義或說明。	謝謝委員意見，本計畫研究區域主要為桃園地區，因此主要考量桃園地區之土地利用變遷情境。然而，未來桃園地區土地利用變遷推估所採用之各類土地利用需改變量主要是由經濟模式推估所得，經濟模式所推估之各類土地利用改變係為全台之結果，在研究中透過降解方式，降尺度之求得桃園地區之未來各類土地利用需求改變量。	—	—
2. 本計畫以 IIASA 用 ssp3、ssp5	謝謝委員意見，全球社會經濟	—	—

**附錄二 「因應氣候變遷遙連結應用於新興治水策略之研究 (1/2)」
期末簡報暨期末報告書審查會議及處理情形**

審查意見	處理情形	答覆說明納入報告	
		章節/圖/ 表	頁次
推估 2030 的經濟狀況，需要再說明其中根據，且台灣目前以外銷為主，在世界上台灣會歸納在哪一個經濟體系？應跟其他經濟體系間的關係須找出適當的比例關係，並需再補充說明。	發展路徑之主要模型情境假設摘錄於圖 3-10。而如表 3-2 所列示，台灣在本研究之全球經濟模式模擬中為一單國經濟體，與其他 10 個地區進行貿易。		
3. 摘要部分提到，本計畫以弱綜觀事件來連結探討熱對流，實際上可以找到的案例不多，且都集中在八月份，時間上剛好與颱風季節有重疊，而報告提到台灣歷年休耕地對於熱對流產生的影響程度較高，因案例不多，建議需要再驗證，且目前報告書上呈現的似乎是休耕的影響大於土地利用改變的影響，請團隊再釐清並補充說明。	<p>謝謝委員意見，目前個案挑選集中在八月份，是因為八月份為桃園地區二期稻作主要之插秧時間，田中水量較多且植物葉面積較小，潛熱釋放的效應最為顯著。然而弱綜觀環境之天氣個案在其他月份也有，七月上旬可能受到季風槽內熱帶氣旋生成的影響更小。此處休耕之影響大於土地利用改變，應強調是針對二期稻作插秧期間，其他時間效應會遞減，休耕本身即可視為一種短時間土地利用改變之過程。</p> <p>所謂弱綜觀事件已經剔除颱風影響事件。另外，休耕亦是一種土地利用型態的變遷，不過時間、空間尺度是會隨農業政策而改變，因此休耕可歸納為會變動的土地利用改變，只是出現、消失的狀態是會因應社經政策而變，不像都市化的建地或森林等較為固定。</p> <p>案例不多的原因，是因為剔除了綜觀天氣系統（如颱風、鋒面、梅雨...等等），最後所能挑到的個案天數不多。因此，為了增加個案數量，使研究更加有統計意義，未來可延長個案時間並且加入桃園地區一期稻作(3 月)的時間，藉此增加個案數。</p>	—	—

**附錄二 「因應氣候變遷遙連結應用於新興治水策略之研究 (1/2)」
 期末簡報暨期末報告書審查會議及處理情形**

審查意見	處理情形	答覆說明納入報告	
		章節/圖/ 表	頁次
4. 本計畫參考之全國國土計畫產生之國土功能分區，這些分區內的土地利用的變化，需與本計畫的ssp3、ssp5做連結，建議模式模擬出的成果需再與實際資料比對。	謝謝委員意見。本計畫係透過國土功能分區的劃定，進而國土計畫限制發展之管制強度以及不同經濟成長情境對於未來土地利用差異，詳細文字內容已補充於第四章「四、綜合評析：限制發展區設定之比較分析」。	第四章 第四節	P4-29
5. 本計畫提出之分散式治水策略，與逕流分攤、出流管制概念相同，惟目前在實務上仍有較多變因，未來在本計畫上的推動可能會有較大的變動及挑戰。	謝謝委員意見。	—	—
六、本署綜合企劃組郭組長純伶：			
1. 本計畫以桃園為研究區位，資料選擇時間都不一致，建議皆應更新到最新資料。如 2011 年各農業產值全國所占比率、耕地面積、產業用地面積等。	謝謝委員意見，本計畫選用各項資料時儘量挑選相同時間範圍及最新之資料。但在全球經濟模式的部份，由於校準資料庫為 2011 年數據，因此，相關數據也因應經濟模式的基準年 2011 年進行蒐集彙整。	—	—
2. 本計畫運用模式之驗證應再加強，如全球經濟模式、DHSVM 模式等。一般淹水模式參數的調整及驗證也應有對照組做為參考依據，建議補充說明。	謝委員意見，全球經濟模式之預測強調的是長期趨勢，國際學術界的作法是匯集專家對未來 20 年經濟成長及產業結構變遷趨勢之觀點，據以設量化經濟變數，進行長期趨勢之量化預測。SSP 情境的驗證已在專家觀點匯集階段進行多方辯證，最終篩選出獲得多數支持的趨勢觀點代入經濟模式進行量化模擬。 DHSVM 模式參數均參考使用手冊規範並依照模擬區域特性進行調整，二維淹水模式中所使用之地表曼寧 n 值乃依據不同土地利用進行設定，已詳列於報告中。	—	—

附錄二 「因應氣候變遷遙連結應用於新興治水策略之研究 (1/2)」
 期末簡報暨期末報告書審查會議及處理情形

審查意見	處理情形	答覆說明納入報告	
		章節/圖/ 表	頁次
3. WRF、全球經濟模式都是很大的網格，要描述台灣已經不容易，如何將尺度細放到桃園，應說明本計畫如何降尺度。	<p>謝謝委員意見，在 WRF 模擬中所利用的土地利用資料空間解析度為 30 秒，第三槽槽狀網格則為 2km 解析度，針對桃園地區土地利用及個案天氣特徵有一定的代表性。</p> <p>在經濟模式中，本計畫採用區域可計算一般均衡模型文獻中建議的「由上而下」(top-down)方法，假設桃園市之產業屬全國型產業，依據主計總處編製之民國 100 年工商及服務業普查及農林漁牧業普查數據(行政院主計總處，2013)中桃園市個別產業產出(例如：電子零組件製造業)佔全國個別產業產出之份額，將全球經濟模式中台灣的各產業產出前景的模擬結果降階(downscale)以推算桃園市的產業產出前景。</p>	—	—
4. 本計畫分析逐時降雨變化，以一小時 10mm、一小時 6mm 做為分析指標，而非選擇目前主流之一小時 40mm 或更大降雨強度分析，另外對空間降雨重心轉移等，都應再強化論述說明。	<p>謝謝委員意見，針對降水個案的分析，因為已經針對不同個案進行平均，所以最大強度相對單一個案來說是比較低的，比較著重在時空分布的改變。並透過不同強度區間的網格數分布來看降雨的改變，10mm/hr 以上的降水變化已有一致性。</p>	—	—
5. 運用水田組及休耕組實驗，是實際試驗，或是模式試驗？若為模式實驗，如何證明可信度或準確性？	<p>謝謝委員意見，本計畫為模式試驗，除了針對多個案進行平均外，也將能量收支與前人研究相互參照，確保模式表現與實際狀況相似。目前將以模式模擬結果為主，若有機會至現場架設氣象站，應有機會將觀測資料作為模式模擬結果的佐證輔助。觀測的資料跟結</p>	—	—

附錄二 「因應氣候變遷遙連結應用於新興治水策略之研究 (1/2)」
 期末簡報暨期末報告書審查會議及處理情形

審查意見	處理情形	答覆說明納入報告	
		章節/圖/ 表	頁次
	果，是能夠當作我們在做模擬前的參考，例如在實際情形下，水田與休耕地區各氣象參數的差異，能幫助我們在設計模式實驗時，先有一些基礎，才能在實驗設計上能夠有所進步。		
6. 以 RF-CLUEs 模式推估土地變化，與目前國土計畫下的土地利用框架是否有不同，請再說明。	謝謝委員意見。由於國土計畫現行公布之國土功能分區係屬於指導性質之土地使用管制原則，而各分區中仍有各種不同之使用地。本計畫依據全球經濟模式所推估之未來各類型土地利用之需求改變情形，並以土地利用變遷模式所推估之各類型土地利用空間配置結果後，進一步討論所推估之結果是否與國土功能分區圖之分區結果及其土地使用原則相符合。若不符合，再重新檢視限制發展地區劃設，詳細文字修改及說明詳見 p4-13	第四章 第二節	P4-13
7. 統計降雨方式如何說明氣候變遷？請補充。	謝謝委員意見，在降雨統計的分析工作方面，本計畫使用弱綜觀系統作為對流降雨探討的對象，在分析長期的變化趨勢方面，本計畫已經將 ENSO 的長期氣候指數列入分析考量，因此相關圖表呈現，已經考量到氣候變遷的影響。	—	—
8. 遙連結意義為何？氣候變遷切入點為何？新興治水策略與目前治水策略的差異？請補充。	謝謝委員意見，遙連結主要係指不同領域學科之連結，在本計畫中，大氣-土地利用、經濟-土地利用等之分析及模擬，即為遙連結的呈現。而在本計畫中，氣候變遷的切入點主要在於利用 IPCC 於 AR5 報告中彙出之依社會經濟發展所可能	—	—

**附錄二 「因應氣候變遷遙連結應用於新興治水策略之研究 (1/2)」
期末簡報暨期末報告書審查會議及處理情形**

審查意見	處理情形	答覆說明納入報告	
		章節/圖/ 表	頁次
	導致全球溫室氣體減量排放和氣候變遷調適之難易所劃分之社會經濟發展可能路徑(Shared Socioeconomic Pathways, SSPs)，結合不同社會經濟發展路徑，模擬全球與台灣經濟各生產與消費部門2030年時的成長展望，據以估算台灣各產業在全球社會經濟成長情境下所需之土地面積需求，並降尺度至桃園地區，以推算桃園市各產業部門在此全球及台灣經濟成長情境下所需之用地面積。本計畫所指之新興治水策略即為目前推動之逕流分攤出流管制之治水策略。		
9. 本計畫之理論性及學術性高，若未來要發展成政策落實到實質工作，尚需努力時間及釐清細節，建議補充相關說明。	謝謝委員意見，相關細節說明已分別補充說明於各章節內容。	—	—
七、本署綜合企劃組鄭科長欽韓：			
1. 本計畫在界定範圍可能稍大，收斂上有困難，但有達到原先計畫設定之探討目的，建議可參考委員們意見來修正並補充完善。	謝謝委員意見，已參考審查委員意見修改報告內容。	—	—
2. 本計畫探討層面偏重於土地利用相關，可能需要在明年與已公告之縣市國土計畫相互驗證落實，但目前明年縣市國土計畫是否會完成仍是未知數，為避免資源重複投資，建議本計畫於今年達成初步成果後先暫停，待國土計畫完成後再來考量後續工作。	謝謝委員意見。	—	—
八、本署綜合企劃組徐正工程司浩仁：			
1. 本計畫採用之12年間氣象測站雨量資料主要來源為中央氣象局，是否應該再考量其他雨量站來源的氣象資料？	本計畫所使用的氣象資料包括氣象局的局屬測站及自動測站，另外探空資料的部分，也採用氣象局板橋測站以及	—	—

附錄二 「因應氣候變遷遙連結應用於新興治水策略之研究 (1/2)」
 期末簡報暨期末報告書審查會議及處理情形

審查意見	處理情形	答覆說明納入報告	
		章節/圖/ 表	頁次
	桃園機場的觀測值。多數的自動測站設置時間都是在最近一二十年，因此在早期的資料方面，空間的代表性較為缺乏，這是本計畫分析上的限制。期間曾經分析農試所以及林務局在不同地區的農業或森林站資料，然而相關的資料缺漏甚多，且資料品質不佳，因此本計畫最後不採用這些資料，僅使用氣象局的資料最為分析對象。		
2. OECD 的模式似乎比 IIASA 來得客觀，但在情境上是否更適用於經濟發展較成熟的國家，兩者之間需有詳細比較，還需要再討論並加強補充說明。	OECD 模式與 IIASA 模式對於各國經濟成長的觀點有所差異，兩模式的選取可依個別研究之目的及需求而定。我們認為 OECD 模式之情境預測對各國，尤其是開發中國家，的經濟成長前景過分樂觀。由於開發中國家未來發展趨勢及其豐沛勞動力優勢對於台灣未來經濟成長前景影響甚大，因此，我們選擇以 IIASA 模式之全球經濟預測情境來進行桃園市之降解。	—	—
3. 第四章國土保育第一類及農業發展第一類的限制開發，與計畫中的限制情境二輕度開發之條件相符，是否代表目前的法規已完善？	謝謝委員意見。由於國土計畫現行公布之國土功能分區係屬於指導性質之上位土地使用管制原則，而各分區中仍有各種不同之使用地。因此，本計畫係依據全球經濟模式所推估之未來各類型土地利用之需求改變情形，並透過土地利用變遷模式所推估之各類型土地利用空間配置結果後，再進一步討論其結果是否與國土功能分區圖之分區結果及其土地使用原則相符合。若不符合，再重新檢視限	第四章 第二節	p4-13, 4-14

**附錄二 「因應氣候變遷遙連結應用於新興治水策略之研究(1/2)」
期末簡報暨期末報告書審查會議及處理情形**

審查意見	處理情形	答覆說明納入報告	
		章節/圖/ 表	頁次
	制發展地區劃設。而限制情境二便是配合配合全國國土計畫之土地使用指導原則，將桃園機場範圍及國土保育地區第一類及農業發展地區第一類劃定為限制開發地區。詳細文字修改及說明詳見 p4-13, 4-14		
4. 本計畫內容豐富且理論紮實，但在實際執行面上有較多的假設及待驗證之敘述，是否有辦法執行於實際層面，仍須討論。	謝謝委員意見，本計畫成果未來可再與實務單位討論執行方式。	—	—
5. 本計畫團隊在計畫執行期間與業務單位較少聯繫，進程中在掌握進度及工作上有較多困難，亮點及未來可能實用性也較難釐清。本計畫的概念新穎，但在現階段是否會有緩不濟急的狀況，可能還有疑慮，建議補充說明。	謝謝委員意見，相關細節說明已分別補充說明於各章節內容，本計畫成果符合計畫書規劃，未來執行方式可再與實務單位討論。	—	—
玖、會議結論：			
1. 履約情形： 本計畫依契約書第 8 條規定，應於 108 年 11 月 8 日（含）以前送達期末報告書，執行單位業於 108 年 11 月 8 日送達報告書至本署，符合規定。	—	—	—
2. 審查結果： 本計畫期末報告經出席委員審查原則通過，請依據契約規定辦理後續相關行政事宜。	遵照辦理	—	—
3. 其他必要事項： 請研究團隊依本次會議各委員及與會單位所提意見進行回復與修正，並將回復說明對照表納入正式報告中。	遵照辦理	—	—
4. 延續事宜： 本計畫依契約規定完成第 1 年	遵照辦理	—	—

附錄二 「因應氣候變遷遙連結應用於新興治水策略之研究 (1/2)」
 期末簡報暨期末報告書審查會議及處理情形

審查意見	處理情形	答覆說明納入報告	
		章節/圖/ 表	頁次
度(108 年度)工作及結案作業後，第 2 年度(109 年度)計畫予以中止。			

國家圖書館出版品預行編目資料 CIP

因應氣候變遷遙連結應用於新興治水策略之研究. (1/2) / 國立台灣大學編著. -- 初版. -- 臺北市：經濟部水利署, 2019.12
面；公分
ISBN 978-986-5442-97-2(平裝)

1.水利工程

443

108021547

因應氣候變遷遙連結應用於新興治水策略之研究(1/2)

出版機關：經濟部水利署

地址：台北市大安區信義路三段 41-3 號 9-12 樓

電話：(02) 37073000

傳真：(02) 37073124

網址：<http://www.wra.gov.tw>

編著者：國立台灣大學

出版年月：2019 年 12 月

版次：初版

定價：新台幣 400 元

展售門市：五南文化廣場

台中市中山路 6 號 (04) 22260330

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

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

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

GPN：1010802487

ISBN：9789865442972

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

聯絡資訊：經濟部水利署

電話 (02) 37073000



廉潔、效能、便民



經濟部水利署

台北辦公區(出版)

地址：台北市信義路三段 41 之 3 號 9~12 樓

總機：(02)37073000

傳真：(02)37073166

免費、服務專線：0800212239

台中辦公區

地址：台中市黎明路二段 501 號

總機：(04)22501250

傳真：(04)22501628

免費、服務專線：0800-001250



9 789865 442972

GPN：1010802487

定價：新台幣 400 元