

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

主管單位：經濟部水利署

林裕彬¹

羅敏輝²

莊振義³

李慧琳⁴

Lin, Yu-Pin¹

Lo, Min-Hui²

Juang, Jehn-Yih³

Lee, Huey-Lin⁴

¹ 國立臺灣大學生物環境系統工程學系

² 國立臺灣大學大氣科學系

³ 國立臺灣大學地理環境資源學系

⁴ 國立政治大學經濟學系

摘要

隨著全球化發展，社會、經濟與自然環境間具有交互影響之關係，而全球暖化下的氣候變遷情勢，跨域水資源管理、環境污染等議題也從而顯現。

本計畫目的為利用遙連結之分析方法，結合氣候模式、全球經濟模式及土地利用變遷模式，模擬不同情境下之土地利用空間分布及降雨特性，探討淹水的可能情況，再透過分散式治水架構建立風險管理的概念，評估氣候變遷所造成的影響，以因應國土規劃之新興治水策略。

桃園地區為示範區域，首先利用局部氣候數值模式，分析未來氣候變遷與不同土地利用情境下，區域發展對於降水程度之影響，結果顯示休耕降水及當地水文氣候所造成的效應，比單純只有土地使用的改變還要大。此外，桃園地區都市建成環境面積在 1991 年至 2006 年間成長 30%，因而使得植被及水體面積減少，而在 2006 年至 2016 年間，三種土地利用的變化幅度相對而言已趨於穩定，對於未來土地利用模擬，設定三種限制發展情境進行討論，其中限制情境二將桃園機場範圍、國土保育地區第一類，以及農業發展地區第一類劃定為限制開發地區，結果顯示限制情境二使國土保育地區及農業發展地區之建地不至於增加太多，且讓農業發展地區之農地變化幅度減少，同時亦能讓國土保育地區之林地有增加的空間。最後，當考量上游及下游皆分擔部分洪水時，管制區的劃設以先分析淹水熱點較直接以逐時淹水來得集中，說明先進行熱點分析之重要性。

關鍵詞：水利工程、氣候變遷、遙連結、治水策略

Abstract

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.

The project aims to combine the telecoupling approach with climate model, global economic model and land-use change model to simulate different scenarios of spatial distribution and rainfall characteristics, which turns to discuss the possibility of flooding. Further, the concept of risk management is established through a decentralized adjustment framework to evaluate the impact of climate change, and responds in emerging water management strategies of national spatial planning.

The research area is Taoyuan City. At first, using Weather Research Forecast (WRF) is to analyze the impact of regional development on precipitation patterns under climate changes and different land use scenarios in the future. The results show that land retirement has a greater impact on precipitation and local hydrological climate than only land-use changes. Moreover, in Taoyuan City, the urban built environment area had grown by 30% from 1991 to 2006, thus causing the reduction of the vegetation and water area, while between 2006 and 2016, three types of land use had changed stably. As for future land use simulation, it divided into three restricted scenario, and among them, Restricted Scenario 2, which designated Taoyuan International Airport, the first category of land conservation areas and the first category of agricultural development areas as restricted areas, made the construction of the land conservation areas and agricultural development areas not increase too quickly, and also allowed for an increase in the area of forest land in the land conservation area. At last, when both upstream and downstream shared part of the run-off, the control areas designated for flooding hotspots are relatively more concentrated than those for directly time-by-time flooding areas, indicating the importance of conducting hotspots analysis.

Keywords : Hydraulic engineering, climate change, telecoupling, water management strategy

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。臺灣經濟型態深受全球化效應影響，且民眾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，透過土地利用變遷模式，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，本計畫之工作項目概念圖及計畫流程圖如圖1及圖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。

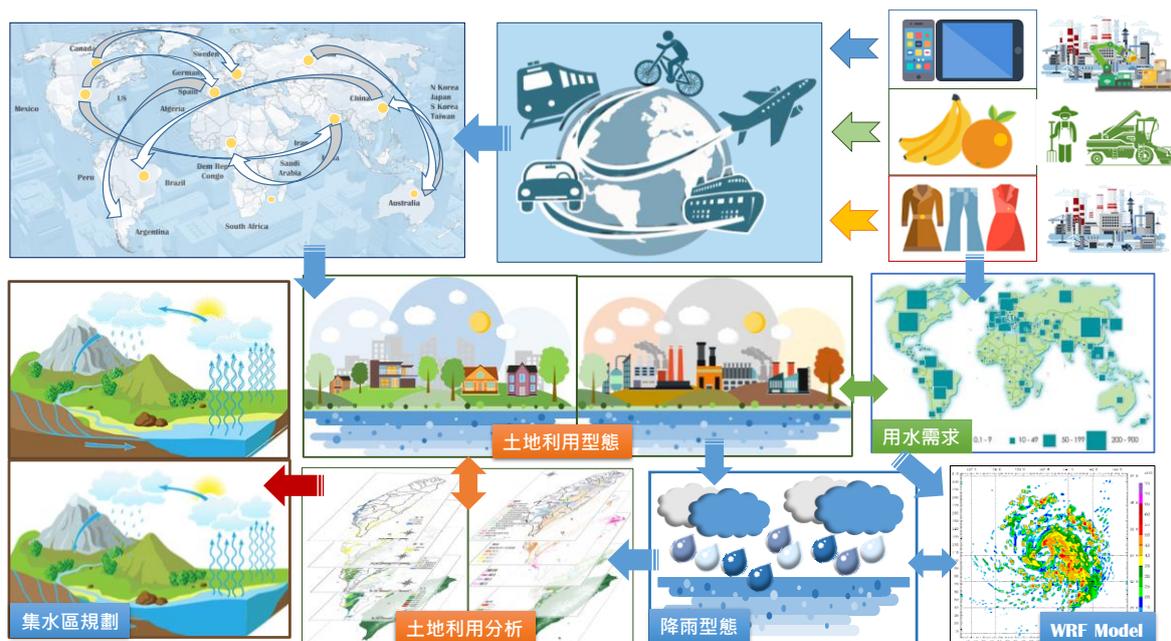


圖1、各工作項目概念圖

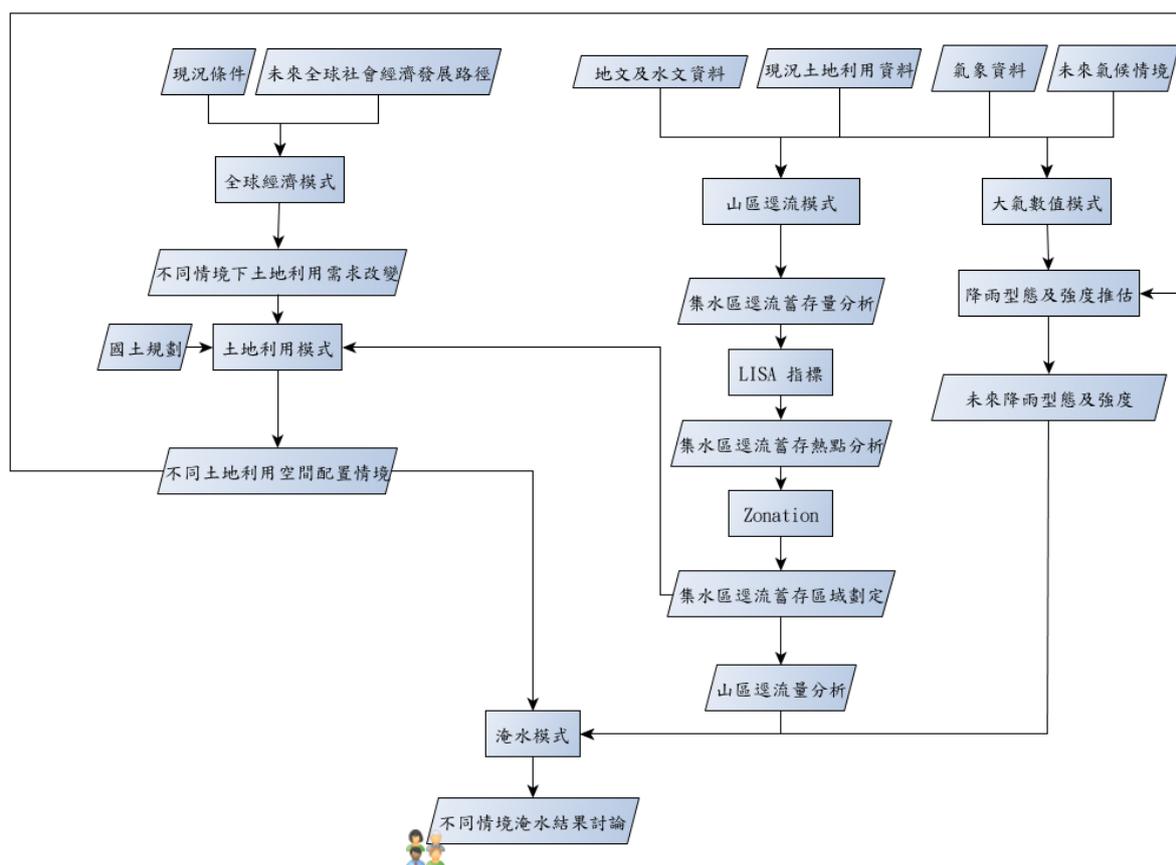


圖2、計畫流程圖

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

2.1 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狀態。計畫中首先以設計實驗討論將水田區域轉為休耕區域後，對區域降雨之影響，結果顯示平均降雨量在休耕時有增加的趨勢，且小雨到強降雨的頻率也有增加(圖3)。接著，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，考量不同土地利用對溫度及降雨影響。分析結果顯示在晴朗條件個案下，2015年及2007年相對於1995年，由於桃園地區都市增加且水田的比例減少，都市化的結果改變這些區域能量收支比例，白天潛熱釋放減少，夜晚增溫更為明顯；有雨條件個案下，能量收支及溫度場及水氣場的改變與晴朗個案分布相似，但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(圖4及圖5)。研究成果說明地表的變遷對於大氣降水有潛在影響，然由於大氣的不確定性，因此，地表變遷對於降水影響程度仍需更多資料與模式結果驗證。

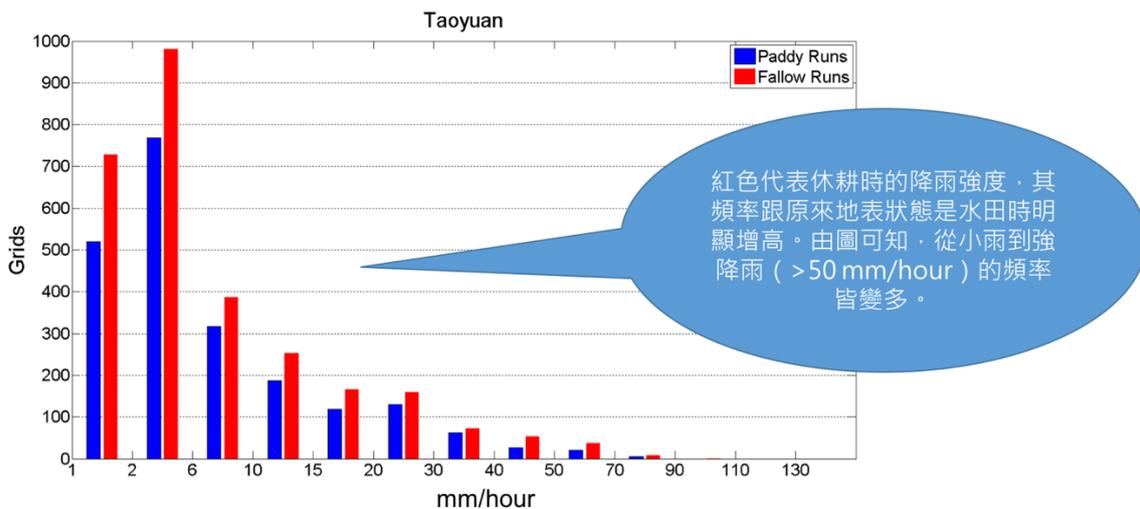


圖3、降雨強度在桃園休耕時的變化

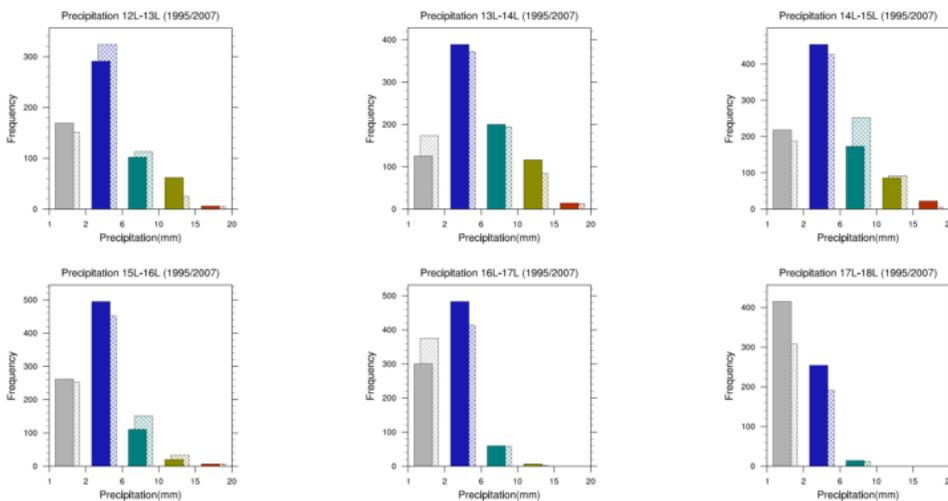


圖4、有兩個案下，利用1995年(實心)及2007年(斜線)桃園區土地利用資料模擬下午12L-18L逐時雨量強度分佈

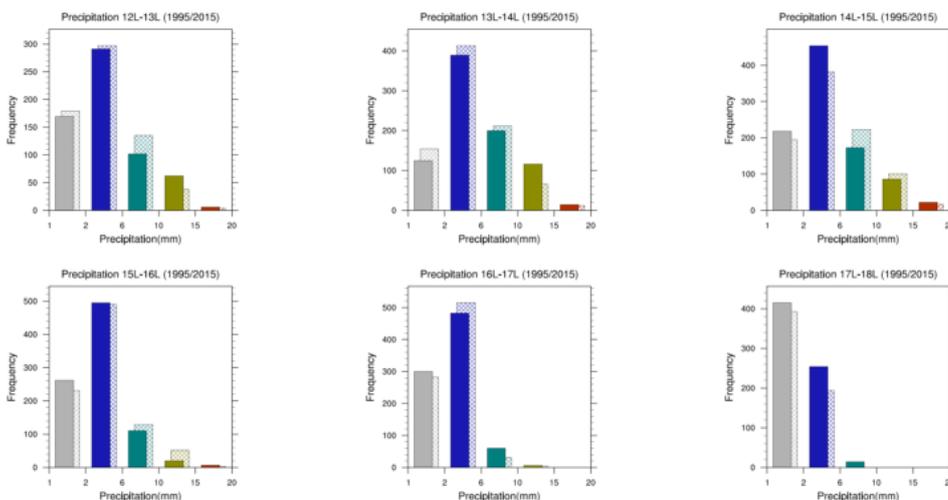
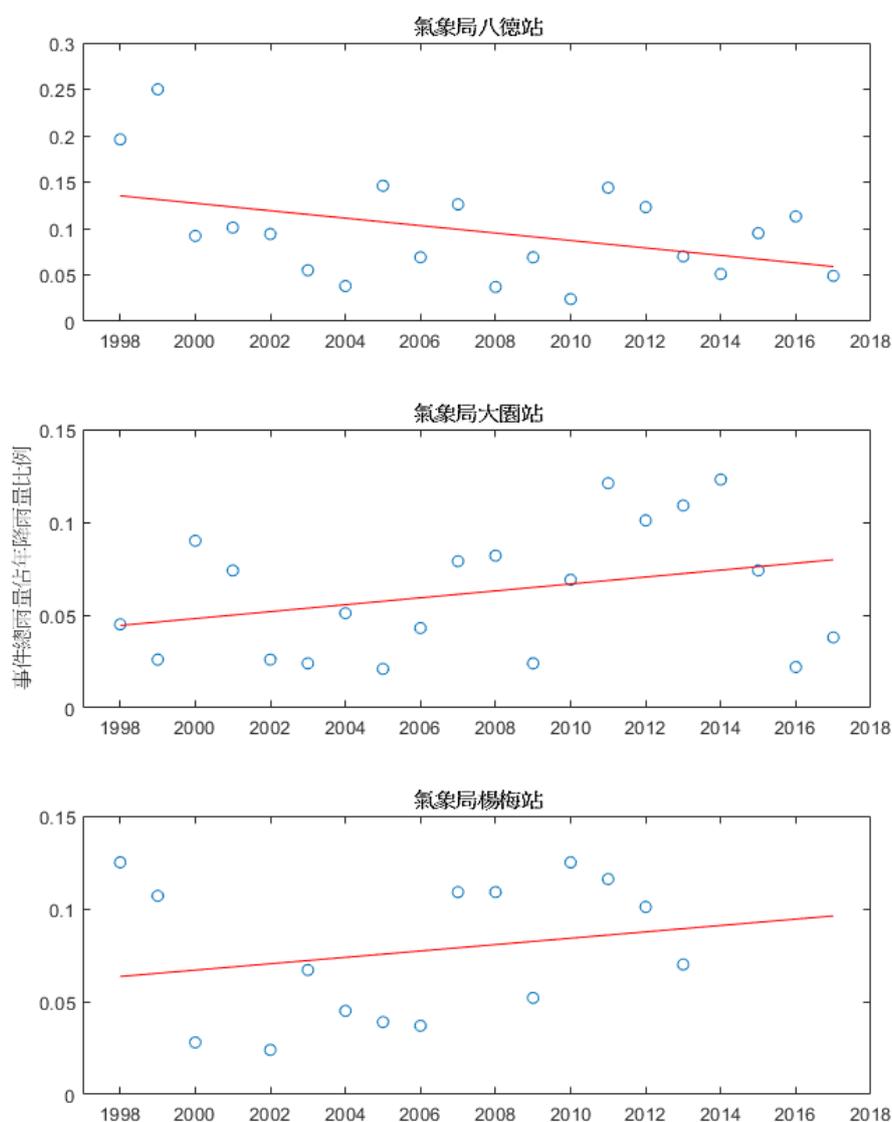


圖5、有兩個案下，利用1995年(實心)及2015年(斜線)桃園區土地利用資料模擬下午12L-18L逐時雨量強度分佈

2.2 區域土地利用變遷與對流降雨強度關係之時間空間分析

本計畫主要以夏季月份弱綜觀事件的案例，針對桃園都會區進行長時間的空間統計分析，討論區域土地利用變遷與對流降雨強度關係。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年到2016年間，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，但近年來這部分空間差異的特徵則較不明顯。

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，選擇八德、大園以及楊梅測站進行長期趨勢分析，結果顯示長時間土地利用地改變，使夏季弱綜觀強降雨事件熱點由內陸東側地區往沿海西側地區移動，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(圖6)。因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。



備註：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

圖6、氣象站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

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

3.1 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(圖7)：(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8與圖9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，如表1所示。

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

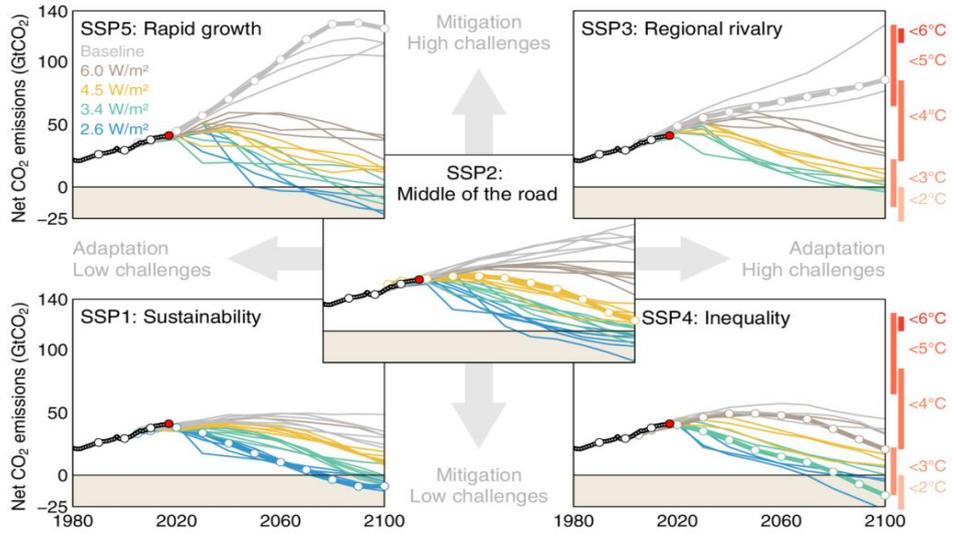


圖7、全球社會經濟發展路徑下的碳排放量及世紀末暖化程度
(彙整自 Le Quéré et al. (2018), Riahi et al. (2017) 及 Rogelj et al. (2017))

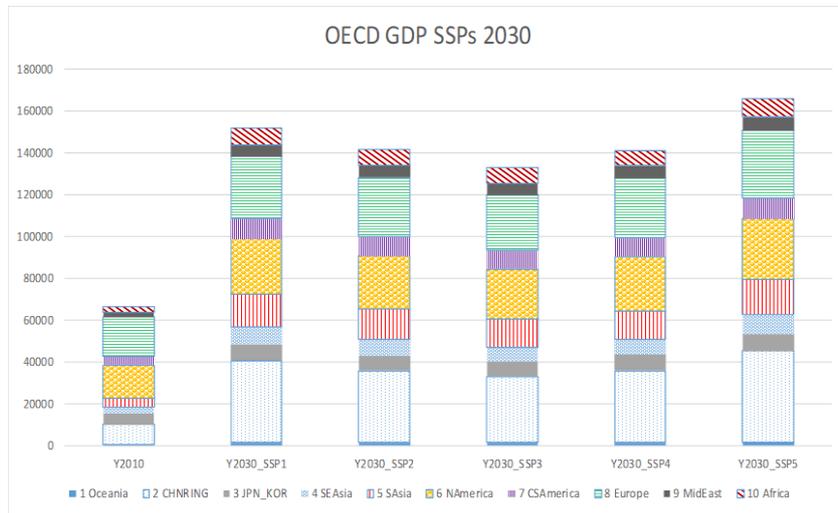


圖8、OECD Env-Growth模式所預測2030年各國/區域經濟體在5個SSP情境下GDP前景
(單位：十億美元，以2005年購買力平價(PPP)係數計價)

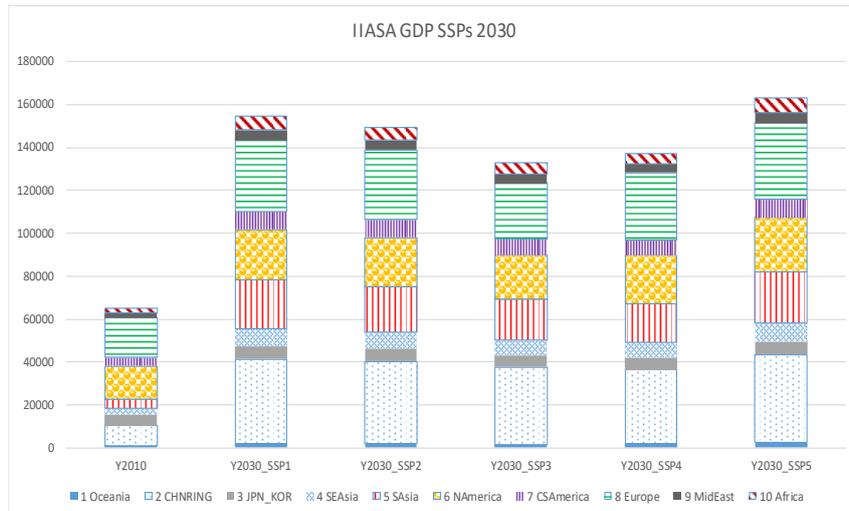


圖9、IIASA模式所預測2030年各國/區域經濟體在5個SSP情境下GDP前景
(單位：十億美元，以2005年購買力平價(PPP)係數計價)

3.2 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，而建地及荒地增加，而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。此外，再利用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，其中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(圖10)。故後續工作中，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。

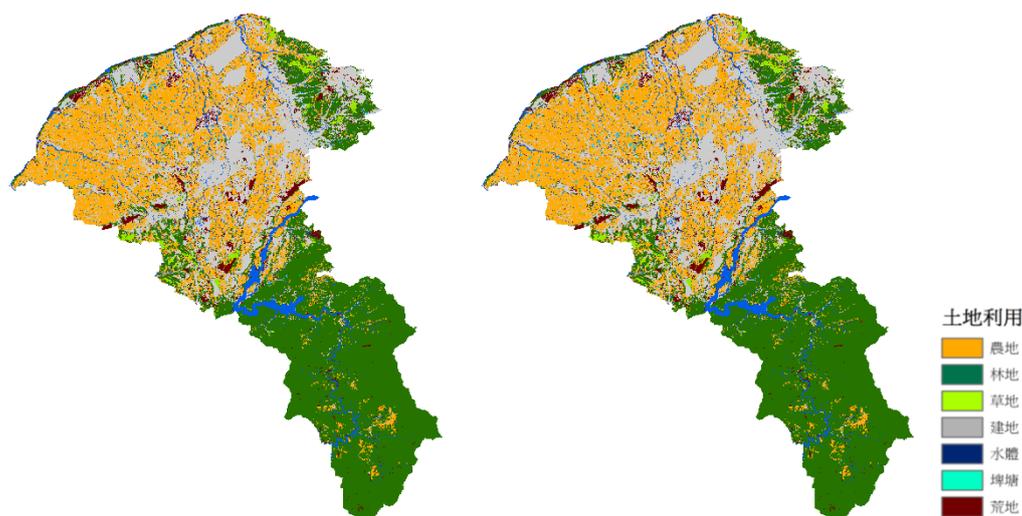


圖10、RF-CLUE-s於SSP3(左)及SSP5(右)情境下推估之未來土地利用空間分布

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

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，詳細流程如圖11所示。計畫中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(限制情境二與限制情境三)，再重新進行土地利用空間配置模擬。

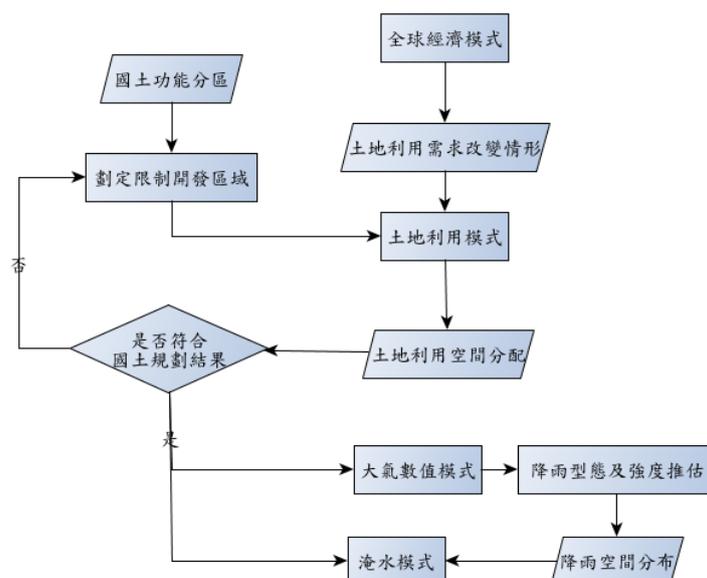


圖11、結合國土規劃與全球經濟模式分析未來土地利用空間分布流程圖

限制情境一下，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。

三種情境之結果如表2所示。整體來說，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。但限制情境三會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，也讓農業發展地區之農地變化幅度減少，及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。

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

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。在上游的部分，利用 Wigmosta 及 Lettenmaier 加入土壤模組於 Wigmostaz 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，分析不同的事件造成的山區逕流量，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，則透過二維淹水模式(Chen et al., 2011; Huang et al., 2014) 模擬歷史事件之淹水情形，分析可能的淹水熱點，並劃定可能的淹水管制區域。

5.1 山區逕流分析

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(圖12)、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(圖13顯示限制情境一之結果)。DHSVM模式模擬出各事件山區集水區出流量歷線，則做為淹水模式模擬時之上游山區流邊界條件。

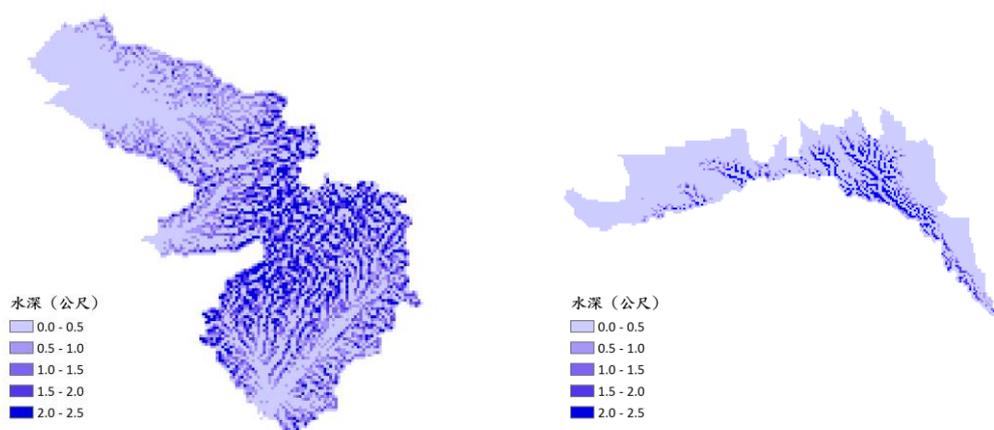


圖12、2012蘇拉颱風事件山區第一區(左)第二區(右)各網格地表最大水深

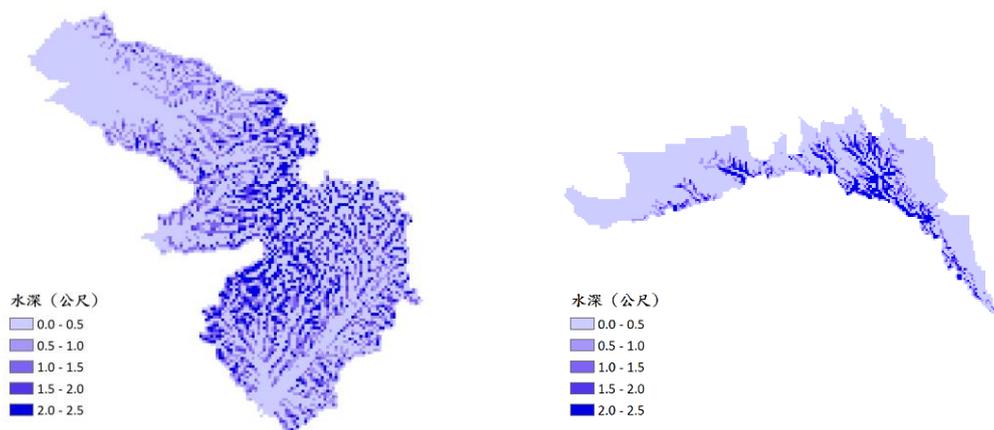


圖13、50年重現期限制情境一降雨事件山區第一區(左)第二區(右)各網格地表最大水深

5.2 淹水事件分析

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，圖14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。

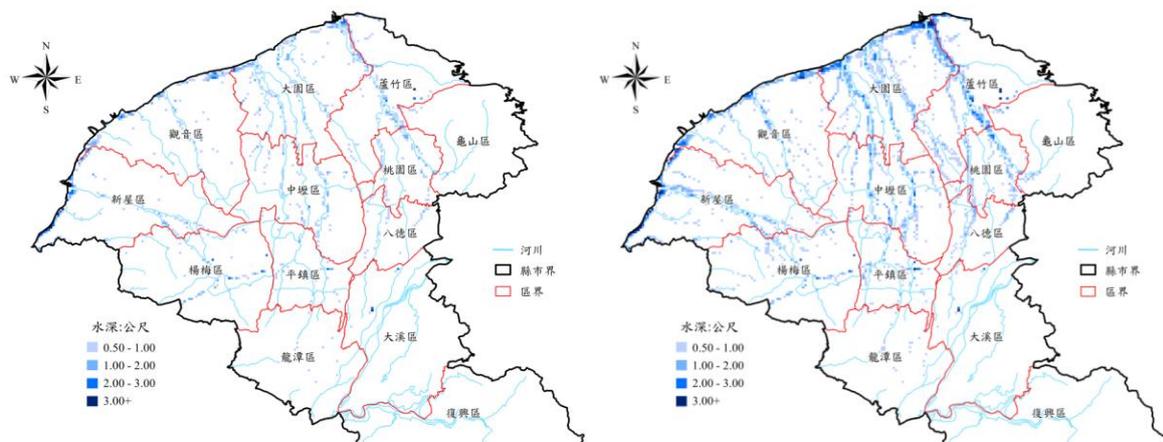


圖14、桃園市2012蘇拉颱風模擬(左)、50年重現期限制情境一(右)最大淹水深圖

5.3 熱點分析

本計畫以Anselin(1995)提出之區域空間相關量測指標(Local Indicators of Spatial Association, LISA)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。分析結果顯示，在上游山區第一區及第二區的熱點皆主要集中於兩集水區中間三個小集水區(圖15)；而在下游地區淹水熱點分析結果則顯示(圖16)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。

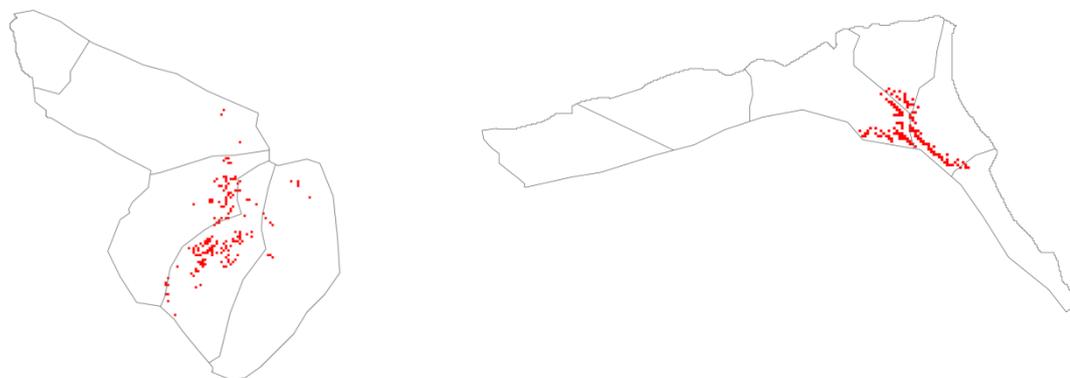


圖15、2012 蘇拉颱風事件山區第一區(左)第二區(右)熱點分析結果

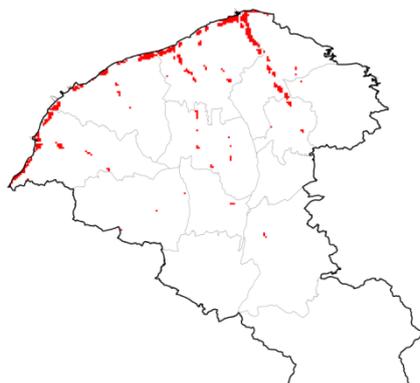


圖16、2012 蘇拉颱風事件下游地區淹水熱點分析結果

5.4 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，以7組不同情境之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。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(圖17及圖18)。

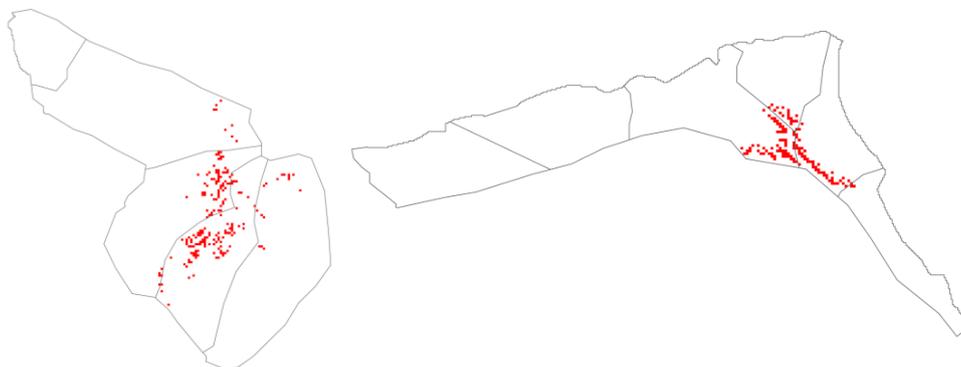


圖17、上游山區管制區第一區(左)、第二區(右)劃設結果

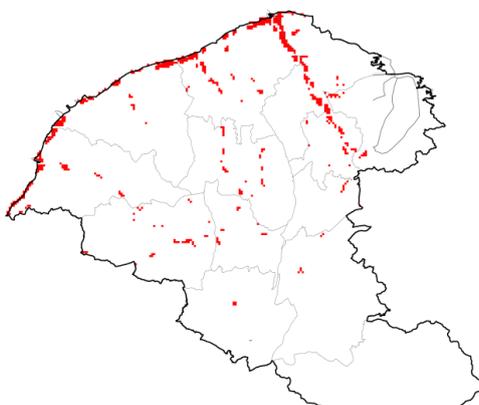


圖18、下游地區管制區劃設結果

六、結論與建議

6.1 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。

6.2 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。

參考文獻

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 潘宗毅, 陳思璋, 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. Anselin, L. (1995). Local Indicators of Spatial Association - Lisa. *Geographical Analysis*, 27(2), 93-115.
10. 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.
11. 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
12. 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.
13. 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
14. Goodchild, M. F. (1986). *Spatial autocorrelation* (Vol. 47): Geo Books.

15. 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)
16. 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
17. Koomen, Eric, Stillwell, John, Bakema, Aldrik, & Scholten, Henk J. (Eds.). (2007). *Modelling Land-Use Change: Progress and Applications*: Springer Netherlands.
18. 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.
19. 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.
20. 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
21. 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.
22. 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
23. 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.
24. 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.
25. 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.
26. 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.
27. 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