

NCDR 108-T09

氣候變遷情境下淹水衝擊評估：
以臺中與臺南地區為例

Inundation Impact Assessment under Climate Change:
The Case Study of Taichung and Tainan



國家災害防救科技中心

National Science and Technology Center
for Disaster Reduction

國家災害防救科技中心

中華民國 109 年 01 月

NCDR 108-T09

氣候變遷情境下淹水衝擊評估：
以臺中與臺南地區為例

Inundation Impact Assessment under Climate Change:
The Case Study of Taichung and Tainan

蕭逸華、李欣輯、陳倫存、趙益群
許至璫、姜欣妤、鄭兆尊、葉克家



國家災害防救科技中心
中華民國 109 年 01 月

摘要

在氣候變遷影響下，極端降雨事件可能發生得更加頻繁，下游都會區發生淹水災害的機率可能因此大幅提升。為瞭解未來氣候變遷對臺灣可能造成的淹水衝擊，本研究依據科技部之「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台」計畫(簡稱 TCCIP 計畫)產製的氣候變遷高排放情境推估資料與水利署建議採用的淹水衝擊模組，評估相關的影響。

本研究初步以臺中地區(三個集水區)與臺南地區(六個集水區)為研究區域。使用氣候變遷情境下 RCP 8.5 動力降尺度颱風事件資料，20 世紀末期 166 場及 21 世紀末期 169 場進行淹水境況模擬，並應用科技部 TCCIP 計畫建置的「氣候變遷衝擊與調適模擬服務」災害衝擊評估工具，進行單場、多場事件及鄉鎮淹水機率等不同形式之衝擊評估。成果顯示，在臺中地區 21 世紀末最大淹水範圍較 20 世紀末增加約 1.8 倍；臺南地區則增加約 2.4 倍；兩個研究區域淹水災情皆集中於 0.5m~1m 淹水深度範圍內。在模擬成果所計算之淹水發生機率上，臺中最嚴重地區為梧棲區；臺南為北門區與學甲區。藉此成果得知研究區域內淹水境況與嚴重區域，亦可提供氣候變遷影響對未來進行相關調適策略評估依據。

關鍵字：氣候變遷、淹水衝擊、臺中、臺南

ABSTRACT

Extreme rainfall events may occur more frequency, and the possibility of inundation in urban areas will increase significantly in climate changing. This study used a high emission scenario climate change data (RCP 8.5) from TCCIP, and SOBEK model, an inundation assessment tool recommended from WRA, to discuss the possible inundation impacts in Taiwan.

The inundation assessment focused on Taichung and Tainan areas. One hundred sixty-six typhoon events and 169 typhoon events in the end of 20th century and the end of 21st century, respectively, were simulated to assess the inundation impacts under climate change. Then, the impact assessment tool of "Climate Change Hydrological and Sloping land modules System" built by TCCIP is used to conduct different types of impact assessments such as single event, multiple events and flooding probability in towns and villages. The results showed the inundation areas at the end of 21st century increased by 1.8, and 2.4 times compared with the end of 20th century in Taichung and Tainan, respectively. The major inundation situations were concentrated in the depth range of 0.5 to 1 meter in whole study areas. The worst flooding probability sites are Wuxi District in Taichung, and Beimen, Xuejia District in Tainan. These impact assessment results also could provide a reference resources for adaptation strategies in climate change.

Keywords: Climate Change, Inundation Impact, Taichung, Tainan

致謝

感謝科技部(計劃編號：MOST 108-2621-M-865-001)提供經費、設備等相關資源，使本研究得已順利完成相關研究成果。此外經濟部水利署規劃試驗所提供相關淹水模組，國家網路與計算中心在淹水模式上之支援，國立交通大學土木工程學系淹水模擬分析之協助，在此一併感謝。



目錄

摘要.....	III
ABSTRACT	IV
致謝.....	V
圖目錄.....	VII
第一章 前言	1
第二章 文獻回顧	2
第三章 氣候變遷資料說明.....	6
第四章 衝擊評估工具.....	8
4.1 SOBEK 模式介紹.....	8
4.2 淹水模組調校.....	10
4.3 資料參數選定.....	20
4.4 災害衝擊評估工具.....	23
第五章 衝擊評估工具應用成果.....	28
5.1 臺中地區	28
5.2 臺南地區	37
第六章 結論與建議	47
參考資料.....	49

圖目錄

圖 1 WRF_MRI 資料系集分群	7
圖 2 大斷面高程與 DEM 地形高程比對修正依據	13
圖 3 一維河道幾何與二維 DEM 等高線	14
圖 4 斷面測量資料延伸至堤內的問題	15
圖 5 兩斷面樁之間不代表行水區範圍的問題	16
圖 6 行水區範圍不明確的問題	17
圖 7 下水道高程設定不連續的問題	19
圖 8 SOBEK 模擬過程中產生的質量誤差	20
圖 9 集水區位置分布圖	21
圖 10 研究區域流域下游邊界使用潮位點	22
圖 11 單一事件計算評估介面	25
圖 12 多事件計算評估介面	26
圖 13 鄉鎮淹水機率計算評估介面	27
圖 14 臺中地區最大 24 小時累積雨量排序前 50 場延時	30
圖 15 臺中地區 20 世紀末最大 24 小時累積雨量排序 TOP1_累積雨量分佈圖	31
圖 16 臺中地區 21 世紀末最大 24 小時累積雨量排序 TOP1_累積雨量分佈圖	31
圖 17 臺中地區 20 世紀末最大 24 小時累積雨量排序 TOP1_最大淹水深度圖	32
圖 18 臺中地區 21 世紀末最大 24 小時累積雨量排序 TOP1_最大淹水深度圖	32
圖 19 臺中地區 20 世紀末最大 24 小時累積雨量排序 TOP1_淹水面積與深度比較圖	33

圖 20 臺中地區 21 世紀末最大 24 小時累積雨量排序 TOP1_淹水面積 與深度比較圖.....	33
圖 21 臺中地區多事件淹水衝擊評估成果圖	35
圖 22 臺中地區鄉鎮淹水機率圖	36
圖 23 臺南地區最大 24 小時累積雨量排序前 50 場延時	40
圖 24 臺南地區 20 世紀末最大 24 小時累積雨量排序 TOP1_累積雨量 分佈圖.....	41
圖 25 臺南地區 21 世紀末最大 24 小時累積雨量排序 TOP1_累積雨量 分佈圖.....	41
圖 26 臺南地區 20 世紀末最大 24 小時累積雨量排序 TOP1_最大淹水 深度圖.....	42
圖 27 臺南地區 21 世紀末最大 24 小時累積雨量排序 TOP1_最大淹水 深度圖.....	42
圖 28 臺南地區 20 世紀末最大 24 小時累積雨量排序 TOP1_淹水面積 與深度比較圖.....	43
圖 29 臺南地區 21 世紀末最大 24 小時累積雨量排序 TOP1_淹水面積 與深度比較圖.....	43
圖 30 臺南地區多事件淹水衝擊評估成果圖	45
圖 31 臺南地區鄉鎮淹水機率圖	46

第一章 前言

為了以較有系統的方式進行評估災害風險可能涵蓋之內容，以及發展相關之量化工具和方法，藉此了解極端氣候所帶來的衝擊與影響。針對颱風可能帶來的災害類型，淹水災害是具有代表性且主要之災害型態，發生於都市地區，在過去的颱風案例之中是最主要造成災害的要素。因此，在氣候變遷情境下可能導致的衝擊，無論是否位於高潛勢地區，都是在減災和整備上非常重要一環。透過現有評估技術，以及可取得的相關資料，可初步釐清氣候因子改變對於淹水災害衝擊的影響程度，作為進一步規劃減災或調適的參考。

因此在本研究期許能以現有技術或工具，建立氣候變遷情境下災害衝擊的評估，且透過評估成果的判讀，連結其與實際之應用。本研究使用 IPCC 於 2014 年 12 月公布之 AR5 氣候資料，並搭配經濟部水利署所使用之 SOBEK 模式進行氣候變遷之高排放情境下淹水衝擊之探討。研究區域以臺中地區之大甲河流域、烏河流域及臺中港沿海等三個集水區；臺南地區之八掌溪、急水溪、將軍溪、曾文溪、鹽水溪、二仁溪等六個集水區進行模擬與分析，以此做為後續風險評估的重要參考依據。

第二章 文獻回顧

在淹水模擬相關研究上，國內外皆有豐富的文獻。如 Liu et al. (2004)應用漫地流之二維運動波模型，進行坡面受人工降雨產生逕流之模擬，成果顯示漫地流通常係由集中流動以產生其流路。Dutta et al. (2007)建置一維河道及二維地表逕流模式，並進行淹水境況模擬，考慮之地文條件包含河堤、橋梁及涵洞等結構物，以及結合了地理資訊系統平台(GIS)應用於湄公河流域，進行洪水在空間上之影響與持續時間之推算，最後將此模擬成果與 LANDSAT 影像進行比較。Suman and Akther (2014)應用 SOBEK 淹水模式於印度尼西亞的吉利翁河流域進行一維河道模擬，比較河川與地下水管道在不同時間下之流量變化，並分析在不同管徑下，地下水管道的流量變化。Matthew et al. (2015)應用 SWMM 一維雨水排水系統，結合 Brezo 二維漫地流模式，測試在不同雨水控制措施(SCMs)下，對墨爾本東部城市所帶來之淹水災害。許銘熙等人(2008)利用 SOBEK 模式中的一維渠流模組模擬河川及雨水下水道流況，並連接二維漫地流模組，研究以設計不同的下水道情況，分別評估雨水下水道對淹水面積及淹水體積之改善效能。賴俊名(2015)應用多重尺度網格配置結合建物效應運用 SOBEK 模式模擬高解析度之街道淹水情形且找出最佳的搭配組合，以達到較佳之演算效率及精度。鍾亭羽(2017)應用 SOBEK 淹水模式，結合多

重尺度網格的配置，在局部細化區域考慮建物與街道流效應，使淹水情形更貼近真實情況，並納入低衝擊開發設施，比較現況與低衝擊開發設施均勻分布於模擬區及分布於高程較低處等三種方案，探討典寶溪下游市區淹水面積變化情形。經濟部水利署水利規劃試驗所(2018)委任國立交通大學相關團隊進行水利數值地形資料應用於細緻化淹水模擬之研究，將 2017 年水規所與內政部地政司合作產製適合建置水理數值模型之水利數值高程(Hydraulic Digital Elevation Model, 簡稱 HyDEM)，推廣細緻化淹水模擬，此計畫重點將相關數值地形資料進行規格定義，並以 SOBEK 模式及 3Di 模式進行高解析度淹水模擬分析，以探討量化之水利數值地形資料對模擬成果之助益等研究。郭文達等(2019)針對不同水動力淹水模式應用於佳冬枋寮地區，使用 SOBEK 模式、集水區水文 WASH2D 模式及二維零慣性漫地流模式進行 2017 年尼莎颱風事件下之動力淹水模式之淹水模擬境況比較，藉此彙整三種模式之表現能力，作為後續進行水災預警系集分析之基礎。

在氣候變遷日趨被重視的情況下，國內外學者亦針對氣候變遷情境進行淹水災況模擬等相關研究。Van et al. (2012)以一維水文模式分成不同情境下，探討氣候變遷下湄公河之河道洪水傳播境況。經濟部水利署水利規劃試驗所(2007)曾針對臺南地區曾文溪排水系統

整治及環境營造規劃，係針對台南科技工業區及台南縣市交會處之淹水問題，就該集水區之排水特性及排水不良原因，探討因應對策。如排水路設計保護標準採用重現期距 10 年之洪峰流量設計；新建排水路採用生態工程、幹線與支分線堤頂標高已記畫水位加出水高 50 公分，預留下陷量約 30 公分設計；渠道寬度考慮排水路公地既有寬度及設計流量而定，斷面不足部分以現有河道中心向兩邊等量拓寬等改善方案，提供工程實施之依據，以有效改善此區域之排水災害。經濟部水利署第六河川局(2010)實施「易淹水地區水患治理計畫」，因永康排水系統先天性排水條件差、部分規劃雨水下水道未完成、河道通水斷面不足及排水出口受鹽水溪洪水頂托等淹水原因，故進行此規劃，提出改善方案分析並擇定。經濟部水利署(2010)針對氣候變遷對中部地區水旱災災害防救衝擊評估及調適策略擬定，為建立臺灣中部地區氣候變遷衝擊分析模式(包含水源供需與水患分析模式)，進而結合氣候變遷情境進行水源供需與水患之衝擊分析、以及脆弱度與風險評估。經濟部水利署水利規劃試驗所(2012)因應氣候變遷區域進行淹水模擬與災害管理規劃技術研究。經濟部水利署於 2014 年執行「氣候第 3 階段管理計畫」，並規劃 5 年(2014 至 2018 年)「氣候變遷對水環境之衝擊與調適研究第 3 階段管理計畫」科技研究發展專案計畫，並於此整體計劃規劃其一，由中興工程顧問執行針對大甲河流域因應氣

候變遷防洪及土砂處理對策進行示範研究，藉此整合水文變化、衝擊評估、脆弱度及風險評估等工作(經濟部水利署水利規劃試驗所，2015)。經濟部水利署水利規劃試驗所(2015)進行曾文溪流域因應氣候變遷總合調適研究，主要進行國內外相關氣候變遷資料蒐集及探討、水文氣象及災害資料蒐集與分析、區域影響範圍界定與課題評析、整合評析架構、情境設定與降雨變化影響評析、氣候變遷下整合衝擊評估、風險地圖建立等約 16 項工作內容，持續進行 3 年之計畫，整體考量氣候變遷對曾文溪流域及其影響區域範圍內之總合影響。Wei et al. (2016)應用 SOBEK 模式模擬氣候變遷下曾文溪流域洪水境況。國家災害防救科技中心(2013、2017)進行極端降雨事件淹水模擬分析與損失評估以及暖化情境下大甲溪流域極端颱風災害風險評估與減災調適等相關研究。

第三章 氣候變遷資料說明

本研究所使用氣候模式之推估資料，應用日本氣象廳氣象研究所發展的高解析度大氣環流模式(MRI-AGCM 3.2S)推估值(Mizuta et al. 2012)，並使用 CMIP5 中暖化情境為 RCP 8.5 (Mizuta et al. 2014)作為條件，其水平空間解析度為 20km。但此空間解析度仍無法有效解析臺灣因為地形效應所造成的強降雨，因此使用美國大氣研究中心發展的區域數值預報模式(Weather Research and Forecast, WRF)對 MRI-AGCM3.2S 推估資料進行動力降尺度，此水平空間解析度設定為 5km。經過動力降尺度的資料在本文中以 WRF-MRI-5km 稱之。雖透過動力降尺度能得到較佳的降雨模擬，但與觀測資料相比 WRF-MRI-5km 的颱風降雨強度仍有低估之情形，故須進行所有網格之偏差校正(Bias correction，簡稱 BC)。偏差校正方法眾多，本研究使用 Su et al.(2016)應用之偏差校正方法，為相同經驗累積分布函數(Empirical Cumulative Distribution Function, ECDF)，依據此方法再多考慮颱風中心位置，進一步對 WRF-MRI-5km 資料進行偏差校正，藉以獲得所需之氣候變遷推估資料。

在所應用之颱風事件資料分為 20 世紀末期(1979 年至 2003 年間)166 場次及 21 世紀末期(2075 年至 2099 年間)169 場次之兩期間。20 世紀末期之颱風事件海溫資料為觀測資料，故無情境分類，其包含

日本文部科學省氣候變遷整合研究計畫(現今計畫名稱為 TOUGOU) 中前期計畫所產製之資料，包含 KAKUSHIN 計畫(82 場)及 SOUSEI 計畫(84 場)所產製之兩筆資料；21 世紀末期之颱風事件海溫資料衍伸出四種不同海溫分群(Sea Surface Temperature Grouping)，分別為使用多模式所產製的海溫系集平均之情境(c0：45 場)，以及加入使用群聚分析分成三種類型之海溫變化，再各自做系集平均之另外三種情境(c1：23 場、c2：55 場、c3：46 場)，總共四種海溫分群，如圖 1 所示。藉此分群，亦可比較在不同海溫情境之颱風場次的相關累積雨量排序大小及淹水模擬境況。

為挑選適合的氣候變遷條件下颱風事件資料進行比較與分析，本研究針對各場次依照最大 3hr、6hr、12hr、24hr、48hr 和 72hr 累積雨量進行排序，並依據此排名進行後續淹水衝擊模擬成果之評估比較。

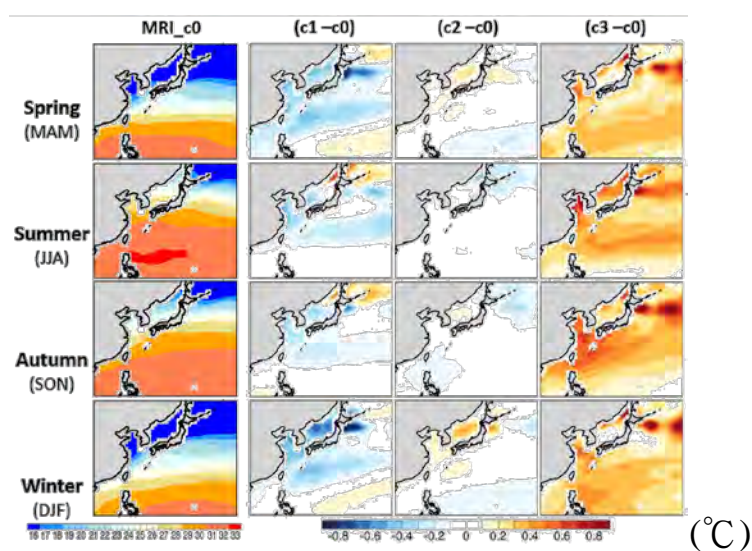


圖 1 WRF_MRI 資料系集分群

第四章 衝擊評估工具

4.1 SOBEK 模式介紹

本研究應用為荷蘭 WL | Delft Hydraulics 公司研發的 SOBEK 模式進行氣候變遷情境下淹水境況模擬，SOBEK 模式為一套整合河川、區域排水及雨水下水道系統等之套裝模擬程式。其中分為 Rural、Urban、River 三套模式，其內包含降雨逕流、明渠流、下水道、輸砂、水質、鹽分入侵、漫地流與即時控制等模組。SOBEK 淹水模式應用上包含河川、都市下水道系統及淹水模擬等計算，模擬結果可提供防洪及水利管理者進行相關管理、決策及分析等參考(SOBEK, 2015)。

本研究之試區使用之 SOBEK 模式為經濟部水利署提供之模組進行模擬，臺中地區以大甲溪、烏溪及臺中港沿海等三個流域組成；臺南地區包含八掌溪、急水溪、將軍溪沿海河系、曾文溪、鹽水溪、二仁溪等共六個流域組成。在模式中運用降雨逕流(rainfall-runoff)、渠流(channel-flow)及漫地流(overland-flow)等模組，且研究區域之模組包含人孔、雨水下水道、區域排水路等區域排水系統相關模型。

SOBEK 模式包含一維河川水理模式及二維淹水模式，有關 SOBEK 模式的理論基礎，概述如下：

1. 一維河川水理模式

質量方程式：

$$\frac{\partial A_f}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial s} = q_{lat} \quad (1)$$

動量方程式：

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{Q^2}{A_f} \right) + g A_f \frac{\partial h}{\partial s} + \frac{g Q |Q|}{C^2 R A_f} - B \frac{\tau_w}{\rho} = 0 \quad (2)$$

式中， Q =流量； g =重力加速度； t =時間； s =沿流動方向之空間坐標； h =水位； R =水力半徑； q_{lat} =側入流量； A_f =濕周面積； C =Chezy 係數； B =河流寬度； τ_w =風剪力； ρ =水密度。

2. 二維淹水模式

質量方程式：

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(ud)}{\partial x} + \frac{\partial(vd)}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

動量方程式：

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial h}{\partial x} + g \frac{u|V|}{C^2 d} + au|u| = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial h}{\partial y} + g \frac{v|V|}{C^2 d} + av|v| = 0 \quad (5)$$

式中， x, y =模擬區域之迪卡兒空間坐標； u, v = x, y 方向之平均流速；

d =模擬區地表水深； a =邊牆摩擦係數； $V = \sqrt{u^2 + v^2}$ 。

4.2 淹水模組調校

依據前述文獻，本研究歸納影響 SOBEK 模擬準確性的主要因包括模型建置架構、集水區劃分精度、基礎資料的正確性與完整性、採用數值地形高程模型(digital elevation model, DEM)的空間解析度、以及模式建置完成後根據歷史觀測數據進行之檢定與驗證工作等。而影響模擬準確性的各項因素如下：

1. 基礎資料的正確性

模式建置所需要的基礎資料主要包括以下四大類：

- (1) 河道大斷面測量資料：用於一維河道水理模組
- (2) DEM 地形高程資料：用於二維淹水模組
- (3) 下水道資料：用於下水道模組
- (4) 水工構造物相關資料：建置於一維河道水理模組中，並設定其操作規則

以上各項資料分別來自不同權責單位，施測年份與空間解析度也不盡相同，透過數值模型的建置可以將這些不同來源的基礎資料依照空間座標存放，不僅能增加資料的可讀性，更重要的是方便檢核不同資料類別之相同屬性(如斷面高程、下水道高程、地形高程等三種資料類別，具有相同的高程屬性)於相同點位之相對合理性。例如下水道的高程必須要低於地表高程；不同資料是否引用相同的座標系統，如 97

或 67 二度分帶座標，以免出現銜接的問題；堤防與地面相對高程落差的合理性等。換言之，數值模型除了原有的模擬功能外，也可以視為一基礎資料庫，能將多種資料類別依照空間座標加以存放，並且可以透過模式提供的 GUI 使用介面，進行資料的搜尋與編輯，也可以匯出 SHP 檔案格式，再利用 GIS 軟體進行加值應用。

透過初步資料合理性判斷後，針對有疑慮的部分可透過現場探勘或補測的方式查核其正確性，再試圖加以修正，其目的就是要讓數值模型更加符合現場情況，避免模式中存在謬誤而造成模擬結果錯誤，以獲得更準確的模擬結果。

2. 基礎資料完整性

就基礎資料蒐集上可能遭遇的問題與因應對策條列說明如下：

- (1) 測量斷面蒐集上，可能遇到縣管河川與區域排水斷面基礎資料缺乏或遺失問題，可利用規劃設計斷面、縣府施工斷面、或高解析度 DEM 剖面取代，以因應資料遺缺部分。而海岸資料部分，需蒐集海堤位置、長度、類型等資料，若為地層下陷嚴重區，亦應蒐集相關資料，以便在模式中反映海岸地區現況。
- (2) DEM 與土地管理(土地利用)資料需由公務單位(不包含學校)向內政部提出申請，且 DEM 資料於軍事用地可能無法申請到高解析度者，可利用低解析度 DEM 進行高程內插作為因應。土地管理

資料亦有相似情況，可藉由 google 影像或衛星影像協助辨識土地利用情況。

- (3) 雨水下水道部分，因為建置時間久遠且埋管於地下而難以測量，都會區經過數十年的發展，地形地貌與土地利用情況都有很大改變，加上過去圖資多為紙本，缺乏數位資料，經過反覆翻印後可讀性與辨識度已降低許多，相關資料不易取得或有所缺漏。除營建署有雨水下水道資料，各縣市政府水管科亦有雨水下水道資料，但不齊全，或可至各鄉鎮公所蒐集雨水下水道紙本資料，做為模式建置之基本資料。對於資料不足，或下水道高程存在不合理之情況，可簡單利用地表坡度來布置下水道管線沿程的高程變化。這是在極度缺乏可用資料的情況下所做的合理假設與實作方式。
- (4) 最新 1/5000 航照數位正射影像部分，除水利署有中央管河川部分基本圖資、各縣市政府稅務科亦有部分影像圖資外，不足之圖資，可引用 google 影像或 WMS 圖資做為因應。

3. 模式資料檢核與修正

以下將建置 SOBEK 1D-2D 耦合淹水模式需要進行的資料檢核與修正項目條列說明如下：

- (1) 各項高程資料銜接時其相對高程的合理性：不論是河道大斷面高程資料、DEM 地形高程資料、下水道管徑高程、堰壩高程或抽水

站啟動/關閉之運轉水位高程等，都可以利用鄰近資料的相對高程差異來初步檢核資料的合理性。當發現資料存在明顯謬誤時，可以 DEM 為基準，利用整體高程的合理範圍進行初步的修正。斷面高程與 DEM 地形高程比對時，若實際量測之高程低於 DEM 以 DEM 為修正依據，相反地若實際量測之高程高於 DEM 則以實際量測做為修正依據，如圖 2。另外亦可使用 google 街景影像作為輔助判斷。後續可進一步透過現場踏勘或局部點位補測的方式來進一步校正相關資料。

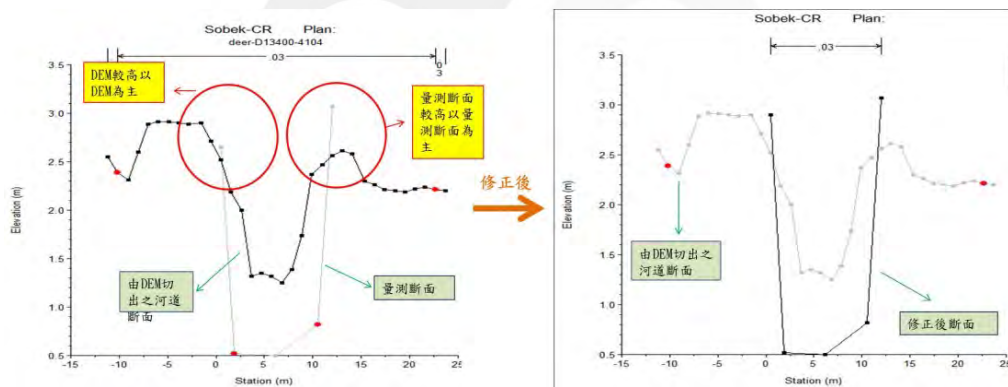


圖 2 大斷面高程與 DEM 地形高程比對修正依據

- (2) 各項空間資料之座標系統檢核：97 座標或是 67 座標，各項空間資料必須引用一致的座標系統。
- (3) 一維河道空間幾何與二維 DEM 的一致性：如圖 3 所示，透過二維 DEM 的等高線圖可以清楚看出河道的走向，依據過去的執行經驗通常與一維河道的空間幾何有所偏移，此時便須修正一維河道的走向使其與二維 DEM 一致，如此才能正確建置 1D-2D 耦合

模式，否則會造成左岸或右岸淹水的重大差異。

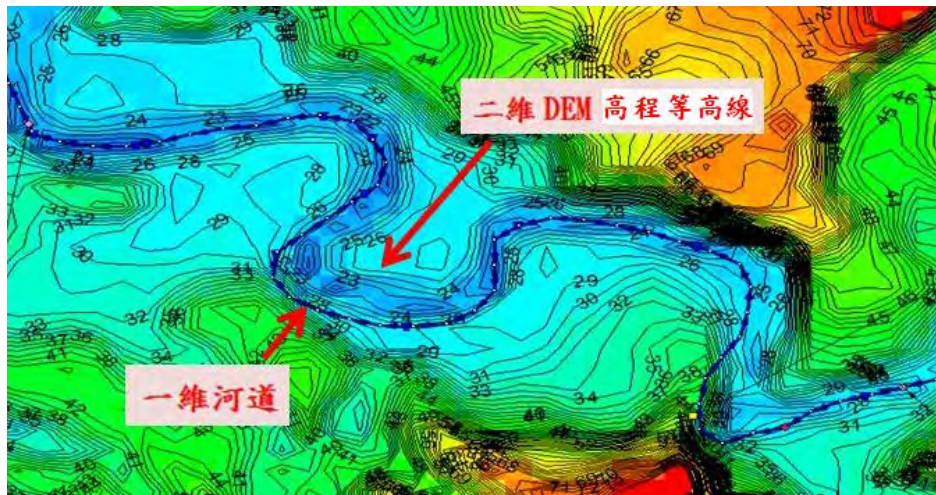


圖 3 一維河道幾何與二維 DEM 等高線

(5) 河道斷面修正：河道大斷面測量資料為 Y-Z 剖面格式，其資料格式相對簡單，但使用上卻存在很多容易發生誤用的問題：

- I. 測量資料的左側起點與右側終點並不一定為斷面樁位置，其範圍可能延伸至堤內的地面高程(如圖 4)，必須予以刪除，僅保留行水區的範圍。若保留此部分，在 SOBEK 一維水理模式判斷下，會將堤內的部分也視為河道行水區的空間，因此可能造成錯誤的模擬成果。

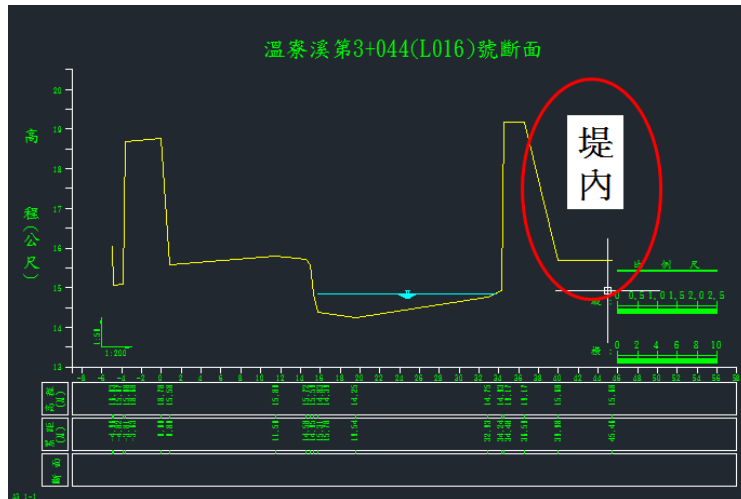


圖 4 断面測量資料延伸至堤內的問題

II. 兩断面樁之間並不代表行水區的範圍，舉例如圖 5，兩断面樁位置完全在行水區範圍之外。

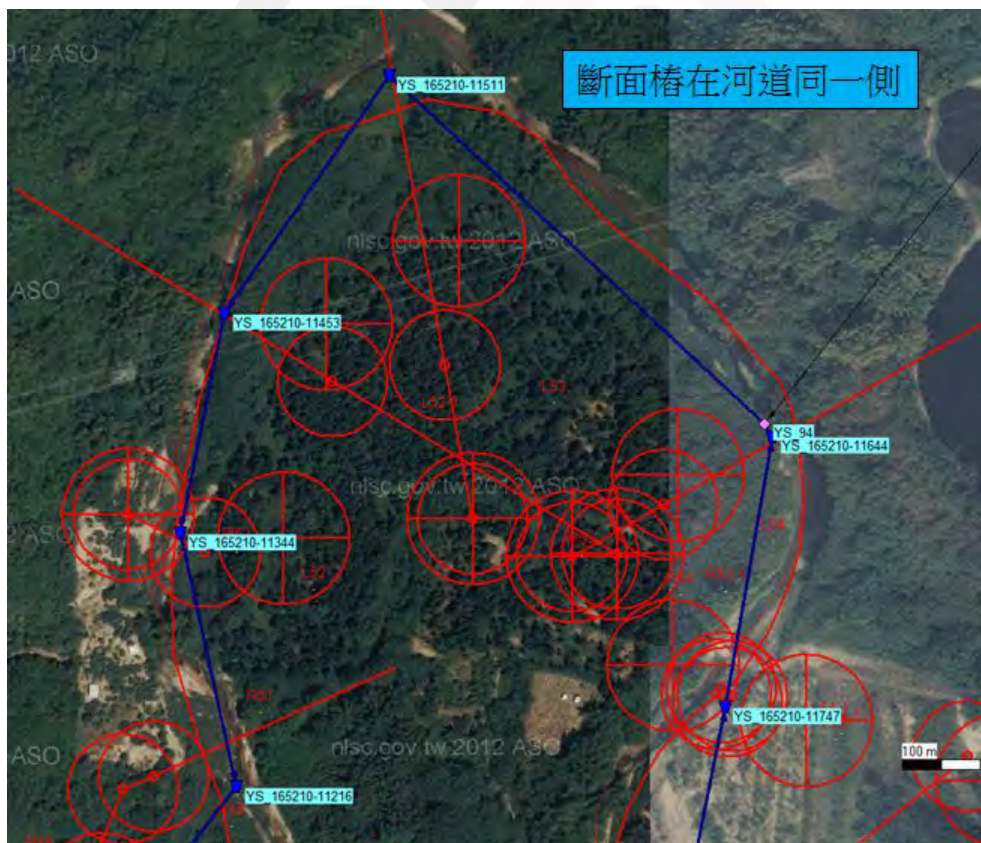




圖 5 兩斷面樁之間不代表行水區範圍的問題

III. 行水區範圍不明確，資料容易被誤用。舉例如圖 6，堤岸位置沒有特別的標註，難以判斷右岸高灘地是否屬於行水區範圍。

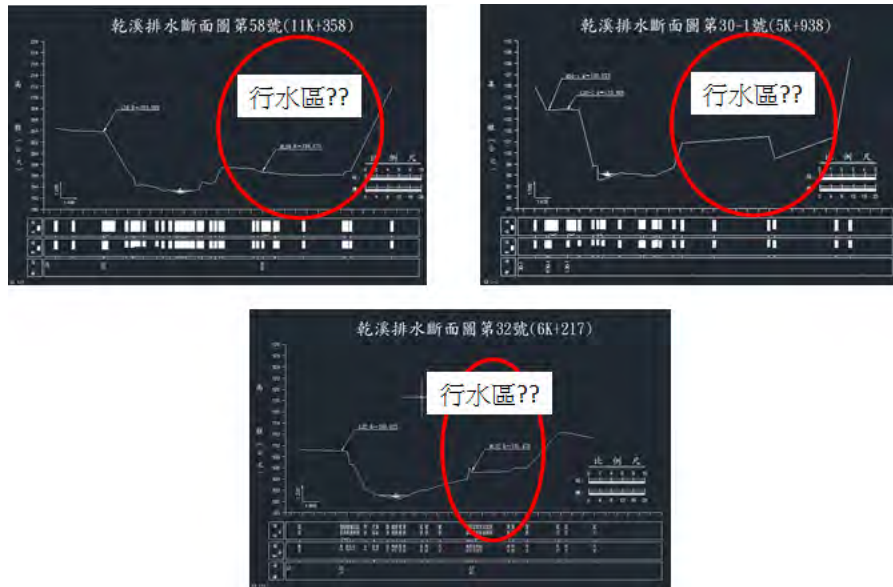


圖 6 行水區範圍不明確的問題

上述諸多問題，或許可以輔以 CAD 地形測量資料、DEM 地形高程或衛星影像等圖資來輔助判斷，但就大範圍的數值模型建置來說，若逐一檢視所有的断面資料將會耗費很多的人力與時間，且難以避免不同人執行在判斷上的差異，因此很難控制模型建置的品質。舉例來說，若有一個断面的堤岸高程被嚴重低估，就相當於此處發生潰堤一樣，模擬結果會有很大的錯誤。

以上問題在未來模式更新維護上亦可能會造成很大的成本，因為大断面資料的更新，無法建立統一的作業標準，同樣的必須再一次逐一判斷所有断面的行水區範圍。建議未來在進行大断面量測時，能明確的標註行水區的範圍，即使断面數再多也能很快速且正確的使用這些資料，未來在資料的更新維護上，也能做到自動化批次更新所有斷

面資料。

(6) 上游集水區面積與都市排水系統集水區面積檢核：SOBEK 模式可配合降雨-逕流模組計算集水區產生的逕流量，除了降雨-逕流模組中的參數需要率定外，集水區面積的設定亦必須正確才能獲得準確的逕流量，因此模式建置後必須檢核集水區總面積是否正確。集水區可分為上游集水區及都市排水系統集水區，落於後者的雨量是經由雨水下水道系統集流後匯入渠道內。

(7) 下水道管線高程布置與檢核：下水道管線高程布置可以參考竣工圖，但在缺乏資料情況下，可利用滿足下列三個條件的方式合理布置下水道管線高程：

- I. 下水道管線高程必定低於地表高程；
- II. 保持下水道管線於流向維持正向坡度；
- III. 下水道出口銜接河道，其出口高程可由河道治理報告中的沿程構造物調查資料中查找，若無資料則可由下水道出口於河道斷面的相對高度來判斷其高程。避免出現下水道高程設定不連續的問題，如圖 7。

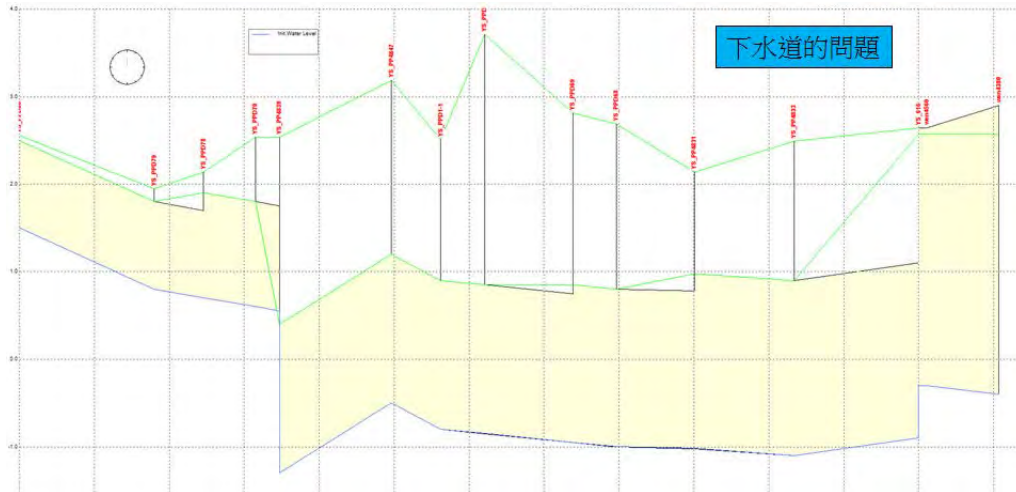


圖 7 下水道高程設定不連續的問題

4. 模式計算效能之調校

為了進一步達到高效能運算之要求，以確保模擬結果之時效性，模式還必須經過最適化調校來提升計算效能。DEM 空間解析度為影響計算效能的最主要因素，而空間解析度的選取需視模式用於何處，此即為最適化。若應用於即時淹水預報，則高速計算為主要前提，可適度採用較粗化的 DEM 網格，依過去的模型建置經驗，流域面積較小的區域排水可採用 10m 至 20m 解析度的網格，流域面積較大者可採用 20m 至 40m 解析度的網格；若應用於淹水潛勢圖的製作，則模擬精度為主要考量，可儘量採用較高解析度的網格。

模式的最適化調校工作主要為數值地形空間解析度的選取，這對即時淹水預報的時效性有著絕對性的影響。然而，數值地形空間解析度的選取並沒有一定的準則，主要取決於模擬區的大小，可透過數值

試驗，在計算效能與模擬精度上取得平衡，找尋最合適的空間解析度。

至於模式最適化的普遍標準，除了計算效能的考量外，另一個簡易的檢核方式是查看模擬過程中產生的質量誤差。如圖 8 所示，橫軸為模擬時間，縱軸為質量誤差(單位：1000 m³)，圖中顯示模擬過程中產生的質量誤差，左圖的質量誤差幾乎為零，具有良好的質量守恆性，這是模式正確的條件之一；右圖則顯示極大的誤差量，其表示數值模型中存在不合理之處，造成收斂性問題致使質量誤差快速累積，當發生此現象時，應該重新檢核與調校模型，唯有先確保質量守恆性，方能獲得正確的模擬結果。

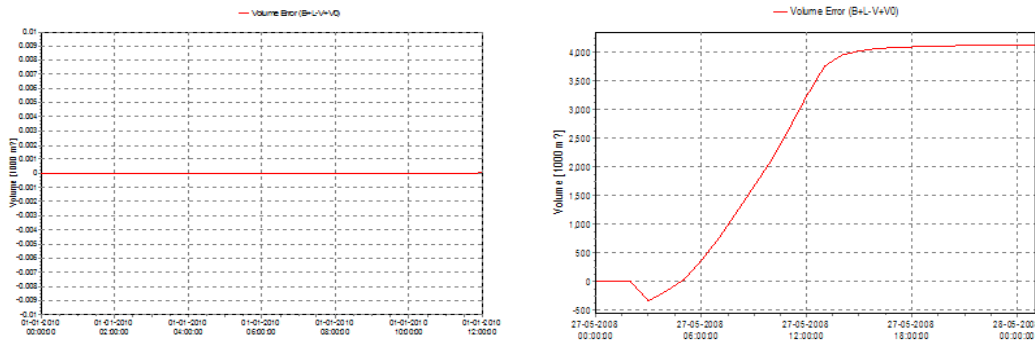


圖 8 SOBEK 模擬過程中產生的質量誤差

4.3 資料參數選定

針對淹水模擬部分需要相關水文及地文資料進行模擬，包含觀測與未來推估雨量及潮位，以及高程、土地利用、河道斷面等資料，相關內容簡述如下：

1. 雨量資料

雨量資料在未來推估資料部分為 WRF 氣候資料，SOBEK 模式模擬時雨量資料以集水區之空間分布對應，其集水區位置分布如圖 9。因子集水區劃分面積與雨量資料網格精度相對較小，故先將雨量網格資料進行空間內插轉換方式由 5 km 細化為 1.3 km，並依照集水區所佔網格面積比例進行降雨量權重計算出 SOBEK 所需集水區降雨量。

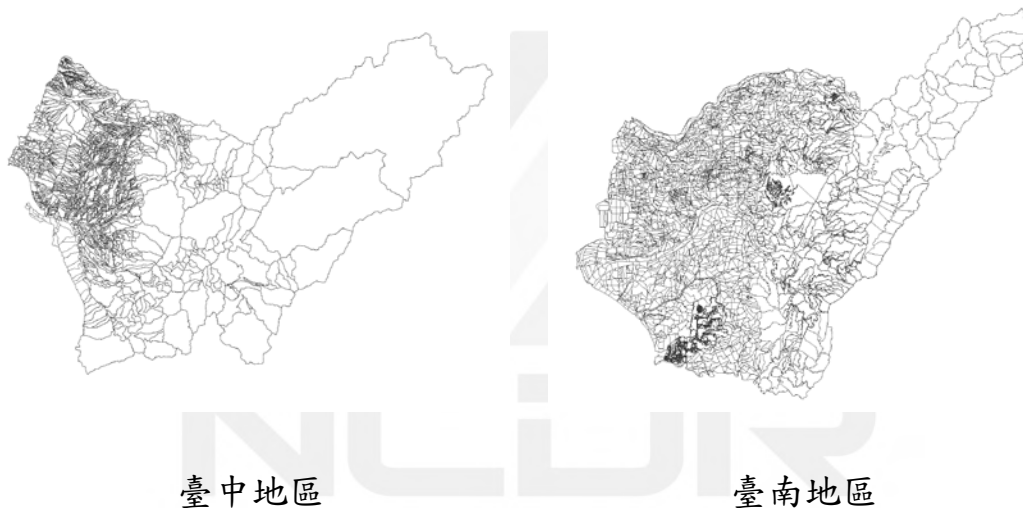


圖 9 集水區位置分布圖

2. 潮位資料

潮位未來推估資料在潮位產製部分應用全球海洋潮位預報模式，其模式之原理主要為同化 TOPEX/Poseidon 與 Jason 衛星在北緯 66 度到南緯 66 度間之雷達測高儀資料。只需輸入水理模式預計算點經度、緯度座標及水理模式欲模擬時間，即可求得該點於該時之水位值(經濟部水利署，2011)。本研究將研究區域內各大小出海口經、緯度座標

及模擬時間輸入模式後，即可得到各點為之逐時潮位資料，潮位點位相對位置如圖 10 所示。



圖 10 研究區域流域下游邊界使用潮位點

3. 高程資料

在氣候變遷情境下著重於大範圍及較嚴重淹水境況分析，因此使用最新數值高程模型(digital elevation model, DEM)為內政部提供的 40m 空間解析度 grd 格式資料，。

4. 土地利用資料

在土地利用資料部分使用內政部提供之九大類資料，九大類包含農業、森林、交通、水利、建築、公共、遊憩、礦鹽及其他共九類。

5. 河道斷面資料

河道斷面資料為經濟部水利署提供，臺中地區包含大甲溪主流 1 條、烏溪主支流 18 條，以及中央管區排和縣市管區排；臺南地區部分涵蓋共中央管河川 6 條，中央管區排 6 條，縣市管區排 161 條，但仍有許多區排渠段缺乏斷面測量資料提供數值建模使用，故針對這些沒有斷面測量資料的排水系統，只能透過正射影像圖、高解析度 DEM 或 Google 影像與街道圖等方式來加以設定。

4.4 災害衝擊評估工具

本研究應用氣候變遷推估與調適知識平台計畫所建置的「氣候變遷衝擊與調適模擬服務」災害衝擊評估工具，將過去本中心氣候變遷組及科技部氣候變遷計畫在氣候變遷災害衝擊領域，所研發的淹水、坡地、水資源等多項防災科研成果（評估方法、評估模式）加以整合，藉由資訊自動化處理以及資料庫系統之建立，期能解決資料與模式之異質性，加速科技研發。

過去淹水領域在衝擊評估上，需將 SOBEK 模式模擬成果輸出後，以人工方式逐一場次進行不同淹水衝擊評估之運算，包含撰寫公式、程式以及繪製不同圖表進行成果呈現等，需耗費大量時間進行整合。而此評估工具之水文模組部分，在資料匯入包括氣候變遷動態雨量資料以及不同研究區域之 SOBEK 淹水模擬衝擊成果數據檔案後，進行

相關設定之運算，無需人工整合，而以網頁方式提供使用者方便操作，得以迅速查詢各式運算結果。本串接系統除了可自動化進行資料處理之外，運算流程之串接與工作排程亦可大量簡化運算步驟，解決大量評估資料統整、計算效能與圖資展示之速度，提升衝擊評估之效能。

針對淹水領域詳細內容進行說明，藉由此系統導入 SOBEK 淹水模擬成果加以整合與呈現，包含模擬各場次(單一事件)所對應之累積雨量分布(總累積雨量)、最大淹水深度分布、逐時淹水分布動態圖以及不同淹水深度級距之淹水面積比較。另外亦針對多場颱風(多事件)進行淹水模擬成果比較，比較內容可依據不同比較條件來選取，有不同的淹水深度級距，0.5m 至 1m、1m 至 1.5m、1.5m 至 2m、2m 至 2.5m、2.5m 至 3m 以及 3m 以上共六個級距；不同最大累積雨量排序之場次，包含最大 3hr、6hr、12hr、24hr、48hr 以及 72hr 共六種排序；總共分析場次為所有不同最大累積雨量排序之 TOP1 至 TOP50 場次，可針對想比較之場次多寡選取，包含 5、10、15、20、25、30、35、40、45、50 等十種比較圖表。最後一項則為鄉鎮尺度之淹水發生機率比較(鄉鎮淹水機率)，可選取 0.3m、0.5m、1m、1.5m、2m、2.5m、3m 等含以上共七種比較資訊。藉此評估工具，能更深入了解於研究區域之淹水模擬成果特性。相關淹水模擬評估介面說明如圖 11 至圖 13。

研究試區選擇

氣候變遷資料選擇

事件 動力降尺度20世紀末 動力降尺度21世紀末

查詢 顯示運算結果 下載

研究區 臺南地區 臺中地區

展示方式 單一事件 多事件 綁繞澆水機率

不同衝擊評估與比較選項(單一事件)

SPA 排名	雨量ID	雨量值	雨量ID	max_1hr	雨量ID	max_6hr	雨量ID	max_12hr	雨量ID	max_24hr	雨量ID	max_48hr	雨量ID	max_72hr
Top1	c2_208901	850.235	c2_207802	130.318	c2_208301	214.499	c2_208901	373.314	c2_208901	595.738	c2_208901	826.728	c2_208901	849.93
Top2	c0_208902	680.996	c2_208301	129.253	c2_208901	204.396	c2_208301	334.807	c0_208901	455.769	c0_208902	565.37	c0_208902	656.984
Top3	c0_208901	549.023	c2_209803	118.341	c2_207802	203.332	c2_207802	309.37	c0_207701	447.606	c0_208901	549.023	c0_208901	549.023
Top4	c0_207701	526.303	c0_208902	113.485	c2_209803	195.89	c0_209601	306.568	c2_209803	444.618	c0_207701	526.303	c0_207701	526.303

SPA 排名	雨量ID	雨量值	雨量ID	max_3hr	雨量ID	max_5hr	雨量ID	max_12hr	雨量ID	max_24hr	雨量ID	max_48hr	雨量ID	max_72hr
Top1	m00_198103	591.77	m01_200203	107.12	m01_200203	181.298	m00_199203	314.055	m00_199203	472.73	m00_198103	588.119	m00_198103	591.77
Top2	m01_198602	572.773	m00_199203	90.668	m00_199203	177.568	m01_200203	239.321	m00_198103	367.823	m00_199203	553.527	m00_199203	553.527
Top3	m00_199203	553.527	m01_198602	86.959	m01_198602	157.847	m01_198602	233.114	m01_198602	342.713	m01_198602	486.579	m01_198602	533.702
Top4	m01_197903	492.292	m01_199201	73.306	m00_198802	125.482	m00_198802	209.122	m00_198802	312.955	m01_197903	459.158	m01_197903	492.292

零碼編號	Job 編號	運算節點	領域	雨量名稱	
獲取	Job_20190422010000	1	10.1.1.107	Taichung	WRF_MRI_20EOC_event_T2WMRI_SPA_m00_197901
獲取	Job_20190422010000	2	10.1.1.107	Taichung	WRF_MRI_20EOC_event_T2WMRI_SPA_m00_197902
獲取	Job_20190422010000	3	10.1.1.107	Taichung	WRF_MRI_20EOC_event_T2WMRI_SPA_m00_197903
獲取	Job_20190422010000	4	10.1.1.107	Taichung	WRF_MRI_20EOC_event_T2WMRI_SPA_m00_197904

不同最大累積雨量排序與雨量資料

單一事件選取捲動視窗

圖 11 單一事件計算評估介面

研究試區選擇 氣候變遷資料選擇

事件 動力降尺度20世紀末 動力降尺度21世紀末

研究區 臺南地區 臺中地區

查詢 顯示運算結果 下載

展示方式 單一事件 多事件 模擬澆水機率

不同衝擊評估與比較選項(多事件)

SFA 序名	雨量ID	雨量值	雨量ID	max_3hr	雨量ID	max_6hr	雨量ID	max_12hr	雨量ID	max_24hr	雨量ID	max_48hr	雨量ID	max_72hr
Top1	c2_208901	850.235	c2_207802	130.318	c2_208301	214.499	c2_208901	373.314	c2_208901	595.738	c2_208901	826.728	c2_208901	849.93
Top2	c0_208902	680.996	c2_208301	129.253	c2_208901	204.396	c2_208301	334.807	c0_208901	455.769	c0_208902	565.37	c0_208902	656.984
Top3	c0_208901	549.023	c2_209803	118.341	c2_207802	203.332	c2_207802	309.37	c0_207701	447.606	c0_208901	549.023	c0_208901	549.023
Top4	c0_207701	526.303	c0_208902	113.485	c2_209803	195.89	c0_209601	306.568	c2_209803	444.618	c0_207701	526.303	c0_207701	526.303

SFA 序名	雨量ID	雨量值	雨量ID	max_3hr	雨量ID	max_6hr	雨量ID	max_12hr	雨量ID	max_24hr	雨量ID	max_48hr	雨量ID	max_72hr
Top1	m00_198103	591.77	m01_200203	107.12	m01_200203	181.298	m00_199203	314.055	m00_199203	472.73	m00_198103	588.119	m00_198103	591.77
Top2	m01_198602	572.773	m00_199203	90.668	m00_199203	177.568	m01_200203	239.321	m00_198103	367.823	m00_199203	553.527	m00_199203	553.527
Top3	m00_199203	553.527	m01_198602	86.959	m01_198602	157.847	m01_198602	233.114	m01_198602	342.713	m01_198602	486.579	m01_198602	533.702
Top4	m01_197903	492.292	m01_199201	73.306	m00_198802	125.482	m00_198802	209.122	m00_198802	312.955	m01_197903	459.158	m01_197903	492.292

不同最大累積雨量排序與雨量資料

淹水深度

雨量排名

Top場次

查詢 下載

多事件選取比較條件

圖 12 多事件計算評估介面

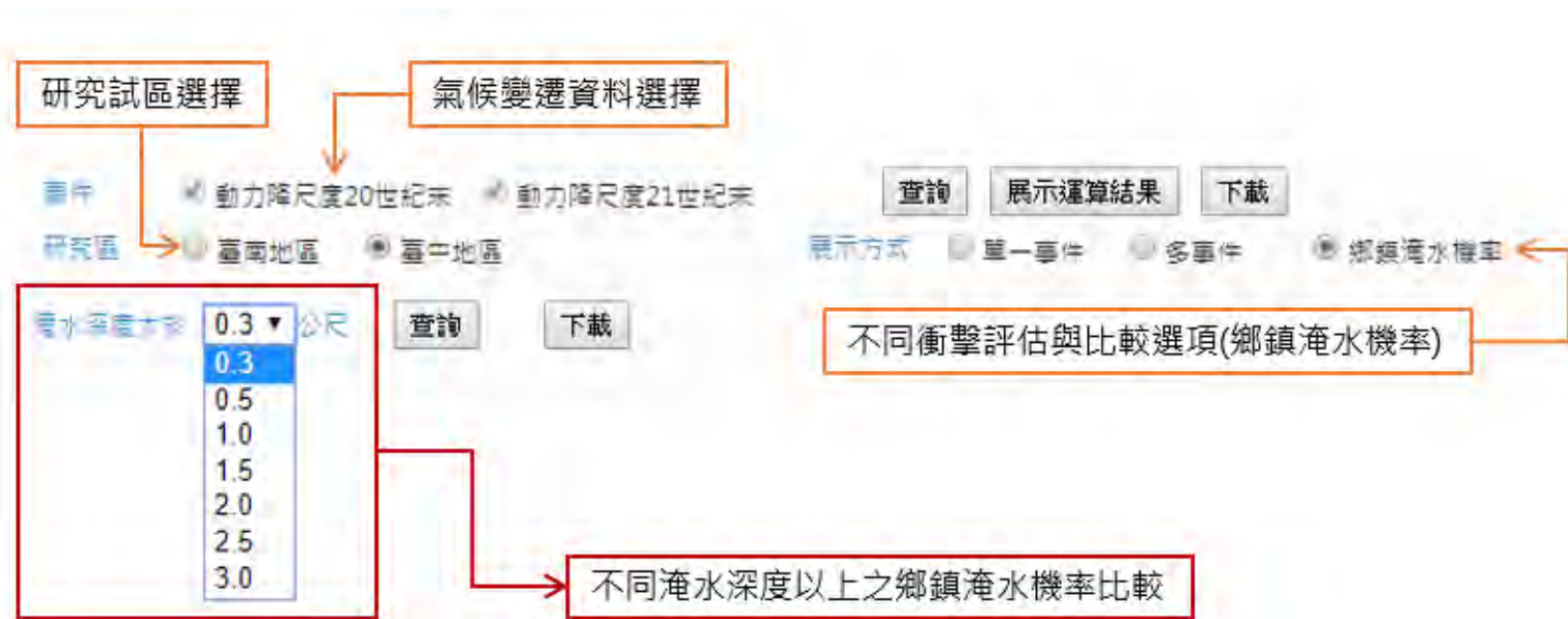


圖 13 鄉鎮淹水機率計算評估介面

第五章 衝擊評估工具應用成果

本研究將氣候變遷資料應用 SOBEK 淹水模式執行淹水衝擊模擬過後，應用「氣候變遷衝擊與調適模擬服務」衝擊評估工具進行相關衝擊評估，下列依據臺中地區與臺南地區兩個研究區域，針對單一事件、多事件及鄉鎮淹水機率等相關成果進行衝擊評估說明。

5.1 臺中地區

本研究區域為臺中地區之大甲溪、烏溪及臺中港沿海三個集水區，此區域地形屬盆地與丘陵，東邊與花蓮縣中間以中央山脈相隔，東北有中央山脈與雪山山脈分水嶺與宜蘭縣相望，西面臺灣海峽。在過去臺中地區亦有發生積淹水災情，有較明顯之災情颱風事件有 2001 年納莉颱風、2008 年辛樂克颱風、2008 年卡玫基颱風、2009 年莫拉克颱風、2013 年蘇力颱風、2013 潭美颱風等事件，且近年來發生較多局部短延時強降雨之情況，亦造成積淹水災情。根據相關事件資料紀錄顯示，多數積淹水事件集中於舊臺中市市區，屬於烏溪中下游區域；少部分集中於大甲溪石岡壩下游一帶；另外，潭美颱風災情大多集中於臺中港沿海地區，而此事件之雨量多集中於沿海地區，由此事件亦可看出除了雨量大小，雨量分布亦為淹水災害發生之因素之一。

由上述得知除了雨量之分布情況，在短延時強降雨事件日趨增多

的情況下，可得知降雨事件之延時亦為影響是否造成災情之重要因素，故針對 20 世紀末及 21 世紀末最大 24 小時累積雨量排序前 50 場次進行延時比較，由成果可看出在 20 世紀末延時達到 72hr 含以上之場次有 7 場，高於 100hr 之場次包含 4 場；21 世紀末 72hr 含以上有 6 場，高於 100hr 場次僅 2 場。而低於 24hr 場次在 20 世紀末有 4 場；21 世紀末有 8 場，且有 1 場低於 12hr。由上述分析得知在未來颱風事件降雨延時有減少的趨勢，比較圖如圖 14 所示。

另外依據衝擊評估工具之評估成果進行探討，在單一事件部分，以 20 世紀末與 21 世紀末之最大 24 小時累積雨量排序 TOP1 場次進行展示，包含累積雨量分佈圖(總累積雨量)、最大淹水深度圖以及淹水面積與深度比較圖。在兩時期之最大 24 小時累積雨量部分，20 世紀末為 473mm、21 世紀末為 596mm 差異不大，但總累積雨量可從圖 14 及圖 15 中看出，20 世紀末為 554mm、21 世紀末為 850mm 差異甚大，而兩事件較大雨量皆集中於大甲溪上游。了解雨量分布之後，搭配最大淹水深度圖則可看出，淹水發生區域大致分布於大甲溪中下游與臺中港沿海地區，為較大雨量集中之流域下游處及沿海低地處，而兩事件之淹水深度多數集中於 0.5m 至 1m 之深度，亦可從兩事件比較出 20 世紀末與 21 世紀末之淹水面積有明顯增加的趨勢。以上說明如圖 15 至圖 20 所示。

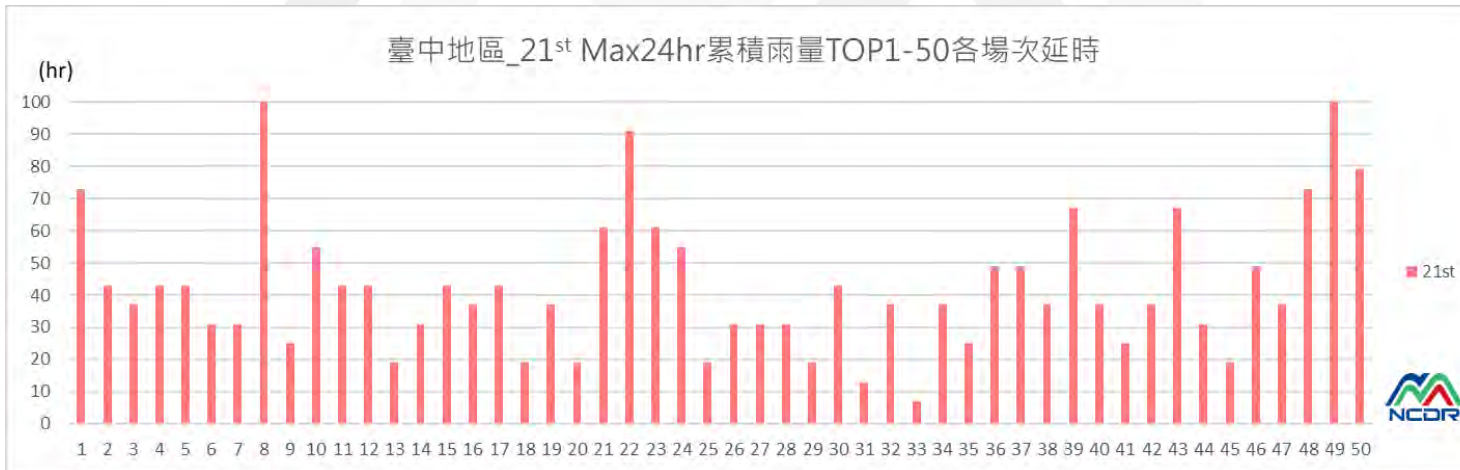
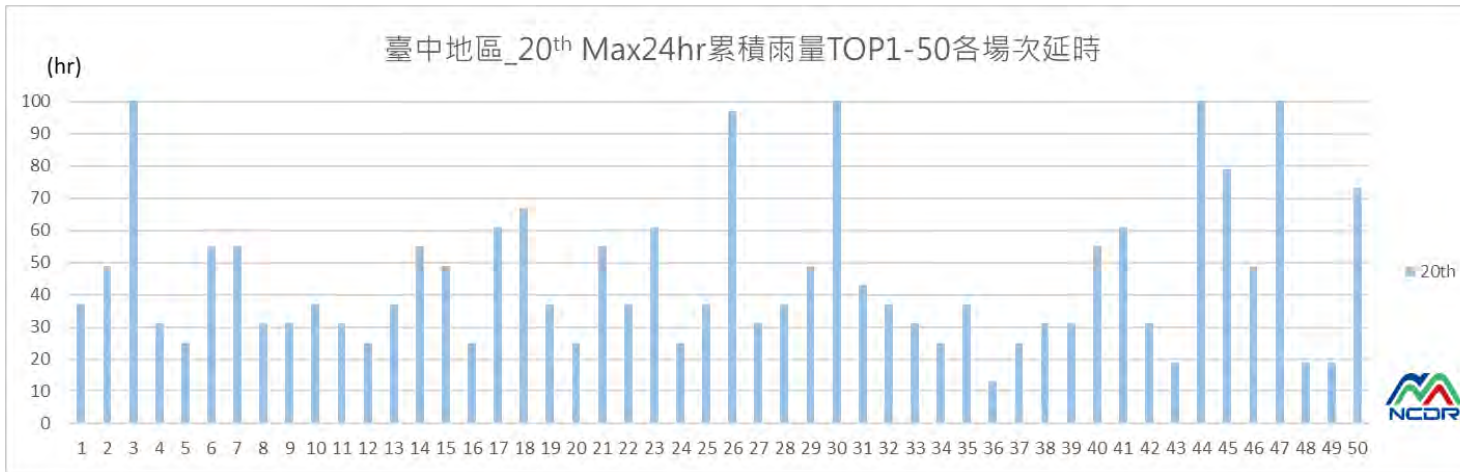


圖 14 臺中地區最大 24 小時累積雨量排序前 50 場延時

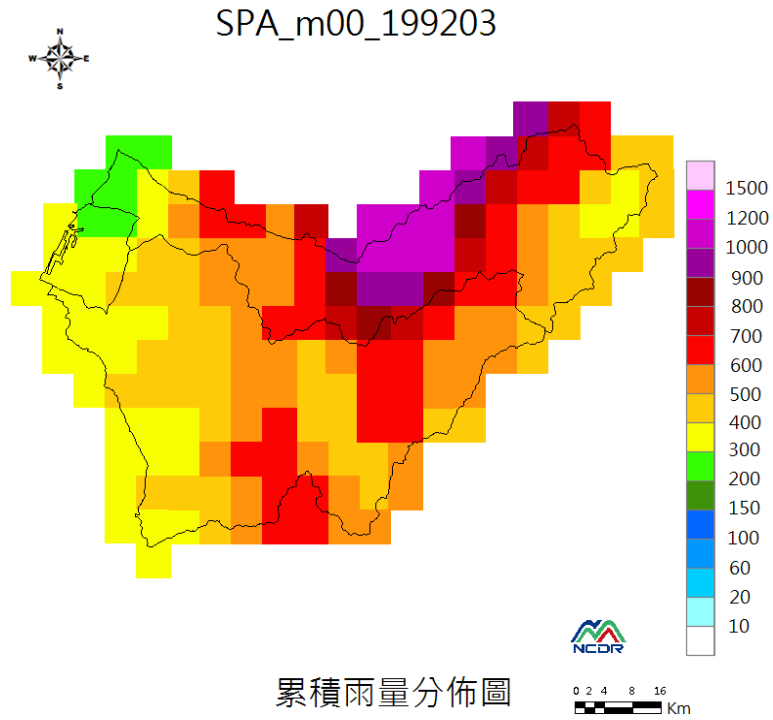


圖 15 臺中地區 20 世紀末最大 24 小時累積雨量排序 TOP1_累積雨量分佈圖

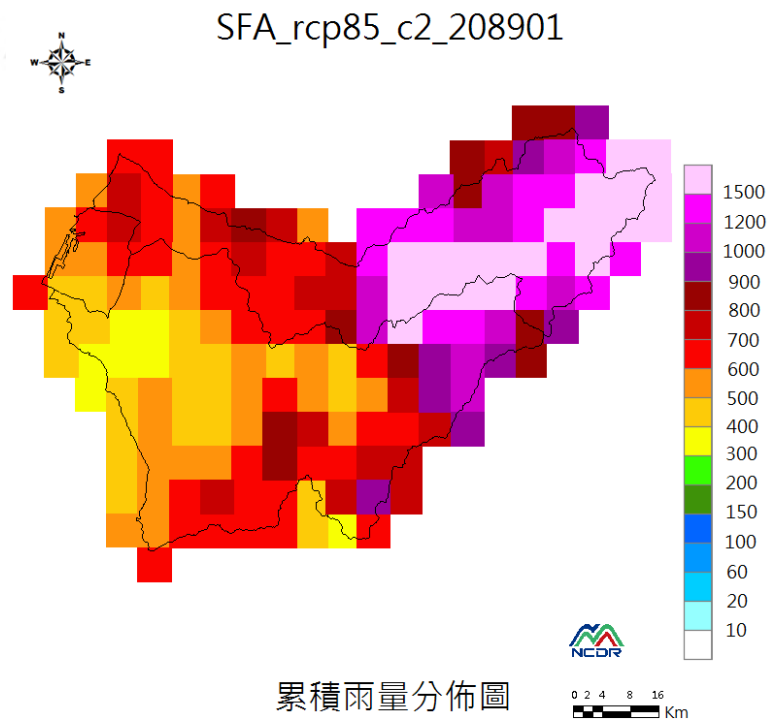
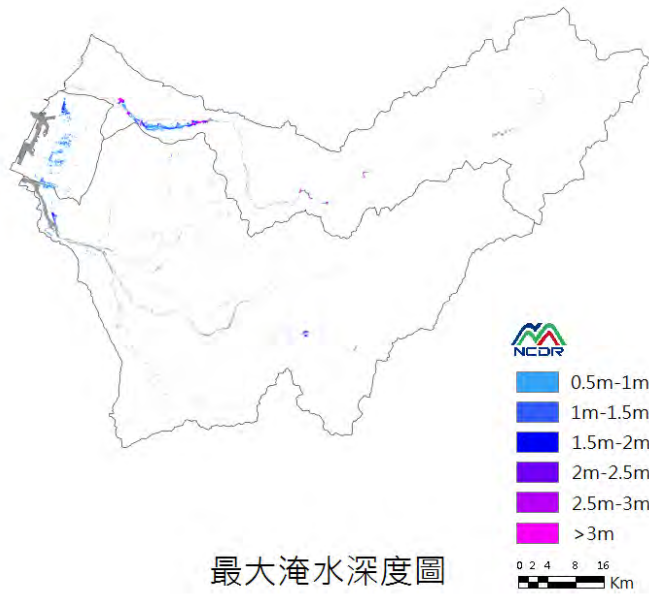


圖 16 臺中地區 21 世紀末最大 24 小時累積雨量排序 TOP1_累積雨量分佈圖



SPA_m00_199203

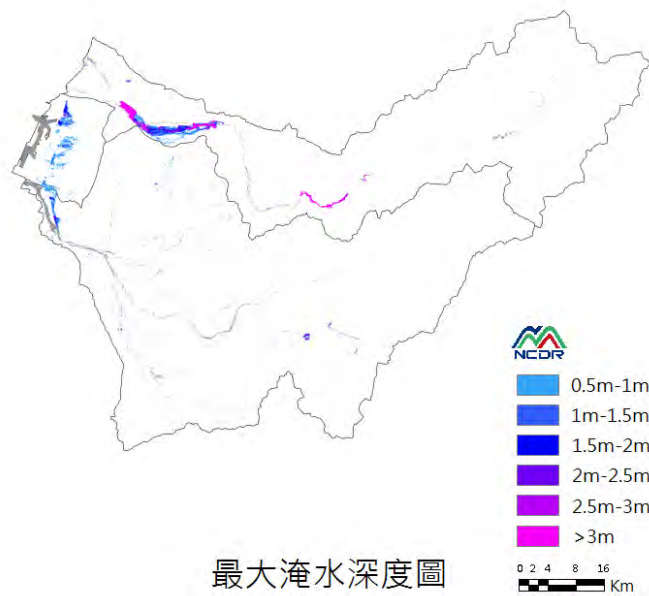


最大淹水深度圖

圖 17 臺中地區 20 世紀末最大 24 小時累積雨量排序 TOP1_最大淹水深度圖



SFA_rcp85_c2_208901



最大淹水深度圖

圖 18 臺中地區 21 世紀末最大 24 小時累積雨量排序 TOP1_最大淹水深度圖

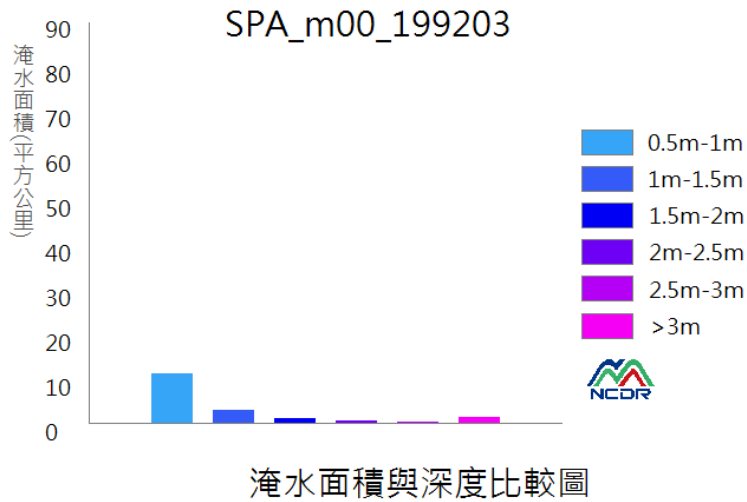


圖 19 臺中地區 20 世紀末最大 24 小時累積雨量排序 TOP1_淹水面積與深度比較圖

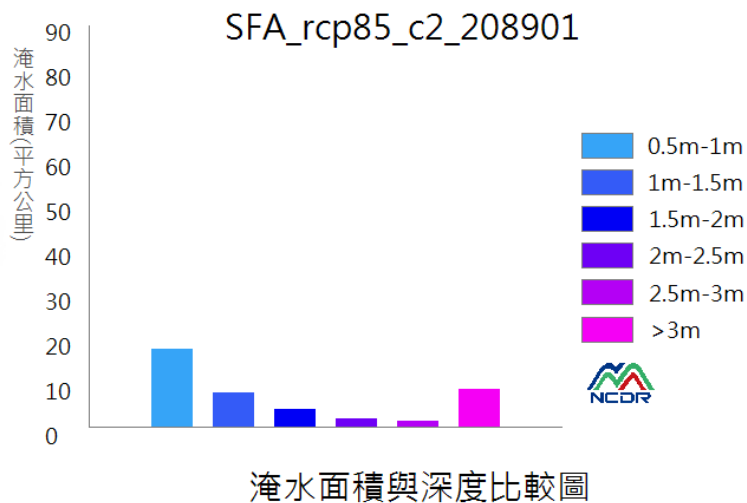


圖 20 臺中地區 21 世紀末最大 24 小時累積雨量排序 TOP1_淹水面積與深度比較圖

在多事件成果評估中，由成果可得知，大致有發生淹水概況之場次多集中於前 30 場次，於前 30 場次之後僅少數零星幾場有較輕微之淹水面積；亦可看出不同淹水深度之淹水面積差異，在 20 世紀末期之淹水深度相對較低，且普遍多為集中於 0.5m 至 1m 之深度；21 世

紀末可看出有明顯增加，不僅較低淹水深度之淹水面積增加，在高淹水深度部分亦有明顯提高趨勢。以上多事件評估成果以最大 24 小時累積雨量排序比較圖為例，如圖 21 所示。

最後在鄉鎮淹水機率的部分，是依據所有場次模擬之淹水分佈，若於此鄉鎮區有模擬出淹水境況即算數，故計算方式為發生淹水境況場次數除以總事件場次數。以 0.5m 淹水深度以上之淹水發生機率為例，如圖 22 所示，可看出在兩個時期普遍有較高淹水機率之地區皆屬相同，可看出此部分區域多數集中分布於舊台中市中心及沿海地區，兩時期之淹水發生機率大致皆超過 10%，尤其是梧棲區在 21 世紀末高達 22% 之淹水發生機率。則另外針對淹水深度 1m 以上之發生機率作進一步探討，大多數地區淹水災害之淹水深度皆集中於 0.5m 至 1m，僅少部分有高於 1m 以上之淹水災害，且淹水發生機率皆低於 5%，大多地區皆低於 1%，則 21 世紀末有較高機率者如和平區 4.7%、大安區 4.1%，造成較高淹水深度之原因可能因地形有關。由此可知，未來可針對這些區域進行尺度較細的淹水機率評估，能更後續氣候變遷影響下之相關災害調適之評估。

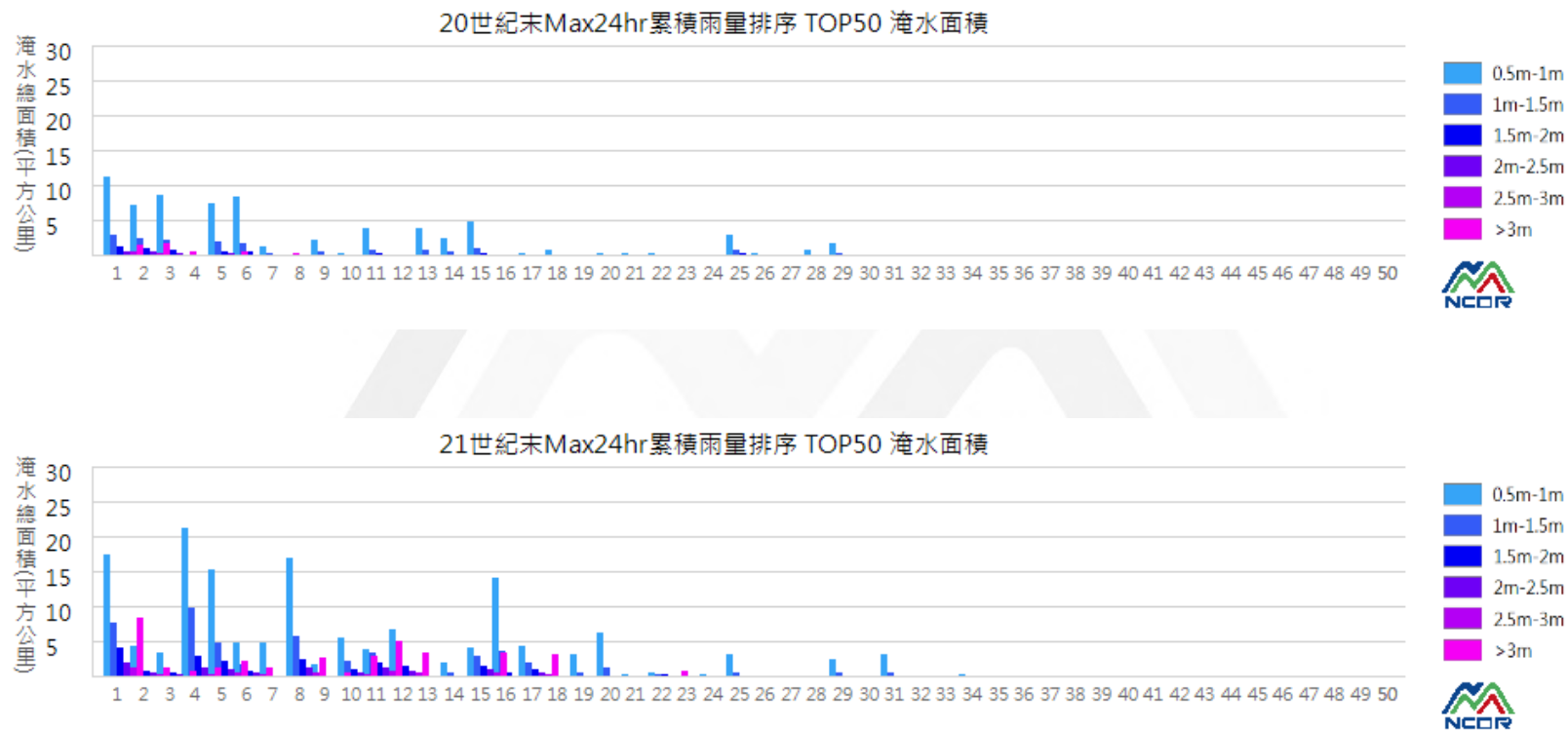


圖 21 臺中地區多事件淹水衝擊評估成果圖



圖 22 臺中地區鄉鎮淹水機率圖

5.2 臺南地區

本研究區域為臺南市，位於臺灣西南部的嘉南平原，面積 2,192 平方公里，人口約 188 萬。其西面臺灣海峽、東臨阿里山山脈、北接嘉義縣、南與高雄市為界。其地勢從東而西由高至低，地形主要為沖積平原，其土地多為古濕地及潟湖堆積而成。其中有五條主要中央管河川貫穿本市流入臺灣海峽，由北而南分別為八掌溪、急水溪、曾文溪、鹽水溪、二仁溪，其他介於急水溪和曾文溪之間的普通河川，包括有將軍溪及七股溪等水系。

臺南地區從古至今，一直飽受水患的影響。在過去臺南地區遭受較多的颱風事件影響，造成眾多淹水災情。如 2001 年納莉颱風、2005 海棠颱風、2005 泰利颱風、2008 卡玫基颱風、2009 年莫拉克颱風、2010 凡那比颱風等。其中造成最嚴重之災害事件為莫拉克颱風，溪水暴漲溢堤、地勢低窪、區域排水不良等，整個臺南地區都傳出各大小災情，從此次事件看到整個臺南市所面臨的相關問題，政府單位因此更加重視淹水災害所帶來的問題，積極全力改善。雖然政府單位持續積極的改善臺南市的水患問題，於近年來，2016 尼伯特颱風、2017 尼莎海棠颱風等亦造成眾多淹水災害，相較於過去之災害事件可看出災點減少且淹水深度亦有降低，有一定的功效，但氣候變遷的影響卻日漸加劇，豐枯震盪差距加大、極端降雨幾乎成為常態，因此造成洪水

量遽增，對於未來亦是一大挑戰。

由上述歷史災害事件得知，在臺南地區淹水災害分布地區集中於舊臺南市區較多，而致災主要原因則為地勢低窪及排水不良所帶來之影響，在短延時強降雨事件日趨增多的情況下，可能造成更大之災情。為了解未來與現在之颱風事件降雨延時之境況，針對臺南地區之 20 世紀末及 21 世紀末最大 24 小時累積雨量排序前 50 場次進行延時比較，由成果可看出在 20 世紀末延時達到 72hr 含以上之場次有 6 場，高於 100hr 之場次包含 3 場；21 世紀末 72hr 含以上有 5 場，高於 100hr 場次僅 1 場。而低於 24hr 場次在 20 世紀末有 5 場；21 世紀末有 7 場，且有 1 場低於 12hr。由上述分析得知在未來颱風事件降雨延時有減少的趨勢，比較圖如圖 21 所示。

而在單一事件部分，如同臺中地區以 20 世紀末與 21 世紀末之最大 24 小時累積雨量排序 TOP1 場次進行展示，包含累積雨量分佈圖(總累積雨量)、最大淹水深度圖以及淹水面積與深度比較圖。TOP1 場次之最大 24 小時累積雨量 20 世紀末為 696mm、21 世紀末為 1386mm，相差約一倍之雨量，且由累積雨量圖可看出，在 20 世紀末 TOP1 場次之最高總雨量並無超過 1000mm，但在 21 世紀末 TOP1 場次在八掌溪、急水溪及曾文溪上游段，總雨量幾乎高於 1500mm，由此可看出兩時期之 TOP1 場次雨量差異極大。且在八掌溪與急水溪下游於 20

世紀末期 TOP1 累積雨量多數為 400mm 以下居多，21 世紀末 TOP1 則高達 1000mm 以上，再從最大淹水深度圖即可看出，在 21 世紀末大範圍淹水面積皆集中於八掌溪、急水溪及將軍溪沿海河系區域，由此得知除上游雨量影響之外，下游地區若雨量甚大時，可能造成更嚴重之淹水災情。在不同淹水深度之淹水面積比較中，可看出兩事件之淹水深度多數集中於 0.5m 至 1m 之深度，亦可比較出 20 世紀末與 21 世紀末之淹水面積有明顯增加的趨勢。以上說明圖如表 3 內所示。



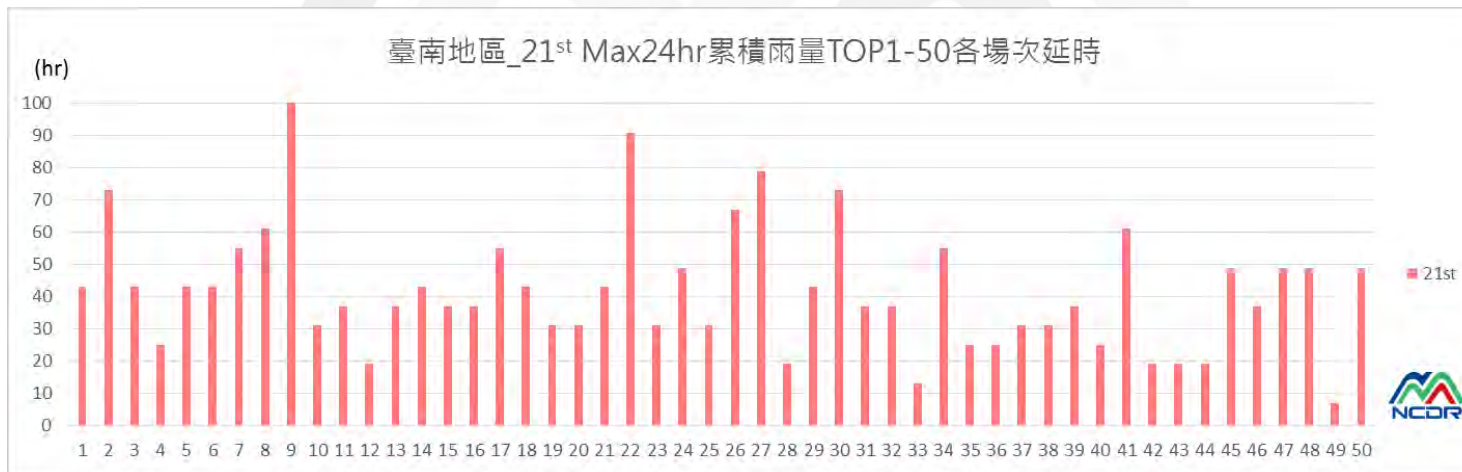
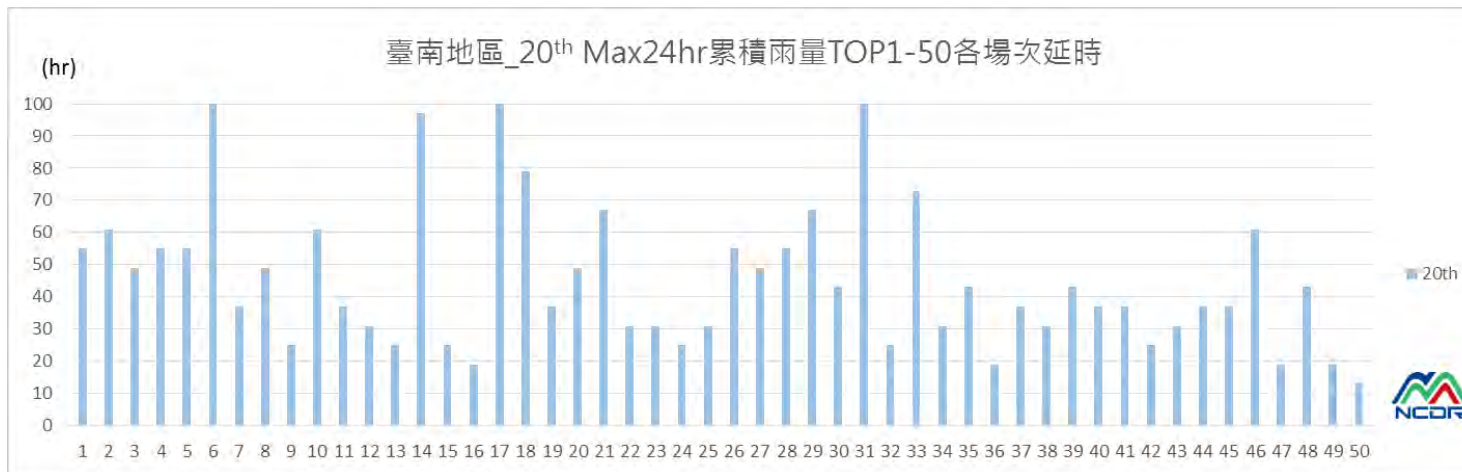


圖 23 臺南地區最大 24 小時累積雨量排序前 50 場延時

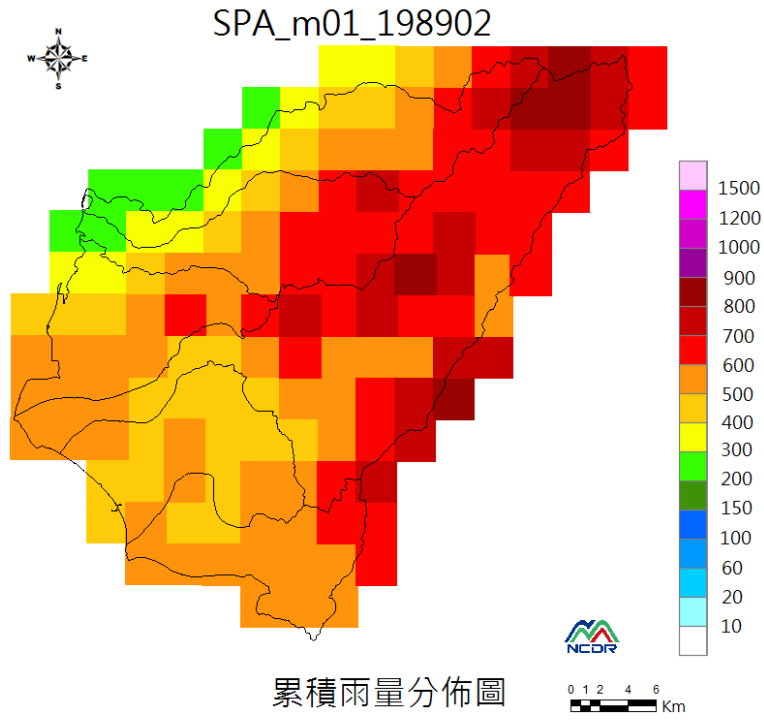


圖 24 臺南地區 20 世紀末最大 24 小時累積雨量排序 TOP1_累積雨量分佈圖

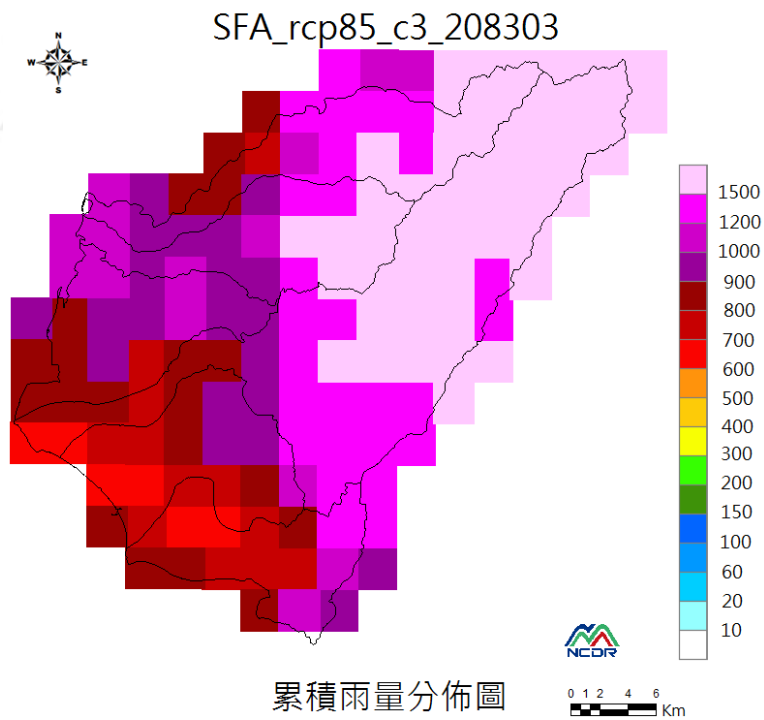


圖 25 臺南地區 21 世紀末最大 24 小時累積雨量排序 TOP1_累積雨量分佈圖

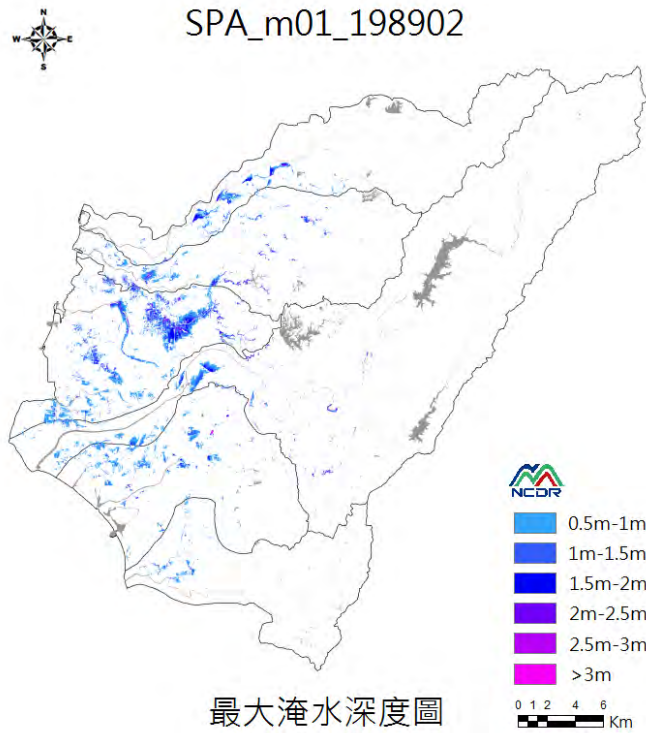


圖 26 臺南地區 20 世紀末最大 24 小時累積雨量排序 TOP1_最大淹水深度圖

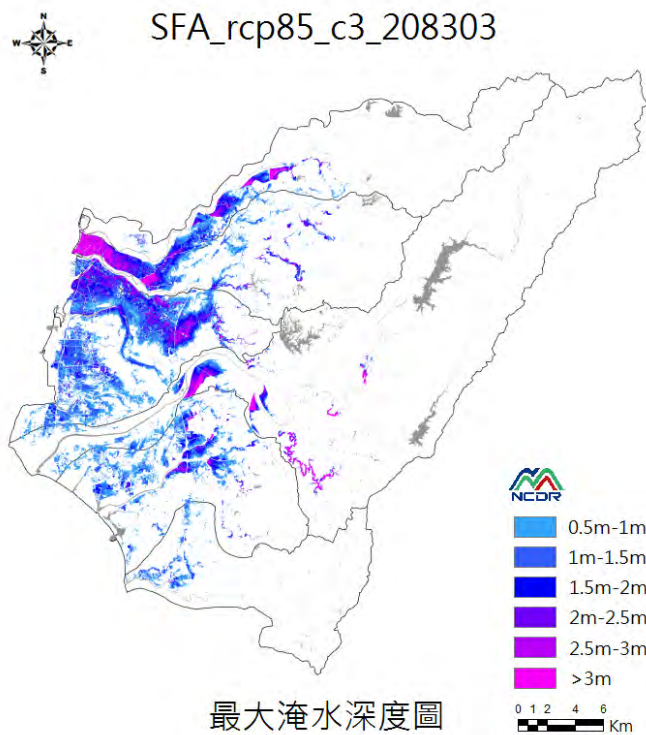


圖 27 臺南地區 21 世紀末最大 24 小時累積雨量排序 TOP1_最大淹水深度圖

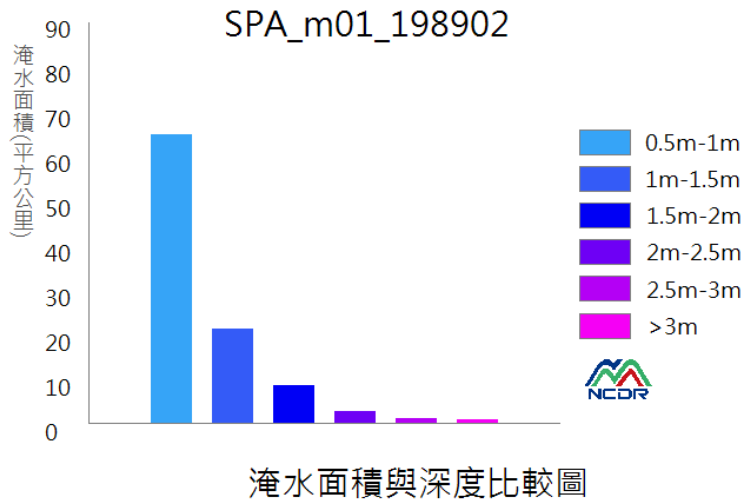


圖 28 臺南地區 20 世紀末最大 24 小時累積雨量排序 TOP1_淹水面積與深度比較圖

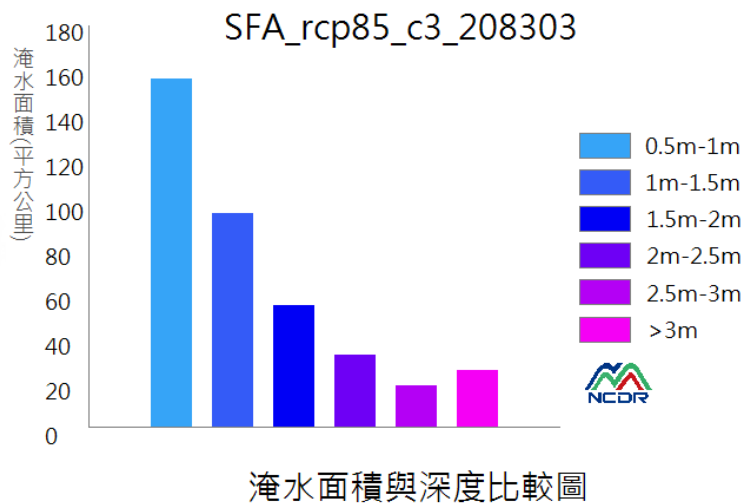


圖 29 臺南地區 21 世紀末最大 24 小時累積雨量排序 TOP1_淹水面積與深度比較圖

在多事件成果中，可看出多數場次淹水面積較多之淹水深度範圍亦為 0.5m 至 1m 之間，且在淹水面積上，兩時期之間變化多寡較於臺中地區之增加趨勢更為明顯；由最大 24 小時累積雨量排序前 50 場次之淹水深度之淹水面積比較圖中，可看出 21 世紀末淹水境況較於

20 世紀末多，且 21 世紀末中，有發生淹水之場次多達 46 個場次，比較圖如圖 30 所示。搭配鄉鎮淹水機率圖進行比較，以 0.5m 淹水深度以上之淹水發生機率為例，如圖 31 所示，可看出於北門區及學甲區之淹水發生機率從 20 世紀末至 21 世紀末皆是居高不下，此地區多為漁業及農業用地，則淹水機率增加最多的地區為屬沿海低窪地區之安南區；則另外計算高於 1m 淹水深度之發生機率，可看出最多者為學甲區 30% 發生機率，造成深度較深之淹水災況的原因可能因地勢與排水不良有關。從多事件與鄉鎮淹水機率之比較可看出，在未來臺南地區之淹水發生機率顯著的提升，因此，未來可針對這些區域進行尺度較細的淹水機率評估，能較有效去評估更精確之氣候變遷情境下之淹水熱區，亦可針對氣候變遷之影響對未來進行相關調適策略之評估。

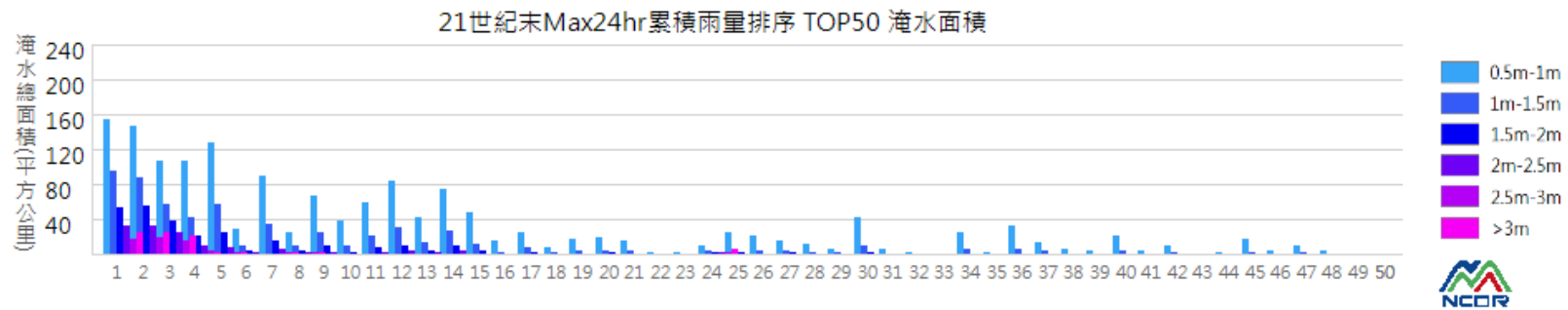
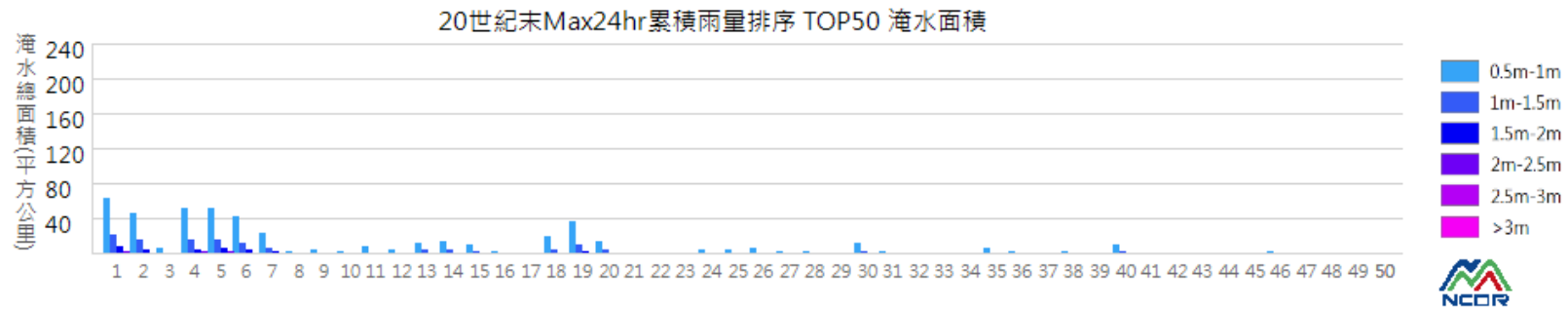


圖 30 臺南地區多事件淹水衝擊評估成果圖

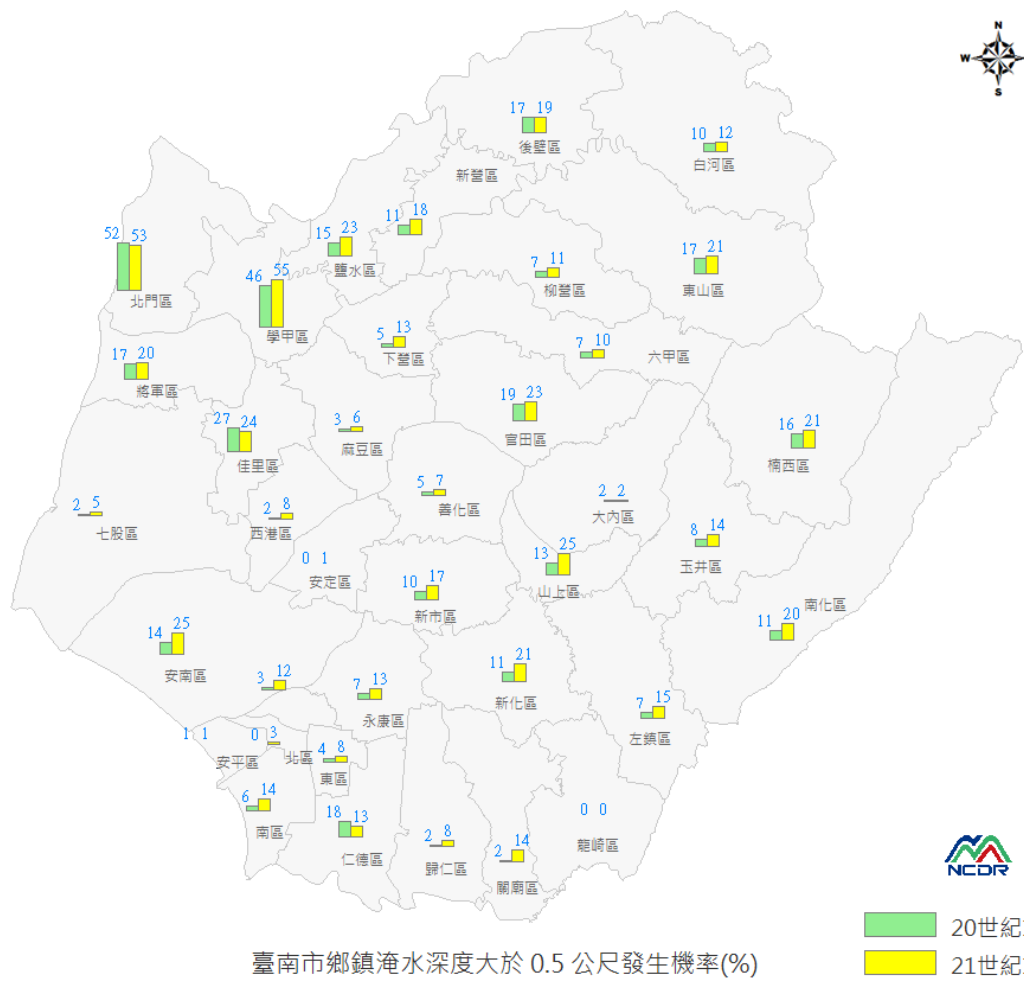


圖 31 臺南地區鄉鎮淹水機率圖

第六章 結論與建議

本研究利用氣候變遷情境下 RCP8.5 動力降尺度颱風事件推估資料為模擬所使用之降雨資料，以臺中地區與臺南地區為研究區域，應用調校過後之 SOBEK 淹水模式進行淹水衝擊模擬，以及臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫所建置的「氣候變遷衝擊與調適模擬服務」，將淹水模擬成果進行相關衝擊評估。

針對兩個研究區域最大 24 小時累積雨量排序 TOP1 場次比較雨量概況，臺中地區 20 世紀末 TOP1 場次最大 24 小時雨量 473mm、總雨量 554mm；21 世紀末 TOP1 場次最大 24 小時雨量 596mm、總雨量 850mm。臺南地區 20 世紀末 TOP1 場次最大 24 小時雨量 696mm、總雨量 746mm；21 世紀末 TOP1 場次最大 24 小時雨量 1386mm、總雨量 1434mm。由上述成果可看出兩個研究區在不同時期最劣場次之雨量變化幅度。接著依據 20 世紀末及 21 世紀末最大 24 小時累積雨量排序前 50 場颱風事件進行延時比較，在臺中地區低於 24hr 場次在 20 世紀末有 4 場；21 世紀末有 8 場，且有 1 場低於 12hr；臺南地區低於 24hr 場次在 20 世紀末有 5 場；21 世紀末有 7 場，且有 1 場低於 12hr。可藉此得知在未來颱風事件降雨延時有減少的趨勢。

在淹水模擬成果顯示，臺中地區與臺南地區大致有發生淹水概況

之場次多集中於最大 24 小時累積雨量排序前 30 場次，且兩個研究區域淹水災情皆集中於 0.5m~1m 淹水深度範圍內。而針對兩個時期進行比較，在臺中地區 21 世紀末最大淹水範圍較 20 世紀末增加約 1.8 倍；臺南地區則增加約 2.4 倍，兩個地區淹水災情皆有顯著增加的趨勢。最後在鄉鎮尺度淹水發生機率上，臺中地區最為嚴重為梧棲區；臺南地區為北門區與學甲區。

由上述總結得知，在兩個研究區域之颱風事件雨量多寡與淹水模擬成果於前後時期皆有增加的趨勢。且本研究應用調校之 SOBEK 模組進行淹水模擬能有效提升模擬速率，在搭配氣候變遷坡地水文模組串接系統之評估工具，有別以往能增加分析數據量及不同評估方法進行不同層面之模擬成果比較。

期望未來能產製更多氣候變遷情境之颱風事件，可研擬增加相關不確定性分析及一維河道頻率分析等評估。若能增加極端降雨事件樣本數與極值，將有助於瞭解未來最劣情境之淹水概況，甚至能進一步掌握不同降雨型態之機率分佈，前者可以進行極端災害事件的評估與在防減災情境假設，後者可以進行調適成本效益分析的考量。亦可針對更細尺度之網格模擬成果進行淹水發生機率之評估作業，使資料更具規模與細緻，藉此能更有利評估未來可能之淹水境況。

參考資料

- Dutta, D.; Alam, J.; Umeda, K.; Hayashi, M.; and Hironaka, S. (2007), “A two-dimensional hydrodynamic model for flood inundation simulation: A case study in the lower Mekong River basin.” *Hydrological Processes*, 21 (9), 1223-1237.
- Deltares: Delft, The Netherlands (2015), *Delft Hydraulics SOBEK User Manual*(suitable for SOBEK 2.14).
- Liu, Q. Q., Chen, L., Li, J. C., and Singh, V. P. (2004), “Two-dimensional kinematic wave model of overland-flow.” *Journal of Hydrology*, 291(1-2), 28-41.
- Mizuta, Ryo, Osamu Arakawa, Tomoaki Ose, Shoji Kusunoki, Hirokazu Endo, and Akio Kitoh (2014), *Classification of CMIP5 Future Climate Responses by the Tropical Sea Surface Temperature Changes*. *SOLA 10* (0): 167–71. doi:10.2151/sola.2014-035.
- Matthew, B. J., Schubert J. E., Fletcher T. D., and Sanders B. F. (2015). “Testing the impact of at source stormwater management on urban flooding through a coupling of network and overland flow models.” *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 10.1002/wat2.1078
- Suman, Asadusjjaman and Akther, Farnaz (2014), *River Flood Modelling Using SOBEK: A Case Study from Ciliwung Catchment, Indonesia*, *International Journal of Engineering Research*, Volume No.3, Issue No.11, pp : 662-668.
- Su , Y. F., C. T. Cheng, J. J. Liou, Y. M. Chen, and A. Kitoh (2016) *Bias correction of MRI-WRF dynamic downscaling datasets*. *Terr. Atmos.*

Ocean. Sci., 27, 649-657.

Van, P. D. T.; Popescu, I.; van Griensven, A.; Solomatine, D. P.; Trung, N. H. and Green A. (2012), A study of the climate change impacts on fluvial flood propagation in the Vietnamese Mekong Delta, Hydrol. Earth Syst. Sci., 16, 4637-4649, 2012.

Wei, H.P.; Yeh, K.C.; Liou, J.J.; Chen, Y.M. and Cheng, C.T. (2016), Estimating the Risk of River Flow under Climate Change in the Tsengwen River Basin, Water 2016, 8, 81; doi:10.3390/w8030081.

許銘熙、林洙宏、陳志鴻、鄧慰先(2008)，「都市區雨水下水道排水效能之評估」，台灣水利，56(1)，17-32。

賴俊名(2015)，多重尺度網格配置結合建物效應模擬街道淹水之研究，國立交通大學，碩士論文。

國家災害防救科技中心(2013)，極端降雨事件之淹水模擬分析與損失評估。

國家災害防救科技中心(2017)，暖化情境下極端颱風災害風險評估與減災調適：以大甲河流域為例。

郭文達、魏曉萍、葉森海、傅鑣漩、陳偉柏、張志新(2019)不同水動力淹水模式應用於佳冬枋寮地區淹水模擬之分析比較研究，第24屆水利工程研討會。

經濟部水利署水利規劃試驗所(2007)，台南地區曾文溪排水系統整治及環境營造規劃。

經濟部水利署第六河川局(2010),「易淹水地區水患治理計畫」台南縣管區域排水永康排水系統規劃報告。

經濟部水利署(2010)氣候變遷對中部地區水旱災災害防救衝擊評估及調適策略擬定(1/2)。

經濟部水利署(2011),全國海岸海岸溢淹潛勢圖資製作之研究(1/2)。

經濟部水利署水利規劃試驗所(2012),因應氣候變遷區域淹水模擬與災害管理規劃技術研究(3/3)期末報告。

經濟部水利署水利規劃試驗所(2015),大甲溪流域因應氣候變遷防洪及土砂研究計畫。

經濟部水利署水利規劃試驗所(2015),曾文溪流域因應氣候變遷總合調適研究(1/3)。

經濟部水利署水利規劃試驗所(2018),水利數值地形資料應用於細緻化淹水模擬之研究。

鍾亭羽(2017),設置低衝擊開發設施對都市淹水影響之研究,國立交通大學,碩士論文。

氣候變遷情境下淹水衝擊評估：以臺中與臺南地區為例

發行人：陳宏宇

出版機關：國家災害防救科技中心

地址：新北市新店區北新路三段 200 號 9 樓

電話：02-8195-8600

報告完成日期：中華民國 108 年 12 月

出版年月：中華民國 109 年 01 月

版 次：第一版

非賣品



地址：23143新北市新店區北新路三段200號9樓

電話：++886-2-8195-8600

傳真：++886-2-8912-7766

網址：<http://www.ncdr.nat.gov.tw>