

# 極端降雨事件之淹水模擬分析與損失評估

Flow simulation and loss assessment for extreme typhoon events



# 極端降雨事件之淹水模擬分析與損失評估

Flow simulation and loss assessment for extreme typhoon events

李欣輯、魏曉萍、劉俊志、楊昇學、葉克家、黃熾蓁





---

## 目錄

第一章 前言 .....	1
第二章 文獻回顧.....	2
2.1 災害損失的定義與分類.....	2
2.2 洪水損失研究.....	2
第三章 研究方法.....	4
3.1 氣候變遷下之雨量資料.....	5
3.2 SOBEK 淹水模擬.....	8
3.2.1 一維水理 .....	8
3.2.2 二維淹水模式 .....	9
3.3 災害衝擊分析.....	10
3.3.1 危害度分析(hazard).....	10
3.3.2 受體(inventory)及脆弱性(vulnerability)分析 .....	10
3.4 災害衝擊關連性分析.....	13
第四章 案例分析—以曾文溪流域為例.....	14
4.1 淹水模擬.....	14
4.1.1 流域基本資料 .....	14
4.1.2 模式檢定 .....	19
4.2 災害衝擊分析.....	25
4.2.1 受體(inventory)及脆弱性(vulnerability)分析 ...	25
4.2.2 損失推估 .....	25
4.3 災害衝擊關連性分析.....	28
4.3.1 水文因子分析 .....	28

---

4.3.2 水文因子分析 .....	29
4.3.3 土地利用分析 .....	30
第五章 極端降雨災害之調適策略.....	32
第六章 結論與建議.....	35
參考文獻.....	36

---

## 圖目錄

圖 1 分析流程圖.....	4
圖 2 MRI-JMA AGCM 對未來氣候推估的模擬中洋溫計算的示意圖....	7
圖 3 粗線條黃色方框為臺灣地區 5 公里解析度的動力降尺度所模擬的 範圍，共計有 380x400 個網格點，涵蓋範圍 1900x2000 平方公里7	
圖 4 Sacramento 水文模式示意圖.....	8
圖 5 損失相關因子.....	13
圖 6 曾文溪流域.....	16
圖 7 曾文溪河道模式建置.....	16
圖 8 曾文溪流域模擬範圍.....	17
圖 9 曾文溪流域內之曾文雨量站卡孜基颱風降雨組體圖.....	20
圖 10 曾文溪流域內之曾文雨量站莫拉克颱風降雨組體圖.....	21
圖 11 曾文溪流域莫拉克颱風水位之比較.....	23
圖 12 TOP1 至 TOP10 極端事件之下游流量歷線.....	23
圖 13 莫拉克事件模擬之結果.....	24
圖 14 TOP1 極端事件模擬之結果.....	24
圖 15 各土地利用下之淹水面積.....	25
圖 16 十場極端淹水事件之影響人數分析.....	27
圖 17 十場極端淹水事件之總損失.....	28
圖 18 降雨量因子與損失之相關性分析.....	29
圖 19 總流量與損失之相關性分析.....	29
圖 20 最大小時流量與損失之相關性分析.....	29
圖 21 十場極端淹水事件之各類損失.....	30
圖 22 降雨-損失曲線.....	32
圖 23 淹水面積與損失比較.....	34

---

## 表目錄

表 1 損失資料庫對應清單.....	11
表 2 基本資料收集.....	17
表 3 曾文溪流域模擬 Top1-Top10 時間.....	18
表 4 極端事件降雨量分析.....	18
表 5 曾文溪流域雨量站對應之網格點資料.....	19
表 6 曾文溪流域各河段糙度係數.....	20
表 7 十場極端淹水事件不同土地利用之淹面積(單位：平方公里).....	26
表 8 十場極端淹水事件之各類土地利用損失表(單位：百萬元).....	31
表 9 最大小時流量敏感度分析.....	33

---

## 摘要

極端颱風降雨事件常導致人命損失與社會經濟的衝擊，因此若能事先對極端颱風降雨事件所帶來的災害程度進行詳細評估，將對國內的防減災工作有相當大的助益。本研究以曾文溪流域為示範區域，使用國內首見之動力降尺度資料，挑選未來(2069至2099年間)前10大極端颱風降雨事件，結合SOBEK淹水模式之模擬且以國家災害防救科技中心(NCDR)已建置之臺灣颱風洪災損評估系統(TLAS)評估可能之損失。由研究成果可得知，十場事件總損失的平均金額為136億，且十場事件中受創最嚴重的均為農作，其次為水產及林地。接著，藉由關連性分析發現影響損失的幾個關鍵因子，主要為「最大6小時累積降雨量」、「最大小時流量」及「土地利用類型」。最後，本研究依據分析結果，提供曾文溪流域在面對未來極端降雨事件可進行之調適策略，進而有效的降低災害衝擊。

關鍵詞：極端降雨、淹水模擬、災害衝擊、SOBEK、TLAS

---

## ABSTRACT

Extreme typhoon precipitation events frequently result in socioeconomic impacts and the loss of human life. Therefore, conducting detailed evaluations of the level of disaster before the occurrence of extreme typhoon precipitation events is beneficial to disaster reduction. This study used the Tsengwen River Basin as a demonstration area and adopted dynamical downscaling data, which has not been employed in previous domestic studies, to simulate the future top 10 most extreme typhoon precipitation events (from 2069 to 2099). The data were combined with the simulation of the SOBEK flood model, and the Taiwan Typhoon Loss Assessment System (TLAS) established by the National Science and Technology Center of Disaster Reduction (NCDR) was used to evaluate potential losses. The results indicate that the average total loss for the 10 simulated typhoon events amounted to NTD\$ 13.6 billion, with agriculture suffering the greatest damage from the 10 events, followed by aquaculture and forestry. Subsequently, a correlation analysis was employed to identify numerous key factors that influence loss, specifically, the maximum 6-h cumulative precipitation, maximum hourly flow, and land use type. Based on these analysis results, this study provides applicable coping strategies for future extreme precipitation events in the Tsengwen River Basin to effectively reduce disaster impacts.

## 第一章 前言

全球暖化氣候變遷影響下，水文極端事件頻傳，流域可能面臨的災害衝擊恐成常態，如何降低災害風險，需擬定相關因應策略。台灣位於西北太平洋地區為颱風侵襲的主要路徑，極易受天然災害的影響。Liu et al. (2009) 指出近幾年科學家發現過去數十年全球各地溫度增加則強降雨事件也隨之增多，而中、小強度降雨則減少。2010 年「台灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫 2/3」報告書，統計 1970~2009 年台灣地區發生極端強降雨颱風的頻率，統計結果為 2000 年以前發生強降雨颱風的頻率約 2 年 1 次，2000 年後發生頻率增加為 1 年至少發生 1 次以上。面對極端降雨颱風事件發生機率愈趨頻繁，將導致低窪地區淹水、都市排水不良、坡地災害與水庫土砂淤積，甚至是公共工程設施毀損…等，都將會增加人命的損傷與社會經濟的衝擊。若加上氣候變遷下可能引發更劇烈的災變天氣，政策規劃與決策者需積極面對氣候變遷在未來可能出現之超乎現有經驗之大規模災害或新類型災害，行政部門所面臨之挑戰將更為嚴峻，然而 2009 年莫拉克颱風即是台灣史上最慘痛的極端災害事件。

莫拉克颱風所夾帶的巨大雨量釀成台灣地區嚴重的災情，造成全台超過 700 人死亡，全台的經濟總損失經由「莫拉克颱風災後重建推動委員會」的調查及統計，將近新臺幣 2 仟億元。就事後角度來看，若能事先針對極端天氣事件進行災害衝擊風險評估，勢必有助於災害減輕之整備工作。因此本研究利用 SOBEK 的淹水模擬技術，進行未來極端颱風降雨事件可能造成之淹水規模分析，並依據土地利用之分類進行各類極端事件損失之評估，期望藉由災害風險分析的程序，推估未來極端颱風事件可能造成的災害與衝擊，進而提供給相關單位有用的防減災策略。

## 第二章 文獻回顧

### 2.1 災害損失的定義與分類

災害損失的定義，簡單來說，即指恢復至災前狀況所需的金額(Grigg、Heiweg,1974)。但若以經濟學的角度來看，很明確定義為維持原來災前的福利水準(Welfare level)所需付出代價。據此，損失的定義是指能使得受災資本的所有人保持與未受災時相同的福利水準，所需給予該人之最小補償金額(Hicks,1946;Freeman,1993)。或許兩個定義的推求方式不同，但所要表達的意思其實是相似的，所謂的損失，包含不只是實際上財產的損失而已，更多無形損失也必需考量的。Breaden(1973)、Grigg,Heiweg(1975)、Grigg et al.(1976)等，針對洪水災害所產生之淹水損失分類為直接損失(direct damages)、間接損失(indirect damages)、次要損失(secondary damages)、無形損失(intangible damages)及不確定損失(uncertain damages)等五類。另外，Freeman(1993)根據福利經濟學の利用效益函數與支出數的理論，建立洪災損失的理論模型以及損失評估方法，並以各資本的效用來計算水災損失。

### 2.2 洪水損失研究

早期國內洪災損失的推估方法，多半以單位面積之淹水損失乘上淹水面積來進行估算 (Grigg, 1975, 蔡長泰 1995)。國內目前較常用的淹水模式有 FLO-2D、HEC-RAS、SOBEK、SWMM 及核胞模式等。顏清連等(1997)以流域為單元，進行淹水模式建立，且進行集水區逕流及河川洪流演算，建立低窪地區淹水模式，模擬流域於不同程度暴雨來臨時之淹水深度及範圍。施明文(2006)利用 SOBEK 二維淹水模式推估不同重現期之降雨條件下，洋子厝排水集水區淹水範圍。湯嘉芸等(2006)使用美國 FLO-2D 公司發展之 FLO-2D 模式及 Environmental Systems Research Institute (ESRI)與 Hydrologic Engineering Center (HEC) 所合作開發之 HEC-GeoRAS 模擬敏督利颱風於南湖溪所造成之淹水情況，並且對 FLO-2D 模式及 HEC-GeoRAS 兩模式之應用與

模擬結果進行進一步分析與探討。謝平城(2007)使用 HEC-GeoRAS 模式，進行南湖溪集水區不同重現期尖峰流量之淹水模擬。柯亭帆(2006)利用美國環境保護署所研發之暴雨經理模式(Storm Water Management Model, SWMM)[11]，以不同重現期的設計降雨進行模擬，了解現有排水系統的排水情況，並依據結果鑑定出潛在的淹水地點。許銘熙等(1993~1995)修改 Cunge(1980)等建議之核胞(cell)模式模擬台灣南部嘉義地區及八掌溪流域的淹水情況。

近年來由於 GIS 的技術於防災工作的應用已相當的普遍，因此利用 GIS 技術來進行洪災相關的研究也不少。例如：張齡方、蘇明道(2001)以台北縣汐止市為研討對象，應用空間資料掌握天然災害在時空上的變異。詹士樑等(2003)將災害風險概念應用於台北地區，透過繪製水災風險分區圖及相關評估方法，凸顯我國國土空間規劃對於防災的不足，並提供後續的研究與運用。J.R. Ni & A. Xue(2003)藉由 ANN 模型、GIS 模型系統的整合，模擬洪災發生的可能性及估算洪災風險的不確定性。Li,H.,C., et al. (2008) 及 Li,H.,C.(2010)依據福利經濟學的理论，將家戶損失分成人力資源損失及家戶財產損失兩類，其中財產損失又包含房屋結構損失、家俱家電損失、交通工具損失及其他損失，並且透過實際的問卷調查求各類損失的資料，進而建立家戶災害損失模型，最後再利用 GIS 的將各類損失以空間化的方式來呈現。

上述文獻無論是淹水的模擬、風險地圖的製作、洪災損失的評估等都算是 GIS 技術應用的成果。然而這些成果多半為平時減災政策參考之用，因此操作時較無時效性的問題。但防災需求總是瞬息萬變的，每大規模的災害發生時，地形地貌可能隨之改變，先前建立之資訊可能馬上不適用，故為能因應未來災防工作之需求，資訊的快速產出就變得非常重要。因此本研究亦透過 GIS 之模組計算的功能，進行災害損失評估工作。整合各類計算過程中所需要的資訊，提昇防災工作之效率。

### 第三章 研究方法

面對氣候變遷可能導致的極端氣候所帶來的衝擊與威脅，政府各部門已積極推動相關氣候變遷調適之政策規劃與擬定策略。本研究嘗試探討未來氣候變遷下，極端颱風降雨事件所造成淹水災害，藉以了解氣候變遷下的災害與衝擊，進而分析災害衝擊關連性且提出合適的災害調適策略，研究分析流程圖如圖 1 所示。

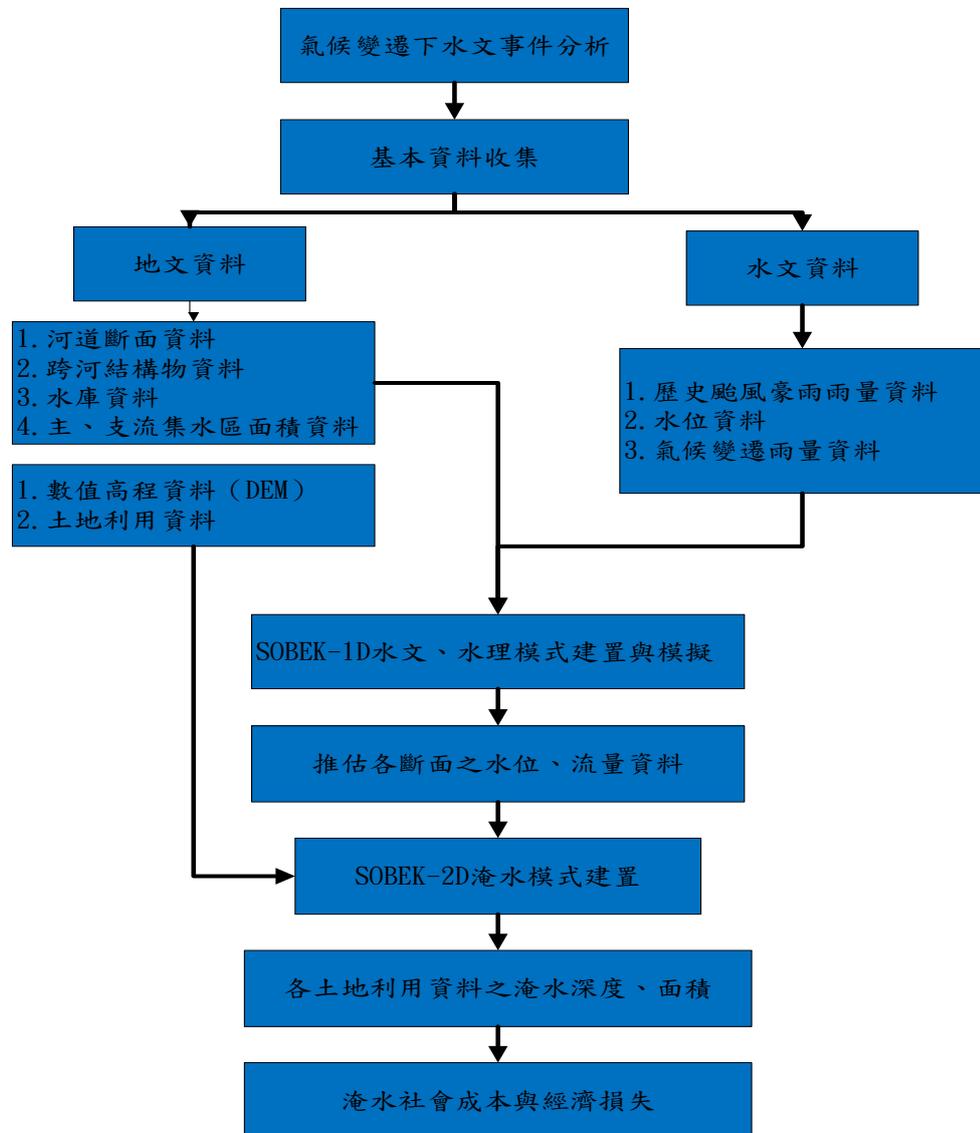


圖 1 分析流程圖

### 3.1 氣候變遷下之雨量資料

本研究使用日本氣象廳 (Japan Meteorological Agency, JMA) 氣象研究所 (Meteorological Research Institute, MRI) 發展的高解析度大氣環流模式 (MRI-JMA) 以及德國研究機構 Max Planck Institute (MPI) 發展的第五版大氣海洋環流耦合模式 (Roeckner et al. 2006, ECHAM5-MPI) 所模擬出的氣候推估結果。研究中採用 MRI-JMA AGCM 高解析度模式及 ECHAM5-MPI 低解析度模式的模擬結果當作初始場及邊界條件來進行動力降尺度，兩組模式皆每 6 小時提供一筆三度空間的資料，資料包括風場、溫度場、濕度場及重力位 (或是氣壓) 場。

MRI-JMA AGCM 係根據日本氣象廳原有用在天氣預報作業的數值模式所發展而成，網格間距約 20 公里左右。此模式採分段模擬現在 1979-2003，近未來 2015-2039 以及世紀末 2075-2099 三個時期的氣候推估。由 CMIP3 的大氣海洋環流耦合模式 A1B 情境模擬的系集平均計算出海溫隨時間線性增加的趨勢，再將現今海溫的變異加諸在隨時間線性增加的海溫上，用以驅動高解析度大氣環流模式以進行未來大氣環流變化的推估。圖 2 為未來氣候推估洋溫的示意圖。

ECHAM5 氣候模式係德國研究機構 MPI 發展的，由歐洲中期氣象預報中心 (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF) 使用的天氣預報模式所發展的第五版氣候模式，目前許多國家用來從事氣候的研究 (Connolley and Bracegirdle, 2007)。此模式亦參與 IPCC Fourth Assessment Report (IPCC AR4; IPCC, 2007)，當中的研究對於二氧化碳濃度變化的情境作為氣候變遷推估之依據，本研究採用 IPCC AR4 中 ECHAM5 的模擬推估結果作為動力降尺度之基本場。因模式為一大氣海洋耦合模式，洋溫係由海洋模組計算得之。此模式的大氣動力模組為一波譜模式，水平網格數目為  $192 \times 96$ ，

網格間距為  $1.875^\circ$ ，約為 180 公里。

計畫中採用美國大氣研究中心 (NCAR) 所主導發展的天氣研究與預報模式系統 (Weather Research and Forecasting modeling system, WRF 模式) 來進行水平解析度為 5 公里的動力降尺度工作。使用 Fita et al. (2009) 針對 WRF3.1.1 版稍加修改之 CLWRF，將 IPCC AR4 中 A1B 情境的溫室氣體濃度改變的情境納入輻射的計算，並輸出氣候分析常用的參數。模式每 3 個小時輸出一次資料，而地面溫度及降水資料則為每個小時輸出一次。模式所使用的物理模組包括：邊界層參數化採用 YSU scheme、微物理參數化採用 WSM 5-class graupel scheme、Kain-Fritsch 積雲參數化、近地表面過程的計算採用 Noah land surface module、輻射的計算則採用 CAM3 的短波及長波輻射參數化、表面層的計算則用 Monin-Obukhov surface layer scheme，動力降尺度垂直解析度為 36 層，水平網格點數為  $380 \times 400$ ，模擬區域如圖 3 所示。動力降尺度執行三個時期 (現在 1979-2003，近未來 2015-2039 以及 21 世紀末 2075-2099) 各 25 年的氣候模擬，為了避免執行降尺度所導致太大的氣候偏移，而無法重現與全球模式相同的大尺度環流特徵，此計畫採用波譜調整 (spectral nudging) 的方法，以減少大尺度環流的氣候偏移。為了保留高解析度地形及地表使用對模擬結果增加的價值，在此僅針對邊界層以上的風場、重力位以及溫度場做波譜調整。ECHAM5 動力降尺度的執行是每積分一個月後重新啟動模式 (亦稱冷啟動 cold start) 以進行下個月的模擬。而 MRI 的動力降尺度則不重新啟動，每个月的模擬接續上個月的結果進行著，不存在冷啟動造成資料不連續的問題。

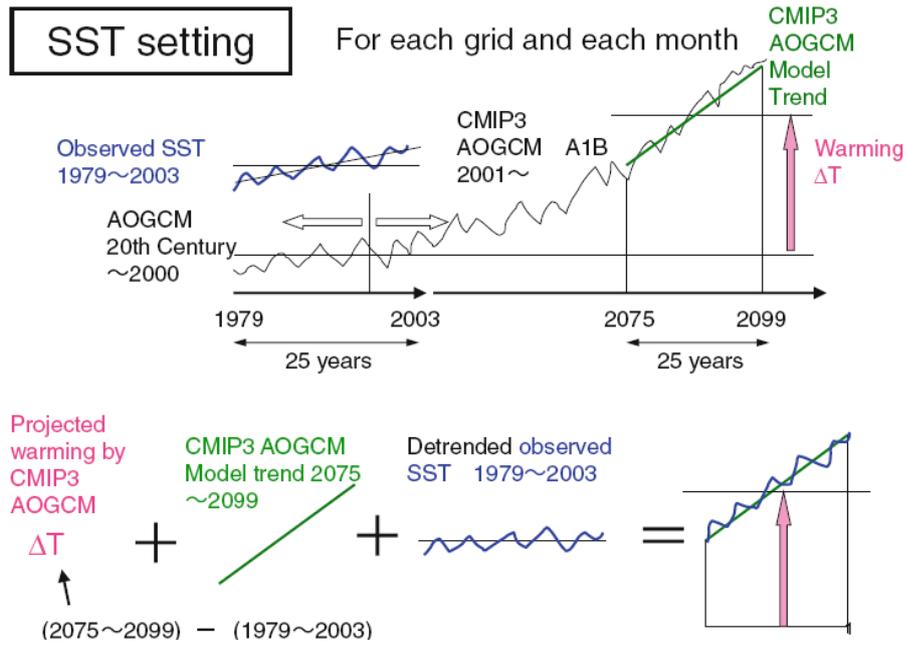


圖 2 MRI-JMA AGCM 對未來氣候推估的模擬中洋溫計算的示意圖  
(圖片取自 Kusunoki et al., 2011)

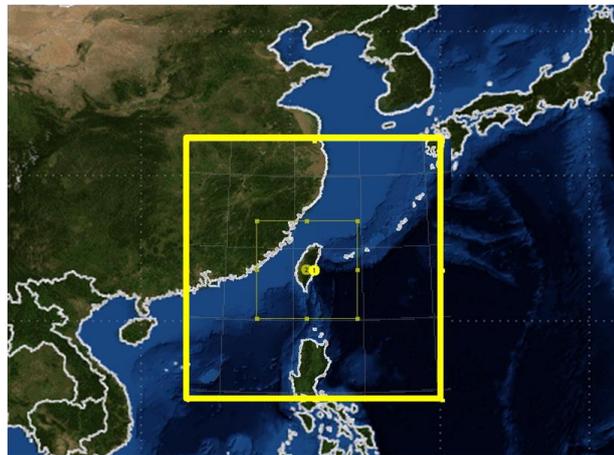


圖 3 粗線條黃色方框為臺灣地區 5 公里解析度的動力降尺度所模擬的範圍，  
共計有 380x400 個網格點，涵蓋範圍 1900x2000 平方公里

## 3.2 SOBEK 淹水模擬

SOBEK 模式為荷蘭 WL|Delft Hydraulics 公司所研發，為一套整合河川、區域排水與都市排水系統之商用水文、水理程式。模式分為 SOBEK Rural、SOBEK Urban 及 SOBEK River 三套模式，其中包含降雨逕流、河道演算、水質模式、輸砂模組、即時控制 (real time control) 及漫地流 (overland flow) 等模組。目前 SOBEK 模式較常應用於河川、都市下水道系統之水理及區域淹水之模擬，模擬結果可供防洪及水資源管理者進行管理、決策與分析之參考。

### 3.2.1 一維水理

SOBEK 一維水理模式包含河道與降雨逕流等模組組合，降雨逕流模組之水文分析採用 Sacramento 模式，模擬降雨至地面形成逕流之每一過程，包括蒸發、入滲、地表下逕流、地下水等，為一以物理機制為基礎之模式(physically based model)，Sacramento 水文模式示意圖如圖 4 所示。河道模擬可於渠道上設置相關橋樑、水庫、跨河構造物，如堰流(weir)、涵管流 (culvert)、孔口流(orifice)與抽水站 (pump station) 等相關構造物。

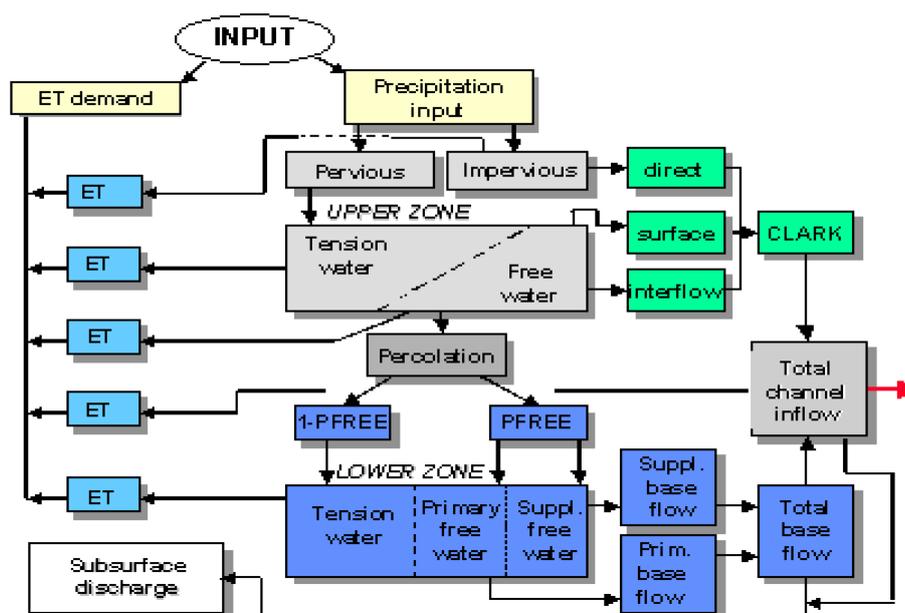


圖 4 Sacramento 水文模式示意圖

### 3.2.2 二維淹水模式

二維淹水模式包含水理模式、降雨逕流模式、雨水下水道與淹水模式，可瞭解淹水地區漫地流及河川洪水位特性。二維淹水模擬於河道內邊界條件為藉助一維水理模擬結果之流量與水位，作為二維河道邊界條件。而河道外則利用區域降雨至地表產生地表漫地流進行演算。

本研究將所收集之地文與水文資料建置至 SOBEK 模式中，模擬中考慮內外水影響，不過由於內水的區域排水資料較不足，因此模擬時先不考慮雨水下水道與區域排水，且假設內水因河道水位高漲而無法排至河川。

### 3.3 災害衝擊分析

根據 Li et.al. (2008)提出的災害損失分析架構，可以明確知得損失分析流程，主要分成災害度分析 (hazard)、受體資料分析 (inventory)、脆弱性分析 (vulnerability)三大類。一般來說災害的損失的計算結果即為這三項的乘績，分述如下：

#### 3.3.1 危害度分析(hazard)

洪災危害度分析主要是針對區域的地形、地貌、氣候，以及排水系統、雨量站、水文站、河川及堤防斷面等現況資料加以蒐集，所進行的洪災潛勢模擬，透過此模擬結果，可以劃定不同降雨頻率下可能的淹水範圍。

#### 3.3.2 受體 (inventory) 及脆弱性 (vulnerability) 分析

藉由上述的危害度分析與受體量推估的結果，災害衝擊的損失計算，主要是利用地理資訊系統，將模擬後的淹水潛勢資料輸出為網格資料，並套疊求得的暴露量資料，即可得知坐落於淹水範圍中之不同淹水深度之地上物分佈，再依據各類損失的計算公式(如表 1)，進行損失的推估。

表 1 損失資料庫對應清單

模組	計算公式	損失參照資料
影響人數估算模組	$INP = \sum_{i=1}^N PD_i \times IA_i$ <p> <i>INP</i> : Influence Population(people)  <i>PD<sub>i</sub></i> : Population Dandity (People/m<sup>2</sup>)  <i>IA<sub>i</sub></i> : Influence Area (m<sup>2</sup>) </p>	在政府現住人口資料及淹水或坡地災害潛勢範圍內來估算
土地流失模組	$LL = \sum_{i=1}^N LV_i \times LLA_i$ <p> <i>LL</i> : Land Loss(NT dollar)  <i>LV</i> : Land Value(NT dollar/m<sup>2</sup>)  <i>LLA</i> : Land Value Area (m<sup>2</sup>) </p>	1.各縣之土地公告現值 2.參考文獻：(Ko-Fei Liu, 2009)
住宅損失模組 (水災)	$\begin{aligned} \ln(\text{Flood loss}) = & \\ & -0.421 + 1.875 \ln(\text{Flood Depth}) \\ & -1.06(\text{House Possession}) \\ & +0.736 \ln(\text{Household Member}) \\ & +0.637 \ln(\text{Flood Duration}) \\ & -0.834(\text{Apartment / mansion}) \\ & -0.028(\text{Residential Years}) \\ & +1.159 \ln(\text{Income}) \end{aligned}$	1.NCDR 自行研發之水災模組 2.參考文獻：(H.C. Li, 2008)
農林漁牧模組	$CL = \sum_i^N \alpha_i [CPA_i \times CLA_i]$ <p> <i>CL</i> : Cropper Loss per Aare(NT dollar/m<sup>2</sup>)  <i>CPA<sub>i</sub></i> : Cropper Price (NT dollar /m<sup>2</sup>)  <i>CLA<sub>i</sub></i> : Cropper Loss Area (hectare)  <i>α<sub>i</sub></i> : Modify Coefficient  <i>i</i> : Different Crop </p>	1991-2011 重大颱風災害農林漁牧損失資料(農委會)
工商服務模組	$ICL = \sum_i^N \alpha_i [ICP_i \times ICLA_i]$ <p> <i>ICL</i> : Industry and Commerce Loss(NT dollar)  <i>ICP<sub>i</sub></i> : Industry and Commerce Price (NT dollar / m<sup>2</sup>)  <i>ICLA<sub>i</sub></i> : Industry and Commerce Loss Area (m<sup>2</sup>)  <i>α<sub>i</sub></i> : Modify Coefficient </p>	2006 年工商業普查資料(主計處)

	<i>i: Different place(county)</i>	
公用建物模組	$BL = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \alpha_i [BC_{ij} \times BLA_{ij}]$ <p> <i>BL : Building Loss(NT dollar)</i>  <i>BC<sub>ij</sub>: Building Cost (NT dollar / m<sup>2</sup>)</i>  <i>BLA<sub>ij</sub> :Building Loss Area( m<sup>2</sup>)</i>  <i>α<sub>i</sub> :Modify Coefficient</i>  <i>i: Different Place(county)</i>  <i>j: Different Building</i> </p>	<p>1.台灣地區住宅類建築造價參考表(中華民國產物保險商業同業公會)</p> <p>2.參考文獻：(Ko-Fei Liu ,2009)</p>
交通及水利設施模組	$THL = \sum_{i=1}^N \alpha_i [SUC_i \times SLN_i]$ <p> <i>THL : Traffic and Hydraulic Loss (NT dollar)</i>  <i>SUC :Structure Unit Cost (NT dollar/m or NT dollar/m<sup>2</sup>)</i>  <i>SLN : Structure Loss Number(m or m<sup>2</sup>)</i> </p>	<p>1.2006-2008 共八場颱風事件工程復建經費(公共工程委員會)</p> <p>2.88 風災後各地水利會搶修復建工程經費</p> <p>參考文獻：(Ko-Fei Liu, 2009)</p>

### 3.4 災害衝擊關連性分析

關連性分析主要目的為找出造成災害衝擊的主要關鍵因子。依據前文整體的計算流程，可能影響最後損失的因子相當多，包括：水文因子(雨量、水位及潮位)、地文因子(河道斷面、流量、高程、集水區面積與地理特性等)、人類活動(土地利用)因子等，但不一定與損失均有高度的相關，因此透過相關性分析可以進行篩選出關鍵因子。依據過去的文獻，本文選擇雨量、流量、洪峰延時、土地利用等，可能與損失相關的重要因子進行分析(如圖 5)。

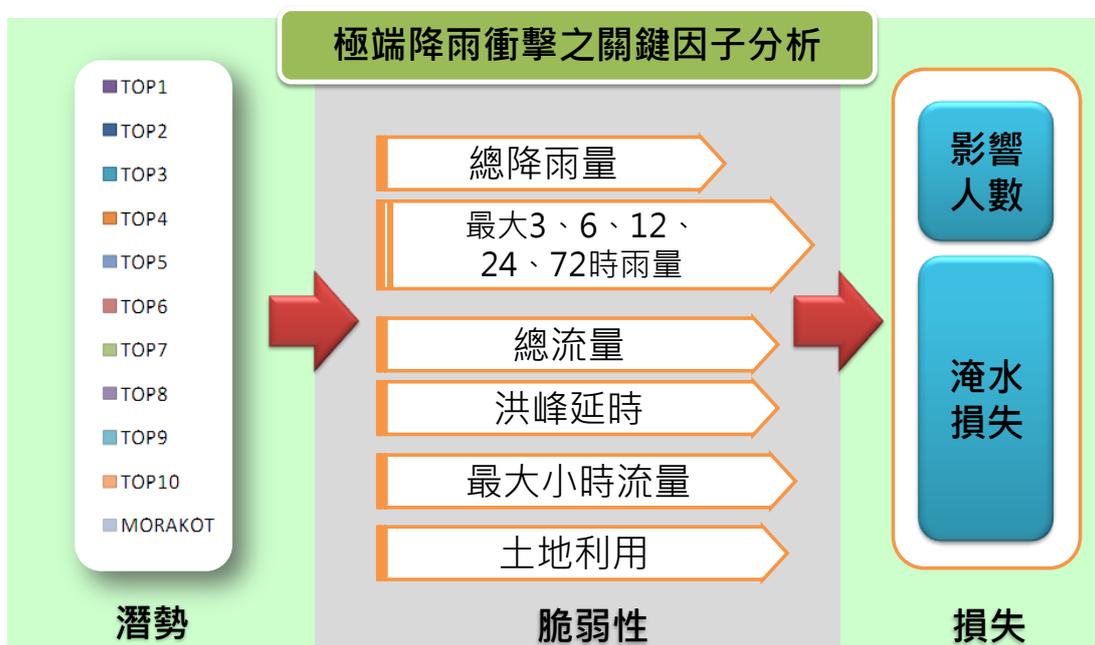


圖 5 損失相關因子

## 第四章 案例分析—以曾文溪流域為例

由於莫拉克事件中，主要的降雨分佈在南台灣為，其中以曾文溪流域為主要的降雨中心，因此本研究選擇曾文溪流域作為分析案例。

### 4.1 淹水模擬

#### 4.1.1 流域基本資料

進行未來極端颱風事件淹水模擬，需要有河道斷面、水工建造物、未來氣候雨量、土地利用及水位等資料。首先使用 SOBEK 模式建置曾文溪流域其河道斷面如圖 6 所示，水文站位置與淹水模擬範圍如圖 7 所示。由於 2009 年莫拉克颱風所夾帶大量雨量造成台灣地區大規模的淹水，因此選用莫拉克颱風雨量作為模式之檢定場次。模擬使用之地文與水文資料如表 2 所示。

雨量資料為推估流域流量之主要因子，研究中所使用的未來氣候變遷下之颱風雨量資料為臺灣氣候變遷暨資訊平臺計畫 (TCCIP) 所提供，該資料為採用日本氣象廳 (Japan Meteorological Agency, JMA) 氣象研究所 (Meteorological Research Institute, MRI) 發展的高解析度大氣環流模式 (MRI-AGCM) 所模擬的氣候推估結果，利用 WRF 區域模式進行動力降尺度產製 5 公里解析度颱風個案，並從 2075 年至 2099 年間挑選出前 10 大極端颱風降雨事件，前 10 大極端颱風降雨事件 (Top1-Top10) 以曾文溪流域總雨量為挑選原則，前 10 大極端事件 (Top1-Top10) 之時間與統計雨量統計值如表 3 與表 4 所示。由表 4 可得知，2009 年莫拉克颱風雨量約落於 TOP1 與 TOP2 之間。

由於 WRF 氣候資料為網格資料，因此挑選鄰近水利署雨量站的 WRF 網格點取雨量值為 SOBEK 輸入雨量資料，作為流域水文模式之流量分析使用，雨量站與 WRF 網格點位置如圖 8 所示，資料如表 5 所示。水位資料之蒐集主要包含河川水位測站資料與河口附近之潮位測站資料。收集現有河川水位站之時水位資料，可供水理模式之檢定與驗證使用。水位站位置如圖 7 所示。

由於曾文溪河口未設置潮位站，因此藉由 NOA99 之天文潮模式先推估河口潮位，再加上颱風所引起之暴潮水位，而為河口下游邊界水位資料，藉此進行水理演算。

流域之集水區面積、流域長度與河川坡降為根據水利署水利規劃試驗所 94 年「台灣地區主要河川流域整體規劃地文與水文資訊查詢系統建立」計畫，利用其 GIUH 工具，可求得各流域相關之集水區面積、流域長度與河川坡降等資料。河川斷面資料來自水利署各河川局與水利規劃試驗所相關計畫之大斷面測量資料，目前各河川最新斷面資料年份。

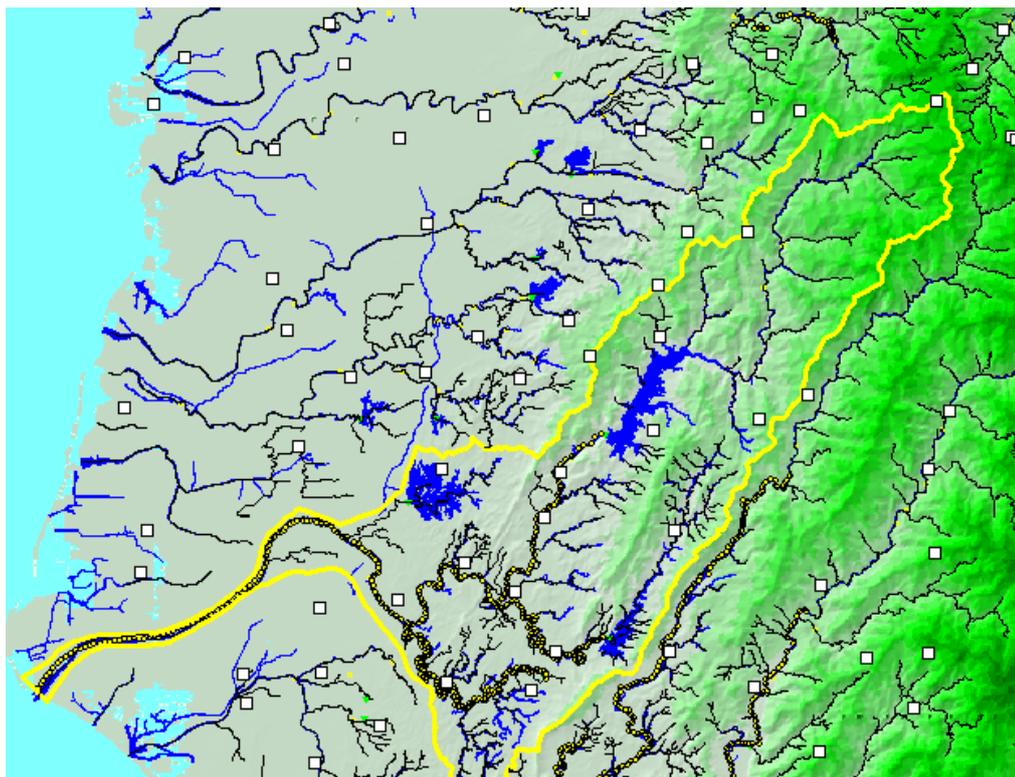


圖 6 曾文河流域

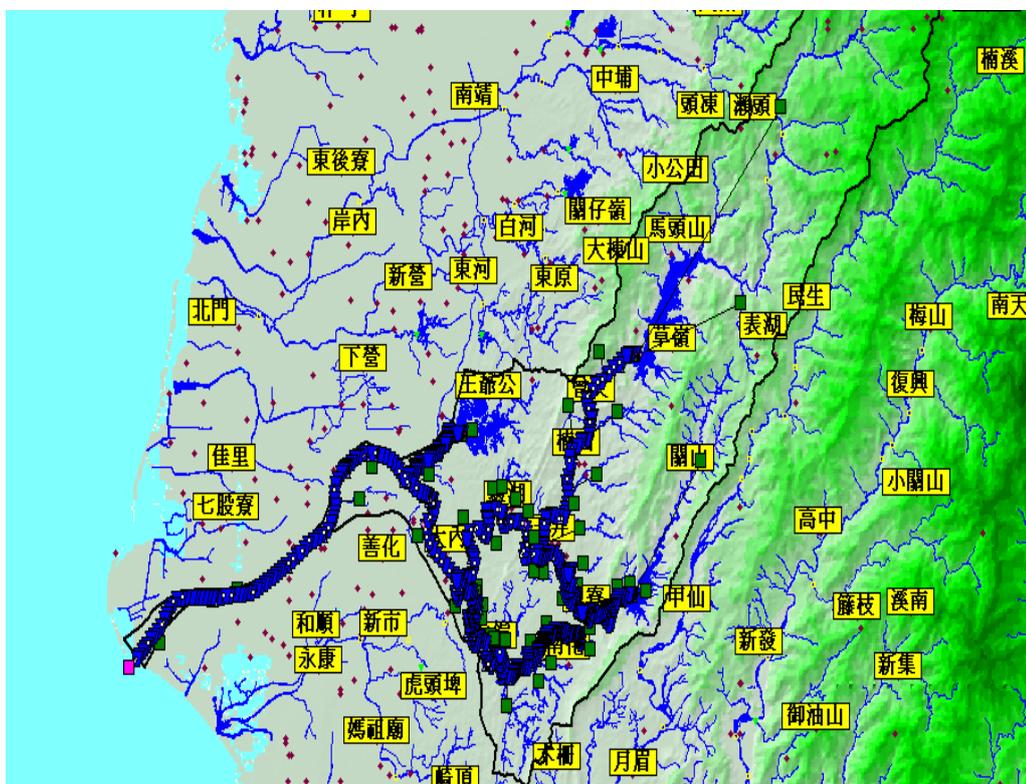


圖 7 曾文溪河道模式建置



圖 8 曾文河流域模擬範圍

表 2 基本資料收集

水文特性	地文特性
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 莫拉克颱風之雨量</li> <li>2. 莫拉克颱風之水位資料</li> <li>3. 莫拉克颱風之潮位資料</li> <li>4. 氣候變遷下之雨量資料</li> <li>5. 氣候變遷下最大潮位推估</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 河道斷面資料：民國99年大斷面測量資料</li> <li>2. 數值高程資料(DEM)：內政部提供之民國95年DEM資料之地表資料。</li> <li>3. 土地利用資料：民國95-96年土地利用資料。</li> <li>4. 跨河結構物資料：橋樑、取水堰</li> <li>5. 水庫資料：曾文水庫、南化水庫、烏山頭水庫</li> <li>6. 主、支流集水區面積與地理特性資料：曾文溪主流、後崛溪、菜寮溪、官田溪、區域排水等支流。</li> </ol>

表 3 曾文溪流域模擬 Top1-Top10 時間

排序	近未來	遠未來
TOP01	2017070800~2017071118	2090071418~2090071712
TOP02	2023100300~2023100418	2078072112~2078072312
TOP03	2020081306~2020081600	2083092918~2083100118
TOP04	2037072506~2037072706	2086091112~2086091518
TOP05	2023080112~2023080412	2083062006~2083062300
TOP06	2021080800~2021081106	2088080700~2088081212
TOP07	2027071906~2027072100	2075082018~2075082206
TOP08	2032091018~2032091700	2099072312~2099072512
TOP09	2019091412~2019091712	2093090306~2093090606
TOP10	2018072418~2018072812	2097080612~2097080900

表 4 極端事件降雨量分析

颱風事件	總降雨量 (mm)	總延時 (hr)	最大降雨強度					
			3 小時 (mm)	6 小時 (mm)	12 小時 (mm)	24 小時 (mm)	48 小時 (mm)	72 小時 (mm)
Top1	1045	49	178	278	463	893	1045	1045
Top2	844	67	164	299	461	651	838	844
Top3	674	49	117	222	391	608	674	674
Top4	629	103	86	161	301	535	625	629
Top5	607	133	136	209	321	460	546	580
Top6	517	49	133	226	377	513	517	517
Top7	493	43	165	269	393	491	493	493
Top8	483	37	126	222	335	458	483	483
Top9	395	61	62	115	195	265	382	395
Top10	385	67	86	151	250	330	368	385
莫拉克	1069	72	164	249	463	672	942.6	1069

表 5 曾文溪流域雨量站對應之網格點資料

雨量站名稱	WRF 網格位置	格網點位_X	格網點位_Y	經度	緯度
木柵	3	169	188	120.47	22.96
左鎮	9	168	190	120.42	23.05
北寮	20	169	191	120.47	23.09
七股寮	23	163	192	120.18	23.13
善化	25	165	192	120.28	23.14
環湖	28	168	192	120.42	23.14
玉井	29	169	192	120.47	23.14
楠西	38	169	193	120.47	23.18
王爺公	43	168	194	120.42	23.23
曾文	45	170	194	120.52	23.23
表湖	53	173	195	120.67	23.27

#### 4.1.2 模式檢定

本研究使用 2075 至 2099 年間氣候變遷下之颱風雨量資料，利用淹水模擬技術，進行未來極端颱風降雨事件可能造成淹水之模擬。首先選用莫拉克颱風事件分別以新中、二溪大橋及玉豐大橋水位站進行模式參數檢定，河道糙度  $n$  值如表 6 所示。圖 9 為曾文溪流域內之曾文雨量站卡孜基颱風降雨組體圖。圖 10 曾文溪流域內之曾文雨量站莫拉克颱風降雨組體圖。

圖 11 為曾文溪流域莫拉克颱風時期新中、二溪大橋及玉豐大橋水位站與 SOBEK 模式所模擬水位之比較。由圖 11 可觀察出，模擬結果與實測值尚稱吻合。圖 12 為曾文溪十場極端事件之流量歷線。由圖 12 可觀察出，TOP1 與 TOP2 尖峰流量分別為 13047.4 cms 與 12977.1cms，而莫拉克颱風尖峰流量則為 12048.5cms，莫拉克颱風尖峰流量落於 TOP2 與 TOP3 之間。

圖 13 為莫拉克事件模擬之結果，由圖 13 可觀察出，淹水較為顯著之區域均沿著曾文溪河岸較低窪地區，如善化鎮、大內鄉、山上鄉、官田鄉、安定鄉、西港鄉、左鎮鄉、安南區、麻豆鎮等。

圖 14 為 TOP1 事件模擬之結果，由模擬結果可觀查出，淹水區域與莫拉克模擬結果相似。因此，由此模擬結果可得知，未來氣候變遷下嚴重淹水災害將可能再次上演。

本計畫現階段僅就河道加以模擬，並未考慮排水設施，造成模擬出的淹水程度較為嚴重，未來可加入排水設施此一課題加以探討。且使用 SOBEK 模式模擬真實環境的反應，會受限許不確定因子的影響，因此，模擬出值與實際觀測狀況未必能完全相吻合。且目前進行未來氣候模擬，所使用的地文與水文資料，大多因為無未來推估資料，除了雨量資料，對於模擬結果準確性較低，未來若有潮位推估資料、土地利用情境，將可提升模擬的準確度。

表 6 曾文溪流域各河段糙度係數

	河川名稱	糙度 n 值
1	曾文溪主流	0.028-0.042
2	菜寮溪	0.032-0.035
3	後崛溪	0.03-0.045

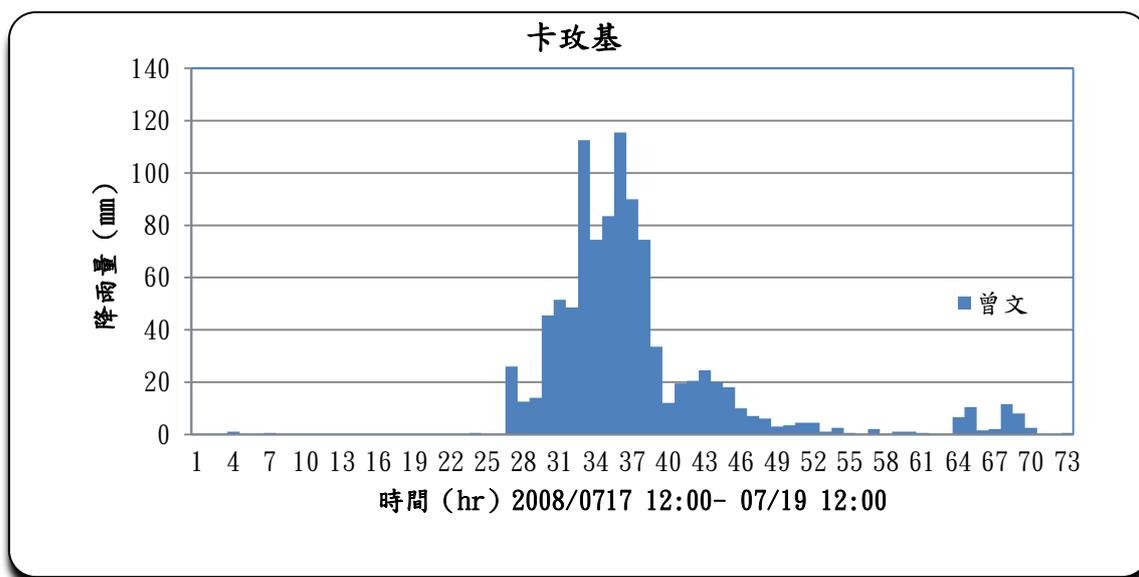


圖 9 曾文溪流域內之曾文雨量站卡玫基颱風降雨組體圖

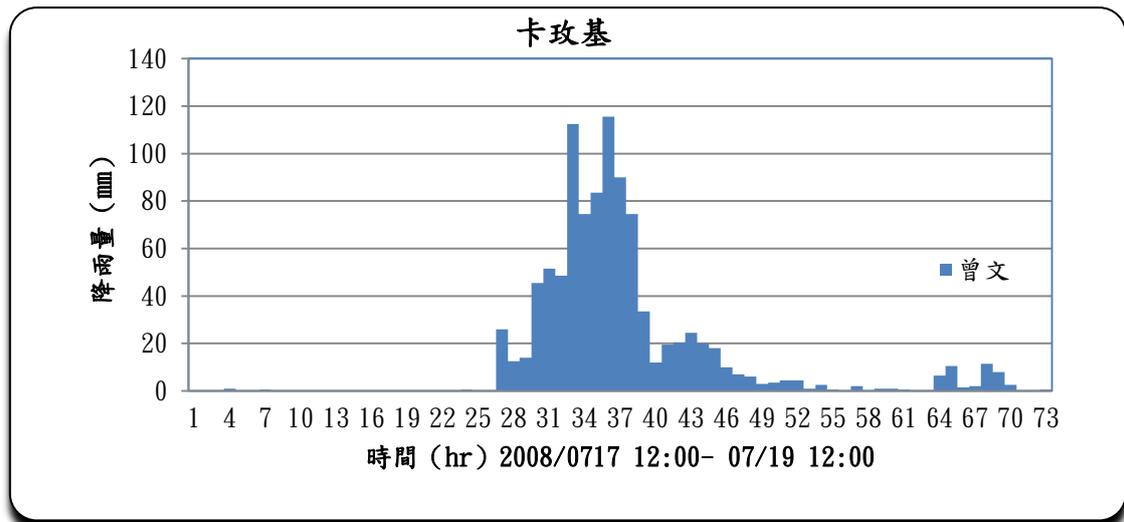
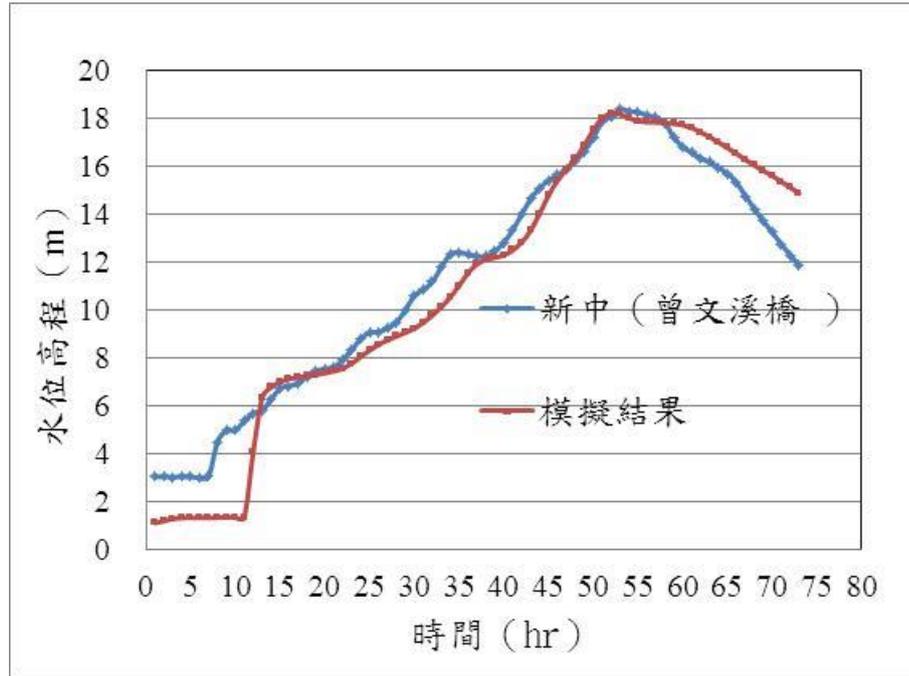
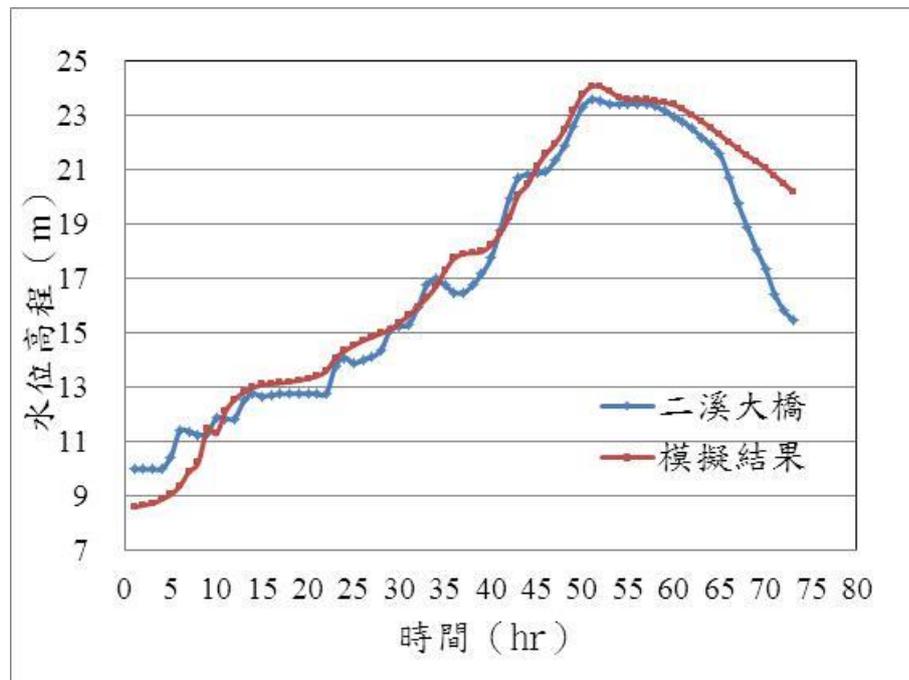


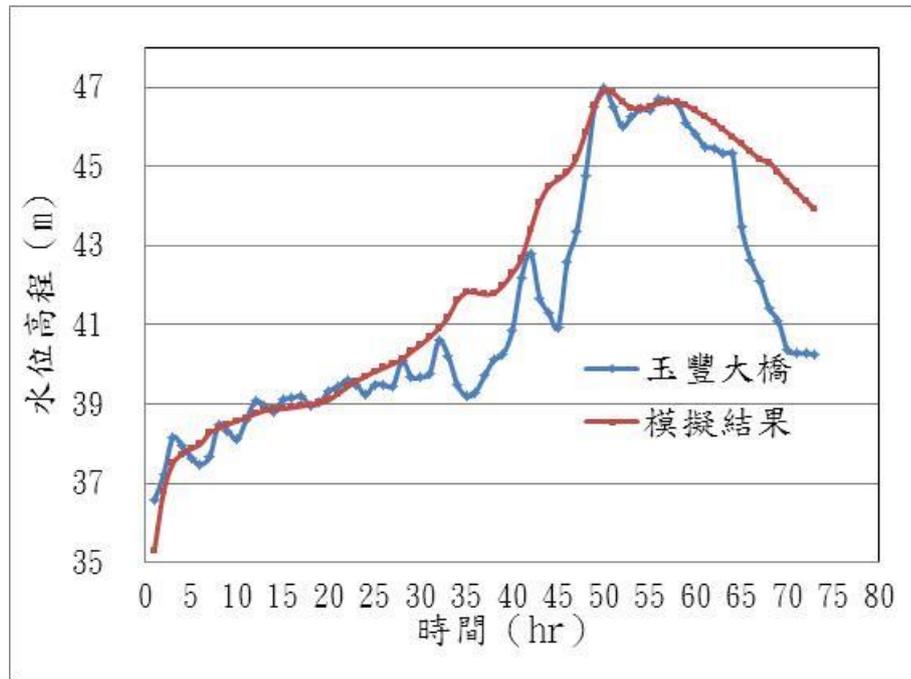
圖 10 曾文溪流域內之曾文雨量站莫拉克颱風降雨組體圖



(a)新中水位站



(b)二溪大橋水位站



(c)玉豐大橋水位站

圖 11 曾文溪流域莫拉克颱風水位之比較

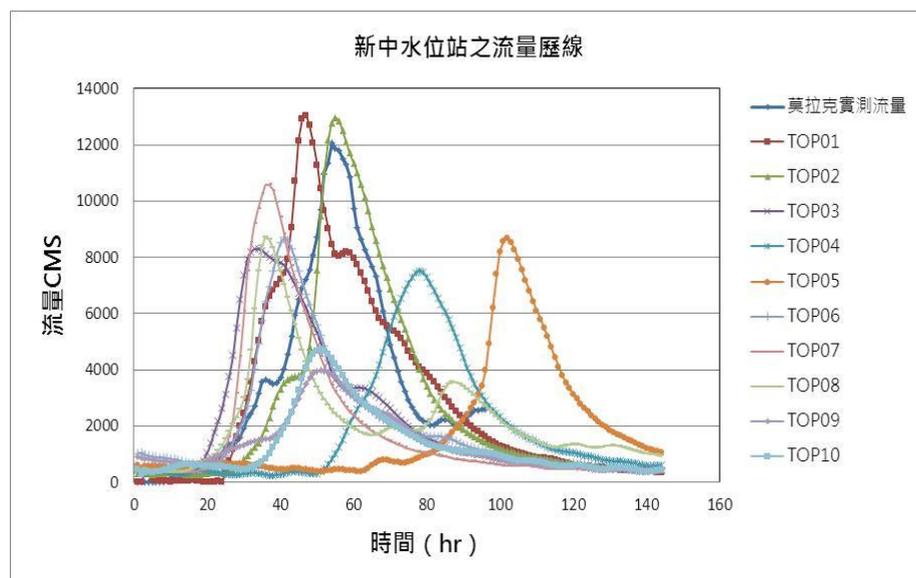


圖 12 TOP1 至 TOP10 極端事件之下游流量歷線

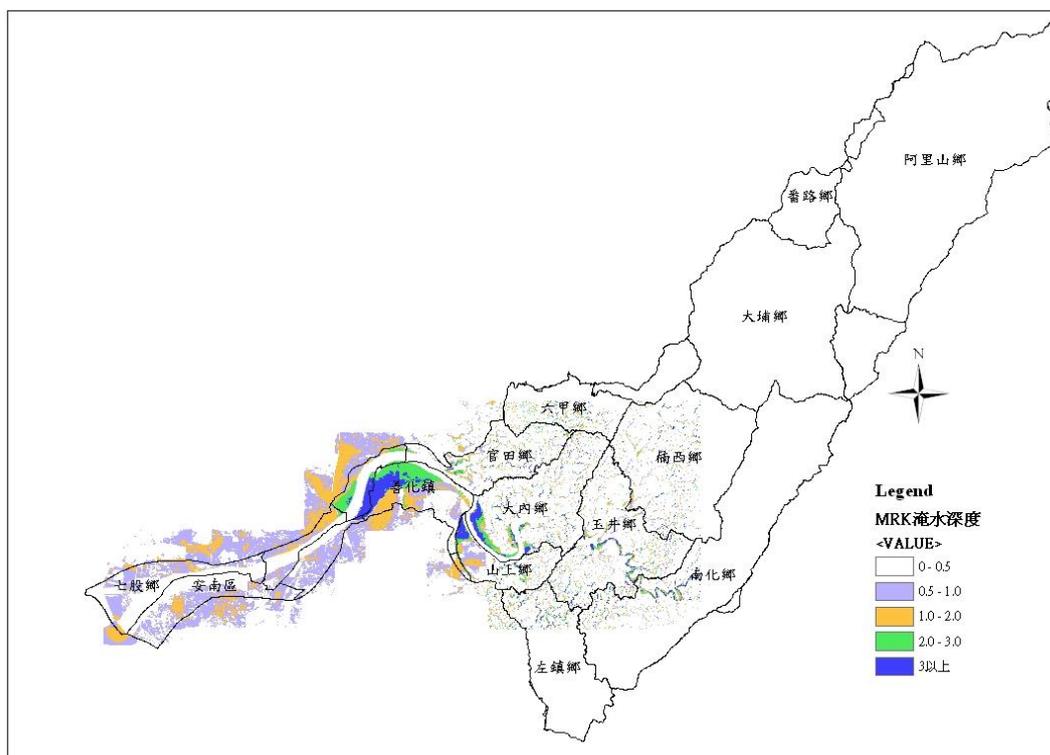


圖 13 莫拉克事件模擬之結果

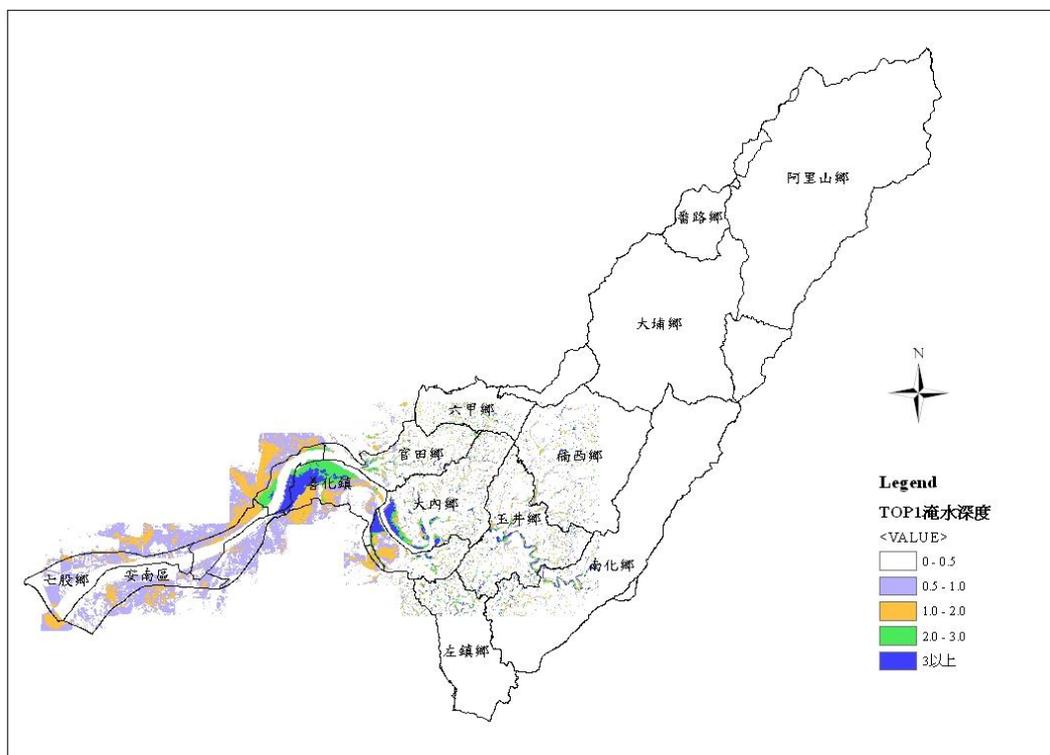


圖 14 TOP1 極端事件模擬之結果

## 4.2 災害衝擊分析

### 4.2.1 受體 (inventory) 及脆弱性 (vulnerability) 分析

本研究之受體主要是指受到水災危害之各類土地利用上之地上物。本文依據國土測繪中心於 97 年最新完成之全國土地利用調查結果。此圖層共分九大類，在套入淹水模擬結果(如圖 13)及土地利用圖層後，再利用 GIS 內建之計算功能，可以擷取淹水模擬圖層及土地利用圖層交集的面積，同時將兩圖層之屬性資料合併，估算出該算範圍內各類土地利用之受淹面積，如圖 15 所示。圖 15 中得知，這十場事件中受創最嚴重的為均農作，其次為水產及林地。

### 4.2.2 損失推估

藉由上述的危害度分析與受體量推估的結果，災害衝擊的損失計算，主要是利用地理資訊系統，將模擬後的淹水潛勢資料輸出為網格資料，並套疊求得的暴露量資料，即可得知坐落於淹水範圍中之不同淹水深度之地上物分佈，再依據各類損失的計算公式(如表 1)，進行損失的推估。

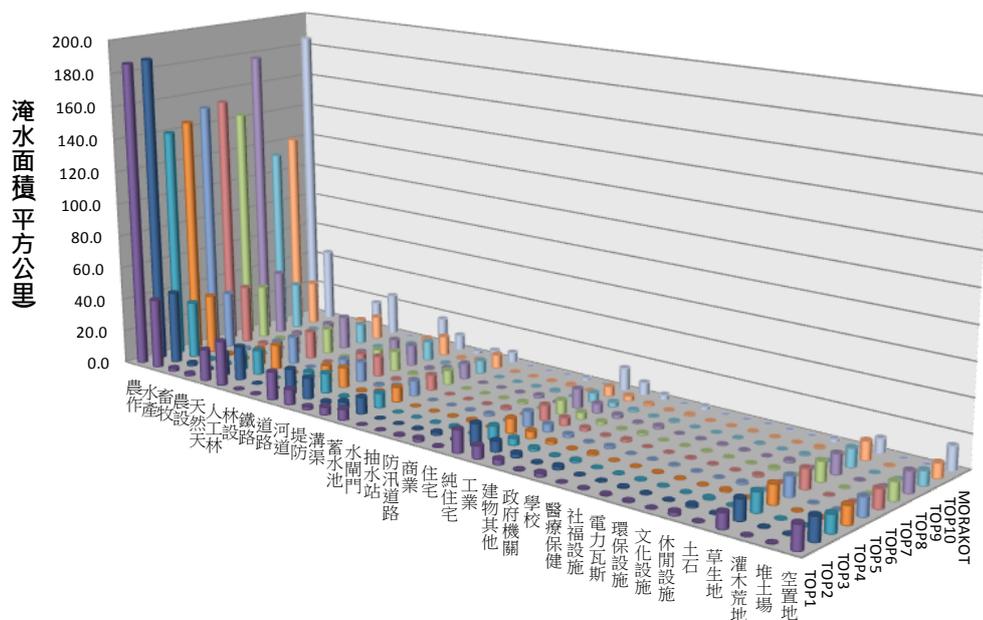


圖 15 各土地利用下之淹水面積

表 7 十場極端淹水事件不同土地利用之淹水面積(單位：平方公里)

landUsed	TOP1	TOP2	TOP3	TOP4	TOP5	TOP6	TOP7	TOP8	TOP9	TOP10
農作	186.1	186.9	139.9	144.2	151.4	153.0	143.0	177.4	112.5	120.7
水產	42.5	44.0	34.6	35.9	34.6	35.6	32.8	39.1	28.4	26.6
畜牧	2.1	1.9	1.3	1.4	1.4	1.4	1.4	1.7	1.0	1.0
農設	1.5	1.3	0.9	0.9	1.0	1.0	0.9	1.2	0.7	0.8
天然天	19.4	14.0	10.2	10.1	11.4	11.5	10.6	13.3	8.5	9.5
人工林	27.4	20.7	15.1	15.2	16.9	17.1	15.7	20.0	12.3	14.0
林設	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
鐵路	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2
道路	17.2	15.4	10.3	10.8	11.2	11.3	10.7	13.6	7.6	8.1
河道	9.5	12.9	12.3	12.3	12.4	12.4	12.3	12.7	11.8	11.9
堤防	2.0	1.3	0.9	0.8	0.9	0.9	1.0	0.9	0.7	0.7
溝渠	4.9	4.5	3.3	3.4	3.3	3.4	3.1	3.9	2.7	2.6
蓄水池	6.7	10.2	9.0	9.0	9.4	9.5	8.9	9.8	8.2	8.5
水閘門	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
抽水站	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
防汛道路	0.5	0.4	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2
商業	2.0	1.8	1.2	1.3	1.4	1.4	1.3	1.7	0.9	1.0
住宅	0.5	0.5	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.5	0.2	0.3
純住宅	13.6	13.4	8.2	8.8	9.2	9.2	8.5	11.7	5.7	6.2
工業	7.8	6.5	4.2	4.5	4.8	4.8	4.3	5.8	3.1	3.4
建物其他	3.3	2.6	1.7	1.8	1.9	1.9	1.8	2.3	1.3	1.4
政府機關	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.3	0.3
學校	2.3	2.0	1.3	1.4	1.4	1.4	1.3	1.7	0.8	0.9
醫療保健	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
社福設施	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
電力瓦斯	0.7	0.5	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.2	0.3
環保設施	0.6	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2
文化設施	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
休閒設施	2.1	1.6	1.0	1.0	1.1	1.2	1.1	1.4	0.8	0.9
土石	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1
草生地	9.2	12.2	11.7	11.6	11.9	11.9	11.8	12.0	11.3	11.4
灌木荒地	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
堆土場	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
空置地	14.2	13.9	10.6	10.9	11.1	11.2	10.9	12.7	8.8	8.9

其中表 1 的模組是依據土地法、國土測繪中心的土地利用圖資，並參照莫拉克颱風災後的調查報告(李維森等，2010)，所歸納的模組，但主要可分成影響人數及財物損失兩大部份，計算結果分述如下：

影響人數：此計算的假設條件為，所有人口都居住於住宅用地上(實際若不住於住宅用地上的人口，則無法估算)，再依據單位面積人口密度的理論，來推估在淹水範圍內受影響人數。最後十場極端降雨淹水事件的影響人數，如圖 16 所示。

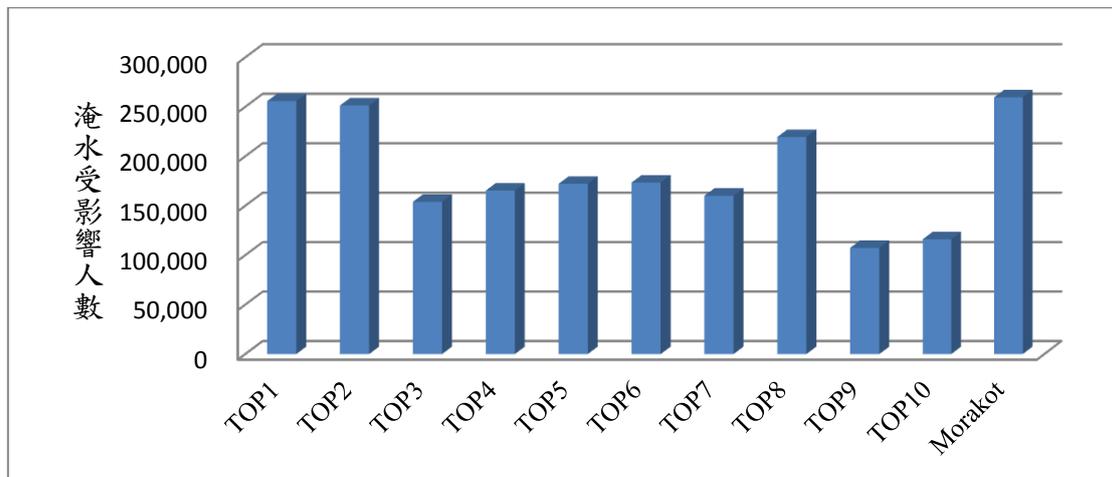


圖 16 十場極端淹水事件之影響人數分析

根據圖 16 的分析結果，得知在示範區中，受淹水影響的總人數最多的事件，除了莫拉克事件外，最大的即為 255,715 人 TOP1 事件，其次才是 251,354 人 TOP2 事件，其中影響人數最少者為 TOP9 之 107,458 人。這模擬結果顯示無論那一場模擬結果，所受影響的人數都超過十萬人，均勘稱為大規模災害事件，因此相關政府單位可以省視目前的防災能量，在因應未來極端災害威脅下，是否足以承擔 10 萬人甚至上達 25 萬人的防災整備工作，藉以進行適當的強化或調整。

財產損的計算包括住宅損失模組、農林漁牧損失模組、工商服務損失模組、公用建物損失模組、交通及水利設施損失模組等結果，其中共包括 27 類不同型態的土地利用。首先十場極端淹水事件模擬計算損失結果，如圖 17 所示。

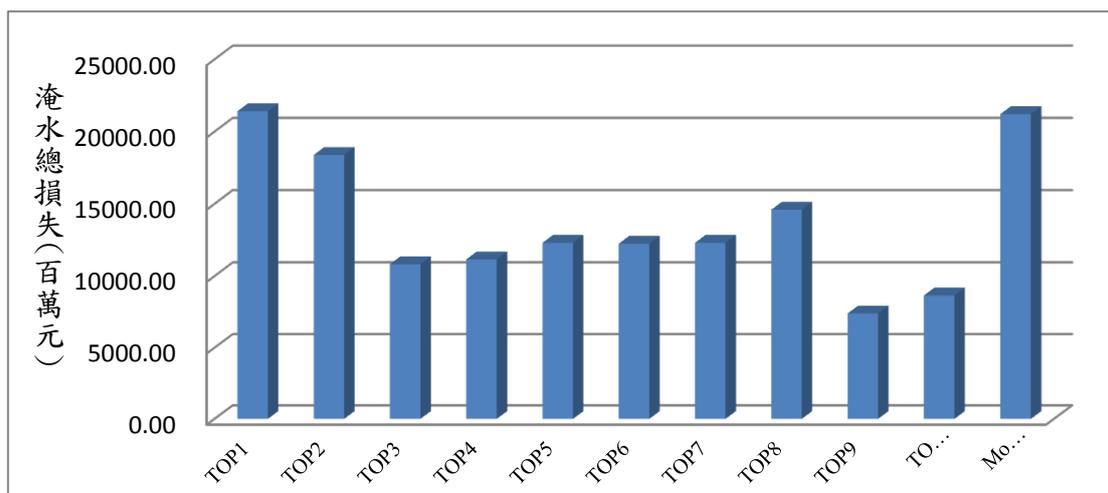


圖 17 十場極端淹水事件之總損失

圖中得知十場事件中，總損失的平均金額為 136 億，其中損失最大為 TOP1 模擬事件之 214 億元，最小的為 TOP9 模擬事件之 74 億元，但無論那一場模擬損失結果，除了莫拉克事件外(莫拉克總全台總損失近 2000 億元，若平分受創最嚴重的南部五縣市：雲林、台南、高雄、屏東、台東縣市，每縣市的平均損近 350 億元)，相較於過去的台南市地區的災害歷史，連最小的 74 億也已算罕見的嚴重災情。

## 4.3 災害衝擊關連性分析

### 4.3.1 水文因子分析

圖 18 中的水文因子包括：總雨量、最大 3、6、12、24、72 小時雨量。依據表 4 統計之雨量及圖 17 各極端事件之損失計算結果，可以進行各降雨因子與損失之相關性分析，結果如圖 18 所示。圖中的迴歸曲線是以最小平方法來計算各降雨因子與損失之關聯性，並取最小平方法的平方法 R 來評估其相關性。圖 18 中可得知，各事件的總損失值均和不同降雨因子有不錯的相關性，然而其中又以最大 6 小時的累積降雨為最高，R 值高達 0.88 值已接近顯著。此結果說明，最大 6 小時的累積降雨與總損失間有高度的相關性，可視為關鍵之影響因子。

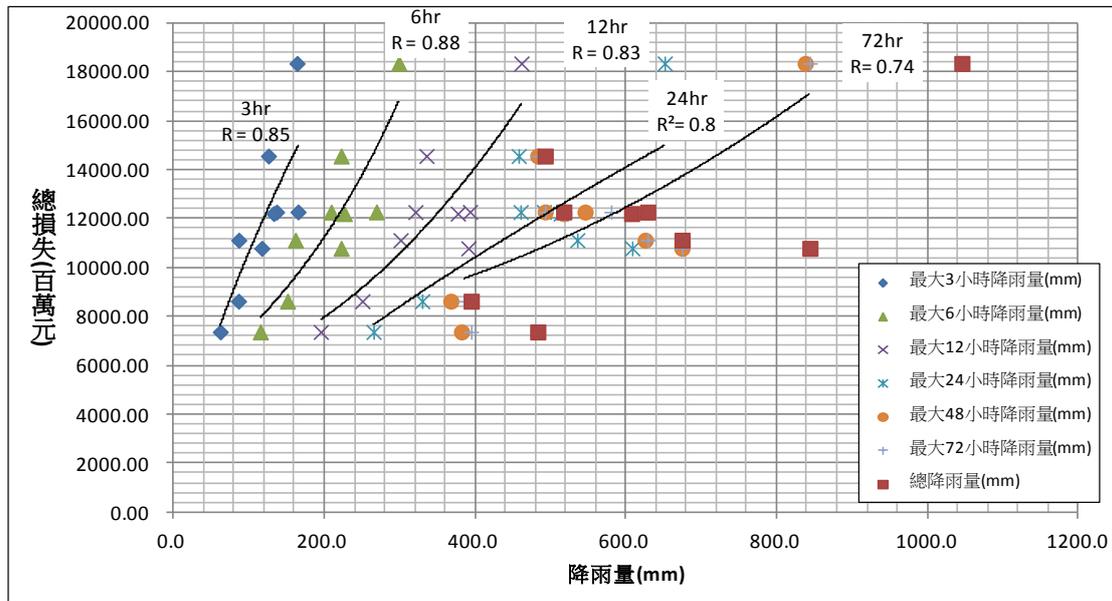


圖 18 降雨量因子與損失之相關性分析

### 4.3.2 水文因子分析

依據圖 18 的關連性分析資料，本研究選擇進行分析的重要水文因子共有總流量、洪峰延時、最大小時流量三項。最後依據分析的結果得知，總流量及最大小時流量與總損失之間有呈現高相關性(如圖 19 及圖 20 所示)，而洪峰延時則呈現無相關，對損失並無太大影響。其中在總流量及最大小時流量兩因子中，又以最大小時流量相關性較高，其 R 值為 0.95，已達顯著的水準。因在此水文眾多的分析因子中，本文建議可以選擇最大小時流量作為災害衝擊的水文關鍵因子。

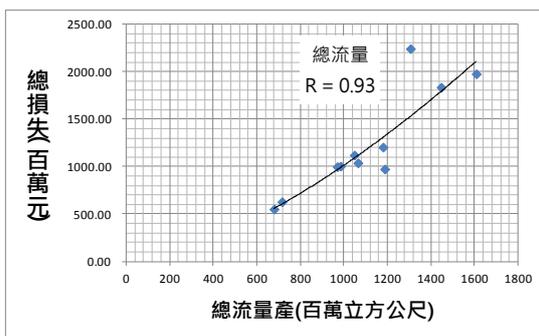


圖 19 總流量與損失之相關性分析

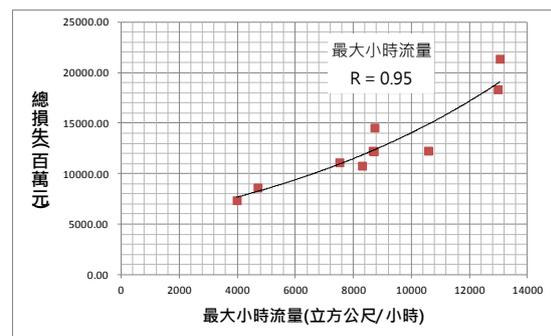


圖 20 最大小時流量與損失之相關性分析

### 4.3.3 土地利用分析

圖 21 已顯示各事件之總損失值，然若要進行土地利用因子的影響性分析，則須進一步針對各類土地利用進行損失分析。最後依據表 7 計算之損失面積，可以求得各土地利用上地上物損失(如圖 21 所示)。圖可以得知在受創的所有土地利用中，損失最大三種用地依序為工業、住宅及農業。其中十場事件中工業總損失平均約為 52 億、住宅總損失平均 22 億、農業總損失為 21 億，三者佔總平均損失之 70%。故在土地利用的分析，工業、住宅及農業為此區重要的關鍵對象。

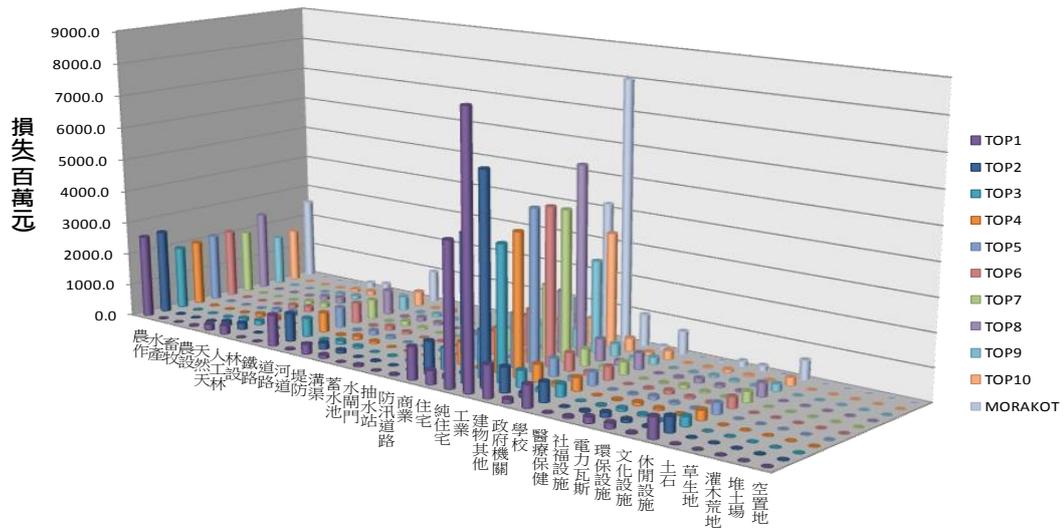


圖 21 十場極端淹水事件之各類損失

表 8 十場極端淹水事件之各類土地利用損失表(單位：百萬元)

landUsed	TOP1	TOP2	TOP3	TOP4	TOP5	TOP6	TOP7	TOP8	TOP9	TOP10
農作	2549.8	2578.0	1934.7	1995.6	2088.4	2112.8	1968.8	2443.8	1556.8	1661.1
水產	6.8	7.1	5.6	5.8	5.6	5.8	5.4	6.3	4.6	4.3
畜牧	1.5	1.4	1.0	1.0	1.1	1.1	1.0	1.3	0.7	0.8
農設	20.1	17.5	12.5	13.0	13.1	13.6	12.3	15.8	9.6	10.3
天然天	194.1	140.1	102.0	101.2	114.6	115.7	106.5	133.3	85.5	95.6
人工林	274.5	207.9	151.1	152.1	169.3	171.4	157.0	200.8	123.4	140.2
林設	2.6	2.2	1.3	1.5	1.8	1.8	1.7	2.4	1.1	1.3
鐵路	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
道路	973.5	873.6	582.8	613.5	638.0	643.6	605.4	774.3	430.6	460.6
河道	22.8	31.0	29.3	29.5	29.7	29.7	29.4	30.3	28.4	28.6
堤防	312.3	203.1	134.0	122.3	142.4	142.5	160.2	137.2	105.0	106.8
溝渠	110.7	102.2	74.1	78.0	76.2	77.7	71.2	88.8	60.8	58.7
蓄水池	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
抽水站	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
防汛道路	30.8	21.4	14.3	13.5	15.0	15.0	16.6	14.3	12.1	12.0
商業	1007.3	1015.2	656.6	696.9	741.1	726.9	663.7	908.6	466.2	505.1
住宅	431.3	123.5	38.2	35.4	41.9	42.1	54.2	47.6	12.5	14.3
純住宅	4325.3	4396.6	1449.7	1371.4	1649.4	1621.4	2222.1	1903.2	587.9	780.2
工業	8131.6	6295.2	4071.4	4294.6	4856.4	4783.6	4576.9	5781.0	2791.7	3511.4
建物其他	999.6	772.7	517.4	537.1	560.0	567.7	532.3	682.4	385.9	409.6
政府機關	139.4	153.3	113.5	116.7	124.3	129.1	130.2	148.6	92.5	103.3
學校	697.5	608.9	386.7	414.3	418.7	420.0	402.8	516.6	229.3	279.9
醫療保健	13.1	7.2	5.3	5.5	5.7	5.5	5.4	6.8	4.1	4.4
社福設施	57.8	49.5	34.7	35.8	37.6	38.4	35.7	45.0	23.6	27.6
電力瓦斯	198.5	152.0	97.5	99.4	115.2	114.0	111.6	146.0	72.6	94.6
環保設施	177.3	92.6	61.0	68.4	65.1	65.4	54.2	82.1	53.4	49.1
文化設施	34.9	36.1	32.3	32.7	32.2	33.4	31.0	34.9	29.6	30.5
休閒設施	638.5	474.6	297.5	305.4	344.6	346.8	335.9	424.5	225.9	258.3

## 第五章 極端降雨災害之調適策略

依據上述衝擊分析結果，得知無論十場極端事件對於本研究選取之曾文溪流域示範區均會造重大衝擊，其中特別是 TOP1 事件最為嚴重。本研究再進一步針對這些損失進行關鍵因子分析，發現影響損失的幾個關鍵因子，在氣象條件上主要為「最大 6 小時累積降雨量」，在水文條件上則為「最大小時流量」，最後則為「土地利用類型」。因此，未來若要針對該區極端降雨事件進行調適的策略，上述三項關鍵影響因子則扮演重要的角色。以下分別利用這三項因子進行有效的防災應用。

### 1. 降雨-損失曲線應用於早期預警

由圖 18 的得知最大 6 小時的累積降雨與總損失間有高度的相關性，可視為關鍵之影響因子。因此最大 6 小時累積降雨與總損失之關係曲線可用來進行早期之災害預警，如圖 20 所示。假設未來極端降雨的連續 6 小時的模擬的雨量值為 440mm，此時若要預估該區可能造成的災害衝擊，即可依據已高達降雨與損失曲線推個可能造成的損失程度。從圖 22 中可得知，連續 6 小時雨量可能造成的損失值近 300 億元。因應此損失程度，相關單位可作為災害模擬設定之依據，並且進行適合的減災整備工作。

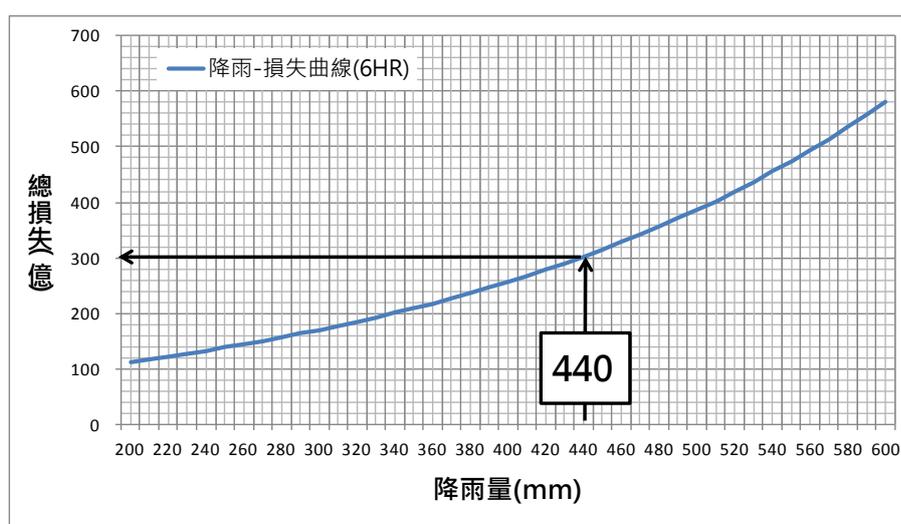


圖 22 降雨-損失曲線

## 2. 分區滯洪策略—降低洪峰流量

在前文流量的影響因子分析中，發現最大小時流量與損失的相關性較高，達 0.95，並達顯著的水準，因此最大小時流量亦為重要的災害衝擊關鍵因子。因此依據最大小時流量與損失的相關曲，可以進行之曾文溪流域示範區的敏感度分析，如表 9 所示。表 9 第一欄為最大小時流量變化(%)；第二欄為對應損失值；第三欄為相較於莫拉克災害損失之差值；第四欄為變異程度(%)。其中表 9 第一欄中的 0 值為所對應基準為莫拉克實際最大小時流量值，約為 12048 立方米/小時，其他的流量變化均以此流量為計算依據。

表 9 最大小時流量敏感度分析

最大小時流量增量%	損失值(百萬元)	損失差值(百萬元)	損失變異度%
-20	13,468	-3,670	-21
-15	14,304	-2,833	-17
-10	15,193	-1,945	-11
-5	16,136	-1,002	-6
0	17,138	0	0
5	18,202	1,064	6
10	19,332	2,194	13
15	20,532	3,395	20
20	21,807	4,670	27
25	23,161	6,024	35
30	24,600	7,462	44

依據此表的分析，得知若該區依莫拉克實際最大小時流量值所對應的實際損失值約為 171 億元。最大小時流減量 5%，損失值可降低 6%；若最大小時流減量 20%，損失值可降低 21%，約 36 億元，此效益非常的可觀。因此該流域若可利用滯洪的方式，將可能同時匯流洪峰量作分區的調節，例如利用上游的曾文溪水庫或烏山頭水庫進行流量的蓄洪調節，就能達到明顯的減災效益。相反的，若流量超過莫拉克的實際值，也可以推估損失的程度，只是損失遞增的速度會變快，例如最大小時流增量 20%，損失值就增加約 27%，近 46 億元，藉以更須積極進行各項減備災工作。

## 3. 國土利用再分配—所有權交易制度

依據十場極端事件各土地利用下之受災面積及損失值來看(圖 23)，平均受災面積最大的為農作用地，總淹水面積的 50%，其次是水產用地，佔 11.8%；

若依損失比例來看的話，損失最大的為工業，佔總損失之 37.9%，其次是佔總損失 16.5%的純住宅損失，第三才是佔總損失 15.6 的農作用地。然而若受災面積及損失兩者結合來看，受創最嚴重工業損失，損失面積卻只佔總淹水面積的 1.7%，損失次高之純住宅損失面積也只佔總淹水面積的 3.2%。這結果說明兩件事實，第一在防災資源有限的短期操作情況下，集中有限能量依序先針對工業、其次住宅與農業進行防災是最有效益策略；第二就長遠的操作來看，透過土地所有權交易制度進行國土利用再分配才是最佳策略，特別是工業及住宅。只要減少這兩項的損失，就可一勞永逸的解決受災問題，單就十場極端事件的平均損失來說，至少可減少 54%的損失，約 74 億元，若再考慮未來省去每年面對不同極端事件的損失，其效益就難以估算了。

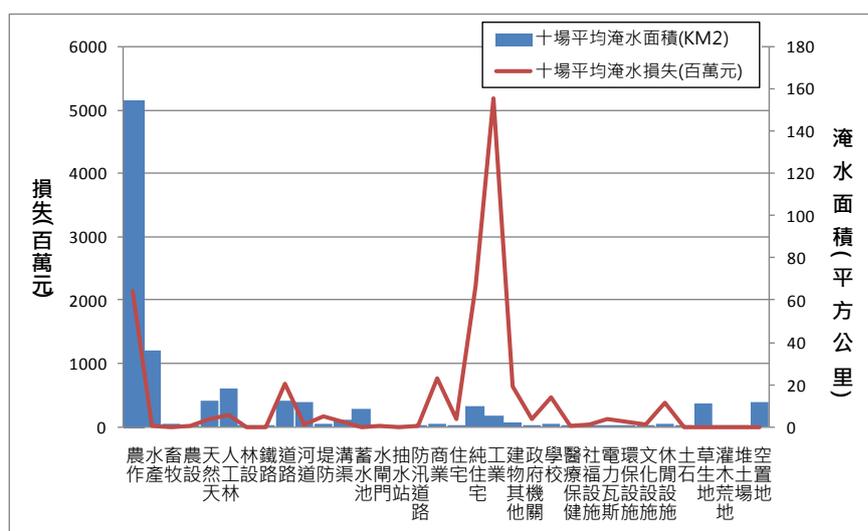


圖 23 淹水面積與損失比較

## 第六章 結論與建議

本研究以曾文溪流域為示範區域，使用動力降尺度資料，挑選未來 2069 至 2099 年間前 10 大極端颱風降雨事件，且將挑選出之雨量資料當 SOBEK 模式的輸入參數進行淹水模擬，最後將淹水模擬成果(位置、面積、水深)以國家災害防救科技中心(NCDR)已建置之臺灣颱風災損評估系統(TLAS)模組進行可能之損失評估。

根據 SOBEK 模擬及結合 TLAS 評估結果，TOP1 至 TOP10 十場事件中，總損失的平均金額為 136 億，其中以 TOP1 極端事件受淹水影響的總人數 255,715 人且損失為 214 億元為最嚴重。另外，藉由關連性分析發現影響損失的幾個關鍵因子，主要為「最大 6 小時累積降雨量」、「最大小時流量」及「土地利用類型」。因此文中針對這些關鍵因子提出「建立降雨-損失曲線」、「分區滯洪策略」及「國土利用再分配」等調適策略，期望有助於減輕曾文溪流域未來可能面對的極端災害衝擊。

經由莫拉克事件模擬之結果可得知，淹水較為顯著之區域均沿著曾文溪河岸較低窪地區，如善化鎮、大內鄉、山上鄉、官田鄉、安定鄉、西港鄉、左鎮鄉、安南區、麻豆鎮等。且 TOP1 事件模擬之淹水區域與莫拉克模擬結果相似。因此，未來氣候變遷下於曾文流域嚴重淹水災害將可能再次上演。

最後，本文目前直接使用 MRI 資料有低估的問題，後續研究方向擬進行 MRI 資料的 bias-correction。另外，現階段所使用的地文與水文資料僅就現況加以模擬，未來若有潮位推估資料、土地利用情境等資料，可再加入此一課題加以探討，提升模擬的真實性及準確度。

## 參考文獻

### 中文部分

台灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫2/3，編號NSC 98-2625-M-492 -011，台北,2010。

李維森、葉克家、林其璋、謝正倫、溫志超、葉一隆、謝龍生、陳聯光、李欣輯、王怡文，「莫拉克颱風之災情勘查與分析」，行政院國家科學委員會專題研究計畫，編號NSC 98-2625-M-492-010，台北,2010。

施明文 (2006)，「二維淹水模式應用於彰化縣三個排水系統淹水模擬之

柯亭帆 葉佳典 吳志興 王裕民，都市低窪地區潛在淹水鑑定與滯洪池排水操控之研究，2006年北京科技大學—國立屏東科技大學學術研討會。

柯亭帆, 葉佳典, 吳志興, 王裕民, (2006), 立都市低窪地區潛在淹水與滯洪池操控之分析, 市北京科技大學學報 (Journal of University of Science and Technology Beijing), Vol. 28(S2), pp.148-151.

研究」，碩士論文，國立中興大學水土保持學系。

張齡方、蘇明道(2001)，「空間資料於洪災損失推估之應用」，農業工程學報，第47卷第1期，p.20-28.

許銘熙 (1996)，「八掌河流域北岸洪水與淹水預報模式之研究(二)」，行政院國科會研究計畫成果報告.

湯嘉芸、謝平城、林俐玲，「FLO-2D 與 HEC-GeoRAS 應用於敏督利颱風造成南湖溪淹水之模擬」，水土保持學報 39 (1)：87-96，2007年。

詹士樑、黃書禮、王思樺(2003)，〈台北地區洪水災害風險分區劃設之研究〉，《都市與計劃》，第30卷，第4期，頁263-280。

蔡長泰、游保杉、周乃昉、史天元等。地理資訊系統在淹水預警上之應用(1、2、3、4)。臺中：臺灣省水利局專題研究計畫，1993 1994 1995 1996。

謝平城、湯嘉芸、林俐玲，2008，應用 HEC-GeoRAS 淹水模擬之研究—以南湖溪為例，水土保持學報，第四十卷，第四期，第455-467頁。

顏清連、蔡義本、陳亮全、許銘熙、林美聆、羅俊雄。防災國家型科技計畫—規劃報告，1997。

蔡長泰、游保杉等，1994，「地理資訊系統在淹水預警上之應用(二)」，國立成功大學水利暨海洋工程學系。

蔡長泰、游保杉等，1995，「地理資訊系統在淹水預警上之應用(三)」，國立成功大學水利暨海洋工程學系。

## 英文部分

- Connolley, W. M., and T. J. Bracegirdle, 2007, An Antarctic assessment of IPCC AR4 coupled models, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L22505, doi:10.1029/2007GL031648.
- Fita, L., J. Ferná ndez, and M. Garcí a-Dí ez, 2010: CLWRF: WRF modifications for regional climate simulation under future scenarios. Preprints, 11th WRF Users' Event, Boulder, CO,NCAR, P-26.
- Grigg, N. S., and Helweg, O. J. (1975). "State-of-the-art of estimating flood damage in urban areas." *Water Resources Bulletin*, 11(2), 379-390.
- IPCC, 2007, *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I,II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.). IPCC, Geneva, Switzerland, 104pp.
- J.R. Ni, H.W. Zhang, A. Xue, S. Wieprecht, A.G.L. and Borthwick, Modeling of hyper-concentrated sediment-laden floods in Lower Yellow River, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol.130, No.10, 2004, 1025-1032.
- Ko-Fei Liu, Hsin-Chi Li, and Yu-Charn Hsu, "Debris flow hazard assessment with numerical simulation," *Natural Hazards*, Vol. 49,No. 1, pp. 137-161, 2009.
- Li Hsin-Chi , 2010 , "A Household Loss Model for Debris Flow", *Journal of Social and Regional Development* , Vol.2 , No.2 , P29-52 .
- Li, H.C., Y.L. Kuo, D. Shaw, and T.H. Huang, "The Household Benefits Assessment of the Flood Reduction Plan in a Flood-prone Area: A Case Study of Sinwen, Chiayi, Taiwan", *Agricultural and Resources Economics* , v.5 n.2, p41-58,2008..
- Li, H.C., Y.L. Kuo, D. Shaw, and T.H. Huang, 2008.12, "The Household Benefits Assessment of the Flood Reduction Plan in a Flood-prone Area: A Case Study of Sinwen, Chiayi, Taiwan", *Agricultural and Resources Economics* , v.5 n.2, p41-58.
- Liu, Shaw Chen , Congbin Fu, Chein-Jung Shiu, Jen-Ping Chen, and Futing Wu. Temperature dependence of global precipitation extremes, *GEOPHYSICAL*

RESEARCH LETTERS, VOL. 36, L17702, doi:10.1029/2009GL040218, 2009.

Murakami, H., B. Wang and A. Kitoh, 2011: Future changes in the western North Pacific typhoons: Projection with a 20-km-mesh global atmospheric model. *J. Climate*, 24, 1154-1169.

Roeckner, Erich; Lautenschlager, Michael; Schneider, Heiko 2006, IPCC-AR4 MPI-ECHAM5\_ T63L31 MPI-OM\_GR1.5L40 20C3M run no.1: atmosphere 6 HOUR values MPImet/MaD Germany. World Data Center for Climate. [doi: 10.1594/WDCC/EH5-T63L31\_OM- GR1.5L40 \_20C\_1\_6H.

WL Delft Hydraulics, SOBEK Software User's Manual. Delft, the Netherlands, 2006.

Breaden, J. P., 1973, "The Generation of Flood Damage Time Sequences", University of Kentucky Water Resources Institute Paper, Vol.32.

Freeman, A. Myrick III, 1993, "The Measurement of Environmental and Resource Values", Theory and Methods, Washington, D.C., Resources of the Future.

Grigg, N. S. and O. J. Heiweg, 1974, "Estimating Direct Residential Flood Damage in Urban Areas", Colorado State University.

Grigg, Neil S. and Otto J. Helweg, 1975, "State-of-The Art of Estimating Flood Damage in Urban Areas", *Water Resources Bulletin*, Vol.11(2), pp.379-390.

Grigg, Neil S., Leslie H. Botham, Leonard Rice, W.J. Shoemaker, and L. Scott Tucker, 1976, "Urban Drainage and Flood Control Projects Economic, Legal and Financial Aspects", Hydrology Paper, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, February.

Hicks, J. (1946), "Value and Capital: An Inquiry into Some Fundamental Principles of Economic Theory", Oxford: Clarendon Press.

書名：極端降雨事件之淹水模擬分析與損失評估

發行人：陳亮全

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

出版年月：中華民國 102 年 4 月

版 次：第一版

非賣品

ISBN: