NCDR 103-T31

氣候變遷衝擊下縣市災害風險評估-以台南市為例

行政法人
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 104 年 04 月

NCDR 103-T31

氣候變遷衝擊下縣市災害風險評估-以台南市為例

陳韻如、徐硯庭、施虹如

林宣汝、陳偉柏、陳永明

國家災害防救科技中心

中華民國 104 年 04 月

摘要

本研究藉由分析不同降尺度方法的資料，並分別應用數值模擬模式與指標套疊兩種方式，評估鄉鎮的淹水與坡地災害衝擊。淹水模式採用 FVCOM 模式模擬曾文水庫下游溢淹情形，而坡地模式則是採用 TRIGRS 評估水庫上游集水區的崩塌情形。依據分析的結果淹水脆弱度高的區域，主要是沿海與河岸兩側低窪的鄉鎮，包含七股區、北門區、學甲區、鹽水區、善化區、麻豆區與新市區。在曾文水庫上游發生崩塌坡地災害潛勢提高，其產生的崩塌量增加約 20%，且上游崩塌的土砂量流入曾文水庫，將可能造成水庫庫容量減少 9%，將影響未來水資源可供水量。在未來氣候變遷衝擊下，台南市淹水高災害風險區分布位置主要集中在台南市的中部區位，分別是新營區、永康區、學甲區、安南區、北區與中西區等。在坡地災害高災害風險區，則主要分布在白河區、六甲區、楠西區、玉井區及大內區等。

關鍵字：脆弱度、承載力、淹水模式、高風險區位

Abstract

This study is to assess the impacts of inundation and slope disaster by a numerical model and indexes overlapping by different downscaling methods. The FVCOM, an inundation simulation model, is used to assess the inundation properties in the downstream of the Zengwun Reservoir. The TRIGRS, a slope stability model, is used to assess the landslide of the upstream of the Zengwun Reservoir. The results show that the high vulnerability zones are located near the riparian and coast, such as Cigu, Beimen, Sigang, Yanshuei, Shanhua and Madou Districts. The risk of landslide increase in the upstream and the volume of landslide increase about 20%. This will cause a decrease of 9% in storage of the Zengwun Reservoir. Furthermore, the available water and water supply of the Zengwun Reservoir will reduce. In the impacts of climate change, the high risk of inundated disaster is located in the central of Tainan City, such as Sinying, Yongkang, Sigang, Annan, North and West Central Districts. The high risks of slope disaster are distributed in Baihe, Lioujia, Nansi, Yujing and Danei Districts.

Keyword：Vulnerability、Carrying Capacity、Inundation Simulation Model、Hotspot

目錄

第一章 緒論.....1

1.1 研究目的.....1

1.2 工作項目.....3

1.3 章節介紹.....4

第二章 氣候變遷情境說明.....5

2.1 統計降尺度資料.....5

2.2 動力降尺度之情境資料.....15

第三章 淹水災害脆弱度.....22

3.1 淹水災害特性.....22

3.2 淹水災害脆弱度評估.....27

3.3 氣候變遷衝擊下淹水災害脆弱度.....39

3.4 淹水災害衝擊評估之跨領域應用.....43

第四章 坡地災害脆弱度分析.....47

4.1 坡地災害特性.....47

4.2 坡地災害脆弱度評估流程.....52

4.3 氣候變遷下的坡地災害脆弱度.....67

4.4 坡地的跨領域應用.....71

第五章 縣市災害風險圖製作.....74

5.1　風險圖製作方法 75

5.2　淹水災害風險圖 82

5.3　坡地災害風險圖 88

第六章 結論與建議 96

圖目錄

圖 1.1.1 研究架構 2

圖 2.1.1 假設最劣情境之示意圖 6

圖 2.1.2 雨量測站空間分布圖 12

圖 2.1.3 氣候變遷情境下 100 年頻率年 24 小時累積總雨量空間分布 15

圖 2.2.1 淹水與坡地風險圖之氣候變遷情境資料產製流程 16

圖 2.2.2 偏差校正示意圖 19

圖 2.2.3 校正前後颱風事件平均總降雨量比較 20

圖 3.1.1 2009 年莫拉克颱風事件淹水災害調查 26

圖 3.2.1 洪水災害衝擊評估流程 28

圖 3.2.2 淹水災害研究範圍 28

圖 3.2.3 之不規則網格圖 31

圖 3.2.4 地形分布圖(a)，以及局部放大地形圖(b) 31

圖 3.2.5 淹水模式所使用颱風之路徑 32

圖 3.2.6 將軍漁港潮位站，模擬與量測之時序比對 33

圖 3.2.7 曾文溪橋水位站，模擬與量測之時序比對 34

圖 3.2.8 2009 年莫拉克颱風模擬與現調之淹水範圍比對 35

圖 3.2.9 淹水脆弱度評估流程 36

圖 3.2.10 0612 豪雨模擬與調查淹水範圍 38

圖 3.2.11 卡玫基颱風模擬與調查淹水範圍 38

圖 3.2.12 凡那比颱風模擬與調查淹水範圍 38

圖 3.2.13 莫拉克颱風模擬與調查淹水範圍 38

圖 3.2.14 歷史莫拉克事件淹水模式模擬成果 39

圖 3.3.1 氣候變遷下 200 年頻率年之淹水模擬情形 41

圖 3.3.2 氣候變遷下 200 年頻率年之淹水災害指標 41

圖 3.3.3 假設極端事件下淹水災損情形(影響戶數與地上物損失) .. 43

圖 3.4.1 淹水災害跨領評估之流程圖 44

圖 3.4.2 歷史颱風事件淹水深度與桿菌性痢疾病例之空間分佈 45

圖 3.4.3 歷史颱風事件淹水深度與腸病毒病例之空間分佈 46

圖 4.1.1 曾文溪流域莫拉克事件山崩機率圖 49

圖 4.1.2 2007-2013 年歷史颱風事件造成的崩塌災害點位..... 49

圖 4.2.1 坡地部分研究流程 53

圖 4.2.2 曾文水庫上游集水區地理位置 54

圖 4.2.3 曾文水庫上游聚落和重要道路分布 55

圖 4.2.4 曾文水庫上游集水區之地質分布 56

圖 4.2.5 曾文水庫上游土地利用分布 56

圖 4.2.6 模式結果校驗程序 61

圖 4.2.7 TRIGRS 模式參數率定驗證流程 62

圖 4.2.8 坡地災害指標示意圖 63

圖 4.2.9 2005 年海棠颱風模式預測與實際崩塌圖層比對 65

圖 4.2.10 2007 年柯羅莎颱風模式預測與實際崩塌圖層比對 65

圖 4.2.11 2008 年辛樂克颱風模式預測與實際崩塌圖層比對 65

圖 4.2.12 2009 年莫拉克颱風與實際崩塌圖層比對 65

圖 4.2.13 莫拉克颱風事件崩塌模式模擬成果 66

圖 4.3.1 基期 200 年頻率年之 LV1 指標 68

圖 4.3.2 近未來 200 年頻率年之 LV1 指標 68

圖 4.3.3 基期 100 年頻率年坡地承載力指標 68

圖 4.3.4 近未來 100 年頻率年坡地承載力指標 68

圖 4.3.5 基期 200 年頻率年坡地承載力指標 68

圖 4.3.6 近未來 200 年頻率年坡地承載力指標 68

圖 4.3.7 地上物損失分布圖 70

圖 4.3.8 影響戶數分布圖 70

圖 4.4.1 坡地災害跨領域評估流程 71

圖 4.4.2 近未來 200 年頻率年下的庫容淤積百分比 73

圖 5.1.1 氣候變遷災害風險圖評估流程 76

圖 5.1.2 災害風險定義圖 76

圖 5.1.3 各災害風險圖展示鄉鎮數及研析範圍 82

圖 5.2.1 氣候變遷下淹水災害之危害度圖 83

圖 5.2.2 氣候變遷下淹水災害之危害度圖(世紀末 2075~2099 年) .. 83

圖 5.2.3 淹水災害之環境脆弱度圖(1)..... 84

圖 5.2.4 淹水災害之環境脆弱度圖(2)..... 85

圖 5.2.5 淹水災害之社會脆弱度 85

圖 5.2.6 水災害風險圖 86

圖 5.2.7 淹水災害風險圖與人類發展指標圖 87

圖 5.2.8 淹水災害風險圖與台南市區域計畫空間發展策略圖 88

圖 5.3.1 氣候變遷下坡地災害之危害度圖 89

圖 5.3.2 坡地災害之環境脆弱度圖 91

圖 5.3.3 坡地災害之社會脆弱度 92

圖 5.3.4 坡地災害風險圖 93

圖 5.3.5 於近未來下之坡地災害風險圖 93

圖 5.3.6 於世紀末下之坡地災害風險圖 94

圖 5.3.7 坡地災害風險圖與人類發展指標圖 94

圖 5.3.8 坡地災害風險圖與台南市區域計畫空間發展策略圖 95

表目錄

表 2.1.1 研究區域雨量測站 11

表 2.1.2 歷史基期各測站之設計降雨量(毫米)..... 12

表 2.1.3 氣候變遷情境下各測站之設計降雨量(毫米) 13

表 3.1.1 洪水災害主要面臨問題來源與類型 24

表 4.1.1 坡地災害主要面臨問題來源與類型 51

表 4.2.1 坡度與土壤深度換算表(國家災害防救科技中心，2012) ... 59

表 4.2.2 採用地質水文參數表 59

表 4.2.3 修正後成功率評估準則表 61

表 4.2.4 模式校驗結果 64

表 4.3.1 200 年重現期下基期與氣候變遷情境 69

表 4.3.2 鑑別坡地災害熱點及風險成因 70

表 5.1.1 災害風險圖各指標 78

表 5.1.2 指標等級區分範例 81

表 5.1.3 指標等級區分範例 81

第一章 緒論

1.1 研究目的

近年來氣候變遷衝擊、極端氣候事件的發生，造成水文氣象類型的災害逐年增加，且隨著災害規模與頻率增加，災害損失亦急遽攀升。淹水、乾旱與坡地災害事件，造成的衝擊，可能更進一步影響糧食安全、生態環境的改變與公共衛生等。台灣屬於高風險災害區域，約 75%人口，可能面臨兩種災害風險。氣候變遷衝擊可能加重災害問題的嚴重性，在未來氣候變遷情境下，災害的衝擊可能更為嚴重。瞭解未來氣候情境下，災害風險的空間分佈，將有助於決策者針對高風險與高脆弱度區域，進一步採取適當的調適措施，降低自然災害造成的風險。面對氣候變遷的威脅，該如何應用氣候情境資料，評估鄉鎮災害衝擊的風險，以提早規劃相關調適措施，將是一項重要的課題。

目前國內進行氣候變遷衝擊評估，所採用的情境資料，多是來自於科技部『台灣氣候變遷推估平台與建置』計畫，簡稱 TCCIP，提供的氣候情境資料，再進一步加值應用，其情境資料包含統計降尺度與動力降尺度氣候情境資料。本研究利用此兩組降雨資料，分析可能造成的淹水與坡地災害特性，並進一步評估鄉鎮的災害脆弱度與風險等。本研究成果將分成兩個部分，如圖 1.1.1，第一部份是利用水利

署應用統計降尺度資料，產製的測站時雨量資料，本研究進一步利用頻率分析，產製流域內不同頻率年下的空間降雨分佈，並利用數值模式模擬，淹水與坡地災害於台南地區可能造成的衝擊，進而計算各鄉鎮的淹水與坡地的脆弱度與高風險區位。而第二部分則是利用動力降尺度時雨量資料，進行頻率分析，計算鄉鎮發生極端降雨的機率，以作為風險圖中的危害度指標，最後利用指標相乘方式（危害度指標×脆弱度指標），以獲得災害風險圖。

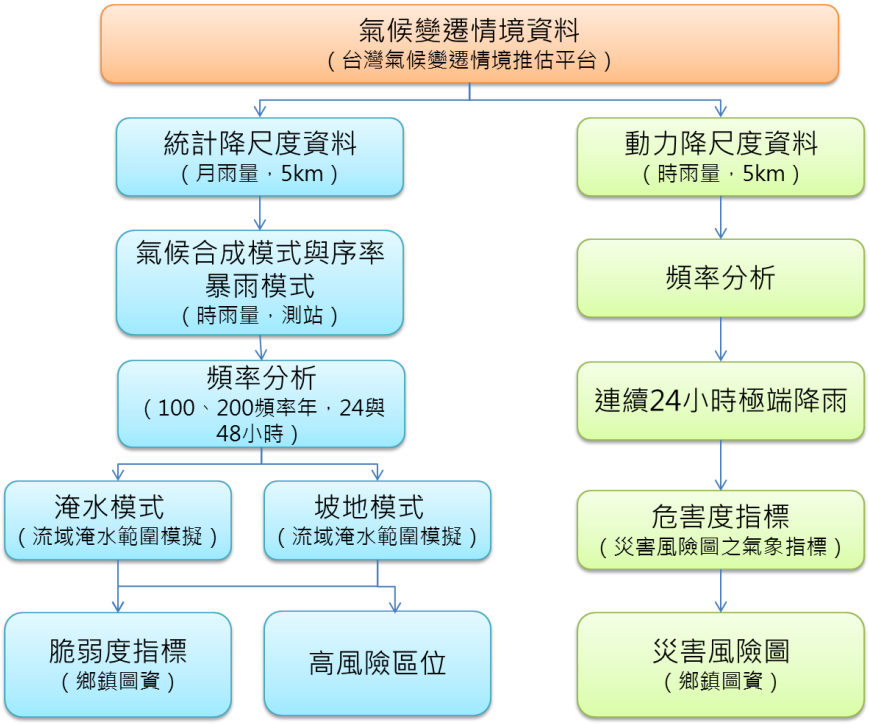


圖 1.1.1 研究架構

藉由分析不同降尺度方法的資料，以瞭解各項氣候情境資料應用於評估災害衝擊的適用性，可提供未來其他使用者在應用氣候情境資料前，可先行瞭解資料的特性與限制，以選擇合適的情境資料，進一

步評估災害衝擊。

國家災害防救科技中心（2014），簡稱 NCDR，產製全台災害風險圖，主要是針對全台鄉鎮進行比較相對高風險區位。今年度產製的鄉鎮脆弱度指標與風險圖等，主要針對單一縣市進行淹水與坡地的數值模擬，可得知較細緻空間尺度（網格）災害衝擊程度與延時結果，如地表溢淹情形、淹水延時等，藉由數值模式的分析結果，進一步計算災害脆弱度。而鄉鎮的風險圖，主要是以縣市內的鄉鎮相互比較的災害風險，較過去產製的全國風險圖，較能呈現出縣市內各鄉鎮災害風險的差異，且可細部分析各指標的變化，以探討造成高風險區位的因素，作為未來風險溝通與區域規劃之參考。

1.2 工作項目

本研究以台南市為研究區域，評估曾文溪流域內的淹水災害與坡地災害可能造成的衝擊，利用數值模式評估曾文水庫下游地區，在氣候變遷衝擊下，降雨造成的下游區域溢淹情形，而坡地災害則是分析曾文水庫上游的集水區，可能產生的崩塌量，進而評估可能造成水庫淤積的情形。鄉鎮之淹水與坡地災害風險圖，則是依據 2014 年 NCDR 建立的全台災害風險圖評估方法，應用於評估台南市內鄉鎮。

1. 利用 TCCIP 提供的降尺度資料，評估研究區域內的不同降雨延時極端降雨發生的頻率。
2. 利用淹水模式分析氣候變遷衝擊下，曾文溪流域下游的溢淹情形，並評估鄉鎮平均淹水面積、淹水深度與淹水歷程。
3. 評估台南市之淹水災害脆弱度指標。
4. 利用淺層崩塌物理模式評估曾文溪流域上游可能崩塌潛勢，再結合土砂運移模式，評估水庫上游的崩塌量對於水庫庫容變化之影響。
5. 評估曾文溪上游集水區之坡地災害脆弱度指標。
6. 利用指標方法評估氣候變遷下台南市的鄉鎮淹水與坡地災害之風險圖。

1.3 章節介紹

本報告於第二章節說明研究中採用的氣候情境資料，包含統計降尺度與動力降尺度資料。第三章將說明本研究採用的淹水模式與淹水災害衝擊分析結果，並將模擬歷史淹水災害與水媒性傳染病例，進行空間套疊，以作為未來災害跨領域評估研究的參考。第四章則是介紹坡地災害衝擊的模式與評估流程，以及坡地災害的脆弱度成果。第五章說明如何利用指標相乘方式，評估台南市的淹水與坡地災害鄉鎮風險圖。最後，第六章依據本研究分析的成果提出相關的結論與建議。

第二章 氣候變遷情境說明

氣候變遷衝擊評估可採用的資料，可分為動力降尺度與統計降尺度資料，此兩種降尺度資料應用於台灣地區的空間解析度為 5km。動力降尺度資料，主要是來自單一模式的結果，而統計降尺度資料則是多個氣候模式的評估結果。本章節主要說明如何應用此兩類降尺度資料，進一步分析淹水與坡地災害衝擊。

2.1 統計降尺度資料

本研究根據科技部『台灣氣候變遷推估平台與建置』計畫提供的假設最劣情境資料，進行自然災害衝擊評估分析。假設最劣情境，是利用多個大氣環流模式的多模式平均（Multi-model ensemble ），進一步加值產製的情境資料。在此是以 A1B（二氧化碳排放情境之一，假設再生能源與石化燃料並用，土地使用變遷速度適中）情境下的各月降雨改變率，根據多模式平均的結果於於豐水期（5 月～10 月）增加一倍標準差，枯水期（11 月～4 月）減少一倍標準差，設定成假設最劣情境，如示意圖 2.1.1。此假設最劣情境仍維持豐越豐，枯越枯之特性，由於豐水期的六個月份皆是設定維持相當大雨量增加率，且枯水期設定為顯著之雨量減少率。其衝擊程度相對個別單一 GCM 模式是嚴重許多，甚至比 24 個模式中衝擊最大的 GCM 模式造成的影響

更為加重，此最劣情境之設定可視為相當極端之氣候變遷情境假設。

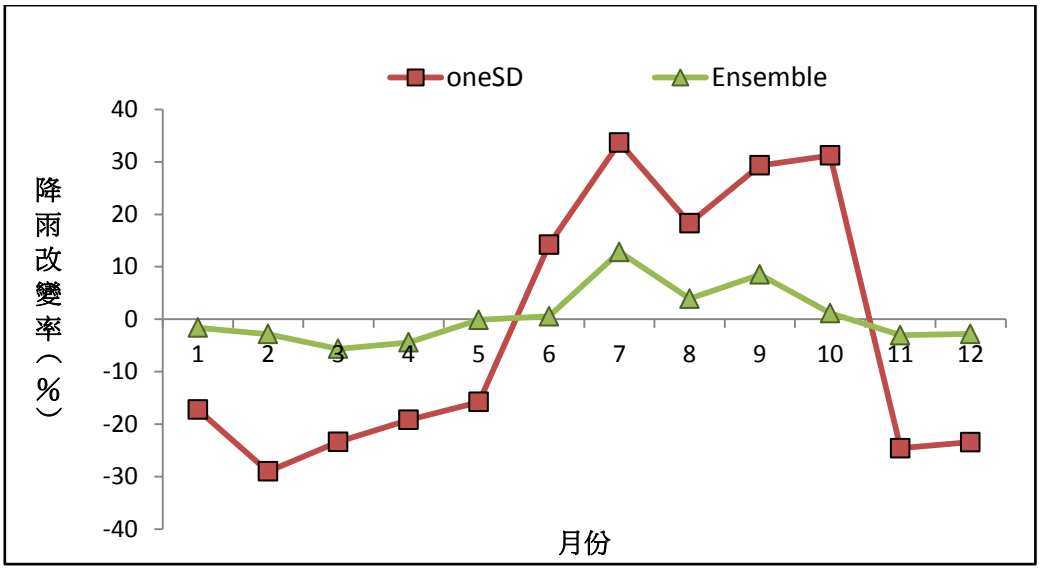


圖 2.1.1 假設最劣情境之示意圖

由於假設最劣情境的降雨資料，為月的改變率，無法直接應用於評估極端降雨事件的時雨量。故研究中採用水利署之『氣候變遷水文情境評估研究(2/2)』計畫成果，以 GCM 資料降尺度至時雨量技術，評估曾文溪流域與台南地區的氣候變遷降雨資料。該計畫透過天氣衍生器將 GCM 模式之月改變率降尺度為日雨量，並透過類神經網路建立日雨量與降雨事件參數之關係，最後透過序率暴雨模擬模式，繁衍具有歷史資料統計特性之時雨量序列，詳細評估方法請參考水利署(2012)成果報書。

在氣候變遷情境下與歷史基期之比較，則同樣採用序率暴雨模擬模式之繁衍資料，但歷史基期之模擬時，將月改變率設定為 1，即可

表現出歷史資料之統計特性。藉由合成多組時雨量資料，在此以該計畫產製的氣候變遷情境下測站之 500 年的資料，進行頻率分析與空間內插，以產製網格的基期與近未來的降雨特性，網格的雨量資料再進一步應用災害評估模式中，如淹水模式與坡地崩塌模式。在水文頻率分析方面，本研究採用分別採用 100 年與 200 年回歸期之 48 小時降雨延時，評估淹水災害與坡地災害可能的衝擊。下文說明本研究採用之頻率分析方法與頻率分析結果。

(一) 水文頻率分析

依據基於序率水文學理論，將降雨頻率分析分為 4 個步驟：年極端值序列之擷取、該極端值序列最適機率分布之選定、最適機率分布之參數推估及特定重現期下水文量之計算。茲將各工作步驟以及基本理論分述如下：

(a) 年極端值序列之擷取

藉由各雨量站之歷年時雨量紀錄資料，依據設計延時之訂定，擷取有效年極端值序列。其中設計延時則是採用了為 24 及 48 小時之設計降雨延時。

(b) 年極端值序列最適機率分布之選定

由於降雨量極端值序列之最適機率分布，會影響特定重現期水

文量之大小。依據選取合適之機率分布時，採用 K-S 適合度檢定，以做為挑選最佳的機率分布之依據，計算 KS 統計量如下：

$$D_n = sup|F_n(x) - F(x)| \qquad (式\ 2.1.1)$$

其中

$$F_n(x) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} I_{x_i \le x} \qquad (式\ 2.1.2)$$

為經驗累積機率函數(Empirical Cumulative Distribution Function, ECDF)，n 為 i.i.d 之樣本數。$F(X)$為給定特定分布之累積機率函數(CDF)，當兩者差異 Dn 大於門檻值時，則判定資料不是給定之特定機率分布。常用之機率分布為皮爾遜第三型、對數皮爾遜第三型、極端值第一型、對數常態分布等。

(c) 最適機率分布之參數推估

本計畫使用動差法進行最適機率分布之參數推估工作。水文量大於或等於某一特定值所發生的時距稱為重現期距(recurrence interval)，其平均值即稱為重現期(return period)。在水文量之頻率分析中，重現期一般均以年為單位，故某特定水文量所相對應之重現期，即表示發生大於或等於此水文量所需之平均年數。相對某特定重現期水文量之大小，可表示為(Chow, 1951)

$$x_T = \mu + K_T \sigma \qquad \text{(式 2.1.3)}$$

式中K_T為重現期 T 之水文量大小；μ為水文資料之平均值；σ為水文資料之標準偏差；K_T稱為頻率因子(frequency factor)。上式即為頻率分析的通式，於不同的機率分布下，其頻率因子亦會有所不同。因此若將水文量視為一隨機變數，尋求其機率分布模式與資料之統計參數，即可求得特定重現期之頻率因子，計算其相對應之水文量。

本計畫所進行各種重現期計算包括重現期為 2、5、10、20、25、50、100 及 200 年，降雨頻率分析結果常以 Horner 公式之形態表示，其代表特定重現期條件下，設計延時與降雨強度之關係，如下式所示：

$$I_t = \frac{a}{(t+b)^c} \qquad \text{(式 2.1.4)}$$

式中I_t為平均降雨強度(mm/hr)；t 為降雨延時(hr)；a、b、c 為待定係數，可利用最小二乘法迴歸求得；由於降雨強度 I 必為正值，因此待定係數必須符合$a>0$，$t+b>0$，且$c>0$之限制。

(d) 雨型分析

雨型是指降雨在某一段時間內之分佈情形；雨型設計過程須將歷年降雨紀錄予以整理分類，應用統計方法分析最可能產生之雨型分佈。交替組體法(alternating block method)是直接利用降雨強度-延時-頻率曲線，所發展的設計雨型方法。降雨強度公式本研究採用 Horner

公式，以 24hr 雨型為例，其設計步驟如下：

i. 依集流時間T_c選擇雨型之單位時間間距T_r。

$$6\text{hr} < T_c \text{ , } T_r = 1.0\text{hr} \quad \text{(式 2.1.5)}$$

$$3\text{hr} < T_c \leq 6hr \text{ , } T_r = 0.8\text{hr} \quad \text{(式 2.1.6)}$$

$$1\text{hr} < T_c \leq 3hr \text{ , } T_r = 0.4\text{hr} \quad \text{(式 2.1.7)}$$

$$T_c \leq 1\text{hr} \text{ , } T_r = 0.15\text{hr} \quad \text{(式 2.1.8)}$$

ii. 參考水利署92年「台灣地區雨量測站降雨強度－延時Horner公式分析」或前經濟部水資源局90年12月「水文設計應用手冊」查得Horner公式之之常數。

iii. 以該雨量強度公式計算各個延時(Tr,2Tr,..,24hr)之降雨強度，其對應之該延時降雨量為降雨強度與延時的乘積，再將每相鄰延時的降雨量相減，即得24hr雨型之每一單位時間的降雨量。

iv. 將每個單位時間的降雨量除以24小時總降雨量，可得各個單位時間的降雨百分比，將降雨百分比之最大值放置在中間（第12小時），再依右大左小依序排列，即可完成尖峰在中央的24小時雨型。

(二) 降雨頻率分析結果

本研究所選用之各測站基本資料如表 2.1.1 所示，空間分布如圖 2.1.2。其中，高雄、台南、虎頭埤三個測站之頻率分析結果直接採用「氣候變遷水文情境評估研究(2/2)」之成果。經分析後，本研究選用極端值第一型分布為各測站資料之機率分布，計算各重現期之設計降雨量，如表 2.1.2 與表 2.1.3 所示。

表 2.1.1 研究區域雨量測站

站號	站名	縣市	測站位置		高程(m)
			TM2_X (公尺)	TM2_Y (公尺)	
01O750	王爺宮	台南市	188639	2569019	130
01N850	南化(2)	台南市	196645	2549314	114
01O760	關山	台南市	208553	2563541	240
01O770	環湖	台南市	190415	2560828	60
H1O940	大棟山	台南市	202022	2578466	1234
01O710	虎頭埤	台南市	182893	2547078	34
467410	臺南	台南市	168772	2543053	13.8
H1M420	三角南山	台南市	207848	2569527	1086
H1P970	表湖	高雄市	215277	2573137	1100
467440	高雄	高雄市	180167	2496144	2.3
H1M220	里佳	嘉義縣	221382	2587089	1550
H1M230	水山	嘉義縣	231678	2596639	2450
H1M240	樂野	嘉義縣	221874	2595423	1850
H1M250	馬頭山	嘉義縣	209446	2581581	1020
H1M430	龍美	嘉義縣	215487	2589717	1200

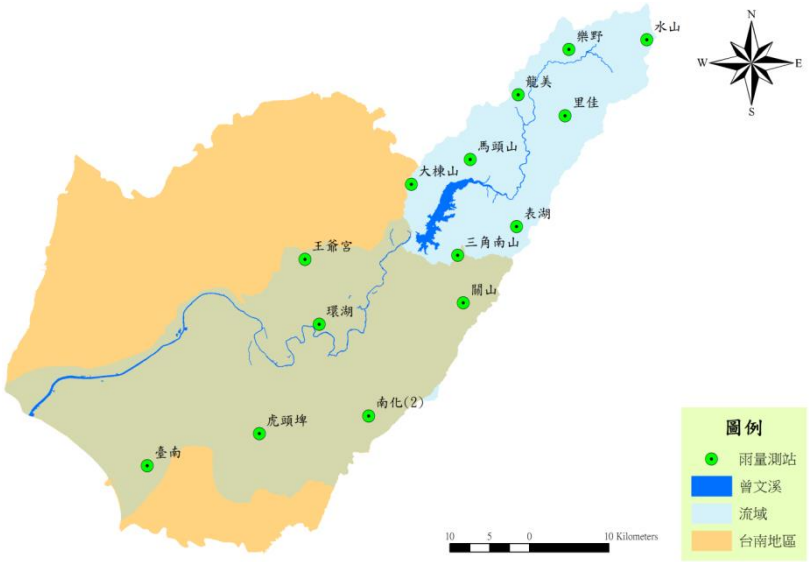


圖 2.1.2 雨量測站空間分布圖

表 2.1.2 歷史基期各測站之設計降雨量(毫米)

測站名稱與站號	延時	重現期(mm)						
	(hr)	2年	5年	10年	25年	50年	100年	200年
01O750	24	222.1	281.6	321.0	370.8	407.7	444.4	481.01
	48	265.0	333.6	379.1	436.7	479.4	521.8	564.13
01N850	24	217.7	284.1	327.9	383.1	424.0	464.5	505.00
	48	280.0	361.1	414.3	481.2	530.8	579.9	628.80
01O760	24	227.4	310.1	364.8	433.9	485.2	536.1	586.81
	48	268.0	363.1	426.1	505.6	564.6	623.2	681.57
01O770	24	258.9	345.0	402.0	473.9	527.3	580.3	633.06
	48	328.1	448.4	528.2	628.9	703.6	777.8	851.79
H1O940	24	260.0	362.5	430.4	516.1	579.7	642.8	705.78
	48	306.7	434.6	519.3	626.2	705.6	784.3	862.81
01O710	24	207.2	290.9	342.8	404.8	448.5	490.4	530.85
	48	266.6	370.0	428.8	495.1	539.9	581.6	621.02
467410	24	213.9	321.1	390.0	473.8	533.7	591.6	648.03
	48	279.0	412.3	495.6	595.1	665.4	732.8	798.09
H1M420	24	301.7	414.4	489.0	583.1	653.0	722.4	791.48
	48	375.5	523.5	621.1	744.3	835.7	926.3	1016.64
H1P970	24	259.3	379.6	459.1	559.5	634.0	707.9	781.64

測站名稱與站號	延時	重現期(mm)						
	(hr)	2年	5年	10年	25年	50年	100年	200年
	48	312.6	455.6	550.1	669.4	757.8	845.6	933.05
467440	24	218.1	313.0	376.6	455.7	513.2	569.3	624.36
	48	270.2	404.9	501.8	626.9	720.1	812.4	904.19
H1M220	24	279.2	392.9	468.1	562.9	633.2	703.0	772.53
	48	372.3	545.1	659.6	804.3	911.6	1018.9	1124.35
H1M230	24	193.2	267.1	315.9	377.6	423.3	468.7	513.96
	48	261.9	373.4	447.3	540.8	610.1	679.0	747.70
H1M240	24	262.9	375.2	449.7	543.8	613.7	683.1	752.23
	48	338.1	486.0	584.3	708.5	800.8	892.4	983.69
H1M250	24	271.7	382.3	455.5	547.9	616.5	684.6	752.42
	48	339.9	490.9	590.8	717.0	810.7	903.7	996.31
H1M430	24	271.2	388.0	465.3	563.0	635.5	707.4	779.10
	48	326.1	478.9	580.1	708.0	802.9	897.1	990.96

表 2.1.3 氣候變遷情境下各測站之設計降雨量(毫米)

測站名稱與站號	延時	重現期(mm)						
	(hr)	2年	5年	10年	25年	50年	100年	200年
01O750	24	235.0	304.4	350.4	408.4	451.5	494.31	536.91
	48	280.5	364.6	420.3	490.6	542.8	594.67	646.28
01N850	24	244.5	319.4	368.8	431.3	477.7	523.68	569.48
	48	308.7	404.8	468.0	547.6	606.5	665.03	723.23
01O760	24	245.1	334.1	393.1	467.6	522.9	577.79	632.46
	48	285.8	391.6	461.6	550.2	615.9	681.18	746.17
01O770	24	287.6	379.2	439.8	516.4	573.2	629.65	685.81
	48	359.9	484.7	567.4	672.1	749.8	826.99	903.88
H1O940	24	276.8	377.2	443.5	527.3	589.5	651.26	712.72
	48	337.8	470.2	557.6	667.8	749.6	830.77	911.56
01O710	24	252.3	339.8	393.4	456.7	501.2	543.74	584.73
	48	335.8	441.8	500.4	565.9	609.9	650.87	689.41
467410	24	239.4	345.0	411.4	491.2	548.0	603.05	657.00
	48	320.8	451.2	531.2	626.1	693.1	757.83	821.08
H1M420	24	318.6	430.6	504.7	598.3	667.8	736.79	805.49
	48	396.3	539.2	633.7	753.1	841.7	929.57	1017.11

測站名稱與站號	延時	重現期(mm)						
	(hr)	2年	5年	10年	25年	50年	100年	200年
H1P970	24	271.9	387.9	464.8	561.8	633.8	705.24	776.42
	48	331.0	473.7	568.1	687.3	775.7	863.41	950.78
467440	24	247.2	347.7	418.6	510.9	581.0	651.61	722.85
	48	314.6	453.3	558.8	701.2	811.7	924.59	1039.76
H1M220	24	293.8	402.5	474.3	565.1	632.4	699.21	765.75
	48	395.9	558.5	666.2	802.1	903.0	1003.18	1102.93
H1M230	24	209.2	291.0	345.1	413.4	464.0	514.35	564.42
	48	285.9	409.6	491.7	595.5	672.6	749.22	825.51
H1M240	24	295.2	413.4	491.6	590.4	663.6	736.37	808.80
	48	377.8	542.7	651.9	789.8	892.2	993.84	1095.08
H1M250	24	292.4	401.4	473.5	564.5	632.0	699.12	765.90
	48	364.4	513.6	612.4	737.3	829.9	921.89	1013.50
H1M430	24	295.6	425.2	510.9	619.1	699.4	779.09	858.46
	48	361.2	536.8	652.7	799.1	907.7	1015.45	1122.76

根據前述水文頻率分析與設計雨型的評估後，以台南地區以及曾文溪流域上游為研究區域，以推估的氣候變遷衝擊下 15 個雨量站的 24 小時總雨量，進行空間內差繪製降雨分布圖，氣候變遷情境下之分析結果如圖 2.1.3 所示，最大雨量在曾文溪上游，其雨量介於 494~779mm，氣候變遷情境下總雨量約增加 10%。

依據鄭克聲等人(2001)之建議，降雨頻率分析使用之有效紀錄年限至少為廿年，當使用過短紀錄年限進行頻率分析時，則分析之結果存在極大之不確定性。因此建議未來進行設計暴雨之空間分析時，應考慮使用有效紀錄年限至少為廿年份雨量站之資料。

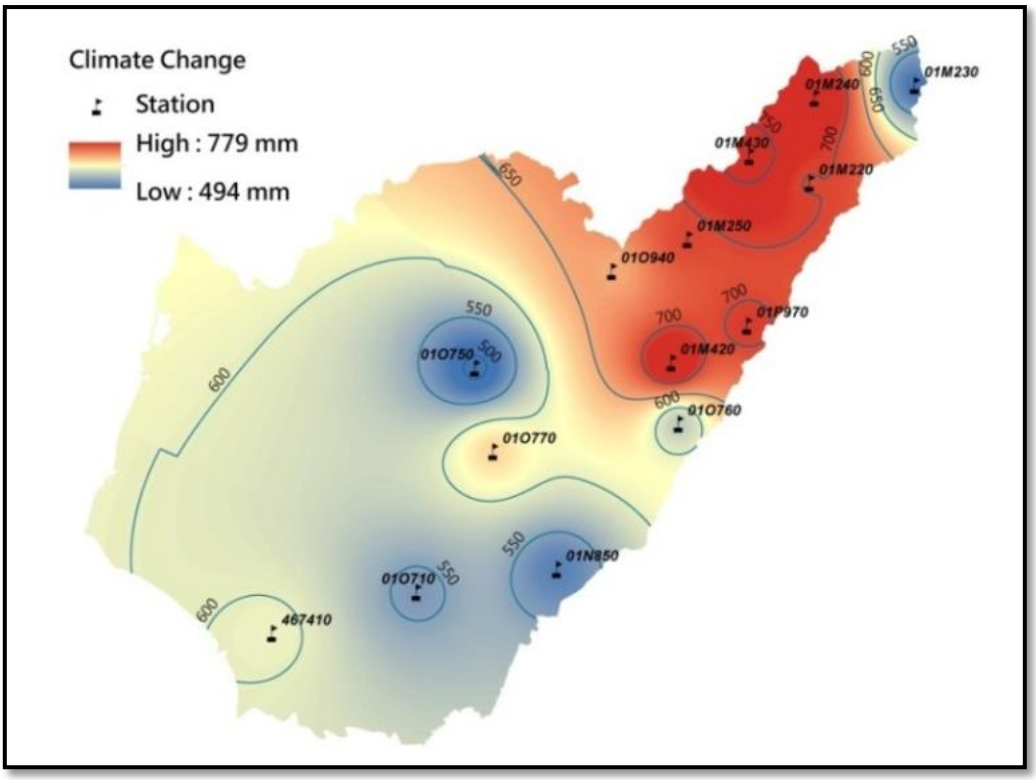


圖 2.1.3 氣候變遷情境下 100 年頻率年 24 小時累積總雨量空間分布

2.2 動力降尺度之情境資料

本研究的災害風險圖之氣候變遷情境資料，主要是來 TCCIP 計畫所產製之動力降尺度高解析度網格雨量資料。氣候變遷情境資料應用於風險圖分析之流程，如圖 2.2.1 所示。由於臺灣的資源與技術，無法尚未自行發展全球大氣環流模式，故本研究先行採用日本氣象廳之氣象研究所(Meteorological Research Institute, MRI) 發展的高解析度大氣環流模式(Atmospheric General Circulation Model，簡稱為 MRI-JMA AGCM)模擬出的氣候推估結果，作為初始場及邊界條件進一步進行動力降尺度以獲得更高解析度之資料以應用於臺灣。

圖 2.2.1 淹水與坡地風險圖之氣候變遷情境資料評估流程

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，水平解析度約為 20 公里，為一非常高解析度的全球模式。此模式採分段模擬(又稱為時間切片，time slice)基期(1979~2003 年)，近未來(2015~2039 年)以及世紀末(2075~2099 年)等三個時期的氣候推估，所使用之氣候變遷情境為 A1B 情境。

由於全球大氣環流的模擬，需要耗費的時間與經費相當高，故各國再模擬多是選擇分段模擬的方式，進行氣候變遷情境推估。日本 MRI-JMA AGCM 的模式，是以 1979~2003 年視為在未受到氣候變遷

衝擊下的比較基準，由於大氣模擬模式的不確定性相當高，故模擬時多是以 20 年~30 年期間的平均特性代表該時期的氣候特性，進而為了讓人類感受到二氧化碳排放濃度是會明顯造成氣候變異的衝擊，讓決策者能提早做出相關的因應對策，故各國在模擬時會進行近未來的模擬，日本模式則是以 2015~2039 年可能的二氧化碳的排放情境，表示近未來可能造成的氣候變遷衝擊。另外，由於氣候變遷是屬於長時間的衝擊且不確定性較高，二氧化碳濃度的改變對氣候變遷造成的影響，需要數十年才易看出氣候的變化，故多數國家再進行大氣環流模式模擬時，會進一步模擬世紀末可能的氣候變遷情形，在日本的模式中則是以 2075~2099 年期間表示世紀末可能的氣候特性。

由於 20 公里的解析度對於呈現台灣集水區尺度之降雨事件空間特性仍顯不足，故 TCCIP 計畫以美國大氣研究中心(NCAR)所發展的天氣研究與預報模式系統(Weather Research and Forecasting modeling system，簡稱為 WRF 模式)進行區域動力降尺度，產製出水平空間解析度為 5 公里、時間解析度為 1 小時之降雨推估資料(該資料後續簡稱為 MRI-WRF)，此資料於全臺灣共 1566 個網格。

由於 MRI-WRF 動力降尺度所模擬之降雨資料，無法模擬歷史颱風發生之時間點，而是嘗試重現歷史颱風之特性，例如路徑、總降雨

量、氣壓等。然而動力降尺度所依賴之數理模式並無法百分之百的描述大氣變化特性，存在所謂的模式不確定性(model uncertainty)，為確保動力降尺度資料應用於降雨事件特性分析時，能反映觀測資料之統計特性，本研究利用測站觀測資料對動力降尺度資料進行偏差校正(bias correction)。

(一)颱風事件雨量資料偏差校正

偏差校正方法採用累積機率密度函數 (Cumulative Density Function, CDF) 對應法(Piani et al. 2010a; Piani et al. 2010b)，其目的在於使 MRI-WRF 模式推估資料與測站觀測資料具有相同之母體(population)分布特性，以使模式推估資料與觀測資料具有相同之統計特性，例如平均值、標準偏差等。校正過程示意如圖 2.2.2 所示，其中 X 為校正前之 MRI-WRF 推估降雨，Xc 為校正後之降雨。

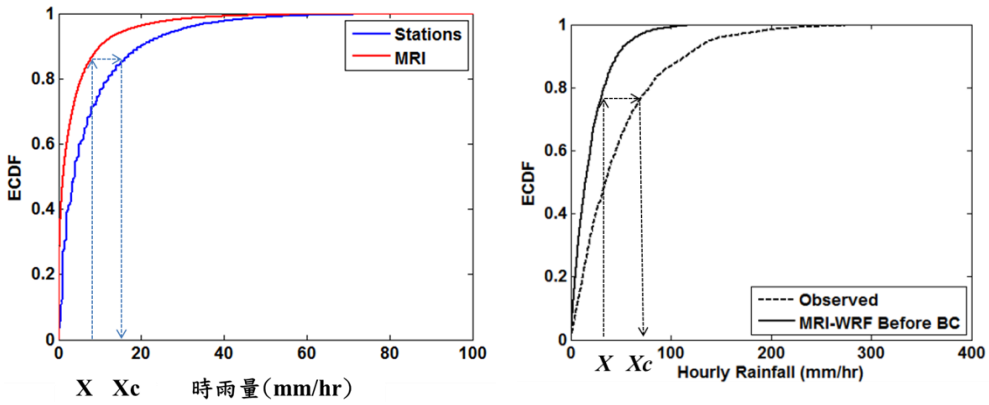


圖 2.2.2 偏差校正示意圖

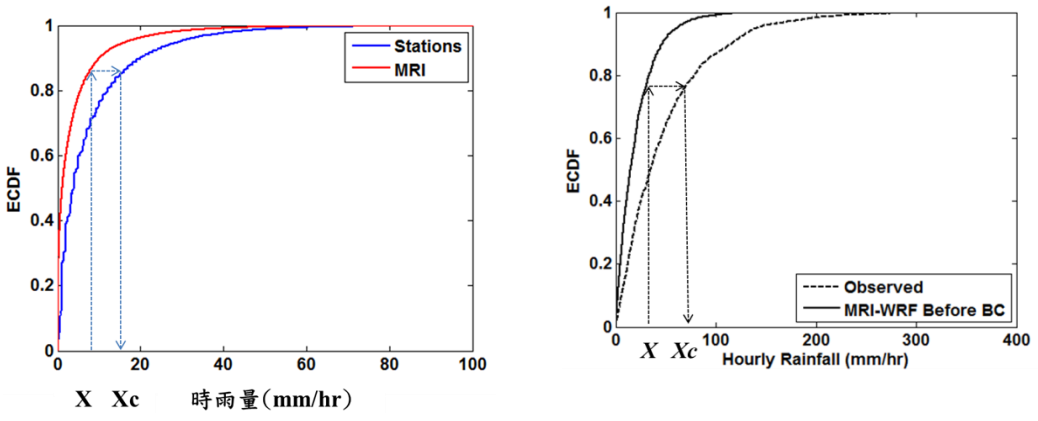
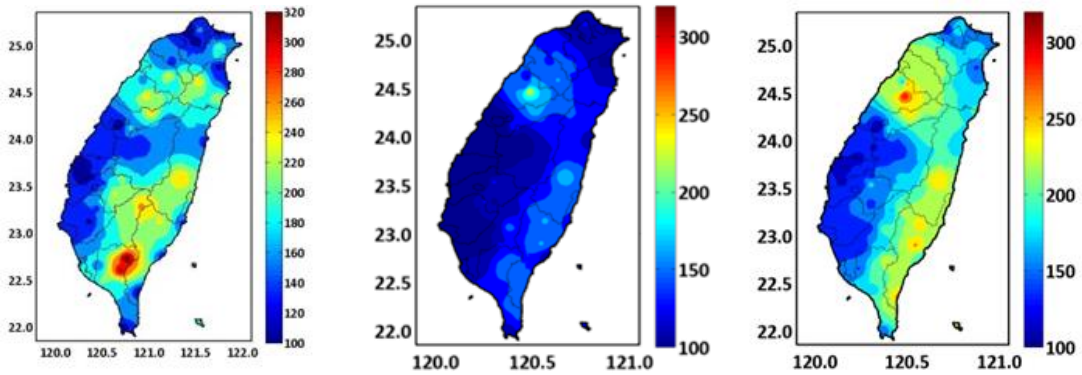


圖 2.2.2 偏差校正示意圖

由於台灣地區造成淹水災害的強降雨事件主要為颱風事件，故本研究僅針對颱風季節之降雨事件進行偏差校正。MRI-WRF 動力降尺度可模擬颱風路徑、氣壓等資訊，故可推估颱風中心位置，並由大氣領域之定義(颱風中心距離台灣沿岸 300 公里內)決定颱風事件，其在基期所挑出之颱風事件數共 88 場。測站觀測資料依據相同定義所挑出的颱風事件則有 109 場。

(二)颱風事件雨量偏差校正結果

為比較颱風降雨事件於偏差校正前後之差異，針對歷史觀測與 MRI-WRF 之颱風事件計算其平均颱風事件總降雨量，結果如圖 2.2.3 所示。可發現相較於觀測資料的特性而言，MRI-WRF 在校正前的總降雨率明顯偏低，而校正後其平均總降雨量與觀測之分布較為接近，由此可知偏差校正改善了 MRI-WRF 於颱風事件降雨量低估的問題。



測站觀測　　MRI-WRF 校正前　　MRI-WRF 校正後

圖 2.2.3 校正前後颱風事件平均總降雨量比較

(三) 降雨資料頻率分析

經過偏差校正後的 MRI-WRF 時雨量序列，以每個網格為單元，計算連續 24 小時降雨量之年最大值序列，進行水文頻率分析。

針對不同時期(基期、近未來、世紀末)分別計算每年之連續 24 小時之年最大值序列(例如：基期為 25 年，則有 25 筆年最大值資料)，並推估此年最大值序列之統計分布，推估過程中選用極端值一型、對數常態與皮爾遜第三型分布(PT3)等。經統計檢定後，大部分網格點皆通過檢定為 PT3 分布，而後根據不同目的之需求設定降雨門檻值，例如 600mm 或 350mm 等，透過前述所推估之 PT3 理論分布，利用下式計算連續 24 小時累積雨量超過門檻值(例如：x_T=600mm)之超越機率，其中 T 為重現期：

$$\mathrm{P}(\mathrm{X} \geq x_T) = \frac{1}{T} \qquad (式\ 2.2.1)$$

依據不同災害特性，設定降雨門檻值，以計算降雨指標於三個推估時期發生之機率，以淹水災害風險圖為例，即計算 25 年當中，連續 24 小時累積雨量超過 600mm 發生之機率(P(X≧600))作為危害度指標；而坡地災害風險圖中之則是以連續 24 小時雨量超過 350mm 發生之機率(P(X≧350))作為危害度指標。

第三章 淹水災害脆弱度

3.1 淹水災害特性

（一）淹水災害成因

台灣平均每年發生 3.5 次颱風與多次豪雨，是台灣最嚴重的天然災害。洪水發生的主要原因為暴雨，以及其他如泥砂量大、河道短促等不利的自然條件，再加上許多人為因素的影響，往往使得災害程度加重，故洪災往往是「天災」加上「人禍」的結果，而不是單一因素造成的。形成洪水的主要天然因素包含雨量驚人、河道坡度大、表土沖蝕量大等。台灣為島嶼國家，每年五、六月的梅雨及六月至十月的颱風，往往帶來十分驚人的雨量，尤其每小時之雨量強度大。另一方面，台灣的集水區及河道坡度大，河道無法大量積蓄水量，上游的溪流在短時間內便會流至下游，造成洪水。

李光敦等人(2013)曾指出受到全球氣候變遷效應的影響，水文異常現象發生頻率增高，災害規模亦有加劇的趨勢。再則，台灣的集水區土壤脆弱，平均每年土壤沖蝕率為 2 至 20 公厘，是中國黃河流域之 5 至 70 倍、美國密西西比河流域之 30 至 300 倍。大量的泥砂隨著洪流而下，沈積在河道內，將影響河道排洪能力，在排水效果不佳的情況下，可能造成下游嚴重溢淹情形。

人為因素方面則包含人類與水爭地、都市化及集水區的開發、破壞水土保持、過度依賴結構性防災方法（堤防）等。都市沿著河川發展，興建往日河川的洪氾區在洪水來臨時，即容易遭受水患衝擊。另一方面，都市化改變了水文環境。不透水面積增加，透水的森林、草地面積減少，使得大多數的降雨無法入滲到地下，造成地面逕流量增加，提升水災發生的機會。此外，台灣的集水區上游有不少濫墾、濫伐及超限利用的情況，水土流失情況嚴重，泥砂產量也增加，使下游河川及排水道淤積，不利於洪水之宣洩，以及過度依賴堤防作為整治工程，也是造成水災的原因之一。在極端異常的暴雨及洪水，仍可能會發生洪患，堤防一旦潰決，造成的財產生命的損失往往比未築堤防更加嚴重(氣候天氣災害研究中心，2014)。曾梓峰與丁澈士(2011)、CLISP-WP.3(2011)、Davoudi, S. (2013)以及黃書禮(2013)都曾指出都市化使得洪患更為嚴重，強調都市發展與流域防災整合之重要性。

本研究根據相關文獻，綜整出洪水災害之成因與特性，並定義危害度為以降雨因子為造成自然災害主要指標，淹水災害的脆弱度因子則由淹水面積、淹水深度與淹水延時組成。暴露指標則主要以保全住戶、建築物與工業區為暴露因子。透過 IPCC-AR5 之定義危害、暴露度與脆弱度，列於表 3.1.1。

表 3.1.1 洪水災害主要面臨問題來源與類型

問題來源	問題類型	說明
短延時強降雨 累積降雨量過大	危害	淹水風險之危害來源，降雨量大，危害越大。
地勢低窪、地層下陷速率增加	危害	淹水風險之危害來源，低窪地區為水流匯集處，危害大。
排水系統能力不足(雨水下水道容量設計、滯洪池、抽水站等)	脆弱度	排水系統因排水能力不足而造成系統脆弱度增加。
河川堤防溢堤	脆弱度	堤防高度因河川洪水量過大而顯得不足，造成系統脆弱度增加。
土地利用	暴露度	不同土地利用所造成的損失不同，如農業區與工業區便有所差異。
人口	暴露度	人口密度分布，人口集中地區暴露在強降雨區，易造成嚴重的生命財產損失。

(二)歷史淹水情形

台南地區近十年來，除了颱風事件會造成淹水災情，瞬間時雨量的暴雨亦有淹水災情發生。莫拉克颱風與水氣豐沛旺盛之西南氣流產生輻合作用，挾帶大量雨水浸淹台灣中南部，造成淹水災情範圍相當廣泛，造成台南 70 年來最嚴重的水患。由於其帶來的雨量使得原先缺水的曾文水庫短時間內超過負荷，啟動洩洪後，最大排洪量高達 8,277cms，一日內洩洪量超過 5 億立方公尺，相當於曾文水庫自身有

效蓄水量的八成量體（相當於北部石門與翡翠蓄水量總和），導致下游潰堤、多處嚴重浸泡洪水之中，受災範圍包括沿岸官田、下營、學甲、麻豆、大內、善化、西港、安定與七股等鄉鎮，其中麻豆鎮的小碑里、北勢水勢曾達到一樓高，而附近的麻豆圓環也曾水深及膝；其他曾文溪沿岸的善化六分寮、東勢寮和官田西庄、拔子林等地也都因曾文堤防溢堤淹水。

彙整經濟部水利署、地方政府及各勘查團隊之勘查資料等各單位淹水調查資料，台南地區約 20 個鄉鎮市發生淹水，最大淹水深度發生於學甲鎮及麻豆鎮，淹水深度約為 2 公尺，總淹水面積約 33,930 公頃(NCDR，2010)。致災原因可概歸類有降雨量超過河川及區域防洪標準、河堤破損之淹水、河床淤積所造成之溢淹、沿河兩岸低窪地區之淹水、都市排水不良造成之淹水與水庫放水加劇淹水之災情。圖 3.1.1 為 2009 年莫拉克颱風對台南造成的淹水災情，推測淹水災害的成因，主要是短延時強降雨與累積降雨量過大(危害)，造成排水不及、河川堤防溢堤或低窪地區的淹水問題(脆弱度)，導致人民的生命財產損失(暴露量)。

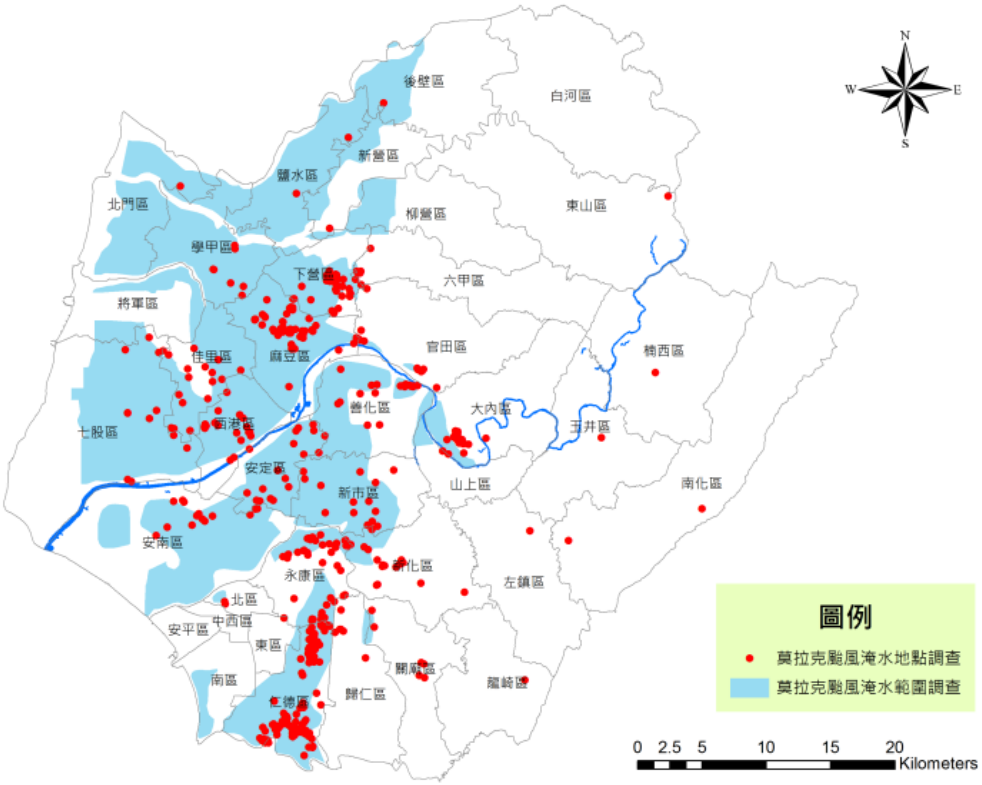


圖 3.1.1 2009 年莫拉克颱風事件淹水災害調查

經濟部水利署(2011)藉由降雨-逕流、河川水理、二維淹水模式分析淹水潛勢，採用層級分析法，將淹水深度、水流流速、水位上升率、淹水時間等因子分成生命與財產兩個面向並給定權重，計算水災風險，其分析結果以仁德區、柳營區、安南區有 50%的村里判定為淹水災害衝擊下有較高的生命風險度，而有較高的財產風險的區域則是仁德區、永康區、安平區、新市區。

目前國內相關治水政策自 2006 年至 2013 年，規劃八年八百億之易淹水區治理計畫，改善包括三爺溪水系、將軍溪排水、港尾溝溪排水、永康排水以及鹿耳門溪排水等重要排水系統。於 2014 年規劃六

年六百億之「易淹水地區後續治理及維護管理計畫」，將持續改善台南市的淹水災害衝擊。政策目標之評估項目與可接受風險為以有保全對象的區域，減少區內的下游的淹水面積、淹水深度，針對坡地災害潛勢區位，且考量氣候變遷衝擊下，以近未來(2020~2039)期間，可能發生的極端事件所造成的洪水災害衝擊，採取相關調適措施。

3.2 淹水災害脆弱度評估

根據前述章節分析，造成淹水災害主要成因，來自於颱風與暴雨所帶來的短延時強降雨與過大的累積降雨量造成嚴重的災情。本研究藉由淹水模式模擬，評估在基期與氣候變遷衝擊下，台南地區可能淹水的情形，進而計算各鄉鎮間遭遇的淹水災害時的，相對脆弱程度，並進一步評估各鄉鎮可能造成的災害損失。本研究評估洪水災害分析流程如圖 3.2.1 所示，根據 2.1 節的雨量資料，進一步應用於災害評估模式，淹水模式採用的是 3D 水動力淹水模式（Finite Volume Community Ocean Mode, FVCOM），評估淹水歷程、淹水深度與範圍，並利用 NCDR 開發之災損評估模式(TLAS)分析影響戶數雨災損。本研究模擬的淹水區域主要是以曾文水庫下游以及沿海地區，包含台南市各鄉鎮範圍，進行分析評估，研究區域範圍如圖 3.2.2 中淺藍色的區位所示，主要針對曾文水庫下游進行分析模擬。

圖 3.2.1 洪水災害衝擊評估流程

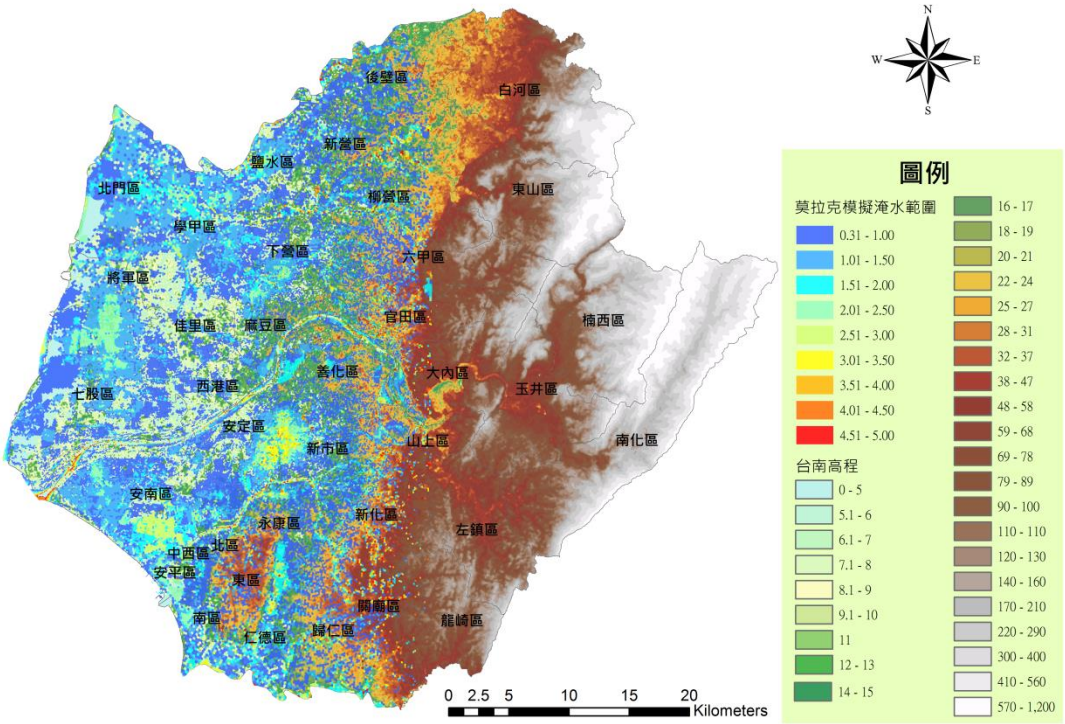


圖 3.2.2 淹水災害研究範圍

3.2.1 淹水模擬模式

(一)淹水模式介紹

FVCOM 是三維有限體積水動力模式(Chen et al., 2004, 2006)，該模式整合海岸逕流以及降雨的溢淹模擬工作，該模式所需的資料主要是地形、河川斷面以及設計雨型，本究主要是利用前述的設計雨型帶入模式中評估曾文溪下游之淹水範圍與淹水深度。

FVCOM 模式是使用不規則網格在水平方向離散，不規則網格可以擬合複雜的海岸線邊界，並且可以在物理變動量大的區域細化網格，提高空間解析度。此外，模式使用修改後之 Mellor and Yamada (1982) level 2.5 以及 Smagorinsky (1963) 紊流閉合方法處理垂直與水平方向的混合問題。而乾、溼網格的處理能力，使模式可模擬因海岸暴潮、河川溢堤以及降雨所造成之淹水情況。此外，模式也被廣泛使用於海岸暴潮及海岸淹水模擬（Weisberg and Zheng, 2006a, 2006b, 2008; Aoki and Isobe, 2007; Rego and Li, 2009a, 2009b）。經過布氏近似、靜水壓與淺水假設之卡式坐標動量方程式可表示如下：

$$\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}-fv=-\frac{1}{\rho_0}\frac{\partial P}{\partial x}-g\frac{\partial \eta}{\partial x}+\frac{\partial}{\partial x}\left(N_h\frac{\partial u}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(N_h\frac{\partial u}{\partial y}\right)+\frac{\tau_{sx}-\tau_{bx}}{\rho_0(h+\eta)} \qquad \text{(式 3.2.1)}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t}+u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}+fu=-\frac{1}{\rho_0}\frac{\partial P}{\partial y}-g\frac{\partial \eta}{\partial y}+\frac{\partial}{\partial x}\left(N_h\frac{\partial v}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(N_h\frac{\partial v}{\partial y}\right)+\frac{\tau_{sy}-\tau_{by}}{\rho_0(h+\eta)} \qquad \text{(式 3.2.3)}$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}(uh)+\frac{\partial}{\partial y}(vh)+\frac{\partial}{\partial x}(u\eta)+\frac{\partial}{\partial y}(v\eta)=i \qquad \text{(式 3.2.3)}$$

其中 u,v 為 x,y 方向之深度平均流速；η 為海表面高程；h 為海底床深度；f 為科氏力參數； g 為重力加速度；P 為海表面氣壓；ρ_0 為海水密度；N_h 為水平渦流黏滯係數；τ_{sx},τ_{sy} 為 x,y 方向之風剪應力；τ_{bx},τ_{by} 為 x,y 方向之底床剪應力；i 為降雨強度。

模式基於下述規範以點處理技巧，模擬乾、濕網格的過程：

$$\begin{cases} wet,\ if\ \ D = h + \eta > D_{\min} \\ dry,\ if\ \ D = h + \eta \le D_{\min} \end{cases} \qquad \text{(式 3.2.4)}$$

對於任意三角形元素：

$$\begin{cases} wet,\ if\ \ D = \min\left(h_{N1}, h_{N2}, h_{N3}\right) + \max\left(\eta_{N1}, \eta_{N2}, \eta_{N3}\right) > D_{\min} \\ dry,\ if\ \ D = \min\left(h_{N1}, h_{N2}, h_{N3}\right) + \max\left(\eta_{N1}, \eta_{N2}, \eta_{N3}\right) \le D_{\min} \end{cases} \qquad \text{(式 3.2.5)}$$

其中，$N1, N2, N3$ 為三角元素的三個頂點；$D_{\min}$ 為判斷乾濕的最小深度值。當模式判定任一個三角元素為乾時，元素的流速以及三邊通量均設定為 0。

曾文溪三維模式由 271,326 網格與 136,165 節點所組成（如圖 3.2.3 方向分以 sigma 坐標分為 5 層，模擬時距為 5 秒。模式的每個格點均有坐標以及水深或地行高程資訊，圖 3.2.4(a)與圖 3.2.4(b)為整個模擬範圍與曾文溪口局部放大之水深分布。

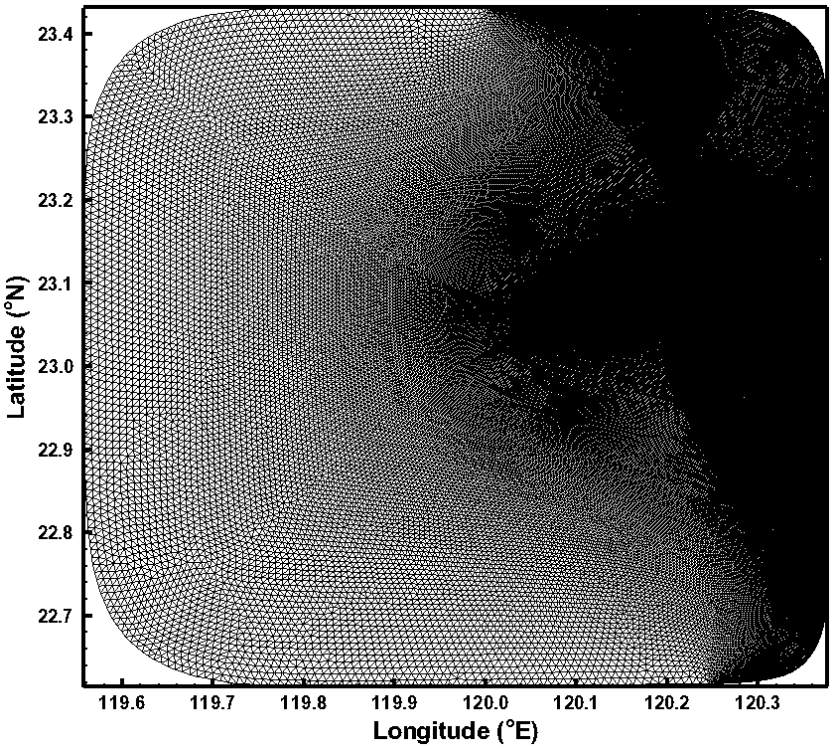
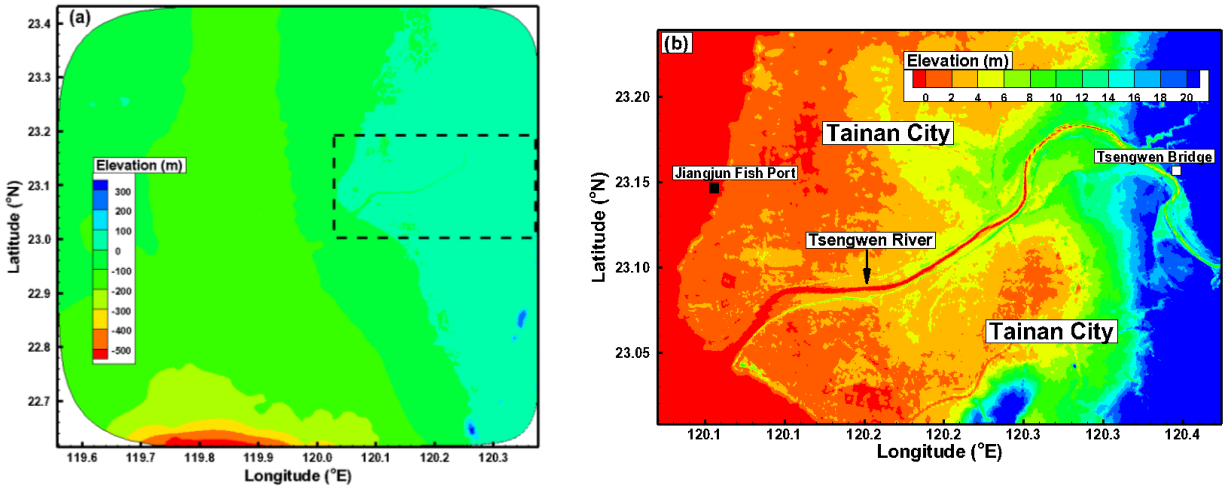


圖 3.2.3 之不規則網格圖



（a） (b)

圖 3.2.4 地形分布圖(a)，以及局部放大地形圖(b)

(二)FVCOM 淹水模式校驗

任何模式建置完成後，必須先經過檢定與驗證程序，殆定模式之準確性後，方可應用於氣候變遷條件下之淹水情況推估。本子計畫以

三場為曾文溪流域帶來豪雨之颱風事件，進行模式之校驗，分別為2007 年柯羅莎颱風、2008 年卡玫基颱風以及 2009 年莫拉克颱風，圖 3.2.5 為繪製之颱風路徑，可以看出此三場颱風均為 2 號路徑颱風，由臺灣東南部往西北部移動，颱風的強風與低氣壓雖未對臺灣西南海岸造成顯著暴潮，但颱風引進的西南氣流卻為該地區帶來大量雨水，也因此造成曾文溪水位暴漲，甚至發生溢堤現象。模式校驗分為兩部分，一為曾文溪河道水位站與外海潮位站之時間序列資料校驗；二為2009 年莫拉克颱風，曾文溪流域淹水範圍之空間校驗。

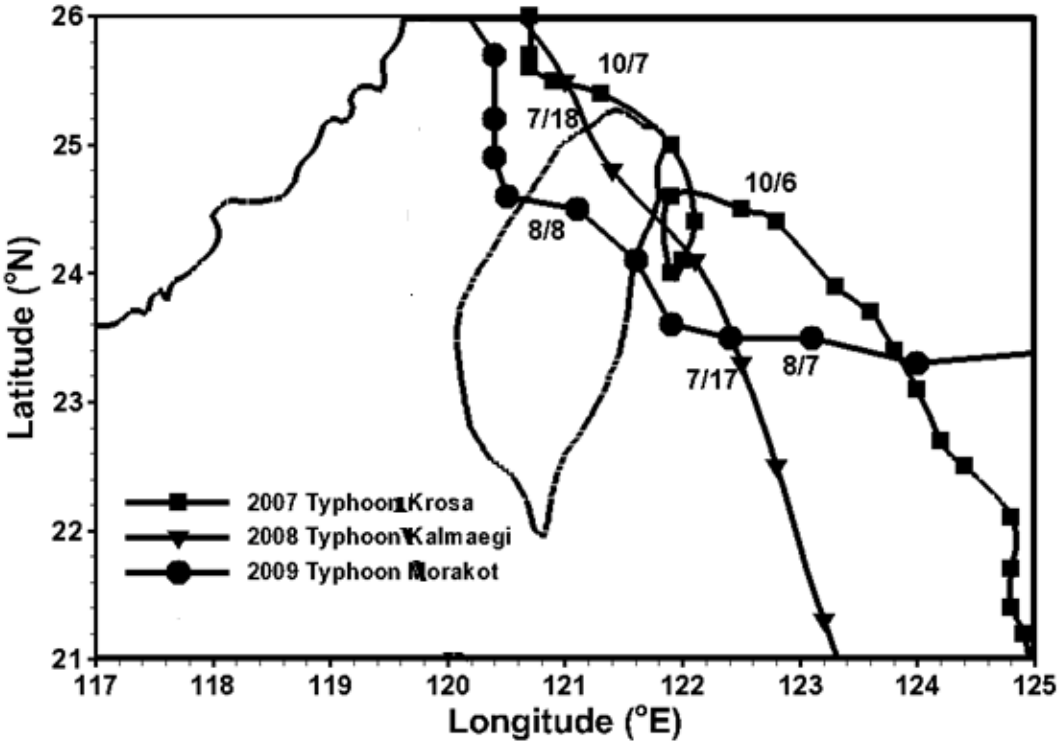


圖 3.2.5 淹水模式所使用颱風之路徑

圖 3.2.6 為模式模擬與量測之將軍漁港站潮位時序圖，圖形顯

示，模擬結果與量測結果甚為吻合，此三場颱風對將軍漁港潮位變化影響不大，漲潮潮位不超過 1.5 公尺。圖 3.2.7 為曾文溪河道，曾文溪橋水位站，模擬與觀測比較圖，水位誤差最大有達瞬間 4 公尺左右，但大部分誤差均位於+2 到-2 公尺之間，模式對洪峰值以及洪峰時間的掌握，甚為精確。

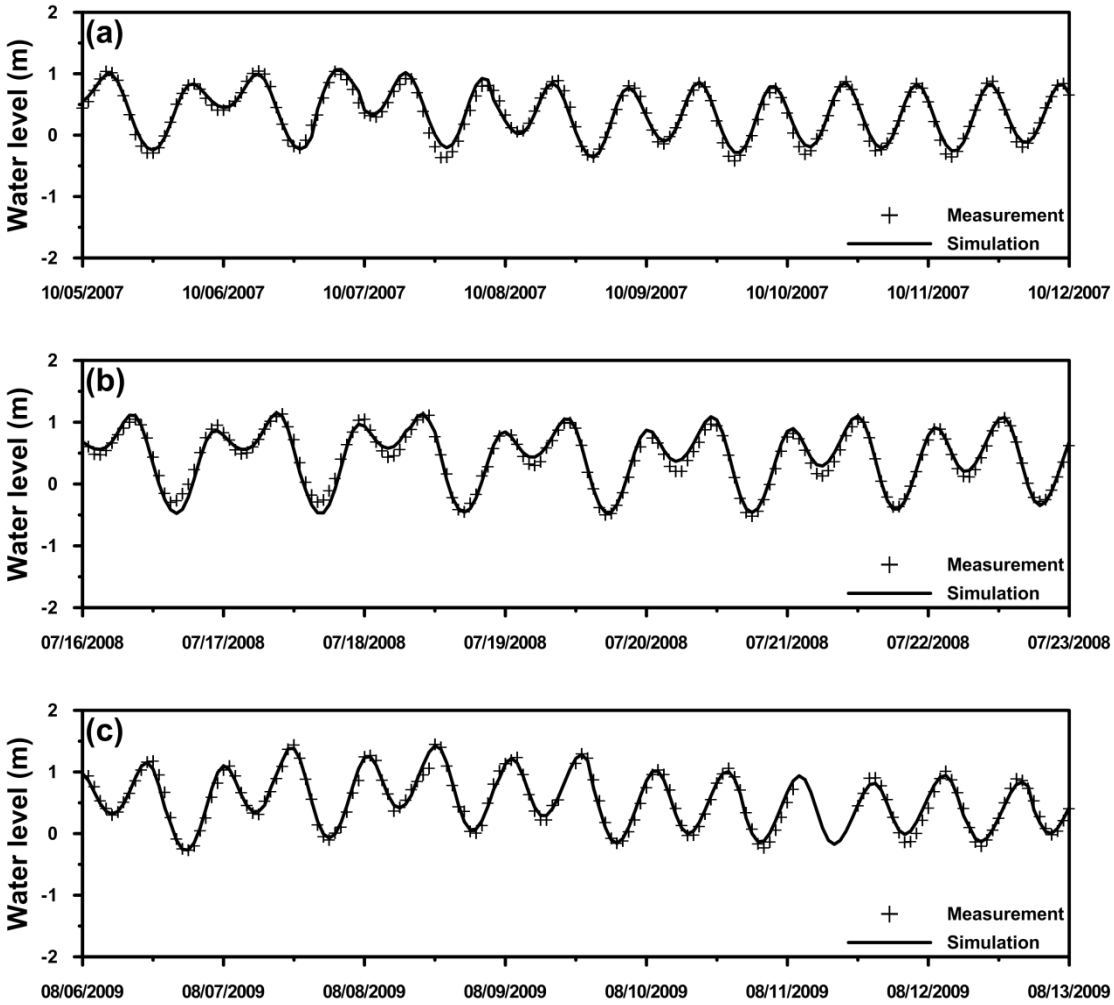


圖 3.2.6 將軍漁港潮位站，模擬（黑色實線）與量測（黑色十字）之時序比對。圖(a)2007 年柯羅莎颱風，圖(b)2008 年卡玫基颱風以及圖(c)2009 莫拉克颱風

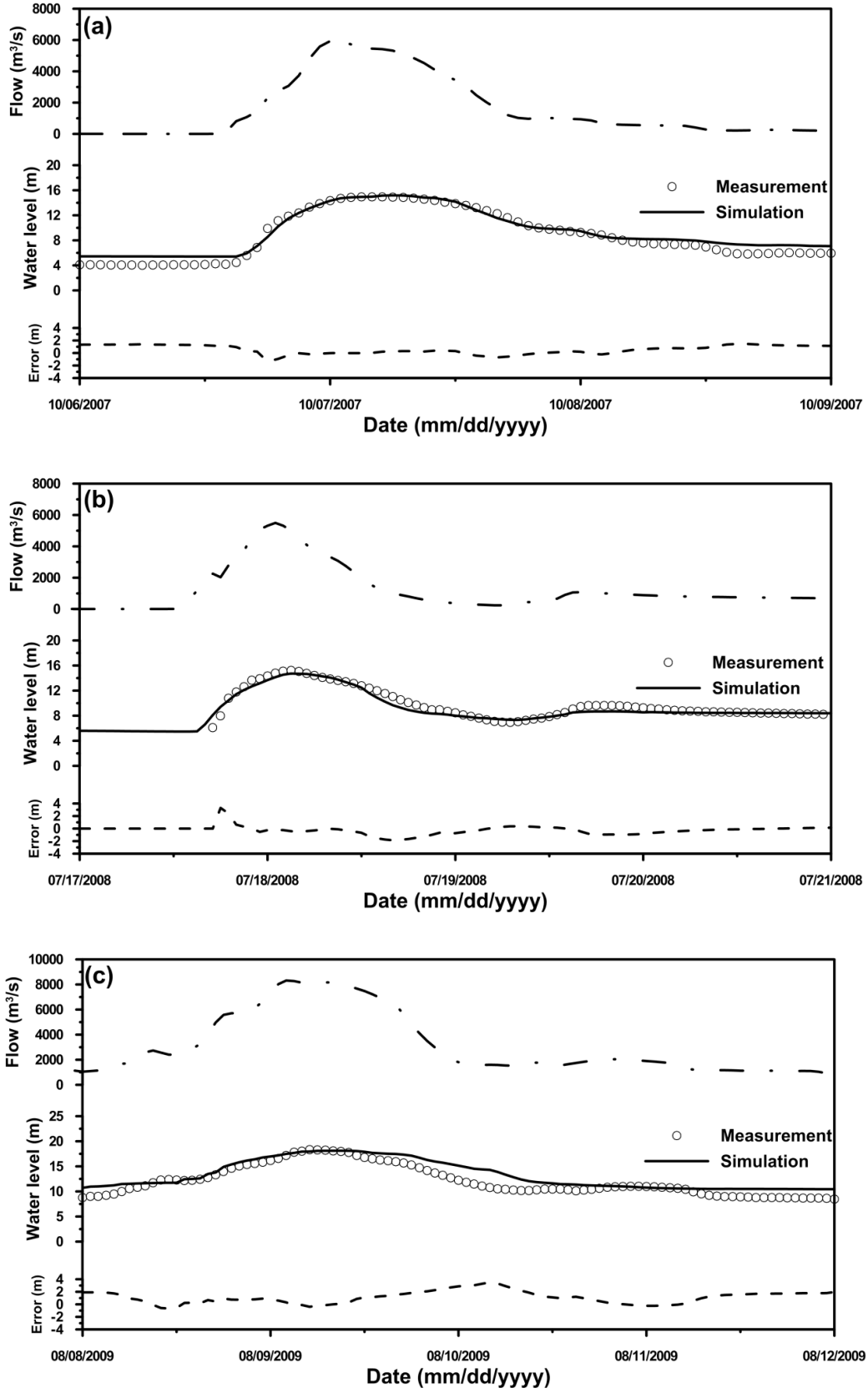


圖 3.2.7 曾文溪橋水位站，模擬（黑色實線）與量測（黑色圓圈）之時序比對。圖(a)2007 年柯羅莎颱風，圖(b)2008 年卡玫基颱風以及圖(c)2009 莫拉克颱風

除單點時序資料校驗外，本計畫亦針對淹水範圍進行空間分布校驗，圖 3.2.8 為模式模擬曾文溪流域於 2009 年莫拉克颱風期間之淹水範圍（有色階），與水利水現場調查（白色）之比對圖。模擬可重現出與現場調查大致相同之淹水範圍，但由於缺乏支流的斷面資料，因此，模式對少部分範圍有低估現象發生，但模式仍可正確反映出，因為河水溢堤以及強降雨所造成之淹水分布情況。

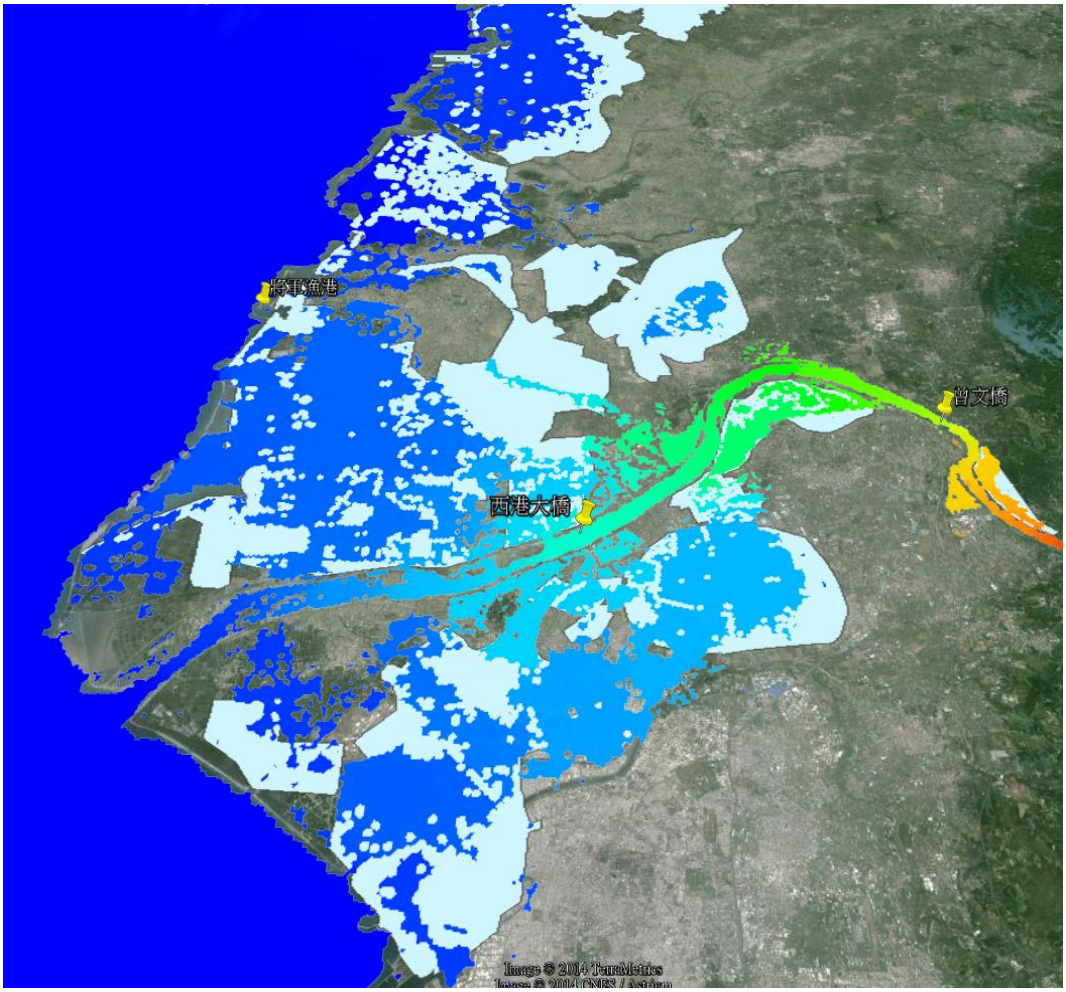


圖 3.2.8 2009 年莫拉克颱風模擬（有色階）與現調（白色）之淹水範圍比對

3.2.2 淹水脆弱度評估

根據 FVCOM model 模擬市區淹水模擬數據結果，進行量化災害衝擊之指標分析，流程請參考圖 3.2.9。利用 FVCOM model 模擬之逐時水深與逐時淹水範圍數據，演算台南各鄉鎮之逐時洪水體積，並以最大洪水體積值為脆弱度指標(FV1)，意即，洪水體積越大之鄉鎮，脆弱度指標越高；研究中並探討淹水延時的影響，以開始淹水至水深到達最大深度時之時間長度表示，淹水延時越久，失敗的時間越長，回復至正常狀況（未淹水前的情形）越不易。

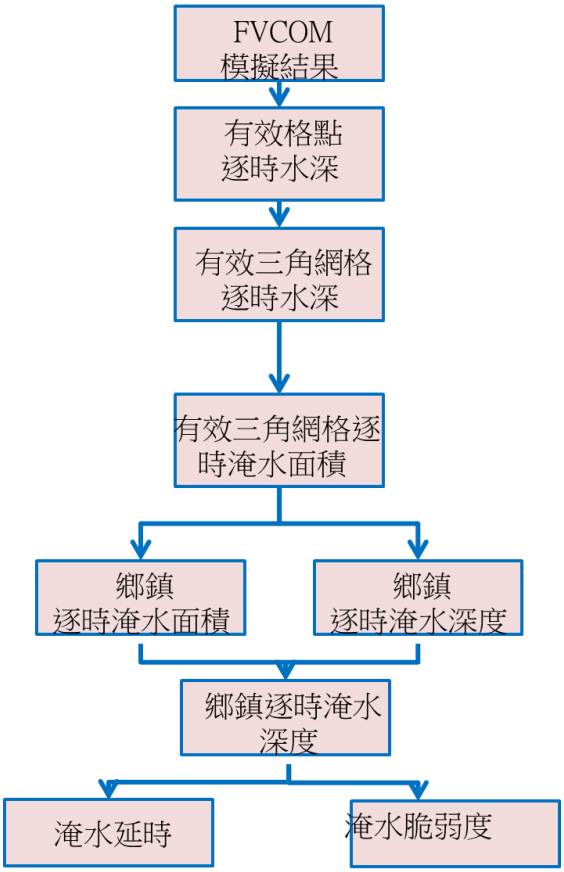


圖 3.2.9 淹水脆弱度評估流程

3.2.3 歷史災害模擬

本研究利用 FVCOM 模式模擬過去幾場歷史颱風事件，包含 2005 年 0612 豪雨事件、卡玫基颱風、凡那比颱風與莫拉克颱風，並與過去有調查淹水範圍的圖資相互套疊，如圖 3.2.10~圖 3.2.13，四場颱風事件中以 0612 豪雨與莫拉克事件模擬的淹水範圍與調查範圍較為相近，雖高估部分淹水範圍，主要的淹水區位大致有推估。

本研究以莫拉克颱風為例，進一步分析其鄉鎮淹水面積、深度與體積，並計算鄉鎮之淹水脆弱度（最大淹水體積），如圖 3.2.14 (a)、(b)、(c)（d）如所示。莫拉克的淹水模擬面積約為 88,327 公頃，受到河水溢堤影響，淹水深度較深出現在曾文河道左岸之大內區、山上區與善化區。由於地勢低窪且受到海潮影響，台南沿海一帶的鄉鎮平均淹水延時較長，相對在回復到未淹水前的狀況越不易。而北區、東區因地勢較高(先天優勢)且具有較完善之排水系統，故淹水延時相對較短，其災後回復力到正常現象較快。相對於安南與七股區，淹水延時長且淹水面積與體積相對大，故在遭遇淹水災害時，此兩區較不易回復到未淹水前的狀態。

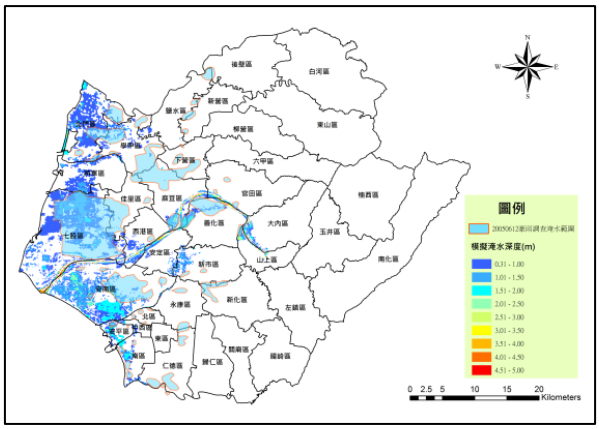


圖 3.2.10 0612 豪雨模擬與調查淹水範圍

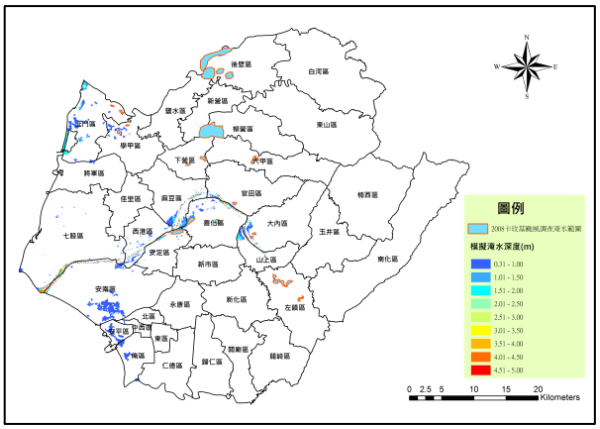


圖 3.2.11 卡玫基颱風模擬與調查淹水範圍

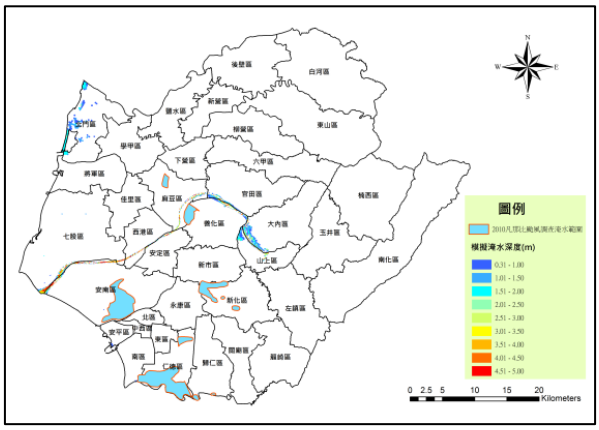


圖 3.2.12 凡那比颱風模擬與調查淹水範圍

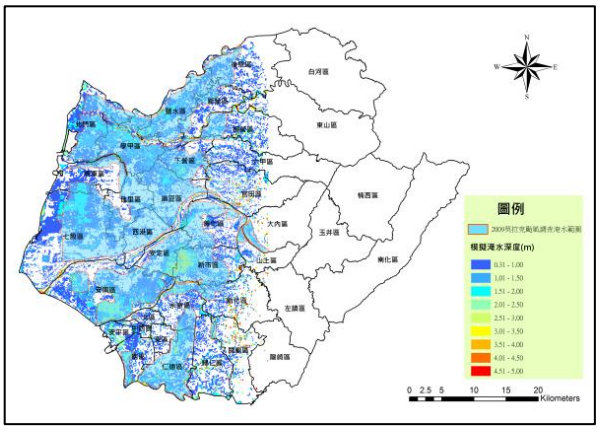
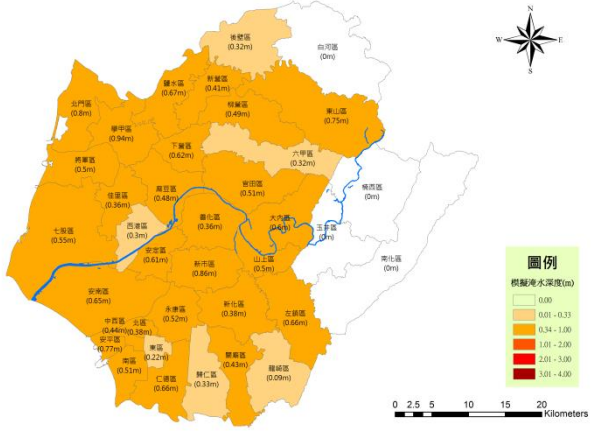
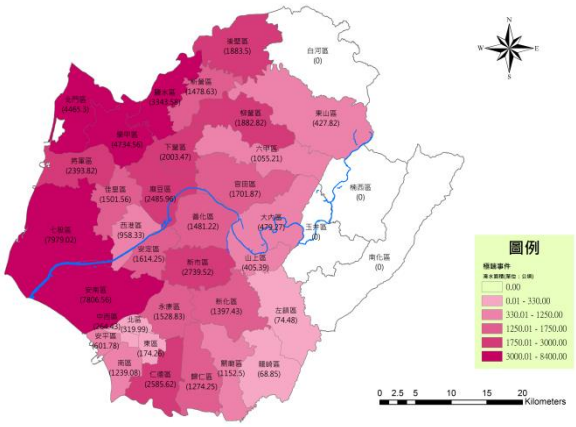


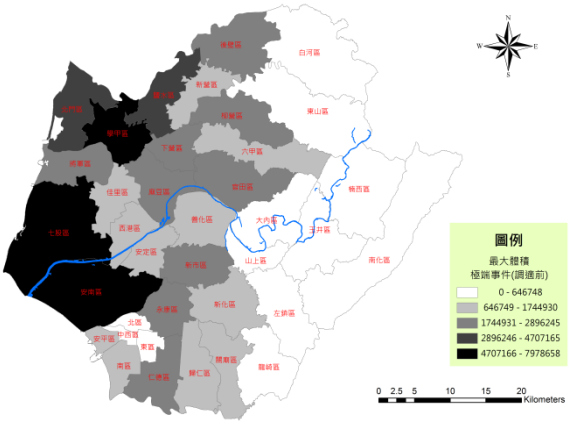
圖 3.2.13 莫拉克颱風模擬與調查淹水範圍



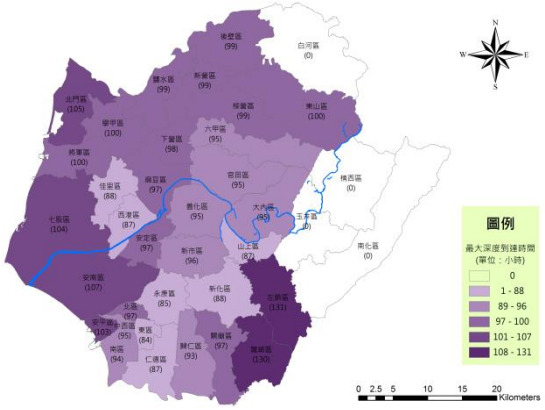
(a) 莫拉克事件之鄉鎮淹水深度



(b) 莫拉克事件之鄉鎮淹水面積



(c) 莫拉克事件之鄉鎮淹水脆弱度（FV）



(d) 莫拉克事件之淹水延時

圖 3.2.14 歷史莫拉克事件淹水模式模擬成果

3.3 氣候變遷衝擊下淹水災害脆弱度

（一）淹水災害脆弱度

本研究利用合成模式產製日雨量資料，再以類神經網路與序率暴雨模式，產製不同頻率年下設計暴雨量，但其空間分佈相同主要是降雨量有些需程度上差異，在計算鄉鎮間的差異並不大，故在此以呈現

氣候變遷下的 200 年頻率年之設計暴雨量，可能造成台南地區的淹水災害衝擊之結果，如圖 3.3.1。在曾文溪較上游未設置堤防河段，由於曾文水庫之洩洪量相當大，受限於主河道通洪能力與兩岸高程差，故部分主河道兩岸較低區域有溢淹問題。中游北岸官田一帶，由於堤防仍有缺口，故有沿主流河岸低地溢淹之情形，由細部流向分析結果顯示，若洪水溢淹至官田一帶，則其將順地勢往麻豆、學甲、下營一帶運移，亦即跨流域影響將軍溪流域上游各區。

圖 3.3.2 為氣候變遷情境下可能的淹水深度、淹水面積、淹水脆弱度與淹水延時，在鄉鎮間的空間差異圖，曾文河道左岸之大內區、山上區，因沿用現有的河堤高度資料，該處尚未設置提防，而造成部分河道的水溢淹情形，故模擬時該區域沿著河堤的淹水深度較高，故造成大內與山上區，的淹水深度相對其他區域高，但其淹水面積不大，故該區的淹水脆弱度變相對低，且由於此兩區的高程較高，洪水較易往下游流動，其消散速度快，故淹水延時短。下游地區七股區、北門區、學甲區與鹽水區、因地勢低窪為水流匯集地，故淹水面積大，深度淺，但延時長，故其淹水脆弱度相對高。

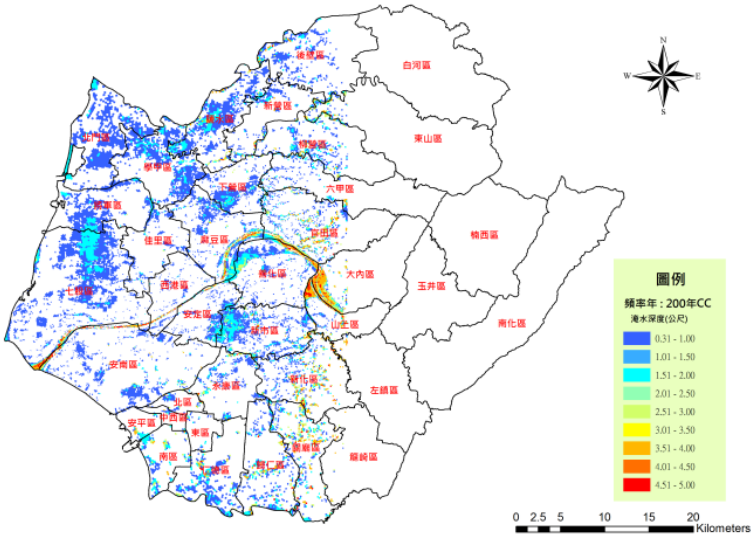
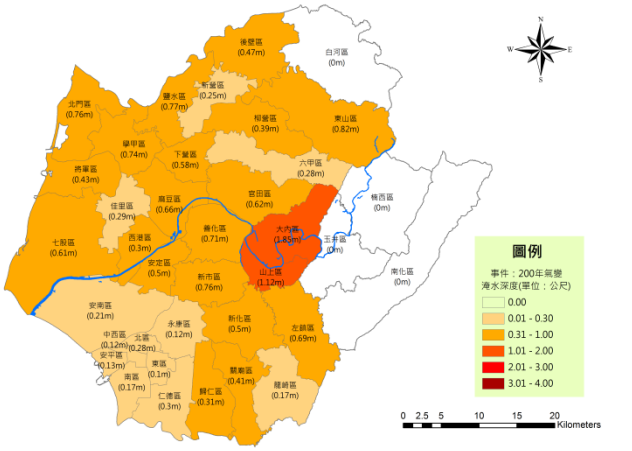
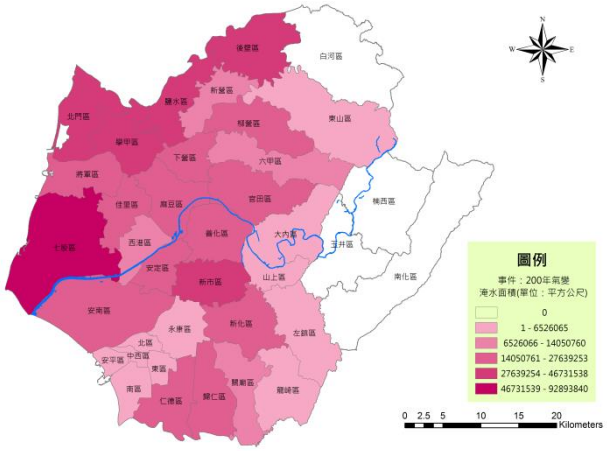


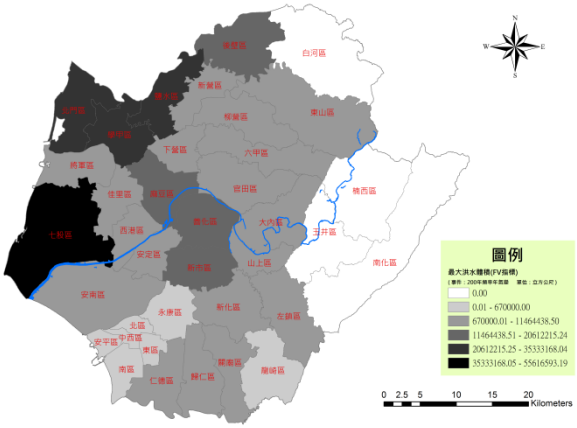
圖 3.3.1 氣候變遷下 200 年頻率年之淹水模擬情形



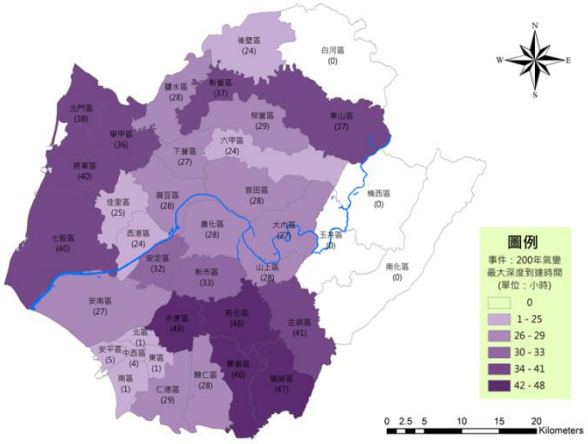
(a)氣候變遷下 200 年頻率年之鄉鎮淹水深度



(b) 氣候變遷下 200 年頻率年之鄉鎮淹水面積



(a)氣候變遷下 200 年頻率年之淹水脆弱度（FV）指標



(b) 氣候變遷下 200 年頻率年之淹水延時

圖 3.3.2 氣候變遷下 200 年頻率年之淹水災害指標

（二）淹水災害與災損套疊之結果熱點區域

本研究結合國家災害防救科技中心所研發之「臺灣颱洪災損評估系統(簡稱 TLAS Taiwan)」，透過自動化的計算模組，評估災害損失，本研究僅針對影響戶數與地上物損失進行洪水災害衝擊評估。

由於此災損評估模式與土地利用與網格淹水深度具有高度相關性，淹水深度越高且影響的區域為在工業區、商業區或區域網絡密度高的區域，其災損較高。圖 3.3.3 是根據極端事件淹水之模擬的災損結果，淹水熱點區位為永康區、南區與安南區，此三區欲發生淹水災害造成的經濟損失相對較其他區域大。而中西區由於人口集中，發生淹水災害對於該區域內影響戶數相對多，故在淹水災害衝擊中，未來受災的風險是較高的。

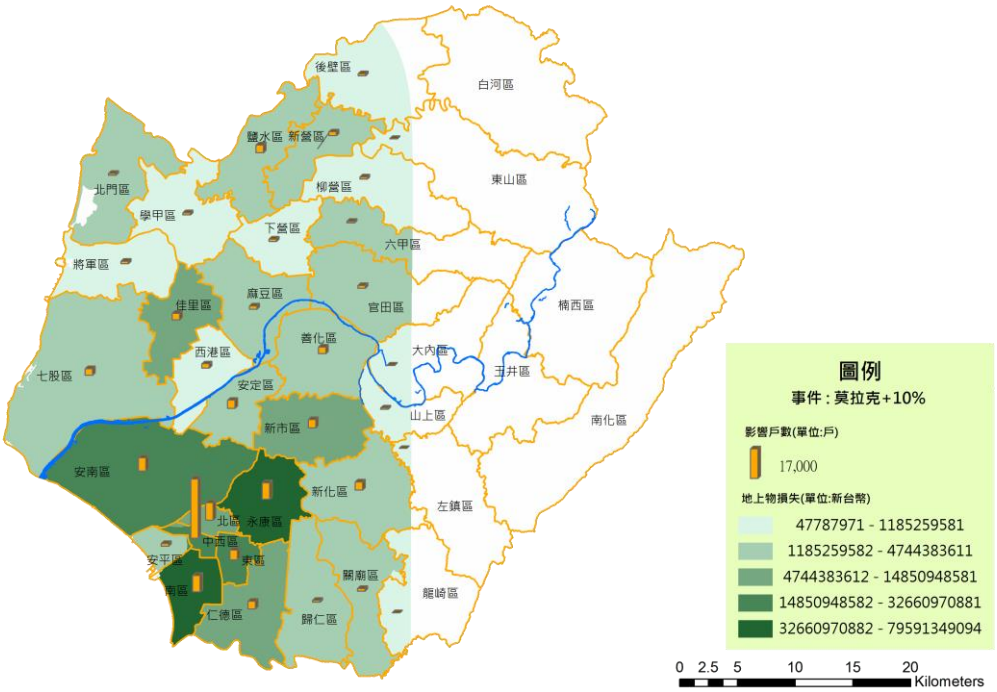


圖 3.3.3 假設極端事件下淹水災損情形(影響戶數與地上物損失)

3.4 淹水災害衝擊評估之跨領域應用

本研究以歷史颱風事件資料與氣候變遷情境資料，利用 FVCOM 模式評估台南地區的歷史淹水範圍與未來氣候變遷情境下的淹水範圍，進一步換算成鄉鎮的平均淹水深度與面積，並探討與水媒疾病的影響，其分析分析流程如圖 3.4.1。

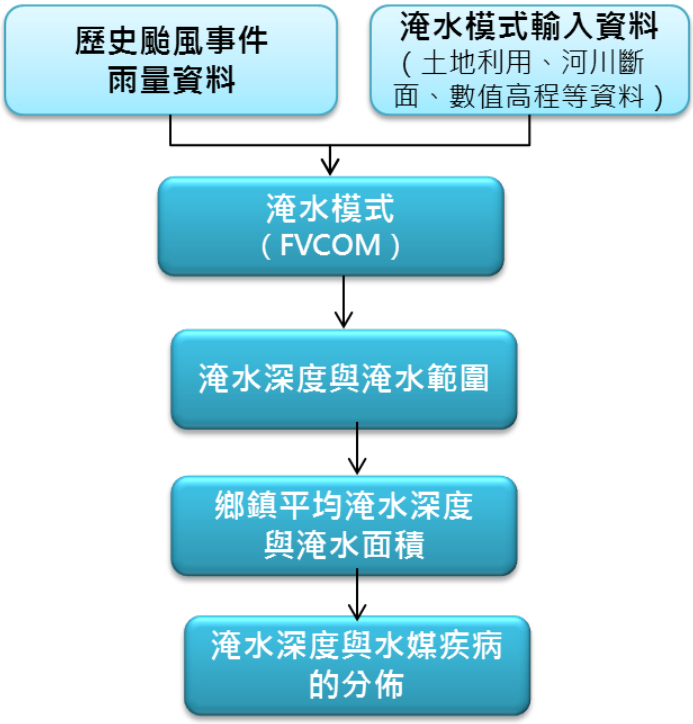


圖 3.4.1 淹水災害跨領評估之流程圖

本研究根據蒐集的疾病相關資料，台南地區的水媒性病例，主要發生在 2005 年-2011 年期間，依據發生病例期間前後的歷史豪雨與颱風事件，進行分析模擬，共一場豪雨事件與五場颱風事件。 在桿菌性痢疾方面有四場淹水事件與有疾病相關資料，分別是 0612 豪雨事件（2005），鳳凰颱風（208）、莫拉克颱風（2009）、南馬督颱風（2011）等事件，其空間分佈如圖 3.4.2，主要病例在官田區。

在腸病毒病例則只有三場淹水事件，分別是泰利颱風（2005）、鳳凰颱風（2008）、卡玫基颱風（2008）等事件，主要病例在新營區，其空間分佈如圖 3.4.3。

在歷史淹水事件與疾病資料空間分佈相互套疊，由於淹水模擬與

疾病空間分佈相關性不高，因此尚未完成淹水深度與疾病的回歸關係，未來將進一步利用可處理眾多變數間過度複雜非線性的關係的 Generalized additive model 分析模式，分析對淹水後多久的時間會造成疾病發生，以及淹水高度是否影響疾病擴散問題。

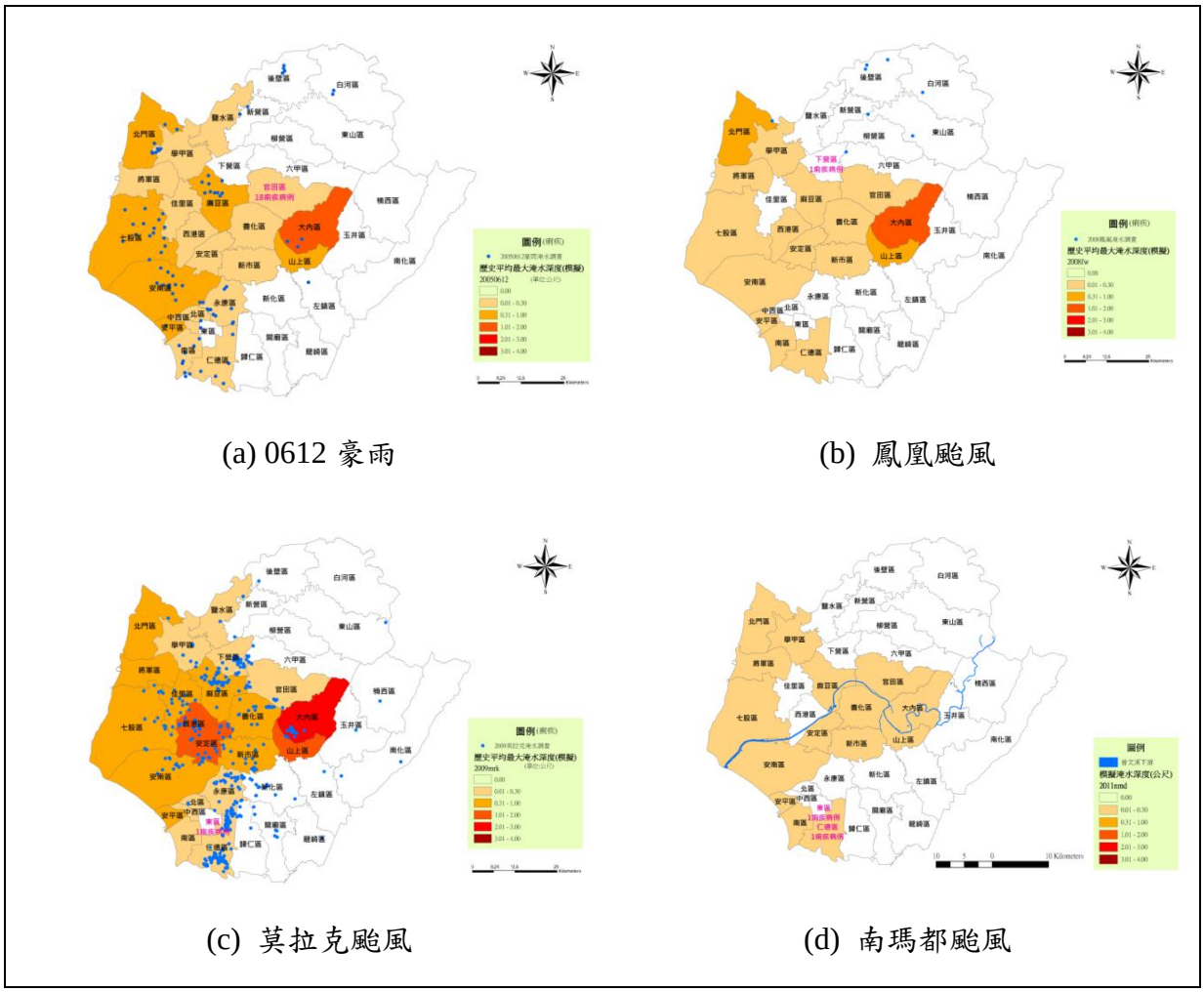
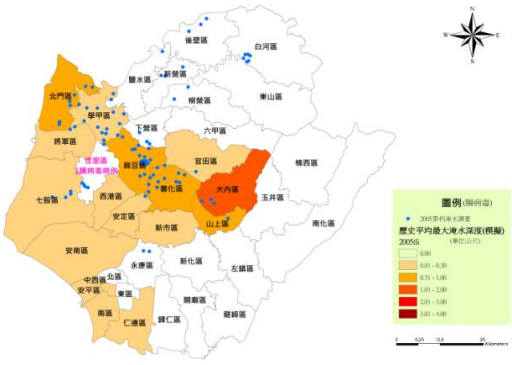
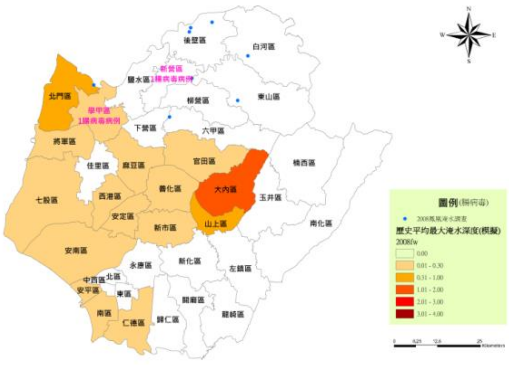


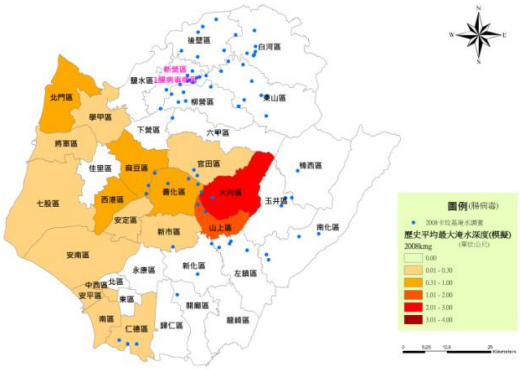
圖 3.4.2 歷史颱風事件淹水深度與桿菌性痢疾病例之空間分佈



（a）泰利颱風



（b）鳳凰颱風



（c）卡玫基颱風

圖 3.4.3 歷史颱風事件淹水深度與腸病毒病例之空間分佈

第四章 坡地災害脆弱度分析

4.1 坡地災害特性

臺灣地區降雨主要來自颱風和鋒面型梅雨，此兩季節的降雨特性，經常造成嚴重的坡地災害衝擊。坡地災害的損失，高居天然災害的首位，並且發生的頻率相當高(洪如江，2009)。造成坡地災害的機制，可分為內在因素與外在因素，前者內在因素則是坡面本身地質構造與地形屬於較為脆弱的特性，而外在因素則是受到外力作用影響，使得坡面的剪應力作用增加，造成邊坡不穩定而滑落，常見原因包含地震、豪雨及人為因子，例如山坡地過度開發、森林砍伐、集水區濫墾及超限利用、山區開闢道路或興建水庫、工程選址或道路選線不當、邊坡排水系統與護坡工程維護不周等(洪如江，2002；洪如江，2009)。降雨為坡地災害發生的最主要驅動力之一，在氣候變遷下，可能造成集中降雨且短延時降雨增加，使得地表土壤流失量增加，因此將加重坡地災害的衝擊。

林美聆於 2013 年與 2014 年皆針對極端降雨下流域大規模崩塌對後續土砂災害之影響進行評估，以高雄那瑪夏區為例，研究中評估崩塌率與災害事件累積雨量之關係，研究成果顯示，莫拉克颱風事件前該區域崩塌率低於 10%以下，而莫拉克颱風事件後該區域的崩塌率增

加至 10%以上，顯示莫拉克颱風事件造成的坡地災害非常嚴重。由於莫拉克颱風的總雨量遠大過以往的災害事件，致使崩塌率急遽增加且影響後續崩塌率偏高，至 2012 年尚未減緩。由此可知，極端降雨事件造成了嚴重的大規模崩塌，使得流出的土砂量體越多，流域後續的影響也將越嚴重。

根據 2010 年國家災害防救科技中心針對莫拉克颱風之災情勘查與分析結果，過去曾文水庫上游集水區歷經多場重大坡地災害事件中，又以 2009 年莫拉克颱風所夾帶之極端降雨影響最為嚴重，因累積降雨量大且降雨延時長，已超過坡地土石流發生警戒雨量最高 650 毫米/天之容忍程度，再加上莫拉克颱風侵襲之前，台灣中南部發生多次規模超過 5 之淺層地震，使得土壤鬆動而易崩塌，山坡地範圍崩塌地面積約 387 公頃，係為莫拉克颱風前之 7.6 倍。

圖 4.1.1 為 2012 年中央地調所「易淹水上游集水區地質調查及資料建置計畫」所繪製的山崩潛勢機率圖，相較於鄰近流域，曾文水庫上游集水區屬於高崩塌潛勢機率之地區。另外，從國家災害防救科技中心「99 年台南縣市易致災脆弱性因子調查分析」中針對歷史颱風對曾文水庫上游集水區造成之崩塌點位分布，可知歷史崩塌點位多位於較上游地區，如圖 4.1.2，此區亦是聚落分布較密集之處，故可推

測坡地災害的成因與降雨量、地質條件或坡地開發程度有關。

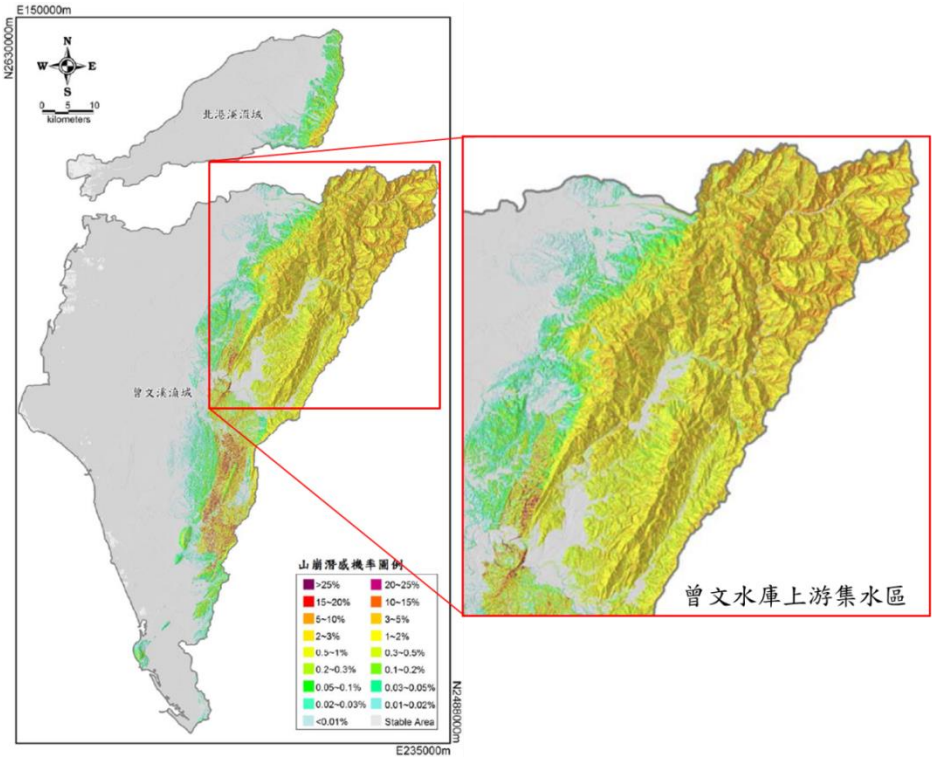


圖 4.1.1 曾文溪流域莫拉克事件山崩機率圖

(資料來源：易淹水上游集水區地質調查及資料建置計畫)

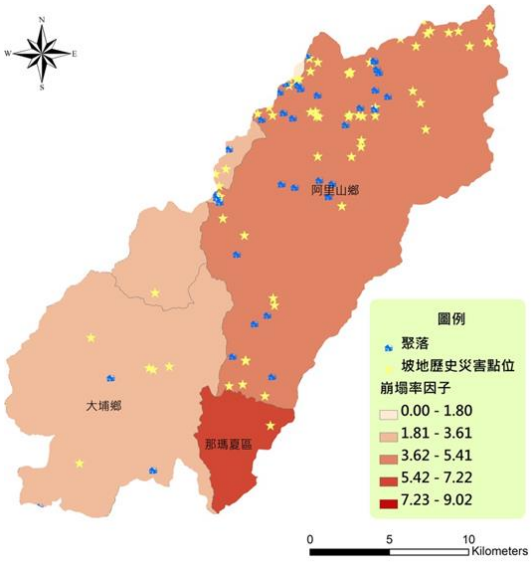


圖 4.1.2 2007-2013 年歷史颱風事件造成的崩塌災害點位

短延時的強降雨或累積降雨量過大，增加土體下滑力使之超過坡面承載能力，對於地質脆弱或是坡面較陡的邊坡(脆弱度)，便易發生崩塌災害，造成保全住戶與財產損失(暴露量)。而且崩塌落下的土體經由河道運移，可能堆積在河道或淤積水庫裡，衍生後續河道通水斷面窄縮而溢淹，或水資源供給匱乏等相關議題。根據 IPCC-AR5 針對風險是由危害度、暴露度與脆弱度所組成之定義，將坡地災害主要面臨問題來源與類型，以此三項指標表示，整理如下表 4.1.1。

表 4.1.1 坡地災害主要面臨問題來源與類型

問題來源	問題類	說明
降雨	危害度	降雨強度、延時及累積總雨量越大，所造成的危害度越大。
地質、地形	脆弱度	地質岩性(例如砂頁岩互層之差異侵蝕)、斷層破碎帶、順向坡面；以及高程變化幅度大，一旦有外力侵襲，易引發山崩、落石等災害。
土壤性質 (凝聚力、內摩擦角)	脆弱度	邊坡滑動與否，為土壤下滑力與摩擦阻力的平衡結果。當土壤抗剪強度(由土壤凝聚力與土壤內摩擦角特性形成)小於土壤自重產生之下滑力時，邊坡便會滑動而產生坡地災害。土壤有效凝聚力及內摩擦角越小，均會使得脆弱度越大。
土壤含水量、 地下水位	脆弱度	高土壤含水量、高地下水位或地震激發之超額孔隙水壓皆會降低土壤抗剪力，使得脆弱度越大。
缺乏植被 邊坡穩定工程強度	脆弱度	缺乏植被的裸露表土或邊坡穩定工程強度設計不足，皆易受到降雨沖刷而導致土壤流失及結構破壞，而使得脆弱度越大。
邊坡有張力裂縫	脆弱度	當岩土邊坡發生不穩定時，常於坡頂產生鉛直張力裂縫，使剪力滑動破壞面轉而沿此張力裂縫向地表發展，而使剪力面縮短，導致邊坡整體安全係數之下降。通常張力裂縫易發生於低凝聚力的岩土材料，在邊坡滑動變位過程中，當坡體內應力超過岩土材料之抗張強度，則產生張力裂縫，當邊坡出現張力裂縫時，可視為邊坡不穩定的預警。且降雨充塞陡坡頂部的張力裂縫或微裂易致使墜落型態的坡地災害發生。
道路開發	脆弱度	早年山區主要道路的開發，由於疏於考量到保護措施是否足夠，缺乏充分調查、規劃、設計、施工、道路選線不當，及邊坡保護不足與不當等情形,使得脆弱度提高。
保全對象	暴露度	山區保全對象可為聚落、產業或是道路，保全對象的分布越廣，其暴露度越大。

4.2 坡地災害脆弱度評估流程

國內評估坡地災害的評估方法，主要分為定值法與機率法兩大類，定值法係利用極限平衡法計算該不穩定點之安全係數，對於豪雨誘發山崩之分析，是在無限邊坡模式上，考量豪雨入滲及地下水位改變對邊坡穩定之可能的影響(朱聖心，2001；李錫堤，2009)。機率法是利用多變量迴歸(multivariate regression)、羅吉斯迴歸(1ogistic regression)得到一組能區別山崩群組與非山崩群組的線性方程式，評估崩塌與土石流潛感值（Mark and Ellen, 1995; Rupert et al., 2003; 李錫堤等人，2003；陳樹群等人，2012）。

本研究模擬未來氣候變遷情境下，於降雨歷程中的坡面穩定情形，以推估其承載時間，以及水庫上游可能產生的崩塌量對於下游水庫庫容的衝擊影響。應用美國地質調查所(USGS)所發展的TRIGRS(Transient Rainfall Infiltration and Grid-Based Regional Slope-Stability Model)淺層崩塌物理模式分析模擬研究區內可能的崩塌，進而結合土砂運移模式，評估水庫庫容的變化，本研究評估流程如圖 4.2.1 所示。根據 2.1 節產製的降雨資料，進行坡地模擬評估，最後配合災損模式，套疊出水庫上游的熱點區域，詳細的研究區域與評估方式於後續小節描述之。

圖 4.2.1 坡地部分研究流程

4.2.1 坡地研究試區概述

本研究以台南地區上游之曾文水庫上游集水區作為坡地土砂模擬研究試區，如圖 4.2.2 紅色框處。曾文溪主流發源於嘉義縣阿里山鄉的東水山，主要河川長度約為 56.2 公里，流經嘉義縣與台南縣交界間後進入曾文水庫，主支流總長度約 213 公里。

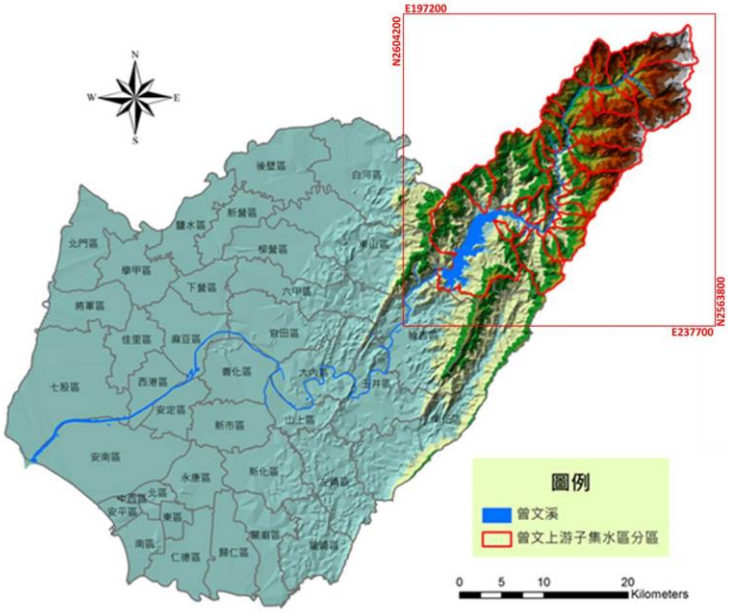


圖 4.2.2 曾文水庫上游集水區地理位置

由於境內多山，集水區內主要保全對象之聚落和道路主要沿著溪流分布，可大略分為三區，第一區為阿里山公路沿線區域，是曾文水庫的最上游區域，主要保全對象包括阿里山公路和 20 個聚落，行政區域屬於嘉義縣阿里山鄉達邦村、樂野村、以及山美村等；第二區為水庫入庫口以北區域，主要保全對象包括省道 3 號、以及沿曾文溪主流散布之 12 個聚落，行政區域屬於嘉義縣阿里山鄉里佳村、茶山村、以及新美村等；第三區則是水庫周圍區，僅包含一個聚落，行政區域屬於嘉義縣大埔鄉大埔村(圖 4.2.3)。

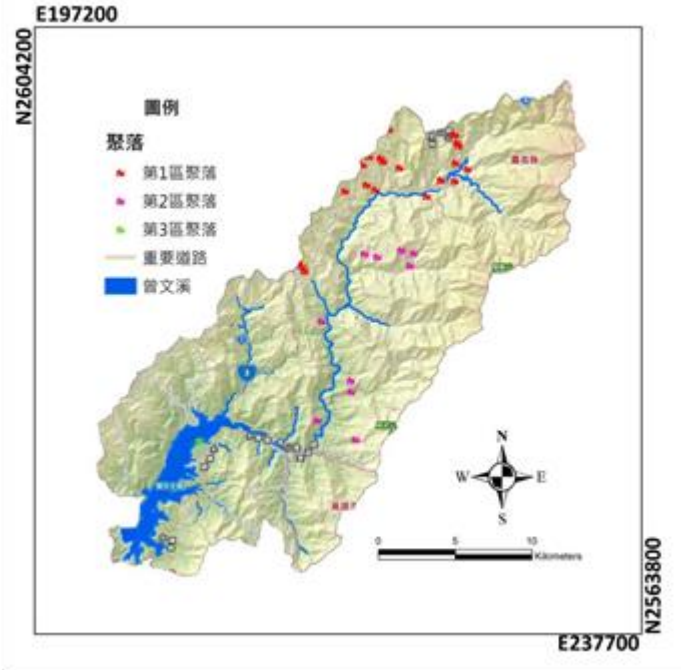


圖 4.2.3 曾文水庫上游聚落和重要道路分布

根據中央地質調查所提供之流域地質資料顯示(圖 4.2.4)，曾文水庫上游集水區出露之地層極為複雜，依地質年代老至新之次序，由下至上排列為中新世的糖恩山砂岩、三民頁岩、南莊層、紅花子層及長枝坑層；上新世的竹頭崎層、茅埔頁岩、隘寮腳層、鹽水坑頁岩、北寮頁岩；更新世的階地堆積層；全新世的沖積層，其中又以長枝坑層分布為最廣。而土地利用分布則以森林用地分布最廣，農業用地為其次，如圖 4.2.5 所示。

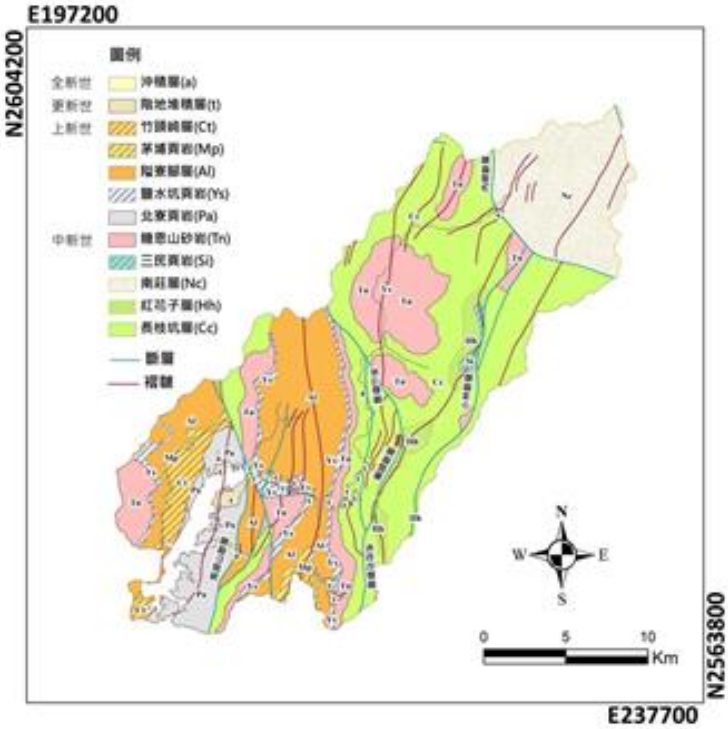


圖 4.2.4 曾文水庫上游集水區之地質分布

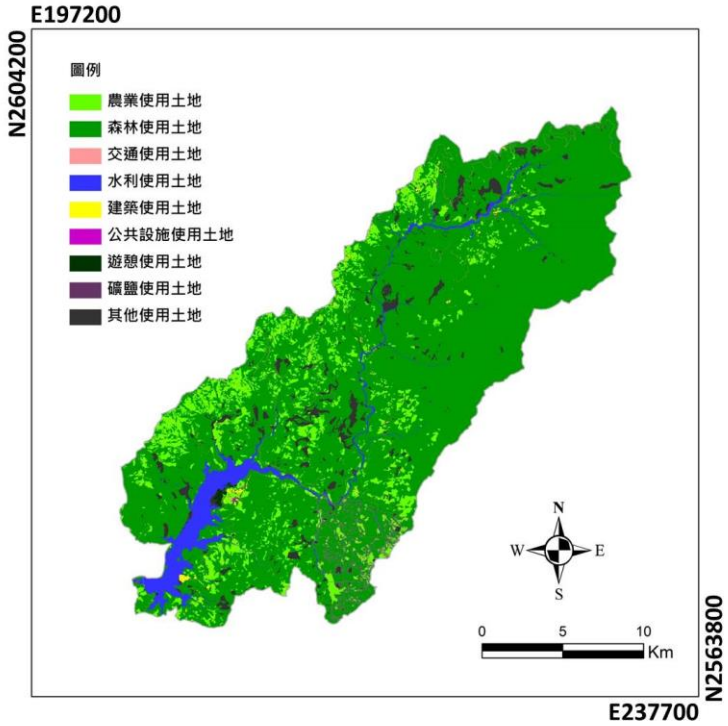


圖 4.2.5 曾文水庫上游土地利用分布

4.2.2 坡地模式介紹

本研究採用的 TRIGRS 模式評估淺層崩塌，該模式主要是以正方網格為單位，並考慮暫態降雨所造成水分入滲於淺層表土影響邊坡穩定性之分析。其降雨入滲機制來自於 Iverson(2000)所提出的理查方程式之線性解進行延伸，並結合無限邊坡理論計算該邊坡的穩定性。根據不同研究區域的土壤及水文特性，給予各種地質水文參數的輸入，模擬逐時降雨入滲所造成的安全係數值及孔隙水壓變化(Baum et al., 2008)。

模式中邊坡穩定性是利用安全係數值(Factor of Safety, FS)評估，其定義如式 4.2.1。並透過降雨前後坡面的安全係數變化，進而設定門檻值來找到可能誘發崩塌發生之區位、以及推估可能造成的崩塌量。本研究在此以安全係數值小於 1.0 做為邊坡發生崩塌的門檻值，找出崩塌可能發生的潛在位置，並配合該處所相對應的崩塌深度，計算崩塌量。由於一般山坡地坡面所產生的土方量並非全數運移至主河道內，可能有部分滯留於坡面上，為簡化該複雜的運移過程，並以一較為簡單方式進行推估，根據文獻訂立研究試區之泥砂遞移率，作為推估進入主河道的崩塌量之依據。

$$FS(Z,t)=\frac{\tan\phi'}{\tan\delta}+\frac{c'-\psi(Z,t)\gamma_w\tan\phi'}{\gamma_s Z\sin\delta\cos\delta} \qquad \text{(式 4.2.1)}$$

上式中ϕ'為土壤內摩擦角； C'為土壤有效凝聚力；γ_w、 γ_s為水及土壤的單位重；Z 為土壤厚度； δ為坡度；$\psi(Z,t)$則代表不同時間 t 在 Z 土壤厚度深度下的孔隙水壓狀態。假設當 FS 小於 0 時，即表示該網格可能發生崩塌。

（一）坡地模式參數設定

計算 FS 所需的相關模式參數設定，包含水文地質參數、土壤有效凝聚力、土壤內摩擦角、土壤單位重、水力傳導係數、水力擴散係數、初始地下水位及初始入滲率。現地水文地質參數取得不易，因此參考 2012 年中央地調所「易淹水地區上游集水區地質調查及資料庫建置計畫」其針對曾文溪流域之地層分布建立之水文地質參數資料庫，作為研究參數之初始條件。其中，沖積層地形較為平坦，故在此歸類為穩定區，不納入分析。研究中採用農林航測所之 40 公尺×40 公尺的數值高程模型來建立坡度、流向及土壤厚度等地形資料，模擬網格大小同樣採取 40 公尺，以達到最佳模擬效果及效益(尹立中等，2013)。

土壤厚度部分乃參考國家災害防救科技中心(2012)以修正之坡度-深度關係式來進行土壤厚度設定，如表 4.2.1 所示；由於缺乏地下水位實測資料，地下水位則假設與土壤厚度相同，意即地下水位面之位

置位於地表下土壤與崩積層之交界面(吳佳郡，2006；陳則佑等，2011；NCDR 國家災害防救科技中心，2012)。另外，根據前人文獻提到崩積層與風化層的水力傳導係數大約落在 10^{-4}m/s 至 10^{-6}m/s 之間，而水力擴散係數在不同環境條件下與水力傳導係數成 10~400 倍之關係(吳佳郡，2006；鍾欣翰，2008；陳則佑等，2011)；初始入滲率則顯示初期土壤含水的狀態，若分析事件前期有 100~500mm 累積降雨量發生，則假設初始入滲率為水力傳導係數之 0.01 倍；而分析事件前期僅零星降雨，土壤呈現乾燥狀態，可合理假設為 10^{-8}m/s，本研究則以此假設作為設定(Chen et al., 2005；Liu and Wu, 2008；鍾欣翰，2008；陳則佑等，2011)。表 4.2.2 為本研究所規劃曾文水庫上游集水區之相關地文水文參數整理。

表 4.2.1 坡度與土壤深度換算表(國家災害防救科技中心，2012)

坡度(度)	土壤厚度(公尺)
< 20	1.5
20 - 30	3.5
30 - 40	4.5
40 - 50	2.5
> 50	1.0

表 4.2.2 採用地質水文參數表

參數	參數設定	單位
數值高程地形	解析度 40m×40m 網格	公尺
坡度	由數值高程地形計算而得	度
土壤厚度	由坡度換算覆土厚度而得	公尺
初始地下水位	假設初始深度與土壤厚度同高	公尺
初始入滲速率	1×10^{-8}	公尺 ^{2}/秒

本研究假設歷史颱風降雨事件，為造成該年在影響研究區域內的最大崩塌量的前提下，採用林務局於 2004 至 2013 年所產製之逐年崩塌圖層來進行各場歷史颱風事件模擬結果校驗之依據。

根據過去相關研究指出，TRIGRS 模式在使用上的假設與限制有以下五點：(1)假設土壤處於飽和或近飽和狀態，且屬同質等向性土壤，對於非同質、異向性或乾枯的土壤都可能導致最後的解析有誤；(2)模式對於參數的初始條件非常敏感；(3)若降雨強度大於土壤的水力傳導係數，無法入滲至土壤的雨量，則會沿著邊坡表面逕流而下，雖然 TRIGRS 利用簡單的方法去尋找地表逕流路徑及流量，但並未考慮逕流的蒸發量；(4)模式允許網格之間有不同的水力擴散係數及水力傳導係數，故網格與網格之間可能會因為相異的水文特性，導致在鄰近邊界的位置引起不均衡的側向力及非平面的破壞；(5)由於 TRIGRS 模式乃架構在無限邊坡穩定分析之下，因此，在不符合無限邊坡條件的區位，其評估結果會有較大誤差(鐘欣翰，2008；陳則佑等，2011；尹立中等，2013)。因此，根據上述模式假設之條件與限制下所進行的初步分析結果，相較於真實崩塌狀況會有些許誤差產生，但經過模擬測試後，仍屬合理範圍內，故可應用於本研究評估研究區內相對崩塌潛勢的高熱點區位。

（二）坡地模式驗證與檢定

在模式校驗部份採用誤差矩陣法(Error Matrix Method)，以及修正後成功率(Modified Success Rate, 以下簡稱 MSR)作為模式校驗之工具(表 4.2.3)。研究以水土保持局所劃分最小單元的子集水區作為評估單位，並套疊子集水區分布、該場事件之歷史崩塌圖層與該場降雨事件所模擬出的結果來進行模式正確率評估計算，如圖 4.2.6 所示。並以 MSR 值達到 70%作為判斷基準，若 MSR 達 70%以上則進入模式驗證程序，反之則重新調整水文地質參數，以得到最佳模式參數之率定結果，圖 4.2.7 為 TRIGRS 模式參數率定驗證流程。

表 4.2.3 修正後成功率評估準則表

(以子集水區為單位)		模式預測結果	
		(FS<1)	(FS≧1)
實際狀況	已崩塌	N_1	N_2
	未崩塌	N_3	N_4

備註：山崩正確率(SRn)= $N_1 / (N_1 + N_2)$
非山崩正確率(SRc)= $N_4 / (N_3 + N_4)$
總正確率= $(N_1 + N_4) / (N_1 + N_2 + N_3 + N_4)$
修正後成功率(MSR)= $(0.5 \times SRn) + (0.5 \times SRc)$

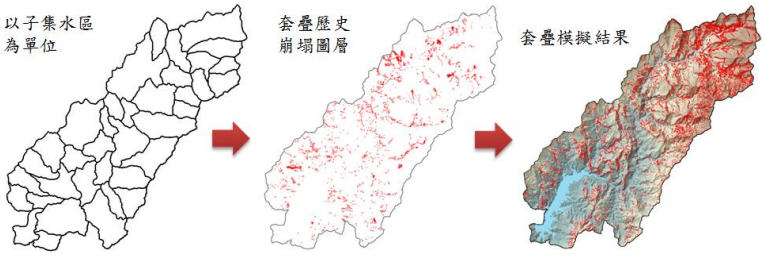


圖 4.2.6 模式結果校驗程序

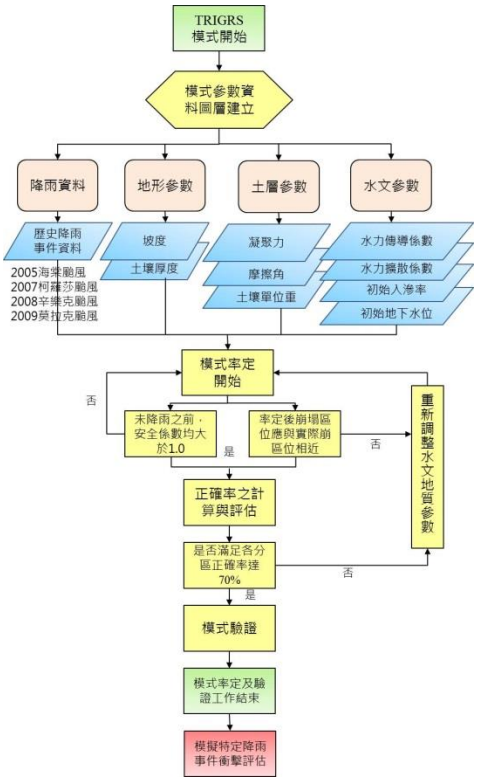


圖 4.2.7 TRIGRS 模式參數率定驗證流程

本研究根據歷年蒐集之坡地災害資料，挑選四場颱風事件進行率定及驗證作業。此四場皆於曾文水庫上游集水區造成嚴重的崩塌、土石流災害紀錄，分別為 2005 年海棠颱風、2007 年柯羅莎颱風、2008 年辛樂克颱風及 2009 年莫拉克颱風等，透過前三場颱風事件的降雨資料，配合模式參數的初始設定，進行曾文水庫上游集水區之參數率定，反算出合理的水文地質參數。

4.2.3 坡地災害脆弱度與承載力評估

研究利用 TRIGRS 模式模擬曾文水庫上游各子集水區之崩塌土方量，並以此評估坡地災害脆弱度指標。坡地災害的脆弱度則是利用評

估坡面的穩地性與否，以及可能產生的崩塌量，比較不同子集水區相對脆弱程度。另外，依據模式中評估坡面的安全係數值到達門檻值所需的時間，視為坡地災害的承載時間，呈現不同子集水區的坡地承載力，承載的時間越長，相對坡面穩定性越佳。各項坡地指標說明如下：

1. 坡地脆弱度指標 1(Landslide Vulnerability 1, LV1):以整場模擬事件下各子集水區累積之崩塌量，單位:立方公尺。

2. 坡地承載力指標 1(Landslide Carrying capacity, LC1):以整場模擬事件下，雨場初始時間至邊坡安全係數值開始小於 1 的延時，如圖 4.2.8 黑色箭頭所標示，單位:小時。

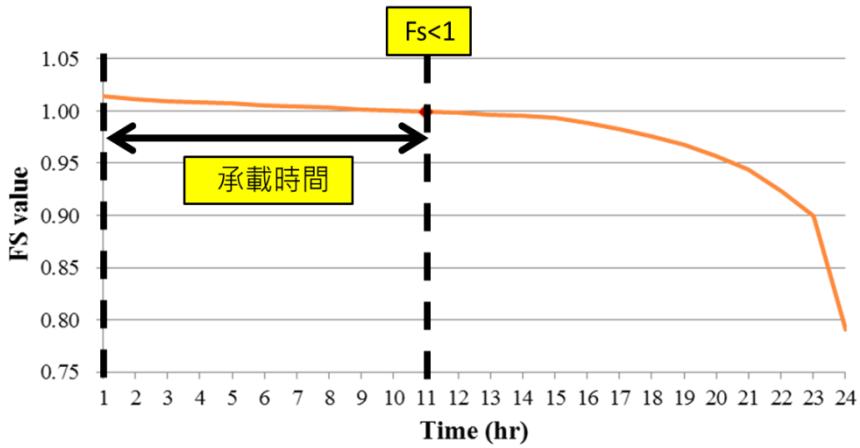


圖 4.2.8 坡地災害指標示意圖

4.2.4 歷史災害模擬

本研究先後以 2005 年海棠颱風、2007 年柯羅莎颱風及 2008 年辛樂克颱風來進行參數率定後，再利用 2009 年莫拉克颱風作為模式參

數之驗證。從各場颱風事件之修正後成功率(MSR)均達到 70%基準以上顯示校驗作業已完成，如下表 4.2.4 所示。因此可作為後續極端降雨事件模擬之依據。而圖 4.2.9 至圖 4.2.12 為 2005 年海棠颱風、2007 年柯羅莎颱風、2008 年辛樂克颱風及模擬 2009 年莫拉克颱風模式預測與該年崩塌圖層比對結果，大致上模式所預測之崩塌區位皆與實際相符。

表 4.2.4 模式校驗結果

誤差矩陣 / 降雨促崩事件		誤差矩陣法			修正後成功率
		山崩正確率 (SRn, %)	非山崩正確率 (SRc, %)	總正確率 (%)	MSR (%)
率定	2005 海棠颱風	68.96%	75.00%	70.27%	71.98%
	2007 柯羅莎颱風	62.96%	80.00%	67.56%	71.48%
	2008 辛樂克颱風	87.50%	75.00%	86.11%	81.25%
驗證	2009 莫拉克颱風	97.05%	66.66%	94.59%	81.86%

圖 4.2.9 2005 年海棠颱風模式預測與實際崩塌圖層比對

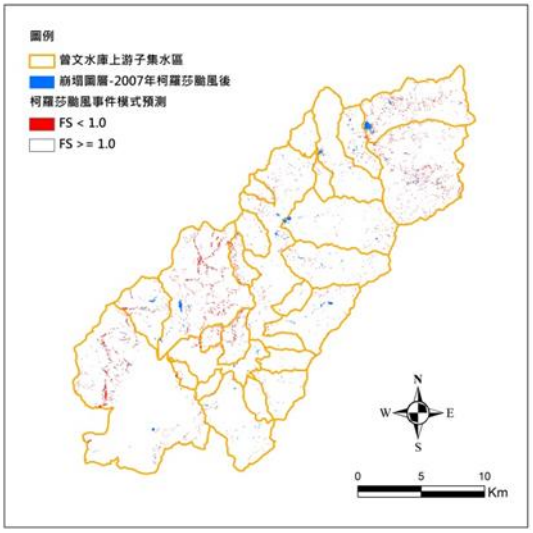


圖 4.2.10 2007 年柯羅莎颱風模式預測與實際崩塌圖層比對

圖 4.2.11 2008 年辛樂克颱風模式預測與實際崩塌圖層比對

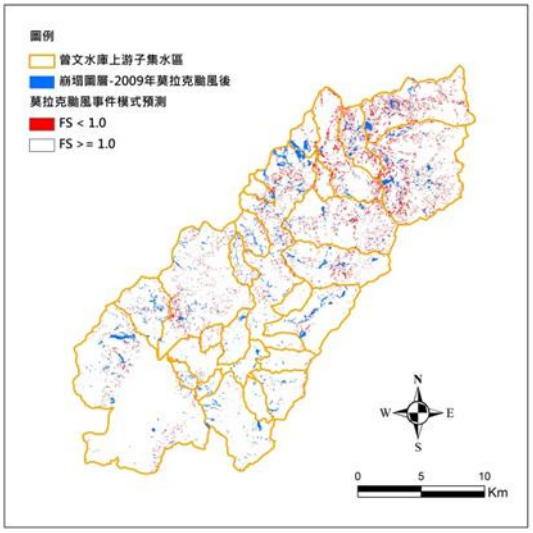
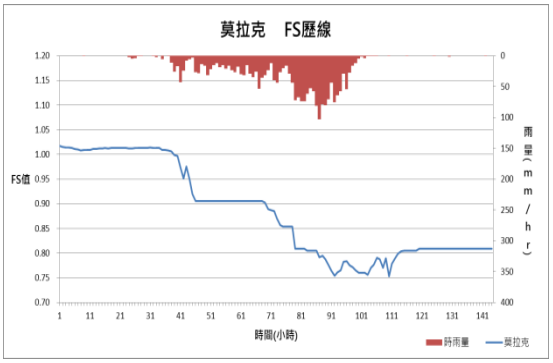


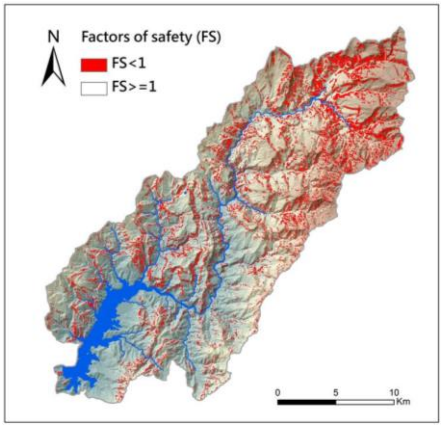
圖 4.2.12 2009 年莫拉克颱風與實際崩塌圖層比對

針對 2009 年莫拉克颱風降雨事件模式所預測之結果，將安全係數值小於 1.0 網格乘上土壤厚度推估所產生的崩塌量，並以子集水區為單位方式呈現脆弱度指標(LV1)分布；圖 4.2.13 為莫拉克颱風事件崩塌模式模擬成果，從圖 4.2.13(b)發現主要因降雨好發淺層崩塌之

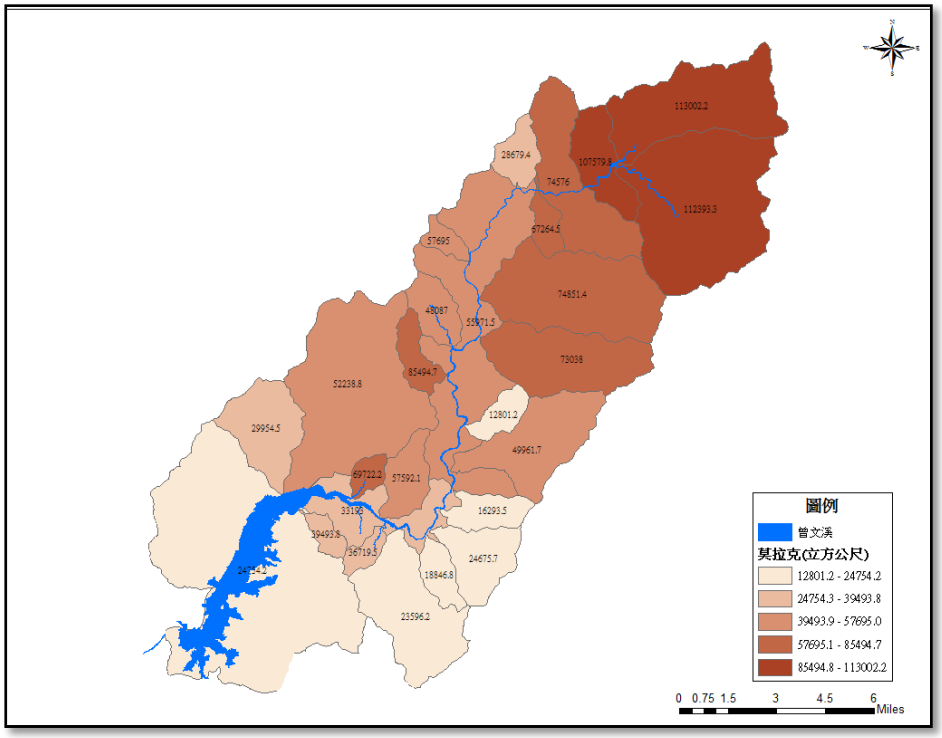
地區多集中於樂野、達邦、十字、中山、草山、和平及永樂等村落，而從圖 4.2.13(c)也顯示出該地區的脆弱度也相對較高，與歷年判釋的崩塌地災點點位大致相符。



(a)莫拉克事件承載時間 40 小時



(b)莫拉克事件第 93 小時 FS 空間分布



(c)莫拉克事件之 LV1 指標

圖 4.2.13 莫拉克颱風事件崩塌模式模擬成果

由於曾文水庫集水區地勢陡峻，再加上水文地質脆弱等先天條件之影響，依據 TRIGRS 模式模擬因降雨造成的淺層崩塌結果，推估該地區因莫拉克颱風降雨所誘發的崩塌土方量高達約 2 億立方公尺左右，而透過泥砂遞移率後，推估約有 1 億立方公尺會滯留於坡面，而約有 1.3 億立方公尺左右之土砂量會流進入水庫，並將該結果作為後續針對跨水資源領域之水庫淤積所造成庫容改變模擬驗證之依據。

4.3 氣候變遷下的坡地災害脆弱度

（一）坡地脆弱度

根據坡地脆弱度之定義，計算基期與氣候變遷衝擊下，200 年頻率年的雨量，在曾文水庫上游集水區各子集水區之脆弱度指標(土砂量體)，圖 4.3.1 至圖 4.3.2 為基期與近未來（2020~2039 期間）的 LV1 的空間分布圖。因為受到雨量空間分布、地層岩性與邊坡水文地質條件差異之影響，導致最上游的崩塌潛勢最高。200 年的頻率年下的坡地脆弱度數值相較於 100 年頻率年，脆弱度有加重的情形，但空間分布差異不大，故在空間分佈上只呈現 200 年頻率年的結果。圖 4.3.3 至圖 4.3.6 為在基期與近未來不同頻率年下之安全係數的時間變化，近未來的承載時間小於基期(11hr<14hr)，且當頻率年越大，承載時間也越短(12hr<14hr)，說明氣候變遷下，因雨量增加，坡面到達不穩定的情形提早發生，其崩塌潛勢影響將可能有加劇的趨勢。

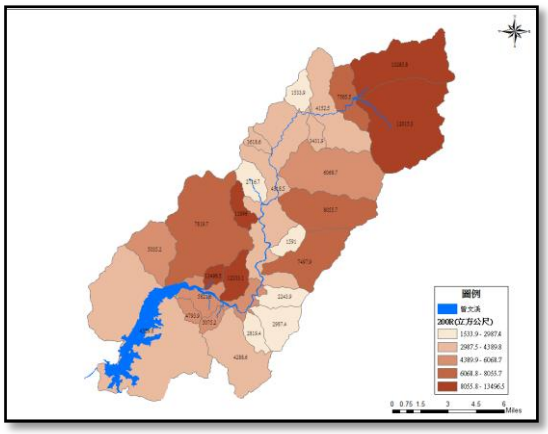


圖 4.3.1 基期 200 年頻率年之 LV1 指標

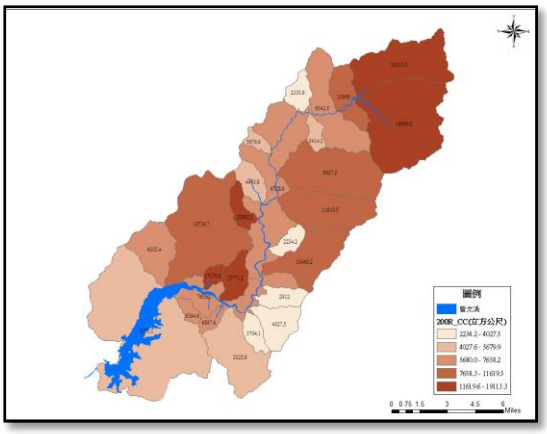


圖 4.3.2 近未來 200 年頻率年之 LV1 指標

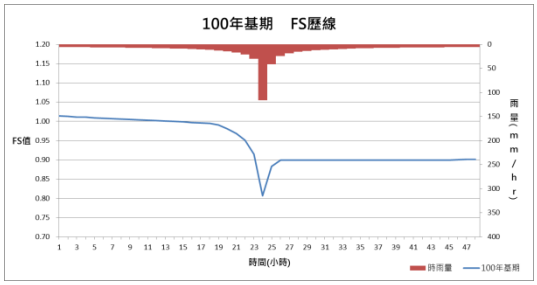


圖 4.3.3 基期 100 年頻率年坡地承載力指標

(承載時間 14 小時)

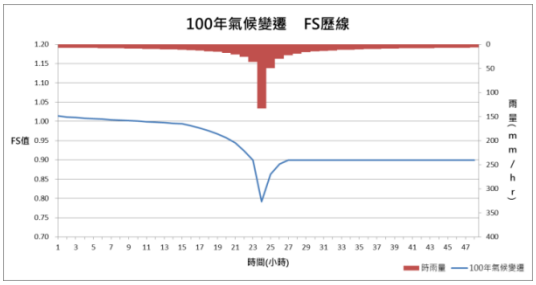


圖 4.3.4 近未來 100 年頻率年坡地承載力指標

(承載時間 11 小時)

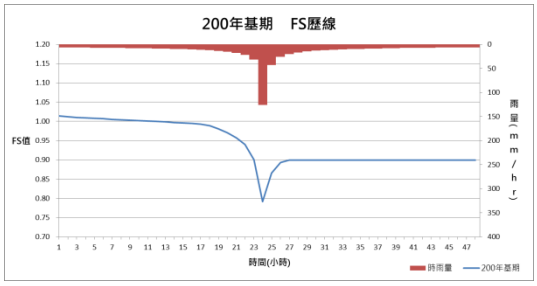


圖 4.3.5 基期 200 年頻率年坡地承載力指標

(承載時間 12 小時)

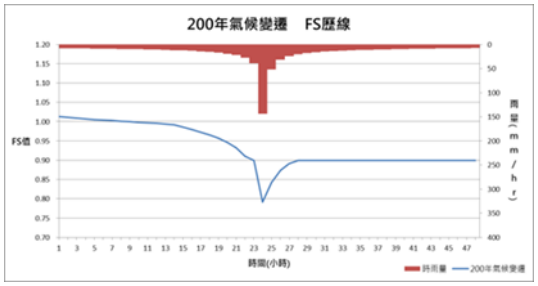


圖 4.3.6 近未來 200 年頻率年坡地承載力指標

(承載時間 9 小時)

針對 200 年頻率年基期與氣候變遷情境下脆弱度與承載力進行比較，依據結果顯示，在氣候變遷情境下脆弱度較基期增加了 20%，而

承載力明顯減少了 25%，表示崩塌啟動時間會較基期來得更快，說明了氣候變遷下的崩塌潛勢影響加劇外，更伴隨崩塌發生時間之提早，使得避難時間減少等問題產生，如表 4.3.1 所示。

表 4.3.1 200 年重現期下基期與氣候變遷情境

	基期	氣候變遷	改變率
崩塌量(立方公尺)	72,802,246	87,421,962	+20%
承載時間(小時)	12	9	-25%

（二）坡地災害熱點區位

本研究在此採用國家災害防救科技中心所研發之臺灣颱洪災損評估系統(簡稱 TLAS Taiwan)作為熱點區位挑選依據(李欣輯等，2013)。TLAS Taiwan 所建置的自動損失計算模組，可以快速演算初步崩塌區域內可能造成的影響戶數與地上物損失，藉由設定損失較為嚴重的區域為熱點區位，由於該熱點區內有保全對象，故未來需加強整治與優先採取調適手段，以降低坡地災害損失。

研究中以假設極端降雨事件，利用模式評估評估曾文水庫上游集水區，可能發生的坡地崩塌的區位後，進而套疊災損模式評估所造成之主要損失及影響戶數。從模式初步評估結果顯示，總地上物損失約 28.6 億元，總影響戶數 18 戶，其中又以曾文溪流域最上游處，屬於崩塌風險相對偏高之區位相對損失最為嚴重，主要以位於達邦村子集

水區 1 號、位於達邦、十字及中山村的子集水區 2 號、位於草山村的子集水區 12 號，所造成的地上物損失及影響戶數最多，如圖 4.3.7 及圖 4.3.8 所示。而經套疊道路、聚落、土地利用等圖層發現，由於曾文水庫上游集水區多為森林用地居多，僅少數農業用地，主要災損多來自於崩塌造成主要道路與聚落的損失，因此，顯示相較於其他崩塌區位損失較高。表 4.3.2 為針對災損模式顯示為高風險地區，進行災害熱點及風險成因說明。

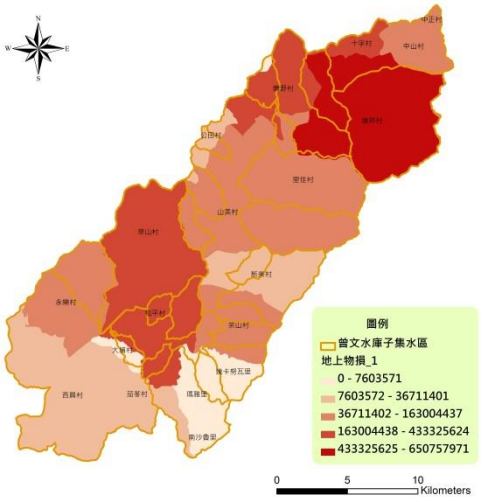


圖 4.3.7 地上物損失分布圖

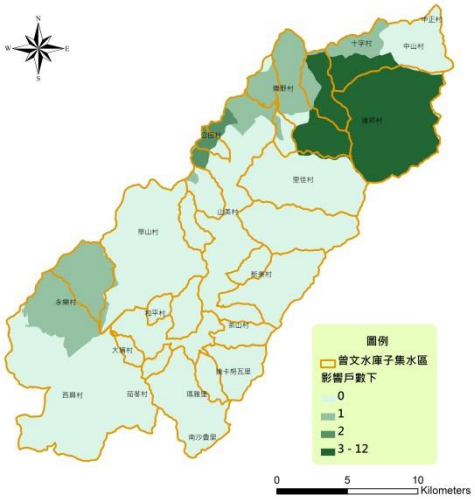


圖 4.3.8 影響戶數分布圖

表 4.3.2 鑑別坡地災害熱點及風險成因

高風險地區(熱點)	風險描述	風險類型
子集水區 2 號 (達邦村)	由於降雨誘發邊坡崩塌，土砂經河道運移後，使下游村落遭受坡地災害，威脅民眾生命安全及財產損失，造成生活極大衝擊。	暴露度
子集水區 1 號 (達邦村、十字村、中山村)	位於曾文水庫集水區最上游，由於地勢陡峻、地質脆弱等自然因素誘發之外，另受到道路建築(省道台 18 線)或人為開發(下游多聚落)等後天因素影響，一旦遭受坡地災害，威脅人民生命財產	脆弱度

高風險地區(熱點)	風險描述	風險類型
	損失。	
子集水區 12 號 (草山村)	位於曾文水庫庫區上游處，整區受省道台 3 線貫穿，一旦遭受坡地災害，土砂直接影響到下游庫區及主要幹道運作安全。	脆弱度

4.4 坡地的跨領域應用

颱風期間廣泛、延時長、強度大之降雨，造成山區多處坡地土砂災情，其大量崩落之土石被洪水沖刷至河川，將使得河道斷面窄縮，不僅增加下游氾濫機會，且崩塌的土砂量會隨著河川流入水庫中，造成水庫淤積，進而影響下游水資源供需的問題。此類型的跨領域災害影響或是複合性災害，未來遭遇極端降雨事件，可能會再發生，因此本研究利用前述建立坡地災害模擬研究方法，利用將模式推估的曾文水庫上游集水區可能產生的崩塌量，進一步結合土砂運移模式與 FVCOM 模式，評估流入曾文水庫的土砂濃度與土砂量在水庫淤積的情形，其分析流程如圖 4.4.1 所示。

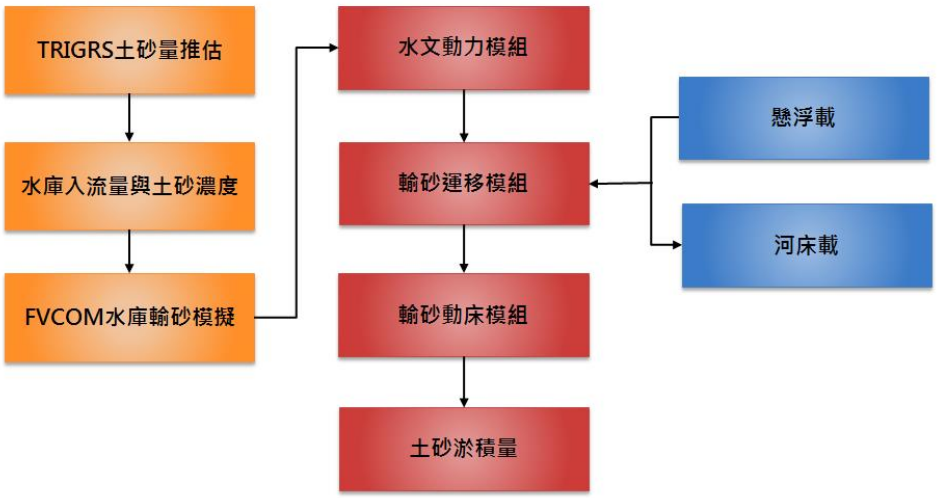


圖 4.4.1 坡地災害跨領域評估流程

在 2009 年莫拉克颱風期間，曾文水庫淤積量達 9108 萬立方公尺，佔當時水庫容量 12%之多(何幸娟等，2013)，若換算成目前(2013 年)庫容，約為 20%。本研究模式校驗部分，即以此數據為依據，將 TRIGRS 所推估之莫拉克崩塌量，約 13 億立方公尺土砂，隨流量入庫，若水庫可淤積約 20%，則完成模式校驗工作。從模式模擬 5 天之水庫容積變化歷程，模擬至第五天，庫容已降低至原來的 0.81(81%)，即淤積量佔庫容 19%，與預期 20%相近。

模式經校驗後，用來推估不同降雨情境下，曾文水庫的庫容淤積百分比。以氣候變遷下 100 年重現期 48 小時雨量為輸入，使用 TRIGRS 所模擬之曾文水庫上游集水區之安全係數，進一步推估可能產生的崩塌量後，代入 FVCOM 模式模擬土砂在水庫移動情形，進而計算水庫庫容的改變量。圖 4.4.2 為使用 TRIGRS 結果推估之崩塌量，所模擬氣候變遷情境下之庫容淤積百分比。分析結果得知，在氣候變遷情境下，100 年重現期 48 小時的雨量，可能造成庫容量減少了 9%。未來此資料可進一步提供給水資源衝擊評估，以了解未來在庫容減少的衝擊下，對於下游的可供水量的影響。

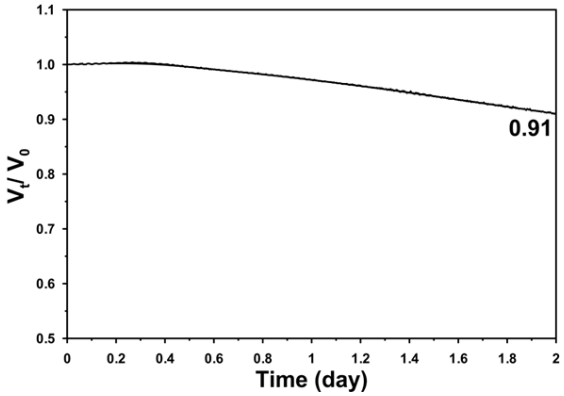


圖 4.4.2 近未來 200 年頻率年下的庫容淤積百分比

第五章 縣市災害風險圖製作

聯合國減緩災害策略組織(UNISDR, 2004)將災害風險定義為，針對自然或人為災害與承受體的脆弱性之間的相互作用，而導致一種有害的結果或預期的損失，包含了死亡、受傷、財產、生計、阻礙經濟運作或環境破壞，並在災害風險評估領域中，將風險定義為危害與脆弱度之乘積。其中，危害度是指災害發生的可能性，而脆弱度是指暴露於災害環境的承受體，其對災害的敏感度。IPCC SREX(2012)於促進氣候變遷調適之風險管理-針對極端事件及災害之給決策者摘要報告中提到，降低災害風險之方式，便是降低脆弱度與暴露量，或是避開天氣與氣候事件所造成之衝擊。

依據前述風險定義進行氣候變遷衝擊的災害風險圖製作，著重於以氣候變遷對自然系統與人類社會經濟系統造成的可能損害程度，故在危害度定義為災害發生的自然變異因素與程度，如強降雨、颱風次數增加等造成的災害，危害度越大，風險就越高。脆弱度則是定義當面臨氣候變遷危害的衝擊下，考量環境脆弱度與社經脆弱度。風險圖以鄉鎮之危害度指標與脆弱度指標相乘，呈現鄉鎮間風險等級之差異，作為風險鑑別之依據。在風險相對高之區域，可以將其暫訂為「熱點」(hot spot)區域，雖然本研究建置的風險圖，尚未納入調適因子的考慮

項目，但是這個研究可以針對「熱點」區域提出一些調適措施，以做為優先改善處理，或是避開重大開發地區之相關規劃，以降低氣候變遷衝擊所帶來之風險。

國家災害防救科技中心於2014年分析在氣候變遷衝擊下，淹水、坡地、海岸與乾旱等四種災害高風險區域之分布與變化情形，以鄉鎮市區為單元繪製，製作全台災害風險地圖，主要是以全台鄉鎮進行相對比較。而今年災害風險圖，則是沿用去年建立之風險圖評估流程，在同一評估架構下，以縣市內的鄉鎮市區為單元繪製，主要比較同縣市內的鄉鎮淹水及坡地災害風險程度。完成的災害風險圖能協助決策者、民眾以及利害關係人相對於各種災害風險之有效溝通，可提供各級政府單位進行更進一步之國土規劃、空間發展、防減災政策規劃之參考。

5.1 風險圖製作方法

災害風險圖之評估主要藉由建立風險定義，建立危害度指標與脆弱度指標，進一步評估可能造成災害風險等級，評估流程如圖 5.1.1。研究中主要是使用氣候變遷之情境資料，推估可能造成自然災害衝擊的機率，以及對各項災害可能的脆弱度影響。評估的流程包括如何定義災害風險指標、各項指標計算與等級區分等（國家災害防救科技中心，2014）。

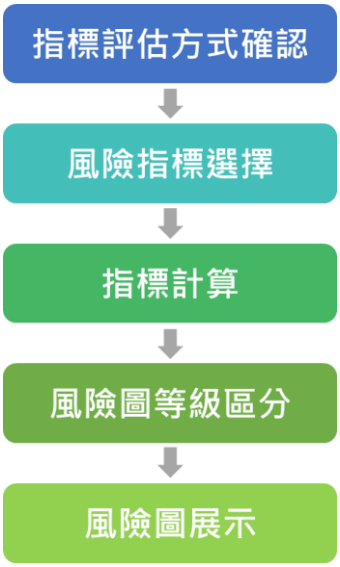


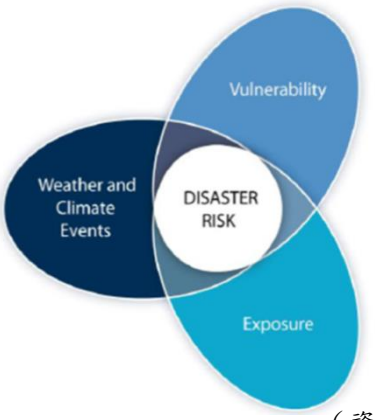
圖 5.1.1 氣候變遷災害風險圖評估流程

（資料來源：國家災害防救科技中心，2014）

（一）風險定義

風險圖指標評估方法，國內外相關風險定義（UNDHA, 1992, Wolfgang Kron, 2005, IPCC, 2007, 林漢良與謝俊民, 2008, K.M. De Bruijn and F. Klijn, 2009, 經濟部水利, 2010, 如圖 5.1.2 所示，IPCC SREX,2012)，本研究以危害度與脆弱度相乘定義風險，如下所示。

Risk（風險）= Hazard（危害度）X Vulnerability（脆弱度）



（資料來源：IPCC SREX,2012）

圖 5.1.2 災害風險定義圖

在此風險則是針對氣候變遷衝擊對自然系統與人類社會經濟系統造成的可能損害程度。危害度指標主要考量氣候變遷導致之氣候特性變化衝擊，如極端降雨、颱風事件等因素，本研究主要考量降雨因素造成之自然危害。脆弱度則是定義系統面臨氣候變遷危害所造成的衝擊，考量環境脆弱度與社經脆弱度，以災害潛勢表示環境脆弱度；社經脆弱度則以人口密度表示。

（二）風險指標選擇

依據風險定義，風險圖指標將由危害度與脆弱度組成，採用指標列於表 5.1.1，危害度指標則以氣候特性變化之衝擊表示，故表中危害度指標表示在氣候變遷衝擊，降雨特性之變化。危害度指標是利用科技部之 TCCIP 計畫所產製之三個時期的動力降尺度雨量資料進行分析，以三個推估時期分別為基期(1979~2003 年)、近未來(2015~2039 年)與世紀末(2075~2099 年)，相關說明可參閱 2.2 節。評估三個推估時期 25 年期間發生『24 小時內降雨超過 600mm』之機率，統計各鄉鎮市區平均雨量特性，作為淹水災害之危害度指標，主要是採用颱風事件降雨資料。而坡地災害之危害度指標則是評估三個推估時期 25 年期間發生『24 小時內降雨超過 350mm』之機率，統計各鄉鎮市區平均雨量特性。

脆弱度指標則區分成環境脆弱度與社會經濟脆弱度等兩類指標。

環境脆弱度指標則是以各個災害潛勢代表，如淹水災害風險圖裡考慮的環境脆弱度，是使用淹水潛勢圖（600mm/24hrs）與地層下陷速率值分析作為脆弱度指標，將兩項指標等權重相乘後分為 5 個等級，以代表環境脆弱度。

另一方面環境脆弱度指標因無模擬潛勢的災害類別，則以相關特性代表，如坡地災害風險圖裡考慮的環境脆弱度，因無坡地災害潛勢圖資，但歷史發生過崩塌的地區，且坡度越陡之地區坡面較不穩定，較易發生坡地災害，對於鄉鎮市區內地質災害面積比例越高，會造成鄉鎮市區內保全對象衝擊影響之可能性越高，故環境脆弱度越高。因此考量了歷史崩塌率、坡度及地質災害面積三項指標等權重相乘後分為 5 個等級，以代表環境脆弱度。

社會經濟脆弱度指標則是災害可能影響的人口表示，本研究以鄉鎮市區人口密度表示，當災害發生時，人口密度越高的地區，較直接受到衝擊影響。

表 5.1.1 災害風險圖各指標

風險圖	危害度	環境脆弱度	社會脆弱度
淹水災害風險圖	24hr雨量超過600mm發生之機率	淹水潛勢(600mm/24hr) 地層下陷速率	人口密度
坡地災害風險圖	24hr雨量超過350mm發生機率	歷史崩塌率 坡度 地質災害面積	人口密度

（三）指標計算

風險圖之指標計算，是將危害度、環境脆弱度與社經脆弱度各指標之原始數值，先以等分位法分成 1~5 級，等級越高，其危害度與脆弱度越高。等分位法是依據劃分等級數，各等級中的樣本數量趨近一致。各個災害風險圖之影響範圍不同，依據影響鄉鎮數量，進行分級，對於無風險值之鄉鎮不納入等級劃分，以避免過多無數值鄉鎮歸為 1 級，而影響等級之劃分。

分別計算各指標等級後，再以等權重方式，將危害度、環境脆弱度與社經脆弱度三面向指標相乘，以獲得各個災害風險值。風險圖呈現則是將相乘後之風險值，再劃分為五個等級呈現，等級越高，災害風險越高。

（四）風險等級區分與展示

風險分級方式有多種方法，如自然斷點法（Nature breaks）、等間距（Equal interval）、等分位法（Quantial）、標準偏差（Standard deviation）幾何間距(geometrical interval)、自訂分級等方法。自然斷點法是依據資料的自然分佈所採用的等級劃分法，資料數值分佈的最低點劃分為第一分級，其分級特性主要是將數值越相近的歸為同一等級，數值間差異大則歸為另一個等級；等間距法則是以數值的最大最小範圍，以等間距的方式劃分等級；等分位法是依據數值的百分比進行等級劃分，

依據不同百分比分佈劃分，如 25%、50%、75%，使該分級距內的數量相同。標準偏差法則是依據數值平均值增減 0.25,0.5 或 1 倍標準差的方式將數值進行分級；幾何間距(geometrical interval)法則是適合數值呈現偏態特性的分類法,如降雨資料中若有多筆數值為 0(無降雨）的資料，則可採用此方法分級；亦可以自訂間距的方式，但較為主觀判斷。

本研究中嘗試過上述的多種方法後,以等分位法在呈現風險空間分佈的結果，較能反映出高風險區位以及接近現況的災害特性，故建議以等分位法進行劃分等級。且為了能凸顯出各時期風險圖的變遷差異,是將三個時期風險等級區分是以危害度指標三個推估時期(基期、近未來與世紀末）數值的最大至最小範圍之樣本數，進行分析等級劃分，如表 5.1.2 所示，若三個時期之降雨指標數值範圍為 0.08~0.63，便是最大變動範圍，依據等分位法劃分成 5 個等級，如此劃分方式可以讓三個時期的分級級距相同，以利呈現風險變動的區位。。以淹水災害風險圖為例，影響之鄉鎮數有 33 個，三個時期總樣本數共有 99 個（33x3)，故在等級劃分時，在每個約有 20 個鄉鎮數量。

表 5.1.2 指標等級區分範例

降雨指標	數值	繪圖時劃分範圍
現況	0.08~0.20	0.08~0.63
近未來	0.20~0.30	
世紀末	0.30~0.63	

等級	降雨指標數值範圍	風險圖鄉鎮數
1	0.08~0.20	19
2	0.20~0.26	20
3	0.26~0.33	20
4	0.33~0.42	20
5	0.42~0.63	20

脆弱度指標中若有兩項指標以上者，則在指標相乘後需再分級，依據指標相乘後所得之風險指標數值，再以最大數值範圍，如表 5.1.3 所示，劃分為 1~5 級，等級 5 表示風險最高。

表 5.1.3 指標等級區分範例

縣市	鄉鎮市區	危害度	環境脆弱度	社會脆弱度	風險值	分級
台南市	新市區	4	4	3	48	5
	新營區	2	4	5	40	5
	南區	3	2	5	30	4
	仁德區	3	2	4	24	4
	鹽水區	1	5	3	15	3
	新化區	4	1	3	12	3
	七股區	2	3	1	6	2
	大內區	4	1	1	4	1

為能比較不同氣候變遷衝擊下於不同推估時期之影響，統一以三個推估時期展現風險圖，分別為基期、近未來、世紀末。另外，由於各鄉鎮市區所遭遇的災害不盡相同，如圖 5.1.3 所示，本研究以依據不同災害特性（淹水災害及坡地災害）影響台南市行政區範圍進行研究分析。

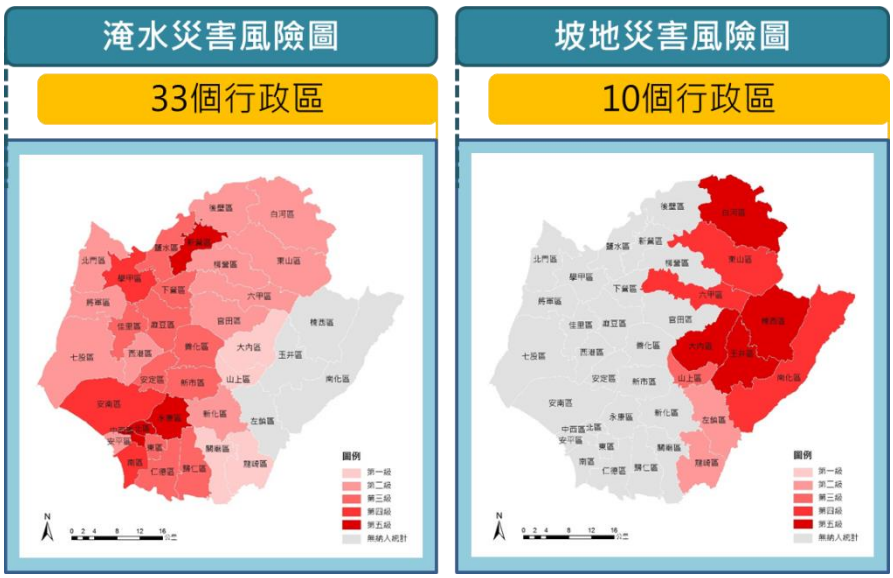


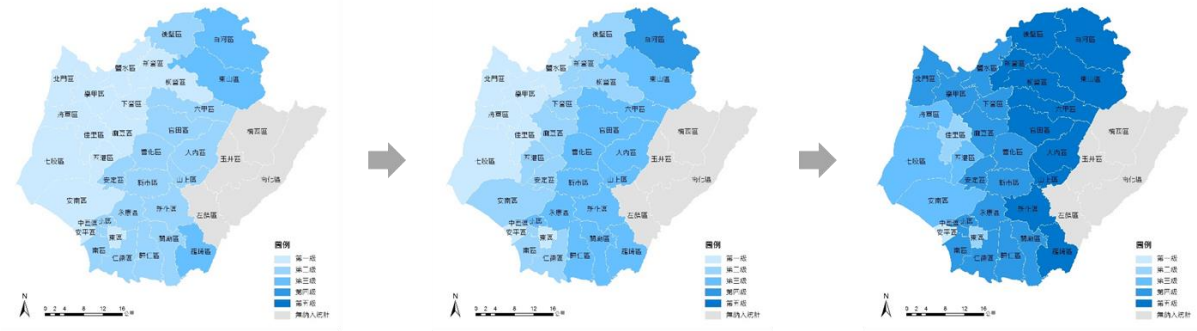
圖 5.1.3 各災害風險圖展示鄉鎮數及研析範圍

5.2 淹水災害風險圖

依據前述的評估方法，建立台南市淹水之危害度圖與脆弱度圖，進而加值成風險圖，其分析成果如下：

（一）淹水危害度指標

淹水災害之危害度指標是以 24 小時的雨量超過 600mm 之發生機率，三個推估時期的危害度圖，如圖 5.2.1 所示，由圖中可發現氣候變遷衝擊下，極端降雨有逐漸增加的趨勢，且以東側靠山區機率為高。在基期期間，以鄰山區高強降雨機率較高，近未來期間則是以白河區發生大雨的機率為最高，且以鄰山區的鄉鎮隨著不同時期，降雨的危害度有逐漸增加的趨勢。如圖 5.2.2 所示，其中安平區、東區、佳里區，在氣候變遷的衝擊下，世紀末期間，無明顯的變化，此三區發生極端降雨的機率很低，危害度的風險亦為相對較低。



基期
(1979-2003)

近未來
(2015-2039)

世紀末
(2075-2099)

圖 5.2.1 氣候變遷下淹水災害之危害度圖

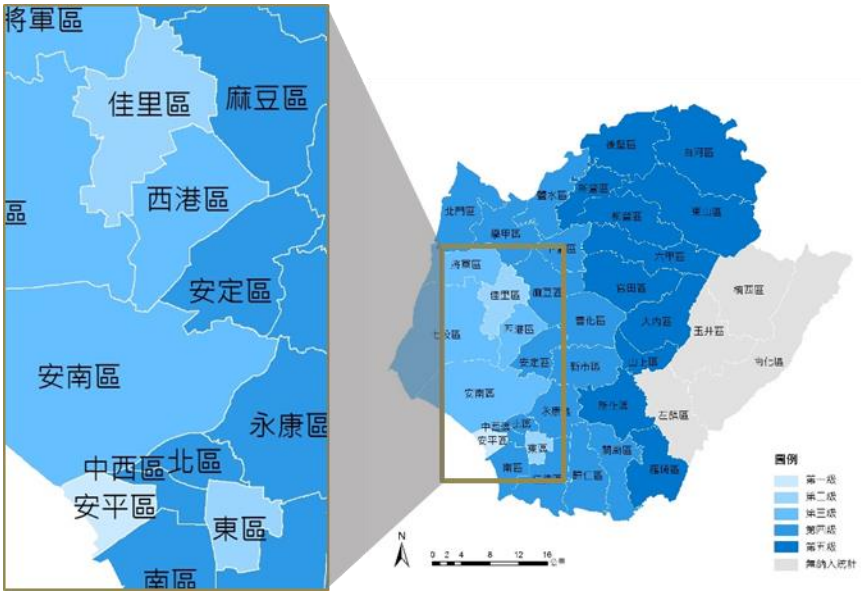


圖 5.2.2 氣候變遷下淹水災害之危害度圖(世紀末 2075~2099 年)

（二）淹水脆弱度指標

脆弱度指標包含環境脆弱度與社會脆弱度，其中環境脆弱度是由淹水潛勢指標與地層下陷指標組成，由於目前尚未能將淹水模擬結果套用在脆弱度圖，故待未來採用相同的情境資料後再行套疊。在此研究假設未來的脆弱度考慮指標與目前相同無變動。

淹水潛勢指標，主要是依據國家災害防救科技中心設定之600mm/24hrs 的門檻值為主，統計在一日降雨量下各不同淹水深度所涵蓋之各不同淹水面積的範圍，依照淹水深度 2 公尺以上、1.5~2 公尺、1~1.5 公尺、0.5~1 公尺、0.25~0.5 公尺及無淹水分為六個等級，並計算各鄉鎮於不同淹水深度範圍下的淹水面積比，將各不同淹水深度等級給其權重，再依淹水災害評分分數劃分為五個等級，進而繪製淹水潛勢指標。地層下陷指標主要是根據經濟部水利署的觀測資料，選用近 10 年內有高程紀錄之樁號來進行推算，以內差方式算各鄉鎮網格點之地層下陷速率值，再除以各鄉鎮內所包含之格點數目，即可得知各鄉鎮之平均地層下陷速率值。淹水災害之環境脆弱度圖，如圖 5.2.3 所示，淹水潛勢指標之估算結果顯示，以沿海的鄉鎮的淹水潛勢較高，地層下陷脆弱度則以北門、學甲區地層下陷較為嚴重，故如圖 5.2.4 所示，學甲區、北門區、安南區環境脆弱度最高。

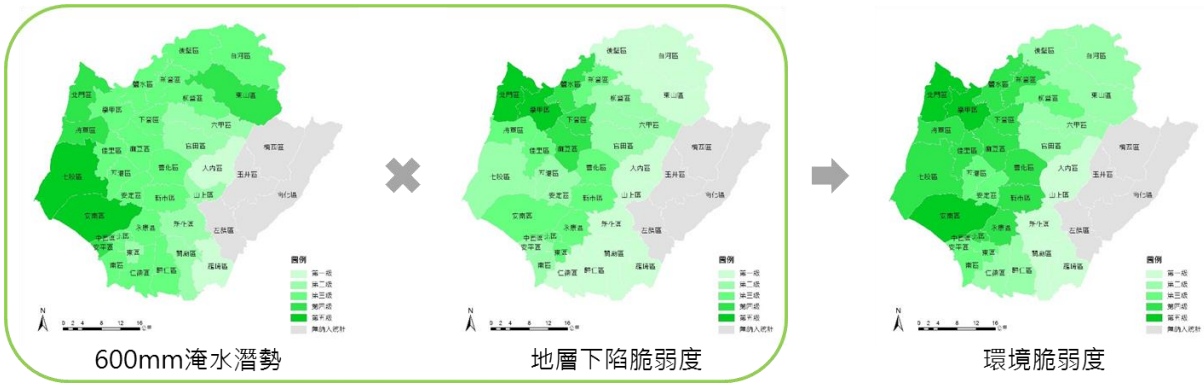


圖 5.2.3 淹水災害之環境脆弱度圖(1)

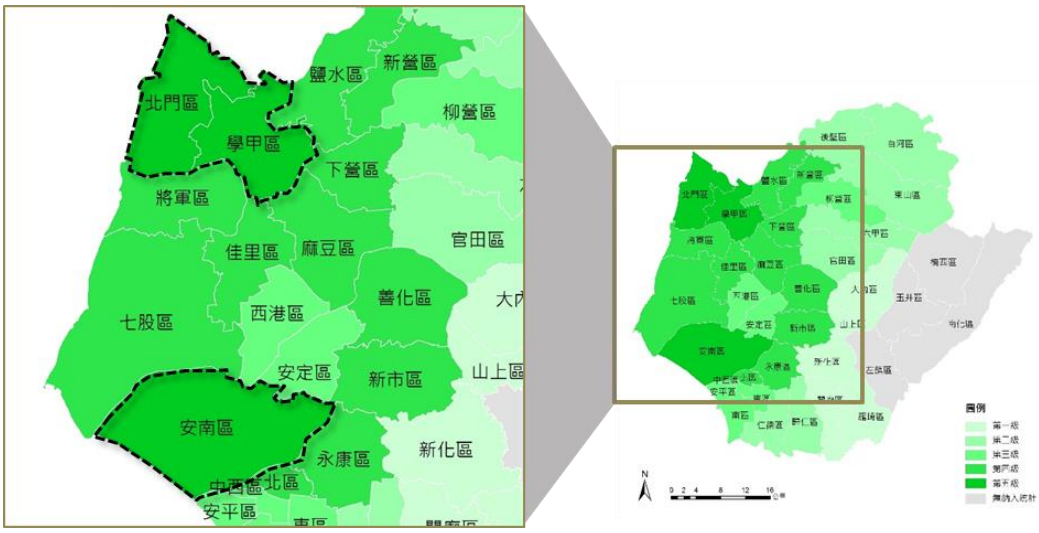
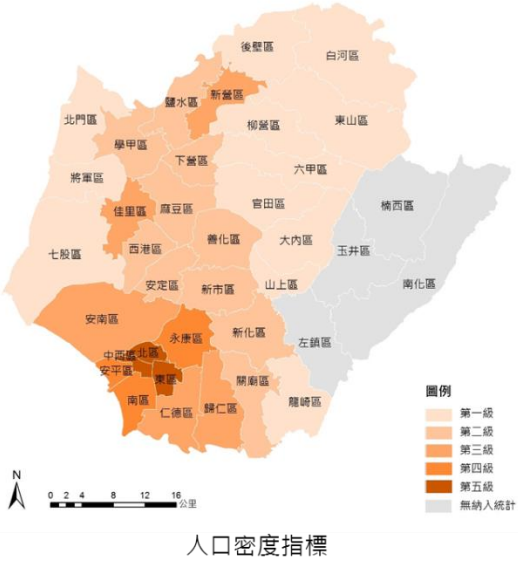


圖 5.2.4 淹水災害之環境脆弱度圖(2)

淹水災害之社會脆弱度指標，是以人口密度指標呈現災害影響的對象。人口密度指標資料乃是利用民國 99 年 12 月之易淹水鄉鎮人口數的資料來進行統計分析所求得。估算的結果顯示，如圖 5.2.5 所示，以北、東、中西區的市區人口密度最高。人口密度指標與社會脆弱度成正比，因此，人口密度越高，代表社會脆弱度越大。

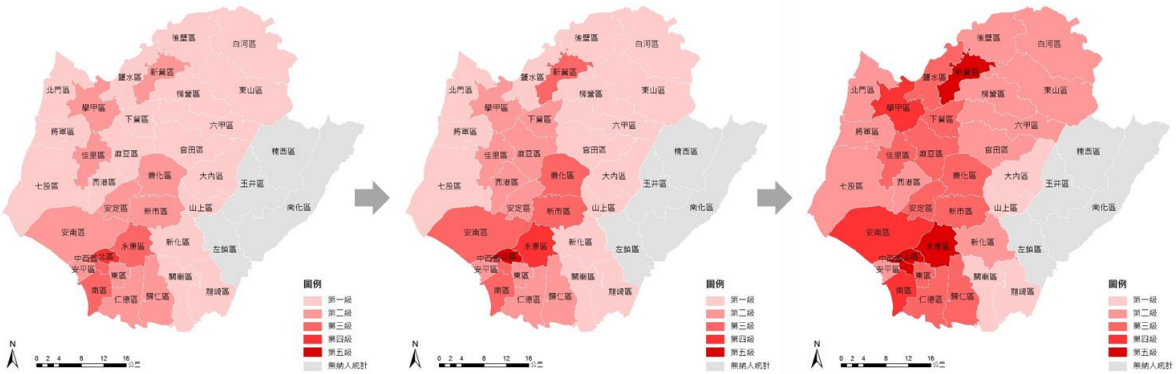


人口密度指標

圖 5.2.5 淹水災害之社會脆弱度

（三）淹水災害風險圖

依據上述的指標進行淹水災害風險圖繪製，將危害度、環境脆弱度及社會脆弱度指標以等權重相乘後，進行風險分級，如圖 5.2.6 呈現的是氣候變遷下台南市在不同推估期的的淹水災害風險圖，由圖中可發現在基期期間，以北區的淹水災害風險最高，且高風險地區多集中於市區周圍。在近未來期間，高災害風險地區分布於台南市的中部的區位，而在世紀末期間，特別是以學甲區之淹水災害風險有明顯增加之趨勢，中部的區位風險增加主要的原因是，主要原因是該區域的極端降雨的趨勢增加且環境脆弱度相對也偏高所致。



基期
(1979-2003)

近未來
(2015-2039)

世紀末
(2075-2099)

圖 5.2.6 水災害風險圖

（四）淹水災害風險圖之應用

將氣候變遷淹水災害風險圖分別應用於防災領域與區域規劃方

面，如圖 5.2.7 所示，淹水災害風險圖與人類發展指標（HDI[1]）相互比較，可發現從近未來至世紀末期間，學甲區淹水災害風險驟升，且該區域的人類發展指標，相對也是較脆弱的，所以未來在防災應用方面，應提升此區域的抗災能力，以避免淹水災害的衝擊。

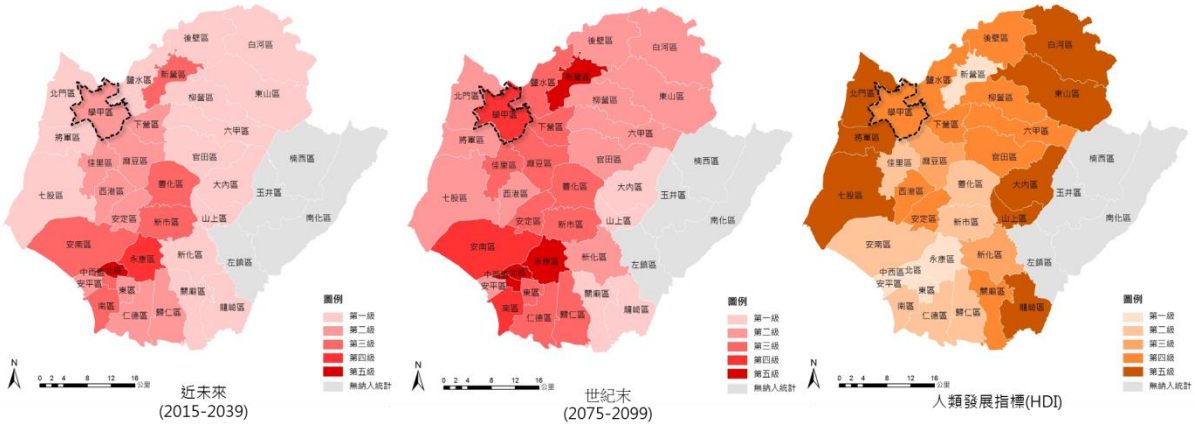


圖 5.2.7 淹水災害風險圖與人類發展指標圖

如圖 5.2.8 所示，將氣候變遷下之淹水災風險圖（近未來）與規劃中的台南市區域計畫空間發展策略空間分佈相互比較，則可發現北區、永康區、新市區、善化區、南區、安南區、新營區等七區都屬於區域計畫中重要發展區域，被規劃為台南產業核心與走廊。濱臨海岸的安南區，被視為發展河岸觀水與海域觀光遊憩。新營區、善化區及永康區位於科技產業發展區，而北區及南區為中高密度居住的都會區，

[1]人類發展指標 HDI：此指標主要根據臺灣既有之健康（死亡率）、知識（高等教育人口比率）及生活水平（平均綜合所得稅申報額）等三項資料進行修正所求得，國家災害防救科技中心，2014。

為發展文化都會的核心。未來由於氣候變遷下淹水災害風險的增加，必須加強防洪源調適策略規劃，以降低災害風險。

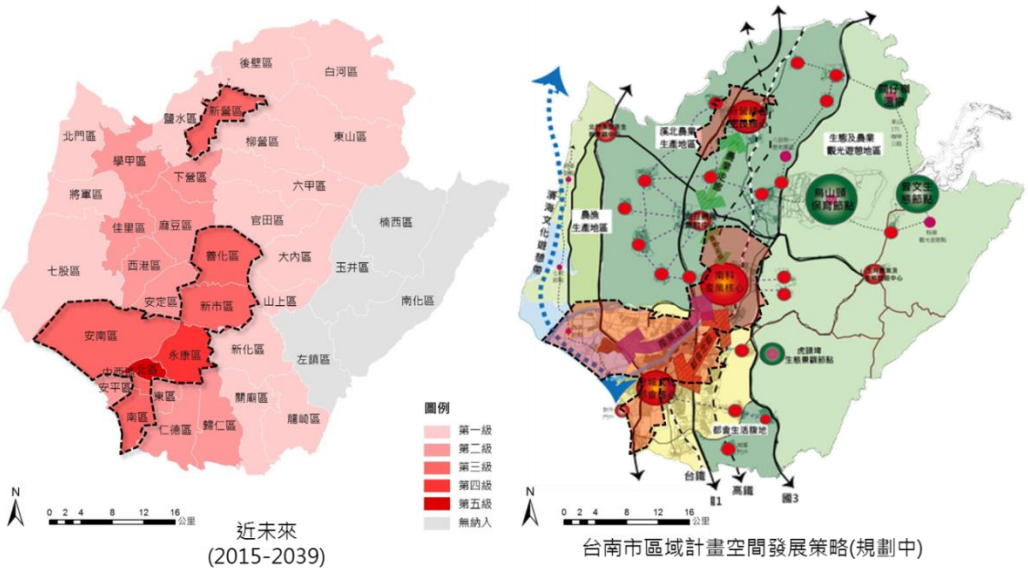


圖 5.2.8 淹水災害風險圖與台南市區域計畫空間發展策略圖

（資料來源：台南市政府）

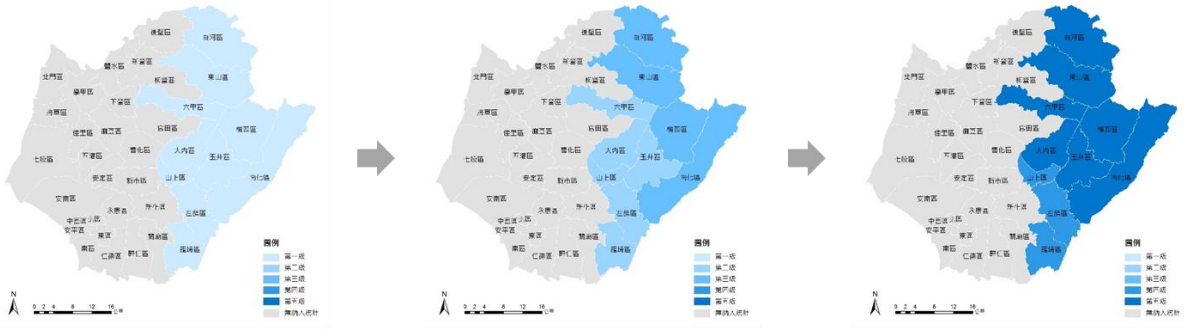
5.3 坡地災害風險圖

依據前述的評估方法，建立台南市坡地之危害度圖與脆弱度圖，進而加值成風險圖，其分析成果如下：

（一）坡地危害度指標

坡地災害之危害度指標是以 24 小時的雨量超過 350mm 之發生機率，三個推估時期的危害度圖，如下圖 5.3.1 所示，由圖中可發現氣候變遷衝擊下，極端降雨有逐漸增加的趨勢，且以山區機率為高。在基期期間，降雨機率大致偏低，近未來期間則是以白河區、東山區、楠西區及南化區發生大雨的機率偏高，而山區的鄉鎮隨著不同時期，

降雨的危害度有逐漸增加的趨勢。



基期
(1979-2003)

近未來
(2015-2039)

世紀末
(2075-2099)

圖 5.3.1 氣候變遷下坡地災害之危害度圖

（二）坡地脆弱度指標

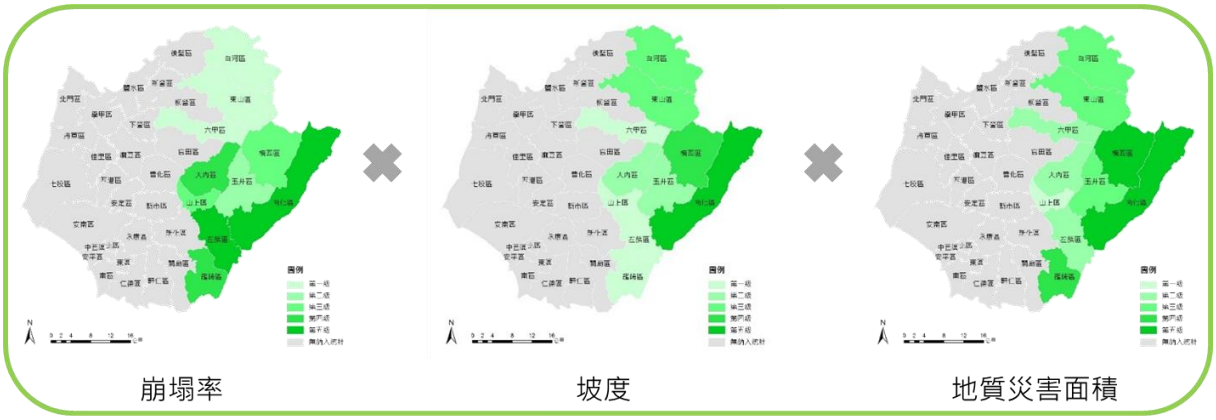
脆弱度指標包含環境脆弱度與社會脆弱度，其中環境脆弱度是由歷史崩塌率、坡度指標及地質災害面積組成，由於目前尚未能評估未來的可能崩塌率，在未來利用第 4 章坡地災害模式評估後的成果，再進一步整合至風險圖。在此研究假設未來的脆弱度考慮指標與目前相同無變動。

歷史崩塌率指標反應山坡地裸露現況與未來崩塌再發生之可能性，本研究分析從 2009 年莫拉克颱風後至 2010 年 5 月前地調所產製之崩塌地圖，將崩塌率定義為崩塌地面積佔該鄉鎮市區總面積之比例（%），以崩塌率反應山坡地現在裸露情形與未來再發生崩塌之可能性。如圖 5.3.2 所示，主要為山區地勢的左鎮區及南化區歷史崩塌率指標等級最高，坡地環境最為脆弱，意指最易再次發生坡地災害。

坡度指標為參考山坡地土地可利用限度以及建築技術規則規定，六級坡（即坡度超過 55%者）以上為陡坡，易發生坡地災害。因此坡地指標為分析 40m x 40m 的 DTM 圖資，計算是以六級坡以上面積佔該鄉鎮市區總面積之比例（％），其指標數值高則表示六級坡面積所佔比率高。如圖 5.3.2 所示，主要為山區地勢的南化區所含六級坡以上面積最多，坡地指標最高，屬高脆弱區，意指容易發生坡地災害。

地質災害指標為直接反應山坡地地質脆弱情況，係以中央地質調查所公告的地質資料，包含岩屑崩滑、岩體滑動、落石及順向坡等 4 類地質資料，以地質災害區面積總和佔該鄉鎮市區總面積之比例（％）計算地質災害指標，其指標數值高則代表該鄉鎮內影響保全對象（人、建物或都市）的地質災害面積比例較高，如圖 5.3.2 所示，高脆弱區為楠西區及南化區，主要為山坡地的鄉鎮。

坡地災害之環境脆弱度圖，如圖 5.3.2 所示，崩塌率指標結果顯示，以左鎮區及南化區的脆弱度等級最高；坡度指標則以南化區的脆弱度等級最高；而地質災害指標以楠西區及南化區的脆弱度等級最高。故三種脆弱度指標等權重相乘之後，以南化區的環境脆弱度最高，意指為台南市高脆弱區，易發生坡地災害的地區。



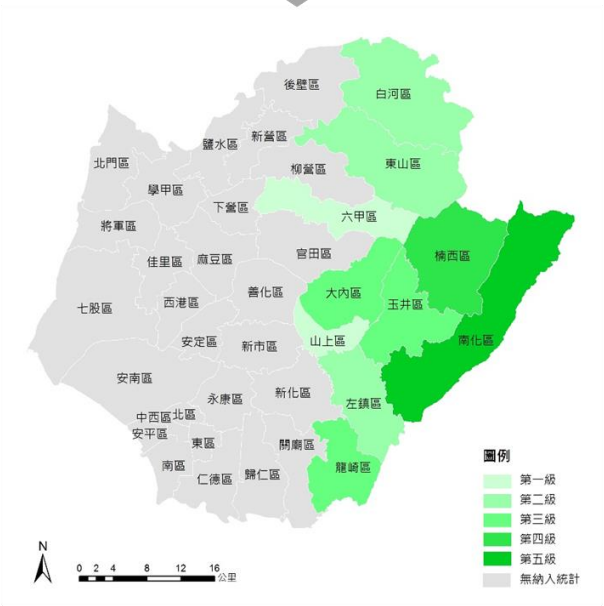


圖 5.3.2 坡地災害之環境脆弱度圖

坡地災害之社會脆弱度指標，是以人口密度指標呈現災害影響的對象。使用的資料來源與淹水災害社會脆弱度相同，主要針對山區鄉鎮進行分析。估算的結果顯示，如圖 5.3.3 所示，以六甲區及山上區的人口密度最高。人口密度指標與社會脆弱度成正比，因此，人口密度越高，代表社會脆弱度越大。

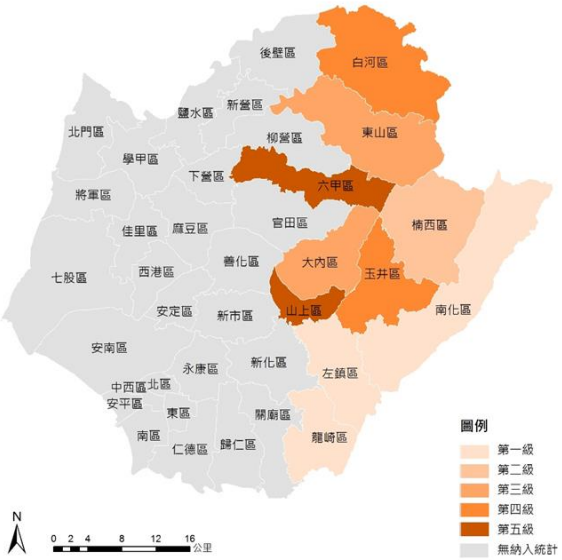


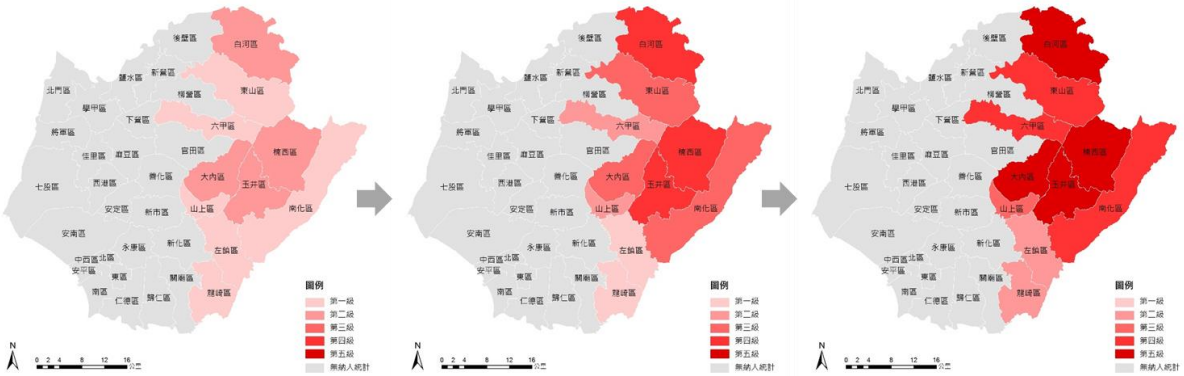
圖 5.3.3 坡地災害之社會脆弱度

（三）坡地災害風險圖

依據上述的指標進行坡地災害風險圖繪製，將危害度、環境脆弱度及社會脆弱度指標以等權重相乘後，進行風險分級，如圖 5.3.4 呈現的是氣候變遷下台南市在不同推估期的的坡地災害風險圖，由圖中可發現在基期期間，以白河、大內、玉井及楠西區的坡地災害風險偏高。在近未來期間，特別以白河、玉井及楠西區需注意其坡地災害風險，而在世紀末期間，山區極端降雨增加的趨勢，高災害風險區集中於北側，還是以白河、大內、玉井及楠西區為坡地災害高風險地區。

如圖 5.3.5 及圖 5.3.6 所示，氣候情境於近未來及世紀末下，南化區雖於氣候變遷下衝擊高，加上本身地質條件的關係，而環境脆弱

度高，但由於人口密集度低的因素，而社會脆弱度低，則坡地災害風險相對低。而玉井、白河與六甲區雖環境脆弱度相對於南化區較低，但因保全對象多，社會脆弱度高的關係，則坡地災害風險相對提高。而楠西區也因地質條件的關係，環境脆弱度也高，又加上社會脆弱度比南化區高，因此其坡地災害風險也比南化區高。

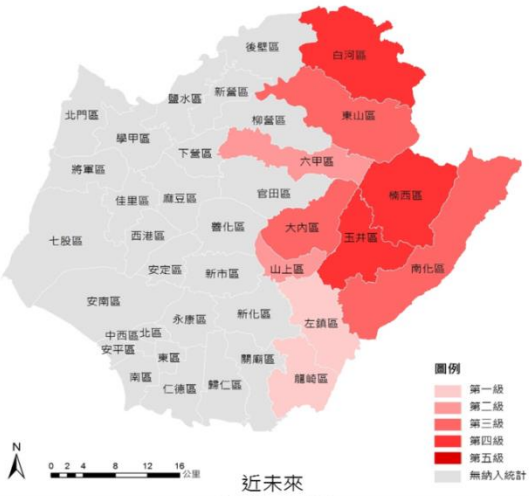


基期
(1979-2003)

近未來
(2015-2039)

世紀末
(2075-2099)

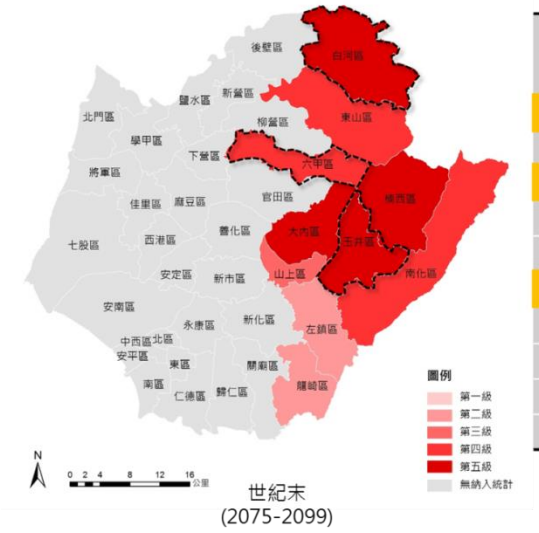
圖 5.3.4 坡地災害風險圖



近未來
(2015-2039)

近未來	危害度	環境脆弱度	社會脆弱度	坡地災害風險	等級
玉井區	2	3	4	24	4
白河區	3	2	4	24	4
楠西區	3	4	2	24	4
大內區	2	3	3	18	3
東山區	3	2	3	18	3
南化區	3	5	1	15	3
山上區	2	1	5	10	2
六甲區	2	1	5	10	2
龍崎區	2	3	1	6	1
左鎮區	2	2	1	4	1

圖 5.3.5 於近未來下之坡地災害風險圖



世紀末	危害度	環境脆弱度	社會脆弱度	坡地災害風險
玉井區	5	3	4	60
大內區	5	3	3	45
白河區	5	2	4	40
楠西區	5	4	2	40
東山區	5	2	3	30
六甲區	5	1	5	25
南化區	5	5	1	25
山上區	4	1	5	20
龍崎區	4	3	1	12
左鎮區	4	2	1	8

圖 5.3.6 於世紀末下之坡地災害風險圖

（四）坡地災害風險圖之應用

將氣候變遷坡地災害風險圖分別應用於防災領域與區域規劃方面，如圖 5.3.7 所示。坡地災害風險圖與人類發展指標 HDI 相互比較，可發現從近未來至世紀末期間，白河、六甲及玉井區坡地災害風險提高，且該區域的人類發展指標，相對也是較脆弱的，所以未來在防災應用方面，應提升此區域的抗災能力，以避免坡地災害的衝擊。

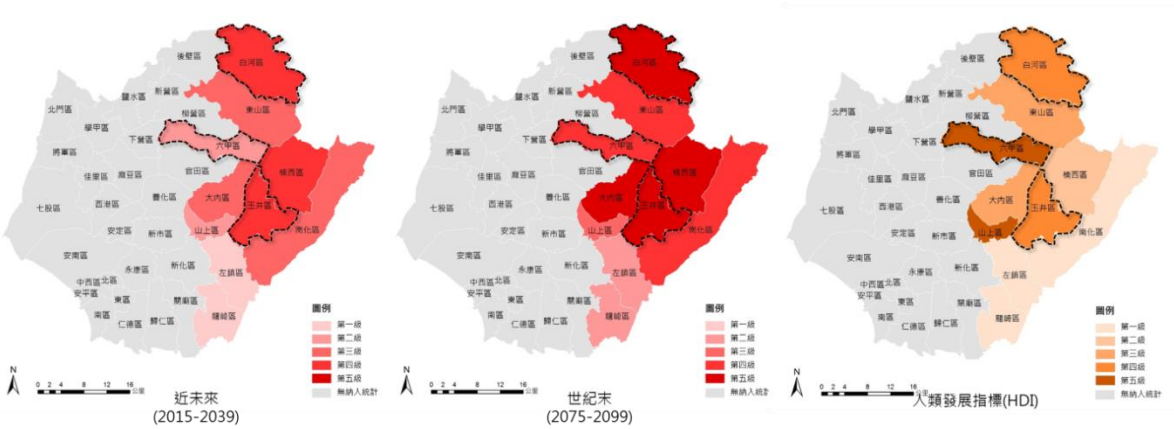


圖 5.3.7 坡地災害風險圖與人類發展指標圖

將氣候變遷下之坡地災風險圖（近未來）與規劃中的台南市區域計畫空間發展策略空間分佈相互比較，如圖 5.3.8 所示，在則白河、六甲、楠西及玉井區屬於計畫中發展生態及農業觀光遊憩地區，白河區有關仔嶺溫泉、楠西區位於曾文生態節點、六甲區位於烏山頭保育節點，玉井區則為農業及生態中心。未來由於氣候變遷下坡地災害風險的增加，需加強生態保育及減少坡地開發等的調適對策。

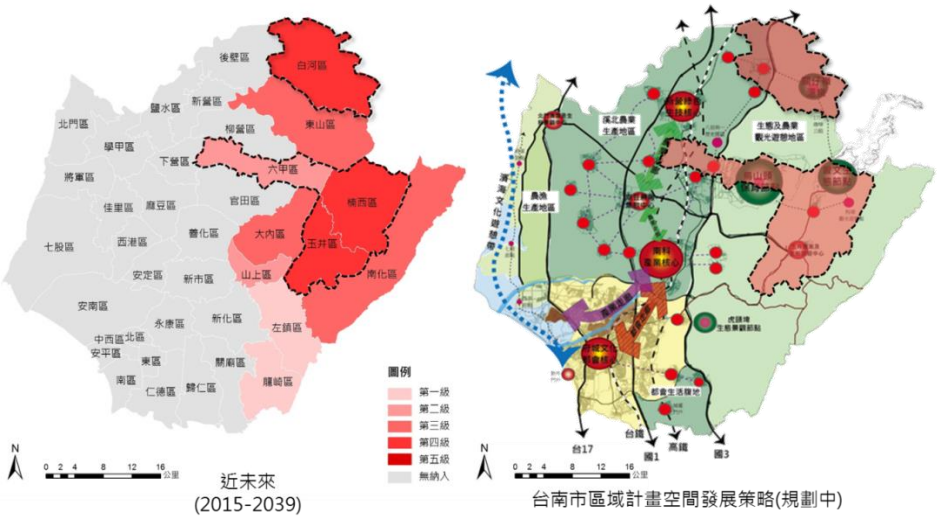


圖 5.3.8 坡地災害風險圖與台南市區域計畫空間發展策略圖

（資料來源：台南市政府）

第六章 結論與建議

本研究利用了不同氣候情境之降尺度資料，並分別應用數值模擬與指標套疊兩種方式，評估鄉鎮的淹水與坡地災害衝擊，瞭解未來氣候變遷衝擊下，高災害的風險區位空間變化，可作為決策者未來在擬定氣候變遷調適策略之參考依據。研究相關結論與建議分述如下：

（一）結論

1. 統計降尺度與動力降尺度之降雨資料，未來氣候變遷下在台南市降雨的空間分佈比較，易發生極端降雨區位有些許差異。統計降尺度資料，以台南市東邊較靠山區的雨量較大，而在動力降尺度資料中，則是以是台南的中部地區。

2. 利用 FVCOM 淹水模式模擬曾文溪流域的淹水情形，未來氣候變遷下，淹水脆弱度高的區域，主要是沿海與河岸兩側低窪的鄉鎮淹水面積與深度較為大，其鄉鎮包含七股區、北門區、學甲區、鹽水區、善化區、麻豆區與新市區。未來極端降雨衝擊下，發生較高的淹水災害損失區域，則是有較多工業與商業發展的永康區與南區。

3. 依據 TRIGRS 坡地模擬模式評估結果，未來氣候變遷下因降雨量的增加，在曾文水庫上游發生崩塌坡地災害潛勢提高，其產

生的崩塌量增加約 20%，其坡面穩定的承載時間也縮短，未來疏散避難的時間可能減少。上游崩塌的土砂量流入曾文水庫，將可能造成水庫庫容量減少 9%，對於未來水資源可供水量將有所影響。

4. 在未來氣候變遷衝擊下，台南市淹水災害風險會隨著時間遞增而升高的趨勢，高災害風險區分布位置主要集中在台南市的中部區位，分別是新營區、永康區、學甲區、安南區、北區與中西區等，未來需提早規劃並加強防洪源調適策略規劃，以降低災害風險。

5. 在坡地災害風險部分，亦隨著時間遞增，極端降雨的機率有增加趨勢，高災害風險區分布地區主要為白河區、六甲區、楠西區、玉井區及大內區等，未來需加強生態保育及減少坡地開發等地調適對策。

（二）建議

1. 統計降尺度資料應用於災害衝擊評估，因總降雨量相對歷史極端颱風事件低，故淹水範圍相對較小，建議未來評估極端降雨造成的淹水災害衝擊，可直接採用動力降尺度之時雨量資料，較能反應極端事件的災害衝擊。

2. 淹水災害評估結果跨領域應用於公共衛生議題中，受限於台南地區的水媒性疾病相對較少，造成淹水範圍與疾病的空間分佈的相關性不高，未來需進一步擴大評估範圍並考量其他淹水與疾病的變數項進行評估，改善樣本數過少之問題。

3. 目前評估的淹水與坡地高風險區，多數位在舊的區域發展計畫中，重點開發區位，建議未來區域計畫中應將氣候變遷衝擊與調適策略納入，特別是高風險且低調適力的區位，例如可針對熱區中社會脆弱度較高者提出人口重分配之規劃。

4. 未來可進一步推估縣市內鄉鎮人口分佈與人類發展指標的變化情形，以作為修正未來災害的暴露量指標。

參考文獻

1. Aoki, A., and A. Isobe (2007), Application of finite volume coastal ocean model to hindcasting the wind－induced sea－level variation in Fukuoka Bay, J. Oceanogr., 63(2), 333-339, doi:10.1007/s10872-007-0032-7.

2. Baum, R.L., W.Z. Savage, J.W. Godt (2008), TRIGRS – A Fortran program for transient rainfall infiltration and grid-based regional slope-stability analysis Version 2.0, U.S. Geological Survey, 75, Open-file Report 2008-1159.

3. Chen, C., G. Cowles, and R. C. Beardsley (2004), An unstructured grid, finite-volume coastal ocean model: FVCOM user manual. Dartmouth, Massachusetts: 1st ed., Tech. Rep. 04-0601, School of Mar. Sci. and Technol., Univ. of Mass., 183p.

4. Chen, C., R.C. Beardsley, and G. Cowles (2006), An unstructured grid, finite-volume coastal ocean model (FVCOM) system. Oceanography, 19(1), 78-89.

5. Chen, C.Y., Chen, T.C., Yu, F. C. and Lin, S.C. (2005), Analysis of time-varying rainfall induced landslide, Environmental Geology, 48(4-5), 466-479.

6. Davoudi, S. (2013), Climate Change and the Role of Spatial Planning in England. In Climate Change Governance. Springer Berlin Heidelberg, pp. 153-169.

7. De Bruijn, K.M. & Klijn, F. (2009), Risky places in the Netherlands: a first approximation for floods. Journal of Flood Risk Management, 2 , 58-67

8. IPCC (2012), Special Report-Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation (SREX).

9. IPCC (2007), Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.

10. Iverson, R.M. (2000), Landslide triggering by rain infiltration, Water Resources Research, Vol. 36, No. 7, pp. 1897-1910.

11. Liu, C.N. and Wu, C.C. (2008), Mapping susceptibility of rainfall –triggered shallow landslides using a probabilistic approach, Environmental Geology, 55(4), 907-915.

12. Mark, R.K. and Ellen, S.D. (1995), Statistical and simulation models for mapping debris-flow hazard, Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards, pp.93-106.

13. Matthews, T. (2011), Climate change adaptation in urban systems: strategies for planning regimes.

14. Mellor, G.L. and T. Yamada (1982), Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problem, Reviews of Geophysics and Space Physics, 20, 851-875.

15. Rao, A. R., & Kao, S. C. (2006), Statistical analysis of Indiana rainfall data, Joint Transportation Research Program, 322.

16. Rego, J. L., and C. Li (2009a), On the importance of the forward speed of hurricanes in storm surge forecasting: A numerical study, Geophys. Res. Lett., 36, L07609, doi:10.1029/2008GL036953.

17. Rego, J. L., and C. Li (2009b), On the receding of storm surge along Louisiana's low−lying coast, J. Coastal Res., SI56(2), 1045–1049.

18. Rupert, M.G., Cannon, S.H., Gartner, J.E. (2003), Using logistic regression to predict the probability of debris flows occurring in areas recently burned by wild land fires, US Geological Survey Open-file Report, 03-500.

19. Smagorinsky, J., (1963), General circulation experiments with the primitive equations. Part I. The basic experiment. Monthly Weather Review, 91, 99-164.

20. UNDHA (1992), Internationally Agreed Glossary of Basic Terms Related to Disaster Management, United Nations Department of Humanitarian Affairs, Geneva.

21. Vis, M., Klijn, F., De Bruijn, K. M., & Van Buuren, M. (2003), Resilience strategies for flood risk management in the Netherlands. International journal of river basin management, 1(1), 33-40.

22. Weisberg, R. H., and L. Y. Zheng (2006a), Hurricane storm surge simulation for Tampa Bay, Estuaries Coasts, 29(6), 899-913.

23. Weisberg, R. H., and L. Zheng (2006b), A simulation of the Hurricane Charley storm surge and its breach of North Captiva Island, Fla. Sci., 69, 152-165.

24. Weisberg, R. H., and L. Zheng (2008), Hurricane storm surge simulations

comparing three–dimensional with two–dimensional formulations based on an Ivan–like storm over the Tampa Bay, Florida region, J. Geophys. Res., 113, C12001, doi:10.1029/2008JC005115.

25. Wolfgang Kron (2005), Flood Risk = Hazard • Values • Vulnerability, Water International, Vol.30(1).
26. 中央地質調查所(2012)，易淹水地區上游集水區地質調查成果應用研究計畫(2/3)。
27. 尹立中、劉哲欣、吳亭燁(2013)，降雨引致淺層崩塌物理模式分析尺度探討-以高屏溪美輪山子集水區為例，社團法人中華水土保持學會。
28. 水土保持局(2006-2013)，重大土石災情報告。
29. 台南市政府(2014)，台南市區域計畫。
30. 朱聖心(2001)，應用地理資訊系統製作地震及降雨所引致之山崩危險圖，國立臺灣大學土木工程研究所。
31. 江申、黃成甲(2011)，地層下陷情境下彰雲地區淹水脆弱度地圖製作，國家災害防救科技中心技術報告。
32. 行政院國家科學委員會(2011)，台灣臺灣氣候變遷科學報告，行政院國家科學委員會。
33. 何幸娟、林伯勳、張玉璘、冀樹勇、簡以達、蔡明發、費立沅(2013)，莫拉克颱風後曾文水庫集水區山坡地保育治理成效評估，中興工程，第 118 期，第 21-33 頁。
34. 吳佳郡(2006)，降雨誘發山崩之潛感分析初探，國立暨南國際大學土木工程學系。
35. 李光敦，黃品淳，陳煥元(2013)，因應氣候變遷之平坦灌區蓄水防災能力分析。
36. 李欣輯、陳怡臻、郭玫君(2013)，臺灣颱洪災損評估系統之建置與應用，農業工程學報，第 43 卷，第 4 期。
37. 李錫堤(2009)，山崩及土石流災害分析的方法學回顧與展望，台灣公共工程學刊，第 5 卷，第 1 號，第 1-29 頁。
38. 李錫堤、潘國樑、林銘郎(2005)，山崩調查與危險度評估-山崩潛感分析之研究（3/3），經濟部中央地質調查所報告，第 94-18 號，共 268 頁。

39. 沈哲緯、曹鼎志(2009)，邊坡防護工程中植物根系固土機制與穩定分析初探，水保技術，第 4 卷，第 1 期，第 47-55 頁。
40. 沈義棟(2009)，台灣豐丘地滑之滑動機制，逢甲大學。
41. 林美聆(2013~2014)，流域崩塌及土砂災害演化對土石流災害影響研究，行政院農業委員會水土保持局委託研究。
42. 林漢良、謝俊民(2008)，建立易致災地區之安全建地劃設機制與準則（第一期），台北：內政部營建署城鄉發展分署。
43. 洪如江(2002)，順向坡之破壞與穩定，地工技術，第 5-18 頁。
44. 洪如江(2009)，水利土木科技資訊季刊，46 期，第 7-15 頁。
45. 洪郁婷(2010)，極端氣候下降雨引致土石流影響範圍之評估，海洋大學。
46. 范正成(2008)，未來氣候變遷對台灣地區短中長期降雨沖蝕指數之影響分析。
47. 國家災害防救科技中心(2010)，莫拉克颱風之災情勘查與分析，國家災害防救科技中心報告。
48. 國家災害防救科技中心(2012)，100 年坡地土砂災害衝擊評估，國家災害防救科技中心技術報告。
49. 國家災害防救科技中心(2014)，氣候變遷衝擊下災害風險地圖技術報告，國家災害防救科技中心技術報告。
50. 許少華、張義興、葉治宏、翁毓秀(2009)，由台江內外海之淤積演變探討曾文溪的歷史輸砂量，第十三屆海峽兩岸水利科技交流研討會。
51. 陳則佑(2011)，應用點估法與 TRIGRS 程式分析奧萬大道路邊坡之破壞機率，國立中興大學水土保持學系。
52. 陳則佑、馮正一、莊育蓁(2011)，應用 TRIGRS 程式於邊坡破壞機率分析-以奧萬大地區為例，中華水土保持學報，第 42 期，第 3 卷，228-239 頁。
53. 陳建新、陳嬉璇、譚志豪、冀樹勇、蘇泰維(2013)，台灣臺灣西部地區降雨促崩潛勢分析，中華水土保持學報，第 44 期，第 2 卷，第 179-189 頁。
54. 陳樹群、吳俊毅、謝政道(2012)，崩塌危害分析模型之建立－以臺北水源特定區為例，中華水土保持學報，第 43 期，第 4 卷，第 332-345 頁。
55. 曾梓峰，丁澈士(2011)，因應氣候變遷都市水患問題探討與因應對策。

56. 馮正一、劉怡安、張育瑄(2009)，應用 TRIGRS 分析集水區中尺寸坡地入滲與穩定性，中華水土保持學報，第 41 期，第 3 卷，第 339-356 頁。
57. 經濟部水利署(2013)，曾文溪、北港溪、八掌溪、朴子溪、急水溪流域與台南市、嘉義市、嘉義縣脆弱度及風險地圖製作。
58. 經濟部水利署(2013)，氣候變遷對水旱災災害防救衝擊評估研究計畫(2/2)。
59. 經濟部水利署(2013)，臺灣南部地區淹水危險區地圖之製作-以台南市為例。
60. 經濟部水利署(2010)，脆弱度及風險地圖分析方法之研究。
61. 經濟部水利署(2012)，臺灣脆弱度及風險地圖製作與整合應用(1/2)。
62. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2013)，曾文溪流域因應氣候變遷防洪及土砂研究計畫。
63. 壽克堅(2011)，考慮時間空間尺度之坡地災害及受災潛勢研究---總計畫暨子計畫：考慮時間空間尺度之地質地形與坡地災害關係研究。
64. 鄭克聲等人(2001)，水文設計應用手冊，經濟部水資源局委辦計畫。
65. 盧鏡臣、郭彥廉、楊惠萱、李香潔(2009)，災害的社會經濟衝擊—臺灣鄉鎮層級的評估架構，臺灣災害管理研討會。
66. 賴炳樹，白仁德(2012)，因應氣候變遷之洪災調適策略規劃，災害防救科技與管理學刊，第 1 期，第 1 卷，第 81-100 頁。
67. 鍾欣翰(2008)，考慮水文模式的地形穩定分析-以匹亞溪集水區為例，國立中央大學應用地質研究所。
68. 譚義績，張倉榮(2010)，強化高屏溪流域因應氣候變遷防洪調適能力研究計畫。

書名：氣候變遷衝擊下縣市災害風險評估-以台南市為例

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

出版年月：中華民國 104 年 4 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