

科技部補助專題研究計畫成果報告

期末報告

極端降雨事件引致南台灣水庫集水區坡地二次土砂複合災害型態之運移機制調查分析與避難疏散因應對策研究-子計畫:極端降雨影響下南台灣水庫集水區水文環境變異引致坡地二次土砂災害之降雨基準值分析研究(III)

計畫類別：整合型計畫
計畫編號：MOST 104-2625-M-020-001-
執行期間：104年08月01日至105年10月31日
執行單位：國立屏東科技大學水土保持系

計畫主持人：江介倫
共同主持人：楊樹榮
計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理人員：田語晴
大專生-兼任助理人員：賴璽文
大專生-兼任助理人員：謝臣和

報告附件：出席國際學術會議心得報告

中華民國 106 年 01 月 31 日

中文摘要：近年來侵台的颱風常帶來超大豪雨衍生極端降雨致災事件，對台灣之坡地造成大規模土砂災害及二次災害，重創區域經濟發展與國家基礎建設甚鉅，例如民國98年8月的莫拉克(MORAKOT)颱風更帶來驚人雨量，尤其嘉義縣與高雄縣山區累積最大降雨量高達2,900公厘以上，而南投縣、台南縣、屏東縣亦超過1,500公厘，因此造成台灣中南部地區發生嚴重災情。隨後「曾文南化烏山頭水庫治理及穩定南部地區供水特別條例」的通過與執行，都顯示極端降雨下集水區治理及防災因應的迫切需求，尤其在氣候變遷情況下，目前所謂極端降雨事件的水文量在未來發生的頻率可能提高。因此本研究以三年時間針對南部地區重要水庫集水區-曾文、南化及烏山頭水庫集水區，建立集水區的水文、地文GIS資料庫，並分析此區極端降雨之時間、空間變異特性及其發生頻率的變化趨勢，及各站頻率分析空間特性，另外進一步比較歷年崩塌圖並區分為擴崩、復育及維持不變區，再分析地景指標與降雨關係，探討極端降雨及水文環境的變化引致坡地土砂災害之影響，應用地景指標、指標克利金理論分析降雨時空變異，劃定集水區均一尺度之極端降雨範圍，並探討氣候變遷情境下，降雨可能變化及水土保持設施設計標準之調適策略，研擬土砂災害致災降雨基準值並建立以防災預警為目的之雨量站網設計標準程序，供相關單位決策參考。

中文關鍵詞：極端降雨、二次災害、土砂災害、降雨基準值、雨量站網

英文摘要：The study take three years to find out the influence on the secondary sediment hazards caused by the extreme rainfall and hydrological environmental changes focusing on the important watersheds in southern Taiwan (Tsengwen Reservoir, Nanhua Reservoir, and Wushantou Reservoir). The landscape metrics and indicator kriging theories are applied to analyze the temporal and spatial variation in order to define the uniform range of extreme rainfall and to set the critical rainfall of secondary hazards and build the rain gauge network for the purpose of disaster prevention and early warning. In the first two years, we have finished the GIS database, landscape metrics calculation, and frequency analysis in Tsengwen, Nanhua and Wushantou watershed and defined the uniform range of the extreme rainfall over temporal and spatial variation and the trend of frequency. From the frequency analysis of each watershed, we have also defined the extreme rainfall of hydrological uniform zone. Furthermore, we have compared landslide map in each year and divided the area into expanded area, narrowdown area, and unchanging area, and analyzed the relationship between the landscape index and rainfall. The effects of extreme rainfall of hydrological uniform zone and critical rainfall of the watershed were discussed. The temporal and spatial variability of rainfall is analyzed by using the indicator of landscapes metrics and Kriging. The range of extreme rainfall in the catchment

area is defined. The standard design of soil and water conservation facilities under different rainfall was considered. We also studied the reference value of rainfall which might induce the disaster of soil and sand, and established a standard procedure of raingauge network for early warning against disasters as a reference for decision makers.

英文關鍵詞： extreme rainfall, secondary disasters, sediment hazards, rainfall threshold, raingauge network

目錄

目錄	i
圖目錄	iii
表目錄	vi
摘要	1
Abstract	1
壹、前言	2
貳、文獻探討	3
參、研究方法與理論	9
3-1 不同尺度資料整合	10
3-2 崩塌地地景指標對水文環境影響	14
3-3 崩塌地變遷偵測理論	19
3-4 變異範圍法(RVA)及水文改變指標(IHA)	錯誤! 尚未定義書籤。
3-5 因應極端降雨水土保持設施設計檢討	20
3-6 指標克利金	22
3-7 雨量站網設計	24
肆、結果與討論	29
4-1 曾文與南化水庫集水區水文與地文 GIS 資料庫建立	29
4-2 衛星影像處理及崩塌地數化	43

4-3 歷年颱風事件統計分析	62
4-4 降雨頻率分析及空間均一尺度	65
4-5 防災雨量站網設計.....	71
4-6 致災雨量分析	76
4-7 極端降雨水文環境變遷下水土保持設施設計水文量檢討	84
伍、結論	92
參考文獻	94

圖目錄

圖 3-1-1(a) 時間序列資料 (如降雨)	11
圖 3-1-1(b) 空間資料 (如衛星影像判釋得之崩塌地圖).....	11
圖 3-1-1(c) 時空資料(如多時其之崩塌地圖,可顯見崩塌地之變遷).....	12
圖 3-1-2 尺度轉換概念示意圖	13
圖 3-1-3 不同類型、不同解析度之資料透過尺度轉換及空間分析得以套合.....	14
圖 3-3-1 各類地物分佈示意圖.....	20
圖 3-3-2 二元常態聯合機率分布圖.....	20
圖 3-5-1 環境變遷與調適能力建構.....	21
圖 3-6-1 克利金空間推估示意圖.....	23
圖 3-7(a) 第一年研究計畫架構流程.....	27
圖 3-7(b) 第二年研究計畫架構流程.....	28
圖 3-7(c) 第三年研究計畫架構流程.....	29
圖 4-1-1 集水區水文環境地理資料庫.....	30
圖 4-1-2(a) 曾、南、烏水庫集水區地形圖.....	31
圖 4-1-2(c) 曾、南、烏水庫集水區坡向圖.....	32
圖 4-1-2(d) 曾、南、烏水庫集水區土壤圖.....	33
圖 4-1-3(a) 曾文水庫集水區徐昇氏權重圖.....	36
圖 4-1-3(b) 南化水庫集水區徐昇氏權重圖.....	37
圖 4-1-3(c) 烏山頭水庫集水區徐昇氏權重圖.....	38
圖 4-2-1 數值地形模型套繪崩塌地數化成果.....	43
圖 4-2-2 各年崩塌發生位置之高程個數分布.....	44
圖 4-2-3 各年崩塌地坡度四分位盒狀圖.....	45
圖 4-2-4 各年崩塌地嵌塊體坡度次數分配圖.....	46
圖 4-2-5 各年崩塌地坡向個數分布圖.....	47
圖 4-2-6 逐年復育地各面積嵌塊體前後期 NDVI 值變化散布圖.....	48
圖 4-2-7 各年平均颱風降雨規模與大型崩塌平均面積及標準差關係.....	49
圖 4-2-8 逐年各崩塌類別數量指標(NP)變化.....	51
圖 4-2-9 逐年各崩塌類別總面積指標(CA)變化.....	52
圖 4-2-10 逐年各崩塌類別平均面積(MPS)與面積標準差(AREA_SD)變化.....	52
圖 4-2-11 各年新擴崩面積佔各年崩塌面積百分比.....	53
圖 4-2-12 各年復育面積佔各年崩塌面積百分比.....	53
圖 4-3-1 中央氣象局颱風路徑分類圖	62
圖 4-3-2 1958~2012 颱風強度比例	62
圖 4-3-3 1958~2012 歷年颱風各路徑所佔比例	63
圖 4-3-4(a) 各路徑颱風於曾文集水區內馬頭山站平均總降雨量(1990-2015).....	64
圖 4-3-4(b) 各路徑颱風於南化集水區內關山站平均總降雨量(1990-2015).....	64

圖 4-3-4(c) 各路徑颱風於烏山頭集水區內王爺公站平均總降雨量.....	65
圖 4-4-1 本研究採用關山等 29 個雨量站分布圖.....	錯誤! 尚未定義書籤。
圖 4-4-2(a) 2 年頻率之雨量空間分布.....	66
圖 4-4-2(b) 5 年頻率之雨量空間分布.....	66
圖 4-4-2(c) 10 年頻率之雨量空間分布.....	67
圖 4-4-2(d) 25 年頻率之雨量空間分布.....	67
圖 4-4-2(e) 50 年頻率之雨量空間分布.....	68
圖 4-4-2(f) 100 年頻率之雨量空間分布.....	68
圖 4-4-2(g) 200 年頻率之雨量空間分布.....	69
圖 4-4-2(h) 500 年頻率之雨量空間分布.....	69
圖 4-4-2(i) 1000 年頻率之雨量空間分布.....	70
圖 4-4-2(j) 10000 年頻率之雨量空間分布.....	錯誤! 尚未定義書籤。
圖 4-4-3 半變異圖分析 (2 年頻率 皮爾森三型) 影響半徑=18km ²	71
圖 4-4-4 集水區水文均一區面積分析.....	71
圖 4-5-1 防災雨量站站名.....	72
圖 4-5-2 防災雨量站網設計.....	73
圖 4-5-3(a)曾文水庫集水區崩塌潛勢圖.....	74
圖 4-5-3(c)烏山頭水庫集水區崩塌潛勢圖.....	75
圖 4-5-3(d)曾南烏水庫集水區崩塌潛勢圖.....	76
圖 4-6-1 土砂災害發生地點.....	77
圖 4-6-2 歷年崩塌面積與颱風降雨.....	78
圖 4-6-3 歷年擴崩面積與颱風降雨.....	78
圖 4-6-4 崩塌致災累積降雨量與降雨強度.....	79
圖 4-6-5 地滑致災累積降雨量與降雨強度.....	80
圖 4-6-6 土石流致災累積降雨量與降雨強度.....	錯誤! 尚未定義書籤。
圖 4-6-7(a) 地滑致災降雨強度圖.....	錯誤! 尚未定義書籤。
圖 4-6-7(b) 地滑致災雨量圖.....	錯誤! 尚未定義書籤。
圖 4-6-7(c) 土石流致災降雨強度圖.....	錯誤! 尚未定義書籤。
圖 4-6-7(d) 土石流致災雨量圖.....	錯誤! 尚未定義書籤。
圖 4-6-7(e) 崩塌致災降雨強度圖.....	錯誤! 尚未定義書籤。
圖 4-6-7(f) 崩塌致災雨量圖.....	錯誤! 尚未定義書籤。
圖 4-6-7(g) 崩塌致災降雨強度圖.....	83
圖 4-6-7(h)崩塌致災雨量圖.....	84
圖 4-7-1(a) 87	
圖 4-7-1(b) 88	
圖 4-7-1(c) 錯誤! 尚未定義書籤。	
圖 4-7-2(a) 8 月 RCP85.....	88
圖 4-7-2(b) 8 月 RCP60.....	89
圖 4-7-2(c) 8 月 RCP45.....	89

圖 4-7-2 (d) 8 月 RCP26.....	90
圖 4-7-2 (e) 全年 RCP85.....	90
圖 4-7-2 (f) 全年 RCP60.....	91
圖 4-7-2 (g) 全年 RCP45.....	91
圖 4-7-2 (h) 全年 RCP26.....	92
圖 4-7-5 致災雨量之空間變異半變異圖.....	82

表目錄

表 3-2-1 圓形與狹長形嵌塊體生態意義之比較.....	16
表 3-2-2 嵌塊體空間結構特性對其內部之生態效應.....	16
表 4-1-1 曾文河流域雨量站表列.....	33
表 4-1-2 曾文河流域流量站表列.....	錯誤! 尚未定義書籤。
表 4-1-3 南化集水區雨量站徐昇權重分析 (2001~2014 年水利署資料)	錯誤! 尚未定義書籤。
表 4-1-4 南化集水區 5 雨量站歷年平均雨量統計表(2001~2014)....	錯誤! 尚未定義書籤。
表 4-1-5 歷史土砂災害資料庫屬性表範例.....	39
表 4-1-6 曾文水庫集水區地文因子分析.....	40
表 4-1-7 南化水庫集水區地文因子分析.....	41
表 4-1-8 烏山頭水庫集水區地文因子分析.....	42
表 4-2-1 曾文與南化崩塌統計表.....	錯誤! 尚未定義書籤。
表 4-2-2 各年崩塌地嵌塊體坡度統計特性表.....	44
表 4-2-3 逐年復育區嵌塊體前後期 NDVI 值成對樣本檢定表.....	48
表 4-2-4 年雨量及平均颱風降雨量對大型崩塌各指標相關性.....	49
表 4-2-5 各崩塌分類逐年面積與數量相關指標表.....	51
表 4-2-6(a) 2008 年至 2010 年各類崩塌面積移轉交叉分析表.....	54
表 4-2-6(b) 2009 年至 2011 年各類崩塌面積移轉交叉分析表.....	55
表 4-2-6(c) 2010 年至 2012 年各類崩塌面積移轉交叉分析表.....	55
表 4-2-6(d) 2011 年至 2013 年各類崩塌面積移轉交叉分析表.....	56
表 4-2-10 崩塌與降雨因子相關分析 (崩塌與雨量皆為與前一年差值).....	58
表 4-2-11 崩塌因子相關分析.....	59
表 4-2-12 崩塌與降雨因子相關分析 全部紀錄.....	60

摘要

近年來侵台的颱風常帶來超大豪雨衍生極端降雨致災事件，對台灣之坡地造成大規模土砂災害及二次災害，重創區域經濟發展與國家基礎建設甚鉅，例如民國98年8月的莫拉克(MORAKOT)颱風更帶來驚人雨量，尤其嘉義縣與高雄縣山區累積最大降雨量高達2,900公厘以上，而南投縣、台南縣、屏東縣亦超過1,500公厘，因此造成台灣中南部地區發生嚴重災情。隨後「曾文南化烏山頭水庫治理及穩定南部地區供水特別條例」的通過與執行，都顯示極端降雨下集水區治理及防災因應的迫切需求，尤其在氣候變遷情況下，目前所謂極端降雨事件的水文量在未來發生的頻率可能提高。因此本研究以三年時間針對南部地區重要水庫集水區-曾文、南化及烏山頭水庫集水區，建立集水區的水文、地文GIS資料庫，並分析此區極端降雨之時間、空間變異特性及其發生頻率的變化趨勢，及各站頻率分析空間特性，另外進一步比較歷年崩塌圖並區分為擴崩、復育及維持不變區，再分析地景指標與降雨關係，探討極端降雨及水文環境的變化引致坡地土砂災害之影響，應用地景指標、指標克利金理論分析降雨時空變異，劃定集水區均一尺度之極端降雨範圍，並探討氣候變遷情境下，降雨可能變化及水土保持設施設計標準之調適策略，研擬土砂災害致災降雨基準值並建立以防災預警為目的之雨量站網設計標準程序，供相關單位決策參考。

中文關鍵詞： 極端降雨、二次災害、土砂災害、降雨基準值、雨量站網

Abstract

In recent years, typhoons frequently brought extreme rainfall and caused large-scale secondary sediment hazards on hillside fields. The disaster seriously hit the regional economic development and national infrastructures. For example, in August, 2009, the typhoon Morakot brought massive rainfall, especially in the mountains in Chiayi County and Kaohsiung County in which the cumulative maximum rainfall was up to 2900 mm; meanwhile, the cumulative maximum rainfall was over 1500m.m. in Nantou County, Tainan County and Pingtung County. The typhoon caused severe damage in the central and southern Taiwan. After that, the regulation “the special law of Tsengwen, Nanhua, and Wushantou watersheds” was created and enforced and it showed the urgent needs of the watershed management and disaster prevention and response under extreme rainfall.

The study will take three years to find out the influence on the secondary sediment hazards caused by the extreme rainfall and hydrological environmental changes focusing on the important watersheds in southern Taiwan (Tsengwen Reservoir, Nanhua Reservoir, and Wushantou Reservoir). The landscape metrics and indicator kriging theories are applied to analyze the temporal and spatial variation in order to define the uniform range of extreme rainfall and to set the critical rainfall of secondary hazards and build the raingauge network for the purpose of disaster prevention and early

warming. In the first two years, we have finished the GIS database, landscape metrics calculation, and frequency analysis in Tsengwen, Nanhua and Wushantou watershed and defined the uniform range of the extreme rainfall over temporal and spatial variation and the trend of frequency. From the frequency analysis of each watershed, we have also defined the extreme rainfall of hydrological uniform zone. Furthermore, we have compared landslide map in each year and divided the area into expanded area, narrowdown area, and unchanging area, and analyzed the relationship between the landscape index and rainfall. The effects of extreme rainfall of hydrological uniform zone and critical rainfall of the watershed were discussed. The temporal and spatial variability of rainfall is analyzed by using the indicator of landscapes metrics and Kriging. The range of extreme rainfall in the catchment area is defined. The standard design of soil and water conservation facilities under different rainfall was considered. We also studied the reference value of rainfall which might induce the disaster of soil and sand, and established a standard procedure of raingauge network for early warning against disasters as a reference for decision makers.

Keywords : extreme rainfall, secondary disasters, sediment hazards, rainfall threshold, raingauge network

壹、前言

近年來侵台的颱風常帶來超大豪雨衍生極端降雨致災事件，對台灣之坡地造成大規模土砂災害，重創區域經濟發展與國家基礎建設甚鉅，例如民國 98 年 8 月的莫拉克(MORAKOT)颱風更帶來驚人雨量，尤其嘉義縣與高雄縣山區累積最大降雨量高達 2,900 公厘以上，而南投縣、台南縣、屏東縣亦超過 1,500 公厘，因此造成台灣中南部地區發生嚴重之大規模山崩，依據行政院農委會水土保持局之受災前後衛星影像判釋分析成果顯示，莫拉克重災區內之高屏河流域即多達 10,904 處坡地崩塌，總崩塌面積達 18,113 公頃。衍生山崩地滑、堰塞湖、土石流、河岸沖刷、漂流木堆積河道與淹水災害，而土砂災害更沿著河道兩側山坡與支流大量發育，使得後續防汛期內，因極端降雨產生之坡地二次土砂災害，更具潛在危險性。尤其對南台灣重要水庫集水區所產生之土砂災害，更危及水庫蓄供水功能與其營運壽命。因此經濟部水利署於民國 99 年奉立法院通過「曾文南化烏山頭水庫治理及穩定南部地區供水特別條例」，目前正由水利署南區水資源局積極執行中。此外崩塌地亦將增加集水區經營管理之困難度，例如增加土壤沖蝕、流失的速度，因沖蝕與淤積減短水庫或攔砂壩之壽命等等，甚或影響水質。由此可知土砂災害不僅危害人民生命財產甚鉅，也將影響生態環境之永續發展。

我國水土保持技術規範明白揭示：集水區之治理係為保育水土資源、涵養水源、防治沖蝕、崩塌、地滑、土石流、洪水及土砂災害，並以淨化水質、維護自然生態環境為目的。然而台灣地區坡陡流急，土壤沖蝕嚴重，水土資源保持不易。近年來一遇颱風或豪雨常造成嚴重土壤沖蝕、土石流、崩塌等土砂災害，尤其在 921 大地震後，地表受創，因此情況更加嚴重，土砂災害發

生之因子甚為複雜，以理論解析模式，或經驗法皆很難準確預測。加上氣候變遷影響，使近年來極端氣候頻率增加，更加速了土壤沖蝕及土砂災害之嚴重程度。另外近年來極端氣候影響下，梅雨也出現超大豪雨，例如 2006 年 6 月 2012 年 6 月的梅雨，甚至釀成災害。以氣象局阿里山測站為例，2006 年 6 月 9 日及 2012 年 6 月 11 日分別出現一日降下 811.5mm 及 481.5mm 的超大豪雨。

目的

為期降低後續坡地二次土砂災害之致災風險，南台灣實有必要配合該曾南烏特別條例，就曾文、南化與烏山頭等水庫集水區在極端變異降雨條件下，因集水區內之水文、地文、河川水理特性與森林立地環境條件劇烈變化，所衍生之坡地二次土砂災害發生特性進行調查分析與探討其土砂運動機制，並據以研擬坡地二次土砂複合型災害防治及國土保育利用因應對策，俾期提供相關單位應用參考。配合本整合型群體計畫，本研究擬先由衛星遙測資料獲取崩塌變遷資訊，並以 GIS 建立研究區完整之水文、地文資料庫，可提供集水區管理整治之資訊及分析土砂災害潛勢之資訊，並進行崩塌地地景指標計算及崩塌地地景指標與水文環境特性之相關性探討，再透過水文頻率分析、頻率改變趨勢分析、極端降雨時空變異分析及指標克利金理論以致災超越機率概念分析致災風險，用以分析土砂災害之降雨基準值（包含強度及累積雨量並考量致災風險）。

本子計畫三年期間完成主要項目計有

- (一)探討極端降雨事件發生頻率與強度的變化趨勢
- (二)坡地土砂災害與極端降雨致災特性之關係探討
- (三)由各站頻率分析結果訂定集水區均一尺度之極端降雨範圍與基準值初步判定分析
- (四)崩塌潛勢圖繪製
- (五)以防災預警為目的之雨量站網設計
- (六)曾南烏三水庫集水區內坡地土砂災害之極端降雨臨界基準值檢討分析與研訂建議。
- (七)氣候變遷下水土保持設計水文量之檢討

貳、文獻探討

台灣地區地狹人稠，山坡地佔四分之三，降雨時間、空間分布不平均，地形坡陡流急，易加速土壤沖蝕，加上又位於地質年輕、破碎之敏感地帶，河道輸砂量大。颱風豪雨也增加土砂災害形成的機率。近年來又面臨全球氣候變遷，極端降雨事件常常發生，依據中央氣象局資料，民國 89 年至 95 年共發生 51 次颱風侵襲台灣，平均一年 7.3 次，高於民國 89 之前之 4.04 次，颱風豪雨亦增加崩塌及河道變遷的速度所以台灣所處之地文及水文環境狀況是相當不理想狀況，加上人為過度開發等因素，當颱風來襲時挾帶大量豪雨洪水，易發河川改道、生山崩、地滑、土石流等土砂災害嚴重，甚至衍生嚴重之二次災害，對於防災與集水區管理之難度大幅提高。

自 921 地震災後環境變遷，且近年來全球氣候變遷水文環境變化相當嚴重，極端降雨導致各地災害頻傳，近年來歷經 2008 年 9 月辛樂克颱風、2009 年 8 月莫拉克風災肆虐，如何依台灣天然

環境，調適因氣候變遷導致降雨型態改變所造成衝擊，乃為我國面臨之最重要課題之一。以下分別對本研究較相關且將應用到之主題回顧相關文獻如後。

土砂災害相關研究

據經濟部水利署分析，台灣雨量豐沛，約為世界平均值之 2.6 倍，天然條件特殊，且雨量在時間及空間上之分佈極不均勻，豐枯水期差異大，每年五月至十月之雨量即佔全年之 78%，再加上地質脆弱、坡陡流急、腹地狹隘，土砂災害嚴重，另外，颱風期間豐沛的雨量常會造成坡體的不穩定，形成山崩及土石流，使得溝谷中沈積物的來源增加。而因此台灣地區有為數不少的崩塌地，而此崩塌材料也累積了導致二次災害的潛藏危機，而崩塌地亦是造成其他災害的根源，且影響集水區水土資源保育甚鉅，幸而今日國內外對於極端氣候已相當重視，且對於降雨誘發之崩塌及二次土砂災害及降雨警戒值已有初步之研究成果(Shieh et al.,2009; Wu et al., 2012 ; Berti et al.,2012 ; Badoux et al., 2012 ; Salciarini et al., 2012 ; Hurford et al., 2012 ; Lehmann et al., 2012)國內如詹錢登等(2004)已研擬台灣土石流降雨驅動指標(rainfall triggering index, RTI)也有降雨與崩塌關係之研究(鐘育櫻，2005；陳樹群等，2012)，陳樹群等(2010)亦曾探討地震或降雨誘發崩塌之崩塌特性。而震撼全台的莫拉克風災相關研究如莫拉克颱風引致小林村堰塞湖之形成與潰決歷程研究(陳樹群等，2009)亦是此類代表性文獻。

颱風洪水災或是因其造成的土石流災害等快速且直接的災害，常造成重大生命財產損失，此於防災體系已有相當經驗，對於土砂災害之潛因與誘因及相關潛勢因子及水文、地文特性有一系列相關之基礎研究，如陳志豪(2009)曾探討崩塌地特性。其他如土地利用、高程、土壤、地質、集水區面積、河溪級序、地形、坡度、坡向、坡長、降雨、地下水、地震、載重等亦分別有學者探討(劉文賢，2005；楊婉嘉，2006；陳俞瑾，2006)。另游繁結等(1999，2002)曾對於集水區整治率進行評估與探討。

黃宏斌等人(1991)探討崩塌土方量與輸砂量模式之相互關係，配合定量流之河道輸砂演算，藉以預測崩塌產出量對於河道所造成影響，研究結果顯示(1)崩坍土方量除增加河道輸砂量外，對地形、地貌也有相當程度之影響。(2)不同公式具有不同之特性與適用範圍，在地形變化劇烈之處，不同公式之演算結果會有較大之差異。(3)若以流量為橫軸，輸砂量為縱軸時，淤積段有順時針，沖刷段則有逆時針之迴路現象，若斷面處於不沖，不淤之狀態時，迴路便退化成一直線。

Dadson 等人 (2003) 研究台灣島自 1970 至 2000 年以來之侵蝕發現，每年有近 384 百萬噸之懸浮沈積物被運送至外海，共佔了全球懸浮沈積物總量的 1.9%。如果再加上 160 百萬噸的河床沈積物，則總沈積物之輸出量每年會超過 500 百萬噸，使得台灣平均侵蝕率可以達到每年 5.2 mm。對於台灣面積僅佔全球 0.024%而言，可以想見，台灣島是受到了大自然快速的侵蝕作用。如果以近 30 年來台灣部份侵蝕嚴重地區每年 15mm 至 60mm 的侵蝕率來和過去幾個世紀作一個比較，可以發現這個結果比過去一萬年來 5mm 至 12mm 的侵蝕率，以及百萬年來 3mm 至 6mm 的侵蝕率高出了 3 至 5 倍左右。此侵蝕率之高低，不僅與島內不同的地質材料強度，以及斷層的分佈等地質環境有關係，更與地震及颱風有相當密切的關連性。收集了一百多萬筆現場的調查資料進行分析探討，其中包括了台灣 150 條主要河流流域的測站記錄、河階定年、地震能量、地質材料強度，以及颱風和雨量等各不同資料研究而獲得之結果。溝谷中沈

積物的生成主要來自地震造成之土石崩落或颱風引起之山崩及土石流。

而水文、地文資料之建檔分析為集水區保育管理中，極重要的一環，不論是自然因素(如颱風、豪雨、地震) 或人為因素(如濫墾、濫伐、集水區管理不當)造成的土砂災害或集水區管理之問題，皆可以地文、水文因子的監控開始進行；林昭遠等人(2001)結合地理資訊系統及遙測影像處理開發集水區資訊系統(WinGrid)，以集水區自動劃分理論為基礎，整合水土保持領域之相關學理與模式，利用集水區為單元，進行地形分析、集水區自動劃分、集水區特性分析、土壤流失量(USLE)估算、農業非點源污染(AGNPS)模式連結、土石流危險溪流特性評估、崩塌地植生復育率評估等分析，對於集水區地文資訊之分析有顯著貢獻。

降雨特性改變趨式

國內降雨特性研究已有諸多成果(吳一德，2009；陳儒賢，2009；諸予涵，2009)此外數統計常被用於偵測監測資料之變遷點或變化趨式檢定，常用無母數特性之檢定方法，如 MWP (Mann-Whitney-Pettitt)檢定、Kruskal-Wallis 因子分類變異數分析、Mann-Kendall rank trend 趨勢檢定。無母數統計方法不限定母體的分布類型，故又稱自由分布統計量 (Distribution Free Statistics)。本研究擬利用無母數統計之方法來探討與了解長期歷史紀錄中雨量之變動特性，並以之與頻率分析比較，主要應用之方法如 Mann-Kendall 趨勢檢定。Mann-Kendall rank correlation test (Giakoumakis et al.,1997)是近年來較廣泛被採用來進行檢定時間序列上是否有顯著趨勢之方法。其方法簡述如下：

設有 n 個樣本， x_i ， $i = 1, \dots, n$ ，其標準常態變量(standard normal variate)T，如下：

$$T = \frac{r^*}{\sqrt{\sigma^2_{r^*}}} \quad 2-1$$

其中，

$$r^* = \left[\frac{4p}{\{n(n-1)\}} \right] - 1 \quad 2-2$$

p 為樣本 x_i, x_j 中， $j > i$ 且 $x_j > x_i$ 之個數

$$\sigma^2_{r^*} = \frac{2(2n+5)}{[9n(n-1)]} \quad 2-3$$

如果式(G-1)之 $|T| > T_{\alpha/2} = 1.645$ ，其中 $\alpha = 10\%$ 為顯著水準，則表示時間序列存在隨時間增加或減少之趨勢。如果 T 為正值具有逐漸增加之趨勢，反之， T 為負值具有逐漸減少之趨勢。

遙測於崩塌與災害監測之應用

衛星遙測影像是集水區環境監測非常有利之工具，在國內外之研究與應用已逐漸普及。國外如 Bendediktsson 等(1990)應用類神經網路處理 LANDSAT 衛星影像及其他空間地理資訊如地表高程、坡度、坡向等之分類。Ping 等 (2000)以不同時期的 SPOT 多光譜影像，調查寮國與泰國間的湄公河流域，不但運用數位地形模型、坡度與坡向產生正射化影像，並加以嵌合；而且將嵌合後影像作大氣校正處理及變遷偵測，而得變遷影像。David(2000)應用高等解析度資料(AVHRR)與中等解析度資料(MODIS)作模擬，比較地理定位誤差對變遷偵測所產生之影響。Merrill K. Ridd 等(1998)運用 4 種變遷偵測演算法篩選出鹽湖城附近土地利用類別之改變並比

較其結果與差異。Timo Tokola 等.(1999)使用時間差異達 19 年之 Landsat Data-MSS and TM 影像，調查未發生變遷之林地、被砍伐之森林與再造林。Olle Hugner 等人(1998)使用 Landsat-MSS 影像監測 Monchegorsk 地區森林面積銳減在於空氣中佈滿 SO₂ 所導致。John B. Collins 等人(1996)以多時態 Landsat-TM 資料利用多種變遷偵測方法評估並繪製森林死亡率曲線。Cecil Hallum(1993)應用衛星遙測資料監測植生及土地利用覆蓋類別。Brigitte(1996)研究中分析建築物、松及橡木的陰影於草地、裸露土壤及柏油上對可見光與近紅外光的影響。其地面調查利用幅射計測量 SPOT-HRV 波段及光譜幅射計測量 SPOT-HRV 及 LANDSAT-TM 波段，範 400nm ~ 900nm 之間。研究中將光照處及陰影覆蓋處的反射納入，計算光照處及陰影覆蓋處反射之幅射值。分析的結果顯示陰影的可見光及近紅外光反射顯著的受到表面形態及陰影型態的影響。兩種植生指標，NDVI 與 ARVI 植生指標也同樣受到表面型態及陰影型態所影響。Qihao(2002)整合遙感探測技術和地理資訊系統技術用於土地利用和土地覆蓋之變遷之研究，他主要利用遙感探測和地理資訊系統結合馬可沃夫模型去分析中國珠江三角洲 1989 年和 1997 年的土地利用和土地覆蓋之變遷。Froidefonda(2004)應用衛星影像定量懸浮微粒物質的濃度且繪製成圖，且有助於解釋圭亞那泥岸形成的原因和沿著海岸移動的原因。SPMC 的定量有助於設計航行水道上挖泥的策略與估測河流所排出到海洋上的懸浮固體。高的 SPMC 會抑制沿岸水的主要生產，其監測結果有助於了解生態的結構。接著描述衛星影像所產生的面積形式，然後應用回歸運算衛星影像所獲得的野外測量資料，這些資料用來推算 SPMC 的分布及估算轉換率。

國內也有相當多應用如阮聖裕(1994)利用類神經網路技術、最大概似法及貝氏分類法等分類方法，並使用組織特徵產生更多的分類特徵，應用於地表土地利用的分類及變遷偵測。郭育全(1997)應用最大概似法及貝氏分類法結合組織特徵及分散度指標，分類曾文水庫 SPOT 衛星影像及崩塌地發生位置。劉守恆等(2004)使用單幅 SPOT 衛星影像資料進行自動辨識崩塌地的可行方法，並分析其適用性與準確度；同時以地震前後多時期 SPOT 衛星影像資料進行崩塌地自動判釋，分析 921 地震事件對於濁水河流域內崩塌地發育之影響。

除此之外水利署南區水資源局(2005)亦曾利用 SPOT 衛星影像與航空照片輔助調查曾文水庫集水區之崩塌地。蔡光榮(2005)等以遙測技術分析台灣中部集集地震災區崩塌地植生處理工程之植生指數，張崑宗等(2006)等利用類神經網路方法於高解析衛星影像及地形資料之崩塌地辨識，此類研究已有初步成果但結果評估及正確率仍需進一步改善。

變遷偵測

由於本研究中遙測之應用最主要是獲取地表覆蓋及變遷偵測崩塌等土砂災害地區，並改善現有變遷偵測方法，故以下回顧前人於此類之研究。Weismiller et al. (1977) 以分類後比較法進行土地的變遷分析，首先將兩時期影像，經幾何校正後，各自進行土地利用分類，根據分類比較其類別變化，可找出類別變遷之形態。此法可免除影像相減法上的缺點，即門檻值的選定及變遷類型的確認。除此之外，分類後比較法，是各自將影像分類，因此可依不同類別選定加以分析，並可以將大氣及感測器的影響減低，若分類後成果不佳，將會造成大量的變遷形態錯誤。因此本法較適用於類別單純、均質的地區。

Jensen (1981) 介紹了影像相減法、影像比例化、向量分析、主成分分析等數種變遷偵測的方法，並指出儘管人工影像比對之精確性可能比數位變遷偵測來得高，但卻需耗費大量人力與

時間且難以重複進行偵測。而部分變遷偵測如影像相減法與影像比例化，可能過於簡單而不足以判別多種之土地覆蓋變遷。並提及常態化差異植生指標（Normalized Difference Vegetation Index, NDVI）適用於監測植生之變化，其值介於-1~1 之間，如 NDVI 值越趨近於 1，表示綠色植物覆蓋率越高，反之，裸露地、水體、陰影等，其 NDVI 值則趨於 0 或負數。將前後時期影像相對應之 NDVI 值相減，即可得知地表植生變化情形，相減之 NDVI 值介於-2~2 之間，差異值越接近 2 表示該像元由非植生變遷為植生之機率越高；反之，差異值越接近-2 則該像元由植生變遷為非植生的機率越高。故可得相減時為正值時，代表綠色植物覆蓋增加，為負值時，則代表綠色植物覆蓋減少，此方法適合用於偵測植生的變遷。不論以何特徵為之，變遷偵測常需設定一門檻值以判定某像元是否為變遷，一般門檻值之選定可能因資料不同而有所差異且較為主觀，如 Nelson(1983)認為是否變遷之門檻值應為 0.5~1 倍標準差；而 Ridd 等人(1998)，分析得門檻值約在 0.7~1.4 倍標準差間；Yuan 等人(1999)則建議是 1 倍標準差，因此本研究擬以假設檢定的方式使門檻值之訂定有一標準可循。而以下將介紹常用之變遷偵測方法。

(1)影像相減法（Image Differencing）

影像相減法是最簡易的變遷偵測方法，將兩幅前後時期影像經幾何與大氣校正後，將兩幅影像其對應之灰階值直接相減，可得到一影像差值，理論上此差值會呈現常態分配，在判釋變遷上通常會訂定門檻值，如式 2-4。

$$\text{Threshold} = \text{mean} \pm N \times \text{SD} \quad 2-4$$

其中 mean 為此差值之平均值， $N \times \text{SD}$ 為 N 倍之標準差，以此門檻值作為判釋之依據，若差值大於 $\text{mean} + N \times \text{SD}$ 或小於 $\text{mean} - N \times \text{SD}$ 則表示變遷，反之，則視為無變遷。然而此方法易於操作，在使用上常會以混合光譜進行相減，如以 NDVI 相減，即是變遷偵測之一種方法。

(2)影像比例化（Image Ratioing）

此方法與影像相減法類似，需訂定一變遷門檻值，作為判釋之依據，亦是將兩幅前後時期經幾何與輻射校正影像，各像元其對應之灰階值相除，可得到一系列分布在 1/255~255 之間的比值，當比值靠近 1/255 或 255 之像元，其為變遷的機率越高，相對地，比值接近 1 的像元，其為無變遷的機率越高。

(3)主成分分析(Principal component)

Byrne et al. (1980) 使用主成分分析法進行變遷偵測，此法為一個處理遙測影像的有效工具，可將資料經由主軸轉換，將原始資料轉換成數個獨立不相關的主成份，由各個主成份來說明影像變遷的資訊，達到降低資料維度、提高處理效率及去除波段之間的高相關。作法為將前、後兩時期的衛星影像合併成一張影像，經過主軸轉換後，第一主軸(PC1)的變異數為最大，然後依序遞減。大部分的資訊會保留在前幾個主軸上，即表示前幾個主軸趨向不變遷之土地利用，而其後的主軸則會包含變遷土地的資訊。

此外 Ridd and Liu (1998) 以多時段 Landsat TM 影像進行都市的變遷偵測，先進行輻射值轉換成地表反射值去除大氣的影響，再用兩個不同時期相減之影像，計算出各個像元之 Mahalanobis number，若為 0 表示未發生變遷，但實際情況大部分的地區皆不等於 0，故需訂定一變遷門檻值，輔助判釋出變遷的地點，此方法適用於多時段光譜之影像。常 (1995) 當地表

物變遷時，其光譜反應亦可能隨之變化，所以利用前後期影像之不同波段，當作 X 軸及 Y 軸，將不同的地物光譜反應繪於座標上，而光譜反應相似的地表物，在座標系統中會群聚在一起，此為描述從第一時期到第二時期光譜反應之方向與強度，即為變遷向量，此向量的特性：一為向量之強度用已判斷地物是否變遷，若強度超出門檻值，則認定地表物變遷；另一特性為變遷的類別型態，隱含於向量的角度，然而變遷門檻值的決定往往必須使用試誤法或經驗法則，因此變遷偵測的結果不夠客觀。呂(2001)採用 5 個不同時期之 SPOT 多光譜影像，進行頭前溪流流域植生覆蓋之研究，其選擇之影像皆為植生茂密的夏季，對於植生區域的萃取，為根據植生對於不同光譜的反射特性，採用兩種植生分類方法，分別為：直接以 NDVI 分類及利用 NDVI 輔助原始光譜分類兩種，並由分類成果比較不同分類方法之差異，再以不同分類成果進行變遷分析，並比較採用影像相減法所得之變遷成果。

Cheng 等(2004)以 SPOT 多光譜影像為資料，偵測台大實驗林集水區變遷地點，影像經一般克利金定位後，並以光譜波段灰階比值消除部分大氣散射、漫射與坡度造成日照不均等影響，同時考慮與比較影像像元灰階組體圖尖峰對齊與直接相減，兩者不同變遷百分比所決定之變遷門檻值與地表變遷發生地點之差異性，結果顯示尖峰對齊法較能準確的判釋出地表變遷的狀況。張等(2006)則以類似方法應用於變遷偵測。江(2005)假設前後兩時期影像構成之散佈圖為雙變數常態分佈，並以假設檢定方式，以某點無變遷為虛無假設，拒絕虛無假設之像元視為變遷。分析各類別未變遷像元之聯合機率，再劃定信賴區域以外之離群值為變遷，如此在得到變遷地區的時，可提供其為變遷之信賴水準。此變遷偵測方法雖有不錯結果，但以何特徵判斷變遷較佳仍須深入研究。

遙測最普遍的應用為地表覆蓋分類，而分類與變遷偵測相關研究在國內外皆有豐富成果，故未來應用衛星遙測影像配合分類理論及變遷偵測新方法的提出，再輔以數值地形分析應可大幅提升崩塌地判釋的正確性，使遙測於水土保育及集水區治理中能發揮更大功效。

氣候變遷

由於氣候變遷問題日易受重視，關於氣候變遷的研究，在國際間主要以模擬兩倍二氧化碳時，或假設不同情境(Scenario)時之氣候變遷及其對環境之衝擊，如 1988 年成立的氣候變化政府間專家委員會(IPCC, The Intergovernmental Panel on Climate Change)長期致力於本領域相關研究，已有初步成果，提供國際社會有關氣候變遷的資訊，如其第三次報告中(The third Assessment Report, TAR, 2001) 6 類常用情境 SRES 顯示對於氣候變化之趨式考慮已相當多元化，而 IPCC 認為氣候變遷的衝擊可能有溫度上升、雨量變化、颱風頻率及強度增加、極端氣候事件增加、海平面上升、生態平衡的改變等等。IPCC 將脆弱度闡述為系統易受影響的程度或不能因應氣候變異和極端氣候事件等氣候變化的衝擊，故脆弱度應屬環境系統內氣候變化特徵、幅度、變化速度、敏感性、及適應能力的函數(IPCC, 2001)。

由於大氣環流模式複雜，且牽涉因子廣泛，因此各模式模擬之結果有差異性存在，但氣候變化之趨式取頗為一致(IPCC, 1990, 1992, 2001)；柳中明等(1995)曾模擬氣候變遷對台灣地區氣候之影響與變化；吳明進(1996)曾蒐集 IPCC 資料並分析台灣近百年氣候變化現況，發現台灣全島溫度明顯上升，此情況在夏季尤其顯著，但冬季不明顯，此溫度上升會造成蒸發散潛勢的增加，對水資源供應形成負面影響；而雨量的變化則為冬季減少而夏季增加，即乾季更乾濕季更

雨，使水資源之調配更加困難；范正成等（2013）評估氣候變遷對高屏流域崩塌潛勢之影響有初步成果。而一般 GCM 模擬結果對氣溫變化趨勢結論較一致，較雨量之模擬更為可信，故以 GCM 進行未來極端氣候之預測仍未有具體成果，氣候變遷對極端降雨的影響仍是未來待努力的議題。

雨量站網設計

雨量站網評估與設計的研究為水利工程中之一項重要課題，早期就開始這方面的研究，而其中所用的方法、原理有變異數(Variance)分析、空間相關函數 (Spatial-correlation Function)、克利金法(Kriging)還有本研究所採用的訊息熵(Information Entropy)等等。在此僅針對以訊息熵的方法為出發點的研究作簡單的介紹。

Casleton and Husain(1980)將 Shannon 的 Entropy 用在水文站網的設計評估,他求出各站之熵值,再內插得較多點位之熵值,以此值畫出等值線,用以設計站網,但其中只考慮到各測站以及內插加密以後各點的熵值,並未考慮研究區域整體資訊的重覆或相關性。

在 Husain, Ukayli and Khan(1986)氣象站網的設計研究中,直接以各站之熵值來做設計之依據,亦未曾考慮到各站與整個集水區系統間的整體的資訊轉移之相關性。此外 Harmancioglu and Yevjevich (1987)曾以熵度量同一流域中,河川的各流量站水文資料的最大可轉移資訊。

Kristanovic and Singh(1992a,b)應用熵理論來做雨量站網的評估。他們認為不確定性愈大的地方,表示其降雨的變化愈大,則愈是難以掌握,而若欲掌握降雨的分佈則需在不確定性較大的位置設站,以取得該處之降雨資料,故選擇不確定性最高的站為最重要的站,然而此站對系統的代表性尚值得探討;但其中另需考慮各站間資訊轉移的情況;並畫出等資訊線,即由非轉移資訊畫出等值線(依所需站數畫出該站數之等值線),則可以瞭解在整個集水區系統中,資訊轉移的狀況。以考慮整個集水區系統內之降雨分佈,在該研究中考慮到了各站與整個系統之資訊相關性(取相關性較小的站加入),故能達到重覆資訊最少的要求。但此分析無法客觀判斷實際需要測站數目,且測站對整體系統之代表性也值得商榷,而針對防災預警目的需求所採用變數需另做考量,而國內亦有雨量站網相關研究(鄭士仁,1993;葉惠中,1999;江介倫等,2000;衛強等,2011)基於前人研究,後續予以依本研究需求改良應用。

參、研究方法與理論

如前述,國內土砂災害因子分析及降雨警戒值已有部分成果,然而對於極端降雨時間與空間特性分析及防災預警雨量站網設計與坡地二次災害臨界降雨基準值之研擬仍有進一步發展的空間,因此本研究除建立水文地文資料庫外,首先由衛星影像獲取崩塌地變遷與擴大之資訊,並分析極端降雨時間與空間分佈變異,結合上述二者,進行一系列相關分析探討坡地二次土砂災害與極端降雨致災特性。

並由各站頻率分析結果訂定集水區均一尺度之極端降雨範圍,再以指標克利金理論分析土砂災害致災風險及極端降雨致災臨界基準值,進而以信息熵理論為基礎,擬定防災預警為目的之雨量站網設計標準程序,並實際已曾南烏雨現有雨量站評估雨量站網重要性順序,最後達成曾南烏三水庫集水區內坡地二次土砂災害之極端降雨臨界基準值檢討與建議,因此本研究計以

三年研究期間深入探討此問題，各研究階段之主要目標及其研究之方法理論詳述如下：

第一年建立水文、地文資料庫後，主要目標在由衛星影像獲取崩塌地變遷與擴大之資訊，並分析極端降雨時間與空間分佈變異，最後探討降雨導致崩塌擴大之相關性及坡地二次土砂災害與極端降雨致災特性之關係。其中主要應用之方法理論，有灰關聯分析、迴歸分析與主成分分析，時間序列資料之空間變異分析及衛星影像應用於崩塌變遷技術的改進，其中後二者較有理論發展應用之挑戰性。

第二年在分析水文改變指標及極端降雨時間空間變異後，主要目標在於由各站頻率分析結果訂定集水區均一尺度之極端降雨範圍，進而探討坡地二次土砂災害之極端降雨致災臨界基準值，而本年度另一項重要工作為將極端降雨事件之時空間變異分析成果其應用於雨量網設計模式中，第二年主要應用之方法理論計有崩塌地變遷地景指標分析與應用指標克利金於降雨致災超越機率分析。

第三年綜合前兩年研究成果，檢討曾、南、烏三水庫集水區中上游水文環境變化，探討氣候變遷下水土保持設計水水量，並以防災預警為目的設計雨量監測站網，並完成不安定指數法應用在崩塌潛勢之改良及土砂災害之極端降雨致災臨界基準值。

以下針對本研究各年過程中用到的之方法與主要理論依序簡要說明如下(常用基本理論如水文頻率分析等之理論則不贅述)：

- 1 不同尺度資料整合
- 2 崩塌地地景指標對水文環境影響
- 3 崩塌地變遷偵測理論
- 4 因應極端降雨水土保持設施設計檢討
- 5 指標克利金
- 6 雨量站網設計

以上各項方法理論依序簡要說明如下：

3-1 不同尺度資料整合

由於集水區資訊包含多項水文、與地文因子。且有多項不同來源、不同類型的資料，例如數值地形模型(DTM)、衛星影像、水文站紀錄等等，多樣資料，其中涵蓋了時間資料與空間資料，如圖 3-1-1 所示，若能將所有資料整合獲取有利資訊將對土砂災害防治及集水區治理有莫大助益。這些資料涵蓋「點」資料及「面」資料，或有少數「線」資料，「面」資料間又包含多種不同空間解析度。而不同尺度之資料不應混用，因此不同尺度資料之整合必須透過尺度轉換原理達到，以使這些不同尺度之資料能結合成有效資訊。如圖 3-1-2 所示由較低解析度資料轉換較成高解析度資料之過程稱之為降尺(downscaling);反之由較高解析度資料轉換為較低解析度資料之過程稱之為擴尺(upsaling)如區域平均雨量的計算，即是由點資料轉成面資料，就屬擴尺；擴尺方法有很多，如加權平均(如式(3-1-1))就是其中一種簡單的擴尺方法，本研究將一資料不同特性選擇適合之尺度轉換方法，以利整合不同尺度之資訊，如圖 3-1-3 所示之概念。

$$Z_1^{20m}(x_1) = \frac{1}{4}(Z_{adj}^{10m}(y_1) + Z_{adj}^{10m}(y_2) + Z_{adj}^{10m}(y_3) + Z_{adj}^{10m}(y_4)) \quad 3-1-1$$

由 $Z_2^{10m}(y_1)$, $Z_2^{10m}(y_2)$, $Z_2^{10m}(y_3)$, and $Z_2^{10m}(y_4)$ 我們可以計算得修正後之灰階

$Z_{adj}^{10m}(y_1)$, $Z_{adj}^{10m}(y_2)$, $Z_{adj}^{10m}(y_3)$, and $Z_{adj}^{10m}(y_4)$ 詳如下式：

$$Z_{adj}^{10m}(y_1) = \frac{Z_2^{10m}(y_1)}{Z_2^{10m}(y_1) + Z_2^{10m}(y_2) + Z_2^{10m}(y_3) + Z_2^{10m}(y_4)} \cdot 4Z_1^{20m}(x_1) \quad 3-1-2$$

$$Z_{adj}^{10m}(y_2) = \frac{Z_2^{10m}(y_2)}{Z_2^{10m}(y_1) + Z_2^{10m}(y_2) + Z_2^{10m}(y_3) + Z_2^{10m}(y_4)} \cdot 4Z_1^{20m}(x_1) \quad 3-1-3$$

$$Z_{adj}^{10m}(y_3) = \frac{Z_2^{10m}(y_3)}{Z_2^{10m}(y_1) + Z_2^{10m}(y_2) + Z_2^{10m}(y_3) + Z_2^{10m}(y_4)} \cdot 4Z_1^{20m}(x_1) \quad 3-1-4$$

$$Z_{adj}^{10m}(y_4) = \frac{Z_2^{10m}(y_4)}{Z_2^{10m}(y_1) + Z_2^{10m}(y_2) + Z_2^{10m}(y_3) + Z_2^{10m}(y_4)} \cdot 4Z_1^{20m}(x_1) \quad 3-1-5$$

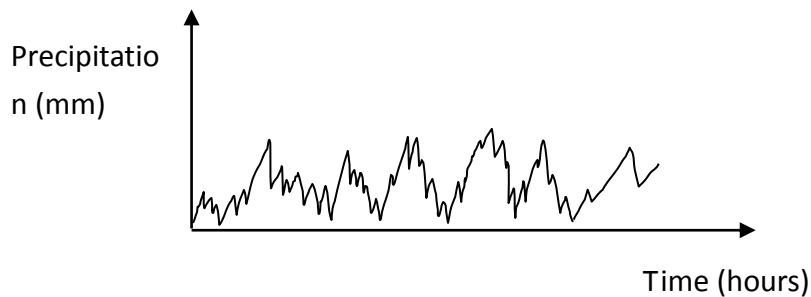


圖 3-1-1(a) 時間序列資料 (如降雨)

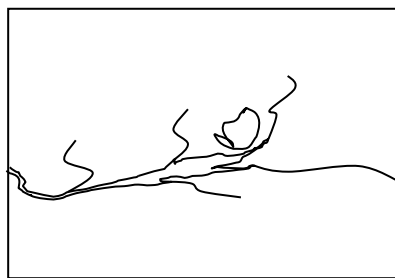


圖 3-1-1(b) 空間資料 (如衛星影像判釋得之崩塌地圖)

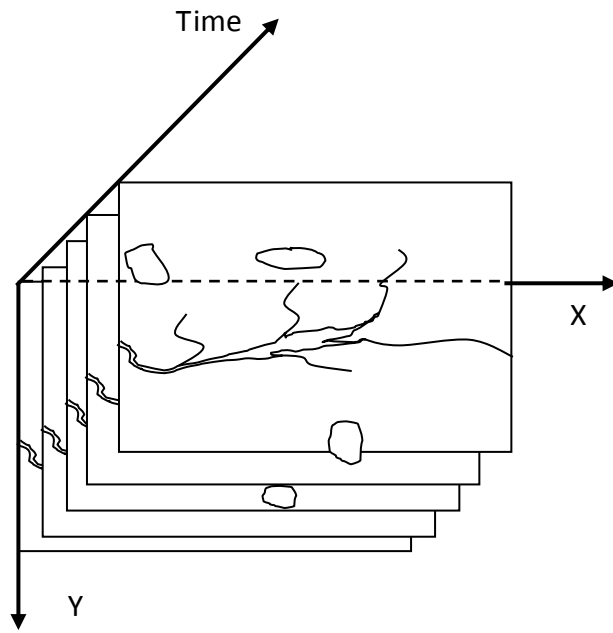


圖 3-1-1(c) 時空資料(如多時其之崩塌地圖，可顯見崩塌地之變遷)

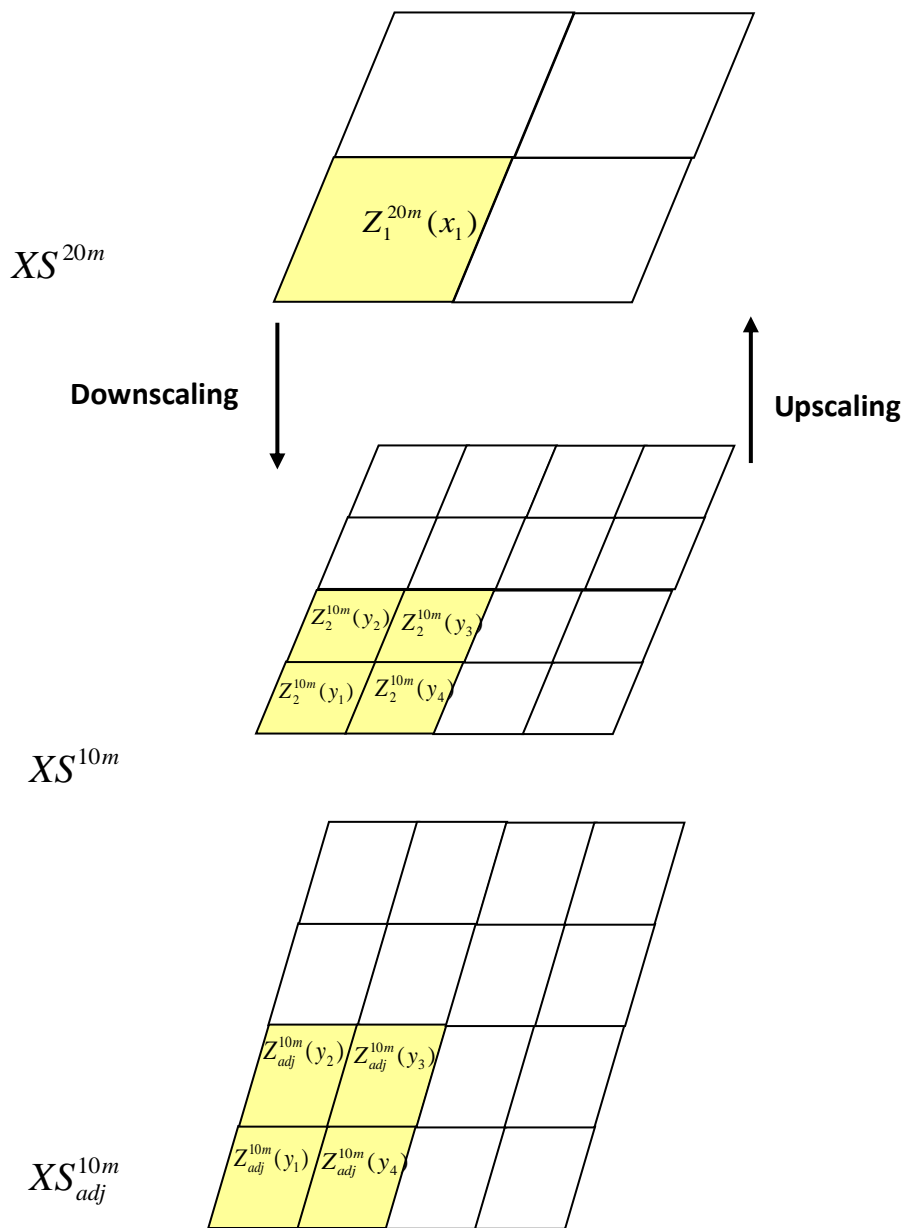


圖 3-1-2 尺度轉換概念示意圖

註：

- XS^{20m} 20m 解析度之網格資料
- XS^{10m} 10m 解析度之網格資料
- XS_{adj}^{10m} 10m 解析度且修正後之網格資料

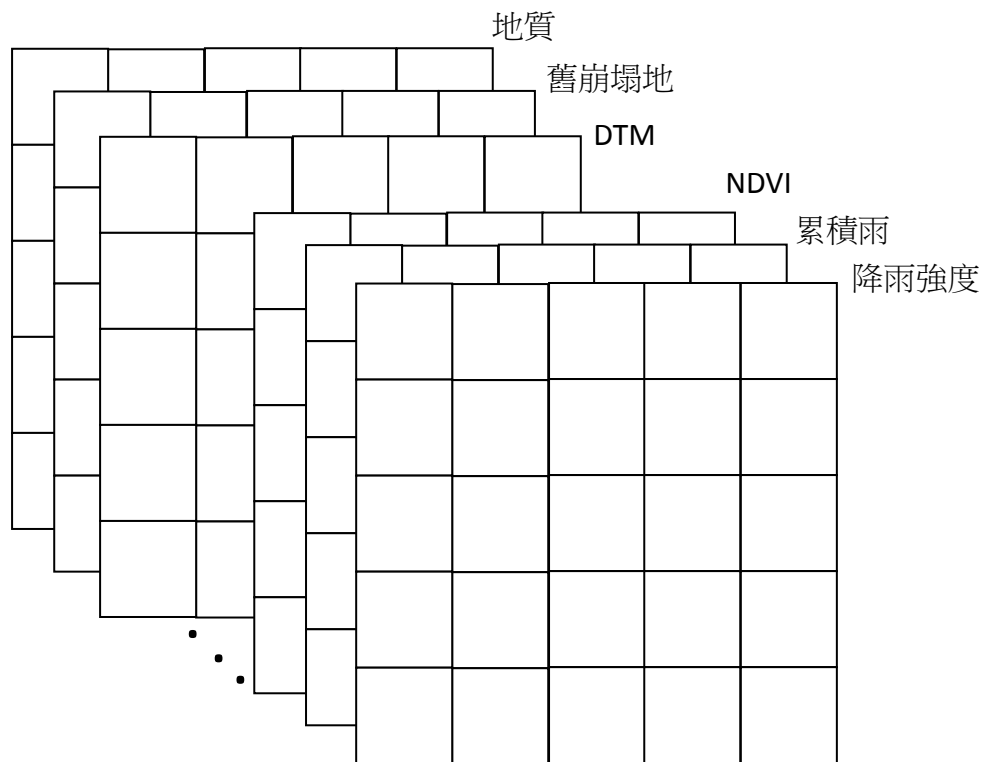


圖 3-1-3 不同類型、不同解析度之資料透過尺度轉換及空間分析得以套合

3-2 崩塌地地景指標對水文環境影響

19AD，德國學者 A.Von Humboldt，將景觀（Landscape）視為一地的所有特徵。1939 年，德國學者 C.Troll，將地理學和生態學概念相結合（空間、時間），可將其定義為對景觀某一地段土生物群落與環境間的主要的、綜合的、因果關係的研究，這些相互關係可以從明確的分佈組合和各種大小不同等級的自然區劃表現出來。本研究並擬將之應用於探討崩塌區塊之分佈及其對水文環境與致災的影響。

所謂地景生態指標係指利用土地利用之空間圖層資料，進行嵌塊體特性的量化。量化地景結構為瞭解地景功能與變遷不可或缺的程序，而地景指標可即時描述地景的空間結構，它可以提供鑲嵌體的資訊，如區域內每一地景型態或類型的百分比或地景要素所組成的形狀，其為描

述嵌塊體或嵌塊體之鑲嵌體的幾何與空間特性（空間的等質性）之工具，地景指標會隨著地景屬性而改變，彼此有高度的相關，故地景指標能夠將地景異質性與棲地破碎化的程序量化，提供地景類型與程序較佳的瞭解。近年來由於地理資訊系統（Geographic Information System, GIS）的空間分析技術成熟，再加上高解析力的衛星影像取得容易，使得地景生態指標的應用有顯著的增加。景觀是由區塊、廊道、基質等景觀要素組成。可將研究區域分為嵌塊體（Patch）、廊道（Corridor）、基質（Matrix）是不容易的，依景觀結構的劃分與觀察者的尺度（Scale）有關。

3-2-1. 平均嵌塊體大小（Mean Patch Size, MPS）

嵌塊體大小是影響單位面積生物量、生產力和養分貯存，以及物種組成及多樣性的主要變量。嵌塊體內的能量或養分總量與其面積成正比，大嵌塊體能量和礦質養分含量較小嵌塊體多，能提供較多的生物生存的空間及所需的養分，故嵌塊體面積愈大，生物多樣性愈越高，而面積較大的嵌塊體可擁有較多的棲地，可較小嵌塊體容納較多數量之物種。

$$MPS = \frac{A}{N} \times \frac{1}{10000} \quad 3-2-1$$

MPS > 0；單位：m²/ha；A：嵌塊體面積；N：嵌塊體數量

當分割一個較大嵌塊體成為二個較小的部分，會改變其內部的棲地，導致減少其內部物種的組成和數量，而這些物種通常是具保存重要性的。一般來說，較大的嵌塊體比較小的嵌塊體具有較大數量且規模尺寸的慣常物種。如果嵌塊體較小或是為低棲地品質的嵌塊體，則物種演變成局部滅絕的可能性較大。

3-2-2. 嵌塊體數量（Number of Patches；NP）

嵌塊體數量的縮減（即為降低物種所依賴的棲地數量）會造成棲地消失，導致物種減少，降低棲地之多樣性。遷移嵌塊體會導致物種族群與族群之間的相互作用減少，從而增加當地物種滅絕的可能性，減緩拓殖（recolonization）的過程且影響族群數量轉變的穩定性，故維持一定的嵌塊體數量對於生物多樣性的保育實為重要。

$$NP = N \quad 3-2-2$$

NP ≥ 1；單位：無單位

3-2-3. 平均形狀指標（Mean Shape Index；MSI）

嵌塊體的形狀對於生物的散佈和覓食具有重要作用，以圓形或長形說明嵌塊體的生態作用（表 B-1），主要區別在於內（內部）- 緣（邊緣）比例的差別：1. 圓形嵌塊體如邊緣區寬度相同，則嵌塊體愈小，邊緣所占比例愈大，內部比例愈小，甚至整個嵌塊體都是邊緣部分；2. 嵌塊體大小相同，形狀不同，則圓形嵌塊體的內-緣比高，狹長嵌塊體比值較低，有些狹長形嵌塊體可能無內部，圓形嵌塊體邊緣帶所占比例較小，因此與基質的相互作用較小，而內部所占的面積比例較大，除了邊緣種外，尚能提供非邊緣種之生存條件，所以增加了生物的多樣性，而長條形嵌塊體則對邊緣種較為有利，而嵌塊體空間結構特性對其內部之生態效應如表 B-2 所示，平均形狀指標估算公式如下：（MSI 值等於 1 時表示地景是由單一的圓形嵌塊體所組成，較高的 MSI 值表示地景中嵌塊體形狀較不規則，有較多的邊緣生育地）

$$MSI = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[\frac{P_{ij}}{\sqrt{2\pi \times a_{ij}}} \right]}{N}$$

3-2-3

MSI \geq 1；單位：無單位；P_{ij}：嵌塊體周長；A_{ij}：嵌塊體面積

表 3-2-1 圓形與狹長形嵌塊體生態意義之比較

指標	圓形	狹長形
內-緣比	高	低
邊緣寬度	小	大
與基質的交互作用	小	大
嵌塊體內部障礙物	少	多
生態異質性	小	大
作為動物廊道的價值	小	大
物種多樣性	多	少
動物覓食效應	多	少

表 3-2-2 嵌塊體空間結構特性對其內部之生態效應

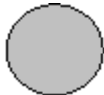

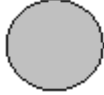
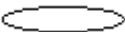






效應	較優	較劣	說明
面積			大面積比小面積為佳
形狀			圓形或方形較狹長行為佳
隔離程度			緊密排列較分散為佳
隔離程度			非直線其隔離程度較佳
連接程度			生態廊道可減少生物移動的難度

表 3-2-2 顯示出嵌塊體的空間結構特性對該嵌塊體內部的生態影響，亦即大面積嵌塊體規模、越接近密實的圓形或方形的嵌塊體形狀、嵌塊體間隔離程度低或緊密的排列，以及具有連接廊道的嵌塊體等特性，對於嵌塊體的生態多樣性或生態穩定性有較佳的助益。

3-2-4. 嵌塊體密度 (Patchiness ; P)

嵌塊體密度為所有類型嵌塊體密度或表現優勢的嵌塊體之量測。森林的破碎化導致高嵌塊體密度以及影響物種授粉、遷移、繁殖與活動的廊道。天然地景的干擾會增加嵌塊體的密度並降低基質的連接度。

嵌塊體密度可視為地景中邊緣效應總量的指標，會影響地景中動植物種類之間的隔離程度及潛在基因多樣性。嵌塊體密度較高，表示基質中有許多散佈的小嵌塊體，整個地景中有較多的邊緣生育地，對需要內部生育地的物種較為不利；嵌塊體密度較低，表示地景的破碎度較低，地景要素之間的相互影響較小。

$$P = \frac{\sum_{i=1}^N D_i}{N} \times 100 \quad 3-2-4$$

D_i ：類型 i 之嵌塊體數量； N ：總嵌塊體數量

3-2-5. 孔隙度 (Porosity ; PO)

孔隙度為量測特定類型之嵌塊體密度或嵌塊體的數量，其可以提供物種隔離程度和潛在基因的變異的總線索。評價孔隙度只要簡單的計算現有的嵌塊體數量，即包括基質內單位面積中閉合邊長的嵌塊體數量，具有閉合邊長的嵌塊體數愈多，代表該基質含有較多的孔隙，例如只有一條邊界穿過所研究的地景，邊界的兩端皆與周界相交，此時孔隙度為 0；孔隙度計算之公式論述如下：

$$PO = \sum_{i=1}^n CP_i \quad 3-2-5$$

CP_i ：地景類型 i 之閉合嵌塊體數量

一般而言，孔隙度為邊緣效應總量指標，孔隙度低表示地景內有相當偏僻的地區，這對需要遠離邊界棲地條件的物種是至關重要的。而孔隙度與動物覓食有密切的關係，因為適宜的嵌塊體密度對於野生動物獲得足夠食物與供養穴中的幼仔是很重要的，森林地景中皆伐孔隙度對於野生動物的管理亦相當重要。而較低的孔隙度，可能會抑制嵌塊體間物種的交換作用，其地景要素間相互作用較低、同質性高且地景破碎度較低；高孔隙度則反之。

3-2-6. 散布性 (Interspersion ; PI)

散布性指標為棲地/地景空間混合的量測，其利用非物種特定方法計算，如利用不同於中央網格的周圍網格的數量，該指標可以表現出地景的異質性或同質性且示出地景多樣性 (Landscape diversity)。

$$PI = \frac{\sum_{i=1}^N SF_i}{N} \times 100\% \quad 3-2-6$$

$$SF_i = \sum_{j=1}^m \frac{\text{edge}}{\sqrt{\frac{\text{area}}{\pi}}} \quad 3-2-7$$

edge：嵌塊體邊緣在 X 及 Y 維度之長度

area：j 嵌塊體在 i 地景類型中所占之面積

N：邊緣總長

地景多樣性是表示嵌塊體種類多寡的方法，而嵌塊體的種類亦會影響生物多樣性，當地景多樣性較高時，嵌塊體的種類愈多，即在相同面積下，會呈現較多的地景種類，其生物多樣性會高於種類單純的地景，這是因為不同物種需要不同的地景以供他們生長、覓食、遷移、繁殖及渡冬，因此種類繁複的地景遠比種類單純的地景能供較多的物種生存。利用地景多樣性來推估生物多樣性時，當地景由單一變得複雜時，總面積內的生物多樣性有增加的趨勢，而每一嵌塊體內生物多樣性的變化則隨著其內物種遷移的能力而有增加或減少的趨勢。而地景生態學中之多樣性原理亦說明當地景異質性增加，會減少內部種的豐度，而增加邊緣種的豐度，提高潛在總動物種的共存性，因此嵌塊體內部棲地的異質性越高，適應多重棲地類型的生物相對增加，整體生物種類也會增加，生物多樣性越高。

3-2-7. 連接度 (Juxtaposition ; J)

嵌塊體的連接度決定了干擾的強度，因此，天然或人為植群型的鄰近度可藉由連接度估算。連接度為植群型鄰近或接近程度的量測，因此為類型/物種特定的量測，利用不同土地利用型或植群型之權重為基礎，進行估算。嵌塊體間的距離會干擾授粉、種子傳播、野生動物在嵌塊體間的移動與交配，故嵌塊體連接度對於生物多樣性的影響頗鉅。

$$J = \frac{\sum_{i=1}^n D_i (J_i)}{J_{mn}} \quad 3-2-8$$

D_i ：地景類型形狀之權重； $D_i J_i$ ：相鄰地景類型之邊緣長度； J_{mn} ：每個生育地中最大的邊緣長度

地景破碎化為地景生態學與地景生態規劃等相關領域之主要研究核心。地景破碎化主要來自於大尺度森林、草原、溼地等棲地逐漸破碎，喪失許多原有的生態功能，而導致生物多樣性降低、族群數量減少、物種滅絕的機率升高等。地景破碎化之理論基礎源自於島嶼生物地理學 (Island biogeography)，為 60 年代所發展出來的理論，其分析概念獨具空間的具體形象：破碎化的過程，使得各嵌塊體之間在地理空間上產生隔離，並直接危及到大部分對於邊緣空間十分敏感的內部物種 (Interior species)。

地景破碎化之成因有三大要件，即原始棲地的喪失；棲地嵌塊體大小的縮減與棲地嵌塊體隔離度 (Isolation) 的增加。其中棲地喪失的影響遠比其他棲地破碎產生的影響來的大；隔離是由於非棲地基質中所殘留的棲地間相距較遠且分散，其結果將導致基因層級生物多樣性喪失的潛能，因為它降低族群間基因的交換，容易導致物種的滅絕。基本上，嵌塊體遭受隔離、嵌塊體面積減少，會增加遭受外界環境干擾的機率，如外來物種之入侵或物理狀態的改變，而這些效應都將導致生物多樣性的衰退，造成生態系穩定性與回復力的降低。而人為活動如農業與都市發展、道路建設，皆為造成地景破碎化的主要原因。人為活動會改變地景結構，使林地覆蓋的減少及地景破碎後剩餘多且小的孤立單元，並影響生態過程，不但降低了嵌塊體間的連結性 (Connectivity) 及嵌塊體形狀複雜性 (Complexity of patch shape)，並產生高比例的邊緣生育地 (Edge habitat)，亦即土地覆蓋型內的生育地將產生內部變化。而道路開設創造了人類遊憩、

居住發展活動的管道，進而直接或間接導致物種棲地的喪失或改變，降低棲地維持原本生物多樣性的能力。野生生物棲地與族群的破碎化，係人類支配地景之常見結果，許多在人為地景中殘存的物種，常依賴各個破碎棲地的連結而存活。因此，在地景的規劃上，首要之務即是連繫已破碎化之生態棲地，許多文獻亦表示棲地的連接性，對於破碎地景植物和動物族群的持續具有相當的重要性，亦即連結隔離的嵌塊體，將有助生物多樣性的維持。以往地景指標多被用於生態景觀、生物棲地及其對生物多樣性的影響，本研究透過地景指標計算崩塌的嵌塊體，以評估地文環境變化，探討集水區水文特性變化及致災影響。

3-3 崩塌地變遷偵測理論

台灣以往應用衛星影像於土砂災害或崩塌地的判釋分析的研究已有部分嘗試，但由於分類方法對崩塌地之判釋正確率仍不高，且變遷偵測方式大多簡單的以前後期影像相減為之，故正確性仍有改善空間，且對於此類分析結果的評估技術尚未成熟。然國內此領域之初步應用已有多年嘗試，當可逐漸深入探討、改良方法以提高判釋正確性。

影像變遷偵測是遙測學中非常重要的課題，近年來衛星遙測技術發展快速，衛星影像資料的品質提高，因為其迅速且大面積的得到地面訊息的優點，使它成為環境資源及災害監測的一大利器；其中變遷偵測是應用影像資料最常見的需求，也是各領域研究過程中常用的工具，本研究即利用衛星遙測影像對研究區域地崩塌地變化，藉由比對不同時期影像，以瞭解極端降雨事件後崩塌地變化。

以原始崩塌地位基礎，假設前後期末變遷地區影像，其於不同的類別中皆為二元常態分配(Bivariate Normal Distribution)，即為，若 (x_1, x_2) 為二元常態分配， $(x_1, x_2) \sim \text{BVN}(\mu_1, \mu_2, \sigma_1^2, \sigma_2^2, \rho)$ ，雙變數常態分佈密度函數(bivariate normal density function)如式(C-1)(Tatsuoka, 1988) 所示。

$$\phi(X_1, X_2) = \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2\sqrt{1-\rho^2}} \exp\left\{\frac{-1}{2(1-\rho^2)}\left[\frac{(X_1-\mu_1)^2}{\sigma_1^2} + \frac{(X_2-\mu_2)^2}{\sigma_2^2} - 2\rho\frac{(X_1-\mu_1)(X_2-\mu_2)}{\sigma_1\sigma_2}\right]\right\} \quad 3-3-1$$

由於各類別在特徵空間中之分佈會有各自的分佈型態，如圖 3-3-1 所示。因此本研究在偵測變遷前你執行預分類工作，以單獨獲取各類別之特性參數。3-3-1 式中之參數以未變遷之像元來決定，並以此聯合機率訂定顯著水準與建立信賴區間，透過式 3-3-1 的計算，我們預期可得到各個類別於前期與前後期之散布圖及其信賴區間，如圖 3-3-2 所示。

變遷像元之決定

變遷像元之決定上，傳統要訂定一個變遷門檻值，再逐一比較像元灰階值是否高於此門檻值，作為變遷判釋的依據，然而變遷門檻值的決定往往必須使用試誤法或經驗法則，因此變遷偵測的結果不夠客觀。本研究嘗試以信心水準的方式訂定變遷門檻值。其方法介紹如下，以上述之方式建立各個類別(C1、C2、C3)的二元常態條件機率分配，當前期影像於某一個像元其類別為 C1 時，則此像元以 C1 之條件機率參數，並使用前後期影像差值之第一主成分進行標準化，透過以前期影像為條件，使得前後期影像差值成為單維之標準常態分配。假設我們有 α %之顯著水準，來判斷此像元有發生變遷，則可訂出 $(1-\alpha)$ %之信賴區間，最後以此像元之標準化值，判斷其是否落於 $(1-\alpha)$ %之信賴區間，若有落於 $(1-\alpha)$ %信賴區間之內，則表示此像元沒有變遷，反之，則表示變遷。以上述之步驟，逐一完成所有像元的計算，方可得到整幅影像變遷偵測的結果。

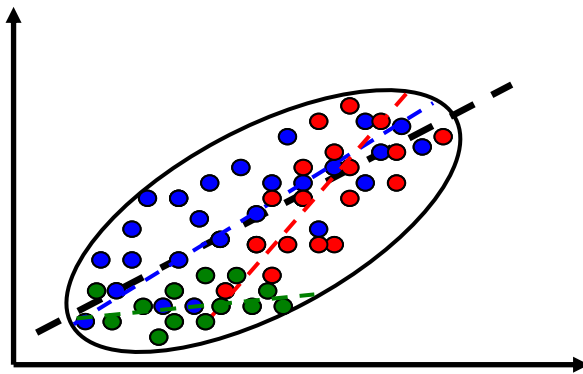


圖 3-3-1 各類地物分佈示意圖

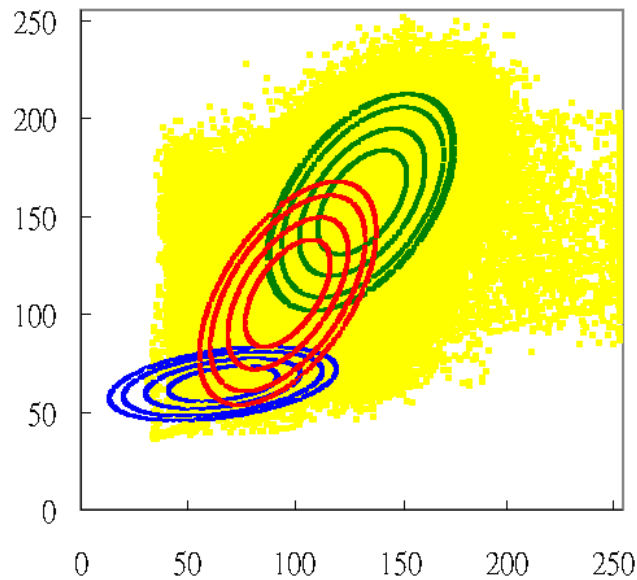


圖 3-3-2 二元常態聯合機率分布圖

註：由內而外分別為 50%, 75%, 90%, and 95% 之信賴區域，不同顏色表不同地物類別

3-4 因應極端降雨水土保持設施設計檢討

近年來因為人為或自然因素造成全球暖化、氣候變遷等環境之衝擊，由於溫度及降雨量的變化，在水資源方面將造成最直接與最快速的衝擊。加上台灣地區地形坡陡流急，降雨時間、空間分布又極不平均，921 地震後地質鬆動導致土石災害嚴重且頻繁。因此氣候變遷台灣土砂災害的衝擊實不可忽視，以往於氣候變遷對水資源等面象的衝擊評估及因應策略研究已有豐碩成果，但於土砂災害之影響分析則尚未成熟，目前國內氣候變遷領域之研究已有多年基礎，當可逐步邁入對土砂災害影響之評析。

然氣候變遷對於水文環境的衝擊主要是溫度的升高及降雨量與連續不降雨日數及颱風次數

的增減，其影響包含極端水文事件造成的洪水或乾旱等災害；其中洪災常附帶有嚴重的沖蝕與土砂災害。氣候變遷衝擊包括(1)長期氣候變遷(2)短期氣候變異(3)氣候據變；其影響之時間尺度與變動速率均不同，對環境資源之影響亦不同(童,2006)，為避免氣候變遷衝擊永續發展推動，當務之急在建立系統性之脆弱度評估方法，脆弱度為衝擊與調適策略之函數，如下圖 3-5-1(a)所示，不管自然或人為系統之脆弱度會因為氣候變遷衝擊而有影響，同時脆弱度會因為適當調適策略（如相關設施設計容量之改變）而減輕不利衝擊而降低脆弱度，當然不當調適策略反而會強化氣候變遷衝擊。永續發展量化分析之基礎為經濟社會持續發展所累積之衝擊在過去、現在、與可見之未來均不可超過環境承载力。因此在探討氣候變遷對永續發展之衝擊就需針對氣候變遷與調適策略對累積衝擊與環境承载力之影響進行分析。

系統脆弱度會因為適當調適策略而減輕不利衝擊而降低脆弱度，當然不當調適策略反而會強化氣候變遷衝擊，每一個系統均有其可處理環境變動之能力，如圖 3-4-1(a)所示，然氣候變遷可能導致環境變動加劇而超過系統可處理範圍（coping range），導致系統面臨較多之風險，而要降低致災風險，則系統除了自我調適（autonomous adaptation）外，更重要的是建立計畫性調適(planned adaptation)能力以可強化處理範圍（如檢討水文設計量），如圖 3-4-1 (b)。

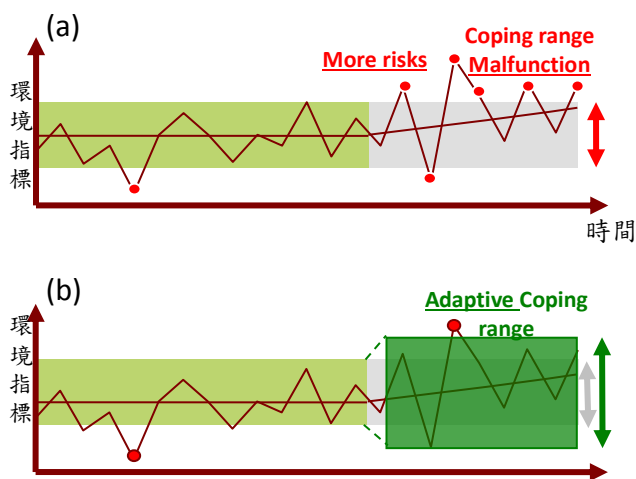


圖 3-4-1 環境變遷與調適能力建構

以土砂災害為例，例如防砂壩或其他水土保持相關設施之興建及其他水文設計參數，如頻率分析結果與長期氣候變遷有關而與短期的氣候變異較無關。例如颱風洪水災或是因其造成的土石流災害等快速且直接的災害，於防災體系已有豐碩成果，而氣候變遷屬於長期緩慢的變化甚至較不明顯，但卻是不可回復或難以回復的，若不未雨籌謀後果有如水煮青蛙一樣，青蛙在慢慢加熱的水中並無警覺，終至被煮熟的命運，幸而今日國內外對氣候變遷在水土資源領域之研究已受重視且起步。因此本研究擬由歷史監測資料之統計特性與趨式分析出發，輔以 IPCC 所發展的全球環流模式(GCM) 模擬情境 RCP26,45,60,85 下評估未來降雨變化趨勢，並檢討相關設施之設計量。

3-5 指標克利金

本研究引進地理統計學中之指標克利金之概念，以 0、1 二元的表示方法來表示某一像元是否小於某一門檻值，若該像元屬於該類則指標數值為 1；克利金法在空間統計領域中發展已久，且被各界廣為應用，而其中**指標克利金法**因為具有分佈自由(Distribution free)之特性，並且可以容許資料上的偏歪，因此以往多被應用於土壤污染風險方面之研究。而 Bierkens and Burrough(1993)，將指標與二元化之概念應用在地下水位分級的問題中，因此本研究擬應用指標克利金法之原理與特點，分析空間中不同位置之某一降雨量致災機率，進而求得臨界降雨基準值（包含**強度與累積雨量**）。

指標克利金在傳統應用上，例如在土壤污染之應用等，大多以指標函數將所有已知點轉換成 0 與 1 的二元值，再以一般克利金或簡單克利金法推求各分級發生之條件機率。以下將簡單介紹指標克利金法的理論，及其應用之概念與程序。

3-5-1 指標克利金基本理論

指標克利金 (indicator kriging) 為非線性地理統計的方法，或可稱為無母數地理統計 (Nonparametric Geostatistics)。Journel(1983)提出使用指標函數將資料轉換成二元分佈之型式，例如將小於某個門檻值(cutoff value)的數值轉換成 1 其他則為 0，如式 3-5-1；因此資料經轉換後具有分佈自由(Distribution free)之特性，並且可以容許資料上的偏歪，以解決自然現象中資料常存在之極端值問題，經簡單克利金(simple kriging)法可估計各分級發生之條件機率，以中位數、最大可能機率與期望值的型態來表示隨機變數的估計值(Bierkens and Burrough,1993)。

其理論簡述如後，假設 $Z(x)$ 代表某隨機變量 Z 之空間分布， x 為空間點之座標。如圖 3-5-1 所示之研究區域中有 n 個 $Z(x)$ 之觀測值 $Z(x_i), i=1, 2, \dots, n$ ，則隨機變量 Z 之機率分布可利用指標變數 $I(x)$ (indicator variable) 推估之。首先我們選定某個門檻值 v_c ，對每一個觀測值 $Z(x_i), i=1, 2, \dots, n$ ，定義其對應之指標變數值如下式(F-1)：

$$I(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } Z(x) \leq v_c \\ 0 & \text{if } Z(x) > v_c \end{cases} \quad 3-5-1$$

若各觀測值互相獨立，則累積機率可以下式推估之：

$$P[Z(x) \leq v_c] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I(x_i) \quad 3-5-2$$

然而各觀測值間通常並非完全獨立，而具有不同程度之空間相關性，則隨機變量 $Z(x)$ 之累積機率需以下式推估之：

$$P[Z(x) \leq v_c] = \sum_{i=1}^n \lambda_i I(x_i) \quad 3-5-3$$

其中 λ_i 為各觀測值之權重係數。權重係數之決定必須考量指標變數之空間變異特性。隨機變數 $Z(x)$ 之空間變異特性可以半變異元函數(semi-variogram)描述之，其定義如下：

$$\gamma_Z(h) = \frac{1}{2} E[Z(x) - Z(x+h)]^2 \quad 3-5-4$$

指標變數亦為一個隨機變數，其空間變異特性隨所選定之門檻值而異，即指標半變異元函數為

$$\gamma_I(h) = \frac{1}{2} E[I(x) - I(x+h)]^2 \quad 3-5-5$$

而其試驗半變異元 $\gamma(h)$ 可由已知觀測點資料依式(3-5-6)求得。

$$\gamma(h) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left[\frac{1}{2} [I(x;v_c) - I(x+h;v_c)]_j^2 \right] \quad 3-5-6$$

其中：

$I(x;v_c), I(x+h;v_c)$ ：表空間中任意二觀測值在門檻值 V_c 時之指標數

n ：表配對數

h ：為兩觀測位置之相對距離

權重係數 λ_i 可以由下式 3-5-7 之克利金系統方程式推求之

$$\begin{bmatrix} \gamma_{11} & \cdots & \gamma_{1i} & \cdots & \gamma_{1n} & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \gamma_{i1} & \cdots & \gamma_{ii} & \cdots & \gamma_{in} & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \gamma_{n1} & \cdots & \gamma_{ni} & \cdots & \gamma_{nn} & 1 \\ 1 & \cdots & 1 & \cdots & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_i \\ \vdots \\ \lambda_n \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma_{i0} \\ \vdots \\ \gamma_{i0} \\ \vdots \\ \gamma_{n0} \\ 1 \end{bmatrix} \quad 3-5-7$$

其中 $\gamma_{ij} = \gamma(|x_i - x_j|)$ ，而 μ 為拉格朗基乘數(Lagrange multiplier) (Isaaks and Srivastava, 1989)。當推估全域隨機變數 Z 之機率分布時， x_0 代表全域(global domain)之空間範圍；若推估某空間點處 Z 之機率分布，則 x_0 僅代表一空間點位，而上式之推估僅採用鄰近區域(local domain)內之觀測值，如圖 3-6-1 所示。

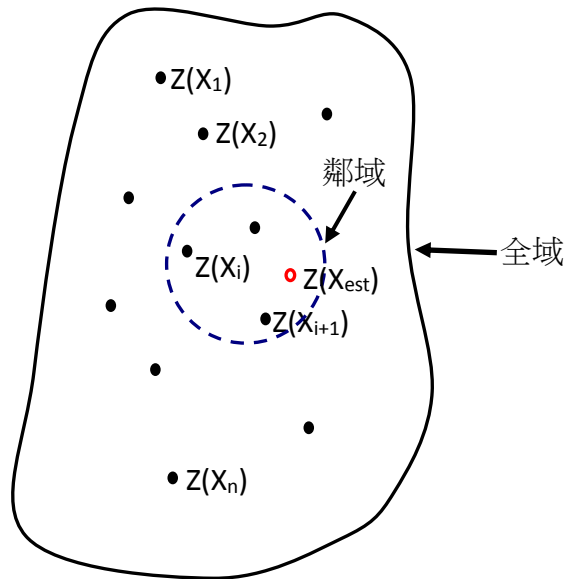


圖 3-5-1 克利金空間推估示意圖

以上為指標克利金之基本理論，故依此概念我們可以知道要應用指標克利金法進行某降雨值超越機率之估算有如下之步驟：

1. 選取定降雨門檻(強度與累積雨量)。
2. 一選定門檻進行二元化。
3. 分別針對各門檻值，分析其半變異圖(考慮非等向性：二維特徵時，可分為 0° 、 45° 、 90° 、 135° 四個方向考慮)，並套配出它適合的模式。
4. 推估未知點位發生機率。
5. 分別針對不同門檻進行分析，可得其累積分佈。

3-6 雨量站網設計

3-6-1 研究概念

以往雨量站網之研究主要有兩個基本的科學問題需解決，第一為需要多少的雨量站方可足夠代表集水區之降雨特性，第二為這些雨量站的位置應處於何處？故以能否表現各雨量站間的變異量或是資訊量為指標來分析，而若以**防災預警為目的**則應增加選用指標來考量，本研究將嘗試以致災風險考量某一超越機率以上之降雨資訊。搭配前述指標克利金與傳統克利金法及信息熵等理論綜合考量。

以往大多分析站網的密度及測站與測站之間的距離，但是台灣地屬海島型氣候而且地形複雜、高程差距相當大，高山常將氣流抬升造成地形雨，使迎風面多雨，背風面少雨，如此雖然距離不大但是降雨型態的差異卻相當大，故若直接分析降雨的資料而非取決於測站間的距離應當較為合理，若以**防災預警為目的**則應再加入**致災風險**考量。

設計雨量站網時，需要讓測站所記錄的雨量資料能夠充分表現該區的降雨分佈型態，而且測站間的訊息重覆性應盡量減低，以符合經濟效益。故雨量站網設計的兩大訴求為：

- (1). 測站具代表性，所測得的降雨記錄不只是區域中幾個點的降雨狀況而且要能真實記錄該區的降雨特性，能夠充分代表該地區的狀況。
- (2). 減少不必要的測站，即重覆資訊夠多的測站就無須設立，換言之，存在的各個測站其間的重覆情況應當盡可能減少。

以上兩者要兼顧，在實際設計上實有困難，選擇重覆資訊較少的測站即會選出資料結構比較不同的測站，但因此又會使其代表性產生問題；以 Kristanovic and Singh (1992a,b)的雨量站網評估之研究為例，選擇不確定性較大的測站，做為中心站（最早加入的測站），雖然它的訊息量較大，但是其資料特性可能大異於區域內的其他測站，即其代表性值得懷疑，若是選用區域中心站為代表站則會因為區域內的地形、氣候、高程等各項條件為不均勻時而有所偏差；而在依序選擇重覆資訊少的第二、第三、第四、...等站加入站網系統時，所得到的測站大多是距離較遠的站。亦即避免了重複資訊但卻使代表性出現問題；但可由其中發現降雨在空間上的變異性可由直接由降雨記錄得到。

若直接於全區域之所有測站中，選出重覆資訊最大的測站為代表站，因為其涵蓋範圍太廣可能有多種不同型態的降雨結構，非常難以單一測站來完全代表全區域之降雨特性，故先將各雨量測站作群集分析，把性質較相似的測站歸類之後，再於各群中選取與其他測站重覆資訊最多的測站為代表站，藉此使全區中的主要特性能由各分群之代表站來代表；如此較能兼顧代表性以及重覆資訊較少的兩個要求。

而群集分析時之所以選用熵值的相似程度來作聚類，是因為降雨受地形、高程、緯度、距海遠近等綜合的影響，若只取其中幾個要素則不夠客觀、完整的分析其特性。故在本研究中，直接由記錄資料的資訊量來作分析，比較能夠客觀的看出各因素影響之下的綜合結果。

而在做測站重要性排序時需考慮增加測站與原有系統間資料的重覆性，當測站增加至一定數目以後資訊量的增加會漸趨緩和，終而達到飽和的狀態。故可以藉此來評估所需要的測站數目。於各群中選出重覆資訊最多的測站，作為該群的代表站。最後在各群中依序選擇重覆資訊最少的測站加入，以便使重覆資訊達到最小的情形。最後繪出測站數目與資訊量遞增的關係圖，以評估欲獲得的資訊量與其所需要的測站數目。

3-6-2 熵理論

在本研究中先以熵值來度量降雨資料的資料結構型態，再以群集分析將各個既有的雨量測站加以分門別類，再利用整個系統的條件熵來度量單站資料對於整個系統訊息的重覆量，以此對各測站的重要性做排序，再評估所需的測站數目。其中群集分析顧名思義群集分析就是一種把資料分類歸納成群的一種分析方法，它根據事物的異同等性質，將相似的事物歸為同一類，在一般統計的方法中常可以見到。以下將針對熵的理論作簡單的介紹。

Hartly (1928)將事件發生結局種類的對數值 ($\log n$) 稱為訊息量，例如投擲骰子時，可能出現 1~6 等 6 種狀況，即 $n=6$ ，其訊息量為 $\log 6$ ；而在投擲硬幣時可能出現的結果只有正面與反面兩種情況即 $n=2$ ，故訊息量為 $\log 2$ ；而訊息量愈大，則表示可能發生的變化較多，也就是說不確定性也愈大，故由以上擲骰子的訊息量及擲硬幣的訊息量可以知道，擲骰子的不確定性比擲硬幣要高。而 Shannon 以 $H = C \log n$ 表示某實驗結果之不確定性，即稱訊息熵。

若 n 種結局發生的機率皆為 $P(x) = 1/n$ ，則亦可寫成：

$$H(X) = -C \log P(X_n) \quad 3-6-1$$

$$H(X) = -C \sum_{n=1}^N P(X_n) \log P(X_n) \quad 3-6-2$$

將(G-2)式用於本研究領域時可將 X 視為雨量測站的資料，其記錄長度為 N ，變量 X 可視為一隨機變數，且其第 i 個事件發生的機率為 P_i 。

除了以熵值來度量各站的雨量資料在時間上的變異結構之外(以 3-6-2 式度量單一測站本身的平均不確定性)，再引入聯合熵及條件熵等概念用以考量整個系統資訊的相關性。

聯合熵 (Joint Entropy)：用在本研究內，可代表幾各測站聯合的不確定性。若 X_i 與 X_j 為兩個雨量測站之變量資料，如時雨量資料； X_i 與 X_j 資料長度均為 N ，且其聯合機率為： $P(X_i, X_j) = P_{ij}$ ，則測站 X_i 與 X_j 之聯合熵表示如下：

$$H(X_i, X_j) = -\sum_{i,j} P_{ij} \log(P_{i,j}) \quad 3-6-3$$

由於上式可以表示測站 X_i 與 X_j 間全部的不確定性，故可以得知測站 X_i 與 X_j 個別的邊際熵之和應大於或等於其聯合熵，如 3-7-4 式；當兩測站資料為統計獨立時，邊際熵的和等於聯合熵。

$$H(X_i, X_j) \leq H(X_i) + H(X_j) \quad 3-6-4$$

在本研究中我們所關心的是當一測站已知時，第二個測站的不確定性被降低了多少？為了解決此問題我們引進條件熵的概念；其定義如右，條件熵 (Conditional Entropy)：當 X_j 發生已知的條件下， X_i 所剩的不確定性。所以條件熵小於等於邊際熵，如(G-5)式，當兩測站資料為統計獨立時邊際熵將等於條件熵。

$$H(X_i | X_j) \leq H(X_i) \quad 3-6-5$$

$$H(X_i | X_j) = -\sum_{i,j} P_{ij} \log(P_{i,j}) \quad 3-6-6$$

$$H(X_i|X_j) = H(X_i, X_j) - H(X_j) \quad 3-6-7$$

若要瞭解兩測站間共有的資訊量有多少？可以可轉移資訊來解決此問題。

可轉移資訊 (Transferable Information) $T(X_i, X_j)$ 表示可由 X_j 轉移到 X_i 的訊息，可以看成兩者重覆的訊息，如(G-8)式。

$$T(X_i, X_j) = H(X_i) - H(X_i|X_j) \quad 3-6-8$$

3-6-3 雨量站網評估步驟

應用上述之理論，進行雨量站網評估的步驟簡單說明如下：

(1). 選定研究區域。

(2). 選出欲研究之兩型並考量致災風險

台灣之氣候依季節之不同其降雨類型可粗略分為五類，有東北季風型、春雨型、梅雨型、颱風雨型、秋雨型 (李富城、林沛練, 1981); 另外在夏季又常有短延時的對流雨等，而各類型亦可有極端降雨之考量。

(3). 以群集分析將區域內測站作合理的分群

$H(X) = -\sum_{n=1}^N P(X_n) \log P(X_n)$ 由此式分別求出各個已知雨量站之熵值 $H(X)$ 。再依熵值的近似程度將測站分類。

(4). 測站資訊重覆性排序

分別在各群內，將其所屬的測站依資料重覆性多寡來排序，選出重覆性最多的測站為該群代表站 (因為它含有各測站的共同資訊較多，故具代表性)。做重覆性排序時，首先選出熵值最大 $MAX \{H(X_1)\}$ (表示其不確定性最大，即資料中含有之資訊量較大) 的測站，此為第一個站。

再選擇與第一站重覆資訊最少的測站為第二站 (可使新加入的測站能使整個系統增加較多的資訊)，即選

$$MIN \{H(X_1) - H(X_1|X_2)\} \quad 3-6-9$$

其中， $H(X_1|X_2)$ 為 X_2 發生已知的條件下， X_1 所剩的不確定性。則 $H(X_1) - H(X_1|X_2)$ 為 X_1, X_2 二者中重覆的資訊。其中 $H(X_1|X_2)$ 愈大則重覆資訊愈小，亦即選擇 $H(X_1|X_2)$ 最大者。

則第 j 個站即如下式：

$$MIN \{H(X_1, \dots, X_{j-1}) - H[(X_1, \dots, X_{j-1})|X_j]\} \quad 3-6-10$$

在運算時可以選擇 $H[(X_1, \dots, X_{j-1})|X_j]$ 最大者，依此類推將全區內之測站之重覆性，依序排列，如此最後一站即為重覆資訊最多的測站，也就是代表站。

(5). 測站重要性排序

於各群內，以代表站為基礎，依序選擇重複資訊較少的測站依序加入；此排序亦及其重要性之順序，可以作為刪減測站之順序。

選擇與第一站重覆資訊最少的為第二重要站，以使該站加入後有較多新的資訊，即選

$$MIN \{H(X_1) - H(X_1|X_2)\}$$

則第 J 個重要的站即如下式：

$$MIN \{H(X_1, \dots, X_{j-1}) - H[(X_1, \dots, X_{j-1})|X_j]\} \quad 3-6-11$$

如步驟四之方法將全區內之測站的重要性，依序排列。

(6). 決定所需測站數目

若以測站數目為橫軸，以 $H[(X_1, \dots, X_{j-1})|X_j]$ 為縱軸，將兩者的關係繪圖之後可以發現，測站數目增加到一定數目以後 $H[(X_1, \dots, X_{j-1})|X_j]$ 將不再增加，則可轉移資訊亦不會改變，即資訊

量亦將不再增加，故若以此為資訊量的一個指標，可套配出上述關係圖的模式，找出臨界資訊量與影響站數。若不考慮經濟等因素時，則測站一直增加，直到加入的測站不會提供任何新的資訊時才停止加入。亦可由套配所得的模式估算達欲獲得的資訊量時，所應設置測站數目。

(7).決定設站位置

由步驟(6).決定所需測站數目之後，若所需站數比目前已有站數少，則依步驟(5).的重要性排序，選出所需測站，其餘則刪除；若所需站數比目前已有的測站多，則需要再增加測站。

流程

基於上述基礎理論與研究方法，本研究之步驟與流程如下圖 3-7(a)所示。

第一年度(已完成)--水文、地文資料庫建置及極端降雨時間、空間分佈變異分析與降雨導致崩塌擴大之相關性探討。

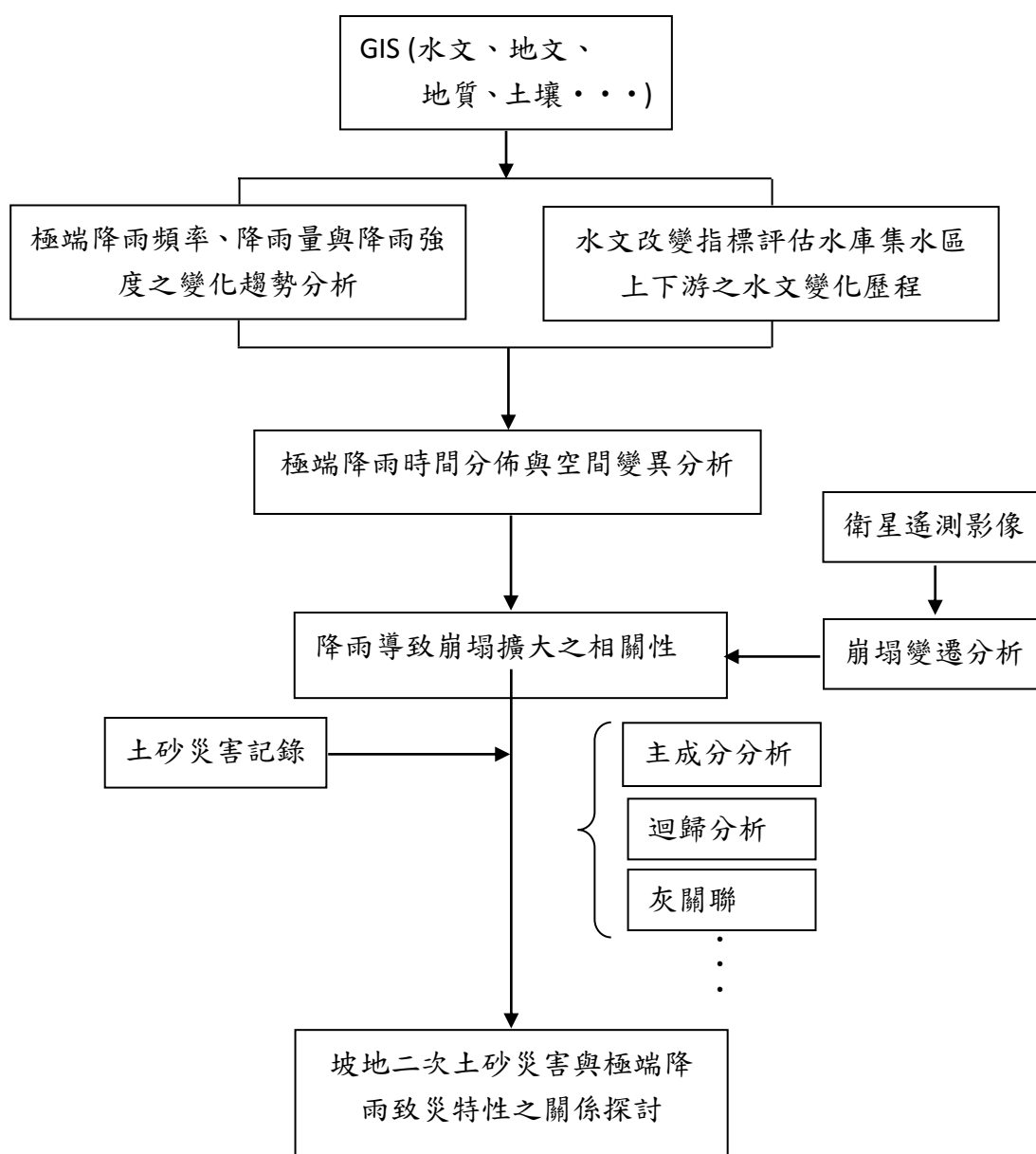


圖 3-7(a) 第一年研究計畫架構流程

第二年度--由各站頻率分析結果訂定集水區均一尺度之極端降雨範圍與極端降雨致災臨界基準值分析

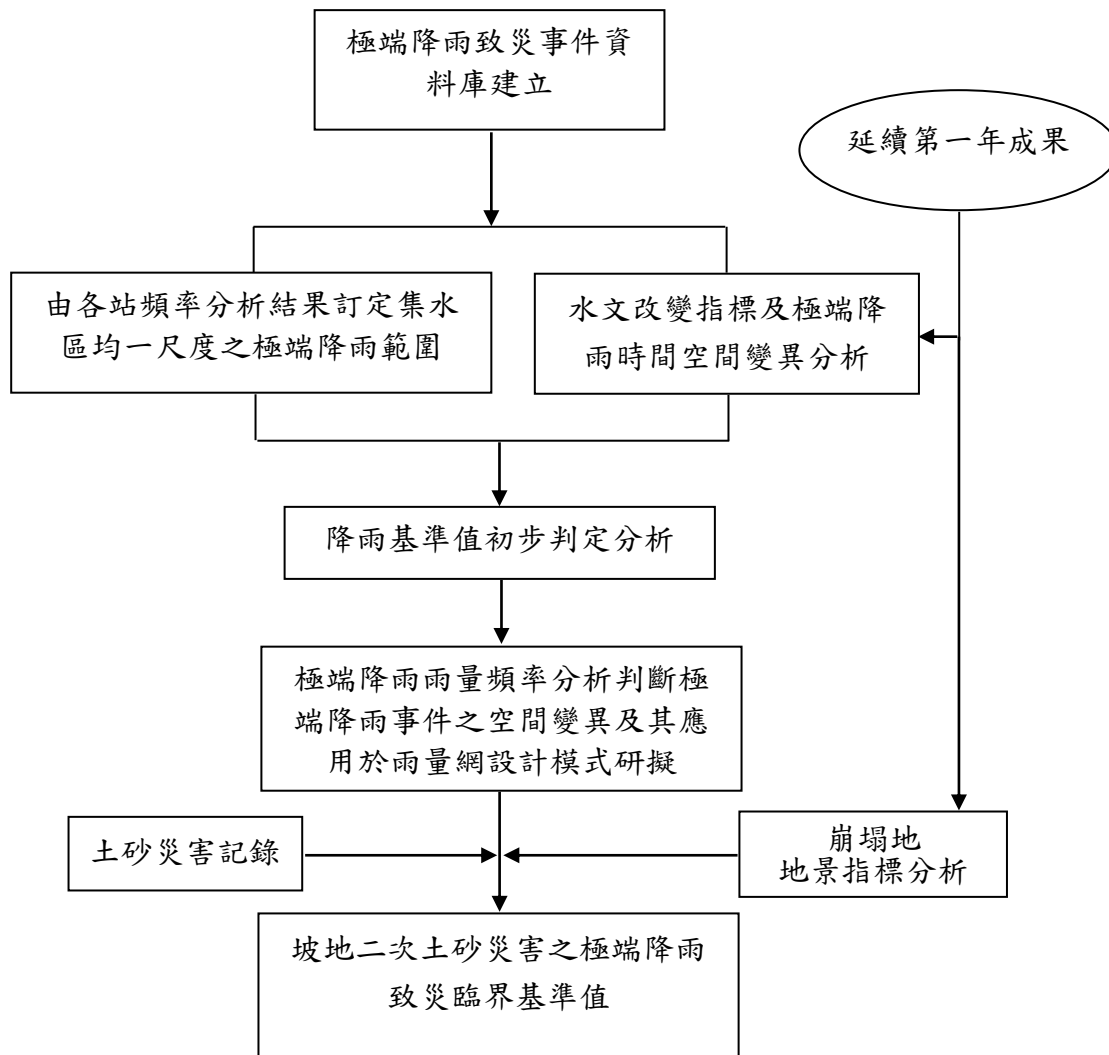


圖 3-7(b) 第二年研究計畫架構流程

三年度—曾南烏三水庫集水區中上游水土保持設施規劃設計之水文量檢討與防災預警為目的之雨量站網設計，以及坡地二次土砂災害之極端降雨臨界基準值檢討分析與研訂建議

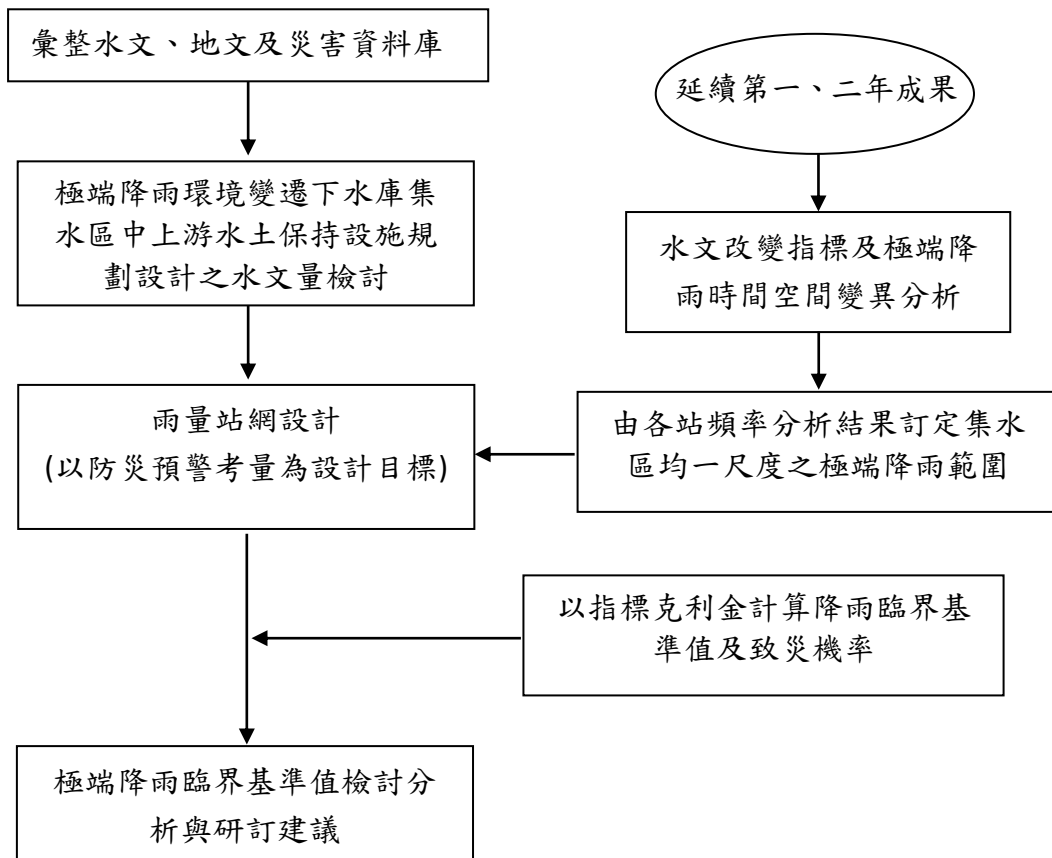


圖 3-7(c) 第三年研究計畫架構流程

肆、結果與討論

本計畫除完成曾文與南化與烏山頭水庫集水區水文地文資料蒐集調查與資料庫建立外，並完成地文因子分析、衛星影像分析、頻率分析、降雨時空變異分析及水庫集水區崩塌地場址地圖、地景指標改變與比較與集水區水文均一尺度分析、集水區均一尺度之極端降雨範圍與致災基準值、防災預警目的之雨量站網設計、氣候變遷下水土保持設計水文量檢討等項目，簡要成果整理如後：

4-1 曾文南化與烏山頭水庫集水區水文與地文 GIS 資料庫建立

本研究蒐集曾文、南化及烏山頭集水區內氣象局與水利署所屬的雨量站資料及流量站資

料、土壤圖、地質圖及數值地形模型等資料，並建置成水文、地文環境資料庫，如圖 4-1-1、圖 4-1-2(a)~圖 4-1-2(c)所示。雨量站統計資料分別如表 4-1-1~表 4-1-3；GIS 資料庫並完成三集水區之徐昇氏多邊形雨量站權重如圖 4-1-3(a)~圖 4-1-3(c)。並建立歷史土砂災害資料庫，資料庫中屬性架構如表 4-1-5 所示。地文因子分析成果分別如表 4-1-6~表 4-1-8。

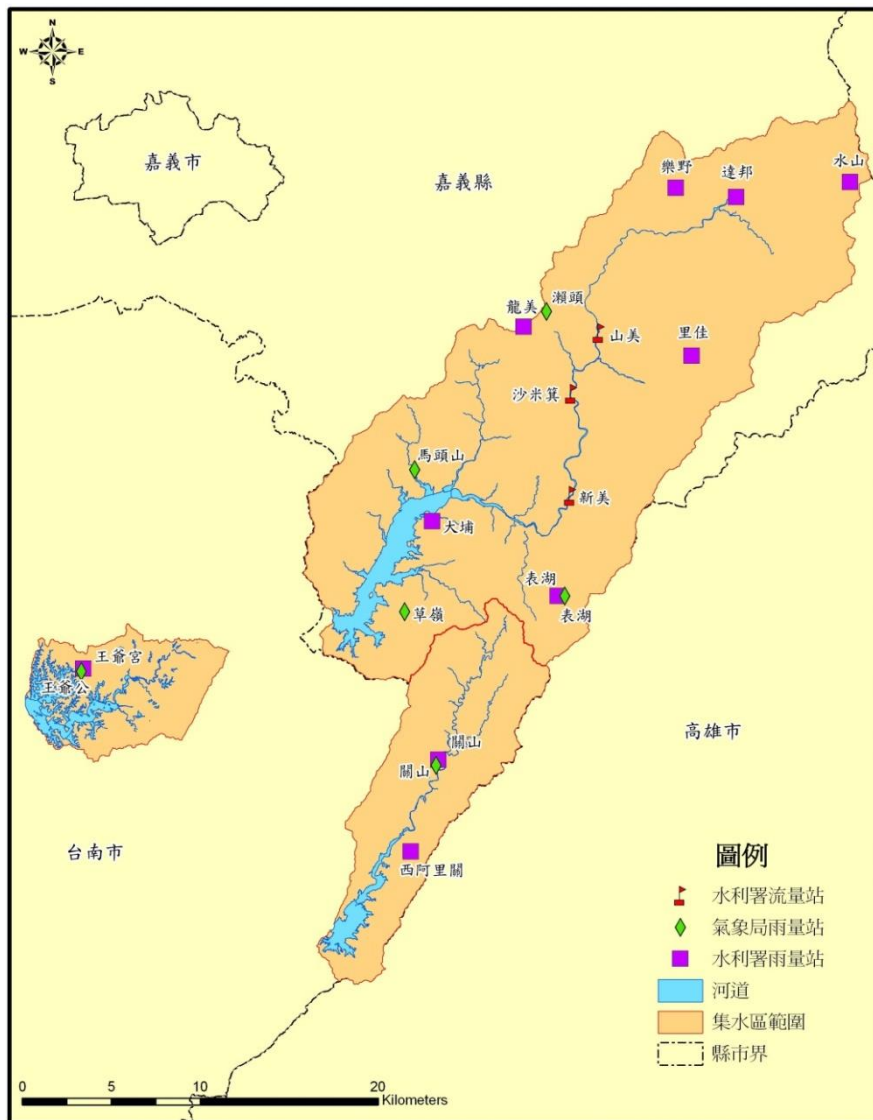


圖 4-1-1 集水區水文環境地理資料庫

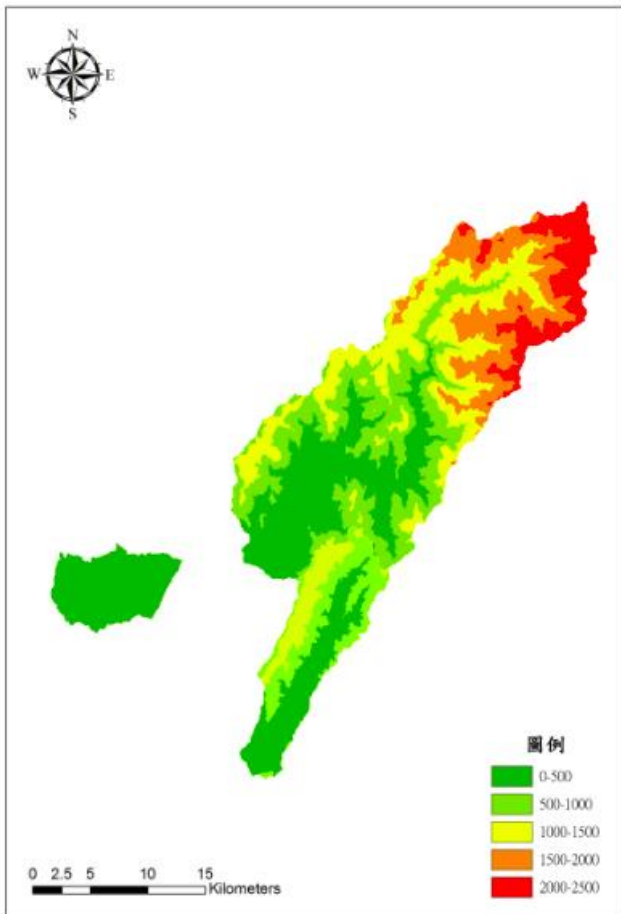


圖 4-1-2(a) 曾、南、烏水庫集水區地形圖

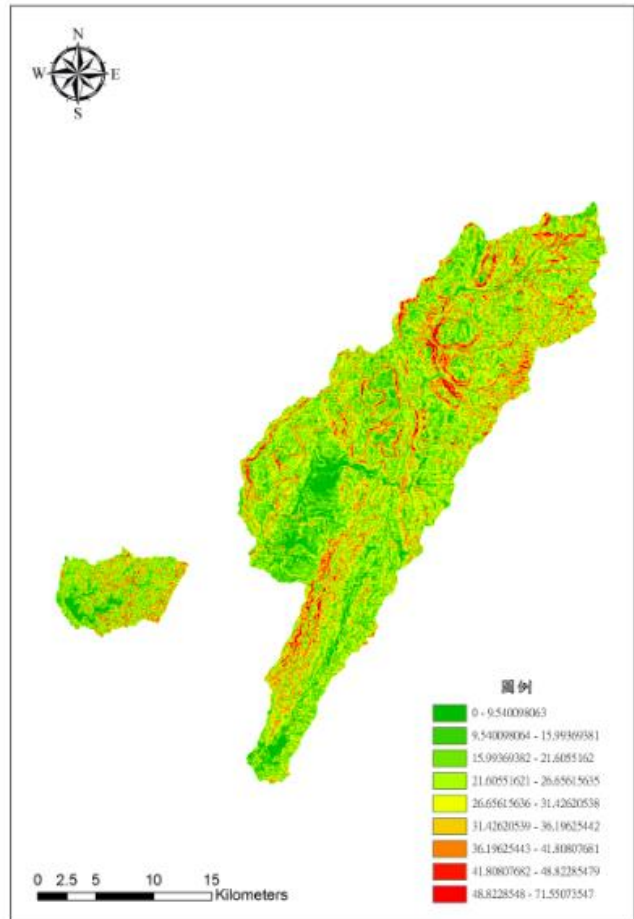


圖 4-1-2(b) 曾、南、烏水庫集水區坡度圖

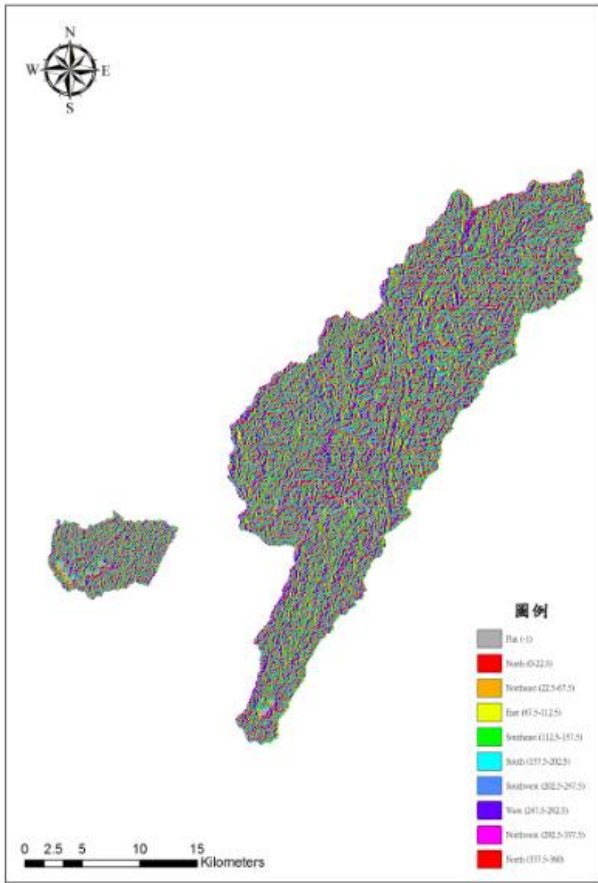


圖 4-1-2(c) 曾、南、烏水庫集水區坡向圖

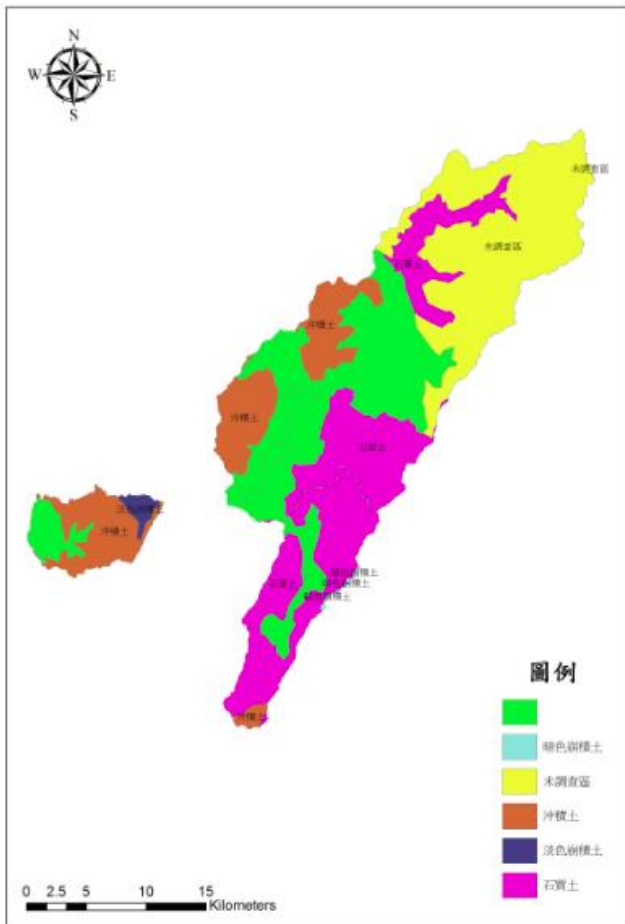


圖 4-1-2(d) 曾、南、烏水庫集水區土壤圖

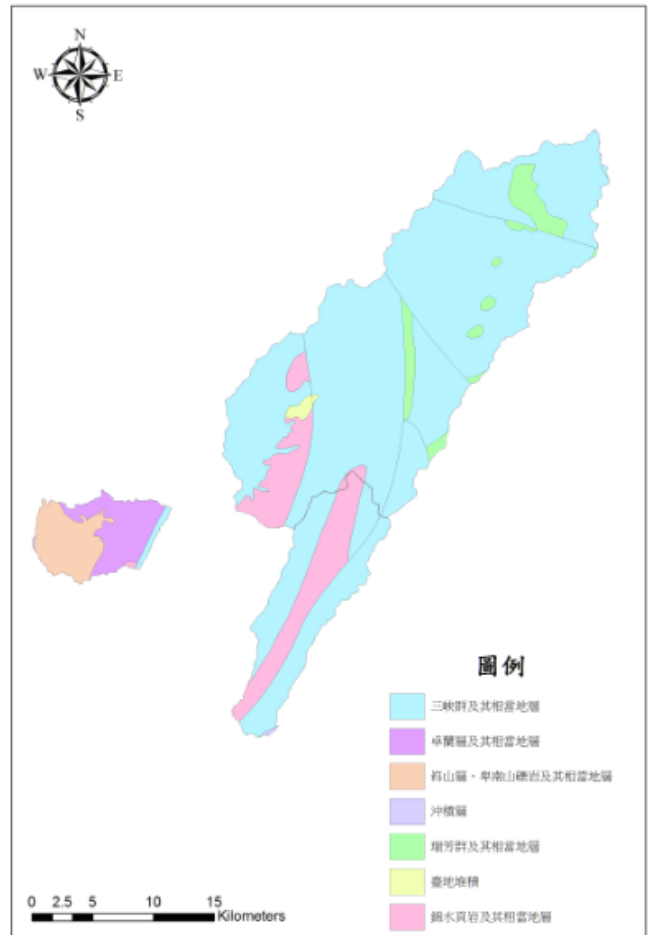


圖 4-1-2(e) 曾、南、烏水庫集水區地質圖

表 4-1-1(a) 曾文集水區雨量站基本資料建立

站名	管理單位	徐昇面積(Km ²)	權重	年平均雨量(mm)	加權面積年平均雨量(mm)
菜瓜坪	中央氣象站	34.245	0.07	2931.0	205.2
水山	中央氣象站	28.141	0.06	2958.8	177.5
樂野	中央氣象站	77.977	0.16	3512.8	562.0
奮起湖	中央氣象站	7.767	0.02	3988.0	79.8
小公田(2)	水利署	9.049	0.02	3526.1	70.5
里佳	水利署	73.356	0.15	3548.2	532.2
龍美	中央氣象站	40.209	0.08	3187.6	255.0
頭凍	中央氣象站	11.811	0.02	3868.0	77.4
民生	中央氣象站	22.317	0.05	3269.6	163.5
馬頭山	中央氣象站	61.678	0.13	3024.6	393.2
表湖	中央氣象站	35.938	0.07	2781.6	194.7
大埔	中央氣象站	35.771	0.07	2310.0	161.7
大棟山	水利署	30.028	0.06	3338.1	200.3

北寮	水利署	4.179	0.01	3228.4	32.3
曾文新村	水利署	2.737	0.01	2965.4	29.7
三角南山	水利署	5.004	0.01	2837.3	28.4

總面積：480.207

加權年平均雨量：3163.4

(本計畫整理自 2008~2015 年中央氣象局&水利署資料)

表 4-1-1(b)曾文集水區雨量站歷年平均雨量統計表(2008~2015)

站名 年分	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	年平均雨量
菜瓜坪	4290	2987	2756	1989	3450	-	2182	2861	2931
水山	4335	2633	2757	2176	3613	3279	2462	2416	2958.8
樂野	4973	3474	3474	3474	3857	3611	2390	2849	3512.8
奮起湖	5940	4717	3226	2561	4339	4228	2908	-	3988
小公田(2)	5058	4095	2996	2428	4082	3671	2352	3527	3526.1
里佳	4749	4157	3243	2741	4052	4043	2493	2908	3548.2
龍美	4586	2831	2936	2400	3692	3554	2410	3092	3187.6
頭凍	5271	3927	3553	2828	4593	4287	2616	-	3868
民生	4232	3241	2842	2533	4274	3529	2646	2860	3269.6
馬頭山	4112	3454	2492	2230	3569	3285	2101	2954	3024.6
表湖	3738	2545	3031	1781	3555	3306	2244	2053	2781.6
大埔	2232	1850	2522	1790	2758	3106	1913	-	2310
大棟山	4554	3258	3153	2553	4012	3885	2336	2954	3338.1
北寮	4761	3299	3246	2240	3654	3520	2237	2870	3228.4
曾文新村	4403	2338	3011	2172	3350	3297	2091	3061	2965.4
三角南山	3743	2701	3031	1781	3555	3143	2177	2567	2837.3

資料來源：中央氣象局&水利署

表 4-1-2(a) 南化水庫集水區雨量站基本資料建立 (2008~2015 年水利署資料)

站名	管理單位	徐昇面積(Km ²)	權重	年平均雨量(mm)	加權面積年平均雨量(mm)
三角南山	水利署	29.612	0.27	2837.3	766.1
甲仙(2)	水利署	16.769	0.15	3068.0	460.2
大竹坑	水利署	28.618	0.26	2913.8	757.6
關山	水利署	29.975	0.27	3396.9	917.2
表湖	水利署	4.532	0.04	2986.0	119.4

總面積：109.506

加權年平均雨量：3020.5

(本計畫整理自 2008~2015 年水利署資料)

表 4-1-2(b) 南化集水區雨量站歷年平均雨量統計表(2008~2015)

單位：mm

站名 \ 年分	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	年平均雨量
三角南山	3743	2701	3031	1781	3555	3143	2177	2567	2837.3
甲仙(2)	4849	3371	3031	2182	3528	3158	1971	2454	3068.0
大竹坑	-	-	-	2053	3708	3799	2205	2804	2913.8
關山	5463	3793	3031	2012	3785	3738	2215	3138	3396.9
表湖	4040	2967	3046	2383	3849	3306	2244	2053	2986.0

資料來源：水利署

表 4-1-3(a) 烏山頭水庫集水區雨量站基本資料建立 (2008~2015 年水利署資料)

站名	管理單位	徐昇面積(Km ²)	權重	年平均雨量(mm)	加權面積年平均雨量(mm)
王爺宮	水利署	50.857	0.88	2066.3	1818.3
東原	水利署	6.691	0.12	2267.9	272.148

總面積：57.548

加權年平均雨量：2616.2

(本計畫整理自 2008~2015 年水利署資料)

表 4-1-3(b) 烏山頭集水區雨量站歷年平均雨量統計表(2008~2015)

單位：mm

站名 \ 年分	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	年平均雨量
王爺宮	2943	2035	2098	1329	2286	2557	1386	1896	2066.3
東原	3483	2299	2332	1419	2432	2508	1676	1994	2267.9

資料來源：水利署

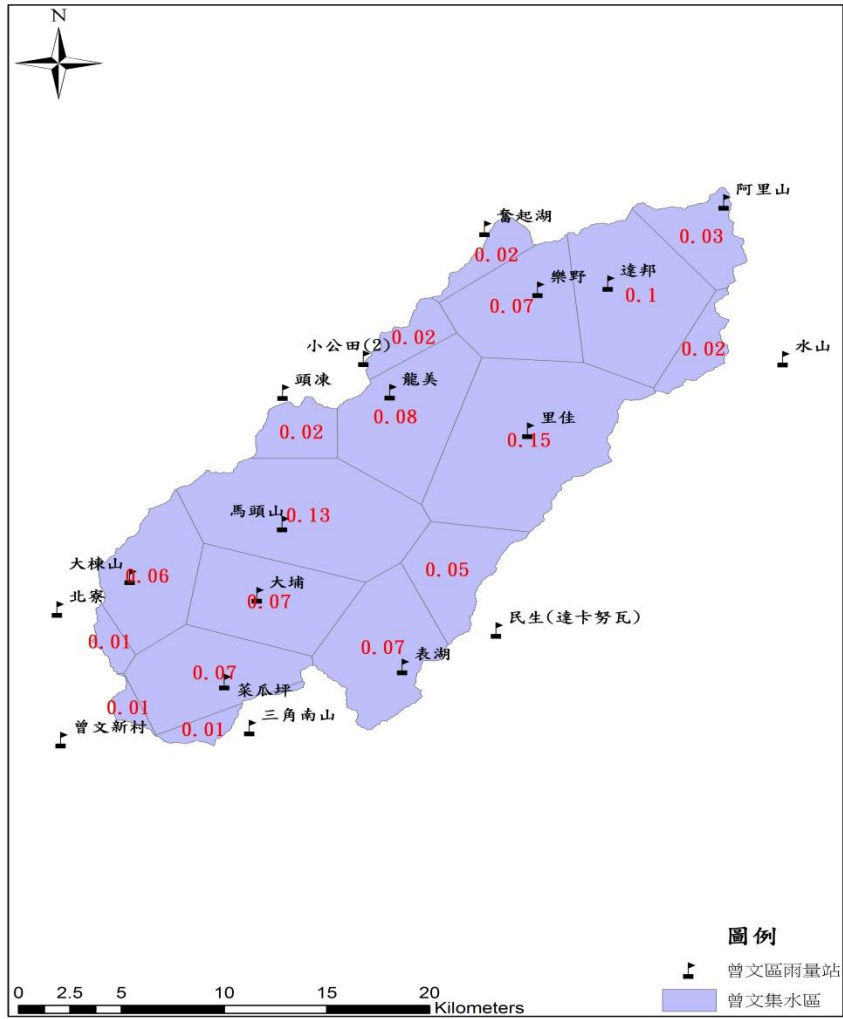


圖 4-1-3(a) 曾文水庫集水區徐昇氏權重圖

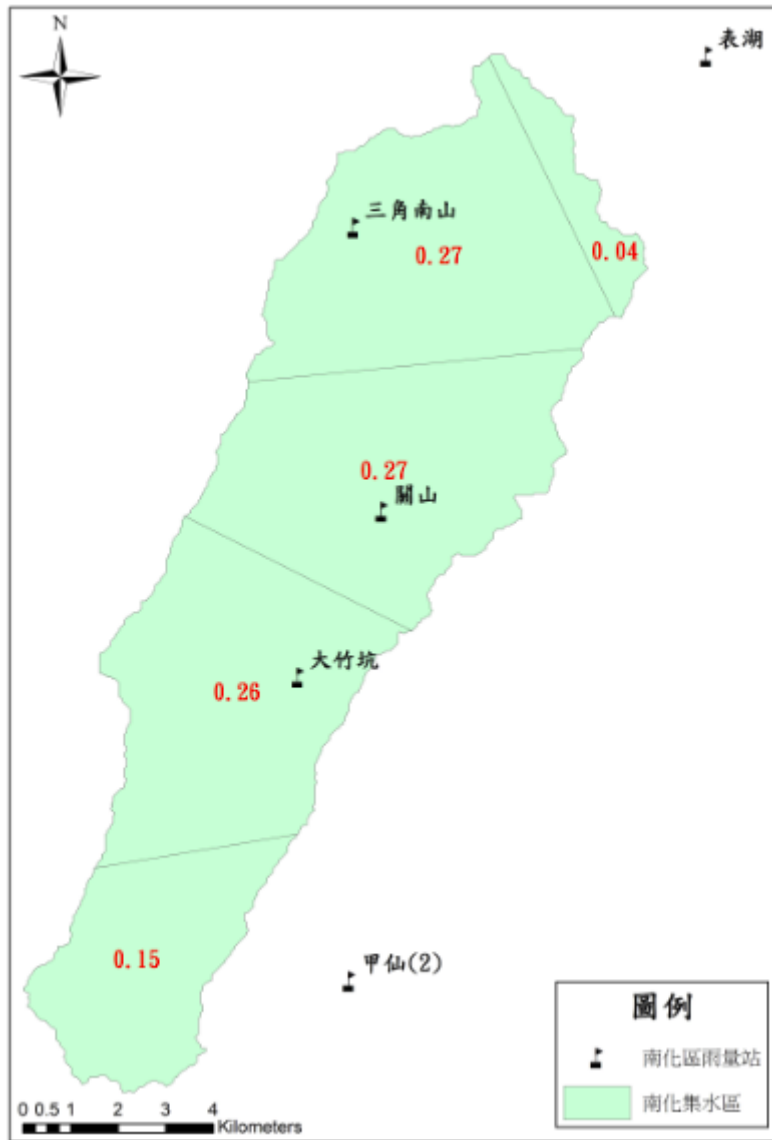


圖 4-1-3(b) 南化水庫集水區徐昇氏權重圖

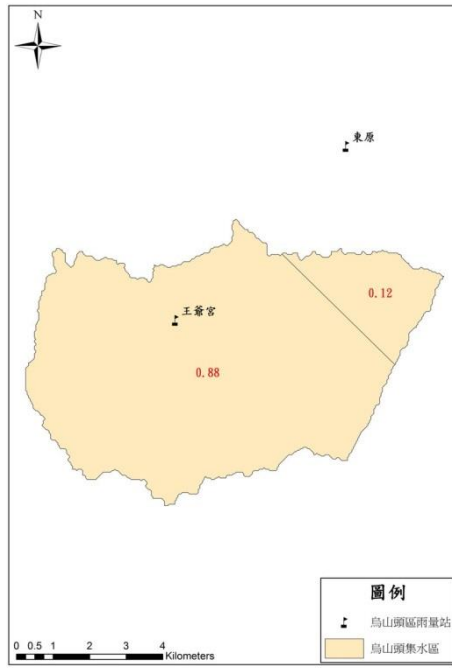


圖 4-1-3(c) 烏山頭水庫集水區徐昇氏權重圖

表 4-1-5 歷史土砂災害資料庫屬性表範例

年度	事件名稱	地點	時間	災害類型	累積雨量 (mm)	降雨強度 (mm/h)	規模	座標 X	座標 Y
97 年	卡孜基颱風	台南縣南化鄉關山村(關山 12 號橋)	7/18 0:00	土石流災害、洪水災害(台南 A035)	564.4	100	後堀溪暴漲沖毀關山 12 號橋。另台南 A035 土石流潛勢溪流亦因坡地崩塌導致土石流，致使下游 1 戶民宅受損。橋梁：關山 12 號橋斷裂	207385	2562892
98 年	莫拉克颱風	台南縣南化鄉玉山村南化鄉玉山村(青山宮)	8/8 17:00	土石流	653.6	89	沿野溪溢流而下，大量土石淹埋侵入羌黃坑多戶民宅，南化鄉公所緊急撤離四十多戶居民	201599	2552697
98 年	莫拉克颱風	台南縣東山鄉南勢村(五叉溝五叉高分 64 號電桿)	8/8 6:00	崩塌	650.5	41	崩塌面長約 4 公尺，寬約 12 公尺。南勢村 41-17 號民宅亦於颱風後發現後方坡地攤落，估計崩塌面長約 6 公尺，寬約 100 公尺。	201060	2573561
98 年	莫拉克颱風	高雄縣那瑪夏鄉南沙魯村	8/9 9:00	崩塌	1403.3	30.5	道路毀損：15 公尺	214750	2568189
98 年	莫拉克颱風	高雄縣那瑪夏鄉南沙魯村	8/9 17:00	土石流(高 DF004)、崩塌	1409.9	9.5	道路毀損：約 1,000 公尺	218648	2568618
102 年	康芮颱風	台南市 新化區大坑里大坑里 3 鄰大坑尾 102 之 1 號	8/29 13:00	崩塌(山崩)	488.3	55	崩塌坡面長 20 公尺，寬 40 公尺，坡度 50~60 度，崩塌面積約 800 平方公尺，土砂量約 400 立方公尺。	187252	2545555
105 年	梅姬颱風	金獅村 9 鄰旁古厝	9/28 02:00	崩塌	314	43	梅姬颱風期間，金獅村一處古厝 後方邊坡發生崩塌，造成古厝局部損毀，所幸居民提前發現土砂鬆動，已先行撤離至市區避難。	211271	2600907

表 4-1-6 曾文水庫集水區地文因子分析

地文因子	數值	公式
集水區面積(A)	480207200	-
集水區周長(P)	132824	-
集水區長度(L)	41274.10673	-
河川主流長度(Lo)	52384.301	-
河川總長度(Lt)	139961.3476	-
河川數量(N)	37	-
平暈高程(H)	929.9686731	-
平均坡度(S)	24.13977019	-
集水區寬度(W)	9167.00597	$W = \frac{A}{L_o}$
形狀因子(F)	0.17499529	$W = \frac{A}{L_o^2}$
密集度(C)	0.584847598	$C = 2 \sqrt{\frac{A}{\pi}} \times \frac{\pi}{P}$
圓比值(M)	3.2066E-19	$M = \frac{A}{(\frac{P}{2\pi})^2 \pi}$
細長比(E)	0.299544752	$E = \frac{\sqrt{\frac{A}{\pi}}}{L}$
水系密度(Ds)	0.00029146	$D_s = \frac{L_T}{A}$
河川頻率(Fs)	7.70501E-08	$F_s = \frac{N}{A}$

表 4-1-7 南化水庫集水區地文因子分析

地文因子	數值	公式
集水區面積(A)	109504152.8	-
集水區周長(P)	64210.301	-
集水區長度(L)	23441.00699	-
河川主流長度(L ₀)	30306.801	-
河川總長度(L _T)	50232.99182	-
河川數量(N)	15	-
平暈高程(H)	475.6867811	-
平均坡度(S)	20.10909392	-
集水區寬度(W)	3613.187443	$W = \frac{A}{L_0}$
形狀因子(F)	722.6374886	$W = \frac{A}{L_0^2}$
密集度(C)	0.577717497	$C = 2 \sqrt{\frac{A}{\pi}} \times \frac{\pi}{P}$
圓比值(M)	7.03836E-18	$M = \frac{A}{(\frac{P}{2\pi})^2 \pi}$
細長比(E)	0.251862839	$E = \frac{\sqrt{\frac{A}{\pi}}}{L}$
水系密度(D _S)	0.000458731	$D_S = \frac{L_T}{A}$
河川頻率(F _S)	1.36981E-07	$F_S = \frac{N}{A}$

表 4-1-8 烏山頭水庫集水區地文因子分析

地文因子	數值	公式
集水區面積(A)	57548045	GIS 分析
集水區周長(P)	39480.602	GIS 分析
集水區長度(L)	11442.58253	GIS 分析
河川主流長度(L ₀)	17319.301	GIS 分析
河川總長度(L _t)	105305.5375	GIS 分析
河川數量(N)	253	GIS 分析
平暈高程(H)	119.1525544	GIS 分析
平均坡度(S)	10.81116546	GIS 分析
集水區寬度(W)	3322.769493	$W = \frac{A}{L_0}$
形狀因子(F)	0.191853556	$W = \frac{A}{L_0^2}$
密集度(C)	0.681140107	$C = 2 \sqrt{\frac{A}{\pi} \times \frac{\pi}{P}}$
圓比值(M)	7.85618E-17	$M = \frac{A}{(\frac{P}{2\pi})^2 \pi}$
細長比(E)	0.374038492	$E = \frac{\sqrt{\frac{A}{\pi}}}{L}$
水系密度(D _s)	0.001829872	$D_s = \frac{L_T}{A}$
河川頻率(F _s)	4.39633E-06	$F_s = \frac{N}{A}$

4-2 崩塌地分析、套繪與數化

崩塌地判釋與數化

本研究以 SPOT 系列衛星影像分析並參考林務局崩塌地資料，繪製 2008 年至 2013 年集水區崩塌地變化情形，並結合地景指標與地形特性分析區內崩塌地特徵，分析崩塌地的擴大等變化與降雨量降雨強度的關析，最終能訂出極端降雨致災臨界基準值供參考應用。衛星影像崩塌地判釋 2008~2013 各年崩塌成果圖，並分別比較前後兩年差異，將之區分為(1)擴崩(2)復育(3)維持不變等三種類型，歷年崩塌差異成果

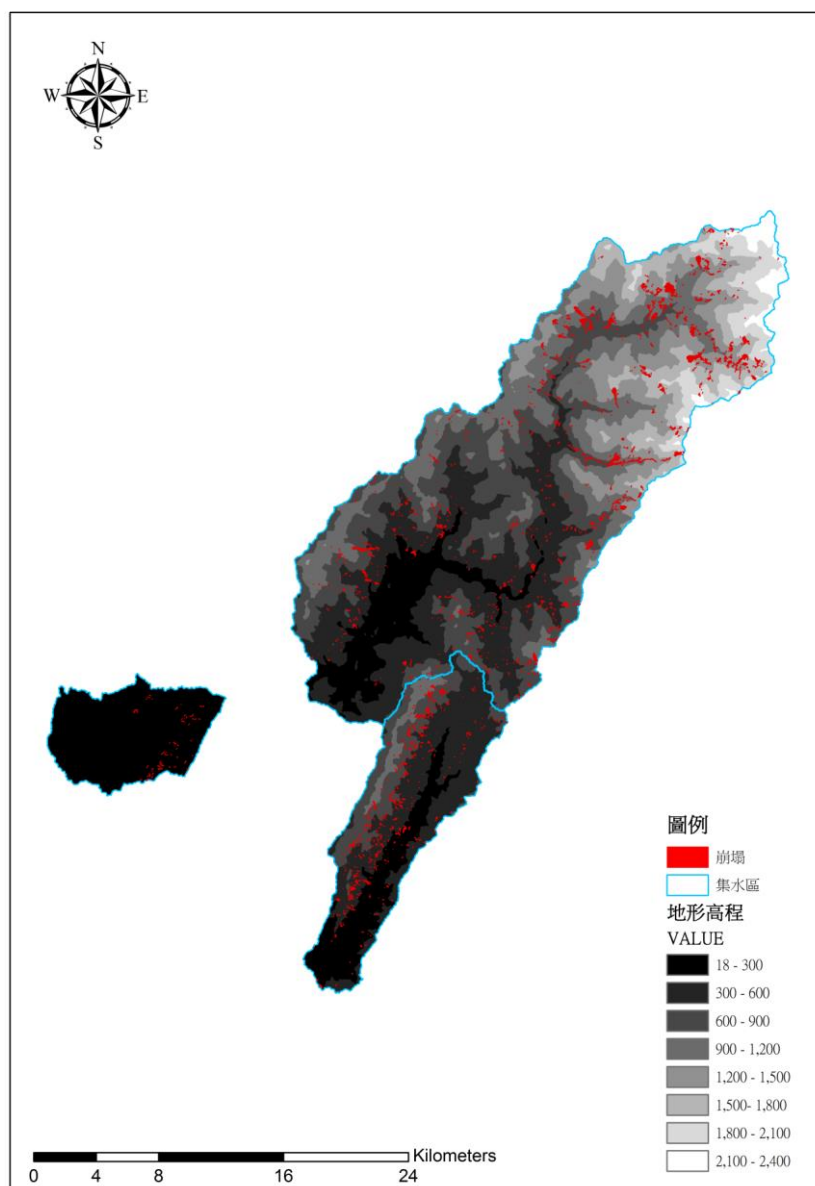


圖 4-2-1 數值地形模型套繪崩塌地數化成果

結果發現曾文與南化集水區皆在 2010 年初的影像裡發生最大總崩塌面積及最大崩塌面積，此係由莫拉克颱風之降雨造成。就集水區崩塌率而言，除 2009 年初外，均為曾文大於南化大於烏山頭集水區。依據前人研究(蕭震洋等，2009、林文賜等，2004、黃雅莉 2011)指出，崩塌率常隨海拔高度增高而增大，崩塌數量則集中在海拔 500m-1500m 的中低海拔地區。陳樹群等人(2013)的研究亦指出，上邊坡崩塌通常來自於過往地震造成邊坡鬆動及後續降雨入滲，下邊坡崩塌多數來自於河川洪水匯集造成河岸淘刷而崩塌。

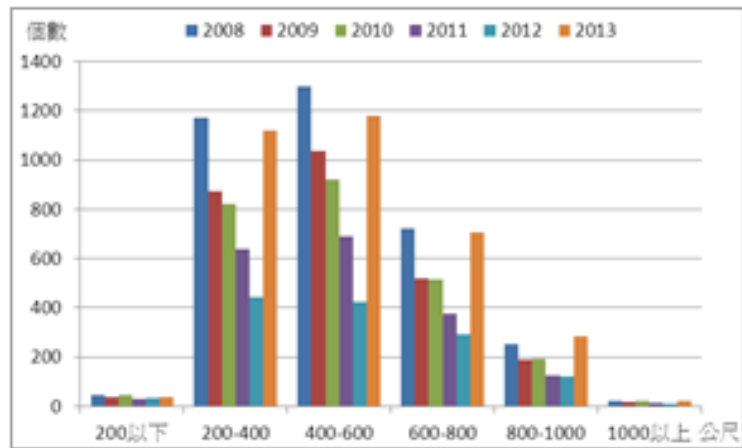


圖 4-2-2 各年崩塌發生位置之高程個數分布

崩塌坡度分析

將各年崩塌地嵌塊體套疊坡度資料，計算各嵌塊體的平均坡度，並進行描述性統計分析如表 4-2-2。以平均數變化來看，各年嵌塊體的差異不大，僅在 2011 年及 2012 年有較明顯的上升，可能是因為伴隨崩塌面積的下降，緩坡部分的崩塌已消失，促使平均坡度有上升的趨勢。

表 4-2-2 各年崩塌地嵌塊體坡度統計特性表 單位：斜率百分比(%)

年份	2008	2009	2010	2011	2012	2013	
平均數	64.83	64.44	65.91	67.42	68.89	66.19	
中位數	63.86	63.97	64.67	67.08	68.68	65.36	
標準差	24.52	24.21	25.97	26.20	27.71	25.87	
偏態	.456	.602	.618	.564	.609	.399	
偏態的標準誤	.041	.047	.049	.056	.067	.042	
峰度	.960	2.379	1.733	1.892	2.896	.863	
峰度的標準誤	.083	.095	.098	.113	.134	.085	
百分位數	25	48.45	49.29	49.26	51.25	53.11	50.12
	50	63.86	63.97	64.67	67.08	68.68	65.36
	75	79.72	78.05	80.62	82.18	83.90	81.31
四分位差	15.64	14.38	15.68	15.47	15.40	15.60	

四分位的統計顯示，各年的崩塌數量相當集中在坡度 50% 至 80%(圖 4-2-3)，四分位差的表現上，2009 年的值明顯低於他年，表示在崩塌地數量較他年更多分布在四分位範圍內，代表莫拉克颱風的極端事件引發的崩塌坡度範圍更加集中。

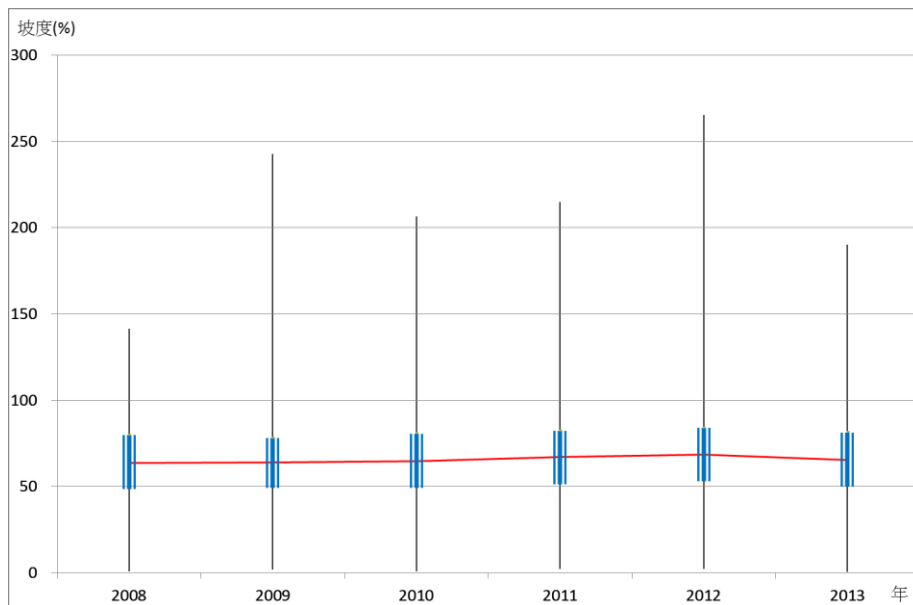


圖 4-2-3 各年崩塌地坡度四分位盒狀圖

將各年崩塌地坡度繪製次數分配圖(如圖 4-2-4)，整體來說各年皆略呈正偏態，偏態係數約 0.4 至 0.62，說明極陡坡的崩塌數量比起極緩坡的崩塌數量要多，故右側陡坡部分具有偏離值。峰度係數表現上，2009 年與 2012 年皆大於 2，代表崩塌發生的坡度在高峰部分的比例較大，考量降雨事件的影響，兩者代表的意義不同，2009 年是因極端事件降雨導致崩塌多發生在高峰範圍內，2012 年則是因長年的崩塌地復育縮減，僅剩易耗發崩塌坡度範圍數量保持較多，故相顯集中。

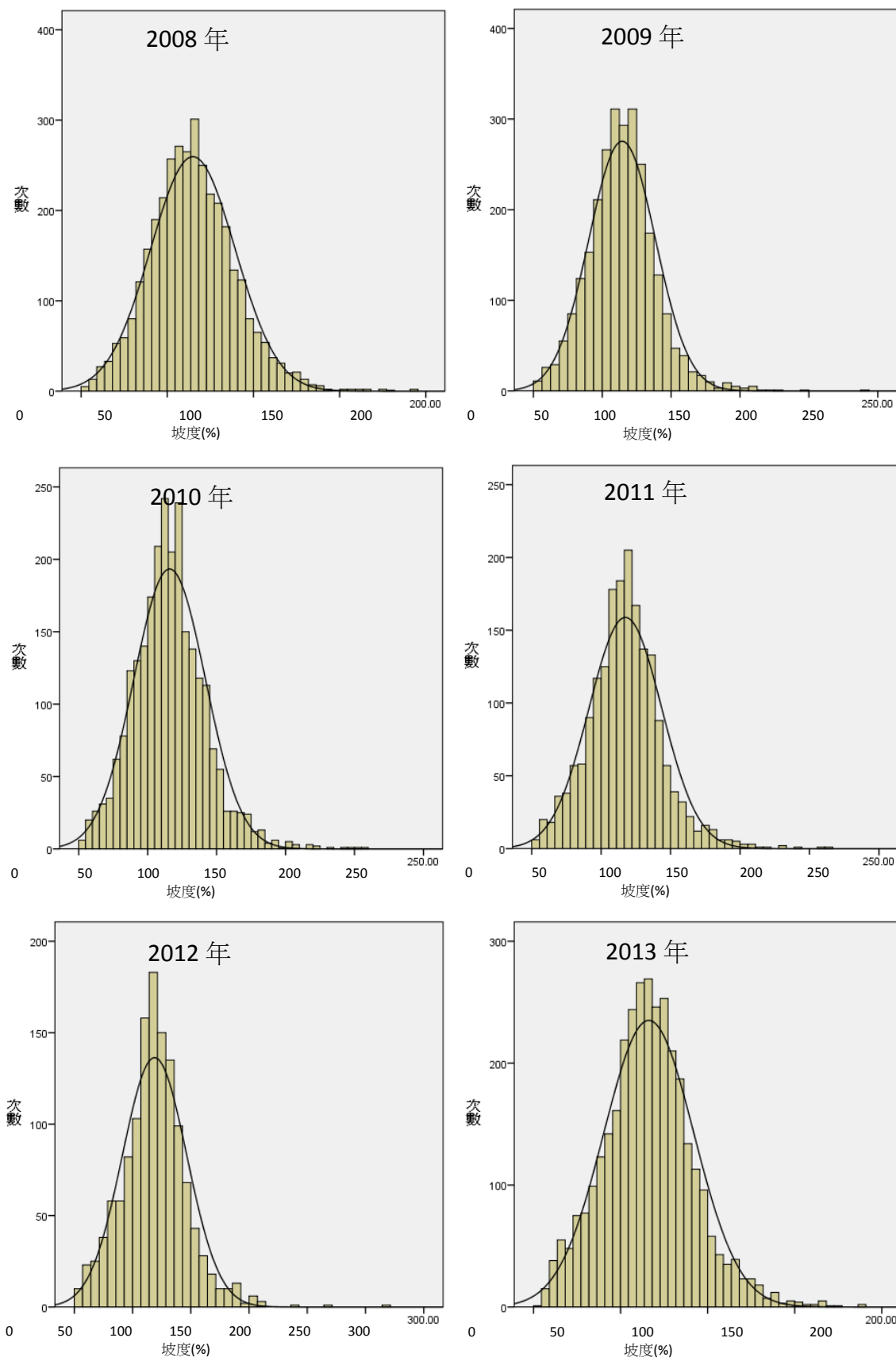


圖 4-2-4 各年崩塌地嵌塊體坡度次數分配圖

坡向

依據蕭震洋等人(2009)研究指出，坡向會受到不同日曬量多寡，日夜溫差有所差異，會間接影響地質的風化程度；賴韋廷(2009)的研究也顯示相似的結果，並更進一步指出迎風面擁有較大的降雨量，間接影響坡地岩層的崩解速率，增加崩塌發生的機率。臺灣因位處板塊交界帶，常年受到菲律賓海板塊向西北方向的推動擠壓，以致於臺灣山脈多呈東北-西南走向，使得山脈兩側西北及東南順向坡在雨季時易受地形作用，迎風降雨量大，崩塌發生機率較其他坡向要高(黃漢淨，2006)。

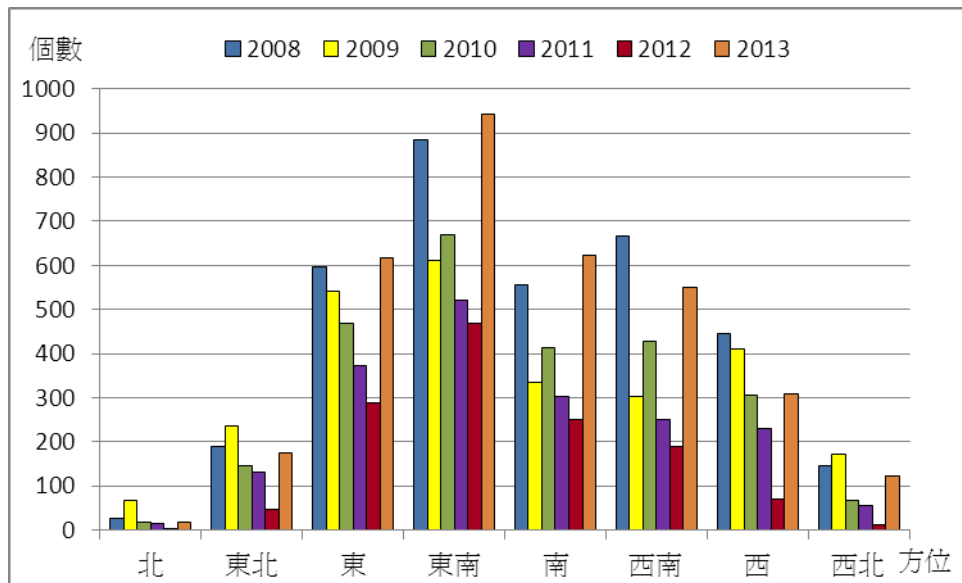


圖 4-2-5 各年崩塌地坡向個數分布圖

2008 年至 2013 年的崩塌地嵌塊體坡向分布統計結果顯示(圖 4-2-5)，崩塌地以東南向居多，平均約佔 27.7%，其次是東向，約佔 19.3%，南向及西南向分別各佔 16.4%與 15.2%，偏北側坡發生崩塌的數量少，僅約佔近 10%，此分析結果與前人研究結果相吻合。

為瞭解各年際間崩塌復育型嵌塊體的植被生長狀況，本研究以輻射校正同態化後的 NDVI 值做為評估依據，劉益誠(2008)、張益祥(2010)提到當 NDVI 門檻值於 0.05 時為植被區與非植被區之分界，而一般草生地的 NDVI 反射值多介於 0.1 至 0.4 之間，其數值越大表示植被生長越茂密。分析各年 NDVI 變化如圖 4-2-17。續以 t 檢定結果分析各年際變化復育狀況是否有明顯差異，2008 年至 2013 年共五組成對樣本，各組 t 檢定值(表 4-2-3)均達顯著水準($p < 0.05$)，顯示各期 NDVI 值有上升的趨勢，其中又以 2010-2011 年與 2008-2009 年的 NDVI 平均值增加最多，分別約增加 0.45 與 0.42，為復育型嵌塊體地表覆蓋變化最為劇烈的兩個時期；研判應是 2008 與 2010 分別有較大的颱風降雨，造成多處大型崩塌，而隔年颱風降雨不若前期大，故有明顯復育現象。

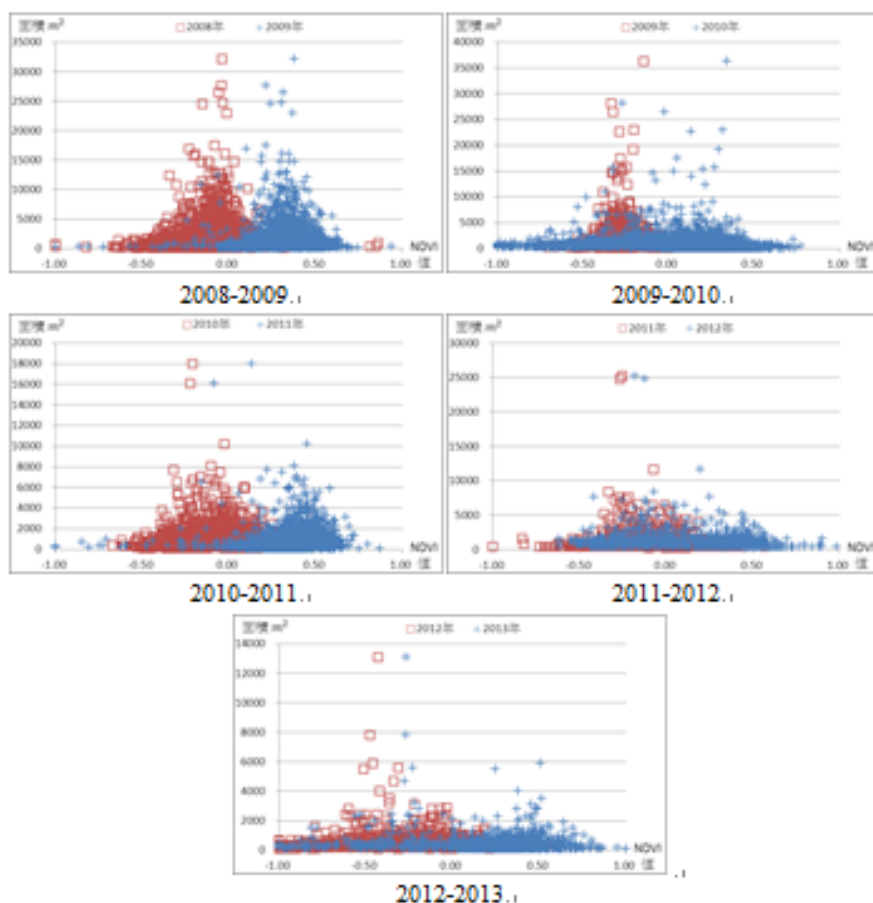


圖 4-2-6 逐年復育地各面積嵌塊體前後期 NDVI 值變化散布圖

表 4-2-3 逐年復育區嵌塊體前後期 NDVI 值成對樣本檢定表

時間	成對變數差異					t	自由度	顯著性 (雙尾)
	平均數	標準差	平均數的標準誤	差異的 95% 信賴區間				
				下界	上界			
2008-2009 NDVI 差值	-.41697	.23059	.00355	-.42392	-.41001	-117.595	4228	.000
2009-2010 NDVI 差值	-.20282	.29051	.00476	-.21216	-.19348	-42.581	3719	.000
2010-2011 NDVI 差值	-.44844	.23864	.00411	-.45650	-.44038	-109.058	3367	.000
2011-2012 NDVI 差值	-.19581	.29507	.00589	-.20735	-.18427	-33.266	2512	.000
2012-2013 NDVI 差值	-.26341	.39726	.00829	-.27967	-.24715	-31.765	2294	.000

地景指標分析成果

將歷年颱風降雨搭配各年地景指標分析發現大型崩塌地的平均面積(MPS)、面積標準差 (AREA_SD)與最大嵌塊體面積皆隨各年平均颱風降雨規模正向變化(圖 4-2-7)，說明大規模的颱風事件對大型崩塌地更具影響。

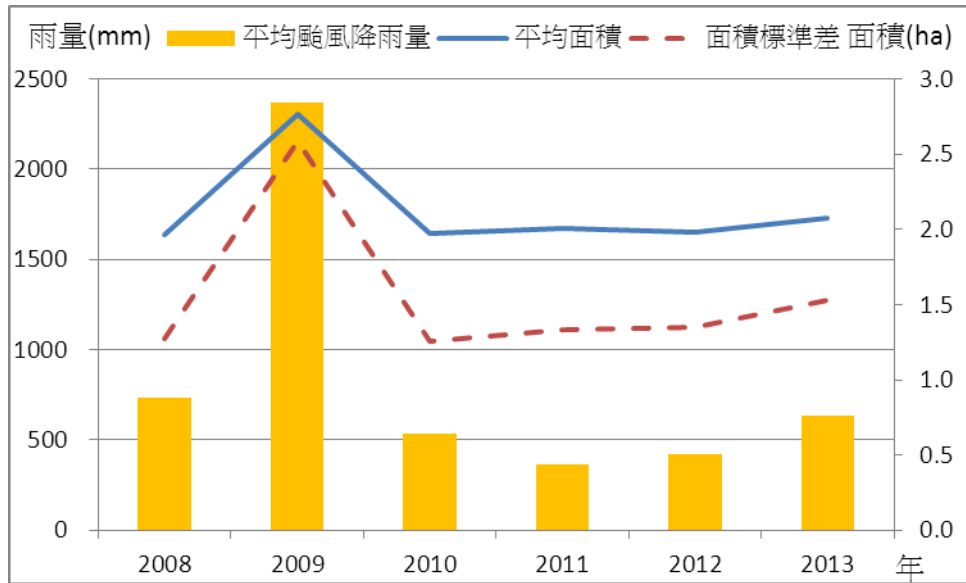


圖 4-2-7 各年平均颱風降雨規模與大型崩塌平均面積及標準差關係

另以崩塌擴崩區之地景指標分析崩塌地的動態變化過程(如圖 4-2-8)。擴崩型嵌塊體數量(NP)在前兩個年際(2008-2009 年、2009-2010 年)差異不大，在 2010 年到 2012 年穩定期間有減少的趨勢，至 2013 年才又上升；而以前述平均嵌塊體面積大小(MPS)及面積標準差(AREA_SD)來衡量嵌塊體面積的差異性，以 2008-2009 年的擴崩型嵌塊體平均面積最大，其標準差也為逐年之冠，表示 2009 年莫拉克颱風的極端事件造成嚴重的崩塌破壞外，對大型擴崩的產生具影響的影響力，故該年新擴崩的崩塌面積大小差異很大，但受大型極端值影響下，平均面積指標表現仍大；其次在 2013 年後的大型颱風侵擾後，才又出現平均面積與標準差同步大幅上升的情況。

相關性說明目前已評估之地景指標中以最大嵌塊體面積 CA、平均嵌塊體面積大小 MPS、面積標準差 AREA_SD 等與嵌塊體面積大小有關之指標與颱風降雨量呈現顯著相關(如表 4-2-4)。

表 4-2-4 年雨量及平均颱風降雨量對大型崩塌各指標相關性

指標		嵌塊體數量 NP	嵌塊體面積 CA	平均嵌塊體 面積大小 MPS	面積標準差 AREA_SD	最大嵌塊體 面積	平均碎形維 度 FRAC_MN
平均颱風降 雨量	Pearson 相關	.143	.466	.976**	.969**	.991**	.930
	顯著性 (雙尾)	.787	.352	.001	.001	.000	.007
個數		6					

** . 在顯著水準為 0.01 時 (雙尾)，相關顯著。

各崩塌分類年間面積轉變交叉分析

本研究利用各年度崩塌地的空間位置，以地理資訊系統的空間套疊分析功能，依不同年間崩

塌地空間變化情況，將年際間崩塌地變遷過程分為三個種類，分別為崩塌擴崩區、崩塌復育區及崩塌維持不變區，透過分析逐年三種類別崩塌地的地景結構變化，來說明南化水庫集水區崩塌地的動態變化過程。

(一)面積及數量相關指標

1.擴崩區

由表 4-2-5 可得知，擴崩區的嵌塊體面積(CA)自 2009 年後逐年呈現下降的趨勢，顯示在經過 2008 年及 2009 年連續兩年有大規模降雨颱風且年雨量大的侵擾下，崩塌的面積與數量指標較高，而後隨著後續幾年的穩定，擴崩的面積也較少，至 2013 年後，才因有大規模的颱風，導致面積攀升(圖 4-2-9)，整體上來說擴崩區的總面積指標變化與各年崩塌地的總面積變化趨勢一致，可相當的反應各年遭受大型颱風的狀況。

擴崩區嵌塊體數量(NP)在前兩個年際(2008-2009 年、2009-2010 年)差異不大，在 2010 年到 2012 年穩定期間有減少的趨勢，至 2013 年才又上升(圖 4-2-9)；以平均嵌塊體面積大小(MPS)及面積標準差(AREA_SD)來衡量嵌塊體面積的差異性，以 2008-2009 年的擴崩區嵌塊體平均面積最大，其標準差也為逐年之冠(圖 4-2-10)，表示 2009 年莫拉克颱風的極端事件造成嚴重的崩塌破壞外，對大型擴崩的產生具影響的影響力，故該年新擴崩的崩塌面積大小差異很大，但受大型極端值影響下，平均面積指標表現仍大；其次在 2013 年後的大型颱風侵擾後，才又出現平均面積與標準差同步大幅上升的情況。

表 4-2-5 各崩塌分類逐年面積與數量相關指標表

時間變化	類別	嵌塊體總面積(ha) CA	嵌塊體數量 NP	嵌塊體密度 PD	平均嵌塊體大小(ha) MPS	嵌塊體面積標準差 AREA_SD
2008-2009	擴崩區	350.78	3361	31.12	0.11	0.43
	復育區	538.29	4229	39.16	0.14	0.22
	維持不變區	203.37	2002	18.54	0.11	0.27
2009-2010	擴崩區	220.52	3480	32.22	0.07	0.09
	復育區	335.5	3720	34.44	0.10	0.19
	維持不變區	218.65	2026	18.76	0.12	0.33
2010-2011	擴崩區	190.48	2754	25.50	0.08	0.10
	復育區	254.92	3368	31.19	0.08	0.10
	維持不變區	184.03	1665	15.42	0.12	0.32
2011-2012	擴崩區	86.51	1282	11.87	0.08	0.09
	復育區	213.59	2513	23.27	0.10	0.14
	維持不變區	160.92	984	9.11	0.19	0.40
2012-2013	擴崩區	438.41	4409	40.82	0.11	0.15
	復育區	82.29	2295	21.25	0.04	0.06
	維持不變區	167.44	1309	12.12	0.15	0.37

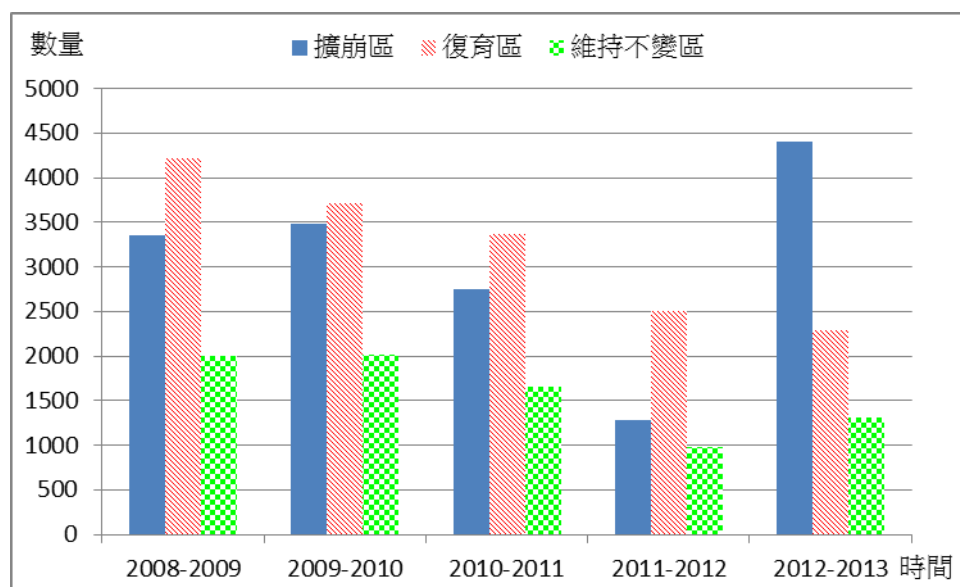


圖 4-2-8 逐年各崩塌類別數量指標(NP)變化

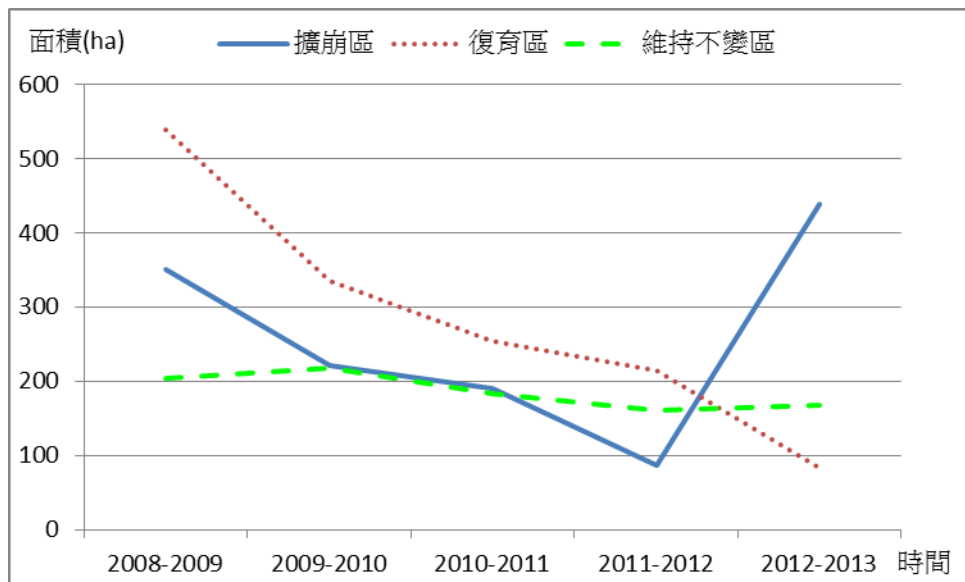


圖 4-2-9 逐年各崩塌類別總面積指標(CA)變化

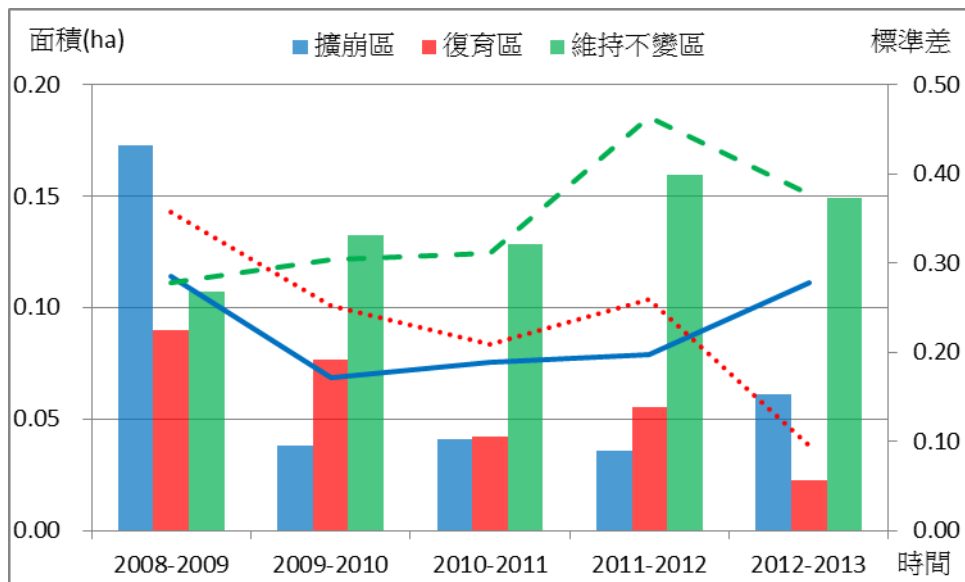


圖 4-2-10 逐年各崩塌類別平均面積(MPS)與面積標準差(AREA_SD)變化

由於各崩塌類別是經由前後期崩塌地分布位置進行空間差集而得，故可將擴崩區面積除以後期崩塌地面積，即可得到後期年份的崩塌地新擴崩百分比(圖 4-2-11)，可用以衡量該年的崩塌有多少比例受到當年事件而導致新崩塌，結果顯示 2009 年的擴崩比佔 63%，2010 年與 2011 年皆佔 50%，2012 年最低，僅佔 35%，2013 年佔 72%，為各年最高；2009 年的雖有極端事件，但因 2008 年颱風事件使研究區亦產生不少崩塌，故 2009 年的崩塌地有 37% 是與 2008 年崩塌範圍重疊(維持不變區崩塌)，使得崩塌比的分析上不比穩定年後的 2013 年表現。

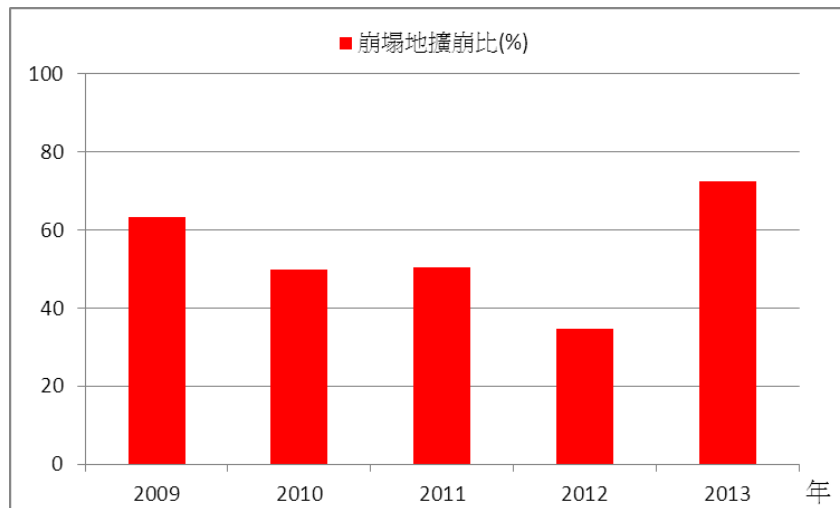


圖 4-2-11 各年新擴崩面積佔各年崩塌面積百分比

2. 復育區

由表 4-2-5 可得知，崩塌復育區的嵌塊體面積(CA)逐年呈現下降的趨勢，嵌塊體數量(圖 4-2-19)也逐漸下降，其中又以 2008-2009 年復育面積最為廣大(圖 4-2-10)，顯示前期 2008 年大量的崩塌地在經歷 2009 年莫拉克極端事件後，環境仍有高度的承受能力，可在大型擾動事件中充分展現恢復彈性；由平均面積(MPS)及面積標準差(AREA_SD)指標分析，兩者趨向一致，即平均面積大，面積標準差亦大(圖 4-2-12)，說明 2008-2009 年及 2009-2010 年兩個年際復育面積大小差異較大。崩塌復育區是由前期崩塌範圍減去後期崩塌範圍的空間差集所組成，故可將復育區崩塌總面積除以前期崩塌地面積，可得到前期年份的崩塌地復育百分比(圖 4-2-12)，可用以衡量該年崩塌地在年時間尺度下，復育的速率，結果顯示復育比以 2008 年最高，佔 72.2%，意味 2008 年的崩塌地到 2009 年有近 72% 已恢復，2009 年至 2011 年逐年略為下降，復育比尚在 55% 以上，崩塌復育狀況尚稱良好，2012 年復育比下滑至 33%，由於該年擴崩比亦不高，故研判 2012 年有大面積的維持不變區崩塌，即屬於舊有崩塌，且有易復崩難恢復的特性，因此呈現在缺乏颱風干擾的情況下，恢復比仍舊不高之因。

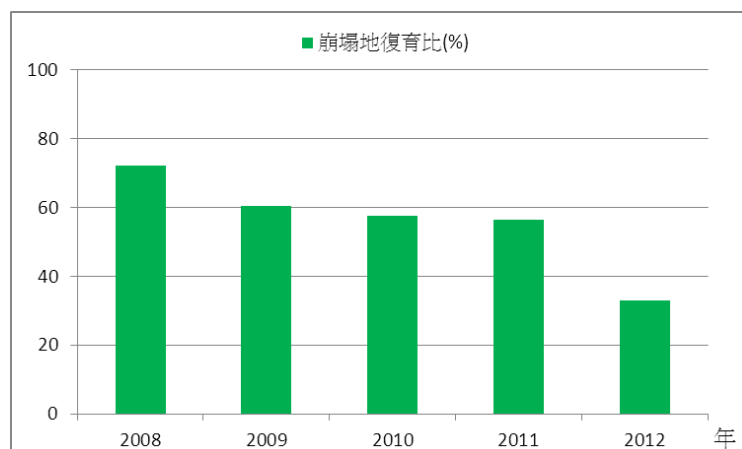


圖 4-2-12 各年復育面積佔各年崩塌面積百分比

3.維持不變區

由表 4-2-5 可得知，維持不變區的嵌塊體面積(CA)以 2009-2010 年最高，爾後到 2012 年間，因穩定恢復而略有下降，2013 年因又潭美、康芮等颱風影響下，面積再略微上升，整體而言維持不變區總面積逐年變動小，顯示舊有崩塌地復育不易的特性(圖 4-2-20)。平均面積(MPS)指標則在 2012 年到達高峰，研判是逐年的恢復速率下，使維持不變區崩塌嵌塊體數量減少，剩下維持不變區的崩塌皆屬面積較大者難恢復者(圖 4-2-20)。

4.各崩塌分類年間面積轉變交叉分析

若再將各年際間的崩塌分類，透過地理資訊系統進行空間聯集運算後計算類別間相互轉變的面積量，製作各類崩塌面積移轉交叉分析表(表 4-2-6 ~表 4-2-9)，可再進一步評估復育(或擴崩)後的嵌塊體穩定性。從面積移轉交叉分析表中可以看見各類崩塌地在三個年度兩次轉變的過程，以擴崩後復再來說，2010 年約有 80.05%的復育地是由 2009 年的擴崩組成的(來源比)，2011 年的復育地有 72.08%由 2010 年擴崩組成，2012 年復育地有 59%由 2011 年擴崩組成，2013 年復育地有 56.54%由 2012 年擴崩組成，顯示擴崩面積越大，佔隔年復育面積的比例就越大；同時分析 2009 年先擴崩 2010 年再復育的面積佔前期擴崩總面積的 76.57%(轉變比)，2010 年先擴崩 2011 年再復育的面積佔前期擴崩總面積的 83.32%，2011 年先擴崩 2012 年再復育的面積佔前期擴崩總面積的 66.16%，2012 年先擴崩 2013 年再復育的面積佔前期擴崩總面積的 53.79%，顯示多數擴崩在來年時就會復育，復育速率相當快，2010 年至 2012 年的先擴崩後再復育來源比明顯比前兩期大幅下降，表示在前兩期(2008 年至 2010 年、2009 年至 2011 年)的崩塌地高度頻繁在擴崩與復育間轉變，擴崩區與復育區的空間分佈在此段時期有高度重疊(詳見圖 4-2-8~圖 4-2-12)，崩塌地狀況極不穩定。

表 4-2-6(a) 2008 年至 2010 年各類崩塌面積移轉交叉分析表

		2009-2010					
類別		擴崩區	復育區	維持 不變區	非崩塌		
類別	面積(ha)	220.52	335.5	218.65			
2008 - 2009	擴崩區		268.58	82.2	402.26	擴崩後再復育 轉變比	76.57%
	復育區	136.03				復育後再擴崩 轉變比	25.27%
	維持 不變區	203.37	66.92	136.45		常年擴崩 維持比	67.09%
		復育後 再擴崩 來源比 61.69%	擴崩後 再復育 來源比 80.05%	長年崩塌 來源比 62.41%			

表 4-2-6(b) 2009 年至 2011 年各類崩塌面積移轉交叉分析表

2010-2011

類別		擴崩區	復育區	維持 不變區	非崩塌		
類別	面積(ha)	190.48	254.92	184.03			
2009 - 2010	擴崩區	220.52	183.74	35.1	219.87	擴崩後再復育 轉變比	83.32%
	復育區	335.5	115.63			復育後再擴崩 轉變比	34.46%
	維持 不變區	218.65	70.08	147.17		常年擴崩 維持比	67.31%
		復育後 再擴崩 來源比 60.70%	擴崩後 再復育 來源比 72.08%	長年崩塌 來源比 79.97%			

表 4-2-6(c) 2010 年至 2012 年各類崩塌面積移轉交叉分析表

2011-2012

類別		擴崩區	復育區	維持 不變區	非崩塌		
類別	面積 (ha)	86.51	213.59	160.92			
2010 - 2011	擴崩區	190.48	126.02	64.46	236.07	擴崩後再復育 轉變比	66.16%
	復育區	254.92	18.85			復育後再擴崩 轉變比	7.39%
	維持 不變區	184.03	87.57	96.46		常年擴崩 維持比	52.42%
		復育後 再擴崩 來源比 21.79%	擴崩後 再復育 來源比 59.00%	長年崩塌 來源比 59.94%			

表 4-2-6(d) 2011 年至 2013 年各類崩塌面積移轉交叉分析表

		2012-2013					
類別		面積 (ha)	擴崩區	復育區	維持不變區	非崩塌	
2011 - 2012	類別	面積 (ha)	438.41	82.29	167.44		
	擴崩區	86.51		46.53	39.98	109.34	擴崩後再復育 轉變比 53.79%
	復育區	213.59	104.25				復育後再擴崩 轉變比 48.81%
維持 不變區	160.92		35.14	125.78		常年擴崩維持 比 78.16%	
			復育後 再擴崩 來源比 23.78%	擴崩後 再復育 來源比 56.54%	長年崩塌 來源比 75.12%		

而以前期先復育後再擴崩佔前期復育總面積的百分比(轉變比)，來衡量復育地復育後的穩定程度，結果顯示 2009 年已復育 2010 年再擴崩的轉變比約 25.27%，2010 年已復育 2011 年再擴崩的轉變比約 34.46%，2011 年已復育 2012 年再擴崩的轉變比約 7.39%，2012 年已復育 2013 年再擴崩的轉變比約 48.81%，意味者近年的崩塌變化以 2010 到 2012 年是復育狀況最為穩定的階段，且搭配擴崩後再復育的分析結果亦可說明，2009 年莫拉克颱風後造成的崩塌不穩定，在 2012 年已達穩定，故使 2011 復育地在 2012 年擴崩的面積少，可粗略推斷莫拉克極端事件在南化水庫集水區造成的崩塌區域需 2 至 3 年左右才漸顯穩定。

若再將各年際間的崩塌分類，透過地理資訊系統進行空間聯集運算後計算類別間相互轉變的面積量，製作各類崩塌面積移轉交叉分析，可再進一步評估擴崩(或復育)後的嵌塊體穩定性。從面積移轉交叉分析中可以看見各類崩塌地在三個年度兩次轉變的過程，以擴崩育後復來說，2010 年約有 80.05%的復育地是由 2009 年的擴崩組成的(來源)，2011 年的復育地有 72.08%由 2010 年擴崩組成，2012 年復育地有 59%由 2011 年擴崩組成，2013 年復育地有 56.54%由 2012 年擴崩組成，顯示擴崩面積越大，佔隔年復育面積的比例就越大；同時分析 2009 年先擴崩 2010 年再復育的面積佔前期擴崩總面積的 76.57%(轉變比)，2010 年先擴崩 2011 年再復育的面積佔前期擴崩總面積的 83.32%，2011 年先擴崩 2012 年再復育的面積佔前期擴崩總面積的 66.16%，2012 年先擴崩 2013 年再復育的面積佔前期擴崩總面積的 53.79%，顯示多數擴崩在來年時就會復育，復育速

率相當快，2010 年至 2012 年的先擴崩後再復育來源比明顯比前兩期大幅下降，表示在前兩期(2008 年至 2010 年、2009 年至 2011 年)的崩塌地高度頻繁在擴崩與復育間轉變，擴崩型與復育型的空間分佈在此段時期有高度重疊(詳見圖 4-2-8~圖 4-2-12)，崩塌地狀況極不穩定。

崩塌與致災降雨分析

本研究將崩塌與降雨相關指標計有最大降雨強度、颱風總雨量、最大日雨量、總雨量分別大於 100mm、200mm、250mm、300mm、350mm、400mm、450mm、500mm、550mm、600mm 之事件等，進行相關分析，結果如表 4-2-10~表 4-2-12。發現崩塌個數與崩塌總面積成顯著高度相關、擴崩區面積與崩塌面積成顯著高度相關、颱風總雨量與前年崩塌面積差成顯著高度相關、日最大降雨量崩塌面積成顯著高度相關、兩年大於 250mm 事件總雨量差值與崩塌個數成顯著高度相關。

表 4-2-10 崩塌與降雨因子相關分析 (崩塌與雨量皆為與前一年差值)

	崩塌面積(ha)	崩塌個數	最大崩塌面積	年雨量	颱風總雨	最大事件總雨量	2nd 事件總雨量	3rd 事件總雨量	4th 事件總雨量	5th 事件總雨量	最大降雨強度	2nd 降雨強度	3rd 降雨強度	4th 降雨強度	5th 降雨強度	最大日雨量	>200 事件總雨量	>250 事件總雨量	>300 事件總雨量	>350 事件總雨量	>400 事件總雨量	>250 事件與前年差值
崩塌面積(ha)	1	.969**	.363	.543	.661	.352	.512	.319	.431	.438	.804	.851*	.858*	.843	.836	.911*	.470	.575	.447	.620	.501	-.938
崩塌個數	.969**	1	.264	.503	.515	.277	.472	.288	.408	.547	.708	.752	.779	.832	.859*	.826*	.395	.501	.340	.513	.341	-.954*
最大崩塌面積	.363	.264	1	-.052	.480	.856*	-.272	-.319	-.273	-.254	.041	.106	.061	.140	.127	.336	.189	.230	.322	.396	.438	-.495
年雨量	.543	.503	-.052	1	.772	.286	.960**	.926**	.974**	.775	.826*	.778	.804	.879*	.841*	.792	.916*	.922**	.832*	.831*	.731	.553
颱風總雨	.661	.515	.480	.772	1	.557	.661	.543	.641	.287	.777	.775	.755	.727	.655	.859*	.774	.809	.789	.843*	.845*	-.156
最大事件總雨量	.352	.277	.856*	.286	.557	1	.052	.109	.086	.165	.213	.242	.216	.402	.389	.471	.582	.593	.685	.703	.695	-.076
2nd 事件總雨量	.512	.472	-.272	.960**	.661	.052	1	.956**	.987**	.748	.867*	.814*	.841*	.833	.785	.745	.824*	.832*	.726	.728	.641	.780
3rd 事件總雨量	.319	.288	-.319	.926**	.543	.109	.956**	1	.968**	.782	.747	.680	.708	.747	.700	.613	.867*	.846*	.781	.733	.659	.918
4th 事件總雨量	.431	.408	-.273	.974**	.641	.086	.987**	.968**	1	.790	.789	.727	.761	.807	.770	.685	.845*	.840*	.739	.718	.619	.722
5th 事件總雨量	.438	.547	-.254	.775	.287	.165	.748	.782	.790	1	.539	.498	.564	.797	.842*	.535	.692	.701	.564	.565	.349	.531
最大降雨強度	.804	.708	.041	.826*	.777	.213	.867*	.747	.789	.539	1	.995**	.994**	.889*	.822*	.940**	.749	.805	.712	.799	.749	.110
2nd 降雨強度	.851*	.752	.106	.778	.775	.242	.814*	.680	.727	.498	.995**	1	.996**	.884*	.820*	.955**	.710	.776	.684	.788	.738	-.451
3rd 降雨強度	.858*	.779	.061	.804	.755	.216	.841*	.708	.761	.564	.994**	.996**	1	.912	.857*	.954**	.717	.783	.675	.778	.707	-.590
4th 降雨強度	.843*	.832*	.140	.879*	.727	.402	.833*	.747	.807	.797	.889*	.884*	.912*	1	.990**	.936**	.823*	.879*	.757	.842*	.692	-.086
5th 降雨強度	.836*	.859*	.127	.841*	.655	.389	.785	.700	.770	.842*	.822*	.820*	.857*	.990**	1	.891*	.773	.832*	.694	.783	.602	-.187
最大日雨量	.911*	.826*	.336	.792	.859*	.471	.745	.613	.685	.535	.940**	.955**	.954**	.936**	.891*	1	.769	.840*	.754	.866*	.788	-.462
>200 事件總雨量	.470	.395	.189	.916*	.774	.582	.824*	.867*	.845*	.692	.749	.710	.717	.823*	.773	.769	1	.992**	.981**	.959**	.901*	.203
>250 事件總雨量	.575	.501	.230	.922**	.809	.593	.832*	.846*	.840*	.701	.805	.776	.783	.879*	.832*	.840*	.992**	1	.973**	.976**	.907*	.988*
>300 事件總雨量	.447	.340	.322	.832*	.789	.685	.726	.781	.739	.564	.712	.684	.675	.757	.694	.754	.981**	.973**	1	.978**	.959**	.584
>350 事件總雨量	.620	.513	.396	.831*	.843*	.703	.728	.733	.718	.565	.799	.788	.778	.842*	.783	.866*	.959**	.976**	.978**	1	.963**	.482
>400 事件總雨量	.501	.341	.438	.731	.845*	.695	.641	.659	.619	.349	.749	.738	.707	.692	.602	.788	.901*	.907*	.959**	.963**	1	.512
>250 事件與前年差值																						1

** . 在顯著水準為 0.01 時 (雙尾), 相關顯著。* . 在顯著水準為 0.05 時 (雙尾), 相關顯著。

表 4-2-11 崩塌因子相關分析

	崩塌面積(ha)	與前年崩塌面積差	崩塌個數	與前年崩塌個數差	最大崩塌面積	與前年最大崩塌面積差值	擴崩區	復育區	不變區
崩塌面積(ha)	1	.531	.969**	.578	.363	.291	.985**	.115	.280
與前年崩塌面積差	.531	1	.642	.975**	-.273	.016	.634	-.778	-.477
崩塌個數	.969**	.642	1	.712	.264	.097	.960**	-.048	.255
與前年崩塌個數差	.578	.975**	.712	1	-.247	-.082	.663	-.720	-.369
最大崩塌面積	.363	-.273	.264	-.247	1	.752	.490	.747	.287
與前年最大崩塌面積差值	.291	.016	.097	-.082	.752	1	.368	.269	-.357
擴崩區	.985**	.634	.960**	.663	.490	.368	1	-.007	.110
復育區	.115	-.778	-.048	-.720	.747	.269	-.007	1	.714
不變區	.280	-.477	.255	-.369	.287	-.357	.110	.714	1

表 4-2-12 崩塌與降雨因子相關分析 全部紀錄

	崩塌面積 (ha)	崩塌個 數	最大崩塌 面積	年雨 量	颱風總 雨	最大事件 總雨量	2nd 事件總 雨量	3 rd 事件總 雨量	4 th 事件總 雨量	5th 事件總 雨量	最大降雨 強度	2 nd 降雨 強度	3 rd 降雨 強度	4 th 降雨 強度	5th 降雨 強度	最大日 雨量	>200 事件 總雨量	>250 事件 總雨量	>300 事件 總雨量	>350 事件 總雨量
崩塌面積 (ha)	1	.969**	.363	.543	.661	.352	.512	.319	.431	.438	.804	.851*	.858*	.843*	.836*	.911*	.470	.575	.447	.620
崩塌個數	.969**	1	.264	.503	.515	.277	.472	.288	.408	.547	.708	.752	.779	.832*	.859*	.826*	.395	.501	.340	.513
最大崩塌 面積	.363	.264	1	-.052	.480	.856*	-.272	-.319	-.273	-.254	.041	.106	.061	.140	.127	.336	.189	.230	.322	.396
年雨量	.543	.503	-.052	1	.772	.286	.960**	.926**	.974**	.775	.826*	.778	.804	.879*	.841*	.792	.916*	.922**	.832*	.831*
颱風總雨	.661	.515	.480	.772	1	.557	.661	.543	.641	.287	.777	.775	.755	.727	.655	.859*	.774	.809	.789	.843*
最大事件 總雨量	.352	.277	.856*	.286	.557	1	.052	.109	.086	.165	.213	.242	.216	.402	.389	.471	.582	.593	.685	.703
2nd 事件總 雨量	.512	.472	-.272	.960**	.661	.052	1	.956**	.987**	.748	.867*	.814*	.841*	.833*	.785	.745	.824*	.832*	.726	.728
3 rd 事件總 雨量	.319	.288	-.319	.926**	.543	.109	.956**	1	.968**	.782	.747	.680	.708	.747	.700	.613	.867*	.846*	.781	.733
4 th 事件總 雨量	.431	.408	-.273	.974**	.641	.086	.987**	.968**	1	.790	.789	.727	.761	.807	.770	.685	.845*	.840*	.739	.718
5th 事件總 雨量	.438	.547	-.254	.775	.287	.165	.748	.782	.790	1	.539	.498	.564	.797	.842*	.535	.692	.701	.564	.565
最大降雨 強度	.804	.708	.041	.826*	.777	.213	.867*	.747	.789	.539	1	.995**	.994**	.889*	.822*	.940**	.749	.805	.712	.799
2 nd 降雨強 度	.851*	.752	.106	.778	.775	.242	.814*	.680	.727	.498	.995**	1	.996**	.884*	.820*	.955**	.710	.776	.684	.788
3 rd 降雨強 度	.858*	.779	.061	.804	.755	.216	.841*	.708	.761	.564	.994**	.996**	1	.912*	.857*	.954**	.717	.783	.675	.778

度																						
4th 降雨強度	.843*	.832*	.140	.879*	.727	.402	.833*	.747	.807	.797	.889*	.884*	.912*	1	.990**	.936**	.823*	.879*	.757	.842*		
5th 降雨強度	.836*	.859*	.127	.841*	.655	.389	.785	.700	.770	.842*	.822*	.820*	.857*	.990**	1	.891*	.773	.832*	.694	.783		
最大日雨量	.911*	.826*	.336	.792	.859*	.471	.745	.613	.685	.535	.940**	.955**	.954**	.936**	.891*	1	.769	.840*	.754	.866*		
>200 事件總雨量	.470	.395	.189	.916*	.774	.582	.824*	.867*	.845*	.692	.749	.710	.717	.823*	.773	.769	1	.992**	.981**	.959**		
>250 事件總雨量	.575	.501	.230	.922**	.809	.593	.832*	.846*	.840*	.701	.805	.776	.783	.879*	.832*	.840*	.992**	1	.973**	.976**		
>300 事件總雨量	.447	.340	.322	.832*	.789	.685	.726	.781	.739	.564	.712	.684	.675	.757	.694	.754	.981**	.973**	1	.978**		
>350 事件總雨量	.620	.513	.396	.831*	.843*	.703	.728	.733	.718	.565	.799	.788	.778	.842*	.783	.866*	.959**	.976**	.978**	1		

4-3 歷年颱風事件統計分析

各路徑颱風基本資料分析

中央氣象局依據颱風侵台路徑分為 10 類(圖 4-3-1)，近十年颱風數量統計有發佈警報之颱風平約每年約 6 場。由 1958~2012 年歷年有發布警報的颱風以其強度與路徑分析結果顯示發生中度颱風比例最高佔 43%，其次為強列颱風 30%，最後為輕度颱風 27%。其中以路徑 5 發生次數最多佔 16%，路徑 3 與路徑 6 次之，各佔 15%(如圖 4-3-2 與圖 4-3-3)。



圖 4-3-1 中央氣象局颱風路徑分類圖

1958-2015 颱風強度比例

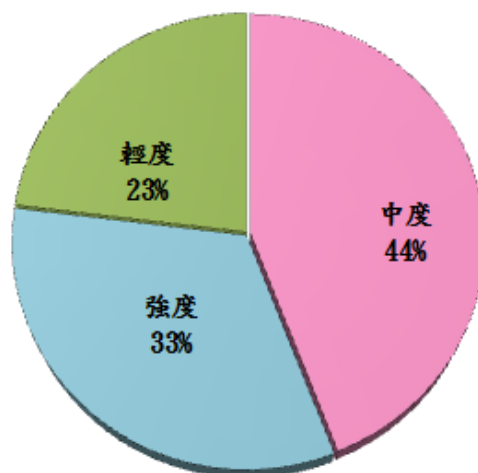


圖 4-3-2 1958~2015 颱風強度比例

1958~2015 歷年颱風各路徑所佔比例

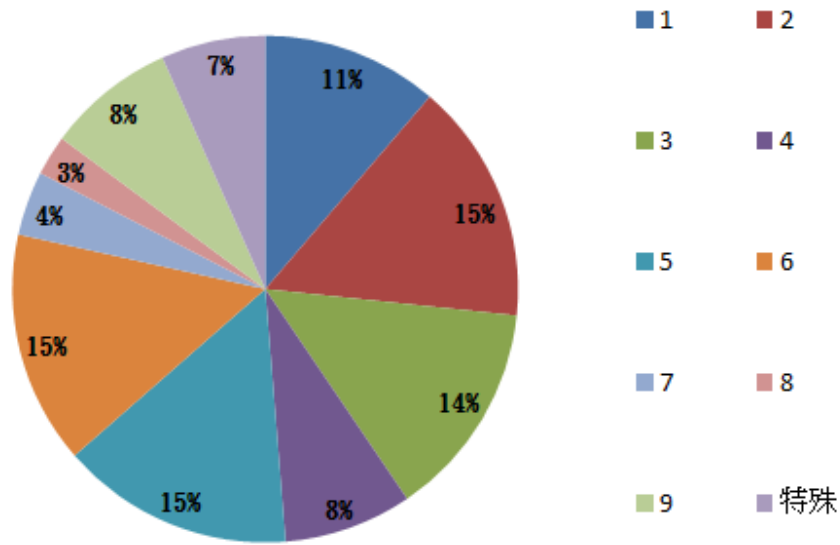


圖 4-3-3 1958~2015 歷年颱風各路徑所佔比例

而不同路徑中以路徑 1 與路徑 2 對於全台帶來最多之降雨量，由於台灣集水區坡陡流急且中央山脈地形影響降雨空間分佈不均勻，不同路徑颱風所帶來的降雨量有明顯差異，以曾文集水區徐昇權重最大的馬頭山雨量站及南化集水區內徐昇權重最大的關山站為代表比較，如圖 4-3-4-a~圖 4-3-4-c 顯示各路徑總降雨量的盒鬚圖，由圖可知，2 號路徑颱風對此區帶來的雨量明顯大於其他路徑颱風，且其他集水區內測站亦有類似現象，曾文馬頭山同一路徑颱風之總雨量變異小於南化的關山站。此數據可提供颱風剛形成，預報資料尚未充足時，防災先期準備的參考依據。

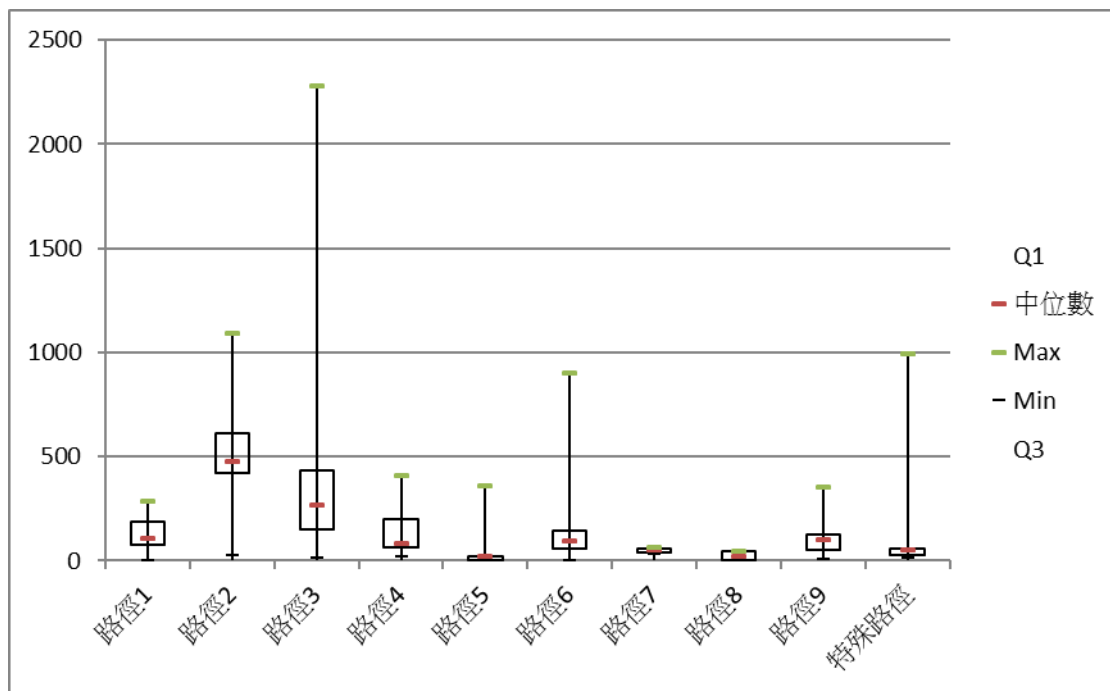


圖 4-3-4(a) 各路徑颱風於曾文集水區內馬頭山站平均總降雨量(1990-2015)

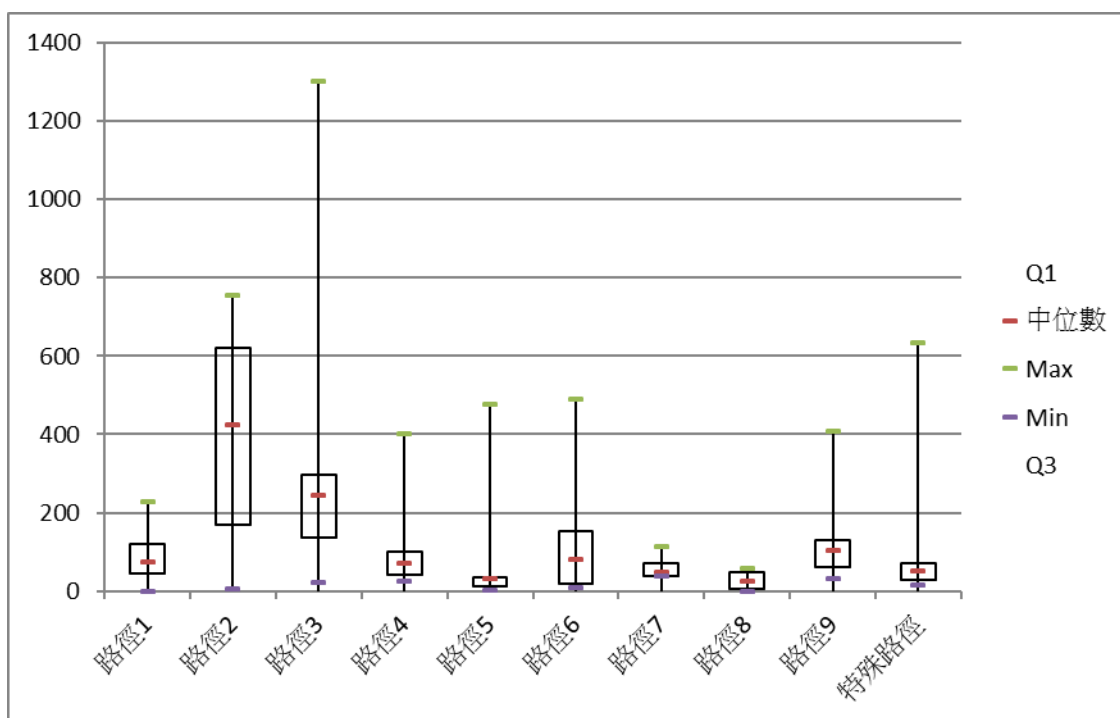


圖 4-3-4(b) 各路徑颱風於南化集水區內關山站平均總降雨量(1990-2015)

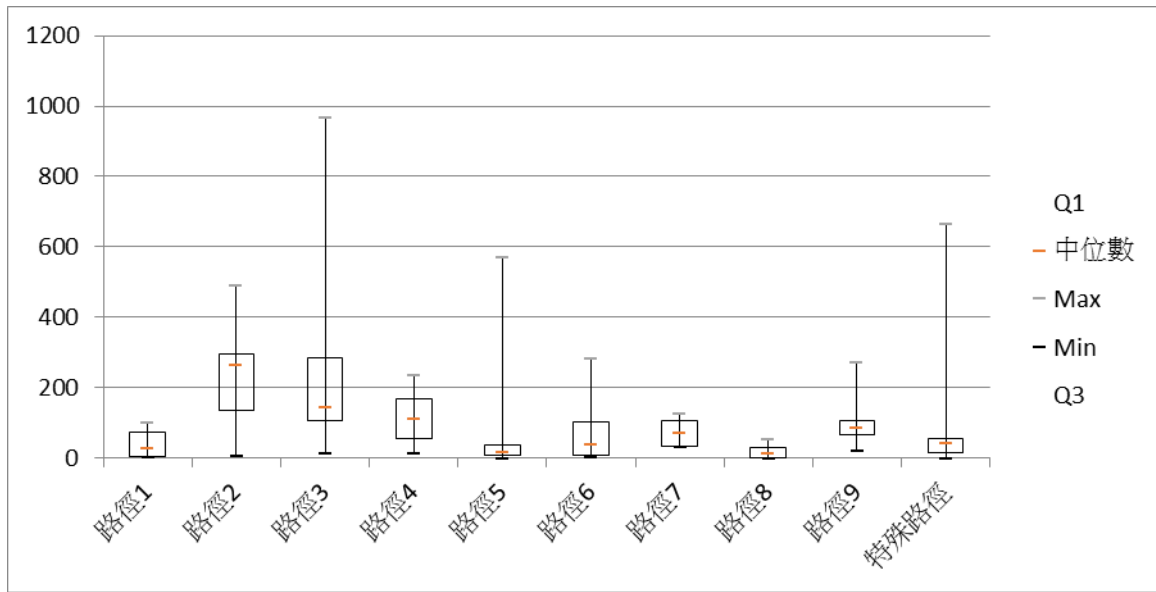


圖 4-3-4(c) 各路徑颱風於烏山頭集水區內王爺公站平均總降雨量

4-4 降雨頻率分析及空間均一尺度

本研究完成各頻率年降雨量之空間變異分析，分析其降雨空間變異，其變異特性可以套配高斯模式，其半變異圖如圖 4-4-3，可看出其空間變異趨勢，其影響半徑約 18 公里，可以此為集水區均一尺度之範圍，此與後續不同迴歸週期降雨之等值圖面積分析，超過 200 年週期之等值面積所減至 2500 平方公里。

本研究採用曾南烏集水區內暨有雨量站(如圖 4-5-1)分布資料進行降雨頻率分析及空間分析。分別以常態、對數常態、皮爾森三型及對數皮爾森三型等分布分別計算 2、5、10、25、50、100、200、500、1000、10000 年等迴歸週期之時雨量，並以克利金法進行空間推估，以利了解不同迴歸週期大小雨量之等區域範圍及空間變化，成果如圖 4-4-2(a)~(j)所示。

頻率分析後不同測站同一迴歸週期之降雨量不盡相同，原則上距離較近之測站將有較接近的雨量，比較迴歸週期 2 之半變異圖可知影像範圍約 18 公里，且同一迴歸週期時最大時雨量空間變化由 2 年時在中間偏北逐漸移動到 10000 年的東北邊山區楠溪附近，且西半部烏山頭地海拔區域相對呈現較大面積的等值區，均一範圍大小之變化由 2 年到 200 年頻率時面積減少為約 2500 平方公里。

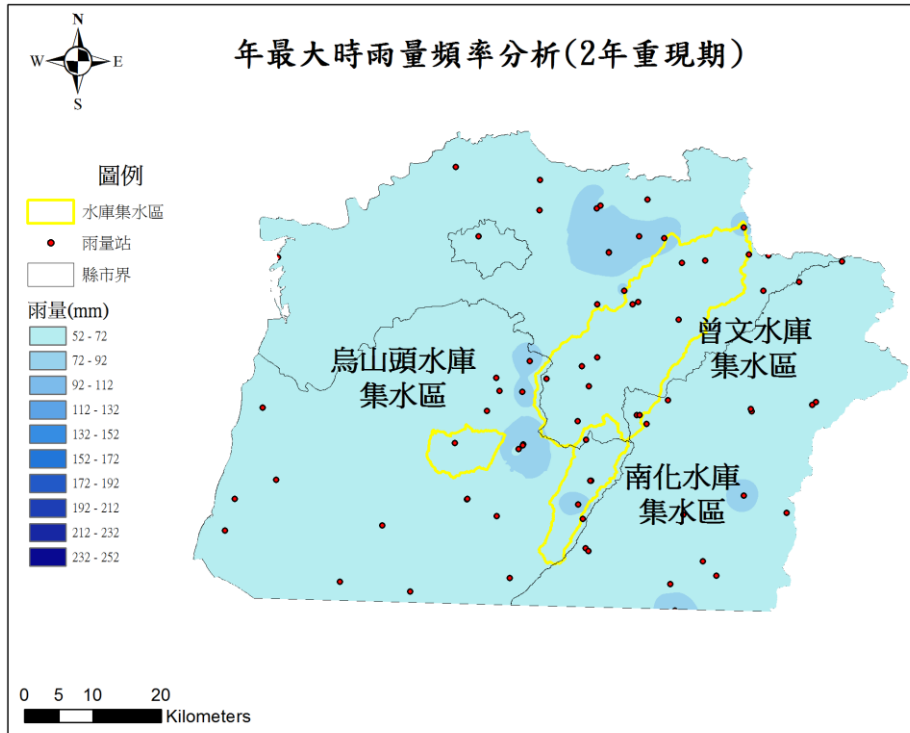


圖 4-4-2(a) 2 年頻率之雨量空間分布

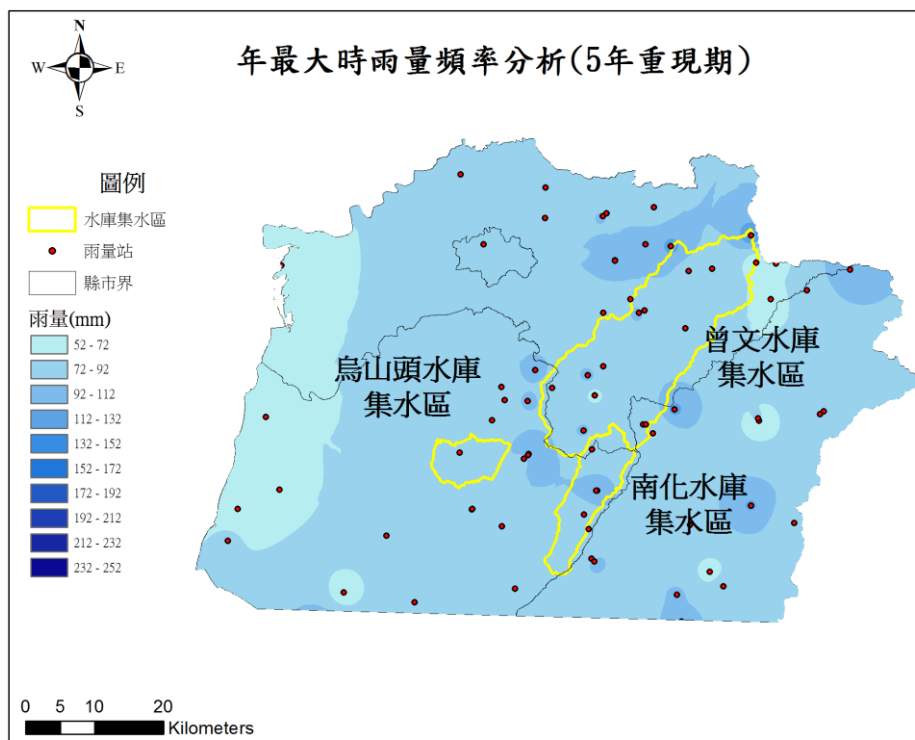


圖 4-4-2(b) 5 年頻率之雨量空間分布

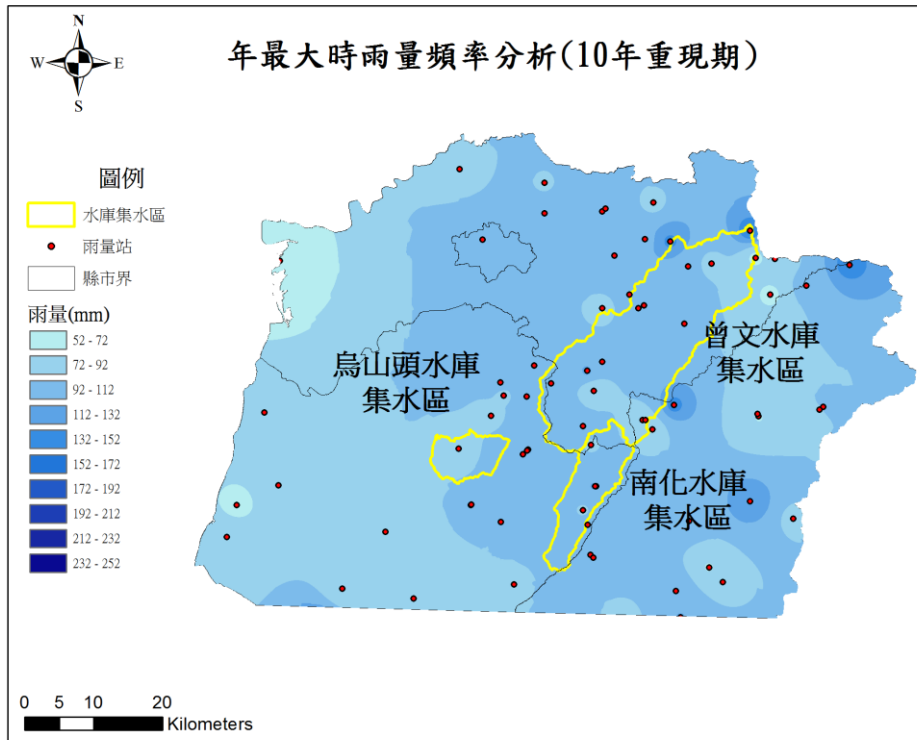


圖 4-4-2(c) 10 年頻率之雨量空間分布

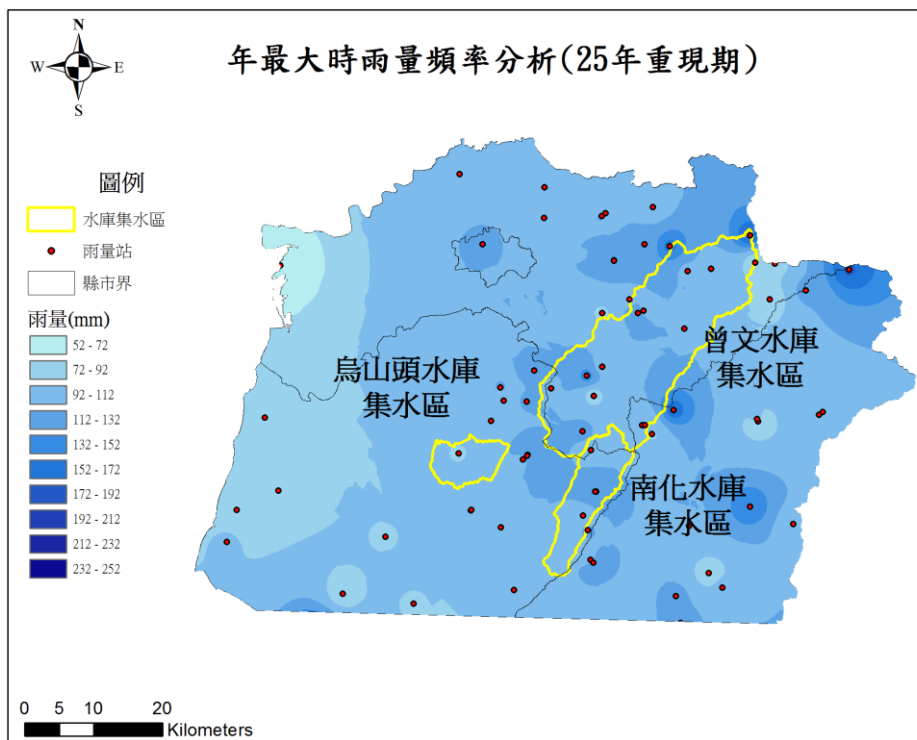


圖 4-4-2(d) 25 年頻率之雨量空間分布

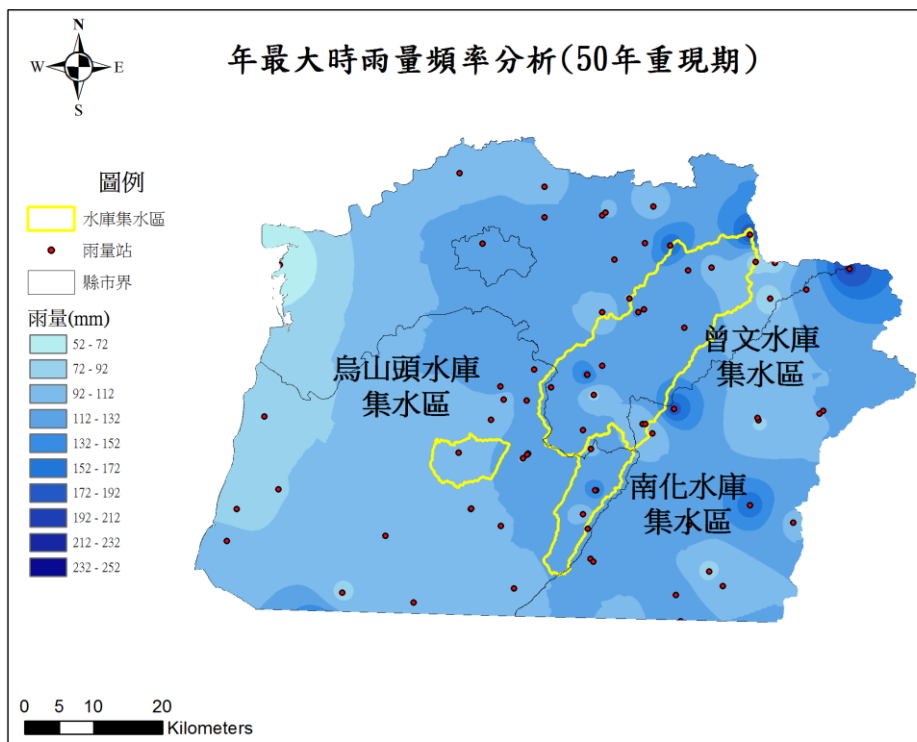


圖 4-4-2(e) 50 年頻率之雨量空間分布

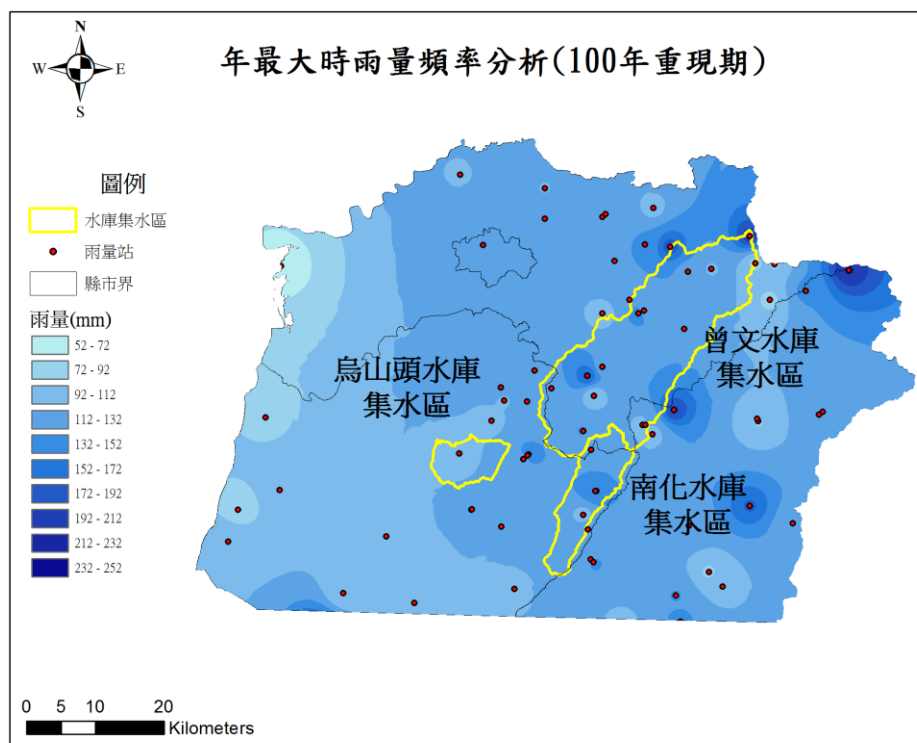


圖 4-4-2(f) 100 年頻率之雨量空間分布

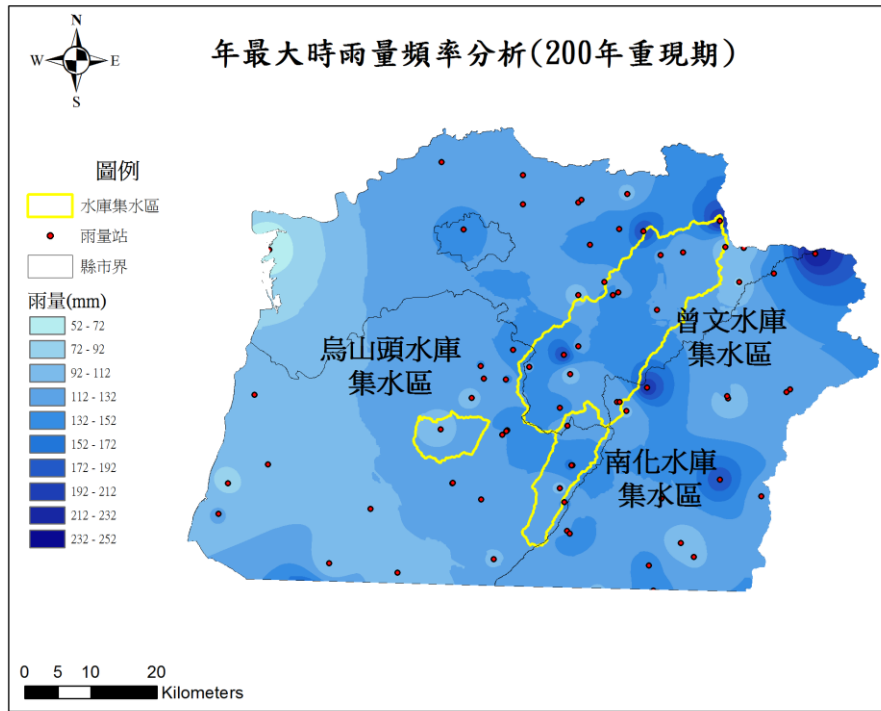


圖 4-4-2(g) 200 年頻率之雨量空間分布

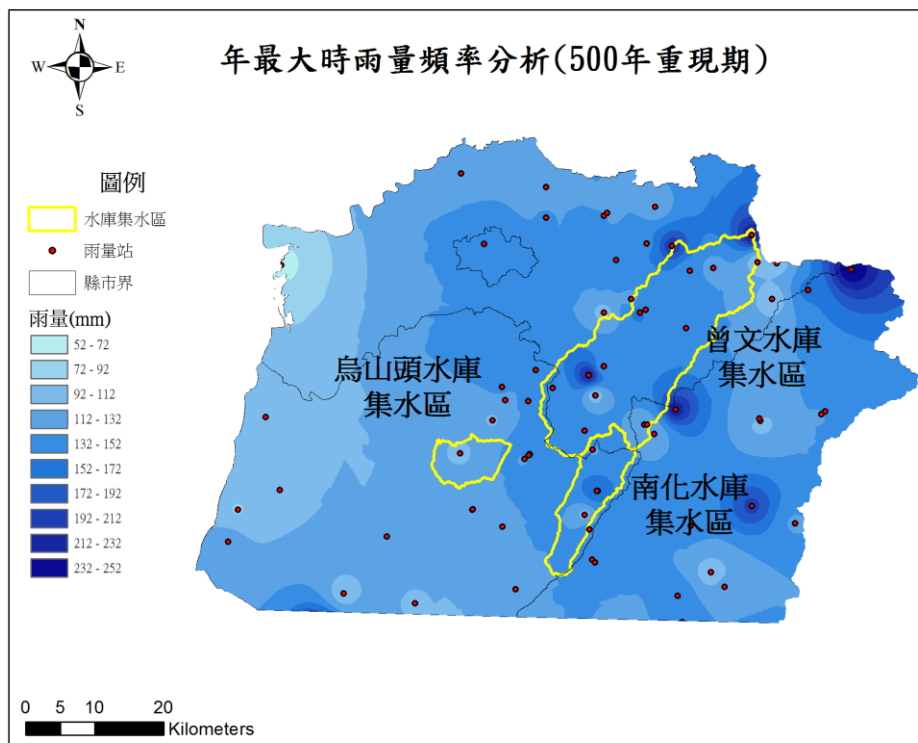


圖 4-4-2(h) 500 年頻率之雨量空間分布

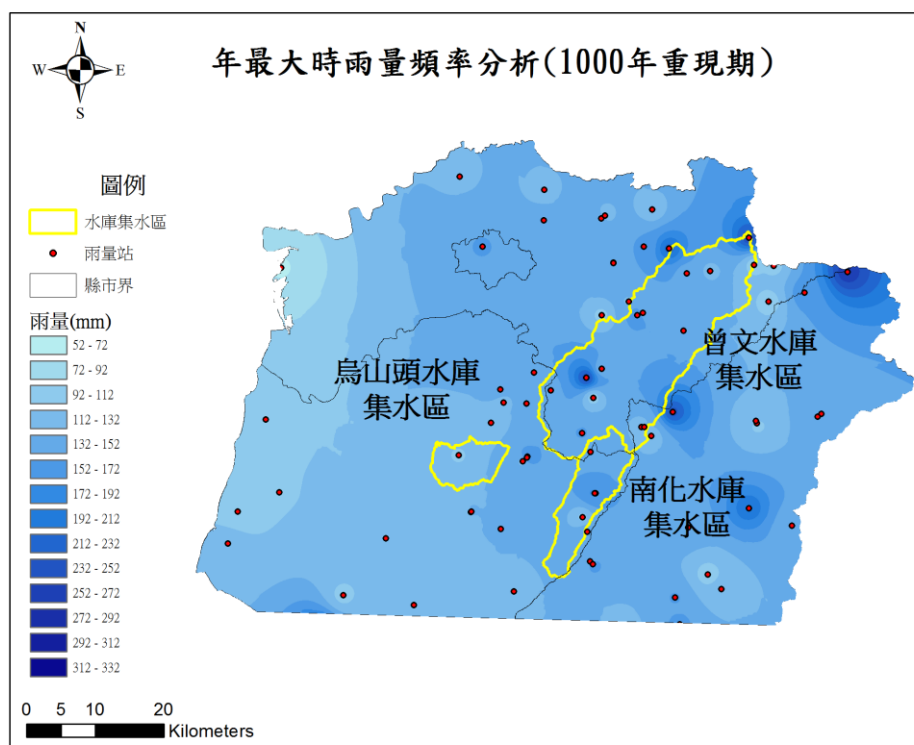


圖 4-4-2(i) 1000 年頻率之雨量空間分布

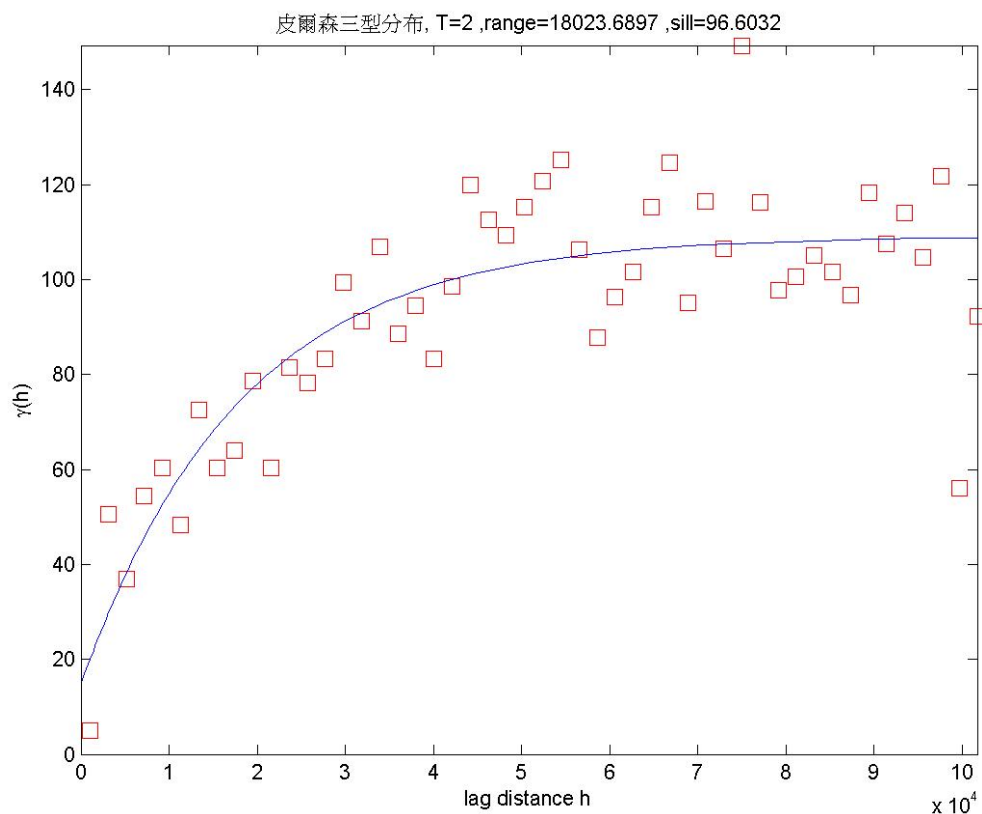


圖 4-4-3 半變異圖分析 (2 年頻率 皮爾森三型) 影響半徑=18km²

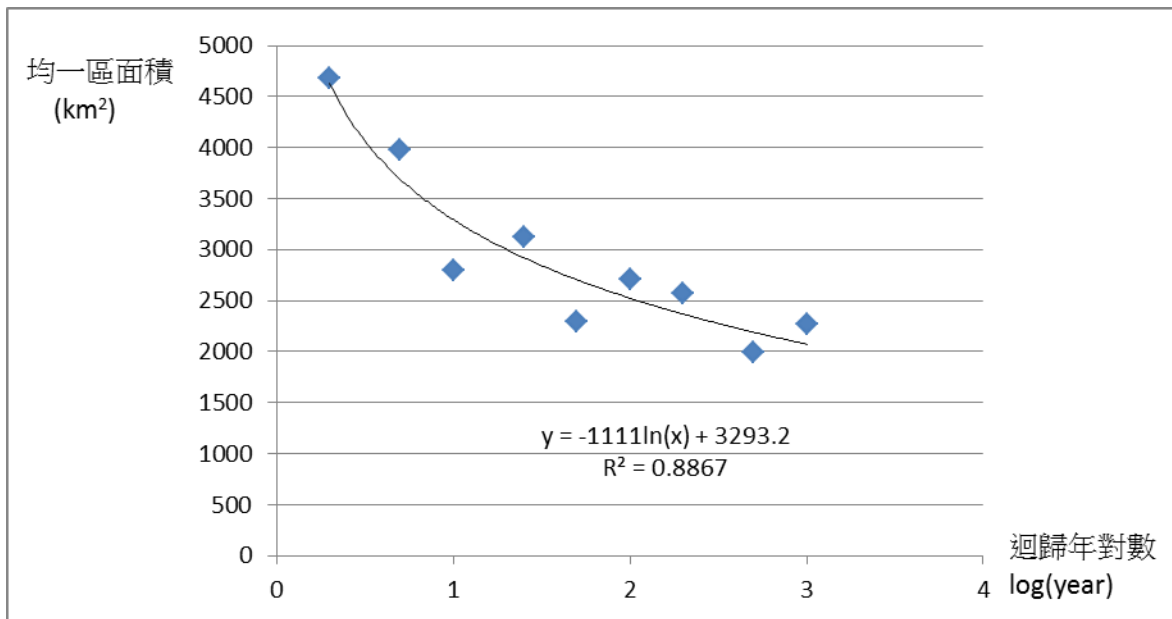


圖 4-4-4 集水區水文均一區面積分析

均一區面積隨迴歸週期越長而變小，成對數關係相關係數高達 0.8867，迴歸週期 200 年時，水文均一區面積大約由 2 年的 4500km² 減少到 2500km²。由半變異圖深入分析集水區均一尺度之極端降雨範圍，以及相關雨量降雨強度分析，進而建立坡地土砂災害之極端降雨致災臨界基準值分析模式，並評估研究區之極端降雨致災臨界基準值。

4-5 防災預警雨量站網設計

雨量站之代表性與空間分布關係到獲取雨量資料的應用效益，本研究為了建立防災預警目的之雨量站網，因此以颱風暴雨場次之時序資料進行最大熵分析，分析暨有雨量站網(如圖 4-5-1)之其資訊量，找出全區單站最大熵(0.354020)最大之第一站為代表站，曾南烏集水區之代表站為編號 1 之雨量測站(龍美)位於曾文集水區之中北部，後續依序照出最小共同熵之測站，全區第 2 重要雨量測站(北寮)則分布於南化集水區之南部，第 3 重要之雨量測站(表湖)位於曾文集水區東南。第 4 重要位於全區東北邊之水山站。由此可以發現信息熵法求得之全區代表性雨量站及加入雨量站之重要性順序，約略分布於全區不同地理位置，雨量站網評估成果如圖圖 4-5-2，圖中編號代表該雨量站之重要性順序，可掌握全區致災降雨狀況。

此雨量站網設計法之標準程序如下：

(1). 選出欲研究之雨型並考量致災風險

考量土砂災害之風險可以極端降雨及颱風事件之時序考量之。

$H(X) = -\sum_{n=1}^N P(X_n) \log P(X_n)$ 由此式分別求出各個已知雨量站之熵值 $H(X)$ 。再依熵值的

近似程度將測站分類。

(2).測站資訊重覆性排序

選出資訊量最多之測站為代表站。做重覆性排序時，首先選出熵值最大 $MAX \{H(X_1)\}$ (表示其不確定性最大，即資料中含有之資訊量較大) 的測站，此為第一個站。再選擇與第一站重覆資訊最少的測站為第二站 (可使新加入的測站能使整個系統增加較多的資訊)，依此類推將全區內之測站之重覆性，依序排列。

(3).決定所需測站數目

若以測站數目為橫軸，以 $H[(X_1, \dots, X_{j-1})X_j]$ 為縱軸，將兩者的關係繪圖之後可以發現，測站數目增加到一定數目以後 $H[(X_1, \dots, X_{j-1})X_j]$ 將不再增加，則可轉移資訊亦不會改變，即資訊量亦將不再增加，故若以此為資訊量的一個指標，可套配出上述關係圖的模式，找出臨界資訊量與影響站數。若不考慮經濟等因素時，則測站一直增加，直到加入的測站不會提供任何新的資訊時才停止加入。亦可由套配所得的模式估算達欲獲得的資訊量時，所應設置測站數目。

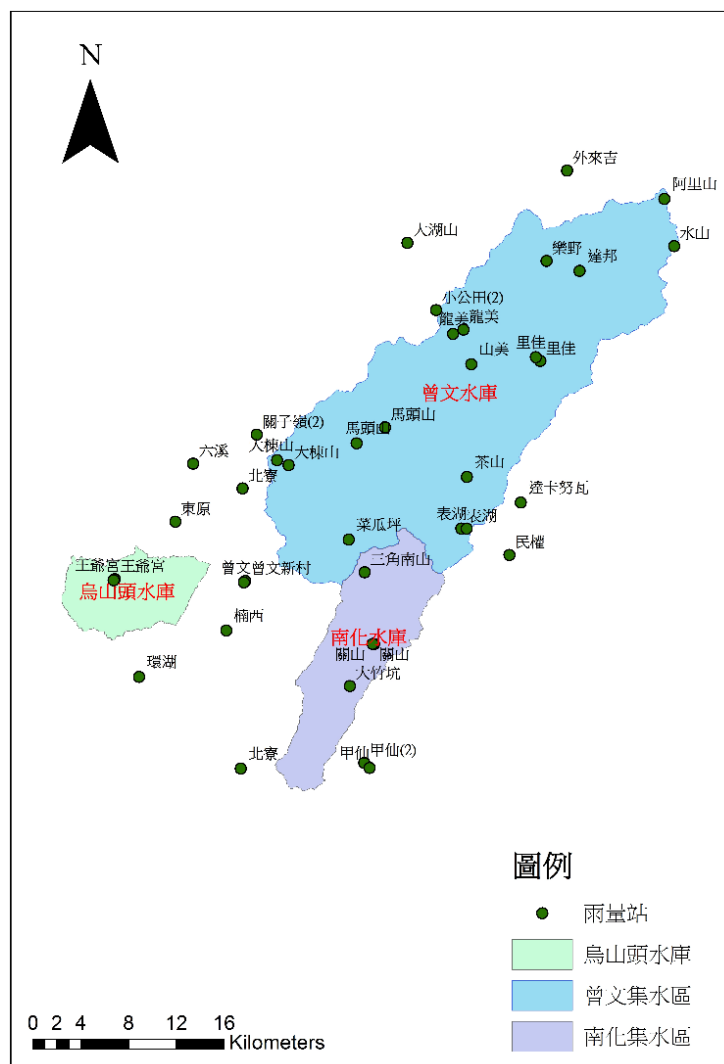


圖 4-5-1 曾南烏集水區既有雨量站分布

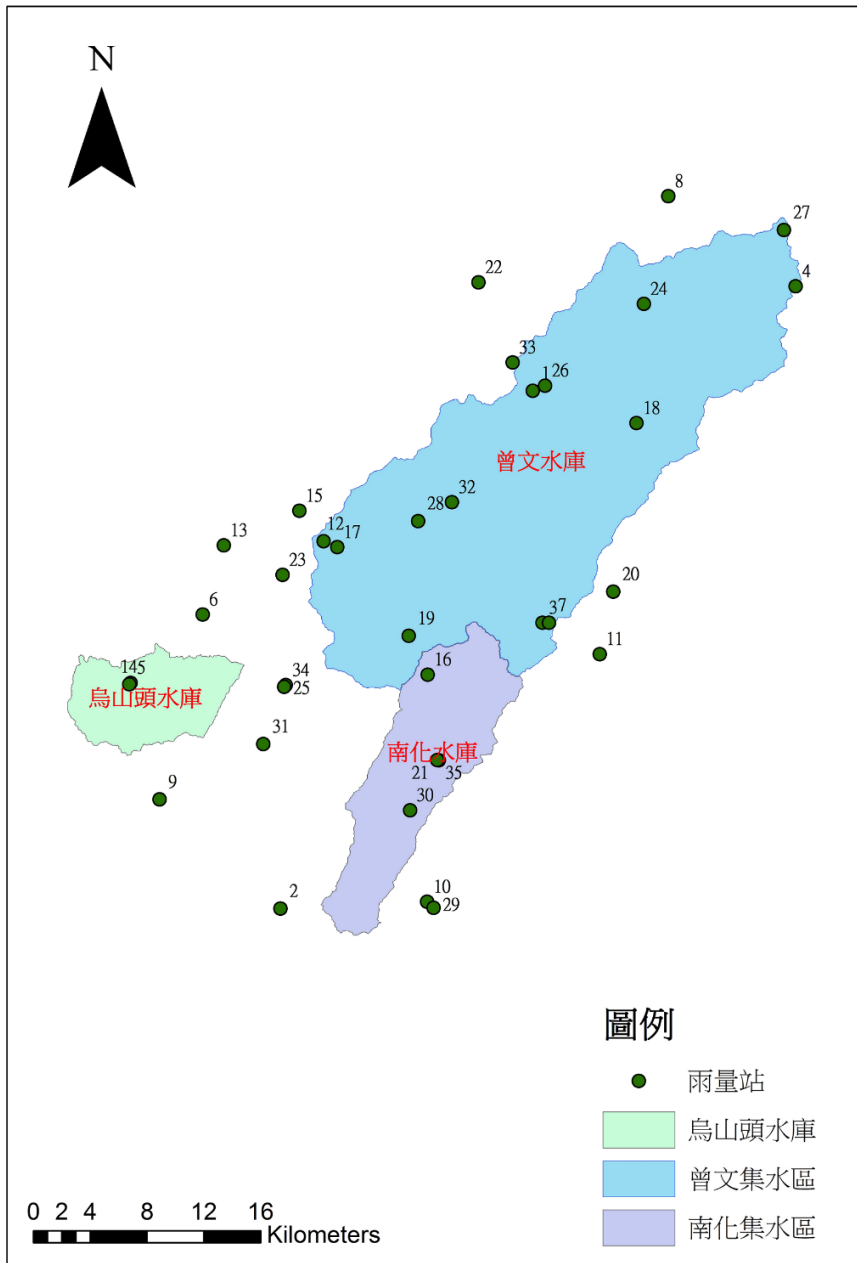


圖 4-5-2 防災預警雨量站網設計

崩塌潛勢圖

若依水文、地文環境條件建立崩潛勢圖，則對於防災預警及保險可有相當功效，而以往不安定指數法建立潛勢圖時，取決於所採用之崩塌圖，崩塌圖之選用將有決定性影響，因此本技術發展客觀的崩塌圖選用及建立程序，使產製之潛勢圖能有一定標準。使之提供相關研究單位或政府部門在土砂災害預警、防治及保險應用時能具客觀價值。

傳統不安定指數法之成果取決於採用哪一年分的崩塌圖分析，會有不同結果，本研究分析

歷年崩塌位置與範圍之聯集與交集，發現曾南烏集水區之各年(2009-2013)崩塌面積在 0.42%~2.94%崩塌歷年交集佔約 0.14%，歷年聯集 佔 3.71%。綜合考量下訂出合理之崩塌圖，使不安定指數法能計算出客觀之曾南烏集水區之崩塌潛勢圖(圖 4-5-3(a)~(d))，使結果在應用上能較具公信力，本研究繪製之潛感圖，將崩塌潛勢分為高潛勢、中高潛勢、中潛勢、中低潛勢及低潛勢五個等級，結果顯示，崩塌破壞百分比於中高潛勢值部分佔崩塌地的 63.71%，所獲得的結果合理亦與潛勢圖吻合。結果可以發現因烏山頭集水區地理位置已較偏平坦地因此發生崩塌災害之風險明顯小於曾文與南化集水區。

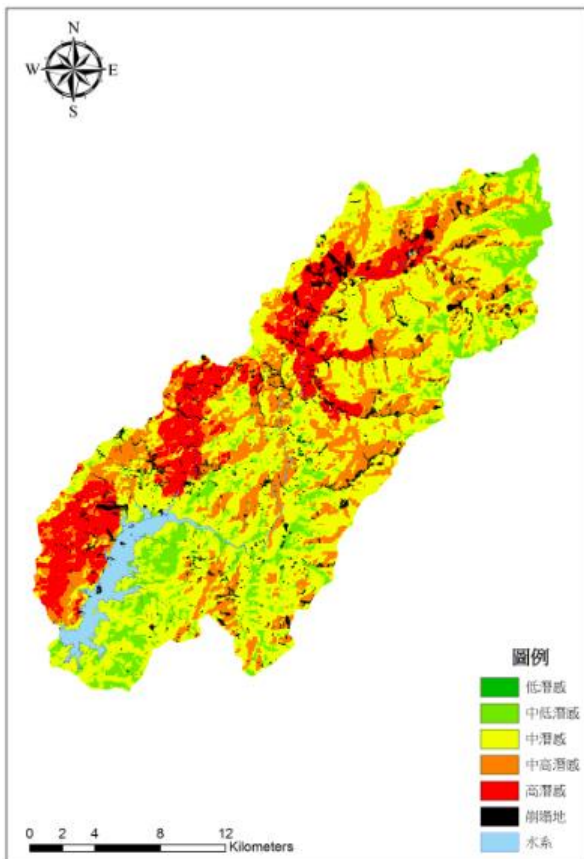


圖 4-5-3(a)曾文水庫集水區崩塌潛勢圖

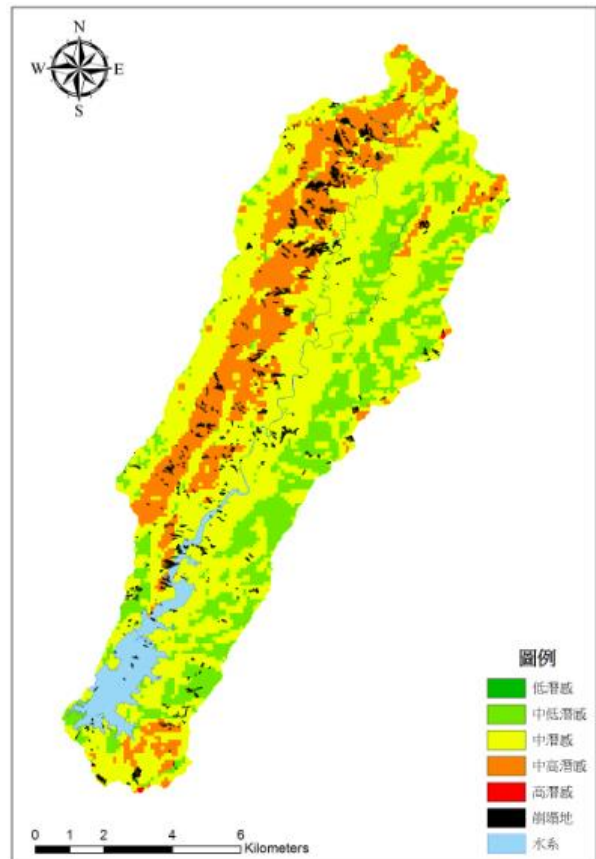


圖 4-5-3(b)南化水庫集水區崩塌潛勢圖

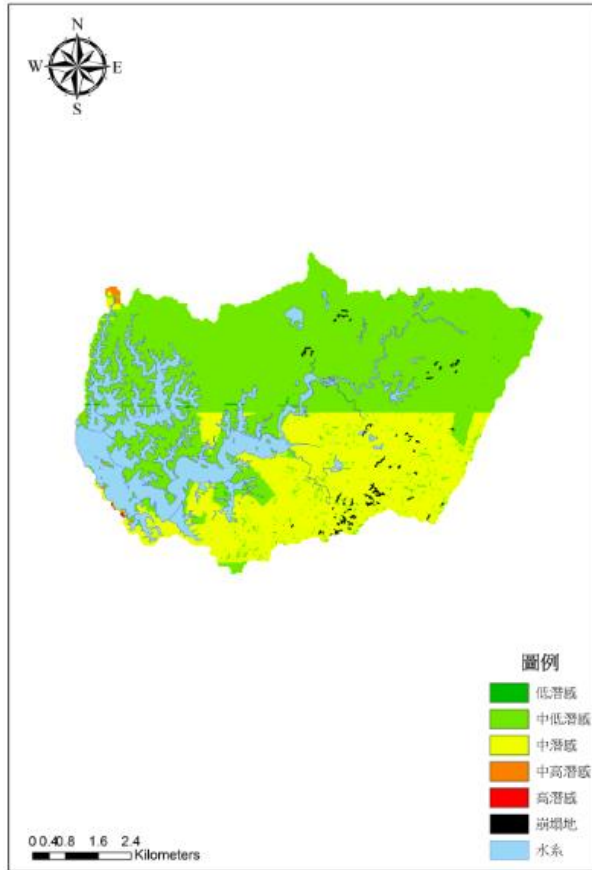


圖 4-5-3(c)烏山頭水庫集水區崩塌潛勢圖

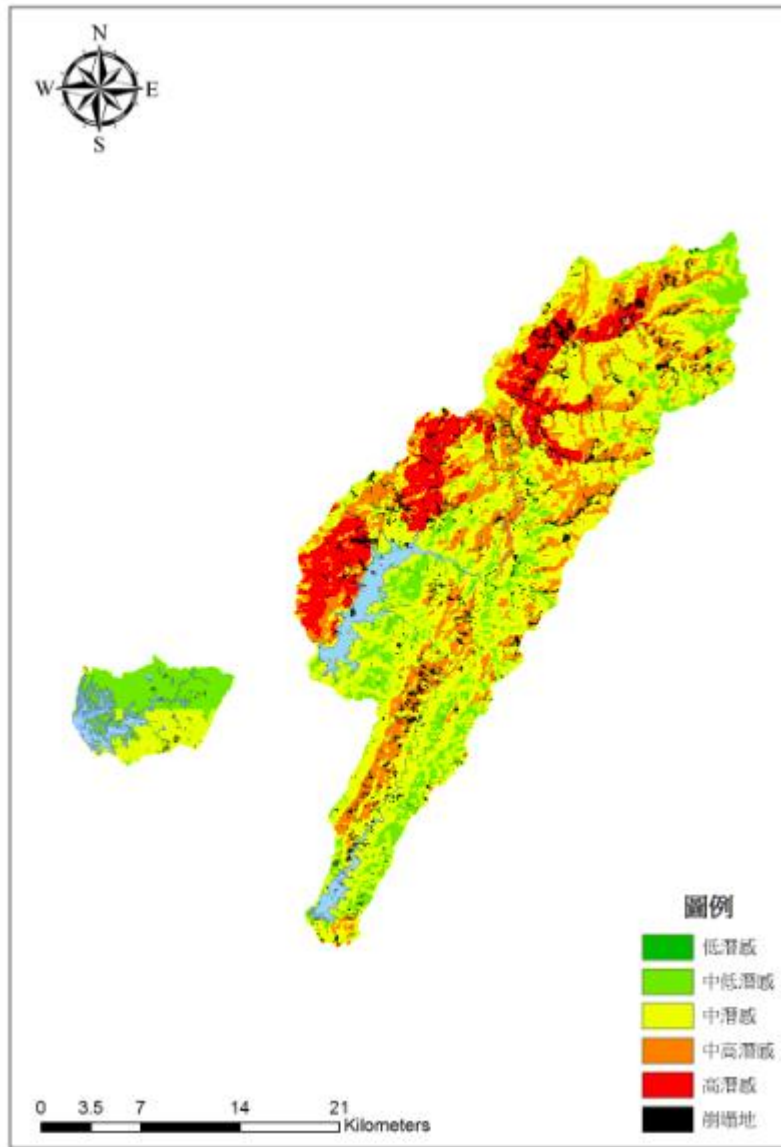


圖 4-5-3(d)曾南烏水庫集水區崩塌潛勢圖

4-6 致災雨量分析

極端暴雨致災事件統計

蒐集 2006~2016 年共 99 處曾、南、烏集水區內及周邊之崩塌與土石流災害之發生時間與降雨資料。主要土砂災害類型計有崩塌(含地滑)與土石流等，建立極端暴雨致災資料庫，土砂災害發生地點如圖 4-6-1 所示，致災累積降雨量多在 275mm 以上降雨強度在 30mm 以上。紀錄中最大致災累積雨量 1766mm，最大降雨強度 148mm/hr。可發現歷年崩塌面積與颱風降雨明顯相關(如圖 4-6-2)，擴崩面積與颱風降雨更是明顯相關(如圖 4-6-3)；另分析崩塌、地滑、土石流等類型致災有效累積降雨量與降雨強度如圖 4-6-4~圖 4-6-6 可以發現崩塌與地滑之下包絡線

(Envelope) 較小，土石流具有較高之下包絡線。即相對於崩塌與地滑需要較大之降雨強度與累積雨量方能觸發土石流。而目前蒐集之紀錄中因包含小規模崩塌，故可發現崩塌之啟動門檻較低。

將歷史土砂災害資料庫中之致災降雨分析其致災降前五大平均雨強度及致災雨量，分別以地理統計之克利金空間內插繪出致災降雨強度及致災雨量圖，供後續應用，如圖 4-6-9(a)~圖 4-6-9(b)，可知在曾文集水區中西區致災雨量及致災降雨強度都低，亦即較容易觸發災害，而致災雨量之空間變異半變異模型如圖 4-6-8。

與前述分析降雨相關指標與崩塌之相關性之分析成果比較，降雨相關指標中以最大日雨量、及大於 250mm 以上之事件之總雨量與崩塌個數與擴崩區面積成高度相關。目前分析顯示曾南烏水庫集水區承受能力在 275mm 有原崩塌地擴崩現象，前五大降雨強度平均值達 30mm 或累積降雨 650mm 時有顯著新增崩塌，累積降雨達 1100mm 以上時則大規模崩塌及複合土砂災害顯著發生。

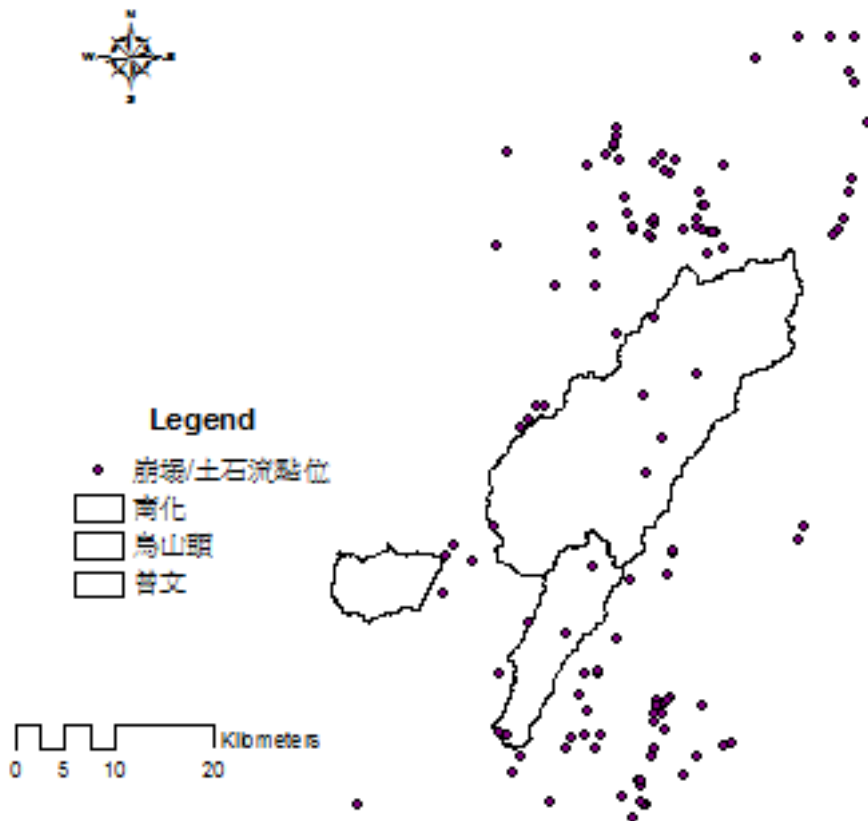


圖 4-6-1 歷年土砂災害發生地點

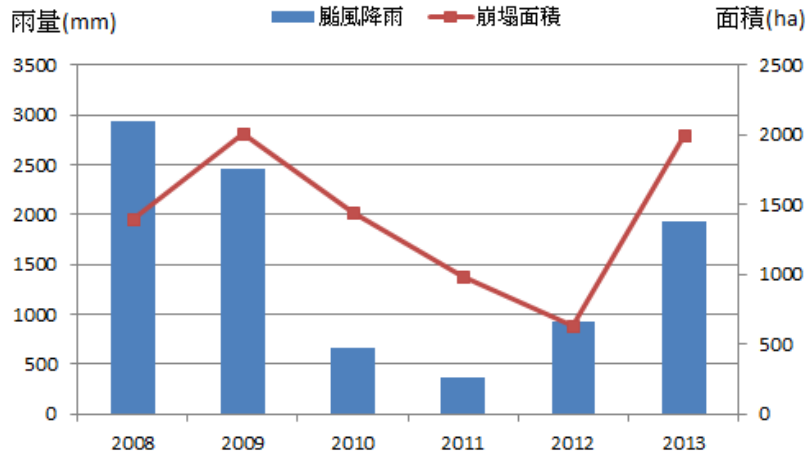


圖 4-6-2 歷年崩塌面積與颱風降雨

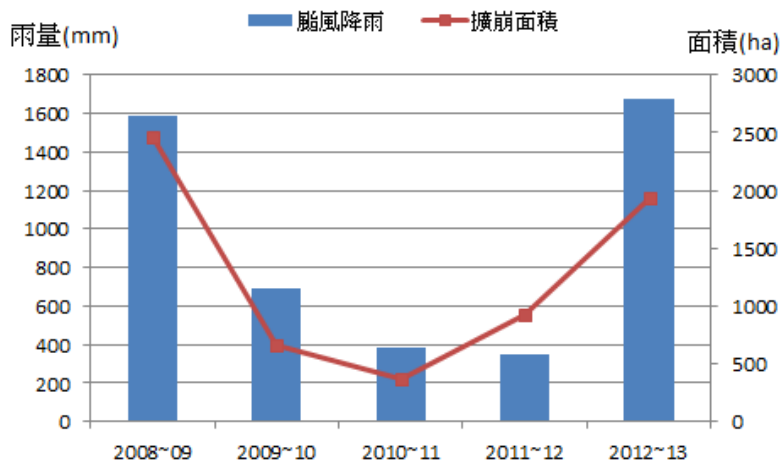


圖 4-6-3 歷年擴崩面積與颱風降雨

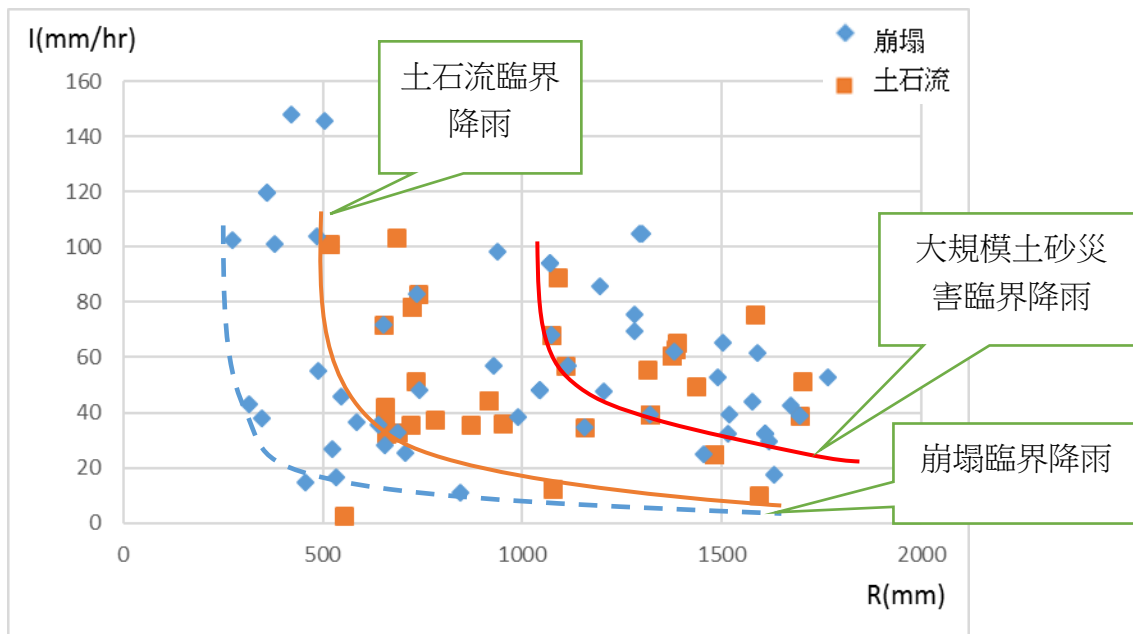


圖 4-6-4 崩塌致災累積降雨量與降雨強度

土石流 500mm 崩塌 275 大規模災害 大規模及複合型土砂災害有效總降雨量 1100mm
 部分災害發生時降雨強度較低，但有效降雨量已高 故嘗試將災害時降雨強度改以災害前(48
 小時內)最大降雨強度及前五大降雨強度平均分析，如圖 2 與圖 3 縱軸分別改為最大降雨強度及
 前五大降雨強度平均，

建議以 災前有效累積雨量及 災害前的前五大降雨強度平均分析，由此二因子散佈圖可發現，
 前五大降雨強度平均值達 30mm 或降雨累積雨量達 650mm 發生土砂災害之**致災風險值顯著提
 升**。

可以獲得曾南烏集水區之大規模土砂災害及複合型土砂災害發生之臨界線可知該場降雨累積雨
 量達 1100mm 及前五大降雨強度平均值達 45mm/hr 即有極高可能性發生大規模土砂災害及複
 合型土砂災害。

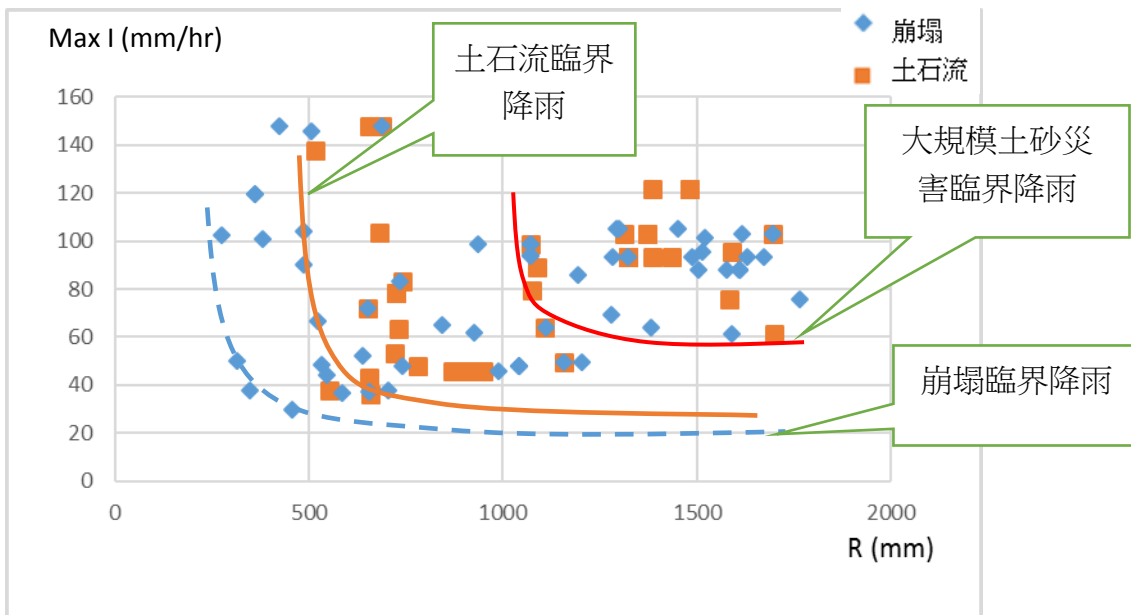


圖 4-6-5 致災累積降雨量與最大降雨強度

土石流 500mm 38 崩塌 275 30 大規模 1100 60

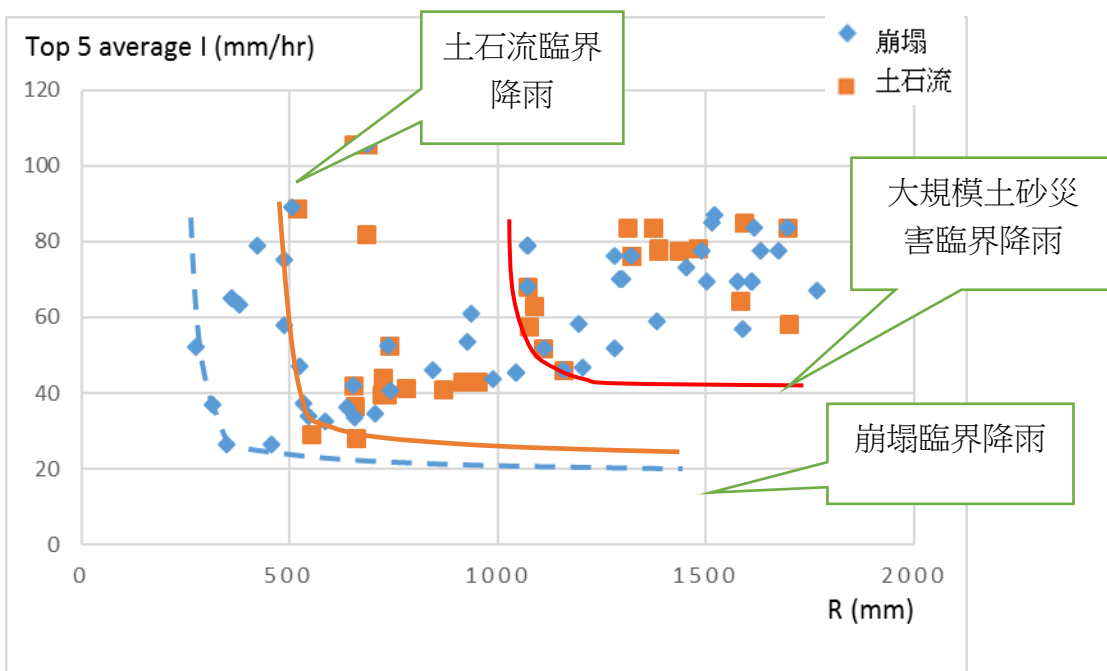


圖 4-6-6 致災累積降雨量與前 5 大平均降雨強度

石流 500mm 28 崩塌 275 27 1100 45

災前有效降雨 災前 5 大平均降雨強度

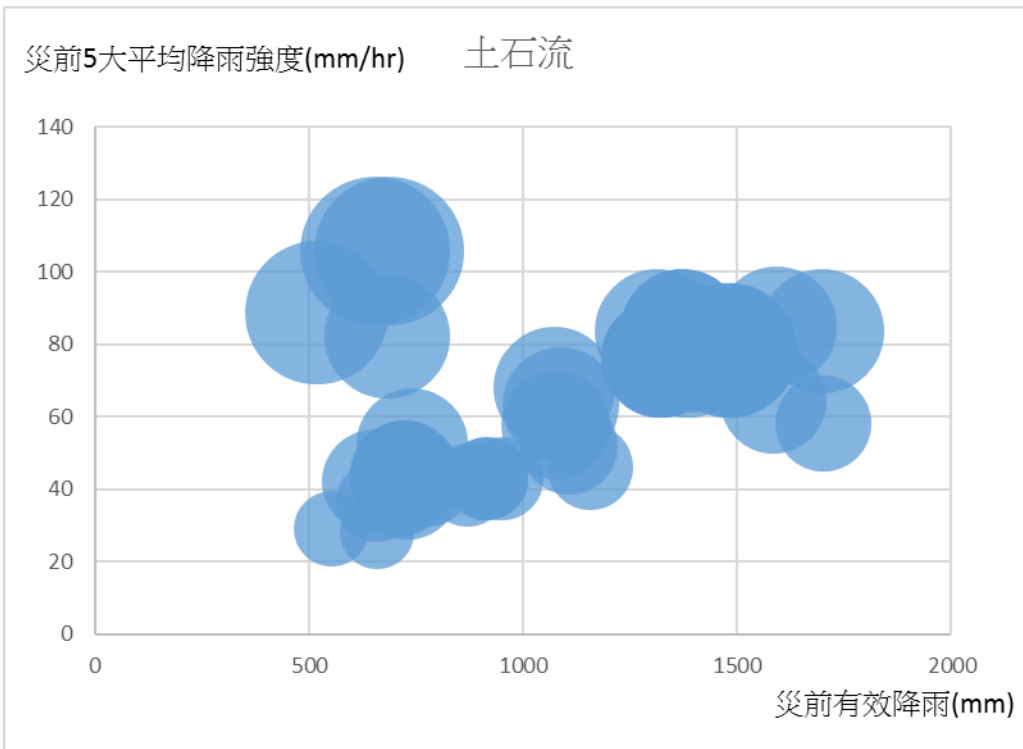


圖 4-6-7(a)致災累積降雨量與前 5 大平均降雨強度 (圓形大小表示該事件之最大降雨強度)

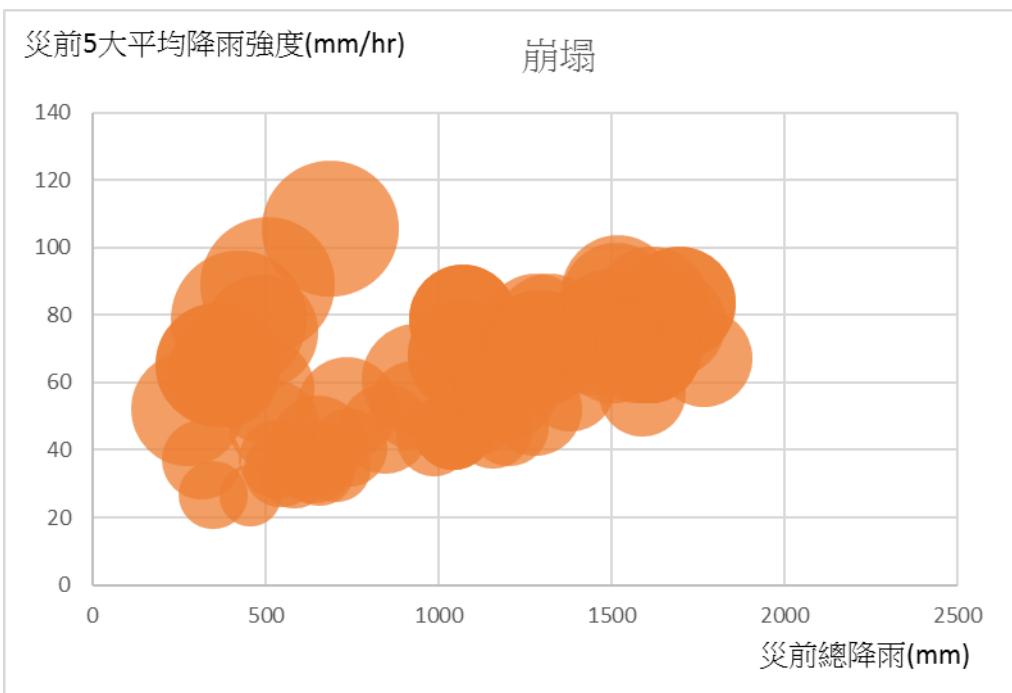


圖 4-6-7(b)致災累積降雨量與前 5 大平均降雨強度(圓形大小表示該事件之最大降雨強度)

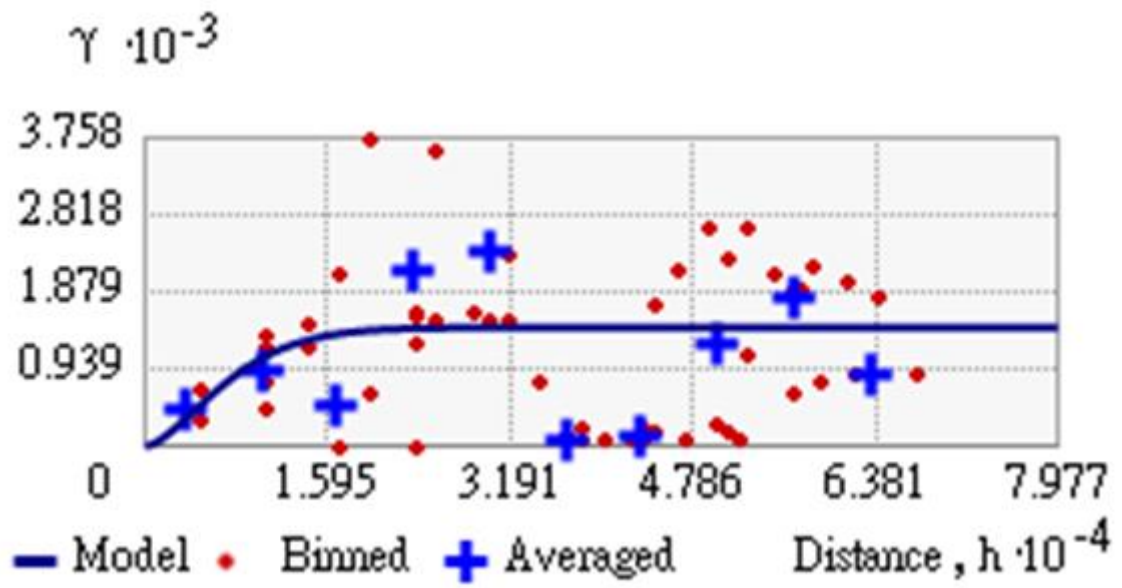


圖 4-6-8 致災雨量之空間變異半變異圖

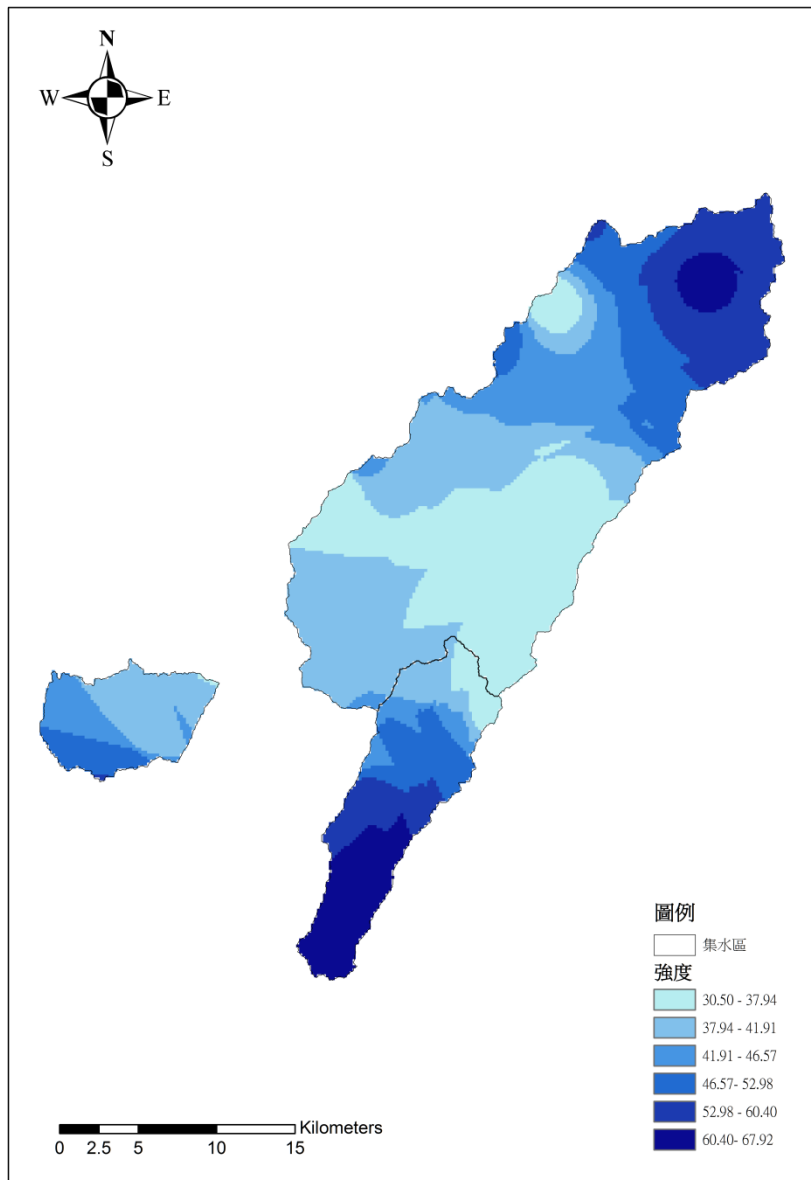


圖 4-6-9(a) 致災降雨強度圖

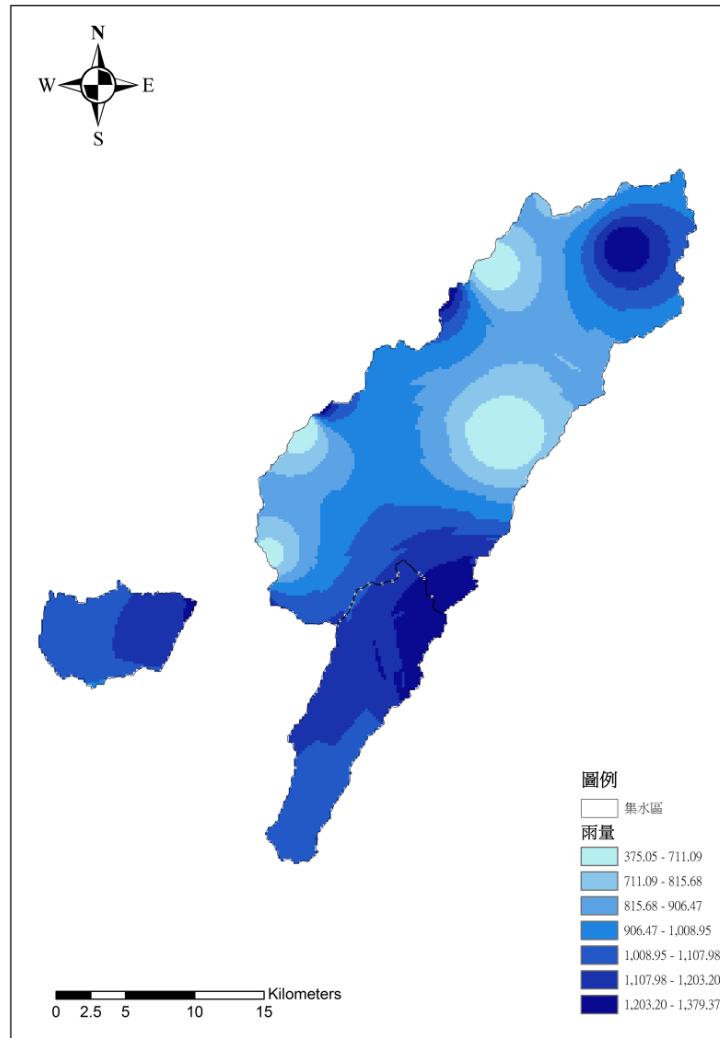


圖 4-6-9(b)致災雨量圖

4-7 極端降雨環境變遷下水土保持設施設計水文學檢討

- 水土保持技術規範第九十五條第二項：
 - 一、基地內既有排水單元(不得人為截水)，區內如無任何整地行為，則該區得不設置滯洪設施。
 - 二、基地開發後之出流洪峰流量應小於入流洪峰流量百分之八十，並不得大於開發前之洪峰流量。且不應超過下游排水系統之容許排洪量。
 - 三、滯洪設施之最大洪峰流量，得依合理化公式估算之。其入流歷線至少採重現期距五十年之洪水，出流歷線則為重現期距二十五年以下之洪水。滯洪設施對外排放之洪峰流量，不得超過開發前之洪峰流量。

- 四、為避免樹枝、雜物影響滯洪設施之排放效率，出水口應加設防止堵塞之弧形攔汙設施，並隨時清理與維護。
- 五、出水口之設置，應在容許排放量內能發揮其排放效率，有保全對象時，應視需要設置滯洪口，並注意其排放之安全。

(1) 降雨強度公式之型式主要分為二參數及三參數兩種，二參數型式有 Talbot 公式、Sherman 公式、石黑公式，三參數型式有 Horner 公式、Clerland 式，而國內常用者為 Horner 公式，利用 Horner 公式推算出台南、高雄、恆春三地的平均降雨強度。

$$\text{Horner 公式} \quad I_t = \frac{a}{(t+b)^n} \quad 4-7-1$$

其中：

I_t 為平均降雨強度(mm/hr)

t 為降雨延時(min)

公式中之係數 a 、 b 、 n ，為無因次單位

(2) 無因次降雨強度公式

$$\begin{aligned} \frac{I_t^T}{I_{60}^{25}} &= (G + H \log T) \frac{A}{(t+B)^C} \\ I_{60}^{25} &= \left(\frac{P}{25.29 + 0.094P} \right)^2 \\ A &= \left(\frac{P}{-189.96 + 0.31P} \right)^2 \\ B &= 55 \\ C &= \left(\frac{P}{-381.71 + 1.45P} \right)^2 \\ G &= \left(\frac{P}{42.89 + 1.33P} \right)^2 \\ H &= \left(\frac{P}{-65.33 + 1.836P} \right)^2 \end{aligned} \quad 4-7-2$$

其中：

T ：重現期距（年）

t ：降雨延時或集流時間（分）

I_t^T ：重現期距 T 年，降雨延時 t 分鐘之降雨強度（公釐/小時）

I_{60}^{25} ：重現期距 25 年，降雨延時 60 分鐘之降雨強度（公釐/小時）

P：年平均降雨量（公釐）

A、B、C、G、H：係數

(5)以合理化公式計算試區所得之流量，再以流量推算其滯洪容積。並與自記式水位計測得流量推算之滯洪容積進行比較。

$$Q_p = \frac{1}{360} CIA \quad 4-7-3$$

其中：

Q_p ：洪峰流量（立方公尺/秒）

C：逕流係數（無單位）

I：降雨強度（公釐/小時）

A：集水區面積（公頃）

(6)滯洪池體積估算

1. 利用開發前、中、後之洪峰流量繪製成三角單位歷線圖，以三角形同底不等高，依下列公式求出滯洪量：

$$V_{s1} = \frac{t_b'(Q_2 - Q_1)}{2} \times 3600 \quad 4-7-4$$

$$V_{s2} = \frac{t_b'(Q_3 - Q_1)}{2} \times 3600 \quad 4-7-5$$

V_{s1} ：臨時滯洪量（ m^3 ）

V_{s2} ：永久滯洪量（ m^3 ）

Q_1 ：開發前之洪峰流量

Q_2 ：開發中之洪峰流量

Q_3 ：開發後之洪峰流量

t_b' ：基期（小時），基於安全考量，設計基期至少應一小時以上之設計。

2. 滯洪池之設計蓄洪量 V_{sd} （立方公尺）其規定如下：

a. 永久性滯洪設施： $V_{sd} = 1.1V_{s2}$

b. 臨時性滯洪設施： $V_{sd} = 1.2V_{s1}$

3. 滯洪池出口設計：滯洪池之出口設計必須同時滿足小於開發前洪峰流量及開發區外原排水系統洪水容量。

(7)排水設施之排洪量估算

依據設定排水溝斷面所得 A 及 V 求得排洪量：

$$Q_o = A \cdot V \quad 4-7-6$$

其中：

Q_o ：排洪水量（ m^3/sec ）

A：斷面積（ m^2 ）

V：平均流速(m/sec)

分別以 Horner 與無因次降雨強度公式，依水土保持技術規範分析回歸週期 25 年與 50 年不同延時之降雨強度結果如圖 4-7-1 所示，可以發現在短延時時，Horner 公式所得之降雨強度高於無因次公式，但在長延時時則降雨強度幾乎無差異。

另探討氣候變遷情境下降雨之變化分別以年雨量即濕季中之八月為代表分析，具 IPCC 第五次報告(AR5)之成果，將未來氣候變遷情境分為 RCP 26、RCP 45、RCP 60、及 RCP 85 等四情境。並比較各模式之 10% 25% 50% 75% 90% 及較適合台灣之五個大氣環流模式 GCM(Ccsm4、CESM1-CAM5、GISS-E2-R、HadGEM2-AO、MIROC5)，由圖 4-7-2 可發現氣候變遷情境下，未來三個時期(2021-2040，2041-2060，2061-2080)因應氣候變遷之水文量體增加幅度約在 1.05~1.4 倍間。

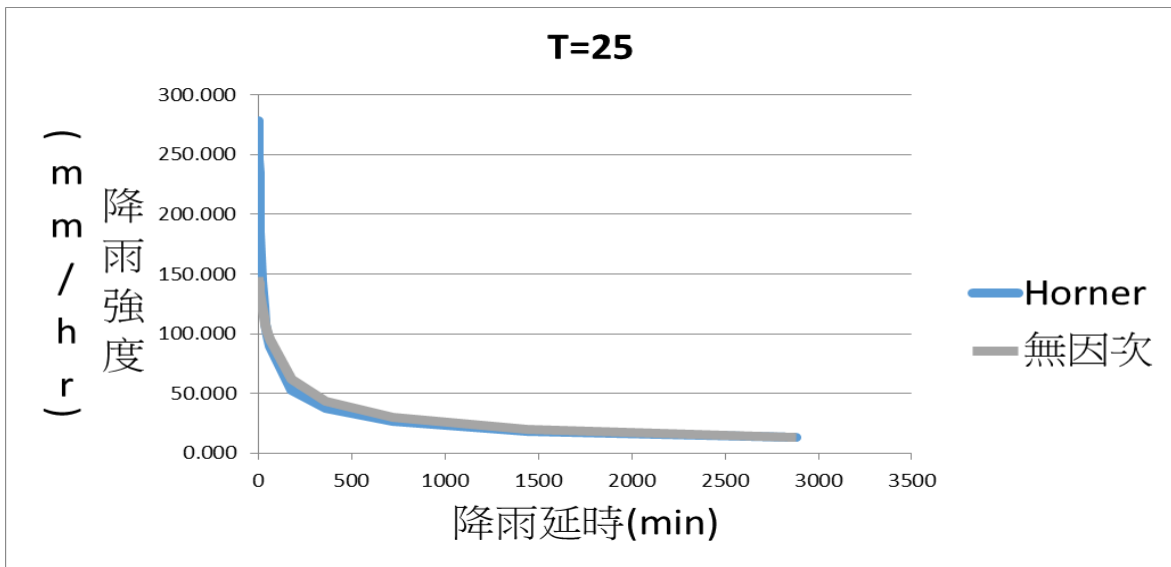


圖 4-7-1(a)

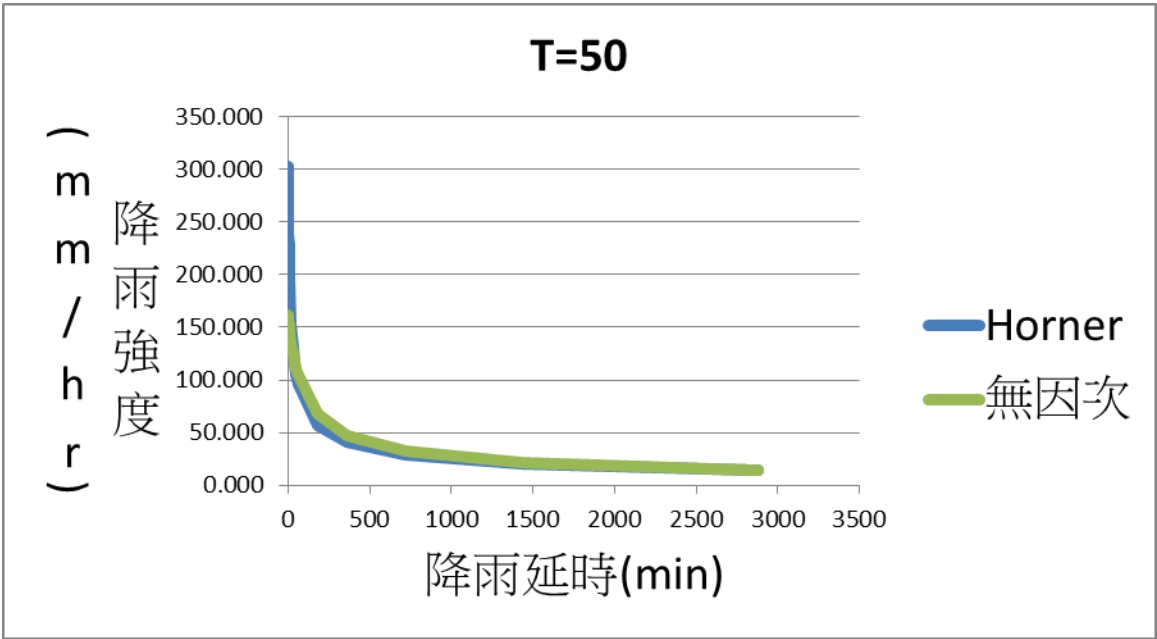


圖 4-7-1(b)

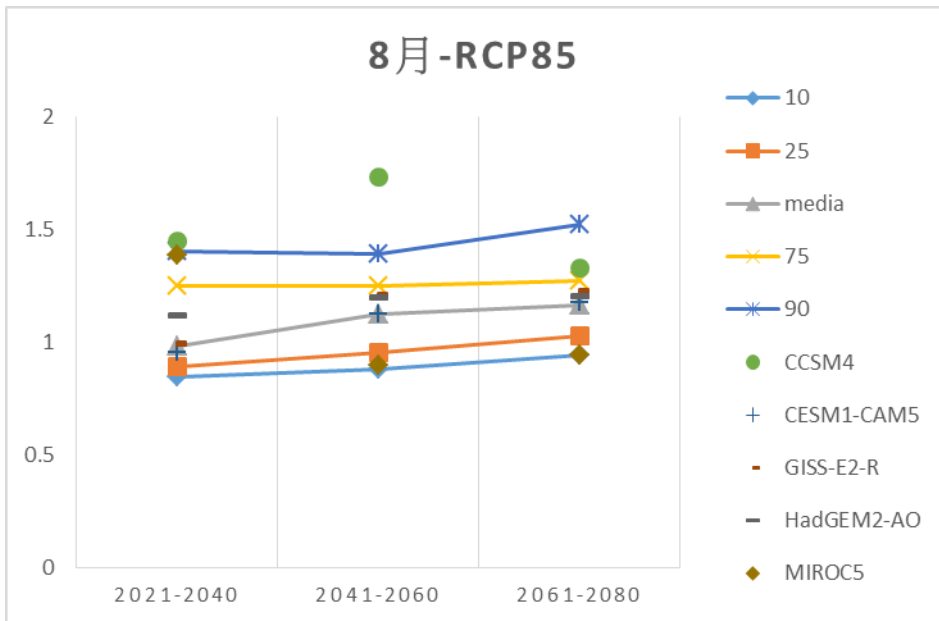


圖 4-7-2(a) 8 月 RCP85



圖 4-7-2 (b) 8 月 RCP60

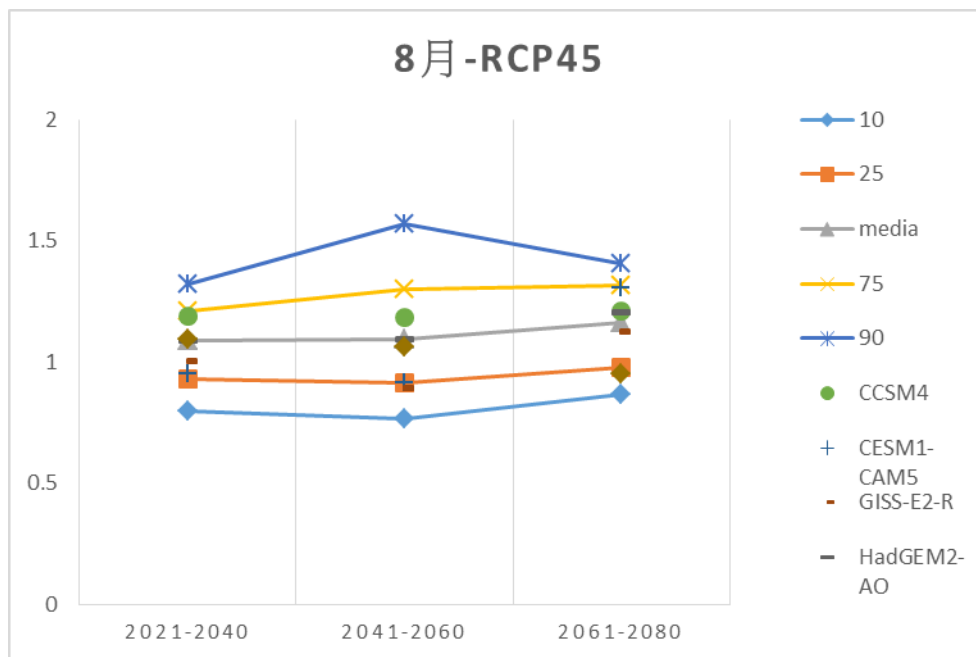


圖 4-7-2 (c) 8 月 RCP45

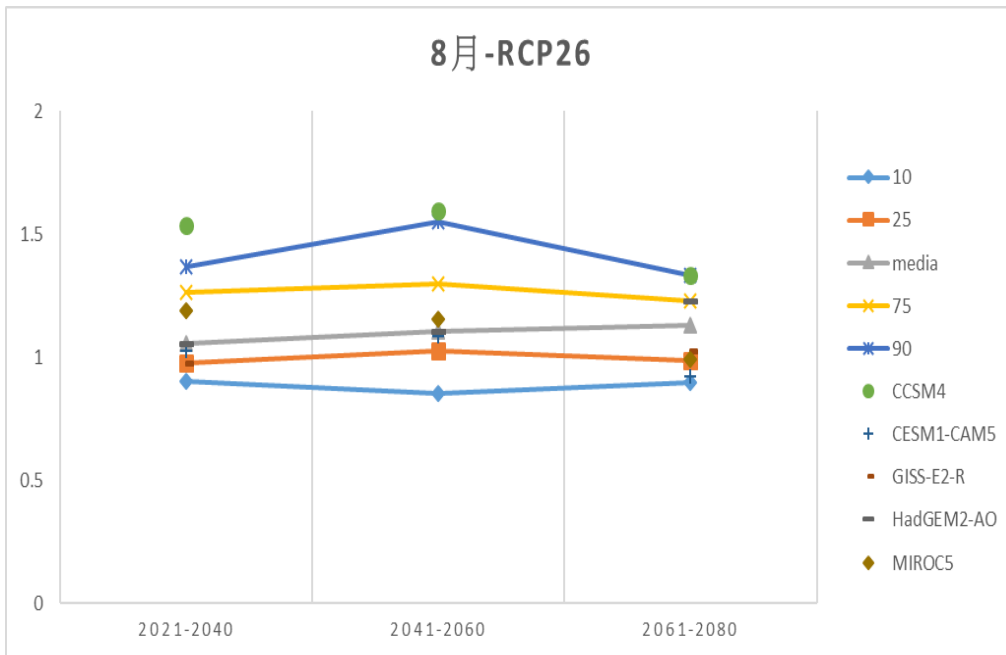


圖 4-7-2 (d) 8 月 RCP26

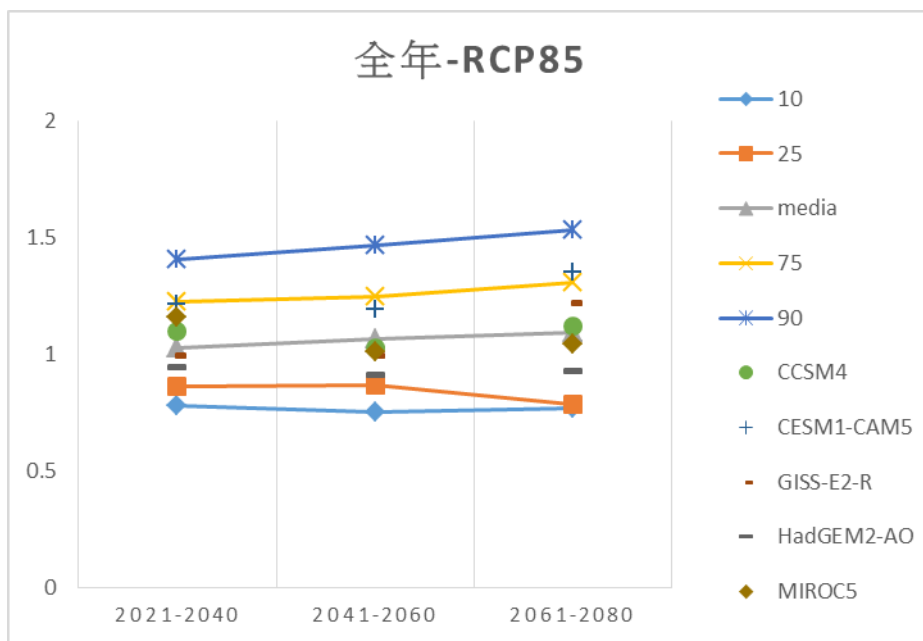


圖 4-7-2 (e) 全年 RCP85

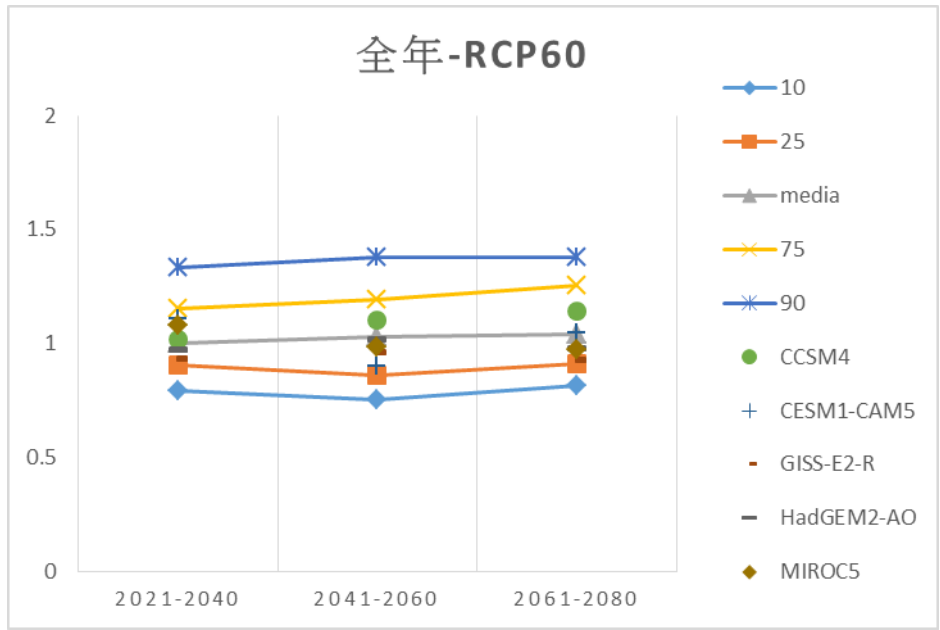


圖 4-7-2 (f) 全年 RCP60

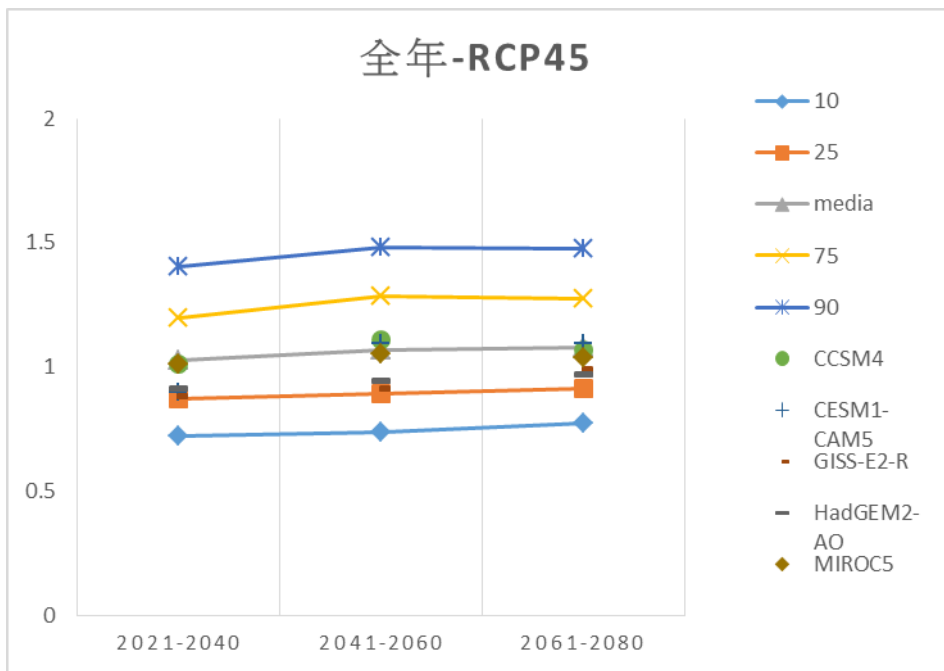


圖 4-7-2 (g) 全年 RCP45

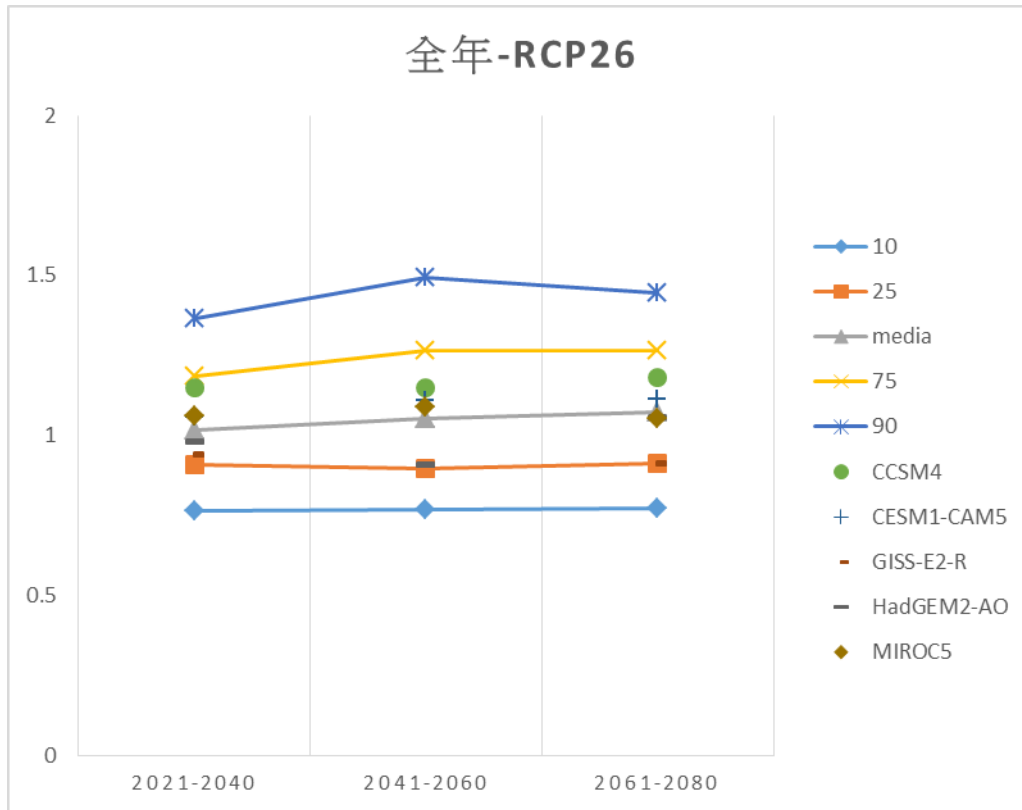


圖 4-7-2 (h) 全年 RCP26

伍、結論

本研究整合三年曾文、南化、烏山頭集水區之分析成果，以極端降雨之頻率與歷史致災累積降雨與降雨強度為基礎，再針對南化水庫集水區為對象分析歷史崩塌、土石流、地滑等土砂災害之致災降雨型態，並配合 GIS 資料庫之水文、地文資料，輔以 2008~2013 年之衛星影像及林務局崩塌資料分析崩塌變化歷程，加以探討，劃定極端降雨水文均一區 200 年暴雨之水文均一區面積約 2500 平方公里，而曾文及南化土崩塌處地質多為三峽層與廬山層之砂岩頁岩。降雨相關指標中以最大日雨量、及大於 250mm 以上之事件之總雨量與崩塌個數與擴崩區面積成高度相關。

由於部分災害發生時降雨強度較低，但有效降累積雨量已高，故導致土砂災害。若以災害發生時之降雨強度評估致災降雨強度與雨量並不合適，故建議以災害前的前五大降雨強度平均及災前有效累積雨量二因子分析之，目前分析結果顯示，前五大降雨強度平均值達 30mm 或降雨累積雨量達 650mm 發生土砂災害之致災風險值顯著提升。

由曾南烏集水區之大規模土砂災害及複合型土砂災害發生之臨界線，可知若有效累積雨量達 1100mm 及災前五大降雨強度平均值達 45mm/hr 即有極高可能性觸發發生大規模土砂災害及複合型土砂災害。

本計畫已如期完成曾南烏水庫集水區水文地文資料庫建置與分析，並探討極端降雨事件發

生頻率與強度的變化趨勢及極端降雨時間分佈與空間變異，訂定集水區均一尺度範圍、建立崩潛勢圖與致土砂災害之基準值。並完成防災預警為目的之雨量站網設計，及氣候變遷下水土保持設施設計水文量檢討，等多項重要成果。研究成果可提供相關研究單位或政府部門在土砂災害預警、防治及水土資源保育相關研究或決策之參考。

完成之研究成果及績效

綜合上述本研究三年期間主要成果有水文、地文資料庫建立及影像判釋崩塌變遷判釋與分析。另由頻率分析及由各站頻率分析結果劃分 200 年集水區均一尺度之極端降雨範圍及土砂災害致災基準值。並完成防災預警為目的之雨量站網設計，及氣候變遷下水土保持設施設計水文量檢討等重要成果。相關理論與技術之研究成果已發表 3 篇期刊論文於國內外專業期刊(含 1 篇 SCI 期刊(IF=3.514, Ranking: 2/27)、1 篇國際期刊及 1 篇國內期刊)及 8 篇國際與國內研討會論文，具體成果可提供極端氣候下政府相關單位對水土災害防災與流域治理之決策參考。進而保障人民生命財產安全。

成果貢獻

配合本整合型群體計畫，本研究整合衛星遙測影像及林務局資料獲取崩塌變遷資訊，並以 GIS 建立研究區完整之水文、地文資料庫，可提供集水區管理整治之資訊及分析土砂災害潛勢之資訊，經水文頻率分析及頻率改變趨勢分析與極端降雨時空變異分析及指標克利金理論之致災超越機率概念分析致災風險，用以分析土砂災害之降雨基準值（包含強度及累積雨量並考量致災風險）。

可達針對南部地區重要水庫集水區（曾文、南化、烏山頭水庫集水區）探討極端降雨及水文環境的變化引致坡地二次土砂災害之影響，應用地景指標、指標克利金理論分析降雨時空變異，以劃定集水區均一尺度之極端降雨範圍並研擬二次災害致災降雨基準值及建立以防災預警為目的之雨量站網，及氣候變遷下水土保持設施設計水文量檢討等重要成果供相關單位決策參考。茲將計畫執行後，獲致之主要貢獻簡述如下：

對於學術研究、國家發展及其他應用方面之貢獻

土砂災害之控管為防災及集水區經營治理之要務，由於台灣雨量豐沛、降雨時空分佈不均，極端降雨不僅會加速土砂沖蝕、水庫淤積、國土流失、甚至危害人民生命財產安全。本研究計畫藉由分析極端降雨時間空間變化趨勢與土砂災害的關係，配合 GIS 資料庫之水文、地文資料，除設計以防災預警為目的之雨量站網外，並劃定水文均一區，及訂定致災臨界降雨基準值，以利防災預警。並提供氣候變遷下水土保持設施設計水文量檢討成果，供調適氣候變遷下集水區治理策略應用。此等成果可提供相關研究單位或政府部門在土砂災害預警、防治及水土資源保育相關研究或決策之參考。進而保障人民生命財產安全。

参考文献

- A. Badoux, J. M. Turowski¹, L. Mao, N. Mathys, and D. Rickenmann “ Rainfall intensity–duration thresholds for bedload transport initiation in small Alpine watersheds”, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, pp. 3091-3108, 2012.
- A.P. Hurford, D.J. Parker², S.J. Priest and D.M. Lumbroso “Validating the return period of rainfall thresholds used for Extreme Rainfall Alerts by linking rainfall intensities with observed surface water flood events”, *J Flood Risk Management* 5 , pp.134–142 , 2012.
- Benediktsson, J.A., Philip H. Swain and Okank Ersoy, *Neural Network Approaches Versus Statistical Methods in Classification Remote Sensing Data*, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 28(4), pp.540-551, 1990.
- Bender, Oliver, Hans Juergen Boehmer, Doreen Jens and Kim P. Schumacher, “Analysis of land-use change in a sector of upper Franconia (Bavaria, Germany) since 1850 using land register records”, *Landscape Ecology* Vol. 20, pp.149-163, 2005.
- Berti, M., M. L. V. Martina, S. Franceschini, S. Pignone, A. Simoni, and M. Pizziolo, Probabilistic rainfall thresholds for landslide occurrence using a Bayesian approach, *J. Geophys. Res.*, 117, F04006, doi:10.1029/2012JF002367, 2012.
- Brigitte Leblon, Lisa Gallant, and Hardy Granberg, “Effects of Shadowing Types on Ground-Measured Visible and Near-Infrared Shadow Reflectances”, *REMOTE SENS. ENVIRON.* 58, pp.322-328, 1996.
- Bruzzone, L. and D. Fernandez Prieto, “A minimum-cost thresholding technique for unsupervised change detection”, *INT. J. Remote sensing*, 21(18), pp.3539-3544, 2000.
- Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V., and Reichenbach, P. “GIS Tech-niques and statistical models in evaluating landslide hazard.” *Earth Surface Processes and Landform*, 16, pp.427-445, 1991.
- Cheng, K.S and Chiang, J.L., A probabilistic approach of landcover change detection using multitemporal images, *The 35th Scientific Assembly of COSPAR*, Paris, France, July 2004.
- Cheng, K.S., C. Wei, and S.C. Chang, “Locating landslides using multi-temporal satellite images”, *Advances in Space Research*, 33, pp.296-301. 2004.
- Cheng, K.S., H.C. Yeh, and C.H. Tsai, “An anisotropic spatial modeling approach for remote sensing image rectification”, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 73, No. 1, pp.46-54, 2000.
- Chen, K. S., Y. C. Tzend, C. F. Chen, and W. L. Kao, *Land-Cover Classification of Multispectral Imagery Using a Dynamic Learning Neural Network*, *Potogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol.61, No.4, pp.403-408, 1995.
- Chen, Z., J. Chen, P. Shi and M. Tamura, “An IHS-based change detection approach for assessment of urban expansion impact on arable land loss in China”, *Int. J. REMOTE SENSING*, 24(6), pp.1353-1360, 2003.
- Dadson, S. J., Hovious, N., Chen, H., Dade, B. W., Willett, S. D., Hu, J. C., Horng, M. J., Chen, M. C., Stark, C. P., Lague, D. and Lin, J. C., “Links between erosion, runoff variability, and seismicity in the

Taiwan orogen". *Nature*, 426, pp.648-651, 2003.

Dahal, R.K., Hasegawa, S., Nonomura, A., Yama-naka, M., Dhakal, s., and Paudyal, P. "Pre-dictive modeling of rainfall-induced landslide haz-ard in the Lesser Himalaya of Nepal based on weights-of-evidence." *Geomorphology*, 102, 496-510, 2008.

Diana Salciarini • Claudio Tamagnini •Pietro Conversini • Silvia Rapinesi "Spatially distributed rainfall thresholds for the initiation of shallow landslides" , *Nat Hazards* 61, pp.229–245, 2012.

Froidefonda, J. M., F. Lahetb, C. Huc, D. Doxarana, D. Guiralb, M.T. Prostd, J.-F. Ternonb ; Mudflats and mud suspension observed from satellite data in French Guiana, *Marine Geology* 208, pp.153-168, 2004.

Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., and Reich-enbach, P. "Landslide hazard evaluation : an aid to a suseainable development." *Geomorphology*, 31, pp.181-216 , 1999.

IPCC, *Climate Change: impacts and Adaptation*, Cambridge University Press, 2000.

IPCC website: <http://www.ipcc.ch/>, 2006.

Kinnell, P. I. A. Rainfall intensity-kinectic energy relationships for soil loss prediction. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45, pp.153-155 , 1981.

Lee, C.T., Huang, C.C., Lee, J.F., Pan, K.L., Lin, M.L., and Dong, J.J. "Statistical approach to storm event-induced landslides susceptibility." *Nat-ural Hazards and Earth System SCIENCES*, 8, pp.941-960, 2008.

Lin, C.W., Liu, S.H., Lee, S.Y., and Liu, C.C. "Impacts of the Chi.Chi. earthquake on subsequent rainfall-induced landslides in central Taiwan." *En-gineering Geology*, 86, pp.87-101, 2006.

Liu, S.C., Shiu, C.J.Chen, J.P., and Fu, C.B. "Changes of precipitation intensity in East Asia." *Symposium of Climate Changes in Taiwan*, Taipei, 2008.

Nelson, Ross F., "Detecting forest canopy change due to insect activity using landsat MSS", *Photogrammetric engineering and remote sensing*, Vol. 49, No. 9, pp.1303-1314, 1983.

Nemani, R.R., and Running, S.W., "Estimation of regional surface-resistance to evapotranspiration from NDVI and thermal-IR AVHRR data", *Journal of Applied Meteorology*, 28 (4), pp.276-284, 1989.

Nearing, A. M.. Potential changes in rainfall erosivity in the U. S. with climate change during the 21st century. *J. Soil and Water Conserv.* 56(3) , pp.229-232, 2001.

M. Berti, M. L. V. Martina, S. Franceschini, S. Pignone, A. Simoni, and M. Pizziolo "Probabilistic rainfall thresholds for landslide occurrence usinga Bayesian approach" , *Journal of geophysical research*, vol. 117, 2012.

McGregor, K. C. and C. K. Mutchler. Status of the R factor in northern Mississipp. In: *Soil erosion: Prediction and control*. G. R. Foster, pp.135-142. Soil Conservation Society of America, 1977

McGuffie, k., Henderson-sellers, A., Holbrook, N., Kothavala, Z., Balachova, O. and Hoekstra, J. ,

Assessing simulations of daily tem-preature and precipitation variability with global climate models for present and en-hanced greenhose climates, *International Journal of Climatology*, 19, pp.1-26, 1999.

P. Lehmann, C. Hinz, G. McGrath, H. J. Tromp-van Meerveld, and J. J. McDonnell "Rainfall threshold for hillslope outflow: an emergent property of flow pathway connectivity", *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11, pp.1047-1063, 2007

- Qihao, W., "Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing", GIS and stochastic modeling ; Journal of Environmental Management 64, pp.273-284, 2002.
- Ridd, Merrill K. and Jiajun Liu, "A comparison of four algorithms for change detection in an urban environment", Remote SENS. Environ. Vol. 63, pp.95-100, 1998.
- Shieh, C. L., Y. S. Chen, Y. J. Tsai, and J. H. Wu, "Variability in rainfall threshold for debris flow after the Chi-Chi earthquake in central Taiwan, China", International Journal of Sediment Research 24, pp.177-188, 2009.
- Sohl, Terry L., "Change analysis in the United Arab Emirates: an investigation of techniques", Photogrammetric engineering & remote sensing, 65(4) , pp. 475-484, 1999.
- Teng, S. P., J. L. Chiang , Y. K. Chen , K. S. Cheng, "Hypothesis-test-based landcover change detection using multitemporal satellite images", Committee on Space Research 36th COSPAR Scientific Assembly, 2006.
- Van der Meer, F., "Extraction of mineral absorption features from high-spectral resolution data using non-parametric geostatistical techniques", International Journal of Remote Sensing, 15, pp.2193-2214, 1994.
- Wu, Yii-Chen, Ju-Chen Hou, Jun-Jih Liou, Yuan-Fong Su , Ke-Sheng Cheng, "Assessing the impact of climate change on basin-average annual typhoon rainfalls with consideration of multisite correlation", Paddy Water Environ, pp.103-112,2012,oct.
- Xie, M., Esaki, T., and Zhou, G. "GIS-Based Probabilistic Mapping of Landslide Hazard Using a Three-Dimensional Deterministic Model." Natural Hazards, 33,, pp.265-282,2004.
- Yuan, Ding, Christopher D. Elvidge, and Ross S. Lunetta, "Chapter 2 Survey of multispectral methods for land cover change analysis", Remote sensing change detection : environmental Monitoring methods and applications, Taylor & Francis,1999.
- Zurada, Jacek M., Introduction to Artificial Neural System, PWS publishing company, 1995.
- IPCC 2007 氣候變遷第四次評估報告，國家災害防救科技中心年報，pp.107-110，2007。
- 王文能、尹承遠、吳尚志、吳仁明，「以 STOT 影像進行崩塌地調查與變動分析」，行政院農業委員會水土保持局，2004。
- 江介倫，「氣候變遷對台灣年降雨沖蝕指數之可能影響」，地理學報，68 期，2013。
- 江介倫、邱宏彬，「氣候變遷情境下土壤沖蝕可能變化」，水土保持研究，第 16 卷第 6 期，pp. 229-234，2009 年 12 月。
- 江介倫、黃國禎、蔡光榮、葉家勳、謝東達，「氣候變遷情況下高屏河流域懸浮載的可能變化」，北京科技大學學報，30 卷，增刊 1，2008。
- 江介倫、劉俊志，「衛星影像於台灣地區淹水範圍判識之應用可行性評估」，科學與工程技術期刊，7(4)，pp. 1-7，2011 年 12 月。
- 江介倫、鄭克聲，「指標克利金空間推估應用於衛星遙測影像分類」，航測及遙測學刊，第 9 卷，第 2 期，pp. 43-58，2004 年 6 月。
- 江介倫、鄭克聲，「訊息熵在雨量站網設計之應用」，農業工程學報，第 46 卷第 4 期，pp. 55-66，2000 年 12 月。

- 江介倫、劉子明、童慶斌、蔡光榮，「基於不同大氣環流模型評估氣候變遷對高屏河流域河川流量的影響」，水利學報，第 41 卷第 2 期，pp. 148-154，2010 年 2 月。
- 阮聖裕，類神經網路應用於地表覆蓋之研究，國立台灣大學農業工程研究所碩士論文，1994。
- 林文賜、林昭遠、周文杰、黃碧慧，921 震災崩塌地景變遷監測之研究—以九九峰為例，明道學術論壇，3 卷 1 期，pp. 189-200，2007 年 08 月。
- 林文賜、廖紹安、張文詔、周建明、洪耀明，應用支援向量機於九份二山崩塌地變遷評估之研究，水保技術，3 卷 3 期，pp108-116，2008 年 06 月。
- 行政院農業委員會水土保持局 94 年度年報，2005。
- 林俐玲、謝銘、林明義、杜怡德，九份二山崩塌地對土壤水分特性之研究，中華水土保持學報，33 卷 2 期，pp. 79-86，2002 年 6 月。
- 吳一德 余化龍 蘇澳地區降雨機制變遷討論九十八年度農業工程研討會 2009
- 吳明進，「氣候變遷對台灣氣候之影響」，氣候變遷衝擊評估與因應策略建議研討會論文集」，台北，1996。
- 周天穎、葉昭憲、洪正民，「集水區優先整治區域評選之研究」，台灣水利 49(1)，pp.54-63，2001。
- 范正成、楊智翔、張世駿、黃效禹、郭嘉峻，「氣候變遷對高屏河流域崩塌潛勢之影響評估」中華水土保持學報，44(4): 335-350，2013。
- 馬明明，台灣中部與台北地區降雨特性及沖蝕性關係之研究，國立中興大學土木工程研究所碩士論文，1995。
- 柳中明、王維強、吳明進，台灣地區未來氣候之評估，台灣地區氣候變遷及影響研討會，1995。
- 柳中明編，氣候變遷、衝擊、因應與永續發展研究進展 2005(下)，國立台灣大學全球變遷研究中心、國立中央大學環境研究中心、國科會永續發展研究推動委員會，2005。
- 財團法人成大研究發展基金會，「曾文水庫集水區崩塌地調查計畫報告」，經濟部水利署南區水資源局，2005。
- 陳志豪，「集集地震後荖濃河流域崩塌發生特性分析」，成功大學地球科學系碩士論文，2009。
- 陳樹群、吳俊鎰，「莫拉克颱風引致小林村堰塞湖之形成與潰決歷程」，中華水土保持學報，40(4)，pp.375-390，2009。
- 陳俞瑾，應用地理資訊系統分析台東區潛在崩塌地特性之研究，國立屏東科技大學碩士論文，2005。
- 陳樹群、吳俊鎰、王雁平，「地震或降雨誘發崩塌之崩塌特性探討」，中華水土保持學報，41(2)，pp.94-112，2010。
- 陳樹群、吳俊毅、謝政道，「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，43(4)，pp.332-345，2010。
- 陳樹群、馮智偉，「應用 Logistic 迴歸繪製崩塌潛感圖—以濁水河流域為例」，中華水土保持學報，36(2)，pp.191-201，2005。
- 陳樹群、諸予涵、吳俊鎰，「旗山溪集水區長期降雨特性改變與崩塌分布關係」，中華水土保持學報，43(4)，pp.293-301，2012。
- 陳儒賢、許臣王、，台灣地區區域性設計雨型建立之研究九十八年度農業工程研討會，2009。

許中立、鍾斌全、戴欣怡，太麻里溪集水區降雨崩塌對河道淤砂之影響，坡地防災學報，7(1)，pp.1-21，2007年3月。

郭育全，分散度指標應用於遙測影像分類特徵選取之研究，國立台灣大學農業工程研究所碩士論文，1997。

張世駿、江介倫、吳進龍、鄭克聲、陳增壽，「衛星遙測影像應用於變遷偵測之研究」，農業工程學報，第52卷第3期，pp.21-31，2006年9月。

張振生、王志豪、劉維、廖禎茹、陳信雄，921地震後溪頭水文分佈特性與土石流防災相關之研究，中華林學季刊，37(3)，pp.283-292，2004。

常健行，應用衛星影像於土地變遷偵測方法之研究，中央大學土木工程研究所碩士論文，1995。

張崑宗、劉進金，「利用類神經網路方法於高解析衛星影像及地形資料之崩塌地辨識_以九份二山為例」，航測及遙測學刊，第11卷，第2期，2006。

黃宏斌、廖翊鈞，崩坍對河道沖淤之影響研究，中華水土保持學報，22(1)，pp.69-83，1991。

童慶斌、楊奕岑，氣候變遷對台灣水文環境之衝擊，全球變遷通訊雜誌，第四十四期，2004年12月。

游繁結、周天穎、葉昭憲、林文賜，「地理資訊系統於集水區防砂整治率估算之應用」，中華水土保持學報 33(1)，pp.1-9，2002。

游繁結、周天穎、葉昭憲、賴如慧，「集水區整治率評估模式之探討」，中華水土保持學報 30(2)，pp.137-147，1999。

葉惠中，區域化變數理論與隨機變域模擬在雨量站網設計之研究，國立台灣大學農業工程學研究所博士論文，1999。

楊婉嘉，土壤沖蝕指數模式之建置與應用，國立屏東科技大學碩士論文，2006。

詹錢登、李明熹，土石流發生降雨警戒模式，中華水土保持學報，35(3)，pp.275-285，2004。

劉文賢，大高雄地區崩塌因子量化之研究，國立屏東科技大學碩士論文，2005。

劉守恆、林慶偉，「SPOT 衛星影像之崩塌地自動分類研究」，航測及遙測學刊，9(2)，pp.9-22，2004。

蔡在宗、蔡元融、謝正倫「大規模崩塌發生臨界雨量研究」，第十六屆大地工程學術研究討論會，高雄，2015。

衛強、魏聰輝、葉惠中、陳彥璋、江介倫，「利用地理統計及離散資訊熵進行雨量站觀測網設計之研究—以臺大實驗林轄區為例」，作物、環境與生物資訊，8卷1期，pp.58-74，2011。

鄭士仁，「降雨深度最佳估計方法之研究及其應用於地區雨量站網之規劃設計」，碩士論文，國立台灣大學農業工程研究所，1993。

諸予涵、吳俊鎡、陳樹群，1960至2008台灣降雨量特性變遷之探討九十八年度農業工程研討會，2009。

鄭克聲等，因應環境變遷之水文規劃設計研究，經濟部水利署，2002。

謝龍生、柳文成、童慶斌，氣候變遷對大漢溪及新店河流域防洪系統潛在衝擊影響之研究，農業工程學報，第50卷第3期，2004年9月。

鐘育櫻，「921集集大地震前後降雨與崩塌地特徵之比較」，臺灣大學地理環境資源學研究所碩士論文，2005。

科技部補助專題研究計畫出席國際學術會議心得報告

日期：105 年 5 月 10 日

計畫編號	MOST 104-2625-M-020 -001		
計畫名稱	極端降雨影響下南台灣水庫集水區水文環境變異引致坡地二次土砂災害之降雨基準值分析研究(III)		
出國人員姓名	江介倫	服務機構及職稱	屏東科技大學
會議時間	105 年 4 月 17 日至 105 年 4 月 22 日	會議地點	奧地利維也納
會議名稱	(中文) 2016 歐洲地球科學聯盟年會 (英文) European Geosciences Union, General Assembly 2016(EGU2016)		
發表題目	A zonation technique for landslide susceptibility in southern Taiwan		

一、參加會議經過

由於科技部對本計畫的支持，及出席國際研討會的補助，使計畫研究成果得以透過 2016 歐洲地球科學聯盟年會讓世界各國的學者們知道我們的研究成果，此行也有助於瞭解世界各國在相關領與的研究趨勢與進展。EGU 年會為相當重要且著名的國際學術研討會議，此次與會不僅可提高台灣在學術領域之能見度，還可以提升學校知名度，結識相關領域之國際學者，並獲取最新的科研資訊。

本年 EGU 年會舉辦日期為 2016 年 4 月 17~22 日。地點為：奧地利、維也納之「維也納國際會議中心(Vienna International Center)」；維也納是奧地利最大的城市和政治中心，人口約有 160 萬人。聯合國工業發展組織、石油輸出國組織和國際原子能機構的總部以及許多其他國際機構均設於維也納。除紐約和日內瓦外，維也納為第三個聯合國城市。本屆 EGU 研討會場即位於 1979 年建成的奧地利國際中心又稱“聯合國城”，氣勢雄偉，是許多聯合國機構的集中地。

後學及其他台灣之學者如中興大學盧昭堯教授、長榮大學蔡光榮教授、陳怡睿教授、屏東科技大學李明熹副教授、樹德科技大學楊翰宗教授等多位教授於當地時間 2016

年 4 月 17 日下午至會場辦理報到手續，並領取相關資料。

此次會議議題廣泛，包括大氣科學、水文水資源、天文學、氣象、地質、海洋、自然災害、衛星遙測等二十餘類大領域。本次研討會有來自美洲、歐洲、亞洲、非洲、俄等 109 國家之專家學者，世界各國超過 13650 位科學家參加，本次年會有 619 個發表的場次(session)，較去年多場次，有 4,863 論文篇口頭發表，超過 10320 篇的研究成果海報(posters)展示及 947 個 PICO 發表。此次台灣共有 231 人參加，較以往多，以德國最多有 2197 人，英國及法國參加人數次之，分別有 1301 與 1028 位，各國參加人數詳如表 1，會中並有相關學會、儀器、書籍廠商等之攤位，提供其最新產品資訊及交流訊息。

表 1 各國參加人數

Germany	2.197
United Kingdom	1.301
France	1.028
Italy	975
United States	902
Austria	758
Switzerland	643
China	475
Spain	454
Netherlands	432
Russian Federation	305
Norway	302
Turkey	257
Korea, Republic Of	249
Belgium	248
Sweden	232
Taiwan	231
Japan	218

Canada	217
Poland	202
Czech Republic	173
Finland	156
Denmark	152
Australia	149
Greece	119
Hungary	116
Israel	100
Portugal	85
Romania	82
Ireland	68
India	60
Mexico	38
Brazil	37
Saudi Arabia	35
New Zealand	34
Croatia	34
Slovenia	34
Iceland	32
Chile	32
Slovakia	31
Estonia	23
Serbia	22
Singapore	19
Georgia	18
South Africa	18

Taiwan, Province Of China	17
Iran, Islamic Republic Of	16
United Arab Emirates	15
Morocco	13
Cyprus	13
Argentina	13
Luxembourg	12
Ukraine	11
Egypt	10
Algeria	8
Hong Kong	8
Jordan	7
Oman	7
Bulgaria	7
Tunisia	7
Lithuania	7
Colombia	7
Lebanon	6
Thailand	6
Nepal	6
Qatar	6
Philippines	6
Mongolia	5
Latvia	4
Andorra	4
Bosnia And Herzegovina	3
Belarus	3

Kazakhstan	3
Kenya	3
Malta	3
Indonesia	3
Ecuador	2
French Polynesia	2
Azerbaijan	2
Brunei Darussalam	2
Armenia	2
Trinidad And Tobago	2
Viet Nam	2
Pakistan	2
Albania	2
Afghanistan	2
Nigeria	2
Malaysia	2
Panama	1
Namibia	1
Senegal	1
Malawi	1
Uganda	1
French Guiana	1
Mauritius	1
Martinique	1
Peru	1
Montenegro	1
Macao	1

RÉunion	1
Guadeloupe	1
Puerto Rico	1
Korea, Democratic People's Republic Of	1
Niger	1
Faroe Islands	1
Sri Lanka	1
Bangladesh	1
Macedonia, The Former Yugoslav Republic Of	1
Ethiopia	1
Unknown	73
Total:	13.650
Different countries:	109

國內會學者包含後學及台灣大學、中央大學、中興大學、成功大學及屏東科技大學等 231 位專家學者。此次發表題目是“**A zonation technique for landslide susceptibility in southern Taiwan**”於 4 月 18 日當日上午到現場張貼海報，之後去參加相關議題之口頭發表，聽取國際相關論文報告。於下午 17:00 再到海報現場進行海報解說與交流，期間有多位國內外學者對後學研究感興趣並熱烈討論。

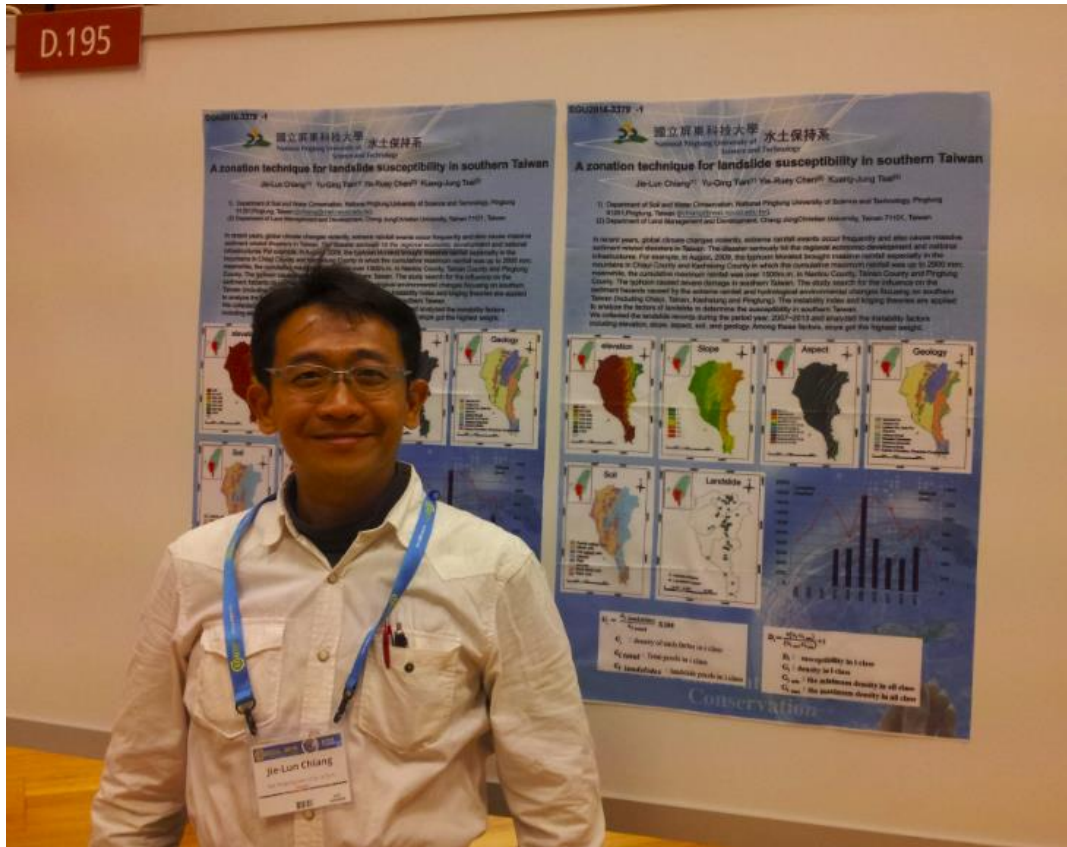


圖 1 海報發表現場實況

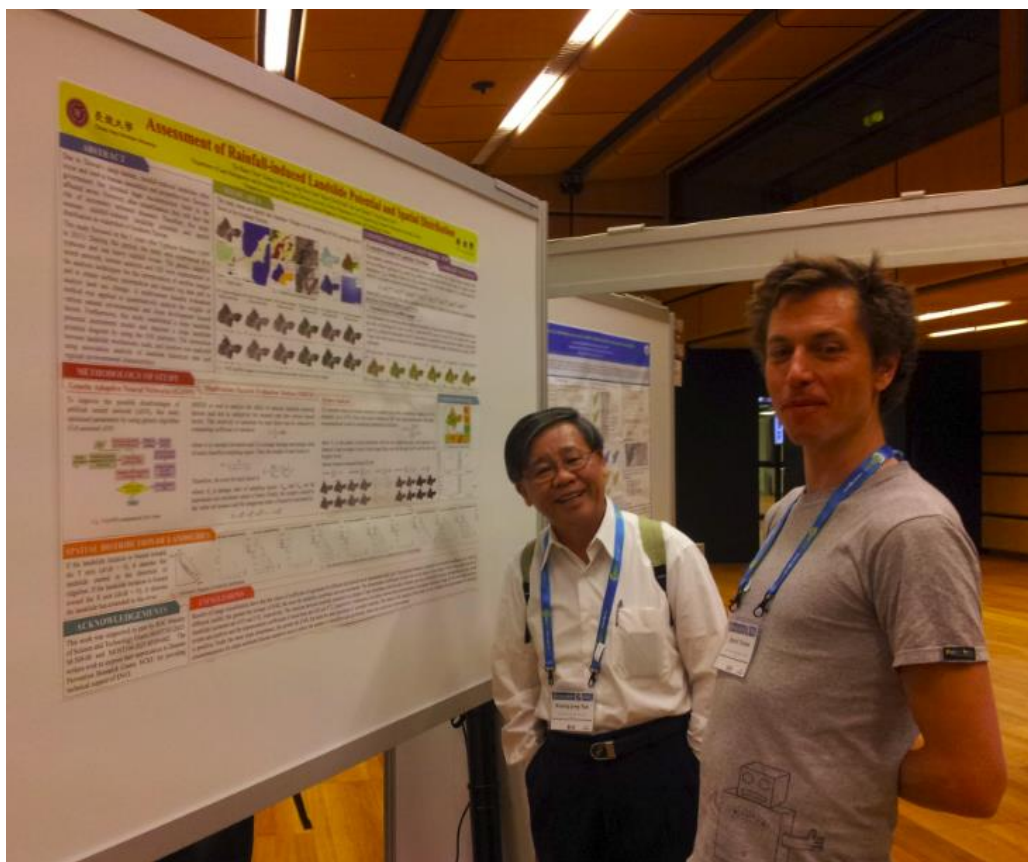


圖 2 研究團隊共同作者蔡光榮教授海報發表交流討論實況

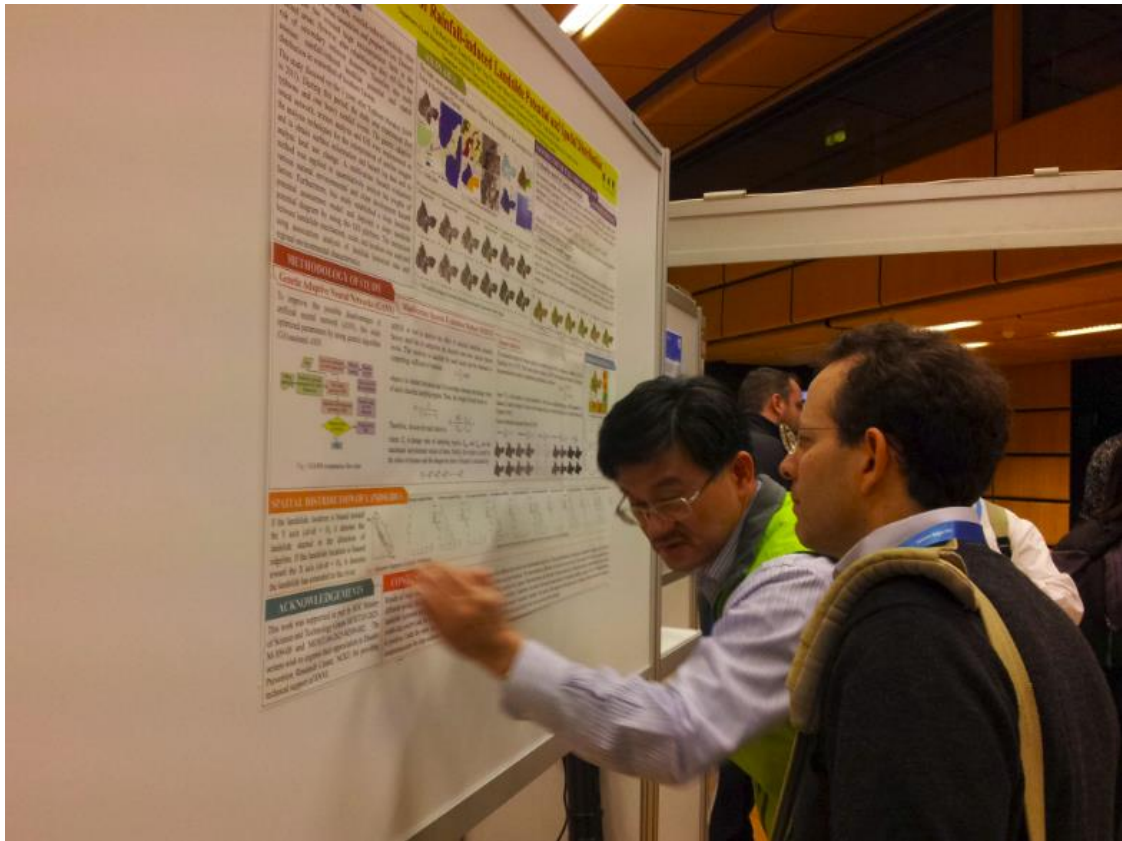


圖 3 研究團隊共同作者陳怡睿教授海報發表交流討論實況



圖 4 PICO 發表參與實況



圖 5 參與實況

會中發表與交流討論實況如圖 1~圖 5 之照片；。並撥空參訪研究相關儀器展示攤位與國外研究機構攤位。



圖 6 儀器展示攤位

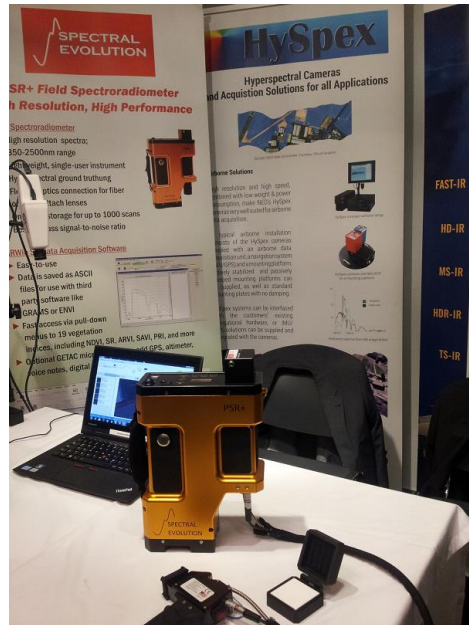


圖 7 光譜儀展示攤位

其中印象較深刻之場次如下列：

Orals

/ Mon, 18 Apr, 08:30–10:00 / Room N2

08:30–08:45 EGU2016-12980

Hydrological Effects on Failure Mechanism of the Shiaolin Landslide, Taiwan Induced by Typhoon Morakot
Meei-Ling Lin and Li-Sheng Chou

09:15–09:30 EGU2016-18422

Physical modelling of the rainfall infiltration processes and related landslide behaviour.
Giovanna Capparelli, Emilia Damiano, Lucio Olivares, Gennaro Spolverino, and Pasquale Versace

09:30–09:45 EGU2016-12600

Effect of initial conditions and of intra-event rainfall intensity variability on shallow landslide triggering return period
David Johnny Peres and Antonino Cancelliere

Posters

/ Attendance Mon, 18 Apr, 17:30–19:00 / Hall D

D.158 EGU2016-8871

Can we define hydro-meteorological triggering thresholds of landslides at catchment scale?
Cecilia Evangelista, Mario Ciavolella, Rudy Gargano, Roberto Greco, and Thom Bogaard

D.154 EGU2016-9697

Numerical investigations of triggering mechanisms of shallow landslides due to heterogeneous spatio-temporal hydrological patterns.

Massimiliano Schwarz and Denis Cohen

D.161 EGU2016-12497

Landslide triggering rainfall thresholds estimation using hydrological modelling of catchments in the Ialomita Subcarpathians, Romania

Zenaida Chitu, Aristita Busuioc, Sorin Burcea, and Ionut Sandric

D.164 EGU2016-13755

Impact of **landslides** induced by 2014 northeast monsoon extreme rain in Malaysia

Hiroshi Fukuoka, Swee Peng Koay, Naoki Sakai, and Habibah Lateh

D.153 EGU2016-18405

Effect of suction-dependent soil deformability on **landslide** susceptibility maps

Jose J. Lizarraga, Giuseppe Buscarnera, Paolo Frattini, and Giovanni B. Crosta

EGU2016-10988

GIS based probabilistic analysis for shallow **landslide** susceptibility using Point Estimate Method

Hyuck-Jin Park and Jung-Hyun Lee

A.17 EGU2016-17206

Fractional and fractal dynamics approach to anomalous diffusion in porous media: application to **landslide** behavior

Gianluca Martelloni and Franco Bagnoli

二、與會心得

感謝科技部對本計畫的支持以及今年出席國際研討會的補助，使計畫研究成果得以透過2016歐洲地球科學聯盟年會讓世界各國的學者們認識台灣的學者及了解我們的研究成果，此行也有助於瞭解世界各國在相關領域的研究趨勢與成果。「歐洲地球科學學會(The European Geosciences Union, EGU)」係於2002年由『歐洲地球物理學會(the European Geophysical Society, EGS)』和『歐洲地球科學聯盟(the European Union of Geosciences, EUG)』兩個學會合併而成。主要目的為推動、創新與跨領域的組織，致力於地球及環境與太空等科學之發展，為目前歐洲最大型的地球科學聯盟，而EGU年會為相當重要且著名的國際學術研討會議，歐洲的德國、法國，美洲的美國等先進國家每年都有許多科學家參與此盛會，此次與會不僅可提高台灣在學術領域之能見度，還可以提升我校知名度，結識相關領域之國際頂尖學者，並獲取最新的科研進展資訊，個人能出席此次國際學術盛會，深感慶幸。此次後學參加的場次，除了崩塌預測及現象與歷程外，主要集中於崩塌、氣候變遷及水文等三主題，其中水文議題有很多是探討氣候變遷的影響與衝擊。在觀摩國外學者的研究後，發現部分概念對於後學相關的研究極具參考價值如氣候變遷水文改變可進而探討降雨引致土砂災害的相關研究，此

行獲益良多。

三、發表論文摘要

發表題目：**A zonation technique for landslide susceptibility in southern Taiwan**

摘要

A zonation technique for landslide susceptibility in southern Taiwan

Jie-Lun Chiang (1), Yu-Qing Tian (1), Yie-Ruey Chen (2), and Kuang-Jung Tsai (2)

(1) Department of Soil and Water Conservation, National Pingtung University of Science and Technology, Pingtung 91201, Pingtung, Taiwan
(jlchiang@mail.npust.edu.tw),

(2) Department of Land Management and Development, Chang JungChristian University, Tainan 71101, Taiwan

In recent years, global climate changes violently, extreme rainfall events occur frequently and also cause massive sediment related disasters in Taiwan. The disaster seriously hit the regional economic development and national infrastructures. For example, in August, 2009, the typhoon Morakot brought massive rainfall especially in the mountains in Chiayi County and Kaohsiung County in which the cumulative maximum rainfall was up to 2900 mm; meanwhile, the cumulative maximum rainfall was over 1500m.m. in Nantou County, Tainan County and Pingtung County. The typhoon caused severe damage in southern Taiwan. The study will search for the influence on the sediment hazards caused by the extreme rainfall and hydrological environmental changes focusing on southern Taiwan (including Chiayi, Tainan, Kaohsiung and Pingtung). The instability index and kriging theories are applied to analyze the factors of landslide to determine the susceptibility in southern Taiwan.

We collected the landslide records during the period year, 2007~2013 and analyzed the instability factors including elevation, slope, aspect, soil, and geology. Among these factors, slope got the highest weight. The steeper the slope is, the more the landslides occur. As for the factor of aspect, the highest probability falls on the Southwest. However, this factor has the lowest weight among all the factors. Likewise, Darkish colluvial soil holds the highest probability of collapses among all the soils. Miocene middle Ruifang group and its equivalents have the highest probability of collapses among all the geologies. In this study, Kriging was used to establish the susceptibility map in southern Taiwan.

The instability index above 4.21 can correspond to those landslide records. The potential landslide area in southern Taiwan, where collapses more likely occur, belongs to high level and medium-high level; the area is 5.12% and 17.81% respectively.

Keywords: climate change, extreme rainfall, sediment related disasters, instability index

EGU2016-3379 -1

國立屏東科技大學
National Pingtung University of Science and Technology
水土保持系

A zonation technique for landslide susceptibility in southern Taiwan

Jie-Lun Chiang⁽¹⁾ Yu-Qing Tian⁽¹⁾ Yie-Ruey Chen⁽²⁾ Kuang-Jung Tsai⁽²⁾

1) Department of Soil and Water Conservation, National Pingtung University of Science and Technology, Pingtung 91201, Pingtung, Taiwan (jchiang@mail.npust.edu.tw)
 2) Department of Land Management and Development, Chang Jung Christian University, Taiwan 71101, Taiwan

In recent years, global climate changes violently, extreme rainfall events occur frequently and also cause massive sediment related disasters in Taiwan. The disaster seriously hit the regional economic development and national infrastructures. For example, in August, 2009, the typhoon Morakot brought massive rainfall especially in the mountains in Chiayi County and Kaohsiung County in which the cumulative maximum rainfall was up to 2900 mm; meanwhile, the cumulative maximum rainfall was over 1500mm. In Nantou County, Tainan County and Pingtung County. The typhoon caused severe damage in southern Taiwan. The study search for the influence on the sediment hazards caused by the extreme rainfall and hydrological environmental changes focusing on southern Taiwan (including Chiayi, Tainan, Kaohsiung and Pingtung). The instability index and kriging theories are applied to analyze the factors of landslide to determine the susceptibility in southern Taiwan. We collected the landslide records during the period year, 2007-2013 and analyzed the instability factors including elevation, slope, aspect, soil, and geology. Among these factors, slope got the highest weight.

Year	Landslide Area (m²)	Rainfall (mm)
2004	~4000	~800
2005	~4500	~1000
2006	~5000	~1200
2007	~5500	~1000
2008	~6000	~1200
2009	~18000	~1300
2010	~10000	~1100
2011	~5000	~800
2012	~5000	~1000
2013	~6000	~600

$$G_i = \frac{G_i \text{ landslides}}{G_i \text{ total}} \times 100$$

G_i : density of each factor in i class
 $G_i \text{ total}$: Total pixels in i class
 $G_i \text{ landslides}$: landslide pixels in i class

$$D_i = \frac{G_i - G_{i \min}}{G_{i \max} - G_{i \min}} + 1$$

D_i : susceptibility in i class
 G_i : density in i class
 $G_{i \min}$: the minimum density in all class
 $G_{i \max}$: the maximum density in all class

Department of Soil and Water Conservation



A zonation technique for landslide susceptibility in southern Taiwan

Jie-Lun Chiang⁽¹⁾, Yu-Qing Tian⁽¹⁾, Yie-Ruey Chen⁽²⁾, Kuang-Jung Tsai⁽²⁾

(1) Department of Soil and Water Conservation, National Pingtung University of Science and Technology, Pingtung 91201, Pingtung, Taiwan | chiangjl@mail.npsu.edu.tw
(2) Department of Land Management and Development, Chang Jung Christian University, Taiwan 71101, Taiwan

We collected the landslide records during the period year, 2007~2013 and analyzed the instability factors including elevation, slope, aspect, soil, and geology. Among these factors, slope got the highest weight. The steeper the slope is, the more the landslides occur. As for the factor of aspect, the highest probability falls on the Southwest. However, this factor has the lowest weight among all the factors. Likewise, Darkish colluvial soil holds the highest probability of collapses among all the soils. Miocene middle Ruyang group and its equivalents have the highest probability of collapses among all the geologies. In this study, Kriging was used to establish the susceptibility map in southern Taiwan.

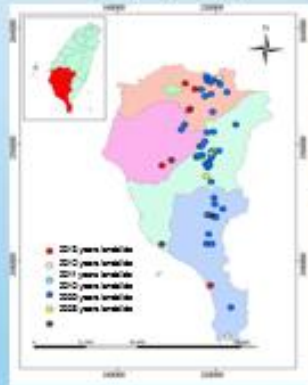
$$D_{total} = D_1^{W_1} \times D_2^{W_2} \times D_3^{W_3} \times \dots \times D_n^{W_n}$$

D_{total} : landslide susceptibility (1~10)

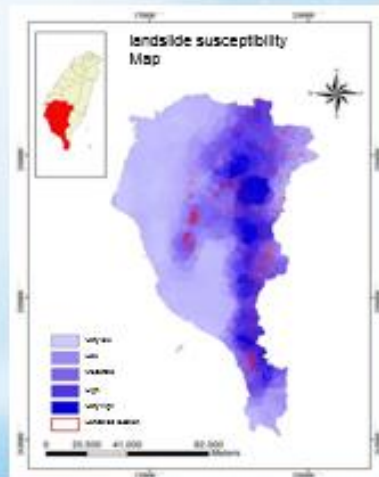
D_j : susceptibility in j class

W_j : weight of the j factor

landslide records during the period year, 2007~2013



The Instability Index above 4.21 can correspond to those landslide records. The potential landslide area in southern Taiwan, where collapses more likely occur belongs to high level and medium-high level; the area is 5.12% and 17.81% respectively.



susceptibility assessment	D value (D _{total})	percentage
low potential	1.46~2.80	15.47%
low-mid potential	2.80~3.38	32.58%
mid potential	3.38~4.01	29.03%
mid-high potential	4.01~5.24	17.81%
high potential	5.24~8.56	5.12%



Department of Soil and Water Conservation

四、建議

隨著時代的進步，今年 EGU 研討會議提供本次研討會專屬的 App 提供 iOS 及 Android 系統下載安裝，因為每年有超過一萬位科學家參加，因此這麼多的主題與研究發表也的確有必要方便查詢與規劃參與之議程，試用了一下頗為方便，相信這可能成為未來大型研討會的一個趨勢。未來我國承辦大型國際研討會可參考此作法。

本次參與發現世界各國積極投入氣候變遷之衝擊量化的研究；我國可以此為目標。而中央大學太空遙測中心以往有科技部計畫免費申請光學影像之額度，對研究助益甚大，但今年僅能免費申請 SAR 影像，建議可以恢復免費影像使用，或能增加申請

的影像種類與數量，提供學術研究，將對於我國衛星遙測應用技術(如應用於土砂災害與集水區管理)之發展有更明顯幫助。

另外歐美等先進國家的研究機構也在會場設有攤位介紹其機構與研究成果，亞洲方面如中國日本也設有攤位，建議我國也可在此場合佈設相關研究機構的攤位，展現研發成果及促進世界交流與拓展科學外交。

此外感謝科技部補助專家學者出國交流，可增加國內研究人員之國際觀及對世界研究趨勢之瞭解，並且增加我國研發成果之國際能見度，並可促進國際之學術交流與合作。可謂一舉數得，可使我國研發能力與歐美先進國家齊頭並進。

五、攜回資料名稱及內容

參加本次會議所攜回之資料如下：

1. 會議資訊及議程手冊。
2. 會議論文電子檔。
3. 與會學者資料及相關參展廠商的資訊。

六、其他

研討會接受函與邀請函：

接受函

Dear Prof. Chiang,

We are pleased to inform you about the acceptance of your following Abstract for the EGU General Assembly 2016:

EGU2016-3379

A zonation technique for landslide susceptibility in southern Taiwan by Jie-Lun Chiang et al.
accepted in Session NH3.6 Prediction and forecasting of landslides

The organizers will schedule your contribution and decide about its presentation type by 2 March 2016 and you will be informed accordingly.

Detailed information on the pre-registration as well as the hotel booking are provided on the conference

webpage <http://egu2016.eu/>

In case any questions arise, please do not hesitate to contact us.

Kind regards,

Katja Gänger

Copernicus Meetings

egu2016@copernicus.org

on behalf of the Programme Committee Chair

科技部補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期:2017/01/23

科技部補助計畫	計畫名稱: 子計畫:極端降雨影響下南台灣水庫集水區水文環境變異引致坡地二次土砂災害之降雨基準值分析研究(III)		
	計畫主持人: 江介倫		
	計畫編號: 104-2625-M-020-001-	學門領域: 災防坡地	
研發成果名稱	(中文) 防災雨量站網設計		
	(英文) raingauge network design		
成果歸屬機構	國立屏東科技大學	發明人 (創作人)	江介倫
	(中文) 雨量站網之設計主要有兩個基本的科學問題需解決, 第一為需要多少的雨量站方可足夠代表集水區之降雨特性, 第二為這些雨量站的位置應處於何處?故以能否表現各雨量站間的變異量或是資訊量為指標來分析, 本技術以最大熵來計算雨量站可以提供的資訊量, 由此概念發展出一套以防災預警為目的的雨量站網設計原則與標準流程, 讓測站所記錄的雨量資料能夠充分表現該區的降雨分佈型態, 而且測站間的訊息重覆性應盡量減低, 以符合經濟效益並能提供防災所需降雨資訊。		
技術說明	(英文) raingauge network design usign entropy		
	農業, 顧問服務業, 資訊服務業, 研究發展服務業, 其他專業、科學及技術服務		
產業別	可應用於降雨引發相關災害之防災及其相關研究。		
技術/產品應用範圍	建構有效的防災降雨資訊網, 保護人民生命財才安全及國家水土資源。		
技術移轉可行性及預期效益			

註：本項研發成果若尚未申請專利，請勿揭露可申請專利之主要內容。

104年度專題研究計畫成果彙整表

計畫主持人：江介倫			計畫編號：104-2625-M-020-001-				
計畫名稱：子計畫：極端降雨影響下南台灣水庫集水區水文環境變異引致坡地二次土砂災害之降雨基準值分析研究(III)							
成果項目			量化	單位	質化 (說明：各成果項目請附佐證資料或細項說明，如期刊名稱、年份、卷期、起訖頁數、證號...等)		
國內	學術性論文	期刊論文		1	篇		
		研討會論文		4			
		專書		0	本		
		專書論文		0	章		
		技術報告		0	篇		
		其他		0	篇		
	智慧財產權及成果	專利權	發明專利	申請中	0	件	
				已獲得	0		
			新型/設計專利		0		
		商標權		0			
		營業秘密		0			
		積體電路電路布局權		0			
		著作權		0			
		品種權		0			
		其他		0			
	技術移轉	件數		0	件		
		收入		0	千元		
	國外	學術性論文	期刊論文		2	篇	
			研討會論文		4		
專書			0	本			
專書論文			0	章			
技術報告			0	篇			
其他			0	篇			
智慧財產權及成果		專利權	發明專利	申請中	0	件	
				已獲得	0		
			新型/設計專利		0		
		商標權		0			
		營業秘密		0			
		積體電路電路布局權		0			
		著作權		0			
		品種權		0			

		其他	0		
	技術移轉	件數	0	件	
		收入	0	千元	
參與計畫人力	本國籍	大專生	3	人次	
		碩士生	1		
		博士生	0		
		博士後研究員	0		
		專任助理	0		
	非本國籍	大專生	0		
		碩士生	0		
		博士生	0		
		博士後研究員	0		
		專任助理	0		
其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)		土砂災害之控管為防災及集水區經營治理之要務，由於台灣雨量豐沛、降雨時空分佈不均，極端降雨不僅會加速土砂沖蝕、水庫淤積、國土流失、甚至危害人民生命財產安全。本研究計畫藉由分析極端降雨時間空間變化趨勢與土砂災害的關係，配合GIS資料庫之水文、地文資料，除設計以防災預警為目的之雨量站網外，並劃定水文均一區，及訂定致災臨界降雨基準值，以利防災預警。並提供氣候變遷下水土保持設施設計水文量檢討成果，供調適氣候變遷下集水區治理策略應用。此等成果可提供相關研究單位或政府部門在土砂災害預警、防治及水土資源保育相關研究或決策之參考。進而保障人民生命財產安全。			

科技部補助專題研究計畫成果自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現（簡要敘述成果是否具有政策應用參考價值及具影響公共利益之重大發現）或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以100字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形（請於其他欄註明專利及技轉之證號、合約、申請及洽談等詳細資訊）

論文： 已發表 未發表之文稿 撰寫中 無

專利： 已獲得 申請中 無

技轉： 已技轉 洽談中 無

其他：（以200字為限）

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性，以500字為限）

土砂災害之控管為集水區經營治理之要務，由於台灣雨量豐沛、降雨時空分佈不均，極端降雨不僅會加速土砂沖蝕、水庫淤積、國土流失、甚至發生土砂災害危害人民生命財產安全。本研究計畫藉由分析極端降雨時間空間變化趨勢與土砂災害的關係，配合GIS資料庫之水文、地文資料，除設計以防災預警為目的之雨量站網外，並劃定水文均一區，及訂定致災臨界降雨基準值，本計畫並發展客觀的崩塌圖選用及建立程序，使產製之潛勢圖能有一定標準。以利防災預警與集水區治理。以提供相關研究單位或政府部門在土砂災害預警、防治及水土資源保育相關研究或決策之參考，進而保障人民生命財產安全。

4. 主要發現

本研究具有政策應用參考價值： 否 是，建議提供機關行政院農業委員會水土保持局、經濟部水利署、行政院農業委員會林務局

（勾選「是」者，請列舉建議可提供施政參考之業務主管機關）

本研究具影響公共利益之重大發現： 否 是

說明：（以150字為限）

本計畫分析極端降雨時空變化趨勢與土砂災害的關係劃定水文均一區，訂定致災臨界降雨基準值，並發展客觀的崩塌圖選用及建立程序，使產製之潛勢圖能有一定標準。並設計以防災預警為目的之雨量站網，以利防災預警。提供相關

研究單位或政府部門在土砂災害預警、防治及水土資源保育之研究或決策參考，進而保障人民生命財產安全。