

南華大學科技學院永續綠色科技碩士學位學程

碩士論文

Master Program of Green Technology for Sustainability

College of Science and Technology

Nanhua University

Master Thesis

應用空間資訊技術及模糊理論於古坑華山地區環境脆

弱度之評估

Application of Spatial Information Technique and Fuzzy

Theory to the Assessment of Environmental

Vulnerability in the Gukeng Huashan Area

林妙靜

Miao-Jing Lin

指導教授：林文賜 博士

Advisor: Wen-Tzu Lin, Ph.D.

中華民國 111 年 11 月

November 2022

南華大學
永續綠色科技碩士學位學程
碩士學位論文

應用空間資訊技術及模糊理論於古坑華山地區環境脆弱度之評估

Application of Spatial Information Technique and Fuzzy Theory
to the Assessment of Environmental Vulnerability in the Gukeng
Huashan Area

研究生：林妙靜

經考試合格特此證明

口試委員：林昭遠
陳淑敏
林武

指導教授：林武

系主任(所長)：周建明

口試日期：中華民國 111 年 11 月 5 日

謝誌

這篇論文的完成首先要感謝的是我的指導教授林文賜博士，在論文撰寫期間細心又耐心且不厭其煩的指導，激發我對論文主題不同角度且多面向的思維讓我獲益良多，也提昇了我對論文試區更多的體悟和認識，在經過數次的討論及修正後終於順利完成我的論文！在此謹向我的指導教授及老師們致上最高的敬意。

口試期間，承蒙口試委員林昭遠教授及陳淑敏博士，提供許多專業及寶貴的意見與建議，使得本論文能夠更臻完善，在此謹致衷心的謝意。

回憶起研究所生涯的點點滴滴，雖然學長姐及同學們皆來自各行各業，平常工作也相當忙碌，但每到上課時間皆由各地到校齊聚一堂，能一起進修成為同學建立起革命情感的這個緣份實在很難得也很珍貴，如今我已屆畢業的時刻，衷心感謝各位老師們、學長姐、同學們的指導及陪伴，因為有你們，讓我的研究所生活更加充實且幸福，也讓我的視野變得更加的遼闊。

在研究所求學期間要感謝我的家人成為我最有力的後盾，總是默默支持著我，是我前進的動力，因為有家人們的體諒與包容和不時的關心照顧著我的健康，我才能無後顧之憂的專心撰寫論文，衷心感謝他們無所求的付出。另外要特別感謝福永及妙音在我撰寫論文期間多次陪伴我前往現地調查及取材，讓我的論文能夠如期完成，謝謝你們～最後，把這份小小的成果與我愛的大家一起分享。

中文摘要

古坑華山地區近年來積極轉型為休閒農村，包括主辦「台灣咖啡節」活動，塑造其為「台灣咖啡的故鄉」，將咖啡變為華山地區之產業特色，並在 2007 年當選台灣地區十大經典農村。華山地區在數年之間，於桂林及華山兩村一帶，沿著山路設立數十家咖啡店、餐廳及民宿，然觀光遊憩景點開發之環境風險度，應屬目前之重要課題。本研究係結合環境資料庫、空間資訊技術、模糊理論及階層分析法，探討古坑華山地區觀光遊憩景點(咖啡店及民宿)開發之環境風險度，以作為坡地農村休閒遊憩景點開發之參考。評估結果顯示：

- 一、 該地區經營咖啡店或民宿之遊憩景點共有 66 處，高、中及低環境風險區之遊憩景點分別有 8 處、30 處及 28 處。
- 二、 高環境風險區之遊憩景點集中於華山溪出口處附近，除位於地質或土壤強度較弱區位外，或距斷層較近外，大都緊鄰河川兩側及鄰近土地利用以道路及建物為主。
- 三、 中環境風險區之遊憩景點分散在高環境風險區之週邊；低環境風險區之遊憩景點則大都遠離河道兩側、鄰近土地利用為農田或林地、及地形較平緩之處。
- 四、 本研究建立之環境風險度評估模式，可作為坡地農村休閒遊憩景點開發及經營之參考。

關鍵詞：模糊理論、階層分析法、環境風險度

ABSTRACT

In recent years, the Gukeng Huashan area has been actively transformed into a leisure village, including hosting the "Taiwan Coffee Festival", shaping it into the "Home of Taiwan Coffee" and turning coffee into an industrial feature of the Huashan area. In 2007, it was selected as one of the top ten classic villages in Taiwan. In a few years, dozens of cafes, restaurants and hostels have been set up along the mountain roads in the area of Guilin and Huashan villages, but the environmental risk of developing tourist attractions should be an important issue now. This study combines environmental database, spatial information techniques, fuzzy theory, and hierarchical analysis to investigate the environmental risk level of the development of recreational spots (cafes and hostels) in Gukeng Huashan area as a reference for the development of leisure and recreational spots in sloping rural areas. The evaluation results are as follows:

- 一、 There are a total of 66 recreational spots operating cafes or hostels in the area, with 8, 30 and 28 recreational spots in high, medium and low environmental risk areas respectively.
- 二、 The recreational spots in the high environmental risk area are

concentrated near the entrance of Huashan stream, except for those located in areas with weak geology or soil strength, or close to the fault, most of them are adjacent to both sides of the river and the adjacent land use is mainly roads and buildings.

- 三、 The recreation spots in the medium environmental risk area are scattered around the high environmental risk area. The recreational spots in the low environmental risk area are mostly far away from the sides of the river, near the land use of agricultural land or forest land, and in the relatively gentle terrain.
- 四、 The environmental risk assessment model established in this study can be used as a reference for the development and operation of sloping rural recreation and leisure spots.

***Keywords:* Fuzzy Theory, Analytic Hierarchy Process, Environmental Risk Assessment**

目錄

謝誌	I
中文摘要	II
ABSTRACT	III
目錄	V
圖目錄	VII
表目錄	VIII
第一章緒論	1
1.1 研究動機	1
1.2 研究目的	2
1.3 研究架構	3
第二章文獻回顧	6
2.1 坡地災害及休閒產業發展之相關文獻探討	6
2.2 環境災害資料庫及模式相關應用文獻之探討	14
第三章研究材料與方法	22
3.1 研究試區概述	22
3.2 研究方法與工具	31
第四章結果與討論	46
4.1 試區歷年災害及現況調查	46
4.2 環境風險模糊隸屬度評估	53
4.3 AHP 及環境風險度評估	55

第五章結論與建議	59
5.1 結論	59
5.2 建議	60
參考文獻	62



圖目錄

圖 1 研究流程圖	5
圖 2 雲林縣古坑鄉地形、水系分布圖	22
圖 3 雲林縣古坑鄉地質分布圖	23
圖 4 研究區域位置圖	24
圖 5 嘉義氣象站(2012-2021)月平均氣候統計分布圖 ...	26
圖 6 華山地區含括示意圖	27
圖 7 雲林縣古坑鄉坡地災害潛勢地圖	28
圖 8 華山山知湖橋土石流潛勢溪流監測區	29
圖 9 雲林縣古坑鄉華山橋土石流潛勢溪流監測區.....	29
圖 10 雲林縣古坑鄉仁滿橋土石流潛勢溪流監測區.....	30
圖 11 雲林縣古坑鄉桂林 53 之 5 號土石流潛勢溪流監測區... 30	
圖 12 華山溪土石流災害潛勢地圖.....	31
圖 13 地質分布圖.....	32
圖 14 土壤分布圖.....	35
圖 15 台灣活動斷層分布圖.....	36
圖 16 大尖山斷層帶地質圖.....	37
圖 17 土地利用圖.....	39
圖 18 咖啡廳周邊土地利用-檳榔樹.....	48
圖 19 依坡地而建之景觀咖啡廳.....	48
圖 20 鄰近華山溪邊之景觀咖啡廳.....	49
圖 21 華山土石流教學園區.....	49
圖 22 華山村華山社區坡面災害區位.....	50
圖 23 古坑華山地區颱風災後圖.....	52

表目錄

表 1 研究地區之氣候資料表	25
表 2 嘉義地區近五年氣候資料	25
表 3 地質之環境風險模糊隸屬度	32
表 4 坡度之環境風險模糊隸屬度	34
表 5 土壤之環境風險模糊隸屬度	35
表 6 全台斷層發生 6.5 以上地震之機率之分析	37
表 7 距河川距離之環境風險模糊隸屬度	38
表 8 土地利用之環境風險模糊隸屬度	39
表 9 AHP 評估尺度意義及說明	43
表 10 隨機性指標值	45
表 11 古坑鄉歷年災害統計	52
表 12 環境因子之風險模糊隸屬度	53
表 13 AHP 專家問卷計算	56
表 14 因子評估權重表	56
表 15 遊憩景點環境風險度評估結果	58

第一章 緒論

近年來地球的環境正面臨著各種環境議題的挑戰，包括地球暖化、氣候變遷或各種天然災害等，而台灣地區近年受極端氣候影響甚深，極端氣候之「極端」表示氣候數值超過以往處理的正常範圍，已達災害等級，如超大豪降雨、高溫炎熱乾旱等。其將會造成社會經濟衝擊、以及民眾生命財產的損失，如乾旱造成農作物產量減少、豪雨造成山區土石流及低窪地區淹水、頻繁的颱風侵襲導致各項建設損壞等，面臨這些極端氣候的影響，所以提倡強調著自然環境的永續經營，2015年聯合國提出永續發展目標(Sustainable Development Goals, SDGs)，期望2030年可以達成，其目標共有17個項目，兼顧經濟發展、社會進步與環境保護，透過世界各國一起努力可以邁向永續發展之路。本研究係以SDGs第15項「保護、維護及促進陸域生態系統的永續使用，永續的管理森林，對抗沙漠化，終止及逆轉土地劣化，並遏止生物多樣性的喪失」的環境永續為目標，結合環境資料庫、空間資訊技術、專家問卷及模糊理論，探討古坑華山地區之坡地環境脆弱度問題，做為坡地環境永續利用之決策及參考。

1.1 研究動機

古坑華山地區在歷經了地震、水災和各種天然災害的侵襲下，造成多處崩塌，居民賴以耕種維生的地方產業如檳榔、茶葉、柑橘亦間接受影響，而農業聚落空間、傳統三合院、觀光步道、涼亭亦震毀多處，登山遊客亦因地震人數減少，影響經濟收入，故進而努力轉型期望能帶動地方經濟的發展。因此透過以下三面向的探討來了解古坑華山地區發展演進：

- 一、 早期：華山地區是無過度開發的山林地區，人口及建物較不密集，也較為稀少，一旦發生災害對生命財產安全影響較小。
- 二、 現今：近年來配合政府發展政策積極進行休閒農村轉型，將咖啡變為華山地區之產業特色，在數年之間，於桂林及華山兩村一帶，沿著山路設立數十家的咖啡店、餐廳及民宿。
- 三、 轉型後所需面臨的問題：在觀光遊憩景點的開發下造成人口商家的密集，再加上目前極端氣候的影響下，一旦發生災害，將容易造成極大的損失，故本研究針對古坑華山地區環境風險的評估保障當地人民商家的生命及財產安全就成為古坑華山地區目前之重要課題。

古坑華山地區屬山坡地形，坐下欣賞美景放鬆喝咖啡之餘，讓我們可以思考到建築在坡地上的景觀咖啡廳所需面臨的危害及風險，透過環境脆弱度的評估研究來降低店家因環境災害所需面臨的損失達到永續經營成為本研究的重點。

1.2 研究目的

2001年9月一場豪雨，溪水挾帶6萬立方公尺土石，造成土石流災害，因此農委會水土保持局在減災後設定華山土石流教學園區，在華山溪沿岸設置具特色之各種防治土石流工法、生態工法及解說牌，做為環境教育解說及土石災害學術研究之用。本研究以古坑華山地區永續發展為主要目的，透過以下問題的探討，進而建立維護聚落的安全環境，減免重大土石流的災害，並檢視治理功效及農村未來發展。

- (一) 蒐集古坑華山地區之坡地災害問題、休閒農村的轉型、坡地景觀咖啡廳設立的環境因子評估、以及環境資料庫的運用

來提供試區開發之參考。

(二) 以空間資訊技術、專家問卷及模糊理論評估研究地區之環境脆弱度提供當地土地利用之參考。

(三) 藉由探討古坑華山地區之環境脆弱度問題，做為當地環境永續發展規畫決策之參考。

1.3 研究架構

本研究之流程如圖 1，大略分為研究方向之確認、相關文獻探討、研究設計內容、構想發展執行及結論與建議五大部分，其相關內容之說明如下。

一、前言：

研究方向範圍之確認，敘明研究動機及目的，研擬本研究之論文架構及流程。

二、文獻回顧及資料蒐集分析：

相關文獻針對「休閒農村」、「坡地災害」、「層級分析法」、「模糊理論」及「環境風險性評估」之定義及指標作資料蒐集及統整納。

三、研究設計及方法：

從研究架構中，決定研究變項及研究對象，以「專家問卷」、「層級分析法」、「模糊理論」、「環境風險性評估」及「空間資料技術」作為研究工具；其中包括資料分析的運用。針對專家學者就地形災害對古坑華山地區的影響進行評估，並進行分析，可得到許多資訊與資料之關聯性，用來探討問題所產生之影響與變化。

四、結果與討論：

根據統計了解古坑華山地區容易發生的災害類型、易造成土石流災害的原因及極端氣候的影響進行探討，透過對於 66 個點位環境風險度因子評估得到商家所位處於低中高風點位，做為日後避免災害發

生造成影響的參考依據。

伍、結論與建議：

根據資料整理分析結果，做成結論與建議，依據本研究試區現況雖已施作數道梳子壩及防砂壩稍稍舒緩土石流的威脅，但未來亦有可能再次造成災害。建議仍需就下列三項問題持續進行評估：

- (一) 針對土石流潛勢溪流的問題研究對策。
- (二) 研擬野溪問題及治理對策。
- (三) 對於斷層帶崩塌地等問題進行評估及探討治理對策。



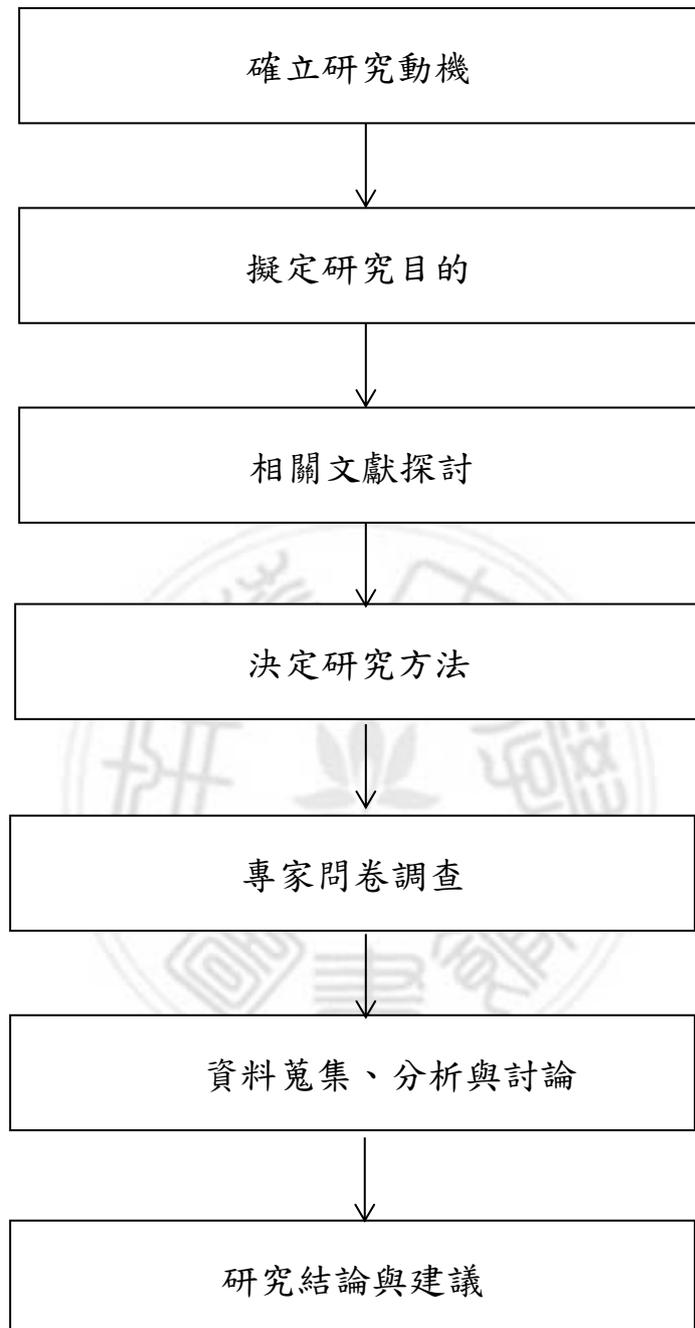


圖 1 研究流程圖

第二章文獻回顧

2.1 坡地災害及休閒產業發展之相關文獻探討

一、休閒農村發展之相關文獻探討

由於當今社會的繁榮和進步，現代人生活在高度工業化的環境中，每天都面臨著忙碌的生活和工作的壓力。農村擁有豐富的自然資源、文物古蹟和工業活動，能為現代繁忙的都市人提供最佳的休閒旅遊目的地。經濟合作與發展組織（OECD）指出，“村落”是指獨特的社會生態活動，雖然靠近城市，但具有相當大的經濟影響力。廣義上的鄉村旅遊，是指在鄉村地區進行的休閒活動，即人們離開日常生活或居住地，參加鄉村地區的一切休閒旅遊活動；而狹義的鄉村旅遊是指在鄉村空間中利用其資源從事休閒活動。由於鄉村旅遊的特殊性和獨特意義，它與當地的文化、環境、自然資源和經濟條件都有著密不可分的密切關係(蔡尚惠等 2015)，集農業活動、鄉村文化和鄉村娛樂服務於一體，可兼具經濟、社會、環境、教育、文化、娛樂、療養遺產等多重功能。從供給（鄉村）的角度看，鄉村旅遊有利於創造地區的独特文化建設和文化資產，提高地方環境質量，保護自然景觀和生態；在需求（鄉村遊客）方面，為各類休閒旅遊提供休閒活動和公共設施，讓遊客可以近距離接觸該地區的自然景觀和生態，有利於緩解日常生活的工作壓力，進而恢復身心的安寧(張岳志，2007)。

近年來，休閒農村觀光也已然成為國人熱門的休閒活動，業者紛紛搶灘闢建露營區、咖啡廳、民宿及休閒農村，然而為達到休閒及心靈放鬆之效的露營區及休閒農村大都位於高海拔山區，許多業者為了牟利非法將山林或林地夷為平地，標榜讓親子接近大自然及欣賞美

景，進而破壞水土保持危害自然生態，有些更是鄰近土石流潛勢溪流及位處地質敏感區等，這些問題將造成民眾生命可能危害，對水土保持造成極大的隱憂，業者為了降低成本提高報酬，不惜使用非法的手段爛伐開墾，為了達成營利的目的，進而衍伸出許多問題，使遊客置身於危險場域之中(鍾冠群，2021)。

2010 年臺灣針對農村社區通過了農村再生條例政策，以 10 年編列 1500 億的基金，做為協助臺灣的農村社區在軟硬體方面的改善；條例的推動首要立基於農村社區長年受到人口外流、人才不足、基礎設施、產業經濟等相關面向的影響，希望能夠藉由由下而上、軟硬兼施、計畫導向等三大方向，鼓勵社區民眾參與、學習，到凝聚社區共識，制定提出 4 年以上之農村社區願景。在臺灣已推動超過 20 年的社區總體營造，在於社區的擾動過程中，凝聚社區民眾對於共同生活環境的重視，進而參與實踐等作為；讓農村再生政策得以推動與實踐，在農村社區本身的社群操作合作下，是否能夠確實的改善農村的問題，又或者對農村的發展能夠有其效益產生？都將是值得被加以研究與討論的部分(王志華，2019)。

而台灣自 2010 年通過「農村再生條例」以來致力於發展農村社區，農村再生 2.0 更積極發展農村社區鄉村旅遊為社區發展的新興產業，提高社區產業競爭力，透過農村再生社區跨域的串接發展帶狀旅遊區、推動優質農村旅遊評鑑等相關計畫，進而協助推動農村社區鄉村旅遊發展(洪婉榕，2018)。政府積極推動農村再生計畫為的就是期望能促進農村的永續發展、改善基礎生產條件，維護農村生態及文化，提升農村的生活品質(吳翊瑄，2021)。從 2010 年至今農村再生計畫已執行 10 餘年，其讚美與批評的評論皆有，而農業大縣之雲林縣，亦是申請農村再生計畫最多的地區(林書玄 2022)。雲嘉南地區為台灣農

業生產的大縣，在整體鄉村環境衰敗時，華山村藉由鄉村內部的行動者網絡及鑲嵌關係，發展出一代表性的鄉村再生模式關係(高偉傑，2008)。華山村位於古坑鄉南側中間地帶，屬平原台地地區進入古坑鄉山區要道之一，村內居民原本以產茶為主，然而在 921 震災後重建的過程中，面對村內傳統產業凋零，青壯年人口嚴重外流，為此當地諸多地方人士為位處在坡地的地方農村發展傷透了腦筋，在眾人的集思廣益討論中，嘗試以「台灣咖啡的故鄉」為創意出發點重新找回「台灣咖啡」的新契機，帶動了台灣咖啡在古坑地區的新風潮。在 2003 年 10 月間舉辦了第一屆台灣咖啡節。「2004 台灣咖啡節」活動主場地改至古坑綠色隧道，活動時間延長至 3 個月之久。2005 年的台灣咖啡節一樣在古坑綠色隧道舉辦，雖然時間縮為 2 個月但仍吸引大批遊客前往。從 2003 年至 2008 年，一連舉辦了 6 屆的台灣咖啡節活動，大大提高了古坑咖啡的知名度。活動期間策劃展出失散已久的照片等紙質文獻、當年用來炒豆子的大灶、用碾米機改裝的脫殼機，並找回在荷包山保留樹齡均超過 50 年的老咖啡樹見證了台灣咖啡的歷史。

咖啡成為華山地區第一個聯想到的東西後，附近的農民將原本種植在山區的檳榔樹砍掉，轉而改種咖啡。漸漸地古坑的華山、荷包山、草嶺等山區陸續種植了大量的咖啡。根據古坑鄉農會統計，古坑鄉的咖啡種植面積已達 120 公頃，而台灣的咖啡種植面積約為 300-400 公頃，占了總輸出量的 1/3，此外，台灣種植的咖啡樹適應性非常好，幾乎沒有病蟲害，所以在它們種植過程中很少噴灑農藥，從而減少了許多農藥殘留的問題。這是台灣咖啡的一大優勢，可以安心飲用。但也因此肥料消耗量很大，通常咖啡果園必須每兩週施一次肥，這樣咖啡樹才會生長出滿滿的蒴果。另外，咖啡產業與華山地區夜景特色相互融合再加上本地之特色民宿的經營，已經成功活絡起當地的經濟，

是災後重建後一項相當值得紀錄的成果，更由於近年來古坑華山地區大量改種咖啡樹，讓咖啡相關的休閒產業，成為古坑華山地區新的經濟出路(林廷隆等，2001)。現階段農村改建條例草案，補助經費最龐大的即為農村社區公共設施之改善，所提供之經費為其餘改建經費的兩倍，但此相關獎勵措施且所需統合之地方居民認同，由此可看出地方組織現階段為鄉村再生治理政策的主要行動者，因其與在地鑲嵌關係強，握有地方選票認同及知識力量，能迅速推動此政策，爭取鄉村改建經費(高偉傑，2008)。

二、坡地災害發生之相關文獻探討

坡地(slope land)，是傾斜角大於 2° 的傾斜地面。全球陸地表面的80%以上皆屬於坡地，故坡地為地貌主要的組成部分，坡地的開發變化將影響了地貌形體的變化。華山近年來就受到政府極力的推廣而發展休閒農業，地理位置是處於古坑鄉與梅山鄉界的坡地地形，在該風景區內的大尖山主體標高1,299公尺，是阿里山西端、清水溪西稜的最高峰，處處林木蒼翠美景無限，區內闢有國內首條文學登山健行步道，是運動健身的最佳去處，除登山、健行外，更具烤肉、露營、郊遊等勢具有多元化的假日休閒旅遊勝地。由於位在雲林縣古坑鄉的華山休閒農業區內，境內更具有無數的景觀咖啡廳相信是許咖啡愛好者假日想喝咖啡時優先想到的共同選擇，而每間風格不同的咖啡廳所營造出來的各種裝潢擺設、異國情調，更具有讓旅客每逢假日就趨之若鶩的無限魅力。

為使坡地休閒農業順利發展，促進農村經濟發展，可通過風險管理、大資料等資料獲取科學資訊化發展戰略規劃、變更問題需要完整的風險治理框架和資料，以進行系統評估和規劃。我國目前在氣候適應過程中有“氣候適應六個步驟(CCA6 Steps)”，透過六個主要的實

施步驟來對環境風險評估與管理以及坡地休閒農業的建立提供了完整的框架和參考(劉沁潔, 2020)。

台灣的地理位置位於板塊交界地帶上除了受到地震災害外, 颱風及豪雨也是近年來常會受到的災害, 由於極端氣候急遽變化, 各地不斷有自然災害傳出, 其中也包含損失慘重的坡地災害, 尤其台灣因山坡地占地廣泛, 相關災害更為頻繁(王浣雅, 2020)。又因台灣地理環境特殊, 約 73.7% 之土地屬於山坡地, 地勢陡峻加上地質破碎, 河短流急, 再加上颱風豪雨以及地震頻繁, 極易造成地表沖蝕、崩塌、地滑, 引爆土石流災害。在 921 災後, 根據水土保持局的調查資料, 在台中市、苗栗縣、南投縣、雲林縣等災區的 5 縣 28 個鄉鎮, 共勘查面積約 24 萬公頃, 共有塌方 21970 處。塌方面積約 11297 公頃, 塌方面積約佔調查面積的 4.7%, 其中南投縣最大, 為 15561 公頃。最嚴重的是台中縣太平市埔里鄉、南投縣水里鄉和雲林縣古坑鄉。從地形分區和地質條件看, 94% 的塌陷區分佈在車龍鋪斷裂以東的瓦狀斷塊和雪山; 塌陷區多在坡頂, 坡腹次之, 海拔 500m~1000m 最大, 坡度最大為 $30^{\circ}\sim 45^{\circ}$, 其次為 $45^{\circ}\sim 60^{\circ}$ (林廷隆等, 2001)。

台灣因山區多, 但卻人口密度大, 再加上地質複雜、地形陡峭、降雨集中, 又多颱風及地震, 因此坡地的自然環境極具敏感性, 加上近年露營區及休閒農村不當開發的後果就是坡地災害日漸增多(蘇振賢, 2018)。且台灣位處易受颱風及地震侵襲之地帶, 為降低災害所帶來之損失, 災害管理及減災勢必要實行。故在針對災害評估及分析時, 皆會納入脆弱度的概念, 但目前尚未有研究發展出以村里層級的尺度下針對坡地災害脆弱度評估的方法, 如果能形成一套該尺度的脆弱性評估方法研究, 通過對坡地災害的討

論，分析其成因及相關案例，進而得出影響坡地穩定性的因素。地震、地形、降雨、人為干擾……等因素。希望通過對每個案例的分析，如何有效地採取適當的施工方法來穩定和修復山坡。綜合所有研究成果後，提出研究建議，希望能作為未來的實際應用，改進防災預警工作，希望未來能顯著減少坡地災害(林淑慧，2019；蘇振賢，2018)。

但台灣受到地形及環境因素的影響極劇，坡地休閒農業雖然可增進國內觀光休閒旅遊之發展，但相對的衍生濫墾山坡地、環境、水資源污染及遊客安全等問題，對於坡地的水土保持及生態造成嚴重的衝擊，為避免因開發所造成的環境災害影響居民及遊客的生命財產損失，利用各種的研究方法及工具來探討坡地災害及休閒產業的發展，進而減少在經濟發展開發環境所帶來的災害及損失。除了受到地形的影響外，台灣所位於的地理環境位置上也有許多天然災害，有些人會因為這些天然災害導致房屋受損甚至是受傷，尤其是在山區，颱風跟地震可能會造成山崩或土石流的發生，所以當天災來臨時，我們最重要的是要盡快知道哪些地方是災區，並且盡快的投入救災資源，讓該地區的居民生命財產得以保障(蔡湘瑩，2015)。近年來，由於全球暖化，全球氣候受到快速變化的影響，導致台灣地區出現極端強降雨模式的頻率顯著增加。加上颱風強度加大，坡地災害的強度和頻率也有所增加。在快速增長的趨勢下，通過評估環境脆弱性和製作災害潛力圖來管理環境風險，從而保護人們的生命財產安全，這是我們在未來的研究中非常重要的目標和課題(黃建豪，2013)。

古坑華山地區的坡地休閒農業隨處可見登山步道，建在斜坡上的華山文學步道是第一條以文學為主題設計的步道，位於文學小道上的裝置藝術是雲林 12 位著名作家的作品，華山地區因古坑咖啡而成為

休閒旅遊的熱門去處。當地居民充分利用華山豐富的自然生態、人文歷史資源和完整的鄉村環境，如古橋、螢火蟲修復池、登山觀景步道、傳統四合院、手工造紙廠等，形成了自然生態深度旅遊基地。此外，為因應假日之休閒人潮，華山地區在數年之間，於桂林及華山兩村一帶，沿著山路設立數十家的咖啡廳、餐廳及民宿等觀光遊憩景點的開發(林文賜，2011)。

然而以上因人們經濟活動所做的開發皆位於坡地之上，山坡地的土地及可利用限度分類乃是水土保持主管機關為管理坡地農業使用而訂定的重點，水土保持局將山坡地依坡度、土壤有效深度、土壤沖蝕程度、母岩性質等查定基準，分為宜農牧地、宜林地以及加強保育地(林政侑，2018)。讓在該地從事經濟發展開發的民眾在面對坡地災害的威脅時，建立預警系統，期望能適時疏散民眾進而降低傷亡及財產損失(劉宜君，2017)。古坑鄉華山村的華山溪與科角溪上游源頭位於斜坡之上，在 921 地震中曾發生嚴重的塌陷。此外，也在 2000 年 2、4、6 月份的大雨造成上游大量砂石下移，淹沒縣道，毀壞房屋、農田，15 戶房屋及下游居民受到嚴重威脅。因此，為協助華山居民重建家園，水土保持局開始規劃土石流控制，同時推動農村居民重建，開始召集華山社區居民重新考慮坡地休閒產業發展方向(行政院農業委員會全球資訊網)。

因 921 大地震使古坑華山區域原本綿延山嶽、奇石、石壁、溪床等自然觀光資源多處崩塌，居民賴以耕種維生的地方產業如檳榔、茶葉、柑橘亦間接受影響，而農業聚落空間、傳統合院、觀光步道、涼亭亦震毀多處，登山遊客亦因地震人數減少，影響經濟收入。在政府投入大量資源人力的整治下，經過 10 年當地居民的共同努力重建下，華山社區在實質建設作法上有許多的成果與經驗，但也有諸多發展上

困境值得探討，本研究即以古坑華山社區為例，透過觀察身處在坡地的社區重建過程中社區居民以社區營造之操作手法，強調「民間參與」、「永續發展」重振社區產業文化，在地方上原有即將消失之地區產業、坡地開發所需面臨的災害、休閒農村轉型、環境風險度的評估等做一整體性的資源調查研究，統合相關重建規劃資源，從農村社區文化與地方產業之重建提出可行的策略相關方案，一點一滴從失落空間中找到社區經濟新命脈路徑，將當地文化重建，結合民間資源，提升居民認同感，並凝聚社區重建願景與共識，繪製一幅新的古坑華山地方文化地圖，走出悲情再造家園(林廷隆等，2001)。

針對於山坡地環境的整治成效來說，華山社區的重建成為 921 震災後一個非常特殊的經驗。在極端氣候的影響下；台灣天災日趨頻繁的同時，於 2009 年台灣的坡地農村受到 88 水災嚴重的侵害，當重建工作啟動時，回顧觀察農村小社區重建的軌跡，借鏡重建經驗中如何厚植生活文化的深度，帶動精神與物質齊頭並進之方法，是未來檢驗重建社區幸福感的重要指標。華山地區在 921 地震及豪雨重創後重新規劃坡地休閒農業的新景點-華山溪吊橋(又稱古坑華山小天梯)，小天梯上方的情人橋呈現 V 字形，故又名為三索突擊吊橋。小天梯及情人橋等景點依著華山地區坡地地勢建造而成，華山地區雖然是土石流易致災危險區，但仍堅持安全第一的原則，兼顧自然生態、規劃設計與土石流綜合治理，其次是整體發展，結合居民參與、政府資源和專業團隊，融入社區整體建設精神，引導居民參與，配合政府部門和專業團隊，以最有效、最專業的方式配置資源(行政院農業委員會全球資訊網)。

2.2 環境災害資料庫及模式相關應用文獻之探討

所謂“環境資源資料庫”，就是將環境資源資料分類為“大氣”、“水”、“土地”、“森林”和“生態”的規劃整合。在資訊共享理念下，通過結合基礎服務架構，考慮環境資源資訊的跨域傳輸、商業資訊的分析與利用，以及不同方面和機構的公共資訊發布服務，獲取資訊，及時、準確、完整，為我國利用環境資源資訊創造新機遇。“環境資源資料庫”整合了空氣、水、污染防治等環境資源資訊，並進行分類整理，對資訊質量進行核查，確保資料的正確性。此外，由於大部分環境資訊具有空間分佈和時間序列的特徵，資訊也根據空間中點、線、面的特徵進行聚合，以顯示特定主題的整合效果。未來，除不斷擴展資料的內容外，還將整合資料之間的關聯性，利用專題查詢概念設計呈現方式，優化系統界面，提供綜合環境資訊，如提供關於某鄉鎮村里(面)或某條河川(線)的綜合環境資訊，使人們能夠快速可靠地提取資料並加以利用(行政院環境保護署)。

台灣侷限於地理及地形條件，特殊的地質因素及分配不均之降雨強度，再加上人為濫挖，濫墾，濫伐等頻繁的活動。每到颱風豪雨季節，常易使本區內之自然災害頻傳。造成洪水挾帶大量泥砂向下沖刷，產生大量之土石災害，對本區各流域中下游居民生命財產安全形成嚴重威脅，影響甚大(涂召昌，1996)。透過環資料庫系統建立集水區水系、行政區域、限制開發區域、自然災害區及主要交通系統等相關基本資料，且就其沿線之地形坡度、崩坍地、土石流與斷層等四項因子特性，予以設定不同之權重，予以計算、套疊與分級，並據以作為沿線之災害敏感度分區之依據(沈宏哲，1997)。本研究依據收集之道路、流域水系、歷年災害、地質土壤等各項資料，將其區分為行政區域、

周邊地理環境、人為開發環境、與當地災害環境等各部份。透過數化分析後建檔，據以作為古坑華山地區地理環境資料庫系統建立之基本資料庫。針對該區之地形條件，劃分區域內之集水區與水系，再就土石流、崩塌地與整治工程位置之空間分佈，做為優先治理範圍的判斷依據，且以治理前後有效集水區面積變化的比例作為其整治率判斷依據，透過環境資料庫彙整建構於其中，探討集水區整治率，且以整治率比上危險溪流之治理長度，求出其單位治理長度之整治效益，作為集水區之治理效能量化的參考值(朱本祥，1998)。

由於台灣山坡地飽受天然災害威脅，尤其是震災後及颱風暴雨帶來之損傷特別嚴重。加上山區陡峭地形、脆弱地質及不當土地利用，加劇頻繁的土石流進而造成人民生命財產上的損傷。而集水區坡面沖蝕與崩塌係來自暴雨災害，坡面泥砂流失進入河道形成挾砂水流甚至土石流，威脅下游地區之保全對象。以濁水溪流域陳有蘭溪集水區為例，分析 921 集集大地震、賀伯颱風、桃芝颱風、七二水災等災害事件，藉由不同時期 SPOT 衛星影像資料與 DEM 資料，結合 GIS 及 RS 軟體推估集水區崩塌地的植生復育情形。並以 WinGrid 集水區分析軟體計算集水區之坡面土壤流失量和崩塌泥砂量，再以泥砂遞移率觀念推估流入河道之泥砂量。首先以衛星影像計算 NDVI(常態化差異植生指標)值，作為九二一地震崩塌區位判釋之用，並評估自九二一震災至 2004 年約 5 年期間之崩塌地植生恢復情形，據以探討崩塌地植生復育率與集水區各地形因子之關係。分析結果顯示陳有蘭溪在九二一震災後 5 年，植生復育率已達 84%，復原情形良好(陳昱豪，2006)，由上述案例可知，災後的重建評估也與各項的環境因子息息相關。

環境資料及資訊本身就具有想當的複雜性與歧異性，容易造成在整合環境資訊時困難重重，如何能夠完整的記錄及呈現環境事件之資

料模式就顯得相當重要。本研究基於環境資料系統思維，將事件化為系統物件的資料模式(Event-based System Object Data Model)並應用於古坑華山地區之資料庫系統規劃，透過此模式來記錄產生之有效資料，提供符合開發管理時所需求之各類資訊，協助古坑華山地區進行開發營運管理工作時運用，以提升古坑華山地區經濟發展之效率與效益(王蕾晶，2007)。

隨著資訊技術的進步，資料採集已進入計算機自動化，導致空間資料的快速積累。利用衛星遙測圖像、GPS 資料採集、行動通訊設備，以及各種與位置相關的鏈接，為我們提供了大量的參考。空間資料，坐落在如此海量的資料之上，蘊含著大量有價值的資訊和知識，但如何從這些資料中提取有價值的資訊是當前面臨的一大課題。有鑑於台灣地處地震多發區和地質敏感區，部分地區每年都會發生多次地震和周期性大地震，往往會帶來嚴重的災害。土石流將造成重大生命財產損失。通過結合地理資訊系統的空間資料分析和處理功能，建立資料倉庫作為資料探索的基礎，利用探索技術探索各種資料在空間資料庫知識探索中的適用性，從而為防災決策支持提供參考(鄒明成，2004)。

收集研究區的相關圖層和災害歷史資料，然後利用地理資訊系統建立已建立的空間資料庫(蔡惠雯，2017)，就地質、坡度、土壤、斷層活動、離河距離和土地利用特徵等六個方面的脆弱性指標進行評估，最後採用相關矩陣法，結合地理資訊系統的空間分析功能，對脆弱度進行分析，繪製脆弱度分類圖。

層級分析法是由 Thomas L. Saaty(匹茲堡大學教授)於 1971 年提出的，主要應用於不確定性條件下具有多個評價標準的決策問題。層次分析法發展的目的是把複雜的問題系統化，從不同層次進行層次分解，最後通過量化運算找到上下文，進行綜合評價。

層級分析法(AHP)和模糊層級分析法(FAHP)都屬於多準則決策(MCDM)的評價方法。AHP 利用層次結構的概念，將復雜的多目標問題從高層次逐步分解到低層次。經專家評估後，利用特徵向量的概念來獲得各項指標的權重。層次分析法結構清晰、理論清晰、操作簡單，可以整合多樣化的需求和決策問題。FAHP 具有解決真實環境中不確定、模稜兩可的數據的特點，可以整合專家對各種指標權重的共識。因此，採用上述兩種方法和模糊理論對指標權重進行分析。在計算“坡地生態與災害潛力綜合指數”模型中各指標的相對權重後，利用地理信息系統(GIS)的空間分析能力。綜合計算各指標的指標分值，以綜合指標總分錶示災害發生和生態破壞的潛在風險(郭欣怡 2008)。因近年來土石流造成台灣人民生命財產損失嚴重，透過相關研究整合為有效降低災害，強化土石流自主防災社區，並善用各種資訊與訊息進行應變，以有效進行防災決策，提高減災效果(李佳穎，2022)。

臺灣是天然災害好發頻率高的地區，做好防災管理是面對災害發生前需積極推動，了解轄管範圍的環境災害發生的脆弱度或風險分布是在政府能提供有限的資源下最重要之參考。脆弱度分析已廣泛運用於各領域，構成脆弱度的因子包含地質、土壤、坡度、斷層活動、距河川遠近及土地利用因子等六項。回復力則可視為災後脆弱度的折減因子(黃建豪，2013)。雖然臺灣已有許多災害脆弱度的相關研究但主要仍以鄉鎮市以上的層級探討為主，本研究將循脆弱度研究之方法，並以古坑鄉為例，進行村里層級的環境脆弱度之評估及其應用之探討(徐瑋辰，2021)。

因台灣地形多為山坡地，且坡度陡峭、地質情況不佳，因地理位置的關係，易受到颱風所夾帶豪雨的侵襲，在氣候上受到緯度、季風等影響，有著高溫、多雨、多颱風的特性，加上氣候變遷下，災害

的頻率、規模、影響程度，相較以往更具有高度不確定性，導致災害更加難以預測及防治(陳思遠，2020)。由於河階地地區為人們群聚發展的地點，故本研究針對河階地聚落居民在土砂災害發生時的承災脆弱程度進行探究，以期降低降雨所衍生之生命財產損失(莊子震，2020)。

綜上所述，人類面對自然環境的變化是無能為力和脆弱的，在不同的背景下，受到環境變化的影響都會造成不同程度的影響。在台灣現行的法律法規中，設立山坡保護區的原則都是書面的描述和定義，較缺乏量化的標準。如果將 GIS 繪製的脆弱度潛力圖作為界定的山坡保護區範圍，其目的是通過增加空間概念來劃定山坡保護區，以便未來在提供相關土地利用時作為參考(周姝君，2013)。

古坑華山地區曾受到莫拉克颱風嚴重的侵襲，不但揭露傳統河川治理與個別災害管理途徑之困境，更顯明面對極端氣候事件趨勢，每逢颱風季節來臨時，針對境內土石流潛勢區內是否執行預防性撤離行動，與居民實際疏散避難意願之間的差異總是成為一大難題。因此本研究透過脆弱度(vulnerability)的觀點探討土石流危險區內的關係，瞭解土石流疏散規劃中的保全戶對土石流災害與預防性疏散撤離規劃的認識、看法。探討災害狀況、天氣資訊及與過往的臨災經驗，提升居民的災防意識減少財產損失(劉怡君，2016；陳思遠，2020)。水土保持局自民國 93 年開始推動自主防災社區，利用防災宣導、演練、講習、兵棋推演等方式來教導民眾正確且實務的土石流防災知識與技能，並學習判斷出環境中潛在的脆弱度因子，進而有效提升民眾避災、離災之觀念，成為有效提升基層防救災能量。但，因各村里的先天影響的環境條件因素不同，故找出最合適於村里的自主防災社區之模式，才能夠使自主防災社區組織長久的發展及延續運作；為了讓政府資源

能夠進行有效的運用，清查各轄管內土石流災害潛勢村里之現況及盤點現有的相關資料，進而對土石流潛勢溪流之村里進行災害脆弱度評估，建立土石流自主防災社區分級輔導機制將有其必要性。本研究利用層級分析法(AHP)進行環境因子脆弱度影響程度評估，對其影響程度給予脆弱度分級管理的建議(顏楚耘，2020)。

然而，因全球氣候變遷、異常的極端氣候現象增加，且台灣地文條件不佳，地質脆弱，板塊運動頻繁，山區地形陡峭，每逢颱風豪雨的侵襲，易產生短時暴雨，引發坡地土砂災害發生，致使山區自然環境產生變化，故當降雨再次來臨時，崩塌發生機率因而提升，造成偏遠山區聚落居民的生命財產安全易受到威脅，進而使聚落居民的承災脆弱程度提高。以現今坡地崩塌潛勢評估結果顯示，坡地擾動因子及地質因子對坡地崩塌影響皆最大，降雨強度、坡度及坡度粗糙度等因子影響次之。再者，降雨重現期距越大，降雨後之崩塌地數量亦有上升之趨勢(朱劭謙，2019)。再加上台灣近年來由於氣候異常導致許多極端降雨，又因人口的增長加上政府對於土地利用型態政策的改變及社會環境的變遷，山坡地之開發利用不可避免卻也導致使山崩敏感區之脆弱度不斷地提升，而調適能力卻相對下降；尤其當極端降雨事件因子頻繁的作用下，更造成坡地大量的崩塌致使山區聚落的自然環境條件產生劇烈變化(蔡惠雯，2017)。因人為開發之故，山坡地崩塌事件的發生更顯頻繁、危害日趨嚴重。因此，針對山崩災害之有效評估為防災之重要工作之一；且過去的研究多以都市或鄉鎮進行大尺度的脆弱度分析，較少進行偏遠山區之分析。故本研究針對山區居民在山崩發生時的脆弱程度進行探究，以期降低降雨所衍生之生命財產損失(廖婉汶，2018)。

透過德爾菲-階層分析法進行古坑華山地區坡地災害脆弱度評估，

並選定公務界、學術界及利害關係人等幾位專家進行調查得出影響因子並求得其權重，針對指標項目進行量化數值之蒐集，並針對坡地災害各影響因子計算評估成果可取得該地區脆弱度排序，進而繪製出該地區坡地災害脆弱度地圖。透過權重之調整可看出在不同權重配比下產出之脆弱度地圖，可看出有些村里先天條件就是暴露構面數值較高，但還是希望能透過增加其調適能力部分來降低坡地災害脆弱度等級，防救災的相關整備能力還是在災時具有一定的重要性，仍是不可忽視的一個環節。透過影響因子權重探討，可歸納出透過專家問卷獲得之影響因子及其權重，使用於坡地災害脆弱度評估中是較符合現實情況且較客觀可信，期許未來技術累進之後，影響因子的資料有更多蒐集之可能，可以增加其他因子項目，使得研究內容及深度更加完善(林淑慧，2019)。

運用於都市規劃的基本理念包括生態城市、永續發展、大眾運輸導向都市規劃等全球競爭思維方向；生態城市的基本概念是採用生態價值觀整體規劃的設計方法，將都市與鄉村、人與自然合為一體，強調社會公平、環境保育與經濟發展三者併濟的關係。研究架構首先釐清研究動機、目的，確立研究方法與內容；然後了解當代都市課題、相關研究分析，並經由國內外生態城市典範案例之案例分析建立生態指標；接著藉由模糊德爾菲法之專家問卷結果，可以清楚得到台灣生態城市在各個面向該加強的主題；最後提出結論與建議，在台灣推動生態城市之規劃，使規劃者對生態城市策略方針有一套正確認知，亦可更有效率的推動生態城市之建立(張家琪，2014)。

李雅蘋(2015)指出近年來受到天然災害事件頻傳，而觀光產業亦受到極大的衝擊，所謂的觀光產業是一種透過自然資源、人文景觀資源吸引遊客前往之觀光目的地，臺灣本島因特殊的地理位置，雖具備

多樣化的自然生態風貌，但臺灣觀光地區也易遭受颱風侵襲，由於颱風挾帶豪雨，不僅造成嚴重的災害及重創觀光景點。然而，現行回復力評估研究，就多以城市、鄉鎮為研究區域，與其在研究區域上進行改變，不如針對單一產業加以探討。因此，藉由文獻探討休閒農村觀光產業的轉型及坡地開發影響之回復力作為災害回復力評估指標體系，再以模糊理論及德爾菲法(Fuzzy Delphi Method)進行指標篩選，初步修正本研究評估指標體系，再者透過分析網路程序法(Analytic Network Process)計算權重值，進行回復力指標體系之建立，加以探討觀光地區災害回復力特性。研究結果得知觀光地區災害回復力評估指標體系最主要之影響因素為觀光地區之環境位置，此外觀光地區之暴露條件、地理條件與生態環境等均會影響災害回復力緩慢，在探討觀光地區社會經濟回復優劣，亦發現主要受到當地產業現況之因素，而觀光地區制度體系部分則主要受到土地使用現況影響較為明顯。

第三章研究材料與方法

3.1 研究試區概述

一、環境基本資料

雲林縣的地形輪廓是一個東西向的狹長不規則矩形。從地形上看，東部多山，東端是古坑鄉管轄的草嶺，然後向西傾斜，到漳湖一帶，海拔只有 1000 米左右；往西則為林內鄉及斗六市的丘陵地帶，平均海拔 200~300 米，稱為“濁水溪沖積扇平原”。全境大部分為平原平原地形，佔全縣總面積的 87% 以上，如圖 2 所示。圖 3 為雲林縣之地質結構分布，主要係由沖積層、頭嵙山層、三峽群、錦水頁岩、臺地堆積及卓蘭層等組成，以沖積層占 88.87% 為最多。

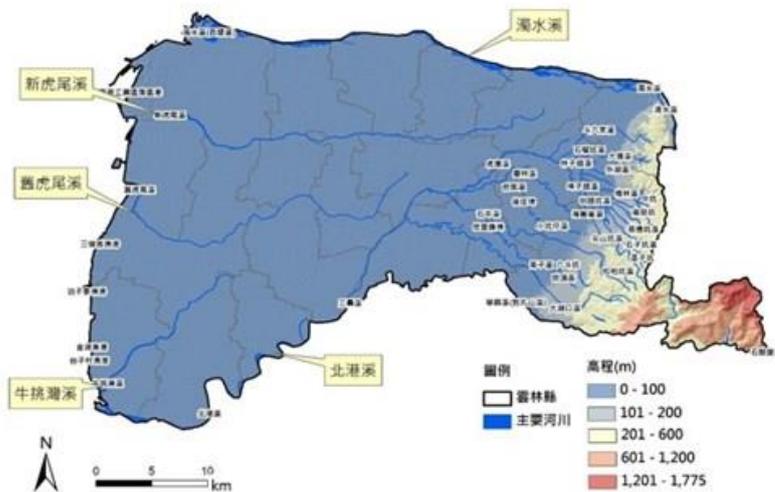


圖 2 雲林縣古坑鄉地形、水系分布圖

資料來源：災防科技中心繪製

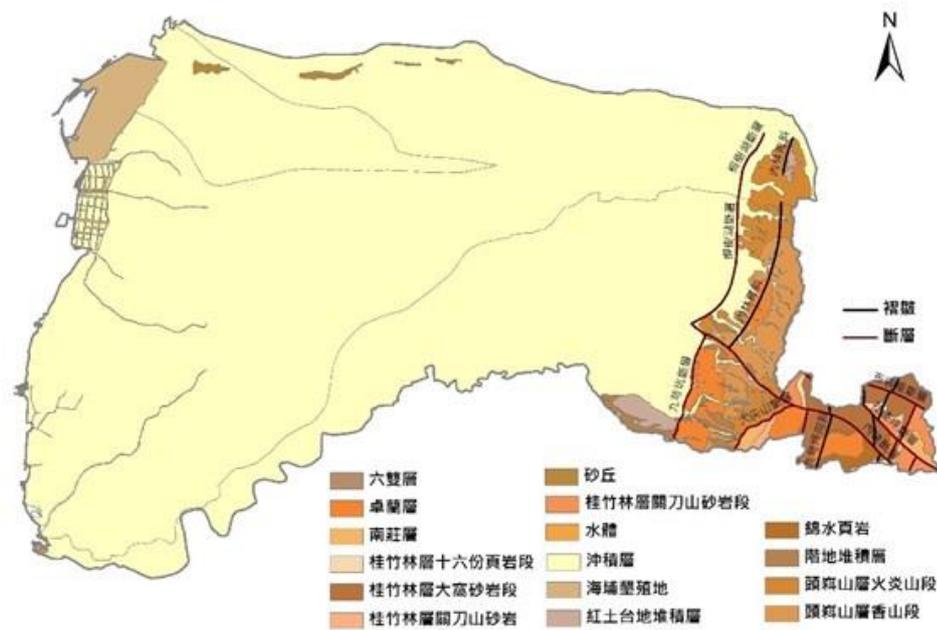


圖 3 雲林縣古坑鄉地質分布圖

資料來源：災防科技中心繪製

而古坑鄉位於台灣雲林縣東南端，地勢東高西低(東經 120 度 35 分，北緯 23 度 37 分)。東側以阿里山山脈為主，西側以石牛溪為主。沖積平原和嘉南平原北與斗六市相鄰，東北與南投縣竹山鎮相鄰，東與嘉義縣阿里山鄉相鄰，南與嘉義縣梅山鄉相鄰，西、西南與斗南鎮相鄰，和嘉義縣大林鎮。雲林縣面積最大、人口密度最低、山區最多的鄉鎮，也是雲林縣唯一一個面積超過 100 平方公里的行政區。

本研究試區華山風景區位於雲林縣梅山鄉與古坑鄉交界處，距斗六市約 15 公里。主體大尖山標高 1299 公尺，是雲林縣僅次於石壁山的第二高峰，如圖 4。華山風景區沿途山巒起伏，景色十分秀麗。大尖山以其清新的空氣、開闊的視野和完善的徒步路徑，成為雲嘉地區的熱門旅遊勝地。

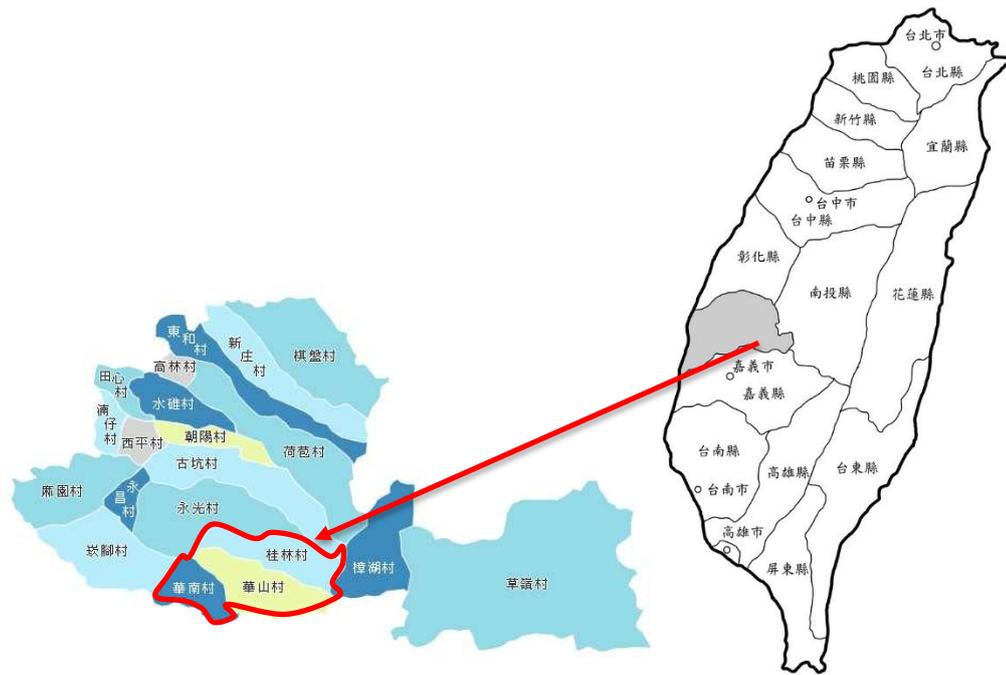


圖 4 研究區域位置圖

資料來源：古坑鄉公所全球資訊網

二、氣候資料

本研究之氣候資料來源為中央氣象局網站，古坑華山地區雖位處雲林縣，但東西南邊街鄰近嘉義地區因此選用鄰近中央氣象局之嘉義測站，故統計資料以嘉義站為主如表 1。月平均之降雨量在 21.5mm 至 443.8mm 之間，通常秋冬季每年 10 月至隔年 4 月降雨量偏低，月平均雨量大都低於 100mm，每年 5 月逐漸進入雨季及颱風季節，在 6、7、8 月之降雨量達到最大，每年之平均降雨量為 1821.6mm。月平均氣溫為 23.6 度，最低為 1 月之 16.8 度 C、最高為 7 月之 28.9 度 C，因研究地區位處於山區，其月平均氣溫較平地為低。相對濕度之月平均值為 78.8%，全年皆在 75% 以上，最小為 7 月之 77.2%，最大為 8、9 月之 80.1%。而日照時數之全年統計為 2068 小時，最短之日照時數為 2 月之 139.7 小時，最長為 7 月之 206.4 小時。

表 1 研究地區之氣候資料表

月份	降雨量 (mm)	氣溫 (度C)	相對濕度 (%)	日照時數 (H)
一月	27.5	16.8	77.9	161.4
二月	44.9	17.7	79.3	139.7
三月	53.0	20.2	79.3	157.9
四月	86.6	23.5	79.8	157.0
五月	170.0	26.3	79.9	175.5
六月	318.6	28.3	77.5	186.6
七月	387.4	28.9	77.2	206.4
八月	443.8	28.4	80.1	182.2
九月	212.3	27.4	80.1	186.2
十月	30.2	24.9	78.9	197.0
十一月	21.5	22.0	78.7	158.9
十二月	25.8	18.4	76.8	159.2
合計	1821.6	23.6	78.8	2068
統計期間 (西元)	2012~2021	2012~2021	2012~2021	2012~2021

*資料來源為中央氣象局網站；研究地區係採用鄰近之中央氣象局嘉義測站。

表 2 嘉義地區近五年氣候資料

年	平均溫度	最高溫	最低溫	相對溼度	日照時數
2017	24.5	36.7	9.8	76.2	175
2018	24.2	36.7	4.7	78.0	179
2019	24.3	35.7	10.1	75.6	172
2020	24.7	37.2	5.8	74.5	196
2021	24.1	33.0	16.6	79.9	196

*資料來源為中央氣象局網站

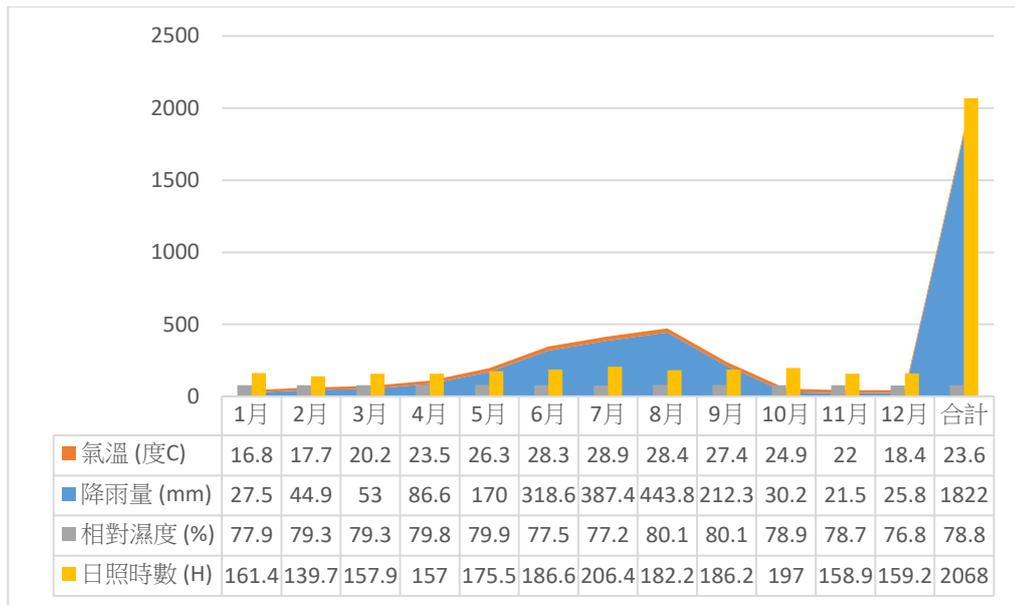


圖 5 嘉義氣象站(2012-2021)月平均氣候統計分布圖

資料來源：中央氣象局

三、土地利用情況

古坑鄉華山村(圖 6)位於雲林縣東南角。早期華山地區的農產品以茶葉、檳榔、桂竹為主，其次是咖啡、竹筍、柑桔、香菇、蘭花等農產品。在 1999 年舉辦的台灣文化節上，以“雲林好山水，古坑竹留香”為名，後來還舉辦了“古坑荷苞山尋訪臺灣咖啡之前世今生”，積極推動旅遊業和咖啡種植，透過產業整合來振興當地的產業和經濟。

921 地震前，村民的農業收入少，生活習慣保守。921 地震後，政府大力推動休閒農村產業旅遊。除原有的劍湖山遊樂世界外，全新的劍湖山王子大飯店、位於大華山（華南，桂林）的花園咖啡廳，已成為休閒假日和夜景的好去處。村內耕地面積約 5000 公頃，海拔 60-100 米。50%的耕地為台糖公司所有，種植原料甘蔗，其餘種植水稻、柳丁、柑桔、麻竹、咖啡等。森林面積 10000 多公頃，其中約 5000 公頃屬於雲林縣經濟農田，全部位於海拔 100-1750 米之間。麻竹筍產量曾佔全台 1/3 以上。



圖 6 華山地區含括示意圖

資料來源：古坑鄉公所全球資訊網

近年來由於政府在古坑華山地區積極推廣休閒農業，華山咖啡因此獲得了「咖啡原鄉」的美名，所產的「茶、筍、香菇、苦茶油及蜂蜜」並稱為華山六寶，2020年華山商圈更以「華山六寶」為主題推出「六寶盒」野餐饗宴，一道美味清爽的料理包覆著華山農特產的創意美食；華山不僅農產夯，山景生態更是人人朝聖之地，漫步在山城裡欣賞綠意盎然的山林美景，熱門的網美景點小天梯、情人橋、十層黃金瀑布，走進文學步道，欣賞沿途充滿創意的詩句與步道水車、小學堂，「華山休閒農業區」體驗烘咖啡、沖咖啡、植物染的有趣手作教學！而每年5月是華山最佳賞螢季節，在華山土石流教學園區、華山教育農園及樟湖國中小等地都能見到「火金姑」繁星點綴的閃亮身影；古坑華山的文化體驗、農產風味、生態活動，都是值得不斷來訪遊玩的勝地。

四、地形地勢

古坑鄉位於海拔 60-1750 公尺之間，向西傾斜。境內地勢起伏不定。該地區山多，平地少。全鄉旱地只有 5000 多公頃。全鄉地質屬於第三世紀中新世上部南莊層及桂竹林層，主要岩石有岩石包括堅硬沙岩、灰色頁岩、灰色沙質岩等，沿溪流域有第四世紀洪積層岩。土壤主要由黃色灰化土與砂礫組成，屬砂質壤土，粘度小，土壤反應接近中性。由於地形和坡度的影響，每一個土層因地而異。一般來說，緩坡上的土層較厚，而陡坡上的土層由於侵蝕而變淺。

在歷史災害中，1999 年 9 月 21 日集集地震造成中部災區崩塌 2.19 萬餘處，估計面積 8600 多公頃。古坑鄉內草嶺崩塌面積約 400 公頃，塌方土量近 1.25 億立方米，其中約 20% 沉積於清水溪溪谷。土石堆積所產生之天然壩體沿河道長約 5.1 公里，直線距離約 4 公里，產生草嶺潭堰塞湖，如(圖 7)。由於地震坍塌的土石相當鬆散，可能仍會再次崩塌或形成土石流，造成次生災害。在中部地震後統計指出，全台潛在土石流危險溪流共有 370 條，其中雲林縣有 12 條，均位於古坑鄉，華山村就佔有 4 條，如(圖 8~12)。

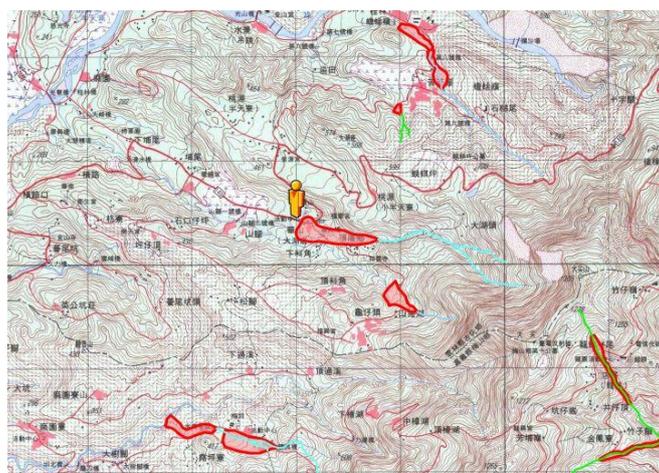


圖 7 雲林縣古坑鄉坡地災害潛勢地圖

資料來源：土石流防災資訊網

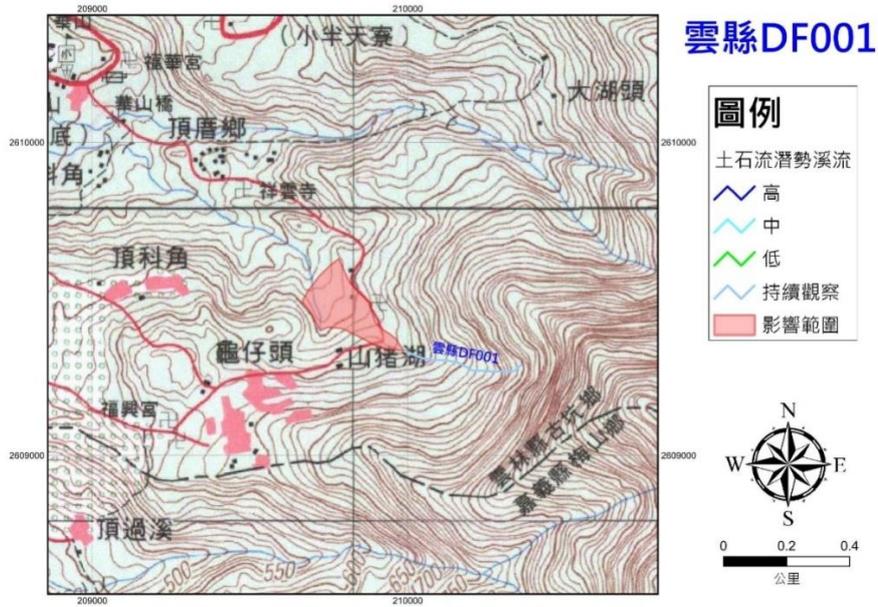


圖 8 華山山知湖橋土石流潛勢溪流監測區

資料來源：土石流防災資訊網

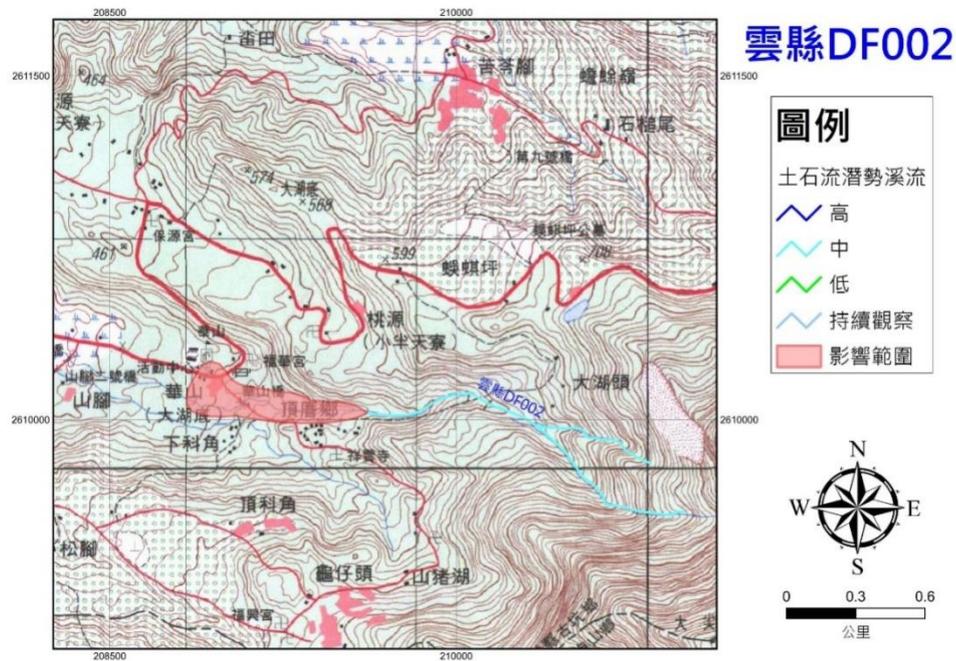


圖 9 雲林縣古坑鄉華山橋土石流潛勢溪流監測區

資料來源：土石流防災資訊網

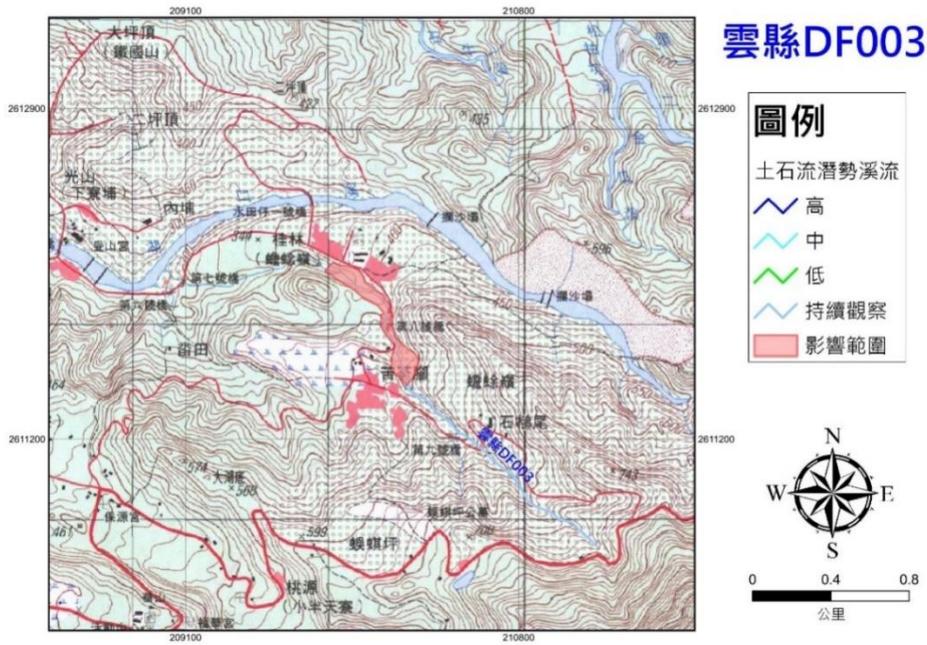


圖 10 雲林縣古坑鄉仁滿橋土石流潛勢溪流監測區

資料來源：土石流防災資訊網

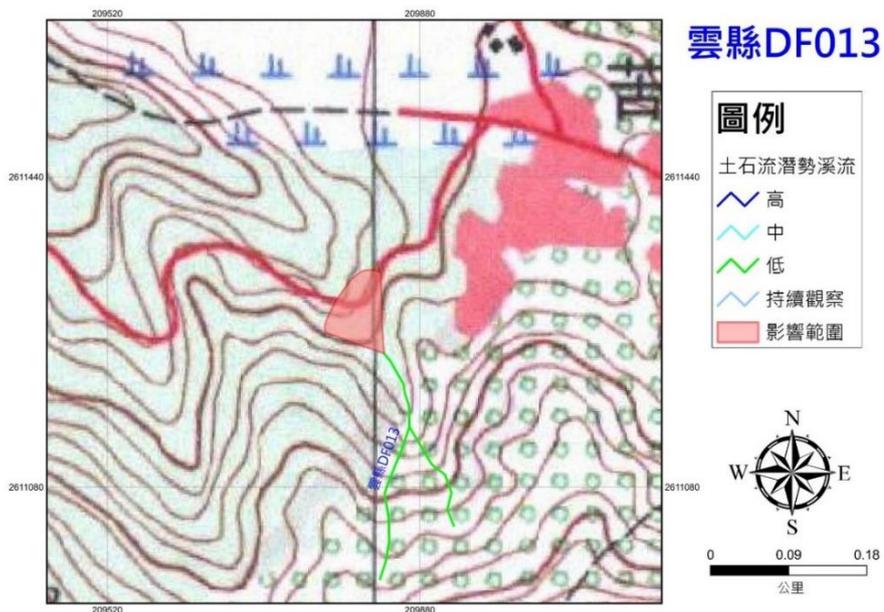


圖 11 雲林縣古坑鄉桂林 53 之 5 號土石流潛勢溪流監測區

資料來源：土石流防災資訊網

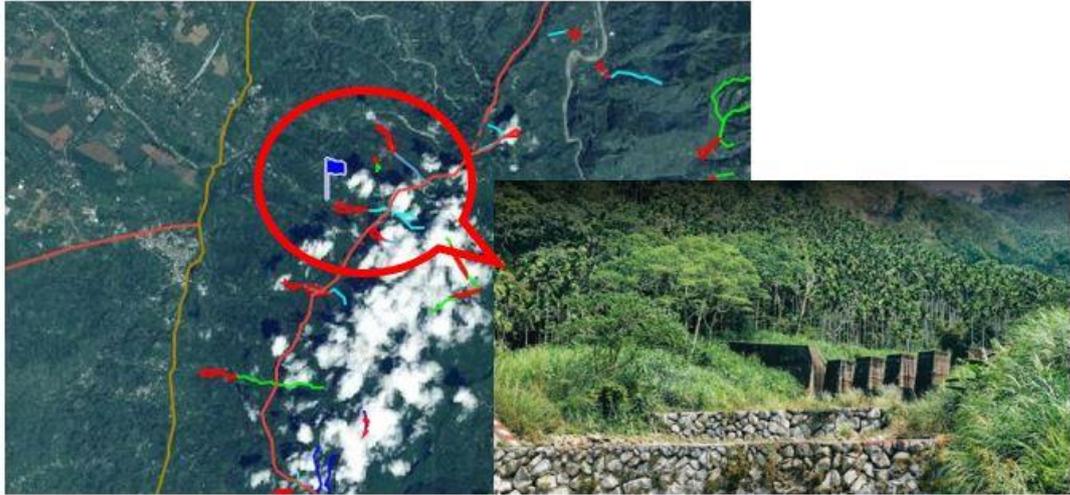


圖 12 華山溪土石流災害潛勢地圖

資料來源：地質雲

同時，由於地震後災區自然環境、地質狀況皆均已改變，除了上述土石流潛勢溪流外，亦產生多處新的山坡型土石流潛在危險區，縣境內經判定之高危險潛在危險村落現今就有高達四處(古坑鄉華山村、桂林村、樟湖村及草嶺村等)。

3.2 研究方法與工具

一、環境資料庫

1.地質

華山地區地質包括南莊層(中新世晚期砂岩及頁岩互層，含煤層)、頭嵛山層(更新世砂岩、泥岩、頁岩)、利吉層(上新至更新礫岩)、桂竹林層(中新至上新砂岩及頁岩互層)、沖積層(全新世礫石、砂及粘土)、台地堆積層(更新世礫石、砂及粘土)等，其分布如圖 13，而地質之環境風險度評估係以地質強度為依據，各地層強度(Compression strength, MPa)係參考 U.S. Department of Transportation (1989)，所計算之環境風險模糊隸屬度如表 3。

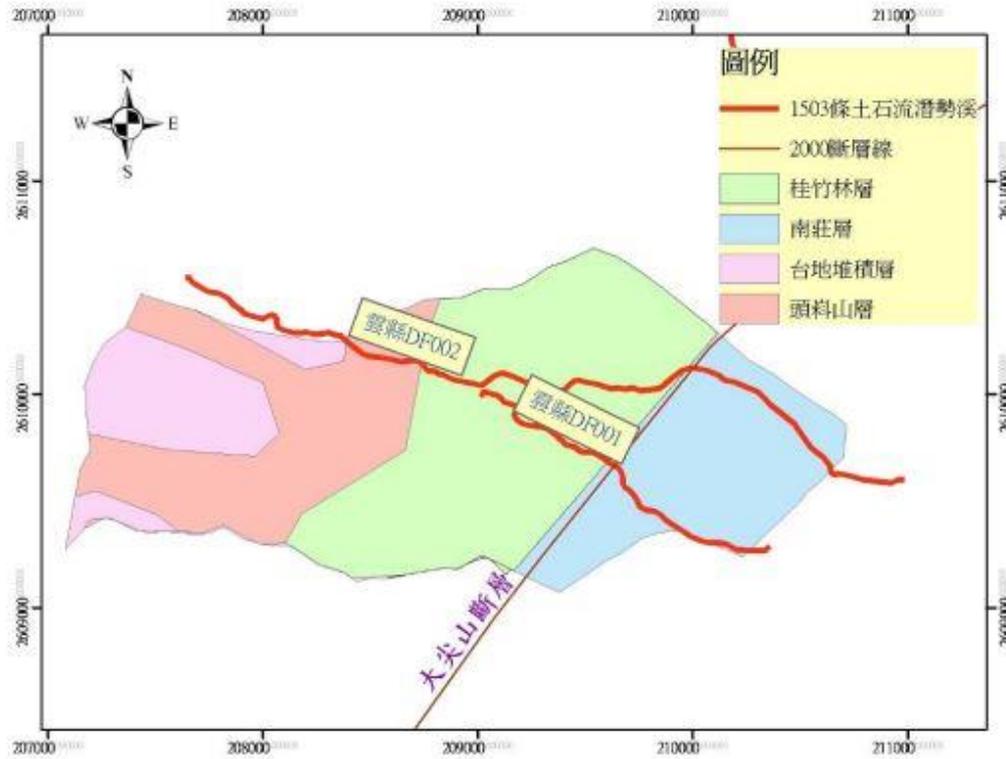


圖 13 地質分布圖

表 3 地質之環境風險模糊隸屬度

世紀	地質	地質強度(MPa)	環境風險模糊隸屬度(U_{geo})
漸新世	硬頁岩夾泥質砂岩	50~100	0.736
漸新至中新	砂岩及頁岩、白砂岩，含煤層	25~50	0.950
更新世	紅土、礫石、砂及粘土	<1	1.000
中新世中期	砂岩及頁岩互層，含煤層	25~50	0.950
漸新世	硬頁岩夾薄至厚層砂岩	50~100	0.736
全新世	礫石、砂及粘土	<1	1.000
中新世晚期	玄武岩質凝灰岩及岩流	1~25	0.995
中新世早期	塊狀砂岩及頁岩	50~100	0.736
更新世	礫石、砂及粘土	<1	1.000
始新世	深灰色板岩和千枚岩質板岩、夾石英砂岩互層	50~100	0.736
漸新世	厚層或塊狀白色中至極粗粒石英岩及硬頁岩	>100	0.000

2.坡度

坡度(grade)是用以表示斜坡的斜度，常用於標記丘陵、屋頂和道路的斜坡的陡峭程度。這個數值往往是以三角函數的正切函數(tangent)的百分比或千分比數值來陳述，即「爬升高度除以在水平面上的移動距離」。

$$\text{grade} = \tan \alpha = \frac{h}{d} \times 100\%$$

其中： h 為斜坡高度; d 為斜坡長度。

坡度是與坡面穩定最直接相關的地形條件，坡度越陡，越容易發生崩塌。依據八十七年九月修正「非都市土地開發審議規範」得知：山坡地開發坡度上限為百分之三十。營建署為管制山坡地開發，將可建築山坡地平均坡度上限從現行的百分之五十調降至百分之三十。更於「建築技術規則第 262 條」明定：山坡地平均坡度超過百分之五十五者，不得計入法定空地面積；平均坡度超過百分之三十、未逾百分之五十五者，得作為法定空地或開放空間使用，不得配置建物；平均坡度超過百分之三十者，不得開發建築；此項山坡地管制，將使山坡地開發更趨嚴格。依據「山坡地開發建築管理辦法」及「水土保持技術規範」第 351 條規定：平均坡度超過百分之五十五之地區，其面積百分之八十之土地，應維持原始之地形地貌，為不可開發區。本研究係以水土保持法定義之七級坡及 55% 以上列入不可開發區，作為環境風險度評估之依據如(表 4)。

表 4 坡度之環境風險模糊隸屬度

坡度分級	級距(%)	環境風險模糊隸屬度(U_{slp})
1	<5%	0.000
2	5~15%	0.012
3	15~30%	0.225
4	30~40%	0.692
5	40~55%	0.970
6	>55%	1.000

3.土壤

土壤（德語：Boden，英語：soil）是一種自然體，由數層不同厚度的土層（德語：Bodenhorizont，英語：soil horizon）所構成，主要成分是礦物質。土壤和母質（岩石）的差異主要是表現在形態特徵或物理、化學、礦物等，但這種解釋嚴格來說（或者以環境科學的角度來說）並不正確：土壤是由母質經過風化作用後由崩積土與雜地構成，崩積土屬砂質壤土，黏性不大，土壤反應近於中性，因受地形與坡度影響，各處土層不盡相同，大體上坡度較緩之處其土層較厚，而較陡之斜坡則因沖刷之故土層淺薄，而雜地為山坡地或森林地之陡峭區、地形不穩定區，少有土壤或沒有土壤之區位，其土壤組成以石質土(含一定石塊之土壤，不適合農業用地)及崩積土(崩塌與滾落土壤堆積形成)為主，土壤分布如圖 14，而土壤之環境風險度評估係以土壤強度為依據，各土質強度(Soil Strengths, kg/cm²)係參考 Kulhawy 和 Mayne (1990)，所計算之環境風險模糊隸屬度如(表 5)。

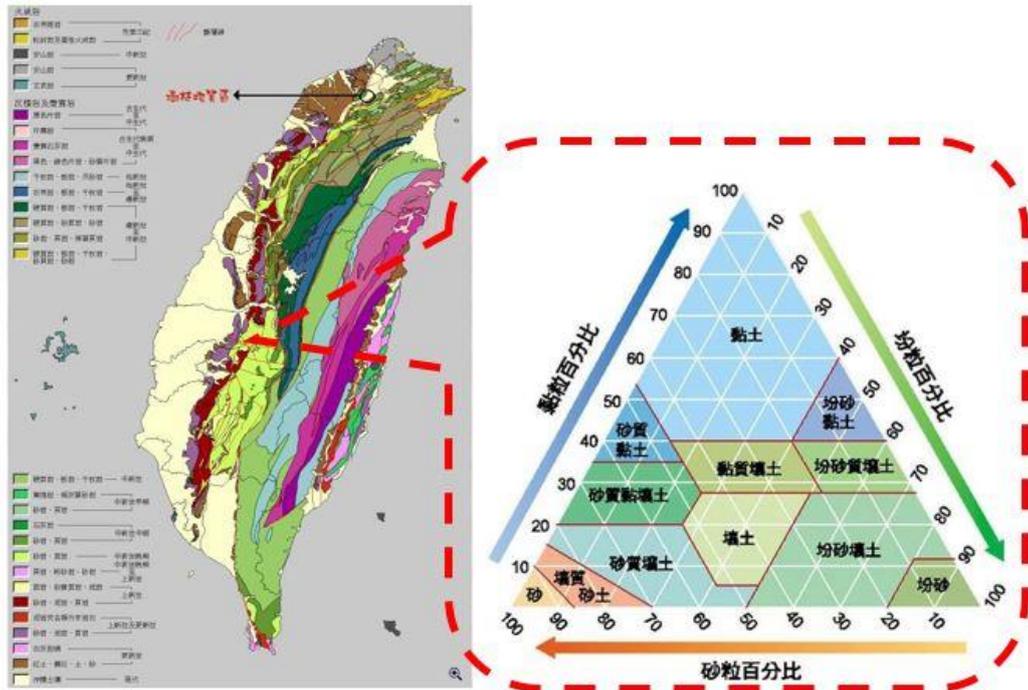


圖 14 土壤分布圖

資料來源：行政院農業委員會

表 5 土壤之環境風險模糊隸屬度

土壤類別 [□]	估計土質強度(kg/cm ²) [□]	環境風險 [□] 模糊隸屬度(U_{soil}) [□]
石質土 [□]	0.4~0.6 [□]	0.526 [□]
崩積土 [□]	0.02~0.03 [□]	1.000 [□]
岩石 [□]	>1 [□]	0.000 [□]
黃壤 [□]	0.05~0.1 [□]	0.997 [□]
鈉黃壤 [□]	0.2~0.3 [□]	0.917 [□]
無母質 [□]	0.15 [□]	0.979 [□]
紅壤 [□]	0.3 [□]	0.886 [□]
沖積土 [□]	0.2 [□]	0.954 [□]

4.斷層活動

臺灣為斷層密布、地震頻仍之國家，活動斷層之調查可說國家公共安全之重要基石之一。根據經濟部地調所 2020 年完成最新版斷層

活動潛勢圖(圖 15)，評估全台三十三條活動斷層在五十年內發生規模六·五以上強震機率，其中高達十一條達 20%以上，多集中在中部、東部；其中以花蓮玉里斷層 53.4%最高，西部則以彰化斷層 30.2%最高(表 5)。地調所表示，潛勢不代表斷層活動一定會發生，但希望民眾居所及產業設施有所準備，資料也會提供做為建築法規等制定依據。古坑鄉受 921 地震影響的崩塌地，以 500m~1,000m 之崩塌地影響最多，就崩塌面積而言也以 500m~1,000m 之崩塌地最多，本研究區高程 500m 以上之面積達 681.76 公頃，針對活動斷層兩側容易受斷層錯動或地表破裂影響如表 6，民眾居所與產業設施都要有所準備，以降低衝擊。而斷層之環境風險度評估係以距斷層之距離為依據，愈近者其環境風險度愈高。因此在本研究中，距斷層之距離最近為 151.72 公尺，其環境風險度定義為 1，距斷層之距離最遠為 2,040 公尺，其環境風險度定義為 0，以其為依據計算全部點位之環境風險度。

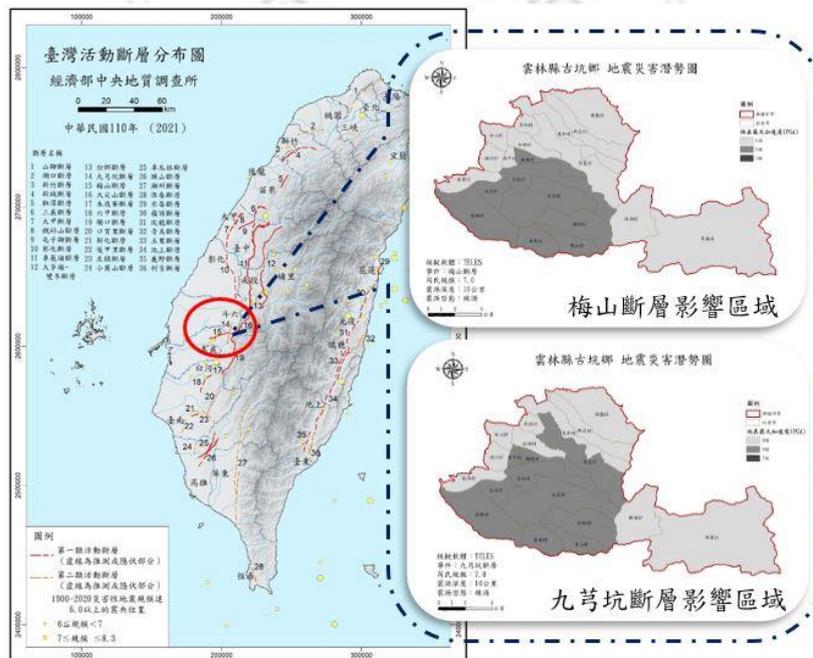


圖 15 台灣活動斷層分布圖

資料來源：古坑鄉公所全球資訊網

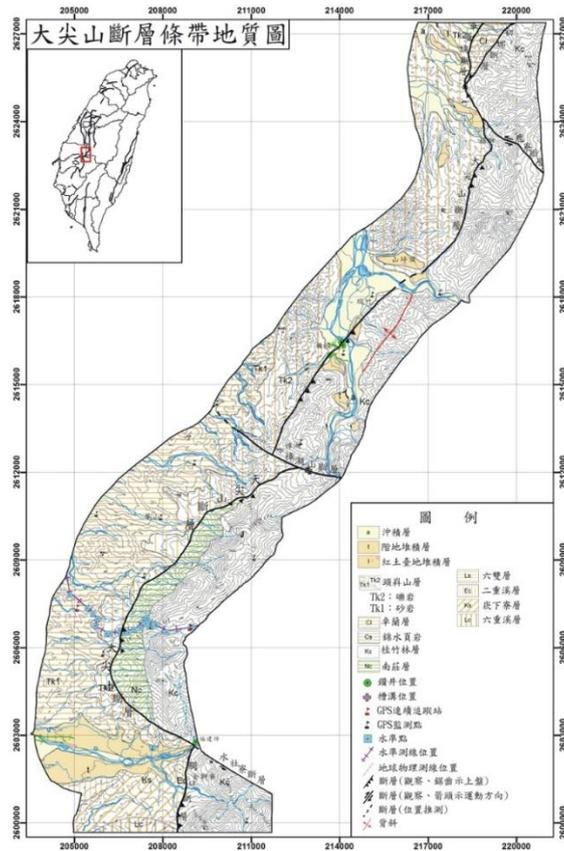


圖 16 大尖山斷層帶地質圖

資料來源：古坑鄉公所全球資訊網

表 6 全台斷層發生 6.5 以上地震之機率之分析

斷層名稱	發生 6.5 規模以上機率(%)
大甲(鐵鉗山)	24.0
彰化斷層	30.2
車籠埔大尖山(北段)	20.9
九芎坑	21.4
觸口、大尖山(南段)	20.2
新化	23.1
恆春	20.8
玉里	53.4
池上	45.0
瑞穗	32.2
米崙	42.4

5. 距離河川的遠近

為避免減緩各種人為活動對河川環境所帶來的衝擊，通常在溪流兩岸或生態敏感地區設置寬度不一植生緩衝帶(riparian buffer strips)，以減緩來自側向上坡農業或人為活動的影響。在水土保持法第 20 條規範在河川兩側水平距離 30~50 公尺宜設置植生緩衝帶。由於人為活動離河川太近時，不僅對河川生態造成危害，在發生土石流或洪水災害時，亦容易危害自身財產生命安全。本研究利用排水流向資料計算區內之遊憩景點至河川距離，以 50 公尺為級距作為環境風險度評估之依據如(表 7)。

表 7 距河川距離之環境風險模糊隸屬度

距河川距離分級	級距(m)	環境風險模糊隸屬度(U_{str})
1	<50	1.000
2	50~100	0.735
3	100~150	0.265
4	150~200	0.020
5	>200	0.000

6. 土地利用

土地利用係以內政部國土測繪中心於 97/98 年完成之國土利用圖資重新萃取，將土地利用分為 9 類如(圖 16)，計有闊葉林(115.80 公頃)、裸露地(25.97 公頃)、針葉林(359.25 公頃)、建地(80.54 公頃)、農田(1044.76 公頃)、草地(0.81 公頃)、遊憩用地(0.30 公頃)、道路(40.58 公頃)及水域(42.53 公頃)等，將其結合逕流係數概念(參考 American Society of Civil Engineers, 1969; McCuen, 1998; Ministry of Traffic and Communication, 2002)進行環境風險度評估(表 8)。

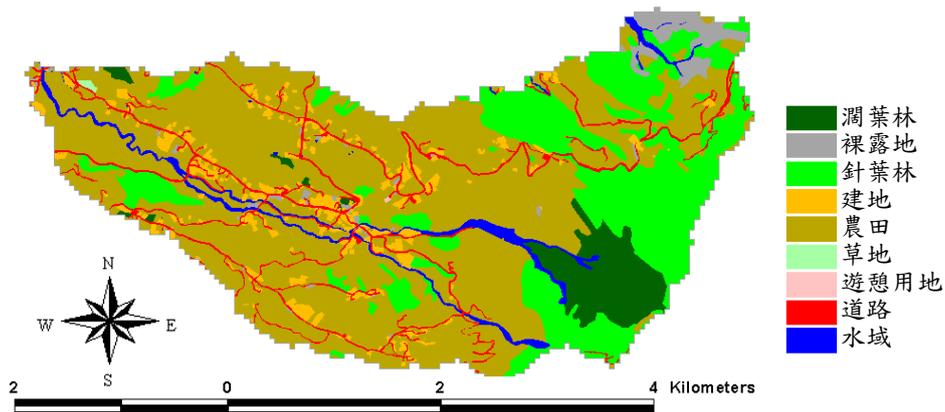


圖 17 土地利用圖

資料來源：國土規劃地理資訊系統

表 8 土地利用之環境風險模糊隸屬度

土地利用類別	逕流係數平均值	環境風險 模糊隸屬度(U_{land})
潤葉林	0.35	0.000
裸露地	0.70	0.754
針葉林	0.40	0.010
建地	0.80	0.953
農田	0.60	0.410
草地	0.40	0.010
遊憩用地	0.70	0.754
道路	0.90	1.000

二、模糊分析理論

本研究所用之模糊分類理論係以 Fuzzy c-mean algorithm(FCM)之理論為基礎，FCM 為 Bezdek(1981)所提出，其方法說明如下：

若有一資料集 Y ，其在空間 U 之 c 個模糊分群可表示如公式(1)：

$$J_m(U, v) = \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n (u_{ij})^m \|y_j - v_i\|^2 \quad (1)$$

式中

$$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\} \subset R, \quad c = \text{分數數目}, \quad 2 \leq c < n,$$

$$m = \text{權重指數}, \quad 1 \leq m < \infty,$$

$$U = \text{fuzzy } c\text{-partition of } Y, \quad U \subset M_{fc},$$

$u_{ij} = y_j$ 在群集 v_i 之模糊隸屬函數,

$$u_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^c \left(\|y_j - v_i\|^2 / \|y_j - v_k\|^2 \right)^{\frac{1}{m-1}}},$$

$v_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{in}) =$ 群集中心向量,

$$v_i = \frac{\sum_{j=1}^n (u_{ij})^m y_j}{\sum_{j=1}^n (u_{ij})^m},$$

$\| \|^2 = y_j$ 在群集 v_i 之 Euclidean 距離。

本研究係利用其模糊隸屬函數 u_{ij} 計算各環境因子之環境風險度，將因子值分為 2 類，第 1 類為不利環境開發之因子值如土壤或地質強度最弱者，最定義為最大環境風險度 ($u_{ij} = 1$)，第 2 類為適合環境開發之因子值如土壤或地質強度最強者，定義為最小環境風險度 ($u_{ij} = 0$)，將因子各值域以 u_{ij} 公式計算環境風險模糊隸屬函數值。

三、層級分析法 (Analytic Hierarchy Process)

層級分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 是由匹茲堡大學教授 Thomas L. Saaty 於 1971 年所提出的一套決策方法，將複雜的問題分解為樹狀之結構層級由高層次往低層次逐步分解的方式，並建立相互影響之階層結構，彙集有關決策人員之意見結果進行評估，求得各

方案之優勢比重值，以成對比較方式，求得評估因子權重，此法可在複雜的問題中進行正確之決策，本研究利用 AHP 配合專家問卷評估集水區環境指標之權重。

層級分析法(AHP)主要假設包括以下幾點(Saaty, 1980)：

1. 每項問題可經由細分得許多種類或主要因素，同時形成有網絡型之階層關係。
2. 在每個階層結構中，每一要素均具有獨立性。
3. 每一層級之要素均可與上一層級之某要素兩兩比較評估。
4. 要素間的偏好關係須滿足遞移性(transitivity)之要求。
5. 滿足完整的遞移性較有難度，因此部分研究容許不具遞移性，但是仍須檢測一致性(consistency)之滿意程度。
6. 各要素之優勢程度藉由加權法則(weighting principle)決定。

AHP 之操作模式可分為以下七大步驟，運用步驟層級循序推進依此建立成對的比較矩陣，最後計算矩陣之特徵值與特徵向量，以求個別屬性之權重，其步驟分項敘述如下：

1、建立問題及描述層級結構

針對問題之系統進行分析，面對複雜及將可能影響的決策問題之要素盡量納入，運用階層程序分析法採用分解(Decomposition)的原則，由上而下依序分解形成一種層級化之結構，其中包括決策目標(Objective)→決策準則(Criteria)→決策子準則(Sub-criteria)→選擇方案(Alternatives)，在決定問題之主要目標時，亦須注意要素間之相互關係及獨立性。

2.建立成對比較矩陣

將問卷兩兩要素比較結果的衡量，以上一層級某一要素為評估基準，就其下一層級之組成要素，建立成對比較矩陣，將 n 項因素必較

結果以矩陣之上三角部分，下三角部分數值為上三角部分，進行各要素間重要性的成對比較(Pairwise Comparison) 依據要素間之重要性相對比值的設定，即可產生判斷矩陣 $A = [a_{ij}]$ ，如下表示：

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1/a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{n1} & 1/a_{n2} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

3. 建立層級關係

此階段需決定問題之目標及總目標之各項要素指標，決定各指標之評估準則與列入方案之考量。理論上層級架構之層級與同一階層之要素個數，可依據系統之需求來訂定，惟 Saaty 提出，為避免決策者對決策準則之相對重要性判斷產生誤差，建議同一階層最好不宜超過 7 項。

4. 問卷設計及調查

將同一階層內之各要素間進行兩兩相互比較方式製作問卷，如某一層級中有 n 項要素，則決策者必須進行 $n(n-1)/2$ 次之成對比較。AHP 在問卷設計上評估尺度劃分五個等級，分為等強、稍強(稍弱)、頗強(頗弱)、極強(極弱)、絕強(絕弱)及給予 1~5 之衡量值，並依循 Saaty 建議以不超過九個評比尺度為原則(表 9)。

表 9 AHP 評估尺度意義及說明

評估尺度	定義	說明
1	等強	兩要素比較程度同等重要
2	稍強(稍弱)	依經驗與判斷兩要素比較較為喜好 某一要素
3	頗強(頗弱)	依經驗與判斷兩要素比較更為喜好 某一要素
4	極強(極弱)	實際顯示非常強烈傾向喜好某一要 素
5	絕強(絕弱)	具足夠證據肯定策略

5. 計算特徵向量與最大徵值

將取得成對矩陣 $A = [a_{ij}]$ ，採用特徵向量之理論基礎，得以計算出特徵向量(eigenvector)與特徵值(eigenvalue)，假設 n 個要素間之權值矩陣而求得元素之間的相對權重。首先須先將各要素標準化，再將標準化後之各列要素加總，利用解聯立方程式之方法或公式，最後除以各列要素之個數，即可求得各項要素之特徵向量。

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \cdots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \cdots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \cdots & w_n/w_n \end{bmatrix}$$

其中， $a_{ij} = w_i/w_j$ ， w_i 、 w_j 各為準則 i 及 j 之權重。

準則成對比較矩陣 A 為一正倒值矩陣，符合矩陣中各要素為正數，且具倒數特性，如下公式說明：

$$a_{ij} = 1/a_{ji}$$

$$a_{ij} = a_{ik}/a_{jk}$$

再將準則成對比較矩陣 A 乘以各準則權重之向量 w ：

$$\bar{w} = (w_1, w_2, \dots, w_n)^t$$

經計算可得以下公式：

$$AW = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{w}_1 \\ \tilde{w}_2 \\ \vdots \\ \tilde{w}_n \end{bmatrix}$$

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \left(\frac{\tilde{w}_1}{w_1} + \frac{\tilde{w}_2}{w_2} + \dots + \frac{\tilde{w}_n}{w_n} \right)$$

因 a_{ij} 為決策者進行成對比較時主觀判斷所給予之評比，與真實之 w_i/w_j 值，必有某程度差異，故 $Aw = mw$ 便無法成立，故Saaty建議以 A 矩陣中最大特徵值取代 n 。

$$\text{亦及 } A \bar{w} = \lambda_{\max} \bar{w}$$

$$(A - \lambda_{\max} I) \bar{w} = 0$$

矩陣 A 之對大特徵值求法，係由下列公式求算而得，所得之最大特徵向量，及為各準則之權重。

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_j \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

6. 一致性檢定

主要為評估該問卷是否為有效問卷，必須滿足判斷之一致性 (Consistency) 之特性，利用一致性指標 (Consistency Index, C. I.)，可檢查決策者所建構之判斷矩陣是否為一致性矩陣。

一致性指標由特徵向量法中求得之與 n (矩陣維數)與兩者的差異成對可作為判斷一致性程度高低之衡量基準，當 $C. I. = 0$ ，表示前後判斷一致性符合，當 $C. I. > 0$ ，表示前後判斷不一致，計算公式如下：

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

在相同階數的矩陣下，C.I.值與 R.I.值的比率，成為一致性比率 (C.R.)，若 $C.R. \leq 0.1$ ，則一致性程度視為滿意，計算公式如下：

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.}$$

其中 R.I.(Random Index)為隨機方式產生之隨機性指標值(如表 10)，Saaty 認為一致性比率等於或小於 0.1 時($C.R. \leq 0.1$)，成對比較矩陣中之評比值方具有相當之可接受性。

表 10 隨機性指標值

Size (n)	1	2	3	4	5	6	7	8
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41
Size (n)	9	10	11	12	13	14	15	
RI	1.45	1.49	1.51	1.54	1.56	1.57	1.58	

7. 求解各因素之優勢比重

若矩陣與整體層級符合一致性檢定要求($C.R. \leq 0.1$)，即可進行整體層級權值之計算，亦即考慮在每個決策準則單獨影響之下，求各方案之優勢向量，將其設為行向量得到矩陣 P ，以排列優先順序，計算各個方案成對比較之結果。最後將矩陣 P 乘上決策準則之權值向量 W ，即可求出各選擇方案之整體績效(Performance) $W_e = PW_m$ 取得最佳方案排列。

第四章結果與討論

4.1 試區歷年災害及現況調查

華山地區因古坑咖啡形成一股農村休閒風潮，當地居民利用華山擁有豐富自然生態、人文歷史資源及完整農村環境，如古橋、螢火蟲復育池、登山步道觀景、土石流整治區、傳統三合院、手工紙廠造紙等，發展自然生態深度旅遊據點。加上為因應假日之休閒人潮，華山地區在數年之間，於桂林及華山兩村一帶，沿著山路設立數十家咖啡店、餐廳及民宿，然因觀光遊憩景點的開發，該地區環境風險度的評估就應屬目前重要的研究課題。

(一) 地形

古坑鄉南北長約 12,500 公尺，東西寬約 23,000 公尺，土地總面積 16,661 公頃，佔全縣總面積八分之一，為全縣 20 鄉鎮市中轄域最廣，也是山坡地最多之鄉。該地介於海拔 60-1,750 公尺之間，東南峻嶺綿互，向西漸呈傾斜，境內地形高低起伏很大，山地多、平原少，清水溪、大湖口溪等主要河川由東向西流至沿海鄉鎮而注入台灣海峽。發源於本區域之河川有海豐崙溪、崙子溪、雲林溪、大湖口溪、石龜溪等屬於北港溪的上游集水區。境內地形高低起伏大，區內山多、平地少，來到古坑的咖啡大街順著爬坡道路往山上前進，短短的幾公里路程沿途就分布數十家的景觀咖啡廳及民宿，要如何在觀光經濟發展及環境風險之中達成平衡創造永續發展為當前極為重要的課題。

華山村面積：9.5305 平方公里，東有海拔一千三百零四公尺的大尖山，左右各有小丘環抱，形似畚箕，後大尖山俯瞰華山地區地形蒼翠青碧宛如一綠色瀉湖，因此先民稱為「大湖底」，後改為華山

村。華山村此與桂林村西連南方毗鄰，東與梅山鄉為界，西與永光村大湖口相望。

雲林縣政府更為了積極推廣古坑咖啡及觀光休閒產業發展，連續幾年在古坑華山地區舉辦「咖啡節」、「咖啡野餐音樂會及創意市集」等活動，實地走訪古坑華山的咖啡一條街，沿著山路上行沿路有著數十家的景觀咖啡廳及民宿，各家民宿及咖啡廳依山勢或依河岸而建且周邊皆種植咖啡、檳榔(如圖 18、19)等淺根作物，增加土石滑動的風險；建於山坡、溪邊的民宿咖啡廳(圖 20)需做好水土保持、防汛工作外，更應重視坡度、距河川遠近…等各項因子對他們所帶來的危害及風險，然而，除了上述環境因子外，華山地區華山溪一帶早期每逢豪雨或颱風強降雨都要擔心土石流及坡地滑落之侵害，要如何在觀光經濟發展及環境風險之中達成平衡創造永續發展，透過當地縣政府、水土保持局、農委會等各單位的評估及整治的努力下(圖 21)，將古坑華山地區打造成觀光休閒農村，每逢假日就成為民眾觀光休閒的首選熱門景點。



圖 18 咖啡廳周邊土地利用-檳榔樹

資料來源：實地拍攝



圖 19 依坡地而建之景觀咖啡廳

資料來源：實地拍攝



圖 20 鄰近華山溪邊之景觀咖啡廳

資料來源：實地拍攝

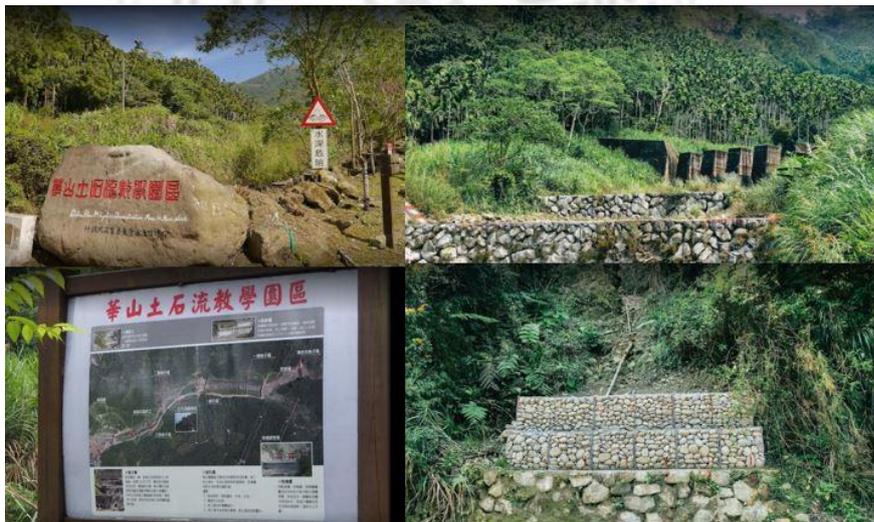


圖 21 華山土石流教學園區

資料來源：實地拍攝

(二) 歷年災害

因區內山多平地少，山陵高低起伏甚大，除了先天的天然地形近年又受到極端氣候的影響，一旦發生瞬間強降雨或颱風侵襲就容

易引發災害造成當地商家財產損失。

其古坑鄉容易致災的地點共區分為下列三大區域：

1. 土石流潛勢區：華山、桂林、樟湖、草嶺。
2. 坡地災害區：棋盤、東和、荷芭、朝陽、古坑、永光、華南、華山、桂林、樟湖、草嶺。
3. 易淹水地區：棋盤、新庄、東和、田心、麻園、崁腳。

近年來由於華山地區積極發展觀光休閒農業，在河道兩旁及坡地上皆廣蓋民宿及咖啡廳，然而一旦發生強降雨或颱風來襲就容易有致災性的環境風險發生。舉例來說，在莫拉克風災期間，雲林縣古坑鄉華山村的華山溪，於其上游北側的坡面有數處邊坡大量土石崩落，恐堵塞華山溪流路，緊臨下游又有密集的土地利用，民宿及商店街等，若爆發大規模土石流災害可能會造成很大的傷害(圖22)。水土保持局南投分局在接獲地方反應災情後，初步經由縣府主管及專家會勘完成評估後初步緊急執行完成危木清除，河道疏通等緊急處理工程。



圖 22 華山村華山社區坡面災害區位

資料來源：行政院農業委會水土保持局

在處於容易發生災害的古坑地區，我們透過探討可以了解到易發生土石流的地形特質有：

1. 充分的土砂來源：華山溪旺盛的向源侵蝕作用，除了在源頭部形成陡峭高聳的崩塌崖面外，而侵蝕下來的土石堆積物堆積於河道內，提供可能引發土石流的土砂來源。
2. 陡急的溪流坡降：華山溪源頭之大尖山高程為海拔約 1,305 公尺，集水區下游華山橋一帶高程約為 405 公尺，高程相差約達 900 公尺，而其溪流長度約 2,700 公尺，初步計算華山溪之平均坡降約 33%。陡急的溪流坡降，較易引發飽和土砂的流動，也是引發土石流的主要因素之一。
3. 狹窄的溪流出口造成之土砂或洪水溢流：華山溪自華山文化園區以下至華山橋一帶河段，因河岸各種土地利用的關係，導致溪谷寬度突然縮小，土石流發生時容易造成土石溢流，是下游地區引發土石流災害的可能溢流點。

實際統計古坑華山地區歷年所遭受的災害影響，不管是颱風或是近年來極端氣候所帶來的大豪雨，都讓我們更加重視對古坑華山地區環境風險的評估。

本研究統計民國 2004 年-2021 年的歷年災害對古坑地區所造成的影響(表 11)，莫拉克風災期間，雲林縣古坑鄉華山村的華山溪，於其上游北側的坡面有數處邊坡大量土石崩落，緊臨下游又有密集的土地利用，民宿及商店街等，若爆發大規模土石流災害就可能造成很大的傷害(圖 23)。

表 11 古坑鄉歷年災害統計

時間	災害	造成災害
2004	敏督利颱風	古坑及崁頂溪子集水區內約有 10.49 公頃之崩塌
2009	莫拉克颱風	重創華山溪，使得猴洞橋上方大量崩塌
2013	康芮颱風	土石流重創的古坑鄉崁腳部落 70 多戶民宅
2017	0601 豪雨	古坑鄉山區雲 212 線(桂林村)、雲 149 甲線(草嶺村)多數路樹傾倒、落石阻斷通路、台電線路扯斷等情形
2019	利奇馬颱風	古坑永光、華山、桂林、樟湖、草嶺等山區 3800 多戶大停電
2021	盧碧颱風	古坑鄉華山村的 10 之 4 號步道，路基被大雨沖壞，造成路面大面積崩塌



圖 23 古坑華山地區颱風災後圖

資料來源：行政院農業委會水土保持局

由此可知大自然所帶給我們的影響甚鉅，我們要如何如何在經濟發展的同時兼顧永續環境的發展是引發我們當前值得好好省思。

4.2 環境風險模糊隸屬度評估

華山地區之咖啡店及民宿等遊憩景點經 111 年 7 月現地調查共 66 間，其中經營咖啡店有 41 間、民宿有 25 間，而兩者同時經營者有 8 間，主要沿著縣道 149 兩側散布。分析遊憩景點之環境因子風險模糊隸屬度，其中土地利用因子考量鄰近區位之影響性，評估點位鄰近 50 公尺之土地利用平均值，分析結果如表 12。在地質方面，遊憩景點主要分布在左側較下游地區之頭嵙山層、台地堆積層及沖積層為主，屬地質強度較弱之地層，其地質=1 之點位有 75 處；在土壤方面，遊憩景點主要分布在崩積土上，屬土質強度較弱之地層，其土壤=1 之點位有 63 處；在土地利用方面，遊憩景點鄰近之土地利用以道路、建地及農田為主，坡度>0.7 以上之點位有 22 處；在坡度方面，遊憩景點分布在 30% 以上較陡峭區位者($U_{slp} \geq 0.692$)有 6 處；在距河川距離方面，遊憩景點鄰近河川 50 公尺以內者有 13 處，50~100 公尺以內者有 16 處；在斷層活動方面，根據遊憩景點距離斷層的遠近>0.6 之點位有 27 處。

表 12 環境因子之風險模糊隸屬度

ID	地質	土壤	土地利用	坡度	距河川遠近	斷層活動
1	1.000	1.000	0.410	0.000	1.000	0.749
2	1.000	1.000	0.591	0.000	0.735	0.732
3	1.000	1.000	0.547	0.012	0.735	0.730
4	1.000	1.000	0.531	0.225	0.265	0.708
5	1.000	1.000	0.536	0.012	0.265	0.654
6	1.000	1.000	0.514	0.000	0.020	0.592
7	1.000	1.000	0.712	0.012	0.265	0.591
8	1.000	1.000	0.722	0.012	0.735	0.653
9	1.000	1.000	0.722	0.012	0.735	0.653
10	1.000	1.000	0.476	0.012	0.020	0.527
11	1.000	1.000	0.657	0.012	0.000	0.532
12	1.000	1.000	0.657	0.225	1.000	0.645

13	1.000	1.000	0.717	0.012	1.000	0.606
14	1.000	1.000	0.760	0.012	0.735	0.575
15	1.000	1.000	0.897	0.012	0.000	0.487
16	1.000	1.000	0.634	0.012	0.265	0.497
17	1.000	1.000	0.728	0.012	1.000	0.601
18	1.000	1.000	0.898	0.012	1.000	0.617
19	1.000	1.000	0.717	0.012	0.000	0.475
20	1.000	1.000	0.727	0.012	1.000	0.606
21	1.000	1.000	0.799	0.012	0.020	0.487
22	1.000	1.000	0.715	0.012	0.735	0.573
23	1.000	1.000	0.725	0.012	1.000	0.608
24	1.000	1.000	0.364	0.225	0.000	0.478
25	1.000	1.000	0.541	0.012	0.000	0.453
26	1.000	1.000	0.541	0.012	0.020	0.457
27	1.000	1.000	0.596	0.012	0.020	0.504
28	1.000	1.000	0.727	0.012	1.000	0.601
29	1.000	1.000	0.717	0.012	0.735	0.565
30	1.000	1.000	0.536	0.012	0.735	0.548
31	1.000	1.000	0.596	0.012	0.000	0.477
32	1.000	1.000	0.657	0.692	0.000	0.615
33	1.000	1.000	0.690	0.225	0.000	0.527
34	1.000	1.000	0.640	0.012	0.000	0.481
35	1.000	1.000	0.657	0.012	0.000	0.505
36	1.000	1.000	0.629	0.012	0.000	0.503
37	1.000	1.000	0.662	0.012	0.000	0.506
38	1.000	1.000	0.662	0.225	0.000	0.526
39	1.000	1.000	0.657	0.692	0.000	0.617
40	1.000	1.000	0.536	0.012	0.000	0.459
41	1.000	1.000	0.476	0.225	0.000	0.495
42	1.000	1.000	0.722	0.012	0.000	0.494
43	1.000	1.000	0.662	0.012	0.000	0.488
44	1.000	1.000	0.591	0.225	0.020	0.526
45	0.950	1.000	0.591	0.225	0.000	0.643
46	0.950	0.763	0.410	0.225	0.000	0.592
47	0.950	1.000	0.358	0.225	0.000	0.624
48	0.950	0.763	0.657	0.692	0.265	0.759
49	0.950	0.763	0.531	0.692	0.000	0.711
50	1.000	1.000	0.799	0.012	0.735	0.582
51	1.000	1.000	0.647	0.012	0.735	0.568
52	1.000	1.000	0.881	0.012	1.000	0.631
53	1.000	1.000	0.662	0.012	1.000	0.627
54	1.000	1.000	0.891	0.012	0.735	0.614
55	1.000	1.000	0.853	0.012	0.735	0.621
56	1.000	1.000	0.782	0.012	0.020	0.501
57	1.000	1.000	0.651	1.000	0.000	0.706
58	1.000	1.000	0.547	0.225	0.000	0.545
59	1.000	1.000	0.470	0.012	0.000	0.485
60	0.950	1.000	0.531	0.225	0.000	0.606
61	0.950	1.000	0.569	0.012	0.000	0.587
62	1.000	1.000	0.536	0.692	0.000	0.589
63	1.000	1.000	0.717	0.225	0.000	0.514
64	1.000	1.000	0.010	0.012	0.020	0.501
65	1.000	1.000	0.410	0.012	0.000	0.590
66	1.000	1.000	0.623	0.692	0.000	0.743

4. 3AHP 及環境風險度評估

本研究對水土保持、土地管理及生態景觀等不同領域專家，進行專家問卷之 AHP 評估，各因子權重分析結果(表 14)，經計算 CI、RI、CR 等數值，評估符合一致性 CR 值 ≤ 0.1 之原則，進行權重相乘分析，以取得對於本研究影響最甚六大因子，以權重值 >1 以上之項目作為後續古坑華山地區土地利用之參考，相關計算資料如(表 13)。根據專家問卷評估結果，權重前 3 名的因子為地質、坡度及斷層活動，從評估結果推論若以環境影響風險度高低評估考量，首重地質，茲因環境地質影響各種經濟活動的效應長遠，探討地質環境的潛在的變化趨勢、能力、效果等作為本研究評估的首要因子，其次為坡度，引發坡地災害的因子有很多，但是在外在氣候因子中以「降雨量」(尤其是極端降雨)為坡地災害發生的最主要驅動力之一。臺灣地區降雨主要來自颱風和鋒面型梅雨，受地形地勢影響，山區降雨量多於平地，每逢颱風、豪雨季節期間，劇烈降雨的特性經常誘發坡地災害。第三名因子為斷層活動，氣象局指出台灣位處板塊交界帶未來 50 年發生規模大於 6.5 地震的機率為 99%，規模 7.0 以上地震的機率則有 54%；若以各斷層來看，又以台南中洲構造的機率最高，發生規模 6.9 以上地震的機率為 39%。台灣有多達 36 條大小斷層，更是地震好發地區，專家指出台灣曾經發生九二一集集大地震、規模七以上的強震，未來也很難避免，目前地質學界最「擔憂」的是梅山與獅潭斷層；兩斷層目前測得長度均約四十公里，地震再現率也都是一百年左右，尤其梅山斷層一九〇六年後就未傳出大地震，從歷史頻率推測，近二十年內，極可能再次發生。故靠近古坑華山地區的三條斷層帶未來也會為古坑華山地區經濟發展帶來嚴重的影響。

依據(表 13)的因子評估權重表，茲說明各項目因子之各種考量及應用性如後。

以地質之權重最大為 0.254、坡度之權重第 2 為 0.196、斷層活動之權重第 3 為 0.181、土壤之權重第 4 為 0.147、距離河川遠近之權重第 5 為 0.131、而土地利用狀況之權重最低為 0.093。在專家問卷考量中，研究區之地質與土壤因屬同一地區，其差異性較不大，而地質影響性則較土壤為大，研究區之華山溪曾在 1999 年發生土石流災害，顯示溪流兩側為開發區位之環境風險區，故其影響性最大，而土地利用及坡度之影響性則介於其他因子之間。將 AHP 分析權重與各因子之環境風險模糊隸屬度進行計算，並分為「高」、「中」及「低」環境風險區，其分析結果如(表 14)。高環境風險區之遊憩景點有 8 處(表 15 標示灰色者)，其 ID 為 1、2、3、4、33、49、50、58，從空間分布來看，其散布區位甚為集中，位於華山溪下游出口處，而環境因子除位於地質或土壤強度較弱區位外，大都緊鄰河川兩側及鄰近土地利用以道路及建物為主，中環境風險區及低環境風險區之遊憩景點各有 30 處及 28 處，而中環境風險區之遊憩景點分散在高環境風險區之週邊，雖部份低環境風險區與高環境風險區位並存，然從其環境資料庫分析可知，低環境風險區之遊憩景點則大都遠離河道兩側、鄰近土地利用為農田或林地、以及地形較平緩之處。

表 15 遊憩景點環境風險度評估結果

ID	γ	風險區等級	ID	γ	風險區等級
1	0.749	1	34	0.527	3
2	0.732	1	35	0.481	3
3	0.730	1	36	0.505	3
4	0.708	1	37	0.503	3
5	0.654	2	38	0.506	3
6	0.592	2	39	0.526	3
7	0.591	2	40	0.617	2
8	0.653	2	41	0.459	3
9	0.653	2	42	0.495	3
10	0.527	3	43	0.494	3
11	0.532	3	44	0.488	3
12	0.645	2	45	0.526	3
13	0.606	2	46	0.643	2
14	0.575	2	47	0.592	2
15	0.487	3	48	0.624	2
16	0.497	3	49	0.759	1
17	0.601	2	50	0.711	1
18	0.617	2	51	0.582	2
19	0.475	3	52	0.568	2
20	0.606	2	53	0.631	2
21	0.487	3	54	0.627	2
22	0.573	2	55	0.614	2
23	0.608	2	56	0.621	2
24	0.478	3	57	0.501	3
25	0.453	3	58	0.706	1
26	0.457	3	59	0.545	3
27	0.504	3	60	0.485	3
28	0.601	2	61	0.606	2
29	0.565	2	62	0.587	2
30	0.548	3	63	0.589	2
31	0.477	3	64	0.514	3
32	0.615	2	65	0.501	3
33	0.749	1	66	0.590	2

第五章 結論與建議

5.1 結論

古坑華山地區在歷經了地震、水災和各種天然災害的侵襲下，造成多處崩塌，居民賴以耕種維生的地方產業如檳榔、茶葉、柑橘亦間接受影響，而農業聚落空間、傳統三合院、觀光步道、涼亭亦震毀多處，登山遊客亦因地震人數減少，影響經濟收入，故進而努力轉型期望能帶動地方經濟的發展。

古坑華山地區屬山坡地形，坐下欣賞美景放鬆喝咖啡之餘，讓我們思考到建築在坡地上的景觀咖啡廳所需面臨的危害及風險，透過本研究對於環境風險因子的權重評估來降低店家因環境災害所需面臨的損失來達到環境的永續經營的目標。

農委會水土保持局將雲林縣古坑鄉華山地區之特有山林風光、本土咖啡風格，與華山溪土石流整體治理成效作一資源的整合，使當地不只包含環境特色，同時也具有獨特的人文氣息，並就地取材以生態工法整治本區，且進行土石流災害成因、防治過程及防砂壩等構造物之實物解說，並於 92 年 7 月 20 日成立華山土石流教學園區，期望使參觀者對水土保持知識能有更深一層的認識，以增加民眾防災與避災之觀念。

華山地區積極轉型為休閒農村，將咖啡變為華山地區之當地產業特色，並在 2007 年當選台灣地區十大經典農村。然觀光遊憩景點開發影響農村永續性，坡地農村開發對環境生態造成一定程度之影響，顯示環境風險度評估為重要研究課題。本研究結合模糊理論、多目標決策之階層分析法及自然環境因子，建立環境風險度評估模式，分析

結果：

- 一、 華山溪土石流潛在高風險的區位大致有兩處：
 1. 華山溪
 2. 華山文化園區周遭
- 二、 透過專家問卷評估地質、坡度、斷層活動是影響該地區環境風險因子之前 3 名。
- 三、 透過本研究對環境風險度的分析評估結果，可瞭解華山地區高環境風險區位存在之問題，作為坡地休閒農村觀光遊憩景點開發及經營管理之參考。
- 四、 在政府對古坑地區開發轉型的政策之下，同時需兼顧環境風險對於當地商家的威脅及影響，透過本研究避開高風險的危險地帶讓大自然災害發生時降低對當地民眾的危害創造永續發展。

5.2 建議

統計華山溪潛在高風險的影響範圍起自華山文化園區至華山派出所附近，涵蓋華山橋至華山國小間的地區，如何避免該地區土石溢流成災透過對於列為距河川遠近的環境因子風險評估來達到環境的永續經營，除距河川遠近的環境因子外，經過專家問卷評估地質、坡度、斷層活動也是影響該地區環境風險之前 3 名。

本研究之主要重點在於政府對古坑地區積極開發轉型的政策之下，同時兼顧環境風險對於當地商家的威脅及影響，避開高風險的危險地帶讓大自然災害發生時降低對當地民眾的危害。

近幾年來在經過數道梳子壩及防砂壩的施作，土石流的威脅雖已有稍稍疏緩，但在極端氣候變遷的影響下未來亦有可能再次造成災害，透過本研究提供相關環境因子風險度的評估，提出以下三點

建議：

- 一、未來仍須針對土石流潛勢溪流問題持續研究對策。
- 二、研擬關於野溪問題的治理對策。
- 三、對於斷層帶崩塌地等問題進行評估及探討治理對策。

希望藉由本研究對古坑華山地區環境脆弱度的評估進而保障當地商家的生命財產安全且讓環境能夠永續的發展，讓當地商家及民眾顯得更加健康、美麗與幸福。



參考文獻

一、中文

1. 王志華(2019)，農村再生政策下社區的學習、行動與社會網絡-以雲林縣的農村再生社區為例。國立雲林科技大學設計學研究所碩士論文。
2. 王浣雅(2020)，氣候變遷下降雨與淺層飽和層水位引致坡地災害之風險評估-以新北市南勢溪為例。國立臺灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文。
3. 王蕾晶(2007)，以事件化系統物件資料模式探討環境資料庫體系之架構，國立中央大學環境工程研究所碩士論文。
4. 朱本祥(1998)，台灣蘭陽地區地工環境資料庫建立之研究國立屏東科技大學土木工程技術研究所碩士論文。
5. 朱劭謙(2019)，人工智慧及多變量不安定指數結合 GIS 應用於山崩潛勢區承災脆弱度評估。長榮大學土地管理與開發學系碩士班碩士論文。
6. 吳翊瑄(2021)，農村再生計畫成效及未來發展之研究-以宜蘭縣壯圍鄉後埤社區例。國立中興大學農業企業經營管理碩士在職專班碩士論文。
7. 李佳穎(2022)，應用層級分析法於土石流社區防災決策因子之研究-以南投縣九份二山為例。逢甲大學都市計畫與空間資訊學系碩士論文。
8. 李雅蘋(2015)，應用模糊德爾菲與分析網路程序法於觀光地區災

- 害回復力評估指標體系建構之研究。國立屏東大學休閒事業經營學系碩士班碩士論文。
9. 沈宏哲(1997)，本省東部地區地工環境資料庫系統之建立研究。國立屏東技術學院土木工程技術研究所碩士論文。
 10. 周姝君(2013)，脆弱度分析於山坡地保育區域規劃之研究。逢甲大學都市計畫與空間資訊學系碩士論文。
 11. 林文賜(2011)，休閒農村遊憩景點環境風險度評估之研究—以古坑華山地區為例。中華水土保持學報。6(2):70-78。
 12. 林廷隆、何明泉(2001)，雲林古坑華山社區在 921 震災後的重建經驗。
 13. 林政侑(2018)，因應坡地災害山坡地土地可利用限度分類之劃定研究，國立中興大學水土保持學系所碩士論文。
 14. 林書玄(2022)，農村再生計畫執行成效之探討—以雲林縣虎尾鎮為例，國立虎尾科技大學休閒遊憩系碩士在職專班碩士論文。
 15. 林淑慧(2019)，村里層級坡地災害脆弱度評估之研究—以南投縣為例，國立暨南國際大學土木工程學系碩士論文。
 16. 洪婉榕(2018)，領導力在鄉村社區旅遊發展的核心角色—以高雄市農村再生社區為例，國立成功大學都市計畫學系碩士論文。
 17. 徐瑋辰(2021)，村里層級水患災害脆弱度評估之研究—以南投縣為例，國立暨南國際大學土木工程學系碩士論文。
 18. 涂召昌(1996)，GIS 應用於花蓮縣地工環境資料庫系統之建立研究，國立屏東技術學院土木工程技術研究所碩士論文。
 19. 高偉傑(2008)，臺灣鄉村再生治理與制度障礙之研究—以雲林縣古坑鄉華山村為例，國立臺北大學都市計畫研究所碩士論文。

20. 張岳志(2007), 農村規劃永續經營管理機制之研究—以新竹縣照門地區為例, 國立中興大學農村規劃研究所碩士論文。
21. 張家琪(2014), 應用模糊德爾菲法於生態城市規劃準則建立之研究, 中國文化大學建築及都市設計學系碩士在職專班碩士論文。
22. 莊子震(2020), 運用人工智慧及證據權重法評估河階地聚落之承災脆弱度, 長榮大學土地管理與開發學系碩士班碩士論文。
23. 郭欣怡(2008), 層級分析法與模糊層級分析法於山坡地生態及災害綜合指標權重分析, 國立臺北科技大學土木與防災研究所碩士論文。
24. 陳思遠(2020), 災害脆弱度影響土石流保全戶預防性撤離意願之相關研究—以義鄉來義村、義林村為例, 中央警察大學防災研究所碩士論文。
25. 陳昱豪(2006), 集水區泥砂產量推估及崩塌地植生復育率之研究 國立中興大學水土保持學系所碩士論文。
26. 黃建豪(2013), 坡地土石流災害脆弱度評估模式之建立與驗證, 國立中央大學土木工程學系碩士論文。
27. 鄒明城(2004), 空間資料庫知識探索之研究—以集集大地震引致之山崩為例, 國立臺灣大學地理環境資源學研究所博士論文。
28. 廖婉汶(2018), GIS 結合羅吉斯迴歸應用於山崩潛勢區脆弱度評估模式之建置, 長榮大學土地管理與開發學系碩士班碩士論文。
29. 劉沁潔(2020), 氣候變遷調適風險溝通—以新北市烏來區坡地災害為例, 國立臺灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文。
30. 劉宜君(2017), 結合土壤雨量指數與頻率比法建構坡地災害潛勢模式, 國立中興大學水土保持學系所碩士論文。

31. 劉怡君(2016)，流域之颱風災害衝擊、脆弱度與調適之特性及關聯性分析：以莫拉克颱風高屏河流域村（里）為例，國立臺北大學不動產與城鄉環境學系博士論文。
32. 劉健哲(2004)，台灣農村永續發展之研究，農業金融論叢 50 期，p. 53-80。
33. 蔡尚惠、林瓊文、曾喜育、陳韋志(2015)，古坑鄉華山地區之整合性鄉村旅遊分析，林業研究季刊，37(2)：117-132。
34. 蔡惠雯(2017)，降雨誘發崩塌潛勢區脆弱度評估模式之建置，長榮大學土地管理與開發學系碩士班碩士論文。
35. 蔡湘瑩(2015)，使用平行化方法加速山坡地災害區域之辨識，逢甲大學資訊工程學系碩士論文。
36. 鄧如廷(2020)，實效社區治理模式之探討—以利澤社區執行農村再生計畫為例，臺北市立大學社會暨公共事務學系公共事務學碩士班碩士論文。
37. 鍾冠群(2021)，國內露營區坡地災害風險管理-以南投縣為例，建國科技大學土木與防災研究所碩士論文。
38. 顏楚耘(2020)，南投縣土石流自主防災社區脆弱度分級之探討，國立暨南國際大學土木工程學系碩士論文。
39. 蘇振賢(2018)，坡地災害案例及其致災原因探討，國立中興大學水土保持學系所碩士論文。

二、網路資訊

- 1.行政院農業委員會全球資訊網：水土保持局。

<https://www.swcb.gov.tw/Home/>

- 2.行政院環境保護署網站：河川水環境資訊地圖。

<https://niea.epa.gov.tw/NieaMap/GIS/Map.aspx>

三、英文

1. American Society of Civil Engineers(1969).Design and construction of sanitary storm sewers. ASCE Manual and Reports on Engineering Practice No. 37, ASCE, New York, USA.
2. Kulhawy, F.H., Mayne, P.W.(1990).Manual on Estimating Soil Properties for Foundation Design, Report No. EL-6800, Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA.
3. U.S.Department of Transportation(1989).Rock Slopes: Design,Excavation, Stabilization. Publication NO. FHWA-TS-89-045.