

新北市政府一一〇年度自行研究報告

降雨引致之坡地崩塌災害損失評估

研究機關：新北市新店地政事務所

研究人員：詹繡襄

研究期程：110年1月7日至110年10月30日

## 新北市政府一一〇年度自行研究成果摘要表

計 畫 名 稱	降雨引致之坡地崩塌災害損失評估
期 程	110 年 1 月 7 日至 110 年 10 月 30 日
經 費	無
緣 起 與 目 的	<p>全球氣候變遷所引發的極端降雨在台灣往往每次都造成相當嚴重的災情，然而欲降低災害損失，必須先從了解災害的成因開始。本研究從衛星影像之判釋著手，利用衛星影像分類判釋方式，以獲取地表及災害資訊，並透過地理資訊系統建置研究區空間及屬性資料。本研究配合現地調查，建構山崩災害損失評估模式，估算山崩發生後，研究區可能出現的損失數值，最後將損失評估結果劃設區域災害損失圖，以建立一套評估模式，應是防災重要課題之一。</p>
方 法 與 過 程	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 運用 GANN 進行高解析度衛星影像判釋分類，以得到地表變遷及災害資訊。</li> <li>2. 透過南瑪都颱風降雨事件前後之判釋結果，探討人為開發因子及崩塌與否之資訊。</li> <li>3. 運用地理資訊系統平台，推算研究區的人為開發程度，並結合以 DTM 推算之自然因子與降雨觸發因子，進行相關性</li> </ol>

	<p>檢定，透過最佳數值搜尋原理之黃金切割搜尋法推算災害潛勢，再配合現地調查所得之資料，估算災害損失。</p> <p>4. 將研究區之災害潛勢與災損評估，統合後繪製災害損失評估圖，以供後續相關單位針對山崩高潛勢地區擬定對策之參考，減少人民財產損失。</p>
<p>研究發現及建議</p>	<p>本研究於災害損失評估模式建置過程中，尚有下列事項可供後續研究加以探討及改進：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本研究之山崩災害潛勢因子乃採用「高程」、「坡度」、「坡向」、「坡度粗糙度」、「距水系距離」、「有效累積雨量」及「坡地利用」等 7 項影響因子，建議未來可考量進行因子增減以改善評估模式。</li> <li>2. 本研究建置之山崩災害損失評估模式，雖結合災害發生機率與現地調查資料，但建築物尚未考量其折舊因素，未來若能考量折舊因素，於災害損失推估上或許能得到較精確之損失金額，使模式更加完善，更具準確性。</li> </ol>
<p>備註</p>	

## 摘要

台灣山區地形起伏十分劇烈，而在近幾年，台灣平原區域的開發已逐漸飽和，加上過去即有居民世代居住於山區，台灣在接下來的世代進行坡地利用開發已是必然趨勢。而全球極端氣候而導致的暴雨或是颱風，相當容易在台灣因極端降雨而導致山崩災害發生，而山崩災害在如今已逐漸開發的台灣山區將造成嚴重的財產損失，因此建立一套能評估災害損失之模式，應是對政府相關防災單位有相當助益的。本研究以基因演算法自動演化類神經網路技術，以南瑪都颱風侵台期間，嘉義縣番路鄉觸口村作為研究範圍，來獲取災害歷史資料，並以地理資訊系統建置研究區屬性及空間資料庫。本研究參考前人之研究選定「坡度」、「坡向」、「高程」、「距水系距離」、「坡度粗糙度」、「坡地利用因子」與「有效累積雨量」作為災害潛勢因子，結合基因演算最佳化類神經網路神經技術，透過最佳數值搜尋法建置山崩災害潛勢模式，並採用對數常態分配，推算研究範圍內之山崩災害潛勢機率，最後利用地理資訊系統繪製山崩災害潛勢機率圖。

本研究透過現地調查及將政府所公布之災害資料與相關文獻進行整理，推算研究區域內之經濟損失，配合最佳數值搜尋法分析出之山崩災害潛勢機率，推估建物、果樹及交通水利用地的災害損失金額，合發展災害損失風險評估模式。本研究利用建置山崩災害損失評估模式，結合山崩災害潛勢機率圖，繪製研究範圍內相對應之災害損失推估。研究結果將可提供政府相關防災單位擬定防災對策之參考，期可降低居民財產之損失。

關鍵字：衛星影像判釋、山崩潛勢、地理資訊系統、最佳數值搜尋、災損。

# 目 錄

圖目錄.....	6
表目錄.....	8
第一章 緒論.....	9
1.1 研究動機.....	9
1.2 研究目的.....	11
1.3 研究範圍.....	12
1.4 研究流程.....	17
第二章 文獻回顧.....	18
2.1 遙感探測理論.....	18
2.2 影像分類之相關研究.....	19
2.3 基因演算法自動演化類神經網路之相關研究.....	21
2.4 土砂災害之相關研究.....	23
2.5 最佳化方法相關研究.....	26
2.6 災害損失相關研究.....	27
第三章 研究方法.....	29
3.1 基因演算法結合類神經網路技術.....	29
3.2 精確度評估.....	41
3.3 最佳數值搜尋原理之黃金切割搜尋法.....	45
3.4 地理資訊系統.....	47
第四章 山崩災害損失評估模式建構.....	49
4.1 山崩潛勢影響因子之選定.....	49
4.2 因子相關檢定.....	69
4.3 山崩潛勢評估模式建置.....	69

4.4 災害潛勢機率之計算 .....	71
4.5 災害損失推估 .....	72
4.6 災害損失風險評估 .....	75
第五章 結論與建議 .....	78
5.1 結論 .....	78
5.2 建議 .....	79
參考文獻 .....	80

## 圖目錄

圖 1-3-1 研究區範圍圖.....	12
圖 1-3-2 嘉義縣觸口村.....	13
圖 1-3-3 嘉義縣觸口村土石流潛勢溪流（嘉縣 DF029）.....	14
圖 1-3-4 嘉義縣觸口村土石流潛勢溪流（嘉縣 DF069）.....	14
圖 1-3-5 嘉義縣 2006~2014 年月平均氣溫分布圖.....	15
圖 1-3-6 嘉義縣 2006~2014 年平均氣溫分布圖.....	16
圖 1-4-1 研究流程圖.....	17
圖 3-1-1 單點交配示意圖（梁恒瑜，2005）.....	31
圖 3-1-2 多點交配示意圖（梁恒瑜，2005）.....	32
圖 3-1-3 交配與突變示意圖（梁恒瑜，2005）.....	32
圖 3-1-4 倒傳遞類神經網路架構圖（張斐章等，2010）.....	35
圖 3-1-5 GANN 流程圖（陳怡睿等，2010）.....	40
圖 4-1-1 研究區坡度圖.....	51
圖 4-1-2 研究區坡向圖.....	53
圖 4-1-3 研究區高程圖.....	54
圖 4-1-4 研究區距水系距離圖.....	56
圖 4-1-5 研究區坡度粗糙度圖.....	57

圖 4-1-6 雨場分割示意圖(曾炫學，2003).....	58
圖 4-1-7 研究區有效累積雨量圖.....	60
圖 4-1-8 研究區範圍衛星影像圖.....	61
圖 4-1-9 2011/06/09 衛星影像判釋結果圖.....	64
圖 4-1-10 2011/11/30 衛星影像判釋結果圖.....	65
圖 4-1-11 坡地擾動分布圖.....	68
圖 4-6-1 災害損失推估結果圖.....	76

## 表目錄

表 1-3-1 觸口村境內土石流潛勢溪流資訊表 .....	15
表 2-1-1 衛星種類表（楊龍士等，2006） .....	18
表 2-5-1 單變數函數最佳數值搜尋之類別彙整表(林伯勳等，2009).....	26
表 3-1-1 基因演算各項參數設定值 .....	38
表 3-1-2 ANN 各項參數上下限設定值.....	38
表 3-2-1 誤差矩陣關係表 .....	41
表 4-1-1 坡度等級分類編碼表 .....	50
表 4-1-2 坡向等級分類編碼表（林洧全，2011） .....	52
表 4-1-3 高程等級分類編碼表（林洧全，2011） .....	54
表 4-1-4 距水系距離分類編碼表（林洧全，2011） .....	55
表 4-1-5 有效累積雨量編碼表（何宇麗，2014） .....	59
表 4-1-6 影像判釋訓練架構參數及訓練結果表 .....	63
表 4-1-7 2011/06/09 衛星影像誤差矩陣及精確度評估結果統計表 .....	66
表 4-1-8 2011/11/30 衛星影像誤差矩陣及精確度評估結果統計表 .....	66
表 4-1-9 坡地擾動因子量化指標定義一覽表 .....	67
表 4-5-1 嘉義縣一般房屋標準單價表（單位：元/平方公尺） .....	73
表 4-6-1 現地災損因子價值統計一覽表 .....	76

# 第一章 緒論

## 1.1 研究動機

隨著氣候變遷，世界各地因極端氣候所導致的災害也屢見不鮮。2015 年 4 月在巴西亞馬遜叢林裡的一個河港，發生了類似天坑一樣的土地崩塌事件，300 公尺長的貨櫃碼頭遭到吞噬，塌陷面積超過 24,000 坪。

崩塌後的土砂堆積在河道或坡面，除會成為後續土石流的料源外，也會阻塞河道，造成河岸嚴重淘刷或造成淹水。大量的土砂堆積，甚至可能形成堰塞湖使得河道上游淹水，而一旦堰塞湖潰決，會引起下游嚴重的洪水災害。例如 2011 年塔拉斯颱風期間發生於日本奈良縣的多起深層崩塌即為典型案例（Chen et al., 2011; Chigira et al., 2013），以及 2009 年莫拉克颱風期間發生於台灣高雄市甲仙區的小林村深層崩塌，其後續甚至造成滅村的嚴重損失。

強降雨引發的山區土砂災害往往造成相當大的災害損失。而土砂災害多為複合型災害—亦即單一事件期間會發生連續的多起災害，由於其成因牽涉到複雜的時間、空間及因果關係，當多起災害同時或相繼發生，不僅擴大災害的影響範圍，也會延長災害的受災時間，不得不讓人謹慎的對待。

在台灣，民國 85 年賀伯颱風極端的降雨，造成全台多處嚴重崩塌，由於台灣的集水區多興建有水庫，颱風和豪雨所形成的大量崩塌，會讓水庫淤積加速，如 2009 年 8 月間，莫拉克颱風侵襲台灣後，曾文水庫集水區崩塌地，因自然地質條件，且受莫拉克颱風極端降雨影響，崩塌面積達到 1467 公頃。其中，據經濟部水利署之資料，曾文水庫崩塌分別分布於林班地（48%）、山坡地（21%）等。

而臺灣地區過去 100 年間（1910-2010），大豪雨日數在近 30 年有明顯增多的趨勢，顯示未來臺灣再面臨極端颱風事件的頻率將會持續增加，特別是對於破壞性高、損失嚴重的坡地災害。

災害所造成之災害損失是本研究所想要探討的重點，由於不同的社經背景對於災害損失的衡量方式不同，因此當受災之後的損失計算結果也會不同。

臺灣地區過去 100 年間(1910-2010)，大豪雨日數在近 30 年有明顯增多的趨勢，顯示未來臺灣再面臨極端颱風事件的頻率將會持續增加，特別是對於破壞性高、損失嚴重的坡地災害。

而根據中央地質調查，莫拉克颱風降雨所引致的崩塌地主要位於降雨集中的濁水溪流域、八掌溪流域、曾文溪流域、高屏溪流域、林邊溪流域、卑南溪流域以及台東沿海河系。崩塌面積約由 97 年辛樂克風災後的 194 平方公里增加至 98 年的 563 平方公里，增加約 369 平方公里。大部份崩塌鄰近道路或河流，尤其是高崩塌率之集水區，如曾文溪上游之曾文水庫與南化水庫。

由上述資料可知莫拉克風災所引發之崩塌規模已超越 921 地震所引致之崩塌範圍，其崩塌鬆散土砂未來如遇豪雨沖蝕將可能引致的二次災害，對於鄰近的居民、道路以及中下游之河道衝擊不容忽視。

無論如何評估災害損失，最終目的皆是為了防止下一次造成更加嚴重之損害。為了讓政府的經費能更有效率的使用，因此本研究將藉由經驗公式配合過去之災害歷史資料，繪製災害敏感區山崩潛勢圖及提出量化災損之方法，建構山崩災害損失評估模式，以供相關單位針對山崩高潛勢地區擬定對策之參考，減少人民財產之損失。

## 1.2 研究目的

全球氣候變遷所引發的極端降雨在台灣往往每次都造成相當嚴重的災情，然而欲降低災害損失，必須先從了解災害的成因開始。本研究從衛星影像之判釋著手，利用衛星影像分類判釋方式，以獲取地表及災害資訊，並透過地理資訊系統建置研究區空間及屬性資料。本研究配合現地調查，建構山崩災害損失評估模式，估算山崩發生後，研究區可能出現的損失數值，最後將損失評估結果劃設區域災害損失圖。

因此本研究主要目的如下所述：

1. 運用 GANN 進行高解析度衛星影像判釋分類，以得到地表變遷及災害資訊。
2. 透過南瑪都颱風降雨事件前後之判釋結果，探討人為開發因子及崩塌與否之資訊。
3. 運用地理資訊系統平台，推算研究區的人為開發程度，並結合以 DTM 推算之自然因子與降雨觸發因子，進行相關性檢定，透過最佳數值搜尋原理之黃金切割搜尋法推算災害潛勢，再配合現地調查所得之資料，估算災害損失。
4. 將研究區之災害潛勢與災損評估，統合後繪製災害損失評估圖，以供後續相關單位針對山崩高潛勢地區擬定對策之參考，減少人民財產損失。

### 1.3 研究範圍

本研究選定嘉義縣番路鄉觸口村為研究對象，研究區域如下圖 1-3-1、圖 1-3-2 所示。

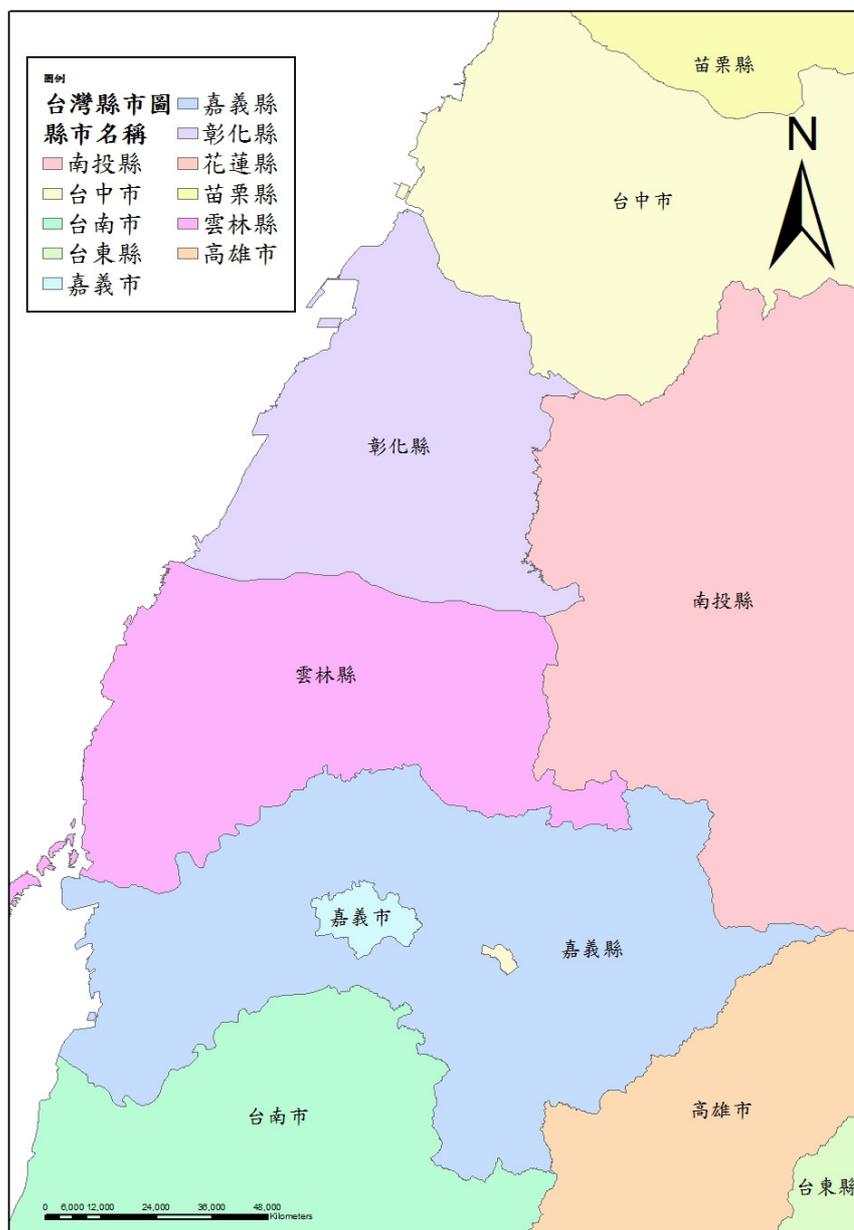


圖 1-3-1 研究區範圍圖

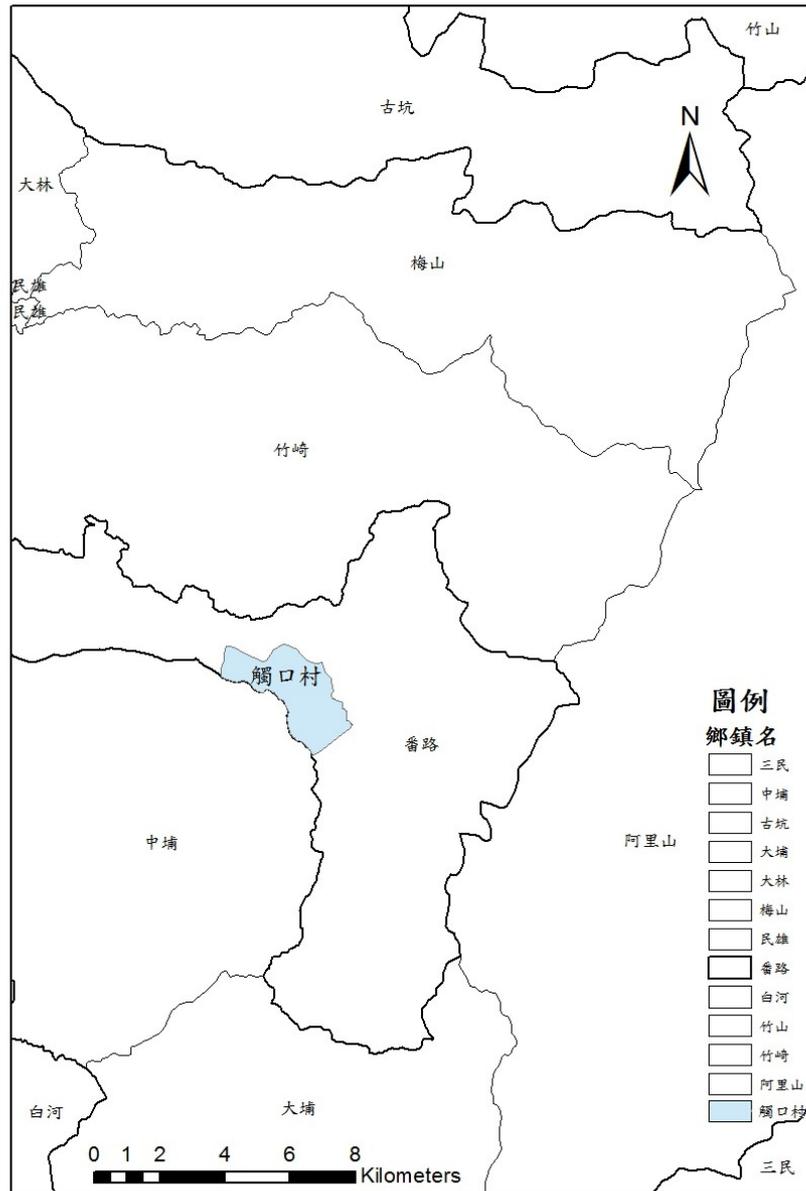


圖 1-3-2 嘉義縣觸口村

### 1. 地理位置

觸口村位於嘉義縣番路鄉，位在臺 18 線 35 公里。由八掌溪流貫全村，且經觸口形成 90 度急彎，為八掌溪自山區離開，開始流入平原之谷口所在。

研究範圍內的觸口村有行政院農業委員會水土保持局劃定之土石流潛勢溪流，土石流潛勢溪流分別為「嘉縣 DF029」及「嘉縣 DF069」，如圖 1-3-3、1-3-4 所示。

觸口村境內土石流潛勢溪流資訊表如表 1-3-1 所示，參考自土石流防災資訊網。

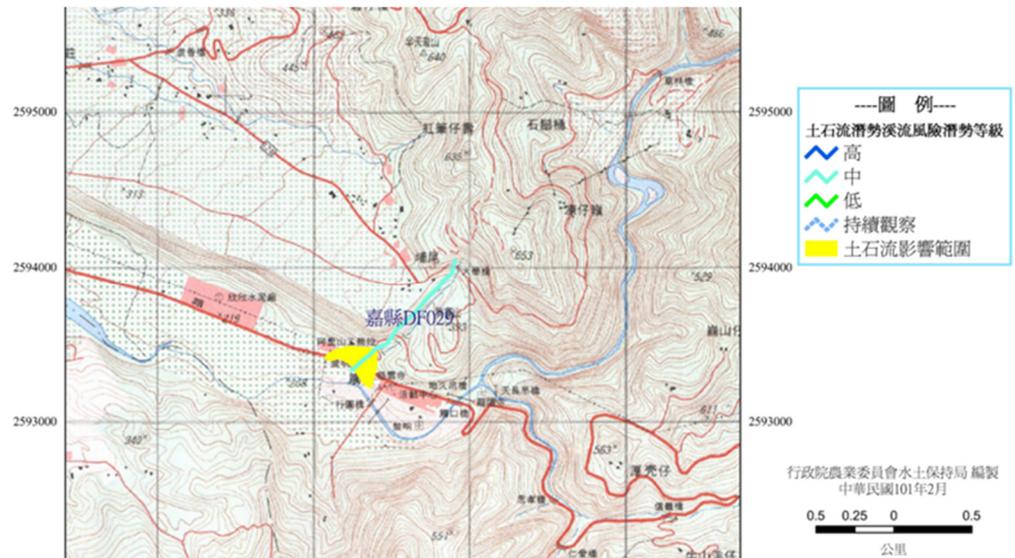


圖 1-3-3 嘉義縣觸口村土石流潛勢溪流（嘉縣 DF029）

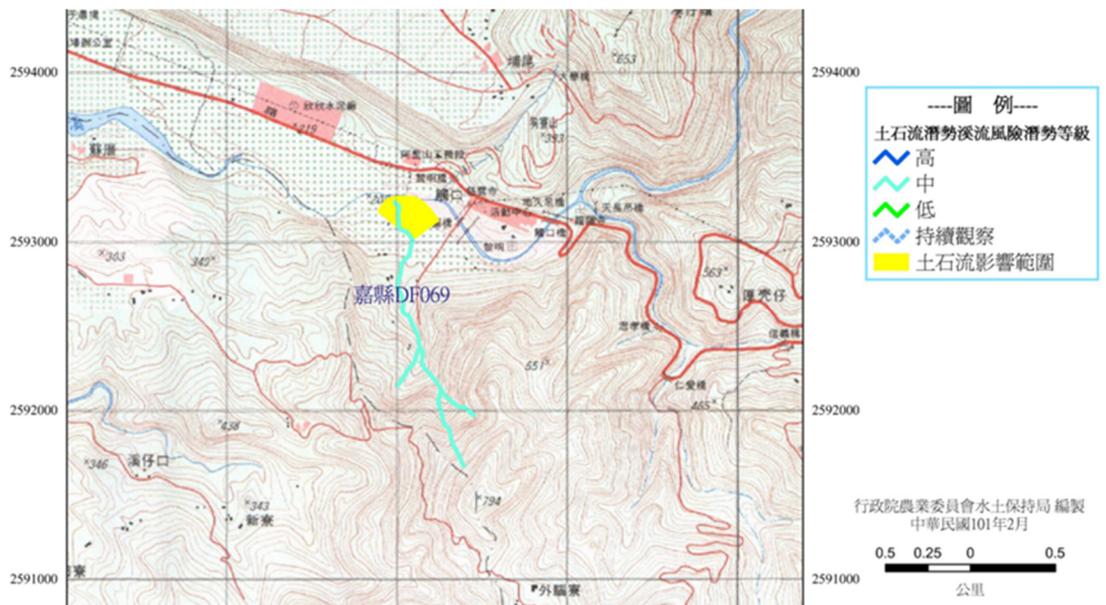


圖 1-3-4 嘉義縣觸口村土石流潛勢溪流（嘉縣 DF069）

表 1-3-1 觸口村境內土石流潛勢溪流資訊表

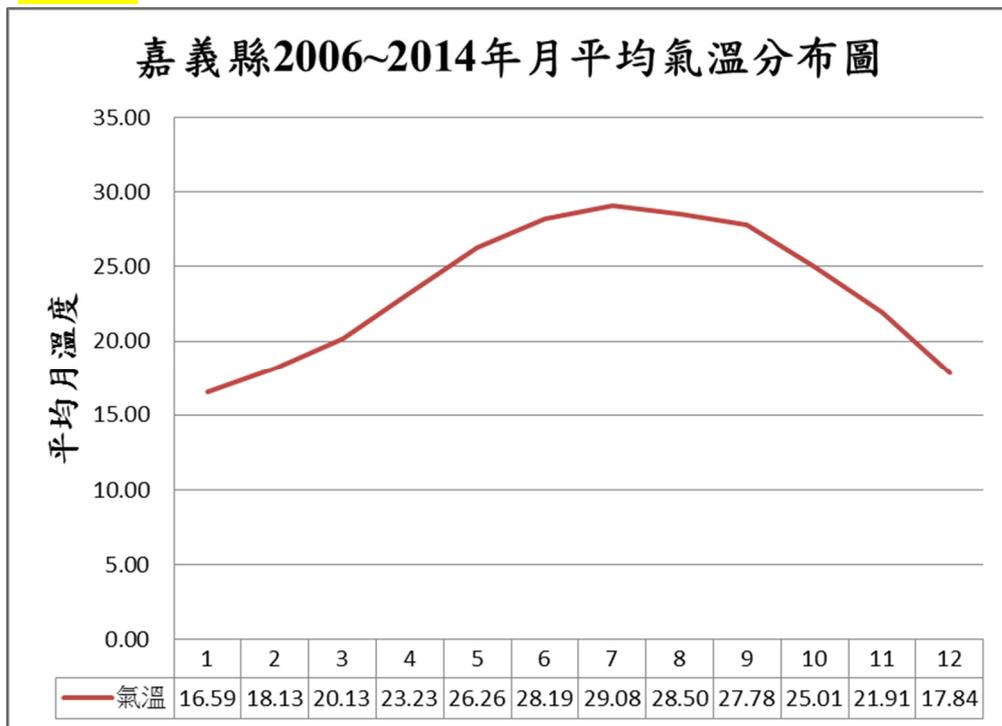
潛勢溪流編號	保全對象位置	鄰近地標	溪流名稱
嘉縣 DF029	觸口村	黎明橋	八掌溪
嘉縣 DF069	觸口村	過溪仔	八掌溪

資料來源：土石流防災資訊網

## 2. 自然環境

### (1) 氣溫

嘉義縣番路鄉觸口村，由於觸口村地處北迴歸線以南，屬於溫暖濕潤的熱帶季風氣候區，尤以 7、8 月的溫度最高，12 月至翌年 2 月間月均溫較低，平均最低溫度為 16.59°C，如圖 1-3-5。

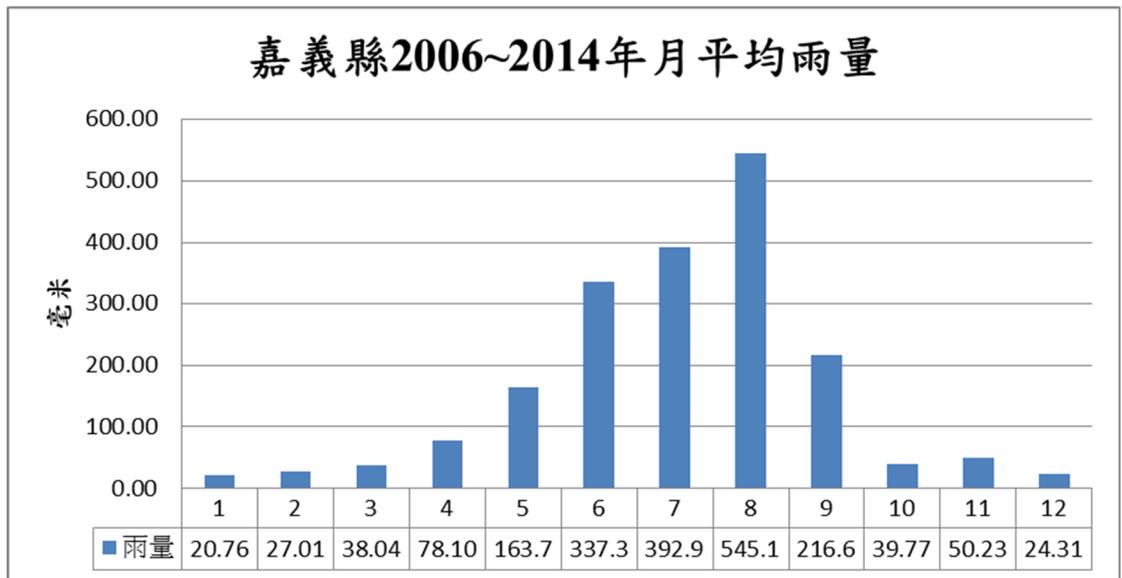


資料來源：中央氣象局全球資訊網

圖 1-3-5 嘉義縣 2006~2014 年月平均氣溫分布圖

## (2)降雨

自每年 2 月份開始，由於受到東北季風轉為西南季風，降雨逐漸增多，且多集中於 5 月 9 月，約佔全年總雨量之 80% 以上。在 5 至 6 月的梅雨鋒面及 7 至 9 月的颱風侵襲下，常有豪大雨的發生，如圖 1-3-6。



資料來源：中央氣象局全球資訊網

圖 1-3-6 嘉義縣 2006~2014 年平均氣溫分布圖

## (3)地形

觸口隸屬於番路鄉，地形上為阿里山山脈與平地的交界，附近有觸口斷層經過，三面高山環繞，從頂埔公路俯瞰，可見八掌溪南流至此並轉而向西流去，造就曲流的風光。

## (4)地質

全村地質由南莊層、六重溪層與沖積層構成，分別在村治南方與西北方有出現臺地，由以八掌溪北岸形成番路臺地最大，屬臺地堆積。

## 1.4 研究流程

本研究確立研究動機與目的後，以嘉義縣番路鄉觸口村作為研究區域，回顧相關文獻後，歸納出後續研究架構與方法並從中篩選出災損評估模式之影響因子。最後利用地利資訊麗統展繪出研究區域內山崩災害損失圖。因此本研究所擬定之研究步驟與流程如圖 1-4-1 所示。

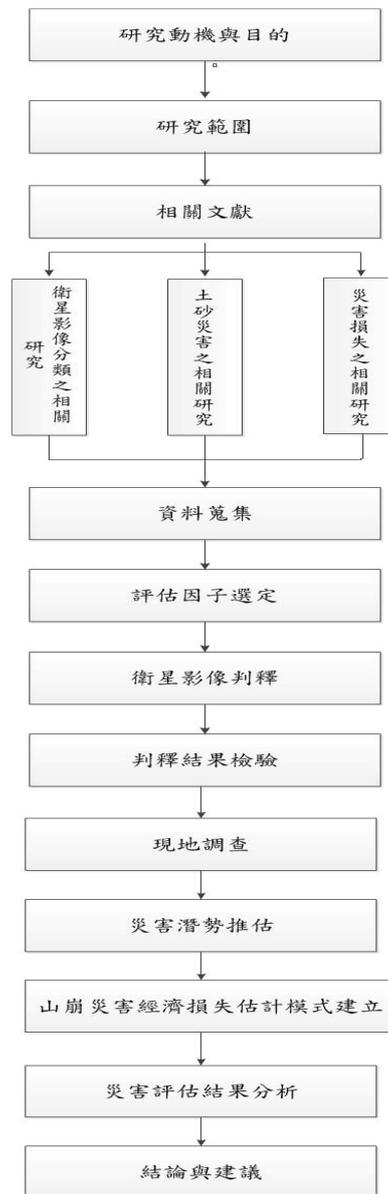


圖 1-4-1 研究流程圖

## 第二章 文獻回顧

### 2.1 遙感探測理論

遙感探測技術大部分起源於軍事方面之應用，例如美國南北戰爭期間，北軍使用熱氣球攜帶觀察員到足夠觀測戰爭和敵軍移動的高度，以相機記錄所觀測到的事件。當相機被帶上熱氣球，紀錄地表發生的事件時，就誕生了現今我們所了解的遙感探測技術（楊龍士等，2006）有關遙感探測（Remote Sensing, RS）如表 2-1-1 列出現今在太空軌道運作的部分資源衛星種類。

表 2-1-1 衛星種類表（楊龍士等，2006）

衛星型式	衛星名稱	衛星發射時間 (年)	遙感探測器類別	衛星影像解析度	
				P	M
光學式	Landsat-5	1984	M		30
	SPOT 2,4	1990,1998	M&P	10	20
	IRS-1C,1D	1995,1997	M&P	6	23
	Landsat-7	1999	M&P	15	30
	IKONOS-2	1999	M&P	1	4
	EROS A	2000	P	1.8	
	QuickBird-2	2001	M&P	0.7	2.8
	SPOT 5	2002	M&P	5	10
	Orb View-3	2003	M&P	1	4
	FORMOSAT-2	2004	M&P	2	8
雷達式	RADARSAT-1	1995	R	8.5-100	
	ERS-2	1995	R	25	
	ENVISAT	2002	R	30	

## 2.2 影像分類之相關研究

一般常用的衛星影像分類方法中，傳統式影像分類方法可分為監督式分類法（Supervised Classification）與非監督式分類法（Unsupervised Classification）兩種。監督式分類是必須先指定訓練用之樣本區域，再以訓練樣區之光譜灰階值作為分類的基礎；而非監督式分類則是依據影像分析者所訂定之分類數，利用群集分析方式，計算分析整張影像之光譜分布各群集的平均值與標準差，並逐一檢查影像各像元的光譜值是否符合光譜空間最短距離之條件，經由反覆的群集歸類，以達到預定之分類數（楊龍士等，2006）。

萬絢、雷祖強、王文宜與王傑民（2012）利用空間資訊技術：地理資訊系統 GIS 與遙感探測 RS，獲取萬大水庫附近地表土地覆蓋之情形，以區域物件化判釋（ROC）進行區域判釋，利用不同的光譜及紋理資訊分析萬大水庫周遭地區，且研究也使用植生指標進行判釋輔助。在研究中影像預處理方中都包含了常態化差異植生指標及灰階共發生矩陣之資訊，可有效評估水庫堆積情形。

林梅惠（2011）研究為遙感技術的應用，包括遙感數據獲取、遙感圖像的信息提取和分析以及基於 GIS 空間決策分析過程。其中，遙感數據獲取是研究的應用基礎，遙感圖像的處理技術則是應用的關鍵，基於 GIS 的空間決策分析是各項應用的最終目標。研究提到在數據預處理，事實上就是在全面收集資料，對資料進行系統的分析研究、綜合整理及篩選，其中包括對災毀數據的處理、向量化、影像校正等。而此研究之影像校正則採用已有的 SPOTS 遙感影像作為參考源，對新購買的數據進行正射校正，製作正射影像圖。

林恩如、劉正千、張智華、鄭依凡、柯明勳（2013）之研究則運用「遙測影像崩塌及陰影區專家輔助圈繪系統」，由影像之多頻譜資訊計算正規化差異植生指標（NDVI）與綠度指標（Greenness）以自動且快速地圈繪非植生區域；而影像之全色態強度資訊能夠自動且

快速地圈繪暗區。最後結合判釋區域之高程資訊及前期影像，由判釋人員選定陰影與崩塌區，輸出向量圖層。林恩如等（2013）透過此方法不僅縮短了判釋之操作時間，也提高了準確度，使判釋結果更加貼近於真實地表資訊。

在王素芬、余佳樺、劉雅婷（2014）研究中探討不同輻射校正對變遷分析的影響，研究檢驗混合像元對變遷分析的干擾並透過統計極端值的概念去除混合像元，以提高變遷分析的可信度。除此之外，相對輻射校正方法中，直方圖匹配法的參考影像選擇亦會影響相對輻射校正的結果，因此如何選擇較適當的相對輻射校正方法以及校正基準均相當重要。而輻射校正的成效評估，研究發現直方圖匹配法在不受干擾的試驗林中，能維持較高的不變比例，效果優於暗元去除法，是變遷分析中較為可靠的相對輻射校正法。

徐逸祥、朱子豪（2013）研究中提到的雲層處理方法大致可分為厚雲層之去除、薄雲層模型建立及地物光譜值還原、量化檢核機制之建立等三大部分。厚雲層的部分是取單張影像，以自動閾值選取及區域增長的方式進行偵測並同時切除雲層。薄雲層的部分則以傅利葉分析建立薄雲模型。關於檢核機制的建立方面，對於厚雲層的偵測結果，研究尋求遙測影像判釋的專家先劃定影像中厚雲層的範圍，以此範圍做為地真資料，用以檢核本研究之偵測結果；對於薄雲層移除後的影像，則是以影像分類法和正規化差異植被指數（normalized difference vegetation index, NDVI）檢核還原地物光譜值的效果。研究成果顯示，厚雲及雲影偵測之整體精度皆可達到 90% 以上。

## 2.3 基因演算法自動演化類神經網路之相關研究

ANN 之優點主要為可建構出非線性模型，且模型準確性高，亦可以邏輯、數值、有序分類、無序分類變數作為輸入，與傳統統計模式相比對於輸入變數的適應性較強；且 ANN 可用於函數映射、數列預測、樣本分類以及非線性函數等問題，並對於資料分配亦不需要任何的假設條件，故於處理問題上有很大的應用空間，所建構出的模式效果通常都比一般統計模式較佳 (Francis et al., 1992; 葉怡成, 2002)。

再者，ANN 同時接受多個訊息，具備平行運算、高速的計算能力，若有不完整的訊息或雜訊輸入，對其整體影響不大，因其本身具有模糊推理、容納錯誤性的能力，且各處理單元間的連結是可調整的，所以可根據輸入訊號的不同而調整連結權重 (Weights)，以達到學習目的。但 ANN 在應用上常遇到的問題有 (葉怡成, 2002; 林妙雀、鄺芃羽, 2004)：

### 1. 為局部極小值而非整體極小值：

利用最陡坡降法 (The Gradient Steepest Descent Method) 尋找最小值之解時，可能由於學習率太小，使得尋找出之最小值為局部極小值而非整體極小值。

### 2. 訓練不足或過度訓練：

ANN 因為具有大量可調係數 (連結加權值與門限值)，因此容易發生過度訓練現象，即網路訓練範例的誤差很小，對測試範例誤差卻很大，造成不良的學習結果。反之若 ANN 對輸入資料學習不足，則無法計算出較準確的預測值。

### 3. 無法收斂：

通常在輸入訓練資料中有極端狀況或矛盾存在、輸入訓練的資料排列順序出問題、設定誤差容忍度或隱藏層處理單元太小及學習速率太大時容易產生無法收斂的狀況。

基於以上幾點 ANN 於應用時所常遭遇之問題，因此有學者提出

以 GAs 輔助 ANN，除解決上述問題之外，並可透過 GAs 最佳化搜尋之能力，快速搜尋 ANN 最佳的網路架構。例如 Kim 與 Han(2000) 結合基因演算法與類神經網路，建構 GAFD (Genetic Algorithm Approach to Feature Discretization For ANN)，將此方法應用在股價的預測，其提出以基因演算法取代最陡坡降法修正類神經網路的權重並決定合適的特徵化離散起點門檻，所得結果與傳統利用線性轉換模式的倒傳遞網路做比較，發現 GAFD 的效果較佳。

陳怡睿、林洧全、謝舜傑(2011) 研究則是使用之倒傳遞類神經網路模式 (BPN)，而其為目前類神經網路學習模式中最具代表性，應用最普遍的模式之一。BPN 基本原理是利用最陡坡降法 (the gradient steepest descent method) 觀念，將誤差函數予以最小化。研究也利用 ENVI 影像處理軟體之紋理分析功能，對於研究區域內之衛星影像進行灰階共生矩陣 (GLCM) 之建立及量化，並透過其結果做為類神經網路於影像判釋訓練及分類之用。

## 2.4 土砂災害之相關研究

### 2.4.1 何謂土砂災害

崩塌一詞係指地表邊坡組成物質受重力牽絆而崩落的現象。由於引起土石流崩落的原因相當複雜，因此有所謂山崩、崩坍、落石、地滑、土石流等名詞。然而由於地表物質在搬運方式、運動速度及形態上有極大的差異，因此，土砂災害的形態大致上可分為山崩、地滑、土石流三種。

依據行政院農委會水土保持局網站所公布之水保法規中，日本相關法規之土砂災害法第二條指出，「土砂災害」係因陡坡地之崩塌、土石流及地滑為發生原因，導致國民生命或身體遭受災害。

### 2.4.2 土砂災害的種類

#### 1. 山崩

岩屑或岩體從高處以自由落體或跳躍式快速向下掉落的現象稱為落石。多發生在陡峭的山坡地，富有裂隙的岩層及破碎帶，波浪侵蝕的陡崖，以及河流向下侵蝕的峽谷與絕壁，其發生的特徵及條件整理自林致遠（2003）如下所述：

##### (1) 特徵

滑動體遭受嚴重破壞，成分崩離析狀態；另因滑動面於滑動後常裸露於地表，故易於判斷其形態與位置。

##### (2) 發生條件

A. 地形坡度較陡（大於 45°）。

B. 滑動體之不連續面發達或固結不良，滑動時容易分散，如砂頁岩薄互層、頁岩或泥岩，崩積土或厚層土壤等。

C. 坡度大且岩體破碎或疏鬆處均有可能發生，無特殊地質條件之限制，固其分部較為廣泛。

#### 2. 地滑

岩塊沿著一明顯的破壞面，向下坡處滑動的現象稱為地滑。在岩層傾斜角度過大的順向坡地區，當坡腳被移除時或在邊坡的岩層組成較為細粒、軟弱的土層，水土保持措施處理不當，較有機會發生地滑現象，其發生的特徵及條件如下：

(1) 特徵

滑動體遭受嚴重破壞，成分崩離析狀態；另因滑動面於滑動後常裸露於地表，故易於判斷其形態與位置。

(2) 發生條件

A.地形坡度較陡（大於45°）。

B.滑動體之不連續面發達或固結不良，滑動時容易分散如砂頁岩薄互層、頁岩或泥岩，崩積土或厚層土壤等。

C.坡度大且岩體破碎或疏鬆處均有可能發生，無特殊地質條件之限制，固其分部較為廣泛。

3. 土石流

由巨石、礫、砂、泥等岩石碎屑與水混合，受重力牽引而向下流動的現象稱為土石流，多發生在山坳處或河谷中，其發生的條件如下：

發生條件

A.有大量的崩積物或其他疏鬆之堆積物質，堆積處有一定之坡度或較小的截面積，足使該物質產生一定之流速。

B.地表水驟增，使堆積物超過其液性限度(Liquid Limit, LL)。

### 2.4.3 土砂災害前人相關研究

在陳怡睿、林洧全與謝舜傑（2011）的研究中，即以高屏河流域的寶來地區於莫拉克颱風中之崩塌為研究範圍，使用類神經網路技術，並以紋理分析為輔助，進行寶來地區衛星影像之判釋分類，從中擷取地表及災害資料，透過相關性檢定及多變量不安定指數，推算崩

塌潛勢等級，最後運用地理資訊系統繪製山崩潛勢圖。

在 Chen, Chue, and Chen (2013) 的研究則有所不同，Chen et al. (2013) 以荖濃溪集水區之人為開發斜坡地區為研究標的，以 GANN 作為衛星影像判釋分類及坡地災害評估之主要方法，透過納入降雨與滑坡災害之間的影响係數，與崩塌潛勢圖結合，輔以利用 GANN 推算人為開發造成坡地災害之成因的權重比例，得出人為開發邊坡與災害之間的災害影響評估。

林文賜、黃碧慧 (2013) 的研究中，則運用遙測、地理資訊系統及自我組織圖類神經網路 (Self-Organizing Map, SOM)，建置崩塌地自動萃取模式，此研究以地理資訊系統的疊圖判釋方式萃取崩塌區位，與上述研究有所不同之處為林文賜、黃碧慧 (2013) 所著重的在於如何能更快速的進行崩塌區位萃取。

顧承宇等 (2012) 之研究利用雨量資料統計出降雨時空之分布特性，再利用定率法建置廣域淺層坡地崩塌模式，此模式透過考慮降雨延時 24 小時的不同重現期雨量預測及不同規模降雨條件下的崩塌潛勢分布，探討降雨和坡地災害之中的關聯性。

許強、董秀軍與劉漢香 (2011) 的研究中，則以強降雨引發的深層岩質滑坡為主要研究對象，建立不同類別之強降雨誘發深層岩質滑坡之成因模式，得出各類滑坡的形成條件、特點和概念模型，對滑坡之發生機制進行探討。

鍾明劍、譚志豪與冀樹勇 (2011) 則嘗試以不同尺度分析模式來評估崩塌潛勢。研究先利用大尺度降雨促崩模式快速篩選出高潛勢區域，再以小尺度降雨模式詳細評估特定高潛勢之邊坡穩定性。而研究因透過美國地質調查所發展之 TRIGRS 程式來做為大尺度的篩選模式，所以能在短時間快速求得關鍵危險區域；而小尺度模式為 GEO-SLOPE 公司發展之 GeoStudio 程式，此程式可對高潛勢之邊坡進行模擬邊坡失穩行為。

## 2.5 最佳化方法相關研究

最佳數值搜尋法所能應用之領域相當廣泛，一般而言，使用最佳數值搜尋法的目的在於求於數學式最佳解，主要是透過不斷的數值分析，進而求取最適結果並使結果具有物理意義。

常見最佳數值搜尋法可分為兩大類，包括傳統數值最佳化方法及人工智慧技術最佳化方法；其中傳統數值最佳化方法可分為求解單變數還數以及多變數函數最佳化，分別如表 2-5-1 及表 2-5-2(林伯勳等人，2009)所示。

表 2-5-1 單變數函數最佳數值搜尋之類別彙整表(林伯勳等，2009)

類別	方法	
區域消去法	無限制搜尋法	
	全面搜尋法	
	二分法	
	黃金搜尋法	
	費氏搜尋法	
內插法	二階內插法	
	三階內插法	
	直接搜尋法	牛頓法
		準牛頓法
		正割法

## 2.6 災害損失相關研究

在李欣輯、楊惠萱(2012)的研究中，則進一步將坡地災害之社會脆弱度因素分類為四個取向，包括：(1) 可能的最大損失(保全人數、結構物損失、家俱家電、交通工具的損失)，(2) 環境建設(土地使用、道路交通)，(3) 自保能力(依賴人口、警消人力、避難所與受災次數等)，(4) 復原與適應能力，透過運用帕累托等級分析法(Pareto ranking)，建立分項及綜合之評估指標，最後再使用GIS圖層的繪製，表示不同區域之脆弱度。

而洪政耀、林雪美(2014)之研究則以臺東縣海端鄉為例，以區域災害系統論，提供一個了解人與環境之間互動的有利分析方式，並結合GIS以空間化的方式展現其成果。

魏曉萍、李欣輯、葉克家、楊昇學、劉俊志(2014)的研究則提出另一種不同的評估模式，研究以曾文溪流域為研究範圍，利用動力降尺度資料，結合OBEK淹水模式來模擬建置臺灣颱風洪災損評估系統(TLAS)用以評估損失規模。

因本研究聚焦於直接損失，因此下列將對水災直接損失評估做更詳細的介紹：

國內外文獻中，洪災直接損失估算方法主要有(1)歷史災害損失曲線(historical damage curve)、(2)統合公式(aggregate formula)與(3)淹水深度損失經驗曲線(empirical depth-damage curve)等三種估計方法(White, 1964; Brown et al., 1973; Grigg and Heiweg, 1975; Smith, 1994等)，概述如下：

### 歷史災害損失曲線

針對過去不同時期的洪水災害事件，分析每次洪災的淹水水位和所造成的損失，可展繪出淹水深度和洪災損失的關係曲線，再依此曲線推估下次洪災能會造成的損失，稱為歷史災害損失曲線法。對於洪災的災損評估而言，一般來說只要累積的歷史資料越多，透過歷史

災害曲線法所推估的災害損失就愈趨精確。不過對於山崩災害的災損評估而言，此方法可能較不適用。原因在於山崩災害和洪水災害型態不同。洪水災害中受災地區屬於可回復的，因此歷史災害資料可以累積；但山崩災害的受災地區將會受山崩災害影響而改變原本的地形與地貌，因此即使居民不搬離受災地區，所對應的環境卻已不再相同，在此情況下歷史災害損失曲線法並不適用。

#### 統合公式計算法

所謂統合公式是指將所有洪災損失的相關因子統合於一個公式中。因此統合公式可能會依據地區不同而能有在地化不同的損失推算公式。不過由於此公式依舊是建立於歷史的洪災資料，因此若資料蒐集不完全，產生的誤差將會很大。而此方法應用於前台灣山崩損失推估是否適用則取決於是否具有足夠完整的歷史災害資料的統計與蒐集。

#### 淹水經驗曲線法

淹水經驗曲線法為目前最廣泛被應用的水災損失評估模式，是利用區域內建物與相關經濟資料，推求各類型建物淹水深度損失經驗曲線。英國學者 Penning and Chatterton(1977)將建築物分為 21 種不同類別，並分別求出不同建物類型在兩種延時之下不同社會型態的淹水曲線。此模式是利用區域內建物與相關經濟資料所建立的淹水損失推估模式，所以即使是未發生過洪災的區域也能透過此模式來建立相關的損失推算模式，而不需太多的災害歷史資料，因此此方法相當適合應用於土砂災害的損失評估。本研究利用高解析度衛星影像判釋結果，結合經濟資料，初步建立山崩災害損失評估模式。

## 第三章 研究方法

### 3.1 基因演算法結合類神經網路技術

#### 3.1.1 基因演算法

基因演算法(Genetic Algorithm,GAs)乃為 John Holland 於 1975 年提出，為效仿自然界中演化過程的最佳化搜尋方法。其搜尋基本理論是參照達爾文的進化論「物競天擇，適者生存」法則，將適合生存於生物環境的物種保留下來，不適者淘汰。Gas 能夠選取具有較好特性的母帶特徵，並隨機性的交換彼此母代基因，以期待繁衍出比母代更優秀的新衣戴，依據「天擇」的演化過程，使整體物種越來越能適應生存環境，產生最佳物種（蘇木春等，2004）。

基本上物種演化包括了基因的再生（Regeneration）與重組（Recombination）。在世代的繼承之中，母代藉由交換基因重組成新的一代，稱為基因交配（Crossover）；所產生的子代受到外來或內部影響產生異變，稱為突變（Mutation）；繁衍出來的新一代，依據「天擇」的演化過程進行淘汰，則為再生。優良基因會一直不斷累積，最終演化為最具適應力的物種，基因演算法為模擬物種演化過程，其有別於傳統的搜尋方式，說明如下（Goldberg,1989；蘇木春、張孝德，2004）：

1. 基因演算法是以參數集合之編碼進行運算而不是參數本身，因此可以跳縮搜尋空間分析上的限制。
2. 基因演算法則同時考慮搜尋空間上多個點而非單一點，因此可以較快地獲得整體最佳解（Global Optimum），同時也可以避免陷入區域最佳值（Local Optimum）的機會，此項特性為基因演算法則最大之優點。
3. 基因演算法則使用機率規則方式去引導搜尋方向，而非用明確的規則，因此較能符合各種不同類型的最佳化問題。

基因演算法運算元件包含編碼、選擇與複製、交換及突變。當基因演算法用於不同的問題時，操作的參數須隨之作變動，因此許多學者提出不同的編碼、交換、突變及選擇方式，使基因演算適宜於各類型研究領域的應用，以下針對基因演算法運算流程與運算物件及參數說明，以下簡介乃整理自蘇木春等（2004）：

## 1. 基因編碼（Gene Coding）

基因演算的過程中，每個變數是以編碼方式來運算，此法最接近模擬生物進化論的演化過程，編碼技術已下介紹主要兩種：

### (1) 二進位編碼（Binary Coded）

使用二進位元制 0 與 1 作為編碼參數系統的運算表示，此種方法在基因演算過程中，所表現出來的交配與突變，比較符合生物演化的過程方式。

### (2) 實數編碼（Real Coded）

參數的設計運算值採用一般數學的實數方式。此種基因演算法可稱為實數基因演算法（Real Genetic Algorithms, RGA）。

## 2. 選擇與複製（Reproduction）

複製是依據每一物種的適應程度來決定其在下一子代中應被淘汰或複製的個數多寡的一種運算過程，適應程度高的物種在下一子代中將被大量複製過程，說明如下：

### (1) 菁英選擇（Tournament Selection）

在演化過程中，母代的優良的基因是為了孕育出更好的下一代。舊的族群個體藉由函數值判斷出好與壞，將好的保留下，再於新的族群個體作比較，以確保新一代族群的數值不會降低，菁英數量較多可能會陷入最佳解之區域，所以菁英數量亦不宜過多。每代運算後，依據不同選擇率來決定保留相當數量的優良基因，再投入交配步驟。

### 3. 交配 (Crossover)

隨機選取個數中的親代，透過基因的交換，進而組成另外兩個新的子代個體，藉著累積前代的優良基因來產生更為優秀以配對，再經由親代交換彼此之間部分基因資訊而產生子代，其交換程序的發生由交配率所控制，所產生的新一代染色體除具有前代親代雙方部分之優良基因外，其對環境之適應力也可藉由交配過程而得到提昇。交配個體的多寡是由交配率來決定。常見的交配有：

#### (1) 單點交配 (Single-Point Crossover)

在交配池裡隨機選取兩個母代，然後再選取出的字串上隨機取某一點作為交配點，以交配點作為分界將彼此相對應的兩個母代基因字串作交換，重組後產生新的兩個子代，示意圖如下圖 3-1-1 所示。

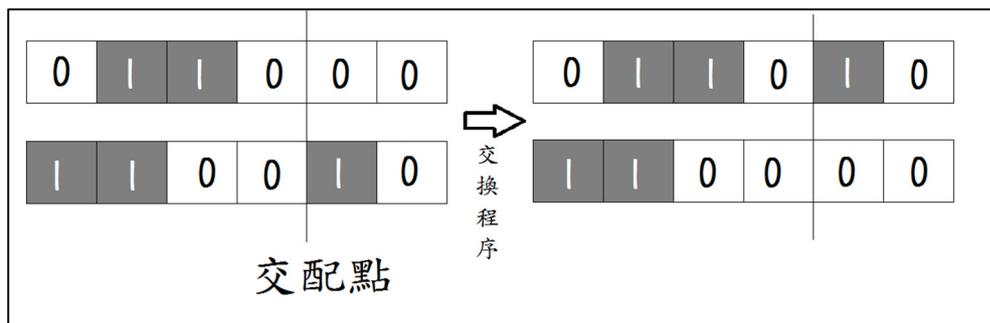


圖 3-1-1 單點交配示意圖 (梁恒瑜, 2005)

## (2) 多點交配 (Two-Point Crossover)

隨機選取兩個母代，其字串中，隨機選取兩個交配點切割成多個片段，再以間隔方式交換兩個交換點內的所有基因，示意圖如下圖 3-1-2 所示。

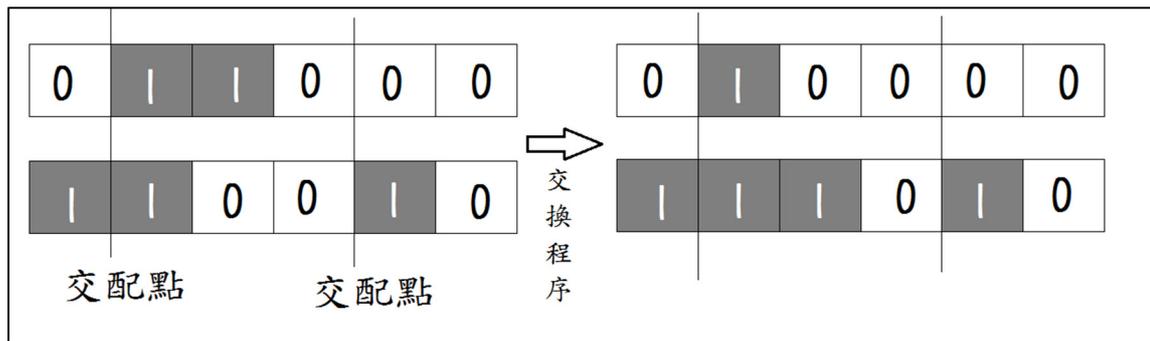


圖 3-1-2 多點交配示意圖 (梁恒瑜, 2005)

## 4. 突變 (Mutation)

經選擇及交配兩個步驟的運算後，一般均能使基因演算正確地朝著全域最佳解的目標運算，但若無此機制，則演算結果仍有可能造成局部最佳解的情形。所以，突變運算的主要功能就是在確保演算過程中，所有都可以被搜尋到的機會，避免搜尋的過程遺漏重要的訊息，示意圖如下圖 3-1-3 所示。

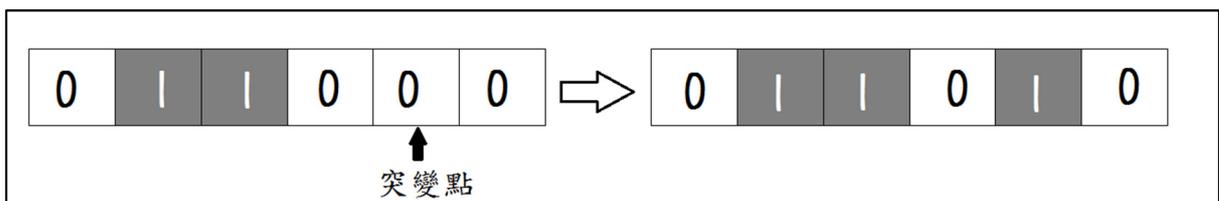


圖 3-1-3 交配與突變示意圖 (梁恒瑜, 2005)

### 3.1.2 類神經網路

類神經網路 (Artificial Neural Network, ANN) 即是結合電腦及先進科技之人工智慧技術之一，具有高速計算能力、高記憶力及高學習能力。類神經網路與經驗公式不同點在於類神經網路不需事先假設方程式，且訓練方法非常簡單，可處理大批資料，加上精度高、速度快，因此適用於處理高度複雜的非線性函數問題。類神經網路反映了生物腦神經系統的基本特性，其中，訊息的處理由處理單元間之相互作用來傳達，知識的儲存為處理單元間之相互連結，而網路的學習取決於各個處理單元連接加權值之動態改變過程 (羅華強，2001；葉怡成，2002；張斐章等、張麗秋，2005)。

類神經網路的運作分為訓練過程及模擬過程，訓練過程之目的在決定網路的權重值 (Weight) 與偏權值 (Bias)，模擬過程之目的在決定網路的預測輸出值或驗證網路的精準度。訓練過程採用訓練演算法 (Learning Rule)，各類型的網路有各種不同的學習規則，而學習規則的目的即在修改網路的權重值和偏權值。類神經網路模式種類很多，應用方向及特點個不同，本研究所使用的倒傳遞類神經網路模式作介紹，以下簡介乃整理自羅華強 (2001)、葉怡成，(2002)、蘇木春等 (2004)、張斐章 (2005)。

#### 1. 倒傳遞類神經網路基本原理

類傳遞類神經網路 (Back Propagation Network, BPN) 為目前類神經網路模式中最具代表性，應用最為普遍之模式，屬於多層前饋式類神經網路，亦屬於監督式學習網路之一。倒傳遞類神經網路的基本學習規則是以最小平方差為基礎，使用最陡坡降法 (The Gradient Steepest Descent Method) 為搜尋技術，將誤差函數予以最小化。與單層前饋式類神經網路-感知機相比較，除了增加隱藏層，使得網路可表現輸入處理單

元間的交互影響，且在活化函數上改用平滑且可微分之轉換函數 (Transfer Function)，使網路穩定修正網路加權值。透過倒傳遞類神經網路，把輸入與輸出間的映射問題變成一非線性最佳化問題，利用最陡坡降法調整參數，再經由網路運算逐步修正參數，經迭代運算後得到更精準的解。

## 2. 倒傳遞類神經網路基本結構

倒傳遞類神經網路的基本結構分為三部分 (如圖 3-1-4)，分述如下：

### (1) 輸入層

用以表現網路的輸入變數，其處理單元數目依問題而定，網路之訊號由此輸入，而其中每個神經元使用線性轉換函數。

### (2) 隱藏層

用以表現輸入處理單元間的相互影響，其處理單元數目並無標準方法可以決定，經常需要以試誤法決定其最佳數目，而每個神經元使用非線轉換函數。

### (3) 輸出層

用以表現網路的輸出變數，其處理單元數目依問題而定，網路最終訊號由此輸出，而每個神經元使用非線性或線性的轉換函數。

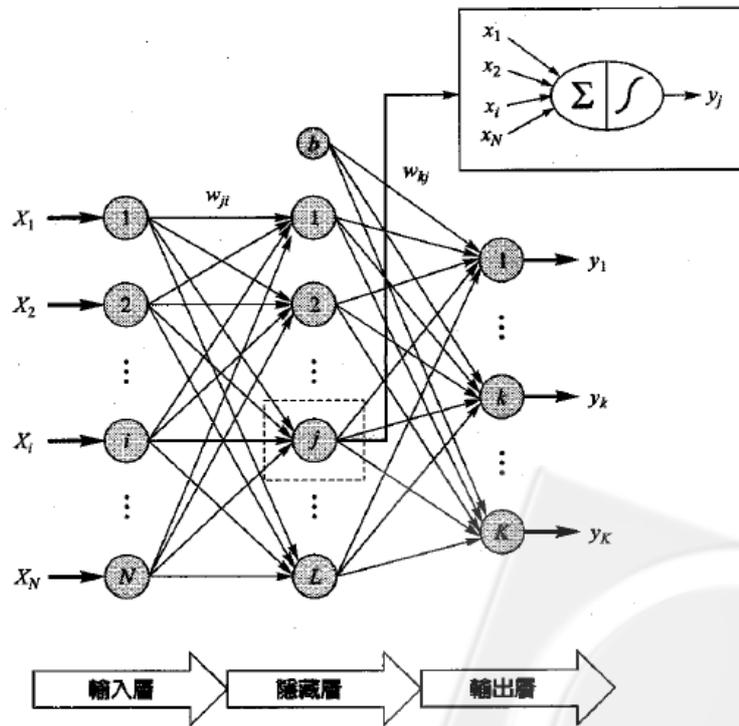


圖 3-1-4 倒傳遞類神經網路架構圖 (張斐章等, 2010)

### 3.1.3 基因演算自動演化類神經網路

類神經網路在應用上常遇到的問題有（葉怡成，2002）：

1. 為局部極小值而非整體極小值
2. 訓練不足或過度訓練
3. 無法收斂

為了改善類神經網路的缺點，因此以基因演算法輔助類神經網路最佳化，其基本原理為將網路的權值矩陣（Weighe Matrix）等網路架構參數，當作基因演算法中的染色體，即演算法所搜尋之目標解，而網路預測值和實際值的差距即為演算法之適應函數，經由基因演算法搜尋最佳解之能力，可找到一組使得預測值和實際值的誤差達到最小的網路架構。

本研究以基因演算法原理推求類神經網路之最佳網路架構，以達到目標函數之最小值，其中基因演算法與類神經網路各項參數設定說明如下：

#### 1. 世代數目

世代數目乃為一次 GAs 演算流程中之染色體組數，即表示一組組可能之解。常見的數目區間為 50~500 之間，為了不使演算時間拉長且解須具有變異性等考量下，因此本研究於〔50,500〕區間中，將世代數目取半，設定為 200。

#### 2. 選擇率

選擇複製程序乃為擇其優良的基因組，使其得以於下一世代中生存。過去常用的選擇率約為 0.1 左右，因此本研究將選擇率設定為 0.1。

#### 3. 交配率

交配率乃左右交配程序的進行，即每兩兩一組的染色體下擇亂數一次，若亂數小於交換機率，則此組染色體進行此基因的交換。交配率越高搜尋最佳值的速度也越快，太低則搜尋過程容易停滯。交配

率大多介於 0.5~0.8，為避免搜尋過程產生停滯情形，因此本研究於〔0.5,0.8〕區間中，將交配率取半，設定為 0.6。

#### 4. 突變率

突變之目的乃避免搜尋過程陷入區間最佳解，因此增加變因，以避免搜尋受到侷限。Heng et al. (1999) 提出突變率應介於 0.1~0.001 之間，因其設定過高則近似隨機搜尋。於考量 GAs 之最佳化搜尋特性後，避免其搜尋最佳化能力喪失，因此本研究於〔0.001,0.1〕區間中，取其最大值 0.1 作為突變率之設定值。

#### 5. 隱藏層數

葉怡成(2002)說明隱藏樹圍 1 層至 2 層時有最佳之收斂性質，一般問題 1 層隱藏層即以足夠，而較複雜之問題可使用 2 層以上之隱藏層，但通常 2 層隱藏層已經可以滿足大部分之問題，因此本研究將隱藏層數上限設定為 2 層。

#### 6. 神經元數

曾炫學(2003)指出電腦能力與案例情形決定神經元數之上限，且當神經元數大於 30 時，電腦運算數度將大幅降低許多，且實際上應用鮮少有大於 30 個神經元之案例，因此本研究配合電腦運算位元上限(32 位元)，將神經元數上限設定為 32 個。

#### 7. 學習速率

葉怡成(2002)指出學習速率過大或過小皆對網路的收斂性質不利，因較大之學習速率，具有較大的網格加權值修正量，可較快逼進函數最小值，但過大的學習速率將導致網格加權值修正過量，造成數值振盪而難以達到收斂之目的。一般而言，學習速率介於 0.1~1 之間，大致皆可獲得良好之收斂性，但為避免網路於〔0.1,1〕區間，未搜尋至適當之學習速率，因此本研究配合神經元數上限，將其投入於編碼程序中，而於 Gas 中所採用之編碼方式乃為二進位制編碼方式，其係無法進行小數位編碼，僅能針對整數位進行編碼程序，因此於程

式演算中所獲得之學習速率數值須再除以 10，亦即將學習速率之上限值設定為 3.2。

## 8. 學習次數

於學習次數方面，回顧相關文獻後發現並無特別提及學習次數之設定，而學習次數過多可能會有過度訓練的可能，學習次數過少則難搜尋最佳解。由過去試驗經驗得知，學習次數為 15000 次時，網路以趨向收斂，因此本研究將學習次數上限設定為 15000 次，使演算法於此區間中執行搜尋最佳解之程序。

表 3-1-1 為本研究所採用基因演算各項參數之設定值；表 3-1-2 則為本研究所採用類神經網路各項參數之設定上限值。

表 3-1-1 基因演算各項參數設定值

參數名稱	世代數目 (個)	選擇率 (%)	交配率 (%)	突變率 (%)
設定值	200	10	60	0.1

表 3-1-2 ANN 各項參數上下限設定值

參數名稱	隱藏層 (層)	神經元 (個)	學習速率	學習次數 (次)
下限設定值	1	1	0.1	1000
上限設定值	2	32	3.2	15000

本研究參考倪柏寧 (2010) 設定 GANN 之最佳化搜尋停止運算規則為符合下三項條件之一：

1. 適應函數值達到零或容許值。
2. 全世代減去突變率剩餘百分比世代群體，皆達最佳適應值，且未

發生進化改變之次數達一定次數或以上。

### 3. 演算次數達到一定累積次數。

本研究依序考量上述任一項條件符合時，即可中止最佳化搜尋運算。當完成各項參數設定後，即進行 GANN 流程。本研究以挑選因子數  $x=5$ ，資料筆數  $n=1000$ ，世代數目  $g=200$ ，選擇率  $s=0.1$  為例，將演算流程簡述如下：

步驟一：設定各項參數（Gas 演算參數及 ANN 架構參數上限設定值）。

步驟二：依世代數目以隨機方式求得 ANN 架構共 200 組。

步驟三：依序依次一組，載入 200 組網路架構參數（隱藏層數、神經元數、學習速率與學習次數）與 1000 組資料數據進行 ANN 學習過程，計算適應函數值（MSE）。

步驟四：檢核是否符合終止運算條件，符合者跳至步驟九，不符合者接續執行步驟五。

步驟五：依據適應函數值優劣排序，將各組網路架構參數進行編碼動作，根據適應值排序結果，取其整體減去選擇率 10%，亦即取排序前之 180 組（即  $200 * (1-0.1)$ ）置入交配池中。

步驟六：進入交配池後，隨機兩兩成一組，並產生一隨機交配值，若此數值低於設定交配率則進入交配工作；反之，則不執行交換。本研究採均勻交配法，即在選擇的兩字串中隨機產生交配位置，於交配位置上之字元，相互交換。

步驟七：與交配程序類似，同樣產生一隨機突變值，此數值若低於設定突變率則進行突變工作。而突變是在位元中任選一位將其數值作改變，於二進位制中之作法為：將原為 1 之值改為 0，原為 0 之值改為 1。

步驟八：完成上述步驟後，得 180 組演化的子代網路架構參數，並以此取代原排序 21 至 200 組親代網路架構參數，如此即完

成一次 GANN 演算流程，亦即產生新世代族群，隨後再跳回第三步驟。

步驟九：經檢核後，符合終止運算條件者，即得最適 ANN 架構，完成網路架構參數之最佳化。

本研究相關之 GANN 演算流程，如圖 3-1-5 所示。

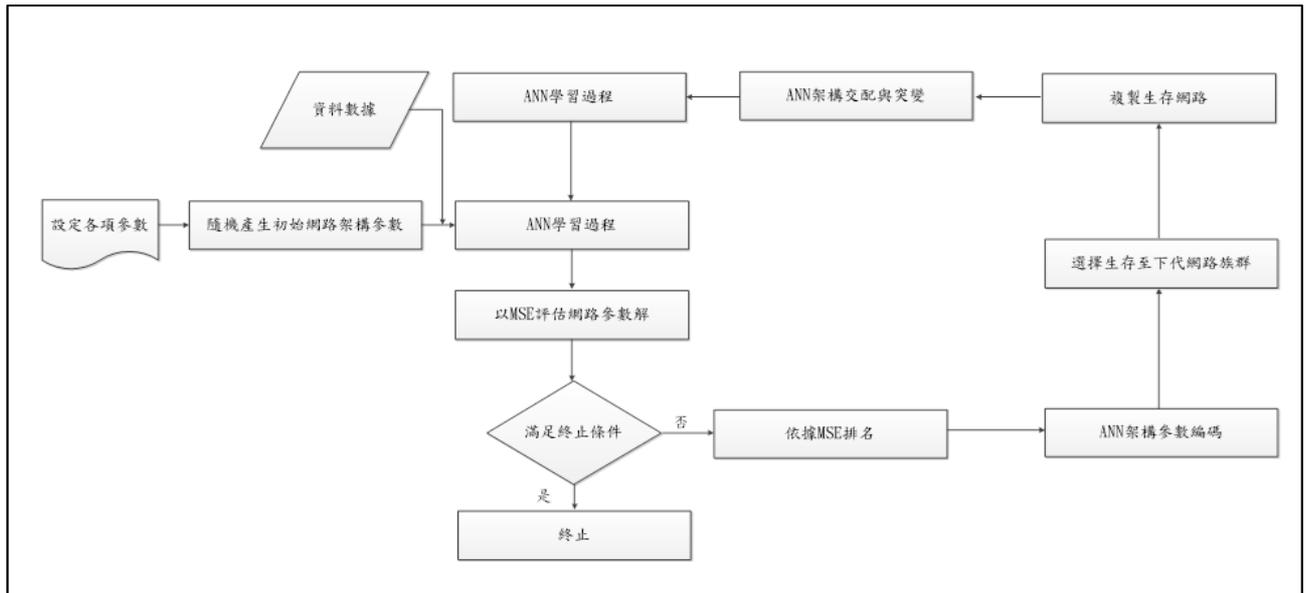


圖 3-1- 5 GANN 流程圖（陳怡睿等，2010）

本研究乃運用 MATLAB 數值模擬軟體撰寫 GANN 程式模組，其撰寫原則乃以 GAs 之演算流成為基礎，亦即撰寫隨機產生初始族群後，透過 ANN 之學習過程計算適應函數值，檢視是否達到所設定之終止條件，若無達到終止條件，則根據適應函數值進行排序且編碼，接著進入 GAs 之選擇、交配、突變程序，進而產生新的族群，重複適者生存之步驟，達到所設定之終止條件為止。

### 3.2 精確度評估

本研究運用人工智慧進行地表資訊之擷取，因此必須檢視遙測影像經分類後所獲得的資訊，其分類成果的精確度評估是否達成需求，故採用目前對於影像精確度評估最常使用的誤差矩陣（Error Matrix）做為準確度評估之方法。

誤差矩陣為表現不同的地表類型於非分類結果與參考資料間之關係的差異狀況，其為一個方形的矩陣，類別數方陣中的行（Column）、列（Row）數相等，行列數因種類數量而定，如表 3-2-1 為例有四種類別，行表示參考資料的類別（Reference data），而以列表示分類類別（Classification）；其中各元素即代表對應類別組合之下的資料量。

表 3-2-1 誤差矩陣關係表

		實際地表		合計
		分類 A	分類 B	
分類結果	分類 A	$E_{11}$	$E_{12}$	$E_{+i}$
	分類 B	$E_{21}$	$E_{22}$	$E_{+i}$
合計		$E_{i+}$	$E_{i+}$	$E_{++}$

資料來源：Verbyla,1995

表中的 $E_{12}$ 表示實際上屬於分類 B，但是在判釋結果中卻被分類為 A 的資料數量； $E_{21}$ 表示實際上屬於分類 A，但在判釋結果中卻被分類為 B 的數量；而 $E_{11}$ 表示 A 類型被正確分類的資料數量； $E_{22}$ 則是代表 B 類型分類正確的資料數量。而全部的資料根據其性質可大致分為以下三類：

### 1. 左上至右下的對角線元素

此對角線上的各元素代表分類結果中各類分別被正確歸類的數量。

### 2. 各型的非對角線元素

代表各類型被錯誤分類到其他類別，對於分類結果而言，這些數量表達對此地表類別的漏估量。

### 3. 各列的非對角線元素

代表將其他類別錯誤分類到某一個類別的量，對於分類結果而言，這些數量表達對此地表類別的過估量。

本研究以颱風災害前後之衛星影像分類判釋結果，進而得到土地利用分類及災害資訊；因此，需要檢視衛星影像經過判釋分類之成果精確度是否達到標準。目前對於影像精確度評估最常使用的方法為誤差矩陣 (Error Matric)。它是用於表現不同的地表類型之分類結果及參考資料之間關係的差異狀況。誤差矩陣為一個方形矩陣，類別數方陣中的行 (Column) 數、列 (Row) 數皆相同，行列數因種類數量而定。誤差矩陣內的數值，可計算出多種常使用的分類精度指標，例如整體精度 (Overall Accuracy, OA)、生產者精度 (Producer's Accuracy, PA)、使用者精度 (User's Accuracy, UA) 以及 Kappa 一致性指標等，此四項指標皆可用來做影像分類判釋精度評估 (Verbyla,1995)。分別列述如下：

#### 1. 使用者精度 (UA)

使用者精度為針對單一類別之精確度，亦即採用任一類別當中被分類正確的元素除以分類後被歸為此種類別的元素之總和，使用者精度表示地表覆蓋物經分類後，該類別被正確歸類的機率，即與檢核點資料符合的比例。UA 計算公式如下：

$$UA = \frac{E_{ii}}{\sum E_{+i}} \times 100\%$$

其中， $E_{+i}$ 代表誤差矩陣中  $i$  行之和。由UA亦可推算過估誤差 (Commission Error, CE)，即 $CE = 1 - UA$ ，其表示分類後之類別被錯誤分類的百分比。

## 2. 生產者精度 (PA)

生產者精度則只針對單一類別的精確度表示方式，它採用任一種類中，分類正確的元素除以參考資料中屬於該種類元素總和，生產者精度表示是在使用某種分類方法下，地面參考資料可正確地被分類的情形。PA 計算公式如下：

$$PA = \frac{E_{ii}}{\sum E_{i+}} \times 100\%$$

上式中， $E_{i+}$ 為誤差矩陣中  $i$  列之和。同理，由PA亦可得知漏估誤差 (Omission Error, OE)，即 $OE = 1 - PA$ ，其表示已知類別被遺漏而歸類到其他類別。

## 3. 整體精度 (OA)

整體精度為最簡單的整體描述法；對於全部類別而言，OA 表示區域內任意一點被正確分類之機率，即表示各個分類類別精確度對其數量加權平均的分類結果。OA 計算公式如下：

$$OA = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n E_{ii} \right] \times 100\%$$

其中  $N$  代表總檢核點數， $E_{ii}$ 則為正確分類之檢核點數。

## 4. Kappa 指標

Kappa 指標由 Cohen 在 1960 年所提出。Kappa 計算公式如下：

$$\hat{K} = \frac{N \sum_{i=1}^n E_{ii} - \sum_{i=1}^n (E_i \times E + i)}{N^2 - \sum_{i=1}^n (E_i + E + i)}$$

Kappa 指標考慮到兩種一致性的差異，其中一種是在於自動分類與參考資料之間的一致性，另一則為取樣和參考分類之間的一致性機率。Kappa 值介於 0~1 間，Kappa 值越大代表分類精度越高。根據 Landis and Koch (1977) 研究指出 Kappa 值大於 0.8，表示分類結果具有高度精確性，Kappa 值介於 0.4~0.8 之間，則表示分類結果具有中度精確性，而若 Kappa 值小於 0.4，表示分類結果之精確性不佳。

### 3.3 最佳數值搜尋原理之黃金切割搜尋法

#### 3.3.1 單變數搜尋

最佳化方法的目的為尋求數學式的最佳答案，本研究運用之黃金分割搜尋法 (Golden section method, GSM) 則是屬於最佳化方法的一種，其在進行數值搜尋時，試驗點的選擇是將欲搜尋的區間根據黃金比例，在整體個數中的 0.618 處選取一點，而另一個點則為與其相對稱的點 0.382，兩個試驗點經數值運算比較後，再從中挑選出較佳之區間，並藉由不斷的將區間收斂，找出最佳值。

以下舉例說明單變數之最佳搜尋法 (黃敬元，2012； Zhang, 1998)；例：推算下列方程式之最大值

$$y = f(x) = x^3 - 200x^2 + 8000x ; x = 0, 1, 2, \dots, 30$$

步驟一：首先，區間範圍為 0~30；所以兩個試驗點分別為  $X_1 = 11.46$  及  $X_2 = 18.54$ ，將其帶入式進行比較，兩個試驗點中， $X_2 = 18.54$  較好，新的區間變為 11.46~30。

步驟二：由於新的區間範圍變為 11.46~30，所以兩個試驗點分別為  $X_1 = 18.54$  及  $X_2 = 22.92$ ，代回式進行比較，依然為  $X_2 = 22.92$  較好，新的區間為 18.54~30。

步驟三：由於新的區間範圍變為 18.54~30，所以兩個試驗點分別為  $X_1 = 22.92$  及  $X_2 = 25.62$ ，代回式進行比較，依然為  $X_2 = 25.62$  較好，新的區間為 22.92~30。

步驟四：由於新的區間變為 22.92~30，則兩個試驗點的選取分別為  $X_1 = 25.65$  及  $X_2 = 27.30$ ，代回式進行比較， $X_1 = 25.62$  較好，新的區間為 22.92~27.30。

步驟五：新的區間變為 22.92~27.30，所以兩個試驗點則分別為  $X_1 = 24.59$  及  $X_2 = 25.62$ ，代回式進行比較， $X_1 = 24.59$  較好，

新的區間為 22.92~25.62。

步驟六：由於新的區間變為 22.92~25.62，所以兩個試驗點則分別為  $X_1 = 23.95$  及  $X_2 = 24.59$ ，代回式進行比較， $X_2 = 24.59$  較好，新的區間則為 23.95~25.62。

持續進行往下搜尋並收斂其區間，將可得到最佳值，而最佳值極為方程式在 0~30 區間之最大值。在進行搜尋時，因需求不同而有不同要求之精度，進而選擇不同之停止時機。以上例來說明，若只須要求整數  $x$ ，其相對應  $y$  之最大值的情況下，則在步驟六即能停止；亦即，當  $X = 24$  時，此方程式可得到最大值。

### 3.3.2 多變數搜尋

多變數的最佳數值搜尋法，也是依照單變數時的 GSM 相同步驟搜尋，為搜尋第一個變數時，另外的變數須先視為常數；當此第一個變數完成搜尋後，在進行其他變數之搜尋，且在搜尋第二個變數時，須將第一個變數及除第二個外之其他變數固定為搜尋開始時之常數值，直到全部變數皆搜尋完畢後，才在下一個階段搜尋變數中整體替換，並重複上述程序，將可以搜尋完成每個變數之最佳值，即完成多變量的最佳數值搜尋。

### 3.4 地理資訊系統

所謂地理資訊，泛指地表上之可見特徵及解釋空間特徵的現象，結合電腦科技來協助完成各項決策之擬定。狹義而言，地理資訊系統（Geographic Information System, GIS）是一套以電腦為基礎的系統，可整合處理地理空間資訊及其相關描述資訊的電腦軟體，並且可進行視覺化、操作、分析、及展現地理資料，進而獲得衍生資料，並以數位化的資料型態提供予使用者，更可以針對特定之應用領域予以擴充發展。廣義而言，GIS 為結合電腦軟體、硬體、地理資料、專業人員及作業程序第五大要素，藉以執行效率化的資料收集、儲存、更新、處理、分析及展現各種地理相關資訊。基本上 GIS 包含四項功能模組，以下針對此四項模組介紹乃整理自周天穎等人（2003）、黃敏郎等人（2005）、蔡博文等人（2006）：

#### 1. 圖形展繪、編修功能模組

包含有空間資料建置、編輯、修改的功能，以及提供使用者對屬性資料進行輸入與編修的功能，使得空間資料圖形與屬性資料相結合。

#### 2. 資料庫管理模組

資料庫管理模組具有儲存空間和屬性資料的功能，使用者可經由圖形或所提供之查詢索引功能進行對主題圖的查詢。

#### 3. 地理資訊分析模組

地理資訊系統提供一系列地理資訊分析功能，針對不同主題圖曾進行分析查詢與模式分析，這些功能可以直接被使用者使用，也可被相關附屬應用程式呼叫。一般包括的功能如下（黃敏郎等，2005、蔡博文等，2006）：

##### (1) 擷取、分類與度量

A. 擷取：在地理資訊系統中，圖形資料庫與屬性資料庫是互相連結的，使用者可以從其中的一個資料庫，

擷取或顯示另一個資料庫的資料。

- B. 分類：將相同或類似性質的空間單位加以合併分類，使圖形顯示單純化，以明確顯示出主題。例如將住宅區、商業區及工業區加以歸併成為市區。
- C. 度量：包括求兩點距離、線段長、周長、面積、挖填土方及地理中心點之計算，與多邊形最狹及最寬內徑之計算。

#### (2) 疊合分析 (Overlay)

- A. 算術疊合分析：相同空間單位之間，不同屬性值的算術運算。例如某依行政區之人口除了該區面積，即為密度，包括加、減、乘、除之基本四則運算。
- B. 形疊合：兩張以上的圖形加以套疊。例如行政區域圖、土地使用現況圖與交通系統加以疊合進行分析，其運算包括圖形的聯集、交集、與差集。

#### (3) 近鄰分析 (Neighborhood Analysis)

泛指一地區近鄰之各種空間特性計算。

#### (4) 連通分析 (Connectivity Analysis)

特指某一目標點在空間中，做連續性移動的各種特性分析。主要包含：空間結構（如路網）、移動法則（如單行道或速度）及度量單位三個要素，可能是長度、時間或成本。

### 4. 附屬應用程式模組

地理資訊系統除了系統本身所提供的模組之外，均有附屬之程式語言編輯功能。如 ARC/INFO 軟體所提供的 SML (Structural Macro Language) 語言或是 ArcGIS 軟體所提供之 VBA。亦可上網至美國 ESRI 官方網站下載所需的應用程式，可擴充原系統分析模組功能之不足。

## 第四章 山崩災害損失評估模式建構

### 4.1 山崩潛勢影響因子之選定

導致山崩發生的原因很多，除了災害發生地本身的環境條件及後天人為開發的影響外，降雨作為觸發因素是非常重要的影響因子之一。本研究參考前人之研究(游佳靜, 2015)後，選定坡度、坡向、高程、距水系距離、坡度粗糙度、坡地擾動及有效累積雨量等因子，作為本研究山崩災還潛勢評估之影響因子；本研究並利用地理資訊系統，建置空間及屬性資料。本研究以 40m\*40m 之網格作為儲存各潛勢影響因子資料之基本網格。以下各山崩潛勢影響因子及分級方式說明，係參考整理自(游佳靜, 2015)：

#### 1. 坡度

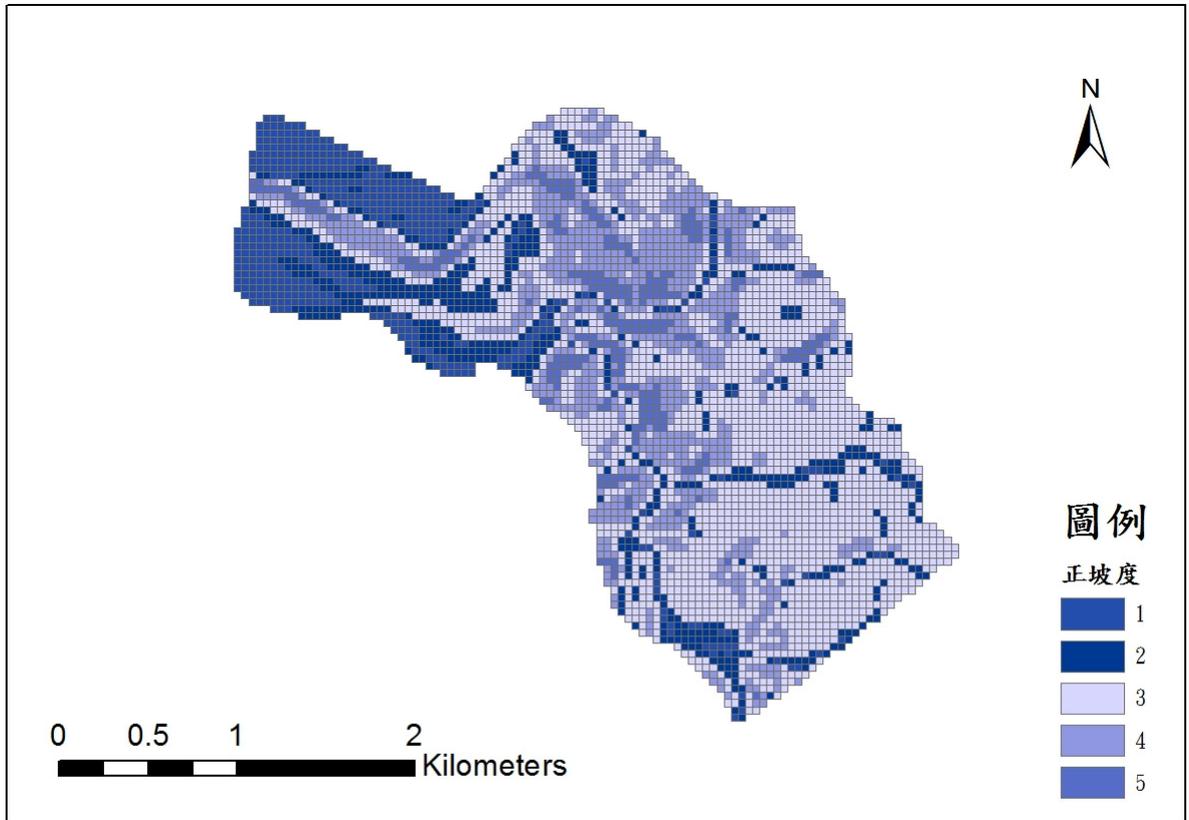
由於坡度越陡，山崩發生機率可能也隨之增加。因此本研究利用 ArcGIS 的空間分析模組，結合 DEM，分析研究區內之坡度因子。而坡度分級之級別依據行政院農委會水土保持局「山坡地土地可利用限度分類標準」。各坡度分級及其編碼，如表 4-1-1 所示。本研究研究範圍內坡度分布則如圖 4-1-1 所示。

表 4-1-1 坡度等級分類編碼表

坡度級別	土地單元之坡度變域（分級範圍）	編碼
一級坡	坡度百分之五以下	1
二級坡	坡度超過百分之五至百分之十五	2
三級坡	坡度超過百分之十五至百分之三十	3
四級坡	坡度超過百分之三十至百分之四十	4
五級坡	坡度超過百分之四十至百分之五十五	5
六級坡	坡度超過百分之五十五至百分之一百	6
七級坡	坡度超過百分之一百	7

資料來源：行政院農委會水土保持局；林洧全（2011）

圖 4-1-1 研究區坡度圖



## 2. 坡向

一般來說迎風面坡向發生山崩機率比背風面坡向較大。本研究以 ArcGIS 及 DEM 資料計算研究區每個網格內的坡向數值，如表 4-1-2 所示，並將其分為 6 個等級。研究範圍內坡向分布如圖 4-1-2 所示。

表 4-1-2 坡向等級分類編碼表（林洧全，2011）

方位	方位角度	編碼
平地	-	-1
北方	337.5°~22.5°	1
東北方	22.5°~67.5°	2
東方	67.5°~112.5°	3
東南方	112.5°~157.5°	4
南方	157.5°~202.5°	5
西南方	202.5°~247.5°	6
西方	247.5°~292.5°	7
西北方	292.5°~337.5°	8

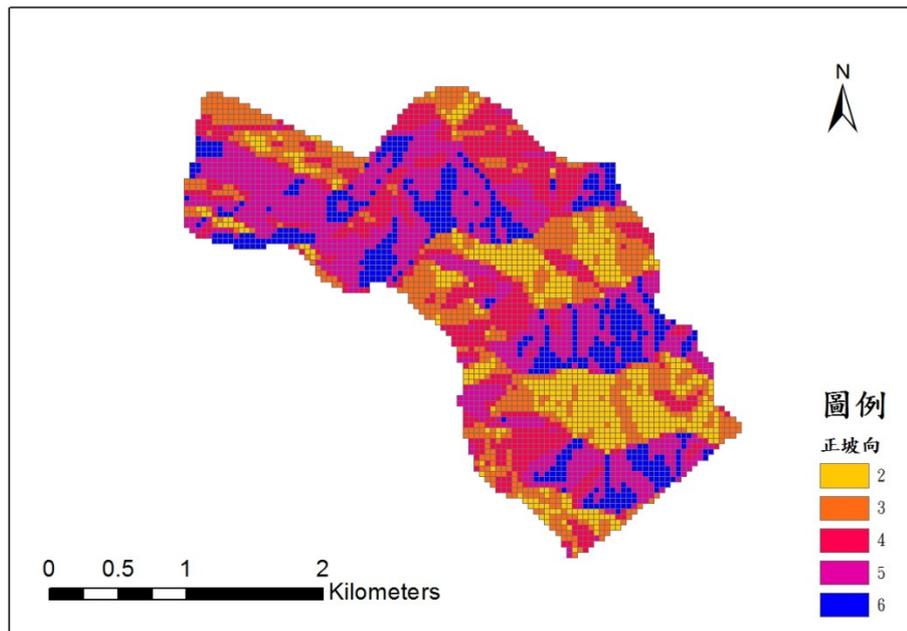


圖 4-1-2 研究區坡向圖

### 3. 高程

地形高度差異導致氣候不同。本研究透過 DEM 資料萃取研究區內高程。並透過 ArcGIS 計算網格內之平均高程值，如表 4-1-3 所示。本研究區範圍高程分佈如圖 4-1-3 所示。

表 4-1-3 高程等級分類編碼表 (林洧全, 2011)

高程數	編碼
350m 以下	1
350m~500m	2
500m~650m	3
650m~800m	4
800m~950m	5
950m~1100m	6
1100m 以上	7

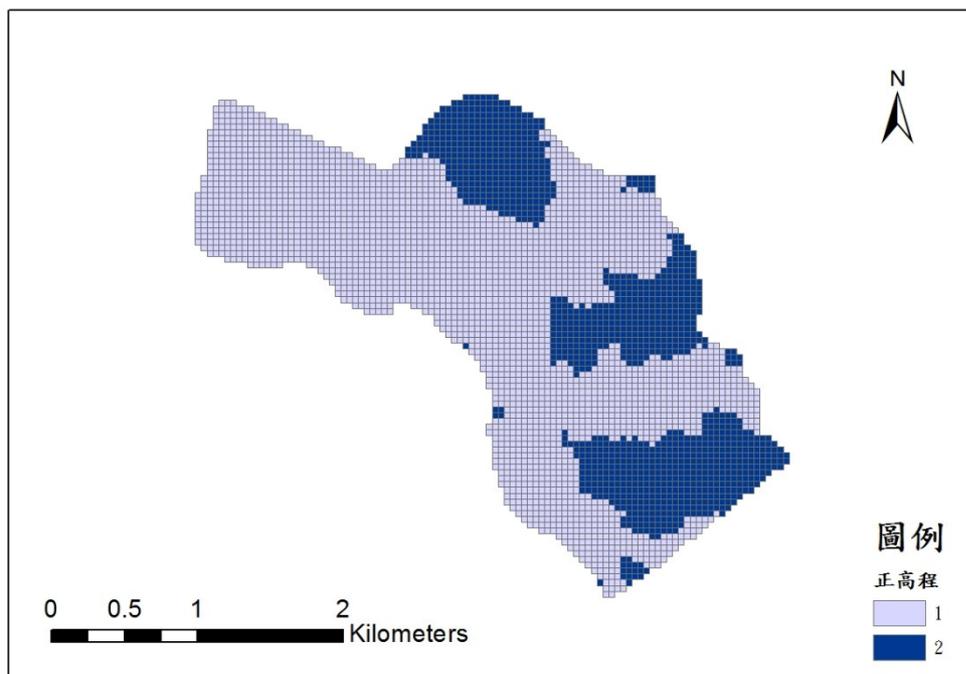


圖 4-1-3 研究區高程圖

#### 4. 距水系距離

由於河流本身即會帶來的土壤沖蝕和河岸侵蝕的影響，導致河岸邊坡的不穩定性，因此距水系距離對邊坡是否穩定有著很大影響。本研究利用 ArcGIS 的 Buffer 分析功能，計算本研究範圍中每個網格的距水系距離，將其分為七個等級，其中距水系距離最近之編碼設定最高，其次依據水系距離遠近依序排列如表 4-1-4 所示，本研究範圍之距水系分布如圖 4-1-4 所示。

表 4-1-4 距水系距離分類編碼表（林洧全，2011）

高程數	編碼
100m 以下	7
100m-300m	6
300m-500m	5
500m-700m	4
700m-1000m	3
1000m-1500m	2
1500mu 以上	1

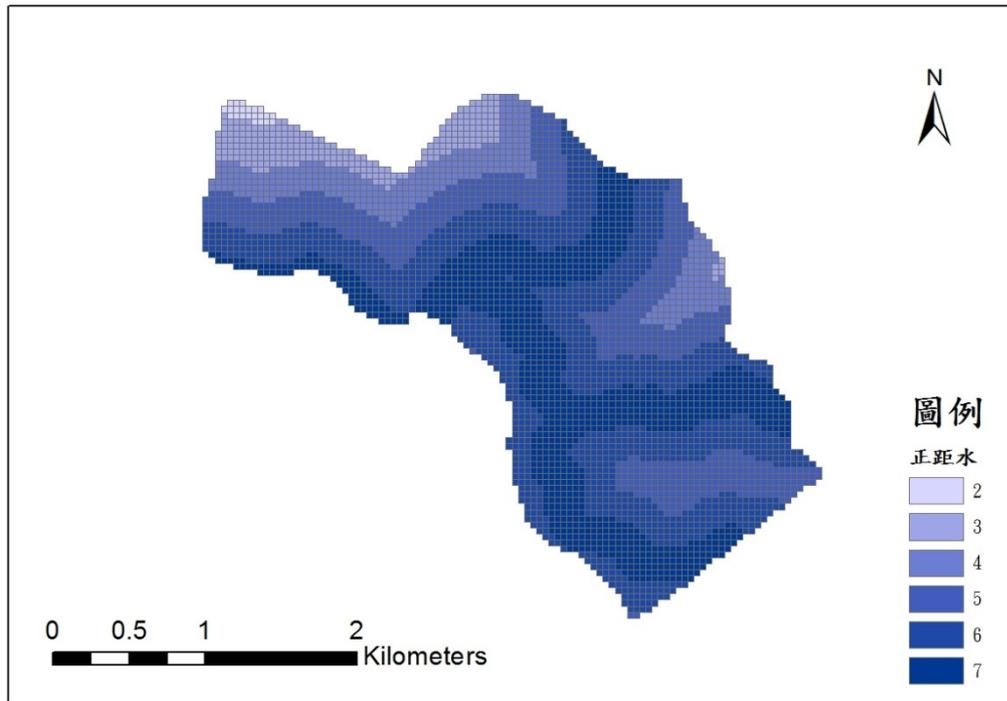


圖 4-1-4 研究區距水系距離圖

#### 5. 坡度粗糙度

坡度粗糙度是描述地區坡度的起伏程度，坡度粗糙度值越大，則表示該地區坡度變化越明顯，本研究利用 ArcGIS 之 Neighborhood Statistics 功能計算研究範圍內每個網格的坡度粗糙度，並將坡度粗糙度以統計方法之集群分析自動分級為 6 個等級，再將其編碼。本研究區範圍坡度粗糙度分布如圖 4-1-5 所示。

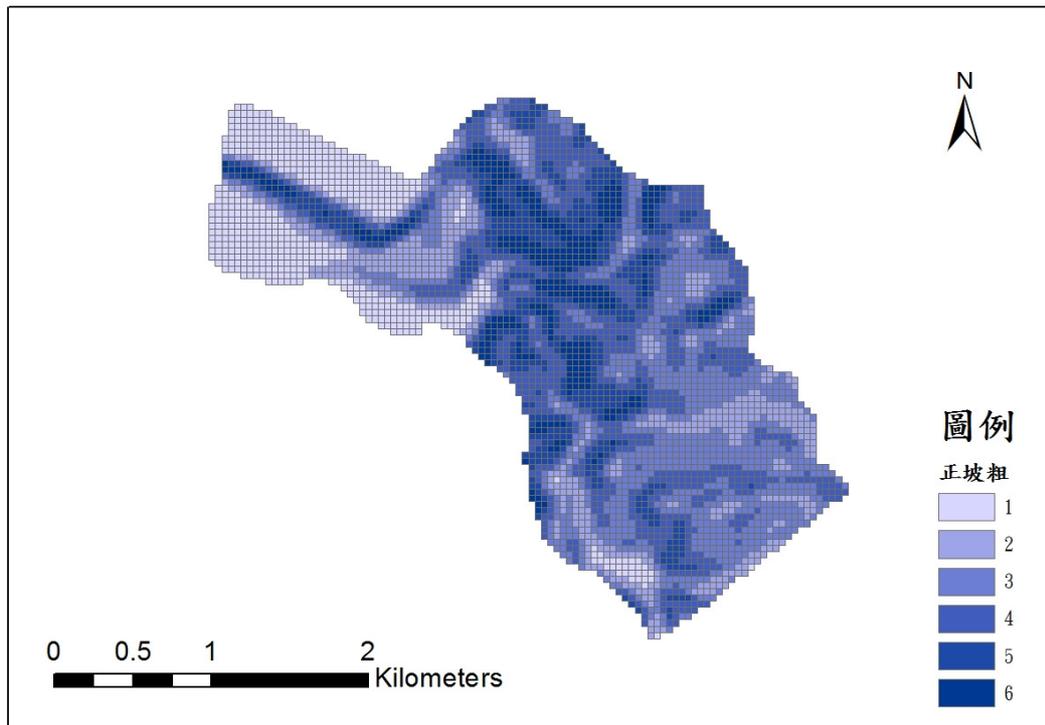


圖 4-1-5 研究區坡度粗糙度圖

## 6. 有效累積雨量

降雨是山崩災害影響因子中相當重要的元素，當期的降雨即可能成為觸發山崩之動力，而前期的降雨則成為山崩災害形成之潛在因素。

本研究參考前人之研究（曾炫學，2003），將前後 24 小時未發生降雨的一場集中降雨視為一連續降雨，而山崩災害發生時的連續降雨即「主雨場」（如圖 4-1-6）；「降雨開始」則定義其為主雨場中，第一個將雨量達 4mm 以上的時間點；山崩發生時的累積雨量則估算至「山崩發生時」的累積雨量。由於無法確實得到山崩發生的時間點，因此參考曾炫學（2003），將主雨場中最大降雨的時間點視為山崩發生的時間點。

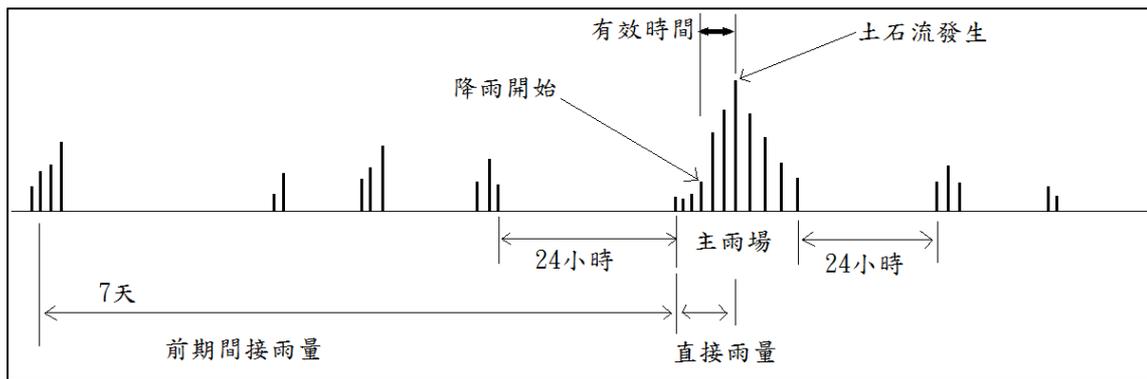


圖 4-1-6 雨場分割示意圖(曾炫學，2003)

除此之外，累積雨量又可分為「前期累積雨量( $P_b$ )」與「直接雨量( $P_r$ )」；而前期雨量定義為由主雨場往前推算 7 天的雨量（瀨尾克美、船崎昌繼，1973；陳盈秀，2010），其推算方式如下公式：

$$\sum_{n=1}^7 K^n P_n = P_b$$

其中， $P_n$  為主雨場前  $n$  日的降雨量 (mm)； $k$  為遞減係數，設定為 0.9。對於山崩而言，直接雨量該直接參與山崩災害的發生，其貢獻相當有效且直接。因此，有效累積雨量之推算公式為

$$EAR = P_r + P_b$$

其中， $P_r$  為主雨場第一個降雨量累積到山崩災害發生時之累積降雨量。

本研究採用經濟部水利署與交通部中央氣象局之時雨量資料，蒐集研究區歷經南瑪都颱風侵襲前後之測站資料。然而雨量資料無法以單一個雨量測站來推估整個研究區內之降雨量，故本研究以整個觸口村為範圍，搜尋觸口村附近內外之雨量測站，用以進行雨量推算。本研究所選擇之雨量測站整理。

根據中央氣象局對雨量分級之定義，其中大雨是指 24 小時累

積雨量達 50 毫米以上，且其中至少有 1 小時雨量達 15 毫米以上之降雨現象。豪雨分為三個等級，豪雨為 24 小時累積雨量達 130 毫米以上之降雨現象、24 小時累積雨量達 200 毫米以上稱之為大豪雨及 24 小時累積雨量達 350 毫米以上稱之為超大豪雨。本研究參考何宇麗（2014）對有效累積雨量進行編碼，加以修訂，如表 4-1-5 所示。研究區之有效累積雨量如圖 4-1-7 所示。

表 4-1-5 有效累積雨量編碼表（何宇麗，2014）

高程數	編碼
130mm 以下	1
130mm~200mm	2
200mm~350mm	3
350mm~550mm	4
550mm~750mm	5
750mm~950mm	6
950mm 以上	7

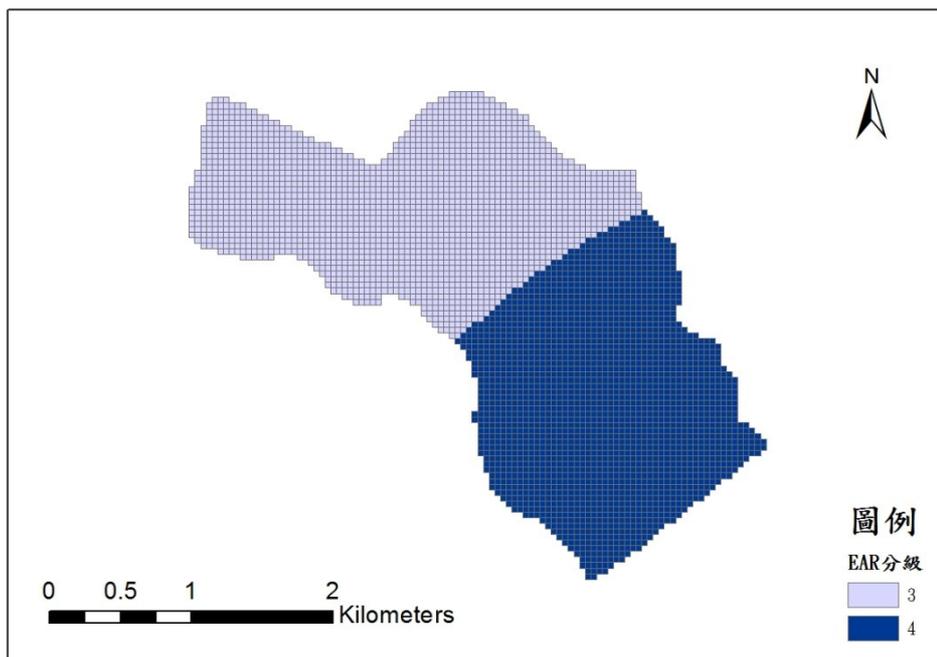


圖 4-1-7 研究區有效累積雨量圖

## 7. 坡地擾動因子

因時間的不同會造成坡地擾動情形有所改變，因此本研究透過基因演算自動演化類神經網路技術判釋分類衛星影像，以求得不同時間段的坡地擾動情形，以下針對衛星影像分類步驟進行說明：

### (1) 衛星影像前處理

本研究購置 FM2 影像為未融合多光譜影像，因檔案為各個光譜的波段，首先須利用 ERDAS IMAGINE (2013) 內建之 Import Generic Binary Data 功能，將衛星影像光譜進行定位；定位後，可選取研究範圍區塊，進行影像裁切。本研究利用 ArcGIS 之 Editor 功能，以人工數化之方式，將研究區域之部分進行圈繪，再以 ERDAS IMAGINE 之功能將該處以外部分予以剔除。研究範圍裁切結果如圖 4-1-8 所示。



圖 4-1-8 研究區範圍衛星影像圖

本研究利用 ArcGIS 進行影像中每個像元的光譜波段值之擷取，並將光譜波段值予以標準化，以利後續影像判釋分類之用。標準化公式如下：

$$S = \frac{x - mean}{std}$$

其中， $x$  為欲進行標準化數值； $mean$  為光譜波段之平均數； $std$  為光譜波段之標準差。

## (2) 坡地擾動之判釋因子選定

依據前人研究，不當的人為使用山坡地可分為改變地形、剷除植被及建築社區工廠等三大類。本研究選定相關坡地擾動之判釋因子加上水域共 8 類，其中包含綠覆（含森

林及草地)、果樹、檳榔、道路、建物、水域及裸露地等。本研究依據因子之重要性及合理取得兩項原則，並參考 Chen et al. (2009) 之方式，以綠覆率(含草地、森林)、果樹密度、檳榔密度、裸露地密度、建物密度、道路密度等 6 項因子作為影響研究區山崩發生可能性之坡地擾動因子。

### (3) 樣區圈繪與訓練

在圈繪訓練樣區時，先將衛星影像透過 GIS 平台，對各判釋因子以人工方式進行樣區數化圈繪，必要時再配合國土測繪圖資網路服務系統所提供之正射影像進行交叉比對。本研究樣區判釋訓練則是運用 Matlab 平台所撰寫之基因演算法自動演化類神經網路(GANN)模組(Chen et al., 2009,2010)。以 GANN 模組訓練各判釋因子時，將各因子訓練樣區的四個光譜波段作為 GANN 的輸入層。其中 GANN 程式的相關參數設定，係參考倪柏寧(2010)之參數設定作法，並加以修訂。本研究於 GANN 網路訓練時，設定隱藏層數、神經元數、學習速率及學習次數之上限分別為 2、32、3.2 及 5000。研究區經南瑪都颱風侵襲前後之衛星影像，經訓練後之最佳架構，如表 4-1-6 所示。

表 4-1-6 影像判釋訓練架構參數及訓練結果表

衛星影像日期	隱藏層數	第一層隱藏層神經元數	第二層隱藏層神經元數	學習速率	學習次數	正確率
2011/06/09 (南瑪都颱風前)	2	25	27	1.2	100	86.7%
2011/06/09 (南瑪都颱風前)	2	18	20	1.5	500	99.0%
2011/06/09 (南瑪都颱風前)	2	14	13	2.7	1000	100.0%
2011/11/30 (南瑪都颱風後)	2	26	0	0.9	100	66.7%
2011/11/30 (南瑪都颱風後)	2	18	18	2.1	500	93.1%
2011/11/30 (南瑪都颱風後)	2	25	27	1	1000	95.4%

(4) 衛星影像判釋分類結果

經 GANN 訓練得到網路最佳架構後。再將最佳架構降型衛星影像全圖之分類，判釋分類結果如圖 4-1-9、4-1-10

所示。圖之判釋結果，係以研究範圍歷經南瑪都颱風侵襲前後之影像為例。

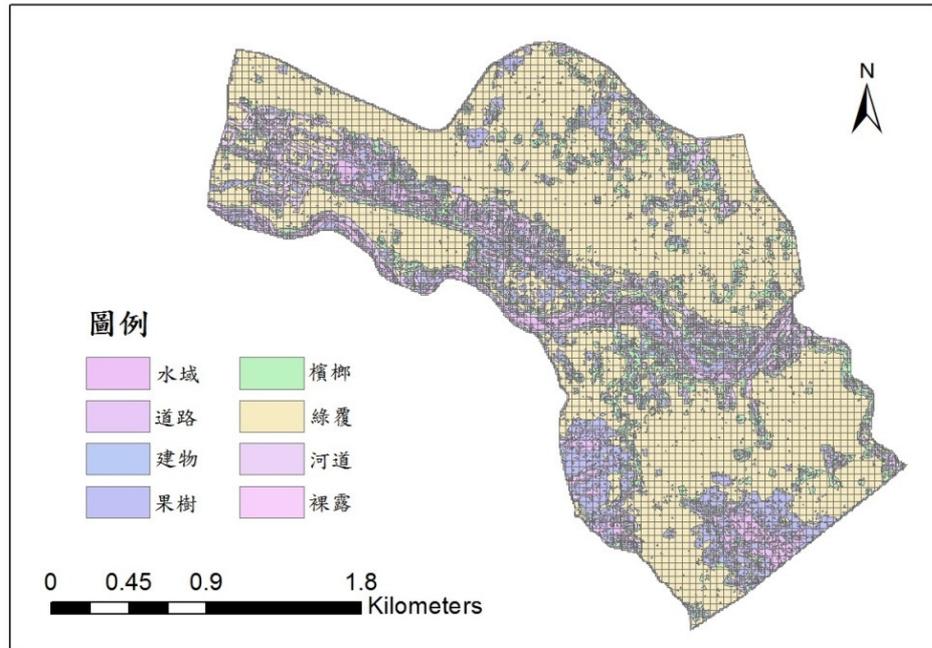


圖 4-1-9 2011/06/09 衛星影像判釋結果圖

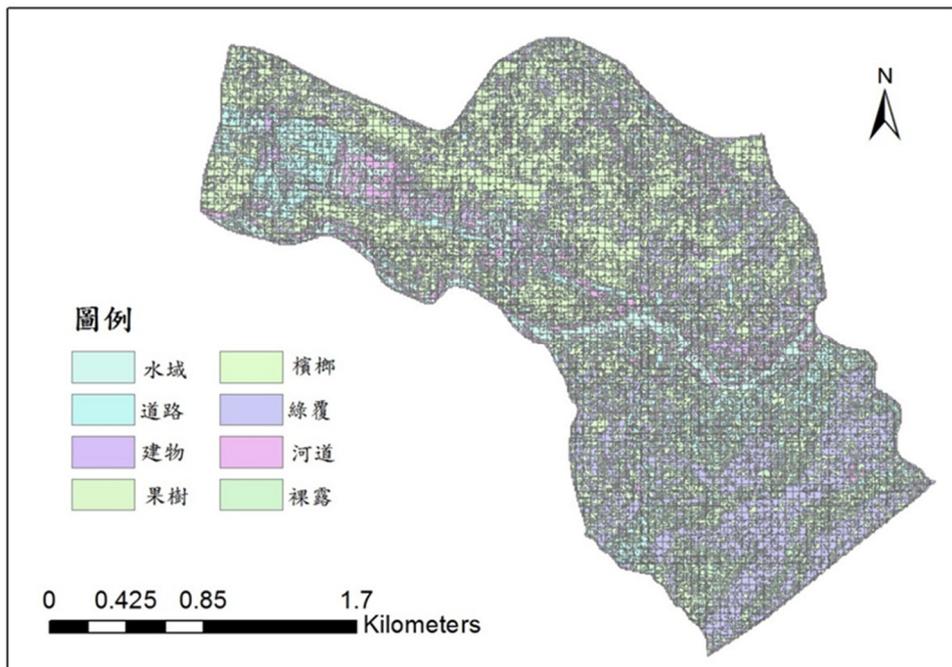


圖 4-1-10 2011/11/30 衛星影像判釋結果圖

(5) 影像判釋結果檢驗

為確認判釋結果之精確性，本研究針對各因子之判釋結果，於衛星影像上隨機對各判釋因子分別選取 25 個點位做為驗證檢核點，並以研究範圍之正射影像圖或現地調查資料作為輔助進行比對；再利用前述之精確度評估方法，推估影像判釋之精確程度。南瑪都颱風侵襲前後，其相關衛星影像判釋誤差矩陣及精確度評估結果如表 4-1-7、4-1-8 所示。

表 4-1-7 2011/06/09 衛星影像誤差矩陣及精確度評估結果統計表

	水域	道路	建物	果樹	檳榔	綠覆	河道	裸露	小計	使用者 精度	過估誤 差
水域	10	2	0	1	1	0	0	4	18	55.56	44.44
道路	2	18	0	0	1	0	2	0	23	78.26	21.74
建物	5	1	23	7	6	0	10	9	61	37.7	62.3
果樹	0	0	0	10	0	0	0	0	10	100	0
檳榔	0	0	0	0	9	0	0	0	9		
綠覆	0	0	2	1	4	25	3	2	37	67.57	32.43
河道	0	4	0	0	2	0	9	4	19	47.37	52.63
裸露	8	0	0	6	2	0	1	6	23	26.09	73.91
小計	25	25	25	25	25	25	25	25	200		
生產者精 度	40	72	92	40	36	100	36	24			0.51
漏估誤差	60	28	8	60	64	0	64	76		0.18	0.4

表 4-1-8 2011/11/30 衛星影像誤差矩陣及精確度評估結果統計表

	水域	道路	建物	果樹	檳榔	綠覆	河道	裸露	小計	使用者 精度	過估誤 差
水域	12	0	4	0	0	0	0	2	18	66.67	33.33
道路	1	19	0	2	0	1	1	2	26	73.08	26.92
建物	11	1	13	2	0	0	5	1	33	39.39	60.61
果樹	0	0	0	12	0	0	2	5	19	63.16	36.84
檳榔	0	0	0	0	13	0	0	0	13		
綠覆	1	1	6	9	9	24	2	4	56	42.86	57.14
河道	0	3	1	0	3	0	15	1	23	65.22	34.78
裸露	0	1	0	0	0	0	0	10	11	90.91	9.09
小計	25	25	24	25	25	25	25	25	199		
生產者精 度	48	76	54.17	48	52	96	60	40			0.53
漏估誤差	52	24	45.83	52	48	4	40	60		0.16	0.44

本研究共判釋 2 幅衛星影像，判釋結果之 Kappa 指標及整體精度彙整如表。以研究區範圍整體統計，2 幅衛星影像判釋結果之 Kappa 指標均達 0.4 以上，平均約為；表示判釋分類結果為中精確程度。

經衛星影像之判釋精確度評估後，利用 ArcGIS 將研究區域之衛星影像判釋結果寫入網格中，並計算每個網格中，個坡地擾動因子所佔之比例。各因子量化指標基本定義如下表 4-1-9 所示。

表 4-1-9 坡地擾動因子量化指標定義一覽表

坡地擾動因子	量化指標定義
綠覆率	植被(包含森林、草地)在網格面積內所佔之面積百分率
裸露地密度	裸露地在網格面積內所佔之面積百分率
建物密度	建物在網格面積內所佔之面積百分率
道路密度	道路在網格面積內所佔之面積百分率
經濟作物密度	農田、果樹在網格面積內所佔之面積百分率

本研究所考量之坡地擾動情形係以坡地擾動程度（Degree of Land Disturbance, DLD）作為依據。網格內之坡地擾動程度（Chen et al., 2009）可定義為式：

$$DLD = \frac{DC}{EC}$$

其中 DC（Disturbance Condition）為坡地擾動情形，即於網格中存在的地表擾動類型，EC（Environment Condition）為坡地自然條件。因此，坡地擾動指標（Index for DLD,  $I_{DLD}$ ）可定義為（Chen et al., 2009）：

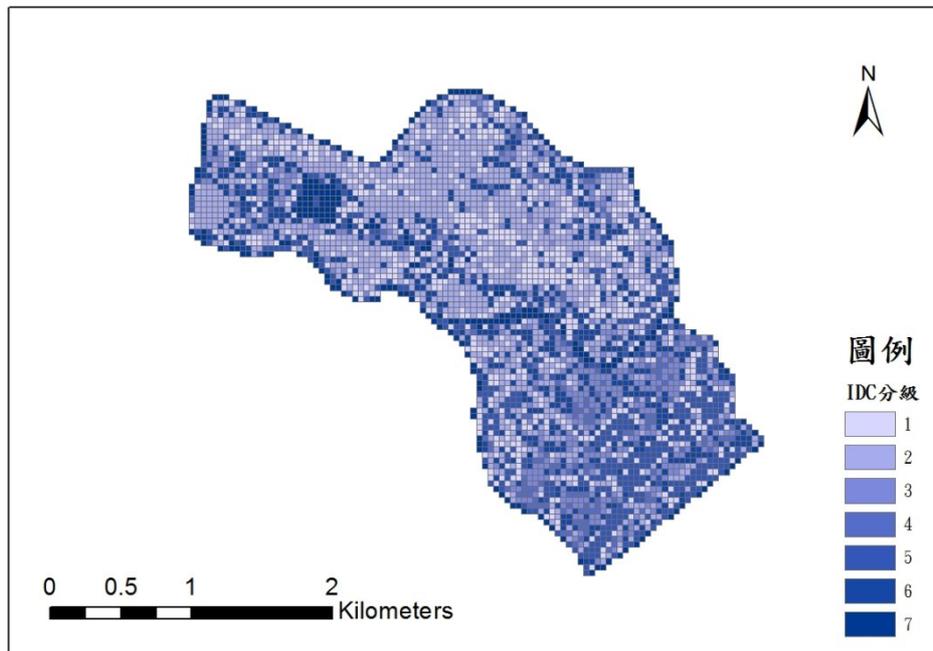
$$I_{DLD} = \frac{\sum G_{DC} \times R}{G_{EC}}$$

其中， $G_{DC}$  (Grading of DC) 為各網格中坡地擾動因子之評分值 (表)， $G_{EC}$  (Grading of EC) 為各網格中坡地自然條件之評分值 (表)， $R$  為各坡地擾動因子於網格中所占面積之比例。

但由於式中是將坡地擾動因素與自然條件因素一併考量，惟本研究將坡地擾動情形與自然環境因素分別考量；因此參考倪柏寧 (2010) 之作法，將式修改為：

$$I_{DC} = \sum G_{DC} \times R$$

本研究將坡地擾動因素，透過 SPSS 以統計方法之集群分析，



分為 7 個等級進行編碼。本研究範圍坡地擾動情況如圖 4-1-11 所示。

圖 4-1-11 坡地擾動分布圖

## 4.2 因子相關性檢定

本研究之主要目的為建置一套山崩災害損失評估模式以評估本研範圍在災害發生時之災害環境災害損失價值，其中模式內評估「災害發生機率」之因子，是選用「高程」、「坡度」、「坡向」、「距水系距離」、「坡度粗糙度」、「有效累積雨量」及「坡地利用」7項因子，作為建置山崩災害潛感模式之因子。

本研究以 SPSS 統計軟體中的 Pearson 相關性檢定工具，進行因子之相關性檢定；輸入各影響因子後，產生之相關係數變化範圍會介於-1 與+1 之間，若相關係數趨近於+1 時，則表示兩變數為完全正相關；而趨近於-1 時，兩變數則為完全負相關，但在一般情況下，完全相關甚少出現；又若其值為 0 時，則代表兩變數間可視為無相關性存在（林震岩，2007）。

## 4.3 山崩潛勢評估模式建置

本研究運用前最佳數值搜尋法，透過 MATLAB 開發程式模組，建立山崩潛勢評估模式。

本研究參考 Chen et al. (2003)，定義山崩潛勢指標 Index of phenomenon，如 4-3-1 式所示。

$$IP = \sum_{j=1}^n C_j P(F_j)$$

其中j代表影響因子個數， $P(F_j)$ 代表影響山崩潛勢之各因子值域， $C_j$ 為所需計算之係數。令 $IP_{SD}$ 為山崩發生之門檻值，且 $IP_{SD}$ 為山崩發生與否之判定指數，其定義為：

當  $IP \geq IP_{SD}$  時發生山崩；且 $I_{SD} = 1$ 。

當  $IP < IP_{SD}$  時未發生山崩；且 $I_{SD} = 0$ 。

令 $(IP_{SD})_{site}$ 為現地實際山崩發生與否的判定指數，當現地有發生山崩時 $(IP_{SD})_{site} = 1$ ，未發生山崩時 $(IP_{SD})_{site} = 0$ ，則建立目標函數  $g$  如式所示。

$$g = \sum_{n=1}^k |I_{SD} - (I_{SD})_{site}|$$

其中  $k$  為資料筆數，本研究以最佳數值搜尋法，執行最佳化之演算，及求取最小  $g$  值。亦即以最佳數值搜尋原理來搜尋最佳係數，達到目標函數最小值。

本研究將研究範圍內之資料合併評估後，運用最佳數值搜尋法之黃金切割搜尋原理，得以下關係式：

$$IP = 5 \times EAR + 5.7296 \times IDC + 1.9096 \times S_r + 3.9917 \times D_r \\ + 1.9096 \times S_s + 6.4591 \times E_r + 5 \times A_s$$

其中所推導出最佳係數大小依序為高程 ( $E_r$ )、坡地擾動程度

( $IDC$ )、有效累積雨量 ( $EAR$ )、坡向 ( $A_s$ )、距水系距離 ( $D_r$ )、

坡度 ( $S_s$ )、坡度粗糙度 ( $S_r$ )。而山崩發生之門檻值為 111.1822，

其評估成功率約 0.8。

#### 4.4 災害潛勢機率之計算

本研究藉由多元線性迴歸，找出應變數與其他自變數間的數量關係，進而建立數學模式，並預測其他不同的自變數所產生之結果。已崩塌與否作為應變數，坡度、坡向、開發程度、坡度粗糙度、雨量、距水系距離與高程作為自變數，運用 SPSS 計算出關係式。關係式如下：

$$Y = -0.174 - 2.476X_1 - 1.773X_2 + 1.400X_3 + 0.001X_4 - 5.219X_5 + 4.666X_6 - 0.001X_7$$

其中， $X_1$  = 坡度、 $X_2$  = 坡向、 $X_3$  = 高程、 $X_4$  = EAR、 $X_5$  = 坡度粗糙度、 $X_6$  = 距水系距離、 $X_7$  = IDC

藉由多元線性迴歸計算出研究區內之災害發生潛勢數值，為了能與災害損失金額（英文代碼）相互配合與方便計算，故本研究將災害潛勢機率以標準化公式令其值介於 0 至 1 之間。

$$Y' = \frac{Y - Y_{min}}{Y_{max} - Y_{min}}$$

依標準化公式推算後，結果顯示其值介於 0~1 間。

## 4.5 災害損失推估

災害損失是指恢復至災前狀態所需之金額，然而所謂損失，包括實際上的財產損失及無形損失。

於本研究中所稱之災害損失，分為直接損失及間接損失。直接損失為山崩後第一時間造成的損失，如人命傷亡、建物毀損、經濟作物損失及道路水利設施損壞等。而直接損失雖是第一時間反應山崩規模大小的重要參考指標，但在災後復原部分，間接損失的評估是相當重要的，然而間接損失涵蓋層面相當廣泛，且有許多不確定因素，因此本研究主要以地上物的間接損失及交通水利的間接損失為主要討論方向。

本研究之直接損失針對建物、經濟作物及交通水利設施進行損失金額計算，計算方法如以 4-5-1 下公式（李欣輯等，2014）：  
建物直接損失計算：

$$BL = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \alpha_i [BC_{ij} \times BLA_{ij}]$$

其中，BL 為建物損失（元）， $BC_{ij}$  則為建築成本（元/平方公尺）， $BLA_{ij}$  是建物受影響面積（平方公尺）， $\alpha_i$  為修正係數，i 與 j 分別為縣市及建物類別。

經濟作物直接損失計算：

$$CL = \sum_i^N \alpha_i [CPA_i \times CLA_i]$$

其中，CL 為經濟作物損失（元）， $CPA_i$  則為單位面積經濟作物價值（元/平方公尺）， $CLA_i$  是經濟作物受影響面積（平方公尺）， $\alpha_i$  為修正係數，i 為經濟作物類別。

交通水利設施直接損失計算：

$$THL = \sum_{i=1}^N \alpha_i [SUC_i \times SLN_i]$$

其中，THL 為交通水利設施損失（元）， $SUC_i$  則為結構物單位成本（元/公尺或元/平方公尺）， $SLN_i$  是結構物受損單位（公尺或平方公尺）， $\alpha_i$  為修正係數， $i$  為結構物類別。

表 4-5-1 嘉義縣一般房屋標準單價表（單位：元/平方公尺）

構造	鋼骨造鋼骨混凝土造、鋼骨鋼筋混凝土造	筋混凝土造、預鑄混凝土造	加強磚造	木、石、磚造	土、竹造
樓層/用途	住宅、店鋪	住宅、店鋪	住宅、店鋪	各種用途	各種用途
1	2750	2400	2000	1000	500
2	2850	2500	2100	1100	600
3	2950	2600	2200	1200	
4	3050	2700	2300		

資料來源：嘉義縣財政稅務局

各種建築物的價值只要對照上述資料表格，即可求得各類建物每平方公尺造價，然後再乘以建物各種樓層的面積，加總後就可求出建物總價值。

果樹（牛心柿）直接損失計算：

$$CL = \sum_i^N [CPA_i \times CLA_i]$$

其中，CL 為果樹（牛心柿）損失（元）， $CPA_i$  則為單位面積果樹

（牛心柿）價值（元/平方公尺）， $CLA_i$  是果樹（牛心柿）受影響面

積（平方公尺）， $i$  為果樹（牛心柿）類別。

4-5-2 式中果樹（牛心柿）價值計算方面，本研究為根據農糧署之統計 2011 年果樹（牛心柿）生產面積、產量及農糧署統計室農產品價格查詢系統之交易市場價格來計算每平方公尺之果樹（牛心柿）損失。

道路直接損失計算：

$$THL = \sum_{i=1}^N [SUAC_i \times SLN_i]$$

其中， $THL$  為道路損失（元）， $SUAC_i$  則為結構物單位成本（元/公尺或元/平方公尺）， $SLN_i$  是結構物受損單位（公尺或平方公尺）， $i$  為結構物類別。

本研究之道路損失根據嘉義縣政府公布之道路修復施工費用進行推算。本研究之道路損失根據嘉義縣政府公布之道路修復施工費用進行推算。

## 4.6 災害損失風險評估

本研究建立之災害損失評估模式，如下式

$$DD = P(D) \times C(D)$$

DD：災害損失 (Damage of Disaster)

P (D)：災害潛勢機率 (Propability of Disaster Potential)

C (D)：損失價值 (Cost of Damage)

本研究針對損失價值之估算，係依據現地調查資料，即前述之災損因子計算標準，以每 40 平方公尺為單位，進行災害損失價格之推估。本研究教務災損因子之價值，係依據前述表之房屋標準單價，配合現地調查之建物類型推算；果樹災損因子價值之推算，係以農委會公告每單位面積之果樹價值估算；水利工程災損價值之推算，係以行政院工程委員會在莫拉克颱風災後重建工程之標案資料中，所核定之費用標準。本研究另配合災害損失機率圖，運用 GIS 平台，以 40×40 公尺之網格推算研究區內各網格之災害潛勢機率 P (D)，再配合現地調查之相對應網格內各災損因子種類之損失價值 C (D) 後，即可依表 4-6-1 式推算研究區內各網格之災害損失 DD。

表 4-6-1 現地災損因子價值統計一覽表

種類	面積 (平方公尺)	災損因子價值 (元)
建物	295,510	650,122,508
道路	778,728	428,300,445
果樹	1,448,849	40,006,362
災損因子總價值 (元)	1,118,429,315	

本研究經現地調查推算後，現地災損因子價值如上表 4-6-1 所示，依 4-6-1 式推算研究範圍內各網格之災害損失 DD，推估結果如圖 4-6-1 所示。

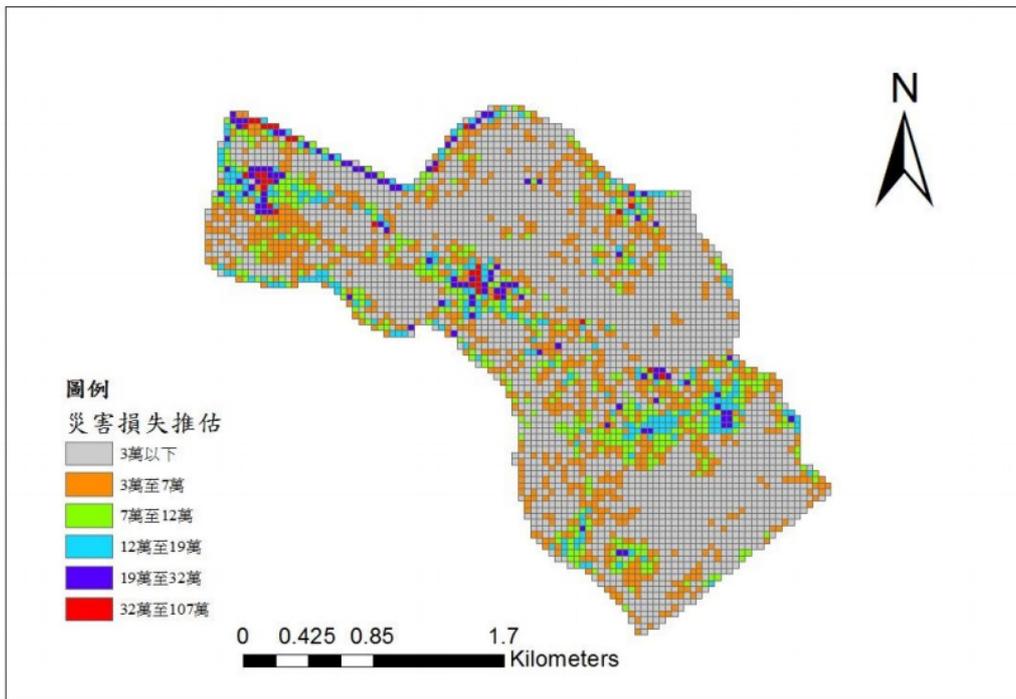


圖 4-6-1 災害損失推估結果圖

本研究將現地調查所拍攝之照片套疊至災害損失推估圖 (圖 4-

6-1)；圖中顯示紅色部分 32 萬至 105 萬處為建物集中處，而研究範圍中可看出災害損失大都分布在 7 萬以下。

## 第五章 結論與建議

### 5.1 結論

本研究運用最佳數值搜尋法 (OSM)、基因演算自動演化類神經網路 (GANN)、多元線性迴歸分析 (MLR) 與地理資訊系統 (GIS)，配合現地調查地上物價值，建置一套以經濟產物為主之山崩災害損失評估模式與流程，可歸納出以下幾點結論：

1. 本研究所採用之山崩災害潛勢因子 (包括「高程」、「坡度」、「坡向」、「坡度粗糙度」、「距水系距離」、「有效累積雨量」及「坡地利用」等 7 項影響因子，經相關性檢定後，個因子間大部分呈現低度相關。
2. 本研究以 GANN 模組應用於高解析度衛星影像之判釋分類，配合影像相減法以獲取地表資訊，並推估影響山崩災害潛勢之「坡地利用」因子。判釋結果以一致性指標 Kappa 作為評量依據，結果顯示 GANN 之 Kappa 值最高為 0.44，其分類結果達中精確度。且為檢視 GANN 所設定是否產生過度學習 (Overlearning) 問題，故採 7:3 方式擇取 GANN 訓練組及驗證組之樣本，以誤差均方來檢視是否過度訓練及作為尋找網路最佳架構，依據其模式之推估結果精確性達到 99%。
3. 運用 GIS 繪製研究範圍山崩災害潛勢圖，得知研究範圍內災害潛勢機率較高地區多集中於建物密集區。
4. 本研究建置之山崩災害損失評估模式，係以運用多元線性迴歸分析所推算之山崩災害發生機率，並配合現地調查地上物價值，估算災害損失，可應用於災前之防災工作，推估未來某一規模之山崩發生時，可能造成的各項損失值，當政府相關單位要進行未來山崩災害防治工程時，可依據本研究分析結果，設定合乎經濟效益的整治方案。透過事先之災損評估，可得知山崩災害發生後可能造成之損失。

## 5.2 建議

本研究於災害損失評估模式建置過程中，尚有下列事項可供後續研究加以探討及改進：

1. 本研究之山崩災害潛勢因子乃採用「高程」、「坡度」、「坡向」、「坡度粗糙度」、「距水系距離」、「有效累積雨量」及「坡地利用」等 7 項影響因子，建議未來可考量進行因子增減以改善評估模式。
2. 本研究建置之山崩災害損失評估模式，雖結合災害發生機率與現地調查資料，但建築物尚未考量其折舊因素，未來若能考量折舊因素，於災害損失推估上或許能得到較精確之損失金額，使模式更加完善，更具準確性。

## 參考文獻

- Heng, L., Cao, J.N. and LOVE, P.E.D (1999) . “Using Machine Learning and GA to Solve Time-Cost Trade-Off Problem,” *Journal of Construction Engineering and Management*,125 (5) ,pp.347-353.
- Kim, K.J., & Han, I. (2000) ,“Risk Assessment of environmental Hazard,” New York : John Wiley & Sons.
- Verbyla, D.L. (1995) . “Satellite Remote Sensing of Natural Resources,” New York : CRC Press.
- 王素芬、余佳樺、劉雅婷 (2014)。衛星影像前處理對植生變遷偵測影響之探討。地理學報，75，81-99。
- 何宇麗 (2014)，降雨誘發山崩潛勢與崩塌分佈之研究，長榮大學土地管理與開發研究所碩士論文，台南。
- 李欣輯、楊惠萱 (2011)。坡地災害家戶損失模型之建立與應用。中國土木水利工程學刊，23 (4)，437-444。
- 李欣輯、楊惠萱 (2012)。坡地災害社會脆弱度指標評估與應用。都市與計劃，39 (4)，375-406。
- 林文賜、黃碧慧 (2013)。應用 SOM 模式於九九峰震災崩塌地萃取之研究。水土技術，8 (4)，174-178。
- 林妙雀、鄺芃羽 (2004)。影響消費者對零售通路商店形象因素之

研究—以基因演算法最佳化類神經網路模式加以驗證。運籌研究集刊，6，80-97。

林洧全（2012），衛星影像判釋技術應用於山崩潛勢分析及風險評估模式建置之研究，長榮大學土地管理與開發研究所碩士論文，台南。

林恩如、劉正千、張智華、鄭依凡、柯明勳（2013）。

林梅惠（2011）。利用遙感技術復核災毀耕地面積的試驗研究。2011年05月11日，取自 [http:](http://big5.mlr.gov.cn/zljc/201105/t20110511_864249.htm)

[//big5.mlr.gov.cn/zljc/201105/t20110511\\_864249.htm](http://big5.mlr.gov.cn/zljc/201105/t20110511_864249.htm)

洪政耀、林雪美（2014）。區域災害系統評估坡地災害風險程度以臺東縣海端鄉為例。地理學報，75，29-56。

倪伯寧（2010），土砂災害潛勢區風險評估模式之建置，長榮大學土地管理與開發研究所碩士論文，台南。

徐逸祥、朱子豪（2013）。光學式衛星影像雲層處理之研究。航測及遙測學刊，17（2），115-134。

張斐章、張麗秋（2005），類神經網路，初版，台北，東華。

張學聖、廖晉賢（2014）。複合性災害評估架構研究：莫拉克風災為例。都市與計劃，41（3），305-327。

梁恒瑜 (2005)，模糊理論與基因演算法運用於液化潛勢微分區之研究，長榮大學土地管理與開發研究所碩士論文，台南。

許強、董秀軍、劉漢香 (2011)。強降雨誘發深層岩質滑坡的典型模式與發生機制。中華水土保持學報，42 (4)，291-302。

陳怡睿、林洧全、謝舜傑 (2011)。坡地利用影響山崩潛勢之評估模式建置—以寶來地區歷經莫拉克颱風為例。中華水土保持學報，42 (3)，251-262。

陳盈秀 (2010)，基因演算法自動演化類神經網路應用於衛星影像判釋與土砂災害評估模式之建置，長榮大學土地管理與開發研究所碩士論文，台南。

曾炫學 (2003)，土石流發生臨界曲線之研究-模糊集合即類神經網路，國立台灣大學土木工程研究所碩士論文，台北。

游佳靜 (2015)，最佳數值搜尋原理應用於降雨誘發之山崩潛勢評估，長榮大學土地管理與開發研究所碩士論文，台南。

買婉如 (2012)，降雨誘發土砂災害損失評估模式之建置，長榮大學土地管理與開發研究所碩士論文，台南。

楊龍士、雷祖強、周天穎 (2006)，遙感探測理論與實務分析，初版，台北，文魁資訊。

經濟部水利署。2015 年 5 月 16 日，取自 <http://sspw.wra.gov.tw/ct.asp?xItem=45206&ctNode=6944&comefrom=lp>。

萬絢、雷祖強、王文宜、王傑民 (2012)。以衛星影像區域物件化分類法參數優化法在萬大水庫崩塌地影像之實證。水保技術，7 (2)，66-73。

葉怡成 (2002)，類神經網路模式應用與實作，七版，台北，儒林。

劉哲欣、吳亭燁、陳聯光、林聖琪、林又青、陳樹群 (2011)。臺灣地區重大岩體滑動案例之土方量分析。中華水土保持學報，42 (2)，150-159。

劉哲欣、吳亭燁、陳聯光、林聖琪、林又青、陳樹群等 (2011)。

臺灣地區重大岩體滑動案例之土方量分析。中華水土保持學報，42 (2)，150-159。

鍾明劍、譚志豪、冀樹勇 (2011)。

不同尺度分析模式於崩塌潛勢評估之整合應用—以莫拉克颱風事件為例。中興工程季刊，111，47-59。

魏曉萍、李欣輯、葉克家、楊昇學、劉俊志 (2014)。極端颱風事件流量模擬之災害衝擊風險分析。農業工程學報，60 (1)。

羅華強 (2001), 類神經網路—*MATLAB* 的應用, 初版, 新竹, 清  
蔚科技。

蘇木春、張孝德 (2004), 機器學習：類神經網路、模糊系統以及  
基因演算法三版, 台北, 全華。

顧承宇等 (2012)。氣候變遷下極端降雨引致廣域坡地災害評估技  
術之研究。中華水土保持學報, 43 (1), 75-84。