

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高級中等學校組 地球與行星科學科

最佳(鄉土)教材獎

051906

預測山崩否？以我們的故鄉九份為例

學校名稱：新北市私立時雨高級中學

作者：	指導老師：
高二 鄭貽心	葛滿龍
高二 張季晴	李惠美
高二 林欣蓉	

關鍵詞：山崩、羅吉斯迴歸分析

摘 要

九份地區是個依山面海的山城，地形陡峭、雨量豐沛，人為開發過度，是屬於山崩高危險群地區。每遇豪雨，常使九份發生部分山崩，引發居民恐懼與不安；但若我們事先知道多少雨量的豪雨可能會造成山崩，事前做好預防，不但可以減輕災害，亦可緩減居民的恐懼與不安。本研究利用兩年的野外實察，找出九份山崩地點的坡度、坡向、地質構造、人為開發等因子，建立起九份地區的山崩目錄，據以推測九份聚落潛在之山崩危險地帶及其模型；並運用 Excel 的羅吉斯回歸分析得到其山崩比方程式，推測當地雨量每增加 10mm，其山崩比增加 10.29 倍；且雨量累積至 67.5mm，就可能有部分山崩的危險機率；若每日雨量累積至 234mm，則發生部分山崩的機率幾乎是 100%。

壹、研究動機

2016年馬勒卡颱風為東北角帶來間歇性風雨，致使連接瑞芳到九份的一〇二縣道19.6公里處，發生山壁土石崩落（自由時報，2016）。這是九份地區無數次山崩的其中一次，所幸無人傷亡，但若等到有重大傷亡，我們再去究責，那樣就太晚了。

區域性山崩通常是由多種複合變數因子所造成（工研院，2000），例如：地形、地質及水文因子等，因此，預測相當的困難，本研究嘗試透過文獻探討、野外調查、降雨量的蒐集以及羅吉斯迴歸(logistic regression)分析，以推測未來可能的山崩地區、雨量計量及其可能的機制模式，藉此引發相關單位的重視。

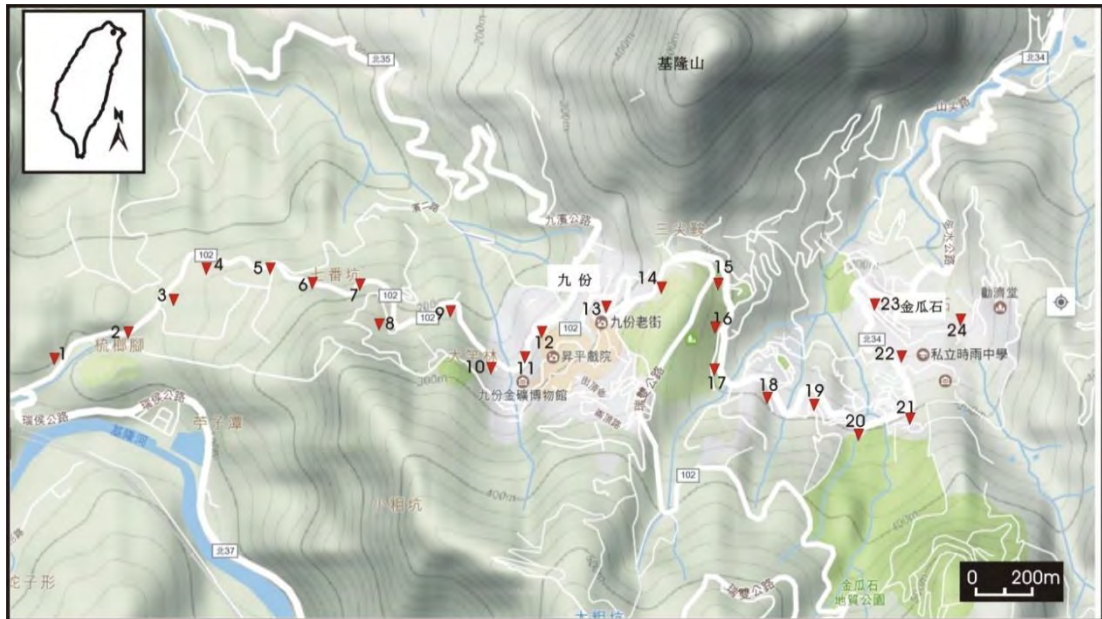
貳、研究目的

- 一、探討九份地區潛在危險的山崩因子與發生山崩的機制。
- 二、提出九份地區可能發生潛在危險的山崩災害的模型及地區。
- 三、推測九份地區未來可能引起山崩的雨量。

參、研究過程與方法

一、研究區域概述：

九份地區隸屬新北市瑞芳區，北接基隆山與東海，西臨瑞芳鎮，南依雪山山脈，在地貌表徵方面，地形陡峭，溪谷、野溪遍布，如圖一所示。近年來，隨著觀光的快速發展，造成了山坡地的大量開發，民宿、旅館林立，人為開挖及建築，非常普遍。



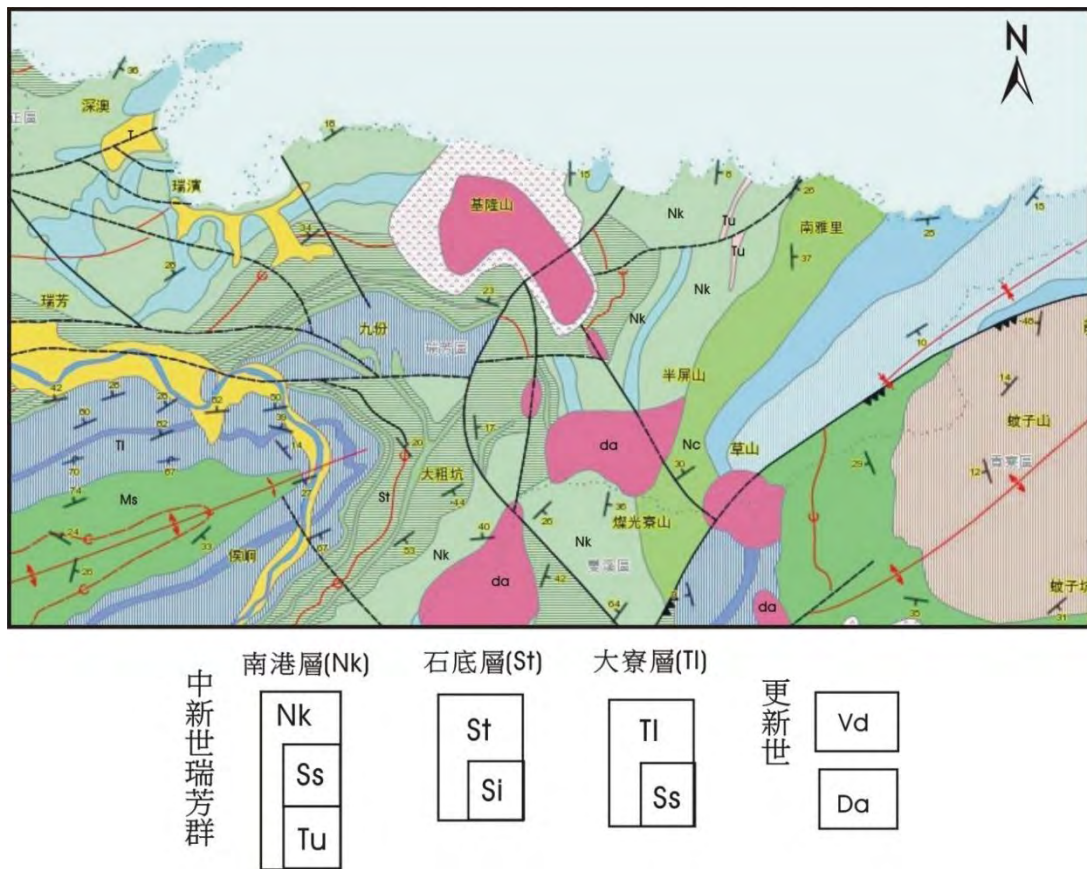
圖一 九份地區地形圖。

在區域地質方面，主要參考經濟部中央地質調查所出版之三芝(林朝宗，1981)、雙溪(黃鑑水與劉桓吉，1988)、頭城(何信昌、黃鑑水，1989)等五萬分之一地質圖幅(說明書)及經濟部中央地質調查所(2010)二萬五千分之一臺灣活動斷層分布圖。所謂活動斷層依中央地質調查所定義如下：過去 100,000 年內曾活動，而未來可能再度活動的斷層稱為「活動斷層」。其中，過去 10,000 年內曾活動者，為第一類活動斷層；在過去 100,000 年~10,000 年內曾活動者，為第二類活動斷層。存疑性活動斷層，則是指過去 500,000 年有活動，但不確定過去 100,000 年內是否有活動的斷層。本研究區域內甲脈斷層、瑞芳斷層皆屬於學者推論性斷層（方建能、王詠絢、余炳盛、陳耀麟，1998）；該二者交錯縱

橫，岩層受擠壓形成背斜、順向坡，如圖二（中央地質調查所，2015）；其中甲脈斷層是順著九份地區潛伏安山岩體西側斷層發育的，斷層所經過的地區，地質較軟弱，因此容易受侵蝕而形成河流（余炳盛等，1998）。全區為沉積岩地形及火山岩地形兩部份，沉積岩地形主要分佈於山麓丘陵地帶，主要由砂岩、頁岩與少數煤層構成。地層的層序由老至新依次是：木山層、大寮層、石底層、南港層及南莊層，各地層概述彙整如附表 1。

表 1 彙整 何春蓀（1975；1986）九份地區內第四紀地層簡表

地質年代	地層	岩性
全新世	沖積層 (a)	現代沖積層廣布於本研究地區內以及各河道或低地，大部分為青灰色黏土及細砂。
更新世	階地堆積層(T)	由更新世或全新世河流所夾帶砂、泥、礫石堆積而成，現今尚未固結。
更新世	火山岩	安山岩質熔岩流多分布於火山中央地帶，火山岩覆蓋於上新世及中新世沉積岩之上。
中新世 中-晚期	南莊層 (Nc)	以白色塊狀砂岩至中粒砂岩為主，夾有深灰色頁岩互層，含有煤層，偶夾有玄武岩質凝灰岩或熔岩流。
中新世 早-中期	南港層 (Nk)	由灰色塊狀厚層和薄層細粒泥質砂岩或粉砂岩構成，層中夾有厚層塊狀砂岩，主要為石屑質混濁砂。
中新世 早期	石底層 (St)	主要岩性以中粒砂岩、灰色砂岩及砂頁岩互層為主，具交錯層、波痕等淺水沉積構造，含有煤層。
中新世 早期	大寮層 (Tl)	以厚層塊狀砂岩、頁岩、泥質砂岩為主，常夾有凝灰岩薄層或透鏡體。
中新世 早期	木山層 (Ms)	呈東北東－西南西方向之長條狀出露，岩性以石英砂岩及砂頁岩互層為主，夾有煤層及凝灰岩體。



圖二 九份地區地質圖(修改中央地質調查所，2016)。

在氣候與水文方面：九份地區的氣候屬於副熱帶季風氣候，為全年多雨區，冬季氣溫平均約為攝氏 15 度，夏季則在攝氏 28 度左右。冬季因迎東北季風所帶來的水氣，陰雨綿密，雨季可從每年 10 月延續到次年 3 月；夏季雨量則主要來自颱風及鋒面降雨；降雨強度則以颱風最強。因此，土層含水量極高，逕流、野溪遍布。

二、文獻探討

台灣為板塊碰撞擠壓而成，山坡地形本就脆弱，在豪雨及震動等外力下，更是屢發災情，尤其是近幾年來，山崩在台灣各地所發生的頻率，似乎是隨著地區的開發、經濟的發展，而有上升的趨勢(工研院，2000)，現整理歷年來重大山崩的崩塌機制如下（林銘郎，1992；洪如江等，1986；紀宗吉等，1999；陳宏宇，2000）

(一)雲林草嶺：

民國30年、31年、68年以及88年等，均發生過大規模之山崩事件。究其崩塌機制，是頁岩岩性較弱，遇水易軟化，抗剪力降低以及地形陡峭，加上受到地表水及地下水之侵蝕、淘挖作用，導致山崩。

(二)基隆八堵聯絡道：

在民國63年9月曾經發生5000立方公尺的山崩，造成36人死亡之事件。究其崩塌機制，地層內砂岩中，偶夾有薄層的頁岩遇水弱化，而此破碎地層偏處在順向坡側面中，便形成了潛在性的地層滑動。

(三)林口台地

民國71年八一一水災使得分布於台地內沖蝕溝之紅土、卵礫石，受大雨之沖蝕形成氾濫，一度使得中山高速公路泰山收費站遭紅土、卵礫石掩埋，並造成鄰近區域17人死亡之慘劇。究其崩塌機制，是部分台地坡緣地形較為陡峭，常受到逕流及地下水之侵蝕、淘挖作用，使得坡址處有流失現象出現，形成潛在性不穩定狀況，而導致山崩。

(四)花蓮崇德

民國71年3月17日，地處太魯閣國家公園景觀保護區內，花蓮縣秀林鄉蘇花公路及北迴鐵路西北方，石灰岩地層的邊坡發生了山崩事件，使得蘇花公路及北迴鐵路數度中斷，當地居民飽受驚嚇。究其崩塌機制，乃因當地岩層經年累月受到風化、雨水浸潤及侵蝕作用，使岩體崩解成各個獨立塊體，順著重力作用往下墜落而形成山崩災害。

(五) 台北馬槽

馬槽，位於台北市七星山東北側，陽金公路馬槽橋鄰近區域，民國75年，馬槽橋上游野溪兩側谷壁之安山岩及崩積層等地質材料，因分裂成獨立岩塊之安山岩體受到雨水侵蝕，而導致大量瞬崩之地質材料滑入野溪，沖毀馬槽橋，頓時造成山崩。

(六) 汐止林肯大郡

民國86年8月18日由於溫妮颱風侵襲台灣，位於台北縣汐止鎮北側山坡地區的林肯大郡，因社區西北側之坡體產生崩坍災害，造成28人死亡以及80戶住宅被壓毀的慘劇。基地內主要為石底層－砂頁岩互層所組成，頁岩遇水弱化，再者受到颱風帶來的豐沛降水侵蝕，以及順向坡坡腳切除，坡體側方支撐力不足，以致因重力作用而往下崩塌，形成山崩。

(七) 台南左鎮

民國88年7月29日晚上，台灣電力公司在台南縣左鎮鄉澄山村山豹地區的一座標號326號超高壓電塔發生倒塌，不但造成台灣50年來最嚴重的停電事件，也造成工商界不小的損失。其原因是砂頁互層，砂岩的膠結力較差，而頁岩則分布於砂岩層之下，受雨水浸蝕後，形成軟化現象，進而弱化岩石強度，終受外力作用而崩塌。

(八) 南投九份二山

在民國88年9月21日凌晨1時47分地震中，九份二山發生大規模地層滑動，究其原因，九份二山是屬於中央山脈西翼地質區，其地質材料主要是由漸新世水長流層之砂岩及頁岩相間組成。整個地層分布於雙冬斷層之上盤，由於受到造山運動長期擠壓的影響，使得岩質有輕微的變質現象，故岩性上是以黑色硬頁岩及輕度變質的頁岩為主，其間並夾雜灰色膠結較差之砂岩，整個岩體呈現破碎狀，後受外力地質作用而形成崩塌。

綜上所述，我們發現除民國88年9月21日南投九份二山受921地震誘發山崩外，其均與雨量有關，可見山崩的誘發與雨量有著密切的關係，如附表2。

附表 2 整理坡地山崩機制因子綜合資料(修改自陳宏宇，2000)

地 點	地形因子	地質因子	水文因子(豪大雨)	地質作用
雲林草嶺		V	V	V
八堵連絡道		V	V	
林口台地	V	V	V	V
花蓮崇德	V	V	V	
台北馬槽	V	V	V	V
汐止林肯大都		V	V	
台南左鎮		V	V	V
南投九份二山		V		V
九份地區	V	V	V	V

三、研究方法：

山崩預報研究已成為地球科學研究中的一個熱門課題。由於山崩問題的複雜性，致使山崩時間預報目前還是一個世界性難題。以往的學者大都使用多變量分析（李錫堤，2009；Guzzettiet al., 2005），而兩者都有其獨到之處，但也存在著相應的缺點，並沒有完全解決，目前山崩的時間預報還處於探索研究階段。現整理李錫堤（2011）對山崩潛感分析的研究發展史，發現山崩潛感分析由以往的地形判釋法(利用航空照片地貌特徵做山崩潛感判釋)、專家評分法(是由專家依照經驗，就現場調查之崩塌情形選取山崩因子，計算權重累計評分求得)，到直到現階段的統計分析法，若就具體呈現判斷準則而言，可謂進展良多。

現階段的統計法運用在山崩潛感分析主要分為定值法與機率法兩大類（李錫堤，2011）。但定值法常缺乏大區域可用的強度資料及地下水文資料，目前仍停留在研發階段（李錫堤、費立沅，2011）。機率法則是以統計多變量分析方法為主，但需使用長時期的山崩目錄做為機率分析的基礎（李錫堤，2009；Guzzettiet

al., 2005)。目前在台灣，我們除了缺乏強度資料及地下水文資料外，也缺乏長時期的山崩目錄，故若欲進行全國性的山崩災害分析，顯然有待商榷。所幸，我們以在地人的身分，利用高中生長時間通學往返，與老師的指導下進行野外調查，找出九份山崩地點的坡度、坡向、高程、岩性、地質構造、順向坡地形、人為開發等因子，建立起九份地區的山崩目錄，然後使用此長時期的山崩目錄，找出九份地區的引發山崩的顯著危險因子，接著利用兩年來的雨量做為機率分析的基礎，嘗試利用 Excel 中的羅吉斯迴歸(logistic regression)及其二元類別的特性，推測可能發生山崩的機率與方程式；羅吉斯迴歸(logistic regression)常運用於醫學及生物科技研究上，用於推測病患或生物體得病與否的機率(王文中，2012)，其優點是解決自變數非常態的問題，所求得之機率值落於 0 與 1 之間，解讀方便且實用(Hosmer, D.W.; Lemeshow, S., 2000)。在 Excel 中的羅吉斯迴歸(logistic regression)分析，是利用自變數(X)對於依變數(Y)之影響方式，以指數的方式來變動，即 $y=e^{f(x)}$ 來預測可能機率，其令 p 表示某種事件成功的機率，即是山崩機率；某種事件失敗的機率，即是非山崩機率，他受因素 x 的影響，即 p 與 x 之關係如下：

山崩機率	$P = \frac{e^{f(x)}}{1 + e^{f(x)}}$
非山崩機率	$1 - P = \frac{1 + e^{f(x)} - e^{f(x)}}{1 + e^{f(x)}} = \frac{1}{1 + e^{f(x)}}$
山崩比	$\frac{P}{1 - P} = e^{f(x)}$

肆、研究成果

發生山崩的最主要因素，是由其周遭地質環境的影響所造成（陳宏宇，2000）。山崩也常因降雨或地震事件，造成舊有崩塌復發、範圍擴大、或發生新生崩塌，以致山崩區位會隨風化的時間或降雨量的多寡產生變動，以下是我們野外調查的成果。

一、野外調查成果

圖三至圖五為實地實察結果(圖中所示座標是以 google 所顯示座標值來表示的)，現分別說明如下：圖三(a)、(b)、(c)、(d)是分別在瑞金路、梳榔腳、七番坑以及五番坑道路上的山崩落石與崩塌地，這些落石與崩塌地除因道路坡腳切除、重力影響外，其共同的特徵皆為豪大雨誘發所致。

圖四(a)、(b)則是分別在七番坑、大竿林路上裸露岩層，其頁岩、砂岩在長期的風化作用下，部分岩層已產生崩壞的現象。由圖四 (a)、(b)甚至清晰可見部分岩層已被雨水侵蝕，致使砂、頁岩膠結不良的不連續面產生剝離的現象，圖四(c)、(d)為大竿林及瑞金路上的落石與崩塌地，同樣地，均因連日豪雨所致，顯見九份地區的山崩與降雨有著密切的關係。

圖五(a)、(b)為祈堂路上疑似因重力緣故，分別發生潛移現象，導致柏油路面有 10 至 20 公尺不等長的裂縫，雖然此一路面因張力而產生裂縫，但我們看到雨水會沿著柏油路面之張力裂縫而滲流，該裂縫內的土層受到雨水的浸潤，如圖五(c)，致使柏油路面下的土層內部發生弱化現象，裂縫的範圍隨著雨水滲透量的增加而擴大；再者，深入某聚落內，則到處可見因潛移而產生的破裂面，如圖(e)、(f)所示，該破裂可能是受到野溪侵蝕、斷層構造與重力牽引所致。

圖六(a)、(b)為梳榔腳瑞金道路旁，由於坡腳被切除，又受颱風、豪大雨侵蝕，邊坡的岩層開始產生山崩的現象；值得注意的是 2016 年 10 月 20 日該地區曾因受連日豪大雨而發生山崩，但同年 11 月 26 日同一地點又再度因雨崩塌，可見雨量的頻率與山崩有著正相關的關係。

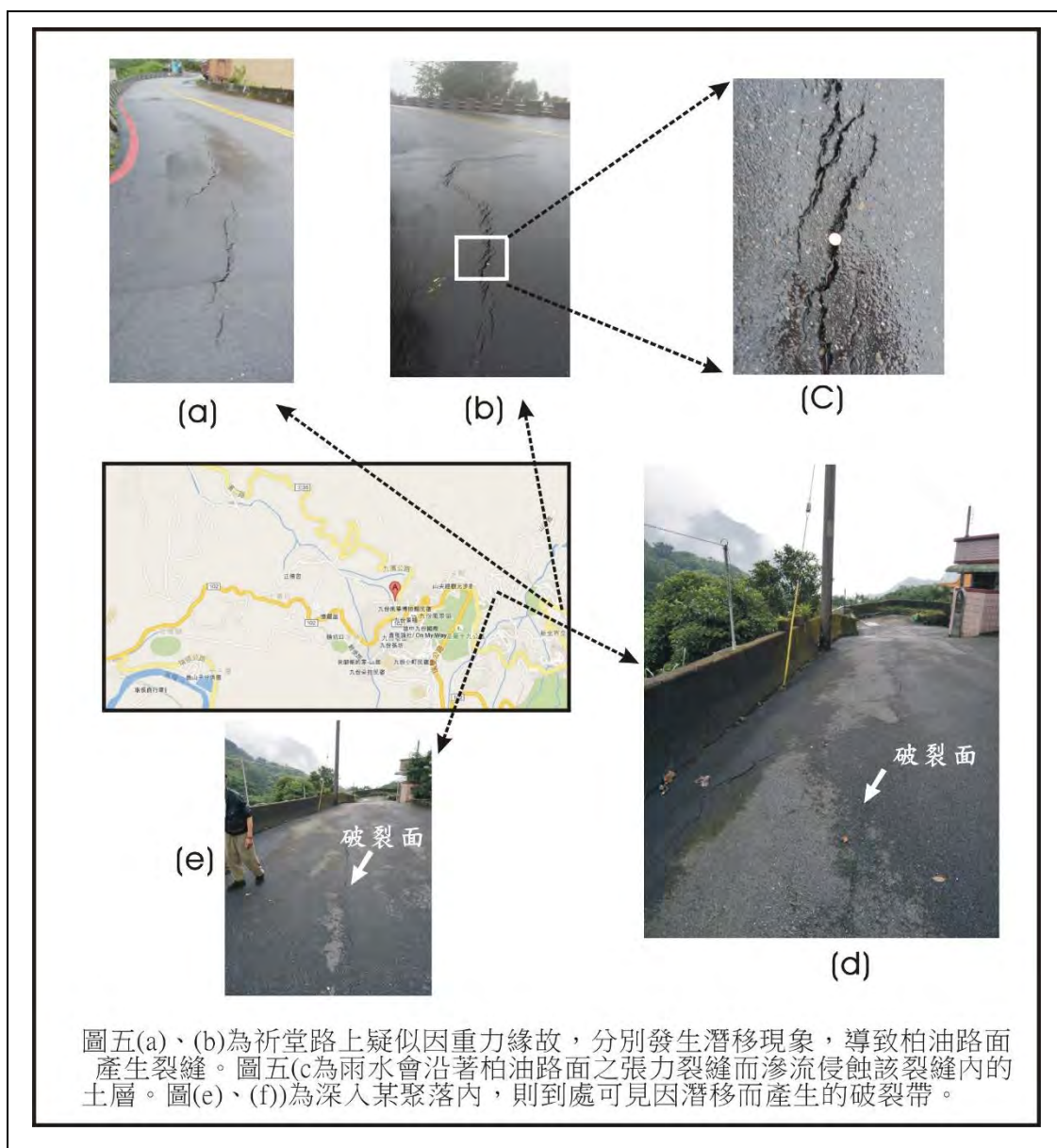
二、九份地區山崩目錄

附表 3 為本研究現地調查的概況、附表 4 為本研究所製作的九份地區山崩目錄。由於上述的野外調查發現雨量與山崩有著正相關；因此，本研究的九份地區

山崩目錄(附表 4)特增列雨量項目。

(a) 		(b) 	
編號01	座標25.109256,121.826249	編號02	座標25.109714,121.827982
瑞金路因連日豪大雨，以致產生部分山崩		梳榔腳道路因豪大雨，以致產生部分落石	
(c) 		(d) 	
編號05	座標25.111772,121.832492	編號07	座標25.111152,121.836807
七番坑道路因豪大雨，以致產生落石堆		五番坑道路因豪大雨，以致產生落石堆	
			
圖三 野外調查(一)			

			
編號06	座標25.110958,121.834919	編號08	座標25.109792,121.838052
七番坑路上裸露岩層，其頁岩、砂岩在長期風化作用下，部分岩層產生崩壞的現象		汽車路上露頭，在長期的風化及滲水作用下，產生龜裂的跡象。	
			
編號10	座標25.108315,121.841614	編號09	座標25.110453,121.839682
大竿林道路因豪大雨，以致產生落石堆		瑞金路因豪大雨及重力，以致產生崩塌地	
			
圖四 野外調查(二)			



附表 3 本研究九份地區現地調查的概況

編號	地點	座標	坡度	離溪距離	地層	備註
01	瑞金路 1	25.109256,121.826249	82°	10 m	St	道路
02	梳榔腳	25.109714,121.827982	85°	30 m	St	道路、住宅
03	瑞金路 2	25.111282,121.829786	40°	400 m	Nk	道路
04	七番坑 1	25.111772,121.831049	30°	500 m	Nk	道路、住宅
05	七番坑 2	25.111772,121.832492	50°	400 m	Nk	道路、

06	七番坑 3	25.110958,121.834919	60°	300 m	Ti	道路
07	五番坑	25.111152,121.836807	82°	300m	Ti	道路
08	汽車路 155 號	25.109792,121.838052	50°	300 m	Ti	道路
09	瑞金 129 號	25.110453,121.839682	70°	100 m	Ti	道路
10	大竿林	25.108315,121.841614	85°	20 m	Ti	道路、人為 步道、住宅
11	派出所	25.108626,121.842515	45°	20 m	Ti	道路、人為 步道、住宅
12	昇平戲院	25.109015,121.842944	45°	30 m	Ti	道路、人為 步道、住宅
13	全家便利商店	25.110492,121.846034	35°	200 m	Nk	道路、人為 步道、住宅
14	三尖鞍	25.111618,121.847278	82°	200 m	Nk	道路、人為 步道、住宅
15	19 號公墓 1	25.111269,121.849596	75°	300 m	Ti、 Nk	道路、公墓
16	19 號公墓 2	25.109015,121.849424	78°	30 m	Ti、 St	道路、公墓 疑似甲脈斷 層經過
17	金光路 255	25.107966,121.849467	30°	20 m	Ti、 St	道路、疑似 甲脈斷層經 過
18	六號橋	25.107849,121.850883	20°	30 m	St	道路、橋梁
19	瑞金 181 號	25.107460,121.852815	30°	30 m	St	道路、住宅
20	瑞金 91 號	25.106411,121.855089	75°	30 m	St、 Nk	道路、住宅
21	金光路 87 號	25.107033,121.856591	82°	40 m	Ss	道路、住宅
22	巴士路	25.108354,121.855.733	60°	30 m	St	道路、住宅
23	時雨中學	25.109404,121.855862	70°	50 m	St	道路、學校
24	5 號路	25.109404,121.856892	70°	100 m	St	道路、住宅
附註：St(石底層)、Nk(南港層)、Ti(大寮層)						

附表 4 九份地區山崩目錄

編號	地點	坡 度	地質	高程	順向坡	雨量	觸發時間
01	瑞金路 1	82 °	St(石底層)	7m	順向坡	288.0mm	2015.9.28
						251.5mm	2016.10.12
						102.0mm	2016.10.29
02	梳榔腳	85 °	St(石底層)	3m	順向坡	288.0mm	2015.9.28
10	大竿林	85 °	St(石底層)	4m	順向坡	288.0mm	2015.9.28
15	19 號公墓	75 °	St(石底層)	2m	順向坡	288.0mm	2015.9.28
17	金光路 87 號	82 °	St(石底層) 與 Nk 南港 層交界	4m	順向坡	288.0mm	2015.9.28

伍、討論

一、九份地區有何種潛在之危險地質

經過實地勘察後，我們發現九份地區地形陡峭，在 102 縣道、瑞金路、汽車路及金光路旁，由於坡腳被切除，受重力及風化作用的影響，已有部分邊坡的岩層產生崩壞的狀況，引發部分的落石，如圖三、四所示，甚至我們觀測到九份地區的雨量極其豐沛，如圖七所示，由圖中可看出近兩年來九份地區每日雨量達百



圖六(a)2016/10/20 梳榔腳附近地區因強雨侵蝕發生山崩，部分落石已清理的現象。



圖六(b)2016/11/26梳榔腳附近地區因連日下雨，同一地點再度發生山崩的現象。



圖六(d)金光路上，受到連日豪大雨侵蝕作用下，產生山崩的現象。



圖六(c)2016/10/20梳榔腳附近地區發生山崩，土石漫布102縣道的即時現況。

毫米以上的天數，竟多達有 20 日左右，顯見豪大雨誘發山崩的機率份量非常的高。另外，圖五(a)、(b)為祈堂路柏油路面，2014 年五月原是新鋪設的柏油路面，三年來疑似因重力緣故，發生潛移現象，導致柏油路面產生 5 至 10 公尺長破裂群，表現出不穩定的土體或岩體特徵。但我們觀察到雨水沿著此柏油路面之裂縫而滲入，致使柏油路面下的土層內部發生弱化現象，甚至裂縫的範圍隨著雨水滲透量的增加而擴大，意味著雨水滲透量與土層的滑動量有著正相關。

綜上述難道都是未來潛在危險山崩的地質環境因子嗎？以下是我們的討論：

(一)在地質材料方面

大體上，岩石內的材料會因浸水或受熱而導致其弱化。就一般山坡來說，令岩石材料弱化的主要原因：一是降雨導致岩石內部黏土礦物產生潤滑作用；二是岩石內部膠結物質因浸水而崩解(M.L. Lin and J.J. Hung,1982)。九份地區地區主要出露地層為大寮層，主要岩性為青灰色至灰色細粒砂岩與黑色頁岩與粉砂岩（余炳盛、陳耀麟、方建能、王詠絢，1998）。在沉積岩中頁岩是最容易崩解的岩層；在大寮層中就明顯看到砂岩與頁岩互層的現象，另外，砂岩的孔隙率較大，頁岩的孔隙率則較緻密，因此水可以輕易的通過砂岩，在頁岩層積聚後，容易產生侵蝕、剝落，如圖四(a)、(b)，進而造成落石或山崩，如圖四(c)。根據張石角（1992）統計 1969-1989 年間山崩及地滑災害案例，得知新北市、基隆市的中新世瑞芳群最多—50 件(19.92%)。很不幸的，九份地區的大寮層就是包含在內，更糟是汐止林肯大郡的基地是石底層，均為本區所有。

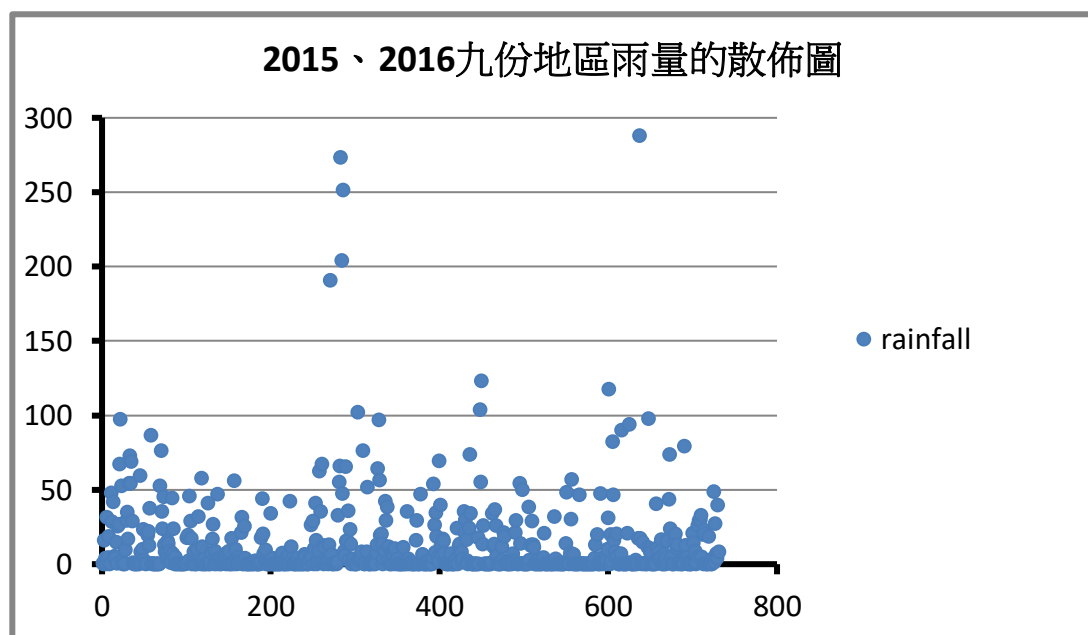
(二)在區域構造方面

九份地區自 1996 年開始，從九份國小一直到台陽停車場，就曾發生過幾次因山崩促成的地層滑動，由於深深危害附近居民的生命財產安全，一時引發各界的注意，如圖九(A)所示。綜觀圖九 A 區(大竿林、七番坑一帶、九份國小、台陽停車場一帶)產生山崩地層滑動的原因主要是位於砂、頁互層的大寮層，以及地形與地層傾角傾向相符的順向坡上，土層的支撐力已遠遠不足，而且周遭又有瑞

芳斷層、魚坑斷層經過，更是造成坡體構造不安定之因素（謝豪榮，1997）。相同道理，圖九 B 區某聚落(時雨中學前一帶的山坡聚落，續文以某聚落稱之)，由於地處順向坡，附近經過主要的斷層包括瑞芳斷層及甲脈斷層，而這些斷層的活動都會造成坡體側方支撐力被移除，致使山崩的可能性加大。

(三)在地表地貌方面

九份地區內有甲脈斷層經過，該斷層是沿著野溪溪谷行走，如此一來，又有野溪、綿密的逕流侵蝕坡腳，連同斷層活動移除坡體側方的支撐力，這兩股力量



圖七：2015、2016 兩年來瑞芳地區每日降水量散佈圖。

相加在一起，對於坡體側方支撐力之破壞，就顯得非常大了；再者，圖五(a)、(b)地表的破裂群、雨水土層滲入的破壞力、地表逕流的滲入土層，皆使土層的含水量高，都對岩層產生莫大的負載力，而坡面上的建築物，更是重者之重，加重原地層的載重負荷。

Sample size	731	%
Cases with Y=0	726	99.32%
Cases with Y=1	5	0.68%

	變數	Beta	標準誤	Wald	df	P	Exp(B)
	Constant	-6.783	0.948	51.202	1	0.000	0.001
2	X1	0.029	0.006	22.863	1	0.000	1.029
725	X2						

Variable	Beta	標準誤	P
Constant	-6.783	0.948	0.000
X1	0.029	0.006	0.000
Odds Ratios及其 95%信賴區間		95% CI	
變數	Odds Ratio	Lower	Upper
X1	1.029	1.02	1.04
X2			

分析表 (截斷點=0.5)			
	預測群體		正確率
真實群體	0	1	%
Y = 0	720	1	99.86%
Y = 1	2	3	40.00%
正確歸類			99.59%

ROC 曲線分析	
ROC下面積 (AUC)	0.942
標準誤	0.005
95% 信賴區間	CI: 0.75 to
決策點	cutoff=67.5

圖八 羅吉斯迴歸分析得知九份地區雨量與山崩比的關係

(四)、九份地區雨量與山崩比的關係

本研究蒐集近兩年的雨量資料，如圖七，預測山崩模型中的依變數是屬於二元類別資料，例如：有山崩或無山崩，因此，我們可以利用羅吉斯函數的概念，有山崩表示(1)數值代入或無山崩表示(0)數值代入，以及Excel中的羅吉斯迴歸分析，自變數(X)對於依變數(Y)之影響方式是以指數的方式來變動，即

$y=e^{f(x)}$ 來預測可能機率；由於其成功及失敗機率亦是屬於二元類別資料，因此，我們可以令成功機率 P 表示某種事件山崩的機率，失敗機率 $1-P$ 表示某種事件非山崩的機率，兩者均受因素 x (例如有效雨量)的影響，即 p 與 x 之關係如下：

山崩機率	$P = \frac{e^{f(x)}}{1 + e^{f(x)}}$
非山崩機率	$1 - P = \frac{1 + e^{f(x)} - e^{f(x)}}{1 + e^{f(x)}} = \frac{1}{1 + e^{f(x)}}$
可能山崩比	$\frac{P}{1 - P} = e^{f(x)}$

其中所謂有效雨量，依中央氣象局的定義係指同一雨場，自降雨開始至目前之累積雨量(不做任何拆減);且雨場分別之機率係以 6 小時內總雨量小於 4mm 時作為雨場結束點。圖八是羅吉斯迴歸分析得知九份地區雨量與山崩比的結果，經羅吉斯迴歸分析，我們得到山崩比與雨量的關係式如下：

$$\text{方程式為 } \text{EXP}(-6.783 + 0.029 * \text{雨量})$$

即表示當每日雨量每增加 10mm，則山崩比增加 10.29 倍，且當每日雨量累積至 67.5mm 則有發生部分山崩的危險機率；若每日雨量累積至 234mm 時，則九份地區會發生部分山崩的機率幾乎是 100%。

(五)、九份地區可能發生山崩的機制、地區及理論模型為何？

綜合上述台灣歷年來重大山崩的崩塌機制，我們發現九份地區無論在地貌表徵、地質材料、地質構造以及水文地質等四項地質環境上，都具有潛在的危險因子，如附表 2，故推測圖九 B 區可能發生山崩的機制分別如下：

- (一)、在地貌表徵方面：山坡地形、地形陡峭。
- (二)、地質材料方面：地層為大寮層，砂、頁互層以及岩石內部膠結物質易受浸水而崩解。
- (三)、地質構造方面：該聚落有甲脈斷層經過，坡向為順向坡，甲脈斷層及

野溪和逕流侵蝕該順向坡之坡腳。

(四)、水文地質方面：甲脈斷層沿著野溪溪谷行走，再加上地形陡峭，每逢降雨，野溪逕流，淘蝕地層，致使山坡地的坡體側方支撐力破壞。

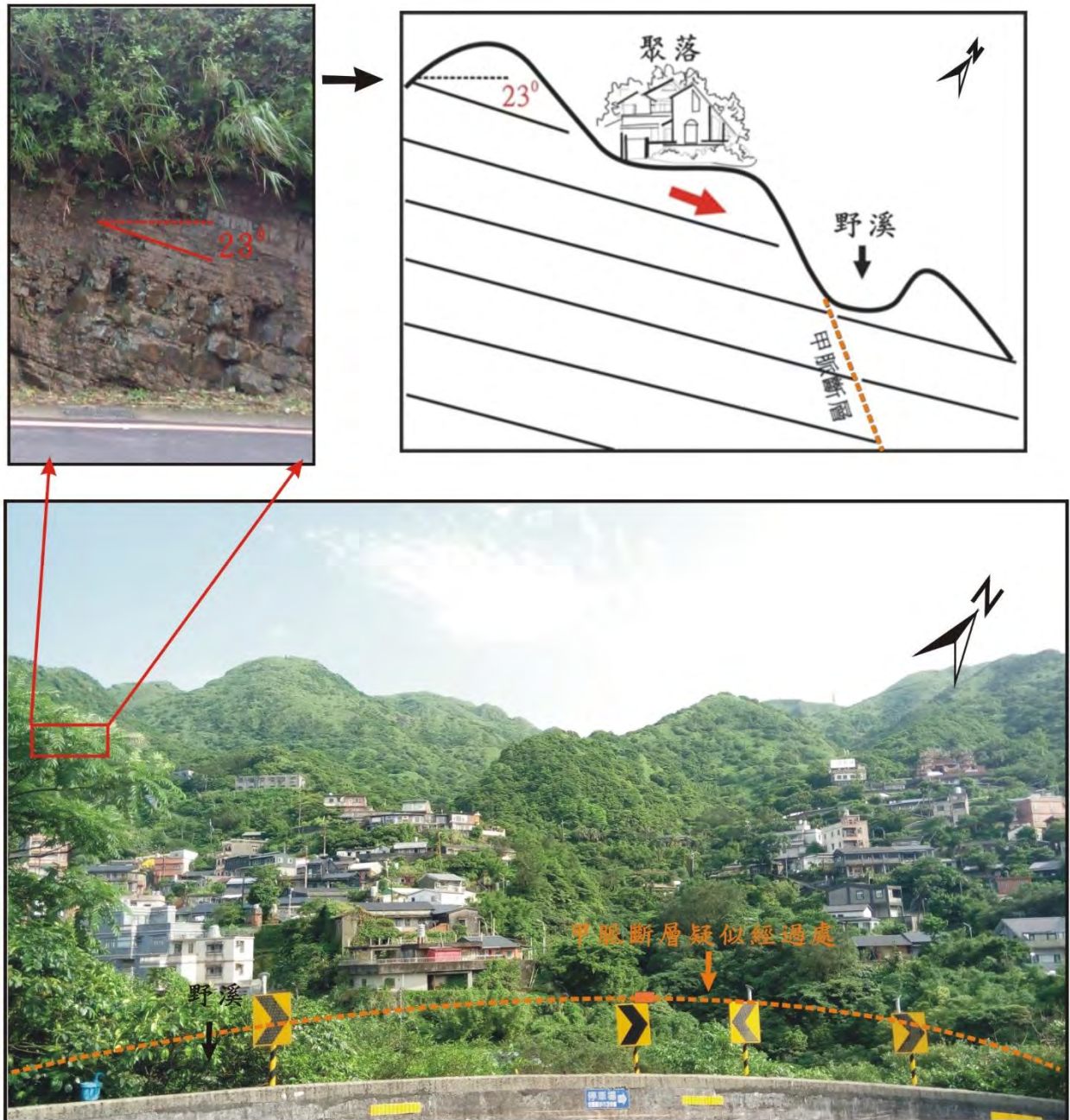


圖九 本研究推測九份地區地區某聚落可能山崩的地區

因此，若該山坡地受到一定量的豪大雨或者鄰近區域火山爆發或者地震等外在因素所誘發作用下，該聚落容易產生崩塌破壞之機率也會隨之而提高，發生「山崩」應是遲早的事，故相關單位應未雨綢繆，並提出可能山崩的機制模型示意圖，如圖十。

陸、結論

九份地區是個依山面海的山城聚落，隨著觀光的快速發展，山坡地大量開發，然與「自然爭地」的結果，終會受到大自然的反噬。本研究根據野外實察、文獻探討、地質岩性、區域構造、降雨量、羅吉斯迴歸分析等資料，推測九份地區某聚落為潛在山崩活動危險地帶，雖目前無嚴重的地層滑動跡象，但受地貌表



圖十 本研究推測九份地區地區可能山崩的機制模型示意圖(本研究結果)

徵、水文地質構造以及人為開發等環境潛在危險山崩的因子影響下，例如甲脈斷層的擾動、野溪侵蝕順向坡之坡腳，使坡地末端之基腳失去支撐、地層淘蝕以及新增與加蓋之混凝土樓房增加載重、林林總總潛在危險因子，皆會使山崩壓力增加，以羅吉斯迴歸分析推測雨量與山崩比的關係為方程式 $EXP(-6.783 + 0.029 * \text{雨量})$ ；據以推測每增加 10mm 雨量，則山崩比增加 10.29 倍；當每日雨量累積至 67.5mm 則有部分山崩的危險機率產生；當雨量累積至 234mm 則九份地區會發生部分山崩的機率幾乎是 100%。

柒、參考資料

（一）中文部分

工業技術研究院能源與資源研究所（2000）。**921 震災系列調查（一）崩塌地調查與治理規劃**。行政院農業委員會水土保持局。第 2-13-3-35 頁。

王文中（2012）。**統計學與 Excel 資料分析之實習應用(第六版)**。台北：博碩文化。

何春蓀（1975）。**臺灣地質概論**。中華民國經濟部，共 118 頁。

何春蓀（1986）。**臺灣地質概論、臺灣地質圖說明書，第二版**。經濟部中央地質調查所，共 164 頁。

林朝宗（1981）。**五萬分之一三芝地質圖幅**。經濟部中央地質調查所。

林朝宗（2000）。**五萬分之一新店地質圖幅**。經濟部中央地質調查所。

黃鑑水、劉桓吉（1988）。**五萬分之一雙溪地質圖幅**。經濟部中央地質調查所。

黃鑑水、何信昌（1989）。**五萬分之一頭城地質圖幅**。經濟部中央地質調查所。

經濟部中央地質調查所（2010）。**二萬五千分之一臺灣活動斷層分布圖**。

余炳盛、陳耀麟、方建能、王詠綸(1998)。從陰陽海問題談地質背景與工礦業污染之區分。礦冶。第四十二卷。第二期。第 41-50 頁。

李錫堤（2009）。山崩及土石流災害分析的方法學回顧與展望。台灣公共工程學刊第五卷。第一期。第 1 頁至第 29 頁。

李錫堤、費立沅（2011）。蘭陽溪流域之山崩土石流潛在危害預測。前瞻科技與

管理；1 卷 2 期，P67-83。

林銘郎（1992）。河谷解壓節理的研究—以太魯閣大理岩峽谷為例。台灣大學土木工程研究所博士論文。262 頁。

洪如江（1980）。草嶺大山崩之探討。工程環境會刊。第一期。第 29-39 頁。

洪如江、郭振泰、陳榮河、陳鴻霞（1986）。林口台地及鄰近地區洪災及調方之研究(一)。國科會防災研究報告 74-43 號。

張石角（1988-1992）。「台灣過去二十年重大崩山災害及其對受影響地區之自然和社會環境之影響(一~五)」。台北：行政院國科會防災科技報告。pp.77~42。

陳宏宇（2000）。台灣山崩之工程地質特性。地工技術。第 79 期。頁 59-70。

紀宗吉、陳文政、劉桓吉、林朝宗（1999）。新店北宜路土石流災害。地質。19(2)，49-57。

謝豪榮（1997）。「坡地之泥砂災害與其防治法」。台北：中華水土保持學報(季刊)。第 29 卷第 2 期。pp.125~135。

（二）英文部分

Guzzetti, F., Reichenbach, P., Cardinali, M., Galli, M., Ardizzone, F., “Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale”, *Geomorphology*, Vol.72, pp.272~299, 2005.

M. L. Lin and J.J. Hung (1982) The Influence of Moisture Content on Mechanical Properties of some Sedimentary Rocks in Taiwan. *Proc. of the 7th southeast Asian Geotechnical Conference*, Hong Kong.

Hosmer, D.W.; Lemeshow, S. (2000) *Applied logistic regression (2nd ed.)*, John Wiley & Sons, New York, 373p.

（三）網路資料

中央地質調查所（2016 年 10 月 1 日）。地質資料整合查詢。新北市九份、九份地區部分。取自 <http://gis.moeacgs.gov.tw/gwh/gsb97-1/sys8/index.cfm>

俞肇福（2006 年 9 月 19 日）。瑞芳 102 縣道崩塌雙向封閉。自由時報。取自 <http://news.ltn.com.tw/news/local/paper/1033504>

【評語】 051906

1. 以現地山崩災害為例，進行現場調查及邏吉斯理論模擬，具有科學性的思緒。
2. 現地調查工作，各項記錄清楚，地區性地質環境，說明清楚，具有鄉土性價值。
3. 各項資料收集有系統，分析清楚。

作品海報

摘要

九份地區是個依山面海的山城聚落，地形陡峭、雨量豐沛，再加上人為的過度開發，屬於山崩的高危險群地區。每年颱風或豪大雨期間，或多或少都會使九份發生部分山崩，引發當地居民恐懼與不安；但若我們事先知道多少雨量的豪大雨可能會造成山崩，事前做好預防，不但可以減輕災害，也可以保障居民的生命財產安全。本研究利用兩年的時間野外實察，找出九份山崩地點的坡度、坡向、高程、岩性、地質構造、順向坡地形、人為開發等因子，建立起九份地區的山崩目錄，據以推測九份聚落潛在之山崩活動危險地帶及其模型；並運用羅吉斯迴歸分析得到九份地區的山崩比方程式為 $EXP(-6.783 + 0.029 * \text{雨量})$ ；即雨量每增加10mm，其山崩比增加10.29倍；且當每日雨量累積至67.5mm 則有部分山崩的危險機率產生；若當雨量累積至234mm 則九份地區會發生部分山崩的機率幾乎是100%。

研究動機

2016年馬勒卡颱風為東北角帶來間歇性風雨，致使連接瑞芳到九份的一〇二縣道19.6公里處，發生山壁土石崩落（如圖一、二）。這是九份地區無數次山崩的其中一次，所幸無人傷亡，但若等到有重大傷亡，我們再去究責，豈不是為時已晚；所謂「自己的家鄉自己救」，是不是應該對我們的故鄉—九份，做一番檢視呢？是不是應該對潛在危險地質之區域加以調查呢？尤其是九份居民的恐懼陰影—山崩。



（圖一 102縣道19.6公里處的山崩）



（圖二 瑞金公路上的山崩）

研究目的

- 一、探討九份地區潛在危險的山崩因子有哪些。
- 二、分析九份地區可能發生山崩的機制。
- 三、提出九份地區可能發生潛在危險的山崩災害的模型。
- 四、推測九份地區未來可能引起山崩的雨量。

研究方法

山崩預報研究已成為地球科學研究中的一個熱門課題。現階段的山崩預測的方法主要分為定值法與機率法兩大類（李錫堤，2011）。但定值法目前仍停留在研發階段（李錫堤、費立沅，2011）。機率法則是以統計多變量分析方法為主，但需長時期的山崩目錄做為機率分析的基礎（李錫堤，2009；Guzzettiet al., 2005）。所幸，我們以在地人的身分，利用高中生長時間通學路線(如圖三)、地調所地質圖(如圖四)與老師的指導進行野外調查，並建立起九份的山崩目錄，然後使用此山崩目錄做為機率分析的基礎，做法如下：

- 一、文獻探討:彙整、探討前人的研究結果，找出九份地區可能的潛在危險山崩因子。
- 二、野外調查:利用在地人的優勢，針對山崩地質等災害性做調查，找出九份地區的山崩目錄。
- 三、羅吉斯迴歸分析:預測山崩模型中的依變數是屬於二元類別資料，例如：有山崩或無山崩，故我們可以利用羅吉斯函數的概念，有山崩表示(1)或無山崩表示(0)，以及Excel中的羅吉斯迴歸，預測九份地區雨量與山崩比的關係。(Michell. J, 1990)



（圖三:研究地區的觀測點位置）



（圖四:修改中央地調所的地質圖，2016）

一、野外調查成果

研究成果



圖五(a)瑞金路因豪大雨，發生落石堆



圖五(b)五番坑因豪大雨，發生落石堆



圖五(c)七番坑因豪大雨，發生落石堆



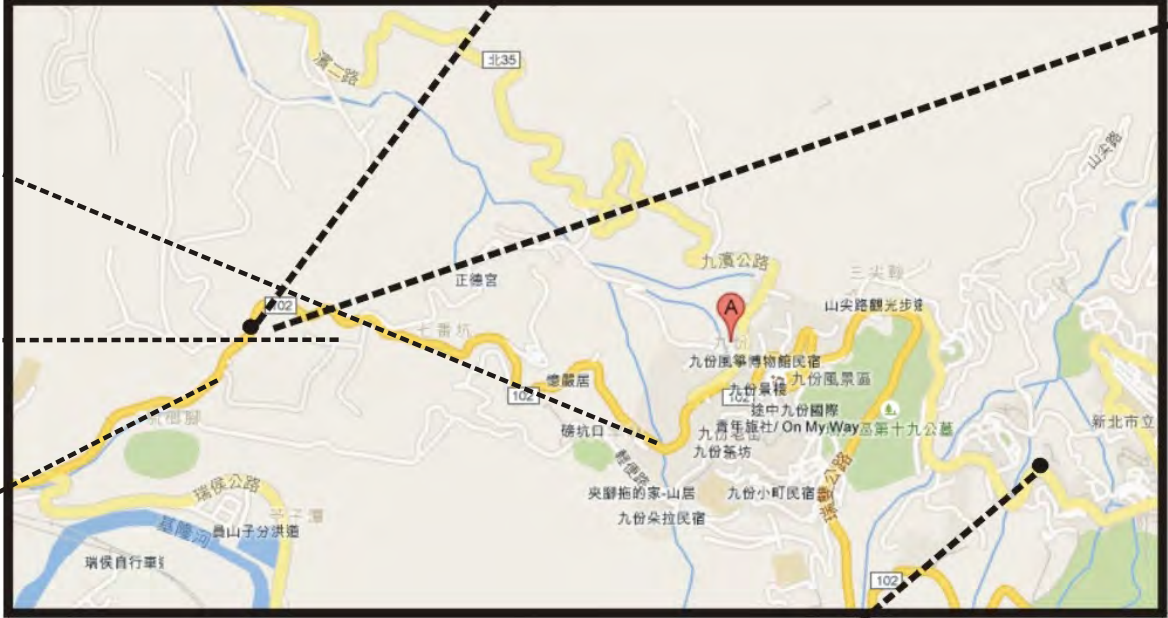
圖五(d)梳榔腳因豪大雨，產生落石



圖六(a)2016/10/20 梳榔腳附近地區因強雨侵蝕發生山崩，部分落石已清理的現象。



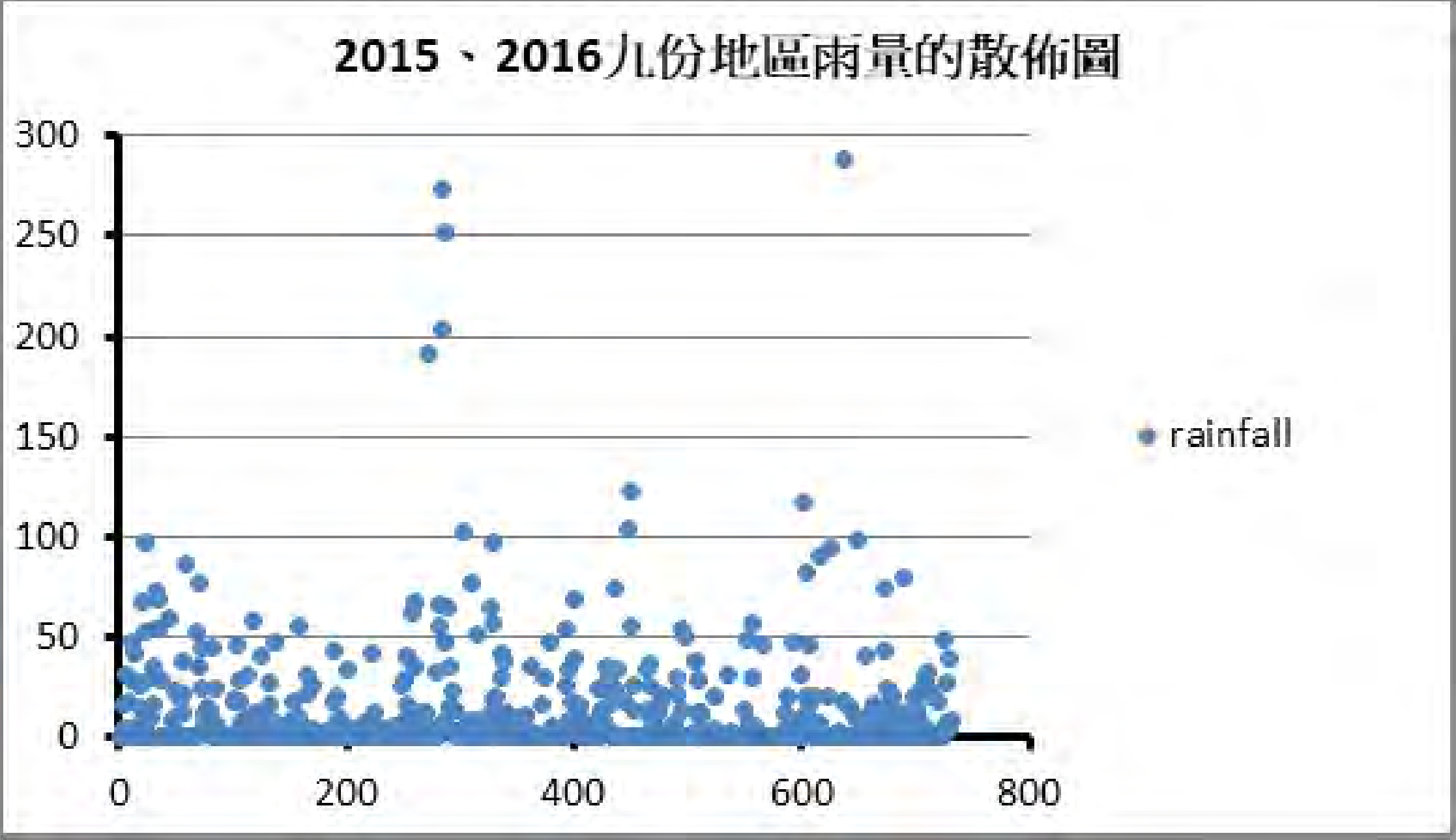
圖六(b)2016/11/26梳榔腳附近地區因連日下雨，同一地點再度發生山崩的現象。



圖六(c)2016/10/20梳榔腳附近地區發生山崩，土石漫布102縣道的即時現況。



圖六(d)金光路上，受到連日豪大雨侵蝕作用下，產生山崩的現象。



(九份地區近兩年的雨量散佈圖)

二、九份地區山崩目錄

附表 1 九份地區山崩目錄

編號	地點	坡度	地質	高程	順向坡	雨量	觸發時間
						288.0mm	2015.9.28
01	瑞金路 1	82°	St(石底層)	7m	順向坡	251.5mm 102.0mm	2016.10.12 2016.10.29
02	梳榔腳	85°	St(石底層)	3m	順向坡	288.0mm	2015.9.28
10	大竿林	85°	St(石底層)	4m	順向坡	288.0mm	2015.9.28
15	19 號公墓	75°	St(石底層)	2m	順向坡	288.0mm	2015.9.28
17	金光路 87 號	82°	與 Nk 南港層交界	4m	順向坡	288.0mm	2015.9.28

附註：

(九份地區山崩目錄)

三、羅吉斯迴歸分析概念

由於預測山崩模型中的依變數是屬於二元類別資料即可利用有山崩表示(Y=1)或無山崩表示(Y=0)，的羅吉斯迴歸(logistic regression)概念如下；

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon$$
 β_0 為常數， $\beta_1 \dots \beta_n$ 為迴歸係數

由於 $P(Y=0) + P(Y=1) = 1$ ，因此

$$P(Y = 0) = \frac{1}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_p X_p)}$$

定義勝算比 (odds) 為：odds $\equiv P(Y = 1) / P(Y = 0)$ ，則

$$\text{odds} \equiv \frac{P(Y=1)}{P(Y=0)} = \exp(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_p X_p)$$

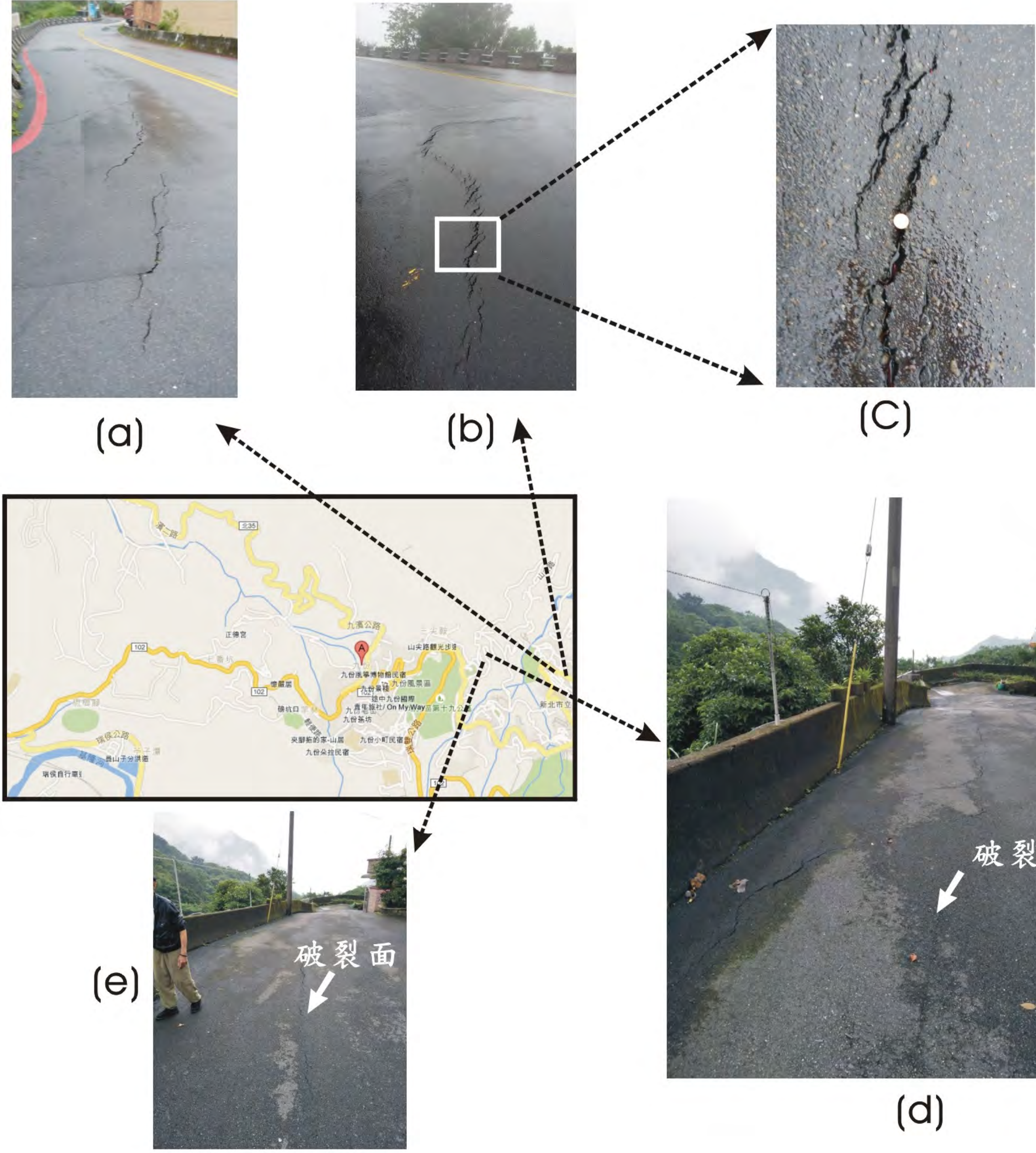
等號兩邊個取自對數 log，得

$$\log(\text{odds}) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_p X_p$$

令 Y 為二元變項 (binary variable)，其值為 0 或 1。則 Y=1 的機率為：

$$P(Y = 1) = \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_p X_p)}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_p X_p)}$$

其中 exp 為指數函數， $X_1, \dots, X_p$ 是 p 個預測變項。 β_0 稱作截距，其他 β_i 稱作 X_i 的迴歸係數。稱為羅吉斯迴歸。



圖七(a)、(b)為祈堂路上疑似因重力緣故，分別發生潛移現象，導致柏油路面產生裂縫。圖七(c)為雨水會沿著柏油路面之張力裂縫而滲流侵蝕該裂縫內的土層。圖(e)、(d)為深入某聚落內，則到處可見因潛移而產生的破裂帶。

附表 2 整理坡地山崩機制因子綜合資料(修改自陳宏宇，2000)

地 點	地形因子	地質因子	水文因子(豪大雨)	地質作用
雲林草嶺	+	V	V	V
八堵聯絡道	+	V	V	+
林口台地	V	V	V	V
花蓮崇德	V	V	V	+
台北馬槽	V	V	V	V
汐止林肯大郡	+	V	V	+
台南左鎮	+	V	V	V
南投九份二山	+	V	+	V
九份地區	V	V	V	V

討 論

一、九份地區雨量與山崩比的關係

Sample size	731	%
Cases with Y=0	726	99.32%
Cases with Y=1	5	0.68%

變數	Beta	標準誤	Wald	df	P	Exp(B)
Constant	-6.783	0.948	51.202	1	0.000	0.001
2 X1	0.029	0.006	22.863	1	0.000	1.029
725 X2						

Variable	Beta	標準誤	P
Constant	-6.783	0.948	0.000
X1	0.029	0.006	0.000
Odds Ratios及其 95%信賴區間			
95% CI			
變數	Odds Ratio	Lower	Upper
X1	1.029	1.02	1.04
X2			

ROC 曲線分析	
ROC下面積 (AUC)	0.942
標準誤	0.005
95% 信賴區間	CI: 0.75 to
決策點	cutoff=67.5

二、Excel中的羅吉斯迴歸(logistic regression)分析如下:

即表示山崩比的機率為:

$$\text{Exp}(-6.783 + 0.029 * \text{雨量})$$

每增加 10mm 山崩比的機率增加 10.29倍當每日雨量累積至67.5mm 則有部分山崩的危險
機率當雨量累積至 234mm 則九份地區會發生部分山崩。

三、可能發生山崩的機制、地區及理論模型為何？

綜合上述，我們發現九份地區無論在地形、地質構造、水文地質及人為開發，都具有潛在的危險因子，故預測某聚落可能發生山崩的機制分別如下：

- (一)、地形方面：山坡地形、地形陡峭。
- (二)、地質方面：地層為大寮層，砂、頁互層以及岩石內部膠結物質易受浸水而崩解。
- (三)、區域構造方面：該聚落有甲脈斷層經過，坡向為順向坡，甲脈斷層及野溪和逕流侵蝕該順向坡之坡腳。
- (四)、水文地質方面：本地區降水強度大，雨量豐沛，甚至甲脈斷層沿著野溪溪谷行走，淘蝕地層。

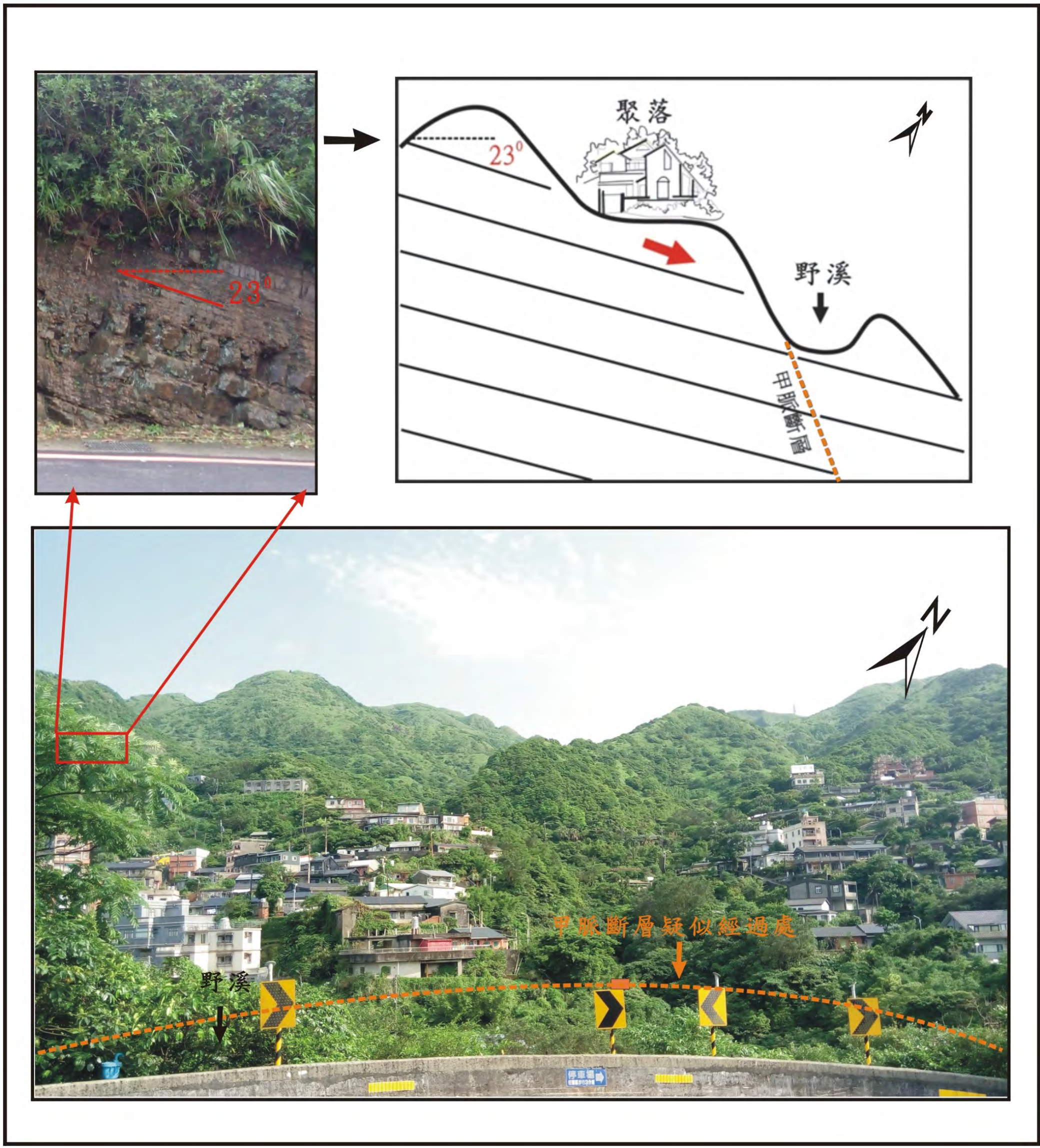
四、實際案例驗證如下:

下午3:03	...	台灣之星 4G	中華電信 3G
←	現在天氣-瑞芳	www.cwb.gov.tw	⋮

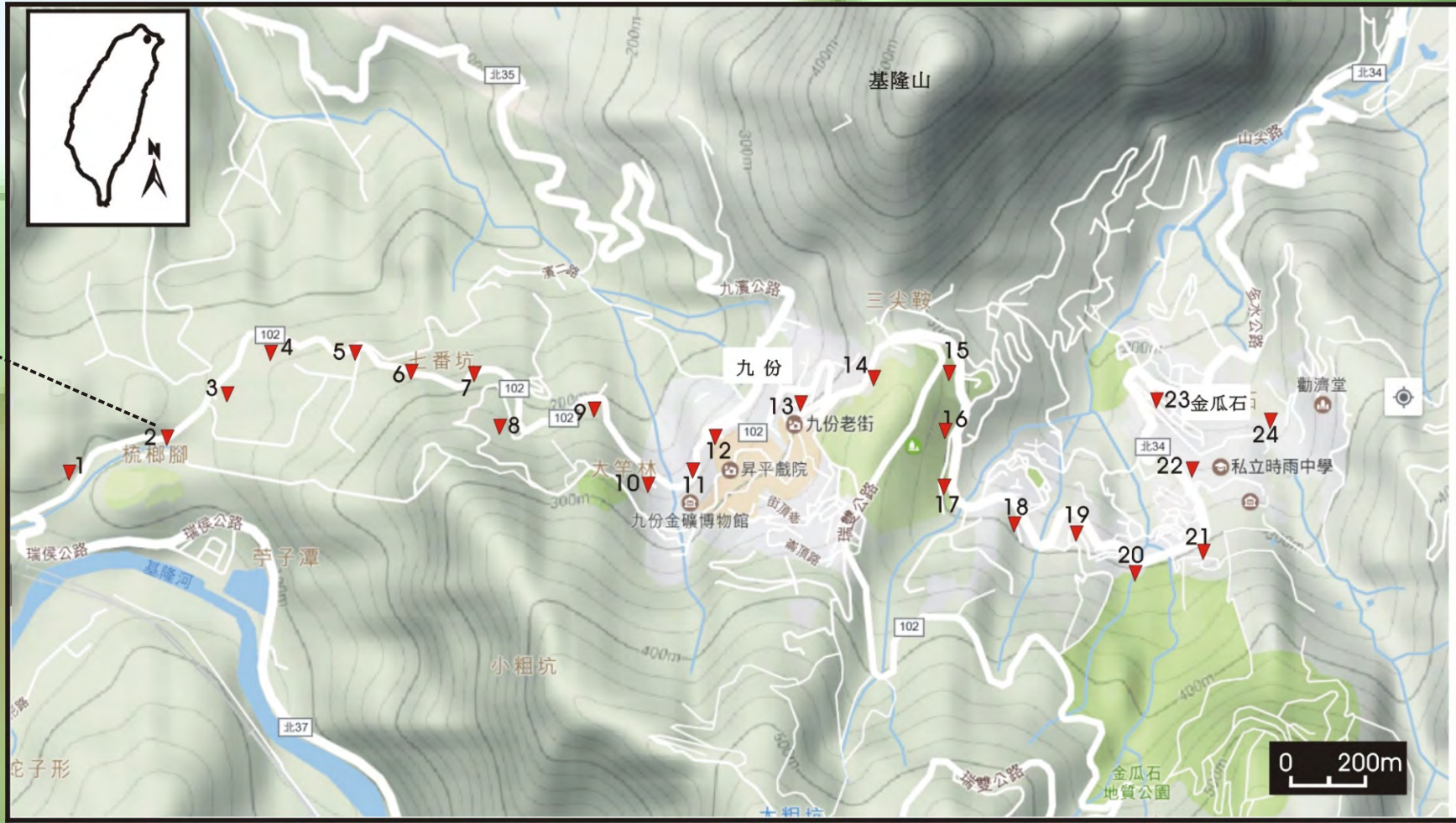
06/03 03:00	23.0	-	靜風	0.0 0	-	-	100	-	0.0
06/03 02:00	23.0	-	靜風	0.0 0	-	-	100	-	0.0
06/03 01:00	23.0	-	靜風	0.0 0	-	-	100	-	0.0
06/03 00:00	23.0	-	靜風	0.0 0	-	-	100	-	291.5
06/02 23:00	23.0	-	靜風	0.0 0	-	-	100	-	291.0
06/02 22:00	23.0	-	靜風	0.0 0	-	-	100	-	289.5
06/02 21:00	23.0	-	靜風	0.0 0	-	-	100	-	287.0
06/02 20:00	22.9	-	靜風	0.1 0	-	-	100	-	284.5
06/02 19:00	22.8	-	靜風	0.1 0	-	-	100	-	284.0
06/02 18:00	22.8	-	北北西	1.1 1	-	-	100	-	282.5
06/02 17:00	22.8	-	北北西	0.7 1	-	-	100	-	281.0
06/02 16:00	23.0	-	北北西	1.4 1	-	-	100	-	280.0
06/02 15:00	23.3	-	西北	1.9 2	-	-	100	-	280.0
06/02 14:00	23.5	-	靜風	0.0 0	-	-	100	-	279.5



(九份102縣道雨量超過240mm以上發生山崩，已被清除)



(2號省道水滴洞附近，雨量超過240mm以上發生山崩)



結 論

九份地區是個依山面海的山城聚落，隨著觀光的快速發展，山坡地大量開發，然與「自然爭地」的結果，終會受到大自然的反噬。本研究根據文獻探討、地質岩性、區域構造、實地勘察、降雨量、羅吉斯迴歸分析等資料，推測九份地區聚落為潛在山崩活動危險地帶，如時雨中學前某聚落，雖目前無嚴重的地層滑動跡象，但受地貌表徵、水文、地質構造以及人為開發等環境潛在危險山崩的因子影響下，例如甲脈斷層的擾動、野溪侵蝕順向坡之坡腳，使坡地末端之基腳失去支撐、地層淘蝕以及新增與加蓋之混凝土樓房增加載重、林林總總潛在危險因子，皆會使山崩壓力增加，以羅吉斯迴歸分析推測雨量與山崩比的關係為方程式：

$$\text{EXP}(-6.783 + 0.029 * \text{雨量})$$

即推測每增加 10mm雨量，則山崩比增加 10.29倍；當每日雨量累積至67.5mm 則有部分山崩的危險機率產生；當雨量累積至 234mm 則九份地區會發生部分山崩的機率幾乎是100%。