

火山脈動

■ 宋聖榮

過去台灣對於火山監測
和減災的研究較少，
藉由幾個活火山的例子，
可以幫助我們了解
火山噴發造成的災害。



美國夏威夷火山女神—佩蕾的傳說

火山，顧名思義是會噴火（岩漿）的山，它兼具毀滅和重生雙重性格，令人迷惘。當火山噴發時，高溫的岩漿和劇烈的爆發幾乎把周遭的事物摧毀殆盡，但噴出的物質可填海造陸或形成最肥沃的土壤，以孕育萬物，讓生命重生。

在自然科學還不甚發達的年代，住在火山附近的老祖宗，對於火山的威力既敬且畏，深怕得罪了它而引發劇烈的噴發，讓大地萬劫不復，整個族群毀滅。因此，關於火山有許多美麗動人的故事。

例如，夏威夷火山女神——佩蕾，傳說是玻里尼西亞掌管火的女神，情緒反覆無常，擁有致命的摧毀力量，就和現實中的火山噴發一樣，讓人永遠摸不著、猜不透，令人畏懼。希臘神話中的赫斐斯塔斯是掌管



上圖是美國夏威夷基勞威火山的爆裂口。下圖是從希羅市眺望美國夏威夷馬拉凱火山的盾狀火山地形。

火和冶煉的神，他的名字代表燃燒、發光和火焰。到了羅馬時代，赫斐斯塔斯被改名為烏干，是天神宙斯的3個兒子之一，掌管地球上的火、火山噴發和冶煉爐灶。紐西蘭的毛利人傳說火山和地震之神羅奧摩柯，在母親低頭餵奶時，不小心被壓入地下，此後他就不斷咆哮抱怨，噴出熊熊的火焰。

火山雖有美麗的傳說，對人類社會造成的危害卻僅次於地震和洪水。翻開過去火山災害史，造成人類傷亡和財產的損失不計其數，令人觸目驚心。因此研究火山的目的是，除了要了解火山形成的機制和噴發的行為外，就是希望經由對火山的了解，預測火山的噴發以減少所造成的災害。

研究火山的目的是，除了要了解火山形成的機制和噴發的行為外，就是希望經由對火山的了解，預測火山的噴發以減少所造成的災害。



印尼美若比火山頂上的熔岩穹窿和硫氣孔的硫黃結晶及噴氣。



印尼美若比火山 12 世紀的大噴發，噴出大量的火山灰把當時很多的廟宇埋藏在地底下。

國際火山學會在十幾年前配合聯合國推動 20 世紀最後 10 年（1990～1999 年）的國際自然災害防災 10 年計畫，選定全世界 16 個未來 10 年內最有可能再噴發、具破壞性的火山為 10 年火山，進行有系統的研究和監測，期望把火山噴發造成的災害減到最小。

台灣位於西太平洋菲律賓海板塊和歐亞板塊的碰撞帶上，因此有不少各種類型的火山噴發紀錄。因為過去台灣和周遭島嶼的火山一直都被認為是休眠火山或是死火山，從未有活火山的報導，以致對於台灣火山的研究和了解都不夠，而一般大眾對於火山的知識更是缺乏。

1991 年，日本的雲仙火山和菲律賓的皮那土波火山相繼噴發，引起民眾擔心台灣是否有活火山存在？是否會因這兩座火山噴發的連鎖反應，造成台灣火山的再噴發等問題。事實上，這些擔心都是對於火山不夠了解所致。

1994 年國際火山學會定義活火山為：「火山在 1 萬年內曾噴發過」和「火山底下還有活躍的岩漿庫」。過去的研究顯示，龜山島在近 1 萬年內有 3～4 次的火山噴發，且地下還有活躍的岩漿庫。大屯火山群雖還未發現 1 萬年內噴發的紀錄，但地震、地熱、火山氣體、氫同位素等資料表示，地下極可能還有活躍的岩漿庫連通。因此，

印尼美若比火山的錐狀地形，山頂上還冒著裊裊的白煙。



因為過去台灣和周遭島嶼的火山一直都被認為是休眠火山或是死火山，從未有活火山的報導，以致對於台灣火山的研究和了解都不夠，而一般大眾對於火山的知識更是缺乏。

過去約 400 年來的火山災害類型和死亡人數

火山名稱	國家	噴發年代	火山碎屑流	岩屑流	熔岩流	火山後餓死	海嘯
Kelut	印尼	1856		10,000			
Vesuvius	義大利	1631			18,000		
Etna	義大利	1669			10,000		
Merapi	印尼	1672	300				
Awu	印尼	1711		3,200			
Oshima	日本	1742					1,480
Cotopaxi	厄瓜多爾	1741		1,000			
Makian	印尼	1760					
Papadajan	印尼	1772	2,960				
Lakagigar	冰島	1783				9,340	
Asama	日本	1783	1,150				
Unzen	日本	1792					15,190
Mayon	菲律賓	1814	1,200				
Tambora	印尼	1815	12,000			80,000	
Galunggung	印尼	1822		4,000			
Nevada del Ruiz	哥倫比亞	1845		1,000			
Awu	印尼	1856		3,000			
Cotopaxi	厄瓜多爾	1877		1,000			
Krakatau	印尼	1883					36,420
Awu	印尼	1892		1,530			
Soufriere	聖文斯	1902	1,560				
Mont Pelee	馬丁尼爾	1902	29,000				
Santa Maria	瓜地馬拉	1902	6,000				
Taal	菲律賓	1911	1,330				
Kelut	印尼	1919		5,110			
Merapi	印尼	1851	1,300				
Lamington	新幾內亞	1851	2,940				
Hibok-Hibok	菲律賓	1851	500				
Agung	印尼	1963	1,900				
St. Helens	美國	1980	60				
El Chichon	墨西哥	1982	>2,000				
Nevada del Ruiz	哥倫比亞	1985		>22,000			
總和			65,140	53,900	28,000	89,340	53,090

資料來源：Yokoyama et al., 1984; UNESCO, 1985

國際火山學會所選定 20 世紀末的 10 年火山

火山名稱	國家
Avachinsky-Koryaksky	蘇聯
Colima	墨西哥
Etna	義大利
Galeras	哥倫比亞
Manna Loa	美國
Merapi	印尼
Niragongo	剛果
Rainier	美國
Sakurajima	日本
Santa Maria/Santiaguito	瓜地馬拉
Santorini	希臘
Taal	菲律賓
Teide	西班牙
Ulawun	巴布新幾內亞
Unzen	日本
Vesuvius	義大利

龜山島和大屯火山群是否會再度活動，不僅是一個值得研究的科學問題，更關係宜蘭平原和大台北地區附近民眾的生命財產安全。

因過去台灣對於火山監測和減災的研究較少，藉由以下幾個活火山的例子，可以幫助我們了解火山的性質，以及如何防患可能的災害。

美國雷尼爾火山

雷尼爾火山 (Mt. Rainier) 位於美國西部，海拔將近 4,400 公尺，是華盛頓州喀斯開山脈的第一高峰，是這地區最具危險性



台灣北部大油坑硫氣孔的硫黃結晶和噴氣，顯示大屯火山群的火山作用可能還相當強烈。

的一座火山。雷尼爾火山是一層狀火山，大約在 50 到 100 萬年前開始活動，近期的噴發紀錄是 19 世紀發生了多次小規模噴發，而較大規模的噴發則發生在一、二千年前。

雷尼爾火山之所以具威脅性，除了周圍低地的人口數量多之外，主要因它有非常龐大的冰河，整座火山上的冰雪體積相當驚人。若發生火山噴發，最可能產生的災害是高溫噴發物和融雪混合形成的火山泥流（lahar）造成的嚴重災情，且影響範圍可到達距火山很遠的地區。

雷尼爾火山最早期的熔岩大約在 84 萬年前開始形成火山錐，後來的各期噴發再一層層地覆蓋其上。目前所見雷尼爾火山的基本外形已經超過 50 萬年了，主要是安山岩，已受到相當程度的風化和侵蝕。根據推測，雷尼爾火山在過去高度曾達到 4,900 公尺以上，但在約 5 千年前發生一次大山崩和泥流使它的高度驟減。

雷尼爾火山上一次的噴發紀錄約在 150 年前，根據最近的研究，在未來幾百年內再度噴發的機率非常高。因附近人口眾

多，持續且嚴密的監測成爲一項重要的工作，尤其是對於火山泥流的監測。

雷尼爾火山的火山泥流自動警報系統，是美國地質調查所（USGS）和華盛頓皮爾斯郡合作的一項計畫。發展這系統的原因之一，是記取了 1985 年哥倫比亞 Nevado del Ruiz 火山噴發的教訓。當時引發的火山泥流摧毀了距離火山不遠的 Armero 鎮，奪走超過 25,000 條性命。火山泥流從形成至到達城鎮，總共經過 2.5 個小時，若當時鎮民能及時得到通知，足以讓他們逃往高處，避免這場悲劇的發生。

由雷尼爾火山周圍地區的沉積構造，知道在過去 1 萬年間曾多次引發巨大的火山泥流，影響範圍到達距火山 100 公里遠的地區。現今這些火山泥流沉積層之上座落著許多人口密集的城鎮，若再發生一次大規模的火山泥流，後果可想而知。目前雷尼爾火山已受到嚴密的監測，出現異常現象時就能提早因應。

雷尼爾火山泥流監測系統包括在兩個河谷中共設置了 5 處聲波測量站，其中兩站

設在火山泥流會經過的點，發生火山泥流時這兩站會被直接破壞，但能提供重要資訊。另外3站則設在較高處，不受火山泥流的直接衝擊而可繼續測量工作。聲波測量站主要是偵測附近地表的震動，和一般地震儀的差別在於它對較高頻率的震動較敏感，測到的頻率範圍也高於一般地震和火山活動產生的震動頻率。

美國聖海倫斯火山

聖海倫斯火山 (Mt. St. Helens) 位於美國華盛頓州內陸的喀斯開山脈，最近一次的噴發開始於1980年的3月25日，經過123年的休眠，在4.2級的地震後有甦醒的先兆。往後的幾天，噴出火山灰、小圓石、泥漿等，並融化了積雪。火山北面的凸起一開始幾乎看不見，但它增大的速度很快。到了4月20日，已經凸出了75公尺，每天還以1.5公尺的速度增高。

在5月18日發生劇烈噴發，首先是火山底下1.6公里處發生了5.1級的地震，10秒後便發生了大山崩，火山北側的隆起部分全部崩塌。在15秒內，3立方公里的岩石滑下，並以每小時250公里的速度衝下斜坡，大小不一的火山物質、冰塊和水一部分衝進了Spirit湖，造成湖面上升了60公尺，另一部分則直瀉於Toutle河谷北端20公里外地區。

之後，一股超過攝氏300度高溫的氣流，夾雜著岩石、火山灰、有毒氣體等，橫掃火山北面30公里內的扇形地區。雖只持續了1分鐘，卻摧毀了600平方公里土地上的樹木和建築。火山頂上因爆炸噴出的煙柱，在十幾分鐘後上升到25公里的高空，頂部形成蘑菇狀。而430公尺高的山頂

消失，形成向北開口的馬蹄形火山口（長302公里，寬1.6公里，深700公尺）。

自2004年9月以來，已較為平靜的聖海倫斯火山有轉趨活躍的情況。她持續噴出蒸氣和火山灰，並帶來一連串的地震活動，同時地底下也持續傳出穩定而低沉的隆隆聲。這是火山活動升高的前兆，代表聖海倫斯火山隨時都有可能再度爆發。

聖海倫斯火山的監測工作，由美國地質調查所所屬的喀斯開火山觀測所負責。採用的監測方法包括地球物理和地球化學方法，前者有火山地震的監測、地磁變化、地殼變形（電子距離測量、全球衛星定位、三角和水準測量、傾斜儀等）及地溫監測，後者則有火山氣體成分、地下水質的監測等。

日本雲仙火山

海拔1,359公尺的雲仙火山 (Mt. Unzen)，位於長崎南邊的島原半島上。自古以來航行於中國和日本之間的商船從海上眺望，總會看到雲霧繚繞中若隱若現的山頭，好像傳說中的蓬萊仙島，於是，「雲仙」這個名字就在眾人之間流傳著。

雲仙火山是一個複雜的火山體，由幾個相鄰和重疊的熔岩穹丘構成，它的首次火山活動可追溯到大約50萬年前，是在東西方向正斷層形成的雲仙地塹中發展出的火山，由厚層熔岩流和熔岩穹丘，伴隨著火山碎屑流和崩塌碎屑物質所構成。在最近的2萬年間，火山活動集中在雲仙火山東部，歷史上有兩次噴發紀錄。1769年一次大地震後，引發老熔岩崩塌滑落，伴隨著雪崩和海嘯，總共奪走了1萬5千人的生命。



日本雲仙火山頂上的 1991 年噴發的熔岩穹窿地形

義大利維蘇威火山

維蘇威火山 (Mt. Vesuvius) 的名稱「Vesuvius」或「Vesubius」，意思是「未熄滅的」山，位於義大利中部那不勒斯東南約 11 公里，是歐洲大陸唯一的活火山，海拔約 1,281 公尺。火山鄰近區域共有約 70 萬人生活著，而整個那不勒斯市也有超過百萬人居住。

維蘇威火山最初是一座海底火山，約從 17,000 年前開始噴出大量的熔岩才露出

海平面，和鄰近的陸地相連，它的噴發屬於最劇烈的 Plinian 火山噴發型態。在西元 79 年大噴發、造成巨大傷亡之前，這座火山應處於長期休眠的狀態。

維蘇威火山在西元 63 年產生大地震，此後的 16 年中，地震連續發生。在大災難來臨的前幾天，火山開始噴煙，並發出隆隆響聲。人們對那次的警告嗤之以鼻，因為在他們的印象中，火山從未噴發過。

西元 79 年 8 月 24 日上午 7 時左右，開始了一場史無前例的大爆發，把半個火山錐頂炸掉，形成今日維蘇威火山的面貌。大量的火山灰、浮石和氣體，把鄰近的龐貝城和哈克雷紐城埋沒。龐貝城是羅馬時代的商業中心，被毀滅時人口約有 2 萬人，埋葬這個城市的火山灰大約有 4~8 公尺厚。另一哈克雷紐城，則是被厚約 20 公尺的火山碎屑



日本雲仙火山的噴氣和熱水換質露頭，它的特徵類似於台灣大屯火山群的大油坑。

菲律賓火山和地震觀測局公告的 「皮納土坡火山預警訊號」分級表

流所掩埋。

目前維蘇威火山周邊地區按危險程度劃分為3個帶，其中最危險的一個帶，「紅色警戒區」裡，有18個小鎮、60萬居民，

這些居民幾乎直接面對火山噴發的巨大威脅，在噴發前必須撤走。義大利政府對於大規模的居民撤離早有預備方案，並進行撤離演練。政府官員表示，目前大約有27,100戶家庭已經提出申請，準備撤離「紅色警戒區」，希望未來10年內志願遷出的居民能達到15萬人。

那不勒斯所在的坎帕尼亞區也採取了一項7億歐元的計畫，下令停止在高危險地區內建造任何建築物，違者重罰，並對願意遷離到危險區外重建家園的居民予以資助。

菲律賓皮納土坡火山

皮納土坡火山（Mt. Pinatubo）位於菲律賓，是呂宋火山島弧中的一座複式火山，也是呂宋島西部最高的一座山。1991年噴發之前高1,745公尺，爆發後變為1,445公尺；火山基底直徑40公里，火山口湖深

600～800公尺、直徑約2公里。皮納土坡火山噴發的年代大致分為3個時期，分

別是距今 1.10 ± 0.09 百萬年前、 635 ± 80 年前及1991～1992年間，最近這次噴發是20世紀最大規模的，共造成超過850人死亡，近10萬人無家可歸。

值得一提的是，皮納土坡火山的噴發不只造成附近地區的災害，也影響了全球的氣候。由於噴出的火山灰及氣體擴散到平流層，影響太陽光照射。火山噴發至高

空的硫酸鹽氣膠吸收地球長波輻射使低平流層溫度上升，同時散射和反射太陽短波輻射，造成地表降溫。

另外，火山爆裂口形成一座火山口湖，湖水甚多。由於擔心天然堤防崩潰造成嚴重水患，因此開鑿宣洩口使部分湖水排出。 □

宋聖榮

台灣大學地質科學系

分級表	標準	說明
無預警	背景值、安靜。	在可見的未來不會噴發。
1級	低程度的地震、噴氣和其他的信號。	岩漿、構造或熱水擾動；不會立即噴發。
2級	低至中程度的地震；且具有和岩漿活動有關的信號。	可能是岩漿侵入且可能導致噴發。
3級	地震活動增加、地表變形加速、噴氣增加。	可能在幾天或一周內發生火山噴發。
4級	強烈地震活動；岩漿溫和溢出，地表顯著穹隆。	岩漿接近或噴出至地面；幾小時至幾天內會發生劇烈的噴發。
5級	火山碎屑流和/或噴發柱高達6公里以上高度。	劇烈噴發；下風處或河谷低地極危險。



國際大陸深鑽在日本雲仙火山側翼鑽探，以了解火山形成的祕密。