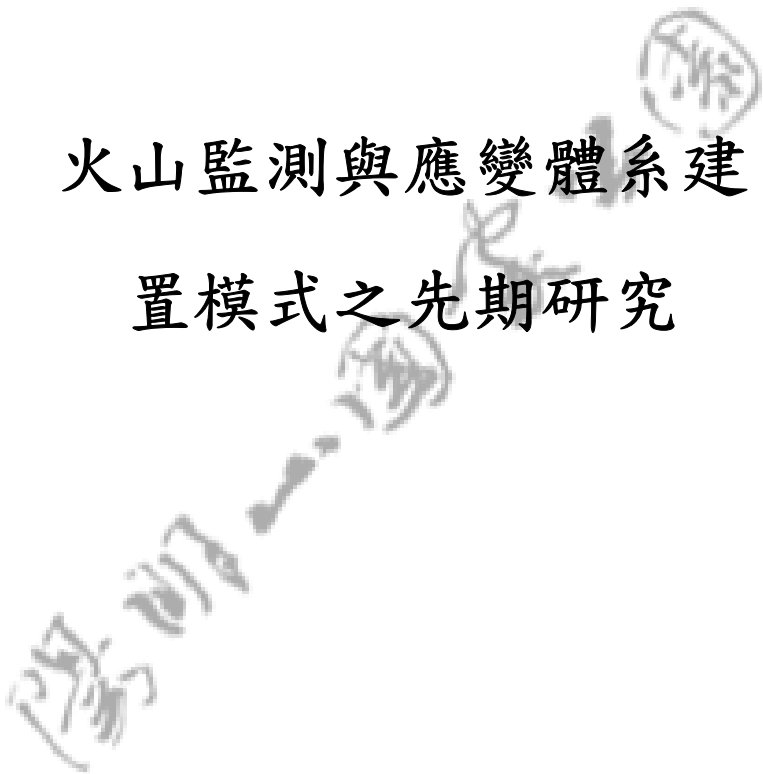




火山監測與應變體系建 置模式之先期研究

內政部營建署陽明山公園管理處委託研究報告

中華民國九十六年十二月

火山監測與應變體系建置模式 之先期研究

受委託者：中華民國地質學會

研究主持人：宋聖榮

研究助理：邱淑美

內政部營建署陽明山公園管理處委託研究報告

中華民國九十六年十二月

目次

表次	-----	III
圖次	-----	IV
摘要	-----	VI
第一章 緒論	-----	1
第一節 計畫緣起	-----	1
第二節 研究目的	-----	5
第三節 研究方法	-----	5
第二章 研究區域地質概況	-----	7
第一節 大屯火山群的火山作用	-----	7
第三章 大屯火山群為活火山	-----	13
第一節 活火山的定義	-----	13
第二節 大屯火山群為活火山	-----	15
第四章 火山監測方法	-----	21
第一節 火山監測方法概論	-----	21
第二節 世界主要火山國家的監測實例	-----	28
第五章 火山災害評估	-----	49
第一節 火山災害種類	-----	49
第二節 如何減低及防範火山災害	-----	56
第三節 大屯火山群火山噴發可能的災害	-----	59
第六章 火山策略和應變體系	-----	65
第一節 火山減災基本策略	-----	65
第三節 應變體系	-----	69
第七章 結論與建議	-----	76
第一節 結論	-----	76
第二節 建議	-----	77
參考書目	-----	81

附件一：火山監測與減災國際研討會摘要	----- 85
附件二：評審會會議紀錄	----- 89
附件三：期末報告會議紀錄	----- 101

陽明山國家公園

表次

表一：過去幾百年來的火山災害及死亡人數	1
表二：國際火山學會所選定全世界世紀末的十年火山	2
表三：監測活火山活動性的可能方法	22
表四：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	46
表五：日本的火山噴發防災體系	70
表六：日本的火山災害對策	71
表七：活火山對策特別措施法	71
表八：火山活動信息的發布程序	71
表九：建議大屯火山群的火山預警訊號分級表	75

陽明山國家公園

圖次

圖一：過去幾百年來造成火山災害及死亡的火山分布	4
圖二：國際火山學會所選定全世界 20 世紀末十年火山的分布	4
圖三：臺灣北部簡要地質和火山分佈圖	7
圖四：大屯火山群主要火山體的分布，形成一開口向東北的凹陷地形	8
圖五：大屯火山群火山岩年代分佈圖	9
圖六：大地應力與岩漿活動的關係圖	10
圖七：大屯火山群地下地質剖面圖	10
圖八：大屯火山群火山活動演化史	11
圖九：火山噴發前岩漿活動可能的前兆	14
圖十：大屯火山群七星山亞群 LiDar 影像圖顯示保存完整的 火山地形和斷層線性分布	17
圖十一：大屯火山群磺嘴山亞群 LiDar 影像圖顯示保存完整的火山地形	18
圖十二：大屯火山群地區微震分佈圖	19
圖十三：大屯火山群氦同位素分析結果；顯示噴氣口中的氦氣含量 是由岩漿和空氣混合	19
圖十四：大屯火山群斷層、溫泉和熱水換質區的分佈圖	20
圖十五：火山噴發作用及產物示意圖	50
圖十六：以七星山火山為噴發中心可能的火山災害潛勢圖	62
圖十七：以磺嘴山火山為噴發中心可能的火山災害潛勢圖	63
圖十八：以大屯山火山為噴發中心可能的火山災害潛勢圖	64
圖十九：美國聖海倫斯火山噴發時所擬定政府—火山科學家—	

大眾的關係圖 ----- 66

圖二十：火山活動監測和災害的基本執行策略方法 ----- 68



摘 要

關鍵詞：大屯火山群、活火山、陽明山國家公園、火山監測、火山災害

一、研究緣起

大屯火山群依據過去的研究，可能是一座活火山。因此，陽明山國家公園為充實基本的火山研究（包括火山噴發過程、火山噴發產物、火山噴發相關的現象、火山採樣研究等等），據以了解火山性質，並以建立火山監測網與火山分區圖（包括火山災害圖、前兆圖、火山預警流程圖等）。因此，希望藉由本計畫獲得國際上對於火山監測研究的歷程、方法與成果分析，以及比較相關國家在火山災害應變（預警）系統的規劃、執行經驗；並希望透過舉辦國際學術會議，達到宣導與教育的目的。

二、研究方法及過程

本研究計劃之工作方法及步驟，主要是配合計劃的工作內容加以規劃設計，其進行的方法包括有：

1. 資料蒐集

從網路、圖書和期刊上，或直接與當地火山觀測所接觸，蒐集多火山國家之相關活火山的監測方法和策略，以及火山應變（預警）體系。

2. 分析比較

火山監測與應變體系建模式之先期研究

將蒐集到的多火山國家之活火山之監測方法和策略，以及火山應變（預警）體系做整理，並比較他們之間的異同。

3. 蒐集研判大屯火山群的火山徵兆活動

蒐集和整理文獻上過去有關大屯火山群後火山活動的各種徵兆報導，以及火山噴發產物特徵，並實際野外探勘和確認後火山活動的各種徵兆和火山產物特徵。

4. 擬訂具體監測實施方案

藉由搜集到的活火山監測方法和策略、火山應變（預警）體系，以及大屯火山群過去的噴發特徵，擬訂對於大屯火山群的監測實施方案。

5. 舉辦國際研討會或座談會

一般舉辦國際研討會最少需一年前就要公告，讓相關領域的學者知曉有此一會議舉辦，讓他們有把此一會議放在一年的行程規劃中，現在才來規劃，已嫌太晚。故此一計畫內的國際研討會，預備依附在十月初在台北舉辦的『第九屆國際氣體地球化學會議』，藉由此一會議的召開，在邀請數位國際相關學者舉辦座談會，發表他們國家對於火山監測和應變系統的設立等。

三、重要發現

1、大屯火山群雖然目前定年結果顯示未符合活火山的經驗定義，但

依據活火山的現象定義，地底下還有活躍的岩漿活動，必須定義為一座活火山，未來有再噴發的可能。

- 2、從過去大屯火山群火山噴發的產物特徵和地形現狀推測，推測未來若發生火山噴發，其造成的火山災害可能為火山碎屑流、火山熔岩流和火山泥流等災害，影響區域內較低的地區。
- 3、經濟部中央地質調查所目前正對大屯火山群的基本火山地質、火山災害評估和火山監測等，重新進行調查研究。
- 4、經濟部中央地質調查所火山監測的工作包括有火山地震、地形變、地熱測量和火山流體(包括氣體和溫泉)等。
- 5、考慮陽明山國家公園管理處的人力和物力等，對於大屯火山群的基本火山地質、火山災害評估和火山監測等工作，應繼續由經濟部中央地質調查所負責相關工作。
- 6、陽明山國家公園管理處對於大屯火山群的活火山，應協調和結合政府相關單位，負責訂定火山災害應變相關計畫，如火山預警訊號、火山災害警告、危險地區隔離限制、撤離人員順序、財產轉移和安置、營救方案、交通、通訊處理等疏散計畫和土地利用計畫等。
- 7、陽明山國家公園管理處也應加強利用各種大眾媒體和舉辦各種教育訓練來教育一般民眾對於火山知識的了解。

四、主要建議事項

根據研究發現，本研究針對火山監測與應變體系建模式之先期規劃，提出下列具體建議。以下分別從立即可行的建議、及長期性建議加以列舉。

立即可行之建議一：擬定大屯火山群活火山的火山預警訊號分級表

主辦機關：內政部營建署陽明山國家公園管理處

協辦機關：經濟部中央地質調查所

建議陽明山國家公園管理處仿效『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』，來擬定火山預警訊號分級表。

立即可行之建議二：火山教育

主辦機關：內政部營建署陽明山國家公園管理處

協辦機關：經濟部中央地質調查所

教育是推廣一般大眾了解大自然、進而愛護自然生態環境的最佳方式。故建議陽管處應多舉辦火山相關的教育研習活動，讓一般民眾了解火山噴發、火山災害和火山監測等的相關知識，以因應萬一大屯火山群有風吹草動時，不致於驚慌失措。

長期性之建議：擬定火山相關計畫

主辦機關：內政部營建署陽明山國家公園管理處

協辦機關：各相關政府單位

因為大屯火山群位於陽明山國家公園管理處內，管理處對於火山地區內的各種地形、地物和土地利用現況和管理等都較清楚，故應協調和結合政府相關單位，負責訂定火山災害應變相關計畫，如火山預警訊號、火山災害警告、危險地區隔離限制、撤離人員順序、財產轉移和安置、營救方案、交通、通訊處理等疏散計畫和土地利用計畫等。

ABSTRACT

Keywords: Tatun Volcano Group, Active volcano, Yangmingshan National Park, Volcanic monitoring, Volcanic hazards

Based on the definition of active volcano, the Tatun Volcano Group should be defined as active volcano by the existing of magma plumbing system underneath it. If it erupted, it may happen to the volcanic hazards of pyroclastic flow deposits, lava flows and lahars to cause severe damages in low-land areas. To understand the volcanic conditions of now, the Central Geological Survey, MOEA conducted a researching plan on investigating the basic volcanic geology, evaluations of volcanic hazards and volcano monitoring of Tatun Volcano Group. The monitoring included the measurements on seismicity, crust deformation, heat flow, volcanic fluids (i.e. gas and hot springs) etc. To consider the abilities of man powers and researching funds of the administration of Yangmingshan National Park, this study suggests that the basic researches, hazard estimations and monitors on the Tatun Volcano Group can be done by the Central Geological Survey, MOEA. The administration of Yangmingshan National Park takes the responsibilities on making emergency plans including volcano alert signals, warning system of volcanic hazards, drawing the restricted and dangerous areas, the evacuation and rescue plans on people, properties, transportation and communication etc. Meanwhile, it also should emphasize the works on outreaches and educations via the media to the public to understand the volcanic knowledge.

第一章 緒論

第一節 計畫緣起

火山所造成的危害，是僅次於地震和洪水對人類社會威脅的自然災害，翻開過去火山災害史（表一；圖一），造成人類傷亡和財產損失，也不計其數，令人觸目驚心。所以研究火山的目的，除了要瞭解火山形成的機制和噴發的行為外；另一主要的目的，是希望藉由對火山的瞭解，能預測火山的噴發及降低因火山噴發所造成的災害。所以，國際火山學會在幾年前配合聯合國推動二十世紀最後十年(1990~1999)的國際自然災害防災十年計畫(International Decade for Natural Disaster Reduction)，選定全世界 16 個未來十年最有可能再噴發、具破壞性的火山為十年火山(Decade Volcanoes)(表二；圖二)，進行有系統的研究與監測，期望借由監測與研究，把火山噴發對火山區域所造成的災害減低到最小的程度。

表一：過去幾百年來的火山災害及死亡人數 (Yokoyama et al., 1984; UNESCO, 1985)

	Volcano	Country	Year	Pyroclastic flow	Debris flow	Lava flow	Post-eruptio n starvation	Tsunami
1	Kelut	Indonesia	1856		10,000			
2	Vesuvius	Italy	1631			18,000		
3	Etna	Italy	1669			10,000		
4	Merapi	Indonesia	1672	300				
5	Awu	Indonesia	1711		3,200			
6	Oshima	Japan	1742					1,480
7	Cotopaxi	Ecuador	1741		1,000			
8	Makian	Indonesia	1760					
9	Papadajan	Indonesia	1772	2,960				
10	Lakagigar	Iceland	1783				9,340	
11	Asama	Japan	1783	1,150				
12	Unzen	Japan	1792					15,190
13	Mayon	Philippines	1814	1,200				
14	Tambora	Indonesia	1815	12,000			80,000	
15	Galunggung	Indonesia	1822		4,000			

火山監測與應變體系建模式之先期研究

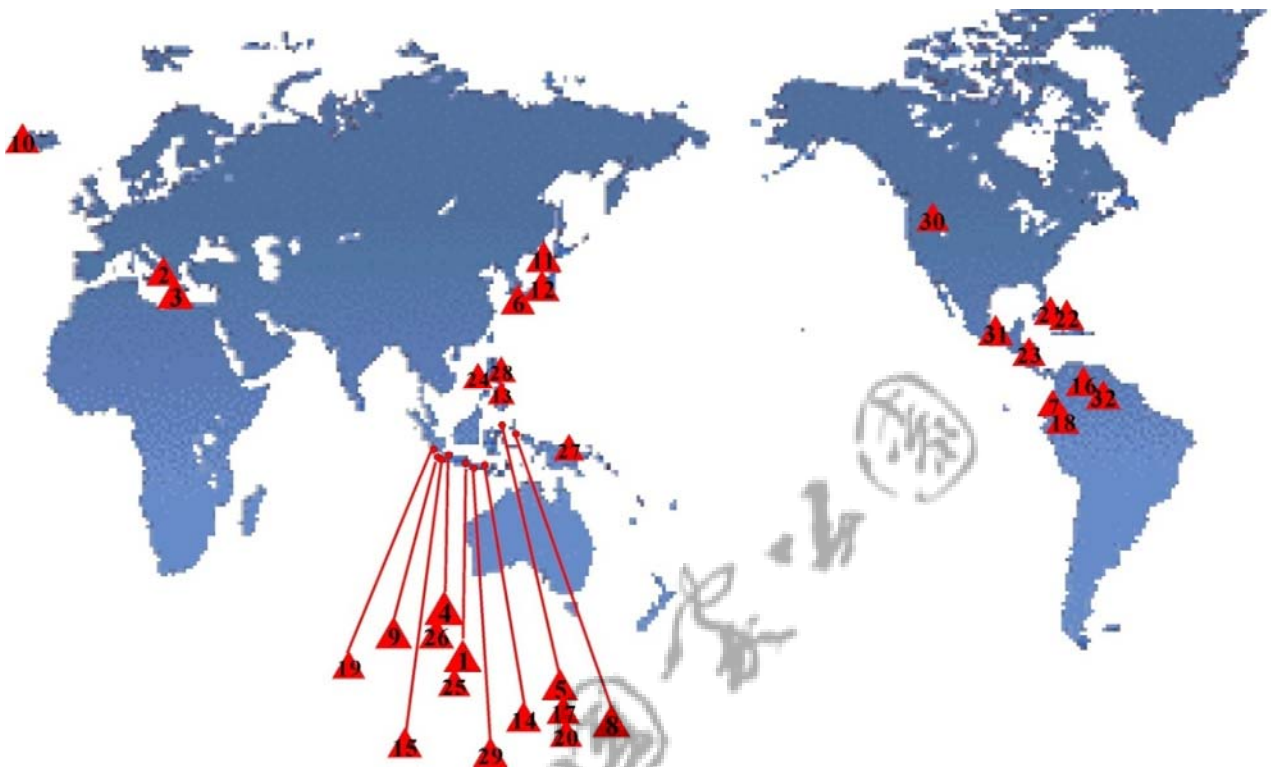
16	Nevada del Ruiz	Colombia	1845		1,000			
17	Awu	Indonesia	1856		3,000			
18	Cotopaxi	Ecuador	1877		1,000			
19	Krakatau	Indonesia	1883					36,420
20	Awu	Indonesia	1892		1,530			
21	Soufriere	St. Vincent	1902	1,560				
22	Mont Pelee	Martinique	1902	29,000				
23	Santa Maria	Guatemala	1902	6,000				
24	Taal	Philippines	1911	1,330				
25	Kelut	Indonesia	1919		5,110			
26	Merapi	Indonesia	1851	1,300				
27	Lamington	Papua New Guinea	1851	2,940				
28	Hibok-Hibok	Philippines	1851	500				
29	Agung	Indonesia	1963	1,900				
30	St. Helens	U.S.A.	1980	60				
31	El Chichon	Mexico	1982	>2,000				
32	Nevada del Ruiz	Colombia	1985		>22,000			
	Total			65,140	53,900	28,000	89,340	53,090

表二：國際火山學會所選定全世界 20 世紀末的十年火山。

火 山 名 稱	座 落 國 家
Avachinsky-Koryaksky	蘇聯 Russia
Colima	墨西哥 Mexico
Etna	義大利 Italy
Galeras	哥倫比亞 Colombia
Manna Loa	美國 USA
Merapi	印尼 Indonesia

Niragongo	剛果 Congo
Rainier	美國 USA
Sakurajima	日本 Japan
Santa Maria/Santiaguito	瓜地馬拉 Guatemala
Santorini	希臘 Greece
Taal	菲律賓 Philippines
Teide	西班牙 Spain
Ulawun	巴布新幾內亞 Papua New
Unzen	日本 Japan
Vesuvius	義大利 Italy

依據 1994 年國際火山學會定義：「因火山的噴發需其地底下有岩漿庫，故若能利用各種科學方法，偵測出火山地底下仍存在有岩漿庫的話，就必須認定其為活火山」(Szakacs, 1994)。陽明山國家公園自 88 年起迄今，即透過委託學術機構專家進行相關研究，包括為期 4 年針對火山氣體氦同位素監測分析計畫與為期 5 年地震微震觀測網建置計畫，初步證據顯示強烈的暗示在大油坑附近地底下可能仍存在有岩漿庫。另外，宋聖榮等人(Song et al., 2000a, 200b)整理大屯火山群的地震資料、地熱、火山氣體和氦同位素等資料，提出大屯火山群應重新定義為一活火山，使得大屯火山群是否會再度活動的可能性，不僅是一個值得研究的科學問題，更關係大台北附近民眾的生命財產安全。基於上述，主要管理大屯火山群地區的陽明山國家公園管理處，為了了解大屯火山群未來可能的潛在威脅，並建立可能的監測系統和應變體系及策略，以因應可能的火山災害。



圖一：過去幾百年來造成火山災害及死亡的火山分布(表一的火山分布)。



圖二：國際火山學會所選定全世界 20 世紀末十年火山的分布。

第二節 研究目的

陽明山國家公園管理處為求完備基本的火山研究（包括火山噴發過程、火山噴發產物、火山噴發相關的現象、火山採樣研究等等），據以了解火山性質，並以建立火山監測網與火山分區圖（包括火山災害圖、前兆圖、火山預警流程圖等）。因此，希望藉由本計畫獲得國際上火山監測研究的歷程、方法與成果分析及比較相關國家在火山災害應變（預警）系統的規劃、執行經驗；並希望透過舉辦國際學術會議，達到宣導與教育的目的。

第三節 研究方法

本研究計劃之工作方法及步驟，主要是配合計劃的工作內容加以規劃設計，其進行的方法包括有：

1. 資料蒐集

從網路、圖書和期刊上，或直接與當地火山觀測所接觸，蒐集多火山國家之相關活火山的監測方法和策略，以及火山應變（預警）體系。

2. 分析比較

將蒐集到的多火山國家之活火山之監測方法和策略，以及火山應變（預警）體系做整理，並比較他們之間的異同。

3. 蒐集研判大屯火山群的火山徵兆活動

蒐集和整理文獻上過去有關大屯火山群後火山活動的各種徵兆報導，以及火山噴發產物特徵，並實際野外探勘和確認後火山活動的各種徵兆和火山產物特徵。

4. 擬訂具體監測實施方案

藉由搜集到的活火山監測方法和策略、火山應變（預警）體系，以及大屯火山群過去的噴發特徵，擬訂對於大屯火山群的監測實施方案。

5. 舉辦國際研討會或座談會

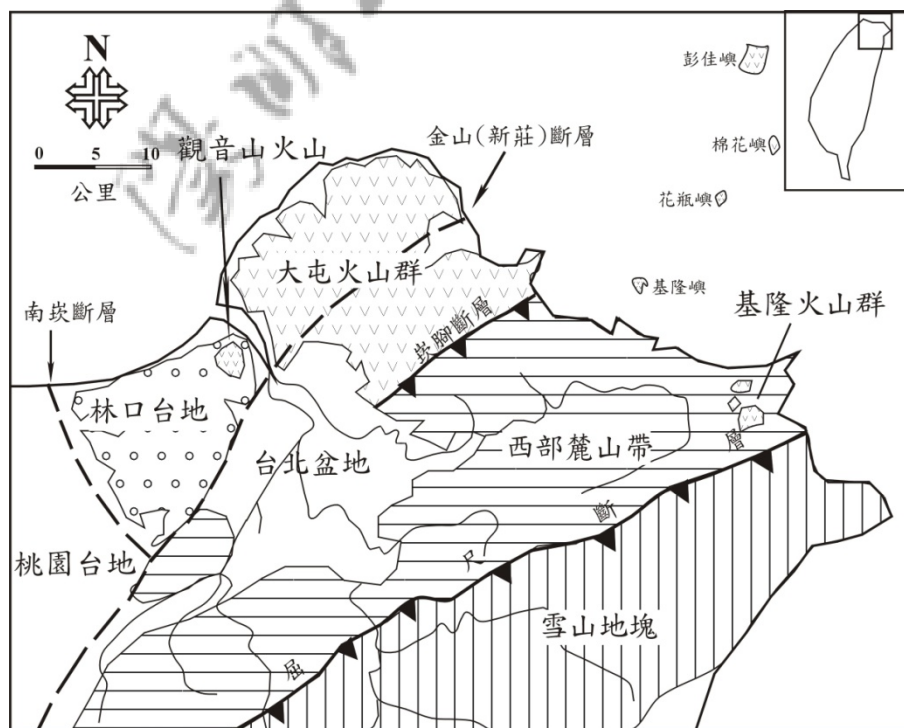
一般舉辦國際研討會最少需一年前就要公告，讓相關領域的學者知曉有此一會議舉辦，讓他們有把此一會議放在一年的行程規劃中，現在才來規劃，已嫌太晚。故此一計畫內的國際研討會，預備依附在十月初在台北舉辦的『第九屆國際氣體地球化學會議』，藉由此一會議的召開，在邀請數位國際相關學者舉辦座談會，發表他們國家對於火山監測和應變系統的設立等。

第二章 研究區域概況

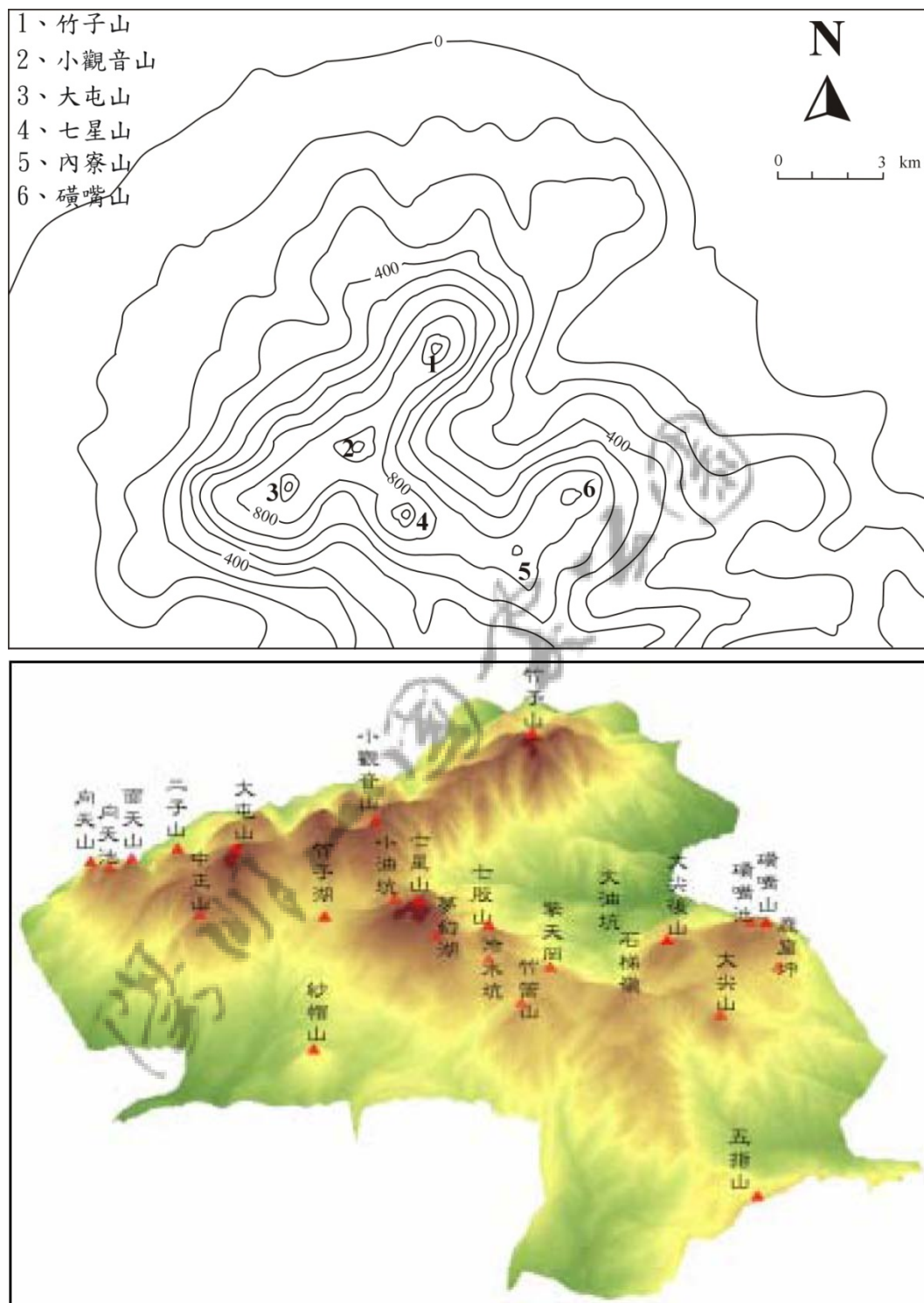
第一節 大屯火山群的火山作用

大屯火山群位於台灣北部，是所有台灣北部火山岩區的火山中，分佈最廣、噴發量最大的火山。其包括五個火山亞群：竹子山亞群、大屯山亞群、七星山亞群、磺嘴山亞群和湊子山—丁火朽山亞群，共約 20 座火山，主要分佈於金山斷層與炭腳斷層之間的區域內，地形相當顯著(圖三和圖四)。

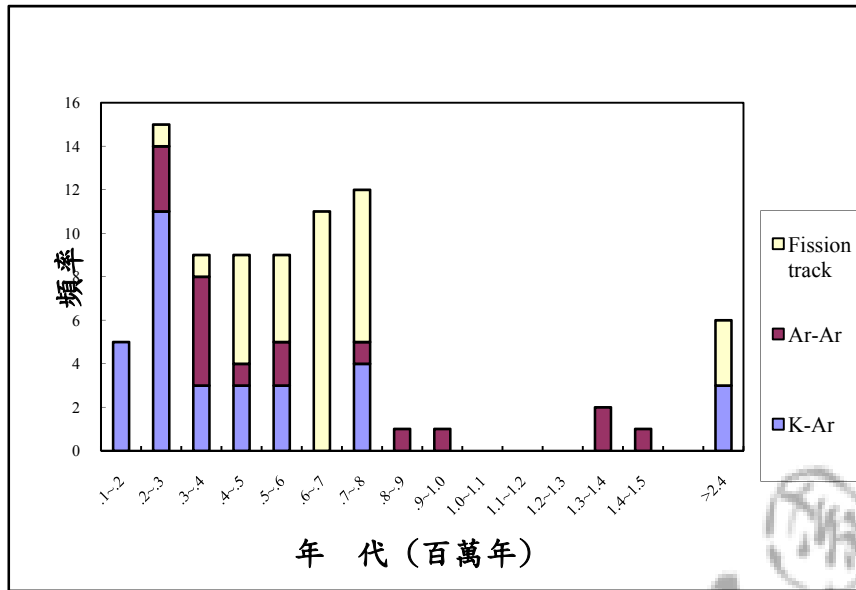
從過去定年研究資料顯示(圖五)，大屯火山群的火山活動大約開始於 2.8~2.5 百萬年。因此一時期，北呂宋火山島弧與歐亞大陸的碰撞仍持續著，此時北台灣也仍處於擠壓的環境，即使有岩漿的生成，並不容易上升至地表(圖六為大地應力與岩漿活動的關係)，故大屯火山群雖在二百八十萬年前就有火山活動，但規模不大。台灣東北部的基隆火山群在一百萬年前左右也有岩漿活動，此時所形成的岩漿產物以侵入的淺成岩為主，火山岩甚少，由大地應力與岩漿活動的關係，得知此時台灣北部的地質構造環境仍是屬於擠壓的環境。



圖三：臺灣北部簡要地質和火山分佈圖。



圖四：大屯火山群主要火山體的分布，形成一開口向東北的凹陷地形。



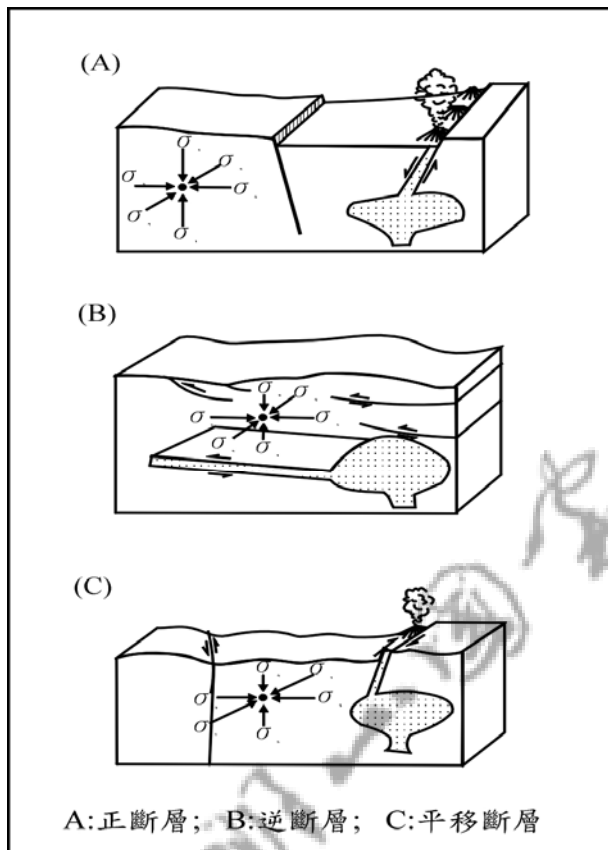
圖五：大屯火山群火山岩年代分佈圖。

到了約八十萬年前，由於琉球弧後盆地(即沖繩海槽)向西南延伸，且此時的弧陸碰撞在台灣北部也減緩或已停止，彈性體的板塊開始反彈，故台灣北部的區域地質構造環境由擠壓的環境轉變為張裂的環境，產生許多似正斷層的裂縫，促使滯留的岩漿，容易沿著裂隙上升，發生了台灣北部最重要的火山活動，此活動一直持續到約二十萬年前左右結束，形成大屯火山群現今的模樣。

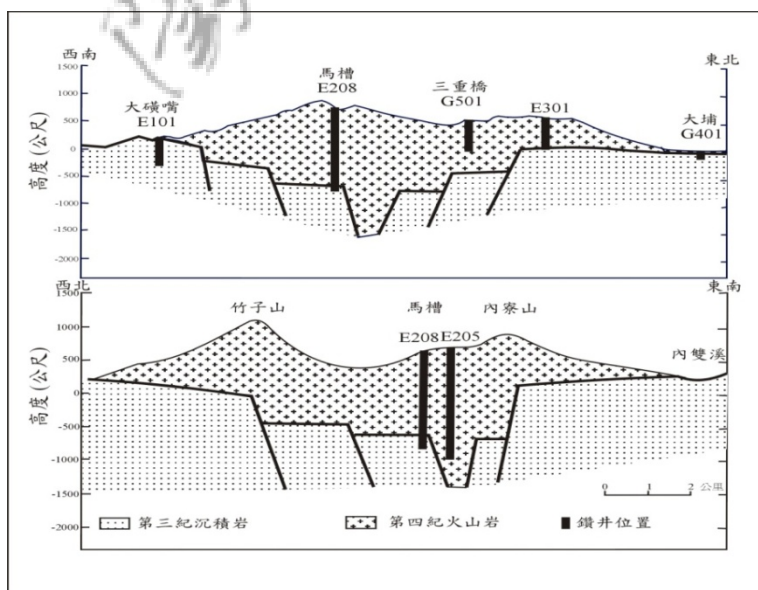
不過，最近於台北盆地西北角關渡附近，鑽了一口約 520 多公尺的深井，鑽透基盤達漸新世五指山層石英砂岩，除了發現大量厚層的火山泥流(lahar)堆積物外(從井下 236~487 公尺)，在 304~309 公尺處發現一層厚約 5 公尺，深黑色單一岩性(monomict)的火山碎屑角礫岩，與上下以多種岩性(polymict)為主的火山泥流堆積物相比較，產狀及岩性完全不同，顯示其可能是直接由火山噴發所形成。其下部的火山泥流堆積物的年代約 20 萬年，故推測堆積火山碎屑角礫岩的火山作用應年輕於 20 萬年，甚至可能年輕於 10 萬年。

由圖四可看出，大屯火山群的火山分佈基本上形成一向北缺口的圓弧排列：由北往南、由西向東依次為竹子山亞群、大屯山亞群、七星山亞群、磺嘴山亞群。圓弧形西側的分佈主要受控於金山斷層，而圓弧狀東側的分佈，則與噴發時的應力息息相關。由最新的研究顯示，在八十萬年前大屯火山群開始再噴發，岩漿上升的同時，在現今火山口所包圍的區域，即馬槽與擎天崗地區，發生快速的下陷，

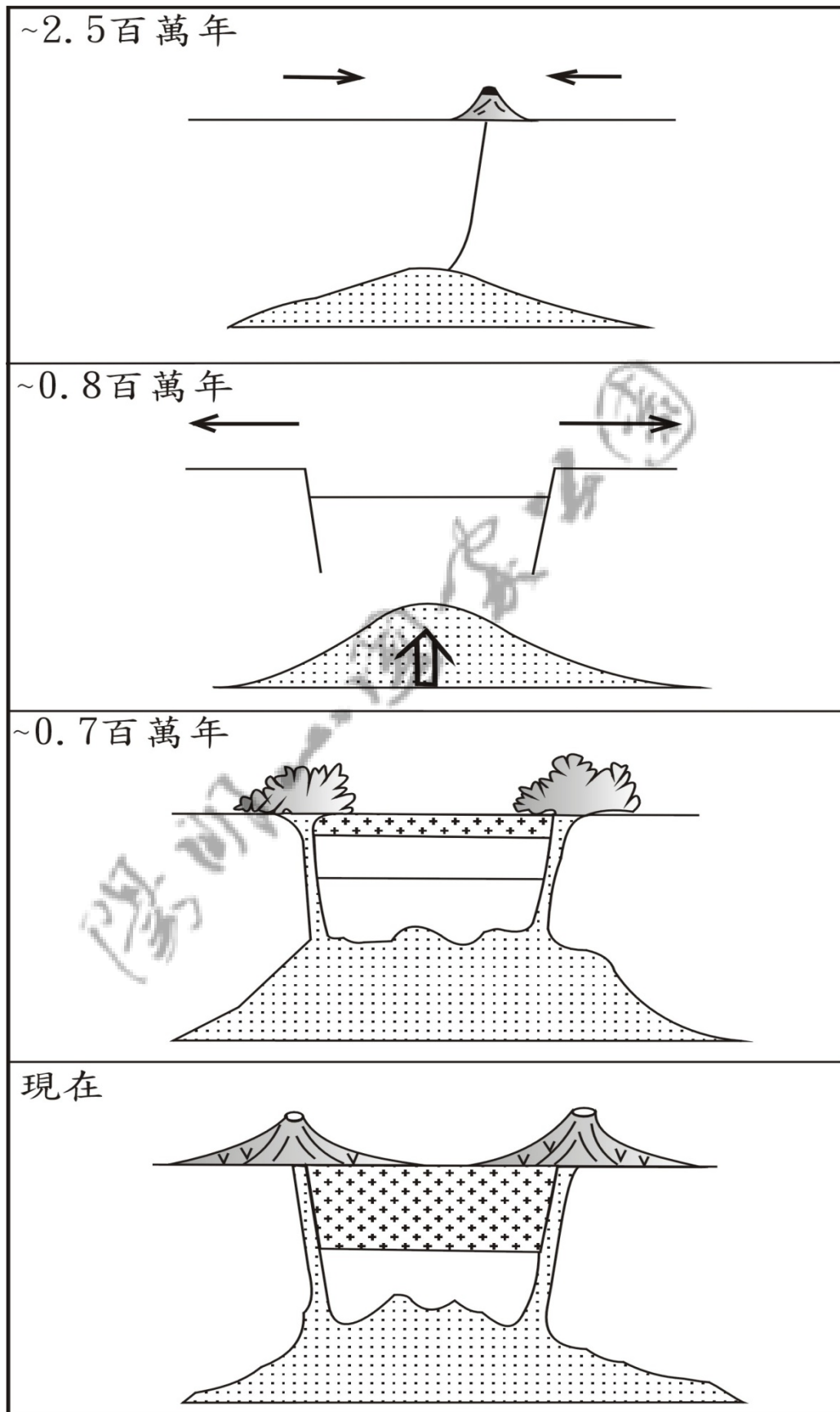
由鑽井資料推測，下陷的深度可能在 800~1000 公尺左右(圖七)，然後岩漿沿著下陷面的裂隙上升噴發，形成現今大屯火山群火山分佈的形狀。故大屯火山群火山噴發的演變如圖八所示。



圖六：大地應力與岩漿活動的關係圖。



圖七：大屯火山群地下地質剖面圖。



圖八：大屯火山群火山活動演化史。

陽明山國家公園

第三章 大屯火山群為活火山

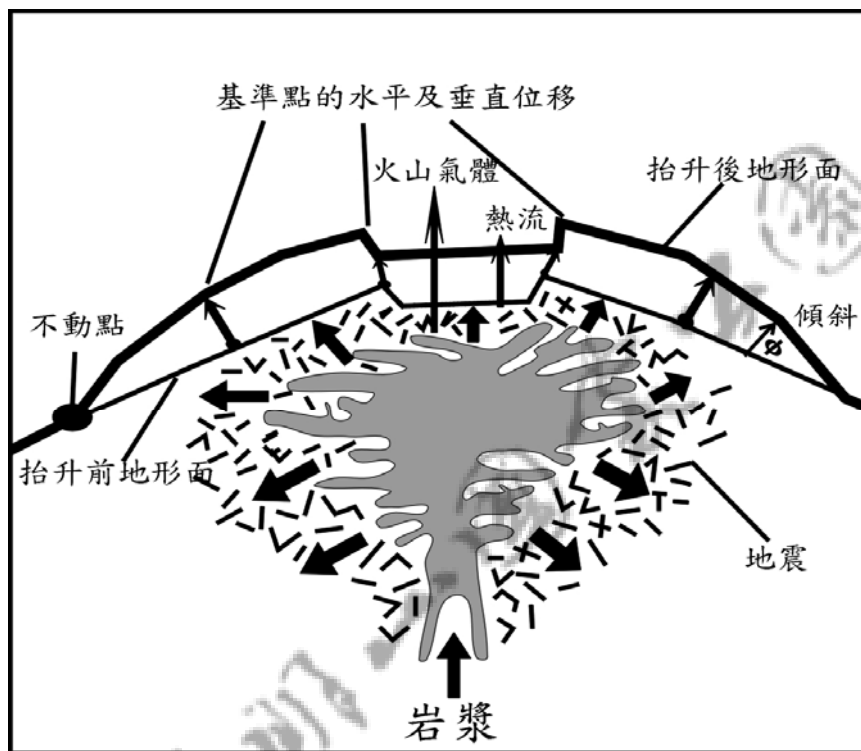
第一節 活火山的定義

過去對於活火山的定義為：在文字歷史上有噴發記錄的火山，稱為活火山 (Smithsonian Institution, 1989)。但人類在火山地區有火山噴發的文字記載是相當短暫的，如最久的希臘和義大利，其火山噴發紀錄才約為 3,500 年、冰島約為 1,000 年、菲律賓約為 500 年、而夏威夷和勘察加半島則更短，約從 16 世紀以後才開始 (Walker, 1974; Decker and Decker, 1982)。統計全世界火山兩次噴發的可能間距，從數年、數百年、數萬年至一百萬年都有，這和噴發的岩漿性質有密切的關係。例如，高噴發頻率玄武岩質岩漿的火山，兩次火山噴發的間距約為 1~100 年左右，如夏威夷火山約數年即噴發一次；中等噴發頻率的安山岩至石英安山岩質岩漿的火山約為 100~10,000 年左右，如菲律賓皮納吐波(Pinatubo) 1991 年的火山噴發，其再上一次噴發的年代約為 500 年前；低噴發頻率且大的酸性矽質岩漿，火山約為 10,000~1,000,000 年噴發一次，如地球上第四紀（一百八十萬年前）以來最大的一次火山噴發，為坐落在印尼蘇門答臘島的拖靶(Toba)火山，於約 75,000 年前噴發，其再上一次的噴發約為 500,000 年前；大陸張裂型玄武岩系統的火山活動，兩次火山噴發的間距約為 1,000~100,000 年左右 (Walker, 1974; Simkin and Siebert, 1984; Szakacs, 1994)。所以用有無歷史上文字噴發記載來認定一座火山為活火山或死火山，以火山兩次噴發的間距來看，是不足且不正確的。

日本地質調查所的 Aramaki 先生於 1991 年，統計日本火山噴發頻率及一座火山兩次噴發的時間間距，用 2,000 年的時間長短來界定日本的活火山。也就是說，用科學的方法，來確認一座火山若在最近的 2,000 年內曾經有噴發過，則認定為活火山。1994 年國際火山學會參考日本的經驗，把活火山的時間認定擴張為 5,000 年至 10,000 年(Szakacs, 1994)。此種依時間的定義，皆太過於簡單，且很多的火山在最近的 10,000 年來曾噴發過，但因被快速地風化侵蝕，以至於無法辨認出其過去的噴發記錄。例如 1991 年的菲律賓皮納吐波火山噴發，噴發出大量的火山灰和火山碎屑堆積物，為最近十年來地球上最大的一次火山噴發，但因其位處於熱帶多颱風的區域，每年大量的豪雨沖刷，把疏鬆的火山灰和火山碎屑流堆積物侵蝕殆盡，1991 年的噴發記錄現只在局部地區可發現。所以，雖擴大時間範圍到

10,000 年來定義一座火山是否為活火山，仍然有其先天上不足的地方。

基於時間經驗的法則，無法有效的定義一座火山為活火山，1994 年的國際火山學會又討論出另一套定義：因火山的噴發需其地底下有岩漿庫，故若能利用各種科學方法，偵測出火山地底下仍存在有岩漿庫的話，就必須認定其為活火山，這種定義稱為活火山的現象定義(Szakacs, 1994)。



圖九：火山噴發前岩漿活動可能的前兆。

如何偵測地底下是否有岩漿庫的存在，一直是火山學家所關切的問題。要瞭解此一問題，就要從岩漿的性質與組成著手，圖九是岩漿庫在地底深處可能具有的現象(Tilling et al., 1989)。岩漿在上升過程中，會對周圍地層造成擠壓，產生震動，而有地震的形成。而岩漿上升未噴出地表前，須有足夠的空間容納他們，故地表常會變形膨脹隆起，以騰出空間。岩漿是一種溫度超過攝氏 1,000°C 的岩石液體，其比周圍岩層的溫度高出許多，且會持續的散熱，故地底下有岩漿庫的地方，其地表的溫度或熱流會比其他地方高，且經常以噴氣或較高溫的溫泉表現出來。一般的岩漿常含有水蒸氣(H_2O)、硫化氫(H_2S)、二氧化硫(SO_2)、三氧化硫(SO_3)、二氧化碳(CO_2)、氯化氫(HCl)、及稀有氣體(如氦(He)、氖(Ne))

等的火山氣體，在地底深處壓力較高時，這些氣體溶於岩漿中，等到岩漿上升到較淺處，壓力較小時，這些火山氣體會從岩漿中離溶而逸出地表。故從前面所述，當地底下有岩漿庫時就會有地震、地表變形隆起、較高熱流以及火山氣體逸出等現象。綜合上述，偵測地底下有岩漿庫的方法包括：地震、地表變形、高熱流量和火山氣體等。

第二節 大屯火山群為活火山

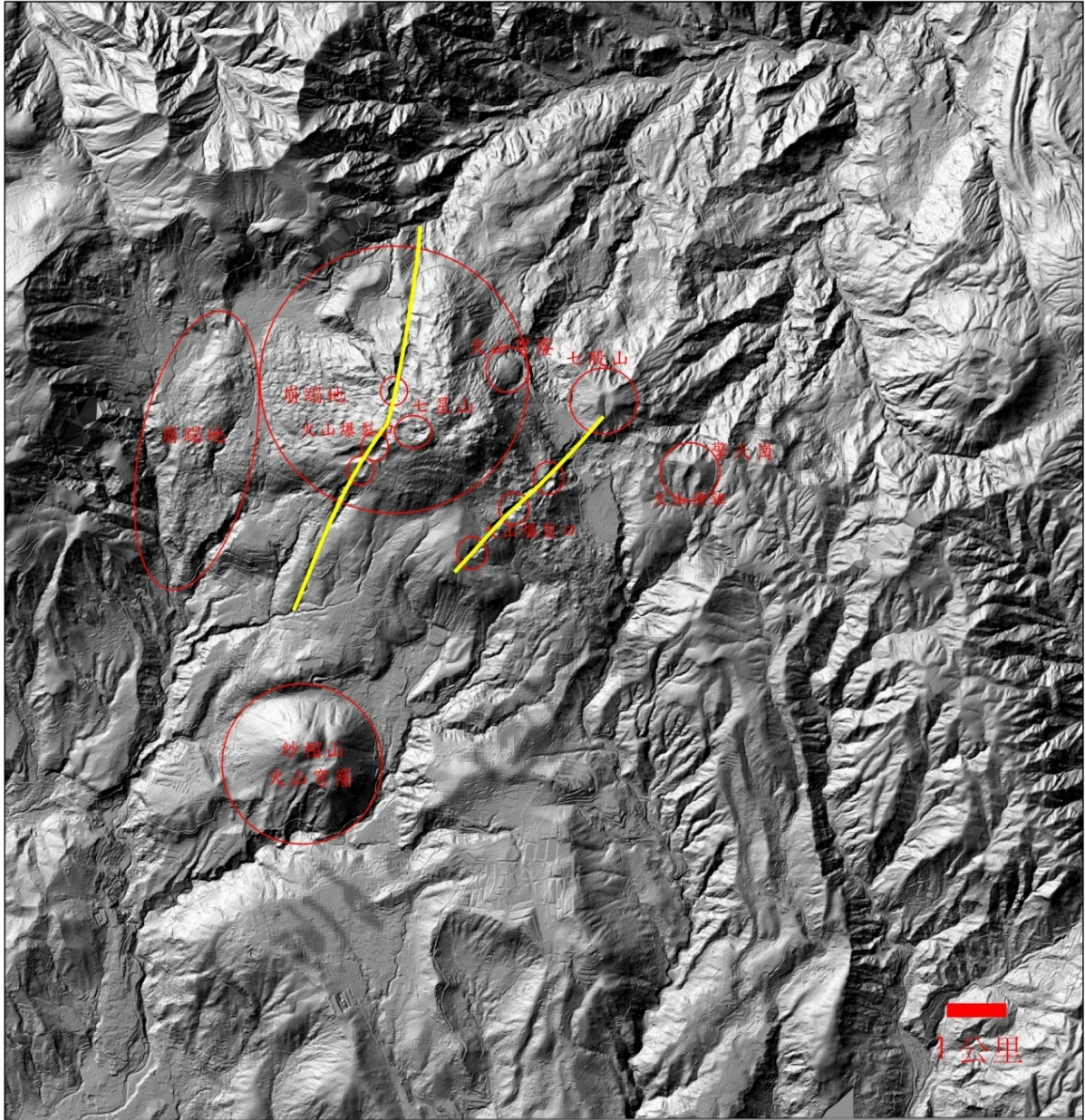
從過去的火山噴發紀錄和定年研究(圖五)，大屯火山群的活動似乎沒有年輕於10,000年的紀錄，從活火山的時間經驗定義沒有辦法證明大屯火山群為一活火山。但從火山地形的研究顯示，面天山和紗帽山的錐狀地形保持相當完整，侵蝕切割甚少，且磺嘴山頂上還保持相當完整的火山爆裂口---磺嘴池，都顯示大屯火山群的最後噴發年代可能相當年輕，尤其近年來所拍攝到大屯火山群的Lidar高解析度影像圖，顯示在七星山和磺嘴山火山亞群區內，有相當多保持完整的火山體地形和火山爆裂口沿著可能的斷層線分布等(圖十和圖十一)，都指出大屯火山群最後噴發的年代相當的年輕，因定年方法的局限，使我們對於大屯火山群近期的噴發時間，還未清楚的了解，這有待未來更多定年方法的發展，以及此一地區更多的搜尋研究。

台灣北部地區的臨時微震觀測網觀測結果顯示(圖十二)，大屯火山群附近有相當多的微震發生，尤其集中在馬槽地區底下，其地震規模常小於3.0 (Yeh and Chen, 1991; Lin et al., 2005a & 2005b)。但1986年，在陽明山竹子湖地區，曾經發生過規模超過5.0以上的地震，不僅將陽明山原有的花鐘震垮；地震過後不久，馬槽地區發生了大規模的山崩，形成火山泥流，衝垮舊馬槽橋，這也可能與火山地震有關。這幾年來在大屯火山群佈置微震網，偵測到相當多的微震發生，其性質和火山地區所發生的地震相當相似，如(Lin et al., 2005a, 2005b; Konstantinou et al., 2006)，地震觀測顯示大屯火山群地底下可能有活躍的岩漿庫存在。

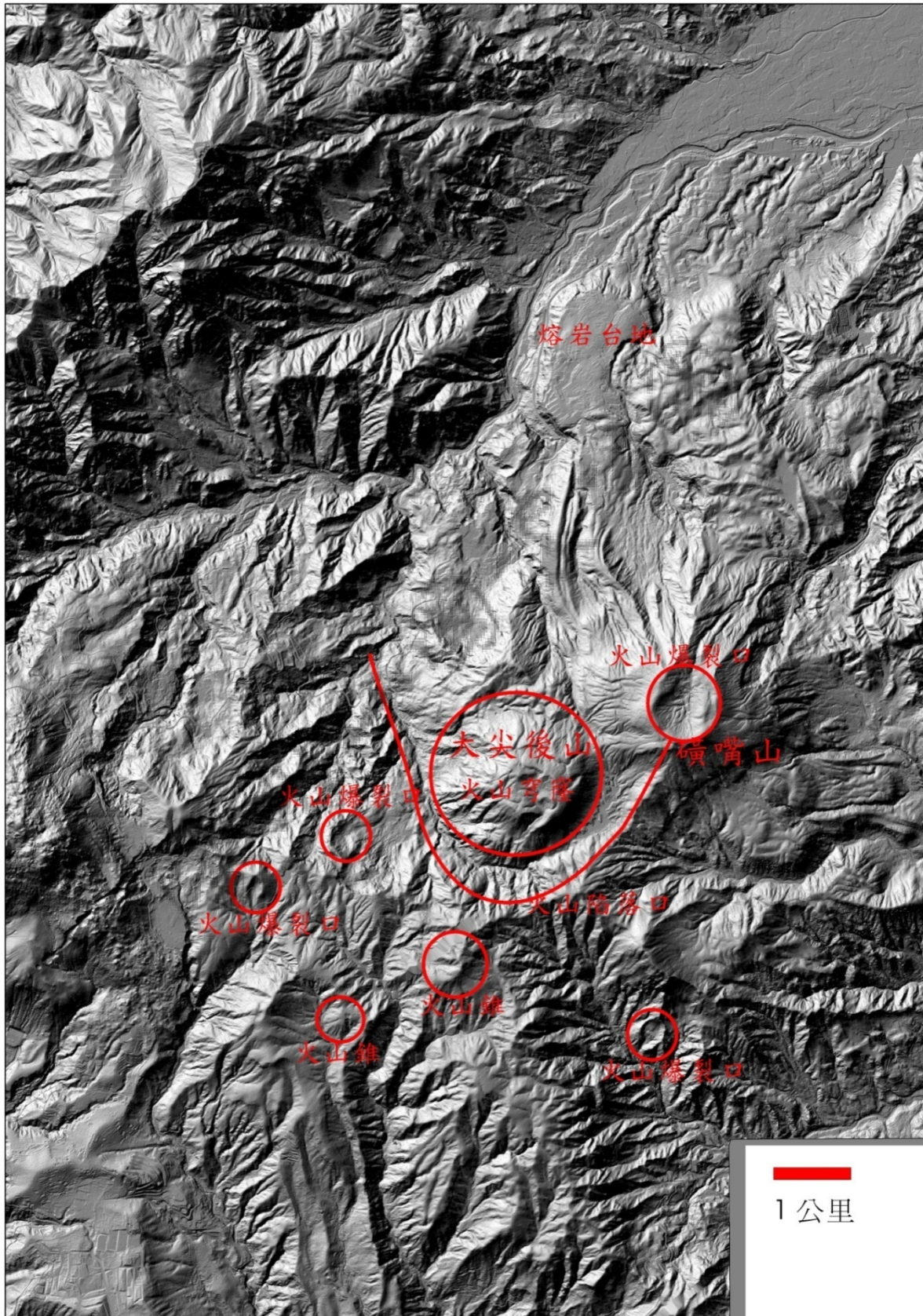
大屯火山群噴氣口的火山氣體，其主要的氣體成分，以小油坑為例：93.10%為水蒸氣，其餘為CO₂ (3.26%)、H₂S (3.14%)、SO₂ (0.02%)等。與平均火山氣體成分相比較(H₂O：70.75%、CO₂：14.07%、N₂：5.45%、SO₂：6.40%、

SO₃：3.14%、H₂S：0.33%、S₂：0.10%、Ar：0.18%、Cl：0.05%)，H₂O和H₂S偏高，而CO₂、N₂、SO₂、SO₃等偏低，可能是有大量的外界水和氣體進入的影響(楊燦堯等人，2003; Lee et al., 2005)。大屯火山群噴氣口的He同位素的分析研究(圖十三)(Yang et al., 1999)，發現大屯火山群噴氣口中的He同位素，有60%是來自於岩漿的氣體，40%是來自於大氣中的He氣體，此結果顯示大屯火山群底下可能還有岩漿庫存在著。

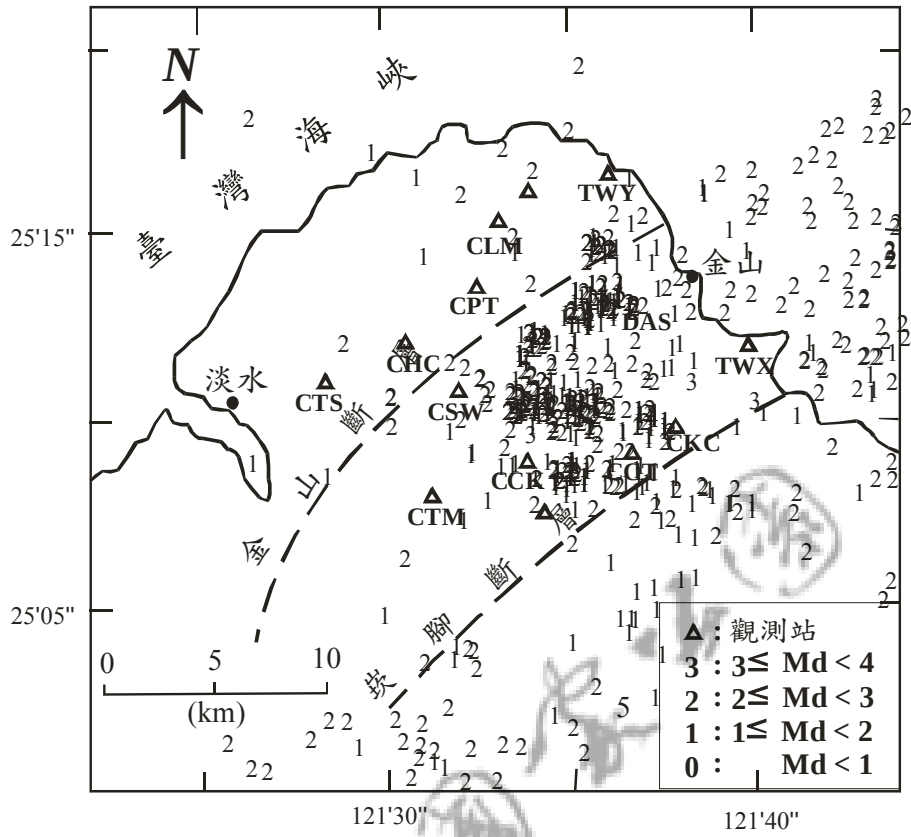
大屯火山群地區的溫泉遍佈，已知有名的溫泉最少有 16 處(圖十四)，也有一些無名的溫泉，且溫泉在地表的溫度可達 100°C 左右。在 60 年代，中油為了探勘地熱資源，在大磺嘴、馬槽等地，鑽了不少的深井。其中，在馬槽(編號 E208 井)鑽至地底下約 1700 多公尺處的溫度可達攝氏 293°C。故雖未有原地熱流量的測量，但由地底下溫度的測量及遍佈高溫的溫泉，顯示大屯火山群的熱流量應該相當高才對。綜合前述的微震分佈、He 同位素、噴氣口的火山氣體、及地下溫度的測量及遍佈高溫的溫泉，大屯火山群地底下應還有岩漿庫的存在(Song et al., 2000b)。馬國鳳等人 (Ma et al., 1996) 利用地震斷層掃描法 (Seismic tomography) 研究台灣北部，顯示在 15 公里左右有一低速異常帶，可能有岩漿庫存在相吻合。至於大屯火山群是否還會再噴發，則有待未來不斷的監測與研究才能判斷。



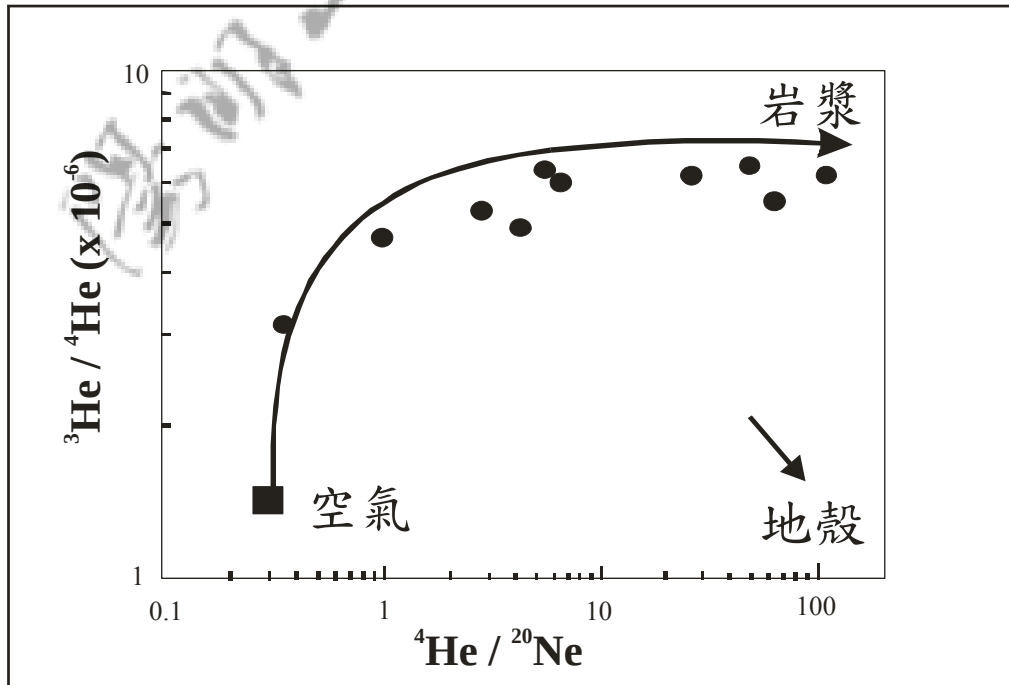
圖十：大屯火山群七星山亞群 LiDar 影像圖顯示保存完整的火山地形和斷層線性分布。



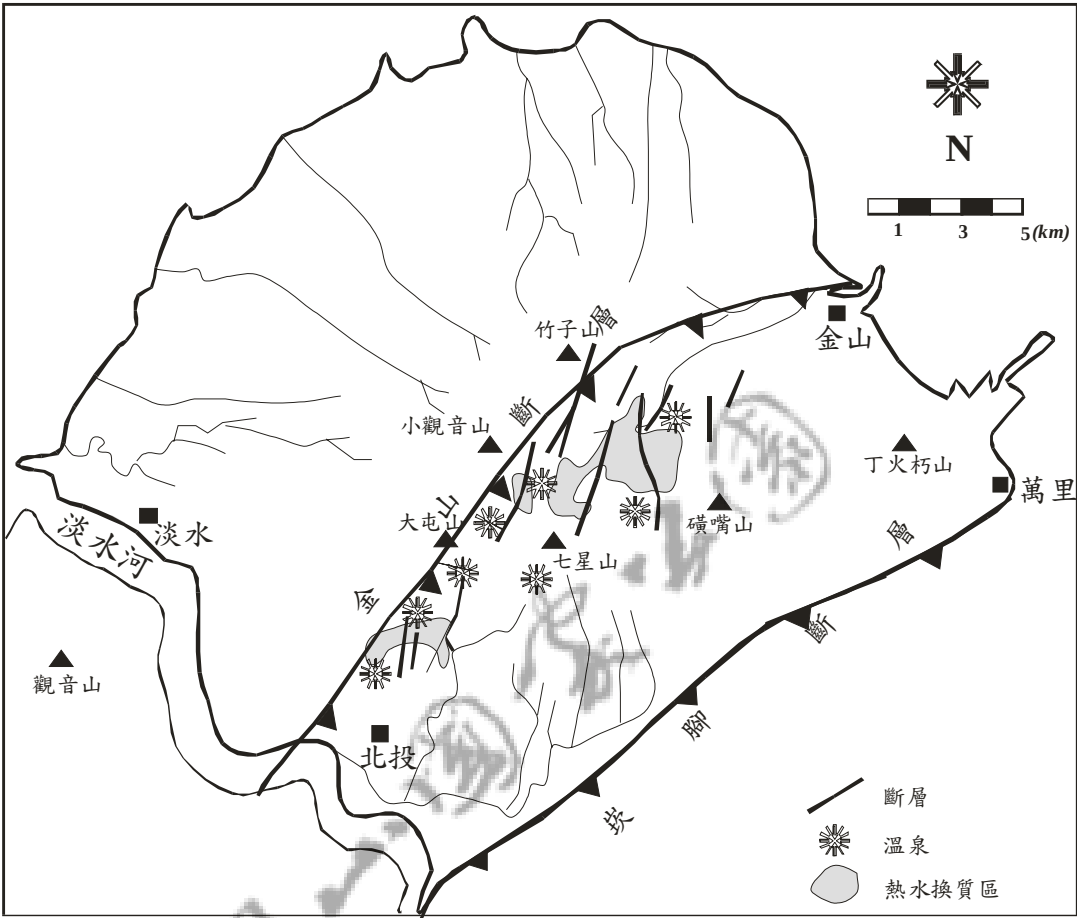
圖十一：大屯火山群礮嘴山亞群 LiDar 影像圖顯示保存完整的火山地形。



圖十二：大屯火山群地區微震分佈圖。



圖十三：大屯火山群氦同位素分析結果；顯示噴氣口中的氦氣含量是由岩漿和空氣混合。



圖十四：大屯火山群斷層、溫泉和熱水換質區的分佈圖。

第四章 火山監測方法

第一節 火山監測方法概論

火山活動通常會伴隨著地底下的熱流、區域應力場、火山物質遷移導致地震的發生和地形的變化、以及流體(火山氣體和地下水或溫泉)等之變化，提供火山學家監測這些火山徵兆，以了解地底下岩漿的移動和預測火山噴發。表三是整理目前世界各國用於火山監測的方法。基本上，監測火山的方法可區分為地球物理和地球化學等兩種，前者偏重於利用物理學的原理和方法，來研究火山地底下因岩漿活動所引起的各種物理現象，而後者則是利用化學的原理和方法，來研究因岩漿活動所引起的種種化學變化。

地球物理學應用於監測火山活動的方法包括有：火山地震學(volcanic seismology)、地變學(crust deformation)、地磁學(geomagnetism)和地熱等。而地球化學應用於監測火山活動的方法包括有氣體和水化學等。另外，由於衛星科技的進展，近年來也利用衛星的協助，來對活火山進行研究和監測的工作。

火山地震學

岩將在地底下活動時，會與地殼產生作用形成地震，故監測火山地區的地震活動，可以了解岩漿在地底下的移動情形。一般而言，火山地震是因岩漿而非構造成因所引起的，發生於火山周圍有限地區，其基本特徵是震源淺、規模不大且常為震群發生。火山地震有不同的類型，日本學者根據震源深度和地震波形特點，可把火山地震主要分為四類：

A 形地震：震源深度較深、一般在 1-10 公里的深度內，地震波具有高頻波譜，可以清楚的區分出 P 和 S 波，與斷層所引起的地震紀錄相似。

B 形地震：震源深度常在火山口底下幾百公尺至 2 公里的深度內，地震波具有低頻波譜成分，且常發生在火山噴發之前，其發生頻率和火山噴發有極密切的關聯，紀錄的 S 波不易辨認。

表三：監測活火山活動性的可能方法。

監測方法	監測儀器	觀測項目	定量性指標	備註
地震觀測	遙控、數字化、寬頻地震儀等	火山地震波速、波譜、微震系列、火山性地震、火山顫動等		日本、美國、義大利、蘇聯、菲律賓、紐西蘭、印尼、冰島等大部分火山國家
地形變觀測	重力儀、傾斜儀、伸縮儀、測距儀、經緯儀、水準儀等	火山體膨脹、山體傾斜、火山口變形等		日本、美國、義大利、蘇聯、菲律賓、紐西蘭、印尼、冰島等大部分火山國家
火山氣體觀測	光譜儀、質譜儀	H ₂ 、HCl、CO ₂ 、H ₂ S、SO ₂ 、He、HF、Cl、N ₂ 、NO ₂ 、NO等	濃度快速升高	日本、美國、義大利、蘇聯、菲律賓、紐西蘭、印尼、冰島等大部分火山國家
地電觀測		地磁感應		日本、美國
地磁觀測	核旋磁力儀	居里面深度	變淺程度	日本、美國
地溫觀測				美國、印尼
地熱觀測		地殼熱流、地函熱流		日本、美國、義大利、蘇聯、菲律賓、紐西蘭、印尼、冰島等大部分火山國家
宏觀觀測		火口湖水溫、火山植物枯死		美國、印尼
大地電磁測深剖面				日本、美國、義大利、蘇聯、菲律賓、紐西蘭、印尼、冰島等大部分火山國家

				家
航空空照攝影測量		熔岩流型態、流向		日本、美國
航空磁力、重力測量				日本、美國、義大利、蘇聯、菲律賓、紐西蘭、印尼、冰島等大部分火山國家
航空熱紅外線掃描		地熱條帶		日本、美國、義大利、蘇聯、菲律賓、紐西蘭、印尼、冰島等大部分火山國家
衛星攝影觀測				美國
衛星超長波觀測				美國

C 形地震：為微震顫動，常重複出現的微震系列或由諧波系列構成的火山顫動，可能是由於火山體附近岩體時發生破裂或岩漿和地下流體的移動和震盪所引起，其地震紀錄的 P 和 S 波不清楚，很難辨認。

D 形地震：又稱爆發地震，是在火山噴發時所記錄到的氣體爆炸所產生的地面震動，只有在火山爆發時才能觀測到。

與構造地震相比，火山地震的特徵是(1) 不具有構造地震的主震、餘震系列地震群；(2) 有比構造地震較小的最大規模(典型的 $M < 5$ ，甚至 $M < 3$)，震群的規模差一般小於 0.5；(3) 震群中許多的波形相類似，有較高的 b 值；(4) 噴發前地震的數量增加；(5) 震央位於火山及其附近，活火山區地震的活動性遠高於其外圍地區。

利用地震學的方法來監測火山活動，乃是在火山周圍埋設地震儀，透過觀測地震的活動，來推測發生的原因，進而達到監測火山的目的。

地變學

當岩漿上升並向地表移動時，或者由岩漿上升導致淺層地下水熱活動時，會引起地表抬升。一般而言，地下物質移動先於火山噴發；反過來說，由上升的壓力導致地表變形，也說明地下物質移動會迫使地表噴發。火山地區最大的變形發生在即將噴發時，但當岩漿壓力因噴發下降或完全解除時，將不會再發生火山地形變。

火山地表移動的量變化甚大，在穹窿狀或中酸性火山的抬升量可達數十公尺，而在岩漿緩慢移動或發生在深處時，一般的位移量相當小，約 10^{-6} 公尺或更小。一般而言，地形變包括垂直抬升、水平位移和火山坡度傾斜等。

傳統監測火山地形變的方法有三角(三邊)測量法測量水平位移，而垂直變形最常用的方法是水準測量、傾斜儀、潮汐計和重力測量。但近年來傳統的大地測

量已被全球衛星定位法(GPS)和電子距離測量法(EDM)所取代，其測量的精準度可達 mm 以下。

除了直接由水平和重直位移判斷火山活動外，地形變的資料也可用來解釋岩漿在時間和空間上的變動關係，以及地下熱水增壓的效應。另外，地形變的模擬也可以提供關於地下岩漿庫結構和熱水系統的信息。

地熱觀測

火山活動是地球內部物質移動的一種表現方式。地球內部物質在高溫高壓的狀態下，發生部分融熔形成岩漿，然後集中遷移，岩著地殼弱處上升至沖破地表噴發而形成火山。因其是岩石在高溫高壓狀態下被融熔形成液態岩漿，故其溫度都相當的高，大都高於 $1,000^{\circ}\text{C}$ 以上。當岩漿上升時，本身的溫度會藉由傳導或對流的方式傳遞出去，使其周圍的岩石或土層之溫度及熱流值會逐漸升高。一般而言，有岩漿在地底下的火山地區，其地溫梯度可高於 $100^{\circ}\text{C}/\text{每公里}$ 以上，而非火山地區的地溫梯度以造山帶較高，但也不會高於 $60^{\circ}\text{C}/\text{每公里}$ 。另外，火山監測區域的地表溫度會隨著岩漿往上移動而快速的增溫和高熱流值，因此監測地表地熱流及地溫的變化，不但可辨認監測地區是否為火山區域，還可瞭解岩漿在地底下的活動情形，及研判火山噴發的可能性。

地磁觀測

火山活動通常會伴隨著地底下的熱流變化、區域應力場變化、火山物質遷移等。因此，在火山活動的過程中，有可能經由熱磁效應、壓磁效應、物質磁性變化而導致地磁異常變化，稱之為火山磁效應。火山磁效應是一種相當重要的構造磁效應，對於它的觀測研究，可幫助了解火山學、探討地球動力學、監測火山的活動性和預報火山的噴發。

火山流體監測

火山噴氣氣體成分，以及伴隨的熱水變化常用來作為探討岩漿活動與監測火山活動最有效的方法之一。藉由火山噴出的氣體和熱水成分的變化可以推斷出此一火山的岩漿性質和活動性。許多研究指出，往往在火山噴發前，噴氣中的某些氣體成份會突然增加或是減少、或是同位素值會有所改變、或是熱水的水質和化學組成也會有所變化等等。調查這些火山的氣體成分、熱水水質及同位素變化可以監測火山運動，並可以進一步預言即將到來的爆發。

在火山調查與監測的應用方面：不論火山處於活動或休眠狀態，只要有岩漿活動，大量的火山氣體就會由火山地區釋放到大氣中，且地下的熱水吸收氣體成分而改變其水質。因此利用觀測火山氣體的釋放和地下熱水，來監測火山活動，是相當重要的火山預報機制。以往量測二氧化碳的方法有：由火山口的CO₂/SO₂比例和correlation spectrometer (COSPEC) 測量二氧化硫通量、或是利用載有CO₂分析器的飛機，飛過火山口上方進行分析。火山氣體中，去水後之氣體成份以二氧化碳含量較高，同時也是岩漿上升過程中，首先脫離的氣體之一。不僅在火山口及火山噴氣口的氣體中含有大量的二氧化碳，在遠離火山口的地區也可以量測到高於空氣濃度的火山氣體。因此藉由土壤氣中二氧化碳通量的測量，可以讓科學家在安全的距離內監測火山活動。這樣的優點，在噴發前和噴發期間更顯重要。另外，地下水吸收來自岩漿的熱和氣體成分，也會很快的反應在熱水水質的改變，可當作監測岩漿活動的一種方法。

近數十年來，許多科學家已經知道藉由火山噴出氣體成份可以推斷出此一火山的岩漿性質及活動性。Payne and Ballard 早在 1940 年便已在夏威夷的 Mouna Loa 噴發前的一個月，發現了火山噴氣中所含 H₂S 有大量異常增加的現象；根據對 Ohshima 火山噴氣之 SO₂ 含量連續監測，Noguchi and Kamiya (1963) 報導其在火山噴發前三個月，SO₂ 含量明顯增加；Ohnishi and Kamada (1981) 則發現溫泉噴氣中的鹵素、氖氣、氬氣含量與火山活動有明顯的關連；Casadevall et al. (1983) 發現在 Mt. St. Helens 於 1980 年噴發前，其噴氣中 CO₂ 含量減少；Oskarsson (1984) 則發現火山噴氣中 CO₂/(CO₂+H₂) 之比值在火山噴發前突然減少；以現有之資料顯示，岩漿活動之強弱與其噴氣中所含之氬氣含量與同位素比值有明顯關係，距離火山口越近之噴氣，其氬氣含量與 ³He/⁴He 比值越高，反之則越低；同一地點

之氦氣含量與 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值則有隨岩漿活動增強而增加之趨勢。由以上各個研究都顯示火山噴氣與溫泉水氣之成分變化與火山活動有明顯的關連。故而火山噴氣與溫泉水氣中之成份與氦氣同位素組成，常被用來作為探討岩漿成因與監測火山活動有效的方法之一。

衛星應用於火山之監測

1、利用衛星紅外線技術觀測火山活動性是近年來發展的一種快速、經濟而有效的火山監測方法。由於火山噴發是地球內部熱物質經由地殼裂隙上到地表的一種散熱方式，這種散發出來的熱，可經由高空中繞著地球移動的衛星熱紅外儀所偵測，因而可用來監測火山活動性，及預測火山噴發。

2、SAR(合成孔徑雷達)和 INSAR(合成孔徑雷達干涉測量)是近年來快速發展用於監測火山活動地形變的新方法。其基本原理是使用衛星載雷達的相位測量數據，以應用於地面點的高程及其動態變化測量。INSAR 技術能全天候獲得地面三為空間數據，空間分辨率高，具有比 GPS 更高的地形變化觀測精度。目前天空中已有多顆載有成像雷達的衛星，如歐洲太空中心的 ERS-1 和 ERS-2、日本的 JERS-1、加拿大的 Radarsat 等。另外，隨著衛星遙感技術的發展，SAR 和 INSAR 已成功地應用於火山噴發前後的地表變形觀測，其精確度可達 1 cm。

第二節 世界主要火山國家的監測實例

1、 美國若尼爾火山(Mt. Rainier)

若尼爾火山位於美國西部，海拔將近 4,400 公尺，為華盛頓州 Cascade Range 的第一高峰，也被認為是此地區內最具潛在危險性的一座火山。若尼爾火山為一層狀火山(stratovolcano)，大約在 50 到 100 萬年前開始活動，最近期的噴發記錄為十九世紀發生了多次小規模噴發，而較大規模的噴發則發生在約一、二千年前。若尼爾火山之所以會那麼具威脅性，除了周圍低地的人口數量多之外，主要原因為火山的高度及地理位置使其具有非常龐大的冰河系統，山上的主要冰河就有 26 個，再加上長年累積的大量積雪，整座火山上的冰雪體積相當驚人。若發生噴發，最有可能產生的火山災害即為高溫噴發物與溶雪混合形成的火山泥流(lahar)，不但造成的災情嚴重，且影響範圍可到達距火山較遠的地區。

若尼爾火山最早期的熔岩大約 84 萬年前就開始形成初步的火山堆，後來的各期噴發再一層層地覆蓋其上。目前所見到的若尼爾火山也已經形成超過 50 萬年了，主要岩石組成為安山岩，且受到相當程度的風化與侵蝕。根據猜測，若尼爾火山在過去高度曾達到 4,900 公尺，但約五千年多前發生的一次大山崩使其高度縮減，並引發了大規模的火山泥流(Osceola Mudflow)。雖然若尼爾火山已受到相當的重視，被列為 16 座十年火山之一，很意外地卻對它的噴發史所知不多，甚至連岩石組成和年齡也都無法確定。

火山監測

若尼爾火山最後一次的噴發記錄約在 150 年前，而根據科學家的研究與判斷，在接下來幾百年內再度噴發的機會是非常高的，加上會受到影響的地區人口眾多，於是做好持續且嚴密的火山監測則成了重要的一項工作。

監測火山的各種方法中，最基本的當然是地震的量測和記錄。一般來說，透過觀察地震的強度與頻率等變化最能顯現不尋常的火山活動，為預知火山可能即將爆發的重要指標。除此之外，科學家還會利用地球化學的方法來做監測，如溫度和火山氣體成份的測量、分析，另外利用大地測量方式量測地表的傾斜度，是否有隆起或相對遺動。在過去，許多監測的工作都必須以人工完成，但現在科

技越來越發達的時代，已有許多自動化的系統，使火山監測變得方便許多。

火山泥流自動警報系統

若尼爾火山的火山泥流監測自動警報系統全名為 Mount Rainier Volcano Lahar Warning System，是美國地質調查所(USGS)與華盛頓 Pierce County 合作的一項計畫，針對人口密集的 Puyallup 河谷進行自動偵測，若發生火山泥流，系統會馬上發緊急通知給相關管理人員並啟動事前預定好的緊急應對措施。

本系統被發展出來的原因之一，是記取了 1985 年哥倫比亞的 Nevado del Ruiz 噴發時的教訓。當時引發的火山泥流摧毀了離火山距離不遠的 Armero，奪走超過 20,000 條性命。火山泥流從形成與到達城鎮之間，總共花了 2.5 個小時，若當時 Armero 的居民能即時得到通知，這時間足以讓他們逃往高處，避免這場悲劇的發生。透過研究若尼爾火山周圍地區的沉積構造，知道在過去一萬年間，其曾多次引發巨大的火山泥流，影響範圍曾到達距火山 100 公里遠的地區。而現今這些由火山泥流的沉積層之上坐落著許多人口密集的城鎮，若是再發生一次大規模的火山泥流，後果是可想而知的。目前若尼爾火山已受到嚴密的監測，一般來說，火山出現異常現象時就能提早防範，但有時候火山泥流的發生是較無預警的，要在最快的時間內偵測並發出緊急通知就是本系統首項任務。

系統如何運作？Puyallup 及二河谷中共設置了五處 AFM(acoustic flow monitor)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將會被直接破壞，但這也成了重要資訊之一。另外三站則設在較高處，不受火山泥流的直接衝擊而可繼續測量工作。這些測量站主要是測附近地表的震動情形。AFM 與一般地震儀的差別在於其對較高頻率的震動較敏感，所測到的頻率範圍高於一般地震和火山活動所產生的震動頻率。

2、美國聖海倫斯火山 (Mt. St. Helens)

聖海倫斯火山位於美國華盛頓州、內陸的喀斯開山脈(Cascade)，沿著加拿大及美國的太平洋岸延伸 240 公里。他的名字由來，是在印第安人傳說中，一個名叫盧薇的醜女變成了山頂覆有積雪的美麗聖海倫火山，當印第安部族發生戰爭時，火山會爆發，為偉大的神靈提供了火，這是有關聖海倫斯火山的一個傳說。

而關於聖海倫斯火山的第一份記載是於 1792 年的 5 月 19 日，歐洲人 George Vancouver，他正在繪畫一個小港灣的圖，就在現在的西雅圖附近，但他沒有為聖海倫斯火山命名。他的名字是來自於英國外交官 Alleyne Fitzherbert (1753-1839)，其頭銜為 Baron St. Helens。而命名者為指揮官 George Vancouver and H.M.S. Discovery 中的軍官們，在 1792—1794 年間在太平洋的北海進行測量的工作時所決定的。

聖海倫斯火山噴發史約有 40,000 年歷史，產生石英安山岩的火山作用，這一時期的火山活動一直維持到 2,500 年前，平均在 15,000 年間會發生間隔性的強烈火山爆發；噴發時會噴出安山岩質的熔岩流而在最後二次的噴發時會產生玄武岩而在最後 2,500 年期間，火山噴發的型式改變，火山噴發產生石英安山岩質和安山岩質火山碎屑流、火山泥流和火山灰落堆積物等，以及玄武岩質火山灰落堆積物。

聖海倫斯火山最近的一次噴發：

在 1980 年的 3 月 25 日，火山經過 123 年的休眠後，有甦醒的先兆—4.2 級的地震，而跟著較小的地震發生，火山學者認為這是火山爆發的象徵。在往後的幾天，火山噴出火山灰、小圓石、泥漿被撞下表面、火山冒出熱度並融化了積雪。在 3 月 30 日美國地質研究所的 Bob Christiansen 發現了山頂出現第二個的火山口，不久之後地質學者發現了火山北面突起，這個突起一開始幾乎看不見，但其增大的速度很快，到了 4 月 20 日，已經突出了 75 公尺，而且以每天 1.5 公尺的速度增高，這個時候火山口已結合成一個寬大的碗狀窪地，深度有 225 公尺，寬 510 公尺。在公元 1980 年 5 月 18 日 8 時 32 分，沉睡已久的聖海倫斯山終於噴發，在火山下 1.6 公里處，發生了 5.1 級的地震，10 秒之後便發生了大山崩，發生的地點是火山北側的隆起部份，全部崩塌。在 15 秒內 3 立方公里的岩石滑下，並以每小時 250 公里的速度衝下山坡，形成了大山崩。這次的山崩造成大小不一的火山物質、冰塊和水一部份衝進了 Spirit 湖，另一主要的部份則直瀉於 Toutle 河谷北端 20 公里外地區。因為山崩的物質沖進 Spirit 湖造成湖面上升了 60 公尺。就在山崩後不久，一股超過 300°C 高溫的氣流，含有岩石、火山灰和有毒氣體等物質，橫掃火山北面 30 公里內且 170°扇形地區，這股氣流只持續了 1 分鐘，但卻摧毀了 600 平方公里的土地。

在氣流形成時，山上因爆炸噴出一股煙柱，在十幾分鐘後升到 25 公里的高空，其頂部形成蘑菇狀。而在 5 月 18 日的晚上火山停止噴發，使原本有 430 公尺高的山頂消失，而在山頂的地方則形成向北開口的馬蹄形火山口(長 302 公里，寬 1.6 公里有 700 公尺深)。

噴發後：

聖海倫斯火山的熔岩穹窿產生於 1980 年的噴發後，一直到 1986 年間，主要生成的原因為 1980 年後持續的較小噴發，而由厚層的岩漿及其內部入侵岩漿所形成；在最初噴發的最後幾天產生體積 $1.2\sim 4.5\times 10^6$ 立方公尺，但在 1983 年到 1984 年間繼續發生，一直到 1986 年才等止。

但從 2003 年後出現了一塊每天增長超過一公尺的新石板，這片石板從 2003 年 11 月開始增高，從其中一個火山口向上伸出的高度已超過一百公尺。2004 年 9 月之後，就不斷發生小規模的爆發，一個新的火山丘正在形成中，它的高度比 1980 年代的火山丘大約要高出一百公尺。這片位在爆發火山上的石板，從詹森脊觀測站 (Johnson Ridge Observatory) 就可以看見。

自從 2004 年九月以來，美國華盛頓州西雅圖的聖海倫斯火山的活動有轉趨激烈的情況發生。從 10 月 2 日開始，她便持續地噴出蒸氣與火山灰，並帶來一連串的地震活動。地震儀器持續監測到聖海倫斯火山地震週期間隔的時間慢慢拉長，同時地底下也持續傳出穩定而低沉的隆隆聲，這是一種火山活動升高的前兆，代表了聖海倫斯火山隨時都有可能爆發。美國地質調查所把 2004 年十月將聖海倫斯火山的火山活動狀況維持在最高的第三級警戒。

火山監測

聖海倫斯火山的監測工作是由美國地質調查所屬的喀斯開火山觀測所 (Cascades Volcano Observatory (CVO)) 負責。目前的火山監測，包括有地球物理和地球化學的方法。地球物理方法包括有火山地震的監測、地磁變化、地殼變形 (電子距離測量法 (EDM)、全球衛星定位法 (GPS)、三角和水準測量、傾斜儀、乾燥的傾斜測量等)、火山穹窿觀測、地溫監測。地球化學的監測包括有火山氣體和地下水質的觀測等，同時也觀測火山產物的變化，以及採集火山岩樣本分析其

成分的變化等。

3、美國夏威夷冒納羅亞(Manua Loa)--基勞亞(Kileau)火山

基勞亞火山座落在夏威夷島上，而這個火山島嶼是由太平洋海床上架構形成的一座火山。夏威夷大島是由幾座火山所組成，是整個長約5,600公里的夏威夷--皇帝島鏈上最年輕的火山島。這個島鏈是由107座火山所組成，火山島鏈從最西北端的海底火山(屬於皇帝島鏈，接近西伯利亞、方位為北北西)，年齡約為8,000萬年前，到中間年齡約為4,300萬年前，轉為西北方向的夏威夷島鏈至最東南端，至今仍然活躍的基勞亞火山和冒納羅亞火山，顯示太平洋海板塊的移動方向，從最初的北北西方向，在4,300萬年前轉為西北方向。

夏威夷--皇帝島鏈上大多數的火山都一度是高出太平洋海床5千至1萬公尺的淺礁或海洋山脈，但現在已經被侵蝕到海平面以下了。在島鏈中最年輕的多數火山島--夏威夷群島--都受到嚴重的侵蝕，在許多地方形成了壯觀的海邊懸崖，而且夏威夷--皇帝島鏈仍在繼續延長。其中，冒納羅亞火山聳立於太平洋海床上高達9,300公尺，是地球上比高最大的一座山。

基勞亞和冒納羅亞火山是目前地球上最為活躍的火山，主要噴發的型式是屬於夏威夷式噴發，通常是像熔岩噴泉般的產生火紅的熔岩河流。當夏威夷式噴發時，由地下岩漿噴出的一股氣體挾帶了顆粒狀的黃紅色岩漿，所以形成的噴泉可射入空中高達一千公尺，甚至更高。有些熔岩噴泉會因為半熔解的小顆粒累積在噴發口而形成錐形。有些情況，由噴泉噴出的岩漿塊仍然保持岩漿繼續由山頂的噴發口，或是由火山山腹的裂縫中流出，紅熱的熔岩以悸動的方式，不同的寬度向山下流動，熔岩流中飄浮著黑色的地殼小島，時而向上挺起，時而沒入。一小時又一小時，日復一日，熔岩可能向上噴發數公尺之後稍為消退，只是不久之後它又開始向上噴發了，並且匯集成熔岩流順著山坡向海邊蜿蜒而去。到達海邊的數百萬立方公尺熔岩向外構築了新的海岸線，擴大了海島面積--藍色大海中的新土終將為陸地熱融的狀態而匯集成液態的熔岩，成為更大的熔岩流源頭。地

上動、植物提供新的養分。有些噴發從地面上的長條裂縫或管狀火山道轟然而出，帶著往上噴射的氣體和細小的顆粒液體，形成了噴到高空的噴泉。噴射的熾熱氣體快速穿過岩漿，將它撕裂成礫石和炸彈大小的液態顆粒，並且在飛過空中時就已經部分或完全凝固了。夏威夷式的噴發大部分是玄武岩岩漿，它們會破壞財物，但是所產生的熔岩卻很少出奇不意地吞噬人們。除了有大量的警告外，大多數的熔岩流動都很緩慢，人們可以輕易的跑開或閃躲。近期火山活動的遺跡到處可見：冒著蒸氣的火山口、噴氣口、新近留下的平滑或粗糙的熔岩流。

從西元1700以來有記錄的爆發次數為47次。幾乎所有的基勞亞火山的噴發跟熔岩息息相關。自1955年，大部分的熔岩是從基勞亞火山爆發東邊斷層帶流出。而1971、1974年的兩次爆發，是從西南方斷層帶流出。也有12次是從破火山口頂部流出。

火山監測

美國夏威夷火山的監測工作主要是由美國地質調查所屬的夏威夷火山觀測所(Hawaiian Volcano Observatory (CVO))負責。目前的火山監測，包括有地球物理和地球化學的方法。地球物理方法包括有火山地震的監測、地磁變化、地殼變形(電子距離測量法(EDM)、全球衛星定位法(GPS)、三角和水準測量、傾斜儀、乾燥的傾斜測量等)、火山穹窿觀測、地溫監測。地球化學的監測包括有火山氣體和地下水質的觀測等，同時也觀測火山產物的變化，以及採集火山岩樣本分析其成分的變化等。

4、日本雲仙火山 (Mt. Unzen)

位於長崎南邊的島原半島上，海拔高 1359 公尺的雲仙火山，自古以來航行於中國與日本之間的商船從海上望過去，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起來。

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所構成，它的首次火山活動大約是 500,000 年前開始，在雲仙火山地塹之中發展的火山，地

塹呈東西方向的正斷層，是由相當厚的熔岩流和熔岩穹丘所構成，主要是由石英安山岩(dacite)熔岩，火山碎屑流(pyroclastic-flow deposits)和崩塌碎屑物質(dry avalanche deposits)所組成。最近的 20,000 年間，火山活動集中在雲仙火山東部，大約是在 Fugen 山周圍。兩次歷史上的噴發紀錄，形成 1663 年有體積達 $2 \times 10^6 \text{ m}^3$ 安山岩熔岩流和 1792 年體積達 $3 \times 10^7 \text{ m}^3$ 石英安山岩熔岩流，並且在一次大地震後，引發老熔岩圓頂崩落(Mayuyama 的大規模崩落，大約 4,000 年前形成)、雪崩和海嘯，總共奪走了 15,000 人的生命。目前火山最活躍的中心是 Fugen 山，最大的城市—Shimabara 市在火山附近，與火山相距約 6 公里。

1990—1995 年雲仙火山爆發年代史

在 198 年的火山休眠後，1990 年 11 月雲仙火山又開始爆發(Yanagi et al., 1992)。石英安山岩熔岩流持續流出大約 4 年，形成熔岩穹丘以及 Merapi 類型火山碎屑岩流。火山爆發活動的監測是由日本氣象所(JMA)、Shimabara 地震和火山觀測所(SEVO)、九州大學以及日本地質探勘聯合大學研究小組(JURG)負責。

a、熔岩流噴出之前

爆發的過程如下：在 1989 年 11 月，地震發生在 Chijiwa 海灣之下 15—20 公里處，大約在 Fugen 山西邊 10 公里，推測震央隨著時間往山頂移動。獨立火山的震動開始在山頂，持續 4 個月之後，火山在 1990 年 11 月 17 日爆發。連續的震動又開始於 1991 年 1 月，並在 1991 年 2 月 12 日火山再次爆發，並且隨著時間而增強。在 Jigokuato 火山口之下，山頂區域和高頻率地震擴大之後，石英安山岩熔岩流開始在 1991 年 5 月 20 日從火山口噴出，但在 1991 年 5 月以後，高頻率的地震突然停止了。

b、穹丘成長和火山碎屑流

連續的熔岩流形成了穹丘生長在 Fugen 山東邊，自穹丘邊緣崩落的熔岩流塊形成 Merapi 型火山碎屑流。在 1991—1994 年期間，根據 Unzendake 氣象站報告，大約有一萬次火山碎屑岩流發生，超過百分之九十九是 Merapi 型。在 1991 年 6 月 8 日，Pele 型火山碎屑岩流形成，由於火山口區域的山崩引發岩漿輸送管道突然的崩塌，而在 1991 年 6 月 11 日發生劇烈爆炸。三次的山崩(1991 年 6 月 8

日、15 日和 9 月 3 日) 引起了相當大的火山碎屑流，其流動路徑長 5.5 公里。6 月的火山碎屑流奪走了 43 人的生命，火山碎屑流的堆積廣泛分布在 Fugen 山東部，而土石流在雨季頻繁地發生，在 1993 年夏天超過 2000 座大廈被火山碎屑岩流和土石流毀壞。

c、爆發噴出物的體積

在 1994 年結束之前，全部的熔岩和穹丘總共有 1.2 公里長、1 公里寬、200—450 公尺高。日本地質調查所使用空中相片估計爆發噴出物的體積。噴出的熔岩的總體量到達了大約 0.2km^3 。有二道岩漿噴出地表，第一道從 1991 年 5 月到 1993 年 1 月，第二道在 1993 年 2 月。在各道岩漿供應，在最初的階段噴出率是最高的（第一道噴出率大約是 $4 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{day}$ ，第二道噴出率大約是 $2 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{day}$ ），噴出率隨著時間而漸漸減少。

火山監測

雲仙火山的監測工作是由日本氣象所、Shimabara 地震和火山觀測所、九州大學以及日本地質探勘聯合大學研究小組(JURG)等所聯合負責。目前的火山監測，包括有地球物理和地球化學的方法。地球物理方法包括有火山地震的監測、地磁變化、重力監測、全球衛星定位法(GPS)、電子距離測量法(EDM)、重複的三角和水準測量等。地球化學的監測包括有COSPEC量測 SO_2 的流量、火山氣體的 $3\text{He}/4\text{He}$ 和地下水質的觀測等，同時也觀測火山產物的變化，以及採集火山岩樣本分析其成分的變化等。

5、日本櫻島火山 (Mt. Sakrajima)

日本櫻島火山位於九州南部，距鹿兒島市中心約 4 公里，由別名錦江灣的鹿兒島灣內火山噴發形成。由北至南包括有北岳(1,117 m)、中岳和南岳三峰相連，其中南岳現仍為活躍的火山，噴煙不斷。從有記錄以來櫻島火山最少反反覆覆噴發達30次以上，1914年的大噴發，噴出大量的熔岩流填埋當時櫻島和大隅半島之

間的海峽，使兩者現相連在一起。

櫻島火山的活動是由於菲律賓海板塊向北隱沒至歐亞大陸板塊之下所形成的島弧火山，屬於琉球火山島弧系統的一座火山。其位於Aira火山陷落口的南端，為典型後火山陷落口(post caldera eruption)在噴發所形成的火山。此一陷落火山口形成於約22,000年前，經由一連串劇烈的火山噴發活動後，岩漿庫內的岩漿被部分掏空後，無法承載上覆的岩層，發生陷落後所造成的。此次火山噴發活動是日本當時最大規模的火山活動之一，估計噴出的岩漿總量可達410立方公里。

Aira火山陷落口形成後，隨即沉寂了一段時間，一直到13,000年前，在火山口的南邊開始再有火山活動，經過一次劇烈的Plinian的噴發後，最早的櫻島火山才開始出現，並一直斷斷續續的噴發，形成現在的櫻島火山的形狀。最早對櫻島火山做觀測的時間為公元708年，而真正有比較詳細的觀測紀錄則是從公元764年後至今。

在公元754年的大噴發之後，櫻島火山沉寂了將近700年，一直到公元1468年後，才又開始另一連串的活躍噴發。其中，噴發較大且比較有詳細文字記錄的活動，分別為1471-1476年、1779年，以及1914年等。這三次的火山噴發活動，皆噴出大量的熔岩流和火山碎屑物，並伴隨著地震、海嘯和地殼變形等作用。其中，1914年的噴發，大量的熔岩流流向櫻島東南方的海域，使原本孤立於鹿兒島海灣上的櫻島，從此與九州本島相連，而形成現今的地形地貌。

最後，在1946年時另一次較具規模的火山噴發後，櫻島火山開始改變其噴發型態，從間隔較長、噴發較為猛烈的噴發型態，轉而變成噴發次數頻繁、噴發規模較小的活動。其中，由櫻島中央之南岳(Minamidake)火山口，不斷噴出火山彈和火山灰，持續的火山活動使得火山頂上的火口湖和熔岩錐反覆的形成和崩毀，在噴發活動最為頻繁的時期，如1960、1974、1985和1991年等，每年的噴發次數可達四百次以上。

火山監測

櫻島火山的監測工作是由日本氣象廳的Kagoshima 氣象觀測所和地磁觀測

所、隸屬於日本京都大學的櫻島火山觀測所、Kagoshima大學、Kagoshima 縣政府、日本航空局(JAL)和其他大學聯合觀測隊等一起負責監測工作。

Kagoshima 氣象觀測所和地磁觀測所設立的永久觀測站，觀測內裝置有地震儀、傾斜儀、應變計、海平面量測、空氣震波量測和影像觀測錄影；而隨時做調查研究的包括有火山灰調查、地磁量測和地下溫泉水質監測等。京都大學的櫻島火山觀測所設立的永久觀測站，包括有地震儀、傾斜儀、應變計、水準儀、地球化學觀測儀器、空氣震波量測和全球衛星定位法(GPS)；而隨時做調查研究的包括有水準測量、電子距離測量法(EDM)和微重力等量測。Kagoshima大學設立的永久觀測站，包括有地震儀和傾斜儀；臨時調查的則是全球衛星定位法(GPS)和電子距離測量法(EDM)。Kagoshima 縣政府則在圍繞著櫻島火山60個地點設立永久火山灰監測站。日本航空局(JAL) 設立的永久觀測站，包括有地震儀和未了飛航安全的空氣震波量測裝置。其他大學聯合觀測隊則從1974年已來臨時設置各種裝置調查研究八次火山噴發情形。

另外，因櫻島火山的噴發頻率相當高，危險性也大，故未了有效的降低火山災害而設置特別的的監測系統，如監測岩屑流的工作、演練當火山噴發時的疏散工作、繪製火山災害圖、設立火山難將噴發的警告系統等

6、義大利維蘇威火山(Mt. Vesuvius)

維蘇威火山位於義大利中部那不勒斯東南約11公里的地方，是義大利西南部的一座活火山(也是歐洲大陸上唯一的一座活火山)，海拔高約1,281公尺。鄰近火山區域共有約70萬人生活著，而整個那不勒斯市也有超過100萬人居住。

維蘇威火山最初原是一座海底火山，噴發出大量的岩漿、累積大量的熔岩流才露出海平面，與鄰近的陸地相連。據火山學家的研究，維蘇威火山約從17,000年前開始出露海面噴發，期噴發型態屬於最劇烈的Plinian火山噴發，由於紀錄的不完整，推斷在西元79年大噴發、造成巨大傷亡之前，此做火山應處於長期休眠的狀態。

維蘇威火山在西元63年2月5日開始活動，產生大地震，在此後的16年中，地震連續發生。最後的一次警告發生在大災難來臨的前幾天，當時火山開始噴煙，並發出隆隆作響聲，開始時人們對於此次的警告嗤之以鼻，在他們的印象中，火山從未噴發過。然而，維蘇威火山的名稱“Vesuvius”或“Vesubius”的意思即是“未熄滅的”。於是於西元79年8月24日上午七時左右，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。此次火山噴發出大量的火山灰、浮石和氣體，將其鄰近的龐貝城(Pompeii)和赫庫蘭尼姆城(Herculaneum)埋藏在火山灰下。龐貝城為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公尺之厚，但赫庫蘭尼姆城則是被厚約20公尺的火山碎屑流所掩埋。

自從西元79年後，維蘇威火山便不時的活動，西元203年和472年都有爆發過，噴出的火山灰曾瀰漫整個歐洲。其後的600年間，有西元512年、685年，993年和1036年的4次噴發，其中1036年的噴發，是維蘇威火山第一次噴發出熔岩流，其不僅由頂部噴出，在側翼裂隙中也有熔岩流的溢出。經過1036年的熔岩流噴發，維蘇威火山便遵循著一定週期的活動，故此次的活動被認為是維蘇威火山恢復活力的證明，而最後的一次噴發，發生於1944年二次世界大戰期間，從火山口頂部噴出大量的熔岩流，同時也噴出火山彈、火山礫和火山渣，自此之後再也沒有出現火山噴發的景象，但平時維蘇威火山仍不斷地有噴氣現象，說明火山並未死去，只是處於休眠狀態。

維蘇威火山周邊地區可以按危險程度劃分為三個帶，其中最危險的一個帶「紅色警戒區」裡，已經擁有18個小鎮、60萬個居民，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。有關政府官員表示，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」。政府當局希望未來十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去重建家園的居民予以資助。

火山監測

維蘇威火山的監測工作是由維蘇威火山觀測所所負責，期監測的範圍包括維蘇威火山、Campi Flegrei火地和Ischia島等火山。目前的火山監測，包括有地球物理和地球化學的方法。地球物理方法包括有火山地震的監測、電子距離測量法(EDM)、三角和水準測量等。地球化學的監測包括有火山氣體和地下水質的觀測等。

7、義大利艾特納火山(Mt. Etna)

埃特納火山是意大利著名的活火山，也是歐洲最大的火山。位于意大利南部的西西里島，海拔高度 3,315 米。其下部是一個巨大的盾形火山，上部為 300 米高的火山渣錐，說明在其活動歷史上噴發方式發生了變化。由于埃特納火山處在幾組斷裂的交匯部位，一直活動頻繁，是有史記載以來噴發歷史最為悠久的火山，其噴發史可以上溯到公元前 1500 年，到目前為止已噴發過 200 多次。近年來埃特納火山一直處於活動狀態，距火山幾公里遠就能看到火山上不斷噴出的氣體呈黃色和白色的煙霧狀，並伴有蒸氣噴發的爆炸聲。

埃特納火山大約在五十萬年前成形，一直是座相當活躍的活火山，過去四千年來，已經有超過九十次大型的爆發。埃特納火山位於歐亞板塊及非洲板塊碰撞的前緣地帶，是地殼最破碎薄弱的地方，在它下方 20~25 km 處有從地函來的岩漿大量聚集，體積達到 $1,600\text{km}^3$ ，這些是含鐵鎂質較多的矽酸岩岩漿，噴出地面時形成易流動的基性熔岩，也有因氣體迅速膨脹爆炸而產生的碎屑物(火山角礫)被拋起。這些噴發物在火山口堆積起來，使得火山錐越來越高大。那些在山坡上的噴口最後也形成了一個個較小的火山錐(寄生火山錐)，與原來的火山錐疊合在一起。現在的埃特納火山是這些小火山口的統稱，他們是由同樣一個來源的岩漿形成的同一個火山構造，現屬於複式火山。

據當地火山監測站人員觀測發現，每日午后兩點左右火山震顫達到最高峰。埃特納山上還不時地發出沉悶的聲響，那是氣體噴出的聲音。火山的熱度通過地

表傳到遊人腳上，只覺得腳底也是溫熱的。讓人覺得火山好像是活生生的動物一樣，也有體溫和脈搏。

在火山口的側壁上，還可以清楚地看見一個直徑約兩、三米的大圓洞，形狀很規則，就像是人為挖的洞一樣，裡面還不時地逸出氣體。山上遍布各種大小的噴氣孔，硫質氣味很濃，噴氣孔旁邊常有淡黃色的硫磺沉澱下來。山頂上還分布著幾條大裂縫，寬約 20-50 厘米，可能是地下岩漿上隆時地表發生變形造成的。這些現象都說明埃特納火山的活動性是很強的。一陣風吹來，火山噴出的有毒氣體就迅速彌漫開來，只覺得一陣濃濃的硫磺味飄過，濃煙很快包裹了山上的一切，噙得游人胸悶、窒息。

1669 年埃特納火山噴發，在一陣地震之後，埃特納發出哀鳴，再接下來的星期一，一天內就發生了三次大型的噴發，重達 136KG 的巨礫被拋入幾千公尺的高空，炙熱的火山渣落在周圍的村子，摧毀了村莊，人們在埃特納火山的側面發現了寬兩公尺長 16 公尺的裂縫，熔岩由裂隙裡流出來，往卡拉布里亞城流去，官方公佈的死亡人數高達兩萬多人，但實際上預計應該有十萬之多。

最近的幾次重大噴發

a、2000 年

繼二月強烈噴發，連續七天之後，2000 年 04 月 02 日，格林威治標準時間 18:19，BBC 科學事務編輯懷特豪斯博士火山學家注意到意大利西西里島的埃特納火山噴出了一圈圈白色灰燼的自然奇觀。煙圈在約一千米的高空緩緩飄。阿萊安博士和富列博士一直在對埃特納火山越來越頻密的活動進行觀察。2000 年 2 月，他們發現火山噴出了一個個引人入勝的霧氣圈。這一次，埃特納火山上幾乎並沒有灰燼，火山口冒出來的氣體主要都是水蒸氣。因此，阿萊安博士和富列博士管這些煙灰圈叫做"蒸氣圈"。就如抽煙者吐出的煙一樣，"蒸氣圈"能夠停留在空中長達數分鐘。埃特納火山的煙圈被發現最長飄浮了 10 分鐘才散去。至於一個個的煙圈是如何產生的，兩位科學家也做了些揣測。阿萊安博士說，煙圈可能是頻密的氣壓活動從狹窄的氣管被擠出大氣層所形成的。

b、2001

熔岩噴泉形成一座新的火山錐，六天內就從地面拔起約 90 公尺。在最近這

次噴發中，火山被六條裂縫撕裂，傾洩出超過 2100 萬立方公尺的熔岩。讓科學家深感興趣的是，這次發現兩種熔岩，表示熔岩分別來自地球深處不同的源頭。其中一種熔岩來自海拔 2100 和 2570 公尺高的噴溢道，和埃特納火山過去 1 萬 5000 年間所噴出的熔岩都不一樣。

一次火光熊熊的爆發中，2100 公尺高處的一段噴溢道向空中射出熔岩彈。從另一段噴溢道湧出的火山灰和蒸汽，撕扯下噴溢道側邊的堅硬岩石，使得岩塊也在空中亂飛。地球內的熔岩承受巨大壓力，內含溶解了的氣體，當氣體到達地面出口，便會迅速擴散，造成這類強烈爆發。

海拔 2700 公尺高處的噴溢道潑灑出的熔岩高溫難耐，讓工程師克里斯·海恩萊恩本能地舉起手護著臉。「地球在工作、在生活，而我們就處於震央之上，震個不停。」攝影師卡斯坦·彼得回憶道。海恩萊恩和彼得經常搭擋記錄火山噴發活動。「我總是跟他說：『假如有熔岩彈朝我飛來，拜託你警告我一聲。』」彼得解釋著。「這種合作是非常重要的。靠得那麼近，一旦有爆發，必定無法逃脫，只能盡量避開從天而降的石塊。」

雖然埃特納火山噴發時聲勢驚人，它其實很少引起人類傷亡。它鮮少發生爆炸性的噴發，就算有，通常也都在靠近峰頂處，而且熔岩沿坡流下的速度非常緩慢，讓人們有時間先行逃離。卡塔尼亞大學的埃特納火山專家博里斯·班克表示，從公元前 1500 年埃特納火山有歷史記載以來，只有 73 人的死亡與它的噴發有直接關係。民間的說法中有些指出 1669 年那次災難性的噴發造成約 2 萬人死亡。然而根據班克的說法，那次噴發沒有任何死亡的紀錄，不過熔岩流的確造成了巨額的財產損失。他認為這慘重的傷亡數字其實出現在 24 年後，那次在西西里島東部發生的大地震奪去約 5 萬 4000 條人命，包括卡塔尼亞大部分人口。2001 年 7 月到 8 月間的兩起死亡事件原因都是雷擊，而非火山活動。看來，埃特納火山的確是「善良的巨人」

火山監測

埃特納火山的監測工作是由 Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) 負責。目前的火山監測，包括有地球物理和地球化學的方法。地球物理方法包括有

火山地震的監測、地磁變化、重力監測、全球衛星定位法(GPS)、電子距離測量法(EDM)、重複的三角和水準測量、以及影像監測等。地球化學的監測包括有火山氣體中用COSPEC量測SO₂ 流量、量測CO₂的流量、火山流體的 energies 和同位素等和地下水質的觀測等，同時也觀測火山產物的變化，以及採集火山岩樣本分析其成分的變化等。上述的地球物理和地球化學的監測方法，大部分都是即時測量和分析，並立即做出判斷。

8、印尼美若比火山 (Mt. Merapi)

美若比火山位於印尼的爪哇島，是一個典型的層狀(複式)火山，為印尼活動性最強的火山之一，從 1548 年起已經斷斷續續噴發了 68 次。「美若比」在印尼語中的意思就是「火山」。火山距離日惹市相當近，山麓居住著幾千人，有的村莊在海拔 1700 米的高處，由於其威脅人類居住地的安全，被國際科教組織列為十年火山(decade volcanoes)，為全球應當加強監督與研究的 16 座火山之一。這座火山海拔 2914 公尺，座標是 7°32' S 、110°26 'E，噴發開始於大約 400,000 年前。

美若比火山在印尼南爪哇的火山群中屬於最年輕的一座，位於隱沒帶上，是印度-澳大利亞板塊隱沒入歐亞大陸板塊下面。地層學分析證明在 40 萬年前這個地區已經開始噴發，直到一萬年以前，一直是典型的熔岩噴出，形成玄武岩。一萬年後形成以爆炸式的噴發為主，是更粘稠的安山岩漿，形成熔岩丘，而熔岩丘常崩塌造成火山碎屑流和猛烈的噴發，形成噴發火山碎屑流。

美若比火山一般每兩到三年都有一次小噴發，每 10 至 15 年會有一次大噴發，嚴重的噴發發生在 1006 年、1786 年、1822 年，1872 年發生一次最大的噴發，和 1930 年的噴發一起造成 13 個村莊的毀滅，死亡 1400 人。另外，美若比 1006 年的噴發使得火山灰覆蓋了整個中爪哇，導致信仰印度教的馬塔拉姆王國的毀滅，有人認為是這一事件為伊斯蘭教登陸爪哇開闢了道路。而美若比火山現在仍然是日惹和梭羅兩地土王每年向古代神靈獻祭的四個地點之一。

1992 年的噴發持續了 10 年，熔岩丘不斷上升，到 1994 年熔岩丘和火山口持平，溢出的熔岩形成碎屑流，然後整個熔岩丘崩潰，碎屑流流出幾千米，造成

43 人死亡。11 月的大噴發形成新的熔岩丘，然後持續不斷地噴發一直到 2002 年停止。

2006 年 4 月，地震波的檢測和火山錐的膨脹預示著要噴發，當局發出警報。4 月 19 日，火山噴出的煙柱高達 400 米，4 月 23 日附近居民中的老人和兒童開始撤離，5 月 11 日，熔岩流出，17,000 居民被要求撤離；5 月 13 日印尼政府發出紅色警報，要求所有居民立即撤離；5 月 15 日，上午 5 時 40 分火山爆發，火山灰噴出達到 4 千米得高處。

火山監測

美若比火山是監測系統最活躍的地區之一，從 1924 年就開始舉行地震波監測，1930 年的噴發證實在噴發前有強烈的地震活動。目前在火山周圍有 8 部地震監測儀組成的監測網可以讓地震學家確定震源，震源在地下 1.5 千米以下不會被發現，可能是因為震波被岩漿所吸收的原因。此外還監測地磁的變化，地磁的變化也預示著岩漿的漲落，可以預測火山的噴發。地震波監測還可以確定泥石流的發生，高頻地震波經常預示會發生泥石流，如果降雨超過每小時 50 毫米，在火山地區就會發生破壞性的泥石流。

9、菲律賓皮納土坡火山 (Mt. Pinatubo)

皮納土坡火山位於菲律賓(15°08.4'N、120°21'E)、屬於呂宋火山島弧(Luzon volcanic arc)中的複式火山(composite volcano)鏈中的其中一座。菲律賓處於板塊交界帶，由好幾個弧陸系統組成。而皮納土坡火山所在的呂宋島弧是平行於呂宋島西側海岸，由南海板塊向東隱沒，形成馬尼拉海溝(Manila trench)、以及一連串的火山島弧，是屬於馬尼拉海溝弧陸系統的一部份。皮納土坡火山是呂宋島西部最高的一座山，它在 1991 年噴發之前高 1745 公尺，而爆發後為 1445 公尺高，基底直徑長 40km，火山口湖深約 600m~800m、直徑約為 2km。

皮納土坡火山的岩石以英安岩(dacite)以及安山岩質捕獲岩(andesitic

xenoliths)為主，而其噴發的年代大致分為三個時期，分別為 $1.10 \pm 0.09\text{Ma}$ 、 635 ± 80 年、1991 年和 1992 年，而最近的一次噴發，根據菲律賓火山監測局(PHIVOLCS)網站上的資料，是 1992 年的噴發。

皮納土坡火山的噴發歷史

皮納土坡火山在人類有記錄的歷史中，只噴發了兩次，第一次的噴發即為西元 1991 年的六月九日，一直持續到該年的九月四日火山才停止噴發。而隔年的六月九日皮納土坡火山又開始有活動的現象，包括火山穹籠向上隴起，並且開始噴氣，這個現象持續到八月十六日，被菲律賓火山觀測局把其視為人類史上第二次的噴發。

1991 年皮納土坡火山的噴發

皮納土坡火山於 1991 年六月噴發，是二十世紀中最大規模的火山爆發，是屬於普林尼式(Plinian)的噴發類型。這一次的火山爆發造成超過 850 人的死亡，而近十萬人無家可歸，隨後而來的雨季和颱風，加上火山爆發所沉降下來的物質，形成了火山泥流(lahar)，更加重了災情。

由於皮納土坡火山在正式爆發之前，在 1991 年的四月二日開始出現持續幾個小時的蒸汽式噴發，菲律賓火山和地震學會(Philippine Institute of Volcanology and Seismology，簡稱 PHIVOLCS)的火山學家們在皮納土坡火山的西北方架設了數個地震儀偵測地震的頻率，發現每天平均有 40~140 個不等的小地震，但是由於以往沒有這座火山的監測資料，因此無法判斷這些地震是平時正常的狀況或是有異常的訊息。到了四月時，美國地質調查所(USGS)也加入監測行列，他們安裝了七台有遙測裝置的地震儀，成為一個能與在最初作為皮納土坡火山觀測所的克拉克空軍基地(觀測所簡稱 PVO)相聯絡的地震監測網絡。在此同時火山學家們亦透過對地層的對比、定年找出皮納土坡火山過去的爆發資料，希望從中得知此火山可能以何種型式噴發。結果發現在數千年前以來曾有幾次大規模的噴發，而且大部份都是以龐大的火山碎屑流(pyroclastic flow)為主，並且有時會伴隨著火山泥流等等的狀況。因此 PVO 的火山學家們利用災害圖分析火山爆發可能波及的區域，並且開始告知民眾有關火山災害的知識。

到了五月，微震持續並且越來越頻繁，火山學家們量測二氧化硫的濃度有

上升的趨勢，這顯示地底下可能有岩漿正在向上發展。六月三日，一場小型的噴發，更加肯定它即將爆發的可能性，五日 PHIVOLCS 對皮納土坡火山發佈「3 級警告」(警告分級系統詳見表四)，並預測未來兩週會有火山碎屑流式的噴發。

六月七日，皮納土坡火山噴發並伴隨著地震(24 小時)，火山灰直衝 7~8km 的高空，這一次 PHIVOLCS 定為「4 級警告」，並撤離在火山側邊的所有人員。接下來一連幾天火山仍然持續活動，九號時警告已經提升到 5 級，並將須撤離的範圍擴大到方圓 20km，十日美軍克拉克空軍基地開始撤離。PVO 也將觀測站向外遷移了 25km，繼續監測。

第一次最主要的噴發是在六月十二日上午八點五十一分，噴發柱高達 19km，一直到十五日都陸續有幾次這種規模的噴發，而撤離的範圍增加到 30km。十三、十四日的噴發都伴隨著長時間的地震，有別於十二日的噴發狀況。而到了十五日時，掉落在 PVO 由浮石所組成的火山灰落堆積已經達 4cm 厚，由衛星數據顯示，噴發造成的蕈狀雲和火山灰已經進入平流層，並向四面八方擴散，總範圍可達方圓 200km。在主要噴發完之後，開始一連串的強震，這是由於火山爆發改變了其構造所致。

1991 年這一次的噴發，使皮納土坡火山的面目全非，並造成了直徑 2km 的火山爆裂口，其中心在當初一開始噴發時的北方約 1km 處，推測可能是在十五日那些連續強震時造成的。而龐大的火山灰散佈面積甚廣，除了南中國海之外，連印尼部份地區也遭受波及。總計所噴出的火山灰體積有 $2\sim 4\text{km}^3$ 之多，而火山碎屑流則有 $5\sim 7\text{km}^3$ 之多，淹沒了許多山谷。火山灰厚度超過 5cm 的地區達 4000km^2 ；又正逢菲律賓的雨季，遇上了颱風 Yunya，Yunya 挾帶著大量的雨水加上這些剛堆積的火山灰，遂形成火山泥流。接下來幾年，只要每逢大雨，這些鬆軟的火山沉積物就會和雨水混合而成火山泥流，火山泥流順著皮納土坡火山向外的九條河道往下游沖刷，淹沒了沿途所經之道路和房屋，造成嚴重的生命財產的損害。

值得一提的是，皮納土坡火山的噴發不只有火山所造成的那些災害，也影響了全球的氣候。由於所噴發出的火山灰以及火山氣體擴散到平流層，會影響太陽照射狀況，根據 Science 雜誌上 NOAA 科學家 V. Ramaswamy 等人的研究顯示：低平流層溫度突然上升是由於火山噴發的硫酸鹽氣膠吸收地球長波輻射所導致，由於這些硫酸鹽氣膠可散射與反射太陽短波輻射，同時也會造成地表的降溫。由

此可見，皮納土坡火山這一次大規模的噴發對全球的影響有多大！

另外，就是如今在它的火山爆裂口形成了一座火山口湖。一開始由於湖水被火山灰等沉積物堵住了宣洩之處，因此湖水累積甚多，科學家們擔心天然堤防撐不住會造成嚴重的水患，對下游的村莊城市極具威脅，因此還特別人工開鑿，將部份湖水排出。

火山監測

由於菲律賓群島有超過220座火山，且其中至少21座被認定為活火山，因此菲律賓火山和地震學會（PHIVOLCS）根據菲律賓國家災害協調委員會委任的功能，為下述所列之六大項：

1. 預知火山的爆發和地震發生時與大地構造變動的現象。
2. 判定火山爆發和地震後，可能發生方式與影響區域範圍。
3. 積極開發火山和火山地帶之政府社會經濟面。
4. 為預測火山爆發和地震產生準備充份的資料。
5. 制定適當的災害整備和緩和計劃。
6. 經過適當的發現，以預測和警告系統的方式，平緩火山活動可能帶來危險。

因此，對於皮納土坡火山也有相關監測活動，以下分別介紹 PHIVOLCS 對皮納土坡火山的監測狀況。

皮納土坡火山觀測站(PVO-CAB；Pinatubo Volcano Observatory Clark Air Base) 位於 120°31.69'E、15°11.18'N。主要使用的監測方式為地震監測以及二氧化硫通量之監測。

PHIVOLCS 在皮納土坡火山所設置的地震監測網，負責監測其地震活動，以觀察它是否有新的岩漿活動。另外，USGS 也有在此地架設觀測系統，觀測皮納土坡火山。

表四、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

分級表	標準	說明
(ALERT LEVEL)	CRITERIA	INTERPRETATION

無警告 (No alert)	背景值、安靜 (Background, quiet)	在可見的未來不會噴發 (No eruption in foreseeable future)
1 級	低程度的地震、噴氣和其他的信號 (Low level seismic, fumarolic, other unrest)	岩漿、構造或熱水擾動；不會立即噴發 (Magmatic, tectonic or hydrothermal disturbance; no eruption imminent)
2 級	低至中程度的地震；且具有與岩漿活動有關的信號 (Low to moderate level of seismic, other unrest with positive evidence for involvement of magma)	可能是岩漿侵入且也可能最後導致噴發 (Probable magmatic intrusion; could eventually lead to an eruption)
3 級	相當高程度的地震且活動增加和不停止；包括無數的b型態地震、加速地表變形、增加噴氣口的活躍性和氣體的溢出 (Relatively high and increasing unrest, including numerous b-type earthquakes, accelerating ground deformation, increased vigor of fumaroles, gas emission)	可能在幾天或一週內發生火山噴發 (Increasing likelihood of an eruption, possibly within days to week)
4 級	地震強烈活動且不停止；包括高頻率的震動和/或長週期(低頻)的地震、或溫和的岩漿溢出和/或穹窿、和/或溫和的噴發 (Intense unrest, including harmonic tremor and/or may "long period" (=low frequency) earthquakes or quiet lava emissions and/or dome growth and/or small explosions)	岩漿接近或噴出至地面，在幾小時到天幾天內會發生危險劇烈的噴發 (Magma close to or at earth's surface. Hazardous explosive eruption likely, possible within hours to days)
5 級	進行著火山碎屑流和/或噴發柱高度上升至最少高達海平面以上 6 公里的劇烈噴發 (Hazardous explosive eruption in progress, with pyroclastic flows and/or eruption column rising at least 6 km or 20,000 feet above sea level)	進行著劇烈的噴發；下風處或河谷低地相當危險 (Explosive eruption in progress. Hazards in valleys and downwind)

資料來源：菲律賓 PHIVOLCS 官方網站

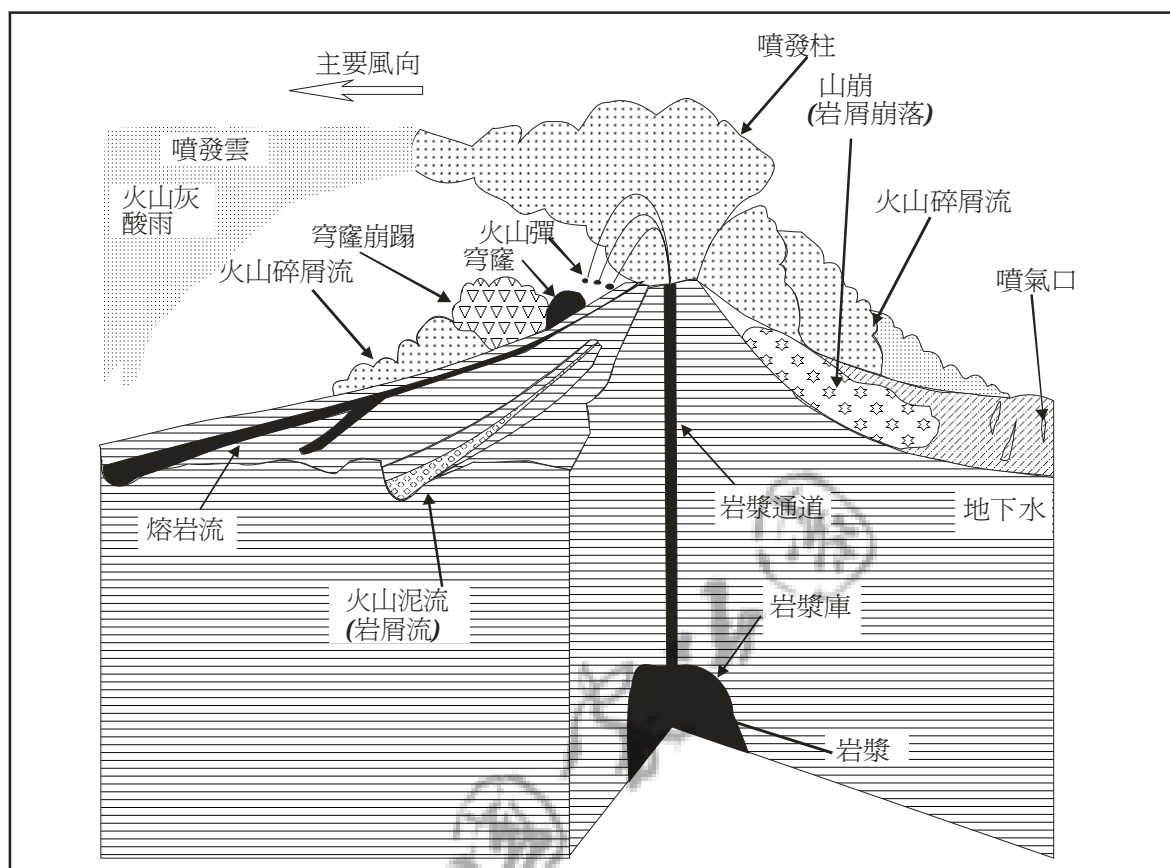
陽明山國家公園

第五章 火山災害評估

第一節 、火山災害種類

在過去的火山活動曾引發嚴重的火山災害，造成人類相當多的傷亡和財產損失。根據資料統計，全球目前有大約有 500 座活火山，其中有近 70 座在水下，其餘均分布在陸地上。在地球上幾乎每年都有規模和程度不同的火山噴發，給人類活動和生存帶來了很大的危害。全球大約四分之一的人口生活在火山活動區的危險地帶。據統計，在近 400 年的時間裡，火山噴發已經奪去了大約 27 萬人的生命。特別是在活火山集中的環太平洋地區，火山災害更為突出。因此，火山災害被列為世界主要自然災害之一。故火山學家研究火山的目的，除了要瞭解火山形成的機制和噴發的行為外；另一主要的目的，是希望藉由對火山的瞭解，能預測火山的噴發及降低因火山噴發所造成的災害。所以，國際火山學會在十幾年前配合聯合國推動二十世紀最後十年(1990~1999)的國際自然災害防災十年計畫(International Decade for Natural Disaster Reduction)，選定全世界 16 個未來十年最有可能再噴發、具破壞性的火山為十年火山(Decade Volcanoes)，進行有系統的研究與監測。

火山災害有兩大類，一類是由於火山噴發本身造成直接災害，另一類是由於火山噴發而引起的間接災害，實際上，在火山噴發時，這兩類災害常常是兼而有之。從圖十五的火山噴發產物和作用，可推知火山噴發所可能引發的災害包括有：火山熔岩流、火山灰落堆積、火山碎屑流堆積、火山氣體、火山泥流堆積、山崩和海嘯等。



圖十五：火山噴發作用及產物示意圖。

一、火山熔岩流災害

火山熔岩流為一高溫的融熔液體，溫度可能超過 900°C 以上，所流經之處的所有物體全被破壞怠盡，故其主要的破壞力是高溫燃燒所造成的損害。但由於它一般都是在地面低處流動，且速度不快，對活動的人所威脅較小，但對於固定不動的建築物則破壞力較大。

熔岩流是指在火山活動過程中，岩漿從火山口流出，呈熔岩河或熔岩瀑布等方式流動，最後冷卻形成厚度不一的熔岩體。分布於地表的熔岩流厚度，主要受控於岩漿本身的黏滯性。黏滯性是影響物質變形或流體流動能力的一種物理參數。例如水和麥芽糖，水的黏滯性相當小，故流動性相當好；但麥芽糖的黏滯性較大，所以較不容易流動。影響岩漿黏滯性的因素，包括有成分、溫度、壓力、有無斑晶、氣體含量等。在岩石中主要的三種岩漿是玄武岩質岩漿、安山岩質岩漿和流紋岩質岩漿。其中，玄武岩質岩漿的黏滯性比安山岩質岩漿和流紋岩質岩漿的黏

滯性小，所以其流動性較好，分布較廣，但相對地其厚度也就較薄；反之，安山岩質岩漿和流紋岩質岩漿的黏滯性較大，岩漿流動性較差，所以其厚度也較厚。相較而言，黏滯性較低的玄武質熔岩其流動性較高，所影響破壞的範圍也較大；反之，安山岩質和流紋岩質的熔岩流則較小。

熔岩流從火山口噴出地表後，所形成的產狀，包括有波狀與繩狀熔岩（Pahoehoe lava）、阿丫熔岩（Aa lava）、塊狀熔岩（blocky lava）和枕狀熔岩（pillow lava）等。

波狀與繩狀熔岩主要形成於基性熔岩流，在熔岩流表面常常有各種波浪起伏和繩狀的外形特徵。基性熔岩流屬於黏滯性低、流速快的岩漿，在噴出流動的過程中，表層與空氣接觸，較快冷卻成「半塑性」的狀態或劇流動構造的玻璃，而內部冷速率較慢且繼續流動，使得處於半冷卻狀態的表層岩漿被帶動而捲曲，形成指向流動方向突出的繩狀和波狀型態。

阿丫熔岩的特徵是岩流具有凹凸不平且尖銳的表面，夏威夷土話叫「啊啊」。當夏威夷原住民波里尼西亞人初登上大島時，腳底踩踏在尖銳表面似煤渣的熔岩之上，相當地刺痛，發出「啊啊」的叫聲，故以後稱此熔岩為『阿丫熔岩』。其成因主要為玄武岩質岩漿，因冷卻使得岩漿黏滯性變大，熔岩表面已冷卻成固態，或富含氣孔，而內部的熔岩還繼續流動，剪切已成固態的熔岩表面使之破碎成塊狀，或玻璃爆破，而形成阿丫熔岩。此一熔岩形成的條件，相較於繩狀熔岩需較長時間的冷卻，故在夏威夷火山地區，常可發現由繩狀熔岩過渡到阿丫熔岩。也就是說，阿丫熔岩分布的地方較繩狀熔岩遠離火山口的位置。

塊狀熔岩的形成，是熔岩流的前緣因冷卻較快，會先凝結成固態而不易再移動，而後面未凝固的熔岩流又不斷地往前推擠，或前緣凝固於較陡的斜坡上，致使岩體發生破裂，一塊一塊的堆積在斜坡底部，形成了塊熔岩。

當岩漿在水底環境噴發時，熔岩流的表面會被快速冷卻，形成原子不具結晶排列的玻璃，而內部高溫岩漿則繼續流動衝破冷卻硬化的外殼，流出後又被水快速冷卻，如此不斷地衝破硬殼和快速冷卻循環，就會形成一顆顆的枕狀熔岩。所以枕狀熔岩的產狀，是判斷岩漿在水底環境噴發的最直接證據。

綜合比較各種熔岩流的產狀，波狀與繩狀熔岩的流動性較其他種類為高，故其破壞力也較大，而海底噴發的診狀熔岩因其噴出地點為海底，相對對人類的影響也較小。

二、火山灰落堆積物災害

當火山產生劇烈的爆發，液態的岩漿和上覆的岩石都會被炸碎，形成大小顆粒不等的火山碎屑物，這些碎屑物會因搬運方式的不同，而有不同的名稱。火山碎屑物被噴到空中，然後再掉落至地上堆積，形成了火山灰落堆積物；若火山碎屑物在地面流動堆積，則形成了火山湧浪堆積物和火山碎屑流堆積物。

火山灰落堆積是指火山爆發形成了以火山碎屑顆粒組成噴發柱，這些噴發柱的高度雖不同，但搬運和堆積的機制大致相同。也就是說，噴發顆粒最初是受到噴發氣流的作用，如砲彈向上發射般，向上運動至高空，等到初始動能消失後，大顆粒就掉落到地面，而由細小火山灰和熱空氣所組成噴發柱的密度比周遭空氣的密度低，則會受到浮力和熱對流的影響，繼續往上運動，等到噴發柱冷卻到與周遭空氣的密度相當，噴發柱會開始往兩旁擴散，形成了蕈狀雲的外形，此時的火山碎屑開始受到大氣氣流和風力支撐的影響，在空氣介質中搬運火山碎屑顆粒往下風帶移動，然後由於重力作用而掉落至地面堆積，形成了火山灰落堆積。

一般而言，火山灰落堆積物的分布範圍廣、持續的時間也較久，會造成地面和水的穩定狀態，且提供未來火山泥流災害的物質。故火山灰落堆積主要的災害包括：對人的呼吸系統、皮膚、眼睛等會造成嚴重的傷害；對水源造成汙染、厚度不等的火山灰掩埋植物和地表事物、厚層火山灰造成屋頂坍塌、電力中斷、危害交通，也會對飛航在其漂浮的路徑上知飛機造成破壞，甚至使飛機墜毀等災害。

三、火山碎屑流堆積

火山碎屑流為火山噴發過程中破壞力最強的一種作用。二十世紀初期位於小安地列斯群島的馬諦尼克島上之培雷火山發生了劇烈的噴發，形成猛烈的火山碎

屑流，淹沒整個聖比荷市（St. Pierre），造成了大約 29,000 人的傷亡，這是世界上火山活動造成死傷人數最多的一次，它就是火山碎屑流所造成的。這主要是因為火山碎屑流的溫度很高和流速快，所以流過之處，幾乎無人能擋、無堅不摧。

火山碎屑流為火山爆發產生的熱、氣體和碎屑所組成的一種濃度高碎屑流，和一般人所熟知的土石流是很類似的，只不過土石流的搬運介質為水，而火山碎屑流的搬運介質為氣體且溫度高，所以其流速較快，最高速度可達每小時 160 公里以上，所以破壞力也較強。在火山噴發過程中，形成火山碎屑流的成因主要有兩種，一是火山噴發柱因密度太高發生崩塌，大量的火山碎屑顆粒混合著熱空氣，往火山低窪地方快速流動。此種火山噴發所形成的火山碎屑流一般以浮石的碎屑流為最多，堆積後的產物有另一種名稱，稱為中酸凝灰岩。如西元 1980 年美國華盛頓州的聖海倫斯火山的噴發，和西元 1991 年菲律賓皮納吐坡火山的噴發，其噴發高度分別約為 20 和 30 公里，爾後又發生噴發柱崩塌，形成大量的火山浮石碎屑流堆積於火山四周。

另一種為火山口內穹窿狀熔岩丘的崩塌（如山崩），也會形成大量的火山碎屑流。此種因熔岩丘崩塌所形成的碎屑流，主要組成為密度較重的岩塊，所以也稱之為岩塊和火山灰流堆積。如西元 1991 年日本雲仙火山的噴發、西元 1997 年西印度群島之聖路西亞島（St. Lucia）上的蒙色瑞火山和西元 1998 年印尼的美若皮火山的噴發，都形成此種型態的火山碎屑流。

由於火山碎屑流不是火山噴發所形成的噴發柱崩塌，就是熔岩隆丘崩塌所形成的，故其溫度相當的高，目前所知之最高溫度超過 600°C ，一般也不低於 100°C ，且因其顆粒之間的介質為高溫的氣體，故流速快，所造成的破壞力也大。例如，日本九州的雲仙火山在西元 1990 年的噴發，其噴發威力不大，但其熔岩隆丘崩塌所引發的火山碎屑流速度超過每小時 100 公里，使得在另一火山斜坡觀測拍照的火山學家、記者和一般民眾數十人來不及逃生，而被埋葬喪生於火山碎屑流堆積中。西元 1997 年西印度群島的蒙色瑞火山噴發所形成的火山碎屑流，甚至造成整個英屬聖路西亞三分之二的人口不得不放棄其家園。

四、火山氣體災害

火山氣體的逸出，如 SO_2 、 SO_3 、 H_2S 、 S_2 、 Cl_2 和 F_2 等可能對人體直接造成傷害外，硫等之化合物噴入高空，形成非常小的顆粒和硫酸液滴，反射太陽光，讓其無法進入地球，而影響全球的氣候。若硫酸液滴與水蒸氣結合形成酸雨落下，也會影響地球環境。另外， CO_2 為無味、無色，比空氣重的氣體，當其大量由火山口逸出時，會取代地表的 O_2 和 N_2 ，累積於低窪的凹谷，使生物窒息而死，若未能事先防範，一不留神，可能造成很大的傷亡。如位於非洲中部剛果 Niragongo 附近的小村莊，在 1980 年中，全村 1700 多人和所有的家畜，在一夜之間，全部窒息而死，就是 CO_2 所造成的火山氣體災害。

五、火山泥流堆積災害

火山泥流堆積物是火山噴發當時或噴發過後，由火山碎屑物和水混合，所形成的高濃度碎屑流，在重力和流體的作用下被搬運，等到速度降低，在適當的環境下堆積形成的。和一般人所熟悉的土石流是一樣的，只不過其主要發生於火山地區，且碎屑物是由火山物質所組成，所以才給予另外一種名詞。

形成火山泥流堆積物的原因很多，但主要可歸納為二種：1、熱的火山碎屑流、或熔岩流、或火山湧浪流在流動的過程中，碰到大量的地表水，如河、湖水或雪而形成。他在形成的時候，溫度可能還很高，所以此種機制所形成的堆積物，稱為熱的火山泥流堆積。2、火山噴發後所堆積在斜坡上未固結、鬆散的火山灰落堆積物、火山碎屑流堆積物和火山湧浪流堆積物，受到大雨的沖刷或因地震所引起的崩塌，流入河流中或湖泊內，都會形成火山泥流，此種機制所形成的堆積物，稱為冷的火山泥流堆積。

火山泥流堆積物的災害和土石流的災害相似，不僅能淹沒廣大的區域，同時也能沖垮任何建物，其流經的各種建築物、橋梁和植被等都將被摧毀[，而人類和動物若遇上它也會造成重大損傷。如西元 1985 年哥倫比亞的 Nevado del Ruiz 火山、西元 1997 年印尼爪哇島的美若皮火山、和西元 1991 年的皮納吐波火山的噴發。前者因噴發所引起的火山泥流，把整個河谷和城鎮淹沒，造成近 25,000

人的死亡；後兩者則是火山噴發後，所堆積未固結的火山灰，經過豪雨的沖刷侵蝕，引發火山泥流堆積，雖然事前有所防患，並未造成人員的傷亡，但其淹沒及沖毀廣大的區域，造成重大的財產損失。

六、山崩災害

火山地區會因岩漿的上湧、地震、火山噴發和豪雨，引發火山體的不穩定，引發山崩造成快速的塊體運動，形成岩屑流(debris avalanche)，掩埋其下游廣大的區域，同時也提供材料給未來發生火山泥石流的機會。例如，1980 年美國華盛頓州的聖海倫火山，在噴發之前引發北坡崩塌，同時也造成土石流。另外，若時是發生在海邊或島嶼，山崩的塊體迅速滑落入水中，會造成海嘯因發災害。例如，1776 年的雲仙火山，發生大規模山崩，引發海嘯造成超過 1 萬人的傷亡。

七、海嘯災害

海島火山或海底火山活動時，因劇烈的噴發會引發海水發生快速的變化引發海嘯，造成鄰近地區人員的傷亡和財產的損失，如 1883 年印尼蘇門答臘島和爪哇島之間的 Krakatau 火山的噴發，引起鄰近地區超過 15-35 公尺的海嘯，造成很大的傷亡和財產損失。另外海嘯也會因火山體崩塌滑入海中，引發海嘯(如上所述)。

第二節、如何減低及防範火山災害

火山災害為自然界中僅次於地震和洪水的天然災害，研究火山的最重要目的，就是要如何防範火山噴發所造成的危害。雖然人類無法阻止火山的噴發，但研究它、了解它之後，做到如何減輕在火山噴發當時或噴發後所造成的災害。聯合國科教文組織(UNESCO)在 1990 年代出版了兩片錄影帶，第一片教人如何認識火山所造成的災害，第二片就是在了解火山災害之後，如何減低火山噴發所造成的危害。在那片錄影帶中強調減低火山災害的步驟包括有：1. 鑑定高危險性的火山 (*Identification of high-risk volcanoes*)； 2. 認定過去火山的噴發行為 (*Documentation of past eruptive behavior*)； 3. 依據過去火山的噴發行為來評估火山危險性 (*Volcanic hazard assessments based on eruptive history*)； 4. 繪出火山災害危險帶圖 (*Volcanic hazard zonation map*)。另外，也需評估火山未來噴發潛在的災害、依據評估結果擬定長期的土地利用計畫，如果火山噴發的徵兆已出現或火山噴發已開始，則須評估火山的危險性和掌握危機計畫、監測火山噴發的狀態、以及對於民眾生命、財產等的防範計畫等。

對於如何鑑定高危險群的火山，其方法是針對以下各項現象配給予一定分數，然後依據分數高低判定火山的危險性。

- 1) 火山噴發產物是否為高二氧化矽的岩漿；
- 2) 火山在過去 500 年內是否有發生主要的噴發；
- 3) 火山在過去 5,000 年內是否有發生主要的噴發；
- 4) 火山在過去 500 年內是否有發生火山碎屑流的噴發；
- 5) 火山在過去 500 年內是否有發生火山泥流；
- 6) 火山在過去 500 年內是否有發生毀滅性的海嘯；
- 7) 火山在過去 5,000 年內是否有發生破壞區域超過 10 km^2 的噴發；
- 8) 火山在過去 5,000 年內是否有發生破壞區域超過 100 km^2 的噴發；
- 9) 是否有相當頻繁的火山地震群發生；
- 10) 火山在過去 50 年內是否有顯著的地形變發生等。

另外，火山噴發對於人類社會的危險性，也給予一定的分數如：

- 1) 火山噴發影響的人口數大於 100；

- 2) 火山噴發影響的人口數大於 1,000；
- 3) 火山噴發影響的人口數大於 10,000；
- 4) 火山噴發影響的人口數大於 100,000；
- 5) 火山噴發影響的人口數大於 1,000,000；
- 6) 在火山噴發的歷史上是否有人員傷亡；
- 7) 在火山噴發的歷史上是否有導致疏散人員的事件發生等。

針對上述 17 項的評估指數，若一座火山每符合一項則各給予一分，得分分數越高，代表該火山越危險。

其次，認定過去火山的噴發行為的項目包括有：

- 1、火山噴發歷史紀錄；
- 2、過去火山噴發的地質紀錄，包括有：1) 建立過去火山產物的地層順序；2)追蹤單一火山噴發產物或多次火山的分布範圍，並估計產生這些火山產物的規模大小；3)鑑定產生火山產物的成因；4) 利用不同的定年方法鑑定火山噴發產物的年代、並建立火山噴發事件的順序和頻率。

最後，藉由該座火山過去的噴發行為，來評估該座火山未來若發生火山噴發，其最可能噴發的行為是什麼？形成的產物是什麼？如火山熔岩流、火山碎屑流、火山灰落堆積物或火山泥流等。然後依據該產物和可能的危險性，繪出不同火山產物的危險分布帶(hazard zonation)，並完成區域的危險分布帶圖(regional hazard-zonation map)。

但當一座火山即將噴發或已經開始噴發時，我們又該如何呢？依據美國紅十字會(American Red Cross)和美國國家緊急管理局(Federal Emergency Management Agency (FEMA)) 在 1998 年所訂的原則如下，

火山噴發前：

- 了解你所處社區的預警系統和緊急計畫。

- 了解並準備伴隨著火山的災害。
- 擬定疏散計畫。
- 發展一個警急聯絡系統和計畫。
- 準備應變所需的物品在身邊。
- 為家中成員準備一些用後即丟的口罩以防火山灰落堆積物。
- 與當地的防災中心保持聯絡以取得火山噴發進一步的資訊。
- 聽從方災中心的指示，隨時準備撤離火山危險地帶。
-

火山噴發中：

- 聽從政府當局所發布的撤離命令。
- 避免在下風處或河流下游處逗留或移動。
- 如果你在家中應緊閉門窗。
- 如果你在室外時，盡量往安全區域撤離。
- 在火山灰落堆積物開始下降時盡量保護你自己免受它的危害。
- 遠離被政府機構認定為高危險的區域。
- 如果看到河床長河水開始上脹時盡量往高處移動，如果有火山泥流流經橋樑下時盡量不要前往或通過該橋樑。
- 收聽裝設電池的收音機或電視以獲得最後的警急資訊。

火山噴發後：

- 如果可能盡量遠離火山灰落堆積物可能堆積的地方。
- 當人待在戶外時，隨時注意周邊所發生的事項。
- 盡快清理在屋頂堆積的火山灰，以防止屋頂倒塌。
- 如果你的呼吸系統有問題，盡量避免接觸火山灰，且待在室內至政府健康部門宣布沒問題後再出門。
- 記得守望相助，幫助需要特別幫助的鄰居，尤其是嬰兒、老人和行動不便的人等。

第三節、大屯火山群火山噴發可能的災害

從過去的調查結果顯示，大屯火山群區域內所出露的火山岩產狀包括有火山熔岩、火山灰落堆積物、火山碎屑岩、火山泥流以及熱水換質岩石等。其中，以火山熔岩出露最多，火山碎屑岩次之。火山熔岩是岩漿從火山口流出後冷卻所形成，因大屯火山群中噴發年代相對年輕，還保持完整的火山地形，故從其地形和熔岩流分布，可研判熔岩流的分布和上下關係。

火山熔岩的形成可能有二，一是岩漿流出火山口後，沿著地形低處流動分布，因岩漿為安山岩質，黏滯性較高且流出火山口後的冷卻效應影響，不易流動至遠處，常冷卻堆積在火山口附近，形成較陡的地形特徵和熔岩台地。大屯火山群區域內大部分的火山熔岩，就是此種成因所形成，如四磺坪、秀峰坪、庚子坪、芎蕉坪、大坪、二坪、鹿窟坪、富士坪等，形成標高約 300~650 公尺左右的熔岩台地。因其抗侵蝕風化的能力較火山碎屑岩高，故較容易保存下來。另一種則是因岩漿的黏滯性過高，不易流出火山口往低處流動，所以形成火山穹窿的地形特徵，如大尖後山、紗帽山和面天山，可能就是此種成因所形成。另外，在熔岩流頂端常有棕紅色表面富氣孔的熔岩，是岩漿在陸上噴發後，未完全凝固前與空氣中的氧氣發生熱氧化作用所形成的。

火山碎屑岩是因火山經劇烈爆發後所形成的一種火山岩。其組成的火山岩顆粒大部分大於 64 mm 以上，且呈角礫狀。火山碎屑岩是火山噴發形成火山碎屑流所堆積的，火山碎屑流形成的方式主要有二：一是由火山噴發柱因密度太高、重力作用引發崩塌所形成，其產物主要以密度較輕的浮石所組成，一般稱為浮石碎屑流(pumice flow)。另一種則是由岩漿穹窿的崩塌所形成，其產物主要是由角礫狀、密度較高的岩塊所組成，一般稱為岩塊碎屑流或岩塊火山灰碎屑流(block and ash flow or debris flow)。大屯火山群區域內的火山碎屑岩，主要分佈在主要火山體，如七星山火山亞群、磺嘴山火山亞群和大屯山火山亞群等的外圍地區，和與熔岩流互層，從鑽井資料得知，大屯火山群地底下最少有 11 層火山熔岩流和火山碎屑岩的互層，主要由密度高、角礫狀的安山岩質角礫岩所組成，是屬於由岩漿穹窿崩塌作用所形成的產物。

火山灰落堆積物是火山碎屑物被噴到空中，然後再掉落至地上堆積，所形成了火山產物。大屯火山群火山並未有大規模的火山灰落堆積物分布，只有少

部分分布在擎天崗、小油坑附近，由大大小小不等的火山碎屑顆粒、以顆粒支持的堆積分式所形成，顯示大屯火山群的爆發能力較弱。

火山泥流堆積物是由火山噴發同時或火山噴發後，疏鬆的火山物質遇到天水或地表水，然後與之混合後往下游低地移動所形成的，類似在非火山地區所發生的土石流。本研究區域內的火山泥流分布有限，主要分布於大屯火山群火山體最外圍地區，是由岩性較複雜的碎屑岩所組成。

岩漿中之 H_2S 與 SO_2 等氣體上升到距地表兩、三百公尺左右，易受氧化作用形成硫酸，故在噴氣孔附近的溶液和氣體多呈強酸性，能夠腐蝕周圍安山岩，使之脫色或換質成"白土"。此類白土以蛋白石化作用(opalization)為主，即安山岩中各金屬離子除矽之外，皆被酸性水溶液溶蝕而淋失，殘留之膠狀二氧化矽轉變成輕而鬆之蛋白石質岩石，其中部分結晶成低溫方矽石(cristobalite)，或局部變成鱗矽石(tridymite)，但甚少含微晶的石英。由於淋失作用在酸液湧出的中心較嚴重，故此換質帶的變化成帶狀分佈，即為熱水換質岩。大屯火山群區域內的熱水換質岩石分布有限，呈白色至灰白色疏鬆的白土，主要分布於馬槽、大油坑、磺山、小油坑、硫磺谷等的局部地區，過去曾有開礦取白土的紀錄。

綜合上述，大屯火山群主要以熔岩流為主，含少部分的火山角礫岩，且火山灰落堆積物甚少，顯示研究區域內的火山活動主要是以噴發能力較弱的熔岩流湧出，或是高黏滯性的岩漿，不易流出火山口往低處流動，形成火山穹窿的地形。

火山災害潛勢圖的繪製，是推測未來大屯火山群區域內的火山---七星山火山、磺嘴山火山和大屯山火山等若噴發，依據該火山過去的噴發特徵和產物分布情形，以推測可能造成的火山災害。但從目前各種火山活動跡象顯示，大屯火山群在未來十年內再噴發的機率可能很小，不過大屯火山群從火山現象定義仍是一座活火山，長期來看仍有再噴發可能。

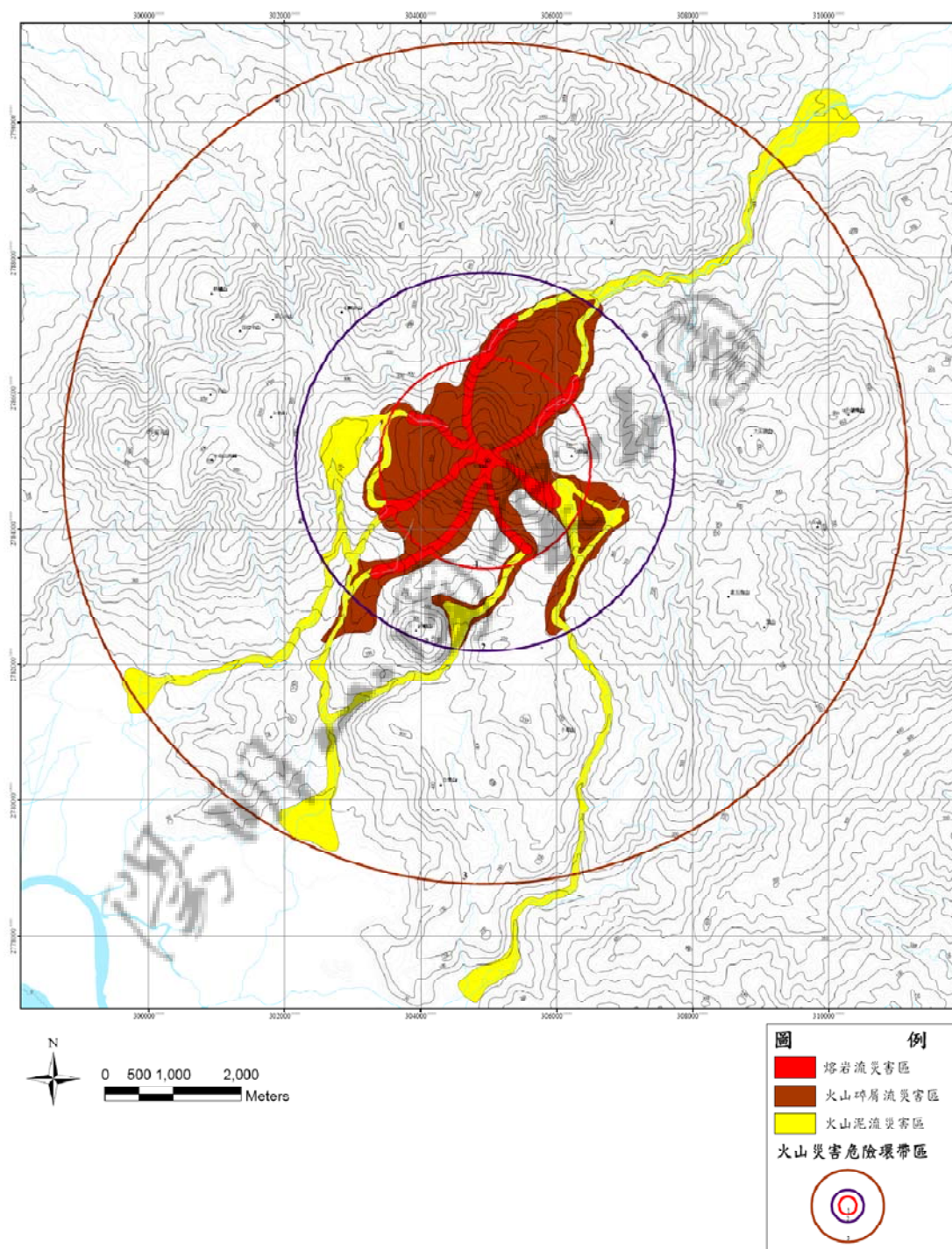
從野外地質調查結果顯示，大屯火山群區域內的火山噴發特徵，可能主要是以較溫和的火山熔岩噴出，放射狀分布於火山口周圍鄰近低地、和以熔岩穹窿作用湧出，分布於火山口附近為主，伴隨著因熔岩穹窿作用造成地形陡峭崩塌引發小規模的火山碎屑流，以及噴發同時或噴發後，因遇到地面水或碰到大雨的影響，產生火山泥流堆積於火山體周圍的河谷中，故最有可能的火山災害為熔岩流、火

山碎屑流堆積物和火山泥流堆積物等三種災害。另外，大屯火山群區域內的火山體主要為七星山火山、磺嘴山火山和大屯山火山等三座火山，未來大屯火山群內若有火山噴發，也以此三座火山為最有可能。

故根據上述的研究結果，假設未來火山噴發的規模為介於1980年美國西部聖海倫斯火山和1991年菲律賓皮納土坡火山的規模，火山噴發量為1立方公里，火山災害為熔岩流、火山碎屑流堆積物和火山泥流堆積物等三種，配合現今地形特徵，所繪製得到的大屯火山群火山災害潛勢圖如圖十六至圖十八。

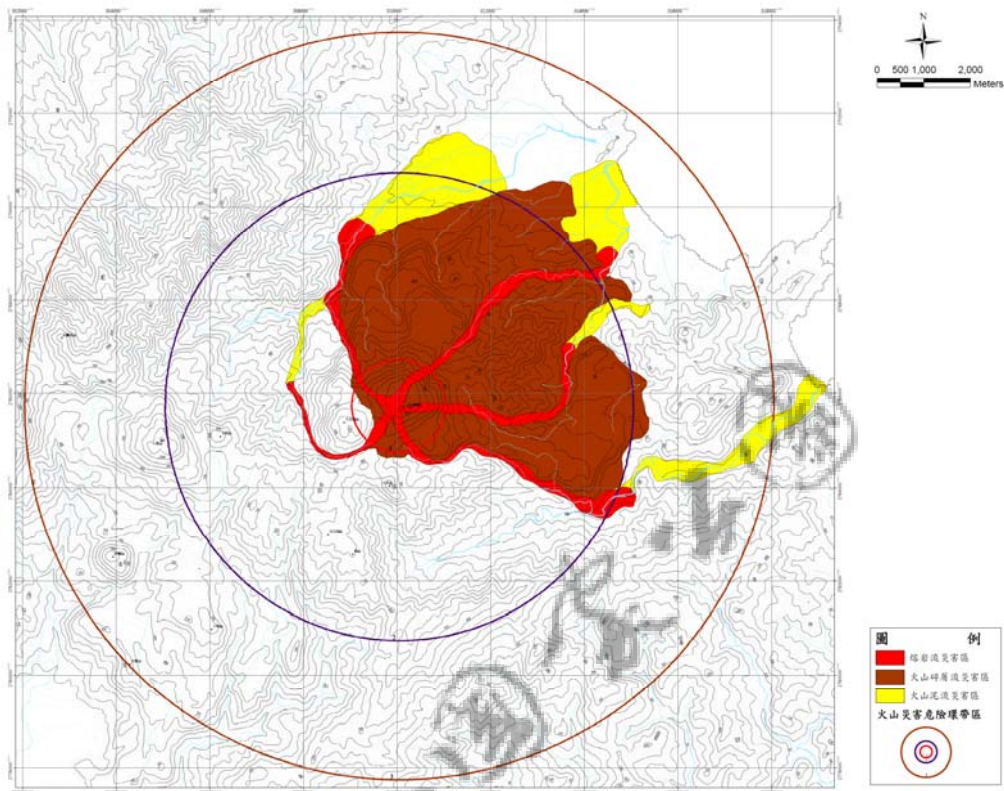


七星山火山災害潛勢圖



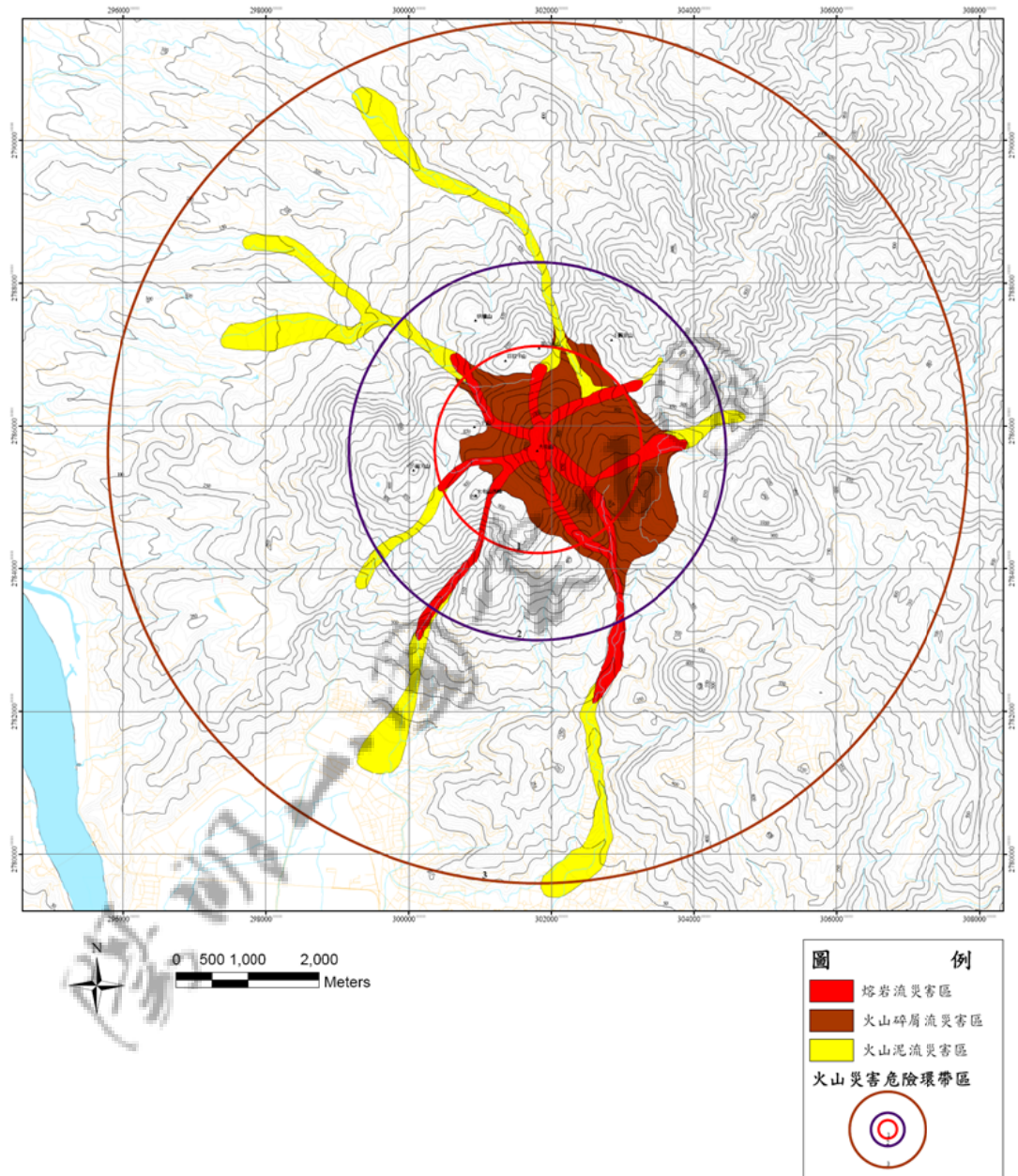
圖十六：以七星山火山為噴發中心可能的火山災害潛勢圖。

磺嘴山火山災害潛勢圖



圖十七：以磺嘴山火山為噴發中心可能的火山災害潛勢圖。

大屯山火山災害潛勢圖



圖十八：以大屯山火山為噴發中心可能的火山災害潛勢圖。

第六章 火山策略和應變體系

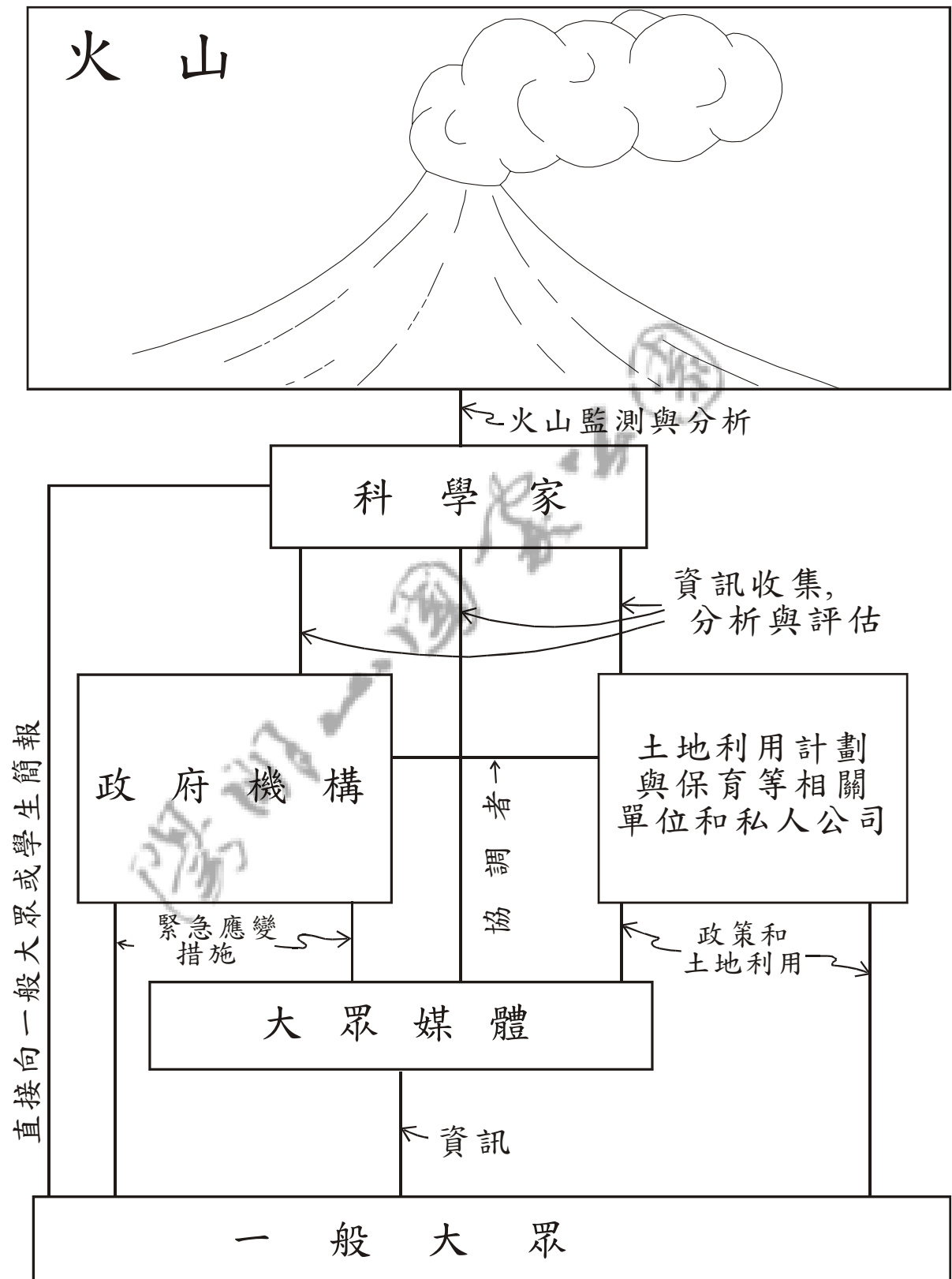
第一節 火山減災基本策略

火山噴發所產生的災害，一直是威脅人類社會最嚴重的自然災害之一，聯合國在 20 世紀最後的十年，定為國際減災年，火山災害即為其中的一項，故國際火山學會鑒於人力和物力，選擇 16 座活火山，定為十年火山(decade volcano)，加強監測研究，以減低火山噴發對人類社會的衝擊。台灣在 1999 年 9 月 21 日發生集集大地震重創台灣中部，造成無數人的無家可歸和家庭破碎，一般民眾更是談震色變，心理的創痛久久無法平復，台灣社會要花費相當大的人力、財力和時間，才能療傷止痛。同樣地，若大屯火山群有火山活動侵襲台北盆地，所造成對台灣社會的災害和影響，也絕不亞於 921 集集大地震，可能發生如公元 79 年之維蘇威火山對龐貝城的毀滅一樣。

大屯火山群位於台北盆地的西北側，緊鄰人口數超過六百萬人的大台北都會區，且北邊又有兩座核電廠（核一和核二），若一旦其再次活動，對大台北都會區的衝擊，是無法想像的。而從目前的資料分析顯示，大屯火山群地底下仍存有岩漿庫，故應視其為活火山，有再噴發的可能，不得不對其廣泛深入的研究及進行監測預防工作。而火山活動史和火山噴發產物種類的資料，提供吾人了解火山噴發頻率，以及火山噴發類型，是評估一座火山活動可能災害及預防的基礎。

火山除了監測研究工作外，還需擬定應變計畫、土地利用計畫、以及教育和告知一般大眾。圖十九為美國 1980 年聖海倫斯火山噴發時，所擬定對於科學家、政府單位、土地利用者、媒體和一般大眾的角色扮演等關係圖(Peterson, 1987)。圖中顯示火山學家對於火山基本監測和研究負有重大責任，主要工作是蒐集火山相關的資訊，進行分析與評估活火山目前的狀況，並把所得的資訊告訴政府單位。若監測的火山有任何風吹草動，則須把最新的狀況及可能的危險性告訴政府負責單位，不能自行發布相關的信息。因為火山學家並不負責相關決策的發布，只有政府單位負責的官員才有職權公布火山即將爆發的相關訊息，和進一步發布相關命令，如危險地區隔離限制、撤離人員順序、財產轉移和安置、營救方案、交通、通訊處理等等。另外，一般大眾獲得火山相關資訊則是透過大眾媒體，由政府負責單位發布信息，若大眾媒體或是一般大眾還對火山存有疑慮的話，則火山學家

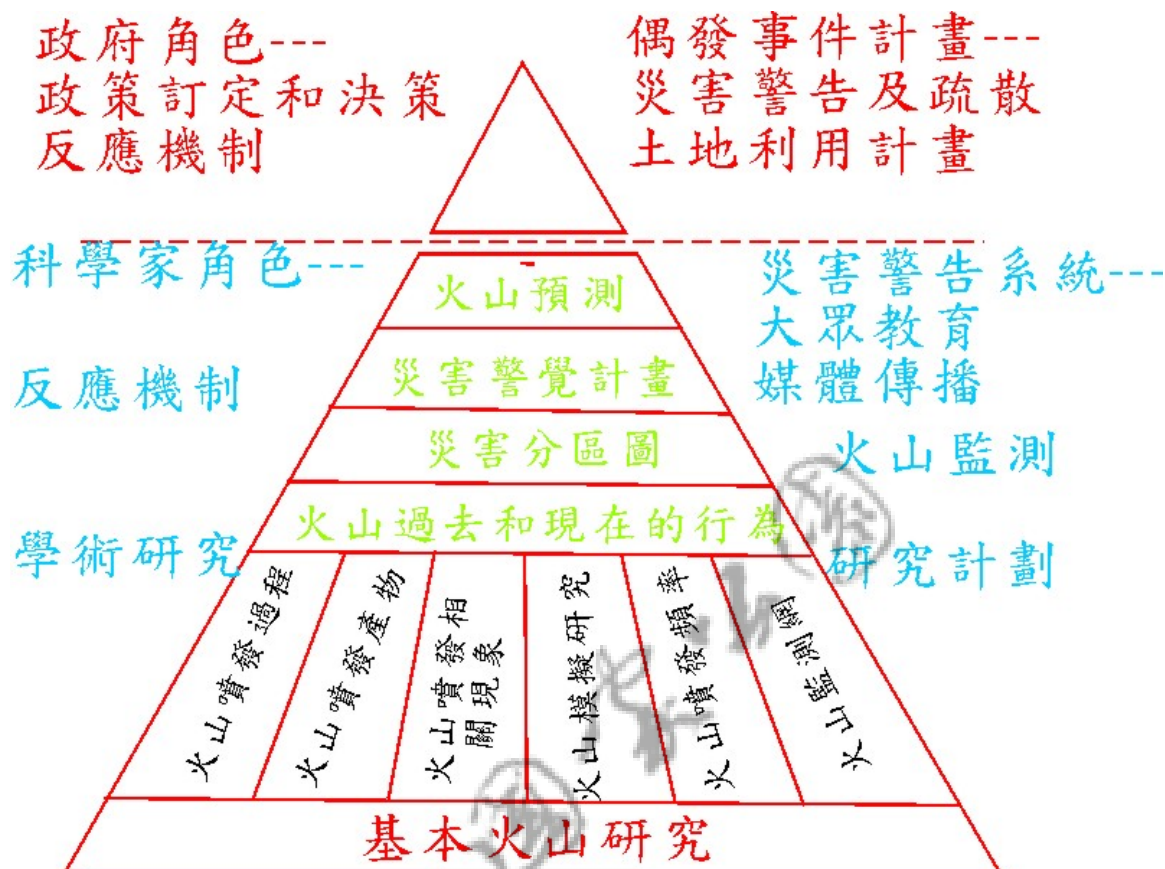
可最為溝通橋樑，把最確實、最可靠的資訊傳遞給想知道的個人或單位。



圖十九：美國聖海倫斯火山噴發時所擬定政府—火山科學家—大眾的關係圖(Peterson, 1987)。

制定『火山減災對策』以備當出現火山噴發或警報的緊急情況下使用，這對存有潛在危險性的火山地區是不可少的，也避免當出現火山緊急情況下顯得手足無措。火山減災對策包括地區隔離限制、撤離人員順序、財產轉移和安置、營救方案、交通、通訊處理等等計畫之決定過程和操作步驟。雖然，政府官員是火山減災對策的組織和領導者，但是火山學家的參與和諮詢也是必要的。最嚴重的但也最易被忽略的是對社會大眾、特別是對火山危險地區人民進行火山及火山災害知識的宣導教育。火山學家應藉由與政府決策官員的會談、與新聞媒體的討論、相關的報導和舉辦展覽，向學校、機關團體做有關的演講報告，編寫火山的科普書籍等多種途徑，是社會大眾了解火山的噴發過程、火山災害、減災對策等等的基本常識。透過這樣做的結果將是再出現火山緊急情況時，社會大眾和政府官員和火山學家之間的互相了解，相互協調一致地面對火山緊急情況，必能把火山的災害減到最低的情況。

圖二十是美國地質調查所(USGS)所訂定的火山活動監測和災害的基本執行策略方法(Tilling and Bailey, 1985)。一般而言，政府角色是政策制定和決策反應機制，但對於偶發事件則須訂定相關計畫，如災害警告及疏散計畫和土地利用計畫。而科學家的角色則是先對火山做基本的研究工作，包括有推測火山過去的噴發過程、火山噴發的相關現象、火山噴發產物特性和分布、火山噴發模擬研究、火山噴發頻率的推算，以及火山觀測網的建立等。然後從中了解火山過去和現在的行為，繪出火山災害分區圖、擬定火山災害警覺計畫、並預測火山可能的噴發等工作。另外，對於災害警告系統則是與政府負責單位配合，由媒體來做傳播工作，並對大眾進行教育工作，使一般大眾了解當火山警告發布後該如何做疏散和防範等。



圖二十：火山活動監測和災害的基本執行策略方法(Tilling and Bailey, 1985)。

第二節 應變體系

表五是日本政府為因應火山災害所建立的『火山噴發防災體系』，其分為兩部分：第一部分為防災計畫，第二部分為火山噴發緊急狀態下的防災體系。防災工作從中央的內閣總理大臣主持的中央防災會議、設緊急災害對策本部和訂定活火山特別對策措施法，到地方上的省和縣、市、村、鎮等的各種程級的防災計畫、體制、會議和火山噴發災害緊急對策的實施等，都訂有相關的計畫內容及如何實施等，並訂有相關的法律(表六、表七和表八)。

台北是台灣的政、經中心，也是人口最密集的地區，若一但發生火山活動，對於經濟的影響程度是無法估計的，不僅產業受到影響，連基本的經建、交通設施、房屋建築，都會受到影響，其影響程度絕不亞於 921 集集大地震重創台灣所造成的經濟損失。雖然大屯火山群在可見的未來噴發機率不高，但它還是一座活火山，仍有在活動的可能，不得不對它多做預防，建立此一階段可能的方災應變體系。

一般而言，在台灣對於災害的預防和應變是設立『中央災害應變中心』來負責相關的業務，其作業要點為：

一、成立時機：重大災害發生或有發生之虞時，中央災害防救業務主管機關首長應即以書面報告中央災害防救會報召集人有關災害規模與災情，並提出成立本中心及指定指揮官之具體建議，經會報召集人決定後，中央災害防救業務主管機關即通知相關機關進駐作業；進駐機關應依本要點所定開設時機於一小時內完成進駐。

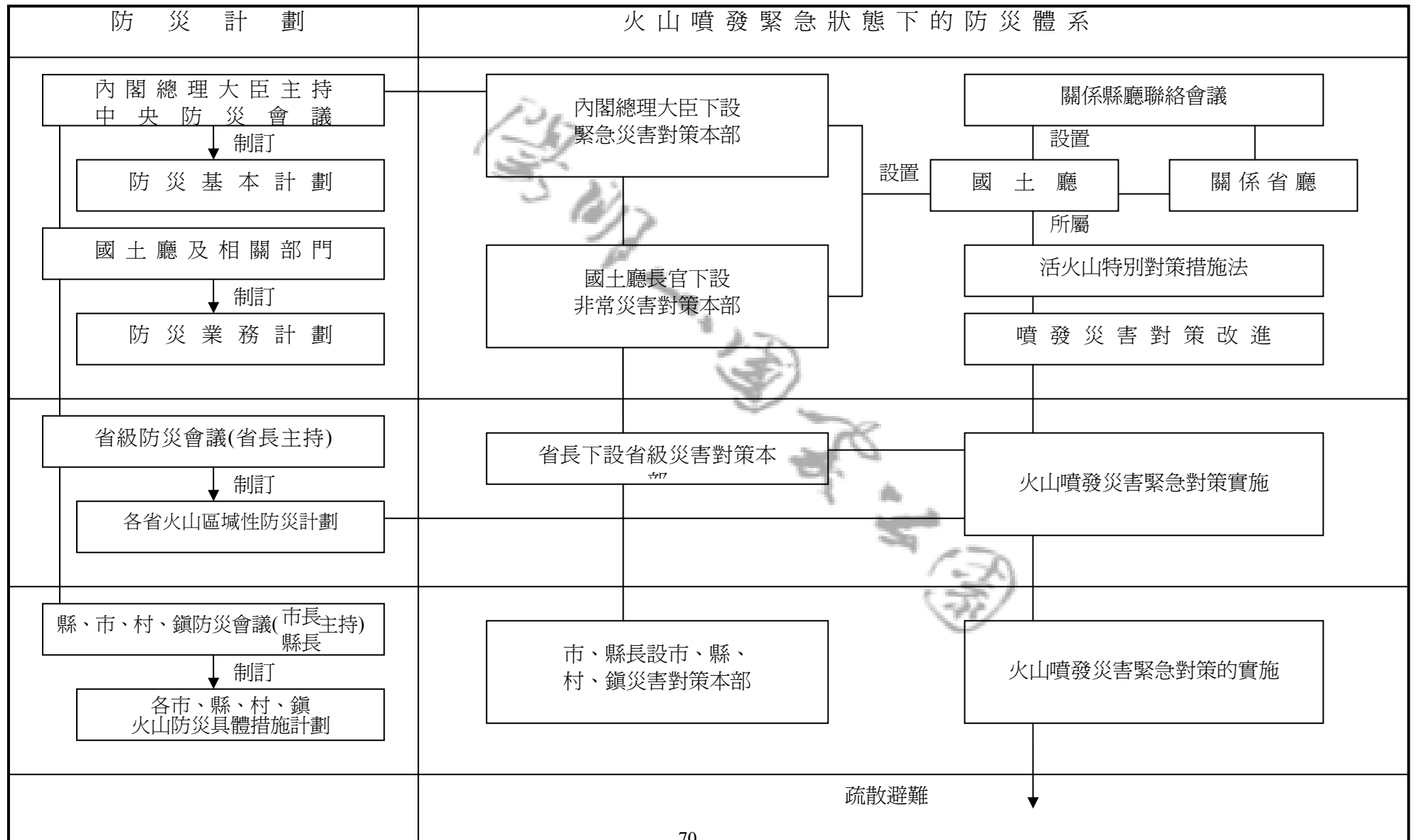
二、風災：

(一) 二級開設時機：交通部中央氣象局（以下簡稱氣象局）發布海上陸上颱風警報者。

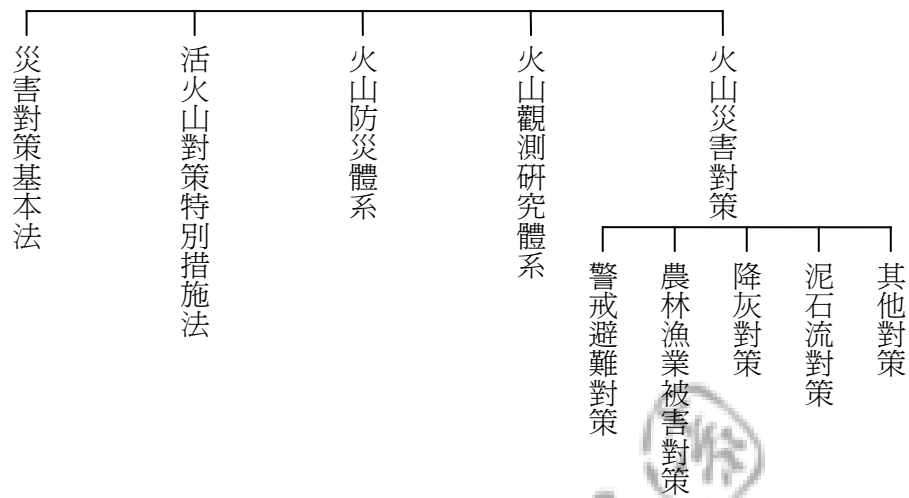
(二) 一級開設時機：氣象局發布海上陸上颱風警報後，預測颱風暴風圈將於六小時後接觸陸地。

三、震災開設時機：氣象局發布之地震強度達六級以上、或震災之影響範圍逾二

表五、日本的火山噴發防災體系



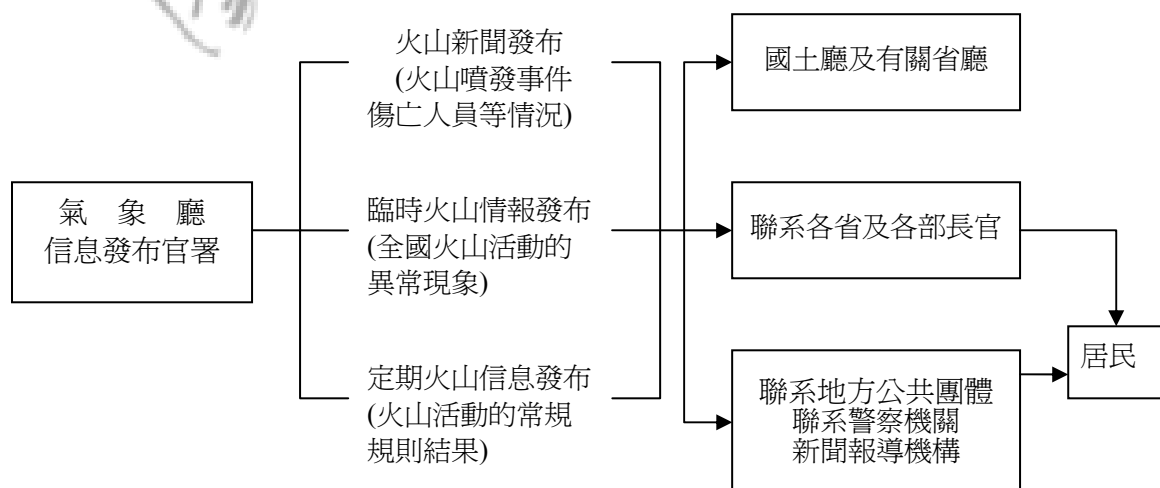
表六. 日本的火山災害對策



表七. 活火山對策特別措施法



表八. 火山活動信息的發布程序



個以上直轄市、縣（市），估計有十五人以上傷亡、失蹤、大量建築物倒塌或土石崩塌等災情。

四、重大火災、爆炸災害開設時機：

- （一）火災、爆炸災害估計有十五人以上傷亡、失蹤，災情嚴重者。
- （二）火災、爆炸災害發生地點在重要場所（政府辦公廳舍或首長公館等）或重要公共設施，造成多人傷亡、失蹤，亟待救援者。

五、水災開設時機：氣象局發布豪雨特報，該局所屬氣象站單日累積雨量達三百五十公厘以上或氣象局解除海上陸上颱風警報後，仍持續發布豪雨特報，有水災發生之虞時。

六、旱災開設時機：有下列情形之一且旱象持續惡化無法有效控制者：

- （一）自來水系統給水缺水率高於百分之三十者。
- （二）水庫、水庫與埤池聯合灌溉系統缺水率達百分之五十以上者。
- （三）埤池灌溉系統缺水率達百分之五十以上者。
- （四）河川或地下水灌溉系統缺水率達百分之四十以上者。

七、公用氣體與油料管線、輸電線路災害開設時機：

- （一）公用氣體與油料管線、輸電線路災害估計有十五人以上傷亡、失蹤、污染面積達一平方公里以上或影響社會安寧者。
- （二）輸電線路災害估計有十五人以上傷亡、失蹤或十所以上一次變電所全部停電，預估在四十八小時內無法恢復正常供電，且情況持續惡化，無法有效控制者。

八、寒害開設時機：氣象局發布臺灣地區平均氣溫將降至攝氏六度以下，連續二十四小時之低溫特報，有重大農業損失等災情發生之虞者。

九、土石流災害開設時機：土石流災害估計有十五人以上傷亡、失蹤者。

十、空難開設時機：航空器運作中發生事故，估計有十五人以上傷亡、失蹤或災害有擴大之虞，亟待救助者。

十一、海難開設時機：我國台北飛航情報區內發生海難事故，船舶損害嚴重，估計有十五人以上傷亡、失蹤或災害有擴大之虞，亟待救助者。

十二、陸上交通事故開設時機：路上交通事故估計有十五人以上傷亡、失蹤或重要交通設施嚴重損壞，造成交通阻斷，致有人員受困急待救援者。

十三、毒性化學物質災害開設時機：毒性化學物質災害，估計有十五人以上傷亡或失蹤者。

從上述的中央災害應變中心的作業要點中，並未包括有火山災害一項，是因為台灣過去並未發生過火山災害，也並不認為台灣地區還有活火山存在；而中央災害應變中心所負責的主要工作乃是『重大災害發生或有發生之虞時』才成立，故未把火山災害列在其中。

但到目前為止，已經確認台灣地區還有活火山——大屯火山群和龜山島存在，尤其是大屯火山群需特別注意。正如前面已提到的，大屯火山群若發生火山噴發，其對台灣的影響是無法評估的，故不得不對他特別注意。依據法律，台灣地區的火山觀測和預報工作，是屬於交通部中央氣象局的責任，又依據交通部中央氣象局的組織條例中第二條第三款(中華民國八十四年一月二十三日 修正)，”交通部中央氣象局（以下簡稱本局）掌理左列事項：『三、地震、火山、海嘯、波浪及與氣象有關之天文觀測等報導事項。』”，所以負責火山監測和防災的工作是屬於交通部中央氣象局的。但中央氣象局並未認識到台灣有活火山、未來有再噴發的可能，和因為人力不足的問題，故未設有專責單位對台灣地區的活火山進行監測和分析等研究工作。反而是經濟部中央地質調查所認為台灣存有活火山這個問題必須重視，故在四年前開始進行為期四年的『大台北地區特殊地質災害調查與監測』計畫，藉由這個計畫的進行，更深入的了解過去噴發行為，以及對現今台灣地區活火山的現況進行監測，工作內容如聯合國科教文組織所提出如何減低火山災害的四個步驟：”1.鑑定高危險性的火山； 2.認定過去火山的噴發行為；3.

依據過去火山的噴發行為來評估火山危險性；4.繪出火山災害危險帶圖等”；進行調查分析工作，並對目前火山現象開始規劃或已經進行監測工作，如火山地震、火山流體(氣體、地下水或溫泉)、地熱和地形變等。大屯火山群主要的分布範圍在陽明山國家公園內，陽明山國家公園管理處負責管理絕大部分的土地和保育工作。依其職權過去也有規劃和支助部分對大屯火山群的監測，如火山地震和火山氣體監測工作等。

依上述的理解，本計畫建議在目前現實狀況下，由經濟部中央地質調查所來負責進行，如USGS對於活火山的火山減災對策(圖十八)中之火山基本研究(包括有推測火山過去的噴發過程、火山噴發的相關現象、火山噴發產物特性和分布、火山噴發模擬研究、火山噴發頻率的推算，火山觀測網的建立等)，以及了解火山過去和現在的行為，繪出火山災害分區圖、預測火山可能的噴發等工作。

雖然大屯火山群在可見的未來發生火山噴發的機率不高，但吾人應有未雨籌謀的準備，以因應萬一大屯火山群有風吹草動時，不致於驚慌失措。因為大屯火山群位於陽明山國家公園管理處內，管理處對於火山地區內的各種地形、地物和土地利用現況和管理等都相當清楚，故應協調和結合政府相關單位，負責訂定火山災害應變相關計畫，如火山預警訊號、火山災害警告、危險地區隔離限制、撤離人員順序、財產轉移和安置、營救方案、交通、通訊處理等疏散計畫和土地利用計畫等，並也應加強利用各種大眾媒體和舉辦各種教育訓練來教育一般民眾對於火山知識的了解，把不可能阻止它發生的天然災害減至最低，以減輕人員傷亡和民眾財產的損失。

以上所建議陽明山國家公園管理處所負責的項目中，火山預警訊號可仿效『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』，來加以修正獲得之(如表九)。而其他的項目則須對陽明山國家公園內和週邊地區之交通、通訊、土地所有人和管理者等有了全盤了解後，並配合中央政府、台北縣、市政府等負責單位，共同商討和訂定之，非本研究計畫所能單獨擬定完成。

表九、建議大屯火山群的火山預警訊號分級表。

分級表	標準	說明
無警告	背景值、安靜	在可見的未來不會噴發
1 級	微弱的地震、噴氣和其他信號	可能是岩漿、構造或熱水擾動；不會立即噴發
2 級	低至中程度的地震；且具有與岩漿活動有關的信號	可能是岩漿侵入且也可能最後導致噴發
3 級	相當高程度的地震活動且一直增加不停止；另還包括無數的 b 型態地震、地表快速變形、增加噴氣口的活躍性和氣體的溢出	可能在幾天或一週內發生火山噴發
4 級	強烈地震活動且不停止；包括高頻率的震動和/或長週期(低頻)的顫動地震、或溫和的岩漿溢出和/或穹窿、和/或溫和的噴發	岩漿接近或噴出至地面，在幾小時到天幾天內會發生危險劇烈的噴發
5 級	進行著火山碎屑流和/或噴發柱高度上升至最少高達海平面以上 6 公里的劇烈噴發	進行著劇烈的噴發；下風處或河谷低地相當危險

陽明山國家公園

第七章 結論與建議

第一節：結論

- 1、大屯火山群雖然目前定年結果顯示未符合活火山的經驗定義，但依據活火山的現象定義，地底下還有活躍的岩漿活動，必須定義為一座活火山，未來有再噴發的可能。
- 2、從過去大屯火山群火山噴發的產物特徵和地形現狀推測，推測未來若發生火山噴發，其造成的火山災害可能為火山碎屑流、火山熔岩流和火山泥流等災害，影響區域內較低的地區。
- 3、經濟部中央地質調查所目前正對大屯火山群的基本火山地質、火山災害評估和火山監測等，重新進行調查研究。
- 4、經濟部中央地質調查所火山監測的工作包括有火山地震、地形變、地熱測量和火山流體(包括氣體和溫泉)等。
- 5、考慮陽明山國家公園管理處的人力和物力等，對於大屯火山群的基本火山地質、火山災害評估和火山監測等工作，應繼續由經濟部中央地質調查所負責相關工作。
- 6、陽明山國家公園管理處對於大屯火山群的活火山，應協調和結合政府相關單位，負責訂定火山災害應變相關計畫，如火山預警訊號、火山災害警告、危險地區隔離限制、撤離人員順序、財產轉移和安置、營救方案、交通、通訊處理等疏散計畫和土地利用計畫等。
- 7、陽明山國家公園管理處也應加強利用各種大眾媒體和舉辦各種教育訓練來教育一般民眾對於火山知識的了解。

第二節：建議

一、立即可行建議

主辦機關：內政部營建署陽明山國家公園管理處

協辦機關：經濟部中央地質調查所

☐ 國家公園計畫推動與執行。

具體作法：擬定大屯火山群活火山的火山預警訊號分級表。

☐ 各研究成果應用於資源的經營管理。

具體作法：建議陽明山國家公園管理處仿效『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』，來擬定火山預警訊號分級表。

二、立即可行建議

主辦機關：內政部營建署陽明山國家公園管理處

協辦機關：經濟部中央地質調查所

☐ 環境教育活動之推動。

具體作法：火山教育。

☐ 舉辦環境教育活動。

具體作法：教育是推廣一般大眾了解大自然、進而愛護自然生態環境的最佳方式。故建議陽管處應多舉辦火山相關的教育研習活動，讓一般民眾了解火山噴發、火山災害和火山監測等的相關知識，以因應萬一大屯火山群有風吹草動時，不致於驚慌失措。

三、中長期建議

主辦機關：內政部營建署陽明山國家公園管理處

協辦機關：各相關政府單位

☐ 國家公園計畫推動與執行

具體作法：擬定火山相關計畫

□國家公園不同層級計畫（主要計畫、細部計畫、實施計畫等）之研訂、執行與檢討

具體作法：因為大屯火山群位於陽明山國家公園管理處內，管理處對於火山地區內的各種地形、地物和土地利用現況和管理等都較清楚，故應協調和結合政府相關單位，負責訂定火山災害應變相關計畫，如火山預警訊號、火山災害警告、危險地區隔離限制、撤離人員順序、財產轉移和安置、營救方案、交通、通訊處理等疏散計畫和土地利用計畫等。

陽明山國家公園

陽明山國家公園

參考書目

- 楊燦堯、何孝恆、謝佩珊、劉念宗、陳于高、陳正宏 (2003) 大屯火山群火山氣體成份與來源之探討。國家公園學報，13(1), 127-156 頁。
- Casadevall, T.J., Rose W., Gerlach T., Greenland L.P., Ewert J., Wunderman R. and Symonds R. (1983) Gas emissions and ructions. Mount. St. Helens through 1982. *Science*, 221, 1383-1385.
- Decker, R. and Decker, B. (1982) Introduction to volcanoes and the Earth's interior. Readings from Scientific American, WH Freeman, San Francisco, pp3-5.
- Konstantinou, K.I., Lin, C.H., Liang, W.T., 2007: Seismicity characteristics of a potentially active Quaternary volcano: The Tatun Volcano Group, northern Taiwan. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 160, 300-318.
- Lee, H.F., Yang, T.F., Lan, T.F., Song, S.R. and Tsao, S. (2005) Fumarolic gas composition of the Tatun Volcano Group, northern Taiwan. *Terr. Atmos. Oceanic Sci.*, 16(4), 843-864.
- Lin, C.H., Konstantinou, K.I., Liang, W.T., Pu, H.C., Lin, Y.M., You, S.H., Huang, Y.P., (2005a): Preliminary analysis of volcanoseismic signals recorded at the Tatun Volcano Group, n *Research Letters* 32, L10313. doi:10.1029/2005GL022861.
- Lin, C.H., Konstantinou, K.I., Pu, H.C., Hsu, C.C., Lin, Y.M., You, S.H., Huang, Y.P., (2005b): Preliminary results of seismic monitoring at Tatun volcanic area of northern Taiwan: *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences* no16, 563-577.
- Ma, K.F., Wang, J.H. and Zhao, D. (1996) Three-dimensional seismic velocity structure of the crust and uppermost mantle beneath Taiwan: *J. Physics Earth* 44, 85-105.
- Noguchi, K and Kamiya H. (1963) Prediction of volcanic eruption by measuring the chemical composition and amounts of gases. *Bull. Volcan.*, 26, 367-378.
- Ohnishi, T., Kamada, M., 1981: Correlation between minor constituents of volcanic gas at Mochiki and volcanic activity of Sakurajima Volcano., Paper presented at 1981 IAVCEI Symposium.
- Oskarsson, N., 1984: Monitoring of fumarole discharge during the 1975-1982 rifting

- in Karafla volcanic center, North Iceland. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 22, 97-121.
- Peterson, D.W. (1987) Mount St. Helens and the science of volcanology: A five-year perspective in *Mount St. Helens: Five Year Later*, edited by S.A.C. Keller, pp.3-19, Eastern Washington University Press, Cheney, Washington.
- Simkin, T. and Siebert, L. (1984) Explosive eruptions in space and time: During intervals and a comparison of the world's active volcanic belts. In: *Explosive volcanism: Inception, evolution and hazards*. Studies in Geophysics, National Academy Press, Washington D.C., 47-66.
- Smithsonian Institution (1989) *Global volcanism 1975-1985*. Prentice Hall, New Jersey, 655p.
- Song, S.R., Tsao, S. and Lo, H.J. (2000a) Characteristics of the Tatun Volcanic eruptions, north Taiwan: implications for a cauldron formation and volcanic evolution: *J. Geol. Soc. China*, 43, 361-378.
- Song, S.R., Yang, T.Y., Yeh, Y.H., Tsao, S., Lo, H.J. (2000b) The Tatun Volcano Group is active or extinct? *J. Geol. Soc. China*, 43, 521-534.
- Szakacs, M. (1994) Redefining active volcanoes: a discussion. *Bull Volcano.* 56, 321-325.
- Tilling, R.I. (1989) Volcanic hazards: Short course in Geology, volume 1, 28th International Geological Congress, Washington, D.C., 123P.
- Tilling, R.I. and Bailey, R.A. (1985) Volcano Hazards Program in the United States, *J. Geodynamics* 3, no.3/4, 425-446.
- UNESCO (1985) Volcanic Emergency Management, 86pp., Office of the United Nations Disaster Relief Coordinator (UNDRO), United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), United Nations, New York.
- Walker, G.P.L. (1974) volcanic hazards and the prediction of volcanic eruptions. In: Funnell B.M.(ed) *Prediction of geological hazards*, Geological Society of London, Miscellaneous Paper 3, 23-41.
- Yang, T.F., Sano, Y., and Song, S.R. (1999) $^3\text{He}/^4\text{He}$ ratio of fumaroles and bubbling gases of hot springs in Tatun volcano Group, North Taiwan, *Il Nuovo Cimento* 22c, 281-286.
- Yanagi, T., Okada, H. and Ohta, K. (1992) Unzen Volcano- the 1990-1992 eruption: The Nishinippon and Kyushu University Press, 137p.

- Yeh, Y.H. and Chen, K.J. (1991) The study of Chinshan fault – microseismic observation: Report to Hazard Mitigation of National Science Council, p41. (in Chinese)
- Yokoyama, I., Tilling, R.I. and Scarpa, R. (1984) International mobile early-warning systems for volcanic eruptions and related seismic activities, UNESCO (Paris), FP/2106-82-01(2286), 102pp.

陽明山國家公園

陽明山國家公園

International Workshop on Monitoring and Mitigation of Volcano Hazards

Date: October 9, 2007

Location: Department of Geosciences, NTU

Invited Speaker:

Dr. Orlando Vaselli

Dr. Takeshi Ohba

Dr. Antonio Caprai

Dr. Tsuneomi Kagiya

Dr. Masato Iguchi

Dr. Chang-Hwa Chen

Organizations:

Yangmingshan National Park

Geological Society Located in Taipei

Department of Geosciences, NTU

Institute of Earth Sciences, Academia Sinica

International Workshop on Monitoring and Mitigation of Volcano Hazards

October 9, 2007

Place: Dept. Geosciences, NTU, Taipei

Time	Program	Moderator
08:30~08:45	Registration	
08:45~09:00	Opening Remarks	
09:00~09:30	The multiple aspects related to the volcanic risk after the 2002 eruption of Nyiragongo (eastern Democratic Republic of Congo): what next?	Dr. Orlando Vaselli
09:30~10:00	The volcanic gas chemistry responding the activities at Hakone volcano, Japan, one of the caldera in which hydrothermal systems are well developed	Dr. Takeshi Ohba
10:00~10:30	Gas composition and Radon/Thoron monitoring as a method to evaluate volcanic activity changes and a philosophical approach to the question	Dr. Antonio Caprai
10:30~10:45	Break	
10:45~11:15	Risk on geothermal activity dominant volcanoes and mitigation of volcanic hazard	Dr. Tsuneomi Kagiya
11:15~11:45	Early warning system for prediction of volcanic eruption and communication with national and local governments and people at Sakurajima volcano, Japan	Dr. Masato Iguchi
11:45~12:15	The most recent eruption of the Tatun Volcanic Group, metropolitan Taipei: inferred from juvenile volcanic ashes in the Taipei basin deposits	Dr. Chang-Hwa Chen
12:15~12:30	Discussions	Dr. Sheng-Rong Song
12:30	Lunch	

Multiple aspects of volcanic risk related to post- and pre-eruptive scenarios as evidenced by Nyiragongo (Democratic Republic of Congo) and Turrialba (Costa Rica) volcanoes, respectively.

Orlando Vaselli and Franco Tassi

, Department of Earth Sciences, Via G. La Pira, 4, 50121 Florence (Italy)

In this work we highlight two case studies of post- and pre(?) -eruptive volcanic hazards from two volcanoes located in geodynamically different environments: Nyiragongo (Democratic Republic of Congo) and Turrialba (Costa Rica). Despite the fact that the former is located in the Western Branch of the East African Rift System whose last eruption occurred in January 2002 when the city of Goma was cut in three parts by two lava flows originated by a NS-aligned fracture system opened from the southern flank, whereas Turrialba, located in the Cordillera Central that generated by the collision of the Cocos and Caribbean plates, is facing an apparently resuming of the volcanic activity as deduced by the increasing seismic shocks (in terms of number of events and magnitude) and fumarole outlet temperatures (from 90 to 185 °C), coupled with ground deformation and appearance of new fumarolic discharges even far away from the summit, for both the volcanic edifices the questions are the same: 1. what can the future scenarios be? 2. how is the present activity affecting the daily life of the population living nearby?

Nyiragongo volcano (3,470 m) resumed its activity in January 2002 with several productive vents from where about $20 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ of highly fluid lava were discharged, producing 170(?) fatalities and two lava branches destroyed almost 15% of Goma city center before entering Lake Kivu, a volcanic damming (478 m deep) lake and one of the few African lakes, the others being e.g. Nyos and Monoun, containing a huge gas reservoir at depth, mainly constituted by a CO_2 -mantle and CH_4 -microbial reduction originated gas phase. In May 2002 a small lava lake appeared on the crater summit that is still growing and releasing a gas phase mainly composed by SO_2 (up to 60 kton/day), CO_2 , HCl and HF. The prevailing EW blowing winds displace the acidic gas-rich volcanic plume up to few hundreds of km, affecting forests, crops and the quality of water resources for the local populations. Besides, the northern shore of the Lake Kivu, at about 20-30 km from the volcanic summit, is characterized by the presence of CO_2 -rich dry vents whose behavior is intimately related to the volcanic degassing activity of Nyiragongo and are the cause of deaths, on year basis, for elderly people and kids. The last volcanic activity of Turrialba stratovolcano (3,349 m) dates back 1864-1866 when phreatic and ash eruptions occurred. During the investigated span of time (1998-2007),

important chemical and outlet temperature changes have been detected in both the fumaroles of the Central and Principal craters. New fumarolic discharges have appeared from re-juvenated fractures in 2001 (e.g. Quemada), coupled with a general increase in the gas discharge rate. Basically, since September 2001 CO₂ and H₂ contents have increased and in November 2001 SO₂ concentrations up to 70,000 mol/mol were recorded. Contemporaneously, H₂S, HCl and HF have increased their content by one order of magnitude. The disturbance of the Turrialba volcanic system has also been recorded in terms of seismic and ground deformation, the latter being characterized by inflation pulses occurred from 2000 to 2005. In 2007, visual observations have permitted to recognize that the vegetation under the volcanic plume (119 ton/day) looked yellowish due to sustained gas emissions from the Principal crater. On 21 April, a hot area (40 °C) was noted 1.5 km SW of the summit, at the base of the volcanic edifice and coinciding with the WSW-ENE-trending Ariete fault. Newly formed fumaroles, discharging along the same fault, were spotted from several kilometers away. Heat destroyed vegetation in an approximately 300 m² area along the S fault's plane. Turrialba volcano is relatively close to S. José and Cartago and any volcanic or volcanic-induced event may seriously affect the local population. According to chemical and geophysical modifications recorded, it is clear that the volcanic system is presently suffering hydrofracturation phenomena caused by pressurization in response to fluid vaporization induced by increased heat input.

In both cases, the main volcanic hazard-related features are associated to the presently problems that the local and scientific communities have to face and to the definition of the possible evolution of the future volcanic activity.

Acknowledgements

Many thanks are due to Dario Tedesco, Matthiew Y. Mapendano, Erik Fernandez and Eliecer Duarte.

The volcanic gas chemistry responding the activities at Hakone volcano, Japan, one of the caldera in which hydrothermal systems are well developed

Takeshi OHBA, Takeshi SAWA and Noriyasu TAIRA

Volcanic Fluid Research Center, Tokyo Institute of Technology

2-12-1 Ookayama, Meguro, Tokyo 152-8551 Japan

ohba@ksvo.titech.ac.jp

Tel +81-35734-2226 Fax +81-35734-2492

INTRODUCTION

Mt. Hakone is an active volcano with caldera structure, located 80 km south west of Tokyo, the capital of Japan. The topography of Mt. Hakone is complicated, reflecting the history of formation. Inside the caldera, 15000 of residents are living. The nature and volcanic features such as hot spring discharge and geothermal area are attracting peoples. In annual average, 50000 of people are visiting every day the area of Mt. Hakone.

The old volcanic activity of Mt. Hakone was initiated 0.4 Ma. A large strato volcano would be built at the center of present caldera. The old caldera structure was produced until 0.2 Ma. After the caldera formation, a shield volcano was built inside the caldera. The shield volcano was collapsed, then the present caldera structure was established 0.05 Ma. After the completion of present caldera, central volcanic cones have been generated during the period until 5000 years ago. 4000 years ago, the west flank of a central volcanic cone collapsed, resulting in a natural dam formation and the appearance of lake Ashinoko. After the collapse, no lava discharges happened until now although small scale phreatic eruptions may have occurred.

As the feature of present volcanic activity, several geothermal area are developed on the central volcanic cones with hot spring discharge. The magmatic eruption at Mt. Hakone in future can not be denied, because the recent period with no lava discharge is quite short relative to the anticipating period when the central cones formation lasted.

In Jun. to Nov. of 2001, earthquake swarms were observed under the central

volcanic cones. In Jun. 2001, an inflation of crust was also observed near the central cones. The pressure source for the inflation was estimated to be located at the depth of 5 km. A $2 \times 10^6 \text{ m}^3$ of volume increase was estimated at the pressure source. One possible explanation for the inflation is the intrusion of magma.

Hakone-Onsen-Kyokyu Co. Ltd (hereafter HOK) has provided the “artificial hot spring water” to local hotels since 1930 at Owakudani geothermal area developed on a central volcanic cone. The artificial hot spring water has been produced using a drum in which cold meteoric water has been mixed with a steam discharged from bore hole. HOK has dug many bore holes at Owakudani geothermal area. One bore hole No.52 has the end reaching the point 500m deep from surface. On 19th Jul. 2001, the outlet pressure of No.52 increased anomalously, resulting in the destruction of the drum.

We carried out repeated gas samplings and analysis at No.52 bore hole and at a natural fumaroles located 250 m far from the No.52 bore hole. In this study, we interpret the change of the chemical and isotopic composition of gas in the context of correlation to volcanic activity of Mt. Hakone.

RESULT

The drum for artificial hot spring production was rebuilt in 2002. We can estimate the flux of steam from bore hole based on the temperature of steam and hot water, and the influx of cold water. The flux was 207 ton/day in 2002. The flux quickly decreased after 2002. The temperature of steam was 163°C in 2002. The temperature decreased to 136°C in 2003. The temperature increased gradually after 2003, then, reached 152°C in 2005. The temperature again decreased to 143°C in Nov. 2006. The $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ ratio of steam showed a pattern opposite to the temperature. The $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ratio of H_2O did not show a simple pattern with a variation between +0.6 and +4.9 ‰ to SMOW.

The temperature of natural discharging fumarolic gas was stable with a small variation between 95.5 and 97.8°C. The $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ ratio was low in 2001. The ratio increased in 2002 then decreased gradually until 2005. The ratio increased in 2006 relative to 2005. The C/S elemental ratio of gas showed the pattern similar to the $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ ratio.

DISCUSSION

The $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ ratio of steam from No.52 was unstable with a large variation between 0.0067 and 0.028. Such a large variation can be explained by a condensation of H_2O vapor. This explanation is consistent to the change in the temperature. The intense cooling of steam effectively condenses H_2O vapor and increases the $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ ratio. The pattern of $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ ratio observed in the No.52 steam and the natural fumarolic gas was almost similar, suggesting their common source.

In Nov. 2006, the $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ ratio of No.52 and the fumarolic gas increased simultaneously. The steam flux in Nov. 2006 did not increase relative to 2005, suggesting no activation of magma degassing. In Sep. and Oct. 2006, earthquake swarms took place under the central cone. We would like to propose that the earthquake produced cracks around the channel of volcanic gas. The cracks might increase the surface area of channel at which volcanic gas contacts with a cold crust, resulting in an effective cooling and condensation of H_2O vapor in volcanic gas. Based on the above model, the increased $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ ratio in Nov. 2006 was a response to the earthquake swarms in Sep. and Oct. 2006.

Gas composition and Radon/Thoron monitoring as a method to evaluate volcanic activity changes and a philosophical approach to the question.

Antonio Caprai: Institute of Geosciences and Earth Resources, National Council of Research, Italy

Abstract

The words “Natural Risks” are often used in contrast with technological risks, but it doesn't mean that it is a phenomena in which human activities are not involved.

Volcanic risks

The values expected of missing people, buildings, economical activities, etc. is definite like risk.

The equation $R = H \times V \times E$ is for quantify the risk, in which R is the Risk, H is Hazard (probability that a volcanic phenomena occur), V is vulnerability (the possibility that people, houses, etc. can have a damage), E is exposure (number of units presents in a risk area).

Gas composition

The main purpose of geochemical gas monitoring is to use the actual techniques for sampling, analysing and have an interpretation of volcanic fluids on volcanoes apparently sleeping. The gas composition is one of the disciplines often used to have quick answer about volcanic alteration, in fact gas ratio composition change rapid with change in thermodynamic conditions. Also Radon/Thoron is investigated for better understanding volcanic precursor of eruptions.

Philosophical approach to protect inhabited places

The use of Hazard map prepared before from researchers give useful information about volcanic activities that are often supported by successful prediction. It is not enough for the goal of civil protection because there are different steps that pass throw the ignorance, the refusal, the acceptance and the practical use of the information that scientists, civil protection, mass media can send to the population.

Risk on geothermal activity dominant volcanoes and mitigation of volcanic hazards

Tsuneomi Kagiya

Aso Volcanological Laboratory, Institute for Geothermal Sciences, Kyoto University

The efforts for prediction of volcanic eruptions and mitigation of volcanic hazards have been done in many volcanoes in the world. Concretely, examination of history of volcanic eruptions and monitoring of volcanic activity are main methods. Research on volcanic eruptions has achieved a lot of results so far. For instance, it succeeds in detecting many precursory phenomena such as increase of seismic activity, deformation of volcanic body suggesting the accumulation and the movement of magma, geomagnetic changes caused by the rise of the temperature and anomalous change of volcanic gases. However, the author considered that the Tatun volcano is not under this situation, because these successes are achieved in the volcanoes, which have magmatic blast clastic eruptions.

This paper aims to propose the following idea, which is a little bold; volcanic activity has two end members depending on the easiness of ascent of magma. The type of volcanic activity will be eruption dominant (ED or extrusive) when the magma easily ascends to the ground surface, while it will be geothermal activity dominant (GD or intrusive) in another case. We need some developments in understanding GD volcanic system to mitigate volcanic hazards in geothermal area.

Variety of precursor of eruptions

After examining various kinds of volcanic activity in Japan, it was found that manner of precursors are different to each other. For instance, Sakurajima Volcano frequently has eruptions after seismic swarm and/or ground deformation. In Asama Volcano, similar phenomena have been observed until eruptions in 1973. On the other hand, eruption has not occurred in Iwate Volcano, though many precursory phenomena such as deformation of volcanic body and increase of seismic activity indicating magma intrusion were detected. Expansion of geothermal activity was detected just on the hypocenter zone. In recent Asama Volcano, the correspondence of

the seismic swarm and the eruption has changed to be unclear and the prediction of the eruption turned to be difficult. Increase of geothermal activity is frequently observed after magma intrusion associated with seismic swarm, but no magmatic eruption occurs in many cases and phreatic eruptions occur in some time. In Aso Volcano, red glow is frequently observed in the crater and phreatic or phreatomagmatic explosions sometimes occur. These differences originate in the variety of easiness of magma ascent.

Risk on GD volcanoes

In GD volcanoes, small phreatic explosions tend to frequently occur (several years or several tens years) and large magmatic eruptions occur after long rest time (several hundreds years or several thousands years). The historical records of volcanic eruptions for both types of eruptions were examined in details. For frequent occurred phreatic eruptions, to monitor geothermal activity, geomagnetic change and volcanic gases is pretty useful. Seismic activity is also a very sensitive indicator, but we have to know that no seismic precursor is detected just before the eruption in many cases. The probable reason, as we currently knew, is that stopping of magma ascent followed by degassing could trigger the phreatic eruption. For dealing with large magmatic eruptions, traditional monitor methods are highly recommended. However, the risk of pyroclastic flows occurred is an unpredictable volcanic hazard. Moreover the poison effect of volcanic gas such as SO_2 or H_2S in the geothermal active area needs to densely watch for the people health purpose. In the peaceful non-eruptive period, the landslide and mud flow in the altered volcanic area is another serious living problem.

Early warning system for prediction of volcanic eruption and communication with national and local governments and people at Sakurajima volcano, Japan

Masato Iguchi

**Sakurajima Volcano Research Center, Disaster Prevention Research Institute,
Kyoto University**

Sakurajima is an andesitic volcano, located in south Kyushu, Japan. Eruptive activity with vulcanian style at the summit crater started in 1955 and more than 7,800 explosive eruptions have repeated since then. Kyoto University installed Sakurajima Volcanological Observatory in 1960 and has conducted volcano observation by 17 seismic stations (7 boreholes, 7 underground tunnels), 8 tiltmeters (7 boreholes, 1 water-tube tiltmeter in underground tunnel, 1 extensometer, 9 GPS, 3 infrasonic microphones and 3 volcanic gas monitoring stations. Precise leveling and gravity measurements have also been repeated. Geophysical observations have revealed 2 magma reservoirs. Main reservoir is located north of the Sakurajima (Aira caldera), at the depth of 10 km and magma has been supplied at an average rate of $10^7 \text{ m}^3/\text{year}$ at least for recent 100 years. Sub reservoir is formed at the depth of 5 km beneath the summit crater. Following precursory phenomena occurred prior to the explosive activity. 1) Upheaval and extension of the ground around Aira caldera due to inflation of the main magma reservoir. 2) Migration of magma toward Sakurajima detected by ground deformation and migration of hypocenters of volcano-tectonic earthquakes. 3) Ascent of magma up to the crater bottom through the volcanic conduit accompanying swarm of B-type earthquakes. The earthquakes swarms typically occurred several hours to a few days before the increase in explosive activity. 4) Inflation of the ground around the summit crater immediately before the occurrence of the explosions. The inflation is detected by the water-tube tiltmeter and extensometer, as upward tilt of the crater side and extensional strain. Early warning has been conducted by detection of the steps 3 and 4. In 1980's when more than 200 explosions occurred every year, JMA issued Volcano Information by detecting earthquake swarm of B-type. Precursory inflation of individual event was detected for 70% of the explosions. Ministry of Land, Infrastructure and Transport applied the prediction

method for security for Sabo workers by constructing a new underground tunnel. Level of activity of the volcano has been evaluated at a regular meeting of Committee of Prediction of Volcanic Eruption composed of universities and several governmental agencies. When activity increases, Kagoshima Prefectural government convenes committee of countermeasure for volcanic hazard. The committee is composed of the Prefectural government, Kagoshima City Hall, Local observatory of JMA, Police, Regional Coast Guard Headquarter, Military, Sabo Office, Red Cross Society, electric power and telecommunication companies and so on. Kyoto University joins the meeting as an academic advisor. Open seminar was held for the resident of Sakurajima. Monthly meeting has been held for exchange of information among the local governments, JMA, Sabo Office and Kyoto University.

The most recent eruption of the Tatun Volcanic Group, metropolitan Taipei: inferred from juvenile volcanic ashes in the Taipei basin deposits

Chang-Hwa Chen¹ and Chao-Chung Lin²

- 1. Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, P.O. Box 1-55, Nankang, Taipei, Taiwan**
- 2. Central Geological Survey, Ministry of Economic Affairs, Taipei, Taiwan**

Over two and half million peoples in the metropolitan Taipei are living with the Tatun volcanic Group (TVG) in northern of Taiwan. Moreover, one fifth of them lived at the foot of the TVG hill. The volcanic pyroclastic flow and/or lahar could rush down slope vicinity, if the TVG is reactive. The serious hazard not only human lives but regional economies in these densely populated areas shall occur. An effective and reliable volcanic hazard mitigation is absolutely mandatory. However, volcanoes are pretty complex system, hazard mitigation can be achieved by applying numerous techniques, based on reliable data base. How to understand the most recent eruption of the TVG will be much important hint for prediction the future activity of eruption.

Over 5000 mm heavy rain per year in the TVG area could result the highly erosion and weathering on the surface. They caused the original eruptions records were incompletely prerecorded. The Center Geological Survey of Ministry of Economic Affairs handled to drill more than 20 wells in the Taipei basin to investigate the subsurface geology of basin in last ten years. These continuous core samples offered the best materials to investigate if any volcanic ashes deposited in the basin in the last 100 kyrs.

The samples in every 20 cm from the core top of the Kuantu well (KT-1) and the Shihlin well (SL-1) were collected for above purposes. Total more than 350 samples have been tested. The juvenile volcanic ashes with the identical chemical compositions and morphology were firstly identified in the late Pleistocene Sunshan formation in SL-1 and KT-1 cores, respectively. According to the radiocarbon (C-14) ages of core samples, the time of the tephra layers in both cores was extrapolated around 18.6 kyrs C-14 B.P.. This new founding of eruption event is much younger

than that of previous understanding as around 200 ka. This air-fall ash deposits found in the core directly demonstrated that there had been re-active in the TVG in the last 20 kyrs. The new result strongly coincides with three historical records of submarine eruptions in the northeastern offshore of Taiwan. Then, a program of the volcanic hazard reduction should be seriously considered around the metropolitan Taipei and northern Taiwan.



陽明山國家公園 96 年委辦計畫「火山監測與應變體系 建置模式之先期研究」評審會 會議紀錄

一、時間：96年6月26日（星期二） 上午10時

二、地點：本處二樓會議室

三、主持人：詹副處長德樞

記錄：

鄭文良

四、出席單位及人員：

劉委員聰桂 台灣大學地質科學系教授	請假
陳委員中華 中研院地球所副所長	陳中華
詹委員德樞	詹德樞
羅委員淑英	羅淑英
叢委員培芝	叢培芝

廠商代表：

中華民國地質學會	宋聖榮
----------	-----

五、受託單位報告：（略）

六、討論：（略）

七、結論：

（一）本案審查委員所提之下列意見，請計畫主持人列入研究計畫參考。

1. 本案研究目標，請以研擬提供陽管處，火山應變（預警）體系具體實施模式之策略方案為主。

2. 國際學術會議與會專家人選之邀請，可優

先考慮鄰近國家具有實際經驗人士參加。

(二)本案經4位出席委員審查結果：一致評選為「合格」，通過審查。

~以下空白~

陽明山國家公園

陽明山國家公園 96 年委辦計畫

「火山監測與應變體系建置模式之先期研究」

期末報告 會議紀錄

一、時間：96年11月23日(星期五) 上午10時

二、地點：本處二樓會議室

三、主持人：郭處長步雲

記錄：鄭文良

四、出席單位及人員：

台灣大學地質科學系 劉聰桂教授	劉聰桂
中研院地球所 陳中華副所長	
郭步雲處長	郭步雲
詹德樞副處長	詹德樞
陳昌黎秘書	
企劃經理課	張順發
工務建設課	
解說教育課	游淑鈞
觀光遊憩課	李全昇
建管小組	
小油坑管理站	
擎天崗管理站	
龍鳳谷管理站	
陽明書屋管理站	
資訊室	
人事室	
會計室	
秘書室	
保育研究課	叢培芝 鄭文良

廠商代表：

中華民國地質學會	宋聖榮
----------	-----

五、受託單位報告：（略）

六、討論：

審議意見	修正說明
1. 本案計畫名稱若修正為「火山監測與災害應變體系建置模式之先期研究」，將與研究目標要求與實際研究內容更相符。	感謝指導 將與委託單位陽管處配合。
2. 請修正報告內容相關用詞有語意不清或過於強硬之用語。	感謝指導 將於正式結案報告時修正。
3. 國際各火山分布之列表，建議另以分佈圖來呈現，將更凸顯全球分布的視覺感官意義。	感謝指導 將於正式結案報告時修正。
4. 部分圖表不清晰請修正，並建議能套疊鄉市鎮之GIS圖層，以引導閱讀者產生相對空間之印象。	感謝指導 將於正式結案報告時修正。
5. 有關應變計畫內容，請更具體詳列各階段各層級所應賦予的工作或責任。	感謝指導 將於正式結案報告時修正。

七、結論：

- （一）本案審查「合格」。有關與會學者及本處同仁意見請參考修正。
- （二）請受託單位於近日內儘速至GRB網站登錄相關資料。
- （三）委託研究報告書請依「內政部研究計畫作業要點」格式修正，並依依合約書規定提送成果報告等過處辦理結案事宜。

八、散會。

~以下空白~