

利用數值地形分析探討大屯火山群火山地形

楊志成¹ 劉進金² 黃明哲² 陳文山¹

摘要

本研究以 3D 數值模擬地形配合坡度分析來判釋大屯山地區的火山地形，分別辨識出十個火山口、二十九個火山錐體、四十幾道舌狀熔岩流以及二百多條位於熔岩平台上的平行狀弧形脊。火山錐體的坡度介於 26°-48°，舌狀熔岩平台的坡度大都低於 10°，顯示長期以來本區域噴發的岩漿以黏滯性較高的熔岩流型態為主。判釋結果顯示具良好火山外形的有烘爐山、大屯山、二子山、面天山、七星山、七股山、紗帽山、冬瓜山、磺嘴山及嵩山 2 等，屬於晚期噴發的火山，其岩性為玄武岩、橄欖石-角閃石-輝石安山岩與紫蘇輝石-角閃石安山岩。火山外形不明顯的有內寮山、南大屯山、八煙山、小觀音山、竹子山、白雲山、小草山、鵝米山、鹿寮坪莊山、大尖山、嵩山 1、菜公坑山、丁火朽山、內寮山、棧寮湖山、八斗山 1、八斗山 2 等，屬於早期噴發的火山，其岩性為兩輝安山岩、兩輝-角閃石安山岩、角閃石-兩輝安山岩與角閃石安山岩。

關鍵詞：數值地形、火山地形、大屯火山群

1. 前言

大屯火山群位於台灣北部，以第三紀(Tertiary)褶曲的沉積岩為基盤，主要為安山岩構成的火山岩，陳與吳 (Chen and Wu, 1971) 認為大屯火山共具有 20 個火山以及 15 個熔岩流。依據同位素定年結果表示大屯火山噴發年代主要從 100 萬年至 20-10 萬年，顯示近十數萬年以來還有大規模的火山噴發 (Wang and Chen, 1990; Juang, 1993; 曹恕中, 1994; 李淑芬, 1996; Song *et al.*, 2000)，火山地形保存完整，利於數值地形的分析。

良好火山地形判釋可以建立火山的噴發順序，近年來由於地理資訊系統 (GIS) 的快速發展，不僅可快速建立數值地形，同時利用 3D 展示可進

一步判釋火山地形。本研究乃利用四十公尺數值地形(Digital Terrain Model, DTM)配合地理資訊系統軟體的數值地形分析、坡度分析以及 3D 模擬等功能，重新檢視大屯火山群的火山地形並探討其地質意義。

2. 運用數值地形判釋火山地形流程

火山地形隨著觀察者的角度與光源之不同呈現不同之形貌，數值地形資料可利用電腦模擬不同方向的光源及角度，製作立體陰影圖，配合坡度分析，可同時展現地貌的外形、高程及其坡度變化，

¹ 國立台灣大學地質科學系

² 工業技術研究院能源與資源研究所

並可繪製高程橫剖面圖，供判釋者研判地貌的變化與辨認火山特徵。火山地形以火山口為噴發中心，具圓錐狀外形，熔岩流向外圍散佈，其外形及坡度的變化隨熔岩流黏稠度的大小而有差異，此種特殊的地貌現象可由數值地形的高程及坡度變化予以判釋，且利用地理資訊系統相互套疊的特性，可整合判釋結果反覆的檢視。本研究火山地形判釋的流程如圖一所示。台灣地區可供利用的數值地形為農委會農林航測所建置之四十公尺數值地形，由於本研究之火山地形特徵的規模一般在 500 公尺以上，因此四十公尺解析度的數值地形足以運用予本研究（劉進金、等，1992；賴明仁、等，1992）。

3. 火山地形

本研究經由數值地形模擬配合坡度分析，可以在大屯火山分別判釋出十個火山口(crater)、二十九個火山錐體(cone)、四十幾道舌狀熔岩流(lava lobe)以及二百多條位於熔岩平台上的平行狀弧形脊(ogives)等火山地形(圖二)。

3.1 火山口

火山頂部經常形成凹陷的火山口，直徑數公里以上較大的火山口又稱為破火山口(caldera)(Decker and Decker, 1981)。這種山頂凹陷的形貌，藉由 3D 數值地形可明顯判釋，在大屯火山群中有十個火山口地形，通常具有缺口，判斷應為熔岩流向下流出之處，具火山口構造有磺嘴山、冬瓜山、菜公坑山、丁火朽山、內寮山、南大屯山、向天山、小觀音山、竹子山與嵩山 2 等(圖三)。

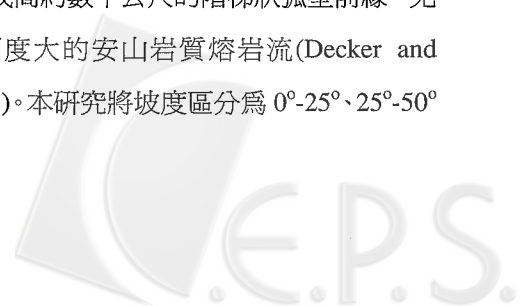
3.2 火山錐

由定年資料顯示大屯火山群並非一次同時噴發，因此愈年輕火山的外型可能保存愈完整，相對

的早期噴發結束的火山，較易受到侵蝕破壞及後期噴發火山的疊置效應，火山錐外型則較不明顯。火山地形以火山錐斜坡的坡度最大，但坡度大小與構成火山的岩相有密切關係。火山碎屑形成的火山渣錐(debris cone)坡度一般約 30° 以下，而黏滯性高的熔岩流所形成的火山錐坡度則較大(Decker and Decker, 1981)。本研究以 3D 數值地形模擬配合坡度分析來判讀，其目的在於利用地形圖錐狀的外貌界定火山錐體，而坡度的變化可用來推論火山噴發的型態。就地形外貌而言，烘爐山、大屯山、二子山、面天山、七星山、七股山、紗帽山、冬瓜山、磺嘴山、嵩山 2 等均具有完整圓錐狀的火山外型，且其錐體坡度大多介於 $25-50$ 度之間(圖四)。藉由完整火山錐體橫剖面的觀察，可以發現火山斜坡通常具有向上凸的斜面，其坡度多大於 30° ，大都屬於圓頂狀火山形狀(lava dome)(圖四)，此種火山外形通常由黏滯性高的熔岩流噴發所造成(Decker and Decker, 1981)。其餘火山錐外型較不明顯如內寮山、南大屯山、八煙山、小觀音山、竹子山、白雲山、小草山、鵝米山、鹿寮坪莊山、大尖山、嵩山 1、菜公坑山、丁火朽山、內寮山、棧寮湖山、八斗山 1、八斗山 2。

3.3 熔岩流

熔岩流(lava flow)是火山噴發出熾熱的岩漿冷卻後形成的塊狀火山岩。當熔融岩漿沿著火山斜坡流下時經常形成舌狀外型(lava lobe)，較大型的熔岩流表面經常呈平台狀地形。熔岩流地形具有幾點特徵，熔岩流頂面具有平坦的平台面，岩流平台坡度都在 10° 以下；經常呈舌狀外型，並且都由各火山口向外伸展。黏稠度大的熔岩流會在前端成陡峭的斜坡，形成高約數十公尺的階梯狀弧型前緣，尤其屬於黏稠度大的安山岩質熔岩流(Decker and Decker, 1981)。本研究將坡度區分為 $0^\circ-25^\circ$ 、 $25^\circ-50^\circ$



及 50° - 70° ，可明顯判釋出具舌狀外形的地形面，通常環繞在火山錐體的外圍，且分布在舌狀外形的地形面內的坡度大多在 10° 以下，判釋為熔岩流所形成的平台階地地形，熔岩流前緣坡度常受河流侵蝕作用而變陡，通常大於 30° (圖五)。

3.4 平行狀弧型脊

熔岩流中較為特殊的構造是熔岩流動時在熔岩平台的表面經常呈現皺起的平行狀弧型脊 (ogives) (Francis, 1995)。平行狀弧型脊的地形特徵在野外通常難以辨識，本研究嘗試利用細微的坡度變化來觀察此種地形特徵。經測試發現以 5° 為間隔的坡度分析，可於熔岩平台上觀察到平行狀弧型脊。大屯山火山群的熔岩流大都具有平行狀弧型脊的構造，較明顯的如磺嘴山北側與東側及小觀音山-竹子山北側等處的熔岩流(圖六)。

4. 討論

由 3D 數值地形模擬配合坡度分析，可完整判釋大屯火山區的火山地形，其特徵通常為具有火山缺口的火山錐體，且火山斜坡型態呈向上凸的斜面，坡度介於 25 - 50 度之間，以烘爐山及紗帽山為代表。熔岩流環繞在火山錐體的外圍，形成熔岩平台的地形特徵，由其流向可以發現都是源自於鄰近的火山錐，如竹子山-小觀音山西北側熔岩流是源於竹子山、嵩山 1-2、小觀音山等 4 個火山；面天山西側熔岩流是源自於面天山火山；七星山南側熔岩流可能源於白雲山與小草山火山；磺嘴山東側與北側熔岩流源自於磺嘴山火山。大屯火山群中除了冬瓜山及向天山火山具有完整呈圓形的火山口之外，其餘的火山口都具有缺口，而缺口下側都形成多個舌狀熔岩流，也顯示熔岩流是由火山缺口處向外流出所造成。同時由存在於熔岩平台上，由熔岩

流動所產生的平行弧狀脊亦支持平台是由熔岩流所構成並非由火山碎屑流堆積的地形。由上述的地形特徵推論大屯火山應為以黏滯性高的安山熔岩流的噴發型態為主(圖七)。另外由數百公尺至 1500 公尺的鑽探岩心資料可以清楚發現七星山鄰近地區的火山岩性都以熔岩流為主，其中並不間夾有火山碎屑岩等證據 (MRSO, 1969; 李清瑞、等, 1994)，亦支持大屯火山區長期以來的噴發型態以黏滯性高的安山岩熔岩流堆積為主。

火山岩層序須先以地形來判讀不同時期的熔岩流或碎屑流，再由互相堆積的關係建立層序 (Anderson *et al.*, 1998)。在了解大屯火山的噴發型態之後，可利用火山錐體與熔岩流的相關性及火山錐體的完整性，初步探討大屯火山的層序。其中烘爐山、大屯山、二子山、面天山、七星山、七股山、紗帽山、冬瓜山、磺嘴山及嵩山 2 等火山錐體較為完整，且熔岩流較緊鄰火山錐體，大多屬於較晚期噴發的火山，根據地質圖(黃鑑水, 1988)，其岩性為玄武岩、橄欖石-角閃石-輝石安山岩與紫蘇輝石-角閃石安山岩。其餘火山錐外型較不明顯的有內寮山、南大屯山、八煙山、小觀音山、竹子山、白雲山、小草山、鵝米山、鹿寮坪莊山、大尖山、嵩山 1、菜公坑山、丁火朽山、內寮山、棧寮湖山、八斗山 1、八斗山 2 等，屬於較早期噴發的火山，由於停止噴發的年代較早，因而侵蝕破壞較為嚴重，部分火山錐體周圍都已遭河流切割侵蝕，形成不完整的錐狀外型。其岩性為兩輝安山岩、兩輝-角閃石安山岩、角閃石-兩輝安山岩與角閃石安山岩。藉由數值地形分析與判釋，可快速建立大屯火山群的火山層序，其結果在岩性上與鑽井資料吻合 (MRSO, 1969; 李清瑞、等, 1994)，卻與部分定年資料有差異，若沒有其他進一步資料的佐證，尚難論斷孰是孰非。地形分析建立的火山層序不失為重新檢視大屯火山噴發史的契機。

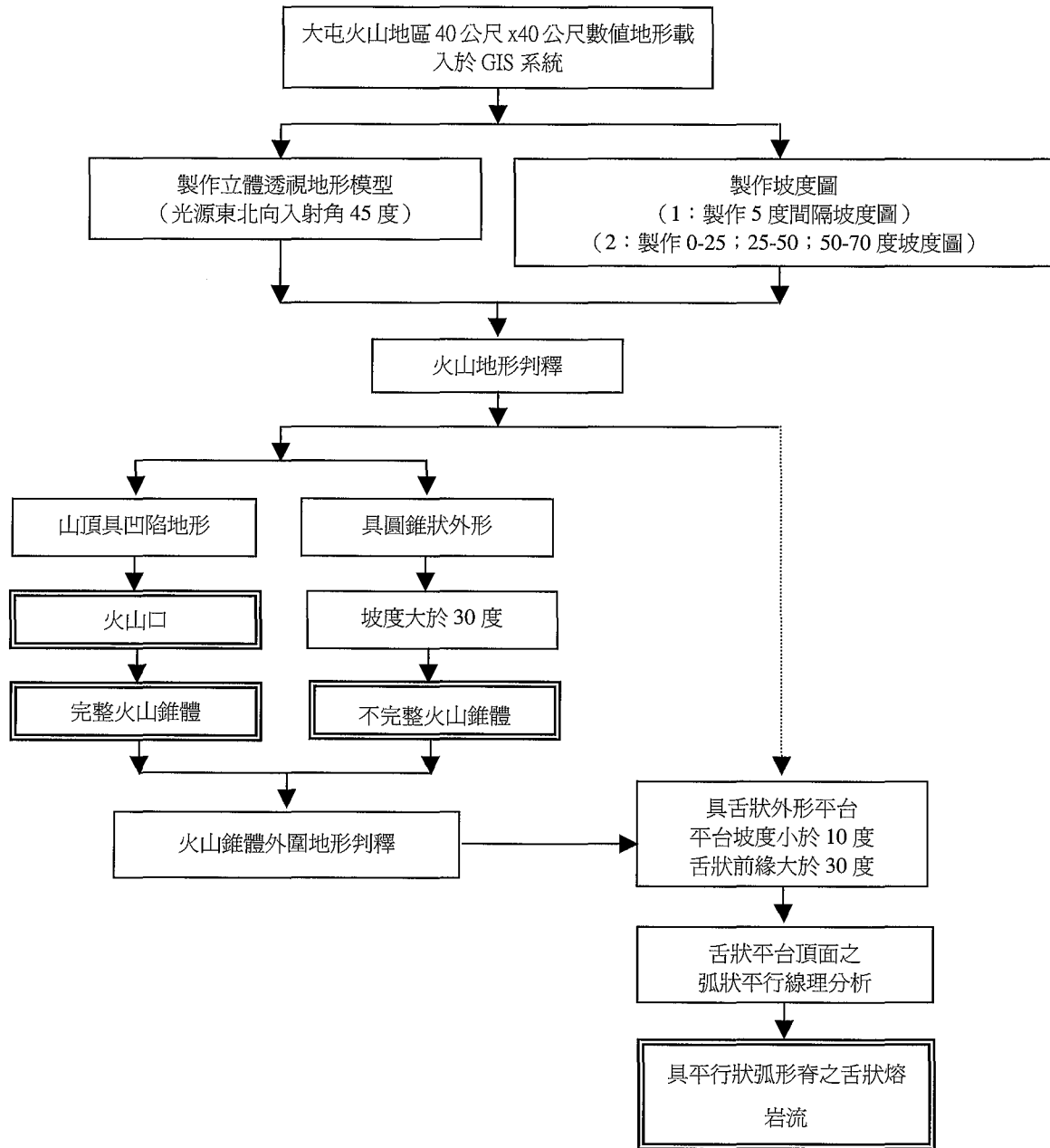
5. 結論

火山地形隨著觀察者的角度與光源之不同呈現不同之形貌，3D 數值地形電腦模擬及坡度分析，可同時展現地貌的外形、高程及其坡度變化，亟有助於從巨觀的角度研判地貌的變化與辨認火山特徵。3D 數值地形模擬可判釋十個火山口地形，配合坡度分析的變化可分別辨識出二十九個火山錐體、四十幾道舌狀熔岩流以及二百多條位於熔岩平台上的平行狀弧形脊。其中火山錐體的坡度介於 25° - 50° ，舌狀熔岩流則大多低於 10° ，顯示長期以來本區域的火山以黏稠性較高的熔岩流噴發型態為主。未來若有更詳細之數值地形與正射彩色航照，可以將各種火山地形特徵所呈現之形貌，予以分類並選擇代表性之觀察角度與立體照片，建立火山地形判釋鍵，作為火山地形特徵判釋分析的參考基準。

參考文獻

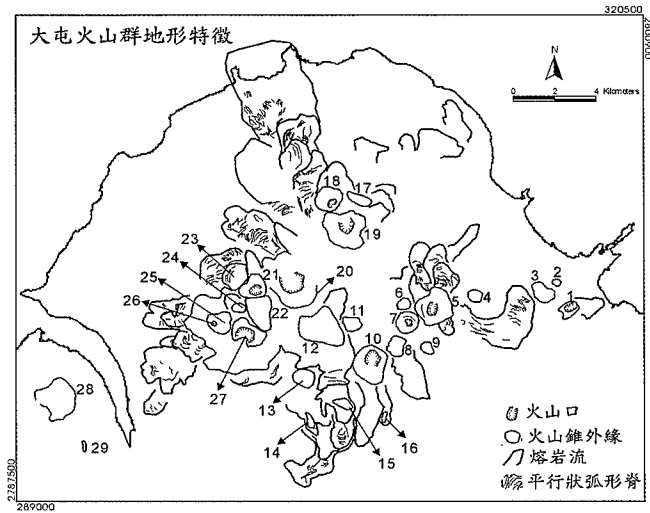
- 李淑芬，1996。大屯火山群七星山亞群熔岩層序之研究，國立台灣大學地質科學系研究所碩士論文，136 頁。
- 李清瑞、江道義、陳榮輝，1994。台灣地熱探勘資料彙編，能源研究發展基金研究報告，06-3-83-0252-2。
- 黃鑑水，1988。五萬分之一台北地質圖幅，4 號，經濟部中央地質調查。
- 曹恕中，1994。大屯火山群火山岩的鉀氬年代分析，經濟部中央地質調查所彙刊，No.9，137-154。
- 劉進金、賴明仁、彭森祥、蕭國鑫，1992。數位地形資料系統之建立，工研院能資所自發研究計畫編號 20R8105。
- 賴明仁、彭森祥、劉進金，1992。數化地形模型資料使用之經驗，第十一屆測量學術及應用研討會論文集，第 655-660 頁。國立成功大學主辦。
- Anderson, S.W., Stofan, E.R., Plaut, J.J., and Crown, D.A., 1998. Block size distributions on silicic lava flow surfaces: Implications for emplacement conditions, *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 110(10):1258-1267.
- Chen, C.H. and Wu, Y.J., 1971. Volcanic geology of the Tatun geothermal area, northern taiwan, *Proc. Geol. Soc. China*, 14:5-20.
- Decker, R. and Decker, B., 1981. *Volcanoes*, W.H. Freeman and Company, New York, 244.
- Francis, P., 1995. *Volcanoes*, Clarendon press.
- Juang, W.S., 1993. Diversity and origin of Quaternary basaltic magma series in northern Taiwan, *Bull. National Museum Nat. Sciences*, 4:125-166.
- MRSO, 1969. The geothermal exploration of the Tatun volcano group (I), MRSO Report, 90.
- Song, S.R., Tsao, S.J. and Lo, H.J., 2000. Characteristics of the Tatun volcanic eruptions, northern Taiwan: Implications for a cauldron formation and volcanic evolution, *Jour. Geol. Soc. China*, 43:361-378.
- Wang, W.H. and Chen, C.H., 1990. The volcanology and fission track age dating of pyroclastic deposits in Tatun volcano group, *Acta Geol. Taiwanica*, 28:1-30.



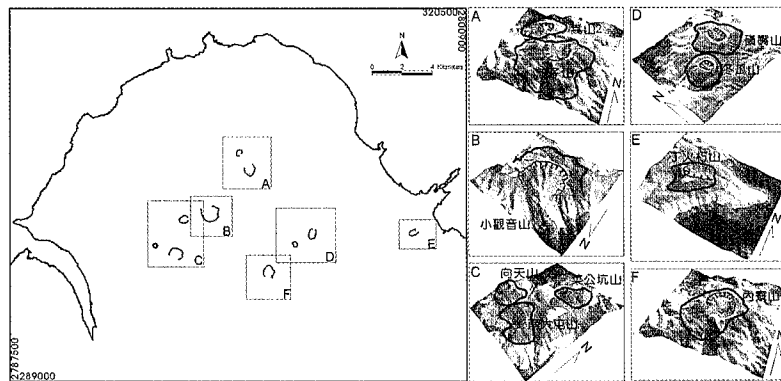


圖一、運用數值地形判釋大屯火山區火山地形特徵流程圖

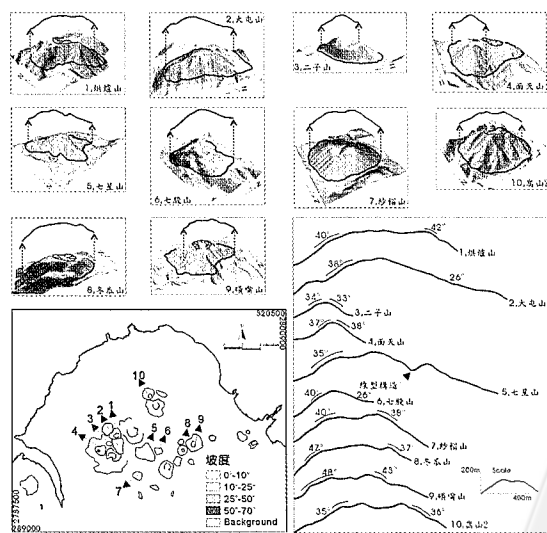




圖二、大屯火山群地形特徵，數值地形分析結果包括二十九個火山錐體：1.丁火朽山；2.八斗山1；3.八斗山2；4.栳寮湖山；5.磺嘴山；6.八煙山；7.冬瓜山；8.鹿寮坪莊山；9.大尖山；10.內寮山；11.七股山；12.七星山；13.紗帽山；14.白雲山；15.小草山；16.鵝米山；17.高山 1；18.高山 2；19.竹子山；20.小觀音山；21.菜公坑山；22.大屯山；23.烘爐山；24.二子山；25.面天山；26.向天山；27.南大屯山；28.觀音山；29.萬年塔。

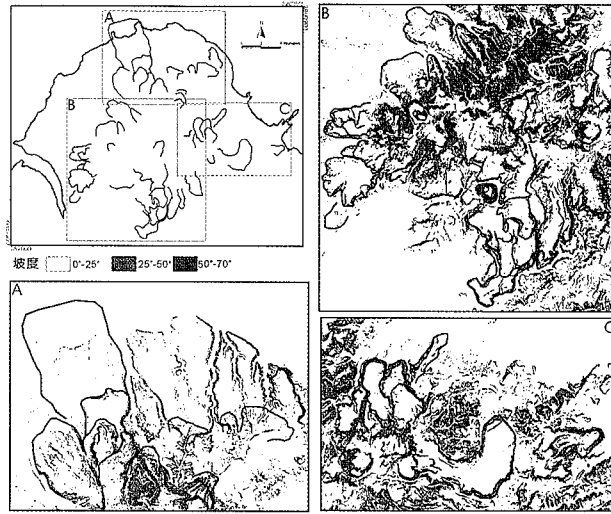


圖三、由 3D 數值地形模擬可辨識十個火山口地形

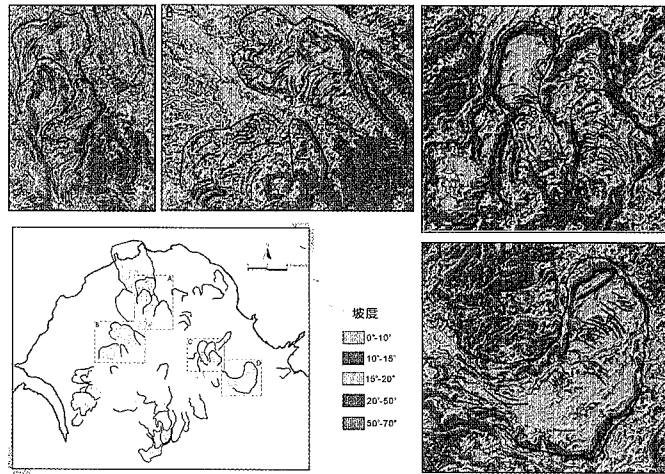


圖四、由 3D 數值地形模擬配合坡度分析辨識出 29 個火山錐地形，其中具完整火山錐體地形有十個。

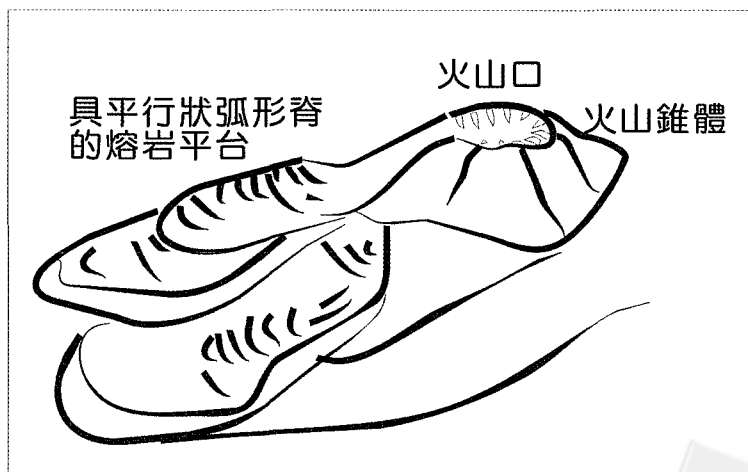




圖五、由 3D 數值地形之坡度分析可辨識出熔岩平台的外緣地形



圖六、由細微的坡度變化來辨識熔岩平台上平行狀弧形脊構造



圖七、大屯火山區火山地形示意圖。此種地形特徵乃黏滯性高的熔岩流噴發所產生

DTM for Mapping the Volcanic Landforms of Tatun Volcano Group in Northern Taiwan

Chih-Cheng YANG¹ Jin-King LIU² Min-Ther HUANG² Wen-San CHEN¹

ABSTRACT

Digital Terrain Model with a 40m grid was adopted to analyze the landscape characteristics of volcanic morphology in Tatun Volcano Group of northern Taiwan. By scrutinizing the slope map derived from the DTM, 10 volcanic craters, 29 volcanic cones, some 40 lava lobes and more than 200 ogives are readily identifiable. The slope gradients of volcanic cones are in the range of 26°-48°. The gradients of the table surface of the lava lobes are mostly less than 10°, which implies high viscosity of lava flows in this area. It is also shown that the morphologic features of volcanoes erupted in earlier stage are not remained so well as those 10 craters formed in a relative late stage when visualized in 3D perspectives, derived from DTM.

Key Words : DTM, Volcanic Landform, Tatun Volcano Group

¹ Department of Geosciences, National Taiwan University

² Department of Geospace Information Technology, Energy and Resources Laboratories, ITRI

Received Date: Jan. 21, 2003

Revised Date: Oct. 22, 2003

Accepted Date: Oct. 28, 2003

