

從火山地形探討大屯火山群的地層層序與構造

陳文山¹ 楊志成¹ 楊小青¹ 劉進金²

節 要

本研究利用數值地形模擬 (DTM) 判讀大屯山地區的火山地形，初步認定大屯火山群具有 29 個明顯的火山錐體以及四十幾道熔岩流。並由火山錐與熔岩流的地形特徵以及井下資料認為大屯火山群長期以來的噴發產物大都以熔岩流為主。本研究依據火山地形判斷不同岩性熔岩流的疊置關係，建立大屯火山的噴發層序，由老至新為角閃石安山岩、角閃石—兩輝安山岩、兩輝—角閃石安山岩、兩輝安山岩、紫蘇輝石—角閃石安山岩、橄欖石—角閃石—輝石安山岩、玄武岩。

從大屯山地區的鑽探顯示大約沿著北磺溪兩側火山岩的厚度最厚，兩側下陷呈北東走向的槽狀火山盆地，槽狀凹陷向西南延伸至关渡地區，約與炭腳斷層以及山腳斷層之間屬於臺北盆地下陷最深的區域相連，以此來看在炭腳斷層的下盤亦可能形成一正斷層構造。

關鍵詞：大屯火山群、火山地形、火山錐、舌狀熔岩流、山腳斷層、金山斷層

前 言

921 集集地震之後，活動斷層的活動性逐漸被重視，尤其鄰近都會區活動斷層研究是迫不及待的問題，其中應以 700 萬人口的大臺北都會區為首要的調查研究區域。從歷史地震紀錄也顯示曾發生災害性大地震，如西元 1694 年與 1909 年地震震央發生在臺北盆地中，地震規模可能都大於 7。因此，針對大臺北都會區週邊的活動斷層研究應是首要的工作。依據前人研究結果，此地區主要的活動斷層有兩條，一位在臺北盆地西緣的山腳斷層，以及位於金山地區的金山斷層（張徽正等，1998；林啓文等，2000）。中期更新世之後北部地區的構造環境已

1. 國立臺灣大學地質科學系
2. 工業技術研究院能源與資源研究所

進入後造山運動期 (Teng, 1996; Wang *et al.*, 1999)，開始呈現張裂的構造環境，並以正斷層的作用為主 (Teng, 1996)，山腳斷層與金山正斷層都是此時期的產物。由於近年來的地質鑽探與地物探勘 (長生國際開發股份有限公司, 1999; 萬鼎工程公司, 1999; 劉桓吉等, 2000)，對於山腳斷層位置與斷層特性已有明確的成果。近年來臺北盆地的研究也初步了解山腳斷層可能於中期更新世即已開始活動至今 (Teng *et al.*, 2000)。

目前研究對於金山斷層的位置與活動性都僅於推測階段，金山斷層較為可信的位置是位於金山沖積平原的北側，以及金山外海 (蕭力元等, 1998)，但是斷層向西南延伸進入大屯山地區的位置至今還無法確定。本研究將探討金山斷層延伸至大屯山時的狀況為何，以及如何延伸進入臺北盆地。但是探討此問題時，首先欲了解大屯火山的火山地層層序，從層序關係才可以較容易來推斷斷層可能的位置。在年輕的火山區域建立火山地層的層序，最直接的方法是先以地形來建立火山噴發的順序。有了正確的層序與地質圖之後，才能更進一步討論斷層的位置、特性與活動性。因此，本研究的目的是依火山地形來建立大屯山地區的地層層序，以此了解金山正斷層與山腳斷層的關係。

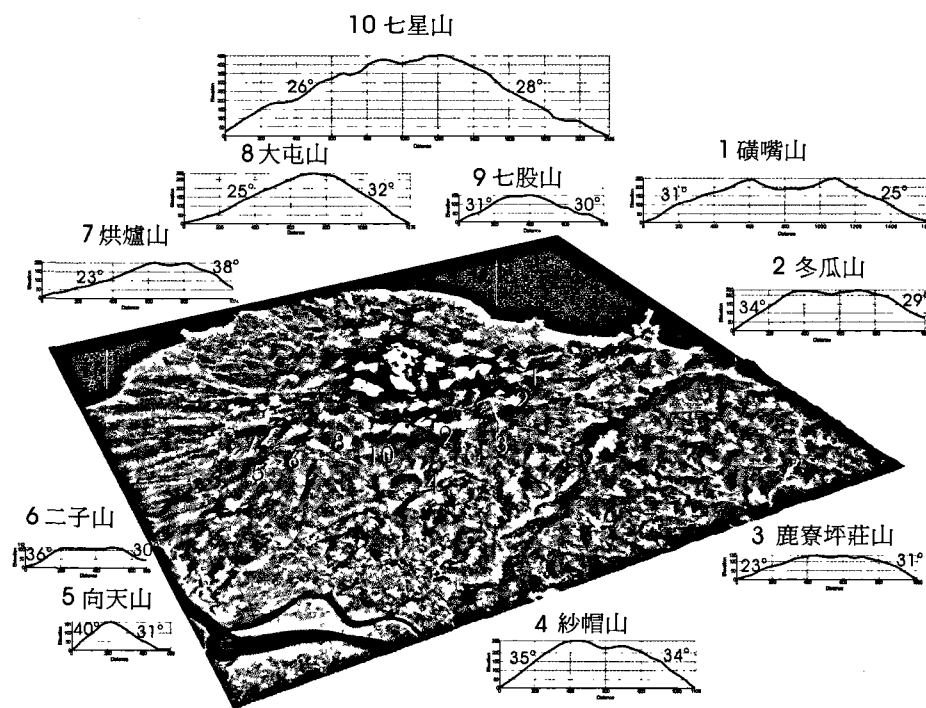
大屯火山地形

大屯火山群主要是由安山岩構成的火山岩，地形還呈現完整的火山地形，陳肇夏等 (Chen and Wu, 1971; Chen, 1975) 認為大屯火山群共具有 20 個火山以及 15 道熔岩流。從野外以及鑽井資料來看，火山岩相以熔岩流 (lava flow) 最為主要 (MRSO, 1969; Chen and Wu, 1971; 李清瑞等, 1994; 黃鑑水, 1988; Song *et al.*, 2000a)。依據同位素定年結果表示大屯火山噴發的主要年代從 100 萬年至 20–10 萬年之間；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)。因此，藉由探討大屯火山地形的完整性來了解大屯山地區是否受到正斷層的作用。本研究欲先探討大屯火山的三種火山地形：如下火山錐、舌狀熔岩流 (lava lobe) 以及放射狀河系。首先經由航照圖、1/25000 地形圖以及數值模擬地形來判讀。

火山錐 (volcanic cone)

陳肇夏等 (Chen and Wu, 1971) 根據火山地形特徵指出大屯火山群共具有 20 個火山。但是火山噴發結束之後開始受到侵蝕破壞，愈年輕的火山外型可能保存愈完整。因此，本研究先以數值模擬地形、航照與 1/25000 地形圖來判讀火山錐

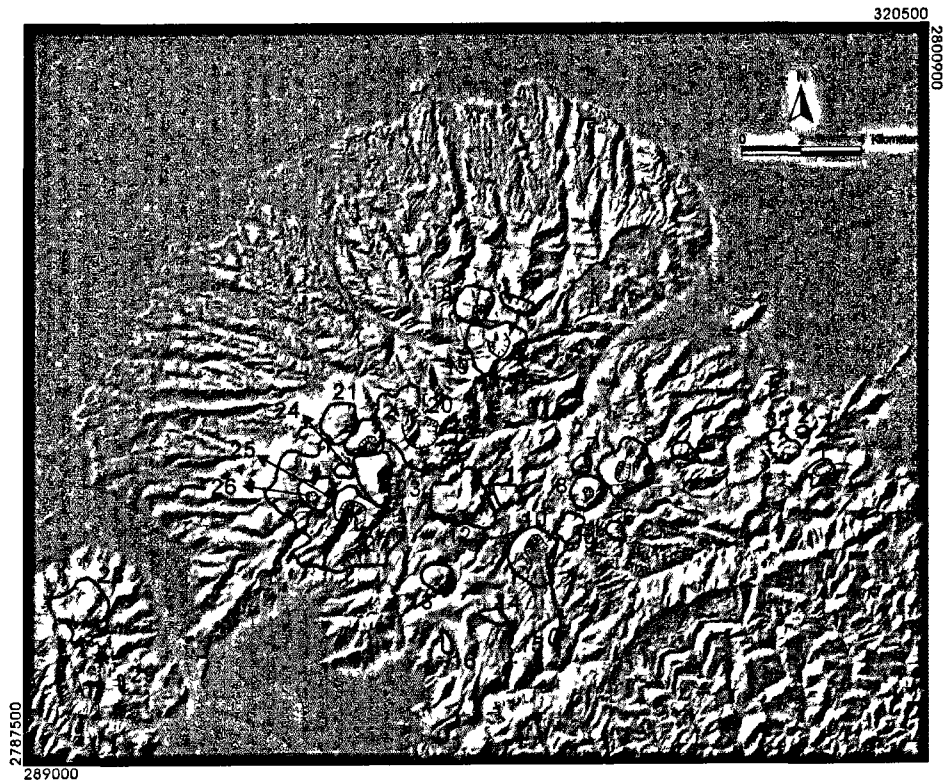
地形，目前較具完整火山外型的有烘爐山、冬瓜山、磺嘴山、七星山、大屯山、二子山、紗帽山、七股山、向天山、鹿寮坪莊山、南大屯山、小觀音山、竹子山、嵩山 2、菜公坑山；都具有圓錐狀的火山外型（圖一，二）。圓錐狀火山在 1/25000 地形圖清楚呈現同心圓狀等高線，錐體高度約從 100 公尺至 400 公尺。其餘外型較不明顯的有大尖山、八煙山、嵩山 1、丁火朽山、棧寮湖山、內寮山、八斗山 1、八斗山 2、白雲山、小草山、鵝米山、面天山、觀音山與萬年塔（圖二）。具完整外型的火山錐大都屬於較晚期噴發的火山，岩性為玄武岩、橄欖石-角閃石-輝石安山岩與紫蘇輝石-角閃石安山岩。



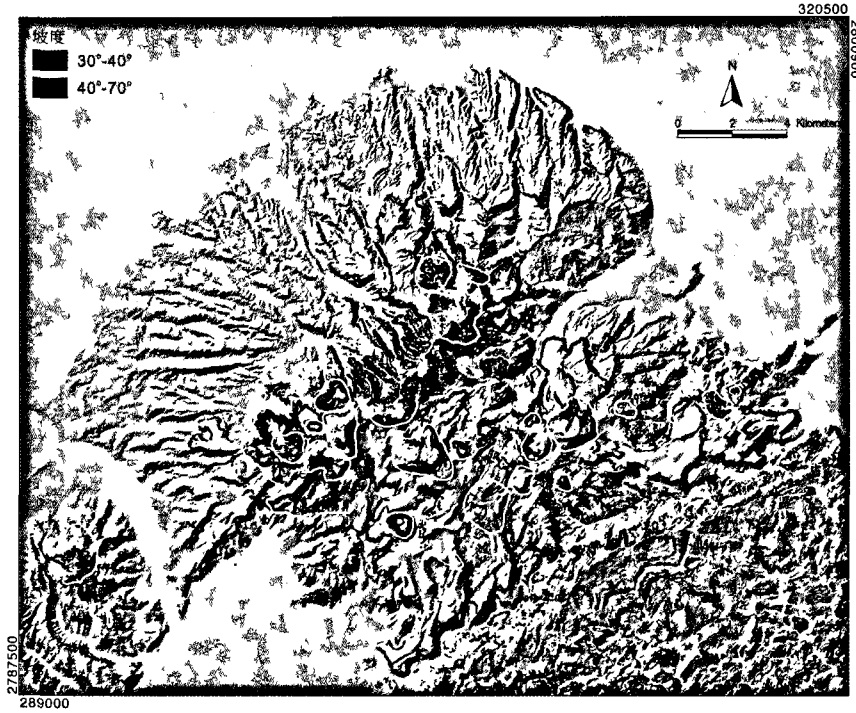
圖一 利用數值模擬地形、航照及 1/25000 地形圖判讀，大屯火山有 10 個具完整圓錐狀火山。火山錐斜坡大都呈上凸狀，坡度約在 25° – 40° 之間（底圖為 SPOT 衛星影像）。

火山錐體的外型及坡度大小與岩漿的特性有密切關係，如火山碎屑形成的火山渣錐 (debris cone) 坡度一般在 30° 以下，並且會形成向上凹的斜坡 (concave slope; Decker and Decker, 1981)。黏滯性高的熔岩流形成火山錐的坡度則較

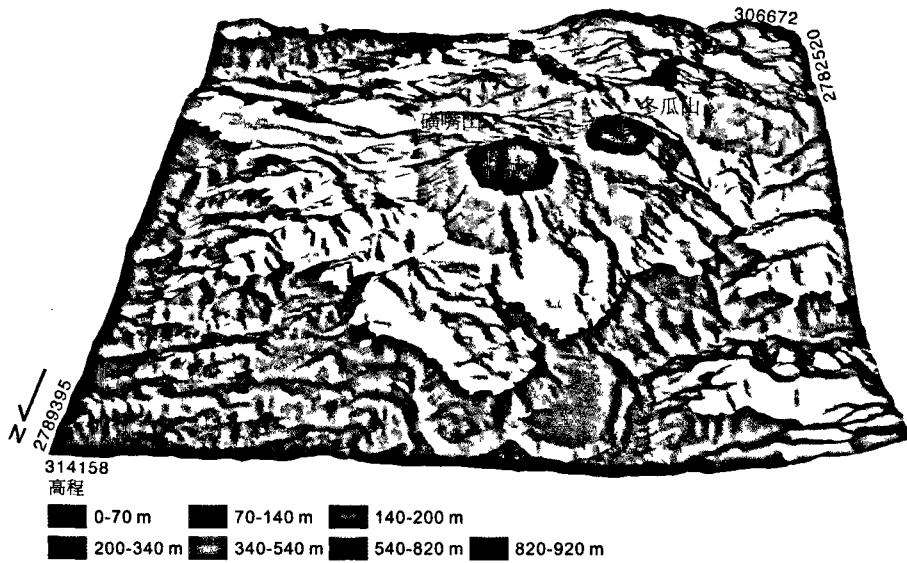
大，但黏滯性低的則會形成低平的盾狀外型 (Decker and Decker, 1981)。大屯火山的火山錐斜坡的坡度平均約為 $20-40^\circ$ ，部分錐體坡度都大於 30° ，尤其下段坡面的坡度都較陡，形成上凸型 (convex slope) 的火山斜坡 (圖一，三)，大致看來許多的火山錐體坡度大於火山渣錐的坡度；可能這些火山錐是由高黏滯性的熔岩所構成。大屯火山群中數個火山錐具有直徑約數百公尺的火山口，如冬瓜山、磺嘴山 (圖四)、菜公坑山、丁火朽山、內寮山、南大屯山、向天山、小觀音山、竹子山與嵩山 2 (圖二)。



圖二 大屯火山群共有二十九個火山：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.大尖山；7.八煙山；8.冬瓜山；9.鹿寮坪莊山；10.內寮山；11.七股山；12.七星山；13.紗帽山；14.小草山；15.鵝米山；16.白雲山；17.嵩山 1；18.嵩山 2；19.竹子山；20.小觀音山；21.烘爐山；22.菜公坑山；23.大屯山；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。藍線表示火山錐體外緣，紅線表示火山口。



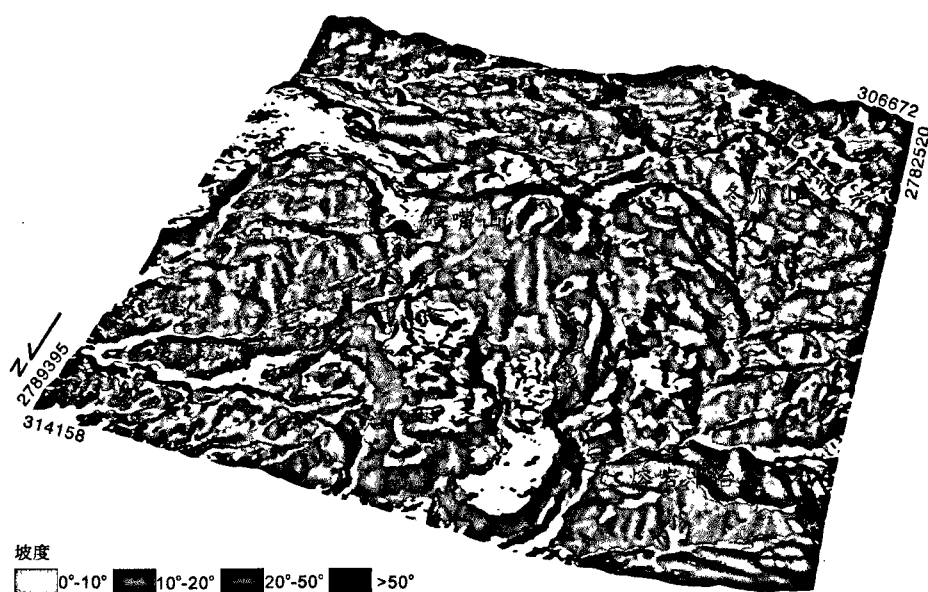
圖三 從地形坡度的變化可以看出火山錐與熔岩流的形貌。北磺溪與南磺溪的北側流域地形坡度大都大於 30° 以上。



圖四 由數值地形模擬明顯看出磺嘴山及冬瓜山火山錐體外形以及火山口，磺嘴山北側具有一道保存完整的舌狀熔岩流。

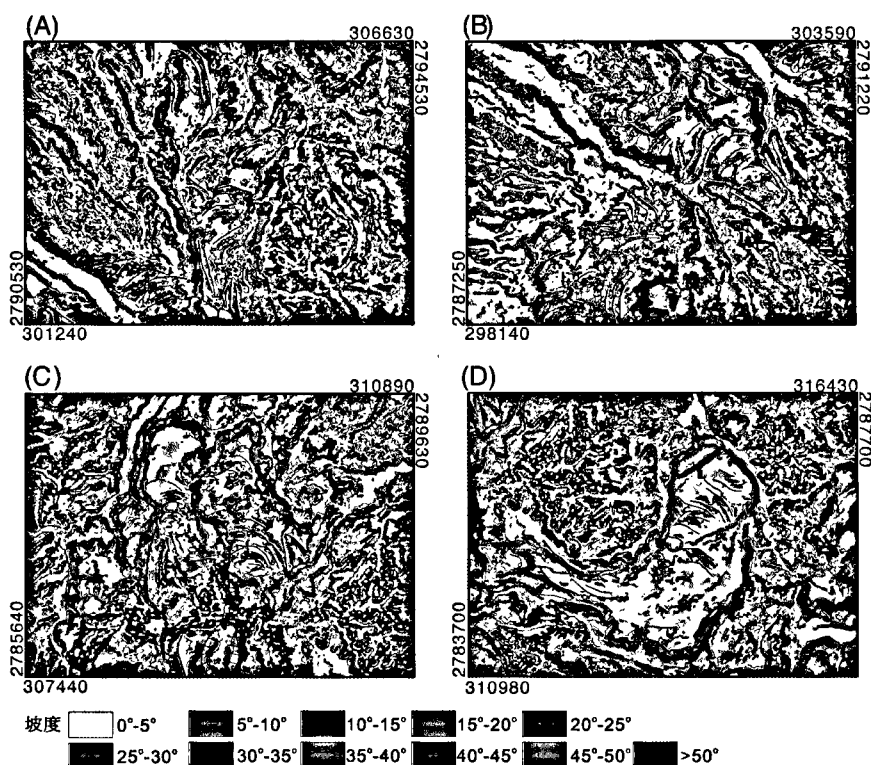
舌狀熔岩流 (lava lobe)

從數百公尺至 1500 公尺深的鑽探岩心資料可以清楚發現七星山鄰近地區的火山長期以來噴發的產物都以熔岩流為主 (MRSO, 1969; 李清瑞等, 1994)。雖然地表所見火山岩有許多的火碎屑岩, 但形成火山碎屑有噴發堆積 (pyroclastics) 以及再堆積 (epiclastics) 火山碎屑岩, 諸多的成因。本文將會針對大屯火山的火山碎屑再作深入的探討。熔岩流是火山噴發出熾熱岩漿冷卻後形成的塊狀火山岩, 當黏滯性較高的岩漿沿著火山斜坡流下時; 經常形成舌狀外型, 較大型的熔岩流表面經常呈平台狀地形。從航照圖、1/25000 地形圖以及數值模擬地形可以發現大屯山地區具有多處大規模熔岩流地形。其地形具有下列幾點特徵, 熔岩流頂面具一平台狀的表面, 岩流平台坡度都在 10° 以下 (圖三, 四, 五, 六); 外型經常呈舌狀, 由火山口向外伸展。黏滯性高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, 尤其屬於黏滯性高的安山岩質熔岩流 (Cas and Wright, 1987)。本研究以數值模擬地形來計算大屯山熔岩流的地形, 熔岩平台的坡度都小於 5° , 熔岩流前緣坡度約 $10-30^\circ$, 部分已遭受河流的侵蝕變陡。另有一種熔岩流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 (圖六, 七; ogive ridges; Francis, 1995; Cas and Wright, 1987;



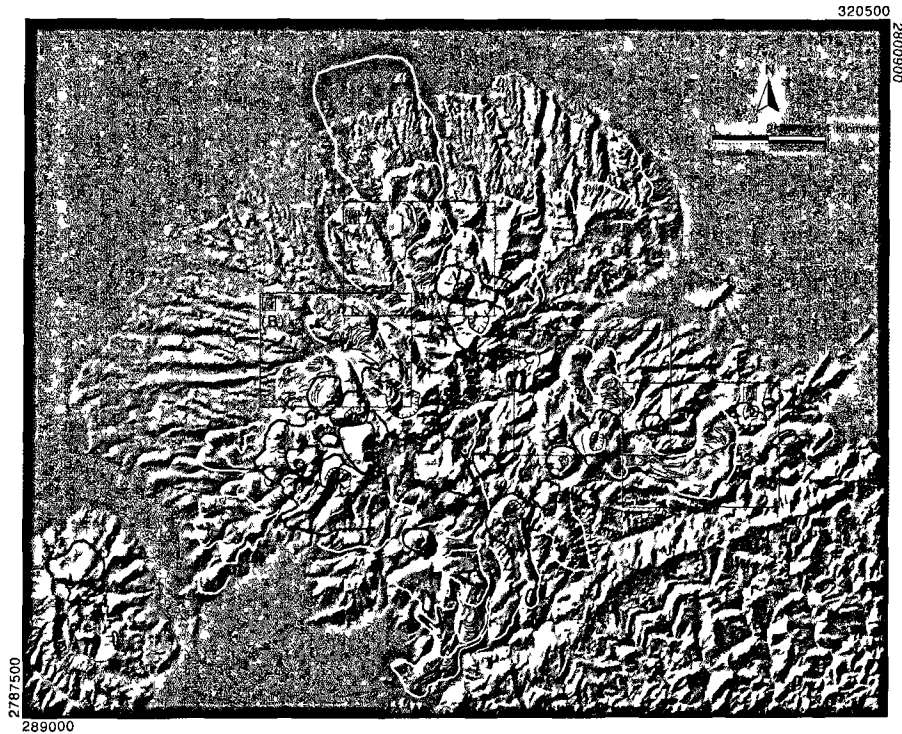
圖五 以數值地形模擬配合坡度分析可明顯辨識出火山口及熔岩平台。

Decker and Decker, 1981)，弧型脊的高度約有十數公尺。大屯山火山群的熔岩流大都具有數條平行的弧型脊構造，如小草山南側、磺嘴山北側與東側、小觀音山—竹子山北側與向天山西側等處的熔岩流（圖六，七）。舌狀熔岩流前端的弧型脊走向與熔岩流動的方向垂直，但流動速度較快時皺起的凸脊則與流動的方向平行（Cas and Wright, 1987；Decker and Decker, 1981）。從弧狀脊的產狀也顯示平台是由熔岩流所構成並非由火山碎屑流堆積的地形，這些地區在文獻中都畫為凝灰角礫岩分布區（Chen and Wu, 1971；黃鑑水，1988）。



圖六 從坡度變化可辨識出熔岩流動時造成的平行狀弧型脊，弧型脊的走向大致與熔岩流動的方向垂直，圖六的區域見圖七所示。

從熔岩流地形來看，以大屯火山區外圍保存最完整，可能噴發當時外側的地形較為平坦，在沒有受到阻隔的環境下形成舌狀的外形；如竹子山—小觀音山西北側，向天山西側，七星山南側以及磺嘴山東側與北側等地區都具有舌狀熔岩流地形（圖七）。但是大屯火山區中央地區卻未見熔岩流地形，原因之一可能因金山正斷層的作用造成河流向源侵蝕破壞了原有的地形。

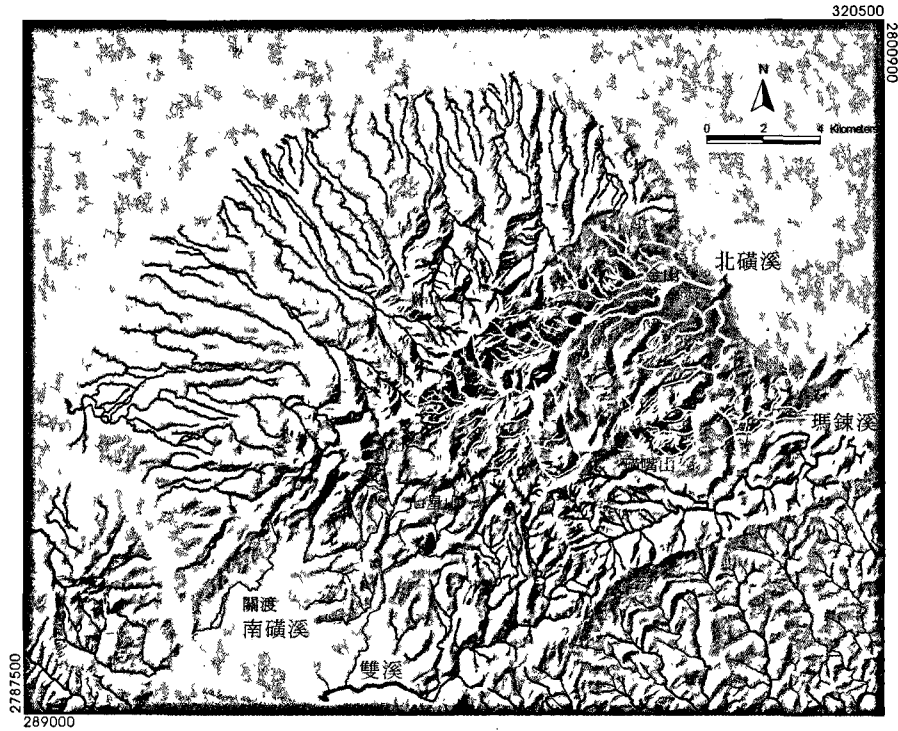


圖七 以數值地形及坡度分析可以辨識出大屯山地區共具四十幾道熔岩流，熔岩流以及熔岩平台上弧型脊。粗紅線表示火山口，藍線表示火山錐，黃線表示熔岩流外緣，紅線表示熔岩流形成的平行狀弧型脊。

由熔岩流的岩性對比以及熔岩的流向，可以清楚發現熔岩流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、嵩山 2、小觀音山等 4 個火山；向天山西側熔岩流是源自於向天山與面天山火山；七星山南側熔岩流可能源於內寮山、鹿寮坪莊山、七星山、白雲山、鵝米山與小草山等火山；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，舌狀熔岩流都位於缺口的下側，顯示熔岩流是由火山口缺口處向外流出所造成（圖七）。

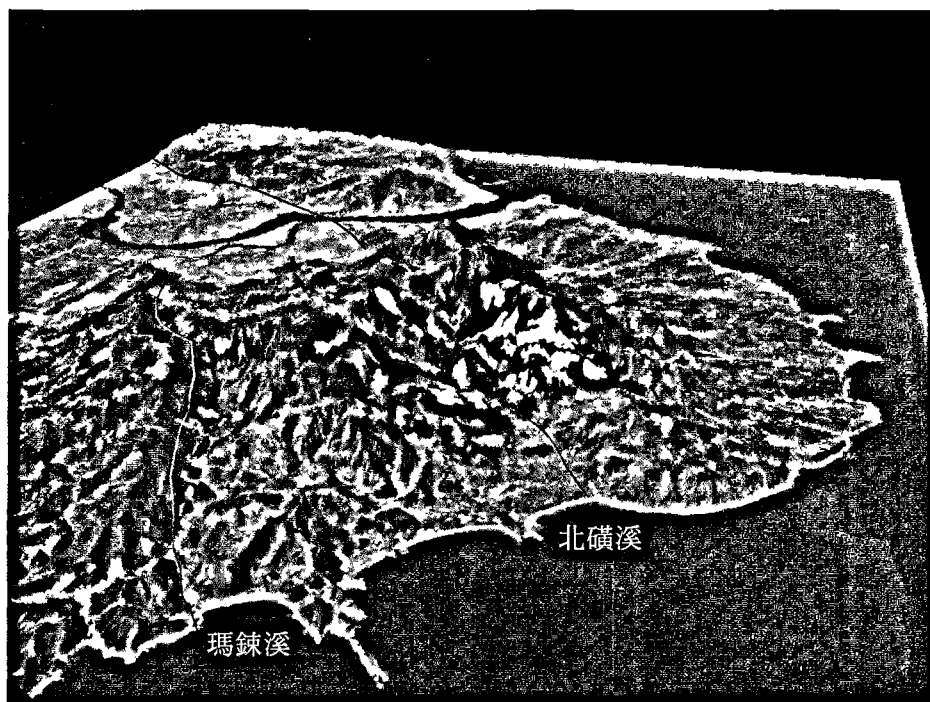
河 系 (drainage systems)

大屯山全區河流都源自於中央的火山群，如關渡—金山以北區域河流源自於嵩山—竹子山—小觀音山—向天山，以南地區源自於七星山—內寮山—磺嘴山等火山。北側地區河流型態較為單純，形成平行狀河系 (parallel pattern)，以竹子山—小觀音山—向天山為中心呈扇狀；河流發育主要為向源侵蝕，大都未發育至二級支流（圖八）。



圖八 水系型態顯示平行狀河系（淡藍色）分布在關渡—金山以北；北磺溪（黃色）、南磺溪，楓葉溪，貴子坑溪（紅色）、雙溪（綠色）、瑪鍊溪（藍色）屬於樹枝狀水系。樹枝狀水系大致以七星山—磺嘴山為中心分別向東北及西南發育。火山錐周圍的水系大都呈環狀或放射狀分布。

南側區域河流型態屬於樹枝狀河系（dendritic pattern），河系已發育至第三級支流（圖八），此地區有四條主要河流，北磺溪、南磺溪、瑪鍊溪與雙溪；瑪鍊溪與雙溪位於崁腳斷層的下盤與斷層走向平行，北磺溪位於金山正斷層上盤，也與斷層走向大致平行。此四條河流型態都屬於樹枝狀河系，上游發源於各火山錐，並於火山錐四周形成放射狀或環狀河系（圖八）。全區以嵩山—竹子山—小觀音山的山脊呈北東走向，南側（北磺溪上游）地形受到的侵蝕最為嚴重並已破壞原有火山地形，坡度都介於 $30-60^\circ$ 之間。北磺溪南側集水區域受到的侵蝕作用較為緩和，僅在各支流兩側形成坡度較陡的岩壁。從地形高度來看北磺溪南側地形高度較北側為低，由 SPOT 衛星影像顯示北磺溪—南磺溪（金山斷層）與瑪鍊溪與雙溪（崁腳斷層）之間形成一個北東向的低地（圖九）；低地地形是否與此地區長期以來正斷層構造系統的活動有關是值得深入探討的問題。



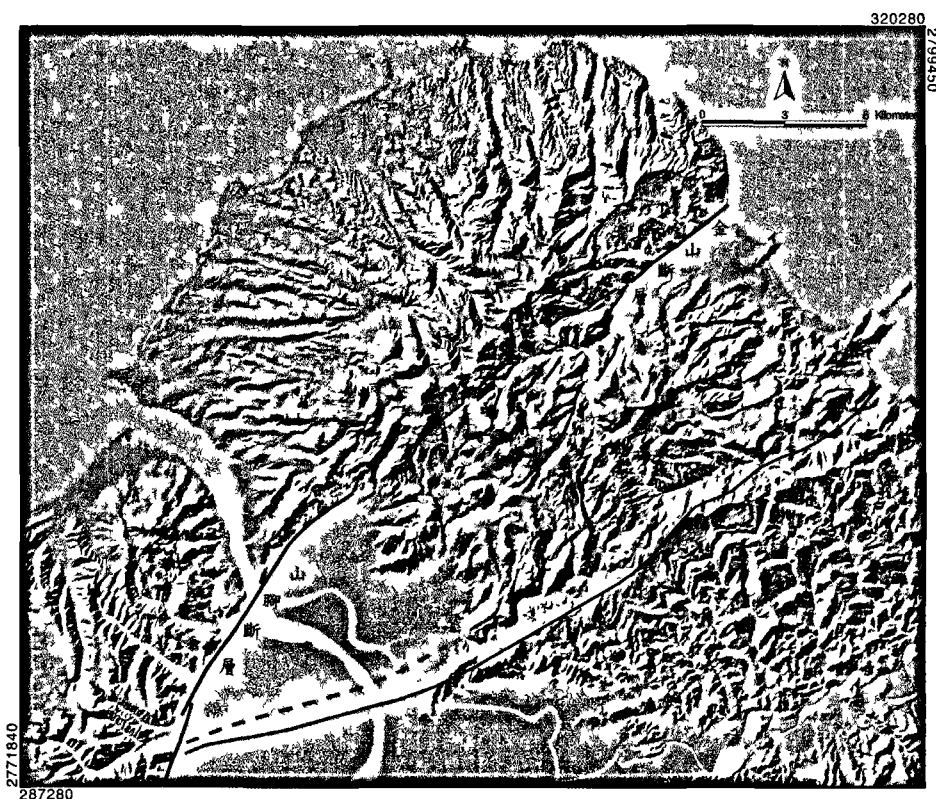
圖九 SPOT 衛星影像顯示北磺溪—南磺溪（金山斷層）與瑪鍊溪與雙溪（崁腳斷層）之間形成一個北東向的低地。

地質構造

大屯火山主要由中期—晚期更新世安山岩質火山以及最後一期玄武岩質熔岩流所構成的火山群（MRSO, 1969；Chen and Wu, 1971；黃鑑水，1988；李清瑞等，1994；Song *et al.*, 2000a）。更新世火山岩不整合覆蓋於褶皺的第三紀沉積岩層之上，基盤主要構造有金山逆斷層。因地表被大量火山岩覆蓋因此無法顯見斷層位置，但從零星沉積岩出露的位置來看，斷層應位在北磺溪北側。從兩者關係來看，金山逆斷層在火山噴發後顯然已沒有活動的跡象（黃鑑水，1988）。

北磺溪發育在金山沖積平原之上，河流走向與金山逆斷層大致平行。從金山沖積平原地形來看，北側可能有一正斷層造成上盤地塊下陷形成沖積平原。依金山外海的震測剖面也可以發現正斷層向西延伸至沖積平原，正斷層大致沿著金山逆斷層的位置再次活動形成正斷層（蕭力元等，1998）。正斷層造成沖積平原北側形成一個北東 50° 的線型崖，線型崖大致與逆斷層走向平行，本文將此正斷層稱為金山正斷層以便與原來金山逆斷層區分。北磺溪大致沿著線型崖向西南延伸

進入大屯山區，河谷呈 V 型的峽谷，河谷北側坡度大都在 30° 以上，是坡度最為陡峭區域。北磺溪北側多處的支流呈現懸谷地形，此地形可能表示北磺溪隨著正斷層的上盤下陷，造成位在北側下盤的支流形成懸谷地形。由北磺溪兩側的岩層來看，北岸出露五指山層（海拔 480 公尺）、南莊層與桂竹林層（海拔 220 公尺）等第三紀沉積岩基盤，而南岸並未出露任何沉積岩層。由鑽井岩心顯示北磺溪南側馬槽地區沉積岩的基盤（五指山層）位於海平面 400 公尺以下，北磺溪兩岸的基盤岩高度落差約 900 公尺，顯示北磺溪南側的第三紀基盤有明顯陷落現象（MRSO, 1969；李清瑞等，1994；Song *et al.*, 2000a）。從地表地形來看，北磺溪南側地區有多處呈北東向的線型構造，而溫泉、硫氣孔以及熱液換質帶也大多沿著線型分布（圖十；MRSO, 1969；李清瑞等，1994；Song *et al.*, 2000b），其中以截切七星山火山錐體的北東向線型最為明顯。



圖十 利用航照判釋大屯火山區存在多條線型（紅色），且溫泉及硫氣孔多沿線型分布（MRSO, 1969；李清瑞等，1994；Song *et al.*, 2000b）（ \oplus ：溫泉、S：硫氣孔）。

從一般火山地形來看，熔岩流沿著火山口四周流下，形成放射狀的熔岩流。但以大屯火山地區熔岩流的分布來看（圖七），竹子山—小觀音山—七星山—磺嘴山等火山錐之間（北磺溪上游），並未出現熔岩流地形。雖然，北磺溪上游的火山地形已受到河流嚴重的侵蝕破壞，但從各河川上游地形來看，北磺溪上游的侵蝕作用似乎最為劇烈。綜合上述火山與河流地形，溫泉、硫氣孔與熱液換質帶的分布以及第三紀基盤岩深度與火山岩堆積厚度等等特徵，顯示北磺溪南側長期以來受到正斷層作用形成大規模的下陷。

大屯山西南側地區，楓港溪東北側支流（龍鳳谷）與天母的南磺溪（地獄谷）都有溫泉、硫氣孔以及熱液換質帶分布。前人研究並沒有記載明顯的線型構造，但北東走向的南磺溪與北東走向的楓港溪是否與正斷層有關是值得探討的問題。從關渡地區的鑽井與震測的資料來看（長生國際開發股份有限公司，1999；萬鼎工程公司，1999；劉桓吉等，2000；石瑞銓，2001），山腳斷層延伸至關渡地區時即沒有資料顯示斷層是否繼續向東北方向延伸進入大屯山區。但是鑽井岩心資料顯示山腳斷層上盤至少下陷 600 公尺（MRSO, 1969；李清瑞等，1994）。如此大的地層落差下，山腳斷層理應繼續向東北延伸。因此本研究認為楓港溪與南磺溪的溫泉、硫氣孔以及熱液換質帶的形成可能與山腳—金山斷層的正斷層系統有必然的關係。

由大屯山地區的火山岩層與地形來看，沿金山—新莊逆斷層可能出露地表位置的火山地形（熔岩流與火山錐）尚保持完整。因此推論在大屯火山噴發之後，逆斷層作用已經停止。然而金山與山腳正斷層是否延伸至大屯火山地區，則是眾所討論的問題。假若依照金山外海以及臺北盆地西緣呈現的線型崖地形來看，其實大屯火山地區並未發現如此明顯的線型斷層崖結構，但是在北磺溪沿線卻呈現區段性北東向的線型結構。可能因為正斷層作用過程中，熔岩流持續堆積覆蓋在斷層之上，因而無法呈現明顯的斷層線型崖地形。但是在 20—10 萬年前，大屯火山最後期停止噴發之後，地表應會逐漸呈現受正斷層作用所切割形成的線型構造。若以山腳斷層的下陷量估計，20 萬年所造成上盤的沉陷量約為 300 公尺（Teng *et al.*, 2000）。但是現今地形並沒有發現猶如臺北盆地西緣長約十數公里的線型斷層崖。本文認為大屯山區之所以沒有形成明顯線型崖的原因是該地區是發育一系列小型的正斷層，此外遭受北磺溪與南磺溪的侵蝕而無法顯見線型結構。但從大屯山區鑽井岩心所呈現第三紀基盤的埋藏深度來看，可能是由數條正斷層形成對稱性的地塹構造（MRSO, 1969；李清瑞等，1994；Song *et al.*, 2000a）。依照前人研究（MRSO, 1969）以及本研究從航照判讀以及由火山地形

與地層結構來看，認為其中數條值得更深入調查的線型構造，其成因可能與正斷層作用有關（圖十）。此線型構造帶的西南側即為臺北盆地的西北隅，目前的鑽探資料表示臺北盆地的西側是由山腳斷層造成的半地塹構造（Teng *et al.*, 2000；蕭力元等，1998）。鑽探資料也顯示在崁腳斷層（圓山至新莊一線）與山腳斷層之間是臺北盆地下陷最深的區域（王執明等，1978）。其位置約在崁腳斷層以西，上盤基盤深度約兩百多公尺深，下盤基盤深度超過四百公尺以上（Teng *et al.*, 2000）。本研究認為新莊與崁腳斷層之間可能與大屯山地區的構造相似，兩側都是一系列正斷層構成的地塹構造（圖十）。

火山岩地層層序

大屯山地區火山岩地層層序以陳肇夏等（Chen and Wu, 1971）的研究較為完整，並具全面性的調查研究。臺北圖幅（黃鑑水，1988）大致延續陳肇夏等（Chen and Wu, 1971）的分層。莊文星、貝隆（Juang and Bellon, 1984）、莊文星、陳汝勤（1989）、莊文星（1993）、王文祥、陳正宏（Wang and Chen, 1990）、李淑芬（1996）以定年研究為主，並依定年結果訂定火山層序。本研究認為年輕火山岩地層層序的劃分先由定年的年代來決定會造成錯誤，無論火山岩或其他岩類地層層序的建立應先由野外所建置的層序為主，之後再以定年為輔（Anderson *et al.*, 1998）。陳肇夏等（Chen and Wu, 1971；黃鑑水，1988）的層序劃分雖以野外調查為主，但是地層分層方式有誤。其分層同時以岩性與岩相作為分層單位，如此方式極易造成地層層序的錯亂，例如地質圖中凝灰角礫岩層（岩相）與其他岩性地層單位的關係為何？從火山沉積作用來看，不同時期噴發物的岩相可以相同，因此相同岩相的火山岩可以分布於不同時期的岩性地層之中。本研究從野外查證地質圖的上部凝灰角礫岩的岩性具有橄欖石—角閃石—輝石安山岩、兩輝—角閃石安山岩、角閃石—兩輝安山岩與紫蘇輝石—角閃石安山岩等多種不同岩性的安山岩以及再堆積的火山碎屑岩。如此分層結果即會誤導以定年結果的分層。

莊文星、陳汝勤（1989）、王文祥、陳正宏（Wang and Chen, 1990）、曹恕中（1994）、李淑芬（1996）則以定年結果為分層的依據並以此解釋火山活動演化史。根據核飛跡、鉀—氬與氫—氬的定年分析，大屯火山主要的噴發年代小於一百萬年，但對於如此年輕的火山岩，其同位素定年往往有很大的誤差。因此對於年代如此相近且年輕的火山岩地層難以年代相近的定年結果解釋噴發的層序。

從以往的定年結果即已清楚的呈現此一問題，同一火山錐與熔岩流的定年年代經常相差甚大，且不同岩性火山岩的年代相互重疊，上層的火山岩層年代可以老於下層火山岩的年代；如此分析結果實在無法區分不同岩性火山岩的噴發層序。因此本文認為應先由野外建立火山層序，之後再考慮定年結果。但火山層序的建立略異於沉積岩地區，因為火山岩的堆積並非如沉積岩層呈水平狀態且連續，同時期火山岩經常局部堆積在火山錐四周，尤其黏滯性高的熔岩流經常呈局部分布在一側。因而欲建立眾多不同時期堆積的火山層序就顯得愈複雜；不同時期噴發的火山岩層可能相互沒有堆疊的關係，因而無法判斷層序關係。但是大屯火山群屬於較年輕的火山，火山地形保存尚為完整，因此可藉由熔岩相互堆疊的關係判斷火山層序。

因此，本研究欲以航照判讀與數值模擬地形來辨識大屯火山的火山錐與熔岩流地形，並以熔岩流堆疊的關係判斷各種火山岩的層序，結果顯示大屯山火山群可以辨識出四十幾道保存完整的熔岩流，分布區域有竹子山—小觀音山北側（14道熔岩流）、向天山—烘爐山西側（9道）、七星山—鹿寮坪莊山南側（9道）與磺嘴山的北側（5道）與東側（3道）（圖七）。下列以各地區熔岩流的疊置關係來劃分各岩性的火山層序。

竹子山—小觀音山：熔岩流岩性屬於兩輝安山岩，未發現與其他火山岩有疊置關係，但由地質圖（黃鑑水，1988）表示竹子山南側兩輝安山岩熔岩流覆蓋在兩輝—角閃石安山岩之上。烘爐山：是大屯山地區最後期噴發的火山岩（Hwang and Lo, 1986），玄武岩熔岩流覆蓋在兩輝—角閃石安山岩熔岩流之上。二子山：二子山與大屯山的岩性為紫蘇輝石—角閃石安山岩，地質圖顯示紫蘇輝石—角閃石安山岩噴發在兩輝—角閃石安山岩熔岩流之上。南大屯山：南大屯山南側的兩輝安山岩熔岩流覆蓋在角閃石—兩輝安山岩熔岩流之上。七星山—紗帽山：火山錐的岩性為紫蘇輝石—角閃石安山岩，噴發覆蓋在角閃石—兩輝安山岩與兩輝—角閃石安山岩熔岩流之上。冬瓜山—磺嘴山：磺嘴山南側層序為橄欖石—角閃石—輝石安山岩熔岩流覆蓋在兩輝—角閃石安山岩與角閃石—兩輝安山岩熔岩流之上，北側層序是橄欖石—角閃石—輝石安山岩熔岩流覆蓋在紫蘇輝石—角閃石安山岩熔岩流之上，紫蘇輝石—角閃石安山岩熔岩流覆蓋於角閃石—兩輝安山岩熔岩流之上。從上述各地區火山熔岩流疊置的層序關係來看，可以明確建立一套由下到上的岩性層序如下：角閃石—兩輝安山岩、兩輝—角閃石安山岩、兩輝安山岩、紫蘇輝石—角閃石安山岩、橄欖石—角閃石—輝石安山岩、玄武岩。馬槽地區的鑽井資料亦發現有相似的層序，角閃石—兩輝安山岩、兩輝—角閃石安山岩

與含普通輝石—紫蘇輝石—角閃石安山岩 (MRSO, 1969; 李清瑞等, 1994)。此外有兩種岩性分布範圍非常局部，一是角閃石安山岩僅出露在八斗山地區，另一位在金山西側的普通輝石—角閃石安山岩，因為無法從野外判斷與其他岩性關係，目前無法確定其相關的層位。

討 論

火山地形特徵與火山堆積物特性有密切關係，如火山碎屑流形成的火山錐坡度通常都在 30° 以下，斜坡型態呈向上凹的斜面；但黏滯性高熔岩流所形成的火山錐坡度比較大且呈現上凸型的火山斜坡。下面就由火山地形與火山岩相的特徵來探討大屯火山的噴發型態。

從大屯火山的地形來看，除了之前所認定的火山之外 (Chen and Wu, 1971)，本研究認為尚有幾個可能為火山錐的地形，如白雲山 (李淑芬, 1996)、小草山、鵝米山、嵩山 1 與嵩山 2 等 5 個火山，總共具有 29 個大大小小的火山錐 (圖二)。各火山錐的坡度大都在 $20-40^\circ$ 之間，火山斜坡呈向上凸的斜面。從火山剖面來看大屯火山群的火山都屬於圓頂狀火山形態 (lava dome)，與火山碎屑堆積呈上凹的火山錐型態迥異。因此，大屯火山的圓頂狀火山可能是由黏滯性高的安山岩熔岩流 (andesitic lava) 所堆積，並非由火山碎渣構成的火山渣錐 (debris cone)，其實地質圖亦顯示大部分火山錐的區域都屬於熔岩流的岩性。

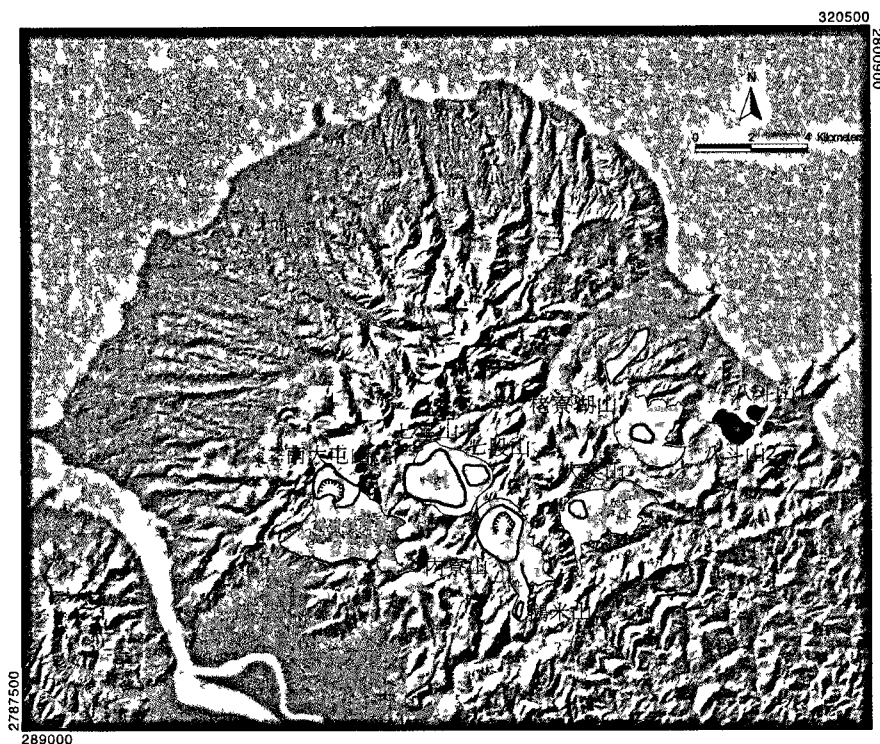
根據地質圖 (Chen and Wu, 1971; 黃鑑水, 1988) 與之後相關研究 (Wang and Chen, 1990; Song and Lo, 1995; Song *et al.*, 2000a)，顯示大屯火山地區有分布面積非常廣泛的火山碎屑岩。火山碎屑岩的類型有火山角礫岩 (pyroclastic breccias)、火山凝灰岩、火山湧浪堆積層 (surges)、火山泥流 (lahars) 以及再積性火山碎屑岩 (epiclastics) (Song and Lo, 1995; Song *et al.*, 2000a)。經野外初步調查顯示地質圖所示的上部凝灰角礫岩大都是經由熔岩風化造成的土壤層以及再堆積的火山碎屑岩，並非由火山噴發堆積的凝灰角礫岩。野外產狀顯示地表紅土層中殘留的火山岩塊具有熔岩流的流紋構造，並且未發現具有火山角礫岩產狀的岩塊以及凝灰質的產物。風化層中的岩塊應原屬於熔岩流的產狀，經風化形成厚層的紅土風化層，其中夾有殘留未經完全風化的熔岩岩塊，此種產狀經常被誤認為凝灰角礫岩。另一種原因是安山岩質熔岩流的黏滯性高，流動時表面冷卻形成硬殼，之後又被流動的熔岩擠壓形成碎塊，所以熔岩流表層經常形成碎

塊，稱為碎塊熔岩流（blocky lava；Francis, 1995）。之後沿著碎塊熔岩的裂隙或節理風化，形成厚層土壤層中夾有零星未風化的熔岩岩塊，此種產狀也可能被誤認為是凝灰角礫岩。從多處被劃為凝灰角礫岩層的地形來看發現都位在熔岩流平台的表面。本研究認為之前在熔岩平台地區所劃的凝灰角礫岩都應屬於熔岩流。

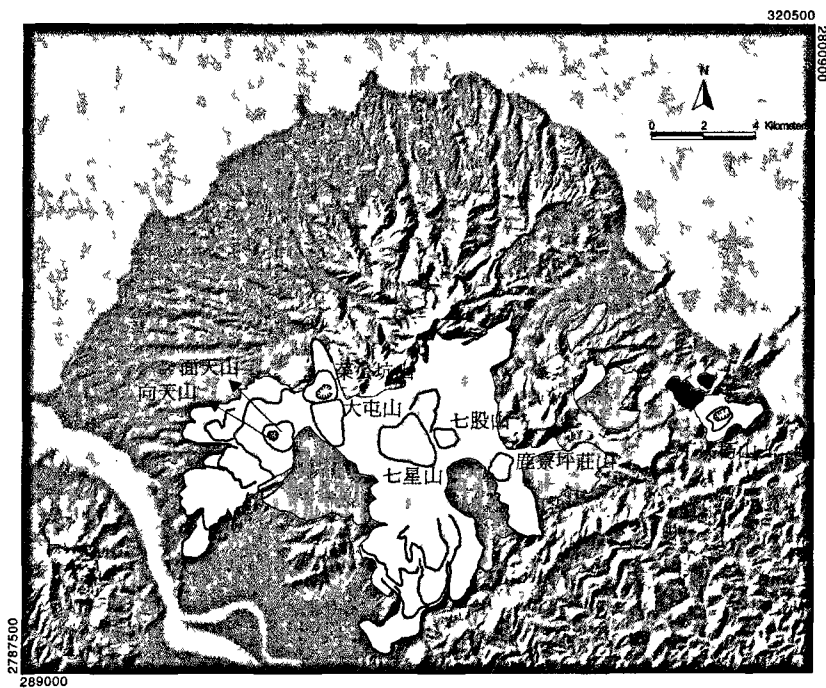
本研究從多處的野外露頭發現原訂為凝灰角礫岩經常是崖錐崩積層（colluvial deposits），或由河流搬運形成的淘選度良好、次圓形礫石的沉積層並具有平行與交錯層理的砂礫層（fluvial deposits）。部分沉積層的產狀具有角礫狀火山碎塊，淘選度差，有時呈基質支持構造，這是經由碎屑流或泥流（debris flow, lahars）的堆積層。上述的火山碎屑沉積層大都發現在現今河流兩側或坡面。本研究認為文獻中所述火山角礫岩、火山灰、火山湧浪堆積層、火山泥流大都屬於後期在地表堆積的再積性火山碎屑岩。原因有下列幾點：（1）鑽井岩心資料顯示表層數十公尺之下的火山岩都屬於熔岩流，最厚可達 1500 公尺，顯然早期噴發為熔岩流。（2）由火山錐外形以及熔岩流的產狀，表示此類型火山的噴發物應以熔岩流為主。（3）若長期持續有火山碎屑物的噴發物，為何鄰近的臺北盆地沉積層以及井下資料未曾發現凝灰角礫岩。若有凝灰岩或角礫岩的噴發物，應可遍布於鄰近地區地表以及臺北盆地中。（4）目前文獻所記載的火山碎屑岩都出露於地表，未曾記載熔岩流中夾有大量的火山碎屑岩層。本研究認為大部分的火山碎屑岩層都是在火山噴發結束後表層熔岩流受風化形成的土壤層或崖錐堆積的火山碎屑岩以及再積性火山碎屑岩。本文也不排除噴發當時也會產生火山湧浪堆積層，但可能僅屬於少部分，如小油坑地區。各噴發時期多少都有再積性火山碎屑岩的堆積，早期產物可能被熔岩流所覆蓋或沉積在臺北盆地之中，但大屯山地區地表所見的再積性火山碎屑岩應屬於後期的堆積層。

現生或年輕的火山層序須先以地形來判讀不同時期的熔岩流或碎屑流，再由堆積關係建立層序。大屯火山的火山錐與熔岩流地形保存相當完整，本研究利用熔岩流的疊置關係建立以下熔岩流由老至新的層序，角閃石—兩輝安山岩、兩輝—角閃石安山岩、兩輝安山岩、紫蘇輝石—角閃石安山岩、橄欖石—角閃石—輝石安山岩、玄武岩。其中角閃石安山岩的層序未能確定，但以八斗山不完整的火山錐地形以及定年資料推測可能屬於較早期的火山。若依據此層序即可以推演大屯火山群各火山的噴發次序如下，第一期（角閃石安山岩）：八斗子山 1、八斗子山 2（圖十一之一）。第二期（角閃石—兩輝安山岩）：大尖山、內寮山、七星山、七股山、南大屯山、鵝米山、桫寮湖山（圖十一之一）。第三期（兩輝—角閃石安山岩）：丁火朽山、鹿寮坪莊山、七星山、七股山、菜公坑山、大屯

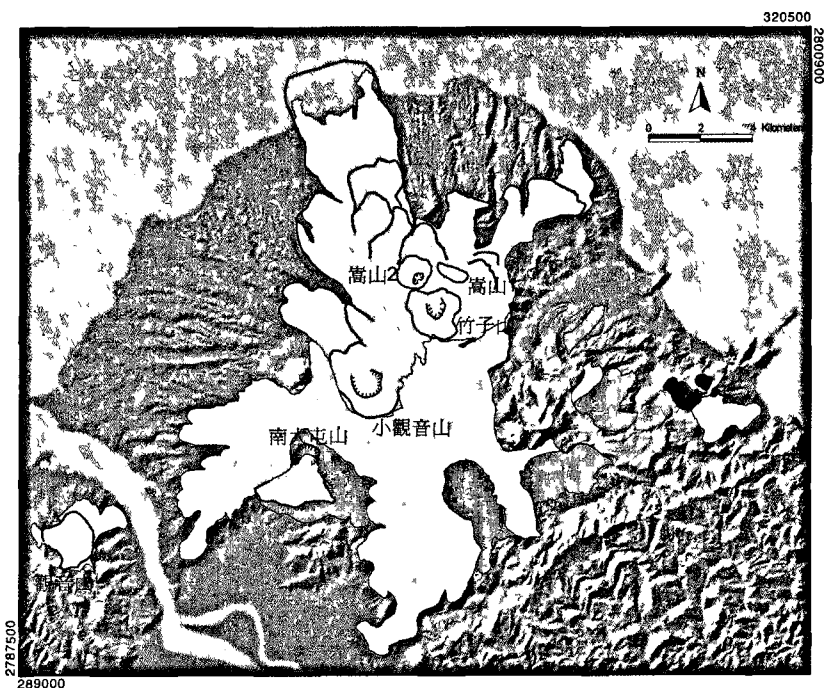
山、面天山、向天山、白雲山、小草山（圖十一之二）。第四期（兩輝安山岩）：南大屯山、小觀音山、竹子山、嵩山 1、嵩山 2、觀音山（圖十一之三）。第五期（紫蘇輝石-角閃石安山岩）：七星山、大屯山、二子山、紗帽山、八煙山、觀音山（圖十一之四）。第六期（橄欖石-角閃石-輝石安山岩）：冬瓜山、磺嘴山（圖十一之五）。第七期（玄武岩）：烘爐山與觀音山地區（圖十一之六）。火山活動停止之後，大屯火山群周圍堆積了再積性火山碎屑岩（圖十一之七）。



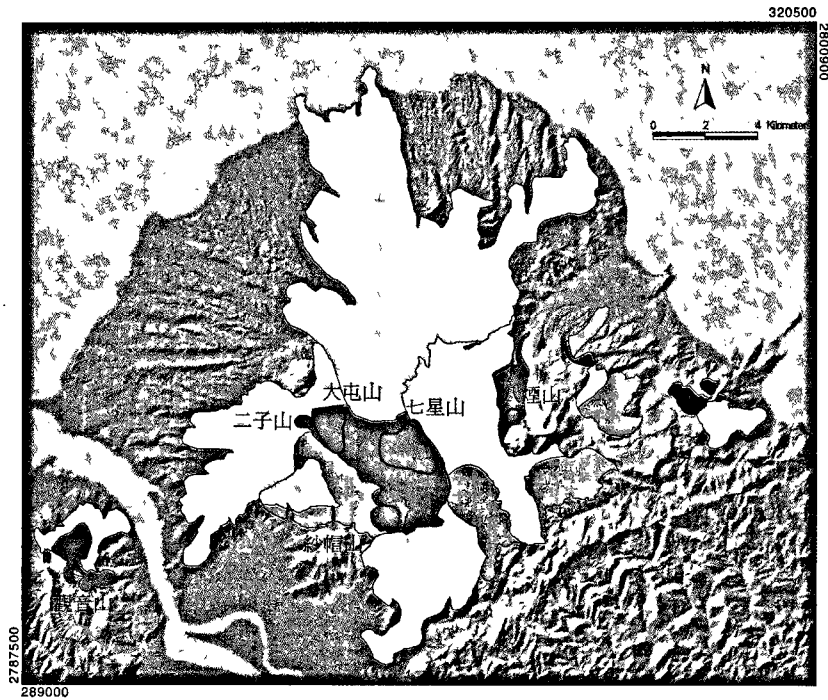
圖十一之一 第一期火山噴發（角閃石安山岩）：八斗子山 1、八斗子山 2。第二期（角閃石-兩輝安山岩）：大尖山、內寮山、鵝米山、七星山、七股山、南大屯山、柘寮湖山。



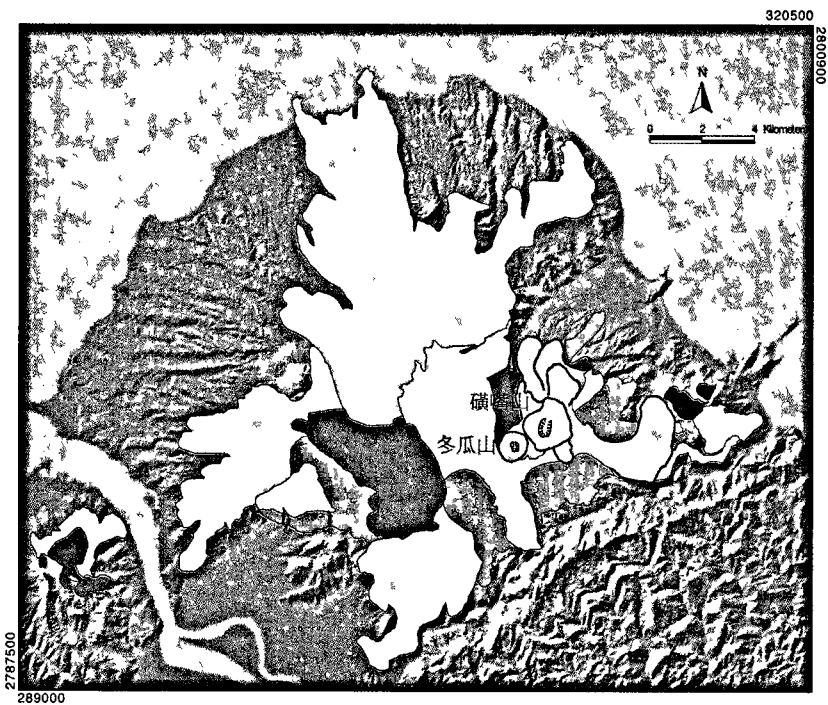
圖十一之二 第三期火山噴發（兩輝一角閃石安山岩）：丁火朽山、七星山、七股山、鹿寮坪莊山、菜公坑山、大屯山、面天山、向天山、小草山、白雲山。



圖十一之三 第四期（兩輝安山岩）：南大屯山、小觀音山、竹子山、嵩山1、嵩山2、觀音山。



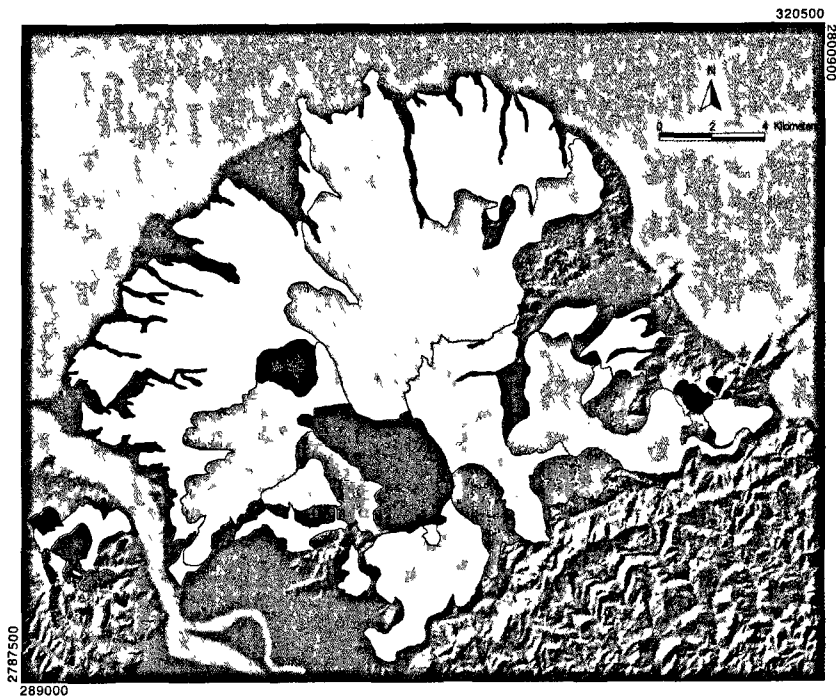
圖十一之四 第五期（紫蘇輝石—角閃石安山岩）：七星山、大屯山、二子山、紗帽山、八煙山、觀音山。



圖十一之五 第六期（橄欖石—角閃石—輝石安山岩）：冬瓜山、礦嘴山。



圖十一之六 第七期（玄武岩）：烘爐山與觀音山地區。



圖十一之七 火山活動停止之後，再積性火山碎屑岩主要堆積於大屯火山群周圍。

以上敘述是以火山岩性為依據，推論火山形成次序，而同一個火山可以長期持續的活動，在不同時期噴發不同岩性的岩漿，如觀音山火山長期以來噴發三種不同岩性的岩漿（Hwang and Lo, 1986）。因此，各火山可能會有數個噴發階段，各時期產生不同岩性的熔岩；如七星山火山錐的岩性為紫蘇輝石—角閃石安山岩，但地下火山岩的岩性為角閃石—兩輝安山岩與兩輝—角閃石安山岩，因此推測有三期不同岩性的岩漿噴發。從大屯火山地區的定年資料來看，部分年代屬於晚上新世至早更新世（Juang and Bellon, 1984；莊文星、陳汝勤，1989；Wang and Chen, 1990），但由地層層序來看以及以同層火山岩定年的結果來看，顯然這些屬於晚上新世至早更新世的定年結果與地層層序不吻合，本文認為這些定年資料有重新檢討的必要。從以往定年分析結果表示同一岩性熔岩流或火山錐體的年代經常有重疊的現象，有時會產生下層熔岩流年代較為年輕的不合理現象。本文認為目前定年結果僅提供大屯火山的噴發時代約在一百多萬年至十數萬年之間，至於作為分層的依據則僅可作參考。

由鑽井岩心以及地表地質顯示第三紀沉積岩岩盤出露的海拔高度，在北磺溪南側岩盤的埋藏深度較深，火山岩的厚度最厚可達 1500 公尺，呈雙邊岩盤沉陷的地塹構造（MRSO, 1969；李清瑞等，1994；Song *et al.*, 2000a）。從地塹的位置來看，似乎與東北側金山正斷層的下陷區以及西南側臺北盆地的最大沉降區可以連接。由臺北盆地的鑽井資料顯示，盆地西側（圓山—新莊以西）基盤深度最深，為由一主要正斷層形成的半地塹構造（Teng *et al.*, 2000；蕭力元等，1998）。鑽探資料顯示在崁腳斷層（圓山至新莊一線）與山腳斷層之間是臺北盆地下陷最深的區域；三重與五股地區基盤下陷量可達 600 公尺以上，此基盤沉降深度與大屯山地區相當。由大屯山與臺北盆地的構造來看，中期更新世以來第三紀岩盤的沉降以金山正斷層與山腳斷層上盤前緣的沉降量最大，似乎呈一北東向的沉陷槽。從構造來看，沉陷槽大致位在金山—新莊逆斷層與崁腳斷層之間。大屯山地區的溫泉與硫氣孔也都分布在帶狀的沉陷區之間，可能顯示此沉陷區還持續的活動。本研究認為新莊與崁腳斷層之間可能與大屯山地區的構造相似，為兩側都具有一條主要的正斷層所形成的地塹構造（圖十）。

本研究認為陳肇夏等（1971）、黃鑑水（1988）的地層層序劃分有誤，火山凝灰角礫岩（岩相）大致依照角礫岩岩性來分層，但目前所見凝灰角礫岩都位於地表，未曾發現凝灰角礫岩被熔岩流覆蓋。先前訂定的凝灰角礫岩屬於地表風化層與再積性火山碎屑岩，因而將地表風化層歸為熔岩流之下的地層單位，再積性火山碎屑岩另建為一地層單位。重新修改凝灰角礫岩分布區域是依照鄰近熔岩流

的地層單位來填補，但是地表所見都是風化土壤層或崩積層，無法確切劃定不同岩性熔岩的界線。大屯山區地表土壤層與植被覆蓋層也造成劃定岩層界線有諸多的困難，因此目前根據火山地形以及鑽井資料來推斷各不同岩性的熔岩流分布範圍也是合理的方法之一；圖十一之七再經修改的熔岩流岩性界線僅作為參考。

結 論

中期更新世之後，北臺灣進入後造山的張裂環境，大量岩漿沿著正斷層的斷裂帶上湧形成北臺灣的火山活動（Wang *et al.*, 1999）。金山－山腳正斷層形成時代可能與大屯火山的噴發年代相近。大屯山地區的正斷層構造雖不明顯，但由火山岩厚度、基盤岩深度、東北向線型構造以及溫泉、硫氣孔與熱液換質帶的分布來看，顯然大屯山地區還持續受到正斷層的作用。從大屯火山地區形成正斷層區域以及臺北盆地與金山沖積平原的主要下陷區來看，金山－山腳正斷層東側大致可以連接呈一個北東向的帶狀下陷區。

從數值模擬地形、航照判讀結果可以清楚解讀大屯火山地形，約有 29 座圓頂狀火山錐與 40 幾道熔岩流。從井下岩心資料以及火山錐與熔岩流地形顯示大屯火山長期產出的火山岩都以熔岩流為主。本研究從熔岩流層序建立大屯火山群的岩漿噴發層序如下：角閃石安山岩、角閃石－兩輝安山岩、兩輝－角閃石安山岩、兩輝安山岩、紫蘇輝石－角閃石安山岩、橄欖石－角閃石－輝石安山岩、玄武岩。

誌 謝

本研究於此特向經濟部中央地質調查所致謝，提供多方之支持與贊助，才能使本研究順利進行與推展。本研究經費來自經濟部中央地質調查所計畫（91EC2A38104 與 92EC2A380204）之贊助。本文章內多處圖片已在「地質」第二十二卷第一期刊登。

參 考 文 獻

- 王執明、鄭穎敏、王源（1978）臺北盆地之地質及沉積物研究。臺北市政府委託報告，共 25 頁。
- 石瑞銓（2001）臺北都會區工程地質之臺北關渡平原基盤深度震測計畫。經濟部中央地質

- 調查所報告，第 90-08 號，共 73 頁。
- 林啓文、張徽正、盧詩丁、石同生、黃文正 (2000) 臺灣活動斷層分布圖說明書。經濟部中央地質調查所特刊，第十三號，共 122 頁。
- 李淑芬 (1996) 大屯火山群七星山亞群熔岩層序之研究。國立臺灣大學地質科學系研究所碩士論文，共 136 頁。
- 李清瑞、江道義、陳榮輝 (1994) 臺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，共 106 頁。
- 莊文星、陳汝勤 (1989) 臺灣北部火山岩之定年與地球化學研究。經濟部中央地質調查所彙刊，第五號，第 31-66 頁。
- 長生國際開發股份有限公司 (1999) 中正國際機場至臺北捷運系統設計畫-山腳斷層調查工作報告，共 51 頁。
- 張徽正、林啓文、陳勉銘、盧詩丁 (1998) 臺灣活動斷層分布圖說明書，經濟部中央地質調查所特刊，第十號，共 103 頁。
- 黃鑑水 (1988) 五萬分之一臺北地質圖幅，第 4 號，經濟部中央地質調查所，共 46 頁。
- 萬鼎工程公司 (1999) 臺北市政府捷運局臺北都會區大眾捷運系統新莊線 DK196 設計標工程細部設計服務路廊範圍段層調查工作報告，共 100 頁。
- 蕭力元、黃旭燦、鄧屬予、林國安 (1998) 臺灣新畿褶皺帶南段的構造特徵。臺灣石油地質，第 32 期，第 133-153 頁。
- 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，第九號，第 137-154 頁。
- 劉桓吉、蘇泰維、李錦發、紀宗吉、林朝宗 (2000) 山腳斷層之活動性及其對工程安全之影響。經濟部 89 年度研究發展專題，共 30 頁。
- 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. Am. Bull.*, 110, 10, 1258-1267.
- Cas, R.A.F. and Wright, J.V. (1987) *Volcanic successions: modern and ancient*. London, Allen and Unwin, 528p.
- Chen, C.H. (1975) Petrological and chemical study of volcanic rocks from Tatun volcano group. *Proc. Geol. Soc. China*, 18, 59-72.
- _____ 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, 244p.
- Francis, P. (1995) *Volcanoes*. Oxford Univ. press., 443p.

- Hwang, W.T. and Lo, H.J. (1986) Volcanological aspects and the petrogenesis of the Kuanyinshyshan volcanic rocks, northern Taiwan. *Acta Geol. Taiwanica*, 24, 123-148.
- Juang, W.S. (1993) Diversity and origin of quaternary basaltic magma series in northern Taiwan. *Bull. National Museum Nat. Sciences*, 4, 125-166.
- _____ and Bellon, H. (1984) The potassium-argon dating of andesites from Taiwan. *Proc. Geol. Soc. China*, 27, 86-100.
- MRSO (1969) The geothermal exploration of the Tatun volcano group (I). MRSO Report, 90p.
- Song, S.R. and Lo, H.J. (1995) The source and origin of the volcanoclastics in Linkou formation of northern Taiwan. *Jour. Geol. Soc. China*, 38, 287-314.
- _____, Tsao, S.J. and Lo, H.J. (2000a) Characteristics of the Tatun volcanic eruptions, northern Taiwan: Implications for A Cauldron formation and volcanic evolution. *Jour. Geol. Soc. China*, 43, 361-378.
- _____, Yang, T.Y., Yen, Y.H., Tsao, S.J. and Lo, H.J. (2000b) The Tatun volcano group is active or extinct? *Jour. Geol. Soc. China*, 43, 521-534.
- Teng, L.S. (1996) Extensional collapse of the northern Taiwan mountain belt. *Geology*, 24, 949-952.
- _____, Yuan, P.B., Yu, N.T. and Peng, C.H. (2000) Sequences stratigraphy of the Taipei basin deposits: A preliminary study. *Jour. Geol. Soc. China*, 43, 497-520.
- Wang, K.L., Chung, S.L., Chen, C.H., Shinjo, R., Yang, T.Y. and Chen, C.H. (1999) Post-collision magmatism around northern Taiwan and its relation with opening of the Okinawa trough. *Tectonophysics*, 308, 363-376.
- 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.

VOLCANIC LANDFORM AND SEQUENCES OF THE TATUN VOLCANOES

Wen-Shan Chen¹, Chi-Cheng Yang¹, Hsiao-Chin Yang¹
and Jin-King Liu²

ABSTRACT

Based on the digital topographic model (DTM) of the Tatun volcanic area, the map of the distribution and surface features of volcanoes identifies 29 volcanic cones and more than 40 lava lobes. The Tatun volcanoes may dominantly erupt as andesite lava and a few pyroclastics. The profile of volcano cones were commonly characterised by a convex surface and steeply volcanic slope from 20 to 40 degrees. Lava flows have high viscosity with steep flow-fronts and a lava platform dominated by concentric ogives. Based on the map of the relationship of lava flows, here we reconstruct the Tatun volcanic sequences to 7 lava-units, which the lithologic sequences are divided in ascending order into hornblende andesite, hornblende-two pyroxene andesite, two pyroxene-hornblende andesite, two pyroxene andesite, hypersthene-hornblende andesite, olivine-hornblende-pyroxene andesite, and basalt.

Key words: volcanic landform, Tatun volcanoes, volcanic cone, lava lobe

1. Department of Geosciences, National Taiwan University

2. Industrial Technology Research Institute, Energy and Resources Laboratories.