

陽明山國家公園全區土壤分析調查

陽明山國家公園管理處委託研究報告

中華民國九十七年十二月

(國科會 GRB 編號)

PG9703-0218

陽明山國家公園全區土壤分析調查

受委託者：國立宜蘭大學自然資源學系

研究主持人：蔡呈奇 副教授

協同主持人：陳尊賢 教授 (國立臺灣大學農業化學系)

黃政恆 副教授 (國立中興大學土壤環境科學系)

研究助理：張瑀芳、李家興、蘇紹瑋、黃正介、崔君至、廖健利

陽明山國家公園管理處委託研究報告

中華民國九十七年十二月

目次

表次	II
圖次	III
摘要	V
第一章 緒論	1
第一節 研究緣起與背景	1
第二章 材料與方法	3
第一節 研究區的環境概況	3
第二節 本研究代表性土壤的調查、採樣與分析	8
第三章 結果與討論	13
第一節 蒐集之資料與文獻分析	13
第二節 本研究之土壤調查結果	22
第三節 國家公園園區內土壤的分類與分布模式	33
第四章 結論與建議	55
第一節 結論	55
第二節 建議	56
附錄一 本研究所調查土壤樣點之理化性質分析	57
附錄二 名詞解釋	63
附錄三 期中報告會議紀錄	67
附錄四 期末報告會議紀錄	69
附錄五 陽明山全區土壤分析調查解說摺頁初稿	71
參考書目	75

表次

表 2-1 鞍部與竹子湖及淡水與台北氣象站 1971-2000 年的月平均氣溫(°C)	8
表 2-2 鞍部與竹子湖及淡水與台北氣象站 1971-2000 年的月平均降雨量(mm)	8
表 3-1 陽明山國家公園前人研究 88 個土壤樣體之所在位置座標、環境特徵與土壤分類結果	18
表 3-2 88 個土壤樣體之環境特徵與土壤性質之敘述統計分析	21
表 3-3 88 個土壤樣體的分類結果與個數統計表	21
表 3-4 本研究所採集之 34 個土壤剖面的座標位置、環境特徵與土壤分類	23
表 3-5 121 個土壤樣體的分類結果與個數統計表	32
表 3-6 大屯山區兩條截線路徑採樣點之所在位置座標、環境特徵與土壤分類結果	45
表 3-7 七星山區兩條截線路徑採樣點之所在位置座標、環境特徵與土壤分類結果	46
表 3-8 截線路徑 40 個土壤樣體之環境特徵與土壤性質之敘述統計分析	47
表 3-9 截線路徑 40 個土壤樣體的分類結果與個數統計表	47
表 3-10 截線路徑 40 個土壤樣體之土系歸類	48
表 3-11 歸類自截線路徑 40 個土壤樣體之 10 個土系的特徵	48

圖次

圖 2-1 陽明山國家公園地形系統分區	4
圖 2-2 陽明山國家公園植被略圖	5
圖 2-3 本研究計畫預計採樣之五條截線路徑	9
圖 3-1 陽明山國家公園內前人研究之 88 個土壤樣體的分布位置	13
圖 3-2 本研究調查之 34 個土壤樣點的分布位置圖	22
圖 3-3 不在截線上的 4 個土壤樣點的剖面照片	24
圖 3-4 Y1 截線之 4 個土壤樣點分布相對位置示意圖與土壤剖面照片	26
圖 3-5 Y2 截線之 10 個土壤樣點分布相對位置示意圖與土壤剖面照片	27
圖 3-6 Y3 截線之 5 個土壤樣點分布相對位置示意圖與土壤剖面照片	29
圖 3-7 Y4 截線之 3 個土壤樣點分布相對位置示意圖與土壤剖面照片	30
圖 3-8 Y5 截線之 8 個土壤樣點分布相對位置示意圖與土壤剖面照片	31
圖 3-9 陽明山國家公園內前人研究與本研究共 117 個土壤樣體的分布位	33
圖 3-10 灰燼土、弱育土與極育土所在位置之海拔高度與坡度的分布狀況	35
圖 3-11 陽明山國家公園之(a)數值等高線圖與(b)3D 魚網圖	36
圖 3-12 陽明山國家公園之土綱土壤圖	37
圖 3-13 大屯山與七星山調查區各兩條截線路徑上土壤採樣點的分布示意圖	39
圖 3-14 大屯山 TT1 截線路徑上 12 個土壤樣體的分佈位置圖	41
圖 3-15 大屯山 TT2 截線路徑上 8 個土壤樣體的分佈位置圖	42
圖 3-16 七星山 CT1 截線路徑上 10 個土壤樣體的分佈位置圖	43
圖 3-17 七星山 CT2 截線路徑上 10 個土壤樣體的分佈位置圖	44
圖 3-18 大屯山調查區之土壤-地形分布示意圖	50
圖 3-19 大屯山調查區之土壤-地形分布示意圖	51
圖 3-20 大屯山區二萬五千分之一之土系土壤圖與大土類土壤圖	53
圖 3-21 七星山區二萬五千分之一之土系土壤圖與大土類土壤圖	54

學明一書

摘要

關鍵詞：土壤調查、火山灰土壤、土綱、土壤圖、灰燼土

一、研究緣起

土壤是植物健康的首要條件。為清楚了解陽明山國家公園區土壤組成及人類活動頻繁區對土壤所帶來的影響，應設立長期觀測以因應園區所產生之變化。因此本研究將進行全區土壤分析調查，並將園區內的前人研究資料合併分析，建立陽明山國家公園內火山灰土壤之主要土類的分佈概況與土壤分類，建立土壤發生模式，並以土綱圖之完成為初步目標，並完成代表性土壤的採樣(直達母岩)調查。

二、研究方法及過程

本研究依前人研究樣點的配置概況，設置五條截線路徑，共調查 34 個土壤樣點，並依美國新土壤分類系統(Soil Survey Staff, 2006)的分類原則，命名至土綱(Soil Order)、亞綱(Suborder) 及大土類(Soil Great Group)。另外，利用園區內的所有土壤調查點來嘗試建立園區的土壤-地形分布模式，園區內無法調查的地區，將盡量以園區內其他相似環境或相似地形的地區的調查結果來推估可能的土壤類型(土綱)。本研究的目的是在於探討調查區內不同土壤的生成與在地形上的分佈，以土綱圖之完成為初步目標，以作為陽明山國家公園土壤資源的基本資料庫。

三、重要發現

本研究以截線路徑的採樣方式，設計五條截線共調查 34 個土壤樣點。整體而言，有 25 個樣體分類為灰燼土、6 個樣體分類為弱育土與 3 個樣體分類為極育土；本區的土壤受到火山灰母質的影響很大，雖然有少部份的弱育土甚至極育土的化育，但是土壤的特性仍多多少少遺留著火山灰母質的特性。另外，土壤的分布與地形間似乎沒有一定的關係或趨勢，是否因為調查樣點不足或受到氣候的影響，進一步的探討有其必要性。

區內土壤的分布模式，灰燼土的分布多在海拔 700 公尺以上，弱育土出現的位置較分散，極育土的出現較特殊，應該是局部地區的土壤變異。園區內灰燼土的分布位置似乎多與弱育土重疊，常會有誤判的情況，如果能找到或發展出適合的土壤指標，以 1~2 項能簡易分析的土壤性質配合幾項土壤形態特徵，作為灰燼土的判斷依據，除了能減少土壤分類上的誤判，也可以加速調查工作的進行。另外，園區的山勢多陡峭，地形不穩定的干擾顯著影響土壤的化育。

依據前人研究與本研究之土壤資料，園區的土壤-地形模式無法在此次的研究中被建立，可能因為園區內仍有大部份的地區未被調查、園區內地形不穩定的干擾顯著影響土壤的化育以及在野外利用土壤形態特徵來判斷是否為灰燼土並不容易，容易將灰燼土誤判為弱育土或將弱育土誤判為灰燼土。由目前的研究結果欲繪製成二萬五千分之一比例尺的土綱土壤圖，可能會得到相當不準確的結果，若

要能實際被應用或利用，還需要配合更多樣點的調查(或以網格的分式在園區內全面布點調查)，以期能獲得正確的土壤圖。另外，土綱土壤圖的應用層面較窄，若能繪製成大土類(Great Group)或亞類(Subgroup)土壤，更能反應出園區土壤及地形之間的相關性，更能擴大該土壤圖在園區之經營與管理上的應用層面。

四、主要建議事項

根據研究發現，本研究提出下列具體建議。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-土壤調查複查的規劃與代表性土壤樣體的資料建置

主辦機關：內政部營建署陽明山國家公園管理處

協辦機關：國立宜蘭大學、國立臺灣大學、國立中興大學

陽明山國家公園的涵蓋面積高達 11,455 公頃，受限於火山地形分區複雜，多數地區地形陡峭、箭竹與茅草生長茂密等極不易接近調查，因此不易獲得準確的土壤圖。建議於本年度研究計畫之土綱土壤圖完成之後，期能再進行土壤調查複查的規劃與代表性土壤樣體的資料建置，提供相關研究的參考資料，以及主管單位在未來經營與規劃上的參考，以利妥善利用土壤資源。包括：

1. 園區內更多土壤樣點的調查與樣本的採集。
2. 進行第一年度計畫中土壤調查樣點的複查工作。
3. 建立代表性土壤樣體的資料庫，包括土壤性質、土壤的歷史、土壤的生態功能以及土壤標本的製作等。
4. 推廣火山灰土壤的相關土壤教育。

長期性建議-火山灰土壤生態體系-火山灰土壤的生成化育與生態功能

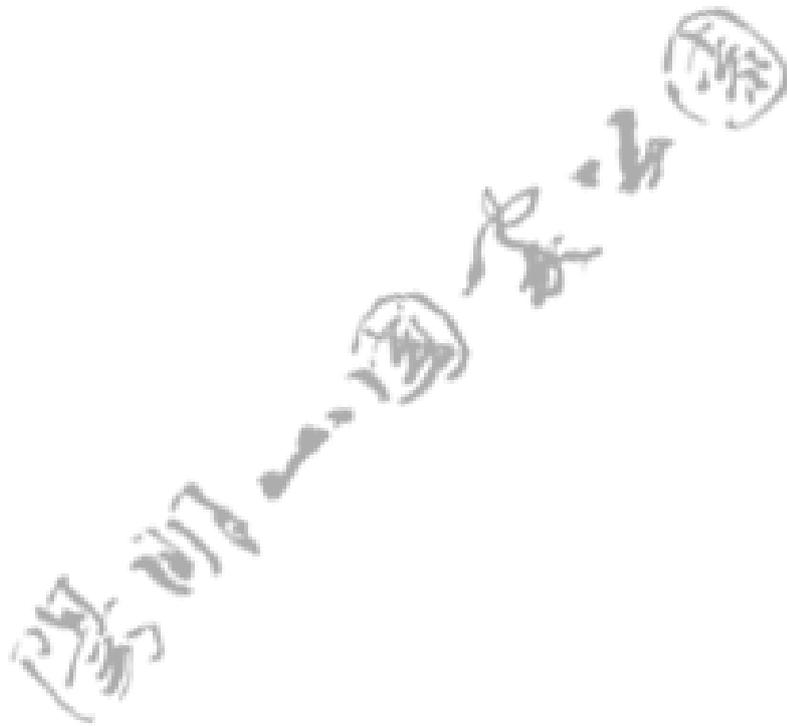
主辦機關：內政部營建署陽明山國家公園管理處

協辦機關：國立宜蘭大學、國立臺灣大學、國立中興大學

本區的地形變化大，加上本區每年定期會受到東北季風(秋冬季節)與颱風(夏秋季節)的侵襲，氣候對本區土壤的化育具有很重要的影響。園區內以火山母質為主，但距離火山停止噴發也已經經過 30~50 萬年，土壤化育的時間也超過 10 萬年以上，如此長的化育時間下土壤仍保有清楚的灰燼土的形態特徵與強烈的火山灰特性，在世界上有關火山灰土壤的研究上是屬於少見的。本區的植被生長與覆蓋情形有很清楚的區域分布，但本次研究所採集的土壤樣點數仍有不足，無法表現出植被影響的差異。因此未來若能從時間、母質、氣候與地形上詳細的考量，並進行長期的土壤研究與分析，應能夠建構一個完整的火山灰土壤生態體系，並推廣讓民眾瞭解臺灣地區獨特的火山灰土壤有那些特性與生態功能。包括

1. 詳細探討園區內母質、植被種類、地形、氣候與時間對於火山灰土壤生成與化育的影響。
2. 探討母質、植被種類、地形、氣候與時間在火山灰土壤生成過程中的交互影響作用。

3. 瞭解臺灣地區火山灰土壤的生態功能。
4. 建立長期火山灰土壤監測以瞭解園區內土壤生成的變化。
5. 發展適當的土壤指標以快速分辨灰燼土。
6. 建置園區內完整的火山灰土壤生態系統知識庫
7. 推廣火山灰土壤的相關土壤教育。



ABSTRACT

Keywords: soil survey, volcanic ash soil, soil order, soil map, Andisols

Soil is important to plant health. The long-term soil monitoring project is necessary for clearly recognizing the soil compositions and the effects of human activities on the soils in Yangmingshan National Park. The objectives of this representative soil survey study were to investigate the major soil group distribution and classification in whole national park, to establish the soil-landscape model, and to draw the Soil Order Map. Five transects were designed and totally 34 soil pedons were digged to the bedrock, described, classified to Soil Subgroup and sampled. Soil-landscape mode were attempted to establish and to speculate the soil group distributed at unsurvey area. The results indicated that 25 soil pedons were classified as Andisols, 6 pedons were Inceptisols, and only 3 pedons were Ultisols. Soil genesis in study area was greatly influenced by volcanic parent material. Even the Inceptisols and Ultisols still inherited the characteristics of volcanic parent material. Besides, the relations between soil distribution and landscape were not significantly in study area, and were attributed to insufficient investigative soil pedons or effects of climate. In general, the distribution pattern of soil in study area was summarized as follow: Andisols were usually founded at elevation higher than 700 m with gently or steep slope; the edistribution of Inceptisols was very scattered; the discover of Ultisols was very unexpected and it should be the regional variation. The distribution of Andisols and Inceptisols was usually overlapped and it is not easy to distinguish these two soils by soil morphological characteristics in the field. The developments of 1~2 soil indicator are necessary for conveniently distinguish Andisols and reduce the mistake in soil classification. Moreover, the disturbance of unstabled landscape significantly influenced the soil genesis.

The investigation of previously reports and this study suggested that the soil-landscape model of study area can not be found and established, and it were dued to mostly area were not survyed and investigated, disturbance of unstabled landscape significantly influenced the soil genesis, and it is difficult to distinguish Andisols only by soil morphological characteristics in the field. Furthermore, according to the study results of this project, the drawing of Soil Order Map (with scale 1:25,000) could obtain questionable results. It needs more detail survy (or soil survey by grid method in whole national park) for producing correct soil map and for practical application and utilization. In conclusions, the utilization of Soil Order Map was not popularly. The drawing of Soil Great Group Map or Soil Subgroup Map could reflect the relation between soil and landscape of study area, and could expand the application of soil map to the operation and management in Yangmingshan National Park.

For immediate strategies:

1. More soil data investigating and sampling in the park area
2. Reexamining the soil survey data of the first year project in the park area
3. Establishing representative soil database, including soil characteristics, soil history, ecological functions of such soil, producing soil monolith etc.
4. Prpolarizing volcanic soil education

For long-term strategies:

1. Investigating the influences of parent material, vegetation type, landscape, climate, and time on volcanic soil formation and genesis in the park area
2. Examining the interaction of parent material, landscape, climate, and time on volcanic soil formation
3. Investigating the ecological function of volcanic soils in Taiwan
4. Long-term soil monitoring on volcanic soil to recognize the change of soil formation in the park area
5. Developing suitable soil indicators for distinguish Andisols
6. Establishing a completely keonwledge database of volcanic soils ecological system in the park area
7. Prpolarizing volcanic soil education

學明一第

第一章 緒 論

第一節 研究緣起與背景

壹、研究緣起

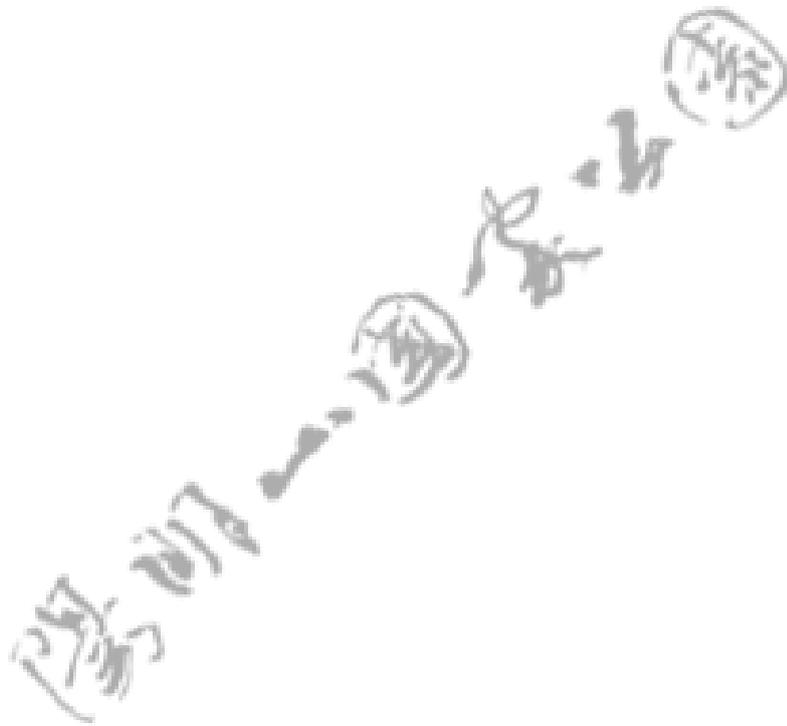
土壤是植物健康的首要條件。為清楚了解陽明山國家公園區土壤組成及人類活動頻繁區對土壤所帶來的影響，應設立長期觀測以因應園區所產生之變化。因此本研究將進行全區土壤分析調查，並將園區內的前人研究資料合併分析，建立陽明山國家公園內火山灰土壤之主要土類的分佈概況與土壤分類，建立土壤發生模式，並以土綱圖之完成為初步目標，並完成代表性土壤的採樣(直達母岩)調查。

貳、研究背景

土壤調查的目的在於描述一給定地區土壤的特性，並依據標準的分類系統來分類土壤、在地圖上繪出土壤的界線及依照土壤的性質來預測土壤。土壤不同的利用方式與管理行為對於土壤性質的影響亦應加以考慮。土壤調查所提供的資訊有助於土地利用的規劃與評估及預測這些土地利用方式對於環境的影響(Soil Survey Staff, 1993)。基本上繪製土壤圖的基礎，為將土壤體依所選擇的性質區分成具有較高同質性之自然或人為的等級，並依此等級來繪圖(Wilding, 1985)。傳統的土壤調查方式，其土壤圖的繪製主要依據土壤發生模式(model of soil occurrence)的建立，另外輔以航空照片或其它遙測的技術；地表之地形與植被的變化以及在航空照片上色調的明暗程度等，都被經常用來輔助劃定土壤繪圖單位的界線(Soil Survey Staff, 1993)。

臺灣座落於太平洋火環帶，陽明山位居其北部，舊名草山，於1985年由內政部營建署正式規劃並成立臺灣第三座國家公園，面積約11,455公頃，海拔高度自200公尺至1,120公尺，以大屯火山群為主體(內政部營建署，1994)。大屯山群彙爆發於第四紀(Quaternary)初期，距今約兩百五十萬年前，具有火山岩質的母質，因此所化育生成的土壤受母質影響甚鉅。陽明山國家公園內因早期火山噴發作用頻繁，生成特殊的火山地形與地質景觀，孕育稀有植物品種，在動植物資源調查研究方面均有詳細的調查與建立基本資料庫，而對於土壤自然資源的研究多為局部區域，沒有整體性與全面性之土壤調查，園區內更沒有相關的土壤分佈圖。經整理園區內前人所進行的土壤研究資料，包括共24個詳細調查與分析的土壤樣體：七星山2個土壤樣體(黃政恆、陳尊賢，1990)、紗帽山1個土壤樣體(陳尊賢、黃政恆，1991)、七星山東北側4個土壤樣體(黃政恆、陳尊賢，1992)、大屯山東北側4個土壤樣體(黃政恆等人，1993)、大屯山與面天山之間5個土壤樣體(黃政恆等人，1994)、面天山3個土壤樣體(Chen et al., 1999)、柳子楠(竹子山)2個土壤樣體(Asio and Chen, 1998)、與磺嘴山3個土壤樣體(Chen et al., 2001)。綜合上述研究結果我們發現：(1)陽明山國家公園內發育自火山灰的土壤，有灰燼土與弱育土兩種土綱；(2)七星山的風化程度似乎比大屯山高；(3)大屯山主峰可能為灰燼土與

弱育土分佈的交界；與(4)大屯山以北之土壤受火山灰覆蓋影響的範圍，可達海拔 300 公尺左右，而西邊之土壤則可達海拔 200 公尺，且其火山灰土壤特性較強於北邊的土壤；此顯示早期大屯火山噴發出來的火山物質多傾向沉積在西邊，而造就今日此地形土序上土壤的分布。另外，土壤的生成在不同地形位置下有不同的變化，以往的研究多在探討小至中地形(small- to medium-topography)中土壤的生成化育與分布情形，缺乏對於大地形(macro-topography)中土壤的生成與分布情形的研究，由個別零散樣點的研究無法去預測土壤類別在整個空間上的分佈，因此有必要進行相關的研究，建立火山灰土壤的發生模式與類別分佈。



第二章 材料與方法

第一節 研究區的環境概況

壹、地質

大屯火山群的噴發活動年代可分成兩個階段，第一個階段約在 2.8~2.5 Ma (百萬年)左右，此時的噴發活動以岩漿體衝開基磐的活動性質為主，東西兩部份的活動產生了大量的火山碎屑岩；第二階段約自 0.8 Ma 到 0.35 Ma 左右，此時各亞群皆陸續有劇烈的噴發活動，產生大量的熔岩流及火山碎屑岩，構成複式火山(陳正宏等人, 1988; 王文祥, 1991)。在第二階段的噴發活動中，各亞群皆起始於 0.7 Ma 左右，而停止噴發的順序是由東而西：丁火朽山亞群(0.61 ± 0.18 Ma)、湳子山亞群(0.62 ± 0.09 Ma)、磺嘴山亞群(0.52 ± 0.05 Ma)、七星山亞群(0.47 ± 0.06 Ma)與大屯山亞群(0.40 ± 0.07 Ma)(王文祥, 1991)。根據陳肇夏與吳永助(1971)之研究，按鐵鎂礦物相對含量之多寡，可將火山岩分為九種。

大屯火山群是由一群安山岩質的火山體所組成，約有 20 個火山體與火山錐，其中以七星山(1120 公尺)為最高且是年代最新的火山體。本火山群為第四紀的火山，在第四紀更新世的初期噴發，由安山岩流、火山灰和粗粒碎屑噴發物等的連續交替噴發構成，最底部也就是最先噴發的，多為火山岩碎屑與火山灰，經壓密膠結後成集塊岩；安山岩熔岩流中較早噴出的是兩輝安山岩，其次是角閃兩輝安山岩與含角閃兩輝安山岩。主要火山種類為層狀火山，覆蓋在時代不同的中新世沉積岩基磐之上。大屯火山群的安山岩流大部份屬於輝石安山岩、角閃石安山岩和紫蘇輝石安山岩，或是這三類的複合岩類。

貳、地形

陽明山國家公園的地形分區，依巫宗南(1990)的研究結果，先將本區依岩質分成沉積岩區(S)與火成岩區(V)，在火成岩區之下再依地形特徵(如火山錐體、階地、山間低地等)分成山嶺區(A 區)、山峰聚集區(B 區)、錐形火山與階地區(C 區)、及小型山峰與山脊區(D 區)，其中 C 區受到 D 區的區隔，又分為 CI 區(西部錐狀火山階地區)及 CII 區(東部錐狀火山階地區)二區(圖 2-1)。A 區中又可依東北-西南主山嶺的坡向及坡度，分成西北-陡坡區(I)、北-次陡坡區(II)與東南-極陡坡區(III)；B 區依山峰的型式及聚集的情形，再分為西北組合、重疊狀火山錐區(I)與東南長條狀火山錐、火山丘區(II)兩個次地形區；D 區依坡向及高差，分成東北坡向區(I)、南坡向區(II)、西南坡向區(III)與東南坡向區(IV)四個次區。

由於園區的地質複雜與地形不穩定，加上民國89年之象神颱風、民國90之桃芝颱風及納莉颱風期間，陽明山國家公園管理處園區內產生了多處山崩及土石流之地質災害，使園區內之居民蒙受了生命及財產的損失。陳宏宇等人(2003)將園區地質敏感評估等級的劃分為(1)很高、(2)高、(3)中、(4)低，及(5)很低等5個等級，

並發現園區內位於台北市北投區及士林區部份道路開發較多的區域以及本研究區南側之沈積岩與火成岩不整合交界區域，由於不連續面相當發達，構織成潛在性之破壞幾何模狀，都是屬於敏感度較高的區域。其中園區內陽投公路沿線至惇敘商工前鄰近路段，以及園區中央馬槽附近溪谷，發生山崩及土石流的機率頗高。

參、植被

陽明山國家公園境內自生的植物有 1224 種，園區內的植被概況，可以概略區分為人工林(包括針葉林與闊葉林)、天然闊葉林、草原帶與農作區四種(黃增泉等人, 1986)(圖 2-2)。人工林至目前為止針葉成林分佈於大屯西峰西南側、面天山東側、竹子湖南側等地，最成功的人工闊葉林當推相思樹林，幾乎海拔 700 公尺以下之區域都可見及。天然闊葉林一般所見均為自然更新至不同階段的次生林，真正未遭破壞的原始林極為有限，原始林及更新至接近原始林狀況之闊葉林分佈於竹子山一篙山稜線海拔 800 公尺以下至磺溪上游間、大尖後山及磺嘴山四周坡面及溪谷間、七星山南坡、以及紗帽山北坡等處，闊葉林中混有或多或少人工針葉樹種的區域則為大屯山東西兩坡面、七星山西坡、菜公坑山及百拉卡山、以及竹子山一篙山稜線西北側等處。

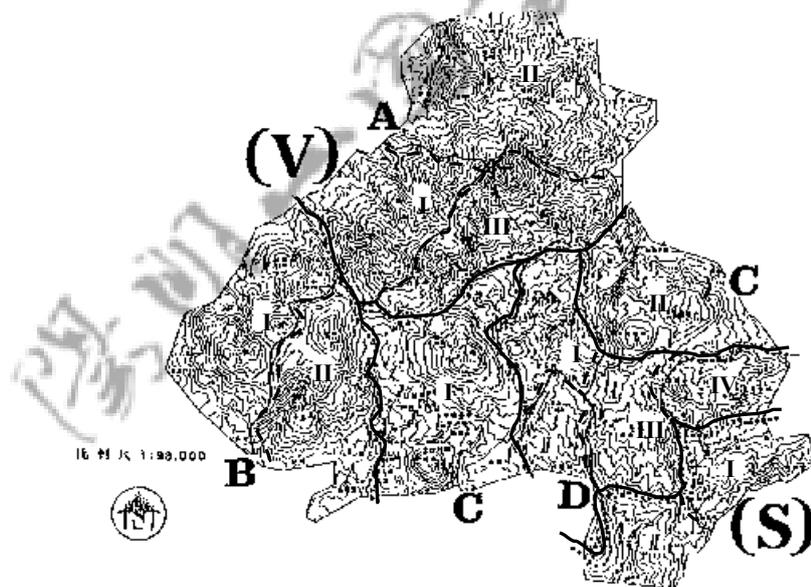


圖 2-1 陽明山國家公園地形系統分區圖(摘自巫宗南, 1990)

(S: 沉積岩區; V: 火成岩區; A: 山嶺區, AI: 西北-陡坡區, AII: 北-次陡坡區, AIII: 東南-陡坡區; B: 山峰聚集區, BI: 西北組合重疊狀火山錐區, BII: 東南長條狀火山錐火山丘區; C: 錐狀火山與階地區, CI: 西部錐狀火山階地區, CII: 東部錐狀火山階地區; D: 小型山峰與山脊區, DI: 東北坡向區, DII: 南坡向區, DIII: 西南坡向區, DIV: 東南坡向區。)

草原分佈廣泛，又可分為臺灣矢竹、臺灣芒及五節芒之草原；擎天崗以東之草原均以臺灣芒及五節芒為主，以西則以臺灣矢竹及臺灣芒為主。草原分佈區有大屯山稜、七星山頂及北向、東向之坡面、面天山等山巔。農作區可分為耕作區與果樹等。耕地多分佈於公園的周邊地區，如公園西南側、頂湖、後山等處，凡緩坡及地形起伏之岡阜多栽種果樹、茶樹及竹子，尤以柑橘為多，如大屯山、面天山之南坡海拔七、八百公尺以下區域。主要優勢的草本植物種類包括：

- (1)闊葉樓梯草(*Elatostema edule* Rob.)—分佈於陰濕的密林下，常成群分佈。
- (2)冷清草(*Elatostema lineolatum* Forst. Var. *major* Thwait.)—分佈於林下陰濕之處，成群聚生。
- (3)臺灣芒(*Miscanthus sinensis* Anders. Var. *formosanus* Hack.)—本種在七星山、大屯山、竹子山等山坡及稜脊上成群聚生，有時與臺灣矢竹混生。
- (4)五節芒(*Miscanthus floridulus* (Labill.) Warb.)—本種分佈於墾植處、廢耕地及破壞地，如磺嘴山、大尖山、頂山、五指山等稜脊處常有大片的群落。

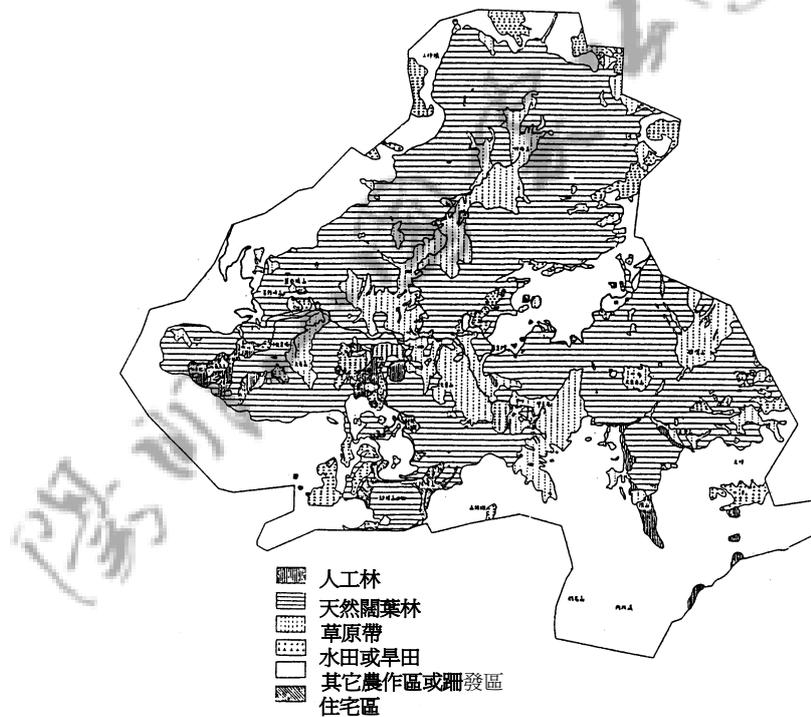


圖 2-2 陽明山國家公園植被略圖(摘自黃增泉等人，1986)

主要木本植物包括：

- (1)臺灣矢竹(*Sinobambusa kunishii* (Hayata) Nakai)—本種在七星山、竹子山、大屯山與小觀音山一帶有廣大群落。
- (2)狹瓣八仙花(*Hvdrangea angustipetala* Hayata)—公園區內十分普遍。
- (3)黑星櫻(*Prunus phaeosticta* (Hance) Maxim.)—在森林中極為普遍。
- (4)小花鼠次(*Itea parviflora* Hemsl.)—在闊葉林中甚為普遍。

- (5)森氏楊桐(*Clevers japonica* Thunb. var. *morri* (Yamamoto) masamune)－在森林中零星分佈。
- (6)大葉楠(*Persea japonica* Sieb.)－在公園區內分佈於海拔較低的森林中。
- (7)豬腳楠(*Persea thunbergii* (Sieb. & Zucc.) Kostermans)－公園區內最常見的樹種，在天然闊葉林常佔據優勢。
- (8)昆欄樹(*Trochodendron aralioides* Sied & Zucc.)－本種在公園區內海拔較高處往往形成純林，如七星山頂附近的山窪處。

王義仲等人(2003)指出陽明山國家公園成立之後，本區植群受到保護，人為干擾減少，植群已經開始進入次生演替，而台北市政府同時也保有部分保安林，同時在陽明山國家公園管理處的經營之下，進行許多研究計畫，將本區之植群區分為水生植群、草原植群及森林植群等，並推測出陽明山之植群演替序列，指出未來若不受干擾將往楠木類之原始植群演進。在大屯山、七星山、竹子山山頂處，由於地形陡峭、土壤淺薄、季風強勁，自古即為五節芒、臺灣矢竹植物社會，雖曾經歷造林，但仍不敵自然演替之力量，恢復成為草生地，未來仍將長期維持不變，是一種成為森林極盛相之前的草原前極盛相。擎天崗經放牧行為成為草生地，但並沒有文獻指出擎天崗地區在放牧之前是何種植群，如今牧場式微，未來可能成為五節芒、假鈴木、野牡丹、桔梗蘭為主的植群，但在避風處仍能形成小面積森林。森林植群方面，由清朝時期文獻判斷當時植群為亞熱帶闊葉林，且以楠木類為主，受到人為開發之後而今廢棄的耕地已經由次生演替恢復成為森林；日治時期的造林以形成混和林為目標，經過演替的篩選與松材線蟲肆虐，如今造林木殘存不多，但在大屯山、七星山、小觀音山、竹子山接近山頂處仍有較完整造林木，二子坪、大屯自然公園四周也還有造林木散佈在次生林間。王義仲等人(2003)並將本區之人工植群劃分出四型：(I)樟樹—榕樹林型、(II)相思樹—楓香林型、(III)柳杉林型、(IV)琉球松林型。由各植群型的優勢樹種徑級結構分佈圖判斷，柳杉、琉球松、榕樹等族群將逐漸老化，而被香楠、紅楠、昆欄樹、山紅柿、細葉饅頭果、黑星櫻、大葉釣樟等樹種取代。

顏江河(2007)針對園區內大磺嘴、小油坑、大油坑及四磺坪4個研就地區之裸地、草生地及灌木地火山土壤分析，已完成初步的調查分析以瞭解火山土壤成份與植物適應性的關係，其研究指出：火山土壤pH呈極酸性，土壤養分會隨著裸地到灌木地而增加。植體內木質部汁液養分有明顯季節性變動。此外，南燭、燈稱花、森氏紅淡比及調查之地被植物芒草、山管蘭、野牡丹等都具有菌根感染，且土壤中孢子量豐富。菌根為植物根系的重要共生現象，其主要功能在幫助宿主植物吸收養分與水分，不但可促進植物的生長或克服不利的生長環境因子，更會因菌根的存在，改變生育地的土壤性質，尤其土壤的化學與生物性質因菌根的存在與否而深受影響，推測菌根菌在陽明山國家公園火山土壤與適生植物扮演重要角色。

肆、氣候

大屯火山群位於臺灣本島最北端，為一孤立之山系，因此氣候的變化較活潑而敏感。依陳文恭與蔡清彥(1984)的研究指出，影響本區氣候的重要因子包括：

- (1)緯度：本區所在緯度為北緯 25 度，在北回歸線(北緯 23.5 度)之北，係屬副熱帶氣候區。
- (2)水陸分佈：臺灣東臨太平洋，西隔臺灣海峽與亞洲大陸相鄰，故氣候兼具有大陸性及海洋性之特性。
- (3)盛行風：本區夏季受西南季風影響，此季風始於五月下旬終於九月下旬，為期四個月，常為悶熱、多雲、午後間有雷陣雨的天氣。冬季受東北季風影響，始於十月中旬止於五月中旬，為期七個月，多為陰冷多雨的天氣。
- (4)颱風及熱帶性低氣壓：年平均有 3.5 個颱風侵襲臺灣地區，侵襲月份以七、八、九月為最多，本區受颱風影響，常有強風暴雨，夏季颱風所帶來的雨量可高達一千多公厘。
- (5)梅雨：本區之梅雨始於五月中旬止於六月中旬，為期一個月。梅雨期間，多為陰雨的天氣，降雨多呈連續性，且降雨強度甚大，間有雷雨或豪雨發生。
- (6)高度：氣溫隨高度之上升而遞減，在迎風面之山坡地區，其雨量亦隨高度之增高而遞增。
- (7)地形：本區山體的排列大致成一朝向東北凹字型。受地形影響，冬季東北季風沿著迎風面之河谷上升成雲致雨，故本區之東北側坡地及中央山區冬季多為陰雨濕冷之天氣，而西南側坡地則位於東北季風之背風面，受東北季風之影響較小。

全區之氣候資料可以鞍部及竹子湖氣象站之資料為代表。鞍部氣象站位於大屯山東南側，海拔 836 公尺；竹子湖氣象站位於七星山西南坡，海拔 600 公尺。鞍部之年平均氣溫(1971-2000)在 17°C 左右，竹子湖則為 19°C，一年中都以一、二月為最冷月，七、八月為最熱月(表 2-1)；鞍部與竹子湖的年平均氣溫比鄰近的淡水與台北市的年平均氣溫(分別為 22°C 與 23°C)低了 3~6°C。年平均降雨量的部份(表 2-2)，在鞍部高達 4,890mm，竹子湖也有 4,530mm，雨量多集中在秋季，月平均雨量以十月份最多，在 800-950mm 之間。與淡水與台北市的年平均降雨量(分別為 2120 mm 與 2330 mm)相比，高出將近一倍，陳文恭與蔡清彥(1984)指出此乃因受東北季風及颱風環流之雙重影響，故雨量特多。園區內的降雨量相當大，而此高量的降雨對園區土壤的生成與土壤的擾動(沖蝕)勢必造成顯著影響。由於本區位於東北及西南季風盛行區內，終年潮濕多雨，且地表多密生芒草及矮生之竹叢，故蒸發量甚小，鞍部為 859mm，竹子湖為 951mm(陳文恭與蔡清彥，1984)。本區之土壤溫度由年平均氣溫推算約為 19-20°C，屬於熱的(thermic)土壤溫度境況；由降雨量與蒸發量的差值可知，本區應屬濕潤(udic)土壤水份境況，但由現地之岩石、石階或樹幹外圍長有大量的青苔，本區的土壤水份境況應在過濕潤(perudic)的狀態。

表 2-1 鞍部與竹子湖及淡水與台北氣象站 1971-2000 年的月平均氣溫(°C)

地名	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均
鞍部	9.8	10.3	12.8	16.4	19.2	21.9	23.2	22.6	20.8	17.8	14.5	11.3	16.7
竹子湖	11.7	12.2	14.6	18.1	20.9	23.5	24.8	24.5	22.7	19.8	16.4	13.3	18.5
淡水	15.1	15.3	17.3	21.2	24.3	27.0	28.8	28.5	26.7	23.7	20.4	17.0	22.1
台北	15.8	16.0	18.0	21.8	24.7	27.4	29.3	28.9	27.1	24.4	20.9	17.5	22.7

資料來源：中央氣象局(<http://www.cwb.gov.tw>)

表 2-2 鞍部與竹子湖及淡水與台北氣象站 1971-2000 年的月平均降雨量(mm)

地名	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合計
鞍部	319.3	315.2	288.2	242.5	319.7	322.6	261.5	435.0	617.3	823.4	578.5	369.2	4892.4
竹子湖	269.3	277.3	240.3	207.8	275.3	294.7	248.3	446.0	588.1	837.3	521.9	320.1	4526.4
淡水	120.5	173.5	192.2	178.3	219.5	230.6	147.6	215.1	223.5	185.5	131.7	101.6	2119.6
台北	86.5	165.7	180.0	183.1	258.9	319.4	247.9	305.3	274.6	138.8	86.2	78.8	2325.2

資料來源：中央氣象局(<http://www.cwb.gov.tw>)

第二節 本研究代表性土壤的調查、採樣與分析

壹、過去的土壤調查資料與研究區環境資料的收集與整理

過去陽明山國家公園內並沒有大面積的土壤調查工作，僅有個別與零星的土壤樣體研究，因此，本研究希望藉由收集過去的個別土壤調查資料，以作為建立陽明山國家公園土壤土系資料庫的一部份。另外、透過收集與整理研究區之地質及植生型態分佈資料、地形圖(航照圖)與數值高度模型(DEM)等，詳細的了解研究區的環境資料，並結合過去的土壤調查資點的分佈，以作為設計截線路徑與土壤採樣點的依據。

貳、截線路徑的選定

隨機截線路徑法(random transect method)可以使用在土壤界線不清楚的地區、由於地形複雜而很難到達的地區、或只需要平均每個調查點所代表的面積大於 120 公頃的地區(Steers and Hajeck, 1979; Wang, 1988)。前人研究樣點的分布多位於大屯山與七星山周圍，亦即多分布在園區的中西部，而為能涵蓋園區大部份的範圍與考量人力、物力與時間的限制，本研究設計以隨機截線路徑法(random transect method)的採樣方式來調查與收集園區內的土壤資料。

- (1)截線路徑原則上為垂直等高線的路徑，但可能因為無法到達或不可控制的因素，截線路徑上的採樣點並不完全在垂直等高線的路徑上；
- (2)截線路徑必需盡可能涵蓋調查區內海拔高度的變化，採樣位置也必需能夠呈現出土壤變異、海拔、坡度、坡向與母質的不同。
- (3)原則上，在截線路徑上之採樣間隔約為 200-400 公尺，但依實際地形、能否到達原來規劃的地點與是否有明顯的土壤變化作調整，採樣個數依實際土壤的分佈情形作分配。採樣路徑以步道為主，對於沒有步道分布的地區，則盡可能接

近採樣調查或以相似地區來進行調查。

- (4)本研究依前人研究樣點的配置概況，預計設置五條截線路徑，包括大屯山-竹子山(Y-1)、擎天崗-八煙(Y-2)、馬槽-七股(Y-3)、擎天崗與磺嘴山之間(Y-4)及擎天崗-風櫃口(Y-5)(圖 2-3)，以補充目前調查樣點不補或缺少的區域點。
- (5)原則上每一條截線路徑上採集 5 個(至少 3 個)土壤樣體，五條截線路徑共 25 個樣點，另外，再分配 5~10 個樣點於竹子山以北與以西的地區以及磺嘴山與風櫃口之間的地區。(竹子山以北與以西的地區因涵蓋面積廣大與地形惡劣，在有限的計畫時間與少數有限樣點的調查並無法代表該區土壤的生成與化育的情況，因此本研究的調查範圍最後不將竹子山以北與以西的地區列入重點調查區域)
- (6)本研究預計共調查 30~40 個土壤樣點。

參、剖面挖掘與描述

剖面之挖掘按美國農部調查手冊(Soil Survey Staff, 1993)及土壤調查手冊(陳春泉編著, 1979)進行，土坑的深度隨地形而異，剖面的深度原則上以至岩石層為原則。完成挖掘後開始清理剖面使其表面現出原始自然狀態，插上標示牌攝影留存；其次劃分各化育層之約略層位界限，將各化育層編號，逐層詳細觀察並描述剖面形態特徵及地理環境特徵。剖面形態依顏色、質地、構造、結持度、植物根、生物孔洞、特殊特徵、含石量、層界特徵及化育層的連續性加以描述之；對地形、坡度、海拔高度、植被、座標位置等亦加以記錄。各化育層挖取土壤約二公斤，分袋裝土並註明編號，以供實驗室分析之用。同一截線路徑上，當所記錄及採集的兩個相臨的土壤樣點在分類上有差異時，才進行此相臨兩個不同土綱之土壤樣本的實驗室物理及化學分析，並建立代表性土壤的資料；若分類上沒有差異，則僅記錄相關環境與土壤資料，並進行土壤剖面採集。

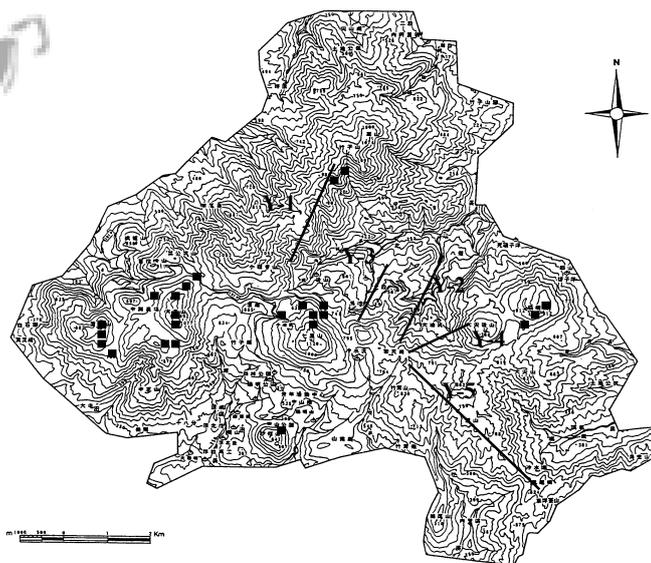


圖2-3 本研究計畫預計採樣之五條截線路徑(■:前人研究採樣點)

肆、土壤理化性質分析

將野外採回的土壤經自然風乾，加以研磨、過篩(<2mm)，均勻混合後裝入塑膠罐中。針對兩個相臨的土壤樣點在分類上有差異時，主要進行以下實驗分析，以確認土壤分類(土綱)的正確性：

- (1)總體密度(Bulk Density)：core method(Blake and Hartge, 1986)。
- (2)pH值：玻璃電極法(McLean, 1982)。
 - a.將土壤與去離子水1:1的比率充分混合靜置一小時，用玻璃電極測定。
 - b.將土壤與1N KCl，以1:1的比率充分混合靜置一小時，用玻璃電極測定。
 - c.將土壤與1N NaF，以1:50的比率充分混合，以玻璃電極測定二分鐘時的讀值。
- (3)Acid oxalate可抽出性鋁、鐵與矽：0.2M Oxalate-oxalic acid (pH 3.0)抽出法(Blakemore et al., 1981)。
- (4)磷酸結持力(Phosphate retention)：0.032M Na₂HPO₄ (pH 4.6)溶液(Blakemore et al., 1981)。

其它試驗分析項目依土壤分類的實際需要再擇項進行，包括

- (1)粒徑分析(Particle size analysis)：吸管法(Gee and Bauder, 1986)。
- (2)陽離子交換能量：1N醋酸鉍法(pH 7.0)(Thomas, 1982)。
- (3)可交換性鹽基(Exchangeable bases)：1N醋酸鉍法(pH 7.0)(Thomas, 1982)。
- (4)土壤有機碳：採用Walkley-Black濕氧化法(Nelson and Smomers, 1982)。
- (5)交換性鋁(Exchangeable Al)：1N KCl法(Blakemore et al., 1981)。
- (6)鋁飽和度(Al Saturation)：交換性鋁除以可交換性鹽基與交換性鋁之合，即為鋁飽和度。
- (7)Sodium pyrophosphate可抽出性鋁及鐵：0.1M sodium pyrophosphate (pH10.0)抽出法(Blakemore et al., 1981)。
- (8)Dithionite-citrate可抽出性鋁、鐵與矽：Sodium dithionite-citrate抽出法(Blakemore et al., 1981)。
- (9)烏黑指數(Melanic index)：0.5% NaOH抽出法(Blakemore et al., 1981)。

伍、土壤分類與建立土壤-地形分佈模式

土壤描述與性質決定之後，進一步做分類等級或單位(taxonomic classes or units)的歸類(Soil Survey Staff, 1993)。每一個分類等級都有一連串對於土壤性質的明白定義與限制，用來作為分類土壤(classify soils)對照的原則。美國土壤分類系統主要基於土壤性質的種類與特徵，以及剖面中各化育層次的排列。本研究將前人研究之土壤樣體與依截線路徑所採集之土壤樣體依美國新土壤分類系統(Soil Survey Staff, 2006)的分類原則，命名至土綱 (Soil Order)，亞綱 (Suborder) 及大土類(Soil

Great Group)。

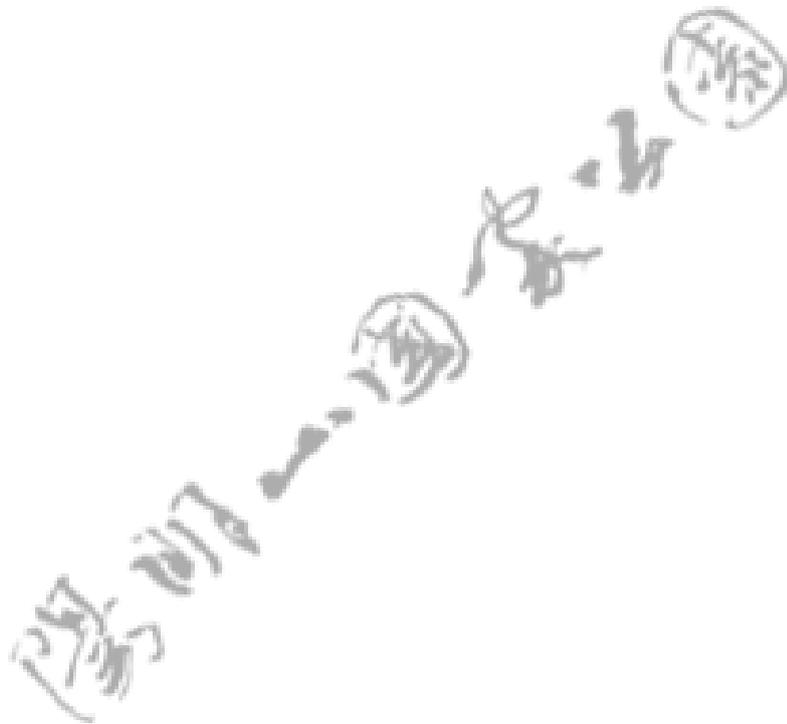
土壤生成於經氣候(climate)、母質(parent material)、地形(topography)與植被(vegetation)長時間共同作用的環境模式中。每一種土壤均有相關之獨特的地形種類或地形片斷(segment)，藉由觀察土壤與土壤在相關地形片斷上的位置，便可進一步描繪出該土壤生成的概念(concept)或模式(model)；這樣的模式建立能相當準確的預測在特定的地形位置中某類土壤的分佈。由於土壤性質逐漸的轉變，經常會發生個別土壤的混合形式出現在地形中。為了描繪正確的土壤圖，必須釐清這些土壤的邊界。藉由對土壤-地形模式的了解，再去觀察少量的土壤剖面，並以此決定調查區中的各類土壤與土壤邊界。為了能正確的推估園區內的土壤分布與地形間的關係模式，依地形的狀況配置樣點即為重要，但園區內因受到環境影響的因素，包括極陡的坡度、密生的箭竹林、沒有路徑的分布等，以及竹子山受到軍方的管制與磺嘴山為生態保護區等事項，在調查點的分配與截線路徑的布置上並不容易。園區內無法調查的地區，將盡量以園區內其他相似環境或相似地形的地區的調查結果來推估可能的土壤類型(土綱)。

陸、(土綱)土壤圖的繪製

土壤圖的繪圖單位有兩種(Soil Survey Staff, 1993)：(1)概略土壤繪圖單位(general soil map unit)：概略土壤圖乃是表示有顯著差異特徵的土壤及地形模式(pattern)的大區域面積。在概略土壤圖中，每一個繪圖單位代表著一種獨特的自然地形(unique natural landscape)，由一種或數種主要的土壤(major soils)及一些次要的土壤(minor soils)所組成，並以主要的土壤來命名。組成某一繪圖單位的土壤也可能出現在另一個具有不同土壤-地形模式的繪圖單位中。由於小比例尺(small scale)的原因，概略土壤圖並不適用於計畫土地的利用、經營與管理。不同繪圖單位中的土壤，在坡度、土壤深度、排水等級及其它能影響土地管理的特性，皆因所處自然地形不同而有差異；(2)詳細土壤繪圖單位(detailed soil map units)：詳細土壤圖中的繪圖單位乃表示經調查後在調查區域中所出現的所有土壤。此類繪圖單位可以用來決定繪圖單位中優勢土壤(dominant soils)在不同用途上的適用度(suitability)與潛能(potential)，並進一步計畫管理此類土地利用方式。詳細土壤圖中所有的地區皆以土相為名。

依使用者的需要與可利用資源的不同，土壤調查結果(output)的準確性(accuracy)、詳細性(detail)、複雜性(complexity)與類型(type)有很大的變化。土壤調查依不同的適用目的與詳細程度分成五個等級(Soil Survey Staff, 1993)，各等級所繪製之土壤圖比例亦不相同。本研究的目的是在於探討調查區內不同土壤的生成與在地形上的分佈，以土綱圖之完成為初步目標，以作為陽明山國家公園土壤資源的基本資料庫。目前臺灣地區所繪製之農地、坡地與林地土壤圖之比例尺基於統一性，以及為方便與內政部經建版二萬五千分之一的地形圖作對照，比例尺為二萬五千分之一。因此，本研究調查區之土壤圖以五千分之一或一萬分之一的像片

基本圖為底圖，但土壤圖之繪製比例尺為二萬五千分之一。圖形的數化、編修與完成皆利用 ARC/INFO 地理資訊系統(ARC/ INFO GIS)。



第三章 結果與討論

第一節 蒐集之資料與文獻分析

壹、研究區內有關土壤分布與分類之研究概況

整體而言，為了解陽明山國家公園之土壤分布，本研究共蒐集與整理前人研究88個土壤樣體(圖3-1)，其環境特徵與土壤分類結果分別示於表3-1、表3-2與表3-3。

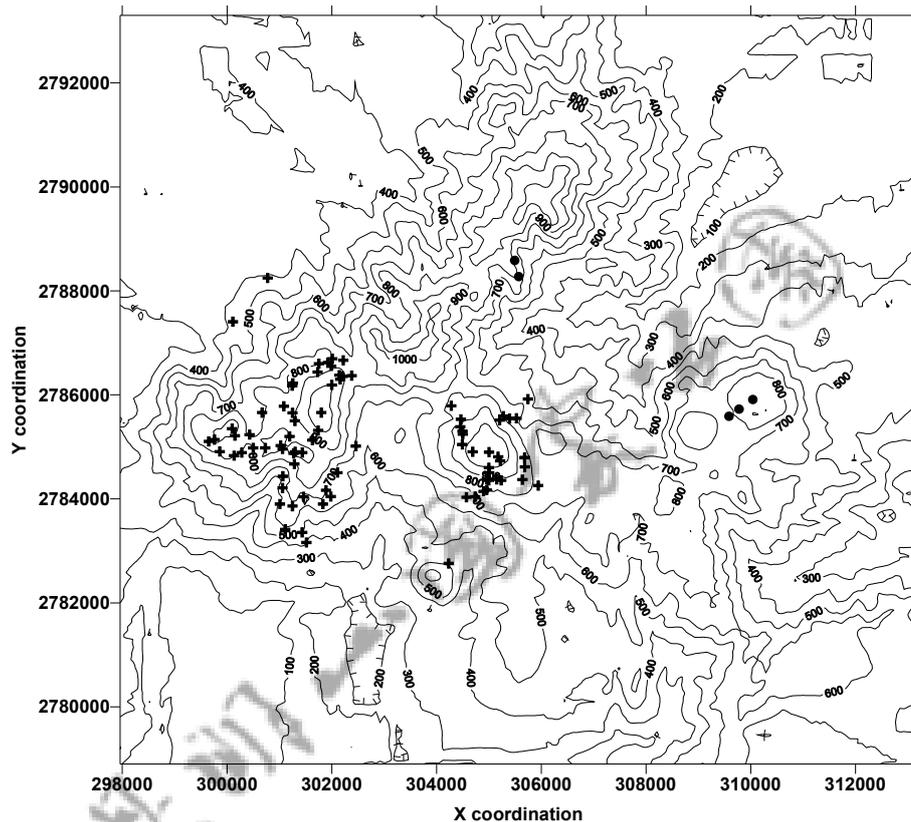


圖3-1 陽明山國家公園內前人研究之88個土壤樣體的分布位置

在樣體的生成環境特徵方面，樣體海拔的分佈由410公尺至1090公尺的大屯山頂(表3-2)，平均海拔高度834公尺；坡度分佈由緩坡地($<5^\circ$)至非常險峻坡地($>45^\circ$)，平均坡度為23.1度(陡坡)。植被種類包含為闊葉林、箭竹、台灣芒或其中兩者的混生地；母岩的種類包括紫蘇輝石角閃石安山岩、兩輝石角閃石安山岩、含角閃石兩輝石安山岩、含橄欖石兩輝角閃安山岩、兩輝安山岩、大屯山凝灰角礫岩、上部凝灰角礫岩與下部凝灰角礫岩等八種。在樣體性質方面，A化育層的厚度最小值為7公分，最大值60公分，平均17公分；B化育層的厚度最小值為0公分，最大值為80公分，平均為34公分；土體的厚度(AC或BC化育層以上的土體總厚度，不包含AC或BC的厚度)最小值為7公分，最大值為160公分，平均為67公分。由變異係數(coefficient of variation, CV%)的分析發現，坡度、A與B化育層厚度的CV%為50%

或50%以上，此表示樣體所在位置之坡度變化相當大，而A與B化層受到邊坡不穩定的影響，反應在土壤厚度的變化上也出現高變異係數值。土體厚度的範圍由7至160公分，CV%也高達40%，此現象也說明土壤生成環境的變化對於土體是否能穩定化育的影響，但影響的程度較低於A與B化育層。

在土壤分類方面，前人研究所調查的土壤，係依美國農部新土壤分類法(Soil Taxonomy) (Soil Survey Staff, 1999)來作為分類的依據，土壤分類主要依據野外土壤剖面各化育層的形態特徵及參照實驗室土壤理化性質的分析結果。由火山灰生成的土壤，其性質受到各種成土因子的影響，在土壤分類上，除了生成灰燼土(Andisols)之外，可能化育生成為弱育土(Inceptisols)、淋澱土(Spodosols)或極育土(Ultisols)(Shoji et al., 1993)。由陽明山國家公園內前人研究的土壤樣體的分類結果，我們發現本區只有灰燼土與弱育土兩種土綱，沒有淋澱土或極育土的發生，而灰燼土與弱育土兩者在生成環境與形態特徵上並無法作明顯的區分，必需藉由室內分析的工作來分辨。

依照Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2006)所訂定的灰燼土綱(Andisols)分類標準如下：在表層60公分以內，必需累積達60%以上(35公分)的土壤厚度，符合火山灰土壤性質(Andic soil properties)的定義。而火山灰土壤性質的定義如下：具有 $\leq 25\%$ 的有機碳，而且符合下列1,2兩個條件之一者，即

1. a. 草酸可抽出性鋁加上二分之一草酸可抽出性鐵($Al_o + 1/2Fe_o$)需 $\geq 2\%$ ；且
b. 土壤總體密度(Bulk density)需 $\leq 0.9 \text{ Mg/m}^3$ ；且
c. 磷酸吸持力(P retention) $\geq 85\%$ ；或
2. $< 2\text{mm}$ 的土壤部份中， $0.02\sim 2.0\text{mm}$ 之部份至少達30%，且 $< 2\text{mm}$ 部份之磷酸吸持力 $> 25\%$ ，並且符合下列a、b、c三個條件之一者：
 - a. $Al_o + 1/2Fe_o \geq 0.4\%$ ($< 2\text{mm}$)，且在 $0.02\sim 2.0\text{mm}$ 土壤部份之火山玻璃(volcanic glass)至少為30%；或
 - b. $Al_o + 1/2Fe_o \geq 2.0\%$ ($< 2\text{mm}$)，但在 $0.02\sim 2.0\text{mm}$ 土壤部份之火山玻璃 $\geq 5\%$ ；或
 - c. $Al_o + 1/2Fe_o$ 之含量在 $0.4\sim 2.0\%$ 之間($< 2\text{mm}$)，但 $0.02\sim 2.0\text{mm}$ 土壤部份之火山玻璃含量需大於 $35\% - 15(Al_o + 1/2Fe_o)\%$ 。

上述第1點條件為已遭受某一程度風化的火山灰土壤，火山玻璃(volcanic glass)含量較少，不再為分類的依據之一；第2點條件屬於火山活動較晚期者，所受風化程度較淺， $< 2\text{mm}$ 的火山灰物質中，含有高含量易風化的火山玻璃，其草酸可抽出性鋁與鐵的含量低，且磷酸結持力亦小。臺灣地區火山灰土壤的風化程度較高，適用於第1點條件的分類條件(黃政恆與陳尊賢，1992)。

土壤總體密度的判定標準(0.9 Mg/m^3)，可由對照野外調查的經驗與室內分析結果，徑行在野外判斷出是否符合標準，而磷酸吸持力與草酸可抽出性鋁鐵則需借助於室內的分析。用NaF所測得的pH值若大於9.4，表示土壤中的交換性複合物係以無定形複合物(amorphous materials)為主(Soil Survey Staff, 1975)，此原本可用於火山灰土壤的判定，但部份發育自火山灰土壤的淋澱土也有相同的性質(Shoji et

al., 1988), 目前已不適用此作為判定的標準。另外, Perrott et al. (1976a, 1976b)曾提出高NaF測值與土壤活化鋁及草酸可抽出性的鋁含量有關。Wada and Gunjigake (1979)也指出, 磷酸結持力與土壤活化鋁及草酸可抽出性的鋁含量有關, 黃政恆等人(1993)的研究更說明: (1)當草酸可抽出性的鋁含量($Al_0\%$)大於1%時, 磷酸結持力即可能大於85%的關係; (2)而當NaF測值大於9.0, 草酸可抽出性的鋁含量即可能大於1%的關係。在臺灣地區的研究中尚未發現發育自火山灰土壤的淋澱土, 而藉由NaF所測得的pH值, 我們可以推測草酸可抽出性的鋁鐵的含量與磷酸結持力是否符合火山灰土壤的性質, 因此我們認為此法仍不失為一簡易的判定方法。通常大量調查所採集的土壤樣本, 僅需針對代表性土壤樣本做分析, 以建立調查區的圖例土壤, 若全部樣本都要分析需耗費更多的時間與物力。

根據野外土壤樣體的形態特徵與理化性質分析結果, 進一步依照美國新土壤分類系統的分類原則(Soil Survey Staff, 2006), 88個土壤樣體可被分類成2種土綱、2種亞綱、4種大土類與9種亞類(表3-3)。兩種土綱為灰燼土綱與弱育土綱, 分別包含32個與56個土壤樣體, 其次分類為濕潤灰燼土(Udand)與濕潤弱育土(Udept)兩種亞綱; 濕潤灰燼土(Udand)再分類為烏黑濕潤灰燼土(Melanudand)(具有烏黑表育層的灰燼土)、黃酸濕潤灰燼土(Fulvudand)(符合烏黑表育層之深度、厚度與有機碳含量定義之灰燼土)與簡育濕潤灰燼土(Hapludand)三種大土類, 而濕潤弱育土(Udept)僅可再次分為低鹽基濕潤弱育土(Dystrudept)(土層25-75公分中鹽基飽和度 $<60\%$ 之弱育土); 烏黑濕潤灰燼土僅有一“典型(Typic)”亞類, 黃酸濕潤灰燼土有“強風化濕潤氧化型(Acrudoxic)”(在25-100公分深度的土層中, 具有30公分以上的土壤厚度, 1M KCl可抽出性鋁含量與1M NH_4OAc 可抽出性鹽基含量和 $<2\text{cmol}(+)/\text{kg soils}$)與“典型(Typic)”兩種亞類, 簡育濕潤灰燼土有“石質型(Lithic)”(土層厚度 <50 公分)、“強風化濕潤氧化型(Acrudoxic)”與“多鋁型(Alic)”(在25-100公分深度的土層中, 至少有10公分以上, 其1M KCl可抽出性鋁含量 $>2\text{cmol}(+)/\text{kg soils}$)三種亞類; 低鹽基濕潤弱育土之下可再次分為“腐植石質型(Humic Lithic)”(土層厚度 <50 公分且具有黑瘠或黑沃表育層)、“石質型(Lithic)”與灰燼型(Andic)”(在表層75公分內, 累積有18公分厚的土層, 總體密度 $<1.0\text{Mg}/\text{m}^3$ 且 $Al_0+1/2Fe_0>1.0\%$)三種亞類。

區內土壤分布的概況, 經整理相關文獻資料, 簡述如下:

- (1)依據張仲民(1972, 1974, 1975)在不同母質與海拔高度所作的研究發現: 陽明山國家公園東北邊海拔500至600公尺的內雙溪、大尖後山與磺嘴山等地, 土壤皆分類為極育土(Ultisols); 國家公園南邊的頂湖(海拔500m)及十八份(海拔200m)則分類為弱育土(Inceptisols); 而海拔在400m以下的區域, 如石門鄉、三芝鄉、萬里鄉及車埕等地, 所採集的土壤則分類為極育土。**(研究樣點未位於園區內)**
- (2)1990年代起在七星山北側、東北側與紗帽山東北側地區所選取之八個發育自安山岩質火山岩母質風化而成的土壤樣體, 研究其特性、化育與分類, 研究結果發現其中有七個土壤樣體符合火山灰土壤(灰燼土, Andisols)的性質, 一個土壤樣

- 體屬於弱育土(Inceptisols)，大地形(macro-topography)對土壤分布的差異沒有顯著影響，造成如此差異的原因係因微地形(micro-topography)的影響(黃政恆, 1990; 黃政恆與陳尊賢, 1990; 陳尊賢與黃政恆, 1991; 黃政恆與陳尊賢, 1992)。
- (3)黃政恆等人(1993)於大屯山東北側地區依照地勢的高低與植生種類的不同，選擇四個代表性土壤樣體，海拔分布分別為 1090m、1000m、915m 及 830m，以研究來自大屯山熔岩母質所化育生成的土壤性質，結果發現四個土壤樣體間的土壤性質差異不大，皆分類為灰燼土(Andisols)，亦即在大屯山東北側海拔 800m 以上沒有明顯的地形土序變化。
 - (4)在大屯山與面天山間(大屯山西南側)選擇五個化育自不同熔岩母質的土壤樣體，海拔分布分別為 980m、950m、940m、830m 及 790m，研究發現只有兩個化育自大屯山熔岩母質的土壤樣體屬灰燼土，其餘三個化育自不同熔岩母質的土壤樣體分類為弱育土(黃政恆等人, 1994)，此結果指出，在大屯山西南側的地形土序中，母質對於土壤化育的影響可能大於海拔或坡度的影響。
 - (5)面天山南側依海拔高度的不同(970m、890m、800m)選擇三個土壤樣體，其研究結果發現三個土壤樣體亦皆分類為灰燼土，地形對於土壤化育的影響不大(Chen et al., 1999)。
 - (6)Chen et al. (2001)在磺嘴山地區依地形位置的不同，選擇三個土壤剖面作為樣本。研究發現所選擇的三個樣體土壤均具有低的 pH 值(pH<5)、低鹽基飽和度(<10%)與大量可交換性鋁的特性；在高溫多雨的氣候環境下，土壤均受到高度的風化作用。三個土壤樣體的形態特徵與理化性質分析結果，雖部份性質類似於灰燼土的特性，但皆未能完全符合典型的火山灰土壤性質(Andic soil properties)，故分類為灰燼型低鹽基濕潤弱育土(Andic Dystrudepts)，顯示土壤已由灰燼土過渡化育生成為弱育土，但仍兼具部份灰燼土之特性。
 - (7)蔡呈奇(2002)以大屯山(1600 公頃)與七星山(400 公頃)為研究範圍，依截線路徑採集土壤剖面，經分析歸類整理，推導出陽明山國家公園之火山灰土壤可概略區分為 11 個土系。
 - (8)陳尊賢等人(2002, 2003)、高政毅(2003)在陽明山國家公園進行之”地形土序及其化育作用的研究”為期兩年的計畫，沿大屯山北方(至三芝)與西北方(至淡水)兩條截線路徑上，採集土壤剖面探討灰燼土、弱育土、極育土及過渡狀態的生成與化育。第一年依海拔高度及可能的土壤分布，在截線路徑上採集 7 個土壤樣體，研究結果顯示，本研究區地形土序的變化為：海拔高度>700 公尺為簡育濕潤灰燼土(Haplud- and)，440-700 公尺為灰燼型低鹽基濕潤弱育土(Andic Dystrudept)，100-440 公尺為典型低鹽基濕潤弱育土(Typic Dystrudept)，<100 公尺為典型厚育濕潤極育土(Typic Paleudult)。在灰燼土與極育土之間土壤的過渡化育作用，包括總體密度明顯上升、無定型物質減少、磷酸結持度降低以及粘粒增加等現象。本研究建議包括土壤質地、結持度、總體密度、磷酸結持度、 $Al_0+1/2Fe_0$ 及 Si_0 含量等土壤性質，可以作為本研究區灰燼土與極育土之過渡土壤化育作用之指

標。第二年的研究著重在利用土壤水份的萃取與分析，來了解灰燼土、弱育土、極育土及過渡狀態土壤的生成與化育之關係，選擇 1 個典型的灰燼土、1 個灰燼型的弱育土、1 個典型的弱育土與 1 個典型的極育土，在不同的季節監測土壤水分與土壤溶液化學組成的變化。研究結果發現：依據 TDR 現地量測的結果，灰燼土與極育土之土壤水分含量受東北季風的影響較大，而弱育土則因為土壤剖面所在之位置受到地形的屏障，減弱了東北季風對土壤水分含量的影響；在土壤溶液化學組成方面，不同土壤類別中各種離子隨土壤深度的分佈情形相類似，表層較高，並隨深度增加而有遞減的趨勢。各種離子的濃度在剖面中的變化並不大，本研究區之土壤剖面中高量的鈉($400\sim 1000\ \mu\text{mol}_{(+)}\text{/L}$)與氯($400\sim 800\ \mu\text{mol}_{(+)}\text{/L}$)離子則表示本區的土壤易受到海的影響，隨海拔增加與距海愈遠，受到的影響也愈小。土壤溶液中鐵離子的濃度可能可以作為此地形土序中三種土綱(灰燼土、弱育土與極育土)化育作用的指標因子之一。

陽明山國家公園內之地形土序，從前人的研究中，約略可以歸納出以下幾點：

1. 海拔 600 公尺以上(大屯山、七星山等地)的土壤，以灰燼土(Andisols)為主，母質、海拔及坡向對土壤分布沒有顯著影響。
2. 國家公園東北邊海拔 500 至 600 公尺(大尖後山、磺嘴山等地)的土壤，以極育土(Ultisols)為主。
3. 國家公園南邊(頂湖及十八份)，以弱育土(Inceptisols)為主。
4. 國家公園北邊及西邊沿海，海拔在 400 公尺以下的土壤，以極育土(Ultisols)為主。

- 以往的研究結果清楚的指出：海拔 600 公尺以上多生成灰燼土，海拔 400 公尺以下至沿海則以生成極育土佔大多數；但是在 400~600 公尺之間的過渡區域，亦即在國家公園的界線附近，生成的土壤在東北邊與南邊不同，有極育土與弱育土分布的差異，而兩者可能兼有火山灰土壤的特性。而依現地勘察的結果發現：
1. 大屯山北邊，海拔 700 公尺至 300 公尺之土壤已逐漸有些改變，但大部份土壤仍受上部火山灰覆蓋的影響，多數具有火山灰土壤特性(Andic soil properties)，在分類上仍屬於灰燼土；海拔 300-150 公尺之土壤，在剖面下方已呈現出極育土的特性，但剖面上方之土壤仍非常鬆散，土壤構造以團粒為主，顯示此區域的土壤受火山灰覆蓋的影響仍在，但在分類上則可能有極育土與弱育土的變化；海拔 150 公尺以下則為受強烈淋洗與風化作用的紅壤，分類為極育土。
 2. 大屯山西邊，自興華至紅柿腳的山坡地(海拔 300 公尺-200 公尺)，因此區與向天山及面天山極為接近，土壤受火山灰覆蓋的影響仍非常明顯，多數具有火山灰土壤特性(Andic soil properties)，在分類上仍屬於灰燼土；海拔 200-100 公尺之土壤，在剖面下方呈現出極育土的特性，但剖面上方仍有一鬆散的土壤薄層，在分類上則為極育土；海拔 100 公尺以下則為受強烈淋洗與風化作用的紅壤，分類為極育土。

表 3-1 陽明山國家公園前人研究 88 個土壤樣體之所在位置座標、環境特徵與土壤分類結果

樣點	X 座標	Y 座標	海拔(m)	坡度(度)	植被	母岩	土壤分類*
Sms ^{#1}	304230	2782758	470	26	闊葉林	紫蘇輝石角閃石安山岩	Medial-skeletal, amorphous (allophane/imogolite), thermic Typic Melanudand
M-1 ^{#2}	300095	2785350	970	18	五節芒、臺灣矢竹	兩輝石角閃石安山岩	Medial, ferrihydritic, thermic Typic Fulvudand
M-2	300150	2785215	890	35	紅楠	兩輝石角閃石安山岩	Medial, ferrihydritic, thermic Typic Fulvudand
M-3	300135	2784830	800	21	紅楠	兩輝石角閃石安山岩	Medial, ferrihydritic, thermic Typic Fulvudand
HT-1 ^{#3}	---	---	910	5	類地毯草、草原、五節芒	含橄欖石兩輝角閃石安山岩	Clayey, mixed, thermic, Andic Dystrudept
HT-2	---	---	830	28	紅楠、蕨類	含橄欖石兩輝角閃石安山岩	Clayey, mixed, thermic, Andic Dystrudept
HT-3	---	---	780	15	紅楠、蕨類	含橄欖石兩輝角閃石安山岩	Clayey, mixed, thermic, Andic Dystrudept
LTN-1 ^{#4}	---	---	860	---	箭竹	兩輝石安山岩	Loamy, mixed, thermic Andic Dystrudept
LTN-2	---	---	860	---	箭竹	兩輝石安山岩	Fine-silty, mixed, thermic Andic Dystrudept
T1 ^{#5}	301800	2785660	1090	4	臺灣矢竹、紅楠	紫蘇輝石角閃石安山岩	Medial, amorphous, thermic Acrudoxic Hapludand
T2 ^{#5}	302000	2786190	1000	22	臺灣芒	紫蘇輝石角閃石安山岩	Medial, amorphous, thermic Acrudoxic Hapludand
T3 ^{#5}	302145	2786380	915	1	臺灣矢竹、紅楠	紫蘇輝石角閃石安山岩	Medial, ferrihydritic, thermic Acrudoxic Hapludand
T4 ^{#5}	302220	2786665	830	24	臺灣芒	兩輝石角閃石安山岩	Medial, amorphous, thermic Acrudoxic Hapludand
T5 ^{#6}	301438	2784890	940	2	臺灣芒	含角閃石兩輝石安山岩	Coarse-loamy, mixed, thermic Andic Dystrudept
T6 ^{#6}	301740	2785315	980	30	臺灣芒	紫蘇輝石角閃石安山岩	Meidal, mixed, thermic Alic Hapludand
T7 ^{#6}	301300	2784905	950	35	闊葉林(紅楠)	含角閃石兩輝石安山岩	Fine-loamy, mixed, thermic Andic Dystrudept
T8 ^{#6}	300280	2784890	790	18	闊葉林(紅楠)	兩輝石角閃石安山岩	Fine-loamy, mixed, thermic Andic Dystrudept
T9 ^{#6}	301245	2786175	830	15	闊葉林(紅楠)	紫蘇輝石角閃石安山岩	Meidal, mixed, thermic Alic Hapludand
T10 ^{#7}	301990	2786555	860	31	闊葉林	兩輝石角閃石安山岩	Meidal, mixed, thermic Acrudoxic Hapludand
T11	301255	2786225	830	5	闊葉林	紫蘇輝石角閃石安山岩	Meidal, mixed, thermic Acrudoxic Hapludand
T12	301730	2786440	860	30	闊葉林	兩輝石角閃石安山岩	Meidal, mixed, thermic Alic Hapludand
T13	302010	2786695	830	10	闊葉林與草地交界	兩輝石角閃石安山岩	Meidal, mixed, thermic Acrudoxic Hapludand
T14	301925	2786620	815	29	闊葉林	兩輝石角閃石安山岩	Meidal, mixed, thermic Alic Hapludand
T15	301755	2786600	790	12	臺灣芒	兩輝石角閃石安山岩	Medial, amorphous, thermic Acrudoxic Fulvudand
T16	302160	2786300	925	24	臺灣芒	紫蘇輝石角閃石安山岩	Meidal, mixed, thermic Alic Hapludand
T17	302210	2786355	910	10	箭竹	紫蘇輝石角閃石安山岩	Meidal, mixed, thermic Acrudoxic Hapludand
T18	302380	2786370	870	26	箭竹(90%)、闊葉樹葉(10%)	紫蘇輝石角閃石安山岩	Meidal, mixed, thermic Acrudoxic Hapludand
T19-1	301250	2783860	670	28	闊葉林	兩輝石安山岩	Andic Dystrudept
T19	301460	2784040	660	46	闊葉林	兩輝石安山岩	Humic Lithic Dystrudept
T20	301830	2783900	670	28	闊葉林	大屯山凝灰角礫岩	Andic Dystrudept

(續下頁)

表 3-1 (續)

樣點	X 座標	Y 座標	海拔(m)	坡度(度)	植被	母岩	土壤分類*
T21	301980	2784045	680	5	闊葉林	大屯山凝灰角礫岩	Andic Dystrudept
T22	301890	2784165	700	10	闊葉林	大屯山凝灰角礫岩	Andic Dystrudept
T23	302110	2784505	675	35	闊葉林	大屯山凝灰角礫岩	Humic Lithic Dystrudept
T24	302460	2785015	700	30	闊葉林	大屯山凝灰角礫岩	Andic Dystrudept
T25	301110	2783415	575	25	闊葉林	兩輝石安山岩	Andic Dystrudept
T26	301515	2783160	410	35	闊葉林	大屯山凝灰角礫岩	Andic Dystrudept
T27	301435	2783355	510	30	闊葉林	兩輝石安山岩	Andic Dystrudept
T28	301085	2785780	830	10	闊葉林	紫蘇輝石角閃石安山岩	Andic Dystrudept
T29	301630	2785130	880	5	闊葉林	紫蘇輝石角閃石安山岩	Andic Dystrudept
T30	301270	2784875	925	43	闊葉林	含角閃石兩輝石安山岩	Andic Dystrudept
T31	301060	2784960	900	20	闊葉林	含角閃石兩輝石安山岩	Andic Dystrudept
T32	301250	2785655	885	34	闊葉林	上部凝灰角礫岩	Andic Dystrudept
T33	301295	2785500	890	10	芒草(50%)、闊葉樹(50%)	大屯山凝灰角礫岩	Andic Dystrudept
T34	301195	2785200	885	20	闊葉林	大屯山凝灰角礫岩	Andic Dystrudept
T35	301025	2785025	925	35	芒草	含角閃石兩輝石安山岩	Humic Lithic Dystrudept
T36	300730	2784980	910	30	闊葉林	含角閃石兩輝石安山岩	Andic Dystrudept
T37	300500	2784980	805	15	闊葉林	兩輝石角閃石安山岩	Andic Dystrudept
T38	300430	2785235	775	5	闊葉林	兩輝石角閃石安山岩	Andic Dystrudept
T39	301010	2783900	625	40	闊葉林、蕨	兩輝石安山岩	Andic Dystrudept
T40	301060	2784210	675	46	闊葉林、蕨	兩輝石安山岩	Lithic Dystrudept
T41	301065	2784435	660	25	闊葉林、蕨	大屯山凝灰角礫岩	Andic Dystrudept
T42	301285	2784670	800	38	闊葉林、蕨	含角閃石兩輝石安山岩	Humic Lithic Dystrudept
T43	299760	2785140	890	30	闊葉林、蕨	兩輝石角閃石安山岩	Humic Lithic Dystrudept
T44	299650	2785105	850	20	闊葉林、蕨	兩輝石角閃石安山岩	Andic Dystrudept
T45	299860	2784910	800	17	闊葉樹、桂竹	兩輝石角閃石安山岩	Andic Dystrudept
T46	300670	2785660	770	16	闊葉樹(70%)、芒草(30%)	兩輝石角閃石安山岩	Andic Dystrudept
3 ^{#8}	300111	2787407	440	23	闊葉林、蕨	兩輝石角閃石安山岩	Andic Dystrudept
4	300775	2788250	440	18	闊葉林、蕨	兩輝石角閃石安山岩	Andic Dystrudept
C-1 ^{#9}	304280	2785790	820	15	箭竹	上部凝灰角礫岩	Medial, amorphic, thermic Acrudoxic Hapludand
C-2	305745	2785920	660	45	五節芒	上部凝灰角礫岩	Medial, amorphic, thermic Lithic Hapludand

(續下頁)

表 3-1 (續)

樣點	X 座標	Y 座標	海拔(m)	坡度(度)	植被	母岩	土壤分類*
CHS-1 ^{#10}	305525	2785550	735	22	闊葉林	上部凝灰角礫岩	Loamy, mixed, thermic Andic Dystrudept
CHS-2	305395	2785545	780	5	臺灣矢竹	上部凝灰角礫岩	Medial, ferrihydritic, thermic, Alic Hapludand
CHS-3	305275	2785590	800	32	闊葉林	上部凝灰角礫岩	Medial, mixed, thermic, Lithic Hapludand
CHS-4	305205	2785515	840	46	闊葉林	上部凝灰角礫岩	Medial, ferrihydritic, thermic, Lithic Hapludand
Chs1-1 ^{#7}	305002	2784899	1060	15	箭竹林	紫蘇輝石角閃石安山岩	Loamy, mixed, thermic Humic Lithic Dystrudept
Chs1-2	305000	2784600	1000	20	闊葉樹與箭竹混生	紫蘇輝石角閃石安山岩	Medial, mixed, thermic Alic Hapludand
Chs1-2-1	305005	2784505	950	25	闊葉林(杉木 20%)	紫蘇輝石角閃石安山岩	Alic Hapludand
Chs1-2-2	304960	2784380	870	40	闊葉林	紫蘇輝石角閃石安山岩	Humic Lithic Dystrudept
Chs1-3	305000	2784355	850	20	闊葉林	紫蘇輝石角閃石安山岩	Loamy, mixed, thermic Humic Lithic Dystrudept
Chs1-3-1	304960	2784170	780	20	闊葉林(林下有箭竹 40%)	上部凝灰角礫岩	Humic Lithic Dystrudept
Chs1-4	304898	2784145	750	5	闊葉林	上部凝灰角礫岩	Medial, amorphic, thermic Acrudoxic Fulvudand
Chs1-4-1	304735	2784040	710	13	闊葉林	上部凝灰角礫岩	Andic Dystrudept
Chs1-5	304570	2784030	660	12	闊葉林	上部凝灰角礫岩	Medial, ferrihydritic, thermic Alic Hapludand
C2	305150	2784375	880	8	闊葉林	紫蘇輝石角閃石安山岩	Loamy, mixed, thermic Humic Lithic Dystrudept
Chs2-1	305175	2784810	1090	10	五節芒	紫蘇輝石角閃石安山岩	Loamy, mixed, thermic Andic Dystrudept
Chs2-2	305215	2784730	1055	38	五節芒	紫蘇輝石角閃石安山岩	Loamy, mixed, thermic Andic Dystrudept
Chs2-3	305235	2784355	875	25	闊葉林	紫蘇輝石角閃石安山岩	Loamy, mixed, thermic Humic Lithic Dystrudept
Chs2-4	305640	2784370	890	28	五節芒	紫蘇輝石角閃石安山岩	Loamy, mixed, thermic Lithic Dystrudept
Chs2-5	305685	2784615	890	15	闊葉林(混生臺灣杉)	紫蘇輝石角閃石安山岩	Loamy, mixed, thermic Humic Lithic Dystrudept
Chs2-6	305685	2784795	850	30	闊葉林(混生五節芒)	紫蘇輝石角閃石安山岩	Medial, ferrihydritic, thermic Alic Hapludand
Chs2-6-1	305680	2784790	850	25	芒草	紫蘇輝石角閃石安山岩	Medial, ferrihydritic, thermic Alic Hapludand
Chs2-7	305940	2784255	750	20	針闊葉混合林(杉木造林地)	紫蘇輝石角閃石安山岩	Alic Hapludand
Chs3-1	304690	2784905	1060	23	箭竹林	紫蘇輝石角閃石安山岩	Loamy, mixed, thermic Alic Hapludand
Chs3-2	304490	2785045	970	28	闊葉樹(70%)與箭竹(30%)	紫蘇輝石角閃石安山岩	Loamy, mixed, thermic Humic Lithic Dystrudept
Chs3-3	304500	2785245	950	30	芒草	紫蘇輝石角閃石安山岩	Humic Lithic Dystrudept
Chs3-4	304495	2785300	920	35	芒草	紫蘇輝石角閃石安山岩	Humic Lithic Dystrudept
Chs3-5	304455	2785385	890	25	芒草	紫蘇輝石角閃石安山岩	Humic Lithic Dystrudept
Chs3-6	304465	2785530	870	35	芒草	上部凝灰角礫岩	Humic Lithic Dystrudept

*: Based on Soil Survey Staff (1999).

** : no data

#1:陳尊賢、黃政恆(1991), T = 大屯山; #2:Chen et al.(1999); #3:Chen et al.(2001), HT= 磺嘴山; #4:Asio and Chen (1998), LTN = 柳子楠; #5:黃政恆等人(1993); #6:黃政恆等人(1994); #7: 蔡呈奇(2002); #8: 高政毅(2003); #9:黃政恆、陳尊賢(1990); #10:黃政恆、陳尊賢(1992), CHS = 七星山;

表 3-2 88 個土壤樣體之環境特徵與土壤性質之敘述統計分析

環境特徵/土壤性質	最小值	最大值	平均值	標準差 (S.D.)	變異係數 (CV%)
海拔(公尺)	410	1090	834	127	15.2
坡度(度)	1	46	23.1	11.5	49.9
A 化育層厚度(公分)	7	60	16.8	9.01	53.6
B 化育層厚度(公分)	0	80	33.7	21.1	62.6
土體厚度(公分)	7	160	66.5	28.2	42.5

表 3-3 88 個土壤樣體的分類結果與個數統計表

土綱	個數	亞綱	個數	大土類	個數	亞類	個數
Andisols	32	Udand	32	Melanudand	1	Typic Melanudand	1
				Fulvudand	5	Acrudoxic Fulvudand	2
						Typic Fulvudand	3
				Hapludand	26	Lithic Hapludand	3
						Acrudoxic Hapludand	10
						Alic Hapludand	13
Inceptisols	56	Udept	56	Dystrudept	56	Humic Lithic Dystrudept	16
						Lithic Dystrudept	2
						Andic Dystrudept	38

第二節 本研究之土壤調查結果

本研究共調查 34 個土壤樣點(圖 3-2, 表 3-4), 包括: 不在截線上的 4 個樣點(Y0)、Y1 截線有 4 個樣點、Y2 截線有 10 個樣點、Y3 截線有 5 個樣點、Y4 截線有 3 個樣點、與 Y5 截線有 8 個樣點, 分述如下:

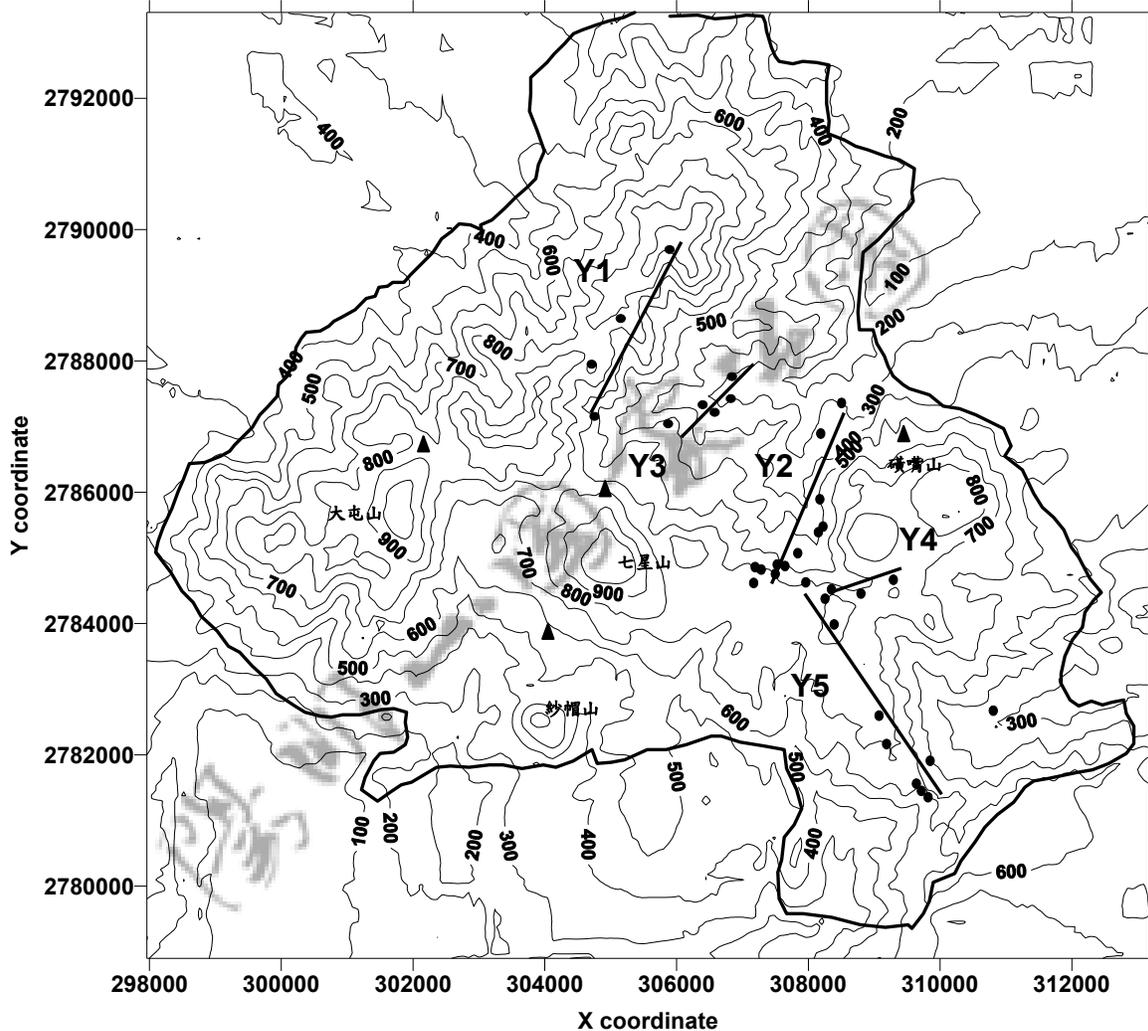


圖 3-2 本研究調查之 34 個土壤樣點的分布位置圖

壹、Y0 (圖 3-3)

Y0-1 位於擎天崗草原, 海拔 765 公尺, 坡度平緩, 主要為草原植被。因為土壤沒有茂密的植被覆蓋與保護, 雨水的淋洗作用甚強, 野外調查可以感覺到上下層土壤質地有明顯的變化, 亦即黏粒有增加的趨勢, 野外判斷先歸類為弱育土(Inceptisols); 土壤總體密度(Bd)($Bd > 0.9 \text{ Mg/m}^3$)的結果說明此土壤樣體已非灰燼土(Andisols), 分類上暫先歸類為低鹽基濕潤弱育土(Dystrudepts)。

Y0-2 位於擎天崗草原往冷水坑的步道旁, 海拔 757 公尺, 坡度稍大(15°), 主要

為芒草與少數紅楠。土壤有上層植被的覆蓋與保護，土壤的淋洗作用不甚強烈，且土塊甚輕，顯示土壤 Bd 較小，野外判斷歸類為灰燼土；土壤總體密度(Bd)($Bd < 0.9 \text{ Mg/m}^3$)的結果說明此土壤樣體應屬灰燼土，分類上暫先歸類為簡育濕潤灰燼土(Hapludands)。

表 3-4 本研究所採集之 34 個土壤剖面的座標位置、環境特徵與土壤分類

樣點	X 座標	Y 座標	海拔(m)	坡度(度)	植被	母岩	土壤分類*
Y0-1	308220	2784343	765	6	草原	兩輝石角閃石安山岩	Dystrudepts
Y0-2	307867	2784216	757	15	五節芒、少數闊葉樹	兩輝石角閃石安山岩	Hapludands
Y0-3	311773	2782415	329	28	闊葉混合林、臺灣芒	砂頁岩	Hapludults
Y0-4	310744	2781709	487	22	闊葉混合林、臺灣芒、桂竹	下部凝灰角礫岩	Hapludands
Y1 Transect							
Y1-1	306358	2789303	978	35	五節芒、臺灣矢竹	兩輝安山岩	Hapludands
Y1-2	305635	2788128	872	10	臺灣矢竹、五節芒	兩輝安山岩	Dystrudepts
Y1-3	305205	2787349	877	20	五節芒、紅楠、臺灣矢竹	兩輝安山岩	Hapludands
Y1-4	305247	2786461	829	35	五節芒、闊葉樹	兩輝安山岩	Hapludands
Y2 Transect							
Y2-1	307891	2784439	751	37	筆筒樹、五節芒、細枝柃木、山桂花	含角閃石兩輝石安山岩	Hapludands
Y2-2	307991	2784405	766	10	五節芒草原	含角閃石兩輝石安山岩	Hapludands
Y2-3	308249	2784475	733	12	五節芒草原	含角閃石兩輝石安山岩	Hapludands
Y2-4	308378	2784454	697	30	五節芒草原	含角閃石兩輝石安山岩	Dystrudepts
Y2-5	308586	2784636	594	30	五節芒草原	含角閃石兩輝石安山岩	Hapludands
Y2-6	308922	2784931	529	20	闊葉樹林	含角閃石兩輝石安山岩	Hapludands
Y2-7	308998	2785010	510	40	闊葉樹林	紫蘇輝石角閃石安山岩	Hapludands
Y2-8	308946	2785395	465	35	九節木、紅楠、野牡丹、樹蔘	紫蘇輝石角閃石安山岩	Hapludults
Y2-9	308961	2786321	391	25	九節木、紅楠	紫蘇輝石角閃石安山岩	Hapludands
Y2-10	309300	2786753	335	11	臺灣芒	紫蘇輝石角閃石安山岩	Hapludands
Y3 Transect							
Y3-1	307280	2787138	400	2	臺灣芒、筆筒樹、鬼莎蘿、紅楠	上部凝灰角礫岩	Hapludands
Y3-2	307263	2786763	400	10	闊葉樹林	上部凝灰角礫岩	Hapludands
Y3-3	307025	2786529	470	15	闊葉樹林	上部凝灰角礫岩	Dystrudepts
Y3-4	306847	2786658	545	35	闊葉樹林	上部凝灰角礫岩	Hapludands
Y3-5	306336	2786333	670	11	臺灣矢竹、五節芒、闊葉樹	兩輝石角閃石安山岩	Hapludands
Y4 Transect							
Y4-1	309134	2784125	798	20	柳杉造林木、闊葉樹	含橄欖石角閃石輝石安山岩	Hapludands
Y4-2	309616	2784066	794	20	闊葉樹林	含橄欖石角閃石輝石安山岩	Hapludands
Y4-3	310145	2784260	827	2	五節芒、紅楠	含橄欖石角閃石輝石安山岩	Hapludults
Y5 Transect							
Y5-1	308717	2784224	777	5	五節芒、闊葉樹	兩輝石角閃石安山岩	Hapludands
Y5-2	309031	2783993	794	30	闊葉樹林	兩輝石角閃石安山岩	Hapludands
Y5-3	309179	2783630	853	12	五節芒	兩輝石角閃石安山岩	Hapludands
Y5-4	309911	2782345	764	5	柳杉造林木、闊葉樹	兩輝石角閃石安山岩	Hapludands
Y5-5	310034	2781944	716	23	闊葉樹林	兩輝石角閃石安山岩	Hapludands
Y5-6	310520	2781386	664	25	闊葉樹林	下部凝灰角礫岩	Dystrudepts
Y5-7	310601	2781285	626	5	五節芒、少數闊葉樹	下部凝灰角礫岩	Hapludands
Y5-8	310710	2781195	622	25	闊葉樹林	下部凝灰角礫岩	Dystrudepts

*: Based on Soil Survey Staff (2006). Dystrudepts = 低鹽基濕潤弱育土; Hapludands = 簡育濕潤灰燼土; Hapludults = 簡育濕潤極育土

陽明山國家公園全區土壤分析調查

Y0-3 位於萬溪產業道路旁(約 12K)，在國家公園的邊界，土壤母質已變為砂頁岩；海拔 329 公尺，坡度較陡(28°)，主要為闊葉混合林與芒草。土壤構造非常良好且質地黏重，上下層土壤質地的變化可感覺到明顯的黏粒洗入，於土塊中可以發現些許清晰的黏粒膜，野外判斷歸類為極育土(Ultisols)；土壤總體密度(Bd)在黏聚層(Bt)中都高於 1.1 Mg/m³，分類上暫先歸類為簡育濕潤極育土(Hapludults)。

Y0-4 位於萬溪產業道路旁(約 14.5K)，海拔 487 公尺，坡度為 22°，主要為芒草、人造竹林與少數闊葉樹種。土壤有上層植被的覆蓋與保護，土壤非常鬆軟易碎與土塊甚輕，顯示土壤 Bd 較小，野外判斷歸類為灰燼土；土壤總體密度(Bd)(Bd < 0.9 Mg/m³)的結果說明此土壤樣體應屬灰燼土，分類上暫先歸類為簡育濕潤灰燼土(Hapludands)。

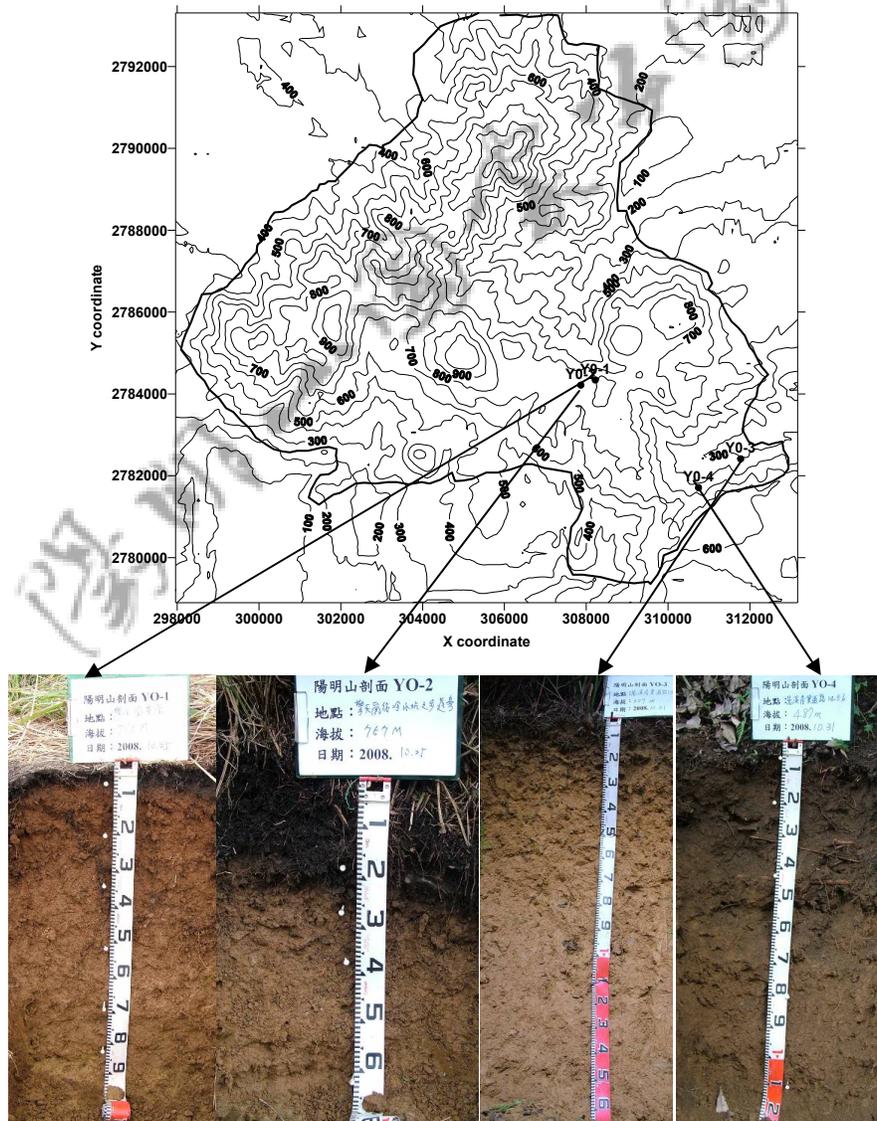


圖 3-3 不在截線上的 4 個土壤樣點的剖面照片(由左至右分別為 Y0-1、Y0-2、Y0-3、Y0-4)

貳、Y1 截線(圖 3-4)

Y1 截線位於竹子山軍事管制區內，共調查 4 個剖面(Y1-1、Y1-2、Y1-3、Y1-4)，海拔都在 800 公尺以上。Y1-1 位於海拔 978 公尺的山肩，坡度極大(35°)，地被密生芒草與箭竹，地表有約 30%的岩石碎屑，土塊質輕與質地滑膩，野外判斷歸類為灰燼土，分類上暫先歸類為簡育濕潤灰燼土(Hapludands)。

Y1-2 位於海拔 872 公尺的鞍部地形位置，地被亦密生芒草與箭竹，坡度平緩(10°)與地形穩定少受干擾，土壤構造良好與土壤質地較為黏重，土塊密度較高(除表層 0-20 公分之外皆高於 0.9 Mg/m³)，不符合灰燼土的定義，野外判斷歸類為弱育土，分類上暫先歸類為低鹽基濕潤弱育土(Dystrudepts)。

Y1-3 位於海拔 877 公尺的上背坡地形位置，地被密生芒草與箭竹，有少數闊葉樹的出現，坡度略陡(20°)，地表含石量略高(50%)，土壤擾動嚴重，僅 0-10 公分有暗色土層的覆蓋，10 公分以下幾乎皆為輕度風化的安山岩塊；表層質地鬆軟與滑膩，野外判斷歸類為灰燼土，分類上暫先歸類為簡育濕潤灰燼土(Hapludands)。

Y1-4 位於海拔 829 公尺的上背坡地形位置，地被主要為闊葉樹與芒草，坡度陡峭(35°)，地表含石量約 30%，土壤擾動嚴重，土層只有 25 公分，25 公分以下為輕度風化的安山岩塊；土壤質地鬆軟滑膩，野外判斷歸類為灰燼土，分類上暫先歸類為簡育濕潤灰燼土(Hapludands)。

參、Y2 截線(圖 3-5)

Y2 截線主要沿著擎天崗-八煙之間的步道，共調查 10 個剖面(Y2-1~Y2-10)。10 個土壤樣體之海拔範圍在 335~766 公尺之間，土壤母質皆為安山岩，植被除了 Y2-2~Y2-5 與 Y2-10 為芒草原之外，其它五個樣體為闊葉樹林所覆蓋；本截線之坡度變化很大，除 Y2-2、Y2-3 與 Y2-10 的坡度較緩(10~12°)之外，其它樣體所在地形位置之坡度極陡(20~40°)，地表與土壤層次中都有高含量的石礫，顯示地形的不穩定狀況。在土壤分類的部份，Y2-4 土壤樣體的 Bd 已高於灰燼土的標準，因此分類為低鹽基濕潤弱育土(Dystrudepts)；Y2-8 土壤樣體雖然所在位置之坡度極陡(35°)，但剖面中有些微的黏粒膜的出現與上下土層之質地有明顯的黏粒洗入作用，分類上暫先歸類為簡育濕潤極育土(Hapludults)；其它 8 個剖面皆先歸類為簡育濕潤灰燼土(Hapludands)。

陽明山國家公園全區土壤分析調查

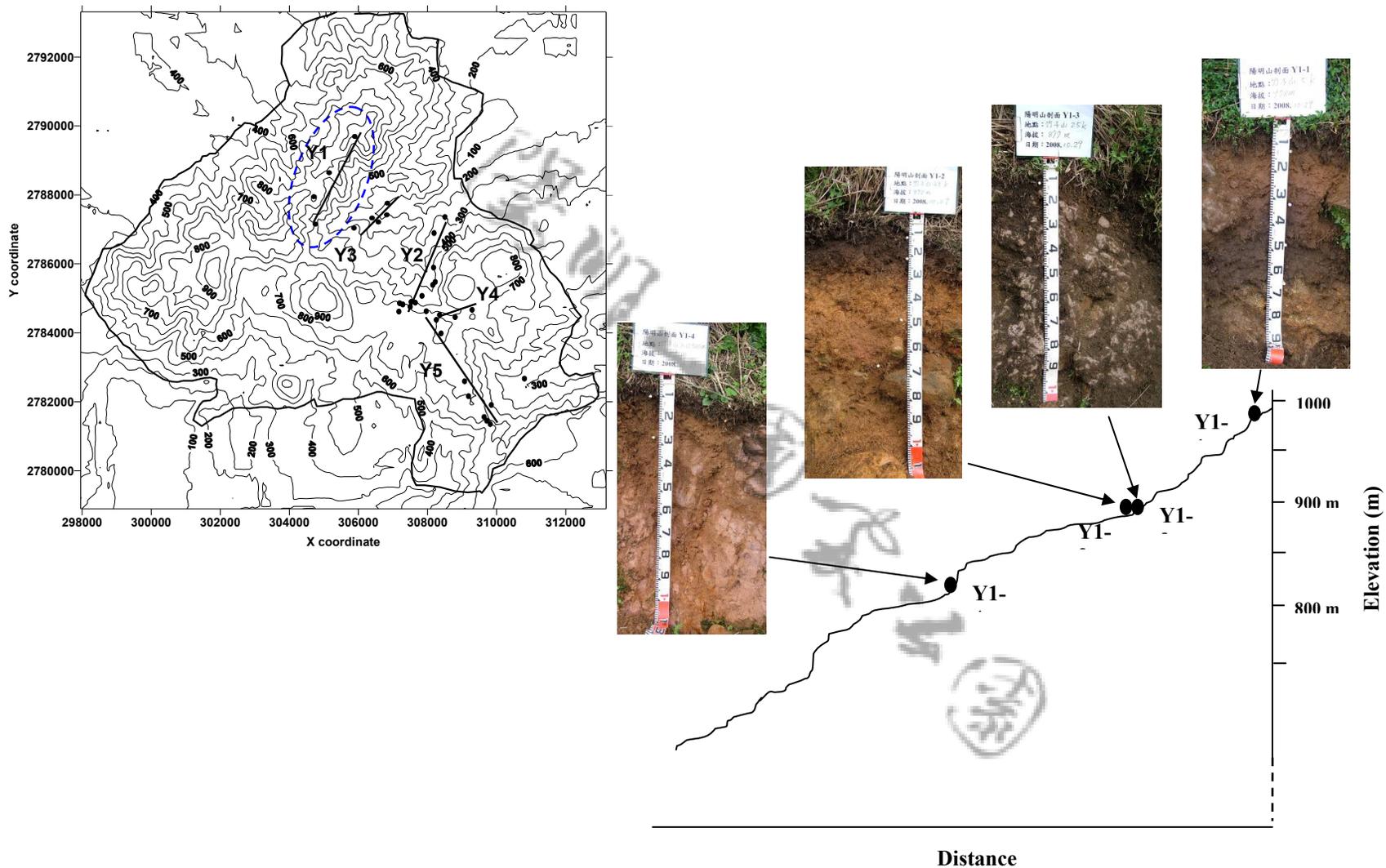


圖 3-4 Y1 截線之 4 個土壤樣點分布相對位置示意圖與土壤剖面照片

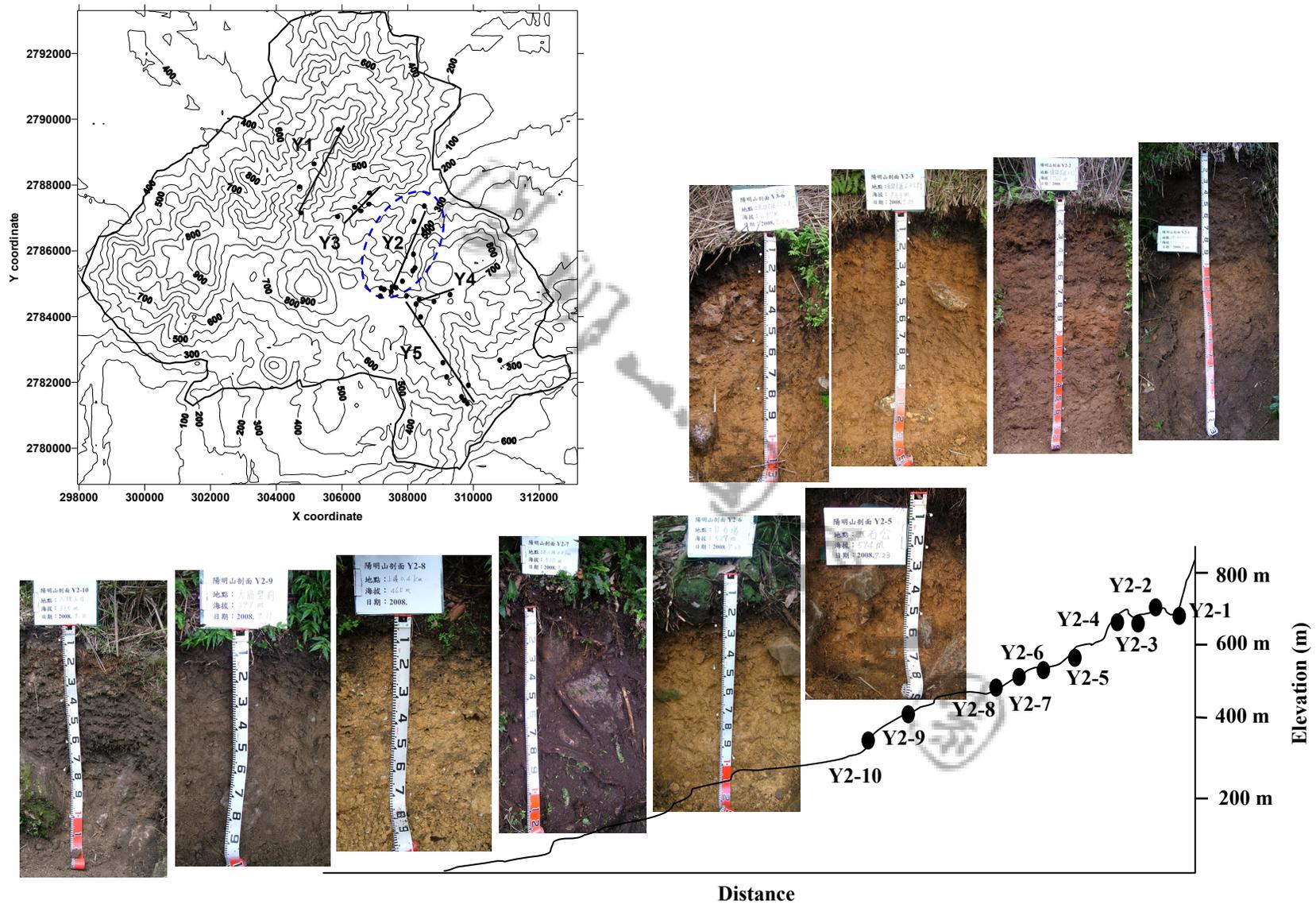


圖 3-5 Y2 截線之 10 個土壤樣點分布相對位置示意圖與土壤剖面照片

肆、Y3 截線(圖 3-6)

Y3 截線主要沿著馬槽溫泉-鹿角坑保護區，共調查 5 個剖面(Y3-1~Y3-5)。5 個土壤樣體之海拔範圍在 400~670 公尺之間，土壤母質皆為安山岩，而因為海拔較低，植被為闊葉樹林與少部份的芒草等；本截線之坡度除 Y3-4 為 35° 之外，其它樣體所在地形位置大致上平緩(2~15°)，但是土壤層次中含有不等量的石礫，推測可能是來自於上坡位置的沖刷與堆積，或可能是人為整地的擾動(現地有許多等高耕作的平臺，表示以前曾有人為耕作)。在土壤分類的部份，Y3-3 土壤樣體的 Bd 不符合灰燼土的標準，因此分類為低鹽基濕潤弱育土(Dystrudepts)，其它 4 個剖面皆先歸類為簡育濕潤灰燼土(Hapludands)。

伍、Y4 截線(圖 3-7)

Y4 截線主要沿著磺嘴山保護區內的步道，因為在前人研究中已調查過 3 個樣點(位於磺嘴山)(Chen et al., 2001)，因此本研究僅就保護區的前半斷進行調查，共調查 3 個剖面(Y4-1、Y4-2、Y4-3)。3 個土壤樣體之海拔範圍在 479~830 公尺之間，土壤母質皆為安山岩，Y4-1 與 Y4-2 的植被為闊葉樹林與少部份的芒草，Y4-3 位於山頂，僅為草地植生與有少部份芒草生長；比較特別的是本截線中有許多柳杉造林木，依據生長狀況推測應該有 10~20 年的樹齡，但造林面積不大，栽植密度也不高；本截線之坡度除 Y4-3 為平緩的山頂(避難小屋附近)之外，其它樣體所在地形位置大致上略陡(20°)，土壤層次中含有少量的石礫，推測因地形不穩定的擾動情況不大。在土壤分類的部份，Y4-3 土壤樣體有些微清晰的黏粒膜出現在土層中，且土壤質地黏重、有明顯黏粒的聚積情況，因此分類為簡育濕潤極育土(Hapludults)；Y4-1 與 Y4-2 皆歸類為簡育濕潤灰燼土(Hapludands)。

陸、Y5 截線(圖 3-8)

Y5 截線主要沿著擎天崗-風櫃嘴步道，總長度為 6.6 公里，共調查 8 個剖面(Y5-1~Y5-8)。8 個土壤樣體之海拔範圍在 622~853 公尺之間，土壤母質皆為安山岩，除 Y5-3 為單純的芒草草原之外，其它樣體之地表植被為闊葉樹林與少部份的芒草，比較特別的是 Y5-4 的地形位置(山頂)中有許多柳杉造林木，依據生長狀況推測亦應該有 10~20 年的樹齡，造林面積很小與栽植密度不高；本截線之坡度在 Y5-1、Y5-3、Y5-4 與 Y5-7 為緩坡(5~12°)地形之外，其它樣體皆為於陡坡位置(23~30°)，陡坡位置之土壤層次中含有相對較多量的石礫，推測該地形位置有不穩定的擾動情況。在土壤分類的部份，Y5-6 與 Y5-8 土壤樣體有開始脫離灰燼土的形態特徵，因此分類為低鹽基濕潤弱育土(Dystrudepts)，其它 6 個剖面皆先歸類為簡育濕潤灰燼土(Hapludands)。

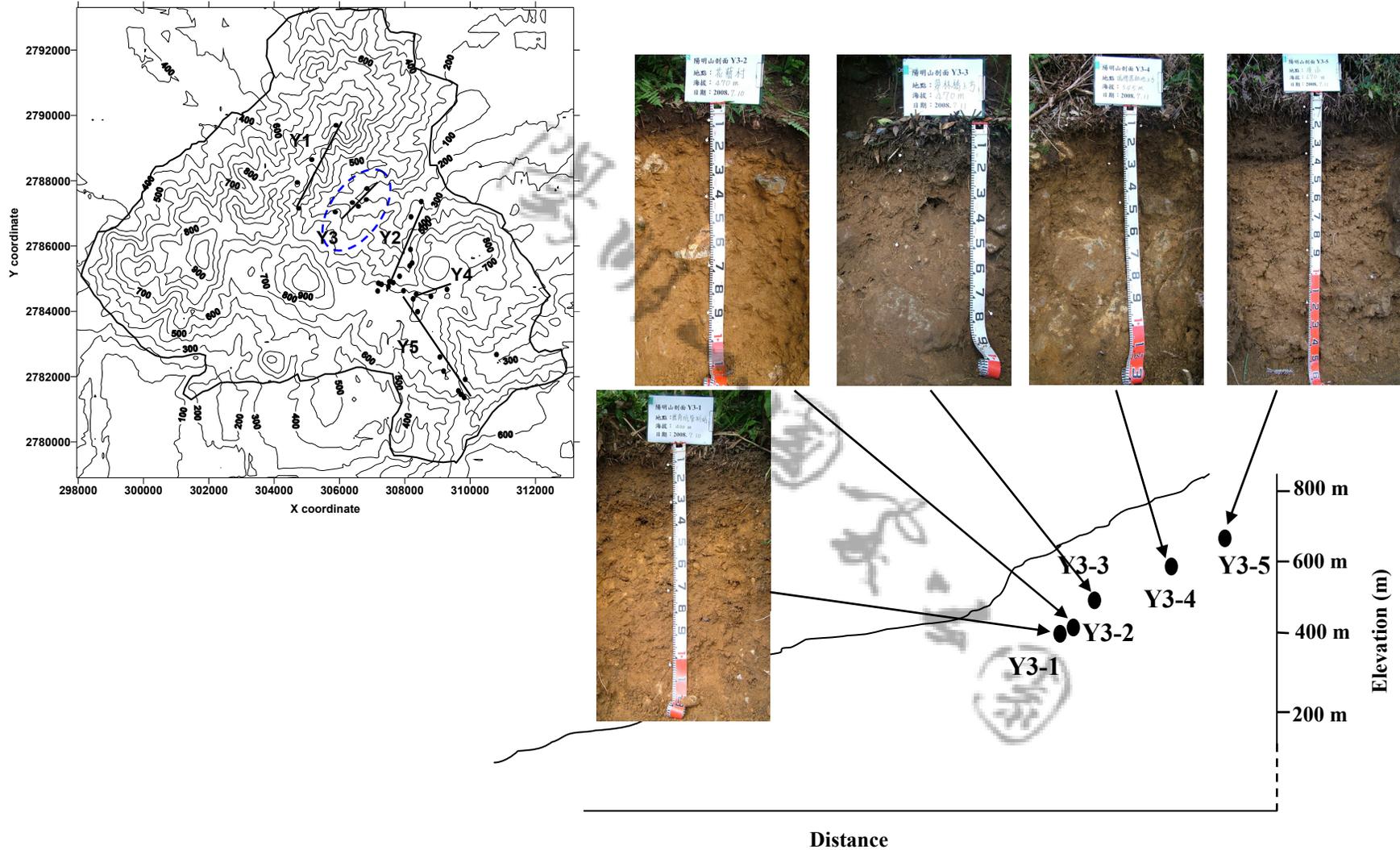


圖 3-6 Y3 截線之 5 個土壤樣點分布相對位置示意圖與土壤剖面照片

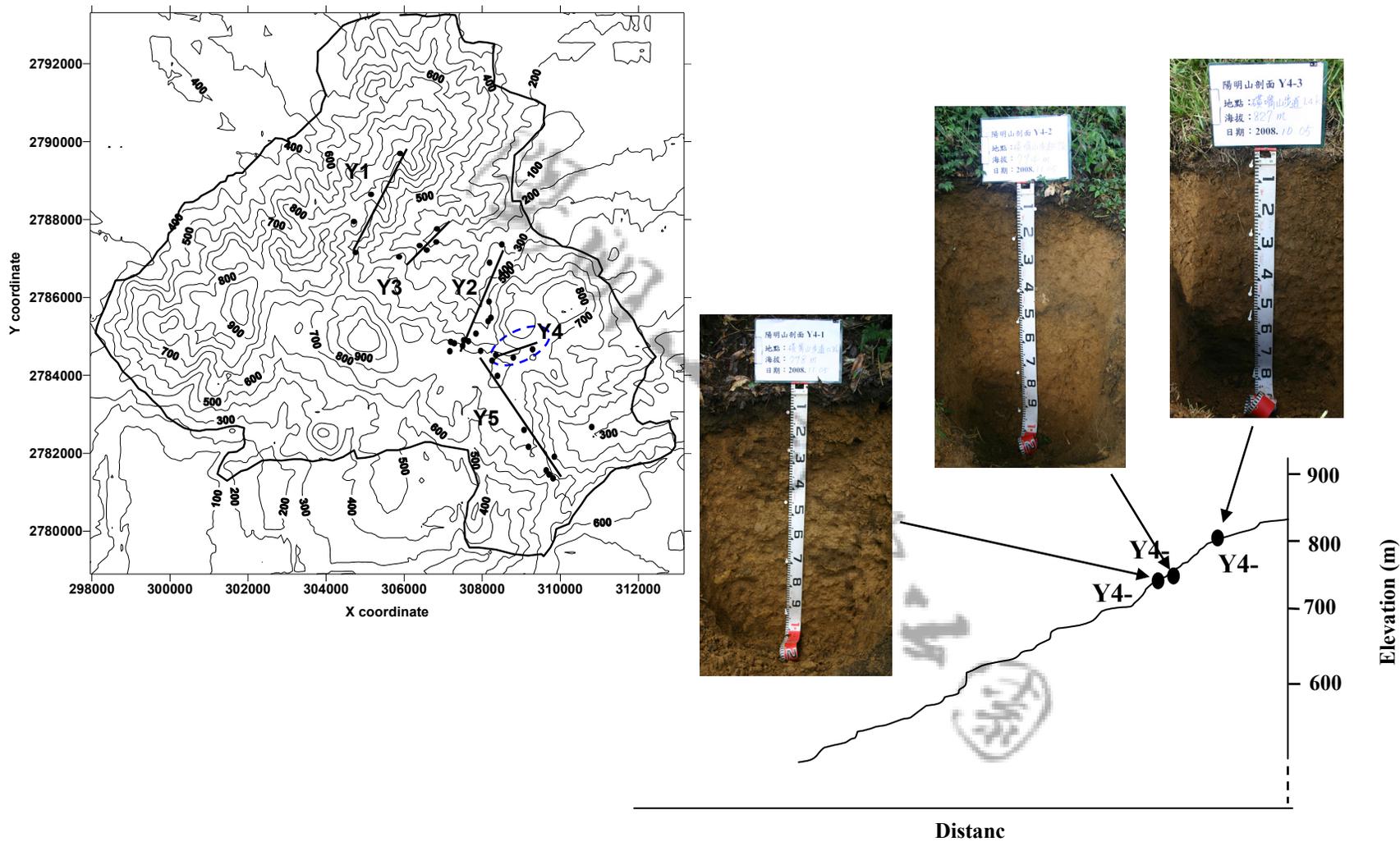


圖 3-7 Y4 截線之 3 個土壤樣點分布相對位置示意圖與土壤剖面照片

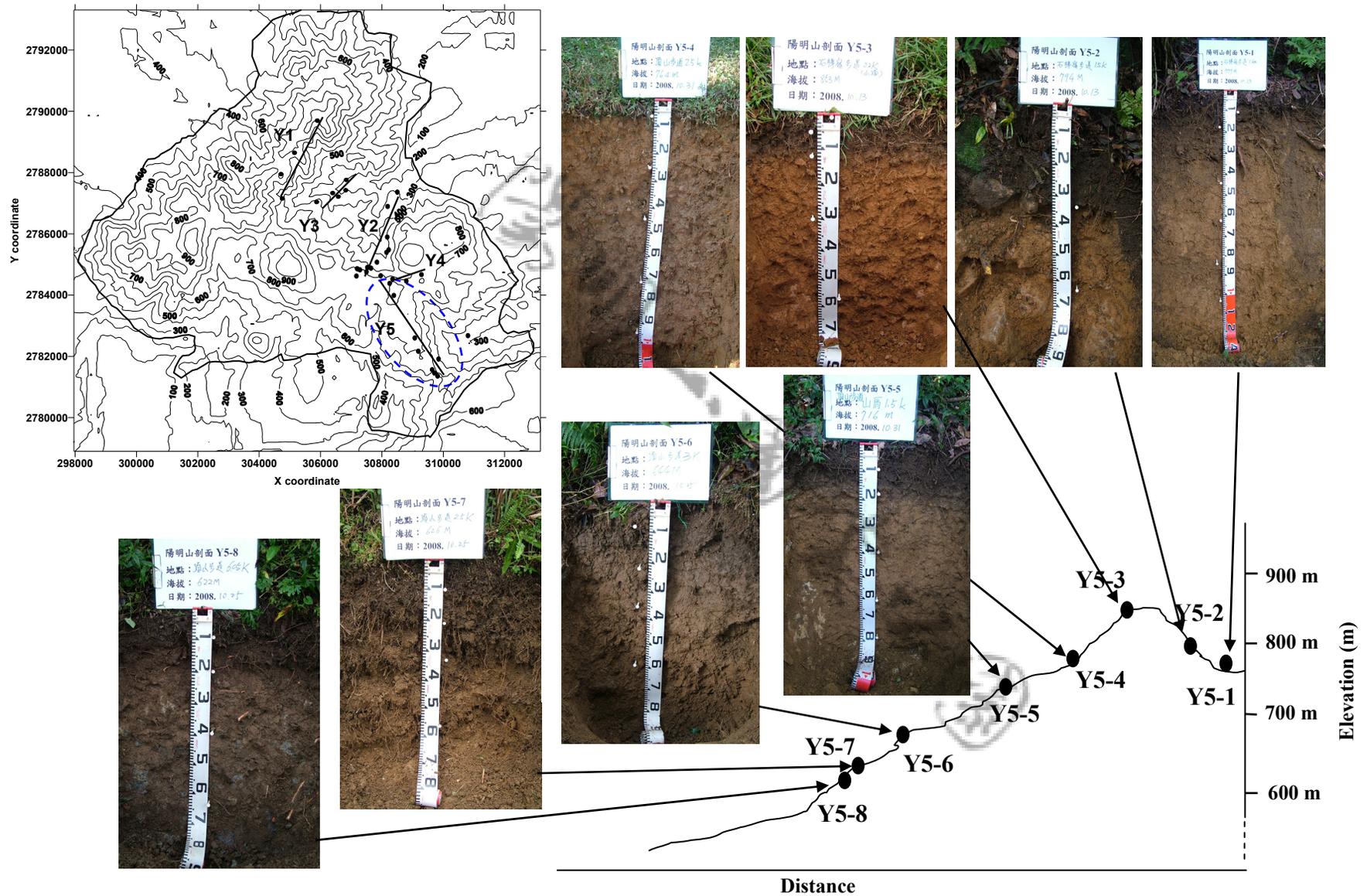


圖 3-8 Y5 截線之 8 個土壤樣點分布相對位置示意圖與土壤剖面照片

整體而言，本研究所調查之 34 個土壤樣體，有 25 個樣體分類為灰燼土、6 個樣體分類為弱育土與 3 個樣體分類為極育土。整理說明如下：

- 1.分類為灰燼土之土壤樣體大都具有結構鬆散易碎、表層土壤質地滑膩、暗色土壤表層較深厚、土壤層界明顯、土壤總體密度較低(土塊較輕)等形態特徵。
- 2.分類為弱育土的土壤樣體之結構稍微緊密不易碎、土壤質地較為黏重(黏粒含量增加)、暗色土壤表層較淺、土壤層界明顯至漸變、土壤總體密度較高(土塊較重)等形態特徵，但推測其化學性質應該還未完全脫離火山灰母質的影響。
- 3.極育土的出現較為特殊，但出現的位置不固定也沒有規則，推測應是局部微地形與微環境的影響，造成土壤洗入作用強盛，黏粒明顯聚積在下層的土壤中，並出現黏粒膜，土壤黏重、結持度緊密與構造極佳等特徵。
- 4.由截線路徑的採樣結果發現，本區的土壤受到火山灰母質的影響很大，土壤的生成與化育經過數萬到數十萬年的時間(本區火山噴發的停止時間約在 30~80 萬年前)仍未脫離灰燼土，雖然有少部份的弱育土甚至極育土的化育，但是土壤的特性仍多多少少遺留著火山灰母質的特性。另外，土壤的分布與地形間似乎沒有一定的關係或趨勢，是否因為調查樣點不足或受到氣候的影響，進一步的探討有其必要性。

第三節、國家公園園區內土壤的分類與分布模式

壹、國家公園園區內土壤的分類

綜合整理前人研究與本研究共 121 個五壤調查樣點的分類結果(表 3-5)，包括三種土綱、三種亞綱與五種大土類，其中弱育土所佔的比例最高(51%)，其次為灰燼土(47%)與極育土(2%)。

表 3-5 121 個土壤樣體的分類結果與個數統計表

土綱	個數	亞綱	個數	大土類	個數
Andisols (灰燼土綱)	57	Udand (濕潤灰燼土)	57	Melanudand	1
				Fulvudand	5
				Hapludand	51
Inceptisols (弱育土綱)	62	Udept (濕潤弱育土)	62	Dystrudept	56
Ultisols (極育土綱)	3	Udufts (濕潤極育土)	3	Hapludults	3

由圖 3-9 可以發現：前人研究的樣點多分布在大屯山與七星山，偏重園區的西南邊，本研究則偏重在園區的北邊與東邊位置；前人研究之樣點以弱育土佔大多數，且多分布在大屯山西南側與七星山(參見表 3-1 與表 3-3)，本研究卻以灰燼土佔多數。

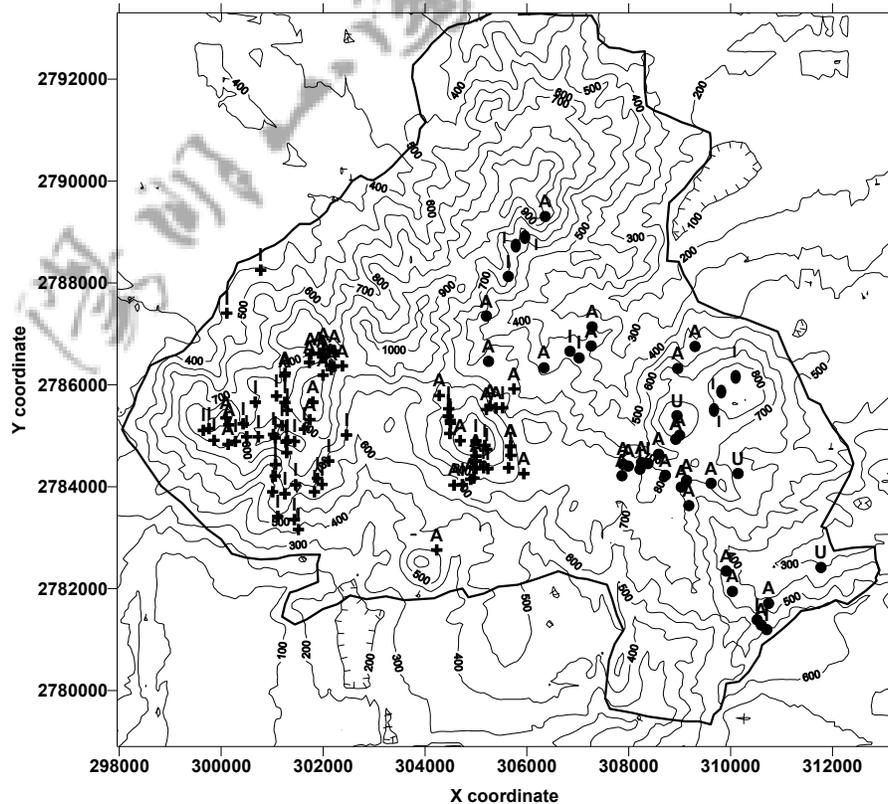


圖3-9 陽明山國家公園內前人研究(十字記號樣點)與本研究(圓點記號樣點)共117個土壤樣體的分布位置(A= Andisols; I = Inceptisols; U =Ultisols)

貳、國家公園園區內土壤的分布模式

圖 3-10 為三種土綱土壤所在位置之海拔高度與坡度的分布狀況。灰燼土的分布多在海拔 700 公尺以上，坡度分布在平緩至陡坡的情況都有(5~35°)。弱育土出現的位置較分散，海拔在 500~700 公尺之間且坡度在 25~40°之間與海拔在 800~1000 公尺之間且坡度在 5~40°之間的都可能出現弱育土，推測在較低海拔且坡度較陡的區域，因地形不穩定造成土壤的沖蝕，造成土壤有不同程度的堆積，因此可能改變了原來的灰燼土的特性；而在較高海拔的地區，如果坡度平緩，因高雨量造成土壤洗入作用旺盛，會造成土壤總體密度增加，進而高於灰燼土的分類標準而分類為弱育土，高海拔且陡坡的地區，也可能如同在低海拔及陡坡地區的情形，而生成弱育土。極育土的出現較特殊，中低海拔的陡坡地與高海拔的緩坡地都有發現，應該是局部地區的土壤變異，由灰燼土或弱育土因強烈黏粒洗入作用與累積而生成極育土。

園區內灰燼土的分布位置似乎多與弱育土重疊，由野外的土壤形態特徵並不容易將兩者完全區分開來，常會有誤判的情況，但多數藉由理化性質分析的結果來輔助分類，即可以解決誤判的情況。但是大量的室內分析需耗費更多人力、物力與時間，如果能找到或發展出適合的土壤指標，以 1~2 項能簡易分析的土壤性質配合幾項土壤形態特徵，作為灰燼土的判斷依據，除了能減少土壤分類上的誤判，也可以加速調查工作的進行。另外，園區的山勢多陡峭，地形不穩定的干擾顯著影響土壤的化育。

參、國家公園園區內之土綱土壤圖

本研究將國家公園所提供之高解析度(4m)的數值地形資料(digital terrain model, DTM)，進一步轉換成較低解析度(80m)的資料以方便使用(因 4m 之資料量太過龐大，PC 電腦無法處理)。再利用自行數化的國家公園邊界框架，兩者圖形套疊，繪製出圖 3-11 數值等高線圖與 3D 的魚網圖，可以清楚的了解園區內海拔的變化與山勢的相對位置，可做為在土壤圖繪製時很重要的參考依據。

依據前人研究與本研究之土壤資料，園區的土壤-地形模式無法在此次的研究中被建立，可能的原因有以下幾點：

1. 前人研究的重點區域在大屯山與七星山兩處火山群，由圖 3-9 可知園區內仍有大部份的地區未被調查。
2. 園區內山勢的坡度變化很大，地形不穩定的干擾顯著影響土壤的化育。
3. 灰燼土的分類多需要借重土壤理化性質分析，在野外利用土壤形態特徵來判斷是否為灰燼土並不容易，容易將灰燼土誤判為弱育土或將弱育土誤判為灰燼土。

因此，本研究依照資料整理的結果，以人為判斷的方式，利用電腦數化的方式將灰燼土與弱育土可能的分布位置繪製出邊界(極育土因為只為少數樣點，因此不繪入圖中)，園區之土綱土壤如圖 3-12 所示。

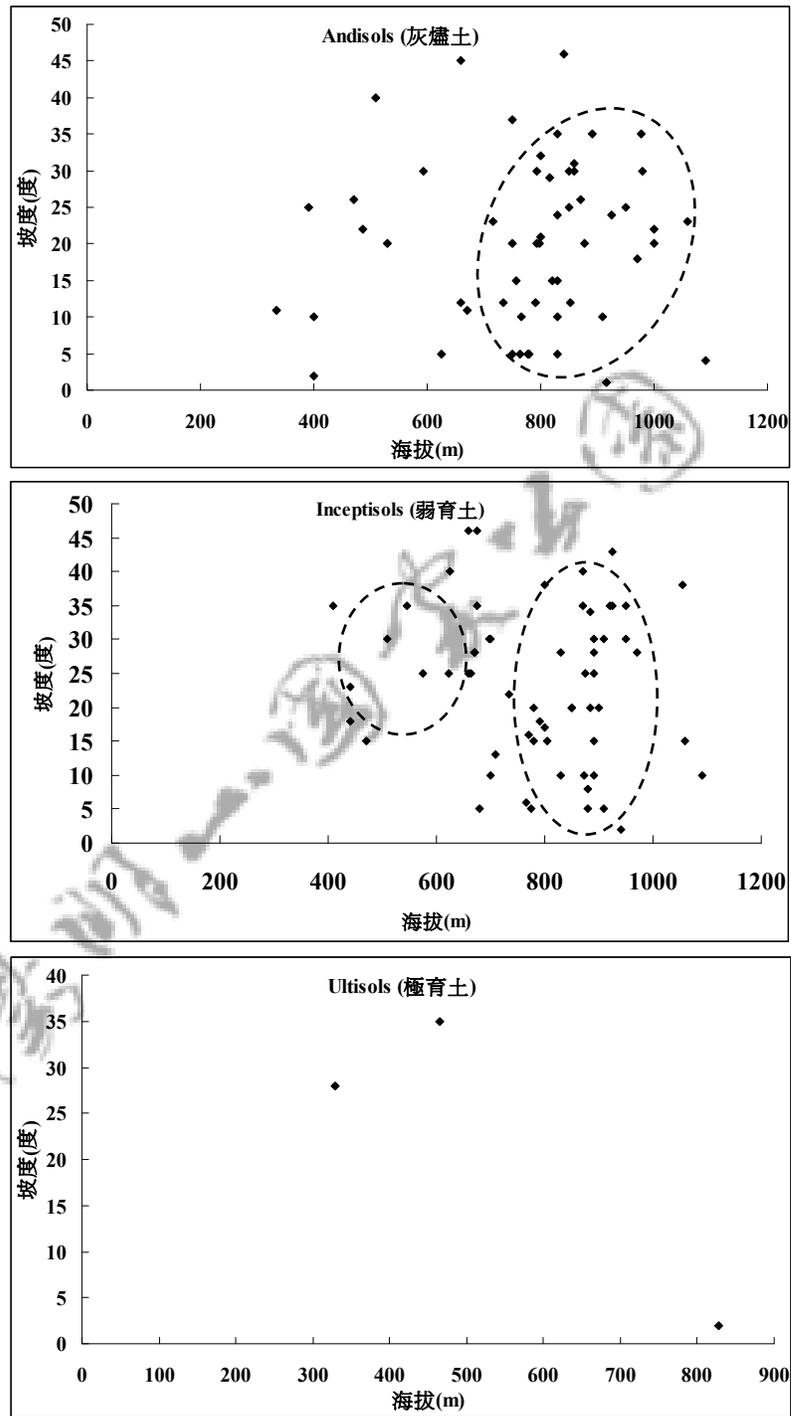


圖 3-10 灰燼土、弱育土與極育土所在位置之海拔高度與坡度的分布狀況

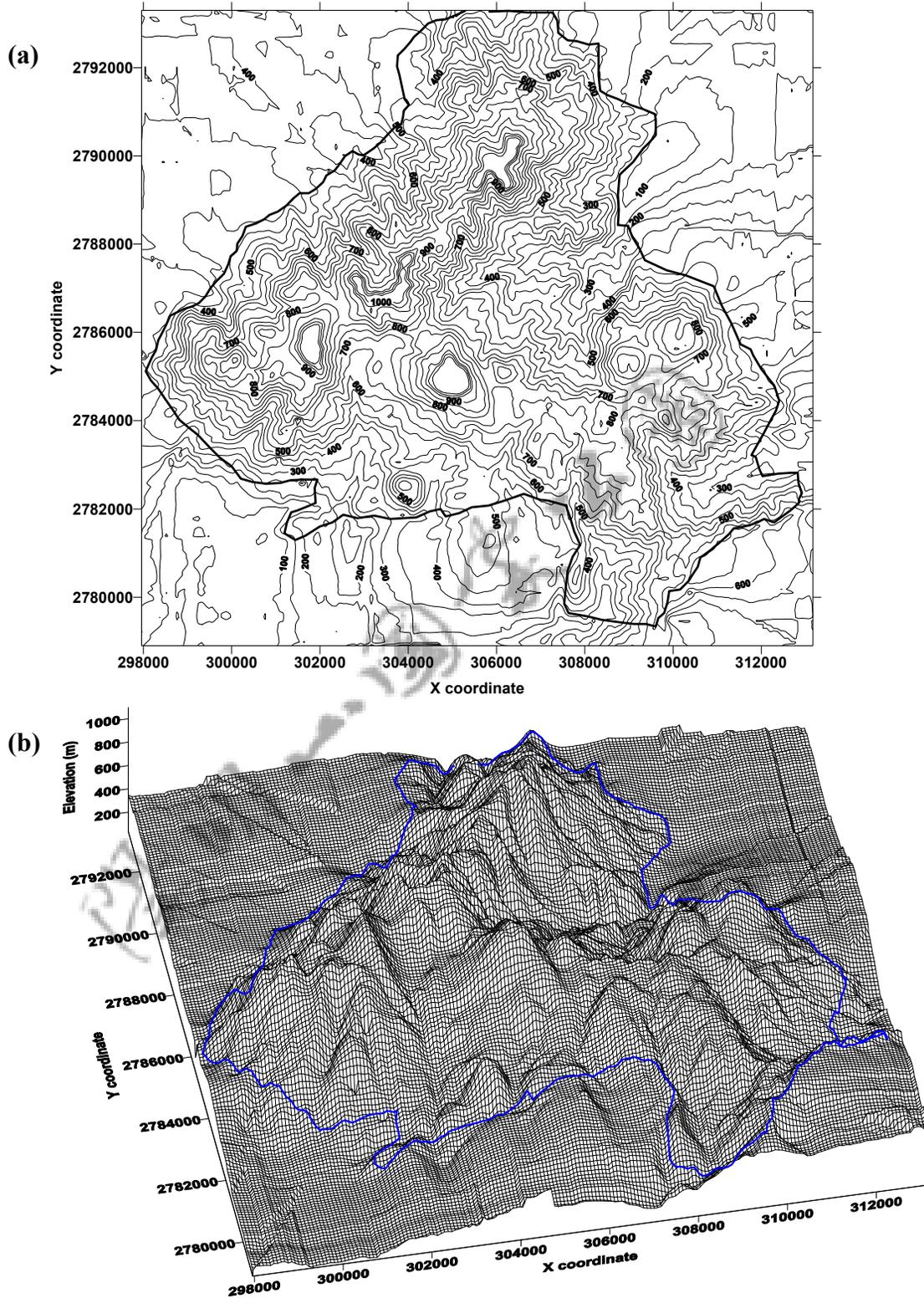


圖 3-11 陽明山國家公園之(a)數值等高線圖(黑色粗線為國家公園的邊界)與(b)3D 魚網圖(藍色線條為國家公園的邊界)

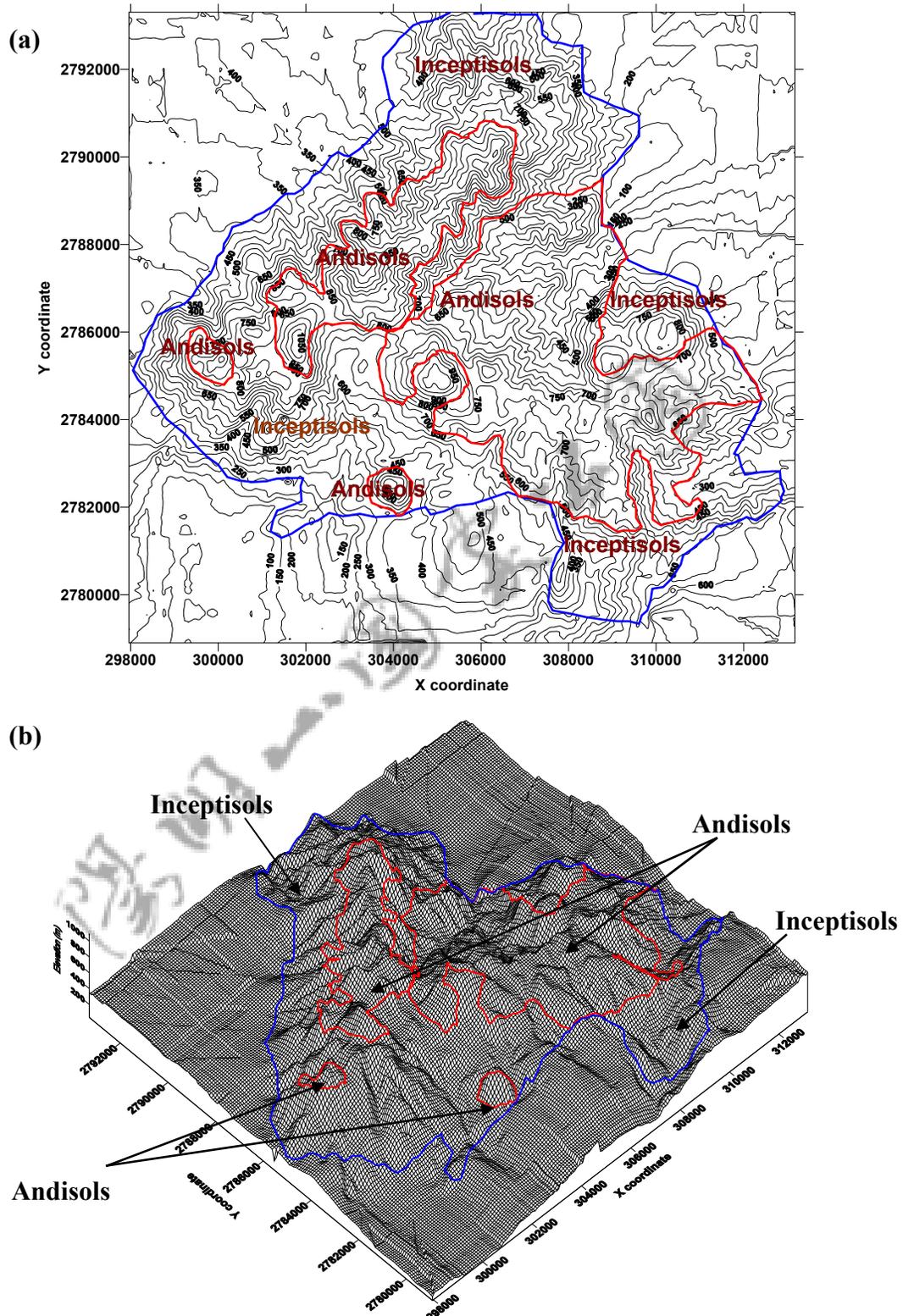


圖 3-12 陽明山國家公園之土網土壤圖(藍色線條為國家公園的邊界，紅色線條為土網的分界)

由圖 3-12 可以發現，灰燼土的分布有幾個區域：(1)大屯山至竹子山一帶，海拔在 700 公尺以上的區域，可能是因為茂密生長的植被(芒草、箭竹或闊葉林)對土壤形成很好的保護作用，保留較多且較完整的灰燼土的形態特性，但部份較平緩與較陡地區可能會出現弱育土；(2)面天山與紗帽山兩座火山，推測也是因為植被保護情況較佳；(3)七星山以北到八煙、以南到風櫃嘴、以東到土地公坑的園區邊界(但大尖後山與磺嘴山除外)，因地形較不易到達，少有人為的干擾，雖然部份地區海拔較低(400~500 公尺)，但是土壤母質仍屬於安山岩質，推測此大部份地區仍是灰燼土，但部份較平緩與較陡地區可能會出現弱育土。除此之外，園區的其它區域便劃分為弱育土的範圍，以園區的北邊、西邊與南邊為主要的分布區域，這些區域受火山灰母質的影響相對較小(因為離大屯火山群較遠)，較低海拔處之母質開始出現砂頁岩等母質，因此推測這些區域生成的土壤多屬弱育土。本研究的結果只有發現三種土綱，灰燼土與弱育土所佔的比例幾乎涵蓋全園區，極育土只有在極少數位置上被發現，無法繪製在圖中。由於園區中有些坡度極陡的區域理論上應該會有新成土(Entisols)的生成，但調查中並未發現，可能是在分類的歸併上灰燼土的火山灰特性高於新成土甚多，因此在分類上也把具火山灰特性的新成土歸類為灰燼土所致。

由目前的研究結果欲繪製成二萬五千分之一比例尺的土綱土壤圖，可能會得到相當不準確的結果，若要能實際被應用或利用，還需要配合更多樣點的調查(或以網格的分式在園區內全面布點調查)，以期能獲得正確的土壤圖。另外，土綱土壤圖的應用層面較窄，若能繪製成大土類(Great Group)或亞類(Subgroup)土壤圖，更能反應出園區土壤及地形之間的相關性，更能擴大該土壤圖在園區之經營與管理上的應用層面。

肆、大屯山與七星山之土壤生成與分布

本研究的調查與分析結果無法明確建立全區之土壤-地形分布模式，但是可以提供局部區域之土壤-地形模式。以下針對大屯山與七星山兩處之土壤-地形模式做說明(蔡呈奇，2002)：

在大屯山區與七星山分別選取兩條截線，共 40 個土壤樣點(圖 3-13)：

- 1.大屯山截線路徑：TT1 截線上共有 12 個土壤樣點(包含 5 個前人調查之樣點與 7 個新採集的樣點)，TT2 截線上共有 8 個土壤樣點(包含 4 個前人調查之樣點與 4 個新採集的樣點)。大屯山調查區之東南邊頂湖、南邊中正山、西南邊與西北邊風樹湖一帶，由於位於國家公園邊緣，山坡地的開發程度較大，土壤受到人為擾動的情形較多也較明顯，因此這些區域大多不進行調查與採樣分析。
- 2.七星山截線路徑：CT1 截線上有 10 個土壤樣點(包含 5 個前人調查之樣點與 5 個新採集的樣點)，CT2 截線上也有 10 個土壤樣點(包含 1 個前人調查之樣點與 9 個新採集的樣點)。

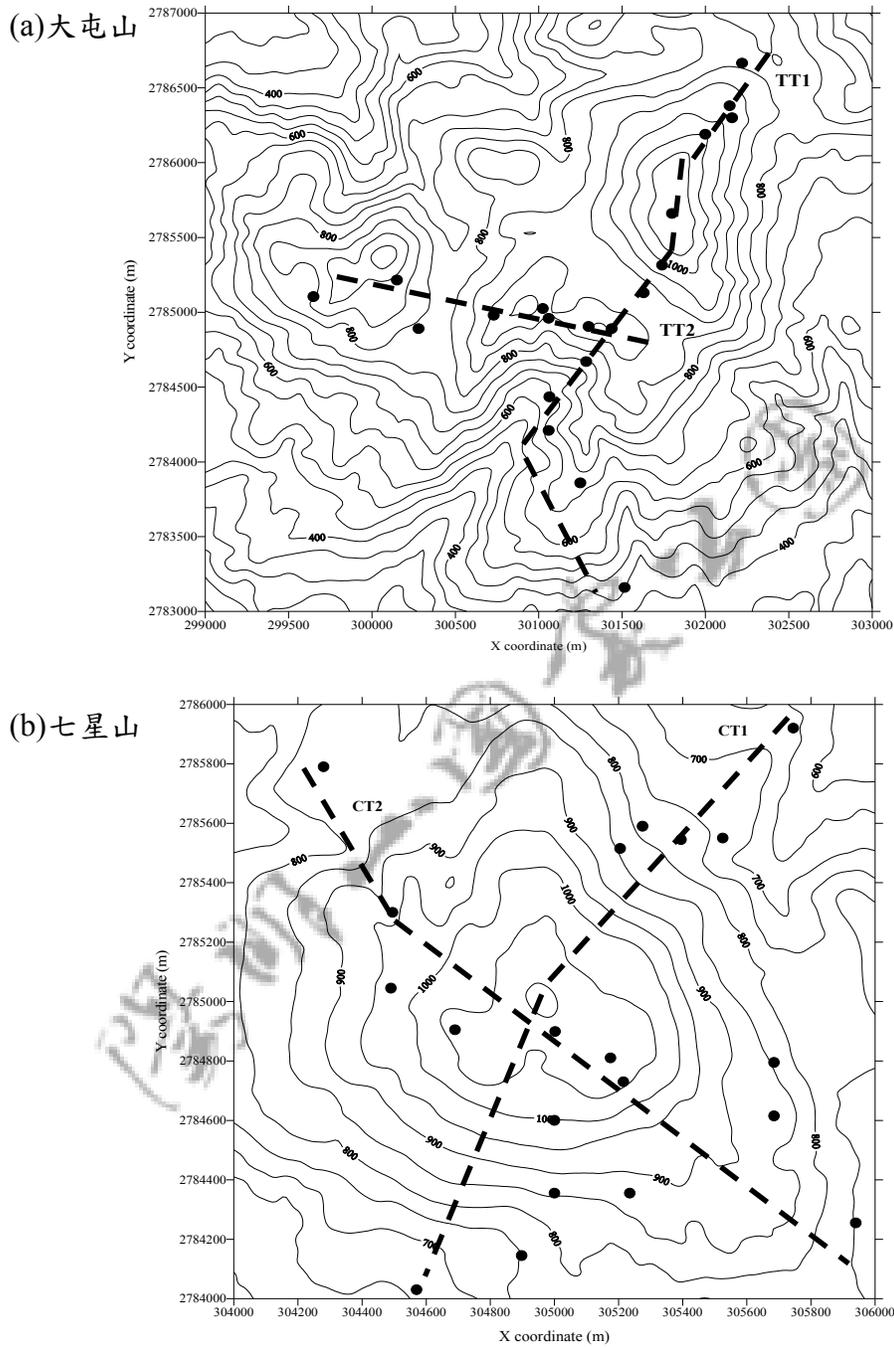


圖 3-13 (a)大屯山與(b)七星山調查區各兩條截線路徑上土壤採樣點的分布示意圖
(-----截線路徑，●土壤採樣點)

(1)TT1截線路徑

TT1截線路徑呈東北-西南走向，穿越大屯山主峰，經大屯南峰再延伸至中正山，路徑的長度幾乎縱貫大屯山研究區，包括12個土壤樣體，樣體在地形上的分佈如圖

3-14所示。樣體的海拔分布由410公尺至1090公尺(平均814公尺)，平均坡度22度(5-46度)，草原與闊葉林植被各佔一半；12個土壤樣體中，有7個樣體發育自紫輝石角閃石安山岩、2個樣體發育自兩輝石安山岩、2個樣體發育自大屯山凝灰角礫岩與1個樣體發育自兩輝石角閃石安山岩；土壤分類的結果，灰燼土(Andisols)與弱育土(Inceptisols)各佔一半，灰燼土有強風化濕潤氧化型(Acrudoxic)與多鋁型(Alic)兩種亞類，弱育土有腐植石質型(Humic Lithic)、石質型(Lithic)與灰燼型(Andic)三種亞類(表3-6)。

(2)TT2截線路徑

TT2截線路徑呈東-西走向，貫穿大屯南峰、大屯西峰、面天山與向天山，包括8個土壤樣體，樣體在地形上的分佈如圖3-15所示。截線上樣點的海拔分布由850公尺至950公尺(平均894公尺)，平均坡度24度(2-35度)，以闊葉林植被為主，5個樣體發育自含角閃石兩輝安山岩，2個發育自兩輝石角閃石安山岩。土壤分類上，除面天山的樣體分類為灰燼土之外，其餘7個土壤樣體皆分類為弱育土，並以分類為灰燼型亞類的弱育土最多(表3-6)。

由截線上土壤的分布情形來推測，大屯山區的土壤可能有絕大部份已逐漸脫離灰燼土綱，尤其在大屯主峰往南與往北的區域，而大屯主峰可能為分水嶺；兩條截線上的土壤母質不同，是否因此造成土壤化育生成的差異，有再深入探究的必要。

(3)CT1截線路徑

CT1截線路徑呈東北-西南走向，穿越七星山主峰，包括10個土壤樣體，樣體在地形上的分佈如圖3-16所示。樣體的海拔分布由660公尺至1060公尺(平均814公尺)，平均坡度為22度(5-46度)，闊葉林為主要植被。10個土壤樣體中，有7個樣體發育自上部凝灰角礫岩，3個樣體發育自紫蘇輝石角閃石安山岩；分類上有7個樣體為灰燼土，3個為弱育土(表3-7)。

(4)CT2截線路徑

CT2截線路徑呈西北-東南走向，穿越七星山主峰，包括10個土壤樣體，樣體在地形上的分佈如圖3-17所示。樣體的海拔分布由750公尺至1090公尺(平均928公尺)，平均坡度為25度(15-38度)，植被有芒草、箭竹與闊葉林。10個土壤樣體中，有9個樣體發育自紫蘇輝石角閃石安山岩，只有1個樣體發育自上部凝灰角礫岩；分類上有4個樣體為灰燼土，6個為弱育土(表3-7)。

七星山區生成的土壤似乎灰燼土多於弱育土，而灰燼土中又以多鋁型亞類佔多數，不同於大屯山區的強風化濕潤氧化型亞類，顯然七星山的土壤風化程度較強於大屯山區，黃政恆等人(1993)也曾提出相同的看法。

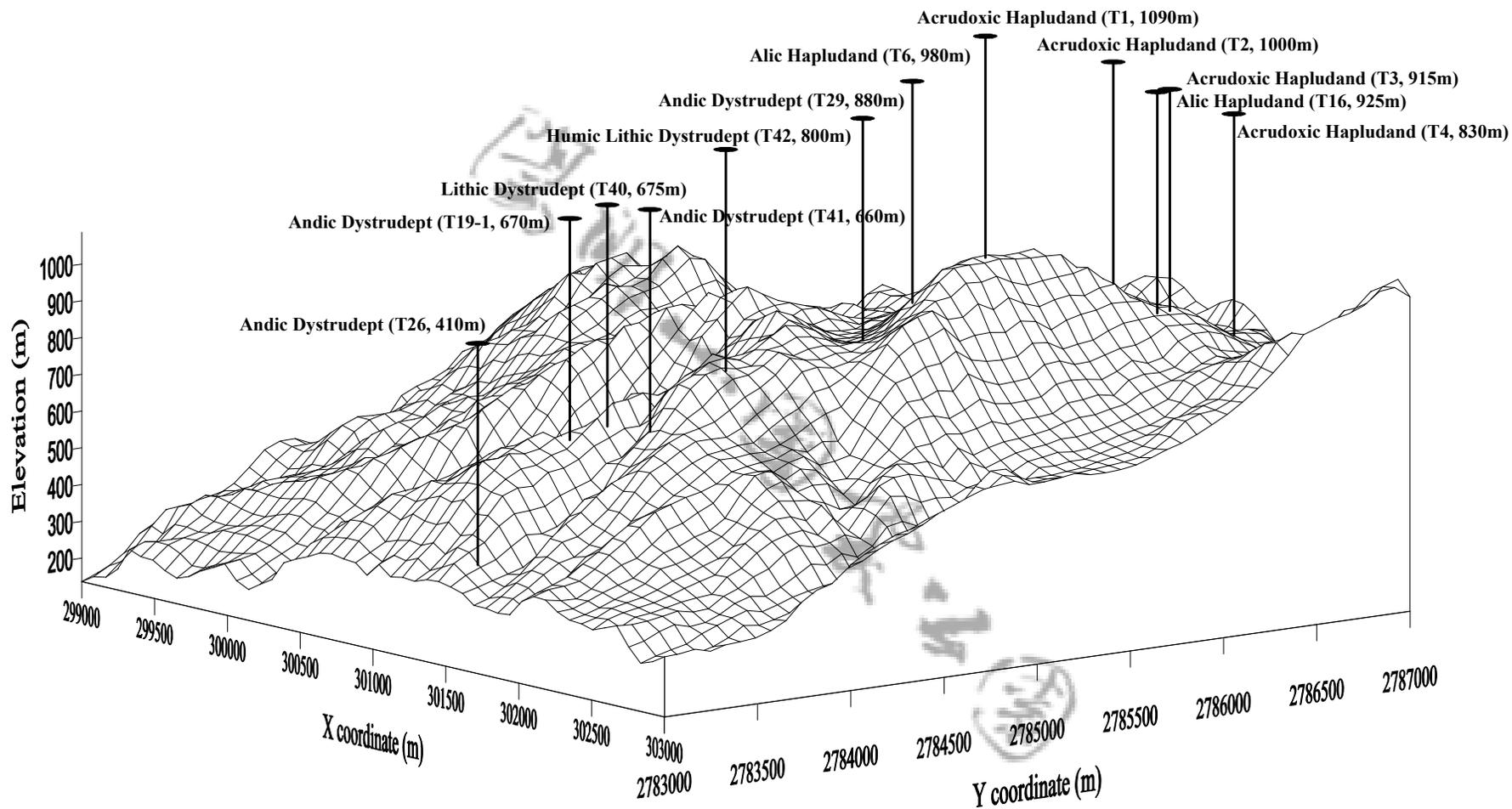


圖 3-14 大屯山 TT1 截線路徑上 12 個土壤樣體的分佈位置圖

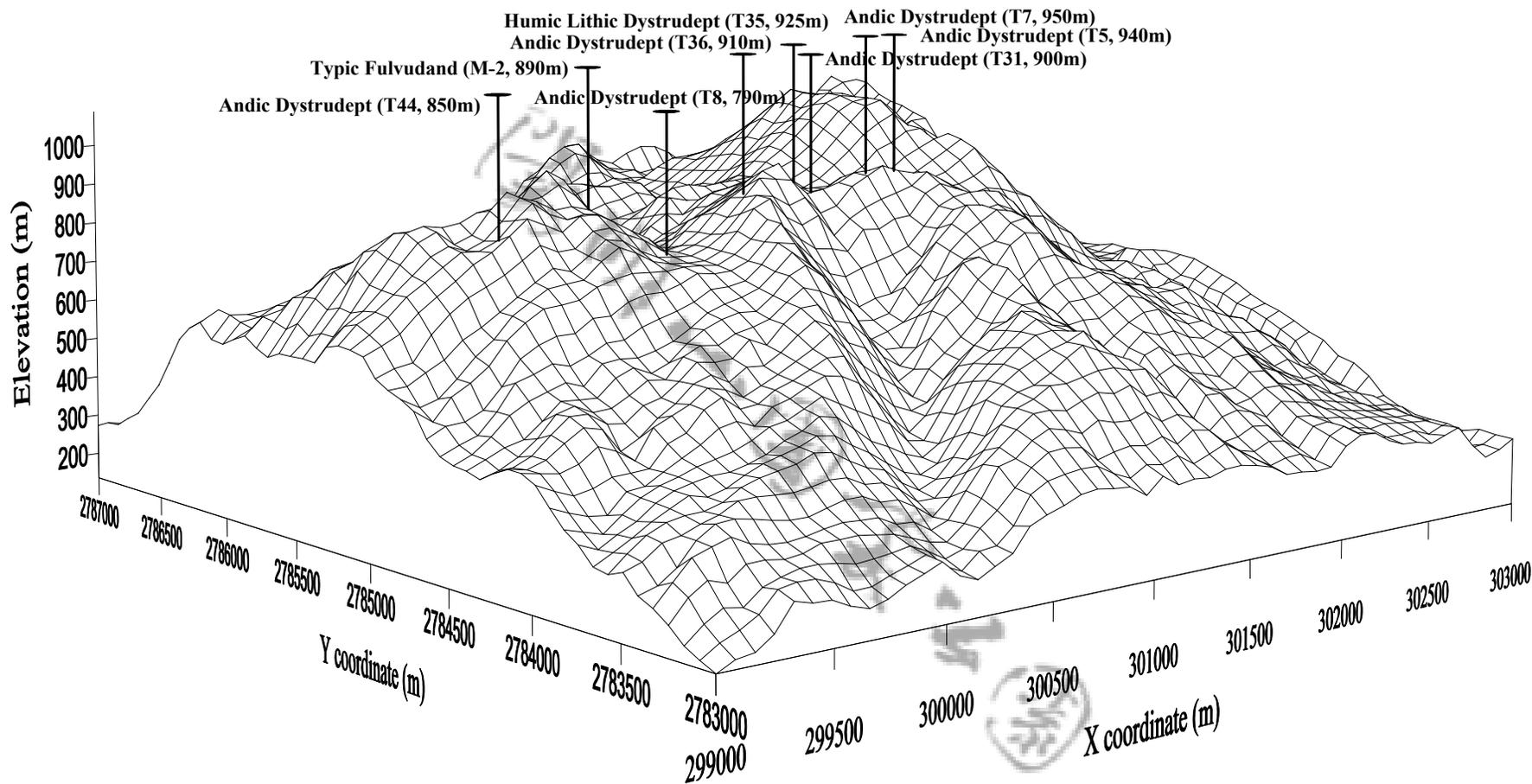


圖 3-15 大屯山 TT2 截線路徑上 8 個土壤樣體的分佈位置圖

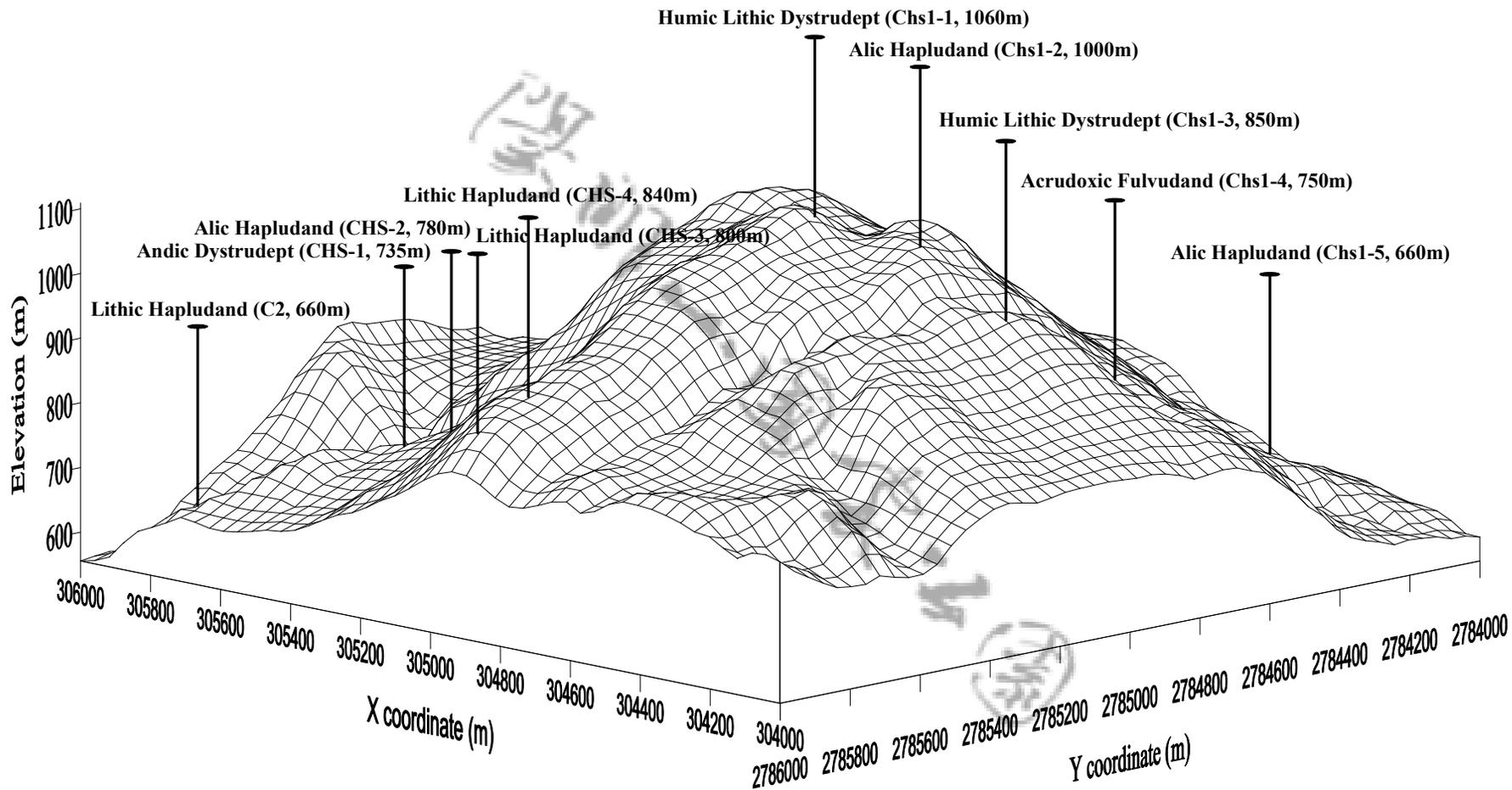


圖 3-16 七星山 CT1 截線路徑上 10 個土壤樣體的分佈位置圖

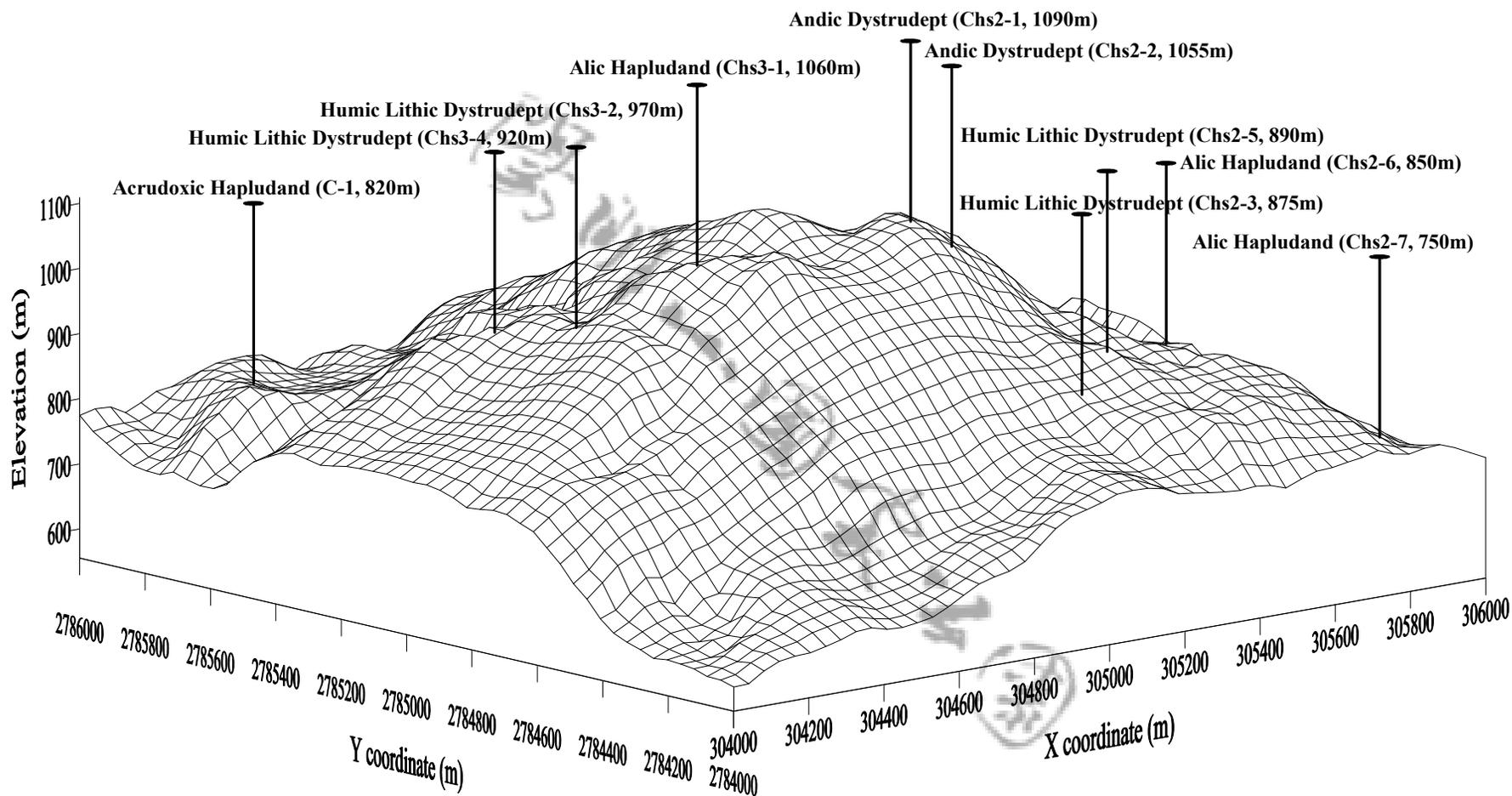


圖 3-17 七星山 CT2 截線路徑上 10 個土壤樣體的分佈位置圖

表 3-6 大屯山區兩條截線路徑採樣點之所在位置座標、環境特徵與土壤分類結果

樣點	X 座標 (m)	Y 座標 (m)	海拔 (m)	坡度 (度)	植被	母岩	土壤分類*
TT1 Transect							
T4 ^{#1}	302220	2786665	830	24	臺灣芒	兩輝石角閃石安山岩	Medial, amorphic, thermic Acrudoxic Hapludand
T3 ^{#1}	302145	2786380	915	1	臺灣矢竹、紅楠	紫蘇輝石角閃石安山岩	Medial, ferrihydritic, thermic Acrudoxic Hapludand
T16	302160	2786300	925	24	臺灣芒	紫蘇輝石角閃石安山岩	Medial, mixed, thermic Alic Hapludand
T2 ^{#1}	302000	2786190	1000	22	臺灣芒	紫蘇輝石角閃石安山岩	Medial, amorphic, thermic Acrudoxic Hapludand
T1 ^{#1}	301800	2785660	1090	4	臺灣矢竹、紅楠	紫蘇輝石角閃石安山岩	Medial, amorphic, thermic Acrudoxic Hapludand
T6 ^{#2}	301740	2785315	980	30	臺灣芒	紫蘇輝石角閃石安山岩	Medial, mixed, thermic Alic Hapludand
T29	301630	2785130	880	5	闊葉林	紫蘇輝石角閃石安山岩	Andic Dystrudept
T42	301285	2784670	800	38	闊葉林、蕨	含角閃石兩輝石安山岩	Humic Lithic Dystrudept
T41	301065	2784435	660	25	闊葉林、蕨	大屯山凝灰角礫岩	Andic Dystrudept
T40	301060	2784210	675	46	闊葉林、蕨	兩輝石安山岩	Lithic Dystrudept
T19-1	301250	2783860	670	28	闊葉林	兩輝石安山岩	Andic Dystrudept
T26	301515	2783160	410	35	闊葉林	大屯山凝灰角礫岩	Andic Dystrudept
TT2 Transect							
T5 ^{#2}	301438	2784890	940	2	臺灣芒	含角閃石兩輝石安山岩	Coarse-loamy, mixed, thermic Andic Dystrudept
T7 ^{#2}	301300	2784905	950	35	闊葉林(紅楠)	含角閃石兩輝石安山岩	Fine-loamy, mixed, thermic Andic Dystrudept
T31	301060	2784960	900	20	闊葉林	含角閃石兩輝石安山岩	Andic Dystrudept
T35	301025	2785025	925	35	芒草	含角閃石兩輝石安山岩	Humic Lithic Dystrudept
T36	300730	2784980	910	30	闊葉林	含角閃石兩輝石安山岩	Andic Dystrudept
T8 ^{#2}	300280	2784890	790	18	闊葉林(紅楠)	兩輝石角閃石安山岩	Fine-loamy, mixed, thermic Andic Dystrudept
面天山-2 ^{#3}	300150	2785215	890	35	紅楠	兩輝石角閃石安山岩	Medial, ferrihydritic, thermic Typic Fulvudand
T44	299650	2785105	850	20	闊葉林、蕨	兩輝石角閃石安山岩	Andic Dystrudept

*: Based on Soil Survey Staff (1999).

#1:黃政恆等人(1993)；#2:黃政恆等人(1994)；#3:Chen et al.(1999)；

表 3-7 七星山區兩條截線路徑採樣點之所在位置座標、環境特徵與土壤分類結果

樣點	X 座標 (m)	Y 座標 (m)	海拔 (m)	坡度 (度)	植被	母岩	土壤分類*
CT1 Transect							
C-2 ^{#1}	305745	2785920	660	45	五節芒	上部凝灰角礫岩	Medial, amorphous, thermic Lithic Hapludand
CHS-1 ^{#2}	305525	2785550	735	22	闊葉林	上部凝灰角礫岩	Loamy, mixed, thermic Andic Dystrudept
CHS-2 ^{#2}	305395	2785545	780	5	臺灣矢竹	上部凝灰角礫岩	Medial, ferrihydritic, thermic, Alic Hapludand
CHS-3 ^{#2}	305275	2785590	800	32	闊葉林	上部凝灰角礫岩	Medial, mixed, thermic, Lithic Hapludand
CHS-4 ^{#2}	305205	2785515	840	46	闊葉林	上部凝灰角礫岩	Medial, ferrihydritic, thermic, Lithic Hapludand
Chs1-1	305002	2784899	1060	15	箭竹林	紫蘇輝石角閃石安山岩	Loamy, mixed, thermic Humic Lithic Dystrudept
Chs1-2	305000	2784600	1000	20	闊葉樹與箭竹混生	紫蘇輝石角閃石安山岩	Medial, mixed, thermic Alic Hapludand
Chs1-3	305000	2784355	850	20	闊葉林	紫蘇輝石角閃石安山岩	Loamy, mixed, thermic Humic Lithic Dystrudept
Chs1-4	304898	2784145	750	5	闊葉林	上部凝灰角礫岩	Medial, amorphous, thermic Acrudoxic Fulvudand
Chs1-5	304570	2784030	660	12	闊葉林	上部凝灰角礫岩	Medial, ferrihydritic, thermic Alic Hapludand
CT2 Transect							
C-1 ^{#1}	304280	2785790	820	15	箭竹	上部凝灰角礫岩	Medial, amorphous, thermic Acrudoxic Hapludand
Chs3-4	304495	2785300	920	35	芒草	紫蘇輝石角閃石安山岩	Humic Lithic Dystrudept
Chs3-2	304490	2785045	970	28	闊葉樹(70%)與箭竹(30%)	紫蘇輝石角閃石安山岩	Loamy, mixed, thermic Humic Lithic Dystrudept
Chs3-1	304690	2784905	1060	23	箭竹林	紫蘇輝石角閃石安山岩	Loamy, mixed, thermic Alic Hapludand
Chs2-1	305175	2784810	1090	10	五節芒	紫蘇輝石角閃石安山岩	Loamy, mixed, thermic Andic Dystrudept
Chs2-2	305215	2784730	1055	38	五節芒	紫蘇輝石角閃石安山岩	Loamy, mixed, thermic Andic Dystrudept
Chs2-3	305235	2784355	875	25	闊葉林	紫蘇輝石角閃石安山岩	Loamy, mixed, thermic Humic Lithic Dystrudept
Chs2-5	305685	2784615	890	15	闊葉林(混生臺灣杉)	紫蘇輝石角閃石安山岩	Loamy, mixed, thermic Humic Lithic Dystrudept
Chs2-6	305685	2784795	850	30	闊葉林(混生五節芒)	紫蘇輝石角閃石安山岩	Medial, ferrihydritic, thermic Alic Hapludand
Chs2-7	305940	2784255	750	20	針闊葉混合林(杉木造林地)	紫蘇輝石角閃石安山岩	Alic Hapludand

*: Based on Soil Survey Staff (1999).

#1:黃政恆、陳尊賢(1990); #2:黃政恆、陳尊賢(1992)

40個土壤樣體的特性與分類統計如表3-8與3-9所列。坡度的變異係數(CV%)大於50%，顯然本區地形地貌的起伏差異甚大；土壤厚度中以B化育層厚度受到地形的影響最大(CV%>60%)，A化育層與土體厚度兩者的變異相當。Wilding(1985)曾提出，在一定的地形下，變異較小的土壤性質包括土壤顏色(色彩與色值)、pH以及A化育層厚度，變異較大的土壤性質則為B化育層厚度與土體厚度等，本文的研究結果與Wilding(1985)類似，僅土體厚度的變異不同，此可能由於兩者對土體厚度的定義不同所產生的結果差異(Wilding(1985)的定義為至基岩的深度，本文的定義為AC或BC層之上的厚度)。土壤分類的結果，有18個屬於灰燼土綱，22個屬於弱育土綱；灰燼土綱等級以下，有一種濕潤型亞綱與兩種大土類，弱育土綱可再分類為一種濕潤型亞綱與一種低鹽基型大土類。

表 3-8 截線路徑 40 個土壤樣體之環境特徵與土壤性質之敘述統計分析

環境特徵/土壤性質	最小值	最大值	平均值	標準差 (S.D.)	變異係數 (CV%)
海拔(公尺)	410	1090	860	141	16
坡度(度)	1	46	24	12	51
A 化育層厚度(公分)	7	33	17	7	42
B 化育層厚度(公分)	0	73	30	19	64
土體厚度(公分)	7	133	63	27	42

表 3-9 截線路徑 40 個土壤樣體的分類結果與個數統計表

土綱	個數	亞綱	個數	大土類	個數	亞類	個數
Andisols	18	Udand	18	Fulvudand	2	Acrudoxic Fulvudand	1
						Typic Fulvudand	1
				Hapludand	16	Lithic Hapludand	3
						Acrudoxic Hapludand	5
						Alic Hapludand	8
Inceptisols	22	Udept	22	Dystrudept	22	Humic Lithic Dystrudept	8
						Lithic Dystrudept	1
						Andic Dystrudept	13

依據蔡呈奇(2002)所建立的土系與質地剖面的關係，40個土壤樣體的土系歸類結果如表3-10。調查的結果並沒有發現類似紗帽山土系的土壤，因此表中沒有紗帽山土系，而大屯公園土系與面天山土系各只發現一個土壤樣體，顯示其分布區域可能不大；磺嘴山土系與七星公園土系的樣體個數最多，我們推測此兩個土系在兩個調查區所佔的面積應較大。

表 3-10 截線路徑 40 個土壤樣體之土系歸類

土系	土壤樣體	個數
大屯山土系(Tts series)	T1, T2, T6, CHS-2	4
鴨水澤土系(Yht series)	T5, T7, T8	3
大屯公園土系(Ttp series)	Chs1-4	1
二子坪土系(Etp series)	T3, T4, T16, C-1, Chs2-7	5
馬槽土系(Mcb Series)	T44, CHS-1, Chs2-2	3
面天山土系(Mts series)	M-2	1
七星山土系(Chs Series)	Chs1-2, Chs1-5, Chs2-6, Chs3-1	4
磺嘴山土系(Hts series)	Chs2-1, T19-1, T26, T29, T31 T36, T41	7
中湖土系(Ctl series)	C-2, CHS-3, CHS-4	3
七星公園土系(Chp Series)	T35, T40, T42, Chs1-1, Chs1-3, Chs2-3, Chs2-5, Chs3-2, Chs3-4	9

由土壤剖面質地的變化，截線路徑上的 40 個土壤樣體可歸類為 10 個土系(紗帽山土系除外)，經進一步的統計分析，各土系的主要生成環境與平均土壤厚度的特徵如表 3-11。大屯山土系分布的海拔最高(963 公尺)，而分布在 800-900 公尺之間有鴨水澤、二子坪、馬槽、面天山、與七星山與七星公園土系，在 700-800 公尺之間的有大屯公園、磺嘴山、與中湖土系；坡度分布的差異由 5 度至 41 度，小於 15 度的有大屯山與大屯公園土系，大於 36 度以上的只有中湖土系；A 層厚度分布由 10 公分(中湖土系)至 25 公分(鴨水澤土系)，B 層厚度分布由 0 公分(大屯公園土系)至 48 公分(馬槽土系)，土體厚度(大於 AC 或 BC 化育層以上的土體總厚度)的分布由 22 公分(中湖土系)至 89 公分(大屯山土系)。

表 3-11 歸類自截線路徑 40 個土壤樣體之 10 個土系的特徵*

土系	海拔(m)	坡度(°)	A 層厚度(cm)	B 層厚度(cm)	土體厚度(cm)
大屯山土系(Tts)	963	15	20	39	89
鴨水澤土系(Yht)	893	18	25	39	73
大屯公園土系(Ttp)	750	5	23	0	70
二子坪土系(Etp)	848	17	17	35	81
馬槽土系(Mcb)	880	27	17	48	84
面天山土系(Mts)	890	35	20	33	53
七星山土系(Chs)	893	21	12	39	66
磺嘴山土系(Hts)	789	22	14	43	71
中湖土系(Ctl)	767	41	10	8	22
七星公園土系(Chp)	885	29	16	13	43

*:平均值

經由土壤質地剖面的歸併，才能區分出土系的類別。因此，依照一般農地與山坡地土壤調查報告書中的質地等級分組方式(由 0-9 分為 10 級)，將本研究 10 土系分成三種等級：(1)2-砂質壤土(SL)、(2)4-壤土(L)與粉質壤土(SiL)、與(3)7-黏壤土(CL)與粉質粘壤土(SiCL)。若依照前述坡度的分級(四級， $<15^\circ$ 、 $16^\circ-25^\circ$ 、 $26^\circ-35^\circ$ 、 $>36^\circ$)，更可清楚的分出四個集合：

1. 坡度 $<15^\circ$ ：大屯山土系與大屯公園土系。
2. 坡度 $16^\circ-25^\circ$ ：二子坪土系、鴨水澤土系、七星山土系與磺嘴山土系。
3. 坡度 $26^\circ-35^\circ$ ：馬槽、七星公園與面天山土系。
4. 坡度 $>36^\circ$ ：中湖土系。

表 3-11 的性質經相關性分析之後，可得到坡度與土體厚度之間的相關性極高($p<0.01$)，坡度與 A 層厚度及海拔與 B 層厚度的相關性次之($p<0.05$)。進一步求出坡度與土體厚度的線性迴歸式：土體厚度(公分) = $-1.4374 \times \text{坡度(度)} + 98.26$ ($r^2 = 0.5302$, $p<0.05$)。將坡度分級，更可清楚的分出六個集合：

1. 坡度 $<15^\circ$ ，土體厚度 >75 公分：大屯山土系與大屯公園土系。
2. 坡度 $16^\circ-25^\circ$ ，但 $<20^\circ$ ，土體厚度 60-75 公分：二子坪土系與鴨水澤土系
3. 坡度 $16^\circ-25^\circ$ ，但 $>20^\circ$ ，土體厚度 60-75 公分：七星山土系與磺嘴山土系。
4. 坡度 $26^\circ-35^\circ$ ，土體厚度 >50 公分：馬槽土系與面天山土系
5. 坡度 $26^\circ-35^\circ$ ，土體厚度 <50 公分：七星公園土系。
6. 坡度 $>36^\circ$ ，土體厚度 <50 公分：中湖土系。

有了上述六個集合的區分，再依據土系所包含樣點的分布位置與主要的植被種類，來建立土系分布準則(criteria)。而由於大屯山區與七星山兩個區域地形地貌的差異甚大，土系在地形上的分布不容易用很明確的準則來規範，因此採用分區的描述方式來說明各土系在兩個調查區的分布(圖 3-18 與 3-19)：

1. 大屯山土系(Tts)：在大屯山區為坡度 $<15^\circ$ 或在 $16-25^\circ$ 之間，較高海拔(950 公尺以上)的草原地(箭竹或臺灣芒)；在七星山區由於僅發現一個樣點，只有小面積局部分布在七星山東北側箭竹林緩坡地($<15^\circ$)。
2. 大屯公園土系(Ttp)：本土系只發現一個樣點，位於七星山南面坡向的闊葉林，坡度 $<15^\circ$ (或 10° 以下)，分布在極平坦的茂密闊葉林相下。在大屯山區沒有發現此類土系，無法判斷其分布。
3. 二子坪土系(Etp)：在大屯山區為坡度 $16-25^\circ$ 之間的草原地(箭竹或臺灣芒)，海拔分布低於大屯山土系；七星山則局部分布在西北方箭竹緩坡地或東南方闊葉林緩坡地。
4. 鴨水澤土系(Yht)：在大屯山為坡度 $16^\circ-25^\circ$ ($<20^\circ$)之山間平坦低地。在七星山沒有發現此類土系。

5. 七星山土系(Chs)：在七星山的分布為坡度 16° - 25° ($>20^{\circ}$)，山頂的箭竹林地或背坡至麓坡的闊葉林地。在大屯山沒有發現此類土壤。
6. 磺嘴山土系(Hts)：在大屯山的分布為坡度 16° - 25° ($>20^{\circ}$)的闊葉林地，分布極廣。七星山只發現一個樣點，於東峰附近的箭竹林緩坡地($<15^{\circ}$)。
7. 面天山土系(Mts)：為局部地區化育生成的土系土壤，以面天山為分布範圍，坡度 26° - 35° 。
8. 馬槽土系(Mcb)：在大屯山只有發現一個樣點，其分布可能包含在磺嘴山土系之內，面積不大。七星山的分布靠近馬槽，坡度 26° - 35° 之箭竹或闊葉林地，七星東峰下方的芒草陡坡地也小面積分布。
9. 七星公園土系(Chp)：七星山北面坡度 26° - 35° 之草原地與南面坡度 26° - 35° 之闊葉林地，山頂的箭竹緩坡地也有部份分布，但可能與磺嘴山土系的分布重疊。在大屯山的分布為靠近溪谷的闊葉林陡坡地，其分布也有與磺嘴山土系重疊。
10. 中湖土系(Ctl)：僅在七星山有發現，分布在坡度 $>36^{\circ}$ 的闊葉林或草原及闊葉林混合林地。

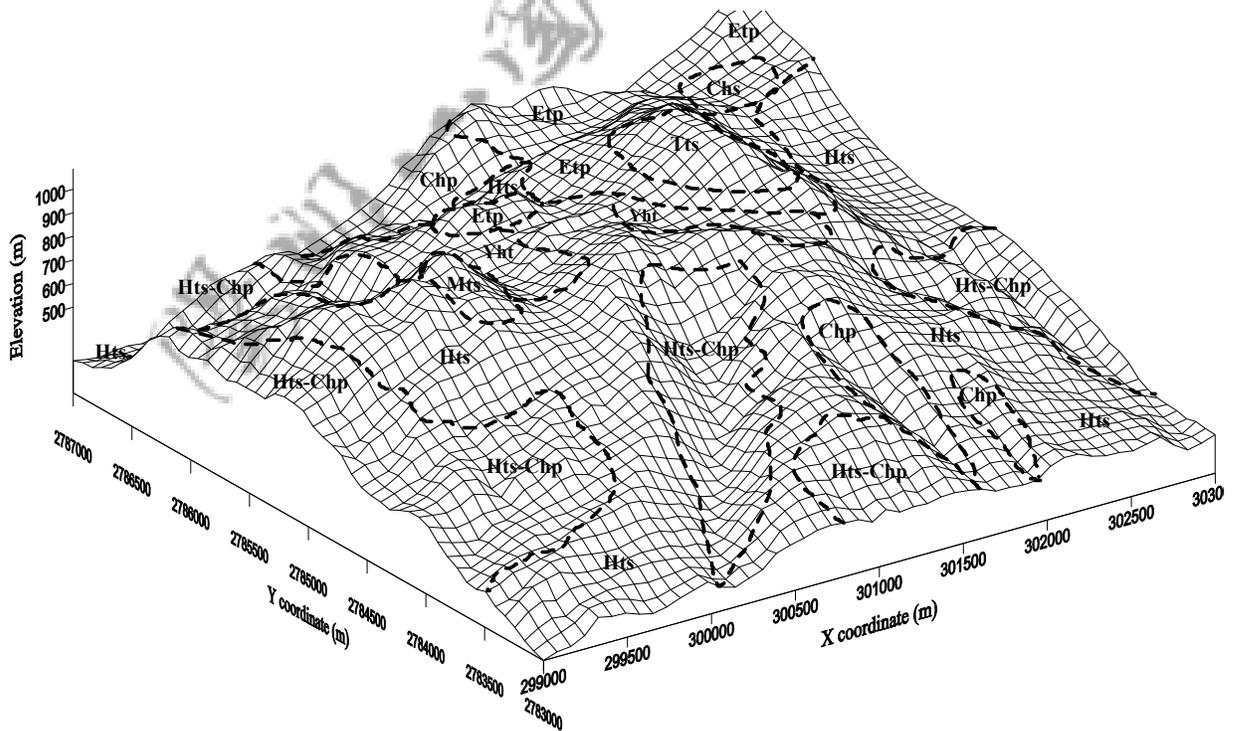
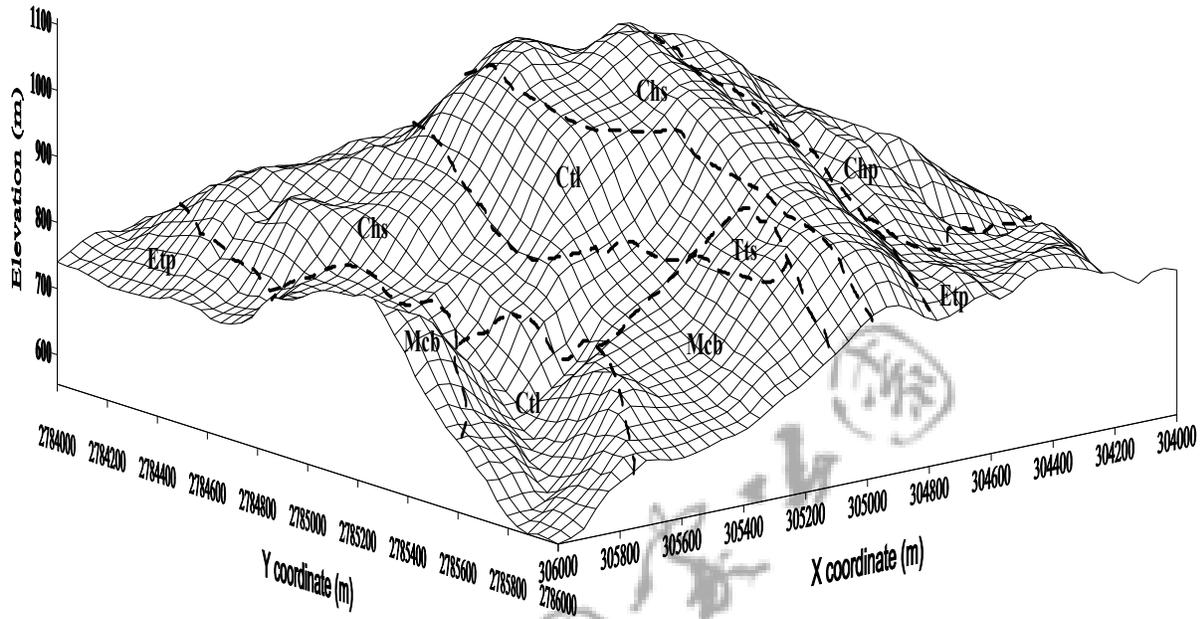


圖 3-18 大屯山調查區之土壤-地形分布示意圖

(a) 七星山北側與東側



(a) 七星山南側與西側

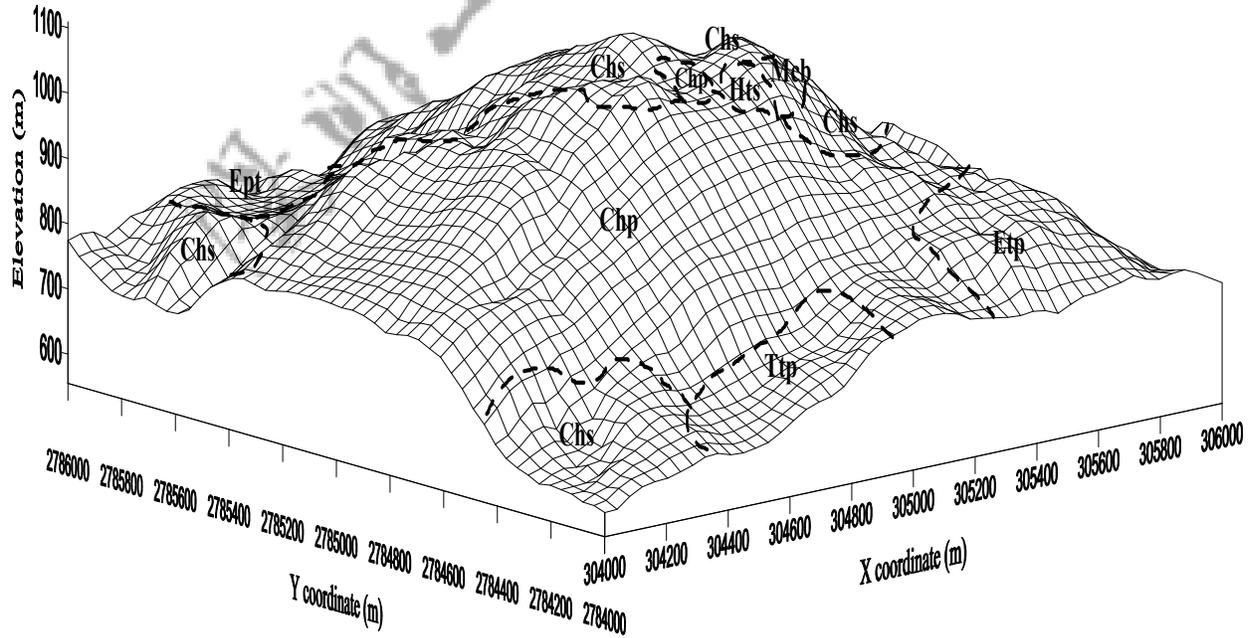
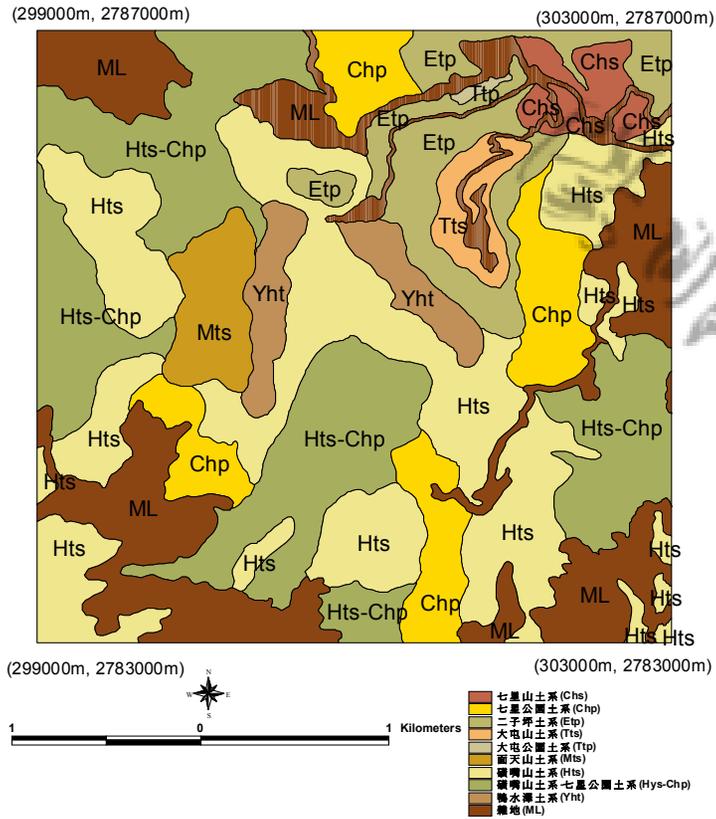


圖 3-19 大屯山調查區之土壤-地形分布示意圖

依前述的分析與分布準則可知，土系的分布與坡度的關係最為密切，其次為分布位置與植被，因此先以 Surfer 軟體繪製出兩個研究區之坡度等值線圖(解析度 80 公尺)，並依坡度等級分類。以此坡度等值線圖為底圖，參照分布準則，套疊在航空照片基本圖上，以坡度等值線或植被分布界線為土壤圖的邊界，草繪出土系圖，再以 ARC/INFO GIS 數化與編修，建立數值圖檔，以 Arc View 繪製出二萬五千分之一的土系土壤圖與大土類土壤圖(圖 3-20 與圖 3-21)。



(a) 土系土壤圖



(b) 大土類土壤圖

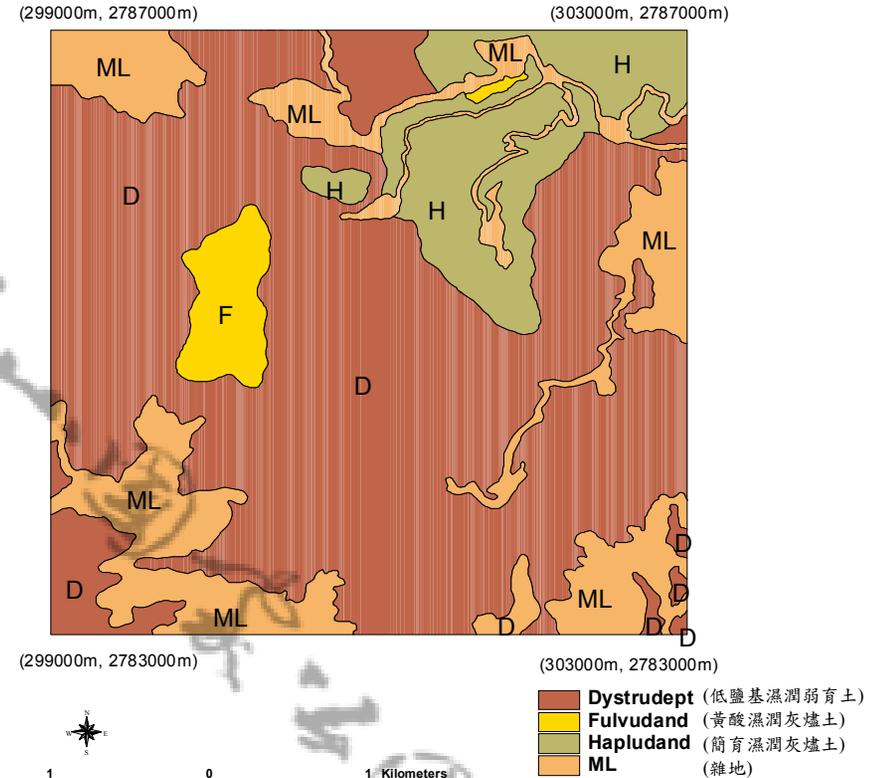
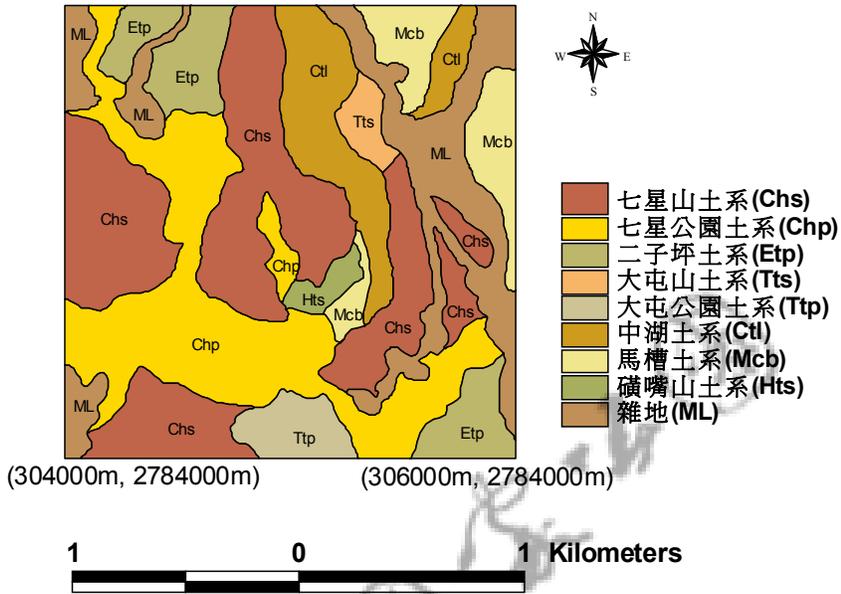


圖 3-20 大屯山區二萬五千分之一之(a)土系土壤圖與(b)大土類土壤圖

(a) 土系土壤圖

(304000m, 2786000m) (306000m, 2786000m)



(b) 大土類土壤圖

(304000m, 2786000m) (306000m, 2786000m)

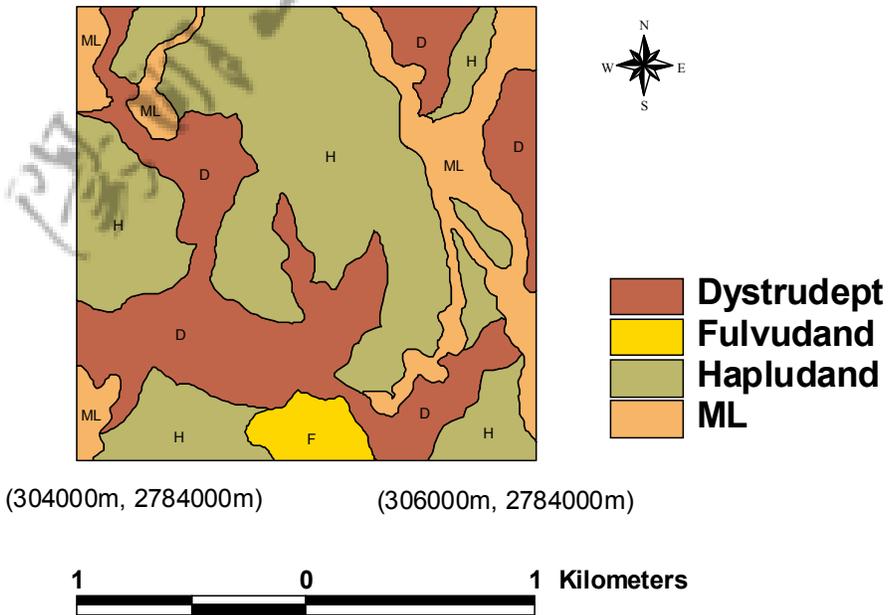


圖 3-21 七星山區二萬五千分之一之(a)土系土壤圖與(b)大土類土壤圖

第四章 結論與建議

第一節 結論

本研究以截線路徑的採樣方式，設計五條截線共調查 34 個土壤樣點。整體而言，有 25 個樣體分類為灰燼土、6 個樣體分類為弱育土與 3 個樣體分類為極育土；由截線路徑的採樣結果發現，本區的土壤受到火山灰母質的影響很大，土壤的生成與化育經過數萬到數十萬年的時間(本區火山噴發的停止時間約在 30~80 萬年前)仍未脫離灰燼土，雖然有少部份的弱育土甚至極育土的化育，但是土壤的特性仍多多少少遺留著火山灰母質的特性。另外，土壤的分布與地形間似乎沒有一定的關係或趨勢，是否因為調查樣點不足或受到氣候的影響，進一步的探討有其必要性。

區內土壤的分布模式，灰燼土的分布多在海拔 700 公尺以上，坡度分布在平緩至陡坡的情況都有(5~35°)。弱育土出現的位置較分散，海拔在 500~700 公尺之間且坡度在 25~40°之間與海拔在 800~1000 公尺之間且坡度在 5~40°之間的都可能出現弱育土。極育土的出現較特殊，中低海拔的陡坡地與高海拔的緩坡地都有發現，應該是局部地區的土壤變異。園區內灰燼土的分布位置似乎多與弱育土重疊，由野外的土壤形態特徵並不容易將兩者完全區分開來，常會有誤判的情況。如果能找到或發展出適合的土壤指標，以 1~2 項能簡易分析的土壤性質配合幾項土壤形態特徵，作為灰燼土的判斷依據，除了能減少土壤分類上的誤判，也可以加速調查工作的進行。另外，園區的山勢多陡峭，地形不穩定的干擾顯著影響土壤的化育。

區內之土綱土壤圖為藉由解析度(80m)的數值地形資料(digital terrain model, DTM)繪製出數值等高線圖與 3D 的魚網圖，做為在土壤圖繪製時重要的參考依據。依據前人研究與本研究之土壤資料，園區的土壤-地形模式無法在此次的研究中被建立，可能因為園區內仍有大部份的地區未被調查、園區內地形不穩定的干擾顯著影響土壤的化育以及在野外利用土壤形態特徵來判斷是否為灰燼土並不容易，容易將灰燼土誤判為弱育土或將弱育土誤判為灰燼土。因此，本研究依照資料整理的結果，以人為判斷的方式，利用電腦數化的方式將灰燼土與弱育土可能的分布位置繪製出邊界(極育土因為只為少數樣點，因此不繪入圖中)及園區之土綱土壤。由目前的研究結果欲繪製成二萬五千分之一比例尺的土綱土壤圖，可能會得到相當不準確的結果，若要能實際被應用或利用，還需要配合更多樣點的調查(或以網格的分式在園區內全面布點調查)，以期能獲得正確的土壤圖。另外，土綱土壤圖的應用層面較窄，若能繪製成大土類(Great Group)或亞類(Subgroup)土壤，更能反應出園區土壤及地形之間的相關性，更能擴大該土壤圖在園區之經營與管理上的應用層面。

第二節 建議

建議一

土壤調查複查的規劃與代表性土壤樣體的資料建置(1~2 年期計畫)：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：國立宜蘭大學、國立臺灣大學、國立中興大學

土壤圖的繪製為土壤調查中很重要的目的，但其正確性有賴於完整的土壤調查作業。陽明山國家公園的涵蓋面積高達 11,455 公頃，受限於火山地形分區複雜，多數地區地形陡峭、箭竹與茅草生長茂密等極不易接近調查，因此不易獲得準確的土壤圖。建議於本年度研究計畫之土綱土壤圖完成之後，期能再進行

1. **土壤調查複查的規劃**—於園區內進行土壤複查，並依複查結果修正土壤圖。並可配合未來的經營規劃或以往有疑慮的部份，針對重點區域(竹子山以北與以西較低海拔的廣大區域、遊客到訪較頻繁的地區、溫泉區附近、植栽或綠美化不易成功的區域、目前仍在種植作物的地區等)進行調查，以期能解決相關的問題。
2. **代表性土壤樣體的資料建置**—找出最能代表陽明山國家公園內不同環境下的各類型土壤，做為園區內的代表性土壤。未來可將此代表性土壤資料放置在網頁上供民眾瀏覽與查詢，增進民眾對土壤的認知，也可提供相關研究的參考資料，以及主管單位在未來經營與規劃上的參考，以利妥善利用土壤資源。

建議二

火山灰土壤生態體系-火山灰土壤的生成化育與生態功能(3~5 年期計畫)：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：國立宜蘭大學、國立臺灣大學、國立中興大學

本區的地形變化大，造成在極短的水平距離中出現海拔高低差大於 300 公尺以上的地形，加上本區每年定期會受到東北季風(秋冬季節)與颱風(夏秋季節)的侵襲，氣候對本區土壤的化育具有很重要的影響。由於在園區內缺少詳細的氣象資料，無法對氣候的變化加以定量，因此也無法瞭解氣候對土壤化育的真正影響。園區內以火山母岩為主，但距離火山停止噴發也已經經過 30~50 萬年，土壤化育的時間也超過 10 萬年以上，如此長的化育時間下土壤仍保有清楚的灰燼土的形態特徵與強烈的火山灰特性，在世界上有關火山灰土壤的研究上是屬於少見的。植被的覆蓋對火山灰土壤化育的影響也有許多文獻的討論，本區的植被生長與覆蓋情形有很清楚的區域分布，例如高海拔的山區以箭竹與芒草(>800 m)為主，隨海拔下降植被變化為闊葉樹與芒草混生(400~800 m)以及闊葉混合林(<400 m)。本次研究所採集的土壤樣點數仍有不足，無法表現出植被影響的差異。因此未來若能從時間、母質、氣候與地形上詳細的考量，並進行長期的土壤研究與分析，應能夠對於本區土壤的生成、化育與火山灰土壤在生態上的功能(例如碳吸存、生態教育等)有正確與完整的認識，以及建構一個完整的火山灰土壤生態體系，進一步在園區內推廣該項土壤教育，讓民眾瞭解臺灣地區獨特的火山灰土壤有那些特性與生態功能。

附錄一

附錄表一 本研究所調查土壤樣點之理化性質分析

Horiaon	Bd Mg/m ³	pH			Ex. Al coml(+)/kg	Oxalate		
		H ₂ O	KCl	NaF		Fe	Al	Al+1/2Fe
					-----%-----			
YO-1								
A	0.72	3.83	3.00	7.94	1.52	2.37	0.30	1.48
Bw1	0.98	4.06	3.46	8.51	1.05	2.50	0.56	1.81
Bw2	0.90	4.23	3.74	9.45	0.77	2.08	0.92	1.96
Bw3	1.02	4.30	3.84	9.92	0.74	1.99	1.23	2.23
Bw4	0.85	4.31	3.90	10.10	0.66	1.92	1.41	2.37
BC	1.06	4.23	3.86	10.19	0.84	1.39	1.20	1.89
C	0.98	4.26	3.91	10.18	1.00	0.99	1.34	1.84
YO-2								
A	0.58	4.01	3.38	8.19	1.27	1.78	0.63	1.52
AB	0.73	4.11	3.42	8.41	1.38	1.86	0.73	1.66
Bw1	0.77	2.88	3.93	10.21	0.65	1.99	1.73	2.72
Bw2	0.94	4.46	4.19	10.52	0.27	1.91	2.44	3.40
C	0.92	4.45	4.52	10.74	0.15	1.81	2.63	3.54
YO-3								
A	0.66	4.18	3.66	8.27	1.09	0.51	0.26	0.52
AB	0.97	4.50	3.73	8.92	0.84	0.50	0.25	0.50
Bt1	1.13	4.59	3.83	9.36	0.72	0.49	0.24	0.49
Bt2	1.29	4.58	3.81	9.40	0.88	0.46	0.26	0.49
Bt3	1.37	4.63	3.86	9.31	0.75	0.27	0.19	0.33
BC1	1.41	4.81	3.89	9.33	0.66	0.23	0.18	0.29
BC2	1.45	4.87	3.91	9.33	0.56	0.24	0.18	0.30
YO-4								
A	0.50	4.94	3.87	8.56	0.25	0.51	0.40	0.65
AB	0.57	4.57	3.69	8.96	0.70	1.03	0.85	1.36
BA	0.52	4.49	3.75	9.42	0.76	1.07	0.90	1.44
Bw1	0.67	4.44	3.68	9.49	0.91	1.32	0.98	1.64
Bw2	0.77	4.58	3.77	9.53	0.81	1.31	1.09	1.74
BC	0.78	4.94	3.89	9.71	0.52	1.26	1.16	1.78
Y1-1								
A	0.57	3.85	3.49	8.10	1.10	1.22	0.67	1.28
AB	0.67	4.10	3.61	8.30	0.93	1.06	0.64	1.17
Bw1	0.76	4.51	3.85	9.15	0.62	2.23	1.11	2.22
2Bw1	0.62	4.60	4.11	8.99	0.35	3.39	2.20	3.90
2Bw2	0.42	4.79	4.66	10.84	0.07	3.00	4.40	5.90
2C		4.97	5.33	11.08	0.02	2.16	4.93	6.01
Y1-2								
A	0.47	3.91	3.42	8.01	1.55	1.30	0.67	1.32
AB	0.43	4.16	3.58	8.45	1.12	1.32	0.73	1.39
Bw1	0.98	4.40	3.84	9.24	0.73	0.98	0.77	1.26
Bw2	1.04	4.56	4.01	9.55	0.39	0.71	0.80	1.16
BC	1.03	4.67	4.01	9.81	0.41	0.72	0.83	1.19
C	0.82	4.64	4.24	9.63	0.19	0.51	0.79	1.04
Y1-3								
A	0.39	4.12	3.51	8.38	1.94	0.75	1.26	1.63
AC		4.44	3.77	9.68	1.18	0.69	1.61	1.95

(續下頁)

附錄表一 (續)

Horizon	Bd Mg/m ³	pH			Ex. Al coml(+)/kg	Oxalate		
		H ₂ O	KCl	NaF		Fe	Al	Al+1/2Fe
					-----%-----			
Y1-4								
A	0.48	4.23	3.45	8.23	2.47	0.71	0.95	1.31
BC	0.60	4.41	3.57	9.34	2.62	0.65	0.92	1.25
C	0.86	5.07	3.53	9.68	4.65	0.49	1.04	1.28
Y2-1								
A	0.34	3.51	3.23	8.34	1.06	1.92	0.84	1.80
AB	0.61	4.12	3.74	9.51	0.58	1.98	0.96	1.95
Bw1	0.65	4.18	3.89	9.81	0.47	1.86	1.13	2.06
Bw2	0.80	4.09	3.74	9.37	0.64	1.79	0.80	1.70
Bw3	0.66	4.10	3.77	9.16	0.57	1.93	0.66	1.62
Bw4	0.67	4.15	3.76	9.39	0.63	2.77	1.05	2.43
Bw5	0.73	4.09	3.78	9.41	0.75	2.97	1.37	2.86
2Bw1	0.59	4.13	3.80	10.20	0.74	2.66	1.45	2.78
2Bw2	0.61	4.19	3.88	10.34	0.61	2.68	1.82	3.16
Y2-2								
A	0.53	4.13	3.46	9.23	1.10	1.78	1.37	2.26
Bw	0.69	4.44	4.09	10.45	0.36	2.02	2.51	3.52
2A	0.86	4.44	3.86	9.78	0.73	2.22	1.30	2.41
2Bw1	0.70	4.47	4.01	9.89	0.40	2.73	1.82	3.19
2Bw2	0.58	4.46	3.92	10.41	0.58	2.46	1.60	2.83
2BC1	0.77	4.31	3.82	9.38	0.56	2.60	0.69	1.99
2BC2	0.82	4.52	4.45	10.45	0.16	3.33	2.51	4.17
3Bw1	0.79	4.49	4.13	10.20	0.38	2.41	2.18	3.38
3Bw2	0.77	4.56	3.95	10.75	0.53	2.19	1.93	3.03
3BC	0.86	4.49	3.90	10.76	0.73	2.08	1.58	2.62
Y2-3								
O								
A		3.32	2.65	7.58	1.42	2.65	0.31	1.64
AB	0.61	3.68	3.00	8.07	1.50	3.19	0.43	2.03
Bw1	0.81	4.15	3.43	8.88	1.13	2.34	0.71	1.88
Bw2	0.81	4.26	3.68	9.51	0.90	2.45	0.93	2.16
2Bw1	0.78	4.27	3.81	10.14	0.65	2.59	1.31	2.60
2Bw2	0.94	4.23	3.82	10.26	0.71	2.40	1.18	2.38
2BC	0.89	4.30	3.96	10.50	0.53	1.94	1.71	2.68
Y2-4								
A	0.29	2.74	2.29	7.63	0.69	2.20	0.17	1.27
AB	0.66	3.09	2.43	7.74	0.80	2.95	0.23	1.71
Bw1	0.91	3.73	3.40	9.04	0.90	1.19	0.77	1.36
Bw2	0.95	3.94	3.57	10.00	0.97	1.41	1.29	2.00
Bw3	1.01	4.03	3.60	9.87	0.97	1.32	1.42	2.08
Y2-5								
Oi								
Oe~Oa		2.80	2.34	7.26	1.16	0.86	0.20	0.63
A		3.15	2.40	7.58	1.67	1.89	0.31	1.25
AB	0.58	3.65	2.95	8.17	2.19	1.69	0.56	1.40
Bw1	0.69	3.92	3.26	9.23	2.20	1.66	0.71	1.53
Bw2	0.81	4.09	3.39	9.70	2.55	1.61	0.85	1.65

(續下頁)

附錄表一 (續)

Horiaon	Bd Mg/m ³	pH			NaF	Ex. Al	Oxalate		
		H ₂ O	KCl	NaF			Fe	Al	Al+1/2Fe
					coml(+)/kg	-----%-----			
					Y2-6				
A	0.44	3.92	3.08	8.11	4.69	1.75	0.90	1.78	
AB	0.55	4.13	3.19	8.60	3.08	1.77	0.98	1.87	
Bw1	0.74	4.37	3.34	9.59	4.09	1.49	0.96	1.70	
Bw2	0.84	4.27	3.18	10.81	4.49	1.30	0.98	1.63	
Bw3	0.90	4.30	3.19	9.99	4.41	1.18	0.98	1.57	
BC	0.85	4.51	3.24	9.86	3.34	0.75	0.86	1.24	
					Y2-8				
A	0.74	3.46	2.73	7.77	1.83	0.64	0.22	0.54	
AB		3.82	3.03	8.26	2.41	0.64	0.25	0.57	
Bt1	1.12	4.13	3.13	8.61	3.43	0.77	0.32	0.70	
Bt2	1.18	4.08	3.17	8.62	3.06	0.44	0.25	0.47	
BC	1.31	4.14	3.24	8.60	2.04	0.32	0.22	0.38	
					Y2-9				
A	0.44	3.87	3.50	8.79	0.92	1.04	1.19	1.71	
AB	0.64	4.17	3.73	9.48	0.52	1.11	1.24	1.79	
Bw1	0.55	4.29	3.91	9.84	0.49	1.23	1.37	1.98	
Bw2	0.71	4.39	4.06	10.17	0.21	1.08	1.62	2.16	
BC	0.57	4.46	4.12	9.97	0.15	1.03	1.76	2.27	
					Y2-10				
A	0.59	4.48	4.07	9.58	0.23	0.28	1.99	2.13	
C	0.99	4.93	4.40	10.13	0.07	0.58	2.00	2.29	
2Bw1	0.82	5.28	4.49	10.48	0.07	0.57	1.92	2.20	
2Bw2	0.68	5.18	4.45	10.41	0.08	0.60	2.26	2.56	
2Bw3	0.73	5.19	4.59	10.62	0.04	0.53	3.15	3.41	
2BC		5.51	4.89	10.63	0.03	0.51	3.27	3.53	
					Y3-1				
A	0.60	4.44	3.24	8.25	1.06	1.31	0.48	1.14	
Bw	0.82	4.63	3.23	8.77	1.39	1.33	0.47	1.14	
BC	0.88	4.84	3.47	8.92	0.47	1.05	0.68	1.20	
2Bw1	0.77	5.01	3.67	8.93	0.28	0.75	0.50	0.88	
2Bw2	0.78	5.22	3.82	8.90	0.16	1.36	0.69	1.38	
2BC		5.31	4.04	9.52	0.09	0.94	0.62	1.09	
					Y3-2				
A	0.46	3.60	3.09	8.37	2.04	1.75	0.91	1.79	
AB	0.60	3.94	3.31	9.09	2.07	2.04	1.01	2.03	
Bw1	0.70	4.15	3.41	9.89	2.10	2.17	1.07	2.16	
Bw2	0.91	4.25	3.44	10.10	2.10	2.07	1.14	2.18	
Bw3	0.92	4.33	3.49	10.31	1.95	1.94	1.30	2.27	
BC	0.83	4.37	3.48	10.23	2.10	1.91	1.12	2.08	
					Y3-3				
A	0.57	4.67	3.62	9.10	0.41	0.93	0.97	1.43	
AB	0.63	4.88	3.70	9.23	0.30	0.93	0.89	1.36	
Bw1	0.96	5.53	4.32	9.32	0.04	0.87	1.02	1.46	
Bw2	0.90	5.48	4.17	9.53	0.07	0.93	1.07	1.53	
BC	0.73	5.43	4.19	9.39	0.06	0.97	1.10	1.58	

(續下頁)

陽明山國家公園全區土壤分析調查

附錄表一 (續)

Horizon	Bd Mg/m ³	pH			NaF	Ex. Al	Oxalate		
		H ₂ O	KCl	coml(+)/kg			Fe	Al	Al+1/2Fe
<u>Y3-4</u>									
A	0.49	4.25	3.56	9.02	0.85	0.60	1.15	1.45	
Bw1	0.70	4.61	3.98	9.49	0.29	0.66	1.47	1.80	
Bw2	0.91	4.62	3.90	9.84	0.37	0.67	1.33	1.66	
Cr	0.82	4.67	4.30	10.35	0.12	0.68	2.80	3.14	
<u>Y3-5</u>									
OA		4.09	3.57	8.52	1.10	0.77	0.94	1.32	
A	0.76	4.53	3.85	9.04	0.34	1.02	1.06	1.57	
AB	0.59	4.40	3.84	9.25	0.39	1.52	1.31	2.07	
Bw1	0.68	4.41	3.88	9.82	0.58	1.81	1.26	2.16	
Bw2	0.80	4.45	4.09	9.82	0.18	1.26	1.14	1.77	
Bw3	0.93	4.48	3.92	9.65	0.29	1.09	0.94	1.48	
BC	0.87	4.75	4.61	10.21	0.05	1.72	2.53	3.39	
<u>Y4-1</u>									
A	0.43	3.96	3.41	8.10	1.35	1.92	0.88	1.84	
Bw1	0.57	4.29	3.84	9.39	0.64	2.24	1.05	2.17	
Bw2	0.77	4.43	3.91	9.68	0.54	2.12	1.09	2.15	
Bw3	1.04	4.49	3.90	9.92	0.53	1.28	0.73	1.37	
Bw4	1.01	4.50	3.82	10.05	0.57	1.09	0.74	1.28	
BC	1.03	4.51	3.94	10.03	0.39	0.95	0.77	1.25	
<u>Y4-2</u>									
A	0.49	3.97	3.30	8.11	1.26	1.42	0.79	1.50	
AB	0.77	4.23	3.64	8.98	0.80	1.27	0.76	1.40	
Bw	0.93	4.30	3.71	9.44	0.77	1.38	0.84	1.53	
2AB	0.66	4.44	3.68	9.10	0.98	1.46	0.93	1.66	
2Bw1	0.68	4.51	3.64	9.24	1.27	1.27	0.87	1.51	
2Bw2	0.79	4.49	3.60	9.45	1.91	0.84	0.54	0.97	
2BC	0.88	4.49	3.56	9.59	1.79	0.45	0.38	0.61	
<u>Y4-3</u>									
A	0.66	4.57	3.67	8.95	0.68	0.90	0.47	0.92	
Bw1	0.81	4.64	3.92	9.48	0.32	0.84	0.51	0.93	
Bw2	1.03	4.63	4.03	9.76	0.29	0.95	0.56	1.04	
2AB	0.95	4.65	4.00	9.80	0.25	0.87	0.51	0.94	
2Bw	1.00	4.70	3.92	9.85	0.23	0.67	0.40	0.74	
2BC	1.01	4.81	4.09	9.94	0.19	0.70	0.54	0.90	
<u>Y5-1</u>									
A	0.50	3.94	3.23	8.00	0.93	0.69	0.32	0.67	
AB	0.54	4.09	3.40	8.34	0.84	0.68	0.33	0.67	
Bw1	0.80	4.25	3.67	8.91	0.47	0.61	0.35	0.65	
Bw2	1.01	4.40	3.99	9.44	0.18	0.60	0.53	0.84	
Bw3	1.04	4.41	4.06	9.40	0.16	0.56	0.46	0.74	
Bw4	1.16	4.37	3.86	9.37	0.42	0.57	0.43	0.71	
BC	0.80	4.40	4.13	9.72	0.15	0.70	0.65	1.00	
<u>Y5-2</u>									
A1	0.29	3.92	3.31	8.16	0.90	0.59	0.50	0.80	
A2	0.38	4.06	3.47	9.15	0.75	0.61	0.54	0.85	
Bw	0.85	4.43	3.91	9.73	0.27	0.70	0.56	0.91	
BC	0.80	4.48	4.00	9.97	0.22	0.69	0.63	0.98	

(續下頁)

附錄表一 (續)

Horiaon	Bd Mg/m ³	pH			Ex. Al coml(+)/kg	Oxalate		
		H ₂ O	KCl	NaF		Fe	Al	Al+1/2Fe
<u>Y5-3</u>								
A	0.64	4.32	5.14	8.22	0.48	0.80	0.45	0.85
AB	0.80	4.45	3.74	8.81	0.43	0.92	0.48	0.94
Bt1	0.75	4.53	3.79	9.41	0.42	0.72	0.49	0.85
Bt2	0.98	4.59	3.63	9.48	0.76	0.55	0.47	0.75
BC	1.00	4.75	3.63	9.73	0.77	0.42	0.47	0.69
<u>Y5-4</u>								
A	0.81	4.20	3.71	9.04	0.68	0.85	0.55	0.97
Bw1	0.83	4.32	3.81	9.40	0.64	0.97	0.61	1.09
Bw2	0.81	4.54	4.06	10.21	0.27	1.21	0.93	1.54
Bw3	0.95	4.80	4.06	10.08	0.19	1.07	0.75	1.29
Bw4	0.97	4.90	3.98	9.99	0.23	0.96	0.63	1.11
BC	1.05	4.87	4.13	9.97	0.13	0.86	0.63	1.05
<u>Y5-5</u>								
A	0.36	3.69	3.46	8.27	0.78	0.45	0.63	0.86
AB	0.61	4.00	3.67	9.16	0.65	0.55	0.66	0.94
Bw1	0.85	4.31	3.80	9.42	0.37	0.48	0.62	0.86
Bw2	0.85	4.33	3.76	9.59	0.44	0.47	0.59	0.82
Bw3	0.81	4.38	3.77	9.55	0.48	0.46	0.56	0.79
BC	0.81	34.37	3.51	9.50	0.76	0.31	0.48	0.64
<u>Y5-6</u>								
A	0.75	4.30	3.68	8.70	0.43	0.59	0.44	0.74
AB	0.95	4.42	3.77	9.32	0.45	0.62	0.46	0.77
Bw1	0.95	3.46	3.85	9.42	0.42	0.87	0.79	1.22
Bw2	1.08	4.49	3.78	9.52	0.47	0.89	0.75	1.19
Bw3	0.98	4.85	3.91	9.47	0.28	0.92	0.71	1.18
<u>Y5-7</u>								
A	0.52	4.36	3.71	8.88	0.54	0.76	0.81	1.19
AB	0.59	4.38	3.73	9.17	0.59	0.81	0.83	1.23
Bw1	0.73	4.42	3.76	9.32	0.59	0.82	0.82	1.23
Bw2	0.97	4.79	3.78	9.45	0.55	0.83	0.82	1.24
BC	0.89	5.30	3.93	9.41	0.23	0.74	0.77	1.14
<u>Y5-8</u>								
A	0.59	3.95	3.43	8.15	0.75	0.73	0.60	0.96
AB	0.67	4.17	3.53	8.79	0.67	0.72	0.58	0.94
Bw1	1.04	4.33	3.42	8.81	0.68	0.54	0.53	0.81
Bw2	1.02	4.37	3.44	9.32	0.65	0.53	0.53	0.79
BC	1.04	4.40	3.52	9.38	0.63	0.53	0.55	0.81



附錄二 名詞解釋

灰燼土(Andisols)

一、定義

依照Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2006)所訂定的灰燼土綱(Andisols)分類標準如下：在表層60公分以內，必需累積達60%以上(35公分)的土壤厚度，符合火山灰土壤性質(Andic soil properties)的定義。而火山灰土壤性質的定義如下：具有 $\leq 25\%$ 的有機碳，而且符合下列1,2兩個條件之一者，即

1. a. 草酸可抽出性鋁加上二分之一草酸可抽出性鐵($Al_0 + 1/2Fe_0$)需 $\geq 2\%$ ；且
 - b. 土壤總體密度(Bulk density)需 $\leq 0.9 \text{ Mg/m}^3$ ；且
 - c. 磷酸吸持力(P retention) $\geq 85\%$ ；或
2. $< 2\text{mm}$ 的土壤部份中， $0.02\sim 2.0\text{mm}$ 之部份至少達30%，且 $< 2\text{mm}$ 部份之磷酸吸持力 $> 25\%$ ，並且符合下列a、b、c三個條件之一者：
 - a. $Al_0 + 1/2Fe_0 \geq 0.4\%$ ($< 2\text{mm}$)，且在 $0.02\sim 2.0\text{mm}$ 土壤部份之火山玻璃(volcanic glass)至少為30%；或
 - b. $Al_0 + 1/2Fe_0 \geq 2.0\%$ ($< 2\text{mm}$)，但在 $0.02\sim 2.0\text{mm}$ 土壤部份之火山玻璃 $\geq 5\%$ ；或
 - c. $Al_0 + 1/2Fe_0$ 之含量在 $0.4\sim 2.0\%$ 之間($< 2\text{mm}$)，但 $0.02\sim 2.0\text{mm}$ 土壤部份之火山玻璃含量需大於 $35\% - 15(Al_0 + 1/2Fe_0)\%$ 。

上述第1點條件為已遭受某一程度風化的火山灰土壤，火山玻璃(volcanic glass)含量較少，不再為分類的依據之一；第2點條件屬於火山活動較晚期者，所受風化程度較淺， $< 2\text{mm}$ 的火山灰物質中，含有高含量易風化的火山玻璃，其草酸可抽出性鋁與鐵的含量低，且磷酸結持力亦小。臺灣地區火山灰土壤的風化程度較高，適用於第1點條件的分類條件(黃政恆與陳尊賢，1992)。

二、在野外可見及的形態特徵

- (1) 暗黑色的土壤層次厚度可達20~30公分；土壤乾燥時呈細團粒($< 5 \text{ mm}$)構造；土壤濕潤時非常鬆散、易碎與團粒構造良好；土壤潮濕時非常滑膩，土色更為暗黑，且在光照下有些發亮，土壤保水力非常強。
- (2) 相對於一般的農地與森林土壤而言，土塊非常的輕與呈現多孔狀。
- (3) 在國家公園園區內灰燼土之地被的植物大多為芒草與臺灣矢竹，或兩者同時出現，但是也會出現在芒草(或矢竹)、紅楠與杜鵑等混合林的區域，少數出現在較高海拔(500~800m)的闊葉混合林下。

極育土(Ultisols)

一、定義

極育土(Ultisols)通常生成於潮濕溫暖(平均年土溫(mean annual temperature,MAST) $>8^{\circ}\text{C}$)、風化強烈、淋洗強烈以及地形平坦的情況下，其範圍分布很廣泛，在南北緯 40 度的範圍內分布最為廣泛，其特徵為含有黏聚層(argillic horizon,Bt)以及低鹽基含量，極育土的主要形態特徵在於黏粒的洗出作用(eluviation)和洗入作用(illuviation)。

在美國土壤分類系統中(Soil Survey Staff, 2003)，極育土的定義為含有黏聚層(Bt)，且鹽基飽和度(base saturation) $<35\%$ 之土壤，而黏聚層之定義則為：

- (1)細質地土壤($<$ loam)之黏聚層厚度必須大於 7.5 公分，粗質地(sand)土壤之黏聚層厚度則必須大於 15 公分，或是黏聚層厚度佔整體土壤 1/10 以上；
- (2)具有黏粒洗入之證據，如：定位排列(oriented clay)、黏粒膜(clay film)等；
- (3)若是上層之 A 層黏粒含量小於 15%，則黏聚層黏粒含量必須高於 A 層 3% 以上，若是 A 層黏粒含量介於 15~40%，則黏聚層黏粒含量必須高於 A 層 1.2 倍以上，若是 A 層黏粒含量高於 40%，則黏聚層黏粒含量必須高於 A 層 8% 以上。

二、在野外可見及的形態特徵

- (1)裏層土壤之土壤顏色多為棕色、紅棕色或黃棕色，表層暗黑色的土壤層次淺薄；土壤乾燥時多呈堅硬大塊狀構造；土壤濕潤時結持度緊密、塊狀構造良好；土壤潮濕時非常黏重與濕滑，土色呈現亮棕色，且在光照下有些發亮的黏粒膜附在土塊表面，土壤保水力也高。
- (2)相對於灰燼土或弱育土而言，土塊非常的黏重與不呈現多孔狀。
- (3)在國家公園園區內極育土被發現的機會相當少，所在位置之地被的植物大多為闊葉混合林與少數芒草，主要是受到地形變化的影響，在高海拔、極為平坦且植被較稀疏的地區，或低海拔、陡坡與緩坡交接處且植被發育中等密度的地區都有可能出現極育土。

弱育土(Inceptisols)

一、定義

弱育土(Inceptisols)係指具有少數特徵之胚胎土(Embryonic soils)，即本土綱中之土壤為分布於濕潤地區，具有曾受改變之層次，鹽基或鐵與鋁已進行損失，但仍保留若干可風化的礦物者。弱育土可能發生在自赤道以至凍原(或冰沼)地區，亞濕潤至濕潤氣候下(張仲民，1984)。

弱育土普通含有一變遷層(Cambic horizon, Bw 層)；但如果有一黑瘠層的，有機的或人造披被層存在，或如果有脆盤或一薄的膠結，聚鈣的，堅膠聚鈣的或含硫層存在，則變遷層即非屬必須。最常見之診斷層可能為含有一黑瘠披被層或淡色披被層，一變遷層，一脆盤與一硬盤。常見之層序為一淡色披被層覆蓋在一變遷層之上，其下可具有或不具有一脆盤，或為一黑瘠披被層覆蓋於一變遷層之上，其下並具有或不具有一硬盤或脆盤。

弱育土皆屬未熟土(Immature soils)。真正能代表所有弱育土生成之環境的敘述，實際是無法作成，但有下述一般默認的特徵：

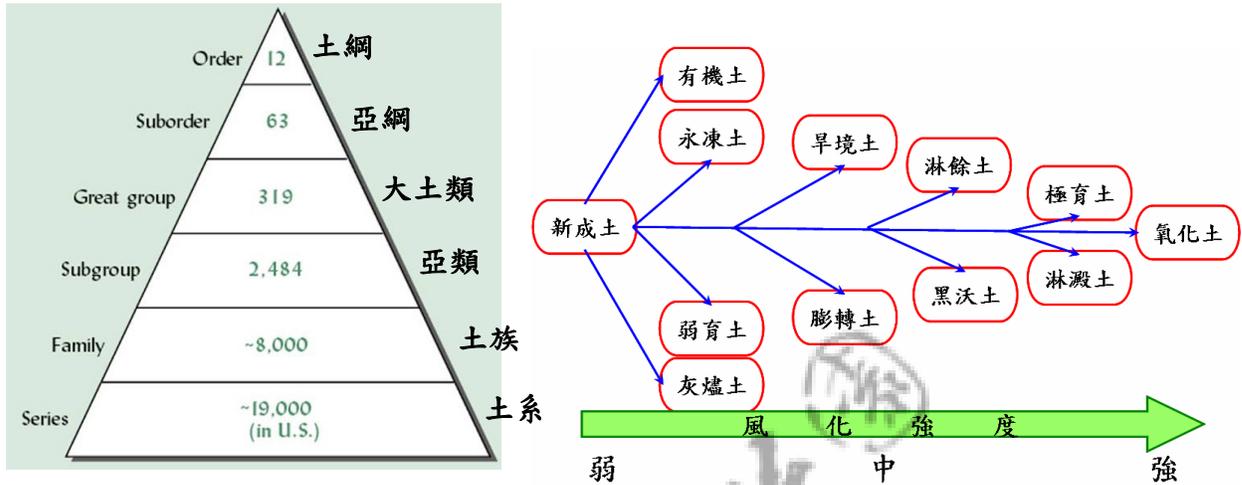
- (1)母質有高度抵抗風化特性；
- (2)富含火山灰；
- (3)極端的地景位置，例如陡坡地與低窪地；與
- (4)地形面過於年輕而限制土壤之發育。

除淋溶作用外，無單一土壤化育過程可作用於本土綱中所有之土壤，幾乎所有之化育過程皆可作用於弱育土剖面至某一程度但無一為佔優勢者。世界上有甚多弱育土皆為不具有不尋常地能抵抗風化之母質者，因此較之周圍成聯域或的土壤不能發育至相同之程度。此項母質特性有緩慢風化作用之進行及限制黏粒之生成量。在另一種情況下，為淋溶作用有壓倒性影響，而有系統地將膠體物質自土壤剖面中移出，如此乃遺留弱育土於地表上。

二、在野外可見及的形態特徵

- (1)可能如同灰燼土之形態特徵，包括深厚的暗黑色土壤層次、土壤濕潤時非常鬆散、易碎等，但在土壤構造上是塊狀構造增加與團粒構造減少。
- (2)土塊也可能較輕與呈現多孔狀，但是必需依照土壤總體密度分析的結果才能確認。
- (3)在國家公園園區內灰燼土與弱育土出現的地區會有所重疊，弱育土之地被的植物也與灰燼土相似不易分別。究其原因應是土壤分類的發展過程，灰燼土最早是被歸類在弱育土綱之中，自 1992 年之後才從弱育土綱中獨立出來成為灰燼土綱，因此在分類上大都只能從理化性質來區別兩者。

附註：



美國新土壤分類系統(Keys to Soil Taxonomy)中的六種分類階級(Soil Survey Staff, 2006)與相對風化序列

美國新土壤分類系統(Keys to Soil Taxonomy)中 12 個土綱(Soil Order)的主要特徵(Soil Survey Staff, 2006)

土綱	中文名	縮寫	主要特徵
Alfisols	淋餘土	alf	有黏聚層或聚鈉層的存在，中到高的鹽基飽和度
Andisols	灰燼土	and	具有火山灰土壤特性，多為鋁英石或腐植質鋁
Aridisols	旱境土	id	土層乾燥，具有淡色表育層，有時會有黏聚層或聚鈉層
Entisols	新成土	ent	土層化育厚度薄，常為淡色表育層，無化育層
Gelisols	永凍土	el	<1m 內具有永凍層，有冰擾動的痕跡
Histosols	有機土	ist	有>20%以上的有機質
Inceptisols	弱育土	ept	化育程度低，少有診斷特徵，可能有淡色或黑瘠表育層及變育層 (Cambic, Bw)
Mollisols	黑沃土	oll	有黑沃表育層(Mollic)，具高鹽基飽和度，土色深，有黏聚層或聚鈉層存在
Oxisols	氧化土	ox	具有氧化物層(Oxic)，無黏聚層，高度風化
Spodosols	淋澱土	od	有淋澱層，有鐵鋁氧化物與腐植質累積
Ultisols	極育土	ult	具有黏聚層，鹽基飽和度低 (BS%<50%)
Vertisols	膨轉土	ert	高膨脹性黏土，當土層乾燥時會形成深裂縫

附錄三 期中報會議紀錄

陽明山國家公園 97 年委託研究計畫
 「陽明山國家公園全區土壤分析調查」
 期中報告會議紀錄

一、時間：97年7月29日(星期二) 下午15時30分整

二、地點：本處二樓會議室

三、主持人：陳處長茂春

記錄：鄭文良

四、出席單位及人員：

出席單位人員	職稱	簽到處
台灣大學農業化學系 李達源教授		
陳茂春處長	處長	陳茂春
詹德樞副處長	副處長	詹德樞
陳昌黎秘書		
企劃經理課	課員	楊肅圭
環境維護課		
解說教育課		
遊憩服務課	技士	高子媛
建管小組		
小油坑管理站		
擎天崗管理站	主任	羅淑英
龍鳳谷管理站		
陽明書屋管理站		
資訊室		
人事室		
會計室		
行政室		
保育研究課	課長	叢培芝
	技士	黃光瀛
	課員	鄭文良

研究團隊代表：

宜蘭大學	副教授	蔡呈奇
------	-----	-----

五、受託單位報告：(略)

六、討論：(略)

審議意見	修正說明
1. 有關樣區的選擇，似乎較偏重於擎天崗週遭，是否有針對西南部份加強樣點的數量選擇。	感謝指導 本次研究是將過去相關研究採樣不足或從未採樣地區進行樣本的補足，本研究將綜合過去相關研究所有之88個樣點資料進行分析，並依照研究目的提出陽明山國家公園區域完整之土壤分布圖。
2. 有關土壤重金屬之檢測，能否加入研究範圍。	感謝指導 由於非本研究進行土壤分類之目的，且全區或區域樣點土壤標本所分析之重金屬數據，應須能落實於貴管經營管理目標上，需要另行考量。
3. 截線路徑的選擇是否考量人類活動頻繁區域。	感謝指導 經由土壤剖面的了解，人類活動頻繁區域土壤僅於表面土層具有差異，對於研究詮釋上較不具意義，且由於本研究屬破壞性調查，較易引起非議，故皆以無人類活動地區為樣區選擇為主。
4. 本研究所使用之土壤紀錄表，請作為附錄檢附。	感謝指導 將依照辦理。
5. 土壤剖面之呈現，除照片外能否請以較淺顯易懂之繪圖方式呈現，此外，各種不同植被型態樣點之剖面，亦可供本處展示解說之用，請受託單位協助建置。	感謝指導 將依照辦理。
6. 能否提供雨量對區域土地、土壤崩落之本處管理建議。	感謝指導 本研究目的土壤圖的繪製，配合地形坡度的分析，加上對坡度與裸露地之比對分析應可以評估繪製出相關敏感區域位置。

七、結論：

(一) 本案原則通過，有關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) 請依合約規定進度辦理並進行申請撥款項事宜。

八、散會。

附錄四 期末報告會議記錄

「陽明山國家公園全區土壤分析調查」

期末報告會議簽到簿及紀錄

一、時間：97年11月26日(星期二) 上午10時30分整

二、地點：本處二樓會議室

三、主持人：林處長永發

記錄：張弘明

四、出(列)席單位及人員

出席機關(單位)(人員)	職稱	簽到處
台灣大學農業化學系李達源教授		
本處詹副處長德樞	副處長	詹德樞
陳秘書昌黎	秘書	陳昌黎
企劃經理課		
環境維護課	課長	韓志武
遊憩服務課		
解說教育課	技士	游淑鈞
技正室		
小油坑管理站	主任	呂理昌
龍鳳谷管理站		
擎天崗管理站		
陽明書屋管理站	主任	李青峰
資訊室	技士	張榮欽
會計室		
人事室		
保育研究課	課長	羅淑英
	技士	蕭淑碧
	約聘研究員	王全田

受託單位代表

國立宜蘭大學 自然資源學系	副教授	蔡呈奇
台灣大學農化系暨農業陳列館 館長	特聘教授兼生農學 院副院長	陳尊賢

列席機關(單位)(人員)	職稱	簽到處
中國文化大學環境設計學院		

五、討論：

審議意見	修正說明
(一)陽明山國家公園溫泉區或噴氣孔(如小油坑及龍鳳谷地區)崩落土壤有何不同特色、形成原因、完整名字、經多少年化育而成、經由何種因素造成…的詳細解釋說明,以供本處解說教育用。	感謝指導 將盡力說明。
(二)請在完整研究報告書中說明弱育土、灰燼土及極育土的特性時,再撰寫部分篇幅,可供轉換為解說教材的文字,以供本處向遊客解說時使用。	將依照辦理。
(三)請增加土壤與植被關係的整理說明(在某種植被下,會有何種土壤),以供本處轉換為解說教育之用。	感謝指導 將盡力說明。
(四)請將七星山與大屯山等地區的土壤資料,整理歸納出完整的土壤化育特色的說明,增列成另一章節。	感謝指導 將依照辦理。
(五)建議一中的部分文字請再做修飾。	將依照辦理。
(六)請增列緩坡與陡坡弱育土的差異說明。背風坡與迎風坡植被不同下,弱育土與海拔高度不同時有何相關性之說明。	感謝指導 將盡量說明。
(七)請增加一般土壤分類與本園區的土壤分類之間差異的說明。	感謝指導 將依照辦理。
(八)請寫清楚本園區不同海拔高度(尤其 700 公尺以下)的土壤特性說明及火山噴發時間不同是否形成不同土壤的說明。	感謝指導 將盡量說明。
(九)請協助建構出一份初步的解說摺頁與圖說。	沒問題,將依照辦理。
(十)請提供幾盒有代表性的土壤樣本(含說明),以供本處解說展示用。	將依照辦理。
(十一)請參考本處另外提供的 3 頁書面修正意見。	感謝提供,將參考修正。

六、結論：

- (一) 本案原則通過,有關本處與會同仁意見及期中會議紀錄,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規定」格式修正,並依合約書規定於期程內提送完整研究報告等過處辦理結案事宜。
- (四) 以下空白。

計畫主持人(蔡呈奇)回答：

計畫主持人已依照所附意見逐一修改更正與加強說明在完整報告中。

附錄五 陽明山全區土壤分析調查解說摺頁初稿

1.陽明山國家公園的土壤類型

園區的土壤主要發育自安山岩，少部份為發育自玄武岩。由火山母岩所化育生成的土壤，依美國土壤分類體系的定義，主要為灰燼土(Andisols)與弱育土(Inceptisols)兩大類，有少數地區曾發現極育土(Ultisols)。三種土壤概略說明如下：

(1)灰燼土(Andisols)

- a.暗黑色的土壤層次厚度可達 20~30 公分；土壤乾燥時呈細團粒(<5 mm)構造；土壤濕潤時非常鬆散、易碎與團粒構造良好；土壤潮濕時非常滑膩，土色更為暗黑，且在光照下有些發亮，土壤保水力非常強。
- b.相對於一般的農地與森林土壤而言，土塊非常的輕與呈現多孔狀。
- c.在國家公園園區內灰燼土之地被的植物大多為芒草與臺灣矢竹，或兩者同時出現，但是也會出現在芒草(或矢竹)、紅楠與杜鵑等混合林的區域，少數出現在較高海拔(500~800m)的闊葉混合林下。

(2)弱育土(Inceptisols)

- a.裏層土壤之土壤顏色多為棕色、紅棕色或黃棕色，表層暗黑色的土壤層次淺薄；土壤乾燥時多呈堅硬大塊狀構造；土壤濕潤時結持度緊密、塊狀構造良好；土壤潮濕時非常黏重與濕滑，土色呈現亮棕色，且在光照下有些發亮的黏粒膜附在土塊表面，土壤保水力也高。
- b.相對於灰燼土或弱育土而言，土塊非常的黏重與不呈現多孔狀。
- c.在國家公園園區內極育土被發現的機會相當少，所在位置之地被的植物大多為闊葉混合林與少數芒草，主要是受到地形變化的影響，在高海拔、極為平坦且植被較稀疏的地區，或低海拔、陡坡與緩坡交接處且植被發育中等密度的地區都有可能出現極育土。

(3)極育土(Ultisols)

- a.可能如同灰燼土之形態特徵，包括深厚的暗黑色土壤層次、土壤濕潤時非常鬆散、易碎等，但在土壤構造上是塊狀構造增加與團粒構造減少。
- b.土塊也可能較輕與呈現多孔狀，但是必需依照土壤總體密度分析的結果才能確認。
- c.在國家公園園區內灰燼土與弱育土出現的地區會有所重疊，弱育土之地被的植物也與灰燼土相似不易分別。究其原因應是土壤分類的發展過程，灰燼土

最早是被歸類在弱育土綱之中，自 1992 年之後才從弱育土綱中獨立出來成為灰燼土綱，因此在分類上大都只能從理化性質來區別兩者。



灰燼土(Andisols)



弱育土(Inceptisols)



極育土(Ultisols)

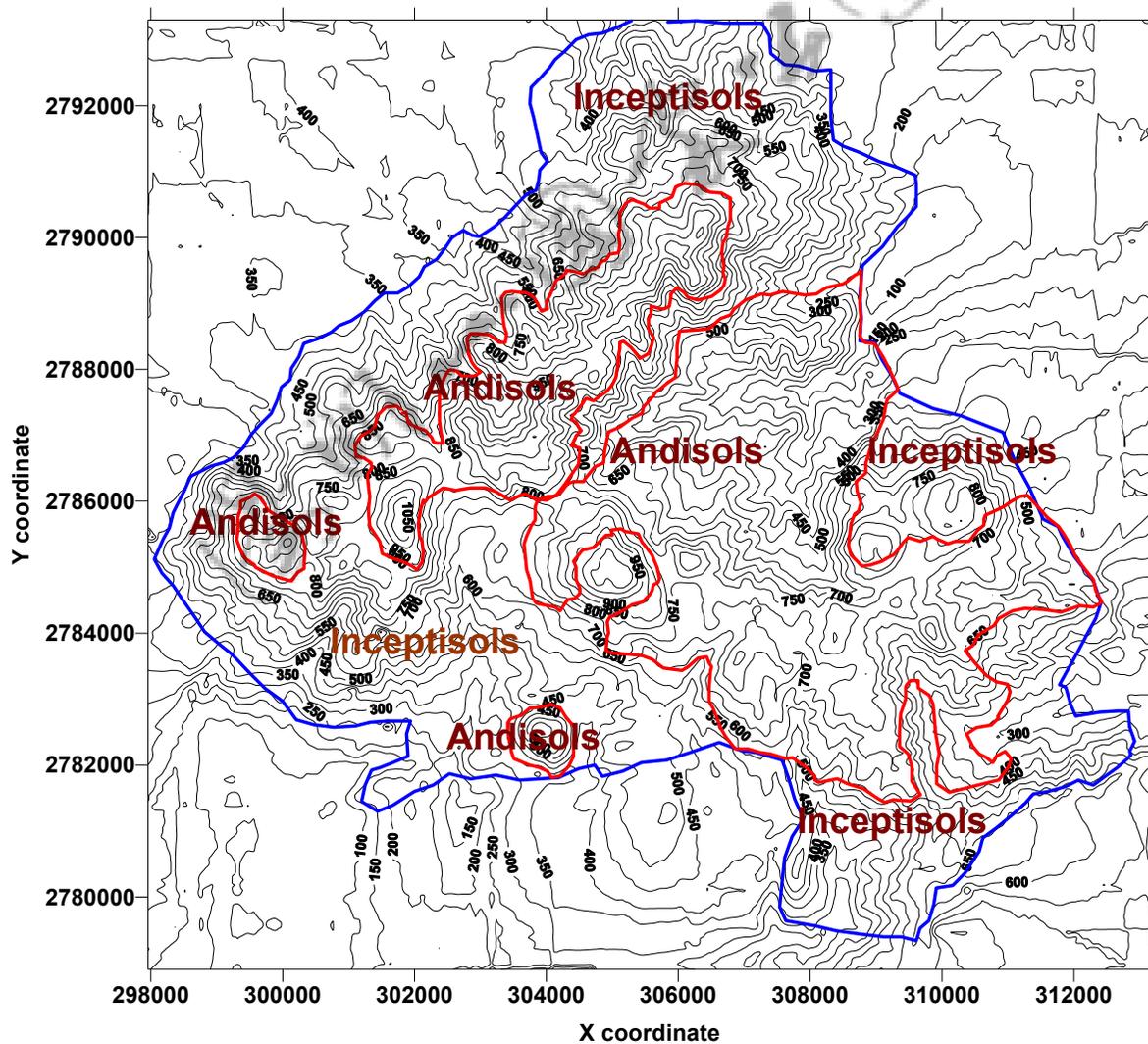
2.陽明山國家公園的土壤分布

灰燼土的分布有幾個區域：

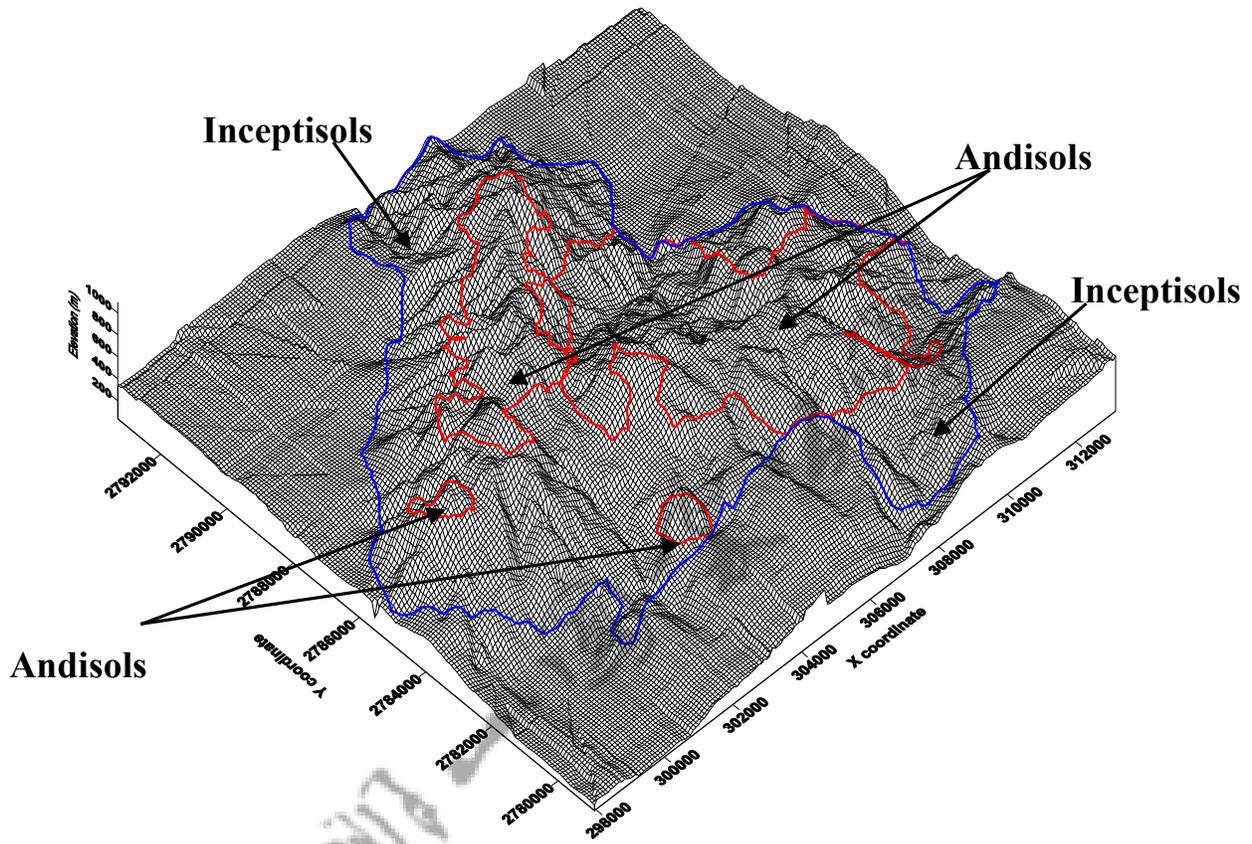
- a.大屯山至竹子山一帶，海拔在 700 公尺以上的區域，可能是因為茂密生長的植被(芒草、箭竹或闊葉林)對土壤形成很好的保護作用，保留較多且較完整的灰燼土的形態特性，但部份較平緩與較陡地區可能會出現弱育土；
- b.面天山與紗帽山兩座火山，推測也是因為植被保護情況較佳；

c.七星山以北到八煙、以南到風櫃嘴、以東到土地公坑的園區邊界(但大尖後山與磺嘴山除外)，因地形較不易到達，少有人為的干擾，雖然部份地區海拔較低(400~500公尺)，但是土壤母質仍屬於安山岩質，推測此大部份地區仍是灰燼土，但部份較平緩與較陡地區可能會出現弱育土。

除此之外，園區的其它區域便劃分為弱育土的範圍，以園區的北邊、西邊與南邊為主要的分布區域，這些區域受火山灰母質的影響相對較小(因為離大屯火山群較遠)，較低海拔處之母質開始出現砂頁岩等母質，因此推測這些區域生成的土壤多屬弱育土。極育土的出現較特殊，中低海拔的陡坡地與高海拔的緩坡地都有發現，應該是局部地區的土壤變異，因為只有在極少數位置上被發現，無法繪製在圖中。



陽明山國家公園的土綱土壤分布圖(等高線)



陽明山國家公園的土綱土壤分布圖(3D 網格)

參考書目

- 內政部營建署。1994。陽明山國家公園。
- 王文祥。1991。臺灣北部大屯火山群之火山地質及核分裂飛跡定年研究。國立臺灣大學地質學研究所碩士論文。
- 王義仲、許立達、林敏宜、林志欽。2003。陽明山國家公園之長期生態研究—植被變遷與演替調查。內政部營建署陽明山國家公園管理處委託研究報告。96頁。
- 巫宗南。1990。陽明山國家公園之地形分類及其成因。國立臺灣大學地理學研究所碩士論文。
- 高政毅。2003。臺灣北部灰燼土與極育土之過渡土壤之化育作用與指標因子。國立臺灣大學農業化學研究所碩士論文。
- 張仲民。1972。大屯山區火山岩屑與兩輝安山岩育成土壤之黏土礦物及其相關化學性質研究。國立臺灣大學農學院研究報告，13:119-136.
- 張仲民。1974。大屯山區兩輝角閃安山岩與含橄欖石角閃兩輝安山岩育成土壤之黏土礦物及其相關化學性質研究。中國農業化學會誌，11:36-53.
- 張仲民。1975。大屯山區玄武岩與集塊岩育成土壤之黏土礦物及其相關化學性質研究。中國農業化學會誌，13:46-57.
- 陳文恭、蔡清彥。1984。陽明山國家公園之氣候。內政部營建署陽明山國家公園管理處委託研究報告。62頁。
- 陳正宏、劉聰桂、鍾孫霖。1988。陽明山國家公園及鄰近地區火山地質史研究。內政部營建署陽明山國家公園管理處委託研究報告。56頁。
- 陳宏宇、林俊全、宋聖榮。2003。建置陽明山國家公園地質災害資料庫之調查研究(II)。內政部營建署陽明山國家公園管理處委託研究報告。76頁。
- 陳尊賢、黃政恆。1991。臺灣地區具有烏黑披被層火山灰土壤之特性與黏土礦物。中國農業化學會誌，29(4):415-426.
- 陳尊賢、蔡呈奇、張學雷、高政毅、賴鴻裕、吳森博。2002。陽明山國家公園之地形土序及其化育作用。行政院國科會生物處委託計畫 (NSC 90-2313-B-002-293)。期末報告。4頁。
- 陳尊賢、蔡呈奇、張學雷、高政毅。2003。陽明山國家公園之地形土序及其化育作用 (2) (2/2)。行政院國科會生物處委託計畫 (計畫編號: NSC-92-2313-B-002-347)。期末報告4頁。
- 陳肇夏、吳永助。1971。臺灣北部大屯地熱區之火山地質。中國地質學會會刊，18:59-72.
- 黃政恆、陳尊賢、王明果。1993。大屯山東北側火山灰土壤的性質與黏土礦物。中國農業化學會誌，31(3):325-339.
- 黃政恆、陳尊賢、王明果。1994。大屯山與面天山間火山熔岩母質來源土壤的性質與分類。中國農業化學會誌，32(3):294-308.
- 黃政恆、陳尊賢。1990。七星山地區兩個火山灰土壤之特性、化育與分類。中國農業化學會誌，28(2):135-147.
- 黃政恆、陳尊賢。1992。七星山東北側火山灰土壤之性質與分類。中國農業化學會誌，30(2):216-228.

- 黃政恆。1990。七星山與紗帽山火山岩來源土壤之特性、化育與分類。國立臺灣大學農業化學研究所碩士論文。
- 黃增泉、謝長富、楊國楨、湯淮新。1986。陽明山國家公園植物生態景觀資源。內政部營建署陽明山國家公園管理處委託研究報告。96頁。
- 蔡呈奇。2002。應用地域分析與地理資訊系統繪製土壤圖：以臺灣北部火山灰土壤為例。國立臺灣大學農業化學研究所博士論文。
- 顏江河。2007。陽明山國家公園火山土壤成份與植物適應性之研究。內政部營建署陽明山國家公園管理處委託研究報告。40頁。
- Asio, V. B and Z. S. Chen. 1998. Study of andesite weathering in northern Taiwan using micromorphological approaches. *臺灣林業科學* 13(4): 259-269.
- Blake, G. R., and K. H. Hartge. 1986. Bulk density. *In Klute, A. (ed.) Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods. 2nd ed. Agronomy 9:363-382.*
- Blakemore, L. C., P. L. Searle, and B. K. Daly. 1981. Soil Bureau, Laboratory methods: A. Methods for chemical analysis of Soils sci. Rep. 10A. Revised ed. New Zealand Soil Bureau, Lower Hutt, New Zealand.
- Chen, Z. S., T. C. Tsou, V. B. Asio, and C. C. Tsai. 2001. Genesis of Inceptisols on a volcanic landscape in Taiwan. *Soil Science* 166 (4): 255-266.
- Chen, Z. S., V. B. Asio, and D. F. Yi. 1999. Characteristics and genesis of volcanic soils along a toposequence under a subtropical climate in Taiwan. *Soil Science* 164 (7): 510-525.
- Gee, G. W., and J. W. Bauder. 1986. Particle-size analysis. *In Klute, A. (ed.) Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods 2nd ed. Agronomy 9:383-411.*
- McLean, E. O. 1982. Soil pH and lime requirement. *In Page, A. L., R. H. Miller, and D. R. Keeney (eds.) Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties . 2nd ed. Agronomy 9:199-224.*
- Nelson, D. W., and L. E. Sommer. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. p.539-577. *In Page, A. L. et al. (ed.) Methods of soil analysis, Part 2. Chemical and microbiological properties. Agronomy monograph 9.*
- Soil Survey Staff. 1993. Soil survey manual. USDA Agric. Handb. 18. U. S. Gov. Print. Office, Washington, DC.
- Soil Survey Staff. 2006. Keys to Soil Taxonomy (10th edition). U.S. Dep. Agric., Soil Conserv. Serv., Washington, DC.
- Steers, C. A. and B. F. Hajek. 1979. Determination of map unit composition by random selection of transects. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43:156-160.
- Thomas, G. W. 1982. Exchangeable cation. p.159-165. *In Page A. L. et al. (ed.) Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Agronomy monograph 9.*
- Wang, C. 1988. Application of transect method to soil survey problems. Technical Bull. 1984-4E. LRRI contribution No. 82-02. Research branch. Agriculture Canada.
- Wilding, L. P. 1985. Spatial variability: Its documentation, accommodation and implication to soil surveys. p. 166-194. *In Nielsen R. and Bouma J. (ed.) Soil spatial variability. Proc. Worksh. ISSS and SSSA. PUDOC. Wageningen, the Netherlands.*