

陽明山國家公園火山口植群與地景變
遷調查分析-
以磺嘴山與向天山為例

Investigations of Volcanic Vegetation and
Landscape Changes in Yangmingshan National
Park — the cases of Mts. Huangzui and Xiangtian

受委託單位：國立中興大學

研究主持人：曾喜育 博士

協同主持人：邱清安 博士

研究期程：中華民國 108 年 04 月至 108 年 12 月

研究經費：新臺幣 88 萬元

陽明山國家公園管理處委託辦理報告

中華民國 108 年 12 月

(本報告內容純係研究小組之觀點，不應引申為本機關之意見)

中國科學院
植物研究所
植物所
植物所

目錄

摘要.....	1
ABSTRACT.....	3
第一章 緒論.....	6
第一節 研究緣起與背景.....	6
第二節 前人研究.....	7
第三節 研究工作項目.....	12
第二章 材料與方法.....	13
第一節 研究區域概述.....	13
第二節 調查方法.....	15
第三節 資料分析.....	19
第四節 長期監測樣區調查志工教育訓練.....	22
第三章 結果與討論.....	23
第一節 磺嘴山火山口植相與植群.....	24
第二節 向天山火口植相與植群.....	34
第三節 植群圖製作.....	50
第四節 歷年植群變遷分析.....	64
第五節 地面調查及航空照片判釋結合分析.....	108
第六節 植群演替模型繪製.....	110
第四章 長期監測樣區調查志工教育訓練.....	113
第五章 結論與建議.....	114
第一節 結論.....	114
第二節 建議.....	116
參考書目.....	118

附錄一、磺嘴山火山口之維管束植物名	122
附錄二、向天山火山口之維管束植物名錄	128
附錄三、空拍機作業程序建議	136
附錄四、「陽明山國家公園火山口植群與地景變遷調查分析—以磺嘴山與 向天山為例」期初書面審查建議及回覆	137
附錄五、「陽明山國家公園火山口植群與地景變遷調查分析—以磺嘴山與 向天山為例」期中報告審查建議及回覆	139
附錄六、「陽明山國家公園火山口植群與地景變遷調查分析—以磺嘴山與 向天山為例」期末報告審查建議及回覆	145

表目錄

表 1. 陽明山國家公園磺嘴山與向天山火山口維管束植物科屬種分析.....	24
表 2. 陽明山國家公園磺嘴山火山口不同植群型之 Sorenson 相似性及 Cody 指數.....	31
表 3. 陽明山國家公園磺嘴山火山口植群與樣區物種多樣性表.....	32
表 4. 陽明山國家公園向天山火山口植群型與樣區物種多樣性表.....	44
表 5. 陽明山國家公園向天山火山口不同地景類型之 Sorenson 相似性及 Cody 指數.....	46
表 6. 磺嘴山及向天山火山口兩地區植群土壤分析結果.....	50
表 7. 涵蓋向天山火山口與磺嘴山火山口判釋研究區之航空照片的基本資料.....	51
表 8. 航空照片判釋的 5 種地景類型.....	55
表 9. 航照判釋之各圖層的欄位定義.....	55
表 10. 向天山火山口 ST1978I、ST1988I、ST2018I 之各地景類型面積.....	65
表 11. 向天山火山口各地景類型的變遷比例摘要表.....	68
表 12. 磺嘴山火山口 ZH1979I、ZH2009I、ZH2017I 之各地景類型面積.....	75
表 13. 磺嘴山火山口各地景類型的變遷比例摘要表.....	78
表 14. 向天山火山口不同年期各地景類型之變遷矩陣表.....	85
表 15. 磺嘴山火山口不同年期各地景類型之變遷矩陣表.....	96

圖目錄

圖 1. 陽明山國家公園向天山(左)與磺嘴山(右)之火山口位置圖.....	14
圖 2. 陽明山國家公園竹子湖與鞍部 2 測站之生態氣候圖.....	14
圖 3. 陽明山國家公園向天山之火山口長期監測樣區設置示意圖.....	16
圖 4. 陽明山國家公園磺嘴山之火山口長期監測樣區設置示意圖.....	16
圖 5. 全天光空域示意圖.....	18
圖 6. 方位對應之水分梯度級.....	18
圖 7. 陽明山國家公園向天山(左)與磺嘴山(右)之火山口不同時期航空照片...21	
圖 8. 陽明山國家公園火山口植群與地景變遷調查與分析之計畫研究流程圖.....	22
圖 9. 陽明山國家公園向天山及磺嘴山火山口之樣區分布位置圖.....	23
圖 10. 陽明山國家公園磺嘴山火山口之生活型譜分析.....	25
圖 11. 陽明山國家公園磺嘴山火山口之森林及草生地植物社會之群聚分析圖....	26
圖 12. 陽明山國家公園磺嘴山之草生地植群及植物選介.....	28
圖 13. 陽明山國家公園磺嘴山之森林照片及植物選介.....	29
圖 14. 陽明山國家公園磺嘴山火山口灌叢草生地與森林植群之對應分析排序圖...33	
圖 15. 陽明山國家公園磺嘴山火山口之地被層典型對應分析排序圖.....	33
圖 16. 陽明山向天池火山口之生活型譜.....	35
圖 17. 陽明山國家公園向天山火山口植物社會之群聚分析圖.....	37
圖 18. 陽明山國家公園向天山火山口草生地地景及優勢植物.....	40
圖 19. 陽明山國家公園向天山火山口森林地景及優勢植物.....	41
圖 20. 陽明山國家公園向天山火山口推移帶及優勢植物.....	42
圖 21. 陽明山國家公園向天山火山口不同形相植群之物種多樣性比較盒鬚圖...45	
圖 22. 陽明山國家公園向天山火山口灌叢草生地與森林植群之喬木層降趨對應分析 排序圖.....	47
圖 23. 陽明山國家公園向天山火山口植群型之地被層降趨對應分析排序圖.....	48
圖 24. 陽明山國家公園向天山火山口植群之地被層典型對應分析排序圖.....	49
圖 25. 向天山火山口航照之判釋範圍(紅框)裁切.....	52
圖 26. 磺嘴山火山口航照之判釋範圍(紅框)裁切.....	52
圖 27. 向天山火山口 1978 年、1988 年、2018 年航照及其地景類型判釋.....	53
圖 28. 磺嘴山火山口 1979 年、2009 年、2018 年航照及其地景類型判釋.....	54
圖 29. 航照判釋分類及數化作業流程.....	56
圖 30. 空間資料拓樸(Topology)檢核規則.....	57

圖 31. 向天山火山口 ST1978 地景類型判釋數化結果圖層(ST1978I)及其屬性表...	58
圖 32. 向天山火山口 ST1988 地景類型判釋數化結果圖層(ST1988I)及其屬性表....	59
圖 33. 向天山火山口 ST2018 地景類型判釋數化結果圖層(ST2018I)及其屬性表....	60
圖 34. 礪嘴山火山口 ZH1979 地景類型判釋數化結果圖層(ZH1979I)及其屬性表...	61
圖 35. 礪嘴山火山口 ZH2009 地景類型判釋數化結果圖層(ZH2009I)及其屬性表...	62
圖 36. 礪嘴山火山口 ZH2017 地景類型判釋數化結果圖層(ZH2017I)及其屬性表...	63
圖 37. 向天山火山口各地景類型由 1978 年至 1988 年之面積變化.....	66
圖 38. 向天山火山口各地景類型由 1988 年至 2018 年之面積變化.....	66
圖 39. 向天山火山口各地景類型由 1978 年至 2018 年之面積變化.....	67
圖 40. 1978-1988 年向天山火山口各地景類型的不變率與變遷率.....	69
圖 41. 1978-1988 年向天山火山口各地景類型的保留率與轉出率.....	70
圖 42. 1978-1988 年向天山火山口各地景類型的繼承率與轉入率.....	70
圖 43. 1988-2018 年向天山火山口各地景類型的不變率與變遷率.....	71
圖 44. 1988-2018 年向天山火山口各地景類型的保留率與轉出率.....	71
圖 45. 1988-2018 年向天山火山口各地景類型的繼承率與轉入率.....	72
圖 46. 1978-2018 年向天山火山口各地景類型的不變率與變遷率.....	72
圖 47. 1978-2018 年向天山火山口各地景類型的保留率與轉出率.....	73
圖 48. 1978-2018 年向天山火山口各地景類型的繼承率與轉入率.....	73
圖 49. 礪嘴山火山口各地景類型由 1979 年至 2009 年之面積變化.....	76
圖 50. 礪嘴山火山口各地景類型由 2009 年至 2017 年之面積變化.....	76
圖 51. 礪嘴山火山口各地景類型由 1979 年至 2017 年之面積變化.....	77
圖 52. 1979-2009 年礪嘴山火山口各地景類型的不變率與變遷率.....	79
圖 53. 1979-2009 年礪嘴山火山口各地景類型的保留率與轉出率.....	80
圖 54. 1979-2009 年礪嘴山火山口各地景類型的繼承率與轉入率.....	80
圖 55. 2009-2017 年礪嘴山火山口各地景類型的不變率與變遷率.....	81
圖 56. 2009-2017 年礪嘴山火山口各地景類型的保留率與轉出率.....	81
圖 57. 2009-2017 年礪嘴山火山口各地景類型的繼承率與轉入率.....	82
圖 58. 1979-2017 年礪嘴山火山口各地景類型的不變率與變遷率.....	82
圖 59. 1979-2017 年礪嘴山火山口各地景類型的保留率與轉出率.....	83
圖 60. 1979-2017 年礪嘴山火山口各地景類型的繼承率與轉入率.....	83
圖 61. 向天山火山口 ST1988-1978F 森林地景類型變遷.....	86
圖 62. 向天山火山口 ST2018-1988F 森林地景類型變遷.....	86

圖 63. 向天山火山口 ST2018-1978F 森林地景類型變遷.....	87
圖 64. 向天山火山口 ST1988-1978L 長草地景類型變遷.....	88
圖 65. 向天山火山口 ST2018-1988L 長草地景類型變遷.....	88
圖 66. 向天山火山口 ST2018-1978L 長草地景類型變遷.....	89
圖 67. 向天山火山口 ST1988-1978S 短草地景類型變遷.....	90
圖 68. 向天山火山口 ST2018-1988S 短草地景類型變遷.....	90
圖 69. 向天山火山口 ST2018-1978S 短草地景類型變遷.....	91
圖 70. 向天山火山口 ST1988-1978B 裸地地景類型變遷.....	92
圖 71. 向天山火山口 ST2018-1988B 裸地地景類型變遷.....	93
圖 72. 向天山火山口 ST2018-1978B 裸地地景類型變遷.....	94
圖 73. 磺嘴山火山口 ZH2009-1979F 森林地景類型變遷.....	97
圖 74. 磺嘴山火山口 ZH2017-2009F 森林地景類型變遷.....	97
圖 75. 磺嘴山火山口 ZH2017-1979F 森林地景類型變遷.....	98
圖 76. 磺嘴山火山口 ZH2009-1979L 長草地景類型變遷.....	99
圖 77. 磺嘴山火山口 ZH2017-2009L 長草地景類型變遷.....	99
圖 78. 磺嘴山火山口 ZH2017-1979L 長草地景類型變遷.....	100
圖 79. 磺嘴山火山口 ZH2009-1978S 短草地景類型變遷.....	101
圖 80. 磺嘴山火山口 ZH2017-2009S 短草地景類型變遷.....	102
圖 81. 磺嘴山火山口 ZH2017-1979S 短草地景類型變遷.....	103
圖 82. 磺嘴山火山口 ZH2009-1979W 水域地景類型變遷.....	104
圖 83. 磺嘴山火山口水域地景類型變遷.....	105
圖 84. 磺嘴山火山口 ZH2017-1979W 水域地景類型變遷.....	106
圖 85. 磺嘴山及向天山火山口之植群圖及樣區位置圖.....	109
圖 86. 陽明山磺嘴山火山口植群演替模型.....	110
圖 87. 磺嘴山火山口植群 2010 年火燒事件.....	111
圖 88. 陽明山國家公園向天山火山口植群演替模型.....	112
圖 89. 2019 年 12 月 8 日志工教育訓練講習成果照片.....	113
圖 90. 雙網任務模式示意圖.....	136

摘要

關鍵詞：陽明山國家公園、火山口生態系、植群、磺嘴山、向天山、演替、保育、航空照片

一、研究緣起與背景

陽明山國家公園位於臺北都會近郊，為臺灣於 1985 年建立的第三座國家公園；其中，大屯山火山群的火山地形景觀及生態為陽明山國家公園獨有特色。本計畫期能透過累積的大量資料，評估植物族群變化與保育，提供生態解說之依據，作為火山地景保育的經營管理參考。

二、研究方法與過程

因此，本計畫針對園區內之磺嘴山和向天山 2 處具代表性的火山口地景為研究區域，藉由兩地區的植物普查與樣區調查資料，建立植物種類資源清單；透過設置樣區進行植群調查，並完成現生植群分類與演替趨勢分析；建立長期監測樣區與調查資料，了解植群變遷的演替趨勢與影響因子；利用歷年航空照片資料判釋，結合植群分類結果，進行植群圖繪製，建立研究區植群地景變遷趨勢，特別是磺嘴山水牛族群的影響。

三、重要發現

(一)磺嘴山火山口

磺嘴山火山口共調查 58 科 108 屬 148 種，其中有 14 種特有種，稀有植物 2 種，以及歸化植物 6 種。依植群形相可區分為森林、草生地，以及推移帶的灌叢草生地，群團分析顯示草生地植物社會可分為白背芒植群型、馬唐植群型及類地毯草植群型等 3 型的草生地植物社會；灌叢草生地與森林植物社會可分為假柃木植群型、小花鼠刺-狹瓣八仙花植群型及紅楠植群型等 3 型，其中假柃木植群型屬於推移帶植群型。典型對應分析顯示，坡度、水分梯度和海拔對地被植群與物種組成造成分化，而這些環境因子皆是火山口地形效應造成。此外，水牛的啃食、踐踏等擾動是磺嘴山火山口植群重要的生物因子，其擾動程度影響植群物種組成與演替趨勢

磺嘴山在 1979 至 2017 年森林減少約 6,320 m²，長草約增加 53,220 m²，短草減少約 47,092 m²，水域增加約 190m²。研究區在 39 年間森林損失主要發

生於磺嘴池中心火山口凹地及其向北延伸之區域，原因可能與火燒有關，而森林新增區域主要發生於磺嘴池中心火山口外鄰近的森林。1979 年的短草地景類型主要出現於火山口邊緣較高之處，但在 1979 年至 2009 年已大部分轉變為長草地景類型；長草與森林處於相互消長之情況，於 1979 至 2009 年期間，磺嘴池外圍鄰接森林的長草地景類型，已明顯可見森林侵入長草區域；2009 至 2017 年期間，草生地變化並不明顯。水域新增主要發生於 1979 年至 2009 年，而水域減少主要發生於 2009 年至 2017 年，其變化是否與牛隻有關尚需進一步探究；然整體而論，在 1979 年至 2017 年期間，磺嘴池之水域地景類型大致上是不變的。

(二)向天山火山口

向天山火山口植群共調查 85 科 177 屬 245 種維管束植物，其中 33 種特有種、4 種稀有植物，以及 11 種歸化植物。依植群形相可區分為森林、草生地，以及推移帶的灌叢草生地，群團分析顯示草生地植群可分為燈心草植群型、過溝菜蕨植群型、白背芒植群型，及圓果雀稗植群型等 4 型。推移帶的灌叢草生地與森林植物社會的上層林木群團分析顯示，推移帶可區分成牛奶榕植群型、臺灣二葉松植群型、楊梅植群型，以及尾葉灰木植群型，上木組成物種多樣性較高；森林植群型有紅楠植群型。降趨對應分析法結果顯示，植群主要受地形效應影響而分化，向天池底部分布喜潮濕環境的燈心草植群型，過溝菜蕨或圓果雀稗植群型與之相鄰，白背芒植群型分布的地形較高；推移帶的牛奶榕植群型、臺灣二葉松植群型、楊梅植群型和尾葉灰木植群型等環繞草生地，分布地形高處的是紅楠植群型。然而，降雨多寡與淹水程度影響向天山火山口草生地植群演替趨勢，但人為活動亦影響外來植物入侵。

透過 3 期航空照片(向天池 1978、1988 及 2018 年；磺嘴池 1979、2009 及 2017 年)分析地景與植群變遷發現，向天池在 41 年間的森林減少約 230 m²，長草約增加 571 m²，短草減少約 758 m²，裸地增加約 418m²。1978 年至 2018 年期間，森林新增發生於向天池西北側及中心北側，森林損失發生於向天池中心南側；短草、長草、森林互有消長，在空間上呈複雜的鑲嵌。裸地面積的增加原因可能是來自人為的踐踏。

四、主要建議事項

人為擾動已對向天山火山口植群造成變化，加上氣候變遷下極端天氣發生頻度增加，向天池內湖沼枝額蟲等族群可能受到影響，建議可以降低向天池的遊客承載量，減少遊客對向天池生態系的衝擊；此外，加強遊客宣導不要踐踏草生地，引導遊客行走在步道，透過本研究調查成果轉化的科普解說教育資料，讓民眾了解過度踐踏形成裸地對生態系環境造成的影響。另一方面，管理處應進行較長時間生物與環境監測，提供了解人為活動與氣候變遷影響的直接證據。

在國家公園經營管理層面來看，對於外來的動、植物應予以管理，避免其族群擴張而影響生態，但區內的水牛在國家公園成立前就已存在，逸出野化的水牛可以維持短草植群的存在，增加國家公園境內植群地景的多樣性。然而，水牛族群日益減少或消失對於磺嘴山火山口植群而言，或許可以提供農牧用地回收後植群演替觀察的良好場域。

ABSTRACT

Keywords: Yangmingshan National Park, Volcanic vegetation, Mt. Huangzui, Mt. Xiangtian, Succession, Conservation, Aerial Photo

Yangmingshan National Park is located in the suburbs of Taipei. It is the third national park of Taiwan established in 1985. The volcanic landscape and ecology of the Datunshan Volcano Group are unique in Yangmingshan National Park. During the planning period, we expect to use accumulated data that provide a basis for ecological interpretation as a reference for the management and conservation.

Therefore, this plan aims at two representative volcanic crater landscapes in the Mts. Huangzui and Xiangtian in the park as the research areas. Through plant census and survey data of the two regions to establish plant species resource list. We also set vegetation plots to figure out classification and succession of plant community. These samples conclude long-term monitoring plots and temporarily plots which reflect the succession trend and influencing factors of the vegetation change. Via aerial photo data from previous years to interpret and combine that vegetation classification were drawn. Vegetation map was drawn to establish the change trend of the plant landscape in the study area, especially the influence of the buffalo population in Mt. Huangzui.

We found 148 species, 108 families and 108 genera in Mt. Huangzui crater. These species included 14 endemic species, one rare plants, and six naturalized plants. According to the landscape, it could be divided into forest, grassland, and shrub-grassland in ectone. Cluster analysis showed that the grassland vegetation could be divided into *Miscanthus sinensis* type, *Digitaria sanguinalis* type, and *Axonopus fissifolius* type; shrub grassland and forest plant society could be divided into three types, as *Eurya crenatifolia* type, *Itea parviflora –Hydrangea angustipetala* type, and *Machilus thunbergii* type. Canonical correspondence analysis showed that slope, water gradient, and elevation caused differentiation of species composition. These environmental factors were all caused by the topography effect. In addition, disturbances as buffalo and fire were important factors for the flora of volcanic vegetation in Mt. Huangzui.

From 1979 to 2017, the forest in Mt. Huangzui decreased by 6,320 m², long-grass increased 53,220 m², short-grass decreased by 47092 m², and water area increased by about 190 m². Almost forest loss area mainly occurred in the crater depression and northward Mt. Huangzui, but it regenerate in the last nine years.

The reason may be related to the fire. The short grassland landscape type in 1979 mainly appeared at the higher edge of the crater, but it had mostly changed to the long grassland landscape type from 1979 to 2009; the long grassland and forest were fluctuate. Between 1979 and 2009, forest had invaded the long grass area obviously at the periphery of Huangzui Pond. Water area increased from 1979 to 2009, then decreased from 2009 to 2017. However, landscape type of the water in Mt. Huangzui was generally unchanged.

In Mt. Xiangtian volcano, a total of 245 vascular species, 177 genera, 85 families were surveyed. It was including 33 endemic species, four rare species, and 11 naturalized plants. It could also be divided into forest, grassland, and shrub grassland with landscape. Cluster analysis showed that grassland vegetation could be divided into four types, *Juncus effusus* type, *Diplazium esculentum* type, *Paspalum orbiculare* type and *Miscanthus sinensis* type. Shrub-grassland and forest group showed four ecotone vegetation, as *Ficus erecta* var. *beecheana* type, *Pinus taiwanensis* type, *Myrica rubra* type and *Symplocos caudata* type. And there was only one forest, *Machilus thunbergii* type. The species diversity of overstory in ecotone was higher than forest. The detrend correspondence analysis showed vegetation was mainly distributed by the topographic effect. Thus, *Juncus effusus* type was favored a humid environment which distributed to the bottom of Mt. Xiangtian, *Diplazium esculentum* type and *Paspalum orbiculare* type were near *Juncus effusus* type. The elevation of *Miscanthus sinensis* type is highest than other grassland. All of ecotone vegetation usually near long grass. The influence of rainfall and flooding process were the critical factors on succession at Mt. Xiangtian, and human activities also affected the invasion of naturalized plants especially.

Based on the analysis of three aerial photos (1978, 1988, and 2018), we found forest decreased by about 230 m² and long grass increased by about 571 m² in 41 years. Short grass decreased by about 758 m², and bare land increased by about 418 m². Between 1978 and 2018, new forests occurred on the northwest side and north of Mt. Xiangtian; Forest losses occurred on the south side of Mt. Xiangtian. Short grass, long grass, and forest are fluctuations in each other, and there is a complex mosaic in space. The increase in the area of bare land may be due to human trample.

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

陽明山國家公園位於臺北都會區近郊，為臺灣於 1985 年建立的第三座國家公園，面積約為 11,338 ha；大屯山火山群的火山地形景觀及生態為陽明山國家公園獨有特色；另外，豐富的植物資源，如雲葉(*Trochodendron aralioides*)及紅星杜鵑 (*Rhododendron hyperythrum*)於中部中高海拔的樹種也因北降現象而有族群分布於此；臺灣特有的水生蕨類-臺灣水韭(*Isoetes taiwanensis*)亦只產於夢幻湖，此區同時亦為臺灣少見的泥炭蘚濕地，這些豐富的生態資源使陽明山國家公園於臺灣北部成為不可或缺重要的生物多樣性研究熱點。然而，陽明山國家公園慕名而來的遊客，加上交通可及性的便利因素，人潮也逐年增加，也意味著人為干擾的頻率隨之上升；另外，近年氣候變遷的影響，不但對臺灣高海拔山區的植群有顯著的影響(曾喜育等, 2014)，若未來氣候變化更為嚴峻，分布於陽明山國家公園的部分物種將遭受嚴苛的考驗(邱清安, 2014)。

據文獻記載，1697 年郁永河即對此區域描述為除硫磺口為草原，其餘植被皆為楠木類喬木組成之闊葉林(李瑞宗, 1988)；日治時期，因製茶和薪炭材的出口需求，日人除了伐除部分原始林建設茶園及利用相思樹(*Acacia confusa*)製薪炭材外，更設立了風緻保安林及水源涵養保安林，後續更展開了大屯山造林運動是為當地早期的造林及森林經營計畫(下澤伊八郎, 1941)。國民政府來臺後，因盜伐猖獗，臺北縣政府遂於 1954-1958 年間發展「大屯山造林計畫」，其後羅東林區管理處亦於磺嘴山及大尖後山一帶進行造林作業(賴明洲, 1991)。陽明山國家公園成立後，主要針對區內現有林地依其演替做管理，如 1996 年松材線蟲的病害使其進行伐除病株並補植(王義仲, 2004)，對區內土地利用與植群變遷亦進行相關研究(許立達等, 2009)。

火山口植群變遷與地質景觀、人為活動、草食動物取食等相關，由於過去少有針對火山口植群進行長期監測研究，因此本計畫以磺嘴山和向天山 2 處具代表性的火山口地景為研究區域，藉由進行植物普查建立植物種類資源清單，設置樣區進行植群調查，完成植群分類植群演替趨勢分析，透過航照圖繪製植群圖，累積長期資料，並整合長期監測樣區定期調查，了解植群變

遷影響因子，特別是磺嘴山水牛族群的影響，以及向天池植群演替過程對湖沼枝額蟲(豐年蝦, *Branchinella kugenumaensis*)(林曜松、周蓮香, 1991; 周蓮香、黃祥麟, 2004; 黃祥麟、周蓮香, 2005; Huang et al., 2010)族群的影響，並評估植物族群保育，提供生態解說之依據，期能提供作為火山地景保育的經營管理參考。

第二節 前人研究

一、植物資源調查

從陽明山國家公園成立後，多數植物資源調查皆是依全區進行調查，關於磺嘴山及向天山當地植群變遷的文獻主要有根據區域內選定珍稀物種族群進行監測或試驗相對較少。謝長富等(1990)陽明山國家公園稀有植物族群生態調查發現，區內 21 種稀有物種中野鴨椿(*Euscaphis japonica*)、爬地杜鵑(唐杜鵑, *Rh. simsii*)、臺灣金絲桃(*Hypericum monogynum*)、臺灣島槐(*Maackia taiwanensis*)、鐘萼木(*Bretschneidera sinensis*)及四照花(*Benthamidia japonica* var. *chiensis*)之生育地處於演替初期階段，故仍需長期的生育地監測以了解這些植物族群更新情況。張育森(2006)陽明山國家公園稀有原生種植物保育生物學之研究，其中針對 6 種稀有物種(謝長富等, 1990)野鴨椿、爬地杜鵑、臺灣金絲桃、臺灣島槐、鐘萼木及四照花，其中發現野鴨椿分佈範圍廣，陽金公路上皆可見其蹤跡；唐杜鵑仍以七股山山谷的族群較多；臺灣金絲桃分佈也較為零散，以鞍部觀測站至大屯步道沿線較多；臺灣島槐以二子坪步道為其主要分佈，陽金公路往小油坑方向亦有不少植株；鐘萼木仍以魚路古道為其棲地，而小苗於 10 月間有明顯銳減現象；魚路古道上的四照花於 11 月便可見隔年的花芽。

根據特定植物族群的調查中，韓中梅、黃生(2000)陽明山地區包籜矢竹(*Arundinaria usawai*)族群生態及遺傳研究中，利用於陽明山地區選取 9 個樣點採集分析包籜矢竹族群生態及遺傳變異，其結果表明大屯山二子坪、油坑及苗圃的存活率無顯著差異(樣區分別為 2、3 個 $1 \times 1 \text{ m}^2$ 的樣區)。黃生(2002)於陽明山區隊包籜矢竹更新監測及繁殖生態研究中，發現二子坪、大屯山、小觀音山之族群皆穩定生長更新。應紹舜(2006)曾對臺灣島槐之天然更新及種子發芽於陽明山、大屯山一帶之山區進行試驗，結果顯示臺灣島槐結實雖有豐

欠年之別，但每年仍保有一定數量之莢果，然而天然更新卻不理想，主要是由於林分鬱閉光度不足所致；而不同土壤的發芽試驗則顯示，不同的土壤或試驗地點的差異並對其發芽結果不明顯，但大屯山地區之土質相對其他培養土較優良。邱清安(2014)則針對雲葉族群於陽明山國家公園境內共設置 31 個昆欄樹樣區，記錄 313 種維管束植物，並顯示雲葉與紅楠(*Machilus thunbergii*)常共同出現；此外，邱清安等(2017)探討昆欄樹在臺灣具有北降現象的觀察，共蒐集 3032 點昆欄樹之分布點，並比較昆欄樹在陽明山至塔塔加之 5 處山區的實際出現位置，結果顯示臺灣北部，特別是陽明山，昆欄樹之數量較多且分布海拔較低；而出現於陽明山之昆欄樹的生態氣候顯著異於其他山區，推論昆欄樹的適宜生育地不僅與環境熱量有關，更深受環境濕度、雲霧之影響。另外，經 BIOMOD2 結合 10 種物種分布模擬方法之分析結果顯示，昆欄樹主要分布於臺灣中海拔山區，而陽明山亦為一出現機率甚高的地區，然在未來(2050 年)氣候環境分布於北部低海拔之昆欄樹將喪失大部分的原有生育地(溫度升高)，包括分布於陽明山海拔較低處的昆欄樹都將遭受嚴苛的考驗(Lin et al. 2019)。

二、植群與地景變遷研究

陳益明(1989) 針對陽明山國家公園區內火山植物生態之研究，在不同的植被生長型分別設立不同尺度的樣區，如草原植物社會 $1 \times 1 \text{ m}^2$ 為樣區，灌木植物社會則為 $2 \times 2 \text{ m}^2$ ，森林植物社會則以 $5 \times 10 \text{ m}^2$ 為樣區大小；該研究顯示，大磺嘴地區設立了 33 個樣區，共調查 48 種，可分為 5 種主要植被類型，分別為裸地、草叢、灌叢、山黃麻區、森林區，其中山黃麻區為灌叢演替至森林的過度區域。王國雄(1995)陽明山公園特殊植物種類及其族群生態研究中，紀錄陽明山國家公園內高等開花植物 144 科 625 屬 1,127 種，特有種 62 科 126 屬 162 種，稀有種依據 IUCN 所制定標準再依黃增泉等(1983)所修改之標準共紀錄 19 科 19 屬 20 種，其主要依據當時標本館採集紀錄再根據 1 年的野外採集調查而得。

邱清安等(2018)調查陽明山國家公園景觀道路沿線 47 個植群樣區，及邀集 41 位專家學者共同評選具景觀潛力之原生植物，結果發現陽明山國家公園內各道路沿線保有相當的完整性與自然度，且均有其特色植群與種類；在景觀植物評選上，綜合被勾選次數及評估得分之結果顯示，大頭茶(*Gordonia*

axillaris)、野鴉椿、華八仙(*Hydrangea chinensis*)等為被多數專家認同且評分較高之種類，同時建議在實際選用原生植物時，應先瞭解施作點周邊植物社會組成，僅使用陽明山原生之當地鄉土種與其種原，並綜合考量植物栽種之目的、栽種基地之環境特性、植物景觀綠美化之特質、可發揮區域性特色之種類，再參酌各植物之被勾選次數及評估得分來選出適宜的種類；例如山桐子(*Idesia polycarpa*)兼具觀果及誘鳥、四照花兼具景觀及珍稀性、鐘萼木兼具在地特色及綠美化效果，這些植物均十分值得進一步加以培育及應用。

王震哲(2001)於磺嘴山 30 個樣區進行植群分析，部分地區為柳杉(*Cryptomeria japonica*)造林地外，可分為森林(紅楠-狹瓣八仙花群叢)、灌叢(假柃木-臺灣芒群叢)、與草原(臺灣芒-火炭母草群叢)三種類型。簡龍祥(2002)臺灣東北部瑪鍊河流域植群生態之研究依多樣區取樣法(multiple plot method)選擇樣區，陡峭或人為干擾區域取 10 個 $5 \times 5 \text{ m}^2$ 樣區，其餘則以 12 個 $5 \times 5 \text{ m}^2$ 樣區進行調查，地被覆蓋則另以 5 個 $1 \times 1 \text{ m}^2$ 樣區調查覆蓋度；該資料再以 DCA 並融合環境因子僵直群分為 I 濱柃木-雙花蟛蜞菊型、II 紅楠-山月桃仔型、III 樹杞-深根卷柏型、IV 大屯尖葉槭-火炭母草型、V 假柃木-五節芒型、VI 白匏子-筆筒樹型及其下的 7 個亞型。王義仲(2003)根據陽明山國家公園內從清朝、日治、民國政府至今的人工林變遷做一系列整理，配合空照圖及等高線圖資料，並依據地理位置及主要優勢樹種組成，在各種人工林設置 2-5 個 100 m^2 方形樣區，共設置 39 個樣區，整理樣區調查之植物名錄得到蕨類植物 19 科 46 種、裸子植物 3 科 5 種及被子植物 62 科 149 種，並將人工栽植之優勢樹種分為樟樹-榕樹林型、相思樹-楓香林型、柳杉林型、琉球松林型等 4 型。

郭城孟(2003)調查陽明山國家公園全區的蕨類植物，雖僅紀錄了 154 個種類，但相比黃增泉(1985)的調查卻增加約 20 種的新紀錄物種。邱文良(2009)曾對百拉卡公路以南，陽金公路以西地區之植物物種多樣性進行調查研究，共完成調查 30 個樣區，調查到蕨類 33 科、73 屬、152 種，開花植物 141 科、494 屬、846 種。植群分類出 7 個植群型(山紅柿-紅楠型、大葉楠-紅楠型、相思樹-紅楠型、包籜矢竹-芒型、臺灣天胡荽-燈芯草型、柳杉人工林型、短穎馬唐型)及 5 個亞型(芒-紅楠亞型、山紅柿-紅楠亞型、長梗紫麻-紅楠亞型、闊葉樓梯草-紅楠亞型、山龍眼-紅楠亞型)，另外更針對竹林、建地、公園墓地、天然裸露地、耕地進行地圖繪製。陳俊宏(2010)則利用 37 個 $10 \times 10 \text{ m}^2$

之樣區，分散設立在 6 條穿越線的方式將陽金公路以東的陽明山國家公園區域進行資源調查，共記錄到 122 科 319 屬 505 種維管束植物，其中包括 66 種特有、15 種稀有與 20 種外來植物，依據植被類型及人為介入有無，可分為天然草原 1. 包籜矢竹型、2. 白背芒型、3. 稗蓋型，人工草原類地毯草型；天然闊葉林 1. 水金京型、2. 尖葉楓型、3. 昆欄樹型、4. 長尾栲型、5. 紅楠型、6. 樹杞型，人工林 1. 火廣竹型、2. 柳杉型、3. 相思樹型、4. 松型共 14 型，並指出未來柳杉人工造林，在缺乏人為之撫育干擾後，將逐漸演替為紅楠型森林。

許立達(2008)歸納陽明山國家公園從日治時期至近年關於植被與植被變遷文獻，並將其數化建置地理資料庫，再對照航照影像製做植被現況圖與舊地圖或航照圖比對，分析植被之變遷；其中，硫磺採礦、山藍(*Storobilanthes cusia*)、種茶、果園、放牧等產業如今已經消失或式微，只有高山果園仍持續生產，但多已轉型為園藝或休閒農園，植被多無顯著變化；山藍及殘留的茶樹則已融入當地生態中；放牧停止後草原則有演替為木本植物群落的趨勢。由於降雨量多，火災後植被恢復迅速，但土石災害之植被恢復則較慢。陽明山地區近 30 年主要的植被變遷為農作物轉型、東側與南側部分農地廢耕恢復為森林，以及西側地區的建地開發。

三、火山口植群回復研究

火山口植群(volcanic vegetation)演替一直都受生態學者所關注(Kamijo & Hashiba, 2003; Kamijo et al., 2008; del & Wood, 2003; 陳益明, 1989; 王義仲等, 2003; 林子超、顏江河, 2015; 周勝男等, 2016)。一般火山植群的演替主要受生物及非生物因子影響，非生物因子多因火山爆發後所挾帶的火山灰(volcanic ash)對其鄰近植群所造成的破壞為主要因素，而後續因為侵蝕作用(erosion)使的鄰近植群因為母樹散植體的擴散及種子適應性而決定火山植群的演替方向(Kamijo & Hashiba, 2003; 周勝男等, 2016)。火山活動引起的初級演替與次級演替模式的差異，主要受到火山活動擾動的程度和強度，以及所處基質類型和異質性有關。在大規模且嚴重的火山活動干擾區，其演替模式為地衣、苔蘚到開花植物緩慢的演替，以及固氮菌促進作用是明顯的初級演替。相反的，輕微的火山活動干擾僅導致植群破壞，植物在受損後恢復營養生長或更新的次級演替。

大多數火山口相群研究多專注於活火山爆發後的植群短期演替監測。del Moral & Wood (1993)於美國華盛頓州聖海倫火山 1980 爆發後的植群監測發現，與潛在拓植者的距離是阻礙早期演替的主要因素，而保育植物(nurse plants)將有助於其他物種快速進入或更新於火山跡地，有助於後續植群的建立及回復。風媒種子的菊科和柳葉菜屬植物在火山口較孤立的區域佔優勢，而鄰近未受干擾的植物社會主要是大型種子物種組成。del Moral et al. (1995)在聖海倫火山爆發後 13 年，141 個 100 m² 的圓形樣區調查發現 114 種維管植物類群，並區分成避難所(refugia)、浮石貧瘠(pumice barrens)、火山碎屑地表(pyroclastic surfaces)、排水溝(drainages)，以及羽扇豆(*Lupinus lepidus*)拓植區等 5 類。避難所是火山爆發後的森林殘存區，由錫特卡檜木(*Alnus sinuata*)、懸鉤子屬(*Rubus* spp.)等木本植物為主，物種多樣性高；而羽扇豆拓植的優勢造成物種多樣性在 5 種棲地類型中最低。典型對應分析發現，生育地歷史與坡度為主要影響樣區物種組成的環境因子，但地理效應佔所解釋物種與環境關係的 10-25%，可能顯示著隨機事件在聖海倫火山早期植物演替扮演主要的作用。

Kamijo 和 Hashiba (2003)調查日本伊豆群島三宅島的 Oyama 火山於 2000 年爆發後的植群與生態系短期變化發現，在火山口周遭的原生植物組成可能滅絕，火山口東面為背風面，受到有毒氣體影響，受損地區逐漸擴張；火山口北面則隨著離火山口距離的增加，植物與植群受損漸緩，在 2001 年觀察發現，原本落葉林木開始枝條發芽，森林開始回復。隨後，Kamijo et al. (2008)針對 11 個永久樣區進行 2001 年至 2007 年的監測調查，發現火山灰對植被的破壞在 2001 年的火山口附近最為嚴重，樹木在 2001 年開始死亡；而中國芒(*Miscanthus condensatus*)與金葉苔草(*Carex oshimensis*)等 2 種草種顯著增加，顯示這類植物對 SO₂ 和酸性土壤具有高耐受性。然而，多數火山植群研究顯示，該次級演替約略在 10 年左右便會達到以草原為優勢之次極盛相(subclimax)(Kamijo & Hashiba, 2003)，物種多樣性亦會於該時期由快速增長漸趨穩定。

菌根對於惡劣環境植物拓植有相當的助益，相關研究亦是火山植群演替的重點。Yoshitake et al. (2013) 研究日本亞高山富士山土壤微生物群落沿植被發育序列的連續變化發現，微生物演替受到先驅草植物虎杖(*Polygonum cuspidatum*)的定殖的強烈影響，與土壤環境發生重大變化；隨日本落葉松

(*Larix kaempferi*)等灌木入侵造成的植被演替改變，也影響了微生物群落結構。Guo et al. (2014)發現日本伊豆群島三宅島的 Oyama 火山的微生物相研究亦有相似的結果。微生物是火山新爆發的火山岩(如熔岩、火山灰)的主要定居者，有助於火山口早期生態系統發展。林子超、顏江河(2015)於大屯火山群大油坑硫磺噴氣口鄰近區域之白背芒(*Mis. sinensis* var. *glaber*)與叢枝菌根菌共生關係研究，揭示叢枝菌根菌有助於白背芒於陽明山特殊的土壤條件中有效改善養分吸收狀態，並更進一步證實白背芒的存在有助於叢枝菌根菌族群的建立，並有助於後續植生建立。

第三節 研究工作項目

- 一、建立園區內磺嘴山與向天山火山口植物物種名錄與植群圖。
- 二、進行磺嘴山與向天山火山口植群替趨勢分析，評估植群對地景變遷影響。
- 三、於磺嘴山及向天山擇定合適地點設立長期監測樣區及建議調查頻率。
- 四、訓練本處保育志工如何進行磺嘴山與向天山火山口長期監測樣區調查。

第二章 材料與方法

第一節 研究區域概述

陽明山國家公園位處臺北盆地北緣，東起磺嘴山、五指山東側，西至向天山、面天山西麓，北迄竹子山、土地公嶺，南迨紗帽山南麓，面積約 11,338 ha。行政區包括臺北市士林、北投部份山區，及新北市淡水、三芝、石門、金山、萬里等區之山區，海拔高度自 200-1,120 m。以大屯火山群為主體的陽明山國家公園，地質構造多屬安山岩，外型特殊的錐狀或鐘狀火山體、爆裂口、火山口和火口湖，構成本區獨特的地質地形景觀，本區噴氣孔與溫泉主要分佈於北投至金山間之「金山斷層」週邊，形成原因為地表水下滲地底藉由熱源加熱後，再由地殼裂隙冒出地面，形成火山活動的特殊景觀；山脈主要由十數座火山體所組成的大屯火山群為主體(陳俊宏等，2010)，包括竹子山(1,101 m)、小觀音山(1,072 m)、大屯山(1,090 m)、面天山(997 m)、七星山(1,190 m)、磺嘴山(911.5 m)、大尖後山(882.4 m)等。

磺嘴山生態保護區為陽明山國家公園的三大生態保護區之一，位於陽明山國家公園東邊，地處新北市金山區與萬里區交界處，其內主要包含磺嘴山、大尖後山、磺嘴池、翠翠谷等地，面積約 640 ha，其中，磺嘴山具有完整錐狀火山景觀，並入選農委會林務局於民國 99 年公佈的「臺灣地景百選」之一。向天山亦為典型的鐘狀火山，標高 977 m，位於臺灣北部的陽明山國家公園西區，行政區屬於新北市淡水區，靠近台北市北投區，地理上屬於大屯火山群的大屯山亞群，乃大屯山的寄生火山，岩層主要由角閃石兩輝安山岩所組成，而這兩個火山口為大屯山火山體頂部之溢流口或火山口湖發育，典型火口湖-磺嘴池與向天池及隨之形成。

研究區域為向天山與磺嘴山之火山口(圖 1)；向天山火山口位於大屯火山群西側，海拔約 818 m，通常於梅雨、颱風或鋒面過境大規模降雨後，最大可形成直徑達 80 m 以上，深度 2-3 m 之暫時性池塘，一般稱為向天池；磺嘴山火山口位處海拔約 900 m 處，火山口東側有積水磺嘴池，因過去放牧歷史，磺嘴山生態保護區分布具類地毯草(*Axonopus fissifolius*)組成的區域，因近年水牛數量減少有漸被芒草取代趨勢，背風處並分布灌木叢。

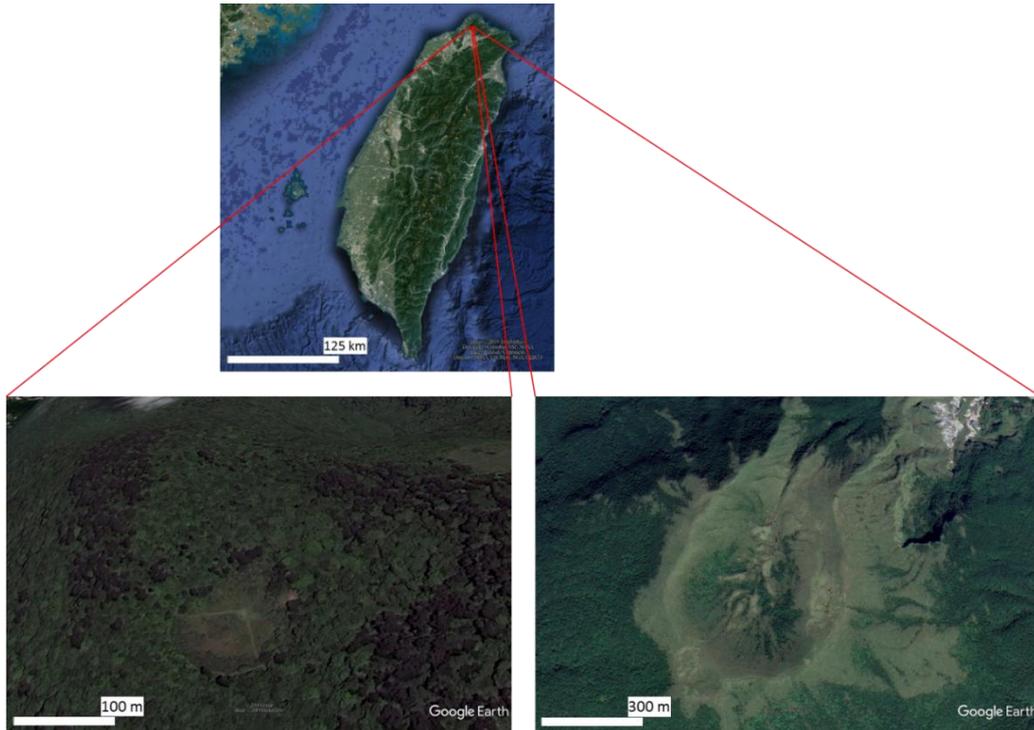


圖 1. 陽明山國家公園向天山(左)與磺嘴山(右)之火山口位置圖。

水系以高聳山嶺為發源地，向四方奔流而下，形成火山區特有之輻射狀山系，其中瑪鍊溪、磺溪向東北流，阿里磅溪、石門溪、老梅溪、八連溪、海尾溪、大屯溪及公司田溪則向北及西北流，雙溪及南磺溪則向西南流入基隆河(陳俊宏等 2010)。

根據邱清安(2014)之研究，在陽明山國家公園境內有鞍部及竹子湖 2 個中央氣象局局屬氣象站，2 測站全年均處在特濕期(perhumid)(圖 2)(取自 <http://www.cwb.gov.tw/V7/climate/monthlyData/mD.htm>)，本區年均溫為 16.9-18.6°C，月均降水量為 4,389-4,863 mm。

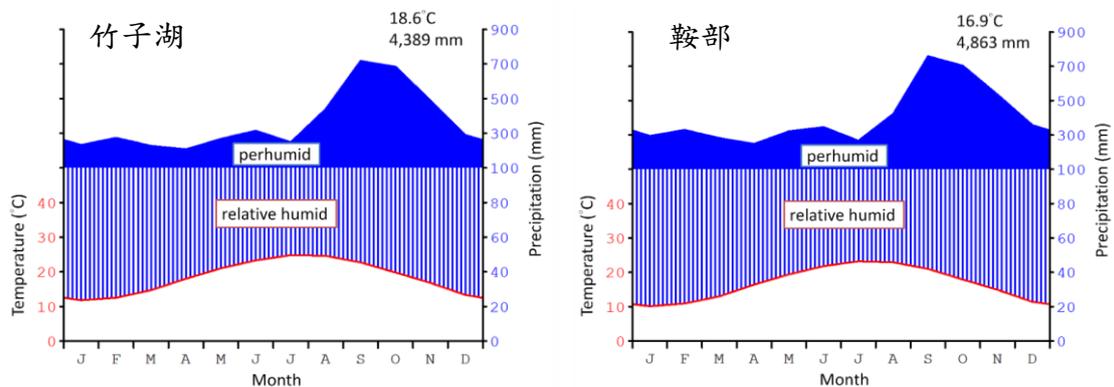


圖 2. 陽明山國家公園竹子湖與鞍部 2 測站之生態氣候圖(邱清安，2010)。

第二節 調查方法

一、植物種類資源調查

(一)植物資源沿線普查

植物資源調查採取步道沿線調查與樣區資料整合，記錄研究區內所有之維管束植物種類名錄，記載其各項生物學資料，另進行照片拍攝、植物標本採集等工作，建立向天山與磺嘴山區域之植物資源資料。

(二)相關文獻調查資料

利用前人研究及本研究調查資料，統計整理研究區內之維管束植物種類清單，記載研究調查出處，以健全向天山與磺嘴山區域之植物資源資料庫。

二、現生植群調查

(一)長期監測樣區設置與調查

研究區域位於陽明山國家公園內之磺嘴山及向天山，在向天湖(圖 3)和磺嘴山火山口底部設置東西與南北向之垂直樣線，樣區中心在樣線依不同植群設置，參考植群變異與植群高度設置數個 10 m×10 m 與 2 m×2 m 樣區，劃之樣區，並整合臨時樣區，與歷年航空照片，提供了解向天池周遭植被歷史演替過程。所有樣區中心以 GPS 定位(TWD97)。

森林樣區量測樣區內胸高直徑(胸徑，diameter at breast height, DBH)大於 1 cm 之林木種類、胸徑大小；另外，地被層物種以種類組成與其覆蓋面積錄之。因為調查區域皆位於生態保護區，故樣區設置完成後，若樣區位置過於暴露明顯，將視情況僅留樁界點位拆除樣繩或附上樣區調查的告示牌，除了提醒民眾不要任意破壞外，更可以提供陽明山國家公園管理處向登山遊客簡易介紹本計畫的執行目標並且共同維護。

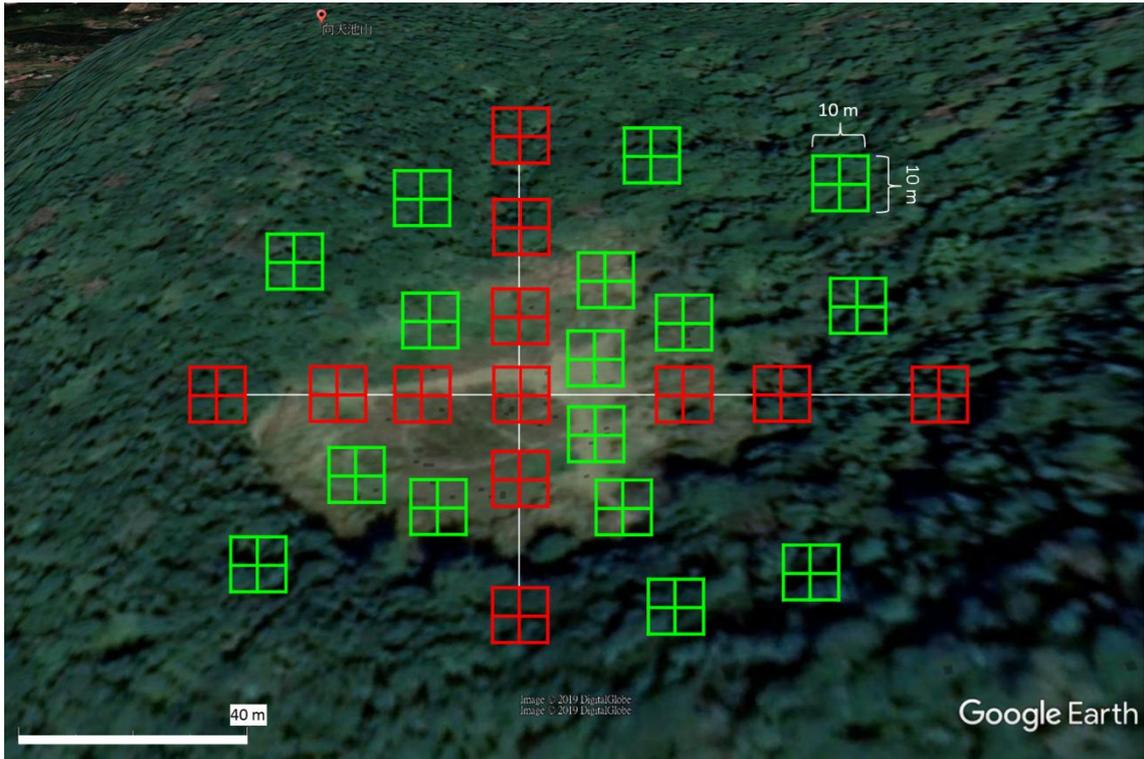


圖 3. 陽明山國家公園向天山之火山口長期監測樣區設置示意圖。紅色是長期樣區，綠色為臨時樣區。

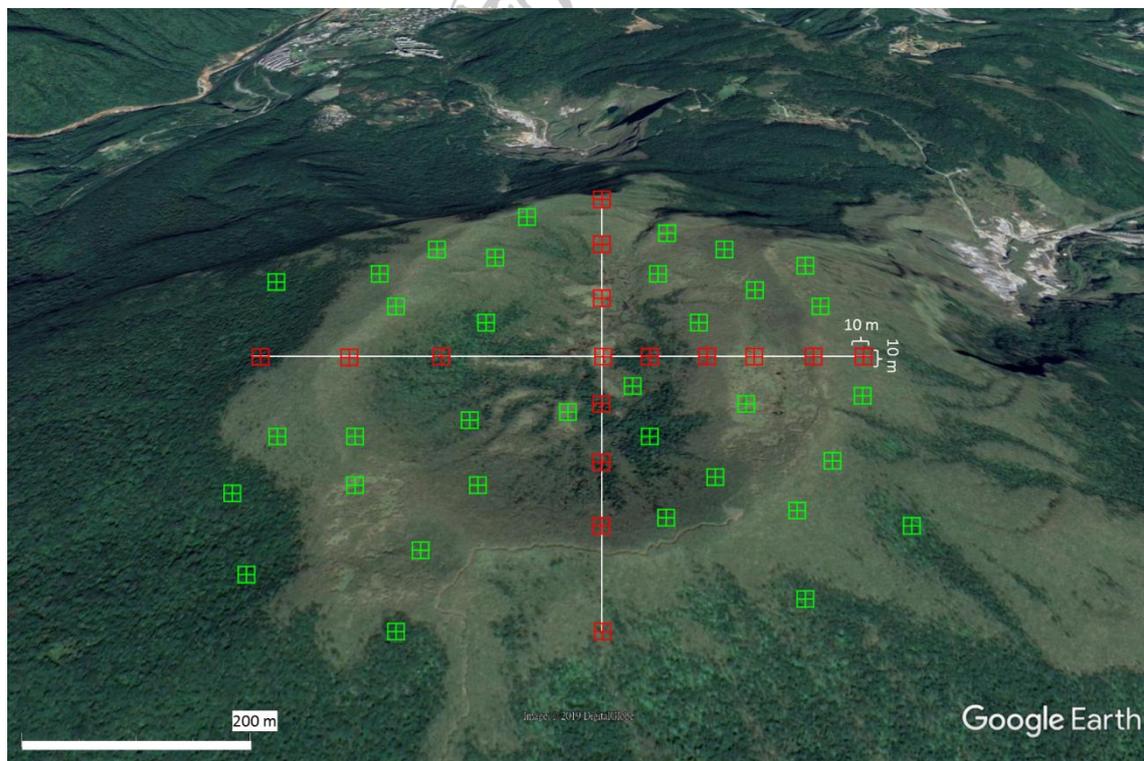


圖 4. 陽明山國家公園磺嘴山之火山口長期監測樣區設置示意圖。紅色是長期樣區，綠色為臨時樣區。

(二)臨時樣區設置與調查

本研究採用多樣區法(multiple plot method)之集落樣區設置法(contagious quadrant method)，樣區設置主要係考慮植物社會形相與組成高度等，同時樣區設置能盡量達到樣區環境之均質性；參考前人研究(陳益明，1989；王震哲，2001；簡龍祥，2002；王義仲，2003)，將分別於森林、灌叢與白背芒高草地設置 10 m×10 m 樣區，劃分成 4 個 5 m×5 m 之小區，類地毯草優勢等低矮草生地設置 2 m×2 m 樣區，劃分成 4 個 1 m×1 m 之小區。樣區設置完成後，量測記錄胸徑(Diameter at breast, DBH)大於 1 cm 以上之木本植物之胸徑及種類，其餘胸徑不足 1 cm 之木本植物稚樹及小苗，以及地被草本植物測量覆蓋面積與記錄種類。

(三)環境因子測定

植物生長受到環境因子影響，亦是影響植群組成變異的主要原因，對於埋存在土壤中的種子庫來而言，環境因子同樣可能影響其組成。環境因子彼此之間，亦具有複雜的交互作用及補償作用，因此不容易直接評估，為便於研究，因此將複雜的環境因素逐一分離，利用若干單一因子利於觀測，再進行相關分析與探討(王俊閔，2009)。

1. 海拔高(altitude, Alt)

海拔高度是以全球衛星定位系統(global position system, GPS；型號：Garmin's GPSMAP 60CSx)測定樣區所在之海拔高度，並記錄樣區位置之 TM 二度分帶(TWD 97)座標。

2. 坡度(slope, Slo)

測量方法以羅盤儀直接測出樣區的仰角和俯角，若樣區為傾斜率不一之生育地，則宜取多次測值的平均。

3. 全天光空域 (whole light sky, WLS)

全天光空域是指樣區能接受到太陽輻射的空域大小，為綜合方向、坡度、地形遮蔽度及太陽輻射能的估計值(王俊閔，2009)。本研究以羅盤儀量測樣區四周之 12 個固定的方位角，測出遮蔽物之高度角(altitude angle)，於電腦作業上以製圖方式，求出未受遮蔽之天空範圍百分率，為全天光空域(圖 5)。

4. 坡向(aspect, Asp)及水分梯度(moisture gradient, MG)

方位是指樣區坡度所面臨的方向，亦即樣區最大的坡度所面臨的方向(王俊閔，2009)。方位角度值對於植物生長並無直接效應，又不同方位實質導致日照、氣溫與濕度的差異，故欲探討其與植物之關係，需將方位角度轉化為效應的相對值。可以將方位視為水分梯度之對應值(Day and Monk, 1974)，以北半球而言，西南向最乾燥，東北向最陰濕，故給予 1(最乾)至 16(最濕)之相對值以利進行後續討論(圖 6)。

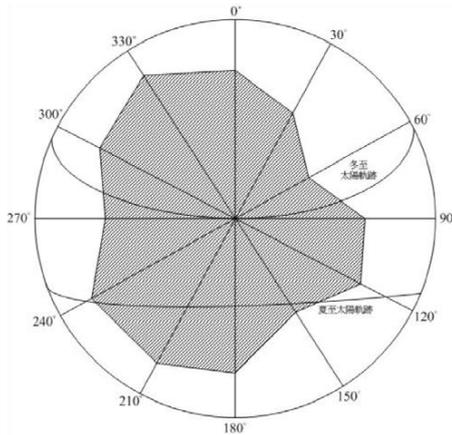


圖 5. 全天光空域示意圖。

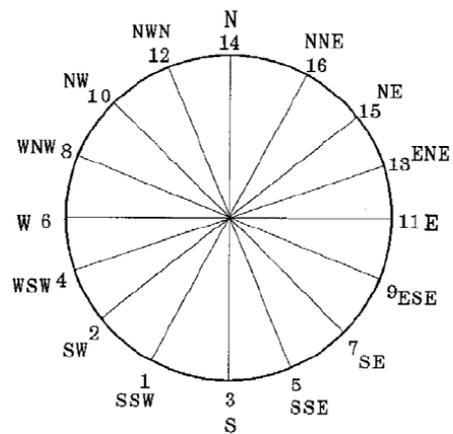


圖 6. 方位對應之水分梯度級 (Day and Monk, 1974)。

5. 土壤性質測量

土壤為植物發育的基質，土壤含水率、pH 值及養分影響植物的生長與發育；每個樣區隨機取 5 個土壤採樣點，先清除枯枝落葉後採取表土之土壤，混和後攜回實驗室，置於常溫下風乾，再以 2 mm 篩子過篩備用作為測定 pH 值、有效磷、有機質等(胡弘道 1993)。

- (1) 土壤 pH 值：取土壤與蒸餾水以 1:2.5 (W/V) 比例混合，置於試管內，攪拌均勻，靜置隔日，以酸鹼值測定儀(Jenco model 6173 pH)測定 (McLean, 1982)。
- (2) 土壤有機質：濕硝化法測定(McDonald, 1977)。
- (3) 土壤有效磷：鉬藍法測定 (Olsen & Sommers 1982)。

第三節 資料分析

一、資料處理與分析

本研究計畫透過蒐集相關文獻植物調查成果，一方面進行步道沿線物種調查，另一方面於向天山與磺嘴山火山口進行樣區設置與調查物種組成，進行資料庫彙整。植物學名依「臺灣植物誌」(Flora of Taiwan)第2卷第6冊為主(Boufford et al. 2003)，彙整計畫調查物種與不同研究報告間所產生的同物異名(synonyms)等問題，整合調查所得之種類，統計調查區內所有維管束植物種類總數與其來源研究報告記錄依據外，亦分別依科、屬製作植物種類清單(inventory)。外來歸化植物依據許再文等(2003)、Wu et al. (2004)、張芷熒(2007)、Chen (2008)之植物判定。

二、生活型譜與蕨類商數分析

本研究依據Raunkiaer (1934)的生活型分類將種子植物區分為5型：

- (一)挺空植物(phanerophytes, P)：多年生具有背地性之莖或枝條頂端，如喬木、灌木；
- (二)地表植物(chamaephytes, Ch)：生存芽位於離地面甚近之枝上(通常不超過25 cm)，如小灌木或亞灌木植物；
- (三)半地中植物(hemicryptophytes, H)：生長芽位於土表，可受冬雪、落葉層及土壤之保護，大多數二年生或多年生草本均屬此類型；
- (四)地中植物(geophytes, G)：生存芽完全埋入土中，在不良季節時可受土壤保護；
- (五)一年生種子植物 (therophytes, T)：無生存芽，植物在極短之生長季中完成生活期，而以種子之休眠型態渡過不良季節。

計算各生活型種類所佔比例，繪製生活型譜(life-form spectrum)。蕨類植物(Pteridophyte, Pt)在植物社會佔有相當份量，蕨類植物出現種類之多寡可與地上植物生活型相呼應，另外計算蕨類商數(Pteridophyte-Quotient, Ptp-Q)，公式如下： $Ptp-Q=(A \times 25)/B$ (A為蕨類植物種數，B為種子植物種數)(劉崇瑞、蘇鴻傑，1983)。

三、植群分析

首先對野外調查地被原始資料之植物種類進行編碼，於文書處理軟

體中輸入樣區植物種類、代碼及各物種之覆蓋面積，計算各物種於調查樣區中之相對密度、相對頻度及相對優勢度。

相對密度(relative frequency)=某種植物株數/所有植物株數總和×100%

相對頻度(relative frequency)=某種植物頻度/所有植物頻度總和×100%

相對優勢度(relative dominance)=某種植物優勢度/所有植物優勢度總和×100%

樣區喬木層介量以重要值指數(importance value index, IVI)表示，地被層介量以重要值(importance value, IV)表示，代表某植物在樣區中所占有之重要性。

重要值指數(IVI)=相對密度+相對頻度+相對優勢度=300

重要值(IV)=相對頻度+相對優勢度=200

四、物種多樣性分析

(一) α 多樣性分析

本研究以物種數、夏農歧異度指數比較不同植物社會之物種多樣性。

$$\text{夏農歧異度指數 } H = - \sum_{i=1}^s \frac{n_i}{N} \times \ln \frac{n_i}{N}$$

s 為物種數， n_i 為第 i 個物種的個體數，N 為樣區內總個體

(二) β 多樣性分析

我們利用 β 多樣性指數分析試驗過程之樣區物種組成之空間變化，分別使用Sørensen相似性指數(Sørensen similarity index; Sørensen, 1948)和Cody指數(Cody, 1975)進行分析。Sørensen相似性指數為計算各時期調查植物種類組成的相似度(similarity)，Cody指數為分析各區域不同樣區物種新增(拓殖)與消失(死亡)變化，即隨火山口遠近物種的轉換率，提供比較環境梯度的物種組成變化趨勢。

$$\text{Sørensen similarity index} = 2c/(a+b)$$

a為A植物社會的物種、b為B植物社會的物種、c為A、B植物社會共有的物種

$$\text{Cody index: } \beta c = [g(H) + l(H)]/2$$

g(H)為沿環境梯度H增加的物種數，l(H)為沿環境梯度H失去的物種數，此部份環境梯度視為距火山口遠近。

五、環境與植群分布關係

本研究進行將梯度分析包括降趨對應分析(detrended correspondence

analysis, DCA)與典型對應分析(canonical correspondence analysis, CCA)。降趨對應分析可以提供植群演替變化趨勢的探討(張金屯, 2004), 因此我們利用DCA將樣區繪製於排序圖, 植群組成演替變化趨勢; 若DCA的軸長大於4個標準偏差(standard deviation, SD), 則與環境因子進行典型對應分析(ter Braak, 1995)。以上分析使用PCORD 6.0軟體(McCune and Mefford, 1999)。

六、植群演替趨勢

整合樣區物種組成結構特性、植群分類、梯度分析等結果, 進行磺嘴山與向天山火山口植群演替趨勢探討, 並繪製植群演替趨勢圖。

七、植群圖之製作

蒐集研究區各時期可用之航空照片, 配合地面配合地面調查所得之植群類型, 比對航照上之植群類型, 再逐一判釋研究區各期航照之植群型, 並數化其範圍, 藉以製作研究區各時期之植群圖; 所採用之各時期航空照片如圖7所示。



圖 7. 陽明山國家公園向天山(左)與磺嘴山(右)之火山口不同時期航空照片。

八、植群地景之變遷

參酌植群演替趨勢分析結果, 計算及數化研究區各期之各類植群型消長, 再針對向天山研究區各期之各類植群型的消長進行疊合分析, 以分析研究區在不同時期之各類植群型的空間分布變動, 包含維持穩定、

喪失、獲得，最後綜合討論向天山與磺嘴山研究區之植群地景變遷。

九、計畫研究流程圖

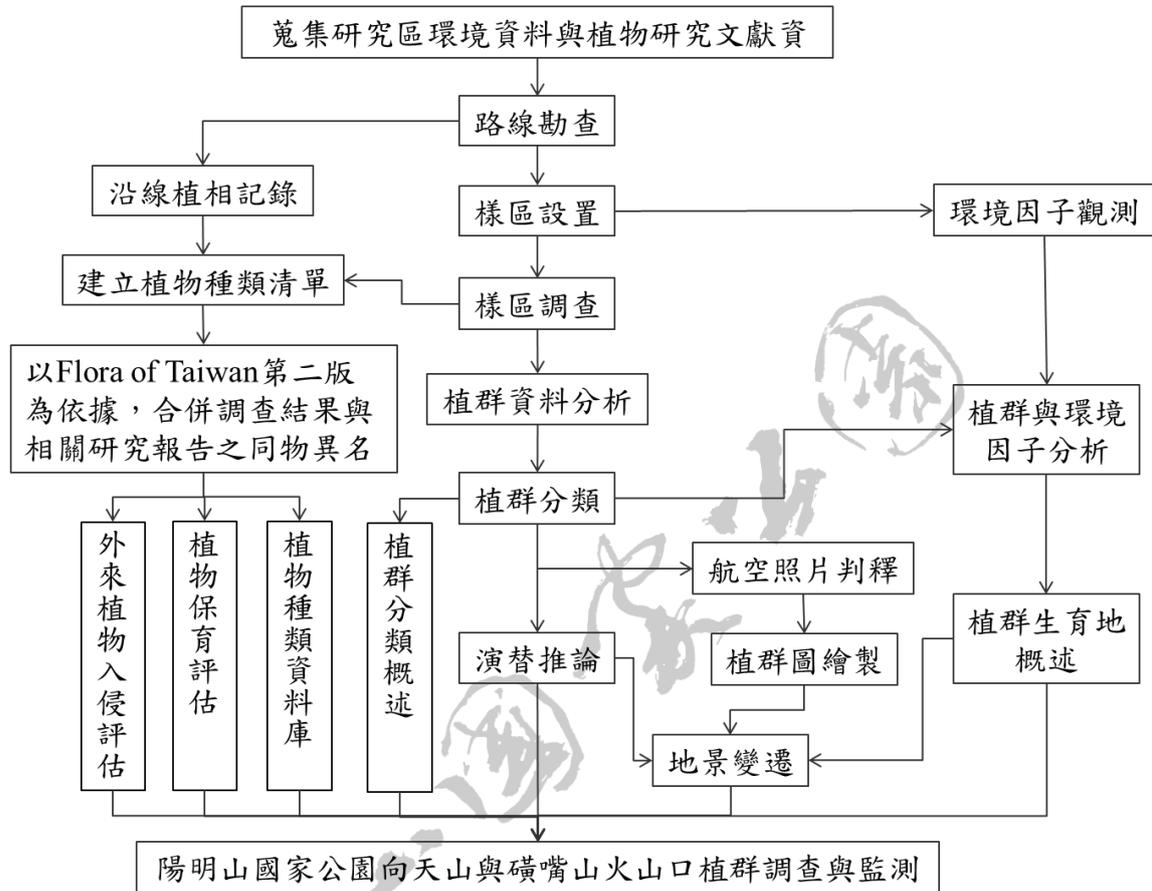


圖 8. 陽明山國家公園火山口植群與地景變遷調查與分析之計畫研究流程圖。

第四節 長期監測樣區調查志工教育訓練

本計畫執行過程，配合管理處之保育志工執勤，完成1場教育訓練。透過本次教育訓練，使保育志工學習了解符合科學原則的調查及監測方法，並了解國家公園資源與保育研究工作。教育訓練區分成室內課程與戶外實作，室內課程包括調查及監測之方法、器材使用、物種介紹、時間與頻度、調查表格紀錄等；戶外實作則帶領學員至現場進行調查及監測戶外實作訓練。期能透過長期監測樣區調查之志工教育訓練，提升保育志工參與生物長期監測公民科學的研究基本概念。

第三章 結果與討論

本研究於磺嘴山及向天山火山口共調查 36 及 43 個樣區(圖 9)，依據草生地、推移帶及森林等 3 種植群型相於磺嘴山及向天山火山口取樣。兩區域的調查皆於 10 月底前完成並彙整資料，並根據期中報告管理處之建議，依據臺灣北部地區盛行風向東北向進行永久樣區的設置，兩個區域皆有 12 區永久樣區。

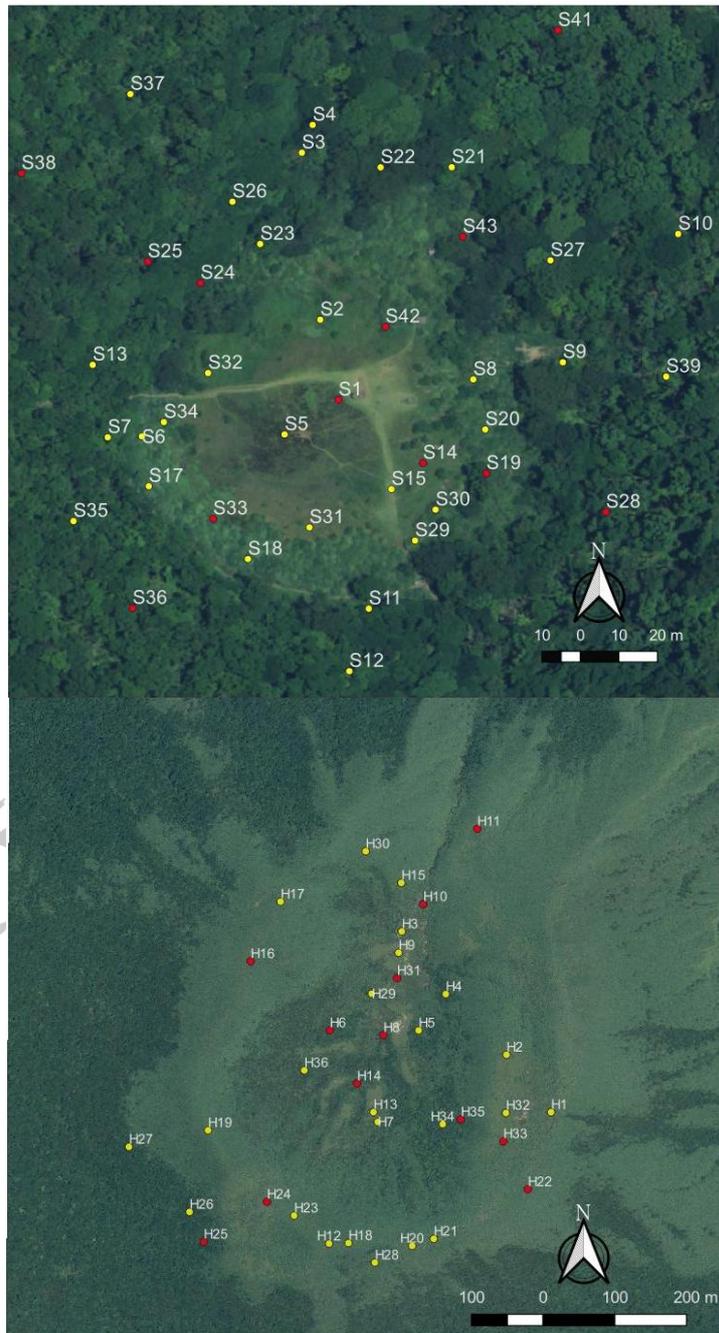


圖 9. 陽明山國家公園向天山及磺嘴山火山口之樣區分布位置圖。
上圖為向天山火山口，下圖為磺嘴山火山口。紅色為長期監測樣區，黃色為臨時樣區。(資料來源：本研究)

第一節 磺嘴山火山口植相與植群

一、植物組成清單

本研究於磺嘴山火山口共調查 58 科 108 屬 148 種，其中有 14 種特有種(附錄一)；蕨類植物有 13 科 24 屬 34 種(表 1)，蕨類商數達 7.39，遠大於臺灣地區 4.10 (曾彥學，2003)；雙子葉植物 36 科 57 屬 78 種，單子葉植物 10 科 27 屬 37 種。種數前 5 名的科依次為禾本科(Poaceae)(21 種)、碗蕨科(Dennstaedtiaceae)(8 種)、莎草科(Cyperaceae)(7 種)、薔薇科(Rosaceae)(6 種)、紫金牛科(Myrsinaceae)(6 種)。

表 1. 陽明山國家公園磺嘴山與向天山火山口維管束植物科屬種分析(資料來源：本研究)

維管束類別	磺嘴山火山口			向天山火山口		
	科	屬	種	科	屬	種
蕨類植物	13	24	34	13	21	33
裸子植物	0	0	0	1	1	1
雙子葉植物	35	57	78	57	114	141
單子葉植物	10	27	37	14	41	70
總計	58	108	148	85	177	245

依 2017 臺灣維管束植物紅皮書(臺灣植物紅皮書編輯委員會，2017)，磺嘴山火山口共調查 2 種稀有植物，分別為密毛爵床(*Justicia procumbens* var. *hirsute*)(VU)及光葉柃木(*Eurya nitida*)(NT)。研究區歸化種植物類地毯草、馬唐(*Digitaria sanguinalis*)、百喜草(*Paspalum notatum*)、昭和草(*Crassocephalum crepidioides*)、鴨舌草(*Monochoria vaginalis*)及美洲母草(*Lindernia dubia*)等 6 種(許再文等，2003；Wu et al., 2004；張芷熒，2007；Chen, 2008)。

植物生活型組成分析發現(圖 10)，磺嘴山火山口植物組成以挺空植物 51 種(47.2%)為優勢，其他依次為半地中植物 32 種(29.6%)、一年生植物 11 種(10.2%)、地表植物 8 種(7.4%)及地中植物 6 種(5.6%)，顯示著研究區環境相對溫暖潮濕環境。

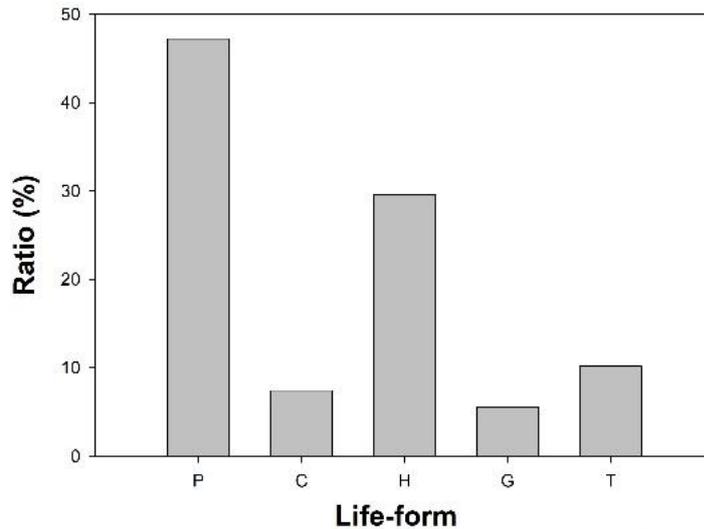


圖 10. 陽明山國家公園磺嘴山火山口之生活型譜分析。P：挺空植物、C：地表植物、H：半地中植物、G：地中植物、T：一年生植物。

二、植群分析

(一)草生地植物社會

草生地植群群聚分析結果顯示(圖 11)，以訊息保留度 30%可分為 G1 白背芒植群型、G2 馬唐植群型及 G3 類地毯草植群型等 3 型的草生地植物社會。以下為各植群型之詳細描述：

G1 白背芒植群型(*Juncus effusus* type)

白背芒植群型在磺嘴山火山口地區有大面積的分布，雖然因為生長特性，一些姬蕨(*Hypolepis punctata*)或碗蕨(*Dennstaedtia scabra*)等在其下形成次優勢族群；其他伴生種如求米草(*Oplismenus hirtellus*)、如意草(*Viola arcuata*)及茶匙黃(*Vi. diffusa*)等小型草本植物，常在白背芒植株間隙分布；藤本植物有雞屎藤(*Paederia foetida*)、斯氏懸鈎子(*Rubus swinhoei*)等分布。因較為靠近森林植物社會，除了零星的灰木(*Symplocos chinensis*)灌叢外，尚有假柃木(*Eur. crenatifolia*)及燈稱花(*Ilex asprella*)分布；由於白背芒植株較高大且緊密生長，株間較少有孔隙生成，故木本植物分布較為零星。

G2 馬唐植群型(*Digitaria sanguinalis* type)

馬唐植群型為短草形相植群，組成也相當相近，僅兩者優勢物種組成比重的差異。短草地景區應為水牛常活動的區域，故常可見到踐踏或排遺，甚至有明顯的路徑可循，常位於磺嘴池附近；常伴生有白背芒、類地毯草等植物，此外，地耳草(*Hypericum japonicum*)、百喜草(*Paspalum notatum*)等透過動物擾動後形成新的拓殖區域。

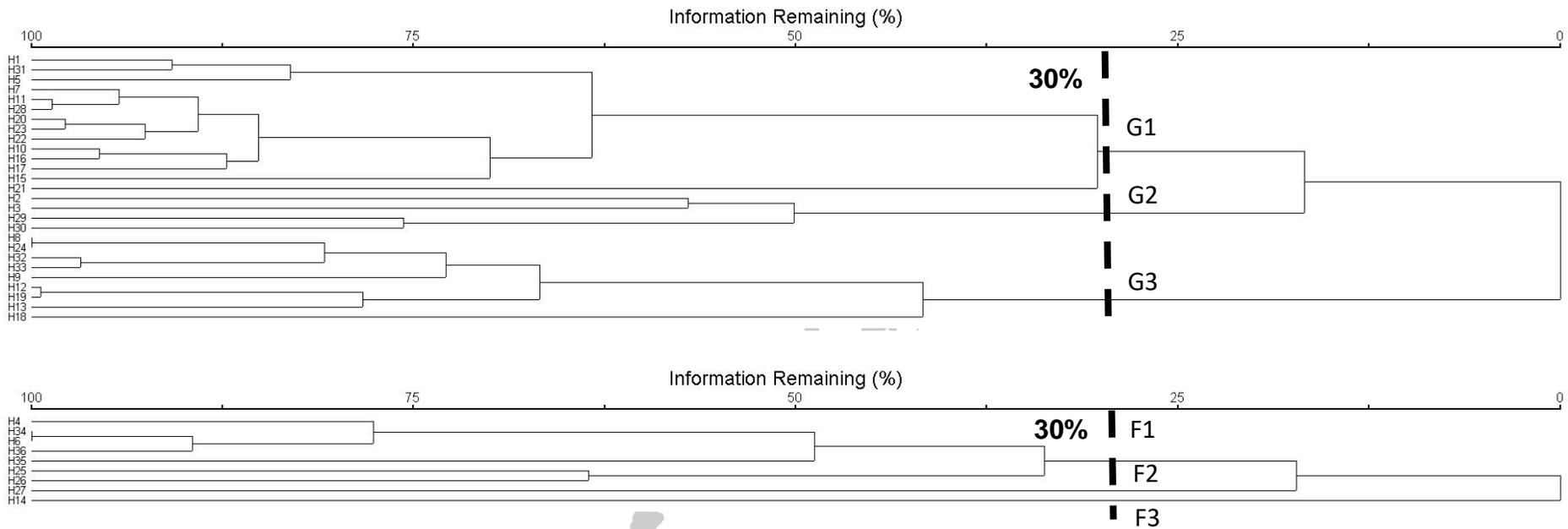


圖 11. 陽明山國家公園磺嘴山火山口之森林及草生地植物社會之群聚分析圖。(資料來源：本研究)

- (a) 草生地植群分析結果，訊息保留度 30%，可分為 G1.白背芒植群型、G2.馬唐植群型及 G3.類地毯草植群型；
- (b) 森林植群分析結果，訊息保持度 30%，可分為 F1.小花鼠刺-狹瓣八仙花植群型、F2.紅楠植群型，及 F3.假柃木植群型。

G3 類地毯草植群型(*Axonopus fissifolius* type)

類地毯草植群型與馬唐植群型皆為短草形相的植群，物種組成相近，僅兩植群型在優勢物種組成數量的差異；常伴有零星白背芒與馬唐(*Digitaria sanguinalis*)；因類地毯草具有匍匐性的走莖，常形成地面型草甸，木本植物難以進入拓植，故多以小二仙草(*Haloragis micrantha*)、臺灣天胡荽(*Hydrocotyle batrachium*)等覆蓋面積較小的物種進入或是透過動物擾動後形成新的拓殖區域。

(二) 灌叢草生地與森林植物社會

灌叢草生地與森林植物社會群聚分析結果顯示(圖 11)，以訊息保留度 30% 可分為 F1 假柃木植群型、F2 小花鼠刺-狹瓣八仙花植群型，及 F3 紅楠植群型等 3 型。

F1 小花鼠刺-狹瓣八仙花植群型(*Itea parviflora* -*Hydrangea angustipetala* type)

小花鼠刺-狹瓣八仙花植群型以小花鼠刺及狹瓣八仙花最優勢，長葉木薑子(*Litsea acuminata*)為次優勢樹種，屬於高草植群演替至森林植群的過渡，多分布在較為向陽坡度相對較緩的中坡，但在火山口內部和外側的植物組成並無明顯差別，為磺嘴山火山口分布最廣的森林植群型。環境異質性較大，喬木多樣性與紅楠植群型相似。喬木層除了紅楠、長葉木薑子外，常有光葉柃木及雲葉零星分布。灌木層有光葉柃木、日本山桂花(*Doraena japonica*)及臺灣山桂花等，地被層以廣葉深山雙蓋蕨(*Diplazium petri*)最為優勢，栗蕨和萊氏線蕨常出現；鐵冬青(*Ilex rotunda*)、大明橘(*Myrsine sequinii*)等木本植物的小苗零星分布，爬藤植物除了草生地常見的菝葜、雞屎藤外，尚有臺灣崖爬藤(*Tetrastigma umbellatum*)、三葉崖爬藤(*Te. formosanum*)及臺灣長春藤(*Hedera rhombea* var. *formosana*)等。

F2 假柃木植群型(*Eurya crenatifolia* type)

假柃木植群型為磺嘴山火山口分布較為開闊區域推移帶的灌叢草生地植群，地被優勢主要為白背芒，且地被物種組成相對較少。假柃木(*Eu. crenatifolia*)最優勢，伴生小喬木有紅楠、長葉木薑子(*Litsea acuminata*)及雲葉；灌木層常有鄧氏胡頹子(*Elaeagnus thunbergii*)、燈稱花及日本山桂花(*Doraena japonica*)等耐陰性植物；較為開闊區域有栗蕨(*Histiopteris incisa*)

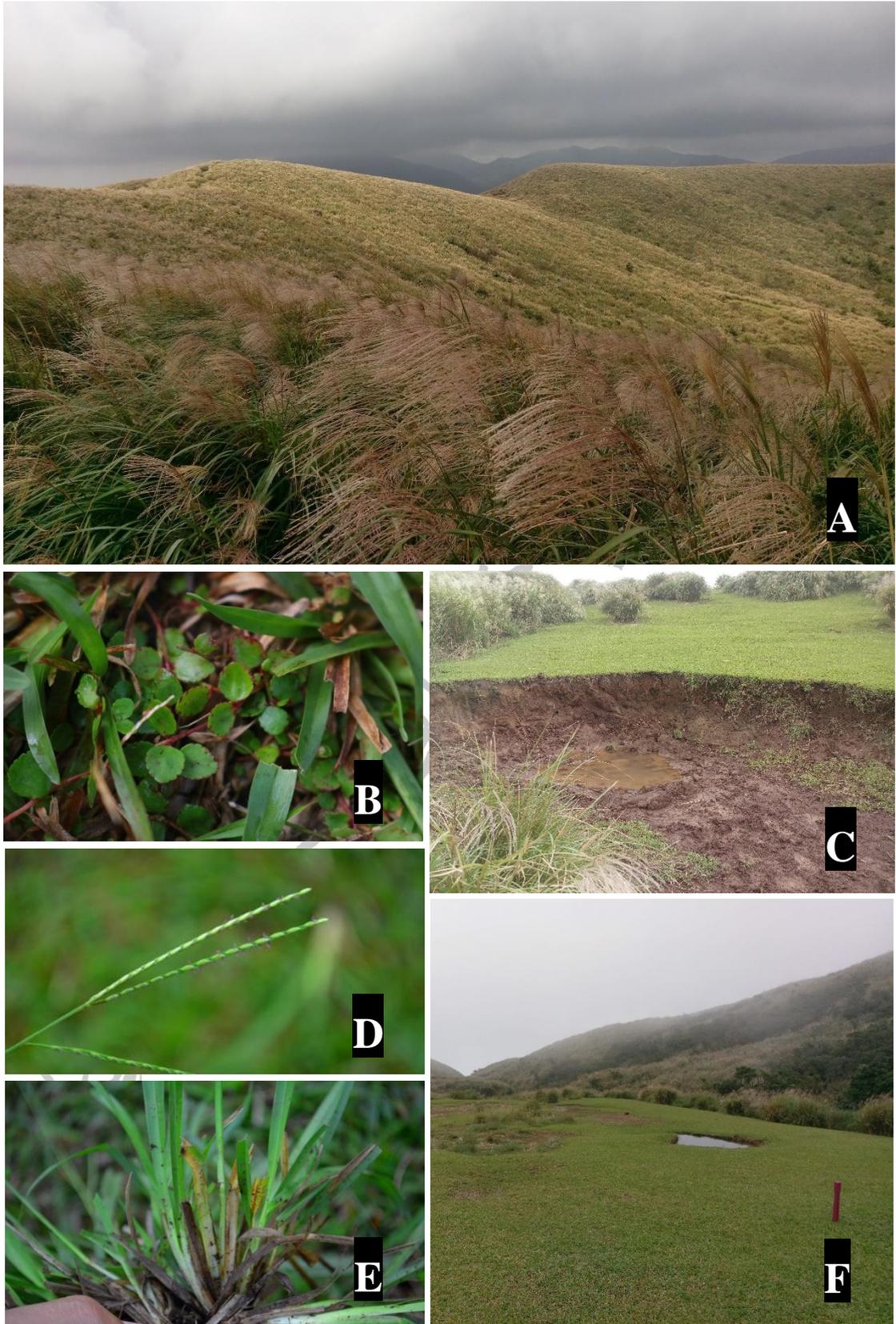


圖 12. 陽明山國家公園磺嘴山之草生地植群及植物選介。A 白背芒植群型、B 小二仙草、C 水牛塘、D-E 類地毯草、F 類地毯草植群型。(資料來源：本研究)

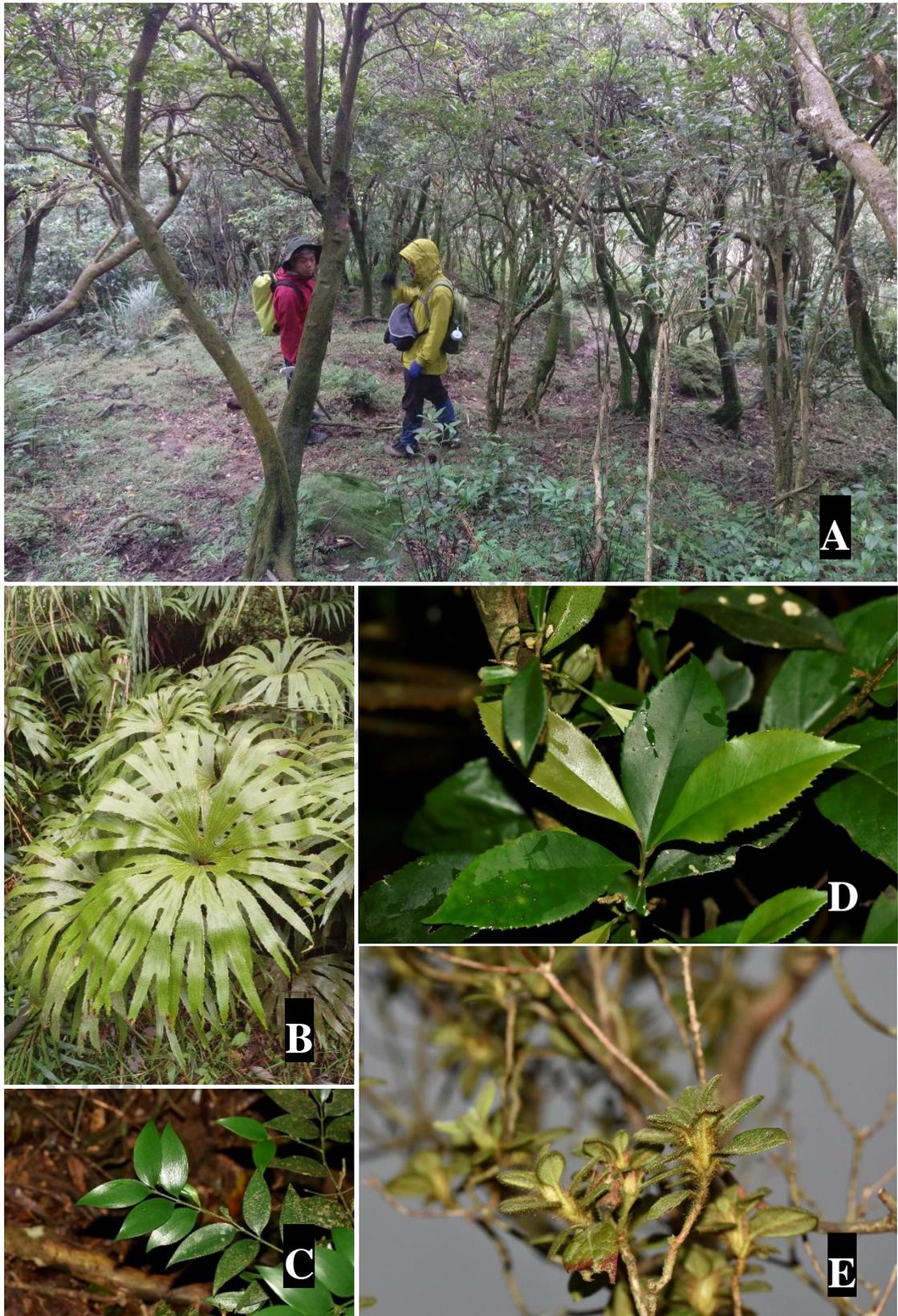


圖 13. 陽明山國家公園磺嘴山之森林照片及植物選介。A 森林植群照、B 雙扇蕨、
C 竹柏、D 烏皮茶、E 金毛杜鵑。(資料來源：本研究)

、求米草、桴蓋(*Sphaerocaryum malaccense*)等地被層植物分布；較鬱閉的環境則有深根卷柏(*Selaginella doederleinii*)、赤車使者(*Pellionia radicans*)及雙扇蕨(*Dipteris conjugata*)零星分布。

F3 紅楠植群型(*Machilus thunbergii* type)

紅楠植群型在磺嘴山火山口分布較少，多分布在海拔相對低的區域，所處環境為火山口外側植群較為乾燥的環境。喬木組成尚有小花鼠刺及大明橘，灌木有日本山桂花、柏拉木(*Blastus cochinchinensis*)及野牡丹(*Melastoma candidum*)等耐陰性植物；另外，紅楠植群型中有 1 樣區有烏皮茶(*Tutcheria shinkoensis*)較大族群的分布，地被優勢以日本山桂花主要優勢地被。林下有雙扇蕨、深根卷柏及小月桃(*Alpinia intermedia*)分布；樹幹以撿壁龍(*Psychotria serpens*)附生為優勢，絡石(*Trachelospermum jasminoides*)、細圓藤(*Pericampylus glaucus*)及波氏星蕨(*Microsorium buergerianum*)亦常攀附於木本植物。

三、物種多樣性分析

磺嘴山火山口植群物種多樣性分析顯示(表 2&3)，類地毯草植群型與馬唐植群型等兩種短草植群的物種相似性較高，灌叢草生地與森林植群間物種多樣性以小花鼠刺-狹瓣八仙花與紅楠植群型較為相近，紅楠與假柃木植群型的物種相似性則為第二高。此現象顯示相同地景植群型間的物種組成相似性較高，物種轉換率較低，顯示環境梯度變化較小時，植群間的物種組成變化較低。有趣的是，屬於推移帶的假柃木植群型與白背芒植群型的種間相似性較白背芒植群型與小花鼠刺-狹瓣八仙花植群型略低，此可能受到假柃木灌叢生長型與濃密的枝葉不利物種在林下生長所致；加上小花鼠刺的喬木生長型較高大，雖然植群形相較屬於森林，但林下較假柃木植群型開闊，物種組成與白背芒植群型有較高的相似性。

透過植群間的物種相似性及轉換率，可大致推估磺嘴山火山口草生地植群演替至森林植群的過程。頻繁的牛隻擾動和淹水使草生地植物社會退化演替至低草類的類地毯草植群型與馬唐植群型，當牛隻擾動減緩時，低草類的植群型會因白背芒開始入侵而形成高草的白背芒植群型。白背芒植群型維持一段時間後，假柃木、小花鼠刺、狹瓣八仙花、長葉木薑子等木本植物小苗進入植物社會，逐漸演替形成小花鼠刺-狹瓣八仙花植群型，或

小區域以假柃木為優勢的假柃木植群型。此類小喬木及灌木為優勢的植群，提供紅楠、大葉楠(*Mac. japonica* var. *kusanoi*)等耐陰性樹種小苗的生長的環境，待紅楠、大葉楠成長後逐漸取代，進而形成磺嘴山火山口的演替後期森林-紅楠植群型。

表 2. 陽明山國家公園磺嘴山火山口不同植群型之 Sorenson 相似性(左下)及 Cody 指數(右上) (資料來源：本研究)

地景類型	G1	G2	G3	F1	F2	F3
G1		0.48	0.39	0.39	0.58	0.39
G2	0.50		0.47	0.59	0.76	0.63
G3	0.56	0.53		0.59	0.78	0.63
F1	0.59	0.36	0.34		0.34	0.40
F2	0.42	0.24	0.22	0.62		0.45
F3	0.53	0.36	0.36	0.46	0.51	

註：不同英文字母分別代表不同的地景類型，G 為草地，F 為灌叢草地和森林；G1 白背芒植群型、G2 馬唐植群型、G3 類地毯草植群型、F1 小花鼠刺-狹瓣八仙花植群型、F2 紅楠植群型，及 F3 假柃木植群型。

四、磺嘴山火山口植群與環境關係

灌叢草地與森林植群的降趨對應分析顯示，第一軸的軸長為 1.94，依許皓捷、李培芬(2003)提出排序分析的梯度軸長在 2SD 以上，對應分析(correspondence analysis, CA)會因物種沿環境梯度的非線性分布而產生明顯拱形效應(arch effect)，而以降趨對應分析的結果較佳；軸長在 2SD 以下時，以使用 CA 及 PCA 較佳。DCA 可能因為降趨(detrending)及重新刻劃(rescaling)的程序，扭曲數據原本蘊含的生態意義，故本研究以 CA 來探討；前三軸特徵根分別為 0.40、0.38、0.27，總變量為 1.87，各軸的變異解釋率為 21.39、20.32、14.44%，排序圖顯示小花鼠刺-狹瓣八仙花植群型在磺嘴山火山口內外側廣泛分布(圖 14)，顯示灌叢草地與森林可分為上下兩群，圖上方的喬木以大明橘、鄧氏胡頹子、小實女真(*Ligustrum sinense*)為伴生種，下方則為大葉楠、臺灣格柃(*Eu. septata*)等喬木。CA 排序圖第一軸反映地形梯度變化，第二軸可能反映水分梯度所造成的差異。

磺嘴山火山口典型對應分析(CCA)所有植群的地被與環境關係顯示(圖 15)，前三軸之軸長分別為 4.88、2.40 及 2.43，特徵根分別為 0.74、0.27、0.16，總變量為 4.67，各軸的變異解釋率為 15.85、5.78、3.43%；第一軸將 2 個植群地景類型明顯區分，草地植群多位於排序圖第一軸的右側，

第一軸左側為灌叢草生地與森林植群型。典型對應分析顯示坡度、水分梯度和海拔對地被植群與物種組成造成分化，而這些環境因子皆是火山口的地形效應造成。

表 3. 陽明山國家公園磺嘴山火山口植群與樣區物種多樣性表 (資料來源：本研究)

樣區	植群型	喬木層			地被層		
		物種數	夏農指數	均勻度	物種數	夏農指數	均勻度
H4	F1	6	0.60	0.77	35	1.35	0.88
H34	F1	9	0.85	0.89	38	1.34	0.85
H35	F1	13	0.91	0.82	40	1.27	0.79
H36	F1	12	0.91	0.84	39	1.40	0.88
H6	F1	8	0.72	0.80	39	1.37	0.86
H25	F1	9	0.80	0.84	41	1.36	0.84
H26	F1	17	1.09	0.88	50	1.40	0.82
H27	F2	16	0.98	0.81	59	1.45	0.82
H14	F3	2	0.86	2.87	35	1.29	0.83
H1	G1				24	1.27	0.92
H5	G1				24	1.21	0.88
H7	G1				8	0.77	0.85
H10	G1				18	1.11	0.89
H11	G1				15	0.98	0.83
H15	G1				24	1.16	0.84
H16	G1				18	0.95	0.76
H17	G1				9	0.81	0.85
H20	G1				15	1.00	0.85
H21	G1				19	1.16	0.90
H22	G1				24	1.13	0.82
H23	G1				18	0.98	0.78
H28	G1				16	1.03	0.85
H31	G1				12	0.93	0.86
H2	G2				13	0.77	0.69
H3	G2				20	1.18	0.91
H29	G2				31	1.33	0.89
H30	G2				28	1.22	0.84
H8	G3				8	0.80	0.89
H9	G3				30	1.28	0.86
H12	G3				15	1.08	0.91
H13	G3				35	1.29	0.83
H18	G3				13	0.99	0.89
H19	G3				16	0.94	0.78
H24	G3				6	0.59	0.76
H32	G3				16	0.92	0.76
H33	G3				11	0.68	0.65

註：部分草生地雖有零星木本植物，但仍以草本為主因此喬木層不計入。

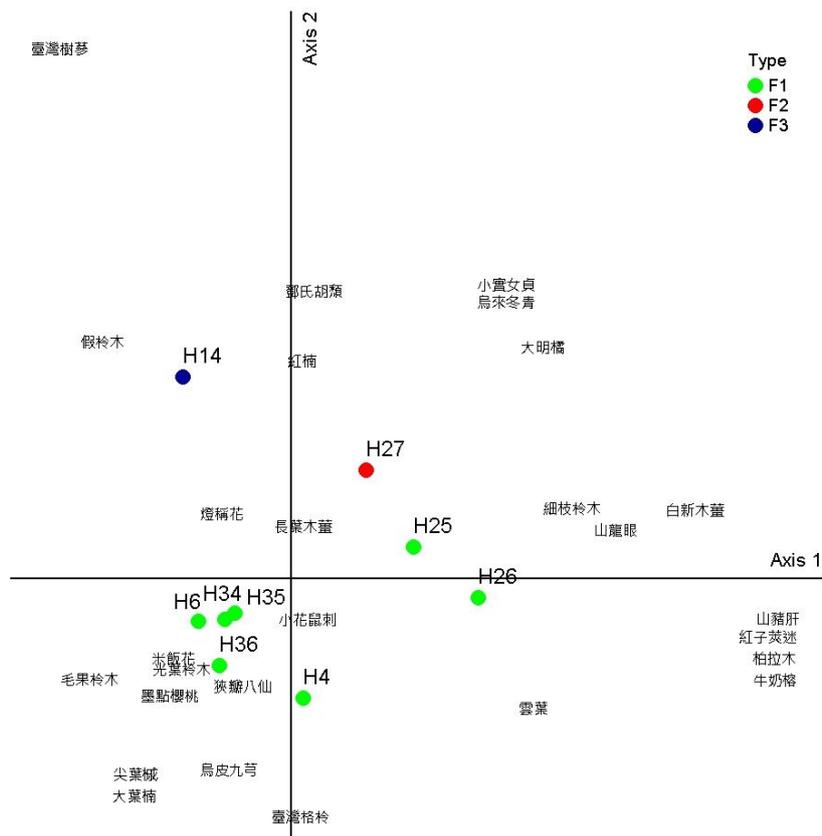


圖 14. 陽明山國家公園磺嘴山火山口灌叢草生地與森林植群之對應分析排序圖。(資料來源：本研究)

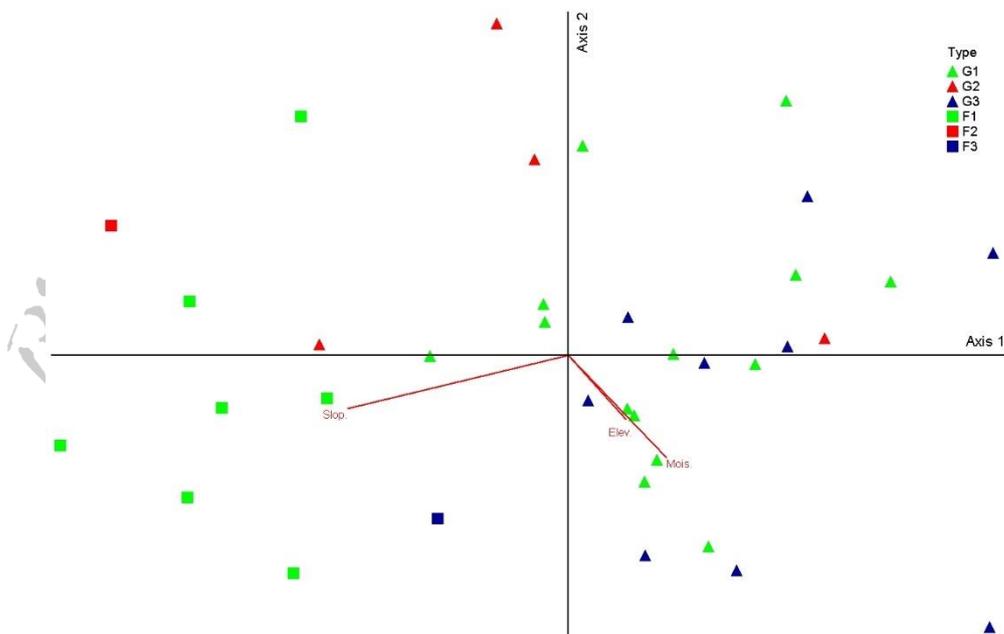


圖 15. 陽明山國家公園磺嘴山火山口之地被層典型對應分析排序圖。(資料來源：本研究)

地被植群排序分析結果顯示，草生地向森林的連續變化，顯示一些物種會在鄰近草生地與森林分布；受到磺嘴山火山口的東北向開口的地形效應，火燒擾動與過去水牛放養擾動因素影響，磺嘴山火山口植群仍以草生地為優勢，較大的灌叢草生地與森林主要分在火山口西面至南面坡向。若研究區的火燒或水牛的擾動頻度與程度降低，短草的類地毯植群型和馬唐植群型會被白背芒入侵，逐漸演替成高草的白背芒植群型。白背芒植群型亦會逐漸被陽性樹種如小花鼠刺、假柃木等拓植進入，形成小花鼠刺-狹瓣八仙花植群型和假柃木植群型的灌叢草生地，最後將形成以國家公園境內最優勢的紅楠植群型。

第二節 向天山火口植相與植群

一、植物組成清單

本研究於向天山火口地區共調查 85 科 177 屬 245 種，其中有 33 種特有種(附件 1)；蕨類植物有 13 科 21 屬 33 種(表 1)，蕨類商數達 3.89，略低於臺灣地區 4.10 (曾彥學，2003)；裸子植物僅 1 科 1 屬 1 種，為臺灣二葉松(*Pinus taiwanensis*)；雙子葉植物 57 科 114 屬 141 種，單子葉植物 14 科 41 屬 70 種。種數前 5 名的科依次為禾本科(Poaceae)(19 種)、薔薇科(Rosaceae)(13 種)、菊科(Asteraceae)(11 種)、水龍骨科(Polypodiaceae)(9 種)、茜草科(Rubiaceae)(8 種)。

依 2017 臺灣維管束植物紅皮書(臺灣植物紅皮書編輯委員會，2017)，向天山火口記錄珍稀植物分別為臺灣野梨(*Pyrus taiwanensis*)(CR)、十大功勞(*Mahonia japonica*)(VU)、光葉柃木 (NT)，及臺灣金線蓮(*Anoectochilus formosanus*)(NT)等 4 種。研究區歸化植物(naturalized plant species)有大花咸豐草(*Bidens alba* var. *radiata*)、加拿大蓬(*Conyza canadensis*)、昭和草(*Crassocephalum crepidioides*)、飛機草(*Erechtites valerianifolia*)、西番蓮(*Passiflora edulis*)、酸模(*Rumex acetosa*)、小葉酸模(*Ru. acetosella*)、小葉冷水麻(*Pilea microphylla*)、大黍(*Panicum maximum*)棕葉狗尾草(*Setaria palmifolia*)，以及蔥蘭(*Zephyranthes candida*)等 11 種(許再文等，2003；Wu et al.，2004；張芷熒，2007；Chen, 2008)；其中，大花咸豐草為臺灣入侵種中結實量大且散播速度快的危險物種(蔣慕琰等，2003；徐曉玫，2006)，目前分布環湖步道周遭，有些個體開始往高草區蔓延。此外，研究區步道附近亦調查到一些常見水果的樹苗及稚樹，如蘋果(*Malus pumila*)、柚子

(*Citrus grandis*)及柑橘(*Ci. tachibana*)，推測為遊客攜帶上山並食用後，將種子散播至此發芽形成。

向天山火山口植物組成之生活型譜(圖 16)，研究區以挺空植物 92 種(46.7%)最高，依次地中植物 37 種(18.8%)、半地中植物 34 種(17.3%)、地表植物 18 種(9.1%)及一年生植物 16 種(8.1%)。

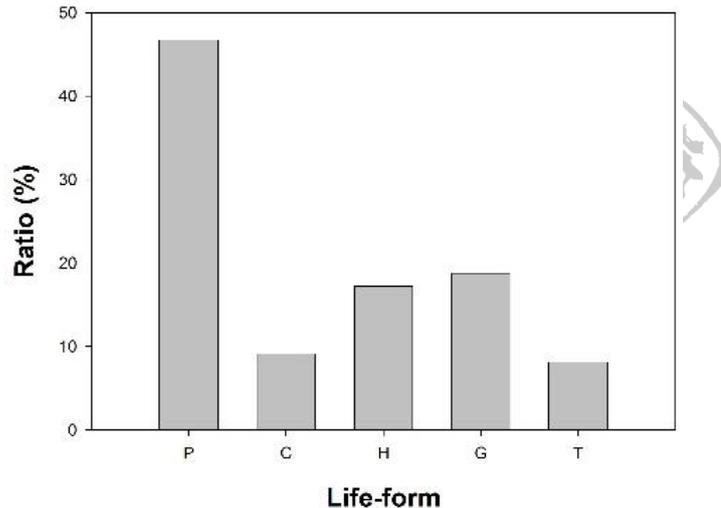


圖 16. 陽明山向天池火山口之生活型譜。P：挺空植物、C：地表植物、H：半地中植物、G：地中植物、T：一年生植物。(資料來源：本研究)

二、植群分析

本研究於向天山火山口共調查 43 個樣區(圖 17)，依草生地、推移帶及森林等 3 種植被外觀類型取樣。植群型方式以優勢種命名，若有兩種之共優勢種，則以兩種植物命名。

(一)草生地植群

草生地植群之群聚分析結果顯示(圖 17)，以訊息保留度 40%可分為 G1 燈心草植群型、G2 過溝菜蕨植群型、G3 圓果雀稗植群型及 G4 白背芒植群型等 4 型的植物社會。以下為各植群型之詳細描述：

G1 燈心草植群型(*Juncus effusus* type)

燈心草植群型位置較接近向天山火山口中心，其地形環境較為低窪，在大雨過後常有積水現象，故其內組成多以喜潮濕環境的植物如葶薺(*Eleocharis dulcis*)、臺灣天胡荽、知風草(*Eragrostis ferruginea*)等植物為主要優勢物種，其他如七葉一枝花(*Paris polyphylla*)、如意草、睫穗蓼

(*Polygonum longisetum*)等植物亦常伴生其中。向天山火山口的向天池屬於一種短暫性池塘(ephemeral pool)(林曜松、周蓮香, 1991; 周蓮香、黃祥麟, 2004), 大雨積水形成堰塞湖, 水深可達 2-3 m, 直徑可達 90 m, 池水由火山口的底部緩緩滲出, 經 10~14 天後逐漸乾涸(黃祥麟、周蓮香, 2005)。雖然研究區降水豐富, 但在降雨後數天後即消退, 無法形成永久性長期的淹水區域或濕地; 受到向天山火山口棲地的季節性乾旱限制, 造成燈心草植群型的分布區域範圍面積較為小。

G2 過溝菜蕨植群型(*Diplazium esculentum* type)

過溝菜蕨植型介於向天池火口湖中心的低草區的燈心草植群型與高草區的白背芒植群型, 相對於燈心草植群型, 因較不易受積水干擾, 環境與植物種類組成介於兩者之間; 植物組成特色是大量而優勢的過溝菜蕨(*Diplazium esculentum*)覆蓋佔據, 常伴生知風草、圓果雀稗(*Paspalum orbiculare*)、扛板歸(*Polygonum perfoliatum*)等; 偶有灰木灌叢出現, 而土防已(*Cyclea gracillima*)、雞屎藤及菝葜等藤本植物常攀附。另外, 因遊客可及性較高, 有調查到蘋果小苗及稚樹, 應是遊客散播所致。

G3 圓果雀稗植群型(*Paspalum dilatatum* type)

圓果雀稗植群型類似於過溝菜蕨植群型, 介於燈心草植群型與白背芒植群型間, 僅有一樣區為蜚蜞菊(*Wedelia chinensis*)較為優勢, 大多數樣區較少有單一物種呈現優勢的情況, 伴生種常有燈心草、小葉酸模、水芹菜(*Oenanthe javanica*)和如意草等, 草本植物的物種組成相對較多樣。

G4 白背芒植群型(*Miscanthus sinensis* type)

白背芒植群型常出現在推移帶與草原植物社會的邊界, 因白背芒的生長方式較為密集, 僅少數如姬蕨(*Hypolepis punctata*)能在其下形成次優勢族群; 其他伴生種如睫穗蓼、如意草和圓果雀稗等, 在白背芒植株間空隙分布; 藤本植物有雞屎藤、華南薯蕷(*Dioscorea collettii*), 以及絞股藍(*Gynostemma pentaphyllum*)等。由於白背芒植株較高大且緊密生長, 株間較少有孔隙生成, 加上接近推移帶, 灰木、細葉饅頭果(*Glochidion rubrum*)等灌叢零星分布。

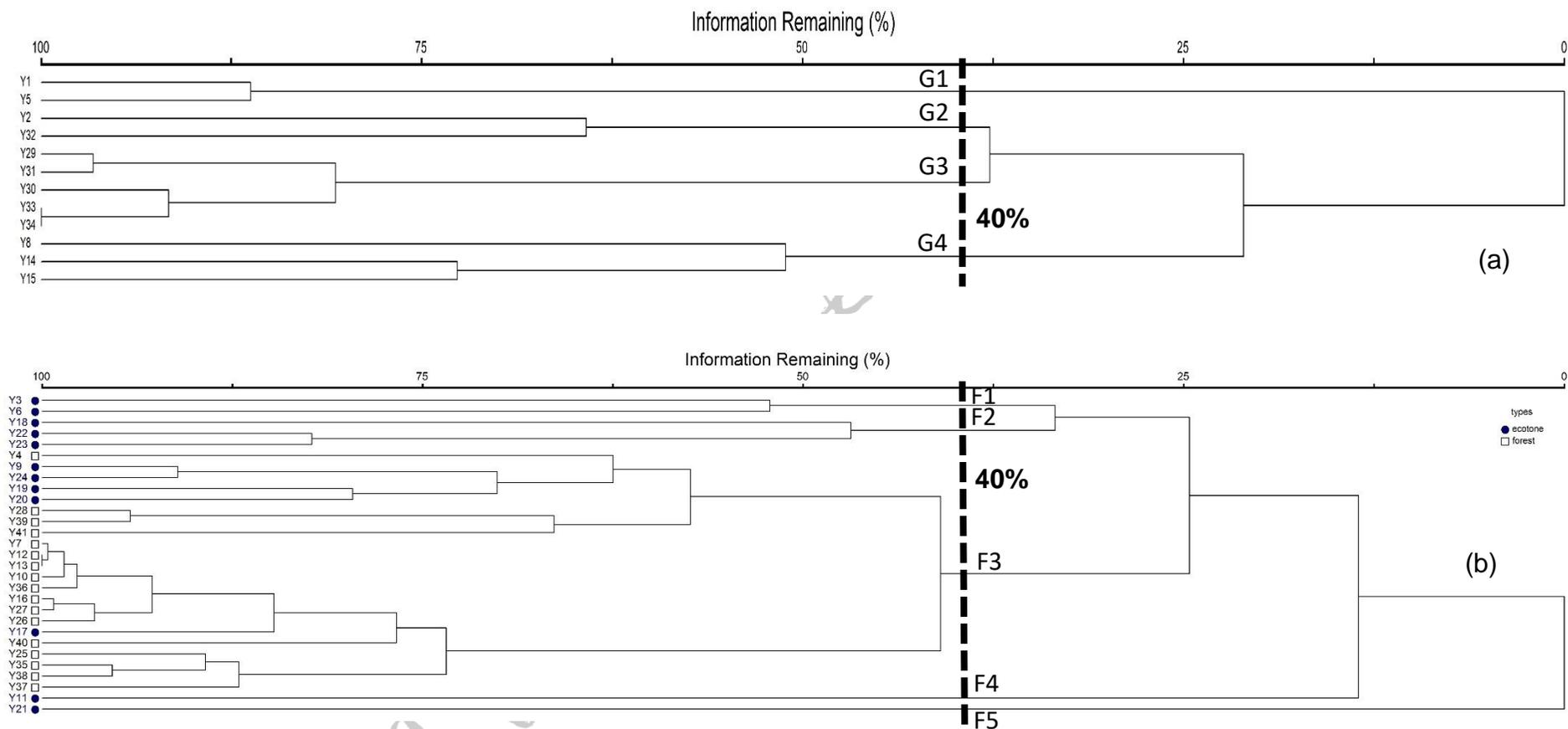


圖 17. 陽明山國家公園向天山火山口植物社會之群聚分析圖。(a)草生地植群分析結果，訊息保留度 40%，可分為 G1 燈心草植群型、G2 過溝菜蕨植群型、G3 白背芒植群型，及 G4 圓果雀稗植群型；(b)灌叢草生地與森林植群分析結果，訊息保持度 40%，可分為 F1 牛奶榕植群型、F2 臺灣二葉松植群型、F3 紅楠植群型、F4 楊梅植群型及 F5 尾葉灰木植群型。(資料來源：本研究)

(二)灌叢草生地與森林植物社會

推移帶的植群外觀形相為灌叢草生地，因有上層喬木分布，故與森林一同進行植群分類(圖 17)，群團分析結果以訊息保留度 40%可分為 F1 牛奶榕植群型、F2 臺灣二葉松植群型、F3 楊梅植群型及 F4 尾葉灰木植群型的推移帶植群型，以及森林的 F1 紅楠植群型。推移帶樣區中的 Y9、Y17、Y19、Y20、Y24 則因上層喬木組成與 F3 長梗紫麻植群型組成相似而劃分成相同林型。以下為各植群型之詳細描述：

F1 牛奶榕植群型(*Ficus erecta* var. *beeheyana* type)

牛奶榕植群型為接近森林的推移帶，牛奶榕(*Ficus erecta* var. *beeheyana*)等陽性樹種多分布在陽光充足處，偶爾也分布於林內孔隙較大區域；喬木層有牛奶榕、紅楠(*Machilus thunbergii*)及江某(*Schefflera octophylla*)等，灌木層有光葉柃木、樺葉莢蒾(*Viburnum betulifolium*)及臺灣山桂花等，地被層以廣葉鋸齒雙蓋蕨(*Dip. dilatatum*)最為優勢，斜方複葉耳蕨(*Arachniodes rhomboides*)和萊氏線蕨常出現，其中，臺灣二葉松、樹杞(*Ardisia sieboldii*)等木本植物的小苗零星分布，爬藤植物除了草生地常見的菝葜、華南薯蕷外，尚有臺灣崖爬藤(*Tetrastigma umbellatum*)、三葉崖爬藤(*Tet. formosanum*)及珍珠蓮(*Fi. sarmentosa* var. *henryi*)等藤本植物。

F2 臺灣二葉松植群型(*Pinus taiwanensis* type)

臺灣二葉松植群型為此區域分布較少且多分布在推移帶區域，推測多為日治時期栽植所遺留下的植株(下澤伊八郎，1941；賴明洲，1991)，或栽種植株的種子拓植形成(藤原仁一，1925)，因草生地積水擾動及森林內耐陰性植物演替而逐漸將臺灣二葉松取代，僅留存老齡木零星分布於草生地及森林之推移帶。伴生喬木種類有牛奶榕及細葉饅頭果，紅楠則多分布鄰近森林的區域，灌木層常有中國柃木(*Euy. chinensis*)、賽柃木(*Euy. crenatifolia*)及燈稱花。地被組成以主要以白背芒為優勢組成，接近森林區域則以廣葉鋸齒雙蓋為優勢，地被組成物種受鄰近植群的影響，接近草生地的區域主要分布有姬蕨、火炭母草(*Pol. chinense*)及圓果雀稗等，接近森林的區域分布以小葉複葉耳蕨(*Ar. tripinada*)、中國穿鞘花(*Amischotholype hispida*)及普萊氏月桃(*Alpinia pricei*)為主。林下常有大量三葉崖爬藤、臺灣常春藤(*Hedera rhombea* var. *formosana*)及伏石蕨(*Lemmaphyllum microphyllum*)等爬藤植物分布。

F3 紅楠植群型(*Machilus thunbergii* type)

紅楠植群型是構成向天山火山口的森林植群型，亦是陽明山國家公園境內最優勢的森林植群(王震哲 2001；邱文良 2009)，以紅楠為主要優勢之喬木層物種，因其組成複雜，故又可分為兩种植群亞型，分別為長梗紫麻植群亞型及紅楠亞型，下面將分述兩個植群亞型的組成及環境條件：

F3-1 長梗紫麻植群亞型(*Oreocnide pedunculata* type)

環境多為潮濕且遮蔭較多的區域，優勢喬木為長梗紫麻(*Oreocnide pedunculata*)，江某及朴樹(*Celtis sinensis*)為伴生種，雖有調查到的大葉楠為胸徑級大於 50 cm 以上的老齡木分布，但為數不多；灌木層常有鄧氏胡頹子、燈稱花及伏牛花(*Damnacanthus indicus*)等耐陰性植物。廣葉鋸齒雙蓋蕨常為地被優勢種，因會佔去大量的空間及資源，地被物種組成相對較少，以大線蕨(*Colysis pothifolia*)、腎蕨(*Nephrolepis auriculata*)及伏石蕨等蕨類常分布並伴生其中，白肋角唇蘭(*Rhomboda tokioi*)及金線蓮(*Anoectochilus roxburghii*)等蘭花零星分布；因為濕氣較重，除了樹上有許多珍珠蓮附生外，臺灣牛蒡菜(*Marsdenia formosana*)、南五味子(*Kadsura japonica*)及波氏星蕨亦常攀附於木本或灌木植物上。

F3-2 紅楠植群亞型(*Machilus thunbergii* type)

紅楠植群亞型是大屯山山系相對演替後期之森林植群型(黃增泉，1985；王震哲，2001；邱文良，2009；陳俊宏，2010)，向天山火山口的紅楠植群亞型以紅楠為主要優勢之喬木層物種，伴生喬木有臺灣老葉兒樹(*Pourthiaea beauverdiana* var. *notabilis*)及臭黃荊(*Premna microphylla*)；灌木層常有燈稱花及伏牛花等耐陰性植物。地被物種組成受優勢物種影響大，當廣葉鋸齒雙蓋蕨為地被優勢種時，會佔去大量的空間及資源，地被物種組成相對較少，以波氏星蕨、腎蕨及伏石蕨等蕨類偶爾分布；反之，則有較為豐富的物種多樣性，常見有大屯山細辛(*Asarum taitonense*)、小葉複葉耳蕨及毛柄凸軸蕨(*Thelypteris uraiensis*)等地被植物，也常有細葉饅頭果、朴樹及牛奶榕等喬木稚樹天然下種更新，白肋角唇蘭及白鶴蘭(*Calanthe triplicata*)等蘭花零星分布。

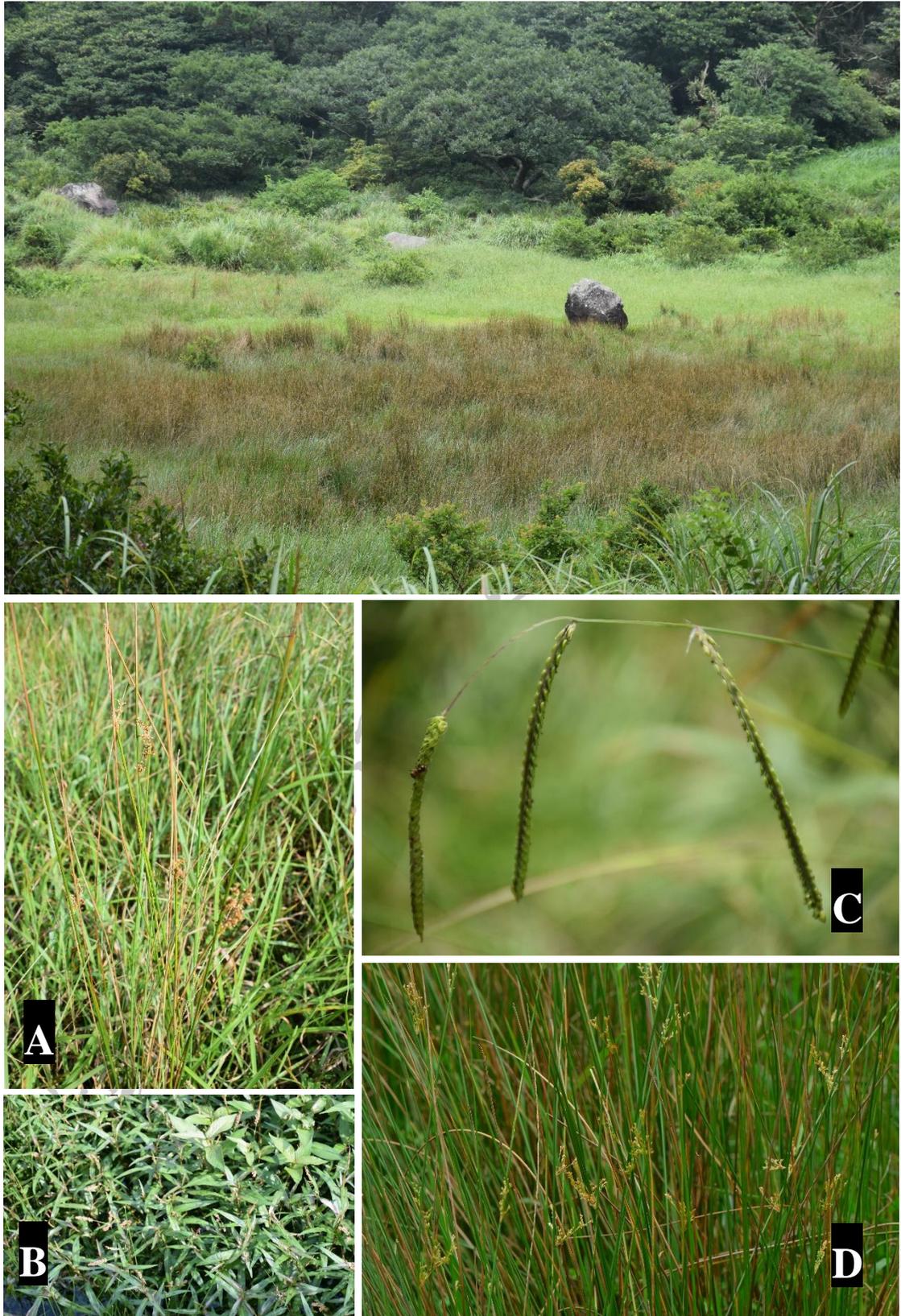


圖 18. 陽明山國家公園向天山火山口草生地地景及優勢植物。A 燈心草、B 睫穗蓼、C 圓果雀稗、D 知風草。(資料來源：本研究)



圖 19. 陽明山國家公園向天山火山口森林地景及優勢植物。A 竹葉根結蘭、B 金線蓮、C 伏牛花、D 白肋角唇蘭。(資料來源：本研究)



圖 20. 陽明山國家公園向天山火山口推移帶及優勢植物。A 臺灣山桂花、B 尾葉灰木、C 臺灣馬藍、D 鄧氏胡頹子。(資料來源：本研究)

F4 楊梅植群型(*Myrica rubra* type)

楊梅植群型與尾葉灰木植群型都是因為樣區內有 1 棵楊梅(*Myrica rubra*)或尾葉灰木(*Sym. caudata*)的大樹而被劃分出來，生育地環境相似於白背芒植群型，分布於推移帶邊界。陳俊雄、蘇鴻傑(2003)於臺灣西北內陸區森林植群的分析發現此類植群型，分析發現楊梅生長在鬱閉森林環境中較難更新，故僅有少數老齡木殘存於向陽或孔隙較大的區域。伴生喬木層有朴樹、尖葉槭(*Acer kawakamii*)、牛奶榕及厚葉衛矛(*Euonymus carnosus*)等較陽性的喬木，灌木層則有燈稱花及臺灣山桂花，地被層物種組成類似白背芒植群型。

F5 尾葉灰木植群型(*Symplocos caudata* type)

尾葉灰木族群於臺灣的分布多為南北分布，於烏來及插天山地區有較大的族群，尾葉灰木構成之優勢植群型在北部較少見，多為亞型或是伴生喬木(蘇鴻傑、王立志，1988；歐辰雄等，1994；張勵婉，2002)；本研究調查發現零星成熟個體分布於推移帶。伴生喬木層僅野桐(*Mallotus japonicus*)及樹杞；灌木層以日本山桂花、小葉桑(*Morus australis*)及牛奶榕的稚樹組成；地被層介於草生地與森林，物種組成與白背芒植群型相似。

三、物種多樣性分析

本研究依植被外觀形相類型和植群型做劃分進行分析，結果顯示(表 4&圖 21)。草生地植群型以圓果雀稗植群型之物種多樣性最為豐富，依次為過溝菜蕨植群型、白背芒植群型及燈心草植群型；此現象受到向天山火山口的淹水干擾與微地形的異質性的環境因子影響，加上物種散播拓植過程的隨機性與植物的生長特性使然。例如燈心草植群型分布在火山口最低窪處，積水的環境加上燈心草緻密的根系，物種組成較少較其他草生地植群少。優勢的白背芒對物種多樣性的抑制性，林思民等(2008)於陽明山國家公園草原社會動態推移調查發現，白背芒植群的物種多樣性相較於鄰近的其他植群低，此因白背芒具有強烈的排他作用，造成伴生物種較少致使物種多樣性的降低。森林植群型也有相似的情況，當優勢地被植物如廣葉鋸齒雙蓋蕨大量出現時，地被層的物種數量受到抑制；此現象造成紅楠植群型的物種多樣性變動較大。

表 4. 陽明山國家公園向天山火山口植群型與樣區物種多樣性表 (資料來源：本研究)

樣區	植群型	喬木層			地被層		
		物種數	夏農指數	均勻度	物種數	夏農指數	均勻度
S3	E1	6	0.74	0.95	57	1.58	0.90
S6	E1	7	0.82	0.97	70	1.66	0.90
S18	E2	5	0.59	0.84	50	1.53	0.90
S22	E2	10	0.94	0.94	48	1.37	0.82
S23	E2	10	0.89	0.89	53	1.54	0.89
S9	E3	6	0.70	0.90	47	1.35	0.81
S17	E3	5	0.64	0.91	78	1.71	0.90
S19	E3	8	0.81	0.89	38	1.35	0.85
S20	E3	6	0.70	0.90	36	1.27	0.82
S24	E3	7	0.67	0.79	48	1.52	0.90
S11	E4	6	0.75	0.97	47	1.44	0.86
S21	E5	4	0.57	0.95	45	1.47	0.89
S4	F3	9	0.89	0.93	49	1.50	0.89
S7	F3	4	0.38	0.64	73	1.69	0.91
S10	F3	2	0.24	0.81	38	1.48	0.94
S12	F3	3	0.28	0.58	49	1.53	0.91
S13	F3	3	0.28	0.58	67	1.65	0.90
S16	F3	4	0.49	0.81	61	1.60	0.89
S25	F3	6	0.77	0.99	42	1.39	0.85
S26	F3	5	0.68	0.98	38	1.20	0.76
S27	F3	2	0.28	0.95	52	1.43	0.83
S28	F3	5	0.64	0.92	31	1.12	0.75
S35	F3	9	0.82	0.86	57	1.56	0.89
S36	F3	4	0.44	0.72	52	1.51	0.88
S37	F3	8	0.84	0.93	72	1.64	0.89
S38	F3	10	0.92	0.92	70	1.66	0.90
S39	F3	6	0.69	0.88	30	1.17	0.79
S40	F3	7	0.78	0.92	63	1.55	0.86
S41	F3	7	0.75	0.88	57	1.58	0.90
S1	G1				12	0.91	0.84
S5	G1				14	0.93	0.81
S2	G2				19	1.08	0.84
S32	G2				22	1.10	0.82
S29	G3				18	1.08	0.86
S30	G3				18	1.01	0.81
S31	G3				16	1.12	0.93
S33	G3				12	0.98	0.91
S34	G3				16	1.03	0.86
S42	G3				17	0.89	0.72
S8	G4				32	1.33	0.88
S14	G4				25	1.15	0.82
S15	G4				24	1.20	0.87
S43	G4				41	1.36	0.85

註：部分草生地雖有零星木本植物，但仍以草本為主因此喬木層不計入。

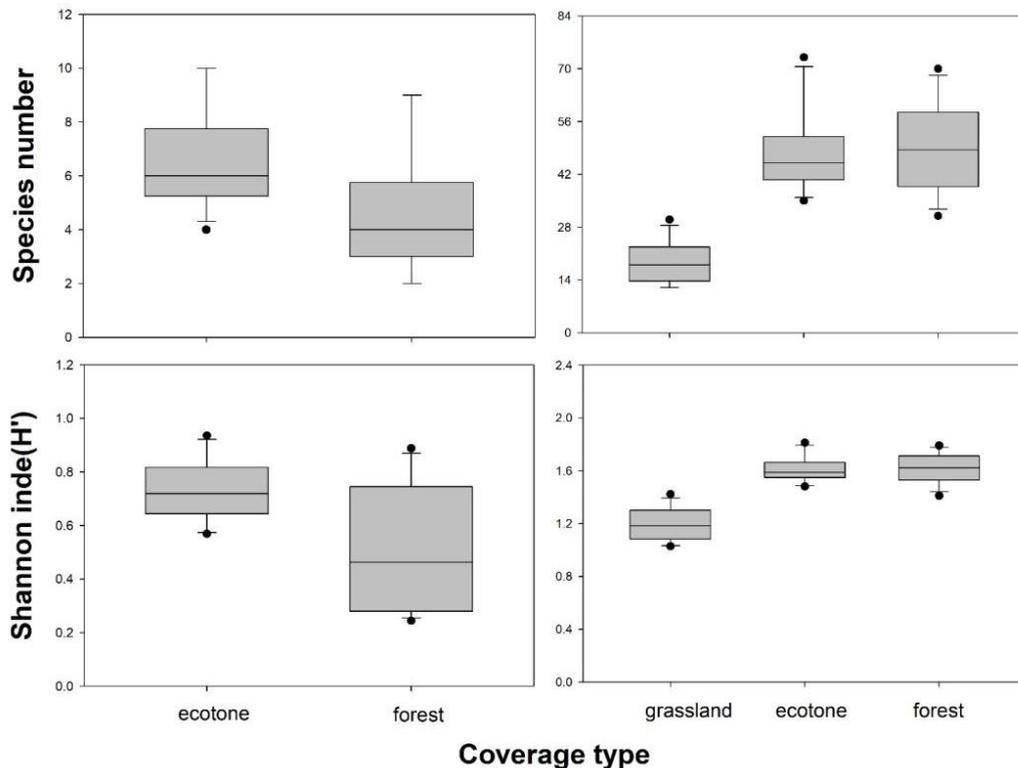


圖 21. 陽明山國家公園向天山火山口不同形相植群之物種多樣性比較盒鬚圖。(資料來源：本研究)

以植被外觀形相尺度分析時，大部分推移帶樣區的喬木層的物種多樣性高於森林內的樣區；地被層部分則以草生地樣區之物種多樣性最低，推移帶及森林的樣區間沒有太大的差異。以植群型尺度分析發現，向天山火山口之臺灣二葉松植群型在喬木層物種多樣性有較高的趨勢，其他 2 型則沒有太大差異，磺嘴山火山口之假桧木植群型為物種多樣性最低的植群型，其他兩型則沒明顯差異；向天山火山口地被層以牛奶榕植群型最高，其他森林植群型之地被層物種多樣性大致相似，磺嘴山火山口之地被層則以紅楠植群型之物種多樣性最高，依次為假桧木植群型及小花鼠刺-狹瓣八仙花植群型。草生地的植群型以圓果雀稗植群型之物種多樣性最為豐富，依次為過溝菜蕨植群型、白背芒植群型及燈心草植群型，磺嘴山火山口之地被層則以白背芒植群型之物種多樣性略高於短草地景植群型。

推移帶是由兩個不同地景邊界交織而成過渡區域，受到推移帶的邊緣效應(edge effect)影響(劉棠瑞、蘇鴻傑，1983)，物種組成來自鄰近兩植群之物種拓植而來，故物種多樣性會相對較高，尤其在喬木層更能顯而易見地看出差異；由於喬木層的建立比地被層需要更多的資源(空間、養分、陽

光)，因此族群建立的過程所受的競爭會較地被層來的激烈。牟長城等(1998)於長白山森林及沼澤推移帶群落的植物多樣性研究發現，環境決定植群的類型，適應推移帶環境變化形成不同發育程度的推移帶植群，具有不同種類植物所表現出的植物多樣性。森林-沼澤推移帶環境常具有兩種環境特性，故常存在著沼澤與森林的植物類群；另外，因推移帶具有環境梯度(積水深度、鑲嵌植群的面積、土壤化育程度、地下水位等環境因子)，加上推移帶植群對環境的改造強度不同，導致推移帶與鄰近植群的物種組成及數量上都有所區別。

向天山火山口植群間的 β 多樣性指數顯示(表 5)，燈心草植群型隨著不同地景遠離向天山火山口中心，物種多樣性相似性越低物種轉移率越高；圓果雀稗植群與多數草生地樣區相似性較高。推移帶樣區與森林植群的物種相似性也相當最高，在 4 個草生地植群中，與白背芒植群型相似性較最高；反之，兩者間的物種轉移率則相對較低。向天山火山口草生地植群雖然在空間上呈現鑲嵌式的植群分布，但由 β 多樣性指數分析結果推估植群演替，草生地植群演替階段應是由濕生的燈心草植群型演替至過溝菜蕨植群型，或圓果雀稗植群型，最後演替至白背芒群型。若降雨淹水情形減緩或頻度降低，燈心草植群型最後可能會消失，此對於湖沼枝額蟲的生存可能會造成負面影響。陽性樹種如牛奶榕、灰木等種子進入白背芒植群型後，逐漸擴植與白背芒競爭，並提供一定的遮蔭使其他耐陰性植物如紅楠、江某拓植，較潮濕環境則會出現長梗紫芋麻、大葉楠等樹種；最後推移帶的灌叢草生地會逐漸演替成為國家公園境內最優勢的紅楠植群型。

表 5. 陽明山國家公園向天山火山口不同地景類型之 Sorenson 相似性(左下)及 Cody 指數(右上) (資料來源：本研究)

地景類型	G1	G2	G3	G4	E	F
G1		0.56	0.52	0.69	0.73	0.93
G2	0.40		0.46	0.30	0.56	0.73
G3	0.39	0.52		0.49	0.58	0.76
G4	0.26	0.69	0.51		0.52	0.68
E	0.08	0.22	0.25	0.28		0.30
F	0.03	0.16	0.17	0.22	0.69	

註：不同英文字母分別代表不同的地景類型，G1 為燈心草植群型，G2 為過溝菜蕨型，G3 為圓果雀稗植群型，G4 為白背芒植群型，E 為推移帶植群總和，F 為森林植群型總和。

四、環境與物種組成的關係

灌叢草生地與森林植群的降趨對應分析顯示(圖 22)，總變量為 4.61，前三軸的特徵根 0.85、0.35、0.22，變異解釋率為 18.48、7.84、4.84 %，軸長分別為 5.78、2.88、2.27。DCA 排序圖顯示屬於森林的紅楠植群型組成變異較小，推移帶的灌叢草生地植群型的組成變異較大，此現象反映在構成推移帶的陽性樹種組成歧異度大；部分推移帶樣區與森林樣區集中於排序圖第一軸的左側，顯示這些推移帶樣區的喬木層與紅楠植群型的組成相近；另一些推移帶的灌叢草生地則分布在第一軸的右側，此類植物社會的地被層組成亦較相近於草生地植群之物種組成，如牛奶榕植群型、楊梅植群型與尾葉灰木植群型。

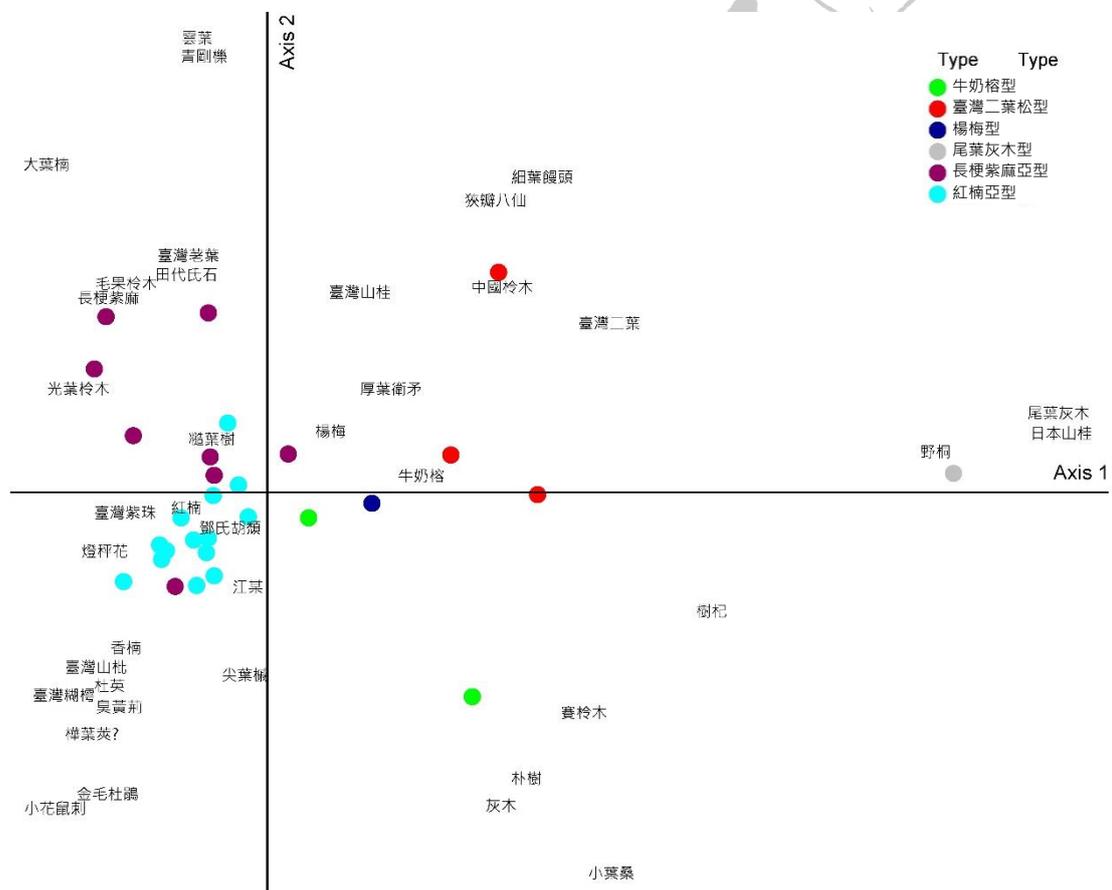


圖 22. 陽明山國家公園向天山火山口灌叢草生地與森林植群之喬木層降趨對應分析排序圖。(資料來源：本研究)

DCA 排序圖的第 2 軸可大致將紅楠植群型分為上下兩群，大致反應紅楠植群亞型的物種組成差異，第 2 軸上方為長梗紫荳麻亞型，喬木層組成以大葉楠、雲葉、青剛櫟(*Quercus glauca*)等伴生種，下方為紅楠亞型，以

臺灣糊欖(*Il. ficoidea*)、杜英(*Elaeocarpus sylvestris*)、尖葉槭等喬木為伴生種。其中，雲葉屬於分布琉球群島至臺灣植物地理區系的植物，在臺灣多分布於 1,500-2,500 m，屬於典型雲霧帶森林組成，陽明山國家公園為其分布北降，極具植物地理分布特色(Linn & Chiu, 2019)。劉崇瑞、陳明哲(1976)於大屯山植群調查提及，雲葉族群多分布於地勢較平緩的谷地；本研究也在較高海拔的樣區發現零星個體，推測第二軸反映水分梯度與地形因子。

本研究將 3 種植被形相的地被層進行 DCA 分析(圖 23)，結果顯示前三軸之軸長分別為 6.41、2.87 及 2.42，特徵根分別為 0.82、0.35、0.17，總變量為 5.92，變異解釋率分別為 17.83、7.65、3.80 %。第一軸將 3 個地景植群型進行明顯的區分，左側為森林，中央為推移帶灌叢草生地，右側為草生地，反映出地形與海拔差異；即距離向天池中心的燈心草植群型位於降趨對應排序圖第一軸的最右側，第一軸最左邊為離向天池中心越遠外的紅楠植群型。推移帶的物種分別與鄰近草生地、森林重疊，顯示推移帶地被植物組成受到森林與草生地兩者物種擴散拓殖影響。第二軸大致反映環境的光度，第二軸上方的樣區多處於光度較充沛或林內孔隙較大的區域，反之下方則較為潮濕或林內較為鬱閉的環境。排序分析探討植群與環境關係時，大多研究發現海拔的綜合因子具較大的影響力(王偉等, 2010、2016；邱清安等, 2017)；雖然研究區海拔梯度小，但海拔高對植群分化仍有明顯作用，造成此現象主要來自於火山口地形效應與降雨淹水擾動所致。

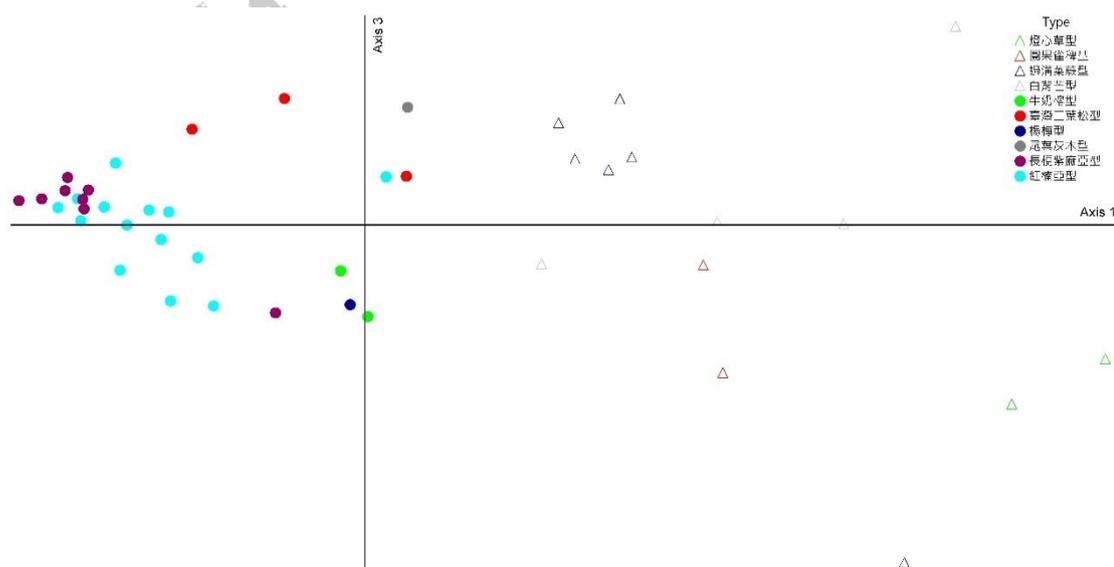


圖 23. 陽明山國家公園向天山火山口植群型之地被層降趨對應分析排序圖。
(資料來源：本研究)

向天山火山口植群之地被層典型對應分析顯示(圖 24)，特徵根分別 0.61、0.20、0.12，總變量為 6.88，各軸的變異解釋率為 8.90、3.02、1.78%，總變異量為 6.88；第一軸與坡度相關性最高(-0.87, $P<0.05$)，海拔其次(-0.64, $P<0.05$)，第二軸則與水分梯度相關性較高(0.69, $P<0.05$)，其餘則不顯著。大致可以發現由草生地植群演替至森林植群的一系列變化，從不同的短草地景草生地漸漸為高草地景取代後，喬木物種開始逐漸拓植入白背芒植群型轉而以陽性耐陰的推移帶植群取代，待紅楠或大葉楠等大型喬木形成族群後便以楠木物種成為該地優勢型植物。然而，東北方的森林植群常為長梗紫芋麻亞型，分布在向天山火山口山坡溝谷處，為較潮濕的環境，分布在排序圖的左側(圖 24)；值得一提的是，排序圖最左側的長梗紫芋麻型樣區亦是大葉楠成熟林林分布的樣區。因此根據上述推估之演替過程，較為乾旱的環境推移帶可能由牛奶榕植群型演替為紅楠植群型，而較為潮濕的環境則以長梗紫芋麻植群亞型轉變為紅楠-大葉楠植群型(陳明哲，1976；黃增泉，1984；邱文良，2009)。而根據兩地土壤調查結果顯示(表 6)，兩地的土壤都偏酸性，但磺嘴山的土壤 pH 值整體較向天山為酸，反映磺嘴山硫磺噴發口活動程度較活躍的特性；而磺嘴山的土壤有機質較高，可能顯示以水牛活動頻繁和發生火燒所致。

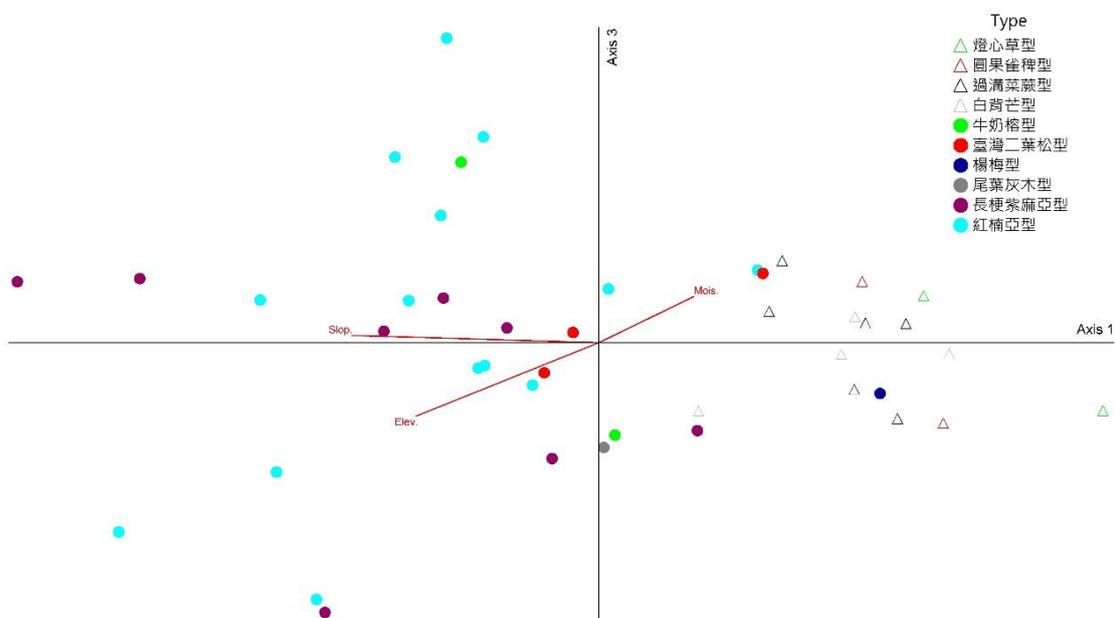


圖 24. 陽明山國家公園向天山火山口植群之地被層典型對應分析排序圖。(資料來源：本研究)

磺嘴山火山口植群土壤的 pH 值整體較向天山植群為酸，大致反映磺嘴山硫磺噴發口活動程度較活躍的特性；而磺嘴山火山口植群土壤的有機質與陽離子交換(CEC)較高，顯示著磺嘴山火山口植群過去遭受火燒影響，加上水牛活動頻繁致使排遺較多所致。

表 6. 磺嘴山及向天山火山口兩地區植群土壤分析結果(資料來源：本研究)

地點	植群型	pH 值	有機質 (%)	有效磷 mg/kg	陽離子交換 (CEC)cmol/kg
向天山	燈心草	4.40	7.46	14.40	27.9
向天山	圓果雀稗	5.38	9.70	6.05	32.2
向天山	過溝菜蕨	5.69	9.34	4.74	29.1
向天山	白背芒	4.67	12.00	4.17	38.9
向天山	森林	5.37	18.00	7.38	43.0
磺嘴山	類地毯草	4.96	17.10	3.81	35.6
磺嘴山	白背芒	4.20	30.80	10.60	55.8
磺嘴山	森林	4.43	19.80	3.53	44.7

第三節 植群圖製作

一、資料來源

至農林航空測量所之航攝影像圖資瀏覽服務平台 (<https://image.afasi.gov.tw/>)查詢，搜尋涵蓋研究區且清晰之航空照片。經查詢涵蓋向天山火山口與磺嘴山火山口之清晰航空照片後，向天山火山口購買年份最早(1978年)及最近(2018年)，磺嘴山火山口購買年份最早(1979年)及最近(2017年)，另陽明山國家公園管理處提供可判釋之影像包括向天山火山口(1988年)及磺嘴山火山口(2009年)，此6幅清晰航空照片之基本資料如表7。

二、判釋範圍研究區之裁切

以向天山火山口自訂中心點(X: 300388.8013, Y: 2784974.2181)劃定長寬各150 m的正方形範圍為航照判釋範圍(如圖25紅框之範圍)，並將1978年、1988年、2018年航照影像分別命名為ST1978、ST1988、ST2018(圖27)。

以磺嘴山火山口自訂中心點(X: 310950, Y: 2785800)劃定長寬各1000 m的正方形範圍為航照判釋範圍(如圖26紅框之範圍)，並將1979年、2009

年、2017年航照影像分別命名為ZH1979、ZH2009、ZH2017(圖28)。

三、航照判釋之地景類型

由於向天山火山口與磺嘴山火山口周邊植群並非單一植物所構成，且航空照片之解析度僅能進行植群之外觀形相的判釋，尚無法由航照進行植相分類，因此航照判釋在實務上僅能配合形相進行地景類型的判釋。本計畫將航空照片判釋區分為5種地景類型：F森林、L長草、S短草、B裸地、W水域，其所代表之地景類型如表8。

表7. 涵蓋向天山火山口與磺嘴山火山口判釋研究區之航空照片的基本資料(資料來源：農林航空測量所)

涵蓋範圍	向天山火山口	磺嘴山火山口
檔名	96232040_67P082_239.tif	97233024_68P025_011c.tif
圖號	96232040	97233024
圖名	中青學	磺嘴山
拍攝日期	1978/12/7	1979/6/2
地面解析度	0.25 m	0.25 m
座標系統	TWD97	TWD97
檔名	77p139_8264.tif	97233024_090424x_64~047 8_rgb.tif
圖號	77p139_8264	97233024
圖名	--	磺嘴山
拍攝日期	1988/12/19	2009/4/24
地面解析度	0.25568421	0.25 m
座標系統	TWD97	TWD97
檔名	96232040_180612_0249_mt bn.tif	97233024_170807_0318_mt bnc.tif
圖號	96232040	97233024
圖名	中青學	磺嘴山
拍攝日期	2018/6/12	2017/8/7
地面解析度	0.25 m	0.25 m
座標系統	TWD97	TWD97



圖 25. 向天山火山口航照之判釋範圍(紅框)裁切。(資料來源：本研究)

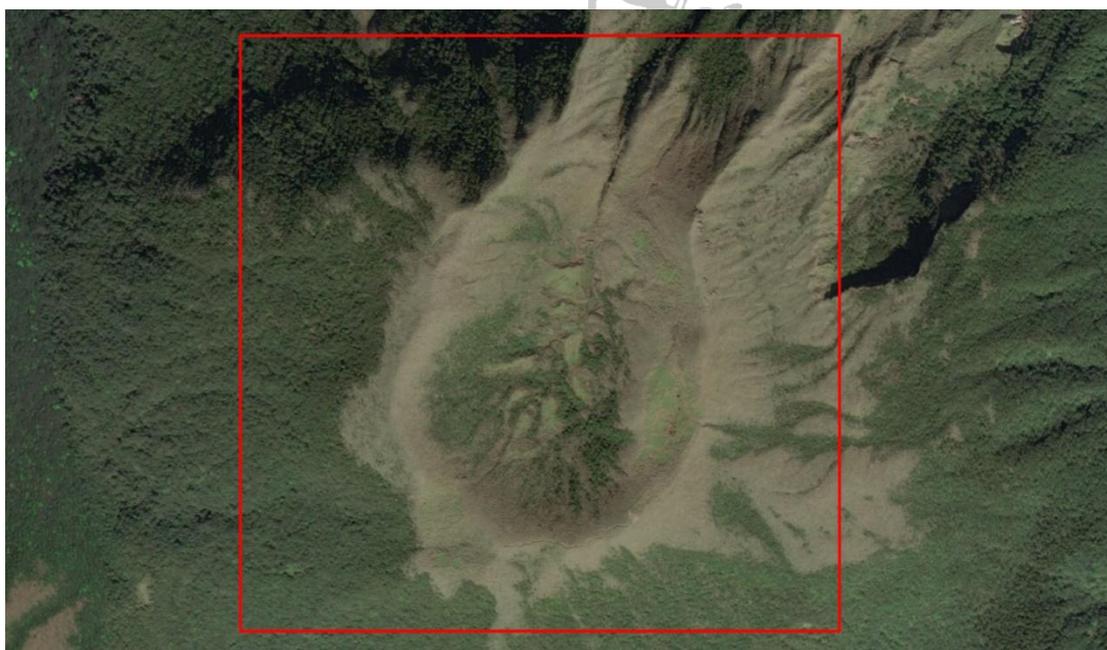


圖 26. 礮嘴山火山口航照之判釋範圍(紅框)裁切。(資料來源：本研究)

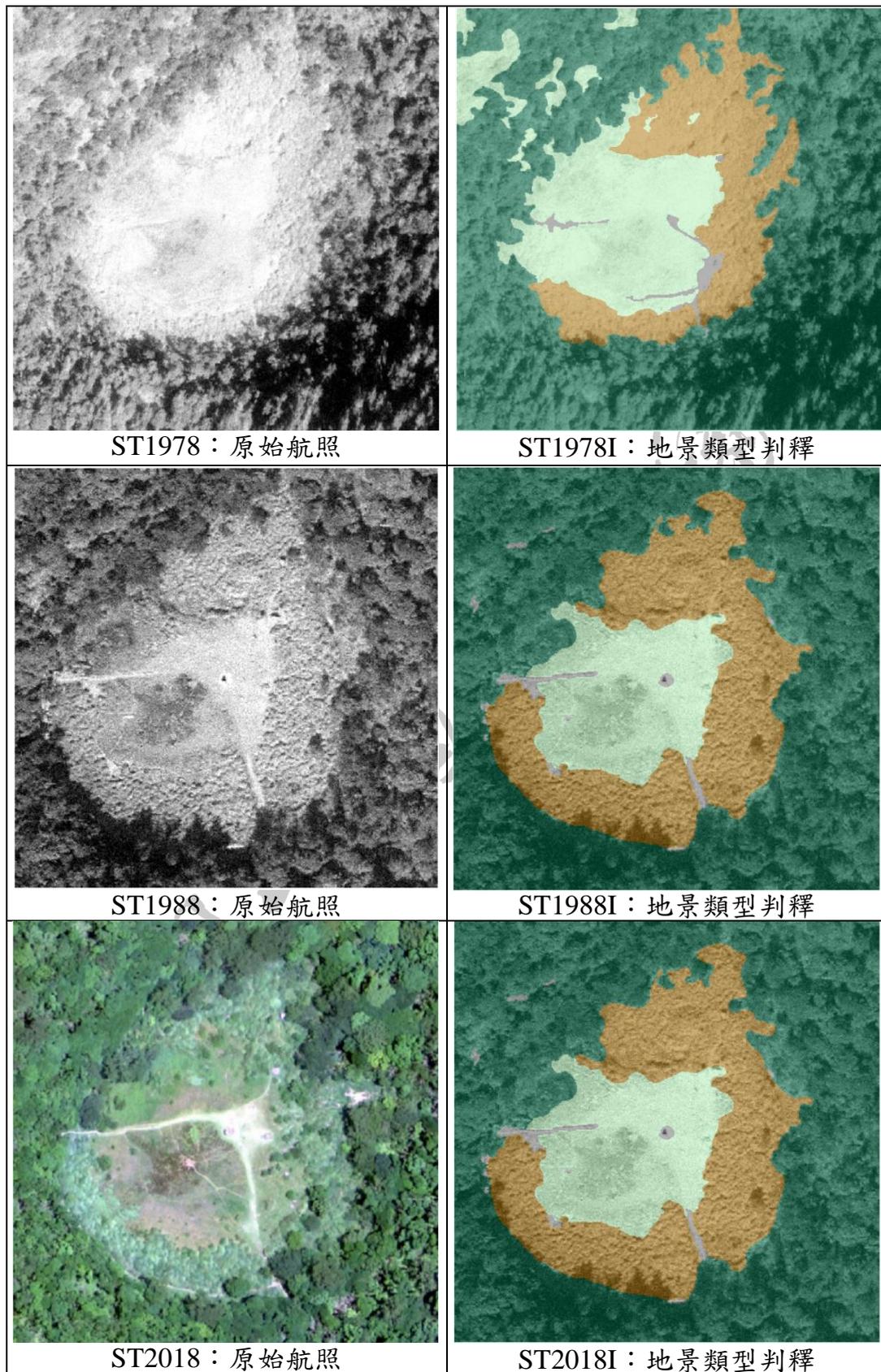


圖27. 向天山火山口1978年、1988年、2018年航照及其地景類型判釋。(資料來源：本研究)

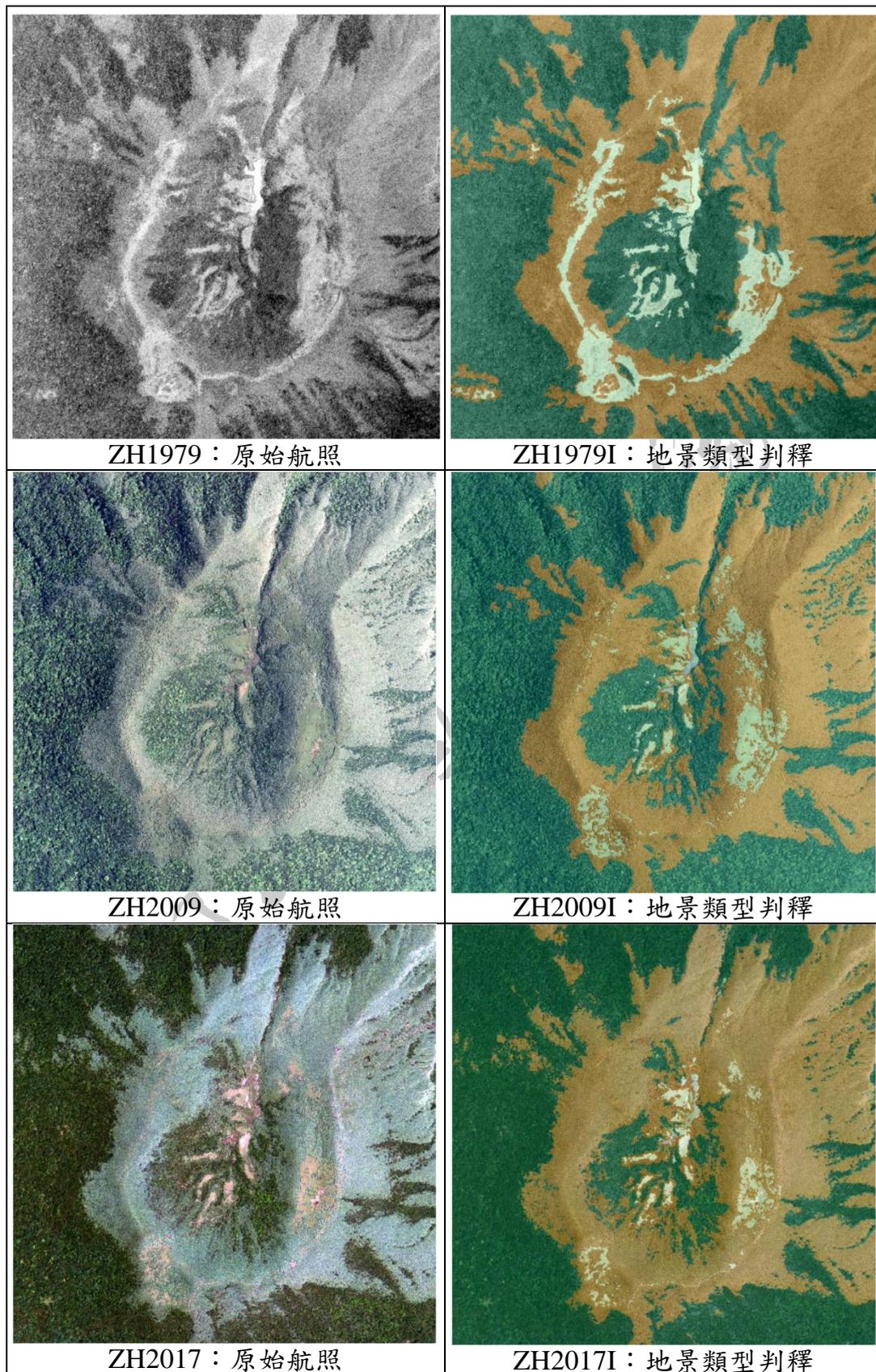


圖28. 磺嘴山火山口1979年、2009年、2018年航照及其地景類型判釋。(資料來源：本研究)

表8. 航空照片判釋的5種地景類型 (資料來源：本研究)

代碼	地景類型	category	內容
F	森林	Forest	由樹木所構成之林相
L	長草	Long grass	由芒草所構成的高大草類
S	短草	Short grass	形成外觀為低矮草生地之草類
B	裸地	Bare land	裸露之地表
W	水域	Water	水體

(一)數化作業

針對向天山火山口與磺嘴山火山口航照影像ST1978、ST1988、ST2018、ZH1979、ZH2009、ZH2017影像以ArcMap應用程式進行數化作業，其流程如圖29。

1. 建立作業圖層

以ArcMap建立作業圖層，將ST1978、ST1988、ST2018及ZH1979、ZH2009、ZH2017影像判釋(image interpretation)結果數化檔分別命名為ST1978I、ST1988I、ST2018I及ZH1979I、ZH2009I、ZH2017I。各圖層之作業屬性設定如下：座標TWD_1997_TM_Taiwan；WKID: 3826 Authority: EPSG；XY Tolerance: 0.001 Meter。航照判釋之各圖層的欄位定義如表9。

表9. 航照判釋之各圖層的欄位定義

欄位名稱	型態	長度
CODE	TEXT	1
TYPE	Short	
TYPE_NAME	TEXT	50
CATEGORY	TEXT	50

2. 判釋分類圖例設定

以TYPE_NAME欄位設定單一值(unique value)類別判釋分類圖例，以供後續數化自動導入CODE、TYPE與CATEGORY欄位值。

3. 數化/修正

以ST1978、ST1988、ST2018及ZH1979、ZH2009、ZH2017影像進行分類判釋數化，數化時以進階數化功能建立共邊多邊形。

4. 拓樸檢查

為防止數化過程的的數化過程產生人為的錯誤造成多邊形重疊(overlap)或間隙(gaps)，以致判釋地景類型的總面積與航照判釋範圍總面積不一致，使用地理資訊系統(Geographic Information System,GIS)具有空間資料拓樸(Topology)檢核功能，以不能重疊(Must not overlap)與不能有間隙(Must not have gaps)兩種檢核規則進行檢核，如有檢出重疊或間隙的圖資問題，則回到數化/修正階段進行人工修正。檢核規則說明如圖30。

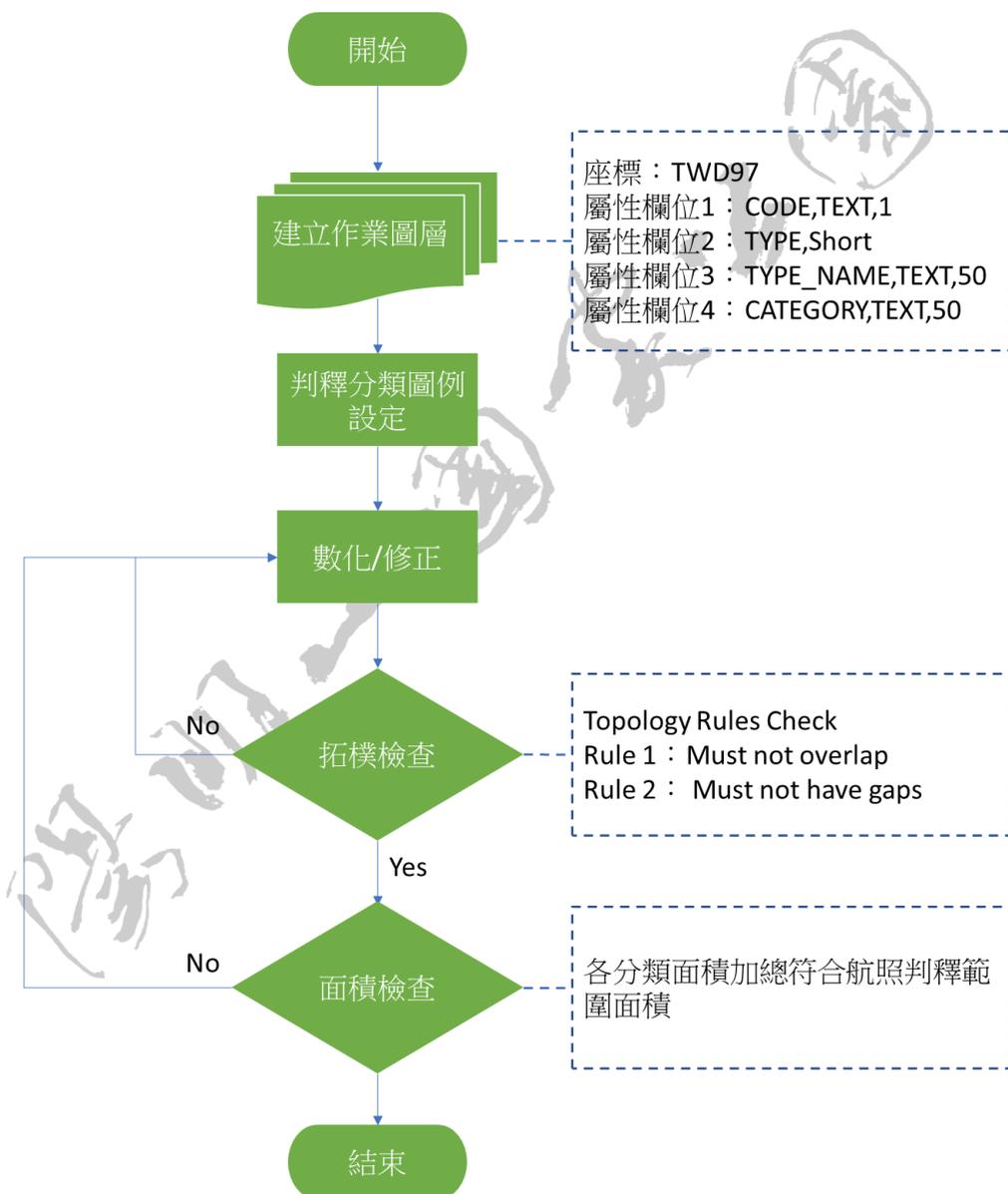


圖29. 航照判釋分類及數化作業流程。

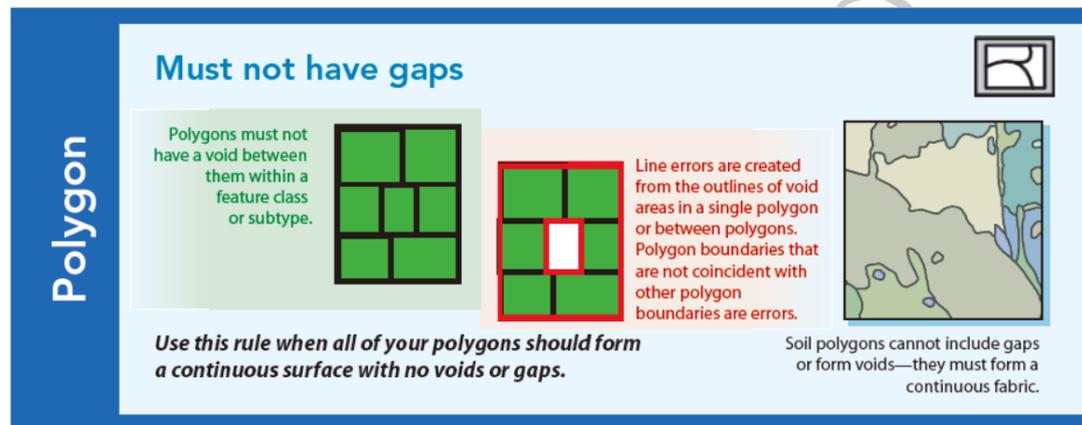
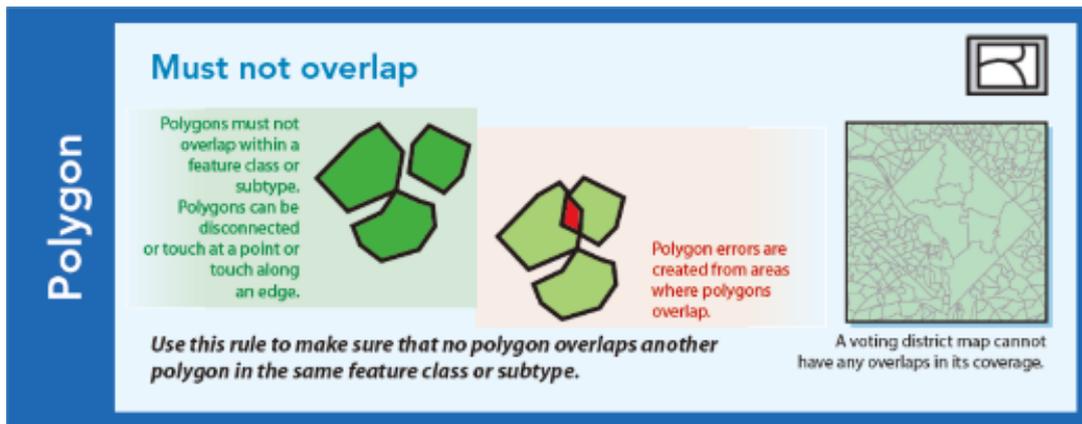


圖30. 空間資料拓樸(Topology)檢核規則。

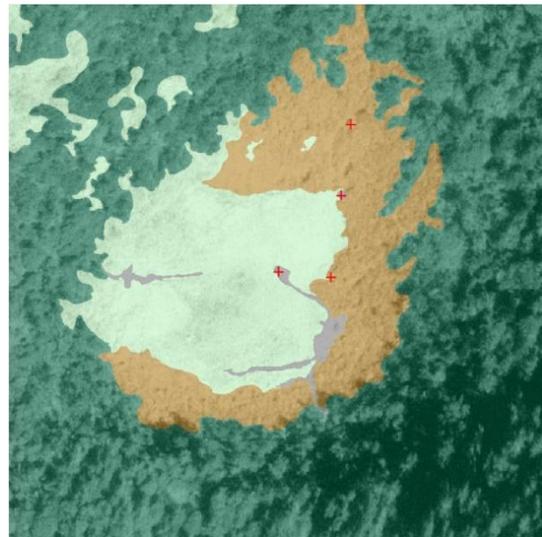
(資料來源：esri ArcGIS Geodatabase Topology Rules)

5. 面積檢查

將航照判釋數化圖層的各判釋分類數化多邊形面積值加總計算，並與航照判釋範圍多邊形的總面積進行檢驗。若二者之總面積不一致，則回到數化/修正階段進行人工修正。

6. 航照判釋數化結果

- 圖31為ST1978判釋數化後之結果：地景類型圖ST1978I及其屬性表。
- 圖32為ST1988判釋數化後之結果：地景類型圖ST1988I及其屬性表。
- 圖33為ST2018判釋數化後之結果：地景類型圖ST2018I及其屬性表。
- 圖34為ZH1979判釋數化後之結果：地景類型圖ZH1979I及其屬性表。
- 圖35為ZH2009判釋數化後之結果：地景類型圖ZH2009I及其屬性表。
- 圖36為ZH2017判釋數化後之結果：地景類型圖ZH2017I及其屬性表。



ST1978判釋數化結果檔：ST1978I

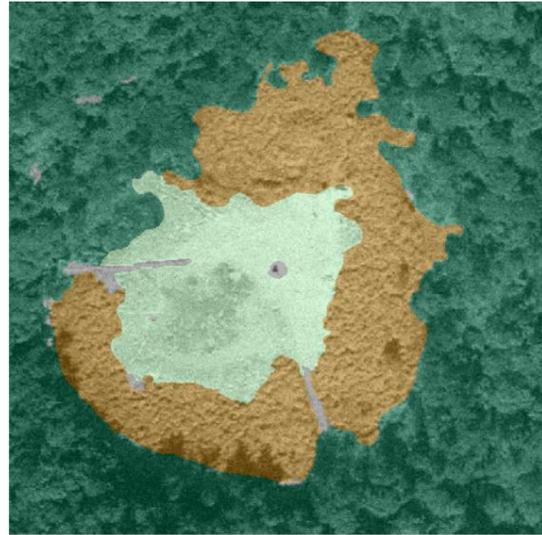
ST1978I套疊ST1978影像

森林
 長草
 短草
 裸地

OBJECTID *	SHAPE *	CODE	TYPE	TYPE_Name	CATEGORY	SHAPE_Length	SHAPE_Area
1	Polygon	F	1	森林	Forest	1242.827671	14246.597881
2	Polygon	F	1	森林	Forest	11.535265	9.435023
3	Polygon	F	1	森林	Forest	35.446067	44.834169
4	Polygon	B	4	裸地	Bare land	597.52785	554.573871
5	Polygon	L	3	長草	Long grass	394.844374	1471.396059
6	Polygon	F	1	森林	Forest	16.906947	20.795451
7	Polygon	F	1	森林	Forest	15.275661	17.516691
8	Polygon	F	1	森林	Forest	13.310722	12.554919
9	Polygon	F	1	森林	Forest	22.344727	21.141536
10	Polygon	B	4	裸地	Bare land	9.278863	5.590865
11	Polygon	B	4	裸地	Bare land	37.408097	21.40269
12	Polygon	L	3	長草	Long grass	697.971588	2501.387465
13	Polygon	S	2	短草	Short grass	552.894582	1612.171113
14	Polygon	S	2	短草	Short grass	460.21968	1376.941665
15	Polygon	S	2	短草	Short grass	54.769414	69.47665

ST1978I之屬性表

圖31. 向天山火山口ST1978地景類型判釋數化結果圖層(ST1978I)及其屬性表。(資料來源：本研究)



ST1988判釋數化結果檔：ST1988I

ST1988I套疊ST1988影像

森林
 長草
 短草
 裸地

OBJECTID *	SHAPE *	CODE	TYPE	TYPE_NAME	CATEGORY	SHAPE_Length	SHAPE_Area
1	Polygon	L	3	長草	Long grass	263.210002	1859.557436
2	Polygon	L	3	長草	Long grass	542.999064	3439.251807
4	Polygon	B	4	裸地	Bare land	91.449523	95.05946
5	Polygon	B	4	裸地	Bare land	45.397534	40.854534
6	Polygon	B	4	裸地	Bare land	16.518396	20.421134
7	Polygon	B	4	裸地	Bare land	10.203528	3.962747
8	Polygon	B	4	裸地	Bare land	17.760823	14.650983
9	Polygon	B	4	裸地	Bare land	8.441195	2.979189
10	Polygon	B	4	裸地	Bare land	17.887186	10.051193
11	Polygon	B	4	裸地	Bare land	7.888503	3.215812
12	Polygon	B	4	裸地	Bare land	7.996339	3.584809
13	Polygon	B	4	裸地	Bare land	12.196506	5.757616
16	Polygon	S	2	短草	Short grass	362.913117	3008.535452
18	Polygon	B	4	裸地	Bare land	17.359025	12.01422
19	Polygon	B	4	裸地	Bare land	11.297605	4.799038
20	Polygon	B	4	裸地	Bare land	15.885202	7.016732
21	Polygon	F	1	森林	Forest	1198.880416	13927.401552
24	Polygon	F	1	森林	Forest	15.346365	12.548999
25	Polygon	F	1	森林	Forest	11.611651	6.072117
26	Polygon	F	1	森林	Forest	16.39752	11.136913
27	Polygon	F	1	森林	Forest	20.147799	11.161318

ST1988I之屬性表(部份)

圖32. 向天山火山口ST1988地景類型判釋數化結果圖層(ST1988I)及其屬性表。(資料來源：本研究)



ST2018判釋數化結果檔：ST2018I

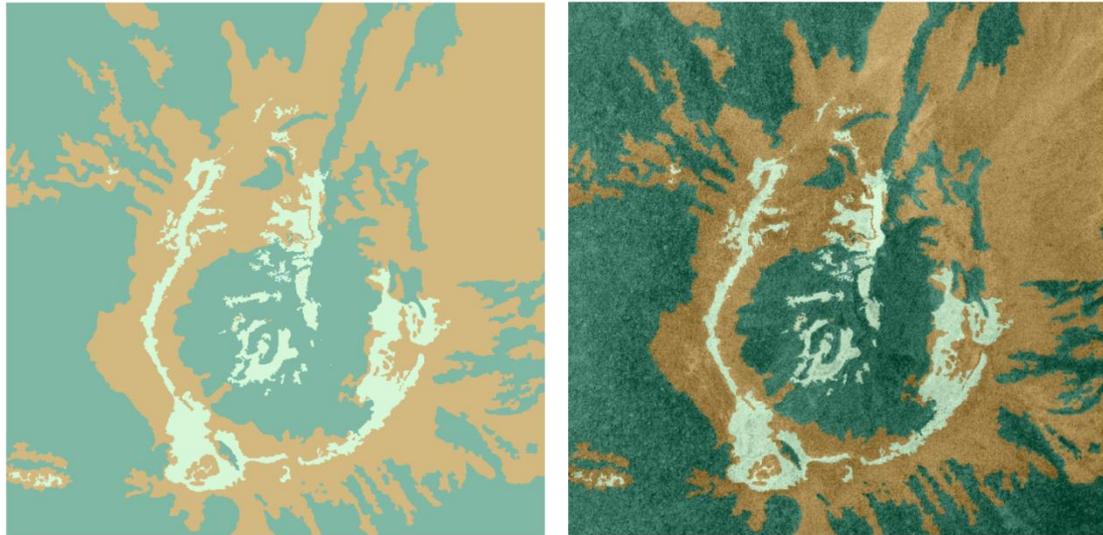
ST2018I套疊ST2018影像

森林
 長草
 短草
 裸地

OBJECTID *	SHAPE *	CODE	TYPE	TYPE_Name	CATEGORY	SHAPE_Length	SHAPE_Area
1	Polygon	F	1	森林	Forest	1242.827671	14246.597881
2	Polygon	F	1	森林	Forest	11.535265	9.435023
3	Polygon	F	1	森林	Forest	35.446067	44.834169
4	Polygon	B	4	裸地	Bare land	597.52785	554.573871
5	Polygon	L	3	長草	Long grass	394.844374	1471.396059
6	Polygon	F	1	森林	Forest	16.906947	20.795451
7	Polygon	F	1	森林	Forest	15.275661	17.516691
8	Polygon	F	1	森林	Forest	13.310722	12.554919
9	Polygon	F	1	森林	Forest	22.344727	21.141536
10	Polygon	B	4	裸地	Bare land	9.278863	5.590865
11	Polygon	B	4	裸地	Bare land	37.408097	21.40269
12	Polygon	L	3	長草	Long grass	697.971588	2501.387465
13	Polygon	S	2	短草	Short grass	552.894582	1612.171113
14	Polygon	S	2	短草	Short grass	460.21968	1376.941665
15	Polygon	S	2	短草	Short grass	54.769414	69.47665

ST2018I之屬性表(部份)

圖33. 向天山火山口ST2018地景類型判釋數化結果圖層(ST2018I)及其屬性表。(資料來源：本研究)



ZH1979判釋數化結果檔：ZH1979I

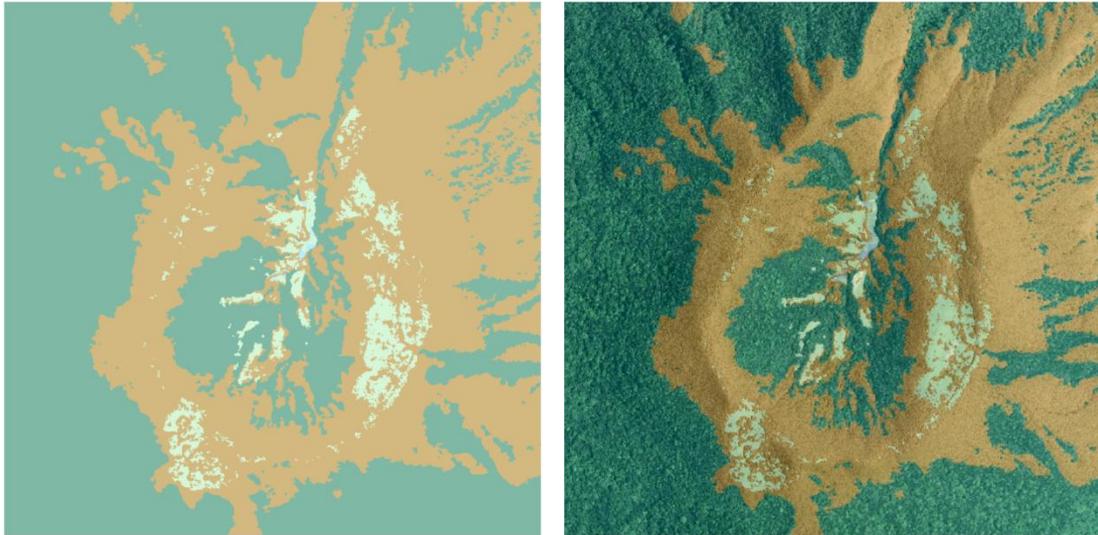
ZH1979I套疊ZH1979影像

森林
 長草
 短草
 水域

OBJECTID *	SHAPE *	CODE	TYPE	TYPE_NAME	GATEGORY	SHAPE_Length	SHAPE_Area
42	Polygon	F	1	森林	Forest	33.334201	52.228836
43	Polygon	F	1	森林	Forest	37.126734	44.410802
44	Polygon	F	1	森林	Forest	20.150616	22.672713
45	Polygon	F	1	森林	Forest	46.07061	43.677589
73	Polygon	F	1	森林	Forest	511.615404	3853.746576
74	Polygon	F	1	森林	Forest	96.541537	223.465152
75	Polygon	F	1	森林	Forest	5588.803114	128326.608253
81	Polygon	F	1	森林	Forest	1442.725117	79575.534596
87	Polygon	F	1	森林	Forest	302.598318	1504.363624
88	Polygon	F	1	森林	Forest	23.027459	32.26717
93	Polygon	F	1	森林	Forest	318.423621	1697.099367
98	Polygon	F	1	森林	Forest	336.123156	4536.256083
99	Polygon	F	1	森林	Forest	466.462833	7999.869617
100	Polygon	F	1	森林	Forest	1275.957337	33883.436768
105	Polygon	F	1	森林	Forest	19.21241	20.222214
109	Polygon	F	1	森林	Forest	218.766994	2331.060779
110	Polygon	F	1	森林	Forest	74.01296	343.606959

ZH1979I之屬性表(部份)

圖34. 磺嘴山火山口ZH1979地景類型判釋數化結果圖層(ZH1979I)及其屬性表。(資料來源：本研究)



ZH2009判釋數化結果檔：ZH2009I

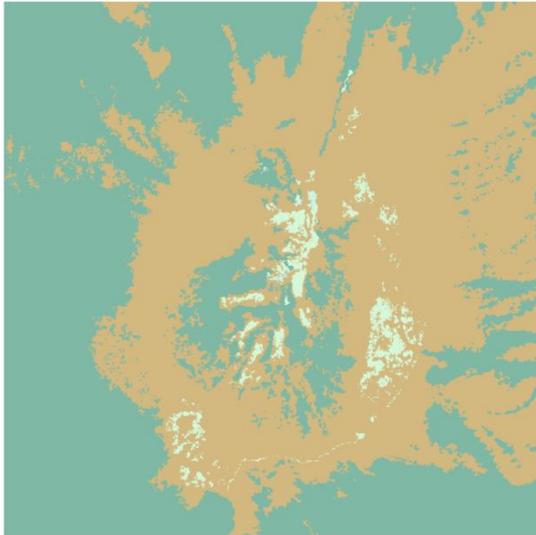
ZH2009I套疊ZH2009影像

森林
 長草
 短草
 水域

OBJECTID *	SHAPE *	CODE	TYPE	TYPE NAME	GATEGORY	SHAPE_Length	SHAPE_Area
1	Polygon	W	5	水域	Water	102.65192	99.157316
2	Polygon	W	5	水域	Water	22.874108	23.717067
3	Polygon	W	5	水域	Water	20.847174	11.648728
4	Polygon	W	5	水域	Water	8.584302	5.212493
5	Polygon	W	5	水域	Water	5.911299	2.435617
6	Polygon	W	5	水域	Water	253.387131	466.214822
14	Polygon	W	5	水域	Water	28.165432	30.22557
15	Polygon	W	5	水域	Water	16.183381	12.543039
16	Polygon	W	5	水域	Water	32.958886	46.949343
22	Polygon	S	2	短草	Short grass	80.781498	234.932524
23	Polygon	S	2	短草	Short grass	424.258596	1084.930903
24	Polygon	L	3	長草	Long grass	31.338124	20.919083
25	Polygon	L	3	長草	Long grass	23.161367	14.106016
27	Polygon	L	3	長草	Long grass	30.740202	12.711988
28	Polygon	L	3	長草	Long grass	6.786153	2.493347
29	Polygon	L	3	長草	Long grass	2.864677	0.603163
30	Polygon	L	3	長草	Long grass	3.1622	0.730093

ZH2009I之屬性表(部份)

圖35. 磺嘴山火山口ZH2009地景類型判釋數化結果圖層(ZH2009I)及其屬性表。(資料來源：本研究)



ZH2017判釋數化結果檔：ZH2017I

ZH2017I套疊ZH2017影像

森林
 長草
 短草
 水域

87	Polygon	W	5	水域	Water	13.677564	6.970906
88	Polygon	W	5	水域	Water	198.757879	144.012075
91	Polygon	W	5	水域	Water	26.60819	24.706097
92	Polygon	W	5	水域	Water	9.671731	3.770432
93	Polygon	W	5	水域	Water	16.560185	16.097401
94	Polygon	W	5	水域	Water	8.801772	4.370862
95	Polygon	W	5	水域	Water	33.458733	35.09219
98	Polygon	W	5	水域	Water	35.435917	17.973882
99	Polygon	W	5	水域	Water	22.459913	19.622565
100	Polygon	W	5	水域	Water	9.697106	6.8324
101	Polygon	W	5	水域	Water	14.368697	5.724281
102	Polygon	S	3	短草	Short grass	123.394514	174.484947
107	Polygon	S	3	短草	Short grass	1.339873	0.039819
108	Polygon	S	3	短草	Short grass	1026.731163	1948.86551
295	Polygon	S	3	短草	Short grass	207.721995	333.670729
299	Polygon	S	3	短草	Short grass	9.29692	6.448191
300	Polygon	S	3	短草	Short grass	12.076734	7.86072
301	Polygon	S	3	短草	Short grass	6.83881	2.712626
302	Polygon	S	3	短草	Short grass	7.062425	3.049407
303	Polygon	S	3	短草	Short grass	13.49505	8.17004
304	Polygon	S	3	短草	Short grass	19.717778	15.758687
306	Polygon	S	3	短草	Short grass	527.965248	802.399065
309	Polygon	S	3	短草	Short grass	11.473682	6.589985

ZH2017I之屬性表(部份)

圖36. 磺嘴山火山口ZH2017地景類型判釋數化結果圖層(ZH2017I)及其屬性表。(資料來源：本研究)

第四節 歷年植群變遷分析

一、向天山火山口之各地景類型的面積變化

將ST1978I(圖34)、ST1988I(圖35)、ST2018I(圖36)的各地景類型面積進行計算，即可知各地景類型由1978年、1988年至2018年之面積變化(ST1988I - ST1978I、ST2018I - ST1988I、ST2018I - ST1978I)，其結果如表10、圖37、圖38、圖39所示，並說明如下。

(一)森林植群型之面積變化

ST1978I的森林植群型總面積為14866.58 m²，ST1988I的森林植群型總面積為13968.32 m²，將ST1988I與ST1978I進行疊合計算，可知森林植群型面積變化為-898.26 m²(如表10、圖37)

ST1988I的森林植群型總面積為13968.32 m²，ST2018I的森林植群型總面積為14636.32 m²，將ST1988I與ST2018I進行疊合計算，可知森林植群型面積變化為+668.00 m²(如表10、圖38)

ST1978I的森林植群型總面積為14866.58 m²，ST2018I的森林植群型總面積為14636.32 m²，將ST2018I與ST1978I進行疊合計算，可知森林植群型面積變化為-230.26 m²(如表10、圖39)。

(二)長草植群型之面積變化

ST1978I圖層的長草植群型總面積為3411.88 m²，ST1988I圖層的長草植群型總面積為5298.81 m²，將ST1988I與ST1978I進行疊合計算，可知長草植群型面積變化為+1886.93 m²(如表10、圖37)。

ST1988I圖層的長草植群型總面積為5298.81 m²，ST2018I圖層的長草植群型總面積為3982.84 m²，將ST2018I與ST1988I進行疊合計算，可知長草植群型面積變化為-1315.97 m²(如表10、圖38)。

ST1978I圖層的長草植群型總面積為3411.88 m²，ST2018I圖層的長草植群型總面積為3982.84 m²，將ST2018I與ST1978I進行疊合計算，可知長草植群型面積變化為+570.96 m²(如表10、圖39)。

(三)短草植群型之面積變化

ST1978I圖層的短草植群型總面積為4019.61 m²，ST1988I圖層的短草植群型總面積為3008.54 m²，將ST1988I與ST1978I進行疊合計算，可知短草植群型面積變化為-1011.07 m² (如表10、圖37)。

ST1988I圖層的短草植群型總面積為4019.61 m²，ST2018I圖層的短草植群型總面積為3008.54 m²，將ST2018I與ST1988I進行疊合計算，可知短草植群型面積變化為+252.52 m² (如表10、圖38)。

ST1978I圖層的短草植群型總面積為4019.61 m²，ST2018I圖層的短草植群型總面積為3261.06 m²，將ST2018I與ST1978I進行疊合計算，可知短草植群型面積變化為-758.55 m² (如表10、圖39)。

(四)裸地之面積變化

ST1978I圖層的裸地總面積為201.96 m²，ST1988I圖層的裸地總面積為224.36 m²，將ST1988I與ST1978I進行疊合計算，可知裸地面積變化為+22.4 m² (如表10、圖37)。

ST1988I圖層的裸地總面積為224.36 m²，ST2018I圖層的裸地總面積為619.81 m²，將ST2018I與ST1988I進行疊合計算，可知裸地面積變化為+395.45 m² (如表10、圖38)。

ST1978I圖層的裸地總面積為201.96 m²，ST2018I圖層的裸地總面積為619.81 m²，將ST2018I與ST1978I進行疊合計算，可知裸地面積變化為+417.85 m² (如表10、圖39)。

表10. 向天山火山口ST1978I、ST1988I、ST2018I之各地景類型面積(m²)

	森林	長草	短草	裸地
ST1978I	14866.58	3411.88	4019.61	201.96
ST1988I	13968.32	5298.81	3008.54	224.36
ST2018I	14636.32	3982.84	3261.06	619.81
ST1988I - ST1978I	-898.26	1886.93	-1011.07	22.4
ST2018I - ST1988I	668.00	-1315.97	252.53	395.45
ST2018I - ST1978I	-230.26	570.96	-758.55	417.85

(資料來源: 本研究)

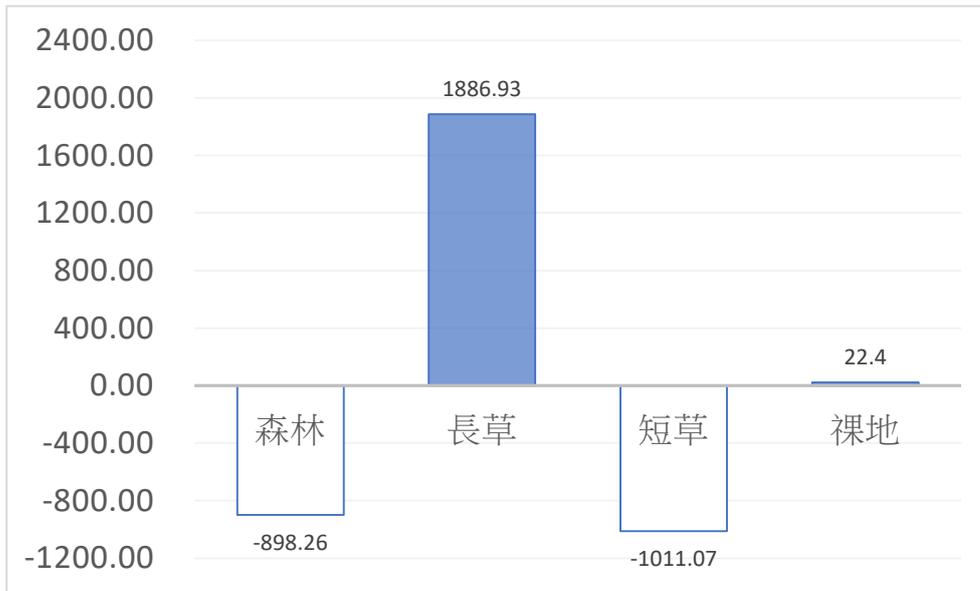


圖 37. 向天山火山口各地景類型由 1978 年至 1988 年之面積變化。
(單位：m²)(資料來源：本研究)



圖 38. 向天山火山口各地景類型由 1988 年至 2018 年之面積變化。
(單位：m²)(資料來源：本研究)

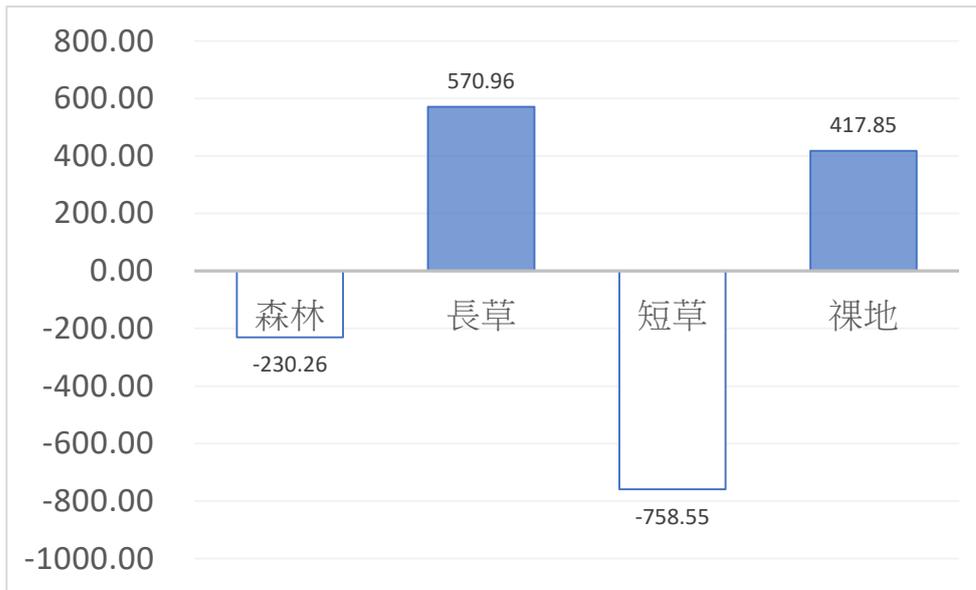


圖39. 向天山火山口各地景類型由1978年至2018年之面積變化。

(單位：m²) (資料來源：本研究)

(五)各地景類型之變遷率

為瞭解不同時期間土地覆蓋類型的變遷狀態，進一步以比例方式呈現(吳麗娟，1999；楊婉如，2005)，包括：

1. 不變率代表兩個時間土地覆蓋未曾變化區域的面積佔總面積的比例；變遷率則為轉變為其他地景類型比例，即1 - 不變率。

$$\text{不變率} = \frac{\sum_{i=1}^k n_{ij}}{n}$$

$$\text{變遷率} = 1 - \text{不變率}$$

2. 保留率代表前期的某類型(j)至後期未轉為其他地景類型的比例；轉出率則為轉變為其他地景類型的比例，即1 - 保留率。

$$\text{保留率}_j = \frac{n_{jj}}{n_{+j}}$$

$$\text{轉出率}_j = 1 - \text{保留率}_j$$

3. 繼承率代表後期的某類型(i)是由前期的同類型繼承而來的比例；轉入率則為後期某類型是由前期其他類型轉入的比例，即1 - 繼承率。

$$\text{繼承率}_i = \frac{n_{ii}}{n_{i+}}$$

$$\text{轉入率}_i = 1 - \text{繼承率}_i$$

表11為向天山火山口1978-1988年、1988-2018年及1978-2018年各地景類型的變遷比例摘要表，其中，不變率、保留率、繼承率均是以森林最高，裸地最低。圖40為1978-1988年向天山火山口各地景類型的不變率與變遷率，圖41為1978-1988年向天山火山口各地景類型的保留率與轉出率，圖42為1978-1988年向天山火山口各地景類型的繼承率與轉入率，圖43為1988-2018年向天山火山口各地景類型的不變率與變遷率，圖44為1988-2018年向天山火山口各地景類型的保留率與轉出率，圖45為1988-2018年向天山火山口各地景類型的繼承率與轉入率，圖46為1978-2018年向天山火山口各地景類型的不變率與變遷率，圖47為1978-2018年向天山火山口各地景類型的保留率與轉出率，圖48為1978-2018年向天山火山口各地景類型的繼承率與轉入率。(詳如表14矩陣表及p95探討)

表11. 向天山火山口各地景類型的變遷比例摘要表 (資料來源: 本研究)

1978-1988年向天山火山口各地景類型的變遷比例摘要表

	森林	長草	短草	裸地
不變率	56.33%	11.89%	11.45%	0.11%
變遷率	43.67%	88.11%	88.55%	99.89%
保留率	85.26%	78.40%	64.08%	12.64%
轉出率	14.74%	21.60%	35.92%	87.36%
繼承率	90.74%	50.48%	85.61%	11.38%
轉入率	9.26%	49.52%	14.39%	88.62%

1988-2018年向天山火山口各地景類型的變遷比例摘要表

	森林	長草	短草	裸地
不變率	58.12%	13.20%	9.53%	0.28%
變遷率	41.88%	86.80%	90.47%	99.72%
保留率	93.62%	56.05%	71.26%	28.33%
轉出率	6.38%	43.95%	28.74%	71.67%
繼承率	89.34%	74.57%	65.74%	10.25%
轉入率	10.66%	25.43%	34.26%	89.75%

1978-2018年向天山火山口各地景類型的變遷比例摘要表

	森林	長草	短草	裸地
不變率	56.85%	7.57%	9.79%	0.24%
變遷率	43.15%	92.43%	90.21%	99.76%
保留率	86.03%	49.92%	54.80%	26.40%
轉出率	13.97%	50.08%	45.20%	73.60%
繼承率	87.39%	42.76%	67.55%	8.60%
轉入率	12.61%	57.24%	32.45%	91.40%

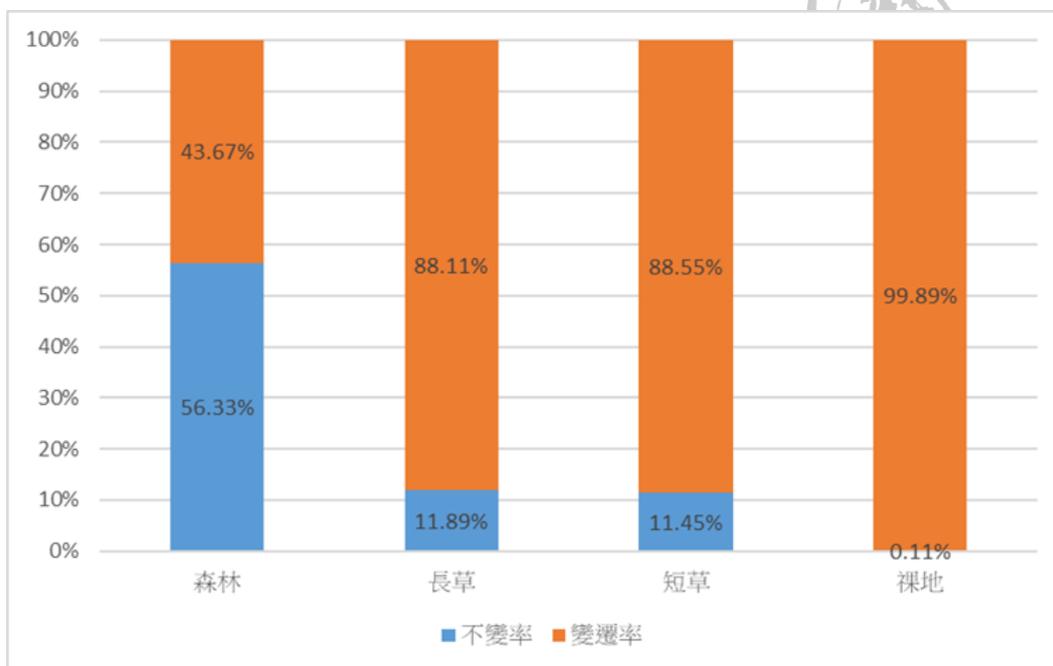


圖40. 1978-1988年向天山火山口各地景類型的不變率與變遷率。

(資料來源: 本研究)

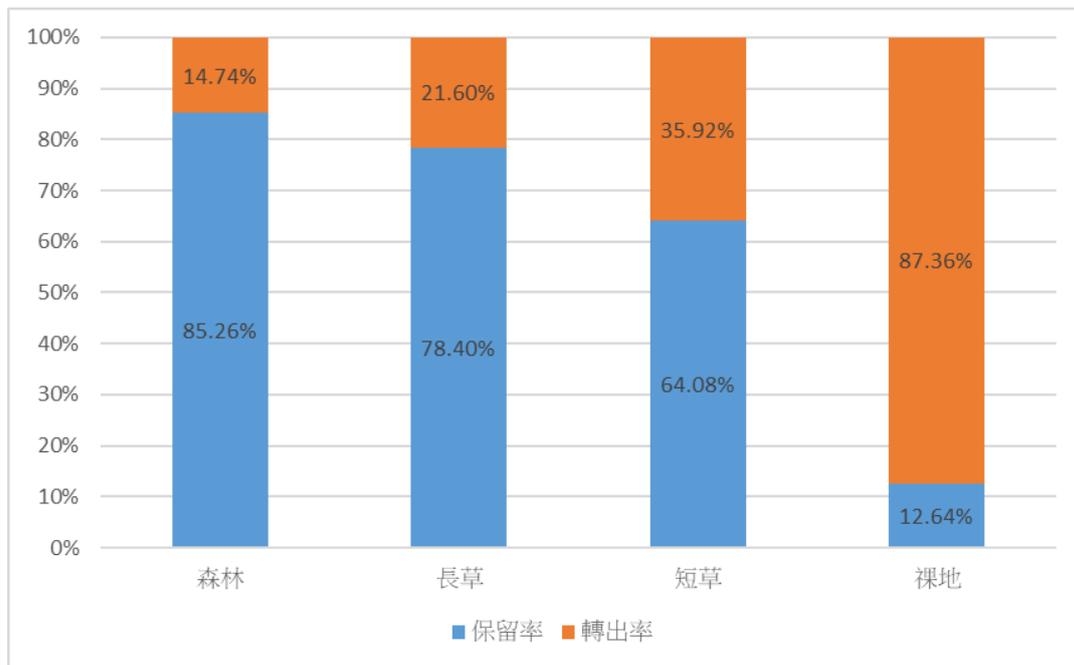


圖41. 1978-1988年向天山火山口各地景類型的保留率與轉出率。
(資料來源: 本研究)

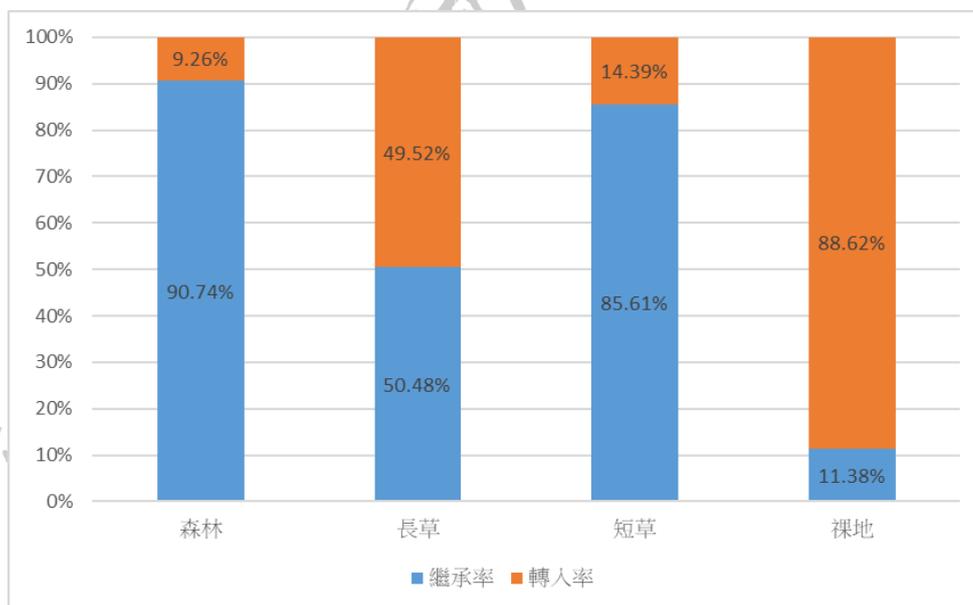


圖42. 1978-1988年向天山火山口各地景類型的繼承率與轉入率。
(資料來源: 本研究)

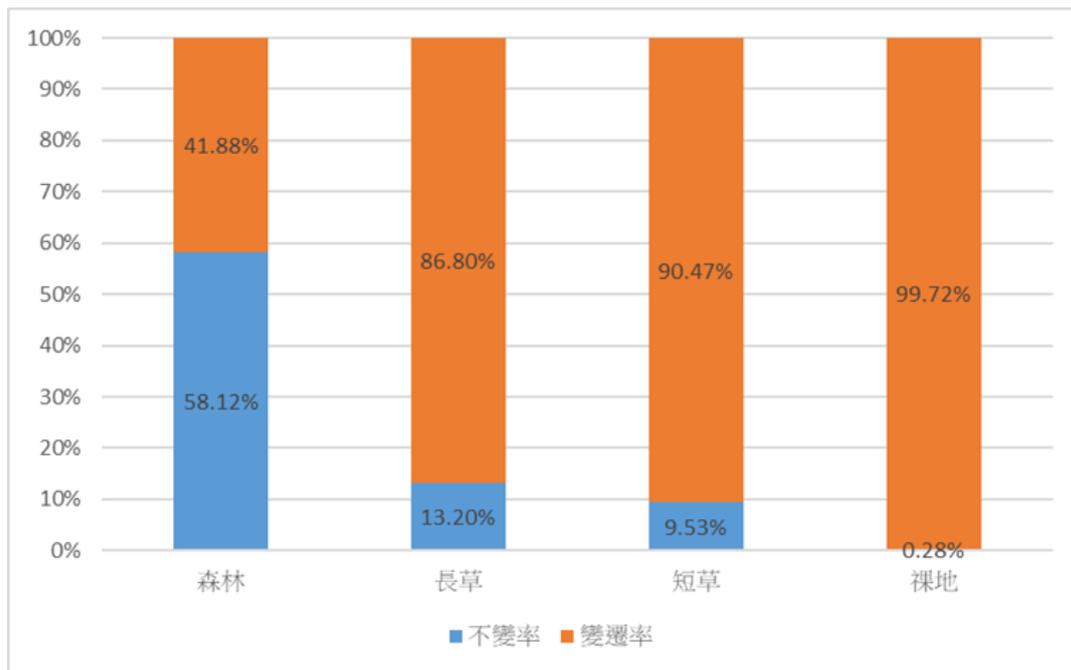


圖43. 1988-2018年向天山火山口各地景類型的不變率與變遷率。
(資料來源: 本研究)

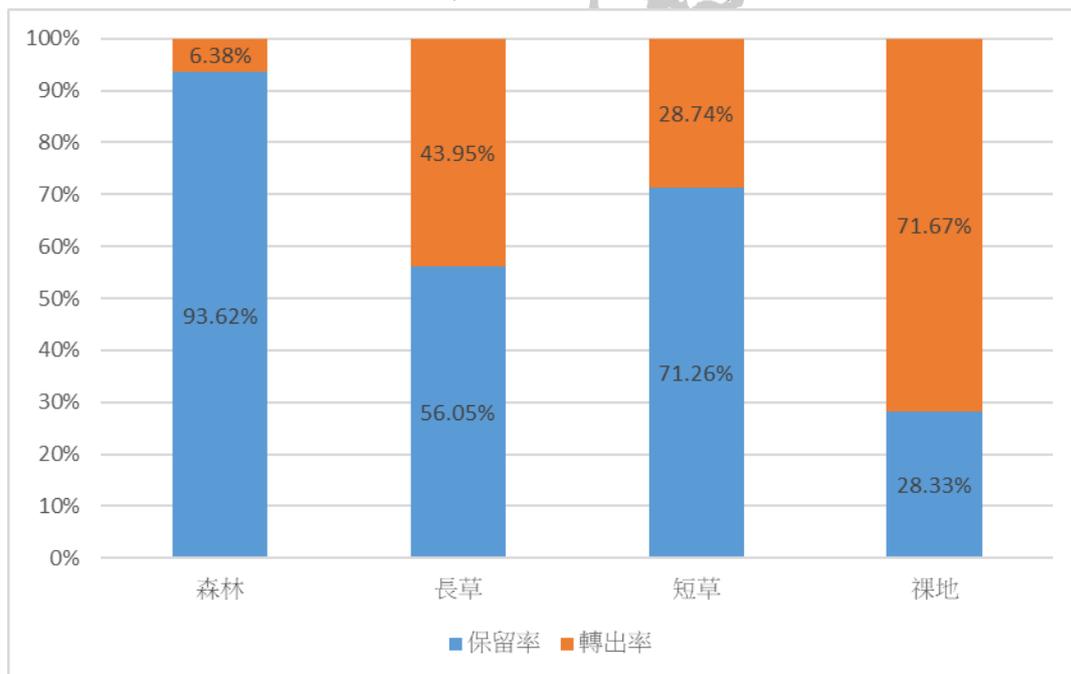


圖44. 1988-2018年向天山火山口各地景類型的保留率與轉出率。
(資料來源: 本研究)

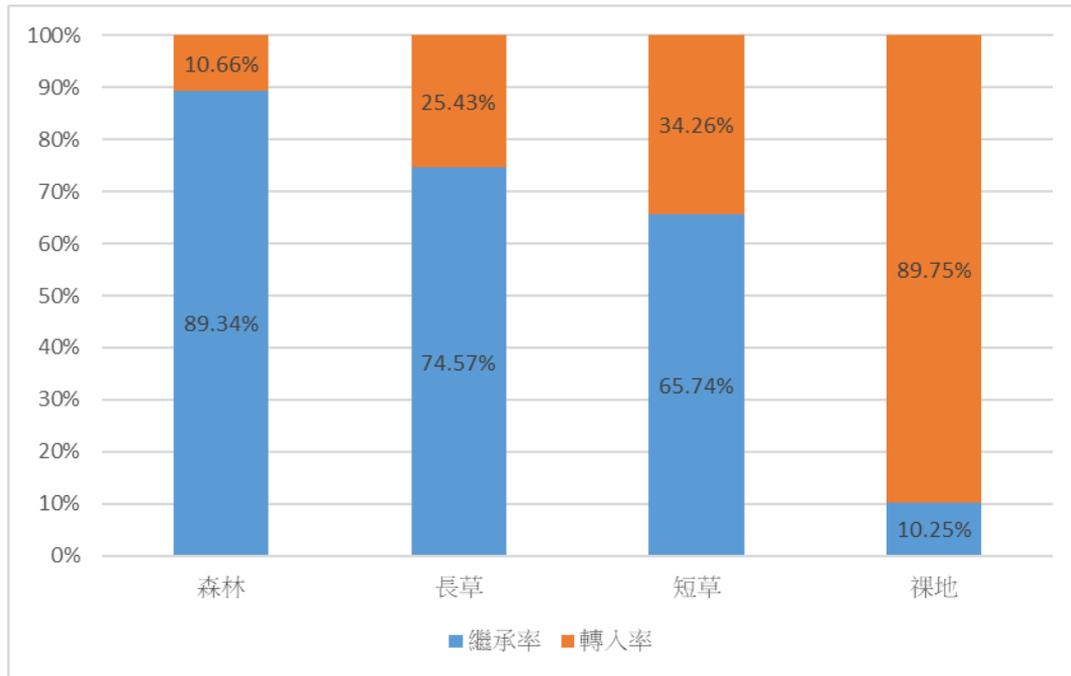


圖45. 1988-2018年向天山火山口各地景類型的繼承率與轉入率。
(資料來源: 本研究)

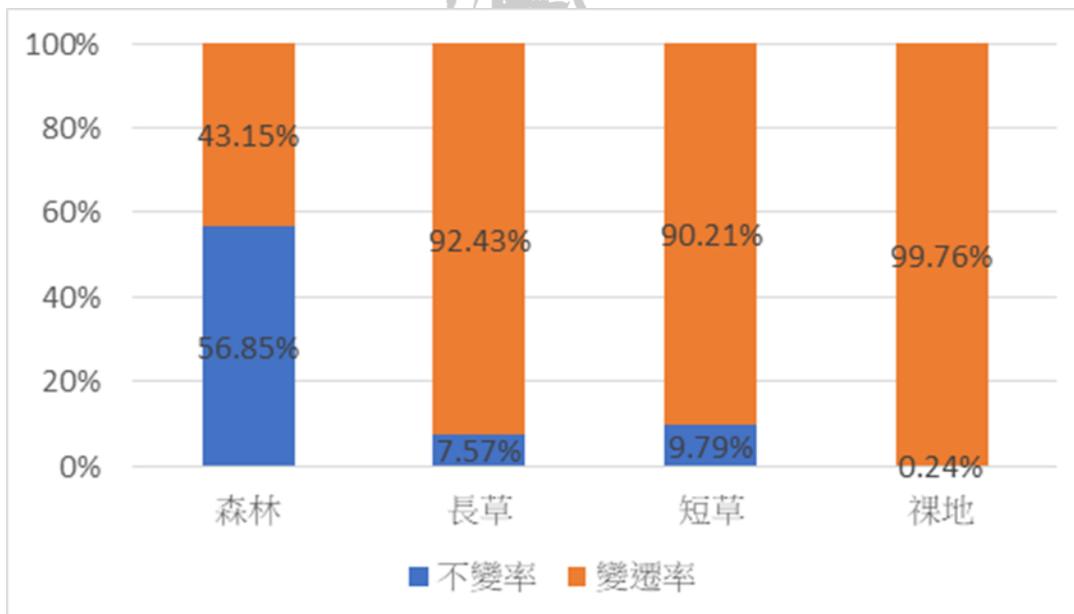


圖46. 1978-2018年向天山火山口各地景類型的不變率與變遷率。
(資料來源: 本研究)

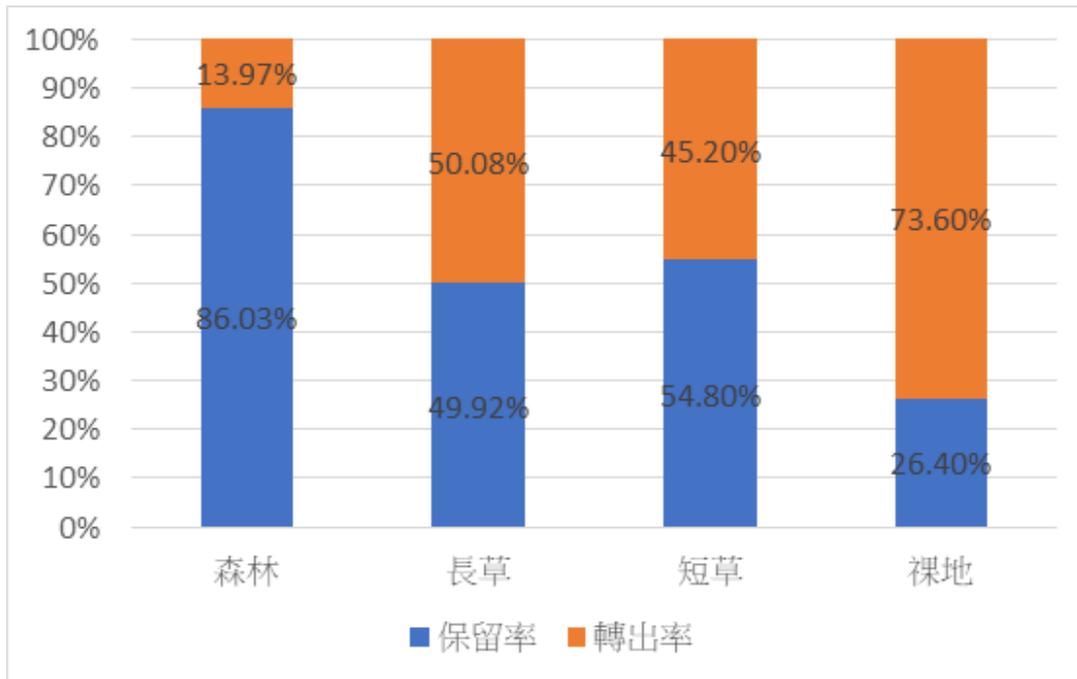


圖47. 1978-2018年向天山火山口各地景類型的保留率與轉出率。
(資料來源: 本研究)

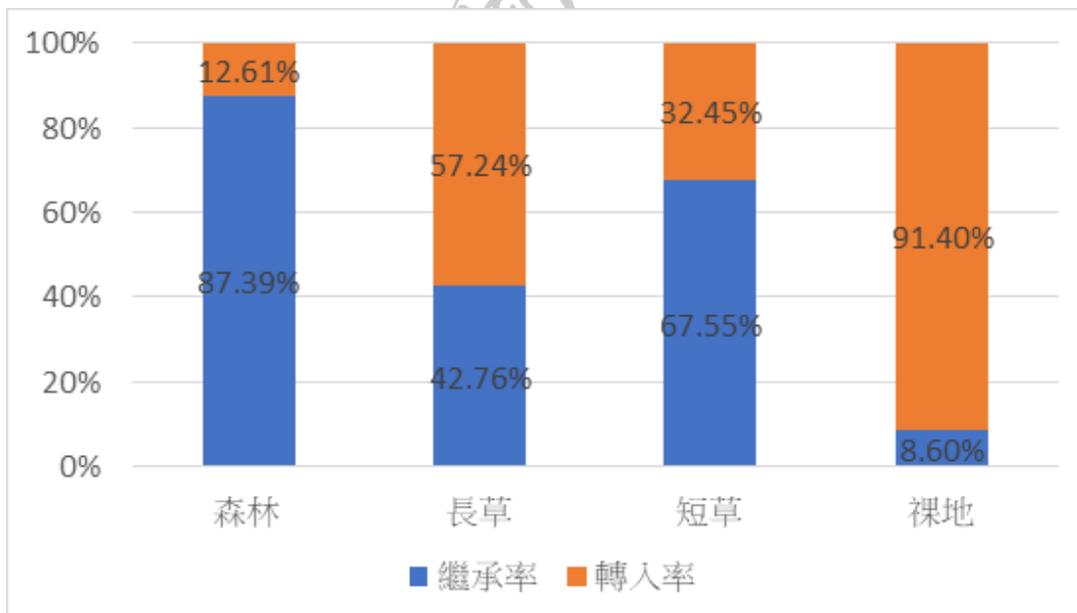


圖48. 1978-2018年向天山火山口各地景類型的繼承率與轉入率。
(資料來源: 本研究)

二、磺嘴山火山口之各地景類型的面積變化

將ZH1979I(圖34)、ZH2009I(圖35)、ZH2017I(圖36)的各地景類型面積進行計算，即可知各地景類型由1979年、2009年至2017年之面積變化(ZH2009I - ZH1979I、ZH2017I - ZH2009I、ZH2017I - ZH1979I)，其結果如表12、圖49、圖50、圖51所示，並說明如下。

(一)森林植群型之面積變化

ZH1979I的森林植群型總面積為482840.5 m²，ZH2009I的森林植群型總面積為518146.52 m²，將ZH2009I與ZH1979I進行疊合計算，可知森林植群型面積變化為35306.02 m²(如表12、圖49)

ZH2009I的森林植群型總面積為518146.52 m²，ZH2017I的森林植群型總面積為476520.01 m²，將ZH2017I與ZH2009I進行疊合計算，可知森林植群型面積變化為-41626.51 m²(如表12、圖50)

ZH1979I的森林植群型總面積為482840.5 m²，ZH2017I的森林植群型總面積為476520.01 m²，將ZH2017I與ZH1979I進行疊合計算，可知森林植群型面積變化為-6320.49 m²(如表12、圖51)。

(二)長草植群型之面積變化

ZH1979I圖層的長草植群型總面積為448030.52m²，ZH2009I圖層的長草植群型總面積為441553.16m²，將ST1988I與ST1978I進行疊合計算，可知長草植群型面積變化為-6477.36 m²(如表12、圖49)。

ZH2009I圖層的長草植群型總面積為441553.16m²，ZH2017I圖層的長草植群型總面積為501251.24m²，將ZH2017I與ZH2009I進行疊合計算，可知長草植群型面積變化為+59698.08 m²(如表12、圖50)。

ZH1979I圖層的長草植群型總面積為448030.52m²，ZH2017I圖層的長草植群型總面積為501251.24m²，將ZH2017I與ZH1979I進行疊合計算，可知長草植群型面積變化為+53220.72m²(如表12、圖51)。

(三)短草植群型之面積變化

ZH1979I圖層的短草植群型總面積為69034.7m²，ZH2009I圖層的短草植群型總面積為39570.65m²，將ZH2009I與ZH1979I進行疊合計算，可知

短草植群型面積變化為-29464.05m² (如表12、圖49)。

ZH2009I圖層的短草植群型總面積為39570.65m²，ZH2017I圖層的短草植群型總面積為21942.49m²，將ZH2017I與ZH2009I進行疊合計算，可知短草植群型面積變化為-17628.16m² (如表12、圖50)。

ZH1979I圖層的短草植群型總面積為69034.7m²，ZH2017I圖層的短草植群型總面積為21942.49m²，將ZH2017I與ZH1979I進行疊合計算，可知短草植群型面積變化為-47092.21m² (如表12、圖51)。

(四)水域之面積變化

ZH1979I圖層的水域總面積為201.96 m²，ZH2009I圖層的水域總面積為224.36 m²，將ZH2009I與ZH1979I進行疊合計算，可知水域面積變化為+22.4 m² (如表12、圖49)。

ZH2009I圖層的水域總面積為224.36 m²，ZH2017I圖層的水域總面積為619.81 m²，將ZH2017I與ZH2009I進行疊合計算，可知水域面積變化為+395.45 m² (如表12、圖50)。

ZH1979I圖層的水域總面積為201.96 m²，ZH2017I圖層的水域總面積為619.81 m²，將ZH2017I與ZH1979I進行疊合計算，可知水域面積變化為+190.88 m² (如表12、圖51)。

表12. 磺嘴山火山口ZH1979I、ZH2009I、ZH2017I之各地景類型面積(m²)

(資料來源: 本研究)

	森林	長草	短草	水域
ZH1979	482840.50	448030.52	69034.70	94.29
ZH2009	518146.52	441553.16	39570.65	729.68
ZH2017	476520.01	501251.24	21942.49	285.17
ZH2009-ZH1979	35306.02	-6477.36	-29464.05	190.88
ZH2017-ZH2009	-41626.51	59698.08	-17628.16	-444.51
ZH2017-ZH1979	-6320.49	53220.72	-47092.21	190.88

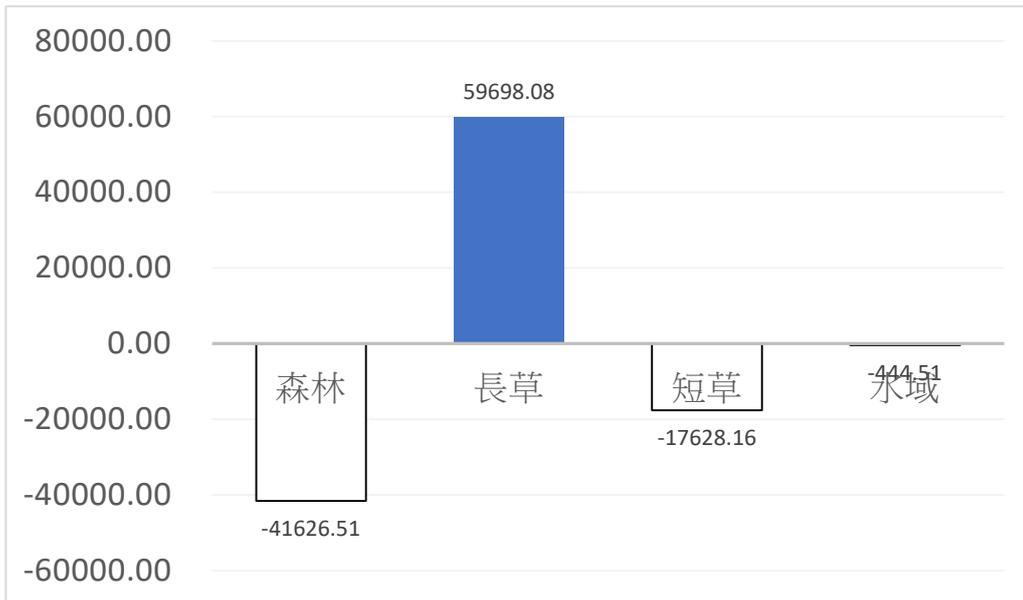


圖 49. 磺嘴山火山口各地景類型由 1979 年至 2009 年之面積變化。
(單位：m²) (資料來源：本研究)



圖 50. 磺嘴山火山口各地景類型由 2009 年至 2017 年之面積變化。
(單位：m²) (資料來源：本研究)

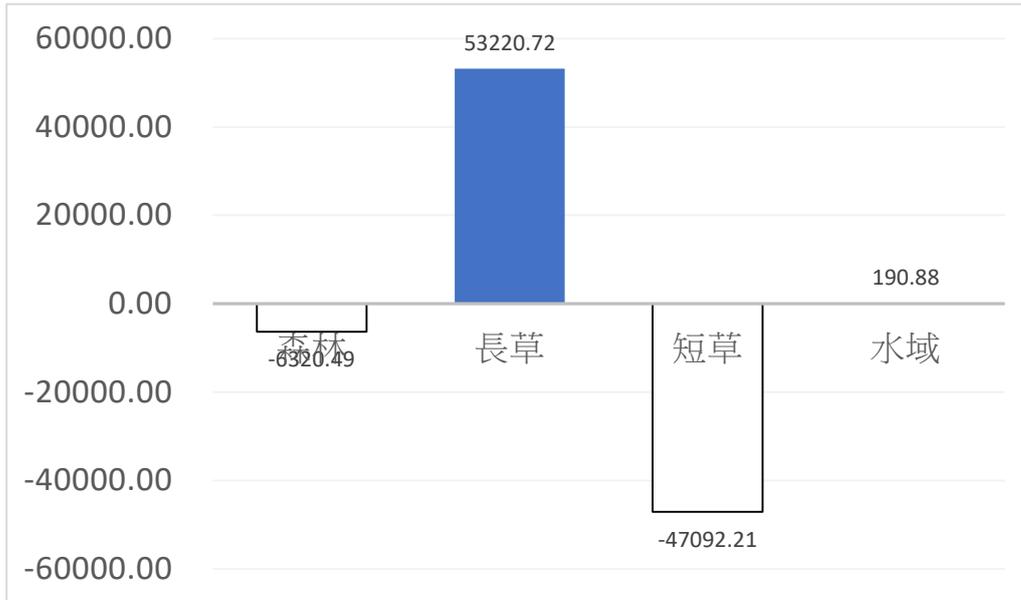


圖 51. 磺嘴山火山口各地景類型由 1979 年至 2017 年之面積變化。
(單位：m²) (資料來源：本研究)

(五)各地景類型之變遷率

為瞭解不同時期間土地覆蓋類型的變遷狀態，進一步以比例方式呈現(吳麗娟，1999；楊婉如，2005)，包括：

1. 不變率代表兩個時間土地覆蓋未曾變化區域的面積佔總面積的比例；變遷率則為轉變為其他地景類型比例，即1 - 不變率。

$$\text{不變率} = \frac{\sum_{i=1}^k n_{ij}}{n}$$

$$\text{變遷率} = 1 - \text{不變率}$$

2. 保留率代表前期的某類型(j)至後期未轉為其他地景類型的比例；轉出率則為轉變為其他地景類型的比例，即1 - 保留率。

$$\text{保留率}_j = \frac{n_{jj}}{n_{+j}}$$

$$\text{轉出率}_j = 1 - \text{保留率}_j$$

3. 繼承率代表後期的某類型(i)是由前期的同類型繼承而來的比例；轉入率則為後期某類型是由前期其他類型轉入的比例，即1 - 繼承率。

$$\text{繼承率}_i = \frac{n_{ii}}{n_{i+}}$$

$$\text{轉入率}_i = 1 - \text{繼承率}_i$$

表13為礮嘴山火山口1979-2009年、2009-2017年及1979-2017年各地景類型的變遷比例摘要表，其中，不變率、保留率、繼承率均是以森林最高，水域最低。圖52為1979-2009年礮嘴山火山口各地景類型的不變率與變遷率，圖53為1979-2009年礮嘴山火山口各地景類型的保留率與轉出率，圖54為1979-2009年礮嘴山火山口各地景類型的繼承率與轉入率，圖55為2009-2017年礮嘴山火山口各地景類型的不變率與變遷率，圖56為2009-2017年礮嘴山火山口各地景類型的保留率與轉出率，圖57為2009-2017年礮嘴山火山口各地景類型的繼承率與轉入率，圖58為1979-2017年礮嘴山火山口各地景類型的不變率與變遷率，圖59為1979-2017年礮嘴山火山口各地景類型的保留率與轉出率，圖60為1979-2017年礮嘴山火山口各地景類型的繼承率與轉入率。(詳如表15矩陣圖及p107探討)

表13. 礮嘴火山口各地景類型的變遷比例摘要表 (資料來源: 本研究)

1979-2009年礮嘴火山口各地景類型的變遷比例摘要表

	森林	長草	短草	水域
不變率	41.44%	33.73%	2.49%	0.01%
變遷率	58.56%	66.27%	97.51%	99.99%
保留率	85.82%	75.28%	36.06%	100.00%
轉出率	14.18%	24.72%	63.94%	0.00%
繼承率	79.97%	76.38%	62.91%	12.92%
轉入率	20.03%	23.62%	37.09%	87.08%

2009-2017年磺嘴火山口各地景類型的變遷比例摘要表

	森林	長草	短草	水域
不變率	45.69%	42.00%	1.88%	0.01%
變遷率	54.31%	58.00%	98.12%	99.99%
保留率	88.18%	95.12%	47.40%	12.92%
轉出率	11.82%	4.88%	52.60%	87.08%
繼承率	95.88%	83.80%	85.48%	33.06%
轉入率	4.12%	16.20%	14.52%	66.94%

1979-2017年磺嘴火山口各地景類型的變遷比例摘要表

	森林	長草	短草	裸地
不變率	39.29%	36.12%	1.48%	0.01%
變遷率	60.71%	63.88%	98.52%	99.99%
保留率	81.37%	80.61%	21.38%	100.00%
轉出率	18.63%	19.39%	78.62%	0.00%
繼承率	82.45%	72.05%	67.27%	33.06%
轉入率	17.55%	27.95%	32.73%	66.94%

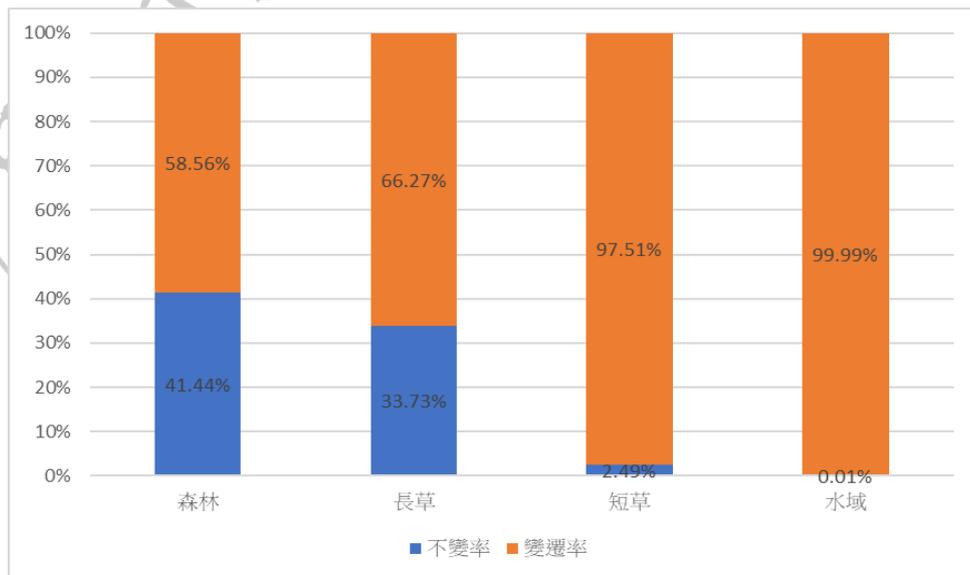


圖52. 1979-2009年磺嘴火山口各地景類型的不變率與變遷率。

(資料來源: 本研究)

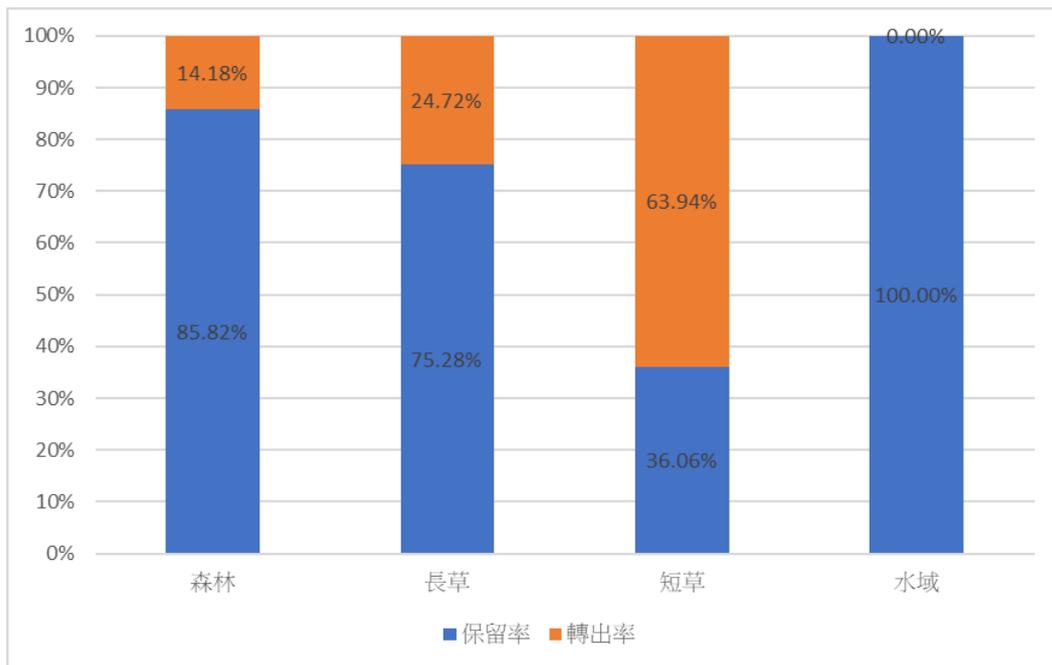


圖53. 1979-2009年磺嘴山火山口各地景類型的保留率與轉出率。
(資料來源: 本研究)

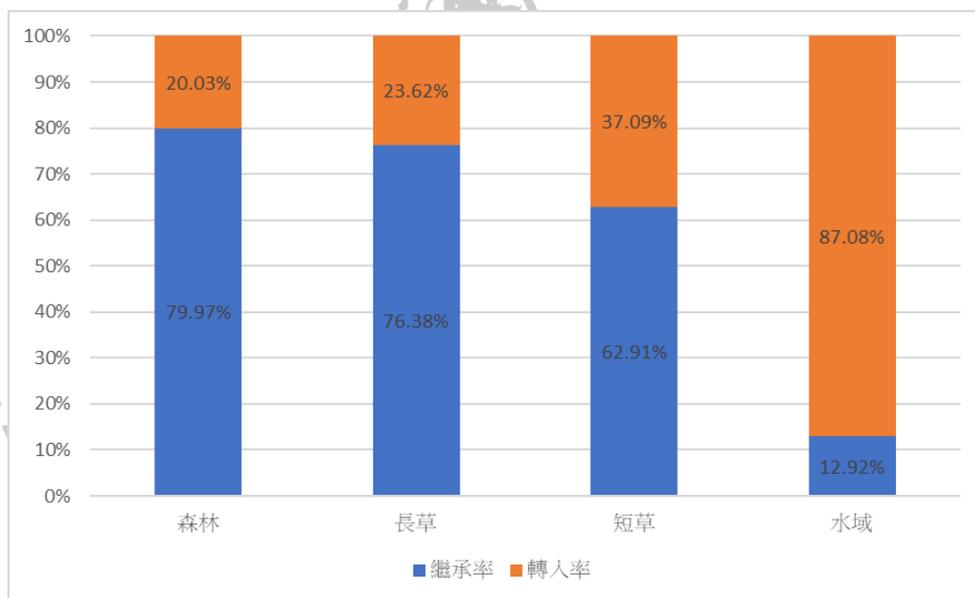


圖54. 1979-2009年磺嘴山火山口各地景類型的繼承率與轉入率。
(資料來源: 本研究)

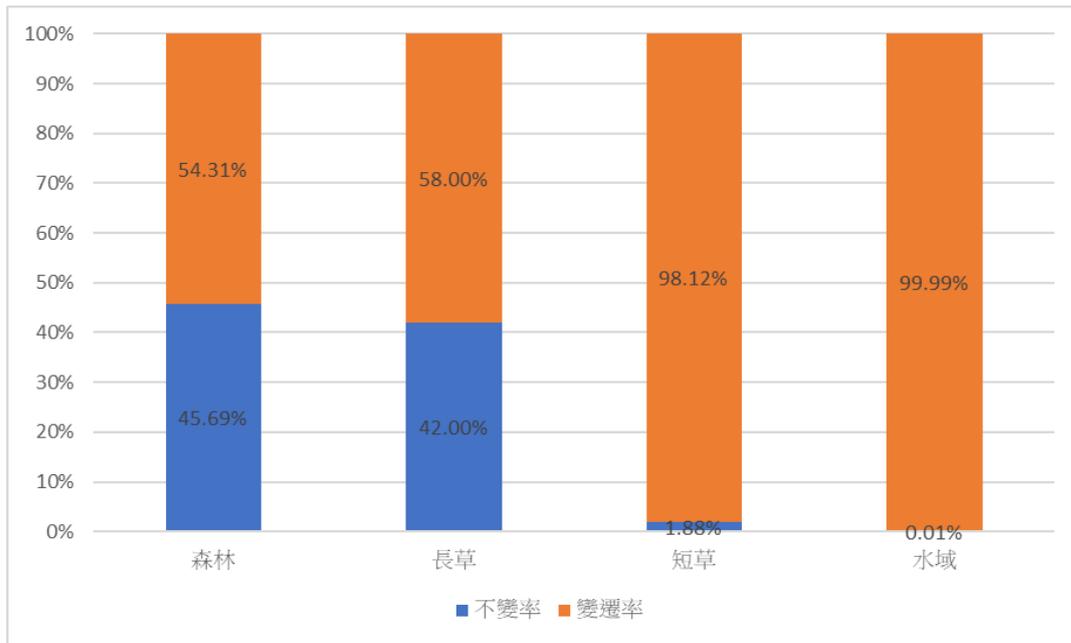


圖55. 2009-2017年磺嘴山火山口各地景類型的不變率與變遷率。
(資料來源: 本研究)

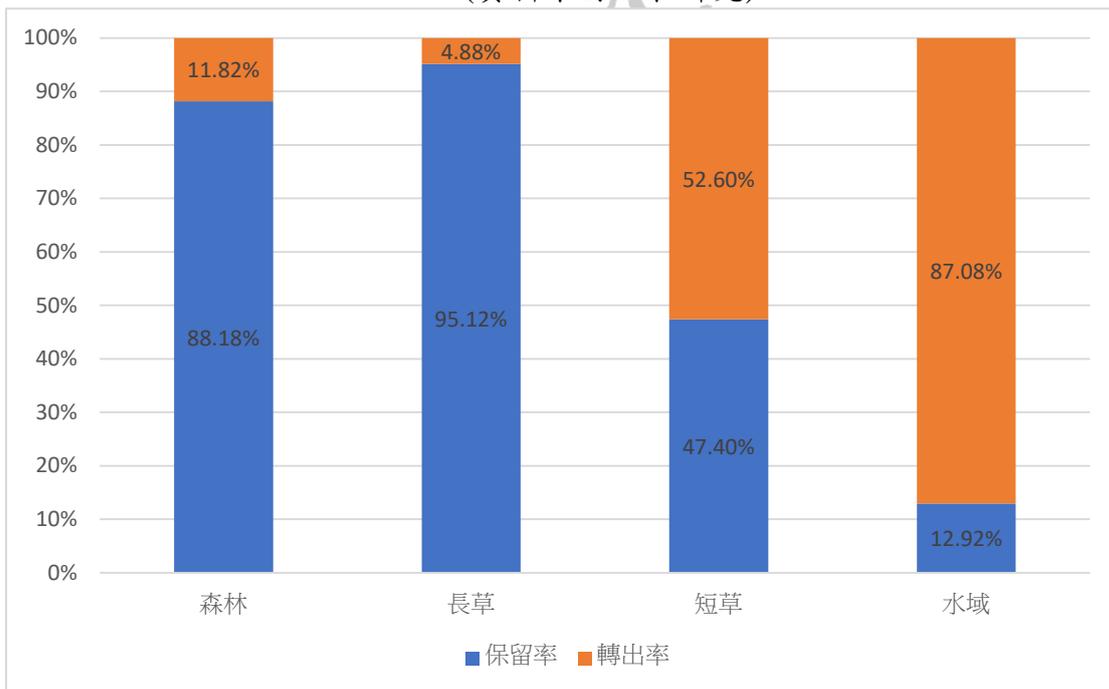


圖56. 2009-2017年磺嘴山火山口各地景類型的保留率與轉出率。
(資料來源: 本研究)



圖57. 2009-2017年磺嘴山火山口各地景類型的繼承率與轉入率。

(資料來源: 本研究)

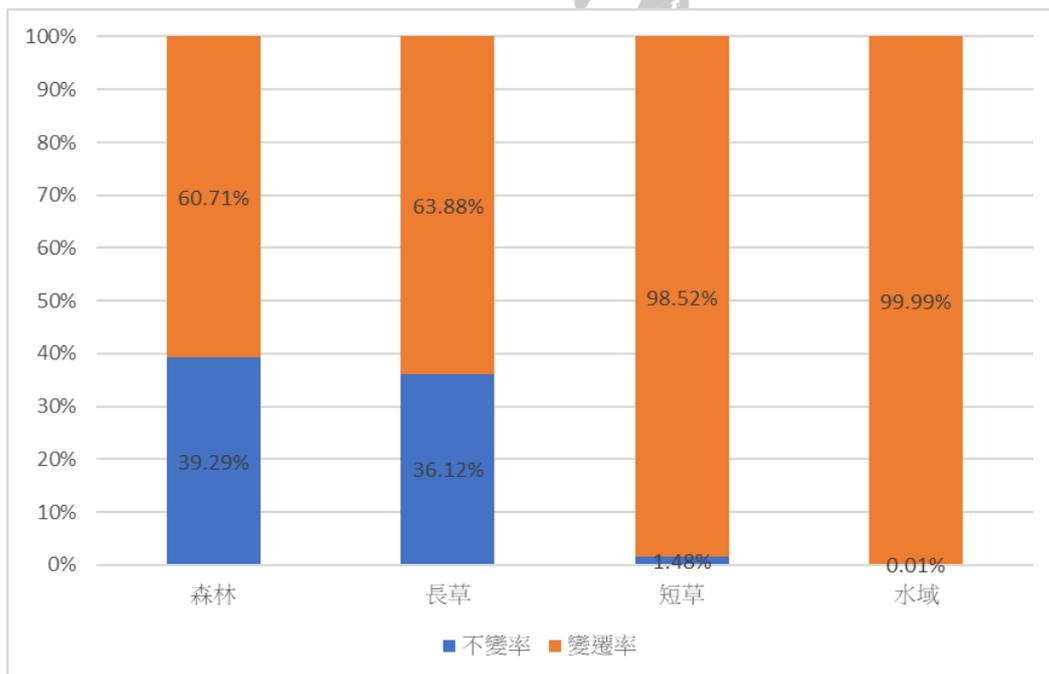


圖58. 1979-2017年磺嘴山火山口各地景類型的不變率與變遷率。

(資料來源: 本研究)

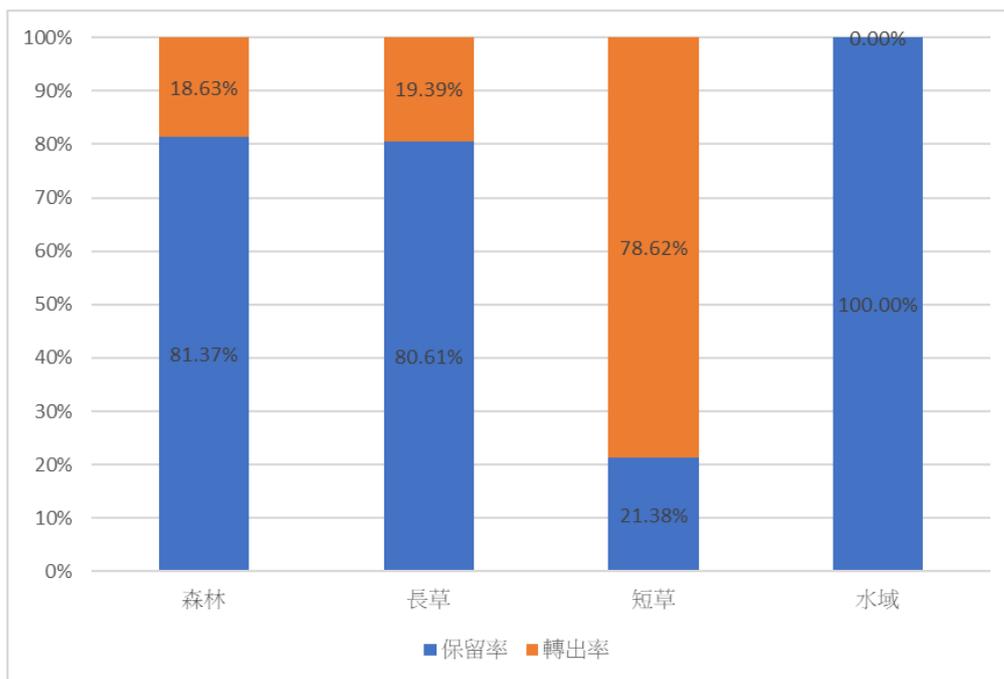


圖59. 1979-2017年磺嘴山火山口各地景類型的保留率與轉出率。
(資料來源: 本研究)

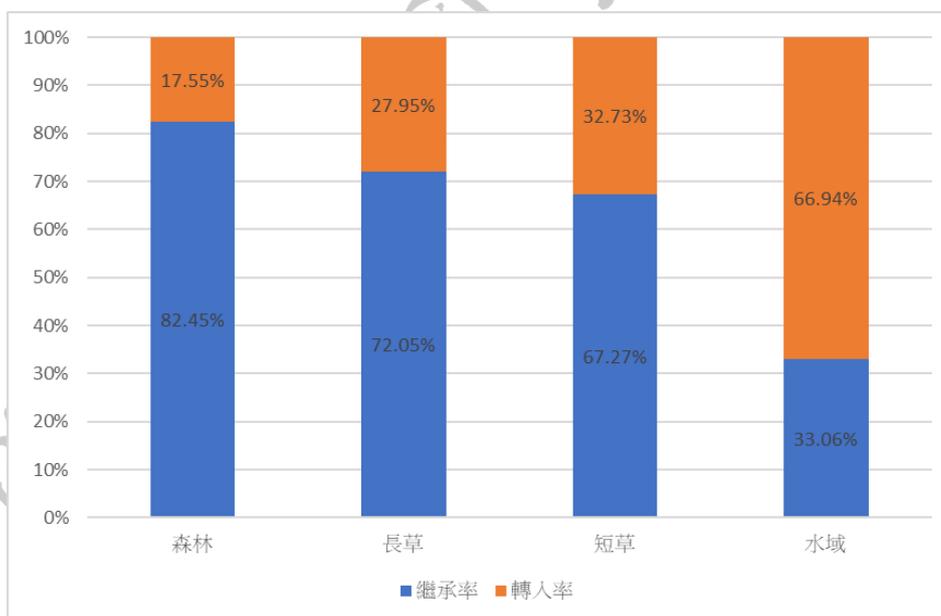


圖60. 1979-2017年磺嘴山火山口各地景類型的繼承率與轉入率。
(資料來源: 本研究)

三、向天山火山口之各地景類型的地景變遷

為進一步瞭解各地景類型由1978年至2018年之地景變遷，於ArcGIS將ST1978I、ST1988I、ST2018I進行疊合分析，並將地景變遷區分為新增(gain)、不變(no change)、損失(loss)，並參考邱祈榮等(2012)製作不同年期各地景類型之變遷矩陣表，再逐一解析各地景類型在此40年間的地景變遷。

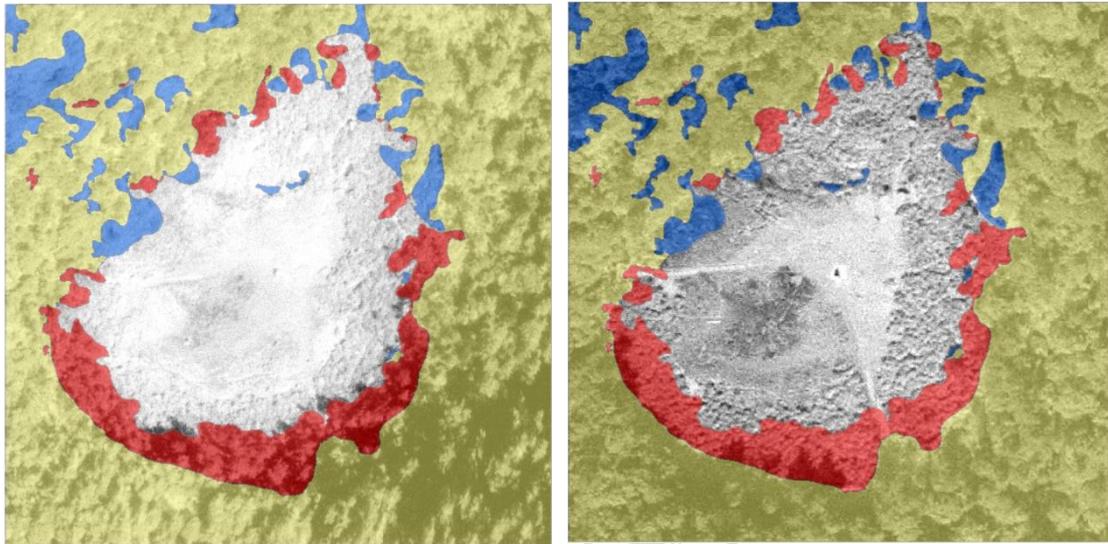
表14.為向天山火山口不同年期各地景類型之變遷矩陣表，可看出1978年森林面積共有14866.6 m²，到了1988年轉出2191.4 m² (佔1978年森林總面積14.7%)，其中多轉出為長草，共有2076.2 m² (佔當次轉出面積94.7%)；1988年森林面積共有13968.3 m²，到了2018年轉出891.7 m² (佔1988年森林總面積6.4%)，其中多轉出為長草，共有778.0 m² (佔當次轉出面積87.2%)；1978年森林面積共有14866.6 m²，到了2018年轉出2076.3 m² (佔1978年森林總面積14%)，其中多轉出為長草，共有1975.3 m² (佔當次轉出面積95.1%)。其餘之長草、短草、裸地等地景類型於不同年期之變遷，亦詳列於表14中。

表14. 向天山火山口不同年期各地景類型之變遷矩陣表(單位：m²)

—	—	1988 年				1978 年	
		森林	長草	短草	裸地	面積總計	轉出面積
1978 年	森林	12675.2	2076.2	23.5	91.8	14866.6	2191.4
	長草	407.6	2674.8	300.7	28.8	3411.9	737.1
	短草	885.5	480.1	2575.8	78.3	4019.6	5463.5
	裸地	0.0	67.8	108.7	25.5	202.0	176.4
1988 年	面積總計	13968.3	5298.8	3008.5	224.4	22500.0	8568.4
	轉入面積	1293.2	2624.0	432.8	198.8	4548.8	—
—	—	2018 年				1988 年	
		森林	長草	短草	裸地	面積總計	轉出面積
1988 年	森林	13076.6	778.0	75.8	37.8	13968.3	891.7
	長草	1275.3	2970.1	1000.2	53.2	5298.8	2328.7
	短草	214.8	184.6	2143.9	465.2	3008.5	864.6
	裸地	69.6	50.1	41.1	63.6	224.4	160.8
2018 年	面積總計	14636.3	3982.8	3261.1	619.8	22500.0	4245.8
	轉入面積	1559.7	1012.7	1117.1	556.3	4245.8	—
—	—	2018 年				1978 年	
		森林	長草	短草	裸地	面積總計	轉出面積
1978 年	森林	12790.3	1975.3	32.2	68.8	14866.6	2076.3
	長草	747.9	1703.0	902.3	58.6	3411.9	1708.8
	短草	1077.1	300.4	2202.9	439.1	4019.6	1816.7
	裸地	21.0	4.1	123.6	53.3	202.0	148.6
2018 年	面積總計	14636.3	3982.8	3261.1	619.8	22500.0	5750.4
	轉入面積	1846.0	2279.8	1058.1	566.5	5750.4	—

(一)森林之地景變遷

圖61為向天山火山口森林植群型由1978年至1988年之地景變遷，其底圖為ST1978、ST1988航照影像，再疊合ST1988I - ST1978I之森林地景類型變遷(命名為ST1988-1978F，包含3種情況：新增、不變、損失)。



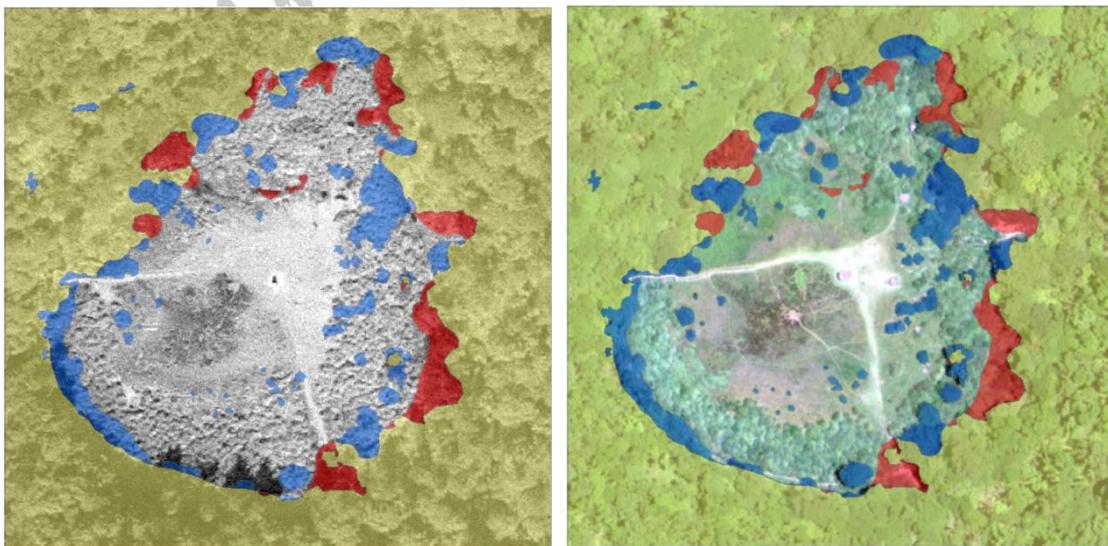
ST1988-1978F套疊ST1978

ST1988-1978F套疊ST1988

■ 損失 ■ 不變 ■ 新增

圖61. 向天山火山口ST1988-1978F森林地景類型變遷。

圖62為向天山火山口森林植群型由1988年至2018年之地景變遷，其底圖為ST1988、ST2018航照影像，再疊合ST2018I - ST1988I之森林植群型變遷(命名為ST2018-1988F，包含3種情況：新增、不變、損失)。



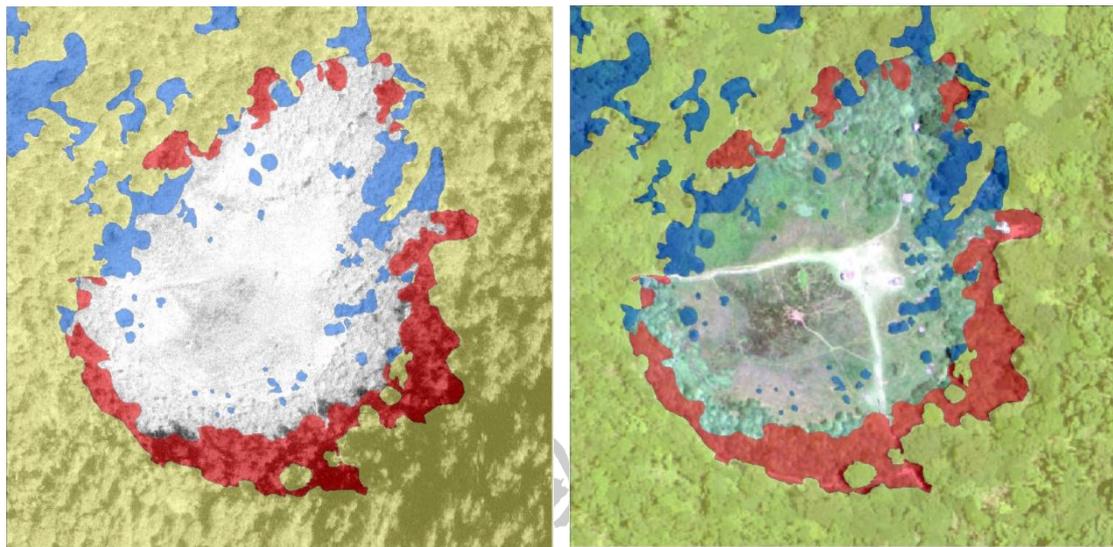
ST2018-1988F套疊ST1988

ST2018-1988F套疊ST2018

■ 損失 ■ 不變 ■ 新增

圖62. 向天山火山口ST2018-1988F森林地景類型變遷。

圖63為向天山火山口森林植群型由1978年至2018年之地景變遷，其底圖為ST1978、ST2018航照影像，再疊合ST2018I - ST1978I之森林植群型變遷(命名為ST2018-1978F，包含3種情況：新增、不變、損失)。由圖63可知圍繞著向天山火山口周邊的植群主要為森林，大部分的森林在1978~2018這40年間的形相並未改變(黃色區塊)，但在向天山火山口西北側原本非為森林之處已演替、新增為森林(藍色區塊)，且在南側、西南側原為森林之處已沿著向天山火山口邊緣部分消失(紅色區塊)。



ST2018-1978F套疊ST1978

ST2018-1978F套疊ST2018

■ 損失 ■ 不變 ■ 新增

圖63. 向天山火山口ST2018-1978F森林地景類型變遷。

(二)長草植群型之地景變遷

圖64為向天山火山口長草植群型由1978年至1988年之地景變遷，其底圖為ST1978、ST1988航照影像，再疊合ST1988I - ST1978I之長草植群型變遷(命名為ST1988-1978L，包含3種情況：新增、不變、損失)。

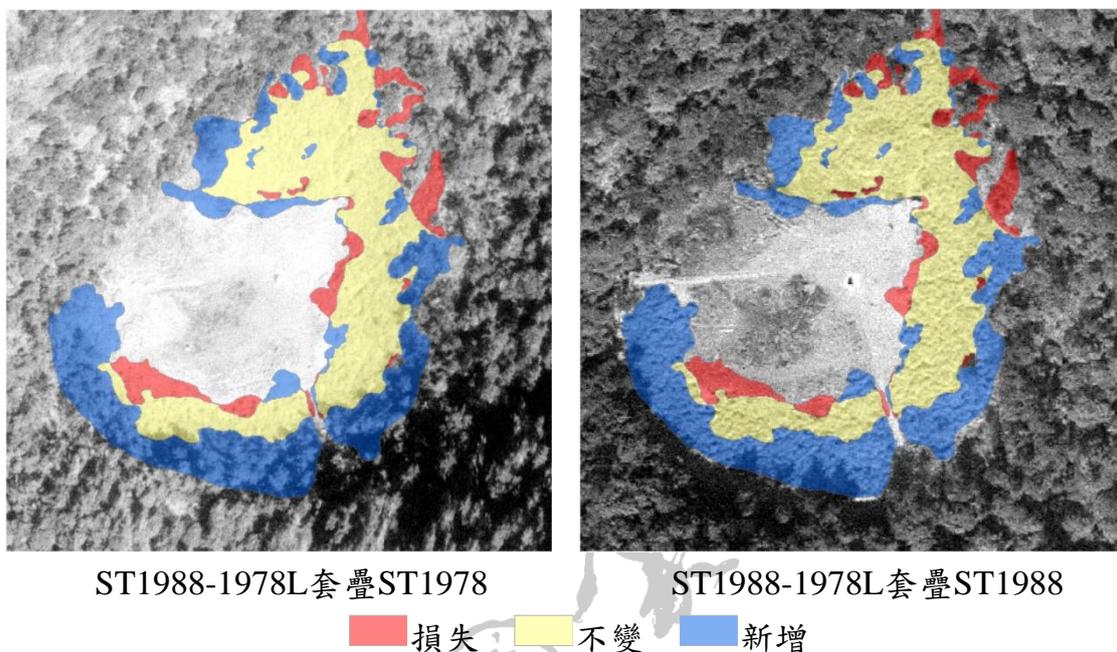


圖64.向天山火山口ST1988-1978L長草地景類型變遷。

圖65為向天山火山口長草植群型由1988年至2018年之地景變遷，其底圖為ST1988、ST2018航照影像，再疊合ST2018I - ST1988I之長草植群型變遷(命名為ST2018-1988L，包含3種情況：新增、不變、損失)。

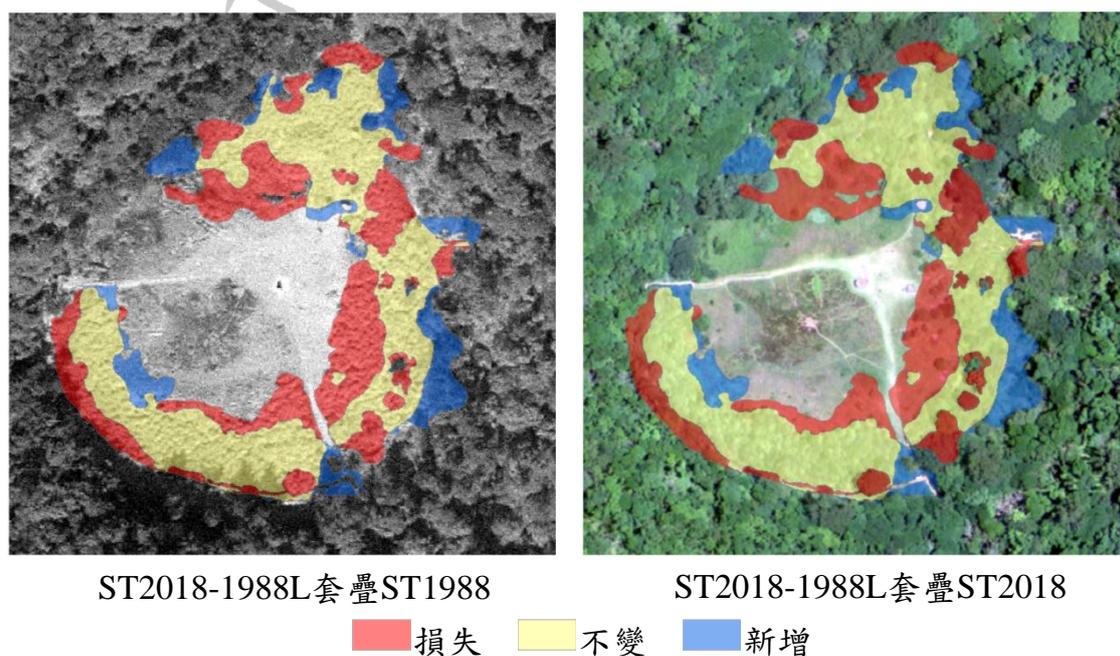


圖65. 向天山火山口ST2018-1988L長草地景類型變遷。

圖66為向天山火山口長草植群型由1978年至2018年之地景變遷，其底圖為ST1978、ST2018航照影像，再疊合ST2018I - ST1978I之長草植群型變遷(命名為ST2018-1978L，包含3種情況：新增、不變、損失)。由圖66可知長草植群型僅出現於向天山火山口的外圍周邊，在1978 ~ 2018這40年間，長草損失的位置主要為接近火山口中心的部分(紅色區塊)，長草新增的位置主要為森林邊緣(藍色區塊)，二者之間殆為未改變的區域(黃色區塊)。

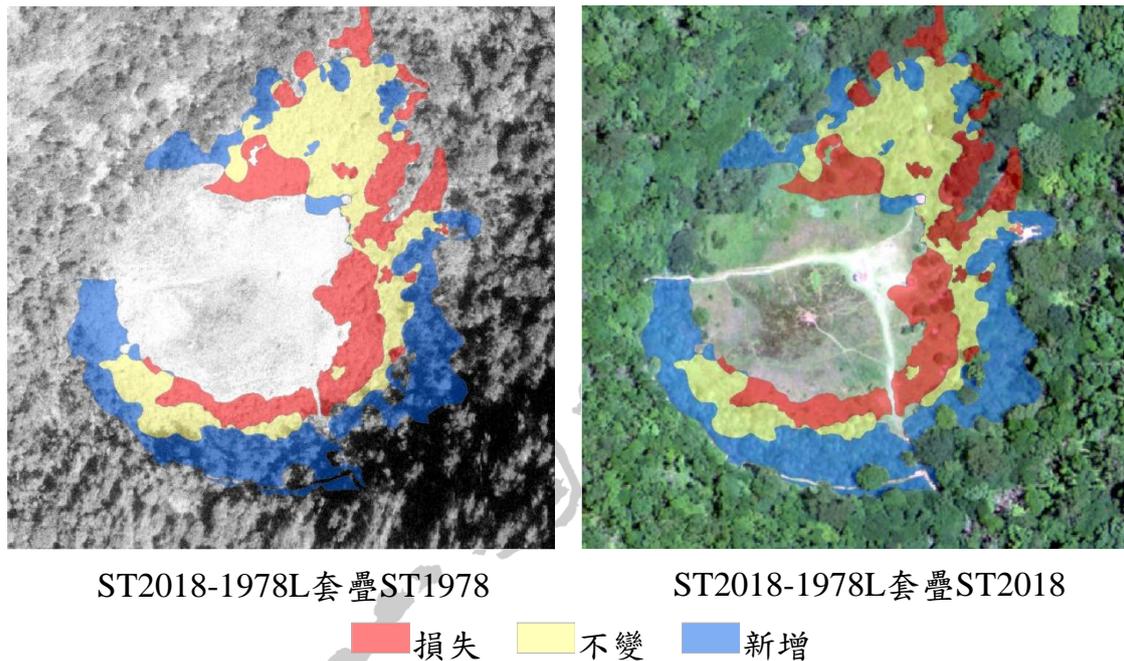
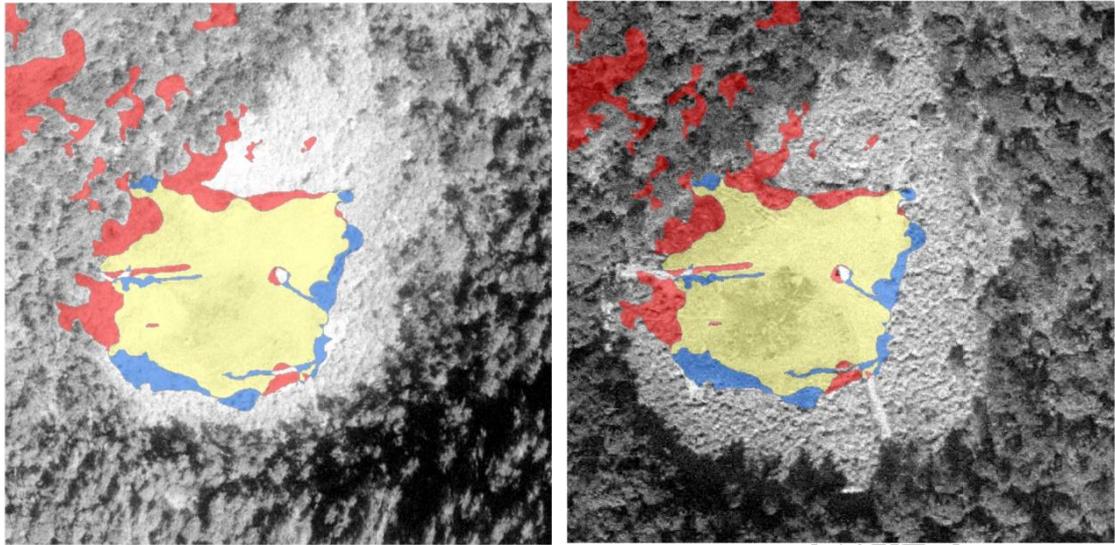


圖66. 向天山火山口ST2018-1978L長草地景類型變遷。

(三)短草植群型之地景變遷

圖67為向天山火山口短草植群型由1978年至1988年之地景變遷，其底圖為ST1978、ST1988航照影像，再疊合ST1988I - ST1978I之短草植群型變遷(命名為ST1988-1978S，包含3種情況：新增、不變、損失)。



ST1988-1978S套疊ST1978

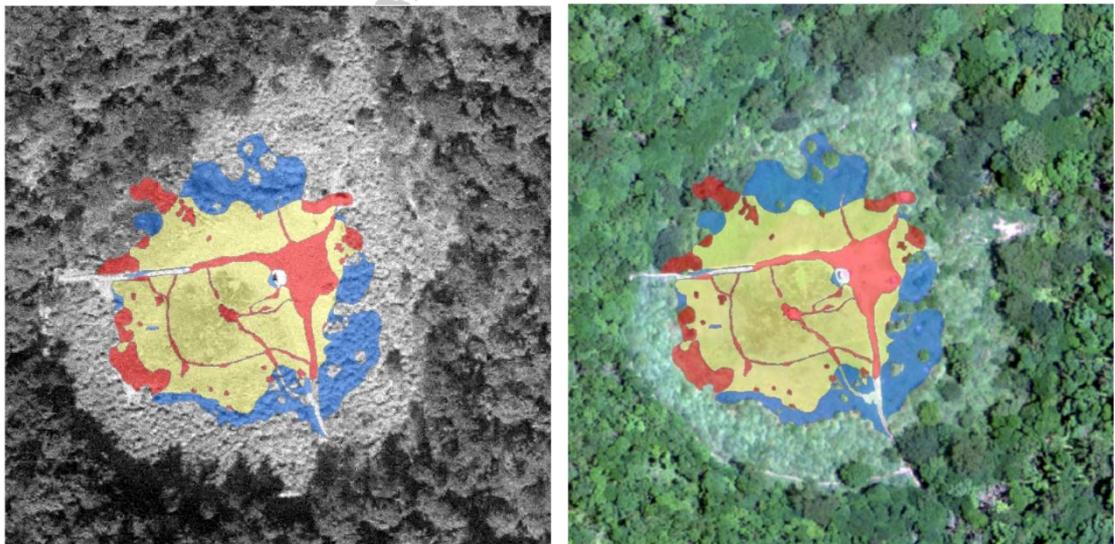
ST1988-1978S套疊ST1988

■ 損失 ■ 不變 ■ 新增

圖67. 向天山火山口ST1988-1978S短草地景類型變遷。

(資料來源: 本研究)

圖68為向天山火山口短草植群型由1988年至2018年之地景變遷，其底圖為ST1988、ST2018航照影像，再疊合ST2018I - ST1988I之短草植群型變遷(命名為ST2018-1988S，包含3種情況：新增、不變、損失)。



ST2018-1988S套疊ST1988

ST2018-1988S套疊ST2018

■ 損失 ■ 不變 ■ 新增

圖68. 向天山火山口ST2018-1988S短草地景類型變遷。

(資料來源: 本研究)

圖69為向天山火山口短草植群型由1978年至2018年之地景變遷，其底圖為ST1978、ST2018航照影像，再疊合ST2018I - ST1978I之短草植群型變遷(命名為ST2018-1978S，包含3種情況：新增、不變、損失)。由圖69可知在1978大部分的短草出現於向天山火山口中心附近，一小部分出現於向天山火山口之西北側，至2018年，西北側原先為短草類型已演替為森林(紅色區塊)，然而在向天山火山口中心附近原先為長草類型已改變為短草(藍色區塊)，仍保持原有短草類型的位置為向天山火山口中心附近(黃色區塊)。

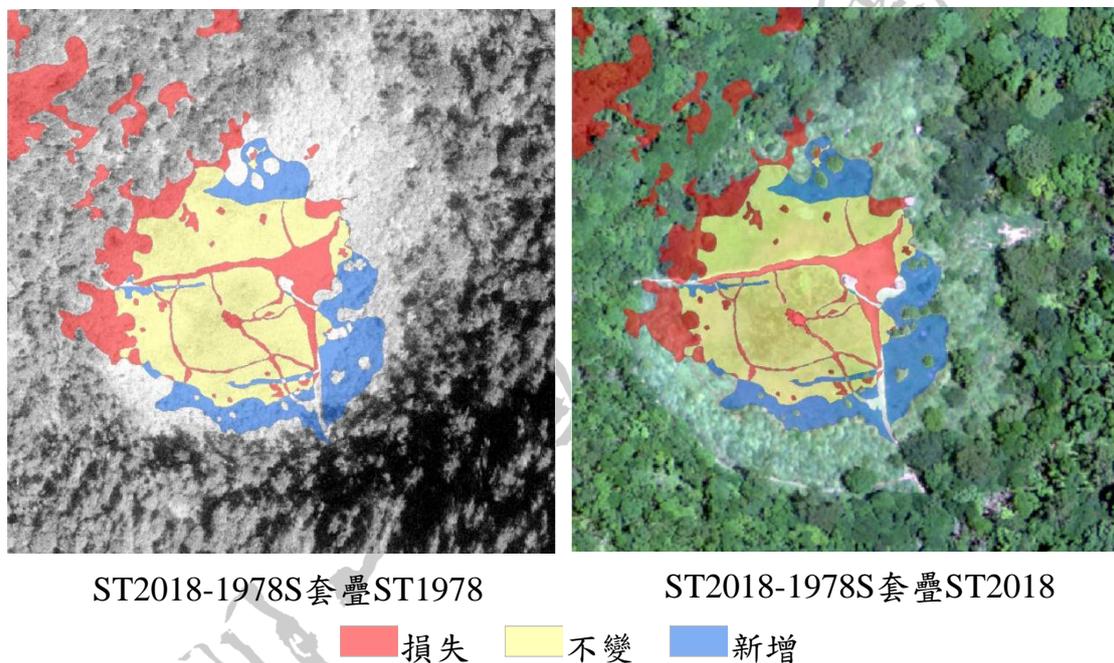
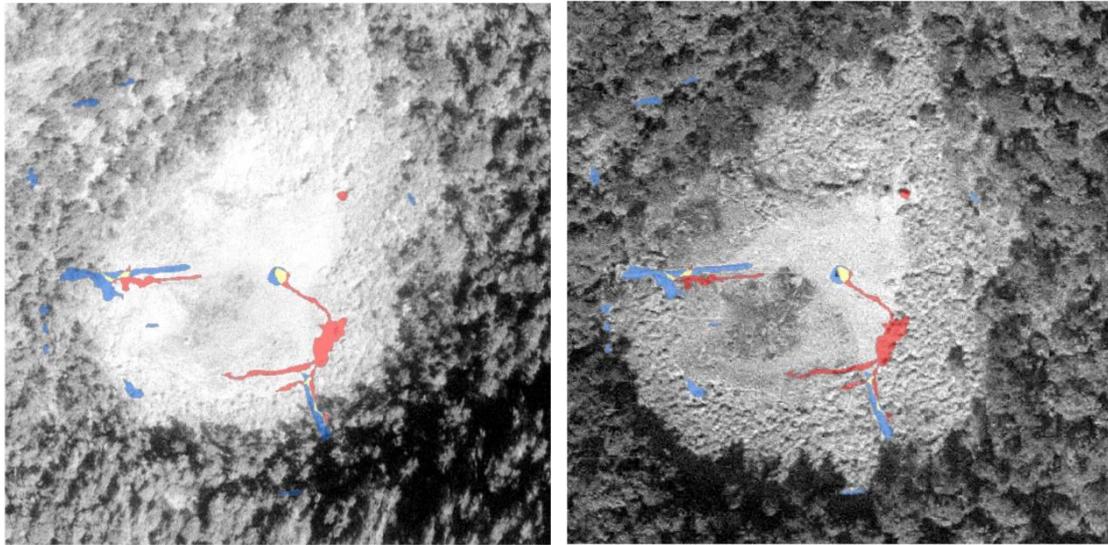


圖69. 向天山火山口ST2018-1978S短草地景類型變遷。

(資料來源：本研究)

(四)裸地之地景變遷

圖70為向天山火山口裸地由1978年至1988年之地景變遷，其底圖為ST1978、ST1988航照影像，再疊合ST1988I - ST1978I之裸地類型的變遷(命名為ST1988-1978B，包含3種情況：新增、不變、損失)。



ST1988-1978B套疊ST1978

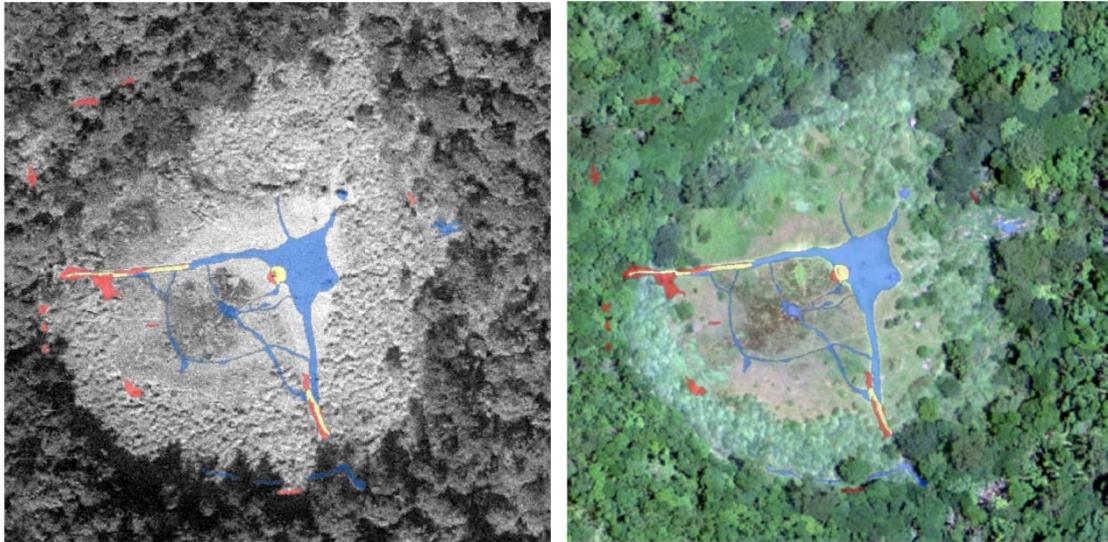
ST1988-1978B套疊ST1988

■ 損失 ■ 不變 ■ 新增

圖70. 向天山火山口ST1988-1978B裸地地景類型變遷。

(資料來源：本研究)

圖71為向天山火山口裸地由1988年至2018年之地景變遷，其底圖為ST1988、ST2018航照影像，再疊合ST2018I - ST1988I之裸地類型的變遷(命名為ST2018-1988B，包含3種情況：新增、不變、損失)。



ST2018-1978B套疊ST1978

ST2018-1988B套疊ST2018

■ 損失 ■ 不變 ■ 新增

圖71. 向天山火山口ST2018-1988B裸地地景類型變遷。
(資料來源：本研究)

圖72為向天山火山口裸地由1978年至2018年之地景變遷，其底圖為ST1978、ST2018航照影像，再疊合ST2018I - ST1978I之裸地類型的變遷(命名為ST2018-1978B，包含3種情況：新增、不變、損失)。由圖72可知裸地類型主要出現於向天山火山口草生地之內，在1978 ~ 2018這40年間，只有少數為裸地類型未改變的區域(黃色區塊)，裸地恢復為植物覆蓋之區域較少(紅色區塊)，然而卻增加了許多新生的裸地(藍色區塊)。

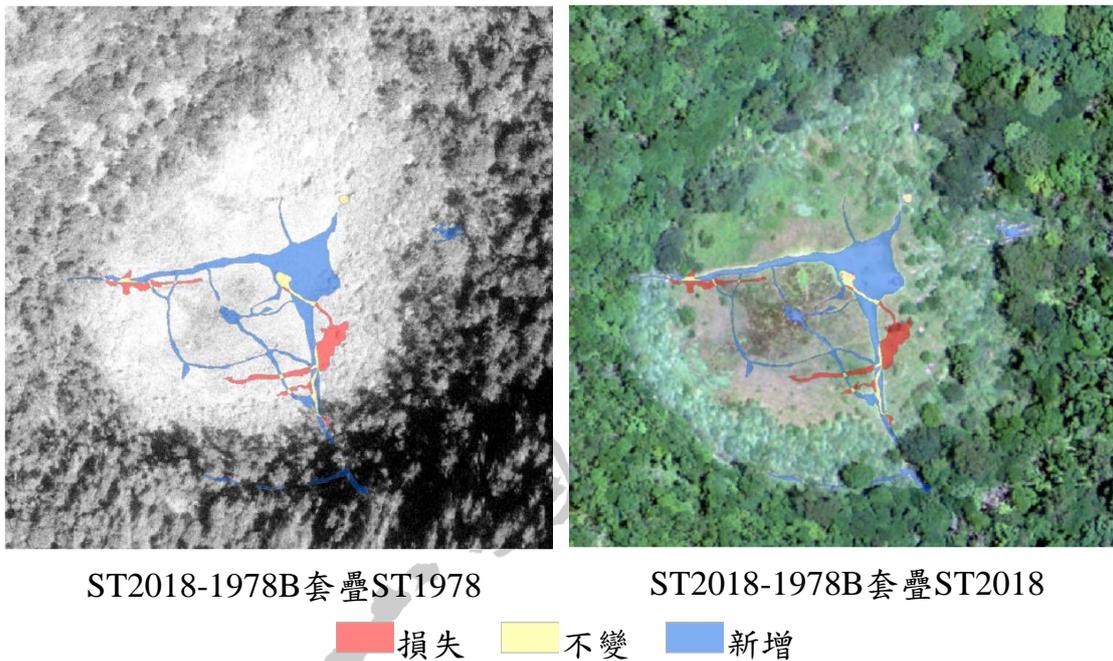


圖72. 向天山火山口ST2018-1978B裸地地景類型變遷。

(資料來源: 本研究)

整體而言，向天山火山口研究區於1978年至2018年期間之地景變遷的特徵，除了由前述各年期及各地景類型的圖示可茲解讀之外，亦可參考不同年期各地景類型之變遷矩陣表(表14)，歸納為：

(一)森林的消長：向天山火山口研究區的森林變動，其在1978 → 1988 → 2018面積分別為14866.6 m² → 13968.3 m² → 14636.3 m²。向天山火山口西北側及中心北側於1978年之草地，至1988年已逐步演替為森林；在向天山火山口中心之南側及西南側也有許多於1978年原為森林之處，至1988年已沿著向天山火山口邊緣部分消失，但1988年至2018年期間則有逐漸由草地演替至森林之情況。在1978年至1988年、1988年至2018年期間，向天山火山口中心周圍的森林與草地則是互有消長。整體而論，於1978年至2018年期間，森林新增發生於向天山火山口西北側及中心北側，森林損失發生於向天山火山口中心南側。

(二)草生地之變化：草生地大部分均是出現於向天山火山口中心周圍，唯一例外是位處向天山火山口西北側在1978年之短草地景類型，此區至1988年已逐步演替為森林地景類型。在向天山火山口中心周圍之主要草生地範圍，在1978年至1988年、1988年至2018年期間，短草、長草、森林互有消長，且在空間上呈極複雜之鑲嵌。

(三)裸地的擴大：向天山火山口研究區的裸地變動，其在1978 → 1988 → 2018面積分別為202.0 m² → 224.4 m² → 619.8 m²，裸地在1978年至1988年之面積變化不大，裸地新增主要出現於1988年至2018年期間；由1978年至2018年之變化特徵，主要是位置的改變與路線增加，同時裸地之面積在此期間增加了417.85 m²，其原因可能是來自人為的踐踏。

四、磺嘴山火山口之各地景類型的地景變遷

為進一步瞭解各地景類型由1979年至2017年之地景變遷，於ArcGIS將ZH1979I、ZH2009I、ZH2017I進行疊合分析，並將地景變遷區分為新增(gain)、不變(no change)、損失(loss)，並參考邱祈榮等(2012)製作不同年期各地景類型之變遷矩陣表，再逐一解析各地景類型在此38年間的地景變遷。

表15.為磺嘴山火山口不同年期各地景類型之變遷矩陣表，可看出1979年森林面積共有482840.3 m²，到了2009年轉出68471.6 m² (佔1978年森林總面積14.2%)，其中多轉出為長草，共有65850.0 m² (佔當次轉出面積96.2%)；2009年森林面積共有518146.8 m²，到了2017年轉出61248.9 m² (佔1978年森林總面積11.8%)，其中多轉出為長草，共有60478.0 m² (佔當次轉出面積98.7%)；1978年森林面積共有482840.4 m²，到了2018年轉出89968.4 m² (佔1978年森林總面積18.6%)，其中多轉出為長草，共有88144.5 m² (佔當次轉出面積98.0%)。其餘之長草、短草、水域等地景類型於不同年期之變遷，亦詳列於表15中。

表15 磺嘴山火山口不同年期各地景類型之變遷矩陣表(單位：m²)

—	—	2009年				1979年	
		森林	長草	短草	水域	面積總計	轉出面積
1979年	森林	414368.8	65850.0	2520.9	100.6	482840.3	68471.6
	長草	98543.1	337273.6	12157.2	56.6	448030.6	110757.0
	短草	5234.7	38429.5	24892.5	478.2	69034.8	113177.1
	水域	0.0	0.0	0.0	94.3	94.3	0.0
2009年	面積總計	518146.5	441553.2	39570.6	729.7	1000000.0	292405.7
	轉入面積	103777.8	104279.5	14678.2	635.4	223370.9	—
—	—	2017年				2009年	
		森林	長草	短草	水域	面積總計	轉出面積
2009年	森林	456897.9	60478.0	756.8	14.0	518146.8	61248.9
	長草	19493.2	420025.9	1990.2	43.1	441552.4	21526.5
	短草	124.6	20556.8	18755.8	133.8	39571.0	20815.2
	水域	4.3	191.2	439.9	94.5	729.9	635.4
2017年	面積總計	476520.1	501251.9	21942.7	285.4	1000000.0	104225.9
	轉入面積	19622.2	81226.0	3186.9	190.9	104225.9	—
—	—	2017年				1979年	
		森林	長草	短草	水域	面積總計	轉出面積
1979年	森林	392872.0	88144.5	1771.7	52.2	482840.4	89968.4
	長草	81430.7	361171.9	5410.5	16.7	448029.7	86857.8
	短草	2217.7	51934.8	14760.4	122.1	69035.0	54274.6
	水域	0.0	0.0	0.0	94.6	94.6	0.0
2017年	面積總計	476520.4	501251.4	21942.7	285.5	1000000.0	231101.1
	轉入面積	83648.4	140079.5	7182.3	190.9	231101.1	—

(一)森林植群型之地景變遷

圖73為磺嘴山火山口森林植群型由1979年至2009年之地景變遷，其底圖為ZH1979、ZH2009航照影像，再疊合ZH2009I - ZH1979I之森林植群型變遷(命名為ZH2009-1979F，包含3種情況：新增、不變、損失)。

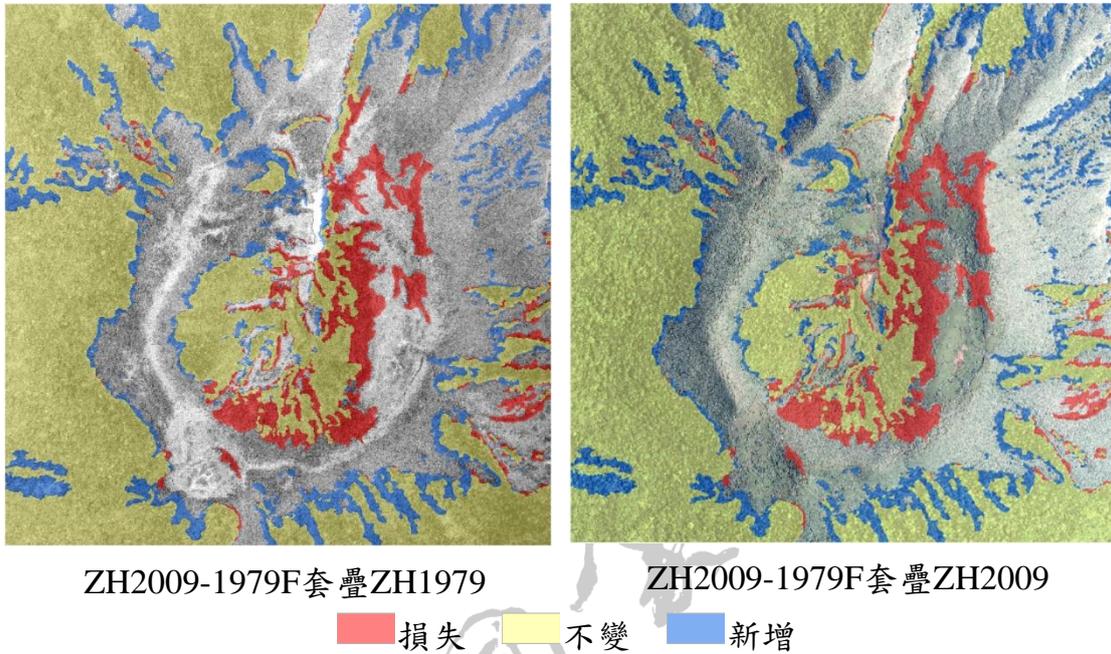


圖73. 磺嘴山火山口ZH2009-1979F森林地景類型變遷。

圖74為磺嘴山火山口森林植群型由2009年至2017年之地景變遷，其底圖為ZH2009、ZH2017航照影像，再疊合ZH2017I - ZH2009I之森林植群型變遷(命名為ZH2017-2009F，包含3種情況：新增、不變、損失)。

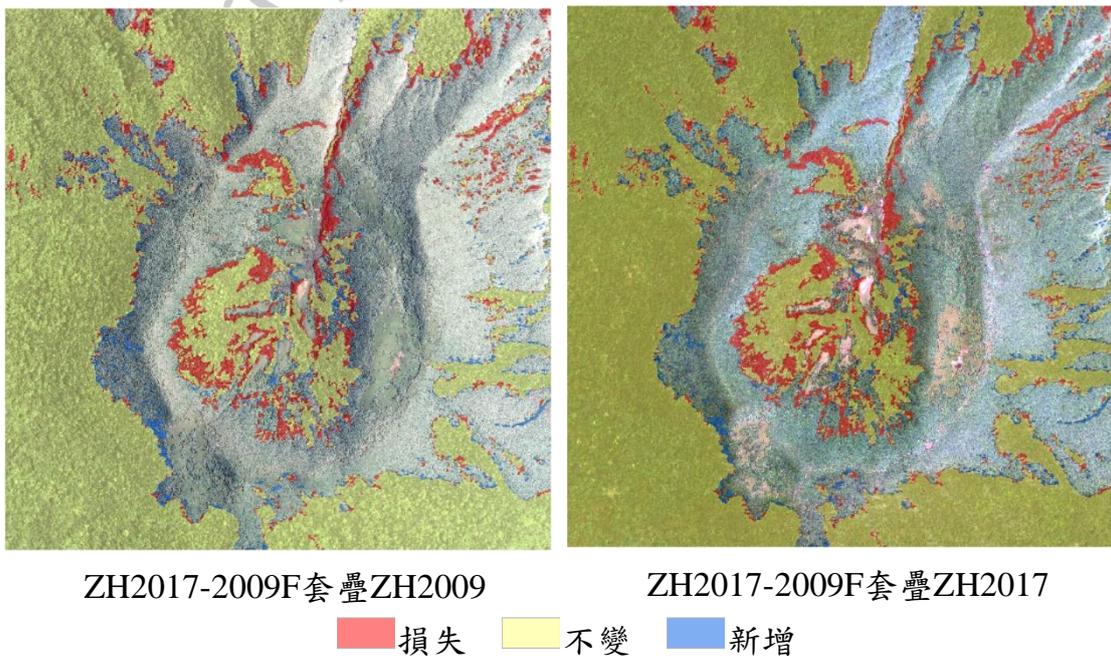
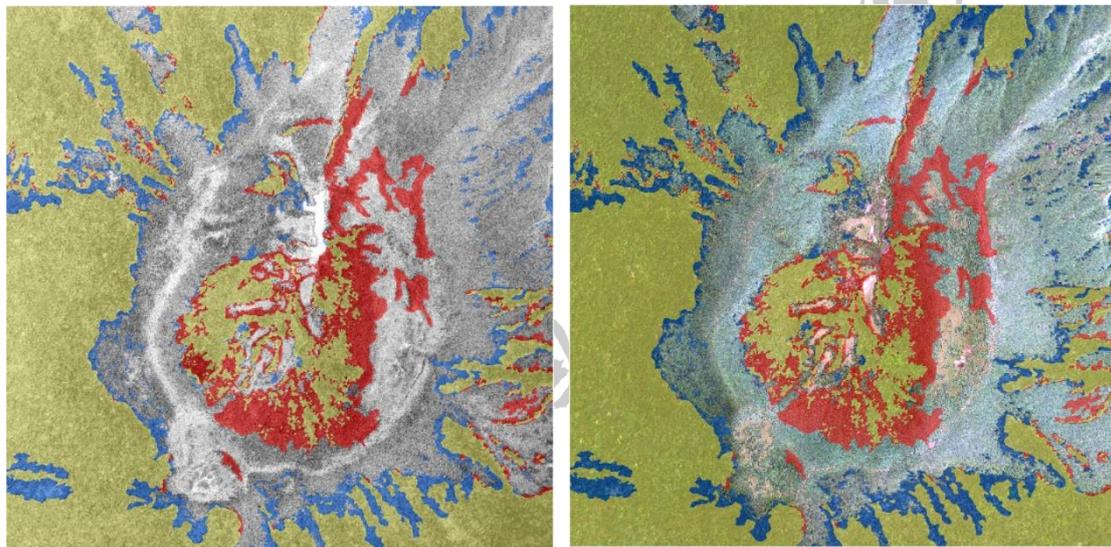


圖74. 磺嘴山火山口ZH2017-2009F森林地景類型變遷。

圖75為磺嘴山火山口森林植群型由1979年至2017年之地景變遷，其底圖為ZH1979、ZH2017航照影像，再疊合ZH2017I – ZH1979I之森林植群型變遷(命名為ZH2017-1979F，包含3種情況：新增、不變、損失)。由圖75可知圍繞著磺嘴山火山口周邊的植群主要為森林，大部分的森林在1979年至2017年期間的形相並未改變(黃色區塊)，但在局部區域的森林變化，森林損失(紅色區塊)主要發生於磺嘴山火山口中心凹地被草地包圍的區域之內，而森林新增(藍色區塊)主要發生於磺嘴山火山口中心外而鄰近森林之區域。



ZH2017-1979F套疊ZH1979

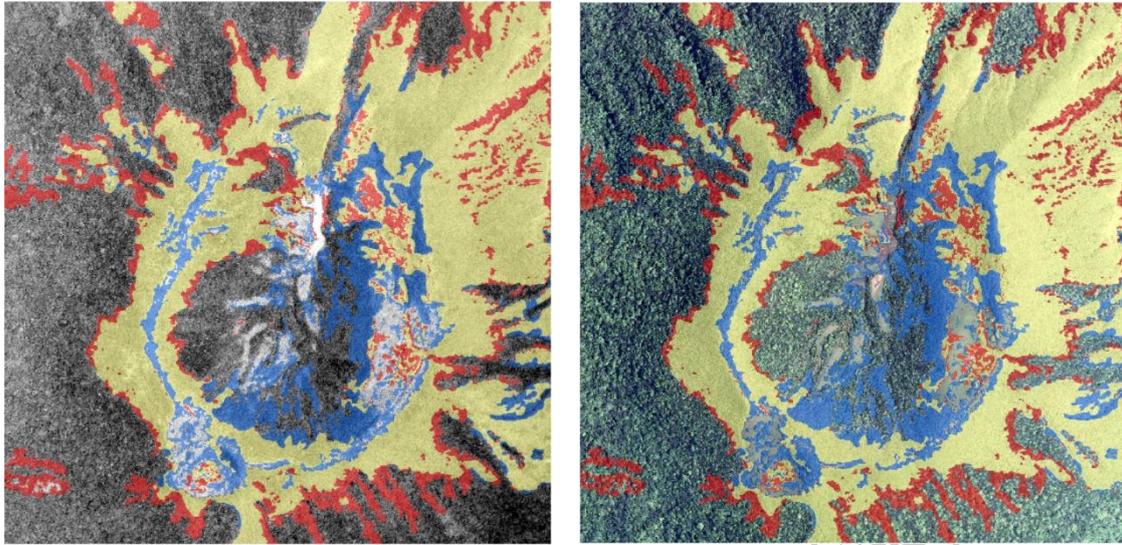
ZH2017-1979F套疊ZH2017

■ 損失 ■ 不變 ■ 新增

圖75. 磺嘴山火山口ZH2017-1979F森林地景類型變遷。

(二)長草植群型之地景變遷

圖76為磺嘴山火山口長草植群型由1979年至2009年之地景變遷，其底圖為ZH1979、ZH2009航照影像，再疊合ZH2009I – ZH1979I之長草植群型變遷(命名為ZH2009-1979L，包含3種情況：新增、不變、損失)。



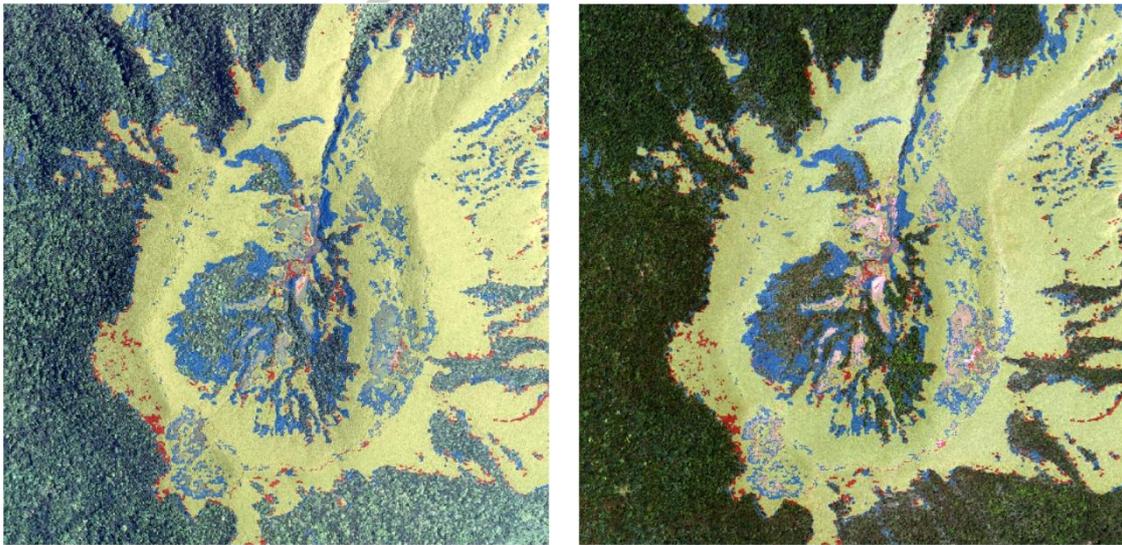
ZH2009-1979L套疊ZH1979

ZH2009-1979L套疊ZH2009

■ 損失 ■ 不變 ■ 新增

圖76. 礮嘴山火山口ZH2009-1979L長草地景類型變遷。

圖77為礮嘴山火山口長草植群型由2009年至2017年之地景變遷，其底圖為ZH2009、ZH2017航照影像，再疊合ZH2017I - ZH2009I之長草植群型變遷(命名為ZH2017-2009L，包含3種情況：新增、不變、損失)。



ZH2017-2009L套疊ZH2009

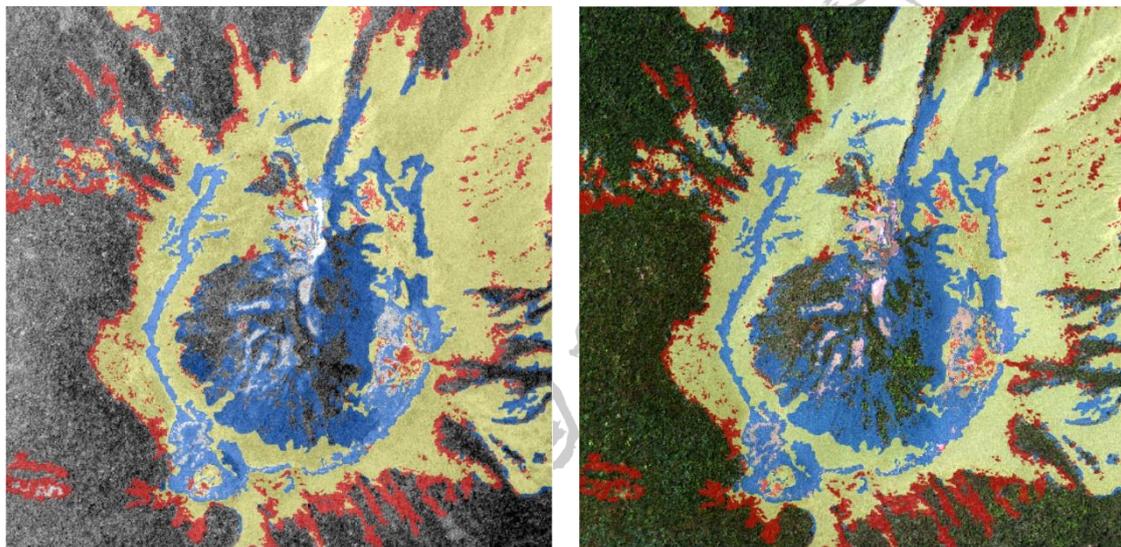
ZH2017-2009L套疊ZH2017

■ 損失 ■ 不變 ■ 新增

圖77. 礮嘴山火山口ZH2017-2009L長草地景類型變遷。

(資料來源：本研究)

圖78為磺嘴山火山口長草植群型由1979年至2017年之地景變遷，其底圖為ZH1979、ZH2017航照影像，再疊合ZH2017I – ZH1979I之長草植群型變遷(命名為ZH2017-1979L，包含3種情況：新增、不變、損失)。由圖78可知長草植群型僅出現於磺嘴山火山口中心的外圍周邊，在1979年至2017年期間，大部分的長草地景類型並未改變(黃色區塊)，長草損失的位置主要為鄰近森林之邊緣(紅色區塊)，長草新增的位置主要為磺嘴山火山口中心凹地，以及火山口邊緣較高之處(藍色區塊)。



ZH2017-1979L 套疊 ST1978

ZH2017-1979L 套疊 ST2018

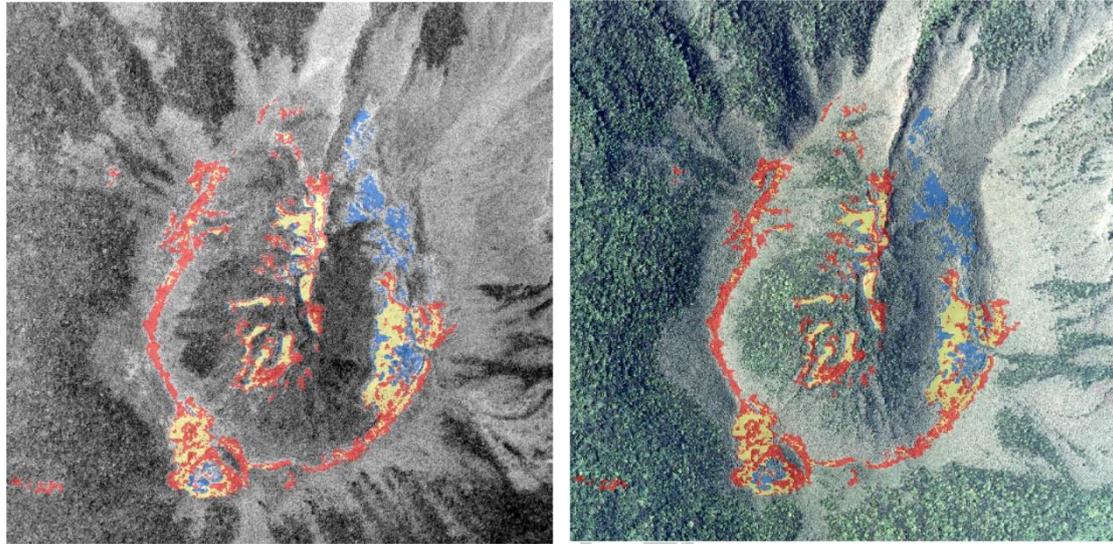
■ 損失 ■ 不變 ■ 新增

圖78. 磺嘴山火山口ZH2017-1979L長草地景類型變遷。

(資料來源: 本研究)

(三)短草植群型之地景變遷

圖79為磺嘴山火山口短草植群型由1979年至2009年之地景變遷，其底圖為ZH1979、ZH2009航照影像，再疊合ZH2009I – ZH1979I之短草植群型變遷(命名為ZH2009-1978S，包含3種情況：新增、不變、損失)。



ZH2009-1978S套疊ZH1979

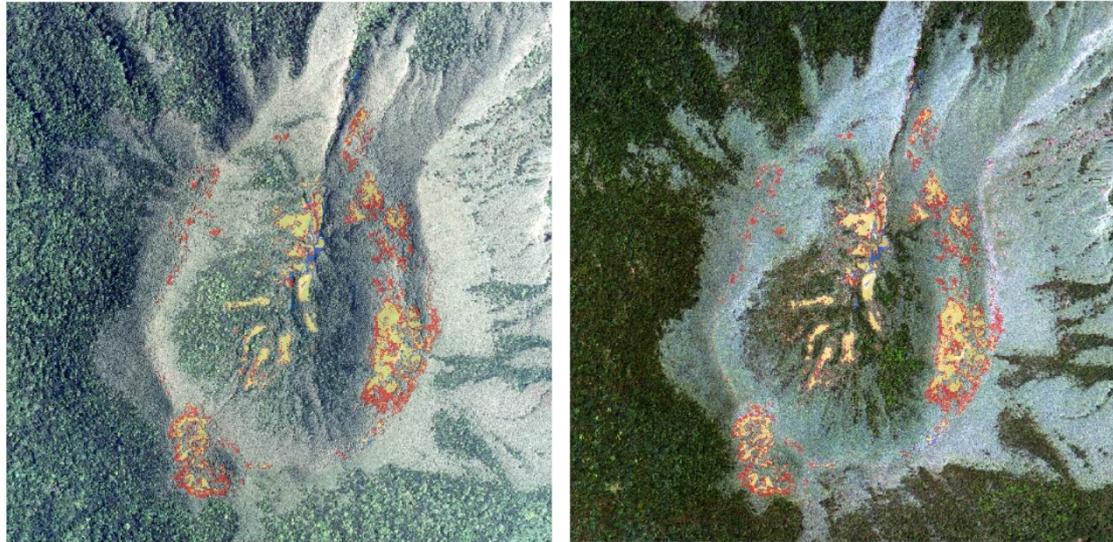
ZH2009-1978S套疊ZH2009

■ 損失 ■ 不變 ■ 新增

圖79. 磺嘴山火山口ZH2009-1978S短草地景類型變遷。

(資料來源：本研究)

圖80為磺嘴山火山口短草植群型由2009年至2017年之地景變遷，其底圖為ZH2009、ZH2017航照影像，再疊合ZH2017I – ZH2009I之短草植群型變遷(命名為ZH2009-1979S，包含3種情況：新增、不變、損失)。



ZH2017-2009S套疊ZH2009

ZH2017-2009S套疊ZH2017

■ 損失 ■ 不變 ■ 新增

圖80. 磺嘴山火山口ZH2017-2009S短草地景類型變遷。

(資料來源：本研究)

圖81為磺嘴山火山口短草植群型由1979年至2017年之地景變遷，其底圖為ZH1979、ZH2017航照影像，再疊合ZH2017I – ZH1979I之短草植群型變遷(命名為ZH2017-1979S，包含3種情況：新增、不變、損失)。由圖81可知在1979大部分的短草出現於火山口邊緣較高之處，至2018年，短草類型已被長草所取代(紅色區塊)，其餘之新增(藍色區塊)、不變(黃色區塊)多出現於火山口凹地之內，且二者面積均不大。

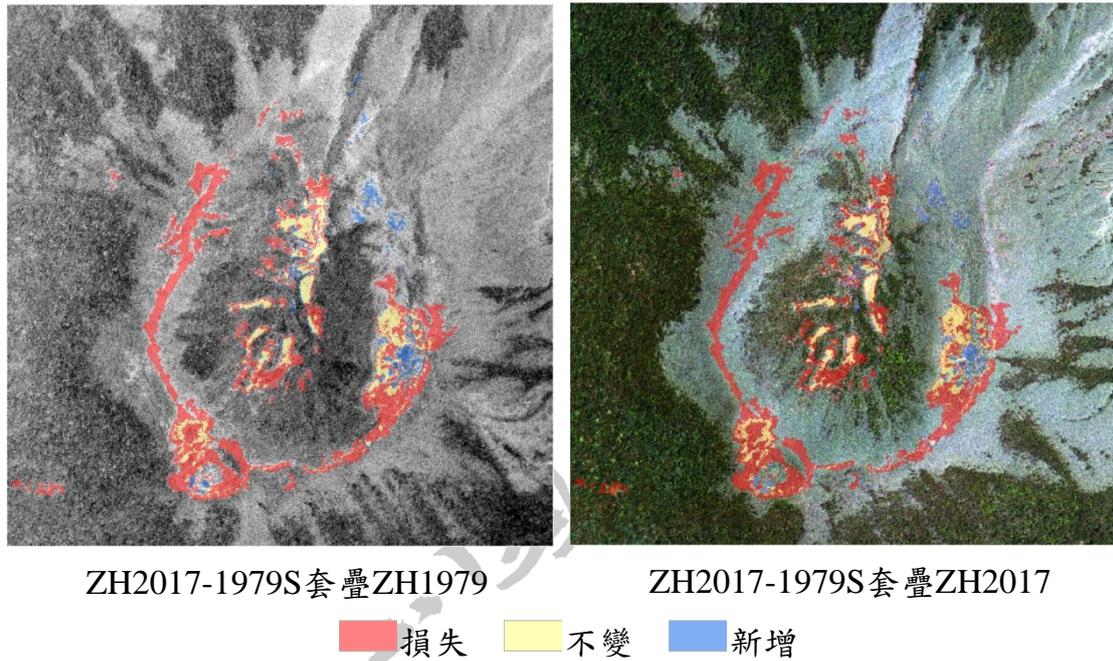


圖81. 磺嘴山火山口ZH2017-1979S短草地景類型變遷。

(資料來源：本研究)

(四) 水域之地景變遷

圖82為磺嘴山火山口水域由1979年至2009年之地景變遷，其底圖為ZH1979、ZH2009航照影像，再疊合ZH2009I – ZH1979I之水域類型的變遷(命名為ZH2009-1979W，包含3種情況：新增、不變、損失)。



ZH2009-1979W套疊ZH1979

ZH2009-1979W套疊ZH2009

■ 損失 ■ 不變 ■ 新增

圖82. 磺嘴山火山口ZH2009-1979W水域地景類型變遷。

(資料來源：本研究)

圖83為磺嘴山火山口水域由2009年至2017年之地景變遷，其底圖為ZH2009、ZH2017航照影像，再疊合ZH207I – ZH2009I之水域類型的變遷(命名為ZH2017-2009W，包含3種情況：新增、不變、損失)。



ZH2017-2009W套疊ZH2009

ZH2017-2009W套疊ZH2017

■ 損失 ■ 不變 ■ 新增

圖83. 磺嘴山火山口水域地景類型變遷。(資料來源: 本研究)

圖84為磺嘴山火山口水域由1979年至2017年之地景變遷，其底圖為ZH1979、ZH2017航照影像，再疊合ZH2017I – ZH1979I之水域類型的變遷(命名為ZH2017-1979W，包含3種情況：新增、不變、損失)。由圖84可知裸地類型主要出現於磺嘴山火山口之內的凹地，且其面積並不大，在1979年至2017年期間，水域地景類型不變(黃色區塊)、損失(紅色區塊)、新增(藍色區塊)均極小。

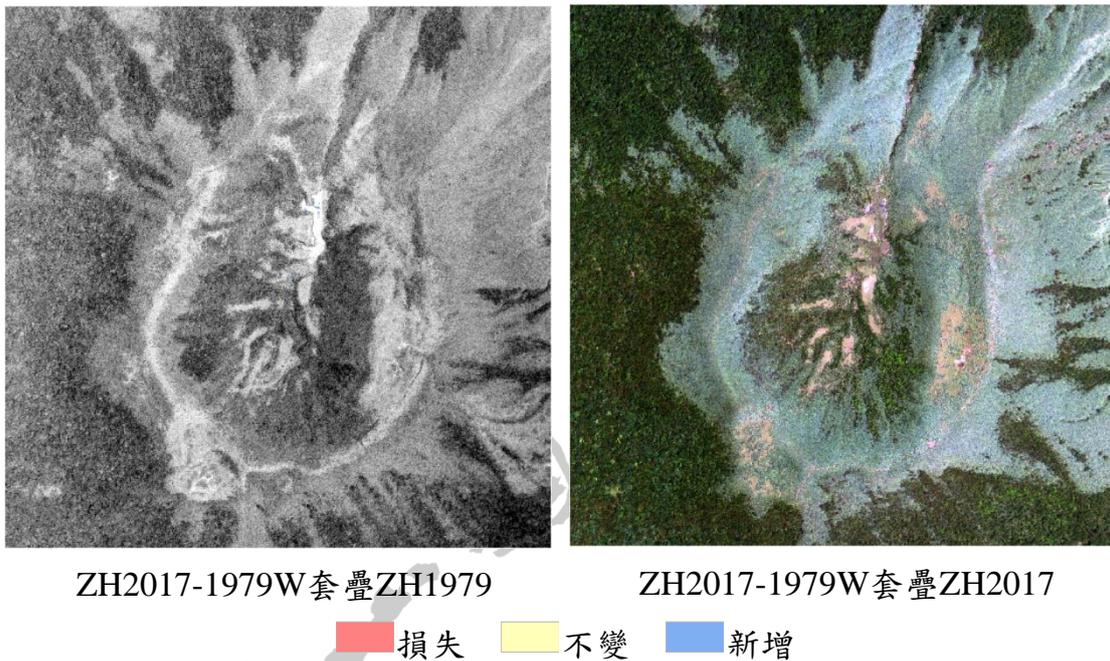


圖84. 磺嘴山火山口ZH2017-1979W水域地景類型變遷。

(資料來源: 本研究)

整體而言，磺嘴山火山口研究區於1979年至2017年期間之地景變遷的特徵，除了由前述各年期及各地景類型的圖示可茲解讀之外，亦可參考不同年期各地景類型之變遷矩陣表(表15)，可歸納為：

- (一)森林的消長：磺嘴山火山口研究區之森林變動，其在1979 → 2009 → 2017面積分別為482840.3 m² → 518146.8 m² → 476520.1 m²，其消長主要是與相鄰長草地景類型的變化有關；不論是在1979年至2009年、2009年至2017年期間，森林損失主要發生於磺嘴山火山口中心凹地及其向北延伸之區域，森林損失之原因可能與火燒有關，而森林新增主要發生於磺嘴山火山口中心外而鄰近森林之區域，其餘研究區內的森林大致上是不變的。
- (二)草生地的變化：磺嘴山火山口之草生地可分為短草與長草，其中以長草地景類型之面積較大。早期之短草地景類型主要出現於火山口邊緣較高之處，但其在1979年至2009年已大部分轉變為長草地景類型，而長草與森林處於相互消長之情況，於1979年至2009年期間，磺嘴山火山口外圍鄰接森林的長草地景類型，已明顯可見森林侵入長草區域。
- (三)水域地景類型之變化：水域地景類型佔磺嘴山火山口研究區之面積比例甚小，其在1979 → 2009 → 2017面積分別為94.3 m² → 729.9 m² → 285.4 m²，水域新增主要發生於1979年至2009年，而水域減少主要發生於2009年至2017年。王穎等(2019)於擎天崗區域監測水牛群行為發現，6-10月記錄到水牛有泥浴行為，每次泥浴時間最長達274±37分鐘；並透過水牛對擎天崗草原空間的利用，定位資料顯示5月時個體較集中利用草原北區，6月時則較集中南段，此與水池之分布可能有關。賴育菁等(2017)調查翠翠谷-磺嘴山的水牛數量約16頭左右，張新軒(1991)調查約有600頭。水牛對水池環境有需求偏好，而伴隨著水牛數量的減少，對2009年至2017年磺嘴山火山口內的水域面積減少的一定程度的影響。

第五節 地面調查及航空照片判釋結合分析

根據植群分析和航空照片判別的結果，我們將地面植群調查資料進行結合分析，結果發現兩個火山口的植群分布方式有明顯的差異，下列將針對兩地分別進行描述：

一、 磺嘴山火山口區域

由植群圖可看出磺嘴山的地景再受到2010年火燒擾動影響後(圖85)，大部分的東北方的地景多為高草區域，有零星分布之森林漸漸往火山口擴散的趨勢，短草區域則多因水牛族群形成，然而近年對水牛族群的研究發現其數量已大量減少(賴玉菁等，2017；王穎等，2019)，因此多數短草區域大面積分布於磺嘴山火山口附近，其他區域則以鑲嵌方式與白背芒族群共存；森林植群主要分布於火山口外側及內側中坡區域，根據地面調查及文獻指出(王震哲，2001；徐中梵，2006)，假桫欏族群常伴生於白背芒植群型，一旦其建立林分林下鬱閉後，白背芒植群降漸漸被其他較為耐陰植物所取代，而在後續演替則以小花鼠刺及狹瓣八仙花取代假桫欏族群形成推移帶代表植群型，現地調查雖發現火山口內布雖有零星的紅楠植群型且需要成長至火山口外側穩定植群仍需相當長的時間。

二、 向天山火山口區域

本區植群圖雖有部分區域與實際調查有些偏差(圖85)，但森林植群的判定與實際調查的區域準確性較高，比較容易出現偏差區域多為推移帶植群。從圖上可發現，由向天山火山口中心向外推移之短草植群分別為燈心草、過溝菜蕨、圓果雀麥及白背芒植群，有零星的森林區域散布其中，現地調查顯示這些喬木多為灰木(*Sy. chinensis*)，但在向天山火山口外側的森林植群卻未見其族群分布，顯示此物種僅能分布於草生地。推移帶植群多分布於高草與森林植群間，而有一區牛奶榕植群分布在森林植群北方，根據現地調查，該處其實有不少孔隙生成，因而造成有部分推移帶陽性物種在此形成族群。森林植群都相對位於向天山火山口的外緣處，值得一提的是，長梗紫麻-紅楠亞型多分布於北方，紅楠亞型則正好與之相反多分布於南方，反映兩個不同坡向水分梯度所造成的環境變異，此與前面章節地被層以DCA分型後的結果一致。從植群圖中也可發現前面提過公墓的位置坐落於樣區S9左側裸露地，在研究期間常可看有不同的民眾會來此獻花或祭祀，需要長期監測此地受踐踏影響是否會增加裸地面積。

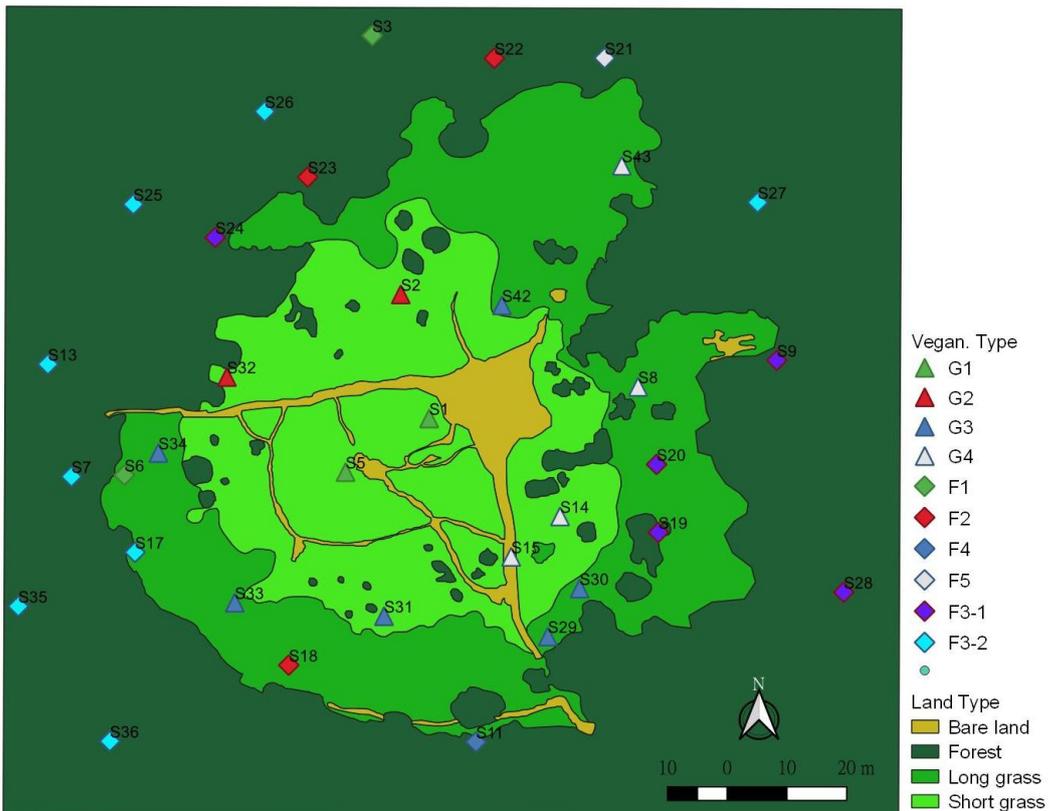
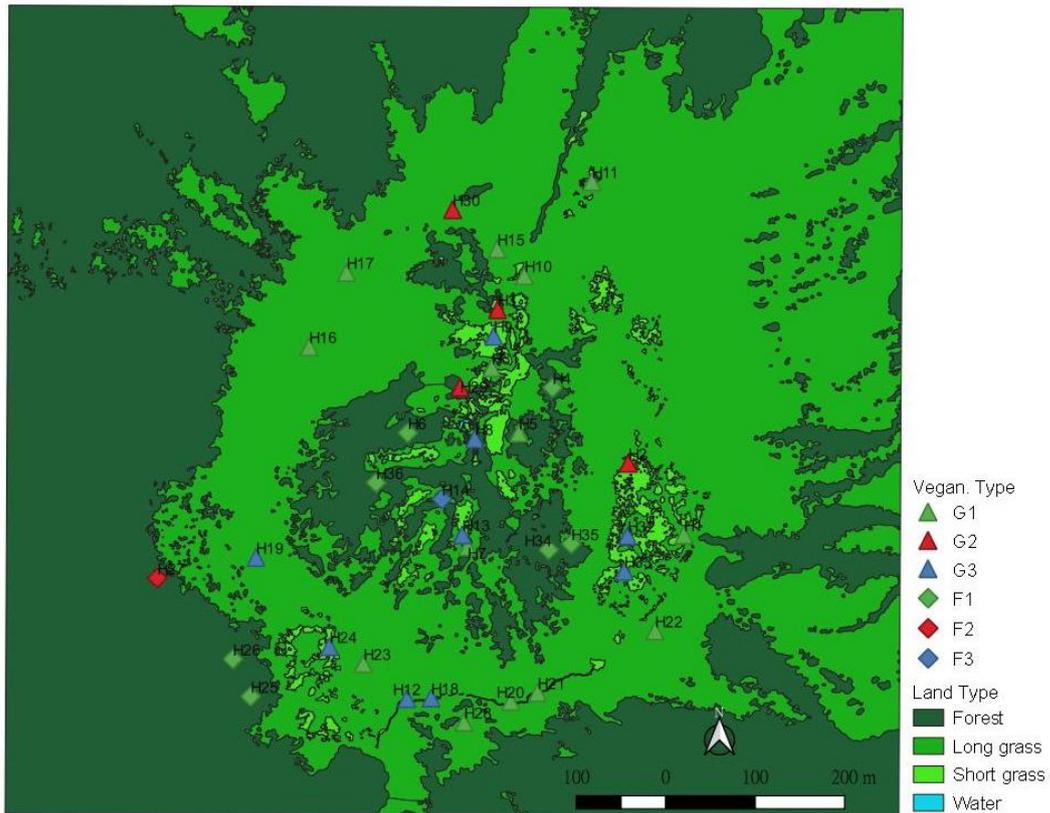


圖 85. 礪嘴山及向天山火山口之植群圖及樣區位置圖。上圖為礪嘴山火山口，下圖為向天山火山口，各樣區皆以本文植群分類結果呈現，三角形為草生地地景，菱形則為森林-灌叢草生地地景。

第六節 植群演替模型繪製

一、磺嘴山火山口植群演替模型繪製

磺嘴山火山口植群變化主要受到水牛啃食、踐踏，以及火燒等擾動影響；水牛活動會增加積水窪地面積，藉此減緩水池與濕地陸化現象，維持低草的類地毯草植群型與馬唐植群型的面積。當水牛數量較多時，水牛池的面積與數量會增加，水牛族群有利於維持類地毯草植群(張新軒, 1991; 賴育菁等, 2017)。賴育菁等(2017)調查翠翠谷-磺嘴山的水牛數量約 16 頭左右，比起過去曾有 600 頭的族群數量而言(張新軒, 1991)，水牛近年對於當地植群影響明顯減少，而本研究在磺嘴山火山口歷年航照圖分析發現，短草植群面積逐漸減少並轉變成高草植群的趨勢，顯示水牛數量明顯銳減改變磺嘴山火山口植群組成。張新軒(1991)與賴育菁等(2017)的研究皆指出，水牛有利於維持類地毯草植群，應當建立監測系統掌握其族群的變化情況。王穎等(2019)於擎天岡區域監測水牛群行為發現，6-10 月記錄到水牛有泥浴行為，並發現牛隻於 5 月時較集中利用草原北區，6 月時則較集中南段，顯示可能與水池之分布有關。本研究透過歷年航空照片判釋發現，水域面積在 2009 年至 2017 年有減少趨勢，此可能與研究區水牛族群減少，進而減少水牛的泥浴行為有關。

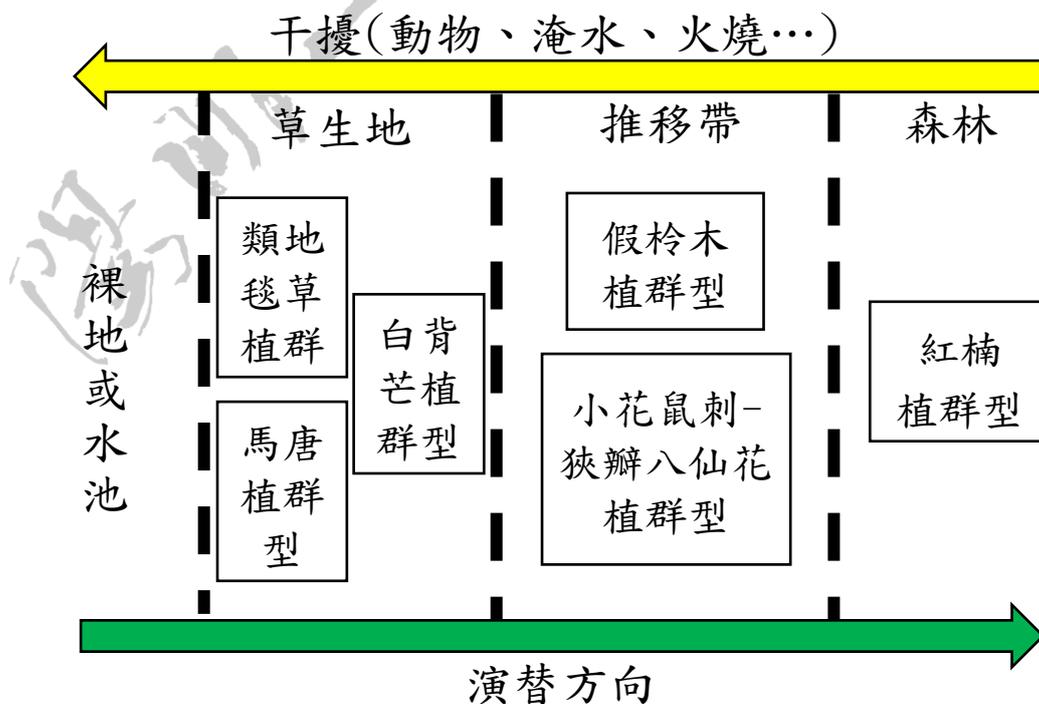


圖 86. 陽明山磺嘴山火山口植群演替模型。(資料來源：本研究)

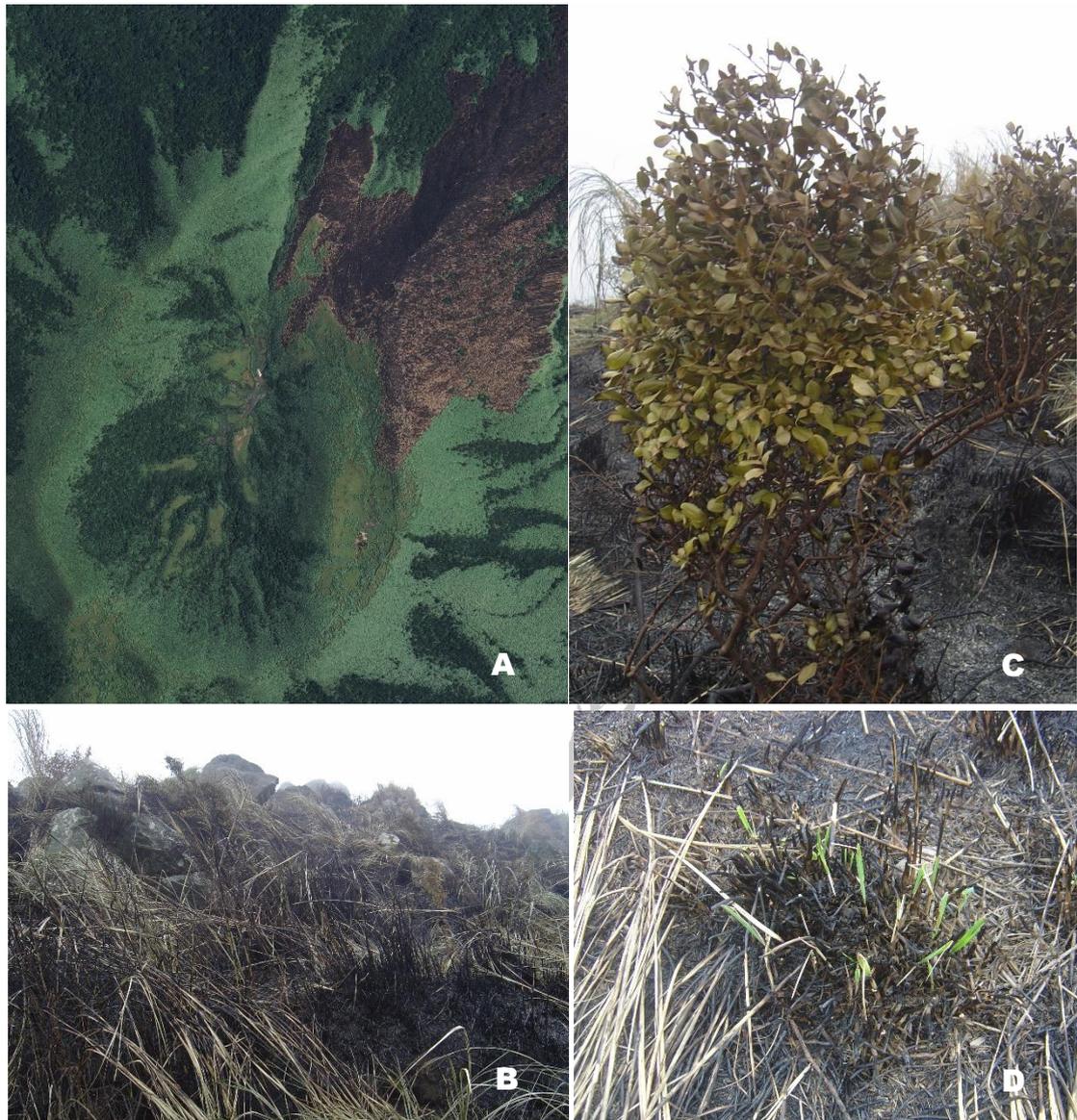


圖 87. 磺嘴山火山口植群 2010 年火燒事件。A 為當年之航空照片；B 為磺嘴山火燒後現場照片(陽管處保育課陳宏豪先生提供)；C 假柃木因樹皮和生長特性較耐火燒擾動；D 為白背芒在火後快速更新。

由於水牛在國家公園成立前就已存在，且王穎等(2019)石梯嶺-頂山使用步道之 342 位遊客對水牛之看法發現，有 84.2% 的遊客贊成保留牛群。由於逸出野化的水牛可以維持短草植群的存在，增加國家公園境內植群地景的多樣性。然而，水牛族群日益減少或消失對於磺嘴山火山口植群而言，或許可以提供農牧用地回收後植群演替觀察的良好場域。

此外，過去的火燒事件亦對磺嘴山火山口植群的破壞使森林、灌叢退化至高草的白背芒植群型；然火燒過後，白背芒植群開始被小花鼠刺、狹瓣八仙花、假柃木、野牡丹、日本山桂花等灌木入侵，形成以小花鼠刺、

狹瓣八仙花，或假桫欏為優勢的灌叢草生地，最後以耐陰性的紅楠植群型成為優勢之植群型。

二、向天山火山口演替模型繪製

向天山火山口植群演替趨勢以向天山火山口底部的燈心草植群(圖 88)，隨著池水消退與土壤淤積，喜濕的過溝菜蕨，或一些禾草類如圓果雀稗等拓殖，形成優勢的草本植物社會；離向天山火山口中心較遠處開始出現白背芒，建立高草植物社會。離向天山火山口中心更遠處，一些陽性的灌木和喬木如灰木、牛奶榕、朴樹等稚樹拓植，逐漸形成牛奶榕植群等灌叢草生地的推移帶。這些灌叢草生地提供使高草植物不再相對優勢則依據水分梯度差異而形成紅楠或紅楠-大葉楠植群等森林植群。

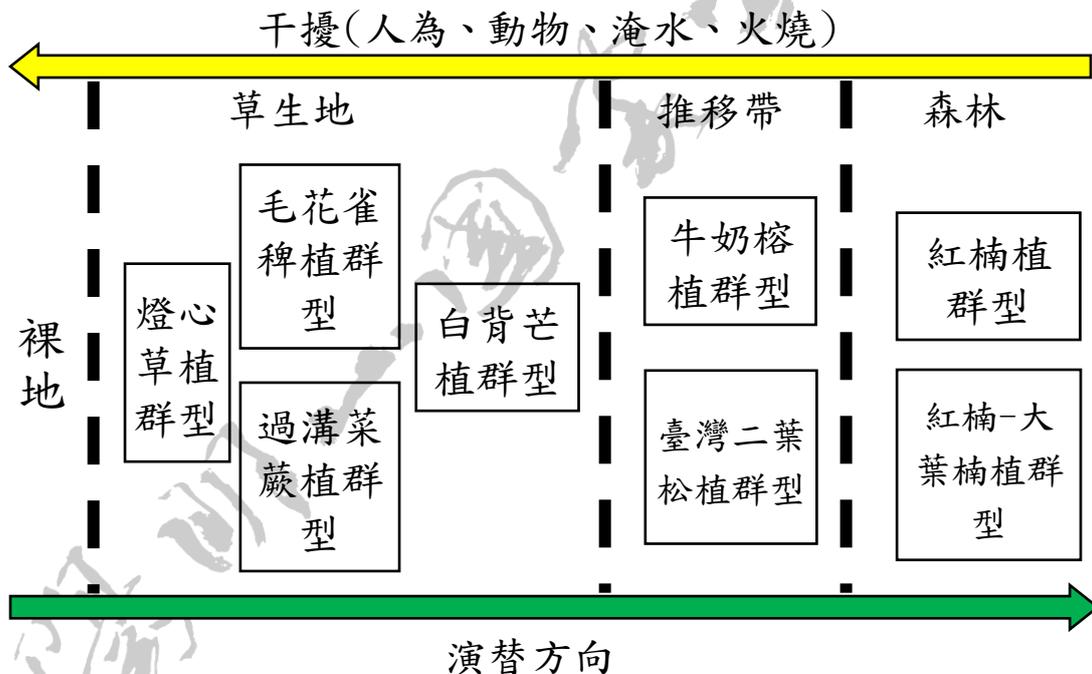


圖 88. 陽明山國家公園向天山火山口植群演替模型。(資料來源：本研究)

第四章 長期監測樣區調查志工教育訓練

研究團隊於2019年12月8日針對陽明山國家公園管理處志工進行本計畫成果報告之教育訓練教育講習分享及室外操作研習。



圖 89. 2019 年 12 月 8 日志工教育訓練講習成果照片。室內課程介紹磺嘴山與向天山火山口的特殊地景、歷史，及本計畫重要結果；室外課程介紹樣區設置、環境因子測量、物種鑑定與介量量測。

第五章 結論與建議

第一節 結論

本研究結合地面植物種類清單建立、植物社會調查與分析，以及歷年航空照片判釋結果，綜合分析討論後獲得以下結論。

一、磺嘴山火山口

磺嘴山火山口共調查 58 科 108 屬 148 種，其中 14 種特有種，1 種稀有植物，為光葉柃木(NT)；歸化種植物 6 種，有類地毯草、馬唐、百喜草、昭和草、鴨舌草及美洲母草等。植群分類顯示草生地植群為 1.白背芒植群型、2.馬唐植群型，及 3.類地毯草植群型；灌叢草生地與森林植群為 1.小花鼠刺-狹瓣八仙花植群型、2.紅楠植群型，及 3.假柃木植群型。

磺嘴山火山口於 1979 年至 2017 年地景變遷顯示，森林損失主要發生於磺嘴山火山口中心凹地及其向北延伸之區域，森林損失原因可能與火燒有關，而森林新增主要發生於磺嘴山火山口外而鄰近森林之區域；早期之短草地景類型主要出現於火山口邊緣較高之處，但在 1979 年至 2009 年已大部分轉變為長草地景類型，1979 年至 2009 年期間，磺嘴山火山口外圍鄰接森林的長草地景類型，明顯可見森林侵入長草區域。1979 年至 2017 年期間，磺嘴山火山口之水域地景類型大致不變。水域新增主要發生於 1979 年至 2009 年，而水域減少主要發生於 2009 年至 2017 年，此與水牛族群數量變動有關。

磺嘴山火山口植群變化主要受到水牛啃食、踐踏，以及火燒等擾動影響，此現象由過去水牛數量監測資料和短草植群面積逐漸減少並轉變成高草植群趨勢的歷年航照圖分析結果一致。此外，研究區在 2010 年曾發生火燒，灌叢草生地與森林因火燒退化成高草的白背芒植群型；而火燒後植群亦逐漸達灌叢草生地的小花鼠刺-狹瓣八仙花植群型與假柃木植群型，甚至森林的紅楠植群型演替。

二、向天山火山口

向天山火山口共調查 85 科 177 屬 245 種，其中 33 種特有種，4 種珍稀植物，分別為臺灣野梨(CR)、十大功勞(VU)、光葉柃木(NT)，及臺灣金線蓮(NT)；歸化種植物 8 種包括大花咸豐草、加拿大蓬、昭和草、飛機草、

西番蓮、小酸模、大黍及棕葉狗尾草等。植群分類顯示草生地植群為 1.燈心草植群型、2.過溝菜蕨植群型、3.白背芒植群型，及 4.圓果雀稗植群型；灌叢草生地與森林植群為 1.牛奶榕植群型、2.臺灣二葉松植群型、3.紅楠植群型、4.楊梅植群型，及 5.尾葉灰木植群型。

向天山火山口 α 物種多樣性指顯示，草生地植群較低，推移帶與森林植群較高； β 物種多樣性分析顯示，物種轉換變化大致沿植群形相與環境梯度變化，相似形相植物社會變化較低。地被 DCA 排序分析顯示，第一軸將植群形相類型進行明顯的區分森林與草生地，反映海拔(距離火山口中心距離)、坡度的環境影響。磺嘴山火山口 DCA 第一軸將森林與草生地區分，環境以坡度影響較大。

比對 1978 年及 2018 年向天山火山口植群圖變化顯示，向天山西北側及中心北側於 1978 年之草地，至 2018 年已逐步演替為森林；向天山中心之南側及西南側也有許多於 1978 年原為森林之處，至 2018 年已沿著向天山邊緣部分消失；靠近池中心周邊，由長草轉變為短草；在靠近森林邊緣之處，則是由森林轉變為長草；裸地面積增加，可能與人為活動增加有關。

雖然地形效應與降雨淹水的擾動，影響向天山火山口植群的草生地、推移帶及森林的物種組成與植群演替，但向天山火山口的墓地和民眾休閒活動亦干擾植群的自然演替；此部分由步道旁發現蘋果、柑橘等樹苗的建立，以及歷年航空照片發現草生地因過度踐踏而裸露的現象獲得驗證。

第二節 建議

本研究針對調查分析結果，針對下列可續探討的面向或待釐清的部分逐項建議與詳述。

一、短期可行建議

(1) 減緩向天山火山口植群裸露速度

主辦機關：陽明山國家公園管理處

協辦單位：管理處志工

預估時程：立即可行

在向天山火山口地區加強遊客遊憩活動行為宣導，不要踐踏草生地，引導遊客行走在步道；此外，透過本研究調查成果轉化的科普解說教育資料，增加解說牌說明，讓民眾了解過度踐踏形成裸地對生態系環境造成的衝擊。

(2) 外來種植物監測

主辦機關：陽明山國家公園管理處

協辦單位：民間團體或志工

預估時程：立即可行

向天山火山口與磺嘴山火山口的外來歸化植物種類與數量尚少，建議結合志工服勤方式監測，並參考蘇夢淮(2018)於管理處的研究成果建議方式辦理。

二、中長期可行建議

(1) 降低向天池的遊客承載量，減少遊客對向天池生態系的衝擊

主辦機關：陽明山國家公園管理處

協辦單位：無

預估時程：中期可行

人為擾動已對向天山火山口植群造成變化，加上氣候變遷下極端天氣發生頻度增加，向天池內湖沼枝額蟲等族群可能受到影響，降低向天池的遊客承載量。

(2) 建立磺嘴山與向天山火山口長期監測，以期了解人為、水牛活動與氣候變遷影響的直接證據

主辦機關：陽明山國家公園管理處

協辦單位：專家學者或專業研究團隊

預估時程：中長期可行

管理處可以委託專家學者進行研究區的生物與環境監測，例如透過長期監測樣區調查、空拍機輔助植群監測等方法，每 5-10 年進行監測調查；無人飛行載具拍攝(附錄三)可以輔佐地面植群調查資料，提供小面積如本計畫研究區之植群變遷參考；若有發生干擾事件，則可立即進行，提供了解人為、水牛活動與氣候變遷影響的直接證據。

(3)水牛與磺嘴山植群關係之研究

主辦機關：陽明山國家公園管理處

協辦單位：專家學者或專業研究團隊

預估時程：中長期可行

水牛在國家公園成立前就已存在，逸出野化的水牛可以維持短草植群的存在，增加國家公園境內植群地景的多樣性；然而，在不影響人們安全下，水牛族群日益減少或消失對於磺嘴山火山口植群，可以提供農牧用地回收後植群演替觀察的良好場域。

參考書目

- Bryson, M., Reid, A., Hung, C., Ramos, F. T., & Sukkarieh, S. (2014). Cost-effective mapping using unmanned aerial vehicles in ecology monitoring applications. In *Experimental robotics* (pp. 509-523). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Boufford, D. E., C. F. Hsieh, T. C. Huang, C. S. Kuoh, O. Hiroshi, C. I Peng, J. L. Tsai and K. C. Yang (2003) A Checklist of the Vascular Plants of Taiwan. In: Huang, T. C. et al. (eds.), *Flora of Taiwan*. Editorial Committee, Dept. Bot., NTU, Taipei, Taiwan.
- Day, F. P. and Monk C. D. (1974) Vegetation patterns on a Southern Appalachian watershed. *Ecology* 55: 1064-1074.
- Danilov, A. S., Smirnov, U. D., & Pashkevich, M. A. (2015). The system of the ecological monitoring of environment which is based on the usage of UAV. *Russian journal of ecology*, 46(1), 14-19.
- Huang S.-L., Wang C.-C., Huang W.-P., Chou L.-S. (2010) Indeterminate growth of the fairy shrimp, *Branchinella (Branchinellites) kugenumaensis* (Branchiopoda: Anostraca) in an Unpredictable Ephemeral Pool. *Journal of Crustacean Biology* 30(3): 366-372. <https://doi.org/10.1651/09-3235.1>
- McCune, B. and Mefford M. J. (1999) *Multivariate Analysis of Ecological Data*, Version 4.0. Glenden Beach, OR: MJM Software Design.
- McDonald, R. C. (1977) *Soil horizon nomenclature*. Dept. of Primary Industries, Queensland.
- 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: 199-223.
- Pavlos, A., Konstantinos, N. and Vlasoula B. (2015) Total Organic Carbon and Total Nitrogen in Sediments and Soils: A Comparison of the Wet Oxidation - Titration Method with the Combustion-Infrared Method. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 4: 425-430. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.03.048>.
- Rhoades, J. D. (1982) in *Methods of soil analysis: Part 2: Chemical and microbiological properties*. Monograph Number 9, Soluble salts, eds Page A.L., Miller R.H., Keeney D.R. (ASA, Madison, WI), 2nd ed, pp 167-179.

- Sorensen, T. A. (1948) A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content, and its application to analyses of the vegetation on Danish commons. *K dan Vidensk Selsk Biol Skr* 5: 1-34.
- ter Braak, C. J. F. (1985) Correspondence analysis of incidence and abundance data: properties in terms of a unimodal response model. *Biometrics* 41: 859-873.
- ter Braak, C. J. F. (1986) Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology* 67: 1167-1179.
- ter Braak, C. J. F. (1987) The analysis of vegetation-environment relationships by canonical correspondence analysis. *Vegetatio* 69: 69-77.
- ter Braak, C. J. F. and P. F. M. Verdonschot (1995) Canonical correspondence analysis and related multivariate methods in aquatic ecology. *Aquatic Sciences* 57(3): 255-289.
- Lin CT, Chiu CA (2019) The relic *Trochodendron aralioides* Siebold & Zucc. (Trochodendraceae) in Taiwan: ensemble distribution modeling and climate change impacts. *Forests* 10(1): 7.
- 下澤伊八郎 (1941) 大屯火山彙植物誌。大屯國立公園協會，121 頁。
- 藤原仁一 (1925) 大屯山造林私見。台灣山林會報 15：6-18。
- 王俊閔(2009) 臺中大坑地區植群生態之研究。國立中興大學森林學系碩士論文。
- 王國雄 (1995) 陽明山國家公園特殊植物種類及其族群生態研究。內政部營建署陽明山國家公園管理處。
- 王義仲 (2003) 陽明山國家公園長期生態研究-植被變遷與演替調查。陽明山國家公園管理處。
- 王震哲 (2001) 陽明山國家公園磺嘴山生態保護區植物相調查。陽明山國家公園管理處。
- 王偉、邱清安、蔡尚蕙、許俊凱、曾喜育、呂金誠 (2010) 雪山主峰沿線植物社會調查研究。林業研究季刊 32(3):1-20。
- 王偉、曾彥學、邱清安、郭礎嘉、曾喜育 (2016) 火炎山地區植群之研究。中華林學季刊 49(2):131-150。
- 王穎、胡正恆、李一泓 (2019) 108 年度陽明山國家公園擎天崗區域野化水牛族群調查。陽明山國家公園管理處委託報告。

- 李瑞宗 (1988) 陽明櫻花八十載。文化森林 12, 中國文化大學森林學系系學會出版。
- 邱祈榮、薛怡珍、劉宇安、賴彥任 (2012) 台中大肚山台地土地利用及地覆變化趨勢之分析。都市與計畫 39(1): 25-50。
- 邱清安 (2014) 陽明山國家公園昆欄樹族群生態學及氣候變遷影響之研究。陽明山國家公園管理處。
- 邱清安、王志強、陳韋志、李美芬、廖敏君 (2018) 原生景觀植物篩選及其應用芻議：以陽明山國家公園為例。國家公園學報 28(1): 59-71。
- 邱清安、陳韋志、王志強、張坤城、廖敏君、徐憲生、蔡智勇 (2017) 昆欄樹的空間分布是否真有北降現象？林業研究季刊 39(2): 85-95
- 林曜松、周蓮香 (1991) 豐年蝦生態之調查研究。內政部營建署陽明山國家公園管理處。
- 周蓮香、黃祥麟 (2004) 陽明山國家公園湖沼枝額蟲 (*Branchinella kugenumaensis*, Ishikawa) 之生活史研究。陽明山國家公園管理處。
- 徐中芄 (2006) 擎天崗地區植群構造在森林「邊緣-內部」梯度上的變異。國立台灣大學森林環境暨資源學研究所碩士論文。99 頁。
- 黃祥麟、周蓮香 (2005) 陽明山國家公園湖沼枝額蟲 (*Branchinella kugenumaensis*, Ishikawa) 族群生態研究。陽明山國家公園管理處。
- 張育森 (2006) 陽明山國家公園稀有原生種植物保育生物學之研究。陽明山國家公園管理處。
- 許皓捷、李培芬 (2003) 群聚變異梯度長度對排序結果的影響。台灣林業科學 18(3): 201-211。
- 許立達 (2008) 陽明山國家公園植被變遷研究。陽明山國家公園管理處。
- 許立達、王義仲、李載鳴、林志欽 (2009) 陽明山國家公園植被變遷研究，陽明山國家公園 97 年度委託研究暨保育計畫成果發表會，pp.85-96。
- 郭城孟 (2003) 陽明山國家公園全區蕨類調查。陽明山國家公園管理處研究報告。陽明山國家公園管理處。
- 陳益明 (1989) 陽明山國家公園區內火山植物生態之研究。陽明山國家公園管理處。
- 陳俊宏、李玲玲、吳書平、蘇夢淮、陶翼煌、林明聖、楊天南 (2010) 陽明山國

- 家公園陽金公路以東地區資源調查。陽明山國家公園管理處。253 頁。
- 曾喜育、郭礎嘉、陳玟璇、湯冠臻、曾彥學 (2014) 玉山國家公園塔塔加-玉山主峰線步道開花與結實物候調查。國家公園學報 24 (1): 58-75。
- 張金屯 (2004) 數量生態學。科學出版社。北京。
- 張新軒(1991)磺嘴山(含擎天崗)地區動物(牧牛)對環境影響之研究與管理。陽明山國家公園管理處委託研究報告。
- 黃生 (2002) 陽明山區包箬矢竹更新監測及繁殖生態研究。陽明山國家公園管理處。
- 黃增泉 (1983) 陽明山國家公園植物生態景觀資源。陽明山國家公園管理處。
- 賴明洲 (1991) 陽明山國家公園鹿角坑溪生態保護區植物生態調查。陽明山國家公園管理處。
- 賴玉菁、許立達、吳杰龍、林濬諒 (2016) 陽明山國家公園園區野化偶蹄類動物調查及經營管理探討。陽明山國家公園管理處委託辦理報告。101 頁。
- 應紹舜 (2006) 臺灣島槐天然更新及種子發芽之研究。臺灣林業，10: 24-31。
- 謝長富、黃增泉、楊國禎、謝宗欣 (1990) 陽明山國家公園稀有植物族群生態調查。陽明山國家公園管理處。
- 韓中梅、黃生 (2000) 陽明山地區矢竹族群生態及遺傳研究。陽明山國家公園管理處。
- 簡龍祥 (2002) 臺灣東北部瑪鍊河流域植群生態之研究。國立臺灣大學森林學研究所碩士論文。
- 劉崇瑞、蘇鴻傑 (1983) 森林植物生態學。臺灣商業印書館。共 462 頁。
- 國家公園學會 (1995) 牛隻活動對磺嘴山生態之影響。內政部營建署陽明山國家公園管理處委託計畫。51 頁。

附錄一、磺嘴山火山口之維管束植物名錄

本名錄中共有 58 科 148 種，科名後括弧內為該科之物種總數。"#" 代表特有種，"*" 代表歸化種，"†" 代表栽培種。中名後面括號內的縮寫代表依照「臺灣維管束植物紅皮書初評名錄」中依照 IUCN 瀕危物種所評估等級，EX: 滅絕、EW: 野外滅絕、RE: 區域性滅絕、CR: 嚴重瀕臨滅絕、EN: 瀕臨滅絕、VU: 易受害、NT: 接近威脅、DD: 資料不足。若未註記者代表安全(Least concern)。

蕨類植物 Ferns and Lycophytes

1. Aspleniaceae 鐵角蕨科 (1)

1. *Asplenium normale* D. Don 生芽鐵角蕨

2. Athyriaceae 蹄蓋蕨科 (4)

2. *Diplazium dilatatum* Blume 廣葉鋸齒雙蓋蕨
3. *Diplazium mettenianum* (Miq.) C. Chr. 深山雙蓋蕨
4. *Diplazium petrii* Tardieu 廣葉深山雙蓋蕨
5. *Diplazium virescens* Kunze 刺柄雙蓋蕨

3. Cyatheaceae 杪欏科 (1)

6. *Cyathea podophylla* (Hook.) Copel. 鬼杪欏

4. Dennstaedtiaceae 碗蕨科 (8)

7. *Dennstaedtia scabra* (Wall. ex Hook.) T. Moore 碗蕨
8. *Histiopteris incisa* (Thunb.) J. Sm. 栗蕨
9. *Hypolepis punctata* (Thunb.) Mett. ex Kuhn 姬蕨
7. *Microlepia hookeriana* (Wall. ex Hook.) C. Presl 虎克氏鱗蓋蕨
10. *Microlepia marginata* (Panz.) C. Chr. 邊緣鱗蓋蕨
11. *Microlepia speluncae* (L.) T. Moore 熱帶鱗蓋蕨
12. *Microlepia strigosa* (Thunb.) C. Presl 粗毛鱗蓋蕨
13. *Monachosorum henryi* Christ 稀子蕨

14. Dipteridaceae 雙扇蕨科 (1)

15. *Dipteris conjugata* Reinw. 雙扇蕨

5. Dryopteridaceae 鱗毛蕨科 (2)

16. *Arachniodes aristata* (G. Forst.) Tindale 細葉複葉耳蕨
17. *Arachniodes rhomboidea* (Schott) Ching 斜方複葉耳蕨

6. Gleicheniaceae 裏白科 (2)

18. *Dicranopteris linearis* (Burm. f.) Underw. 芒萁
19. *Diplazium laevissimum* (Christ) Nakai 鱗芽裏白

7. Lindsaeaceae 陵齒蕨科 (1)

20. *Sphenomeris chusana* (L.) Copel. 烏蕨

8. Lycopodiaceae 石松科 (3)

21. *Lycopodium cernuum* L. 過山龍
22. *Lycopodium clavatum* L. 石松
23. *Lycopodium complanatum* L. 地刷子

9. Plagiogyriaceae 瘤足蕨科 (1)

24. *Plagiogyria dunnii* Copel. 倒葉瘤足蕨
10. **Polypodiaceae** 水龍骨科 (3)
25. *Lemmaphyllum microphyllum* C. Presl 伏石蕨
26. *Lepisorus thunbergianus* (Kaulf.) Ching 瓦葦
27. *Microsorium buergerianum* (Miq.) Ching 波氏星蕨
11. **Selaginellaceae** 卷柏科 (2)
28. *Selaginella doederleinii* Hieron. 生根卷柏
29. *Selaginella remotifolia* Spring 疏葉卷柏
12. **Thelypteridaceae** 金星蕨科 (5)
30. *Cyclosorus parasiticus* (L.) Farw. 密毛毛蕨
31. *Dictyocline griffithii* T. Moore 聖蕨
32. *Metathelypteris adscendens* (Ching) Ching 微毛凸軸蕨
33. *Parathelypteris beddomei* (Baker) Ching 縮羽副金星蕨
34. *Pronephrium triphyllum* (Sw.) Holttum 新月蕨

雙子葉植物 'Dicotyledons'

13. **Acanthaceae** 爵床科 (1)
35. *Justicia procumbens* var. *hirsuta* Yamam. 密毛爵床 # (VU)
14. **Adoxaceae** 五福花科 (2)
36. *Sambucus williamsii* Hance 接骨木
37. *Viburnum formosanum* (Hance) Hayata 紅子莢蒾
15. **Apocynaceae** 夾竹桃科 (2)
38. *Dischidia formosana* Maxim. 風不動 #
39. *Trachelospermum jasminoides* (Lindl.) Lem. 絡石
16. **Aquifoliaceae** 冬青科 (3)
40. *Ilex asprella* (Hook. & Arn.) Champ. ex Benth. 燈稱花
41. *Ilex rotunda* Thunb. 鐵冬青
42. *Ilex uraiensis* Mori & Yamamoto 烏來冬青
17. **Araliaceae** 五加科 (3)
43. *Dendropanax dentiger* (Harms) Merr. 臺灣樹參
43. *Hedera rhombea* var. *formosana* (Nakai) H.L. Li 臺灣常春藤 #
44. *Hydrocotyle batrachium* Hance 臺灣天胡荽
18. **Aristolochiaceae** 馬兜鈴科 (1)
45. *Asarum macranthum* Hook. f. 大花細辛 #
19. **Asteraceae** 菊科 (1)
46. *Crassocephalum crepidioides* (Benth.) S. Moore 昭和草 *
20. **Chloranthaceae** 金粟蘭科 (1)
47. *Sarcandra glabra* (Thunb.) Nakai 草珊瑚
21. **Elaeagnaceae** 胡頹子科 (1)
48. *Elaeagnus thunbergii* Servett. 鄧氏胡頹子 #
22. **Ericaceae** 杜鵑花科 (2)
49. *Rhododendron oldhamii* Maxim. 金毛杜鵑 #

50. *Vaccinium bracteatum* Thunb. 米飯花
23. **Garryaceae 絲纓花科 (1)**
51. *Aucuba japonica* Thunb. 東瀛珊瑚
24. **Haloragaceae 小二仙草科 (1)**
52. *Haloragis micrantha* (Thunb.) R. Br. 小二仙草
25. **Hydrangeaceae 八仙花科 (2)**
53. *Hydrangea angustipetala* Hayata 狹瓣八仙花
54. *Pileostegia viburnoides* Hook. f. & Thomson 青棉花
26. **Hypericaceae 金絲桃科 (1)**
55. *Hypericum japonicum* Thunb. 地耳草
27. **Iteaceae 鼠刺科 (2)**
56. *Itea oldhamii* C.K. Schneid. 鼠刺
57. *Itea parviflora* Hemsl. 小花鼠刺 #
28. **Lamiaceae 唇形科 (1)**
58. *Callicarpa formosana* Rolfe 杜虹花
29. **Lauraceae 樟科 (5)**
59. *Litsea acuminata* (Blume) Kurata 長葉木薑子
60. *Machilus japonica* var. *kusanoi* (Hayata) J.C. Liao 大葉楠 #
61. *Machilus thunbergii* Siebold & Zucc. 紅楠
62. *Machilus zuihoensis* Hayata 香楠 #
63. *Neolitsea sericea* (Blume) Koidz. 白新木薑子
30. **Linderniaceae 母草科 (4)**
64. *Lindernia crustacea* (L.) F. Muell. 藍豬耳
65. *Lindernia dubia* (L.) Pennell 美洲母草 *
66. *Lindernia procumbens* (Krock.) Philcox 陌上草
67. *Torenia concolor* Lindl. 倒地蜈蚣
31. **Melastomataceae 野牡丹科 (3)**
68. *Blastus cochinchinensis* Lour. 柏拉木
69. *Melastoma candidum* D. Don 野牡丹
70. *Sarcopyramis napalensis* var. *bodinieri* (H. Lév. & Vaniot) H. Lév. 肉穗野牡丹
32. **Menispermaceae 防己科 (1)**
71. *Pericampylus formosanus* Diels 蓬萊藤
33. **Moraceae 桑科 (1)**
72. *Ficus erecta* var. *beeheyana* (Hook. & Arn.) King 牛奶榕
34. **Oleaceae 木犀科 (1)**
73. *Ligustrum sinense* Lour. 小實女貞
35. **Pentaphylacaceae 五列木科 (5)**
74. *Eurya crenatifolia* (Yamam.) Kobuski 假柃木 #
75. *Eurya gnaphalocarpa* Hayata 毛果柃木
76. *Eurya loquaiana* Dunn 細枝柃木
77. *Eurya nitida* Korth. 光葉柃木 (NT)
78. *Eurya septata* C.C. Wu, Z.F.Hsu & C.H. Tsou 臺灣格柃 #

36. **Polygonaceae 蓼科 (2)**
79. *Polygonum chinense* L. 火炭母草
80. *Polygonum pubescens* Blume 腺花毛蓼
37. **Primulaceae 紫金牛科 (6)**
81. *Ardisia crenata* Sims 珠砂根
82. *Ardisia sieboldii* Miq. 樹杞
83. *Ardisia virens* Kurz 黑星紫金牛
84. *Maesa japonica* (Thunb.) Moritzi & Zoll. 山桂花
85. *Maesa perularia* var. *formosana* (Mez) Y.P. Yang 臺灣山桂花
86. *Myrsine seguinii* H. Lévl. 大明橘
38. **Proteaceae 山龍眼科 (1)**
87. *Helicia formosana* Hemsl. 山龍眼
39. **Rosaceae 薔薇科 (6)**
88. *Prunus phaeosticta* (Hance) Maxim. 墨點櫻桃
89. *Rubus alnifoliolatus* H. Lévl. 檜葉懸鉤子
90. *Rubus buergeri* Miq. 寒莓
91. *Rubus corchorifolius* L. f. 變葉懸鉤子
92. *Rubus croceacanthus* H. Lévl. 虎婆刺
93. *Rubus swinhoei* Hance 斯氏懸鉤子
40. **Rubiaceae 茜草科 (5)**
94. *Damnacanthus indicus* C.F. Gaertn. 伏牛花
95. *Lasianthus fordii* Hance 琉球雞屎樹
96. *Mussaenda pubescens* W.T. Aiton 毛玉葉金花
97. *Paederia foetida* L. 雞屎藤
98. *Psychotria serpens* L. 拎壁龍
41. **Sabiaceae 清風藤科 (1)**
99. *Meliosma rhoifolia* Maxim. 山豬肉
42. **Sapindaceae 無患子科 (1)**
100. *Acer kawakamii* Koidz. 尖葉槭 #
43. **Styracaceae 安息香科 (1)**
101. *Styrax formosanus* Matsum. 烏皮九芎 #
44. **Symplocaceae 灰木科 (1)**
102. *Symplocos theophrastifolia* Siebold & Zucc. 山豬肝
45. **Trochodendraceae 昆欄樹科 (1)**
103. *Trochodendron aralioides* Siebold & Zucc. 昆欄樹
46. **Urticaceae 蕁麻科 (3)**
104. *Elatostema lineolatum* var. *majus* Wedd. 冷清草
105. *Elatostema trilobulatum* (Hayata) T. Yamaz. 裂葉樓梯草 #
106. *Pellionia radicans* (Siebold & Zucc.) Wedd. 赤車使者
47. **Violaceae 堇菜科 (3)**
107. *Viola arcuata* Blume 如意草
108. *Viola diffusa* Ging. 茶匙黃
109. *Viola nagasawae* Makino & Hayata 臺北堇菜

48. **Vitaceae** 葡萄科 (2)

110. *Cayratia japonica* (Thunb.) Gagnep. 虎葛
111. *Tetrastigma formosanum* (Hemsl.) Gagnep. 三葉崖爬藤

單子葉植物 Monocotyledons

49. **Araceae** 天南星科 (1)

112. *Epipremnum pinnatum* (L.) Engl. 拎樹藤

50. **Asparagaceae** 天門冬科 (1)

113. *Ophiopogon intermedius* D. Don 間型沿階草

51. **Commelinaceae** 鴨跖草科 (1)

114. *Amischotolype hispida* (Less. & A. Rich.) D.Y. Hong 穿鞘花

52. **Cyperaceae** 莎草科 (7)

115. *Carex baccans* Nees 紅果薹
116. *Carex cruciata* Wahlenb. 煙火薹
117. *Carex filicina* Nees 紅鞘薹
118. *Carex perakensis* C.B. Clarke 黃穗薹
119. *Cyperus malaccensis* Lam. 茛芒
120. *Eleocharis congesta* subsp. *japonica* (Miq.) T. Koyama 針蘭
121. *Scleria terrestris* (L.) Fassett 陸生珍珠茅

53. **Dioscoreaceae** 薯蕷科 (1)

122. *Dioscorea japonica* Thunb. 薄葉野山藥

54. **Juncaceae** 燈心草科 (1)

123. *Juncus effusus* var. *decipiens* Buchenau 燈心草

55. **Poaceae** 禾本科 (21)

124. *Axonopus affinis* Chase 類地毯草 *
125. *Brachypodium sylvaticum* (Huds.) P. Beauv. 基隆短柄草
126. *Cynodon dactylon* (L.) Pers. 狗牙根
127. *Cyrtococcum accrescens* (Trin.) Stapf 散穗弓果黍
128. *Cyrtococcum patens* (L.) A. Camus 弓果黍
129. *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. 馬唐 *
130. *Eleusine indica* (L.) Gaertn. 牛筋草
131. *Eremochloa ophiuroides* (Munro) Hack. 假儉草
132. *Ichnanthus vicinus* (F.M. Bailey) Merr. 距花黍
133. *Isachne globosa* (Thunb.) Kuntze 柳葉箬
134. *Isachne kunthiana* (Wight & Arn. ex Steud.) Miq. 肯氏柳葉箬
135. *Isachne nipponensis* Ohwi 日本柳葉箬 (NT)
136. *Miscanthus floridulus* (Labill.) Warb. ex K. Schum. & Lauterb. 五節芒
137. *Miscanthus sinensis* fo. *glaber* Honda 白背芒
138. *Oplismenus compositus* (L.) P. Beauv. 竹葉草
139. *Oplismenus hirtellus* (L.) P. Beauv. 求米草
140. *Paspalum notatum* Flügge 百喜草 *
141. *Poa annua* L. 早熟禾
142. *Sphaerocaryum malaccense* (Trin.) Pilg. 桴蓋
143. *Sporobolus indicus* var. *major* (Buse) Baaijens 鼠尾粟

56. **Pontederiaceae** 雨久花科 (1)

144. *Monochoria vaginalis* (Burm. f.) C. Presl ex Kunth 鴨舌草 *
57. **Smilacaceae 菝葜科 (3)**
145. *Smilax bracteata* C. Presl 假菝葜
146. *Smilax china* L. 菝葜
147. *Smilax lanceifolia* Roxb. 臺灣土茯苓
58. **Zingiberaceae 薑科 (1)**
148. *Alpinia intermedia* Gagnep. 山月桃



附錄二、向天山火山口之維管束植物名錄

本名錄中共有 85 科、245 種，科名後括弧內為該科之物種總數。"#" 代表特有種，"*" 代表歸化種，"†" 代表栽培種。中名後面括號內的縮寫代表依照「臺灣維管束植物紅皮書初評名錄」中依照 IUCN 瀕危物種所評估等級，EX: 滅絕、EW: 野外滅絕、RE: 區域性滅絕、CR: 嚴重瀕臨滅絕、EN: 瀕臨滅絕、VU: 易受害、NT: 接近威脅、DD: 資料不足。若未註記者代表安全(Least concern)。

蕨類植物 Ferns and Lycophytes

1. **Aspleniaceae 鐵角蕨科 (1)**
 1. *Asplenium antiquum* Makino 山蘇花
2. **Athyriaceae 蹄蓋蕨科 (4)**
 2. *Deparia petersenii* (Kunze) M. Kato 假蹄蓋蕨
 3. *Diplazium dilatatum* Blume 廣葉鋸齒雙蓋蕨
 4. *Diplazium esculentum* (Retz.) Sw. 過溝菜蕨
 5. *Diplazium mettenianum* (Miq.) C. Chr. 深山雙蓋蕨
3. **Blechnaceae 烏毛蕨科 (1)**
 6. *Woodwardia unigemmata* (Makino) Nakai 生芽狗脊蕨
4. **Cyatheaceae 桫欏科 (1)**
 7. *Cyathea lepifera* (J. Sm. ex Hook.) Copel. 筆筒樹
5. **Davalliaceae 骨碎補科 (1)**
 8. *Nephrolepis auriculata* (L.) Trimen 腎蕨
6. **Dennstaedtiaceae 碗蕨科 (3)**
 9. *Hypolepis punctata* (Thunb.) Mett. ex Kuhn 姬蕨
 10. *Microlepia speluncae* (L.) T. Moore 熱帶鱗蓋蕨
 11. *Microlepia strigosa* (Thunb.) C. Presl 粗毛鱗蓋蕨
7. **Dryopteridaceae 鱗毛蕨科 (4)**
 12. *Arachniodes aristata* (G. Forst.) Tindale 細葉複葉耳蕨
 13. *Arachniodes pseudoaristata* (Tagawa) Ohwi 小葉複葉耳蕨
 14. *Arachniodes rhomboidea* (Schott) Ching 斜方複葉耳蕨
 15. *Dryopteris subexaltata* (Christ) C. Chr. 早田氏鱗毛蕨
8. **Marattiaceae 觀音座蓮科 (1)**
 16. *Angiopteris lygodifolia* Rosenst. 觀音座蓮
9. **Plagiogyriaceae 瘤足蕨科 (2)**
 17. *Plagiogyria formosana* Nakai 臺灣瘤足蕨
 18. *Plagiogyria rankanensis* Hayata 瘤足蕨
10. **Polypodiaceae 水龍骨科 (9)**
 19. *Colysis pothifolia* (Buch.-Ham. ex D. Don) H. Itô 大線蕨
 20. *Colysis wrightii* (Hook. & Baker) Ching 萊氏線蕨
 21. *Lemmaphyllum microphyllum* C. Presl 伏石蕨
 22. *Lepisorus thunbergianus* (Kaulf.) Ching 瓦葦
 23. *Microsorium buergerianum* (Miq.) Ching 波氏星蕨
 24. *Microsorium fortunei* (T. Moore) Ching 大星蕨

25. *Microsorium membranaceum* (D. Don) Ching 膜葉星蕨
 26. *Microsorium punctatum* (L.) Copel. 星蕨
 27. *Pyrrosia lingua* (Thunb.) Farw. 石葦
11. **Pteridaceae 鳳尾蕨科 (3)**
 28. *Coniogramme intermedia* Hieron. 華鳳丫蕨
 29. *Pteris fauriei* Hieron. 傅氏鳳尾蕨
 30. *Pteris grevilleana* Wall. ex J. Agardh 翅柄鳳尾蕨
12. **Selaginellaceae 卷柏科 (2)**
 31. *Selaginella delicatula* (Desv. ex Poir.) Alston 全緣卷柏
 32. *Selaginella remotifolia* Spring 疏葉卷柏
13. **Thelypteridaceae 金星蕨科 (1)**
 33. *Thelypteris uraiensis* (Rosenst.) Ching 烏來金星蕨

裸子植物 Gymnosperms

14. **Pinaceae 松科 (1)**
 34. *Pinus taiwanensis* Hayata 臺灣二葉松 #

雙子葉植物 'Dicotyledons'

15. **Acanthaceae 爵床科 (3)**
 35. *Dicliptera chinensis* (L.) Juss. 華九頭獅子草
 36. *Justicia procumbens* L. 爵床
 37. *Strobilanthes formosanus* S. Moore 臺灣馬藍 #
16. **Adoxaceae 五福花科 (3)**
 38. *Sambucus chinensis* Lindl. 有骨消
 39. *Viburnum betulifolium* Batalin 樺葉英蓀
 40. *Viburnum formosanum* (Hance) Hayata 紅子英蓀
17. **Amaranthaceae 莧科 (3)**
 41. *Achyranthes aspera* var. *rubrofusca* (Wight) Hook. f. 臺灣牛膝
 42. *Achyranthes bidentata* Blume var. *bidentata* 牛膝
 43. *Achyranthes bidentata* var. *japonica* Miq. 日本牛膝
18. **Apiaceae 繖形科 (2)**
 44. *Centella asiatica* (L.) Urb. 雷公根
 45. *Oenanthe javanica* (Blume) DC. 水芹菜
19. **Apocynaceae 夾竹桃科 (2)**
 46. *Marsdenia formosana* Masam. 臺灣牛彌菜
 47. *Marsdenia tinctoria* R. Br. 絨毛芙蓉蘭
20. **Aquifoliaceae 冬青科 (2)**
 48. *Ilex asprella* (Hook. & Arn.) Champ. ex Benth. 燈稱花
 49. *Ilex ficoidea* Hemsl. 臺灣糊櫨
21. **Araliaceae 五加科 (5)**
 50. *Eleutherococcus trifolius* (L.) S.Y. Hu 三葉五加
 51. *Eleutherococcus trifolius* var. *setosus* (H.L. Li) H. Ohashi 毛脈三葉五加
 52. *Hedera rhombea* var. *formosana* (Nakai) H.L. Li 臺灣常春藤 #

53. *Hydrocotyle batrachium* Hance 臺灣天胡荽
 54. *Schefflera octophylla* (Lour.) Harms 鵝掌柴
22. **Aristolochiaceae 馬兜鈴科 (2)**
 55. *Aristolochia heterophylla* Hemsl. 異葉馬兜鈴
 56. *Asarum macranthum* Hook. f. 大花細辛 #
23. **Asteraceae 菊科 (11)**
 57. *Aster taiwanensis* Kitam. 臺灣馬蘭 #
 58. *Bidens alba* var. *radiata* (Sch. Bip.) R.E. Ballard ex Melchert 大花咸豐草 *
 59. *Conyza canadensis* (L.) Cronquist 加拿大蓬 *
 60. *Crassocephalum crepidioides* (Benth.) S. Moore 昭和草 *
 61. *Dichrocephala integrifolia* (L. f.) Kuntze 茯苓菜
 62. *Erechtites valerianifolia* Less. 飛機草 *
 63. *Eupatorium clematideum* (Wall. ex DC.) Sch. Bip. 田代氏澤蘭
 64. *Eupatorium shimadai* Kitam. 島田氏澤蘭 #
 65. *Farfugium japonicum* var. *formosanum* (Hayata) Kitam. 臺灣山菊
 66. *Wedelia chinensis* (Osbeck) Merr. 蟛蜞菊
 67. *Youngia japonica* (L.) DC. 黃鵪菜
24. **Berberidaceae 小檗科 (2)**
 68. *Mahonia japonica* (Thunb.) DC. 十大功勞 (VU)
 69. *Mahonia oiwakensis* Hayata 阿里山十大功勞 # (VU)
25. **Brassicaceae 十字花科 (1)**
 70. *Cardamine impatiens* L. 水花菜 (DD)
26. **Campanulaceae 桔梗科 (1)**
 71. *Lobelia nummularia* Lam. 普刺特草
27. **Cannabaceae 大麻科 (2)**
 72. *Aphananthe aspera* (Thunb.) Planch. 糙葉樹
 73. *Celtis sinensis* Pers. 朴樹
28. **Celastraceae 衛矛科 (1)**
 74. *Euonymus carnosus* Hemsl. 厚葉衛矛 #
29. **Coriariaceae 馬桑科 (1)**
 75. *Coriaria japonica* subsp. *intermedia* (Matsum.) T.C. Huang 臺灣馬桑
30. **Cucurbitaceae 瓜科 (5)**
 76. *Gynostemma pentaphyllum* (Thunb.) Makino 絞股藍
 77. *Thladiantha punctata* Hayata 斑花青牛膽
 78. *Trichosanthes cucumeroides* (Ser.) Maxim. 王瓜
 79. *Trichosanthes homophylla* Hayata 芋葉括樓
 80. *Zehneria mucronata* Endl. 黑果馬廔兒
31. **Daphniphyllaceae 虎皮楠科 (1)**
 81. *Daphniphyllum glaucescens* subsp. *oldhamii* T.C. Huang 奧氏虎皮楠
32. **Ebenaceae 柿樹科 (1)**
 82. *Diospyros morrisiana* Hance 山紅柿
33. **Elaeagnaceae 胡頹子科 (2)**
 83. *Elaeagnus glabra* Thunb. 藤胡頹子
 84. *Elaeagnus thunbergii* Servett. 鄧氏胡頹子 #

34. **Elaeocarpaceae** 杜英科 (1)
85. *Elaeocarpus sylvestris* (Lour.) Poir. 杜英
35. **Ericaceae** 歐石楠科 (2)
86. *Pieris taiwanensis* Hayata 臺灣馬醉木
87. *Rhododendron oldhamii* Maxim. 金毛杜鵑 #
36. **Euphorbiaceae** 大戟科 (1)
88. *Mallotus japonicus* (Spreng.) Müll. Arg. 野桐
37. **Fabaceae** 豆科 (2)
89. *Glycine max* subsp. *formosana* (Hosok.) Tateishi & H. Ohashi 臺灣大豆 # (VU)
90. *Vigna reflexopilosa* Hayata 曲毛豇豆
38. **Fagaceae** 殼斗科 (2)
91. *Lithocarpus hancei* (Benth.) Rehder 三斗石櫟 #
92. *Quercus glauca* Thunb. 青剛櫟
39. **Gesneriaceae** 苦苣苔科 (1)
93. *Rhynchotechum discolor* (Maxim.) B.L. Burtt 異色線柱苣苔
94. **Hydrangeaceae** 八仙花科 (3)
95. *Hydrangea angustipetala* Hayata 狹瓣八仙花
96. *Hydrangea integrifolia* Hayata 大枝掛繡球
97. *Schizophragma integrifolium* var. *fauriei* (Hayata) Hayata 圓葉鑽地風
40. **Hypericaceae** 金絲桃科 (1)
98. *Hypericum japonicum* Thunb. 地耳草
41. **Iteaceae** 鼠刺科 (1)
99. *Itea parviflora* Hemsl. 小花鼠刺 #
42. **Lamiaceae** 唇形科 (4)
100. *Callicarpa formosana* Rolfe 杜虹花
101. *Clinopodium chinense* (Benth.) Kuntze 風輪菜
102. *Premna microphylla* Turcz. 臭黃荊
103. *Scutellaria indica* L. 印度黃芩
43. **Lardizabalaceae** 木通科 (1)
104. *Stauntonia obovatifoliola* Hayata 石月
44. **Lauraceae** 樟科 (5)
105. *Lindera communis* Hemsl. 香葉樹
106. *Litsea acuminata* (Blume) Kurata 長葉木薑子
107. *Machilus japonica* var. *kusanoi* (Hayata) J.C. Liao 大葉楠 #
108. *Machilus thunbergii* Siebold & Zucc. 紅楠
109. *Machilus zuihoensis* Hayata 香楠 #
45. **Melastomataceae** 野牡丹科 (1)
110. *Melastoma candidum* D. Don 野牡丹
46. **Menispermaceae** 防己科 (4)
111. *Cocculus orbiculatus* (L.) DC. 木防己
112. *Cyclea gracillima* Diels 土防己 #
113. *Pericampylus formosanus* Diels 蓬萊藤
114. *Stephania japonica* (Thunb.) Miers 千金藤
47. **Moraceae** 桑科 (6)

115. *Broussonetia papyrifera* (L.) L'Hér. ex Vent. 構樹
 116. *Ficus erecta* var. *beeheyana* (Hook. & Arn.) King 牛奶榕
 117. *Ficus pumila* L. var. *pumila* 薜荔
 118. *Ficus pumila* var. *awkeotsang* (Makino) Corner 愛玉子 #
 119. *Ficus sarmentosa* var. *nipponica* (Franch. & Sav.) Corner 珍珠蓮
 120. *Morus australis* Poir. 小葉桑
48. **Myricaceae 楊梅科 (1)**
 121. *Myrica rubra* (Lour.) Siebold & Zucc. 楊梅
49. **Oxalidaceae 酢醬草科 (1)**
 122. *Oxalis corniculata* L. 酢漿草
50. **Passifloraceae 西番蓮科 (1)**
 123. *Passiflora edulis* Sims 西番蓮 *
51. **Pentaphylacaceae 五列木科 (4)**
 124. *Eurya chinensis* R. Br. 米碎柃木
 125. *Eurya crenatifolia* (Yamam.) Kobuski 假柃木 #
 126. *Eurya nitida* Korth. 光葉柃木 (NT)
 127. *Eurya septata* C.C. Wu, Z.F.Hsu & C.H. Tsou 臺灣格柃 #
52. **Phyllanthaceae 葉下珠科 (1)**
 128. *Glochidion rubrum* Blume 細葉饅頭果 P
53. **Piperaceae 胡椒科 (2)**
 129. *Piper kadsura* (Choisy) Ohwi 風藤
 130. *Piper sintenense* Hatus. 薄葉風藤 #
54. **Plantaginaceae 車前科 (1)**
 131. *Plantago asiatica* L. 車前草
55. **Polygonaceae 蓼科 (6)**
 132. *Polygonum chinense* L. 火炭母草
 133. *Polygonum longisetum* Bruijn 睫穗蓼
 134. *Polygonum micranthum* Meisn. 盤腺蓼
 135. *Polygonum perfoliatum* (L.) L. 扛板歸
 136. *Rumex acetosa* L. 酸模*
 137. *Rumex acetosella* L. 小酸模 *
56. **Myrsinaceae 紫金牛科 (4)**
 138. *Ardisia crispa* (Thunb.) A. DC. 百兩金
 139. *Ardisia sieboldii* Miq. 樹杞
 140. *Maesa japonica* (Thunb.) Moritzi & Zoll. 山桂花
 141. *Maesa perlaria* var. *formosana* (Mez) Y.P. Yang 臺灣山桂花
57. **Ranunculaceae 毛茛科 (2)**
 142. *Clematis grata* Wall. 串鼻龍
 143. *Ranunculus cantoniensis* DC. 水辣菜
58. **Rosaceae 薔薇科 (13)**
 144. *Eriobotrya deflexa* (Hemsl.) Nakai 山枇杷 #
 145. *Fragaria hayatae* Makino 臺灣草莓 #
 176. *Malus pumila* Mill. 蘋果†
 146. *Pourthiaea beauverdiana* var. *notabilis* (C.K. Schneid.) Hatus. 臺灣老
 葉兒樹
 147. *Prunus campanulata* Maxim. 山櫻花

148. *Prunus phaeosticta* (Hance) Maxim. 墨點櫻桃
 149. *Pyrus taiwanensis* Iketani & H. Ohashi 臺灣野梨 # (CR)
 150. *Raphiolepis indica* var. *tashiroi* Hayata ex Matsum. & Hayata 石斑木
 151. *Rubus buergeri* Miq. 寒莓
 152. *Rubus corchorifolius* L. f. 變葉懸鉤子
 153. *Rubus croceacanthus* H. Lév. 虎婆刺
 154. *Rubus parvifolius* L. 紅梅消
 155. *Rubus swinhoei* Hance 斯氏懸鉤子
59. **Rubiaceae 茜草科 (8)**
 156. *Damnacanthus indicus* C.F. Gaertn. 伏牛花
 157. *Lasianthus curtisii* King & Gamble 柯氏雞屎樹
 158. *Lasianthus fordii* Hance 琉球雞屎樹
 159. *Mussaenda pubescens* W.T. Aiton 毛玉葉金花
 160. *Ophiorrhiza japonica* Blume 蛇根草
 161. *Paederia foetida* L. 雞屎藤
 162. *Psychotria rubra* (Lour.) Poir. 九節木
 163. *Psychotria serpens* L. 拎壁龍
60. **Rutaceae 芸香科 (2)**
 164. *Citrus grandis* (L.) Osbeck 柚 †
 165. *Citrus tachibana* (Makino) Yu. Tanaka 橘柑 †
61. **Sapindaceae 無患子科 (3)**
 166. *Acer alboburpurascens* Hayata 樟葉槭 #
 167. *Acer kawakamii* Koidz. 尖葉槭 #
 168. *Acer serrulatum* Hayata 青楓 #
62. **Schisandraceae 五味子科 (1)**
 169. *Kadsura japonica* (L.) Dunal 南五味子
63. **Solanaceae 茄科 (1)**
 170. *Lycianthes lysimachioides* (Wall.) Bitter 蔓茄
64. **Staphyleaceae 省沽油科 (2)**
 171. *Turpinia formosana* Nakai 山香圓 #
 172. *Turpinia ternata* Nakai 三葉山香圓
65. **Symplocaceae 灰木科 (2)**
 173. *Symplocos caudata* Wall. ex G. Don 尾葉灰木
 174. *Symplocos chinensis* (Lour.) Druce 灰木
66. **Thymelaeaceae 瑞香科 (1)**
 175. *Daphne kiusiana* var. *atrocaulis* (Rehder) F. Maek. 白花瑞香 #
67. **Trochodendraceae 昆欄樹科 (1)**
 176. *Trochodendron aralioides* Siebold & Zucc. 昆欄樹
68. **Urticaceae 蕁麻科 (6)**
 177. *Boehmeria nivea* var. *tenacissima* (Gaudich.) Miq. 青苧麻
 178. *Gonostegia hirta* (Blume ex Hassk.) Miq. 糯米團
 179. *Lecanthes peduncularis* (Wall. ex Royle) Wedd. 長梗盤花麻
 180. *Oreocnide pedunculata* (Shirai) Masam. 長梗紫麻
 181. *Pilea aquarum* subsp. *brevicornuta* (Hayata) C.J. Chen 短角冷水麻
 182. *Pilea microphylla* (L.) Liebm. 小葉冷水麻 *
69. **Violaceae 堇菜科 (1)**

183. *Viola arcuata* Blume 如意草
70. **Vitaceae** 葡萄科 (6)
184. *Ampelopsis brevipedunculata* var. *hancei* (Planch.) Rehder 漢氏山葡萄
185. *Cayratia corniculata* (Benth.) Gagnep. 角花烏斂莓
186. *Cayratia japonica* (Thunb.) Gagnep. 虎葛
187. *Tetrastigma bioritsense* (Hayata) Hsu & Kuoh 三腳鼈草
188. *Tetrastigma formosanum* (Hemsl.) Gagnep. 三葉崖爬藤
189. *Tetrastigma umbellatum* (Hemsl.) Nakai 臺灣崖爬藤 #

單子葉植物 Monocotyledons

71. **Amaryllidaceae** 石蒜科 (1)
190. *Zephyranthes candida* (Lindl.) Herb. 蔥蘭 *
72. **Araceae** 天南星科 (2)
191. *Alocasia odora* (Roxb.) K. Koch 姑婆芋
192. *Arisaema ringens* (Thunb.) Schott 申跋
73. **Arecaceae** 棕櫚科 (2)
193. *Arenga tremula* (Blanco) Becc. 山棕
194. *Calamus quiquesetinervius* Burret 黃藤 #
74. **Asparagaceae** 天門冬科 (3)
195. *Campylandra chinensis* (Baker) M.N. Tamura, S.Yun Liang & Turland
萬年青 #
196. *Ophiopogon intermedius* D. Don 間型沿階草
197. *Polygonatum odoratum* var. *pluriflorum* Ohwi 姜蕓
75. **Commelinaceae** 鴨跖草科 (4)
198. *Amischotolype hispida* (Less. & A. Rich.) D.Y. Hong 穿鞘花
199. *Commelina communis* L. 鴨跖草
200. *Pollia japonica* Thunb. 杜若
201. *Pollia miranda* (H. Lév.) H. Hara 小杜若
76. **Cyperaceae** 莎草科 (5)
202. *Carex breviculmis* R. Br. 短莖宿柱薹
203. *Carex filicina* Nees 紅鞘薹
204. *Eleocharis congesta* subsp. *japonica* (Miq.) T. Koyama 針蘭
205. *Kyllinga brevifolia* Rottb. 短葉水蜈蚣
206. *Scleria terrestris* (L.) Fassett 陸生珍珠茅
77. **Dioscoreaceae** 薯蕷科 (3)
207. *Dioscorea collettii* Hook. f. 華南薯蕷
208. *Dioscorea japonica* Thunb. 薄葉野山藥
209. *Dioscorea matsudae* Hayata 裡白葉薯榔
78. **Juncaceae** 燈心草科 (1)
210. *Juncus effusus* var. *decipiens* Buchenau 燈心草
79. **Liliaceae** 百合科 (2)
211. *Lilium formosanum* Wallace 臺灣百合 #
212. *Liriope spicata* (Thunb.) Lour. 麥門冬
80. **Melanthiaceae** 黑藥花科 (1)
213. *Paris polyphylla* Sm. 七葉一枝花

81. **Orchidaceae 蘭科** (7)

- 214. *Anoectochilus formosanus* Hayata 臺灣金線蓮 (NT)
- 215. *Calanthe densiflora* Lindl. 竹葉根節蘭
- 216. *Calanthe triplicata* (Willemet) Ames 白鶴蘭
- 217. *Goodyera schlechtendaliana* Rchb. f. 斑葉蘭
- 218. *Odontochilus lanceolatus* (Lindl.) Blume 雙囊齒唇蘭
- 219. *Phaius flavus* (Blume) Lindl. 黃鶴頂蘭
- 220. *Rhomboda tokioi* (Fukuy.) Ormerod 白點伴蘭

82. **Poaceae 禾本科** (19)

- 221. *Brachypodium sylvaticum* (Huds.) P. Beauv. 基隆短柄草
- 222. *Cyrtococcum accrescens* (Trin.) Stapf 散穗弓果黍
- 223. *Cyrtococcum patens* (L.) A. Camus 弓果黍
- 224. *Eleusine indica* (L.) Gaertn. 牛筋草
- 225. *Eragrostis ferruginea* (Thunb.) P. Beauv. 知風草
- 226. *Ichnanthus vicinus* (F.M. Bailey) Merr. 距花黍
- 227. *Imperata cylindrica* var. *major* (Nees) C.E. Hubb. 白茅
- 228. *Lophatherum gracile* Brongn. 淡竹葉
- 229. *Miscanthus floridulus* (Labill.) Warb. ex K. Schum. & Lauterb. 五節芒
- 230. *Miscanthus sinensis* Andersson 芒
- 231. *Miscanthus sinensis* fo. *glaber* Honda 白背芒
- 232. *Oplismenus aemulus* (R. Br.) Roem. & Schult. 大屯求米草
- 233. *Oplismenus compositus* (L.) P. Beauv. 竹葉草
- 234. *Oplismenus hirtellus* (L.) P. Beauv. 求米草
- 235. *Panicum maximum* Jacq. 大黍 *
- 236. *Panicum notatum* Retz. 心葉稷
- 237. *Paspalum orbiculare* G. Forst. 圓果雀稗
- 238. *Poa annua* L. 早熟禾
- 239. *Setaria palmifolia* (J. Koenig) Stapf 棕葉狗尾草 *

83. **Smilacaceae 菝葜科** (4)

- 240. *Smilax bracteata* C. Presl 假菝葜
- 241. *Smilax bracteata* var. *verruculosa* (Merr.) T. Koyama 糙莖菝葜
- 242. *Smilax china* L. 菝葜 G
- 243. *Smilax lanceifolia* Roxb. 臺灣土茯苓

84. **Zingiberaceae 薑科** (2)

- 244. *Alpinia intermedia* Gagnep. 山月桃
- 245. *Alpinia pricei* Hayata 普來氏月桃 #

附錄三、空拍機作業程序建議

無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)，廣義上為不需要駕駛員登機駕駛的各式遙控飛行器，近年來開始被應用於生態監測上(Bryson et al. 2014; Danilov et al. 2015)。

(1) UAV選擇

如需厘米級精度需求，可採用GPS+GLONASS雙頻定位且具有RTK (Real Time Kinematic, 實時動態技術)模組之UAV系統；有NDVI (Normalized Difference Vegetation Index, 常態化差值植生指數)需求可採用具有多光譜相機模組之UAV系統。

(2) 空拍範圍

拍攝範圍建議以本計畫之地景類型判釋範圍為最小範圍，同時再考量個案之實際需求進行空拍範圍之調整。

(3) 任務模式

考量向天山火山口與磺嘴山火山口的地形變化之實際情況，建議採以雙網任務模式(double grid mission, 在同一區域內執行兩次任務，第二次任務垂直於第一次任務，圖90)進行拍攝。



圖90. 雙網任務模式示意圖(資料來源:Pix4D官網)

(4) 圖片重疊率(Overlap)

建議航向重疊率與旁向重疊率在70%~90%之範圍。

(5) 拍攝時間與期程

為降低陰影造成航照正射與數化誤差，建議拍攝時間為上午10點~下午1點。拍攝期程：建議每5-10年進行一次，提供小面積如本計畫研究區之植群變遷參考，若有發生干擾事件，則可立即進行。

附錄四、「陽明山國家公園火山口植群與地景變遷調查分析—以磺嘴山與向天山為例」期初書面審查建議及回覆

建議事項	意見回覆
建議過往調查文獻的相關圖資與調查樣區位置，應該要能收集並套合在 GIS 資料庫上，方便整體檢視與比較。	感謝建議，與承辦陳宏豪先生取得資料後會把調查點位標註上去，並且轉進資料庫並提供給管理處做基礎資料。
建議收集竹仔湖與鞍部測候站的過去至少 50 年的氣候資料，分析長期氣候變遷趨勢，做為後續植物分布變化的解釋因子。	感謝建議，長期氣候資料會在期末報告時整理並彙整今年資料一併呈現。
樣區設置方式以南北與東西向為軸，但陽明山地區盛行風方向應是以東北向為主，查閱圖 3 與圖 4 的背景航照影像，也似乎有東北走向的趨勢，建議思考樣區設置軸向是否要予以調整至東北-西南軸向？	感謝建議，依建議辦理。
樣區土樣調查因土壤化育可能並不完整，亦可能有較高的含石率，因此建議可做小區含石率估算。另依目前估算每個樣區逢機取 5 個土壤採樣點，是否要再分不同土壤深度取樣??建議宜斟酌工作量調整可負擔的取樣數目。	謝謝建議。目前會將相同植群型的土樣混合，提供植群型環境背景資料；含石率經現場勘查發現不高，且差異不不大，。
建議植群圖繪製上，植群類型可參考過去林務局所繪製的國家植群圖分類類型為主，可再視情形予以細分，方便與國內其他區域植群比較。	感謝建議。經查閱臺灣現生天然植群圖發現，兩個研究區域未在範圍內。期末成果報告會將此文獻納入植群分型的依據，提供管理單位參考。
植群地景變遷分析方面，建議套疊前後兩期的植群圖後，先建立變遷矩陣後，再依不變率、變動率、繼承率、轉入率及轉出率等方式加以比較分析，並應配合植群演替趨勢圖說明其變遷趨勢。	依建議辦理。
圖 10 計畫研究流程圖與計畫內容說明有所出入，例如演替推論與植群演替趨勢、地景變遷與植群地景變遷、植群分析與植	感謝建議；期末報告會納入一併探討，並提供完整資料供管理單位作

群資料分析、環境與物種組程關係與植群與環境因子分析等，此外流程圖中又外加外來種入侵評估、植物保育評估項目，不知是否與其空間位置有無關係，亦是計畫內容中並未著墨的地方

為日後經營管理之依據。



附錄五、「陽明山國家公園火山口植群與地景變遷調查分析—以磺嘴山與向天山為例」期中報告審查建議及回覆

林世宗 委員	受託單位回覆
<p>1. 內容原則符合本案工作項目，初步完成 1-3 項執行環境調查及監測，而項 4 如何進行志工培訓？應作出說明，為本案重點之一。</p>	<p>1. 考慮可及性，志工培訓將建議以向天山培訓場域。此部分要請管理處通知有興趣的志工參與，先進行本計畫的研究成果的介紹，再至現場進行森林樣區的調查示範，提供志工了解植群調查與環境監測工作。</p>
<p>2. 向天山的輔助樣區，長期短期樣區建立，應有具體說明及建議，而樣區建立後，就管理處立場如作為監測培訓基地，應說明其功能。</p>	<p>2. 永久與臨時樣區的點位資料都會在報告附錄呈現，提供建立現今植群的點位資料庫，作為爾後植群等研究的變化比較。</p>
<p>3. 目前成果族群調查種源庫鎖定及建立相當豐富，然進入植群分析，梯度以 DCA 方式進行分析，可見 4 個草生帶 到過渡帶以及森林帶呈現梯度變化，報告書 P15 及 P16 草生樣帶是否為距離上的變化或其與既有環境相關性？如是否受到地形高低位置影響，如低窪區、風衝區等微環境與其相關性關係。本報告初步已完成 DCA 分析，再加強與微環境關係說明。</p>	<p>3. 此部分會依群聚分析先進行植分類，並利用 DCA 分析完成植群型與環的關係，DCA 分析結果提供說明與討論植群型與環境的關係。</p>
<p>4. 建議加入時間梯度，如向天山噴發迄今年代，植被變化等。</p>	<p>4. 時間梯度因最早只能獲得 1978 年植群圖，目前只能推估非池口區域草生地轉變為森林植被情形。</p>
黃生 委員	受託單位回覆
<p>1. 本計畫規劃良好，並已執行向天山植群的調查工作，執行情況佳。</p>	<p>1. 感謝委員的肯定。</p>
<p>2. 圓果雀稗植群型因屬一年生，有沒有多年生物種可以替代？</p>	<p>2. 有關圓果雀稗為一年生的疑問會再確認，並參考航拍照片判釋為此植物群，再提供更合適的植群名稱。經植物誌等資料查對發現，圓果雀稗屬於多年生植物，</p>

	<p>所以作為植群型命名不會有生長取代的問題。</p>
<p>3. 向天池的湖沼枝額蟲生存史是個長期生態研究的問題，棲地(向天池)宜作生態保留區的強度保護之，以備長期監測之用。</p>	<p>3. 本案以2公分誤差等級的GPA進行樣區定位，除在森林植被位置誤差會較大一些外，其餘植被的樣區位置皆相當精準，所以作為現生植群代表的樣點。</p> <p>有關航照圖植群面積消長於期末再作說明，根據航空圖1978年與2018年份比較發現，部分區塊草地變成森林原因推測早期或火災造成，而向天池中心裸地則有增加現象、植被種類則互有消長現象。</p> <p>向天池的湖沼枝額蟲生存史，加上向天山火山口的特殊地形與植被分布型式，可提供作為後續長期監測的場域。</p> <p>然而，目前調查發現，可能受到人為活動較頻繁而牛群數量減少關係，牛群對植群的干擾相對較少。但因研究區可及性較高，加上對湖沼枝額蟲、蚌蝦等興趣，遊客活動較頻繁；而且人為活動如區內墳墓的清明節掃墓與宗教活動，導致人為干擾對植群影響較大；此可能是造成裸地面積增加的因素之一，亦可能是外來物種如柑橘、蘋果等果樹苗存在的因素。</p>
<p>邱祈榮 委員</p>	<p>受託單位回覆</p>
<p>1.報告中對於製圖用語如下： P16 植群圖、植群演替趨勢圖 P18 植群地景變遷分析 P35 表5 航空照片判釋的5種形相類別 P33 本計畫將航空照片判釋區分為5</p>	<p>1.本計畫相關用詞將統一為地景類型以及地景變遷等名詞。</p>

<p>種類別：F 森林、L 長草、S 短草、B 裸地、W 水域，各類別所代表之植群形相或地景如表 5。</p> <p>P40 植群地景之變遷</p> <p>P41 地景類別、土地覆蓋類型的變遷狀態</p> <p>P44 地景變遷、空間變化</p> <p>P47 植群地景變遷</p> <p>關鍵在於：植群、形相類別、植群形相、土地覆蓋類型、地景類別</p> <p>地景變遷、空間變化，本計畫名稱為「陽明山國家公園火山口植群與地景變遷調查分析」，建議用語精確並統一。</p>	
<p>2. 梯度分析方法應敘明分析方法採用時機</p> <p>P16 說明「梯度分析：本研究進行將梯度分析包括降趨對應分析(detrended correspondence analysis, DCA) 與典型對應分析(canonical correspondence analysis, CCA)。降趨對應分析可以提供植群演替變化趨勢的探討(張金屯, 2004)，因此我們利用 DCA 將樣區繪製於排序圖，植群組成演替變化趨勢；若 DCA 的軸長大於 4 個標準偏差(standard deviation, SD)，則與環境因子進行典型對應分析(terBraak, 1995)。」</p> <p>原本是沒有太大問題，但於 P31 又再次說明「前三軸之軸長分別為 6.41、2.87 及 2.42，依據許皓捷、李培芬(2003) 提出梯度軸長在 2SD 以上，對應分析(correspondence analysis, CA) 因為物種沿環境梯度的非線性分布而產生明顯拱形效應(arch effect)時，以降趨對應分析的結果較佳；軸長在 2SD 以下時，以使用 CA 及 PCA 較佳，DCA 則可</p>	<p>2. 依委員建議進行調整。</p>

<p>能因為降趨(detrending)及重新刻劃(rescaling)的程序，而嚴重扭曲數據原本蘊含的生態意義，故本研究以 DCA 作為探討樣區間關係之排序法。」這部分的說明並未如 P16 明確的指出採用降趨對應分析(detrended correspondence analysis, DCA)與典型對應分析(canonical correspondence analysis, CCA)。</p> <p>綜上瞭解應在於 SD 值，SD 值大於 2 小於 4 時，採用 DCA，SD 值大於 4 時採用 CCA，因此應在 P16 時合併 P31 的說明清楚，在 P31 時，應明確指出 SD 值是多少，故採用 DCA，即可清楚表達。</p>	
<p>3. P35-39 關於建立作業圖層部分，因其說明過於瑣碎，且是一般數化作業知識，建議於期末時可以刪除。</p>	<p>3. 作業圖層內容是否要刪除依決議辦理。</p>
<p>4. P41 採用不變率、保留率、繼承率，建議應該於研究方法中從變遷矩陣開始，詳細敘明計算方法，並應於結果處列出五種不同土地覆蓋型的兩時期變遷矩陣，更能說明結果。</p>	<p>4. 有關不變率、保留率、繼承率，將再詳細敘明計算方法。</p>
<p>5. P19 陽明山國家公園火山口植群與地景變遷調查與分析之計畫研究流程圖，說明先有植群分類再有航空照片判釋，繪製植群圖。然而，若能目前繪製的植群圖(或土地覆蓋型圖)分為 F 森林、L 長草、S 短草、B 裸地、W 水域，似乎與植群型的連結並不強，建議可於期末報告加強此兩者間的連結說明。同時建議，若可以的話，目前兩期航空照片相隔 40 年，若可增加 1998 年前後的航空照片，應更可以探討出植群演替的速度。</p>	<p>5. 理想狀況下地表植被可與航測照片作搭配，然有其困難性，如森林航照圖無法判定種類僅能判定植群類型為森林，陽明山優勢族群為紅楠，植群尺度分為 association 及 formation，差別在於形相與種類。</p> <p>考量在於早期航照之品質及後續解釋之複雜度，因此目前是以 1978 及 2018 年份 2 期航照圖進行植被判釋及變遷分析。</p>
<p>6. 建議注意研究工作項目二：進行磺嘴山與向天山火山口植群演替趨</p>	<p>6. 感謝委員提醒，此部分在期末報告會分別針對兩地區進行評估植</p>

勢分析，評估植群對地景變遷影響的分析說明。	群對地景變遷影響說明。
7. 欠缺結論及未來工作事項。	7. 感謝委員提醒，此部分會在期末報告中提出。
韓志武 委員	受託單位回覆
1. 向天池圖右下有一些松林，大屯坪有一些紀念碑及早期早期造林事件見等人文活動，提供參考。	1. 謝謝委員的建議。由於缺乏相關資料參考，我們以現今植群推測；可能受到火燒或松樹松材線蟲影響，目前在研究區範圍內沒有發現松林，但有發現零星松樹分布。將再次確認韓課長所提松林是否位本案樣區範圍內。
華予菁 委員	受託單位回覆
1. 補充向天池植群推移帶對湖沼枝額蟲的影響後續建議。	1. 有關燈心草族群及植被推移對湖沼枝額蟲文獻影響，將參考貴處進行資料補充；另關於航空照仍需配合植群判釋作結合以進行推論。
2. 結案可否提供多年來磺嘴山草生植被變化與牛隻關係俾利供本處對牛隻去留之經營管理參考。	2. 磺嘴山因無法得知牛群數量變動資料，只能依據航空照片作比對。
葉超然委員	受託單位回覆
1. 本案植群是以 1978 年及 2018 年航照圖作為對照，期間年度應有彩色品質佳的航照資料供佐證植群演替依據，請參辦。	1. 因航空照片的品質及變遷分析等考量，目前是以 1978 年以及 2018 年進行分析，後續會依可用航照之品質及變遷分析的複雜度再評估是否再加入一期影像來分析。
2. 向天池裸露地影響係宗教行為及遊憩活動導致提供參考。	2. 此部分會在期末報告提出更詳細的說明。
張順發 委員	受託單位回覆
1. 期末應針對經營管理建議如避免向天池重要棲地受到干擾應設立生態保護區等。	1. 謝謝委員建議。期末會基於調查研究結果提供向天池的經營管理建議。
2. 未來可否以空拍方式固定頻度及範	2. 若能以空拍進行監測是很好的

圍進行植被監測？	方式，但會受到空拍機類型等因素的影響，期末將配合提出簡單的建議。
盧淑妃 委員	受託單位回覆
1.本處火山口植群地景變遷近 30 年尚未進行相關研究，本案研究範圍及樣區範圍如何定出？可否呼應主題？	1.此部分依兩個火山口地形、環境、植物社會和物種組成特性劃分研究區的範圍，符合本計畫研究主題內容。
2.植群與微環境關係再加強著墨。	2.植群與微環境調查分析尚未完成，將於期末報告討論呈現。
3.植被變遷詮釋應加入人文部分輔以進行探討。	3.有關向天山植群變遷部分，期末報告會儘可能輔以人文相關議題進行探討。
4.建議補充國外火山口地景變遷及植群監測相關文獻。	4.謝謝委員建議，有關國外火山口植群監測與地景變遷研究已蒐集部分相關文獻，惟火山口植群受到火山活動頻繁程度差異而研究探討方向有所不同，在期末報告前會持續進行蒐集。
主席	受託單位回覆
1.火山口植群特色角色為何？請補充與其他區域差異性。	1.向天山火山口植群特殊性及建議樣區以推移帶為主要研究對象。
2.向天山樣區設置軸向應依期初審查意見盛行風方向作調整。	2.依主席裁示辦理。
3.期末應建議向天池關於設立生態保護區討論。	3.期末會針對向天池是否設立生態保護區作討論。
4.長期監測設計及利用空拍機進行應納入建議。	4.若能以空拍進行監測是很好的方式，但會受到空拍機類型等因素的影響，期末將配合提出簡單的建議。

附錄六、「陽明山國家公園火山口植群與地景變遷調查分析—以磺嘴山與向天山為例」期末報告審查建議及回覆

邱祈榮·委員	受託單位回覆
1.作業流程圖過於鬆散，如圖 7、9、10、33 應予整合。	1.依建議進行整合。P22
2.植群型及地景類型應該予以整合，至少應把植群型樣區的植群圖(地景類型圖)套疊在一起，具體連結植群型與地景類型。	2.依建議進行整合。P112
3.地景變遷應建構不同時期變遷矩陣，方能具體呈現變化的空間重點區域。	3.遵照辦理。P96
4.報告書 p65 及 p80 應加入變遷矩陣結果討論重要類型的變動趨勢。	4.交叉矩陣已再作討論補充。P96
5.欠缺結論，請補充。	5.已作整理補充。P114
6.關於最後管理建議或特徵(報告書 p93 及 p103)應配合其他資料，如水牛、火燒資訊支持說明之推論。	6.依建議配合補充火燒相關年代資料及牛的相關歷史資料。P115-116
7.針對工作項目三未提出具體建議。	7.將依研究成果於提出具體建議。P116-117
8.針對工作項目四訓練志工實施如何？	8.志工訓練已於 108 年 12 月 8 日辦理完成。
9.摘要部分建議應重寫	9.遵照辦理。P1-3
林世宗·委員	受託單位回覆
1.期末報告所提工作項目，2 個火山口植群調查已有具體成果與建議。	1.謝謝委員。
2.期中審查意見亦於期末報告中處理與回應，並就研究調查資訊提供管理處經營管理之具體建議。	2.謝謝委員。P39-144

3.報告書 p17 植群分析之相對密度有誤植請更正。	3.遵照辦理。P20
4.報告書 p29 表 2 及表 4 之向天山、磺嘴山植群之多樣性分析中各地點類型間的相似度及轉換率之差異與相關性請更具體詮釋。尤其在環境與植群分布關係分析的 DCA 之 3 軸解釋率為 57%，可能因素並請說明。	4.向天山及磺嘴山兩差異性，依委員建議依管理處提供佐證資料，以提供管理處經營管理參考。
5.報告書 p35 圖 19 及圖 8，生活型態之代碼請說明。	5.已補充說明。 P24、P35
6.兩火山口植群地景變遷，向天山 p66 圖 41-43，與磺嘴山 p77 圖 53-78，呈現不同變化，能比對 2 植群變動可提出具體的影響因素，尤其可能的人為擾動部分(如造林、放牧與活動)及其影響程度，提供管理經營參考。	6.有關具體植相變遷將配合管理處資料進行討論補充說明。 P114-117
黃生·委員	受託單位回覆
1.植群與地景變遷還是需要”時間軸”的考量，若干年後此地區的地景與植群變遷是根據本計畫的結果比對的。本計畫的調查方法對環境變遷急遽增強的未來是否適合？需考慮。建議酌予延展計畫，以便作為收尾並持續應用的基礎資料。	1. 有關調查方式，目前研究方法隨儀器設備演進而提升，而現階段先依過去航照圖討論 40 年來討論地景變遷。
2. 結論中向天山的問題是人為干擾，不宜再作調查擾動的影響，而是要立即停止干擾，才能控制變因找到答案。可用現有已有的地景變遷的覆度為依據，加強向天山保護力道，使”研究力”轉成”教育力”實踐”保育生物多樣性”的職責。	2.可將成果如航照圖轉換為解說教育材料，以遊憩行為擾動也造成環境變化為例作為志工解說環境教育內容以降低遊客離開原有步道進入向天池範圍干擾，將補充於結論建議中。 P114-117

盧淑妃·主席	受託單位回覆
1.向天池遊客量相當多，本案應以較理想狀況來建議，由本處因應經營管理手段，如改變承載量或設施導引方式以降低威脅及壓力。	1.謝謝委員意見。此部分會依研究成果建議管理處透過降低向天池的遊客承載量，減少遊客衝擊，並加強遊客宣導不要踐踏草生地；另一方面應進行較長時間生物與環境監測，提供了解人為活動與氣候變遷的影響。 P114-117
2.本處將磺嘴山牛隻移除納入考量中，本案地景變遷結果及2處火山口植相豐富度差異為相當重要佐證資料，如有更精準資料便可作為未來經營管理重要支持依據。	2.感謝管理處提供火燒及野牛等資料，提供研究報告結果之佐證。
陳彥伯·主任	受託單位回覆
1.牧牛活動主要分布在園區東南區域，向天山干擾主要來自遊客踐踏，磺嘴山才是牛的干擾，可參考過去文獻資料從過去估算曾有2000頭牛，因此磺嘴山與牛隻干擾關係密切因此向天山生物多樣性較高。	1.謝謝委員意見。
華予菁·課長	受託單位回覆
1.結論與建議內容可就氣候變遷、棲地保育及環境壓力面向進行討論補充。	1.遵照辦理。
2.永久樣區幾年分析1次?先前報告建議是5年作一次調查，是否合適?請老師提供具體建議。	2.樣區複查原則上5年1次，以地面調查加上航拍大尺度植群圖方式進行可得到更詳細結果。 P117
張順發·秘書	受託單位回覆
1.報告每章節只有現象應補充影響及特	1.此部分整理補充兩地火山口

<p>色，如植群分布對火山口地形有何影響?分布特色為何?</p>	<p>植群分布，但對於火山口地形之影響相對輕微，植群分布受環境與擾動因子的差異性，在兩火山口呈現明顯不同分布狀態。</p>
<p>2.地景變遷應結合調查成果進行分析以呼應前後變化，未來可能趨勢以及相關地形、氣候及干擾加入探討。</p>	<p>2.遵照辦理。</p>
<p>3 最後於結果討論章節作經營管理及後續監測給予建議。</p>	<p>3.結果與討論及章節分類將進行調整，補充相關資料如植群分布、棲地保育及環境壓力進行討論，並以地面調查資料配合航照結果進行描述、討論也針對經營管理建議作修正補充。P116-117</p>