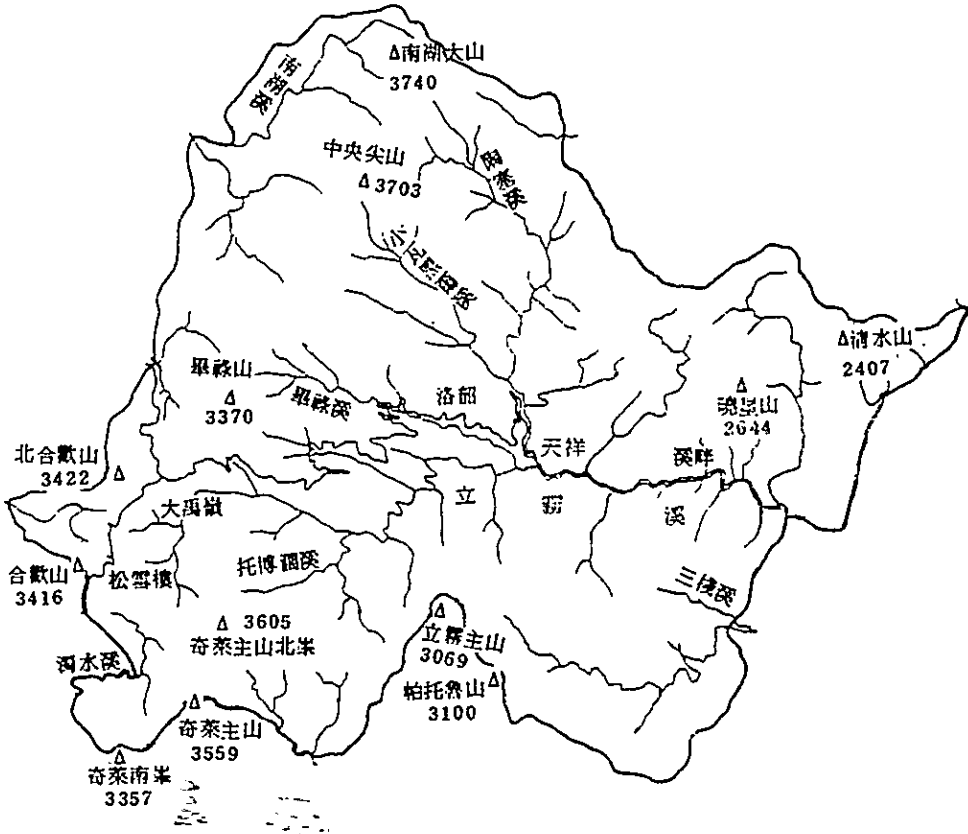


合歡山玉山箭竹草原 土壤之發育與分類

GENESIS AND CLASSIFICATION OF SOILS DEVELOPED
UNDER YUSHAN CANE (YUSHANIA NIITAKAYAMENSIS)
GRASSLAND IN THE WESTERN TAROKO NATIONAL PARK



太魯閣國家公園管理處 出版

中華民國七十九年十二月十八日

合歡山玉山箭竹草原
土壤之發育與分類

GENESIS AND CLASSIFICATION OF SOILS DEVELOPED
UNDER YUSHAN CANE (YUSHANIA NIITAKAYAMENSIS)
GRASSLAND IN THE WESTERN TAROKO NATIONAL PARK

金恒鏞

H.B. King

唐凱軍

K.J. Tan

黃正良

J.L. Hwong

李聖餘

S.Y. Lee

太魯閣國家公園管理處 出版

中華民國七十九年十二月十八日

合歡山玉山箭竹草原土壤之發育與分類

金恒鑑* 唐凱軍* 黃正良* 李聖餘*

〔摘要〕太魯閣國家公園境內的合歡山，玉山箭竹草原是本省重要的草原生態系。本報告是研究該草原土壤之發育過程及分類。該草原土壤育自硬頁岩或弱變質之破岩碎屑。環境潮濕（年雨量 3500 mm），氣溫低（年均溫 7°C），地理位置高（海拔 3100 m），方位朝東至東南，優勢植生為矮生的玉山箭竹（*yushania niitakayamensis*）。土壤剖面有二岩性斷層：即在 40-50 及 70-90 公分深處。此二斷層區分出來的三個區域的質地差異相當大，越往深處，質地越粗：從最上部分（0-40 cm）的坩質黏土，中間部分（40-70 cm）的壤土，到最低層（70-110 cm）的砂質壤土。土壤呈強酸性，自近地表 A 層的為 pH 3.33 (CaCl₂)，越往深層，pH 值逐漸上升，至 III C (110 cm) 時，其 pH 值為 4.55 (CaCl₂)。剖面的鹽基飽和度極低 (<10%，中性醋酸銨法)。表土層（0-10 cm）的有機物含量極高（13.3% 有機碳），往下則銳減（在 III C 為 0.57%）。土壤有機物的分布，亦可自土壤薄片觀察中得到證明。此種有機物分布式樣，說明了暗化作用下發育了暗色表層（Umbric epipedon）。以各種化學形態的鐵，在土壤剖面分布的情形看來，在 20-40 cm 處只有微晶氧化鐵的聚積，以及總鐵含量的剖面重直變異很少。換言之，此剖面因鐵的就地轉化作用，已發育成轉換 B 層（cambic B horizon）。此作用即為棕化作用（braunification）。目前已知有極少量的鐵自 A 層遷移到 B 層，惟灰化作用尚屬初期。從 X 光繞射圖中得悉，剖面的主要黏土礦為水雲母（hydro-mica）外，其餘上半層有少量的蛭石（vermiculite），下來層有少量的綠泥石（chlorite）。據此上述資料，合歡山玉山箭竹草原土壤，依美國土壤分類（Soil Taxonomy）應為「典型薄層始成土，細質，伊來石，寒冷（Typic Haplumbrept, fine, illitic, frigid）」。

* 台灣省林業試驗所
台北市南海路 53 號
電話 (02) 381-7107
傳真 (02) 314-2234

GENESIS AND CLASSIFICATION OF SOILS DEVELOPED UNDER YUSHAN CANE
(YUSHANIA NIITAKAYAMENSIS) GRASSLAND IN THE WESTERN TAROKO
NATIONAL PARK

H.B. King*, K.J. Tan*, J.L. Hwong* and S.Y. Lee*

[Summary] This study aims the genesis and classification of soils developed under Yushan cane (Yushania niitakayamensis) grassland , a prominent grassland ecosystem in Taiwan, in the eastern Taruko National Park.

The soil pedon is derived from weakly metamorphosed shaly materials under cold (annual mean temperature about 7°C), humid (annual piecipitation about 3500 mm), high altitude (about 3100 m above mean sea level), eastern aspect and predominant short Yusham cane vegetation.

The soil pedon has two major lithological discontinuities at about 45 and 80 cm below the soil surface. These discontinuities have separated the vertical soil profile into 3 portions with 3 distinct soil texture properties : the upper 45 cm of the soil materials are silty clay; the middle portion (45-80 cm), loam and; below 80 cm, sandy loam. The entire pedon is rather acidic, being pH 3.33 (CaCl₂) at the surface layer and increasing to 4.55 (CaCl₂) at 110 cm depth. The base saturation (either 1M, neutral, NH₄OAc method or 2M, NaCl method) of the pedon is very low, being <10% throughout. The organic carbon content is high (Ca. 13.3%) at the surface 10 cm, decreases rapidly thereafter and is 0.57% at 110 cm depth. The occurrence of soil organic materials can also be observed through soil thin-sections. The high concentration of organic matter at soil surface leads to form an umbric epipedon throught melanization. The depth-distribution of various forms of Fe containing fractions are determined. It is found that only microcrystalline iron oxides have accumulated between 20-40 cm depth of the pedon, other forms

of iron (amorphous inorganic iron oxides, organic complexed iron) have changed very little with depth, except a small increase in total Fe between 20-40 cm depth. This indicates the microcrystalline iron oxides are formed in situ weathering of silicate iron through transformation, producing a cambic diagnostic horizon. This process refers as braunification. Only incipient stage of podzolization is evident in this pedon. X-ray diffraction analysis reveals hydromica being the predominant clay minerals with small amounts of vermiculite and kaolinite in the upper portion (40-50 cm and above) and chlorite and kaolinite in the lower half of the pedon.

Judging from the above information, this pedon is thus classified, according to Soil Taxonomy, as "Typic Halpumbrept, fine, illitic, frigid" .

* H.B. King and the coworkers are researchers from Taiwan Forestry Research Institute. For farther information please contact :
53 Nan-hai Road, Taipei, Taiwan, Rep. of China.
Tel: (02) 381-7107
Fax: (02) 314-2234

目 次

摘要	ii
English Summary	iii
目次	v
表次	vi
圖次	vii
1.0 緒 言	1
2.0 研究方法與材料	1
2.1 取樣地點	1
2.2 取樣方法	2
2.2.1 土壤剖面標本	2
2.2.2 容積密度	2
2.2.3 微形態研究用土塊	2
2.2.4 複合土樣	6
2.3 樣品分析	6
2.3.1 機械分析	6
2.3.2 有機碳	6
2.3.3 土壤反應	6
2.3.4 置換酸度	6
2.3.5 置換性陽離子	6
2.3.6 陽離子置換量及鹽基飽和度	8
2.3.7 可萃取鐵、錳	8
2.3.8 燒失量	8
2.3.9 元素分析	8
2.3.10 黏土礦物分析	8
2.3.11 微形態分析	9

3.0	結果與討論	9
3.1	土壤剖面形態之描述	9
3.1.1	田間描述	9
3.1.2	微形態描述	12
3.1.3	土壤形態觀察之結論	19
3.2	土壤之發育	20
3.2.1	土壤物均質度之鑑定	20
3.2.2	土壤發育的過程	23
3.2.2.1	暗化作用	23
3.2.2.2	容積密度之改變	23
3.2.2.3	三氧化物之遷移與轉化作用	28
3.2.2.4	黏土礦物	30
4.0	土壤之分類	37
5.0	結論	38
6.0	參考文獻	39
	附錄	43
	表1. 太魯閣國家公園內合歡山箭竹草原土壤之容積密度變化	44
	表2. 太魯閣國家公園內合歡山箭竹草原土壤之粒徑分析	45
	表3. 太魯閣國家公園內合歡山箭竹草原土壤之有機碳含量及土壤 反應	46
	表4. 太魯閣國家公園內合歡山箭竹草原土壤可萃取（中性 IM NH ₄ OAc 溶液）之 鹽基離子，陽離子置換量（CEC）及鹽基 飽和度（BS）	47
	表5. 太魯閣國家公園內合歡山箭竹草原土壤之可萃取鐵與錳及土 壤之總鐵與錳含量	48
	表6. 太魯閣國家公園內合歡山箭竹草原土壤細砂（0.25—0.05 mm）部分之總元素含量分析	49
	表7. 太魯閣國家公園內合歡山箭竹草原土壤之元素總含量分析	50

圖 表 目 次

圖1. 取樣地點之地理位置	3
圖2. 合歡山玉山箭竹草原之氣候圖	4
圖3. 研究地點之地理景觀 (因在四月取樣, 故箭竹草原的呈黃色)	5
圖4. 田間土壤取樣與調查情形	7
圖5. 箭竹草原之土壤剖面	10
圖6. 表土層 (0-10 cm) 之微形態。(a) 中可清晰看見生活性之箭竹地下莖生長點之縱切面 (直徑約 0.25 mm)。孔隙度約為20%, 有亞稜狀結構。(b)為12 倍放大的薄片圖, 可以發現含有極少量的砂粒 (<10%)。其他描述可參閱3.1.2 節	13
圖7. 不連續局部 E 層之微形態。(a) 其上半部洗出作用較下半部較強烈, 故黃棕色比較淺 (白色部分)。(b) 與 (c) 分別為上半部 (18-23 cm) 及下半部 (23-28 cm) 之微形態。可以發現上半部之孔隙比下半部略多一倍	14
圖8. Bw1 層 (25-35 cm) 之微形態。黏土基質 (matrix) 中。有強烈的氧化物浸染 (impregnation) (b) Bw2/II BC 層 (40-50cm) 之微形態。亦有次強烈的氧化物浸染作用。可見少量土壤存在於砂岩 (層右半邊) 與頁岩層 (左半邊) 中; 砂與岩礫量增加	16
圖9. II CB 層 (65-75 cm) 之微形態。主要為岩石屑, 不定向的散置, 土壤少, 有機物亦少	17
圖10. 箭竹草原土壤之細砂 (0.25-0.05 mm) 量佔總坩與砂粒 (>2 μ m) 之重量百分率隨土壤深度之變化	22
圖11. 箭竹草原之土壤含砂、坩、黏粒重量百分率分布	23
圖12. 玉山箭竹草原土壤, 細砂 (0.25-0.05 mm) 含鉀 (K) 與鋯 (Zr) 的分布	25
圖13. 玉山箭竹草原地土壤總容積密度 (total bulk density) 與細土容積密度 (fine earth bulk density) 的深度分布	26
圖14. 玉山箭竹草原土壤之有機碳垂直變化	27
圖15. 玉山箭竹草原土壤, 可萃取鐵及總鐵含量直分布圖	29
圖16. 玉山箭竹草原土壤 A 層 (0-10 cm) 黏土的 X- 光繞射圖	31
圖17. 玉山箭竹草原土壤 Bw 層 (30-40 cm) 黏土的 X- 光繞射圖	32
圖18. 玉山箭竹草原土壤 Bw 層 (0-10 與 50-60 cm) 坩粒的 X- 光繞射圖	33
圖19. 玉山箭竹草原土壤 II BC 層 (50-60 cm) 黏土的 X- 光繞射圖	35
圖20. 玉山箭竹草原土壤 III BC 層 (90-100 cm) 黏土的 X- 光繞射圖	36

合歡山玉山箭竹草原土壤之發育與分類

1.0 緒言

以台灣平均溫和潮濕氣候的環境條件，此在自然環境下的主要植被，如果沒有其他極端環境因子限制之下，應可發育為森林。然而植生型的發生與維持，還受到地形、海拔、土壤、林火、病虫害等環境因子的影響（陳源長 1976，Collinson 1977）。台灣比較大面積的草生地中，以玉山箭竹為優勢植生的草生地，是相當醒目的生態系。而且，許多此類草生地都分布在林木限界之下，更可以說明還有影響森林發育以外的因素，維持草生地的存在。

有關玉山箭竹生態及其環境的研究，多注重在玉山箭竹本身的生理、生態與分布（王忠魁 1974，陳源長 1976，徐國士等 1983，郭寶章與張明洵 1984，劉業經等 1984，林俊義 1989）。其中只有劉業經等（1984），曾取樣並分析台灣高山箭竹草生地土壤的若干物理與化學性質，但未做進一步的妥切詮釋。彼等將該草生地之土壤歸類為灰壤化之土壤（劉業經等，1984）。然而，此分類多依據定性分析之資料，實難窺覓其土壤發育之程序，且其分類後之詮釋與應用價值，亦難發揮。

本研究之目的，注重合歡山玉山箭竹社會土壤之發育、形態及分類。此資料對於生育其上的玉山箭竹生態系的詮釋上，必有相當大的助益。

2.0 研究方法與材料

2.1 取樣地點

本研究之箭竹草生地取樣區位置於合歡山往松雪樓林道 3100 公尺海拔高之處（圖1）。土壤剖面位於3100公尺海拔的東向，15%坡度。母質主由破碎板岩，間雜有頁岩石塊。地質是屬於中新世之硬頁岩與板岩（內部部，1986）。

本區的氣溫相當低，年平均溫度為 7.7°C，冬季 1~2 月間常積雪，

氣溫降到 0°C 以下，年雨量有 3500mm，是屬於寒帶重濕氣候（圖2，內政部，1986）。取樣區之植生以玉山箭竹 (*Yushania niitakayamensis*) 為現存之絕對優勢植生，是屬於亞極群落 (subclimax) (圖3，劉業經等 1984)。

土壤剖面之選定是在此箭竹草生區內，用土鑽先探視土壤剖面，選取代表性之剖面，進行描述（見3.1）及取樣工作（圖4）。

2.2 取樣方法

取樣方法依研究目的而異。大致分為四種樣品；土壤剖面標本，容積密度，微形態觀察用土塊及複合土樣 (composite soil samples) (圖4)。

- 2.2.1 土壤剖面標本：土壤剖面標本之取得，是依照 Day (1968) 之取樣程序及製作技術。在土壤剖面備製完成，剖面描述完畢之後，將取樣槽垂直澆入土壤剖面，取出土壤。整平及加灌樹脂膠後黏在木板上，加上土層標示。
- 2.2.2 容積密度 (bulk density)：用挖填法 (excavation method)。利用已知密度的樹脂，取得每隔20公分的剖面容積密度。兩重覆樣品，此容積密度，依土粒大小分為細土容積密度 (fine-earth bulk density) 及總容積密度 (total bulk density)，其取樣法可見 Blake 與 Hartge (1986)。
- 2.2.3 微形態研究 (micromorphological study) 用土塊：未受干擾定向土壤是用柯氏盒 (Kubierna boxes)，依 Sheldrick (1984) 步驟取得。柯氏盒 (7.6×6.5×5.0 cm) 是兩端透空的盒子。將此盒的空端用手或木槌小心打入已整平的剖面上，直到另一空端已沒入土中為止。小心挖出，露出兩端的土壤用小刀及修根剪小心修平，再用 0.5 cm 厚的兩塊同大 (7.6×6.5 cm) 的木板分別封妥，標明定向 (orientation) 以備製土壤薄片 (soil thin sections) 之用。本剖面，依土層共取出四個樣品 (A, 0-10 cm; E, 18-28 cm; Bw1, 25-35;

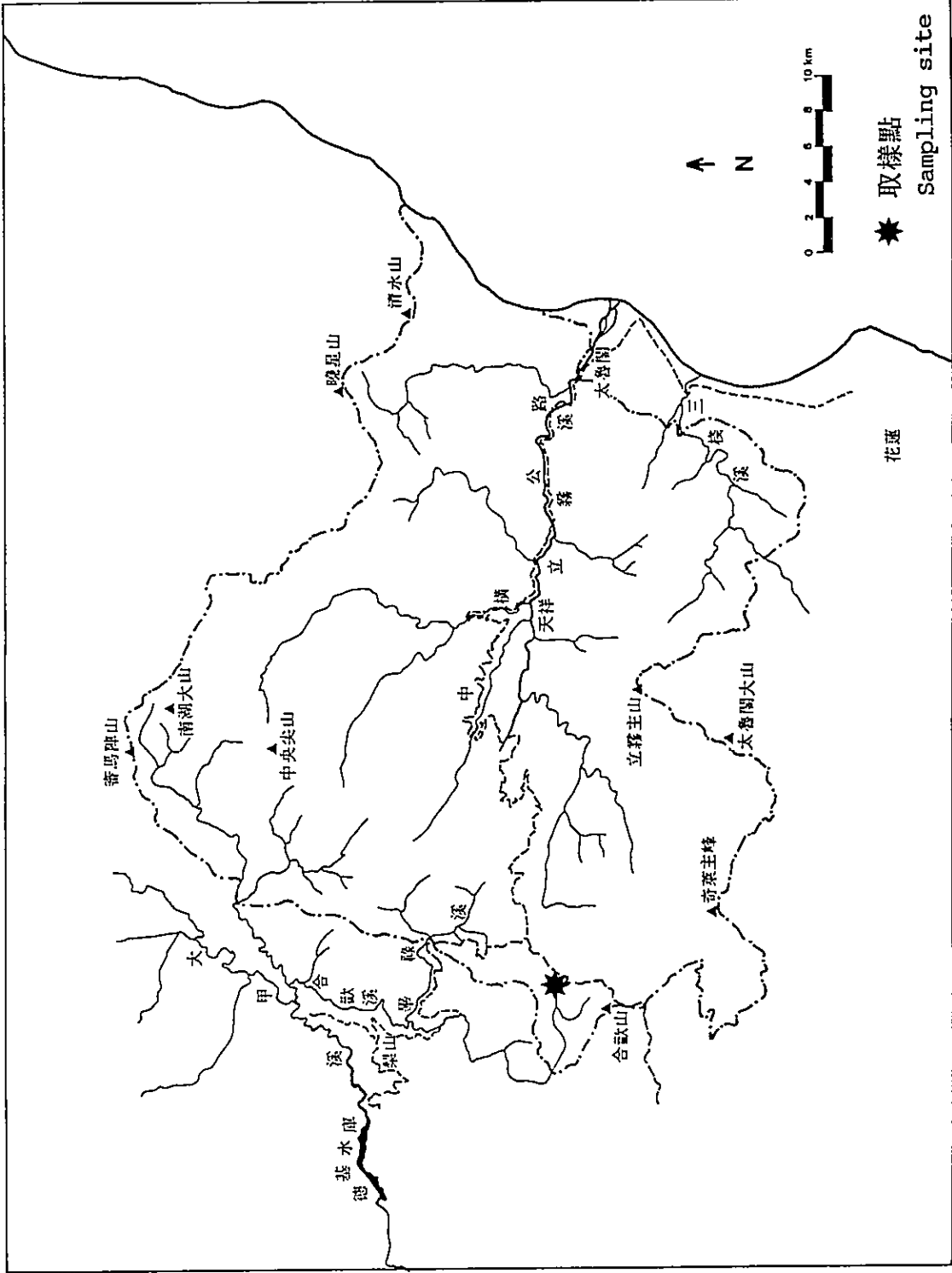


圖1. 取樣地點之地理位置。
Figure 1. Location of sampling area.

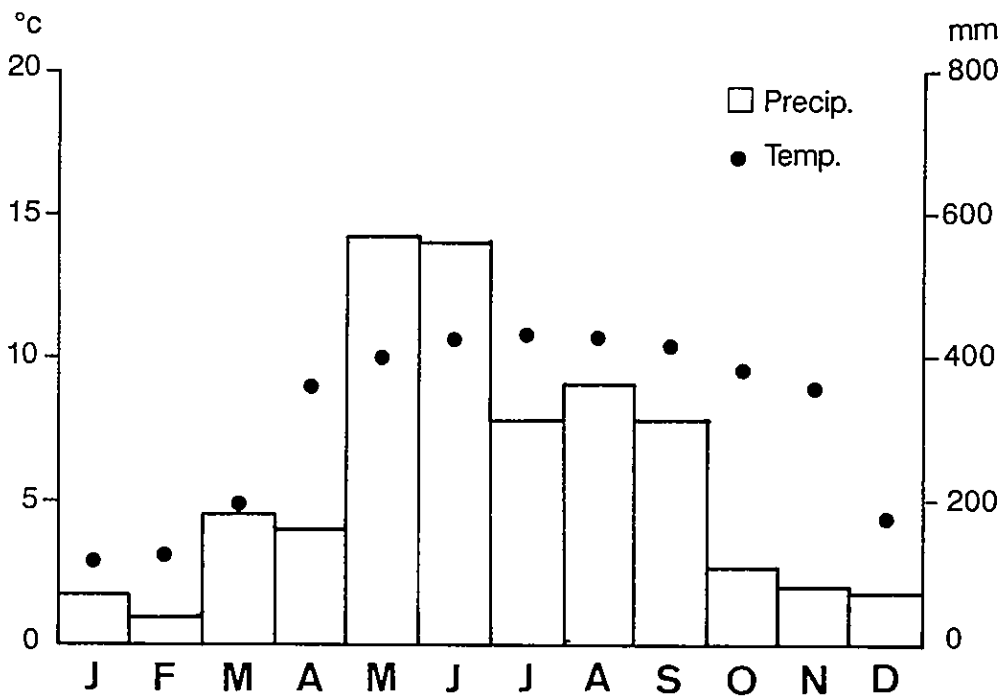


圖2. 合歡山玉山箭竹草原之氣候圖。

Figure 2. Climatic data for the research area.



圖3. 研究地點之地理景觀（因在四月取樣，故箭竹草原的山坡地形呈黃色）。

Figure 3. Landscape view of the Yushan Cane grassland (Photo was taken in April).

BW2/ II BC, 40—50 cm ; II CB, 65—75 cm)。

2.2.4 複合土樣：自土壤剖面，每隔 10 cm 取土壤 1 kg，分裝上標後，攜回實驗室，風乾、分離、過篩 (2mm) 備用。

2.3 樣品分析

此部分是指自土壤剖面每隔 10 cm 取出之複合土樣 (composite soil samples)，經氣乾，分篩 (2 mm) 後而得之土樣，進行下列各種土壤性質之分析：

- 2.3.1 機械分析 (mechanical analysis) 。機械分析是將土壤內的各種原生土粒 (primary particles) 分散，除去有機物膠黏劑等，並求其各種粒徑級的重量百分比。其步驟為：秤取定量土壤，先經 H_2O_2 (30%) 氧化其有機物後，再處以 di-thionite-citrate-bicarbonate 溶液，洗除氧化鐵等膠質。然後先用乾篩法，分離其砂粒 (sands)。其餘坩 (silts) 與黏粒 (clays) 以沈澱原理，用吸管法 (pipette method) 分離 (Sheldrick, 1984)。
- 2.3.2 有機碳 (organic carbon content)：定量土樣 (<2mm) 磨成 <100 篩網 (mesh) 後，用 LECO 感應焚化碳分析儀 (Leco induction furnace carbon analyzer) 分析 (Tabatabai and Bremner, 1970)。
- 2.3.3 土壤反應 (soil reaction)：土壤反應之測定採用 H_2O 及 1 M KCl 溶液。以 1 份土壤，2 份 H_2O 或 1 M KCl 溶液之比例混合，及達化學平衡再用 pH 儀測定。
- 2.3.4 置換酸度 (exchange acidity)：定量土壤用 1 M KCl 溶液萃取，萃取液用 0.1 M NaOH 及酚 試劑 (phenolphthalein) 滴定 (Hunter, 1980)。
- 2.3.5 置換性陽離子 (exchangeable cations) 用兩種化學藥劑處理，測定土樣之置換性陽離子量。此兩種萃取液為中性醋酸銨 (1M, pH 7.0



圖4. 田間取樣調查情形 (中間有反光的鉛槽，便是製取土壤剖面標本之用)。
Figure 4. Field sampling (The shining metal in the middle of the photo is an open box which is used to take soil block for monolith making).

NH₄OAc) 及食鹽水 (2M, NaCl) 。主要離子 (K, Ca, Mg, 或 Na) 含量用原子光譜吸收儀 (Atomic Absorption Spectrophotometer) 分析。

2.3.6 陽離子置換量 (cation exchange capacity) 與鹽基飽和度 (base saturation, %) : 陽離子置換量用兩種化學藥劑處理 (1 M, pH 7.0 NH₄OAc ; 2 M, NaCl) , 所置換之溶液以凱氏 (Kjeldahl) 蒸餾法測定其陽離子置換量。鹽基飽和度的計算是置換性鹽基 (2.3.5 節) , 佔總陽離子置換量之百分率表示。

2.3.7 可萃取 Fe, Mn 量 : 萃取土樣中含 Fe 與 Mn 之化學藥劑有三種 : (1) dithionite-citrate ; (2) acid ammonium oxalate 與 (3) sodium pyrosphosphate 溶液。詳細分析步驟參見 Sheldrick (1984) 。

2.3.8 燒失量 (loss on ignition) : 先爐乾 (105°C) 土樣, 取得爐乾量後, 再逐漸將爐溫升至 850°C , 並過夜, 因高溫 (850°C) 而損失之重量以計算其燒失量。

2.3.9 元素分析 : 土樣磨細至 <200 號篩網 (200 mesh) 。若為細土 (fine-earth) , 在高溫 (850°C) 下燒失其有機物及若干可揮發性物質後再分析總元素含量 ; 若為細砂 (0.05-.025 mm) , 則用前項機械分析法分離取得。秤取 1,300g 樣品, 混入硼酸鋰 (Li₂B₄O₇) , 熔成玻璃丸, 用 X- 光螢光法 (X-ray fluorescence method, XRF) , 接上半自動菲利浦斯 (Philips) PW1410 光分計, 測定各元素元總量, 以百分率表示之。

2.3.10 黏土礦物分析 : 黏土礦物用 X- 光繞射法 (X-ray diffraction method) 及用偏光顯微鏡觀察土壤薄片鑑定 (見 2.3.11 節) 。

利用機械分析, 將黏土 (粒徑 < 0.002 mm) 分離出來。每土樣之黏土礦物並用 K 與 Mg 分別飽和。飽和後之黏土塗抹 (Theisen and Harward, 1962) 在載玻片上, 製成定向黏土膜 (thin oriented clay

layer)，在室溫下氣乾。室乾後 Mg 飽和之玻片用甘油、蒸氣在 60°C 下飽和。K 飽和之玻片，除在常溫下用 X- 光繞射檢定外，並在 100，350°C，550°C 高溫爐內加熱 4 小時，再分別用 X- 光繞射法鑑定土壤黏土礦物種類。坩粒 (2.50 μm) 用瑪瑙磨碎磨成細粉，用酒精抹在玻璃片上，分別在 25, 350 及 550°C 加熱後，用 X- 光繞射法鑑定礦物種類。

- 2.3.11 微形態分析 (micromorphological analysis)：在柯氏盒中之土壤，氣乾後，先在室溫及 66 kPa 壓力下，緩緩注入塑膠液。此液由 2000 ml 丙酮 (acetone)，2000 ml 多元酯樹脂 (polyester resin)，1 ml 催化劑，0.2 ml 加速硬化劑組成。充滿塑膠液之土塊，在常溫下靜置一個月，靜待硬化，並在 50°C 定溫箱中 2 日，加強其硬化處理。

此土塊用鑽石鋸，切成 3.5×2.5×1 cm 之方塊 (標明其定向)，用膠 (epoxy) 黏在載玻片上，然後用鑽石鋸，鋸成 0.5 mm 厚薄片，再依次改用 70, 45, 30, 15 mm 細鑽石砂輪，打薄至約 30 μm 厚度。然後再用中性加拿大香膠 (neutral Canada balsam)，將超薄玻璃片覆上，並要驅逐小氣泡，以備觀察及描述。在偏光顯微鏡觀察，用 Bullock 等 (1985) 之「土壤微形態描述手冊」(Handbook of Soil Thin Section Descriptions) 所用專有名詞及規定描述之。

3.0 結果與討論

3.1 土壤剖面描述

3.1.1 田間描述 (圖5)

分類：典型薄層暗始成土，細質，伊來石，寒帶

(Typic Haplumbrept, fine, illitic, frigid)

地點：太魯閣國家公園內之合歡山，松雪樓東方附近地區 (圖1)。

地文：東向，15%坡地，海拔 3100公尺

母質：破碎板岩，崩積物 (colluvial deposit)

植生：玉山箭竹草原植生，植株高約 30 公分。

土層	深度,cm	描述*
A	0 - 18	棕黑色 (10YR 2/2) 黏土；屑粒結構；結持度易碎，黏性；有豐富，極細至粗之根，發育自然；層界突變 (abrupt)。
E	18 - 28	黃橘色 (10YR 7/2) 黏土；結構不明顯；結持度緊密 (firm)，黏性；少量極細之根；層界明顯 (clear) 且中斷 (broken)。
Bw1	18 - 28	黃棕色 (10YR 5/6) 黏質壤土；中型細亞稜狀結構；結持度堅密，黏性；多量極細至細根；層界漸變 (gradual)。
Bw2	28 - 45	棕灰色 (7.5YR 5/0) 帶亮紅棕色 (5YR 5/8) 銹斑 (mottles) 之黏質壤土；弱亞稜狀結構；結持度易碎至堅實，黏性；少量細根；層界明顯。
II BC	45 - 70	棕色 (10YR 4/4) 含平扁石塊之壤土；細亞稜狀結構；結持度極易碎，極富黏性；中型發育自然之少量極細根群；層界明顯。
II CB	70 - 90	暗棕色 (10YR 3/3) 含頁岩及板岩石塊之砂質黏土；細亞稜狀結構；結持度易碎，極富黏性；層界明顯。
III CB	90+	暗棕色 (10YR 3/3) 多石塊砂質壤土；細亞稜狀結構；結持度易碎，極富黏性。

* 土壤顏色用孟氏色譜 (Munsell Color Chart 法命名)，其他土壤描述之名詞及形容詞可參見郭魁士 (1978)：土壤學。中國書局出版。

** E 層為不連續，局部分布的土層。

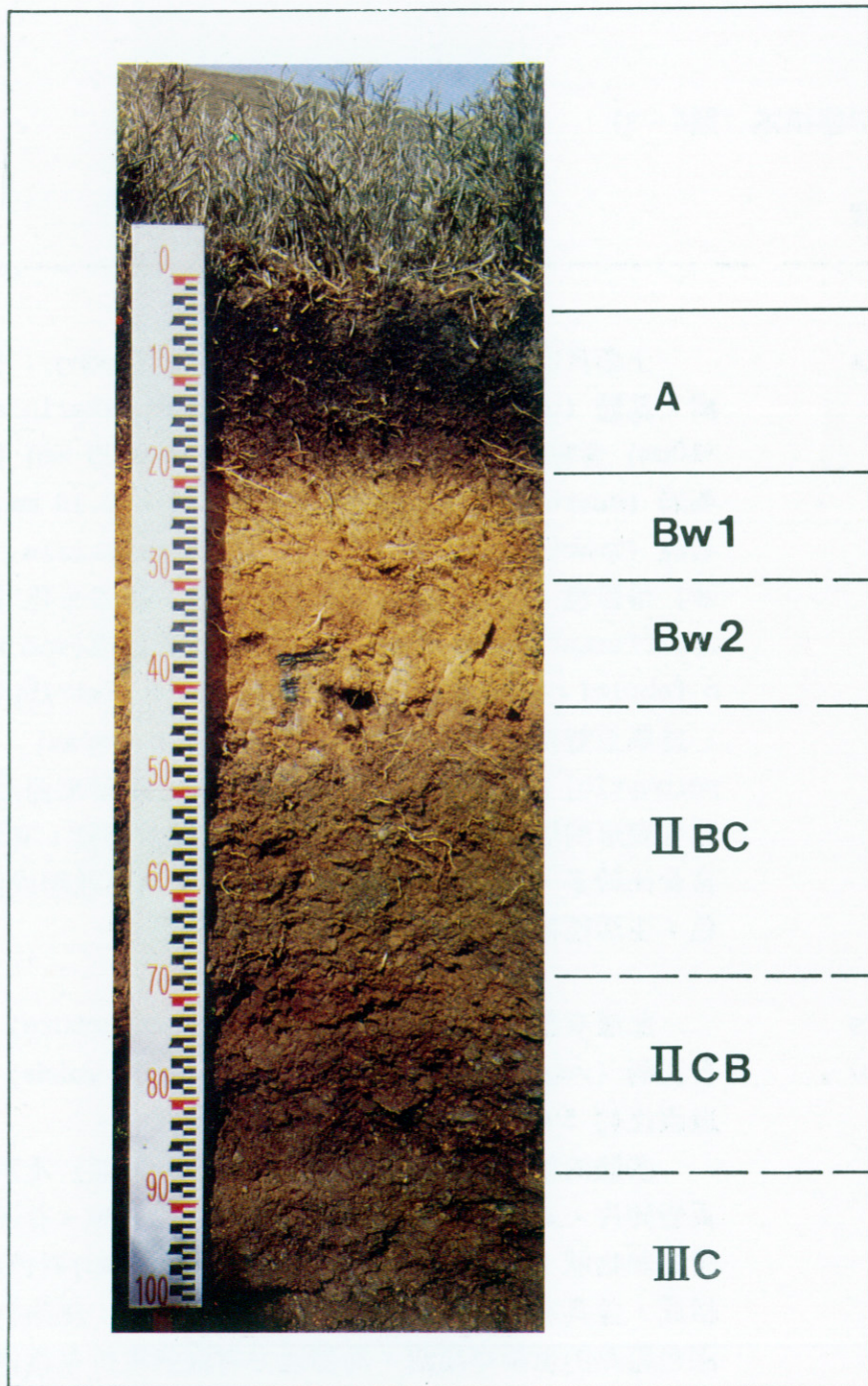


圖5. 箭竹草原之土壤剖面呈現暗色表層 (A) 及轉化層 (Bw)，同時在 80 cm 處有明顯的岩性斷層。

Figure 5. The soil profile of Yusan Cane grassland showing an Umbric epipedon (A) and Cambic horizons (Bw1 and Bw2). A lithological discontinuity at about 80 cm from soil surface is quite evident.

3.1.2 微形態描述 (圖6-9)

土層及深度	微 形 態 描 述*
A, 0-10 cm (圖6a,b)	<p>土壤具有屑粒狀 (crumb) 及海綿狀 (spongy) 微結構。基體 (groundmass) 的粗物 (coarse materials, >10um) 含有極少量約中砂粒徑 (0.50 - 0.25 mm) 的石英岩 (quartzite) 屑及細砂粒徑 (0.25 - 0.10 mm) 的石英 (quartz); 基體的細質物 (fine materials, <10 um) 呈棕色, 為帶點狀 (dotted) 黏土, 從未分化 (undifferentiated) 至略帶斑點的重折率組構 (speckled b-fabric); 粗細相關分布 (c/f related distribution) 為單至雙空間斑狀 (single to double spaced porphyric); 一般而言, 除有了若干從上層帶來而形態已有變形的填充物外, A₁ 層的微形態相當均質; 有機物含量比較多, 其大小有如坩粒 (silt); 呈不透明或黑棕色; 生活性箭竹之地下莖切面亦清晰可見。</p>
E, 18-28 cm (圖7a,b,c)	<p>此層有狹道微結構 (channel microstructure), 並有空洞 (vughs) 及少數填集空隙 (packing voids)。狹道直徑約 500 um, 內含排遺 (excrements)。</p> <p>基體的粗物含有少量稜狀石英 (中砂粒徑) 及灰色頁岩碎片, 其中若干頁岩碎片已強度風化崩解, 有逐漸變成細物狀; 基體的細物由斑點狀 (speckled) 灰色黏土組成, 並具有絹雲母片 (sericite flakes); 細物具有深色斑點的重折率組構, 局部地方有條痕重折率組構 (striated b-fabric), 及風化的植物岩 (phytolithes); 粗細相關分布多為散開斑狀 (open porphyric)。有少處為封閉斑狀 (closed porphyric); 此乃因砂岩層就地 (<u>in situ</u>) 崩解造成。</p> <p>切片 1/3 面積有棕色鐵 (水化) 氧化物構成的結核</p>

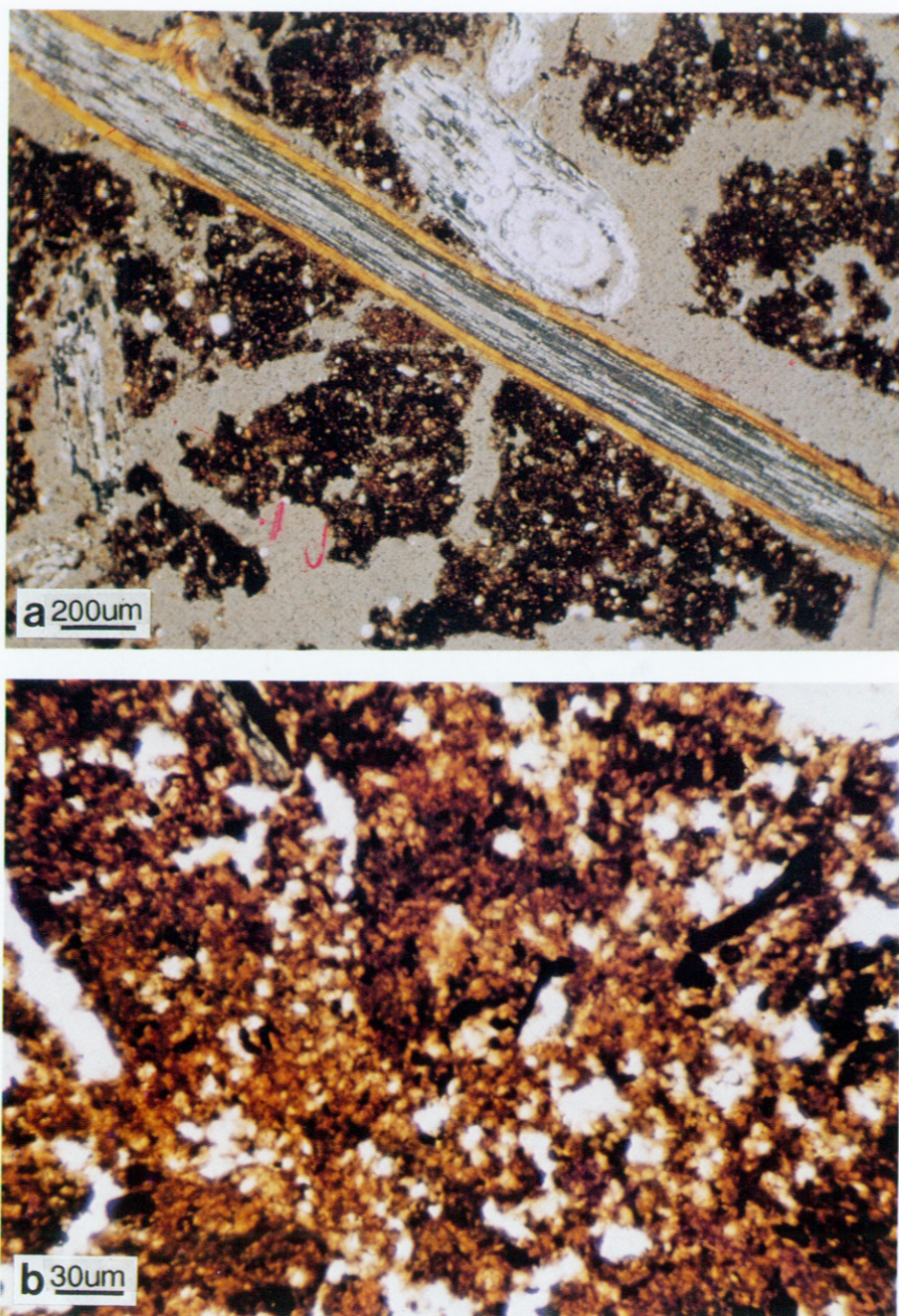


圖6. 表土層 (0-10 cm) 之微形態。(a) 中可清晰看見生活性之箭竹地下莖生長點之縱切面 (直徑約 0.25 mm)。孔隙度約為 20%，有亞稜狀結構。(b) 為 25 倍放大的薄片圖，可以發現含有極少量的砂粒 (<10%)。參閱 3.1.2 節。

Figure 6. Thin-sections of A horizon (0-10 cm).

(nodules)；結核分布頻率高，因機械移動而破裂，此復因混合作用，造成所有固態物具有異質外觀。圖7a之E層有明顯的上下非均質外觀。上層（圖7b）比較強烈的洗出（illuviated）現象而下層（圖7c）之洗出現象比較弱，惟比其下之Bw1（圖8a,b）卻強烈得多。

Bw1, 25-35 cm
(圖8a)

此土層之微結構與E層相似，惟狹道（channel）較上述直E層者較小，徑約250 μm，內並含根殘留物；總孔隙度約為10%。固體物之概貌可稱為角礫岩狀組構（breccia-like fabric）的頁岩與砂岩屑，包含在黏土基質（matrix）內。

基體（groundmass）內有極少量之稜狀石英（中砂粒徑）；細物呈黃褐色黏土，由崩解的細頁岩組成，故具有斑點重折率組構，及異質組成；黃褐色頁岩屑佔切片之50%，其中有些較近形成，有些受到紅色氧化物浸染（impregnation），有些已呈分解作用。

除了固有狹道外，尚有通道（passage）及排遺（excrements）存在，故可說明其生物活動旺盛之土層。

Bw2/ II BC 40-50 cm
(圖8b)

此土層由填集鬆散之稜塊狀至亞圓狀（subrounded），粒徑2500-100 μm之頁岩屑（內包填集空隙）組成；頁岩屑主由絹雲母（sericite）及小粒不透明礦物組成，風化程度低；此外尚有圓形及稜塊狀各種砂岩屑，粒徑大至1500 μm，其內含有坊粒粒徑之石英；有少量黑雲母（biotite）。

基體（groundmass）內之填集空隙中有熔接微團粒（welded microaggregates，粒徑50 μm）；細物由灰褐色，點狀黏土組成，是斑狀重折率組構（speckled b-fabric）；有根群。

II CB, 65-75 cm
(圖9)

此土層之微結構同上層（40-50 cm），惟基體量較少，存在於岩石屑粒中間。細物與上土層相似，惟有機

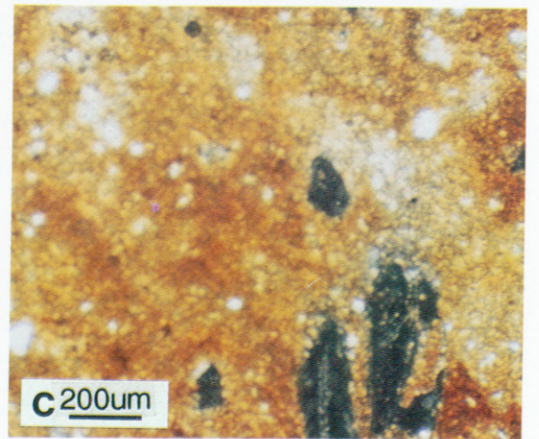
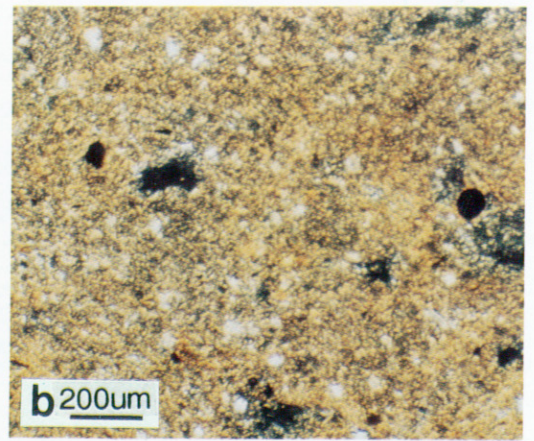
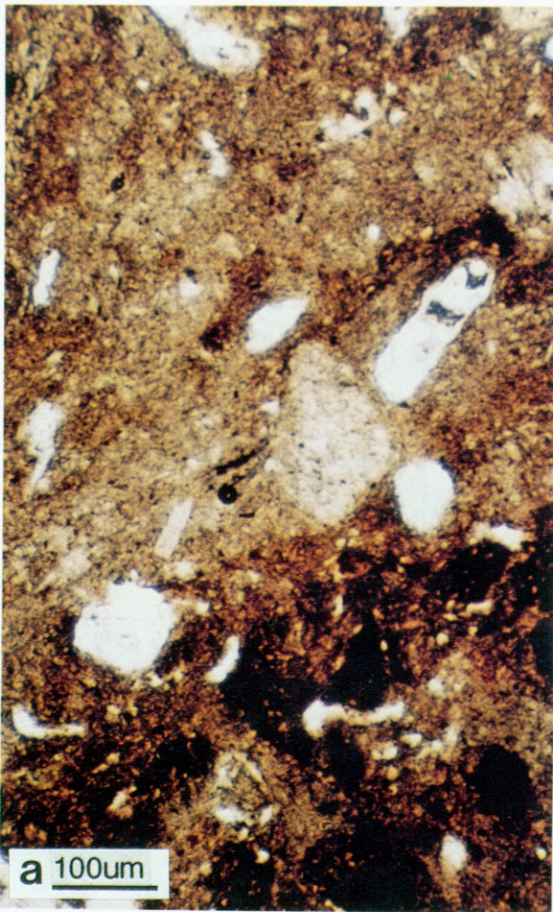


圖7. 不連續局部 E 層 (18-28 cm) 之微形態。(a) 其上半部洗出作用較下半部較強烈，故黃棕色比較淺 (白色部分)。(b) 與 (c) 分別為上半部 (18-23 cm) 及下半部 (23-28 cm) 之微形態。可以發現上半部之孔隙比下半部略多一倍。

Figure 7. (a) Thin-sections of E horizon (18-28 cm). (b) and (c) are upper (18-23 cm) and lower (23-28 cm) portion of the same horizon.

物很少。

* 有關微形態之中文描述不多見，上表用到的專有名詞，簡述於后。若欲明瞭詳細說明，可參閱 Bullock et al. (1987) 之「土壤薄片描述手冊」：

- (1) 基體 (groundmass)：指組成土壤基本的物質，包括粗與細物 (coarse and fine materials)。粗與細物之分界為直徑 10 μm 。
- (2) 土壤組構 (soil fabric)：指土壤的全部組織，用土壤組成物 (固體、液體氣體) 的空間配置 (定向與頻率) 來說明各組成物之形狀，大小與分布頻率。以外觀功能及發育觀點來看土壤。
- (3) 重折率組構 (b-fabric 即 birefringence-fabric)：土壤組構大體可以分粗 (coarse) 與細 (fine) 物，以 10 μm 為粒徑分界，分別敘述之。粗物指岩屑粒子 (detrital grains) 之空間配置，而細物指切片內土壤部分不易用偏光觀察其單粒者。在交錯偏光鏡 (crossed polarizers) 下，觀察細物部分的土壤稱為重折率組構 (birefringence fabric 或簡稱 b-fabric)。微基體的重折率組構分為之三大類：未分化 (undifferentiated)，結晶的 (crystallitic) 及條痕、斑點與條紋 (striated, speckled and Strial) 組構。

當土壤細物主由黏土組成，則在交錯偏光鏡下，由於黏土粒子的定向排列之故，常可觀察到定向重折率的區域。若此區域由微小 (粒徑為數個 μm)，長寬幾乎相等的黏土組成，則用「斑點組構」形容詞；若呈現略長形的區域，長度可達數百 μm ，則用「條痕組構」形容詞；若黏土因沈積作用 (sedimentation processes) 形成的普通定向排列，則用「條紋組構」形容詞。

- (4) 相關分布 (related distribution)：相關分布是指粗物與細物 (c/f) 在土壤薄片內呈現的相互空間分布之情形。其中基本型 (basic types) 共有 15 大類。相關分布是指相似成分之相互分布關係。基本型中有一種稱為斑狀 (porphyric)。斑狀是指緻密的細物單元內含有較大粗物組構單元 (fabric

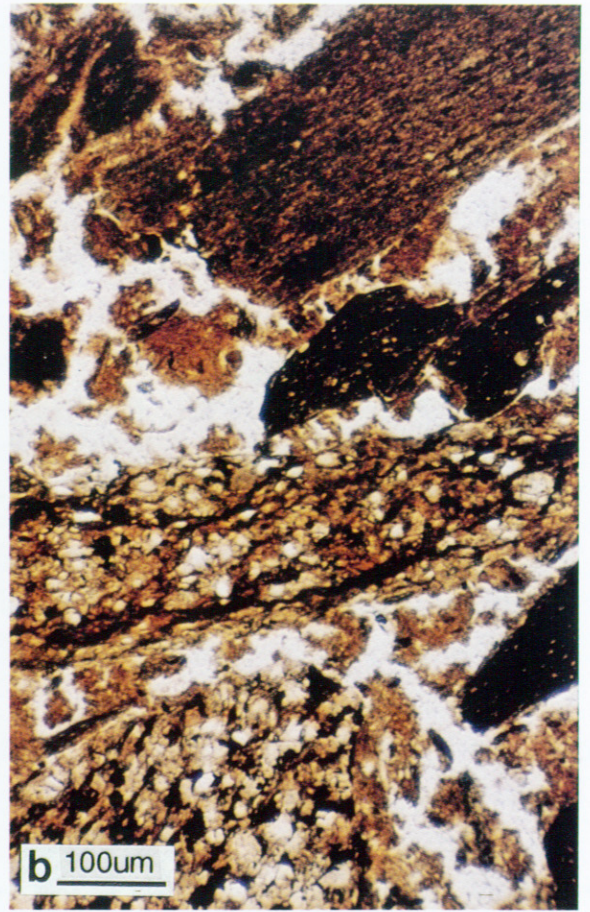
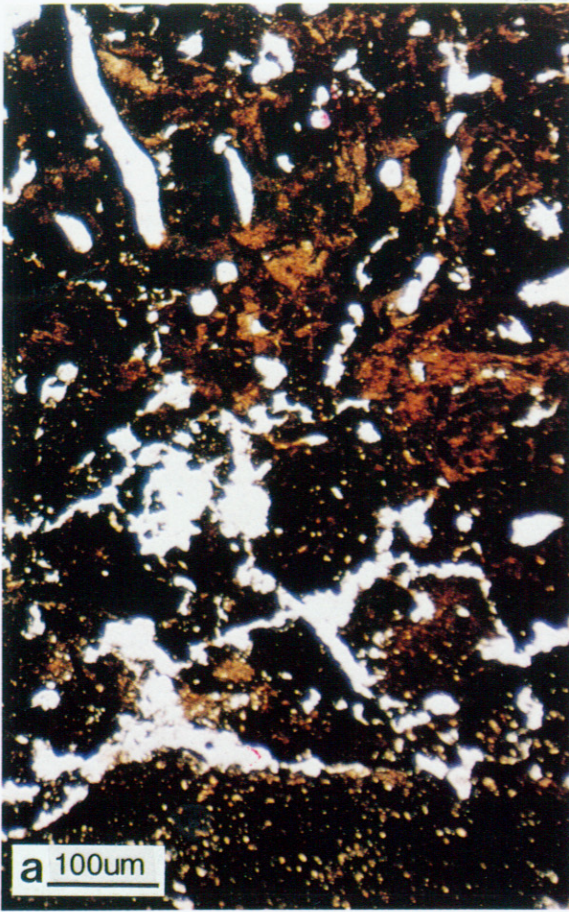


圖8. (a) Bw1 層 (25-35 cm) 之微形態。在黏土基質 (matrix) 中有強烈的氧化物浸染 (impregnation)。(b) Bw2/II BC 層 (40-50 cm) 之微形態。亦有次強烈的氧化物浸染作用。可見少量土壤存在於砂岩 (層右半邊) 與頁岩層 (左半邊) 中，砂與岩礫量增加。

Figure 8. Thin-sections of (a) Bw1 (25-35 cm), PL and (b) Bw2/II BC (40-50 cm), PL.

unit)。土壤切片間質空隙 (interstitial pores) 又可分為開散 (open)、單空間 (single spaced)、雙空間 (double spaced) 及封閉 (closed) 的斑狀基本相關分布。

- (5) 空隙 (voids)：土壤內有各種形狀，大小的空隙。空隙之分類與描述乃根據其佔有之空間，形狀與其他類型空隙間之關係。一般分為填集空隙 (packing voids)，空洞 (vughs) 與空泡 (vesciles)，空道 (channels)，空腔 (chambers) 及面隙 (planes)。「填集空隙」指等長寬，或狹長形的小孔隙，多相互連通，分布在單粒或土團 (peds) 之間。「空洞」是指比較大的孔隙，常呈圓形至狹長形，形狀不規則，相等大小之空洞，多不會相互連通。「空泡」其大小有如空洞，泡壁平滑，彎曲度單純，或為等長寬 (prolate)，扁圓 (oblate) 狀。「空道」指狹長，圓柱或彎弧形，外觀規則，道壁多平滑，橫切面大小相近的孔隙。「空腔」指近圓形，其間由空道連通，壁光滑，非長柱形。面隙 (planes) 依孔隙三主軸之比例而定。
- (6) 排遺 (excrements)，又稱糞粒 (fecal pellets)：是土壤動物之排泄物，多存在有機體內 (如葉片、根……) 及土壤動物造成的通道內。
- (7) 結核 (nodules)：是土壤化育 (pedogenesis) 形成的產物，不包括地質形成 (geogenesis) 之結核。結核是土壤化育的特徵，是指土壤中「局部濃縮，硬化的化學複合物，形成固結的顆粒或瘤狀物，具有各種形狀，色澤及大小 (Soil Survey Staff, 1951)」。
- (8) 植物岩 (phytolith) 指土壤中有機物在風化作用下產生者，為土壤物質的基本組成物。

3.1.3 土壤形態之觀察結論

由微形態之觀察，此土壤剖面之母質似為頁岩，或由低變質程度的片岩 (low grade metamorphic schist) 構成。由於整個剖面充滿了各種稜塊狀的頁岩與少量砂岩層的混合物，此混合物在剖面上層 (A, Bw) 風化較深，下土層較

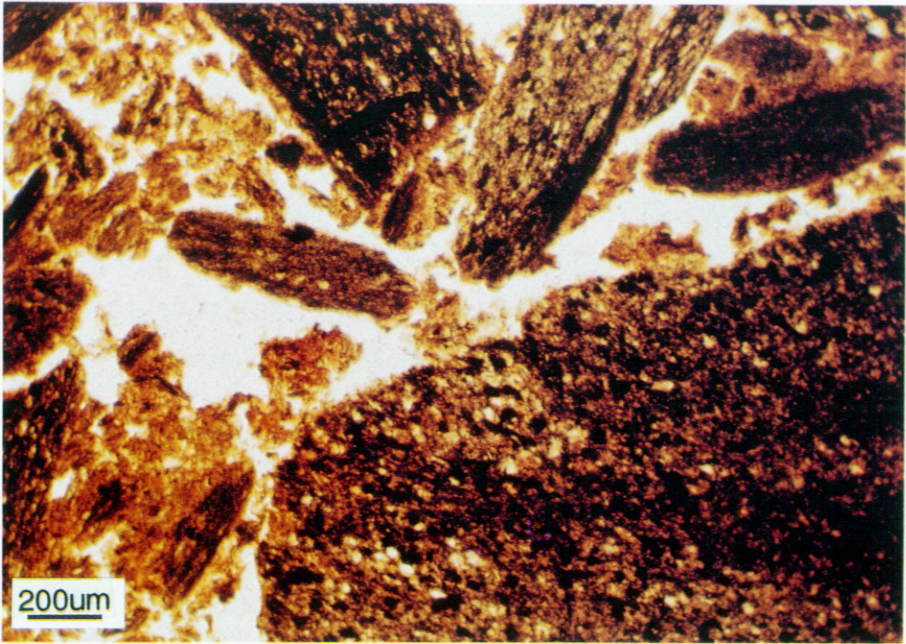


圖9. II CB 層 (65-75 cm) 之微形態。主要為岩石屑，不定向的散置，土壤少，有機物亦少。

Figure 9. The thin-section of II CB horizon (65-75 cm), PL.

能保持原狀，故推斷母質為崩積物 (colluvial deposit)。

在 Bw2/II BC 層 (40-50 cm)，頁岩屑片風化之時，因有生物活動參與 (有排遺)，由基體 (groundmass) 發育形成。其上層 (Bw, 25-35 cm) 的風化作用更盛，故基體呈連續狀態發生。除了風化作用 (weathering) 與生物干擾 (bioturbation)，其他土壤發育程序 (pedogenic processes) 並不強烈。在 E 層 (18-28 cm) 亦可見 Bw 層之特性，惟土色呈灰色擴散形鐵結核，可見有間歇性水成變化 (hydromorphism) 過程，有物質淋溶喪失 (leaching loss) 作用。

3.2 土壤之發育

合歡山玉山箭竹草原土壤發育的研究，宜先從鑑定土壤縱剖面是否從相同母質發育而來。換言之，要先進行整個土壤剖面內土壤物 (土壤發育的物質「均質度的鑑定」) (test of the uniformity of soil materials)。如果鑑定後整個剖面是從相同的母質發育而來，然後可能可以重建各土層開始發育時的原始狀態，亦即土壤發育的「零時間」狀態。再利用評估土壤在發育過程期間，土壤的許多性質可能發生的定量變化。其方法一般是根據比較某土層 (例如 B 層) 之某成分 (如黏土含量，遊離鐵含量) 與未風化 (或風化度極低) 的土壤物 (往往是 C 層土壤物) 的該成分而得。如果知悉這些改變，則主要土壤發育的程序，可以指認出來。土壤發育的程序，是指增添作用 (addition)，例如有機物加入土壤系統中；遷移作用 (translocation)，例如黏土或其他成分的重直移動；轉化作用 (transformation)，例如三氧化物 (sesquioxides) 或黏土礦物的轉化及其他成土特徵 (pedofeatures) 的發育 (Buo et al., 1980)

。

3.2.1 土壤物均質度的鑑定

土壤物之均質度，有時可在田間觀察土壤縱剖面時，往往可以看得出來。但是，最好要將土壤樣品，在實驗室內用各種物理與化學方法，加以確證。

Barshad (1964) 建議好幾種方法，鑑定土壤母質之均質度：(1) 總礦物

分析法，土壤中比較難風化礦物 (resistant minerals) 佔坩與砂粒總和 (即不包括黏粒部分) 之百分率的垂直分布；(2) 除黏粒外，其他粒徑範圍內的兩類難風化礦物之含量比；(3) 某土壤粒徑量佔坩與砂粒總和的百分率。(4) 黏粒量的垂直分布，尤其是細黏粒部分；(5) 非黏粒 (即坩與砂粒) 之某特定粒徑的化學組成之垂直分布。本研究則選用第 (3) 與 (5)。亦即細砂 (0.25–0.05 mm) 佔總非黏粒的百分率，在土壤剖面內的垂直分布 (圖10)；該粒徑 (0.25–0.05 mm) 內的 Zr (鋯, zirconium) 與K (鉀, potassium) 的垂直分布 (圖12)。

於田間描述土壤 (圖5, 3.1.1) 之時，在 70–90 cm 處，土壤色值 (value) 與色彩 (hue) 有明顯的改變 (見3.1 土壤剖面描述)，岩塊有突然增加的現象。該土壤剖面的 45–70 cm 的色值/色彩為 4/4，而其下 70–90 cm 為 3/3。質地亦從壤土變為砂質壤土。還有，細砂 (0.25–0.05 mm) 的含量佔非黏土含量之比例分布 (圖10) 中亦有此現象。圖 10 中，在 70–90 cm 之間，細砂分布曲線有突然減少及與上下土層 (soil layer) 有明顯的不同。此突然改變的現象亦出現在圖 11 中。圖七中的砂粒含量從 65 cm 的 42% 到 75cm 時突然躍昇到 68%。可見 75–85 cm 深處，可能為一岩性斷層 (lithological discontinuity) 母質。

還有，再看圖 10 與 11 之土壤粒徑分布，剖面 40 cm 以內之成分變異極少而至 50 cm 時，該成分突然改變，這種明顯的大改變，可以斷定在 45 cm (40–50 cm) 處，亦有一可能的岩性斷層帶。

如果再看圖12，K 與 Zr 的分布相當類似，在剖面 40 cm 之內自地表往下逐漸增加，到了45 cm 以下，除了在 70–90 cm 處外，其餘部位維持一個相當少變化的現象。由上述資料，可以假設此剖面的主要斷層，約發生在40–50 cm 處之斷層比 70–90 cm 處之斷層更為明顯。

容積密度的垂直分布如圖 13 所示。圖中總容積密度 (total bulk density) 是指單位自然土壤容積內，所有固體物之質量而細土容積密度 (fine-earth bulk density) 是單位自然土壤容積內，細土量 (< 2 mm) 佔細土容積之比。兩者之差 (即圖 13 中斜線部分) 即為與粗岩屑 (> 2 mm, coarse fragments) 有關的成分。從此圖13 看來，40–50 公分處極可能為一母質斷層。

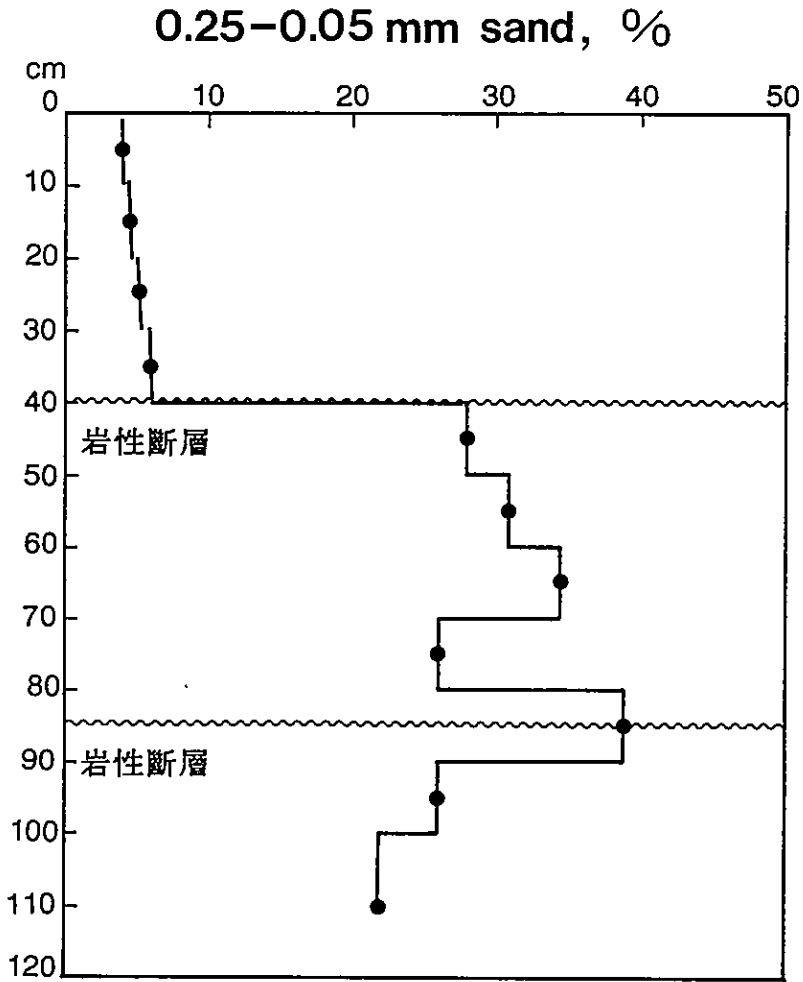


圖10. 箭竹草原土壤之細砂 (0.25-0.05 mm) 量佔總粉與砂粒 (>2 μ m) 之重量百分率隨土壤深度之變化。

Figure 10. The depth distribution of fine plus very fine sand (0.25 - 0.05 mm) based on non-clay fraction of the studied pedon.

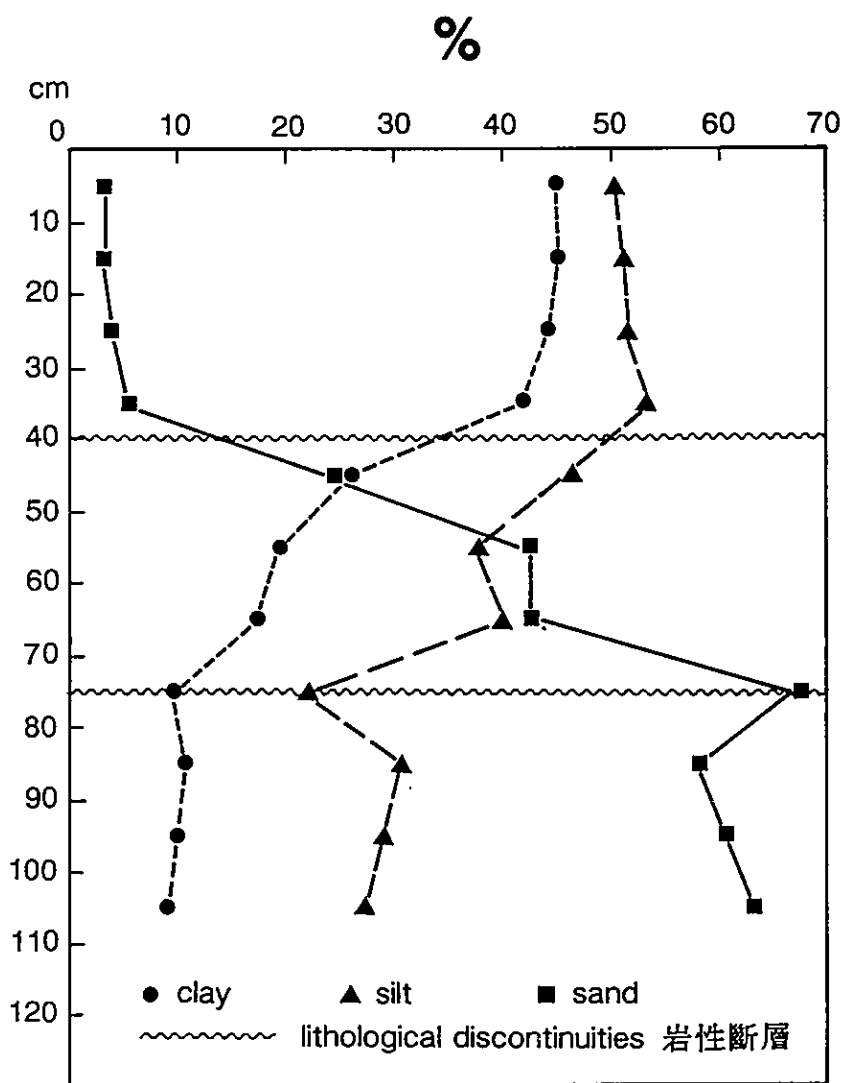


圖11. 箭竹草原之土壤含砂、坩、黏粒重量百分率分布。
 Figure 11. The depth distribution of sand, silt and clay fraction of the studied pedon.

本土壤剖面既然呈現至少有二處明顯的岩性斷層 (lithological discontinuities)。最接近地表的斷層介於 40-50 cm 處，該處已歷經強烈風化作用，無法找到育自該處未風化 (或風化度極低，接近未風化狀態) 時母質性質。換言之，以本剖面而言，根本無法 (找不出邏輯) 以「定量」方式，重新評估土壤發育的歷程上，各土層的演化。然而，本研究可根據目前該剖面的物理、化學、生物、礦物、形態上等性質，探討其發育。

3.2.2 土壤發育之過程

3.2.2.1 暗化作用 (melanization)：本草原土壤的表土 10 cm 的有機碳含量為 13.30%，往下急劇下降 (圖14)。色值亦自表土 (0-10 cm) 的黑色轉為 10 cm 以下之棕色系統。這種暗化作用是常見之成土作用，多由於有機物增加的緣故。草原土壤的有機物分布特徵，是集中在靠近地表的土層內 (Nielson and Hole, 1963)，這是由於表土層內的箭竹枝葉及地下莖的生長與分解循環進行，而累積含量高的有機物。在 20 cm 以下的土壤，仍含有少量 (<2%) 的有機碳，此有機物可能來自少量分解腐化的根系，及少量自上層洗入的有機物。

表土有機物成分，亦可自土壤薄片中考定出來。圖6b 所示，生活性的地下莖，半腐解及無定形的有機物，清晰可見。其中腐解完全的無定形有機物，已均勻的摻在礦質土內，在顯微鏡下呈現不透光的棕色物 (isotropic brownish masses)。

3.2.2.2 容積密度的改變：土壤自母質之發育過程中，由於增添、遷移、轉化及淋溶等作用，間接改變土壤之孔隙度。容積密度的改變，正是反映土壤孔隙度的情形。圖13 中總容積密度在表土 40 cm 之內，自 10 cm 處的 0.67 g/cm³，到了 30 cm 處急速的增至 1.24 g/cm³，再往下層，略有增減。而細土容積密度，在表土 40 cm 之內之變化趨勢與總容積密度的變化，幾乎相等，但是到 40 cm 以下，略有下降。

從此容積密度分布的曲線，可以說明此剖面的表土 40 cm 以內的風化作用很盛，幾乎所有的母質岩塊多已變為細土 (<2 mm)，即總容積密度與細土

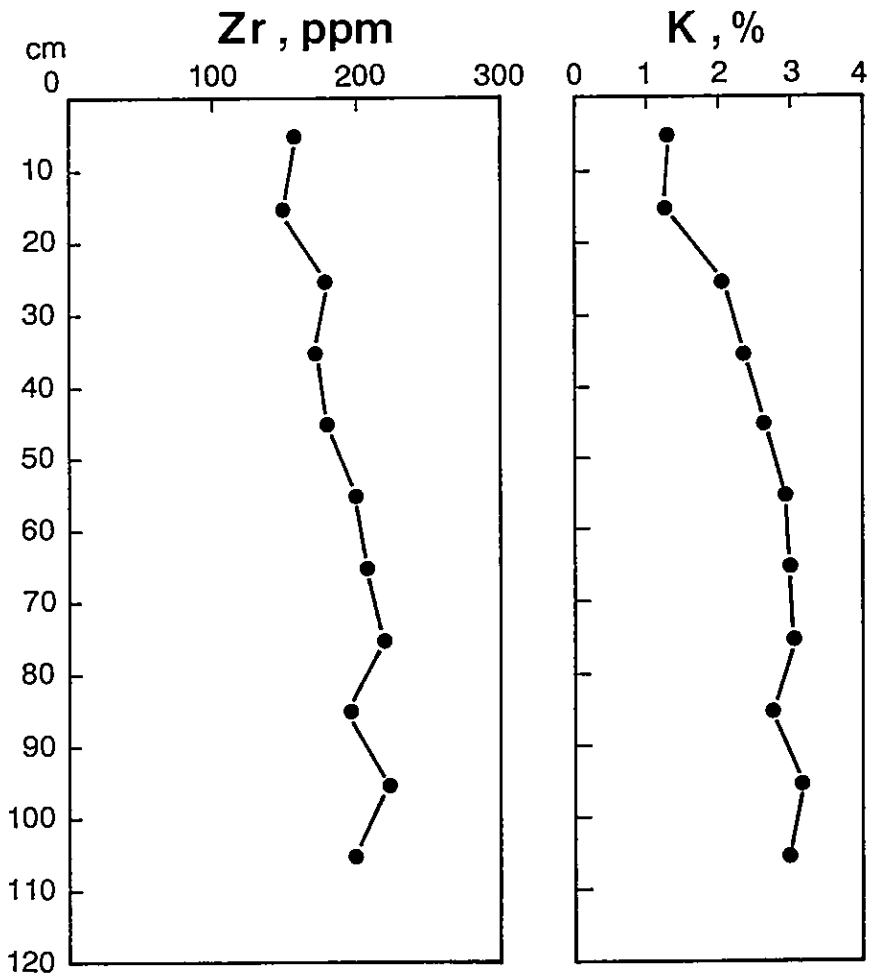


圖12. 玉山箭竹草原土壤，細砂 (0.25-0.05 mm) 含鉀 (K) 與鋯 (Zr) 的分布。
 Figure 12. The depth distribution of Zr and K in the 0.25-0.05 mm sand fraction.

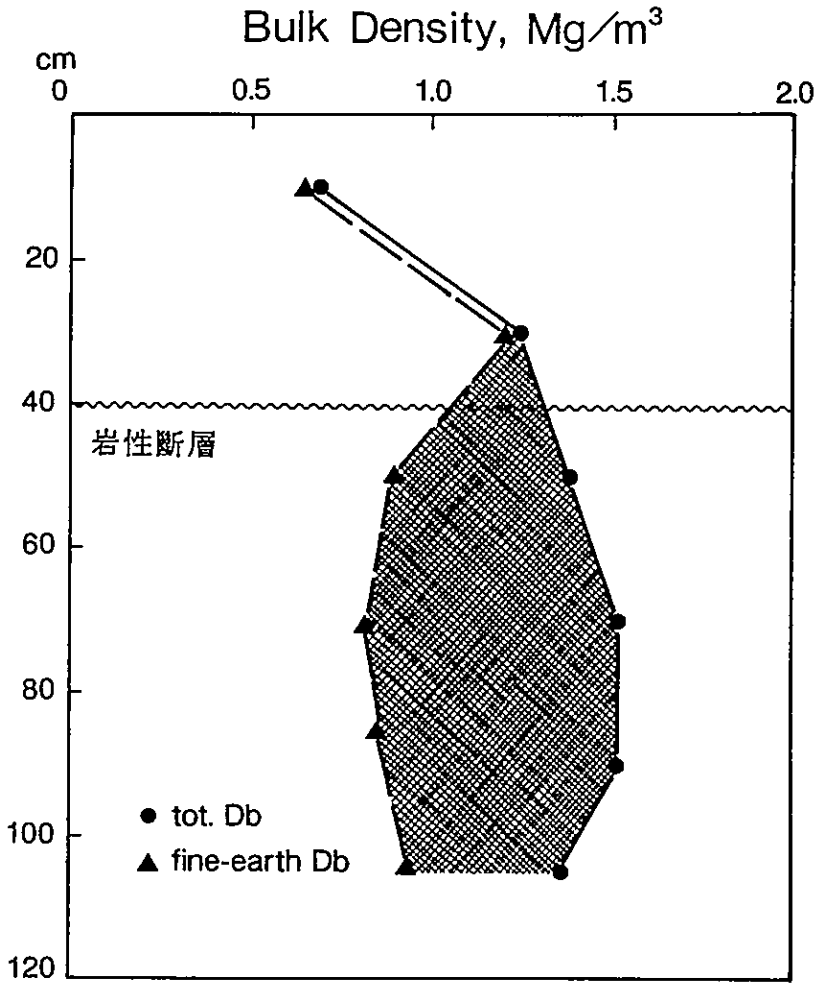


圖13. 玉山箭竹草原地土壤總容積密度 (total bulk density) 與細土容積密度 (fine-earth bulk density) 的深度分布。

Figure 13. The depth distribution of total and fine-earth bulk densities of the studied pedon.

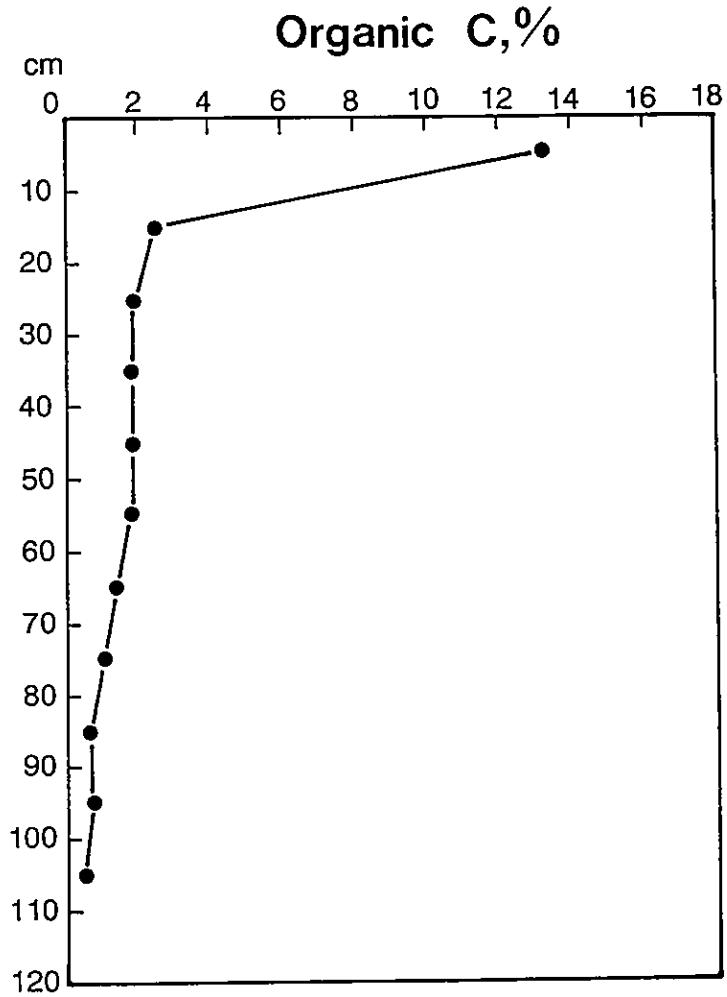


圖14. 玉山箭竹草原土壤之有機碳垂直變化。

Figure 14. Changes of organic carbon contents of the studied pedon with depths.

容積密度幾乎相等。而粗岩屑 (>2 mm) 的變化，在 40-60 cm 之間，粗岩屑接近 40 cm 處比接近 60 cm 處少得多。這種變化，亦可自圖 11 中得到解釋。圖 11 中在 40-60 cm 間，粗顆粒的原生砂粒約從 15% 增加到 40%；黏粒約從 35% 減到 15%；粉粒變化較穩定。粗岩屑在 70 cm 以下改變不大，而各原生粒子（砂、粉黏粒）之改變亦不大（圖13）。

3.2.2.3 三氧化物的遷移與轉化作用：圖 16 為總鐵量及各種藥劑 (dithionite-citrate, Fe-dc; ammonium oxalate, Fe-ao; sodium pyrophosphate, Fe-sp) 能萃取的鐵，在箭竹草原剖面內分布的情形。根據 McKeague et al. (1971) 之研究，認為 Fe-dc 包括微晶氧化鐵 (microcrystalline Fe-oxides)，無定形無機氧化鐵 (amorphous inorganic Fe-oxides)，及與有機複合的鐵 (organic-complexed Fe)；Fe-ao 包括無定形無機氧化鐵與有機複合鐵；Fe-sp 則只是有機複合鐵。McKeague et al. (1971) 又指出，所謂微晶氧化鐵是指細小晶結的氧化鐵，主要成分是針鐵礦 (goethite, α -FeOOH) 及赤鐵礦 (hematite, α -Fe₂O₃)。用 X-光螢光法 (XRF) 測定的鐵是總鐵量，包括 Fe-dc 所測定之量外，尚有矽酸礦物內之鐵 (silicate Fe)。因此，圖 16 中之 I 部分代表有機複合鐵 (Fe-sp) 在土壤剖面的垂直分布，也可以說此含量很少 (<0.5%)。II 部分代表無定形無機氧化鐵，此量亦如 Fe-sp，含量與變化均低。看起來表土 40 cm 的主要鐵之化學態為微晶氧化鐵 (III 部分)，次之為矽酸礦物內之鐵 (IV 部分)。40 cm 以下之剖面主要是矽酸礦物內之鐵 (即原生礦物內未風化之鐵)，其他 I, II, III, 之含量不但少，而且沒有重大變化。

再看剖面內總鐵量的變化若以 CB 層 (60+cm) 為比較標準。表土 10 cm 以內的總鐵含量略少，20-50 cm 略多。這說明了此剖面有極少量鐵的垂直移動 (vertical translocation)，且正處在發生初期，並不十分活躍。在此假設下，20-40 cm 之間，微晶氧化鐵的存在，主要是就地 (*in situ*) 形成的，而非自上層遷移下來，此微晶氧化鐵正是其棕黃土色的來源，因而亦可假設此層的微晶氧化鐵是轉化作用 (transformation) 而來。形成的此棕黃色土層，可以做為此剖面的診斷層 (diagnostic horizon)，稱為轉化 Bw 層 (cambic B horizon)。此成土作用稱為棕化作用 (braunification) (Buol et al., 1980)。

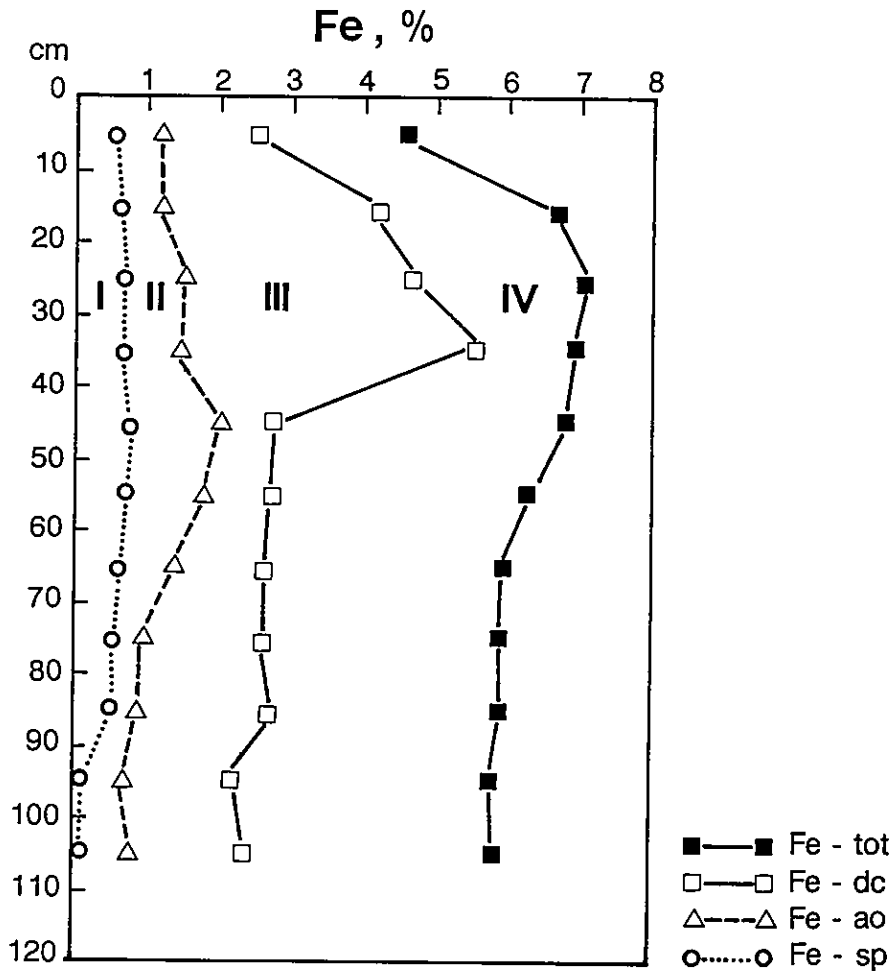


圖15. 玉山箭竹草原土壤，可萃取鐵及總鐵含量直分布圖。
 Figure 15. The depth distribution of total, dithionite-citrate-, oxalate- and pyrophosphate-extractable Fe.

根據觀察 Bw1 層 (25-35 cm) 土壤薄片 (見3.1.2 節; 圖8), 在顯微鏡下是呈黃褐色, 主要是氧化鐵微晶分散在土壤基質 (groundmass) 內。

圖15 的四種鐵形態的分布情形, 加上土壤薄片的觀察資料, 充分說明了合歡山草原土壤有轉化診斷層 (cambic diagnostic horizon), 而灰化作用 (podzolization), 即鐵的遷移作用只是正在初期 (incipient stage)。

3.2.2.4 黏土礦物: 本報告的黏土礦物是用 X- 光繞射法 (X-ray diffraction method) 作為定性研究。在判釋所有取樣層次 (每隔 10 公分為一取樣層次) 的繞射圖後, 發覺基本上有兩種繞射圖。即 0-40 cm 為一種 (以圖16 與 17 為本報告之代表), 另為 40-110 cm 處 (以圖19 與20 為代表)。圖 17-20 為草原土壤垂直剖面內黏土礦物的繞射圖 (diffractograms)。從圖 17-20 顯示, 接近地表 (0-40 cm) 的黏土礦物種組成比其 50 cm 以下土壤的黏土礦物組成單純。

圖16 為表土 (0-10 cm) 的黏粒 X- 光繞射圖, 其出現的尖峰為: 鎂甘油飽和及僅鎂飽和處理, 出現 d-spacing 在 1.48, 1.04, 0.71, 0.05, 0.43, 0.32, 0.25, 0.20 nm 等尖峰。故可能之黏土礦物有蛭石 (vermiculite), 伊來石 (illite), 高嶺石 (kaolinite)。但在鉀飽和 (23°C, 100°C, 300°C) 處理下, 失去 1.48 nm 尖峰, 增強 1.04 nm 尖峰, 維持 0.71 nm 及其以下之尖峰; 鉀飽和在 550°C 處理時, 復又失去 0.71 尖峰, 故斷定表土 0-10 cm 層之黏土礦物主要為水雲母或伊來石 (hydrrous mica or illite), 及少量的蛭石 (vermiculite)。因為沒有明顯的 0.36 nm 尖峰, 故斷定沒有 (即使有亦為不夠明顯) 高嶺石 (kaolinite) 存在。同時, 圖 16 中均有 0.42-0.43 nm 之尖峰, 故斷定有石英之存在。綜合言之, 0-10 cm 層之黏土礦物主為伊來石, 並有少量蛭石。

同時, Bw 層 30-40cm 之土層, 其繞射圖 (圖17) 黏土礦物組成分均與其上之 0-10 cm 層相同, 故主要為水雲母, 少量蛭石及有石英。為了瞭解蛭石是否為土壤化育過程中形成者, 或為原生粒子中之礦物, 故將表土層 (0-10 cm) 之坩粒進行 X- 光繞射分析, 其結果如圖 18。圖 18 中只出現水雲

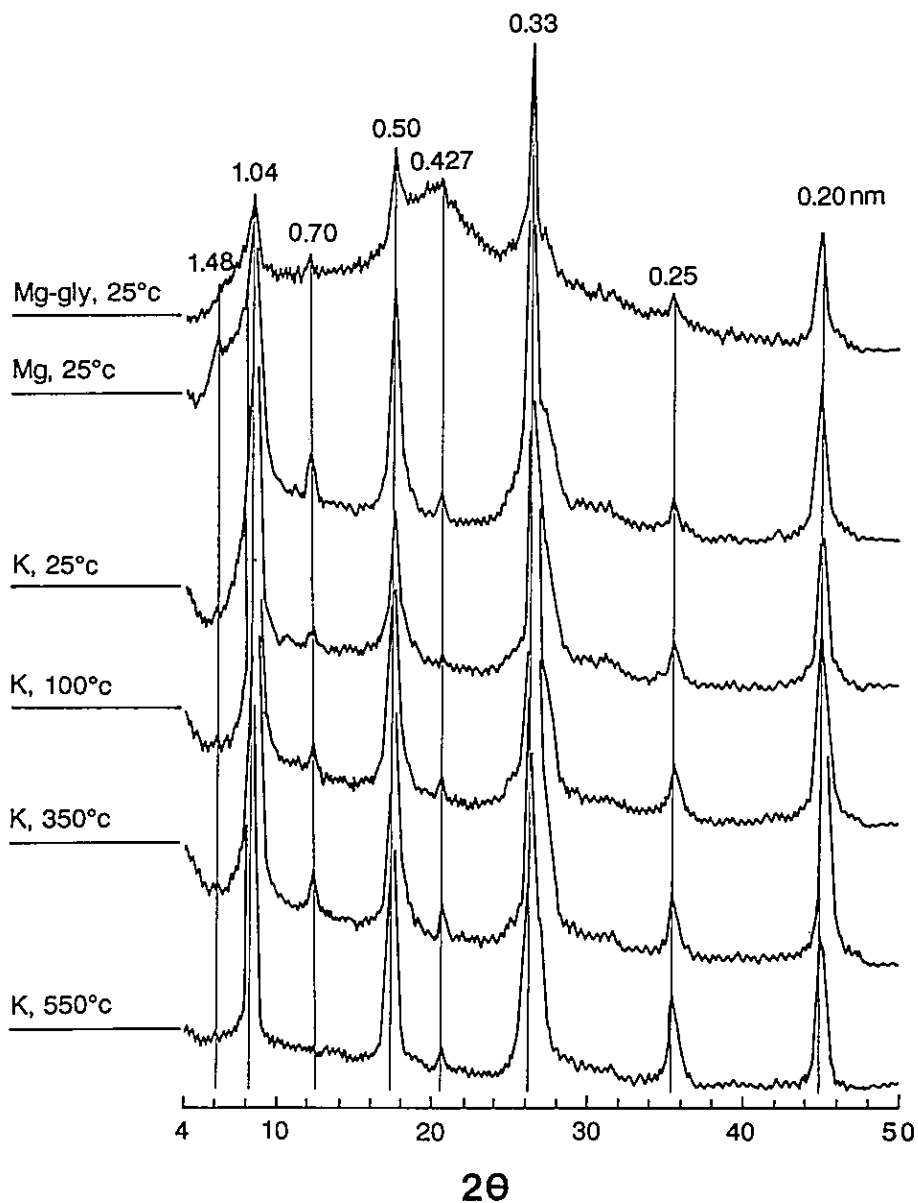


圖16. 玉山箭竹草原土壤 0-10 cm 深度黏土的 X- 光繞射圖。
 Figure 16. X-ray diffraction patterns of the clay fraction from A (0-10 cm) horizon.

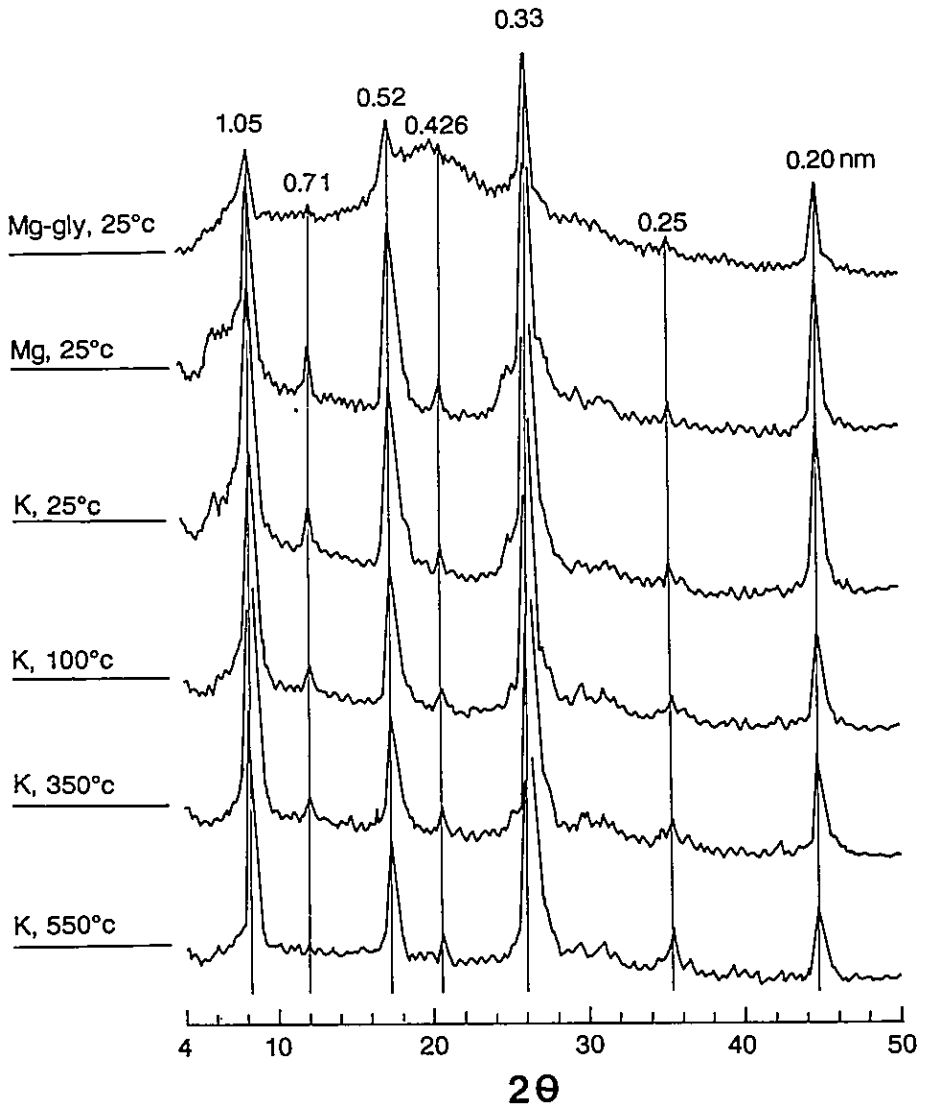


圖17. 玉山箭竹草原土壤 30-40 cm 深度黏土的 X- 光繞射圖。
 Figure 17. X-ray diffraction patterns of clay fraction from Bw2 (30-40 cm) horizon.

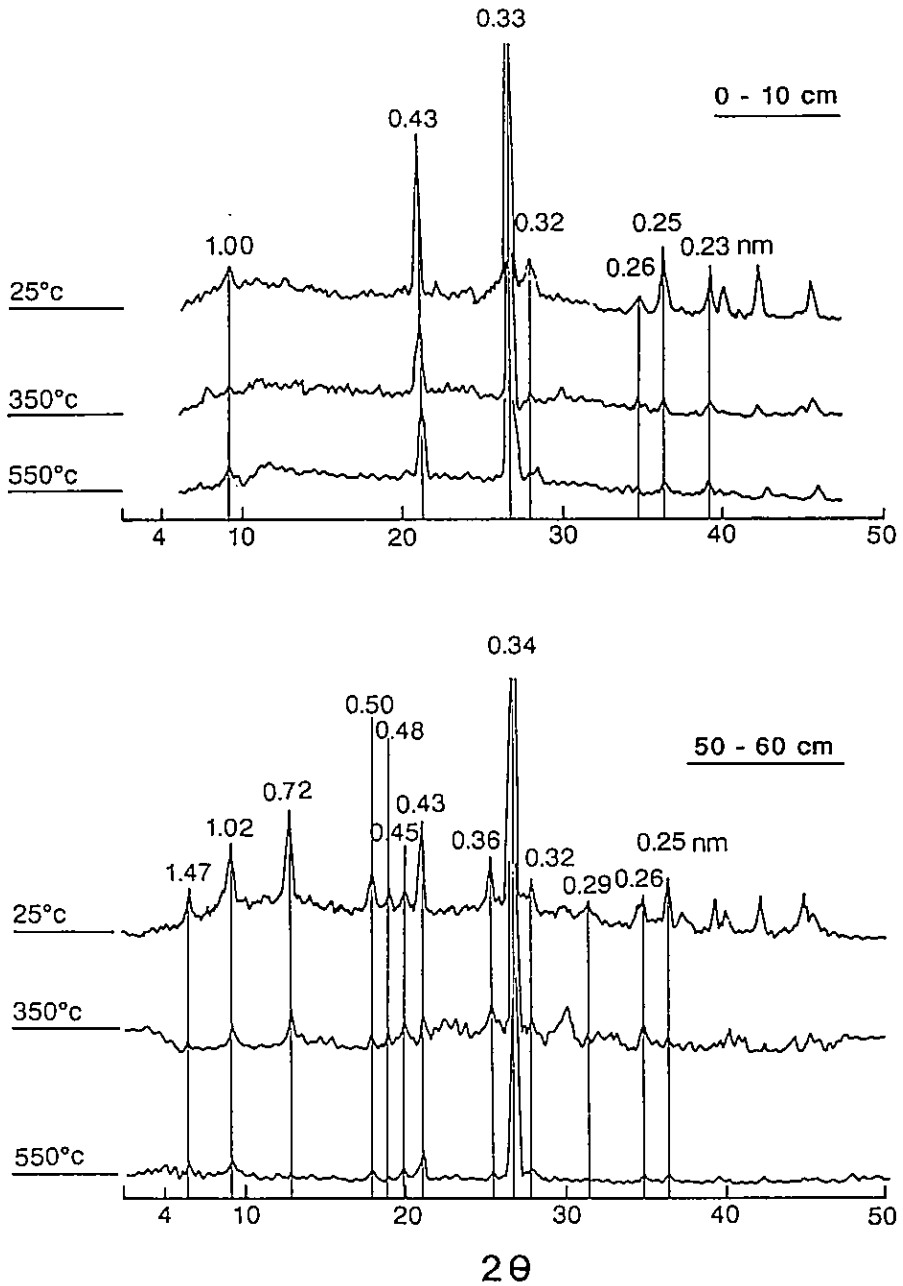


圖18. 玉山箭竹草原土壤 (a) 0-10 cm 及 (b) 50-60 cm 深度坩粒的 X-光繞射圖。
 Figure 18. X-ray diffraction patterns of silt fraction from (a) 0-10 cm and (b) 50-60 cm depth.

母及石英的尖峰，故斷定 0-50 cm 土層之蛭石為土壤化育形成者 (pedogenic origin)，非得自母岩。

圖 19 為 50-60 cm 取樣層 (相當於 II BC 層) 的繞射圖。此圖之飽和尖峰為 1.44, 1.03, 0.71, 0.50, 0.478, 0.427, 0.36, 0.34, 0.284, 0.25, 0.20 nm 等 11 尖峰，故可能之礦物有高嶺石、伊來石、蛭石及綠泥石 (chlorite)。當在鉀飽和 (23, 100, 350°C) 處理時，其 11 處尖峰並未改變，但是鉀飽和熱至 550°C 時，0.71, 0.478, 0.36, 0.284 nm 尖峰消失，所以、蛭石並不存在。因此 II BC (50-60 cm) 之黏土礦物主要是水雲母 (hydromica) 及少量高嶺石與綠泥石。圖 20 之繞射圖與圖 21 (90-100 cm) 相似，因之此剖面 50 cm 以下之土層，黏土礦物主為水雲母或伊來石及少量的綠泥石與高嶺石。蛭石與綠泥石可用 K-飽和方法來區分。低電荷 (low charge) 蛭石，在常溫及鉀飽和處理時其 1.4nm 尖峰會崩解成 1.0 nm。因此，在鉀處理，1.4 nm 尖峰不受加熱 (300~500°C) 而消失之時；則可斷定有綠泥石存在 (Barnhisel and Bertsch, 1989)。

從繞射圖 (圖16~21) 得悉，合歡山箭竹草原的黏土礦物主要為伊來石 (illite) 或稱水雲石 (hydrous mica)。上半層 0-40 cm 尚有蛭石，下半層 (>50 cm) 尚有高嶺石、綠泥石。自黏土礦物組成與土壤深度之關係上看來，其組成改變之分界線為 40-50 cm 處，而此岩性斷層復與前述 (3.2.1 節) 之母質斷層相吻合。

合歡山玉山箭竹草原土壤育自頁岩或變質弱的板岩。此類岩石往往含有地質作用生成的雲母，而且水雲母 (hydromica) 亦為育自水成岩的土壤中常見的礦物 (Fanning et al., 1989)。台灣中部蓮華池附近的第三紀頁岩發育土壤，水雲母亦為主要黏土礦物 (金恆鑣, 1984)。此外蛭石亦為地形較穩定處，頁岩發育的土壤的黏土礦物 (金恆鑣, 未發表)。Douglas (1989) 認為，含有雲母或綠泥石之母岩，其發育之土壤常會有蛭石。而本剖面土壤各層均含有水雲母，50 cm 以上有蛭石 (圖16, 17)，50cm 以下含有綠泥石 (圖19-20)。水雲母轉變為蛭石之過程，是 K^+ 自礦物中釋放出來及 Fe^{2+} 發生氧化作用 (Vicente et al., 1979)。剖面 50 cm 以內之土層，含置換性鉀較高 (表5)，而且該深度內的鐵氧化作用亦較盛 (表5, 圖15)。

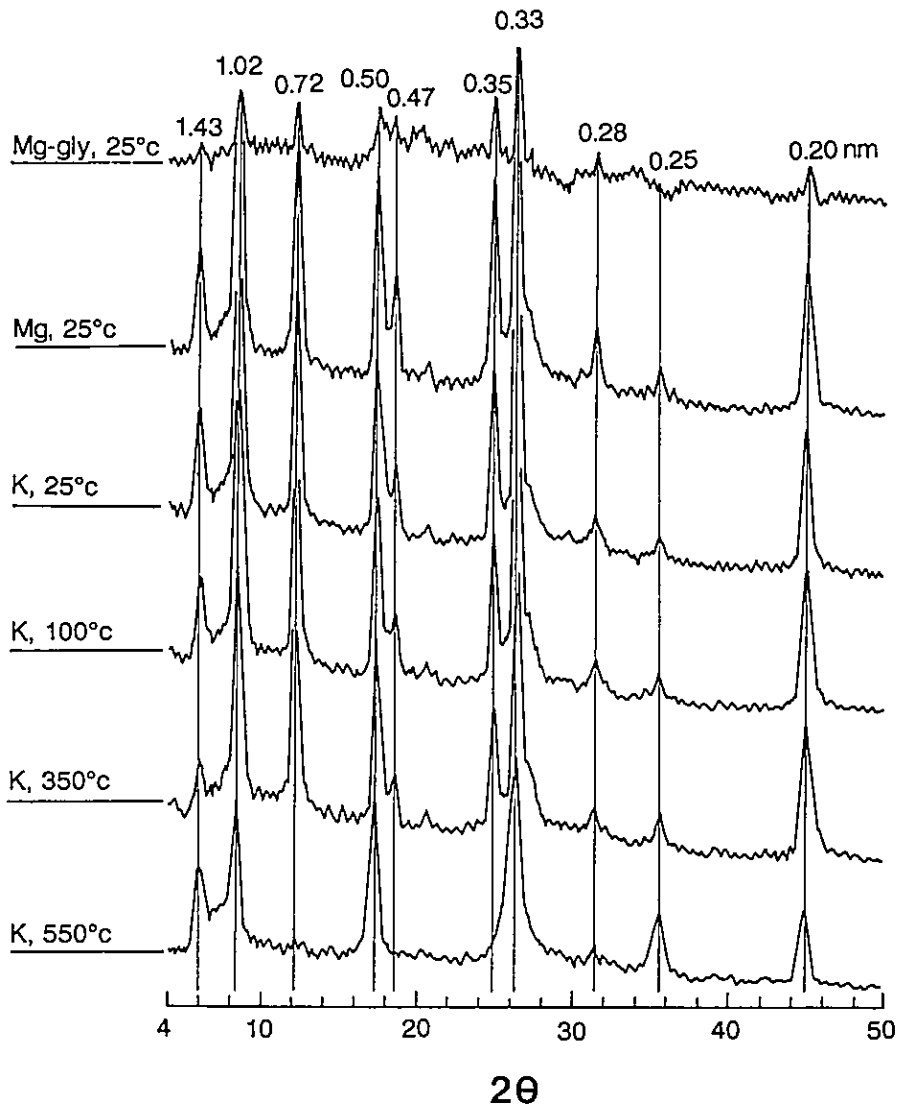


圖19. 玉山箭竹草原土壤 50-60 cm 深度黏土的 X- 光繞射圖。
 Figure 19. X-ray diffraction patterns from clay fraction of II BC horizon (50-60 cm).

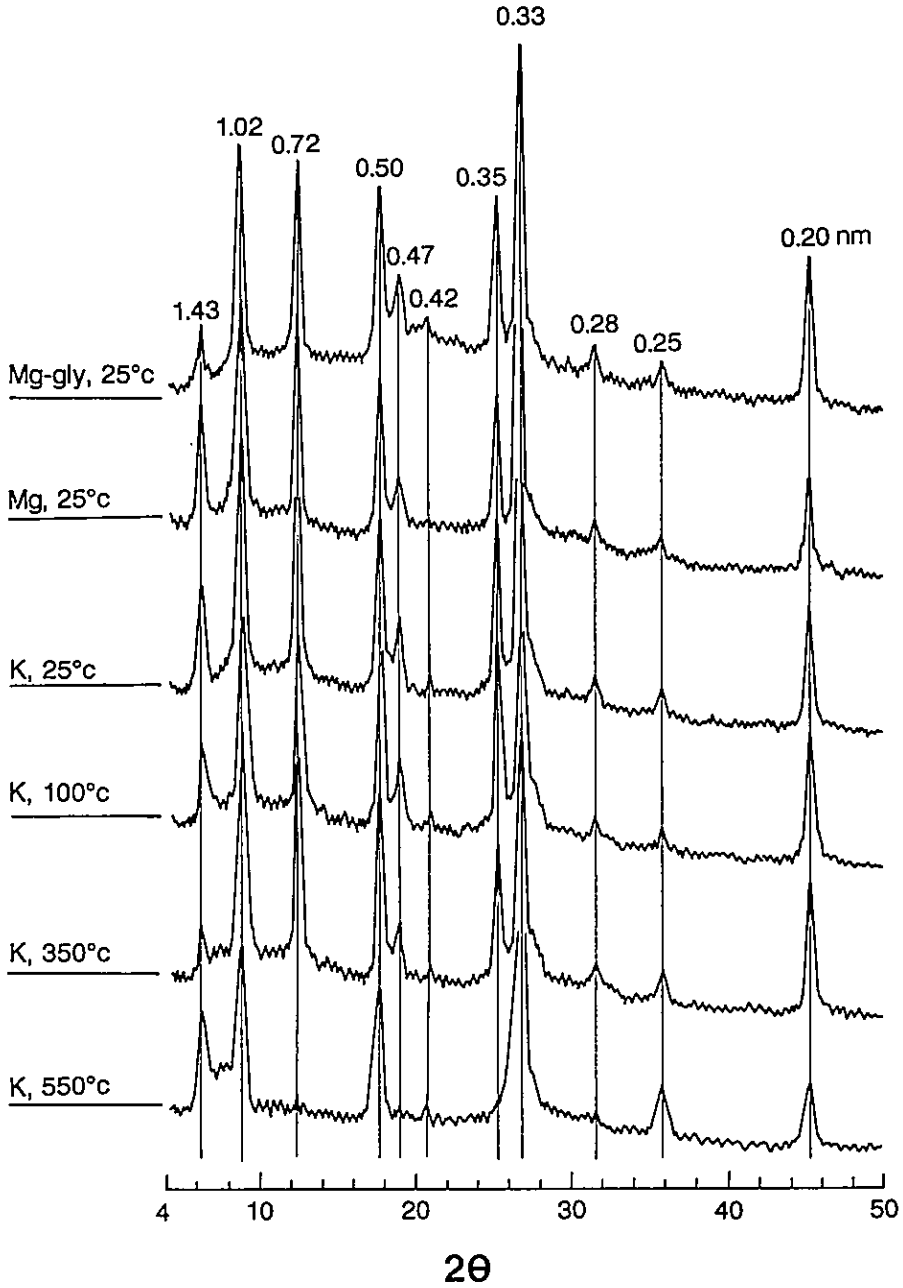


圖20. 玉山箭竹草原土壤 90-100 cm 深度黏土的 X- 光繞射圖。
 Figure 20. X-ray diffraction patterns from clay fraction of II CB (90-100 cm) horizon.

這些條件均合於本研究之剖面，故合歡山箭竹草原土壤可分類為始成土（Inceptisol）土綱。又因為無脆磐（fragipan）發生，故為暗始成土（umbrept）亞綱，薄層暗始成土（Haplumbrept）大土類。因具有轉化層及無其他顯明極端的特徵（土壤太淺、太潮濕、有火山灰性質、岩屑多、質地粗、表土層厚），故為典型薄層暗始成土（Typic Haplumbrept）亞土類。

美國土壤分類系統（Soil Taxonomy）的土族（Soil family）分類標準（Soil Survey Staff, 1990）與合歡山箭竹土壤性質分別為：

- (1) 粒徑級 (particle-size classes)：細 (fine)，黏性 (clayey)。
- (2) 礦物級 (mineralogical classes)：伊來石的 (illitic)。
- (3) 土壤反應級 (soil reaction)：酸性 (acidic)， $\text{pH} < 5$ 。
- (4) 土溫級 (soil temperature class)：寒冷的 (frigid)，年平均土溫 (MAST) 低於 8°C 。
- (5) 剖面深度級 (soil depth classes)：深 (deep)， $> 50 \text{ cm}$ 。

由上述有關合歡山玉山箭竹草原土壤之形態，物理、化學及礦物學等性質研判，依美國土壤分類系統（Soil Taxonomy）為 "細黏性、伊來石的、寒冷的典型薄層始成土 (Typic Haplumbrept, fine clayey, illitic, frigid. 台灣地區目前採用的土壤分類系統，尚包括 Thorp 與 Smith (1949) 的修正系統 (Leung and Chen, 1957) 或日本森林土壤分類系統 (林務局, 1980)。因為前者為農地土壤，故無法將此研究的草原土壤納入該系統中，若尋求最相近的分類，似乎為：定域土綱 (zonal soil order) 的黃色灰化土 (Yellow Podzolic Soil) 大土類 (great soil group)。後者 (林務局, 1980) 為森林壤之分類，但亦無法將此研究之土壤納入其分類系統，或者勉強可稱為乾性灰化土。

4.0 結論

太魯閣國家公園境內的合歡山玉山箭竹草原土壤，發育自頁岩或弱變質的板岩。整個土壤剖面有二處岩性斷層 (lithological discontinuities)，大約在 40-50 及 70-90 cm 兩處。

此草原土壤相當年輕，除了在 A 層有明顯的有機物聚集及 B 層有鐵的氧

化作用與轉化作用，及局部性的極少量鐵，自表土向下遷移到心土等作用外，其餘無明顯的成土作用。因此，主要成土作用為：暗化作用(melanization)，有機物之增添；鬆化作用(loosening)，表土容積密度的下降；棕化作用(braunification)，有機物及無定形鐵與鋁的遷移作用，及初期的灰化土作用(podzolization)。

上述成土程序(pedogenic processes)結果，草原土壤發育成暗化表層(umbric epipedon)及轉化B層(cambic horizon)。其剖面土層依序為：A1-(E)-Bw1-Bw2-II BC-II CB-III CB。在分類上為細質、伊來石、寒冷的典型薄層暗始成土(Typic Haplumbrept, fine, illitic, frigid)。

5.0 參考文獻

- 王忠魁 1974 台灣高山草原之由來及其演進與亞極群落之商榷，生物與環境，中研院院刊：1-16。
- 內政部 1986 太魯閣國公園計畫書。內政部營建署出版。
- 金恆灝 1986 蓮華池地區森林土壤分類的研究。林試所研報 1(2):155-176。
- 林俊義 1989 太魯閣國家公園高山草原生態體系調查。太魯閣國家公園管理處出版。共 120 頁。
- 林務局 1980 台灣森林土壤圖簡述。林務局出版。
- 徐國士 林則桐 陳玉峰 呂勝由 1983. 太魯閣國家公園預定區域植物生態調查報告。內政部營建署出版。
- 陳源長 1976 台灣之森林火災。台銀季刊，18：329-360。

郭魁士 1978 土壤學。中國圖書公司出版。

郭寶章 張明洵 1984 玉山箭竹之生態及防除。中華林學季刊 17(1) : 33-51。

梁鉅榮 1961 台灣山地之土壤。台銀季刊 12(4) : 78-95。

劉業經 呂福原 歐辰雄 賴國祥 1984 台灣高山箭竹草生地之植物演替與競爭機制。中華林學季刊。17(1) : 1-32。

Barnhisel, R.I. and Bertsch, P.M. 1989. Chlorites and hydroxy-vermiculite and smectite. pp.729-788. In J.B. Dixon, and S.B. Weed, (eds), Minerals in Soil Environments. SSS A Book Series, no. 1.

Blake G.H. and K.H. Hartge . 1986. Bulk density. pp. 363-375. In A. Klute, (ed.) Methods of Soil Analysis. Part I. Agronomy 9, Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin, pp. 1188.

Bullock, P.,N. Fedoroff, A. Jongerius, G. Stoops, and T. Tursina, 1985. The Handbook for Soil Thin Section Description. Waine Research Wolverhampton, England.

Buol, S.W., F.D. Hole, and R.J. Mccracken. 1980. Soil Genesis and Classification. The Iowa State University Press, Ames, Iowa.

Collinson, A.S. 1977 Introduction to World Vegetation. George Allin and Unwin, London.

Day, J.H. 1968. Making Soil Monoliths. Monograph 1372. Canada Agriculture. Ottawa, Ont. 15 pp.

- Douglas, L.A. 1989 Vermiculite. pp. 635-674. In J.B. Dixon, S.B. Weed, (eds.) Minerals in Soil Environments SSSA Book Series, no. 1.
- Fanning, D.S., V.Z Keramidas, and M.A. El-Desoky 1989. Micas. pp. 551-634. In J.B. Dixon, and S.B. Weed, (eds.) Minerals in Soil Environments, SSSA Book Series, no. 1.
- Hunter, A.H. 1980. Cation exchange capacity. In Suggested Soil and Plant Analytical Techniques for Tropical Soils and Research Program Labs. AGRO Services International, Inc.
- Leung, K.W. and T.T. Chen. 1957. Soils of Taiwan. J. Agri. Asso. China, New Series 20:1-26.
- Nielson, G.A., and F.D. Hole. 1963. A study of the natural processes of incorporation of organic matter in to soil in the University of Wisconsin Arboretum. Wis. Acad. Sci. 52:213-227.
- Ross, G.J. 1969. Acid dissolution of chorites: release of magnicium, iron and aluminum and mode of acid attack. Clays clays Miner. 17:347-354.
- Ross, G.J. and H. Kodama. 1974. Experimental transformation of a vermiculite. Clays Clay Miner. 22:205-211.
- Sheldrick B.H. 1984. Analytical Methods Manual. 1984. Land Resources Research Institute, Contribution No. 84-30. Agriculture Canada.
- Soil Survey staff. 1951. Soil Survey Manual. USDA. Handbook 18. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.

- Soil Survey Staff. 1990. Keys to Soil Taxonomy. SMSS Technical Monograph #6. Forth Printing, Cornell University.
- Tabatabai, M.A. and J.M. Bremner. 1970. Use of the Leco Automatic 70-second Carbon Analyser for total carbon analysis of soils. Soc. Soc. Am. Proc. 34:608-610.
- Theisen, A.A. and M.E. Harward. 1962. A paste method for preparation of slides for clay mineral identification by X-ray diffractions. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 26:90-91.
- Vicente, M.A., M. Razzaghe, and M. Robert. 1977. Formation of aluminum hydroxy vermiculite (integrate) and smectite from mica under acidic conditions. Clay Miner. 12:101-112.

附 錄：合歡山玉山箭竹草原土壤之理化分析表

表1. 太魯閣國家公園內合歡山箭竹草原土壤容積密度*

Table 1. Total and fine-earth bulk density of studied pedon.

Horizon	Depth	Total **	Fine-earth ***
	cm	g/cm ³	g/cm ³
A1	0-20	0.67	0.66
Bw	20-40	1.24	1.23
Bw/ II BC	40-60	1.39	0.89
II BC/ II CB	60-80	1.53	0.80
II CB/ III CB	80-100	1.52	0.87
III CB	110	1.36	0.95

* 容積密度是兩次取樣之平均數 (average of two determinations)

** 總容積密度是單位土壤自然體之體積內，所含之全部土壤 (<2mm) 與石礫 (>2mm) 之質量。

*** 細土容積密度是細土土壤 (<2mm) 及其所佔有容積之商。

表 2 . 合歡山草原土壤之粒徑分析

Table 2. Particle size distribution of the studied pedon.

Depth	Sand				Silt				Clay < 2 μ
	2-1 mm	1-0.25 mm	0.25-0.05 mm	total	50-20 μ	20-5 μ	5-2 μ	total	
cm	%	%	%	%	%	%	%	%	%
0-10	0.25	1.02	2.06	3.33	29.57	15.34	5.95	50.86	45.81
10-20	0.20	0.41	2.85	3.46	30.48	11.23	5.53	50.84	45.70
10-20*	0.07	0.27	3.76	4.10	79.65	2.81	9.77	92.23	3.67
20-30	0.07	0.47	3.70	4.24	20.03	17.34	13.95	51.32	44.44
30-40	0.33	1.05	3.58	4.96	28.13	18.56	6.28	52.97	42.07
40-50	0.14	3.93	21.11	25.18	26.23	11.61	11.42	49.26	25.56
50-60	0.74	17.47	25.45	43.66	20.53	7.69	9.03	37.25	19.09
60-70	0.23	13.73	29.26	43.22	20.91	7.40	11.84	39.75	17.03
70-80	15.79	28.96	23.90	68.65	10.75	4.97	6.69	22.41	8.97
80-90	0.01	23.19	34.86	58.06	13.96	8.56	8.55	31.07	10.87
90-100	11.18	26.23	23.66	61.07	14.80	5.09	8.89	28.78	10.15
100-110	16.52	26.21	20.75	63.48	14.72	5.51	6.93	27.16	9.36

* 爲不連續之 E 層 (broken E horizon)。

表 3. 合歡山玉山箭竹草原土壤之反應與有機碳含量
 Table 3. Soil reactions and organic carbon contents of
 the studied pidon.

Horizon	Depth(cm)	pH (H ₂ O)	pH (CaCl ₂)	Org.C %
A	0-10	3.52	3.33	13.30
	10-20	3.64	3.36	2.48
E	20-30*	3.62	3.36	1.75
Bw1	20-30	3.61	3.47	1.94
Bw2	30-40	3.69	3.65	1.84
	40-50	3.82	4.11	1.92
	50-60	4.04	4.16	1.86
II BC	60-70	4.16	4.24	1.58
	70-80	4.25	4.39	1.00
II CB	80-90	4.42	4.50	0.86
	90-100	4.52	4.55	0.62
III CB	100+	4.66	—	0.57

* 爲不連續 E 層 (broken E horizon)。

表 4. 合歡山玉山箭竹草原土壤之中性 1M NH₄OAc 溶液*萃取之陽離子，陽離子置換量 (CEC) 及鹽基飽和度 (BS)。

Table 4. Exchangeable cations, cation exchange capacity and base saturation of studied pedon using 1M neutral NH₄OAc method.

Horizon	Depth	Ca	Mg	K	CEC*	BS
	Cm	cmol(+)/kg			%	
A	0-10	0.53	0.21	0.35	30.8	3.5
	10-20	0.14	0.08	0.16	18.4	2.1
Bw1	20-30	0.09	0.03	0.09	13.4	1.6
Bw2	30-40	0.08	0.02	0.08	12.5	1.4
	40-50	0.08	0.02	0.09	10.5	1.8
II BC	50-60	0.08	0.01	0.08	9.2	1.8
	60-70	0.09	0.01	0.09	9.7	2.0
II CB	70-80	0.13	0.02	0.07	7.0	3.1
	80-90	0.06	0.01	0.07	8.3	1.7
III CB	90-100	0.08	0.00	0.07	6.7	2.3
	100+	0.07	0.00	0.03	6.1	1.6

* 若改用中性 NaCl 溶液法，則 CEC <1.0 cmol(+)/kg, 故不予列表。
(The CEC of 2M NaCl extraction is lower than 1.0 cmol(+)/kg for all samples and is not listed therein.)

** 爲不連續 E 層 (broken E horizon)

表 5. 合歡山玉山草原土壤之可萃取及總含量之鐵與錳。

Table 5. Extractable iron and manganese, and total iron content (XRF) of the studied pedon.

Horizon	Depth Cm	Dithionite -citrate		Ammonium oxlate		Sodium pyrophosphate		Total,	
		Fe %	Mn ppm	Fe %	Mn ppm	Fe %	Mn ppm	Fe %	Mn %
A	0-10	2.46	52	1.08	33	0.54	12	4.56	0.02
	10-20	4.12	30	1.21	14	0.61	5	6.60	0.01
Bw1	20-30	4.55	43	1.48	26	0.68	7	6.98*	0.02
Bw2	30-40	5.45	42	1.43	30	0.66	7	6.85	0.02
	40-50	2.71	82	1.99	92	0.77	16	6.75	0.03
II BC	50-60	2.65	107	1.67	128	0.73	23	6.34	0.04
	60-70	2.58	158	1.41	177	0.55	33	5.90	0.04
II CB	70-80	2.54	343	1.14	348	0.54	50	5.87	0.07
	80-90	2.70	387	0.93	456	0.48	54	5.73	0.07
III CB	90-100	2.20	389	0.74	423	0.18	26	5.73	0.08
	100+	2.39	381	0.83	355	0.12	20	5.47	0.07

* 若為局部地區的不連續之強度發育的 E 層，總鐵與錳之含量分別為 2.27 與 0.01%。

(Contents of total Fe and Mn for well-developed and broken E horizon are 2.27 and 0.01%, respectively.)

表 6. 細砂 (0.25-0.05 mm) 部分之總元素分析。

Table 6. Total elemental analysis of fine plus very fine sand fraction (0.25-0.05 mm) of studied pedon.

	0-10	10-20	20-30	20-30*	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100-110
	CM	CM	CM	CM	CM	CM	CM	CM	CM	CM	CM	CM
SiO ₂ , %	83.41	85.60	75.68	85.64	75.28	73.53	70.53	68.05	69.46	70.22	67.24	68.07
Al ₂ O ₃ , %	8.63	8.32	11.97	9.53	13.72	16.81	17.82	19.39	18.00	18.31	19.29	19.52
Fe ₂ O ₃ , %	3.79	2.77	7.41	1.16	5.42	3.64	4.55	4.67	5.18	4.59	5.27	4.95
MgO, %	0.46	0.32	0.34	0.29	0.40	1.26	1.40	1.59	1.54	1.53	1.57	1.61
CaO, %	0.31	0.14	0.17	0.17	0.16	0.02	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04	0.04
Na ₂ O, %	1.02	0.59	0.63	0.53	0.62	0.73	0.84	1.08	0.92	1.09	1.31	1.31
K ₂ O, %	1.58	1.56	2.54	1.84	2.86	3.29	3.56	3.64	3.73	3.39	3.88	3.58
TiO ₂ , %	0.61	0.63	0.89	0.74	0.95	0.93	1.03	1.04	1.11	0.97	1.11	1.00
P ₂ O ₅ , %	0.08	0.05	0.10	0.03	0.06	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	0.06	0.05
MnO, 0/2	0.05	0.02	0.04	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
S, %	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba, ppm	240	229	381	238	413	443	487	526	505	461	532	491
Cr, ppm	64	62	82	69	54	108	133	96	138	122	100	91
Zr, ppm	160	149	179	187	174	181	203	208	223	194	220	196
Sr, ppm	59	52	71	72	62	80	83	87	92	84	101	93
Rb, ppm	85	82	120	133	95	163	177	181	189	168	193	177
Y, ppm	30	23	34	32	29	33	88	36	38	36	41	37
Nb, ppm	7	9	11	14	13	15	18	15	18	18	18	16
Zn, ppm	128	79	88	59	72	66	78	85	97	87	115	93
Ni, ppm	26	31	17	17	8	44	52	35	68	60	60	53
V, ppm	56	32	77	71	56	88	86	92	108	83	111	104

* 爲不連續 E 層 (broken E horizon)。

表 7. 細土 (< 2 mm) 土壤之總元素分析。
 Table 7. Total elemental analysis of fine-earth fraction (<2 mm) of the studied pedon.

	0-10	10-20	20-30	20-30*	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100-110
	CM	CM	CM	CM	CM	CM	CM	CM	CM	CM	CM	CM
SiO ₂ , %	70.27	66.14	61.79	72.44	56.21	61.64	62.48	59.56	62.47	63.02	63.59	60.81
Al ₂ O ₃ , %	17.58	18.42	17.86	17.23	17.12	20.59	20.50	19.74	20.46	20.55	20.75	20.15
Fe ₂ O ₃ , %	6.52	9.44	9.97	3.81	9.78	9.64	9.06	8.43	8.39	8.15	8.18	7.81
MgO, %	0.56	0.51	0.44	0.49	0.52	1.37	1.58	1.56	1.64	1.64	1.68	1.63
CaO, %	0.06	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05
Na ₂ O, %	0.88	0.62	0.64	0.56	0.53	0.72	0.80	0.82	0.97	1.13	1.15	1.11
K ₂ O, %	2.96	3.07	3.22	2.84	3.21	3.71	3.67	3.54	3.61	3.60	3.66	3.57
TiO ₂ , %	1.25	1.27	1.21	1.40	1.14	1.15	1.10	1.08	1.07	1.05	1.09	1.05
P ₂ O ₅ , %	0.42	0.13	0.11	0.08	0.11	0.15	0.17	0.12	0.17	0.17	0.19	0.16
MnO, 0/2	0.03	0.01	0.02	0.01	0.02	0.04	0.05	0.05	0.09	0.09	0.10	0.09
S, %	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba, ppm	442	523	521	392	547	598	581	576	560	566	587	534
Cr, ppm	86	91	92	93	89	105	112	102	99	102	111	99
Zr, ppm	256	263	251	299	238	242	234	231	223	221	228	219
Sr, ppm	84	84	85	89	81	85	86	84	88	87	90	91
Rb, ppm	189	160	164	147	163	188	186	179	177	175	180	178
Y, ppm	42	46	42	49	38	41	40	36	38	40	41	42
Nb, ppm	20	22	19	23	18	17	18	17	16	15	16	16
Zn, ppm	52	30	32	19	32	89	106	108	124	133	137	130
Ni, ppm	22	24	21	47	15	58	60	55	59	52	64	66
V, ppm	109	144	122	119	131	125	100	97	119	97	107	93

* 爲不連續 E 層 (broken E horizon)。