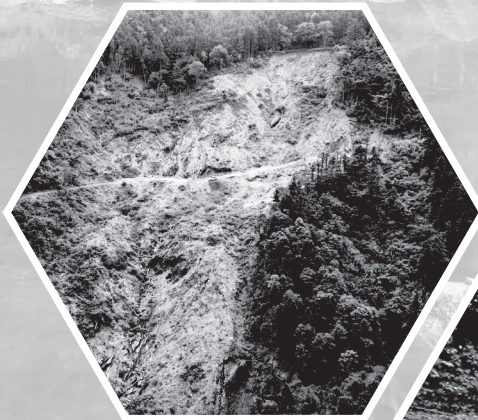


# 2013 森林集水區經營研討會論文集

Proceedings of Symposium on  
2013 Forest Watershed Management



主辦機關：行政院農委會林業試驗所

協辦機關：國立中興大學

國立台灣大學

國立師範大學

國立屏東科技大學

華梵大學



## 「2013 森林集水區經營研討會」議程表

時間:102 年 5 月 21 日(星期二)

地點:台北市南海路 53 號(林業試驗所-行政大樓 4 樓會議廳)

時 間	議 程	
8:30-9:00	報 到	
9:00-9:10	開 幕 致 詞 (林試所 黃裕星所長)	
時 間	講 題	主 持 人
9:10-9:40	蓮華池林地土壤飽和與不飽和水力傳導度的特性(蔡彥邦、陳明杰)	林試所集水區 經營組研究員 黃瓊璵
9:40-10:10	森林集水區源頭部之土壤水分空間分布(梁偉立、詹孟浚、洪鳳翎、呂宗烜)	
10:10-10:30	茶敘 / 交 流	
10:30-11:00	大崙山區降雨頻率分析之研究(曹舜評、李汴軍)	中興大學 水保系教授 鄭皆達
11:00-11:30	檳榔園穿落雨空間分佈特性(盧惠生、林介龍)	
11:30-12:00	應用 Markov 和 Logit 模式分析桃園海岸防風林時空變遷之研究(廖學誠、連美綺、吳治達、莊永忠)	
12:00-13:00	午 休	
13:00-13:30	台灣中部天然闊葉林枯落物養分循環之動態(劉瓊霏、呂淑瑋、黃筱茜)	屏東科技大學 水保系教授 許中立
13:30-14:00	阿里山溪集水區源頭崩塌機制之探討(林昭遠、張鑫崑)	
14:00-14:30	合坑溪上游集水區泥砂推估與濱水帶劃設(林壯沛、盧惠生、蔡真珍)	
14:30-14:50	茶敘 / 交 流	
14:50-15:20	高雄市桃源區復興里 611 水災成因分析(許中立、葉師杏)	中興大學 水保系教授 林昭遠
15:50-16:10	現行國土管理制度下之「混農林業」發展可行性探討(黃瓊璵)	
16:10-16:50	綜合座談及討論	
		林試所集水區 經營組研究員 盧惠生



# 2013 森林集水區經營研討會

## 開幕致詞

農委會林業試驗所  
所長 黃裕星  
2013 年 5 月 21 日

各位貴賓、各位學者專家，大家早安！

一年很快的過去，一年一度的「森林集水區經營研討會」如期在本所舉辦，歡迎各位再度蒞臨林業試驗所，分享過去一年的試驗成果與研究心得，相互惕勵與指正，相信必能激發出知識與技術交流的火花，讓森林集水區經營業務更趨完善。

過去一年，在政府組織再造的衝擊下，本所究應隸屬農業部或環境資源部，不同見解之間強力拉扯，甚至被要求切割，造成研究同仁一直有種不安定的心理，連帶影響了研究工作的情緒，實非國家之福。近幾年來，世界各地水、旱災頻傳，臺灣也是世界上複合災害高危險地區，每年颱風豪雨都造成嚴重的土石災害。過去水土保持及森林集水區治理業務，均由農業主管機關負責，事實上是因應臺灣的地質、地形及生態條件，認為山地之水土資源保育應該與生物性的地表植生復育緊密結合，而不是純粹的硬體工程建設。未來一旦水土保持業務及森林集水區治理離開農業部，是否將轉變為一如水利署之工程掛帥，而忽略了生態環境的保育，值得吾人深思。

本年度的研討會，特別邀請到台灣大學、師範大學、中興大學、屏東科技大學、華梵大學及本所多位學者專家提出相關的論文，分享给大家，希望促進產、官、學界間有良好之互動機制，讓森林集水區經營與山坡地治理更趨完善。

再次感謝各位的共襄盛舉，也預祝會議圓滿成功！與會貴賓心想事成、平安快樂！謝謝大家！



# 目 錄

議程表 .....	i
-----------	---

2013 森林集水區經營研討會-開幕致詞.....	iii
(農委會林業試驗所所長 黃裕星)	

## 講 題

1. 蓮華池林地土壤飽和與不飽和水力傳導度的特性 .....	1
PROPERTIES OF SATURATED AND UNSATURATED HYDRAULIC CONDUCTIVITY IN LIENHUACHIH FORESTLAND	
(蔡彥邦 Yeng-Bang Tsai、陳明杰 Ming-Chieh Chen)	

2. 森林集水區源頭部之土壤水分空間分布 .....	17
SPATIAL DISTRIBUTION OF SOIL WATER CONTENT IN A FORESTED HEADWATER WATERSHED	
(梁偉立 Wei-Li Liang、詹孟浚 Meng-Chun Chan、洪鳳翔 Feng-Xu Hung、呂宗烜 Tsung-Hsuan Lu)	

3. 大崙山區降雨頻率分析之研究 .....	27
RAINFALL FREQUENCY ANALYSIS AT TA-LUN MOUNTAINS	
(曹舜評 Shun-Ping Tsao、李汴軍 Beng-Chun Lee)	

4. 檳榔園穿落雨空間分佈特性 .....	41
SPATIAL DISTRIBUTION CHARACTERISTICS OF THROUGHFALL IN A BETEL PALM PLANTATION	
(盧惠生 Hui-Sheng Lu、林介龍 Chieh-Lung Lin)	

5. 應用 Markov 和 Logit 模式分析桃園海岸防風林時空變遷之研究 .....	59
APPLICATION OF MARKOV AND LOGIT MODELS FOR ANALYZING SPATIAL-TEMPORAL CHANGES OF WINDBREAKS IN THE TAO-YUAN COASTAL AREA	
(連美綺 May-Chee Lian、吳治達 Chih-Da Wu、莊永忠 Yung-Chung Chuang、廖學誠 Shyue-Cherng Liaw)	

6. 台灣中部天然闊葉林枯落物養分循環之動態 .....	81
NUTRIENT CYCLING DYNAMICS OF LITTERFALL AT NATURAL HARDWOODS IN CENTRAL TAIWAN	
(呂淑瑋 Shu-Wei Lu、黃筱茜 Siao-Cian Huang、劉瓊霏 Chiung-Pin Liu)	

7. 阿里山溪集水區源頭崩塌機制之探討 ..... 99  
MECHANISM OF HEADWATER LANDSLIDES IN ALISAN CREEK WATERSHED  
(林昭遠 Chao-Yuan Lin、張鑫歲 Sin-Wei Jhang)
8. 合坑溪上游集水區泥砂推估與濱水帶劃設 ..... 117  
ESTIMATING SEDIMENT YIELDS AND ESTABLISHING BUFFER STRIPS OF RIPARIAN  
VEGETATION ZONES IN UPPER WATERSHED OF HERKENCHI  
(林壯沛 Jaung-Pey Lin、盧惠生 Hui-Sheng Lu、蔡真珍 Chen-Chen Tsai)
9. 高雄市桃源區復興里 611 水災成因分析 ..... 131  
CAUSE EFFECT ANALYSIS OF 611 FLOOD DISASTER IN FUXING VILLAGE, TAOYUAN  
DISTRICT, KAOHSING COUNTY  
(許中立 Chung-Li Hsu、葉師杏 Shih-Sing Ye)
10. 現行國土管理制度下之「混農林業」發展可行性探討 ..... 145  
STUDIES ON DEVELOPING FEASIBILITY OF AGROFORESTRY IN TAIWAN DUE TO ITS  
LANDUSE MANAGEMENT INSTITUTION  
(黃瓊璵 Chiung-Piau Huang)

## 蓮華池林地土壤飽和與不飽和水力傳導度的特性

蔡彥邦<sup>1</sup> 陳明杰<sup>2</sup>

**【摘要】**本研究為探討林地土壤飽和與不飽和水力傳導度的特性，選擇蓮華池四號與五號集水區的坡面，分別採取直徑 20 cm、長 40 cm 的不擾動土壤試體各三個，使用定水頭測定法測定飽和水力傳導度( $K_s$ )，以及使用穩定態流束控制法，模擬不同降雨強度的條件下，測定不飽和水力傳導度( $K_u$ )。四號集水區三個試體之  $K_s$  測定結果為  $2.03\sim 2.17\times 10^{-3}$  cm sec<sup>-1</sup>，五號集水區三個試體之  $K_s$  測定結果為  $2.16\sim 3.37\times 10^{-3}$  cm sec<sup>-1</sup>，顯示五號集水區的  $K_s$  稍高於四號集水區。 $K_u$  測定結果，兩個集水區之土壤試體各個深度層次的  $K_u$  值隨模擬降雨強度增大而增大，且深度越深其變化越明顯，而模擬降雨強度達 40 mm/hr 時，各個深度層次土壤的  $K_u$  仍小於  $K_s$ ，顯示林地土壤的滲透良好。其次，應用 Brooks and Corey method 分析  $K_u$  與壓力水頭的關係，並探討森林土壤孔隙大小分佈參數( $\eta$ )與限界毛管水頭( $\psi_c$ )的特性，分析結果，四號與五號集水區之  $\eta$  值分別介於 11~43、6~17，顯示五號集水區土壤之大小孔隙的分佈幅度大於四號集水區。 $\psi_c$  絕對值，四號與五號集水區分別介於 29.5~32.4 cm、27.2~28.8 cm，四號集水區土壤之毛細管上升高度稍高於五號集水區，顯示四號集水區的土壤大孔隙直徑稍小於五號集水區。

**【關鍵詞】**水力傳導度、定水頭滲透試驗、蓮華池、Brooks and Corey method

---

<sup>1</sup> 國立臺灣大學森林環境暨資源學系碩士。

Master of Science, School of Forestry and Resource Conservation, National Taiwan University.

<sup>2</sup> 國立臺灣大學森林環境暨資源學系教授，通訊作者。電子郵件：jackchen@ntu.edu.tw

Professor, School of Forestry and Resource Conservation, National Taiwan University. Corresponding author.

E-mail: jackchen@ntu.edu.tw

## PROPERTIES OF SATURATED AND UNSATURATED HYDRAULIC CONDUCTIVITY IN LIENHUACHIH FORESTLAND

Yeng-bang Tsai<sup>1</sup> Ming-chieh Chen<sup>2</sup>

**【Abstract】** This study is to investigate the properties of saturated and unsaturated permeability of forestland. In Experimental watershed No. 4 (No. 4) and watershed No. 5 (No. 5) of Lienhuachih Research Center, three undisturbed soil samples with diameter 20 cm and length 40 cm were taken respectively to measure saturated hydraulic conductivity ( $K_s$ ) by constant head control method and unsaturated hydraulic conductivity ( $K_u$ ) by steady state flux control method on condition of different simulated rainfall intensity. From saturated permeability test results,  $K_s$  of No. 4 was  $2.03 \times 10^{-3} - 2.17 \times 10^{-3} \text{ cm sec}^{-1}$  and No. 5 was  $2.16 \times 10^{-3} - 3.37 \times 10^{-3} \text{ cm sec}^{-1}$ , which reveal the  $K_s$  of No. 5 was slightly higher than No. 4. Secondly, from unsaturated permeability test results,  $K_u$  of each depth of soil sample increase with simulated rainfall intensity, and the deeper soil was increase more obviously. When the simulated rainfall intensity up to 40 mm/hr,  $K_u$  of each depth of soil sample was still smaller than  $K_s$ , that reveal the permeability of forestland is well. Furthermore, Brooks and Corey method was used to analyze the relationship between  $K_u$  and water pressure head ( $\psi$ ) for the estimation of soil pore size distribution parameter ( $\eta$ ) and critical capillary head ( $\psi_c$ ). The result of  $\eta$  of No. 4 was about 11–43, and No. 5 was about 6–17, that reveal the heterogeneity of pore size distribution of No.5 was more than No. 4. The absolute value  $\psi_c$  of No. 4 was about 29.5–32.4 cm, and No. 5 was about 27.2–28.8 cm, that reveal the capillary risen height of No.4 slightly larger than No. 5, and the macropore diameter of No. 4 was slightly smaller than No. 5.

**【Key words】** Constant head permeability test, Hydraulic conductivity, Lienhuachih, Brooks and Corey method

## I、前言

森林地區水文循環包括降雨、截留、逕流、入滲、滲透、地下水等過程，其中，入滲、滲透等特性與土壤性質有密切關係。林地土壤若有豐富腐植質及有機質，則土壤化育良好，因而有較多的大孔隙，其為水分滲透流動的主要通道，並使土壤能快速達到飽和的程度(Beven and Germann, 1982; Germann, 1990)，降雨時能讓到達地表的雨水快速入滲，減少表面逕流，減低地表沖蝕；滲入地中之雨水可以補充地下水，充分發揮涵養水源的功能。

水力傳導度是表現水分在土壤中移動快慢的參數，其被應用於灌溉排水、污染物質的傳輸、農業與環境科學等領域，水力傳導度可由實際測量或土壤的理化性質建立之經驗公式推導而得。依據土壤中水分的多寡，土壤中水分的移動可分為飽和與不飽和移動，此兩種型態下水分移動的動力不同，在飽和狀態下，孔隙被水分填滿而產生正壓力水頭，此時導水孔隙連續，土壤水分的流動主要是受重力的影響，多數的水在大孔隙中移動，水力傳導度維持最大值，因此，大孔隙含量決定飽和水分移動速度，大孔隙含量愈少，則水力傳導度越低。在不飽和狀態下，首先大孔隙的水分被排空，孔隙因而被空氣所佔據，造成孔隙势能低於大氣壓力，而土壤可供水分傳導的孔隙也相對變少，此時負壓势能為不飽和土壤水分移動的動力，隨著势能降低，水分移動變為以基質吸力為主，造成水力傳導度下降(Hillel, 1988)。且隨著土壤含水率越低，在小孔隙中水分流動受毛管力的作用越強，水力傳導度也越來越小。

飽和水力傳導度之測定，可分為採取不擾動試體之室內試驗與現地測定。室內試驗可分為定水頭法及變水頭法，定水頭法為提供試體一定水頭的水分供應，記錄由試體流出的水量計算飽和水力傳導度( $K_s$ )值；變水頭法則是在實驗開始時給予一水頭高，記錄水頭高隨時間的變化以計算  $K_s$  值(Anderson and Burt, 1990)。一般而言，定水頭法較適用於  $K_s$  值大於  $10^{-4} \text{ cm sec}^{-1}$  的土壤，變水頭法則適用於  $K_s$  值小於  $10^{-4} \text{ cm sec}^{-1}$  的土壤(Martin et al, 2006)。現地測定是以人為供水替代天然的降雨，以測定飽和水力傳導度，測定的方法有 Auger hole method、Disc permeameter、單環或雙環入滲計、Guelph 滲透計(Martin et al, 2006; Perroux, 1988; Bower, 1986; Reynolds and Elrick, 1985)。不飽和水力傳導度( $K_u$ )的測定方法，Anderson and Burt(1990)指出在實驗室可利用穩定態水頭控制法(Steady state head control method)、穩定態流束控制法(Steady state flux control method)、單步驟出

流法(One step outflow method)測定  $K_u$ 。

由於土壤於飽和與不飽和狀態下水分移動的方式不同，現場測定水力傳導度會受到水分流動的邊界效應，以及無法考慮到試體大小與土壤深度所造成的影響，並且，不飽和狀態下的水力傳導度較不易於現場試驗求得。其次，小型不擾動試體的取樣測定可能會因為採取土壤的大、小孔隙空間變異性，使結果的變異數相差很大(Mohanty et al., 1994)。因此，本研究為探討林地土壤飽和與不飽和水利傳導度的特性，選擇蓮華池四號與五號集水區，使用直徑 20 cm、長度 40 cm 的採土鋼管，採取不擾動土壤試體進行室內試驗，以定水頭法測定不同集水區之土壤飽和水利傳導度的差異，以及使用穩定態流束控制法，模擬不同降雨強度的條件下，測定不飽和水利傳導度( $K_u$ )，並分析  $K_u$  的變化與壓力水頭的關係。

## II、材料與方法

### (I) 試驗地概況

研究地點的林業試驗所蓮華池研究中心，位於南投縣魚池鄉五城村。面積 461.04 ha，海拔高介於 576-925 m。地質為第三紀始新世之泥質砂岩及頁岩互層所構成(葛錦昭等，1978)，土壤分類上屬於典型老育濕潤極育土(Typic Paleudult)，在充分供應鐵源與亞熱帶濕潤氣候條件下，土壤被大量鐵氧化物所染色，形成為紅棕壤，質地為坩質粘壤土或坩質粘土(蔣先覺等，1993)。平均年降雨量為 2229.1 mm，月降雨量分佈極不平均，乾溼季節極為分明，五月至九月佔全年總降雨量 82%，年蒸發量為 1020.1 mm(陸象豫等，2000)。研究中心從 1966 年陸續設置五處森林試驗集水區，其中四號與五號為相同方位且為駢對集水區，在 1978 年 11 月至隔年 3 月在四號集水區進行皆伐後，隨即人工栽植杉木，五號則繼續維持天然常綠闊葉混生林的原貌，其上層植物以樟科和殼斗科為主，供比較不同林相的森林水文特性(黃正良等，2002)。四號、五號集水區各規劃四條取樣之樣線，本研究於四號集水區 B、C、D 樣線的山脊處與五號集水區 B、C、D 樣線山脊處，各採取 1 個直徑 20 cm，長度 40 cm 大型不擾動土壤試體，於室內進行滲透試驗，取樣位置如圖 1、圖 2 所示。

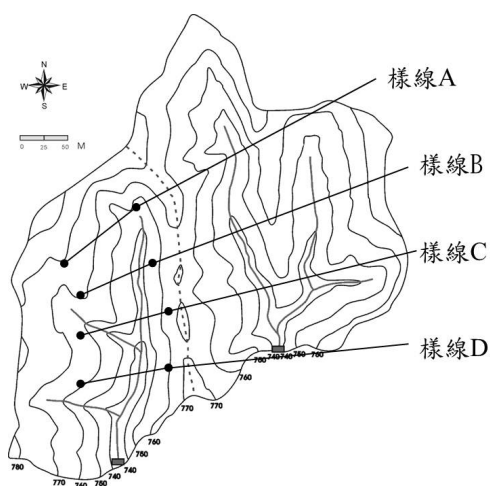


圖 1 蓮華池四號集水區現地不擾動土壤試體取樣位置

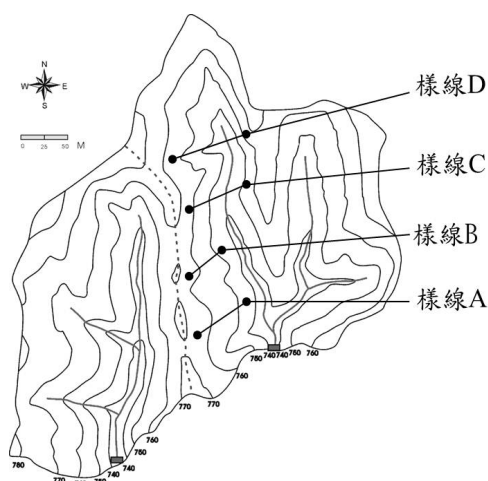


圖 2 蓮華池五號集水區現地不擾動土壤試體取樣位置

## (II) 大型土壤滲透試驗裝置

使用之大型土壤滲透試驗裝置，包括主體、下部水槽、上部水槽、供水桶、幫浦、以及張力計等部分。主體包括上部為內徑 20 cm、長度 40 cm 之不擾動土壤試體，以及下部為內徑 20 cm、長度 75 cm 的石英砂。試驗裝置參考陳明杰等 (2002) 的報告內容。

## (III) 飽和水力傳導度( $K_s$ )測定

定水頭滲透試驗前，試體連接一個可控制高度之供水桶，使水流從試體下方入水口進入向上滲透，因為壓力的緣故往上流動的水流可以推擠出土壤孔隙中的空氣，使逐漸達到飽和。同時，每一深度的張力計因受到靜水壓作用而使水頭升高，當張力計的水頭高度和供水桶水位同高時，表示整體已達到飽和。其次，由供水桶保持一定高度穩定供水，待流出土壤試體之水量達到穩定時，蒐集固定間隔時間內流出的水量，以及供水桶與出水口之間的水頭差( $\Delta h$ )以計算 $K_s$ 值。

$$K_s = \frac{QL}{A\Delta h} \quad (1)$$

上式， $K_s$ ：飽和水力傳導度( $LT^{-1}$ )； $Q$ ：單位時間的流量( $L^3$ )； $L$ ：試體長度( $L$ )； $A$ ：試體斷面積( $L^2$ )； $\Delta h$ ：水頭差高度( $L$ )。

## (IV) 人工模擬降雨之不飽和水力傳導度( $K_u$ )測定

試驗方法採穩態流束控制法。在土壤試體上方，利用人工模擬降雨的方式，使土壤試體有穩定的水分供給，試驗的降雨強度條件，應小於飽和水力傳導度才

不會在表面積水，觀測期間，紀錄降雨時間以及土壤試體各深度的張力值。為確定使流出量穩定並與降雨強度相等達到所謂穩定流狀態，可以持續供給降雨強度一段時間後，收集流出量，當流出量與降雨量相等時，視為達到穩定流狀態。張力值的觀測，乃土壤各個深度的張力計接以U型管，方便觀測不飽和土壤之負壓的改變。為了計算不飽和水力傳導度，把Darcy定律改寫如下：

$$q = -K \frac{\phi_a - \phi_b}{Z_a - Z_b} \quad (2)$$

上式， $\phi_a$ 、 $\phi_b$ 為任意兩點高度a、b的總水頭值； $Z_a$ 、 $Z_b$ 為a、b兩點垂直方向的高度。

進行滲透試驗時，在土壤試體不同深度位置a、b插入張力計，量測不同深度的壓力水頭 $\psi_a$ 及 $\psi_b$ 值，a、b兩點間張力計的高度分別以 $Z_a$ 、 $Z_b$ 表示。則(2)式中的總水頭值 $\phi_a$ 、 $\phi_b$ 可代換為 $\phi_a = \psi_a + Z_a$ 、 $\phi_b = \psi_b + Z_b$ ，因此可以把(2)式改寫為

$$q = -K \left( \frac{\psi_a - \psi_b}{Z_a - Z_b} + 1 \right) \quad (3)$$

在試驗過程以張力計測定土壤試體之不同深度的壓力水頭，可用(2)式求得各深度層次的水力傳導度。在飽和的情況下，(3)式之K值為飽和水力傳導度( $K_s$ )，而在不飽和的情況下，K值為不飽和水力傳導度( $K_u$ )，每一模擬降雨強度階段，逐時記錄壓力水頭和土壤試體流出量的變化，待測定值達到穩定後即完成該階段試驗，每一降雨強度階段達到穩定完成階段需6到48小時不等。蒐集壓力水頭和流出量的資料，利用(3)式計算 $K_u$ 。

其次，根據Brooks and Corey(1964)提出不飽和水力傳導度為壓力水頭的函數，可利用下列式子表示：

$$\psi < \psi_{cr} \text{ 時 } K_u = K_s \left( \frac{\psi}{\psi_{cr}} \right)^{-\eta} \quad (4)$$

$$\psi \geq \psi_{cr} \text{ 時 } K_u = K_s \quad (5)$$

上式， $K_u$ ：不飽和水力傳導度( $LT^{-1}$ )， $K_s$ ：飽和水力傳導度( $LT^{-1}$ )， $\psi$ ：壓力水頭(L)， $\psi_{cr}$ ：限界毛管水頭(L)， $\eta$ ：土壤孔隙分佈參數。

為了求得 $\psi_{cr}$ 及 $\eta$ ，故將(4)式取對數後改寫為

$$\log(\psi) = -\frac{1}{\eta} \log\left(\frac{K_u}{K_s}\right) + \log(\psi_{cr}) \quad (6)$$

在不飽和滲透試驗中依各個模擬降雨強度條件，將求得的  $\psi$ 、 $K$  代入(4)式中進行迴歸分析，則分析結果之迴歸係數為 $\eta$ 之倒數， $\log(\psi_{cr})$ 為迴歸式之截距。

### (V) 土壤物理性質測定

在五號集水區採取大型不擾動土壤試體的同時，於鄰近位置從地表往下每隔10 cm採取直徑5 cm、高5 cm的不擾動試體共16個，供測定總孔隙率、大孔隙率、真比重、乾總體密度、顆粒組成等項目。真比重採用比重瓶法測定之。粒徑分析採用篩分析和鮑式比重計法測定之。大孔隙率(Macroporosity)與小孔隙率(microporosity)的測定，使用壓力鍋裝置之加壓排水系統(pressured extraction water system)測定之。

## III、結果與討論

### (I) 土壤試體物理性質分析

五號集水區（五號）之現地不擾動土樣，共 16 個試體，其土壤的真比重、乾總體密度及粒徑分析統計結果，並蒐集洪志遠(2007)於四號集水區（四號）所得之結果，整理如表 1 及表 2。

表 1，四號之深度 0 cm 的真比重平均值為 2.47，小於深度 20 cm 的 2.57；深度 0 cm 的乾總體密度平均值  $0.87 \text{ g cm}^{-3}$  也較深度 20 cm 的  $1.07 \text{ g cm}^{-3}$  小，顯示深度 0 cm 的土壤較為疏鬆。整體而言，土壤試體平均砂含量 2.6%，粉粒含量在 43.2% 左右，粘粒含量 54.1%，用土壤三角分類法，質地屬於粉質粘土。表 2，五號之深度 0 cm 的真比重平均值為 2.31，小於深度 20 cm 的 2.39；深度 0 cm 的乾總體密度平均值  $0.58 \text{ g cm}^{-3}$  也較深度 20 cm 的  $1.08 \text{ g cm}^{-3}$  小。五號的土壤物理性質與四號類似，乃因表層土壤的有機質較多，促進土壤團粒結構，導致深度 0 cm 孔隙率較高，真比重、乾總體密度較小。整體而言，土壤試體平均砂含量 27.4%，粉粒含量在 44.8% 左右，粘粒含量 28.0%，用土壤三角分類法，質地屬於粘質壤土。

表 3 為四號、五號之土壤孔隙率的統計結果。四號之土壤深度 0 cm 的總孔隙率 73.0%，比深度 20 cm 之 63.3% 多了 10%。其中，土壤深度 0 cm 的大孔隙率多於深度 20 cm 約 3.3%，0 cm 的粗孔隙率多於 20 cm 約 9.7%。五號之土壤孔隙率統計結果，深度 0 cm、20 cm 的總孔隙率平均分別為 75.2%、63.7%，深度 0 cm 之大孔隙率多於 20 cm 約 11.6%，深度 0 cm 粗孔隙率多於 20 cm 約 15.2%。其結果與

陳明杰、何正品(1996)分析結果近似。對照表 3 發現，四號的總孔隙率與粗孔隙率，均相近於五號，推測四號皆伐後經過 30 年，已經復原為天然林的狀態。

表 1 四號集水區不同深度之土壤物理性質統計結果(洪志遠，2007)

Depth (cm)	Specific Gravity	Dry bulk density (g cm <sup>-3</sup> )	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)
0~10	2.47 (2.36~2.65)	0.87 (0.71~1.05)	2.8 (1~8)	44.8 (35~59)	52.3 (40~59)
20~30	2.57 (2.42~2.71)	1.07 (0.92~1.25)	2.3 (1~5)	41.7 (35~49)	56.0 (49~62)

Values in brackets are measured range of 19 samples

表 2 五號集水區不同深度之土壤物理性質統計結果

Depth (cm)	Specific Gravity	Dry bulk density (g cm <sup>-3</sup> )	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)
0~10	2.31 (2.13~2.48)	0.58 (0.43~0.71)	29 (21~37)	45.9 (41~55)	25.1 (22~31)
20~30	2.39 (2.22~2.62)	1.08 (0.95~1.15)	25.7 (22~31)	43.6 (37~47)	30.7 (25~39)

Values in brackets are measured range of 16 samples

表 3 四號及五號集水區不同深度試體的孔隙率統計結果

Watershed	Depth (cm)	Total porosity (%)	Macroporosity (%)	Coarse porosity (%)
No.4	0~10	73.0	8.8	31.3
	20~30	63.7	5.5	21.6
No.5	0~10	75.2	16.3	31.2
	20~30	63.3	4.7	16.0

## (II) 飽和滲透試驗結果

於四號集水區（四號）B、C、D 樣線的山脊處，以及五號集水區（五號）B、C、D 樣線的山脊處，各採取 1 個直徑 20 cm，長度 40 cm 大型不擾動土壤試體（試體編號各為 A、B、C），於室內進行定水頭飽和與水力傳導度試驗。各試驗階段供水槽與上方出水口的水頭高度分別為 5、10、15、20、25、30 cm，除以試體的長度 40 cm 則可得不同的水力坡降( $\Delta h/L$ )，將流束(flux)與水力坡降繪製關係圖(圖 3~圖 8)，可以看出兩者間具良好的線性關係。四號之三個試體的飽和與水力傳導度分別為  $2.04 \times 10^{-3} \text{ cm sec}^{-1}$ 、 $2.17 \times 10^{-3} \text{ cm sec}^{-1}$ 、 $2.03 \times 10^{-3} \text{ cm sec}^{-1}$ ；五號之三個試體的飽

和水力傳導度分別為  $2.16 \times 10^{-3} \text{ cm sec}^{-1}$ 、 $2.57 \times 10^{-3} \text{ cm sec}^{-1}$ 、 $3.37 \times 10^{-3} \text{ cm sec}^{-1}$  (表 4)，顯示五號的飽和水力傳導度稍大於四號，參考物理性質分析結果，五號的土壤大孔隙率比四號高，因此有較高的飽和水力傳導度。

本研究結果與陳明杰、洪志遠(2007)的結果相比較，福山集水區的飽和水力傳導度均較高，由於福山集水區的土壤為崩積土，土壤結構較為疏鬆，且大孔隙率可能較蓮華池集水區為高，因此，飽和水力傳導度較高。

表 4 蓮華池四、五號集水區與福山集水區之飽和水力傳導度比較

Watershed	Depth (cm)	$K_s(\times 10^{-3} \text{ cm sec}^{-1})$		
		Sample A	Sample B	Sample C
蓮華池四號	0~40	2.04	2.17	2.03
蓮華池五號	0~40	2.16	2.57	3.37
福山一號*	0~40	10.90	5.53	7.58

\*引用自陳明杰、洪志遠(2007)

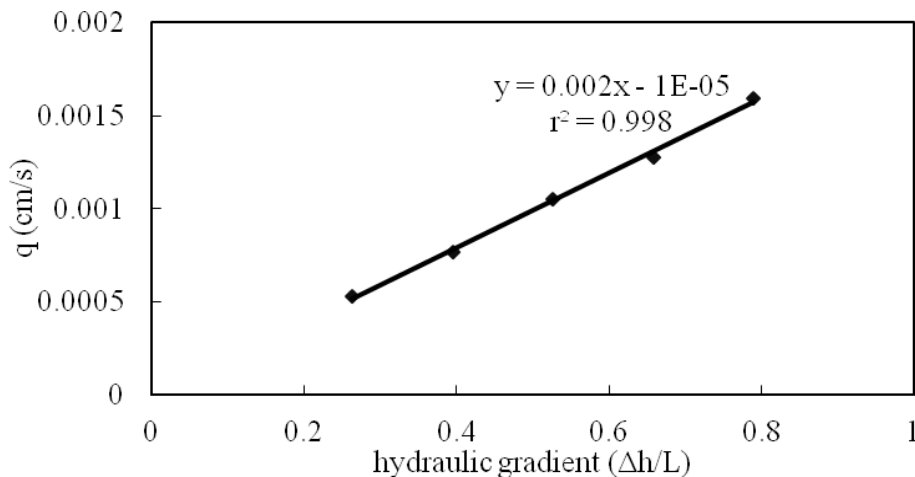


圖 3 四號集水區 A 試體定水頭滲透試驗之流束與水力坡降的關係

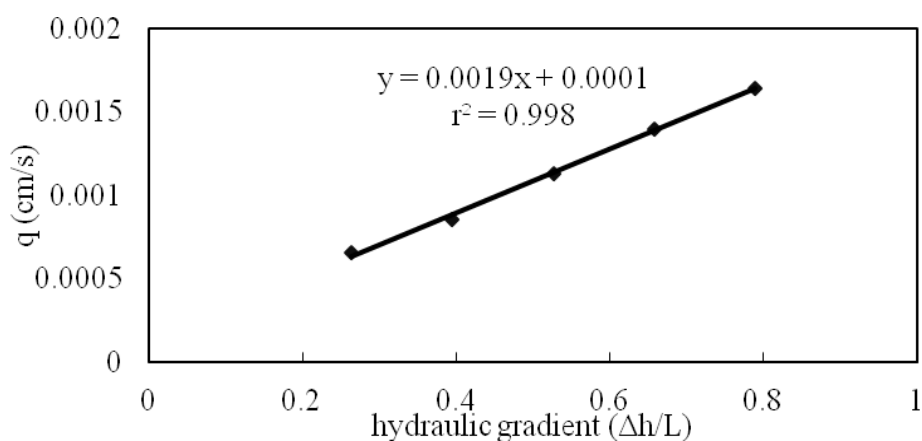


圖 4 四號集水區 B 試體定水頭滲透試驗之流束與水力坡降的關係

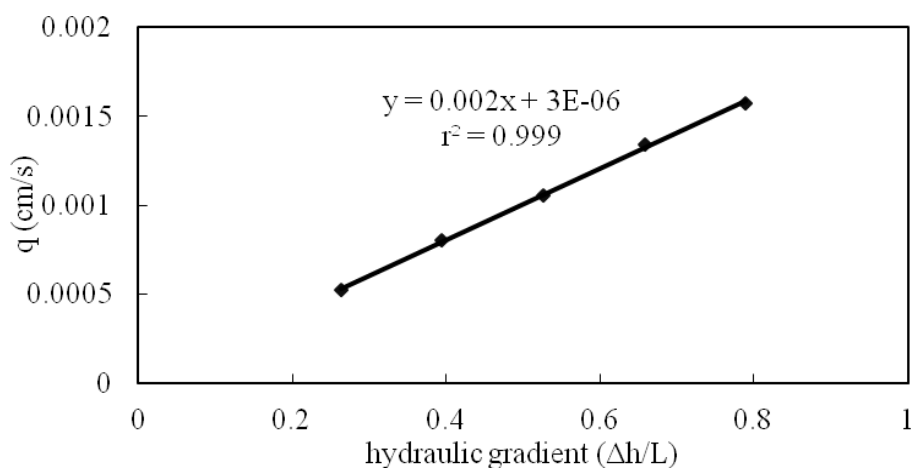


圖 5 四號集水區 C 試體定水頭滲透試驗之流束與水力坡降的關係

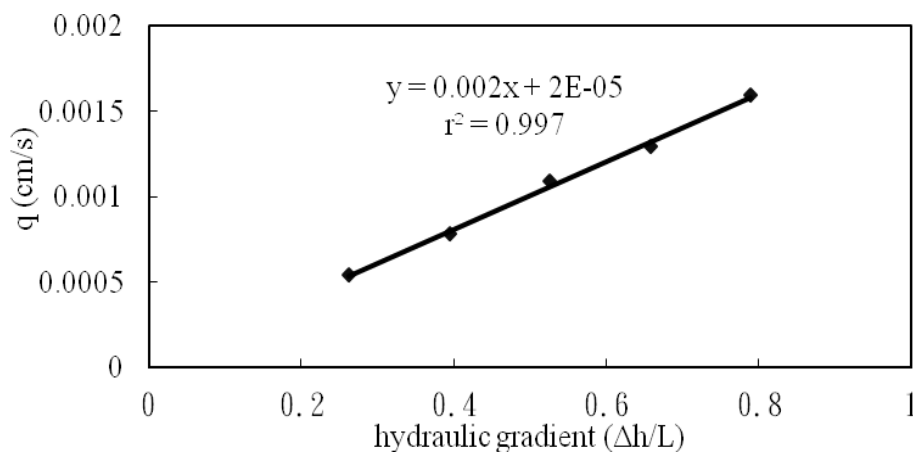


圖 6 五號集水區 A 試體定水頭滲透試驗之流束與水力坡降的關係

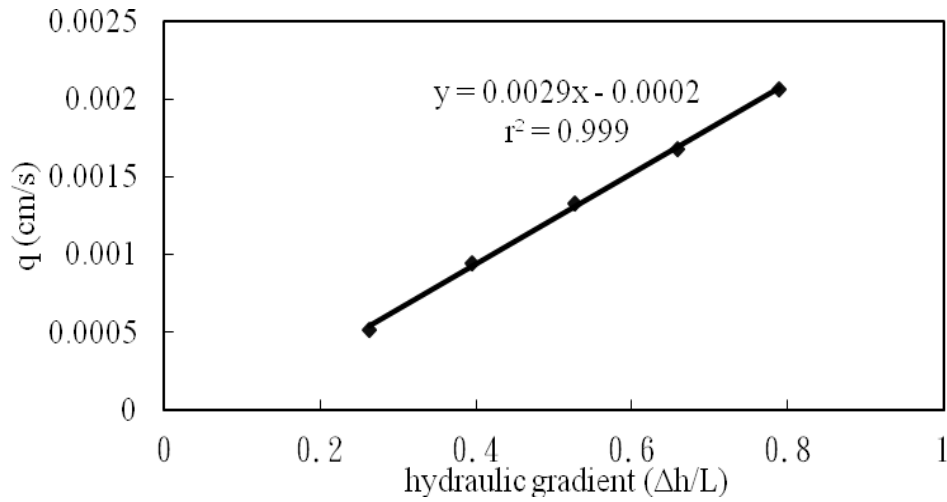


圖 7 五號集水區 B 試體定水頭滲透試驗之流束與水力坡降的關係

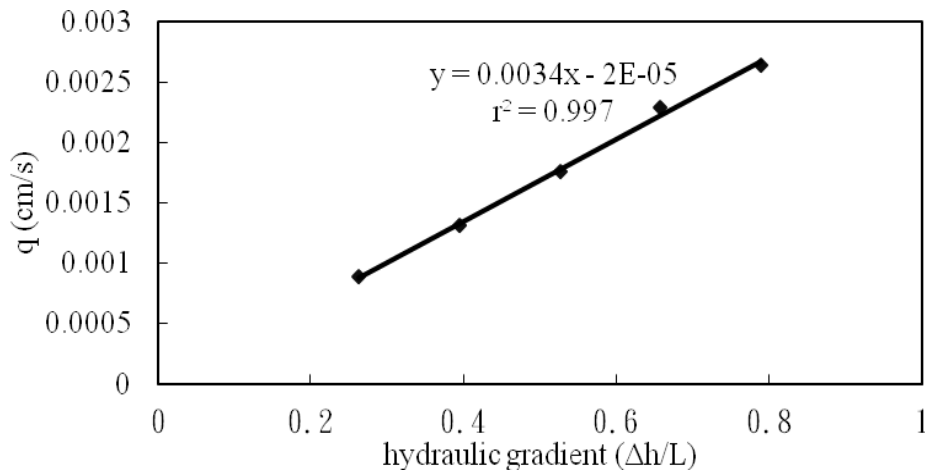


圖 8 五號集水區 C 試體定水頭滲透試驗之流束與水力坡降的關係

### (III) 不飽和滲透試驗結果

為了瞭解不飽和狀態下土壤水分的滲透變化，分別對四號集水區與五號集水區採取之不擾動試體（試體編號為 A、B），採用穩定態流束控制法模擬不同降雨強度條件下，測量試體之不飽和水力傳導度。試驗過程從降雨強度漸增的吸水過程到漸減的排水過程，總共模擬 7 個人工降雨強度階段，在不同之模擬降雨強度條件下，收集壓力水頭以及流出量穩定時的流量，利用(3)式計算  $K_u$ 。分析結果，四個試體不飽和水力傳導度隨降雨強度增大而增大(圖 9~圖 12)，深度 0~10 cm 之  $K_u$  值隨降雨強度變化最小，深度 10~20 cm 的變化其次，20~30 cm 的變化最大。

且在相同的降雨強度下，深度愈深則  $K_u$  值愈大。原因是不飽和狀態下，大孔隙多半被空氣所佔據，在降雨強度較低的情形下，土壤水分含量低，而毛管作用力大，但隨著降雨強度增高，土壤水分含量高，毛管作用力相對變小，土壤水分漸漸傳導連續，水力傳導度增大。而 0~10 cm 處土壤總體密度最低，土壤結構較鬆散，且孔隙率與大孔隙率較高，不飽和狀態下毛管作用力影響較小，因此造成 0~10 cm 的  $K_u$  值受到降雨強度的影響較小。但是在飽和狀態下，水分多經由大孔隙快速流動，因此會造成表層飽和水力傳導度值較大。模擬之人工降雨強度在達 40 mm/hr 左右時，深度 0~10 cm 處的水力傳導度仍小於飽和狀態的水力傳導度，顯示蓮華池集水區林地土壤的滲透能力良好。

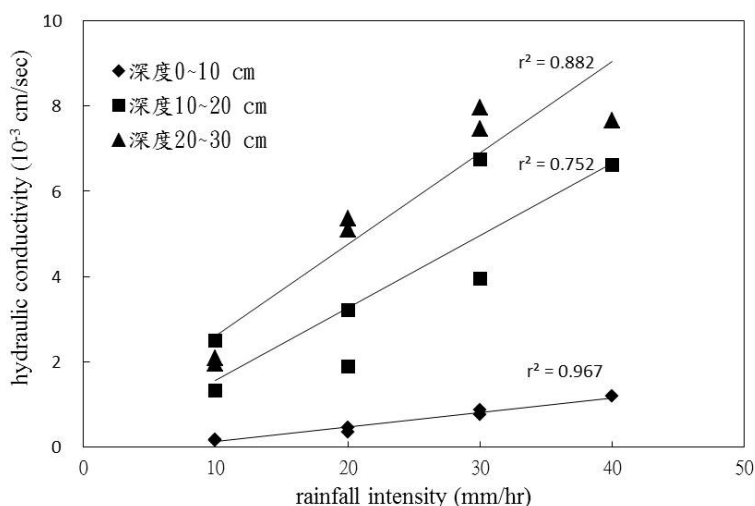


圖 9 四號集水區 A 試體不同深度之不飽和水力傳導度與降雨強度的關係

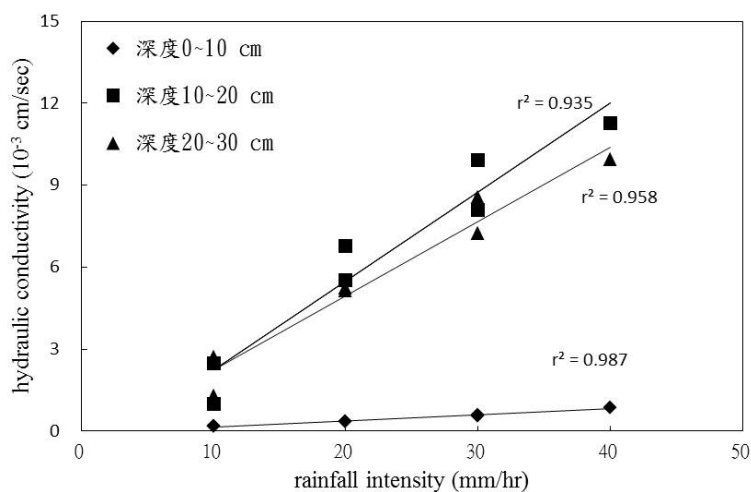


圖 10 四號集水區 B 試體不同深度之不飽和水力傳導度與降雨強度的關係

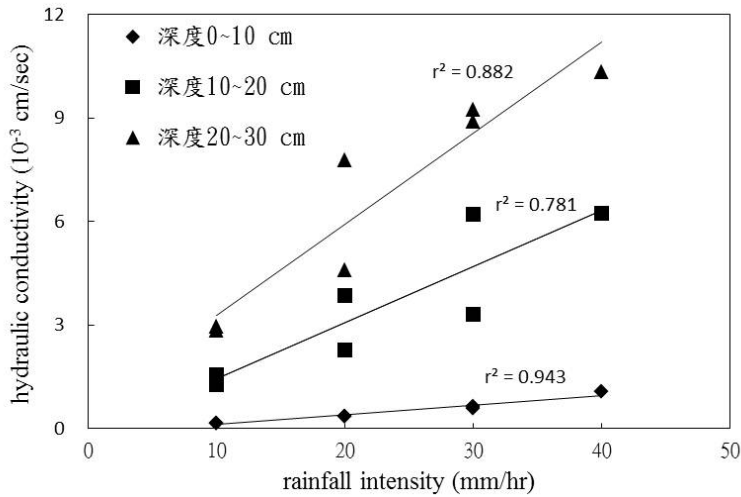


圖 11 五號集水區 A 試體不同深度之不飽和水力傳導度與降雨強度的關係

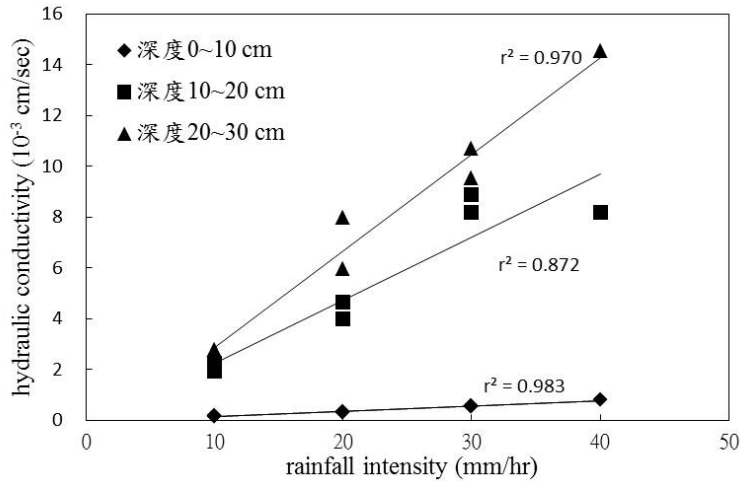


圖 12 五號集水區 B 試體不同深度之不飽和水力傳導度與降雨強度的關係

#### (IV) 不飽和水力傳導度與壓力水頭的關係

在不飽和滲透試驗之不同階段的人工模擬降雨強度條件下，測得試體各個深度層次的壓力水頭  $\psi$ 、 $K_u$  值以及  $K_s$  值，代入(6)式計算結果如表 5。限界毛管水頭  $\Psi_{cr}$  以絕對值表示，乃因為在臨界飽和狀態下壓力水頭是負值，限界毛管水頭相當於最大孔隙的毛管上升高度，而一般毛管上昇高度是與孔徑大小成反比，所以限界毛管水頭值愈小，表示孔隙之孔徑愈大。 $\eta$  值是孔隙分佈參數，主要受到土壤孔隙結構控制，可視為毛細作用與土壤構造的概念參數，此值愈大表示孔徑大小分佈幅度愈小，土壤孔隙組成呈現均質狀態；反之該值愈小則表示孔隙組成是不均質的狀態，孔隙大小分佈呈現不連續狀態，此現象在森林土壤發育良好的情況下

常出現。從表 5 可知，四號的  $\Psi_{cr}$  值大於五號，顯示四號的土壤較五號緻密，細孔隙較多，故毛管上升高度較高。四號的  $\eta$  值較五號為高，尤其是試體 B 的  $\eta$  值偏高，顯示孔隙大小分佈幅度偏小。從土壤物理性質測定結果可知，五號的總體密度及真比重小於四號，大孔隙率及粗孔隙率則高於四號，可推知五號的孔隙大小分佈幅度高於四號。其次，蓮華池集水區的測定分析結果與福山集水區相比較，福山集水區的  $\eta$ 、 $\Psi_{cr}$  值均較蓮華池集水區為小。福山一號集水區的土壤屬崩積土型態(林光清等，1996)，崩積土質地不規則，堆積過程缺乏等向性，且表層土壤有機物含量豐富，造成孔隙直徑也較大，大孔隙率也較多，降雨時水分可以快速滲透。

表 5 Brooks and Corey method 計算之孔隙分布參數( $\eta$ )與限界毛管水頭

Watershed	Sample	$\eta$	$ \Psi_{cr} $
蓮華池四號	B	11.0~16.7	31.0~32.4
	C	34.1~43.0	29.5
蓮華池五號	B	6.0~10.0	28.8
	C	15.0~17.0	27.2~27.7
福山一號*	A	1.38~11.1	0.26~3.58
	B	0.87~2.42	0.09~2.79
	C	2.56~4.01	5.00~6.14

\*引用自陳明杰、洪志遠(2007)

#### IV、結論

本研究使用定水頭測定法測定直徑 20 cm、長 40 cm 之不擾動土壤試體的飽和水力傳導度( $K_s$ )，四號集水區(四號)之三個試體  $K_s$  測定結果為  $2.03\sim 2.17\times 10^{-3}$  cm  $\text{sec}^{-1}$ ，五號集水區(五號)之三個試體  $K_s$  測定結果為  $2.16\sim 3.37\times 10^{-3}$  cm  $\text{sec}^{-1}$ ，顯示五號的  $K_s$  稍高於四號。五號的土壤屬粉質壤土，而四號的土壤屬粉質粘土，質地較細緻。四號與五號之土壤總孔隙率雖然相近，然而五號的乾總體密度較低，且大孔隙率含量較高，此為造成五號之  $K_s$  較四號高的原因。

不飽和水力傳導度( $K_u$ )的結果，四號及五號之土壤試體各個深度層次的  $K_u$  值隨模擬降雨強度增大而增大，且深度越深其變化越明顯。並且，依照 Brooks and Corey method，分析  $K_u$  與壓力水頭的關係，分析結果，五號的土壤孔隙分佈參數( $\eta$ )

小於四號，顯示五號的土壤孔隙大小分佈較四號較不均勻。而四號的限界毛管水頭( $\psi_{cr}$ )絕對值大於五號，顯示四號的土壤質地偏粉質粘土且細孔隙含量偏高，此亦是造成飽和水力傳導度較低的原因。其次，福山集水區的 $\eta$ 值與 $\psi_{cr}$ 的絕對值均較蓮華池集水區小，乃因為福山集水區土壤屬於崩積土，孔隙大小分佈幅度較大，且大孔隙較多，致使毛管上升高度較小。

## V、謝誌

本研究之現場取樣及試驗，承林業試驗所蓮華池研究中心，以及臺灣大學森林系曾俊偉、洪志遠、林奐慶、張文慧等研究生的協助，特此致謝。

## V、參考文獻

- 林光清、洪富文、程煒兒、蔣先覺、張雲翔 (1996) 福山試驗林土壤調查與分類。台灣林業科學 11(2)：159-174。
- 洪志遠 (2007) 蓮華池集水區不飽和土壤的水力特性。國立臺灣大學森林環境暨資源學系碩士論文。
- 黃正良、廖學誠、陳明杰、金恆鏞、陸象豫 (2002) 蓮華池試驗林森林水文研究之回顧分析。台大實驗林研究報告 16(2)：95-144。
- 陳明杰、何正品 (1996) 蓮華池森林集水區坡面土壤水分變化之研究。中華林學季刊 29(2)：15-33。
- 陳明杰、曹崇銘、陳家民 (2002) 利用大型滲透試驗儀測定森林土壤不同深度的飽和滲透係數。中華林學季刊 35(1)：31-42。
- 陳明杰、洪志遠 (2007) 福山林地土壤飽和與不飽和水力傳導度的特性。臺大實驗林研究報告 21(3)：229-243。
- 陸象豫、唐凱軍、古秀宇、黃惠雪 (2000) 林業試驗所各林區氣候狀況。台灣林業科學 15(3)：429-440。
- 葛錦昭、楊炳炎、林淵霖、楊楚淇、漆陞忠 (1978) 台灣森林集水區經營試驗初步報告。林業試驗所試驗報告第 304 號。50 頁。
- 蔣先覺、張家銘、洪富文、王明光 (1993) 蓮華池地區林地紅棕土壤中之氧化鐵。中國農業化學會誌 31：793-802。
- Anderson, M. G. and T. B. Burt(ed.) (1990) Process studies in hillslope hydrology. John

Wiley and Sons. pp. 43-126.

Beven, K. and P. Germann (1982) Macropores and water flow in soil. *Water Resour. Res.* 18: 1311-1325.

Brooks R. H. and A. T. Corey (1964) Hydraulic properties of porous media. *Hydrologic Paper, Colorado State Univ.* 3: 1-27

Bower, H (1986) Intake rate. Cylinder infiltrometer. pp. 825–843. In A. Klute (ed.) *Methods of soil analysis. Part 1.* 2<sup>nd</sup> ed. SSSA Book Ser. 5. ASA and SSSA, Madison, WI.

Bouwer, H (1964) Measuring horizontal and vertical hydraulic conductivity of soil with the double-tube method. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 28: 19-23.

Buttle, J. M. and D. J. McDonald (2000) Soil macroporosity and infiltration characteristics of a forest podzol. *Hydrological Processes.* 14: 831-848.

Germann, P. F. (1990) Macropores and hydrologic hillslope processes. In Anderson M. G. and T. P. Burt(ed.), *Process Studies in Hillslope Hydrology.* John Wiley and Sons pp. 327-363.

Hillel, D (1998) *Environmental soil physics.* Academic press. pp.173-188, 203-231.

Martin R. Carter, E. G. Gregorich (2006) *soil sampling and methods of analysis.*

Mohanty, B. P., R. S. Kanwar and C. J. Everts (1994) Comparison of saturated hydraulic conductivity measurement methods for a glacial-till soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 672-677.

Perroux, K.M., and I. White (1988) Designs for disc permeameters. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52: 1205-1215.

Reynolds, W.D. and D. E. Elrick (1985) In situ measurement of field-saturated hydraulic conductivity, sorptivity, and the  $\alpha$ -parameter using the Guelph permeameter. *Soil sci.* volume 140 Issue 4.

Reynolds, W.D. and D. E. Elrick (1990) Poned infiltration from a single ring: I. Analysis of Steady Flow. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 1233–1241.

Timlin, D. J., Ahuja, L. R. and Ankeny M. D (1994) Comparison of the field methods to characterize apparent macropore conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 278-284.

## 森林集水區源頭部之土壤水分空間分布

梁偉立<sup>1</sup> 詹孟浚<sup>2</sup> 洪鳳翎<sup>2</sup> 呂宗烜<sup>2</sup>

**【摘要】**森林集水區源頭部具有特殊的水文地形條件，此乃因土壤、地形、森林之發育或反應過程非常敏銳。本研究以一天然林集水區之源頭部作為觀測樣區，調查樣區之微地形起伏量、大地比電阻分布、近地表土壤含水率等項目，以觀測之初步資料，探討森林集水區源頭部土壤水分之空間分布。其結果發現樣區中二沖蝕谷地平時飽和土壤水伏流於淺層崩積土中；表層土壤水分量測值介於 2 - 48 %，具有高空間異質性；大地比電阻的探測結果顯示三條測線的比電阻分布均不一，但皆可明顯地看出一潛在水文地質結構分界，研判其分界可能為基岩面之位置。

**【關鍵詞】**森林集水區源頭部、土壤含水率、大地比電阻

## SPATIAL DISTRIBUTION OF SOIL WATER CONTENT IN A FORESTED HEADWATER WATERSHED

Wei-li Liang<sup>1</sup> Meng-Chun Chan<sup>2</sup> Feng-Xu Hung<sup>2</sup> Tsung-Hsuan Lu<sup>2</sup>

**【Abstract】**This study was conducted on a field site in a forested headwater watershed to estimate the spatial distribution of soil water content by initial measurements of detail topography, near-surface soil water content, and electrical resistivity tomography. We found that subsurface flow was frequently observed in colluvial soil. Near-surface soil water content showed high heterogeneity with the values ranged from 2–48%. There was a division in each of three electrical resistivity tomography, indicating the location of soil–bedrock interface.

**【Key words】** Forested headwater watershed, soil water content, electrical resistivity tomography

---

<sup>1</sup> 國立台灣大學森林環境暨資源學系助理教授，通訊作者。電子郵件: liangwl@ntu.edu.tw  
Assistant Professor, School of Forestry and Resource Conservation, National Taiwan University. Corresponding Author. e-mail: liangwl@ntu.edu.tw

<sup>2</sup> 國立台灣大學森林環境暨資源學系碩士班學生。  
Master Student, School of Forestry and Resource Conservation, National Taiwan University.

## I、前言

土壤水動態以及基岩面上棲止水的分布是淺層崩塌發生時間及地點預測上重要的資訊，至今有多數的研究以數值計算的方法模擬森林集水區中的雨水-滲透-逕流的過程，進而進行邊坡穩定分析來評估淺層崩塌發生的時間與地點。根據災害報告或是前人研究，淺層崩塌的發生時刻與降雨強度有相當大的關係，其中多數的淺層崩塌發生於降雨強度最強的時刻。若單考量雨水的鉛直滲透，緩慢的濕潤前線下降難以解釋降雨強度最強之時所發生的土砂災害，這暗示著坡地土壤層或基岩層中以某種機制快速產生飽和狀態的棲止水，進而降低土壤抗剪斷力，導致土砂崩塌的發生。因此，就邊坡穩定或是坡地水文過程的觀點而言，森林集水區中不均一滲透過程、複雜的流動路徑、土壤水分動態是不可忽視的。

在森林集水區中之源頭部（Headwater watershed）具有特殊的水文地形條件，此乃因土壤、地形、森林之發育或反應過程非常敏銳，加上逕流來源區域的變動性相當高、侵蝕作用旺盛，為淺層崩塌發生之高潛勢區域，因此也有活性坡地之稱。土壤層中的飽和帶及中間逕流為集水區地表逕流發生的主要來源，其不僅直接影響洪水量及洪峰到達時間，土壤層中飽和帶的空間分布更是預測淺層崩塌發生地點・時間的重要因子。就預測崩塌發生地點・時間而言，地形特性、降雨逕流反應、地表下不可視之水文地質條件皆為重要資訊，在眾多因子下，如何有效地掌握主要的控制因子，不僅有助於釐清崩塌機制，更是評估崩塌潛勢發生地點與時間的重要關鍵。

本研究以一天然林集水區之源頭部作為觀測樣區，調查樣區之微地形起伏量、近地表土壤含水率、大地比電阻分布等項目，以觀測之初步資料探討森林集水區源頭部土壤水分之空間分布、時間變化。

## II、材料與方法

### (I) 觀測樣區設定

本研究之觀測地位於宜蘭縣林業試驗所福山研究中心。福山研究中心轄區內試驗林面積約 1097.9 ha，海拔高度介於 400 m 至 1400 m。區內植生覆蓋為天然闊葉林，人為干擾程度很輕，屬於樟科及殼斗科為主的溫暖帶山地闊葉林。樹冠高

度約在 12–15 m，較高大的喬木僅在較平坦的稜線上出現，原因可能與颱風的經常性干擾及地形較陡峭等因素有關（夏禹九等，1996）。地質以變質頁岩為主，主要種類有紅色硬質頁岩及板岩二種（林光清等，1996）；土壤主要有黃壤、崩積土、石質土及雜地等四個類別，林光清等（1996）將其四種土壤的質地及在福山試驗林的分布情形概述指出，其中土壤中有 65 % 屬於崩積土，其分布以地勢較陡峭的山腰為主，容易造成土體崩塌及水土流失。福山終年濕潤有雨，無明顯乾濕季之分，其蒸發散量較台灣其他的中、低海拔地區均低。颱風對福山的水文影響最大，其所帶來的雨量大部分均立即反應在溪流水的暴雨流出之中。每年的極端洪峰流量與最大降雨量均是出現在颱風侵襲的場合。颱風期間的暴雨流出量約佔全年暴雨流出量的 70 %。福山地區溪溝深蝕，坡面陡而短，土壤淺而入滲性又高，降雨很快地即能以地中逕流的方式反應於溪流水的暴雨流出之中。（廖學誠等，2000）

本研究樣區位於宜蘭縣林業試驗所福山研究中心粗坑溪沿岸之一沖蝕溝源頭部（圖 1a），粗坑溪沿岸有多處沖蝕溝，並有多處淺層崩塌地，其地表侵蝕程度旺盛。樣區面積約 0.15 ha，天然林植生以樟科及殼斗科植物為優勢喬木，樹冠未鬱閉，可見下層植生；沖蝕溝處崩積土石遍佈，無植生披覆（圖 1b）。

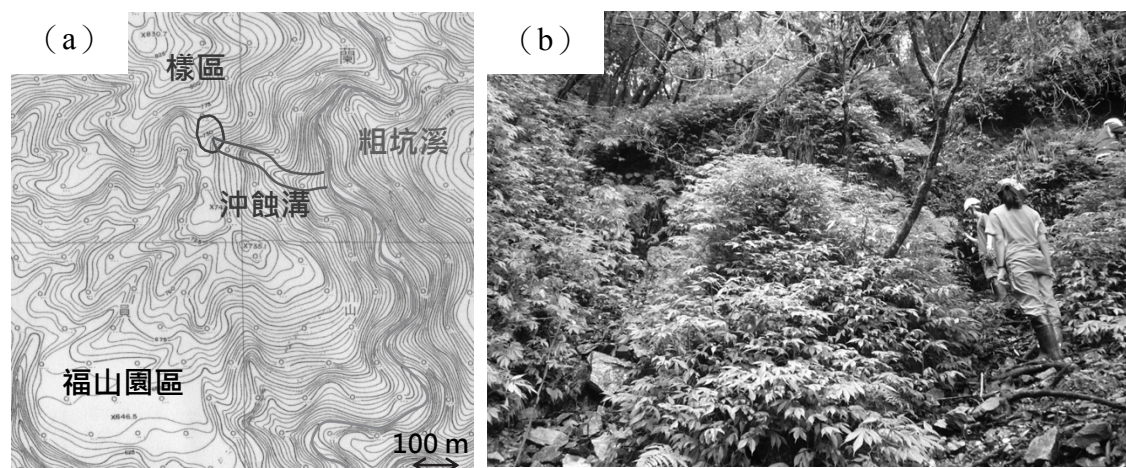


圖 1 (a) 樣區位置及周邊等高線圖，(b) 樣區環境狀態

Fig.1 (a) Location and (b) environment of the obseration site.

## (II) 現地觀測項目及分析

為掌握微地形起伏量，以雷射測距測高儀 (TruPulse 360B, LASER TECHNOLOGY) 測量地表測點位置與高程，測點均勻分布於樣區，測點數491、間距約2 m (圖2)。測量所得之高程資料建立間距為2 m × 2 m的網格狀數值高程模型 (Digital Elevation Model, DEM)，並以地形濕度指數 (Topographic wetness index, TWI) 分析由地形起伏所造成之水匯集潛勢區域。TWI為一廣為使用指標，其計算方式為 $\ln(a/\tan\beta)$ ，其中a為比集流面積 (Specific catchment area, 單位為 m)，是計算「地形小單元上游的集流面積(A)除以單元流出口的等高線長(b)」， $\tan\beta$ 則是流出口的坡度。

地表面為大氣與土壤的交界面，地表含水率除了是在坡地水文過程的重要項目外，更是生態水文、土壤呼吸、蒸發散之重要資料，更是氣候、氣象變遷推估不可缺少的指標性資料。雖然地表含水率為許多自然科學領域中之重要資訊，受限於觀測儀器之數量，其空間分布之形式，特別是在森林集水區中之時間·空間變動卻鮮為被研究及報告。本研究為了掌握近地表之含水率時間·空間變動，於樣區各測點(同地形測點)以時域反射儀 (Hydrosense II, CAMBELL) 量測深度0-12 cm及0-20 cm之平均土壤含水率 (圖2)。時域反射儀的土壤水分測定原理是利用電力打出一個電壓脈衝形成電磁場，電磁場經由探針傳輸至探針末端遇到介質改變時則會產生反射和折射現象，因此脈衝打出之後反射回來的時間會因為介質的誘電性不同而有速度差，當介質為土壤，土壤水分含量多寡會影響誘電常數的改變，利用脈衝反射傳遞之速度差，換算成誘電常數，誘電常數可轉換成土壤的體積含水率。本研究以2012年7月10日、7月23日、10月12日之量測結果分析近地表土壤含水率之時空變化。

地球物理探測法中之地電阻法 (Electrical resistivity tomography, ERT) 即根據地層介質不同的導電率，對地面通以直流電來測量出介質的電阻率，快速取得地表下構造之電學性質，並建立地表下二維甚至是三維的構造模型，是一種可以快速、大範圍廣泛的測量。為了取得廣域水文地質特性，於樣區選定長約 45 m、15 m、31 m 三條測線 (Line 1, 2, and 3, 圖 2)，並分別在三條測線設置 32、16、32 根電極探針，利用大地電阻儀 (Polares, PASI) 對地面通以直流電來測量地層介質之電阻，再以資料分析軟體 (Res2dinv, GEOTOMO SOFTWARE) 反算出比電阻分布。該分析軟體所採用之的反算分析方法以「平滑束制最小平方法」為基

礎，也就是將高斯-牛頓最小平方的公式，進一步修改，使模型參數在空間中不會有太大的變化，此即為平滑束制最小平方法。此方法的優點是能使阻尼係數與平滑濾器能適用於不同的資料類型。此技術比傳統的最小平方法在龐大資料組的處理上，更為快速且更加節省記憶體。程式演算時，首先使用正算程序將二維地體模型分成矩形網格，以有限差分法或有限元素法決定網格中的視電阻率，由正算程序產生與實地測量吻合的視電阻率。平滑束制最小平方法的目的，是藉由調整模型中網格的電阻率，以迭代方式減小程序計算視電阻率與實地測量視電阻率之間的差異，該差異以均方根誤差表示。然而最小的均方根誤差不一定是最佳的電阻率模型，也可能不是最適於反應地質剖面的模型。一般來說最謹慎的方法是選擇模型中均方根誤差沒有顯著變化的那一次迭代計算為最佳。

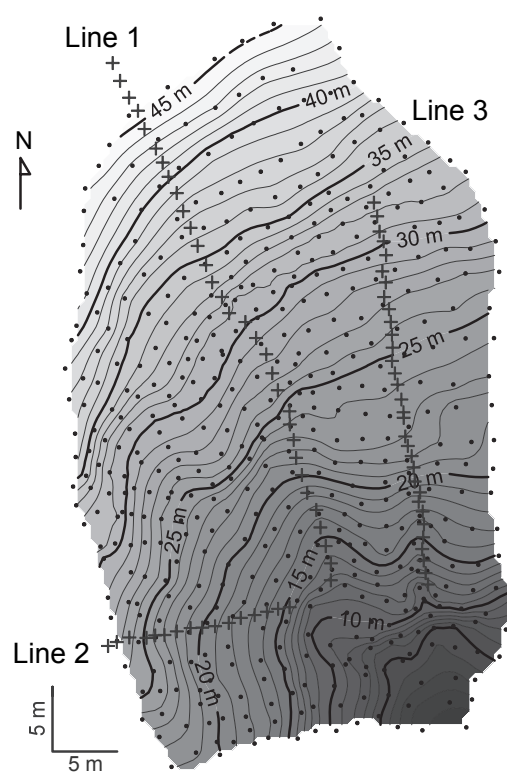


圖 2 樣區相對等高線圖、表層含水率測量點 (•)、大地比電阻測線 1、2、3 之測量點位 (+)。

Fig.2 Topography, the measurement points of soil water content (•), and the measurement points of Line 1, 2, and 3 (+) of electrical resistivity tomography in the observation site.

### III、結果與討論

#### (I)地形量分析

由微地形測量之結果所繪製之三維地形圖（圖3a）可知，樣區大分為二，上坡地形起伏量較小，下坡包含兩條沖蝕溝源頭，起伏量較大，中間有一步道貫穿。多次現場調查發現，降雨過後兩條沖蝕溝有明顯地表逕流的發生，逕流源頭明顯且侵蝕作用旺盛，但坡地上並無地表逕流之發生，顯示坡地為逕流供給之來源區域；無降雨時飽和水多伏流於地表下。TWI之空間分布及地表水匯流方向可得知（圖3b），步道以上之上坡區域TWI變動較小、匯流方向也較一致，但步道以下之下坡區域TWI變動大，地表水往沖蝕溝匯集，顯示一地形所造成之影響。樣區東側邊界有一高TWI區域，此乃計算時邊界設定的影響，此樣區並非一完整封閉之集水區，北側與西側雖有明顯的稜線，但東側地形起伏小、高程下降緩，不易掌握地表潛在水流匯集量及方向。

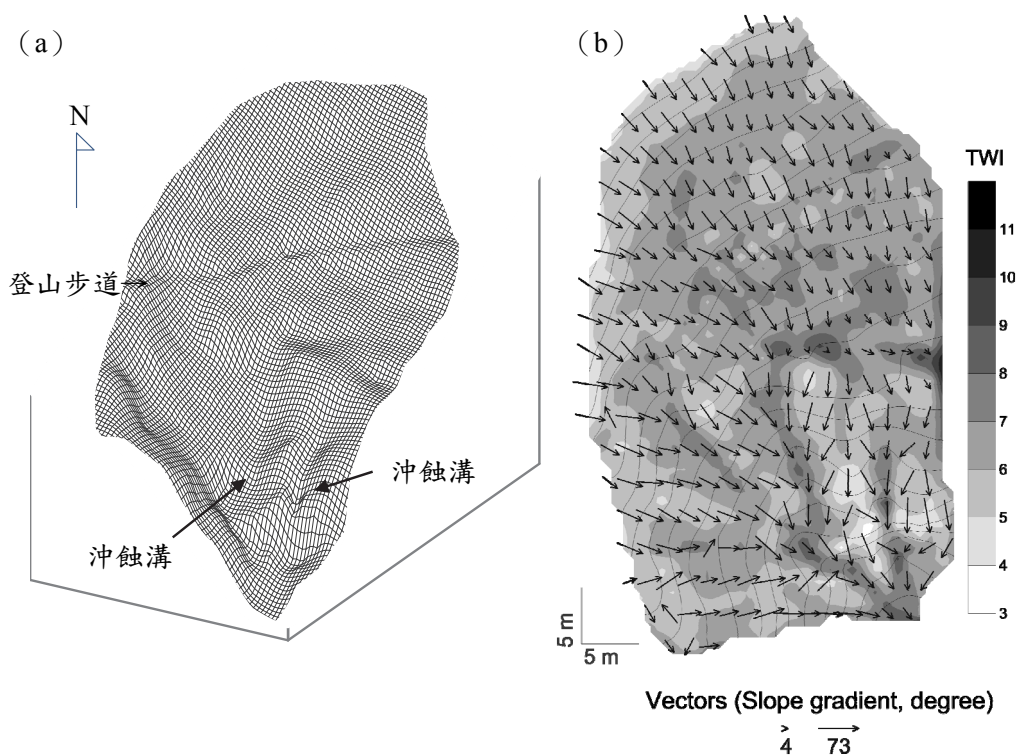


圖 3 (a) 樣區三維地形圖，(b) 樣區地形濕潤指數 (TWI) 及流向。

Fig.3 (a) Three-dimensional topography and (b) topographic wetness index (TWI) and flow vector in the observation site.

## (II)表層含水率空間分布與時間動態

圖4顯示2012年7月10日、7月23日、10月12日樣區表層平均含水率空間分布之測量結果，依照降雨多寡，7月10日、7月23日、10月12日之土壤水分條件依序由乾燥轉為濕潤。在乾燥的條件下，若比較坡地部位，則上坡區域的水分空間分布極為不均，最大差異甚至高於30%；反觀下坡區域，可發現兩條沖蝕溝之含水率為整體樣區中最高的部位，除此之外含水率皆低、空間分布的差異不大。當水分條件由乾轉濕時，上坡區域原低含水率之不為轉為濕潤，空間分布趨於均勻；下坡區域沖蝕溝依然具有最高之水分含量，其餘部位含水率的增加有限，因此上坡、下坡表層含水率的差異趨於明顯。由此結果可知，降雨多寡及坡地部位皆會造成不同之水分空間分布形態。

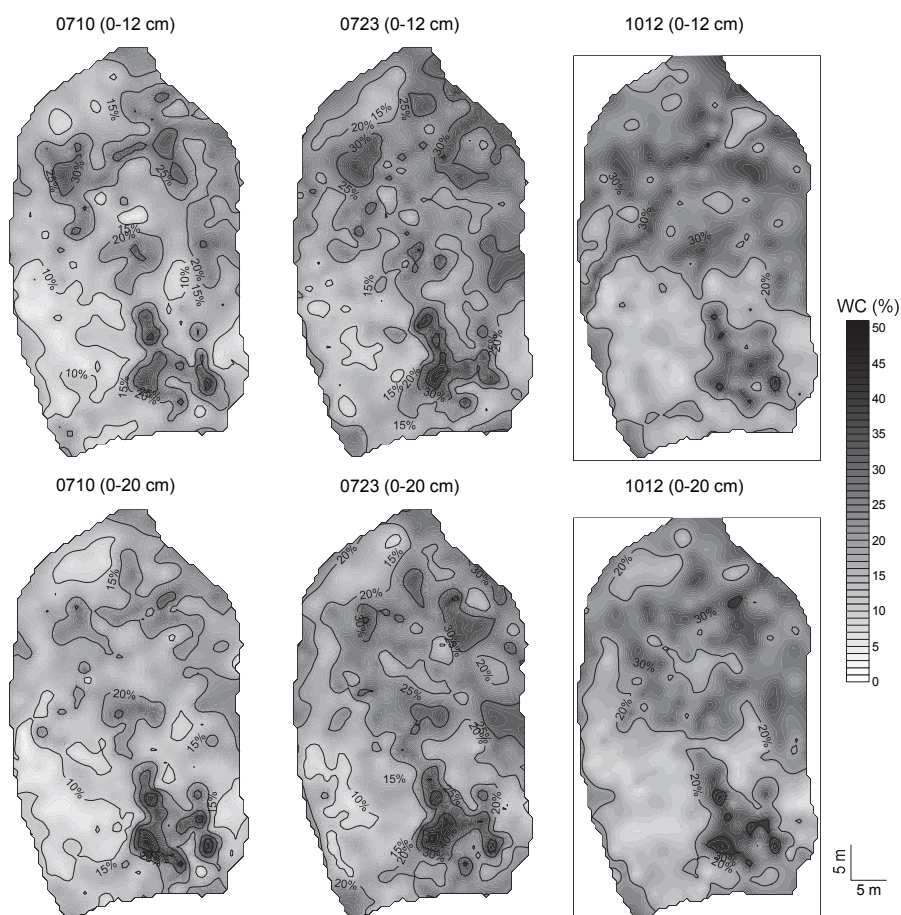


圖 4 2012 年 7 月 10 日、7 月 23 日、10 月 12 日測量之樣區表層 0-12、0-20 cm 之平均含水率 (WC) 空間分布。

Fig.4 Spatial distribution of average soil water content at 0-12- and 0-20-cm depths measured on on Jul. 10, Jul. 23, and Oct. 12, 2012 in the observation site.

詹佳彬(2001)利用時域反射儀監測福山一號集水區土壤水分狀況，發現淺層土壤的體積含水率隨雨量而有明顯的變化，指出比較靠近山腹和靠近稜線的兩處深層土壤的體積含水率，發現靠近山腹的體積含水率變動很低，而靠近稜線的土壤體積含水率其對降雨的反應和淺層土壤類似，但變化幅度較小。高庭芳(2003)同樣利用時域反射儀觀測土壤水分變動的特性，發現土壤體積含水率在坡面土深0~30 cm的範圍內，隨乾濕季降雨條件而產生明顯變化，在土深大於30 cm不論乾濕季的降雨條件如何，則幾乎維持固定。本研究結果與前人研究之共同處為發現坡地位置及降雨狀態均對表層土壤含水率造成顯著的影響，但透過本研究高空間解析度的調查發現表層含水率的空間分布極為不均，因此觀測位置的選定將對結果有很大的影響。

### (Ⅲ)大地比電阻空間分布與時間動態

圖5為水分條件較為乾燥2012年7月8日及較為濕潤2012年10月13日Line 1、2、3所測得之比電阻空間分布。根據現場觀察結果，Line 1、3的下坡處為地表逕流出現或是伏流之處，而Line 2並無觀察到此現象，因此較低的電阻值極有可能反應出水分的分布狀態。2012年10月13日呈現出與前者大致相同的空間分布，但低電阻區域之值更小，證明水分反應推論的合理性。此外，圖5中的三條測線皆可看出一明顯的水文地質分界，其數值差異高達約100倍，推論此分界很有可能是反應出土壤層與岩層的分界。比電阻分布可以推斷水文地質之特性，一般而言高含水率或是緻密之地質結構其比電阻較小，反之，低含水率或是孔隙或裂縫大之地質結構其比電阻較大，比電阻反應出的是水文地質的綜合結果，因此不易以比電阻值單獨判斷水分或是地質條件，需佐以其他輔助資料加以判釋。即便如此，兩日所顯示不同時間的差異並非地質條件不同所致，因此藉由複數時間的觀測可以單純判斷此乃不同的水分同條件所致。

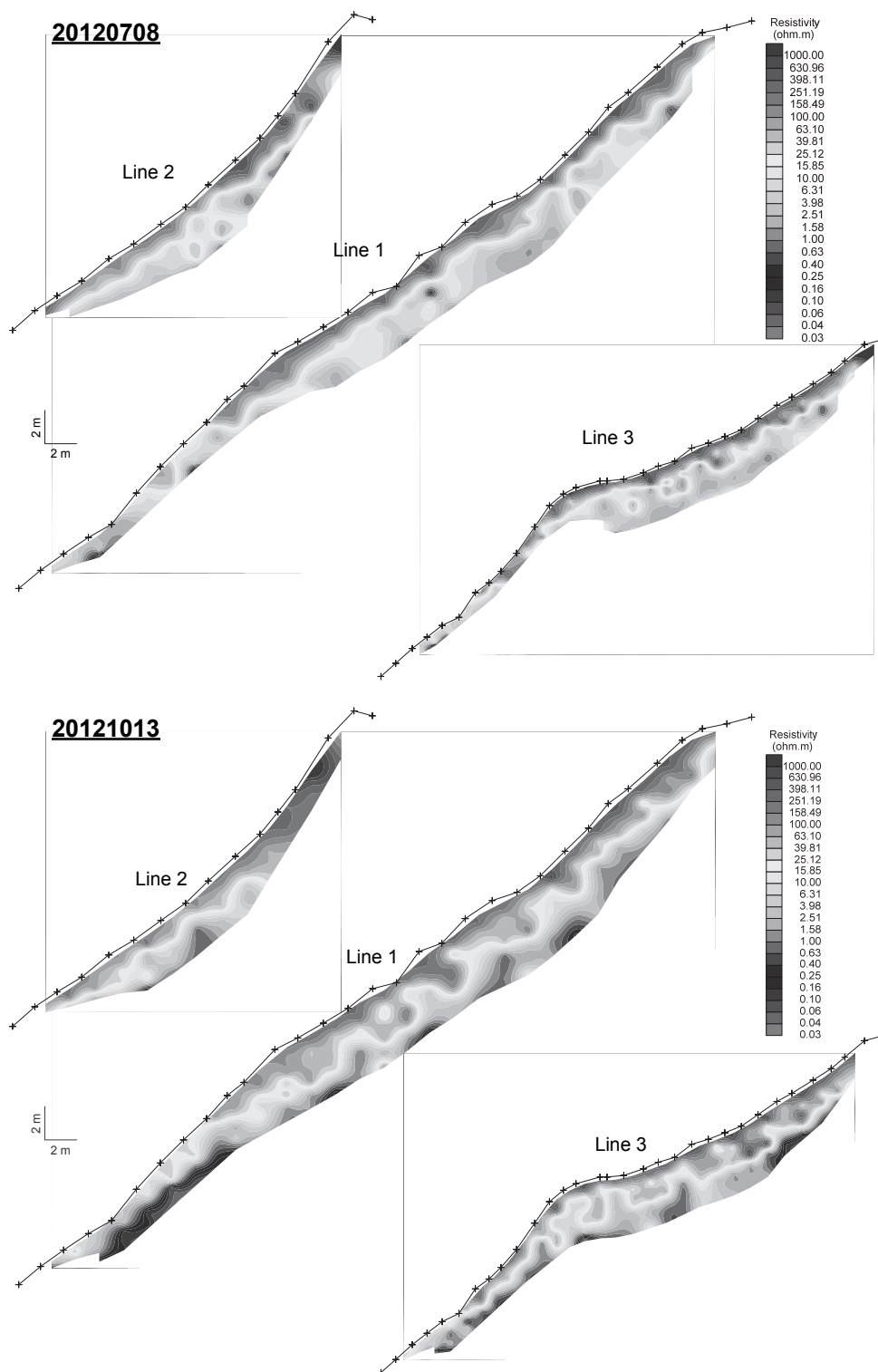


圖 5 2012 年 7 月 8 日、2012 年 10 月 13 日所測得之測線 Line 1、2、3 (圖 2) 比電阻空間分布。

Fig.5 Electrical resistivity tomography of Line 1, 2, and 3 measured on Jul. 8 and Oct. 13, 2012 in the observation site.

## IV、結論

微地形起伏測量結果顯示本樣區有兩條明顯之谷地，多次現場探勘發現該二谷地平時飽和土壤水伏流於淺層崩積土中，降雨過後則可見地表逕流的發生。表層土壤水分量測值介於 2—48 %，具有高空間異質性，但谷地附近的位置具有較高之含水率，研判該處為一經常性飽和之區域，使得表層土壤接近飽和。一般而言，土壤或岩層越緻密（孔隙率低）之處，其比電阻值越低；若假設地質結構均一的狀況下，含水率越高之處其比電阻值越低。大地比電阻的探測結果顯示三條測線的比電阻分布均不一，但皆可明顯地看出一潛在水文地質結構分界，研判其分界極有可能為基岩面之位置，其上層為崩積土或風化程度大的岩石，孔隙或裂縫較大，使得比電阻較高，推估土壤厚度約 2—4 m；而分界下層則為岩層，比電阻偏低，局部比電阻值較低的區域可能是存在於基岩裂縫中的棲止水。本研究樣區為一天然闊葉林，樹木位置、樹冠孔隙分布皆會對土壤水分的空間分布造成影響，特別是依侵蝕作用強度的不同，樣區可大分為侵崩積部以及殘積部，使得地形、土壤地質、植生之綜合影響明顯地呈現在現地觀測資料中，造成觀測資料具有高度空間異質性。

## V、參考文獻

- 林光清、洪富文、程煒兒、蔣先覺、張雲翔（1996）福山試驗林土壤調查與分類。台灣林業科學 11(2):159~174。
- 夏禹九、黃正良、陳明杰(1996)，福山試驗集水區量水堰之設計--分段複式量水堰，台灣林業科學 11(2)：113-122
- 高庭芳（2003）福山試驗集水區坡面水分移動特性之研究。國立台灣大學森林所碩士論文，81 頁。
- 詹佳彬（2001）應用時域反射儀觀測福山地區坡面土壤水分反應之研究。國立台灣大學森林所碩士論文，74 頁。

## 大崙山區降雨頻率分析之研究

曹舜評<sup>1</sup> 李汴軍<sup>2</sup>

**【摘要】**華梵大學位於台灣東北部丘陵區的大崙山上，自 2002 年起在西側校區設有氣象站，量測氣溫、降雨、風速、風向等氣象因子。本研究即針對華梵校區西側氣象站 2003 年至 2012 年之降雨資料進行分析，每年選取不同延時之最大降雨強度進行頻率分析，取得最適機率分布後，再計算所需重現期距之降雨強度，作為防災及工程之參考。然因氣象站完整之降雨資料僅有 10 年，所得結果稍有不足，故本研究另以華梵大學週遭之石碇及火燒寮雨量站 1987~2002 之資料，推估華梵大學測站未有記錄時之資料，並將此資料結合既有之資料重新進行頻率分析，所得結果為以皮爾遜第三型分布較適合描述選定延時之機率分布。另將推估資料加入後，在短延時數據延展範圍較廣，即有較大之離散程度；但在長延時此種數據延展現象並不明顯。即推估資料之加入對於短延時之頻率分析影響較大，對長延時影響較小。

**【關鍵詞】**頻率分析、極端值第一型分布、皮爾遜第三型分布

## RAINFALL FREQUENCY ANALYSIS AT TA-LUN MOUNTAINS

Shun-ping Tsao<sup>1</sup> Beng-chun Lee<sup>3</sup>

**【Abstract】** Huafan University is located at Ta-Lun mountains over the hilly region of northeastern Taiwan. The weather station has setup at west side campus since 2002, measuring temperature, rainfall, wind speed, wind direction and other meteorological factors. We use rainfall frequency analysis to study annual maximum rainfall intensity from 2003 to 2012. Frequency analysis was used to obtain the best probability

---

<sup>1</sup> 華梵大學環境與防災設計學系助理教授，通訊作者。電子郵件: sptsao@cc.hfu.edu.tw  
Assistant Professor, Department of Environmental & Hazards-Resistant Design, Huafan University.  
Corresponding Author, E-mail: sptsao@cc.hfu.edu.tw

<sup>2</sup> 華梵大學環境與防災設計學系教授。  
Professor, Department of Environmental & Hazards-Resistant Design, Huafan University.

distribution, and to get the rainfall intensity for specified return period. However, Huafan weather station completes rainfall data just only 10 years. So we use rainfall data of Shihding and Huoshaoliao rainfall stations from 1987 to 2002, to estimate the rainfall data of Huafan weather station. In this study we combine the rainfall data of 2003-2012 and 1987-2002 to perform frequency analysis. The results show that Pearson type III distribution is suitable to describe the probability distribution of specified duration.

**【Key words】** Frequency analysis, Extreme value type I distribution, Pearson type III distribution

## I、前言

在水利工程或水保設施設計時，常需考量水文事件發生的機率，作為工程設施參考之依據。若是重要的、影響生命安全的工程，常需考量機率甚低、極少發生的水文事件，始能保護週遭居民的安全。

在水文領域中，頻率分析是一種分析水文事件發生機率的基本方法(Phien and Hira,1983;Chow,1988;Stedinger et al.,1992; Rao and Hamed,2000;Haan,2002)。頻率分析常以年選最大值法，在每年之資料中選取最大水文學量，一年取一數值代表此年的重大水文學量，將歷年之最大水文學量排列成數列，再選用理論之機率分布，由水文資料中求取機率分布需要之統計參數，再將分布所得結果與機率點繪法之經驗機率進行比較，並以統計檢定或誤差指標作為選取最適分布之判斷，取得最適分布後，即以此分布作為實測資料之代表，再推估不同重現期距之水文學量。

華梵大學位於台灣東北丘陵區之大崙山上，行政區隸屬新北市石碇區，海拔約在 430~570 公尺間。華梵大學環境與防災設計學系自 2002 年起在西側校區設有氣象站，陸續開始量測氣溫、降雨、風速、風向等氣象因子，作為環境基本資料之蒐集，這些資料除供校區內師生生活之參考外，並可供動植物生態研究及坡地防災之水文分析使用。

早年在崙山區尚未有雨量資料時，進行坡地開發或防災工程之設計，均採用石碇雨量站之資料作為分析設計使用。今日崙山區已設有氣象站，故本文針對華梵氣象站之年最大降雨強度進行頻率分析，然華梵大學氣象站完整之降雨記錄僅有 2003 年至 2012 年之資料，此 10 年之資料可進行頻率分析，但不適宜進行

較長重現期距之推估，故本研究進一步選取鄰近石碇及火燒寮雨量站 1987 至 2002 年之年最大降雨強度資料，以反距平方法推估此一時間大崙山區之資料，最後合併成 1987 至 2012 年之資料，再以 26 年資料進行頻率分析，並比較在特定重現期距下 10 年及 26 年兩種年限所得結果之差異。

## II、材料與方法

### (I) 研究試區與儀器

華梵大學前山氣象站位於西側校區校門口停車場旁調度室之樓頂(圖 1、圖 2)，設有一觀測塔，於 2002 年 4 月設置完成，5 月開始觀測，初期僅有風速風向之觀測，於 7 月增加降雨量之量測，2003 年再增加氣溫之觀測，至今仍持續觀測中，測站位置之基本資料如表 1 所示。

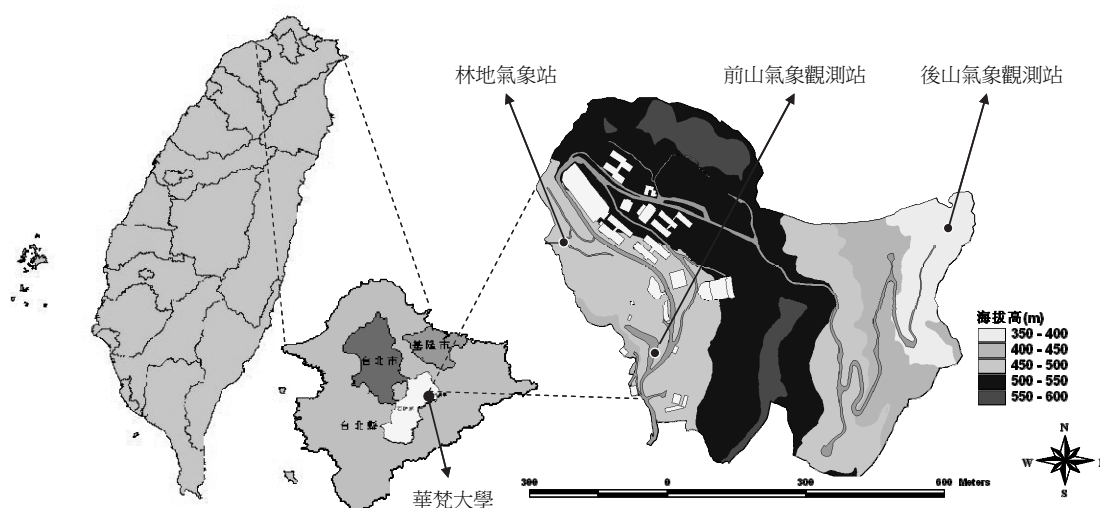


圖 1 華梵大學位置圖

Fig.1 location of Huafan University and weather stations



圖 2 西側校區之前山氣象站

Fig.2 weather station

表 1 測站位置基本資料

Table 1 information of weather station

站名	海拔高度(m)	座標	
		經度	緯度
前山氣象站	465	121°41'29.07"	24°58'43.4"

## (II) 資料整理與分析方法

華梵大學前山氣象站雨量資料為每 5 分鐘記錄一次，資料整理時先將其累加為小時資料，基本資料以月報表形式呈現，以小時資料作為月報表之基本資料。本文即針對華梵前山氣象站(2003~2012)進行頻率分析，然因資料年限過短，故另選取石碇雨量站(1987~2012)及火燒寮雨量站(1987~2012)之降雨資料，進行 1987~2002 華梵大學雨量之推估。

本研究首先針對華梵前山氣象站 2003 年至 2012 年合計 10 年之資料進行頻率分析，每年選取延時 1、12 及 24 小時之最大降雨強度，共 3 種延時，再針對每一延時進行頻率分析，使用常態分布、對數常態分布、極端值第一型、皮爾遜第三型及對數皮爾遜第三型等五種分布，將五種分布所得結果與機率點繪法之威伯法所得結果進行比較，並以 SE 及 U 誤差指標作為最適分布之判斷，取得最適分布後，

再推估不同重現期距之降雨強度。隨後以石碇及火燒寮站 1987 至 2002 年之年最大降雨強度資料，利用反距平方法推估華梵同一時期之降雨強度，最後再結合部分推估值，形成華梵大學 1987~2012 之年最大降雨強度資料，進行頻率分析後，經誤差指標進行判斷，取得最適分布，再推估不同重現期距之降雨強度。詳細之分析方法如後所述。

### (III) 機率點繪法

進行頻率分析時，將分析之雨量排序，給予經驗式的機率值，作為基本機率，將欲探討之理論分布與之比對，進行適合度檢定或誤差分析後，以選取最適分布。在本研究中採用 Weibull 法作為經驗機率，其公式為：

$$p_e = \frac{i}{n+1} \quad (1)$$

其中：

$p_e$  : 大於等於某一水文量之超越機率。 $1-p_e$  即為一般機率。

$i$  : 水文量由大排到小之排序序號。

$n$  : 紀錄年數。

### (IV) 機率分布

水文資料頻率分析時，常用之機率分布析方法如下：

1. 常態分布(Normal distribution, N)：常態分布為機率分析上最常用之分布，圖形為鐘型，對稱於平均值，左右面積相等，曲線兩端趨於正負無限大。其數學型式，即機率密度函數(probability density function)為

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad -\infty \leq x \leq \infty \quad (2)$$

而累積機率分布函數(cumulative distribution function)為

$$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2\right] dt \quad (3)$$

其中

$\mu$  : 為水文資料之平均值，

$\sigma$  : 為水文資料之標準偏差，

$t$  : 為積分之虛擬變數。

2. 對數常態分布(Logarithmic normal distribution, LN)：對數常態分布為將所有的

水文資料取對數之後，再將所得到的對數值以常態分布的方法來進行頻率分析。其機率密度函數為

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma_y\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y-\mu_y}{\sigma_y}\right)^2\right] \quad 0 \leq y \leq \infty, \quad 0 \leq x \leq \infty \quad (4)$$

$$y = \log x \quad (5)$$

3. 極端型第一型分布(Extreme-value type I distribution, EXI)：此分布又稱為甘保氏分布(Gumbel distribution)，其累積分布函數及機率密度函數分別為(Hann,2002)

$$F(x) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{x-\beta}{\alpha}\right)\right] \quad (6)$$

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp\left[-\frac{x-\beta}{\alpha} - \exp\left(-\frac{x-\beta}{\alpha}\right)\right] \quad (7)$$

其中

$$\alpha \quad : \quad \text{尺度參數(scale parameter)} \quad , \quad \alpha = \frac{\sqrt{6} \sigma}{\pi}$$

$$\beta \quad : \quad \text{位置參數(location parameter)} \quad \beta = \mu - \gamma_e \alpha$$

$$\gamma_e \quad : \quad \text{為 Euler number, 其值為 } 0.577216。$$

4. 皮爾遜第三型分布(Pearson type III distribution, PIII)：皮爾遜第三型分布之曲線與實際水文量之分布曲線類似，故廣泛的應用於水文分析上。皮爾遜第三型分布曲線為在一端有端點，而在另外一端到無限值的不對稱單峰曲線。其機率密度函數可表為

$$f(x) = \frac{1}{|\alpha|\Gamma(\xi)} \left(\frac{x-\beta}{\alpha}\right)^{\xi-1} \exp\left(-\frac{x-\beta}{\alpha}\right) \quad (8)$$

$$F(x) = \frac{1}{|\alpha|\Gamma(\xi)} \int_0^{x_0} \left(\frac{x-\beta}{\alpha}\right)^{\xi-1} \exp\left(-\frac{x-\beta}{\alpha}\right) dx \quad (9)$$

其中

$$\alpha \quad : \quad \text{尺度參數(scale parameter)} \quad , \quad \alpha = \sigma / \sqrt{\xi}$$

$$\beta \quad : \quad \text{位置參數(location parameter)} \quad , \quad \beta = \mu - \sigma \sqrt{\xi}$$

$$\xi \quad : \quad \text{形狀參數(shape parameter)} \quad , \quad \xi = (2/C_s)^2$$

$$\Gamma() \quad : \quad \text{為 Gamma 函數。}$$

$$C_s \quad : \quad \text{為偏度係數。}$$

5. 對數皮爾遜第三型分布(Log-Pearson type III distribution, LPIII)：將水文量取

對數之後，再依照皮爾遜第三型分布法進行水文頻率分析，為 1967 年美國水資源委員會所建議使用。此型分布之曲線為一端有限，另一端無限之非對稱分布。其機率密度函數可表為

$$f(x) = \frac{1}{\alpha |x| \Gamma(\xi)} \left( \frac{\log x - \beta}{\alpha} \right)^{\xi-1} \exp\left(-\frac{\log x - \beta}{\alpha}\right) \quad (10)$$

參數與皮爾遜第三型相同。

### (V) 誤差指標

在頻率分析時可以選用之機率分布函數有許多種，但何者為最適分布，一般皆將機率分布所得之結果與機率點繪法所得之結果，進行統計檢定或誤差指標之判定，再選取最適宜之分布。本研究採用水利署水文設計應用手冊(2001)所使用之誤差指標，SE 指標與 U 指標，其形式如下：

$$SE = \left( \frac{\sum(x_i - \hat{x}_i)^2}{n} \right)^{1/2} \quad (11)$$

$$U = \frac{[\sum(x_i - \hat{x}_i)^2 / n]^{1/2}}{(\sum x_i^2 / n)^{1/2} + (\sum \hat{x}_i^2 / n)^{1/2}} \quad (12)$$

## III、結果與討論

### (I) 2003~2012 年實測資料之頻率分析

在本研究中首先將華梵大學前山測站 2003 年至 2012 年 10 年間之資料，每年選取延時 1、12 及 24 小時之年最大降雨強度資料，頻率分析結果如圖 3 至圖 5。

圖 3 為 2003~2012 年華梵前山氣象站，每年選取延時 1 小時之最大降雨強度，利用五種機率分布分析所得與經驗機率之比較，其中圓點為經驗機率，各類實線及虛線則為不同之機率分布。圖 4 為延時 12 小時最大降雨強度之比較。圖 5 為延時 24 小時最大降雨強度之比較。由三圖大致可看出常態分布與皮爾遜第三型分布為較接近經驗機率之分布。由於資料年數有限，故在累積機率較大及較小之部分無法驗證是否符合，圖中在此二部分五種機率分布之差異甚大。

為更客觀的顯示五種機率分布的符合狀況，利用 SE 及 U 誤差指標，作為最適分布之判斷，表 2 即五種機率分布與經驗機率經由運算後所得之結果。由表中可見華梵大學前山氣象站年最大降雨強度之分布，以常態分布、對數常態分布及

皮爾遜第三型分布均有較小之誤差指標。

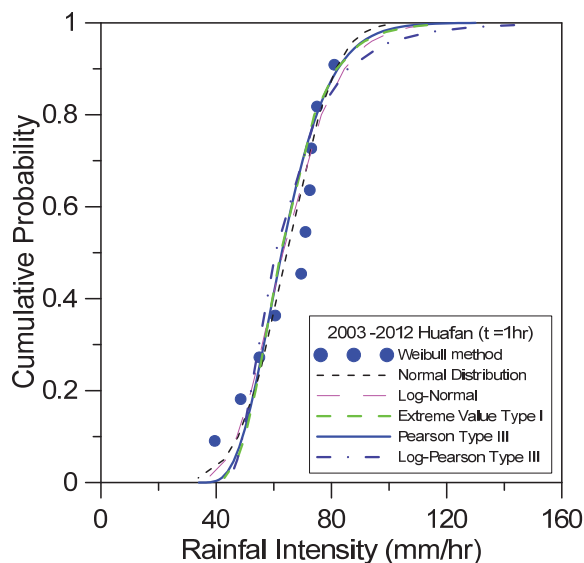


圖 3 2003-2012 年華梵氣象站年選 1 小時最大降雨強度利用五種機率分布與威伯法經驗機率之比較

Fig 3. comparison of Weibull method and cumulative distribution function for 1 hour maximum rainfall intensity at Huafan weather station

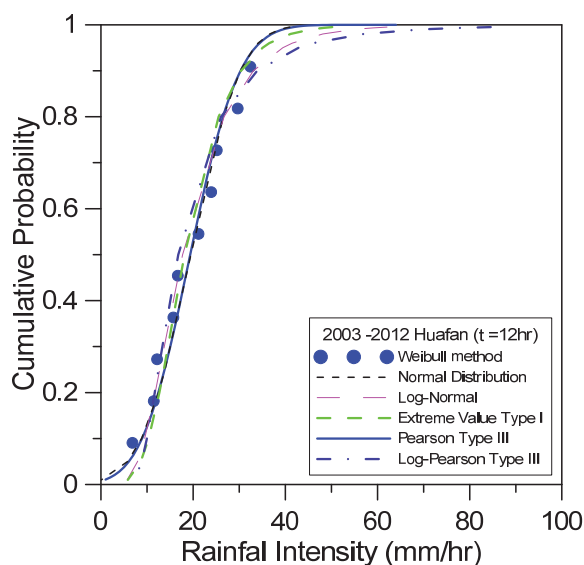


圖 4 2003-2012 年華梵氣象站年選 12 小時最大降雨強度利用五種機率分布與威伯法經驗機率之比較

Fig 4. comparison of Weibull method and cumulative distribution function for 12 hour maximum rainfall intensity at Huafan weather station

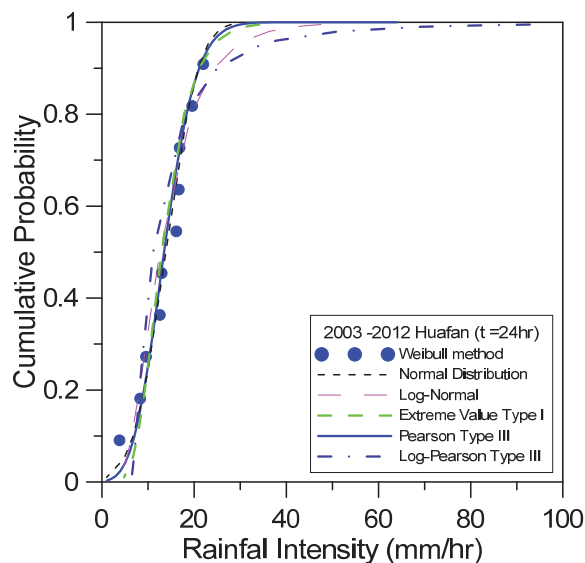


圖 5 2003-2012 年華梵氣象站年選 24 小時最大降雨強度利用  
五種機率分布與威伯法經驗機率之比較

Fig 5. comparison of Weibull method and cumulative distribution function for 24 hour maximum rainfall intensity at Huafan weather station

表 2 五種機率分布之 SE 及 U 誤差指標

Table 2 SE index and U index of probability distribution

Distribution	SE index			U index		
	1 hr	12 hr	24 hr	1 hr	12 hr	24 hr
Normal	1.71	0.69	0.51	0.013	0.017	0.017
Log-Normal	1.99	0.76	0.78	0.015	0.018	0.026
Extreme Value Type I	2.36	0.94	0.75	0.018	0.023	0.026
Pearson Type III	2.18	0.68	0.57	0.016	0.016	0.019
Log Pearson Type III	2.74	1.05	1.21	0.021	0.026	0.042

## (II) 1987~2012 年含部分推估資料之頻率分析

中央氣象局之石碇雨量站及火燒寮雨量站自 1987 年設置雨量站，量測雨量資料；在 2009 年 12 月兩站均改為氣象站，量測項目包含降雨、氣溫、濕度、氣壓、風速風向及陣風等項目。石碇距離離華梵大學約 3.4 公里；火燒寮氣象站距華梵大學 5.8 公里。本研究以石碇及火燒寮雨量站 1987~2012 年，每年選出延時 1、12 及 24 小時之年最大降雨強度資料。因華梵已有 2003~2012 年之資料，故由二站取出 1987~2002 年之最大降雨強度資料，利用反距平方法推估華梵大學 1987~2002 之年

最大降雨強度。反距平方法與地理統計之克利金法，均建立於兩個地點距離愈近，其降雨特性愈相近之觀念。

經由運算後可得到 1987~2002 年之推估資料，加上原有之 2003~2012 之實測資料，二者結合即得 1987~2012 年之資料，合計共有 26 年之資料，將此 26 年之最大降雨強度資料，進行頻率分析，表 3 為經頻率分析後，再計算所得之誤差指標，整體而言，以皮爾遜第三型為最適分布。

表 3 結合 1987~2002 年與 2003~2012 年資料所得之 SE 及 U 誤差指標

Table 3 SE index and U index for 1987~2012

Distribution	SE index			U index		
	1 hr	12 hr	24 hr	1 hr	12 hr	24 hr
Normal	2.62	1.16	0.84	0.020	0.029	0.029
Log-Normal	2.44	1.38	0.84	0.019	0.034	0.029
Extreme Value Type I	2.88	1.30	0.79	0.022	0.033	0.027
Pearson Type III	2.48	1.06	0.67	0.019	0.026	0.023
Log Pearson Type III	2.90	1.67	1.26	0.022	0.041	0.043

本研究進一步比較由 2003~2012 年實測值與 1987~2012 年含部分推估值兩種數據組，經頻率分析所得之結果。將兩組數據所得之 Weibull 法經驗機率，與利用皮爾遜第三型所得結果繪在一齊，如圖 6 即為延時 1 小時最大降雨強度之比較圖，圓點為 2003~2012 年共 10 年實測資料之機率，方點為結合 1987~2002 年合計 26 年推估資料之機率。由圖中可見含推估值所得之資料組，在延時 1 小時的情況下，具有較大之延展範圍，在累積機率接近 1 時，含推估值之數據組具有較大之降雨強度。由皮爾遜第三型分布所得之理論曲線，26 年資料所得較符合，其延展性亦較大。

圖 7、圖 8 則分別為兩組數據在延時 12 小時及 24 小時所得之結果，在這兩種長延時條件下，兩組數據並未有明顯之差異，在延時 24 小時 1987~2012 年這組數據仍有微向兩側延展之特性。

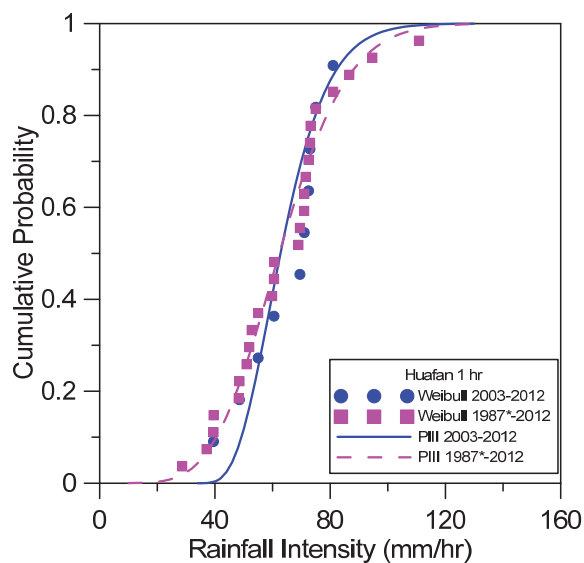


圖 6 2003~2012 年及 1987~2012 年兩組數據延時 1 小時最大降雨強度  
威伯法經驗機率、皮爾遜第三型分布之比較

Fig 6. comparison of Weibull method and Pearson type III distribution of 1 hour maximum rainfall intensity of two sets.

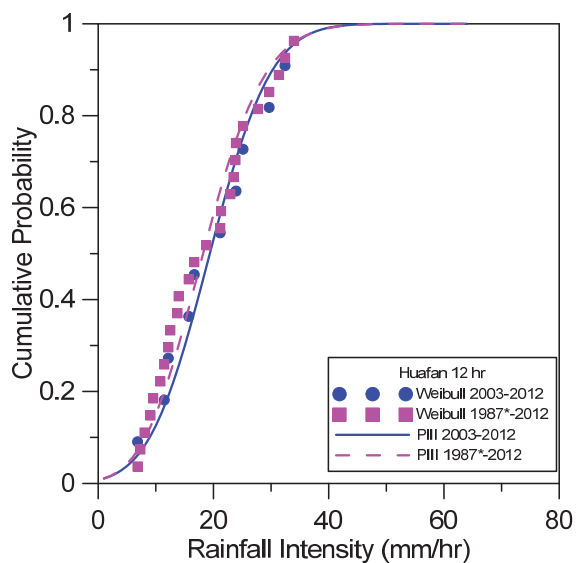


圖 7 2003~2012 年及 1987~2012 年兩組數據延時 12 小時最大降雨強度  
威伯法經驗機率、皮爾遜第三型分布之比較

Fig 7. comparison of Weibull method and Pearson type III distribution for 12 hour maximum rainfall intensity of two data sets.

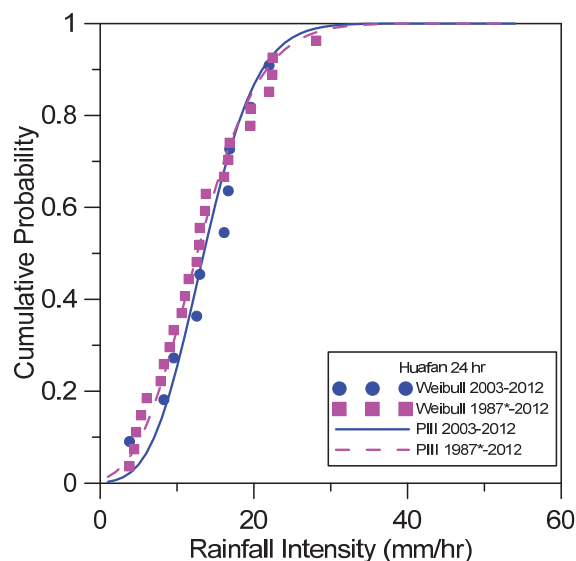


圖 8 2003~2012 年及 1987~2012 年兩組數據延時 1 小時最大降雨強度  
威伯法經驗機率、皮爾遜第三型分布之比較

Fig 8. comparison of Weibull method and Pearson type III distribution for 24 hour maximum rainfall intensity of two data sets.

最後，將實測數據與部分推估數據兩組數據，利用皮爾遜第三型求取在特定重現期距特定延時之降雨強度，其結果如表 4。此表實際上為圖 6 至圖 8 理論曲線上數值的另一種表現。由表中數值亦可明顯看出在延時 1 小時，較大重現期距時 2003~2012 年這組數據之值較小；在長延時則差異不明顯。另在較小重現期距時，1987~2012 這組數據數值有較小之傾向，此即表現微微延展之特性。

表 4 以 1987~2012 年之數據利用皮爾遜第三型求得特定重現期距  
及特定延時下之降雨強度(mm/hr)

Table 4 rainfall intensity of specified return period and duration

Return Period	2003~2012			1987~2012		
	1 hr	12 hr	24 hr	1 hr	12 hr	24 hr
200	108.6	41.8	30.0	118.4	42.4	32.6
100	102.9	39.5	28.2	112.2	39.8	30.3
50	97.1	37.1	26.3	105.7	37.0	27.9
25	90.9	34.4	24.2	98.6	34.0	25.4
20	88.9	33.5	23.5	96.2	33.0	24.5
10	82.2	30.3	21.1	88.1	29.5	21.6
5	74.8	26.5	18.3	78.8	25.5	18.3
2	62.8	19.4	13.5	62.3	18.2	12.6

## IV、結論

本文彙整華梵大學前山氣象站 2003 年至 2012 年 10 年降雨資料，利用 10 年資料進行頻率分析，為避免年限過短，造成頻率分析之誤差過大，本研究另以華梵大學週遭之石碇及火燒寮雨量站 1987~2002 年之資料，推估華梵大學未有記錄時之資料，並將此資料結合既有之資料重新進行頻率分析。所得結果整體而言，以皮爾遜第三型分布較適合描述華梵大學前山氣象站多種延時之機率分布。另對於本研究之分析而言，將推估資料加入原有後所得資料，在短延時數據之延展範圍較廣，即標準偏差較大，具有較大之離散程度，但對於長延時而言此現象並不明顯，即推估資料之加入對於長延時之頻率分析影響並不大。

## V、參考文獻

- 林淑真、游保杉、許銘熙，1993，嘉南地區日雨量頻率分析之羣集特性，台灣水利，41(3)：26-35。
- 經濟部水資源局 (2001) 水文設計應用手冊。
- Chow, V. T., D. R. Maidment, and L.W. Mays. (1988) Applied Hydrology. McGraw-Hill. Company.
- Haan, C.T. (2002) Statistical Methods in Hydrology, 2nd ed. Iowa State Univ. Press
- Menabde, M., A. Seed, and G. Pegram. (1999) A simple scaling model for extreme rainfall. Water Resour. Res. 35:335-339.
- Phien, H. N., and M. A. Hira. (1983) Log Pearson Type-3 distribution: parameter estimation. J. of Hydrol. 64:25-37.
- Rao, A. R., and K. H.Hamed. (2000) Flood frequency analysis. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Stedinger, J. R., R. M. Vogel, E. Foufoula-Georgiou. (1992) Frequency analysis of extreme events. In D. R. Maidment. Ed. "Handbook of hydrology" Chapter 18. McGraw Hill INC. New York.



## 檳榔園穿落雨空間分佈特性

盧惠生<sup>1</sup> 林介龍<sup>2</sup>

**【摘要】**穿落雨空間分佈的變異特性，影響逕流過程與流徑，造成樹冠內穿落雨量測、計算及地表逕流推估的誤差。本研究於南投縣魚池鄉蓮華池研究中心的檳榔園及空曠地建立試區，每個試區設置 81 個簡易雨量筒，量測穿落雨空間分佈特性。顯示承雨口徑 20 cm 時，穿落雨的空間分佈平均變異係數，檳榔園(0.65)甚大，空曠地(0.017)極小。20 cm 承雨口徑量測穿落雨空間分佈，檳榔園穿落雨空間分佈頗為零亂而不均，其與樹冠密度的關係並不明顯，空曠地降雨空間分佈甚為均勻。檳榔園穿落雨的標準偏差具有比例效應。以直徑 20 公分承雨口量筒量測穿落雨時，檳榔園量測穿落雨允許最大誤差率 30%時，只需 9 個量筒即可，允許最大誤差率 20%時，需 33 個量筒，允許最大誤差率約 10%時，必須 41 個量筒才可。當檳榔園量筒數目減少時，穿落雨空間分佈的細微變化逐漸無法顯示。空曠地僅一個雨量筒量測降雨，亦不影響量測的可靠性。以直徑 20 cm 承雨口量筒量測穿落雨時，降雨量小於 100 mm 時，檳榔園的穿落雨約 51.8%。檳榔園穿落雨空間分佈均值，可由空曠地降雨推算。

**【關鍵詞】**穿落雨、空間分佈、檳榔園

## SPATIAL DISTRIBUTION CHARACTERISTICS OF THROUGHFALL IN A BETEL PALM PLANTATION

Hui-sheng Lu<sup>1</sup> Chieh-lung Lin<sup>2</sup>

**【Abstract】** Spatial distribution and variation of throughfall affected runoff processes and paths. Meantime, measuring and calculating errors of throughfall and estimating

---

<sup>1</sup> 農業委員會林業試驗所集水區經營組研究員兼組長，通訊作者

Senior Scientist & Head, Division of Watershed Management, Taiwan Forestry Research Institute, Council of Agriculture (Corresponding Author), E-mail:lusteve@tfri.gov.tw

<sup>2</sup> 農業委員會林業試驗所集水區經營組助理研究員

Assistant Scientist, Division of Watershed Management, Taiwan Forestry Research Institute, Council of Agriculture

bias of surface runoff were also caused by spatial variation of throughfall. Throughfall plots in a betel palm plantation and open area were established in Lienhuachi research station, Nantou, Taiwan. Each plot contained 81 simple throughfall gages to measure the spatial distribution of throughfall. The average coefficients of variation of throughfall in the betel palm plantation and open area were 0.65, and 0.017, respectively, for gages with an orifice diameter of 20 cm. Spatial distributions of throughfall were rather uneven at betel palm plantation. There were no clear relationships between the spatial distribution of throughfall and canopy density of trees for the betel palm plantation. The spatial distribution of rainfall of the open area was rather even. Standard errors of throughfall in the betel palm plantation showed proportional effects with their means. When permitting maximum error percentages of measured throughfall at betel palm plantation were 30%, 20% and 10 %, throughfall gages of 9, 33 and 41 would be satisfied, respectively. Decreasing number of gages for measured throughfall at betel palm plantation could not detect spatial variation in detail. Due to even spatial distribution of rainfall of open area, measured rainfall at open area needs only one gage. Based on calculation of throughfall gages with orifice in diameter 20 cm, throughfall amounts in betel palm plantation for rainfall less than 100 mm were 51.8%. The means of spatial distribution of throughfall in the betel palm plantation could be estimated from rainfall in the open area using regression equations.

**【Key words】** Throughfall, Spatial distribution, Betel palm plantation

## I、前言

林木與果樹的穿落雨受到樹冠的影響，空間分佈極為不均，而穿落雨至地表後，經過土壤入滲、土壤涵蓄及地表滯留等過程，才以不同的逕流型態流出。樹冠內穿落雨空間分佈的變異，不但影響逕流過程與流徑，亦造成樹冠內穿落雨量測與計算及坡地逕流推估的誤差。

穿落雨量測起步甚早，Rothacher(1963)於美國西北部進行花旗松穿落雨觀測，林分密度甚高的老齡林花旗松，穿落雨約為雨量的 75% - 92% 間，雨量愈大，穿落雨佔雨量的比率愈大，當雨量超過 200 mm 以上時，穿落雨可達雨量的 96%。Helvey

and Patric(1965)於美國東部進行的穿落雨觀測，獲悉天然闊葉林的穿落雨約為雨量的 90%。Collings(1966)調查林地夏季雷雨的穿落雨特性，得悉穿落雨的分佈與距離樹幹的遠近與方向有關，樹葉寬闊的樹種其穿落雨量比樹葉細窄的樹種為少。Eschner(1966)觀測孤立樹穿落雨分佈特性，發現樹冠中心的穿落雨比樹冠邊緣為少。Rogerson and Byrnes(1968)觀測天然闊葉林與紅松人工林穿落雨量的差異，發現兩者的穿落雨約為降雨量的 90%，差異不顯著。然而 Rogerson(1968)另外於 loblolly 松人工林探討疏伐對穿落雨量之影響，發現疏伐增加穿落雨量。Orr(1972)進行黃松穿落雨觀測，獲知黃松的穿落雨量約為降雨量的 85% -90% 間。Mahendrappa and Kingston(1982)於不同針葉林與闊葉林設置穿落雨試區，採用標準雨量筒與較小口徑雨量筒量測穿落雨，得悉採用較小口徑雨量筒量測穿落雨，亦能可靠的量測穿落雨，且簡單直線迴歸式足夠有效的由雨量推估穿落雨量。Schmid *et al.*(1991)調查松林受到甲蟲為害後對穿落雨量的影響，發現受到甲蟲為害的松林與建康的松林其穿落雨量差異不顯著。

有關降雨空間分佈的探討起步稍微較晚，直到 Huff(1970)探討不同降雨強度的空間分佈。而 Molnau *et al.*(1980)從事山區雨量站空間分佈的疏密特性與面積雨量計算的可靠性探討。Roth and Chang(1981)探討林分穿落雨量測方法。Bastin *et al.*(1984)獲悉計算面積雨量時，降雨空間分佈的影響極為重要。Lloyd and Magues(1988)認為線形隨機置換穿落雨量測空間分佈樣點，可增加穿落雨量測的可靠性。近年來以地域統計方法分析降雨的空間變異亦已逐漸成熟(Dingman *et al.*，1988； Isaaks and Srivastava，1989；鄭克聲，1993)。Lin *et al.*(1997)於台灣東北部福山亞熱帶雨林的穿落雨試區，得悉穿落雨空間變異甚大，每場降雨事件穿落雨量測誤差小於 10%時，約需 20 個取樣值。Rodrigo and Avila(2001)量測橡木林穿落雨，認知穿落雨量測誤差小於 10%時，約需 9-11 個取樣值，誤差小於 5%時，約需 22-23 個取樣值。Gomez *et al.*(2002) 得悉暴雨量大時橄欖樹的穿落雨空間分佈型式較為一致，暴雨量小時其穿落雨空間分佈零亂不一。

穿落雨的觀測方法、佔雨量的比率及空間分佈特性已有不少研究，且獲得不少成果，本研究乃於南投縣魚池鄉蓮華池研究中心檳榔園及空曠地，設置穿落雨空間分佈試區，量測並探討穿落雨的空間分佈特性，及量筒密度與檳榔園穿落雨量測可靠性之關係，同時建立以雨量推估檳榔園穿落雨的推估式。

## II、材料與方法

### (I) 蓮華池試驗地概況

蓮華池試驗地位於南投縣魚池鄉，依據歷年來蓮華池分所氣象站觀測資料分析，全年平均降雨量 2181.3 mm，3 月至 9 月的月平均降雨量超過 100 mm，佔全年降雨量的 89.3%，10 月至翌年 2 月的月平均降雨量少於 100 mm，佔全年降雨量的 10.7%，6 小時最大降雨量 405 mm，12 小時最大降雨量 631 mm，1 日最大降雨量 713 mm，3 日最大降雨量 808 mm，年平均氣溫 20.8°C，年平均蒸發量 1032.9 mm，年平均相對濕度 85.6% (陸象豫，1997；盧惠生，1999)。地質為新生代北部第三紀砂岩與頁岩構成，土壤為趨紅化作用的黃壤，植生型態為天然闊葉林夾雜不同針闊葉樹種人工造林地，天然闊葉林以樟科與殼斗科為主(葛錦昭等，1978)。

### (II) 穿落雨試區量測設計

於蓮華池檳榔園及空曠地各設置穿落雨量測試區，試區形狀為 16×16 m<sup>2</sup> 正方形，面積 324 m<sup>2</sup>，其相關位置，檳榔園穿落雨試區在空曠地試區南向距離 300 m。每個試區內均勻設置 81 個雨量筒，承雨口為圓形漏斗型，漏斗底端插入儲水塑膠筒的開孔甚小，使蒸發損失儘可能減少到極小，雨量筒的儲水體積為 4 公升的圓筒狀白色塑膠筒，採用直徑 20 cm 的圓形漏斗為承雨口，量測穿落雨量。雨量筒的行列距間隔 2 m，形成 9×9 正方形矩陣排列。

### (III) 穿落雨試區植生概況

檳榔園試區為樹齡約 20 年的檳榔(*Areca catechu* Linn.)，檳榔植株間距約 2 m，檳榔之樹冠相互孤立，冠幅的個別葉片甚大。

### (IV) 穿落雨量測資料分析

每日上午視降雨是否停止，以具有刻劃的不同大小量筒，視各穿落雨量器的儲水塑膠筒內水量多寡，使用適當大小的具有刻劃量筒，量測各試區雨量筒的穿落雨量，由於全部雨量筒必須花費整日時間量測，如果量測中途再降雨，全部雨量筒未能量完，或量測時發現部分雨量筒遭受不明原因破壞，則該次穿落雨資料不用，因此僅能獲得有限的可靠量測資料。又量測值為體積，再將穿落雨量測體積值，除以穿落雨量筒的承雨口面積，換算為深度，以 SURFER 軟體繪製各試區每次量測的穿落雨等高線分佈，計算穿落雨平均值、標準偏差與變異係數值(標

準偏差/平均值)，探討各試區穿落雨的空間變化特性與推估式。

### III、結果與討論

#### (I) 穿落雨空間分佈變異係數

承雨口直徑 20 cm 口徑雨量筒量測穿落雨，其蓄水筒體積有限，僅能量測雨量小於 100 mm 的穿落雨。茲將 20 cm 口徑雨量筒量測穿落雨分佈變異係數列表如 1。

表 1 檳榔園穿落雨分佈變異係數

Table 1. Coefficients (range) of variation in throughfall for betel palm plantation

承雨口直徑與 雨量 (mm)	變異係數 (範圍)	
	檳榔園	空曠地
20 cm <100mm	0.65 (0.48-0.84)	0.017 (0.003-0.043)

依據承雨口直徑 20 cm 雨量筒量測的 12 場穿落雨，降雨量範圍在 3.3-97.5 mm。檳榔園的變異係數範圍在 0.48-0.84 間，其平均變異係數為 0.65；空曠地的變異係數範圍在 0.003-0.043 間，其平均變異係數為 0.017。檳榔園穿落雨的空間分佈甚大，空間分佈甚為不均，量測檳榔園穿落雨時，需相當數量的雨量筒，由於空曠地的平均變異係數極小，僅設置 1 個雨量筒應可準確的量測雨量。

#### (II) 穿落雨空間分佈特性

由圖 1 的檳榔園承雨口 20 cm 的穿落雨空間分佈資料，平均穿落雨 49.7 mm，設定橫軸為 X 軸 (m)，縱軸為 Y 軸 (m)，其空間位置(X,Y)表示，在位置(2,6)、(4,10)、(6,10)、(8,10)、(10,8)、(10,10)、(10,12)、(12,10)、(14,8)等處，穿落雨較多。是否檳榔園穿落雨空間分佈與樹冠密度有關？乃於 81 個穿落雨量筒位置垂直向上調查樹冠重疊密度，由於不易精細區分重疊密度，故僅粗略分為 3 級，樹冠密度較大的位置其密度標號為 2，樹冠密度較小的位置其密度標號為 1，無樹冠即透光的位置其密度標號為 0。由圖 2 的檳榔園樹冠密度空間分佈資料，部份檳榔園樹冠密度較大的位置，穿落雨較小，符合樹葉阻隔降雨減少穿落雨，但亦有部份樹冠密度較小的位置，穿落雨並未增大，未能符合減少樹葉阻隔而增加穿落雨，由降雨時的現場觀察，可能因檳榔園的冠幅孤立，樹冠葉片大而平滑，當雨量筒

位於株行間或葉片末端，穿落雨直接進入量雨筒或葉片截留雨水後沿葉緣末端流入量雨筒，穿落雨甚大，僅當量雨筒位於葉片正下方，葉片截留作用阻隔雨滴穿落，穿落雨減小，致部份樹冠亦未能與穿落雨分佈具有關聯性。

由圖 3 的空曠地承雨口 20 cm 降雨空間分佈資料，平均降雨 97.5 mm，降雨等高線極為稀疏。顯然空曠地降雨空間分佈甚為均勻，即使僅一個雨量筒量測空曠地降雨，亦不影響量測的可靠性。

故承雨口 20 cm 穿落雨空間分佈，檳榔園穿落雨空間分佈頗為零亂，其與樹冠密度的關係並不明顯，然空曠地降雨空間分佈甚為均勻。

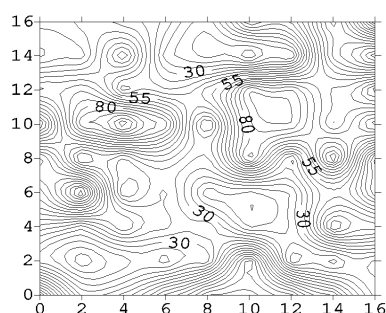


圖 1 檳榔園承雨口 20 cm 穿落雨空間分佈

Fig. 1. Spatial distribution of throughfall in betel palm plantation and 49.7 mm of its mean with orifice of gages in diameter 20 cm (1997, 6, 5).

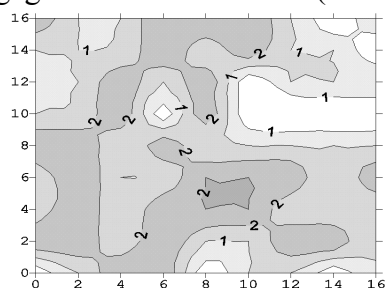


圖 2 檳榔園樹冠密度空間分佈

Fig. 2. Spatial distribution of canopy density in betel palm plantation.

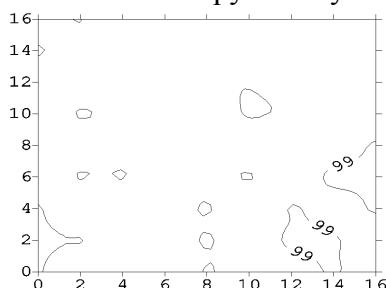


圖 3 空曠地承雨口 20 cm 穿落雨空間分佈

Fig. 3. Spatial distribution of rainfall in open area and 97.5 mm of its mean with orifice of gages in diameter 20 cm (1997, 6, 5).

**(III) 穿落雨空間分佈的標準偏差與均值間的關係**

承雨口徑 20 cm 雨量筒量測檳榔園穿落雨及空曠地降雨空間分佈的標準偏差與其均值間的關係如下式。

檳榔園 降雨量 3.3-97.5 mm

$$SE_{bp} = 0.633P_{bp} + 0.245, \quad r^2 = 0.98, \quad n = 12 \quad (1)$$

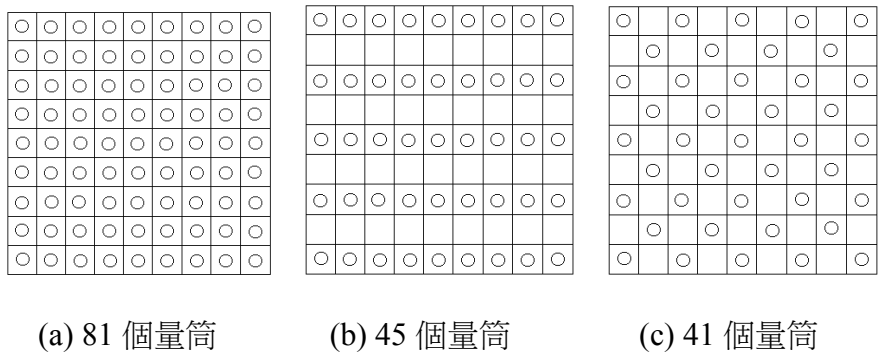
空曠地 降雨量 3.3-97.5 mm

$$SE_{oa} = 0.01P_{oa} + 0.23, \quad r^2 = 0.36, \quad n = 12 \quad (2)$$

式(1)-(2)中  $P_{bp}$  與  $SE_{bp}$  為檳榔園穿落雨空間分佈的均值(mm)與標準偏差(mm)， $P_{oa}$  與  $SE_{oa}$  為空曠地降雨空間分佈的均值(mm)與標準偏差(mm)，式(1)的  $r^2$  相關係數為 0.98，顯示檳榔園穿落雨空間分佈的標準偏差具有比例效應(proportional effect)，標準偏差隨均值增加而增加，比例效應愈大，量測可靠性將減小。式(2)的  $r^2$  相關係數僅 0.36，相關性極差，甚至完全無相關性，顯示空曠地降雨空間分佈的標準偏差不具有比例效應。

**(IV) 雨量筒密度與穿落雨量測關係**

由於檳榔園樹冠密度分佈頗為不均，導致穿落雨的空間分佈不均，欲準確的推算穿落雨的平均值時，增加穿落雨量筒數量不失為可行的途徑之一，然穿落雨量筒數量需要多少才能滿足精確度，亟待解決。本文以 81 個直徑 20 cm 的圓形漏斗型承雨口量測穿落雨量，雨量筒的行列距間隔 2 m，形成 9 × 9 正方形矩陣排列，獲得 12 場穿落雨量測值，降雨量範圍在 3.3 mm-97.5 mm，同時假設穿落雨量筒由 81 個量筒逐步均勻的減少為 45、41、33、17、13、9、5、1 個量筒如圖 4，計算此八種不同量筒數量的穿落雨平均值與 81 個量筒穿落雨平均值之誤差率，如圖 5-6。



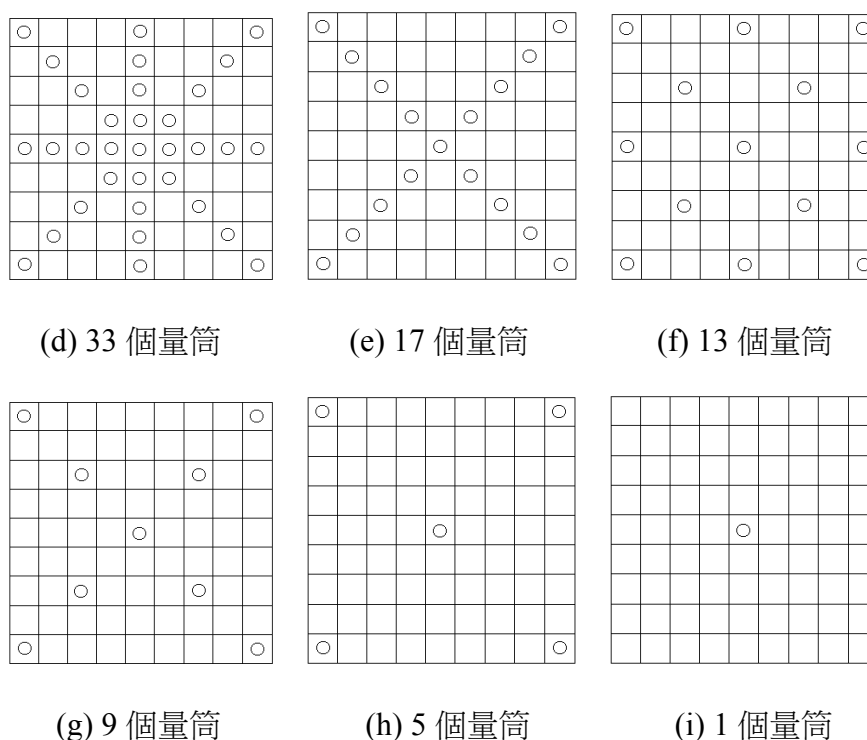


圖 4. 不同數量穿落雨量筒排列設計

Fig. 4. Location design for different number of gages in space to measure throughfall

由圖 5 不同數量量筒計算檳榔園穿落雨的誤差率，此 12 場穿落雨的不同數量量筒穿落雨的誤差率，亦互有差異；1 個量筒時誤差率最小為-6.20%，最大為 54.80%；5 個量筒時誤差率最小為-1.82%，最大為-22.62%；9 個量筒時誤差率最小為 0.65%，最大為-33.25%；13 個量筒時誤差率最小為-0.25%，最大為 15.44%；17 量筒時誤差率最小為-0.74%，最大為 31.63%；33 個量筒時誤差率最小為-3.24%，最大為-19.42%；41 個量筒時誤差率最小為-0.13%，最大為 6.21%；45 個量筒時誤差率最小為-0.11%，最大為 9.81%。顯示檳榔園穿落雨量筒數量增加時，穿落雨量測平均值的誤差率亦成起伏式減小。

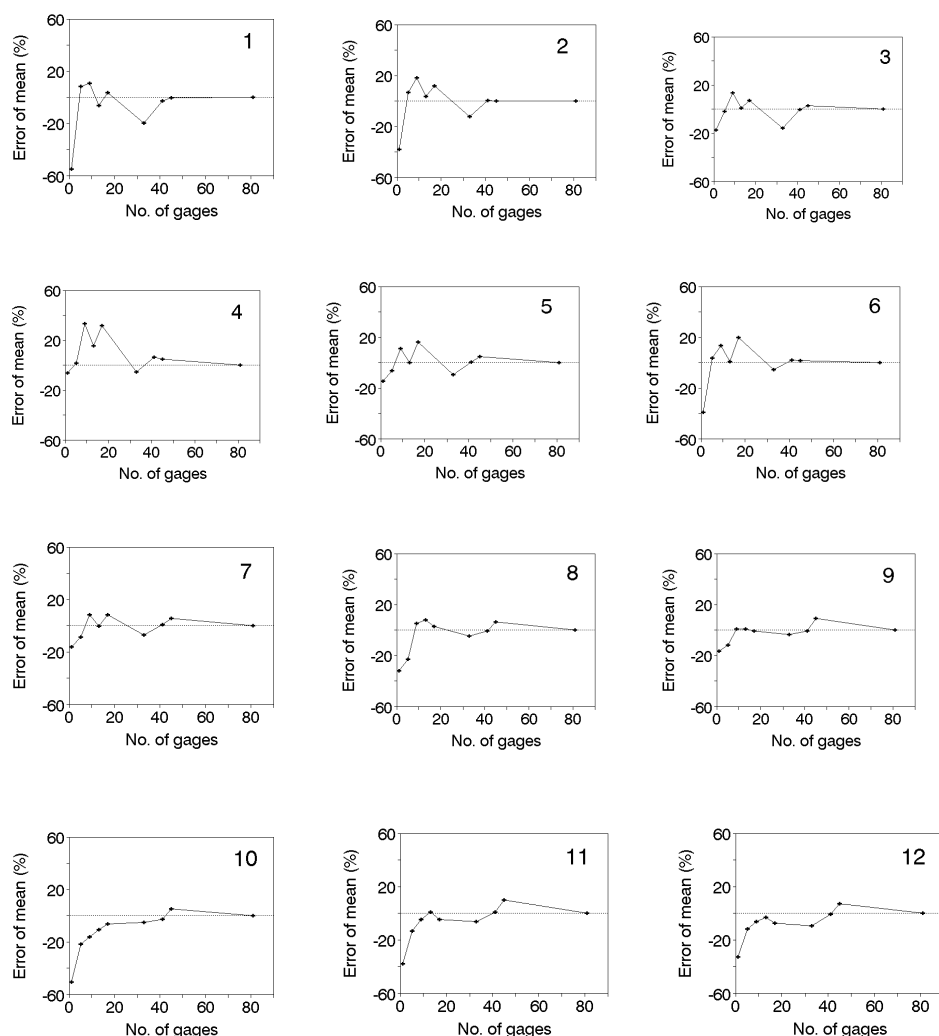


圖 5. 檳榔園不同數量量筒(20 cm 直徑承雨口)計算 12 場穿落雨平均  
值之誤差率

Fig. 5. Error of mean of measured throughfall from different number of  
gages (20 cm in diameter) for 12 events at betel palm plantation.

由圖 6 不同數量量筒計算空曠地降雨的誤差率，此 12 場穿落雨的不同數量量筒降雨的誤差率，亦互有差異，但差異不大；1 個量筒時誤差率最小為 0.063%，最大為-6.078%；5 個量筒時誤差率最小為 0.010%，最大為 5.581%；9 個量筒時誤差率最小為 0.039%，最大為 2.775%；13 個量筒時誤差率最小為-0.005%，最大為 2.601%；17 量筒時誤差率最小為-0.013%，最大為-1.126%；33 個量筒時誤差率最小為-0.036%，最大為 0.812%；41 個量筒時誤差率最小為 0.010%，最大為 0.934%；45 個量筒時誤差率最小為-0.012%，最大為-0.536%。顯示空曠地降雨量筒數量增

加時，降雨量測平均值的誤差率亦成起伏式減小，但即使 1 個量筒量測空曠地降雨，其最大誤差率僅 5%。

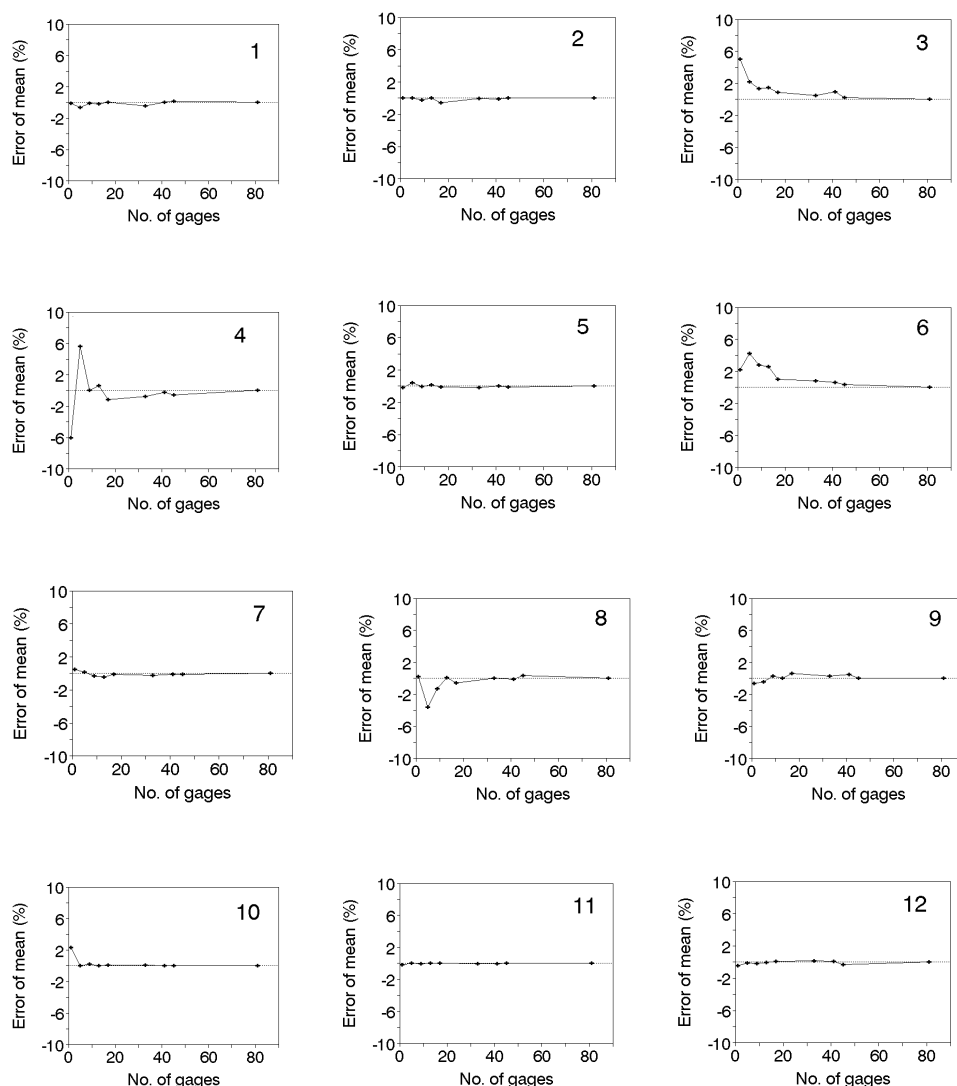


圖 6. 空曠地不同數量量筒(20 cm 直徑承雨口)計算 12 場降雨平均值之誤差率  
 Fig. 6. Error of mean of measured rainfall from different number of gages  
 (20 cm in diameter) for 12 events at bare land.

至於多少個量筒才能到達所需的精確度問題，本文將檳榔園及空曠地 12 場不同數量量筒穿落雨的最大誤差率顯示如圖 7-8。由圖 7 之檳榔園不同數量量筒穿落雨的最大誤差率，檳榔園量筒數量由 81 個量筒減少到 41 個量筒時，最大誤差率約 10%，減少到 33 個量筒時，最大誤差率約 20%，減少到 9 個量筒時，最大誤差率約 30%。由圖 8 之空曠地不同數量量筒降雨的最大誤差率，空曠地量筒數量由 81 個量筒減少到 1 個量筒時，最大誤差率約 5%。由此可見檳榔園量測穿落雨時

如果允許最大誤差率約 30%時，只需 9 個量筒即可，如果允許最大誤差率約 20%時，必須 33 個量筒才可，如果允許最大誤差率約 10%時，必須 41 個量筒才可；空曠地只需 1 個量筒即不會超過 5%的最大誤差率。

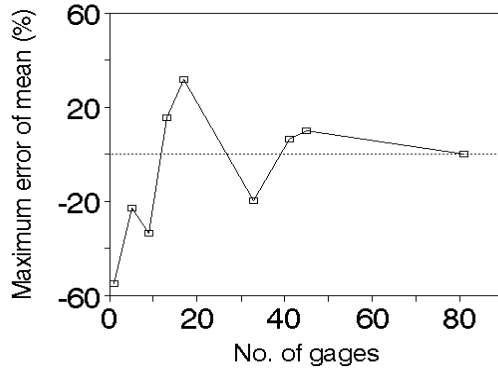


圖 7. 檳榔園 12 場不同數量量筒穿落雨的最大誤差率

Fig. 7. Maximum error of mean of measured throughfall in betel palm plantation under different number of gages for 12 events.

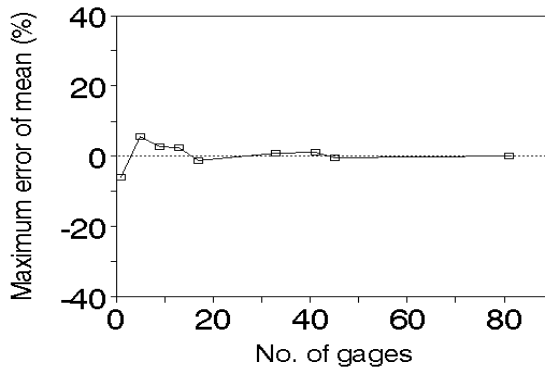


圖 8. 空曠地 12 場不同數量量筒降雨的最大誤差率

Fig. 8. Maximum error of mean of measured rainfall in open area under different number of gages for 12 events.

(V) 不同數量量筒量測穿落雨空間分佈特性

由圖 9 的檳榔園 81、41、33、9 個直徑 20 cm 承雨口量筒量測穿落雨空間分佈資料，平均穿落雨 49.7 mm，設定橫軸為 X 軸，縱軸為 Y 軸，其空間位置(X, Y)表示；其中 81 個量筒在位置(2,6)、(4,10)、(6,10)、(8,10)、(10,8)、(10,10)、(10,12)、(12,10)、(14,8)等處等高線密集，穿落雨較多；而 41 個量筒在位置(2,6)、(6,10)、(10,10)、(12,10)、(14,14)等處等高線密集，穿落雨較多；33 個量筒在位置(2,2)、(6,10)、(10,8)、(12,10)、(14,8)、(14,12)等處等高線密集，穿落雨較多；至於 9 個

量筒在位置(2,2)、(10,12)、(12,10)、(12,12) 等處為穿落雨較多的中心範圍。基本上而言，檳榔園量筒數目減少，量測的穿落雨最大處尚不失真，但量筒數目逐漸減少時，穿落雨空間分佈的細微變化亦逐漸無法顯示。

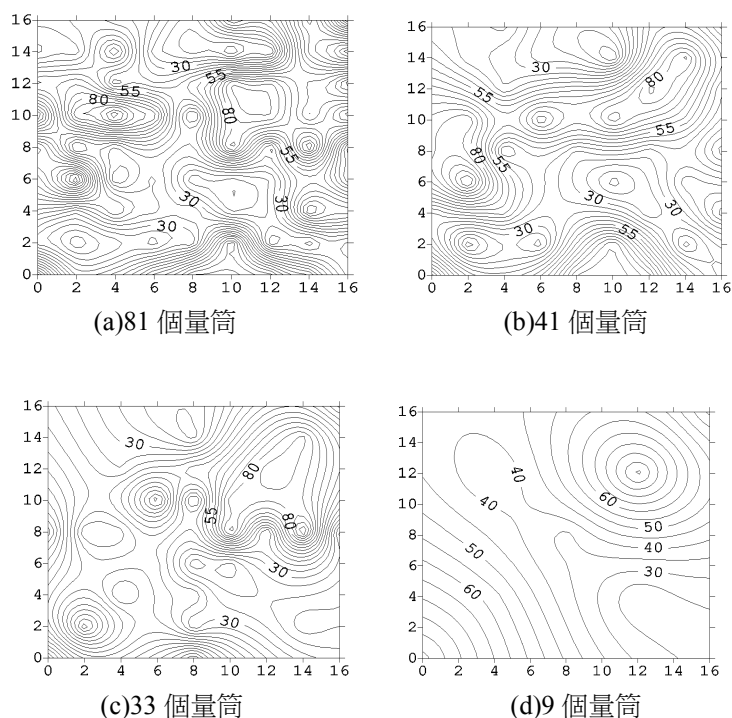


圖 9. 檳榔園不同數量量筒量 (a)81 個量筒(b)41 個量筒(c)33 個量筒 (d) 9 個量筒) 測穿落雨的空間分佈特性(20 cm 直徑承雨口，穿落雨 49.7 mm，1997,6,5)  
 Fig. 9. Spatial distribution of throughfall for different number (a)81, (b)41, (c)33, (d)9 of gages in betel palm plantation and 49.7 mm of its mean with orifice of gages in diameter 20 cm (1997, 6, 5).

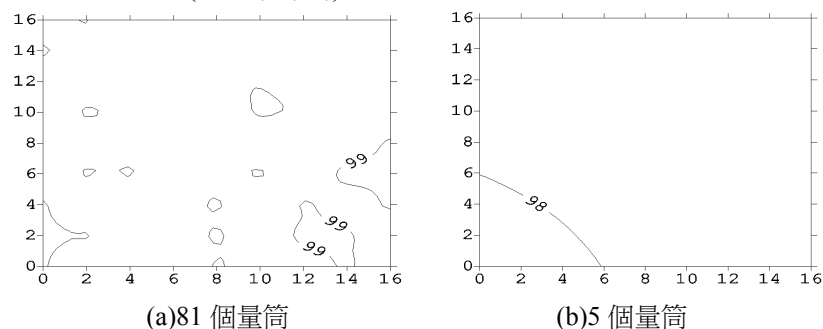


圖 10. 空曠地不同數量量筒 ((a)81 個量筒(b)5 個量筒) 量測降雨的空間分佈特性(20 公分直徑承雨口，穿落雨 97.54 mm，1997,6,5)  
 Fig. 10. Spatial distribution of rainfall for different number ((a) 81, (b) 5) of gages in open area and 97.5 mm of its mean with orifice of gages in diameter 20 cm (1997, 6, 5).

由圖 10 的空曠地 81 及 5 個直徑 20 cm 承雨口量筒量測降雨空間分佈資料，平均降雨 97.54 mm，其等高線極為稀疏。顯然空曠地降雨空間分佈甚為均勻，即使僅一個雨量筒量測空曠地降雨，亦不影響量測的可靠性。

## (VI) 穿落雨的推估

至於檳榔園穿落雨佔降雨量的百分比問題，可由檳榔園穿落雨的總平均值與空曠地降雨的總平均值關係獲得如表 2。以 20 cm 直徑承雨口的標準雨量筒量測穿落雨，由於穿落雨量器的儲水塑膠筒最大容量的限制，只能量測小於 100 mm 的雨量時，檳榔園穿落雨為降雨量的 51.8%。如與孫正春(1995)使用 2.4-3.4 m<sup>2</sup> 的大面積穿落雨搜集裝置量測檳榔穿落雨僅約降雨量的 50%，陸象豫等(1999)使用 4 個雨量筒量測檳榔穿落雨僅約降雨量的 34.7%，本文檳榔園穿落雨量佔降雨量的比率與孫正春(1995)的結果頗為接近。檳榔園穿落雨為何較少，檳榔葉面積甚大，葉面光滑具有葛質與摺皺，雨水易沿著葉片匯集形成幹流量，吳輝龍等(1997)分別量測 5 株檳榔樹的幹流量，獲悉幹流量為降雨量的 34.4%-82.9%間，孫正春(1995) 量測檳榔幹流量約為降雨量的 25%，陸象豫等(1999)量測 2 株檳榔幹流量約為降雨量的 30%，由此可見檳榔園減少的穿落雨似為轉為幹流量增加。

表 2. 檳榔園穿落雨

Table 2. Throughfall of a betel palm plantation

穿落雨試區	穿落雨均值	
	mm	佔空曠地%
檳榔園	15.47	51.8%
空曠地	29.88	

由前節結果可知檳榔園量測穿落雨時最大誤差率約 30%時，只需 9 個量筒即可，最大誤差率約 20%時，必須 33 個量筒才可，最大誤差率約 10%時，必須 41 個量筒才可；空曠地只需 1 個量筒即不會超過 5%的最大誤差率。

因此將不同數量量筒量測檳榔園穿落雨空間分佈均值為因變數，空曠地降雨空間分佈均值為自變數，進行迴歸分析，結果如表 3。

表 3. 檳榔園穿落雨與空曠地降雨間的迴歸關係式

Table 3. Regression equations for throughfall means of a betel palm plantation on the open area

穿落雨試區	降雨量範圍 (mm)	迴歸式 (mm)	r <sup>2</sup>	n
檳榔園	3.3-97.5	3. $P_{bp81} = 0.51P_{oa81} + 0.27$	0.99	12
		$P_{bp81} = 0.51P_{oa1} + 0.26$	0.99	12
		4. $P_{bp41} = 0.51P_{oa41} + 0.32$	0.99	12
		$P_{bp41} = 0.50P_{oa1} + 0.30$	0.99	12
		5. $P_{bp33} = 0.46P_{oa33} - 0.37$	0.99	12
		$P_{bp33} = 0.45P_{oa1} - 0.35$	0.99	12
空曠地	3.3-97.5	6. $P_{bp9} = 0.49P_{oa9} + 1.19$	0.97	12
		$P_{bp9} = 0.49P_{oa1} + 1.16$	0.97	12
		7. $P_{oa81} = 0.995P_{oa1} - 0.066$	0.995	12
		8. $P_{oa41} = 0.997P_{oa1} - 0.08$	0.997	12
		9. $P_{oa33} = 0.997P_{oa1} - 0.1$	0.999	12
		10. $P_{oa9} = 0.995P_{oa1} - 0.041$	0.999	12

式(3)-(10)中的  $P_{bp81}$ 、 $P_{bp41}$ 、 $P_{bp33}$ 、 $P_{bp9}$ ，分別為檳榔園 81、41、33、9 個量筒穿落雨空間分佈均值(mm)； $P_{oa81}$ 、 $P_{oa33}$ 、 $P_{oa5}$ 、 $P_{oa1}$ ，、分別為空曠地 81、33、5、1 個量筒降雨空間分佈均值(mm)。r<sup>2</sup> 相關係數均達 0.97 以上，顯示以不同數量筒量測的檳榔園穿落雨空間分佈均值，均可由空曠地不同數量筒量測降雨空間分佈均值或空曠地單一量筒量測降雨推算。檳榔園量測穿落雨，可由式(3)以空曠地降雨量推估；若最大誤差率約 10%時，需 41 個量筒才可，但可由式(4)以空曠地降雨量推估；若最大誤差率約 20%時，需 33 個量筒才可，但可由式(5)以空曠地降雨量推估；若最大誤差率約 30%時，需 9 個量筒才可，但可由式(6)以空曠地降雨量推估；式(7)至(10)為空曠地不同數量量筒與單一量筒量測降雨的關係，由迴歸式的係數幾乎接近 1，而常數項值亦趨近於 0，可知僅一個雨量筒即可精確的量測空曠地降雨。

#### IV、結論

- 一、穿落雨的空間分佈平均變異係數：承雨口直徑 20 cm 時，檳榔園為 0.65，空曠地極小僅 0.017。
- 二、承雨口直徑 20 cm 量測穿落雨空間分佈，檳榔園穿落雨空間分佈頗為零亂，其與樹冠密度的關係並不明顯，空曠地降雨空間分佈甚為均勻。
- 三、檳榔園穿落雨空間分佈的標準偏差甚大且具有比例效應，標準偏差隨均值增加而增加。空曠地降雨空間分佈的標準偏差極小且不具有比例效應。
- 四、以直徑 20 cm 承雨口量筒量測穿落雨時，檳榔園量測穿落雨允許最大誤差率 30%時，只需 9 個量筒即可，允許最大誤差率 20%時，需 33 個量筒即可，允許最大誤差率約 10%時，必須 41 個量筒才可；空曠地只需 1 個量筒即不會超過 5%的最大誤差率。
- 五、檳榔園穿落雨空間分佈頗為零亂，當檳榔園量筒數目減少，量測的穿落雨最大處雖尚不失真，但量筒數目逐漸減少時，穿落雨空間分佈的細微變化逐漸無法顯示。空曠地穿落雨空間分佈甚為均勻，僅一個雨量筒量測空曠地降雨，亦不影響量測的可靠性。
- 六、以直徑 20 cm 承雨口量筒量測穿落雨時，降雨量小於 100 mm 時，檳榔園的穿落雨約 51.8%。
- 七、檳榔園穿落雨空間分佈均值，可由空曠地降雨推算。

#### V、謝誌

本研究承行政院農業委員會 102 農科-13.3.3-森-G3 及 102 共建設-13.1-森-01(8) 計畫經費提供，傅鶴翹、王德華、邱之偉先生協助，謹此致謝。

#### VI、參考文獻

- 吳輝龍、張文詔、吳嘉俊、徐森雄 (1997) 檳榔樹冠對降雨沖蝕能量之影響。中華水土保持學報 28(1)：33-46。
- 孫正春 (1995) 蓮華池地區不同樹種截留特性之研究。國立台灣大學森林學研究所碩士論文，79 頁。

- 陸象豫 (1997) 林業試驗所蓮華池分所氣象資料 1961-1996。林業試驗所林業叢刊第 76 號，449 頁。
- 陸象豫、黃良鑫、傅鶴翹 (1999) 檳榔園水文特性之研究。台灣林業科學 14(2)：211-221。
- 葛錦昭、楊炳炎、林淵霖、楊楚淇、漆陞忠 (1978) 臺灣森林集水區經營試驗初步報告。林業試驗所試驗報告第 304 號，50 頁。
- 鄭克聲 (1993) 區域統計與地理資訊系統應用於雨量站網評估與設計之研究。行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告 NSC82-0410-E-002-227，國立台灣大學農業工程研究所刊印，141 頁。
- 盧惠生 (1999) 蓮華池地區降雨-延時-頻率關係及不同降雨延時之設計雨型歷線。台灣林業科學 14(1):63-76。
- Bastin G., B. Lorent, C. Dugue and M. Gevers (1984) Optimal estimation of the average area rainfall and optimal selection of rain gage locations. *Water Resour. Res.* 20(4):463-470.
- Collings M. R. (1966) Throughfall for summer thunderstorm in a juniper and pinyon woodland Cibecue Ridge, Arizona. Geological Survey Professional Paper 485-B, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 13p.
- Dingman S. L., D. N. Seely-Reynolds and R. C. Reynolds (1988) Application of kriging to estimating mean annual precipitation in a region of orographic influence. *Water Resour. Bulletin* 24(2):329-339.
- Eschner A. R. (1966) Interception and soil moisture distribution. International Symposium on Forest Hydrology, Proceedings of a National Foundation Advanced Science Seminar, Aug. 29-Sept. 10, Pennsylvania State University, Pennsylvania. p.191-200.
- Gomez J. A., K. Vanderlinden, J. V.Giraldez, and E. Fereres (2002) Rainfall concentration under olive trees. *Agriculture Water Management* 55:53-70.
- Helvey J.D. and J. H. Patric (1965) Canopy and litter interception of rainfall by hardwood forests of eastern United States. *Water Resour. Res.* 1(2):193-206.
- Huff F. A. (1970) Spatial distribution of rainfall rates. *Water Resour. Res.* 6(1):254-259.
- Isaaks E. H. and R. M. Srivastava (1989) *Applied geostatistics*. Oxford University Press,

- Inc., New York, 561p.
- Lin T. C., S. P. Hamburg, H. B. King, and Y. J. Hsia (1997) Spatial variability of throughfall in subtropical rain forest in Taiwan. *Journal Environmental Quality* 26:172-180.
- Lloyd C.R. and A. O. Margues (1988) Spatial variability of throughfall and stemflow measurements in Amazonian rainforest. *Agric. For. Meteorol.*, 42:63~73.
- Mahendrappa M. K. and D. G. O. Kingston (1982) Prediction of throughfall quantities under different forest stands. *Canadian Journal of Forest Research* 12:474-481.
- Molnau M., W. J. Rawls, D. L. Curtis and C. C. Warnick (1980) Gage density and location for estimating mean annual precipitation in mountainous areas. *Water Resour. Bulletin* 16(3):428-432.
- Orr H. K. (1972) Throughfall and stemflow relationships in second growth Ponderosa pine in the Black Hills. *USDA For. Serv. Res. Note RM-210*, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Fort Collins, Colorado, 7p.
- Rodrigo A, and A. Avila (2001) Influence of sampling size in the estimation of mean throughfall in two Mediterranean Holm oak forests. *Journal of Hydrology* 243:216-227.
- Rogerson T.L. (1968) Thinning increases throughfall in loblolly pine plantations. *Journal of Soil and Water Conservation* 23(4):141-142.
- Rogerson T. L. and W. R. Byrnes (1968) Net rainfall under hardwoods and red pine in central Pennsylvania. *Water Resour. Res.* 4(1):55-57.
- Roth F. A. and M. Chang (1981) Throughfall in planted stands of four southern pine species in east Texas. *Water Resour. Bulletin* 17(5):880~885.
- Rothacher J. (1963) Net precipitation under a Douglas-fir forests. *Forest Science* 9(4):424-429.
- Schmid J. M., S. A. Mata, M. H. Martinez and C. A. Troendle (1991) Net precipitation within small group infestation of the mountain pine beetle. *USDA For. Rerv. Res. Note RM-508*, 4p.



## 應用 Markov 和 Logit 模式分析桃園海岸防風林時空變遷之研究

連美綺<sup>1</sup> 吳治達<sup>2</sup> 莊永忠<sup>3</sup> 廖學誠<sup>4</sup>

**【摘要】**隨著經濟的快速成長，台灣的土地利用型態不斷地在改變，尤其是沿海區域，常被開發為工業區或其它用途。在工業區不斷地取代著農業用地的情況之下，當地的自然環境與人文景觀也產生巨大變化，桃園海岸地區即是一例。本研究為了瞭解桃園海岸地區土地利用變遷情形，以及土地利用變遷對於當地防風林的影響，乃利用馬可夫模式與 logit 模式，進行研究區內 1978 年至 2004 年土地利用之時空變遷分析，並模擬預測未來防風林可能的發展狀況。結果顯示，未來研究區內防風林面積會從 1978 年的 13% 下降到 2108 年的 8%，農地由 69% 降至 5%，而建地則從 6% 增加至 52%，建地對研究區內之土地利用型態影響甚大。另外，根據 logit 模式分析，海拔高、距農地、水體、道路、沙地及空/草地距離等 6 項解釋變數對防風林發展具有顯著的影響力。經由馬可夫與 logit 模式結合應用，可預測未來防風林之空間分佈，並得知可能減少的所在位置。

**【關鍵詞】**土地利用、防風林、馬可夫模式、Logit 模式

### APPLICATION OF MARKOV AND LOGIT MODELS FOR ANALYZING SPATIAL-TEMPORAL CHANGES OF WINDBREAKS IN THE TAO-YUAN COASTAL AREA

May-Chee Lian<sup>1</sup> Chih-Da Wu<sup>2</sup> Yung-Chung Chuang<sup>3</sup> Shyue-Cherng Liaw<sup>4</sup>

**【Abstract】** The land use patterns are constantly changing in Taiwan due to the rapid economic growth. Mostly, the coastal areas are often developed for industrial parks and other utilities. When industrial parks continually replace lots of agricultural lands, the

---

<sup>1</sup> 碩士，國立臺灣師範大學地理學系。

Master Degree, Department of Geography, National Taiwan Normal University.

<sup>2</sup> 研究員，美國哈佛大學公共衛生學院環境衛生學系。

Researcher, Department of Environmental Health, School of Public Health, Harvard University.

<sup>3</sup> 助理教授，逢甲大學都市計畫與空間資訊學系。

Assistant Professor, Department of Urban Planning and Spatial Information, Feng Chia University.

<sup>4</sup> 教授，國立臺灣師範大學地理學系，通訊作者，E-mail: liaw@ntnu.edu.tw。

Professor, Department of Geography, National Taiwan Normal University, Corresponding Author.

local natural environments and human landscapes are also changed dramatically, for example in the Tao-Yuan coastal area. The purpose of this research is to understand the land use changes in Tao-Yuan coastal area, and to study the effects of land use changes on the windbreaks. The Markov model and logit model are applied to analyze the spatial-temporal changes of land use patterns in the study area during the period from 1978 to 2004. Moreover, we try to predict the windbreaks development situation in the future. Results show that the proportions of windbreak will decrease from 13% in 1978 down to 8% in 2108; while the agricultural proportions also decrease from 68% down to 5%, but the built-up proportions increase from 6% up to 52%. It is obviously that the land use patterns in study area are strongly affected by the built-up development. In addition, based on the logit model analysis, these 6 explanatory variables have significant effects on the windbreak development, including elevation, and distance to farm, water, road, sand dune, and bare/ grass lands. Based on our research, it is very suitable for combining Markov and logit models to predict the spatial distribution of windbreaks, and to realize the location of decreasing windbreak in the future.

**【Key words】** Land Use, Windbreak, Markov Model, Logit Model

## I、前言

土地利用型態為人類於土地上進行活動之表徵，影響因素眾多，包含人文社會及自然環境等，這些因素會因時空差異及彼此間的交互影響，使得土地利用型態有所改變（吳振發、林裕彬，2004；Munroe et al., 2004）。Luijten（2003）曾指出，土地利用型態的改變，主要驅動力（driving forces）為自然環境、經濟及社會文化等，在不同驅動力的交互作用下，地表即呈現出不同的景觀。以桃園縣沿海的觀音鄉及大園鄉為例，從清代至日治時期，皆是以農業為主要經濟活動，民國政府以後，因沿海農作物常遭受災害損毀、收成不佳，復因政府農業轉型工業政策之影響，造成當地農業人口快速流失外移，農地也因此急遽荒廢變少；在此情況下，取而代之的是工業區的設立，帶動外來工業人口的移入，使得兩鄉的產業及人口組成結構有著與以往不同的巨大轉變（黃淑潔，2007；廖文欣，2008）。此情形也具體而微地反映在當地的土地利用型態上。

桃園縣沿岸地區四鄉鎮，包括蘆竹、大園、觀音及新屋海岸線，全長約 43 km，

自 1908 年起即編入飛砂捍止保安林，面積達 2,655 ha，但在 1955 年後，因政府政策所需，大幅的解除保安林地 1,610 ha，變更作為農牧及工業用地，僅留下大約 1,045 ha 的海岸防風林（李遠欽，1984）。桃園海岸地區防風林樹種以木麻黃及黃槿為多，主要功能是攔阻東北季風強大風力所夾帶的飛砂，以免覆蓋農地道路等設施，並維護當地居民生命財產安全（柳楮、程煒兒，1984）。近年來，桃園海岸侵蝕日益嚴重，海岸濱線持續後退，沿海沙丘也有劣化趨勢，復因工業區的進駐及各種建設的開發，造成整體環境劇烈變化，使得防風林的發展與分佈受到相當程度的影響（莊永忠等，2011）。由於桃園海岸地區發展快速，現今海岸防風林面積漸少，林帶寬度也大幅縮減，防風林原有的防護功能也因此而大打折扣（陳財輝等，2004）。基於上述，本研究希望透過航照判釋方法，以得知桃園海岸地區 1978 年及 2004 年二時期之土地利用狀況，進而結合地理資訊系統、馬可夫模式與 logit 模式，主要目的為：（1）分析桃園海岸地區的土地利用變遷；（2）探討土地利用變遷對當地防風林的影響；（3）篩選影響當地防風林變遷的重要因素；（4）模擬預測未來桃園海岸地區防風林可能的發展趨勢。

## II、文獻回顧

### （I）馬可夫模式

近年來，地理資訊系統及衛星影像技術的快速革新，讓土地利用的分類更為簡便，此外，土地利用變遷與預測的計量方法也有許多重大突破（莊智璋等，2010；Weng, 2002; Luijten, 2003）。過去所採用的土地利用度量方法，大致可分為文字定性的描述、圖面的描述、以及統計數據的描述等（Hulshoff, 1995）。但是近年來，因為科技的日益發達，土地利用的空間分佈已多朝向數理方式計算，並預測未來的變遷趨勢，而馬可夫模式即是其中之一。由於土地利用變遷過程中，過去的土地利用型態，往往會影響到爾後的發展型式，所以要在長期的時間序列中，比較不同時期的土地利用差別時，除單獨考慮各土地利用型態面積總量的變化外，亦需考慮各土地利用型態在變遷過程中發生互相轉移的可能性，而馬可夫模式正是利用過去與目前的土地利用型態變遷，進一步模擬並預測未來的變化（吳治達、鄭祈全，2005）。馬可夫模式是以轉換矩陣概念來展示空間區位利用與數量的改變情況，可作為比較一地區不同時期地景變遷、土地利用的變化情形，並能預測未

來可能之發展（郭士鳳、盧光輝，2008）。此外，馬可夫模式的優點是能將複雜的變化因素及不確定性，轉為可分析處理的機率模式，讓土地利用變遷易於探討（Luijten, 2003; Chuang et al., 2011）。

目前馬可夫模式已廣泛地應用在各個領域中。以國內研究為例，黃書禮、蔡靜如（2000）曾應用馬可夫模式探討台北盆地的土地利用變遷趨勢，透過景觀生態學的概念，經由多變量分析再將研究區劃分成六大同質區。郭士鳳、盧光輝（2008）亦應用馬可夫模式探討台北市內湖區的土地利用變遷，發現農業區轉為公用設施用地及行水區的幅度最大，顯示該區正處於大量變更轉型階段，以迎接更多人口與內湖科技園區的進駐。除了應用於都市土地利用變遷之研究外，馬可夫模式也普遍應用於森林地景分析。Hsu and Cheng（2000）應用馬可夫模式探討六龜生態系經營區的地景變遷，並模擬推估未來的土地覆蓋情況，發現天然林將逐漸取代人工林。薛怡珍等（2004）則應用灰色馬可夫模式進行台大實驗林森林面積之預測，其精確度明顯高於馬可夫轉置矩陣模式及灰色預測 GM(1, 1) 模式。鍾玉龍、呂明倫（2006）也是採用馬可夫模式分析綠島地景的動態變化，指出天然闊葉樹林的面積有明顯的增加，木麻黃林分則明顯的減少，由於原生植群產生自然演替，所以綠島森林生態系有自然回復的趨勢，終將形成以天然闊葉樹林為主的植群社會。另外，馬可夫模式也應用於崩塌地分析。莊智瑋等（2010）以馬可夫模式推估九份二山崩塌地植生復育狀況，發現 2004 年前以草生植物為主要復育類別，2004 年後草生地逐漸轉變為林地，最終穩定年份則介於 2012~2028 年。此外，Chuang et al.（2011）也發現，經由馬可夫模式可以有效分析出崩塌地植生的復原狀況，並預測其變遷趨勢。

在國外方面，馬可夫模式應用於土地利用分析更是普遍。Brown et al.（2000）應用馬可夫模式分析美國中西部土地利用變化，發現森林覆蓋比率的變化與農用土地及開發區域面積的變化最為相關，且農業棄耕有顯著地時間差效應，而開發區域則無此現象。Luijten（2003）曾應用馬可夫模式結合地景特性包括坡度、坡向及海拔高，分析哥倫比亞坡地集水區的土地利用變化，並模擬 100 年後的土地利用狀況。此外，配合高科技及新技術的發展，馬可夫模式在使用上更是便捷多元。例如 Weng（2002）結合衛星影像、地理資訊系統及馬可夫模式，分析中國珠江三角洲土地利用變遷，指出此方式可以快速有效了解土地利用變化過程。Sang et al.（2011）也應用馬可夫模式，並結合細胞自動機，分析城鎮及聚落的空間型態變

化，發現人口增加及都市發展造成土地需求遽增，進而影響到城鎮及聚落土地利用的改變。

## （II）Logit 模式

Gómez-Mendoza et al. (2006) 曾分析墨西哥的土地利用變遷，指出空間模擬分析已成為日益重要的工具，有助於了解土地利用之變化，而 logit 模式即是其中之一。通常 logit 模式主要是應用於當我們面臨多種替選方案的選擇情況時，依照效用最大的原理，求出各替選方案之機率（陳綉里、葉正明，2008）。由於 logit 模式所處理的應變數為類別變數，並可解釋多變量本質之特性，因而常被應用於社會科學研究領域中（Bentz and Merunka, 2000）。一般而言，logit 模式又可分為二元 logit 迴歸模式（binary logistic regression）及多元 logit 迴歸模式（multinomial logistic regression）（林峰田等，2009；Munroe et al., 2004）。二元 logit 模式假設每一種狀況發生與否相互獨立，彼此間無相關性，通常以虛擬變數將反映變數予以量化，此外，二元 logit 模式在使用上並不受多元常態分配的假設限制，可在解釋變數同時存在連續或離散資料時使用（吳振發、林裕彬，2006）。至於多元 logit 迴歸模式，其優點在於可針對不同依變數選項分析其影響因子，例如可分別分析低、中、高不同消費支出的影響因子，使用多元 logit 迴歸模式是將所有樣本一起考慮，如此不但可規範參數之間的關係，也可讓資料使用更具效率（林士彥等，2007）。由於二元及多元的 logit 模式常被使用，因此，兩者間之差異及適用性則格外受到關注，模式的採用則需因地制宜（Munroe et al., 2004）。

與馬可夫模式相同，logit 模式也廣泛地應用在各個研究領域中。在國內方面，有關土地利用部份，logit 模式應用面向包括都市、森林及崩塌地等。鄒克萬、張曜麟（2004）結合 logit 模式及擴張方法，分析台南市的土地利用變遷，顯示出人口數及人口成長率等 11 個變數，對土地開發具有顯著影響。吳振發、林裕彬（2006）也應用二元 logit 模式探討汐止市土地利用的時空變遷，指出由於土地使用分區管制導致各區的空間結構變遷呈現不同的趨勢。林峰田等（2009）應用 logit 模式分析新店地區的土地利用變遷，發現二元 logit 迴歸模式估計之「總正確估計涵蓋率」高於多元 logit 迴歸模式及線性迴歸模式。除了都市土地利用分析外，logit 模式也常被應用於森林的地景變遷之研究。鄭祈全等（2001）結合地景指標及 logit 模式，探討影響台灣南部森林地景結構及變遷之因素，發現主要為地形及邊緣效應所致。鄭祈全等（2009）進一步研究影響台灣中部森林地景的干擾指標，經由 logit

迴歸分析得知，以邊緣密度和 Shannon 均勻度指數二者受到干擾較大。此外，logit 模式也應用於崩塌地之研究。陳樹群、馮智偉（2005）應用 logit 模式預測濁水溪流域的崩塌潛勢，並將研究區分成低、中、高、極高潛感等四等級。蔡婷鈺等（2007）則應用 logit 模式分析影響集集大地震山崩之重要因子，其中以「距震央距離」、「東西向地表加速度」及「九格點之平均坡度」為最重要。

在國外方面，logit 模式的應用非常多元，以林地及農地的研究為例，Geoghegan et al.（2001）應用衛星影像資料及 logit 模式，預估森林砍伐的空間分佈狀況，指出區位會明顯地影響到當地的森林砍伐。Koopand Tole（2001）則應用多元 logit 模式，探討影響全球森林砍伐的主要社經及土地利用因素，指出快速的經濟成長且將國家轉型為非依賴林業或農業者，則可減緩森林的砍伐，並維持或增進森林的覆蓋率。Chowdhury（2006）應用 logit 模式，透過衛星影像資料分析，探討熱帶森林砍伐的原因。Ellis and Porter-Bolland（2008）亦應用 logit 模式分析土地利用與覆蓋之變化，並據此比較以社區為基礎的森林經營與政府保護區經營之利弊。Wyman and Stein（2010）則應用 logit 模式預測貝里斯森林砍伐及穩定續存之面積，雖然正確率均超過 50%以上，但仍有許多誤差，主要受到土壤、地質及經濟活動等因素所影響，以致於高估森林砍伐區域。Van de Steeg et al.（2010）應用 logit 模式，探討區位因素及家戶特質對肯亞農業耕作系統之影響，並分析農業土地利用在空間上之變異。

### （Ⅲ）馬可夫與 logit 模式之結合應用

馬可夫模式是一種預測的方法，藉由過去的事象推測未來，而 logit 模式則可進行迴歸估計，兩者結合使用形成 Markov-logit 模型，具有相當準確之預測能力（陳綉里、葉正明，2008）。此外，在土地利用或地景分析方面，有關變遷的特性通常可從兩個面向來探討，包括變遷的面積預測及變遷的空間分析，前者常使用馬可夫模式，根據過去土地利用之變遷情形，以預測未來不同土地利用類型可能的面積大小，而後者則常應用 logit 模式，藉由空間關係進行推演及數理運算，以研究土地利用的空間分佈（鄭祈全等，2005）。

馬可夫與 logit 模式之結合，已成功地應用於許多研究面向。陳綉里、葉正明（2008）以 logit 模式預測消費者之品牌移轉機率，再利用馬可夫模式進行未來市場佔有率。吳治達、鄭祈全（2005）整合馬可夫與 logit 模式，預測未來森林地景變遷和模擬民墾地發生之空間分佈，發現民墾地的發生與海拔高、坡度、及距民

墾地、道路和河流的距離均有密切關係，其中以距民墾地和距道路的遠近最有相關。另外，Zhang and Polyakov (2010) 亦曾結合馬可夫與 logit 模式探討美國南方人工林的地理分佈變遷，發現從 1997 至 2027 年，由於都市化影響，整體的私有林將減少 7%，但松樹人工林則會增加 40%，以因應生質能源之需求，土地利用方式的轉換深受土地優劣、可及性及人口成長所影響，而松樹人工林的轉換則與土壤特性及坡度最為相關。

### III、研究區域與研究方法

#### (I) 研究區域概述

本研究以桃園縣觀音鄉與大園鄉境內大潭村、觀音村、白玉村、富林村、樹林村、草漯村、保障村、北港村、南港村及內海村等 10 村為研究區域範圍，面積約為 4,779 ha (圖 1)。全區大致平緩，沿海多為沙岸，並有多條河川流經本研究區，包括老街溪、雙口溪、富林溪、樹林溪、大崛溪及觀音溪等。由於境內河川出海口易聚集大量沙地，且沿海一帶因地形關係位於東北季風之衝擊面之上，因而易形成沙丘群，本研究區內規模最大之沙丘群則為草漯沙丘群。為防止強大的東北季風所夾帶的飛砂及鹽霧對農田、道路及作物的危害，故自日治時期便開始種植防風林。



圖 1 研究區域圖

## (II) 研究方法

### 1. 土地利用類型數化

為了解研究區內各種土地利用之分佈情形，本研究以農林航空測量所拍攝的 1978 年及 2004 年兩期之像片基本圖為依據，配合現場調查資料，利用地理資訊系統 ArcGIS 進行數化。數化類別共分為防風林、農地、建地、水體、道路、沙地及空/草地（空地與草地合稱）等 7 類，數化的標準除依照像片基本圖上所標示之「木麻黃」「農田」等字樣進行判釋之外，亦以色調、大小及形狀加以區別土地使用類別。

### 2. 馬可夫模式

本研究利用馬可夫模式轉移機率矩陣 (transition probability matrix)，分析 1978 年至 2004 年內，各土地利用類型之相互轉換情形，進而分析在不同土地利用轉移情況下，桃園海岸土地利用類型之變化趨勢，接著以 1978 年至 2004 年之 26 年作為一區間，模擬未來可能之土地利用發展情形。

馬可夫模式的原理是藉由轉移矩陣建立某一段時間內最初及最終土地利用型態的演變關係，並將此時間內土地利用的各種狀態之分佈求得轉移機率，其數學方程式如下：

$$P_{ij} = \frac{n_{ij}}{\sum_{j=1}^m n_{ij}} \quad (1)$$

式中  $P_{ij}$  為轉移機率， $m$  為土地利用型態數， $n_{ij}$  則為土地利用型態  $i$  轉變為土地利用型態  $j$  的量。

由於馬可夫模式係假設某一時期的土地利用型態發生機率是隨前一時期存在的土地利用型態而改變，因而在運用馬可夫模式進行未來變遷預測時，須先檢定該轉移矩陣是否具有馬可夫模式特性，一般常用之檢定方法為 Goodman (1968) 所提出的卡方檢定 ( $\chi^2$ -test)，其方程式如下：

$$\chi^2 = \left\{ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \left[ T_{ij} \times \ln \left( \frac{T_{ij}}{A_{ij}} \right) \right]^2 \right\} \quad , d. f. = (m - 1)^2 \quad (2)$$

式中  $T_{ij}$  是轉移矩陣， $A_j$  是轉移矩陣中第  $j$  行像元數總計與全景觀總像元數之比率， $m$  是組類數，d.f.則是自由度。

檢定的結果，若計算出之卡方值大於理論卡方值時，便代表研究區內土地利用變遷具有馬可夫模式特性，即可使用馬可夫模式進行變遷預測。整理所有土地利用型態的轉移機率，將可以得到轉移機率矩陣，假設  $P$  為轉移機率矩陣則：

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{1m} \\ P_{21} & P_{22} & P_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ P_{m1} & P_{m2} & P_{mm} \end{bmatrix} \quad 1/m \times m \quad (3)$$

式中每一列總合等於 1，而矩陣中個數值皆大於或等於 0。依此轉移機率矩陣，可以得到馬可夫模式的重要特性，即為平衡矩陣 (equilibrium matrix) 或會合矩陣  $L$ ：

$$L = \lim_{m \rightarrow \infty} P_m \quad (4)$$

當此矩陣重複自乘至無限多次後，矩陣內的各個數值將會達到一穩定狀態。故  $m \times m$  轉移矩陣轉換為  $m$  個數值的轉移矩陣時， $m$  數值則為馬可夫模式的理論趨勢值，以數學式表示為：

$$N_{t+1} = P \times N_t \quad (5)$$

式中  $P$  為轉移機率， $N_{t+1}$  及  $N_t$  則為兩時期之土地利用類型面積，利用此式便可進行馬可夫模式的變遷預測模擬。

### 3. Logit 模式

為了提高模式預測能力，在 logit 模式中引入許多解釋變數 (explanatory variables)，並進一步觀察這些變數的改變對預測結果之影響 (陳綉里、葉正明，2008)。此外，為了簡化處理資料之因變數，logit 迴歸首先引入勝算比 (odd ratio) 概念，數學公式表示為  $[P(\mathbf{X}) / (1-P(\mathbf{X}))]$ ，再透過 logit 轉換 (logit link function)，可使得公式的條件期望值  $E[P_i(\mathbf{X}) | \mathbf{X}]$  介於 (0,1)，滿足機率需介於 (0,1) 的公設 (林峰田等，2009)。經轉換後其公式如式 (6) 所示。本研究假設影響土地利用變遷機率的解釋變數為  $X_1, X_2, \dots, X_n$ ，則某土地利用轉變為土地利用型態  $i$  之機率  $P(i)$  可表示為：

$$P(i) = \frac{e^{B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + \dots + B_n X_n}}{1 + e^{B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + \dots + B_n X_n}} \quad (6)$$

式中  $B_n X_n$  為各變數與其係數所組成的向量， $n$  為解釋變數個數。當可能的土地利用型態只有兩種時，式(6)可簡化成二項式 logit 模式(鄭祈全等，2005)：

$$P = \frac{1}{1 + e^{-z}} \quad (7)$$

而式中  $Z$  為自變數之線性組合，即

$$Z = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + \dots + B_n X_n \quad (8)$$

式(6)、式(7)可使用最大概似法則 (maximum likelihood method) 來求算各參數值的估計值。由於模式中各個解釋變數對應變數的影響，必須區別是來自於本質上的影響或只是純粹的樣本機率誤差，因此，需要進一步分析，可透過統計值  $Wald\chi^2$  進行檢定(吳治達、鄭祈全，2005)。另外，模式整體適合度 (goodness of fit) 的檢驗，則採用對數概似率 (log-likelihood;  $-2 \log L$ ) 來探討模式中所有參數對應變數變異性的聯合解釋能力。對數概似率之公式為：

$$-2 \log L = -2 \times [L(B) - L(0)] ; \quad d.f. = n-1 \quad (9)$$

此式中， $L(0)$ 表示不包含解釋變數時模式之概似度對數值， $L(B)$ 則表示所有解釋變數均納進模式後的概似度對數值， $n$  是為解釋變數的個數。使用對數概似率進行自由度等於  $n-1$  之卡方檢定，如檢定結果大於理論卡方值時，則表示模式代表性佳，可以有效解釋應變數之變異情況。

本研究選擇 8 項因子作為解釋變數，包括海拔高及坡度等 2 項自然環境因子，以及距農地、建地、水體、道路、沙地及空/草地距離等 6 項人為環境因子，接著進行 logit 迴歸分析，挑選出對防風林有顯著影響之因子，再次放入 logit 模式之中，以得出防風林之空間分佈機率，最後，結合馬可夫模式之預測結果，推估防風林未來可能之空間分佈情形。

## IV、結果與討論

### (I) 土地利用變遷

桃園海岸地區於 1978 年及 2004 年之土地利用類型，經由像片基本圖判釋、現場調查，再利用 ArcGIS 數化後，其結果如圖 2，並統計各年度之土地利用面積，結果如表 1。

表 1 研究區 1978 年及 2004 年土地利用面積統計 單位：ha

年度	防風林	農地	建地	水體	道路	沙地	空/草地
1978	623	3302	268	199	52	133	202
2004	543	1366	1336	230	301	225	778

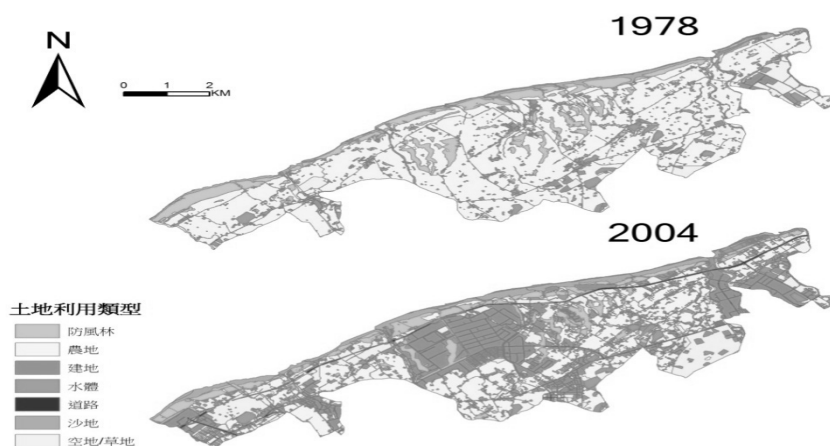


圖 2 研究區 1978 年與 2004 年之土地利用圖

另外，本研究利用馬可夫模式，針對 1978 年至 2004 年間，桃園海岸土地利用之時空變化進行轉移機率矩陣分析。根據研究區內最小區塊之面積為基準，將 1978 年及 2004 年之土地利用向量圖，先轉換成 5m × 5m 空間解析度之網格式資料後，再使用 Erdas Imagine 9.2 影像處理軟體之 Matrix 功能，將兩張網格檔套疊並進行全影像取樣，進而統計 1978 年至 2004 年各土地利用類型之轉移機率矩陣，其結果如表 2。

表 2 1978 年與 2004 年土地利用轉移機率矩陣表

年代	2004 年							
	土地利用	防風林	農地	建地	水體	道路	沙地	空/草地
1978 年	防風林	0.51	0.03	0.19	0.03	0.03	0.15	0.06
	農地	0.06	0.40	0.27	0.02	0.06	0.00	0.19
	建地	0.03	0.01	0.84	0.00	0.07	0.00	0.05
	水體	0.01	0.01	0.09	0.62	0.02	0.12	0.13
	道路	0.05	0.03	0.16	0.01	0.67	0.00	0.08
	沙地	0.04	0.00	0.03	0.13	0.02	0.74	0.03
	空/草地	0.08	0.05	0.43	0.05	0.04	0.02	0.33

由表 1 及表 2 可知，1978 年至 2004 年間各土地利用之轉變情形。在防風林方面，此 26 年間，其面積從 623 ha 下降至 543 ha，共減少 13%，造成此現象的主要原因是東北季風及工業發展所致，此外，沙丘後退內移亦是原因之一。楊瑞芬

(1992) 曾指出，桃園海岸林所面臨的問題，除了每年 9 月東北季風的侵襲，使防風林造林地受大量飛砂覆蓋外，道路的建設、工廠的設立及工廠汙染等人為因素，更是造成當地防風林面積減少、生長狀況惡化的另一項重要因素。莊永忠等 (2011) 也指出，桃園沿海地區沙丘後退內移，林木生長條件不佳，造成林分受害，致使林帶寬度大為縮減，因而大幅降低林分阻隔飛沙與固定沙丘之能力。防風林面積減少，主要轉變為建地 (19%) 及沙地 (15%)，至於轉變為農地、水體及道路的比率皆為 3%，另約有 6% 轉變為空/草地。

除了防風林外，以農地面積的減少及建地面積的劇增最為顯著。如以 1978 年為基準，至 2004 年止，建地面積共增加 399%，造成此現象之主要原因是由於工業區的設立。研究區附近有大園、觀音及大潭工業區，大園工業區第二期擴大工程於 1984 年完成，總面積為 204 ha，觀音工業區第三期工程於 1990 年完成，總面積為 632 ha，而位於大潭村之大潭工業區一期及二期開發計畫則於 1999 年開始動工，因此，歷年來研究區內之建地面積不斷地上升。除了工業區建地增加外，民宅建地的激增亦是重要因素之一，由於受到工業區擴增之影響，帶來大量的工作機會，吸引眾多外來人口的移入，也連帶地提昇住宅需求率，以致於當地民宅數量快速增加 (黃淑潔，2007)。建地的劇增反映在農地的快速萎縮，由於工業化政策的推動，工業用地需求日增，加速農地轉為建地，此外，社經結構的轉變，由一級農業產業轉型為二、三級產業後，當地農業人口快速流失，農地也因此變少 (廖文欣，2008)。許多農地休耕或荒廢，逐漸變為空地及草地，因此，至 2004 年為止，約有 27% 之農地被建地所取代，另外 19% 轉變為空/草地。除了大量農地轉變為建地外，也有 43% 之空/草地轉變為建地，顯示建地需求量甚大。

很明顯地，防風林減少的面積大多轉變為建地及沙地，而造成此現象之原因，主要是由於工業區擴張，加上飛砂鹽害、沙丘後退內移等自然因素，影響了防風林的林分狀況，也限縮了防風林的生長面積。另外，工業區不斷擴張，並帶動民宅數量需求，以致於建地面積急遽升高，而農地面積則迅速縮減。

## (II) 未來土地利用趨勢

本研究利用馬可夫模式進行未來土地利用變遷的模擬預測，在進行預測之前，先將計算出之轉移機率進行卡方檢定 ( $p < 0.01$ )，結果顯示桃園海岸地區在 1978 年至 2004 年間之土地利用變遷具有馬可夫特性。本研究進一步以 26 年為一期，進行未來土地利用變遷趨勢之推估，並參考 Luijten (2003) 推估 100 年之作法，

將推估年度設定為 2030、2056、2082 及 2108 年，結果如圖 3 所示。另外，為了比較初期土地利用面積與未來預測結果之差異，本研究將 1978 年及 2108 年之土地利用面積比率列於表 3。

由圖 3 及表 3 中得知，在無其他干擾因素影響下，防風林部分由原來 1978 年之 13%，到 2108 年時下降至研究區總面積的 8%；在農地方面，原本於 1978 年時共占全區之 69%，是研究區中最主要的土地利用型態，然而至 2108 年時僅剩 5%，是研究區中改變最為劇烈之土地利用型態；而建地在兩時期間由 6%增加至 52%，可見其擴增速度非常之快；其餘之道路、水體、沙地及空/草地等土地利用類型則均有上升之趨勢，其中又以道路之增加趨勢最多。

表 3 1978 年與 2108 年之土地利用面積比率 (%)

土地利用	防風林	農地	建地	水體	道路	沙地	空/草地	合計
1978 年	13	69	6	4	1	3	4	100
2108 年	8	5	52	5	12	7	10	100

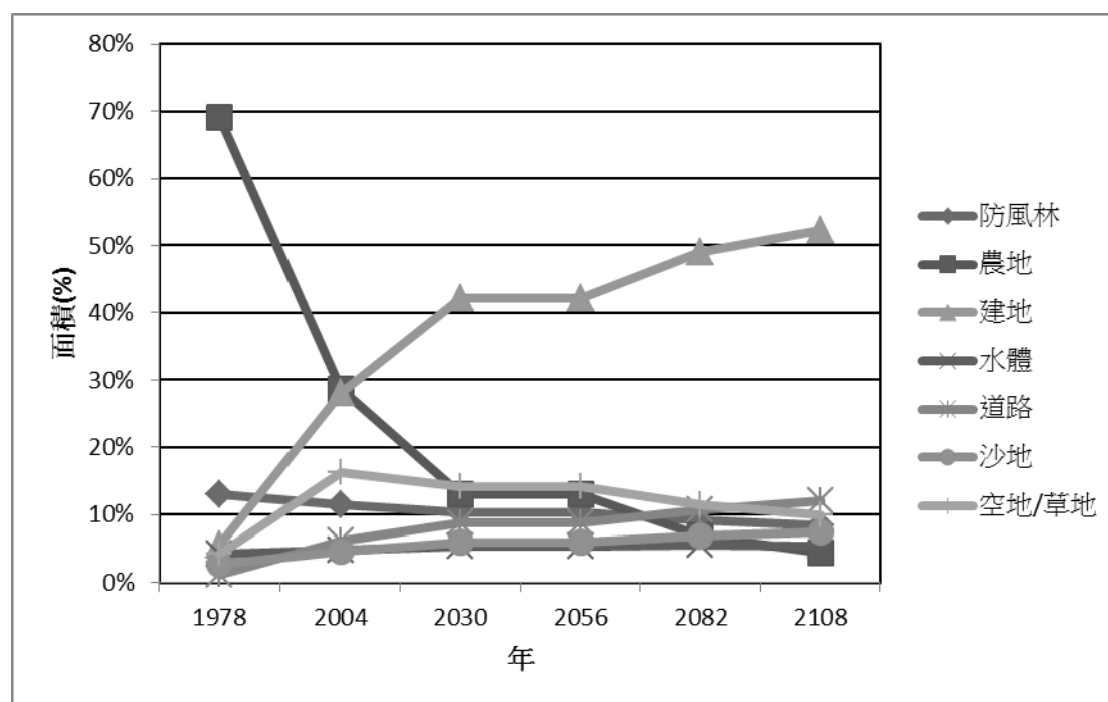


圖 3 1978 年至 2108 年土地利用變遷趨勢圖

### (III) 土地利用空間分析

本研究在土地利用空間分析部份是以防風林作為主要的探討對象，為了推估桃園海岸地區各土地利用類型轉變為防風林之空間變遷機率，以 1978 至 2004 年

間之土地利用類型是否轉變為防風林之比較結果做為應變數，並以海拔高、坡度、距農地、建地、水體、道路、沙地及空/草地距離等 8 項自然及人文環境因子的空間資訊作為解釋變數。基於隨機取樣較能符合統計理論，並可減少資料運算處理的時間，故利用 ARC/INFO 地理資訊系統之 AML 指令，搭配 C 語言所開發之隨機取樣程式，進行建立模式時所需之樣本點取樣（吳治達、鄭祈全，2005）。取樣方式採用分層隨機取樣法，以 1978 年土地利用面積之 1% 為樣本點大小，共計約 19,116 點。由於防風林地占總土地利用面積比例較小，為了避免轉變為防風林及未轉變為防風林之土地利用樣本數比例差異過大，使得模式產生誤差，因此，本研究從總樣本點數中再整理出 1978 年至 2004 年間轉變為防風林之有效樣本 2,175 點，以及轉變為其它土地利用型態之有效樣本 1,198 點，兩者合計有效樣本共有 3,373 點，據此進行二項式 logit 模式分析，並建立防風林之空間機率分佈圖。

經過最大概似法所得之 logit 迴歸模式分析結果，如表 4 所示。由表 4 中可得知，海拔高、距農地、水體、道路、沙地及空/草地距離等六項解釋變數之 Wald $\chi^2$ ，分別為 12.06、151.04、76.06、112.89、64.70 及 49.16，均達顯著水準 ( $p < 0.01$ )，顯示此 6 項解釋變數對防風林具有顯著的影響力，故納入模式之中，至於坡度及距建地距離等 2 項解釋變數，因未達顯著水準故不納入模式之中。另外，在模式整體適合度之卡方檢定方面，模式整體解釋變數之對數概似率為 449.22，對應變數的解釋能力達到顯著數水準 ( $p < 0.01$ )，顯示此 logit 模式可以有效呈現出防風林之空間分佈情況。

表 4 二項式 logit 模式分析結果

解釋變數	係數值	Wald $\chi^2$	$p > \chi^2$
常數項	-1.1520	125.07	0.0001
海拔高	-0.0288	12.06	0.0005
農地距離	0.0084	151.04	0.0001
水體距離	-0.0020	76.06	0.0001
道路距離	0.0027	112.89	0.0001
沙地距離	0.0010	64.70	0.0001
空/草地距離	-0.0006	49.16	0.0001

表 4 中，各解釋變數的係數大小與正負號，表示該變數對於土地利用變遷機率的影響力及變動關係的正反方向，即係數值若為正號時，則表示當解釋變數的參數值增加時，土地利用型態發生改變的機率亦會隨之增加，反之則會降低（吳

治達、鄭祈全，2005)。由各係數值之正負號可知，當海拔越低、距離水體與空/草地越近、離農地、道路及沙地越遠時，研究區內防風林越容易被轉換為其他土地利用型態。

將各解釋變數之係數值代入式(7)及式(8)中，可以得到空間變遷機率模式，其式如下：

$$P = \frac{1}{1 + e^{-z}} ;$$

$$Z = -1.1520 - 0.0288 \times \text{海拔高} + 0.0084 \times \text{距農地距離} - 0.0020 \times \text{距水體距離} + 0.0027 \times \text{距道路距離} + 0.0010 \times \text{距沙地距離} - 0.0006 \times \text{距空/草地距離} \quad (10)$$

若將此 6 項解釋變數之參數值全部代入式(10)中，即可得到研究區防風林之空間變遷機率圖(圖4)，圖中每一像元變遷機率介於 0 至 1 之間，越靠近 0 表示土地利用發生變遷之機率越低，意即防風林不容易轉變為其他土地利用型態；反之，越靠近 1 則表示土地利用發生變遷之機率越高，即防風林越容易轉變為其他的土地利用型態。由圖 4 中得知，沿海地區及靠近河流附近的防風林，其發生變遷之機率甚高，此外，接近內陸地區之防風林，其發生變遷之機率也非常高。



圖 4 防風林之變遷機率圖

#### (IV) 未來防風林空間分佈預測

本研究利用馬可夫模式所預測出之未來各土地利用型態面積百分比，與應用 logit 模式分析出之機率變遷圖互相結合，則可得到未來防風林分佈之預測圖。依據圖 4 所得到的變遷機率值，比較不同地點之機率值的相對大小，以決定土地利用變遷的位置，直至其面積與馬可夫模式所得之預測面積相同為止，便可以推估防風林之分佈情形。本研究除希望看出未來防風林空間分佈狀態之外，亦希望能

比較其減少區域之範圍，故使用馬可夫模式預測出之 2030 年與 2108 年之資料，並結合 logit 模式進行防風林未來空間分佈預測，其結果如圖 5 及圖 6 所示。

在圖 5 及圖 6 中，防風林面積明顯地比 1978 年或 2004 年（圖 2）防風林面積減少許多，約從研究區總面積之 13% 降至 8%，此外，過去沿海綿延連貫的防風林帶，已成為破碎化分佈趨勢，甚至部份沿海區域的防風林將消失不見。另外，比較 2030 年至 2108 年間預測防風林減少之區域範圍，結果如圖 7 所示。從圖 7 中可看出，當土地利用變遷之情形已達至穩定狀態，且無任何新的干擾因素出現時，隨著時間的演替，防風林確實有逐漸減少的趨勢，其減少範圍較大區域是靠近觀音工業區。

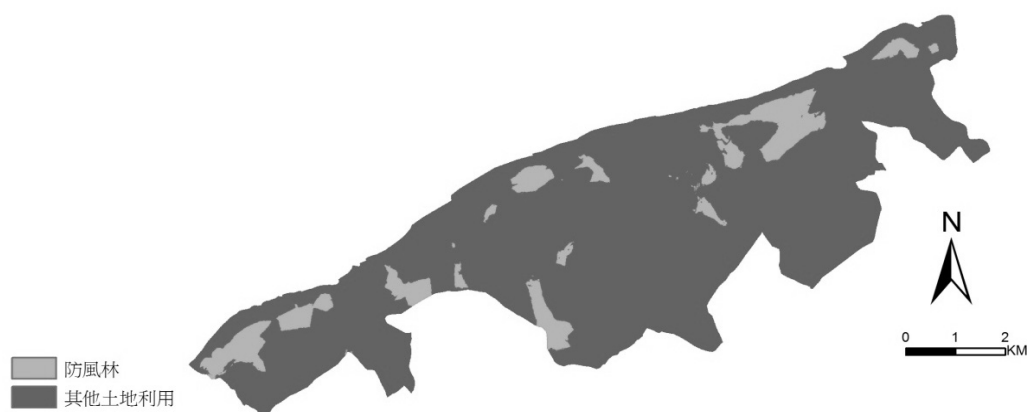


圖 5 2030 年之防風林分佈預測圖

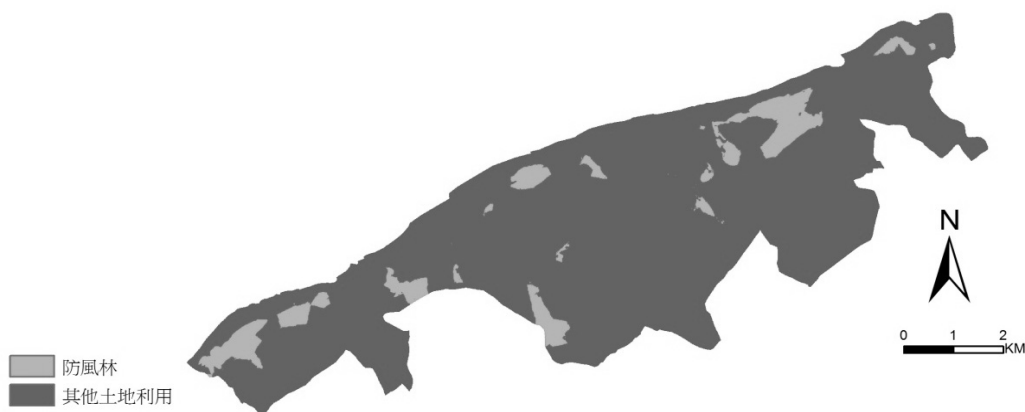


圖 6 2108 年之防風林分佈預測圖

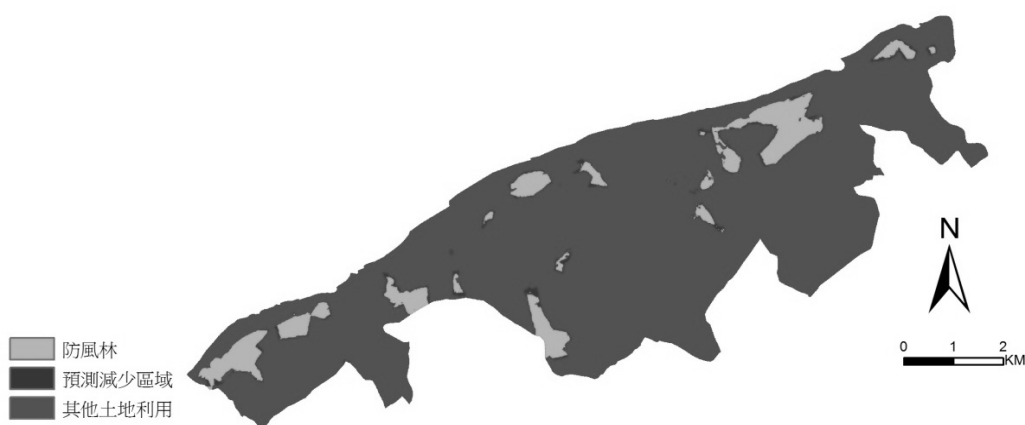


圖 7 2030 年至 2108 年間防風林減少之預測區域

## V、結論

本研究應用馬可夫模式轉移機率矩陣，分析 1978 年及 2004 年兩個時期，桃園海岸地區土地利用之時空變化，並模擬未來可能之變遷趨勢。接著再利用 logit 模式推估在無其他干擾因素下，防風林轉換為其他土地利用之機率及其可能之空間分佈情形。結果顯示，首先，防風林減少的面積大多轉變為建地及沙地，主要是工業區擴張，加上飛砂鹽害、沙丘後退內移等因素，限縮了防風林的生長面積。另外，工業區不斷擴張，導致約有 27% 之農地及 43% 之草空地轉變為建地。其次，利用馬可夫模式模擬未來土地利用之變遷，防風林由原來 1978 年之 13%，降至 2108 年之 8%，農地則由 69% 降至 5%，是研究區中改變最為劇烈之土地利用型態，而建地則由 6% 增加至 52%，擴增速度非常快。另外，根據 logit 模式分析，顯示海拔高、距農地、水體、道路、沙地及草空地距離等 6 項解釋變數對防風林具有顯著的影響力，並由各解釋變數的係數值之正負號得知，當海拔越低、距離水體與空地越近，離農地、道路及沙地越遠時，研究區內防風林越容易被轉換為其他土地利用型態。最後，經由馬可夫與 logit 模式結合應用，可預測未來防風林之空間分佈情形，並顯示出可能減少的所在範圍。

## VI、參考文獻

- 吳治達、鄭祈全，2005，應用航測資料與數學模式監測民墾地變遷之研究，《航測及遙測學刊》，第 10 卷，第 4 期，頁 373-384。
- 吳振發、林裕彬，2006，汐止市土地利用時空間變遷模式，《都市與計畫》，第 33

- 卷，第 3 期，頁 231-259。
- 李遠欽，1984，桃園海岸林被害原因探討及應加強之措施，《台灣林業》，第 10 卷，第 1 期，頁 4-7。
- 林士彥、林卓民、李俊彥，2007，應用多項羅吉特模型分析消費支出與服務品質之研究—以溫泉區旅館為例，《戶外遊憩研究》，第 20 卷，第 2 期，頁 39-57。
- 林峰田、曾琬瑜、胡傳中，2009，土地使用變遷模型估計能力之探討—以臺北縣新店市為例，《都市與計劃》，第 36 卷，第 4 期，頁 387-413。
- 柳檣、程煒兒，1984，桃園海岸防風林地土壤性質之調查，《臺灣省林業試驗所試驗報告第 411 號》，臺北市：臺灣省林業試驗所。
- 黃淑潔，2007，《戰後大園鄉土地利用的變遷》，國立台灣師範大學地理學系第五屆教學碩士論文。
- 黃書禮、蔡靜如，2000，台北盆地土地利用變遷趨勢之研究，《都市與計劃》，第 27 卷，第 1 期，頁 1-22。
- 陳財輝、游漢明、洪富文，2004，桃園許厝港海岸飛砂之移動及定砂植物之生長，《中華林學季刊》，第 37 卷，第 4 期，頁 367-377。
- 陳綉里、葉正明，2008，消費者品牌移轉行為與市場佔有率之預測，《管理評論》，第 27 卷，第 3 期，頁 1-20。
- 陳樹群、馮智偉，2005，應用 Logistic 迴歸繪製崩塌潛感圖—以濁水溪流域為例，《中華水土保持學報》，第 36 卷，第 2 期，頁 191-201。
- 楊瑞芬，1992，經營桃園海岸保安林之回顧與展望，《台灣林業》，第 18 卷，第 4 期，頁 37-40。
- 莊永忠、林雪美、沈淑敏、廖學誠，2011，桃園海岸林分發展與地形變遷之關聯性研究(1978~2004)，《台灣土地研究》，第 14 卷，第 1 期，頁 69-89。
- 莊智瑋、林昭遠、錢滄海，2010，以馬可夫鏈模式推估九份二山崩塌地植生復育之研究，《水土保持學報》，第 42 卷，第 3 期，頁 329-344。
- 郭士鳳、盧光輝，2008，台北市內湖區土地利用的變遷分析，《社會與區域發展學報》，第 1 卷，第 1 期，頁 1-25。
- 鄒克萬、張曜麟，2004，土地利用變遷空間動態模型之研究，《地理學報》，第 35 卷，頁 35-52。
- 廖文欣，2008，《聚落與宗教發展之研究：以桃園縣觀音鄉為例（1684-1990）》，國

立中央大學歷史研究所碩士論文。

- 蔡婷鈺、葉怡成、鄒明誠、李振民，2007，以六種資料探勘方法分析影響集集大地震引起山崩之重要因子，《中華林學季刊》，第 40 卷，第 1 期，頁 69-79。
- 鍾玉龍、呂明倫，2006，綠島地景動態之研究，《特有生物研究》，第 8 卷，第 2 期，頁 87-96。
- 薛怡珍、陳麗惠、李國忠、邱祈榮、賴明洲，2004，應用灰色馬可夫模式預測森林面積，《中華林學季刊》，第 37 卷，第 1 期，頁 49-59。
- 鄭祈全、許立達、賴玉菁，2001，應用地理資訊系統監測森林地景變遷之研究，《台灣林業科學》，第 16 卷，第 1 期，頁 1-9。
- 鄭祈全、吳治達、王素芬，2005，應用 Markov 和 Logit 模式監測地景變遷之研究，《台灣林業科學》，第 20 卷，第 1 期，頁 29-36。
- 鄭祈全、王素芬、李孟芬，2009，應用航測技術和多變值統計方法建立地景干擾指標之研究，《台大實驗林研究報告》，第 23 卷，第 1 期，頁 25-35。
- Bentz, Y., and D. Merunka, 2000, Neural networks and the multinomial logit for brand choice modeling: a hybrid approach, *Journal of Forecasting*, 19, pp. 177-200.
- Brown, D. G., B. C. Pijanowski, and J. D. Duh, 2000, Modeling the relationships between land use and land cover on private lands in the Upper Midwest, USA, *Journal of Environmental Management*, 59, pp. 247-263.
- Chowdhury, R. R., 2006, Driving forces of tropical deforestation: the role of remote sensing and spatial models. *Singapore Journal of Tropical Geography*, 27 (1), pp. 82-101.
- Chuang, C. W., C. Y. Lin, C. H. Chien, and W. C. Chou, 2011, Application of Markov-chain model for vegetation restoration assessment at landslide areas caused by a catastrophic earthquake in Central Taiwan, *Ecological Modelling*, 222, pp. 835-845
- Ellis, E. A., and L. Porter-Bolland, 2008, Is community-based forest management more effective than protected areas? A comparison of land use/land cover change in two neighboring study areas of the Central Yucatan Peninsula, Mexico, *Forest Ecology and Management*, 256, pp. 1971-1983.
- Geoghegan, J., S. C. Villar, P. Klepeis, P. M. Mendoza, Y. Ogneva-Himmelberger, R. R.

- Chowdhury, B. L. Turner II, and C. Vance, 2001, Modeling tropical deforestation in the southern Yucatán peninsular region: comparing survey and satellite data, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 85, pp. 25-46.
- Gómez-Mendoza, L., E. Vega-Peña, M. E. Ramírez, J. L. Palacio-Prieto, and L. Galicia, 2006, Projecting land-use change processes in the Sierra Norte of Oaxaca, Mexico, *Applied Geography*, 26 (3-4), pp. 276-290.
- Goodman, L. A., 1968, The analysis of cross-classified data: independence, quasi-independence, and interactions in contingency tables with or without missing entries, *Journal of the American Statistical Association*, 63, pp. 1091-1131.
- Hulshoff, R. F., 1995, Landscape indices describing a Dutch landscape, *Landscape Ecology*, 10 (2), pp. 101-111.
- Hsu, L. T., and C. C. Cheng, 2000, Assessing landscape change in the Liukuei ecosystem management area using Markov models, *Taiwan Journal of Forest Science*, 15 (1), pp.41-49.
- Koop, G. and L. Tole, 2001, Country 'choices' or deforestation paths: A method for global change analysis of human-forest interactions, *Journal of Environmental Management*, 63, pp. 133-148.
- Luijten, J. C. 2003, A systematic method for generating land use patterns using stochastic rules and basic landscape characteristics: results for a Colombian hillside watershed, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 95, pp. 427-441.
- Munroe, D. K., J. Southworth, and C. Tucker, 2004, Modeling spatially and temporally complex land cover change: the case of western Honduras. *The Professional Geographer*, 56(4), pp. 544-559.
- Sang, L., C. Zhang, J. Yang, D. Zhu, and W. Yun, 2011, Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA-Markov model, *Mathematical and Computer Modelling*, 54, pp. 938-943.
- Van de Steeg, J. A., P. H. Verburg, I. Baltenweck, and S. J. Staal, 2010, Characterization of the spatial distribution of farming systems in the Kenyan Highlands, *Applied Geography*, 30, pp. 239-253.
- Weng, Q., 2002, Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite

remote sensing, GIS and stochastic modelling, *Journal of Environmental Management*, 64, pp. 273-284.

Wyman, M. S., and T. V. Stein, 2010, Modeling social and land-use/land-cover change data to assess drivers of smallholder deforestation in Belize, *Applied Geography*, 30, pp. 329-342.

Zhang, D., and M. Polyakov, 2010, The geographical distribution of plantation forests and land resources potentially available for pine plantations in the U.S. South, *Biomass and Bioenergy*, 34, pp. 1643-1654.

連美綺、吳治達、莊永忠、廖學誠—  
應用 Markov 和 Logit 模式分析桃園海岸防風林時空變遷之研究

## 台灣中部天然闊葉林枯落物養分循環之動態

呂淑瑋<sup>1</sup> 黃筱茜<sup>1</sup> 劉瓊靄<sup>2</sup>

**【摘要】**從 2009 年 3 月至 2012 年 2 月於台灣中部南投地區不同海拔常綠闊葉林，北東眼山 (2,098 m)、惠蓀林場 (1,066 m) 及蓮華池 (782 m) 進行枯落物及枯枝落葉層之動態調查。年總枯落物量分別北東眼山為  $5.81 \pm 0.77 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ，惠蓀林場為  $9.56 \pm 3.85 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ，蓮華池為  $9.78 \pm 1.19 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 。2009 及 2011 年 3 試驗地年枯落物總量皆隨海拔降而增加。北東眼山及蓮華池年枯落物總量皆與溫度具相關性。2009 年至 2011 年間在北東眼山 ( $10.46 \pm 4.60 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) 枯枝落葉層現存量相較於惠蓀林場 ( $12.81 \pm 7.14 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) 及蓮華池 ( $13.34 \pm 7.22 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) 有較少的聚積量。試驗期間分解常數分別為北東眼山  $0.557 \pm 0.067$ ，惠蓀林場  $0.764 \pm 0.322$ ，蓮華池  $0.735 \pm 0.032$ ，不同年之分解常數受當年之枯落物量與枯枝落葉層現存量影響，枯落物大量增加累積於地表，使枯枝落葉層現存量持續累積，將會持續影響未來的分解常數。

**【關鍵詞】**枯落物、枯落物層、分解常數、海拔、養分循環

### NUTRIENT CYCLING DYNAMICS OF LITTERFALL AT NATURAL HARDWOODS IN CENTRAL TAIWAN

Shu-Wei Lu<sup>1</sup> Siao-Cian Huang<sup>1</sup> Chiung-Pin Liu<sup>2</sup>

**【Abstract】**We investigated dynamic of litterfall and litter layer's from March 2009 to February 2012 in 3 different elevation natural hardwoods (Mt Peitungyen: 2,098 m, Hui-Sun experimental forest (HSEF): 1,066 m, Lienhauchi: 782m) of central Taiwan. The average litterfall masses at Mt Peitungyen, HSEF and Lienhauchi were  $5.81 \pm 0.77$ ,  $9.56 \pm 3.85$  and  $9.78 \pm 1.19 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ , respectively. Litterfall amount was decreased with increasing elevation at the first and third year. Litter layer standing crop at

<sup>1</sup> 國立中興大學森林系碩士。

Master, Department of Forestry, National Chung Hsing University.

<sup>2</sup> 國立中興大學森林系教授，通訊作者。台中市 402 國光路 250 號。電子郵件: cpliu@nchu.edu.tw。

Professor, Department of Forestry, National Chung Hsin University. No. 250 Kuo Kuang Rd., Taichung 402, Taiwan.

Peitungyen ( $10.46 \pm 4.60$  Mg ha<sup>-1</sup>) was less than at HSEF ( $12.81 \pm 7.14$  Mg ha<sup>-1</sup>) and Lienhauchi ( $13.34 \pm 7.22$  Mg ha<sup>-1</sup>) during the 3 years. Decomposition constant were  $0.557 \pm 0.067$ ,  $0.764 \pm 0.322$  and  $0.735 \pm 0.032$  at Mt Peitungyen, HSEF and Lienhauchi, respectively which were influenced by litterfall and litter layer standing crop masses. In the future, litterfall was accumulated continuously in the floor that would influence the decomposition constant.

**【Key words】** litterfall, litter layer, decomposition constant, elevation, nutrient cycling

## I、前言

森林生態系中，除了森林地上部生物量，土壤及枯落物層也占了高比例的碳儲存含量，土壤儲存碳量至少為大氣 3 倍，為地上部碳量之 2 倍 (Ortiz *et al.*, 2013)。影響土壤含碳量因素很多，如過往的土地利用型態、氣候、土壤性質及森林類型等，都會影響不同年齡林分於土壤碳含量的累積 (Sun *et al.*, 2004)。枯落物一般泛指生態系中所掉落的樹葉、小枝、花、果實及樹皮碎片等有機物，其中落葉量約佔全部枯落物 60-90%為最重要，是養分回歸主要路徑。木質殘體也算是枯落物的組成，包括倒木、枯立木等，其變化很大，通常隨樹齡而增加，老齡林常含有大量的倒木，成為森林地表重要的組成。

森林生態系養分內循環包含養分吸收、養分聚積及回輸作用。林地植群以生長進行養分吸收，為防止養分流失的重要機制，而林地的年吸收量會因林型、樹種、林齡及生育地因子呈現極大的差異，甚至會隨演替階段的不同而改變 (Vitousek and Matson, 1985)；枯落物經由分解作用將養分輸入至土壤，植群根系的吸收是防止生態系養分輸出的重要機制 (Vitousek and Matson, 1984)。養分聚積除了林型、樹種、林齡及生育地因子差異外，聚積速率也與年生長量有關，年生物量的增加於林分鬱閉時或鬱閉後數年達最大，林地內養分的聚積，主要位於地上部生物量、枯落物層、地下根系及土壤庫。本文主要針對臺灣中部不同海拔天然闊葉林的枯落物進行調查，比較在不同海拔條件下，天然闊葉林枯落物的季節性變化、枯落物養分回歸量、枯落物乾物量及枯落物養分含量等之差異，將有助於瞭解不同海拔天然闊葉林的養分循環機制。

## II、材料與方法

### (I) 試驗地概況

北東眼山天然闊葉林屬於中興大學高冷地園藝試驗場管轄，為惠蓀林場內東峰溪集水區東側稜線的最高點，位於東經 121°07'42"，北緯 24°04'24"，海拔高度約為 2,098 m。氣象資料使用研究室於試驗地內架設之雨量計資料，試驗期間氣候資料如表 1 所示。列屬於山地常綠闊葉林群系，優勢樹種依序為長尾尖葉槠 (*Castanopsis cuspidate* var. *carlesii*)、長葉木薑子 (*Litsea acuminata*)、豬腳楠 (*Machilus thunbergii*)、錐果櫟 (*Cyclobalanopsis longinix*)、假長葉楠 (*Machilus japonica*)、赤柯 (*Cyclobalanopsis morii*)、木荷 (*Schima superba*)、臺灣杜鵑 (*Rhododendron formosanum*)、薯豆 (*Elaeocarpus japonicus*) 及細枝柃木 (*Eurya loquaiiana*) (邱祈榮等，2009)。

惠蓀林場天然闊葉林位於關刀溪水源地，中興大學惠蓀實驗林場之第三林班，東經 121°02'5"，北緯 24°04'31"，海拔高度約為 1,066 m。試驗期間氣候資料亦如表 1 所示。列屬於下部山地常綠闊葉林群系，物種組成上，優勢樹種依序為豬腳楠、大葉楠 (*Machilus japonica* var. *kusanoi*)、黃杞 (*Engelhardia roxburghiana*)、錐果櫟、長尾尖葉槠、鵝掌柴 (*Schefflera octophylla*)、長葉木薑子、假長葉楠、樹杞 (*Ardisia sieboldii*) 及山龍眼 (*Helicia formosana*) (邱祈榮等，2009)。

蓮華池天然闊葉林樣區位於林業試驗所蓮華池分所第五號試驗集水區內，東經 120°53'34"，北緯 23°55'51"，海拔高度約為 782 m。試驗期間氣候資料亦如表 1 所示。列屬於下部山地—低地次生常綠闊葉林群系，優勢樹種依序為鵝掌柴、豬腳楠、大葉楠、黃杞、長尾尖葉槠、錐果櫟、銳葉木薑子 (*Litsea acutivena*)、長葉木薑子、九節木 (*Psychotria rubra*) 及狹葉櫟 (*Cyclobalanopsis stenophylloides*) (邱祈榮等，2009)。

### (II) 枯落物調查

枯落物量調查由 2009 年 3 月開始收集至 2012 年 5 月。以網孔為 1 mm 尼龍網做成直徑為 52 cm 之圓柱型網袋，深約 50 cm。以 3 根長約 120 cm 的細塑膠柱架起尼龍網並固定，使網底離地約 50 cm，避免觸及地面影響收集物分解並綁上標籤。每試驗地 9 個收集網，3 試驗地共 27 個收集網。每月將收集網內枯落物帶回

實驗室，以烘箱 65°C 烘 7 天，區分為葉、枝條、繁殖體（包括花、果實及種子）及其他（包括昆蟲、排泄物、蛹或其他不可辨別之碎屑）等 4 種枯落物組成成分後，進行秤重、磨粉（通過 2 mm 孔徑）及養分分析。

表 1. 台灣中部南投地區不同海拔天然闊葉林試驗地氣候資料

試驗地	緯度	經度	海拔 (m)	年 (y)	年均溫 (°C)	年雨量 (mm)
北東眼山	24°04'24"N	121°07'42"E	2,098	2009	12.3	2802.5
				2010	11.9	2100.5
				2011	12.9	2438.5
惠蓀林場	24°04'31"N	121°02'05"E	1,066	2009	19.4	3041.1
				2010	19.9	2357.0
				2011	19.9	1570.0
蓮華池	23°55'51"N	120°53'34"E	782	2009	20.3	2132.5
				2010	19.8	1581.5
				2011	20.3	1981.0

自 2009 年 3 月至 2012 年 3 月期間，每 3 個月收集一次森林地表枯枝落葉層，各地點均收集 6 個面積 25 cm × 25 cm 地表枯落物。收集之枯落物層以 65°C 烘至乾種穩定，在進行秤重、磨粉並通過 2 mm 孔徑之篩網，並且進行養分分析。

### (III) 枯落物養分分析

#### a. 碳及氮之測定

將磨粉（通過 2 mm 孔徑）後之枯落物及枯落物層，秤取約 4.8-5.2 mg 乾燥樣本，至於 4 × 4 × 11 mm 的專用錫盒 (tin boat) 內，摺疊包裝後以元素分析儀 (CHNOS Elemental analyzer, vario EL, Germany) 分析其含量。

#### b. 磷、鉀、鈣及鎂之測定

秤取約 0.1 g 乾燥植體樣本，置於 100 ml 凱氏燒瓶，接著加入 1 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (96%)、5 ml HNO<sub>3</sub> (65%) 及 1 ml HClO<sub>4</sub> (60%) 緩慢加熱至 375 °C 進行濕性灰化，約 2 小時至溶液澄清，再以濾紙過濾後定積 50 ml。取出之濾液以感應耦合電漿-

原子發射光譜儀 (Inductively Coupled Plasma-atomic emission Spectrometry, ICP-AES, Leeman Labs. U. S. A) 測定。

### III、結果與討論

#### (I) 枯落物量月變化

圖 1 為台灣中部南投地區不同海拔天然闊葉林，2010 年 3 月至 2012 年 5 月枯落物月變化，試驗期間北東眼山於 2009 年 8 月 ( $1.66 \pm 0.53 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ month}^{-1}$ ) 及 2010 年 9 月 ( $1.65 \pm 1.08 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ month}^{-1}$ ) 枯落物量顯著高於其他月份，惠蓀林場則以 2010 年 9 月 ( $6.57 \pm 2.19 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ month}^{-1}$ ) 枯落物量最多，蓮華池以 2009 年 8 月 ( $2.27 \pm 0.94 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ month}^{-1}$ ) 枯落物量相較於其他月份高。葉部枯落物主要為影響枯落物量的因素，但造成上述各地點枯落物量顯著高於其他月份，可能與枝條枯落物相關，北東眼山 2009 年 8 月及 2010 年 9 月枝條枯落物各別為  $0.65 \pm 0.34$ 、 $0.72 \pm 0.34 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ month}^{-1}$ ，惠蓀林場 2010 年 9 月枝條更高達  $2.66 \pm 1.00 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ month}^{-1}$ ，蓮華池 2009 年 8 月則是  $1.23 \pm 0.65 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ month}^{-1}$ 。各地點季節分布以春季、夏季及秋季枯落物量所占比例較高。

不同海拔之枯落物研究都指出落葉盛期出現在乾季，或雨季來臨前的乾季末期，這顯示在乾濕季分明的地區，水分逆境是葉子生幅的主要限制因子 (翁其羽，2009)。同一樹種因生育地氣候不同，枯落物量也隨之而變，乾溼季的變化也可能是枯落物呈季節性變化的主因 (林國銓，1997)。枯落物各組成中以落葉占最大比例，其季節性的變動主要亦受到該林分組成樹種的落葉季節所影響 (朱珮綺，2005)，在台灣森林枯落物的高峰，若不論颱風等外力之干擾，主要在春季，此時為植物的萌芽換葉期，以至於有大量落葉之發生 (陳佳慧，2000；洪淑芬，2003；鹿兒陽等，2003)。森林枯落物之季節變化，與落葉之季節變化一致，可藉當地主要樹種之物候現象推論枯落物量之高峰。3 地點優勢樹種木荷、香桂、紅楠、台灣山龍眼、鴨腳木、厚殼桂、紅皮及長葉木薑子皆為常綠樹種，普遍於春季萌芽進行換葉，以至於 3 地點皆於春季具有大量葉部枯落物。研究期間 2009 年 8 月受到中度颱風莫拉克的影響，造成葉部及枝條枯落物量倍增，使北東眼山及蓮華池枯落物總量分別占年枯落物總量 24.3%及 23.9%，而同年中度颱風凡那比，造成 2010 年 9 月北東眼山及惠蓀林場枯落物量分別占年枯落物總量 (26.07 及 53.77%)。

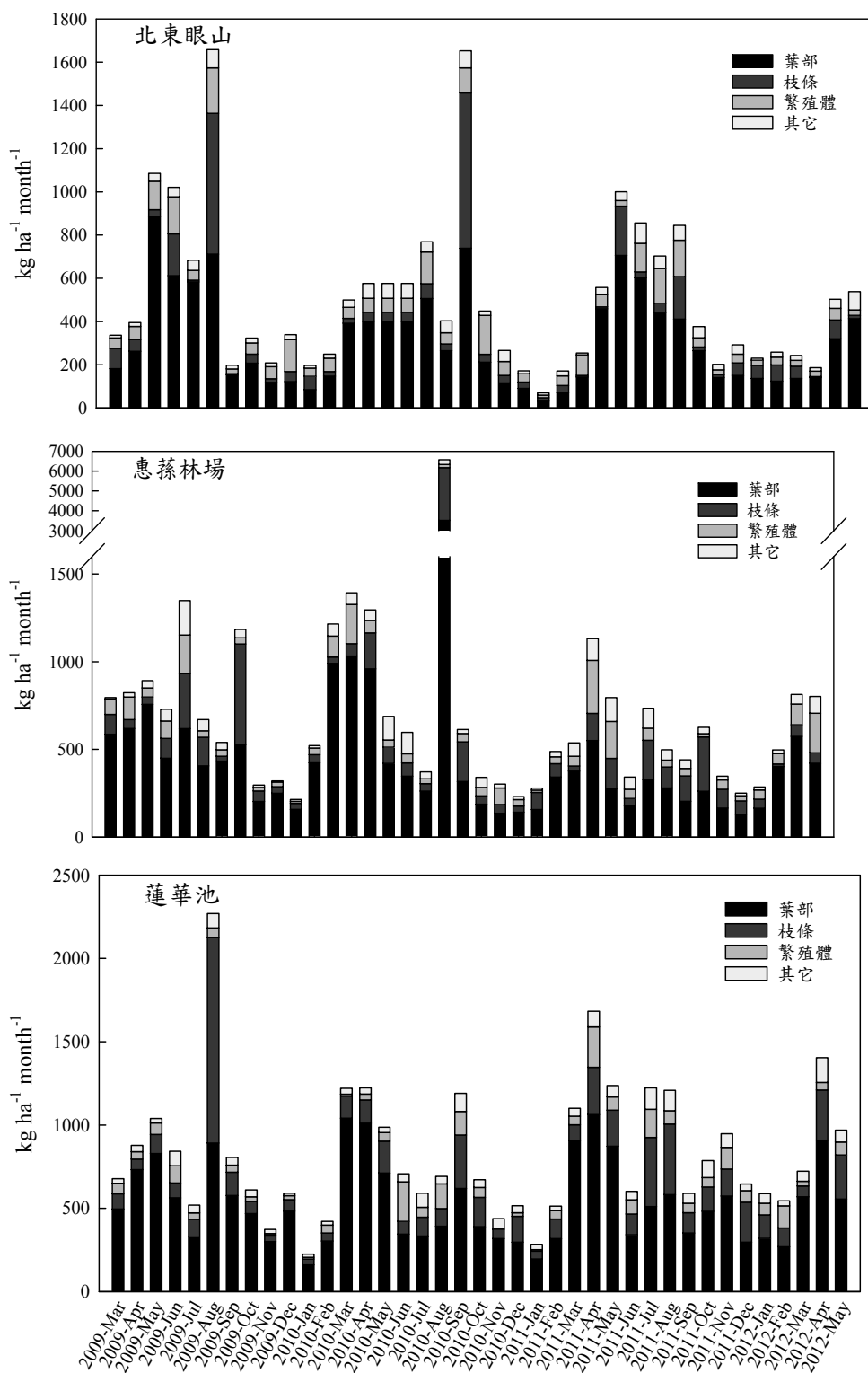


圖 1. 台灣中部南投地區天然闊葉林 (北東眼山、惠蓀林場和蓮華池) 於 2009 年 3 月至 2012 年 5 月不同組成枯落物量。

## (II) 不同年份枯落物組成

北東眼山總枯落物量 3 年間逐漸減少 (6.58、6.19、5.87 Mg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>)(表 2)，葉部枯落物介於 3.64-4.01 Mg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>，枝條及繁殖體亦有逐漸減少之現象。惠蓀林場於 2010 年枯落物量最多 (13.90 Mg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>)，其中葉部枯落物 (8.46 Mg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>)、枝條 (3.64 Mg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>) 及其他 (0.86 Mg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>) 成分之組成亦為最多，但繁殖體則以 2011 年為最多 (0.97 Mg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>)，而葉部枯落物於 2011 年減少至 3.30 Mg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>，繁殖體及其他等組成成分所占比例增加 (14.8、11.5%)。蓮華池枯落物量介於 8.93-11.18 Mg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>，葉部枯落物介於 5.87-6.58 Mg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>，枝條介於 1.63-2.49 Mg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>，繁殖體及其他組成成分有逐漸增加之變化 (0.53、0.83、1.23 Mg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> 及 0.48、0.60、0.89 Mg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>)，葉部枯落物所佔比例具逐年下降的變化，而繁殖體及其它組成成分卻有逐漸增加的趨勢。參考以往惠蓀林場天然闊葉林之研究，1995-1996 年枯落物量為 3.63 t ha<sup>-1</sup>，葉部枯落物就占 92.5% (張華洲，1997)；1998-1999 年枯落物量為 7.10 t ha<sup>-1</sup>，葉部枯落物、枝條、繁殖體及其他各占 55.4%、24.3、14.5 及 5.8% (陳佳慧，2000)，與本研究 2011 年所得結果相似；2001 年及 2002 年枯落物量為 5.51 及 5.47 t ha<sup>-1</sup>，葉部枯落物各占 60.4 及 65.5 % (周育如，2003)，與 2009 年結果相似。

2009 年及 2011 年 3 試驗地枯落物量皆隨海拔下降而增加，而 2010 年惠蓀林場因受颱風干擾，枯落物總量高達 13.90 Mg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>，使其結果無隨海拔上升而減少之變化。3 試驗地葉部組成成分只於 2009 年隨海拔下降而增加，2010 年惠蓀林場枯落物量大量增加，至 2011 年時葉部成分降至 3.30 Mg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>，使 2010、2011 年皆無隨海拔改變而改變；而 2009、2010 年 3 試驗地的枯落物葉組成，於年枯落物量所占比例則有隨海拔下降而增加之情形。枝條組成於 2009、2011 年皆隨海拔下降而增加，2010 年惠蓀林場枝條組成增加至 3.64 Mg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>，而 2011 年降至與 2009 年相近。2009 年 3 試驗地的枝條組成，於年枯落物量所占比例則有隨海拔下降而增加之現象。繁殖體組成於 2009 年隨海拔下降而減少，但 2011 年則隨海拔下降而增加；而 2009 年 3 試驗地的繁殖體組成，於年枯落物量所占比例則有隨海拔下降而減少之情形，其它組成只於 2011 年隨海拔下降而增加。

表 2. 台灣中部南投地區天然闊葉林不同年份枯落物組成量

研究區域	植體	枯落物量					
		(2009.3-2010.2)		(2010.3-2011.2)		(2011.3-2012.2)	
		(Mg ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	%	(Mg ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	%	(Mg ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	%
北東眼山							
	葉部	4.01±0.63	60.8	3.64±0.37	58.7	3.75±0.21	63.9
	枝條	1.19±0.88	18.2	1.12±0.22	18.0	0.80±0.07	13.6
	繁殖體	1.03±0.55	15.7	0.90±0.06	14.6	0.84±0.06	14.4
	其他	0.34±0.01	5.3	0.51±0.06	8.7	0.48±0.03	8.2
	總量	6.58±1.50	100	6.19±0.60	100	5.87±0.30	100
惠蓀林場							
	葉部	5.37±1.00	65.2	8.46±0.95	60.9	3.30±0.12	50.4
	枝條	1.54±0.63	18.8	3.64±0.75	26.2	1.52±0.08	23.3
	繁殖體	0.79±0.46	9.6	0.94±0.06	6.8	0.97±0.09	14.8
	其他	0.53±0.29	6.4	0.86±0.06	6.2	0.75±0.04	11.5
	總量	8.24±1.13	100	13.90±1.75	100	6.55±0.25	100
蓮華池							
	葉部	6.07±2.04	66.4	5.87±0.27	65.7	6.58±0.27	58.8
	枝條	2.06±1.11	22.5	1.63±0.07	18.3	2.49±0.11	22.3
	繁殖體	0.53±0.34	5.8	0.83±0.07	9.3	1.23±0.06	11.0
	其他	0.48±0.26	5.2	0.60±0.02	6.7	0.89±0.03	7.9
	總量	9.18±3.44	100	8.93±0.31	100	11.18±0.36	100

註:1.年平均値 ± 標準偏差 (n=9)

### (III) 枯落物組成與氣象因子之相關性

枯落物量組成與氣象因子間之相關分析結果 (表 3), 北東眼山枯落物總量與雨量及溫度具有極顯著之相關性 ( $r=0.57$ ,  $p<0.001$ ;  $r=0.62$ ,  $p<0.001$ ), 惠蓀林場枯落物總量與溫度具較高相關性 ( $r=0.32$ ,  $p<0.01$ ), 蓮華池枯落物總量與雨量具有極顯著相關性 ( $r=0.54$ ,  $p<0.001$ ), 與溫度具較高的顯著相關性 ( $r=0.42$ ,  $p<0.01$ )。葉部成分於北東眼山與溫度具極顯著之相關性 ( $r=0.68$ ,  $p<0.001$ ), 與雨量具相關性 ( $r=0.34$ ,  $p<0.05$ ), 在其它試驗地則沒有顯著相關。枝條成分於北東眼山及蓮華池皆與雨量具有極顯著相關性 ( $r=0.7281$  及  $r=0.6824$ ,  $p<0.001$ ), 蓮華池枝條成分也與溫度具相關性 ( $r=0.36$ ,  $p<0.05$ )。繁殖體成分於 3 試驗地皆與溫度具相關性 ( $r=0.38$ ,  $r=0.3667$  及  $r=0.37$ ,  $p<0.05$ ), 蓮華池繁殖體成分也與雨量具相關性 ( $r=0.33$ ,  $p<0.05$ )。其他成分於北東眼山及惠蓀林場皆與溫度具有極顯著相關性

( $r=0.70$  及  $r=0.67$ ,  $p<0.001$ )，而蓮華池與雨量及溫度具較高相關性 ( $r=0.41$  及  $r=0.47$ ,  $p<0.01$ )。

表 3. 台灣中部南投地區天然闊葉林 (北東眼山、惠蓀林場和蓮華池) 於 2009 年 3 月至 2012 年 5 月不同組成枯落物量和氣象因子相關性分析

	葉部	枝條	繁殖體	其它	總量
<u>北東眼山</u>					
雨量 (mm)	0.3448*	0.7281***	0.3138	0.3915*	0.5679***
溫度 (°C)	0.6837***	0.2839	0.3812*	0.7044***	0.6184***
<u>惠蓀林場</u>					
雨量 (mm)	-0.0059	-0.0813	0.1394	0.1394	-0.0173
溫度 (°C)	0.2868	0.2352	0.3667*	0.6685***	0.3162*
<u>蓮華池</u>					
雨量 (mm)	0.1955	0.6824***	0.3254*	0.4120**	0.5346***
溫度 (°C)	0.2401	0.3625*	0.3700*	0.4688**	0.4160**

註：\*表示達 0.05 顯著水準；\*\*表示達 0.01 顯著水準；\*\*\*表示達 0.001 顯著水準 (使用 Pearson 雙尾檢定)

#### (IV) 枯落物碳及其它養分輸入量

北東眼山、惠蓀林場和蓮華池天然闊葉林 2009 年、2010 年、2011 年枯落物各組成之年養分回歸量 (表 4、表 5、表 6)，3 試驗地皆以碳養分輸入為最高，養分輸入為碳>氮>鈣>鉀>鎂>磷。不同試驗地養分輸入以蓮華池>惠蓀林場>北東眼山，隨海拔增加而降低。3 試驗地不同部位養分輸入量皆以葉部最多，其次為枝條。

2009、2011 年碳養分回歸量具隨海拔升高而減少之現象，最高為蓮華池 ( $4.59$ 、 $4.72 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ )，其次是惠蓀林場 ( $4.06$ 、 $3.04 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ )，最低為北東眼山 ( $3.31$ 、 $2.59 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ )，而 2010 年碳養分輸入量以惠蓀林場 ( $5.71 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ ) 最高，其次是蓮華池 ( $4.58 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ )，最少為北東眼山 ( $3.06 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ )。自 2009 年至 2011 年北東眼山枯落物量逐年減少，也連帶使其碳、氮、鈣及鎂輸入量皆有下降之情形，但 2010 年 9 月惠蓀林場葉部及枝條枯落物受颱風影響大量輸入，使得當年碳養分回歸量相較於其他年度高。氮養分回歸也是以 2010 年惠蓀林場最高，此結果應該也是受颱風影響。整體而言，各部位的養分年輸入量皆具有隨海拔升高而減少的現象。

表 4. 台灣中部南投地區天然闊葉林 (北東眼山、惠蓀林場和蓮華池) 2009 年枯落物量各組成成分之年養分回歸量 ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ )

2009	C		N		P		K		Ca		Mg	
	$\text{kg ha}^{-1}$	%	$\text{kg ha}^{-1}$	%	$\text{kg ha}^{-1}$	%	$\text{kg ha}^{-1}$	%	$\text{kg ha}^{-1}$	%	$\text{kg ha}^{-1}$	%
北東眼山												
葉部	2038.5	61.6	58.2	59.3	1.9	48.3	15.0	63.6	21.8	59.4	7.2	61.5
枝條	579.3	17.5	14.0	14.2	0.5	12.5	2.0	8.4	9.6	26.2	2.0	17.0
繁殖體	518.7	15.7	17.6	17.9	1.1	27.4	5.2	22.1	3.1	8.6	1.8	15.7
其它	171.8	5.2	8.5	8.6	0.5	11.8	1.4	5.9	2.1	5.7	0.7	5.8
總量	3308.3	100	98.3	100	4.0	100	23.6	100	36.6	100	11.7	100
惠蓀林場												
葉部	2670.8	65.8	73.8	64.6	2.0	48.4	16.8	64.1	27.2	65.8	8.6	66.6
枝條	740.8	18.2	16.1	14.1	0.5	11.2	2.5	9.6	8.8	21.2	2.3	12.7
繁殖體	386.1	9.5	12.2	10.6	0.9	21.7	4.9	18.6	2.4	5.8	1.2	9.1
其它	261.4	6.4	12.5	10.9	0.8	18.6	2.0	7.7	3.0	7.2	0.9	6.6
總量	4059.1	100	114.6	100	4.1	100	26.2	100	41.3	100	13.0	100
蓮華池												
葉部	3096.4	67.5	102.9	65.9	3.0	67.9	28.4	71.8	27.2	63.3	9.4	67.2
枝條	993.1	21.7	31.8	20.4	0.4	9.0	5.3	13.5	11.7	27.2	3.0	21.5
繁殖體	264.0	5.8	10.6	6.8	0.5	12.1	3.7	9.3	1.6	3.8	0.8	5.8
其它	231.5	5.0	10.8	6.9	0.5	11.0	2.1	5.4	2.5	5.7	0.8	5.5
總量	4585.0	100	156.1	100	4.4	100	39.5	100	43.0	100	14.0	100

表 5. 台灣中部南投地區天然闊葉林 (北東眼山、惠蓀林場和蓮華池) 2010 年枯落物量各組成成分之年養分回歸量 ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ )

2010	C		N		P		K		Ca		Mg	
	$\text{kg ha}^{-1}$	%	$\text{kg ha}^{-1}$	%	$\text{kg ha}^{-1}$	%	$\text{kg ha}^{-1}$	%	$\text{kg ha}^{-1}$	%	$\text{kg ha}^{-1}$	%
北東眼山												
葉部	1838.6	60.1	54.2	56.3	2.3	55.7	6.7	64.6	18.3	53.2	6.3	59.9
枝條	575.4	18.8	17.4	18.1	0.5	10.9	0.9	8.6	10.2	29.8	2.3	22.0
繁殖體	431.2	14.1	14.5	15.1	0.8	19.9	2.1	20.5	2.8	8.3	1.2	11.4
其它	212.6	7.0	10.1	10.5	0.6	13.5	0.7	6.3	3.0	8.7	0.7	6.7
總量	3057.7	100	96.3	100	4.2	100	10.4	100	34.3	100	10.5	100
惠蓀林場												
葉部	3200.6	56.0	113.5	57.9	5.4	59.8	11.6	57.3	34.1	52.5	9.6	53.1
枝條	1665.6	29.1	44.2	22.6	0.9	10.3	4.0	19.4	23.4	35.9	5.8	32.2
繁殖體	435.3	7.6	17.9	9.1	1.1	12.3	3.4	16.8	2.9	4.5	1.4	7.7
其它	413.4	7.2	20.3	10.4	1.6	17.6	1.3	6.5	4.7	7.1	1.3	7.0
總量	5715.0	100	195.9	100	9.1	100	20.4	100	65.1	100	18.0	100
蓮華池												
葉部	2966.3	64.8	106.2	60.8	3.4	53.6	15.4	48.9	31.4	62.0	8.8	62.0
枝條	774.2	16.9	29.0	16.6	0.9	13.4	3.8	12.1	11.9	23.6	2.7	18.8
繁殖體	567.1	12.4	26.1	14.9	1.4	21.3	9.7	30.9	2.8	7.5	1.9	13.4
其它	269.1	5.9	13.4	7.7	0.7	11.7	2.5	8.1	3.5	6.9	0.8	5.8
總量	4576.7	100	174.7	100	6.4	100	31.4	100	50.6	100	14.3	100

表 6. 台灣中部南投地區天然闊葉林 (北東眼山、惠蓀林場和蓮華池) 2011 年枯落物量各組成成分之年養分回歸量 ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ )

2011	C		N		P		K		Ca		Mg	
	$\text{kg ha}^{-1}$	%	$\text{kg ha}^{-1}$	%	$\text{kg ha}^{-1}$	%	$\text{kg ha}^{-1}$	%	$\text{kg ha}^{-1}$	%	$\text{kg ha}^{-1}$	%
北東眼山												
葉部	1527.7	59.1	46.1	55.0	1.9	48.5	9.9	62.4	19.6	61.2	5.2	56.9
枝條	306.5	11.9	9.2	10.9	0.4	9.4	1.3	8.1	5.9	18.5	1.3	13.7
繁殖體	501.2	19.4	17.6	21.0	1.0	25.9	3.3	20.7	3.6	11.4	1.9	20.6
其它	250.3	9.7	11.0	13.1	0.6	16.2	1.4	8.8	2.9	8.9	0.8	8.8
總量	2585.7	100	83.9	100	4.0	100	15.9	100	32.0	100	9.1	100
惠蓀林場												
葉部	1534.4	50.5	56.4	49.6	1.7	41.1	8.9	54.6	20.8	52.7	4.3	45.8
枝條	735.2	24.2	23.2	20.4	0.8	20.6	2.7	16.6	12.1	30.6	2.6	27.7
繁殖體	434.9	14.3	17.4	15.3	0.8	20.1	3.2	19.5	2.8	7.0	1.4	14.4
其它	333.9	11.0	16.8	14.8	0.8	18.3	1.5	9.4	3.8	9.6	1.1	12.1
總量	3038.4	100	113.8	100	4.1	100	16.3	100	39.4	100	9.4	100
蓮華池												
葉部	2413.1	51.1	92.6	50.2	2.9	46.6	16.2	46.9	26.2	43.6	7.7	50.8
枝條	1014.0	21.5	33.9	18.4	1.0	15.9	5.1	14.8	18.8	31.2	3.0	19.5
繁殖體	509.2	10.8	24.6	13.3	1.1	18.0	7.3	21.2	3.6	6.0	1.6	10.5
其它	787.3	16.7	33.3	18.1	1.2	19.6	5.9	17.1	11.6	19.2	2.9	19.1
總量	4723.6	100	184.5	100	6.2	100	34.5	100	60.2	100	15.2	100

#### (V) 枯落物層季節變化

台灣中部南投地區天然闊葉林 2010 年 3 月至 2012 年 3 月北東眼山、惠蓀林場及蓮華池枯落物層季節變化 (圖 2)，試驗期間北東眼山枯落物層最高於 2009 年 6 月 ( $2.15 \pm 1.17 \text{ Mg ha}^{-1}$ )，最低於 2010 年 9 月 ( $0.74 \pm 0.12 \text{ Mg ha}^{-1}$ )；惠蓀林場枯落物層於 2010 年 9 月至 2011 年 6 月為試驗期間達現存量最高 ( $1.49\text{-}2.19 \text{ Mg ha}^{-1}$ )，現存量最低於 2010 年 6 月 ( $0.53 \pm 0.16 \text{ Mg ha}^{-1}$ )；蓮華池枯落物層現存量最高出現於 2009 年 3 月 ( $1.58 \pm 0.08 \text{ Mg ha}^{-1}$ )，最低於 2010 年 6 月 ( $0.75 \pm 0.25 \text{ Mg ha}^{-1}$ )。3 個不同試驗地枯落物層，只有惠蓀林場於 2009 年 12 月及 2010 年 6 月相較其它地點低，而 2010 年 9 月至 2011 年 6 月則為最高，但其它時間現存量則沒有顯著差異。

林國銓 (1997) 於福山地區的暖溫帶闊葉林測定枝葉層的動態變化，結果 1992 年與 1993 年現存量相似，但 1994 年卻高出 1.6 倍。一般而言，當年枯落物的大量增加，會影響枝葉層量達 3 年，以後會恢復原有之正常量 (Sampaio *et al.*, 1993)。惠蓀林場枯枝落葉層現存量自 2010 年 9 月起由於大量枯落物增加，其森林地表受影響至 2011 年 6 月後才回復原有之正常量；但北東眼山森林地表枯落物現存量則沒有因 2010 年 9 月枯落物大量增加而顯著改變。

## (VI) 枯落物層碳及其它養分

在試驗期間枯落物層養分含量，於 3 試驗地都是以碳最高，其次為氮、最低為磷 (表 7)；碳、磷及鎂含量皆以蓮華池最低，而鉀含量則是 3 試驗地最高，氮及鈣含量在不同地點間則無顯著差異；碳氮比在 2009 年和 2010 年，北東眼山及惠蓀林場顯著高於蓮華池，但在 2011 年確轉變蓮華池 (24.51) > 惠蓀林場 (23.67) > 北東眼山 (21.88)。

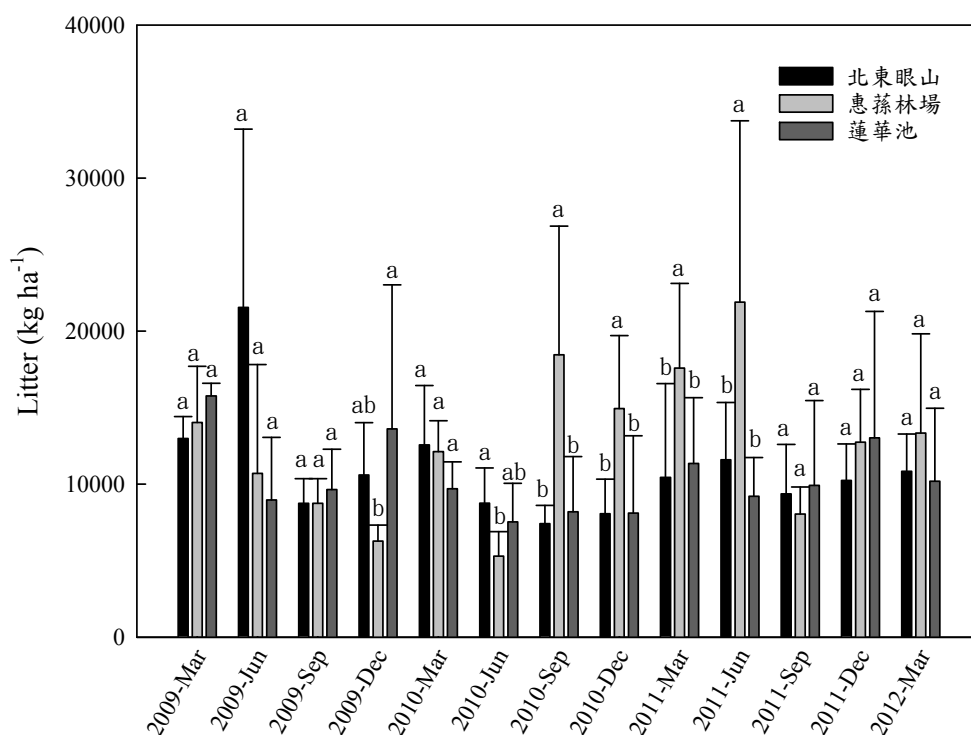


圖 2. 台灣中部南投地區天然闊葉林 2009 年 3 月至 2012 年 3 月北東眼山、惠蓀林場及蓮華池枯落物層 (n=6) 季節變化，橫線為標準偏差，不同字母 (a, b) 為 t Test's (LSD) 檢定結果地點間呈顯著差異 (p<0.05)。

表 7 枯落物層之養分聚積量顯示，2009、2010 年枯落物層之碳含量北東眼山 (49.09、42.9%)、惠蓀林場 (46.98、42.72%) 及蓮華池 (40.25、28.79%) 有隨海拔降低而含量減少之趨勢，枯落物層碳含量應是受到海拔之影響，隨海拔的上升，氣溫下降，分解作用亦降低。但本試驗地氮含量在 3 年中並沒有隨溫度遞減而含量隨之升高現象，這可能和氮來源的多寡有關。磷含量在 2009、2010 年度有隨溫度升高而濃度減少的變化。

表 7. 台灣中部南投地區天然闊葉林 (北東眼山、惠蓀林場和蓮華池) 於 2009 年至 2011 年枯落物層之養分含量 (%) 與聚積量 ( $\text{kg ha}^{-1}$ )

	北東眼山		惠蓀林場		蓮華池	
	含量 (%)	聚積量 ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	含量 (%)	聚積量 ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	含量 (%)	聚積量 ( $\text{kg ha}^{-1}$ )
2009						
C	49.09 <sup>x</sup>	6662.33 <sup>a</sup>	46.98 <sup>x</sup>	4924.74 <sup>a</sup>	40.25 <sup>y</sup>	4623.12 <sup>a</sup>
N	1.627 <sup>x</sup>	216.73 <sup>a</sup>	1.534 <sup>x</sup>	158.97 <sup>a</sup>	1.593 <sup>x</sup>	189.32 <sup>a</sup>
P	0.064 <sup>x</sup>	8.62 <sup>a</sup>	0.050 <sup>y</sup>	4.85 <sup>b</sup>	0.047 <sup>y</sup>	6.11 <sup>ab</sup>
K	0.193 <sup>y</sup>	25.60 <sup>b</sup>	0.158 <sup>y</sup>	18.37 <sup>b</sup>	0.565 <sup>x</sup>	75.15 <sup>a</sup>
Ca	0.676 <sup>x</sup>	91.23 <sup>a</sup>	0.761 <sup>x</sup>	85.28 <sup>a</sup>	0.594 <sup>x</sup>	71.22 <sup>a</sup>
Mg	0.139 <sup>x</sup>	18.23 <sup>a</sup>	0.116 <sup>xy</sup>	12.08 <sup>ab</sup>	0.094 <sup>y</sup>	10.37 <sup>b</sup>
C/N	30.90 <sup>A</sup>		31.64 <sup>A</sup>		25.59 <sup>B</sup>	
現存量	13.46 ± 7.18 <sup>X</sup>		10.56 ± 4.38 <sup>X</sup>		12.00 ± 4.76 <sup>X</sup>	
2010						
C	42.93 <sup>x</sup>	3813.57 <sup>ab</sup>	42.72 <sup>x</sup>	7685.87 <sup>a</sup>	28.79 <sup>x</sup>	2953.64 <sup>b</sup>
N	1.59 <sup>x</sup>	140.91 <sup>b</sup>	1.70 <sup>x</sup>	305.25 <sup>a</sup>	1.28 <sup>x</sup>	128.06 <sup>b</sup>
P	0.06 <sup>x</sup>	4.86 <sup>b</sup>	0.05 <sup>x</sup>	8.49 <sup>a</sup>	0.03 <sup>x</sup>	2.66 <sup>c</sup>
K	0.19 <sup>x</sup>	18.30 <sup>a</sup>	0.17 <sup>x</sup>	31.55 <sup>a</sup>	0.48 <sup>x</sup>	44.66 <sup>a</sup>
Ca	0.79 <sup>x</sup>	72.31 <sup>a</sup>	0.61 <sup>x</sup>	108.20 <sup>a</sup>	0.36 <sup>x</sup>	36.30 <sup>a</sup>
Mg	0.11 <sup>x</sup>	9.91 <sup>b</sup>	0.12 <sup>x</sup>	21.37 <sup>a</sup>	0.06 <sup>x</sup>	5.89 <sup>b</sup>
C/N	26.94 <sup>A</sup>		25.07 <sup>A</sup>		22.42 <sup>A</sup>	
現存量	8.67 ± 1.30 <sup>X</sup>		14.07 ± 6.04 <sup>X</sup>		8.80 ± 1.72 <sup>X</sup>	
2011						
C	27.97 <sup>y</sup>	3114.83 <sup>b</sup>	42.32 <sup>x</sup>	5681.27 <sup>a</sup>	39.53 <sup>x</sup>	3935.86 <sup>ab</sup>
N	1.28 <sup>y</sup>	145.17 <sup>b</sup>	1.79 <sup>x</sup>	238.70 <sup>a</sup>	1.61 <sup>xy</sup>	160.24 <sup>ab</sup>
P	0.06 <sup>x</sup>	6.87 <sup>a</sup>	0.07 <sup>x</sup>	8.68 <sup>a</sup>	0.05 <sup>x</sup>	5.05 <sup>a</sup>
K	0.78 <sup>x</sup>	87.73 <sup>a</sup>	0.21 <sup>y</sup>	33.37 <sup>b</sup>	0.33 <sup>y</sup>	32.25 <sup>b</sup>
Ca	0.39 <sup>y</sup>	43.12 <sup>b</sup>	0.69 <sup>x</sup>	88.50 <sup>a</sup>	0.62 <sup>xy</sup>	61.24 <sup>ab</sup>
Mg	0.08 <sup>x</sup>	9.34 <sup>a</sup>	0.09 <sup>x</sup>	11.40 <sup>a</sup>	0.07 <sup>x</sup>	7.58 <sup>a</sup>
C/N	21.88 <sup>B</sup>		23.67 <sup>AB</sup>		24.51 <sup>A</sup>	
現存量	10.51 ± 0.94 <sup>X</sup>		14.00 ± 5.77 <sup>X</sup>		10.58 ± 1.68 <sup>X</sup>	

註：1. 橫列平均數後之字母若不同表 3 地點 LSD test 檢定結果含量具顯著差異 ( $p < 0.05$ )。

2. 現存量單位為  $\text{Mg ha}^{-1}$ 。

惠蓀林場 2010、2011 年地被枯落物層碳聚積量皆較 2009 年之聚積量高，推測是因 2010 年 9 月颱風降落大量枯落物。但北東眼山及蓮華池 2010 和 2011 年相較卻比 2009 年之碳聚積量低，推測與碳含量的變化有關。本研究的碳含量變異大 (27.97-42.9%)，其中以 2009 年研究之碳含量較高 (40.25-49.09%)，造成碳累積量有逐年減低的現象。枯落物碳濃度會受到海拔之影響，隨海拔的上升而氣溫下降，在高海拔寒冷之地區其分解速率越低 (Kitayama and Aiba, 2002)。顏江河和向韻如 (2007) 研究指出枯落物層的平均碳濃度 (49.4、49.6 及 50.1 %) 有隨海拔越高而升高之趨勢。張朝婷 (2005) 於台灣地區不同海拔採取森林地表枝葉層進行養分分析，各地年均溫自 7.6 - 22.4°C，枝葉層氮濃度變化於 11.0 - 22.4°C 之地點皆隨溫度下降而增加，在 7.6 - 11.0°C 之地點則隨著溫度下降而減少；磷濃度於 16.6 - 22.4 °C 之地點會隨著溫度的下降而增加，但在 7.6 - 16.6°C 卻沒有一定的規則。

## (VII) 分解常數

北東眼山 2009-2011 年枯落物層現存量介於 9.20-13.46 Mg ha<sup>-1</sup>，分解常數 0.49-0.67 (表 8)；惠蓀林場 2010 年枯落物量 13.90 Mg ha<sup>-1</sup>yr<sup>-1</sup> 為試驗期間最高，與同年枯落物層現存量 (12.70 Mg ha<sup>-1</sup>) 相近，所以分解常數高達 1.09，而 2011 年枯落物量只有 6.55 Mg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>，森林地表枯落物層現存量卻高達 15.07 Mg ha<sup>-1</sup>，造成分解常數只有 0.43；蓮華池 2010 年及 2011 年分解常數相皆較 2009 年高。

表 8. 台灣中部南投地區天然闊葉林不同年份分解常數 (K) 比較

研究區域	枯落物量 (Mg ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	枯落物層現存量 (Mg ha <sup>-1</sup> )	分解常數 (K)	分解時間 (年)
北東眼山				
2009	6.58±1.50	13.46	0.49	2.04
2010	6.19±0.60	9.20	0.67	1.48
2011	5.87±0.30	10.41	0.56	1.77
惠蓀林場				
2009	8.24±1.13	10.56	0.78	1.45
2010	13.90±1.75	12.70	1.09	0.91
2011	6.55±0.25	15.07	0.43	2.30
蓮華池				
2009	9.17±3.44	12.00	0.76	1.15
2010	8.93±0.31	8.39	1.06	0.94
2011	11.18±0.36	10.88	1.03	0.97

一般而言，熱帶地區的枯落物分解率遠高於溫帶地區 (Pritchett and Fisher, 1987)，熱帶低地雨林的分解常數多在 1.0 以上 (Perry, 1994)。台灣腦寮溪集水區天然闊葉林分解常數為 0.72 (洪淑芬, 2003)，福山地區天然闊葉林 (1992、1993 及 1994 年) 分解常數為 0.95、0.98 及 1.32 (林國銓, 1997)，清水溝營林區人工木荷林分解常數為 1.27 (鹿兒陽等, 2003)。枯落物量與枯落物層現存量之關係會直接影響分解常數，枯落物大量增加累積於地表，使枯落物層現存量持續累積，結果可能不會直接呈現於同年之分解常數，反而會接續影響次年的分解常數。

## V、結論

台灣中部南投地區天然闊葉林北東眼山、惠蓀林場及蓮華池枯落物總量皆具季節性變化，葉部枯落物為影響枯落物總量之因素，但造成各地點單一月份枯落物總量顯著高於其他月份，更可能與枝條枯落物相關。3 試驗地枯落物總量皆隨海拔下降而增加，顯示 3 試驗地枯落物總量皆與溫度具相關性，但枯落物層在不同試驗地間並未隨海拔呈顯著差異。枯落物大量增加累積於地表，使枯落物層現存量持續累積，將會持續影響未來的分解常數。不同試驗地養分輸入以蓮華池>惠蓀林場>北東眼山，隨海拔增加而降低。3 試驗地不同部位養分輸入量皆以葉部最多，其次為枝條。

## VI、參考文獻

- 朱珮綺 (2005) 台大實驗林神木溪保護林兩相鄰林分枯落物動碳及其養分之研究。國立台灣大學森林環境暨資源學系碩士論文。
- 李芳婷 (2002) 台中港區木麻黃防風林固氮量與養分動態之研究。國立中興大學森林學研究所碩士論文。
- 林國銓 (1997) 福山闊葉林枯落物及枝葉層之動態變化。台灣林業科學 12: 135-144。
- 林國銓 (2002) 枯落物的分解—氣候、枯落物化學組成、土壤生物的交互作用。林業研究專訊 9(2): 3-6。
- 易希道 (1996) 最新植物生理學。環球書社。
- 周育如 (2003) 惠蓀林場枯落物養分回歸量與分解速率之季節變動。國立中興大學森林學研究所碩士論文。

- 邱祈榮、陳子英、謝長富、劉和義、葉慶龍和王震哲 (2009) 臺灣現生天然植群圖集。行政院農業委員會林務局出版。
- 洪淑芬 (2003) 腦寮溪天然闊葉林枯落物與林地養分動態之研究。國立中興大學森林學研究所碩士論文。
- 翁其羽 (2009) 臺灣中海拔楠梓仙溪上游森林動態樣區凋落葉動態與物候類型。靜宜大學生態學系碩士論文。
- 陳佳慧 (2000) 關刀溪不同林分枯落物及土壤養分含量之動態變化。國立中興大學森林學研究所碩士論文。
- 鹿兒陽、朱珮綺、沈介文、彭靖媛 (2005) 台大實驗林神木保護林闊葉林及竹林枯落物動態研究。台大實驗林研究報告 19(2): 147-160。
- 張華洲 (1997) 惠蓀林場三種林分枯枝落葉量及其養分含量之季節變動。國立中興大學森林學碩士論文。
- 張朝婷 (2005) 台灣地區不同海拔之森林土壤碳及養份庫存的研究。台灣大學森林環境暨資源學系碩士論文。
- 顏江河、向韻如 (2007) 以林地區塊法估算埔里及巒大事業區森林土壤有機碳庫。台灣科學林業 22 (4): 469-482。
- Attiwill, P. M., H. B. Guthrie and R. Lenning (1978) Nutrient cycling in Eucalyptus oblique forest I. Litter production and nutrient return. Australian Journal of Botany 26: 79-91.
- Kitayama, K. and S. Aiba (2002) Ecosystem structure and productivity of tropical rain forests along altitudinal gradients with contrasting soil phosphorus pools on Mount Kinabalu, Borneo. Journal of Ecology 90: 37-51.
- Perry, D. A. (1994) Forest ecosystems. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland, USA. p. 267-299.
- Pritchett, W. L. and R. F. Fisher (1987) Properties and management of forest soils. John Wiley & Sons, New York. pp. 55-76.
- Sampaio, E. V. S. B., A. Dall'olio, K. S. Nunes, and E. E. P. Lemos (1993) A model of litterfall, litter layer losses and mass transfer in a humid tropical forest at Pernambuco, Brazil. Journal of Tropical Ecology 9: 291-301.
- Sun, O. J., J. Campbell, B. E. Law and V. Wolf (2004) Dynamics of carbon stocks in

soils and detritus across chronosequences of different forest types in the Pacific Northwest, USA. *Global Change Biology* 10: 1470-1481.

Vitousek, P. M. and P. A. Matson (1984) Mechanisms of nitrogen retention in forest ecosystems: a field experiment. *Science* 255: 51-52.

Vitousek, P. M. and P. A. Matson (1985) Disturbance, nitrogen availability, and nitrogen losses in an intensively managed Loblolly pine plantation. *Ecology* 66: 1360-1376.



## 阿里山溪集水區源頭崩塌機制之探討

林昭遠<sup>1</sup> 張鑫巖<sup>2</sup>

**【摘要】**國人常認為森林生長及覆蓋良好，土壤流失現象較少發生，便是水土保持維護與處理良好之區位，然而在莫拉克風災中，阿里山溪集水區發生多處崩塌，其崩塌區位主要位於源頭之天然林，此現象與森林具良好水土保持之傳統概念相違。雖森林擁有較佳之保水固土能力，當發生極端降雨事件時，上游河道易因坡面泥砂補充不足而形成向源侵蝕，造成源頭河道邊坡破壞，形成大規模的崩塌，使森林平時涵養的土砂一次釋出，堆積於野溪河道。本研究目的係以 Strahler's 河川級序之概念劃定源頭集水區並探討其崩塌發生機制。利用數位地形模型及遙測影像處理技術，萃取樣區之地文水文資訊，藉由河道輸砂量與坡面泥砂產量之比值，建立源頭崩塌潛勢指標。結果顯示源頭崩塌潛勢指標可有效反映集水區源頭土砂堆積能量狀況，若逢極端事件來臨時，源頭崩塌潛勢較高之區位可能發生大規模土砂災害，可做為源頭集水區監測及管理之參考。

**【關鍵詞】**極端事件、向源侵蝕、源頭集水區、源頭崩塌潛勢指標

## MECHANISM OF HEADWATER LANDSLIDES IN ALISAN CREEK WATERSHED

Chao-yuan Lin<sup>1</sup> Sin-wei Jhang<sup>2</sup>

**【Abstract】** The areas where vegetation grow and cover well are commonly viewed as areas with less soil loss and better conservation. However, severe landslides occurred in the Alisan creek watershed during the strikes of Typhoon Morakot in 2009. Most of the landslides are located at the headwater sites where natural forest grows. The phenomenon is such a paradox that it could not help to doubt the conservation abilities

---

<sup>1</sup> 國立中興大學水土保持學系教授，通訊作者。電子郵件: cylin@water.nchu.edu.tw  
Professor, Department of Soil and Water Conservation, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan 402, R.O.C. E-mail: cylin@water.nchu.edu.tw

<sup>2</sup> 國立中興大學水土保持學系研究生。  
Graduate student, Department of Soil and Water Conservation, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan 402, R.O.C.

of a forest. Generally speaking, a forest itself owns better capacities in soil and water conservation. While things return less once reaching extreme, it could also easily cause landslides due to headward erosion which could release huge volume of debris at a time during extreme precipitation, and cause large scale disasters. Therefore, an adequate soil loss in a watershed is necessary in decreasing the energy accumulation of debris disaster. This study focused on the mechanisms of landslides which occurred in the headwater watershed to establish the index of potential headwater landslides. The index of potential headwater landslide is defined as a ratio of the amount of channel sediment output to the slopeland sediment yield for a given storm event in the headwater watershed. The spatial distribution of headwater watershed was delineated in the interested watershed according to the rule of Strahler's stream order and a conceptual model (index of potential headwater landslide) is introduced to quantitatively measure the potential headwater landslide for the references of policy and decision making.

**【Key words】** Extreme event, Headward erosion, Headwater watershed, Index of potential headwater landslide

## I、前言

近年來氣候變遷與極端氣候廣受探討，其寒流、熱浪、豪雨、乾旱與熱帶氣旋等氣候現象災害遽增，各國皆有許多災害事件發生(表 1)，2009 年莫拉克風災重創全台，崩塌區位之地覆類別多以森林為主，過去普遍認為森林之保水固土能力能有效減少土壤流失與崩塌發生，惟此結果卻造成了極大的崩塌規模。蔡真珍(2012)認為森林在長時間保水固土下，積蓄著豐富的土壤並持續進行土壤化育作用，當坡度陡峭區受外力影響下，易產生自然崩塌現象，可視為森林系統的能量代謝作用。由於源頭集水區具有地勢陡峭、國土保安以及交通不便等條件；易為人為干擾性低之天然林區位，莫拉克風災在此區位所造成之土砂災害，為天然林經營管理上極為重要之課題。因源頭集水區地理條件嚴苛，現勘調查有其難度，Parachini et al. (2000)與陳樹群等(2009)使用數值高程模型，分別以 Strahler 定義之河川級序與地形位態指標來劃分源頭集水區，解決無法現地調查之窘境。有關源頭集水區之合理定義以及其崩塌機制之探討有待深入研究，本研究延伸 Strahler (1964)河川

級序之概念，將集水區分為漫地流、野溪、以及長流水等主要組成區位，另由野溪門檻值及 Strahler 河川級序概念劃分源頭集水區，藉由泥砂產量與河道輸砂量之比值提出源頭崩塌潛勢指標，探討源頭集水區崩塌發生機制，提供源頭集水區監測及管理之參考。

表 1 全球歷年災害事件

Table1 Global disaster events over the years

時間	地點	事件名稱	災害成因
2005/06	台灣	六一二水災	暴雨
2005/08	美國	卡崔娜颶風	颶風
2006/06	台灣	六九水災	暴雨
2006/08	北韓	北韓水災	暴雨
2007/12	馬來西亞	馬來西亞水災	暴雨
2008/05	中國大陸	中國南方水災	暴雨
2008/06	美國	美國中西部洪水	暴雨
2009/07	中國大陸	四川洪災	暴雨
2009/08	台灣	八八風災	颱風
2009/11	大不列顛 愛爾蘭	大不列顛及愛爾 蘭洪災	暴雨
2010/05	中國大陸	中國水災	暴雨
2010/07	中國大陸	長江流域大洪水	暴雨
2010/07	巴基斯坦	巴基斯坦洪災	暴雨
2010/09	台灣	高雄水災	暴雨
2011/06	中國大陸	中國華南水災	暴雨
2011/07	泰國	曼谷水災	暴雨
2012/02~03	澳洲	澳洲水災	暴雨
2012/08	大陸	江西水災	颱風
2012/08	菲律賓馬尼拉	菲律賓水患	暴雨

## II、材料與方法

### (I) 研究流程

為能建立源頭崩塌潛勢指標作為源頭集水區監測之使用，利用數值高程模型 (DEM) 劃分源頭集水區，以 SPOT 4 衛星影像萃取莫拉克風災之崩塌區位，使用雨量資料計算莫拉克風災降雨量之頻率年，藉由泥砂產量與河道輸砂量之比值，提

出源頭崩塌潛勢指標，將此指標與莫拉克風災源頭集水區崩塌區位進行驗證，供未來源頭集水區監測管理之參考(圖 1)。

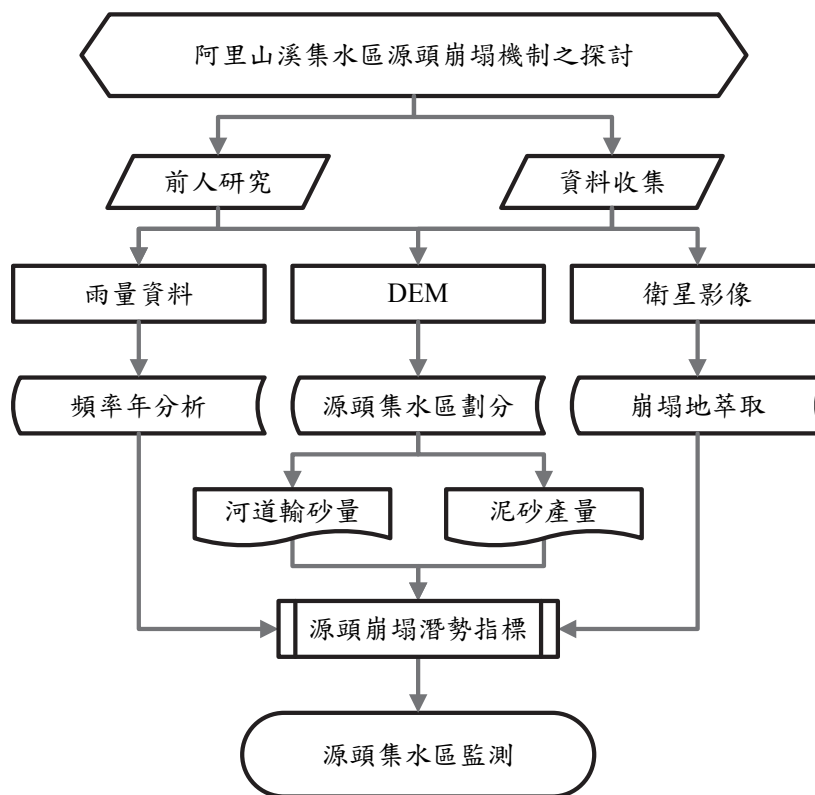


圖 1 研究流程

Figure 1 Flowchart of this study

## (II) 研究樣區

莫拉克風災於阿里山溪集水區引發多處崩塌及土砂災害，由國科會莫拉克颱風災情勘查與綜整分析(2010)結果，顯示部分土砂流入民宅造成 4 人死亡、多條聯外道路損壞以及 29 戶房舍毀損，嚴重影響對外通訊以及物資補充，為莫拉克風災重點災區之一，故選擇阿里山溪集水區探討源頭崩塌之機制。阿里山溪集水區為濁水河流域中清水溪之支流，橫跨嘉義縣梅山鄉與阿里山鄉，南與竹崎鄉相連，東接信義鄉。地勢為東高而西北低，集水區面積約為 6,653.84 ha，高程主要分布在 760~2,280 m 之間，約占 90.05%；坡度以六級坡為主，約占 42.05%，其次為五級坡，約占 18.41%；坡向分布主要以西北(17.98%)及北向(16.17%)較多。土地利用現況，以天然林及人工林為主，面積約為 5,381.85 ha，占 80.89%(表 2)。

表 2 阿里山溪集水區土地利用統計

Table 2 Statistics of land use in Alisan creek watershed

土地利用類別	面積(ha)	比例(%)
天然林	3,148.33	47.32
人工林	2,233.52	33.57
水利用地	163.79	2.46
墾地	323.99	4.87
裸露地	625.33	9.39
其他	158.88	2.39
合計	6,653.84	100.00

### (III) 研究樣區

利用 DEM 資料配合 Strahler 所提出之河川級序原理，將野溪級序 1 之出口集水區定義為源頭集水區，並以源頭集水區泥砂產量與河道輸砂量之比值萃取源頭崩塌潛勢指標，可量化分析源頭集水區之崩塌潛勢，其中河道輸砂量以水利署 1978 年至 2008 年之雨量資料進行頻率分析，推估莫拉克風災降雨量之重現期距；另以中央太空遙測中心購得之 SPOT 4 衛星影像萃取集水區之常態化差異植生指標 NDVI(圖 2)，藉此了解集水區植物生長良窳之空間分布，可做為潛在深層崩塌區位判釋之用。此外；另以 2008 年國土測繪中心繪製之土地利用圖資萃取天然林及人工林區位，探討不同林地管理區位之崩塌發生情形(表 3)。

表 3 研究材料相關資訊

Table 3 Related information of the study materials

資料名稱	時間	空間解析度	來源	用途
DEM	2003	5 m×5 m	內政部	地文水文分析
衛星影像 (SPOT4)	2009/01/05 2009/09/26	20 m×20 m	中央太空 遙測中心	環境指標 (NDVI·NDWI 、C 值)萃取
雨量資料	1978~2009	—	中央氣象局	重現期距分析
土地利用圖資	2008	—	國土測繪中心	天然林區位萃 取

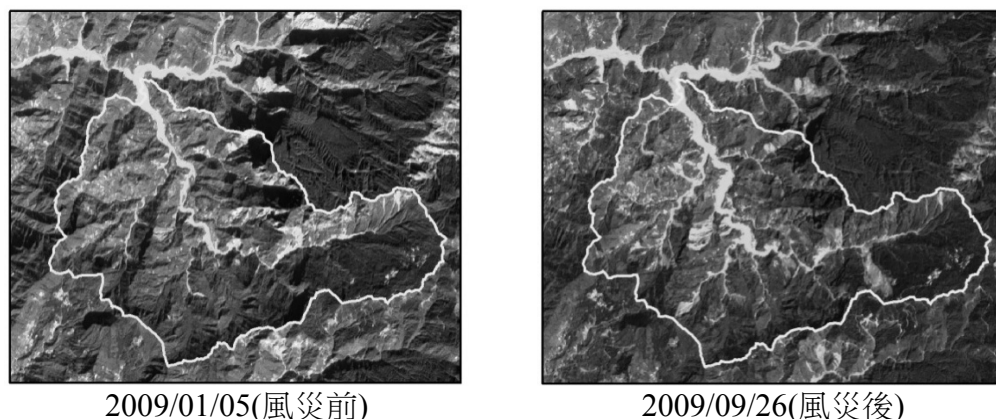


圖 2 阿里山溪集水區 SPOT4 衛星影像

Figure 2 SPOT satellite images of Alisan creek watershed

#### (IV) 研究方法

本研究旨在定義源頭集水區之劃分及源頭崩塌發生機制之探討，利用坡面泥沙產量與河道輸砂量之關係建立源頭崩塌潛勢指標，其方法詳述如下：

##### 1. 源頭集水區劃分

源頭集水區係指野溪上游之集水區，此區位以溪流發源地為主，Janisch et al.(2011)曾定義渠道級序 0 與級序 1 的出口皆可視為渠道源頭，為能準確判讀河川級序，Deshmukh et al. (2010)利用 Strahler(1964)河川級序原理判釋印度謝爾河(Sher River)之級序，本研究採用野溪級序 1 之集水區作為源頭集水區，為能找出野溪區位，其先萃取常流水，使用測繪者依據一年四季皆有水體流動所測繪之地形圖視為常流水，並配合多重門檻值與流向之關係，擊點河道源頭處進行常流水萃取；野溪則依據選定累積流量門檻值與流向萃取該門檻值之水系，將萃取之常流水與野溪套疊，則常流水以外之水系即為野溪(圖 3)，最後依據 Strahler 河川級序原理，找出野溪級序 1 之河段，並以野溪級序 1 之出口劃分集水區，將此集水區定義為源頭集水區。

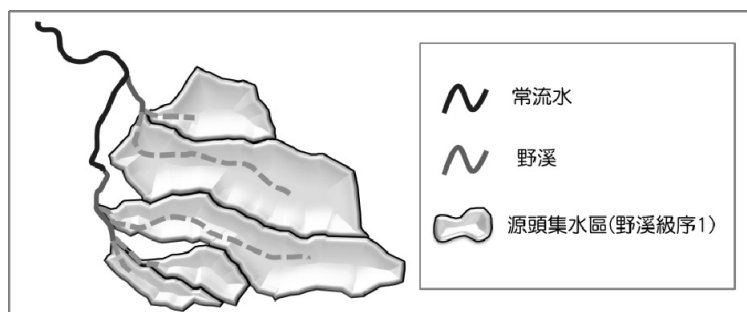


圖 3 源頭集水區劃分示意圖

Figure 3 Delineation of headwater watersheds

為選定適當之累積流量門檻值劃分野溪區位以萃取源頭集水區，以門檻值 500(累積流量為 500 個網格)為間距，萃取各門檻值之源頭集水區個數，並以此對莫拉克新增崩塌地編碼，可求得各門檻值劃分下之崩塌數目。門檻值越小；雖可得到較為精確之劃分成果，惟因所劃定之集水區個數較多，在處理分析上就顯得繁雜；門檻值越大所劃定之集水區較無法精確反映崩塌區位之一致性。由崩塌個數斜率變化與源頭集水區個數之關係(圖 4)，斜率變化最大處表示在此門檻下崩塌個數變化最大，當門檻值大於於此點時，崩塌個數逐趨收斂而不再變化；小於此點時崩塌個數則呈現不穩定之波動，藉由崩塌個數與源頭集水區數目之關係，以斜率變化最大之門檻值(門檻值 1,000)做為劃分源頭集水區之依據(表 4)。

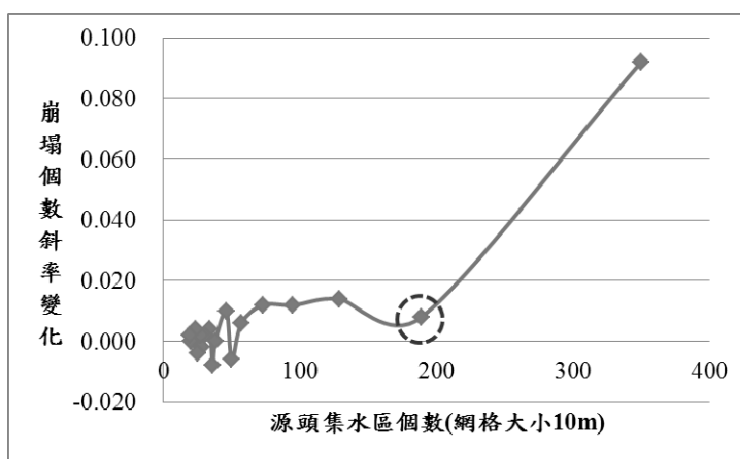


圖 4 以門檻值劃分最佳化源頭集水區數目

Figure 4 Optimal numbers of headwater watershed classified by threshold method.

表 4 最佳門檻值之推定

Table 4 Optimal threshold value estimated

門檻值 (網格個數)	源頭集水區個數	源頭崩塌個數	斜率	斜率變化
500	350	198	0.148	0.092
1,000	189	124		
1,500	129	96	0.056	0.008
			0.048	

續表

門檻值 (網格個數)	源頭集水區個數	源頭崩塌個數	斜率	斜率變化
2,000	95	72	0.034	0.014
2,500	73	55	0.022	0.012
3,000	57	44	0.010	0.012
3,500	50	39	0.004	0.006
4,000	46	37	0.010	-0.006
4,500	38	32	0.000	0.010
5,000	36	32	0.000	0.000
5,500	34	32	0.008	-0.008
6,000	30	28	0.004	0.004
6,500	28	26	0.002	0.002
7,000	27	25	0.004	-0.002
7,500	25	23	0.002	0.002
8,000	24	22	0.006	-0.004
8,500	21	19	0.002	0.004
9,000	20	18	0.002	0.000
9,500	19	17	0.002	0.000
10,000	18	16	0.002	

## 2. 源頭崩塌潛勢指標

由於植生的保水固土能力使土砂不易受小規模之雨量而流失，當極端降雨時，河道因地形改變形成侵蝕現象，使河道坡度更加陡峭且流速加快，其河道的侵蝕漸漸往上游移動之情形謂之向源侵蝕。源頭集水區人為干擾少、植生保護佳，其崩塌原因主要是暴雨時野溪河道因泥砂補充少而產生向源侵蝕所引起。黃景川等(2011)指出源頭邊坡因豪雨發生大量崩塌常成為土石流之主要土石來源。廖志中等於 2011 年指出崩積地層常因向源侵蝕坡腳，造成崩體大、小規模的滑動。由坡面補充至河道之泥砂量不足時，易造成河床淘刷，造成兩岸坡面土體抗剪強度下降而發生崩塌，因此藉由集水區坡面泥砂產量與河道輸砂量之計算，可建置集水區源頭崩塌潛勢指標如下：

$$\text{源頭崩塌潛勢指標} = 1 - \frac{\text{坡面泥砂產量}}{\text{河道輸砂量}}$$

## 3. 坡面泥砂產量

集水區坡面泥砂產量是由集水區坡面土壤流失量(USLE 推估)與坡面泥砂遞移率(SDR)相乘而得，但並非每一單場事件降雨會導致相同之坡面泥砂產量，因此本研究在同一集水區探討土砂災害時，單場暴雨(single event)的雨量將會影響每次泥砂的運移量，將此雨量影響關係納入計算式中，其公式如下：

$$\text{坡面泥砂產量} = \text{土壤流失量} \times \text{泥砂遞移率} \times \frac{\text{該事件之雨量}}{\text{年平均雨量}}$$

### (1) 土壤流失量：

通用土壤流失公式(Universal Soil Loss Equation, USLE)為 1954 年由美國開始發展，由 Wischmeier 與 Smith(1965,1978)所分析建置。台灣在水土保持技術規範第三十五條提出山坡地土壤流失量之估算，得採用通用土壤流失公式，估算時應使用台灣地區之區域性參數值，公式如下：

$$A_m = R_m \times K_m \times L \times S \times C \times P$$

$A_m$ =土壤流失量(ton/ha/year)

$R_m$ =降雨沖蝕指數(Mj.mm/ha.hr.y)

$K_m$ =土壤沖蝕指數(t.ha.y/ha.Mj.mm)

L=坡長因子

S=坡度因子

C=覆蓋與管理因子

P=水土保持處理因子

(2) 坡面泥砂遞移率：

假設坡面泥砂主要以坡面地表水運移至常流水，則泥砂遞移率為某個網格點對最接近之常流水網格點的泥砂貢獻量，依據集水區自動劃分原理將泥砂貢獻量之網格點上游流入面積做為表示，若網格點上游之流入面積越大，則逕流量越大，將泥砂運移至常流水也越多。因此集水區坡面上每個網格點之泥砂遞移率，可解釋為此網格點上游流入面積與此網格點流至最接近之常流水上游面積的比值如圖 6，由此可知越靠近常流水之網格點，泥砂遞移率越高。

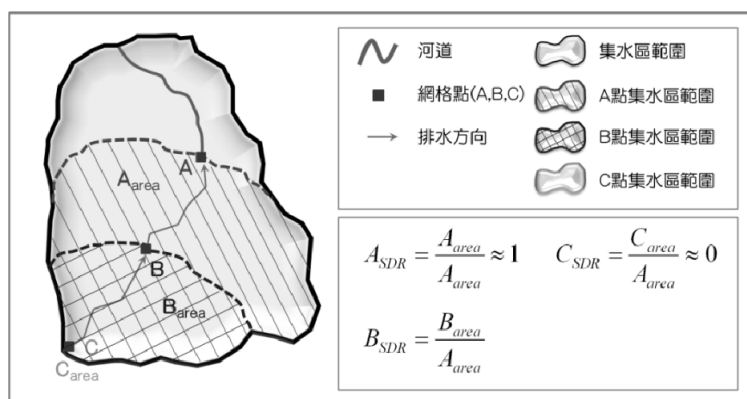


圖 6 泥砂遞移率示意圖

Figure 6 Concepts of sediment delivery ratio

4. 河道輸砂量

集水區土壤流出量依照特性可分成一般含砂水流與土石流，一般挾砂水流是河床載運移量，另一個為水中懸浮物的懸浮載；在民國 1996 年 8 月之水土保持技術規範第七十一條有說明河床載運移量估算方法，可利用 Schoklitsch(1950)進行估算，又以 2012 年 10 月之水土保持技術規範第十七條指出山坡地集水區洪峰流量估算，當無實測資料時採用合理化公式計算，其適用面積不可超過一千公頃，以下為河床載運移量之公式：

(1) Schoklitsch(1950)：

$$q_s = \frac{2500}{\gamma_s} S^{1.5} (q - q_c)$$

$$q_c = 0.26 \left( \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right)^{5/3} \frac{D_0^{3/2}}{S^{7/6}}$$

$q_s$ =單位河寬河床載運移量(kg/sec/m)

$q_c$ =單位河寬之河床載起動流量(cms/m)

表 5 Schoklitsch 參數選定

Table 5 Values of Parameters for Schoklitsch model

參數項目	參數選定
S=河床坡度(%)	源頭集水區內野溪之平均坡度。
q=單位河寬流量(cms/m)	河道寬度此以一個網格 10m 作為河道寬度。
$q = \frac{CIA}{360 \times \text{河道寬度}}$	
$\gamma_s$ =泥砂單位重(kg/m <sup>3</sup> )	參考水土保持手冊-工程篇，泥砂單位重一般為 2.3~2.6t/m <sup>3</sup> ，此採用最大值 2.6，經單位換算求得 2,548 kg/m <sup>3</sup> 。
$\gamma$ =水單位重(kg/m <sup>3</sup> )	經單位換算求得水單位重為 980 kg/m <sup>3</sup>
D0=河床材料粒徑(m)，原模式採 D50 為代表粒徑	採用蔡明波(2011)現地調查之資料做為參。

式中單位河寬以一個網格 10 m 之長度作為單位河寬，計算合理化公式時，降雨強度(I)需要使用頻率年分析加以運算，為了模擬莫拉克風災之流量，故分析莫拉克風災之頻率年，本研究使用甘保氏於 1941 年提出之極端值第一型分佈法，此方法常被用來描述暴雨事件頻率與量體之間的關係，又稱為甘保氏分佈(Gumbel's distribution)，為一種重覆指數型機率函數。

(2) 頻率年分析(極端值第一型分佈法)：

從經濟部水利署取得 1978 年至 2009 年之雨量資料，並統計莫拉克風災之三日最大暴雨，由於 2009 年莫拉克風災於 7、8、9 日影響台灣地區，因而使用三日最大暴雨之雨量進行頻率年分析。顯示頻率年達 100 年之三日最大暴雨量為 1,347.11 mm，而莫拉克風災之三日最大暴雨量為 1,658.70 mm，已達到 450 年之頻

率年，因此以 450 年重現期距作為莫拉克風災之探討，如圖 7。

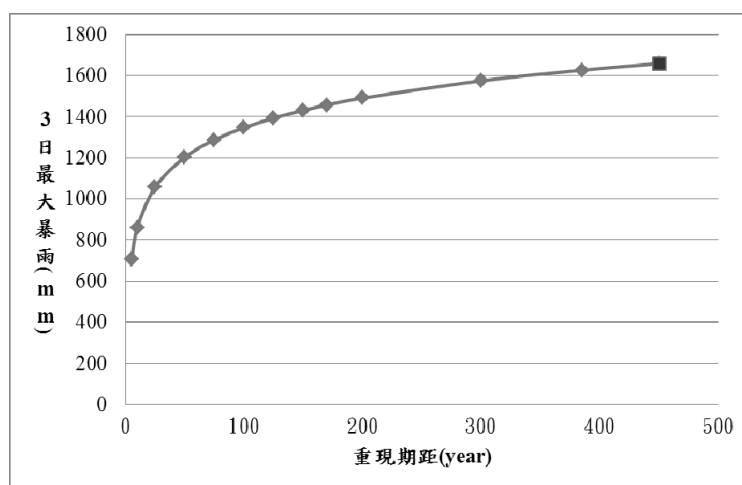


圖 7 莫拉克風災三日最大暴雨頻率年分析

Figure 7 Return period of three-day maximum storm occurred during the strikes of Typhoon Morakot

### III、結果與討論

#### (I) 源頭集水區崩塌資訊

崩塌區位之植生會因崩塌事件的發生導致植生遭受破壞，因此以 2009/01/05 及 2009/09/26 莫拉克風災前後衛星影像進行 NDVI 分析，並利用莫拉克風災前後植生生長差異之特性，使用影像相減法取得阿里山溪集水區之新增崩塌區位(圖 8)，其 Kappa 係數約 0.73 屬良好等級，新增崩塌面積為 557.29 ha，崩塌率約 8.38%，天然林面積約為 3,148.33 ha，崩塌面積約 350.06 ha，崩塌率約為 11.12%，人工林面積約為 2,233.52 ha，崩塌面積約 114.82 ha，崩塌率約為 5.14%，顯示阿里山溪集水區內天然林之崩塌率較人工林高(表 6)。

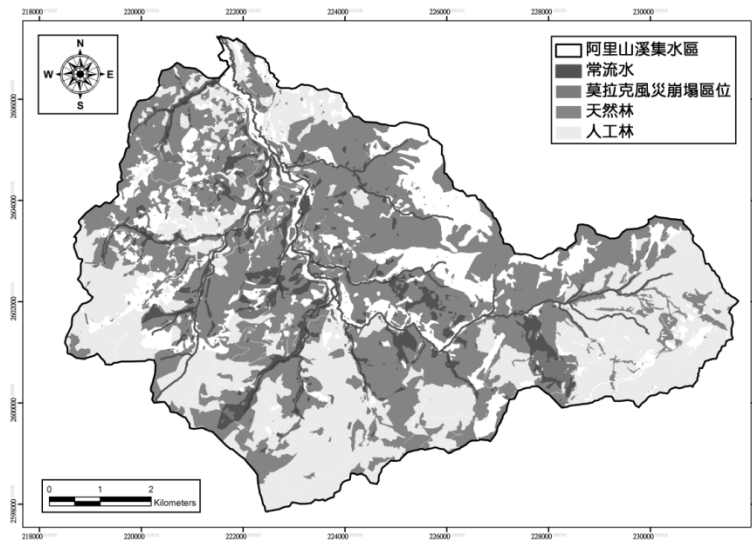


圖 8 莫拉克風災崩塌區位

Figure 8 Spatial distribution of landslide caused by Typhoon Morakot

表 6 集水區崩塌資訊

Table 6 Watershed landslide information

項目	面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)
阿里山溪集水區	6,653.84	557.29	8.38
天然林	3,148.33	350.06	11.12
人工林	2,233.52	114.82	5.14

以累積流量 1,000 個網格之門檻值所劃分之水系，據此劃分野溪級序 1 之源頭集水區(圖 9)，並得知阿里山溪集水區有 189 個源頭集水區，總面積為 4,068.87 ha，崩塌面積有 263.28 ha，崩塌率為 6.47%，源頭集水區內之天然林面積約為 1,892.29 ha，崩塌面積約 171.87 ha，崩塌率約為 9.08%，人工林面積約為 1,510.91 ha，崩塌面積約 57.15 ha，崩塌率約為 3.78%，其顯示源頭集水區內之天然林有較高的崩塌率(表 7)。

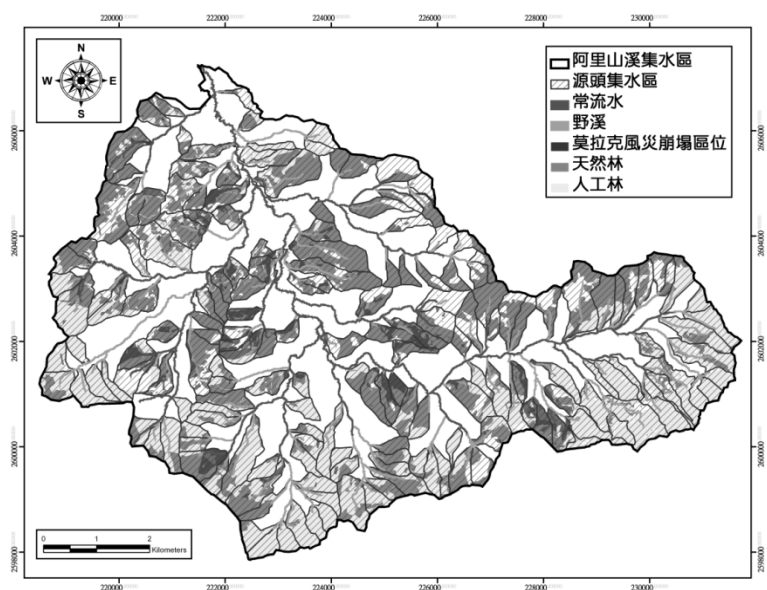


圖 9 源頭集水區崩塌區位

Figure 9 Spatial distribution of landslides in the headwater watersheds

表 7 源頭集水區崩塌資訊

Table 7 Landslide information of headwater watersheds

項目	面積(ha)	崩塌面積(ha)	崩塌率(%)
源頭集水區	4,067.87	263.28	6.47
天然林	1,892.29	171.87	9.08
人工林	1,510.91	57.15	3.78

## (II) 源頭崩塌機制

由上述崩塌資訊發現天然林之崩塌率皆高於人工林，其原因在於天然林因地勢陡峭交通不便開發較少，致保水固土能力較佳，平時坡面補充河道之泥砂較少，當極端降雨事件發生時，集水區所匯集之逕流易產生向下、向側刷深，一旦坡腳失去穩定便產生大量崩塌。相較於人工林因有定時疏伐與農作採收情形，人工林保水固土能力較天然林差，於較低之降雨頻率事件發生時即易產生土壤流失，平時已分期的將土砂排入河道，極端事件來臨時，除河道不至於土砂失衡產生坡腳刷深之外；另因坡面不易累積土砂，使人工林發生崩塌時產生之土砂量亦較少。

## (III) 源頭崩塌潛勢指標建置

為找出源頭崩塌之潛在區位，因此利用源頭崩塌機制中坡面補充河道泥砂不

足而易產生崩塌之特性，提出估算源頭崩塌潛勢之量化指標，源頭崩塌潛勢指標是由泥砂產量與河道輸砂量之比值經反線性配置而得，藉由災前源頭崩塌潛勢指標與災後崩塌率之關係(圖 10)。可發現源頭崩塌發生之區位其源頭崩塌潛勢指標大多高於 0.6，顯示指標越高發生崩塌之潛勢越高，然而源頭崩塌潛勢指標大於 0.6 者雖有幾處未發生崩塌，惟其仍屬高崩塌潛勢區位，為下次極端事件土砂災害之重點防制區位。

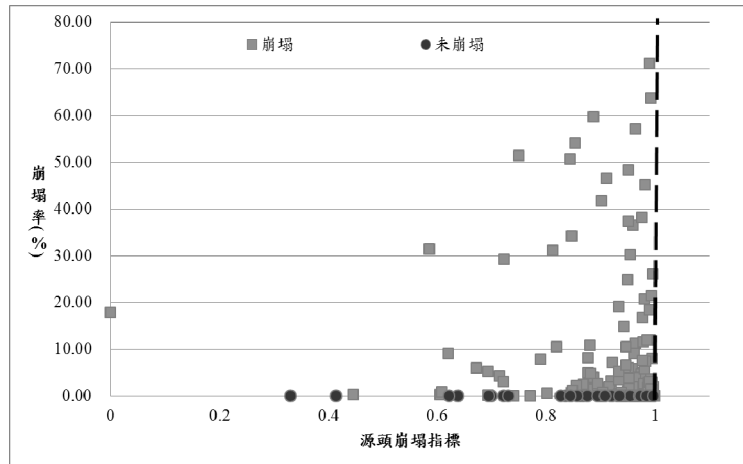


圖 10 源頭崩塌指標與崩塌率之點繪圖

Figure 10 Scatter map of landslide rate vs headwater landslide index

#### IV、結論

本研究利用累積流量門檻值萃取野溪，使用 Strahler 定義之河川級序劃分源頭集水區，得知阿里山溪集水區有 189 個源頭集水區，面積約為 4,067.87 ha，輔以天然林與人工林判釋集水區林地崩塌情形，其崩塌率分別為 9.08%與 3.78%，顯示源頭集水區林地崩塌以天然林為主。由於源頭集水區之天然林區位保水固土能力佳，坡面平時補充河道泥砂不足，致使極端事件時匯集之逕流易刷深河道產生崩塌，據此提出源頭崩塌潛勢指標量化源頭崩塌潛勢，結果顯示源頭崩塌潛勢指標越大源頭集水區發生崩塌之比率就越高。源頭崩塌潛勢指標值大而尚未崩塌的區位，未來仍是極端事件之高潛勢崩塌區位，宜小心防範大規模集水區土砂災害之發生，源頭崩塌潛勢指標可供集水區深層崩塌監測之參考。

## V、謝誌

本研究承行政院農業委員會林務局科技計畫(100 農科-8.5.1-務-e1)補助經費，謹此致謝。

## VI、參考文獻

- 行政院國家科學委員會（2010）莫拉克颱風災情勘查與綜整分析之結果。
- 陳樹群、馮智偉（2009）以數值高程模型為基礎之河源位置的地形特徵—以塔克金溪上游集水區為例。中華水土保持學報 40(2)：123-134。
- 黃景川、駱建利、朱奕璋、胡立康、李金龍、張家薰、雲世傑（2011）降雨引發潛層邊坡破壞機制。中華水土保持學報。42(3)：184-195。
- 蔡明波、陳樹群（2011）阿里山溪集水區之土砂災害調查及枝幹式防治工法探討。技師月刊。58：19-29。
- 蔡真珍、林煥鈞（2012）由森林集水區天然崩塌事件淺談自然界的脈衝現象。林業研究專訊。19(2)：50-53。
- 廖志中、潘以文、林志平、堂禎國、黃玉麟、羅文驤（2011）梨山崩塌大規模崩基地層之形成機制。中華水土保持學報。42(4)：303-312。
- Deshmukh, D. S., U. C. Chaube, S. Tignath and S. K. Tripathi (2010) Morphological analysis of Sher River basin using GIS for identification of erosion-prone areas. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 10(2-4):307-314.
- Janisch, J. E., A. D. Foster and W. J. Ehinger (2011) Characteristics of small headwater wetlands in second-growth forests of Washington, USA. *Forest Ecology and Management*, 261(7):1265-1274.
- Paracchini, M.L., S. Folving and F. Bertolo (2000) Identification and Classification of European Headwaters. M.J. Haigh and J. Krecek (Eds.), *Environmental Reconstruction in Headwater Areas*, 67-79.
- Strahler, A. N. (1964) *Quantitative Geomorphology of Drainage Basins and Channel Networks*. Hand book of Applied Hydrology, Sec4-II, edited by V.T. Chow, McGraw-Hill Book Company, N.Y.
- Wischmeier, W. H. and D. D. Smith. (1965) Predicting rainfall-erosion losses from

cropland east of the rocky mountains. Agricultural Handbook 282, Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture.

Wischmeier, W. H. and D. D. Smith. (1978) Predicting rainfall erosion losses. agricultural handbook No. 537. Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture.



## 合坑溪上游集水區泥砂推估與濱水帶劃設

林壯沛<sup>1</sup> 盧惠生<sup>2</sup> 蔡真珍<sup>3</sup>

**【摘要】**防治上游集水區非點源污染，以減少下游溪流水遭受污染，提高河川自淨與含容能力，是水資源開源節流的不二法門，也是當今水資源保育的重要工作。本文以蓮華池地區合坑溪集水區為研究對象，利用數值高程模型 DEM 與衛星影像資料，探討合坑溪及其支流集水區泥砂產量，並劃設溪流濱水帶之相關區位，冀望對蓮華池地區水土資源保育能有所貢獻，所得成果做為蓮華池試驗林在泥砂防治及濱水帶經營之參據。

取得蓮華池地區之數值高程模型 DEM，劃出水里溪上游合坑溪及支流(蛟龍溪與火培坑溪)之集水區區位、坡度分佈及泥沙遞移率；並分析衛星影像資料，計算常態化差異植生指標 NDVI 值，再用萬用土壤沖蝕公式 USLE，估算年平均雨量為 2181.3 mm，水里溪上游合坑溪、蛟龍溪、火培坑溪等各集水區之土壤流失量與沖蝕深度，結果分別為 90.07 ton/ha/yr 與 6.4 mm/yr、2.78 ton/ha/yr 與 0.2 mm/yr、161.84 ton/ha/yr 與 11.6 mm/yr。

為保持溪流水質清淨，除了溪流兩旁嚴禁開發利用，設置 40 m 寬濱水帶植生緩衝區，安定河岸與河川生態保育，是一項有效控制非點源污染的方法，單位緩衝帶面積可減少泥砂量 283.45 ton/ha/yr，減少總泥砂產量 51.29 %。

**【關鍵詞】**集水區經營、泥砂、濱水帶、緩衝區

## Estimating Sediment Yields and Establishing Buffer Strips of Riparian Vegetation Zones in upper watershed of Herkenchi

Jaung-Pey Lin<sup>1</sup> Hui-Sheng Lu<sup>2</sup> Chen-chen Tsai<sup>3</sup>

---

<sup>1</sup> 行政院農委會林業試驗所集水區經營組副研究員(通訊作者，電子郵件：jplin@serv.tfri.gov.tw Associate Scientist, Division of Watershed Management, Taiwan Forestry Research Institute(Corresponding Author), jplin@serv.tfri.gov.tw

<sup>2</sup> 行政院農委會林業試驗所集水區經營組研究員兼組長 Senior Scientist and head, Division of Watershed Management, Taiwan Forestry Research Institute

<sup>3</sup> 行政院農委會林業試驗所集水區經營組助理研究員 Assistant Scientist, Division of Watershed Management, Taiwan Forestry Research Institute

**【Abstract】** Preventing and curing from non-point source pollution on upper watershed to reduce suffer pollution on downstream brook pollution, and raising the ability of holding to improve rivers and creeks self-purification, it is the important work of the current water conservation. The Herkenchi watershed on Lianhwachi area is selected as the research object of this study. It is studied to probe into sediment yield by utilizing topographical model DEM and satellite images, and to draw the relevant position of riparian vegetation buffer strips to contribute on water conservation. The result will be provided for ecosystem management on Lianhwachi experiment forest. Drawing and setting up riparian vegetation buffer strips can be help for preventing and curing sediment yield in experiment forest management.

Using Digital Elevation Model (DEM) of Lianhwachi area, draw out the positions, slop distributions and Sediment Delivery Ratios (SDR) of Herkenchi, Jaulongchi, and Houpeikenchi. Analyse the images of satellites, calculate the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) value. Estimate erosion amounts and erode depth of Herkenchi, Jaulongchi and Houpeikenchi by erode formula USLE with annual rainfall 2181.3 mm. They are 90.07 ton/ha/yr and 6.4 mm/yr, 2.78 ton/ha/yr and 0.2 mm/yr, 161.84 ton/ha/yr and 11.6 mm/yr respectively.

For promoting stream water quality, it is necessary to forbid landuse development on riparian zones. To establish 40 m in width for buffer strips of riparian vegetation zone which decreases 283.45 ton/ha/yr of unit sediment yield and 51.29 % of total sediment yields, is a good method to control nonpoint pollution of soil losses from uplands, maintain stream bank stabilization and available to improve ecological function in stream.

**【Key words】** Watershed management, sediment, riparian zone, buffer strip

## I、前言

自然資源包括水資源與土資源，為生態環境不可或缺的要項，各項資源的合理運用，是永續經營的必要條件。而水土資源之流失與保育，普遍受土地利用、植生狀況、地質、地形、土壤與氣象等因子的影響。事實上，森林經營是改變各項影響因子的主要原因，故森林經營的良窳成為決定水土資源保育的關鍵。

森林集水區經營就是對森林實施科學經營，而使之繼續生產林產物及對人類提供良好服務。因此，森林集水區經營是一項長期性而兼具多目標的工作，工作的層面牽涉很多環境因素，稍有不慎，或考慮未周全，常有不可預期的作用發生，影響到整個生態環境，造成自然資源的損失與傷害。森林集水區經營規劃會先模擬、測試及收集相關資料，進行現況統計分析，做為研判與評估的參考依據。

通用土壤流失公式(Universal Soil Losses Equation, USLE)是各界預測土壤沖蝕量的公式，搭配農業非點源污染模式(Agricultural Non-Point Source Pollution Model, AGNPS) 推估泥砂產量；另外，地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)及遙感探測技術已相當成熟，配合數值高程模型(Digital Elevation Model, DEM)，運用於集水區自動劃分及水系網路萃取，將 DEM 資料結合地理資訊系統及遙測技術，預測集水區內的土壤沖蝕量，都有很好成效。林昭遠、林文賜(1999)結合地理資訊系統、以遙測技術及集水區自動劃分理論，評估大湖口溪集水區之土壤流失量及泥砂產量。盧光輝等(1994)利用地理資訊系統及 AGNPS 模式推估石門水庫集水區之土壤流失量。劉正川、陳錦媽(1993) 利用地理資訊系統及 AGNPS 模式推估台南縣泥岩地區大面積開發之土壤沖蝕情形。陳文欽(2000)運用地理資訊系統、遙測技術結合 USLE 模式推估二仁溪流域坡面土壤流失量。賴如慧(1998)，利用地理資訊系統及衛星影像資料，以 RUSLE 模式推估德基水庫集水區土壤流失量。

本研究以合坑溪及其支流集水區為研究對象，利用數值地形模型 DEM 與衛星影像資料，估算不同土地利用現況之土壤流失量，並劃設溪流濱水帶相關區位，做現況模擬與分析，以應用在集水區經營與自然資源保育，提供蓮華池試驗林在泥砂防治及濱水帶經營之參據。

## II、研究材料與方法

### (I) 集水區資料收集與分析

收集臺灣中部水里溪上游合坑溪地區之航照圖、數值高程模型資料 DEM，進行集水區區位劃分，研判與分析試區之地質、土壤、植生、土地利用及氣象水文等相關資料。

### (II) 地文與水文特性分析

收集與計算合坑溪及其支流集水區地文因子，包括集水區之面積 A、周長

P、縱長 L、河川數 N、平均高程  $H=\Sigma Z/n$ 、起伏量  $Rf=Z_{\max}-Z_{\min}$ 、平均坡度  $S=\Sigma S/n$ 、起伏比  $R=Rf/\Delta d$ 、集水區寬  $W=A/L$ 、形狀因子  $F=A/L^2$ 、密集度  $C=3.545A^{1/2}/P$ 、圓比值  $M=12.566 A/P^2$ 、細長比  $E=1.128A^{1/2}/L$ 、主流長  $L_0$ 、水系密度  $Ds=L_T/A$ 、河川頻率  $Fs=N/A$ 、等參數，進行分析與研判。

### (III) 泥砂產量推估

集水區的泥砂生產量( $Y_s$ )，為泥砂遞移率(Sediment delivery ratio, SDR)與土壤流失量( $A_m$ )之乘積，即  $Y_s=SDR \times A_m$ 。坡面上任一點 P 之泥砂遞移率，為該點以上集水面積( $A_p$ )與匯集該點之溪流集水面積( $A_T$ )比， $SDR=A_p/A_T=(a \cdot N_p)/(a \cdot N_T)=N_p/N_T$ ，式中  $N_p$ 、 $N_T$  分別表坡面流至 P 點之網格數與流經 P 點集水區之網格數，a 為網格面積(40m×40m)。  $A_m$  為通用土壤流失公式(Universal Soil Loss Equation, USLE)估算之土壤流失量，公式為： $A_m=R_m \times K_m \times L \times S \times C \times P$

式中  $A_m$ ：為土壤流失量(tons/ha/yr)。

$R_m$ ：降雨沖蝕指數(Mj-mm/ha-hr-yr)，取臺灣年平均降雨沖蝕指數(黃俊德，1979)之數化等值圖(林昭遠、林文賜，1999)， $R_m$  數值為 14,236~15,257 Mj-mm/ha-hr-yr。

$K_m$ ：土壤沖蝕指數 (tons-ha-hr-yr/Mj-mm-ha-yr)，取臺灣坡地土壤沖蝕指數(萬鑫森、黃俊義，1981、1989) 之數化等值圖(林昭遠、林文賜，1999)， $K_m$  數值為 0.0312~0.0388 tons-ha-hr-yr/Mj-mm-ha-yr。

L：坡長因子，採 Wischmeier and Smith (1978)坡度分析公式  $L=(l/22.13)^{0.5}$  求算而得，l 為網格平均坡長。

S：坡度因子，採 Wischmeier and Smith (1978)坡度分析公式  $S=65.4\sin^2\theta+ 4.56\sin\theta+0.0654$  求算而得， $\theta$  為網格平均坡度。

C：為覆蓋與管理因子，以常態化植生指標(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)做線性反向配置產生，計算式： $NDVI=(NIR-R)/(NIR+R)$  式中 NIR：表近紅外光。R：表紅光。

P：為水土保持處理因子，無水土保持處理  $P=1$ 。

### (IV) 濱水區緩衝帶劃設

在合坑溪及其支流集水區溪流水系兩旁，以固定寬度方式，劃設 40 m、80 m 及 120 m 為植生緩衝帶，並改變緩衝帶 C-值，推算泥砂產量，藉以比較泥砂防治效益，評估適宜的植生緩衝帶寬度。

### III、結果與討論

#### (I) 集水區資料收集與分析

於取得合坑溪及其支流集水區之數值高程模型 DEM 與衛星影像資料，利用 40m×40m 數值網格資料，進行網格分析，劃出合坑溪及支流(蛟龍溪與火培坑溪)

集水區區位如圖 1。蛟龍溪與火培坑溪為水里溪上游合坑溪之兩條支流，其中火培坑溪集水區左岸與蛟龍溪集水區之全部屬林業試驗所蓮華池試驗林。本試驗區位於省中部南投縣魚池鄉，日月潭北部之丘陵地，海拔高度介於 525m 至 958 m 間，年平均降雨量為 2,181.3 mm。此地區土壤為趨紅化作用之黃壤，表土為褐色砂質壤土或黏質壤土，底土為棕黃色、黏質夾有岩石碎塊，質地疏鬆易碎，屬大鞍系玢質黏土。土壤厚度介於 20~40 cm，平均為 60~90 cm，集水區

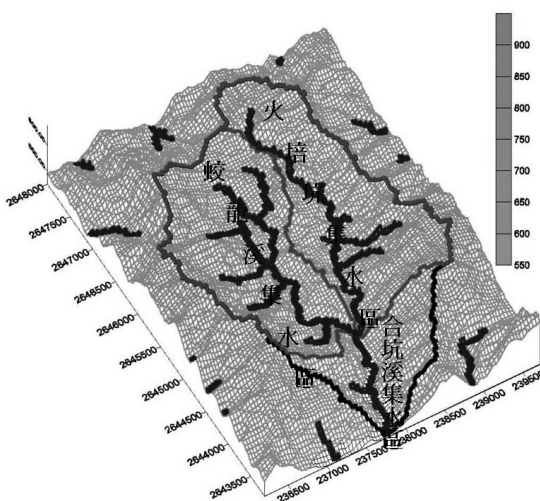


圖 1. 合坑溪及其支流集水區 3D 立體圖  
Fig.1 Map of Herkenchi Watershed and its branches

上游土壤深度較淺，約 20~60 cm。地質屬中新世之百冷層，有擬斷層沿蛟龍溪與火培坑溪悉床而上，岩層由砂岩、頁岩組成，粗礫砂岩呈黃色或白色，顆粒圓磨度為次圓形，掏選度不佳膠結差，成鬆散狀；細粒砂岩呈白色或灰色，顆粒圓磨度以次圓形或次棱角狀，質地緻密而堅硬。頁岩有二種，緻密薄層狀或含碳質疏鬆狀者，色灰或灰黑，薄層常有小節理，量多接近地面構成破碎面，後者成灰色，疏鬆成泥狀(葛錦昭等，1978)。

合坑溪及支流集水區大部份為原始天然闊葉林，林木鬱閉，地面植生覆蓋良好；植生以樟科與殼斗科之樟儲林為主，厚殼桂最多，野桐類、野茉莉類、青剛類次之。林內下層植物較複雜，主要成份為上層林份之幼樹，次為茶科及冬青類植物；灌木類組成亦複雜，主要為伯拉木、雞屎藤、九節木等；地被植物較為單純，以蕨類為主，冷清草次之。溪流兩岸、崩塌地或地滑地，植被覆蓋較差，有待加強植生復育。

蛟龍溪集水區面積 3.92 km<sup>2</sup>，絕大部份為公有地，屬林業試驗所蓮華池試驗林地，以人工林或天然闊葉林為主，佔該集水區面積之 88 %，檳榔園 5 %，其他如

草地 2 %、茶園 1 %、果園 1 %、農地 1 %、建地 1 %、水體 1 %，土地利用單純，植生覆蓋良好。火培坑溪集水區面積 3.3 km<sup>2</sup>，一半為公有地，屬林業試驗所林地，另一半則為私有地。人工林及天然闊葉林佔 68 %、檳榔園 19 %、茶園 5 %、草地 3 %、農地 3 %、水體 1 %、房舍及果園 1 %，土地利用較複雜。合坑溪集水區面積 8.56 km<sup>2</sup>，包含蛟龍溪與火培坑溪，人工林或天然闊葉林佔 77 %、檳榔園 13 %、茶園 3 %、草地 2 %、農地 2 %、水體 1 %、房舍 1 %、果園 1 % 土地利用為兩者之綜合型。

## (II) 地文與水文特性分析

集水區泥砂產量因土地利用變化與地表逕流量特性而改變，地表逕流量特性則取決於降雨量與集水區之地文參數，故集水區泥砂產量與地文參數有關，分析合坑溪主流與支流集水區各項地文因子，未來在評估森林經營對水、土資源保育的指標上，具有重要的意義。表 1 為主流與支流集水區各項地文因子，蛟龍溪與火培坑溪為合坑溪上游之支流，兩者互相鄰接，蛟龍溪集水區面積為 3.92 km<sup>2</sup>，火培坑溪集水區面積為 3.3 km<sup>2</sup>，兩支流集水區面積均小於主流合坑溪集水區面積 8.58 km<sup>2</sup> 的一半。大部份地文因子隨集水區面積增加而增加，如河川總長  $L_T$ 、河川數  $N$ 、起伏量  $R_f$ 、集水區寬  $W$ 、形狀因子  $F$ 、密集度  $C$ 、圓比值  $M$ 、細長比  $E$  等參數，火培坑溪小於蛟龍溪，蛟龍溪小於合坑溪。合坑溪及支流集水區周長 11.04~15.92 km，溪流長度 3.25~5.12 km，平均寬度 0.86~1.67 km，起伏量 696.21~693.88 m，平均坡度 31.9~34.93 %，起伏比 0.2~0.24。合坑溪及支流集水區形狀係數為 0.23~0.33，密集度 0.55~0.65，圓比值 0.3~0.42，均小於 1，當形狀係數密集度及圓比值越接近 1 時，顯示集水區越接近於圓形，集水區之密集度大時，小溪流越密集，漫地流到達溪流，匯入主流時間越快，則集流時間越短，洪峰到達時間越短，產生洪峰流量越大。水系密度與河川頻率為單位面積溪流的數量，水系密度與河川頻率表示水系發達，水量容易集中。這些地文因子特性，顯示合坑溪及支流集水區平均坡度大、溪流短、起伏量變化大、形狀係數及密集度大等特質，都是屬於上游山區集水區的特性，是未來進行資源保育研判之重要參據。另外，蛟龍溪、火培坑溪集水區由於地文因子特性與地理位置很相近，將設定為併對集水區，進行不同土地利用與集水區泥砂沖蝕推估方面之研究。

表 1 蛟龍溪、火培坑溪、合坑溪等集水區之地文特性  
 Table1 Topographic characteristics of Jaulongchi, Houpeikenchi and Herkenchi watersheds

地 文 因 子	集 水 區		
	火培坑溪	蛟龍溪	合坑溪
面 積 A (km <sup>2</sup> )	3.3	3.92	8.58
集水區周長 P (km)	11.76	11.04	15.92
集水區縱長 L (km)	2.86	2.81	3.92
主 流 長 L <sub>0</sub> (km)	3.82	3.25	5.12
河 川 總 長 L <sub>T</sub> (km)	5.58	7.21	14.33
河 川 數 N	6	7	14
平 均 高 程 H=ΣZ/n (m)	696.21	708.56	693.88
起 伏 量 Rf=Z <sub>max</sub> -Z <sub>min</sub> (m)	331	406	433
平均坡度 S=ΣS/n (%)	31.9	35.04	34.93
起 伏 比 R=Rf/△d	0.24	0.24	0.2
集水區寬 W=A/L (km)	0.86	1.21	1.67
形狀因子 F= A/L <sup>2</sup>	0.23	0.37	0.33
密 集 度 C=3.545A <sup>1/2</sup> /P	0.55	0.63	0.65
圓 比 值 M=12.566A/P <sup>2</sup>	0.3	0.4	0.42
細 長 比 E=1.128A <sup>1/2</sup> /L	0.72	0.8	0.84
水系密度 D <sub>s</sub> =L <sub>T</sub> /A	1.69	1.84	1.68
河川頻率 F <sub>s</sub> =N/A	1.82	1.78	1.64

### (III) 泥砂產量推估

集水區因降雨條件、土壤狀況、坡度、坡長、地面植生覆蓋情形、及水土保持處理等的改變，影響坡面土壤沖蝕，每個集水區情況不同，產生土壤沖蝕量也不一樣。流失之土壤在向下傳輸時，一直重複沖蝕、搬運與堆積的程續，泥砂移動走走停停，最後通過集水區出口而流出，流走之泥砂量遠小於坡面土壤沖蝕量。坡面之泥砂由地表逕流挾帶向下移動，匯集後流入常流水之溪流。地表逕流越大，所挾帶泥砂量越大；匯集地表逕流集水面積增大，地表逕流亦隨之增大，經過網格分析，得到合坑溪及支流集水區之泥砂遞移率分佈，如圖 2。圖中顏色

接近黃色，即表示泥砂遞移率較大，大致分佈在溪流兩旁或是溪流的源頭；若顏色越淡，或趨近白色即表示泥砂遞移率小，以分佈在嶺線或地勢平坦處。

降雨沖蝕指數  $R_m$  是黃俊德(1979)以臺灣地區之基隆、新竹、台中、日月潭、高雄、恆春、台東及花蓮等八個氣象站為基礎，採其 20 年的自記日雨量記錄，輔以全台 200 個雨量站之月雨量資料而建立。臺灣本島的年平均降雨沖蝕指數，目前有數化之等值圖(林昭遠、林文賜，1999)，本研究之降雨沖蝕指數  $R_m$ ，係取用該數化值，範圍為 14,236~15,257  $Mj\text{-}mm\text{/ha}\text{-}hr\text{-}yr$ 。土壤沖蝕指數  $K_m$  採臺灣坡地土壤沖蝕指數(萬鑫森、黃俊義 1981，1989)之數化等值圖(林昭遠、林文賜，1999)，土壤沖蝕指數  $K_m$ ，數值範圍為 0.0312~0.0388  $tons\text{-}ha\text{-}hr\text{-}yr\text{/Mj}\text{-}mm\text{-}ha\text{-}yr$ 。圖 3 為網格分析的坡度分佈，採用 Wischmeier and Smith (1978)提出之坡度分析公式  $S=65.4\sin^2\theta+4.56\sin\theta+0.0654$  求算而得，其中  $\theta$  為網格平均坡度。又林地坡度普遍均較大，圖中顏色越紅表示坡度越大，顏色趨綠色表示坡度越小，坡度 55 % 以下分佈在溪流兩旁、山頂、嶺線附近居多；坡度 55 %~100 % 分佈在山腹最多；大於 100 %，數量少，坡度急陡坡為沖蝕崩塌危險地區，以分佈山腰為主。

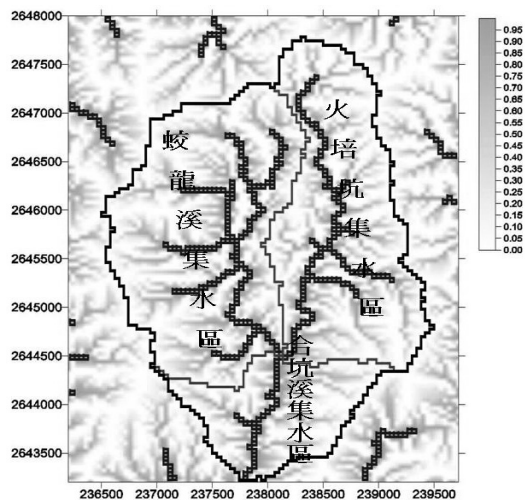


圖 2.合坑溪及支流集水區泥沙遞移率  
Fig.2 BDR of Herkenchi Watershed and its branches

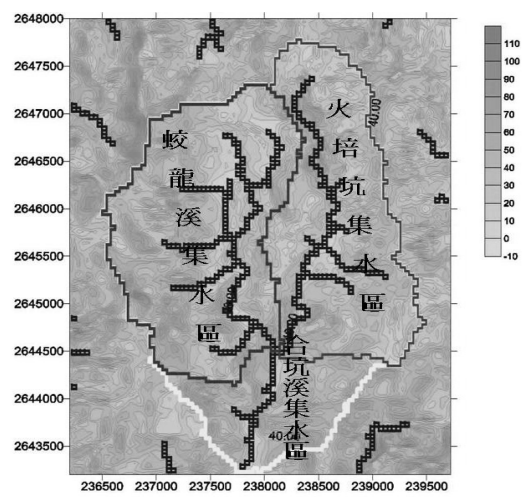


圖 3.合坑溪及支流集水區坡度分佈  
Fig.3 Slop of Herkenchi Watershed and its branches

植生覆蓋程度的百分比與坡地土壤沖蝕有密切關係，利用綠色植物吸收藍光、紅光及強列反射紅外光特性，計算可見光與近紅外光之比值或差值，稱為常態化差異植生指標(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)，其計算式如右： $NDVI=(NIR-R)/(NIR+R)$  式中 NIR：表近紅外光。R：表紅光。圖 4 為水里溪

上游合坑溪及支流集水區之衛星影像資料，經上式計算 NDVI 值，綠色越濃厚，常態化差異植生指標值越大，表示植物生育旺盛，植被覆蓋良好。

根據以上各因子之分析，分別算出降雨沖蝕指數(Rm)、土壤沖蝕指數(Km)、坡度坡長指數(LS)、水土保持因子(P)及覆蓋因子(C)，計算 USLE 公式各沖蝕因子的乘積，估算合坑溪兩集水區年平均降雨量為 2,181.3 mm 之土壤流失量。土壤流失推估量乘以集水區泥砂遞移率，得到表 3 之泥砂生產量。蛟龍溪集水區之土壤流失量與沖蝕深度小於火培坑溪與合坑溪兩集水區之土壤流失量與沖蝕深度，主要原因為蛟龍溪集水區為公有地，屬林業試驗所林地，大部份土地利用以人工林或天然闊葉林為主，佔該集水區面積之 88%，檳榔佔 5%，其他佔 7%，土地利用單純，植生覆蓋良好，故土壤流失量少，總泥砂產量為 2.78 ton/ha/yr，沖蝕深度為 0.2 mm/yr。火培坑溪集水區一半屬公有地，為林業試驗所林地，另一半為地私有地，土地利用上人工林及天然闊葉林佔該集水區面積 69%，果園、檳榔園、茶園、農地、房舍佔 12%，檳榔佔 19%，土地利用較複雜，植生破壞與土壤擾動較嚴重，土壤流失量增加，總泥砂產量為 161.84 ton/ha/yr，沖蝕深度為 11.6 mm/yr。合坑溪集水區範圍包含蛟龍溪、火培坑溪集水區，土地利用受到前兩者之影響，人工林或天然闊葉林約佔該集水區面積 79%，檳榔園佔 13%，其他土地利用佔 8%，其土壤流失量介於前兩者之間，總泥砂產量為 90.07 ton/ha/yr，沖蝕深度為 6.4 mm/yr。

表 2 合坑溪集水區之泥砂生產量

Table 2 Sediment yields of Herkenchi Watershed and its branches.

項 目	蛟龍溪集水區	火培坑溪集水區	合坑溪集水區
年平均降雨量(mm)	2,181.3	2,181.3	2,181.3
集水區面積 (km <sup>2</sup> )	3.92	3.30	8.58
總泥砂生產量(ton/ha/yr)	2.78	161.84	90.07
泥砂產量深度(mm/yr)	0.2	11.6	6.4

#### (IV) 濱水區緩衝帶劃設

山坡地是土壤沖蝕與泥砂輸移的敏感地帶，台灣中、上游集水區內之地文變化複雜與土地利用變遷快速，對集水區水文、泥砂之影響，輕重不一(盧惠生等，1987、1988)。每年雨季，颱風豪雨來襲，洪水泥砂氾濫成災，造成生命財產的損失。有效的防治表土沖蝕與泥砂輸移進入水體，避免河川溪流淤砂堵塞，設置濱水帶緩衝區(Riparian Zone)，能有效控制河川優養化作用與淤積現象(丁昭義

1981、謝長富 1989、Lowrance 1992、Jordan 1994、Hsieh et al. 1994、陳尊賢等 1996)，植生緩衝區也具有截留漫地流與泥砂的功效(Flanagan 等 1986,1989、Heyes 及 Dillaha 1992)，能維持水資源的質與量在一定程度以上。根據文獻報告，濱水帶緩衝區寬度是依據設置目的而不同，濱水帶緩衝帶寬度有採 10~30 m (Jordan 1993、Peterjohn and Correll 1984、Lowrance 1988、陳尊賢等 1996)、30~50 m (水土保持法第二十條)、80 m (Castell et al. 1992)。

本研究沿溪流兩旁 40 m、80 m 與 120 m 分別劃設濱水帶緩衝區結果如圖 5 所示，藍色線表示為溪流，黃色線的範圍為 40 m 之濱水帶緩衝區，面積 132.8 ha，佔合坑溪集水區全部面積之 15.5%，綠色線的範圍為 80 m 之濱水帶緩衝區，面積 247.7 ha，佔 28.9%，青色線的範圍為 120 m 之濱水帶緩衝區，面積 348.2 ha，佔 40.7%，如表 3，顯示 80 m 及 120 m 緩衝帶需要保育面積比率均較大。緩衝帶經過妥善管理與復育後，C-值會因為緩衝帶植生茂密，覆蓋良好，而改變。若緩衝帶為覆蓋良好的林地時，C-值降為 0.001，集水區之泥砂產量會減小如表 3，設置 40 m 寬緩衝帶泥砂產量會降為 37,642.3 ton/yr，泥砂量減少 39,639.5 ton/yr，泥砂量降低 51.29%，單位緩衝帶面積減少泥砂生產量為 283.45 ton/ha/yr；設置 80 m 寬緩衝帶泥砂產量降為 22,980.8 ton/yr，泥砂量減少 54,301.0 ton/yr，泥砂量降低 70.26%，單位緩衝帶面積減少泥砂生產量為 219.22 ton/ha/yr。設置 120 m 寬緩衝帶泥砂產量降為 16,244.6 ton/yr，泥砂量減少 61,037.2 ton/yr，泥砂量降低 78.98%，單位緩衝帶面積減少泥砂生產量為 175.29 ton/ha/yr。雖然 80 m 及 120 m 寬緩衝帶比 40 m 寬緩衝帶降低泥砂量大，但是需要增加緩衝帶的面積相對也增大。若以單位緩衝帶面積減少泥砂量為考量因子，反而是以 40 m 寬緩衝帶比 80 m 及 120 m 寬緩衝帶好。若以泥砂減少量(%)與緩衝帶面積比(%)之比值為評估泥砂防治效益，則 40 m 寬緩衝帶泥砂防治效益為 3.31，80 m 及 120 m 寬緩衝帶泥砂防治效益僅為 2.43 及 1.94，顯然設置 40 m 寬緩衝帶比設置 80 m 及 120 m 寬緩衝帶效果好。Lin (1997)認為以植生緩衝帶減緩泥岩地區污染，攔阻泥砂量是很有效的方法，設置 40 m、80 m 與 120 m 植生緩衝帶攔阻泥砂、營養鹽效果都很好，40 m 緩衝帶已足夠。事實上，臺灣山區多石質土，間拌有石片、礫石，粗孔隙特多，土壤飽和入滲率極高，林地之地表逕流發生之機率低，藉由深厚的土層吸附、生物固定、分解及化學反應達到自淨作用去除水中污染物。合坑溪及支流集水區經營無農業使用及伐木現場作業問題，土地利用為單純的森林地，具有自淨作用，合坑溪及

支流集水區緩衝帶設置寬度，不需設計到 80 m 或 120 m 寬，設置 40 m 緩衝帶，已足夠矣，可節省不必要的林地資源浪費。

表 3 合坑溪及支流集水區緩衝帶防治泥砂效果

Table 3 Efficiency of buffer strips to control sediment yields in Herkenchi watershed and its branches.

項 目	緩衝帶面積(ha)	緩衝帶面積比(%)	泥砂產量 (ton)	泥砂減少量(%)	單位面積泥砂減少量(ton/ha/yr)	防治效益
40 m 緩衝帶	132.8	15.5	37,642.3	51.29	283.45	3.31
80 m 緩衝帶	247.7	28.9	22,980.8	70.26	219.22	2.43
120 m 緩衝帶	348.2	40.7	16,244.6	78.98	175.29	1.94

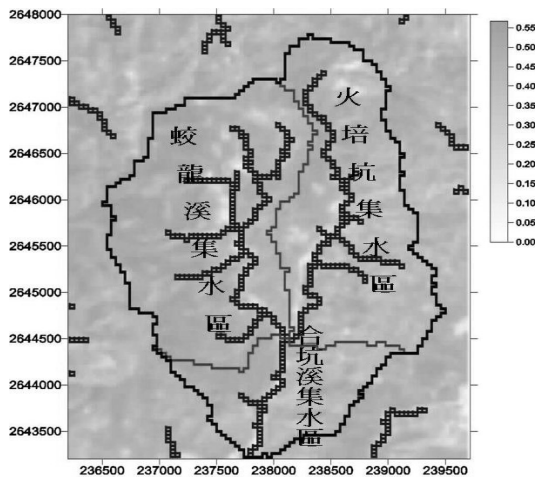


圖 4.合坑溪及支流集水區之 NDVI  
Fig.4 NDVI of Herkenchi Watershed and its branches

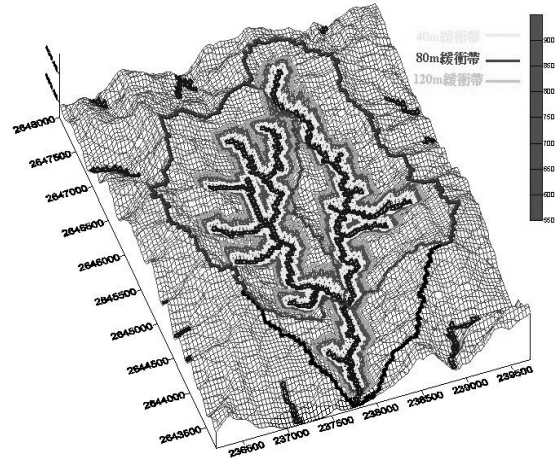


圖 5.合坑溪及其支流集水區緩衝帶圖  
Fig.5 Buffer strips of Herkenchi Watershed and its branches

#### IV、結論

人民對水資源的要求，質與量越來越高，而破壞水源，污染水質也越來越嚴重，致使原本水資源分配不均的臺灣，處處受限，在運作上捉襟見肘，凸顯水土資源保育的重要與必要性。防治上游集水區非點源污染，以減少下游溪流水遭受污染，提高河川自淨與含容能力，是水資源開源節流的不二法門，也是當今水資源保育的重要工作。

以年平均雨量 2181.3 mm 推估合坑溪及支流(蛟龍溪與火培坑溪)集水區之土壤流失量與沖蝕深度，結果分別為 90.07 ton/ha/yr 與 6.4 mm/yr、2.78 ton/ha/yr 與 0.2

mm/yr、161.84 ton/ha/yr 與 11.6 mm/yr。蛟龍溪集水區之土壤流失量與沖蝕深度小於火培坑溪與合坑溪兩集水區，主要因為蛟龍溪集水區為林業試驗所林地，土地利用單純，植生覆蓋良好，故土壤流失量少。火培坑溪集水區之一半為林業試驗所林地，另一半為私有地，包含果園、檳榔園、茶園、菜園，土地利用較複雜，植生破壞與土壤擾動較嚴重，土壤流失量較大。合坑溪集水區範圍包含蛟龍溪、火培坑溪集水區，受到前兩者之土地利用的影響，其土壤流失量介於前兩者之間。

由於濱水帶植生緩衝區之劃設，在未來坡地保育措施扮演重要角色，也是各界屬目關心的焦點。若緩衝帶之寬度設計不足，將無法達到淨化溪流水質的預期效果，過於誇大的寬度則不符合需要，明顯浪費林地資源。設置 40 m 寬緩衝帶，單位緩衝帶面積可減少泥砂生產量為 283.45 ton/ha/yr，減少泥砂總量 51.29%，在林地已足夠；又 40 m 寬緩衝帶泥砂防治效益 3.31 比 80 m 及 120m 寬緩衝帶泥砂防治效益 2.43 及 1.94 為高，合坑溪及支流集水區溪流緩衝帶採 40 m 寬是合適的。

## V、謝誌

本研究承行政院農業委員會 98、99、100 年度之農科-6.1.1-森-G1 及 101 年度之農科-13.3.5-森-G3 經費補助，傅鶴翹、王德華、邱之偉等野外協助，謹此致謝。

## VI、參考文獻

- 丁昭義、陳信雄(1981) 梨山果園使用之農藥對德基水庫上下游水質之影響。中華林學季刊，14(4)：55-65。
- 水土保持法相關法規、水土保持技術規範(1997) 中華水土保持學會編印。
- 林壯沛、黃良鑫、盧惠生、林昭遠、鄭皆達(2002) 三合溪集水區泥砂推估與濱水帶設置。水土保持學報 34 (1)：1-22。
- 林昭遠、林文賜(1999) 集水區坡長因子自動萃取之研究。中華水土保持學報 30(4)：299-311。
- 林文賜(2002) 集水區空間資訊萃取及坡面泥砂產量推估之研究。博士論文，174P。
- 林業試驗所六龜分所氣象資料(1998) 林業叢刊第 89 號。
- 鄭旭涵(2000) 九份二山地震崩塌坡面泥砂產量及植生復育之研究。碩士論文 88P。
- 陳尊賢、劉禎祺(1996) 肥料施用及河岸森林保護帶對翡翠水庫水質之影響(11)。行

- 政院農業委員會委託計畫報告，(84 科技-\*2.9-糧-03(2-22))，29p.
- 陳文欽(2000) 二仁河流域坡面土壤流失量推估之研究。中興大學水土保持研究所碩士論文。
- 黃俊德(1979) 臺灣降雨沖蝕指數之研究。中華水土保持學報 10(1)：127-144。
- 萬鑫森、黃俊義(1981) 臺灣坡地土壤沖蝕指數。中華水土保持學報 20(1)：17-45。
- 葛錦昭、楊炳炎、林淵霖、楊楚淇、漆陞忠 (1978) 臺灣森林集水區經營試驗初步報告。林業試驗所 試驗報告第 304 號。
- 劉正川、陳錦嫻(1993) 台南縣泥岩地區大面積開發之土壤沖蝕量研究。第三屆 ARC/INFO User Conference 地理資訊系統應用研討會論文集 pp.143-159。
- 盧光輝、姜善鑫、蔡博文(1994) 山坡地土壤流失量之推估。80 年度水土保持及集水區經營研究計畫成果彙編。林業特刊 40：1-22。
- 賴如慧(1998) 水庫集水區優先治理區域之評選-整合多評準決策與地理資訊系統。逢甲大學土地管理研究所碩士論文。
- 經濟部水資源統一規劃委員會 (1997) 中華民國八十六年臺灣水文年報。
- 謝長富、陳尊賢、林崇明、陳賢芳、陳連興、張仲民 (1989) 德基水庫周緣林帶對果園施肥後之過濾效用。經濟部德基水庫管理委員會委託研究計劃報告 p96.
- Flanagan, DC, W.H. Neibling, GR Foster, and JP Hurt. (1986) Application of CREAMS in filter strip design. Paper No. 86-2043. American Society of Agriculture Engineers, St. Joseph, MI, 12 pp.
- Flanagan, DC, GR Foster, WH Neibling, and J P Hurt. (1989) Simplified equations for filter strip design. Transaction of the American Society of Agricultural Engineers 32：2001-2007. Joseph, MI, 17 pp.
- Heyes, JC and TA Dillaha. (1992) Vegetative filter strips application of design procedure. Paper No.92-2103. American Society of Agriculture Engineers, St.
- Hsieh, CF, ZS Chen, LH Chen, ZS and CM Lin. (1994) Nutrient interception by a riparian forest receiving from adjacent orchard near Techu Reservoir in Taiwan. Proceeding of the Workshop of soil and Fertilizer Pollution. P.36-54. Published by The Chinese Society of Soils and Fertilizers Sciences.
- Jordan, T.E., DL Correll, and DE Weller, (1993) Nutrient interception by a riparian forest receiving inputs from adjacent cropland. J. Environ. Qual.22：467-473.

- Lin,CY(1997) A study on the width and placement of vegetated buffer strips in a mudstone-distributed watershed. *Journal of Soil and Water Conservation*, 29(3):250-266
- Lowrance, RR, S McIntype, and S Lance. (1988) Erosion and deposition in field/forest system estimated using Cesium-137 activity. *J. Soil and Water Cons.*44 : 195-199.
- Lowrance, RR (1992) Groundwater nitrate and denitrification in a coastal plain riparian forest. *J. Environ. Qual.* 21 : 401-405.
- Peterjohn, WT and DL Correll (1984) Nutrient dynamics in an agricultural watershed. : Observations on the role of a riparian forest. *Ecology* 65(5) : 1466-1475.

## 高雄市桃源區復興里 611 水災成因分析

許中立<sup>1</sup> 葉師杏<sup>2</sup>

**【摘要】** 荖濃溪支流布唐布那斯溪因岩性相對軟弱、節理和破碎較多，遇豪大雨就會有土石流出的情形，因此被編為土石流潛勢溪流並劃定為特定水土保持區。2009 年莫拉克風災對於高屏地區影響甚大，該地區更形成堰塞湖並潰決釀災且災情相當嚴重，其上、下游的公路、堤岸與村落安全受到威脅，雖經緊急災害搶修與復建但至今引發之後續災害問題仍使災民生命財產與生活品質受到影響。本文以該土石流潛勢溪流上游的高雄市桃源區復興里為調查區域，以資料蒐集、實地調查與周邊災害影響比對方式，運移探討其於 2012 年 611 水災時 21 戶房屋受災的成因。分析結果得知復興里下游的布唐布那斯溪發生大規模崩塌後引發土石流，沖入荖濃溪淤積阻斷了溪水流形成堰塞湖，造成溪水與泥砂往上游回淤而抬高既有河床。也使得復興里旁荖濃溪支流拉庫斯溪之水泥砂因回淤無法排出，致使河道完全淤滿並喪失排洪功能，造成溪水改道溢流沖入村落而淘刷釀災。調查結果發現布唐布那斯溪的崩塌仍在持續，匯入荖濃溪河段易形成堰塞湖，必須儘早監控、調查與妥善安置影響區域民眾，未來該區的復建亦應審慎考量此災害影響。

**【關鍵詞】** 611 水災、堰塞湖、回淤、淘刷

### CAUSE EFFECT ANALYSIS OF 611 FLOOD DISASTER IN FUXING VILLAGE, TAOYUAN DISTRICT, KAOHSING COUNTY

Chung-Li Hsu<sup>1</sup> Shih- Sing Ye<sup>2</sup>

**【Abstract】** The Butangbunasu Stream was one of the tributaries in Laonong River watershed, which lithology was relatively weak, joints and broken more. Case of heavy rain there mudslide situation, thus was incorporated as a potential debris flow streams.

---

<sup>1</sup> 國立屏東科技大學水土保持系副教授，通訊作者。電子郵件: clhsu@mail.npust.edu.tw

Associate Professor, Department of Soil and Water Conservation, National Pingtung University of Science and Technology. Corresponding Author. E-mail: clhsu@mail.npust.edu.tw

<sup>2</sup> 國立屏東科技大學水土保持系研究生。

Graduate Students, Department of Soil and Water Conservation, National Pingtung University of Science and Technology.

Typhoon Morakot seriously hit Kaohsiung and Pingtung areas in 2009. There was the formation of landslide lake break disaster brewing and very serious disaster on downstream load embankment and villages of security was threatened.

Although despite emergency disaster rehabilitation, but the triggered subsequent disasters were still affected life and property and life quality of the victims. In this paper the test site located in Fuxing Village, Taoyuan District, Kaohsiung County of the debris flow potential river upstream for the survey area, data collection, field investigation with neighboring disasters than migration to explore the causes of the 21 houses affected 611 flood event in 2012. The analysis results showed the Butangbunasu Stream in the downstream of Fuxing village that numerous sediment of debris flow from its upstream landslides into the Laonong River formed a landslide lake to silt and block the river, resulting river upstream back silting and raise riverbed nearby Fuxing Village. Thus, it can not be discharged due to back silting the river completely overwhelmed and the loss of the drainage function in the Laonong River tributaries Lakusi Stream, causing the stream diversions flood flow into the village and scour riverbank let disaster brewing. Butangbunasu Stream upstream continually have landslide accure, the threat of backed silting in Laonong River still exists, must as soon as possible to monitor the proper placement of affected area people.

**【Key words】** 611 flood event, Landslide lake, Back silting, Scour

## I、前言

地質災害與地形的變遷原就是屬於自然現象，尤其集水區源頭河、溪或蝕溝的侵蝕作用正是泥砂生產與輸送的重要來源，造就了下游的海岸沙洲、平原與河階地形。而地震風災更促使地形的急劇變動，產生大量的山體滑動、邊坡崩塌與土石流等，其運動過程直接或間接的危及坡地的安全並損失財產或人命，讓生活在坡地的人們感到惶惶不安。

1998 年 921 地震與 2009 年莫拉克颱風等世紀型災難後，社會大眾開始意識到大規模災害的複合影響，例如土石流、堰塞湖、深層崩塌、地球暖化、極端氣候與複合式災害等先後被提出討論，由於災害的規模大到人為處理方法已無法有效控制的程度，因此漸漸強調應進行「預防性撤離」之疏散避難作為，提早遠離

災源趨吉避凶。事實上根據國內、外的經驗得知，在大型災害過後幾十年內地區穩定性與環境生態逐漸恢復之前二次災害發生的機率仍然存在，因此災後復建工作期間仍不斷要面對這些不可預知的挑戰，且往往因復建工作尚不完整再次釀災而民怨肆起。

本文針對高雄市桃源區復興里於 2012 年 0611 水災期間 21 戶房屋受損沖毀的事件為題，進行各方爭訟意見的蒐集與彙整，比對瞭解災害發生的過程，並客觀分析災害的成因及探討未來對策，提供作為該課題的處理觀點參考。

## II、調查區域與受災情形介紹

本文的調查區域為位於高雄市桃源區復興里地區，緊鄰荖濃溪支流拉庫斯溪。於 2009 年莫拉克風災之後本調查區附近荖濃溪支流拉庫斯溪、清水溪、布唐布那斯溪等均有大量土砂流出，其中布唐布那斯溪因上游集水區的崩塌形成土石流下移堵塞荖濃溪而形成堰塞湖，由於崩塌量體龐大故所形成的堰塞湖規模亦為莫拉克風災中為最大者，其影響也是較深遠的。而荖濃溪下游不少經建設施遭到損毀，至今復建已超過三年但仍無法恢復舊貌，許多設施仍待評估重建的可能性。

本次 2012 年 611 水災亦，河段溪水往上游回淤。洪水無法排出，使得河道完全淤滿，喪失排洪功能，造成土石流全面溢流。以下概略介紹本區的環境特性。

### (I) 人口分布

復興里的人口並不多，主要為布農族原住民，在莫拉克風災前是人間仙境，水災沖毀聯外道路，居民在山上生活如自生自滅，成為直轄市中的貧民窟。由於莫拉克風災時申請永久屋的人數不多（如表 1），因此居民多會返回居住與農耕維生，因環境復原的速度沒有那麼快，往來村落都以便橋方式進出，災後溪床淤積使得溪水暴漲的很快，這也是本地區民眾於颱風豪雨時容易受困的原因。

表 1 村里人口數統計

村里名稱	鄰數	戶數	男	女	合計
復興里	3	115	207	175	382

（資料來源：高雄市桃源區戶政事務所；資料更新：2013 年 01 月）

### (II) 地理位置

本調查區域為以玉山山脈梅山段為界，東臨臺東縣海端鄉利稻村，西臨那瑪夏區瑪雅里，南邊比鄰勤和里及桃源里，北方與梅蘭里為交界。社區內交通以省

道臺 20 線（南橫公路）為主，往北可銜接玉山國家公園，通往臺東縣海端鄉，往南可通往茂林區，前往茂林國家公園。其位處桃源區中部，於省道臺 20 線上。

在過去南橫公路暢通的時候，遊客以臺 20 線前往梅山、利稻、向陽等絡繹不絕，過年或長假日常有塞車的情形。復興里居於此路段的中點，提供遊客休息賞景的地點。而臨近社區的拉庫斯溪原本就是溫泉溪，所謂野溪黃金溫泉的故鄉，成為尋幽訪勝的遊客嚮往的密境。但莫拉克風災後溪床淤積並擴大成數倍，上游則仍有許多不安定的土砂材料，雖經過幾年的清疏但還沒有穩定的跡象，加上臺 20 線的公路恢復難度高，部份路段沒有路基可以打通，開鑿山壁的風險與工程規模頗大，因此至今南橫公路仍處於中斷的狀況，復興里亦只能以便橋進出，遇到颱風豪雨就有沖毀中斷的危機。

### (III) 區域地質

復興里地勢呈北高南低，高度在海拔 700 公尺至海拔 2,500 公尺之間，高低差約 1,800 公尺，地層分布由東至西可分為新高層、廬山層、瑞芳群及其相當地層、三峽群及其相當地層。復興村位於廬山層（如圖 2）至黑色的硬頁岩、板岩和千枚岩和深灰色的硬砂岩互層所組成。



圖 1 調查區地理位置

廬山層分布在中央山脈的脊樑山脈帶內，大部分由黑色到深灰色的硬頁岩、板岩及千枚岩和深灰色的硬砂岩互層組成，含有零星散布的泥灰岩團塊，它的全部厚度估計當在數千公尺上下。本層主要分布在脊樑山脈帶中。

瑞芳群包含砂岩、粉砂岩、頁岩和六層煤層。含石底層和南港層，厚度約 0.8 到 1.6 公里。

三峽群底層是中顆粒砂岩，越往上則頁岩增加，包含八層薄煤層。總厚度超

過 5 公里。三峽群中的桂竹林層包含魚藤坪砂岩、十六份頁岩、關刀山砂岩；南庄層則包含上福基砂岩和東坑層。

#### (IV) 桃源區土石流潛勢溪流

高雄市桃源區的潛勢溪流有 15 條，其中建山里 2 條、高中里 1 條、桃源里 3 條、復興里 1 條、勤和里 2 條、拉芙蘭里 5 條、梅山里 1 條，其分布如圖 3 所示。而鄰近復興里的土石流潛勢溪流有 3 條，分別為編號高市 DF059、高市 DF060 與高市 DF061，如表 2 所示。



圖 2 復興里區域地質



圖 3 桃源區土石流潛勢溪流分布

表 2 桃源區土石流潛勢統計

潛勢溪流	縣市	鄉鎮	村里	溪流名稱	地標	第一參考雨量站	第二參考雨量站	警戒值
高市 DF059	高雄市	桃源區	復興里	拉克斯溪	樟山國小復興分班	復興	小關山	200
高市 DF060	高雄市	桃源區	桃源里	布唐布那斯溪	鎮安宮	復興	小關山	200
高市 DF061	高雄市	桃源區	勤和里	布唐布那斯溪	桃源國中	復興	小關山	200

(V) 災害狀況

2012 年 6 月 10 日夜晚大雨滂沱，高雄市政府水利局辦理拉克斯溪護岸改善工程，在 5 月勘驗工程發現有一段擋土牆（護岸）強度不符規定，要求拆除重建；承包商打掉寬約 13.7 公尺、深約 5 公尺的擋土牆（護岸），當業者在辦理第二層擋土牆（護岸）重建灌漿模板施做時，逢此「611」豪雨，如圖 4 所示，河水湧高，因為護岸工程缺口，且溪水改道直衝復興里下部落而致沖毀民宅，如圖 5 所示，高雄市復興里布農族人承受莫拉克災區重建的二度傷害。



圖 4 拆除重建的擋土牆（護岸）



圖 5 溪水改道衝入部落淹沒民房情形

### III、調查分析與處理建議

本次災害於其周邊有高市 DF060 布唐布那斯溪土石流潛勢溪流因土石大量下移而形成堰塞湖災害，由於莫拉克風災時布唐布那斯上游崩塌面積超過 300 公頃，當時亦曾形成堰塞湖並潰決而釀災。布唐布那斯溪堰塞湖的迴水範圍能到達上游的復興里，使溪水往回淤積，抬高河道，河道完全淤滿，排洪功能降低。

2009 年莫拉克颱風前集水區崩塌面積為 86.97 公頃，颱風侵襲肆虐後為 366.11 公頃，較風災前新增 279.14 公頃，佔集水區面積之 53.40%。布唐布那斯溪的上游集水區崩塌以 350 公頃初估其崩塌土砂近 1,200 萬立方公尺，大部份的土砂均在中、上游地區（如圖 6 至 8）。

根據訪談調查得知高雄市桃源區布唐布那斯溪堰塞湖的迴水範圍最遠能到達上游的復興里，土石壩潰堤後災害則嚴重影響下游村落（包括：里勤和與六龜區的寶來里），重要的公共經建設施越域引水工程亦受波及損毀。由於集水區的上游崩塌面積頗大，短期植被的恢復不易，且崩塌生成的不安定土砂仍暫停於中上游地區，在這樣的狀況即使是非豪大雨或颱風時節的兩勢，就可能因土砂的下移堵塞與潰決而危害到民眾生命財產安全。莫拉克風災後政府亦曾派進行該集水區的整體治理規劃檢討，並試圖興建防治工程減低其危害，但因進入的道路維護不易且如此大量土砂的下移與崩塌地防治技術不易實踐，因此整個治理工作的重點為清疏工程，期以打通水路、束水攻砂，讓自然的流路漸漸成形，待穩定後再進行硬體工程的施作。然經過三年的時間土砂雖有下移但仍不穩定，遇豪大雨上游的土砂就會再下移，加上運輸路途遙遠，土砂的去處一直是本地區頭痛的問題，清疏的速度實在快不起來，這也是本次 611 水災復興里民眾的訴求之一。



圖 6 布唐布那斯溪集水區概況(資料來源:水土保持局)



圖 7 莫拉克災害前影像

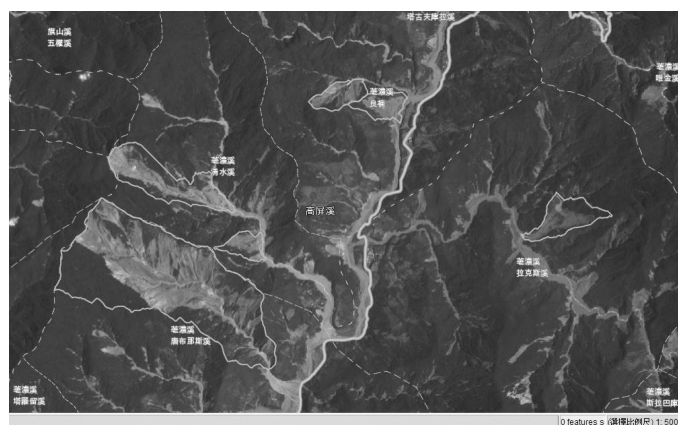


圖 8 莫拉克災害後影像

### (I) 肇災原因分析

2009 年的莫拉克風災後本區所見災害多為集水區崩塌、堰塞湖、河道淤積與達到一定降雨量所引起的淹水災害為主要考量，但因相關資料的缺乏且復建時程的急迫性，因此多沒有進一步的調查與監測以討論地層滑動、堰塞湖堵塞與潰決、清淤土砂等問題與影響；但近年來氣候異常，豪大雨發生的機率增加，在無法提供完整的復建情況下，使得此地區災害情形更趨嚴重。分析災害原因如下：

#### 1. 新形成布唐布那斯溪堰塞湖影響

此次復興里 611 災害最主要的原因仍是在豪大雨的作用下，引取復興里下游

3.5 公里處荖濃溪支流布唐布納斯溪集水區上大量土石被帶到與荖濃溪的交匯處堆積，土石流阻斷溪水，並造成對岸公路總局削山便道所在坡面整體崩坍路基損毀。大量土石於匯流口處堆積成土石壩，上游河水很快地回堵產生一個大型堰塞湖。排洪河道完全淤滿造成水流無法排出，喪失所有排洪功能於右岸沖出新河道（如圖 9）。

隨著堰塞湖的形成，回堵的湖水降低水流速度，土石迅速沉積抬高主流河道並影響支流的排洪能力。在即短的時間內荖濃溪支流拉庫斯溪溪床漸漸淤滿，進出的便橋亦已淤滿，洪水在接近社區正好為彎道的功擊坡，因此水流自然流向高灘岸邊下部落（如圖 10）。



圖 9 布唐布納斯溪出口右岸新河道

## 2. 莫拉克風災後河道拓寬

地形變遷屬自然現象，但地形的改變也是致災原因之一。莫拉克風災後復興里原本岩石裸露呈深谷狀的拉庫斯溪河床被上游崩塌下移土石拓寬，加上荖濃溪的淤積災後其主流明顯的高差變化已看不出來（如圖 11），拓寬的河道讓社區的安全更加有疑慮。



圖 10 拉庫斯溪截彎取直



圖 11 莫拉克風災後地形變化(成大福衛二號快速應變團隊)

### 3. 土石流溢堤過程推估

當地的受災戶記錄洪水在 2012 年 6 月 10 日下午 4~5 點開始湧進時，而護岸打除段直到 5 點 50 分時洪水仍未溢流湧進，故洪水最初湧進處應不在護岸打除段。護岸上游終點打除長 13.7 公尺，打除高度 5 公尺。牆身重新施做完成 1.9 公尺高。此打除段地勢最高，且開挖坡面地質均為岩盤（如圖 12），洪水無法直接突破衝入社區，必須以淤滿後越流衝進社區的型式肇災。

根據災後拍攝土砂淤積連怪手都來不及撤離被淤埋（如圖 13），而實地淤埋高程

高於石籠頂約 1.4 公尺，完全掩埋護岸及其後之河階地。此即說明有大量的土砂隨洪水下移，但因下游的淤塞回淤致使本段通水斷面迅速淤滿，洪水在高灘地亂竄衝入社區摧毀民房。

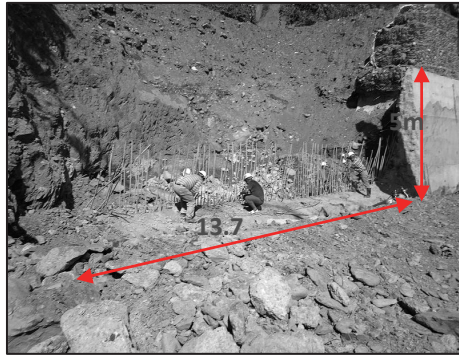


圖 12 施工護岸打除段



圖 13 怪手被淤埋於現地

## (II) 地理位置

### 1. 加強施工人員的安全

洪水氾濫、土石流及堰塞湖的潰壩都會造成施工人員在進行河床清淤、堤岸補強、道路修復時的生命危險，其中又以布唐布納斯溪土石流沖積扇及峽谷中的工作顯得更加險峻。即使是一般降雨，都應該立即禁止施工人員繼續工作。

### 2. 布唐布納斯溪匯流點之下游疏浚

洪水來臨時，河床清淤工程對於降低水位高是有效的，然而在荖濃溪與布唐布納斯溪下游匯流點是一個特別的案例。如果清淤工作沒有同時對布唐布納斯溪土石流沖積扇及堰塞湖壩體進行挖掘，將會導致堰塞湖下游匯流點的坡度增加。再次的土石流會產生一個新的壩體，並在下流匯流處孕育出一個更陡的坡面，這個陡坡面會加速堰塞湖潰堤，潰堤後的洪水會使得荖濃溪下游河床水位抬升。

### 3. 堰塞湖水位的監測

在土石流形成的堰塞湖壩體潰堤時，必須進行道路封閉與低窪地區居民疏散。布唐布納斯溪匯流處上游的堰塞湖必須盡快執行全天候水位站的架設，連續觀測水位抬升狀況，作為緊急預報提供的依據。藉由監測湖的水位抬升、觀測下游壩址流量及水位高，可以在堰塞湖潰壩之前提供進一步的預警。支流清水溪便

橋處是設置水位監測站的最合適地點，於復興吊橋舊址處和勤和便橋等也可一併架設水位監測站，共同監測。

#### 4. 針對復興里的安全進行評估

復興里的安全在此次災害可以看出應重心評估，若拉庫斯溪的淤積無法獲得有效改善，則復興里部份住宅的遷移是必要的，而遷移範圍的劃出也應即早著手進行，以利後續防災與安居的作業。

### IV、結論

本文採用 Google Earth 影像資料、現場勘查比對與居民訪談所得資料等進行災害成因探討與災害問題後續處理原則建議，其調查研究成果整理如下：

1. 豪雨造成布唐布那斯溪發生土石流，下移土砂於匯流口阻斷荖濃溪水流形成堰塞湖，使得荖濃溪土砂往上游回淤，抬高既有河床。
2. 上游支流拉庫斯溪受莫拉克風災而河道拓寬，與荖濃溪匯流差變小，此次堰塞湖回淤使下移土石無法流出，造成河道土石淤積高度超過護岸高度而全面溢流，並於護岸上游處以截彎取直方式改道衝入社區。
3. 護岸打除段為岩盤的基礎，且未見洪水流經切割刷深的型式，研判洪水最初湧進處並不在護岸打除段。
4. 就災害結果論，因河道土石淤積高度超過護岸高度，故無論護岸打除與否，均不影響土石全面淤埋河道及河階地之結果。
5. 本次災害應屬於土石流及堰塞湖之複合式災害類型之一。

### V、參考文獻

土石流防災資訊網 <http://246.swcb.gov.tw/index.aspx>

水土保持局 <http://www.swcb.gov.tw/>

卡艾瑋、鄭賀譽、林彥廷（2011）布唐布那斯溪土石流對於荖濃溪主流之影響現地調查。 [http://88flood.www.gov.tw/files/committee\\_other/127.pdf](http://88flood.www.gov.tw/files/committee_other/127.pdf)

成功大學福衛二號快速應變團隊 <http://gemdas.earth.ncku.edu.tw/>

何春蓀（1976）台灣地質概論

高雄市桃源區戶政事務所

<http://www.taoyuan-house.gov.tw/style/front001/bexfront.php>

莊文星(2011) <http://web2.nmns.edu.tw/PubLib/NewsLetter/100/284/a-5.pdf>

經濟部中央地質調查所 <http://gis.moeacgs.gov.tw/gwh/gsb97-1/sys8/index.cfm>

行政院農業委員會(2011)布唐布那斯溪清疏及整治執行情形

[http://88flood.www.gov.tw/files/committee\\_other/128.pdf](http://88flood.www.gov.tw/files/committee_other/128.pdf)



## 現行國土管理制度下之「混農林業」發展可行性探討

黃瓊璘<sup>1</sup>

**【摘要】**一個國家土地利用管理所牽涉的層面甚廣，大至環境與土地倫理、國土保安、經濟發展、社會安定等等，小至地權糾葛、超限利用、沖蝕崩塌等事項。尤其在地狹人稠如台灣者，地權與地用的爭議更是未曾間斷，且益形劇烈。「混農林業」在全球經濟發展較為落後的國家中，是一項提升土地生產力和兼顧保育的有效措施，卻是在台灣獨特的自然環境條件，以及社經發展的模糊時空背景下，演變成土地管理上的難題，甚至已影響到國土和自然資源保育、經濟提升、並若干程度造成政府與人民對立。本文就實務面向的考量，剖析「混農林業」在台灣發展的沿革，進而指出其轉型癥結之所在，並嚐試在現行政府和法律的架構下，提出長、中、短期程之解決方案，其內容著眼於政策和行政面的大方向。至於在具體的技術層面的規範和執行措施，則有待更多專家學者進一步共同研議。

**【關鍵詞】**土地利用管理、混農林業、林業用地

## Studies on developing feasibility of agroforestry in Taiwan due to its landuse management institution

Huang Chiung-Piau<sup>1</sup>

**【Abstract】** The themes concerning landuse management of a country have contained lots of items including environment ethics、disaster prevention, economic development, social security, even if in the aspects of land-tenure dispute, overuse, erosion and landslide as well. Especially, under the conditions of dense population and limited land in Taiwan, there are too many controversies between land-tenure and landuse and which had led policy to a worse chaos. Generally, agroforestry seems to be a very effective tool for developing country to

---

<sup>1</sup> 行政院農業委員會林業試驗所集水區經營組研究員，通訊作者。電子郵件: tfrihpc@tfri.gov.tw  
Senior Scientist, Division of Watershed Management, Taiwan Forestry Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan. Corresponding Auth. E-mail: tfrihpc@tfri.gov.tw

increase crop yield and promote ecosystem conservation. But not the same progresses and results occurred in Taiwan owing to it had posed unique natural conditions in geology, geography, hydrology, cultural and social backgrounds which had put the agroforestry to a dilemma situation and cause several unsolvable problems. This research is practically trying to highlight the main obstacles in developing agroforestry by reviewing historical literatures. Meanwhile, according to present rules and regulations, some of methods for modifications and revisions will be proposed in period of long-term, mid-term and short-term programs above an administrative level. Additions, concerning technical criteria and guide books must follow up to help accomplishing a huge quantity of field works. That should be a very hard challenger.

**【Key Words】** Landuse management, Agroforestry, Forest land

## I、前言--混農林業的意涵

嚴格地說，「混農林業」一詞是源之於國外慣用的一種土地利用型態，其英文專用名詞是（Agroforestry），乃是取自 AGRiculture（農業）和 FORESTRY（林業）的組合字，其定義和精神則因不同地區、國情、研究學者之見解，而出現大同小異、五花八門的釋義。根據國際組織 World Agroforestry Center（其前身即是 International Center for Research in Agroforestry, ICRAF）之整合，除了承認有現況尚的差異之外，也訂出了綜合性的定義：「**Agroforestry is a collective name for land-use systems and technologies where woody perennials (trees, shrubs, palms, bamboos, etc.) are deliberately used on the same land-management units as agricultural crops and/or animals, in some form of spatial arrangement or temporal sequence. In agroforestry systems there are both ecological and economical interactions between the different components (Lundgren and Raintree, 1982).**」

因此混農林業體系通常包含兩種以上的植物（或是植物和動物）種類，其中至少有一種為多年生木本植物，而且會有二種以上的產出物。該體系的運作時程，必須超過一年以上。換言之，「混農林業」的精神在於有別於傳統的其他土地利用型態且符合下列兩點要項：

- 1.在已做農牧使用的同一土地單元上，刻意地混植多年生木本植物，且於空間的配置可採混合或序列型態。
- 2.從而在該系統中木本和非木本的組成因子，在生態和經濟面向，必然會產生正面或負面的明顯效應。

根據以上的定義和引申說明，明白的界定了「混農林業」一詞指的是「地用」的型態，而不涉及「地權」和「土地使用管制」的範疇。更明確的說，World Agroforestry Center (WAC) 關心的是技術層面的問題，且有鑒於各個國家文化及地域特性，亦不可能涵括政治、政策、法律和社會等領域，端視地區特性做出適地適性的決策與方案。

台灣地區有關「混林農業」的發展沿革和爭議事項，國內已有多位專家學者深入探討，在此不多做引述。至於其中所產生的癥結和可能採取之解決途徑，其後將有所闡明。

## II、我國現行國土管理制度之架構及內容

臺灣地區現行之國土計畫體系，由上而下依序為國土綜合開發計畫、區域計畫、直轄市、縣（市）綜合發展計畫、都市計畫與非都市土地使用管制計畫。惟其中僅有區域計畫是依據「區域計畫法」編訂公告實施（1974年公告，2000年最新修訂），卻無區域政府專責機關來推動落實，流於只做整合各部門的發展計畫而已，致使整個國土空間發展規劃至今仍面臨許多問題與挑戰。最上位的「國土綜合開發計畫」具有指導下位計畫之功能，曾於68年及85年分別核定實施「臺灣地區綜合開發計畫」與「國土綜合開發計畫」，然因該計畫缺乏法源基礎，因此無法有效發揮功能。不論如何在這一套計畫體系下，為了生態、生產、生活三生永續發展，負責國土經營管理制度之建立規劃及執行。

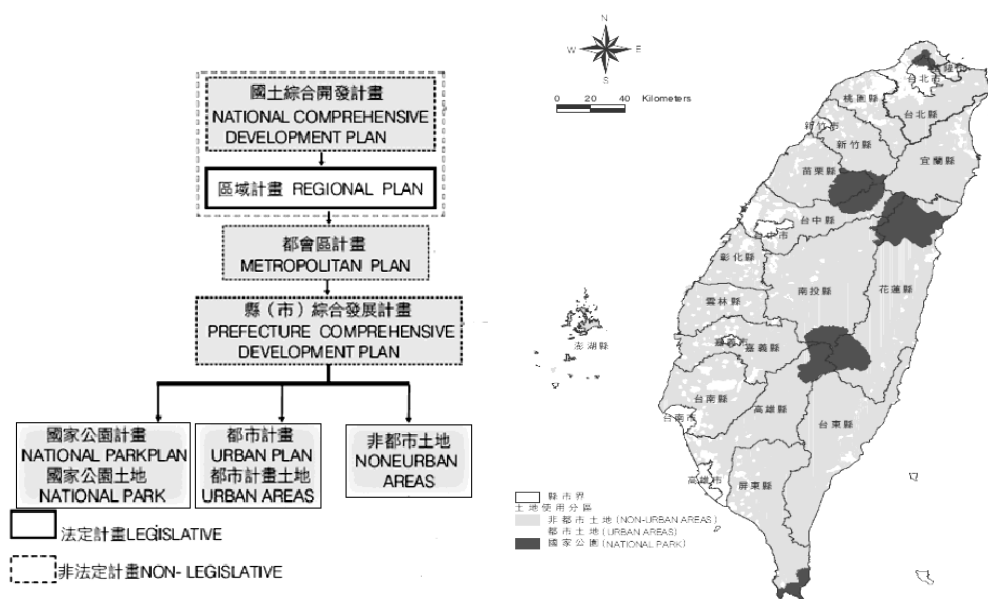


圖1. 臺灣地區土地使用分區示意圖（資料來源：葉世文，2009）

Fig.1 The classifications of landuse zoning in Taiwan(Source : Yeh , 2009)

臺灣地區土地面積約3萬6千平方公里，依法訂定有關土地使用管理制度的包括區域計畫、都市計畫及國家公園三種（如圖1）。除各有依循之法律外，並設有計畫委員會負責審議及推動事宜。目前之土地使用管理體系概述如下：

- （一）非都市土地：依區域計畫法進行管制，約佔全國面積之78.39%，並劃分為北部區域、中部區域、南部區域及東部區域等。
- （二）都市土地：依都市計畫法管制，目前實施都市計畫地區計436處，計畫面積4,703.5平方公里，約佔全國面積之13.06%。
- （三）國家公園土地：依國家公園法管制，臺灣地區目前計有墾丁、玉山、陽明山、太魯閣、雪霸、金門、東沙環礁等7座國家公園，計畫面積6,764.72平方公里，其中陸域3,077.75平方公里，約佔全國面積之8.55%、海域3,686.97平方公里。

依據「區域計畫法」對土地使用管制之條文載明：

『第十五條（非都市土地分區管制）

區域計畫公告實施後，不屬第十一條之非都市土地，應由有關直轄市或縣（市）政府，按照非都市土地分區使用計畫，製定非都市土地使用分

區圖，並編定各種使用地，報經上級主管機關核備後，實施管制。變更之程序亦同。其管制規則，由中央主管機關定之。

前項非都市土地分區圖，應按鄉、鎮（市）分別繪製，並利用重要建築或地形上顯著標誌及地籍所載區段以標明土地位置。」

同時又依「區域計畫法施行細則」之規定：

### 『第十二條

區域土地之使用管制，依下列規定：

一、都市土地：包括已發布都市計畫及依都市計畫法第八十一條規定為新訂都市計畫或擴大都市計畫而先行劃定計畫地區範圍，實施禁建之土地；其使用依都市計畫法管制之。

二、非都市土地：指都市土地以外之土地；其使用依本法第十五條規定訂定非都市土地使用管制規則管制之。

前項範圍內依國家公園法劃定之國家公園土地，依國家公園計畫管制之。」

由上述之法條得知，台灣地區之土地使用分由「區域計畫法」、「國家公園法」、「都市計畫法」管制之。再詳述如下：

#### （I）「都市計畫法」中與「混農林業」相關條文

根據「都市計畫法臺灣省施行細則」第十四條 規定：

「都市計畫範圍內土地得視實際發展情形，劃定下列各種使用區，分別限制其使用：

一、住宅區。

二、商業區。

三、工業區：

（一）特種工業區。

（二）甲種工業區。

(三) 乙種工業區。

(四) 零星工業區。

四、行政區。

五、文教區。

六、體育運動區。

七、風景區。

八、保存區。

九、保護區。

十、農業區。

十一、其他使用區。

除前項使用區外，必要時得劃定特定專用區。

都市計畫地區得依都市階層及規模，考量地方特性及實際發展需要，於細部計畫書內對住宅區、商業區再予細分，予以不同程度管制。」

其農業區為保持農業生產而劃定，因此「混農林業」之措施是已降限利用，在法規面和實務面不惟無所爭議，且應積極鼓勵。

## (II) 「國家公園法」中與「混農林業」相關條文

### 「第十二條（分區管理）」

國家公園得按區域內現有土地利用型態及資源特性，劃分左列各區管理之：

一、一般管制區。

二、遊憩區。

三、史蹟保存區。

四、特別景觀區。

五、生態保護區。

第十四條（須經許可之行為）

一般管制區或遊憩區內，經國家公園管理處之許可，得為左列行為：

- 一、公私建築物或道路、橋樑之建設或拆除。
- 二、水面、水道之填塞、改道或擴展。
- 三、礦物或土石之勘採。
- 四、土地之開墾或變更使用。
- 五、垂釣魚類或放牧牲畜。
- 六、纜車等機械化運輸設備之興建。
- 七、溫泉水源之利用。
- 八、廣告、招牌或其類似物之設置。
- 九、原有工廠之設備需要擴充或增加或變更使用者。
- 十、其他須經主管機關許可事項。

前項各款之許可，其屬範圍廣大或性質特別重要者，國家公園管理處應報請內政部核准，並經內政部會同各該事業主管機關審議辦理之。」

此外，國家公園範圍內非都市土地應變更使用分區為國家公園區，區內土地不辦理編定，已編定者應予註銷。故其區內的土地使用管制，需配合「國家公園計畫」之內容，並經過「國家公園計畫委員會」之審議，即可完成法定程序。是已於其範圍內之「混農林業」是否准予施作，自有一套嚴謹的配套措施，依法規範之。

（Ⅲ）「區域計畫法」中與「混農林業」相關條文

如前所述，非都市土地依區域計畫法進行管制，約佔全國面積之 78.39%，並劃分為北部區域、中部區域、南部區域及東部區域等。其土地使用分區和使用地的編訂最為複雜，再管理上亦產生頗多爭議和困難。依「區域計畫法」規定：區

域計畫公告實施後，不屬於前項（一）、（二）之非都市土地，應由有關直轄市或縣（市）政府，按照非都市土地分區使用計畫，製定非都市土地使用分區圖，並編定各種使用地，報經上級主管機關核備後，實施管制。再依據「區域計畫法施行細則」第 13、15 條規定：

### 「第十三條

非都市土地得劃定為下列各種使用區：

一、特定農業區：優良農地或曾經投資建設重大農業改良設施，經會同農業主管機關認為必須加以特別保護而劃定者。

二、一般農業區：特定農業區以外供農業使用之土地。

三、工業區：為促進工業整體發展，會同有關機關劃定者。

四、鄉村區：為調和、改善農村居住與生產環境及配合政府興建住宅社區政策之需要，會同有關機關劃定者。

五、森林區：為保育利用森林資源，並維護生態平衡及涵養水源，依森林法等有關法令，會同有關機關劃定者。

六、山坡地保育區：為保護自然生態資源、景觀、環境，與防治沖蝕、崩塌、地滑、土石流失等地質災害，及涵養水源等水土保育，依有關法令，會同有關機關劃定者。

七、風景區：為維護自然景觀，改善國民康樂遊憩環境，依有關法令，會同有關機關劃定者。

八、國家公園區：為保護國家特有之自然風景、史蹟、野生物及其棲息地，並供國民育樂及研究，依國家公園法劃定者。

九、河川區：為保護水道、確保河防安全及水流宣洩，依水利法等有關法令，會同有關機關劃定者。

表 1 制定非都市土地使用分區圖及編訂各種使用地作業需之編定原則表  
Table 1 A criteria for compiling the types and zonings of landuse in suburban area

使用分區 編號	一		二		三	四	五	六	七	八	九
	特定農業區		一般農業區		鄉村區	工業區	森林區	山坡地 保育區	風景區	河川區	特定專 用區
	非㊦	㊦	非㊦	㊦							
一甲種建築用地	✓	×	✓	×	×	×	×	×	×	×	✓
二乙種建築用地	×	×	×	×	✓	×	×	×	×	×	×
三丙種建築用地	×	✓	×	✓	×	×	△	△	△	×	×
四丁種建築用地	△	△	△	△	△	✓	△	△	△	×	△
五農牧用地	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	△	✓
六林業用地	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	✓
七養殖用地	△	△	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓	×	✓
八鹽業用地	×	×	△	△	×	×	×	×	×	×	△
九礦業用地	△	△	△	△	×	×	△	△	△	×	△
十窯業用地	×	×	△	△	×	△	×	✓	×	×	△
十一交通用地	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	△	✓
十二水利用地	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
十三遊憩用地	△	△	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	✓
十四古蹟地保存用地	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	△	✓
十五生態保護用地	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	△	✓
十六國土保安用地	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	△	✓
十七墳墓用地	△	△	✓	✓	△	×	△	✓	△	×	✓
十八特定目的事業用地	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	△	✓
備註	以編定農牧用地為主，山表示山坡地範圍		同左	同左	以編定建築用地或遊憩用地為主	以編定丁種建築用地為主	以編定林業用地為主	同左	以編定林業用地、遊憩用地為主	以編定水利用地為主，依現況編定為農牧者以私有土地為限	以該區性質之主要用地為主

備註：「V」為依使用現況編定。  
 「△」為經依法核准使用者，依其現況編定；未經依法核准使用者，應按其所屬使用區備註欄內所註之主要用地編定。  
 「X」為不許依使用現況編定，應按其所屬使用區備註欄內所註之主要用地編定。

### III、混農林業在台灣之發展現況和影響因子

前面之所以詳盡細述現行之土地管理系統，其著眼點是在於「地權和地用」與「混農林業」的發展歷史以及隨後產生的爭議點，存在密切的競合關係，因此有必要將其中的法律條文予以釐清。

「混農林業」在現行相關法規裡，尚未有明確定義。卻是若是此種經營方式若施行於「農地」或是山坡地之「宜農牧用地」，則並未引起經營者與政府相關管理單位之制肘，反而會以各種獎勵方式鼓勵之。這正是符合世界混農林業中心所揭示的推廣與利基所在。其次，就現行租地造林政策所允許彈性兼作農業使用的條件和收穫，在經濟層面上並不能有效支付投入之成本，縱使可獲取若干微薄利潤，也和現況生活所需之收益額度，有相當大的落差。再者，自從 1996 年的賀伯颱風侵襲台灣造成鉅大損害後，其間歷經 921 大地震、海棠颱風、莫拉克風災等等，越使得平原地區、淺山坡地、中高海拔林地遭受到無可回復的衝擊，激使環保意識高漲，對土地利用的政策愈趨保守。其中有些論點亦非全無道理，但是也有若干論調是出之於情緒性的偏激詭辯。在此氛圍下，「混農林業」所引發的爭議，更是無法從理性和技術的面向去討論和解決。

混農林業在台灣的發展時間，可遠溯自清朝開放漢人來台墾殖的政策，當時有所謂「墾照」制度，用以管制山林之任意開發；日據時期大抵亦默認在森林地之中，有若干農墾的事實，但是亦未對地權和地用做出清楚的界定和規範，造成日後百姓在公有林地經營農作，埋下諸多墾農和政府的對立和爭端的遠因。而光復之後，國民政府也了解此一既存現象，並準備以務實的態度，全面重新測量和調查，劃分宜農、宜牧、宜林土地，且同意放領或放租給百姓。可惜，這一項極具前瞻性的政策並未徹底執行，可能囿於當時人力物力缺乏，政經情勢不穩定，所以便宜行事，將公有森林一律劃歸為「林業用地」；至於混農林經營的情形，陸續發布一些行政命令加以管控，諸如 1950 年公佈「台灣省森林用地租地造林辦法」以降，以國有林出租為造林地名目，共有九種之多，其間雖經 1976 年「森林經營改革方案」之宣佈暫時寂靜一時，至 1985 年新森林法公佈後才確定國有林地之新租地放租與放領一切停止。此租地造林法令上在 1982 年修正過，在 1990 年

精省時，改由農委會為管理機關。於 2008 年 2 月 21 日擬具「國有林地濫墾地補辦清理作業要點」，解決林務局早期疏漏未清理懸案，減少濫墾（建）使用者民怨、民意代表關說壓力及民眾抗爭等社會成本之付出等社會問題，並期有效解決國有林地內濫墾占用案件，將違法墾植者導正納入林地管理，限期完成復育造林，以利保全國土並儘速恢復林地原貌。

簡言之，「混農林業」在台灣發展至今，一直未能走出一條寬廣的路徑，連配套的技术規範亦附諸闕如。其主要瓶頸可歸結為下列數端：

- ( I ) 基本觀點未嚴格定義：正如本文一開始引用國際組織 World Agroforestry Center 之定義，明白的界定了「混農林業 (Agroforestry)」一詞指的是「地用」的型態，而不涉及「地權」和「土地使用管制」的範疇。但是嚴肅地討論中文「混農林業」的辭義，清楚指的是以「林業」為骨架，加上可以接受的「混合農作的經營型態」。所以根據此一精神，有關的任何法規、行政措施和技术層面的研究及討論，均得考慮到現行的「林地使用限制」和「林業政策」。相對的，若是「混林農業（姑且以 Fore-agriculture 稱之）」，則其理念和做法就和 World Agroforestry Center 之定義相去無幾，也就沒有所謂「土地超限利用的問題」。現行正在推動的「平地造林政策」，是在平原地區的「農牧用地」造林，本質上類似於「混林農業」和「混林牧業」中較為特別的一種類型。所以，孔子有云：「名不正則言不順」，若是重要的名稱和基本內涵模糊不清，隨之而來的爭議和執行困難，也就不足為奇。
- ( II ) 法規和配套措施不夠周延：在台灣地區「混農林業」存在的事實可說是年代久遠，卻是竟然欠缺法源依據去做合理有效輔導。有關林業發展和決策依據的最高法源---《森林法》，經過多次的增修，一直未將「混農林業」相關的條文納入。坦白說，「混農林業」的重要性不在於保安林經營之下，前者所涉及的範疇包括國土保安、農業經濟、社會安定、土地資源合理利用、環境保育等諸多議題，後者相對而言就比較單純。然而，《森林法》中列有「保安林」專章，並有管理辦法和審議機制靈活運用；相較之下「混農林

業」僅僅以若干行政命令規範之，執行成果實難令人滿意。況乎林農長久處於違規狀態，動輒遭到取締和訴訟，對其所經管保育的土地，極具負面影響。多年來經常發生林農抗爭和流血事件，「混農林業」要正常推展也難。事實上，林務局於民國 93 年公布施行的「山坡地超限利用處理計畫」規定每公頃均勻混植 600 株以上林木，始得換約的規定，等同於默認混農林業的存在事實，但是在法規上仍然無法公開突破。

(III) 學界立場各異且土地管理機關做法分歧：光復初期，已有若干學者注意到社會經濟脈動與林地墾植的問題，撰文詳加討論，如林渭訪（1948）、周楨（1953）、王子定（1951）、陳振威（1951）和郭寶章（1968）等，正反意見都具備，所持理由不外乎是經濟發展之需求、土地資源之善用、環境保護和資源保育之隱憂、社會成本之公平性。降至今日，爭議依然存在，較具代表性的有何偉真（1998）、羅紹麟（1999）、羅紹麟、林喻東（1995、2005）、黃裕星、汪大雄、吳俊賢（2010）、林明鏘（2011）等。隨然經過長期討論和研究，惟尚未能對「混農林業」之定位達成一定共識。此外，由於林地的類型包括國有林、公有林、私有林，再加上國家公園區和原住民保留區，因為主管機關不同，以致於對林業用地栽植作物的認定標準，存在相當大的差異，愈發引起林農彼此間的比較與不平，有些人動輒聚眾抗爭，有些人加速墾植，但是這些做法不惟無法將「混農林業」導向正途，反而造成社會不良觀感。

(IV) 極端氣候導致災害加劇和環保意識高漲：近十年來，世界各地發生嚴重天然災害的頻度和強度急速增加，最近的例子就是發生於 2012 年 10 月 29 日「珊迪（Sandy）」颶風侵襲美國東部的例子。世界銀行早在 2005 年曾發表專文〈Natural Disaster Hotspots—A Global Risk Analysis〉指出，臺灣同時暴露於 3 項以上天然災害的土地面積和面臨災害威脅的人口都是 73%，高居世界第一。尤其在八八風災之後，大部分的災後檢討無不指向國土規劃和管制沒有具體落實，特別是上游集水區的保育工作，以及農業上山的嚴重傷害，連帶「混農林業」也是遭受批評的對象之一。持平而論，具體的崩塌數據和發生位置、原因，以及正確的統計資料，仍無法確實掌握；倒是從

衛星影像和航照判讀的結果，大部分的崩塌現象是發生在國有林班地的天然林。所以若遽然下結論，指陳農墾林地是崩塌主因，確是不公平且誤導大眾。但不論如何，不理性的環保意識，卻也阻礙著「混農林業」正常化的途徑。

#### IV、混農林業發展方向可行性之綜合評估

根據前面基本的敘述，「混農林業」之所以會引發諸多管理爭議和利益衝突，其重點就在於：「土地的使用型態和條件，超出了相關法規所允許的規範。」因此要解決此一陳年舊案，若不論及法規之修訂，無異緣木求魚。然而，依目前立法機關的運作程序和機制，想要在可預見的短期內完成理想中有效率的配套管理模式，亦恐有如大旱之望雲霓而不可得。惟仍嚐試於本文之論述中，就短期程、中期程、長期程之條件需求，探討可行之解決方案。

##### (I) 長期程解決方案途徑研擬

所謂長程目標，乃著眼於從根本上就問題的本質徹底解決之。前已論及「混農林業」最大缺漏在於「於法無據」，所以尋求法源必須列為第一要務。依當今我國政治氛圍和立法實務面之經驗法則觀之，創議一新法律或是將相關既有法規做較深度的修訂，其間所引發的論辯和攻防，必定曠日廢時；縱或得以順利推動，之後隨之而來的配套措施，又是一番折騰。所以前前後後估計所需時間或七、八年，或十餘載，故而列為長程目標。

其具體作法為：

- (一) 修訂「森林法」及其相關法規：《森林法》第四章「保安林」總計十條（22條~31條），對其編定標準、管理經營、編入或解除、請求補償金與其負擔等等，均有明確規範，而且行之有年運作順暢無礙。所以若能適度比照其架構，在《森林法》中增列「混農林業」專章，明訂下列數項：
  1. 「混農林業」之定義和範疇
  2. 「混農林業」適用地區、限制條件和對象
  3. 「混農林業」經營技術規範

4. 「混農林業」編入或解除之申請流程
5. 「混農林業」之獎勵和罰則
6. 「混農林業」經營審議準則和機制

其他相關的條文當然亦須一併檢討，例如本法第六條之規定：

**【第六條（荒山荒地之編為林業用地）**

荒山、荒地之宜於造林者，由中央主管機關商請中央地政主管機關編為林業用地，並公告之。

經編為林業用地之土地，不得供其他用途之使用。但經徵得直轄市、縣（市）主管機關同意，報請中央主管機關會同中央地政主管機關核准者，不在此限。

前項土地為原住民土地者，除依前項辦理外，並應會同中央原住民族主管機關核准。

土地在未編定使用地之類別前，依其他法令適用林業用地管制者，準用第二項之規定。】

（二）盡速推動「國土三法」：過去《國土計畫法》、《國土復育條例》、《海岸法》被稱為「國土三法」，由內政部自一九九三年草擬並負責推動。迄今，都因涉及原住民自治區域與開發許可等爭議，以及中高還拔墾殖問題嚴重複雜，五度進出立法院仍無定論。其中《國土復育條例草案》內容因涉及層面太廣，一旦完成立法，未來勢必影響在土地保育範圍內的居民與商家的生計，因此在藍綠對立的時期，整體方案被操作的太政治化。2008年5月，經建會主張《國土復育條例草案》應併入《國土計畫法草案》，讓《國土計畫法草案》成為一部兼具開發和保育的法律；內政部8月將《國土復育條例草案》納入《國土計畫法草案》，再增列《濕地法草案》，與《海岸法草案》及《國土計畫法草案》成為新的「國土三法」。其中與「混農林業」關係密切的是《國土計畫法草案》相關內容。

根據最新訊息，內政部於 2012 年 10 月 30 日通過《國土計畫法草案》，該法上路四年內，應研擬全國、縣市國土計畫，將國土規劃為城鄉發展、農業發展、海洋資源和國土保育四大分區。草案也規定，未來農業發展地區劃設後，優良農地將限制開發，至於已劃在計畫開發區內者，則啟動補償機制，政府將編列一千億元，補償因特定公益使權利受影響者。並增訂涉及原住民傳統領域與自治區者，需會同原住民族主管機關共同會商；擬定特定計畫，並訂定不同其他區域的規範。在四大分區之下「先分類、再分級」，先將土地分級後，明確界定優良農地、敏感區域、經濟生產區、禁止開發事項等。

若《國土計畫法》通過實施後，還有許多配套法規和各級國土計畫亟待研擬；換言之，全國森林地之適宜性分析，對「森林區」和「林業用地」的容許作業規定，將可作一徹底通盤考量，應興應革事項一次到位，有關「混農林業」的利弊得失，趁勢提出討論議題供全國各界菁英研擬最佳解決方案。若此，百年沉疴方可獲致痊癒契機，自然資源得以合理利用，民眾與政府不再對立，國家社會長治久安。

唯一需要關心的：完成此一立法系統和機制的期程，將會是漫長的折衝和等待。

## （II）中期程解決方案途徑研擬

本解決方案或可以用「玉里赤柯山（金針山）模式」稱之。

赤柯山位於花蓮縣玉里鎮觀音里，緊鄰東豐里竹林山，其山麓屬於台地地形，崎農墾區域位於海拔800~960公尺之間，地勢平坦氣候溫和，目前居民於1959年八七水災後，由嘉義彰化雲林等地區到山上墾殖，50年來面積已達200公頃。赤柯山土地屬於國有林班，屬於林務局花蓮林區管理處72~75林班，於1971年林務局開始清理本地區遭濫墾之土地；並以租地造林方式與墾農訂定租，面積約380公頃。1979年承租人因造林經濟收入有限，遂引進種植金針，面積超過200公頃，並形成一有特色之景緻。之後因林農違反造林契約，林管處開始依約查報取締行動，但地方政府和林農則因本區已具產業特色，極力爭取發展觀光景點，花蓮縣政府亦積極

輔導赤柯山居民轉型休閒農業發展觀光，亦曾建請觀光局「東縱谷國家風景區管理處」接手規劃管理，終因林地解編之關鍵問題無法解決而作罷。案經層報至行政院，於2007年8月14日由當時政務委員劉玉山和吳澤成主持協調會，遂以專案方式處理，並請學者專家現場會勘，針對水土保持、國土保安、國土復育等因素予以審查可行之後，責成水保局林務局處理土地利用限度查定和用地地目解編工作。

經過農委會與縣府、相關機關多年來的努力，行政院於2009年12月16日同意以宜農牧地及難以復育造林地之理由，將面積394公頃合計720筆的土地，作為解除林地範圍。俟後續作業完成，行政院復於100年7月5日核定准予劃入山坡地，並由農委會前主委陳武雄在赤柯山現場宣布「花蓮縣玉里鎮赤柯山段29地號等394.356901公頃劃入山坡地範圍，並自中華民國100年7月31日生效。」宣示赤柯山的模式是以多樣化的自然資源為基礎，透過因地制宜的生產活動，創造發展出人與自然長期交互作用下獨具特色的農業系統，更是一處具多樣性的地景，彌足珍貴。

林地解除劃入山坡地後，水土保持局將山坡地土地可利用限度查定結果交由花蓮縣政府辦理公告，再由林務局送財政部辦理變更非公用財產移交國產局管理。在這土地上占用的人，依國產法規定繳5年使用費後，將來可向國產局合法租用。至此，本案進入一個新階段，後續的最終發展結果，有待持續追蹤。

簡要歸納「玉里赤柯山（金針山）模式」得以成功，包含下列要項：

1. 牽涉範圍面積夠大且完整，足以做一定規模之全盤考量。
2. 區域內屬於一單純之林業用地，經長期經營各種農作方式，發展出具有特色的產業，以具備實質的「混農林業」和「社區林業」型態。
3. 本區域的自然條件（地質、地形、降雨量、溫度、土壤和自然災害情形）和人文條件（墾殖歷史、居民自主意識、自然資源保育實績、結合在地文化和景觀訴求），足以說服政府單位、專家學者和產業界，大家願意協力尋求解決突破障礙之道。
4. 最重要的因素，本案陳情之訴求層級已達行政院，經由政策面之整合和裁決，

才能突破行政面重重關卡，可見得類似案件並非完全無解。

但是後續仍有若干值得省思之處：

- 1.基本上，「玉里赤柯山（金針山）模式」成果，不能代表「混農林業」已可立足，因為它最後的解決辦法是「解除林地」，而不是在林地上可以有農業經營活動，其實質內涵是不同的。
- 2.本案之爭執，早於1969年林務局執行濫墾地之清理開始；至於墾民集會成團促請民意代表向上陳情，應始於1996年3月19日由花蓮縣長張福興主持的協調會。以後者為準算至2011年7月31日解除林地生效日，足足經過了15年有餘，勉強說是中期程解決方案途徑，也會令人慨歎人生苦短。
- 3.赤柯山國有林班地解編作業，未來仍可能遭遇農牧用地無法放租問題，按照目前「國有耕地放租實施辦法」第三條規定：各款國有耕地不予放租者為「經劃設為高海拔山區、中海拔山區、低海拔山區、海岸地區及嚴重地層下陷地區之土地。」現行辦法若不修法，將無法辦理放租作業，可見尚未竟全功。

### （Ⅲ）短期程解決方案途徑研擬

國家發展不能停滯、社會經濟改革不能苦等，但是如上所述，法令增修或地用變更，動輒耗費一、二十年，甚至更久。若要短期可以見到成效，勢得另外尋求終南捷徑了。本文中不厭其煩的提到有關濫墾地清理作業規定，允許有「混農林業」，要件是一公頃租地裡應均勻栽植 600棵造林木。雖然所依據的只是行政命令，卻也默認其存在的事實且行之有年。是以須從「森林法」條文中，找出解套的契機，配合後續增訂必要的法規和措施，不失為短期間可發揮功用的利器。

試看「森林法」第四十條所載：

#### 【第四十條（得指定經營方法與命令停止採伐）

森林如有荒廢、濫墾、濫伐情事時，當地主管機關，得向所有人指定經營之方法。

違反前項指定方法或濫伐竹、木者，得命令其停止伐採，並補行造林。】

本條文重點在於：「…當地主管機關，得向所有人指定經營之方法。…」文中所謂「主管機關」了無疑義，因為「森林法」第二條：「本法所稱主管機關：在中央為行政院農業委員會；在直轄市為直轄市政府；在縣（市）為縣（市）政府。」，至於所謂「指定經營之方法」則尚無明確的界定。

因此，如果可以就本條文來深入討論，發現有可以發揮的空間。如果本條文增修為：

【第四十條（得指定經營方法與命令停止採伐）

森林如有荒廢、濫墾、濫伐情事時，當地主管機關，得向所有 人指定經營之方法。

違反前項指定方法或濫伐竹、木者，得命令其停止伐採，並補行造林。

**第一項經營之方法其指定和審核標準，由中央主管機關定之。】**

有了這增修條文之後，就可以正正當當的將「混農林業」列入經營方法之一，後續的配套措施當然亦須一次到位。如果我們相信政府官員還有擔當、專家學者還有強烈使命感、林農和生長在這塊地的百姓還死心呵護咱們的環境，當可在台灣的林業經營歷程中，創出一個非常不一樣的格局。

## V、結語

台灣有一群勤奮的百姓，國家也培養出一批農業領域的菁英分子，更不乏已創新了許多適用的技術和規範，加之相關法規和執法的公務人員尚稱完備稱職，絕對具備充分的條件，可以整合出一套完善林業政策。林業當然是國家環保政策之重要部份，同時台灣森林擁有最自然又美麗之景觀，故也是觀光遊憩系統重要之一環；且因台灣地狹人稠，導致林業與農業環境密切接壤，發展出息息相關的共生關係，森林是山村居民生活之領域，很自然的有些山村已自動發展出「混農林業」。此外，森林保育水土資源的功能，是國家經建發展之重要基礎；提供各種林產品和副產物，是未來生物科技發展之機會，與總體經濟發展有密切之關

聯，因此林業只有融入國家綜合發展之具體考量，才能獲得應得之重視，才會有願景可言。其中林地永續經營管理，絕對是國家長期發展和國土保安重要的一環，林業主管機關必須更審慎研議林地管理的方式，希望能更周延妥適，包括「混農林」業的可行性研究及林地管理法令的檢討，訂定可長可久的森林經營策略。

## VI、參考文獻

- 林明鏘（2011）農林業政策及法令分析。混農林業與林業經營新方向研討會論文集。9--20。
- 林務局（2011）陳武雄主委宣布赤柯山台地解除國有林地。林務局全球資訊網 <http://www.forest.gov.tw/ct.asp?xItem=57046&ctNode=486&mp=1>。
- （2004）森林法。林務局。
- 陳秀卿（2003）赤柯山觀光發展過程之初探。國立東華大學觀光季遊憩管理研究所。碩士論文 pp.1--133。
- 陳財輝（2011）混農林業的發展—兼談日本經驗。林業研究專訊。18(3)： 7-13。
- 黃裕星（2011）台灣地區混農林業政策評析。混農林業與林業經營新方向研討會論文集。1--8。
- 黃群修（2010）從國土計畫談林業經營。台灣林業。36(1)：64-69。
- 葉世文（2009）國土空間規劃變革—談國土計畫法的研訂。研考雙月刊第33卷第4期。
- 許賢斌（2008）國有林地濫墾地補辦清理作業要點簡介。Taiwan Forestry Journal Vol.34 No.3
- 葉美智、羅紹麟（2007）社區林業應用於租地造林地之探討—以大雪山社區為例。林業研究季刊 29(3)：61-74。
- 顏世雄（2005）解決花蓮赤柯山放租林地使用衝突之關鍵因素。國立東華大學環境政策研究所。碩士論文 pp.1--119。
- 羅紹麟（2002）解決國有林租地造林問題之我見。林業研究季刊 24 (3)：63~ 68。
- World Agroforestry Center（2012）Definition and concepts of agroforestry <https://www.worldagroforestry.org>





## 國家圖書館出版品預行編目資料

森林集水區經營研討會論文集 2013 /

林壯沛 主編。

一 臺北市:農委會林試所, 民102.05

174面; 21×29.7公分 中英對照

ISBN: 978-986-03-6827-7 (平裝)

1. 林業管理 2. 集水區 3. 文集

436.12407

102008736

## 2013森林集水區經營研討會論文集

發行人 黃裕星

策劃 盧惠生

主編 林壯沛

執行編輯 羅方岑

美術編輯 許明峰

出版單位 行政院農業委員會林業試驗所  
10066 臺北市中正區南海路53號

電話: 02-2303-9978

傳真: 02-2314-2234

網址: <http://www.tfri.gov.tw>

印刷 麥克馬林有限公司

電話: (02)8287-5310

展售處 國家書店

10455 台北市松江路209號1樓 02-2518-0207

五南文化廣場: 台中總店

40042 台中市中山區中山路6號3樓 04-2226-0330

出版日期 中華民國一〇二年五月 初版

定價 新台幣200元整

ISBN 9789860368277

GPN 1010200871

圖文有著作權 未經同意請勿使用