

國立台灣師範大學地理研究所

碩士論文

陽明山南、北磺溪源流區坡地水文之研究

指導教授：楊萬全

研究生：阮斯堅

內政部
營建署

陽明山國家公園委託研究

中華民國七十九年六月

陽明先生全集

國立臺灣師範大學地理研究所碩士論文摘要

論文名稱：陽明山南、北磺溪源流區坡地水文之研究

指導教授：楊萬全

研究生：阮斯堅

論文內容：（共一冊，約七萬字，分十六章十六節）

坡地水文學是一門與森林水文學關係相當密切的學科，本省已往對森林水文的研究資料頗為缺乏，坡地水文的研究更付之闕如。水文數據資料需要投資大量人力、物力及時間累積，方能獲得滿意的結果，尤以高山源流區為最。本研究以陽明山國家公園界內南北磺溪之源流區為研究區域，搜集本區水文環境有關資料，一面作長期流域水文量分析，一面實際從事野外調查，將兩者所得數據作水文過程之探討與水文歷線之演算（實測與理論），再進而以逕流的產生機制理論來相互印證實測水文過程與歷線之相關，以明瞭本區坡地水文機制之大概。由研究結果得到下列幾點結論：

- (1) 由水平衡計算結果得到年平均降雨量，南區大於北區；年平均可能蒸發散量，北區略高於南區；年平均逕流量，南區大於北區。
- (2) 年雨量機率分析，鞍部站以對數常態分布最適當；竹子湖站以對數皮爾森Ⅲ型最適合。
- (3) 入滲觀測，南區南洋杉林內最終入滲率 $f_c=40.8$ cm/hr，最初入滲率 $f_0=100$ cm/hr， $K=0.04$ ；南區頂沽月田間 $f_c=26.8$ cm/hr， $f_0=66$ cm/hr， $K=0.038$ ，根據美國水土保持局以土壤特性為指標，預測飽和垂直傳導率等級，南區在 $360 \sim 36$ cm/hr 之間，北區大抵在 >360 mm/hr 上。
- (4) 土壤水分變化觀測，淺層土壤受降雨的影響較快較大；土壤特性與降雨為主要影響因素。
- (5) 地下水位觀測，簡易觀測井地下水位變化，南區大於北區，主要

是受地形地勢與土壤厚度所影響，同一區，下游剖面比上游剖面地下水位變化大，也是受同樣的因素影響。

- (6) 逕流試驗小區觀測，南區降雨與逕流量呈正相關，地中逕流隨著降雨強度增加而流量增加。
- (7) 實測降雨與流量歷線，南區 $B=2.55TR$ ，北區 $B=1.55TR$ ，一場降雨平均損失雨量，南區約為 25 mm，北區約為 26 mm。
- (8) 水文機率年之流量歷線可做為本區水工結構物之水文設計與集水區規劃之參考。
- (9) 逕流的產生機制理論印證，Hewlett 的可變來源區概念頗適合北區的水文機制，單場暴雨對南區而言則有延緩效應，主要是湖底窪蓄的影響，如再往上游分成若干小流域，則可變來源區概念亦可證實其實用性。
- (10) 本研究區暴雨中易成為土壤水飽和的地區包括溪岸、湖底(頂湖)，陡坡聚合的窪地、土層下有不透水的母岩或另有一較不透水的土層存在的地區。

目 次

第一章 緒論	1
第一節 研究動機與目的	1
第二節 相關文獻	2
第三節 研究方法與研究流程	5
第四節 研究區域概況	7
第二章 長期流域水文量分析	15
第一節 水平衡之計算	15
第二節 水文頻率分析	17
第三節 降雨歷線之推求	30
第三章 水文過程之探討	39
第一節 八滲之觀測與分析	39
第二節 土壤水分之變化分析	44
第三節 飽和區變化分析	49
第四節 地面與地中逕流	58
第四章 水文歷線之演算	66
第一節 實測降雨與流量分析	66
第二節 無水文站流域流量歷線之推求	72
第五章 坡地水文過程與歷線之相關	82
第一節 逕流的產生機制理論	82
第二節 南磺溪源流區實例一	86
第三節 北磺溪源流區實例二	88
第六章 結論與建議	93
參考文獻	95
附錄	

圖 次

圖 1-1	研究區位置	7
圖 1-2	研究區概況與等高線圖 (南區)	10
圖 1-3	研究區概況與等高線圖 (北區)	11
圖 1-4	研究區地質圖	12
圖 2-1	鞍部站年雨量機率分布 (常態分布)	22
圖 2-2	鞍部站年雨量機率分布 (對數常態分布)	22
圖 2-3	鞍部站年雨量機率分布 (皮爾森Ⅲ型分布)	23
圖 2-4	鞍部站年雨量機率布 (對數皮爾森Ⅲ型分布)	23
圖 2-5	竹子湖站年雨量機率分布 (常態分布)	23
圖 2-6	竹子湖站年雨量機率分布 (對數常態分布)	23
圖 2-7	竹子湖站年雨量機率分布 (皮爾森Ⅲ型分布)	23
圖 2-8	竹子湖站年雨量機率分布 (對數皮爾森Ⅲ型分布)	23
圖 2-9	竹子湖站一月月雨量機率分布 (對數皮爾森Ⅲ型分布)	27
圖 2-10	降雨歷線與 R、I 曲線	30
圖 2-11	降雨歷線演算	33
圖 2-12	鞍部測站的降雨歷線 (Talbot公式)	36
圖 2-13	竹子湖測站的雨歷線 (Talbot公式)	37
圖 3-1	林內之入滲率曲線 (南區)	43
圖 3-2	田間之入滲率曲線 (南區)	43
圖 3-3	張力計 (附標度盤)	45
圖 3-4	林內張力計讀數日變化圖 (南區)	46
圖 3-5	田間張力計讀數日變化圖 (南區)	46
圖 3-6	林內張力計讀數小時變化圖 (南區)	47
圖 3-7	田間張力計讀數小時變化圖 (南區)	47
圖 3-8	水分下滲速率估計 (以張力計)	47
圖 3-9	B 站張力計讀數日變化圖 (北區)	48
圖 3-10	C 站張力計讀數日變化圖 (北區)	48
圖 3-11	B 站張力計讀數小時變化圖 (北區)	48
圖 3-12	暴雨期間產生側滲流和漫地流的飽和區變化	50
圖 3-13	暴雨期間河道的擴張與飽和區的變化	50
圖 3-14	簡易觀測井之分布 (南區)	50
圖 3-15	A 剖面地下水位變化圖 (南區, 1990.2.23)	51
圖 3-16	S 控制點之降雨與流量歷線圖 (南區, 1990.20.23)	52
圖 3-17	A 剖面地下水位變化圖 (南區, 1990.2.24)	53
圖 3-18	S 控制點之降雨與流量歷線圖 (南區, 1990.2.24)	53
圖 3-19	簡易觀測井之分布 (北區)	54

圖 3-20	A 剖面地下水位變化圖 (北區, 1989.7.26)	56
圖 3-21	B 剖面地下水位變化圖 (北區, 1989.7.26)	56
圖 3-22	C 剖面地下水位變化圖 (北區, 1989.7.26)	56
圖 3-23	N 控制點之雨與流量歷線圖 (北區 A 剖面, 1989.7.26)	57
圖 3-24	N 控制點之雨與流量歷線圖 (北區 B 剖面, 1989.7.26)	57
圖 3-25	N 控制點之雨與流量歷線圖 (北區 C 剖面, 1989.7.26)	57
圖 3-26	逕流試驗小區的位置	58
圖 3-27	Gerlach 槽之裝置	59
圖 3-28	南礮溪第一試驗小區單場降雨分析 (79.2.19)	62
圖 3-29	南礮溪第四試驗小區單場降雨分析 (79.2.19)	62
圖 3-30	南礮溪第五試驗小區單場降雨分析 (79.2.19)	62
圖 3-31	南礮溪第四試驗小區單場降雨分析 (79.3.25)	62
圖 4-1	四角堰	66
圖 4-2	水歷線各部名稱	67
圖 4-3	利用水歷線減退部的逕流分離	68
圖 4-4	降雨與流量歷線圖 (北區, 1989.7.26)	70
圖 4-5	降雨與流量歷線圖 (北區, 1989.8.16)	70
圖 4-6	降雨與流量歷線圖 (北區, 1989.8.19)	70
圖 4-7	降雨與流量歷線圖 (南區, 1990.2.23)	70
圖 4-8	降雨與流量歷線圖 (南區, 1990.2.19)	71
圖 4-9	降雨與流量歷線圖 (南區, 1990.2.28)	71
圖 4-10	三角形單位歷線 (SCS)	73
圖 4-11	三角形單位歷線 (北區)	74
圖 4-12	三角形單位歷線 (南區)	74
圖 4-13	無因次單位歷線 (SCS)	76
圖 4-14	無因次單位歷線及累計曲線 (北區)	76
圖 4-15	無因次單位歷線及累計曲線 (南區)	76
圖 4-16	北礮溪源流演算之水文歷線 (機率年10年)	78
圖 4-17	北礮溪源流演算之水文歷線 (機率年25年)	78
圖 4-18	北礮溪源流演算之水文歷線 (機率年50年)	79
圖 4-19	南礮溪源流演算之水文歷線 (機率年10年)	79
圖 4-20	南礮溪源流演算之水文歷線 (機率年25年)	80
圖 4-21	南礮溪源流演算之水文歷線 (機率年50年)	80
圖 5-1	兩種不同的逕流過程模式	82
圖 5-2	降雨與逕流反應: Horton假說	83
圖 5-3	降雨與逕流反應: Hewlett假說	84
圖 5-4	產生不同逕流過程的主要控制因素	84

圖 5-5	逕流機制與野外實證研究	85
圖 5-6	可變來源區的擴張與水文歷線之變化	86
圖 5-7	C7、C8剖面地下水位變化圖（南區，1990.2.23）	87
圖 5-8	S 控制點之降雨與流量歷線圖（南區，1990.2.23，C7、C8）	88
圖 5-9	N 控制點之降雨流量與土壤水分變化圖（北區 A 剖面， 1989.8.19）	89
圖 5-10	A 剖面地下水位變化圖（北區，1989.8.19）	90
圖 5-11	B 剖面地下水位變化圖（北區，1989.8.19）	90
圖 5-12	C 剖面地下水位變化圖（北區，1989.8.19）	90
圖 5-13	N 控制點之降雨與流量歷線圖（北區 B 剖面，1989.8.19）	91
圖 5-14	N 控制點之降雨與流量歷線圖（北區 C 剖面，1989.8.19）	91

表 次

表 1-1	南礮溪源流區高度統計表	9
表 1-2	北礮溪源流區高度統計表	9
表 1-3	南礮溪源流區坡度統計表	9
表 1-4	北礮溪源流區坡度統計表	9
表 1-5	研究區之地形特徵	12
表 2-1	南、北礮溪源流區月和年平均降水量，可能蒸發散量、逕流水深、逕流量	18
表 2-2	頻率定點公式表	19
表 2-3	鞍部、竹子湖站年雨量基本統計量	20
表 2-4	鞍部站年雨量水文模式分布估計表	21
表 2-5	竹子湖站年雨量水文模式分布估計表	22
表 2-6	鞍部站歷年月降雨量基本統計量	24
表 2-7	竹子湖站歷年月降雨量基本統計量	24
表 2-8	鞍部與竹子湖站之偏態係數檢定	25
表 2-9	鞍部站各種機率之月降雨量 (log pearson III 型)	26
表 2-10	竹子湖站各種機率之月降雨量 (log pearson III 型)	27
表 2-11	鞍部、竹子湖站各個機率年之日雨量 (台大森林所，1986)	28
表 2-12	鞍部、竹子湖站各個機率年之1小時雨量 (台大森林所，1987)	29
表 2-13	鞍部、竹子湖站各個機率年之10分鐘雨量 (台大森林所，1987)	29
表 2-14	鞍部、竹子湖站各個機率年之短時間降雨強度公式之係數值 (Talbot公式，台大森林所，1987)	29
表 2-15	峰值的前方每10分鐘間隔的雨量分配 (鞍部站機率年)	35
表 2-16	峰值的後方每10分鐘間隔的雨量分配 (鞍部站機率10年)	35
表 3-1	南洋杉林內入滲率之觀測 (南區)	41
表 3-2	頂湖田間入滲率之觀測 (南區)	41
表 3-3	蓮花池試驗集水區林木最終滲透率 (謝政道1985)	43
表 3-4	以土壤特性入為預測飽和垂直滲透性等級的指標 (SCS)	43
表 3-5	南洋杉林內土壤剖面 (南區)	46
表 3-6	頂湖田間土壤剖面 (南區)	46
表 3-7	簡易觀測井裝設深度 (南區)	49
表 3-8	簡易觀測井裝設深度 (北區)	49
表 3-9	南礮溪源流區地下水位變化表 (1990.2.23)	51
表 3-10	河床 A 剖面地下水位變化表 (南區) (1990.2.23)	52
表 3-11	南礮溪源流區地下水位變化表 (1990.2.24)	52
表 3-12	河床 A 剖面地下水位變化表 (南區) (1990.2.24)	53

表 3-13	河床 A 剖面地下水位變化表 (北區) (1989.7.26)	55
表 3-14	河床 B 剖面地下水位變化表 (北區) (1989.7.26)	55
表 3-15	河床 C 剖面地下水位變化表 (北區) (1989.7.26)	55
表 3-16	各試驗小區之集水面積與地形特徵	60
表 3-17	各試驗小區主要土壤性質分析表	61
表 3-18	降再與逕流量之相關與迴歸分析	64
表 4-1	無因次單位歷線之計算 (北礮溪源流區)	75
表 4-2	無因次單位歷線計算 (南礮溪源流區)	75
表 5-1	河床 A 剖面地下水位變化表 (北區) (1989.8.19-20)	89
表 5-2	河床 B 剖面地下水位變化表 (北區) (1989.8.19-20)	89
表 5-3	河床 C 剖面地下水位變化表 (北區) (1989.8.19-20)	89

第一章 緒論

第一節 研究動機與目的

作為一門預測科學，水文學可追溯至1930年代。地面水文學 (Surface water hydrology) 在水庫設計和洪水預報方面尤其證實其價值，這方面的成就反而延緩了這門學科進一步的發展直到1960年代。在這個時期，水文學借重於一些相當簡單的概念，尤其是關於估計產生表面逕流的入滲理論及預測流量歷時變化的單位歷線模式。基於這些概念來對廣大的天然集水區和狹小的不透水區域作預測，都還相當理想，但是對小源流區則不怎麼有效 (註 1-1)。

下雨後流域內的水會經由那些過程匯集於河川流出，即河川水流發生的機制 (mechanism of streamflow generation) 如何？為相當有趣的問題，此方面的研究稱為逕流分析 (run off analysis) (註 1-2) Klemes (註 1-3) 在坡地水文學方面有兩個重要論點，第一，最有用的模式應是基於真實自然環境，但又不曾過於麻煩著。第二，對水文過程的基本了解才是將來建構水文系統真實模式的所在。

至目前為止，在台灣研究小集水區的暴雨逕流特性 (註 1-4)，或者水文歷線的演算 (註 1-5)，或者降雨與逕流相關性的模式研究 (註 1-6)，皆就試驗集水區多年眾組降雨事件的流量歷線為基本數據資料，來分析降雨與流量的關係，或作理論模式的探討，而幾乎不觸及到水文之過程，以致在結論建議上說到需要進一步測定土壤水文性質與研究暴雨逕流產生機制以建立森林集水區水文預測模式 (註 1-7)，或謂今後研究的方向，尚有森林集水區坡面逕流的觀測與集水區地下水移動現象，對於逕流歷線的影響等等主題 (註 1-8)。

另外台灣自1897年起，即開始在主要都市設立水文觀測站，以後亦再陸續設立，但無論如何，水文測站永遠是不敷各界研究水文學者所需。大流域之流量記錄，雖有記錄長短之分，但總較有記錄可資參

考，至於小流域之水流特性，則不論中外，都無水文站設立，缺乏流量歷線資料(註 1-9)。當然台灣尚有許多小森林集水區設置了水文站，多屬林業試驗所之試驗集水區，如蓮花池，畢祿溪和烏來等等。

本文選擇陽明山國家公園區內南北磺溪源流區為研究區域，主要即在強調對多數無水文站地區，從水文過程之實際觀測，來探討水文歷線之演算。

本文之研究目的有四：

1. 探究本區坡面水流之過程，以明瞭本區坡地水文機制之大要。
2. 從本區實測降雨與流量歷線分析，作理論上無水文站流量歷線之推求。
3. 從本區實測坡地水文過程與歷線之相關，來印證逕流的產生機制理論。
4. 初步比較南北磺溪二源流區水文特性之異同。

第二節 相關文獻

坡地水文學 (Hillslope hydrology)自從 Hewlett (1961) 提出可變來源區 (The variable source area) 的概念並主導坡地水文的研究，至今已經30年。而且從那時起，電腦的快速發展和觀測儀器的密集使用，改變了水文學的面貌，並導致對單一土層或坡面作描述或模式研究其水文過程的興趣(註 1-10)，國外這方面的研究持續不斷，而且發表一些新的論點；至於國內在這方面，只能算是起步的階段。本研究探討南北磺溪源流區的坡地水文，主要參考的文獻計有：

(一)水文過程方面：

Kirby (1980)編著的"Hillslope hydrology"總結當時坡地水文研究之大成，Knapp (1979)的"Elements of geographical hydrology"對坡地水文有概念性的描述。另外 Kirby (1988)的"Hillslope runoff processes and models"概括說明坡地水文過程的野外觀測結果和模式發展。Burt (1985, 1986, 1987, 1988)的"Slopes and slope processes"對逕流過程或水文機制皆有概念性的說明和文獻探討。Pearce等 (1986)的"Storm runoff generation in humid headwater catchments"在紐西蘭的小森林集水區作追蹤劑的調查，研究地中逕流的情況，Ward (1984)的"On the response to precipitation of headwater streams in humid areas"討論在濕潤地區（澳洲）一級河川集水區地中逕流的真實重要性。Tsukamoto等 (1988)的"Runoff process on a steep forested slope"研究三種不同坡面的逕流過程。Tanaka等 (1988)"The Hachioji experimental basin study-storm runoff processes and the mechanism of its generation"探討小森林集水區地中逕流的動態性反應。另外 Beasley(1976)的"Contribution of subsurface flow from the upper slopes of forested watershed to channel flow"研究美國海岸平原上部之山麓階地流域內地中逕流對河道水流的貢獻。Keith Beven等 (1982)的"Macropores and water flow in soils"探討大孔隙對入滲和地中逕流的影響。

(二)入滲與土壤水分觀測方面：

Panciera等 (1986)的"Spatial and temporal variations of soil moisture in west-central Oklahoma"在美國奧州以中子計來量測土壤水分，探討其時空差異。鄧天德 (1983)的"流域入滲量之計測"和陳明杰等 (1986)的"蓮華池地區林地土壤滲透功能之探討"與謝政道等 (1985)的"台灣中部低海拔不同植物被覆蓋貯水功能之研究"皆對入滲或滲透之研究有不同程度的探討。

(三)降雨與逕流之特性或模式研究方面：

Todini (1988) 的 " Rainfall-runoff modeling - past, present and future " 討論降雨與逕流模式數學方法的回顧，Singh 等 (1984) 的 " A rainfall-runoff model for ungaged basins " 探討無水文站流域降雨與逕流之模式。鄧天德 (1984) 的 " 無水文站流域流量歷線之推求 " 介紹美國水土保持局 (SCS) 發展的三角形單立歷線和無因次單位歷線法。胡蘇澄 (1986) 的 " 台灣小森林集水區暴雨流量特性之研究 " 和陳明杰 (1987) 的 " 台灣中部森林集水區水文歷線演算方法之研究 " 與柳楷等 (1988) 的 " 小集水區降雨與逕流相關性之模式研究 " 等皆以台灣的森林試驗集水區 (蓮花池或畢祿溪) 作降雨與逕流特性或模式之探討。

(四)水文機率分析與各機率年之降雨流量歷線分析方面：

鄧天德 (1982) 的 " 從地理觀點分析台灣降雨機率 " 與 (1984) 的 " 機率分佈常態化研究 " 對水文機率理論及其應用皆有探討。台灣省水利局 (1982) 的 " 台灣水文頻率分析機率分布之選擇研究 " 報告，選擇水文上常用之機率分布建立其電腦程式與鑑定機率分布曲線適合性之方法。另外台大森林研究所陳明杰 (1987) 的 " 台灣中部森林集水區水文歷線演算方法之研究 " 與魏聰輝 (1986) 的 " 台灣地區日降雨強度特性之研究 " 和陳信雄 (1983) 的 " 坡地開發與洪災問題之研究 (一) " 等，對台灣各測站短時間降雨強度與降雨歷線之理論與應用皆有探討。

(五)研究區相關文獻資料方面：

主要以陽明山國家公園之委託研究為主，包括楊萬全等 (1988) 的 " 陽明山國家公園水資源調查研究 (I) "、王鑫等 (1983) 的 " 陽明山國家公園、地質及地形景觀 "、鄧國雄等 (1988) 的 " 陽明山國家公園之地形研究 " 和陳文恭等 (1983) 的 " 陽明山國家公園之氣候 " 等等。

第三節 研究方法與研究流程

一、研究方法

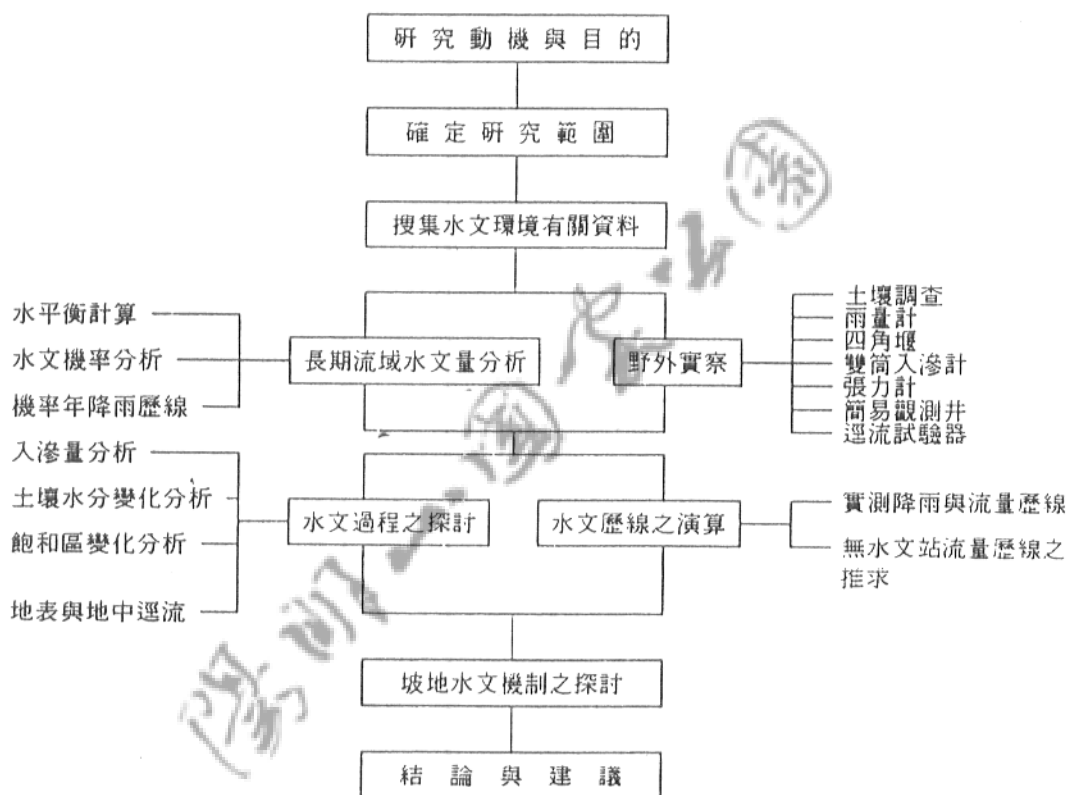
(1) 野外實察

本研究包括南北磺溪源流區二個研究區，首先設置頂湖（南區）和鹿角坑（北區）雨量站，定期（週）收集雨量資料；再於水文區控制點構築四角堰來計算流量；以雙筒入滲計量測入滲量之變化；裝設張力計觀測土壤水分不同深度長時期（日）與短時期（小時）之變化；挖設簡易觀測井來量測地下水位，以討論飽和區的變化，裝置逕流試驗器觀測逕流量，以討論地表與地中逕流之情況；最後配合台中農試所對陽明山地區之土壤調查，進行挖掘土壤剖面並作土壤性質分析，並以這些資料來探討水文之過程與實測降雨流量歷線之分析。

(2) 理論探討

首先搜集本區水文環境相關資料來作長期流域水文量分析，包括水平衡計算、水文機率分析和機率年短時間降雨歷線之推求。再以水文過程之探討和實測降雨流量歷線之分析所得之數據，來修正理論上無水文站流域流量歷線之推求之參數係數，並配合機率年短時間降雨歷線，以推算機率年短時間之流量歷線，作為坡地開發或集水區經營之各種水工結構物建築之參考。另外以逕流的產生機制理論，來探討實測之水文歷線與水文過程的相互關係。

二、研究流程



第四節 研究區域概況

一、位置

研究區位於台北市北投區，全部在陽明山國家公園範圍界內，見圖 1-1陽明山國家公園如以「人」字形分水嶺分為西北、東北和南部三區，則南北磺溪分別處於地形分區的南坡面與東北坡面。其中，南磺溪源流區位在支流竹子湖溪頂湖段，北磺溪源流區位在主流鹿角坑溪水廠會合點的楓林溪上。經緯度位置倆者大約位在北緯 $25^{\circ} 10'$ 至 $25^{\circ} 12'$ ，東經 $121^{\circ} 31'$ 至 $121^{\circ} 33'$ 之間。

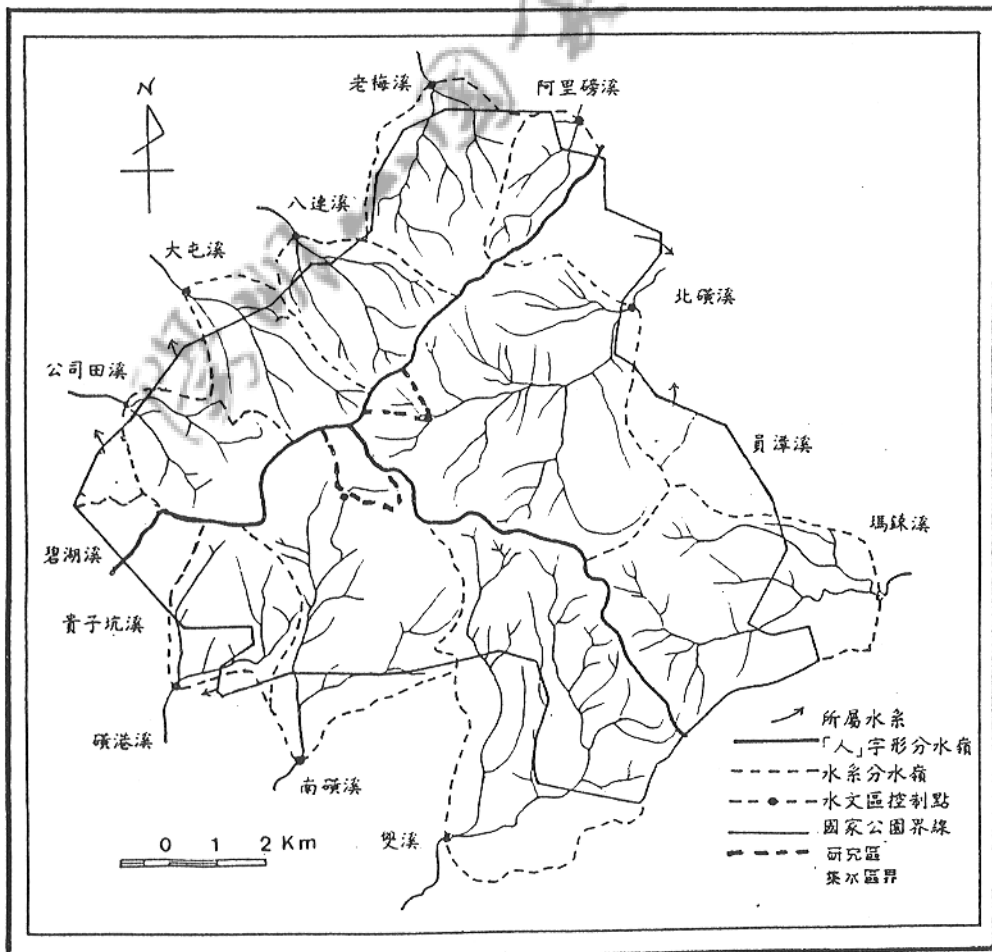


圖 1-1 研究區之位置

二、地形、地質

地形上，北磺溪源流區屬於東北坡面的脊嶺部分，南磺溪源流區則屬於南坡面的脊嶺部分，如以林務局航空測量所出版之 1/5000 像片基本圖為基本資料來作地形計測(註 1-11)。由表 1-1 可看出南磺溪源流區 700 到 1000 公尺高度佔全區之 80.3%，為本區主要高度分布。其中最高標高為 1054.6 公尺，最低標高為 680.0 公尺，全區平均海拔高 843 公尺。另外由表 1-2 可看出北磺溪源流區 700 到 1000 公尺高度佔全區之 68.3%，也為本區主要高度分布，唯其落差範圍較大，其中最高標高為 1066.1 公尺，最低標高為 400.1 公尺，全區平均海拔高 780 公尺。至於坡度方面，由表 1-3 和表 1-4 可明顯看出北磺溪源流區坡度 48(%) 以上即佔 92.1%，甚為陡峻，而南磺溪源流區坡度等級分布較平均，其中北區平均坡度為 68.0(%)，南區平均坡度為 37.9(%)，其他地形特徵如表 1-5，研究區概況與等高線，見圖 1-2，圖 1-3。

南磺溪源流區在竹子湖，竹子湖是火山熔岩流造成的閉塞湖，由於砂質凝灰岩層的堆積，地形平坦，已種植水稻、果菜、花卉等作物。北磺溪源流區在楓林溪，河谷坡度陡急，可見到峽谷和瀑布之地形。

地質上，大屯火山群是由一群安山岩質的火山體所組成。本研究區之地質皆由安山岩及火山碎屑所構成，其中北磺溪源流區（即楓林溪），下游為下部凝灰角礫岩構成，中上游即為熔岩流所成的安山岩類；南磺溪源流區除嶺脊部分屬安山熔岩流，大部分皆為凝灰角礫岩所構成，見圖 1-4(註 1-12)。

三、氣候

(1) 氣溫

本區之中央氣象局測站有鞍部與竹子湖(註 1-13)，年平均溫鞍部為 16.6℃，竹子湖為 18.3℃，全年以一月份為最冷月，七月份為最熱月。

表 1-1 南磺溪源流區高度統計表

範圍 (m)	數目	百分比
675.0~700	15	11.8
700.1~800	37	29.1
800.1~900	30	23.6
900.1~1000	35	27.6
1000.01~1050	10	7.9

M= 843

表 1-2 北磺溪源流區高度統計表

範圍 (m)	數目	百分比
400.1~500	7	8.0
500.1~600	8	9.0
600.1~700	9	10.2
700.1~800	18	20.5
800.1~900	24	27.3
900.1~1000	18	20.5
1000.01~1200	4	4.5

M= 780

表 1-3 南磺溪源流區坡度統計表

範圍 (%)	數目	百分比
0~16	22	17.3
16.1~32	29	22.8
32.1~48	35	27.6
48.1~64	22	17.3
64.1~80	17	13.4
80.1~96	2	1.6

M= 37.9%

表 1-4 北磺溪源流區坡度統計表

範圍 (%)	數目	百分比
0~16	1	1.1
16.1~32	2	2.3
32.1~48	4	4.5
48.1~64	25	28.4
64.1~80	46	52.3
80.1~96	10	11.4

M= 68.0%

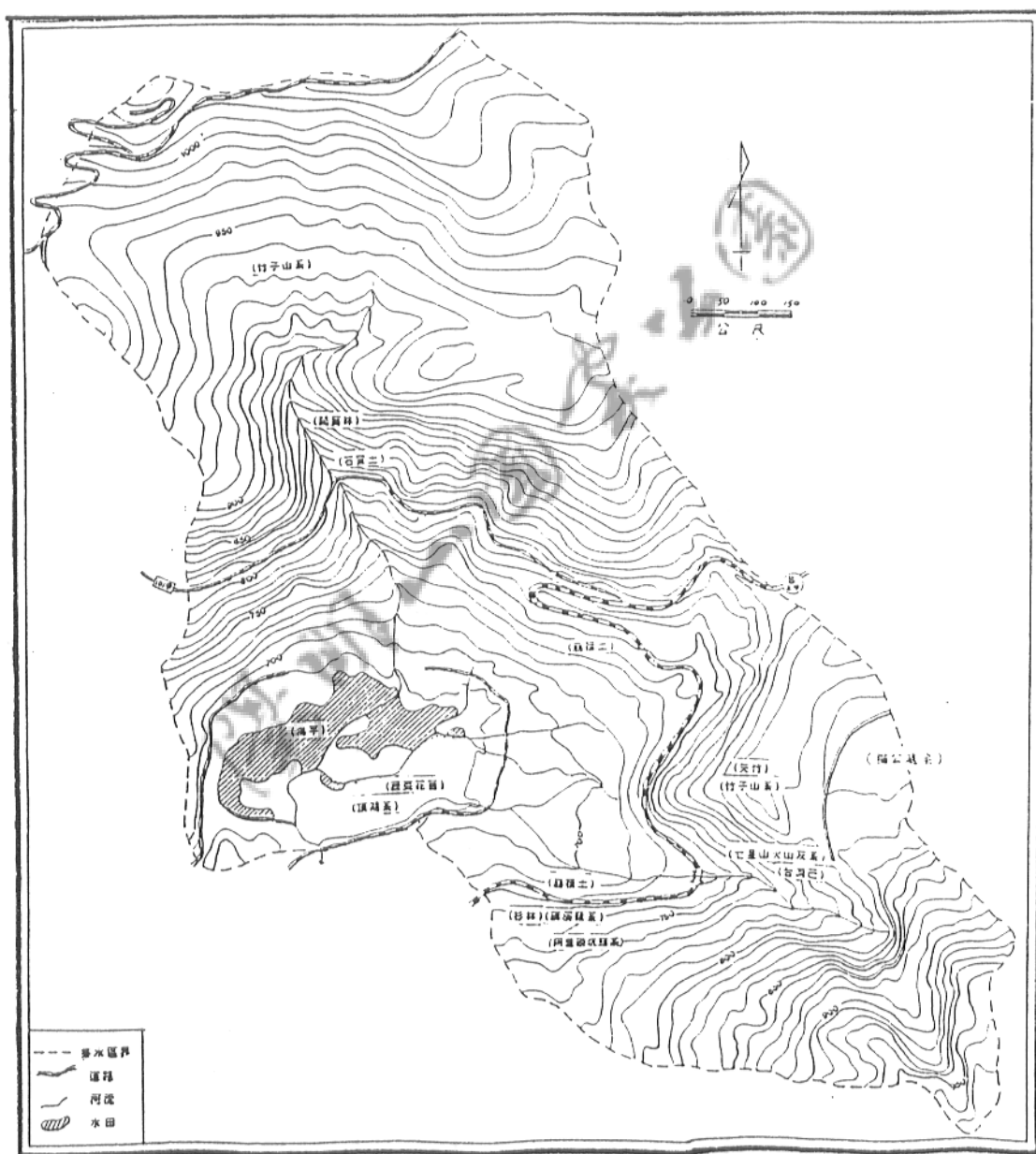


圖 1-2 研究區概況與等高線圖（南區）

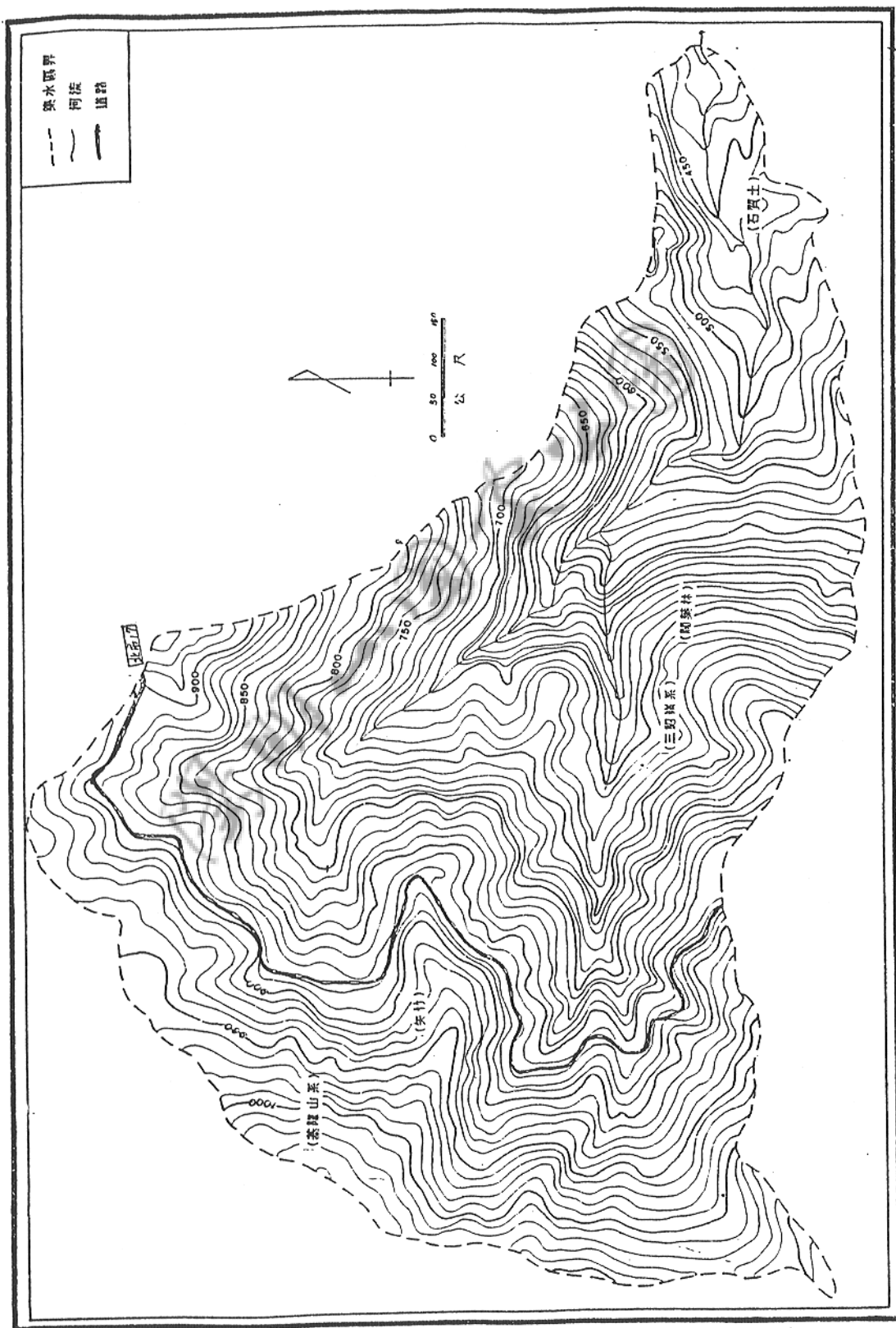


圖 1-3 研究區概況與等高線圖 (北區)

表 1-5 研究區之地形特徵

		北磺溪源流區	南磺溪源流區
面積	A (ha)	90.88	129.32
周長	C (m)	4750	5500
溪流長度	L (m)	1225	1100
平均坡度	(%)	68.0	37.9
平均海拔高	(m)	780	843
最高標高	(m)	1066.1	1054.6
最低標高	(m)	400.0	680.0

(根據 5 千分之一照片圖)

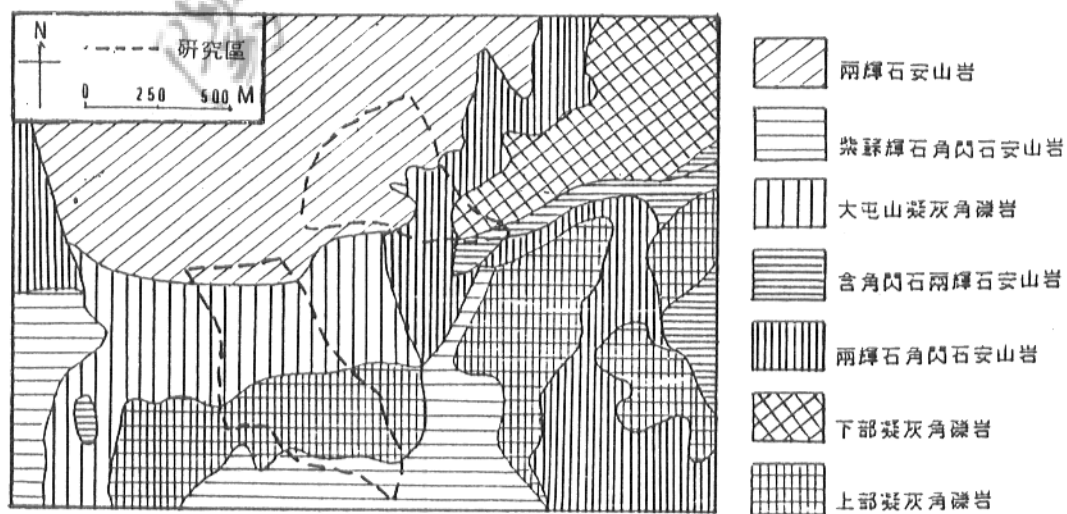


圖 1-4 研究區地質圖 (中央地調所 1981, 台北圖幅)

(2) 雨量

竹子湖站全年平均雨量為4626.6mm，鞍部為4784.6mm，月平均降雨量以十月份最多，此乃因受東北季風及颱風環流之雙重影響，四月份為最少雨月。

(3) 氣候水平衡

以 Thornthwait 方法計算可能蒸發散量，再將計算所得乘以緯度別修正係數，即得月可能蒸發散量。其次，以緯度別修正後的月可能蒸發散量及其與月平均降水量間的關係，利用土壤水份 100mm 或 300 mm 為媒介予以調節來求得合理蒸發散量 (ETa)。鞍部與竹子湖站氣候水平衡每月均有過剩雨量，其計算結果列於附錄。

四、植被與土壤

(1) 南磺溪源流區：

大致分成 (I) 頂湖梯田與湖底區：3 月至 9 月種植蔬菜，小部分栽培花苗，靠小觀音山麓則大部栽種海芋 (水田)；其土壤屬頂湖系，詳細土壤剖面描述見附錄。(II) 噴氣孔附近凹坡：以台灣芒為主，其土壤屬七星山火山灰系。(III) 公路附近之崩土區：以南洋杉、松最多，其土壤屬崩積土。(IV) 杉林區：以南洋杉為主，下雜小型蕨類；其土壤屬磺溪頭系。(V) 矢竹林區：以台灣矢竹為主，其土壤屬竹子山系。(VI) 暖溫帶常綠闊葉林區：以樟科植物為主，伴生各種喬木、灌木及草本植物，其土壤屬竹子山系或石質土之間。

(2) 北磺溪源流區：

大致可分成 (I) 暖溫帶常綠闊葉林區：屬於鹿角坑生態保護區的一部分，以樟科植物為主，如大葉楠、紅楠等，並包括其它各類植物；其土壤屬三貂嶺系或石質土之間。(II) 山脊草原區：主要生長矢竹，其土壤屬基隆山系或三貂嶺系之間。

註釋

註 1-1) M.J. Kirby ed. (1980) Hillslope Hydrology, P xv.

註 1-2) 楊萬全 (1984) 雨後流域內的水變成河水流出的過程，中等教育
35(2)，15頁。

註 1-3) T.P.Burt (1987) Slope and slope processes, Progress in
Physical Geography, 11(4), P598.

註 1-4) 胡蘇澄 (1986) 台灣小森林集水區暴雨流量特性之研究，文化大
學實業計畫研究所博士論文。

註 1-5) 陳明杰 (1987) 台灣中部森林集水區水文歷線演算方法之研究
，台灣大學森林研究所博士論文。

註 1-6) 柳楷等 (1988) 小集水區降雨與逕流相關性之模式研究，台灣省
林業試驗所。

註 1-7) 同註 1-4，184頁。

註 1-8) 同註 1-5，173頁。

註 1-9) 鄧天德 (1984) 無水文站流域量歷線之推求，華岡地學第四期，13頁。

註 1-10) 同註 1-1，PXV。

註 1-11) 鄧國雄等 (1988) 陽明山國家公園之地形研究，內政部營建署 70 頁

註 1-12) 經濟部中央地質調查所 (1981)，台北 5 萬分一地質圖。

註 1-13) 以鞍部與竹子湖測站 1947-1987 年之氣溫與雨量資料作統計分析。

第二章 長期流域水文量分析

第一節 水平衡之計算

水平衡 (Water, balance) 是研究地表上某一區域，在一定期間內，水的流入、流出的均衡狀態。它隨著地點、時間等之不同而有顯著的差異。水平衡基本式在一定區域、一定期間、沒有來自他區的地面水和地下水時，降水量 (P)、逕流量 (RO) 和蒸發散量 (ET) 的關係如下：

$$P = RO + ET + \Delta S \quad RO = D_{out} + G_{out}$$

ΔS ：該區域在一定期間內所保持水量的變化

D_{out} ：地面水的流出量

G_{out} ：地下水的流出量 (註 2-1)

本研究的二個水文區均位居主要分水嶺的水系源流區，又是年單位，且由地形地貌和地質構造來看，地形分水嶺和地下水分水嶺應為一致，所以水平衡式可簡化為：

$$P = RO + ET$$

本研究用於分析水平衡的資料以陽明山國家公園水資源調查研究 I、各流域水文等徵之調查研究的原始資料為數據參考 (註 2-2)，包括等雨量線圖和可能蒸發散量等值線圖，從而計算二個小集水區的年月平均雨量和年月平均可能蒸發散量 (註 2-3)，再由水平衡式求算年月平均逕流量。

(一) 降水量

北磺溪源流區的月平均降水量以十月份最多，超過 600公釐，其後逐漸減少，至翌年四月份為最少，在 170公釐左右。五、六月份梅雨期略增，七、八月西南風盛行期略減，九、十月份颱風期又顯著增加，具週期性，年平均降水量大致在 4300公釐。

南磺溪源流區的月平均降水量以四月份為最少，約 180公釐，五、六月略增；十月份最多，超過 700公釐，其後逐月減少，至翌年四月為最少，具週期性，年平均降水量大致在 4600公釐。盛行西南季風的七、八月，南區的降水量多於北區；十月份的最多雨月，亦以南區較多。

(二) 可能蒸發散量

本研究可能蒸發散量的數據，採用桑士偉 (C.W.Thornthwaite) 法計算。依鞍部和竹子湖測站之蒸發散量計算結果，可能蒸發散量 (ETp) 等於合理蒸發散量 (ETa)。按台灣地區，林口台地和花蓮以北，實際真正蒸發散量 (ETr) 約為皿蒸發量的 0.6倍，可能蒸發散量的 0.7 倍，但在南北磺溪源流區，植被良好，蒸散作用較盛，所以用皿蒸發量來換算並不適宜，因此本研究採用的實際蒸發散量均為可能蒸發散量乘以 0.7之值。(註 2-4)

南、北磺溪源流區月平均可能蒸發散量以七、八月最多，此與七、八月月平均溫較高有關，反之、二月最少，其理亦同，年平均可能蒸發數量北區略高於南區。

(三) 逕流量

由水平衡式計算，逕流量 = 降水量 - 蒸發散量。南磺溪源流區的年平均降雨量為 4567.2 公釐，年平均實際蒸發散量為 607.9公釐，集水區面積為 1.2932平方公里，所以逕流量為：

$$(1) \text{ 年平均逕流水深} = 4567.2\text{mm} - 607.9\text{mm} = 3959.3\text{mm}$$

$$(2) \text{ 年平均逕流水量} = 3959.3\text{mm} \times 10^{-3} \times 1.2932 \text{ km}^2 \times 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{年} \\ = 0.162 \text{ m}^3 / \text{秒 (CMS)}$$

北礮溪源流區的年平均降雨量為4292.8公釐，年平均實際蒸發散量為617.5公釐，集水區面積為0.9088平方公里，所以逕流量為：

$$(1) \text{ 年平均逕流水深} = 4292.8 \text{ mm} - 617.5 \text{ mm} = 3675.3 \text{ mm}$$

$$(2) \text{ 年平均逕流水量} = 3675.3 \text{ mm} \times 10^{-3} \times 0.9088 \text{ km}^2 \times 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{年}$$

$$= 0.106 \text{ m}^3 / \text{秒 (CMS)}$$

其他各月平均逕流水深、逕流量之計算如同上式，結果如表 2-1。

第二節 水文頻率分析

一般集水區經營、河川治理、水工結構物的設計規劃等，對於水文資料的分析應用有兩種方式，一為應用數理方法構成最佳水文模式之定率方式 (Deterministic approach)，另一則純以統計方法，由過去的水文記錄資料歸納其特性，並依此推估未來可能發生的水文情形之序率方式 (Stochastic approach) (註 2-5)。水文頻率分析乃討論在某一地區內，大於或等於某一特定之水文量值的發生機率，主要目的是決定大於或等於某水文量值的重現期距 (Recurrence interval)，亦稱為迴歸週期。通常應用上根據計畫的重要性及投資的經濟性決定回歸年。例如，日本在河川計畫上本流為 100 年，支流為 50 年，其下之支流為 30 年等，以階段式來決定之，至於多目標水庫，則以 200 年為回歸年 (註 2-6)。台灣省坡地開發上，大抵以機率年 25 年的水文資料做為各種結構物設計的參考 (註 2-7)。

表 2-1 南、北磺溪源流區月和年平均降水量，可能蒸發散量，逕流水深、逕流量

水系名稱	流域面積 (ha)	項目	單位	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	年平均
南 磺 溪 源 流 區	129.32	降水量	mm	287.9	282.5	236.9	177.2	240.6	314.3	267.0	362.8	615.9	774.4	615.0	392.7	4567.2
		可能蒸發散量	mm	22.9	24.9	41.9	65.4	95.8	116.2	128.5	124.9	102.0	69.0	46.6	30.3	868.4
		逕流水深	mm	271.9	265.1	207.6	131.4	173.5	233.0	177.1	275.4	544.5	726.1	582.4	371.5	3959.3
		逕流量	CMS	0.131	0.142	0.100	0.066	0.084	0.116	0.086	0.133	0.272	0.351	0.291	0.174	0.162
北 磺 溪 源 流 區	90.88	降水量	mm	306.8	285.7	234.2	176.6	233.8	31.0	251.1	335.2	553.7	686.4	550.4	367.9	4292.8
		可能蒸發散量	mm	23.3	24.4	40.9	66.0	96.7	118.6	130.9	125.2	106.5	72.2	47.1	30.4	882.2
		逕流水深	mm	290.5	268.6	205.6	130.4	166.1	228.0	159.5	247.6	479.2	635.9	517.4	346.6	3675.3
		逕流量	CMS	0.099	0.101	0.070	0.038	0.056	0.080	0.054	0.084	0.168	0.216	0.181	0.118	0.106

水文頻率定點的方法有下列多種：(註 2-8)

表 2-2 頻率定點公式表

方法	P(X>x)的解	對 m=1 及 n=10	
		P	T
Califomia	$\frac{m}{n}$	.10	10
Hazen	$\frac{n}{(2n-1)/2n}$	.05	20
Beard	$1-(0.5)^{1/n}$	.067	14.9
Weibull	$\frac{m}{n+1}$	0.91	11
Chegadayeve	$\frac{m-0.3}{n+0.4}$	0.067	14.9
Blom	$\frac{m-3/8}{n+1/4}$	0.061	16.4
Tukey	$\frac{3m-1}{3n+1}$	0.065	15.5

上表中各種公式均未考慮樣本之大小 (亦即記錄年數)，葛林歌頓 (Gringorton) 曾提出下列將樣本大小考慮在內之公式：

$$P = \frac{m-a}{n+1-2a}$$

$m-a$ n : 記錄年數
 m : 順序 (最大者 $m=1$)
 a : $0 < a < 1$ 隨 n 之大小而異，其值如下：

n	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
a	0.448	0.443	0.442	0.441	0.440	0.440	0.440	0.440	0.439	0.439

上列不同定點方法各有其理論基礎，其差異僅在確定較大水文事件之週期時始漸明顯。

目前一般水文頻率定點常用威伯法 (Weibull)其公式爲 (註2-9)：

$$F_m = \frac{m}{n+1} \times 100\%$$

式中 F_m ：累計頻率百分數

m ：順序

n ：記錄年數

上式中，最小值 $m=1$ 時，則 F_m 表示等於或小於該值之累積頻率之機率；若最大值 $m=n$ 時，則 F_m 表示等於或大於該累積頻率之機率。以 F_m 值之常態百分率爲橫標，以水文量值爲縱標，點繪於常態分配機率紙上，以適當之頻率分析模式求出通過散佈圖上之各點之最適曲線，並求出各種發生機率之水文量值。本文中所有之頻率分析皆以威伯法來定點。

另外本研究的二個小集水區離中央氣象局所屬鞍部與竹子湖測站，皆相距不遠（約1~2公里左右），二個測站足以分別代表二個小集水區作長期水文量的分析（鞍部站代表北磺溪源流區，竹子湖站代表南磺溪源流區）。

(一)年雨量分析

表 2-3 鞍部、竹子湖站年雨量基本統計量

站 名	平均降雨量	標準差	變異係數	偏 態
鞍部	4797.5	953.9	0.20	0.293
竹子湖	4565.5	950.7	0.21	0.214

(1) 年降雨量及其變率

由表 2-3可看出，鞍部站年平均降雨量在4800公釐左右，略大於

竹子湖站；年雨量變率應以變異係數為判定標準，鞍部為0.20，竹子湖為0.21，一般言之，年雨量變率不大。偏態係數顯示二者皆為正偏，以大小作標準，則鞍部站較竹子湖站略偏。

(2) 年雨量機率分析

本文以常用的水文頻率分配模式其中四種：

1. 常態分布

2. 對數常態分布

3. 皮爾森Ⅲ型分布

4. 對數皮爾森Ⅲ型分布

來作年雨量機率分析，並以估計標準誤 (Standard errors of estimates) 為判定標準。分析結果如表2-4，表2-5，鞍部站以對數常態分布所得之估計標準誤最小(120.7)，皮爾森Ⅲ型和對數皮爾森Ⅲ型分布次之，因此鞍部站應以對數常態分布最適當；竹子湖站以對數皮爾森Ⅲ型分布所得之估計標準誤最小(111.6)，常態分布次之(114.1)，對數常態分布再次之(120.5)，因此竹子湖站應以對數皮爾森Ⅲ型分布最適當，另繪圖如圖2-1至2-8。

表 2-4 鞍部站年雨量水文模式分布估計圖

迴歸年	超越 機率	模 式			
		1	2	3	4
1.01	99	2578.7	2955.5	2852.5	2870.4
1.05	95	3228.3	3387.5	3338.0	3350.4
1.11	90	3574.6	3643.1	3621.3	3629.2
1.25	80	3994.3	3978.7	3981.9	3988.3
2.00	50	4797.5	4709.8	4716.5	4741.0
5.00	20	5600.7	5575.1	5576.8	5584.1
10.00	10	6020.4	6088.8	6052.8	6059.6
25.00	4	6467.8	6688.6	6587.0	6594.2
50.00	2	6756.8	7107.2	6948.5	6953.7
100.00	1	7016.3	7505.2	7283.4	7285.9
200.00	0.5	7253.8	7889.1	7599.1	7599.0
估計標準誤		216.5	120.7	168.5	168.9

表 2-5 竹子湖站年雨量水文模式分布估計圖

迴歸年	超越 機率	模 式			
		1	2	3	4
1.01	99	2354.2	2735.3	2735.4	2620.7
1.05	95	3001.6	3159.8	3160.4	3109.9
1.11	90	3346.7	3412.4	3415.2	3394.3
1.25	80	3765.0	3745.7	3751.7	3759.2
2.00	50	4565.5	4477.1	4480.9	4521.0
5.00	20	5366.0	5351.4	5330.8	5362.7
10.00	10	5784.3	5874.1	5825.2	5832.0
25.00	4	6230.2	6487.7	6392.7	6345.0
50.00	2	6518.2	6917.8	6780.6	6698.6
100.00	1	6776.8	7328.1	7145.7	7015.2
200.00	0.5	7013.6	7725.0	7490.8	7311.1
估計標準誤		114.1	120.5	126.9	111.6

(常態分布)

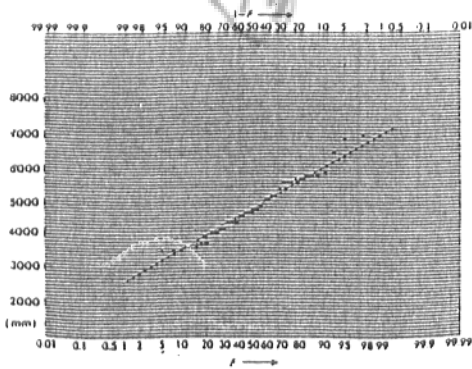


圖 2-1 穀部站年雨量頻率分布

(對數常態分布)

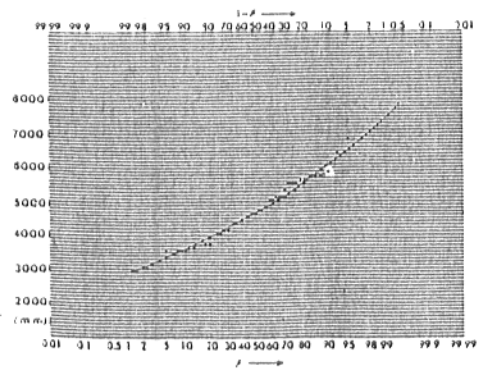


圖 2-2 穀部站年雨量頻率分布

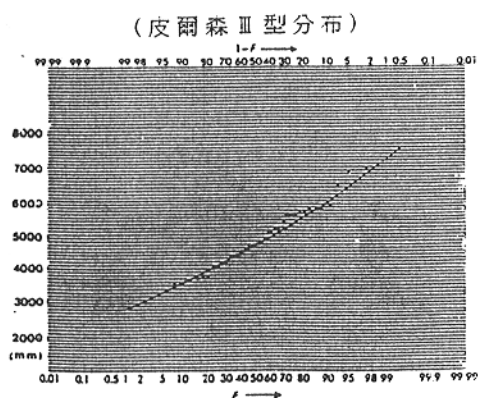


圖 2-3 板部站年雨量機率分布

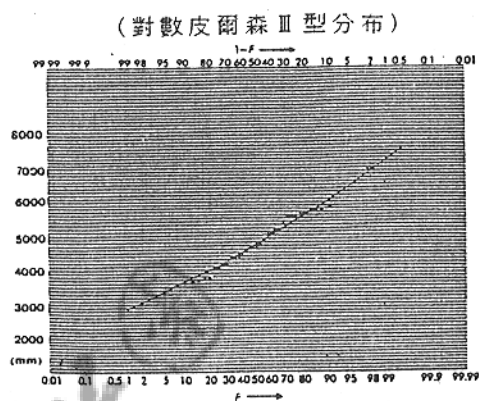


圖 2-4 板部站年雨量機率分布

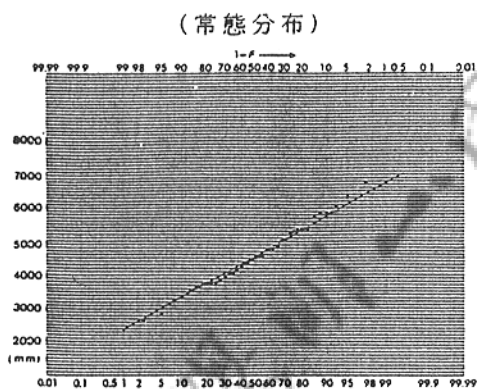


圖 2-5 竹子湖站年雨量機率分布

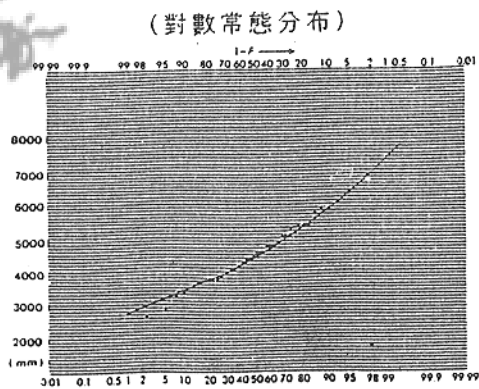


圖 2-6 竹子湖站年雨量機率分布

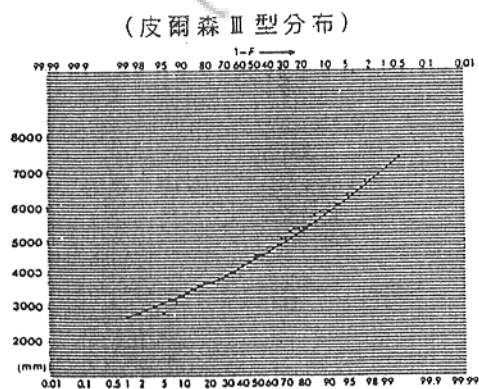


圖 2-7 竹子湖站年雨量機率分布

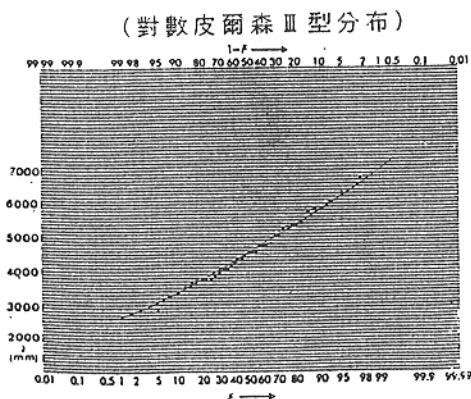


圖 2-8 竹子湖站年雨量機率分布

(二)月雨量分析

(1) 月降雨量及其變率

月降雨量分析可明白年中雨量的季節變化。依表 2-6鞍部站之39年記錄與表 2-7竹子湖站之39年記錄，可以看出兩者皆以十月份之雨量最多，四月份之雨量最少；八月的變異係數最大，是以八月份的降雨變率最大，十月次之。偏態係數則顯示全年十二個月均為正偏態，進一步以偏態係數法檢定其是否為常態分配。偏態係數檢定法之步驟如下：(註2-10)

表 2-6 鞍部站歷年月降雨量基本統計量 (1949~1987)

月份	平均雨量	標準差	變異係數	偏態係數
一	322.5	146.9	0.46	0.280
二	304.6	174.2	0.57	1.104
三	269.5	136.9	0.51	0.546
四	193.8	104.8	0.54	0.623
五	278.3	134.8	0.48	0.619
六	329.1	209.7	0.64	1.247
七	263.5	182.0	0.69	0.823
八	375.3	308.9	0.82	1.619
九	652.0	352.7	0.54	0.663
十	786.8	633.6	0.81	1.413
十一	610.6	298.8	0.49	0.441
十二	410.6	182.1	0.44	0.849

表 2-7 竹子湖站歷年月降雨量基本統計量 (1949~1987)

月份	平均雨量	標準差	變異係數	偏態係數
一	278.3	143.3	0.51	0.764
二	265.9	158.3	0.60	0.994
三	226.3	125.7	0.56	0.608
四	165.9	101.6	0.61	1.038
五	244.2	122.6	0.50	0.141
六	294.5	189.2	0.64	0.018
七	258.4	201.1	0.78	1.033
八	383.1	317.7	0.83	1.400
九	649.8	361.2	0.56	0.593
十	796.8	641.6	0.81	1.267
十一	615.0	334.3	0.54	0.773
十二	387.2	201.2	0.52	0.953

假設母群體偏態係數為 0

1. 虛無假設 $H_0: C_s = 0$

對立假設 $H_1: C_s \neq 0$

2. 決定顯著水準 (Significance Level) , 查常態分配機率表得一臨界值 Z_0 。

$$3. Z_{Cs} = \frac{C_s - 0}{C_s}$$

Z_{Cs} = 由樣本偏態係數求出之常態分配 Z 值

C_s = 樣本之偏態係數

c_s = 樣本偏態係數之標準差

$$= \sqrt{\frac{6n(n-1)}{(n-1)(n+1)(n+3)}} = \sqrt{\frac{6}{n}}$$

4. 若 $|Z_{Cs}| > Z_0$ 。則棄卻 H_0 假設，即表示母群體為非常態分布。

根據上述理論，吾人可以反求標準 C_{s0} 值，來做為常態分配取捨之指標，若 $|C_s| > C_{s0}$ 表示該月雨量記錄為非常態分配。

由表 2-8 看出，以 $\alpha = 0.05$ 為顯著水準，則鞍部站月雨量記錄有 6 個月為非常態分布，竹子湖站則有 8 個月為非常態分布。因此，為減少誤差與統一比較，本文乃採用具有彈性，可適應偏態係數變化之對數皮爾森 III 型分配函數處理 (註 2-11)。

表 2-8 鞍部與竹子湖站之偏態係數檢定

月份 C_s 站名	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二	C_{s0}
鞍部	0.28	1.104	0.546	0.623	0.619	1.247	0.823	1.619	0.663	1.413	0.441	0.849	0.768
竹子湖	0.764	0.994	0.608	1.038	0.141	1.108	1.033	1.400	0.593	1.267	0.773	0.953	0.741

(2) 月降雨量機率分析

對數皮爾森 III 型分布法為 H.A. Forster 於 1942 年所提倡之皮爾森 III 型法中，以水文資料之對數值替代自然數值者，為今日美國水資源委員會採用 (註 2-12)。由於其理論較具彈性，故在水文頻率分析中

，多被延用。對數皮爾森Ⅲ型分布法之頻率方程式，可表示如下：

$$\log x = \bar{X} + K_T S$$

$\bar{X}$ ：水文量取對數後之平均值

K_T ：頻率因素 (Frequency Factor)

S ：水文量取對數後之標準差

$\log x$ ：各機率之水文量對數值

上式中， K_T 為偏態係數與迴歸週期之函數，因此頻率曲線隨此兩數之變化而變動。所以，由對數皮爾森Ⅲ型分配模式求出之曲線，會隨著機率紙上之散佈點而變動，為通過散佈點之最佳曲線。美國水資源委員會根據理論，將適合此分佈之頻率因子 K_T 與不同之偏態係數 C_s 與相應之迴歸週期 T 編印成表，列如附錄。

依據鞍部與竹子湖站之月雨量記錄，按對數皮爾森Ⅲ型分配法，求出各月降雨量之機率，如表 2-9，2-10並列舉竹子湖站一月雨量機率分配繪圖，如圖 2-9。

表 2-9 鞍部站各種機率之月降雨量 (log pearson Ⅲ型)

發生機率 雨量 月份	99	95	90	80	50	20	10	4	2	1	0.5
一月	41.0	31.3	130.6	189.7	325.4	457.0	511.1	554.1	573.7	586.3	595.7
二月	70.8	107.6	134.0	174.2	284.6	458.7	585.5	756.8	891.3	1030.4	1176.3
三月	38.3	74.7	102.4	144.3	253.0	388.6	464.3	543.8	592.8	634.2	669.5
四月	6.4	29.4	55.3	101.6	210.3	282.3	296.7	302.2	303.4	303.7	303.9
五月	31.9	73.8	107.4	158.8	279.5	398.8	448.5	488.0	506.2	518.3	526.6
六月	30.3	67.8	99.1	150.5	294.5	493.8	612.0	740.3	821.5	891.0	951.0
七月	16.5	41.7	64.5	104.1	224.9	407.1	520.3	648.0	730.1	801.5	863.7
八月	41.4	73.8	99.8	143.4	282.4	545.6	764.1	1089.0	1364.6	1667.0	2001.2
九月	95.0	177.8	240.9	338.0	594.9	944.6	1157.7	1400.4	1562.0	1707.8	1840.5
十月	109.7	173.3	223.1	305.7	574.0	1117.0	1606.3	2393.5	3113.6	3963.9	4961.4
十一月	89.4	175.6	241.0	339.6	584.3	377.2	1032.2	1187.7	1279.2	1353.7	1415.7
十二月	111.0	165.7	202.4	255.3	383.9	553.2	658.3	783.1	870.2	952.4	1031.3

表 2-10 竹子湖站各種機率之月降雨量 (log pearson III 型)

發生機率 雨量 月份	99	95	90	80	50	20	10	4	2	1	0.5
一月	45.6	83.6	111.7	153.8	260.0	394.5	471.5	554.6	607.4	653.5	693.5
二月	47.1	78.4	99.9	133.0	226.3	376.8	487.5	637.9	755.9	878.7	1007.0
三月	31.7	59.1	80.1	112.8	202.3	330.9	413.4	511.6	579.5	642.9	1015.9
四月	6.3	24.3	43.6	78.1	168.7	250.4	276.5	291.8	297.0	299.5	300.7
五月	20.7	54.9	81.9	127.6	242.0	362.0	413.4	454.9	471.1	487.0	495.8
六月	19.0	50.8	79.9	129.6	270.6	453.1	549.1	641.6	693.0	783.2	763.6
七月	18.4	39.4	57.8	90.1	196.5	394.7	550.4	766.8	938.1	1114.6	1297.7
八月	28.5	60.3	87.8	135.6	291.7	578.5	801.8	1110.4	1353.4	1603.0	1861.1
九月	79.7	160.1	223.5	323.1	591.6	956.2	1174.4	1415.9	1572.3	1710.4	1832.6
十月	97.2	161.5	213.0	298.8	579.6	1145.8	1649.4	2445.7	3163.2	3997.6	4960.1
十一月	94.6	172.6	230.8	321.0	558.1	873.0	1083.4	1315.6	1471.7	1615.2	1690.1
十二月	71.3	123.2	160.4	216.6	358.2	543.7	742.1	781.5	865.4	941.9	1011.5

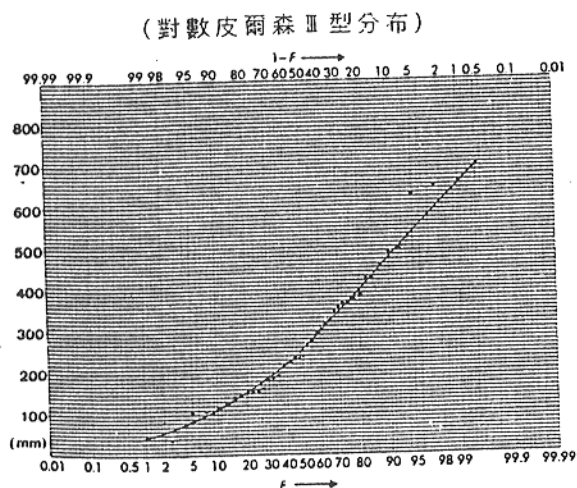


圖 2-9 竹子湖站一月年雨量機率分布

(三)日、一小時和十分鐘雨量機率分析

台大森林研究所 (註2-12, 註2-13)就所蒐集之中央氣象局所屬各個測站的每年最大日雨量, 最大一小時雨量, 套配較為常用之對數常態分佈, 極端值 I 型分佈, 皮爾森 III 型分佈, 對數皮爾森 III 型分佈等四種理論機率分佈, 以卡方檢定、K-S 檢定, 和標準差檢定三種檢定方法, 以檢定各個測站之適當理論機率分佈, 其中 K-S檢定在 5% 的顯著水準下, 對於各個測站所套配之上述四種機率分佈, 差異皆不顯著, 因此將 K-S檢定結果予以省略。茲就卡方檢定及標準差檢定的結果選擇適合鞍部和竹子湖測站之理論機率分佈, 竹子湖測站選擇對數皮爾森 III 型分佈, 鞍部測站選擇對數常態分佈和對數皮爾森 III 型分佈為頻率分析的方法, 但考慮發生機率在 90% 以上時, 以對數常態分佈計算的理論值較實測值小, 因此以對數皮爾森 III 型計算各個機率年之最大日雨量。至於最大一小時雨量, 經檢定結果亦有相同的情形。另外, 最大 10 分鐘雨量直接以適合於最大一小時雨量的理論機率分佈進行頻率分析。鞍部和竹子湖測站各個機率年之日雨量, 一小時雨量和十分鐘雨量結果如表 2-11、表 2-12、表 2-13。至於鞍部、竹子湖站各個機率年短時間降雨強度公式之係數值 (Talbot 公式) 如表 2-14。

表 2-11 鞍部、竹子湖站各個機率年之日雨量 (台大森林所, 1986)

測站 名稱	統計年數	機 率 年 之 日 雨 量 (mm)								
		1.01年	1.25年	2 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100年	200年
竹子湖	1931-1985	110.2	218.6	311.4	433.2	509.9	602.7	668.9	732.7	795.1
鞍 部	1946-1985	116.7	220.9	314.6	445.5	533.0	644.3	727.5	810.9	895.5

表 2-12 鞍部、竹子湖站各個機率年之 1 小時雨量台大森林所(1987)

測站 名稱	統計年數	機 率 年 之 1 小 時 雨 量 (mm)								
		1.01年	1.25年	2 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100年	200年
竹子湖	1947-1985	29.8	41.9	55.2	73.9	86.2	101.0	111.5	122.4	133.0
鞍 部	1946-1985	23.5	39.1	54.5	78.3	96.0	120.4	140.1	161.3	184.1

表 2-13 鞍部、竹子湖站各個機率年之 10 分鐘雨量 (台大森林所 1987)

測站 名稱	統計年數	機 率 年 之 10 分 鐘 雨 量 (mm)								
		1.01年	1.25年	2 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100年	200年
竹子湖	1961-1986	6.3	14.1	18.5	22.9	25.1	27.5	29.1	30.5	31.7
鞍 部	1961-1986	10.1	13.8	16.9	21.1	23.8	27.4	30.0	32.7	35.5

表 2-14 鞍部、竹子湖站各個機率年短時間降雨強度公式之係數值 (台大森林所 1987) (Talbot公式)

測站名稱 及 編 號	係數 *	機 率 年								
		1.01年	1.25年	2 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100年	200年
竹 子 湖	A	7040.3	4150.8	5490.3	7995.2	10079.0	13019.5	15426.2	18481.2	22112.4
	B	176.25	39.06	39.46	48.19	56.93	68.91	78.35	90.99	106.26
鞍 部	A	1919.3	3704.2	5891.6	10261.7	14646.2	22492.9	31601.5	45339.6	67843.1
	B	21.67	37.74	48.10	71.06	92.56	126.82	165.56	221.09	308.51

第三節 降雨歷線之推求

一般水工結構物等排水斷面的設計，於集水區內考慮逕流集中流出的情形下，從集水區最遠處至出水口之洪水到達時間，取其相同之時間的平均降雨強度，利用合理式 (Rational formula) 計算其最大逕流量，以供設計之參考，本省已有各地區的降雨強度式，便利於求取各個降雨延時之強度。然而，一降雨過程中，其間隔時間的降雨量非為均質狀態，亦即從開始降雨，經過雨量尖峰而後停止，此整個過程之降雨現象稱為連續降雨歷線 (Hyetograph)，而連續降雨歷線可由數學式的演算求得 (註 2-14)。

由觀測所得的連續降雨歷線，可求得降雨強度曲線，同樣地，可利用降雨強度式來推導出連續降雨歷線式。假設間隔時間 t 內之降雨量為 R ，其平均降雨強度為 I ；如圖 2-10 所示

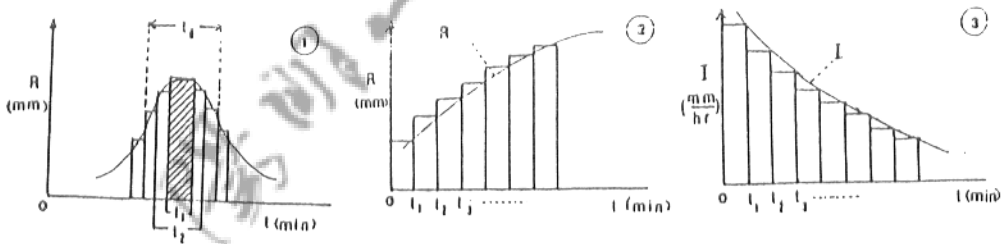


圖 2-10 降雨歷線與 R 、 I 曲線

$$I = R \times \frac{60}{t} \quad \dots\dots\dots (1)$$

I ：降雨強度 (mm/hr)

t ：時間 (min)

R ：雨量 (mm)

假設降雨尖峰發生於起始處，隨時間增長而減弱之連續降雨歷線以 i 表示，同樣亦可求出一降雨強度曲線 I ，而由 i 、 I 兩曲線所求

得之總雨量 R 應相等，則

$$R = \frac{1}{60} \int i dt \quad \dots\dots\dots (2)$$

(2) 式微分之得

$$\frac{dR}{dt} = \frac{i}{60} \quad \dots\dots\dots (3)$$

本省之降雨延時為 2 小時以下之降雨強度式為：

$$I = \frac{a}{t+b} \quad \dots\dots\dots (4)$$

將 (4) 代入 (1) 式，並微分之得

$$\frac{dR}{dt} = \frac{a}{60} \left(-\frac{b}{(t+b)^2} \right) \quad \dots\dots\dots (5)$$

而 (5) 式和 (3) 式應相等，則合併得：

$$i = \frac{a \cdot b}{(t+b)^2} \quad \dots\dots\dots (6)$$

若考慮降雨尖峰發生在連續降雨期間之位一位置時，假設整個降雨時間為 t ，開始為 0，終止為 1，尖峰發生前的降雨時間為 tb ，發生後的時間為 ta ，令 $tb/t = r$ ， r 表示降雨尖峰發生的位置，則

$$t_b = r \cdot t \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$t_a = (1-r) \cdot t \quad \dots\dots\dots (8)$$

將 (7)、(8) 兩式代入 (6) 式則尖峰前之雨量歷線為 i_b ，尖峰後之雨量歷線為 i_a ，則：

$$i_b = \frac{a \cdot b}{[(t_a/r) + b]^2} \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$i_a = \frac{a \cdot b}{[(t_a/(1-r)) + b]^2} \quad \dots\dots\dots (10)$$

因此，在一地區內若已從雨量記錄，推導出各個機率年的降雨強度式，並從雨量記錄內得知一降雨過程中之尖峰位置，即可利用 (9)、(10) 兩式，推算出各個機率年之連續降雨歷線。同樣地，其他的降雨強度式，亦可依上述之方法，推導出連續降雨歷線式。更進一步，吾人亦可推算出連續降雨歷線中任一間隔時間的降雨量值，其方法如下：

例如欲求得降雨尖峰前 t_{b2} 及 t_{b1} 區間，及尖峰後 t_{a1} 和 t_{a2} 區間之降雨量，假設 $t_{b2} > t_b > t_{b1}$ ， $t_{a2} > t_a > t_{a1}$ ，令 (9) 式的分母

$$t_b/r + b = T_b \quad \dots\dots\dots (11)$$

將 (11) 式微分之得

$$dt_b = r \cdot dT_b$$

將 (11) 式代換 (9) 式之分母得

$$i_b = \frac{a \cdot b}{(T_b)^2} \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$\text{又} \quad i_{t_{b1}}^{t_{b2}} = \int_{t_{b1}}^{t_{b2}} i_b \, dT_b$$

$$\begin{aligned}
 &= \int_{t'b1}^{t'b2} \left[\frac{a \cdot b}{(Tb)^2} \right] r \cdot dTb \\
 &= \left[- \frac{abr}{Tb} \right]_{t'b1}^{t'b2} \dots\dots\dots(13)
 \end{aligned}$$

(13)式中， $t'b2 = t'b2/r + b$ ， $t'b1 = tb1/r + b$

則 (13) 式變形為：

$$i_{\frac{tb2}{tb1}} = \left[\frac{-abr}{tb/r+b} \right]_{\frac{tb2}{tb1}}^{tb2} = abr^2 \left[\frac{1}{tb1+br} - \frac{1}{tb2+br} \right] \dots(14)$$

同理(10)式亦可依照上述方法求得

$$i_{\frac{tb2}{tb1}} = ab(1-r)^2 \left[\frac{1}{tb1+b(1-r)} - \frac{1}{tb2+b(1-r)} \right] \dots(15)$$

如此，則可求得連續降雨歷線中任意間隔時間的雨量值，如此求得區間的降雨強度，相當複雜，在此可考慮標準的直接區間降雨量的求法。

降雨量的分配可考慮中央山形、前方山形、後方山形等基本形式，一般以後方山形時對洪水逕流，可得大峰值的洪水。表示峰值位置的係數可考慮如下（圖2-11，註2-15）：

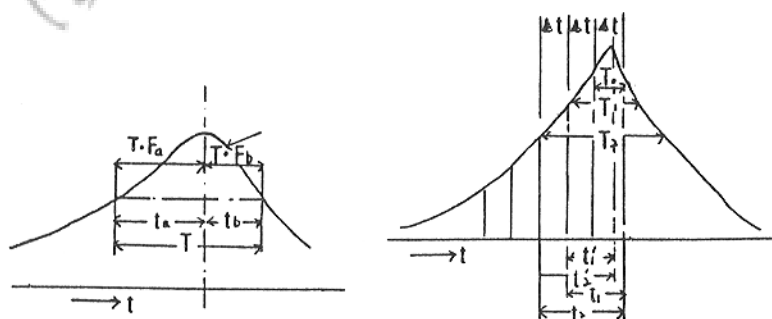


圖 2-11 降雨歷線演算

(例如後方山形時 $Fa=0.7$ ， $Fb=0.3$)

$$\frac{t_a}{T} = F_a, \quad \frac{t_b}{T} = F_b \quad F_a + F_b = 1$$

區間為 $T_1 \sim T_2$ ，此間的降雨量為 $r_1 \sim 2$ ，區分時間為 Δt min時

$$\begin{aligned} r_1 \sim 2 &= I_2 \cdot \frac{T_2}{60} - I_1 \cdot \frac{T_1}{60} \\ &= (I_2 \cdot T_2 - I_1 \cdot T_1) \cdot \frac{1}{60} \end{aligned}$$

這個雨量是在峰值的前後下降，因此，

$$\text{在峰值的前方 } r_1 \sim 2' = (I_2 \cdot T_2 - I_1 \cdot T_1) \cdot \frac{F_a}{60}$$

$$\text{在峰值的後方 } r_1 \sim 2'' = (I_2 \cdot T_2 - I_1 \cdot T_1) \cdot \frac{F_b}{60}$$

圖 2-11 是降雨歷線 (Hyetograph)，首先考慮夾峰值的 $T_0 = \Delta t$ ，以此為基礎，以 Δt 區間為間隔區分之為 $t_1, t_2, t_3 \dots$ 。從峰前位置至前方的時間是 t'_n ， $t'_n = t_n - \Delta t \times F_b$ ， $T_n = t'_n / F_a = t_n - \Delta t \times F_b / F_a$ ，然而降雨歷線演算過程之降雨尖峰位置 (r 值或 F_a 值) 亦必需依各地的降雨特性予以決定，由本省短時間降雨歷線的研究，大致上降雨均有提前的趨勢， r 值介於 $0.3 \sim 0.5$ 之間 (註 2-15)，因此決定以 $r = 0.4$ 來演算陽明山地區的降雨歷線。以鞍部站 talbot 公式的降雨強度式、機率年為十年，延時為二小時、間隔時間十分鐘的降雨歷線之推求為例，計算如表 2-15。鞍部和竹子湖站機率年 10 年，25 年，50 年的降雨歷線如圖 2-12 和圖 2-13 所示，第四章將以降雨歷線做為模擬演算集水區逕流歷線的基本資料。

表 2-15 峰值的前方每10分鐘間隔的雨量分配 (鞍部站機率年10年)

t	t'	Tn	In	In'	$\Delta(I \cdot T)$	r	
	$t - \Delta t \cdot Fb$	t / Fa		(In · Tn)	(I'n - I'n-1)	$[\Delta(I \cdot T) \times Fa / 60]$	
10	4	10	142.81	1428.1	1428.1	23.8	Fa=1
20	14	35	114.82	4018.7	2590.6	17.3	以下 Fa=0.4
30	24	60	96.00	5760.0	1741.3	11.6	
40	34	85	82.49	7011.7	1251.7	8.3	
50	44	110	72.31	7954.1	942.4	6.3	
60	54	135	64.36	8688.6	734.5	4.9	

表 2-16 峰值的後方每10分鐘間隔的雨量分配 (鞍部站機率年10年)

t	t'	Tn	In	In'	$\Delta(I \cdot T)$	r	
	$t - \Delta t \cdot Fb$	t / Fa		(In · Tn)	(I'n - I'n-1)	$[\Delta(I \cdot T) \times Fa / 60]$	
10	6	10	142.81	1428.1	1428.1	23.8	Fb=1
20	16	26.7	122.81	3279.0	1850.9	18.5	以下 Fb=0.6
30	26	43.3	107.80	4667.7	1388.7	13.9	
40	36	60	96.00	5760.0	1092.3	10.9	
50	46	76.7	86.53	6636.9	876.9	8.8	
60	56	93.3	78.80	7352.0	715.1	7.2	
70	66	110	72.31	7954.1	602.1	6.0	

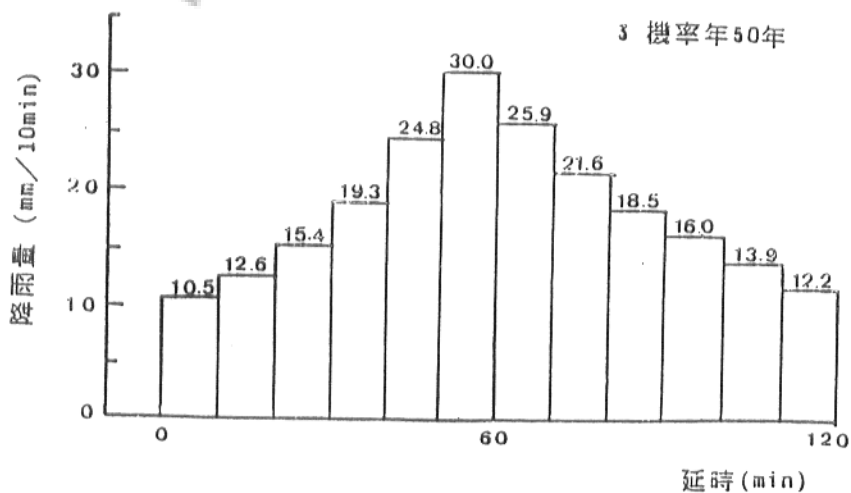
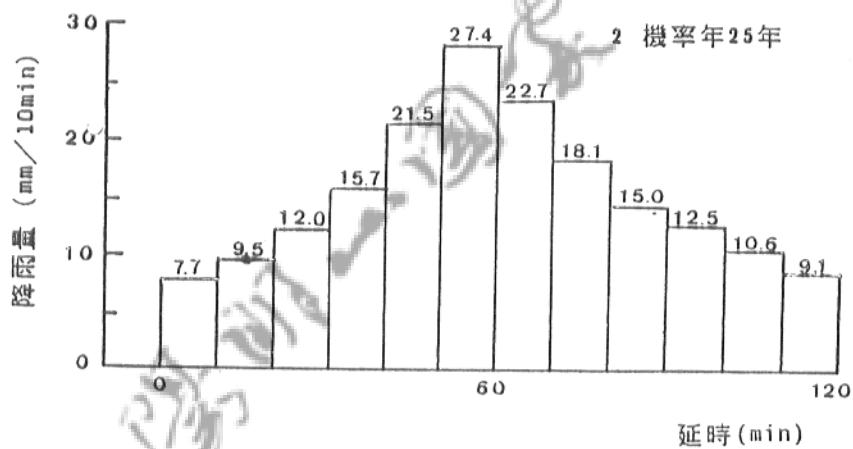
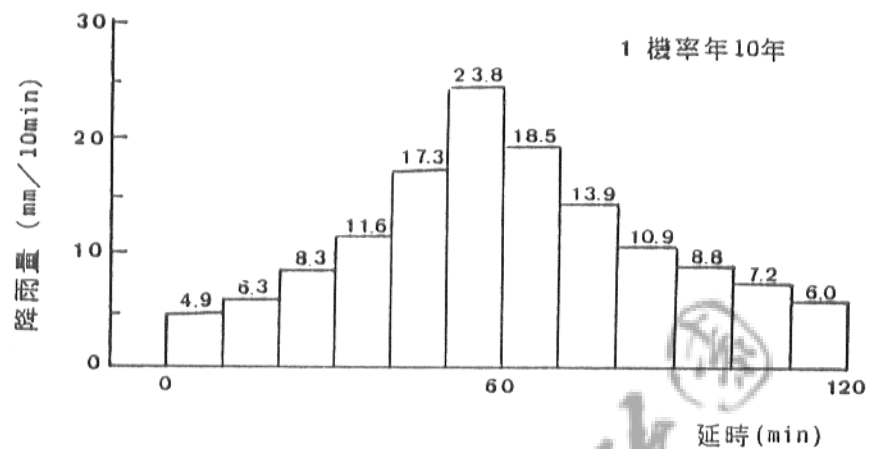


圖 2-12 以Talbot公式推算鞍部測站的降雨歷線

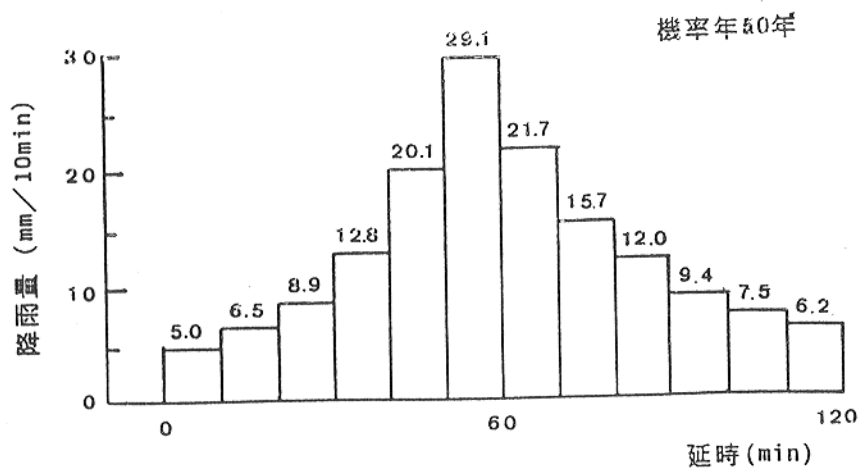
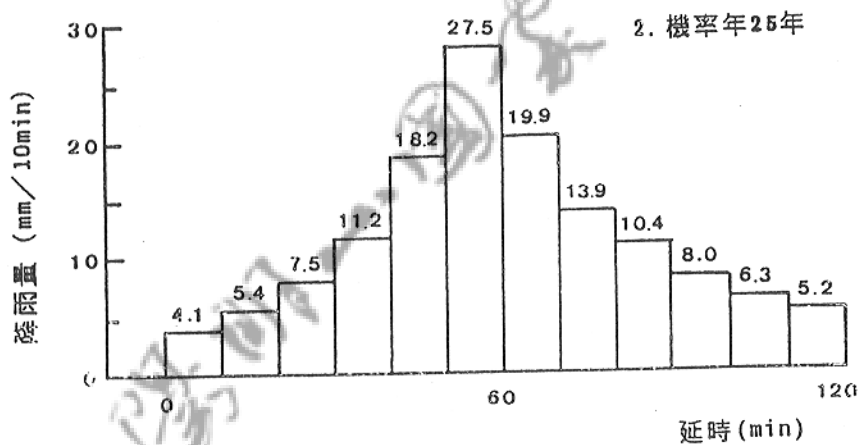
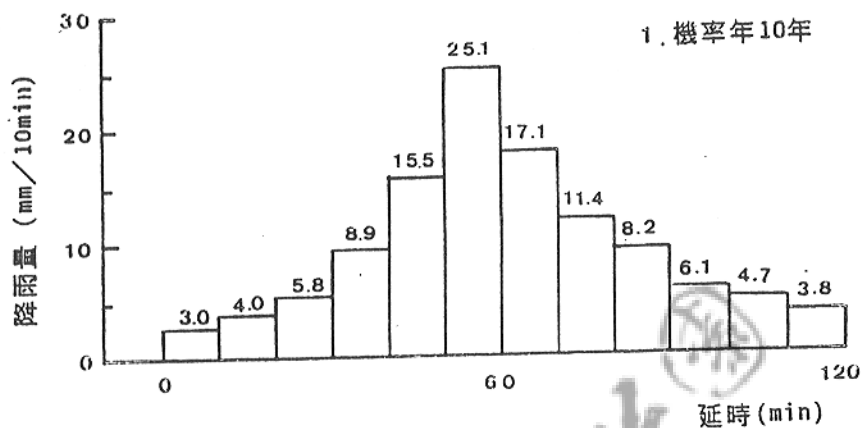


圖 2-13 以Talbot公式推算竹子湖站的降雨歷線

註釋

- 註 2-1) 楊萬全(1982)水文學，師大地理學系，31-32頁。
- 註 2-2) 楊萬全，阮斯堅，洪華君，簡美慧(1989)陽明山國家公園的水文特徵，中國地理學會第17期，97-119頁。
- 註 2-3) 以網格法計算而得。
- 註 2-4) 楊萬全(1988)台灣地區蒸發散量問題之探討，中等教育 39(2)。
- 本文研究區屬於第一類型的 I，亞型：各月平均降水量均大於各月平均可能蒸發散量。
- 註 2-5) 王如意，易任(1984)應用水文學下冊，310頁。
- 註 2-6) 陳信雄譯，佐藤勝夫著，洪水逕流分析，台大森林學系，120頁。
- 註 2-7) 陳信雄(1983) 坡地開發與洪災問題之研究(一)，國科會防災科技研究報告，8頁。
- 註 2-8) 蔡光雄譯(1983)水文學，科技圖書公司，181頁。
- 註 2-9) 鄧天德(1982) 從地理觀點分析台灣降雨機率，華岡地學第 2 期，13-14頁。
- 註 2-10) 潘文富(1984) 花蓮溪流流域雨量流量與地面水利用之研究，文大地理碩士論文，37-38頁。
- 註 2-11) 鄧天德(1984) 機率分佈常態化研究，華岡理科學報第四期。
- 註 2-12) 同註 1-5，102-105頁。
- 註 2-13) 魏聰輝(1986) 台灣地區日降雨強度特性之研究，台大森林所碩士論文，50-51頁。
- 註 2-14) 同註 2-7，6-8頁。
- 註 2-15) 同註 2-6，99頁。
- 註 2-16) 同註 1-5，116頁。

第三章 水文過程之探討

第一節 入滲之觀測與分析

降水經由地表滲入土壤中之過程，謂之入滲 (Infiltration)。入滲乃水文循環中極為重要的一環，蓋降水落至地面後，首先受植物之截留、水面、地面、葉面之蒸發，繼又經地表漫地流滲入地下，所剩餘之水量才造成地面逕流，注入河湖或海洋。

降水經由地表土壤進入地下之多寡，受多種因素之影響，其中以下列諸因素最為重要 (註 3-1)：

- (一)氣象因素：主要包括降水強度、氣溫和降水頻率。
- (二)土壤特性：土壤之特性，一般指土壤顆粒大小及其結構而言。土壤顆粒大小、分布及排列，影響土壤孔隙率之大小。
- (三)地表覆蓋物：主要為植被、冰雪覆蓋及人為不透水面。
- (四)地形特徵：其中最要者為地形之坡度。
- (五)地質環境
- (六)水質

地表降水之入滲量之觀測研究，迄今已有數十年之歷史，但由於入滲率之控制因素甚多，目前仍無精確度令人滿意之觀測實驗方法。

入滲率之觀測研究，隨其使用目的而異，一般言之，水庫填址之選擇，須要較精確之土壤入滲率，故須以點的觀測資料為依據。但是一個流域之平均入滲率，若以點的入滲率為代表，則觀測點之分布，必須多而且分布均勻，才具有代表性。但實施起來極為不易。本研究以雙筒入滲計 (Double-ring infiltrometer) 來對南礮溪源流區作點的入滲觀測，此器計 (註 3-2) 即有內外兩筒，內筒直徑約 14 公分，高 30 公分，外筒直徑約 31 公分，高 25 公分，使用時將內外兩筒同心置於所欲觀測之地面上，然後以大鐵錘將兩筒打入土中約 10 公分，兩筒注入適當水量，水深約 6 公分，內筒水深可比外筒水深高些。內筒為入

滲率之量筒，觀測之初入滲較快，記錄時距宜短，以一分鐘記錄一次為宜，以後記錄時距可以逐漸延長，觀測時間應在 2 小時以上。內、外筒之水量因滲入土壤中而下降，應適時補注。觀測所得之資料應換算成每小時之入滲量，將其點繪於圖上，求其修勻曲線及其最終之入滲率。

南礮溪源流區南洋杉林內入滲率之觀測如表 3-1，並繪其入滲率曲線如圖 3-1，另外，頂湖田間入滲率之觀測如表 3-2，其入滲率曲線如圖 3-2 (乾燥日數約為六天，淺層土壤水分大約 15 mb)。

何頓 (Horton) 認為入滲率乃時間之函數 (Infiltration rate is a function of time)。其公式如下 (註 3-3)：

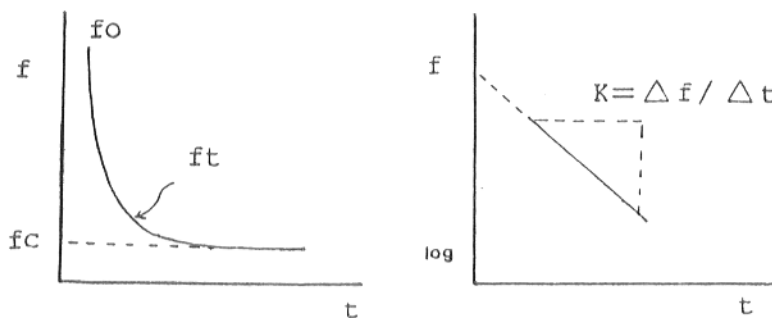
$$f_t = f_c + (f_0 - f_c) e^{-kt}$$

式中： f_t = 時間 t 之入滲率 (單位為入滲深度 / 時間)

f_c = 最後之穩定入滲率，亦即土壤含水量飽和後靠重力入滲之值，為常數，依流域之土壤種類而異。

f_0 = 最初入滲率

k = 為經驗常數，表示在 f_t 時之入滲率之遞減率，約為飽和傳導率 (saturated conductivity)。



如上圖所示：

表 3-1 南洋杉林內入滲率之觀測 (南區)

時距 (min)	下滲深度 (cm)	下滲率 (cm/hr)
0	-	-
1	3.5	210
1	2.0	120
1	1.5	90
2	2.7	81
2	2.4	72
2	2.0	60
2	1.5	45
3	2.3	46
3	2.2	44
3	2.1	42
3	2.0	40
3	1.9	38
5	3.4	40.8
5	3.3	39.6
10	6.9	41.4
10	6.8	40.8
10	6.8	40.8
10	6.8	40.8

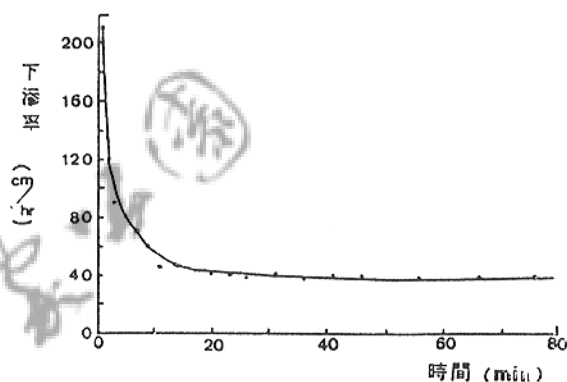


圖 3-1 林內之入滲率曲線 (南區)

表 3-2 旗湖田間入滲率之觀測 (南區)

時距 (min)	下滲深度 (cm)	下滲率 (cm/hr)
0	-	-
1	2.5	150
1	1.4	84
1	1.3	78
1	1	60
2	1.9	57
2	1.8	54
2	1.6	48
3	2.3	45
3	2.1	42
3	2.0	40
5	3	36
5	2.6	31.2
10	4.6	27.6
10	4.3	26.8
10	4.3	26.8
10	4.3	26.8

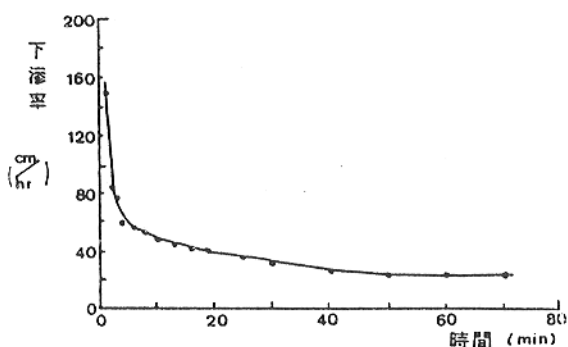


圖 3-2 田間之入滲率曲線 (南區)

求 f_0 和 k 值的方法：將上圖之 y 軸 (f 、入滲率)改用對數座標， x 軸 (t ，時間)仍為算術座標，亦即用半對數座標，則入滲率曲率即可變成近似直線， k 值即為該直線之斜率，即 $k = \Delta f / \Delta t$ 。將該直線延長與 y 軸相交，其與 y 軸之交點即為 f_0 值。依上式計算，求得南洋杉林內之入滲率值分別為 $f_0 = 100 \text{ cm/hr}$ ， $k = 0.04$ ，最終入滲率為 $f_c = 40.8 \text{ cm/hr}$ ；頂湖田間之入滲率值分別為 $f_0 = 66 \text{ cm/hr}$ ， $k = 0.038$ ，最終入滲率為 $f_c = 26.8 \text{ cm/hr}$ 。雙筒入滲計打入土壤中，不免擾動土壤結構，且難以確準雙筒成同心圓狀，所以所得數值不免稍為高估。然而依據謝政道(註 3-4)等分別在蓮華池地區之土壤滲漏區及集水區之林地內，以單筒入滲計測定土壤入滲率，以比較各種地表條件滲透率的差異，如表 3-3 所示。另據陳明杰等(註 3-5)所引日本村井宏的研究結果，以注水式山地入滲計及冠水式圓筒入滲計分別測定林地、代採跡地、草生地、裸地之入滲率，發現其最終入滲率 (f_c) 分別為 258 mm/hr ， 150 mm/hr ， 128 mm/hr ，及 79 mm/hr ；日本平田德太郎的研究結果，亦有同樣的情形，良好森林之林內土壤入滲率可高達 $300 \sim 400 \text{ mm/hr}$ ，而林相最差的林地亦可達到 100 mm/hr 的入滲率等等，而且陳明杰等之研究亦指出不同地況之土壤入滲率的比較，以天然闊葉林的入滲率最佳，其次依順序分別為杉木造林地，砍伐跡地、舊步道。則上述之觀測數值應算合理，另外再引述美國水土保持局 (SCS) 以土壤特性作為預測飽和垂直傳導率等級的指標，如表 3-4 所示。如此依南礪溪的土壤特性，其等級大抵在 $100 \sim 10 \text{ um/s}$ ($360 \sim 36 \text{ mm/hr}$) 之間；而北礪溪的土壤不易使用入滲計觀測(註 3-6)，只好依上述指標推測，其等級大抵在 $> 100 \text{ um/s}$ (360 mm/hr) 上。

表 3-3 蓮花池試驗集水區林木最終滲透率 (謝政道 1985)

滲透率平均值與最大最小值 (mm/h)		
A 天然闊葉樹	136	(62.4~246)
B 杉木二十年生	187	(85.4~266)
C 肖楠三十年生	98.6	(44.4~200)
D 肖楠六十年生	201	(135~266)
E 裸露地	40	(20~102)

表 3-4 以土壤特性作為預測飽和垂直導率等級的指標 (SCS)

名稱	等級比率 (um/s)	土壤特性
極速	>100	- 碎石 - 帶有粗粒或沙粒質地且具有黏結持度的沙質土。 - 超過 5% 之中或較粗之高度連續性垂直孔隙。
速	100~10	- 其他具有極易碎，軟或鬆的沙質土；沙質粗石土或粗壤質土之土壤母質 (Soil material)。 - 在極濕或濕時具有中度或強度的團粒構造，或任何大小的強度塊狀構造，或較細的稜柱狀構造；具有許多表面特質 [構造單位 (structural units) 之應力面 (stress surface) 或垂直面上之滑面 (slickenside) 除外]。 - 具 0.5~0.2% 的中或較粗之高度連續性孔隙。
中等	10~1	- 極緊密或膠結性以外的其他結持度等級的沙質土。 - 非板狀或強度之極粗稜柱狀構造之具有中度構造及共通的表面特質 [構造單位之應力面或垂直表面上的滑面除外] 之 16~35% 粘粒含量之土壤。 - 具 0.1~0.2% 的中或較粗之高度連續性垂直孔隙。
中等慢	1~0.1	- 具有極緊密或膠結性的其他等級的沙質土。 - 帶有其他構造與表面 (壓力或應力面除外) 之 16~35% 粘粒含量之土壤。 - 7.35% 的粘粒含量，具有中度構造 (板狀或極粗稜柱狀構造除外)，並具共通的垂直表面特質 (應力面或滑面除外)。 - 具有中或較粗之高度連續性垂直孔隙，但 <0.1%。
慢	0.1~0.01	- 連續性的中或弱膠結度。 - 7.35% 的粘粒含量並具有下列其中一種特性： 弱構造：帶有極大或缺乏垂直面特質之弱構造；板狀構造；共通或許多應力面及滑面。
極慢	< 0.01	- 連續性頗強膠結度或強膠結度且很少有主根。 - 7.35% 粘粒含量與成塊狀或水平沉積層，且很少有主根。

第二節 土壤水分之變化分析

土壤水 (Soil water or soil moisture) 爲存於土壤孔隙中之水，也就是土壤固體粒子外圍的水。土壤孔隙中常爲水及空氣所充滿，兩者所佔之容積比率殊不一定，水多則空氣少，水少則空氣多。這部分存於土壤孔隙中且常包圍固體粒子的水，是憑藉固體粒子表面的一種吸引力及水的表面張力所吸住，這是一種物理的引力 (physical tension) 把水分子吸住在固體粒子的外圍，這部分的水雖能抵抗地心引力不致全部脫離土壤固體粒子的外圍，但能用 105℃ 之溫度全部驅逐出去。此即一般所稱之土壤水。

土壤水的測定，普通係自田間採取樣品，在 105℃ 溫度下烘乾之。土壤含水百分率以烘乾土作基礎計算之。如此係表示土壤含水的重量百分率 (percentage by weight basis)。

$$\text{重量百分率} = \frac{\text{水之重量} \times 100}{\text{烘乾土重量}}$$

重量百分率之表示雖極簡便，但是否爲最適當的表示法尚屬疑問 (註 3-7)。

新近的測定方法較常用的有 (註 3-8)：

1. 張力計法 (Tensiometer)
2. 電阻法 (Resistance method)
3. 中子法 (Neutron scattering method)

本研究採用張力計法，其器計如圖 3-3 所示，其原理爲多孔瓷頭杯管中的水分張力是隨瓷頭外水分張力而變化，而水分張力之大小可直接表現於標度盤上。

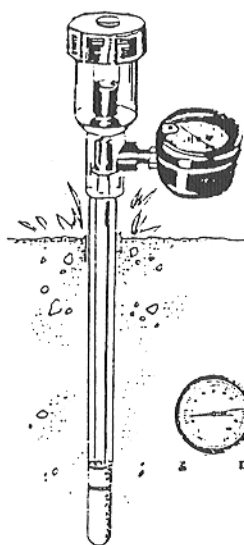


圖 3-3 張力計

南礮溪源流區觀測結果分成日變代和小時變化來看，如圖 3-4、圖 3-5和圖 3-6、圖 3-7所示，分析如下：

1. 日變化：由圖 3-4和圖 3-5可以明顯看出土壤水分變化深受降雨的影響，較淺層測點反應較快，變化較大、久雨之後各深度測點皆幾近飽和。
2. 小時變化：由圖 3-6看出林內 15cm 深測點反應快，至於 45cm 和 60cm 深測點則反之，主要是受其土壤性質所影響，其土壤層由淺層的砂質土壤至深層的黏土，見表3-5 可知。而圖 3-7顯示田間 60cm 深測點反應亦快，主要也是受其土壤性質影響；其土壤層由淺層的壤土至深層的粉質壤土。見表 3-6。

一般言之，各種質地的土壤中飽和移動的速率，砂土大於壤土，而壤土大於粘土。依土壤物理性質來看，林內和田間的淺層土壤的全孔隙率皆大於深層土壤，其滲透功能淺層比深層為佳。至於同一地點的測定結果，土壤含水量不飽和期的滲透率往往優於土壤含水量飽和期的滲透率(註 3-9)。另外由灌溉水流入砂質土壤與黏質壤土中之速率比較，可大約看出各測點滲透至較深層土壤之速率，見圖 3-8(註 3-10、3-11)。綜合以上之論點，可以充分說明上述觀測之結果。

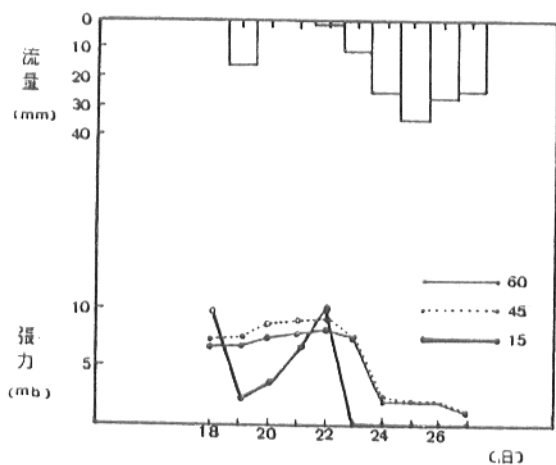


圖 3-4 林內張力計讀數日變化圖 (南區)

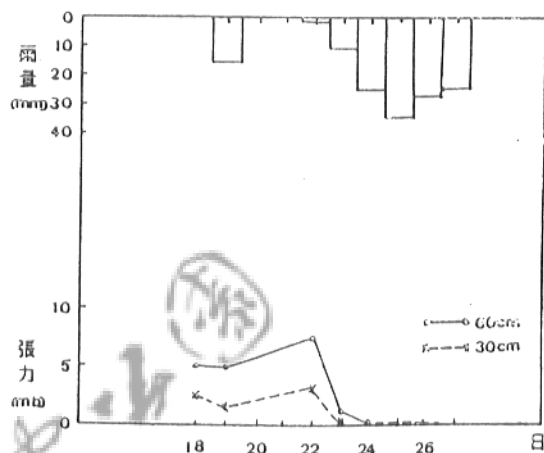


圖 3-5 田間張力計讀數日變化圖 (南區)

表 3-6 頂湖田間土壤剖面 (南區)

土壤剖面	土壤深度 (cm)	土壤性質
AP1	0~12	壤土
AP2	12~22	粉質壤土
BW	22~47	粉質壤土
Cm	47~63	砂土
C1	63~120	粉質壤土
C2	120~155	粉質壤土

(頂湖系)

表 3-5 南洋杉林內土壤剖面 (南區)

土壤剖面	土壤深度 (cm)	土壤性質
H1	0~5	砂質壤土
A1	5~10	砂質壤土
AB	10~20	壤土
B1	20~38	粘質壤土
B2	38~62	粉質粘壤土
C	62~90	粘土

(磺溪頭系)

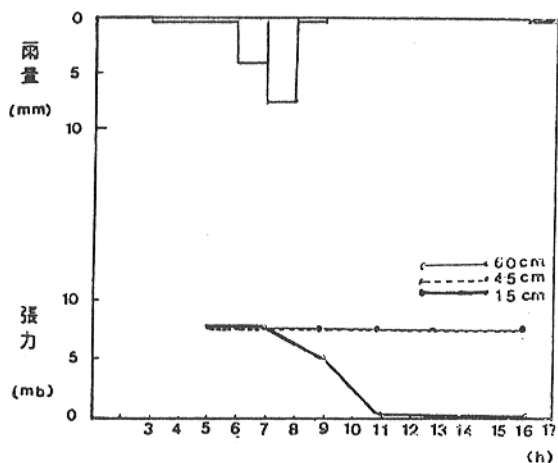


圖 3-6 林內張力計讀數小時變化圖(南區)

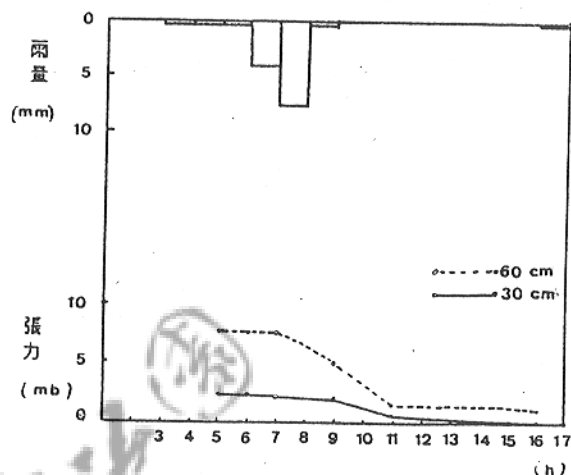


圖 3-7 田間張力計讀數小時變化圖(南區)

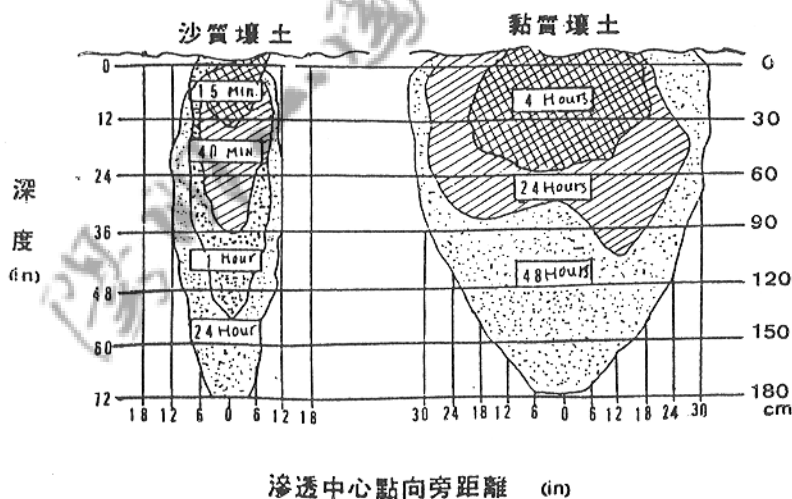


圖 3-8 水分下滲速率估計(以張力計)

北礮溪源流區觀測結果亦分成日變化和小時變化來看，如圖 3-9，圖 3-10 和圖 3-11 所示，分析如下：

1. 日變化：由圖 3-9和圖 3-10 可以明顯看出，降雨期間淺層測點較深層測點濕，反應較快，變化較大。

2. 小時變化：由圖 3-11 看出，30cm深測點較 45cm 深測點變化大，且幾近飽和。

由陳明杰(註 3-12) 等研究結果顯示，覆蓋良好的材地、大體上逕流從地表以下至 30cm 深的層次迅速的流出，而且天然闊葉林地的滲透率最佳。比較北礮溪源流內區內測點處的天然闊葉林地，應足以說明上述觀測之結果。

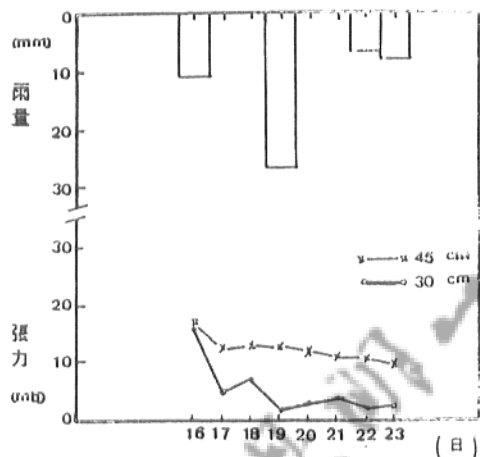


圖 3-9 B站張力計讀數日變化圖(北區)

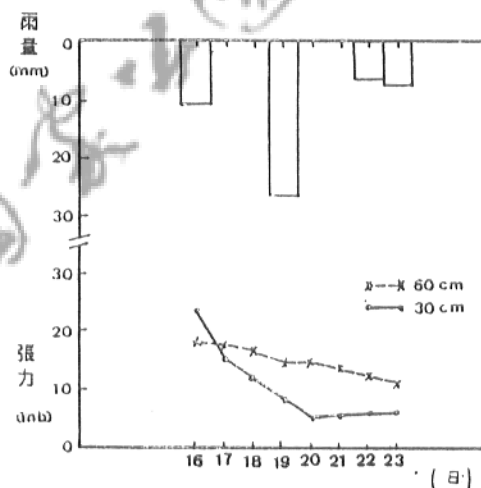


圖 3-10 C站張力計讀數日變化圖北區

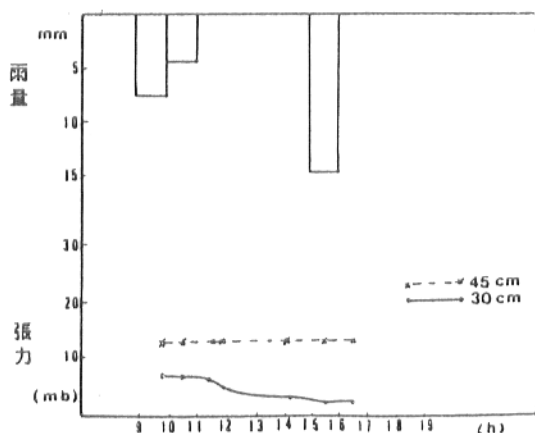


圖 3-11 B站張力計讀數小時變化圖(北區)

第三節 飽和區變化之分析

一般水文學或土木水利學所闡述之地下水，多指較深層以及受壓地下水為主，而森林集水區或農業水文方面，則以較淺層之地下水，亦即含有自由水面之地下水為主，不宜發生混淆。

存在於土壤中水分的狀態，其樣式非常之多，而以重力水(Gravitational water)對逕流分析最重要；重力水是受重力作用，移動而傳達水壓之水分，充滿於土壤孔隙之水自由匯集後，保持一定之地下水位。地下水位下方部分謂之飽和水帶(註 3-13)。

本研究於南北礮溪源流區分別挖設簡易觀測井，裝置深度如表 3-7 和表 3-8，由觀測地下水位之變化來討論流域飽和區的變化。

表 3-7 簡易觀測井裝設深度 (南區)

井號	1 0	2 A1	3 A2	4 A3	5 B1	6 B2	7 B3	8 B4	9 C1	10 C2	11 C3	12 C4	13 C5	14 C6	15 C7	16 C8
深度 (cm)	80	150	110	100	105	130	105	100	80	110	90	105	110	110	90	105

表 3-8 簡易觀測井裝設深度 (北區)

井號	1 A1	2 A2	3 B1	4 B2	5 B3	6 C1	7 C2	8 D1	9 D2	10 E1	11 E2	12 F1	13 F2
深度 (cm)	115	105	70	90	130	90	120	90	125	90	110	90	115

Knapp (1979)(註 3-14) 認為當降雨持續，地中側滲和下滲進行，地下水位抬升，飽和區擴大，漫地流出現，提供河川逕流的供水區 (comtributing area) 擴大，致使洪峰流量形成。見圖 3-12 和圖 3-13 可以有很清楚的概念。

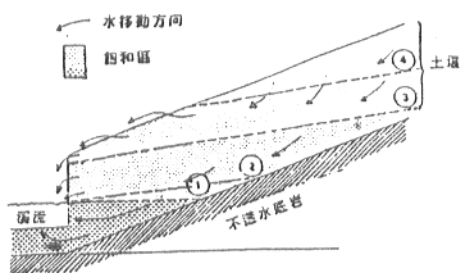


圖 3-12 暴雨期間產生側滲流和漫地流的飽和區變化
(引自 Knapp 1974)

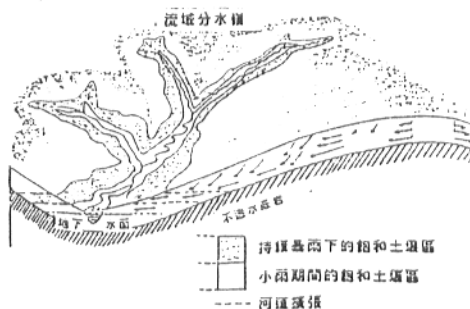


圖 3-13 暴雨期間河道的擴張與飽和區的變化 (引自 Knapp 1976)

觀測結果分析如下：

(一)南礮溪源流區：簡易觀測井分布如圖 3-14

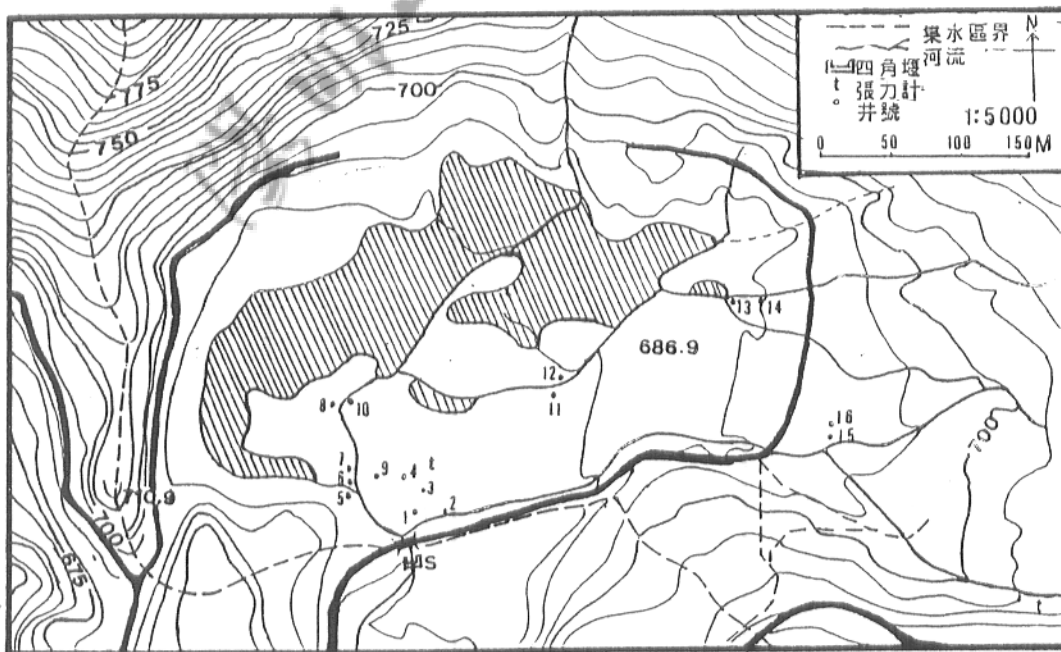


圖 3-14 簡易觀測井之分布 (南區)

(1) 1990年 2月23日，由表 3-9可以看出 (I) 降雨期間地下水位抬升，飽和區擴大。(II) 靠近水文區 S 控制點較低窪處的簡易水井，其地下水位變化較大，以 A 剖面來表現的話，可以由圖 3-15 和表 3-10 明顯看出。(III) 比較圖 3-16，可以看出第 (4) 時期雨後 (11:00) 地下水位升高最多，反而表現流量歷線變化上居於退水肢部，主要是因為頂湖之堰塞湖湖底匯集來自各方的溪水，且湖底近一半面積種植海芋 (水田)，增加了地下水補注，以後再緩緩流出，因而延緩了退水曲線；然而位於較高處的 C7 和 C8 觀測井，則顯示其地下水位升高最多時，也是流量尖峰時刻。

表 3-9 南磺溪源流區地下水位變化表 (1990.2.23)

水 簡 期 位 易 間 變 水 化 (cm) 井	1 0	2 A1	3 A2	4 A3	5 B1	6 B2	7 B3	8 B4	9 C1	10 C2	11 C3	12 C4	13 C5	14 C6	15 C7	16 C8
1 雨前一日	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 雨中 (6:30)	2	1	1	1	1	0	2	0	2	1	0	0	1	0	0	0
3 雨中 (8:45)	7	2	3	4	2	0	7	2	7	4	3	2	1	1	3	10
4 雨後 (11:00)	9	6	17	12	5	4	11	1	8	11	4	5	2	3	3	3
5 雨後 (17:00)	8	5	17	8	3	4	7	1	6	11	2	2	2	2	0	2

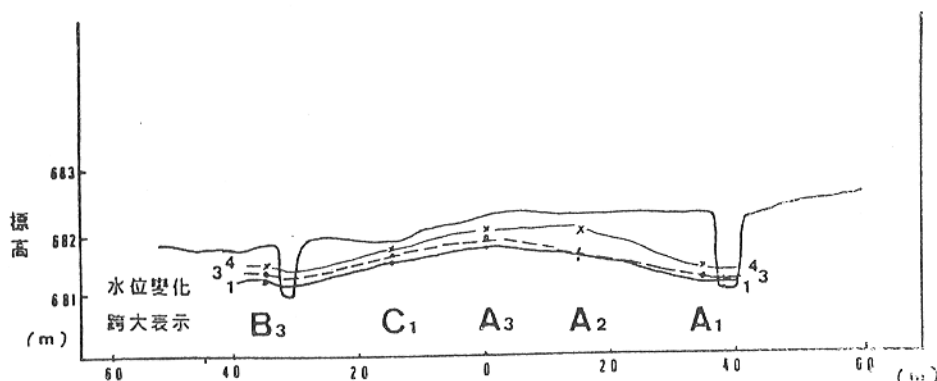


圖 3-15 A剖面地下水位變化圖 (南區, 1990.2.23)

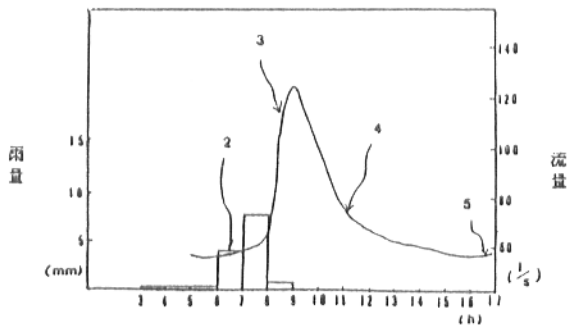


圖 3-16 S控制點之降雨與流量歷線圖
(南區, 1990.2.23)

表 3-10 河床 A剖面地下水位變化表 (南區)
(1990.2.23)

期 間	水 位 變 化 (cm)	簡 易 井	A1	A2	A3	C1	B3
1	雨前一日		0	0	0	0	0
2	雨中 (8:30)		1	1	1	2	2
3	雨中 (8:45)		2	3	4	7	7
4	雨後 (11:00)		6	17	12	8	11
5	雨後 (17:00)		5	17	3	6	7

(2) 1990年 2月24日：由表 3-11 可以看出 (I) 降雨期間地下水位抬升，飽和區擴大。(II) 靠近水文區 S控制點較低窪處的簡易水井，其地下水位變化較大，以 A剖面來表現的話，可以由圖 3-17 和表 3-12 明顯看出。(III) 比較圖 3-18，可以看出第 (5) 時期翌日 (8:00) 地下水位升高最多，表現在流量歷線變化上亦是居於最高處，主要是因為久雨之後，湖底地下水抬升幾近至地面，飽和面積擴大，雨水入滲困難，地面貯留與窪蓄量大，地下水補注減少，飽和漫地流增加，因而河水逕流量增加。

表 3-11 南磧溪源流區地下水位變化表 (1990.2.24)

水 簡 期 位 易 間 變 水 化 (cm) 井	1 0	2 A1	3 A2	4 A3	5 B1	6 B2	7 B3	8 B4	9 C1	10 C2	11 C3	12 C4	13 C5	14 C6	15 C7	16 C8
1 雨前二日	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 雨中 (8:30)	12	6	23	10	5	6	10	1	9	18	6	6	3	2	0	9
3 雨中 (12:00)	17	8	32	19	7	6	18	2	9	24	10	11	7	2	2	9
4 雨中 (17:00)	20	12	32	19	7	9	18	2	9	27	11	11	8	2	2	11
5 翌日 (8:00)	21	14	32	19	8	11	19	2	10	28	12	13	8	3	4	12

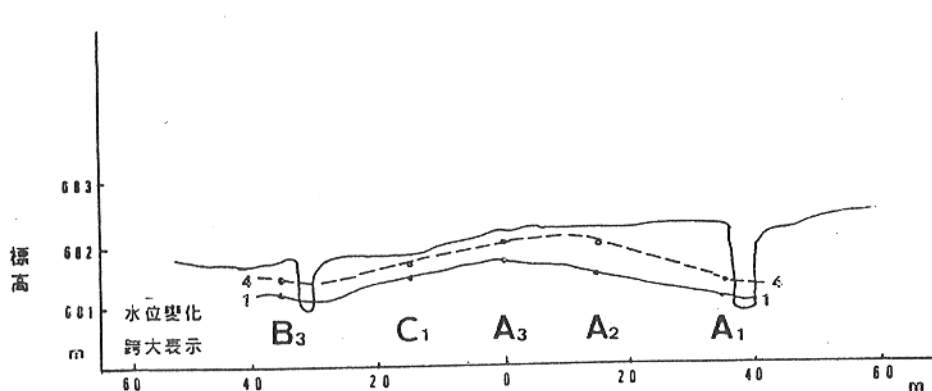


圖 3-17 A剖面地下水位變化圖 (南區, 1990.2.24)

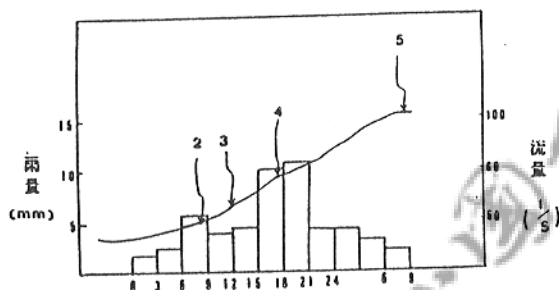


圖 3-18 S控制點之降雨與流量歷線圖
(南區 1990.2.24)

表 3-12 河床 A剖面地下水位變化表 (南區)
(1990.2.24)

水位 期 間	簡 易 水 井	A1	A2	A3	C1	B3
1	雨前二日	0	0	0	0	0
2	雨中 (8:30)	6	23	10	9	10
3	雨中 (12:00)	8	32	19	9	13
4	雨後 (17:00)	12	32	19	9	13
5	翌日 (8:00)	14	32	19	10	19

(二)北磺溪源流區：簡易觀測井分布如圖 3-19

(1) 1989年 7月26日：由表 3-13，表 3-14 和表 3-15 可以看出 (

I) 降雨期間地下水位抬升，飽和區擴大。(II) 靠近 N控制點的 A 剖面觀測井，其地下水位變化較大，主要是因為其位在下游，中上游匯集而來的河水使河道向旁擴展，且其土壤厚度也較 B、C 剖面深，中間側滲流較盛。若以剖面來看，可以由圖 3-20，圖 3-21 和 圖 3-22 看出其變化情形。(III) 比較圖 3-23，圖

3-24和圖 3-25 可以看出大約在 14:00時期，地下水位抬升最快，表現在流量歷時變化亦是居於高峰處，此由可變來源區概念理論得到證實。至於 A剖面第 (4)時期雨後 (18:30)地下水位抬升最高，但其與第 (3)時期雨中 (16:00)比較水位差，其水位抬升量不大，且降雨於 17:00終止，所以其表現在流量歷線變化上只居於退水肢部之一小高峰。

(2) 1989年 8月19日：(第五章第二節討論)

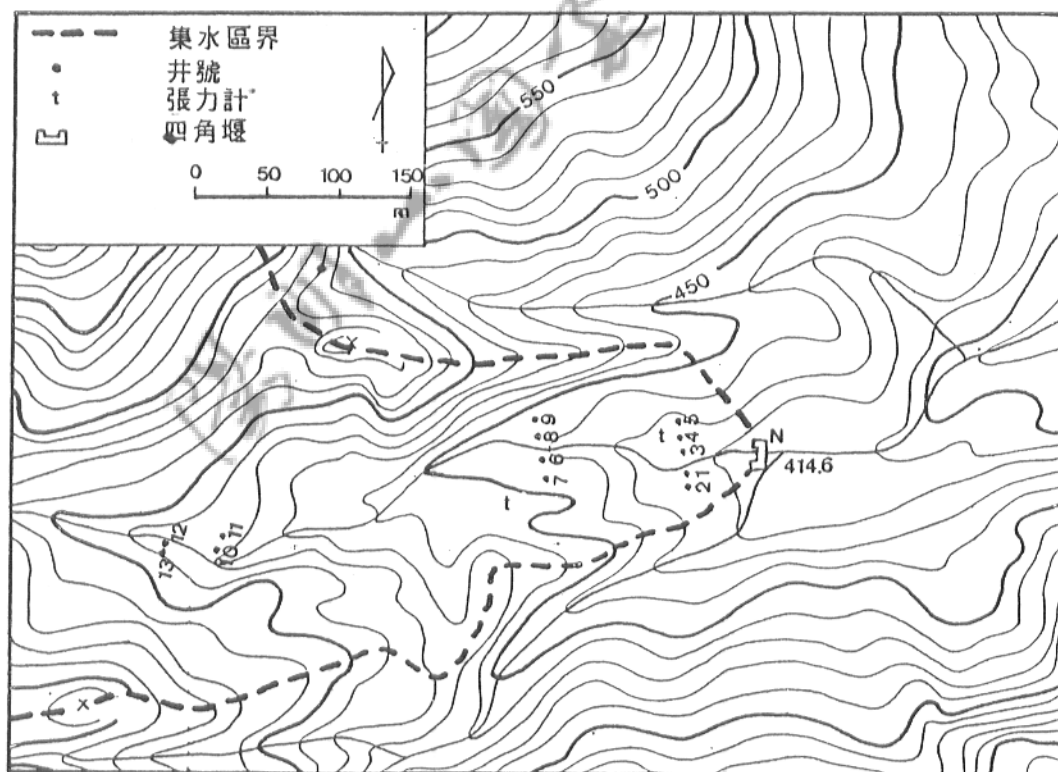


圖 3-19 簡易觀測井之分布 (北區)

表 3-13 河床 A剖面地下水位變化表 (北區)
(1989.7.26)

期 間	水 位 簡 易 變 化 (cm)	A1	A2	B1	B2	B3
1	雨前 (8:00)	0	0	0	0	0
2	雨中 (14:00)	3	2.5	3	6	0.8
3	雨中 (16:00)	2.3	2	2.5	4.5	0.3
4	雨後 (18:30)	4	3.6	4	7.2	1
5	雨後一日	1.5	1	1.3	2	-0.5

表 3-14 河床 B剖面地下水位變化表 (北區)
(1989.7.26)

期 間	水 位 簡 易 變 化 (cm)	C1	C2	D1	D2
1	雨前 (8:10)	0	0	0	0
2	雨中 (14:00)	2.5	2	2	1
3	雨中 (16:00)	2.5	1.5	1.2	0.5
4	雨後一日	0.5	0	-0.3	-1.5

表 3-15 河床 C剖面地下水位變化表 (北區)
(1989.7.26)

期 間	水 位 簡 易 變 化 (cm)	E1	E2	F1	F2
1	雨前 (8:30)	0	0	0	0
2	雨中 (14:20)	1.5	1	2.5	1
3	雨中 (16:20)	1	0.5	2	0.5
4	雨後一日	0.5	0	1	-1.5

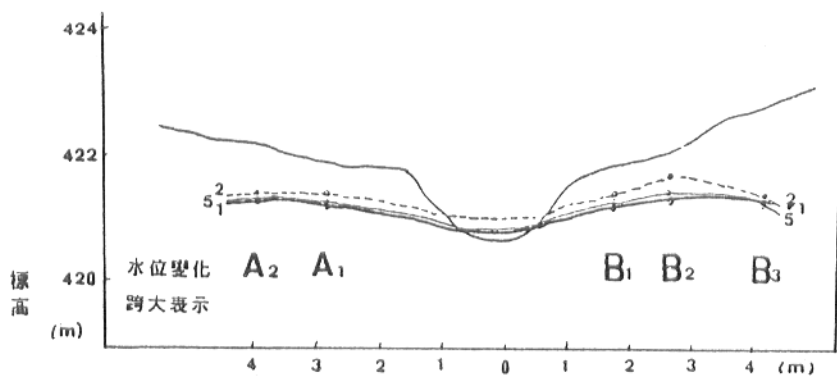


圖 3-20 A剖面地下水位變化圖 (北區, 1989.7.26)

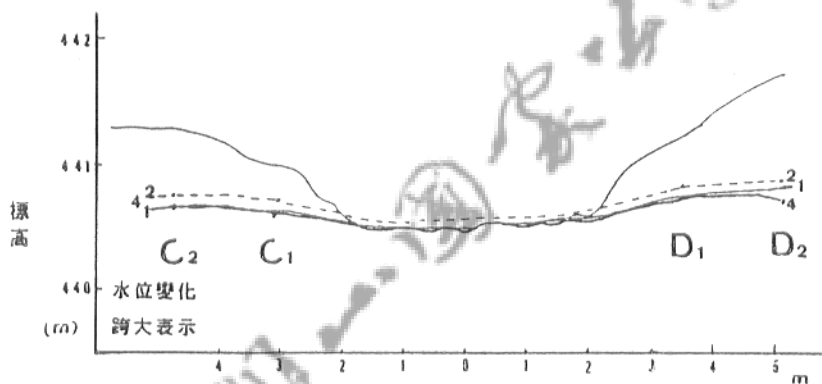


圖 3-21 B剖面地下水位變化圖 (北區, 1989.7.26)

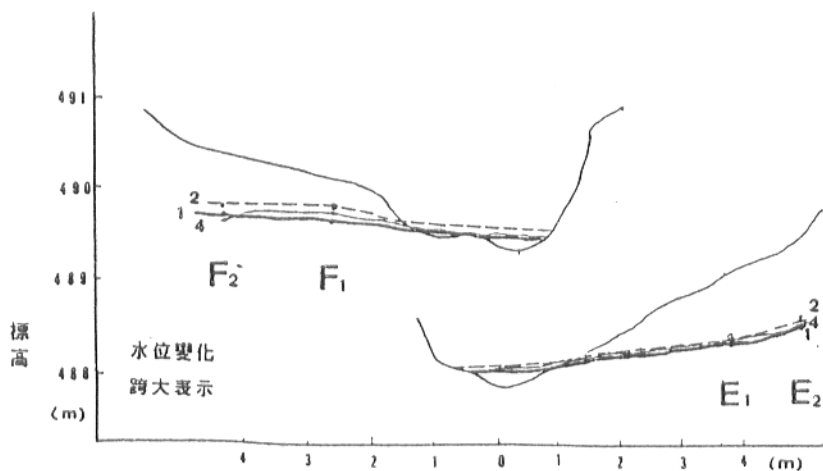


圖 3-22 C剖面地下水位變化圖 (北區, 1989.7.26)

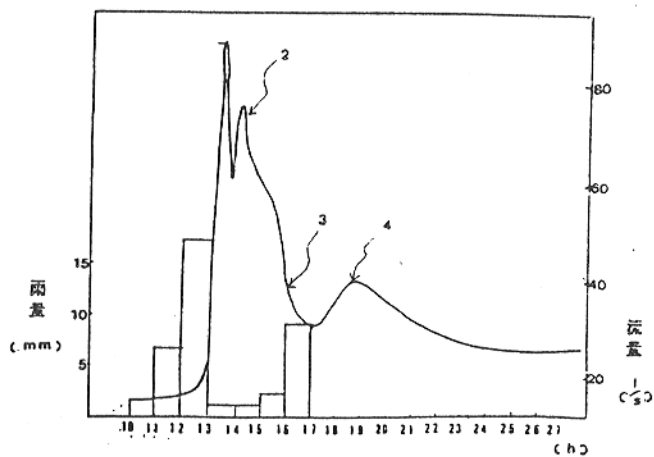


圖 3-23 N控制點之降雨與流量歷線圖
(北區A剖面, 1989.7.26)

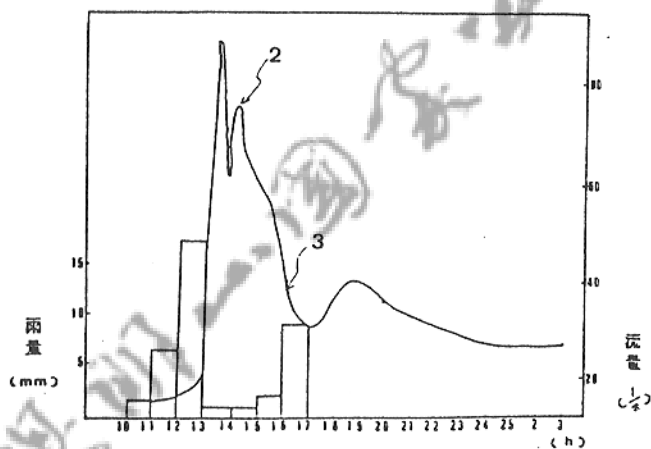


圖 3-24 N控制點之降雨與流量歷線圖(北區B剖面, 1989.7.26)

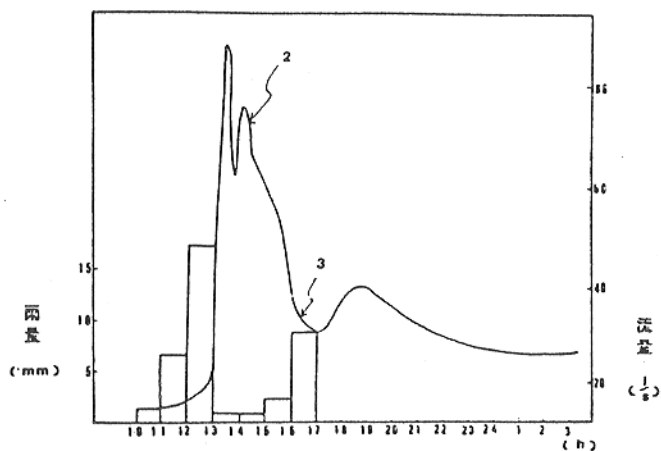


圖 3-25 N控制點之降雨與流量歷線圖(北區C剖面, 1989.7.26)

第四節 地面與地中逕流

逕流是一種綜合的名詞用來指最後產生溪流量的各種過程。地面逕流 (Surface runoff) 有時用來作漫地流的同義名詞，但它也可能意指某區域內地表溪流所測得的水分。地中流 (subsurface runoff) 或意指地表下暴雨逕流 (subsurface stormflow) 是指溪流量中源自於地表下來源，但是到達溪流河床的速度相當快因而成為某場暴雨中直接產生水文歷線的一部份。有時候中間流 (interflow) 用來作為地中逕流的同義字，唯有時又用來指地下水位上任何非垂直方向的地表下逕流。本研究所指地面逕流乃指集水區地面水流集中的過程，而地中逕流則指地面以下地下水位以上的水流過程。本研究於南礮溪源流區設置逕流試驗小區 (runoff experiment plot)，見圖3-26，其裝置如圖3-27實驗設計僅觀測地面至地表下20公分以內之逕流，亦即用以觀測地面逕流及表土層之地中逕流。

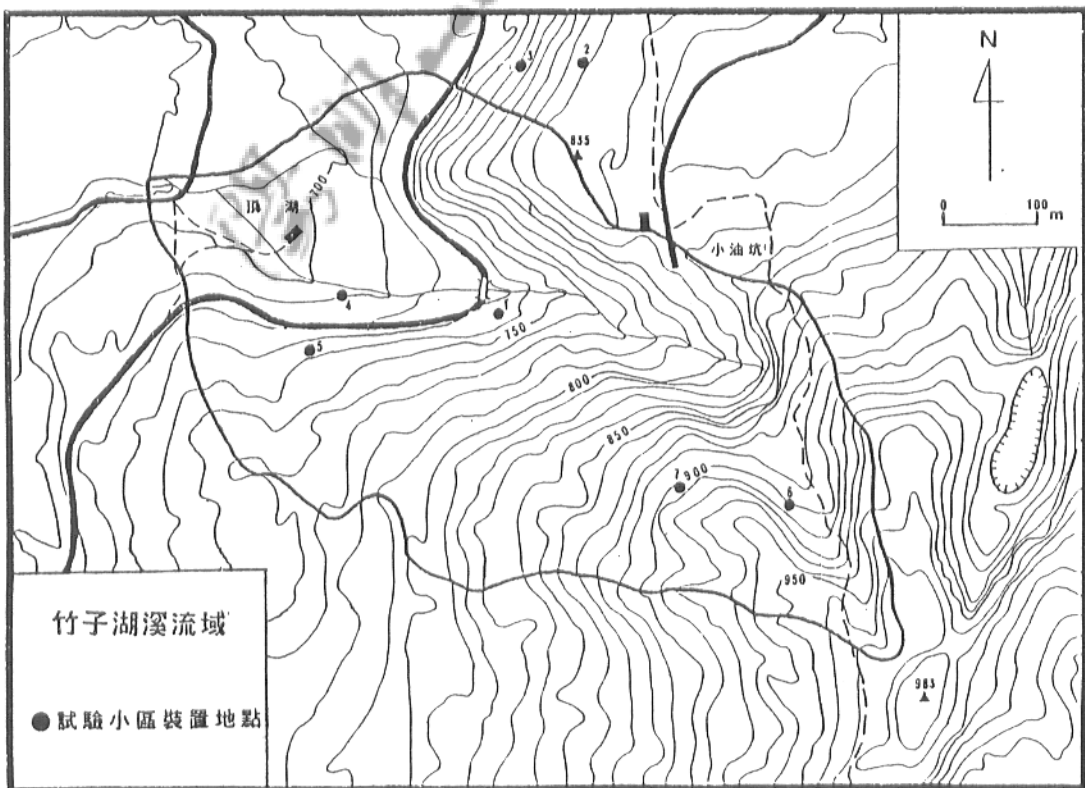


圖3-26 逕流試驗小區的位置

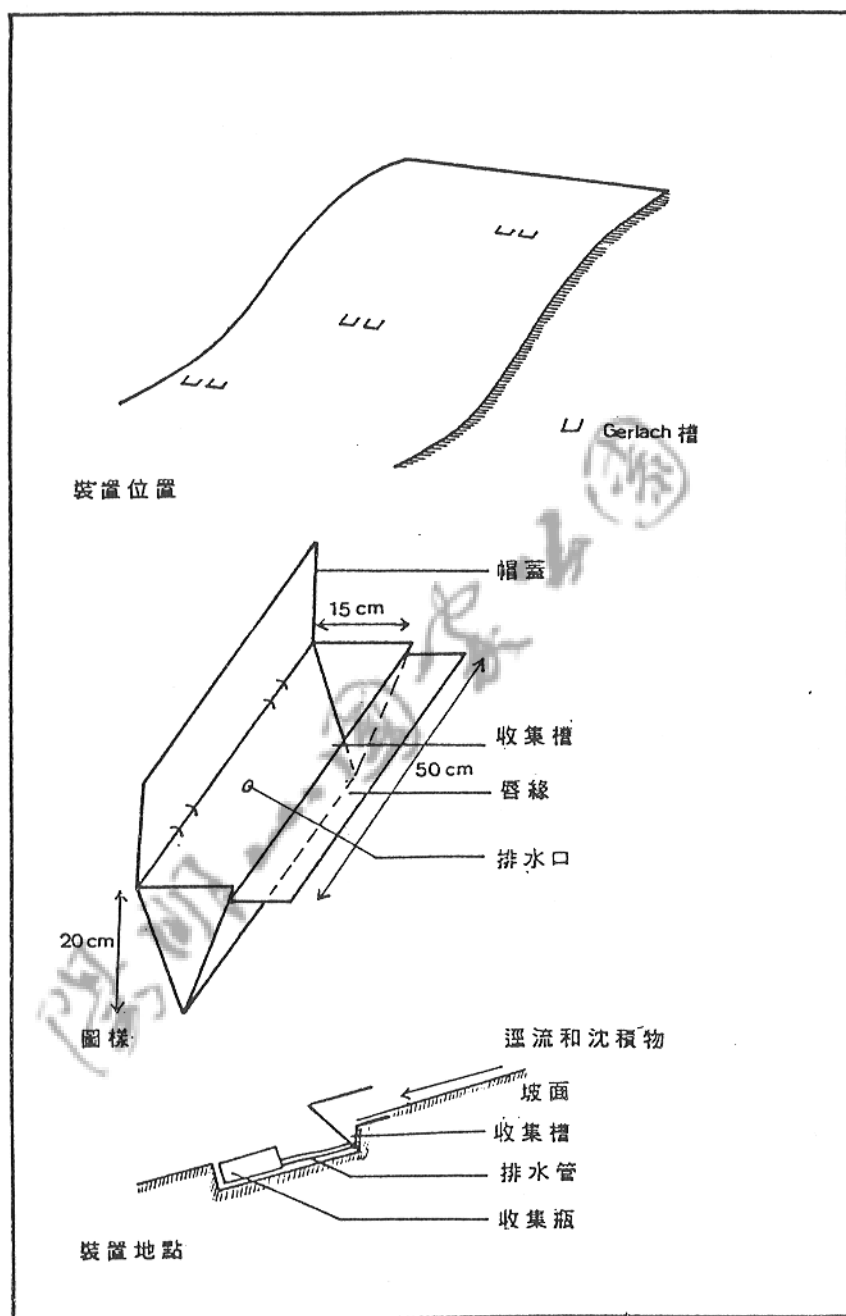


圖3-27 Gerlach 槽之裝置

(改自Morhan, 1979) (註3-15)

一、各試驗小區之環境特徵

1. 各試驗小區之集水面積與地形特徵

由表 3-16 各試驗小區之地形特徵可知，其中屬開放式或運用半天然形式圍成之小區，其地面逕流與地中逕流集水面積一致；屬封閉式者，其地中逕流集水面積一般比地面逕流集水面積大；主要原因是因為封閉式試驗小區本身雖可隔離區外之地面逕流，卻無法隔離區外之地中逕流。各試驗小區的平均坡度以 20° 至 30° 間居多，平均高度介於 700 至 850 公尺之間，坡形以凹坡居多。

表 3-16 各試驗小區之集水面積與地形特徵

		南碩溪第一試驗小區	南碩溪第二試驗小區	南碩溪第三試驗小區	南碩溪第四試驗小區	南碩溪第五試驗小區	南碩溪第六試驗小區	南碩溪第七試驗小區
集水面積	地中 (m^2)	1.60	72.00	7.94	0.89	29.05	20.00	17.50
	地面 (m^2)	1.60	16.20	6.78	0.89	16.88	20.00	17.50
平均坡度 ($^{\circ}$)		28.6	17	50.40	9.4	26.9	32.0	35.5
高度 (海拔 m)		720	800	740	700	740	840	850
坡形		凸坡	複合坡	凹坡	直坡	凹坡	直坡	凹坡

資料來源：實地調查

2. 植生

各試驗小區之植生狀況如下：

南碩溪第一試驗小區：以台灣芒為主，附著小型蕨類。

南碩溪第二試驗小區：以台灣矢竹為主。

南碩溪第三試驗小區：以台灣矢竹及灌木為主，其間雜有蕨類等草本植物。

南碩溪第四試驗小區：為人造林，以黑松、琉球松及南洋杉為主，其間雜有小型蕨類。

南碩溪第五試驗小區：以南洋杉為主，其間雜有灌木及小型蕨類等。

南磺溪第六試驗小區：以台灣芒爲主，其間附著小型蕨類及苔蘚類植物。

南磺溪第七試驗小區：以五節芒爲主，雜有小型蕨類及苔蘚類植物。

表 3-17 僅列出主要之土壤物理特性，詳細土壤剖面說明列於附錄。

表 3-17 各試驗小區主要土壤性質分析表

	南磺溪第一試驗小區	南磺溪第二試驗小區	南磺溪第三試驗小區	南磺溪第四試驗小區	南磺溪第五試驗小區	南磺溪第六試驗小區	南磺溪第七試驗小區
母質	安山岩	凝灰岩	凝灰岩	安山岩	安山岩	安山岩	安山岩
土壤深度 (cm)	30	108	30	90	90	27	40
表土質地	粗質砂質 坍塌土	砂質壤土	砂質壤土	砂質壤土	砂質壤土	粘質壤土	粘質壤土
底土質地	坍塌壤土	砂質壤土	砂質壤土	粘質壤土	粘質壤土	風化母質	風化母質
歸屬土系	崩積土	竹子山	崩積土	崩積土	磺溪頭	七星山 火山灰土	七星山 火山灰土

資料來源：實地調查

二、降雨與逕流量之相關迴歸分析

1. 單場降雨分析

本研究共觀測到兩次較完整之降雨——逕流紀錄，分別爲民國七十九年三月十九日及七十九年三月二十五日（見圖 3-28，3-29，3-30，3-31），結果說明如下：

根據民國七十九年二月十九日上午三時至九時之觀測紀錄發現，其初雨損失(initial loss) 分別爲南磺溪第一試驗小區11.5公釐；南磺溪第二試驗小區大於16.6公釐；南磺溪第三試驗小區12.3公釐；南磺溪第四試驗小區11.5公釐；南磺溪第五試驗小區11公釐，而本次降雨，雨前乾燥日數約爲七天。

從圖3-27、圖3-28、圖3-29、圖3-30可發現：

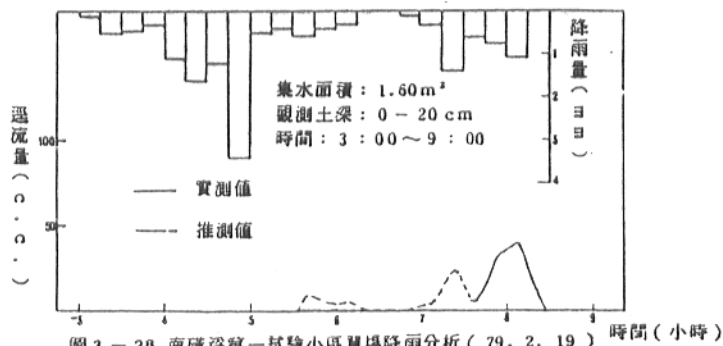


圖 3-28 南碩溪第一試驗小區草場降雨分析 (79. 2. 19) 時間 (小時)

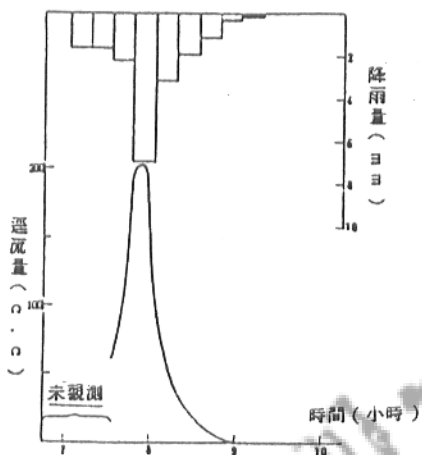


圖 3-31 南碩溪第四試驗小區草場降雨分析 (79. 3. 25)

集水面積: 1.92m^2
觀測土深: 0-40 cm
時間: 7:05-9:20

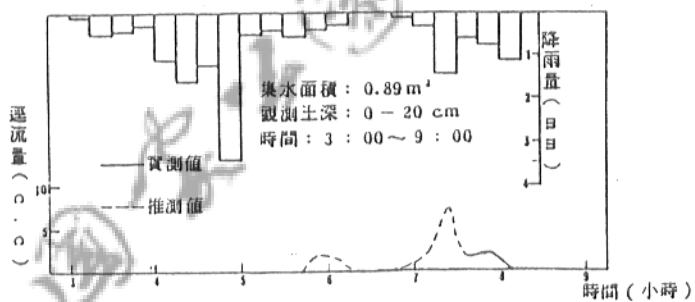


圖 3-29 南碩溪第四試驗小區草場降雨分析 (79. 2. 19) 時間 (小時)

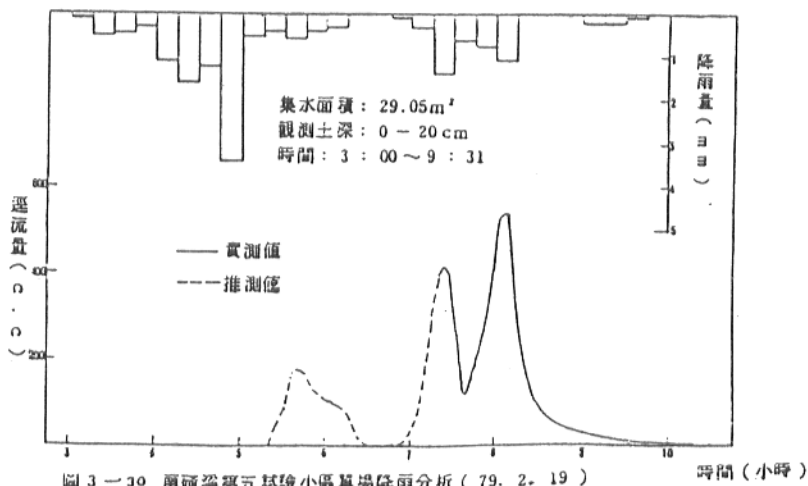


圖 3-30 南碩溪第五試驗小區草場降雨分析 (79. 2. 19) 時間 (小時)

- (1) 逕流量與降雨的變化相當一致。
- (2) 當土壤達到足以產生地中逕流的溼潤程度時，極小的降雨強度（約 0.5 mm/hr）即有逕流流出，表示側滲作用十分明顯。
- (3) 集水面積小之試驗小區，逕流立刻隨降雨之終止而停止，集水面積大之試驗小區，逕流於降雨後可持續達30分鐘左右。

2. 降雨與逕流量之相關與迴歸分析

爲了瞭解各試驗小區逕流量與降雨特性間之關係，在此將所觀測到各場降雨產生之逕流量（因變數）對應該觀測時段之降雨特性（自變數）資料，作成相關分析表；再由此分析表中找出相關係數最高的組合，建立最適之迴歸模式；並同時對此迴歸模式之迴歸係數作 F 檢定，作成迴歸直線變異數分析摘要表 3-18，以檢定該迴歸式是否具有統計學之意義。

綜合以上南礮溪源流區各試驗小區觀測結果之相關分析發現，所有試驗小區的降雨特性與逕流量之相關係數皆呈正相關，根據野外之觀察發現並無地面逕流之生成。Beven 等(註 3-16)(1983) 認爲在土壤層底部或在難透水層上的可變飽和區，橫向大孔隙逕流 (lateral macropore flows) 決定地中逕流的生成。Hewlett(1981)認爲無疑地在森林地和大部份荒野地中的暴雨逕流絕大部分是來自地中逕流。Beasley(註 3-17)(1976)研究美國海岸平原上部之山麓階地流域區，證實位居粘土層上之地中逕流可達降雨量之90%。由表 3-17可知南礮溪源流區，屬於林地或緩坡的試驗小區，其土層較深；屬於草地或陡坡的試驗小區土層較淺，大部分小區底層土壤質地爲粘質壤土及亞稜塊狀構造半風化母質，其透水性不佳；表土則多爲砂質壤土或粉質粘壤土及細團粒構造，其透水性較佳，此種現象易使表土與底土交接面處產生以側滲（橫向流）爲主的地中逕流。

表 3-18 降雨與逕流量之相關與迴歸分析

南磺溪第一試驗區		南磺溪第二試驗區		南磺溪第三試驗區		南磺溪第四試驗區	
取樣次數	24	7	11	18			
相關係數	0.721*	0.731*	0.844*	0.710*			
最佳預測模式	$\log Y = 0.2869 \log R + 1.342$	$\log Y = 0.9442 \log I30 - 0.6740$	$\log Y = 0.8795 \log R + 1.4610$	$\log Y = 2.4989 \log R + 0.7660$			
假設	$\beta = 0$	$\beta = 0$	$\beta = 0$	$\beta = 0$			
F 值	23.76*	5.75*	22.28*	16.26*			
南磺溪第五試驗區		南磺溪第六試驗區		南磺溪第七試驗區			
取樣次數	28	5	18				
相關係數	0.603*	0.944*	0.736*				
最佳預測模式	$\log Y = 1.0020 \log I30 + 1.2324$	$\log Y = 5.4327 \log R + 8.3107$	$\log Y = 0.3372 \log R + 1.3553$				
假設	$\beta = 0$	$\beta = 0$	$\beta = 0$				
F 值	14.84*	24.74*	9.46*				

yr: 逕流量 (ml) R: 降雨量 (mm) I30: 最大30分鐘降雨強度 (mm/hr) $P < 0.10$

$P^* < 0.05$

註: 南磺溪第一試驗區: 頂湖小油坑下方公路旁芒草

南磺溪第三試驗區: 箭竹林下方雜林內

南磺溪第五試驗區: 頂湖公路上方杉林

南磺溪第七試驗區: 小油坑上方台灣芒區

南磺溪第二試驗區: 小油坑旁箭竹林內

南磺溪第四試驗區: 頂湖公路下方新崩積土區 (松杉林)

南磺溪第六試驗區: 小油坑上方五節芒

註釋

註3-1)鄧天德(1983)流域入滲量之計測，華岡地學第三期，13-16頁。

註3-2)同註3-1,17頁。

註3-3)同註3-1,21頁。

註3-4)謝正道，謝豪榮(1985)台灣中部低海拔不同植物被覆蓋物貯水
功能之研究，中華水土保持學報16(1)，
78頁。

註3-5)陳明杰，黃正良(1986)蓮華池地區林地土壤滲透功能之探討，中
華林學季刊，19(2)，90頁。

註3-6)其土層化育甚淺，且多含安山岩碎石。

註3-7)郭魁士(1986)土壤學，中國書局，486頁。

註3-8)張仲民(1988)普通土壤學，國立編譯館，360頁。

註3-9)同註3-5，94頁。

註3-10)同註3-8，386頁。

註3-11)見張計儀器說明書。

註3-12)同註3-5，94頁。

註3-13)陳信雄(1984)森林水文學，國立編譯館，215頁。

註3-14)B.J.Knapp (1979) Elements of geographical
hydrology, pp 10-11.

註3-15)R.P.C Morgan(1979) Soil erosion,Longman London,p47.

註3-16)Keith Beven and Peter German (1982) Macropores and
water flow in soils ,W.R.R,18(5), P1321.

註3-17)R.S.Beasley (1976) Contribution of subsurface flow
from the upper slopes of forested
watershed to channel flow,
Soil science society of American
Journal, 40(6), p 955.

第四章 水文歷線之演算

第一節 實測降雨與流量歷線分析

(1) 流量測定法 註 4-1：一般有容積法，堰測法和流速面積法等，本研究的二個源流水文區的控制點，皆以四角（矩形）堰來計算流量，如圖 4-1註4-1，其中

$$Q = \frac{2}{3} C_b \sqrt{2g} \cdot H^{3/2} \quad (m^3/sec)$$

$$C = 0.6224 \left(1 + \frac{0.0012}{H} \right) \times \left(\frac{\sqrt{H/b}}{10} \left(1 - \frac{H/b}{10D} \right) \right)$$

$$\times \left[1 + \frac{1}{2} \left\{ \frac{bH}{B(D+H)} \right\} \right]$$

式中，b：溢流口寬度 (m)

H：溢流水深 (m)

g：重力加速度 (9.8 m/sec²)。

其簡捷式為：

$$Q = 1.84bH^{2/3} \quad (m, m^3/sec \text{ 單位})$$

$$Q = 0.0184 bH^{2/3} \quad (cm, l/sec \text{ 單位})$$

其適用範圍為 $H \geq 0.02m$ $b > 0.15m$

$$D > 0.3m \quad H/b \leq 1$$

其中北礮溪源流區的四角堰為

$$H \geq 0.02m \quad b = 1.30m$$

$$D = 0.45m \quad H/b \leq 1$$

南礮溪源流區的四角堰為

$$H \geq 0.02m \quad b = 3.205m$$

$$D = 0.35m \quad H/b \leq 1$$

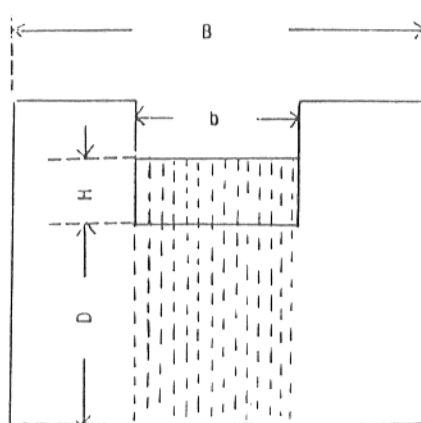


圖 4-1 四角堰

(2) 流量歷線分離方法

乃將逕流歷線區分為地表逕流、地中逕流、地下水逕流三部份，把地表逕流和地中逕流之直接逕流的部份視為有效雨量，關於地表、中地、地下水逕流的區分方法可分為下列幾種（註 4-2，4-3，4-4，4-5）：

1. 水平直線分離法：亦即由逕流歷線開始上升之點引一水平直線與退水曲線相交，則將水平直線以上的部份視為直接逕流，即為有效雨量，此方法非常簡便，然而地下水逕流在非均等的降雨歷線的條件下是否會發生變化並無考慮。照此法分離，往往造成時間基期過長，直接流量過大等現象，所以捨棄不用。

2. N 日法：將降雨前的減退曲線延伸到頂部下方（B點），再與頂部起 N 日（時間）後的 C 點相連結成 ABC 線，此線上方為直接逕流，下方為地下水逕流，然後計算線上、下面積之比，分別計算出逕流量即可。此頂部起 N 日（時間）的決定，依據 R，K，Linsley 為 $N = A^A$ ，A 為流域面積，以平方哩（mile²）計算。如以平方公里計算，則 $N = 0.8 A^{0.2}$ ，N 值隨著面積大小而不同，其概值為....

流域面積 (Km²) < 3 ~ 100 < 700 ~ 3000 <

N 日 1 2 3 4

對於小面積的集水區，由於退水時間相當短，此方法較不適用。

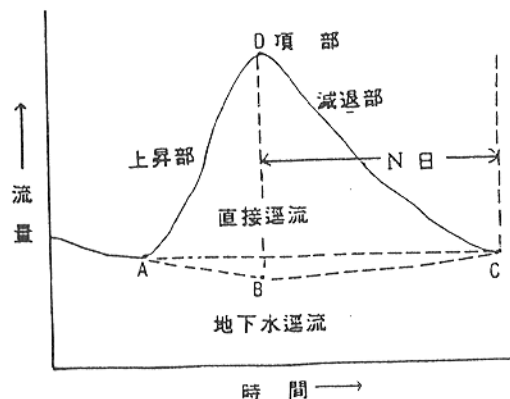


圖 4-2 水歷線各部名稱

3.潘斯 (Barnes) 法：利用水歷線的減退部，以單對數方格紙點繪時，可分離成三段直線，以第 1 折點 S 止為 t_0 ，表示地面逕流，第 2 折點 C 止為 t_1 ，表示地中逕流，以直線連接 AC 則線上為直接逕流，線下為地下水逕流。此方法以集水區的逕流歷線的特性為基礎予以分析，因此使用上較為合理，但本研究以目視四角堰水位變化來計算流量變化，較難掌握住退水係數的特性，所以捨棄不用。

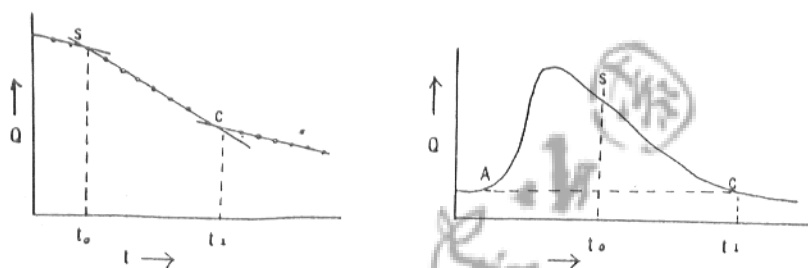


圖 4-3 利用水歷線減退部的逕流分離

4.一定坡度法：乃將集水區內的地下水逕流量在逕流過程視為呈一定比率增加，從逕流歷線開始上升的點，引一條呈一定斜率的直線，與逕流歷線的退水曲線相交，將直線與逕流歷線包圍的部份視為直接逕流，此方法的著眼點乃認為一場降雨之後的地下水逕流量往往高於發生降雨之前，因而地下水逕流量有增加的趨勢。

本研究採用 Hewllet 的畫分方法，以 $0.5471 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 為斜率之直線劃分，此直線以上部分之流量為直接逕流。

(3) 實例分析：

1. 北磺溪源流區：

(I) 1989年 7月 26日：如圖 4-4，降雨延時 8小時，總降雨量 4.35mm，尖峰流量 (Q_p) 87.3 l/sec，直接總逕流量 720m^3 ，直接總逕流水深 0.82mm 損失雨量 = $43.5 - 0.82 = 43.68(\text{mm})$ 。

(Ⅱ)1989年 8月16日：如圖 4-5，降雨延時 1小時，總降雨量 10.5mm，尖峰流量 77 l/sec，直接總逕流量 180m^3 ，直接總逕流水深 0.2mm，損失雨量 = $10.5 - 0.2 = 10.3$ (mm)

(Ⅲ)1989年 8月19日：如圖 4-6，實際降雨延時 3小時，總降雨量 26.5mm，尖峰流量 59.3 l/sec，直接總逕流量 270m^3 ，直接總逕流水深 0.3mm，損失雨量 = $26.5 - 0.3 = 26.2$ (mm)

2. 南磺溪源流區：

(Ⅰ)1990年 2月19日：如圖 4-7，降雨延時 6小時，總降雨量 18.5mm，尖峰流量 115.3 l/sec，直接總逕流量 324m^3 ，直接總逕流水深 0.25mm，損失雨量 = $18.5 - 0.25 = 18.25$ (mm)。

(Ⅱ)1990年 2月23日：如圖 4-8，降雨延時 6小時，總降雨量 13 mm，尖峰流量 121.1 l/sec，直接總逕流量 432m^3 ，直接總逕流水深 0.33mm，損失雨量 = $13 - 0.33 = 12.67$ (mm)。

(Ⅲ)1990年 2月28日：如圖 4-9，實際降雨延時 16小時，總降雨量 53mm，尖峰流量 693.4 l/sec，直接總逕流量 7371m^3 ，直接總逕流水深 5.7mm，損失雨量 = $53 - 5.7 = 47.3$ (mm)。

(四) 流量歷線的影響因素

流量歷線之形狀及延時主要為兩種因素所控制 (註 4-6)。

(1) 降水特性

降水特性指降水之延時 (duration) 及其強度 (Intensity)，如降水延時短而強度大，則其流量歷線多呈高狹峰狀態，如圖 4-4。反之，降水延時長而強度小者，其流量歷線多呈低闊峰現象，如圖 4-9

(2) 流域特性

流域特性指流域之坡度、高度、形狀、地質、土壤、地被物、水系等。南磺溪源流區較北區坡度緩且有火山窪地，發揮水庫貯蓄效應，一般退水曲線較緩，如圖 4-7 ($B = 2.5TR$)。

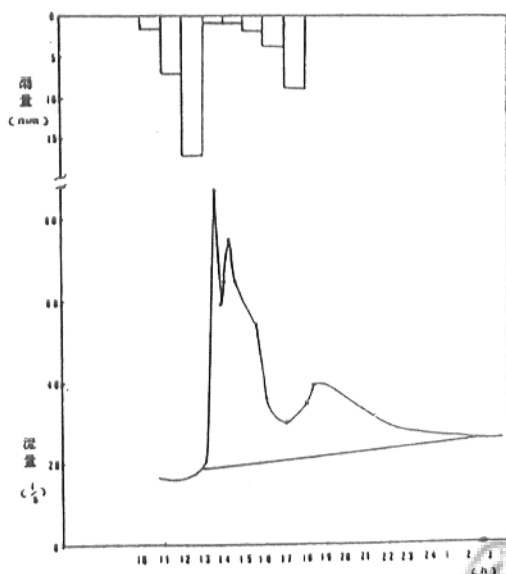


圖 4-4 降雨與流量歷線圖 (北區, 1989.7.26)

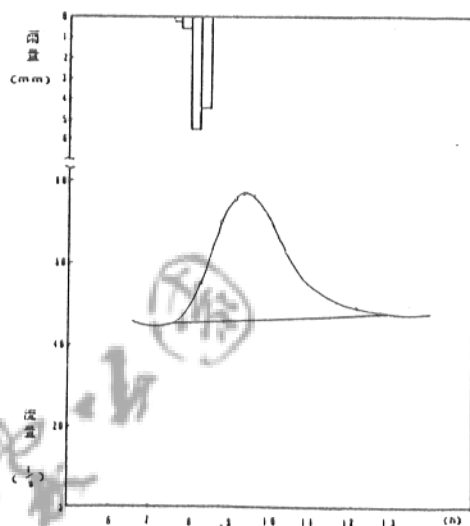


圖 4-5 降雨與流量歷線圖 (北區, 1989.8.16)

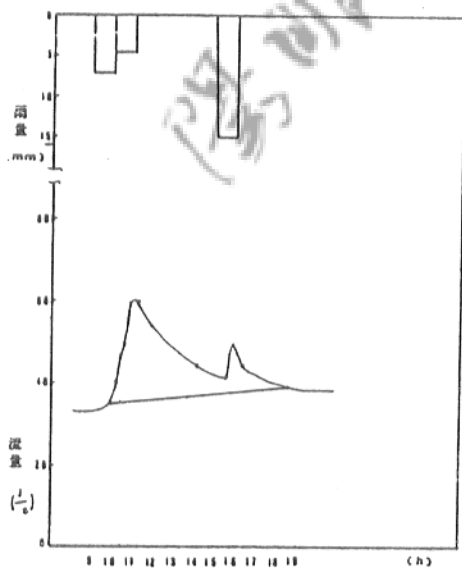


圖 4-6 降雨與流量歷線圖 (北區, 1989.8.19)

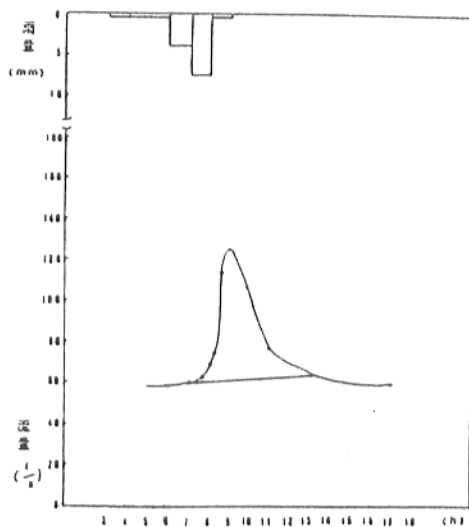


圖 4-7 降雨與流量歷線圖 (南區, 1990.2.23)

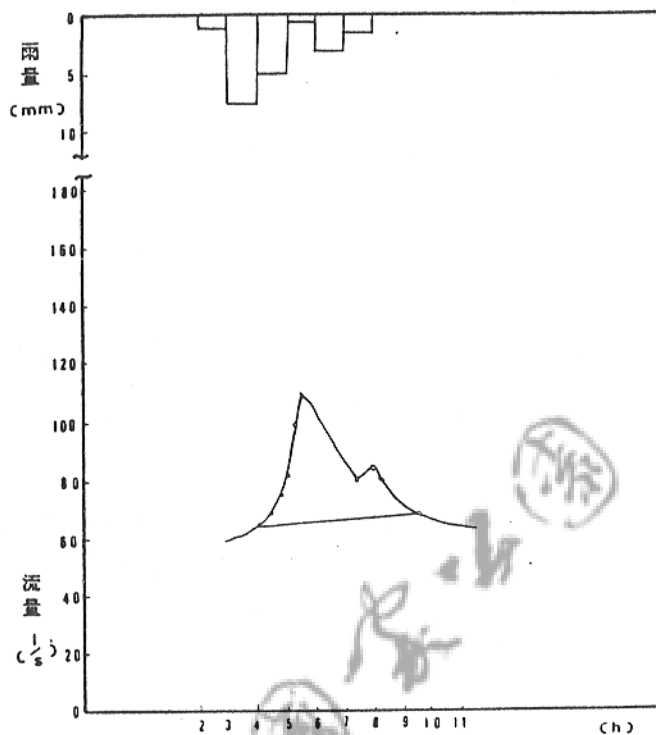


圖 4-8 降雨與流量歷線圖 (南區, 1990.2.19)

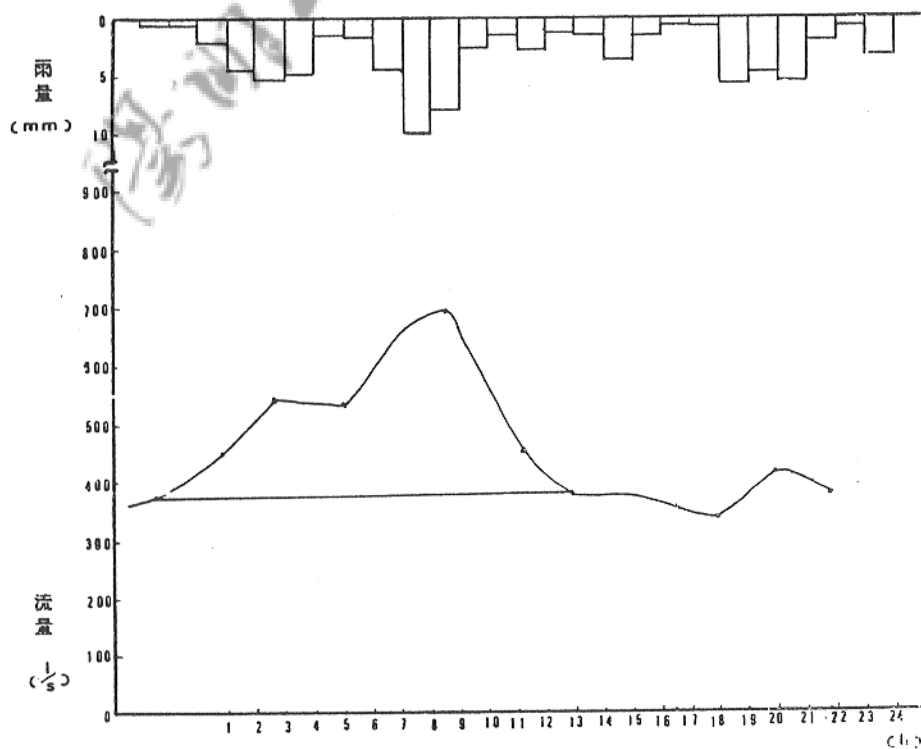


圖 4-9 降雨與流量歷線圖 (南區, 1990.2.28)

第二節 無水文站流域流量歷線之推求

流量歷線之繪製，須具有下列三種基本資料（註 4-7）：

（一）基時（Time base）

（二）尖峰流量（Peak flow discharge）

（三）稽延時間（lag time）或尖峰流量發生時間

所謂基時，指自漲水開始至洪水退至漲水之水位的時間，一般多以日或時為單位，尖峰流量指洪水漲至最高峰時之瞬間流量，以 cfs 為單位。稽延時間，指自超滲雨量（Ranfall excess）總時間之中心點至最高洪峰發生時間之時距。有此三個條件即可繪製流量歷線。有流量記錄之流域，其流量歷線甚易繪製。沒有流量記錄之流域，其流量歷線需利用降雨特性及各種地形參數（Geomorphic parameters）予以推求。

首先研究無水文站流域之流量歷線推求方法者，當推美國水文學者史奈德（F.F.Snyder）1938年在美國阿帕拉契山區（Appalachian Mountains）研究所發展出來的綜合單位歷線（Synthetic Unit Hydrograph）繪製法。1972年美國水土保持局也設計出一種簡單而且適用地區較廣的三角形單位歷線（Triangular Unit Hydrograph）及無因次單位歷線（Dimensionless Unit Hydrograph）。

（1）三角形單位歷線（註 4-8）：

所謂單位歷線即在某一時段相當均勻之降雨強度在某一流域上造成一英寸深逕流量之流量歷線。三角形單位歷線如圖 4-10 所示。

$$Vol = \frac{Q_p TR}{2} + \frac{Q_p B}{2} \quad \dots\dots\dots \text{公式 1}$$

式中：Vol：直接總逕流量（cfs）

TR：漲水至洪峰之時間（hr）

Q_p：最高洪峰流量（cfs）

B：洪峰至退水之時間（hr）

圖中： D：超滲降雨延時 (hr)

t_p ：稽延時間 (hr)

公式 / 可改寫成

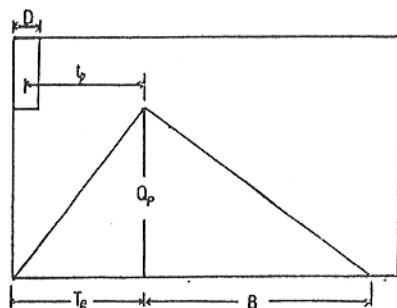


圖 4-10 三角形單位歷線 (SCS)

$$Q_p = \frac{2 \text{ Vol}}{TR + B} \quad \dots\dots\dots \text{公式 2}$$

美國水土保持局 (SCS) 研究許多小流域之結果，發現 B 與 T_r 之關係為

$$B = 1.67 T_r \quad \dots\dots\dots \text{公式 3}$$

上式之係數當然不一定適用於台灣地區，由上一節實測流量歷線分析，選擇較理想之降雨事件（註 4-9）來適當調整其係數，北磺溪源流區 1989 年 8 月 16 日之降雨逕流， $B = 1.5 T_r$ ；1989 年 7 月 22 日之降雨逕流， $B = 1.6 T_r$ （註 4-10），所以決定北磺溪源流區採用 $B = 1.55 T_r$ 。南磺溪源流區 1990 年 2 月 19 日之降雨逕流， $B = 2.5 T_r$ ；1990 年 2 月 23 日之降雨逕流， $B = 2.6 T_r$ ，所以南磺溪源流區採用 $B = 2.55 T_r$ 。

$$\text{由公式 2 可得 } Q_p = \frac{2 \text{ Vol}}{TR + B} = \frac{484A}{TR}$$

$$\text{其中，北磺溪源流區 } Q_p = \frac{506A}{TR}$$

$$\text{南磺溪源流區 } Q_p = \frac{374A}{TR}$$

式中：A：流域面積 (mile^2)

如圖 4-10 所示

$$TR = \frac{D}{2} + t_p$$

$$\text{其中 } t_p = \frac{1^{0.8} (S+1)^{0.7}}{1900 Y^{0.5}}$$

式中：1：主河道口至分水嶺之距離

Y：流域平均坡度

S：可能損失量 (potential abstraction)

$$\text{其中 } S = \frac{1000}{CN} - 10$$

式中 CN：curve number (註 4-11)

另以流域內不同土地利用面積加權，而得北磺溪源流區 CN=27

S=27，南磺溪源流區 CN=36，S=17.8，計算結果如下：

北磺溪源流區 $t_p = 0.669$ (hr)

TR=1.17 (hr) D=1 hr

B=1.8 (hr)

$Q_p = 152.0$ (cfs)

南磺溪源流區 $t_p = 0.567$ (hr)

TR=1.07 (hr) D=1 hr

B=2.6 (hr)

$Q_p = 174.9$ (cfs)

如圖 4-11 和圖 4-12 所示。

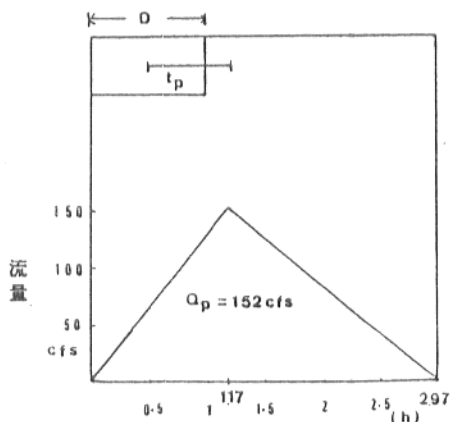


圖 4-11 三角形單位歷線(北區)

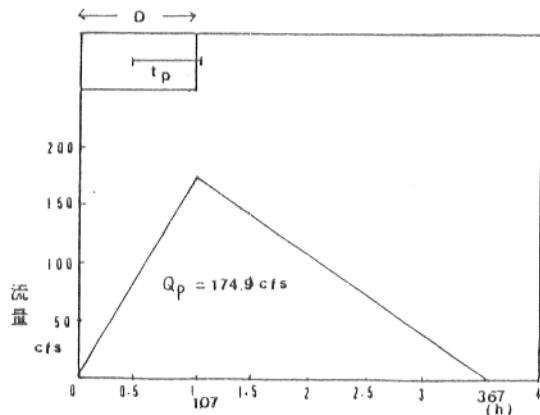


圖 4-12 三角形單位歷線(南區)

(2) 無因次單位歷線：

如圖 4-13 所示，此法只需要計算出自逕流開始至最高洪峰所需時間 (I_p)，及最高洪峰流量 (Q_p)。則橫軸為 I_i/I_p ，其長度為 $5I_p$ ，縱軸為 q_i/q_p ，因 $q_i \leq q_p$ ，故其比值介於 0 與 1 之間。其歷線計算如表 4-1 和表 4-2，而歷線及累計曲線圖，則如圖 4-14 和圖 4-15 所示。

表 4-1 無因次單位歷線之計算 (北礮溪源流區)

q/q_p	q	I/I_p	I
0	0	0	0
0.1	15.2	0.5	0.59
0.2	30.4	1.0	1.17
0.3	45.6	1.5	1.76
0.4	60.8	2.0	2.34
0.5	76.0	2.5	2.93
0.6	91.2	3.0	3.51
0.7	106.4	3.5	4.10
0.8	121.6	4.0	4.68
0.9	136.8	4.5	5.26
1.0	152.0	5.0	5.85

表 4-2 無因次單位歷線計算 (南礮溪源流區)

q/q_p	q	I/I_p	I
0	0	0	0
0.1	17.5	0.5	0.54
0.2	35	1.0	1.07
0.3	52.5	1.5	1.61
0.4	70	2.0	2.14
0.5	87.5	2.5	2.68
0.6	105	3.0	3.21
0.7	122.5	3.5	3.75
0.8	140	4.0	4.28
0.9	157.5	4.5	4.82
1.0	174.9	5.0	5.35

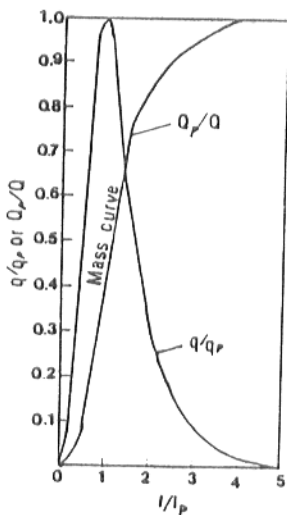


圖 4-13 無因次單位歷線 (SCS)

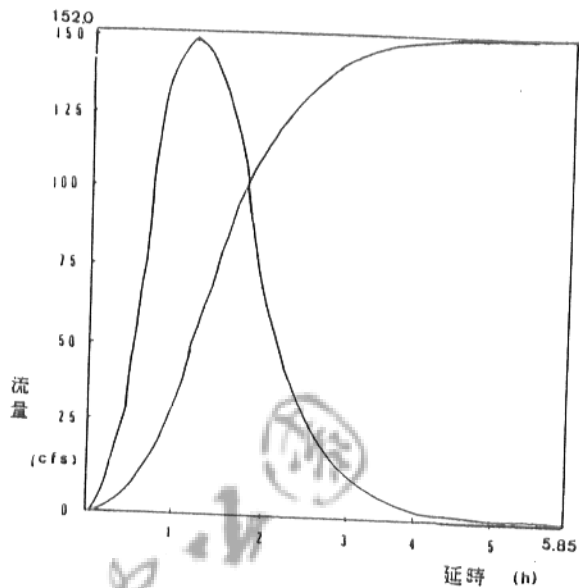


圖 4-14 無因次單位歷線及累計曲線(北區)

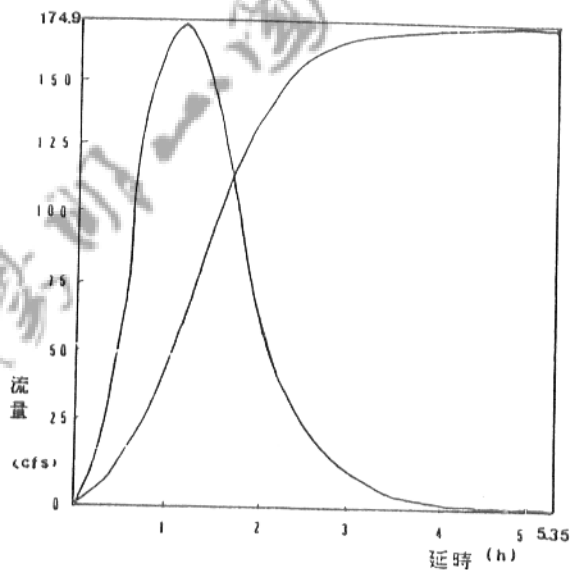


圖 4-15 無因次單位歷線及累計曲線(南區)

(3) 水文機率年之流量歷線

由第二章第三節所求得之降雨歷線，以鞍部站代表北礪溪源流區，竹子湖站代表南礪溪源流區，配合前述之三角形單位歷線，可以計算各機率年之流量歷線，其中，Convolution equation (註4-12)

$$Q_n = \sum_{i=1}^n P_i U_{n-i+1} \quad \text{or}$$

$$Q_n = P_n U_1 + P_{n-1} U_2 + P_{n-2} U_3 + \dots + P_1 U_n$$

利用單位歷線推估流量，所採用之雨量為超滲雨量，而所求得之流量為直接逕流而非包含基流之實際流量。但實際雨量記錄為各時段內之總雨量，因此必須扣除入滲、截留、蒸發散等損失方為有效雨量。由前節之實測流量歷線分析，南磺溪源流區一場降雨平均損失雨量約為25mm，北磺溪源流區約為26mm，比較蓮花池試驗集水區之研究數據（15~17mm），此決定應變合理，並利用入滲指數（即 ϕ 指數 註4-13）來推求有效雨量。計算結果如圖4-16至圖4-21。

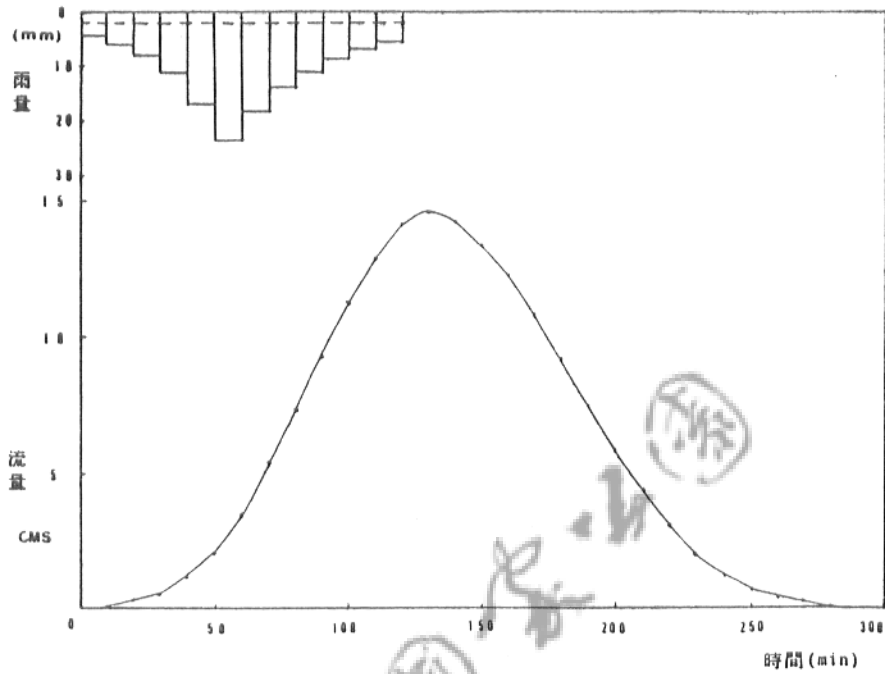


圖 4-16 北磺溪源流演算之水文歷線 (機率年10年)

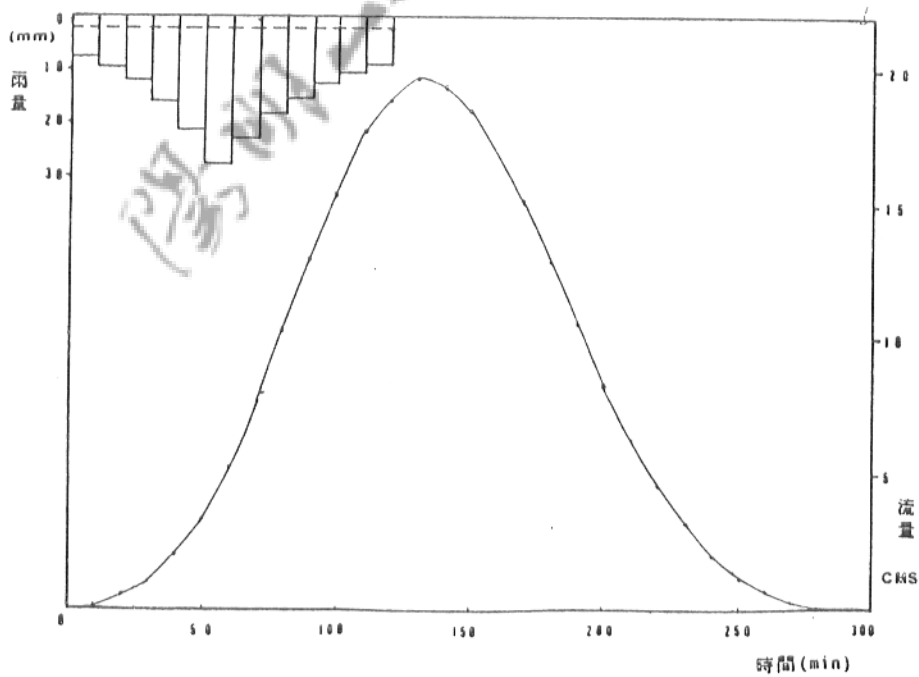


圖 4-17 北磺溪源流演算之水文歷線 (機率年25年)

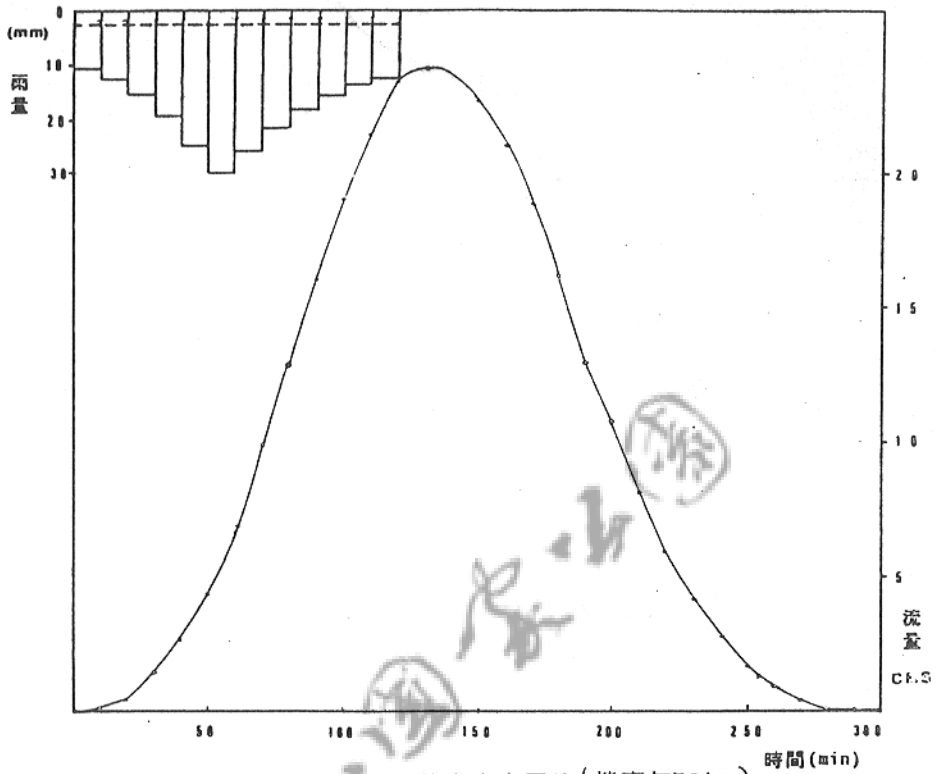


圖 4-18 北磺溪源流演算之水文歷線 (機率年50年)

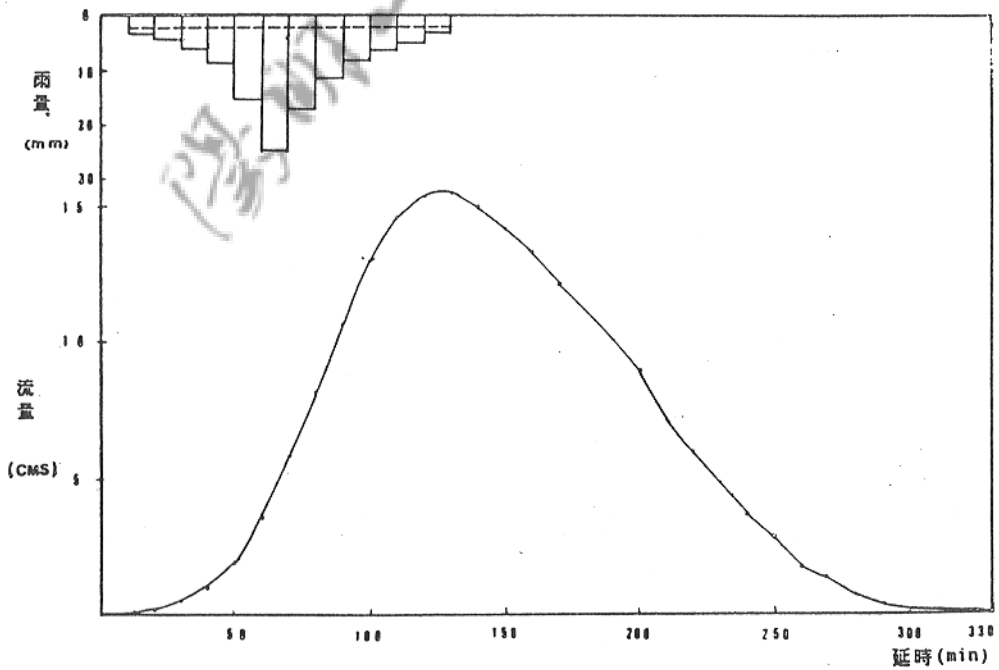


圖 4-19 南磺溪源流演算之水文歷線 (機率年10年)

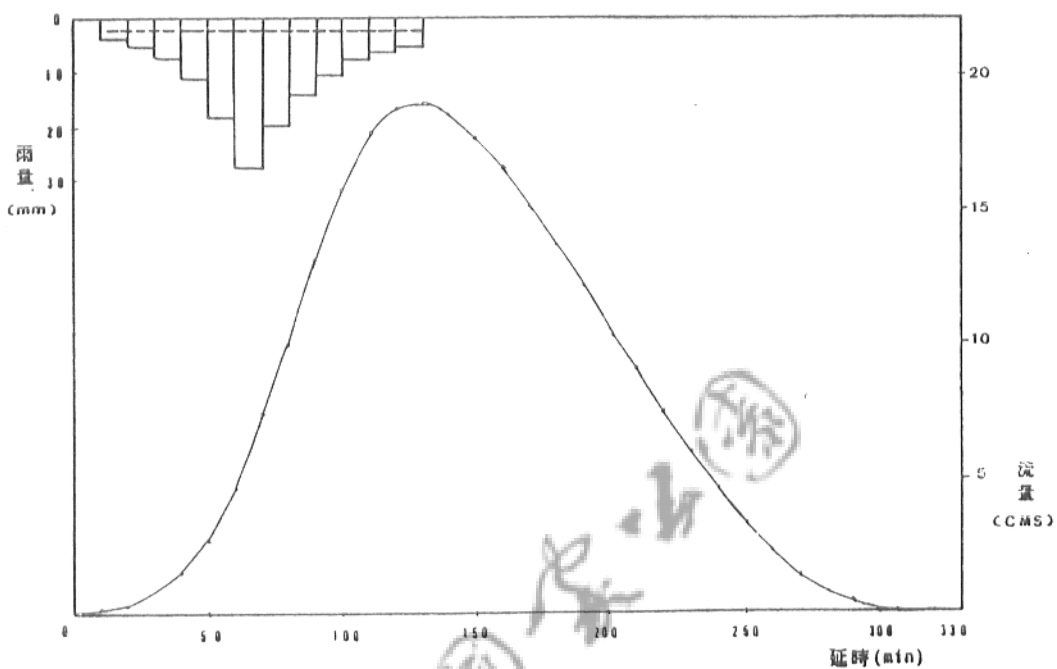


圖 4-20 南璜溪源流演算之水文歷線 (機率年25年)

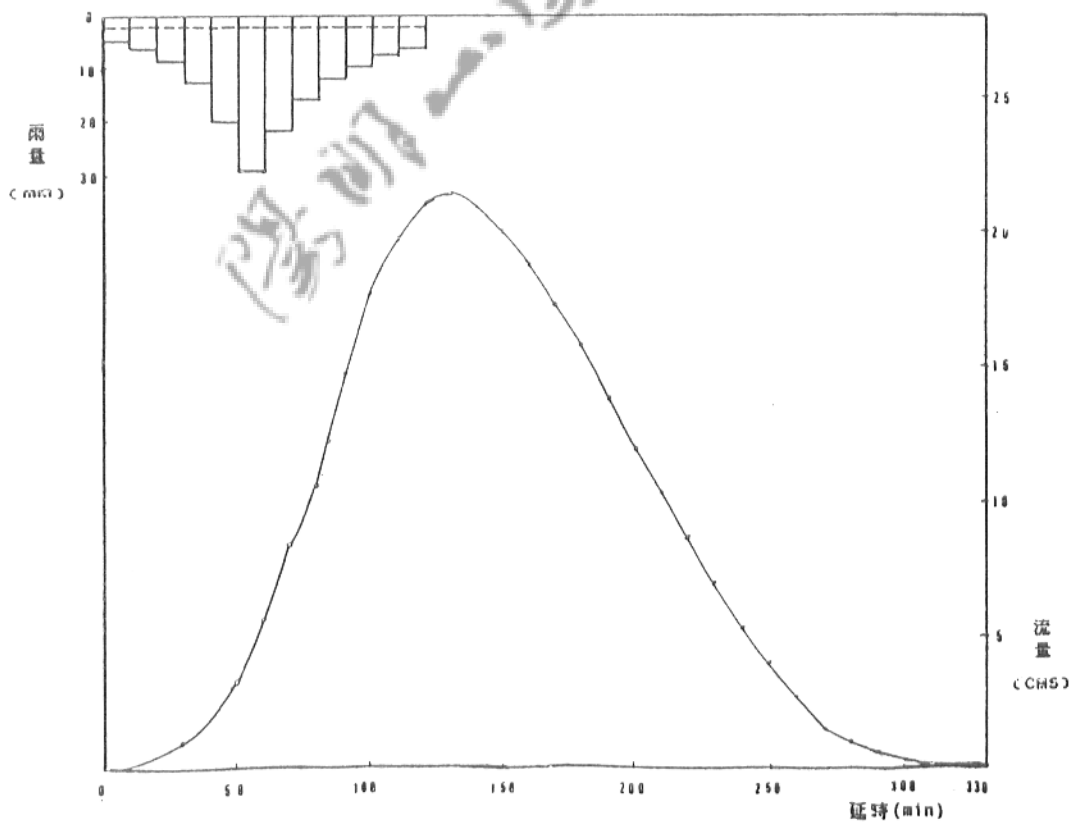


圖 4-21 南璜溪源流演算之水文歷線 (機率年50年)

註釋

- 註 4-1) 同註 2-1, 164-165頁。
- 註 4-2) 同註 4-1, 174頁。
- 註 4-3) 同註 1-5, 20頁。
- 註 4-4) 同註 1-4, 43頁。
- 註 4-5) 陳信雄 (1984) 森林水文學, 國立編譯館, 250-254頁。
- 註 4-6) 同註 3-1, 14頁。
- 註 4-7) 同註 4-6, 15頁。
- 註 4-8) Philip B. Bedient (1988) Hydrology and Floodplain Analysis, pp101-107.
- 註 4-9) 最理想之單位歷線分析, 乃為單獨, 強烈, 短暫延時且對集水區時間空間而言, 皆屬均勻分布之降雨。
- 註 4-10) 此降雨事件流量觀測記錄較不完整
- 註 4-11) 同註 4-9, 查附錄 6。
- 註 4-12) 同註 4-8, 89頁。
- 註 4-13) 王如意, 易任 (1987) 應用水文學 (上), 國立編譯館, 222頁。

第五章 坡地水文過程與歷線之相關

第一節 逕流的產生機制理論

古典水文學一向重視河川下游地區流量之變化，而對於水源地區，即上游森林集水區之水文所知有限，事實上源頭集水區水文之變化極為複雜。

傳統上，吾人以降水流向河槽的集中和分散流路來解釋溪流對降水的時空變化之反應，為便利起見，將兩種截然不同的逕流產生模式加以綜述如下（註5-1）：如圖 5-1所示

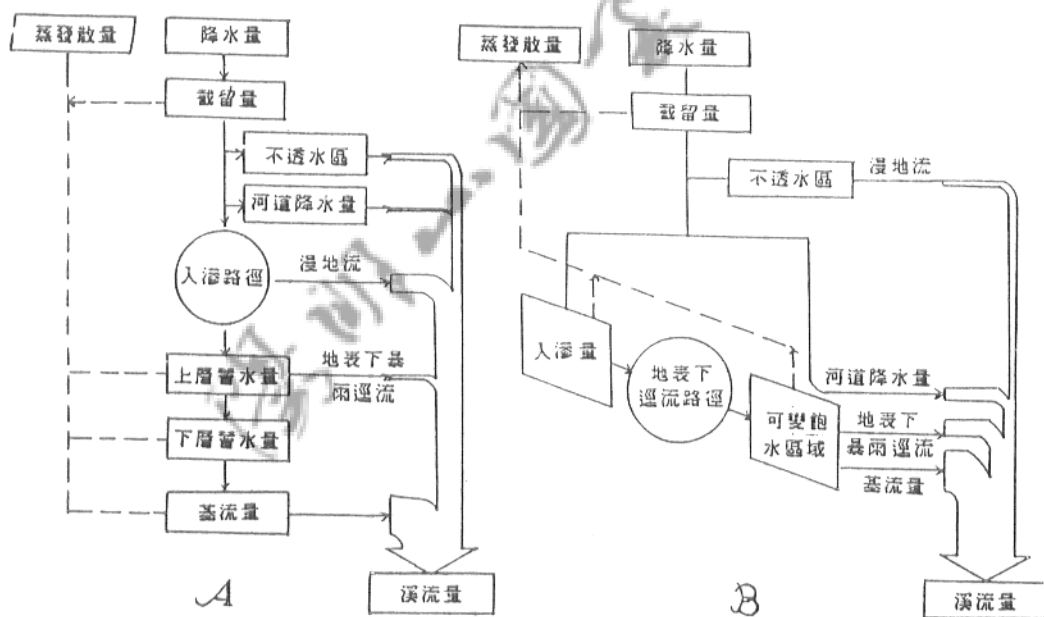


圖 5-1 兩種不同的逕流過程模式反映對暴雨流量來源地區之不同看法傳統工程模式(A)與多變化暴雨逕流來源地區模式(B)之間的主要差別在於如何處理入滲水量(引自Hewlett, 1982, 胡蘇溍1986)

1. Horton氏的假說

Horton (1933) 提出十分簡單的說明：土壤表面將落下的雨水分成兩部份，其一以漫地流快速流向河槽，另一部份先進入土壤，然後經由緩緩的地下水流流向河槽或者蒸發回到大氣中。而這兩部分之影響機能是土壤表面的入滲能 (Infiltration capacity)。

在暴雨時段，降雨強度大於入滲率 (Infiltration rate) 時，即產生超滲降水，此一超滲降水便成為漫地流在地面流動。假如降雨強度小於入滲率，則無漫地流發生，而入滲作用先將所謂的土壤水分貯蓄能量滿足，然後再有入滲的水分滲漏至地下水儲存庫，因而增加地下水水流至河槽。換言之，Horton氏主張漫地流概念 (Overland flow concept) 亦即直接逕流 (Direct runoff) 被認為完全是漫地流，強調溪流量係由超滲雨量形成，如圖 5-2 所示 (註 5-2)。

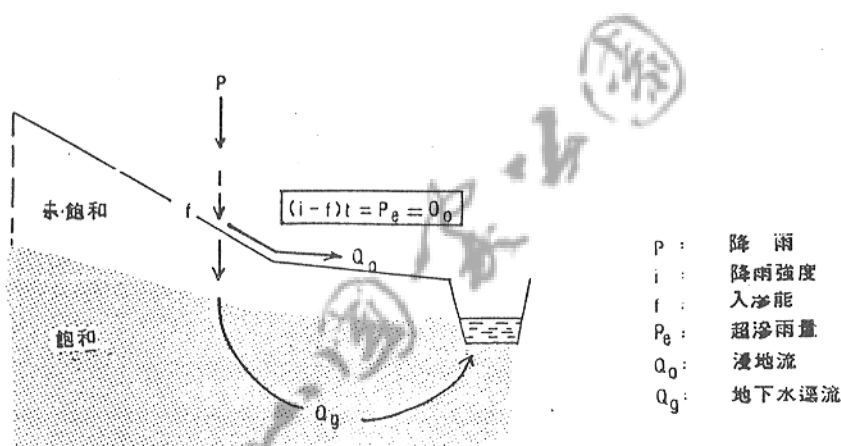


圖 5-2 降雨與逕流反應：Horton 假說 (引自 Ward 1982)

2. Hewlett 氏的假說

Hewlett 與 Hibbert 則強調整體集水區的大部分地面，即使在強而延時久的降水時，幾乎所有的降水均滲入土壤表層，換言之，森林集水區的暴雨逕流絕大部分源自地表下之土層，除了在谷底附近，河道旁飽和面積隨著降雨時間之持續而擴大，因而形成飽和漫地流，供給地面逕流水源的面積隨著降雨持續時間的加長而擴大。此一概念 Hewlett 氏稱之為 可變來源區概念 (The variable source area concept)，說明逕流供水區 (runoff contributing area) 在一集水區的時空分布上頗多變化，如圖 5-3 所示 (註 5-3)。

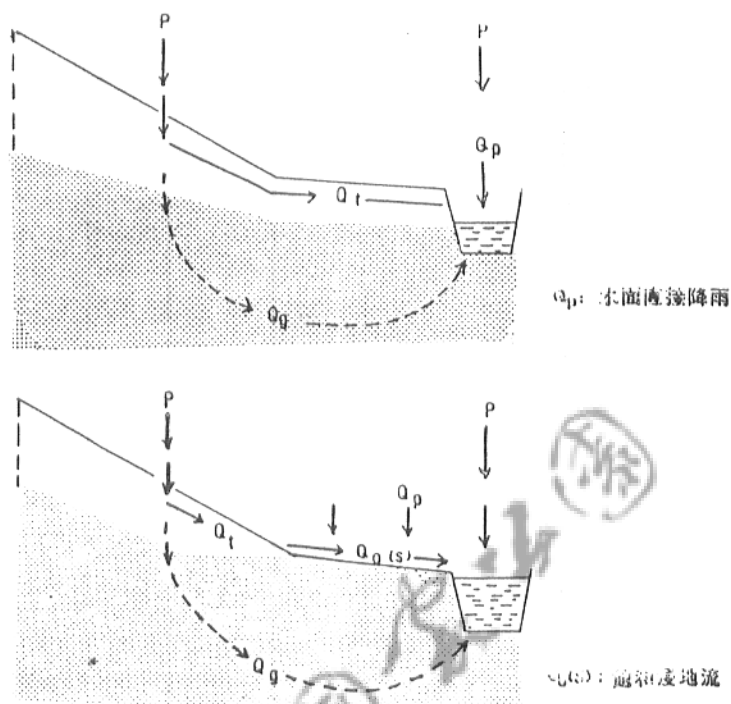


圖5-3 降雨與逕流反應：Hewlett假說(引自Ward 1982)

另外對於不同水流過程的主要控制因素，可以圖 5-4來說明其概要。

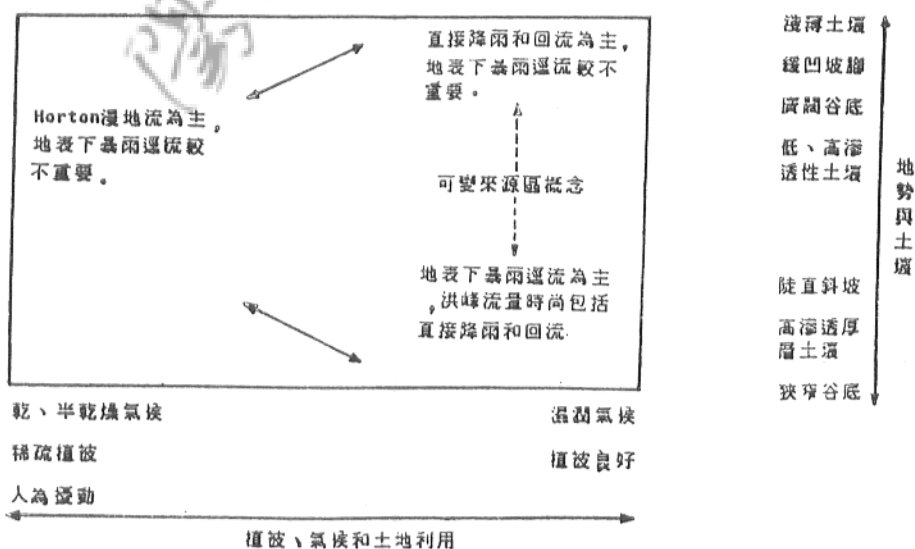


圖5-4 產生不同逕流過程的主要控制因素(引自Dunne 1983)

1960年代以後，自然地理學家、森林水文學家等對於水流發生機制的野外細心觀察已有成果，一般皆接受可變來源區概念的實用性，尤其是在森林集水區。茲以圖 5-5 (註5-5)再闡釋可變來源區概念的逕流機制，並列舉國外學者一些野外實證研究。

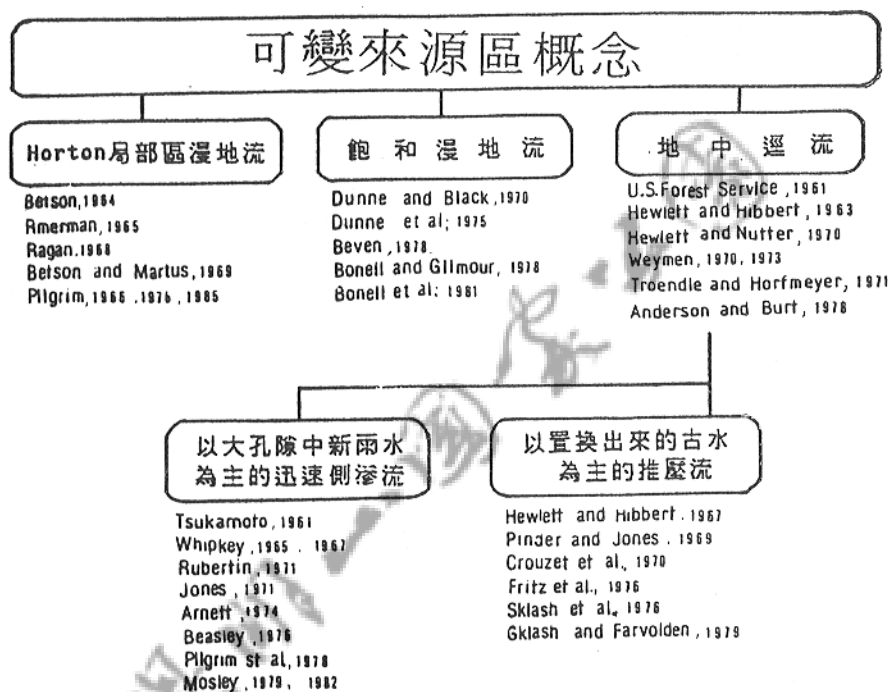


圖 5-5 逕流機制與野外實證研究(引自Pearce 1986)

其中，供水來源區(contributing source area)的概念是所有逕流機制的重點，它因著預濕情況(antecedent moisture)，土壤性質，地下水位變和暴雨規模的不同而隨季節或暴雨期間來改變其範圍。

Horton局部區漫地流(partial area Horton overlandflow)發生在流域中降雨強度超過入滲率的部份地區，新的雨量決定逕流的反應。飽和漫地流(saturated overland flow)產生於降雨直接落在河道或河道附近的飽和區。降雨入滲及由上坡來的側滲流提高地下水位至於地表面，新的降雨就會產生飽和漫地流。地中逕流(subsurface flow)

來自雨水的快速入滲和土壤滲透係數的增強，經由土壤層中相連的大孔隙或飽和的土壤底層處流出，也是新的雨水決定暴雨逕流。另一方面，土壤層中舊的雨水被新的雨水所置換，其過程至今尚不大太明瞭。

第二節 南礮溪源流區實例一

南礮溪源流區選擇以1990年 2月23日為例，來探討水文之過程與歷線之相關，以下分三方面來討論：

一、土壤水分之變化方面

由圖 3-7可以看出田間30cm和60cm深測點張力計讀數反應了降雨的影響，30cm深測點受入滲雨量的影響，而60cm深測點則另受地下水位上升毛管邊緣 (capillary fringe) 含水帶的影響。兩者於11:00時皆顯示土壤水分趨近飽和，此與飽和區之變化分析相符合。另由圖 3-6可以看出林內15cm深測點受降雨入滲之影響，讀數反應快；且深層土壤為較透水的黏土層，在其界面處，地中逕流容易形成，導致流量歷線的上昇，而林內45cm和60cm深測點受其土壤性質影響，雨水下滲較難，所以需要較長時間讀才明顯改變。

二、飽和區之變化方面

前一節已對Howlett的可變來源區概念詳細說明，今再舉圖5-6(註 5-6)即可明白其與流量歷線之關係。

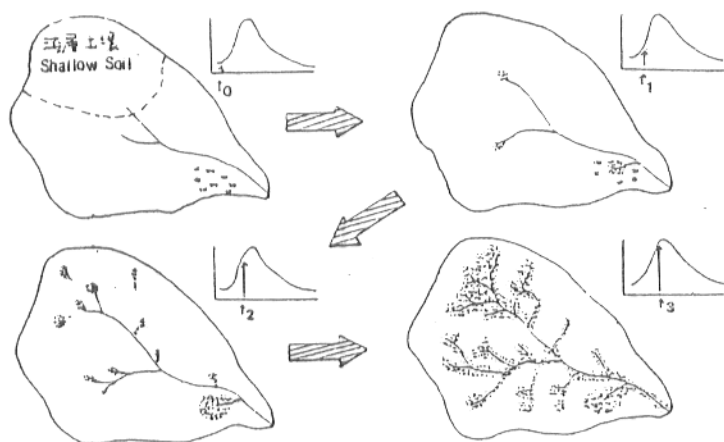


圖5-6 水文歷線中的小箭頭顯示當可變小源域及沼澤區，淺層土壤和旱河道時溪流流量的增加情形。當溪流量退卻時其過程則相反。(引自Howlett, 劉浚明譯1985)

由表 3-9可以看出 (I) 降雨其間地下水位上升，飽和區擴大。
 (II) 靠近水文區控制點較低窪處的簡易水井，其地下水位變化較大，以 A剖面來表現現的話，可以由圖 3-15和表 3-10明顯看出。(III) 比較圖 3-16，可以看出第 4 時期雨後 (11:00) 地下水位升高最多，反而表現在流量歷線變化上居於退水肢部，主要是因為頂湖之堰塞湖湖底匯集來看各方的溪水，且湖底近一半面積種植海芋 (水田)，增加了地下水補注，以後再緩緩流出，因而延緩了退水曲線；然而位於較高處的 C7和 C8觀測井，則顯示其地下水位升高最多時，也是流量尖峰時刻。參考圖 5-7和圖 5-8。

三、地中逕流方面

由表 3-18可以看出，降雨與逕流量的正相關，而且其中七個試驗小區中之六個以每小時降雨量與逕流量之相關分析，其相關係數皆大於 0.7，表示當 2 月 23 日 7~8 時降雨尖峰時，其地中逕流量亦為高峰；然而由坡地逕流到水文區 S 控制點 (四角堰測流量) 會稍有延遲時間，亦即是尖峰流量延遲時間，此正足以說明源流森林集水區地中逕流的重要性。

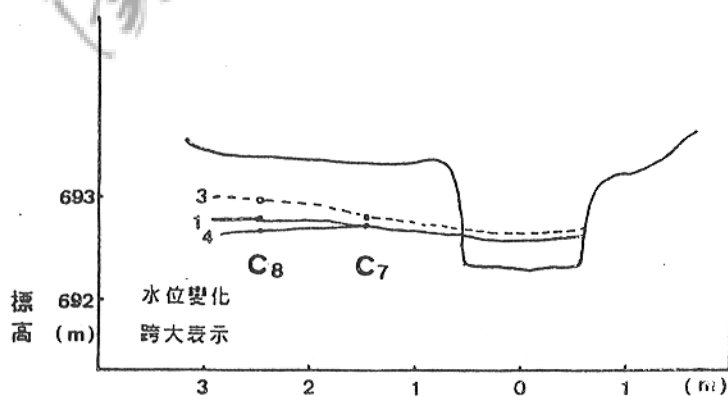


圖 5-7 G7C8剖面地下水位變化圖

(南區, 1990.2.23)

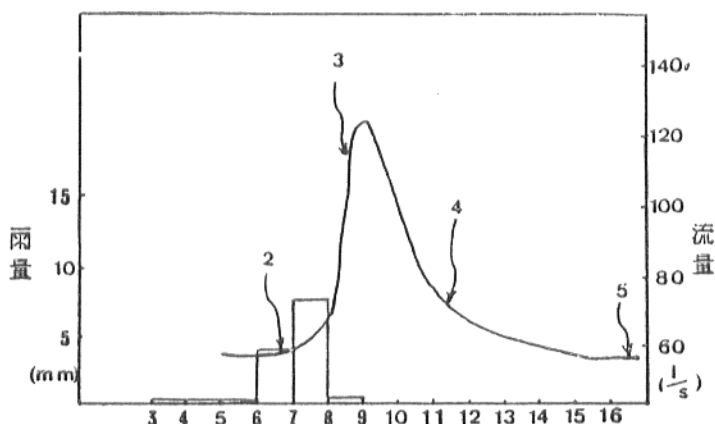


圖 5-8 S控制點之降雨與流量歷線圖
(南區, 1990.2.23, c_7, c_8)

第三節 北磺溪源流區實例二

北磺溪源流區選擇以1989年8月19日為例，來探討水文之過程與歷線之相關。以下分二方面來討論：

一、土壤水分之變化方面

由圖5-9可以看出B點30cm深測點張力計讀數反應了降雨的影響，而45cm深測點可能因雨量少，入滲不到這個深度。另外在11~12時30cm深測點顯示入滲和側滲流的盛行，使其讀數陡降，表現在流量歷線變化上居於流量尖峰處。

二、飽和區之變化方面

由表5-1，表5-2和表5-3，可以看出(I)降雨期間地下水位上升，飽和區擴。大(II)靠近N控制點較近的A剖面觀測井，其地下水位變化較大，主要是因為其位在下游中上游匯集而來的河水使河道向旁擴展，且其土壤厚度也較B、C部面深，中間側滲流較盛。若以剖面分別來看，可以由圖5-10，圖5-11和圖5-12看出其變化情形。(III)比較圖5-9、圖5-13和圖5-14看出其變化情形，大約在11:00時期。地下水位上升最多，表現在流量歷線變化上亦是居於流量高峰處。

綜合以上二方面之討論，加上對北磺溪源流區地形、地質、植生與土壤的認識和實際的觀察，可以證實森林集水區可變來源區概念的實用。

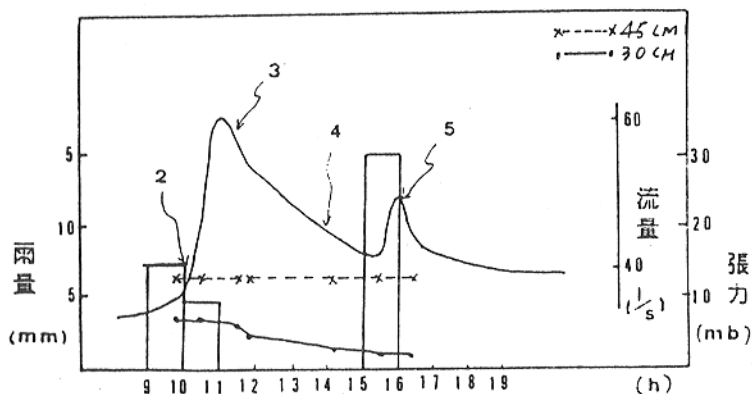


圖 5-9 N 控制點之降雨、流量與土壤水分變化圖
(北區, 1989.8.19)

表 5-1 河床 A剖面地下水位變化表 (北區)
(1989.8.19~20)

水 簡 期 位 易 間 變 水 化 (cm) 井	A1	A2	B1	B2	B3
1 雨前 (7:00)	0	0	0	0	0
2 雨中 (10:05)	1	0.5	1	1	0
3 雨中 (11:25)	2.5	1	2.5	5.5	0.5
4 雨中 (14:05)	1.5	1	1.5	2.5	0.5
5 雨中 (16:00)	1.5	0.5	0.5	1.5	0.5
6 雨後一日	0	-0.5	-0.5	-0.5	-1.5

表 5-2 河床 B剖面地下水位變化表 (北區)
(1989.8.19~20)

水 簡 期 位 易 間 變 水 化 (cm) 井	C1	C2	D1	D2
1 雨前 (8:00)	0	0	0	0
2 雨中 (10:40)	1.5	1	1.2	0.5
3 雨中 (14:30)	0.5	0.5	0.5	0
4 雨後一日	0.3	0	0	-0.3

表 5-3 河床 C剖面地下水位變化表 (北區)
(1989.8.19~20)

水 簡 期 位 易 間 變 水 化 (cm) 井	E1	E2	F1	F2
1 雨前 (8:20)	0	0	0	0
2 雨中 (10:10)	1	0.5	1.5	0
3 雨中 (11:30)	1.5	1	2.5	0.5
4 雨後一日	0	-1	0.5	-1.5

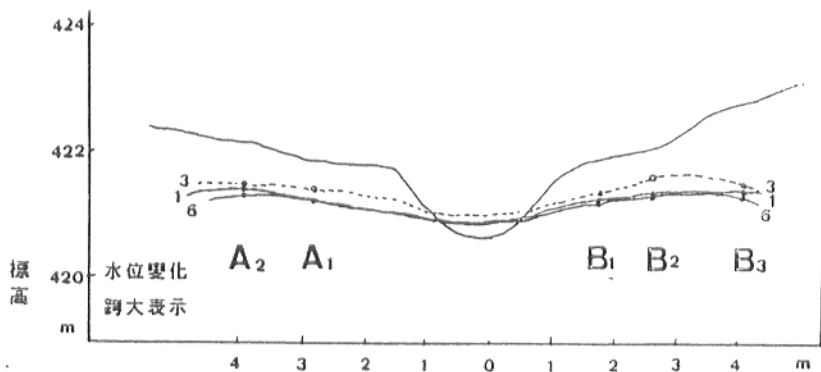


圖 5-10 A剖面地下水位變化圖 (北區, 1989.8.19)

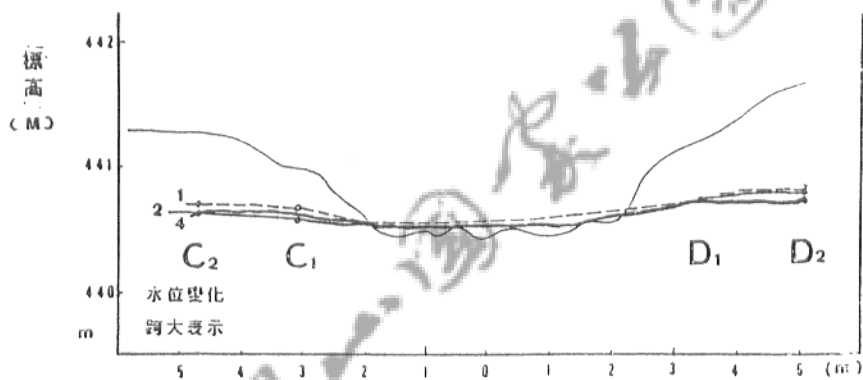


圖 5-11 B剖面地下水位變化圖 (北區, 1989.8.19)

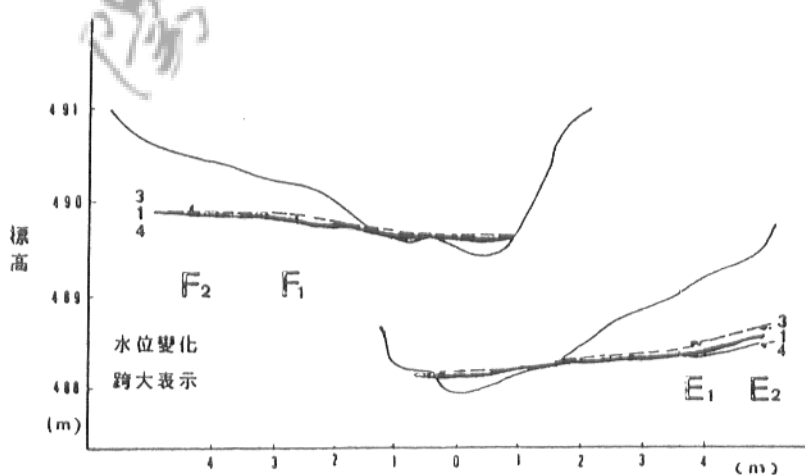


圖 5-12 C剖面地下水位變化圖 (北區, 1989.8.19)

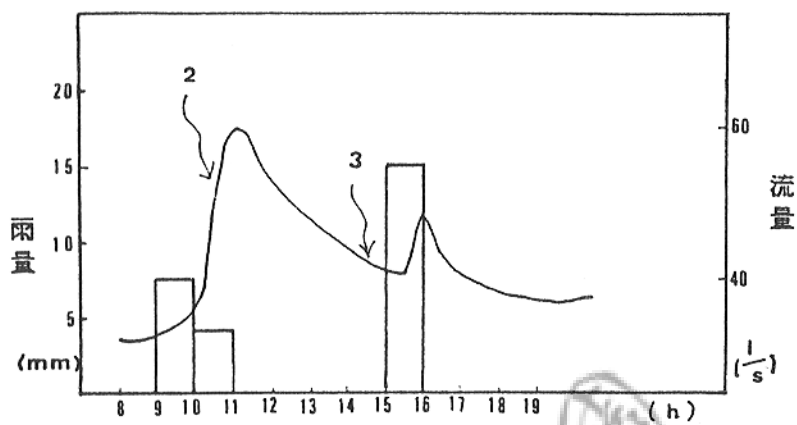


圖 5-13 K控制點之降雨與流量歷線圖
(北區B剖面, 1989.8.19)

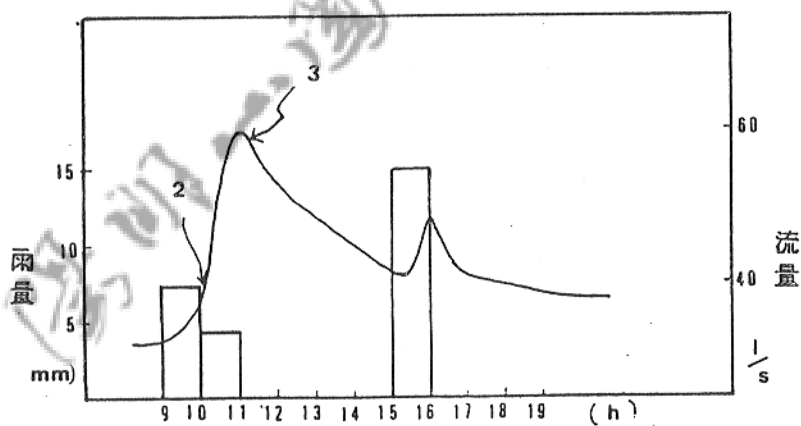


圖 5-14 N控制點之降雨與流量歷線圖
(北區C剖面, 1989.8.19)

註釋

註 5-1) 同註 1-3, 39-40頁。

註 5-2) ROY C. Ward (1984) On the response of precipitation of headwater streams in humid area, Journal of Hydrology, N74, P174.

註 5-3) 同註 5-2, P176.

註 5-4) THOMAS Dunne (1983) Relation of field studies and modeling in the prediction of storm runoff, Journal of Hydrology, N65, P29.

註 5-5) A. J. Pearce等 (1986) Storm runoff generation in humid headwater catchments, Water Resource Research, V22, N8, P1264.

註 5-6) 劉浚明譯 (John D. Hewlett原著) (1985) 森林水文學 (Principles of forest hydrology), 137頁。

第六章 結論與建議

一、結論

坡地水文學是一門與森林水文學關係相當密切的學科，本省已往對森林水文的研究資料頗為缺乏，坡地水文的研究更付之闕如，甚且對無水文站流域地區，從水文過程的野水實測來探討水文歷線的演算，進而與逕流的產生機制理論相印證者，可謂絕無僅有。水文數據資料需要投資大量人力、物力及時間累積，方能獲得滿意的結果，尤以高山源流區為最。本研究以陽明山國家公園界內南北磺溪之源流區為研究區域，搜集本區水文環境有關資料，一面作長期流域水文量分析，一面實際從事野外調查，將兩者所得數據作水文過程之探討與水文歷線之演算（實測與理論），再進而以逕流的產生機制理論來相互印證實測水文過程與歷線之相關，以明瞭本區坡地水文機制之大要。由研究結果得到下列幾點結論：

- (1) 由水平衡計算結果得到年平均降雨量，南區大於北區；年平均可能蒸發散量，北區略高於南區；年平均逕流量，南區大於北區。
- (2) 年雨量機率分析，鞍部站以對數常態分布最適常；竹子湖站以對數皮爾森Ⅲ型最適合。
- (3) 入滲觀測，南區南洋杉林內最終入滲率 $f_c=40.8$ cm/hr，最初入滲率 $f_0=100$ cm/hr， $K=0.04$ ；南區頂沽月田間 $f_c=26.8$ cm/hr， $f_0=66$ cm/hr， $K=0.038$ ，根據美國水土保持局以土壤特性為指標，預測飽和垂直傳導率等級，南區在 $360\sim 36$ cm/hr 之間，北區大抵在 >360 mm/hr 上。
- (4) 土壤水分變化觀測，淺層土壤受降雨的影響較快較大；土壤特性與降雨為主要影響因素。
- (5) 地下水位觀測，簡易觀測井地下水位變化，南區大於北區，主要是受地形地勢與土壤厚度所影響，同一區，下游剖面比上游剖面地下水位變化大，也是受同樣的因素影響。
- (6) 逕流試驗小區觀測，南區降雨與逕流量呈正相關，地中逕流隨著

降雨強度增加而流量增加。

- (7) 實測降雨與流量歷線，南區 $B=2.55TR$ ，北區 $B=1.55TR$ ，一場降雨平均損失雨量，南區約為 25 mm，北區約為 26 mm。
- (8) 水文機率年之流量歷線可做為本區水工結構物之水文設計與集水區規劃之參考。
- (9) 逕流的產生機制理論印證，Hewlett 的可變來源區概念頗適合北區的水文機制，單場暴雨對南區而言則有延緩效應，主要是湖底窪蓄的影響，如再往上游分成若干小流域，則可變來源區概念亦可證實其實用性。
- (10) 本研究區暴雨中易成為土壤水飽和的地區包括溪岸、湖底(頂湖)，陡坡聚合的窪地、土層下有不透水的母岩或另有一較不透水的土層存在的地區。

二、建議

陽明山國家公園的河流，大致以七星山、小觀音山為中心，形成台灣地區最典型的放射狀水系。本研究以其中的二條河流的源流區為研究區域，試圖對其水文特性有較充分的了解，以提供國家公園上游集水區經營的參考，並期日後進一步研究的完整性。依據本研究的心得與經驗，提供下列幾點建議：

- (1) 陽明山國家公園位居大屯火山羣的最主要部分，有其獨有的水文特徵，然而區內並無任何水文站的設立，如能依照林試所設立的試驗集水區，選擇適當的區域來設立，則對本區的水文現象的了解，將有莫大的助益。
- (2) 本研究區在暴雨中易成為土壤水飽和的地區包括溪岸、湖底(頂湖)，聚合窪地，坡地的下坡部位，這些地區在經營作業上應特別注意。
- (3) 森林集水區逕流產生機制極為複雜，類似 Pearce 等人 (1986) 在紐西蘭的小森林集水區作追蹤劑調查地中逕流的研究，是台灣森林集水區研究所需要進一步加強的工作。

參考文獻

1. 羅樹孝 (1978) 有效雨量之推求 台灣水利第 26 卷 2 期。
2. 盧惠生 (1979) 不同覆蓋坡地土壤滲透之探討，中華土壤保持學報第 10 卷 2 期。
3. 楊萬全 (1980) 大屯火山稜南坡面的水文研究，地理學研究第 4 期，師範大學地理系。
4. 楊萬全 (1982) 水文學，師範大學地理系，31-32 頁、64 頁。
5. 鄧天德 (1982) 從地理觀點分析台灣降雨機率，華岡地學第 2 期，13-14 頁。
6. 台灣省水利局 (1982) 台灣水文頻率分析機率分布之選擇研究。
7. 姜濟勝 (1982) 嘉義市降雨強度公式之推求與逕流量及其逕流係數之估算，台灣水利第 30 卷 3 期。
8. 王鑫等 (1983) 陽明山國家公園、地質及地形景觀，內政部營建署。
9. 陳文恭等 (1983) 陽明山國家公園之氣候，內政部營建署。
10. 陳信雄 (1983) 坡地開發與洪災問題之研究 (一)，國科會防災科技研究報告，6-8 頁。
11. 鄧天德 (1982) 流域入滲量之計測，華岡地學第 3 期，13-21 頁。
12. 蔡光雄譯 (1982) 水文學，科技圖書公司，181 頁。
13. 段錦浩等 (1983) 山坡地開發對洪災的影響 (一)，國科會防災科技研究報告。
14. 崔尚斌 (1983) 大屯山區土壤地理分佈及其概性，華岡地學第 3 期。
15. 楊萬全 (1984) 雨後流域內的水變成河水流出的過程，中等教育 35(2)，15 頁。
16. 鄧天德 (1984) 無水文站流域流量歷線之推求，華岡地學第 4 期，13 頁。
17. 鄧天德 (1984) 機率分佈常態化研究，華岡理科學報第 4 期，13 頁。

- 18.陳信雄(1985)森林水文學，國立編譯館，215頁。
- 19.潘文富(1984)花蓮溪流域雨量流量與地面水利用之研究，文化大學地理研究所碩士論文，37-28頁。
- 20.徐義人(1984)試驗集水區逕流係數之推算，台灣省林業試驗所。
- 21.謝正道等(1985)台灣中部低海拔不同植物被覆蓋物貯水功能之研究，中華水土保持學報16(1)，78頁。
- 22.郭魁士(1986)土壤學，中國書局，486頁。
- 23.陳明杰等(1986)蓮華池地區林地土壤滲透功能之探討，中華林學季刊19(2)，90頁。
- 24.胡蘇澄(1986)台灣小森林集水區暴雨流量特性之研究，文化大學實業計畫研究所博士論文，20頁，184頁。
- 25.魏聰輝(1984)台灣地區日降雨強度特性之研究，台灣大學森林研究所碩士論文，50-51頁。
- 26.台灣山地農牧局(1986)山坡地土壤調查報告。
- 27.王如意，易任(1987)應用水文學(上)，國立編譯館，222頁。
- 28.王如意，易任(1987)應用水文學(下)，國立編譯館，267頁、310頁。
- 29.陳明杰(1987)台灣中部森林集水區水文歷線演算方法之研究，台灣大學森林研究所博士論文，20頁、116頁、173頁。
- 30.萬鑫森譯(1987)基礎土壤物理學，國立編譯館。
- 31.夏禹九等(1987)上游集水區森林經營作業對水文特性之影響(一)，台灣省林業試驗所。
- 32.柳楷等(1988)小集水區降雨與逕流相關性之模式研究，台灣省林業試驗所。
- 33.鄧國雄等(1988)陽明山國家公園之地形研究，內政部營建署，70頁。
- 34.楊萬全等(1988)陽明山國家公園水資源調查研究(I)，內政部營

建署。

- 35.張仲民(1988)普通土壤學，國立編譯館，360頁。
- 36.楊萬全(1988)台灣地區蒸發散量問題之探討，中等教育39(2)，24頁。
- 37.楊萬全等(1989)陽明山國家公園水文特徵，中國地理學會第17期，97-119頁。
- 38.王如意(1989)應用水文學，中國土木水利工程學會。
- 39.鄧天德(1989)大里溪流域降雨之統計分析，中國地理學會會刊第17期，119-137頁。
- 40.陳信雄(1988)上游集水區土地利用對水文歷線及水質影響之研究(Ⅲ)，台灣省林業試驗所。
- 41.Beasley,R.S.(1976) Contribution of subsurface flow from the upper slopes of forested watershed to channel flow ,Soil Science Society of American Journal,V40,N6,P955.
- 42.Bedient,P.B.(1988) Hydrology and Floodplain Analysis , Addison-Wesley Inc. ,PP101-107.
- 43.Beven,K.and German,P.(1982) Macropores and water flow in soils,Water Resource Research,V18,N5, P1321.
- 44.Bren,L.J.and Turner,A.K.(1985) Hydrological behavior of a small forested catchment ,Journal of Hydrology,N76,PP333-350.
- 45.Burt,T.P.and Butcher,D.P.(1985) Topographic controls of soil moisture distributions ,Journal of Soil Science,N36,PP469-486.
- 46.Burt,T.P.(1985,1986,1987,1988) Slope and slope processes, Progress in Physical Geography.

附錄 1 鞍部站氣候水平衡表 (1943~1987)

	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二	年
平均氣溫 (°C)	9.4	10.2	12.7	16.3	19.4	21.6	23.0	22.6	21.0	17.6	14.5	11.3	16.6
月熱能指數 (i)	2.60	2.94	4.10	5.98	7.79	9.17	10.08	9.82	8.78	6.72	5.01	3.44	76.4
未修正 ETP(mm)	22.79	26.21	38.13	56.42	78.68	94.55	105.27	102.16	90.10	66.61	47.83	31.23	
修正係數	0.93	0.89	1.03	1.06	1.15	1.14	1.17	1.12	1.02	0.99	0.91	0.91	
已修正 ETP(mm)	21.2	23.3	39.3	61.9	90.5	107.8	123.2	114.4	91.9	65.9	43.5	28.4	811.3
平均雨量 (mm)	323.3	310.2	268.1	192.6	275.8	326.5	276.6	368.6	645.9	773.8	612.3	410.9	4784.6
增 減 (mm)	302.1	286.9	228.8	130.7	185.3	218.7	153.4	254.2	554	707.9	568.8	382.5	
土壤水分變化 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	
土壤有效水分 (mm)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Actual ET (mm)	21.2	23.3	39.3	61.9	90.5	107.8	123.2	114.4	91.9	65.9	43.5	28.4	811.3
皿蒸發量, E (mm)	41.3	39.3	57.6	75.7	82.7	85.7	117.1	108.2	85.2	60.5	41.2	38.7	833.2
水平衡	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
不足													
過剩 (mm)	302.1	286.9	228.8	130.7	185.3	218.7	153.4	254.2	554	707.9	568.8	382.5	3973.3

a=1.71

附錄 2 竹子湖站氣候水平衡表

	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二	年
平均氣溫 (°C)	11.3	12.0	14.4	17.9	21.0	23.1	24.5	24.3	22.8	19.4	16.2	13.1	18.3
月熱能指數 (i)	3.44	3.76	4.96	6.90	8.78	10.15	11.09	10.95	9.95	7.79	5.93	4.30	88
未修正 ETp(mm)	25.92	29.11	41.39	62.99	85.73	103.05	115.44	113.63	100.48	73.57	51.96	34.48	
修正係數	0.93	0.89	1.03	1.06	1.15	1.14	1.17	1.12	1.02	0.99	0.91	0.91	
已修正 ETp(mm)	24.1	25.9	42.6	66.8	98.6	117.5	135.1	127.3	102.5	72.8	47.3	31.4	891.9
平均雨量 (mm)	274.3	267.2	224.8	171.5	239.5	302.5	259.0	373.6	647.2	821.5	657.3	388.2	4626.6
增 減 (mm)	250.2	241.3	182.2	104.7	140.9	185	123.9	246.3	644.7	748.7	610	356.8	
土壤水分變化 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
土壤有效水分 (mm)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Actual ET (mm)	24.1	25.9	42.6	66.8	98.6	117.5	135.1	127.3	102.5	72.8	47.3	31.4	891.9
皿蒸發量, E (mm)	51.1	49.9	67.3	77.6	88.2	90.8	115.4	110.7	94.1	75.2	55.9	49.6	925.8
水平衡	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
不足													
過剩													
(mm)	250.2	241.3	182.2	104.7	140.9	185	123.9	246.3	544.7	748.7	610	356.8	3743.7

a=1.93

附錄 3 對數皮爾遜第Ⅲ型分佈之頻率因子 K_T 值

偏 度 係 數	週 期 T (年)										
	1.0101	1.0526	1.1111	1.2500	2	5	10	25	50	100	200
	發 生 機 率										
C_u	99	95	90	80	50	20	10	4	2	1	0.5
3.0	-0.667	-0.665	-0.660	-0.636	-0.396	0.420	1.180	2.278	3.152	4.051	4.970
2.9	-0.690	-0.688	-0.681	-0.651	-0.390	0.410	1.195	2.277	3.134	4.013	4.909
2.8	-0.714	-0.711	-0.702	-0.666	-0.384	0.460	1.210	2.275	3.114	3.973	4.847
2.7	-0.740	-0.736	-0.724	-0.681	-0.376	0.479	1.224	2.272	3.093	3.932	4.783
2.6	-0.769	-0.762	-0.747	-0.696	-0.368	0.499	1.238	2.267	3.071	3.889	4.718
2.5	-0.799	-0.790	-0.771	-0.711	-0.360	0.518	1.250	2.262	3.048	3.845	4.652
2.4	-0.832	-0.819	-0.795	-0.725	-0.351	0.537	1.262	2.256	3.023	3.800	4.584
2.3	-0.867	-0.850	-0.819	-0.739	-0.341	0.555	1.274	2.248	2.997	3.753	4.515
2.2	-0.905	-0.882	-0.844	-0.752	-0.330	0.574	1.284	2.240	2.970	3.705	4.444
2.1	-0.946	-0.914	-0.869	-0.765	-0.319	0.592	1.294	2.230	2.942	3.656	4.372
2.0	-0.990	-0.949	-0.895	-0.777	-0.307	0.609	1.302	2.219	2.912	3.605	4.298
1.9	-1.037	-0.984	-0.920	-0.788	-0.294	0.627	1.310	2.207	2.881	3.553	4.223
1.8	-1.087	-1.020	-0.945	-0.799	-0.282	0.643	1.318	2.193	2.848	3.499	4.147
1.7	-1.140	-1.056	-0.970	-0.808	-0.268	0.660	1.324	2.179	2.815	3.444	4.069
1.6	-1.197	-1.093	-0.994	-0.817	-0.254	0.675	1.329	2.163	2.780	3.388	3.990
1.5	-1.256	-1.131	-1.018	-0.825	-0.240	0.690	1.333	2.146	2.743	3.330	3.910
1.4	-1.318	-1.168	-1.041	-0.832	-0.225	0.705	1.337	2.128	2.706	3.271	3.828
1.3	-1.383	-1.206	-1.064	-0.838	-0.210	0.719	1.339	2.108	2.666	3.211	3.745
1.2	-1.449	-1.243	-1.086	-0.844	-0.195	0.732	1.340	2.087	2.626	3.149	3.661
1.1	-1.518	-1.280	-1.107	-0.848	-0.180	0.745	1.341	2.066	2.585	3.087	3.575
1.0	-1.588	-1.317	-1.128	-0.852	-0.164	0.758	1.340	2.043	2.542	3.022	3.489
0.9	-1.660	-1.353	-1.147	-0.854	-0.148	0.769	1.339	2.018	2.498	2.957	3.401
0.8	-1.733	-1.388	-1.166	-0.856	-0.132	0.780	1.336	1.993	2.453	2.891	3.312
0.7	-1.806	-1.423	-1.183	-0.857	-0.116	0.790	1.333	1.967	2.407	2.824	3.223
0.6	-1.880	-1.458	-1.200	-0.857	-0.099	0.800	1.328	1.939	2.359	2.755	3.132
0.5	-1.955	-1.491	-1.216	-0.856	-0.083	0.808	1.323	1.910	2.311	2.686	3.041
0.4	-2.029	-1.524	-1.231	-0.855	-0.066	0.816	1.317	1.880	2.261	2.615	2.949
0.3	-2.104	-1.555	-1.245	-0.853	-0.050	0.824	1.309	1.849	2.211	2.544	2.856
0.2	-2.178	-1.586	-1.258	-0.850	-0.033	0.830	1.301	1.818	2.159	2.472	2.763
0.1	-2.252	-1.616	-1.270	-0.846	-0.017	0.836	1.292	1.785	2.107	2.400	2.670
0.	-2.326	-1.645	-1.282	-0.842	0.	0.842	1.282	1.751	2.054	2.326	2.576

續附錄 3

偏 度 係 數 C_B	週 期 T (年)										
	1.0101	1.0526	1.1111	1.2500	2	5	10	25	50	100	200
	發 生 機 率										
	99	95	90	80	50	20	10	4	2	1	0.5
0	-2.326	-1.645	-1.282	-0.842	0.	0.842	1.282	1.751	2.054	2.326	2.576
-0.1	-2.400	-1.673	-1.292	-0.836	0.017	0.846	1.270	1.716	2.000	2.252	2.482
-0.2	-2.472	-1.700	-1.301	-0.830	0.033	0.850	1.258	1.680	1.915	2.178	2.388
-0.3	-2.544	-1.726	-1.309	-0.824	0.050	0.853	1.245	1.643	1.890	2.104	2.294
-0.4	-2.615	-1.750	-1.317	-0.816	0.066	0.855	1.231	1.606	1.834	2.029	2.201
-0.5	-2.686	-1.774	-1.323	-0.808	0.083	0.856	1.216	1.567	1.777	1.955	2.108
-0.6	-2.755	-1.797	-1.328	-0.800	0.099	0.857	1.200	1.528	1.720	1.880	2.016
-0.7	-2.824	-1.819	-1.333	-0.790	0.116	0.857	1.183	1.488	1.663	1.806	1.926
-0.8	-2.891	-1.839	-1.336	-0.780	0.132	0.856	1.166	1.448	1.606	1.733	1.837
-0.9	-2.957	-1.858	-1.339	-0.769	0.148	0.854	1.147	1.407	1.549	1.660	1.749
-1.0	-3.022	-1.877	-1.340	-0.758	0.164	0.852	1.128	1.366	1.492	1.588	1.664
-1.1	-3.087	-1.894	-1.341	-0.745	0.180	0.848	1.107	1.324	1.435	1.518	1.581
-1.2	-3.149	-1.910	-1.340	-0.732	0.195	0.844	1.086	1.282	1.379	1.449	1.501
-1.3	-3.211	-1.925	-1.339	-0.719	0.210	0.838	1.064	1.240	1.324	1.383	1.424
-1.4	-3.271	-1.938	-1.337	-0.705	0.225	0.832	1.041	1.198	1.270	1.318	1.351
-1.5	-3.330	-1.951	-1.333	-0.690	0.240	0.825	1.018	1.157	1.217	1.256	1.282
-1.6	-3.388	-1.962	-1.329	-0.675	0.254	0.817	0.994	1.116	1.160	1.197	1.216
-1.7	-3.444	-1.972	-1.324	-0.660	0.268	0.808	0.970	1.075	1.116	1.140	1.155
-1.8	-3.499	-1.981	-1.318	-0.643	0.282	0.799	0.945	1.035	1.069	1.087	1.097
-1.9	-3.553	-1.989	-1.310	-0.627	0.294	0.788	0.920	0.996	1.023	1.037	1.044
-2.0	-3.605	-1.996	-1.302	-0.609	0.307	0.777	0.895	0.959	0.980	0.990	0.995
-2.1	-3.656	-2.001	-1.294	-0.592	0.319	0.765	0.869	0.923	0.939	0.946	0.949
-2.2	-3.705	-2.006	-1.284	-0.574	0.330	0.752	0.844	0.888	0.900	0.905	0.907
-2.3	-3.753	-2.009	-1.274	-0.555	0.341	0.739	0.819	0.855	0.864	0.867	0.869
-2.4	-3.800	-2.011	-1.262	-0.537	0.351	0.725	0.795	0.823	0.830	0.832	0.833
-2.5	-3.845	-2.012	-1.250	-0.518	0.360	0.711	0.771	0.793	0.798	0.799	0.800
-2.6	-3.889	-2.013	-1.238	-0.499	0.368	0.696	0.747	0.764	0.768	0.769	0.769
-2.7	-3.932	-2.012	-1.224	-0.479	0.376	0.681	0.724	0.738	0.740	0.740	0.741
-2.8	-3.973	-2.010	-1.210	-0.460	0.384	0.666	0.702	0.712	0.714	0.714	0.714
-2.9	-4.013	-2.007	-1.195	-0.440	0.390	0.651	0.681	0.683	0.689	0.690	0.690
-3.0	-4.051	-2.003	-1.180	-0.420	0.396	0.636	0.660	0.666	0.666	0.667	0.667

資料來源：王如意、易任 應用水文學

附錄 4

土系	土層	深度 (cm)	分析項目				
			質地	總體密度	大孔隙(%)	PH值	有機質(%)
(524857) (未定)	I	0-12	CL	-	-	4.6	3.43
	II	12-22	CL	1.02	1.09	4.3	2.98
	III	22-47	CL	0.86	2.60	4.3	3.47
	IV	47-63	SL	1.16	2.30	5.8	0.55
	V	63-120	L	-	-	5.6	0.33
	VI	120-155	CL	-	-	5.7	1.12
大屯山 (527858) 貓公越系 (MKy)	I	0-16	SiC	-	-	4.1	20.41
	II	16-32	CL	0.61	3.30	4.9	8.14
	III	32-41	-	-	-	-	-
	IV	41-63	L	-	-	5.0	4.17
	V	63-87	-	-	-	-	-
(522854) 磺溪頭系 (THc)	I	0-5	C	-	-	3.5	25.65
	II	5-10	C	0.53	6.64	3.9	20.83
	III	10-20	C	0.77	3.51	4.1	11.55
	IV	20-38	C	0.73	6.82	4.6	4.40
	V	38-62	C	0.92	3.94	4.6	2.31
	VI	62-90	C	0.98	2.71	4.6	1.24
七星山 火山灰土 (044856)	A00	-3-0	-	-	-	-	-
	I	0-20	L	0.54	2.69	3.2	17.93
	II	20-27	CL	-	-	4.6	3.47
(040855) 陽明山 阿里磅 坑頭系	A00	-3-0	-	-	-	-	-
	I	0-14	C	0.87	-	3.4	26.19
	II	14-52	C	0.65	6.68	4.6	4.33
	III	52-88	L	0.75	8.71	3.6	12.40
	IV	88-112	C	1.01	5.13	4.5	1.16
	V	112-140	C	0.83	2.89	4.4	1.17

Note: A00 -- 此層包含疏鬆的比較上未完全分解的有機碎片

附錄 5

PROFILE NO: 79001
 PEDON NO: /////
 SERIES: TING-HU (頂湖系)
 DESCRIBED BY:
 LOCALITY: 台北市北投區竹子湖 (頂湖)
 GRID REF.: TA-TUN-SHAN
 GRID REFERENCE (TO 10 METERS)
 EASTING: 524
 NORTHING: 857
 DATE: 03/23/90
 ELEVATION: 685m M.S.L.
 SLOPE:
 SLOPE(*): gently sloping
 ASPECT (AS A BEARING): W
 FORM: convex
 SOIL EROSION AND DEPOSITION:
 non-erosion
 ROCK OUTCROP: no bedrock exposed
 LAND USE: paddy rice
 GREAT GROUP: ANDESITE YOUNG YELLOW (GRAY YELLOW) SOIL

SOIL SURFACE:
 FORM: flattened
 CONDITION: slaked
 THICKNESS OF L LAYER (CM): 0
 ROCK:
 LITHOLOGY:
 TYPE:
 SUBTYPE:
 STRUCTURE:
 HARDNESS:
 COLOUR:
 NO. OF HORIZON DESCRIBED: 6
 INNER DRAINAGE: imperfect drainage

HORIZON NOTATION	HORIZON DEPTH (CM)	DESCRIPTIONS OF HORIZONS
AP1	0 - 12	dark grayish brown (10YR 4/2 MOIST) loam; insufficient organic matter; stoneless; slightly moist; moderately developed fine granular; moderately porous; fine macropores; fine fissures; very weak soil strength; very weak peds strength; brittle failure; non-sticky; slightly plastic; many fine fibrous roots; non-calcareous; none nodule; none coat; clear smooth boundary; pH 5.1-5.5 strong acid. 790021
AP2	12 - 22	yellowish gray (2.5Y 5/1 MOIST) silt loam; common prominent very fine brown (10YR 4/6 MOIST) mottles with sharp edges; insufficient organic matter; very slightly stony (bouldery) medium stones subangular andesite stones; slightly moist; moderately developed very coarse angular blocky; very slightly porous; fine macropores; very fine fissures; moderately firm soil strength; moderately firm peds strength; semi-deformable failure; slightly sticky; moderately plastic; common very fine fibrous roots; non-calcareous; none nodule; common sand or silt coats; clear smooth boundary; pH 4.5-5.0 very strong acid. 790022
BW	22 - 47	dark grayish brown (10YR 4/2 MOIST) silt loam; very many prominent extremely fine dark brown (7.5YR 4/4 MOIST) mottles with sharp edges; insufficient organic matter; very slightly stony (bouldery) medium stones subangular andesite stones; very moist; very weakly developed fine granular; very slightly porous; very fine macropores; very fine fissures; very weak soil strength; very weak peds strength; semi-deformable failure; slightly sticky; moderately plastic; common very fine fibrous roots; non-calcareous; none nodule; none coat; abrupt wavy boundary; pH 4.5-5.0 very strong acid. 790023

HORIZON NOTATION	HORIZON DEPTH(CM)	DESCRIPTIONS OF HORIZONS
Cm	47 - 63	yellowish brown (2.5Y 5/3 MOIST) sand; very many prominent coarse brown (10YR 4/6 MOIST) mottles with sharp edges; insufficient organic matter; stoneless; slightly moist; massive; very slightly porous; very fine macropores; very fine macropores; very strongly cemented; very strongly cemented non-calcareous; none nodule; none coat; abrupt wavy boundary; pH 6.1-6.5 slight acid. 790024
C1	63 -120	light gray (7.5Y 8/1 MOIST) silt loam; common prominent extremely fine brownish yellow (10YR 6/6 MOIST) mottles with sharp edges; insufficient organic matter; stoneless; wet; massive; very slightly porous; very fine macropores; very fine macropores; very fluid failure; very fluid failure non-calcareous; none nodule; none coat; clear wavy boundary; pH 6.1-6.5 slight acid. 790025
C2	120-155	gray (5YR 5/1 MOIST) silt loam; insufficient organic matter; stoneless; wet; massive; very slightly porous; very fine macropores; very fine macropores; very fluid failure; very fluid failure non-calcareous; none nodule; none coat; pH 6.1-6.5 slight acid. 790026

NOTE: 1. 2nd layer silt clay coating on the fissures. 2. cm (790024) Tuff materials.

PROFILE NO: 79004
 PEDON NO: /////
 SERIES: HUANG-CHI-TOU (磺溪頭系)
 DESCRIBED BY:
 LOCALITY: 台北市北投區七星山下 (陽金公路上方)
 GRID REF.: TA-TUN-SHAN
 GRID REFERENCE (TO 10 METERS)
 EASTING: 522
 NORTHING: 854
 DATE: 03/23/90
 ELEVATION: 720m M.S.L.
 SLOPE:
 SLOPE(*): steeply sloping
 ASPECT (AS A BEARING): W
 FORM: concave
 SOIL EROSION AND DEPOSITION:
 gully erosion
 ROCK OUTCROP: rocky
 LAND USE: coniferous woodland
 GREAT GROUP: Andesite youth yellow soil

SOIL SURFACE:
 FORM: flattened
 CONDITION: slaked
 THICKNESS OF L LAYER (CM): 5
 ROCK:
 LITHOLOGY:
 TYPE: andesite
 SUBTYPE:
 STRUCTURE: massive
 HARDNESS: very hard
 COLOUR:
 NO. OF HORIZON DESCRIBED: 6
 INNER DRAINAGE: well to mod drainage

HORIZON NOTATION	HORIZON DEPTH (CM)	DESCRIPTIONS OF HORIZONS
H1	0 - 5	reddish black (2.5YR 2/1 MOIST) sandy loam; F OR H horizon; slightly moist; strongly developed fine granular; very porous; fine macropores; very fine fissures; moderately weak soil strength; moderately weak peds strength; slightly sticky; slightly plastic; abundant fine woody roots; non-calcareous; none nodule; none coat; clear smooth boundary; pH 4.5-5.0 very strong acid. 790035
A1	5 - 10	dark reddish brown (5YR 2/2 MOIST) sandy loam; humose; slightly moist; moderately developed fine granular; moderately porous; fine macropores; very fine fissures; moderately weak soil strength; moderately weak peds strength; slightly sticky; slightly plastic; common fine woody roots; non-calcareous; none nodule; none coat; clear smooth boundary; pH 4.5-5.0 very strong acid. 790036
AB	10 - 20	dark gray (5YR 4/1 MOIST) loam; many prominent very fine brown (7.5YR 4/3 MOIST) mottles with clear edges; humose; slightly moist; moderately developed fine granular; moderately porous; fine macropores; very fine fissures; moderately weak soil strength; moderately weak peds strength; moderately sticky; moderately plastic; few fine woody roots; non-calcareous; none nodule; few clay coats; gradual irregular boundary; pH 4.5-5.0 very strong acid. 790037
B1	20 - 38	yellowish brown (10YR 5/4 MOIST) clay loam; insufficient organic matter; slightly moist; moderately developed fine subangular blocky; slightly porous; very fine macropores; very fine fissures; moderately weak soil strength; moderately weak peds strength; very sticky; very plastic; few very fine woody roots; non-calcareous; none nodule; few clay coats; clear smooth boundary; pH 5.1-5.5 strong acid. 790038

HORIZON NOTATION	HORIZON DEPTH(CM)	DESCRIPTIONS OF HORIZONS
B2	38 - 62	strong brown (7.5YR 5/6 MOIST) silty clay loam; insufficient organic matter; slightly moist; moderately developed fine subangular blocky; slightly porous; very fine macropores; very fine fissures; moderately weak soil strength; moderately weak peds strength; very sticky; very plastic; few very fine woody roots; non-calcareous; none nodule; few clay coats; abrupt irregular boundary; pH 5.1-5.5 strong acid. 790039
C	62 - 90	yellowish red (5YR 5/6 MOIST) clay; common prominent very fine dull yellow (2.5Y 6/3 MOIST) mottles with clear edges; insufficient organic matter; slightly moist; moderately developed fine subangular blocky; slightly porous; very fine macropores; very fine fissures; moderately weak soil strength; moderately weak peds strength; very sticky; very plastic; few very fine woody roots; non-calcareous; none nodule; common clay coats; pH 5.1-5.5 strong acid. 790040

NOTE: 1. 790035 無土壤。

2. 790036 有玻璃狀礦物分布。

PROFILE NO: 79061

PEDON NO: //

SERIES: ALI-PANG-KENG-TOU (阿里山坑頭系)

DESCRIBED BY:

LOCALITY: 台北市北投區七星山陽舍公路小油坑段公路上 60 M

GRID REF.: YANG-MING-SHAN 陽明山

GRID REFERENCE (TO 10 METERS)

EASTING: 3040

NORTHING: 27855

DATE: 04/25/90

ELEVATION: 774m M.S.L.

SLOPE:

SLOPE(*): moderately steeply sloping

ASPECT (AS A BEARING): NW

FORM: concave

SOIL EROSION AND DEPOSITION:

rill erosion

ROCK OUTCROP: rocky

LAND USE: deciduous woodland

GREAT GROUP: Andosite Grayish yellow youth yellow soil

SOIL SURFACE:

FORM: flattened

CONDITION: slaked

THICKNESS OF L LAYER (CM): 3

ROCK:

LITHOLOGY:

TYPE: andesite

SUBTYPE:

STRUCTURE:

HARDNESS:

COLOUR:

NO. OF HORIZON DESCRIBED: 6

INNER DRAINAGE: imperfect drainage

HORIZON NOTATION	HORIZON DEPTH (CM)	DESCRIPTIONS OF HORIZONS
Oi	0 - -3	F or H horizon; 790351
A	-3 - 14	black (7.5YR 2/1 MOIST) clay loam; humose; very slightly stony (bouldery) large stones subangular andesite stones; slightly moist; moderately developed fine granular; slightly porous; very fine macropores; very fine fissures; moderately weak soil strength; moderately weak peds strength; deformable failure; slightly sticky; slightly plastic; common fine woody roots; non-calcareous; none nodule; clear smooth boundary; pH 4.5-5.0 very strong acid. 790352
E	14 - 52	light yellowish brown (2.5Y 6/4 MOIST) clay loam; few prominent extremely fine reddish yellow (7.5YR 6/8 MOIST) mottles with clear edges; insufficient organic matter; very slightly stony (bouldery) large stones subangular andesite stones; slightly moist; weakly developed, adherent medium angular blocky; slightly porous; fine macropores; very fine fissures; moderately weak soil strength; moderately weak peds strength; deformable failure; slightly sticky; slightly plastic; common fine woody roots; non-calcareous; none nodule; gradual smooth boundary; pH 5.1-5.5 strong acid. 790353
2BtA	52 - 88	dark olive (2.5Y 3/3 MOIST) sandy clay loam; many prominent fine brown (10YR 4/6 MOIST) mottles with clear edges; insufficient organic matter; very slightly stony (bouldery) large stones subangular andesite stones; slightly moist; weakly developed, adherent medium subangular blocky; slightly porous; very fine macropores; very fine fissures; moderately firm soil strength; moderately firm peds strength; deformable failure; slightly sticky; slightly plastic; few fine woody roots; non-calcareous; none nodule; many coat; gradual wavy boundary; pH 4.5-5.0 very strong acid. 790354

HORIZON NOTATION	HORIZON DEPTH(CM)	DESCRIPTINOS OF HORIZONS
2Bt1	88 -112	yellow (10YR 7/8 MOIST) clay loam; many prominent fine light gray (5Y 7/1 MOIST) mottles with clear edges; insufficient organic matter; very slightly stony (bouldery) large stones subangular andesite stones; slightly moist; very weakly developed medium subangular blocky; very slightly porous; fine macropores; very fine fissures; moderately firm soil strength; moderately firm peds strength; deformable failure; moderately sticky; moderately plastic; few fine woody roots; non-calcareous; none nodule; many coat; gradual wavy boundary; pH 5.1-5.5 strong acid. 790355
2Bt2	112-140	light brown (7.5YR 6/4 MOIST) clay; few peominent very light yellow (2.5Y 7/3 MOIST) mottles with clear edges; insufficient organic matter; very slightly stony (bouldery) large stones subangular andesite stones; very moist; weakly developed fine subangular blocky; very slightly porous; vrey fine macropores; very fine fissures; moderately firm soil strength; moderately firm peds strength; slightly fluid failure; mderately sticky; moderately plastic; few fine woody roots; non-calcareous; none nodule; many coat; pH 4.5-5.0 very strong acid. 790356

NOTE:1.790353many fine vesicular macropores.

2. 全部土構連打破可成為 strong fine granular.

PROFILE NO: 79005

pedon no://////

SERIES:CHU-TZU-SHAN (竹子山系)

DESCRIBED BY:

LOCALITY: 台北市北投區小油坑旁緩丘箭竹林西坡

GRID REF.:TA-TUN-SHAN

GRID REFERENCE (TO 10 METERS)

EASTING: 526

NORTHING: 857

DATE: 03/22/90

ELEVATION: 805m M.S.L.

SLOPE:

SLOPE(*): steeply sloping

ASPECT (AS A BEARING): W

FORM: concave

SOIL EROSION AND DEPOSITION:

non-erosion

ROCK OUTCROP: no bedrock exposed

LAND USE: other (箭竹)

GREAT GROUP: Andesite Grayish Youth yellow soil

SOIL SURFACE:

FORM: flattened

CONDITION: slaked

THICKNESS OF L LAYER(CM): 2

ROCK:

LITHOLOGY:

TYPE:

SUBTYPE:

STRUCTURE:

HARDNESS:

COLOUR:

NO. OF HORIZON DESCRIBED: 6

INNER DRAINAGE: well to mcd drainage

HORIZON NOTATION	HORIZON DEPTH(CM)	DESCRIPTORS OF HORIZONS
A1	0 - 5	light gray (10YR 7/2 MOIST) sandy loam; humose; stoneless; slightly moist; strongly developed fine granular; very porous; medium macropores; very weak soil strength; very weak peds strength; slightly sticky; slightly plastic; common fine woody roots; non-calcareous; none nodule; none coat; clear smooth boundary; pH 4.5-5.0 very strong acid. 790041
A11	5- 15	very dark brown (10YR 2/2 MOIST) sandy loam; humose; very slightly stony (bouldery) medium stones subrounded andesite stones; slightly moist; strongly developed fine granular; very porous; medium macropores; very weak soil strength; very weak peds strength; slightly sticky; slightly plastic; common fine woody roots; non-calcareous; none nodule; few coat; gradual irregular boundary; pH 5.1-5.5 strong acid. 790042
AB	15 - 40	dark brown (10YR 3/3 MOIST) sandy loam; insufficient organic matter; moderately stony (bouldery) medium stones subrounded andesite stones; slightly moist; moderately developed fine subangular blocky; very porous; medium macropores; very fine fissures; very weak soil strength; very weak peds strength; slightly sticky; slightly plastic; many very fine woody roots; non-calcareous; none nodule; common coat; clear smooth boundary; pH 5.1-5.5 strong acid. 790043
Bw1*	40 - 65	dark yellowish brown (10YR 4/4 MOIST) sandy loam; insufficient organic matter; moderately stony (bouldery) medium stones subrounded andesite stones; slightly moist; moderately developed fine subangular blocky; very porous; medium macropores; very fine fissures; very weak soil strength; very peds strength; slightly sticky; slightly plastic; many very fine woody roots; non-calcareous; none nodule; many coat; clear smooth boundary; pH 5.1-5.5 strong acid. 790044

weak

HORIZON NOTATION	Horizon DEPTH(CM)	DESCRIPTORS OF HORIZONS
Bw2	65 - 90	yellowish brown (10YR 5/6 MOIST) sandy loam; insufficient organic matter; very stony (bouldery) large stones angular andesite stones; slightly moist; moderately developed fine subangular blocky; very porous; medium macropores; very fine fissures; moderately weak soil strength; moderately weak peds strength; slightly sticky; slightly plastic; many very fine woody roots; non-calcareous; none nodule; many coat; gradual smooth boundary; pH 5.6-6.0 medium acid. 790045
Bw	90 -108	strong brown (7.5YR 5/8 MOIST) sandy loam; insufficient organic matter; very stony (bouldery) large stones angular andesite stones; slightly moist; moderately developed fine subangular blocky; very porous; medium macropores; very fine fissures; moderately weak soil strength; moderately weak peds strength; slightly sticky; slightly plastic; many very fine woody roots; non-calcareous; none nodule; many coat; abrupt smooth boundary; pH 6.1-6.5 slight acid. 790046

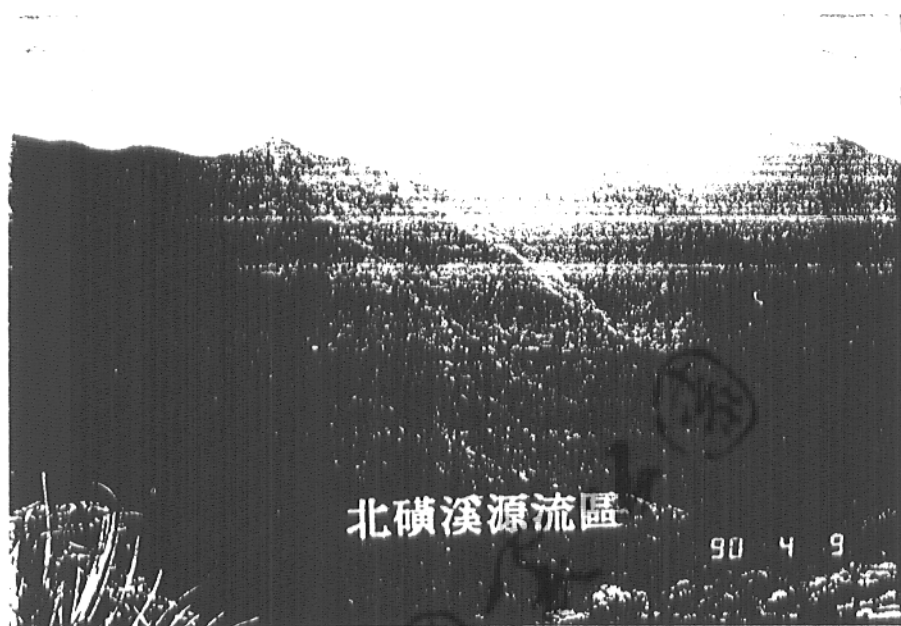
NOTE:

PROFILE NO:79058
 PEDON NO://////
 SERIES:CHI-SHIN-SHAN VOLCANO ASH
 DESCRIBED BY:
 LOCALITY: 七星山小油坑爆裂口上方之步道 (緩平) 旁
 GRID REF.:YANG-MING-SHAN
 GRID REFERENCE (TO 10 METERS)
 EASTING: 3044
 NORTHING:78560
 DATE:04/25/90
 ELEVATION: 900m M.S.L.
 SLOPE:
 SLOPE(*):strongly sloping
 ASPECT (AS A BEARING):W
 FORM:convex
 SOIL EROSION AND DEPOSITION:
 non-erosion
 ROCK OUTCROP:very rocky
 LAND USE:grassland
 GREAT GROUP:BLACK SOIL

SOIL SURFACE:
 FORM:flattened
 CONDITION:slaked
 THICKNESS OF L LAYER(CM): 5
 ROCK:
 LITHOLOGY:
 THPE:andesite
 SUBTYPE:
 STRUCTURE:
 HARDNESS:hard
 COLOUR:
 NO.OF HORIZON DESCRIBED: 3
 INNER DRAINAGE:well to mod drainage

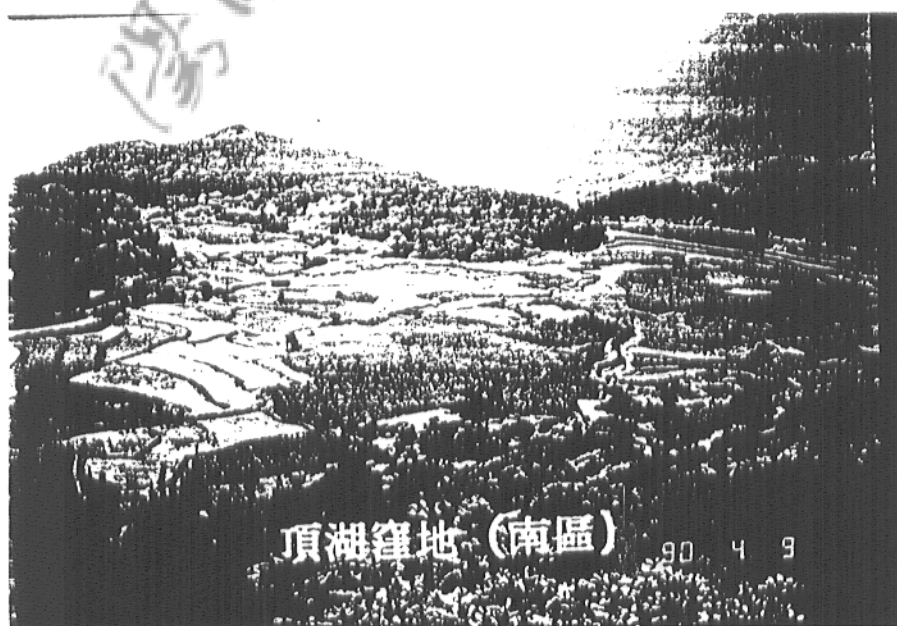
HORIZON NOTATION	HORIZON DEPTH(CM)	DESCRIPTIONS OF HORIZONS
Oe	0 - -5	F or H horizon; 790340
A	-5 - 20	(7.5YR 1/1 MOIST) clay loam; humose; very moist; moderately developed medium subangular blocky; slightly porous; very fine macropores; very fine fissures; moderately weak soil strength; moderately weak peds strength; deformable failure; non-sticky; non-plastic; many fine fibrous roots; non-calcareous; none nodule; abrupt irregular boundary; pH 4.5-5.0 very strong acid. 790341
AC	20 - 27	black (7.5YR 2/1 MOIST) clay loam; insufficient organic matter; extremely stony (bouldery) large stones tabular subangular tuff stones; very moist; moderately developed medium granular; very slightly porous; very fine macropores; very fine fissures; moderately weak soil strength; moderately weak peds strength; deformable failure; non-sticky; non-plastic; many fine fibrous roots; non-calcareous; none nodule; pH 5.1-5.5 strong acid. 790342

NOTE: 茅草、箭竹、樹林之土壤顯然不同，且黑色火山灰土分布變異相當大，以地質圖為標界，恐有出入（地質圖之精確度？）



北磺溪源流區

90 4 9



頂湖窪地 (南區)

90 4 9

謝 辭

本文得以完成，承蒙恩師楊萬全教授的指導與勉勵，鄧天德、王鑫老師的審核與斧正，在此謹致最高之謝忱。

研究調查期間，韋煙灶同學在野外工作與地中逕流資料上，給予很大幫忙；好友周傳榮、張維仁、潘文成、汪明輝，同學張燦穩、陳美玲、楊慧鉅，學弟賴來甲施信白、陳正男……等各方面的協助；黃玉芳學妹、李玉芬同學協助繪圖，另蒙台中農試所協助土壤調查與分析，鹿角坑水廠警衛與頂湖何老太太給與調查上很大方便，在此一併致謝。

另外，陽明山國家公園管理處給予經費支持及野外工作之充分合作，劉慶男處長的關照與保育課楊金臻的幫忙，在此深致謝意。

最後，雖然論文謝辭很像得獎感言之老套，但是仍然感謝所有協助的人，也願以這份成果獻給父母，謝謝家人多年來的關愛與包容。

統一編號：

02214793897

陽明山國家公園