



EJ095197804173

山坡地坡面要素的地形學計量研究* ——以埔里盆地大坪頂地區為例——

A Geomorphological Quantitative Study on the Slope
Element of Tapingting Area in Puli Basin

黃朝恩
Chao-En Hwang

ABSTRACT

The properties and extent of slope element present in an area have many effects on environmental factors. Thus, slope analysis form the basic data necessary for inductive studies of slope evolution. They also provide a basis for studying other problems of regional geomorphology, enabling quantitative evidence of the form of all parts of the land surface to be utilized. Certainly, there are many direct effects of slope characteristics upon the potentialities of an area for use by man. Examples are in respect of agricultural use, soil conservation works, house construction and road construction.

Slopeland comprises approximately 70% of the total area in Taiwan. To utilize and conserve this part of the island is a national policy recently. Yet if complete slope data is lack, such an utilization will arouse many bad consequences, such as soil erosion, reservoir sedimentation and environmental degradation. This paper chooses a typical slopeland in Central Taiwan as an example, and studies its slope forms and processes in a quantitative approach,

* This article is a part of the author's M. A. thesis (1973).

based on morphometry and field survey. Numerical analysis on the interrelationship between slope characteristics and others as well as land use is also examined. Several empirical formulae and correlation coefficients are obtained, and the region is classified into three units (tableland surface, valley slope surface and channel surface) which are then compared according to their geomorphic characteristics. Slope profiles are also analyzed in order to clarify the processes involved. In this aspect, the study suggests a way to analyze and understand the slope element of a piece of marginal land or utilized land.

壹、緒論

一、坡面的研究史

坡面研究的古典文獻並不多見，巴芬（Buffon）可能是最早提出坡面理論的學者，他在 1785 年說明了坡面隨時間而低夷的現象，並解釋侵蝕速度如何與坡度成正比。1866 年，費雪（Fisher）演繹出一種數學模式，對垂直崖面的平行後退加以闡述。可見坡面後退方式的探討，早在一世紀前已經開始。吉伯特（Gilbert, 1887）是另一個積極研究坡面問題的前驅，他的分析遠較前人為詳細。他將河流搬運的法則，應用到所有的均夷坡面上，他憑着敏銳的觀察力，察覺出坡面最後可達到動力均衡狀態，激起後人對開放系統理論的探討。吉伯特的理論，影響到二十世紀初期的地形學者；如戴維斯（Davis），小彭克（W. Penck），羅遜（Lawson）等人，就是繼續其理論系統而對坡面研究得最為深入的幾個學者。

這個時期，坡面的研究主要以坡面演變為焦點，但衆說紛紜，莫衷一是，此實由於坡面演變的問題非常複雜，以致引起許多與造坡營力及坡面演變有關的討論。例如戴維斯（1909）的坡面低夷（slope declining）理論就與小彭克（1924）的平行後退（parallel retreat）理論針鋒相對，成為地形學最引人注目的論戰之一，至今迄未完全解決。羅遜（1932）則提出折衷之說，認為坡面先以平行後退發育一段時期，然後再以低夷發展下去。自此之後，學者分別以不同觀點研討同一問題，有支持戴氏者，如鮑力（Baulig, 1940），何頓（Horton, 1945）等；有支持彭氏論點者

，如布賴恩（Bryan, 1940），金恩（King, 1953）等；亦有支持羅氏者，如伍德（Wood, 1942）。此外，尚有其他學者如舒姆（Schumm, 1956），杜力卡（Tricart, 1957），則說明坡面演變並無一定法則可循，端視造坡營力之性質而定。

各家所言雖無定論，但在積極的學術探討中，却引出了衆多的新方法、新技巧，以期藉此獲致更完整之立論，地形學因而從以往的定性歸納研究法，逐漸為精準的計量研究法所替代。小彭克在這方面貢獻尤大；在「地形分析」一書中，他以微積分處理這論題上的細節問題，深具啟發性，可惜他英年早逝，未能將理論印證於實際情形。

小彭克以後，坡面的計量研究上陸續出現許多後起之秀，如伍德、貝克（Bakker, 1956）、史瑞拉（Strahler, 1956）、舒姆、塞狄格（Scheidegger, 1961）等學者，他們分別創出新的理論模式，試圖解決坡面理論上的疑點。

近十多年來，由於應用地形學的興起，而土地利用、區域規劃、綜合開發、災害研究、土地評價等學科又倍受重視，坡面的研究更是日益普遍，吸引住無數地形學者的興趣。國際地理學會（I.G.U.）早在1952年就特別召開坡面演變的研討會議，第一份報告書並且列出千餘項適切而亟待研究的細目，以後每隔四年修訂一次，可見學界對坡面研究之重視。及後，史瑞拉（1956）、楊格（Young, 1961）和沙維覺（Savigear, 1967）創始了許多計測分析坡面的方法後，研究坡面的學者無形中又多了許多重要的工具。另外，德國的地形學期刊（*Zeitschrift für Geomorphologie*）專刊一及專刊五亦有多篇重要文獻。英國也在此時推出相同性質的論文集，發表於*Geographical Journal* 第130期（1964）。坡面研究的論文一如雨後春筍，成為新地形學中一大研究主流。在對象方面，學者不獨注意前人曾論及之坡面發育問題，而且有慢慢傾向於形態分析，以之作為解釋發育現象的趨勢。尤堪注意者，1972年於蒙特利爾召開之國際地理大會（I.G.C.），曾收集各國論文共一千一百餘萬，編輯成「第二十二屆國際地理大會論文集」兩大冊，並推阿奈德的「造坡營力和坡形的理論研究」為首篇；在69篇地形論文中，有關坡面研究者佔四分之一以上。

晚近由於電腦發達，利用電腦處理坡面資料，推算各種有關坡面的模式者愈來愈多，在英國有昂萊（Ongley, 1970），唐澈、金恩（Doornkamp and King, 1971）和楊格（1971），在美國則有阿奈德（Ahnert, 1971）。

反觀我國，探討坡面分析方法的文章，為數不多，專門研究坡面形態與發育的論文，更為少見，還幸各地的坡面計測在師大石再添（1970, 1971, 1972a, 1972b, ），賀忠儒（1972）等教授的領導下，正方興未艾，對爾後坡面的深入探討，提供了非常寶貴的基本資料。

綜上所述，坡面的研究歷經三個時期，即吉伯特等人的濫觴期，戴維斯、小彭克

等學者的爭論期，以及史瑞拉、舒姆和阿奈德等人的求證期。最近由於坡面資料的蒐集日趨完善，不但成熟期指日可待，從而更可由理論的研究中脫穎而出，發揮其應用價值。

二、大坪頂地區的研究史

大坪頂地區雖然地形奇特，但專門研究此地地形的論文，並不多見，探討坡面性質者，更未曾有。早期研究本區各台地的成因及對比性的學者，有早坂一郎（1930）、市川毅（1937）及富田芳郎（1951）等人，惟論點主要着重在整個埔里盆地群之成因及其地形發達史上，故本區僅為論題中涉及的一小部份而已。縱然如此，他們的見解，對整個埔里盆地的地形發達史，却提供了許多新知見。

台灣光復後，林朝棨教授（1957，台灣地形）綜合過去文獻，將全區地形加以概括扼要的記載說明。最近石再添教授等（1973）和林朝棨教授等（1973）在國科會濁大計劃中發表的報告書中，對地形地質的介紹更見詳細，不過，探討時仍僅將研究區作為整個埔里盆地的一部分，一併闡述。因此，將本區視為一個獨立地形單位而進行研究，有待更進一步的開拓。

三、本研究的意義與目的

本省的平地非常有限，其土地利用又早達飽和狀態，實無多餘土地可供繼續開發。在人口急劇增加的壓力下，邊際土地的充分利用勢在必行，山坡地的開發及坡地耕作技術的改良，更是刻不容緩；因此「農業上山」乃政府目前農業發展主要政策之一。但是只談開發，而不務求徹底明瞭山坡地之特質，又沒有配合坡地的耕作技術，開發將流於事倍功半，甚至得不償失。例如數年前大甲溪沿岸山坡地的積極開墾，當初無疑是使人興奮的事情，豈料由於拓荒者濫伐濫墾，並未正視坡面的特性，以及土壤流失的嚴重性，以致後來土層變薄，地力枯竭，水分保蓄量銳減，山崩地塌，水庫淤塞，進而影響下游平地的安全，正是一種揠苗助長的明證。

本文以典型的山坡地為例，研究其坡面要素的特質，並且探討此等特徵與其他地形特徵之間的相互關係。以此為範例，可繼續對全省邊際土地展開坡面要素之研究，必有助於土地之利用和保育。

至於筆者選擇埔里盆地西北部大坪頂地區作為研究區，主要有三個理由：

(1) 本研究區大部分為切割台地，地形獨特，可分三種地形面，台地面寬闊平坦，谷坡面峭立陡峻，谷床面狹長緩傾，無論就地形特徵或水文特徵而言，三者均截然不同，在坡地空間差異的理論研究上，易獲明顯的對比。

(2) 本研究區大致和流域範圍相吻合，即其人文事象亦富特色，與四鄰地區的景觀迥不相同，在計測上、實察上都較為方便，易收立論完整之效。

(3) 本研究區既然大部分為舊台地切割而成，呈丘陵起伏地形，而具有農業邊際土地的性質，至今坡地之開發尚未達飽和狀態，正是日後農業上要積極開發的典型區域。以之為例，易達本研究前述之目的。

貳、本論

一、研究地區的自然概觀

大坪頂地區行政上大部分仍屬於埔里鎮，然而岡巒起伏，台地遍布，與埔里市街一帶之廣袤坦平，大異其趣，其關係一如大屯火山群之於台北盆地。本研究依據五萬分之一地形圖（圖1）及地形實察，釐定全區界線如下：北連北港溪河谷，西迎觀音山，東達西關刀山、頂猴洞山及三角嶺一脈；計其範圍，南北約七公里，東西六公里，在水系上恰與眉溪支流水尾溪及小埔溪兩流域一致，二者之間另有一小型中間流域（inter-drainage basin）。整個研究區面積合計 36.40 km^2 。

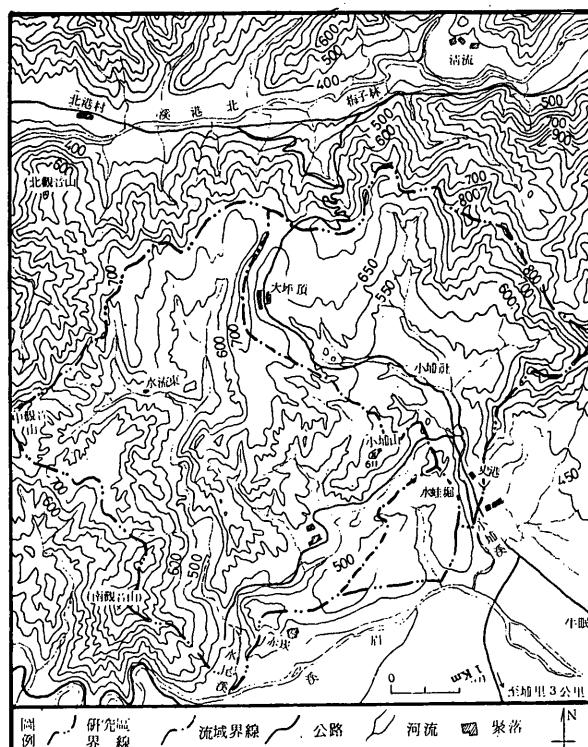


圖1 大坪頂地區等高線圖

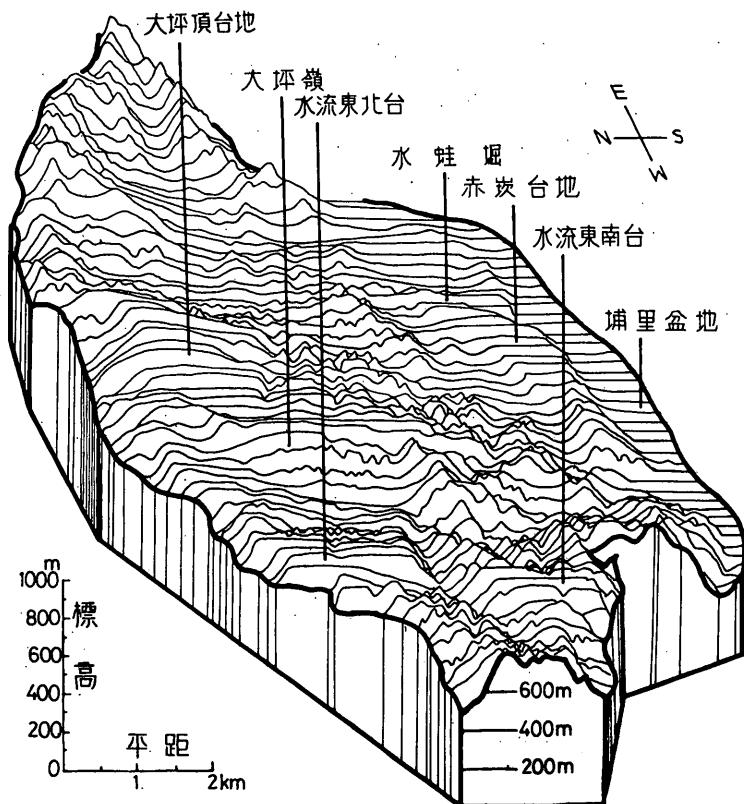


圖 2A 大坪頂地區連續透視剖面圖

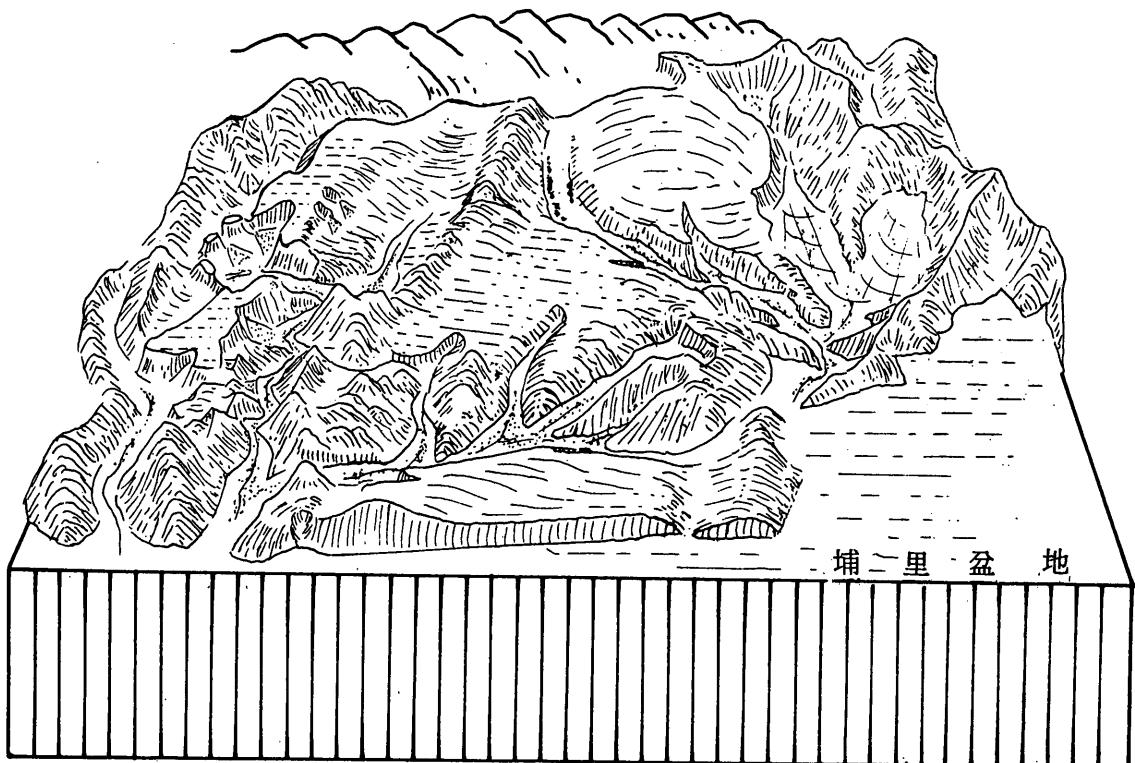


圖 2B 大坪頂地區全景

全區地形本以台地群為主體，依其台地面面積大小，順序有大坪頂台地（ 1.91 km^2 ，若包括西方延長面，則達 5.79 km^2 ），赤崁台地（ 1.55 km^2 ），水蛙堀台地（ 1.00 km^2 ），「水流東」北台地（ 0.98 km^2 ），及「水流東」南台地（ 0.58 km^2 ）。本區河系發達，切割旺盛，本來聯繫的台地群今日已陸續解體，演變成切割台地甚或丘陵狀態。從埔里放眼北望，遍是陂陀起伏，山坡地比比皆是，而台地上之原始面及河谷兩側之谷坡面又相映成趣，河谷平原則為環山所夾峙，普遍狹窄，局限於丘陵中，是本區之地形特徵（參見圖2A、2B）。

富田芳郎（1951）以本區之台地面為埔里盆地的高位盆地面，續分之為上中下三段。大坪頂台地一帶及水流東南、北台地概屬上段，分布最廣，高度在 $650\sim 730\text{ m}$ 之間。大坪頂以南至剖牛坑小埔社之緩起伏面為中段，高度在 $500\sim 650\text{ m}$ 之間，乃上段面的切割面。下段主要包括赤崁、水蛙堀台地及研究區外之愛蘭台地。但據筆者觀察，由大坪頂向南斜下之台地面，其實可直達赤崁台地，中間雖受水尾、小埔兩溪支流切割而分開，但其接峯面却整片相連，有如沖積扇，而且其上紅土厚度以至礫層特性均與愛蘭台地不盡相同，足見赤崁、水蛙堀台地亦當納入中段高位盆地面中，至其標高稍低，應為後來盆地面向中央下拗所致無疑。由此觀之，富田所謂之下段高位盆地面，則只剩下愛蘭台地而已。上述各段除上段為堆積面外，其餘皆為侵蝕面，分別與階土緩起伏面（LH面）及兩階高位河階面（LT面）相稱，在埔里盆地群之投影剖面圖（圖3）中，即能一目了然，甚且可在其他地區找到對比的地形面。各段之關係甚為密切，在研究台灣地形發達史上，更有不可忽視之意義。本區詳細之地形特徵詳述於本章第二節，地形發育史則在第四節論及。

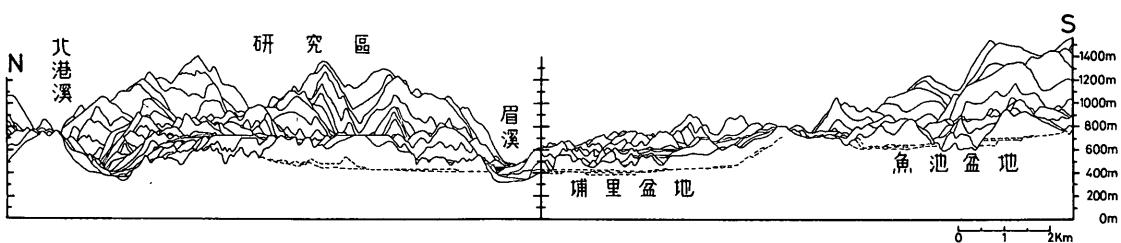
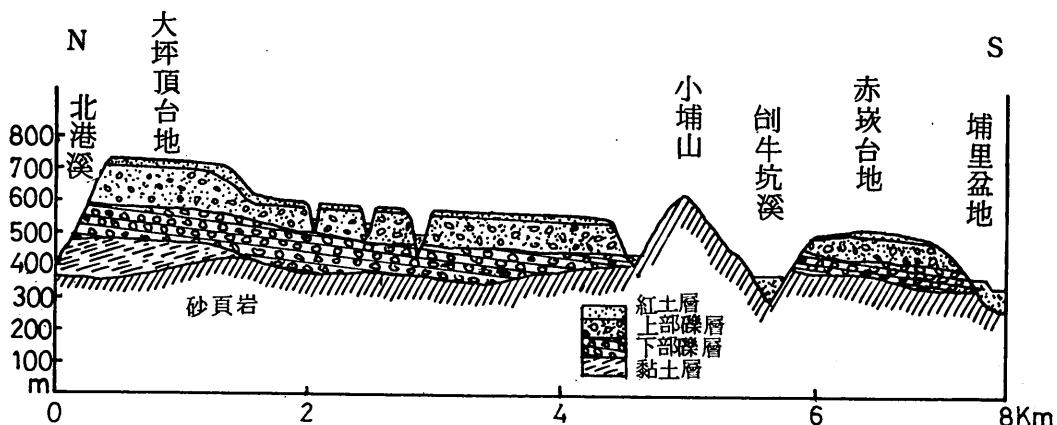


圖3 埔里盆地羣投影剖面圖（東望）

研究區之地層以古第三紀始新世之烏石坑層及白冷層為基層岩盤（圖4），前者



(資料來源：依參考文獻 16 修正)

圖 4 大坪頂地區地質剖面圖

主要以砂頁岩之互層構成，後者則以石英化之灰白色砂岩和礫岩等為主，於水尾溪的支流水流東溪兩岸多所露頭，富田合稱之為埔里層。底岩與通霄層魚池相地層成不整合，在大坪頂台地北方崖面（即北港溪南岸），就可看見此厚約 100 m 之湖成粘土層；粘土層上再覆有厚約 150~200 m 的礫石層，底部為頭嵙山統之火炎山層，上部乃洪積世（更新世）後期之店子湖層，即一般稱為台地礫層者，其特徵為紅土上覆。根據濁大計畫地形組的分析，紅土層厚度在 50 cm 至 300 cm 不等，其質地細緻， M_d （中數）在 $\phi 7$ 至 $\phi 9$ ，亦即 $1/128\text{ mm}$ 至 $1/512\text{ mm}$ 之間，屬於粉砂及粘土，而 pH 值屬酸性（3.9~4.5），影響本區坡面發育及利用頗大。此外，埔里盆地及各河谷中之堆積物當係屬於近期之全新世。在構造上，本區因位於全島中央，自來即受到上穹運動影響，構造變動劇烈，復有中壘期（上更新世）之普遍下曲，地層飽受拗撓，今已無復本來面貌。

本區既位於副熱帶季風區，又深處於群山之中，故氣候上為盆地副熱帶重濕氣候區（王洪文，1967），溫差小，冬不寒冷，夏不酷熱，多雲霧而濕度大，無強風，蒸發量小，為其特點。就降雨要素而言，因台灣位當颱風路徑之要衝，本區雖群山環繞，然亦不能完全免於其侵襲，颱風每每帶來豪雨，再加上對流性熱雷雨，致本區年雨量均在 2100 mm 以上，而且集中於夏季（六七八三個月佔全年降水 50 % 以上），乾濕季分明，降雨強度又大，對坡面發育影響至鉅。

二、研究地區的地形特徵

如上所述，在旺盛的河流切割下，埔里西北部大坪頂地區已呈切割台地地貌，少數地區且達丘陵階段（見本節「地形時期」）。因全區殘餘之平坦面有限，以致不易確定台地群在原始期之確實範圍，惟從地形圖判斷，台地範圍大抵與兩流域界線相吻合，此兩流域即東部的小埔溪流域及西部的水尾溪流域。其中只有大坪頂、水流東諸台地北側崖面及赤崁台地南側崖面不在此範圍內，總面積計 36.40 km^2 ，其中水尾溪流域較大 (20.85 km^2)，小埔溪流域較小 (13.21 km^2)。

在探討坡面特性前，先對其他地形特徵作客觀正確之分析，以期獲致更有效之立論。重要的地形特徵包括高度、相對高度、切割度、地形發育時期、谷密度、水系組成（基於水流等級）等，各項皆可用數值代表，以計量方法處理。一旦標準確立後，只要資料理想，各地形單位便可加以比較，藉以明瞭各地形區之大勢及潛在力量。

I. 高 度

依據二萬五千分之一地形圖，將圖上每一方格平分為四小格，以每一小格 (0.25 km^2) 的中心點為測定點，計測全區之高度數值，共得 146 點，從而作統計分析，繪成圖 5，得知東側分水嶺較高，嶺上諸山可達 900m 以上，如三角嶺 932m，

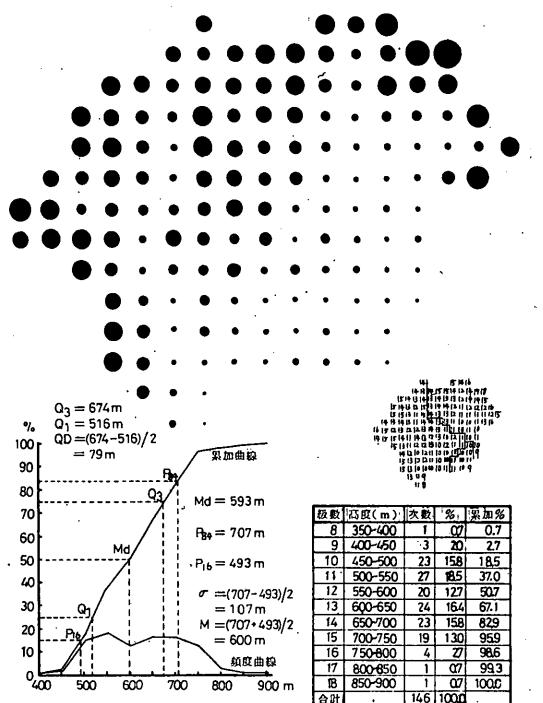


圖 5 大坪頂地區高度統計圖表

頂猴洞山 935 m，西側則以觀音山最高，亦僅 837 m，但西半部之高度大體上都較東半部為高，這證明舊日之沖積扇面乃自西向東傾。全區高度之中數 (Md) 為 59.3 m，平均數 (M) 600 m，標準差數 (σ) 為 107 m，四分差數 (QD) 為 79 m，由此可知全區有 50 % 之面積在 $600 \text{ m} \pm 79 \text{ m} = 521 \text{ m} \sim 679 \text{ m}$ 之間。另從頻度曲線可看出 $450^+ \sim 550 \text{ m}$ 及 $600^+ \sim 700 \text{ m}$ 間之頻率最大。此一現象若由接峯高度頻率統計圖（圖 6）觀之，則更具意義。所謂接峯高度，乃上述各一小格內最高點之高度值，而非中心點之數值。藉此圖可了解原來地形面之高度的分布情形；圖中顯示 $700^+ \sim 750 \text{ m}$ 出現達四十餘次（佔總數 30 % 強）； $650^+ \sim 700 \text{ m}$ 次之，共 27 次； $500^+ \sim 550 \text{ m}$ 又次之，計 23 次，其餘各級皆在 20 次之下。因此可知 $650 \sim 750 \text{ m}$ 間乃一廣大之平坦面，相當於高位盆地面之上段， $500^+ \sim 550 \text{ m}$ 又是另一廣大平坦面，相當於中段。這種情形，只要從埔里、牛眠一帶北望本區，即可歷歷在目（圖 7）。

若就流域而言，則水尾溪流域平均高度為 59.8 m，小埔溪流域為 61.6 m，相差不遠；差異係數 (V) 則前者為 0.167，較為均齊，後者為 0.179，較不均齊。

利用各等高線包圍的面積百分比數值，繪成地表高低面積曲線圖 (hypsographic curve)（圖 8），亦有助於了解一地的高度分布狀況。圖中顯示水尾溪與小埔溪二

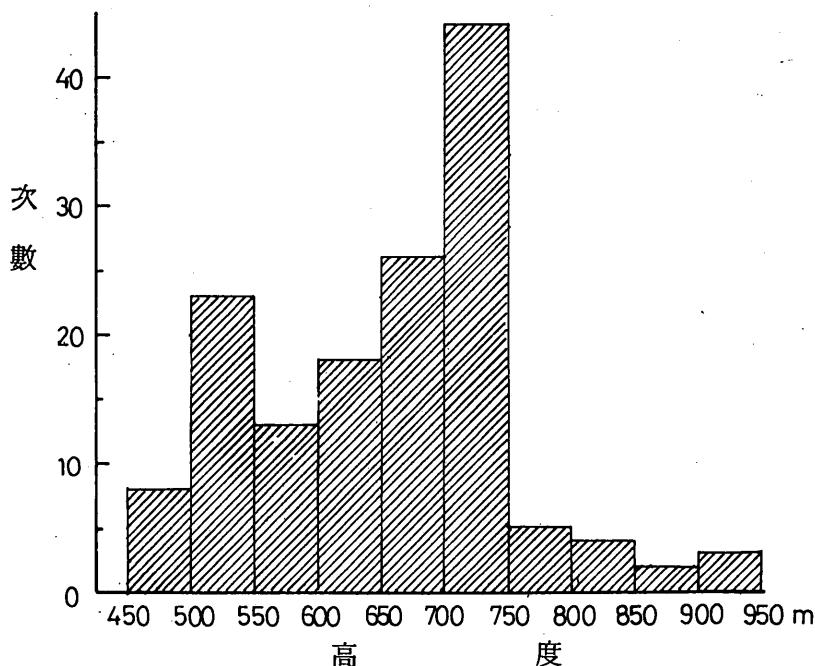


圖 6 大坪頂地區接峯高度統計圖

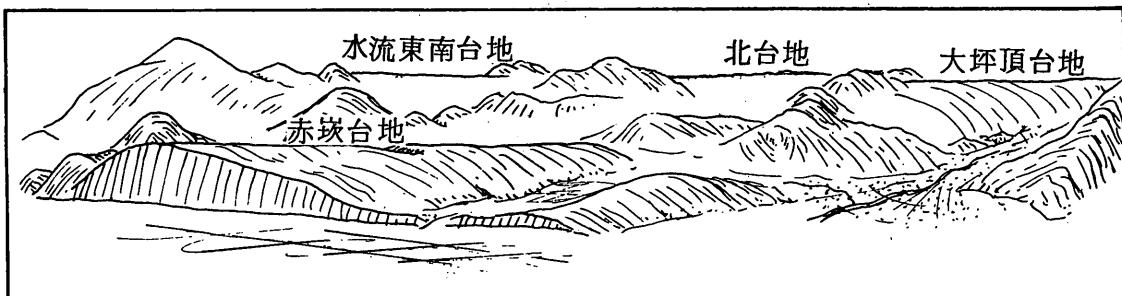
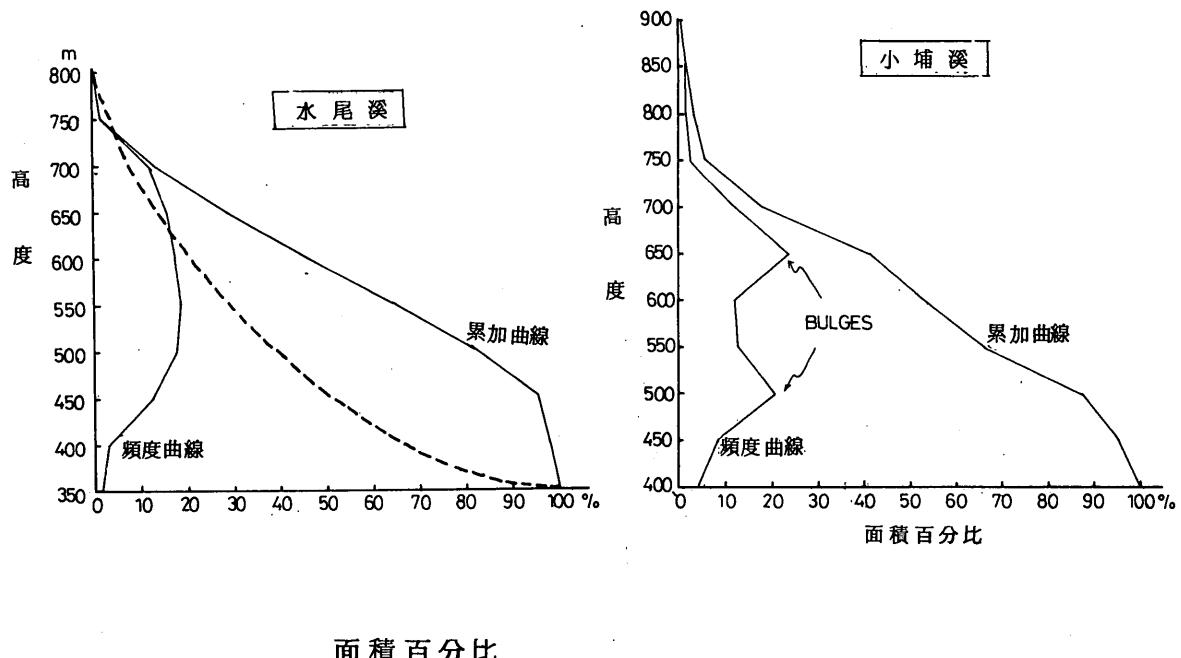


圖 7 由牛眠北望大坪頂地區



面積百分比

圖 8 兩流域高低面積曲線圖

流域在高度分配百分比上有顯著差異。前者 $450 + \sim 750\text{ m}$ 間之曲線幾成直線，凡此說明各級（每 50 公尺一級）所示面積百分比大致一樣，而兩個高度間構成一特殊之偏斜面（tilted plane），反而下游短促，平地窄小，主流流入盆地中迅即為眉溪截奪，故 $350 + \sim 450\text{ m}$ 一段曲線呈急斜率狀態，證明此區曾受到回春作用影響，應係一複輪迴流域（polycyclic drainage basin），假如曲線另呈上凹狀，一如同圖中的虛線所示，即為不受回春控制的理想河蝕景觀。再看小埔溪，曲線比較接近凹形，

但仍有若干回春現象，此外，500 m 及 650 m 出現角狀突出（bulges），當為廣大平坦面所屬高度的證據。

II. 相對高度

相對高度亦稱起伏量，意指單位面積內最高與最低兩點高度之較差。一地相對高度之數值，為探討某地「位能」之主要指標，可扼要說明基準面以上的高度潛力，對該地之地形、水文的演變及侵蝕作用深具意義，故為地面最易察覺的特徵之一。

圖 9 為研究區每 0.25 km^2 (1/25000 地形圖上每方格一半以上者方取之，否則捨之，計得 146 小格， 36 km^2 餘) 之相對高度狀況及統計分析。圖中可看出，全區相對高度之中數為 113.5 m，平均數 125.8 m，標準差為 62.3 m，四分差數為 42 m，則本區相對高度每 0.25 km^2 為 125.8 m，全域有 50 % 之相對高度在 84~168 m 之間。

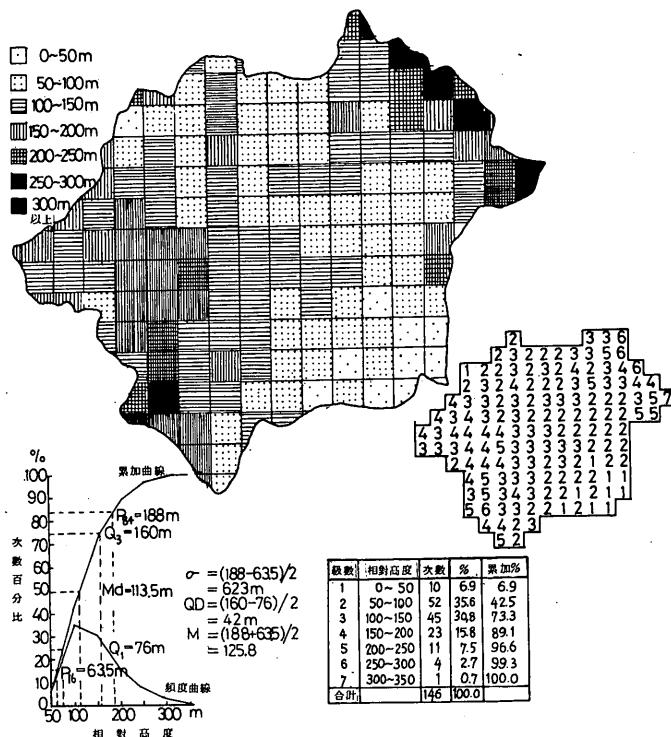


圖 9 大坪頂地區相對高度統計圖

再由統計表及頻度曲線觀之，相對高度 $50 \sim 100 \text{ m}$ 所佔的比例最大，達三分之一強， $100 \sim 150 \text{ m}$ 其次，亦達 30 % 以上，其餘各級，除 $150 \sim 200 \text{ m}$ 一級仍佔 15.8 % 外，皆在 7.5 % 以下，可見本區屬於低丘陵區，切割現象雖不輕微，亦非劇烈。在空間分布上，西半部之相對高度較東半部為大，惟東側邊緣分水嶺一帶數值亦大，最饒趣味者，乃北緣一帶雖屬流域分水區，相對高度却不大，許多地方均在

100 m 以下，蓋分水部分尚殘餘有平坦台地面所致。

另一項說明整體起伏概念的指標為起伏率 (relief ratio)。起伏率即流域總起伏 (最高點及最低點之差) 與主流大致平行的流域徑長二者間的比率，相當於簡化流域面與平面所成夾角之正切，最易指出某地之陡緩大勢，為說明侵蝕營力如何影響該區坡度強度之重要根據。其數值愈大，證明該流域之整體起伏愈大，研究區內兩大流域和區外九個流域之起伏率及其他流域特徵之計測值，一如表 1 所示 (部分資料依據張瑞津，1973)。

表 1 研究區兩大流域之地形及水系特徵

	面積 (km ²)	主流長 (km)	起伏率	谷密度 (km/km ²)	河床比降 (%)	平均坡度	形狀係數
水尾溪	20.85	8.35	0.064	3.647	3.4	16°20'	0.299
小埔溪	13.21	6.20	0.089	2.862	4.4	13°25'	0.344
塔克金溪	25.08	8.45	0.240	1.411	16.8	34°25'	0.351
北港溪	25.43	8.70	0.192	1.074	12.4	32°00'	0.336
老西溪	29.74	15.06	0.216	1.275	13.1	32°30'	0.131
礦溪	22.86	6.62	0.180	2.551	10.3	25°10'	0.552
樟坪溪	28.67	10.00	0.114	2.412	5.4	23°30'	0.287
雙溪	23.75	8.20	0.150	2.751	9.0	21°40'	0.353
良鑾溪	22.90	7.02	0.128	2.552	1.9	13°45'	0.465
通霄溪	22.25	11.20	0.043	3.897	2.9	13°30'	0.177
菜堂溪	20.11	18.20	0.048	4.868	0.8	15°40'	0.061

就起伏率論，水尾溪為 0.064，小埔溪為 0.089，介於低丘陵及高丘陵之間，故其他特徵亦然。起伏率在地形分析的意義上非常重大，其與河床比降、谷密度、谷坡坡度、河流含沙量和發育時期均成正相關，在迴歸式中顯示出之效果，比其他幾何特性和長寬比、平均起伏及平均坡度等為佳 (參見圖 23)。

III. 切割度

與相對高度有極大關係之地形特徵為切割度，切割度和相對高度成正比，代表原生平坦面受種種營力的侵蝕程度。如果兩地之氣候、地質、植被等條件相同，則切割度為時間的函數，故通常可由切割度推定原地形面形成時代的新舊。

切割度之求法，可先測量一區在地形圖上的等高線全長 (Σ)，再依次測量埋下谷寬 200 m、400 m、600 m、800 m 及 1000 m 以下的谷部而獲致之等高線長 (Σ_1 、 Σ_2 、 Σ_3 、 Σ_4 ……)，再設 S 為全流域面積，則切割度

$$f_1(d) = \frac{\Sigma - \Sigma_1}{S} \quad f_2(d) = \frac{\Sigma - \Sigma_2}{S} \dots \text{等},$$

如此，則水尾溪及小埔溪之切割度可在表 2 中觀出。

若以等高線總長為縱座標，埋谷寬度為橫座標，可繪製更簡化之切割度圖（圖 10）。從表 2 及圖 10 看，水尾溪切割情形較小埔溪為顯著，然台地面之原面積殘餘皆不及原面積一半。不過，大體上全區切割度仍未達劇烈階段，谷間稜線尚稱寬廣，所保持之原面百分比較之竹東、苗栗、斗六諸丘陵略大，而較林口、湖口、八卦等略小。再參考研究區各地切割狀況，即可繪出三種地形面之分布圖（圖 11），其中，切割輕微甚至完全沒有切割的地形原面稱為台地面，其他為谷坡面，現河谷之河床為谷床面。三者以求積儀詳加

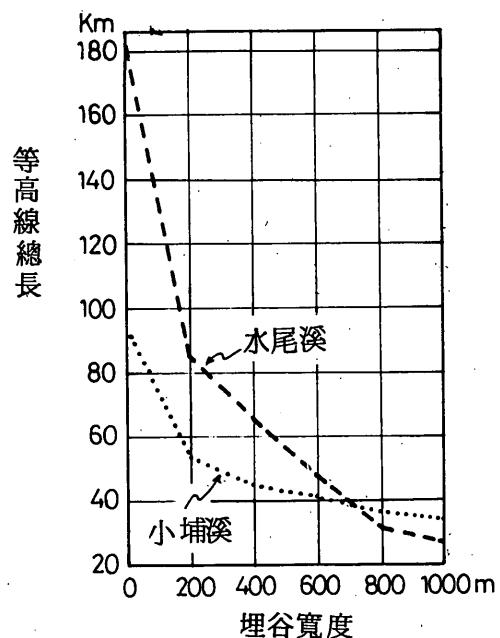


圖 10 兩流域切割度圖

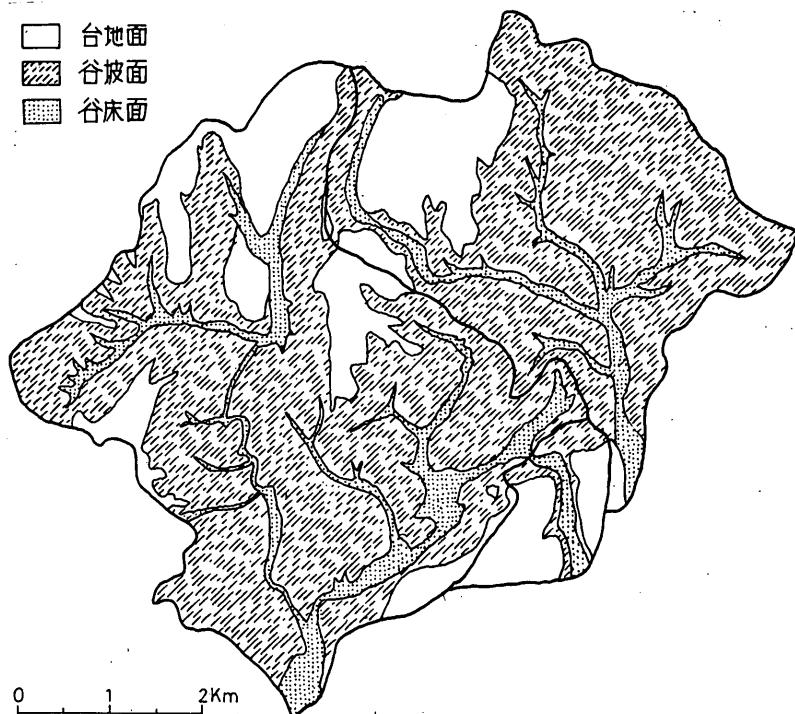


圖 11 大坪頂地區三種地形面分布圖

表2 兩流域的切割度表

	埋 谷 寬 度 (m)	切 割 度	
		水 尾 溪	小 埔 溪
f_1	200	4.609	3.015
f_2	400	5.597	3.718
f_3	600	6.460	3.999
f_4	800	7.150	4.344
f_5	1000	7.372	4.488

計測後，得知水尾溪之不連續台地面總面積有 4.22 km^2 ，相當於全流域之 20.2 %；谷床面面積 2.72 km^2 (13.0 %)，谷坡面面積 13.92 km^2 (66.8 %)。至於小埔溪台地面為 2.30 km^2 ，谷床面 2.34 km^2 ，谷坡面 8.57 km^2 成 17.4 %、17.7 %、64.9 % 之比例，與林口台地之 16.3 % : 12.0 % : 71.7 % 均相去不遠。但林口台地之計測值包括四周之台地崖，而為了遷就流域範圍，本研究區北、西、南三側之台地崖均未計算在內，故台地面之比例偏高。則若林口台地仍屬幼年期（富田，1951），本研究區已踏入壯年期矣！

IV 地形時期

戴維斯創立地形輪廻一說後，許多學者紛紛試圖定出數量上的標準，以期能觀察某區的地形時期。一般多以該區移走物質數量為指標加以計算，史瑞拉的百分率面積高度曲線 (percentage hypsometric curve)，即根據此指標而獲致的一種客觀方法，水尾溪與小埔溪兩流域亦可憑此法考量其地形時期（圖 12）。圖中水尾溪的地形時期百分率為 53.0 %，小埔溪為 60.2 %，均呈凹凸形，表示受侵蝕的面積頗廣，概屬於壯年期地形及丘陵區地貌，與切割一節中所得之結論一致。

V. 谷 密 度

隨着地形時期之演變，河流的侵蝕程度亦有不同，換言之，河谷的密度亦隨之而異。故谷密度為侵蝕地景中線態地形要素之一項重要指標，代表水道之間隔距離。控制局部谷密度之因素甚多；通常谷密度低者，與岩性抗蝕力強、表土層滲透率大、植被密度大、及起伏小等現象有關，密度高者則與抗蝕力弱、滲透率小、植被密度小及起伏大等有關。該特徵若配合百分率面積高度曲線分析和其他計量方法觀之，則更臻理想。谷密度之表示，一般以河流總長除以流域總面積求得。本研究區流域之谷密度（水系）已在表 1 列出，水尾溪為 3.647 km/km^2 ，小埔溪為 2.862 km/km^2 ，均相當大。惟流域中各處並不一致，可從圖 13 谷密度圖中觀出，上游各台地面切割不嚴重，故谷密度小，愈往下游，水流愈集中，且谷坡面坡度大，塊體崩壞劇烈，

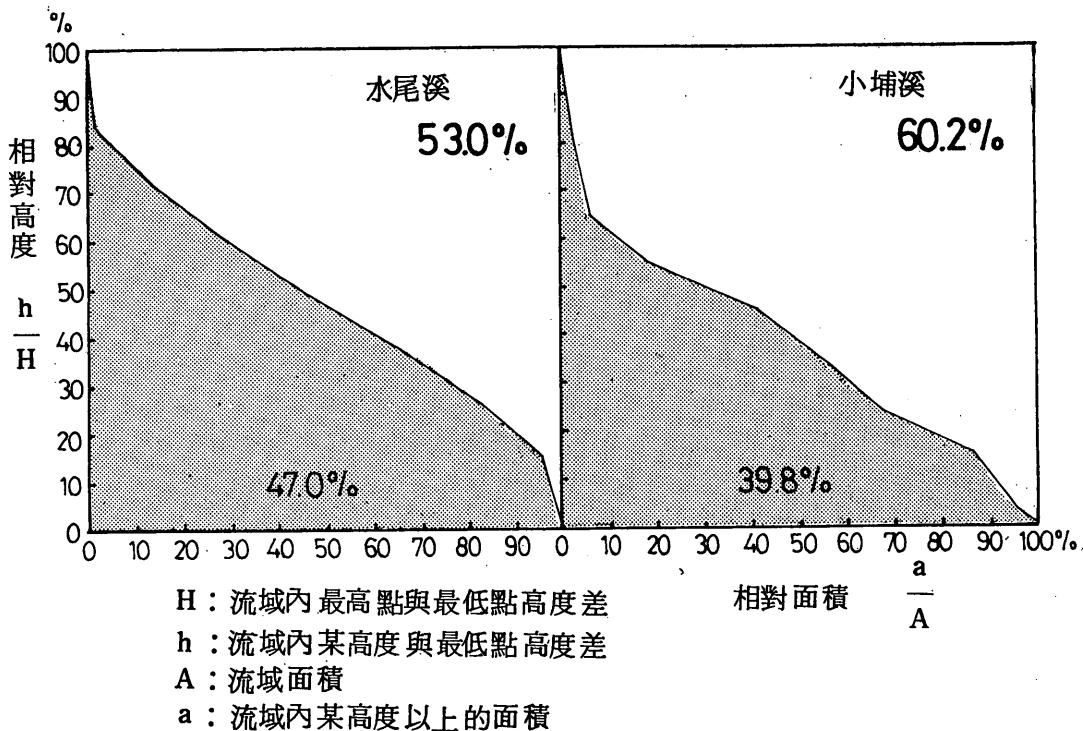


圖 12 兩流域百分率面積高度曲線圖

水道頻頻向源發育，故谷密度普遍甚大，尤以水流東南、北台之間及水尾溪下游一段為然，此帶山崩特多，與河谷稠密不無關係，由此推知，谷密度與山崩頻度密切相關。和谷密度類似的另一個地形切割指數為肢節率 (texture ratio)，先在圖上找出凹凸最多的一條等高線，然後計算其凹凸數目再除以流域周長即可得出，水尾溪之肢節率為 3.941，小埔溪為 2.953，屬中度肢節 (medium texture)，可與谷密度相對照。

VI. 水系組成

本區河流主要有二，一為水尾溪，乃水長流溪與剖牛坑溪相匯而成，一為小埔溪，其兩大支流為大坪頂溪及小埔社溪（圖 1 和圖 16）。水尾溪由於切割度稍大，支流也較多，以致谷密度（3.647）幾近於惡地地區者（如菜寮溪 4.24 km/km^2 ，菜堂溪 4.868 km/km^2 ）。為徹底瞭解水系組成，筆者以計量方法將水系（延長至等高線成 V 字形處之河流系統）分級，然後計測各級河段之長度、數目以至比降，並製成圖 14、15、16。

從各圖表觀之，本區水尾溪流域為五級水流，小埔溪為四級水流（圖 14）。兩者之水流數目與水流等級均呈幾何級數關係，即在半對數圖中（圖 15）成 $\log y = 2.61 - 0.55 x$ （水尾溪）及 $\log y = 2.19 - 0.55 x$ （小埔溪）直線關係，水流數

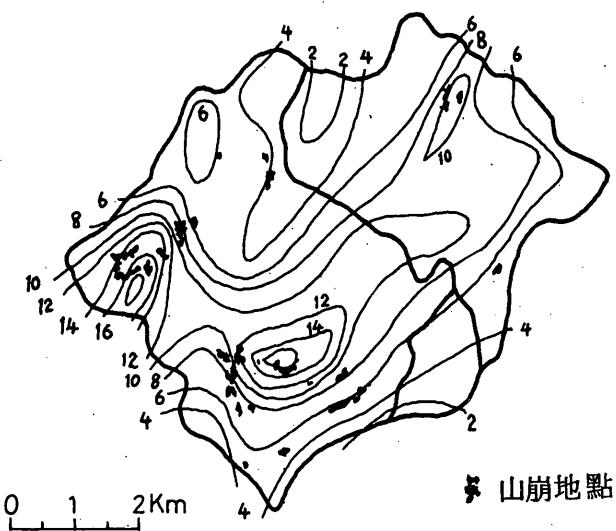


圖 13 大坪頂地區谷密度圖

- 一級水流
- 二級水流
- - - 三級水流
- · - 四級水流
- 五級水流

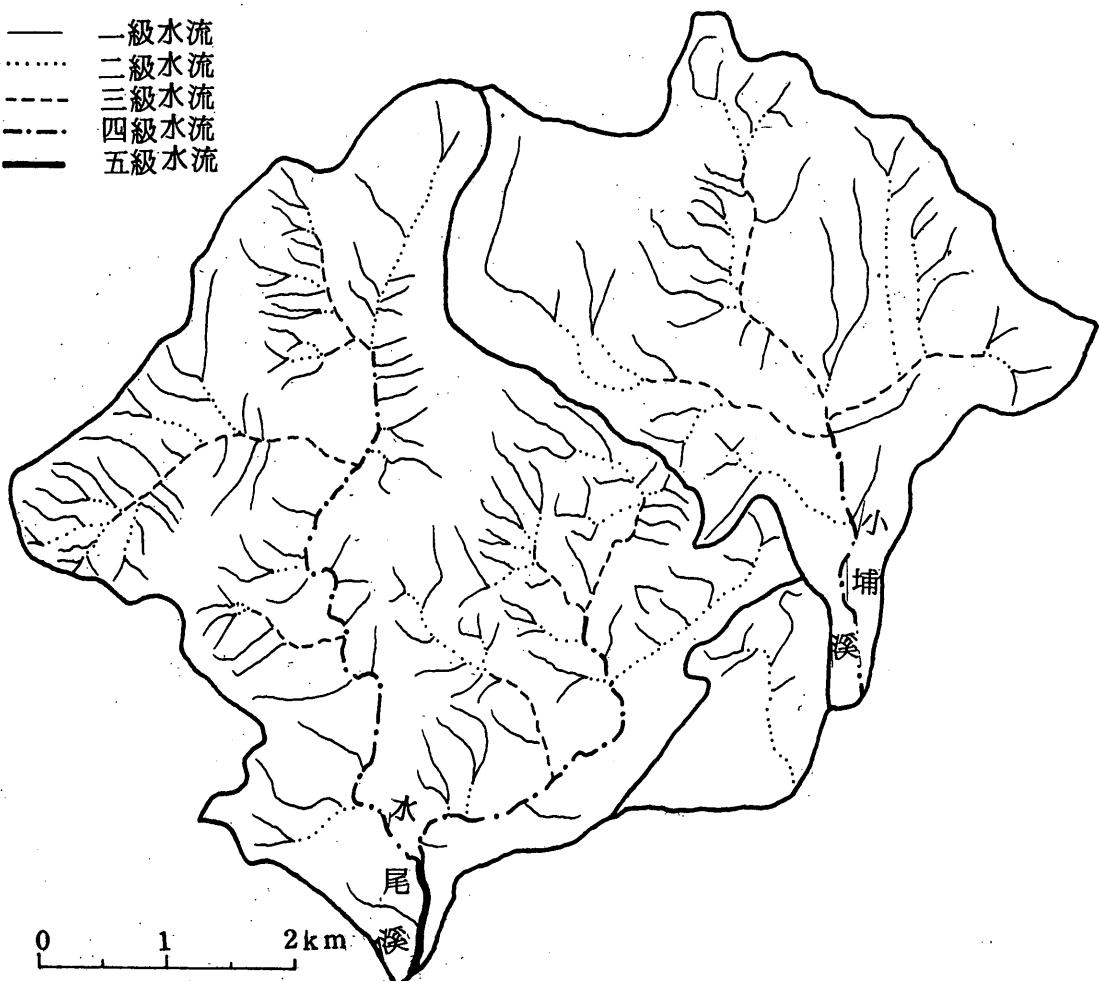


圖 14 大坪頂地區水流等級圖

自隨水流等級的降低而增加，完全符合何頓的第一定律。反觀水流累加平均長度却與水流等級呈正幾何級數關係（圖 16），由最小平方法求出之直線方程式分別為 $\log y = -0.81 + 0.35 x$ （水尾溪）及 $\log y = -0.66 + 0.36 x$ （小埔溪），亦符合何頓第二定律。水尾溪分岐率 (R_b) 的平均數為 3.58，小埔溪為 3.55，雖然偏低，仍然為良好的水系組成之特色，其偏低現象與紅土不透水特性是否有關，有待進一步研究。至於谷長比 (β) 也是重要的水文指標。如表 6 所示，兩流域之谷長比平均皆為 2.26，只是水尾溪較不規則，大概因為底岩多處露頭，峽谷遍布之故。

三、研究地區的坡面特徵

坡是構成陸地表面形態的基本單位，所以坡面與地形有至為密切的關係，兩者間一如房舍與聚落，

或者風與氣候之間的關係。野外考察，在地形方面所能看到的其實主要都是坡面組合。學者計測地形時，幾乎都會首先考慮到坡面的特性。坡面必備的三個條件乃傾斜、方向及範圍，而三者均可計測，以數值代表，故研究坡面時亦以這數項特性的計測值作基礎。三者中，以傾斜（坡度）最為重要，亦為本研究重點所在。所謂傾斜，一般的表示方法有三，即坡面與水平面的夾角，水平距離對垂直距離之比率（亦即上述來

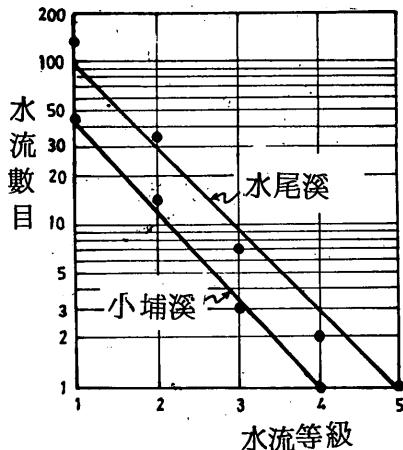


圖 15 水流等級與水流數目關係圖

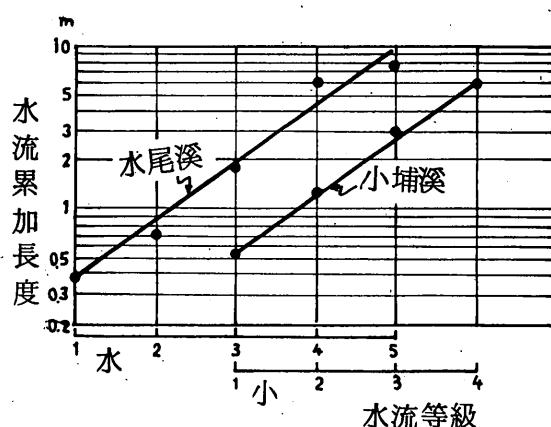


圖 16 水流等級與水流長度關係圖

角的正切)或百分法(夾角乘以100%)。在所有的地面特徵中，坡度計測所得資料，應用價值最廣，雖高度的大小與氣候關係密切，相對高度對地形水文的演變亦深具意義，可是重要性均不及坡度。坡度的大小，限制人類對地表利用的方式與程度，故坡度之計測及統計，常是經濟開發的有效依據，以致實學上，通稱平地除外的土地為坡地。使用坡地時，首先就需要配合各種地形條件加以分類，始能供土地利用上之種種規劃、以及科學理論上之參考用。

在地形理論，特別是河蝕系統的研究上，坡面的地位尤覺重要。如衆所知，河蝕系統之發育，在許多方面均與生物之成長相似，有其自然法則可循。若將此河流系統當作一個位能面(potential energy surface)，則地勢高凸處乃位能高的地方，低凹處乃位能低的地方，其理甚明。一切內營力(造山營力為主)趨向於增加此地之位能，均夷力量則在於減低其位能，而流水能又為均夷力量中最顯明者，故河流系統之發育成長隨時間而不斷演變，其結果所具備之位能亦隨而較原來者為小，以期獲致安定，最後歸於零，不過與此同時，熵(即亂度的單位)却愈來愈大，因其變化之可能性愈來愈複雜，不可捉摸，故河流系統無疑為一個開放系統，而開放系統中之每一要素(一如生物中之每一器官)，將會有序地循著若干基本成長法則變化。地面坡度既為河流系統中一項重要的要素(物質由高位能區流至低位能區必須借助坡面)，則其存在自不能脫離開放系統及生物器官成長定律之規範。由是觀之，坡面無疑與河流等級(不同等級有不同發育時期)、河流流量、河床負荷等要素有其常變值及相互關係。

I. 坡面的計測

收集坡面資料最直接最有效的方法，固然以實地測量抽樣地點(愈多愈好)之坡度及斜坡剖面最為理想，不過此法費時甚多，為了方便起見，較簡單之方法則為在精細之大比例尺圖上作合理之計測。學者如史密斯(Smith, 1935)，賴茲(Raisz, 1937)，史瑞拉和楊格等曾創出多種方法，求出地面坡度、谷坡坡度及河床比降的數值。

地面坡度最常用之計測方法有兩種，一為等高線密度法，一為等高線間距法。二者均以一定方格大小(可用生長曲線求出)為計測標準，在無礙於簡明扼要的限度內，方格愈密，結果必更為精確完美。在台灣，1:25000地圖中，測定點宜以圖上每一方格平分四小格後的中心點為準。所謂密度法，即以測定點為圓心，繪出直徑5 mm(實際長度125 m)的圓圈，然後算出圓圈內所通過的等高線數目，再利用 $\tan \theta = 10 \text{ m} / 125 \text{ m} \cdot N$ (線數)的原理，換算出各測定點的坡度，從而製成坡度統計表。至於間距法，同樣以方格交點為測定點，惟不需畫圓，只要量出來測定點的兩條等高線之間最短距離(如點恰落線上，量左右兩等高線距後除以2)，按 $\tan \theta = H/L$ 之原則

，即可換算坡度，故一般先將換算好之等高線間隔繪成適度的坡度尺，以收事半功倍之效。二法各有利弊，通常後者適用於大比例尺圖之緩坡地計測，但地形複雜時，每不宜用，而且此法以坡度尺歸級時，最易發生個人差異，誤差可達 $5^\circ \sim 10^\circ$ 。密度法雖不能恰好求出坡度的整數，但畫圖分析後，仍可整理出來，故此法採用較廣。

另外，坡面分析上尚有史瑞拉的等正切圖(isotangent map, 如圖18)，楊格之斜坡剖面分析法(slope analysis)，帕列斯之電腦處理法等。這些方法的運用，對坡面形態研究均有裨益。

本研究即以參考上述方法，對坡面形態作客觀性的定量分析。

II. 坡面的概觀

本研究區切割既然頗盛，自不能用間距法計測坡度，因此整體坡度之統計分析，概採密度法。從全區之坡度計測圖(圖17)觀之，本區平均坡度為 $15^\circ 1'$ ，中數為 15° ，標準差為 $11^\circ 24'$ ，四分差為 $7^\circ 3'$ ，換言之，本區有一半面積之坡度介於 $7^\circ 58' \sim 22^\circ 4'$ 之間，依照山地、丘陵、平原劃分標準(張瑞津，1973)，應屬於典型之低丘陵區。

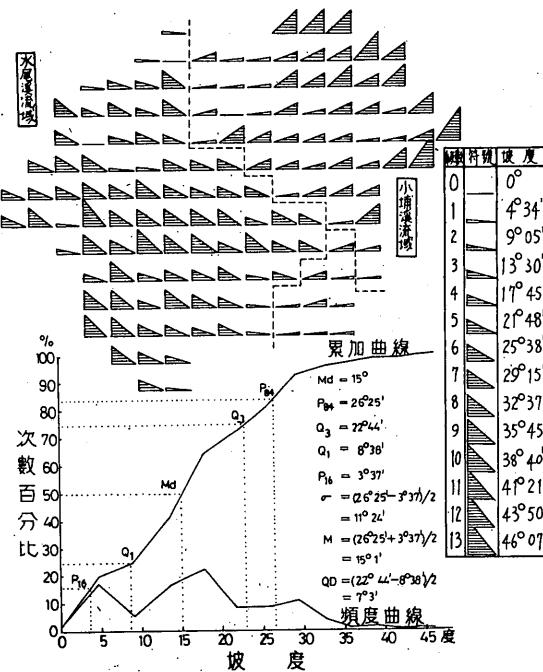


圖 17 大坪頂地區坡度統計圖

再從頻度曲線觀之， 5° 以下土地佔全面積 $1/5$ ， 20° 以下佔 $7/10$ ， 30° 以下佔 93% 。各級中，以 4 級(約 $15^\circ \sim 19^\circ$)的面積分布最廣；佔全區 $1/3$ ，而全區又

以低丘陵地分布最廣，可見低丘陵地之坡度多在此範圍內。其次，1級（約 $2^{\circ} \sim 6^{\circ}$ ）亦佔 $1/4$ 強，故除丘陵坡面外，全區平緩斜面亦多，正符合台地遍佈之現象。3級、7級、5級、6級亦多所出現，佔 $12\% \sim 24\%$ 不等。 40° 以上之地甚少，僅佔 1.5% ，證明本研究區在大地形單位上，雖屬雪山山脈之一部分，然而由於毗鄰埔里陷落盆地群，已經不呈山地特色。用不同方法繪製成之等正切圖亦有同樣效果（圖18），甚至坡度分布更能纖毫畢現。大體上，箭頭指處即為台地面，其正切值均低（0.05或0.15，即5%或15%），山脊及分水嶺處，數值均大，有大至1.05者。

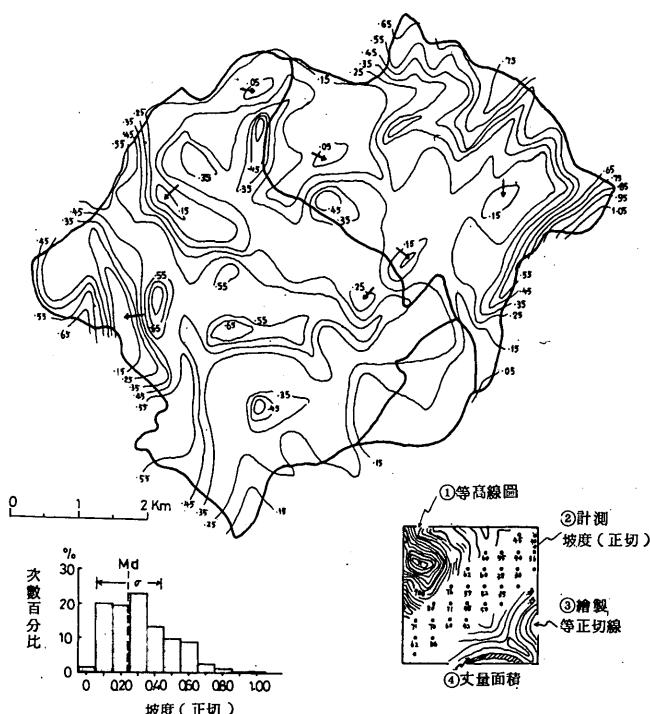


圖 18 大坪頂地區等正切圖

另由坡度統計表（表3）觀之， $0^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 佔 29% 、 $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 佔 40% 、 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 佔 24.1% 、 30° 以上佔 6.9% 。全區高度均在 $350m$ 以上，而坡度在 10° 以下者，却高達 29% ，顯係區內台地發達之故。若依一般分法， 5° 以下為平地， $5^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 為緩坡地， $15^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 為陡坡地， 25° 以上為陡峻坡地，則本區四分法之比例約為 $2:3:3:2$ ；如坡度圓瓣圖（圖19）所示。固然，坡度的陡緩可以供作開發上的基本參考，不過在實際應用時，尚需綜合考慮坡向、坡長、鄰區土地利用、面積、水土流失程度、耕犁作業等因素。

此外，用坡度之標準差除以平均數，可求出無單位之差異係數，藉此可將坡度分布的均齊狀況與其他地形特徵互相比較。本區坡度之差異係數為 75.8% ，其坡度之

表 3 研究區坡度統計表

坡 度	全 區		台 地 面		谷 坡 面		谷 床 面	
	%	累加%	%	累加%	%	累加%	%	累加%
0° ~ 5°	20.4	20.4	67.2	67.2	1.2	1.2	39.5	39.5
5° ~ 10°	8.6	29.0	10.1	77.3	4.1	5.3	24.0	63.5
10° ~ 15°	21.0	50.0	15.1	92.4	21.4	26.7	24.5	88.0
15° ~ 20°	19.0	69.0	7.6	100.0	25.3	52.0	12.0	100.0
20° ~ 25°	11.0	80.0			17.1	69.1		
25° ~ 30°	13.1	93.1			21.2	90.3		
30° ~ 35°	3.8	96.9			5.3	95.6		
35° ~ 40°	1.6	98.5			2.2	97.8		
40° ~ 45°	1.3	99.9			1.9	99.7		
45° ~ 50°	0.2	100.0			0.3	100.0		
合 計	100.0		100.0		100.0		100.0	

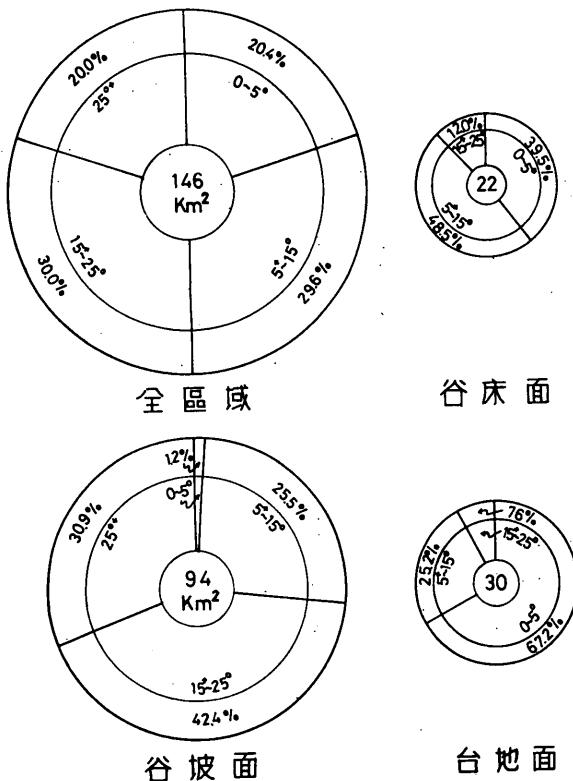


圖 19 各地形面坡度圓瓣圖

不均齊由此可知。反之，本區高度之差異係數僅為 17.8 %，則高度又非常均齊，這種現象顯具切割台地之特性。高度差異係數小，代表「原始」坡面平緩（從接峯面圖知古沖積扇面平均坡度約為 5 %），坡度差異係數大則代表切割旺盛。

整體坡度尚有一大特色，即與相對高度計測值密切相關，以二者各 146 次計測值所求出之相關係數達 0.737，可能誤差僅為 ± 0.025，此高相關正可定量印證薛雷爾

(Surrell, 1841) 創立之傾斜定律 (Law of declivity) : 在構造屬等抗性的地區，愈陡之地面必出現於相對高度愈大之處。

III. 坡面的類型

如前所述，本區坡面有坦平緩和者，如台地面；亦有陡峭峻急者，如谷坡面，兩者截然不同，而谷中現河床又是另一形態；即谷床面。三者的各種地形特徵，均有明顯之空間差異，尤以坡度為然。這三種不同坡面的分布，早已在圖 11 中繪出。

將圖 11 中的界線配合圖 17 後，即可繪製以地形面來區分的坡度計測圖（圖 20）。就三種不同的地形面看，台地面、谷床面、谷坡面三者，坡度之中數（ M_d ）分別為 $3^\circ 15'$ 、 $7^\circ 5'$ 、 $19^\circ 30'$ ，可見單以坡度而言，台地面開發值最大，谷床面其次，谷坡面最低，惟納入微氣候、取水便利與否、交通狀況等自然人文因素後，情形可能稍有改觀。至於各地形面的其他特徵，可從頻度曲線、統計表（表 3）、圓瓣圖（圖 19）以及其他統計圖表觀之，分析結果敘述如下：

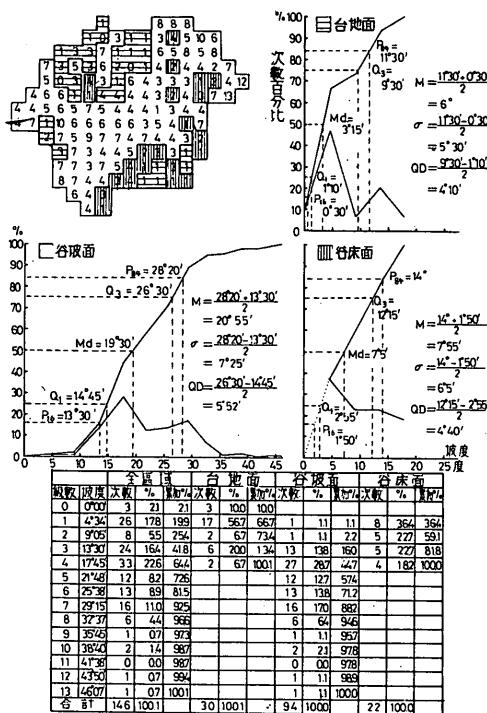


圖 20 大坪頂地區各地形面坡度統計圖

A. 台地面

台地面的坡度平均數（ M ）為 6° ，稍高於中數，四分差數（ QD ）為 $4^\circ 10'$ ；即平均坡度為 6° ，有 50 % 之地坡度在 $6^\circ \pm 4^\circ 10' = 1^\circ 50' \sim 10^\circ 10'$ 之間。各台地面經過精細計測後，得知水蛙堀最平，總傾斜約 $53'$ ，其次為水流東北台（ $1^\circ 1'$ ），

水流東南台(2°)，大坪頂台地($2^\circ 35'$)，赤崁台地($3^\circ 35'$)，北寮及滴水一帶之延長緩斜面坡度最大(10°)。另由統計表看，台地面有 $\frac{2}{3}$ 之地在 5° 以下(平地)，92%之地在 15° 以下(緩坡地)，以坡度言，其土地利用潛力甚大。本地形面中，出現最多之坡度級數為1級，共17次，佔全部次數56.7%，3級其次(6次)，其餘0、2、4級均在3次以下，所佔比例甚小。

B. 谷床面：

谷床面順谷而下，故其坡度相當於河床比降，其平均坡度由圖20觀之，為 $7^\circ 55'$ ，四分差數為 $4^\circ 40'$ ，數值雖不大，然而0級卻付闕如，可見本區河流普遍湍急，缺乏緩灘。就各級所佔次數而言，2、3、4各級大致平分秋色，而以1級所佔比例最大，達36%以上。

通常，河流達到侵蝕和堆積平衡時，其比降、流量、流速等要素所構成的搬運力恰能搬運其總負荷，此時的河床剖面應是一凹形平滑曲線，稱為平衡剖面。換言之，具有平衡剖面的均夷河，其河床比降愈向下游愈平緩化。這現象使人聯想起河床坡度與河流等級密切相關，因此，只要求出各級河流之平均河床比降後，即可加以證實。

利用前節水系組成的資料，即可計測所有一級水流的比降，並求出平均值，以 \bar{S}_1 代表，餘此類推，得 \bar{S}_2 、 \bar{S}_3 ……，憑此繪製成圖，即圖21。圖中各三角形代

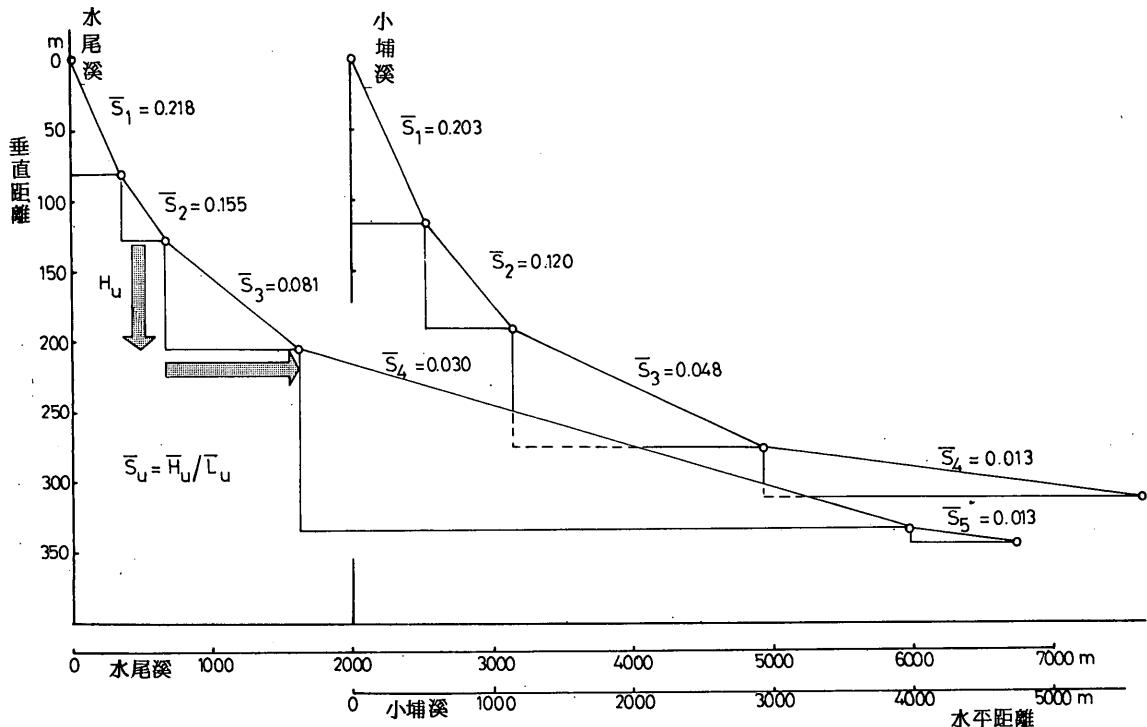


圖 21 各級水流平均河床比降圖

表各級水流的平均比降，縱軸為平均垂直落差 (\bar{H}_u)，橫軸為平均水平距 (\bar{L}_u)，斜邊為平均比降 \bar{S}_u ，每一等級之 S_u 均有差別。各斜邊連成之曲線（無論水尾溪還是小埔溪），整體上果然有其上凹性，與均衡之河床縱剖面情形相似，不單如此，平均比降與水流等級之間更有其密切相關性。在半對數圖中（圖 22）二者呈反幾何級數之直線關係，亦即河床比降隨水流等級之降低而增加，其直線方程式分別為 $\log y = 1.77 - 0.32x$ （水尾溪）和 $\log y = 1.80 - 0.40x$ （小埔溪），正可印證何頓第三定律（Law of stream slope），按此能求出比降比（slope ratio, R_s ），其數值通常小於 1；水尾溪之平均值為 0.51，小埔溪為 0.42，皆可謂為常態的水系。各級水流之比降比則隨等級而異，實由於各處河床岩石抗蝕力不同，遷急點多寡亦異所致。

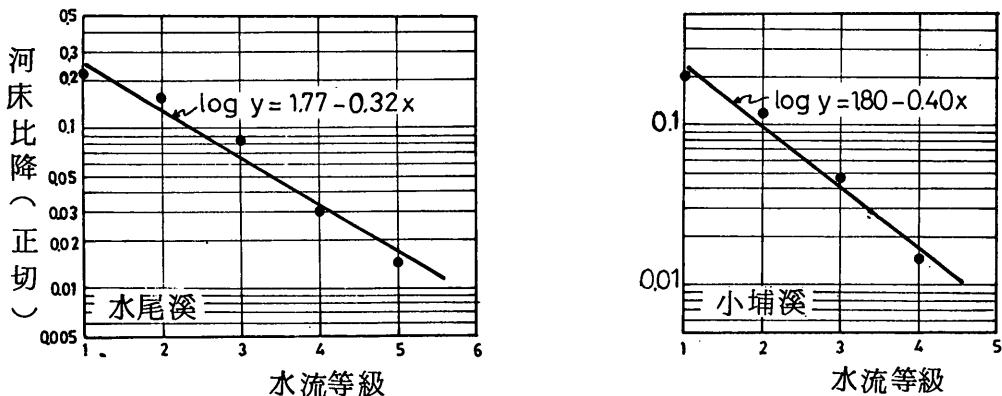


圖 22 水流等級與河床比降關係圖

河床比降既為河蝕系統中一項重要要素，當有其地形意義。舉例說，主流河床比降與代表侵蝕位能大勢的起伏率之間，有密切的關聯，如圖 23 B 所示，在雙對數表中，台灣區十一個有代表性流域之河床比降與起伏率息息相關。在理論上來說，比降比應小於起伏率，蓋河流長度受到曲流作用，當比起伏率中的直線距為長，同時河流不從最高點流下，其落差又較起伏率中的落差為小。同圖中，良鑾溪的起伏率偏高，主因為其形狀奇特（形狀係數高達 0.465）、主流短小。另觀起伏率與全區平均坡度之間的關係圖（圖 23 A），圖中直線仍有其適度關聯，足見一區地形上之幾何形態，如起伏、坡度、坡長、比降、切割度等，均互為相關，地景之所有要素如谷壁、谷床、山稜均隨相關速度變化，以謀求動力均衡（dynamic equilibrium）狀態。

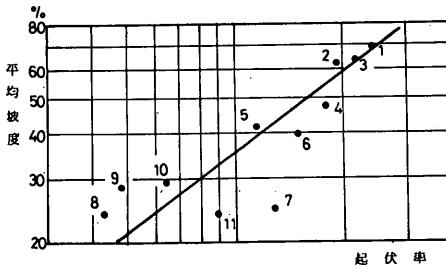


圖 23 A 流域起伏率與平均坡度關係圖

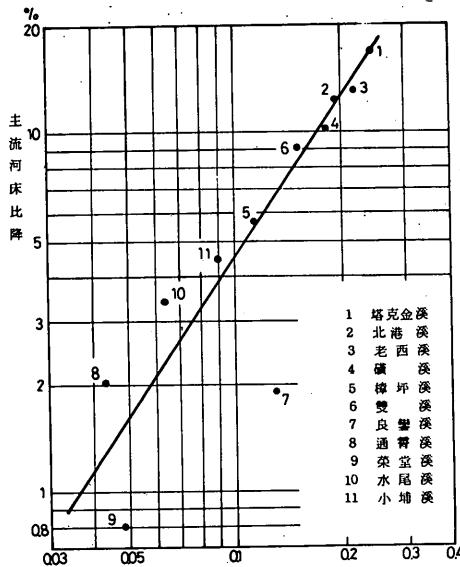


圖 23 B 流域起伏率與河床比降關係圖

C. 谷坡面

上述谷床面之比降仍不足以說明河蝕系統發育之理論，必須輔以河床兩側谷坡之分析，才能使立論更為完善。兩者合起來方可提供營力及負荷之間的關係，最簡單者，莫如下面一種觀念：河谷之加寬，明顯地包含了崩壞物質墜落河床的現象，如果河流只有下切而不包含谷坡面的崩壞侵蝕，則河谷理應比峽谷更為狹窄，但現實並無此種地形，可見谷坡面在地形演變的意義上之舉足輕重，並不亞於谷床面。

顧名思義，谷坡面分布於河谷兩側。全區谷坡面之坡度平均數為 $20^{\circ} 55'$ ，四分差數為 $5^{\circ} 52'$ ，有 50 % 之地在 $15^{\circ} 3' \sim 26^{\circ} 47'$ 間，表示谷坡面乃三種地形面中坡度最大者，不獨如此，谷坡面亦為三者中最複雜者，其坡面發育情形也最值得注意（詳細分析見坡面形態一段及下節）。綜觀之下，谷坡面之坡度以西側分水嶺一帶最大，可達 12、13 級，惟一般級數之分配，則以 4 級 ($17^{\circ} 45'$) 出現次數最多，佔總次數 28.7 %，其比例遠超過其他各級，這表示大部分谷坡面之坡度可以此數為代表。7 級出現亦多，共佔 17 %，3、5、6 各級所佔均在 10 % ~ 14 %，其餘各級比例甚小，幾可略而不計。統計表及圓瓣圖則顯示，谷坡面中，陡坡 ($15^{\circ} \sim 25^{\circ}$) 分布最廣，佔總面積 42.4 %，急陡坡 (25° 以上) 其次，亦佔 31 %，緩坡 ($5^{\circ} \sim 15^{\circ}$) 則合計 25.5 %，這無異說明谷坡面土地利用發展不易，與台地面及谷床面

大相逕庭。

在地形意義上，谷坡面相當於谷壁。筆者曾計測全區谷坡凡 578 處（水尾溪 432 處，小埔溪 146 處），經統計（表 4）製圖（圖 24）後，發現本區谷坡之平均坡度

表 4 谷坡坡度頻率統計表

谷坡坡度	水 尾 溪			小 埔 溪								
	全 流 域			一 級 水 流			全 流 域			一 級 水 流		
	次數	%	累加%	次數	%	累加%	次數	%	累加%	次數	%	累加%
0° ~ 5°	7	1.6	1.6				1	0.7	0.7			
5° ~ 10°	22	5.1	6.7	4	1.5	1.5	10	6.8	7.5	3	3.4	3.4
10° ~ 15°	62	14.4	21.1	18	7.0	8.5	48	32.9	40.4	19	21.6	25.0
15° ~ 20°	91	21.1	42.2	44	17.0	25.5	33	22.6	63.0	23	26.1	51.1
20° ~ 25°	109	25.2	67.4	76	29.3	54.8	36	24.7	87.7	27	30.7	81.8
25° ~ 30°	85	19.7	87.1	65	25.1	79.9	12	8.2	95.9	10	11.4	93.2
30° ~ 35°	49	11.3	98.4	47	18.2	98.1	6	4.1	100.0	6	6.8	100.0
35° ~ 40°	7	1.6	100.0	5	1.9	100.0						
合 計	432	100.0		259	100.0		146	100.0		88	100.0	

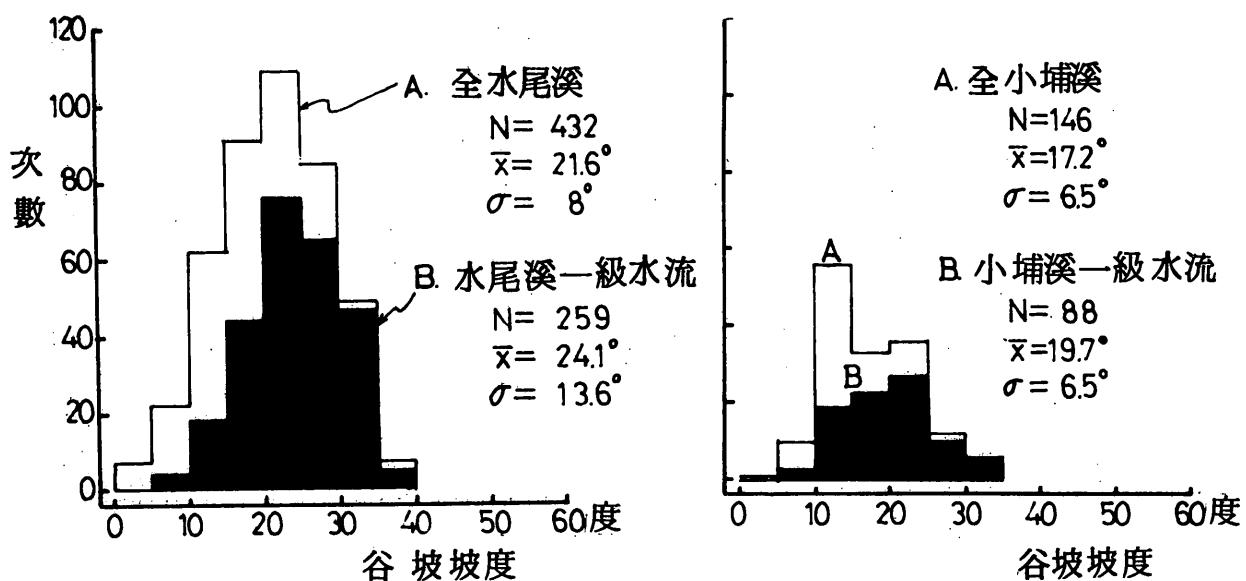


圖 24 谷坡坡度頻率統計圖

稍低於 20°，與圖 22 所得結論相符，水尾溪因峽谷河段較長，硬岩露頭亦多，故平

均谷坡面坡度達 21.6° ，小埔溪紅土礫石層分布廣，故平均為 17.2° ，藉此可了解岩性、土質對坡度之控制力。以出現次數而論，水尾溪之谷坡面坡度最集中在 $20^\circ \sim 25^\circ$ ，佔全部抽樣坡面之 $1/4$ ，其次 $15^\circ \sim 20^\circ$ 及 $25^\circ \sim 30^\circ$ 各佔 $1/5$ 左右，低於 10° 者仍佔 5% ，高於 40° 者則無。小埔溪最陡之抽樣谷坡亦僅 $33^\circ 42'$ ，最集中的級數為 $10^\circ \sim 15^\circ$ ，佔全部次數之 $1/3$ ，其次 $15^\circ \sim 20^\circ$ 及 $20^\circ \sim 25^\circ$ 各佔 $22\% \sim 25\%$ 不等。

若將一級水流之谷坡面坡度加以比較，則意義更大，一級水流皆為河流之最上源，靠近分水嶺者。從表 4 中看出，一級水流之平均谷坡面坡度較全流域者大 3° 左右，正應吉伯特分水嶺定律中「愈靠分水嶺處，山勢愈陡」一說。此外，其出現最頻之級數也較全流域者為高；譬如，小埔溪之一級水流谷壁以 $20^\circ \sim 25^\circ$ 一級最多，佔總數 $1/3$ ，與全流域者相差頗大。不過，一級水流之谷坡面也有在 10° 以下者，此實由於本區分水嶺上台地面殘餘尚多，流經台地面的一級河流，其兩旁谷壁自然不會很陡。

再者，谷坡坡度與河床比降並非互不因應，坡面必須調適其坡度、坡形，以使其所供給的負荷量恰好被河川搬走，同樣地河流的水力半徑亦將調適至能搬運坡面所供給的一切下移物。例如，谷坡坡度愈大，理論上，其崩壞物愈多，換言之，陡峭的谷側常以大速度排溢水流及粗大之崩壞物質，則河床必須調適至一定比降，始能便於此一龐大水流及崩壞物之宣洩，避免河谷之壅塞，而達到動力均衡目的。反之，平緩的谷坡，其崩壞量自少，粒徑亦較細，以致比降小的河床就已綽綽有餘。

故從圖 25 之谷坡坡度與河床比降相關圖觀之，兩者於雙對數表中呈幾何級數之直線關係，正說明了坡面與河流不能分成兩個實體看待，二者既為同一開放系統中的單位，必須不斷抗衡，以達到均衡狀態。

IV. 坡面的形態

坡面的形態，錯綜複雜，惟其幾何組成（楊格稱之為坡面單位 slope unit），則不外只有三種，即凸坡、凹坡、直線坡（包括崖面坡），由三者之不同組合，乃形成種種不同的坡面，其發育皆有必然道理，並非偶然，小彭克早在 1924 年就說明三者實乃內外營力相抗衡下所造成之不同產物。外營力大於內營力時，則由於內營力變小，位能也愈來愈小，河流下切速度同時變緩，遂造成坡面的下向發育（Absteigende Entwicklung），形成凹坡；若侵蝕小於隆起，則河流下切加速，造成上向發育（Aufsteigende Entwicklung），產生凸坡；若二者相等，下切速度保持一定，則造成平衡發育（Gleichförmige Entwicklung），產生直線坡。故理論上，徹底了解坡面形態後，當能推知內外營力之抗衡狀況。野外觀察亦常可發現河流下切速度確能決定坡形，隆起區域內下切力大之河流，谷坡十之八九為凸坡。不過，地殼變動史只是其

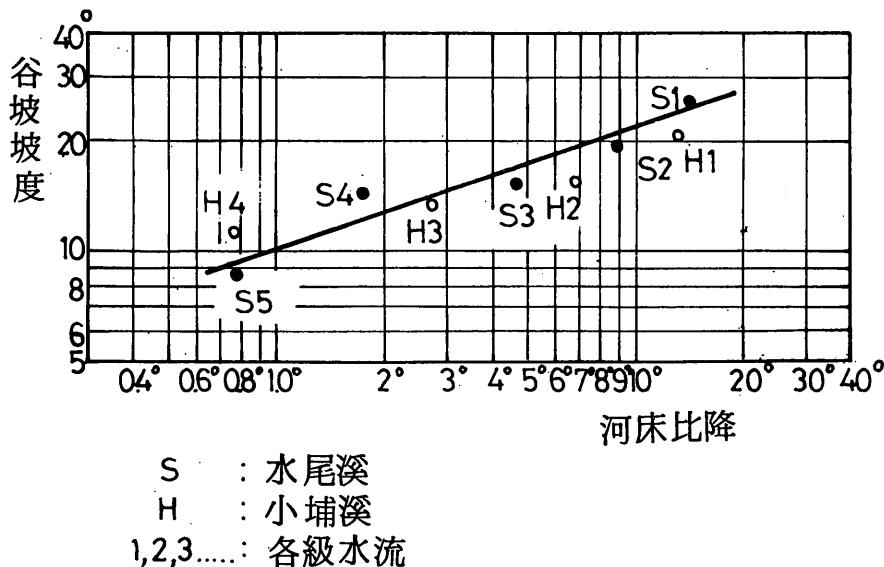


圖 25 河床比降與谷坡坡度關係圖

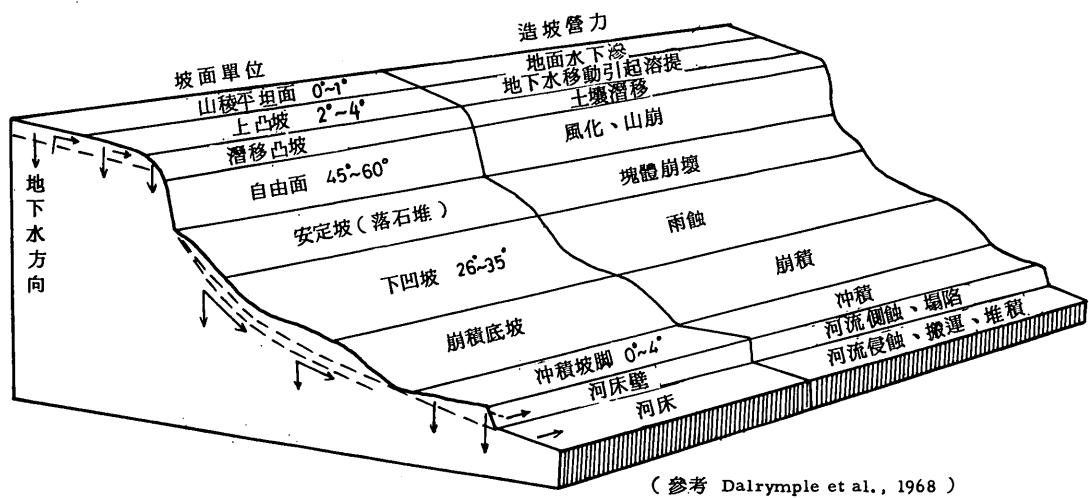


圖 26 完整的斜坡剖面圖

中一個因素，並不能說坡形完全由此決定。下面將探討其他足以造成坡形差異更具有決定性的因素。

一個完整的坡面有如圖 26 所示，而坡面位置不同，作用於其上的營力隨而有異。同樣坡面單位之產生又必受微氣候及底岩物質之因素控制。事實上，坡面本身還可作為一個能量系統（一如河流之縱剖面）看待，山稜上之岩石物質，雖然擁有高位能，但若非其凝聚力因風化而喪失迨盡，是不會變成動能的。當風化營力瓦解底岩之凝聚力後，碎屑土壤隨即具備下移力量，地表逕流更是促進其下移速度。剛開始時，這種下移仍然緩慢無比，由於逕流積聚不多，而且滲透量大，伴生營力是潛移而非溝蝕，故呈凸坡形態，頂凸坡（*summity convexity, waxing slope*）普遍可見，實與此有關。

岩性、植被、風化速度等，在適當的情形下，與上凸坡相接的單位，常是最不安定最陡峭的自由面（*free face, gravity slope*），此部分在乾燥、半乾燥及冰緣區最為常見；濕潤區由於植被豐富，而且坡角的崖錐面又急速向上發育，自由面常被掩蓋。自由面下方，緊接着為具有搬運下移岩屑功用之過渡坡面，通稱安定坡（*constant slope*），其坡度相當於岩屑之靜止角。但由於岩屑也在不停地風化，粒徑愈來愈小，飽受沖洗，其末端逐漸變為凹坡（*waning slope, lower wash slope*），此時離分水嶺已遠，在逕流匯聚下水量激增，造坡營力亦轉變為雨蝕，其對坡面形態之影響一如河蝕，河蝕造成河床的上凹縱剖面，雨蝕則產生凹坡。

可是，像圖 26 中那樣完整的坡面，通常是絕無僅有的。本區坡面形態，經筆者抽樣計測 50 個谷坡地點後，發現最常見的坡形為複合坡（34.5%）、凸直凹坡（30.8%）及凸凹坡（19.5%）。坡形與山崩的關係甚為密切，亦可從圖上觀出，山崩最常發生於凸坡肩部與凹坡間之過渡區。

若順河將谷坡面依序計測，更可進一步發現有趣的事實，圖 27 乃從水尾溪右岸上游至下游選出七個正交（orthogonal）斜坡的剖面，其中河谷至中游愈切愈深，上凸性相對地減少，而且直線坡重要性卻逐漸增加。對水尾溪而言，上游切割輕微，谷坡乃呈典型之凸凹坡（凸坡佔全剖面長度 85.2%），沿谷而下沒多遠，剖面出現直線坡段，而且愈往下游，其分量愈顯重要，一直到了第七個剖面，直線坡佔剖面總長之 40.8%（此時凸坡減至 15.4%）。不過，由於我們不能分辨剖面孰新孰舊，這種沿谷而下之剖面次序仍不能轉換成為時間次序，所以並不能由此證實坡面發育之過程。

V. 坡面微地形

坡面為地表之傾斜要素，其功能在配合排水系統，將高位能區岩石風化而成之

疏鬆物質宣洩至低位能之河谷，然後隨河下送，故坡面在發育時期，必須不斷調整其形態及坡度，以期能順應外在的營力及下移之崩壞量。在調適過程中，坡面常常產生一些小地形，又因造坡營力以風化、崩壞和雨蝕為主，故此等地形多屬於風化地形、崩壞地形或雨蝕地形。本區最常見者有雨溝、土滑、山崩、落石堆、雨蝕鋪石、雨蝕懸谷和泉蝕坑等，因篇幅所限，說明從略。

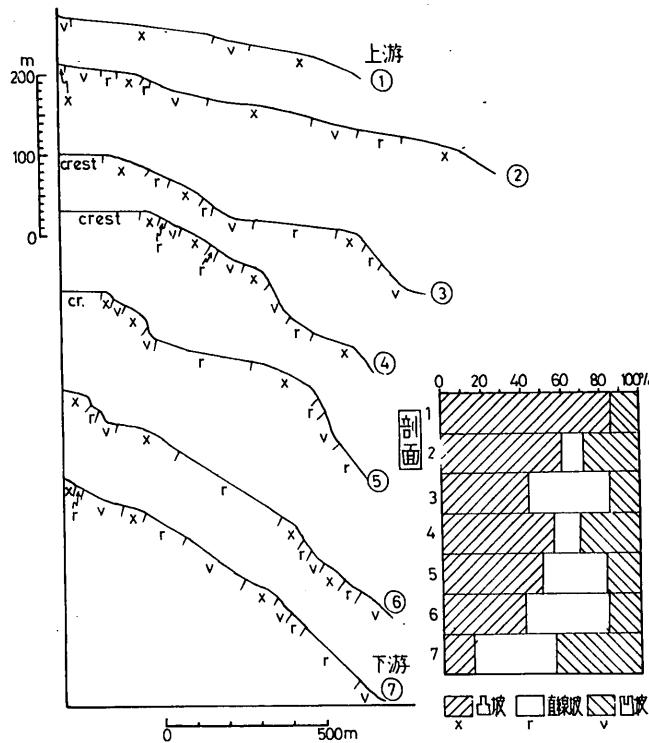


圖 27 順河斜坡剖面序列圖

四、研究地區的坡面發育

研究地形演變時，最難把握的因素就是時間本身。因為有些變化不要說終一生都察覺不出來（如造山運動），甚至自從科學思想發軼以來也沒演變多少，何況是短短的一兩年！雖然有許多科學家已設計好些實驗模型，模仿實景並加以縮小，頗收具體而微之效，但因地形演變所涉及之變數太多，而且各者縮小的比例不易掌握，實驗的成果甚難達到理想境界。拿侵蝕來說，在設計模型時，不單要縮小地景，尚要縮小雨量、植被、土壤厚度、地表粗率、岩石抵抗力等各種因素。因子太多時，所考慮者隨而增加，效果頂多也只是差強人意而已。

I. 坡面發育的因素

坡面發育所牽涉到的機構並不單純，而是錯綜複雜、互相關連的。在構造方面

，影響坡面發育的因素主要有岩性土質、坡度陡緩、節理多寡、植被性質和滲透率等，在營力方面，涉及的變數更多，如岩石風化的速度、各氣候要素、造坡營力的種類、現行的地殼變動方向等，皆影響坡面形態及其發育狀況。當然，時間因素更不可忽略。各種因素間，無一具有凌越優勢，彼此互為因應，一如連鎖，共同組合成終極之力量塑造坡面。在研究區內，則以原始形態、氣候、造坡營力、岩性、土質、植被等因素最重要（原文從略）。

II. 坡面發育的歷史

將二萬五千分之一地形圖上每方格（ 1 km^2 ）中的最高點標出後，畫出等值線，即成接峯面圖（圖 28 A），若取方格內最低點繪製等值線圖，則成接谷面圖（圖 28 B）。前者之目的在於恢復未受侵蝕前之原地形，由接谷面圖則可推知分水界移

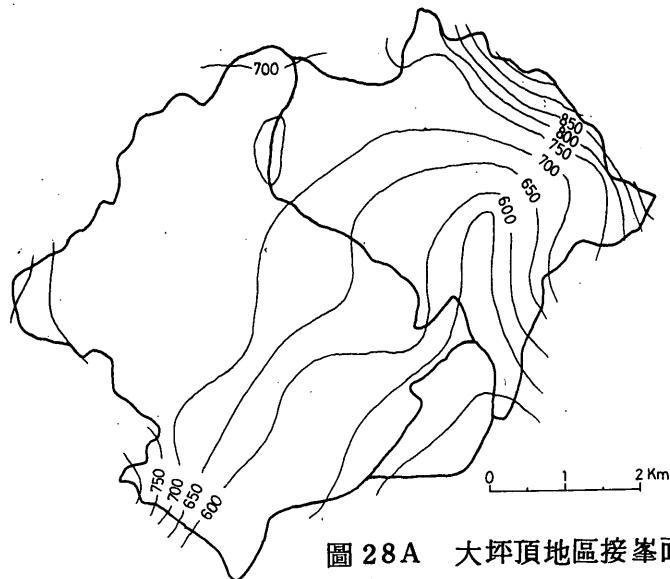


圖 28 A 大坪頂地區接峯面圖

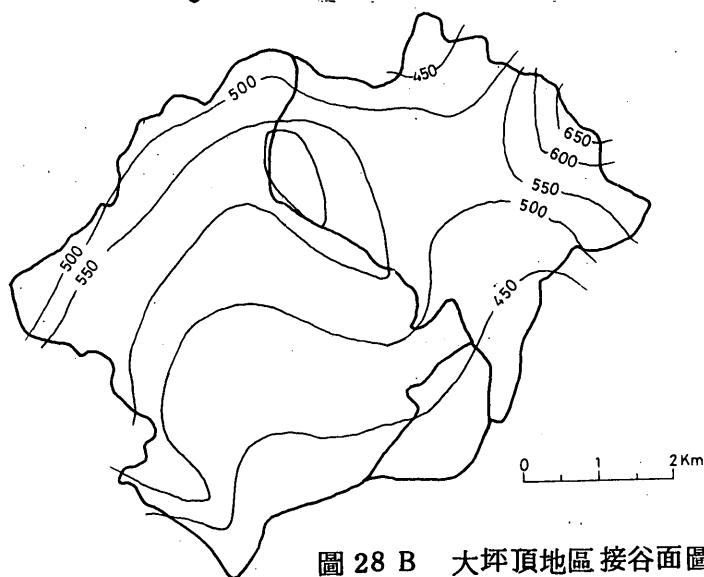


圖 28 B 大坪頂地區接谷面圖

動和明瞭坡面發育之趨勢。綜合兩圖觀之，本區之原始地形主體實為一沖積扇，扇面以西北方的頂點向東南方延伸，直達本區南緣，坡度平均約5%，足見赤崁台地與700m之台地面本整片相連；當時水尾溪尚未出現，全區主要河川僅有小埔溪，水尾溪可能係在爾後埔里湖湖水外洩，基準面降低後因迅速頭蝕而產生者。從接谷面圖研判，本區漸趨老年期之際，坡面又重歸平緩（假定地殼變動停息），而且北側分水嶺有大幅向南移之趨勢。無疑，北側之台地崖坡面陡峻，北入北港溪諸支流比降大，向源侵蝕亦盛，為此一現象之主因。彼時，台地面已殘缺無遺；先演變成丘陵地，後變成緩起伏之地面。則全區起伏由小而大，由大復歸於小，完成一個輪廻。

再配合地質來看，本區坡面及地形發育過程大致如下：

約一百多萬年前，即第三紀末期上鮮世，正是台灣東寧造山運動醞釀期，雪山山脈中部分地區陷落，形成埔里盆地群（圖29 A），各山間盆地蓄水成湖。踏入第四紀更新世頭嵙山期後，初期因盆地四周起伏不大，河蝕甚弱，故盆地中之沈積以泥質（魚池相）為主，隨後火炎山期地理環境驟變，東寧運動繼續不已（蓬萊時階），盆地周圍之山地急劇隆起，氣候亦可能變成多雨期，河蝕轉盛，大量礫石被帶入沈積區，造成厚達1000m以上的火炎山礫層（圖29 B）。嗣後間冰期中，礫層又受長期侵蝕，但未幾再發生蓬萊造山運動，地層東傾，湖盆再度陷落，盆周侵蝕復活，於中

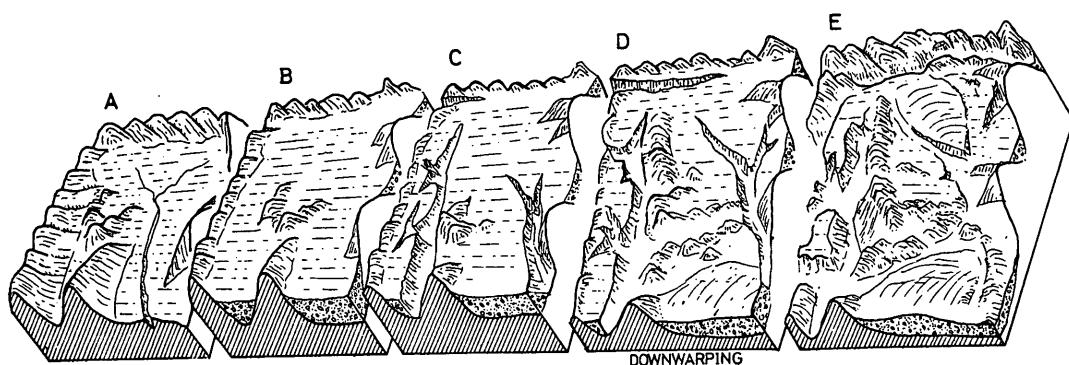


圖29 大坪頂地區地形發育史圖

更新世林口期中，在火炎山層上堆積台地礫層（店子湖層），大坪頂、水流東等地之台地面，即此期之堆積面，相當於高位盆地面，其上坡面平緩，如接峯面圖所示。此後又出現撓曲運動，台地礫層堆積面曲窪成上段面及中段面，並且在長期侵蝕作用下，逐漸形成 LH 面之從順地形（圖 29 C）。至更新世末期，盆地面繼續陷落，周圍山地相對隆起，河蝕復活，上中段之高位盆地面皆被溪流切割，形成高位河階面（LT 面），地形期屬中壘期，斯時盆底似仍積水，堆積了中壘期之礫層，構成日後之下段高位盆地面。至 20000 B.P. 後，亦即全新世（沖積世）初期，埔里湖堤決，湖水外洩，河蝕基準面下降，眉溪、南港溪紛紛下切。起初河谷氾濫原仍是今日下段高位盆地面之同面，惟木柵期間，地盤再隆起，河流復依次切深，使下段高位盆地面得以屹立盆中，另一方面，撓曲依然普遍，使上中段盆地面又向盆中傾動（圖 29 D），同時下切旺盛，則切割度日漸增加，陡坡愈益發達，有如今日面目（圖 29 E）。

III. 坡面發育的現況

對濕潤地區而言，在衆多的造坡營力中，雨蝕作用尤為重要，且雨蝕常引起土壤流失，影響農事至鉅。所謂雨蝕，乃雨水從落地後到流入河流間之侵蝕。舉凡濺蝕、面蝕、紋蝕、溝蝕均使土壤大量流失（詳者請閱參考文獻 6），直接影響坡面發育。本區沖蝕現象分布如圖 30 所示，若比照前文坡度統計圖觀之，知沖蝕量(E)與坡

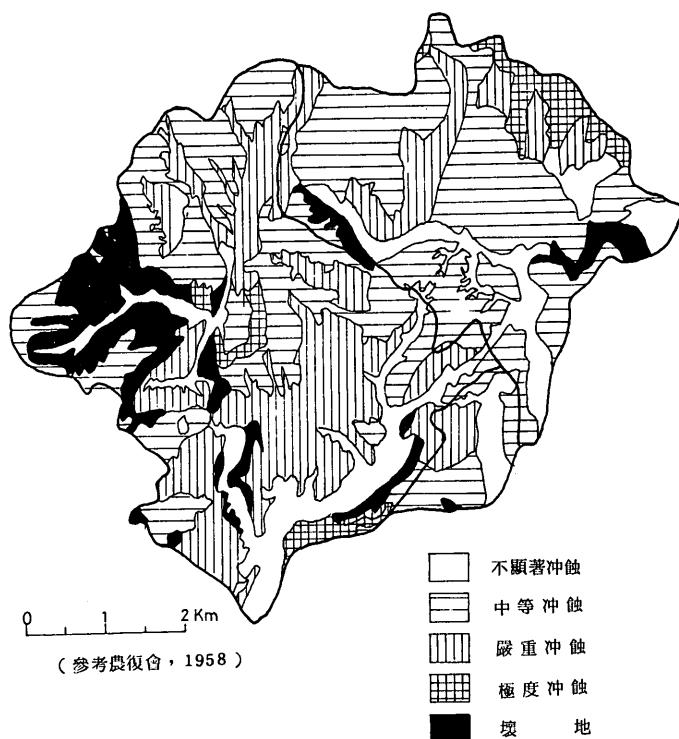


圖 30 大坪頂地區沖蝕程度圖

度(S)有密切關係，巴佛爾(Baver, 1956)曾求出一實驗公式： $E = 0.065 S^{1.49}$ ，是否適用於本區，尚待研究。一般而言，坡度在0~3%之間屬無沖蝕區，3~8%屬輕微沖蝕(二者合稱不顯着沖蝕)，8~15%屬中等沖蝕，此時表土被沖刷比例可高達75%，溝蝕開始發達，15~25%屬嚴重沖蝕，25~45%屬極度沖蝕，45%為極嚴重沖蝕，土層稀疏，地面變成惡地，不再能利用，必須設法綠化維護。本區受到嚴重沖蝕的面積為 1.5 km^2 ，佔全區面積4%。

坡度並非沖蝕的唯一因素，坡長也具有影響力；坡面愈長，在強雨時逕流積聚力量愈大，則侵蝕能量亦顯著增加，但在弱雨時，長坡反而有吸收水分的功能，以致流出率變小。其他如氣象因素、土壤因素及植被因素當然更易明瞭。氣象因素中最直接影響坡面沖蝕者為降雨，它包括季節分布、降雨量、降雨強度、降雨持續、著地角度等變數。土壤因素則指土層深度、滲透率、粒子大小等。植被因素亦頗重要；地表有植被時，逕流量幾乎與坡度無關。因此坡度陡峭，沖蝕嚴重的地區，最好的消弭土壤流失方法就是綠化。另一方面濫伐濫墾，過度放牧和不當灌溉，均能增進地表裸露狀態，造成嚴重沖蝕現象；又如耕作翻土，每易破壞土粒物理性，減低滲透率，使逕流激增，土壤則不斷流失。

IV. 坡面發育的方式

關於坡面發育方式如低夷及平行後退的理論背景，此處不便多述，可參閱緒論及參考文獻 16。歸納本區坡面的後退現象，低夷及平行後退(圖 31)，均不能忽略，二者之存在與否端視營力如何進行而定。本區大坪頂台地、赤崁台地坡面渾圓，很明顯是在坡面低夷的情況下演變成，而水流東南、北台地崖面受底岩控制，其發育似乎以平行後退方式為主。而更多地區的谷壁既非逐漸低夷，亦非平行後退，而是混合式的。由於坡面的演變非經長期觀察，不能窺得其端倪，因此具有實際證據的理論至今仍甚缺乏。

綜觀研究區的坡面，坡面的發育除與內外營力抗衝形式有關外，尚有一項很重要而常被忽略的因素，此即為坡面上風化量及下移量間的比率。若底岩上的風化物只有小比例被挾帶下移，則坡面低夷往往佔優勢，而且坡形也

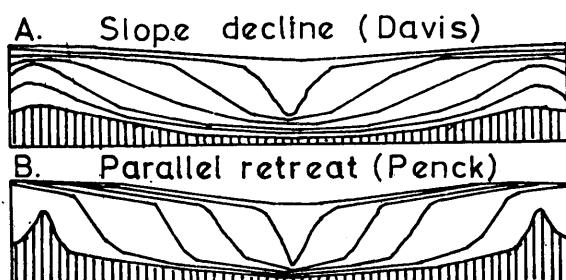


圖 31 不同的坡面發育方式圖

以凸凹形爲主。相反的，若坡面各處的風化作用大致相等，而大部或全部風化物又可迅速被移走，則平行後退將爲坡面主要發育程序。很明顯地，風化物之性質如大小、形狀、密度等，不但決定其下移速度、表面形態，也決定了底岩之坡面形態；風化物之產生與移速度間的不同組合，所以能影響坡形及坡面後退方式實導因於此。按此追溯，不難明白膠結性不強的紅土堆積層爲何會以土壤潛移爲主要造坡營力，使坡度隨時間低夷。對谷坡而言，堆積在坡脚下之崩壞物是否被河流等營力搬走，也很重要，如被帶走，坡面各處的風化、崩壞速度即可保持一致，坡面最可能以平行後退發育，反之，則落石堆將向上蔓延掩蓋原坡面，坡面低夷代之而興。

再從時間觀念看，流域在沒達到均衡狀態前，其坡面將視上述因素而有低夷或平行後退之發育，但流域達均衡狀態後，只要侵蝕基準保持不變，坡面要素勢必配合全區起伏、河床比降、河床負荷等其他要素，隨時間而變化，不獨坡形如此，坡度更是如此，以期保持長期之均衡，據此，均衡流域之坡面務必以低夷方式發育。由圖 25 即可看出研究區的坡面與河床比降間有密切關聯，正說明了在一個理想的輪廻中，隨着時間飛逝及起伏降低，坡面傾斜和河床比降均同時變小，加強了上述的看法。

五、研究地區的坡面利用

I. 坡面利用的狀況

如前所述，坡度不但影響土壤沖蝕，甚且與土壤發育、灌溉難易、微氣候、植物分布等現象息息相關，對土地利用的影響更是明顯。爲了深入探討，筆者在各次考察中，實地繪製研究區之土地利用圖。繪製時困難甚多；山坡地之土地利用分布至爲零碎，且與荒山犬牙交錯，難於區別，故面積不易估計，然一俟圖成，對坡面利用的研究不無幫助（因篇幅所限，該圖已予刪略）。

配合此圖與圖 20，可發現土地利用確與地面坡度有關。大致說來，水田（水稻及甘蔗爲主）均集中於平原及谷底，坡度概在 5° 以下，然小埔社沖積扇一帶，稻作呈梯田景觀，可上伸至 20° 地帶， 20° 以上，則梯田不復出現，可見即使梯田耕作亦受坡度控制。旱田則分布於山坡地。各台地上之平坦面，坡度雖概在 5° 以下，然皆非水田，此乃遠離河流，地下水位又低，灌溉不易所致，例如今屬台糖農場經營的大坪頂台地面及赤崁台地面，只種樹薯、牧草等旱作物，即私人經營的水流東南、北台地，亦因水源缺乏而闢爲食用竹林、茶園或樹薯田。稍陡的山坡地則柑橘、菓樹、茶叢陸續增加，以取其排水良好之優點。約 50° 以上之地，農作蕩然無存，變爲草叢或林地，但崩壞地仍多，尤以水流東溪上游及水尾溪中游地帶爲然，近年來，此帶開發益盛，若干不宜耕之山地，農民啓林而耕，多闢爲旱田，旱田坡度有達 40° 以上者，

在此情況下，土壤日益礫瘠，自不待言。不過，本區林地不算少，赤崁台地北緣及大坪頂台地東側造林已盛，有些本屬崩壞嚴重區域，今已遏止，誠為可喜現象。

再根據地面坡度、土壤厚度、沖蝕程度、土質狀況和給水難易等因素，即可評定劃分土地等級（農復會，1958），等級愈大，土地愈差，所需的水土保持處理也愈多，七、八級土地更要做特別保護工作。本區土地按其優點分級如圖39（從略），其中七級最多，佔全區39%，可見本區陡坡不在少數，而且伴生有侵蝕嚴重、土壤淺薄、排水不良等現象，這些土地只能供作牧地、林地用，農事應絕對禁止。但在某些七級土地和水流東一帶，旱作如香茅草、柑橘、茶樹等仍有種植。三級、五級亦多，各佔20%強，再其次為四級，佔16%，八級和一級土地僅佔少數，二級及六級則不存在。

綜覽上述，研究區的坡面資源並不優越。一般認為， 5° 以下宜為水田， 5° 以上宜為旱田， 20° 以上宜放牧， 30° 以上宜闢為林地，若不考慮其他因素，以這幾項作為土地合理使用的準繩，則本區的土地利用已不大合理。最簡單來說，本區 20° 以下的土地佔全區69%（見表3），而農地却佔地 $4/5$ 以上，這說明了許多地區正在作超限度的利用。固然，在增加生產的大前提下，開發土地是無可厚非的，但如果後患無窮，則過度陡峻之山坡，仍應回復為林地，以保利源。對於遠超過可用限度的土地，我們寧可少利用一些，也不可貿然從事農業開墾。

至於本區一些可用限度內的土地，其坡度如在 $15^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 以上者，筆者建議在可能範圍內，嘗試闢為牧野，以紅土為基地，種植亞熱帶性的牧草，飼養乳牛或肥育肉牛，一則增加利潤，二則發展典型的有畜農業，務求每一寸土地都有合理的運用。近年來，大坪頂台地上的牧草經營頗有進展，可為例證。

II. 坡面利用的原則 因篇幅所限，將另文發表。

III. 坡面利用的改良 因篇幅所限，將另文發表。

參、結 論

埔里盆地西北部的大坪頂地區，大致北連北港溪河谷，西迎觀音山，東迄西關刀、頂猴洞山及三角嶺一脈，面積共 36.40 km^2 ，區內多山坡地，正是今日農業經濟發展中亟待開發或改善的對象之一。本研究依據地形計測，野外調查及實驗分析，探討該區之地形特徵、坡面特徵及其發育與利用，計得下列八點結論：

I. 依據二萬五千分之一地形圖計測結果：由本區平均高度600m，每平方公里內平均相對高度125.8m，知本區為丘陵區，惟其切割度仍未達劇烈階段，而其地形時

期百分率，約為 55 %，則屬壯年期地形。

II. 本區主要河流為水尾溪及小埔溪，前者為五級水流，後者為四級水流，惟水流數目與水流等級均呈反幾何級數關係，水流累加平均長度與之則呈正幾何級數關係。谷密度則分別為 3.647 km/km^2 及 2.862 km/km^2 。

III. 依據 146 個計測點所得數值，繪成圖表，求得本區平均坡度為 $15^\circ 1'$ ； $0 \sim 5^\circ$ ， $5^\circ + \sim 15^\circ$ ， $15^\circ + \sim 25^\circ$ 及 25° 以上等四種分級，所佔面積比例為 $2:3:3:2$ 。若依地形面分，全區可分為台地面、谷床面和谷坡面三者，其平均坡度分別為 $3^\circ 15'$ ， $7^\circ 5'$ 和 $19^\circ 30'$ ，其中，谷坡面與河床面之坡度更呈幾何級數之直線關係，證實坡面不斷在謀求動力均衡狀態。

IV. 經抽樣計測研究區的斜坡剖面後，發現複合坡及凸直凹坡最多，各佔 $1/3$ 左右，而在同一地點，凸坡、凹坡和直線坡常比鄰而生，而地殼變動又不可能相隔如此近就完全兩樣，可見坡之形態維繫於內外營力之抗衡一說，並不全對，必須視其他因素而定。

V. 坡面的發育，在整體上受原始坡面影響，但局部差異卻因氣候、造坡營力、岩性、植被等因素而異。由觀察所知，凸坡為土壤潛移的產物，凹坡則與流水作用有關，即其例證。

VI. 本區因屬濕潤氣候區，降雨強度大，一日最大雨量可多達 300 mm ，雖然植被相對增多，然坡面沖蝕仍劇烈，其中嚴重沖蝕土地面積佔全區 4% 以上，綠化亟待加強。影響坡面沖蝕的因素衆多，中以坡度因素最重要，本區坡度與坡面沖蝕之關係，有待更進一步研究。

VII. 研究區坡面的後退，並無一定方式，坡面低夷與平行後退均有其可能性，各者代表某種環境下或某段地形時期中的產物。

VIII. 本區 20° 以下土地佔全區面積 69% ，而農地面積卻佔全區面積的 80% 以上，可見許多地方正在作超限度的利用，不但陡峻山坡旱地太事擴張，而所種植的又多是耗土作物，若不急謀妥善方法，土地荒廢、表土暴露、沖蝕山崩將日益嚴重，故宜配合實際情況，加強實施集約之水土保持處理。

謝 辭

本篇論文能夠順利完成，首先得感謝指導教授石再添博士多年來的教誨和愛護。所主任劉鴻喜教授的鼓勵，周昌萼教授以及學長鄧國雄先生、張瑞津小姐的許多寶貴意見，也使我永誌不忘，藉此衷心申謝。（原文為師大地理研究所六十三年度碩士論文，今礙於篇幅，部分段落和圖表已經省略，如有需要，請參閱原論文。）

參考文獻

1. Ahnert, F. (1970) An Approach toward a Descriptive Classification of Slopes: Z. Geomorphol. Supplementband 10, pp. 71-84.
2. Ahnert, F. (1971) A General and Comprehensive Theoretical Model of Slope Profile Development: U. Maryland Occ. Papers in Geog., no. 1.
3. Bakker, J.P. (1956) Bibliography of Quantitative Investigations of Slope: Premier Rapport de la Commission pour l'Etude des Versants, I.G.C., pp. 33-41.
4. Bariss, N. (1972) Effects of Lithology and Time on Slope Characteristics : International Geog., vol. 1, pp. 100-104.
5. Baulig, H. (1940) Le Profil d'équilibre des Versants: Ann. Geograph., vol. 49, pp. 81-97.
6. Baver, L.D. (1956) Soil Physics: 3rd ed., New York, John Wiley & Sons, 489 pp.
7. Bryan, K. (1940) The Retreat of Slopes: Ann. Assoc. Am. Geog., vol. 30, pp. 254-268,
8. 張瑞津 (Chang, J. C.) (1973) 台灣山地區與丘陵區河谷等級的計量研究：國立台灣師範大學地理研究所碩士論文，第1~38頁。
9. Doornkamp, J. C. and King, C.A.M. (1971) Numerical Analysis in Geomorphology, pp. 115-203, Edward Arnold Ltd., London.
10. Fisher, O. (1866) On the Disintegration of a Chalk Cliff: Geol. Mag., vol. 3, pp. 353-356.
11. 早坂一郎 (Hayasaka, I.) (1930) 日月潭附近山間盆地地域之觀察：台灣地學記事第一卷。
12. 賀忠儒 (Ho, C.R.) (1972) 台灣北部地形之計量分析：地學彙刊第二期，第72~77頁。
13. Horton R.E. (1945) Erosional Development of Streams and Their Drainage Basins: Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology, Bull. Geol. Soc. Am., vol. 56, pp. 275-370.
14. 市川毅 (Ichikawa, T.) (1937) 台中州埔里臺地之礫層とそれに伴ふ粘土に就いて：台灣地學記事，第八卷。
15. Ongley, E.D. (1970) Determination of Rectilinear Profile Segments by Automatic Data Processing: Z. Geomorphol., vol. 14: pp. 382-391.
16. 林朝榮 (Lin, C.C.) (1957) 台灣地形，第80~83；224~225；317~327頁。
17. Penck, W. (1924) Morphological Analysis of Landforms. English Translation by H. Czech and K.C. Boswell, London, 1953.
18. Savigear, R.A.G. (1967) The Analysis and Classification of Slope Profile Forms: Cong. Coll. Univ., Liege, vol. 40, pp. 271-287.
19. Scheidegger, A.E. (1961) Mathematical Model of Slope Development: Geol. Soc. Am. Bull., vol. 72, pp. 37-50.
20. Schumm, S.A. (1956) Evolution of Drainage System and Slopes in Badlands at Perth Amboy, New Jersey : Bull. Geol. Soc. Am., vol. 67, pp. 597-646.
21. 石再添 (Shih, T.T.) (1970) 台灣北部海岸的地形學計量研究：國立台灣師範大學地理系，第1~52頁。
22. 石再添 (Shih, T.T.) (1971) 陽明山管理局區域的地形計測：中國地理學會會刊第二期，第19~24頁。
23. 石再添 (Shih, T.T.) (1972) 台灣西南部惡地的地形學計量研究：台灣文獻第廿三卷第一期，第1~36頁。
24. 石再添 (Shih, T.T.) (1975) 台灣南部珊瑚礁海岸域的地形學計量研究：地理研究報告第一期，第69~102頁。

25. 石再添、鄧國雄、黃朝恩 (Shih, T. T. et al) (1975) 大肚溪流域的地形學計量研究：台灣文獻第廿六卷第二期，第 23 ~ 82 頁。
26. Strahler A.N. (1956) Quantitative Slope Analysis: Bull. Geol. Soc. Am., vol. 67, pp. 571-596.
27. Tomita, T. (富田芳郎) (1951) Physiographical Development of the Puli Basin Group of Central Taiwan : Tohoku Chiri, vol. 3, no. 364.
28. Tricart, J. (1957) L'evolution des Versants: L'information Géographique 3.
29. 王 洪 文 (Wang, H. W.) (1967) 南投縣地理志氣候篇：南投縣文獻委員會，第 1 ~ 177 頁。
30. Wood, A. (1942) The Development of Hillside Slope: Proc. Geol. Assoc., vol. 53, pp. 124-140.
31. Young, A (1961) Characteristics and Limiting Slope Angles: Z. Geomorphol., vol. 5, pp. 126-131.
32. Young, A (1963) Some Field Observations of Slope Form and Regolith, and their Relation to Slope Development: Trans. Inst. Brit. Geogr., vol. 32, pp. 1-29.
33. Young, A. (1971) Slope Profile Analysis, the System of Best Unit : Inst. Br. Geogr. Spec. Publ., vol. 3, pp. 1-13.
34. 農復會 (1958) 台灣省邊際土地可用限度圖。
35. 師大地理系 (1975) 台灣坡度分析圖集。