



EJ095199421043

師大地理研究報告
第21期 民國83年3月
Geographical Research
No.21, March 1994

花東縱谷沖積扇的地形學研究

A Geomorphological Study of Alluvial Fan in Huatung Longitudinal Valley

張瑞津 * 石再添 **
Jui-chin Chang Tsai-tien Shih
楊淑君 *¹ 林譽方 *¹ 陳翰霖 *¹
Shu-chun Yang Yuh-fong Lin Han-lin Chen

Abstract

Huatung (Hualien-Taitung) Longitudinal Valley locates between Central Range and Coastal Range with a length of 183 km and width of 3-4 km. With conspicuous fault scarps and abundant debris supply, alluvial fans are developed well in this valley. There are 31 fans with over 2 km² in size and over 2‰ in slope. Due to the continual uplift, most of the fans have been undercut into composite fans. There are 2-3 steps in southern fans whereas 1 step in northern fans, and also, the amounts of dissection of southern fans are greater than that of northern fans. These differences, thus, may provide an usable reference for differential uplift in Huatung area.

By product-moment correlation, there are some relations between fan variables, such as a significant relation with fan area and fan width, slope and height. Further, the factors of drainage area, relief ratio, stream length and intermountain basin area have strong correlation with the variables of fan area, slope, width and degree of dissection. Based on the discriminant analysis, the sediment space, uplift rate, geologic age, precipitation, stream order and slope failure area are the dominating factors to the existence of fan. By factor analysis and canonical correlation analysis the results can be concluded that drainage area,

民國83年1月12日投搞，2月23日受理。

本文為國科會82年度「台灣沖積扇之地形學研究(I)」專題研究計畫（編號：NSC 83-0202-M-003-003）

* 計畫主持人，** 協同主持人，國立台灣師範大學地理學系教授 (Director and Codirector of the study project; Professor, Department of Geography, National Taiwan Normal University)；*¹ 兼任研究助理 (Part-time Research Assistant)。

stage of fan, sediment space, amount of uplift and relief ratio of drainage basins are the common factors which influence the fan morphology.

It is difficult to examine the evolutionary hypothesis and climatic hypothesis in this area due to the insufficient chronologic and climatic data. But from the strong relation between fans and drainage basins, the fan development in this area can be interpreted by equilibrium hypothesis.

(Key word : alluvial fan, fan evolution, longitudinal valley, geomorphological characteristics, relief ratio)

一、緒論

當河流由上游區搬運礫石、土沙至下游，在谷口因河床坡度減緩，流幅增寬，深度變淺，磨擦力增加流速減小，搬運力減弱，而形成半圓錐體的堆積，即為沖積扇(alluvial fan)。在河流系統中沖積扇與河階、氾濫原、河中洲等皆為河川搬運土砂入海途中暫時儲存(storage)的現象，其發達與否影響著河道的形態及下游土砂的堆積量，在河川地形學中，沖積扇為重要的研究課題之一。沖積扇的研究，不僅著重其形態、演育等基礎方面的問題，近年來也延伸討論洪水期沖積扇上土石堆積的災害問題，因此沖積扇的研究兼具有學術及應用的價值。

“alluvial fan”一詞首由 F. Drew (1873) 在研究印度河上游堆積地形時提出。由於沖積扇的分布相當普遍，從熱帶至寒帶，由乾燥到溼潤區，不受氣候及緯度的限制，因此其研究早受重視，而且有相當大量的文獻。十九世紀後期至 1960 年代各學者各以不同環境的沖積扇為例，記載沖積扇的形態、堆積物的組成以及形成的機制。例如 F. Drew(1873) 記載了印度河上游沖積扇的規模、坡度、剖面形狀與堆積物的圓磨度。W. M. Davis(1898) 提出沖積扇的大小與地形時期有關，壯年期的沖積扇大於幼年期，但 R. Eckis (1928) 却有不同看法，認為沖積扇只是幼年期的地形，而且沖積扇因地殼上升、氣候變化、堆積物減少、海準變動而發生下切(trenching)。1925 ~ 1960 年間，對沖積扇堆積物的調查及沖積扇的演育的研究有相當大的進展，例如 E. Blackwelder (1928) 指出沖積扇的形成與泥流的堆積密切相關，而 C. R. Longwell (1930) 認為其與斷層活動有關。E. Blissenbach(1952、1954) 指出扇頂至扇端，隨著坡度減緩，堆積物的礫徑隨之減小而圓磨度愈增。1960 ~ 1975 年之間，一些美國地形、地質學者對西部乾燥地區的沖積扇進行了密集的研究，獲得了相當可觀的成果。此段期間是沖積扇研究的鼎盛時期。如 W. B. Bull (1963、1964、1972)、C. B. Beaty (1961、1963、1970、1974)，詳細檢討了沖積扇形成的過程，並求出堆積的速度。W. B. Bull(1964)，C. S. Denny(1964)，R. L. Hooke(1965、1967、1968) 等檢討沖積扇面積與流域面積的關係因而提出了動態平衡說。L. K. Lustig(1965、1974) 綜合了侵蝕輪迴及動態平衡說再加上氣候變化的觀點，提出了氣候說，認為沖積扇的演育與氣候變化密切相關。此期間除了美國之外，伊朗、巴基斯坦、撒哈拉沙漠乾燥地區之沖積扇也有具體的研究。其後乾燥地區沖積扇研究雖暫告停歇，

但代之而起的是其他溫溼、熱溼氣候區的沖積扇研究(Lecce, 1990)，也獲致了不少的成果，例如 R. H. Kesel(1985) 討論哥斯大黎加的沖積扇，指出溼潤地區堆積物周期性的供應與河川流量的急劇變化是控制沖積扇形態與堆積方式的主因。S. G. Well 與 A. M. Harrey(1987) 研究英格蘭西北部的小沖積扇，指出沖積扇形態與堆積的變化，除受造構作用、氣候變化影響外，也受流域大小、河道坡降、流域侵蝕百分率、暴雨中心位置等有關。在此期間，研究的方法也進入實驗階段，如 A. Rachocki(1975) 在砂石坑內分別觀測三個沖積扇的形成與演育。1980 年以後，沖積扇的室內模擬實驗積極展開，W. E. Weaver(1984) 首次利用人工降雨沖蝕地面觀察沖積扇的形成及演育過程，從長達 90 小時的連續觀測得知沖積扇之形成反映了上游流域的侵蝕及河流的搬運力。S. A. Schumm、M. P. Mosley、W. E. Weaver(1987) 也以模型實驗，仔細觀察沖積扇的形成，扇面上河流的變遷，堆積物的分布，堆積的速度等。近年，A. H. Rachocki 與 M. Church(1990) 更總其成地介紹不同環境下的沖積扇以及其與人類活動的關係。

鄰國日本對沖積扇的研究也累積相當多的成果，早期山崎直方(1902)、辻村太郎(1913)即指出沖積扇堆積物的來源與冰河存在有關。大關久五郎(1916)認為沖積扇岩屑供應並非只有冰河一個誘因，其後田中啓爾(1925)、淺井治平(1925)、渡邊光(1929)均認為沖積扇的形成與上游流域的隆起有關。1931～1945 年間，村田貞藏(1931、1933、1934、1935、1936、1939、1941) 密集討論沖積扇形成過程與礫屑堆積的誘因，特別指出沖積扇的分布除火山麓外，76% 的沖積扇與斷層有關。其後也有陸續的研究，但較大規模的研究則為戶谷洋(1971)以日本 409 個沖積扇為例，綜合探討沖積扇地形、起伏、地質與其集水域的地形、地質之關係。齋藤享治(1988)對日本全國沖積扇的形成、分布、形態、分類、演育作了總其成的探討。

台灣沖積扇雖發達，但研究並不多見，最早富田芳郎(1938) 指出台灣蘭陽溪、大甲溪、陳有蘭溪、楠梓仙溪、荖濃溪谷中沖積扇發達，同時也記載各沖積扇的扇頂高度，比高與扇端比高。其後 1955 年也將潮州沖積扇群分為最舊扇、舊扇、完整扇、不完整扇四類。其次林朝榮(1957)有系統地介紹台灣諸溪的沖積扇並記載其高度與形態，為台灣沖積扇研究的重要文獻。近期，黃朝恩(1980)提及花東沖積扇面積與流域面積成正比關係；鄧國雄(1981)精簡地介紹沖積扇形態的分類與形成因子。王鑫(1985)對花蓮溪流域各沖積扇形態與土地利用有具體的描述。張石角(1987)提及台灣東部有些山崩發生在沖積扇上。齋藤享治(1989、1990)概略比較了台灣與日本沖積扇的成因。筆者(1991)也概念性地介紹沖積扇的形成與演育；最近，楊貴三(1992)介紹了木瓜沖積扇的扇面特徵。綜合上述文獻回顧，可知台灣對沖積扇的研究尚在起步，研究的項目如形態、堆積過程、演育模式等均待積極展開。

花東縱谷北起花蓮，南至台東，介於中央山脈與海岸山脈間，南北縱長 183 公里，最寬處偏北，在木瓜溪口附近，約 7 公里，最窄處位烏漏附近，約 2 公里，平均 3～4 公里，為一南北延長的細長谷地。縱谷內分別以大富及池上為分界，呈谷中分水，北為花

蓮溪，中為秀姑巒溪，南為卑南溪¹⁾。花蓮溪、秀姑巒溪及卑南溪分別發源於中央山脈東斜面白石山（標高3108公尺）、秀姑巒山（標高3805公尺）及關山（標高3666公尺），而花東縱谷平均高度142公尺，故比高達3000公尺以上。花蓮溪、秀姑巒溪及卑南溪主流長，分別約80公里、104公里及97公里，但各支流流長在20公里以上，起伏比多在100%以上。

地質上，花東縱谷位於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊碰撞的縫合線上，谷地兩側以高角度的衝上斷層為界，山麓崖明顯。

縱谷兩側的中央山脈及海岸山脈，不僅地形差異頗大，其地質亦迥然有異。中央山脈側以古生代末期片岩及古第三紀的板岩為主，而海岸山脈側則以第三紀的火山岩、火山碎屑岩及碎屑沈積岩為主。

氣候上，花東縱谷在東北盛行風的影響下，雨量豐沛、日射量較低、雲雨天氣多，沖積扇上游集水域之年雨量，約在2000~3000公釐之間，多集中在6月~10月之間，尤其颱風暴雨期間，雨量驟增，水位暴漲，常造成災害。

因此本研究目的為探討本區沖積扇的分布、特徵、形成因子，並驗證其演育模式。為達此目的，本研究之方法如下：(1)由航照判讀沖積扇的分布、地形特徵。(2)野外實測沖積扇的下切深度、堆積物特徵及主河道位置與形態。(3)利用二萬五千分之一及五萬分之一地形圖計測沖積扇面積、扇頂坡度、平均坡度、坡度比、扇面高度、縱長、最大流幅、扇央角度、切割度、河道的偏倚度及集水域之面積、起伏比、谷口距、面積高度積分、山間盆地面積。(4)利用所得資料，統計分析比較各沖積扇的特徵，探討控制沖積扇的形成因子並驗證其演育模式。

二、沖積扇之分布與特徵

本研究乃就花東縱谷沖積扇分布與特徵加以說明如下：

2.1 沖積扇的分布

花東縱谷集水域地形起伏大、岩層脆弱易侵蝕，降雨充沛，及兩側山麓崖明顯，因此沖積扇特別發達。

為了了解沖積扇扇面的地形特徵及扇體的剖面狀態，首先對沖積扇的界限應有一明確的劃分，以便各種地形特徵定量上的計測。沖積扇範圍可由扇頂、扇側及扇端三者加以界定。

1. 扇頂 (apex of the fan)：一組同心圓狀等高線的圓心位置。
2. 扇側 (side of the fan)：整個弧形等高線，到側邊的轉折處。
3. 扇端 (toe of the fan)：等高線由圓弧狀轉變為平行狀且間距明顯放大之前的等高線位置。

1) 卑南溪河系，本研究將初鹿通谷內之新班鳩溪、舊班鳩溪，及南側之太平溪、利嘉溪一併包括在內。

此外，扇體由高到低也可分為扇頂部 (head part of the fan)、扇央部 (middle part of the fan)、扇端部 (apron part of the fan) 等三部分。至於此三者之界限，本研究依扇頂與扇端間的比高分為三等分，最上部為扇頂部，中央者為扇央部，最下者為扇端部²⁾。

由中央山脈及海岸山脈側分別注入花東縱谷內河長 1 km 以上者共有 68 條，根據上述沖積扇的界定，有沖積扇者共 31 條，無扇者 37 條（圖 1）。面積大於 2 km^2 ，平均坡度大於千分之二³⁾ 的 31 個沖積扇中，屬花蓮溪系統者為木瓜、壽豐、萬里、馬太鞍、清水、光復、大富等計 7 個扇；屬秀姑巒溪系統者有富源、紅葉、太平、卓溪、源城、樂樂、崙天、龍泉、富興、苓仔齋、呂範、高寮、久岸等計 13 個扇；屬卑南溪系統者為新武呂、紅石、崁頂、加鹿、加拿大、鹿寮、加拿大、新班鳩、舊班鳩、太平、利嘉等計 11 個扇。其中花蓮溪系統的沖積扇面積最大，其次為卑南溪，秀姑巒溪最小，中央山脈側的沖積扇大於海岸山脈側者（表 1）。

花蓮溪系統各扇頂高度約由 260m 向北遞降，秀姑巒溪亦類似，由 300m 向北遞降，卑南溪則較不一致，新武呂溪之南的崁頂、加拿大、加拿大扇較崁入山中，流短坡陡其扇頂位置超過新武呂溪，其餘諸扇頂高度則由 330m 向南遞降。縱谷南段的新武呂溪至利嘉溪，則由 300m 降至 130m。

扇端高度與扇頂高度趨勢近似，花蓮溪系統各扇端高度由南邊之 150m 向北遞降直至海邊；秀姑巒溪者亦如花蓮溪向北遞降，由 290m 降至 80m；卑南溪者則亦呈由北向南遞降趨勢，由 240m 降至 120m。縱谷南端的新班鳩扇至太平扇則為 170 ~ 30m，而利嘉溪扇端則直達海邊。

2.2 沖積扇特徵

(一) 特徵變量

沖積扇的地形特徵，可分為形態特徵及堆積物特徵，其中形態特徵又可分為平面形態、斷面形態及開析狀態。

表示平面形態的變量有沖積扇面積 (A_f)、縱長 (L)、流幅 (W)、扇央角度 (An)。表示斷面形態的變量有扇面高度 (H)、平均坡度 (S_m)、扇頂坡度 (S_h) 及表現縱剖面形狀的坡度比 (S_r)。表示開析狀態的變量有河川下切深度 (T_m)、切割度 (D)、河道偏倚度 (R_l)。表現堆積物特徵者計有最大礫石直徑 (P_s)、圓度 (R_n)、球度 (S_p) 及淘選度 (S) 等項。各項特徵變量的代碼與計測方法如表 2、圖 2 所示。

2) 本研究對此三者之界分，採依比高三等分之理由如下：

- ①若以沖積扇縱剖面遷急點做界分標準，本研究區之扇面坡度多十分平緩，並無明顯遷急點，不易劃分。
- ②若以沖積扇堆積物的粒徑為依據區分為扇頂、扇央與扇端，但實際的界限仍不易掌握。
- ③本研究依比高採等高線為界分標準，較上述方法明確。

3) 齋藤 (1988, P.129) 指出，面積小於 2 km^2 的小型沖積扇，其形成營力多為土石流，而非一般河川水流；另平均坡度小於 2‰ 的地形，多屬氾濫平原上之自然堤或三角洲，因此不納入本研究考量之沖積扇。

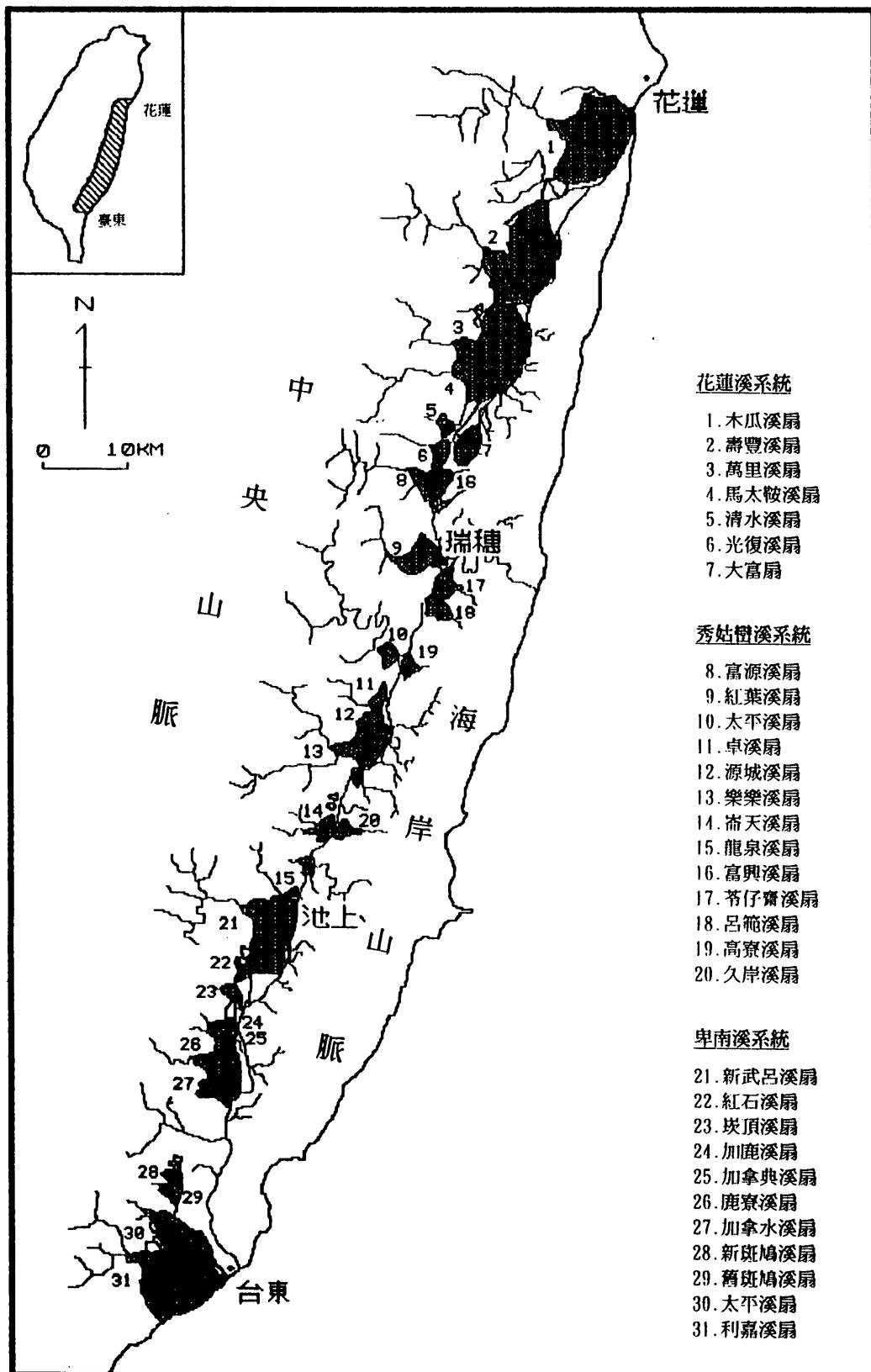


圖1 花東縱谷沖積扇分布圖

表1 花東縱谷水系及沖積扇面積、扇頂與扇端高度表

西側（中央山脈側）				東側（海岸山脈側）					
水系名	沖積扇面積 (km²)	扇頂高度 (m)	扇端高度 (m)	集水域面積 (km²)	水系名	沖積扇面積 (km²)	扇頂高度 (m)	扇端高度 (m)	集水域面積 (km²)
花蓮溪系統									
1. 木瓜溪	63	110	0	425	1. 六階鼻溪	—	—	—	7
2. 老溪	—	—	—	48	2. 加里洞溪	—	—	—	13
3. 壽豐溪	55	180	40	214	3. 利哈岸溪	—	—	—	6
4. 北清水溪	—	—	—	22	4. 瑪達娜溪	—	—	—	6
5. 凤林溪	—	—	—	9	5. 麗太溪	—	—	—	7
6. 萬里溪	39	160	70	234	6. 大富溪	12	290	140	5
7. 馬太鞍溪	22	170	100	136					
8. 清水溪	3	190	130	13					
9. 光復溪	8	260	150	15					
秀姑巒溪系統									
10. 富源溪	4	240	140	87	7. 富興溪	6	230	140	3
11. 紅葉溪	14	200	80	49	8. 大肚滑溪	—	—	—	4
12. 太平溪	3	110	90	158	9. 鶴岡溪	—	—	—	2
13. 卓溪	2	160	120	26	10. 安夜西溪	—	—	—	8
14. 源城溪	3	160	120	5	11. 打落馬溪	—	—	—	3
15. 樂樂溪	17	180	130	630	12. 苓仔齋溪	4	120	70	13
16. 磨仔港溪	—	—	—	2	13. 呂範溪	4	200	80	5
17. 嶺天溪	4	250	180	30	14. 阿眉溪	—	—	—	7
18. 石平溪	—	—	—	6	15. 尋腰溪	—	—	—	2
19. 山腳溪	—	—	—	3	16. 高寮溪	2	190	100	5
20. 龍泉溪	6	290	250	34	17. 樂合溪	—	—	—	35
					18. 安通溪	—	—	—	18
					19. 吳再溪	—	—	—	8
					20. 供仔溝溪	—	—	—	3
					21. 阿眉溪	—	—	—	19
					22. 馬加祿溪	—	—	—	6
					23. 久岸溪	4	270	190	17
					24. 螺仔溪	—	—	—	13
					25. 石牌溪	—	—	—	3
					26. 鰲溪	—	—	—	47
					27. 阿里山溪	—	—	—	2
					28. 大坡南溪	—	—	—	11
卑南溪系統									
21. 新武呂溪	39	330	240	580	29. 萬安溪	—	—	—	3
22. 紅石溪	3	310	230	11	30. 富興溪	—	—	—	2
23. 基頂溪	4	350	200	11	31. 四號橋溪	—	—	—	6
24. 加鹿溪	3	290	180	9	32. 泥水溪	—	—	—	7
25. 加拿典溪	5	400	180	12	33. 嘉武溪	—	—	—	9
26. 鹿寮溪	20	290	120	123	34. 濁水溪	—	—	—	10
27. 加拿水溪	5	370	170	5	35. 木坑溪	—	—	—	12
28. 鹿野溪	—(河階)—	—	—	477	36. 中野溪	—	—	—	12
29. 新班鳩溪	3	300	170	4					
30. 舊班鳩溪	3	290	120	4					
31. 太平溪	17	190	30	17					
32. 利嘉溪	53	130	0	149					

表 2 沖積扇形態及堆積物特徵之計測方法

沖積扇特徵	代碼	單位	計測方法
平面形態			
1 面積	Af	km^2	以求積儀求得
2 縱長	Lf	km	各條等高線中點連線的長度
3 流幅	W	km	最大弧長
4 扇央角度	An	度	扇央各條等高線邊線點與頂點夾角角度的平均值
斷面形態			
5 扇面高度	H	m	扇頂與扇端高度的平均
6 平均坡度	Sm	%	扇頂與扇端高度差值除以縱長
7 扇頂坡度	Sh	%	扇頂部分之頂點與最低等高線間高度差值除以扇頂縱長
8 坡度比	Sr		Sh/Sm
開析狀態			
9 河川下切深度	Tm	m	扇頂、扇央、扇端部份三點下切深度之平均值
10 下切差值	Td	m	扇頂與扇端下切深度差值
11 切割度	D		等高線長度除以弧長之和
12 偏倚度	R1		兩倍（弧與河道間交點與等高線中點間之距離）除以弧長之和
堆積物特徵			
13 平均最大粒徑	Ps	cm	10個最大礫石直徑之平均值，再依 Wentworth (1922) 之 Grade Scale 畫分等級
14 圓度	Rn	等級	依據 Pettijohn (1957) 之圓度等級分類法，分級量測而得
15 球度	Sp	等級	依 Wadell (1932) 與 Zingg (1935) 之球度計測法而得
16 淘選度	S	等級	依 Folk & Ward (1957) 之分級標準而得

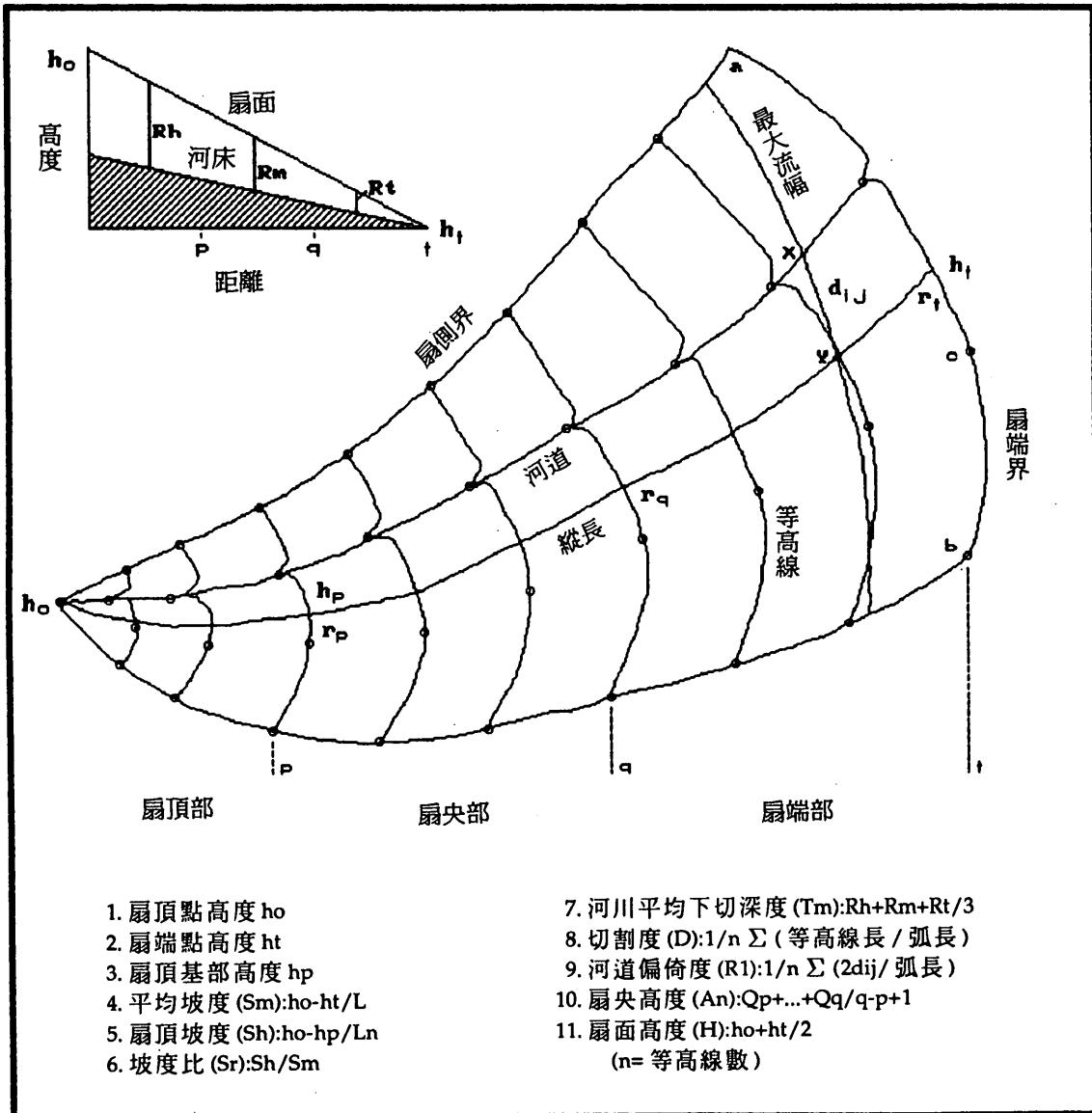


圖 2 沖積扇形態特徵計測示意圖

各沖積扇形態特徵的計測結果如表 3 所示，僅就平面、斷面、開析程度及堆積物特徵做如下之比較分析：

1. 面積與縱長

花東縱谷沖積扇的規模以及花蓮溪系統者較大，其中木瓜扇面積 63.3 km^2 ，縱長 17.5 km 居冠，其次為壽豐及萬里，扇面積分別約為 55 、 39 km^2 ，縱長為 16 、 12 km ，最小的光復扇亦有 7.4 km^2 ，縱長 4.6 km 。秀姑巒溪系統者則較小，最大的樂樂扇 16.6 km^2 ，縱長 6.8 km ，其為紅葉扇，面積約 14 km^2 ，縱長 8.2 km ，其餘者扇面積均在 6 km^2 以下。卑南

溪系統者以新武呂扇 39 km^2 居首，縱長 11.2 km ，鹿寮扇 20 km^2 居次，縱長 8.7 km ，餘者小於 5 km^2 。南端的利嘉扇面積 52.4 km^2 ，縱長 12 km ，僅次於木瓜及壽豐。31個扇中僅 $1/3$ 扇面積大於 10 km^2 ，均屬中央山脈側的沖積扇，海岸山脈側之河流長度及流域面積遠不如中央山脈側者。

表3 花東縱谷沖積扇特徵之計測值

溪名	面積 (km^2)	縱長 (km)	流幅 (km)	扇尖 角度 (度)	扇面 高度 (m)	平均坡度		扇頂 坡度 (%)	坡度比 (%)	河川下切 深度 (m)	下切 差值 (m)	切削度 (D)	偏倚度 (R1)	平均最 大粒徑 (Ps)	圓度 (Rn)	珠度 (Sp)	淘選度 (S)	下切 類型	階數
						S m	S h												
木瓜溪	63.3	17.5	11.5	88.2	55	5.7	10.0	1.8	6.1	9.2	2.4	0.5	2	0.59	0.61	4	A	I	
花壽豐溪	55.0	15.7	11.7	70.0	100	9.6	11.4	1.2	-1.0	4.2	1.8	1.1	1	0.55	0.70	6	D	II	
萬里橋溪	38.8	11.5	7.6	51.8	115	7.0	8.8	1.3	2.8	1.5	1.9	0.4	2	0.53	0.50	4	A	I	
蓮馬太鞍溪	21.6	8.2	5.2	85.0	135	8.8	9.1	1.1	0.7	-1.5	2.1	0.2	1	0.55	0.61	6	E	I	
清水溪	2.4	5.7	4.0	56.3	160	8.8	14.3	1.6	0.9	2.2	1.5	0.6	3	0.43	0.74	6	D	I	
溪光復溪	7.4	4.6	4.6	68.0	200	23.9	33.3	1.4	2.0	5.8	1.2	0.7	2	0.37	0.56	6	D	I	
大富扇	11.7	4.1	5.2	175.9	205	24.0	52.7	2.5	1.9	1.5	1.2	0.7	1	0.49	0.67	6	A	I	
富源溪	4.4	4.3	2.7	73.3	170	14.0	31.3	2.2	6.2	-1.8	2.0	0.1	3	0.38	0.66	6	B	III	
秀紅葉溪	13.8	8.2	4.0	49.3	135	14.0	16.7	1.2	3.4	5.9	1.8	0.8	2	0.36	0.65	6	A	III	
太平溪	3.3	2.0	4.0	106.0	105	6.9	14.6	2.1	1.8	1.8	2.5	0.1	2	0.80	0.61	6	C	II	
卓溪	2.0	3.6	5.0	87.7	135	11.0	9.7	0.9	0.0	4.0	1.6	0.5	3	0.45	0.69	6	D	I	
姑源城溪	2.8	3.2	1.6	65.7	135	11.4	7.4	0.7	0.5	1.2	1.2	1.4	3	0.43	0.68	6	A	II	
樂樂溪	16.6	6.8	4.5	59.0	155	8.2	10.7	1.3	4.8	3.5	3.7	0.4	3	0.24	0.62	6	A	II	
南天溪	3.8	4.6	2.5	89.0	210	15.2	22.2	1.5	1.5	-1.1	1.2	0.4	2	0.48	0.66	6	B	II	
巒龍泉溪	2.7	2.3	2.8	64.7	265	15.2	7.9	0.5	1.2	0.3	0.6	2.2	2	0.50	0.70	6	A	I	
富興溪	5.8	7.3	6.6	117.0	180	12.3	13.0	1.1	1.2	-1.4	1.2	0.6	1	0.50	0.74	6	A	I	
苓仔齋溪	3.7	2.6	4.4	132.0	90	18.7	11.1	0.6	2.8	-1.0	1.1	1.0	1	0.40	0.70	5	B	III	
溪呂範溪	3.7	3.1	2.1	85.6	135	38.7	47.1	1.2	2.8	13.9	1.4	0.6	1	0.41	0.73	6	D	II	
高寮溪	1.9	2.0	2.5	71.0	140	34.5	36.4	1.1	0.2	3.1	1.4	0.3	1	0.44	0.78	6	D	II	
久岸溪	3.9	4.1	1.9	63.5	225	18.4	14.7	0.8	2.6	5.1	3.6	1.0	2	0.47	0.72	6	A	II	
新武呂溪	38.9	11.2	9.6	69.2	280	8.1	6.8	0.8	8.0	16.8	2.6	0.2	2	0.53	0.64	6	A	II	
卑紅石溪	2.9	3.9	1.9	92.3	270	20.6	28.3	1.4	2.3	0.8	1.3	0.5	2	0.55	0.58	6	A	I	
崁頂溪	3.4	4.5	2.0	53.0	275	33.3	60.2	1.8	6.3	3.7	1.2	1.2	3	0.40	0.57	6	A	I	
加鹿溪	2.5	5.0	2.8	47.3	235	20.2	26.9	1.3	2.7	2.3	1.2	0.7	2	0.50	0.60	6	A	I	
加拿典溪	5.3	11.1	4.4	58.5	285	19.8	60.8	3.1	7.4	44.4	1.3	0.5	1	0.38	0.52	6	A	II	
南鹿寮溪	19.6	8.7	5.9	65.0	210	18.4	28.0	1.5	27.0	19.1	1.7	0.5	3	0.55	0.62	6	A	III	
加拿大溪	4.5	7.1	4.9	52.8	270	26.7	67.3	1.8	10.2	18.0	1.2	1.0	2	0.40	0.55	6	A	III	
新班鳩溪	2.5	2.8	2.1	52.6	230	46.9	74.1	1.6	5.0	0.9	1.1	1.5	2	0.28	0.61	6	A	I	
舊班鳩溪	2.6	7.0	2.9	62.7	200	24.2	29.8	1.2	2.1	2.1	1.0	0.6	3	0.30	0.62	6	D	I	
溪太平溪	16.7	6.4	3.6	11.5	100	14.8	27.3	1.8	3.6	-1.0	1.9	0.8	2	0.37	0.56	6	B	I	
利嘉溪	52.4	12.0	10.9	69.5	65	10.0	11.8	1.2	4.6	-9.4	2.0	0.5	3	0.50	0.57	6	B	I	

Ps之1: Pebble 2: Cobble 3: Boulder

2. 扇尖角度與最大流幅

縱谷沖積扇的扇尖角度以秀姑巒溪系為最大多在 80 度以上，卑南溪系則以 50 度 ~ 60 度為主居末，花蓮溪系扇乃介乎其間，此因花蓮及卑南兩溪系統沖積扇，其扇頂多楔入山中，以致較為尖窄，而秀姑巒溪系統沖積扇之扇頂則接近谷口。

一般沖積扇的最大流幅，多在扇端位置。三大溪流系統中，花蓮溪系統扇最大流幅最寬，由於其扇端多位於寬闊的縱谷平原中，致其堆積物可自由開展堆積，因此扇形發展良好，扇端寬大。秀姑巒溪系扇則因其堆積場之範圍較為狹窄，致使其扇形多細長，扇端無法自由開展。卑南溪系則扇形開展程度不一，有開展極佳者，如利嘉扇，亦有較

為細長者如新武呂、崁頂、紅石等扇。

3. 坡度與坡度比

根據前人研究，一般大扇的坡度緩於小扇者。花蓮溪系扇面平均坡度最緩，除大富、光復扇稍大外多在 10 % 以下。秀姑巒溪居次，多在 10 % ~ 20 % 間，而以卓溪、樂樂扇較緩。卑南溪扇除新武呂溪扇最緩外，餘者多在 20 % ~ 30 % 間，是花蓮、秀姑巒、卑南三溪系統中最陡者。此外，海岸山脈側扇平均坡度多較中央山脈側者陡。

一般而言扇頂坡度多較扇面平均坡度陡，以卑南溪系扇最陡，其中崁頂、加拿大、加拿大水、新班鳩扇可達 60 % 以上，花蓮溪系者以光復、大富扇較大，分別為 33 % 、 52 %，餘者皆在 15 % 以下。秀姑巒溪系者，則以呂範、高寮、崙天諸扇在 30 % 以上，餘者多在 15 % 以下。

坡度比值可代表沖積扇縱剖面的形狀，此值在 1 以上，即縱剖面多呈微向上凹的曲線，本區諸扇多呈此現象，尤以加拿大、大富、富源、太平等諸扇更為明顯，坡度比值超過 2 (圖 3) 。

4. 切割度與河道偏倚度

切割度的大小可反映扇面保持的完整與否，間接反映水流的開析能力或堆積時間的新舊。切割度大者，即開析旺盛或沖積扇的時期較舊。一般而言，大扇的切割度較大如樂樂、木瓜、馬太鞍、新武呂等諸扇。此外，就河道偏倚度而言，扇面上的河道本為分歧，但主流常選擇較低處流，故河道常偏離扇中間，偏倚度值愈大者即偏離扇中線愈遠。本區龍泉、新班鳩、加拿大、崁頂、壽豐等扇偏倚度均大於 1，餘者皆在 1 以下，尤以富源與太平扇為最小。樂樂與崙天扇之河道多呈偏北流路 (秀姑巒溪北側支流富源、富興扇及轉折處附近之紅葉扇除外)，而其以南扇面河道多呈偏南流路。

5. 下切深度

卑南溪系統沖積扇的下切深度較大，平均下切深度為 7.2m，最大者鹿寮扇，扇面平均下切深度可達 27m，最小的舊班鳩扇亦可達 2.1m。花蓮溪系扇則除木瓜扇下切深度平均達 6.1m 較大外，餘在 1m 左右，壽豐扇則反呈現河床高於兩側扇面現象，可見其埋積旺盛情形。

根據河道下切與扇面間之關係，可分為五種類型 (圖 4)。其中 A 、 B 、 C 三者為切割型， D 、 E 二者為埋切型。 A 型即扇頂下切深度大於扇端下切深度； B 型即扇頂下切深度小於扇端下切深度； C 型乃河床之扇頂與扇端下切深度大約一致。。 D 型為扇頂下切，扇端埋積， E 型為扇頂埋積，扇端下切扇。本區內有一半以上的扇 (17 個扇) 屬 A 型，其中多分布於卑南溪， B 型扇 (5 個扇) 亦多分布於卑南溪及秀姑巒溪上， C 型扇僅太平扇屬之。 D 型扇 (共 7 個)，分布於花蓮溪及秀姑巒溪， E 型扇僅馬太鞍扇屬之。整體而言，本區有四分之三之沖積扇屬切割型，多分布於秀姑巒溪南側及卑南溪系統，尤以卑南溪諸扇最為明顯，而花蓮溪諸扇半數以上埋積旺盛，偏屬埋切型。

再就沖積扇面上開析的階數而言，秀姑巒溪系扇則多 II ~ III 階，卑南溪之新武呂、

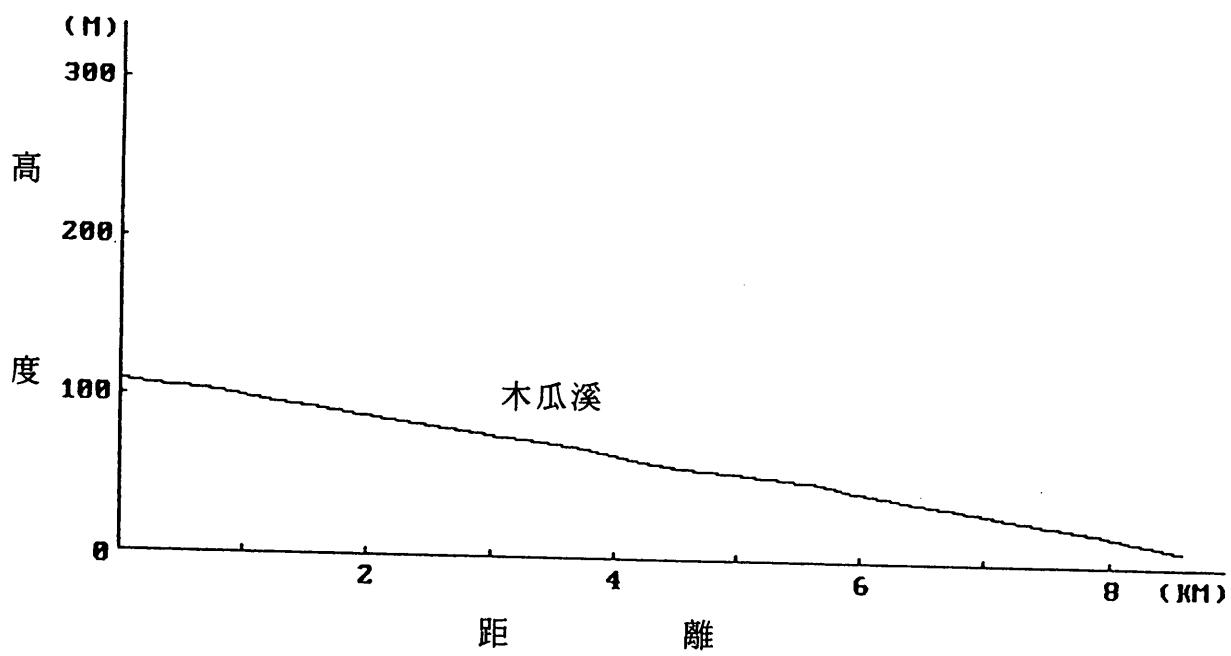
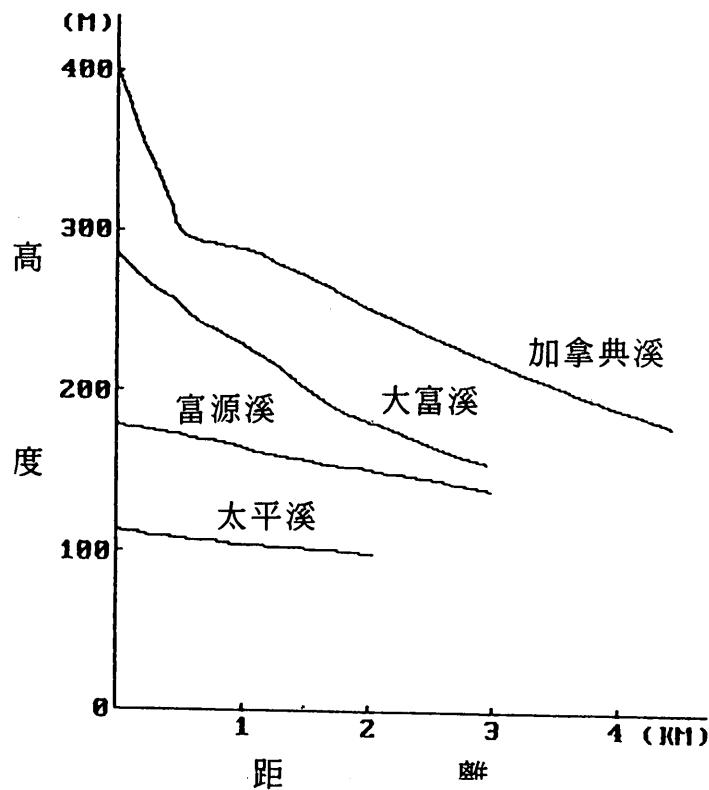


圖 3 河川縱剖面

加拿大、鹿寮、加拿大諸扇，出現Ⅱ~Ⅲ階外，餘多為Ⅰ階（表3），而花蓮溪者多為Ⅰ階，亦可反映秀姑巒溪、卑南溪地盤上升速率高於花蓮溪的不等量上升特性。

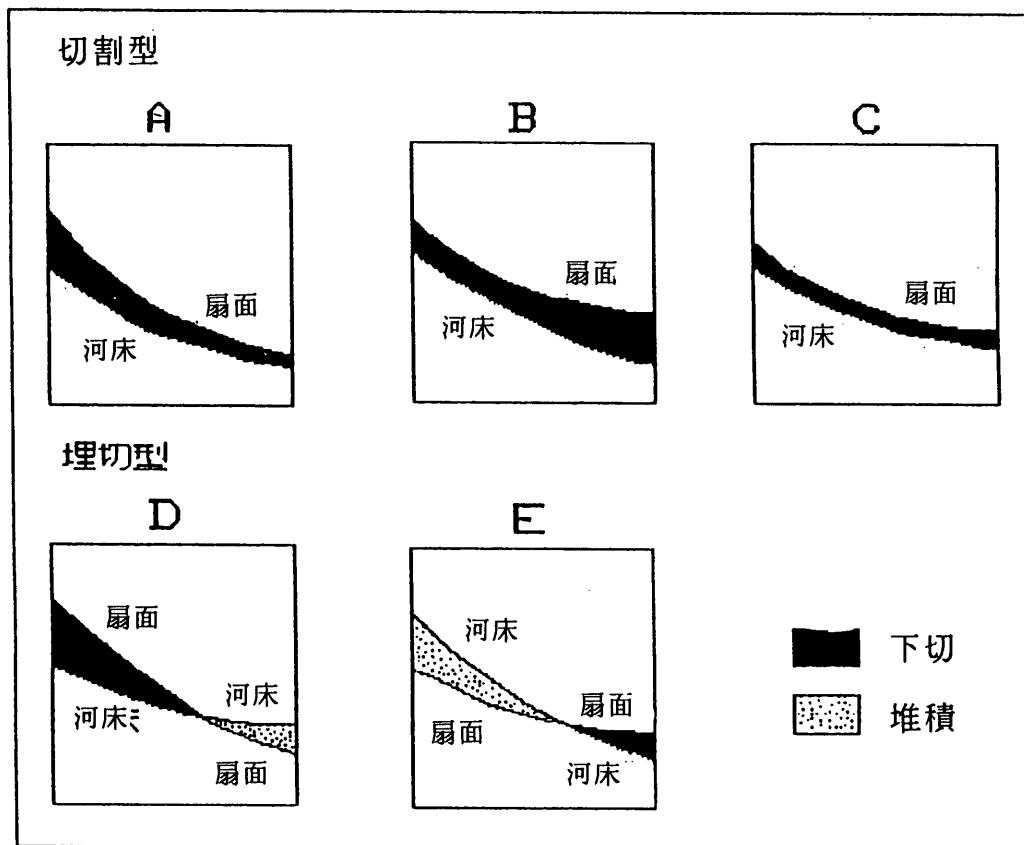


圖4 花東縱谷沖積扇下切類型

6. 堆積物特徵

由堆積物顆粒大小與淘選情形，可推知堆積物的生成環境。花蓮溪系扇之平均最大粒徑較小以小礫(pebble)與大礫(cobble)為主，卑南溪系諸扇則多以大礫與巨礫(boulder)為主。另就淘選情形而言，整個花東縱谷淘選度均在4以上，90%的扇淘選度達6，可謂淘選極差。

顆粒之形狀多就球度及圓度二項目進行分析，球度為受岩性之控制，圓度則與其堆積物所經歷之搬運距離與途中所受磨損激烈程度有關。本區球度亦可反映出縱谷兩側岩性之顯著差異，中央山脈側沖積扇堆積物球度較小，而海岸山脈側則球度較大。至於圓度，花蓮溪諸扇平均圓度較大，卑南溪系除新武呂、紅石、鹿寮諸溪外，多在0.3~0.5間，屬半圓狀；秀姑巒溪系扇則較不均一，太平扇圓度達0.8，為極圓狀，其餘者多在0.4

~ 0.5 間之半圓狀為主。

總之，本區沖積扇堆積物之組織，堆積物顆粒粗大、淘選極差，形狀多以半圓狀，扁長形為主。

(二)特徵變量間的關係

Reineck & Singh(1973) 曾指出扇面積愈大，扇徑愈大，扇坡度愈平緩。本研究將 31 個扇 16 個特徵變量，經相關分析，檢視其間的關係，結果可歸納如下四項：(表 4)

1. 沖積扇面積愈大者，流幅愈大，平均高度愈小，坡度愈平緩，淘選較佳。
2. 扇頂坡度愈大者，平均扇面的高度及坡度愈大，其縱剖面向上凹的現象愈明顯，堆積物顆粒的球度愈扁平。
3. 扇面高度愈大者，沖積扇面積愈小，扇頂坡度愈大，淘選度愈差。
4. 平均坡度愈平緩者，切割度愈大，河道偏倚度愈小。

表 4 沖積扇特徵變量間之關係

	Af	Lf	W	An	H	Sm	Sh	Sr	Tm	Td	D	R1	Ps	Rn	Sp	S
Af	1.00	.35	.92**	-.05	-.47*	-.48*	-.38	-.05	.13	-.02	.39	-.21	-.04	.33	-.24	-.51*
Lf	.35	1.00	.24	-.43*	-.29	-.22	-.07	.19	.07	-.01	.16	-.04	-.03	-.07	-.32	-.11
W	.92**	.24	1.00	.12	-.41	-.52*	-.37	-.02	.14	.06	.28	-.25	.38	.38	-.16	-.43*
An	-.05	-.43*	.12	1.00	-.12	-.04	-.07	.06	-.19	-.16	-.13	-.19	.36	.36	.36	-.10
H	-.47*	-.29	-.41	-.12	1.00	.40	.51*	.18	.27	.43*	-.26	.27	.04	-.19	-.17	.43*
Sm	-.48*	-.22	-.52*	-.04	.40	1.00	.83**	.12	.09	.15	-.45*	.35	-.20	-.45*	.06	.28
Sh	-.38	-.07	-.37	-.07	.51*	.83**	1.00	.59**	.26	.40	-.40	.20	-.15	-.40	-.28	.26
Sr	-.05	.19	-.02	.06	.18	.12	.59**	1.00	.25	.44*	-.03	-.31	-.06	.01	-.45*	.04
Tm	.13	.07	.14	-.19	.27	.09	.26	.25	1.00	.49*	.10	-.11	.29	.01	-.32	-.01
Td	-.02	-.01	.06	-.16	.43*	.15	.41	.44*	.49*	1.00	-.03	-.07	-.21	-.06	-.25	.03
D	.39	.16	.28	-.13	-.26	-.45*	-.40	-.03	.10	-.03	1.00	-.43*	.17	.13	-.04	-.12
R1	-.21	-.04	-.25	-.19	.27	.35	.20	-.31	-.11	-.07	-.43*	1.00	-.01	-.29	.13	.12
Ps	-.04	-.03	-.11	-.41	.04	-.20	-.15	-.06	.29	-.21	.17	-.01	1.00	-.21	-.20	.10
Rn	.33	-.07	.38	.36	-.19	-.45*	-.40	.01	.01	-.06	.13	-.29	-.21	1.00	.02	-.22
Sp	-.24	-.32	-.16	.36	-.17	.06	-.28	-.45*	-.32	-.25	-.04	.13	-.20	.02	1.00	.25
S	-.51*	-.11	-.43*	-.09	.43*	.28	.26	.04	-.01	.03	-.16	.16	.10	-.22	.25	1.00

** 99% 顯著水準

* 90% 顯著水準

Af：面積

H : 扇面高度

Tm : 河川下切深度

Ps : 平均最大粒徑

Lf : 縱長

Sm : 平均坡度

Td : 下切差值

Rn : 圓度

W : 流幅

Sh : 扇頂坡度

D : 切割度

Sp : 球度

An : 扇尖角度

Sr : 坡度比

R1 : 偏倚度

S : 淘選度

三、沖積扇形成要因之分析

由花東縱谷沖積扇的分布觀之，為何有些河流有沖積扇，有些河流則無？究竟是那些因子影響沖積扇存在的有無？那些因子影響沖積扇的特徵？為探討此問題，僅就其形成沖積扇的因子，決定沖積扇形成的因子，及影響沖積扇特徵的因子三方面加以分析：

3.1 形成因子

沖積扇的形成有二項基本要件，即集水域與山麓線。前者是指供應沖積扇堆積物的來源地，後者是指扇體堆積的場所。集水域的規模、氣候條件、地質狀況關係著堆積物

供應量的多寡，直接影響了沖積扇的規模；山麓的高低則影響沖積扇的分布與其形態，而山麓線的存在與地殼運動有密切的關係。戶谷洋（1971）曾以日本409個沖積扇為例，檢討影響沖積扇分布的因素，認為影響的因子為集水域的地形、地質、植被、堆積場的地質、地形等。齋藤享治（1988）則認為，集水域面積、山間盆地的有無、起伏比、堆積場、基盤地質、第四紀隆起量、活斷層的有無等11個因子具有影響。顯然地影響沖積扇的有無可歸納為集水域及堆積場兩個區的地形、地質、氣候各項因子。集水域的因子可決定沖積扇物質的供應量，堆積場的因子則控制是否具備使這些堆積物堆積的條件。綜合言之，沖積扇的形成與集水域及堆積場的因子有關。本研究乃參考前述研究選取13個因子探討沖積扇的形成，其中「集水域面積」、「起伏比」、「面積高度積分」、「主流長」、「主流等級」、「山間盆地面積」、「集水域內崩塌地面積」、「集水域地質」、「集水域地質年代」、「集水域水降雨量」等10個為集水域因子。「谷口距」為沖積扇域的因子，而「沖積扇堆積場區與集水域間降升率的差值」、「活斷層通過的有無」為集水域與沖積扇域共同之因子。各因子之代碼與計測方法如表5所示，計測的結果如表6所示。

表5 沖積扇形成因子之計測方法

變 數	代碼	單位	計 測 方 法
1 集水域面積	Ad	km^2	以求積儀計測而得
2 山間盆地面積	Ai	km^2	以求積儀計測而得
3 起伏比	Rh		集水域總起伏（最高點與最低點之差值）與集水域長徑之比
4 主流長	L	km	以曲線計測而得
5 主流等級	U		採用Strahler(1952)之分級方法
6 面積高度積分	Hi		以相對高度比為縱軸，相對面積比為橫軸，繪製各集水域面積高度曲線圖，並以曲線下方的面積除以總面積而得
7 集水域地質	Ds		採中央地調所1/25000地質圖資料
8 集水域地質年代	Gs		採中央地調所1/25000地質圖資料
9 崩塌地面積	AW	km^2	計測水土保持局與1/25000地形圖上崩塌地面積而得
10 年平均降雨量	R	mm	依據水資會統計民國38年至68年間各雨量站的記錄所繪成的年等雨線圖，套上以 km^2 為底的方格網圖，讀取方格交點的降雨量，再換算出全域之平均降雨量
11 溪口距	Dv	km	二溪流間的谷口距，並選取較短的一值為準
12 隆升率	Vd	m	集水域與堆積場的隆升率差值
13 活斷層位置	F1		谷口與活斷層間距離與確實度

表6 花東縱谷沖積扇形成因子之計測結果表

溪名	集水域面積 (km²)	山間盆地面積 (km²)	起伏比 (%)	主流長度 (km)	主流等級	面積高度 積分	集水域地質	地質年代	坳壩地面積 (km²)		降雨量 (100mm)	溪口距 (m)	隆升率 (m)	活斷層確實度(谷口距,位置)
									面積 (km²)	面積 (%)				
*木瓜溪	425.0	1.7	125	32.2	5	0.6	PM4	古生代--中生代晚期	1.0	30	6.9	12.2		
荖溪	47.9	3.2	200	13.2	2	0.4	PM5	古生代--中生代晚期	0.0	23	6.8	0.0		
*壽豐溪	213.7	3.8	129	27.3	4	0.7	PM4	古生代--中生代晚期	1.6	28	1.9	3.4		
北清水溪	21.9	0.2	250	3.9	3	0.6	PM5	古生代--中生代晚期	0.0	32	1.9	0.0		
鳳林溪	8.5	0.1	440	1.5	2	0.5	PM5	古生代--中生代晚期	0.0	34	4.9	0.0		
*萬里溪	234.3	0.8	125	41.6	5	0.6	PM4	古生代--中生代晚期	0.7	36	4.8	7.1		
*馬大數溪	136.3	2.7	141	30.1	4	0.6	混合型I	古生代--中生代晚期	1.0	31	5.9	-3.1	光復線型III(2.5km,F)	
*清水溪	12.9	0.2	360	3.6	3	0.6	PM5	古生代--中生代晚期	0.0	34	5.9	-1.7		
*光復溪	15.4	0.2	294	5.9	3	0.6	PM5	古生代--中生代晚期	0.3	30	3.8	-4.1		
六堵鼻溪	4.6	0.2	160	3.1	3	0.5	MPs	新第三紀中新世晚期	0.0	21	3.9	0.0	東富線型III(0.75km,F)	
加里洞溪	13.1	1.3	120	7.9	3	0.5	MPs	新第三紀中新世晚期	0.0	21	2.9	2.2		
利哈岸溪	5.6	0.2	150	5.3	3	0.4	MPs	新第三紀中新世晚期	0.0	22	1.1	-7.0		
瑞達橋溪	5.9	0.2	150	5.6	3	0.5	MPs	新第三紀中新世晚期	0.0	24	1.1	0.0		
麗太溪	6.7	0.4	120	5.5	2	0.5	MPs	新第三紀中新世晚期	0.0	29	2.6	-4.4		
*大富溪	4.7	0.2	120	3.2	2	0.6	MPc	新第三紀中新世晚期	0.0	30	5.6	12.8		
*富源溪	87.0	0.4	239	16.8	3	0.6	PM5	古生代--中生代晚期	0.2	28	10.1	-5.4		
*紅葉溪	49.2	1.1	152	8.5	3	0.5	PM5	古生代--中生代晚期	0.0	31	10.9	-8.6		
*太平溪	158.3	5.2	119	46.0	4	0.6	PM5	古生代--中生代晚期	0.9	34	10.9	-8.9	玉里斷層I(集水域)(0.325km,D)	
*卓溪	26.2	1.7	253	6.5	2	0.4	混合型II	古第三紀	0.0	29	5.7	0.0		
*源溪	5.0	0.3	290	1.7	2	0.5	Eh	古第三紀	0.0	25	4.3	0.0		
*樂業溪	629.5	4.1	89	54.6	5	0.7	Eh	古第三紀	9.9	30	9.0	-9.0		
廟仔港溪	2.2	0.0	310	0.9	1	0.6	Eh	古第三紀	0.0	21	3.3	10.0		
*蔚天溪	30.0	1.9	243	6.8	3	0.6	混合型II	古第三紀	0.0	21	9.0	6.2		
石平溪	5.8	0.6	250	3.2	2	0.5	Eh	古第三紀	0.0	20	2.0	3.8		
山腳溪	3.0	0.1	290	2.0	2	0.7	Eh	古第三紀	0.0	20	2.0	0.0		
*龍泉溪	33.5	3.5	229	8.8	2	0.5	混合型II	古第三紀	0.0	20	7.7	17.5		
*富興溪	3.1	0.7	148	3.0	2	0.6	MPc	新第三紀中新世晚期	0.0	29	6.6	14.6		
大肚滑溪	3.7	0.4	120	2.8	2	0.7	MPc	新第三紀中新世晚期	0.0	26	1.9	7.3	烏泥斷層II(1.5km,F)	
麟岡溪	1.7	0.2	130	1.5	1	0.8	混合型III	新第三紀中新世晚期	0.0	24	0.2	2.4	烏泥斷層II(0.5km,F)	
安夜西溪	7.4	0.3	70	6.1	2	0.7	混合型III	新第三紀中新世晚期	0.0	24	2.2	4.0		
打蓮鬼溪	3.3	0.0	130	2.5	1	0.7	MPs	新第三紀中新世晚期	0.0	21	2.3	-4.3		
*苓仔寮溪	12.4	1.3	196	4.1	2	0.5	Mt	新第三紀中新世早期	0.0	22	3.5	0.0		
*呂範溪	4.7	0.1	287	2.3	2	0.5	Mt	新第三紀中新世早期	0.0	23	3.5	0.0	麻汝斷層I(2.5km,F)	
阿眉溪	6.5	0.1	270	5.0	2	0.7	Mt	新第三紀中新世早期	0.0	23	1.1	0.0		
尋腰溪	1.8	0.1	330	1.2	1	0.7	Mt	新第三紀中新世早期	0.0	23	2.3	-5.4		
*高寮溪	5.1	0.1	279	1.9	3	0.7	Mt	新第三紀中新世早期	0.0	23	7.1	0.0		
樂合溪	34.9	0.5	120	11.1	3	0.5	混合型IV	新第三紀中新世早期	0.1	22	2.5	0.0		
安通溪	17.9	0.3	156	7.8	3	0.5	混合型IV	古生代--中生代晚期	0.0	21	2.4	-5.0		
吳再溪	7.5	0.2	170	5.1	2	0.4	W	古生代--中生代晚期	0.0	21	1.4	-14.0		
供仔溝溪	2.6	0.1	135	1.6	1	0.7	混合型V	古生代--中生代晚期	0.0	21	1.4	-5.9		
阿眉溪	18.7	0.4	190	7.7	3	0.5	混合型VI	新第三紀中新世早期	0.0	21	2.1	-17.9		
馬加祿溪	6.2	1.1	220	3.7	2	0.5	Mt	新第三紀中新世早期	0.0	21	3.0	-6.8		
*久岸溪	16.8	0.3	241	5.4	3	0.6	Mt	新第三紀中新世早期	0.0	22	2.6	-3.6		
蠟仔溪	13.0	0.8	200	6.5	2	0.5	Mt	新第三紀中新世早期	0.0	21	1.0	-2.6		
石牌溪	2.4	0.1	70	2.4	1	0.6	Mt	新第三紀中新世早期	0.0	20	1.0	0.0		
鴉溪	47.6	4.2	150	16.1	4	0.5	混合型IV	新第三紀中新世早期	0.0	21	2.7	-5.8		
阿里山溪	2.1	0.0	120	1.7	2	0.7	Mt	新第三紀中新世早期	0.0	20	2.7	-6.5		
大坡南溪	10.6	0.4	180	4.1	1	0.5	Mt	新第三紀中新世早期	0.0	21	2.7	7.1	石牌斷層I(集水域)(0.525km,D)	
*新武呂溪	579.9	4.6	96	50.8	5	0.6	Eh	古第三紀	3.9	30	6.5	17.1		
*紅石溪	10.6	0.5	338	3.4	3	0.6	Eh	古第三紀	0.0	22	6.5	0.0		
*崁頂溪	11.0	0.4	289	3.4	2	0.6	混合型II	古第三紀	0.0	23	4.3	0.0		
*加鹿溪	8.4	0.4	307	3.7	2	0.5	混合型II	古第三紀	0.0	25	4.3	7.2		
*加拿大溪	12.2	0.3	281	1.5	2	0.5	混合型II	古第三紀	0.0	27	2.7	4.7		
*鹿寮溪	122.3	1.3	146	24.2	4	0.6	PM3	古生代--中生代晚期	0.6	31	4.0	8.7		
*加拿大溪	4.6	0.2	281	1.1	2	0.6	Eh	古第三紀	0.0	22	4.0	0.0	新良斷層I(集水域)(2.075km,D)	
鹿野溪	477.0	1.0	190	51.5	4	0.6	Eh	古第三紀	2.5	29	5.0	-1.2	鹿野斷層I(斷)(2.375km,F)	
*忻班鳩溪	4.2	0.2	267	1.7	3	0.5	Eh	古第三紀	0.0	23	10.3	0.0		
*舊班鳩溪	3.8	0.2	283	1.6	2	0.6	Eh	古第三紀	0.0	23	3.0	0.0	橫都斷層I(B)(3.75km,D)	
*太平溪	16.4	1.6	211	5.6	4	0.6	Eh	古第三紀	0.0	24	5.7	6.2		
*利嘉溪	148.5	2.9	123	24.1	4	0.6	混合型II	古第三紀	0.4	28	5.7	19.8		
萬安溪	3.1	0.0	250	3.1	2	0.7	Mt	新第三紀中新世早期	0.0	21	1.4	0.0		
富興溪	2.0	0.0	280	2.0	3	0.6	混合型VII	第四紀更新世	0.0	21	1.4	0.0		
四號橋溪	5.6	0.1	220	5.6	2	0.5	混合型VII	第四紀更新世	0.0	20	1.8	0.0		
泥水溪	6.8	0.0	210	6.8	3	0.5	PQ1	第四紀更新世	0.0	20	2.4	0.0		
高武溪	8.6	0.0	180	8.6	3	0.6	混合型VII	第四紀更新世	0.0	20	3.2	0.0		
濁水溪	10.2	0.3	150	10.2	2	0.5	PQ1	第四紀更新世	0.0	20	2.8	0.0		
木坑溪	11.4	0.2	110	11.4	2	0.7	PQ1	第四紀更新世	0.0	20	2.8	2.5		
中野溪	11.5	0.0	190	11.5	3	0.5	MPs	新第三紀中新世晚期	0.1	19	7.0	-9.9		

註：PM3：變質石灰岩 PM4：大南澳片岩(黑色片岩,綠色片岩,矽質片岩) PM5：黑色片岩 Eh：千枚岩,板岩 M1：板岩,硬頁岩 Mt：集塊岩 MPs：頁岩,泥岩 MPC：礫岩 PQ1：泥岩 W2：基性火成岩(蛇紋岩)

混合型I: PM3,PM4,PM5 混合型II: PM5,Eh 混合型III: MPC,MPs 混合型IV: MPs,Mt 混合型V: Q6,W 混合型VI: MPs,Mt,Q6 混合型VII: Mt,PQ1

*：表有斷裂之溪

3.2 決定沖積扇存在的因子

為探討影響沖積扇有無的因子，本研究將前述的集水域及堆積場的各因子加以常態分類（表7），並分別統計各因子有扇與無扇二類的頻率（表8），經過多變量統計中之判別分析（discriminant analysis）⁴⁾。結果顯示決定花東縱谷溪流中是否會產生沖積扇最重要的因子依序為谷口距、隆升率、地質年代、降雨量、河流等級、主流長及崩塌地面積等七個因子。其中前二項為反映著堆積空間的大小，後五項乃反映集水域的規模、氣候及地質條件，代表岩屑供應量的多寡。

另依據上述的七項影響沖積扇存在與否之因子，重新檢定縱谷中之68條溪流，結果60條河川判別正確，占88.24%，判錯的比率約12%（表9）。判錯的原因可能是有一些因子，如流量、植被、土地利用等，因資料收集不易尚未列入考量。

3.3 影響沖積扇特徵的因子

花東縱谷各沖積扇形態如前述，面積大小有別、陡緩不一，切割程度不同，為了解沖積扇形態及影響因子間關係，本研究乃先就花東縱谷31個沖積扇的16個形態特徵與13個形成因子間的相互關係，進行探討。結果沖積扇面積、坡度、流幅、切割度與集水域的面積、起伏比、主流長、山間盆地面積間關係密切（表10）。

Bull(1964a)曾指出扇面的大小與流域面積間有如下關係：

$$A_f = c \cdot A_d^n$$

其中， A_f 為沖積扇面積； A_d 為集水域面積； c 與 n 為常數。

而 Hooke(1968)指出 c, n 值各地不一， c 值介於0.15~2.1之間， c 值則與單位面積的堆積量有關， c 值愈大，表示堆積量愈大， n 值接近0.9定值。花東縱谷全區沖積扇面積與集水域面積間關係如圖5A所示，其 c 為0.62， n 為0.67。將此二值與 Denny(1965)研究死谷的沖積扇 c 為0.5， n 為0.8，相比可知其單位面積堆積量較死谷為大；但 n 值則較小，表示集水域面積與沖積扇面積間能量的轉換，本研究區較乾燥之死谷區，變異更大，即影響沖積扇面積之因子，本區遠較乾燥區複雜。

另外，沖積扇坡度也與集水域面積相關，集水域面積愈大，扇坡有變小的傾向（圖5B）。

然而，影響沖積扇形態的要因主要為何？本研究乃以16個特徵變量，經因子分析（factor analysis），再以Quatimax法轉軸後，得出特徵值（固有值，eigenvalue）大於1的共同因子，共計5個（表11），各沖積扇特徵與共同因子的負荷量（factor loading）如圖6所示，各因子解釋如下：

1. 第一因子

沖積扇面積(A)、最大流幅(W)、淘選度(S)等三特徵之因子負荷量在0.7以上（圖6），此因子的固有值為4.26，解釋量占26.6%（表11）。集水域面積與沖積扇面積關

4) 判別分析法中，採逐步變數選擇法（stepwise selection）

係密切 (Bull, 1962; Denny, 1965; Hooke, 1968; Beaumont, 1972) 即集水域面積愈大，沖積扇面積一般亦愈大。

花東縱谷沖積扇中第一因子得點 (factor score) 高者有木瓜、壽豐、萬里、利嘉等集水域面積大之扇；崁頂、舊斑鳩等集水域面積小之扇此值較小，因此第一因子可命名為沖積扇規模，並以集水域面積解釋之（表 12）。

表 7 各因子之常態分類表

因 子				分 類							
				1	2	3	4	5	6	7	8
集 形	地	I	集水域面積 (km ²)	0~3	~6	~17	~40	~100	~251	~631	
		II	山間盆地面積 (km ²)	0~1.6	~2.5	~4.0	~6.3				
		III	起伏比 (%)	0~100	~158	~251	~398	~630			
	水	IV	主流長 (km)	0~4	~8	~16	~32	~63			
		V	主流等級	1	2	3	4	5			
		VI	面積高度積分	0~0.32	~0.40	~0.50	~0.6	~0.83			
域	地 質	VII	集水域地質	片岩	火成岩	千枚岩	集塊岩	泥岩	礫岩	片岩板岩 互層	集塊岩泥岩 礫岩互層
		VIII	集水域年代	中生代晚期 ~古生代	古第三紀	新第三紀 中新世早期	新第三紀 中新世晚期	中新世 ~更新世			
	地 形 質	IX	崩塌地之有無	無	有						
	氣 候	X	降雨量 (mm)	0~2000	~2500	~3200	~400				
沖 扇 積 域	地 形	XI	溪口距 (km)	~2	~4	~8	~16				
集 冲 水 積 域 扇 及 域	地 形	XII	地盤垂直變動 量(m)(+17.9)	~1.6	~2.5	~4.0	~6.3	~10	~15.8	~25.1	~39.8
		XIII	活斷層	無	有 I	有 II	有 III				

表8 各類因子的流域數

因 子				分 類								
					1	2	3	4	5	6	7	8
集 水 域	形 地	I	集水域面積 (km ²)	有扇 無扇	0 8	8 8	9 14	3 4	2 2	6 0	6 0	3 1
		II	山間盆地面積 (km ²)	有扇 無扇	20 35	4 0	4 1	3 1				
		III	起伏比 (%)	有扇 無扇	2 2	10 14	6 15	13 5	0 1			
		IV	主流長 (km)	有扇 無扇	13 16	6 13	2 6	6 1	4 1			
		V	主流等級	有扇 無扇	0 7	12 16	9 12	6 2	4 0			
		VI	面積高度積分	有扇 無扇	0 0	0 1	4 8	23 16	4 11			
域	地 質	VII	集水域地質	有扇 無扇	10 3	0 2	8 4	4 8	0 11	1 2	7 0	0 8
		VIII	集水域年代	有扇 無扇	10 6	15 4	4 11	2 10	0 6			
	地 形 質	IX	崩塌地之有無	有扇 無扇	14 28	17 9						
	氣 候	X	降雨量 (mm)	有扇 無扇	1 10	13 22	14 4	3 1				
沖 扇 積 域	地 形	XI	溪口距 (km)	有扇 無扇	1 15	8 18	16 4	6 0				
集 沖 水 積 域 扇 及 域	地 形	XII	地盤垂直變動 量(m)(+17.9)	有扇 無扇	0 1	0 0	0 1	0 1	0 1	5 10	19 21	7 2
		XIII	活斷層	有扇 無扇	26 32	4 2	0 2	1 1				

表9 沖積扇存在與否之樣本得點

樣本	實際群落	判別結果	判別積分(樣本得點)	樣本	實際群落	判別結果	判別積分(樣本得點)
1 木瓜溪	1	1	2.7614	35 尋腰溪	2	2	-1.7177
2 菁溪	2 **	1	0.6768	36 高寮溪	1	1	1.3415
3 潤豐溪	1	1	0.1623	37 榮合溪	2	2	-0.9355
4 北清水溪	2 **	1	0.8775	38 安通溪	2	2	-0.5615
5 凤林溪	2 **	1	1.7280	39 吳再溪	2	2	-1.8742
6 萬里溪	1	1	1.4779	40 供仔溝溪	2	2	-1.5374
7 馬太鞍溪	1	1	0.8592	41 阿眉溪	2	2	-2.3311
8 清水溪	1	1	2.2201	42 馬加祿溪	2	2	-1.4086
9 光復溪	1	1	0.9922	43 久岸溪	1 **	2	-0.8224
10 六階鼻溪	2	2	-0.4002	44 螺仔溪	2	2	-2.0575
11 加里洞溪	2	2	-0.8940	45 石牌溪	2	2	-2.0957
12 利哈岸溪	2	2	-1.9682	46 驚溪	2	2	-1.2439
13 瑪達娜溪	2	2	-1.2845	47 阿里山溪	2	2	-1.4434
14 麗太溪	2	2	-1.1441	48 大坡南溪	2	2	-0.9969
15 大富溪	1	1	1.4432	49 新武呂溪	1	1	2.1568
16 富源溪	1	1	2.1419	50 紅石溪	1	1	1.2871
17 紅葉溪	1	1	2.9368	51 岱頂溪	1	1	0.0878
18 太平溪	1	1	1.4226	52 加鹿溪	1	1	0.7839
19 卓溪	1	1	0.9163	53 加拿典溪	1	1	0.3878
20 源城溪	1	1	0.3736	54 鹿寮溪	1	1	1.4945
21 樂樂溪	1	1	2.3910	55 加拿水溪	1 **	2	0.0695
22 磻仔港溪	2	2	-0.0014	56 鹿野溪	2	2	-0.7339
23 帷天溪	1	1	2.2984	57 新班鳩溪	1	1	2.7981
24 石平溪	2	2	-0.6643	58 舊班鳩溪	1 **	2	-0.2091
25 山腳溪	2	2	-0.8737	59 太平溪	1	1	2.0271
26 龍泉溪	1	1	1.9998	60 利嘉溪	1	1	2.2662
27 富興溪	1	1	1.8314	61 萬安溪	1	2	-1.4045
28 大肚滑溪	2	2	-0.5880	62 富興溪	2	2	-1.5432
29 鯉岡溪	2	2	-2.1600	63 四號橋溪	2	2	-2.2293
30 安夜西溪	2	2	-1.1476	64 泥水溪	2	2	-1.6171
31 打落馬溪	2	2	-2.2418	65 震武溪	2	2	-1.4330
32 蒂仔齋溪	1 **	2	-0.6408	66 潛水溪	2	2	-2.2047
33 呂範溪	1 **	2	-0.4430	67 木坑溪	2	2	-2.0952
34 阿眉溪	2	2	-1.4805	68 中野溪	2	2	-0.7816

樣本分類正確的總百分比為 88.24%

表10 沖積扇特徵與形成因子間相關

	Ad	A1	Rh	L	U	H1	Ds	Gs	Aw	R	Dv	Vd	F1
Af	.72**	.44*	-.64**	.64**	.73**	.31	-.29	-.35	.46*	.39	-.16	.29	-.05
Lf	.12	.15	-.18	.12	.36	.12	-.14	-.12	-.07	.00	-.07	.09	-.07
W	.65**	.44*	-.64**	.58**	.59**	.28	-.19	-.24	.55**	.51*	-.24	.38	-.06
An	-.09	.00	-.23	-.06	-.22	-.04	.17	.49*	.36	.15	-.00	.25	.08
H	-.35	-.22	.33	-.39	-.39	-.13	.36	.19	-.29	-.38	-.07	.10	-.10
Sm	-.68**	-.53**	.61**	-.65**	-.51*	-.10	.23	.39	-.30	-.55**	-.14	.02	-.01
Sh	-.56**	-.49*	.52*	-.57**	-.44*	-.02	.21	.23	-.24	-.29	-.09	.05	.01
Sr	-.04	-.15	.07	-.09	-.01	.16	-.02	-.13	-.02	.34	.12	.01	-.01
Tm	.26	-.10	-.19	.22	.21	.00	-.16	-.21	.20	.07	-.14	.27	-.09
Td	-.03	-.15	.14	-.11	-.09	-.08	.03	.06	-.08	.08	-.41	.08	-.02
D	.63**	.51*	-.60**	.63**	.70**	.39	-.34	-.18	.48*	.39	.18	-.45*	.05
R1	-.41	-.19	.33	-.37	-.44*	-.37	.26	.17	-.38	-.63**	-.21	.15	-.22
Ps	.20	.06	.09	.16	.12	-.26	-.07	-.41	-.22	.09	.30	-.06	.23
Rn	.41	.37	-.34	.40	.30	-.01	-.12	-.18	.33	.35	-.01	.27	.19
Sp	-.24	-.05	.03	-.21	-.29	-.08	.08	.43*	.02	-.17	-.04	.10	-.10
S	-.34	-.08	.24	-.33	-.40	.00	.27	.20	-.28	-.26	.03	-.17	.12

** 99% 顯著水準

* 90% 顯著水準

Af：面積

H：扇面高度

Tm：河川下切深度

Lf：縱長

Sm：平均坡度

Ps：平均最大粒徑

W：流幅

Sh：扇頂坡度

Rn：圓度

An：扇尖角度

Sr：坡度比

D：切割度

Td：下切差值

R1：偏倚度

Sp：球度

R1：偏倚度

R1：偏倚度

S：淘選度

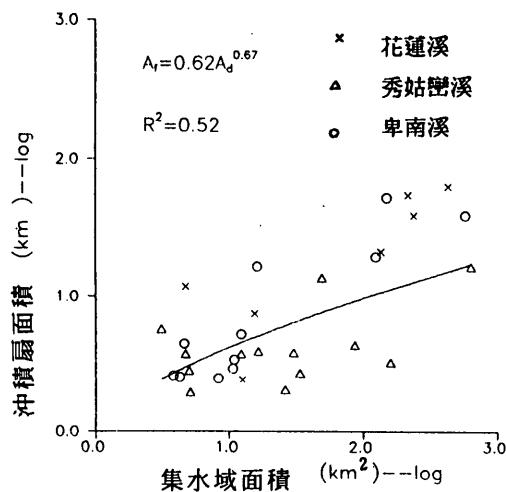


圖 5A. 花東縱谷沖積扇面積
與集水域面積關係

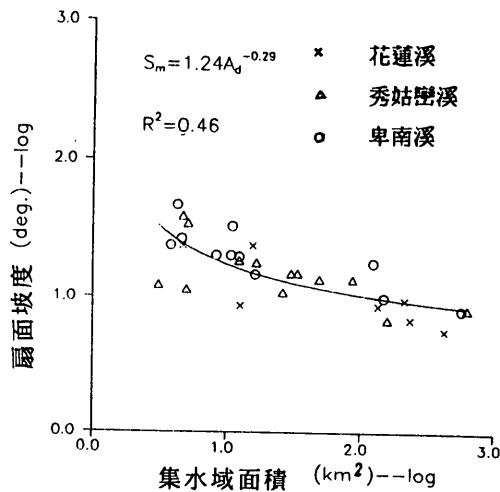
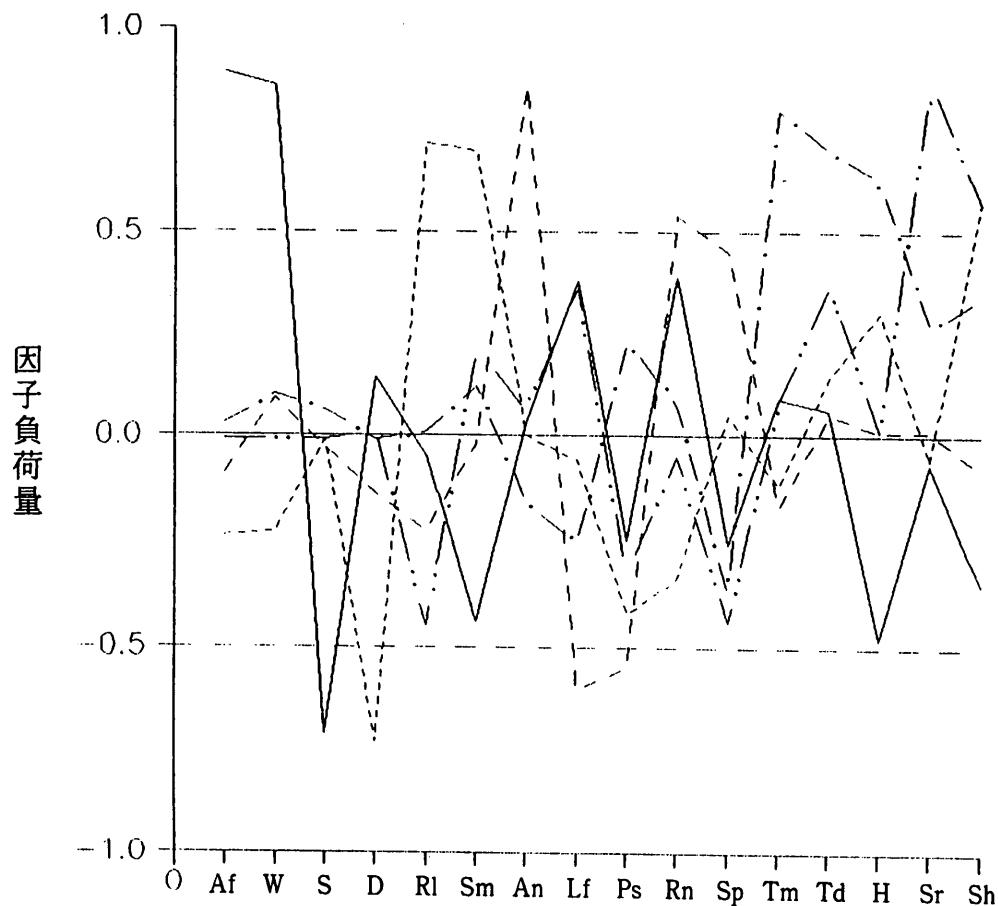


圖 5B. 花東縱谷沖積扇坡度
與集水域面積關係

表 11 花東縱谷沖積扇特徵之因子分析

因子 特徵	第一 因子	第二 因子	第三 因子	第四 因子	第五 因子
Af	.8915	-.2451	-.0901	.0345	-.0149
W	.8620	-.2388	.0973	.0958	-.0127
S	-.7117	-.0050	-.0313	.0598	-.0080
D	.1453	-.7314	-.1368	-.0106	.0137
R1	-.0524	.7257	-.2335	.0147	-.4500
Sm	-.4428	.7084	-.0226	.1176	.2147
An	.0268	-.0004	.8658	-.1581	.0629
Lf	.3842	-.0637	-.5987	-.2595	.3657
Ps	-.2528	-.4274	-.5483	.2327	-.3347
Rn	.3911	-.3488	.5422	.0735	-.0468
Sp	-.2634	.0476	.4530	-.3717	-.4451
Tm	.0894	-.1182	-.1742	.8032	.0833
Td	.0570	.1405	.0510	.6995	.3715
H	-.4823	.3003	.0108	.6298	.0111
Sr	-.0738	-.0597	.0058	.2582	.8685
Sh	-.3564	.5705	-.0818	.3366	.5731
特徵值	4.25	2.75	1.93	1.43	1.15
解釋率%	26.6	17.2	12.1	8.9	7.2
累積解釋率%	26.6	43.8	55.9	64.8	72.0



沖積扇特徵

Af : 面積	H : 扇面高度	Tm : 河川下切深度	Ps : 平均最大粒徑
Lf : 繼長	Sm : 平均坡度	Td : 下切差值	Rn : 圓度
W : 流幅	Sh : 扇頂坡度	D : 切割度	Sp : 球度
An : 扇尖角度	Sr : 坡度比	R1 : 偏倚度	S : 淘選度

- 因子 1 集水域面積
- 因子 2 扇面時期
- 因子 3 堆積空間
- 因子 4 地盤隆升量
- 因子 5 起伏比

圖 6 花東縱谷沖積扇特徵因子負荷量圖

表 12 沖積扇特徵之共通因子

因子	沖積扇特徵變項	因子命名	因子解釋
1	沖積扇面積、最大流幅 、淘選度	扇面規模	集水域面積
2	切割度、河道偏倚度、 平均坡度	開析程度	扇面時期
3	扇央角度、縱長、最大 粒徑、圓度、球度	扇面形狀	堆積空間
4	下切深度、下切差值、 扇面高度	下切程度	地盤隆升量
5	坡度比、扇頂坡度	斷面形態	起伏比

2. 第二因子

切割度 (D_c , -0.7314) 、河道偏倚度 (R_1 , 0.7257) 、平均坡度 (S_m , 0.7084) 三特徵之因子負荷量在 0.7 以上，此因子的固有值為 2.75，解釋量占 17.2%，表示沖積扇面切割度小者，河道偏倚度高，平均坡度低。太田（1971）認為影響沖積扇開析狀態（切割度）的控因與影響河階切割、保存的控因近似，即時間因子。

檢視花東縱谷第二因子，因子得點高者有苓仔齋、呂範等切割度較高者，低者有紅石、加鹿、龍泉等切割度較低者，因此可用扇面開析度為第二因子命名，並可以扇面形成後所經過的時間即扇面時期為此因子加以解釋。

3. 第三因子

扇央角度 (A_n , 0.8658) 、縱長 (L , -0.5987) 、最大粒徑 (P_s , -0.5483) 、圓度 (R_n , 0.4530) 、球度 (S_p) 等五特徵之因子負荷量以扇央角度的 0.87 最高，此因子固有值為 1.93，解釋量占 12%。其因子得點較高者為大富、太平（秀姑巒溪）、富興、苓仔齋扇，較小者為卑南之太平、樂樂扇，因此可用扇面形狀為此因子命名，以沖積扇堆積空間為此因子解釋。

4. 第四因子

下切深度 (T_m , 0.8032) 、下切深度差 (T_d , 0.6995) 、扇面高度 (H , 0.6298) 三特徵之因子負荷量在 0.63 以上，固有值為 1.43，解釋量占 8.9%，表示沖積扇下切深度愈大，扇面有愈高趨勢。因子得點高者有鹿寮、加拿大、加拿大、新武呂等下切深度極大之扇，低者為卑南溪系之太平、高寮等扇。

許多花東縱谷下切深度的研究論文指出，扇面的下切深度與隆升率大小有關係 (Suppe, 1981; 1984; Lin, 1991; Kunepfer, 1992)，因此可用扇上河道下切程度為此因子命

名，以地盤隆升率為此因子解釋。

5. 第五因子

坡度比 ($S, 0.8685$)、扇頂坡度 ($Sh, 0.5731$) 二特徵之因子負荷量以坡度較高，固有值為 1.15，解釋量占 7.2%，表示扇頂坡度愈大，沖積扇縱剖面有愈向上凹。因子得點高者如加拿大、大富，低者如龍泉等溪。許多學者曾指出扇面坡度與上游流域河床坡降關係密切 (Bull, 1964; Melton, 1965; Hooke, 1968; Beaumont, 1972)。因此可用沖積扇斷面為此因子命名，以集水域上之起伏比為此因子做解釋。

總之影響花東縱谷沖積扇形態的五個要因為集水域面積、扇面時期、堆積空間、地盤隆升量、起伏比等加以解釋⁵⁾。

四、沖積扇演育之假說與驗證

沖積扇演育的研究早受重視，曾先後有侵蝕輪迴、動態平衡、氣候關聯三假說被提出，以下乃針對此三假說之內容加以說明，並檢視花東縱谷沖積扇的演育模式。

4.1 假說

沖積扇演育的研究早受重視，1898 W. M. Davis(1898) 提出侵蝕輪迴說，1960 年代美西的一連串沖積扇研究之後，Bull (1964)、Denny(1964)、Hooke(1965、1967、1968) 等人歸納前人的研究提出了動態平衡說，Lustig(1965、1974) 更強調氣候變化對沖積扇的演育之關係而提出了氣候關聯說。

1. 侵蝕輪迴說

沖積扇的發育與地形時期有關，幼年期的流域小；沖積扇的面積小，隨著流域增大，沖積扇也隨之擴大，到了老年期，沖積扇被開析侵蝕，雖然流域面積不變，但沖積扇面積也隨之縮小。同樣規模的流域，幼年期的沖積扇比壯年期、老年期均小（圖 7A）。

2. 動態平衡說

沖積扇的演育過程，不強調時間因素，而認為其與集水域面積、地質、地形、岩屑供應量關係密切。換言之，沖積扇的堆積速度與上游侵蝕速度吻合，沖積扇的消長與上游源區的岩屑供應量取得平衡（圖 7B）。

3. 氣候關聯說

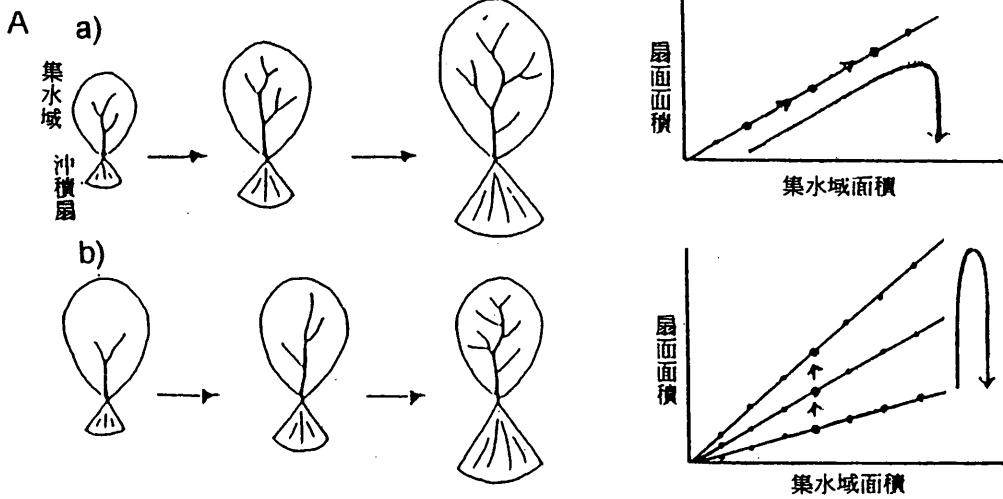
沖積扇的發育與氣候條件密切相關，氣候溫暖潮溼，降水量大，沖積扇面積大。相同規模的集水域，因氣候情形不一，沖積扇的規模亦不相同（圖 7C）。

4.2 驗證

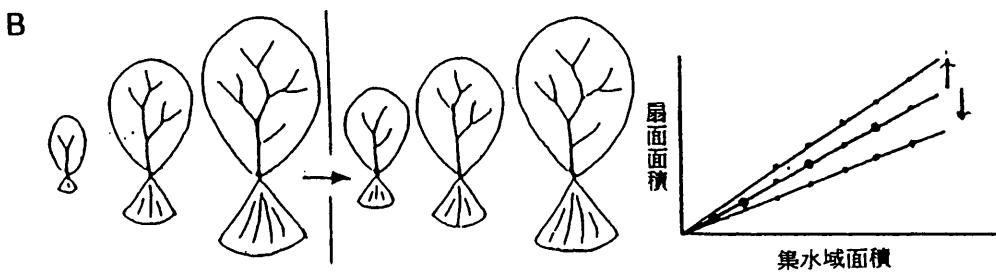
為探求花東縱谷沖積扇的演育模式中的侵蝕輪迴說，本研究先檢視沖積扇面積與集

⁵⁾ 本研究經正準相關 (canonical correlation analysis, 典式相關) 結果得知集水域面積與第 1 因子之三沖積扇特徵關係較大，而起伏比則與第 5 因子之坡度比、扇頂坡度關係較密切，其餘則相關不顯著。

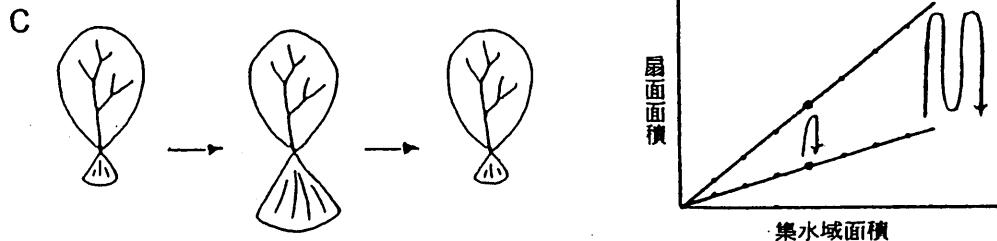
侵蝕輪迴說



動態平衡說



氣候關聯說



(齋藤, 1988)

圖7 沖積扇發育的三個假說示意

水域面積高度積分（表示集水域地形發育時間的長短）二者間之關係，結果在百分之九十九顯著水準檢定下並無顯著相關（表 10），顯示以不同流域的地形時期，並無法解釋沖積扇面積的大小。事實上，現今的地形只是長久地形演育的一小段，無法掌握同一流域的各地形時期的沖積扇變化，故不易驗證。

至於氣候關聯說的驗證，本研究檢視研究區上游集水域降水量與沖積扇面積二者間確有密切關係（表 10）。但因本區尚未建立完整的定年及氣候變遷的資料，因此確切氣候變遷對沖積扇演育的影響仍不易掌握。

最後，本研究檢視集水域各地形因子與沖積扇特徵間關係，結果顯示集水域的面積、起伏比、主流規模等因子與扇面積、坡度、最大流幅及切割度間關係密切。集水域面積愈大，沖積扇面積愈大，坡度愈平緩。起伏比愈大扇坡度愈陡，沖積扇面積有愈小的趨勢（表 10）。由上述可知，本研究區沖積扇的發育，深受上游集水域的影響，因此，本區沖積扇的演育模式似較適以動態平衡說的演育模式，加以解釋。

伍、結論

花東縱谷為台灣沖積扇發達地區之一，根據航照判圖、室內計測及野外考察獲得沖積扇特徵之計測資料，並利用所得之資料，統計分析比較各沖積扇的特徵，探討沖積扇的存在與否之因子及影響沖積扇形態特徵之因子並驗證其演育模式。結果本區之沖積扇的地形特色如下：

1. 花東縱谷 68 條河川，面積大於 2 平方公里之沖積扇，共 31 個，其中屬於花蓮溪系為 7 個，秀姑巒溪系 13 個，卑南溪系 11 個。中央山脈側 25 扇，海岸山脈側 6 扇。
2. 沖積扇規模以花蓮溪系扇較大，坡度緩，秀姑巒溪及卑南溪諸扇較小，但較陡。中央山脈側規模遠較海岸山脈側者大。
3. 順應地勢，在樂樂、崙天溪以北，諸扇之河道多偏北流；以南多偏南流。由於地盤上升，河流回春下切，呈複成沖積扇，四分之三以上為切割型扇，花蓮溪多為 I 階，秀姑巒及卑南溪者為 II、III 階，而且下切量，卑南溪者大於秀姑巒及花蓮溪者，由此可資證明花東地區有南側大於北側之不等量上升運動。
4. 沖積扇特徵之間存著，沖積扇面積愈大，其坡度愈緩，流幅愈大，淘選度愈佳，切割度愈大之相關。
5. 經判別分析 (Discriminant analysis)，決定沖積扇存在與否之因子主要為谷口距、隆升率、地質年代、降雨量、主流等級、主流長、崩塌地面積等七個因子。
6. 經因子分析及正準相關分析，影響沖積扇形態的五個共同因子為集水域面積、扇面時期、堆積空間、地盤隆升量、集水域河床坡降。
7. 本區沖積扇之演育模式，因缺定年及氣候的資料，無法驗証侵蝕輪迴說及氣候關連說，但由沖積扇及集水域的關係而言，較適以動態平衡說加以解釋。

[附記]本文為國科會82年度「台灣沖積扇之地形學研究(I)」專題研究計畫(編號：NSC 82-0202-M-003-044)之研究報告，研究期間承蒙陳培源、曾國雄、鄧國雄、楊貴三、黃朝恩、許民陽等諸位博士及林雪美、董德輝、劉明錡等同學提供寶貴意見，日本琦玉大學齊藤享治博士提供寶貴論文，梁妙慧、曾文佐、黃美娥、王彥妮、鄭吉成、李鳳華、姜瑞玉、葉雅惠、陳柳均、黃碧姿等諸位同學協助野外工作及室內工作，得以順利完成，謹此一併致謝。

參考文獻

(一)中文部分：

- 王鑫(1985): 東部河川地工程環境研究--花蓮溪流域，農委會、臺大地理系合作計畫，93頁。
- 石再添、鄧國雄、張瑞津(1986): 台灣活斷層的地形學研究，師大地理研究報告，第十二期，1-44頁。
- 古兆禎(1965): 臺灣地形發育與地殼變動之關係，中國地質學會會刊，第十二期，1-44頁。
- 何春蓀(1982): 臺灣地體構造的演變，中華民國經濟部，110頁。
- (1986): 臺灣地質概論，經濟部中央地質調查所，182頁。
- 林朝榮(1957): 臺灣地形，臺灣省通志稿，第1卷第1期，臺灣省文獻會，424頁。
- 徐鐵良(1980): 從地形特徵申論其與臺灣新構造關係，中國地質學會會刊，第二十三期，3-5頁。
- 許華杞、佐藤裕(1987): 臺灣最近的地殼變動與菲律賓海板塊運動之關係，第六屆測量學術及應用研討會論文集，中正理工學院，143-154頁。
- 張石角、張杏枝(1987): 臺灣過去二十年重大山崩災害及對受影響地區之自然和社會環境之影響(五)，行政院國科會防災科技研究報告81-49號，62頁。
- 張瑞津、石再添(1991): 沖積扇的形成與演育，中等教育，第四十二卷第一期，49-57頁。
- 陳蕙芬(1984): 從三角點檢測成果見到的臺灣地盤上升，經濟部中央地質調查所特刊，第三期，129-140頁。
- 曾國雄、鄧振源(1986): 多變量分析(一)--理論應用篇，松崗電腦圖書公司，149-307頁。
- 楊貴三(1986): 臺灣活斷層的地形學研究--特論活斷層與地形面的關係--，私立中國文化大學地學研究所博士論文，178頁。
- (1992): 台灣東部木瓜溪流域的地形學研究，國立花蓮師院社教系學報，第一期，pp. 1-90.
- 黃朝恩(1980): 台灣島諸流域特徵及其相關性之研究，私立中國文化大學地學研究所博士論文，136頁

鄧國雄(1981): 沖積扇的成因與形態, 地理學訊, 第九期, 18-23頁。

(二) 日文部分:

山崎直方(1914): 飛驒山脈に於ける水河作用に就て, 地質學雜誌, 21, 1-12, 51-61。

大關久五郎(1916b): 再び梓川溪谷島々附近に就て, 地學雜誌, 28, 44-54, 107-117。

田中啓爾(1925): 甲府盆地(1), 地理學評論, 1, 925-945。

矢沢大二、戸谷洋、貝塚爽平編(1971): 扇狀地—地域的特性, 古今書院, 東京, 318。

村田貞藏(1931): 扇狀地の形態と周囲の地形との關係, 地理學評論, 7, 649-66333。

———(1933): 扇狀地とその勾配關係について, 地理學評論, 9, 857-869。

———(1934): 扇狀地形態研究第5類, 地理學評論, 10, 535。

———(1935): 扇狀地の分布(概報), 地理學評論, 11, 550-551。

———(1936): 山形県乱川扇狀地の地形學的研究, 地理學評論, 12, 1021-1044。

———(1939): 胆沢扇狀地の形態學研究, 地理學評論, 15, 134-147。

———(1941): 山形県新庄盆地の形態學的研究—鹽野原扇狀地等高線異常の問題一, 地理學評論, 17, 464-481。

———(1963): 扇狀地の形態—日本扇狀地を例として—地理, 8, 1109-1113。

———(1971): 斷層扇狀地の純地形學研究, 矢沢大二編「扇狀地」第一章, 古今書院, pp.1-54。

淺井治平(1925): 多摩丘陵の地形, 地理學評論, 1, 562-582。

渡邊光(1929): 本邦の隆起三角洲に関する考察, 地理學評論, 5, 1-15。

富田芳郎(1951): 台灣に於ける扇狀地の地形的分類について, 地學雜誌, 60, 2-9。

———(1963): 扇狀地の種類, 地理, 8, 1085-1090。

———(1972): 台灣地形發達史の研究, 古今書院, 370pp.

齋藤享治(1982): 集水域の地形・地質條件による扇狀地の分類, 地理學評論, 55, 334-349。

———(1988): 日本の扇狀地, 古今書院, 東京, 280pp.

———(1989): 台灣島の扇狀地の形成條件, 北海學園大學學園論集, 63, 19-36。

(三) 英文部分:

Beaty, C.B. (1963): Origin of alluvial fans, White Mountains, California and Nevada, A.A. A.G., 53, 516-535.

———(1970): Age and estimated rate of accumulation of an alluvial fan, White Mountain, California. U.S.A., Amer. Jour. Sci., 268, 50-77.

———(1974): Debris flow, alluvial fans, and a revitalized catastrophism, Zeit-Geomorph., Suppl. Bd, 21, 39-51.

Blackwelder, E. (1928): Mudflow as a geologic agent in semiarid mountains, Geol. Soc. Amer. Bull., 39, 465-484.

Blissenbach, E. (1952): Relation of surface angle distribution to particle size distribution

- on alluvial fans, *Jour. Sedimentary Petrology*, 22, 25-28.
- (1954): Geology of alluvial fans in semiarid regions, *Geol. Soc.Amer. Bull.*, 65, 175-189.
- Bull, W.B. (1959): Physical and textural features of deposits associated with nearsurface subsidence in western Fresno County, California (Abs), *Geol. Soc. Amer. Bull.*
- (1961): Tectonic significance of radial profiles of alluvial fans in western Fresno County, California, *U.S. Geol. Survey Prof. Paper*, 424-B, 182-184.
- (1962): Relations of alluvial-fan size and lithology in western Fresno County, California, *U.S. Geol. Survey Prof. Paper*, 450-B, 51-53.
- (1963): Alluvial-fan deposits in western Fresno County, California, *Jour.Geol.*, 71, 243-251.
- (1964a): Geomorphology of segmented alluvial fans in western Fresno county, California, *U.S. Geol. Survey Prof. Paper*, 352-E, 89-129.
- (1964b): Alluvial fans and near-surface subsidence in western Fresno County, California, *U.S. Geol. Survey Prof. Paper*, 437-A, 1-71.
- (1972): Recognition of alluvial-fan deposits in the stratigraphic record. (in Rigby, J.B. and Hamblin, W.K. eds.: *Recognition of ancient sedimentary environment. Soc. Econ. Paleontologists and Mineralogists*), *Spec. Publ.* 16, 63-83.
- (1977): The alluvial-fan environment, *Prog. Phys. Geogr.*, 1, 222-270.
- Bull, W.B. and Schick, A.P. (1979): Impact of climatic change on an arid watershed: Nahal Yael, southern Israel. *Quat. Res.*, 11,153-171.
- Carson, M.A. and Kirkby, M.J. (1972): Hillslope form and process, Cambridge Univ.Press, Cambridge, 475 pp.
- Davis, W.M. (1898): Physical geography, Ginn and Company, Boston, 432p.
- Denny, C.S. (1965): Alluvial fans in the Death valley region, California and Nevada,U.S. *Geol. Survey Prof. Paper*, 466,1-62.
- (1967): Fans and pediments, *Amer. Bull.*, 81, 3109-3116.
- Dorn, R.I. (1988): A rock vanish interpretation of alluvial-fan development in Death Valley , California, *National Geogr. Research*, 4(1), 56-73.
- Drew, F (1873): Alluvial and lacustrine deposits and glacial records of the upper-Indus Basin, *Quarterly Jour. Geol. Soc. London*, 29, 441-471.
- Eckis, R. (1928): Alluvial fans of the Cucamonga district, southern California, *Jour.Geol.*, 36, 224-247.
- Hooke, R.L. (1967): Processes on arid region alluvial fans, *J. Geol.* 75, 438-460.
- (1968a): Model geology: Prototype and laboratory streams: Discussion, *Geol. Soc.*

- Amer. Bull. 79, 391-394.
- (1968b): Steady-state relationships on arid-region alluvial fans in closed basins, Am. Jour. Sci. 266, 609-629.
- (1974): Processes on arid-region alluvial fans, California Institute of Technology Contribution 1393, 438-460.
- (1975): Distribution of sediment transport and shear stress in a meander bend, J. Geol. 83, 543-566.
- Hooke, R.L. and Rohrer, W.L. (1979): Geometry of alluvial fans: effect of discharge and sediment size, Earth Surface Proc. 4, 147-166.
- Hunt, C.B. and Mabey, D.R. (1966): Stratigraphy and structure, Death Valley, California, U.S. Geol. Survey Prof. Paper, 494-A, 162 pp.
- Kesel, R.H. (1985): Tropical fluvial geomorphology, in Pitty, A. ed: Themes in geomorphology, Croom Helm, London, 102-121.
- Knuepfer, L.K. and Willern, J.H. (1992): Geomorphic evidence for axial tilting of the Longitudinal Valley, Taiwan, ACTA Geologica Taiwaniča, 30, 89-100.
- Lin, J.C. (1991): A neotectonic model of the coastal range, eastern Taiwan, Bull. Geogr. Soc. China, 19, 43-55.
- Longwell, C.R. (1930): Faulted fans west of the Sheep Range, southern Nevada. Amer. Jour. Sci., 20, 1-13.
- Lustig, L.K. (1963): Competence of transport on alluvial fans, U.S. Geol. Survey Prof. Paper, 475-C, 126-129.
- (1965): Clastic sedimentation in Deep Springs Valley, California, U.S. Geol. Survey Prof. Paper, 352-F, 131-192.
- Lustig, L.K. (1974): "alluvial fan", Encyclopedia Britanica, 15th ed., 611-617.
- Rachocki, A.H. (1981): Alluvial fans, John Wiley & Sons, New York, 161 pp.
- Rachocki, A.H. (1990): Alluvial fans, a field approach, John Wiley & Sons, New York, 391pp.
- Reineck, H.E. and Singh, I.B. (1973): Depositional sedimentary environments, Springer Verlag, New York, 434 pp.
- Saito, K. (1990): Dominating factor for alluvial fan distribution in Japan and Taiwan, Gakuen Ronshu (Jour. Hokkai-Gakuen Univ.) 66, 1-22.
- Schumm, S.A. (1973): Geomorphic thresholds and the complex response of drainage system, (in Morisawa, M.ed: fluvial geomorphology, Publications in Geomorphology, State Univ. of N.Y. Binghamton), 299-310.
- (1977): The fluvial system, John Wiley & Sons, New York, 338 pp.

- Schumm, S.A., Mosley, M.P. and Weaver, W.E.(1987): Experimental fluvial geomorphology, John Wiley & Sons, New York, 413 pp.
- Suppe, J. (1981): Mechanics of mountain building and metamorphism in Taiwan: Mem. Geol. Soc. China, 4, 67-89.
- (1981): Kinematics of arc-continent collision, flipping of subduction, and back-arc spreading near Taiwan: Mem. Geol. Soc. China, 6, 21-33.
- Well, S.G. & Harvey, A.M. (1987): Sedimentologic and geomorphic variations in storm-generated alluvial fans, Howgill Fells, northwest England, Geol. Soc. Amer. Bull., 98, 182-198.
- Williams, G.E. (1973): Late Quaternary piedmont sedimentation, soil formation and paleoclimates in arid south Australia, Zeit Geomorph, 17, 102-125.



照片 1 木瓜溪沖積扇是花蓮溪系統，中央山脈側之最大沖積扇。由谷口（初英附近）向下游呈扇狀堆積，右側為扇面受下切之崖。



照片 3 花蓮溪系統之馬太鞍溪沖積扇，扇頂主河道埋積非常旺盛。

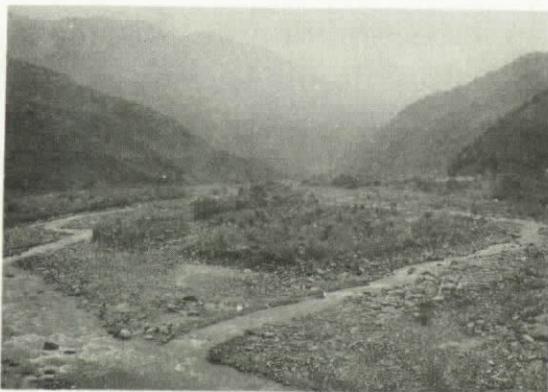


照片 2

木瓜溪在扇頂附近下切約9公尺，由下切剖面可看出砾石的淘選度與圓度均差。



照片 4 大富聯合沖積扇是花蓮溪系統海岸山脈側的沖積扇，位於花蓮溪與秀姑巒溪間之分水嶺附近。由馬佛溪、大和溪、大農溪聯合沖積而成，是一個典型的聯合沖積扇。



照片 5 秀姑巒溪系統中之紅葉溪沖積扇，扇頂部網流十分發達。



照片 8 卑南溪系統之鹿寮溪沖積扇，扇中央下切旺盛，呈現三段階面，為典型的複成沖積扇。



照片 6 卑南溪系統之新武呂溪沖積扇，池上位於扇端上，扇面上耕作密集，扇端為湧泉帶，有水田耕作。



照片 9 鹿寮溪沖積扇扇中央最低的階崖約 1.5m，覆瓦明顯向東，淘選度差。



照片 7 新武呂溪上游之崩塌地，集水域之崩塌地愈多、愈大，則堆積物的供給量則愈多。



照片 10 卑南溪系統之舊班鳩沖積扇，位初鹿通谷南側，扇面坡陡，達 24 %。