



EJ095199523151

師大地理研究報告
第23期 民國84年3月
Geographical Research
No. 23, March 1995

蘭陽地區沖積扇的地形學研究

A Geomorphological Study of Alluvial Fan in Lanyang area

張瑞津*

Jui-chin Chang

林譽方^{*1}

Yuh-fong Lin

石再添**

Tsai-tien Shih

陳翰霖^{*1}

Han-lin Chen

楊淑君^{*1}

Shu-chun Yang

董德輝^{*1}

Ter-huei Tung

ABSTRACT

Lanyang area including longitudinal valley and alluvial plain is located between the northern part of Central Range and Snow Mountain. With conspicuous fault scarps and abundant debris supply, alluvial fans are developed well in this area. There are 30 fans with area over 1 ha. each, 13 of them are distributed in the longitudinal valley and the rest are in the piedmont surrounding the alluvial plain. In the longitudinal valley, most of the fans have been undercut to be composit fans. There are 4 steps in the upper valley where as 2 steps in the down valley. The fact of the fan head trench shifting down could reveal that the down cutting rate of stream channel is greater than the uplift rate of mountain area. The cross profile of fan deposition is shaped in lenticular could be resulted from the continual uplift of the mountain area.

By product-moment correlation, some fan variables are correlated closely, such as fan area has a significant relation with width, slope and sorting and roundness of sediments. Based on the discriminant analysis, the stream order, relief ratio, uplift rate, precipitation, hypsometric integral, the distance between

本文為國科會83年度「台灣沖積扇之地形學研究（II）」專題研究計畫（編號：NSC83-0202-M-003-003）。

* 計畫主持人，**協同主持人，國立臺灣師範大學地理學系教授（*Director and Codirector of the study project; Professors, Department of Geography, National Taiwan Normal University*）；

*1兼任研究助理（*Part-time Research Assistant*）。

valley mouth and the intermountain basin areas are the dominating factors to the existence of the fan. By factor analysis, uplift rate, drainage area, relief ratio and stage of fan are the main factors influencing the fan morphology.

From the relation between fan and drainage basin, the evolution of the fan can be interpreted by both the equilibrium model and the erosional cycle model.

中文摘要

蘭陽地區是台灣沖積扇發達地區之一，區內共有30個沖積扇，位於縱谷內13個，平原區者17個。縱谷上游諸扇呈四階複成扇，且扇頂有逐次下移的現象，可推知本區現今山麓的河道下切率，大於集水域的上升速率。另由扇體堆積的縱剖面呈凸透鏡狀，可推知沖積扇形成之同時，集水域的地盤仍持續隆升。

由沖積扇的形態與堆積物特徵的相關分析，沖積扇面積愈大，流幅愈大，坡度愈緩，堆積物淘選度愈佳，圓度愈大。根據集水域的地形、地質、氣候各項特徵所作之判別分析，得知主流等級、起伏比、隆升率、年平均降雨量、面積高度積分、溪口距、山間盆地面積為決定沖積扇存在的要因。經因子分析地盤隆升率、集水域面積、起伏比，扇面時期為影響沖積扇形態的要因。

由沖積扇特徵與集水域各地形、地質、氣候諸要素的關係觀之，本區沖積扇的演育頗適合以侵蝕輪迴說及動態平衡說加以解釋均似合適。

一、緒論

1.1 沖積扇研究的意義

當河流由上游區搬運礫石、土沙至下游時，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。

本研究為「台灣沖積扇之地形學研究」之第二年研究報告，本年度以蘭陽地區為研究範圍，進行沖積扇的調查與研究。

1.2 文獻探討

由於沖積扇分布普遍，其研究早受重視，主要的報告，請參見第一年度報告（張瑞津、石再添等，1993）。此外，最近日本齋藤（1993）比較日本與台灣沖積扇的演育，指出台灣較適以動態均衡說解釋。至於本區沖積扇的研究，林朝棨（1957）在「台灣地

形」，富田芳郎（1972）在「台灣地形發達史的研究」，均系統的指出宜蘭濁水溪（今蘭陽溪）因係斷層線谷，沖積扇發達，尤其北側溪谷，因位於斷崖下方，沖積扇明顯較南側之規模大且數量多。師宗遠（1993）簡介蘭陽平原上的沖積扇地形，指出蘭陽平原上，凡有河川出谷口處均有沖積扇的分布，共有20個沖積扇。

1.3 研究區概況

本研究區位於台灣東北部，雪山山脈與中央山脈間，蘭陽溪流貫其間，縱谷南起思源壩口（標高約2000m）附近，北迄牛鬥（標高約200m），並以此為頂點開展三角狀沖積平原，此沖積平原與其東北、東南山麓的沖積扇及海岸平原，合稱蘭陽平原。蘭陽溪在縱谷內呈東北流向，進入平原後折而東流入太平洋，主流全長約66公里；縱谷內堆積場空間狹窄，長約35公里，平均寬度僅500公尺；另平原區堆積場由於直接面對開擴的洋面，空間較開廣。

本區在大地構造上，位於中央山脈與雪山山脈之間，是一個陷落的地塊，東臨太平洋，西北側為雪山山脈，南側則為脊樑山脈，蘭陽溪貫流其間。蘭陽縱谷呈東北—西南走向，平行於台灣島，溪谷寬廣陡直，支流短促，堆積旺盛。

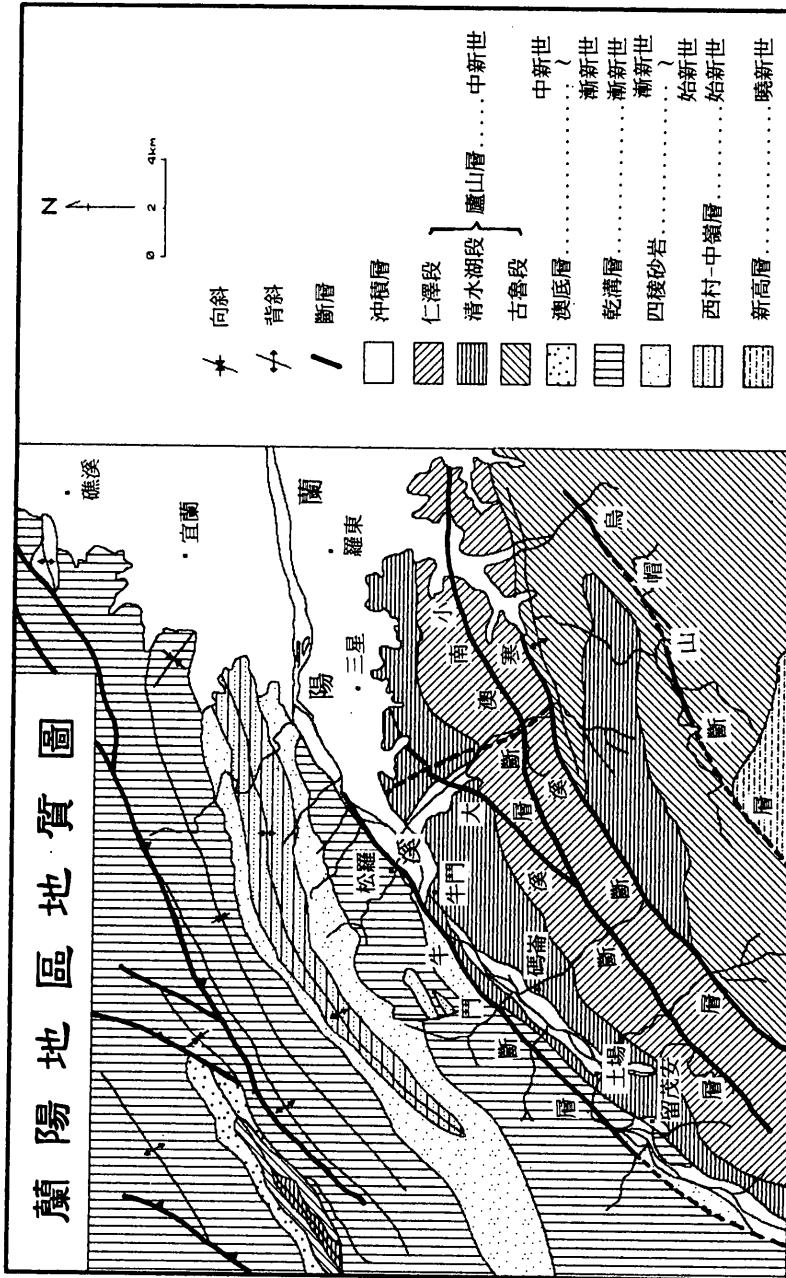
本區的地層多屬於第三紀亞變質岩區，由輕微或相當程度變質的板岩所組成，同時，以蘭陽溪為界可以分成兩個相異的地質帶，北側為雪山山脈帶，由始新世至漸新世之輕度變質岩層構成；南側則屬脊樑山脈帶，由古生代晚期至中生代早期之各類片岩及中新世之輕微變質岩所構成（何春蓀，1986）。分開此兩個地質帶可能是一條界線斷層，即梨山斷層，於蘭陽地區明顯的一段即牛鬥斷層，斷層走向約為北50度東，向東南方向傾斜，沿蘭陽溪向東北方延伸，進入蘭陽平原後則被沖積物所掩蓋（吳永助，1976；詹新甫，1976）。但是由全島遙計式震測網資料研判，斷層存在的可能性很大，同時，由微震資料的研究發現，宜蘭與羅東之間有一條深度小於20公里的垂直斷層（蔡義本等，1975），向東經龜山島延伸至沖繩海槽，此可能是代表沖繩海槽內的張裂構造（Bowin et al., 1978），成為分隔雪山山脈與脊樑山脈的主要斷層。由於斷層的野外証據非常薄弱，故有的地質學者（陳肇夏等，1983）懷疑是否有斷層的存在。

蘭陽平原之地下地質經利用震測資料（江新春，1976）及地電阻探查（楊潔豪，1993）得知，其地層由現代沖積層、更新統及基盤岩所組成，各層之間皆以不整合關係相接觸，沖積扇的厚度在100~400公尺之間，以平原的中心及海域部分厚度最大，分向平原兩側減薄，而且沈積物的顆粒亦較粗。（圖1）

氣候上，蘭陽縱谷在東北盛行風的影響下，雨量豐沛，日射量較低，雲雨天數多，沖積扇上游集水域之年雨量，約在3000~4000mm之間。

1.4 研究目的與方法

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



摘自曾長生(1978)及吳永助(1976)

圖1 蘭陽地區地質圖

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、扇央傾斜度及集水域之面積、起伏比、溪口距、面積高度積分、山間盆地面積、圓比值。(4)利用水土保持局、水資會、中央地調所資料，計測崩塌地面積、年平均降雨量、地質、隆升率。(5)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証其演育模式。

二、沖積扇的分布與特徵

本研究乃就蘭陽地區沖積扇分布與特徵加以說明如下：

2.1 沖積扇的分布

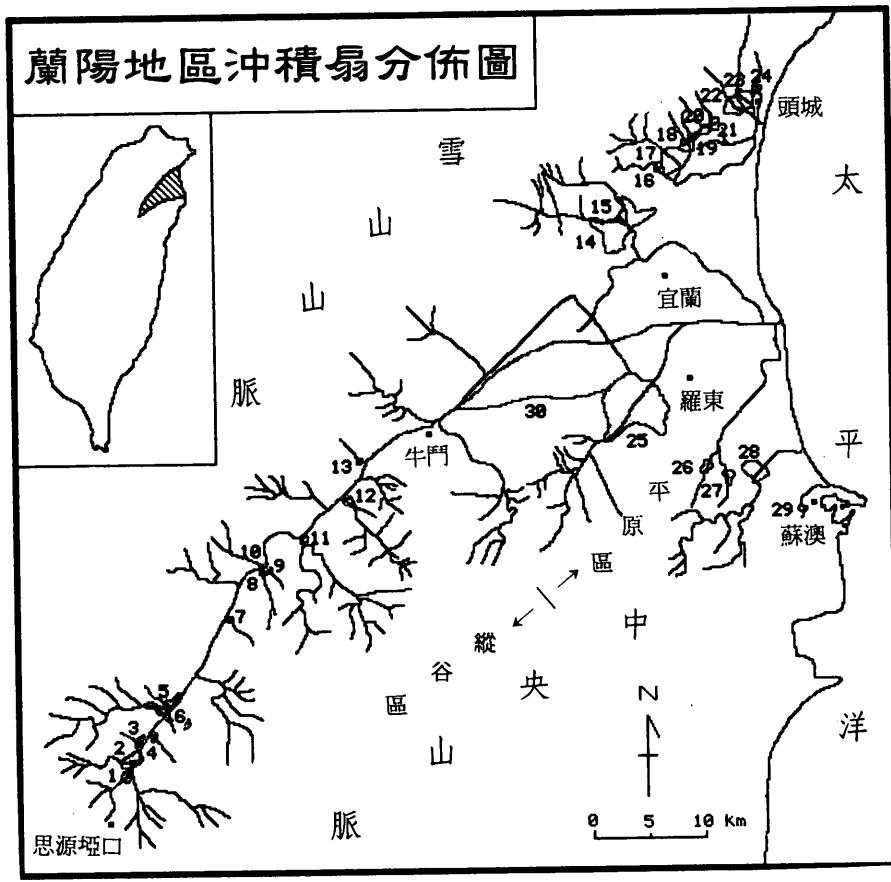


圖2 蘭陽地區沖積扇分佈圖

蘭陽地區，地形起伏大，岩層脆弱易侵蝕，降雨豐沛，縱谷及山麓地帶沖積扇十分發達。本研究區內，河長1km以上者共68條（包括蘭陽溪主流），根據沖積扇邊界之認定¹⁾，利用1/5000像片基本圖，航照判讀及野外實察等綜合判釋，本區共有30個沖積扇（包括蘭陽溪主流扇），其中13個位於縱谷內，17個位於平原（圖2）。若就水系分，屬蘭陽溪系統者有19個，分別為小礁溪、大礁溪、石頭橋、碼崙、天狗、石頭、加蘭灣、加蘭、留茂安、茲那谷、夫布爾、美羅、美優、米磨登、馬當、蘭陽主扇、羅東、安平坑、東城等；屬得子口溪系統者有9個，分別為武營、福德坑、石燭坑、北門坑、猴洞、十一股、湯圍、得子口、林尾等；屬新城溪系統者有2個，分別為新城及國盛。整體而言，縱谷內上游沖積扇面積大於下游，平原區則見雪山山脈側的沖積扇規模及數目大於中央山脈側者（表1）。

表1 蘭陽地區沖積扇特徵之計測

縱 谷 區					平 原 區					
扇 名	沖積扇 面積 (km ²)	扇頂 高度 (m)	扇端 高度 (m)	集水域 面積 (km ²)	扇 名	沖積扇 面積 (km ²)	扇頂 高度 (m)	扇端 高度 (m)	集水域 面積 (km ²)	
馬當溪	0.21	1320	1150	9.10	雪 山 游 游 游 游	大礁溪	6.06	80	10	26.21
上米磨登溪	1.78	1340	1070	8.08		小礁溪	13.78	70	10	13.82
美優溪	0.38	1160	970	3.11		林尾溪	0.94	40	20	5.61
美羅溪	0.22	1040	960	2.67		得子口溪	2.68	50	10	13.49
夫布爾溪	1.49	950	780	26.44		湯圍溪	0.43	85	5	1.03
茲那谷溪	0.11	900	840	0.94		十一股溪	0.50	85	5	1.04
-----	-----	-----	-----	-----	脈 脈 游 游 游 游	猴洞坑溪	0.74	35	5	4.45
留茂安溪	0.04	645	580	3.86		北門坑溪	0.64	40	5	2.54
加蘭溪	0.71	500	460	4.37		石燭坑溪	5.16	40	10	5.53
下加蘭灣溪	0.12	510	460	1.18		福德坑溪	2.47	50	10	8.78
石頭溪	0.31	480	460	15.59		武營溪	0.23	25	10	1.76
天狗溪	0.24	380	360	35.93		-----	-----	-----	-----	
碼崙溪	0.04	295	280	22.14	羅 中 央 山 脈 側	羅東溪	21.72	70	10	63.99
石頭橋溪	0.01	300	250	2.18		安平坑溪	0.34	30	10	3.34
-----	-----	-----	-----	-----		東城溪	0.57	50	10	2.09
-----	-----	-----	-----	-----		新城溪	1.36	15	10	47.17
-----	-----	-----	-----	-----		國盛溪	0.12	35	5	0.25
-----	-----	-----	-----	-----		蘭陽溪	66.32	150	30	583.29

1) 沖積扇邊界可由扇頂、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，至側邊的轉折處。
3. 扇端 (*tip 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。

縱谷內各扇頂高度與蘭陽溪主流坡降方面一致，標高自1320m，由南向北遞降。平原區雪山山脈側之大小礁溪扇頂高度亦呈南高北低現象，但礁溪附近之湯圍溪扇及十一股溪扇頂最高達85m外，其餘自此區向東北、西南二側遞降至40m及25m；中央山脈側扇頂高度則較不規則，大致由西北羅東溪扇頂之70m向東南之國盛溪扇頂35m，漸次降低，其中以新城溪扇頂最低15m。

2.2 沖積扇的地形特徵

一 特徵變量

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
13 扇央傾斜度	Rg		扇頂與扇端部份下切深度之差值，除以二分之一縱長
堆積物特徵			
14 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
15 圓度	Rn	等級	依據 Pettijohn (1957) 之圓度等級分類法，分級量測而得
16 球度	Sp	等級	依 Wade (1932) 與 Zingg (1935) 之球度計測法而得
17 淘選度	S	等級	依 Folk & Ward (1957) 之分級標準而得

表3 蘭陽地區沖積扇平面形態特徵之計測

扇名	面積 (km ²)	縱長 (km)	最大流幅 (km)	扇央角度 (度)
馬當溪	0.21	0.79	0.54	67.14
米磨登溪	1.78	3.94	1.26	65.40
美優溪	0.38	1.47	0.81	35.80
縱美羅溪	0.22	0.72	0.74	110.80
夫布爾溪	1.49	3.20	1.21	101.10
茲那谷溪	0.11	0.91	0.42	81.66
谷留茂安溪	0.04	0.57	0.06	93.30
埤南溪	0.04	0.35	0.33	52.00
加蘭溪	0.71	0.54	0.36	61.00
區加蘭灣溪	0.12	0.58	0.33	57.60
石頭溪	0.31	0.29	0.22	95.00
天狗溪	0.24	0.66	0.51	120.00
排谷溪	0.01	0.15	0.08	41.00
碼崙溪	0.04	0.35	0.27	104.00
石頭橋溪	0.01	0.16	0.16	83.50
<hr/>				
大礁溪	6.06	5.69	2.81	59.60
小礁溪	13.78	3.80	3.27	57.00
林尾溪	0.94	1.30	1.20	79.50
得子口溪	2.68	1.71	2.80	86.00
湯圍溪	0.43	2.17	0.78	104.50
平十一股溪	0.50	1.27	0.74	88.16
猴洞坑溪	0.74	1.28	0.86	96.70
北門坑溪	0.64	1.81	1.29	106.00
原石燭坑溪	5.16	1.38	0.90	51.50
福德坑溪	2.47	1.69	1.95	110.00
武營溪	0.23	0.65	0.91	108.75
區羅東溪	21.72	7.22	7.32	96.30
安平坑溪	0.34	1.01	0.75	85.00
東城溪	0.57	1.41	1.02	45.00
新城溪	1.36	1.20	2.76	132.00
國盛溪	0.12	0.48	0.69	99.50
蘭陽溪	66.32	16.49	6.32	42.60

沖積扇的地形特徵，大致可分為形態特徵及堆積物特徵二部份，前者代表沖積扇的規模、落差、切割狀態，後者則代表沖積扇堆積的能量大小及環境，其中形態特徵又可依其特色區分為平面形態、剖面形態及開析狀態等三方面，以下乃就其計測方法（表2）及計測結果比較分析如下：

(1) 平面形態（表3）

a. 面積與縱長

蘭陽縱谷內沖積扇面積，除上游之米磨登扇（ 1.78km^2 ）、夫布爾扇（ 1.49km^2 ）大於 1km^2 外，其餘規模均小於 1km^2 （圖3）。平原上沖積扇除蘭陽主扇面積達 66km^2 外，面積在 1km^2 以上者依序為羅東扇面積（ 21.72km^2 ）、小礁溪（ 13.78km^2 ）、大礁溪（ 6.06km^2 ）、石燭坑（ 5.16km^2 ）、得子口（ 2.68km^2 ）及福德坑（ 2.47km^2 ）、新城（ 1.36km^2 ）等諸扇。除羅東、新城扇外，不論縱谷區或平原區，面積較大的沖積扇均位於雪山山脈側。

以沖積扇縱長而言，縱谷區內的米磨登溪及夫布爾溪縱長各為 3.94 、 3.20km ，美優溪為 1.47km ，其餘皆在 1km 以下；平原區則蘭陽主扇為 16.5km ，羅東溪扇 7km ，大、小礁溪分別為 5.7km 、 3.8km ，湯圍溪 2.1km ，此外其餘皆在 2km 以下，縱長較長的沖積扇多位於雪山山脈側。

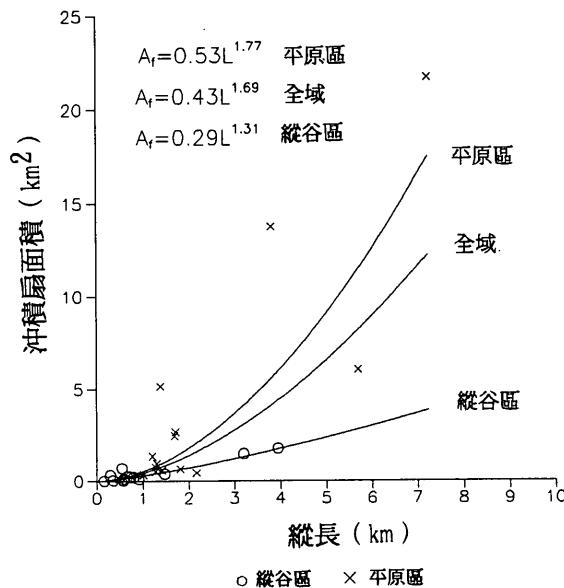


圖3 蘭陽地區縱長與沖積扇面積之關係

b. 扇央角度與最大流幅

縱谷內沖積扇扇央角度以天狗溪最大 120 度，美優溪最小 35.8 度；平原上以新城溪最大 132 度，石燭坑之 51.5 度最小。整體而言，縱谷區沖積扇較平原區者扇央角度較小，即扇頂向山谷楔入較深。

一般沖積扇的最大流幅，多在扇端位置。縱谷內以上游之米磨登溪及夫布爾溪扇最

大，分別為1.26km、1.21km，其餘皆在1km以下；平原區內，主扇為6.3km，大礁溪、小礁溪，及得子口溪在3km左右，其餘皆在2km以下，整體而言，由於平原區的堆積空間較為開廣，因此平原區沖積扇的扇央角度及流幅均較縱谷區者大。

(2)剖面形態（表4）

a.平均坡度與扇頂坡度

表4 蘭陽地區沖積扇剖面形態特徵之計測

扇名	平均坡度 ‰	扇頂坡度 ‰	坡度比
馬當溪	226.67	205.47	0.90
米磨登溪	68.50	50.70	0.74
縱美優溪	122.59	83.72	0.68
美羅溪	103.56	66.72	0.64
夫布爾溪	20.30	19.17	0.94
茲那谷溪	65.71	74.57	1.13
谷留茂安溪	114.03	86.26	0.75
加蘭溪	70.12	53.36	0.76
加蘭灣溪	86.86	109.52	1.26
石頭溪	69.74	65.57	0.94
區天狗溪	30.30	30.17	0.99
碼崙溪	28.73	29.26	1.02
石頭橋溪	250.31	246.37	0.98
<hr/>			
大礁溪	12.30	20.35	1.65
小礁溪	15.79	24.10	1.53
林尾溪	15.32	17.54	1.15
得子口溪	23.32	17.38	0.75
湯圍溪	36.84	54.86	1.49
平十一股溪	62.90	91.50	1.45
猴洞坑溪	23.36	47.14	2.01
北門坑溪	19.30	42.48	2.20
原石燭坑溪	21.76	22.90	1.05
福德坑溪	23.70	28.56	1.61
武營溪	23.14	30.86	1.33
區羅東溪	8.30	9.90	1.19
安平坑溪	19.79	21.03	1.06
東城溪	28.31	28.19	0.99
新城溪	4.16	4.16	1.00
國盛溪	32.50	54.25	0.87
蘭陽溪	8.48	9.93	1.17

依據前人研究，一般大扇的坡度緩於小扇，本區沖積扇亦有相同現象，例如米磨登、夫布爾、加蘭溪諸扇，均在100%以下，而石頭溪、馬當、美優等則面積小，坡度陡，均在100%以上。縱谷沖積扇較平原區為陡，縱谷內坡度半數在70%以上，只有三個扇坡度在30%以下；平原上以十一股溪最陡，達60%以上，其餘多在10%~40%之間，新城扇最緩僅4.16%。

一般而言，扇頂坡度多較扇面平均坡度陡，然而蘭陽縱谷內沖積扇75%以上則呈現扇頂坡度反較扇面平均坡度緩的現象，究其原因縱谷內多為複成扇，本研究計測扇頂區坡度時，扇頂區幾乎全在第一階舊扇上，而扇面平均坡度則將複成扇各扇階計算在內，以致呈現平均坡度大於扇頂坡度的現象，平原區各扇，則呈現一般扇頂坡度較扇面平均坡度陡的現象。

b. 坡度比

坡度比值可代表沖積扇縱剖面的形狀，此值在1以上，即表示縱剖面呈微向上凹之曲線，即扇頂較陡，扇央及扇端較平緩。平原區諸扇大部分在1以上，而縱谷區內側多小於1，此意味著縱谷的扇多屬於複成扇。

(3) 開析狀態（表5）

a. 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期的新舊。切割度大者，即開析旺盛或沖積扇形成後所經過的時間較久者。就縱谷區而言，夫布爾溪、加蘭灣溪、石頭溪、石頭橋溪等扇，或由於階面切成多段，或由於水流開析度大，以致切割度值大於2。茲那谷溪扇，由於為新生扇，下切較淺，以致切割度小於1，其餘各扇皆在1~2之間。另就平原區而言，礁溪斷層附近諸扇，如猴洞坑、十一股、石燭坑、福德坑等扇，由於扇頂坡度大，下切深，以致切割度大於2，其餘在2以下。

河道偏倚度，表示扇面上河道偏離中線的程度，此值愈大，表示河道偏離中線愈遠。就縱谷區而言，美優溪及夫布爾、加蘭灣、天狗溪偏離較大，偏倚度在1以上；而平原區則以安平坑溪偏倚度較大，達1.32，其餘皆在1以下，甚至低達0.1，如石頭溪、猴洞溪、石燭坑溪扇。整體而言，平原區沖積扇的偏倚度較縱谷區為小，此或許與平原區諸扇的堆積場坡度較小有關。

b. 下切深度（表6、7）

縱谷沖積扇的下切深度，上游扇較下游扇下切較深，夫布爾扇以上五扇，河道下切深度多達40m以上，馬當、米磨登及夫布爾扇甚至可達100m以上，下游之加蘭、石頭20m以下，至石頭橋扇10m以下。

此外，縱谷上游左岸之米磨登、美優、夫布爾扇，呈現四階複成扇現象（圖4）。右岸及下游各扇除茲那谷與石頭、天狗扇外，其餘多為二階扇。平原區則無複成扇。茲那谷、石頭與天狗扇為新生扇，扇面正在發育無人為耕作利用，河道下切淺，流路不固定，其扇面堆積物與流路，明顯的受集水域洪水周期性的變化所控制。

表5 蘭陽地區沖積扇開析狀態特徵之計測

扇名	切割度	偏倚度	下切深度			扇央傾斜度	下切類型	階數
			扇頂(P)	扇央(M)	扇端(T)			
馬當溪	1.58	0.16	124.3	70.0	65.0	177.01	A	II
米磨登溪	1.63	0.71	35.5	50.7	111.6	71.79	B	IV
美優溪	1.94	1.34	33.6	42.8	32.8	1.40	A	IV
美羅溪	1.14	0.93	29.6	26.1	40.7	35.98	B	II
夫布爾溪	2.56	1.27	100.0	100.0	81.0	16.31	A	IV
茲那谷溪	0.93	0.83	0.0	0.0	0.0	0.00	c	I
留茂安溪	1.85	0.84	1.8	2.7	7.3	20.60	B	II
加蘭溪	1.71	2.12	19.8	13.2	8.7	45.31	A	II
加蘭灣溪	2.58	0.77	17.6	10.4	6.2	41.76	A	II
石頭溪	2.09	0.10	12.1	5.5	0.0	19.29	A	I
天狗溪	1.56	1.49	5.0	0.0	3.4	6.91	A	I
碼崙溪	1.94	0.86	4.7	2.0	1.2	0.09	A	II
石頭橋溪	2.23	0.47	2.6	3.5	5.3	38.30	B	II
<hr/>								
大礁溪	1.51	0.65	6.3	2.7	5.7	0.32	A	I
小礁溪	1.69	0.29	3.0	4.4	4.8	1.18	B	I
林尾溪	1.67	0.32	2.7	2.8	0.8	3.39	A	I
得子口溪	1.40	0.20	6.1	3.4	1.5	4.66	A	I
湯圍溪	1.06	0.43	1.8	2.2	0.2	3.81	A	I
十一股溪	2.02	0.41	2.4	5.5	0.5	3.58	A	I
猴洞坑溪	4.19	0.08	4.7	1.3	1.1	6.45	A	I
北門坑溪	1.63	0.26	4.1	0.5	3.1	2.22	A	I
石燭坑溪	2.86	0.07	1.4	1.4	0.6	1.04	A	I
福德坑溪	2.47	0.17	3.5	3.9	3.0	0.61	A	I
武營溪	1.37	0.76	5.6	2.8	2.5	12.68	A	I
羅東溪	1.65	0.50	4.6	2.6	0.2	1.85	A	I
安平坑溪	1.97	1.32	3.5	6.0	0.8	9.00	A	I
東城溪	1.46	0.59	9.6	1.6	2.2	13.83	A	I
新城溪	1.28	0.70	3.9	1.2	0.2	0.00	A	I
國盛溪	1.14	0.33	0.0	0.0	0.0	0.00	c	I
蘭陽溪	2.12	0.14	6.3	3.0	7.1	0.10	A	I

*A : 扇頂下切 > 扇央下切 > 扇端下切

B : 扇頂下切 < 扇央下切 < 扇端下切

C : 扇頂下切 = 扇央下切 = 扇端下切

表6 蘭陽地區沖積扇原面堆積物特徵之計測

扇名	最大粒徑 (cm)			平均粒徑 (cm)			淘選度			圓度			球度		
	P	M	T	P	M	T	P	M	T	P	M	T	P	M	T
1.馬當溪	103.3	55.0	66.7	76.0	38.6	42.4	5	5	5	0.3	0.3	0.3	0.6	0.6	0.7
2.米磨登溪	85.0	48.3	83.3	50.3	38.0	48.2	6	5	5	0.3	0.3	0.4	0.6	0.7	0.6
3.美優溪	121.7	163.3	100.0	83.5	85.3	66.7	5	5	5	0.3	0.3	0.4	0.6	0.7	0.6
4.美羅溪	73.3	45.7	68.3	44.8	38.6	27.5	5	5	5	0.4	0.4	0.4	0.6	0.7	0.5
5.夫布爾溪	75.3	36.7	36.3	58.3	32.3	26.5	7	5	5	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5
6.茲那谷溪	250.0	113.3	265.0	174.3	80.7	158.7	7	7	7	0.1	0.5	0.5	0.7	0.5	0.5
7.留茂安溪	151.0	236.7	70.0	105.7	153.2	65.9	6	6	6	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
8.加蘭溪	104.0	185.7	91.7	56.3	106.6	60.2	5	5	5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.7	0.5
9.加蘭灣溪	41.7	66.3	58.3	42.1	48.4	37.5	6	6	7	0.4	0.4	0.3	0.6	0.6	0.6
10.石頭溪	254.3	299.3	59.3	198.1	152.2	49.9	7	7	7	0.5	0.6	0.4	0.6	0.7	0.6
11.天狗溪	29.7	88.3	66.0	21.5	65.5	45.1	3	3	3	0.5	0.5	0.5	0.7	0.7	0.5
12.碼崙溪	41.6	69.7	52.7	28.6	39.8	46.0	4	4	5	0.5	0.5	0.5	0.7	0.7	0.6
13.石頭橋溪	94.3	48.3	206.7	44.7	41.8	72.1	7	7	7	0.1	0.1	0.2	0.7	0.6	0.7
14.大礁溪	39.7	18.0	25.7	31.6	18.0	19.9	4	4	4	0.4	0.5	0.5	0.3	0.3	0.4
15.小礁溪	50.7	44.6	33.7	40.8	39.7	25.2	4	4	4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4
16.林尾溪	23.7	50.0	41.3	16.3	20.1	23.2	5	4	4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6
17.得子口溪	53.0	43.3	50.0	43.1	36.4	42.3	6	6	6	0.2	0.3	0.3	0.5	0.5	0.4
18.湯圍溪	71.7	78.3	33.7	48.2	50.4	26.7	7	5	4	0.4	0.4	0.4	0.7	0.7	0.7
19.十一股溪	120.0	90.0	33.3	52.9	52.0	22.6	6	6	4	0.3	0.3	0.5	0.6	0.5	0.6
20.猴洞坑溪	96.7	53.7	34.3	76.3	40.7	24.6	6	6	5	0.3	0.4	0.4	0.8	0.7	0.7
21.北門坑溪	64.3	44.0	40.7	49.7	28.9	31.0	7	6	6	0.3	0.5	0.4	0.7	0.5	0.7
22.石燭坑溪	41.6	50.0	29.0	29.0	36.8	18.6	6	6	5	0.3	0.4	0.4	0.7	0.7	0.7
23.福德坑溪	44.3	42.0	35.0	37.4	42.0	31.3	6	6	6	0.4	0.4	0.3	0.4	0.6	0.6
24.武營溪	48.7	63.3	34.1	22.6	52.0	21.1	4	4	4	0.3	0.3	0.4	0.6	0.8	0.7
25.羅東溪	35.0	48.3	34.6	30.9	34.2	25.7	4	4	4	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.7
26.安平坑溪	34.3	29.7	36.7	26.1	20.2	33.9	6	6	6	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5
27.東城溪	162.7	32.7	33.7	41.0	26.4	26.0	5	4	6	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4	0.5
28.新城溪	44.7	20.7	56.0	25.7	16.3	35.9	4	4	4	0.5	0.5	0.5	0.7	0.6	0.7
29.國盛溪	58.3	33.3	33.3	21.9	18.2	21.4	4	4	4	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3
30.蘭陽主扇	56.7	91.7	58.3	42.3	73.7	51.3	5	5	5	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5

P:扇頂 M:扇央 T:扇端

表7 蘭陽地區沖積扇河道堆積物特徵之計測

扇名	圓度			球度			最			大粒徑			平均粒徑			淘選度		
	P	M	T	P	M	T	P	M	T	P	M	T	P	M	T	P	M	T
1.馬當溪	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	180.0	230.0	156.7	146.5	164.2	115.3	7	7	7			
2.米摩登溪	0.4	0.4	0.5	0.8	0.7	0.7	220.0	143.3	396.7	142.0	103.3	187.8	7	7	7			
3.美優溪	0.5	0.5	0.4	0.8	0.6	0.7	272.0	208.3	173.3	169.4	111.1	113.1	7	6	6			
4.美羅溪	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	198.3	140.0	135.0	139.5	117.5	115.3	7	7	7			
5.夫布爾溪	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.7	110.0	120.0	129.3	99.1	93.2	78.4	7	6	6			
6.茲那谷溪	0.1	0.5	0.5	0.5	0.6	0.7	250.0	113.3	265.0	174.3	80.7	158.7	7	7	7			
7.留茂安溪	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	113.7	283.3	321.7	51.2	179.1	159.7	6	6	7			
8.加蘭溪	0.3	0.3	0.4	0.6	0.6	0.5	133.0	111.3	91.7	91.3	63.4	60.2	6	5	5			
9.加蘭灣溪	0.5	0.5	0.3	0.6	0.6	0.5	141.7	249.3	37.7	85.2	119.8	31.0	7	7	4			
10.石頭溪	0.5	0.3	0.4	0.6	0.6	0.6	115.7	134.3	59.3	96.2	82.2	49.9	7	7	7			
11.天狗溪	0.5	0.5	0.5	0.7	0.6	0.7	70.0	88.3	104.7	46.6	65.5	64.1	3	3	3			
12.碼崙溪	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	85.7	191.7	141.7	71.2	92.0	82.0	6	4	3			
13.石頭橋溪	0.2	0.2	0.2	0.5	0.5	0.6	189.0	153.3	169.7	126.4	97.6	74.0	7	7	7			
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
14.大礁溪	0.5	0.5	0.3	0.3	0.7	0.6	39.7	60.7	52.3	40.8	41.3	45.3	4	4	4			
15.小礁溪	0.4	0.4	0.5	0.7	0.5	0.7	66.3	42.0	58.0	48.4	35.6	41.1	4	4	4			
16.林尾溪	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.6	21.7	40.7	41.7	17.7	26.4	28.0	5	5	5			
17.得子口溪	0.2	0.3	0.3	0.6	0.6	0.7	110.0	38.7	36.3	84.6	24.1	25.1	6	6	6			
18.湯圍溪	0.3	0.4	0.6	0.6	0.7	0.6	107.7	78.3	43.3	77.5	50.4	26.3	7	6	4			
19.十一股溪	0.3	0.3	0.5	0.6	0.5	0.6	93.3	173.3	38.7	40.5	58.5	24.8	6	6	4			
20.猴洞坑溪	0.5	0.5	0.5	0.7	0.6	0.7	310.0	62.7	37.7	173.5	46.1	23.1	7	6	4			
21.北門坑溪	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.7	86.7	90.0	44.3	70.0	64.0	26.4	7	6	4			
22.石燭坑溪	0.2	0.5	0.5	0.8	0.6	0.6	103.3	83.3	63.3	79.1	58.1	34.9	7	5	4			
23.福德坑溪	0.4	0.4	0.3	0.5	0.7	0.6	114.7	95.0	55.7	78.5	75.1	48.1	6	6	6			
24.武營溪	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	40.7	30.0	33.3	18.5	20.0	19.6	5	4	4			
25.羅東溪	0.4	0.3	0.7	0.4	0.6	0.6	41.3	76.3	35.7	30.9	48.1	26.7	3	6	3			
26.安平坑溪	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	46.0	46.0	46.0	28.1	28.1	28.1	6	6	6			
27.東城溪	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4	0.6	46.7	32.7	13.3	21.1	10.7	10.7	4	4	3			
28.新城溪	0.6	0.5	0.5	0.7	0.7	0.7	40.7	51.7	54.0	25.1	35.8	29.1	3	3	3			
29.國盛溪	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	58.3	33.3	33.3	21.9	18.2	24.1	4	4	4			
30.蘭陽主扇	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	146.7	73.3	91.7	96.3	56.9	57.0	7	5	4			

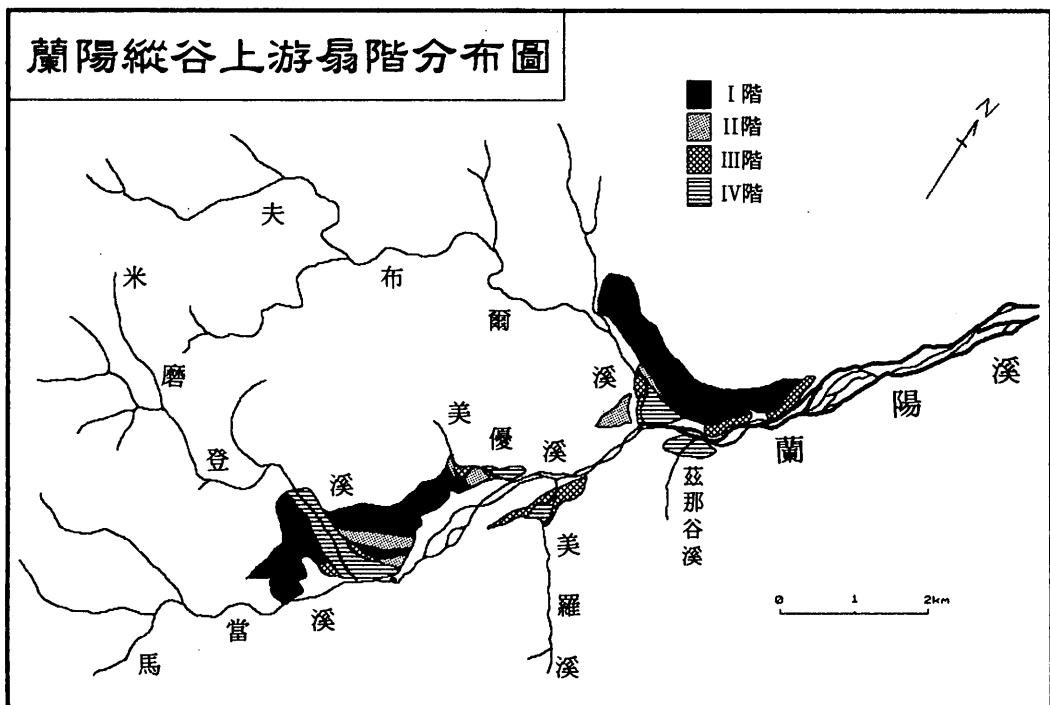


圖4 蘭陽縱谷上游扇階分布圖

根據河道下切與扇面間之關係，可分為三種類型。A型為扇頂下切深度大於扇端下切深度，B型為扇頂下切深度小於扇端下切深度，及C型為扇頂與扇端下切深度大約一致者。本區A型有23個，占77%，B型5個，C型2個。整體而言，本區沖積扇以切割型為主。

此外，由下切的剖面可觀察沖積扇厚度的變化，根據Bull (1972) 將沖積扇縱剖面的堆積物厚度變化情形分為以下三型。

- ①近山麓區堆積層最厚，漸向下游呈楔狀愈來愈薄（圖5a）：此乃因沖積扇在發生堆積之前，山區已先行上升。
- ②凸透鏡狀堆積體的形態（圖5b）：此反應堆積時山區仍持續不斷的隆升。
- ③近山麓區堆積層最薄，扇端最厚：此乃因山區構造活動停止，扇面上物質，被侵蝕帶走，最後可能變成山足面（pediment）地形。

Bull同時對集水域因造構上升作用，影響沖積扇發育位置提出以下二種看法（1972, 1977）：

- ①當上升率大於河道下切率時，扇的新堆積物在近山麓附近產生堆積（圖6a）。
- ②當河道下切率大於上升率，扇頂產生下切，新的堆積物在舊扇的下游處堆積（圖6b）。

檢視縱谷區上游米磨登、美優、夫布爾等扇之縱剖面堆積物厚度變化呈凸透鏡狀，

即扇頂、扇端較薄，扇央較厚的形態，似可推知本區沖積扇形成同時集水域仍不斷的隆升。另由複成扇內新扇扇頂逐漸下移的情形觀之，本區目前河道下切率大於集水域上升速率（圖4、5、6）。

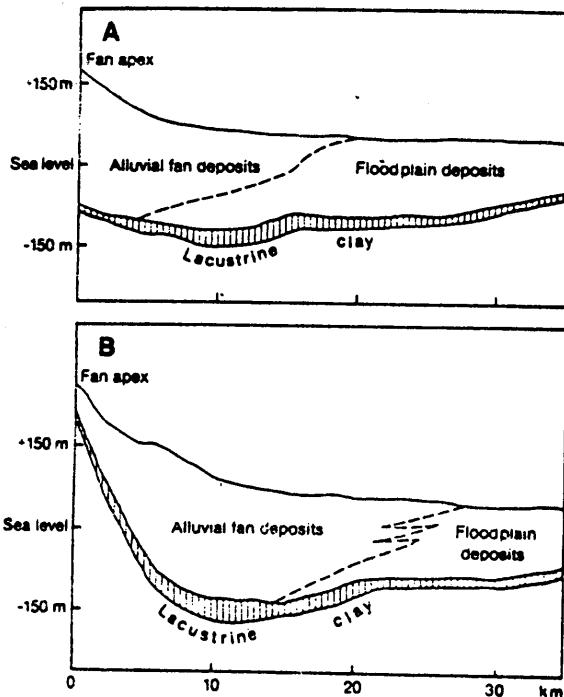


圖5 沖積扇堆積縱剖面

(A)近鄰山麓沖積扇堆積最厚，

(B)沖積扇堆積呈凸透鏡狀。

(Bull, 1972)

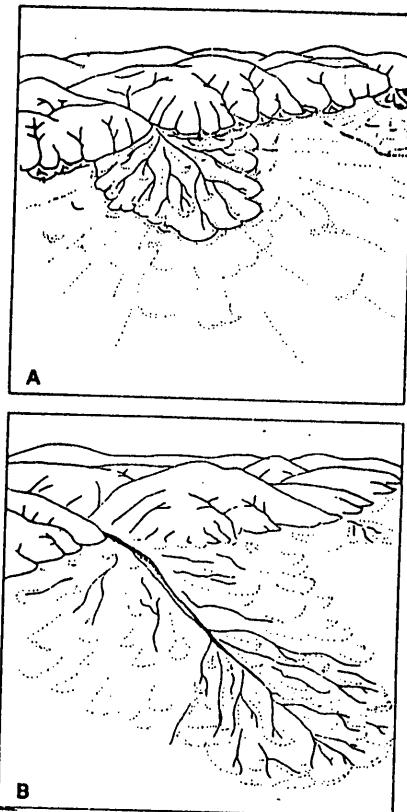


圖6 (A)山區的上升率大於河道的下切

率，沖積扇即在谷口形成，如

山區的上升持續發生，則沖積

扇的厚度，逐漸增大。

(B)山麓區河道的下切率超過山區

的上升速率，扇頂即發生下蝕

，扇體堆積的位置往下游移動

。(Bull, 1968)

c.扇央傾斜度

扇央傾斜度反映扇頂至扇端，下切深度變化的情形與扇頂部河床侵蝕量的大小。扇央傾斜度大即扇頂至扇端下切深度變化愈大。就縱谷區而言，除美優、茲那谷、天狗、碼崙較小外，其餘均在15以上，平原區則除羅東、東城外，均在10以下，整體而言，由於縱谷區的下切深度較大，因此縱谷區沖積扇的扇央傾斜度較平原區者大。

(4)堆積物特徵（表6、表7）

本文所計測的堆積物特徵包括沖積扇扇面與河床堆積物之形狀（圓度、球度）、淘選度與粒徑大小等特徵。由堆積物顆粒大小與淘選情形，可推知堆積物的生成環境。縱谷內扇面礫石以茲那谷、石頭二新生扇最大，平均可達150公分以上，而其餘諸扇則有上游略大於下游扇的趨勢，如上游馬當、美優扇頂部可達76與83公分，而下游天狗、碼崙為21與28公分。平原區諸扇，則以礁溪斷層崖下之得子口、湯圍、十一股、猴洞坑與北門坑等扇最大扇頂部礫石粒徑多在80~40公分間，其餘沖積扇多在30~20公分間。此外，一般而言大扇的縱長較長，粒徑扇頂至扇端由大而小的變化現象較明顯，然本區由於多屬小扇（ 2km^2 以下），上述現象並不明顯。總之，扇面礫石粒徑有新生扇大於複成扇，縱谷區沖積扇大於平原區者、縱谷區上游諸扇大於下游諸扇的現象。

另就河道堆積物的情形而言，縱谷內以上游馬當、米磨登、美優、美羅、夫布爾、茲那谷較大，平均礫粒可達100公分以上，而下游除留茂安、石頭橋扇外，多在100公分以下。平原區諸扇，除猴洞坑扇頂平均在173公分外，其餘均在100公分以下，且多在70~10公分間。至於扇頂至扇端，粒徑變化，約1/2沖積扇有由大而小的變化現象，但其餘則略顯混亂。總之河床礫石粒徑呈縱谷扇大於平原扇，上游扇大於下游扇，扇頂部大於扇端部現象。

礫石淘選度，不論縱谷或平原區沖積扇扇面淘選度有小於河道現象，即河道淘選較扇面為差，而不論扇面或河道，縱谷扇淘選度大於平原扇。縱谷扇面淘選度5、6居多，平原則以4、5居多；而縱谷河道淘選度以6、7居多，平原則以4、6居多。

顆粒之形狀多就球度及圓度二項目進行分析，球度受岩性之控制，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。本區球度主受中央山脈與雪山山脈岩性所控制，由於兩區岩性差異不大，以致沖積扇不論扇面與河道，縱谷與平原區間差異不明顯，球度多在0.5~0.7間，呈近球狀。至於圓度，不論縱谷或平原區，扇面礫石圓度均有略小於河道礫石者趨勢。而在縱谷區內，有上游扇略小於下游者之趨勢，如上游馬當、米磨登、美優、夫布爾多0.3為主，而下游石頭、天狗、碼崙以0.5為主；平原區則多以0.4為主；至於河道圓度，縱谷與平原差異不大，全區多0.3~0.5間，屬半圓狀。此外由於本區多為 2km^2 以下之小扇，扇頂至扇端之圓度變化不大。

(二)特徵變量間的關係

Reineck & Singh (1973) 指出扇面積愈大扇徑愈大，扇坡度愈平緩。本研究首先將蘭陽地區全域30個沖積扇，16個特徵變項，以相關分析方法，檢視其間關係，結果大致可歸納如下四項：（表8）

表8 蘭陽地區沖積扇特徵變量間之關係

	Af	Lf	W	An	Sm	Sh	Sr	D	R1	Tp	Tm	Tt	Ta	Rg	Hp	Ht
Af	1.00	.81**	.90**	-.13	-.31	-.31	.18	.00	-.19	-.14	-.13	-.10	.08	-.18	-.24	-.27
Lf	.81**	1.00	.83**	-.15	-.38	-.38	.25	-.04	-.11	.01	.11	.20	.18	-.14	-.07	-.13
W	.90**	.83**	1.00	.05	-.42	-.42	.19	-.09	-.21	-.15	-.13	-.09	-.02	-.23	-.31	-.34
An	-.13	-.15	.05	1.00	-.22	-.19	.11	-.17	-.03	-.09	-.12	-.17	-.09	-.23	-.23	-.21
Sm	-.31	-.38	-.42	-.22	1.00	.95**	-.37	.00	.03	.42	.32	.30	.30	.68**	.57**	.59**
Sh	-.31	-.38	-.42	-.19	.95**	1.00	-.16	.08	-.09	.32	.20	.18	.26	.63**	.42	.43*
Sr	.18	.25	.19	.11	-.37	-.16	1.00	.36	-.44*	-.33	-.37	-.34	.06	-.27	-.52*	-.53*
D	.00	-.04	-.09	-.17	.00	.08	.36	1.00	-.21	.01	.06	.02	-.08	-.01	-.09	-.10
R1	-.19	-.11	-.21	-.03	.03	-.09	-.44*	-.21	1.00	.16	.26	.17	-.03	-.01	.33	.35
Tp	-.14	.01	-.15	-.09	.42	.32	-.33	.01	.16	1.00	.92**	.72**	-.13	.71**	.68**	.66**
Tm	-.13	.11	-.13	-.12	.32	.20	-.37	.06	.26	.92**	1.00	.85**	-.00	.54*	.74**	.70**
Tt	-.10	.20	-.09	-.17	.30	.18	-.34	.02	.17	.72**	.85**	1.00	.26	.60**	.79**	.75**
Ta	.08	.18	-.02	-.09	.30	.26	.06	-.08	-.03	-.13	-.00	.26	1.00	.07	.21	.18
Rg	-.18	-.14	-.23	-.23	.68**	.63**	-.27	-.01	-.01	.71**	.54*	.60**	.07	1.00	.62**	.62**
Hp	-.24	-.07	-.31	-.23	.57**	.42	-.52*	-.09	.33	.68**	.74**	.79**	.21	.62**	1.00	.99**
Ht	-.27	-.13	-.34	-.21	.59**	.43*	-.53*	-.10	.35	.66**	.70**	.75**	.18	.62**	.99**	1.00

N of cases: 29 1-tailed Signif: * - .01 ** - .001

- 沖積扇面積愈大者，縱長愈長，流幅愈大。例如縱谷內之米磨登與夫布爾扇，平原區之羅東、大礁溪、小礁溪等扇。
- 扇面高度愈大者，平均坡度愈大，河道下切深度愈大，扇央傾斜度愈大，堆積物愈呈稜角狀，河床礫粒徑愈大。例如馬當、米磨登、夫布爾等扇。
- 扇坡度比愈小者，河道偏倚度愈大。如加蘭、猴洞坑、北門坑等扇。
- 沖積扇堆積物圓度愈大時，現河床礫之圓度亦愈大；沖積扇堆積物球度愈大時，現河床礫之球度亦愈大。此外，當堆積物粒徑愈大時，淘選度亦愈差。例如茲那谷、石頭等扇。

另將縱谷區與平原區之16個特徵變項，討論得知平原區諸扇，特徵變項間關係大致與全域者同，而縱谷區者亦大致與全域者相同，唯縱谷內沖積扇面積愈大者，其扇面高度及下切深度均有愈高與愈深的趨勢。（表8a、b）此意味著縱谷上游區雪山山脈側的斷層活動顯著，地盤上升大於下游區，因而諸扇的堆積及下蝕的力量旺盛。

表8a 蘭陽縱谷沖積扇特徵變量間之關係

	Af	Lf	W	An	Sm	Sh	Sr	D	R1	Tp	Tm	Tt	Ta	Rgr	Hp	Ht
Af	1.00	.92**	.83**	-.12	-.43	-.45	-.21	.20	.22	.37	.65*	.81**	.06	.09	.46	.37
Lf	.92**	1.00	.90**	-.14	-.37	-.40	-.19	.12	.10	.40	.70*	.86**	.15	.06	.61	.52
W	.83**	.90**	1.00	-.08	-.35	-.41	-.27	.00	.19	.51	.77**	.86**	.05	.09	.68*	.62
An	-.12	-.14	-.08	1.00	-.31	-.31	-.09	-.31	-.04	-.06	-.12	-.20	.01	-.31	-.41	-.38
Sm	-.43	-.37	-.35	-.31	1.00	.96**	-.01	.08	-.50	.15	-.02	-.01	.37	.57	.10	.10
Sh	-.45	-.40	-.41	-.31	.96**	1.00	.24	.19	.55	.10	-.09	-.08	.26	.55	-.00	.00
Sr	-.21	-.19	-.27	-.09	-.01	.24	1.00	.40	-.25	-.15	-.23	-.26	-.41	.02	-.25	-.23
D	.20	.12	.00	-.31	.08	.19	.40	1.00	-.07	.09	.21	.11	-.03	.02	-.15	-.20
R1	.22	.10	.19	-.04	-.50	-.55	-.25	-.07	1.00	-.14	-.00	-.10	-.19	-.41	-.16	-.17
Tp	.37	.40	.51	-.06	.15	.10	-.15	.09	-.14	1.00	.90**	.63*	-.29	.62	.54	.51
Tm	.65*	.70*	.77**	-.12	-.02	-.09	-.23	.21	-.00	.90**	1.00	.81**	-.12	.39	.63*	.58
Tt	.81**	.86**	.86**	-.20	-.01	-.08	-.26	.11	-.10	.63*	.81**	1.00	.26	.48	.80**	.74*
Ta	.06	.15	.05	.01	.37	.26	-.41	-.03	-.19	-.29	-.12	.26	1.00	.03	.19	.17
Rg	.09	.06	.09	-.31	.57	.55	.02	.02	-.41	.62	.39	.48	.03	1.00	.49	.49
Hp	.46	.61	.68*	-.41	.10	-.00	-.25	-.15	-.16	.54	.63*	.80**	.19	.49	1.00	.99**
Ht	.37	.52	.62	-.38	.10	.00	-.23	-.20	-.17	.51	.58	.74*	.17	.49	.99**	1.00

N of cases: 13 1-tailed Signif: * - .01 ** - .001

表8b 蘭陽平原沖積扇特徵變量之關係

	Af	Lf	W	An	Sm	Sh	Sr	D	R1	Tp	Tm	Tt	Ta	Rg	Hp	Ht
Af	1.00	.86**	.90**	-.22	-.41	-.39	-.01	-.03	-.09	.03	.12	.17	.22	-.32	.40	.15
Lf	.86**	1.00	.85**	-.22	-.39	-.33	.16	-.12	.01	.21	.09	.36	.34	-.33	.59*	.09
W	.90**	.85**	1.00	.03	-.52	-.51	-.09	-.17	-.00	.20	.06	.10	.06	-.33	.28	.19
An	-.22	-.22	.03	1.00	-.04	.09	.15	-.11	.08	-.27	-.16	-.38	-.22	-.17	-.34	-.26
Sm	-.41	-.39	-.52	-.04	1.00	.92**	.04	.04	-.15	-.24	.26	-.25	-.00	.18	.41	-.49
Sh	-.39	-.33	-.51	.09	.92**	1.00	.33	.13	-.22	-.34	.08	-.18	.12	.04	.38	-.65*
Sr	-.01	.16	-.09	.15	.04	.33	1.00	.41	-.26	.01	-.07	.46	.56	-.12	.22	-.37
D	-.03	-.12	-.17	-.11	.04	.13	.41	1.00	-.38	-.05	.02	-.04	-.11	.01	-.15	-.13
R1	-.09	.01	-.00	.08	-.15	-.22	-.26	-.38	1.00	.23	.40	-.01	.03	.43	-.17	.12
Tp	.03	.21	.20	-.27	-.24	-.34	.01	-.05	.23	1.00	.01	.41	-.07	.60*	-.01	.16
Tm	.12	.09	.06	-.16	.26	.08	-.07	.02	.40	.01	1.00	.15	.33	.16	.34	.21
Tt	.17	.36	.10	-.38	-.25	-.18	.46	-.04	-.01	.41	.15	1.00	.72**	-.03	.26	.09
Ta	.22	.34	.06	-.22	-.00	.12	.56	-.11	.03	-.07	.33	.72**	1.00	-.30	.48	-.18
Rg	-.32	-.33	-.33	-.17	.18	.04	-.12	.01	.43	.60*	.16	-.03	-.30	1.00	-.23	.05
Hp	.40	.59*	.28	-.34	.41	.38	.22	-.15	-.17	-.01	.34	.26	.48	-.23	1.00	-.20
Ht	.15	.09	.19	-.26	-.49	-.65*	-.37	-.13	.12	.16	.22	.09	-.18	.05	-.20	1.00

N of cases: 16 1-tailed Signif: * - .01 ** - .001

三、沖積扇的形成要因

由蘭陽縱谷沖積扇分布觀之，有些河流有沖積扇，有些則無，有些有空間集中性，有些則無，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特徵？為探討此問題，乃就形成沖積扇的因子，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；山麓崖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7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。張瑞津等（1994）探討花東縱谷區沖積扇的形成時，曾選取集水域及沖積扇域等13個因子，探討沖積扇形成的要因，其中屬於集水域的10個因子為「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」、「集水域年代」、「集水域降雨量」²⁾；沖積扇域的「溪口距」因子及集水域與沖積扇

2)過去數百～數千年之年平均降雨量資料，不易獲得，乃採用近期水資會民國38年～民國68年的一個水文年之資料，以期補氣候資料之不足。

共同之「沖積扇堆積場區與集水域間隆升率的差值」。本研究仍採取同樣的因子，惟因蘭陽地區至今仍缺確切的活斷層資料，故捨去「活斷層通過的有無」因子；此外本研究更選取代表洪峰流量之「圓比值」共13項因子來探討沖積扇的分布與形成因子。各因子之代碼與計測方法如表9所示，計測結果則見表10。

表9 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 圓比值	Rc		集水域面積與集水域邊長作圓周之原圓面積之比值
8 集水域地質	Ds		採中央地調所1/25000 地質圖資料
9 集水域地質年代	Gs		採中央地調所1/25000 地質圖資料
10 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
11 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 1km^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
12 溪口距	Dv	km	二溪流間的谷口距，並選取較短的值為準
13 隆升率	Vd	m	集水域與堆積場的隆升率差值

* 隆升率係採用陳蕙芬 (1984) 之民國3年～民國68年之三角點檢測成果之地盤上升等值圖資料，經內叉法，分別獲致集水域與堆積場的隆升率資料，而求得 ΔV 值。

表10 蘭陽縱谷集水域特徵之計測結果表

溪名	左右岸	集水域面積 (km ²)	山間盆地面積 (km ²)	山間盆邊長 (km)	集水域圓比值 (%)	起伏比 (%)	主流長 (km)	主流等級 面積高 度積分 (km ²)	崩塌地 面積 (km ²)	年平均降雨量 (mm)	溪口距 (km)	隆升率 (m/ 1000年)	
* 1. 馬當溪	L	9.10	0.06	14.06	0.57	25.51	4.93	2	0.58	2327	0.00	21.26	
2. 逸久溪	L	27.58	0.13	24.87	0.56	31.95	10.19	3	0.51	2322	0.00	21.67	
* 3. 米磨登溪	L	8.08	0.19	12.66	0.63	37.54	4.27	3	0.57	2250	0.00	24.30	
4.R1	R	2.36	0.03	6.85	0.63	35.04	3.19	2	0.68	2350	1.93	15.60	
* 5. 美優溪	L	3.11	0.04	7.69	0.68	36.59	2.27	1	0.57	0.02	2200	2.02	24.57
* 6. 美羅溪	R	2.67	0.02	6.61	0.77	39.61	2.01	2	0.64	0.05	2200	1.93	19.30
* 7. 夫布爾溪	L	26.44	1.06	26.83	0.66	31.32	9.22	3	0.53	2200	1.78	25.00	
* 8. 茲那谷溪	R	0.94	0.04	4.19	0.68	43.45	1.05	1	0.64	2200	1.15	24.88	
9. 貢谷富溪	L	17.25	0.18	18.50	0.63	31.05	9.62	2	0.52	2275	1.15	21.01	
10.R2	R	0.91	0.00	4.35	0.60	52.80	1.23	2	0.54	0.08	2300	0.93	25.00
11. 保養溪	L	11.84	0.14	15.26	0.64	31.93	5.51	2	0.58	2200	2.08	25.00	
12. 四重溪	R	29.78	0.03	26.63	0.53	25.63	14.16	4	0.54	2370	0.93	24.84	
13. 碧水橋溪	R	0.84	0.00	4.21	0.60	47.09	1.28	1	0.56	2500	1.25	15.81	
14.L1	L	3.08	0.00	7.41	0.70	41.15	2.99	2	0.57	2200	1.73	19.67	
15. 加納富溪	R	7.21	0.03	14.98	0.74	26.75	6.52	1	0.59	2840	1.70	20.66	
16.L2	L	1.84	0.00	5.60	0.54	43.68	1.98	1	0.62	2350	1.48	15.00	
* 17. 留茂安溪	R	3.86	0.01	8.48	0.68	33.57	3.13	1	0.65	2500	1.18	22.72	
18.L3	L	12.46	0.08	16.96	0.54	29.33	6.17	2	0.57	0.08	2279	1.48	18.73
19. 志航橋溪	R	2.01	0.01	7.09	0.50	36.85	2.13	1	0.70	2800	0.78	13.29	
20. 基南溪	L	13.47	0.04	16.15	0.64	29.41	6.81	3	0.61	0.03	2386	0.33	15.00
* 21. 加蘭溪	R	4.37	0.05	9.66	0.59	27.17	4.06	2	0.62	2825	0.78	18.16	
* 22. 石頭溪	L	15.59	0.22	19.04	0.53	22.84	7.62	3	0.63	0.44	2493	0.33	15.00
* 23. 加蘭灣溪	R	1.18	0.02	4.51	0.73	41.14	1.58	1	0.70	2800	0.85	15.00	
24. 獨立山溪	L	8.55	0.05	13.06	0.63	32.62	3.91	2	0.62	2788	2.23	15.00	
25. 土場溪	R	43.71	0.62	31.86	0.54	17.03	18.98	4	0.60	0.06	3380	0.38	21.43
* 26. 天狗溪	R	35.93	1.28	27.78	0.58	20.48	12.67	3	0.50	0.19	3683	0.38	18.40
27. 排谷溪	L	12.65	0.07	15.10	0.70	24.58	6.33	3	0.62	3150	2.05	15.00	
28. 梵梵溪	L	35.33	0.29	26.01	0.66	21.74	11.79	3	0.47	3694	1.53	7.98	
* 29. 碼龜溪	R	22.14	0.38	21.26	0.61	19.53	8.59	3	0.56	3905	0.23	11.33	
30. 東壠溪	R	5.79	0.08	9.76	0.75	25.14	3.16	3	0.55	3683	0.23	-2.16	
31. 赤水橋溪	L	1.06	0.02	4.85	0.57	30.45	1.83	2	0.64	3500	0.68	5.00	
* 32. 石頭橋溪	L	2.18	0.02	6.26	0.69	32.04	1.73	1	0.66	3500	0.68	5.00	
33. 執信橋溪	L	7.61	0.24	11.07	0.78	25.51	4.33	2	0.53	0.07	3763	1.95	4.84
34. 松羅溪	L	15.19	0.74	17.41	0.63	19.01	7.54	3	0.50	4050	0.55	-5.00	
35.L4	L	1.35	0.04	5.53	0.55	23.16	1.97	2	0.53	3900	0.55	-1.30	
36. 玉蘭溪	L	1.36	0.06	5.27	0.62	26.00	1.59	2	0.49	4008	1.05	3.62	
37. 破礪溪	L	15.78	0.44	19.53	0.52	19.19	9.19	3	0.50	0.01	3760	1.05	1.68
38. 帆坤仔溪	L	5.19	0.10	10.75	0.56	19.08	2.97	2	0.52	3383	1.93	2.12	
39. 頂粗坑溪	L	11.21	0.77	16.24	0.54	16.06	6.32	3	0.53	2892	3.08	6.11	
40. 粗坑溪	L	39.70	0.77	30.51	0.50	13.48	15.55	3	0.48	2600	3.08	-5.00	
41.L5	L	2.19	0.08	6.55	0.64	24.55	2.13	2	0.63	1.33	2704	0.90	0.89
42.L6	L	13.08	0.20	17.61	0.52	16.95	8.03	2	0.51	0.90	3988	1.10	3.98
43. 崩山湖溪	L	4.08	0.51	9.43	0.58	20.76	3.63	2	0.51	3988	1.00	5.00	
44. 二湖溪	L	2.45	0.30	6.85	0.65	17.63	2.27	3	0.59	2888	2.68	5.26	
* 45. 大礁溪	L	26.21	2.70	27.00	0.44	13.53	8.01	3	0.48	3080	1.85	5.00	
* 46. 小礁溪	L	13.82	0.85	19.45	0.46	17.53	6.80	3	0.51	3066	1.85	1.13	
47. 龍潭湖溪	L	2.11	0.26	6.22	0.68	12.72	2.02	1	0.55	3233	1.28	-0.39	
* 48. 林尾溪	L	5.61	0.33	10.48	0.64	18.23	4.14	2	0.55	3377	1.28	5.00	
* 49. 得子口溪	L	13.49	0.34	16.05	0.66	19.81	5.72	2	0.57	3400	0.63	5.00	
* 50. 湯圓溪	L	1.03	0.00	5.31	0.46	29.42	0.84	1	0.75	3500	0.63	5.00	
* 51. 十一股溪	L	1.04	0.00	4.90	0.54	26.49	0.61	2	0.69	3575	0.88	5.00	
* 52. 猴洞坑溪	L	4.45	0.02	11.68	0.40	20.76	4.42	2	0.70	3700	0.88	5.00	
* 53. 北門坑溪	L	2.54	0.05	7.50	0.54	20.82	2.14	2	0.64	3760	1.00	5.00	
* 54. 石燭坑溪	L	5.53	0.14	11.75	0.49	23.33	4.80	2	0.54	3800	1.00	5.00	
* 55. 福德坑溪	L	8.78	0.34	13.69	0.65	21.11	4.42	2	0.55	3700	0.00	5.00	
* 56. 武營溪	L	1.76	0.04	5.60	0.68	19.75	2.30	2	0.61	0.02	3575	1.85	-5.00
57. 貞山橋溪	R	8.73	0.94	12.12	0.75	21.96	5.81	3	0.37	4455	1.85	5.16	
58. 清水溪	R	85.14	7.44	45.07	0.53	14.64	27.55	4	0.41	0.11	3925	4.88	-5.00
59. 大坑溪	R	3.42	0.16	7.93	0.68	23.81	3.78	3	0.64	4816	3.08	2.96	
* 60. 羅東溪	R	63.99	10.94	42.07	0.45	12.26	12.62	3	0.34	4457	0.80	-2.67	
61. 舊寮溪	R	6.41	1.31	11.97	0.53	16.55	4.29	2	0.43	4629	0.80	1.05	
62. 新寮溪	R	8.91	1.10	13.30	0.63	23.39	4.33	3	0.42	4350	1.45	-4.00	
63. 十三分溪	R	2.32	0.43	6.32	0.70	25.71	2.05	2	0.41	4400	1.63	-2.29	
* 64. 安平坑溪	R	3.34	0.50	8.65	0.55	18.69	2.73	2	0.47	4300	1.83	-2.37	
* 65. 東城溪	R	2.09	0.25	5.73	0.79	20.25	2.19	2	0.54	4433	1.88	5.00	
* 66. 新城溪	R	47.17	2.06	39.81	0.37	14.33	18.82	4	0.41	4100	1.75	0.40	
* 67. 國盛溪	R	0.25	0.01	2.15	0.69	37.90	0.30	1	0.62	2893	13.58		
* 68. 蘭陽溪		583.29	15.24	138.59	0.38	9.31	43.91	5	0.40	2.18			

*:表有扇之溪 L:表位於左岸 R:表位於右岸

3.2 決定沖積扇存在的因子

為探討影響沖積扇形成有無的因子，本研究將前述的各因子先加以常態分類（表11），並分別統計各因子有扇與無扇二類的頻率（表12）（不包括蘭陽主流，共67條河川），經過多變量統計之判別分析法運算之後得知，決定蘭陽地區全流域是否會產生沖積扇的重要因子依序為主流等級（U）、起伏比（Rh）、隆升率（Vd）、年平均降雨量（R）、面積高度積分（Hi）、溪口距（Dv）、山間盆地面積（Ai）等7個因子。其中五項反映集水域的規模、地形、氣候條件，代表岩屑供應量的多寡，溪口距則反映著堆積空間的大小，隆升率反映著地殼運動的情形。

表11 各因子之分類表

表12 各因子之分類結果表

因 子			分 類								
				1	2	3	4	5	6	7	8
集 水 域	地 形	I	集水域面積 (km ²)	有扇 無扇	10 12	7 5	6 14	4 5	2 2		
		II	山間盆地面積 (km ²)	有扇 無扇	26 36	2 0	1 0	0 0	1 1		
		III	起伏比 (%)	有扇 無扇	0 0	3 3	13 16	11 15	2 4		
		IV	主流長 (km)	有扇 無扇	13 18	10 11	5 1	1 2			
	水 文	V	主流等級	有扇 無扇	7 5	13 17	9 12	1 3			
		VI	面積高度積分	有扇 無扇	0 0	1 1	4 9	11 19	13 9		
		VII	圓比值	有扇 無扇	0 0	3 0	5 0	8 18	15 20		
域 地 形 質	地 質	VIII	集水域地質	有扇 無扇	1 0	5 9	23 27				
		IX	集水域年代	有扇 無扇	1 0	10 11	7 9	11 16			
	地 形	X	崩塌地之有無	有扇 無扇	23 30	6 8					
	氣 候	X I	降雨量 (mm)	有扇 無扇	0 0	8 11	4 7	12 12	5 6		
沖 扇 積 域	地 形	X II	溪口距 (km)	有扇 無扇	26 32	3 5	0 1				
流 扇 域 域	地 形	X III	隆升率 (m/1000年)	有扇 無扇	0 5	0 1	2 2	2 3	12 6	1 3	7 8

另依據上述的七項影響沖積扇存在與否之因子，重新檢定研究區內之65條河川（不包括蘭陽溪主流，並將L6、崩山湖溪、二湖溪合併），結果50條河川判別正確，占76.77%，判錯的比率約23%（表13）。判錯的原因可能尚有一些因子，如流量、植被、土地利用等，因資料蒐集不易尚未列入考量，但與花東縱谷區比較，則見判誤比率增加，由此可見未列入考量的因子對本區沖積扇形成與否的影響比重更為增加，亦可見本區沖積扇形成因子的複雜性較花東縱谷區有過而無不及。

表13 蘭陽全域沖積扇存在與否之樣本得點

樣本數	實際群落	判別結果	判別積分	樣本數	實際群落	判別結果	判別積分
1	1	1	-.2080	34	2	2	.9575
2	2	2	.7964	35	2	2	.1664
3	1 **	2	.7964	36	2	2	1.7904
4	2 **	1	-.7320	37	2	2	.9575
5	1 **	2	-.0130	38	2 **	1	-.8166
6	1	1	-.7320	39	2	2	.1878
7	1 **	2	.7964	40	2	2	.5653
8	1	1	-.6363	41	2	2	.5960
9	2 **	1	-.2080	42	2	2	.4335
10	2	2	1.1378	43	1	1	-.6212
11	2	2	.9913	44	1 **	2	.1878
12	2	2	1.8007	45	2 **	1	-2.9210
13	2	2	.3791	46	1	1	-.5708
14	2	2	1.3835	47	1	1	-.8166
15	2 **	1	-1.2124	48	1	1	-1.2449
16	2 **	1	-.3906	49	1	1	-.2405
17	1	1	-1.9821	50	1	1	-1.5863
18	2	2	.0377	51	1	1	-1.5863
19	2 **	1	-.7320	52	1	1	-.8166
20	2	2	.2724	53	1	1	-.8166
21	1	1	-.7320	54	1	1	-1.5863
22	1	1	-.3906	55	2	2	2.7102
23	1	1	-1.0734	56	2 **	1	-2.0027
24	2	2	.4674	57	2	2	2.7997
25	2	2	.4549	58	1	1	-.7923
26	1	1	-.1272	59	2	2	.6904
27	2	2	.1260	60	2	2	1.2032
28	2	2	.7118	61	2	2	2.2819
29	1	1	-.3037	62	1 **	2	.4446
30	2	2	2.0251	63	1	1	-.3251
31	2 **	1	-.2405	64	1 **	2	.0228
32	1	1	-1.2449	65	1	1	-.9991
33	2	2	.5292				

樣本分類判別正確率為 76.92%

此外，本研究鑑於蘭陽縱谷區與平原區，區域特徵之差異，乃分別探討影響沖積扇有無的因子。結果，決定蘭陽縱谷溪流是否會產生沖積扇的重要因子，依序為隆升率、山間盆地面積、面積高度積分、集水域地質、溪口距等5個因子，依此因子，檢定縱谷區之河川，其判別正確比率為77.78%（表13a）；平原區之重要影響沖積扇產生與否之因子依序為隆升率、主流等級、集水域地質3因子，其判別正確比率為72.41%（表13b）。

表13a 蘭陽縱谷沖積扇存在與否之樣本得點

樣本數	實際群落	判別結果	判別積分	樣本數	實際群落	判別結果	判別積分
1	1	1	.8151	19	2 **	1	.5986
2	2	2	-.2986	20	2 **	1	1.7124
3	1 **	2	-.2986	21	1	1	.5986
4	2 **	1	.5986	22	1	1	.5986
5	1 **	2	-.4108	23	1	1	1.7124
6	1	1	.5986	24	2	2	-.6273
7	1	1	.8151	25	2	2	-.2986
8	1	1	.9181	26	1	1	2.9847
9	2	2	-.2986	27	2	2	-.6273
10	2	2	-.2986	28	2	2	-1.0407
11	2	2	-.4108	29	1 **	2	-.6182
12	2	2	-.2986	30	2	2	-1.8962
13	2	2	-.6182	31	2	2	-.0404
14	2	2	-.6182	32	1	1	1.0734
15	2	2	-.2986	33	2	2	-1.2572
16	2 **	1	1.7124	34	2	2	-1.3602
17	1	1	.9181	35	2	2	-2.5353
18	2 **	1	.4956	36	2	2	-1.9993

樣本分類判別正確率為 77.78%

表13b 蘭陽平原沖積扇存在與否之樣本得點

樣本數	實際群落	判別結果	判別積分	樣本數	實際群落	判別結果	判別積分
1	2	2	.3433	16	1	1	-.8100
2	2 **	1	-.8100	17	1	1	-.8100
3	2 **	1	-.6290	18	1	1	-.8100
4	2 **	1	-.2444	19	2	2	2.6941
5	2	2	1.5408	20	2	2	.9089
6	2	2	.9310	21	2	2	2.6941
7	1	1	-.2444	22	1 **	2	.3433
8	1 **	2	.3433	23	2	2	.9531
9	2 **	1	-1.3755	24	2	2	.9310
10	1	1	-.2223	25	2	2	1.5408
11	1	1	-1.7823	26	1 **	2	.3654
12	1	1	-1.9632	27	1 **	2	.3654
13	1	1	-.8100	28	1	1	-.4480
14	1	1	-.8100	29	1	1	-1.3755
15	1	1	-.8100				

樣本分類判別正確率為 72.41%

綜合上述，值得注意的有以下幾點：（表14）

表14 沖積扇判別因子之比較

地區	判別正確率%	因 子
全域	76.92	主流等級、起伏比、隆升率、年平均降雨量、面積高度積分、溪口距、山間盆地面積
縱谷	77.78	隆升率、山間盆地面積、面積高度積分、集水域地質、溪口距
平原	77.41	隆升率、主流等級、集水域地質

1. 隆升率在縱谷、平原區分別探討時，均排名第1，但全域聯合分析時，排序向後至第3位。
2. 集水域地質在分區探討時，均為重要因子，但在全域聯合分析時，反不見其重要性。
3. 起伏比、降雨量在各別分區探討時，均不見其重要性，但全域聯合分析時反躍為重要因子。

總之，影響沖積扇形成與否的因子，其區域差異明顯可見，似乎小區域中地質、構造要因較為重要，較大區域時，地形、氣候因子反更見重要。

3.3 影響沖積扇形態的因子

蘭陽縱谷及平原區各沖積扇形態如前所述，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，本研究乃先就蘭陽縱谷平原29個沖積扇（不包括蘭陽溪主扇）的16個形態及堆積物特徵及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、下切深度、流幅、堆積物粒徑與集水域面積、山間盆地面積、起伏比、面積高度積分、主流長、年平均降雨量、溪口距、隆升率間關係密切（表15），餘者相關較低。沖積扇的地形特徵與集水域各要素之相關，可歸納出以下四點：（圖7）

1. 沖積扇的平面形態即沖積扇面積、縱長、流幅等特徵，與集水域面積、主流長、溪口距呈正比；與起伏比、面積高度積分（面積高度積分愈大，有愈趨向幼年期地形的趨勢）呈反比。
2. 沖積扇的剖面形態即沖積扇的平均坡度、扇頂坡度、坡度比等特徵與集水域面積、主流長呈反比；與起伏比、面積高度積分、降雨量、隆升率呈正比。
3. 沖積扇的下切深度與隆升率呈正比。
4. 沖積扇的堆積物圓度與主流長呈正比，面積高度積分呈反比；礫石淘選度愈大即淘選愈差時，集水域規模有愈小趨勢；而起伏比、面積高度積分值有愈大之趨勢。

表15 沖積扇特徵與形成因子間相關

	Ad	Ai	Rh	Hi	L	U	Aw	R	Dv	Vd	Gs	Ds
Af	.48*	.75**	-.48*	-.57**	.37	.38	-.18	.19	.53*	-.17	.10	.14
Lf	.53*	.74**	-.44*	-.61**	.42*	.44*	-.12	.04	.65**	-.04	.00	.14
W	.58**	.82**	-.61**	-.68**	.48*	.47*	-.19	.32	.56**	-.26	-.01	-.04
An	.24	.11	-.24	-.00	.29	.28	.07	.28	-.31	-.07	-.06	-.12
Sm	-.25	-.26	.53*	.33	-.32	-.42	.10	-.44*	-.05	.43*	-.08	-.29
Sh	-.36	-.26	.56**	.42	-.39	-.49*	-.02	-.32	-.12	.30	-.14	-.23
Sr	-.14	.11	-.27	.09	-.06	.00	-.31	.27	.04	-.39	-.26	.31
D	-.02	-.12	-.01	.11	.02	-.05	-.13	-.02	-.05	-.05	-.30	.00
R1	.09	.01	.22	-.12	.08	.03	.24	-.19	.11	.37	.44*	.04
Tp	.27	-.14	.26	-.06	.23	.17	.05	-.49*	-.02	.55**	-.15	-.34
Tm	.26	-.16	.31	-.06	.20	.17	.16	-.56**	.03	.59**	-.18	-.33
Tt	.17	-.14	.33	-.04	.10	.18	.34	-.59**	-.00	.56**	-.12	-.19
Ta	-.17	-.09	.12	.15	-.28	-.09	.15	-.32	.05	.12	.02	.15
Rg	-.00	-.16	.35	.09	-.05	-.05	.08	-.43*	-.17	.42	-.06	-.20
Hp	.02	-.20	.59**	.14	-.08	-.10	.44*	-.83**	.05	.85**	.05	-.20
Ht	.00	-.21	.60**	.16	-.08	-.11	.44*	-.84**	.02	.85**	.08	-.21

N of cases: 29 1-tailed Signif: * = .01 ** = .001

沖積扇

集水域

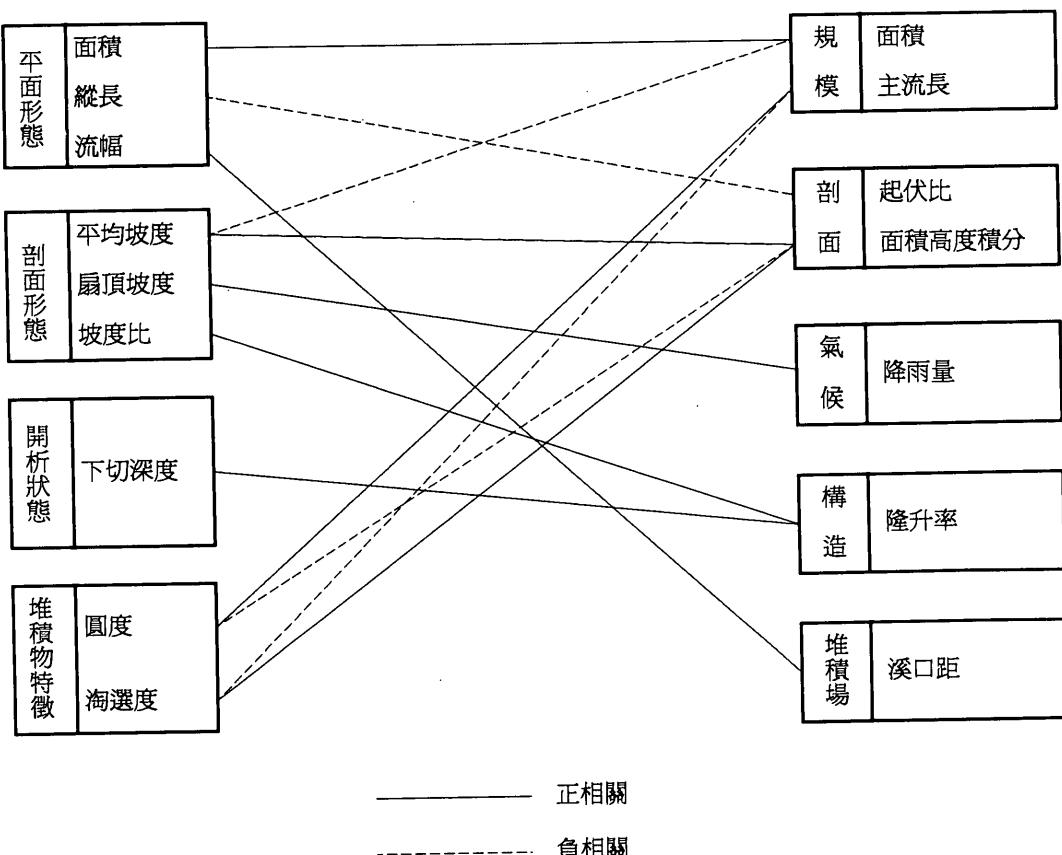


圖7 沖積扇與集水域各要素相關圖

Bull (1964a) 曾指出扇面的大小與流域面積間有如下關係：

$$Af = c \cdot Ad^n$$

其中， Af 為沖積扇面積； Ad 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 值愈大，表示單位面積堆積量愈大， n 值接近

0.9定值。蘭陽地區沖積扇面積與集水域面積間關係如圖8所示，蘭陽全域其 c 為0.18， n 為0.65，而縱谷區 c 值為0.09， n 值為0.42；平原區 c 值為0.33， n 值為0.83。總體而言，蘭陽地區沖積扇面積與集水域面積呈0.65次方關係，而縱谷內不論 c 值或 n 值均較平原區為小，此點可能因縱谷內河道寬度受限，而平原區有較寬闊的堆積空間，以致縱谷內沖積扇面積較平原區扇小，厚度較大，或因縱谷內沖積扇被搬運帶走物質的比例較平原區沖積扇大。

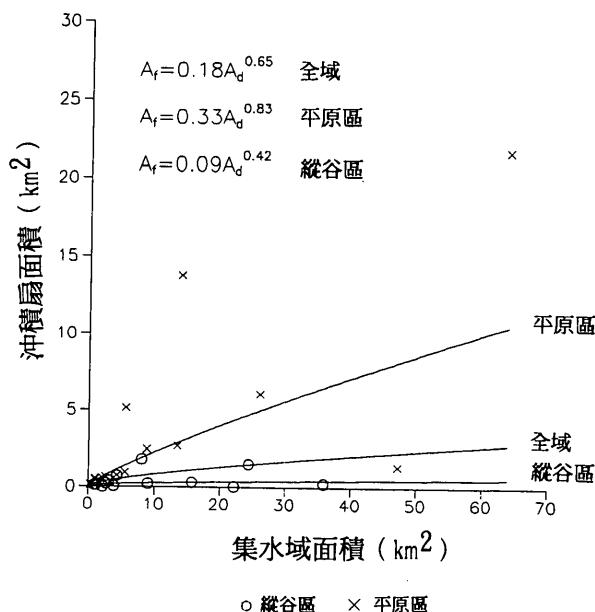


圖8 沖積扇面積與集水域面積之關係

儘管影響沖積扇形態之因子十分複雜，但究竟何者為其主要影響因子？本研究乃以16個特徵變量（不包括堆積物特徵及各實際特徵值），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4個（表16），各沖積扇特徵與共同因子的負荷量（factor loading）如圖9所示，各因子解釋如下：（圖9）

1. 第1因子

下切深度、扇面高度、扇央傾斜度等特徵之因子負荷量在0.65以上，此因子的固有值為6.18，解釋量占36.3%（表16）。隆升率與沖積扇下切深度及扇面高度關係密切（表15），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。

表16 蘭陽地區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
Tm	.95857	-.02806	-.02119	-.05207
Tp	.92364	-.07241	.06699	.02802
Tt	.88670	.10112	.10701	-.09739
Hp	.80426	-.05139	.36088	-.33085
Ht	.77551	-.11776	.36694	-.35167
Rg	.66036	-.10018	.52486	.07479
Lf	-.01935	.97815	-.09039	.07028
Lf	.01044	.97395	-.13097	.08221
Afa	-.09009	.94861	-.04572	.07751
W	-.13520	.82205	-.29616	.08354
An	-.15019	-.43356	-.33262	-.07684
Sh	.21795	-.26313	.88139	.10062
Sm	.33148	-.22334	.87183	-.07868
Ta	-.08549	.47861	.51635	-.12387
D	.12193	.00170	-.00597	.76140
Sr	-.36656	.04794	-.15346	.70488
R1	.24175	-.22627	-.16528	-.66272
特徵值	6.18	3.77	1.88	1.41
解釋率%	36.3	22.2	11.1	8.3
累積解釋率%	36.3	58.5	69.6	77.9

2. 第2因子

縱長、面積、流幅、扇央角度等特徵之因子的固有值在3.77，解釋量占22.2%。由沖積扇面積與集水域面積間關係密切（Bull, 1962; Denny, 1965; Hooke, 1968; Beaumont, 1972）即集水域面積愈大，沖積扇面積亦愈大。因此第2個因子可命名為沖積扇規模，並以集水域面積解釋之。

3. 第3因子

扇頂坡度、扇面平均坡度與下切類型等特徵之因子的固有值為1.88，解釋量占11.1%（表16），表示扇頂坡度愈大，扇面平均坡度亦愈大。由於起伏比與沖積扇坡度特徵間關係密切（表15），因此可用沖積扇剖面為此因子命名，以集水域上之起伏比為此因子做解釋。

4. 第4因子

切割度、坡度比及河道偏倚度等特徵之因子固有值為1.41，解釋量占8.3%。表示切割度及坡度比大者，河道偏倚度小。太田陽子（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。因此第4因子可命名沖積

扇面開析度，並以扇面形成後所經過的時期為此因子解釋。

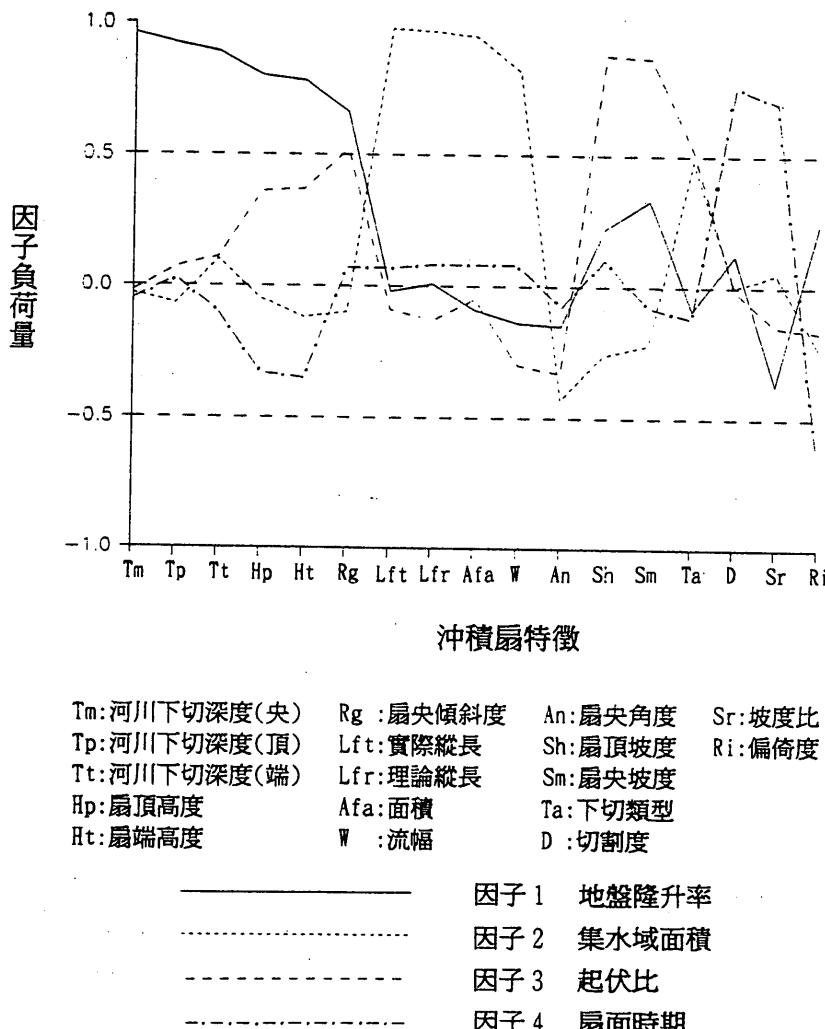


圖9 蘭陽縱谷沖積扇特徵因子負荷量圖

總之影響蘭陽縱谷平原區沖積扇形態的四個要因為地盤隆升率、集水域面積、起伏比、扇面時期等加以解釋（表17）。

四、沖積扇演育之假說與驗証

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，並檢視蘭陽地區沖積扇的演育模式。

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。

表17 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	下切深度、扇面高度 扇央傾斜度	下切程度	地盤隆升率
2	縱長、面積、流幅 扇央角度	扇面規模	集水域面積
3	扇頂坡度、扇面平均 坡度	剖面形態	起伏比
4	切割度、坡度比 河道偏倚度	開析程度	扇面時期

(一)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10A）。

(二)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10B）。

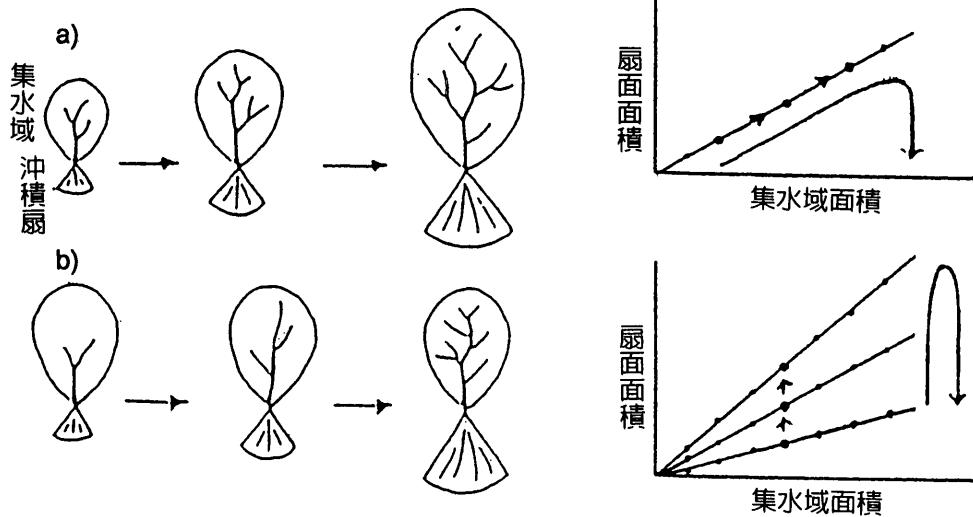
(三)氣候關聯說

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10C）。

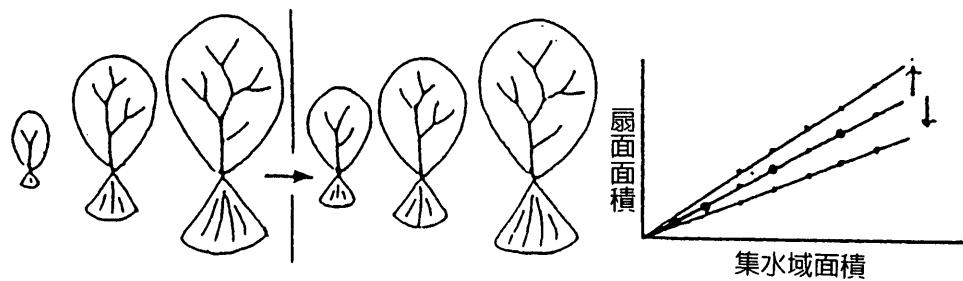
4.2 驗証

有關本區是否符合侵蝕輪迴說，必須了解集水域之新舊，但判別流域時期並非易事，Strahler (1952) 提出以面積高度積分 (hypometric integral) 來了解集水域形態的切割程度和地形發育時期的觀念，即以面積高度積分值來區分集水域之新舊，一般認為其值在0.45以上為幼年期地形，0.15~0.45為壯年期地形，0.15以下為老年期地形。本文根據此數值，比較大扇如羅東扇其集水域之面積高度積分值為0.34（壯年期地形），而沖積扇為 21.72km^2 ，面積較大；另小扇如湯圍扇其集水域面積高度積分值為0.75（幼年期地形），沖積扇面積為 0.43km^2 ，面積較小。總之，本區流域面積高度積分值愈小（地形發育時期愈年老），沖積扇面積有愈大之趨勢，因此似可用侵蝕輪迴說加以驗証（表

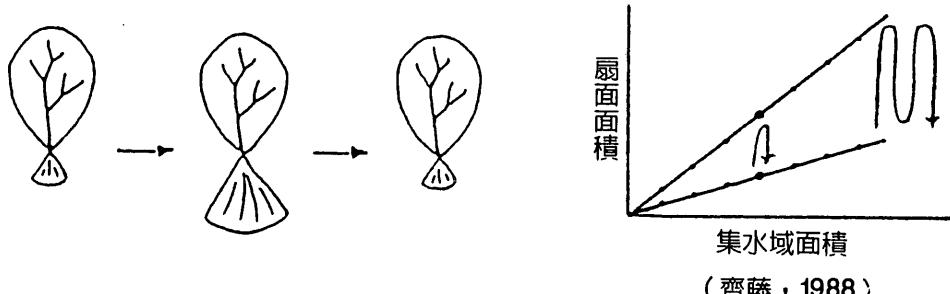
A 侵蝕輪迴說



B 動態平衡說



C 氣候關聯說



(齊藤，1988)

圖10 沖積扇發育的三個假說示意

18）。另氣候關聯說的驗証，由於長期氣候變遷的資料尚未完整建立，因此沖積扇的演育是否與氣候變遷有關也不易驗証。但由於米磨登、美優溪漂木定年約2000年²⁾及二溪

³⁾謝孟龍(1993)提供米磨登溪扇漂木定年為1781±40 BP., 美優溪扇漂木定年為1660±40 BP., 直立的化石樹幹定年為1980±40與1540±40 BP.。

扇面堆積物的粒度、淘選度均較現河床小的現象觀之，似乎反映著本區沖積扇形成時期（約2000年來），氣候可能較今日乾，水流較今日和緩，而後氣候較溼，開析較盛，而成今日複成扇。因此氣候變遷對沖積扇演育似乎也有相當程度的影響，但尚待進一步的研究。

表18 蘭陽集水域地形時期與扇面積表

	扇名	面積高度積分	沖積扇面積 (km ²)
幼年期	東城溪	0.79	0.57
	美羅溪	0.77	0.22
	加蘭灣溪	0.73	0.12
	石頭橋溪	0.69	0.01
	國盛溪	0.69	0.12
	美優溪	0.68	0.38
	茲那谷溪	0.68	0.11
	留茂安溪	0.68	0.04
	武營溪	0.68	0.23
	夫布爾溪	0.66	1.49
中期	得子口溪	0.66	2.68
	福德坑溪	0.65	2.47
	林尾溪	0.64	0.94
	米磨登溪	0.63	1.78
	碼崙溪	0.61	0.04
	加蘭溪	0.59	0.71
	天狗溪	0.58	0.24
	馬當溪	0.57	0.21
	安平坑溪	0.55	0.34
	十一股溪	0.54	0.50
壯年期	北門坑溪	0.54	0.64
	石頭溪	0.53	0.31
	石燭坑溪	0.49	5.16
	小礁溪	0.46	13.78
	湯圍溪	0.46	0.43
壯年期	羅東溪	0.45	21.72
	大礁溪	0.44	6.06
	猴洞溪	0.40	0.74
	蘭陽溪	0.38	66.32
	新城溪	0.37	1.36

至於動態均衡說的驗証，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、堆積物淘選度間關

係密切。集水域面積愈大，沖積扇面愈大，坡度愈平緩。由上述可知，蘭陽地區沖積扇的發育，深受上游集水域的影響，亦十分合適以動態平衡說的演育模式加以解釋。

五、結論

蘭陽地區為台灣沖積扇發達地區之一，本文根據航照判圖、室內計測及野外考察獲得沖積扇特徵之計測資料，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，驗証其演育模式。結果如下：

1. 蘭陽地區68條河川，其中有30個沖積扇，縱谷內13個平原區包括主扇共17個。
2. 沖積扇規模，縱谷內上游扇較下游扇面積大。平原區雪山山脈側沖積扇規模及數目較中央山脈側大。
3. 縱谷上游米磨登、美優、夫布爾諸扇，均呈四階複成扇，可推知本區現今集水域的河道下切率，大於集水域的上升速率。另由其縱剖面堆積物厚度變化呈凸透鏡狀，亦可推知本區沖積扇形成之同時，集水域仍不斷的隆升。
4. 全區沖積扇各特徵之間存在著，沖積扇面積愈大，流幅愈大，坡度愈緩，堆積物淘選度愈佳，圓度愈大之關係。然而，縱谷內沖積扇面積愈大者，有扇面愈高及下切愈深的趨勢。
5. 經判別分析，決定沖積扇存在與否之因子主要為主流等級、起伏比、隆升率、年平均降雨量、面積高度積分、溪口距、山間盆地面積等七個因子。另外，縱谷與平原區各有不同的因子排序，似可見在較小區域時，地質、構造要因較為重要，而在較大區域時，地形、氣候因子反更重要。
6. 經因子分析，影響沖積扇形態的四個因子為地盤隆升率、集水域面積、起伏比、扇面時期等加以解釋。
7. 本區沖積扇之演育模式，因定年及氣候的資料不完整，無法充分驗証侵蝕輪迴說及氣候關連說，但若以面積高度積分，表示集水域的新舊，則見集水域趨近老年期，其扇面積較大，即本區沖積扇演育模式，可符合侵蝕輪迴說。另由沖積扇與集水域各特徵間關係而言，蘭陽地區沖積扇演育以動態平衡說也頗合理。

謝 辭

本文為國科會83年度「台灣沖積扇之地形學研究（II）」專題研究計畫（編號：NSC 83-0202-M-003-003）之研究報告，研究期間承蒙曾國雄、鄧國雄、楊貴三、黃朝恩、許民陽等諸位博士及林雪美、劉明錡、沈艷嬪等同學提供寶貴意見，謝孟龍先生提供定年資料及日本琦玉大學齋藤享治博士提供寶貴論文，姜瑞玉、吳慧雯、萬怡、林淑儀等諸位同學協助野外工作及室內工作，使本研究得以順利完成，謹此一併致謝。

參考文獻

〔中文部分：

- 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運動之關係，中國地質學會會刊，第八號，102-105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。
- 江新春（1976）：宜蘭平原之震測，礦業技術，第十四卷，第六期，215-221頁。
- 吳永助（1976）：清水土場地熱區及其外圍之地質，礦業技術，第十四卷，第十二期，484-489頁。
- 林朝棨（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。
- 師宗遠（1993）：簡介蘭陽平原上的沖積扇地形，人文及社會學科教學通訊，第四卷，第三期，157-159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。
- 陳肇夏，朱倣祖，莊德永（1983）：台灣中央山脈的一些構造問題，中央地質調查所彙刊，第二號，1-16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。
- 曾長生（1978）：宜蘭縣清水及土場地區地質及地熱產狀，台灣石油地質，第15號，11-23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一，私立中國文化大學地學研究所博士論文，178頁。
- 楊潔豪（1993）：人控音頻電流磁流法應用於水文調查之研究，國科會研究報告，國立中央大學，91頁。

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。

詹新甫（1976）：宜蘭地區第三紀之地質，礦業技術，第十四卷，第7號，252-257頁。

鄧國雄（1981）：沖積扇的成因與形態，地理學訊，第九期，18-23頁。

張瑞津、石再添、楊淑君、林譽方、陳翰霖（1994）：花東縱谷沖積扇的地形學研究，師大地理研究報告，第二十一期，43-74頁。

蔡義本，馮至津，邱哲明，廖鴻彬（1975）：新店—宜蘭地區微震活動與斷層之關係，台灣石油地質，第12號，149-167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，東京，318pp.。

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，10，535pp.。

———（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）：山形県新庄盆地の地形學的研究—鹽野原扇地等高線異常の問題，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關する考察，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.。

奥田節夫（1981）：扇狀地における地形變化の數量的予知に關する最近の研究，地形，2，73-79。

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) : 台灣島の扇状地の形成條件，北海學園大學學園論集，63，19-36。
- (1993) : 日本および台灣の扇状地に關する動的平衡説の検討，埼玉大學紀要
教育學部，42，1，33-48。

(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.
- Bowin, Carl, Lu, R.S., Lee, C.S. and Schouten, Hans (1978) : Plate Convergence and accretion in Taiwan-Luzon region, Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., Vol. 62, No. 9, 1645-1672.
- 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, 432pp.
- 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 Taiwanica, 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 an 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, 391 pp.
- 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. Gol. Soc. China, 6, 21-33.
- Well, S.G. & Harvey, A.M. (1987) : Sedimentologic and geomorphic variations in stormgenerated 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 由思源埶口附近眺望蘭陽溪上游之沖積扇群，左岸由上游至下游分別為 a.米磨登扇、b.美優扇、c.夫布爾扇，右岸d.為美羅扇。



照片4 夫布爾扇扇端剖面，扇端蘭陽溪主流下切約80公尺，沖積扇堆積物礫石之粒徑較現河床者小。



照片2 美羅扇，位於蘭陽溪本流右岸，沖積扇橫剖面呈凸狀十分明顯，舊扇面與新生扇面間落差約 30公尺。



照片5 石頭扇，位蘭陽溪本流左岸，加蘭溪對岸，礫石堆積為主之新生扇；尚正在發育中，扇頂部本流下游側有一礫石河階。扇端目前有砂石場正在採石。



照片3 茲那谷扇，位蘭陽溪本流右岸，美羅扇北方。集水域上游山崩劇烈，谷口岩屑流沖積而成此茲那谷新生扇，尚未受任何切割作用，正在發育中。



照片6 天狗扇，位蘭陽溪本流右岸，土場溪、天狗溪與本流匯流處附近，棲蘭山莊對面，為一新生正在發育的沖積扇。



照片8 美優溪扇扇央部剖面，扇面與河床落差約30公尺。現河床有直立的“化石”樹幹，定年約為2000~1500 BP。

照片
7

採現落橋米漂河差游登溪扇附近河扇頂剖面，位可法木床約35公尺。床在扇面，與河床離5.6公尺處。此剖面距河孟龍780±40BP。



照片9 石頭扇扇面布滿礫石，礫石多以巨礫（Boulder）為主，圓度與淘選度不良。



照片10 猴洞溪扇頂河床礫，平均粒徑76公分，淘選不佳。