

第一章 緒論

第一節 研究動機與目的

臺灣構造運動發達，山勢陡峭、水流湍急，地形、地質環境較為脆弱，加上多颱風豪雨，易誘發土石流事件，造成不少災害。行政院農業委員會水土保持局（以下簡稱水土保持局）於 1990 年代起委託多項土石流研究計劃，判定全台的土石流潛勢溪流（水土保持局 1996、2001），至 2003 年三月份為止共有 1420 條（水土保持局 2003）。水土保持局判定土石流潛勢溪流的標準是先以 1:25000 等高線地形圖為主判別出溪流，再根據溪谷坡度、集水區面積、下游保全對象及往昔災害記錄、現場調查不安定堆積土石、現有防治措施等多項條件判釋出土石流潛勢溪流（水土保持局 2001），水土保持局進一步將這些土石流潛勢溪流依危險程度（水土保持局 2003）加以整治，並在颱風季節或連日降雨時嚴密監測高危險度的潛勢溪流，在減少土石流災害的發生上已有相當成效。

但根據水土保持局的作業流程是否已找出所有可能發生土石流的溪流了呢？由於水土保持局利用 1:25000 等高線地形圖作為判釋野溪的基礎，若地形圖中等高線形態呈現不出溝谷的溪流就可能被忽略。另外，水土保持局將「下游保全對象」當作訂定土石流潛勢溪流的必要條件，站在保護民眾生命財產的立場並無不妥，但從預防不當開發的角度思考，這些現在沒有保全對象但可能再發生土石流的溪流，將來卻可能因為開發而造成災害，是否也應加以檢核和判定？

一般教科書都會載明典型的土石流可劃分為發生、傳輸和堆積段（例如：詹錢登 2000），其中以土石堆積所造成的谷口土石流扇，為土石流發生過的地形證據(Kochel 1990)，在地景中容易保存，也較易判別，因此可以作為判別土石流是否發生的證據。而若能確定谷口的沖積扇是土石流作用造成的土石流扇，則可判定該溪流是具有土石流發生的體質，在類似氣候條件下可能再度發生土石流。

因此本文主要的目的為利用土石流扇尋找具有土石流發生體質的溪

流，並用統計分析歸納出土石流扇的流域特徵，作為判釋土石流潛勢溪流的指標。具體目標如下所述：

- 一、判定花蓮溪縱谷段的沖積扇類型
- 二、分析土石流扇和洪水扇的流域特性和判別因子
- 三、分析土石流扇和谷口無沖積扇的流域特性和判別因子
- 四、討論土石流扇和其流域與土石流潛勢溪流的關係

沖積扇(alluvial fan)一詞最早由 Drew (1873)提出 (引用自楊淑君 1996)，泛指在河流或溪溝谷口形成的錐狀堆積體(Goudie 2004)，一般認為是河流沖積作用所造成。約在 1950 年代中期 Blissenbach (1954)即指出除了河水流(stream flow)之外，土石流(debris flow)及片流(sheet flow)也是建成沖積扇的重要作用。80 年代開始，對於沖積扇上不同沈積作用的研究成為主要的論題(Lecce 1990)；之後學者多將沖積扇分為河流作用主導和土石流主導兩類，指稱的名詞也開始多元化，例如：Kostaschuk *et al.* (1987)、Blair (1999)、Boyer (2001)、Coe *et al.* (2003)、Crosta and Frattini (2004)。土石流作用在地形作用分類上常被視為塊體崩移(mass movement)或邊坡崩壞(slope failure)的一種，但因多發生在小溪溝谷之中，也是建成沖積扇的重要作用之一，由土石流作用為主所形成的沖積扇現在多稱為土石流扇(debris flow fan)。相對的，以洪水為主導作用的沖積扇多稱為洪水扇(flood fan)，洪水和土石流作用皆重要者，則稱為土石洪水扇(debris flood fan)。本文也採用洪水扇、土石洪水扇和土石流扇這套名詞，三者則合稱沖積扇。

本文選擇本島沖積扇發達的花東縱谷北段之花蓮溪主河段中央山脈側各溪流為研究區，因為該區曾發生多起重大的土石流災害事件，如：民國 79 年銅門土石流、民國 90 年鳳義坑土石流 (引用自水土保持局網頁)，更因為該區有較多不同規模的沖積扇 (圖 1-1)，以及許多谷口無扇狀堆積的小流域可供比較。

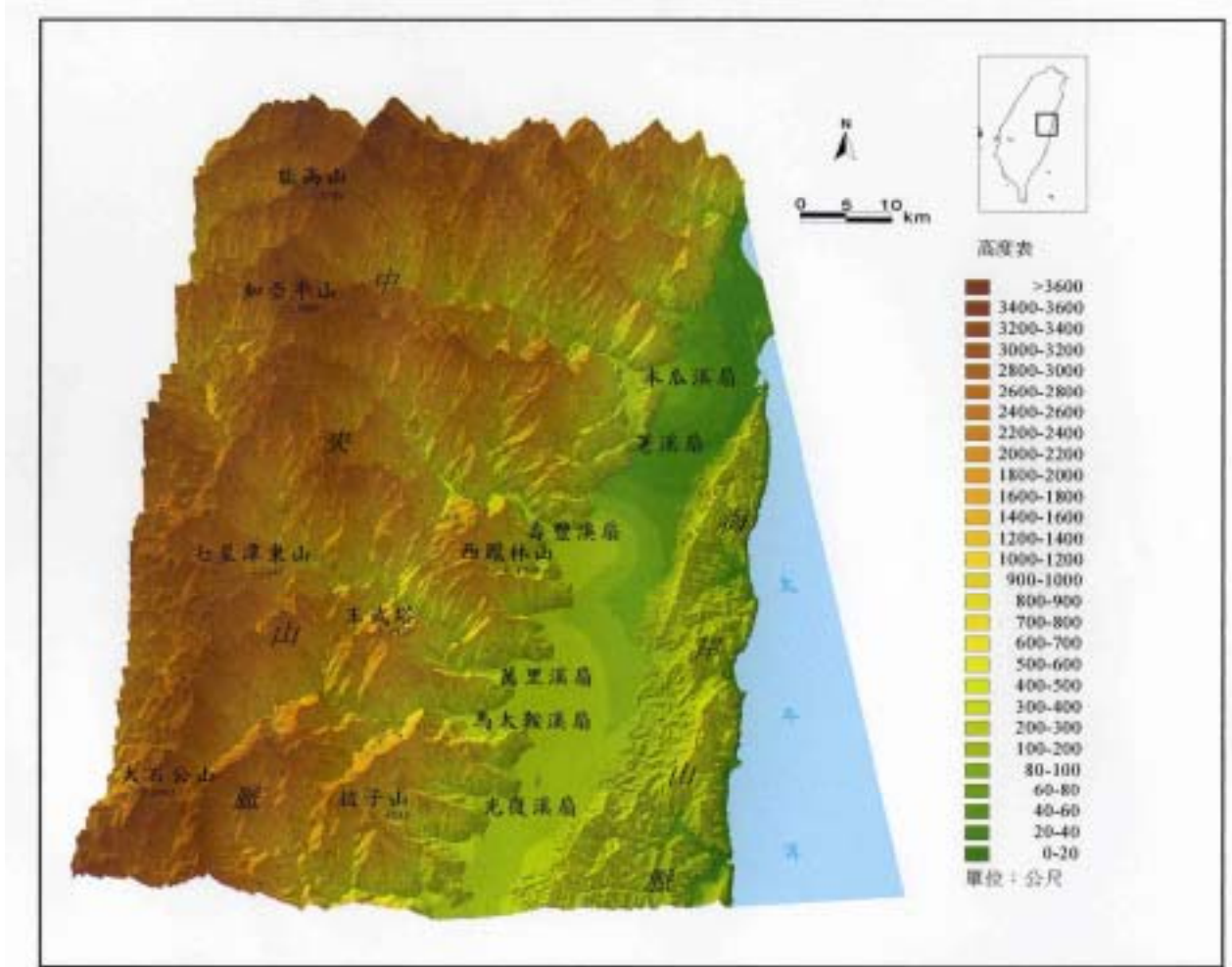


圖 1-1. 花蓮溪縱谷段地勢圖

第二節 文獻探討

本研究的文獻收集分為三個部分，第一部份為國外學者針對沖積扇上主導營力所作之研究，第二部份整理國內潛勢溪流和土石流扇狀地的研究，第三部份則為前人對於花蓮溪沖積扇的研究。

一、不同主導營力之沖積扇和流域特性分析

自從出現沖積扇這個名詞以來，許多學者曾根據不同的研究重點將沖積扇作區分，如：富田芳郎(1972)根據沖積扇的演育階段將之劃分為三類，包括：發育中沖積扇(growing fan)、平衡型沖積扇(graded fan)、開展型沖積扇(dissected fan)等。而從 1980 年代起將沖積扇以不同主導營力作劃分為研究的趨勢(Lecce 1990)，由各家的分類方式可見端倪（表 1-1）

表 1-1. 學者針對沖積扇上不同主導營力之研究的整理表

作者(年代)	研究地區	研究目的	不同主導營力之沖積扇的名稱
Kostaschuk et al. 1987	加拿大落磯山脈的 Front Range	不同沖積扇的潛在危害程度	河流優勢扇(Fluvially dominated fan)以及土石流優勢扇(debris flow-dominated fan)
Blair 1999	美國加州死谷 Panamint Range 山麓地區兩鄰近沖積扇	透過兩鄰近扇之扇面(facies)的差異探討造成兩扇不同主導營力的原因	水流扇(waterlaid fan)及土石流優勢扇(debris flow-dominated fan)
Boyer 2001	加拿大英屬哥倫比亞 Kootenay Region 省	人類在沖積扇上活動的危險評估	沖積扇(Alluvial fan)以及崩積扇(Colluvial fan)
Coe et al. 2003	美國科羅拉多州中部 Front Range 70 號公路沿線的 19 個扇	對州際公路上每一個沖積扇進行土石流未來發生率之評估	洪水優勢扇(flood-dominated fan)及土石流優勢扇(debris flow-dominated fan)
Crosta and Frattini 2004	北義阿爾卑斯山中部 209 個扇	檢驗控制 209 個扇的最近沈積營力	河流扇(streamflow fan)及土石流扇(debris flow fan)

自從沖積扇以不同主導營力作研究成為研究趨勢後，學者們對於這類的研究遵循著一定的程序。首先利用某些指標將判定扇體的主導營力，再來則透過流域計測尋找判別不同主導營力之扇的最適變數。

在判定扇體主導營力方面，學者多透過沖積扇沈積物的特徵作判別 (Kostaschuk *et al.* 1987、Coe *et al.* 2003、Crosta and Frattini 2004、Scally and Owens 2004、Wilford *et al.* 2004)，如土石流扇的沈積物特徵為無層理結構和覆瓦構造、淘選度不佳，屬基質支持等，洪水扇則反之（表 1-2）。

表 1-2. 不同作者提出之劃分沖積扇的沈積物特徵

作者(年代)	河流主導	土石流主導
Kostaschuk <i>et al.</i> (1986, 1987)	層理結構(stratified) 圓形砂礫(rounded gravel)	無層理結構、淘選度不佳 (poorly sorted)，泥到巨礫同時存在、堆積末端出現堤狀物(levées)、突出部(lobes)、壓力脊(pressure ridges)、巨礫集中
Coe <i>et al.</i> (2003)	碎屑支持(clast supported)、良好的淘選度(well sorted)及層理結構(internal stratigraphy)	基質支持(matrix supported)、缺乏淘選度、碎屑物方向隨機排列 (randomly oriented clasts)
Crosta and Frattini (2004)	碎屑支持(clast supported)、層理結構、呈瓦狀堆積(imbricated)、扇表面較平緩，扇的縱剖面呈凹形	淘選度不佳、碎屑到基質支持(clast- to matrix-supported)、淤泥巨礫、圓石和砂礫皆存在、碎屑物的長軸與水流方向平行
Wilford <i>et al.</i> (2004)	洪水扇：沈積物濃度 20% 以下，所帶碎屑物的長軸與水流相交，淘選度較高； 土石洪水扇：沈積物濃度多介於 20-47%，巨礫和大型碎屑物之長軸與水流相交，小的卵石及圓石則與水流方向平行	堆積末端出現堤狀物 (levées)或是終端突出部 (terminal lobes)、沉積物在堆積上與洪水堆積相反 (reverse grading)，碎屑物的長軸與水流方向平行

在流域計測方面，學者通常將所分類的沖積扇利用統計分析歸納兩類扇的流域特性，並尋找兩類扇的判別因子。Kostaschuk et al. (1986) 利用函數分析(functional analysis)，探討扇面積與流域面積和扇坡度與流域險峻值(the basin ruggedness number)的關係，該作者發現扇面積與流域面積呈現負成長關係(negative allometric relationship)；扇的坡降和流域險峻值之間則為正成長關係(positive allometric relationship)。流域險峻值由 Melton 於 1965 年提出，即是流域的高差除以流域面積之平方根。

在沖積扇與流域的關係上，Kostaschuk et al. (1987)進一步提出坡陡及面積較小的流域，土石流營力較為優勢；坡緩及大面積的流域，河流營力較為優勢。而依據扇的體積及坡度作區分，洪水扇（8 個）的體積通常大於 100 公頃、扇的坡度小於 2.5°；土石扇（12 個）的規模較小，大約在 1-100 公頃之間、扇的坡度較陡，約大於 4°。

Jackson et al. (1987) 針對同一研究區域，進一步利用流域險峻值及扇坡度區分洪水扇及土石流扇。該文認為當流域險峻值 > 0.25，扇坡度大於 4°即可判斷為土石流扇。之後許多作沖積扇上土石流危害評估的研究者也使用此種比值來區分不同主導營力（土石流及洪水）之沖積扇。例如：Bovis and Jakob (1999)提出加拿大英屬哥倫比亞西南部海岸山脈南方的土石流扇，流域險峻值 > 0.53；Coe et al. (2003)則界定美國科羅拉多州中部 Front Range 70 號公路沿線的洪水扇流域險峻值 < 0.35；Wilford et al. (2004)選擇 16 種流域及土地利用變數，利用單項變異數分析及 Bonferroni 多重比較，決定流域險峻值結合流域長度能有效區分不同主導營力之沖積扇(表 1-3)。

表 1-3. 利用流域長度結合流域險峻值區分不同主導營力之扇的界檻值(Wilford et al. 2004)

	流域長度	流域險峻值
洪水扇	--	< 0.3
土石洪水扇	--	0.3-0.6
	> 2.7km	> 0.6
土石扇	< 2.7km	> 0.6

區分不同扇類型之流域險峻值的數值大小不同，但土石流扇的流域險峻值大於洪水扇則為共同的趨勢。

扇的面積和坡度、流域的面積和坡度為學者一般認為能區分不同主導營力之扇的最適變數。如：Sorriso-Valvo *et al.* (1998)利用判別分析得出義大利南部的沖積扇面積和扇坡度為區分不同類型之扇的最佳因子；Crosta and Frattini (2004)結合多種統計分析（線性迴歸、主成分分析、集群分析、判別分析和邏輯分析）得出判別不同主導營力之扇的重要判別因子為流域坡度和流域面積。Scally and Owens(2004)利用判別分析得出流域面積和扇坡度為區別兩類營力的最佳因子等。

二、國內土石流潛勢溪流和土石流扇狀地之研究

謝正倫等(1993)依據集水區面積、溪流坡度、往昔災害紀錄、溪床不安定堆積土石及下游保全對象之調查資料指標，劃定全臺 485 條土石流危險溪流。張東炯等 (1996、1997、1998)以上述 485 條溪流為對象，在東部、中部和北部進行統計及分析，試圖找出各區危險溪流之一致性，發現各區的溪流在溪流長度、溪流坡度、集水區面積和集水區形狀係數大致有一致性。水土保持局(1996、2001)先後修正全臺土石流潛勢溪流，直至 2003 年三月份為止，全臺共有 1420 條危險溪流。而後水土保持局(2003)依現況重新評定各潛勢溪流之優先處理順序（高、中、低度三級），經濟部中央地質調查所（以下簡稱中央地調所）(2004)則依地質觀點將南投縣、台中縣、台中市、台北縣市、台東縣、花蓮縣等區域的 502 條土石流潛勢溪流依發生潛勢劃分，將危險溪流分為 ABC 三類（表 1-4）。

國內在土石流的研究上曾提出「土石流扇狀地」之名詞，為土石流危險區域之意(施邦築、鄭光炎 1997；謝正倫、蔡元芳 1998；蔡元芳等 2002)。一個完整的土石流扇狀地包括大小土石堆積而成的土石流錐及越過土石流錐由細粒土砂堆積而成的沖積扇所組成(游繁結、連惠邦 1999)，一般所計算的土石流危險範圍單指土石錐的部份並不包括細砂堆積而成的扇狀體。

表 1-4、國內土石流潛勢溪流劃定之整理

年代	劃分依據	結果	主管單位
1993	(1)有效集水面積(5公頃);(2)溪流坡度;(3)往昔災害紀錄 (4)溪床不安定堆積土石;(5)下游保全對象之調查	全臺 485 條土石流危險溪流	水土保持局
1996	(1)有效集水面積(向下修正為3公頃); (2)溪流坡度 (3)往昔災害紀錄;(4)溪床不安定堆積土石 (5)下游保全對象之調查	全臺 722 條土石流危險溪流	水土保持局
2001	(1)有效集水面積(向下修正為3公頃); (2)溪流坡度 (3)往昔災害紀錄;(4)溪床不安定堆積土石 (5)下游保全對象之調查	全臺 1420 條危險溪流	水土保持局
2003	(1)集水區內岩性;(2)坡度;(3)崩塌規模;(4)材料破碎及粒徑情形;(5)植生;(6)區內保全對象及整治工程設施	將因子給予評分,後加權計算,最後得出數值,再將之分三類,分別為:高、中、低危險溪流	水土保持局
2004	地質觀點將危險溪流依發生潛勢劃分	將危險溪流分 ABC 三類	中央地調所

出處：根據水土保持局(1993、1996、2001、2003)、中央地調所(2004)彙整

三、花蓮溪沖積扇的研究

往昔已有學者針對花蓮溪沖積扇做過研究，但研究的目的與本文並不相同。

張瑞津等(1994)、楊淑君(1996)探討花東縱谷沖積扇的存在因子，經判別分析得出谷口距、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決定沖積扇是否存在，經因素分析(factor analysis)及正準相關分析(canonical correlation analysis)得出集水區面積、扇面時期、堆積空間、地盤隆生率、集水域河床坡降主控沖積扇形態。若研究區縮小到只討論花蓮溪沖積扇，則面積高度積分、溪口距、圓比值、崩塌地面積乃控制花蓮溪沖積扇受否存在之因子(楊淑君 1996)。上述兩文雖對花蓮溪沖積扇進行研究，但研究的目的非在區分沖積扇的類型。

陳紫娥連續三年針對東部沖積扇(2000、2001、2002)之自然環境、土地利用及其土石災害之進行研究，將沖積扇依據規模或區位分類，並整理土砂災害之新聞資料、水土保持局檔案和田野調查的結果，指出花蓮溪的「大扇」易受洪水災害，小扇易受土石流災害。其對「大扇」與「小扇」特徵的描述大致符合前述之「洪水扇」與「土石流扇」，但文中未指出劃分兩者的明確數值。

根據以上文獻的整理，本文的研究目的為探討花蓮溪縱谷段沖積扇類型的差異和劃分，並藉由統計分析得出不同類型之沖積扇的流域特性和判別因子，並比較縱谷邊界土石流扇流域和無土石流扇流域的特性並試圖尋找判別因子。

第三節 研究方法

本研究以花蓮溪縱谷段為研究區，主要的目的為尋找土石流扇並區分不同主導營力之沖積扇和有無扇狀堆積的流域特徵，本文研究架構、流程和如下方法如下：

一、研究架構

地質結構和流域形態主導了沖積扇的沈積營力(depositional process)、扇的形態及扇的潛在危險性(Kostaschuk et al. 1986)。一個流域的形態特徵和地質特性會有利於某種沈積營力(以洪水和土石流為主)的發生，這時，若谷口空間能配合沈積物堆積，便會在谷口形成扇狀堆積。若扇狀堆積是以洪水為主導形成的，稱為洪水扇；以土石流為主導形成的，稱為土石流扇。若谷口的空間不能配合沈積物堆積，便會在河道形成些許的河道埋積(圖 1-2)。本文研究的重點為谷口成扇的部分，討論谷口扇狀堆積的主導營力以及那些流域形態和地質特性會利於洪水或是土石流作用的發生。

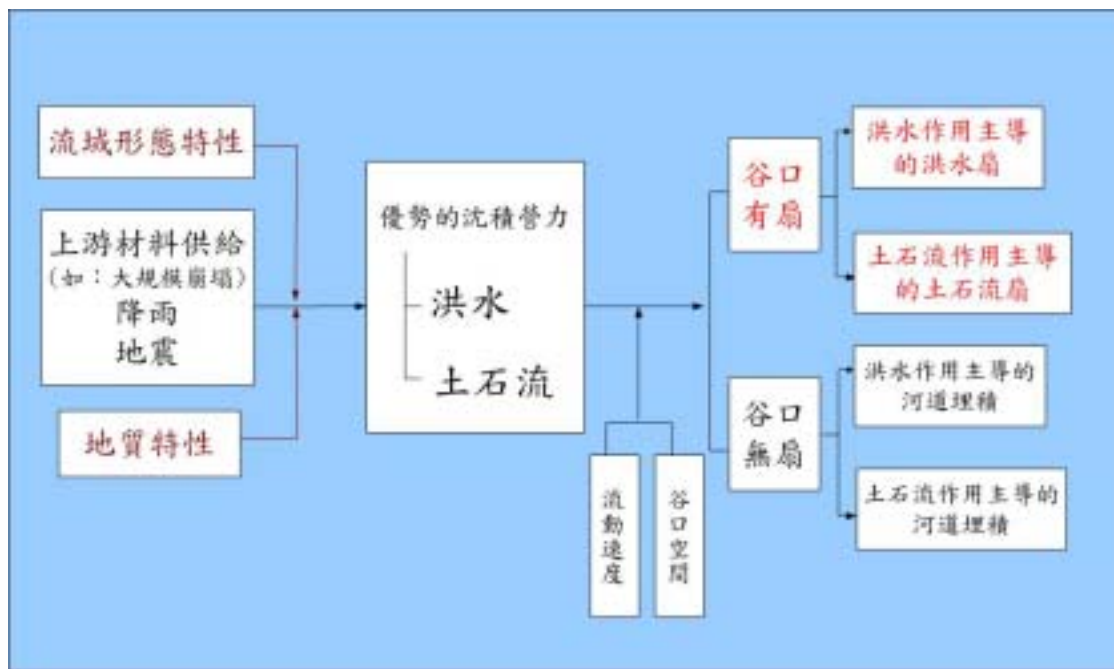


圖 1-2. 研究概念圖

二、研究流程與方法

本研究之目的，主要工作項目包括數值航測系統判釋、野外查核和統計分析三類（圖 1-3）。首先採用航空照片和地圖判釋沖積扇，數化沖積扇輪廓並求得面積，套用 DTM 計測平均坡降，野外實察確認沖積扇與量測沈積物特性，再根據沖積扇的形態（包括面積與坡度）、沈積物形態（包括圓度、淘選度）及土石流發生記錄，區分沖積扇類型，最後利用 DTM 計算流域相關數值，利用統計分析區分不同營力之沖積扇和縱谷邊界有無扇狀堆積的流域特性。

1. 沖積扇的判釋和數化

本研究室內判釋沖積扇的圖資包括：1:25000 地形圖、1:5000、1:10000 像片基本圖及航空照片（紙本相片）等圖資（附錄 1）。研究主要使用中央地調所的數值航測系統判釋和數化沖積扇，該數值航測系統為加拿大 PCI 公司所發展的數值航測軟體 APEX v7.0，可進行航空照片空中三角測量與數值影像萃取等工作（李錦發等 2004）。所使用的影像為農林航空測量所拍攝的航空照片，在電腦螢幕上若配戴特製眼鏡後，即可檢視其立體像對，並可直接數化，所數化的圖層已定位，可直接套疊其他圖層，作多方面的利用（照片 1-1）。



照片 1-1. 研究者在中央地調所使用數值航測系統判釋及數化沖積扇
(2005.12.19 攝於中央地調所)

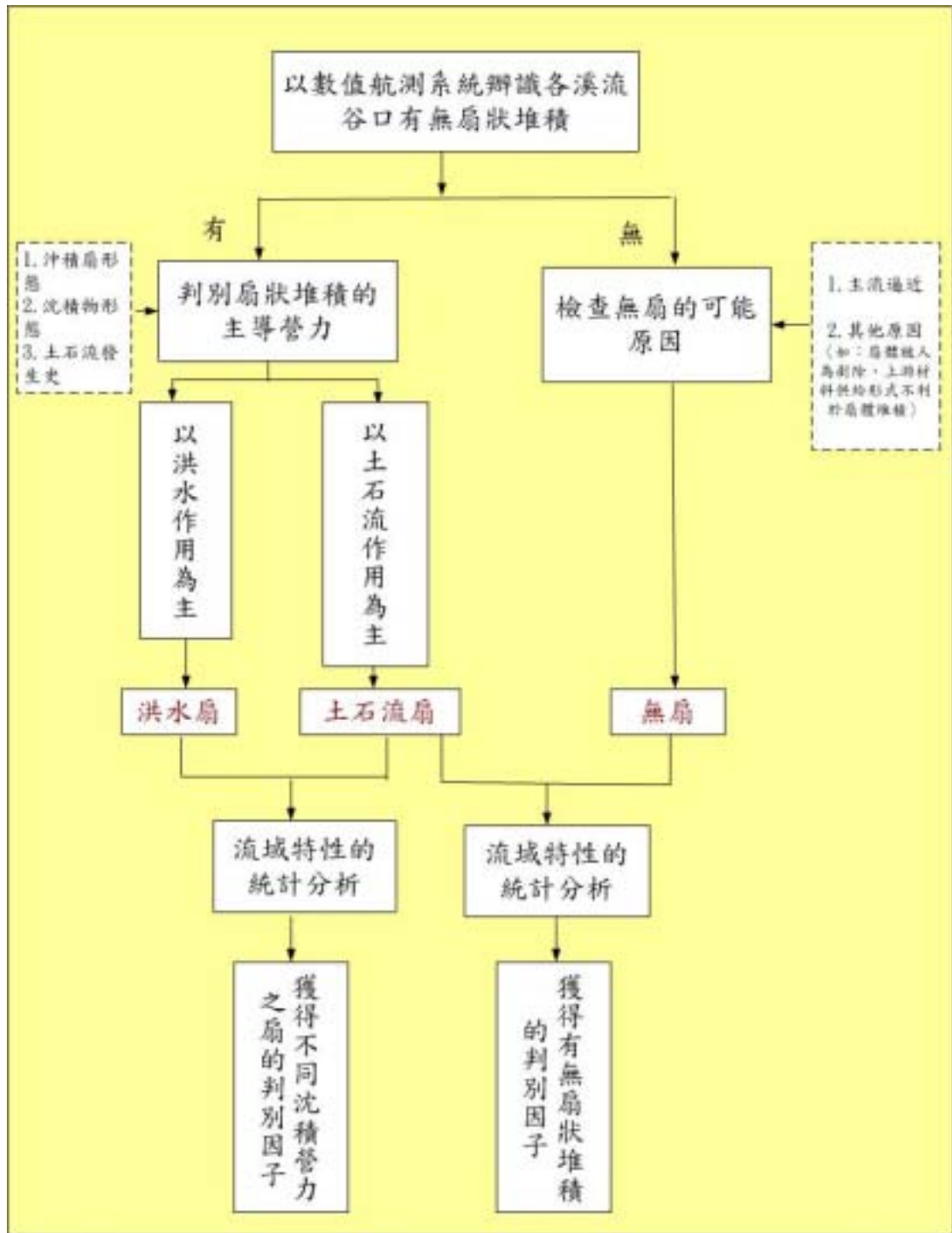


圖 1-3. 研究流程圖

研究者首先判釋沖積扇的有無，原則為逐一檢視縱谷兩側各溪溝谷口有無一明顯傾斜的扇形堆積體。若判定有沖積扇，直接利用數值航測系統數化沖積扇的範圍。上游從出谷口處畫起，扇緣則以堆積體在立體像對上

無起伏之處為界。當沖積扇的面積大而跨越好幾組立體像對時，不易在數值航測系統中作業，改以數化 1:25000 等高線地形圖。在地圖上判斷沖積扇的標準為等高線呈現同心圓弧形，數化的範圍則以上游谷口附近河道加寬的地方出谷口處，扇緣則以等高線弧狀轉變呈直線狀或是碰到主流河道處為準（圖 1-4）。

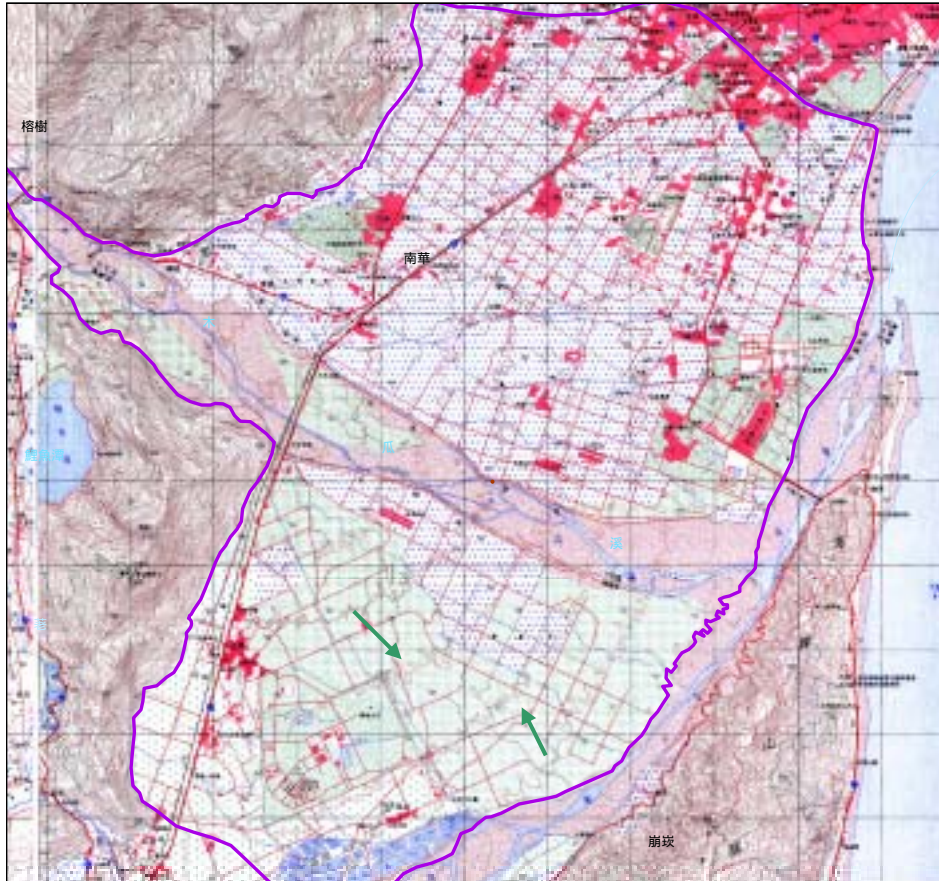


圖 1-4. 以木瓜溪扇為例表現在等高線地形圖上判斷沖積扇範圍的原則

研究區少部分地區缺乏數值航照資料，則改以桌上型立體鏡判釋其他年度的航空照片。

2. 野外實察

確認航照判釋出的沖積扇是否正確，尋找沖積扇的沈積物露頭，記錄根據表 3 所整理的要項記錄沈積物的特徵，包括圓度（採 Powers 1953 的分類，圖 1-5）、碎屑/基質支持、層理結構、和淘選度。

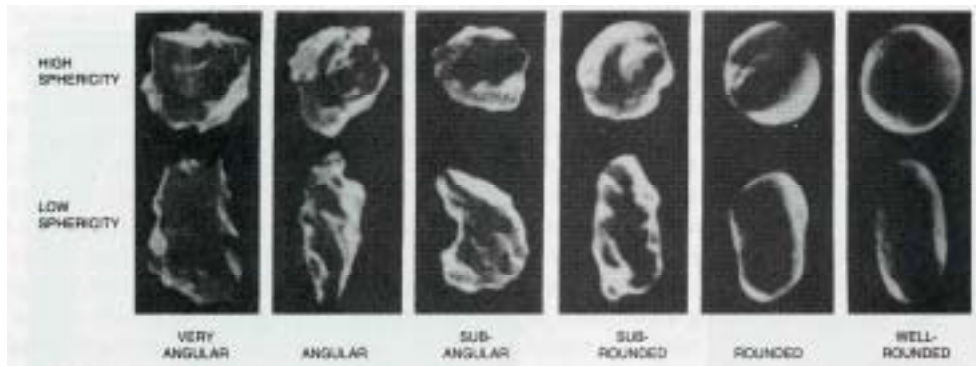


圖 1-5.圓度分類圖 (Powers 1953)

3. 數值地形的計測

本研究利用 Arc GIS 8.3 軟體計測沖積扇的形態、產生沖積扇流域和無扇狀堆積的流域。

將數化出的沖積扇，利用 Arc GIS 8.3 軟體內鍵指令直接計算面積，平均坡度則利用數值航測系統生產的精度 5×5 m DTM 計算而得，當沖積扇面積過大或是缺乏航點資料而無法生產精度 5×5 m DTM，則改以農林航空測量所生產 40×40 m DTM 計算之。

各流域產生皆利用 Arc GIS 8.3 軟體外掛程式 Arc Hydro (水系分析軟體) 計算獲得。集水區界閾值的選取視 DTM 精度而調整 (表 1-5)，精度 5×5 m DTM 若界閾值取愈低，非水系的雜訊愈多，但水系長度愈長。研究者選擇界閾值時為減少非水系雜訊的出現，降低水系長度縮短的幅度，因此選取多個界閾值做比較 (包括：700、1000、1100、1200、1300、1400、1500、2000 等)，並比對程式所產出的無扇水系和人工判釋的吻合度，最終選擇界閾值 1200；當流域面積過大 (流域面積>1,000 公頃) 或是缺乏航點資料則以精度 40×40 m DTM 替代，界閾值則根據前人的研究經驗 (詹仕堅、孫志鴻 2000)，選取 200 作為界閾值。

表 1-5. 集水區界檻值選取表

對象	使用 DTM	集水區界檻值	界檻值考量原則
一般流域	5×5 m	1200	1. 非水系雜訊 2. 河流長度 3. 無扇流域人工判釋吻合度
面積過大 或是缺乏 航點資料 流域	40×40 m	200	詹仕堅、孫志鴻 2000

4. 流域變數的選取

本研究選取的流域變數¹包含：流域形態特性、地質和土地利用等三方面（表 1-7）。

流域形態特性的變數有流域面積、有效集水面積、流域周長、流域長度、流域高差、流域坡度、形狀係數、起伏比、流域險峻值和水系密度等 10 個變數。

在地質變數方面，本區地層有 11 分帶（第四節，圖 1-6），需先轉化，給予代號，在 SPSS（統計軟體）中方可讀取。轉化的流程為先將流域內地層分布情形分類，大致可分為 8 類（附錄 2-2），每一類給予一個數值代號，最後分出 8 類地層區（表 1-6、附錄 2-2）。


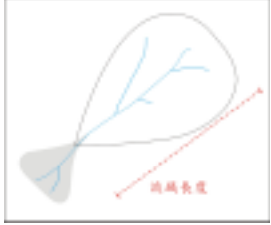
在土地利用的方面，以林務局調查之資料為主，林務局所調查的對象以森林為主，資料可涵蓋本研究區面積較大的扇，但在縱谷邊界面積較小的扇不在林務局調查的範圍中，屬於缺資料的情況，而這些小扇為本研究的重點，在多數缺資料的情況下，無法有效利用「土地利用」這項因子。但本研究區大小沖積扇之流域的土地利用幾乎皆以森林為主，較無差異性，因此本研究暫不將土地利用納入統計分析之中。

¹ 本文主要以土石流扇為研究對象，而土石流的發生須有三項條件，包括降雨、坡度和充足的材料供應。其中材料供應的部份，流域境內的「崩塌比」本為一個可討論的因子，但本研究較著重於探討不同主導營力之沖積扇和流域形態之間的關連性，因此暫不將崩塌比納入分析中。

表 1-7. 花蓮河流域地層分類整理表

地質分類	代號	地質分類	代號
流域皆位於「黑色片岩區」	1	流域大約 2/3 位於「黑色片岩區」； 1/3 位於「礫石、土、砂區」	5
流域皆位於「黑色片岩、綠色片岩、砂質片岩區」	2	流域大約 1/2 位於「黑色片岩區」； 1/2 位於「黑色片岩、綠色片岩、砂質片岩區」	6
流域大約 2/3 位於「黑色片岩區」；1/3 位於「黑色片岩、綠色片岩、砂質片岩區」	3	流域大約 1/2 位於「黑色片岩、綠色片岩、砂質片岩區」；另 1/2 分布在「變質石灰岩區」和「黑色片岩區」	7
流域大約 2/3 位於「黑色片岩、綠色片岩、砂質片岩區」； 1/3 位於「變質石灰岩區」	4	流域大約 1/3 位於「變質石灰岩區」； 1/3 位於「黑色片岩區」；1/3 位於「黑色片岩、綠色片岩、砂質片岩區」	8

表 1-6. 本研究所使用變數的定義和取得方式整理表

變數	定義	取得方式	定義出處
流域形態			
流域面積(Ab)		Arc GIS 8.3 軟體內鍵指令直接計算	
有效集水面積	集水區河道坡度 > 15° 以上的面積	利用 DTM 算出坡度圖，套疊水系圖，以河道和坡度 > 15° 的交叉處為起點，流域邊界則以水系分水嶺為界，沿此往上修正	水土保持局(1996) 
流域周長(Pb)		Arc GIS 8.3 軟體內鍵指令直接計算面積	
流域長度(Lb)	從扇頂到離扇頂最遠的流域邊界的直線距離 (流域長徑)	Arc GIS 8.3 軟體算出	Wilford et al. 2004 
流域高差(Hb)	流域內最高點和最低點之差	Arc GIS 8.3 軟體算出	Patton1988(引用自 Wilford et al. 2004)
流域坡度	流域平均坡度(Sb)	利用 DTM 算出流域面每一個網格的平均坡度，再加總後平均算出	
	流域河床坡度(Sb)	流經沖積扇之主要河道的高度差/河道長度	
形狀係數(Fb)	流域面積/流域長度 ²	Arc GIS 8.3 軟體算出	Wilford et al. 2004
流域起伏比(Rb)	流域高差/流域長度	Arc GIS 8.3 軟體算出	Strahler 1958、Costa 1988(引用自 Wilford et al. 2004)
流域險峻值(Mb)	流域高差/流域面積 ^{0.5}	Arc GIS 8.3 軟體算出	Melton 1957、Patton and Baker 1976、Jackson et al. 1987 (引用自 Wilford et al. 2004)
水系密度(D)	流域內水系長度加總的河道總長度/流域面積(L/Ab)	Arc GIS 8.3 軟體算出	Wilford et al. 2004
地質		中央地質調查所(2003)出版 1:250000 地質圖數值檔 (何春蓀(1974))	
土地利用(LU)		林業事務局提供林田山事業區(1996 年測量)、木瓜山事業區(1988 年測量)數值檔	

5. 統計分析

本研究利用多項統計方法，包括：相關分析(correlate analysis)、單因子變異量分析(one- way ANOVA)、獨立 T 檢定(independent T simple test)和多變量分析中的判別分析(discriminate analysis)等分析方法（表 1-8）在 SPSS（第 13 版）軟體中對變數進行檢驗。相關分析在於找出變數之間的相關性，皮爾森相關係數(r)為檢定標準；單因子變異量分析、獨立 T 檢定為檢驗那些變數在不同主導營力的流域間和有無扇流域間具有顯著差異性，其中單因子變異量分析 Scheffe、Dunnett C 為檢定標準；判別分析則用以檢驗變數是否可成功區分不同主導營力之扇的流域和有無扇狀堆積的流域（顏月珠 1989、張健邦 1997、楊世瑩 2005）。

表 1-8. 本研究採用的統計分析整理表

統計分析	檢定標準或方法	目的
相關分析 (correlate analysis)	皮爾森相關係數(r)	找出變數之間的相關性
獨立 T 樣本檢定 (independent T simple test)		那些變數在不同主導營力之扇的流域間和有無扇流域間具有顯著差異性
單因子變異量分析 (one- way ANOVA)	Scheffe、Dunnett C	
判別分析 (discriminate analysis)	逐步選取變數 (stepwise method)	檢驗變數是否成功區分不同主導營力之扇的流域和有無扇狀堆積的流域
	全部選取變數 (independents together)	

第四節 研究區概況

花東縱谷夾於中央山脈與海岸山脈之間，長約 180 公里，為一南北延長的狹長谷地；最寬處偏北，在木瓜溪口附近，約 7 公里；最窄處位於烏漏附近，約 2 公里，縱谷內以大富及池上為界，分為花蓮溪、秀姑巒溪及卑南溪三水系（張瑞津等 1994）。地質上，花東縱谷位於歐亞大陸板塊及菲律賓海板塊的縫合帶，縱谷兩側出露地層顯著不同。中央山脈側以大南澳片岩為主，多變質石灰岩及片岩，海岸山脈側以都巒山層及大港口層為主，多頁岩及砂岩〈圖 1-6〉（中央地質調查所 2003）。氣候上，本區溫暖濕潤。集水區全年降雨達 2000 mm 以上（引用自中央氣象局網站），多集中於夏季，尤以颱風期間雨量暴增，有記錄的土石流事件都為颱風豪雨所誘發。

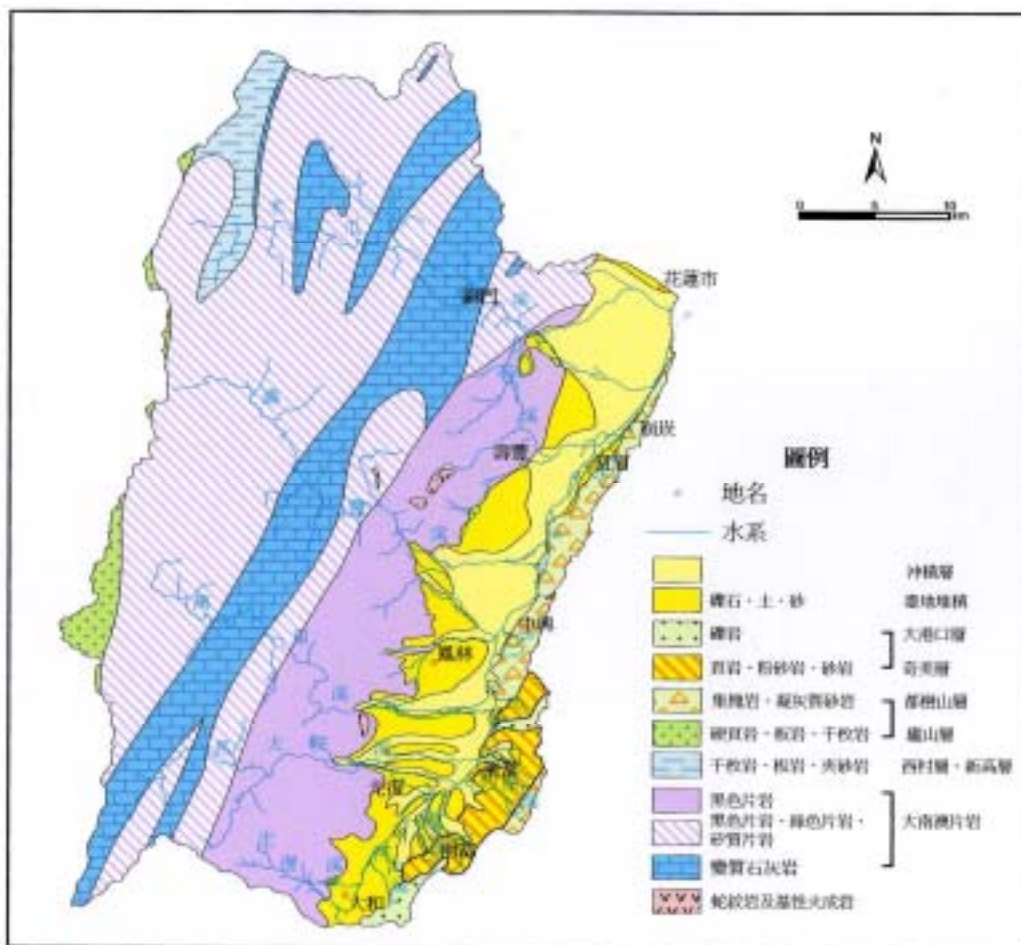


圖 1-6. 花蓮河流域地質圖（改繪自中央地質調查所 2003）

集水區及山麓線兩者是沖積扇發達的重要條件（楊淑君 1996、張瑞津 1997）。花東縱谷之集水區內，地形起伏大且岩層脆弱，提供豐富的沈積物來源；豐沛的降水和陡峭的河道能有效搬運沈積物，而縱谷平原則提供了溪流沙礫堆積的場所。這些條件促使花東縱谷成為本島沖積扇地形最發達區之一，但三河系所形成的沖積扇特徵有別。張瑞津等(1994)指出花蓮溪沖積扇規模較大，坡度較緩，多為一階埋切型扇；秀姑巒溪及卑南溪規模較小，坡度較陡，多為二、三階切割型複成扇。陳紫娥(2002)也指出花蓮溪沖積扇皆為發育中的沖積扇，秀姑巒溪以扇階為主，卑南溪則兩者兼具。花蓮溪縱谷段較寬，成扇空間較大，而且本文主要探討對象為當代營力所形成的「現生扇」(modern fan)，因此本研究區選定在縱谷北段花蓮溪主流部分。

花蓮溪主流發源於中央山脈東斜面白石山，自此由南往北流至花蓮市南方出海，全長約為 80 公里（台灣省文獻委員會 1996）。其左岸支流發源於中央山脈東坡，河流長度較長，集水面積大，主要支流由北向南有木瓜溪、荖溪、壽豐溪、萬里溪、馬太鞍溪、清水溪及光復溪；右岸支流發源於海岸山脈西坡，河流短，集水面積小，主要支流由北向南分別為利哈岸溪、瑪達娜溪、鹿太溪、河內溪。中央山脈側幾條主要支流的集水面積大，所形成的沖積扇面積較大，扇面佔滿縱谷平原，常迫使花蓮溪主流向東緊逼海岸山脈山麓（圖 1-1）。其中壽豐、萬里、馬太鞍扇側緊密相連，根據 Crosta and Frattini (2004)所作的分類〈圖 1-7〉，屬於末端及側面都受限的沖積扇，木瓜溪則屬於末端受限扇。

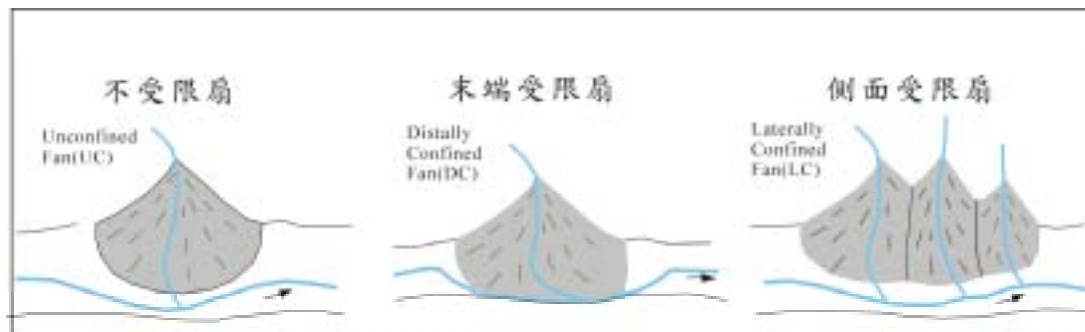


圖 1-7. 沖積扇範圍受限的類型示意圖（改繪自 Crosta and Frattini 2004）

海岸山脈側沖積扇在中興之北，溝谷較小，扇央之下（甚至扇頂）幾乎全被主流沖走，中興至東富段，溝谷較寬廣，可看出整段埋積，一直沿伸到接主流的地方，判定之前應有沈積，但因主流過於逼近，無適當的成扇空間，目前看不出有扇形堆積的情況。東富之下，主流漸遠，谷口堆積空間較大，扇狀堆積較明顯，扇的面積也較大。整體看來，海岸山脈側沖積扇受主流影響很大，扇面積的大小、有無扇狀堆積形成，都取決於主流和沈積空間的限制，且即使谷口成扇卻又多為聯合扇，不易區分出單一扇體，所以文中主要分析的對象是花蓮溪主流段中央山脈側的沖積扇。