

國立交通大學

土木工程學系

碩士論文

以測高曲線探討台灣主要河川集水區演育情況
Hypsometric curve analysis of Taiwan river basin

研究生：賴柏溶

指導教授：史天元

中華民國一百零一年七月

以測高曲線探討台灣主要河川集水區演育情況

Hypsometric curve analysis of Taiwan river basin

研究生：賴柏溶 Student：Po-Jung Lai

指導教授：史天元 Advisor：Dr. Tian-Yuan Shih

國立交通大學

土木工程學系

碩士論文

A Thesis

Submitted to Department of Civil Engineering

College of Engineering

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Civil Engineering

July 2012

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國一百零一年七月

以測高曲線探討台灣主要河川集水區演育情況

學生：賴柏溶

指導教授：史天元

國立交通大學土木工程學系

中文摘要

台灣位於板塊碰撞帶上，屬於構造活動發達的地區。測高曲線積分為一測計指標，可顯示集水區受到抬升與侵蝕過程中的地形演育情況。測高曲線由集水區內各個高度和對應面積所構成，測高曲線積分值為曲線下的面積，表示集水區內演育的過程中地表所剩餘殘土比例。

本研究使用 SRTM DEM 與台灣地區 40 公尺數值地形模型為研究資料，以台灣二十六個中央管轄河流之集水區為研究區域，計算出各流域集水區之測高曲線以及測高曲線參數，分析集水區地形演育情況，成果顯示東部與中部的集水區構造活動較明顯。將集水區測高曲線積分值對集水區地形測計參數與幾何型態因子進行相關性分析，地形測計參數與測高曲線積分有正相關，幾何型態因子與測高曲線積分無相關性。由於二十六個流域所計算出之測高曲線積分值偏低，因此嘗試以子集水區計算測高曲線積分，分別以 SRTM 與台灣地區 40 公尺數值地形模型在二十六個流域萃取出子集水區計算測高曲線，利用測高曲線參數分析流域內的演育情形。

關鍵字：地形測計、構造抬升、河道侵蝕

Hypsometric curve analysis of Taiwan river basin

Student : Po-Jung Lai

Advisor : Dr. Tian-Yuan Shih

Department of Civil Engineering

National Chiao Tung University

Abstract

Taiwan is located at the plate collision zone is the area of developed tectonic activity. Hypsometric integral is a morphometric parameter represents the evolution situation of the catchments by uplift and erosion process. Hypsometric curve composed of the different heights and the corresponding areas in the catchment. Integral value is the area under the curve, indicates the remaining soil ratio of the basin in the process of evolution.

SRTM DEM and Taiwan 40m DEM is used in this study. Twenty-six central jurisdiction of river basins for the study area. Calculating hypsometric curve and parameters. Analysis of topography evolution for basins. The results show that tectonic activity of the catchments in eastern and central Taiwan is more significant. Correlation analysis presents morphometric parameters positively correlated with the hypsometric integral, and there is no correlation between basin form factors with hypsometric integral. Due to hypsometric integrals of twenty-six stream basins are on the low side. This study attempts to calculate hypsometric integrals of sub-basins. Use SRTM DEM and Taiwan 40m DEM to calculate hypsometric curve of sub-basins extracted from twenty-six stream basins respectively. Discussion of the evolution within the stream basin.

Keywords: Gmorphometry, Tectonic uplift, River erosion

誌謝

時間匆匆，轉眼間兩年的學生生涯就要結束了，回首這段過程，雖然有數不清的作業要寫，很多文章要念，很多事要做，可是相對的我也遇到各位好老師、學長姐、學弟妹以及一起奮戰的同窗，讓我在這段忙碌苦悶的生活中不會感到無聊。在這段期間首先要感謝恩師史天元教授的悉心指導，讓我在人生以及學業方面收穫很多。也感謝黃金維老師、張智安老師在課程及學業上的指導。在論文部份除了感謝指導教授史天元老師的幫助，也要感謝董家均副教授、葉克家教授和廖志中教授三位口試委員的建議讓我論文更加完善，也謝謝小閻學長提供我研究方面的想法。

剛來交大這個陌生的地方時，對很多事不是很了解，要感謝小閻學長、暉尊學長讓我能很快的融入這裡；謝謝訓訓哥平常都會帶我去吃好吃的宵夜；感謝升哥、貓兄兩位同窗兼室友兩年的陪伴，一起打電動、買宵夜與出遊的日子仍讓我難以忘懷；謝謝兩位同研究室的同學伶蓓、薇帆平常的幫忙，以及你們所提供的零食，讓我在研究室絕對不會餓倒；謝謝邦和與我一起帶實習與分組作業時的用心，使我們總是有事半功倍的效率；也謝謝郁珊、昭儀等其他與我在碩士生活一起奮戰過的同學；此外感謝學弟妹們，張朔、鬼鬼、麵包、宛宜、以諾、大任、建輝、俊明在課業或生活上提供的一些幫助，希望你們接下來一年都能順順利利。

感謝系壘在我苦悶的研究生生活中提供我一個舒壓的管道，謝謝各位戰友們，暉尊、大霆、齊大、子揚、菜鳥、柏宇、小短、阿啾.....等，要有你們才會有一場好比賽，跟你們一起比賽、練球的日子讓我感到很快樂。

另外要感謝的是我的家人，謝謝爸爸、媽媽讓我來交大念書，讓我在經濟上無後顧之憂，可以專心於學業。我也知道你們不喜歡兒子離家太遠，也希望我假日常回家，可是從來不會開口要我回家，很感謝你們的包容與諒解。

最後是給自己的話，畢業只是一個階段的結束，下一段旅程正要開始，在未來有更多的挑戰在等著我，希望能不忘這階段所學，努力去克服各種難關。

目錄

中文摘要	I
ABSTRACT	II
誌謝	III
目錄	IV
圖目錄	VI
表目錄	VIII
第一章 前言	1
1.1 研究背景與目的	1
1.2 文獻回顧	2
1.3 研究流程	4
第二章 研究原理與使用資料介紹	6
2.1 測高曲線原理	6
2.2 地形測計參數	10
2.2.1 坡度	10
2.2.2 高差與平均高度	11
2.2.3 河流坡度	11
2.3 集水區幾何型態因子	13
2.4 SRTM	14
2.5 台灣地區 40 公尺數值地形模型資料	16
第三章 測高曲線計算	17
3.1 使用資料	17

3.1.1 DEM	17
3.1.2 集水區資料	20
3.2 集水區測高曲線計算	22
3.3 子集水區萃取	28
3.3.1 窪陷填平	28
3.3.2 流向計算	28
3.3.3 流量累積與面積門檻值計算	29
第四章 集水區演育分析	31
4.1 台灣主要河川集水區之測高曲線	31
4.1.1 主要河川集水區測高曲線成果	31
4.1.2 集水區地形參數計算	39
4.1.4 成果分析	46
4.2 集水區幾何型態	47
4.2.1 幾何型態因子計算	47
4.3.2 測高曲線與集水區幾何型態因子相關性探討	48
4.3 子集水區之測高曲線	49
4.3.1 子集水區測高曲線成果	50
4.3.2 子集水區測高曲線積分與地形參數之相關性	58
第五章 結論	60
參考文獻	62

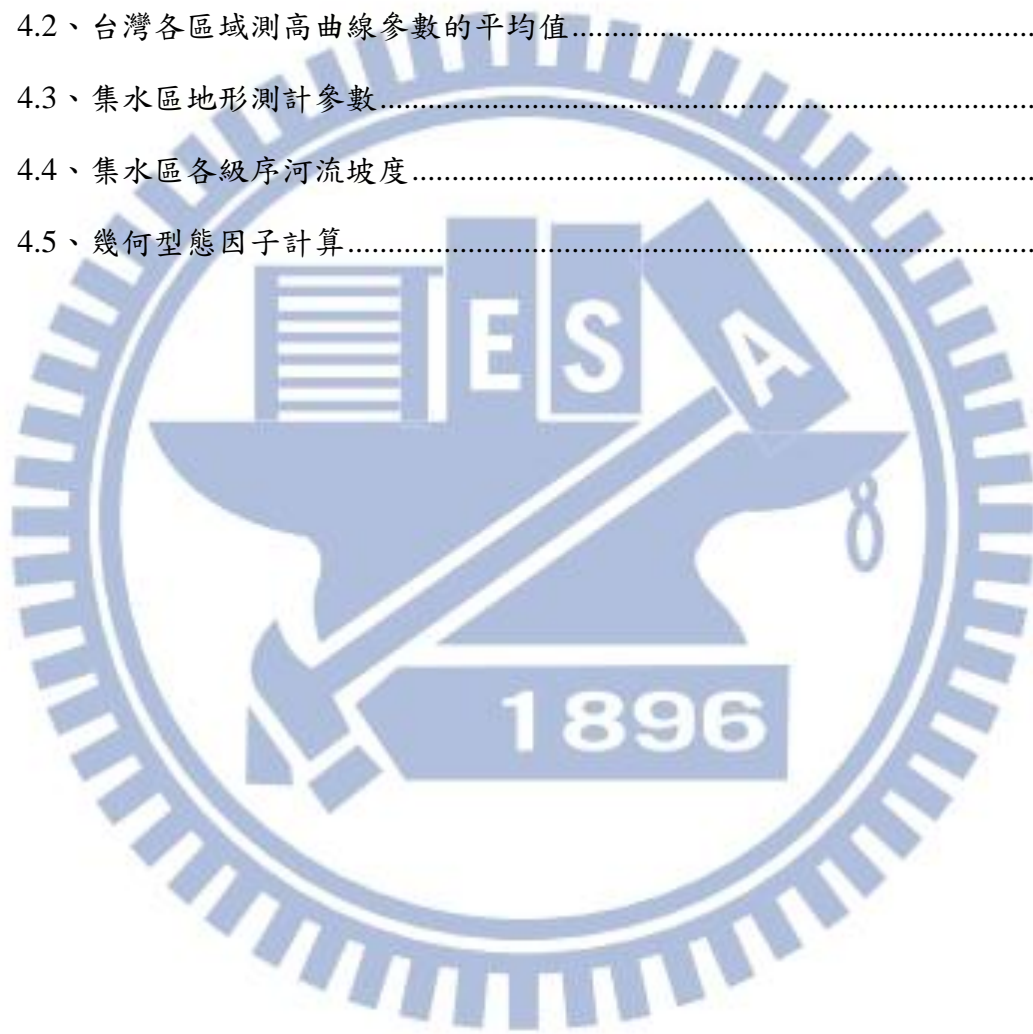
圖目錄

圖 1.1、流程圖.....	4
圖 2.1、集水區測高曲線積分定義(Strahler, 1952).....	6
圖 2.2、測高曲線(Strahler, 1952).....	7
圖 2.3、Strahler 的地形演育模式(a)測高曲線週期變化(b)地表高程變化(Ohmori, 1993)	8
圖 2.4、Ohmori (1993)的地形演育模式(a)受抬升作用影響高度逐漸變大，縱軸為相對 海平面之高程(b)測高曲線的循環週期(c)地表高程變化(Ohmori, 1993).....	9
圖 2.5、坡度計算中心單元與相鄰八個單元之關係.....	11
圖 2.6、河川級序示意圖.....	12
圖 2.7、SRTM 裝置圖.....	15
圖 2.8、SRTM 資料庫涵蓋範圍 (JPL, 2003).....	16
圖 3.1、台灣島 SRTM DEM.....	19
圖 3.2、台灣島 80mDEM.....	20
圖 3.3、集水區流域界圖層.....	21
圖 3.4、26 個集水區位置.....	22
圖 3.5、測高曲線 (Harlin, 1978).....	23
圖 3.6、測高曲線形狀與偏度和密度偏度之關係 (Luo, 2000).....	25
圖 3.7、CalHypso.....	26
圖 3.8、CalHypso 之測高曲線計算.....	27
圖 3.9、計算測高曲線積分與統計矩.....	27
圖 3.10、D8 流向法.....	28
圖 3.11、DEM 流向圖.....	29
圖 3.12、流量累積.....	30
圖 3.13、流域之水系與子集水區萃取.....	30

圖 4.1、(a)測高曲線積分值分級圖(b)集水區流域界與 DEM 對照圖.....	33
圖 4.2、26 個集水區測高曲線-1	34
圖 4.2、26 個集水區測高曲線-2	35
圖 4.2、26 個集水區測高曲線-3	36
圖 4.3、北部河川集水區之測高曲線.....	37
圖 4.4、中部河川集水區之測高曲線.....	37
圖 4.5、南部河川集水區之測高曲線.....	38
圖 4.6、東部河川集水區之測高曲線.....	38
圖 4.7、地形參數與測高曲線積分之相關性分析.....	43
圖 4.8、地形參數與測高曲線積分之相關性分析(去掉礮溪、朴子溪、四重溪及鹽水溪)	43
圖 4.9、流域中各級序河流坡度與測高曲線積分之相關性分析.....	44
圖 4.10、流域中各級序河流坡度與測高曲線積分之相關性分析(去掉礮溪、朴子溪、 四重溪及鹽水溪).....	45
圖 4.11、集水區幾何型態因子之相關性分析.....	49
圖 4.12、(a)SRTM 萃取出之子集水區(b)80mDEM 萃取出之子集水區.....	50
圖 4.13、SRTM 子集水區測高曲線積分.....	51
圖 4.14、80mDEM 子集水區測高曲線積分.....	52
圖 4.15、子集水盆地地面測高曲線積分分佈與大地構造圖 (張韻嫻, 2003).....	53
圖 4.16、測高曲線差異.....	54
圖 4.17、測高曲線差異(-0.1~0.1).....	56
圖 4.18、(a)SRTM 偏度圖(b) 80mDEM 偏度圖.....	57
圖 4.19、(a)SRTM 峰度圖(b) 80mDEM 峰度圖.....	58
圖 4.20、相關性分析-SRTM.....	59
圖 4.21、相關性分析-80mDEM.....	59

表目錄

表 2.1、集水區幾何型態 (陳樹群, 2005).....	14
表 3.1、台灣地區 SRTM 圖幅.....	18
表 3.2、測高曲線各參數意義 (Harlin, 1978).....	25
表 4.1、測高曲線參數.....	32
表 4.2、台灣各區域測高曲線參數的平均值.....	39
表 4.3、集水區地形測計參數.....	41
表 4.4、集水區各級序河流坡度.....	42
表 4.5、幾何型態因子計算.....	48



第一章 前言

測高曲線(hypsometric curve)是由 Strahler (1952)所提出，由集水區內各個高度和對應面積所構成，測高曲線積分為測高曲線下之面積，積分值表示集水區內地形受到抬升與侵蝕的過程中地表所剩餘殘土比例，可用來顯示集水區地形演育。

1.1 研究背景與目的

台灣位於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊之碰撞帶上，菲律賓海板塊每年持續往西北方推擠，由於板塊擠壓，地震頻繁，構造活動不斷，導致台灣屬於構造抬升之地區，造山運動活躍。

測高曲線與測高曲線積分值是用來偵測區域構造活動的測計指標之一(Keller and Pinter, 1996)，利用此一指標配合測高曲線形狀可了解集水區同時受抬升與侵蝕所造成的演育情況。

測高曲線對於探求集水區之演育情況，以及顯示集水區的高度分佈，具有良好的展示成果，配合測高曲線積分值、偏度與峰度可量化出集水區同時受構造抬升與侵蝕的地形演育情形。計算時以數值地形模型提取集水區之高程獲得測高曲線，並進而求出測高曲線之各個參數。

數值地形模型(Digital Terrain Model, DTM)是以數值方式記錄地表上平面位置與高程座標值，描述地形的一種模型統稱。數值地形模型主要有三種資料結構，分別為數值等高線、不規則三角網和規則網格資料，為了方便區隔，以 DEM (Digital Elevation Model) 來稱 DTM 中之規則網格資料的部分(賴進貴，1996)，使用網格中心點或角點座標表示平面(X, Y)座標，以網格值表示高程(Z)座標。

1.2 文獻回顧

測高曲線是由 Strahler (1952) 提出，以測高曲線積表示集水區內各個高度和對應面積比例，計算曲線下之面積以及比較曲線差異可量化描述地形演化情況。對地形演育之解釋主要有 Strahler 演育模式以及 Ohmori 演育模式。Strahler 演育模式是將地形演育階段總共分成三個時期，幼年期、壯年期及老年期，幼年期的集水區測高曲線呈現凸形，面積高度積分值較高($HI > 0.6$)；壯年期的集水區測高曲線呈現 S 形，測高曲線積分值介於 0.4~0.6 間；老年期的集水區由於受到侵蝕程度較高，測高曲線呈現凹形，測高曲線積分值較低($HI < 0.4$)，原始地形受到構造抬升後逐漸受侵蝕成平緩地形，測高曲線由凹形逐漸變成 S 形以及凹形，測高曲線積分隨著曲線也漸漸變小。Ohmori (1993) 以電腦模式模擬日本地區流域在造山地區一邊抬升、一邊侵蝕的演育條件下，測高曲線的變化情形。在構造抬升劇烈之區域，Ohmori 演育模式是將地表演育共分為三個時期，發展時期、顛峰時期和衰減時期，發展時期為抬升過程中，山脈高度不斷增長的時期；顛峰時期是山脈到達最大高度的時候；衰減時期則為抬升作用停止後的期間，地形演育期間測高曲線積分和地表高差都具有先增加再降低的特性，因此在造山運動活躍地區的測高曲線積分之解釋方式會與 Strahler 於構造穩定陸塊區所計算之測高曲線積分之解釋方式不同。

近年來測高曲線積分是偵測區域構造活動性研究中一個重要的指標，亦有諸多文獻可供參考(Delcaillau *et al.*, 1998, 2006; Delcaillau, 2001; Azor *et al.*, 2002; Riquelme *et al.*, 2003; Jamieson *et al.*, 2004；鄭光佑，2002；張韻嫻，2003；廖何松，2003；孫稜翔等，2008；陳彥傑，2004、2005、2008，陳樹群，2010)。研究顯示測高曲線積分值大小會與構造抬升及活動構造有關，在構造抬升顯著的地區可用來區別局部地區地形演育的差異與變化(Hurtrez, 1999；陳柔妃，1999；鄭光佑, 2002)。

集水區之測高曲線積分是一種計量的地形描述方式，在不同地形特性之流域其測高曲線所表現之特徵以及測高曲線積分也會不同，台灣地區測高曲線的研究中，張瑞津(1975)選取位於山地區和丘陵區面積在 20~30 平方公里之集水區，以每 50m 等高線為間

隔計算測高曲線，山地區(平均高度 1000m 以上，平均坡度 30° 以上)測高曲線形狀介於凸形至凹凸形之間；高丘陵區(平均高度 1000m~400m，平均坡度 30~20 度以上)測高曲線形狀介於凹凸形至凹形之間；低丘陵區(平均高度 400m 以下，平均坡度 20° 以下)，測高曲線為凹形。黃朝恩(1980)以 30 個流域面積大於 10km² 之集水區計算測高曲線積分值，有 24 個流域介於 0.15-0.45 之間。

以測高曲線探討構造抬升之文獻中皆說明測高曲線積分與地表的抬升率有關，林貴崑(1999)計算中央山脈南段西南翼各流域各河流集水區的測高曲線積分值分布，顯示瓦魯斯溪流域、東港溪流域的次集水區河流發育屬於壯年期，由此猜測這些地區的抬升速率較鄰近區域快。陳柔妃(1999)以三疊溪流域劃分數個小集水區分別計算面積高度積分值，發現小梅背斜軸部附近的次集水區面積高度積分值有局部偏高現象，推測小梅背斜有較高的活動性。陳彥傑(2004)探討測高曲線積分和台灣地體生成時序之關係，研究顯示中央山脈地質區測高曲線積分值較高，表示其相對於其兩側海岸山脈與西部麓山帶早生成。西部麓山帶北段測高曲線積分值比南段高，暗示西部麓山帶北段比南段早生成。

影響測高曲線積分的因素包括構造抬升、水文侵蝕能力以及流域面積之尺度，Lifton 與 Chase (1992)以加州 San Gabriel 山區為研究區域，顯示較大尺度流域(1,000 平方公里)面積高度積分受構造活動影響較顯著，小尺度流域(100 平方公里)則受岩層性質影響較大。鄭光佑(2002)測繪西部麓山帶之子集水區，所選取之集水面積為 3 平方公里，計算測高曲線積分值，發現此一尺度下之測高曲線積分值能表現構造活動的性質，和集水區面積的大小無關。陳彥傑(2005)針對測高曲線積分具有面積和空間依賴性，討論不同面積大小次集水區測高曲線積分所表現出的地質意義和不同 DEM 解析度對流域面積高度積分計測的影響。研究成果顯示，不同 DEM 解析度對大面積或山地型子集水區之測高曲線積分值影響不大，但對於面積小於 1 平方公里的集水區和平原型子集水區影響較大，在進行面積高度積分的構造活動性探討時，次集水區集水面積必須大於 2 平方公里，才能避免岩性的干擾，呈現出該地的構造活動性。Merritts and Vincent (1989)研究實證也顯示在岩性差異不明顯時，一級河之河道坡度與地表抬升速率之趨勢最為相近，以低級序

河流之河道坡度可辨別一區域內構造活動之差異。

1.3 研究流程

圖 1.1 是本研究之流程圖，主要分成兩部分，第一部分使用 SRTM 資料，擷取出台灣主要河川集水區 DEM，計算測高曲線積分、地形測計參數，並以主要河川集水區 shapefile 中集水區的多邊形計算集水區形狀因子，以測高曲線積分、地形測計參數及集水區形狀因子進行相關性分析。討論主要河川集水區之測高曲線形狀、測高曲線積分、曲線之偏度及峰度分析集水區之演育情況。

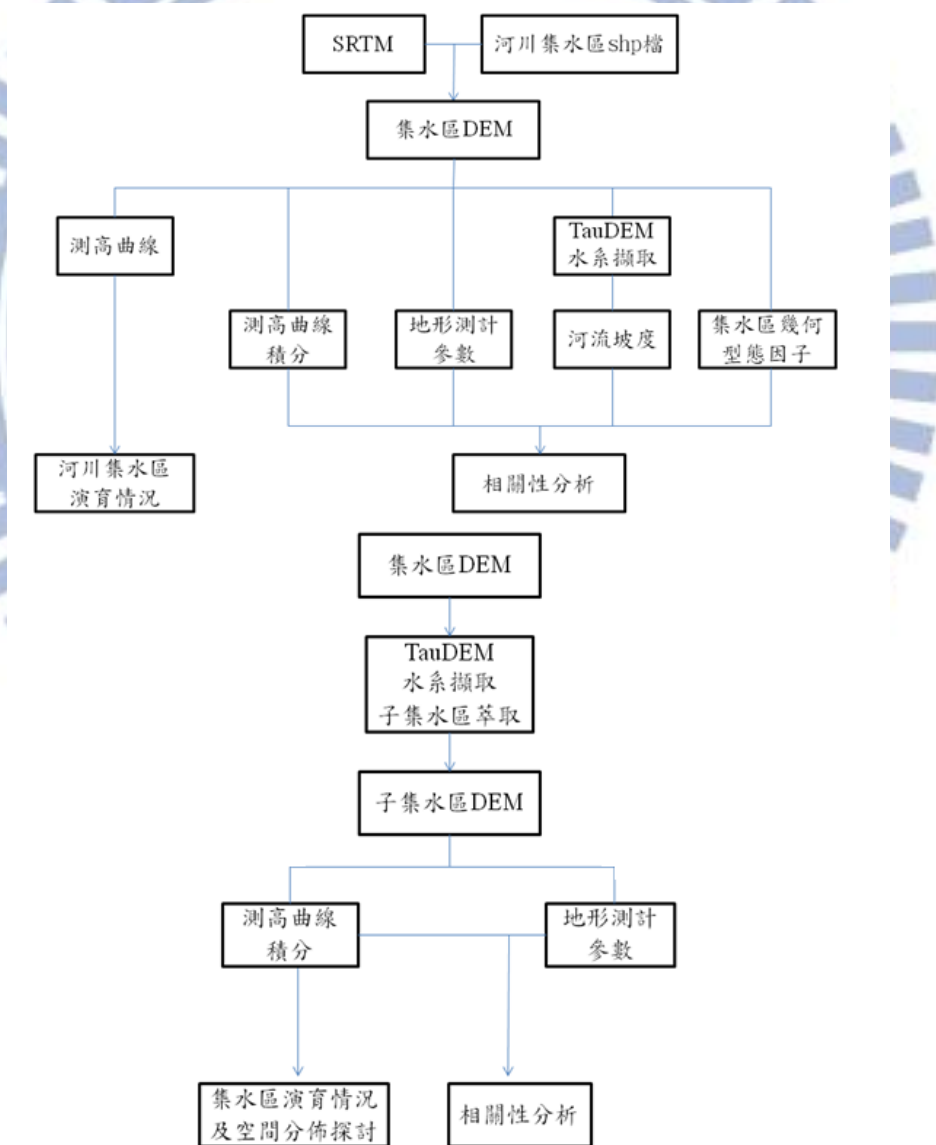
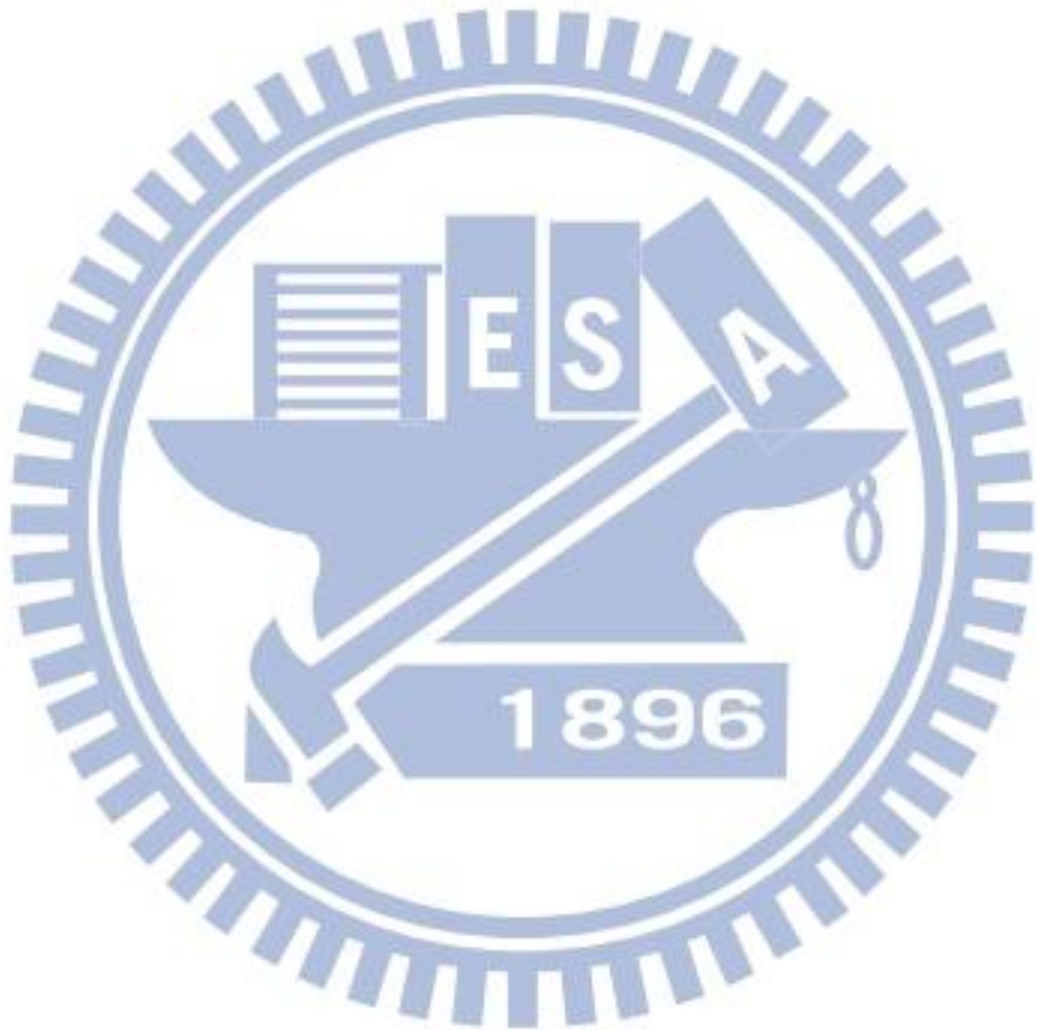


圖 1.1、流程圖

第二部份使用 SRTM 以及台灣地區 40 公尺數值地形模型資料，裁切出各流域之 DEM 並萃取出子集水區，計算子集水區之測高曲線積分與地形測計參數，分析參數間之相關性，並以兩時期 DEM 所計算測高曲線積分值，根據測高曲線積分值之分佈描述局部構造抬升之差異，並由兩時期測高曲線積分值之差異量探討集水區之演育。



第二章 研究原理與使用資料介紹

各集水盆地受到抬升與侵蝕的影響不同，會顯現不同的地形演育情形，產生各種類型的測高曲線形狀，而所得到的測高曲線積分值也因此有所差異，判別不同曲線形狀與積分值可得到集水區的演育情況。

2.1 測高曲線原理

Strahler (1952)提出測高曲線積分公式，是一種計算集水區內高度與面積比例，以集水區的相對高度比為縱軸，相對面積比例為橫軸，描述集水區內高程分佈的情形，圖 2.1 中， H 表示該集水區之最大高差， h 表示集水區內某一點與最低點之高差， A 表示集水區之截面積， a 表示集水區內超過某一高程 h 的截面積。

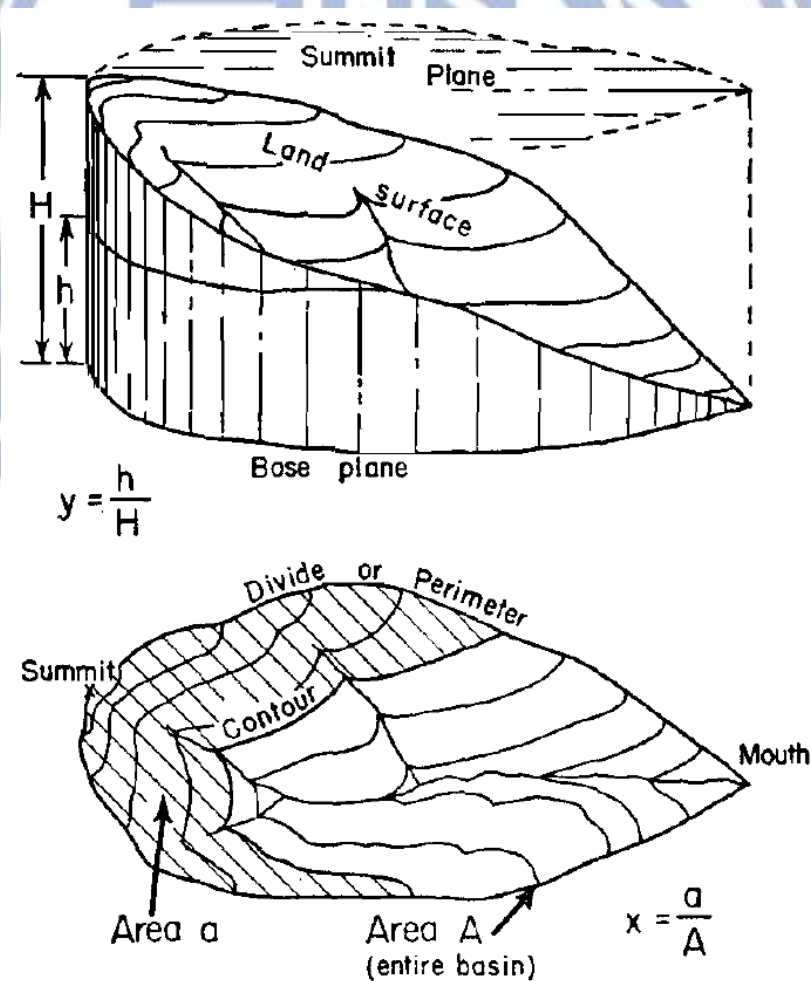


圖 2.1、集水區測高曲線積分定義 (Strahler, 1952)

測高曲線展現形式如圖2.2，測高曲線可以顯示地表高程分佈情況，不同形狀的測高曲線表示不同地形演育時期，測高曲線下之面積表示原始地表面在演育期間還殘留的地表高程比例，Strahler (1952)以Davis提出之地形侵蝕循環作為依據，指出地表經迅速的造山抬升後，構造活動停止，此時地表會因河流侵蝕作用導致高程下降，集水盆地之測高曲線積分值隨著演育時間的增長而變低，演育時期可分成幼年期、壯年期及老年期。幼年期的集水區因受侵蝕程度比較低，測高曲線呈現凸形，測高曲線積分值大於0.6；演育至老年期階段的集水區，因其風化侵蝕程度較高，測高曲線會呈現凹形，測高積分值小於0.4；演育至壯年期之集水盆地，測高曲線積分值介於0.4~0.6之間，測高曲線形狀是S形。

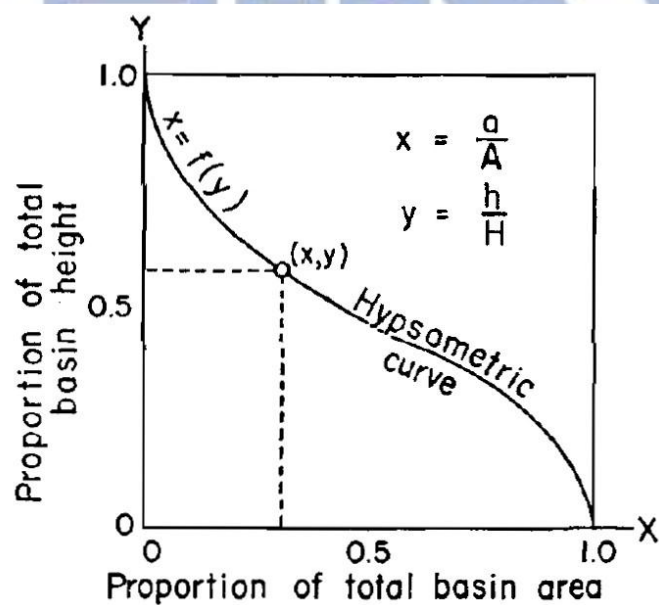


圖 2.2、測高曲線(Strahler, 1952)

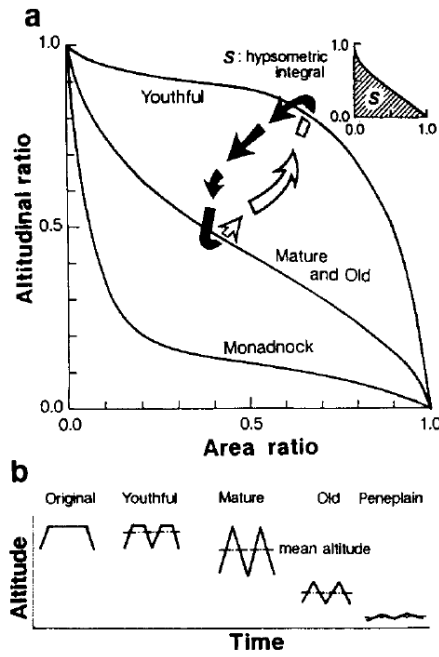


圖 2.3、Strahler 的地形演育模式(a)測高曲線週期變化(b)地表高程變化(Ohmori, 1993)

Strahler 指出測高曲線變化如圖 2.3，地表於一次抬升後，緩慢被侵蝕成平緩的地形，在過程中測高曲線積分會逐漸變低，地表高差會逐漸變大再逐漸變小，週期變化如圖中箭頭所示，隨著地表受侵蝕的過程，測高曲線由年輕階段轉變為成熟期和老年期，再經過構造抬升後轉變為幼年期，繼續下一個週期變化。

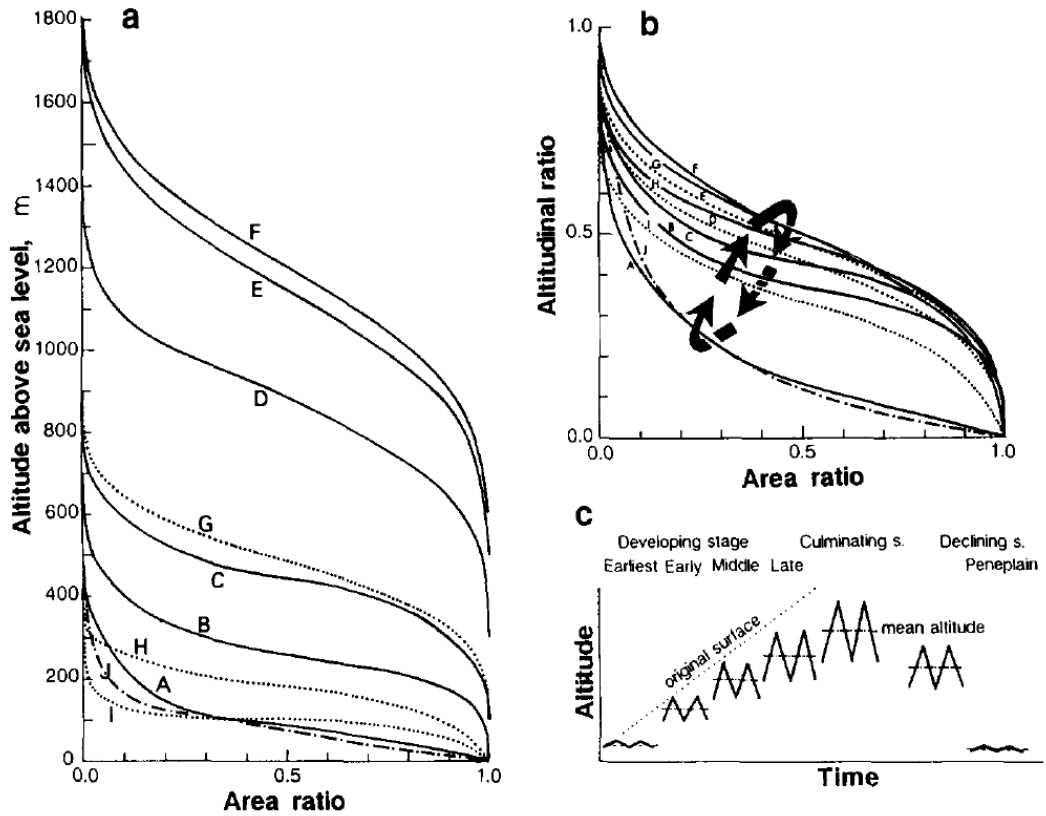


圖 2.4、Ohmori (1993)的地形演育模式(a)受抬升作用影響高度逐漸變大，縱軸為相對海平面之高程(b)測高曲線的循環週期(c)地表高程變化(Ohmori, 1993)

Ohmori (1993)以電腦模式模擬日本地區流域(7400 平方公里)在造山地區一邊抬升、一邊侵蝕的演育條件下，測高曲線的變化情形，原本平緩的地形測高曲線為凹型，測高曲線積分為 0.29，地表受到每年 0.002 公尺的抬升，經過 1 百萬年至 2 百萬年後達到巔峰期，測高曲線呈現 S 型，測高曲線積分為 0.53，此後侵蝕作用大於抬升作用，經過 1 千萬年後，測高曲線又變回凹形，測高曲線積分值為 0.31。

在地表同時受到抬升和侵蝕的過程中，地表演育共可以分為三個時期，發展時期、巔峰時期和衰減時期，發展時期為抬升過程中，山脈高度不斷增長的時期；巔峰時期是山脈到達最大高度的時候；衰減時期則為抬升作用停止後的期間，地形演育期間測高曲線積分和地表高差都具有先增加再降低的特性。

Ohmori (1993)以網格系統利用電腦模擬同時受抬升和侵蝕的地形演育條件，如圖2.4 中所式，地表由的低緩準平原面開始循環過程，低緩的平原還未受構造抬升影響且測高

曲線積分值較低。開始模擬構造運動，此時地表逐漸抬升，測高曲線積分逐漸增加，當侵蝕率等於抬升率時，地表受到侵蝕和抬升的作用達平衡時進入穩定期，此時測高曲線積分值在整個循環中達到最大值，測高曲線呈S形，當構造運動停止時，因地表仍受到侵蝕作用的影響，地表高度和高差開始下降，測高曲線積分逐漸降低。當構造運動再度開始時，地表受到抬升作用，測高曲線積分值再次上升。測高曲線積分會受到抬升作用的影響而逐漸增大，當侵蝕率大於抬升率時，又會逐漸變小，地表再受到抬升作用影響時，測高曲線積分值又會逐漸變大，顯示此為一循環的過程。而測高曲線變化也會對應此循環，是從凹形逐漸往S形發展然後再回到凹形的一個循環過程，實驗中測高曲線從未發展至凸形。研究結果與日本實際的集水區測高曲線積分對照，證實在造山運動活躍地區的測高曲線積分之解釋方式應與Strahler模式之構造穩定陸塊區不同。

2.2 地形測計參數

地形測計是以定量指標描述地表形貌的一門科學(Mark, 1975)。地形測計會透過一組可量度的參數，將地形特性量化，而參數則由地形模型獲得。在電腦快速發展後，參數可由數值地形模型獲取，提供使用者快速且大量獲取地形測計參數(賴進貴，1996)。本研究以坡度、平均高度、高差及河流坡度四個地形測計參數，描述集水區內地形變化情況，地形參數由數值高程模型中獲取。

2.2.1 坡度

使用有加權的八鄰近演算法(Horn, 1981)，計算 DEM 內各單元之坡度，坡度演算法為式(1)~(3)，分別計算 X 方向(列方向)與 Y 方向(行方向)之高程變化率，兩方向變化率平方後相加之平方根為中心單元之坡度。圖 2.5 是坡度計算時中心單元與相鄰八個單元之關係，Z 代表網格內各單元之高程值。加權會使相鄰單元對中心單元之影響程度不同，由於四個對角線單元距離中心單元較遠，對中心單元之影響較小，式(1)與式(2)中對角線元素所分配到的權重較小，式中 Δd 代表是每個單元大小，即是 DEM 網格大小。

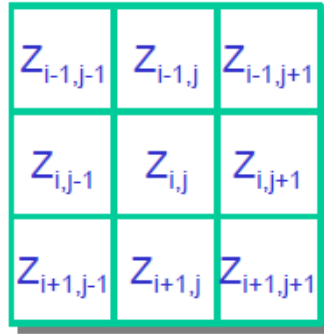


圖 2.5、坡度計算中心單元與相鄰八個單元之關係

$$\frac{\partial Z}{\partial x} = \frac{(z_{i-1,j+1}-z_{i-1,j-1})+2(z_{i,j+1}-z_{i,j-1})+(z_{i+1,j+1}-z_{i+1,j-1})}{8\Delta d} \quad (1)$$

$$\frac{\partial Z}{\partial y} = \frac{(z_{i+1,j-1}-z_{i-1,j-1})+2(z_{i+1,j}-z_{i-1,j})+(z_{i+1,j+1}-z_{i-1,j+1})}{8\Delta d} \quad (2)$$

$$slope = \sqrt{\left(\frac{\partial Z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial y}\right)^2} \quad (3)$$

2.2.2 高差與平均高度

高差為集水區 DEM 之最大值和最小值之差，平均高度為集水區 DEM 中各個單元之高程值平均。

2.2.3 河流坡度

河流坡度參考 ESRI 所提供之 ArcGIS Toolbox 的使用說明(Dilts, 2009)，以 MATLAB 自行撰寫程式計算。河流坡度計算時使用兩個網格資料，包含集水區 DEM 與河流位置，河流位置之二元影像可以 TauDEM (Tarboton, 2005)由集水區 DEM 萃取而得，水系萃取面積門檻值設定為 500。河流坡度演算法列於以下：

- (1) 設置一個 3x3 移動視窗於河流二元影像中移動，視窗中心單元移至有河流單元存在之位置時計算該單元之坡度
- (2) 於 DEM 對應位置提取移動視窗內為河流單元的高程值
- (3) 計算移動視窗內之河流高差
- (4) 計算移動視窗內之河流長度
- (5) 高差除以河流長度為河流坡度

使用 3×3 的移動視窗在河流位置之二元影像中移動，移至視窗中心單元為河流部分即計算該單元之河流坡度，坡度計算時對應 DEM 位置，找出搜尋視窗內為河流單元的高程值，找出高程之最大與最小值算得高差，計算搜尋視窗內之河流單元總長度，河流坡度為高差除以河流長度。河流坡度可依不同河川級序分別計算，得到集水區河流不同區段之緩急狀況。

河川級序理論為地形學與水文學計量研究之重要基礎(徐義人, 1995)。Horton (1945) 提出的分級方法是由河溪源頭沿著下游方向進行分級。Strahler (1964)修正 Horton 之河川級序定律發展出 Horton-Strahler 之河溪分級方式，本研究以 Horton-Strahler 之河序劃分為主，該劃分程序如下，圖 2.6 為河川級序示劃分之示意圖。

- (1) 上游源頭，未包含任何支流之河溪為第一級序。
- (2) 兩條或更多之不同級序河溪合流交匯時，其下游之河溪級序以交匯河溪中最高級序者定義之。
- (3) 兩條或兩條以上第 u 級序河溪合流後下游為第 $(u+1)$ 級序；在同是 u 級之支流合流後，稱為 $(u+1)$ 級之河溪。

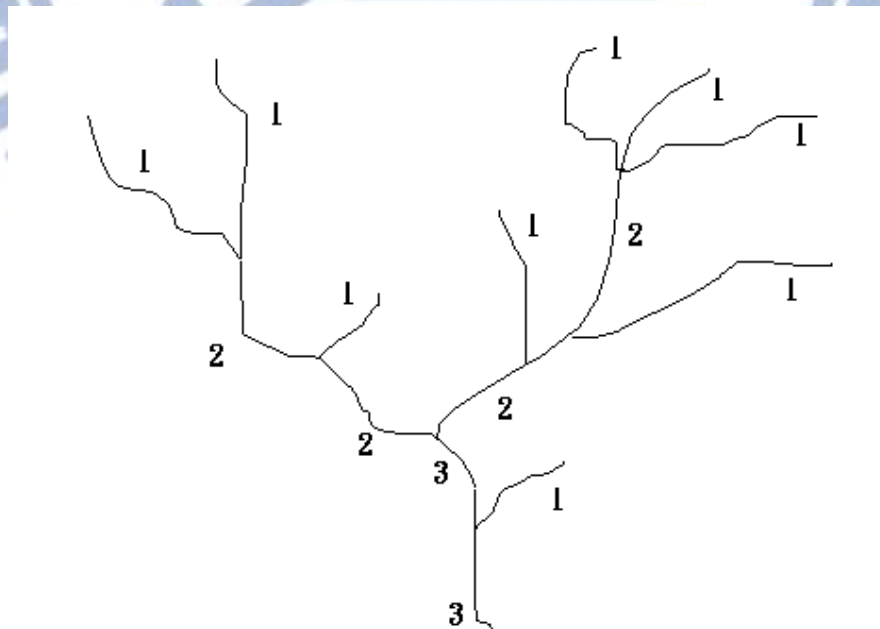


圖 2.6、河川級序示意圖

2.3 集水區幾何型態因子

集水區幾何型態即為集水區之外觀描述，包含流域面積、長度、寬度、周長、圓度、狹長度、密度與型態要素(陳樹群，2005)。流域面積 A 、長度 L_b 、寬度 B_b 及周長 P 可以由集水區之多邊形經計算直接求得，流域圓度、狹長度、型態要素及密度則可由表 2.1 中之計算式子求出。

(1)流域圓度： $R_c=A/(\text{具同一周長的圓面積})$

流域圓度之值介於 0~1，越接近 1 則表示流域平面形狀越趨於圓形。

(2)流域狹長度： $R_e=(\text{具有同一面積的圓直徑})/L_b$

流域狹長度為與流域具同一面積之圓其直徑與流域最大長度之比值，值域介於 0~1，值越接近 1 則表示流域平面外型越狹長。

(3)流域型態要素： $R_f=A/L_b^2$

流域型態要素為流域面積與以流域最大長度為邊長之正方形面積之比值，值域亦介於 0~1 之間，越接近 1 則表示流域平面外型越近於正方形。

(4)流域密度： $C=\text{同面積圓周長}/\text{流域周長}$ ：

流域密度為相等於流域面積之圓形周長與流域周長之比值，流域密度表示流域外型的複雜程度，為一小於 1 之值，越小則表示此流域外型越複雜。

表 2.1、集水區幾何型態 (陳樹群, 2005)

集水區幾何型態	
1.流域面積	A
2.流域最大長度	L_b
3.流域最大寬度	B_b
4.平均寬度	$A/\text{主流長}$
5.流域周長	P
6.流域圓度	$R_c = A / (\text{具同一周長的圓面積})$
7.流域狹長度	$R_e = (\text{具有同一面積的圓直徑}) / L_b$
8.型態要素	$R_f = A / L_b^2$
9.流域密度	$C = \text{同面積圓周長} / P$

2.4 SRTM

太空梭雷達製圖任務(Shuttle Radar Topography Mission, SRTM)為美國國家航空暨太空總署(NASA)、德國太空中心(DLR)與義大利太空中心所共同合作之計畫，在 2000 年以太空梭搭載干涉雷達系統於全球進行為期 11 天之資料蒐集，記錄範圍為北緯 60 度至南緯 57 度間所有的陸地雷達數據，產製幾乎涵蓋地球陸地範圍之數值高程模型。SRTM 系統搭載於 STS-99 太空梭上，飛行 176 條軌道，其中 159 條軌道所蒐集之資料用於地形製圖，軌道傾角 57 度，軌道高度 223 公里，任務觀測期間總共觀測了 1000 個帶寬，帶寬 225 公里，每個帶寬長度從幾百公里至幾千公里不等(Rabus et al, 2003)。為了除去遮蔽造成資料空缺之影響，太空梭以不同角度之軌道進行資料蒐集，對測區內之陸地 99.96% 有一次取像，94.59% 有二次取像，50% 有三次取像(JPL, 2003)。

太空梭上搭載兩套獨立的干涉雷達系統，分別為 C 波段和 X 波段之雷達系統，太空梭上有一支伸長 60 公尺的機械臂，裝有兩組接收天線，接收兩組波段之回訊，機腹

上裝置雷達波發射器以及兩組波段之接收天線，圖 2.7 為裝置示意圖，C 波段資料由美國國家航空暨太空總署處理，X 波段由德國太空中心處理，網路上公開可提供下載之數據是 C 波段所生成之高程資料。SRTM 的側視角度由 30 度至 45 度不等，觀測帶寬 225 公里，由四個次帶寬組成，以 17 度至 65 度週期性旋轉發射頭構成幾乎同步的成像。

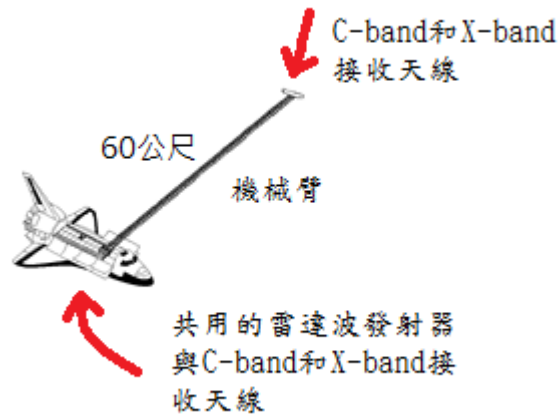


圖 2.7、SRTM 裝置圖

SRTM 資料以洲為基礎進行處理，資料預處理包含編輯、粗差移除、定義水面高及海岸線位置，處理過後之資料分成 6 個資料庫進行存放，圖 2.8 為 SRTM 資料庫涵蓋圖，圖中 7 個顏色分別代表歐亞、北美、南美、非洲、澳洲、與其他島嶼之資料庫。每個圖幅範圍為 1 經度乘以 1 緯度，總共有 5940 個檔案，圖幅名稱以每幅圖幅隻左下角經緯度來命名。資料庫中包含 SRTM-1 與 SRTM-3 之資料，分別代表取樣間距為 1 弧秒及 3 弧秒之資料，SRTM-3 資料由 SRTM1 資料以 3x3 的平均遮罩產製。目前 SRTM-1 資料只釋出美國本土範圍，其他地區都只具有 SRTM-3 資料。SRTM 之儲存格式為 HGT 檔，16bit 的 binary 格式儲存，Motorola big-endian 的編碼順序，檔案中沒有檔頭資料，以行的順序排列。

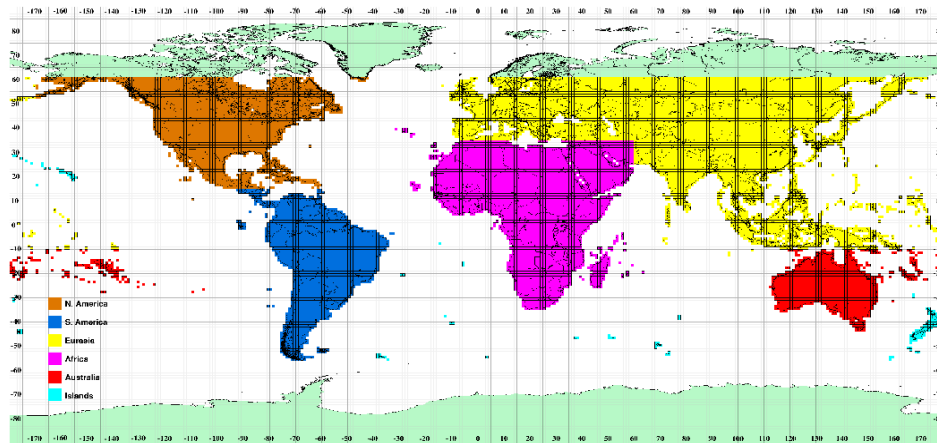


圖 2.8、SRTM 資料庫涵蓋範圍 (JPL, 2003)

SRTM 之高程基準是 WGS84 EGM96 geoid，美國國家航空暨太空總署所公布之資料規範，絕對高程精度為 10 公尺，絕對水平精度為 12.5 公尺，同一帶寬相對高程精度為 6 公尺，相對高程精度之主要影響源為熱誤差之影響。由於 SRTM 資料蒐集時之觀測角度為 55 度，許多地區會因為遮蔽或陰影而產生資料空缺的情形，感測器在不同軌道上對同一地區藉由不同方向觀測可有效解決資料空缺的問題。

2.5 台灣地區 40 公尺數值地形模型資料

此組資料是行政院農業委員會委託農林航空測量所在 1983~1985 年間製作，並授權國立中央大學太空及遙測研究中心提供所需單位申請。數值地形模型資料獲取是以解析航空攝影測量法在立體像對上觀測，以人工取點依 40 公尺為間距數化出高程點，檔案使用五千分之一基本圖圖幅分檔，資料以規則網格的方式記錄，使用 ASCII 碼逐點儲存三維座標。

第三章 測高曲線計算

本章介紹測高曲線計算時之使用資料、前處理的過程與演算法，測高曲線計算是以 Harlin (1978) 提出以多項式模擬測高曲線，並計算出測高曲線積分、偏度、峰度等各個測高曲線參數，量化描述各曲線之差異，以及集水區受侵蝕情況。

3.1 使用資料

集水區測高曲線之計算，須具備集水區內之高程資料，統計各個高度及所對應面積，算出相對高度之面積比例，繪得測高曲線。使用資料包含 DEM 與集水區流域界，以數值高程模型描述集水區地面高程資訊，配合集水區之流域界範圍資料，於 GIS 軟體 ESRI ArcGIS 9.3 (ESRI, 2009) 中操作獲得集水區之測高曲線。

3.1.1 DEM

DEM 使用 SRTM 以及農委會 40 公尺台灣地區數值地形模型，SRTM 資料部份，版本為 2.1，於 NASA 資料庫中 http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SRTM1/ 下載範圍 E120~E121，N21~N25，包含台灣地區總共 10 幅之數據，檔名列表於表 3.1。

表 3.1、台灣地區 SRTM 圖幅

檔案名稱	高程最大值(m)	高程最小值(m)	檔案大小(kb)
N21E120.HGT	-34	341	705
N21E121.HGT	-19	226	676
N22E120.HGT	-68	3035	1412
N22E121.HGT	-26	2912	820
N23E120.HGT	-49	3917	1567
N22E121.HGT	-43	3812	1488
N24E120.HGT	-56	2439	2554
N24E121.HGT	-37	3860	1788
N25E120.HGT	-16	21	700
N25E121.HGT	-70	1102	817

將 10 幅 SRTM 資料經過圖幅拼接、合併及轉檔後，經投影轉換由經緯度轉至二度分帶橫麥卡托投影座標，投影參數為：

- (1) 投影方式：橫麥卡托
- (2) 中央子午線：東經 121 度
- (3) 參考橢球：GRS80
- (4) 尺度比：0.9999
- (5) 原點西移：250000 公尺

投影轉換之處理會將資料合併後之原始網格各單元之經緯度輸出，將每個網格單元之經緯度轉成二度分帶橫麥卡托投影座標，而投影過後之網格已非規則之網格。對這些代表網格單元位置之點組織不規則三角網，重新取樣成規則網格資料，地面網格大小為 90 公尺。

處理後之 DEM 以全台灣集水區流域界切割，圖 3.1 為 SRTM DEM，高程最大值為 3898.45 公尺，高程最小值為 -40.48 公尺，因為原始 SRTM 資料在山區與水體的地方有

資料空缺存在，重新取樣時生成新的 DEM 時，缺乏鄰近高程資訊提供內插使用，所以資料空缺的位置會有較多錯誤存在。

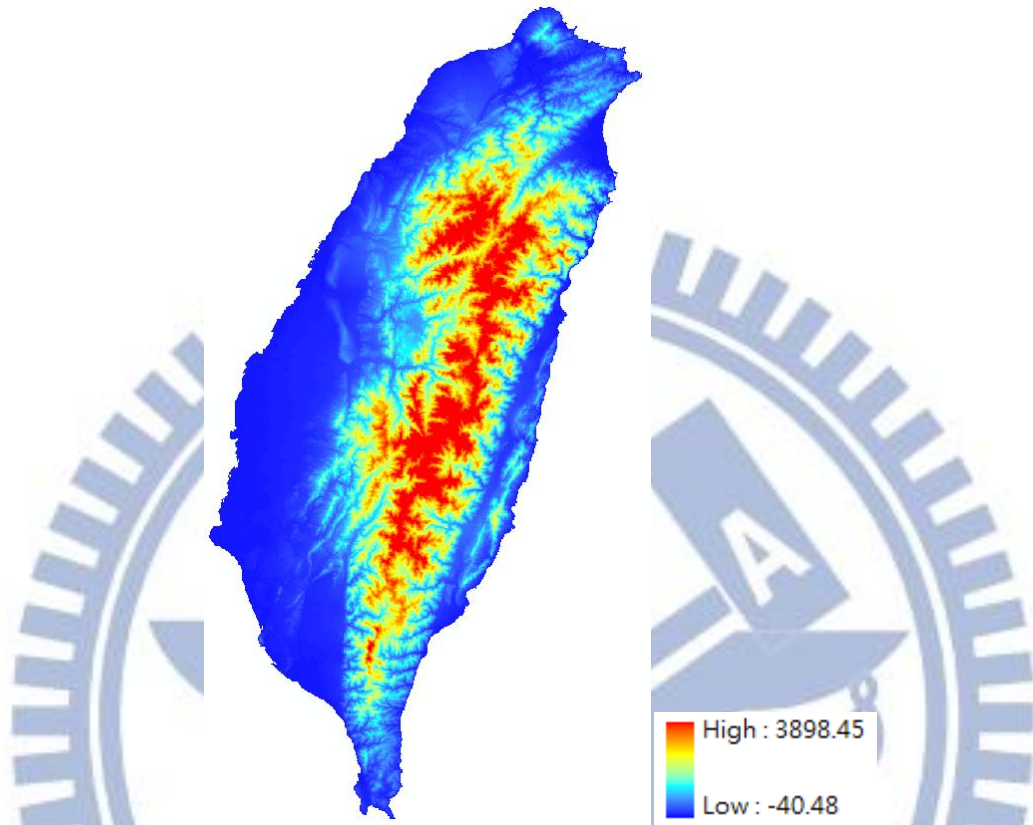


圖 3.1、台灣島 SRTM DEM

農委會 40 公尺台灣地區數值地形模型原始地面間距為 40 公尺，經疏化產生 80 公尺台灣地區數值地形模型，後文簡稱 80mDEM，投影座標為 TWD67，資料處理時將各座標點位利用轉換公式由 TWD67 轉換到 TWD97 上，使用之公式為 $E(\text{TWD97})=E(\text{TWD67})+828$ ； $N(\text{TWD97})=N(\text{TWD67})-207$ 。經過座標轉換後對各座標點組織不規則三角網，重新取樣成規則網格資料，地面網格大小為 80 公尺，如圖 3.2 所示，在下游平原與水體部分都有資料缺漏的情況，DEM 高程最大值為 3940.35 公尺，高程最小值為 0.0046 公尺。

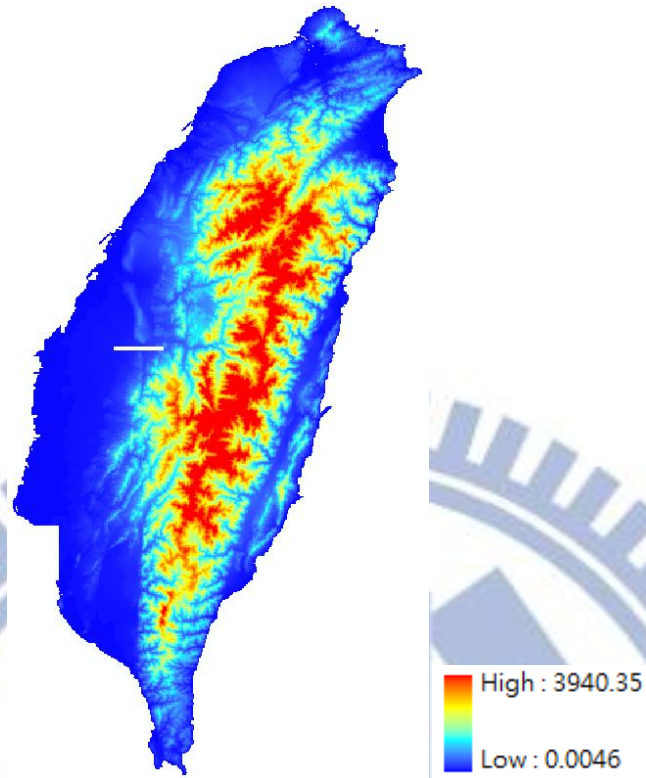


圖 3.2、台灣島 80mDEM

3.1.2 集水區資料

集水區位置使用經濟部水利署發布之集水區流域界圖層，如圖 3.3 所示，原始圖資為 ArcView SHP 檔，資料結構為面多邊形(Polygon)的形式，將集水區流域界圖層匯入 ESRI ArcGIS 9.3 中，在屬性表中選取中央管轄的 26 條河川集水區，匯出此 26 個集水區的 SHP 檔如圖 3.4。

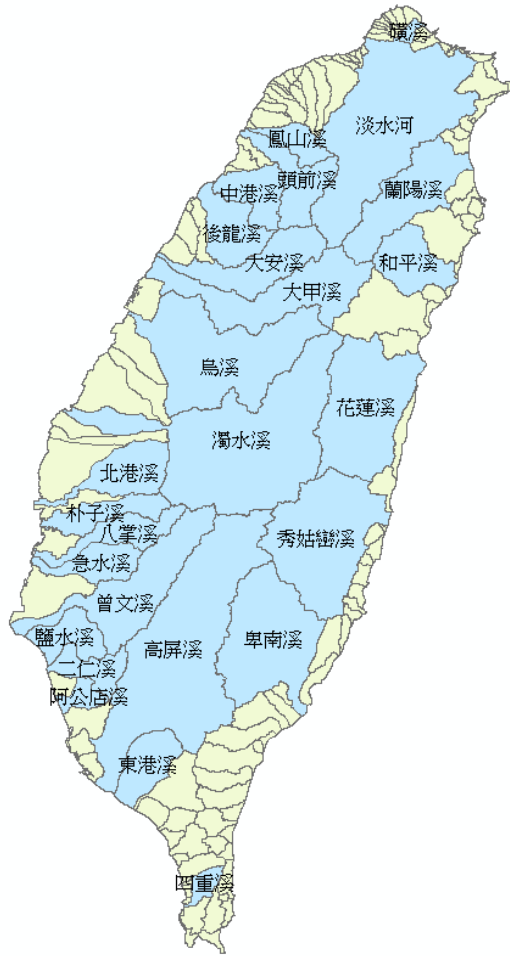


圖 3.4、26 個集水區位置

3.2 集水區測高曲線計算

Harlin (1978)以低階(2 階或 3 階)多項式經過迴歸計算擬合測高曲線，經積分計算得到測高曲線積分，計算多項式之一階矩、二階矩、三階矩和四階矩獲得多項式之期望值、變異數、偏度以及峰度。

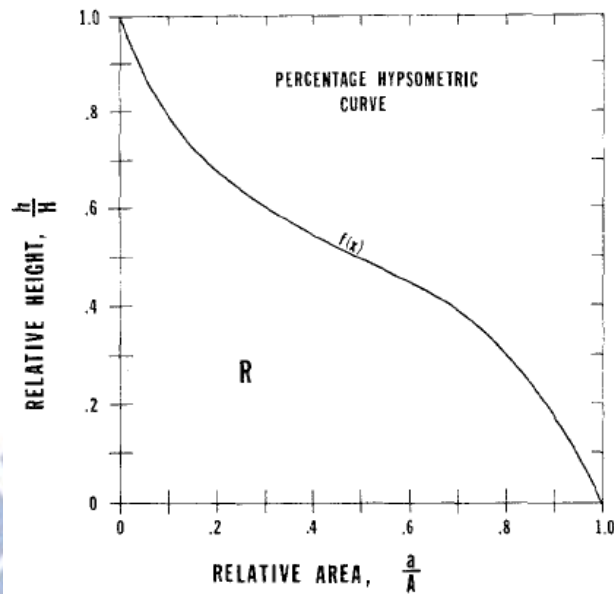


圖 3.5、測高曲線 (Harlin, 1978)

圖 3.5 中測高曲線可視為一累加分佈函數，以多項式如式(4)的形式表示，通常以 2 階或是 3 階多項式即可表達測高曲線，本研究以 3 階多項式進行計算。將多項式對橫軸積分，式(5)(6)，可得圖 3.5 中 R 的面積，即為測高曲線下之面積，稱為測高曲線積分。

$$f(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n \quad (4)$$

$$HI = \int_0^1 a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 dx \quad (5)$$

$$HI = \left[a_0x + \frac{1}{2}a_1x^2 + \frac{1}{3}a_2x^3 + \frac{1}{4}a_3x^4 \right]_0^1 = \sum_{k=0}^3 \frac{a_k}{k+1} \quad (6)$$

$\mu_1 \sim \mu_4$ 定義為一階至四階之中心矩，式(7)~式(10)，一階中心矩表示期望值，二階中心矩表示方差 σ^2 ，偏度定義為三階標準矩，等於三階矩除以標準差之三次方；峰度定義為四階標準矩，等於四階矩除以標準差之四次方，式(11)、式(12)。

偏度分成兩種情況，左偏與右偏，左偏又稱負偏態，左側的尾部較長，分布的主體集中在右側；右偏又稱正偏態，右側的尾部較長，分布的主體集中於右側。峰度表示分佈的峰態，描述一個對稱性分佈之峰點相對比較扁平或高聳的狀況(維基百科，2012)。

$$\mu_1 = \frac{1}{HI} \int_0^1 xf(x)dx = \frac{1}{HI} \sum_{k=0}^3 \frac{a_k}{k+2} \quad (7)$$

$$\mu_2 = \frac{1}{HI} \int_0^1 (x - \mu_1)^3 f(x)dx = \left(\frac{1}{HI} \sum_{k=0}^3 \frac{a_k}{k+3} \right) - \mu_1^2 = \sigma^2 \quad (8)$$

$$\mu_3 = \frac{1}{HI} \int_0^1 (x - \mu_1)^3 f(x) dx = \left(\frac{1}{HI} \sum_{k=0}^3 \frac{a_k}{k+4} \right) - \left(\frac{3\mu_1}{HI} \sum_{k=0}^3 \frac{a_k}{k+3} \right) + 2\mu_1^2 \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \mu_4 &= \frac{1}{HI} \int_0^1 (x - \mu_1)^4 f(x) dx \\ &= \left(\frac{1}{HI} \sum_{k=0}^3 \frac{a_k}{k+5} \right) - \left(\frac{4\mu_1}{HI} \sum_{k=0}^3 \frac{a_k}{k+4} \right) + \left(\frac{6\mu_1^2}{HI} \sum_{k=0}^3 \frac{a_k}{k+4} \right) - 3\mu_1^4 \end{aligned} \quad (10)$$

$$\text{偏度} = \frac{\mu_3}{\sigma^3} \quad (11)$$

$$\text{峰度} = \frac{\mu_4}{\sigma^4} \quad (12)$$

測高曲線積分值可表示一集水區之演育情況，不同形狀的測高曲線可能會具有相同的測高曲線積分值，偏度與峰度之數值可表達測高曲線間細微之差異，也顯示集水區內不同高度的區域之侵蝕情況，偏度大的測高曲線表示在上游段具有向源侵蝕之傾向，而峰度大之測高曲線顯示上、下游段有較大侵蝕之情形(Harlin, 1978)。

方程式 $g(x)$ 定義為測高曲線 $f(x)$ 之密度函數，依照測高曲線計算偏度與峰度的方法，密度函數也可以計算出偏度和峰度，稱為測高曲線之密度偏度(Density Skewness)和密度峰度(Density Kurtosis)。

$$g(x) = f'(x) = a_1 + 2a_2x + 3a_3x^2 \quad (13)$$

表 3.2 為測高曲線計算得到之參數與其所代表之意義，測高曲線積分代表原始地形受侵蝕後所剩餘之殘土，可描述地形之演育情況(Strahler, 1952)，偏度為集水區上游河段向源侵蝕程度，密度偏度可顯示坡度之變化率，峰度表示集水區上下游地區侵蝕程度，密度峰度顯示集水區中游段之坡度(Harlin, 1978)。

表 3.2、測高曲線各參數意義 (Harlin, 1978)

參數	意義
測高曲線積分(Hypsometric Integral)	原始地形受侵蝕後之殘土量
偏度(Skewness)	集水區上游河段向源侵蝕程度
密度偏度(Density Skewness)	曲線坡度變化率
峰度(Kurtosis)	集水區上下游地區侵蝕程度
密度峰度(Density Kurtosis)	集水區中段之坡度

測高曲線之形狀與偏度和密度偏度之關係如圖 3.6，較小測高曲線積分之測高曲線呈凹形，曲線分佈左偏程度大，有較大之偏度，因測高曲線左段之坡度較大，密度函數呈現左偏，密度偏度值為正值；測高曲線積分大之測高曲線形狀為凸形，曲線分佈較靠右，偏度值小，測高曲線右段坡度變化大，密度函數右偏，密度偏度為負值(Luo, 2000)。

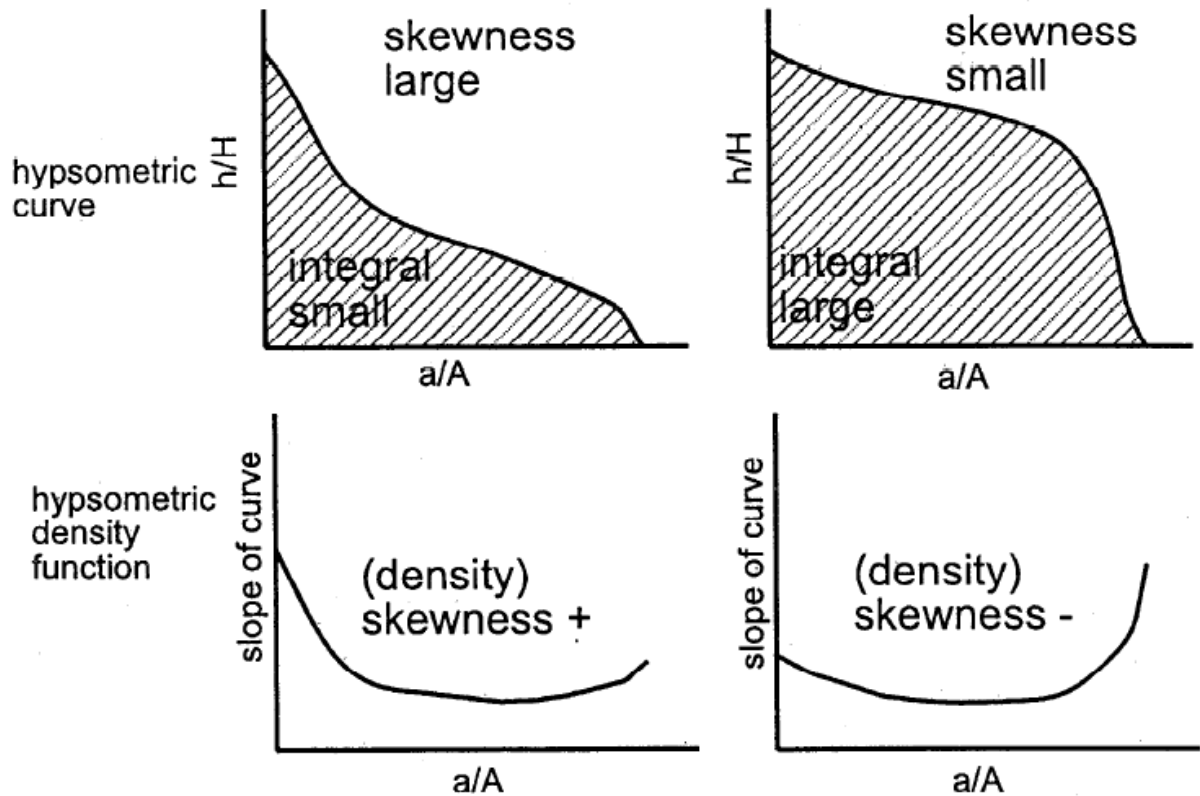


圖 3.6、測高曲線形狀與偏度和密度偏度之關係 (Luo, 2000)

測高曲線之計算軟體 CalHypso (Pe´ rez-Pen˜a, 2009)，為架構在 ESRI ArcGIS 9.3 下之擴充模組(Extension)，如圖 3.7，軟體運作時必須輸入集水區之範圍與包含集水區範圍之 DEM 資料，在 ArcGIS 內匯入 26 個集水區流域界與集水區 DEM，於 26 個集水區流域界圖層之屬性表中選擇要計算之集水區，本次操作以磺溪為例，於 CalHypso 操作面板之 Basins 選擇集水區圖層，然後選擇台灣集水區 DEM，計算獲得集水區之測高曲線。CalHypso 計算測高曲線之步驟如下：

- (1) 以集水區之多邊形萃取集水區範圍 DEM。
- (2) 將 DEM 高程值轉換成整數，統計各高程出現次數，製作屬性表。
- (3) 計算相對面積和相對高程繪出測高曲線。
- (4) 多項式擬合測高曲線，計算測高曲線積分與統計矩。

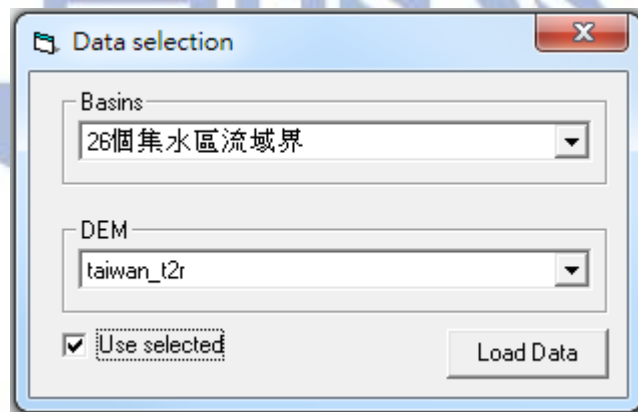


圖 3.7、CalHypso

圖 3.8 為 CalHypso 繪出之測高曲線，取出 40 個點以 3 階多項式擬合，得到多項式 0 階項至 3 階項係數，代入式(3)~式(9)，得到測高曲線積分、偏度、峰度、密度偏度與密度峰度，測高曲線之各參數如圖 3.9 所示。

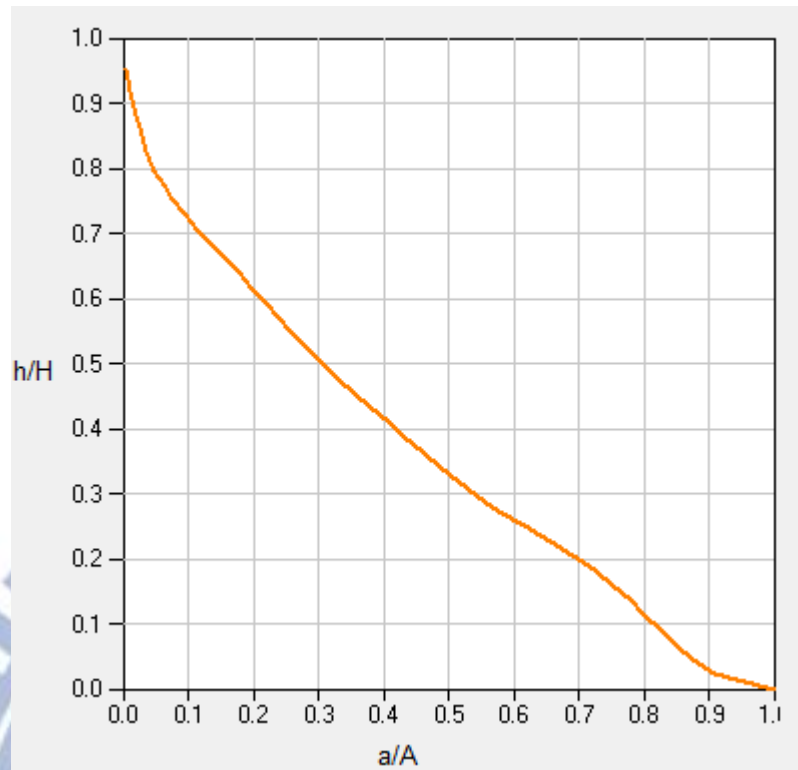


圖 3.8、CalHypso 之測高曲線計算

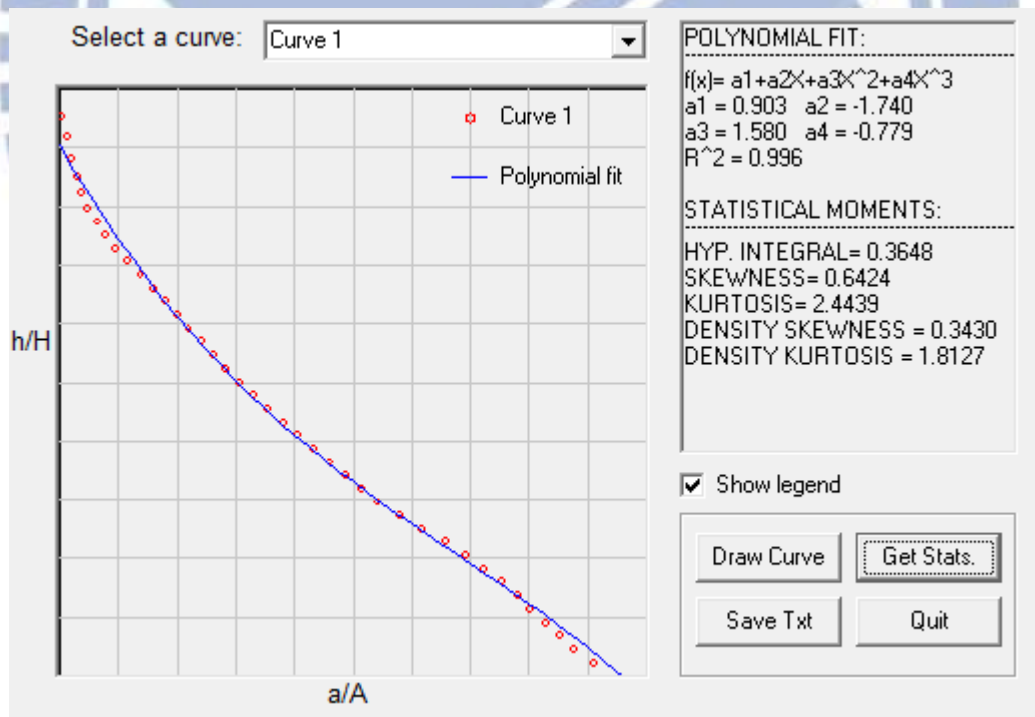


圖 3.9、計算測高曲線積分與統計矩

3.3 子集水區萃取

本研究以濁水溪流域探討子集水區測高曲線情況，計算子集水區測高曲線必須有流域中子集水區之範圍。使用 TauDEM (Tarboton, 2005)對濁水區流域之 DEM 進行子集水區萃取，TauDEM 外掛於 ESRI ArcGIS 9.0 或以上之版本，萃取之程序如下。

3.3.1 窪陷填平

萃取，窪陷是指網格中各單元與其鄰近的 8 個網格範圍，中心單元的高程比周圍 8 個單元的高程低，將 DEM 作窪陷填平，改善 DEM 中匯流不正常的情況。窪陷填平以水淹法處理，向集水區 DEM 注水至某一高度，在讓水由窪陷區之邊界最低點往下游流出，網格中窪陷區會因此而填滿，以填滿高度代替原來的高度，使 DEM 流向計算時不會產生錯誤。

3.3.2 流向計算

水系擷取方法主要分成單流向法與多流向法，本研究使用 D8 流向法(O'Callaghan and Mark, 1984)是屬於單流向法，D8 流向法之演算為在 3x3 的移動視窗中找出中心單元與周圍八個網格之最陡坡降，以最陡坡降方向視為中心單元水流方向。流向只能為東、東北、北、西北、南、西南、南和東南八種結果，分別對應中心至周圍八個鄰近單元之方向。圖 3.10 為 D8 演算法示意圖，網格內數字代表高程值，右下角網格是八個鄰近單元中高程值最低者，與中央網格有最大坡降，故流向為往東南方向。

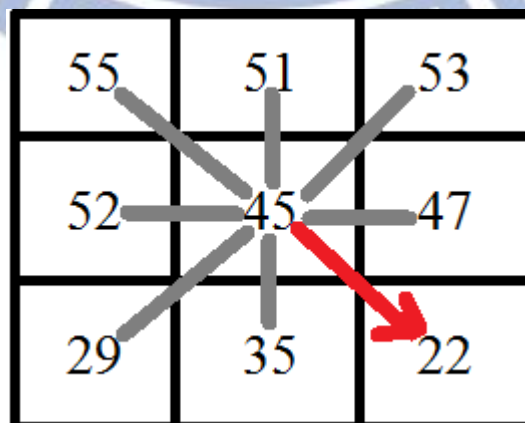


圖 3.10、D8 流向法

集水區 DEM 經過窪陷填平的過程後，以 D8 流向法計算 DEM 中各網格單元之流向，流向圖為圖 3.11，圖中 1~8 代表八個不同方向，以八個顏色來展示。

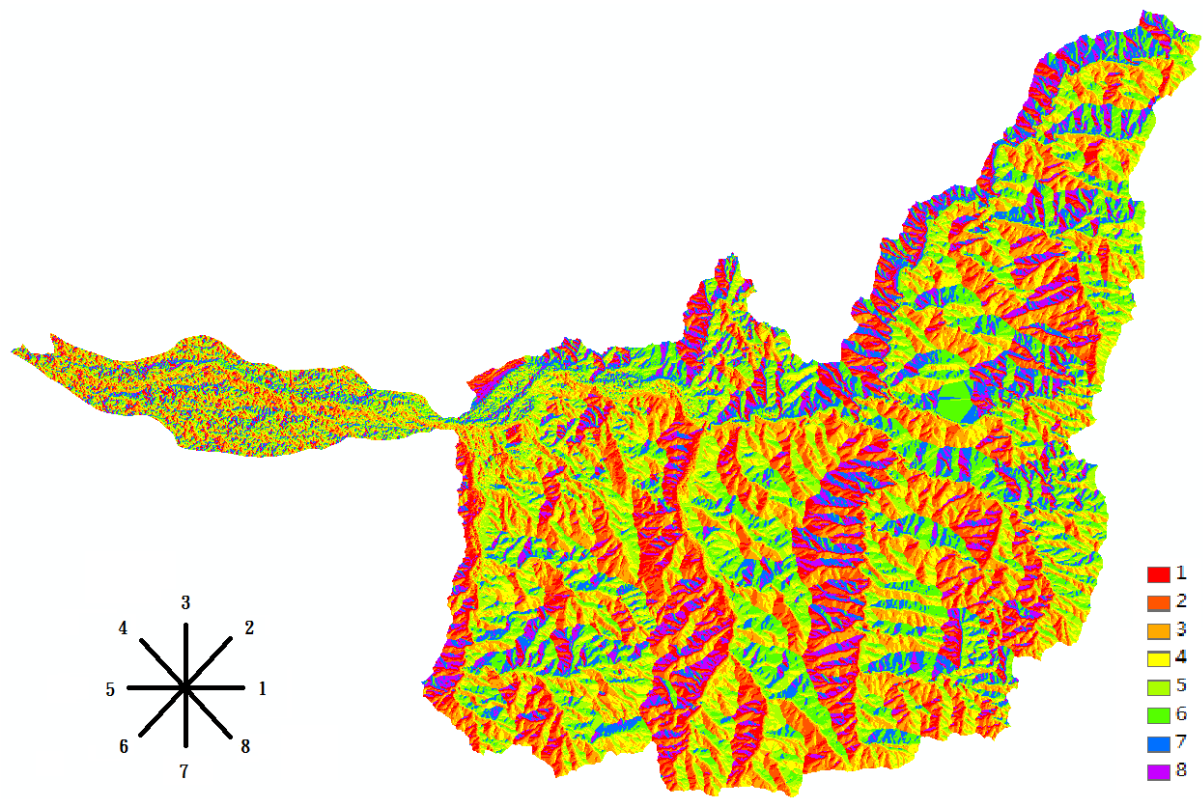


圖 3.11、DEM 流向圖

3.3.3 流量累積與面積門檻值計算

流量累積是依據流向圖，由流向之源頭開始，流向之源頭為 DEM 中網格高程值比鄰近周圍八個單元高程值大的位置，由流向圖可得到流線，如圖 3.12 中藍線部分，以流線累計各單元流過之水量大小，水量以流過之總網格數替代，圖中網格內之數值為流線流過之總網格數。越至下游的部分其流量累積越大，設計一流量門檻值稱為面積門檻值，限制要有多大的流量才可形成水系。萃取出水系後，以各水系河口所匯流而得之面積代表各子集水區範圍。

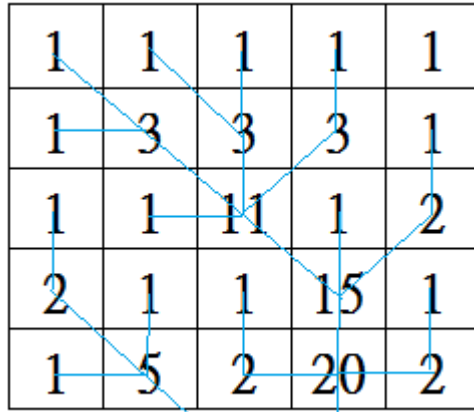


圖 3.12、流量累積

由流向圖進行累加統計，計算網格各單元所匯流之網格數目，獲得整個流域之累積流量圖，以累積流量基礎，設定面積門檻值 5000，限制水系之形成必須匯流至少 5000 個網格之水量，所萃取之水系與子集水區邊界線為圖 3.13。

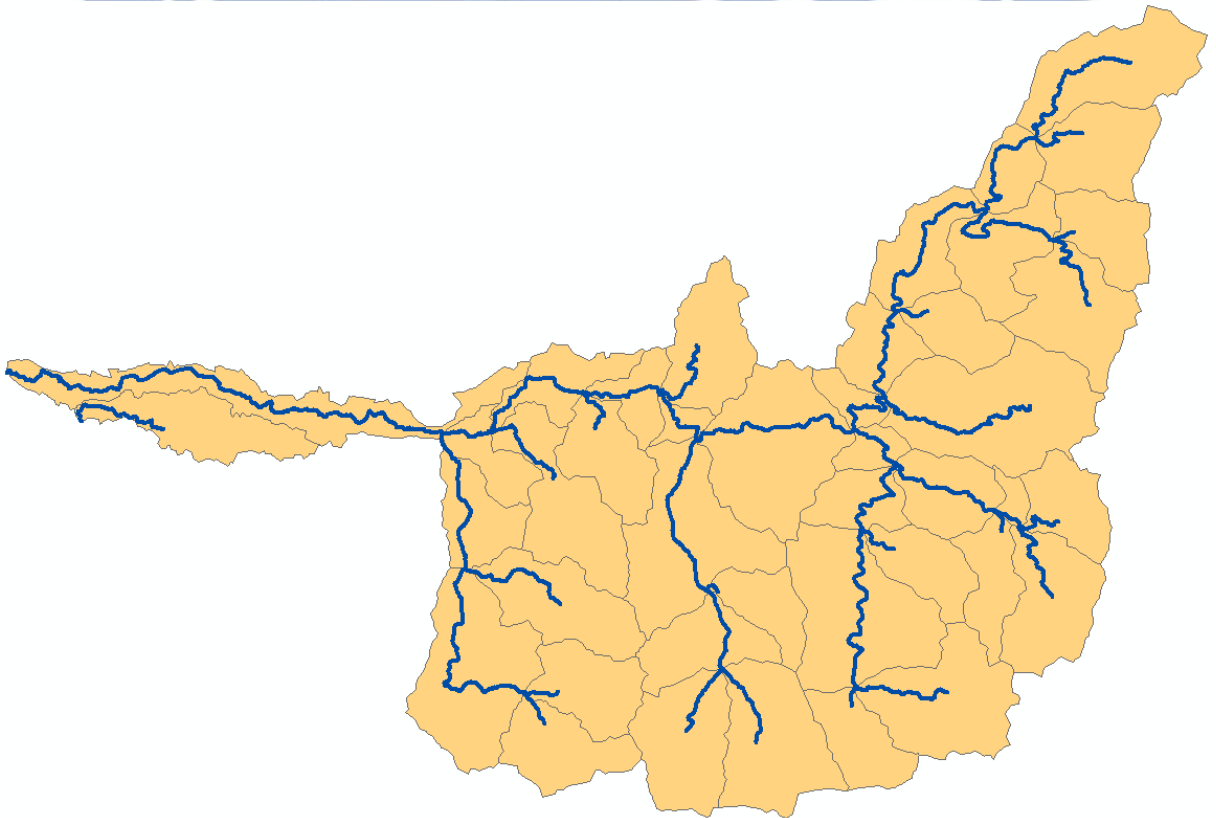


圖 3.13、流域之水系與子集水區萃取

第四章 集水區演育分析

集水區演育分析之研究區域為 26 條中央管轄河川集水區，計算測高曲線與測高曲線參數，分析各集水區演育差異。並將各流域進行子集水區萃取，探討子集水區演育及空間分佈與測高曲線之關係。

由於 80mDEM 在集水區下游部分有資料缺漏情況，DEM 未能包含集水區流域界之範圍，獲得的測高曲線積分值不能代表整個集水區的情況，而 SRTM 資料在使用上不會產生此問題，因此主要河川集水區測高曲線計算的部分只使用 SRTM 資料做計算；子集水區計算測高曲線的部份，因子集水區範圍是由 DEM 萃取而得，不會發生集水區範圍比 DEM 大的情形，在計算時分別使用兩組不同時期 DEM(SRTM 和 80mDEM)，探討子集水區演育情況。

4.1 台灣主要河川集水區之測高曲線

以 26 條中央管河川包括淡水河、頭前溪、後龍溪、蘭陽溪、鳳山溪、磺溪、中港溪、和平溪、大甲溪、大安溪、濁水溪、烏溪、北港溪、四重溪、朴子溪、高屏溪、鹽水溪、林邊溪、曾文溪、阿公店溪、八掌溪、急水溪、東港溪、二仁溪、花蓮溪、秀姑巒溪和卑南溪，計算測高曲線，就測高曲線形狀與測高曲線參數，探討各河川集水區演育情況。

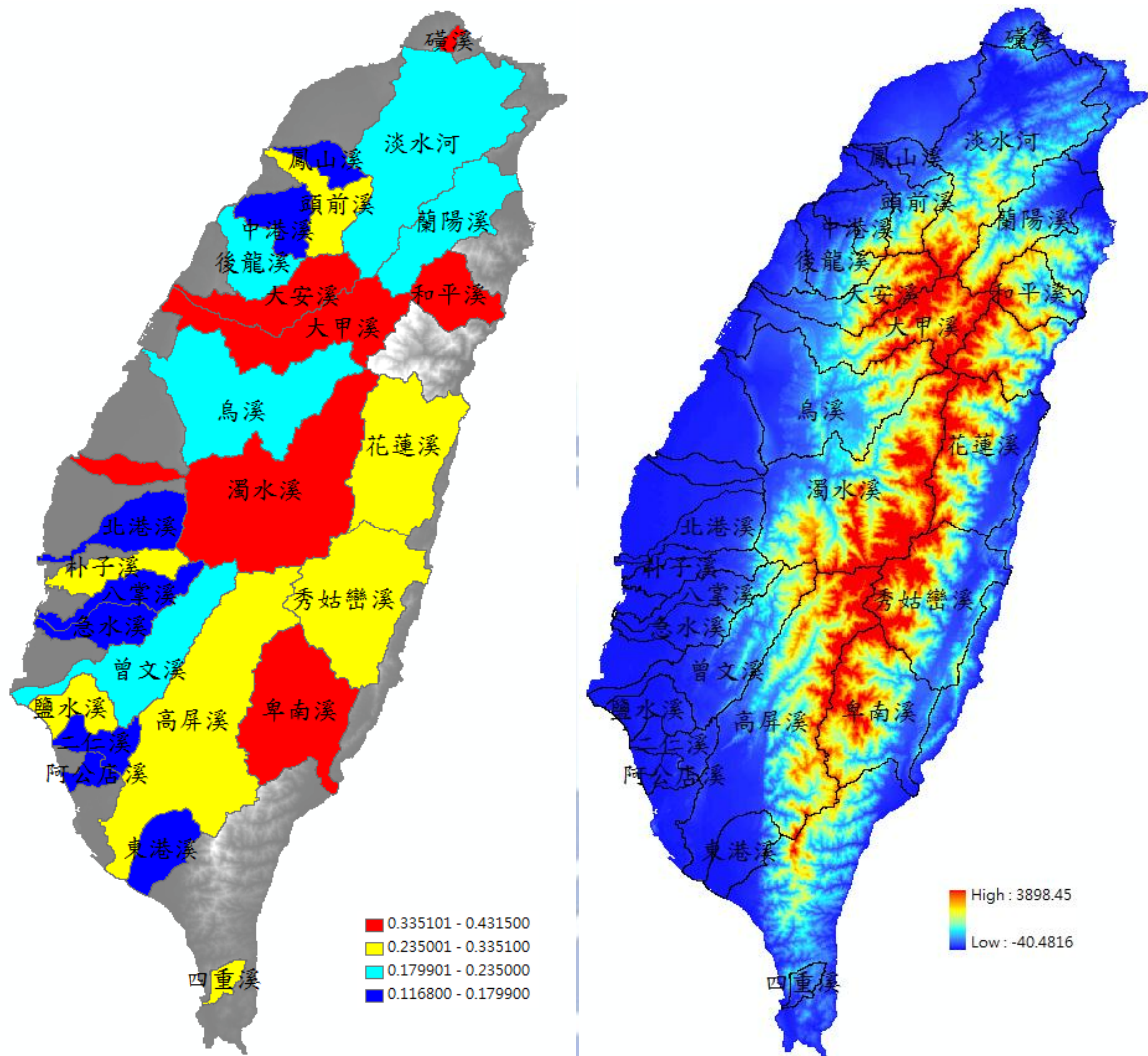
4.1.1 主要河川集水區測高曲線成果

使用台灣集水區 DEM 與二十六個集水區流域範圍，計算條河川集水區之測高曲線、測高曲線積分值、偏度、峰度、密度偏度與密度峰度，下表 4.1 為二十六個主要河川集水區之測高曲線參數，以測高曲線積分值大小依序排列。二十六個集水區測高曲線積分最大值為 0.4315，最小值為 0.1168，將最大值至最小值之區間分成 4 個間距，依測高曲線積分值大小將集水區分成 4 類，藉此展示集水區測高曲線積分值與位置之關係。圖 4.1(a)中紅色部分為分類中測高曲線積分值最大者，藍色部分為最小者，對照圖 4.1(b)可看出測高曲線積分值大的集水區會涵蓋較多的山地地形，也就是說集水區內高程起伏

較大，使得測高曲線積分呈現較大的數值，積分值大的集水區其上游大部分都位於中央山脈上，積分值較小的集水區對應圖 4.1(b)則是位於高程相對平緩之區域。

表 4.1、測高曲線參數

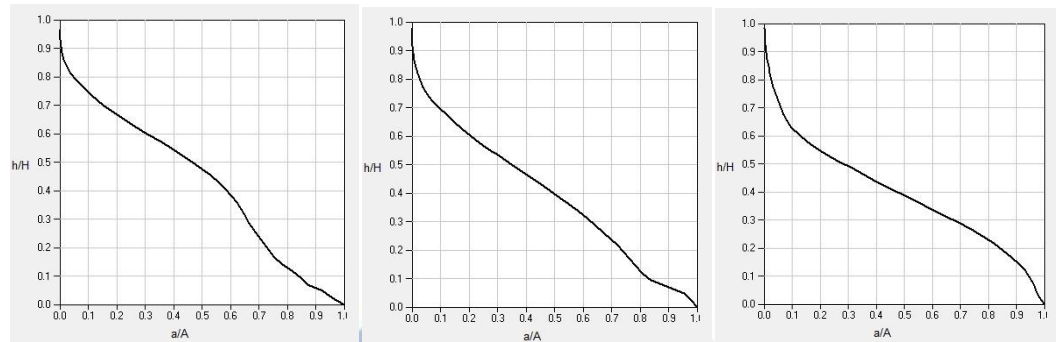
集水區	測高曲線積分	偏度	峰度	密度偏度	密度峰度	面積(平方公尺)
大甲溪	0.4315	0.5043	2.2520	-0.0768	1.7375	1309275416
卑南溪	0.3914	0.5681	2.2352	0.1800	1.6457	1605212891
和平溪	0.3908	0.4291	2.0317	0.2581	1.4011	571485256
大安溪	0.3795	0.6040	2.3909	0.2566	1.7115	769205880
濁水溪	0.3727	0.5455	2.2437	0.1736	1.6080	3167621804
礮溪	0.3648	0.6424	2.4439	0.3430	1.8127	49489217
花蓮溪	0.3351	0.6780	2.5105	0.4217	2.0534	1643343578
四重溪	0.3248	0.4690	2.0462	0.3381	1.4394	125607882
秀姑巒溪	0.3241	0.8214	2.9110	0.5765	2.2800	1795959014
頭前溪	0.3123	0.7050	2.5201	0.5276	2.0174	567472181
朴子溪	0.2907	-0.8378	2.3202	0.6479	1.0018	418973948
高屏溪	0.2774	0.7508	2.5005	0.7204	2.2858	3320523644
鹽水溪	0.2663	0.4434	1.7823	1.5276	3.5422	404459772
蘭陽溪	0.2350	0.7923	2.4917	0.8683	2.3426	1015042680
淡水河	0.2070	0.9377	2.7016	1.2371	3.0565	2734040270
烏溪	0.2047	0.8865	2.5417	1.2854	3.1021	2052178146
曾文溪	0.2018	1.0268	2.8604	1.4786	3.7568	1253671978
後龍溪	0.1933	0.9308	2.6622	1.2570	3.0765	558154482
阿公店溪	0.1799	-0.0226	1.3396	1.2868	2.3796	155411321
中港溪	0.1774	1.06	2.8652	1.58	4.0211	450295144
八掌溪	0.1749	0.9859	2.5642	2.0587	5.7827	463425428
急水溪	0.1667	-0.2958	1.3348	1.5230	2.8276	410711233
鳳山溪	0.1665	0.3665	1.5642	0.9041	1.8147	251205240
二仁溪	0.1558	0.2974	1.4347	1.1558	2.2352	337852197
東港溪	0.1431	-0.9357	1.9925	1.8196	3.4368	478875398
北港溪	0.1168	-0.2066	1.1259	1.3224	2.3756	610225043



(a) (b)
圖 4.1、(a)測高曲線積分值分級圖(b)集水區流域界與 DEM 對照圖

圖 4.2 為二十六個集水區的測高曲線，依照測高曲線積分值大小依序排列，排列在高屏溪以前的集水區，測高曲線皆近乎 S 形，高屏溪以後的測高曲線為凹形，其中朴子溪之多項式擬合測高曲線成果不佳，導致測高曲線積分值高估，所以朴子溪測高曲線呈現凹形，積分值卻比高屏溪之積分值大。和平溪與卑南溪之測高曲線積分值約略相同，但卻呈現出不同的測高曲線形狀，顯示其河川流域在不同區段之侵蝕情況不同，就測高曲線來說，曲線較偏凸形，因此偏度值與峰度值比卑南溪低，與和平溪具相似之曲線者為四重溪，偏度與峰度也呈現較低的情形，顯示測高曲線形狀中段較凹之集水區，偏度與峰度均大，而偏度大之集水區，也代表向源侵蝕之程度大，峰度大的集水區代表上下

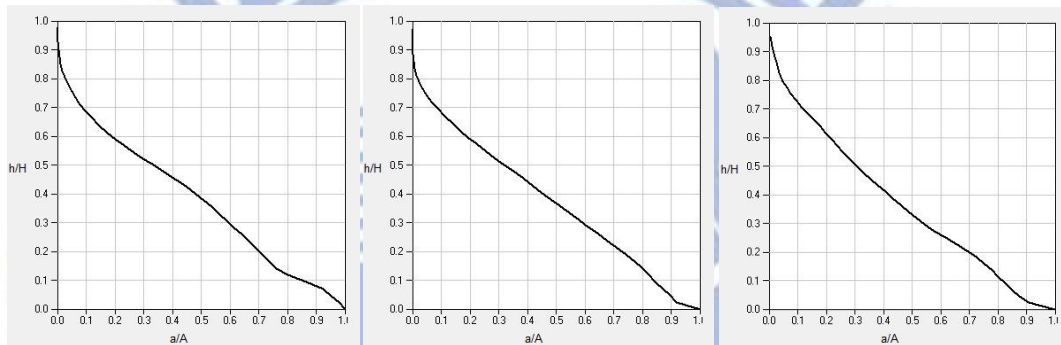
游段之侵蝕程度大。



(a)大甲溪

(b)卑南溪

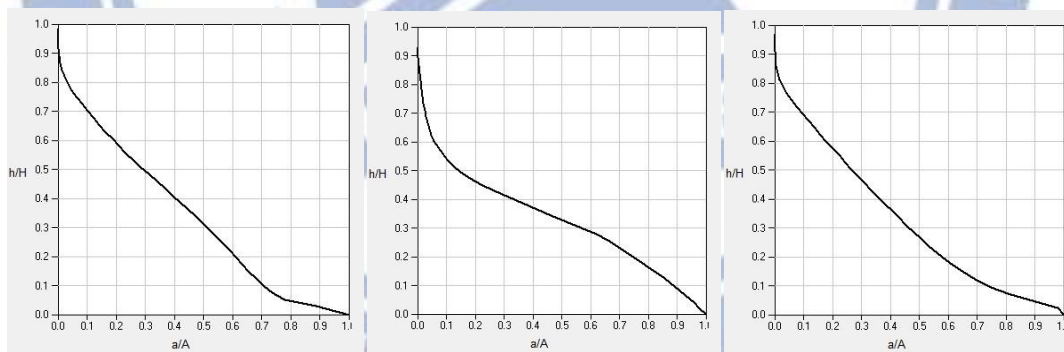
(c)和平溪



(d)大安溪

(e)濁水溪

(f)磺溪

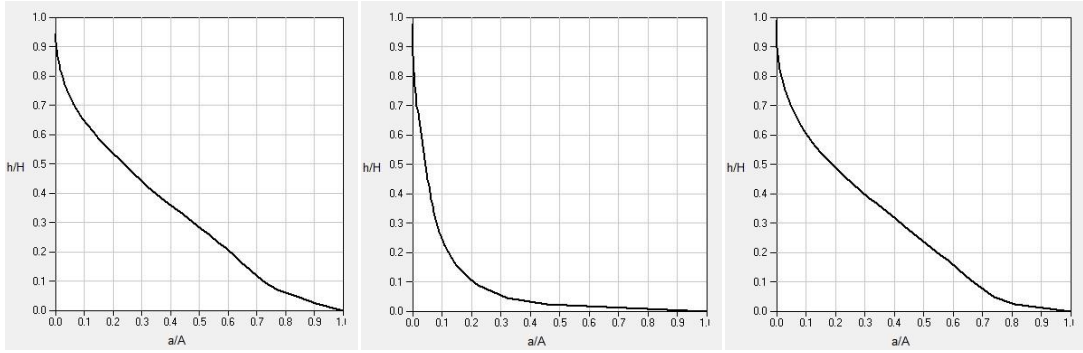


(g)花蓮溪

(h)四重溪

(i)秀姑巒溪

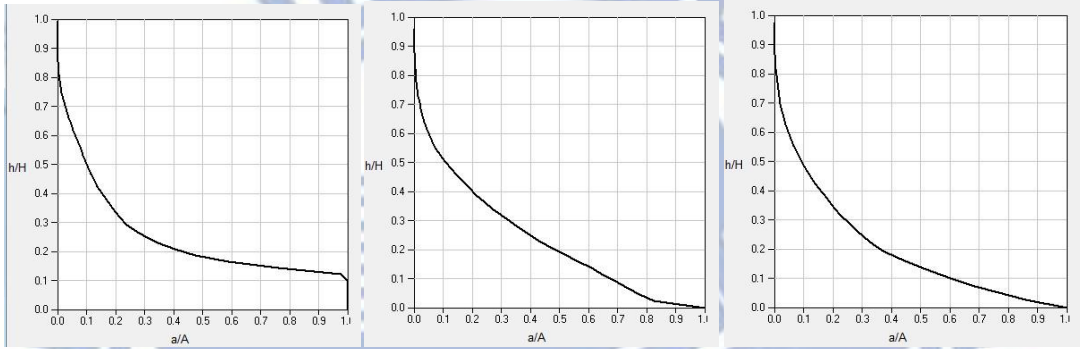
圖 4.2、26 個集水區測高曲線-1



(j)頭前溪

(k)朴子溪

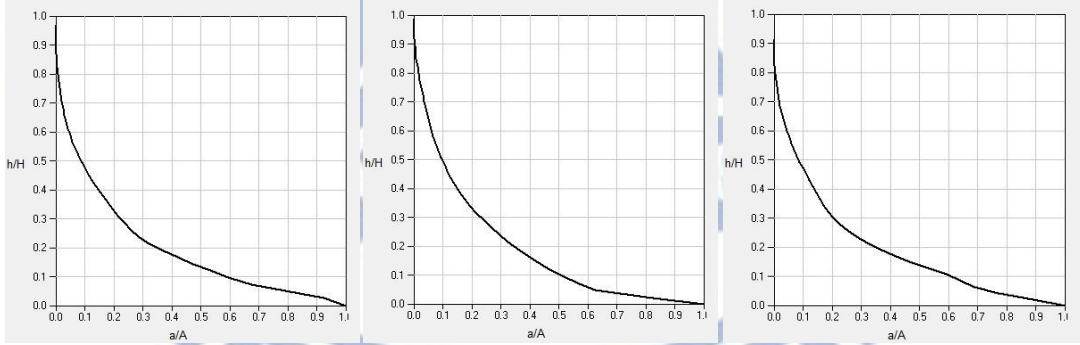
(l)高屏溪



(m)鹽水溪

(n)蘭陽溪

(o)淡水河

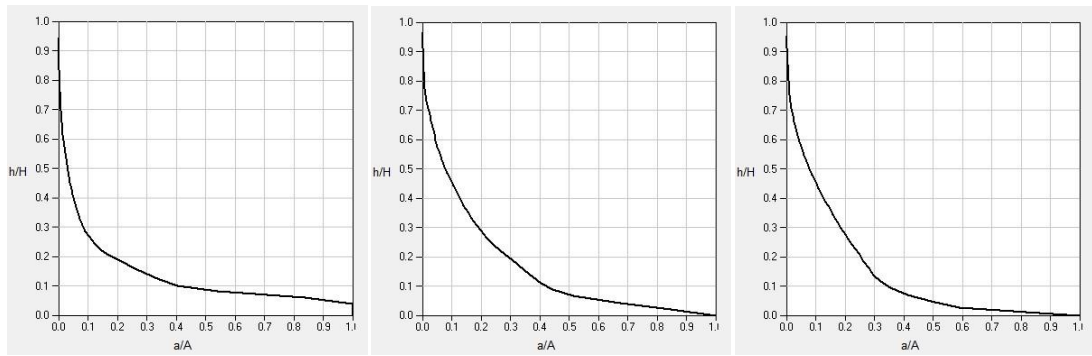


(p)烏溪

(q)曾文溪

(r)後龍溪

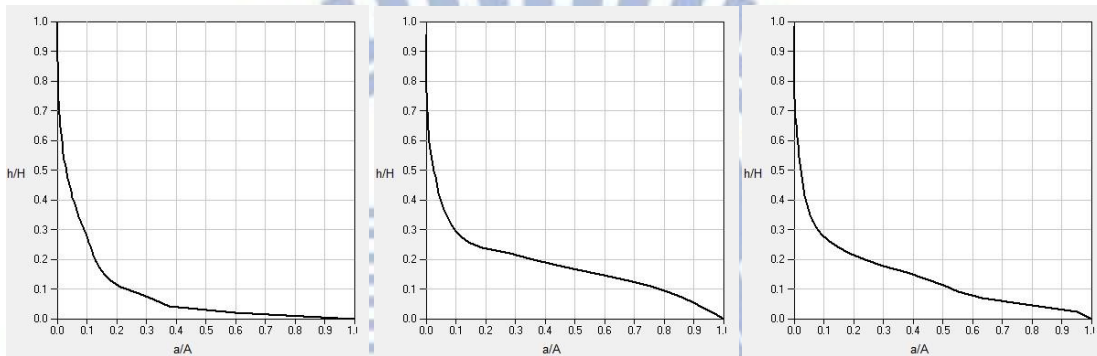
圖 4.2、26 個集水區測高曲線-2



(s)阿公店溪

(t)中港溪

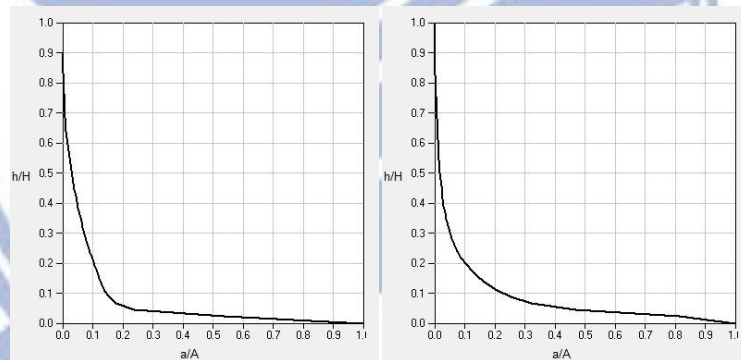
(u)八掌溪



(v)急水溪

(w)鳳山溪

(x)二仁溪



(y)東港溪

(z)北港溪

圖 4.2、26 個集水區測高曲線-3

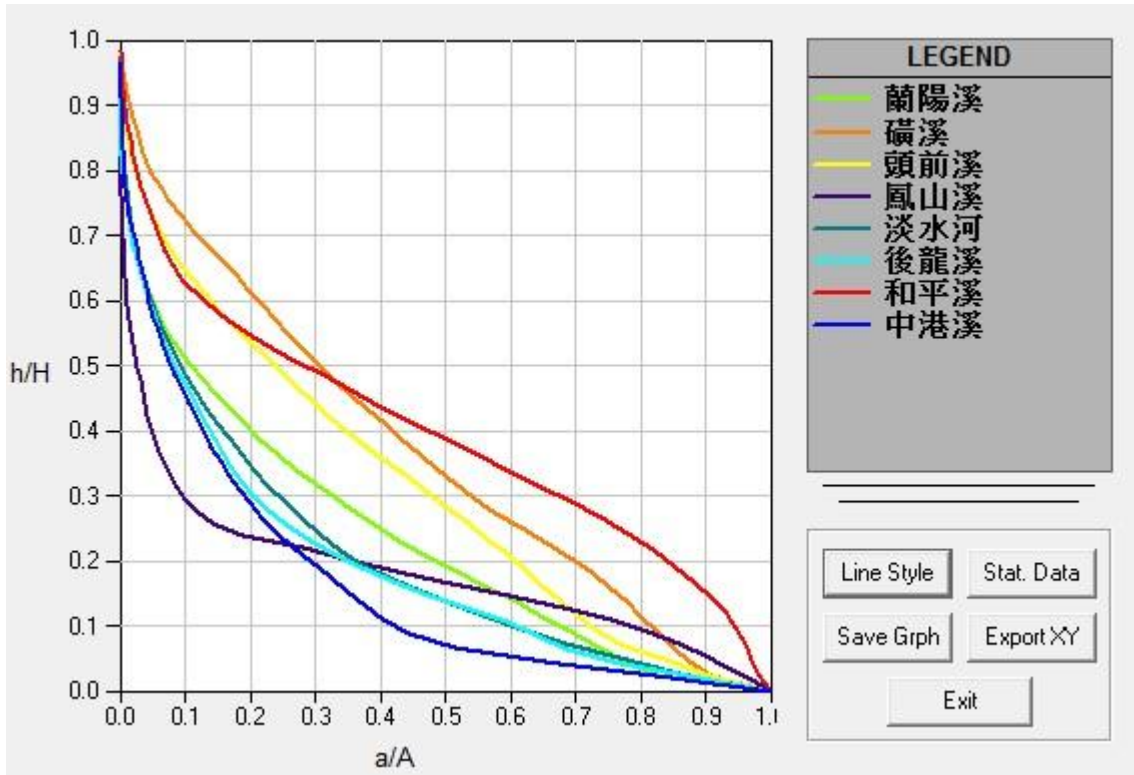


圖 4.3、北部河川集水區之測高曲線

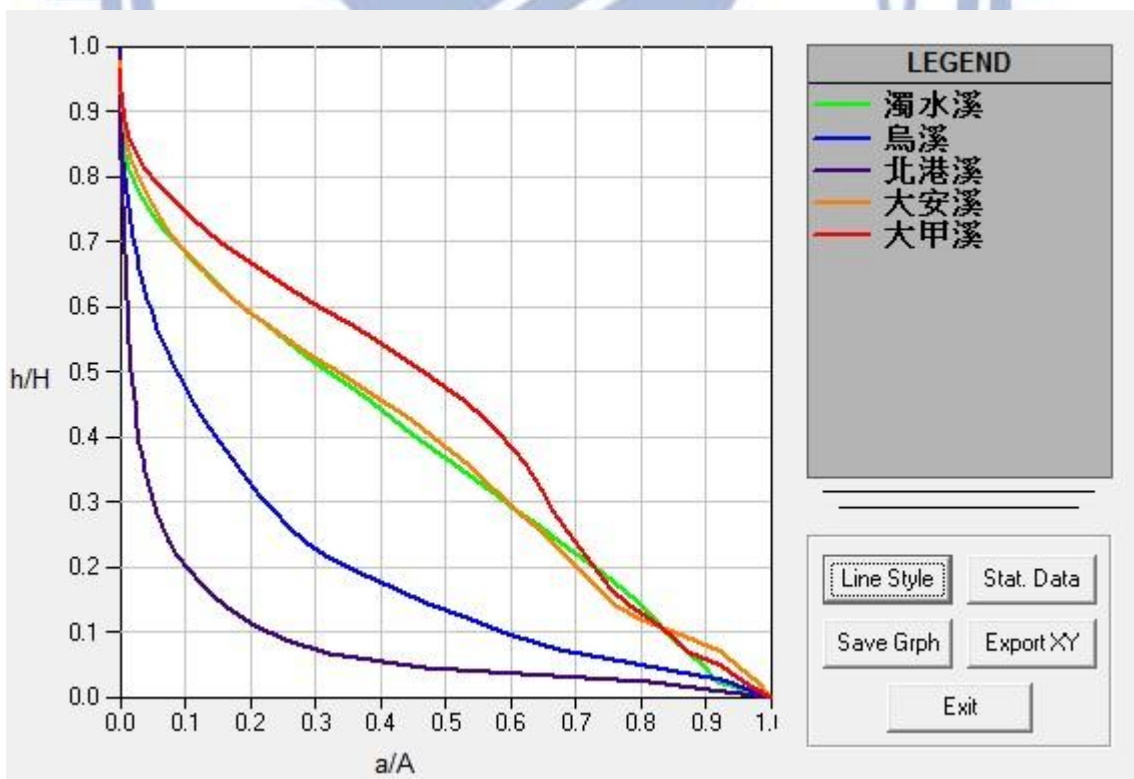


圖 4.4、中部河川集水區之測高曲線

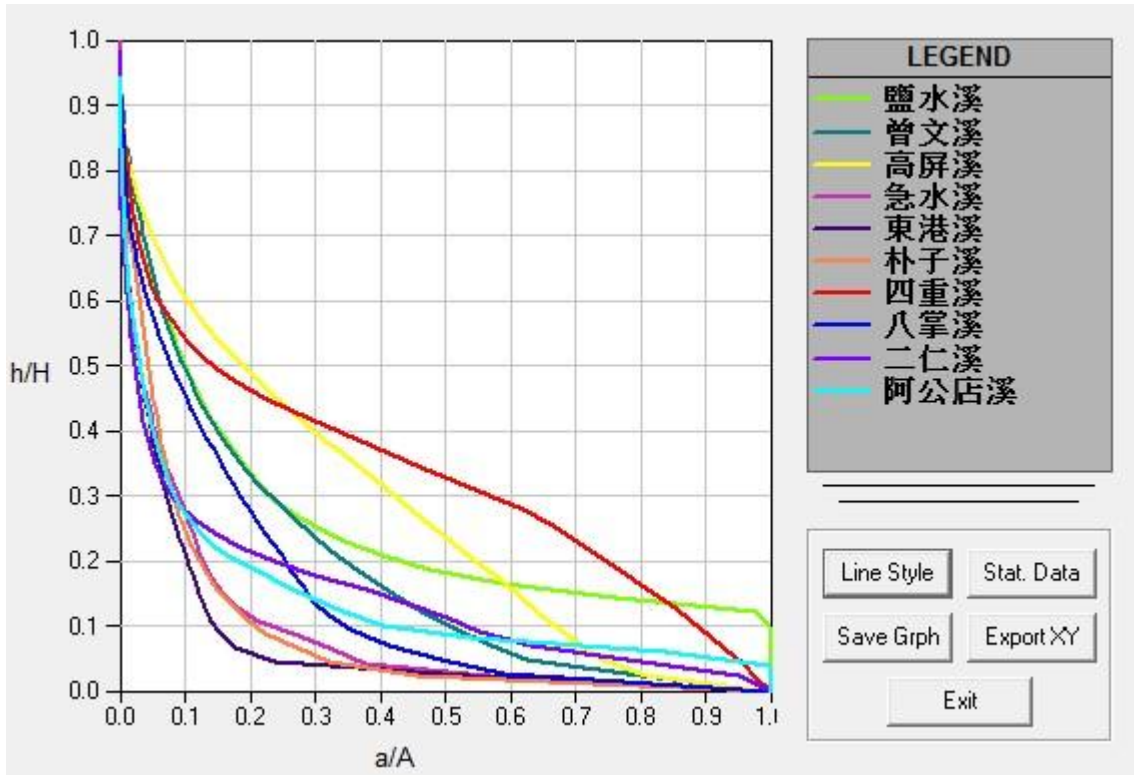


圖 4.5、南部河川集水區之測高曲線

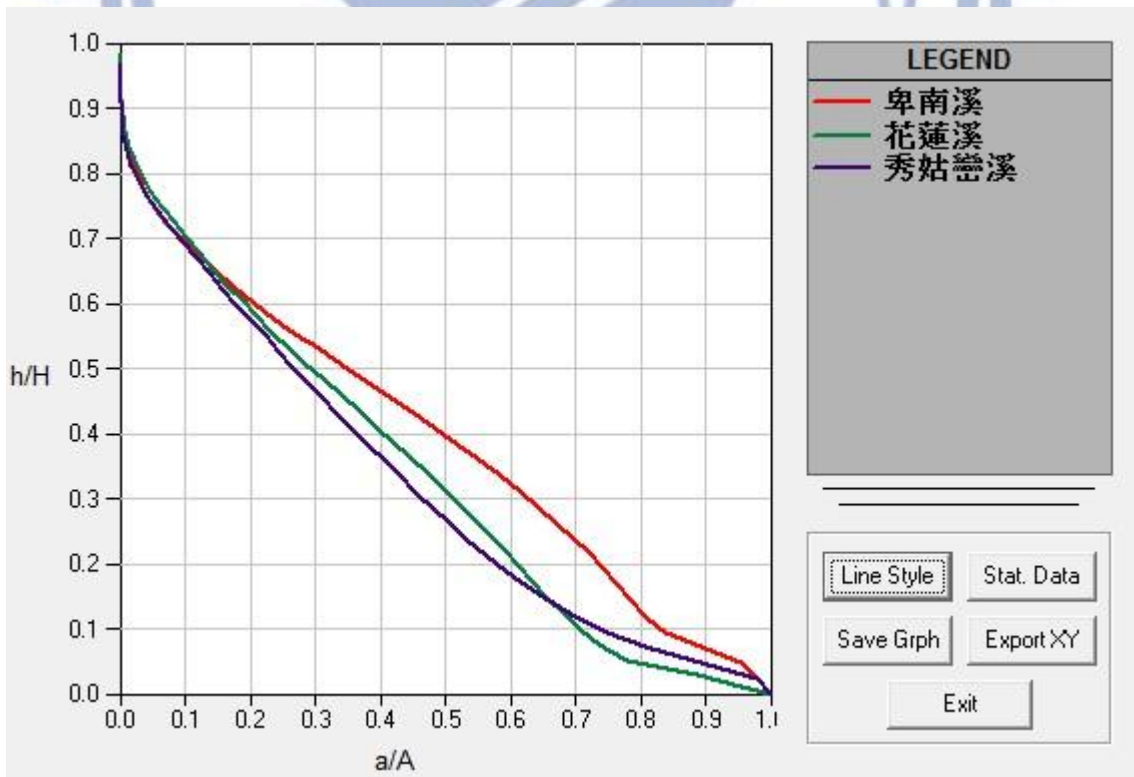


圖 4.6、東部河川集水區之測高曲線

將集水區分成北部、中部、南部及東部四區，分區探討測高曲線之形狀，比較各區曲線、積分值、偏度與峰度之差異。圖 4.3、4.4、4.5、4.6 為四個區域流域之測高曲線，表 4.2 為四個區域流域之測高曲線參數之平均值。

集水區之測高曲線積分值分成四個區域進行統計，各區之測高曲線積分平均值顯示，東部地區最高，南部地區最低。在地表抬升程度大之區域，測高曲線積分的大小與構造抬升和侵蝕有關。有較高測高曲線積分值之區域可能為構造抬升較活躍之區域，構造活動大於侵蝕情況，演育屬於發展期。

以整個流域集水區進行測高曲線積分計算，測高曲線積分值偏低，Hurtrez et al. (1999)指出面積較小之集水區以山坡塊體作用為主，測高曲線積分值較大；面積較大之集水區以河流作用為主，測高曲線為凹形，曲線積分值較小。計算大面積集水區之測高曲線獲得的積分值偏低是正常的結果，但仍可就各集水區之間測高曲線的形狀與參數的差異探討演育差異。

表 4.2、台灣各區域測高曲線參數的平均值

集水區	測高曲線積分	偏度	峰度	密度偏度	密度峰度
北部	0.2559	0.7330	2.4101	0.8719	2.4428
中部	0.3010	0.4667	2.1108	0.5922	2.1069
南部	0.2181	0.1881	2.0175	1.2557	2.8688
東部	0.3502	0.6892	2.5522	0.3927	1.9930

峰度較大之集水區，中游部分所佔比例大，代表上下游受到侵蝕的比例較大，東部地區為 2.55，北部為 2.41，中部為 2.11，南部為 2.02，東部與北部為上下游受到較大侵蝕之區域。偏度較大之集水區，代表向源侵蝕之程度大，代表上下游受到侵蝕的比例較大，東部地區為 0.69，北部為 0.73，中部為 0.47，南部為 0.19，東部與北部為向源侵蝕大之區域。

4.1.2 集水區地形參數計算

集水區地形參數包括坡度、高差、平均高度和河流坡度，利用相關性分析探討集水區形狀因子和測高曲線積分之關係。各集水區之地形參數為表 4.3，計算集水區地形參

數與測高曲線積分之相關性，發現測高曲線積分與坡度、平均高度及河流坡度具有正相關，如圖 4.7，去掉礮溪、朴子溪、四重溪及鹽水溪這四個相關性不高的資料，測高曲線積分與坡度、平均高度及河流坡度決定係數大於 0.8 如圖 4.8。成果與 Hurtrez 提出集水區之高程落差具有相依性相符 (Hurtrez *et al.*, 1999; Chen *et. al.*, 2003; 陳彥傑等, 2005)，而坡度、平均高度和河流坡度這些參數也是由高度推演而得，可以想像這三個參數也會與測高曲線具有相依性。

將流域內之河流分成一級河至五級河，計算河流坡度與測高曲線積分進行相關性分析，圖 4.9 成果顯示除了五級河外，其他各級河均與測高曲線積分呈正相關，去掉礮溪、朴子溪、四重溪及鹽水溪這四個相關性不高的資料，相關度均達更高，如圖 4.10。且上游之河流坡度會比下游之河流坡度與測高曲線積分有更高的相關性，上游較陡之集水區會有較大的測高曲線積分值，Merritts and Vincent (1989) 提出在岩性差異不明顯時，一級河之河道坡度與地表抬升速率之趨勢最為相近。由於低級河之坡度顯示上游之坡度大小，且又與地表抬升速率有關，測高曲線積分之大小也與局部構造抬升之差異有關，因此低級序之河流坡度與測高曲線積分值會具有相關性，與實驗之成果相符。

表 4.3、集水區地形測計參數

集水區	測高曲線 積分	坡度(度)	高差(公尺)	平均高度(公尺)	河流坡度(度)
大甲溪	0.4315	22.03	3849	1644	6.22
卑南溪	0.3914	22.86	3608	1399	7.74
和平溪	0.3908	26.22	3599	1414	10.37
大安溪	0.3795	22.63	3844	1447	6.74
濁水溪	0.3727	22.73	3890	1436	7.36
磺溪	0.3648	14.47	1101	399	3.46
花蓮溪	0.3351	21.87	3589	1168	9.31
四重溪	0.3248	13.73	1023	330	2.37
秀姑巒溪	0.3241	22.05	3805	1221	7.35
頭前溪	0.3123	18.01	2606	798	4.78
朴子溪	0.2907	3.94	1425	114	1.03
高屏溪	0.2774	19.46	3920	1049	5.60
鹽水溪	0.2663	1.49	186	24	0.71
蘭陽溪	0.235	18.61	3510	803	4.63
曾文溪	0.2018	12.87	2602	477	3.08
淡水河	0.207	16.94	3500	663	4.27
烏溪	0.2047	14.10	3422	637	3.05
後龍溪	0.1933	14.03	2568	478	2.76
阿公店溪	0.1799	2.27	341	32	0.69
中港溪	0.1774	12.52	2624	412	2.93
八掌溪	0.1749	7.44	1854	253	1.95
急水溪	0.1667	4.21	1214	101	1.09
鳳山溪	0.1665	8.52	1302	231	1.61
二仁溪	0.1558	3.42	462	59	0.94
東港溪	0.1431	4.42	1706	104	0.85
北港溪	0.1168	2.87	1296	96	0.84

表 4.4、集水區各級序河流坡度

集水區	測高曲線積分	一級河坡度(度)	二級河坡度(度)	三級河坡度(度)	四級河坡度(度)	五級河坡度(度)
大甲溪	0.4315	7.99	5.30	4.03	2.88	無
卑南溪	0.3914	9.30	7.05	7.64	3.54	0.49
和平溪	0.3908	12.35	7.86	10.51	9.55	0.97
大安溪	0.3795	9.12	6.16	6.13	1.69	無
濁水溪	0.3727	9.98	5.97	4.76	3.88	0.86
磺溪	0.3648	5.44	2.02	0.26	無	無
花蓮溪	0.3351	11.29	8.61	6.94	6.32	1.52
四重溪	0.3248	3.21	2.26	0.86	無	無
秀姑巒溪	0.3241	9.28	6.96	5.64	3.90	1.10
頭前溪	0.3123	6.23	4.93	2.80	1.64	無
朴子溪	0.2907	1.28	0.82	0.63	無	無
高屏溪	0.2774	7.63	4.57	3.77	2.08	0.70
鹽水溪	0.2663	0.76	0.67	0.61	0.53	無
蘭陽溪	0.235	6.22	3.83	1.46	0.72	無
曾文溪	0.2018	4.15	2.72	1.66	0.56	無
淡水河	0.207	5.45	3.63	2.49	3.38	1.26
烏溪	0.2047	3.99	2.84	1.79	1.02	0.71
後龍溪	0.1933	3.81	2.11	1.61	0.69	無
阿公店溪	0.1799	0.58	0.87	0.72	0.85	無
中港溪	0.1774	4.09	2.08	1.54	0.77	無
八掌溪	0.1749	2.52	1.95	1.30	0.35	無
急水溪	0.1667	1.34	0.90	0.42	0.50	無
鳳山溪	0.1665	2.12	1.44	0.66	無	無
二仁溪	0.1558	1.03	1.04	0.57	無	無
東港溪	0.1431	1.12	0.66	0.43	0.55	無
北港溪	0.1168	1.14	0.69	0.48	0.22	無

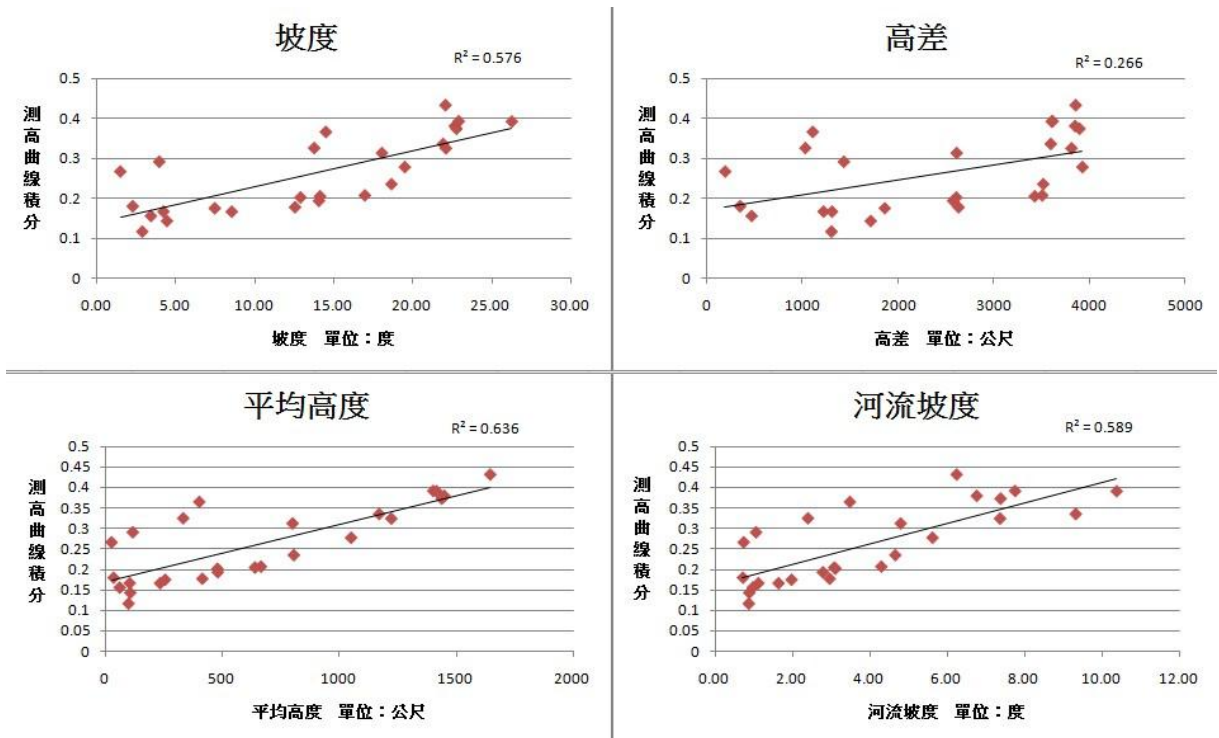


圖 4.7、地形參數與測高曲線積分之相關性分析

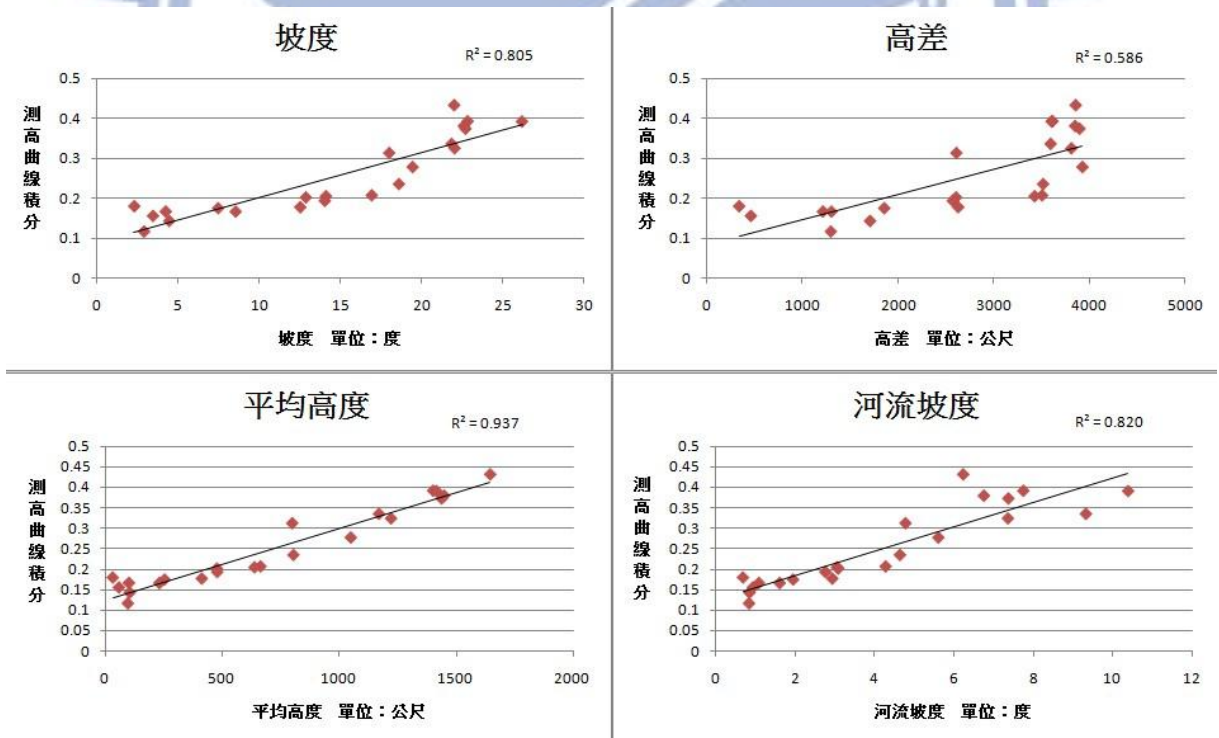


圖 4.8、地形參數與測高曲線積分之相關性分析(去掉磺溪、朴子溪、四重溪及鹽水溪)

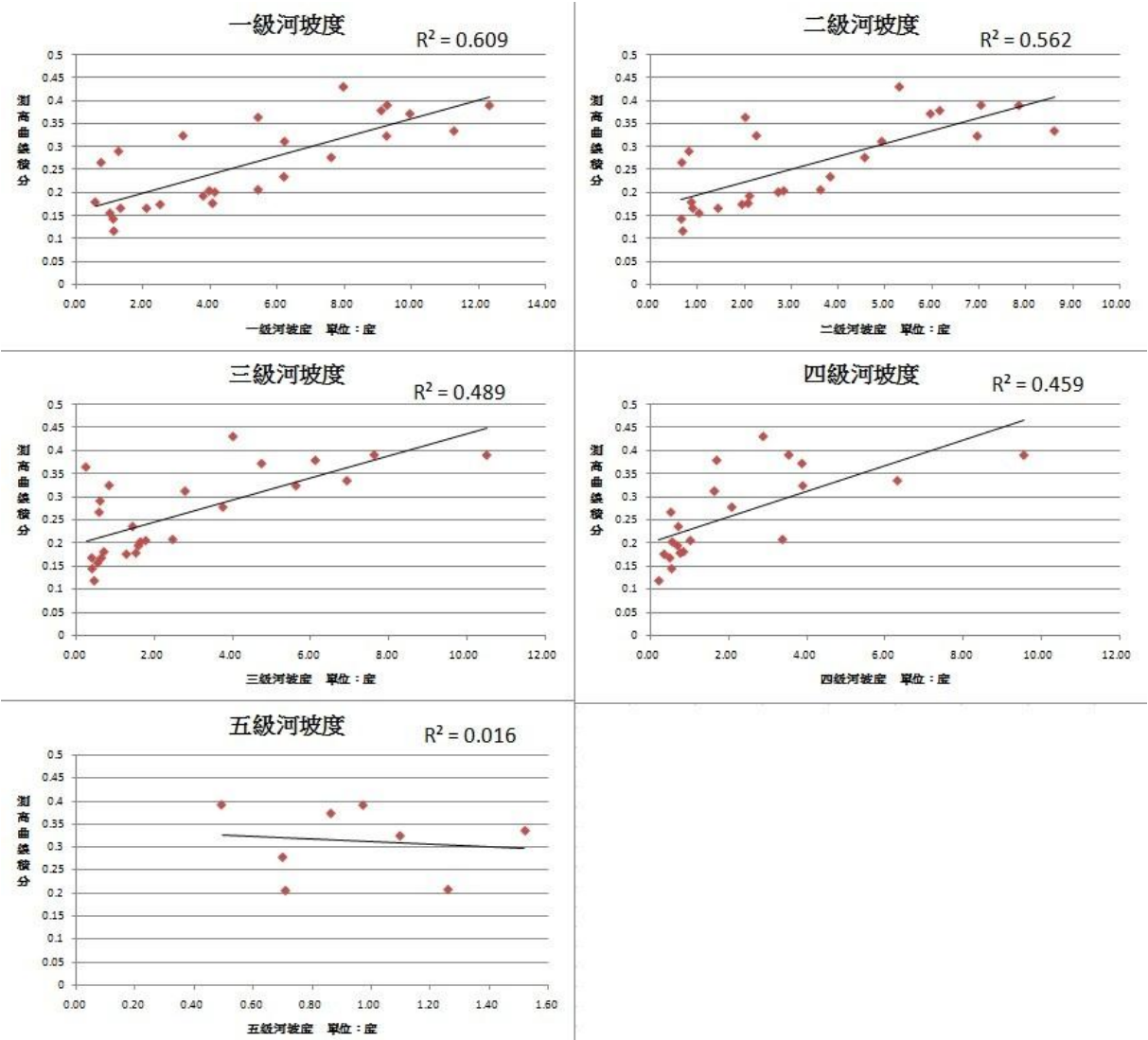


圖 4.9、流域中各級序河流坡度與測高曲線積分之相關性分析

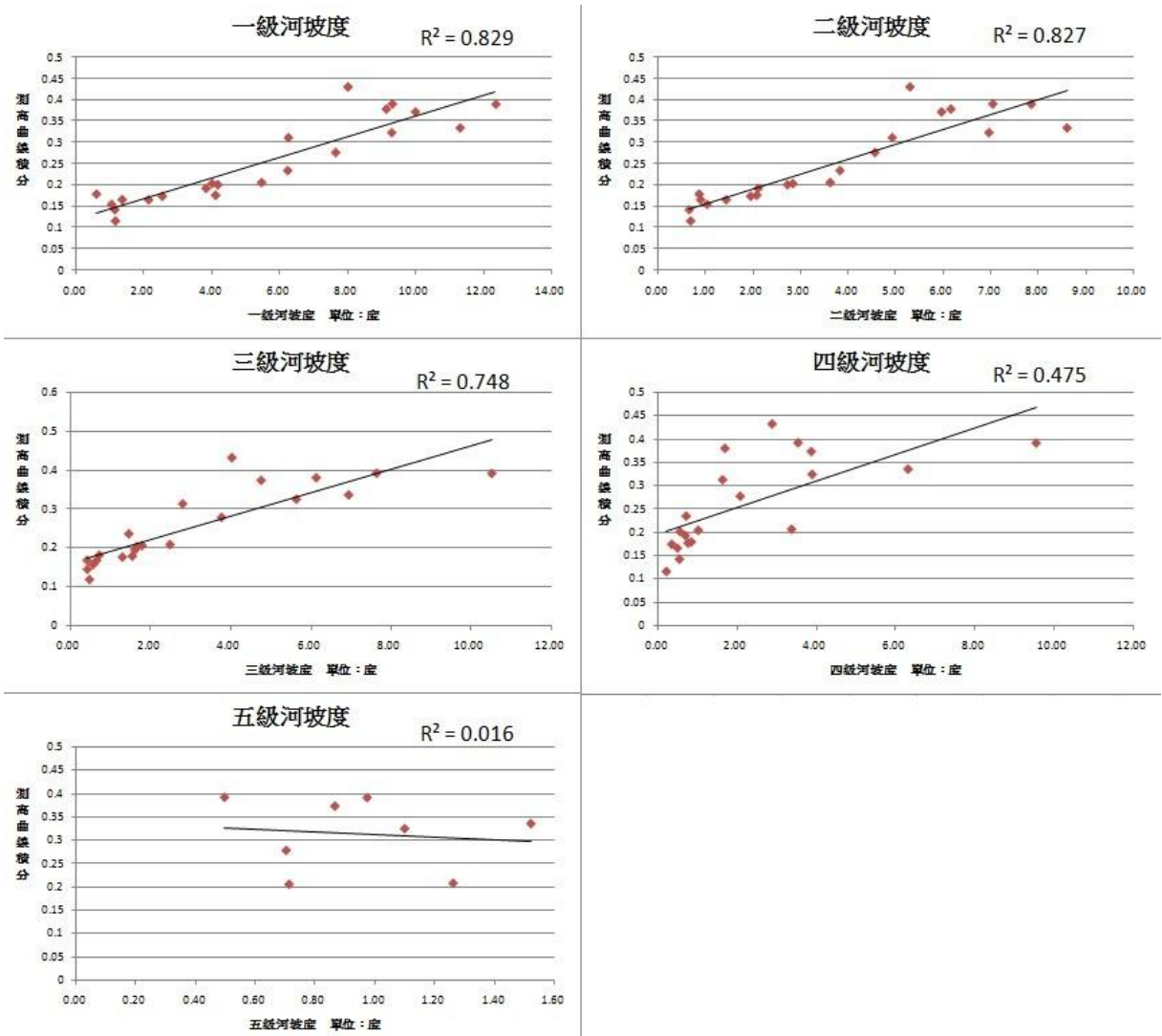


圖 4.10、流域中各級序河流坡度與測高曲線積分之相關性分析(去掉磺溪、朴子溪、四重溪及鹽水溪)

4.1.4 成果分析

台灣位於板塊運動帶上構造運動旺甚，依照 Ohmori (1993)模型，於造山運動上之地區，地表會同時受到抬升與侵蝕，而呈現不同演育情形，分為發展時期、顛峰時期和衰減時期，測高曲線形狀則是在凹形與 S 形間循環，卻未出現過凸形。本研究所獲得的測高曲線形狀也均介於 S 至凹形間符合 Ohmori (1993)模型，然而使用面積大之集水區計算測高曲線時，測高曲線積分值會偏低，由於台灣地區山高陡急，雖然集水區內高差大，但高程大之區域在整個集水區中所佔比例不高，因此影響到大面積集水區測高曲線形狀與曲線積分值，但仍可比較各集水區之間測高曲線的形狀與參數的差異探討演育差異。

北部地區測高曲線形狀除了和平溪、磺溪與頭前溪呈現 S 形外其餘為凹形；中部地區大甲溪、大安溪與濁水溪為 S 形，烏溪與北港溪為凹形；南部地區除了四重溪與高屏溪是 S 形，其餘皆為凹形；東部地區均為 S 形。南部地區測高曲線為凹形的集水盆地最多，北部地區次之，接著是中部與東部，配合圖 4.1 可以發現，南部地區測高曲線呈現凹形之集水區，幾乎位於較接近西部平原的低緩地區，與中央山脈幾乎沒有交集，顯示集水區之位置對測高曲線與測高曲線參數有影響，在集水區中與山脈有交集的地區所佔面積比例越大，測高曲線越接近 S 形，測高曲線積分值越大。

坡度、高差、平均高度和河流坡度均與測高曲線積分值有正相關性，其中坡度、平均高度和河流坡度與測高曲線積分有高相關。平均高度會顯示集水區的位置，平均高度大之集水區表示其位置越接近山區，使得高程大的區域在整個集水區中所佔比例較大，所以曲線積分值大。而坡度與河流坡度也顯示集水區內高度落差的變化情形，坡度表示集水區整體高度變化，河流坡度代表集水區內所有河流所流經區域的坡度，所以與測高曲線積分有關連。河流可劃分為不同級序，分別計算不同級序之河流坡度與測高曲線進行相關性分析，成果顯示低級序河流之坡度會比高級序河流之坡度與曲線積分值具有相關性，而低級序河位於集水區上游位置，高級序河位於集水區下游位置，越高級序之河流坡度會越來愈緩，而個集水區高級序河流(4 或 5 級)坡度均在 3 度左右(除了和平溪例外)，因此會對於測高曲線積分相關性小，所以上游河流坡度會影響測高曲線積分。

4.2 集水區幾何型態

集水區幾何型態是集水區整體外觀之描述，幾何型態因子包括流域面積、長度、寬度、周長、圓度、狹長度、密度與型態要素。前四項可以由集水區流域的多邊形直接獲取，後四項則由 2.3 所列式子以前四項因子代入獲得。

4.2.1 幾何型態因子計算

在 ESRI ArcGIS 9.3 中使用集水區流域的多邊形獲取前四個因子，以多邊形的節點座標計算面積與周長，以多邊形之邊界座標獲得長度與寬度，最後計算後四項因子，下表 8 是集水區之幾何型態因子。

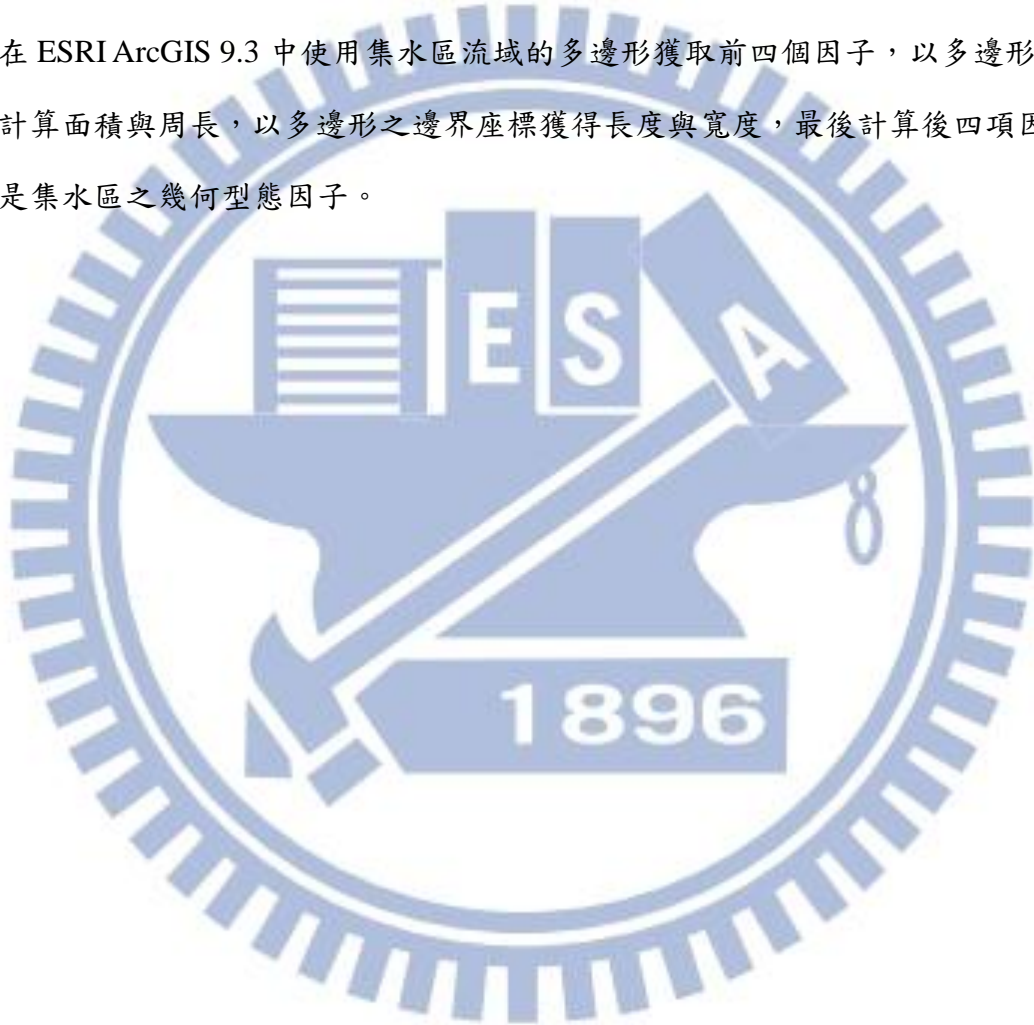


表 4.5、幾何型態因子計算

集水區	面積(平方公尺)	周長(公尺)	長度(公尺)	寬度(公尺)	流域圓度	流域狹長度	型態要素	流域密度
大甲溪	1309275416	304642	91772	36207	0.18	0.22	0.16	0.42
卑南溪	1605212891	222969	61766	44605	0.41	0.37	0.42	0.64
和平溪	571485256	120432	34157	29673	0.50	0.39	0.49	0.70
大安溪	769205880	197600	67939	30688	0.25	0.23	0.17	0.50
濁水溪	3167621804	414488	112274	74446	0.23	0.28	0.25	0.48
磺溪	49489217	36725	11016	10129	0.46	0.36	0.41	0.68
花蓮溪	1643343578	219413	59671	45131	0.43	0.38	0.46	0.65
四重溪	125607882	61351	16734	16054	0.42	0.38	0.45	0.65
秀姑巒溪	1795959014	227106	61163	53411	0.44	0.39	0.48	0.66
頭前溪	567472181	166719	39954	39581	0.26	0.34	0.36	0.51
朴子溪	418973948	154986	52092	18015	0.22	0.22	0.15	0.47
高屏溪	3320523644	404172	113315	74239	0.26	0.29	0.26	0.51
鹽水溪	404459772	111825	32683	24317	0.41	0.35	0.38	0.64
蘭陽溪	1015042680	199422	52564	51849	0.32	0.34	0.37	0.57
淡水河	2734040270	340868	84331	67478	0.30	0.35	0.38	0.54
烏溪	2052178146	301295	80383	50902	0.28	0.32	0.32	0.53
曾文溪	1253671978	280559	82452	61029	0.20	0.24	0.18	0.45
後龍溪	558154482	133599	34854	32289	0.39	0.38	0.46	0.63
阿公店溪	155411321	67889	21779	14857	0.42	0.32	0.33	0.65
中港溪	450295144	120864	29080	27474	0.39	0.41	0.53	0.62
八掌溪	463425428	180306	61563	25429	0.18	0.20	0.12	0.42
急水溪	410711233	127293	45096	17407	0.32	0.25	0.20	0.56
鳳山溪	251205240	100794	35673	18497	0.31	0.25	0.20	0.56
二仁溪	337852197	113678	32190	22414	0.33	0.32	0.33	0.57
東港溪	478875398	96962	32043	27798	0.64	0.39	0.47	0.80
北港溪	610225043	160052	54139	26803	0.30	0.26	0.21	0.55

4.3.2 測高曲線與集水區幾何型態因子相關性探討

集水區是指對某一點而言，其鄰近區域所蒐集到之雨水，會因為流動和匯集而集中至該點，這個範圍就稱為是此點的集水區。而此範圍的大小和形狀則會根據集水區形成條件有所不同，但在相關性分析時，圖 4.11 這八個集水區幾何型態因子卻與測高曲線積分幾乎無相關性。

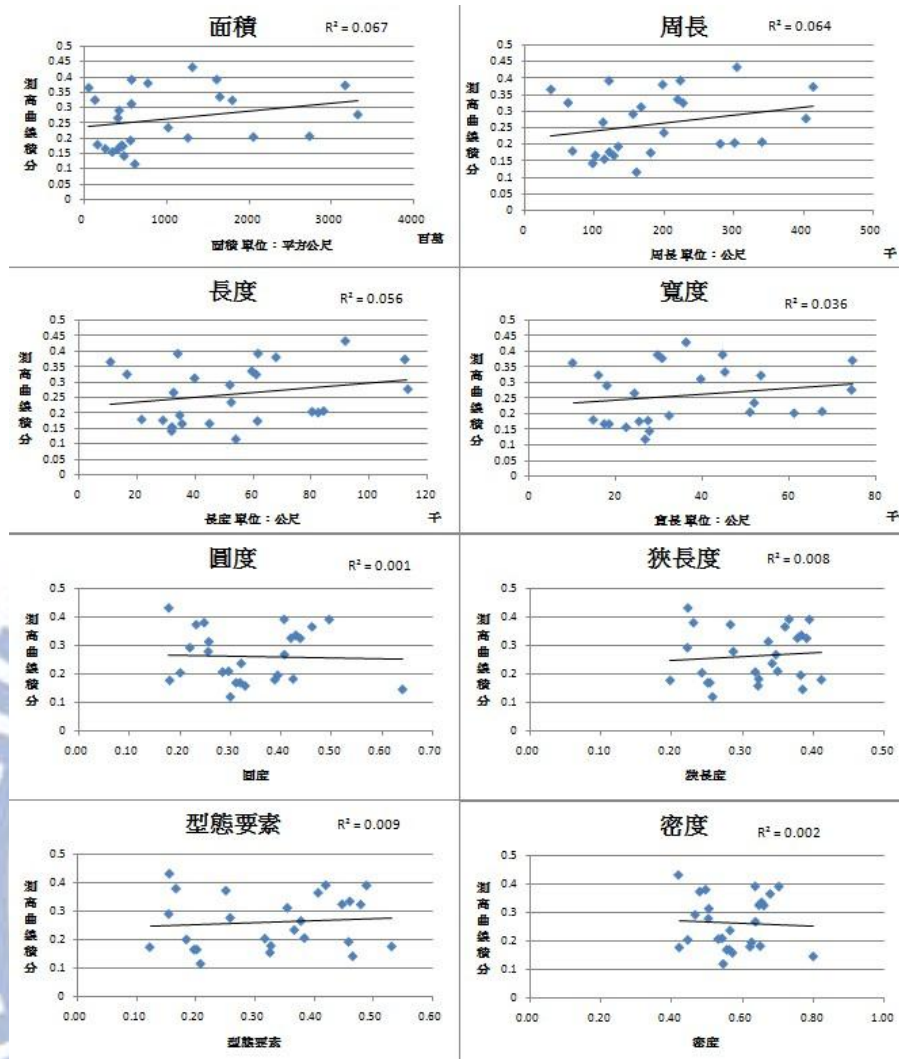


圖 4.11、集水區幾何型態因子之相關性分析

4.3 子集水區之測高曲線

Hurtrez et al. (1999)在尼泊爾 Siwalik 丘陵之研究顯示面積相似的集水區，其面積高度積分與面積大小無關，但是如果面積大於某一個範圍時，則面積愈大的集水區其面積高度積分愈小。在 4.1 節中各流域集水區測高曲線積分偏小可能為此項原因所造成。以流域子集水區為研究對象，除了解決整個流域測高曲線積分過小的問題，一方面也可獲得流域內局部區域抬升與侵蝕之資訊。

子集水區面積選擇時，為了能夠顯示局部區域抬升與侵蝕情形，考量鄭光佑(2002)提出子集水區面積門檻值為 1~5 平方公里，在這個範圍內對構造活動的觀察較佳，本

研究選擇5平方公里做為門檻值萃取出子集水區。由於SRTM地面網格大小為90公尺，在TauDEM中所設定面積門檻值為600個網格；80mDEM地面網格大小為80，在TauDEM中所設定面積門檻值為750個網格。

4.3.1 子集水區測高曲線成果

子集水區測高曲線計算會以SRTM和80mDEM兩組資料分別進行計算，以集水區流域界裁切出兩組資料各個集水區的DEM，使用TauDEM萃取出子集水區，SRTM之各子集水區為圖4.12(a)，80mDEM之子集水區為圖4.12(b)。80mDEM在八掌溪有一條縱貫整個流域的資料缺漏帶存在，萃取出子集水區時水系擷取會發生錯誤，導致子集水區成果有誤，因此80mDEM中不計算八掌溪子集水區之成果。

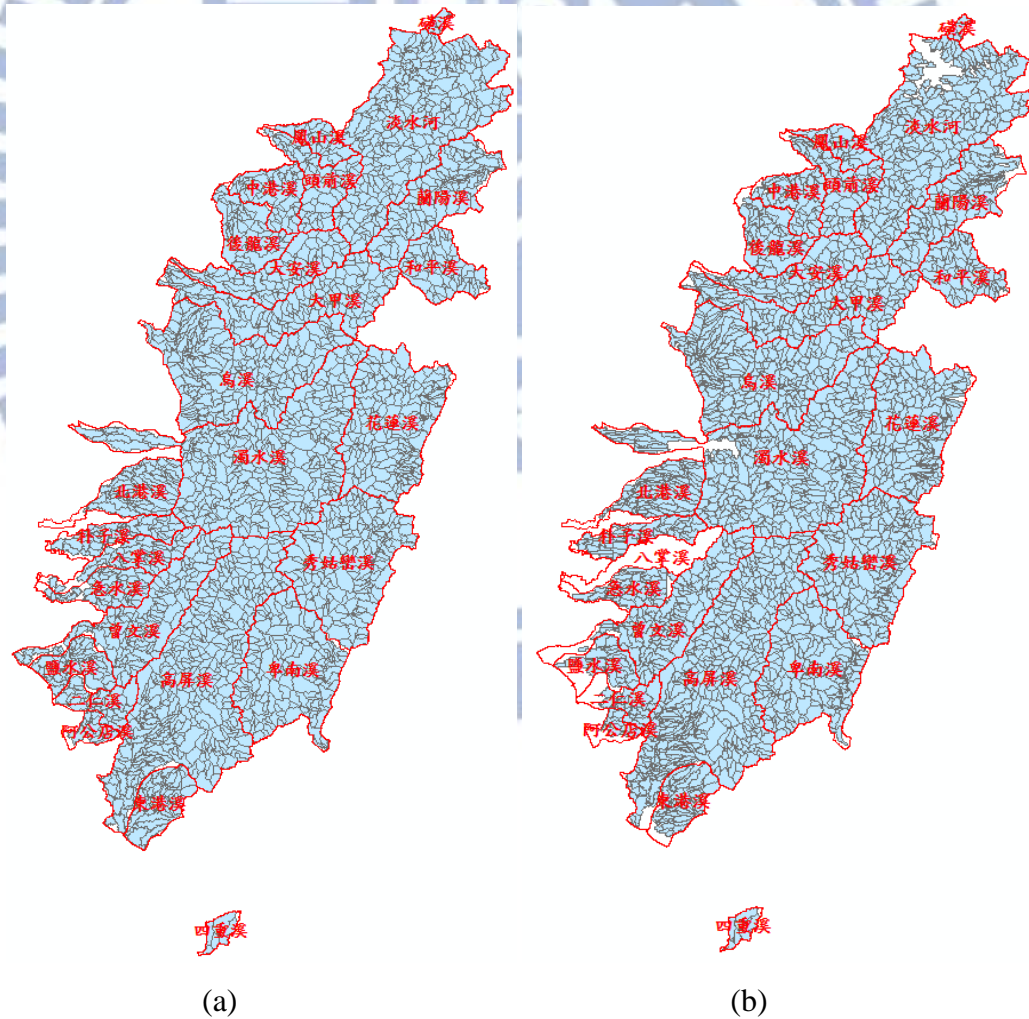


圖 4.12、(a)SRTM 萃取出之子集水區(b)80mDEM 萃取出之子集水區

使用子集水區以及對應範圍內之 DEM 計算測高曲線積分，將測高曲線積分以 0.1 為間距分類展示，圖 4.13 是 SRTM 之成果，圖 4.14 是 80mDEM 的成果。

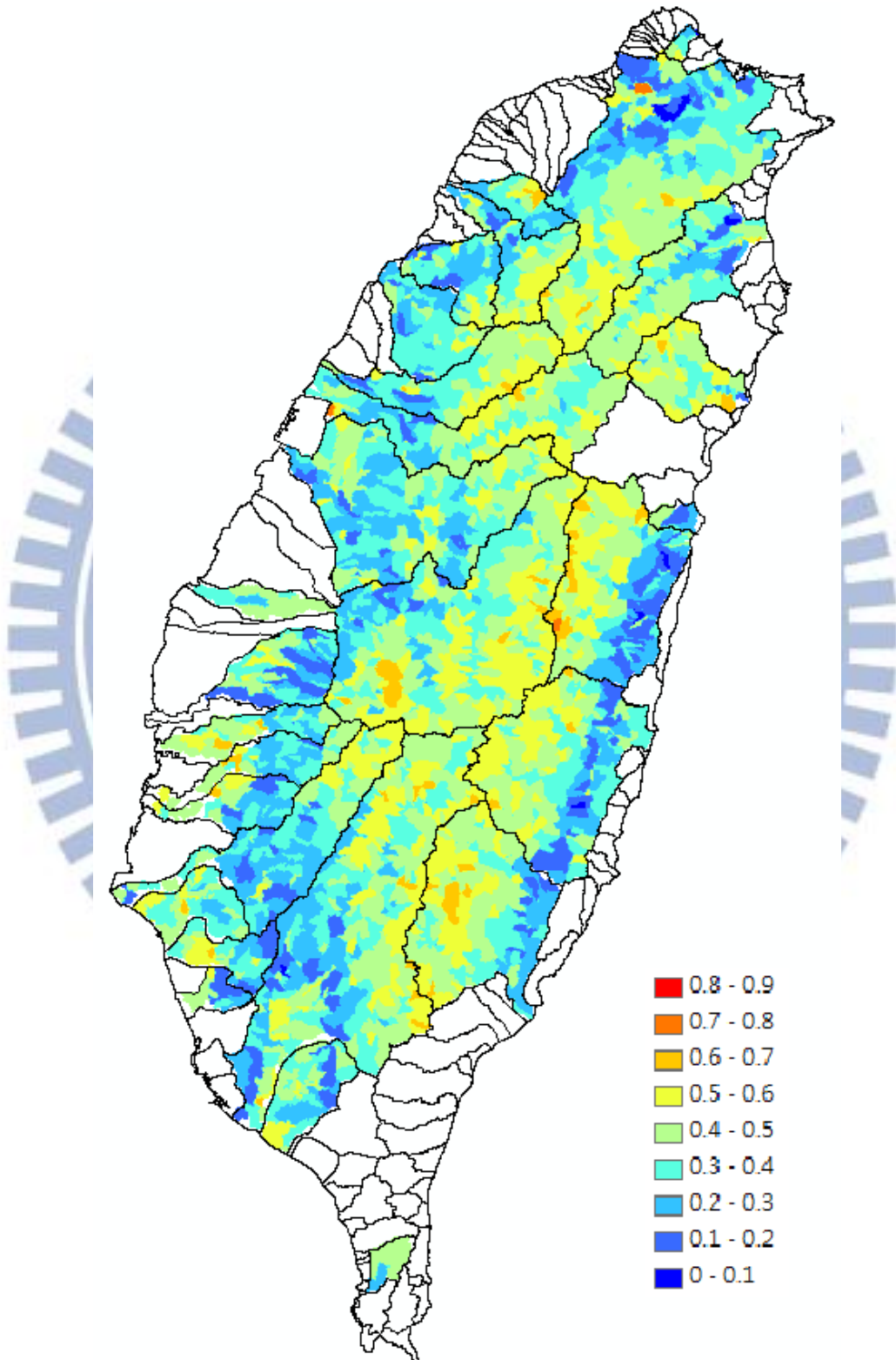


圖 4.13、SRTM 子集水區測高曲線積分

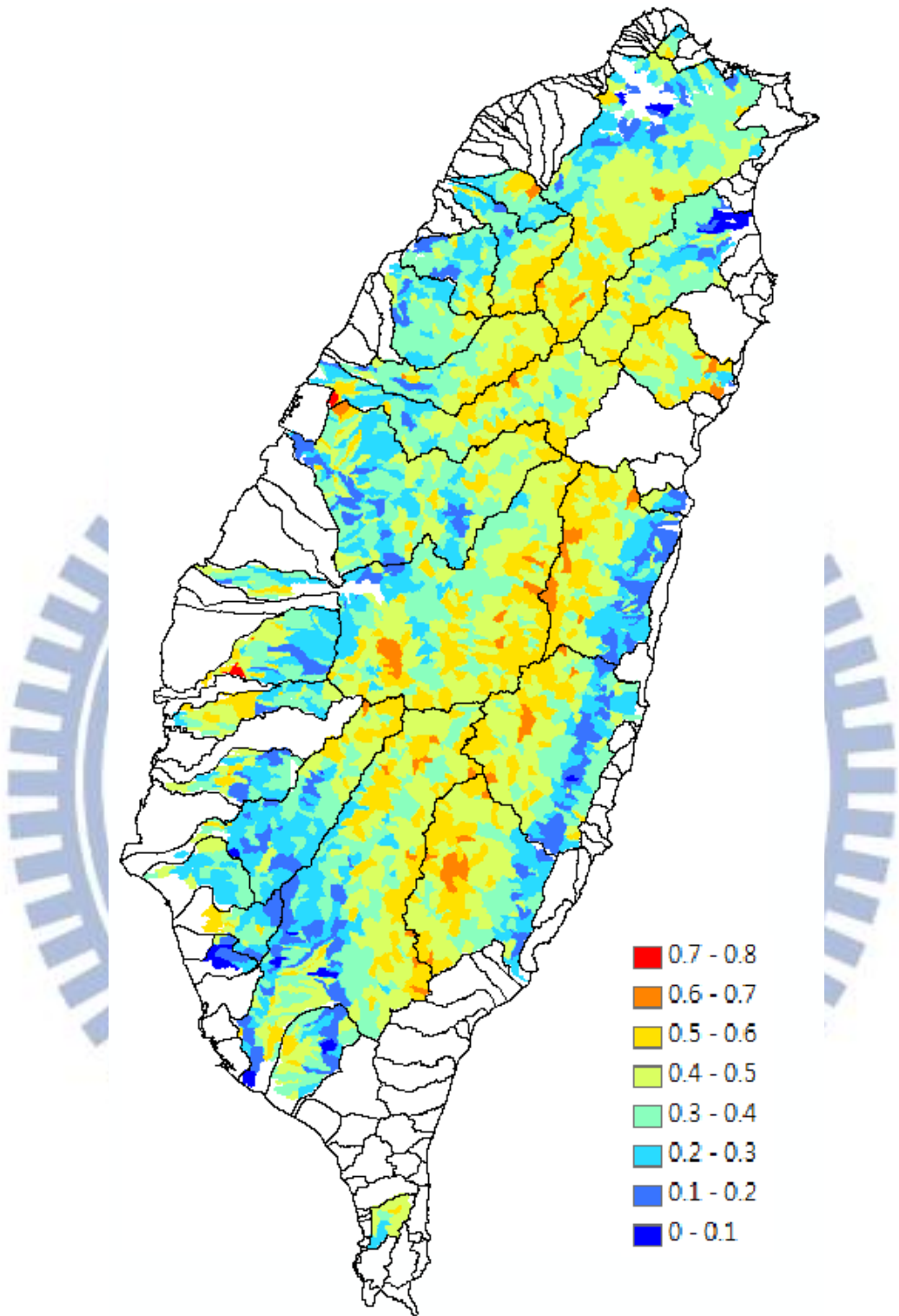


圖 4.14、80mDEM 子集水區測高曲線積分

Hurtrez et al. (1999) 指出面積較小之集水區以山坡塊體作用為主，測高曲線積分值較大，相對於二十六個河川流域集水區，子集水區測高曲線積分值範圍較大，SRTM 最大值為 0.81，80mDEM 最大值為 0.76，成果顯示局部地區之構造差異，研究區域以河流

流域範圍為集水區，雖可討論集水區整體演育情況，但是測高曲線積分值會被低估，集水區之高度與測高曲線積分值有相關性，萃取子集水區計算測高曲線可探討河流集水區內不同演育情況。

比較 SRTM 與 80mDEM 的成果，兩者測高曲線積分趨勢相符，中央山脈地區之子集水區測高曲線積分值均介於 0.4~0.7 之間，屬於壯年期之集水區；西部丘陵以及花東縱谷地區測高曲線積分值小於 0.3；海岸山脈介於 0.3~0.4；西部海岸平原地區測高曲線積分則是介於 0.3~0.5。

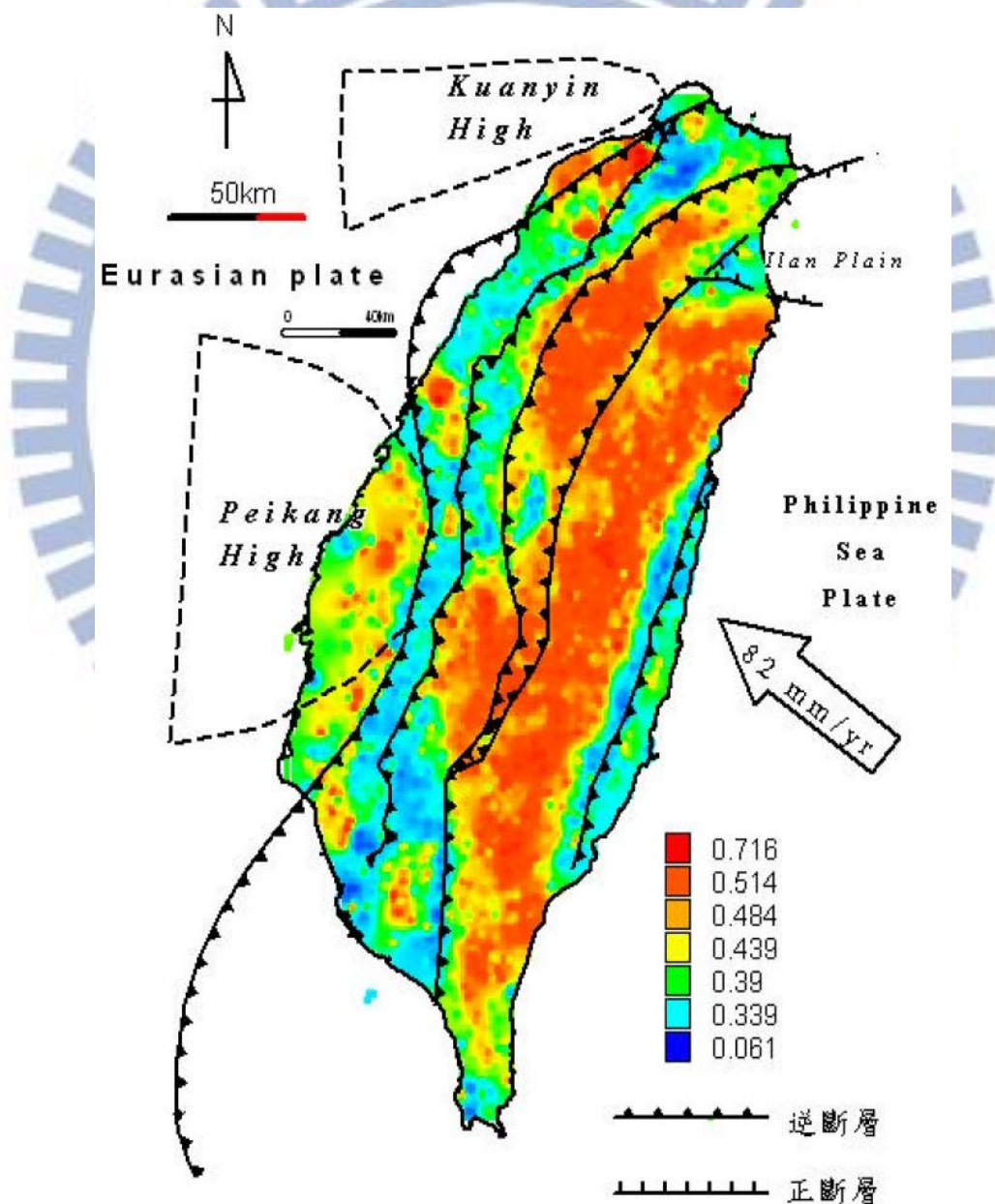


圖 4.15、子集水盆地地面測高曲線積分分佈與大地構造圖 (張韻嫻, 2003)

圖 4.15 是張韻嫻(2003)所計算之測高曲線積分分佈與大地構造圖之套疊圖，將 SRTM 以及 80mDEM 與其做比較，測高曲線積分計算成果相符，在中央山脈的部份有較大的測高曲線積分值，西部麓山帶與平原測高曲線積分值較低，在西部沿海平原有些則是因為本身為沖積扇或是海岸台地，所以測高曲線積分值比西部麓山帶大。

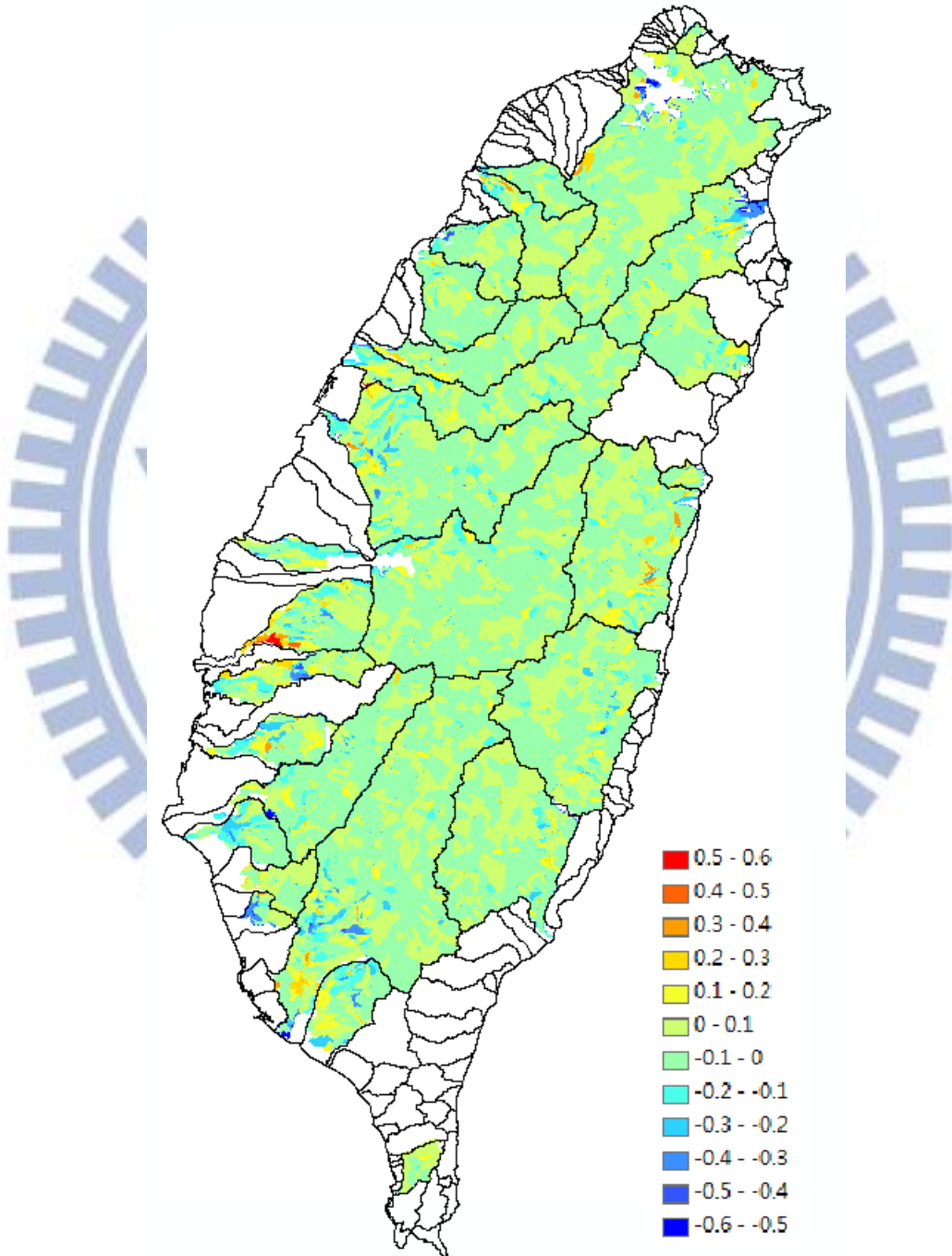
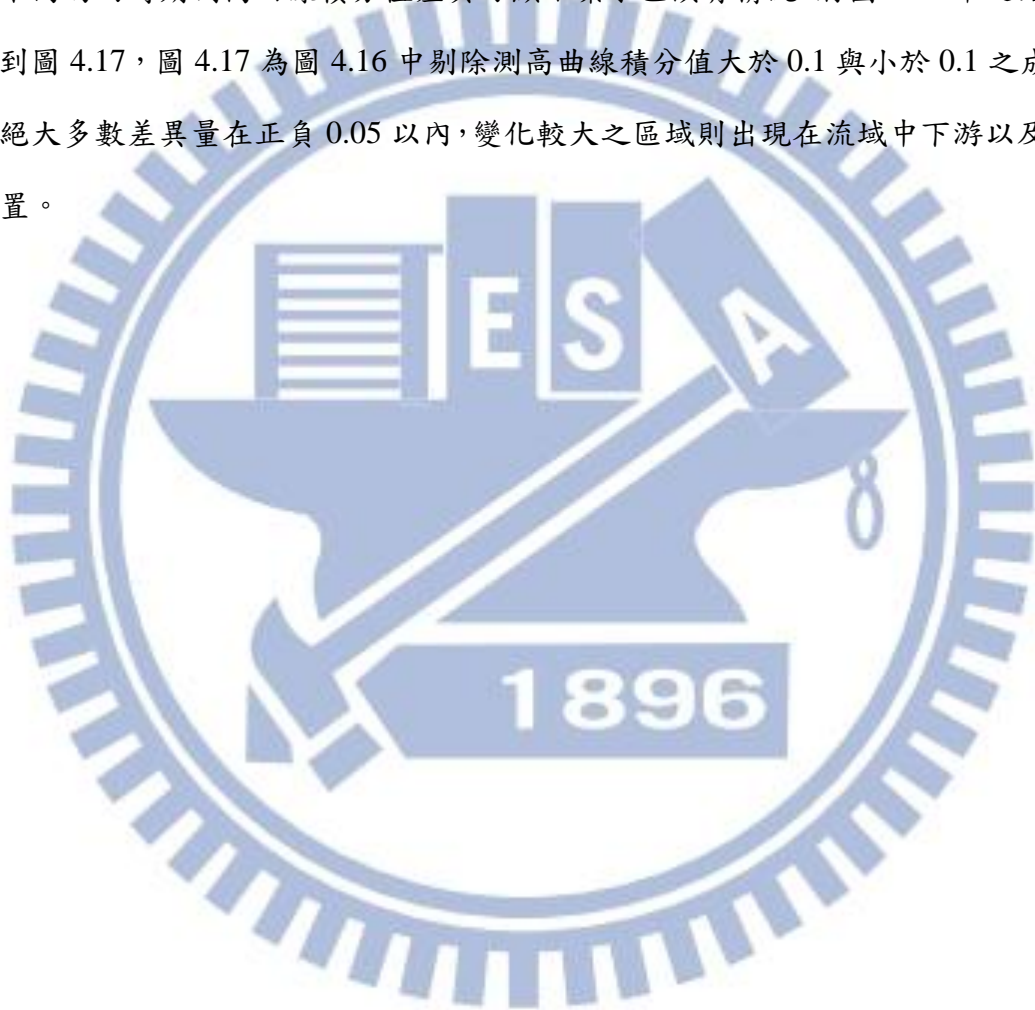


圖 4.16、測高曲線差異

圖 4.16 是將 SRTM 測高曲線積分值對 80mDEM 相減獲得，兩者相差大部份介於-0.1~0.1 之間，差異較大的地區主要是集水區下游平原地區，會造成大誤差的原因是因為子集水區萃取成果之差異，因下游地區具有跨河構造物存在，而兩組數據收集方式也不同，兩組資料所擷取之水系在下游地區略有不同，影響子集水區萃取成果，因此測高曲線積分計算時就有較大誤差出現。

不同的兩時期測高曲線積分值差異可顯示集水區演育情況，將圖 4.16 中之錯誤剔除後得到圖 4.17，圖 4.17 為圖 4.16 中剔除測高曲線積分值大於 0.1 與小於 0.1 之成果，在山區絕大多數差異量在正負 0.05 以內，變化較大之區域則出現在流域中下游以及西部麓山位置。



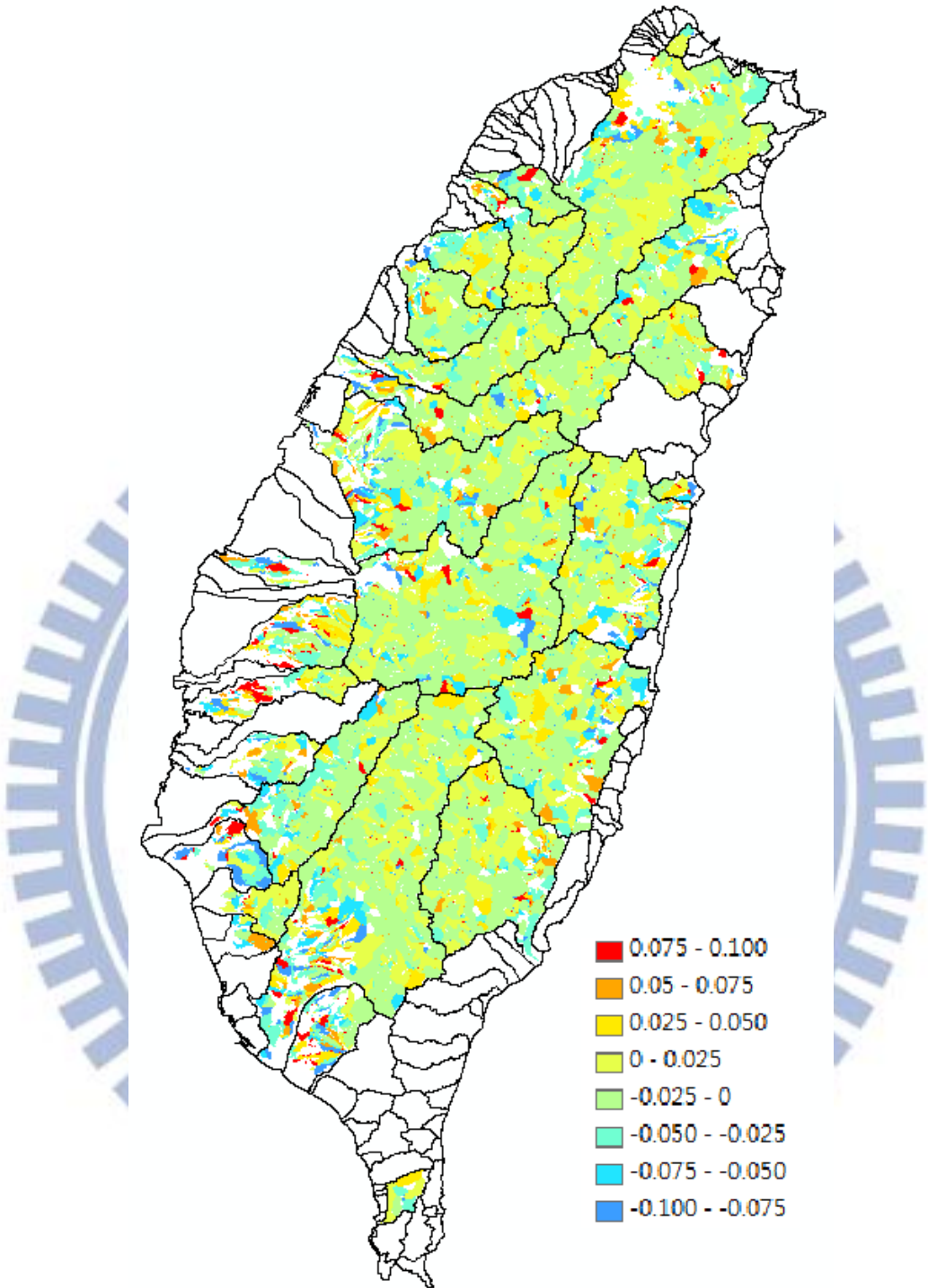
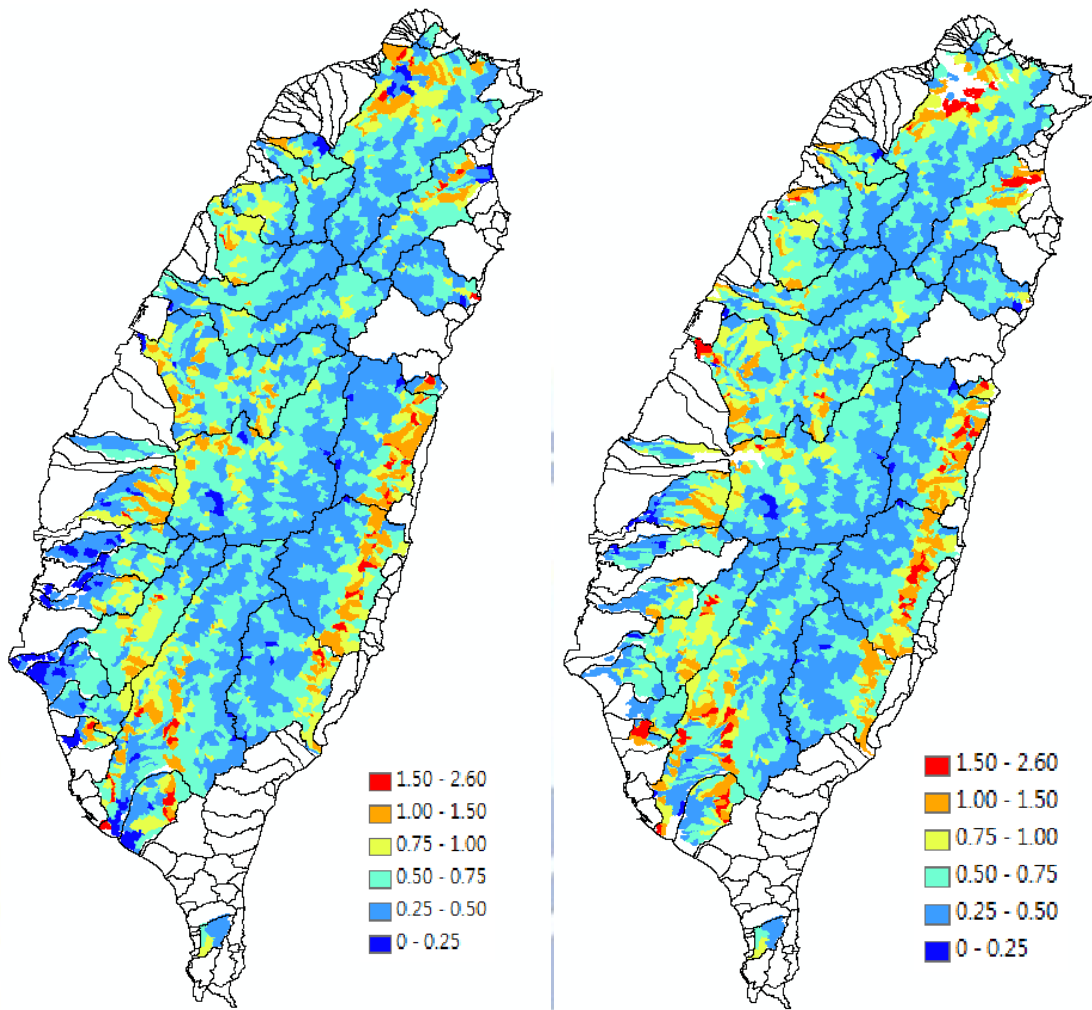


圖 4.17、測高曲線差異(-0.1~0.1)



(a) (b)

圖 4.18、(a)SRTM 偏度圖(b) 80mDEM 偏度圖

圖 4.18、圖 4.19 是 SRTM 和 80mDEM 子集水區之偏度與峰度分佈圖，偏度與峰度顯示子集水區之受侵蝕情形，偏度表示向源侵蝕的能力，峰度表示各集水區上下游地區受侵蝕差異，在圖 4.18 中偏度值大的地方主要出現在西部麓山帶、淡水河流域下游、蘭陽河流域下游以及花東縱谷地區，圖 4.19 中峰偏度值大的地方也是出現在這些區域，也是圖 4.17 中差異量大的地區，顯示這些區域比起其他地區受侵蝕情況大，造成測高曲線積分值的變化較大。

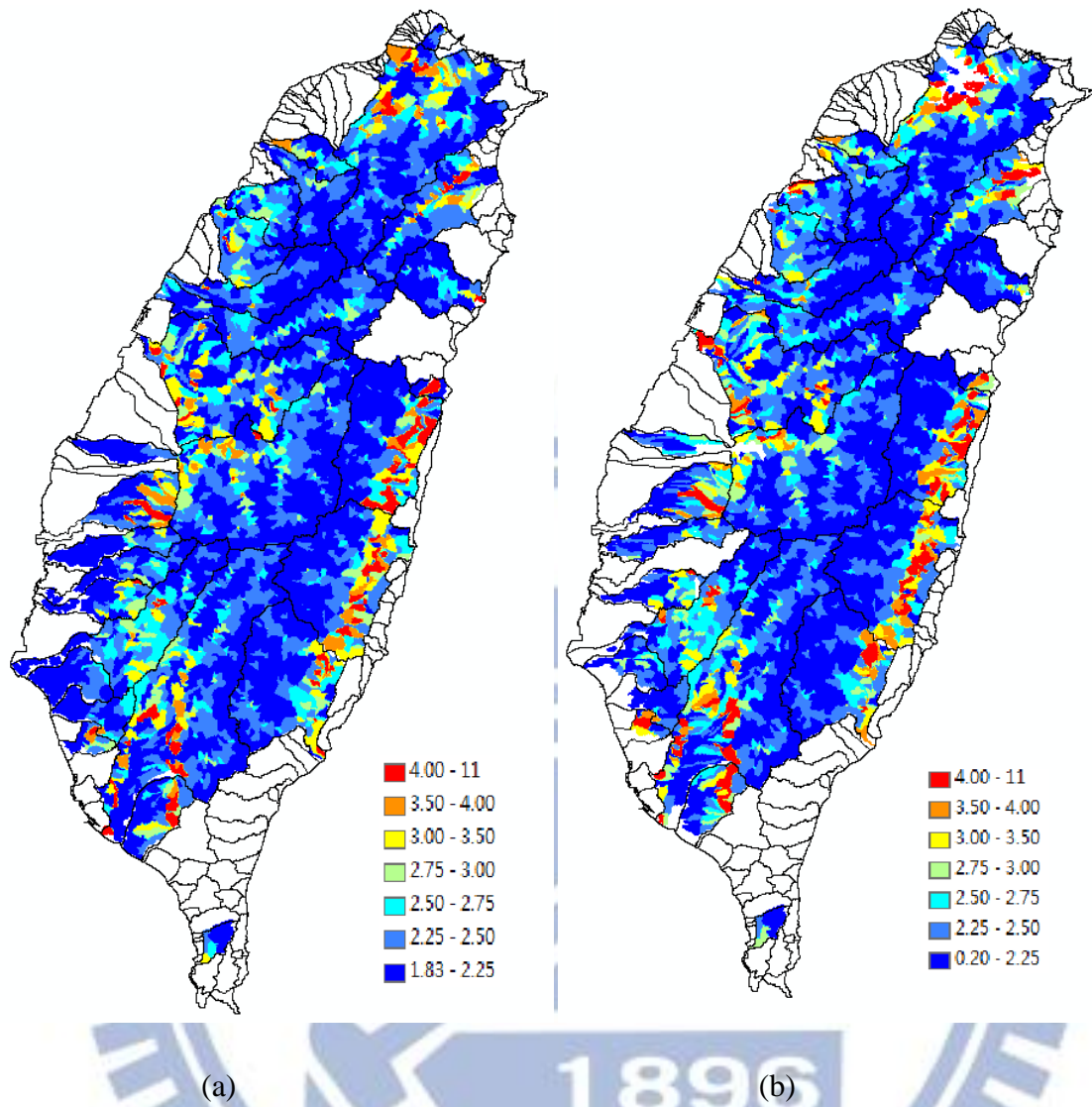


圖 4.19、(a)SRTM 峰度圖(b) 80mDEM 峰度圖

4.3.2 子集水區測高曲線積分與地形參數之相關性

子集水區之地形參數計算包含平均高度、坡度以及高差，計算測高曲線積分與各參數之間的相關性，SRTM 成果之相關性分析為圖 4.20，80mDEM 成果之相關性分析為圖 4.21，兩組資料測高曲線積分與地形參數相關性分析圖中資料點的分佈很相似，相關性分析成果差異不大，SRTM 之平均高度、坡度與高差之決定系數分別為 0.30、0.17 和 0.15，80mDEM 決定系數分別為 0.34、0.21 和 0.19，子集水區地形參數與測高曲線積分皆具有正相關的特性，而相關性較大為平均高度。

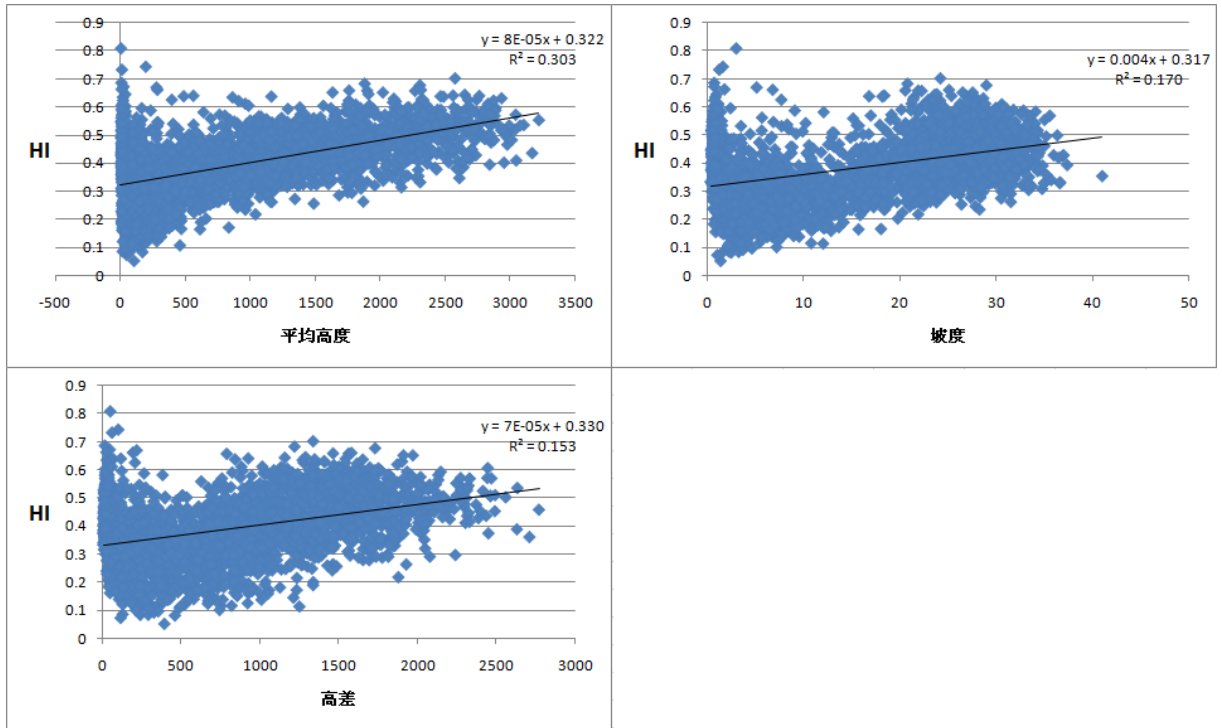


圖 4.20、相關性分析-SRTM

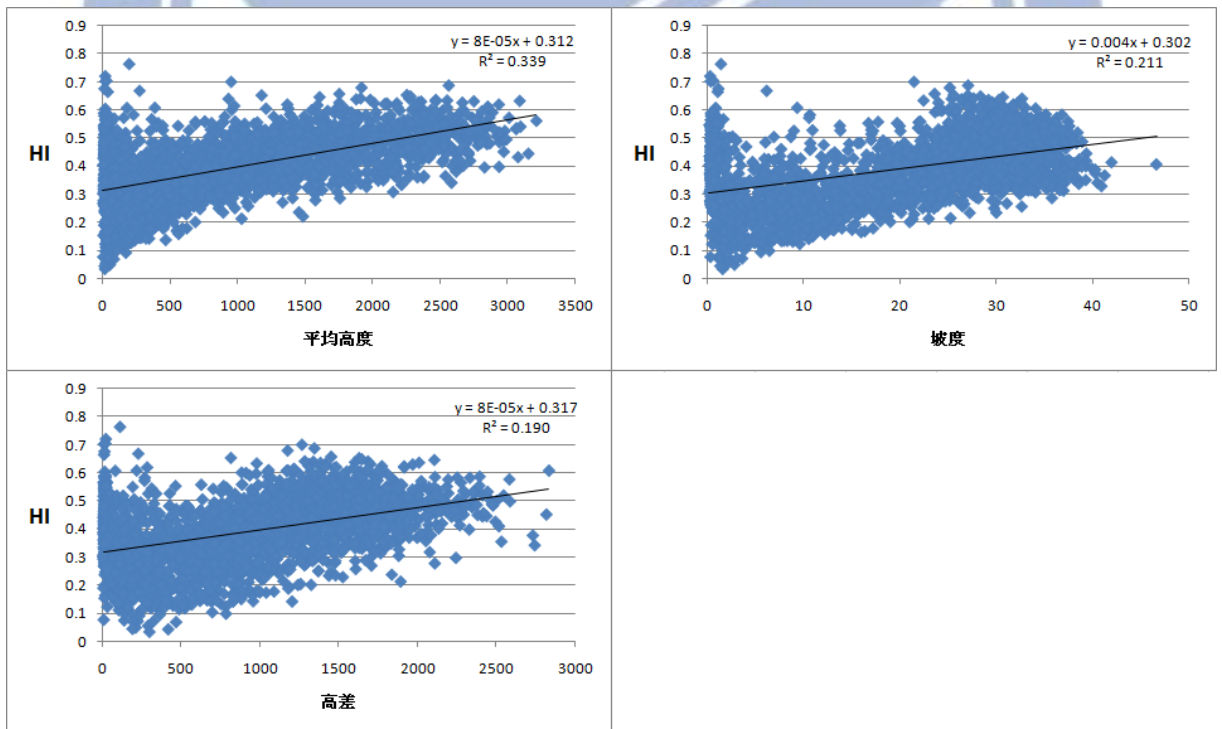


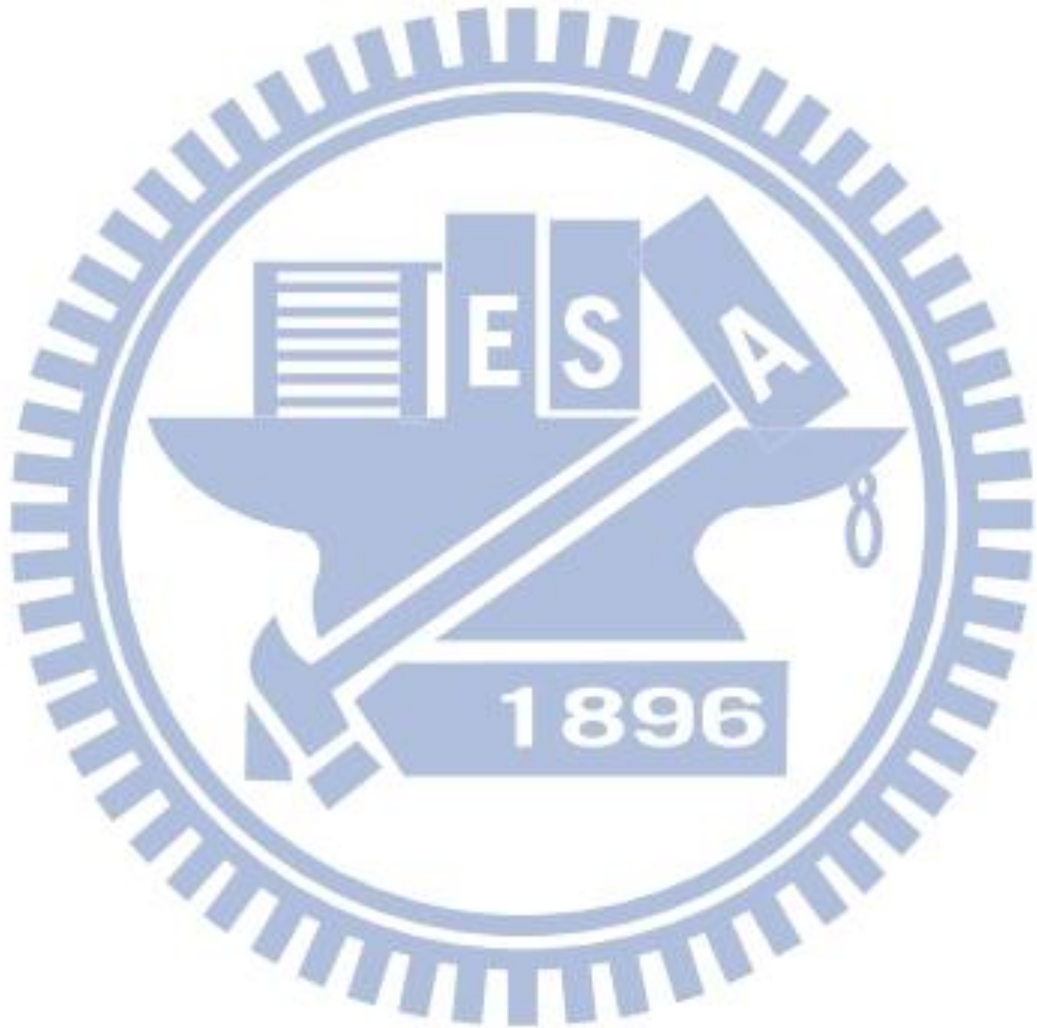
圖 4.21、相關性分析-80mDEM

第五章 結論

本研究以測高曲線與測高曲線參數對河川流域集水區進行分析，討論演育情形，並使用地形測計參數與集水區幾何型態因子對測高曲線積分作相關性分析，本章針對分析成果列出結論與建議：

- (1) 二十六個流域集水區的測高曲線階介於 S 形至凹形，符合 Ohmori (1993) 以電腦模式模擬造山運動地區之測高曲線情況。測高曲線積分值偏低是因為以河流域範圍當成實驗區域會使集水區面積過大，又因為台灣地形山高陡急，所以使得測高曲線積分值低估。
- (2) 東部與中部區域之流域集水區測高曲線主要呈現 S 形，而南部與北部區域之流域集水區測高曲線為凹形，曲線積分值東部為 0.3502，中部為 0.3010，北部為 0.2559，南部為 0.2181，東部和中部之流域集水區構造活動程度比南部和北部大。
- (3) 測高曲線積分與集水區之坡度、高差、平均高度與河流坡度具有正相關性，與坡度、平均高度與河流坡度具有高相關性。
- (4) 集水區幾何型態因子可描述集水區之外觀，但各型態因子與測高曲線積分無相關性。
- (5) SRTM 與 80mDEM 的成果比較顯示兩者測高曲線積分趨勢相符，兩者差異量絕大部分介於 -0.1~0.1，中央山脈地區之子集水區測高曲線積分值均介於 0.4~0.7 之間；西部丘陵以及花東縱谷地區測高曲線積分值小於 0.3；海岸山脈介於 0.3~0.4；西部海岸平原地區測高曲線積分則是介於 0.3~0.5。
- (6) 兩時期之測高曲線積分值可顯示演育成果，中央山脈差異量在正負 0.05 以內，變化較大之區域則出現在流域中下游以及西部麓山位置，變化量在正負 0.05 以上。

- (7) 子集水區出現偏度和峰度較大的地區為西部麓山帶、淡水河流域下游、蘭陽溪流域下游以及花東縱谷地區，也與測高曲線積分值有變化之區域一致，顯示這些地區比起其他地區受侵蝕情況大。
- (8) 子集水區測高曲線積分對子集水區之坡度、高差和平均高度具有正相關性，相關性最大者為平均高度，決定系數為 0.3。



參考文獻

- 林貴崑，1999，用數值地形模型自動化分析構造地形指標：以中央山脈南段西南翼為例，碩士論文，台大地質學研究所。
- 徐義人，1995，應用水文學，國立編譯館出版。
- 陳柔妃，1999，嘉南地區活動構造之地形計測指標研究，碩士論文，國立成功大學地球科學研究所。
- 陳樹群，2005，台灣地區河川型態分類技術手冊研擬(2/2)，經濟部水利署水利規劃試驗所。
- 陳樹群，2010，地形特徵對測高曲線形狀的影響，水土保持學報，42(1)：49-64。
- 陳彥傑，2004，臺灣山脈的構造地形指標特性—以面積高度積分、地形碎形參數與河流坡降指標為依據，博士論文，國立成功大學地球科學研究所。
- 陳彥傑、正光佑、宋國城，2005，面積尺度與空間分佈對流域面積高度積分及其地質意義的影響，地理學報，39：53-69。
- 陳彥傑，2008，台灣山脈地形演育的測高曲線與高程頻率分佈型態，地理學報，54：79-85。
- 孫稜翔，2008，八卦山背斜集水區地形計測指標於慶活動構造意義之探討，地理研究，49：123-141。
- 張瑞津，1975，台灣山區河谷等級的計量研究，國立台灣師範大學地理學研究報告，第一卷，141-168。
- 張韻嫻，2003，台灣地區流域面積高度積分之研究，碩士論文，國立高雄師範大學地理學系。
- 黃朝恩，1980，臺灣島諸流域特徵及其相關性的研究，博士論文，私立中國文化大學地學研究所。
- 鄭光佑，2002，台灣西部麓山帶前緣流域面積高度積分之構造意義之研究，碩士論文，國立高雄師範大學地理學系。

- 廖何松，2003，利用地形計測指標研究台灣南部潮州斷層沿線之活動構造，碩士論文，國立中央大學應用地質研究所。
- 維基百科，2012，偏度，<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%81%8F%E5%BA%A6>，(最後查詢時間：2012/09/27)。
- 維基百科，2012，峰度，<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%B3%B0%E5%BA%A6>，(最後查詢時間：2012/09/27)。
- 賴進貴，1996，數值高度模型與地形計測研究：資料解析度問題，地理學報，20，61—73。
- Azor, A., E. A. Keller, and R. S. Yeats, 2002. Geomorphic indicators of active fold growth: South Mountain-Oak Ridge anticline, Ventura basin, southern California. *Geological Society of America Bulletin*, 114(6): 745-753.
- Chen, Y. C., Q. Sung, and K. Y. Cheng, 2003. Along-strike variations of morphotectonic features in the western foothills of Taiwan: tectonic implications based on stream-gradient and hypsometric analysis. *Geomorphology*, 56: 109-137.
- Delcaillau, B., B. Deffontains, L. Floissac, J. Angelier, J. Deramond, P. Souquet, H. T. Chu, and J. F. Lee, 1998. Morphotectonic evidence from lateral propagation of an active frontal fold; Pakuashan anticline, foothills of Taiwan. *Geomorphology*, 24: 263-290.
- Delcaillau, B., 2001. Geomorphic response to growing fault-related fold: example from the foothills of central Taiwan. *Geodinamica Acta*, 14: 265-287.
- Delcaillau, B., J. M. Carozza, and E. Laville, 2006. Recent fold growth and drainage development: the Janauri and Chandigarh anticline in the Siwalik foothills, north India. *Geomorphology*, 76:241-256.
- Dilts, 2009. Stream Gradient and Sinuosity Toolbox Tutorial. ArcGIS Toolbox Tutorial.
- ESRI, 2009. ArcGIS Desktop 9.3 Help, http://webhelp.esri.com/arcgisdeskt_op/9.3/index.cfm?TopicName=welcome. (last access:2012/06/28)
- Harlin, J. M., 1978. Statistical moments of the hypsometric curve and its density function.

Mathematical Geology, 10: 59-72.

Horn, B. K. P., 1981. Hill shading and the reflectance map. Proceedings of the IEEE, 69(1): 14-47.

Horton, R. E., 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysi-cal approach to quantitative morphology. Geological Society of America Bulletin, 56: 275-370.

Hurtrez, J. E., C. Sol, and F. Lucazeau, 1999. Effect of drainage area on hypsometry from an analysis of small-scale drainage basin in the Siwalik Hills (Central Nepal). Earth Surface Process and Landforms, 24: 799-808.

Jamieson, S. S. R., H. D. Sinclair, L. A. Kirstein, and R. S. Purves, 2004. Tectonic forcing of longitudinal valleys in the Himalaya: morphological analysis of the Ladakh Batholith, north India. Geomorphology, 58: 49-65.

JPL, 2003. Shuttle Radar Topography Mission. National Aeronautics and Space Administration, <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>. (last access:2012/06/28)

Keller, E. A., and N.Pinter, 1996. Active tectonics: Earthquakes, Uplift and Landscapes. Prentice Hall, New Jersey.

Lifton, N.A. and C.G. Chase, 1992. Tectonic, climatic and lithologic influences on landscape fractal dimension and hypsometry: Implications for landscape evolution in the San Gabriel Mountains, California, in, R.S. Snow and L. Mayer (Editors), Fractals in Geomorphology. Geomorphology, 5: 77-114.

Mark D. M., 1975. Geomorphometric parameters: a review and evaluation. Geografiska Annaler, 57A, 165-177.

Merritts, J. Dorothy, Vincent, R. Kirk, 1989. Geomorphic response of coastal streams to low, intermediate, and high rates of uplift, Mendocino triple junction, region northern California. Geological Society of America Bulletin, 101: 1373-1388.

O'Callaghan, J. F., and D. M. Mark, 1984. The extraction of drainage networks from digital

- elevation data. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 28: 323–344.
- Ohmori, H., 1993. Changes in the hypsometric curve through mountain building resulting from concurrent tectonics and denudation. *Geomorphology*, 8: 263 – 277.
- Pérez-Peña, J. V., J. M. Azañón, and A. Azor, 2009. CalHypso: An ArcGIS extension to calculate hypsometric curves and their statistical moments. Applications to drainage basin analysis in SE Spain. *Computers and Geosciences*, 35: 1214-1223.
- Rabus, B., M. Eineder, A. Roth, and R. Bamler, 2003. The shuttle radar topography mission—a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 57: 241–262.
- Riquelme, R., J. Martinod, G. Hérail, J. Darrozes, and R. Charrier, 2003. A geomorphological approach to determining the Neogene to recent tectonic deformation in the Coastal Cordillera of northern Chile (Atacama). *Tectonophysics*, 361: 255-275.
- Strahler, A. N., 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, 63: 1117-1142.
- Strahler, A. N., 1964. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. in *Handbook of Applied Hydrology*, Ven Te Chow (Editor). McGraw Hill, New York. pp 4-39 - 4-76.
- Tarboton, D. G., 2005. Review of Proposed CUAHSI Hydrologic Information System Hydrologic Observations Data Model. Utah State University.