地理學報　第三十九期：53-69 (2005)
JOURNAL OF GEOGRAPHICAL SCIENCE (39) : 53-69 (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

Influence of Area and Space Dependence for Hypsometric Integral and its Geological Implications

陳彥傑* 鄭光佑** 宋國城***
Yen-Chien Chen Kaung-Yu Cheng Quo-Cheng Sung

Abstract

The hypsometric integral (HI) of drainage basin is a morphometric parameter for describing basin geomorphology. Lately the HI has become an index to infer activities of active tectonics in some orogenic belts. This paper examines three issues related to the HI. First, the HI of different drainage basins may be attributed to different geomorphic factors. Thus the “area dependence” of the HI may effect the interpretation of active tectonics. Second, if we divide a drainage basin into several subbasins, the HIs of subbasins located at upper stream and lower stream may have different geomorphic meanings when a study area covers mountain, hill and plain. This represents the “space dependence” of the HI. Third, calculation of the HI can be affected by DEM resolution.

Our study area covers the SanTieh River, PuTzu River, ChiShui River and ErJen

* 高苑技術學院通識教育中心助理教授
Assistant Professor, Center of General Education, Kao Yuan Institute of Technology.
** 屏東縣立枋寮高級中學地理科教師
Geography Teacher, Pingtung County Fangliao Senior High School.
***國立高雄師範大學地理學系教授
Professor, Department of Geography, National Kaoshiung Normal University.

River with drainage through the mountain front and coastal plain of western Taiwan into the sea. The results show variations of HIs for plain-type subbasins and small subbasins (area<1km^2) measured by different DEM resolutions. And the influence of DEM resolution on HIs of subbasins in mountain-type and hill-type that have higher elevation drop is trivial.

Moreover, there are higher HIs on plain-type subbasins and lower HIs on hill-type subbasins, thus confirming the space dependence of the HI. Elevation drop and the HI of every drainage subbasin has a logarithmic relation. Using the relation, one can correct the space dependence of HIs of subbasins before comparing the HIs of hill-type and plain-type subbasins.

In this study we controlled the drainage area of subbasin by changing the threshold of accumulation. By overlaying lithologic and tectonic maps on different drainage areas of subbasin groups, we found that the HIs of subbasins showed the effect of lithology and tectonic using a threshold smaller than 1km^2. However, the HIs showed almost entirely the effect of tectonic elements using a threshold larger than 2km^2. We therefore recommend a threshold larger than 2km^2 as the suitable scale for discussing tectonic activities in the mountain front of western Taiwan. At this scale, the HIs of subbasins can exclude the effect of lithology.

Keywords: hypsometric integral, area dependence, space dependence, tectonic activity.

摘　要

流域面積高度積分 (Hypsometric Integral, HI) 為一種以計量方式描述流域地形的參數。近年有部分學者以面積高度積分作為推論臺灣地區構造相對活動性的指標。然而面積高度積分值的大小受流域大小的影響，此種積分值的面積依賴 (Area dependence) 特性，可能會影響其對構造活動的解釋。此外，當討論的流域跨越山區、丘陵到平原等不同的地形區時，亦即以上游和下游次集水盆地為不同計測標的時，因上、下游之主要河流作用不同 (上游以侵蝕為主，下游以堆積為主)，其面積高度積分是否也會表現出不同的特徵，而有空間依賴 (Space dependence) 的現象，以致影響到上、下游地區面積高度積分意義的解讀？在計算面積高度積分的過程中，數位高程資料 (DEM) 的解析度，是否會影響流域面積高度積分的計算結果？這些可能因觀察或計測尺度的差異而造成的面積高度積分意義差異，是本文所要討論的重點。

本文選擇流經臺灣西部麓山帶並從西部海岸平原入海的朴子溪、三疊溪、急水溪和二仁溪等四個流域為測試區，測試之後發現，以不同 DEM 解析度計測同一個次集水盆地時，平原型次集水盆地及面積小於 1km^2 的次集水盆地，其面積高度積分差異較大，而高差較大的山地型和丘陵型次集水盆地，其面積高度積分值則對 DEM 解析度較不敏感。各研究流域的下游平原型次集水盆地面積高度積分都普遍偏高，而中、上游丘陵型次集水盆地面積高度積分則明顯偏低，顯示面積高度積分的確存在空間依賴的現象。而各次集水盆地高差與面積高度積分呈一對數負相關的關係，利用此一關係並經由統計方式可修正面積高度積分的空間依

賴現象，如此便能進行上、下游次集水盆地面積高度積分的比較分析。而在同一流域中，以不同集流閾值所萃取出之不同面積大小的次集水盆地組合與各年代地層以及活動構造作疊圖分析，可以發現當集流閾值小於 1km^2 時，面積高度積分同時受到岩性與構造的影響，而當集流閾值大於 2km^2 時，則主要反應構造活動的影響。因此以面積高度積分推論構造活動性時，亦需注意面積高度積分值的面積依賴現象。本研究顯示，在進行臺灣西南部麓山帶前緣流域面積高度積分的構造活動性探討時，次集水盆地集流閾值必須大於 2km^2，才能避免岩性的干擾，呈現出該地的構造活動性。

關鍵字：面積高度積分、面積依賴、空間依賴、構造活動

前　言

流域的面積高度積分為 Strahler (1952) 所提出的流域地形描述方法。以流域中某一高程除以流域的高差 (相對高度比) 為縱軸，而以此一高程以上之流域面積除以總流域面積 (相對面積比) 為橫軸，繪出的曲線稱為集水盆地的測高曲線 (Hypsometric Curve)，曲線下方的面積即為面積高度積分 (圖 1)。利用流域的面積高度積分，可以表示流域之地形面受侵蝕的程度，並藉此判斷流域演育時期。流域地形演育時間越長，侵蝕程度越高，其測高曲線呈現凹形，而面積高度積分值較低，代表流域地形演育為 Davis 地形循環所謂的殘丘 (Monadnock) (老年期) 階段；地形演育時間越短，受侵蝕程度越低，則其測高曲線成凸形，而面積高度積分值越高，流域地形演育為幼年期階段；若測高曲線呈 S 形則表示流域發育至壯年期階段 (Strahler, 1952)。

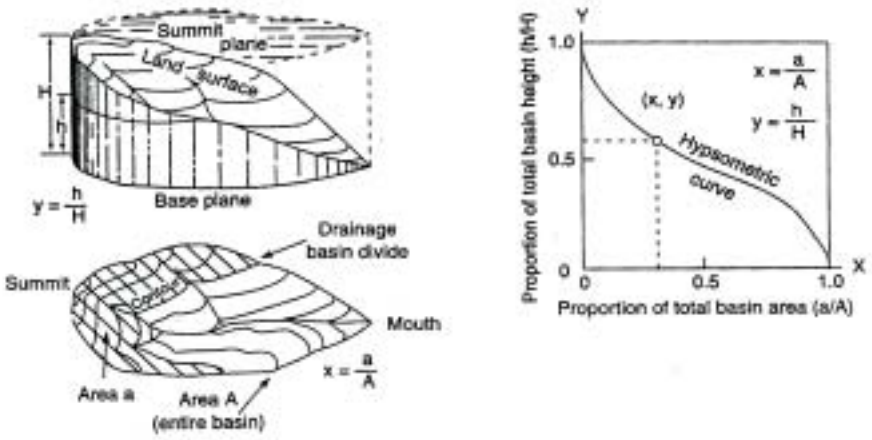


圖 1　流域面積高度積分的定義及計算方式 (引自 Strahler, 1952)

但地表形態的演育並非全如 Davis 所描述的那樣單純，在地形演育過程中，因構造、岩性、氣候等地形因子的不斷地形塑，才呈現出地形的特徵型態。流域面積高度積分的表現則可能是上述地形因

子的綜合結果。前人研究指出不同面積大小的流域，其面積高度積分會表現出不同地形因子的形塑特徵。如 Lifton 與 Chase (1992) 在加州 San Gabriel 山區的研究，顯示較大尺度流域 (1,000km^2) 面積高度積分受構造活動影響較顯著，小尺度流域 (100km^2) 則明顯較受岩層性質影響。Hurtrez 等人 (1999) 在尼泊爾 Siwalik 丘陵的研究，顯示面積相似的集水盆地，其面積高度積分與面積大小無關，但若面積相差超過某一範圍，則面積愈大的集水盆地其面積高度積分愈小。作者並對面積高度積分這種面積依賴 (Area dependence) 的現象提出解釋，認為較小的集水盆地 (0.8 至 1.7km^2) 以山坡塊體運動作用 (hillslope processes) 為主，其測高曲線呈現凸形，面積高度積分較趨近於 1；較大的集水盆地 (2.5 至 10.5km^2) 則以河流作用為主，其測高曲線為凹形，面積高度積分較趨近於 0。由此可知，流域大小的觀察尺度不同，會影響其面積高度積分的表現。

在面積高度積分的計測方面，地形資料的解析度則是另一個值得探討的問題。地形資料解析度的高低，是否會影響流域面積高度積分的表現呢？目前流域面積高度積分多由數值地形模型 (DEM, Digital Elevation Model) 萃取流域高程、面積資訊計測所得。DEM 解析度越高，顯示的地形資訊越精細，但電腦計算面積高度積分花的時間越長。前人的研究指出根據不同解析度 DEM 計測出來的面積高度積分，並沒有明顯的差異 (Rosenblatt *et. al.*, 1994; Hurtrez *et. al.*, 1999)。這顯示將較細緻的 DEM 網格做適當的簡化，以提高資料處理效率，應是一個可行的作法。

此外，若以臺灣西部麓山帶前緣流域之較大空間尺度為觀察對象時，必須考慮河流上、下游不同河段之主要河流作用並不相同，上游以侵蝕作用為主，下游則以堆積作用為主，其面積高度積分的表現可能會受影響，而不宜直接比較並藉此推測構造、岩性等因子對地形的影響。面積高度積分是否隨流域上、下游地形作用之不同，而有不同的積分值，而產生面積高度積分的「空間依賴」(space dependence)，也是本研究關心的課題。

近年來國內有以面積高度積分作為偵測區域構造活動性指標之研究 (陳彥傑，2004；鄭光佑，2002；張韻嫻，2003；林貴昆，1999；陳柔妃，1999; Delcaillau *et. al.*, 1998)，並與其他地形計測指標互相比對，推論研究區的構造活動性。但各研究對面積高度積分的計測資料解析度、流域觀測尺度所反應的地質意義，卻未深入探討。且因各研究的區域較小，亦未討論山地、丘陵和平原區等不同類型流域盆地之面積高分的比較。因此。本研究主要想測試 DEM 解析度對面積高度積分的影響，並探討山地、丘陵、平原等不同類型流域的面積高度積分之比較，以及討論在不同觀測尺度下，面積高度積分反應的地質意義。

研究區域簡介

本研究以流經西部麓山帶至西部海岸平原入海之朴子溪、三疊溪、急水溪和二仁溪流域作為測試區。利用河流數值地形處理軟體－Rivertools，自臺灣 40m╳40m 解析度之數值高程模型自動劃定各流域的範圍，並萃取流域盆地的各種地形計測參數 (圖 2)。

研究區內之西部麓山帶地層大部分已經受構造褶曲，這些褶曲呈東北東到北北東的走向，多數褶曲是不對稱的。西部麓山帶的斷層，多屬於大規模的低角度逆斷層，造成顯著的覆瓦狀斷層系統 (imbricated fault system)。西部濱海平原則由黏土、粉砂、砂和礫石組成的沖積層所覆蓋 (何春蓀，

1986)。研究區地形多樣，包含山地、丘陵、平原和臺地。研究流域跨越山地、丘陵和平原，河流上游地形較為陡峻，下游則進入平原，地形平緩。



圖 2　研究區範圍圖

地形的尺度與流域面積高度積分

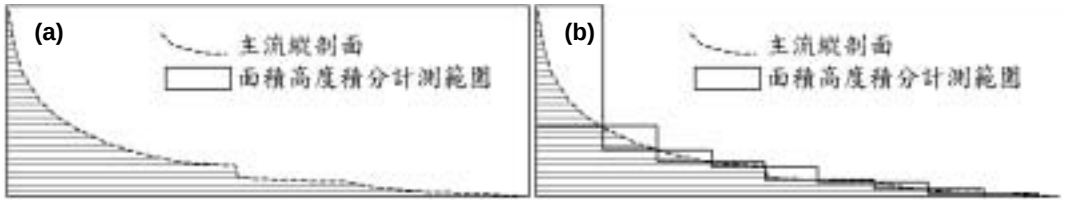
(一) 觀察尺度與流域的再細分

1. 不同觀察尺度下面積高度積分可能呈現的地質意義

在板塊活動活躍的地區，流域的演育不是單純的一次抬升後的侵蝕作用所控制，頻繁的構造活動可能會時常讓河流回春 (Rejuvenation)，或加速流域地表的沈陷，而干擾流域的演育。於是流域面積高度積分便可用來推測流域受構造活動影響的程度與類型。構造抬升活躍的地區，流域常具幼年期的特徵，所以應有較高的面積高度積分值。構造沈陷的地區，流域則多老年期的地形特徵，其應有較低的面積高度積分值。如此比較各地流域面積高度積分值的高低，判斷面積高度積分異常偏高或偏低的地區，便可以推測各地活動構造之活動性及其活動特性。

值得注意的是，除了構造因素外，岩性的不同代表了流域不同地區的抗蝕性差異，其亦可能影響流域面積高度積分的表現。換句話說，流域面積高度積分所傳達的資訊，可能包含了活動構造、岩性差異等綜合性的訊息。如果把不同的流域面積大小，想像成不同的觀察尺度，以流域主流縱剖面與觀察尺度作一簡單圖解 (圖 3)。可以發現，以整個完整的流域 (從河流源頭到出海口的總集水範圍) 當成

單一的集水盆地，則計算出來的面積高度積分值，將明顯低於把完整流域細分成數個較小次集水盆地的平均值 (圖 3a)，而且分割得越細，所觀察的現象將越接近流域的原始地形 (圖 3b)。

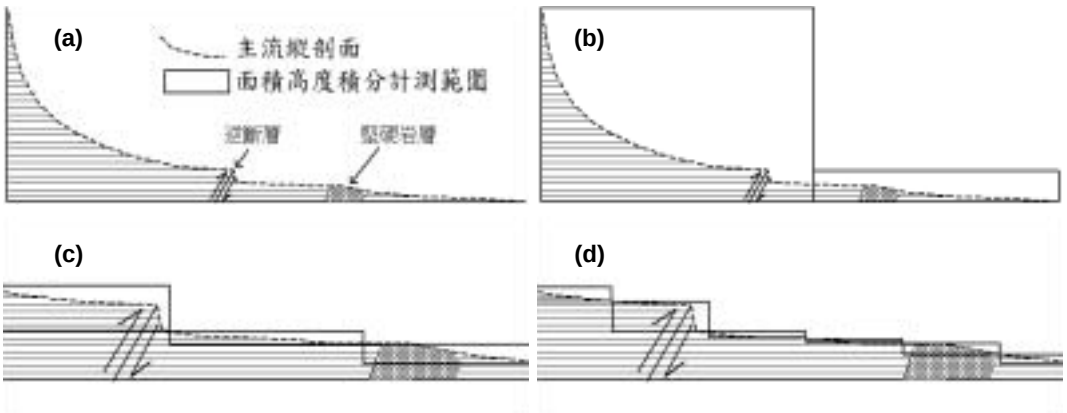


a.以整個流域為計測範圍時，面積高度積分無法呈現流域原始地形面的微特徵。
b.將全流域細分為數個次集水盆地，縮小計測範圍，則較能細緻地表現流域內各地之地形特徵。

圖 3.不同觀測尺度之面積高度積分與流域地形面的關係示意圖。

流域的原始地形，為受各種營力交互作用下的綜合表現。於是我們可以如此發問：是否不同面積大小的集水盆地面積高度積分值，負載了不同的作用資訊呢？以圖 4 為例，假設構造活動與岩性差異都造成了河流縱剖面局部上凸的形態，而構造活動影響的範圍較廣，岩性差異影響的範圍較小 (圖 4a)。以較小的集水盆地面積高度積分 (較小的觀察尺度) 來看流域不同地區的地形特徵，將比較容易看到岩性與構造作用的影響，但兩種資訊可能混在一起而無法解讀 (圖 4d) ；以較大的集水盆地面積高度積分 (較大的觀察尺度) 來看流域不同地區的地形特徵，可能較能反應構造活動對流域地形的影響，而忽略岩性、地表情況差異的因素 (圖 4b、c)。那麼，若將一完整的流域，加以不同程度地細分成個數、平均面積不同的數組次集水盆地，則每組次集水盆地的面積高度積分，可能表達了不同的作用訊息。

因此，本研究將每一完整的流域 (集水盆地) 細分為數個較小的次集水盆地，企圖經由控制次集水盆地的面積，來觀察不同流域尺度下面積高度積分所隱含的地質意義。



a.流域主流縱剖面示意圖，並誇大表示岩性及構造對縱剖面的影響。
b.太大的面積高度積分計測單元，將無法反應構造活動及岩性對流域地形的影響。
c.縮小面積高度積分計測單元，便可能偵測到構造活動對流域地形的影響。
d.繼續縮小計測尺度，則面積高度積分偵測到可能的岩性差異及構造活動對地形的影響。

圖 4　不同觀測尺度面積高度積分所呈現的地形意義示意圖

2. 流域再細分的方式

研究中流域細分為次集水盆地的方法，是以 Rivertools 軟體自 DEM 萃取水系，並給定一集流閾值 (threshold of accumulation)，由軟體自動劃定次集水盆地的範圍。流域細分出來的次集水盆地，其面積大小與數目多寡和前述次集水盆地的集水面積定義 (集流閾值) 有關，定義的集流閾值越大，水系越簡單，次集水盆地的面積越大，數目越少 (表 1)。以此方式細分的次集水盆地，並不能將整個流域填滿，各次集水盆地間的空間關係如圖 6。

表 1　集流閾值與萃取之次集水盆地個數、平均面積的關係 (以急水溪為例)。

集流閾值（km^2）	次集水盆地個數	次集水盆地平均面積（km^2）
0.3	281	0.67
1	93	2.24
3	30	7.40
8	13	12.62

(二) 不同解析度 DEM 面積高度積分之比較

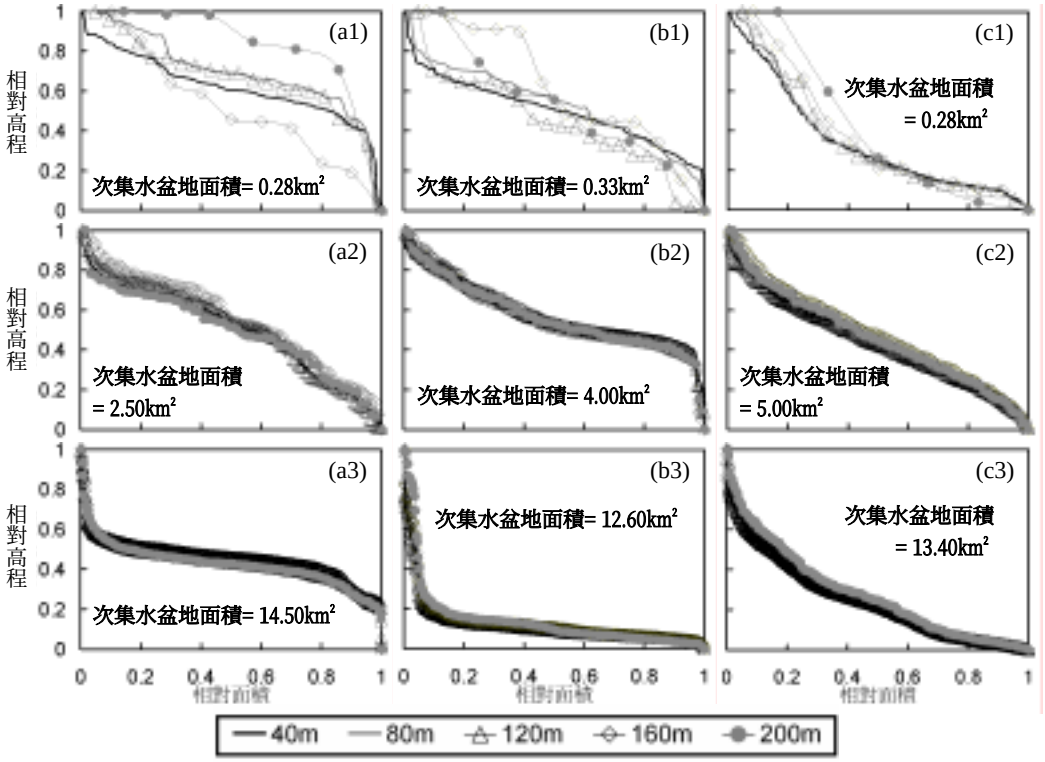
探討不同解析度 DEM 對集水盆地面積高度積分值的影響時，考慮到河流上、下游河段作用的差異，上游以侵蝕作用為主，下游則以堆積作用為主；位於流域上游的次集水盆地高差較大，位於下游的次集水盆地高差較小。因此將萃取到的急水溪流域次集水盆地，依其平均高度及高差大致分為平原型、丘陵型和山地型三種，分開討論 DEM 解析度對次集水盆地面積高度積分的影響。其中平原型的次集水盆地指平均高度與高差均＜50m 者，丘陵型次集水盆地指平均高度或高差＞50m 而平均高度＜500m 者，山地型則指平均高度＞500m 的次集水盆地。

除了高差外，還考慮是否不同大小的次集水盆地，其面積高度積分對 DEM 解析度的反應也有所不同。因此，本研究先選取了急水溪流域中，山地型、丘陵型和平原型次集水盆地各三個，同一型的三個次集水盆地中，則依其面積分為大、中、小三類。經觀察其不同 DEM 解析度 (40m、80m、120m、160m、200m) 所計測出的次集水盆地測高曲線，發現似乎山地型的次集水盆地面積高度積分對不同的 DEM 解析度較不敏感，平原型的次集水盆地則因 DEM 解析度的不同，面積高度積分有較大的差異。此外次集水盆地面積較大者，面積高度積分對 DEM 解析度較不敏感，小面積的次集水盆地則因 DEM 解析度的不同，有較大的面積高度積分差異 (圖 5)。但不論是山地型、丘陵型或平原型次集水盆地，40m 至 80m 解析度之 DEM，其測高曲線形態均相當類似。這樣的結果似乎與 Hurtrez 等人 (1999) 的結論互相符合，即不同 DEM 解析度對山區的集水盆地面積高度積分計測，並無顯著的影響。

面積高度積分的空間依賴

(一) 流域中各次集水盆地面積高度積分之分布

將以上方式計測出的次集水盆地面積高度積分值，建立到地理資訊系統 (GIS) 軟體－Mapinfo 的



a1, a2, a3：平原型次集水盆地 (平均高度與高差＜50m 者) ；b1, b2, b3：丘陵型次集水盆地 (平均高度或高差＞50m 而平均高度＜500m) ；c1, c2, c3：山地型次集水盆地 (平均高度＞500m)。測高曲線中各資料點是該次集水盆地內所有的 DEM 資料點，故面積較小的次集水盆地，其測高曲線的資料點較少。

圖 5　不同解析度 DEM 萃取之次集水盆地測高曲線 (Hypsometric curve) 的比較 (以急水溪為例)

次集水盆地邊界圖層的屬性資料欄位中，如此便可以利用 Mapinfo 地理資訊系統更細緻地觀察流域中次集水盆地面積高度積分的分布情況。二仁溪、急水溪、朴子溪和三疊溪 (圖 6a, b, c)，四個流域的次集水盆地面積高度積分值的分布，平原地區都明顯比山區高。這樣的分布情形，若要以構造活動的特性解釋，則這四個流域的平原地區構造抬升都要比山地區顯著了，此與陳蕙芬 (1984) 以三角點的測量結果，及主要活動斷層上升側並不吻合。顯示前人以次集水盆地面積高度積分值之高低，直接判斷構造活動特性的方式，並不適用於跨越山地、丘陵和平原地流域的次集水盆地之比較。然則平原區與丘陵、山地區間的次集水盆地，其面積高度積分是否存在某種關係，可以用來做跨越不同河流作用區之盆地的比較呢？

(二) 次集水盆地高差與面積高度積分的關係

Pike (1971) 提出以流域的高程起伏比 (elevation-relief ratio) 做為面積高度積分的簡易算法的數學依據。流域高程起伏比 (E) 的公式如下：

$$E = \frac{\text{平均高程} - \text{最小高程}}{\text{最大高程} - \text{最小高程}} \approx \text{面積高度積分}$$

公式中的分母即是流域的高差，公式顯示流域面積高度積分與高差成一反比的關係，即高差越大，面積高度積分越小。

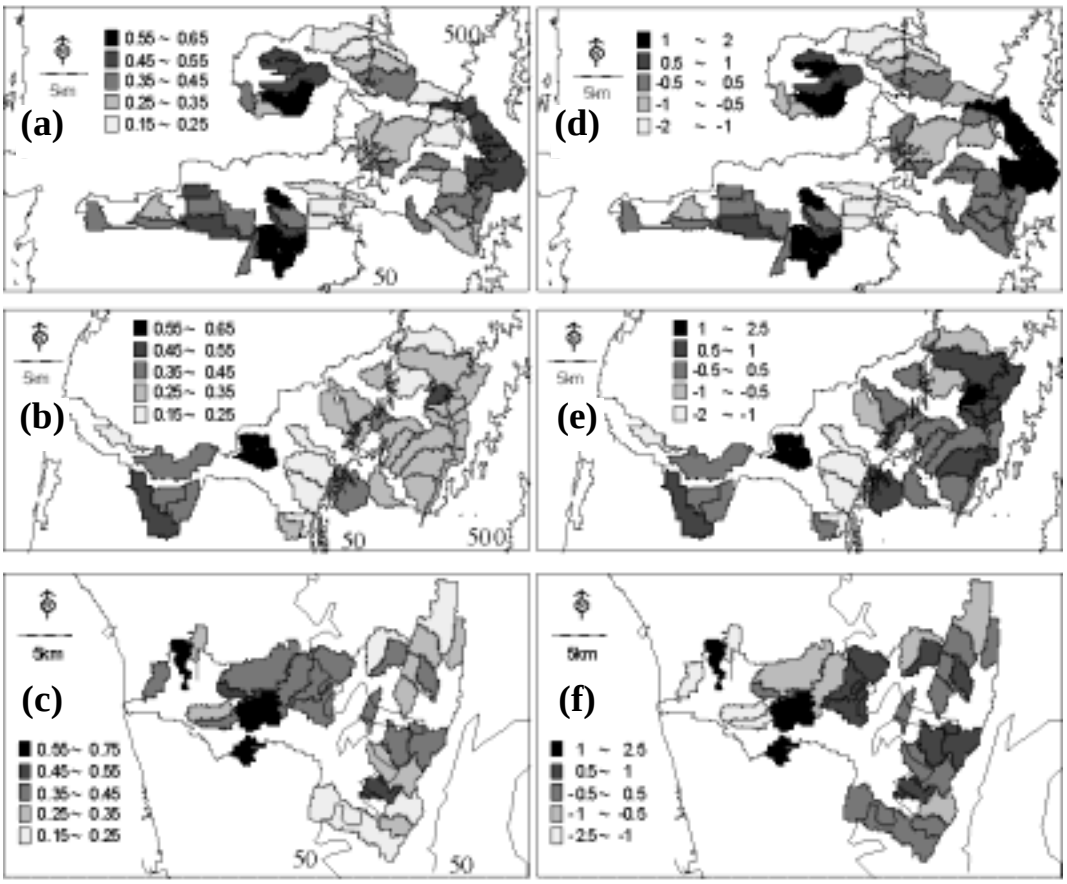


圖 6 嘉南地區四個測試流域之次集水盆地面積高度積分值分布圖 (a.三疊溪、朴子溪，b.急水溪，c.二仁溪)，以及次集水盆地高差與面積高度積分之回歸殘差分布圖 (d.三疊溪、朴子溪，e.急水溪，f.二仁溪)。a、b、c 各圖例中的數字為面積高度積分，d、e、f 各圖例中的數字則為面積高度積分殘差值 (HI 殘差值的計算請參考 4.1 節文中之說明)。

將二仁溪流域之次集水盆地的面積高度積分與高差作圖，可以發現次集水盆地高差與面積高度積分呈對數負相關關係 (圖 7)，此與面積高度積分的簡易公式有若干相符。於是嘗試做出二仁溪次集水盆地之高差與面積高度積分關係的回歸式，並將落於回歸線一個標準差 (68% confidence interval) 之外的次集水盆地選出，做為二仁溪面積高度積分異常區 (圖 7)，其中落於回歸線上方一個標準差之外的次集水盆地，為面積高度積分偏高異常區，反之則為面積高度積分偏低異常區。圖 8 為二仁溪面積高度積分異常區的空間分布，其中偏高異常的 5、6、7 號次集水盆地，分別位於臺南背斜與中洲背斜的

東側；偏低異常的 3、4 號次集水盆地則為於中洲背斜的西側，大灣向斜的東側 (圖 8)，顯示臺南背斜、中洲背斜東側抬升速率較快，而大灣向斜東側則有沈陷的現象。根據陳于高 (1993) 的研究指出，臺南臺地與中洲臺地皆以東快西慢的方式抬升；大灣低地則受後甲里斷層的控制，以 1mm/yr 至 2mm/yr 的速率下陷。面積高度積分的觀察結果似乎與前人研究結果有若干相符。

根據以上觀察，次集水盆地高差與面積高度積分的對數關係，可做為河流上、下游因作用不同，所造成的面積高度積分空間依賴之修正，其應該可以用來判斷次集水盆地的面積高度積分值是否異常的依據。

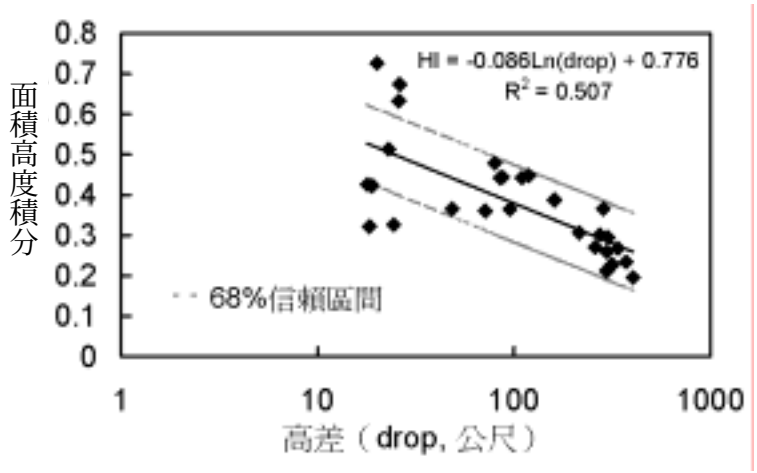


圖 7　二仁溪流域次集水盆地面積高度積分與高差的關係。次集水盆地高差與面積高度積分的相關係數約為 0.5，實線為高差與面積高度積分之回歸線，虛線表 68% 信賴區間。

面積高度積分的面積依賴－不同觀測尺度之面積高度積分反應之地質意義

將一完整流域細分為次集水盆地，可以更細緻地觀察流域內不同地區的面積高度積分分布情形。然而不同的細分程度，面積高度積分可能表現不同的地質意義。流域次集水盆地的細分程度，可以初始集流閾值控制，集流閾值定得越低，則電腦萃取出來的水系越密，次集水盆地數目越多、面積越小。把不同集流閾值所萃取出來的次集水盆地平均面積和平均 HI 作圖，可以顯示不同細分程度的次集水盆地，其平均 HI 的變化情形。以研究區四條溪流為例，將次集水盆地之平均面積與其平均 HI 作圖，發現兩者呈一對數負相關關係，相關係數達 0.87 以上 (圖 9，表 2)。由此可知，細分程度不同的流域次集水盆地，其面積高度積分不宜直接互相比較。此外，將不同細分程度的次集水盆地平均面積高度積分與其平均高差作圖，觀察兩者的關係，發現兩者呈一對數負相關關係，相關係數達 0.88 以上 (圖 10，表 2)，由此更可確定上節討論的集水盆地面積高度積分與高差的關係的確存在。

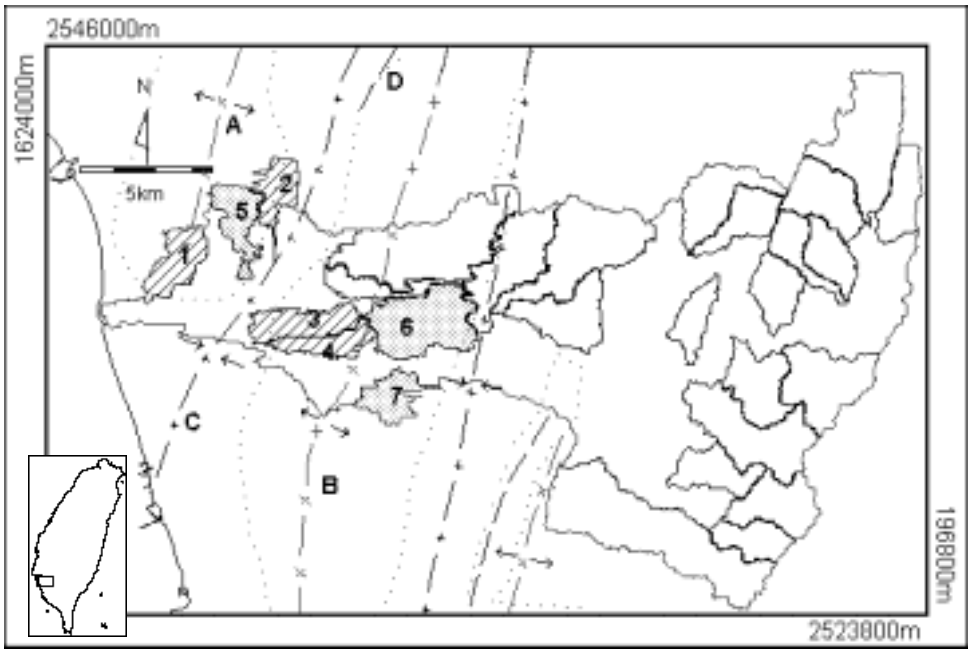


圖 8　二仁溪流域，次集水盆地面積高度異常區之分布與構造線的關係。編號 1、2、3、4 為面積高度積分異常偏低的次集水盆地；5、6、7 號次集水盆地為面積高度積分異常偏高的地區。虛線為基盤岩層中背斜軸的位置，A 為臺南背斜，B 為中洲背斜，C 為大灣向斜，D 為後甲里斷層。

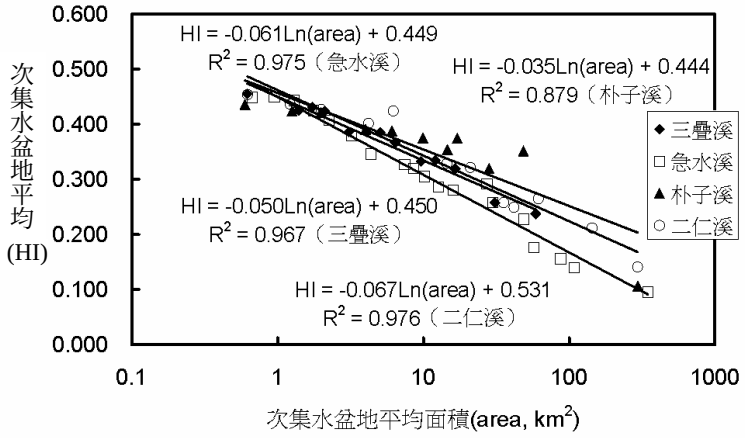


圖 9　急水溪、三疊溪、朴子溪、二仁溪流域，以不同集流閾值所萃取出之次集水盆地，其平均面積與平均 HI 的關係。

表 2　三疊溪、急水溪、朴子溪、二仁溪流域，集流閾值與平均 HI、平均高差和平均面積的關係。

集流閾值 km^2	集水盆地個數	平均 HI	平均高差 m	平均面積 km^2	集流閾值 km^2	集水盆地個數	平均 HI	平均高差 m	平均面積 km^2
三疊溪					急水溪（續）				
0.3	105	0.455	62.5	0.619	0.8	113	0.425	189.8	1.756
0.6	49	0.425	98.8	1.398	1	94	0.408	202.1	2.241
0.8	38	0.431	111.6	1.732	1.5	63	0.379	230.7	3.195
1	31	0.424	124.2	2.095	2	46	0.347	258.5	4.347
1.5	21	0.386	164.8	3.074	3	30	0.327	299.9	7.398
2	15	0.385	217.6	5.066	4	26	0.320	322.1	8.525
3	13	0.367	242.9	6.392	5	21	0.306	345.1	10.126
5	9	0.332	256.2	9.619	8	13	0.287	499.1	12.618
7	8	0.335	210.3	12.079	10	11	0.281	471.9	15.983
10	6	0.319	257.3	16.501	12	7	0.293	624.4	27.144
15	3	0.258	431.7	30.965	13	6	0.258	727.7	29.741
30	2	0.237	575.9	59.039	14	5	0.228	723.2	48.496
35	1	0.064	1128.1	124.700	15	4	0.177	901.4	56.974
朴子溪					38	3	0.156	821.1	86.918
0.3	258	0.436	149.9	0.597	50	2	0.140	1179.4	107.885
0.6	135	0.424	177.2	1.253	105	1	0.096	1193.7	345.787
1	86	0.421	209.2	1.982	二仁溪				
2	43	0.391	268.6	3.999	0.3	274	0.454	75.3	0.622
3	29	0.388	288.0	6.077	0.6	142	0.436	97.3	1.219
5	17	0.375	360.1	9.919	1	86	0.427	124.8	1.992
7	12	0.354	448.3	1.625	2	43	0.402	137.9	4.198
10	9	0.375	507.6	1.900	3	28	0.424	81.6	6.219
15	7	0.320	517.5	3.134	5	13	0.329	213.1	14.474
30	3	0.352	811.1	5.393	8	10	0.321	213.9	21.005
60	1	0.107	1449.5	32.883	10	7	0.258	272.4	35.493
急水溪					15	6	0.249	283.1	41.899
0.3	281	0.449	114.4	0.667	30	4	0.265	240.8	61.506
0.4	206	0.450	136.6	0.946	40	2	0.212	256.8	143.726
0.6	151	0.444	166.4	1.285	50	1	0.141	459.7	294.667

以急水溪流域為例，分別以 0.3km^2、0.6km^2、1km^2、2km^2、3km^2、5km^2 等不同集流閾值，萃取 6 組不同面積大小的次集水盆地。依各組次集水盆地之高差與面積高度積分的回歸方程，決定面積高度積分異常的次集水盆地。再將面積高度積分異常區與已知構造及地層疊圖比較，以觀察不同集流閾值次集水盆地的異常區分布和構造、岩性的關係。

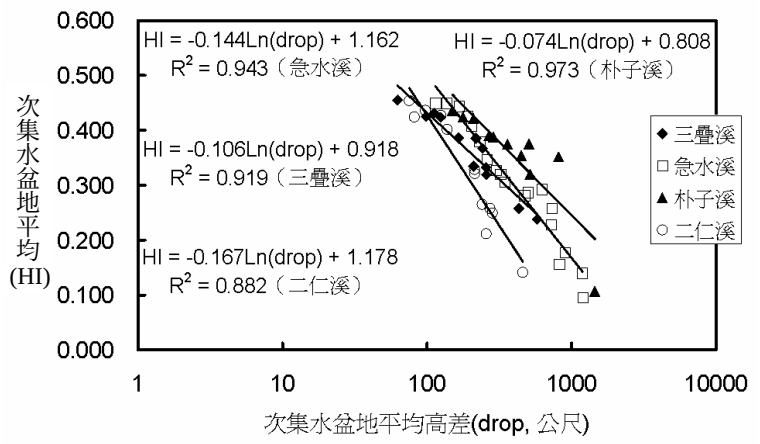


圖 10　急水溪、三疊溪、朴子溪、二仁溪流域，以不同集流閾值所萃取出之次集水盆地，其平均高差與平均面積高度積分的關係。

在求高差與面積高度積分的回歸方程式時發現，在次集水盆地之「高差－面積高度積分」投圖中，次集水盆地大致可分為三個主要群落。若以平均高度 500m、50m 將次集水盆地分為山地型、丘陵型及平原型，則恰能大約涵蓋這三個主要群落 (圖 11)。經試驗結果，將平均高度超過 500m 的山地型次集水盆地除去，只以平均高度低於 500m 之丘陵、平原型的次集水盆地做回歸，都會得到較好的相關 (表 3)。依 Leandro 等 (1999) 對義大利半島東西兩側集水盆地面積高度積分的研究，不同地質、構造背景地區，不能直接從其面積高度積分值的高低解釋構造活動性。而 Ohmori (1993) 的研究說明了在構造活動頻繁的造山帶，流域地形演育係同時受抬升作用與剝蝕作用控制，發育時間越長的流域其面積高度積分越大。急水溪之山地型次集水盆地，因較為接近中央山脈，其構造抬升活動時期應該長於西邊的丘陵、平原型次集水盆地分布地區。因此山地型次集水盆地面積高度積分也應該不適合與平原、丘陵型次集水盆地比較，所以本文將流域次集水盆地分成兩類－「山地型」與「丘陵－平原型」，並求出「丘陵－平原型」次集水盆地的「高差－面積高度積分」的對數回歸方程，再運用統計方式計算流域中各次集水盆地的面積高度積分殘差標準值 (z-value)，以決定流域面積高度積分異常區。

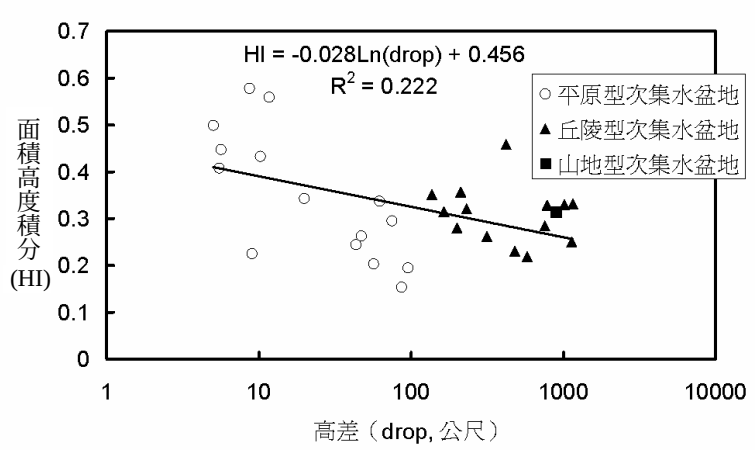


圖 11　急水溪流域，3km^2 集流閾值之次集水盆地高差與面積高度積分的關係。

表 3　四個研究流域不同集流閾值次集水盆地，以全部次集水盆地之高差－面積高度積分回歸，及只以平原、丘陵型次集水盆地高差－面積高度積分回歸，其相關係數比較表。

集流閾值（km^2）	以全部次集水盆地迴歸之高差與 HI 相關係數				只以平原型、丘陵型次集水盆地迴歸之高差與 HI 相關係數			
	二仁溪	急水溪	朴子溪	三疊溪	二仁溪	急水溪	朴子溪	三疊溪
0.3	0.117	0.068	0.023	0.067	0.117	0.072	0.104	0.122
0.6	0.199	0.122	0.030	0.045	0.199	0.133	0.146	0.186
1	0.387	0.114	0.093	0.319	0.387	0.133	0.300	0.434
2	0.439	0.141	0.076	0.298	0.439	0.200	0.369	0.529
3	0.507	0.215	0.151	0.260	0.507	0.222	0.393	0.523
5	0.644	0.314	0.207	0.557	0.644	0.314	0.453	0.557

將急水溪之不同集流閾值之各次集水盆地的殘差標準值，與中國石油股份公司 (1986) 十萬分之一地質圖的岩層界線、構造線疊圖比較結果如圖 12a、b、c、d、e、f。圖中依各次集水盆地面積高度積分的殘差標準值，將次集水盆地分為五級 (圖 12)。殘差標準值低於-1 者為面積高度積分偏低異常區；高於 1 者為偏高異常區。

由圖 12a、b、c 中可發現，集流閾值在 0.3km^2、0.6km^2 及 1km^2 時，急水溪上游發育在上新世地層的次集水盆地，其面積高度積分殘差為正值的比例明顯高於發育在更新世地層的次集水盆地，較不受附近向斜構造構造的影響 (圖 12a、b、c)。也因此 1km^2 圖中，雖然牛山背斜軸附近有一偏高的次集水盆地，但因其大部位於上新世地層上，抗蝕力較附近其他在更新世地層上的次集水盆地強，所以單獨以面積高度積分並不能肯定牛山背斜的活動性 (圖 12c)。而集流閾值大於 2km^2 時，則各次集水盆地大都跨越兩個以上的年代地層，此時岩性差異的影響就被平均掉了，構造的影響力增加。如圖 12d、e，前大埔向斜附近的次集水盆地便呈現較低的面積高度積分殘差值，牛山背斜附近則呈現較高的殘差值。但是當集流閾值大至 5km^2 時，次集水盆地範圍更跨越數條構造線，則單一構造線的影響便無法從

面積高度積分看出來。這時面積高度積分呈現的可能是較大地表範圍的整體垂直運動狀況，與尺度更大的大地構造有關。

綜觀急水溪流域的 HI 殘差分布，不論任何尺度，大致都可看出在麓山帶與西南平原的交界帶附近，有一帶 HI 殘差值偏低的區域，此區往西則又出現一帶殘差值偏高的區域。這個現象是否與山脈前緣的構造低區關，仍待進一步證實。而小尺度的觀察 (集流閾值 1km^2 以下)，次集水盆地 HI 殘差值可能同時受岩性差異、構造活動或其他因素的影響，呈現出較複雜的地形資訊，不利於構造活動性的判斷。

結　論

本文針對面積高度積分的面積依賴及空間依賴特性，以流經臺灣西部麓山帶至濱海平原入海之朴子溪、三疊溪、急水溪和二仁溪流域為測試區，討論上、下游不同河流作用之次集水盆地的面積高度積分特徵，和不同面積大小次集水盆地面積高度積分所可能表現的地質意義。同時亦探討不同 DEM 解析度對流域面積高度積分計測的影響。

研究結果顯示，不同的 DEM 解析度對面積較大的次集水盆地及山地型次集水盆地面積高度積分的計測影響不大，各種解析度計測出來的測高曲線都很類似。但不同 DEM 解析度對小面積 (<1km^2) 和平原型次集水盆地的面積高度積分計測則有較大的影響，使同一次集水盆地的各種解析度測高曲線表現各不相同。但不論任何面積大小及各種類型 (山地、丘陵、平原) 次集水盆地，其 40m 和 80m 解析度 DEM 所計測出的測高曲線都很接近，可見適度的簡化 DEM 解析度以提高資料處理速度仍是一個可行的作法。

在河流上、下游次集水盆地的面積高度積分分布特徵方面，我們發現上游山地型次集水盆地和下游平原型次集水盆地，其面積高度積分普遍較中游的丘陵型次集水盆地高。根據 Pike (1971) 流域高程起伏比的公式，我們發現流域高差越高，則其面積高度積分傾向越低。這正可以解釋為什麼低高差的平原型次集水盆地，有偏高的面積高度積分。同時也說明了流域上、下游不同位置的次集水盆地，其面積高度積分有不同表現，此為面積高度積分的空間依賴特性。利用丘陵型與平原型次集水盆地高差與面積高度積分的對數負相關關係，我們可以運用統計方式，求出各次集水盆地面積高度積分距回歸線的殘差值，如此就可以排除面積高度積分的空間依賴，進行流域上、下游次集水盆地的面積高度積分的分析與比較。

在面積高度積分的面積依賴特性方面，主要討論不同面積大小的次集水盆地，其面積高度積分的表現，是受地形因子中的岩性差異影響較多，還是受構造活動的控制為主？根據測試結果，發現面積小於 1km^2 的次集水盆地，其面積高度積分殘差值的高低同時受岩性及構造等因素控制，較難藉以觀察構造活動的活動性。而面積大於 2km^2 的次集水盆地，其面積高度積分殘差值則受構造活動的影響較顯著。這個結果顯示，欲以面積高度積分推論西部麓山帶前緣流域的構造活動相對活動性時，必須控制次集水盆地面積，以避免構造以外因素的干擾。

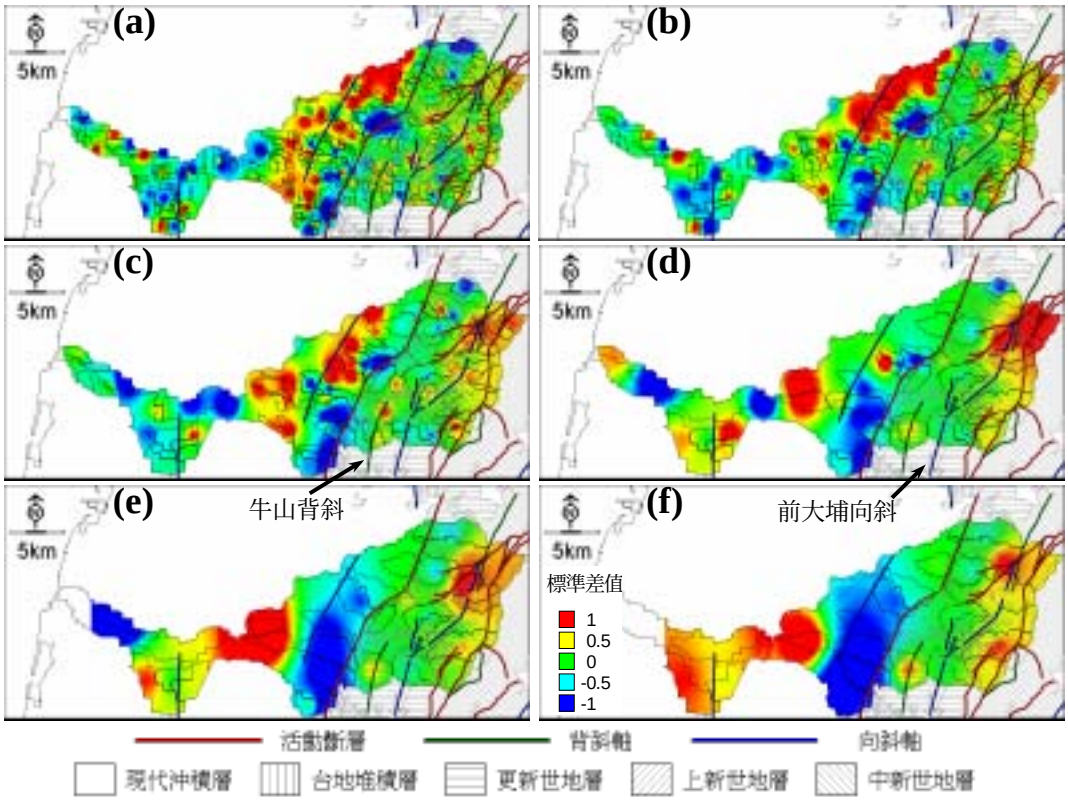


圖 12　急水溪流域不同細分程度的次集水盆地異常區與地層、構造線的關係。細分程度由集流閾值控制，集流閾值：a.=0.3km^2，b.=0.6km^2，c.=1km^2，d.=2km^2，e.=3km^2，f.=5km^2。地層及構造線的位置及性質係由中國石油股份公司(1986) 十萬分之一地質圖幅數化而成，平原部分構造線則參考 Sung and Chen (2001) 補充繪製。

引用文獻

中國石油股份公司 (1986) 臺南地質圖幅，中國石油股份公司臺灣油礦探勘總處編印。

何春蓀 (1986) 臺灣地質概論，臺灣地質圖說明書，臺北：經濟部中央地質調查所。

林貴昆 (1999) 利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，國立臺灣大學地質學研究所碩士論文。

張韻嫻 (2003) 臺灣地區流域面積高度積分之研究，國立高雄師範大學地理學系碩士論文。

陳于高 (1993) 晚更新世以來南臺灣地區海水面變化與新構造運動研究，國立臺灣大學地質學研究所博士論文。

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，國立成功大學地球科學研究所博士論文。

陳柔妃 (1999) 嘉南地區活動構造之地形計測指標研究，國立成功大學地球科學研究所碩士論文。

陳蕙芬 (1984) 從三角點檢測成果見到的臺灣地盤升降，經濟部中央地質調查所特刊，3 : 127-140。

鄭光佑 (2002) 臺灣西部麓山帶前緣流域面積高度積分之構造意義研究，國立高雄師範大學地理學系碩士論文。

Delcaillau, B., Deffontaines, B., Floissac, L., Angelier, J., Deramond, J., Souquet, P., Chu, H. T. and Lee, J. F. (1998) Morphotectonic evidence from lateral propagation of an active frontal fold; Pakuashan anticline, foothills of Taiwan, *Geomorphology*, 24 : 263-290.

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

Leandro, D'Allessandro, Maurizio, D. M., Paola, F., Eividio, L. P. and Silvia, P. (1999) Hypsometric analysis in the study of Italian drainage basin Morphoevolution, *Transactions, Japanese Geomorphology Union*, 20(3) : 187-202.

Lifton, N. A. and Chase, C. G. (1992) Tectonic, climatic and lithologic influences on landscape fractal dimension and hypsometry: implications for landscape evolution in the San Gabriel Mountains, California, *Geomorphology*, 5 : 77-114.

Ohmori, H. (1993) Changes in the hypsometric curve through mountain building resulting from concurrent tectonics and denudation, *Geomorphology*, 8 : 263-277.

Pike, R. J. and Wilson, S. E. (1971) Elevation-relief ratio, hypsometric integral, and geomorphic area-altitude analysis, *Geological Society of America Bulletin*, 82 : 1079-1084.

Rosenblatt, P., Pinet, P. C. and Thouvenot, E. (1994) Comparative hypsometric analysis of Earth and Venus, *Geophysical Research Letter*, 21 (6) : 465-468.

Strahler, A. N. (1952) Hypsometric (Area-Altitude) analysis of erosional topography, *Bulletin of the Geological Society of America*, 63 : 1117-1142.

Sung, Q. C. and Chen, Y. C. (2001) A new geomorphic index of active tectonic: the fractal vector derived from DEM, *International Symposium on Earthquake and Active Tectonic, Taipei, 2001 Join Geosciences Assembly (JGA)* : 165-166.

92 年 10 月 30 日　收稿
94 年　2 月 21 日　修正
94 年　3 月 2 日　接受