

數值高度模型與地形計測研究 資料解析度問題

Digital Elevation Model (DEM) and Geomorphometry: Issues of Data Resolution

賴進貴*

Jinn-Guey Lay

ABSTRACT

Geomorphometry is the study of landscape geometry. It employs quantitative measurements to describe landscape. This operation used to be done manually by interpreting contour maps, which is time-consuming and lack of consistence and precision. The development of digital elevation model provides a sound alternative of traditional process. However, the reliability of measurement resulted from DEM is affected by its data quality. This research investigates the impact of DEM resolution on the quality of resulting geomorphometric measurement use three different DEMs for test. Two new DEMs of different resolutions are created from each of the original DEM by using a resampling technique. The slope and aspect values of the nine DEMs are computed and compared. The test results reveal the relationships among data resolution, complexity of terrain, and nature of geomorphometric attributes. These findings enhance our understanding of the quality of DEMs.

Keywords: geographic information system, data quality, geomorphometry

摘 要

地形計測是一門探討地景幾何形貌的科學，嘗試利用定量的指標來敘述地表的形貌。傳統地形計測的進行，大都是由人工判讀等高線地形圖以求取各種參數。這個過程既費時，且缺乏一致性及精確性。數值高度模型的發展，提供了精確快速的量度工具。然而，數值高度模型的品質會影響地形計測的結果。本研究針對數值高度模型的解析度和計測結果的關係加以探討，利用三個不同複雜度的地形資料進行測試與分析。透過重新取樣的作業，本研究利用每一個測試資料分

* 台灣大學地理系副教授

Associate Professor, Department of Geography, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, Republic of China.

別另行產生兩個不同解析度的圖層。這九個圖層的坡度和坡向分別被計算和比較。測試結果顯示了地形複雜度、資料的解析度和地形計測參數等三者之間的關係。此一研究成果當有助於的提昇數值高度模型的應用與分析價值。

關鍵字：地理資訊系統、資料品質、地形計測

前 言

地形計測 (geomorphometry) 是一門探討地景幾何形貌的科學，嘗試利用定量的指標來敘述地表的形貌，屬於地形學的一個次領域 (Mark, 1975)。地形計測的進行，是透過一組可以量度的幾何參數來描述地形的特性，這些參數的求取，大都是在地形模型上進行，鮮少在野外進行直接量測。在電腦未臻普遍之前，等高線地形圖是最常被採用的地形模型，傳統的地形計測工作因而大都是以人工判讀的方式，從等高線圖上求取計測參數。這種人工計算的方式需花費大量的人力及時間，所能計算分析的參數非常有限，通常只能計算坡度和坡向等較為簡單的參數。再者，其所求得的結果不僅無法達到客觀一致的要求，且通常是以粗略的分級來表示，無法精確地顯示量度值的大小。近些年來，電腦應用的快速發展與普及，提供研究者進行大量分析計算的能力。對於地形學的研究需求而言，數值地形模型的發展提供了寬廣的應用空間。

目前數值地形模型主要的三種資料結構為：規則網格 (regular grid)，數值等高線 (digital contours) 和不規則三角網 (TIN)。為了便於區隔，一般又以數值高度模型 (DEM) 一詞來稱規則網格的數值地形資料。這三種資料結構的取樣方法、資料生產過程、資料品質問題，各不相同。理論上這三種結構各有其優缺點，然而在實際應用上，卻以規則網格的流通性最廣。相形之下，其他兩種結構在地理資訊系統中的使用情形則比較不普遍，以 ARC/INFO 和 GRASS 等兩套 GIS 軟體為例，其所提供的地形分析功能即以網格式結構為主，對於 TIN 和數值等高線的處理分析功能則極其有限。職是之故，本研究所探討的地形資料研究乃設定於規則網格的結構。

數值地形模式 (DTM) 在地形分析上的應用已經日益普遍，一般地理資訊系統大都提供了許多地形分析的功能。這些分析功能是否能提供合理正確的結果，需視演算法的適切性和資料的品質而定。就演算法的層面而言，在電腦中的所有操作都必須有明確的程序，同一個操作可能有許多不同的計算方法，這些方法不盡相同。以坡度的計算為例，現有的演算法已經超過十種以上 (賴進貴, 1996)，採用不同方法分析的結果通常會造成的差異。這些方法的比較與取捨是一個問題。就資料的層面而言，計測的結果會隨 DEM 資料的品質而有所不同，然而品質和計測結果之間的關連性尚有待商榷。本研究的主題是資料品質中的解析度問題，即針對 DEM 解析度的高低對地形計測結果所造成的影響加以探討。

資料品質問題是近年來地理資訊系統研究領域普遍關心的問題。就美國地質調查署 (USGS) 所訂定的空間資料轉換標準 (Spatial Data Transfer Standard, 簡稱 SDTS) 架構而言，它將資料品質所考慮的因子分為五個項目：資料處理歷史、位置準確度、屬性準確度、邏輯一致性、完整性等。其中的完整性因子就包括了資料的取捨標準，例如最小面積、距離的界定等 (Fegeas et al., 1992)，隱約包含了解析度的概念。Aronoff (1989: 137) 將資料的品質分成：微觀、宏觀、使用者等三個層面來加以探討，其中微觀的因子包括：位置準確度、屬性準確度、邏輯一致性、解析度等。其所謂的解析度即指最小的可辨識單位。就網格資料而言，此一最小單元可以是指網格的大小，如遙測衛星影像的網格大小；或是指抽樣點的間距，例如數值地形模型高度點之間的距離。抽樣間距大小和資料品質息息相關，在同樣大小的範圍內，解析度的高低會

影響到抽樣點的多寡，解析度太小則抽樣點較分散，影響到地形表現上的真實性，因為網格結構是以固定間距進行抽樣，這種取樣方式並不考慮地形的複雜情形，極可能出現重要的地形特徵未被選取，導致地形表現上的失真。相反的情形，若是解析度太大，造成抽樣點的點數高於所需，則可能出現資料量太大的累贅，浪費電腦的儲存與分析資源。若能針對不同的地形複雜度、不同的應用層面，找到合適的資料解析度，則不僅可以節省不必要的資源浪費，也可以確保資料分析的品質。

資料解析度的取捨是使用網格資料時的一大問題，Balce (1987) 指出：最適抽樣的目的是在於以最少的抽樣點來獲得正確的資料。其所謂的最適抽樣也就是本研究所關心的解析度大小問題。數值地形資料的解析度是否合適，受到很多因素影響，如：研究區之大小、地形複雜度、應用類別等等，很難加以明確地界定。本研究的焦點在於探討資料解析度、地形複雜度、和地形計測量度之間的關係，針對不同的地形環境，探討計測結果和資料解析度之間的關係。希望透過此一研究能增進吾人對於資料解析度的影響層面和影響程度之了解。

文獻回顧

有關數值地形模型的解析度問題，已經吸引了一些學者的注意力。Isaacson 和 Ripple (1990) 指出地形特徵量度的準確性取決於資料的品質和抽樣間距大小，他比較了同一地區兩組不同解析度的 DEM 資料，將產生的坡度和坡向值分為九級，結果發現從這兩個不同間距的 DEM 資料中量度，坡向只有 36% 是落在同一級，而坡度則只有 29% 落在同一級。Isaacson 只以一個地區來進行測試，所以得到的結果代表性並不高。另外，他並未考慮在不同地形複雜度之下，資料解析度對於地形計測的影響，有待後續研究補充其不足。

Chang 和 Tsai (1991) 曾測量不同 DEM 解析度對坡度、坡向的量度所造成的影響。他們採用 8 公尺到 80 公尺之間不同解析度的 DEM 資料，利用 ARC/INFO 的系統進行解析度和計測分析之間的比較。限於早期的 ARC/INFO 系統在網格分析上的有限功能，此一研究的計測部份是利用 ARC/INFO 系統中的 TIN (不規則三角網) 模組，由網格數值地形資料產生不同的 TIN 網格，再由各個 TIN 來計算坡度和坡向並加以比較。由於現有軟體產生 TIN 的過程本身即存在顯著差異 (賴進貴，1994)，其所產生的 TINs 也存在不同程度的不確定性 (uncertainty)。TIN 的結構容或有其他使用價值，但是在其資料生產的不確定性未獲合理解決之前，利用它們所進行的地形計測和解析度分析，在論證上頗值得商榷。蔡宗勳 (1994) 的研究針對規則網格數值地形模型的解析度和地形計測的關係進行研究，但是他所使用的測試資料是由數學方程式所推導出的圓滑曲面，而非真實的地形資料，在實證上比較難以立足。

針對前述討論所提出前人研究中有待改進之處，本研究以不同地形區的實際數值地形資料，利用網格式地理資訊系統，進行解析度和地形計測結果之比較，並探討二者間之關係。本研究是地形計測研究大架構下之一環，其目的在於瞭解資料解析度對地形計測結果之影響，並進一步探討這種影響的來源。以為後序訂定地形計測作業方法之依據。

研究方法及資料介紹

本研究的主題是探討在不同的地形條件下，數值地形模型解析度對於地形計測結果的影響。由於坡度和坡向的分析是最常被使用的地形計測參數，所以本研究選擇坡度和坡向這兩個因子，作為研究測試與比較的重點。實驗和測試工作包括四個步驟：

(一)選擇不同地形環境的地區做為測試資料

地形條件的差異，是本研究所欲探討的一項控制因子，本研究選定三個不同複雜度的地形資料。所使用的資料是由農林航空測量所生產的台灣地區數值地形模型，資料解析度為 40 公尺。

(二)資料重抽樣

為了產生不同解析度的資料，本研究自行從原始樣本資料重新採樣 (resample)，分別產生解析度為 80 公尺和 120 公尺的數值地形資料。連同原來的三個圖檔，總共產生九個圖檔。

(三)坡度和坡向計算

利用現成的地理資訊系統計算每一個圖檔的坡度和坡向。

四分析與討論

將各個地區不同解析度的計測結果加以比較和分析。並就各種不同地形環境、不同解析度之間的結果差異加以討論。

本研究所使用的 GIS 軟體，是以美國陸軍工兵研究單位所發展的 GRASS 4.1 版軟體為主。這套軟體是一套以網格分析功能為主的公益性軟體 (public domain software)。該軟體提供原始程式碼，使用者可以在 Unix 平台上自行安裝。本研究是在 IBM PC 相容的機器上，利用 Linux 的作業系統安裝此一軟體，所有測試工作是在此一環境下完成。部份分析工作則使用到 ARC/INFO 7.0 的系統。

本研究選取的三個資料分別代表三種不同地形：山地地形、丘陵地形、平地地形。茲將三個測試資料的位置、地質、地形、面積分別介紹如下。

(一)梨山地區

本圖層含 208 行 × 190 列，共計 39,520 個點。隸屬於臺中縣和平鄉。其範圍南到大甲溪北岸，德基水庫位於本區的西南角，梨山則在本區的東南側。依據何春蓀 (1975) 的研究調查報告，本區內分布的地層包括達見砂岩與佳陽層，前者主要由白色或淺灰色中粒至粗粒石英岩狀砂岩所組成，呈厚狀或塊狀，夾有薄層至厚層板岩或變質頁岩互層，頁岩有時略含炭質；後者則主要由厚層板岩組成，夾有少量細粒砂岩或粉砂岩，板岩劈理至為發達，板岩中夾有少許燧石團塊。達見砂岩因為岩性堅強，常構成著名瀑布。而佳陽層的底部也常構成脊樑山脈中的若干重要高峰。本區屬於雪山山脈的南支稜與東南支稜地區，山高谷深，是典型的臺灣高山地形。高度大致從北往南沿著稜線蜿蜒而遞降，最後到本區南側的大甲溪北岸。

(二)竹東地區

本圖層含 207 行 × 191 列，共計 39,537 個點。本區位於新竹縣竹東鎮的西南方。中間有峨眉溪由東向西流過，而大埔水庫 (峨眉湖) 即位於本區的西南角。地質上屬於竹東丘陵的範圍，完全以頭料山統鬆軟的砂岩與頁岩夾礫層而成 (林朝榮, 1957)。本區位於頭前溪與中港溪所挾之切割臺地的範圍內，為竹東丘陵的一部。竹東丘陵東境以竹東斷層為界，西境逼近香山海岸 (林朝榮, 1957)，丘陵上之溪谷，呈標準樹枝狀水系，組織 (texture) 甚密。

(三) 朴子地區

本圖層含 207 行 × 192 列，共計 39,744 個點。本區隸屬於嘉義縣的東石鄉、六腳鄉、朴子鄉、布袋鎮、義竹鄉及鹿草鄉，其範圍北起於朴子溪，南至布袋鎮與義竹鄉的交界，西界距海岸線約一至三公里，東界則到臺十九線公路東側一至二公里處。地質屬於第四紀沖積層，主要地形包括潟湖、海岸平原及河道沖積層，屬於嘉南平原的一部份。本區西接潮汐灘地，東為平原區，因此本區地勢平坦，除少數砂丘外，大部份標高在 10 公尺以下。

表 1 三個測試資料之高度統計數字（單位：公尺）

地區／統計值	最大值	最小值	平均值	標準差
梨 山	351	1392	2346.5	471.5
竹 東	345	35	121.0	37.6
朴 子	10	0	4.6	1.5

表 1 所列為這三個測試區的統計數字，顯示了這些地區的絕對高度、高差、平均高度、崎嶇程度的差異。就地形意義而言，這三個地區分別代表台灣最為普遍的高山地形、淺山丘陵、及沖積平原地形。在實務工作上，沖積平原的地形計測鮮少受到重視，然而為了強調資料之代表性，並瞭解地形差異對地形計測之影響，本研究乃將朴子地區的平坦地形納入測試中。

研究測試與討論

本研究利用 GRASS 系統的 `r.slope.aspect` 指令，分別就三個測試資料計算其在三種不同解析度下坡度和坡向的改變。坡度計算所得的結果以度為單位，可能的數值在 0 度到 90 度之間。坡向值則以正北為基準，依順時鐘方向從 1 度到 360 度不等。同一地區的三種計算結果，以 `r.mapcalc` 將不同解析度的圖層相減，以得到每個網格間對應網格的差異。在坡度比較過程中，是直接將兩個圖層相減以求取其差距，坡向的差距則是以兩個可能方向之間的夾角大小做為比較的依據。

本研究分別探討不同地形區（梨山、竹東、朴子等三地區）和不同解析度的資料（40m、80m、和 120m）對於地形計測的影響。為了詳細比較各種不同因子的效果，本文分別就宏觀（macro level）和微觀（micro level）的尺度來討論坡度和坡向的量度，受各種不同因子的影響。

(一) 坡度計測結果分析

本報告首先就宏觀的尺度分析，解析度改變對於坡度計測的影響。表 2 所列舉的是三個測試地區資料，其坡度計測結果的統計數字，顯示各個圖層的坡度值，如何受解析度的改變而有所不同。表 3 進一步顯示，各個測試資料的坡度，隨解析度改變時，其不同坡度改變等級所佔的百分率。

如表 2 所示，三個測試地區的計測結果顯示：當數值高度模型的解析度降低時，所求得的坡度值之極大值、平均、標準差等統計數字一致地有降低的現象。這一結果顯示解析度的降低造成了地形的平夷化。表 3 數字顯示的是各個地區資料，隨解析度的改變，坡度值改變在 10 度以內的網格所佔之百分比。結果顯示三個地區在不同的解析度變化之下，坡度值改變在 10 度內的

比率從70%至100%不等。三個測試地區的坡度變化情形有明顯的差異。朴子地區所有網格的改變量都在10度以內，顯示當解析度改變時，在平坦地區的坡度改變率非常之小。不同解析度之間的坡度計測結果變化，大致是隨地形複雜程度的提高而拉大差距。

為了進一步了解坡度變化和解析度大小之間的關係，本研究採取微觀層次的分析，就每個網格的原始坡度及其在解析度變化之後的坡度變化進行分析。由於三個研究區中的梨山地區，區內的高差最大，同時又涵蓋不同的坡度，所以本研究就這個地區進行細部分析。表4和表5分別顯示解析度由40m降為80m時以及由40m降為120m時，各級原始坡度的變化情形。

表2 各圖層坡度之統計數字 單位：度)

地 區	統計值	40m 圖層	80m 圖層	120m 圖層
梨 山	極大值	65	56	52
	平均值	32.13	32.83	29.19
	標準差	10.62	10.65	10.94
竹 東	極大值	44	34	29
	平均值	14.01	9.57	7.00
	標準差	7.41	5.24	3.95
朴 子	極大值	6	3	2
	平均值	1.30	1.01	0.95
	標準差	0.54	0.31	0.26

表3 坡度變化量在-10度到10度之網格所佔百分比(%)

地 區	差異量(度)	40m-80m	40m-120m	80m-120m
梨 山	-(1-10)	26.01	20.46	27.16
	0	8.81	7.01	12.12
	1-10	52.05	48.38	49.88
	total	86.87	75.85	89.16
竹 東	-(1-10)	18.47	12.34	20.68
	0	9.26	6.69	13.14
	1-10	56.85	50.97	62.30
	total	84.58	70.00	96.12
朴 子	-(1-10)	1.86	0.46	0.53
	0	69.03	66.89	93.12
	1-10	29.11	32.65	6.36
	total	100.00	100.00	100.00

表4 40m - 80m 圖層之間坡度差異大小與原始坡度之關係 (單位：網點數)

梨山地區 坡度分級(度)		0-9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69
坡度差 分級	網格個數	1225	2029	5755	15769	12932	1696	84
	百分比	3.18	5.13	14.56	39.90	32.72	4.29	0.21
-(31-40)	2 0.01%	1	1	0	0	0	0	0
-(21-30)	59 0.15%	22	31	6	0	0	0	0
-(11-20)	643 1.63%	118	260	191	67	7	0	0
-(1-10)	10281 26.01%	229	961	2727	5030	1300	34	0
0	3481 8.81%	813	122	387	1371	761	27	0
1-10	20571 52.05%	72	575	2033	7846	8943	1077	25
11-20	3212 8.13%	0	79	282	992	1370	439	50
21-30	606 1.53%	0	0	129	161	244	68	4
31-40	412 1.04%	0	0	0	302	98	8	4
41-50	221 0.56%	0	0	0	0	209	12	0
51-60	32 0.08%	0	0	0	0	0	31	1

表5 40m - 120m 圖層之間坡度差異大小與原始坡度之關係 (單位: 網點數)

梨山地區	坡度分級 (度)	0-9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69
坡度差 分級 (度)	網格個數 、百分比	1255 3.18	2029 5.13	5755 14.56	15769 39.90	12932 32.72	1696 4.29	84 0.21
-(21-30)	33 0.08%	12	16	5	0	0	0	0
-(11-20)	633 1.60%	121	274	186	52	0	0	0
-(1-10)	8085 20.46%	236	955	2531	3758	602	3	0
0	2770 7.01%	819	102	342	1148	358	1	0
1-10	19119 48.38%	67	565	2007	8241	7701	538	0
11-20	6076 15.37%	0	117	432	1635	3000	846	46
21-30	1418 3.59%	0	0	252	330	627	178	31
31-40	854 2.16%	0	0	0	605	210	35	4
41-50	456 1.18%	0	0	0	0	434	32	0
51-60	64 0.16%	0	0	0	0	0	63	1
61-70	2 0.01%	0	0	0	0	0	0	2

就上列表格的數字加以分析, 筆者發現數項規律性的變化。首先, 就坡度值改變的量與原始坡度大小的關係而言, 當資料的解析度由大變小時, 地勢平坦地區的坡度有增加的現象, 坡度陡峭的地方則有降低的現象。這種現象同時出現在解析度由 40 m 降為 80 m 以及由 40 m 降為 120 m 的測試中, 而在後者尤為明顯。第二個現象是, 兩個不同解析度圖層之間坡度變化的大小, 和原始圖層中的坡度大小成正相關, 原始坡度越大者, 其在不同圖層中的坡度差距越大。

(二) 坡向計測結果分析

本研究利用 GRASS 系統計算各個網格的坡向值, GRASS 系統所求得的坡向是以正北為基準, 依順時鐘方向分別以 1 度到 360 度來表現, 以 0 來表示該點為平坦地區。不同圖層中同一網格的坡向差是以兩者之間的夾角為準, 此一差距應該在 0 度到 180 度之間。為便於分析, 本報告又將這些角度分成五級。坡向差的統計結果如表 6。

表6 圖層間網格坡向變化量之百分比 (%)

地 區	差異量 (度)	40m-80m (%)	40m-120m (%)	80m-120m (%)
梨 山	0	4.36	3.61	6.55
	1 - 45	88.01	83.35	85.94
	46 - 90	5.40	9.20	5.11
	91 -135	1.38	1.56	1.34
	136-180	0.85		1.06
竹 東	0	3.32	2.80	5.15
	1 - 45	67.11	55.06	66.83
	46 - 90	17.98	25.19	16.47
	91 -135	6.62	10.24	6.43
	136-180	4.97	6.71	5.12
朴 子	0	37.45	25.01	28.99
	1 - 45	21.55	21.32	30.26
	46 - 90	14.72	18.04	14.97
	91 -135	16.36	20.80	14.16
	136-180	9.92	14.84	11.62

從宏觀的角度來加以分析，地形區的特性和坡向計測結果有顯著的關係。依表6的數字所顯示，三個測試區中最複雜的梨山，無論在任何解析度改變的情形下，其坡向的改變量在45度以內者，所佔的比率都是三個地區中最高的，分別為88.01%、83.35%、以及85.94%。三個測試資料中的朴子地區，由於地勢平坦，坡度為零的網格比例甚高（佔67.42%），其坡向變化量為0的網格比率也最高，分別有37.25%、25.02%、28.99%的網格之坡向改變量落於這一級。在地形平坦的地區，坡向完全沒改變的網格百分比，較複雜地區沒改變的網格百分比為多，至於有發生改變的網格，其坡向改變的大小則又比地形複雜區的改變量來得大。整體而言，平坦地區因資料解析度改變所造成的坡向變化反較複雜區的變化為大。此一現象顯示平坦區的坡向值受解析度高低的所引起的變化，比複雜地形區的坡向變化要來得大。圖1的統計圖表顯示了這些差異。

為了進一步了解坡向改變和原始坡度大小的關係，本研究另外以梨山地區的資料為樣本，分析坡度和坡向改變的關連性。所採用的坡向值，是以40m的圖層所計算求得的坡度為標準。表7和表8分別比較40—80及40—120圖層的變化情形。

表7 40m—80m圖層之間坡向差異大小與坡度值之關係（單位：網點數）

梨山地區	坡度分級	0-9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69
坡向差分級	網點個數、百分比	1255 3.18	2029 5.13	5755 14.56	15769 39.90	12932 32.72	1696 4.29	84 0.21
0	1723 4.36	795	25	104	383	356	59	1
1-45	34778 88.00	253	1476	4949	14396	12041	1582	81
46-90	2138 5.41	104	356	529	762	363	23	1
91-135	547 1.38	62	121	118	138	92	15	1
136-180	334 0.85	41	51	55	90	80	17	0

表8 40m - 120m圖層之間坡向差異大小與坡度值之關係（單位：網點數）

梨山地區	坡度分級	0-9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69
坡向差分級	網點個數、百分比	1255 3.18	2029 5.13	5755 14.56	15769 39.90	12932 32.72	1696 4.29	84 0.21
0	1427 3.61	793	17	84	273	234	26	0
1-45	32940 83.35	203	1359	4611	13764	11421	1509	73
46-90	3637 9.20	139	421	793	1283	906	88	7
91-135	889 2.27	77	159	162	259	199	39	4
136-180	617 1.56	43	73	105	190	172	34	0

表7和表8的數字屬於微觀層面的分析。根據這兩個表格的數字而言，當解析度改變時，坡向改變量集中於1-45度這一級，分別高達80%以上，而40—80的比率又高於40—120這組的比率。就坡向值改變量大小和坡度的關係而言，平坦地區(0-9度)坡向完全沒有改變的比率最高，可高達56%（793/1427）。在另一個層面，平坦地區坡向差在45度以上所佔的比率也最大，隨著坡度的增加，坡向改變在45度以上所佔的比率也隨之降低。原始坡度較大的地區，坡向要完全保持原樣的機會很小，但是其改變量在45度之內的比率也是各級中最高的。顯示坡度大的地區，其坡向值反而比較不容易受解析度的改變而有所變化。

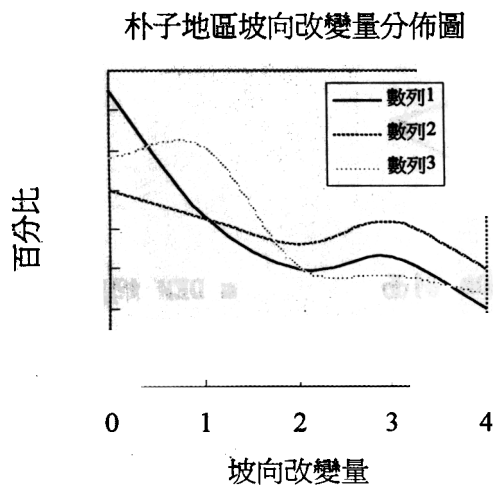
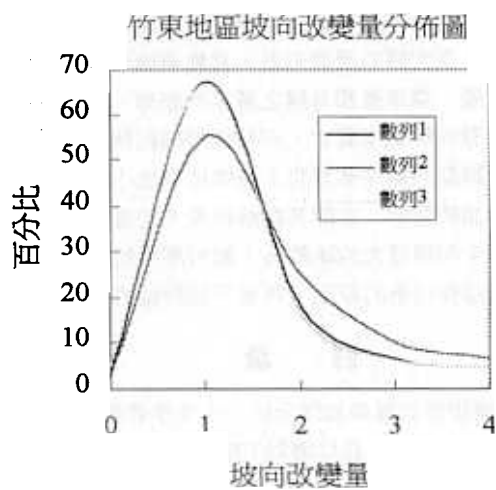
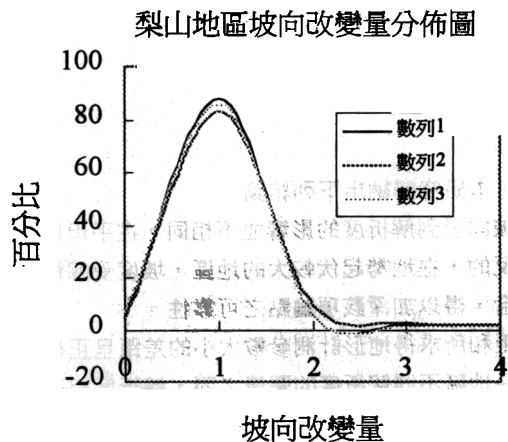


圖1 研究地區不同解析度圖層的坡向變化情形

【註】數列1表40m與80m圖層之坡向差距值；數列2表40m與120m圖層之坡向差距值
數列3表80m與120m圖層之坡向差距值

(三) 測試分析總結

綜合坡度和坡向的分析，本研究歸納出下列結論

- 1、不同地形區的坡度和坡向受到解析度的影響並不相同。在平坦地區，坡向值對於解析度的改變較為敏感；相反的，在地勢起伏較大的地區，坡度受解析度的影響較大。此一結論和前人研究結果吻合，得以加深該項論點之可靠性。
- 2、圖層解析度大小的差距和所求得地形計測參數大小的差距呈正相關的現象。就坡度和坡向的比較而言，在同一地區不同解析度的圖層之間，解析度相近的圖層其地形計測的結果也較為接近，反之亦然。以梨山地區的資料為例，解析度相差 40m 的圖層（如 40m 和 80m 以及 80m 和 120m），其坡度值差距在 10 度以上者只佔約 10%，而解析度相差 80m 的圖層（如 40m 和 120m 圖層）則為 24.15%。此一現象亦出現在坡向上。這說明了兩圖層的解析度差距越大，則其在地形計測上的差距亦會增大。
- 3、本研究的測試結果發現，從宏觀的層面來看，當數值地形資料的解析度降低時，整個圖層坡度的平均值、極大值、標準差都有隨之減小的趨勢，顯示解析度的降低，會造成地形面的平夷化。若某圖層的解析度變大，則其地形的起伏將趨於平緩。在另一方面，從微觀的層面來探討個別網點的坡度值變化，原本坡度值小的網點，其坡度值往往隨著圖層解析度的降低而有增加的趨勢，亦即其在解析度大的圖層上的坡度值往往是小於解析度較小圖層上的坡度值；而坡度大的陡峭區，解析度大的圖層所量度出之值大於解析度小的圖層。有關於造成這些現象的原因，將是下節討論的重點之一。

討 論

從數值高度模型的本質和解析度的意義加以分析，本文作者認為 DEM 解析度的變化其實反映了資料概括化過程所衍生的兩種效應。茲以圖 2 的剖面為例來加以說明。

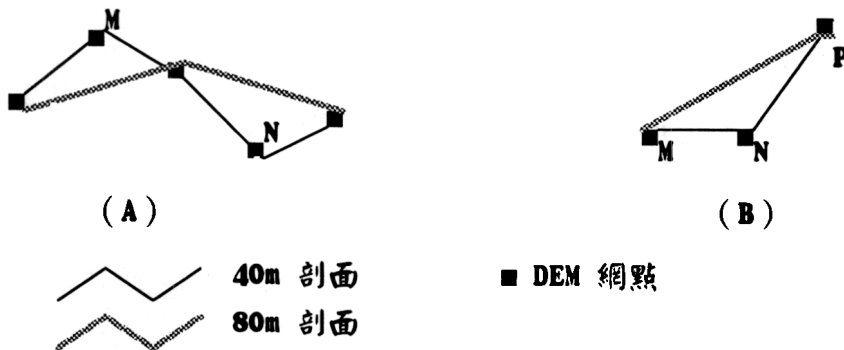


圖 2 不同解析度 DEM 的剖面範例

當 DEM 的解析度縮小、網點的間距加大時，一部份原屬於地形轉折地帶的高度值，無可避免地會被略去，其結果是減少了點與點之間的起伏（relief），因而造成整體坡度的平夷化。如圖 2（A）範例中所顯示的 M 點，在地形上具有峰頂的特性，亦即其高度高於周圍網點的高

度，N 點則是凹地的剖面特徵。類似這種地形轉折點若被略去，則會造成地勢的平夷。就個別網點的坡度變化而言，圖2（B）的曲線提供範例說明。當一條原本或凸或凹的剖面線，在重新抽樣之後變成一條直線，原本平坦部份的坡度因而增加（如 MN），而陡峭的部份反而變成平緩些（如 NP），所以在微觀尺度上分別出現坡度減小和增加的情形。為了驗證此一地形特徵所造成的影響，本研究利用微地形分析與地形計測量度的指標，進行進一步的驗證與討論。

點與凹地所佔比例的高低，可以反應出地形坡度轉折和崎嶇的程度。本研究分別分析三個測試地區中，峰點與凹地佔全區的比例。有關峰點與凹地的定義，從地形與認知科學上的角度都可以有許多不同的說法，這些爭議非本文討論的重點。由於本文所需只是不同區域間的比較，並未涉入絕對的意義，因此所使用的定義以簡單為要。任何一個網點只要其四個剖面中的任何一個具有凸起或下凹的特徵，即被定義為峰點或凹地。根據此一操作型定義，本研究的分析結果顯示，梨山地區有 31.75% 的網格具有峰點的特徵，34.46% 網格具有凹地的特徵；竹東地區有 37.75% 的網格具有峰點的特徵，39.50% 網格具有凹地的特徵；朴子地區有 12.96% 的網格具有峰點的特徵，13.28% 網格具有凹地的特徵。這些結果顯示竹東地區的地形起伏轉折比例最高，梨山次之，朴子最小。此一順序部份反映了 DEM 解析度和地形轉折程度之間的關連，但並非全部。例如，竹東的轉折程度大於梨山，而其坡度值受解析度影響改變的程度則又小於梨山。此一現象顯示，地形特徵和解析度的關連，尚須考慮到其他的地形特性。

地形計測參數中的組織（texture）和曲率（curvature）等指標，可以用來顯示局部地區的地形特徵。組織分析是在 3×3 DEM 的小範圍內，直接計算高度值的標準差，這種概念亦即影像處理上所使用的組織，和傳統地形上的粗糙度（roughness）概念相近。曲率可定義為坡度與坡向改變的比率或是高度的二次微分，它又分為剖面曲率（profile curvature）及平面曲率（plane curvature）兩種，分別位於最大坡度方向及垂直於最大坡度方向的曲率。針對坡度的變化，吾人所關心的是剖面曲率的數值。本研究另行利用 ARC/INFO 7.0 系統中相關指令，分別計算三個研究區的組織和剖面曲率，結果分別標適於表9及表10。

表9 三個測試資料之組織統計數字 單位：公尺

統計值\地區	梨山	竹東	朴子
最大值	76.8	29.5	2.6
最小值	0.5	0.0	0.0
平均值	25.0	9.1	0.3
標準差	7.7	4.1	0.3

表10 三個測試資料之剖面曲率統計數字（單位：1/100m）

統計值\地區	梨山	竹東	朴子
最大值	14.4	3.4	0.7
最小值	-12.8	-3.1	-16.0
平均值	0.0	0.0	0.0
標準差	1.2	0.7	0.1

組織所顯示的是局部地區內的崎嶇程度，而剖面曲率所顯示的是局部地區的剖面坡度變化情形。由這兩個表格的統計數字顯示，梨山地區的崎嶇度和坡度的變化情形，都是三個測試區中最大的一個，竹東次之，而朴子地區最小。這種順序和測試結果中計測值改變量的大小順序完全吻合。

限於篇幅，本研究報告不擬進一步針對從個別網點的剖面曲率及組織，來探討解析度大小及計測結果變化情形之間的微觀層次問題。此一部份的研究將留待後續研究來進行更深入的探討。

結 論

資料品質問題是地理資訊系統發展上所面臨的關鍵課題。數值高度模型是一項重要的地理資料，其品質問題廣泛地影響著各相關的應用。透過實際資料的測試，本研究以坡度和坡向的計測為例，探討數值高度模型的解析度對於地形計測結果的影響。研究結果顯示個別的地形計測因子受解析度不同所造成的影響不一，而其變化大小又受地形特性之影響而有不一致的變化情形。就地形計測工作而言，本研究顯示數值高度模型的品質問題和個別計測參數本身的特性有密切關係。因此，有關於資料品質和實際應用的需求，應該是從事資料品質研究時需要合併考慮的因子，不能分開來獨立討論。

本研究是一長期研究工作之初步工作，其最終目的在於發展一套自動地形計測的品質控制的理論架構，進而提出一套明確的指標，用以指示如何針對地形特性和品質要求，來選擇適當解析度的 DEM。本報告探討了 DEM 解析度和地形計測的關係，全文偏重在誤差的度量與分析。目前的成果顯示在不同的地形區、或使用不同計測參數時，DEM 解析度改變所造成的影響並不一致。限於本研究測試資料的樣本數和論文篇幅限制，本文並未明確地界定二者之間的關係，進而提出指標。再者，這種指標的建立必須將地形計測的演算法一併納入考慮，方能得到有意義的指標。本文提供了解析度問題的探討，另有報告針對地形計測不同演算法之間的差異加以探討（賴進貴，1996）。後續研究工作將建構在本研究報告的基礎上，試圖提出一套指標，得以由使用者根據地形特性和分析工作的需求，來決定所應該採用的 DEM 之解析度，如此當能有促進數值地形模型在地形計測的合理應用，提昇分析結果之品質。

謝 辭

本研究承行政院國家科學委員會補助研究經費，計畫編號 NSC 83-0202-M-002-016，謹此致謝。電腦測試部份由研究助理王慧勳、陳清目、陳正儒等同學協助進行，謹在此一併致謝。

引用文獻

- 林朝榮(1957) 台灣地形，台灣省通誌稿卷一，土地志地理篇(第一冊)，台灣省文獻委員會，第 266 頁。
- 何春蓀(1975) 台灣地質概論，台灣地質圖說明書，經濟部出版。
- 蔡宗勳(1994) 數值高度模式之地形量度研究，國立台灣大學地理學研究所碩士論文。
- 賴進貴(1994) 數值地形模型比較之研究，國立台灣大學地理系地理學報，17：87-100。

- 賴進貴 (1996) 自動化地形計測之研究，國立台灣大學地理系。國科會補助研究計畫報告 (NSC 83-0202-M-002-016) 。
- Aronoff, S. (1989) *Geographic information systems: a management perspective*. Ottawa, Canada: WDL Publication.
- Balce, A. E. (1987) Determination of optimum sampling interval in grid digital elevation models (DEM) data acquisition, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 53(3) : 323-330.
- Chang, K. T. & Tsai, B. W. (1991) The effect of DEM resolution on slope and aspect mapping, *Cartography and Geographic Information Systems*, 18(1): 69-77.
- Fegeas, R. G, J. L. Cascio, & R. A. Lazar (1992) An overview of FIPS 173, the spatial data transfer standard, *Cartography and Geographic Information Systems*, 19(5): 278-293.
- Mark, D. M. (1975) Geomorphometric parameters: a review and evaluation, *Geografiska Annaler*, 57A(3-4):165-177.
- Isaacson, D. L., & W. J. Ripple (1990), Comparison of 7.5-minute and 1-degree digital elevation models, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 56(11): 1523-1527.

84年10月30日 收稿

85年2月10日 修正

85年2月25日 接受