

# 數值地形模型

## 應用於集水區水文模式上之探討

廖學誠

美國科羅拉多州立大學集水區科學博士班研究生

詹進發

國立台灣大學森林學系



形模型相似的另一種數值地形資料是數值高程模型 (Digital Elevation Model, DEM)，雖然兩者在資料結構上極為相似，但其彼此所代表的意義卻有所不同。Petrie 與 Kenzie (1990) 曾指出，DEM 乃著重於高程資料，在模型中的每一點均包含一個高度，而 DTM 則是較為複雜，它

### 壹·前言

數值地形模型 (Digital Terrain Model, DTM) 是由一連串已知其 XYZ 座標值的點所組合而成，它是由美國麻省理工學院 Miller 與 Flamme 於 1958 年所提出，用來表示連續地表狀況的一種展現方式。數值地形模型可將地形資料儲存於電腦中，以供各種地形問題的分析與評估之用，此種資料的儲存方式與已往的地圖略有不同，但其實用性與方便性卻比傳統地圖高出甚多。與數值地

不只包含高程資料，舉凡與地形特性有關的如河川、山脊等均能納入其中。Burrough (1994) 亦曾提出 DEM 與 DTM 的差別：「地形 (terrain) 這名詞常暗示地景的特性，而不只是指地表的高度而已，至於 DEM 則應專指高程資料」。近年來，數值地形模型已被廣泛地應用於工程、農業、地理及自然資源上，其中包括下列幾項重要用途：(1) 儲存數值高程資料；(2) 道路的挖填方設計；(3) 三度空間的展示；(4) 能視度之分析；(5) 道路路徑及水壩位置的選定；(6) 不同

地形的比較與分析；(7) 輔助地貌學的研究及沖蝕、逕流之預測；(8) 與土壤、土地利用及植生等資料結合並展示之 (Burrough, 1994)。

邁前。

## 貳、數值地形模型之基本特性



1994)。

集水區地形特性，如河川網路、集水區面積、坡度及坡向等常是水文模式中的重要參數，雖然這些參數可由地形圖中，經由人工測繪得之，但常是曠日廢時，且易於造成錯誤，此外，當子集水區數目有所變動，或集水區地形改變時，這些水文模式的參數亦需重新量測，在人力物力上所費不貲。有鑑於此，許多專家學者乃積極研究克服之道，而數值地形模型正能提供這關鍵之鑰，使得集水區地形特性分析比已往便捷許多，尤其近年來地理資訊系統的蓬勃發展，與數值地形模型緊密結合後，除了能快速準確地獲取水文模式參數外，更能將水文模式的模擬結果展現出來，使集水區水文模式的發展大步

### (一) 數值地形模型之製作方法

Petrie 與 Kennie (1990)、Jensen (1996) 等曾指出，製作數值地形模型有三種主要方法：

#### 1. 實地調查：

利用測量儀器至現場量測高程及座標，並將其轉換成數值地形模型。此法適合小面積區域，其精確度較高，尤

其近年來全球定位系統 (Global Positioning System, GPS) 的不斷改良，使得高程及座標之量測方便許多。

#### 2. 數化地形圖：

利用數化儀器設備如地理資訊系統或掃描器等，數化地形圖上之等高線或地形特殊之處如山頂、河谷等，並將其轉換成數值地形模型。此法常受地形圖及數化儀器之精確度所影響，此外，數化方式又可分人工數化、半自動及全自動數化等，而以全自動數化誤差較小。

#### 3. 由航空照片或衛星影像資料判釋而得：

透過立體影像分析，數值地形模型可由航空照片或衛星影像資料中獲得，此法可應用於大面積區域，其精確度與航高及影像判

釋儀器種類密切相關，此外，此法亦可應用於繪製地形圖。目前許多數值地形模型與地形圖均用此法製作，雖然儀器設備較為昂貴，但卻也較快速準確。

## (二) 數值地形模型之資料結構格式

數值地形模型之資料結構格式主要有三種 (Moore, et al., 1993)：

### 1. 規則網格 (Grid-based network)：

以等距的網格方式儲存數值地形模型，其 XY 座標代表地面位置，Z 值則為高度。規則網格的優點在於運算方便，尤其是坡度、坡向等均能快速計算而得，此乃由於其網格結構易於分析所致。此外，網格狀的數值地形模型，較容易與同為網格式的衛星影像資料結合應用 (賴晃宇, 1995)。雖然網格法有許多優點，但亦有其限制性，Quinn, et al. (1995) 曾指出，當數值地形模型的網格太大時，許多地形將被平滑化，級數較低的河川容易被去除掉，而當網格太小時，將增加許多資料儲存空間及資料處理時間。

### 2. 不規則三角網 (Triangular irregular net-



### work, TIN)：

此法乃是於地表上取特殊之點如山頂、河谷及地形變化較大之處等，將其座標及高程記下，並由各點間連接成數值地形模型。此法優點在於其不受固定網格之限制，可依地形變化之所需而取樣點，因此較能展現出地形特性，而其資料量亦不若規則網格大，此外，利用不規則三角網之數值地形模型，可模擬出較符合實際狀況之水流途徑，不像規則網格般是由各網格砌成河道形態 (Devantier and Feldman, 1993)。TIN 的主要缺點在於其向量式的資料結構特性，致使在製作及應用上，均需花費較多的時間，其計算亦較為繁複。

### 3. 等高線 (Contour-based network)：

此法乃數化地形圖上之等高線，再配合



其高程，將之製成數值地形模型，其精確度與等高線之製作方式密切相關，一般而言，由航空照片或衛星影像資料判釋而得之等高線，再轉製成數值地形模型者為佳 (Moore, et al., 1993)。此法優點在於其模擬水流途徑比規則網格較能反映出真實狀況，但缺點則是需要較多資料儲存空間，而運算上亦較費時，因此在使用時，大都將其轉換為規則網格或不規則三角網之數值地形模型。此法除了可應用於等高線資料外，亦可應用於等雨量線及等溫線等。

## 參、數值地形模型於集水區水文模式上之應用

雖然數值地形模型有助於集水區水文模式的參數粹取與地形模擬，但其特殊的資料儲存格式，亦會造成水文模式應用上的一些限制。由於網格狀的數值地形模型在水文模式應用上較為普遍，因此本文只著重於規則網格數值地形模型之探討，如下所述：

### 1. 網格大小：

網格大小常會影響到水文模擬結果。Zhang 及 Montgomery (1994) 曾利用五種不同網格大小 (2、4、10、30 及 90 公尺) 之數值地形模型，探討美國加州及奧瑞崗州陡坡集水區之水文特性，結果顯示，為兼顧空間解析度及資料處理需要，在陡坡集水區以網格為 10 公尺者較佳。Bruneau et al. (1995) 利用六種不同網格大小 (20、25、30、50、75 及 100 公尺) 之數值地形模型，與水文模式 TOPMODEL 結合應用，模擬法國集

水區之逕流，其結果指出，網格小於 50 公尺者，其所模擬出之逕流量較為正確。

網格大小亦會影響到集水區面積及坡度。Bruneau et al. (1995) 曾指出，當網格大小不同時，其所粹取出來的集水區面積將隨之不同。Nelson 與 Jones (1995) 探討河川網路時亦曾指出，網格大小將會影響到集水區之坡度特性。由於集水區面積及坡度常是水文模式中之重要參數，因此應用數值地形模型於集水區水文模式上時，網格大小之選定甚為重要。

### 2. 水流方向

由於網格狀的數值地形模型，其資料結構格式常會限制住水流之模擬，因此，許許多不同的水流方向演算法 (algorithm) 已被陸續發展出來。一般而言，水流方向演算法可概分為兩種，第一是以流至其鄰近網格中高度最低者之方向作為水流之方向，此法稱之為單一流向，另一種水流方向稱之為多元流向，亦即網格中的水可同時流至其鄰近數個高度較低的網格內 (Wolock and McCabe Jr., 1995)。

O'Callaghan 及 Mark (1984) 是探討數值地形模型間水流方向之先驅之一，他們提出單一流向概念，並由數值地形模型中粹取出河川網路。由於單一流向只容許一個水流方向，與現實狀況略有不符，因此，Quinn et al. (1991) 提出多元流向演算法，依據網格間之坡度來決定水流方向，網格內的水可同時流至鄰近數個網格中。由於 Quinn 等的多元流向演算法，其水流方向過於分散，因此，Costa-Cabral 及 Burges (1994) 提出另一

種水流方向演算法，當坡向為 $90^\circ$ 的倍數時（正東西南北向），則水流只流至坡向所指之網格，就如同單一流向一般，除此之外，水流最多只能流至相鄰的兩個網格，例如坡向為東北向（ $45^\circ$ ）時，水流將分配至東邊及北邊的網格，此法與Quinn等方法有兩個不同之處，第一，前者以坡向為基礎，而後者以坡度為基礎，第二，前者最多只能流至兩個網格，而後者最多可流至八個網格。Wolock及McCabe Jr. (1995)發展另一種水流方向演算法，與水文模式TOPMODEL結合應用，其計算方式與Quinn等方法相似，而差別只在相鄰網格邊界長之設定不同而已。Tarboton (1997)亦曾提出另一種水流方向演算法，其概念與Costa-Cabral及Burgess方法類似，唯一差別在於水流之分配，當坡向為 $45^\circ$ 的倍數時，水流將分配至坡向所指之網格，此為單一流向，但當坡向不是 $45^\circ$ 的倍數時，水流只能流至坡向所指的相鄰兩個網格，例如坡向為東北北向時，水流將分配到東北及北邊的網格，其餘依此類推。

### 3. 河川網路之粹取

與河川網路相關之因子，如河流支數、河流長度、排水密度、子集水區面積及河流坡度等，常是水文模式中之重要參數，這些因子均可由數值地形模型中粹取而得，但在粹取過程

中有兩點值得特別注意：

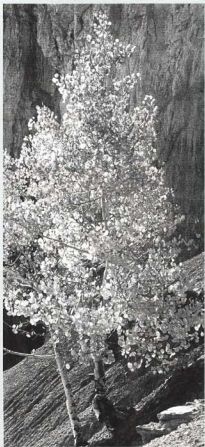
#### (1) 窪地處理

Tribe (1992)、Nelson及Jones (1995)曾指出，網格數值地形模型不僅會影響到河川流徑形狀，且易於形成窪地現象，也就是某一網格其高度比其週遭網格之高度較低，致使水流無法排出，造成河川流徑中斷，此外，網格大小亦會影響到集水區之坡度特性，進而造成河川界定之錯誤，此種情形常發生於坡度平緩的集水區，因此，在粹取河川網路之前，需先將窪地部份予以填平。

#### (2) 臨界面積 (threshold area) 之選定

臨界面積主要在決定河川網路之密度，大於臨界面積之區域才會成為河川，當臨界面積較小時，河川網路將較密集，反之，河川網路則將較為疏鬆，因此，臨界面積之大小常是影響河川網路分佈之關鍵所在。Ros及Borga (1997)曾探討不同的臨界面積對河川網路之影響，





其結果指出，不同的臨界面積將造成不同的河流支數比、河流長度比、河流面積比、排水密度及河川頻率等，此外，亦會對地貌瞬時單位歷線 (Geomorphological instantaneous unit hydrograph, GIUH) 有所影響。



## 肆、結論

數值地形模型與集水區水文模式的結合應用已是時勢所趨，許多水文模式上之參數，均能由數值地形模型中粹取而得，雖然其方便性與實用性優於傳統地圖，但在應用上亦有其限制性，而這些限制性主要來自於數值地形模型的資料結構特性。一般而言，網格狀的數值地形模型較為普遍，在應用時需特別注意網格大小，水流方向及河川網路之粹取。

◆ (參考文獻請逕洽作者詢問)