

最佳集水分區模擬之研究

陳鴻烈⁽¹⁾ 蔡大偉⁽²⁾

摘要

本研究是以南投縣水里溪集水區為研究對象，運用集水分區分析法來進行最佳集水分區之工作，以協助集水區管理策略的制定。為了提升集水區管理效率，必須進行集水分區之工作，而分區數目的決定，必須同時考量準確度與經濟效益。研究中主要是使用美國環保署所發展的整合型整體集水區管理模式 BASINS 來進行模擬。而在數值等高線模型 (DEM) 方面，除了由中央大學提供外，還選用了 ArcGis、Surfer 及 WinGrid 模式模擬的 DEM 來進行分析，以比較不同 DEM 所模擬出來的結果。最後，再加上配合現場實際情形與研究所需等指標，來決定最佳集水分區數目，以達到最佳模擬效率之目的。研究顯示，以 Surfer 模式模擬的 DEM 為基礎，在門檻值為 300 公頃所決定的水系下，17 個子集水區的分區結果最符合原始邊界範圍與研究之基本需求，因此，建議以此為基礎，進一步進行集水區分析工作。另外，在水系模擬的準確度方面，則發現是以 WinGrid 模式模擬之結果最佳。

(**關鍵詞**：最佳化、集水分區、水里溪集水區)

An Optimization Study of Watershed Delineation

Paris Honglay Chen⁽¹⁾, David D-W. Tsai⁽²⁾

Professor, Graduate Student, Department of Soil and Water Conservation,
National Chung-Hsing University, Taichung 402, Taiwan, R.O.C.

ABSTRACT

This study was to optimize the watershed delineation for Shuili Creek, Nantou county, by different delineation methods. Watershed delineation is essential to enhance the efficiency of watershed management. Subwatershed numbers were decided by both accuracy and economic efficiency. We used US EPA's BASINS model to simulate the results of watershed delineation. Four Digital Elevation Models (DEMs) were chosen to compare simulation differences. Three DEMs came from the simulation of ArcGis, Surfer, and WinGrid system, respectively. The other was provided by the National Central University. The simulation results, real environmental conditions, and research requirements, etc., were used to decide the best subwatershed numbers and the optimal

(1) 國立中興大學水土保持學系教授

(2) 國立中興大學水土保持學系博士班研究生

simulation efficiency. The best results of 17 subwatersheds obtained from the DEM of Surfer system were corresponding to the original boundary ranges and the basic research requirements in the rivernet of 300 hectares. Based on this result, it is the best accuracy of rivernet simulation was produced by the DEM of WinGrid system.

(**Keywords:** Optimization, Watershed Delineation, Shuili-Stream Watershed)

前言

在水體水質的控制管理工作中，水質在空間上的變異情形十分重要 (陳，2000)。若以整體集水區為考量，使用總量管理的方式將可有效管理點源與非點源污染，而達到整體水質控制的目標 (Donigian, 2002a)。本研究即是以總量管理模式 BASINS 來進行總量管理之模擬分析 (林，2003)。

進行總量管理前，需要先完成集水分區工作，以提升整體工作效率。最佳的集水分區工作，必須在不遺失重要資訊的前提下，同時符合經濟效益 (Donigian, 2002b)。而適當正確的集水分區工作，亦有助於未來進行集水區模式之校正與驗證 (Hummel, 2004)。

進行集水分區工作時，所使用的數值高程模型 (Digital Elevation Model, DEM) 之品質對分析結果有很大的影響 (賴，2005)。因此，本研究共採用 4 張 DEM，除了中央大學製作的以外，還包括 ArcGis、Surfer 和 WinGrid 模式之模擬。希望藉由不同的 DEM 進行集水分區模擬，最後再挑選出最符合現況的分析結果，以提升模式模擬的精確度。

理論分析

一、向量轉換網格 (rasterization)

在 GIS 資料中，主要可分為向量式與網格式兩大類，其中向量式資料保存較多原始資訊，精確度較高，而網格式資料則較便於分析。因此，進行研究時，可先將向量資料轉換為網格資料。依資料的型態不同，轉換方式可分為兩種 (葉，1999)：

(一) 離散性資料

離散性資料係指具分類性或有序性的資料，例如土地利用分區等。其特性為所劃分區塊內的網格點都具有相同的屬性值，因此，轉換時只要將點位資料填滿成面性資料即可。但有時會遇到網格位兩種不同資料邊界上的情形，此時可依以下其中一種原則作分類：

1. 面積原則

依照所佔面積大小來決定，面積大者優先。

2. 分類原則

依分類優先權決定，一般而言，水系之優先權較高。

3. 形心原則

依形心所在位置之類別來分類。

(二) 連續性資料

連續性資料係指間距性 (interval) 或比例性 (ratio) 的資料，此類資料的轉換需使用內插法來計算網格點值。

二、網格內插法 (interpolation)

爲了可以更完整的模擬地形之變化起伏，必須使用內插法來填補高程資料。在 3 度空間中，任 4 個點位即可構成一平面，也就是網格圖中的網格。內插方法即是假設任 4 個有高程資料的相鄰點，可構成一平面 Z，而求出此平面方程式後，即可求得平面中任一點位的高程內插值。該平面 Z 之方程式可用下式表示：

$$Z = a + bx + cy$$

Z：4 相鄰高程點位所構成之平面

a, b, c：常數

至於空間平面內插法的推導，可分爲 3 步驟，分別是 2×2、3×3 網格法與最小平方法，其計算方法如下：

(一) 2×2 網格法

假設空間中有 4 個相鄰高程網格點，可構成一平面 Z (如圖 1)。

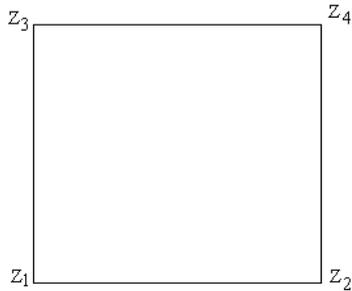


圖 1. 空間中由相鄰 4 網格點構成之平面 Z
Figure 1. Z plane composed by 4 neighboring grid points in the space.

其平面方程式爲 $Z = a + bx + cy$ ，而係數估計則是

$$a = (Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4)/4$$

$$b = (-Z_1 + Z_2 - Z_3 + Z_4)/4$$

$$c = (-Z_1 - Z_2 + Z_3 + Z_4)/4$$

解出該平面方程式後，即可利用此平面內插出平面中未知的高程點位。

(二) 3×3 網格法

假設空間中有相鄰的 9 個已知高程網格點，利用這些點即可形成一空間平面 (如圖 2)。

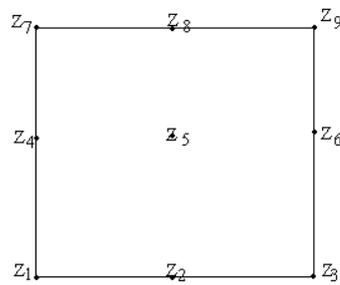


圖 2. 空間中由相鄰 9 網格點構成之平面 Z
Figure 2. Z plane composed by 9 neighboring grid points in the space.

其平面方程式爲 $Z = a + bx + cy$ ，係數估計如下：

$$a = (Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5 + Z_6 + Z_7 + Z_8 + Z_9)/9$$

$$b = (-Z_1 + Z_3 - Z_4 + Z_6 - Z_7 + Z_8 + Z_9)/9$$

$$c = (-Z_1 - Z_2 - Z_3 + Z_7 + Z_8 + Z_9)/9$$

計算出該平面方程式後，同樣可利用此平面內插出平面中未知的高程點位。由於 3×3 網格法所使用參考點較多，因此會提升計算的正確性。

(三) 最小平方法

2×2 與 3×3 網格法可進一步推廣爲 n×n 點的情形，然而，並非所有的點位都會剛好在假設的平面上，所以計算結果必定與實際情形有所誤差。因此，可用最小平方法來推

估計算，亦即假設 $n \times n$ 個已知相鄰高程點位構成一空間平面 Z ，則其方程式可表示為

$$Z = a + bx + cy$$

若以矩陣形式表示則為

$$\begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_n & y_n \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ \vdots \\ z_n \end{bmatrix}$$

若將上式簡化為 $AX = L$ ，則可利用最小平方方法求出其係數矩陣 X ，結果如下：

$$X = (A^T A)^{-1} A^T L$$

其法向量為

$$\vec{n} = \left(\frac{-b}{a}, \frac{-c}{a}, \frac{1}{a} \right)$$

經由最小平方方法推求平面方程式後，則可藉此平面求出所需之內插值，同時將可能產生的誤差降至最小。

三、數值高程模型 (DEM) 之製作

DEM 資料是 GIS 分析所需之重要基本資料，其精確度對分析結果有重大的影響 (賴，2005)。現在製作 DEM 一般均可運用 GIS 軟體來協助，並使用內插法來求出連續性的網格資料。常用的軟體包括 ArcGis、Surfer、WinGrid 等，這些模式常用的內插法則包括 TOPOGRID、Kriging 與距離反比權重法 (賴，1994)。

(一) TOPOGRID 法

TOPOGRID 法是由 Hutchinson 發展而成，運用有限差分技巧來運算排水區域，用以移除錯誤的沉陷點位。此法的設計，同時

適用於區域與全球性的內插點位推估法 (Peralvo，2003)。

內插時由大向小網格逼近，直到抵達使用者之設定值為止。初始之粗糙網格為全部資料點的平均值，然後以鄰近點位進行線性內插，而在等高線間缺值的部分，則是以 Gauss-Seidel 疊代法來運算，其運算規則可用下式表示：

$$J_1(f) = \int (f_x^2 + f_y^2) dx dy$$

$$J_2(f) = \int (f_{xx}^2 + 2f_{xy}^2 + f_{yy}^2) dx dy$$

運算時將 J_1 、 J_2 以最小化方式求得最佳內插值。此外，Hutchinson 亦提出經驗式如下：

$$J(f) = 0.5h^{-2}J_1(f) + J_2(f)$$

其中， h 為網格之解析度。

(二) Kriging 法

Kriging 內插法是空間統計 (geostatistics) 上重要的方法，原發明者利用這個方法來估算礦產的產量與分佈，後來被廣泛使用在地質和土壤學研究上 (賴，1994)。

Kriging 內插法在形式上和加權法非常類似，都是利用已知點數值的加權來推估未知點，然而其估算權重的過程則頗為複雜。簡言之，kriging 內插法的第一個步驟是空間結構分析，由已知點的數值來分析資料數值間大小差異和空間分佈的關係，並產生一個 variogram 做為內插法適用性的判斷；第二步驟是以平均法或移動視窗法來計算每個網格的數值，樣本點的權重則是由第一步驟的空間連續方程來決定。

Kriging 法的實際運算分為兩種：ordinary 和 universal kriging。前者是假設每個網格值

的變異數不受任何結構要素所影響，後者則是假設地表空間變數會受結構要素影響。

(三) 距離反比權重法

距離反比權重法 (Inverse Distance Weighted, IDW) 是利用它鄰近的已知點之數值來進行加權運算，所給的權重是依照距離遠近來計算，其概念和物理學上的重力模式相似，公式如下 (賴，1994)：

$$f(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^N w(d_i) z_i}{\sum_{i=1}^N w(d_i)}$$

其中

- w(d_i)：權重方程
- z_i：第 i 個已知點的數值
- d_i：i 點到未知點之間的距離

w(d_i) 的大小是由 d_i 的次方之反比來決定，若採用距離的高次方之反比為權重，則未知點受鄰近資料點的影響將增大。

在內插過程中，如何選擇已知的樣本點來估算未知點的數值，是運算過程中另一個關鍵點。一般有兩種選點的方式，一是最鄰近的 n 個已知點作為資料來源；另一是決定取樣的半徑，亦即落在未知點周圍一定半徑範圍內的點都納入作為估算的依據。

四、Jenson & Domingue 集水分區法

Jenson & Domingue 集水分區法主要過程可分為 3 部分，依序是：決定水流方向、水系網萃取和集水分區分析 (Jenson, 1988)。

(一) 決定水流方向

根據高程分布網格圖，可以分析決定水流的方向，亦即依據某網格點周圍高程的分

布而決定。一般常用的分析方法有兩種，分別是 Rook's 與 Queen's move 分析法。

1. Rook's move 分析法

Rook's move 分析法是假設任一網格點有 4 個可能的流向 (上、下、左、右)，亦即只考慮與網格相鄰的 4 個方向來決定流向。圖 3 為其示意圖，當中的數字即代表可能的流向，而其排序則為順時針方向。水流會流向周圍高程最低的方向，若周圍高程沒有較中央低者，即形成一窪地，以數字 0 做代表。

2. Queen's move 分析法

Queen's move 分析法是假設相鄰網格可能有 8 個流向，其概念可以圖 4 來表示。此法同樣是由周遭高程來決定流向，水流會流向最低的點位，代表流向的數字同樣以順時針排序，而無流向而沉陷的點位亦以數字 0 做代表。

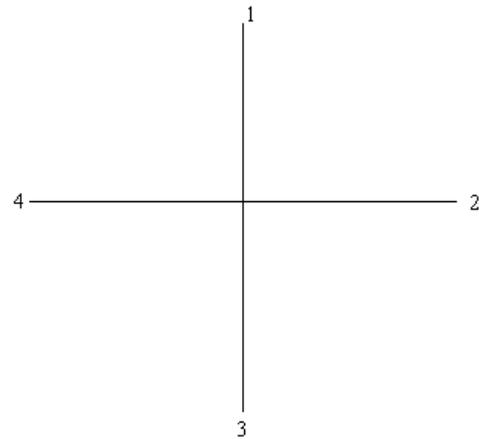


圖 3. Rook's move 分析法示意圖
Figure 3. Diagram of Rook's move method.

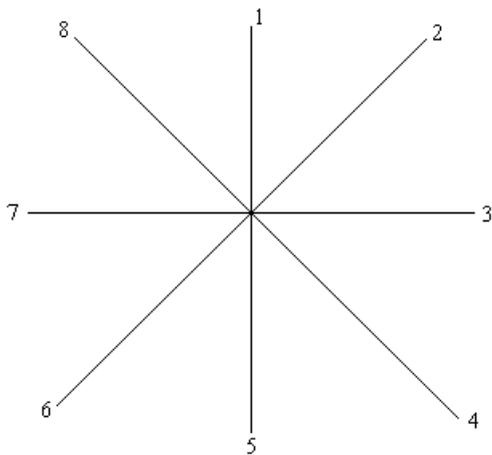


圖 4. Queen's move 分析法示意圖

Figure 4. Diagram of Queen's move method.

(二) 水系網萃取

將各個網格流向分析之結果所形成的向量予以連結，即構成水系網之渠道，至於水系網之大小則是由使用者規定的面積門檻值所決定。水流由上游向下游逐漸累積流入的網格數，即累積排水面積，因此，只有當上游流入之排水面積達到門檻值的規定時，該水系才會被納入，而其他較小的支流則會被刪除，故必須依據使用者的研究需求來訂定最適合的門檻值大小。

(三) 集水分區分析

在水系網萃取完成後，再來要選擇主要集水區的出流口，以決定研究集水區之範圍。在決定研究範圍後，系統即會針對每一個集水區中的每一條支流做子集水區劃分，最後完成集水分區工作。

研究方法

本研究之目的，是針對目標集水區的地

文及水文因子進行最佳子集水區分區工作。集水區邊界是依林 (2005) 所制定，然後再根據該集水區之等高線圖予以數位化，將原本的向量圖轉變為 GIS 網格圖，即獲得數值高程模型 (DEM)。

由於 DEM 為集水分區正確性的關鍵，因此，本研究採用 4 張不同的 DEM 來進行模擬，除了中央大學製作的 DEM (馮，2005) 外，亦使用 ArcGis、Surfer、WinGrid 等軟體製作 (陳，2003；林，2006；林，2001)。其次，我們將 DEM 圖配合集水區數位化水系網圖與邊界檔，透過 BASINS 模式下自動劃分集水分區模組之地文分析，將 3 者合併套疊成集水區基本圖 (USEPA，2004c，2004d，2004e，2004f)。

基本圖完成後，再藉由門檻值的設定來決定集水區水系網的大小。在門檻值的設定方面，研究中選用 3 種門檻值來進行比較，包含最小門檻值、系統建議值及自訂最大值。其中，自訂最大值是依據研究的需求，使用試誤法來訂定。

在確認水系網的萃取後，再選定集水區中所要研究的匯流口點位及出流口，模式便會依此來進行集水分區數量與地文、水文參數等的集水分區分析，從計算結果即可得到集水分區的結果圖。最後，由 4 張不同的 DEM 所完成的集水分區分析評比中選出最佳的結果。評比標準包括：總面積指標、地理統計結果、模擬水系吻合度等。本研究之流程如圖 5 所示。

結果與討論

本研究是藉由 BASINS 模式下的自動集

水分區模組來劃分集水區，該模組之主要依據資料為集水區高程分布網格圖，然後再輔以水系網圖及邊界圖來使區域劃分更精準 (USEPA, 2004a, 2004b)。因此，模式模擬結果可分為數值高程模型建構、集水區地文分析、集水區水文分析與最後集水分區模擬等 4 個部分來說明：

一、數值高程模型建構

模組所需要的基本資料為數值高程模型，因本研究之研究標的為水里溪集水區，故以該區等高線向量圖為基礎轉換成數值高程模型。由等高線圖 (圖 6) 可看出，東、西兩側高程最高，南邊地勢最低，東側空白部分即為日月潭，而水里溪水系大致呈由北向南流。

研究中先使用 GIS 軟體 ArcView 3.2 進行轉檔，網格大小採用 40×40 公尺，轉檔結果如圖 7 所示。由圖中可看出模擬結果與圖 1 相似，不同之處在於，由原來的向量圖轉為網格圖時，圖中線圖轉為區塊可清楚看出集水區中高程的分布狀態。為了更真確的模擬集水區，使分區結果更細緻，更接近於當地的實際情形，必須使用內插法來填補缺等高線空白之處，以得到更細膩的高程分布網格圖。

研究中除了使用由中央大學所製作的 DEM 外 (圖 8)，還利用 3 種 GIS 軟體來製作 DEM，分別是 ArcGis、Surfer 和 WinGrid。經內插補值計算後，ArcGis 模擬結果為圖 9，Surfer 為圖 10，WinGrid 則為圖 11。

由圖 8~11 可看出，經內插補值後，相較於圖 6，高程已無空白缺值，在集水區範圍內可得到連續且完整的高程分布圖。而 ArcGis 高程分析結果 (圖 9) 似乎與中央大學的 DEM 圖 (圖 8) 較相似，比較後發現 ArcGis 高程分析範圍較小，為 182.404~709.518 公尺，中央大學的 DEM 圖則為 180.5~781.5 公尺，但兩者主要地形分布仍相似，河谷的分布與方向均相同。

若將 ArcGis 和中央大學兩者之結果與 Surfer 製作的 DEM 圖進行比較，發現前者似乎有更為細密的傾向，但 Surfer 內插值範圍較廣。此外，分析圖中以 WinGrid 之結果較為特別，亦即在原始等高線分布不完整之區域並未進行內插補值工作，因此，其分析圖所呈現的地形較破碎，符合原始等高線分布的特徵。接下來，我們將 4 張 DEM 圖作為模式模擬之依據來分析，並比較其異同。

二、集水區地文分析

為了使集水分區結果更加貼近實際情形，可將集水區水系圖與邊界圖加入模式模擬，而水里溪之水系網及邊界可如圖 12 所示。

接著，應設定所使用的座標軸單位。本研究採用公制單位中的公尺為單位，網格大小為 40×40 公尺，即 0.16 公頃，因此座標軸之設定可用圖 13 來表示。在全部模式選項設定完成後，即可進行集水區地文分析，分析過程中模式會出現是否要將邊界邊緣的網格納入計算的訊息，因為當邊界比例尺解析度

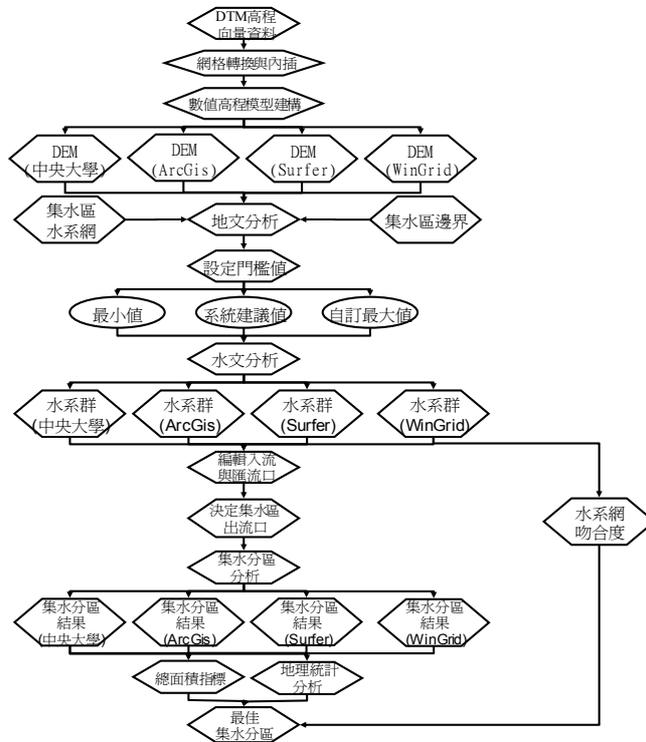


圖 5. 研究流程圖

Figure 5. Overview of research method.

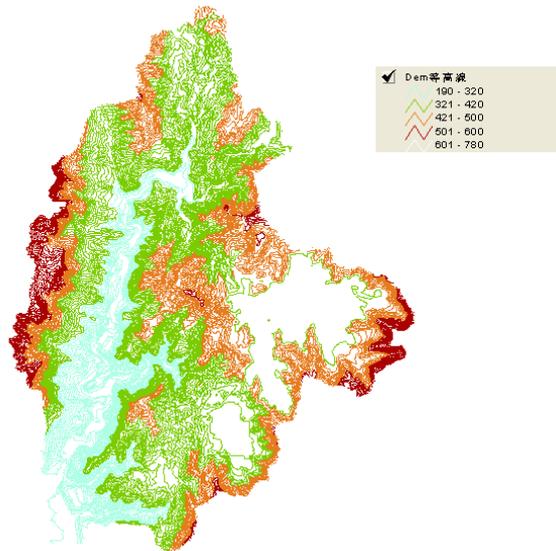


圖 6. 水里溪集水區等高線分布圖

Figure 6. Contour map in Shuili-stream watershed.

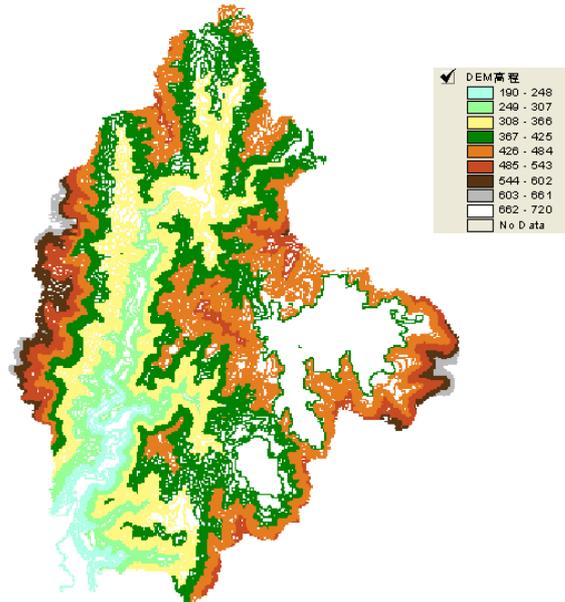


圖 7. 水里溪集水區高程分布網格圖

Figure 7. Grid graph of elevation distribution in Shuili-stream watershed.

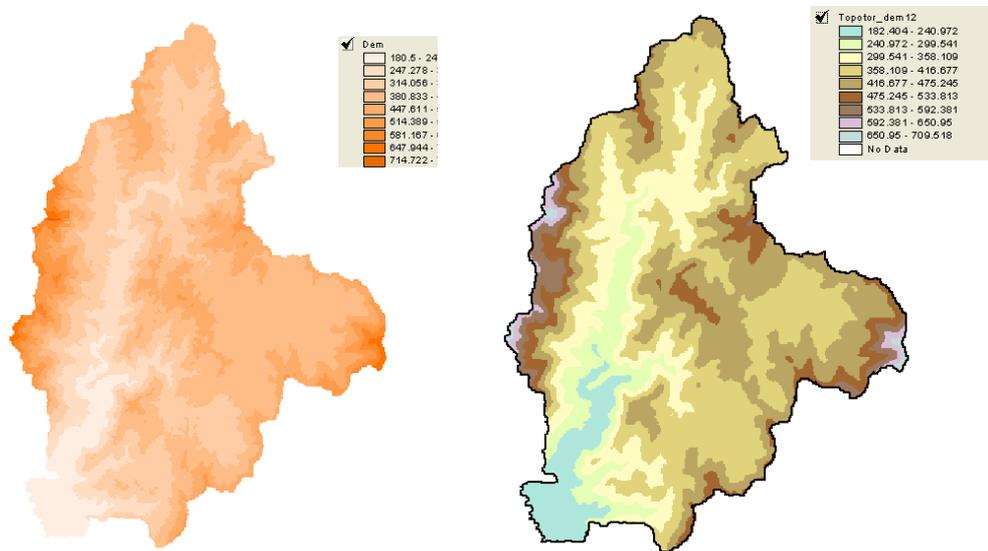


圖 8. 水里溪集水區經內插後之數值高程模型圖 (國立中央大學提供)

Figure 8. DEM of Shuili-stream watershed (provided by National Central University).

圖 9. 水里溪集水區經內插後之數值高程模型圖 (ArcGis 模擬而得)

Figure 9. DEM of Shuili-stream watershed (obtained from ArcGis system).

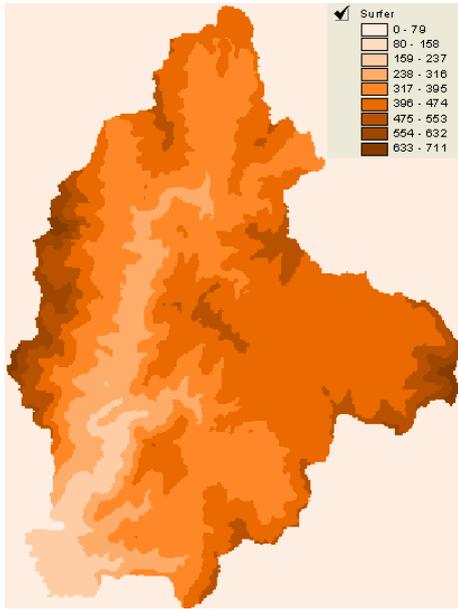


圖 10. 水里溪集水區經內插後之數值高程模型圖 (Surfer 模擬而得)
Figure 10. DEM of Shuili-stream watershed (obtained from Surfer system).

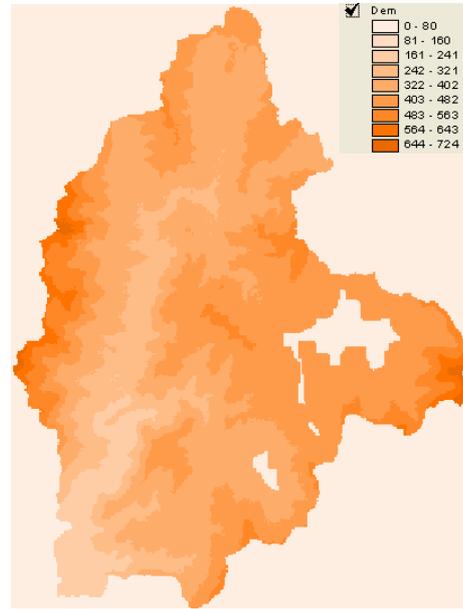


圖 11. 水里溪集水區經內插後之數值高程模型圖 (WinGrid 模擬而得)
Figure 11. DEM of Shuili-stream watershed (obtained from WinGrid system).

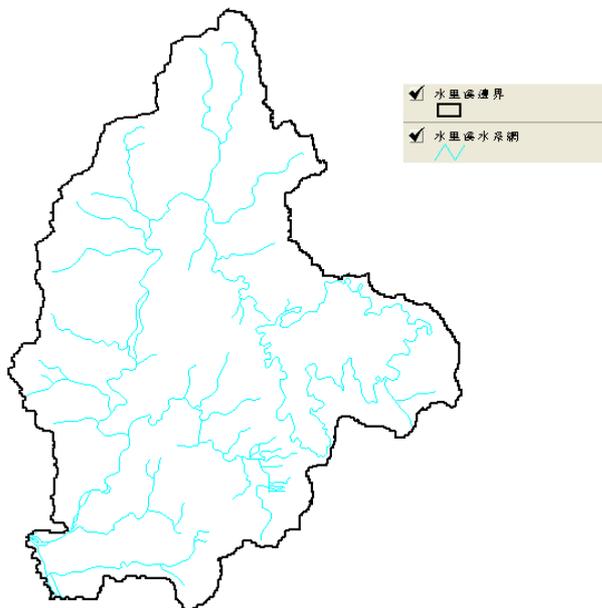


圖 12. 水里溪集水區水系及邊界圖
Figure 12. Rivernet and boundary in Shuili-stream watershed.

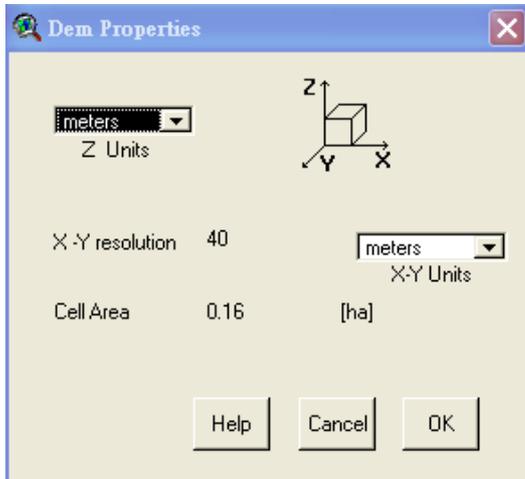


圖 13. 模式座標軸設定

Figure 13. Establishment of coordinate axes in the model.

小於高程分布網格圖時，會有網格圖超過邊界的情形發生 (USEPA, 2004b)，必須做一選擇。本研究是選擇超過邊界者要納入計算的方式，使結果更能符合邊界實際狀況，而最後的分析結果將可進一步用在集水區水文分析上。

三、集水區水文分析

將先前 4 張 DEM 圖匯入 BASINS 模式後，分別就每一種 DEM 嘗試不同門檻值之分析，最後挑選出最符合現況之分析結果作為研究依據。

(一) 中央大學的 DEM

經集水區地文分析後得到水域面積最小值為 6.51984 公頃，最大值 2607.94 公頃。模式是以門檻值作為集水區水系繪製的標準，門檻值越小則水系越密集細密，也使得集水分區越細，但過細的劃分並不符合經濟原則。

對於門檻值之建議，系統建議為 100 公

頃。本研究是以水里溪主流及重要支流為主，當門檻值達 300 公頃以上時，上游集水區支流會被忽略，而水里溪上游有蓮華池試驗林試驗地，為一重要集水區參數觀測與研究地點，故為了兼顧重點研究與經濟原則，乃選定 300 公頃作為門檻值上限。

最後，本研究為了比較不同門檻值對集水分區分析的影響，共選用門檻值下限 (6.5194 公頃)、系統建議值 (100 公頃)、自訂門檻值上限 (300 公頃) 等 3 種門檻值進行分析，比較分析結果後再決定最佳門檻值，以達最佳集水分區的效果。

不同門檻值之水文分析結果如圖 14，其中，以最小門檻值分析時，其水系最為綿密，日月潭附近水系所連結形成的湖形最完整。但水系支流過多而難以分析，亦可能將細小野溪納入其中。

以 100 公頃門檻值分析時，大約只留下重要水系，水里溪主流大致完整，雖然日月潭湖形無法完整，但重要河川均已納入其中。

以 300 公頃分析時，有 1875 個網格，其水系繪製結果亦如圖 14。圖中以水里溪主流為主，重要支流大部分亦含括在內，而圖中藍點為水流匯流處，即支流水系之匯流口。另外，圖中右測水系有不符合現況的情形出現，原本應是日月潭的位置卻無法表示，僅以水系示之。原因在於建構高程分布網格圖時，曾使用內插法來補值，而原本應相同高程之日月潭，卻產生微小高程之變化，故經過門檻值分析後，使得湖形不完整。由此可知，集水區中大型湖泊需單獨校正，以減少水系模擬之誤差產生 (USEPA, 2004e)。

(二) ArcGis 的 DEM

門檻值的設定仍沿襲前面的方法，以最

小門檻值 (6.5194 公頃)、模式建議值 (100 公頃)、最大門檻值 (300 公頃) 為分析基準，其分析結果如圖 15 所示。

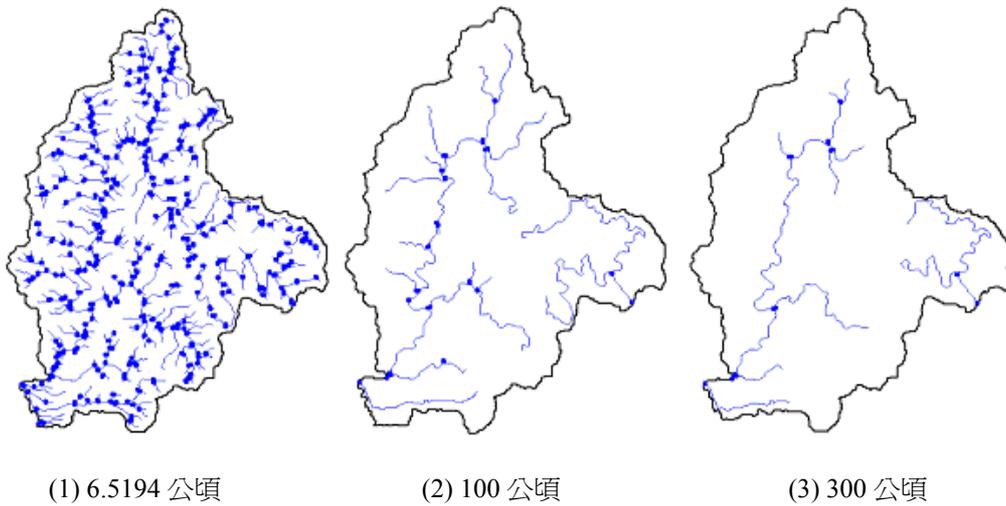


圖 14. 不同門檻值之水文分析結果 (中央大學的 DEM)

Figure 14. Results of hydrologic analysis in different thresholds (DEM of NCU).

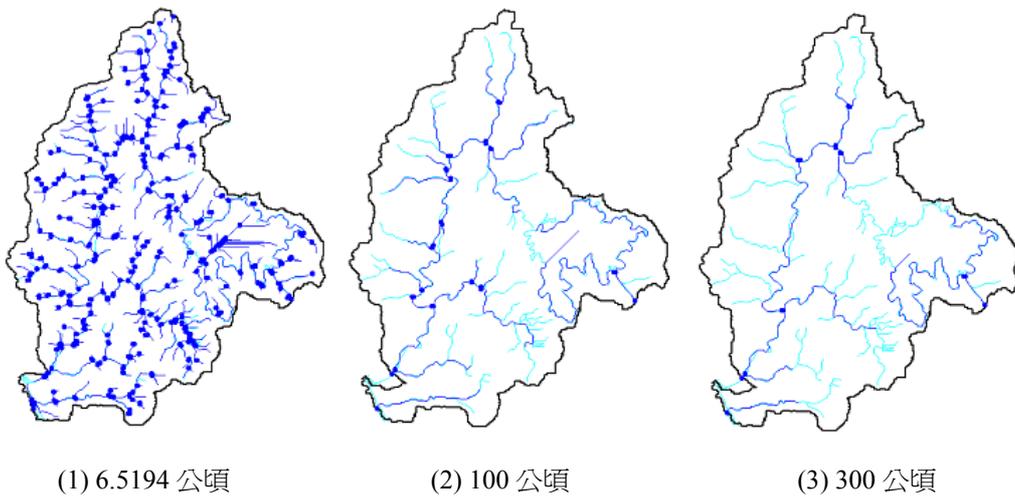


圖 15. 不同門檻值之水文分析結果 (ArcGis 的 DEM)

Figure 15. Results of hydrologic analysis in different thresholds (DEM of ArcGis).

圖 15 顯示，以最小門檻值分析時，其分析結果與圖 14 十分類似，但在日月潭的部分

較為特殊，亦即發生水系延伸到潭內的情形，不符合實際狀況。而分別以 100 和 300 公頃為門檻值時，水系分布仍大致與圖 14 相同，主要差別還是在於日月潭附近的水系部

分。

由上述討論可知，使用 ArcGis 所製作的 DEM 進行分析 (圖 15) 後，水系網萃取方面和圖 14 之分析結果相當類似，主要差別在於

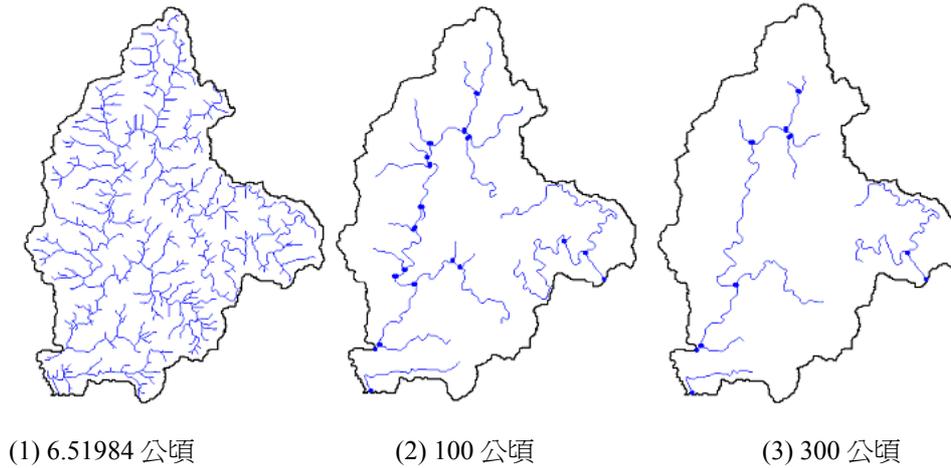


圖 16. 不同門檻值之水文分析結果 (Surfer 的 DEM)

Figure 16. Results of hydrologic analysis in different thresholds (DEM of Surfer).

日月潭附近的水系。推論原因，在於新建構的 DEM 圖上，其等高線的內插補值在日月潭左半部有較多沿著湖形而分布，因此在湖邊的水系會有傾向湖內的情形發生。

(三) Surfer 的 DEM

將 Surfer 之 DEM 匯入 BASINS 分析模組後，同樣依據最小門檻值 (6.51984 公頃)、系統建議值 (100 公頃) 與自訂最大門檻值 (300 公頃) 等來做分析。水系網的萃取結果如圖 16 所示，圖中仍以最小門檻值之水系最密集，日月潭湖形也較完整，其結果也與圖 14 相當類似。兩者僅在最下游的支流水系間有些不同，亦即圖 14 的水系流向為向北，圖 16 則是向南。

(四) WinGrid 的 DEM

以 WinGrid 之 DEM 為基礎的 BASINS 水文模組分析結果為圖 17，其門檻值最小為 6.00624 公頃，系統建議值為 100 公頃，而自訂最大門檻值同樣為 300 公頃。由圖中可看出，以最小門檻值分析時，其水系網與前面 3 張 DEM 的分析結果相似；但以 100 及 300 公頃作為門檻值時則有所差異，其中，水里溪主要水系之中下游處因缺支流上游值的關係，並未和原主流相連結，而產生分離的情形。另外，在日月潭部分，以 100 公頃為門檻值進行分析時，與前三種 DEM (中央大學、ArcGis 和 Surfer) 結果相似，但在以 300 公頃分析時，由 WinGrid 的 DEM 分析出來的湖形較不完整，可能也是受到日月潭地區高

程缺值的影響。

四、集水分區模擬

集水區水文分析後，接著要進行入流口與匯流口的選擇，此一選擇可決定最後集水分區所依據的水域範圍。若經水文分析後，

需要再添加點源污染位置或觀測站，則點選加入；若是有非研究之重點區域者，則可點選刪除。本研究並無編輯的動作，因此匯流口點位均與水系網萃取圖中相同。

在決定集水區內所有入流與匯流口之後，緊接著要選擇整個集水區的出口口，以

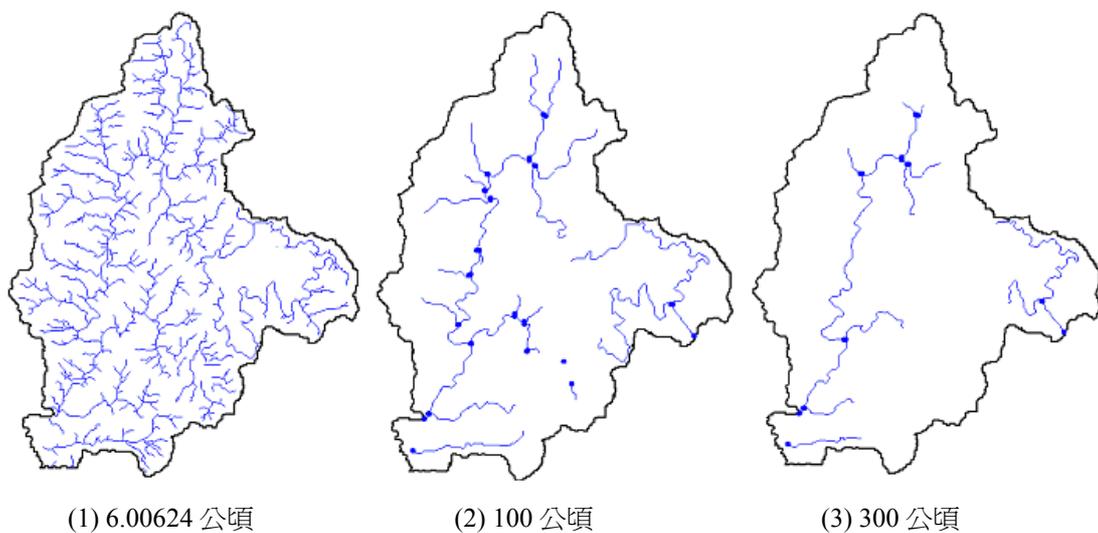


圖 17. 不同門檻值之水文分析結果 (WinGrid 的 DEM)

Figure 17. Results of hydrologic analysis in different thresholds (DEM of WinGrid).

決定所要劃分的水系。本研究水文分析結果有 3 個主要水系，分別是水里溪主流水系、水里溪南邊下游支流水系與日月潭水系，因此，便以此 3 個主要水系之出口口作為整體流域之出口口，最後經過集水區位的劃分分析與參數估算後，即可得到集水分區的模擬結果。以下將就 4 張不同的 DEM 所建構的水系網進行分析，再將分析結果加以比較，最後選出最佳之集水分區結果。

(一) 中央大學的 DEM

集水分區分析模式之資訊如圖 18 所示，圖中包括分析的步驟、門檻值範圍與建議值、集水分區數量等資訊。而分析結果則如圖 19，由圖中可看出，以 300 公頃為門檻值之分析結果共分為 17 個子集水區，分區數量不至於過多，且重要的水系均包含在內，符合研究的目的與需求。

圖 19 中第 9 與 10 號子集水區原本應為日月潭的位置，但卻被劃分為 2 個子集水區，表示湖泊被分為兩條支流水系，並不符合現況。推論原因，是進行高程分布分析時，因

實施內插補值的動作，而使日月潭產生高程變化，經門檻值分析後，即造成湖泊有被切割的現象。

將集水分區結果與原來邊界相比較（圖 20），發現兩者並非完全重疊，其中，有一小部分集水分區結果並未包含，尤其在下游區域誤差最大。推論原因，在於下游區域缺乏等高線數據，因此無法完整的繪製出該區之水系，故造成此區在製作集水分區時產生最大誤差。

集水分區工作完成後，模式亦會對集水區中許多地文、水文參數進行運算，其運算結果如表 1。表中各欄分別為序號(ID)、子集水區編號 (Subbasin)、子集水區面積 (Area, ha)、子集水區平均坡度 (Slo1, %)、子集水區平均坡長 (Sll, meters)、子集水區平均河寬 (Wid1, meters)、子集水區平均河深 (Dep1, meters)、子集水區中心緯度 (Latitude) 與子集水區之中心高程 (Elev, meters)。

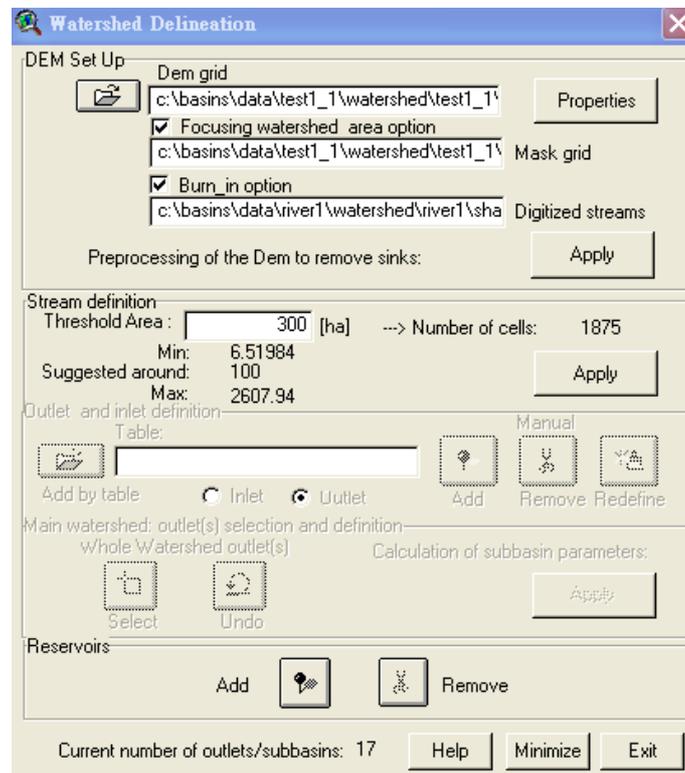


圖 18. 模式分析資訊

Figure 18. Informations of model analysis.

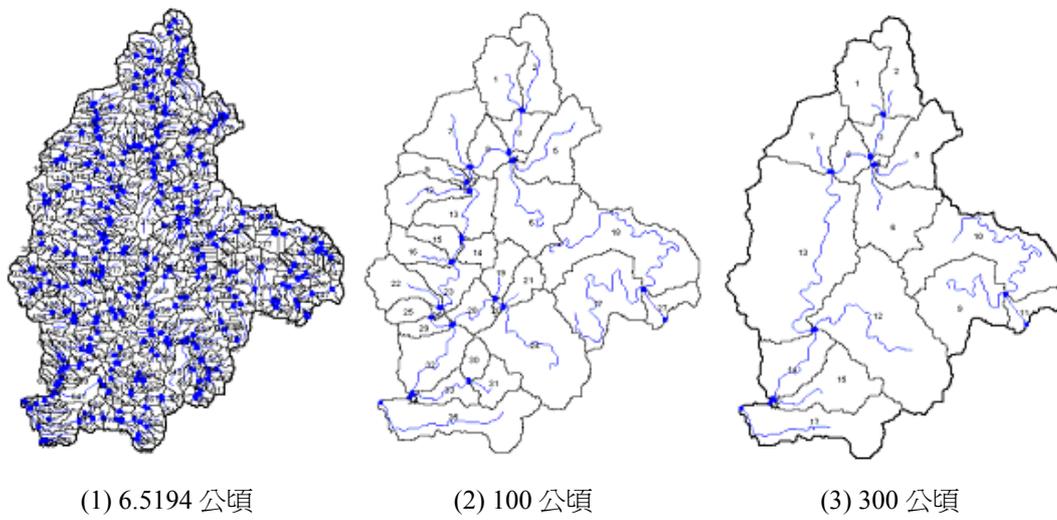


圖 19. 模式集水分區分析結果 (中央大學)
Figure 19. Results of watershed delineation (NCU).

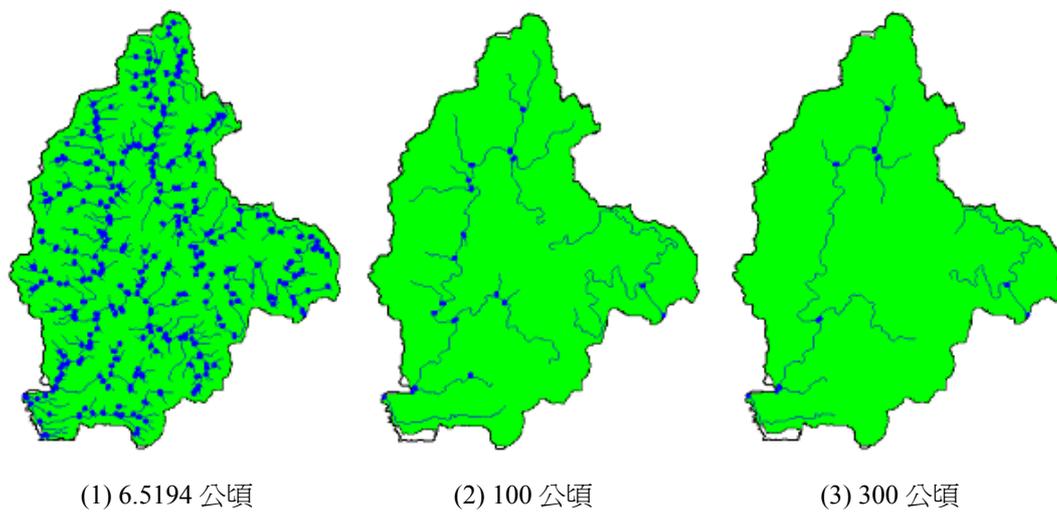


圖 20. 模式集水分區分析結果與原集水區邊界之比較 (中央大學)
Figure 20. Comparisons between results of model delineation and original boundary (NCU).

表 1. 模式地文、水文參數分析結果 (中央大學)

Table 1. Simulation results for geographical and hydrologic parameters of model (NCU).

| 子集水區 | | | | | | | |
|------|-----------|---------|---------|--------|--------|-----------|--------|
| 編號 | 面積 | 平均坡度 | 平均坡長 | 河流寬度 | 河流深度 | 中心緯度 | 中心高程 |
| 2 | 358.5600 | 15.8197 | 24.3902 | 2.7754 | 0.2167 | 23.904787 | 365.50 |
| 1 | 365.4400 | 18.2853 | 18.2927 | 2.8072 | 0.2183 | 23.900269 | 370.00 |
| 3 | 170.4000 | 20.9486 | 15.2439 | 1.7761 | 0.1609 | 23.884486 | 339.50 |
| 4 | 19.8400 | 14.2235 | 24.3902 | 0.4888 | 0.0681 | 23.876720 | 314.50 |
| 7 | 423.8400 | 20.0760 | 15.2439 | 3.0684 | 0.2316 | 23.884803 | 367.50 |
| 8 | 189.7600 | 19.2880 | 18.2927 | 1.8946 | 0.1680 | 23.879446 | 314.50 |
| 5 | 430.2400 | 24.2468 | 15.2439 | 3.0961 | 0.2330 | 23.881986 | 404.50 |
| 6 | 574.7200 | 23.0647 | 15.2439 | 3.6835 | 0.2617 | 23.861118 | 368.50 |
| 10 | 918.4000 | 12.1112 | 24.3902 | 4.8799 | 0.3156 | 23.851090 | 418.00 |
| 11 | 149.7600 | 28.1895 | 0.0500 | 1.6437 | 0.1528 | 23.832427 | 567.50 |
| 13 | 1855.6800 | 26.0663 | 0.0500 | 7.4420 | 0.4182 | 23.849539 | 378.00 |
| 9 | 644.9600 | 9.6071 | 60.9756 | 3.9474 | 0.2740 | 23.833306 | 442.00 |
| 14 | 375.0400 | 24.3141 | 15.2439 | 2.8513 | 0.2206 | 23.815632 | 203.50 |
| 16 | 6.8800 | 13.0502 | 24.3902 | 0.2589 | 0.0446 | 23.803422 | 189.00 |
| 15 | 414.0800 | 19.6081 | 18.2927 | 3.0258 | 0.2295 | 23.810754 | 324.50 |
| 12 | 1371.8400 | 21.1012 | 15.2439 | 6.2083 | 0.3706 | 23.826009 | 403.00 |
| 17 | 602.7200 | 18.4328 | 18.2927 | 3.7902 | 0.2667 | 23.796638 | 256.00 |

在模式分析工作全部完成後，模式還可以選擇計算高程分布面積的報告書。內容為整個集水區之所有高程的分佈面積及其所佔總面積之比例。另外，還有針對每一個子集水區內進行高程分布面積的計算，研究者可藉由此報告書詳細了解整個集水區與各子集水區的高程分布情形，以判斷該區之地形分布狀況。

(二) ArcGis 的 DEM

經過水系網的萃取後，即可進行集水分區的動作。以最小門檻值、100 公頃、300 公頃進行分析之結果如圖 21 所示，由圖中可看出，與圖 20 之主要差別在於日月潭區域及下游地區的分區。以 ArcGis 的 DEM 圖分析 (圖 21) 時，日月潭地區傾向於分為左右兩個部分，而下游地區的集水區範圍模擬較小；以中央大學的 DEM 分析 (圖 20) 時，則是傾向將日月潭分為上下兩個部分，其下游區域範

圍較大，也較符合原始範圍。

最後將各個集水分區結果與原始集水區範圍做一比較 (圖 22)，由圖中可看出，以 300 公頃為門檻值時，其集水區模擬結果與原始集水區大致吻合，且重要水系均予以保留，因此，在此同樣選擇門檻值 300 公頃之分析結果為最佳集水分區結果。

圖 22 的分析結果與圖 20 相當類似，兩者主要差別僅在於日月潭區域的水系模擬。在數據方面，以 ArcGis 之 DEM 圖來分析時，面積範圍為 6.5232~2609.28 公頃，而不同門檻值的結果為 (1) 最小門檻值：分 601 區，總面積 8919.04 公頃；(2) 100 公頃：分 33 區，總面積 8898.56 公頃；(3) 300 公頃：分 17 區，總面積 8872 公頃。至於以中央大學的 DEM 圖分析時，其面積範圍為 6.51984~2607.94 公頃，不同門檻值的結果為 (1) 最小門檻值：分 695 區，總面積 8878.24 公頃；(2) 100 公

頃：分 35 區，總面積 8896.96 公頃；(3) 300 公頃：分 17 區，總面積 8872.16 公頃。經比較後，發現仍以中央大學的 DEM 之分析結果較佳，原因為其水系分析結果較為正確。

此外，以門檻值 300 公頃所計算的集水分區結果之地文參數資訊 (表 2) 與表 1 相似，均分為 17 個子集水區。其中較大的差別

在第 9 與 10 號集水區，兩者所切的範圍不同，因此集水區面積有較大的差別。

(三) Surfer 的 DEM

以 Surfer 之 DEM 所萃取的水系網來分析時，其集水分區結果如圖 23 所示。分析結果大致與先前之分析相同，且同樣在以門檻值 300 公頃分析時，整個集水區共分為 17 個子

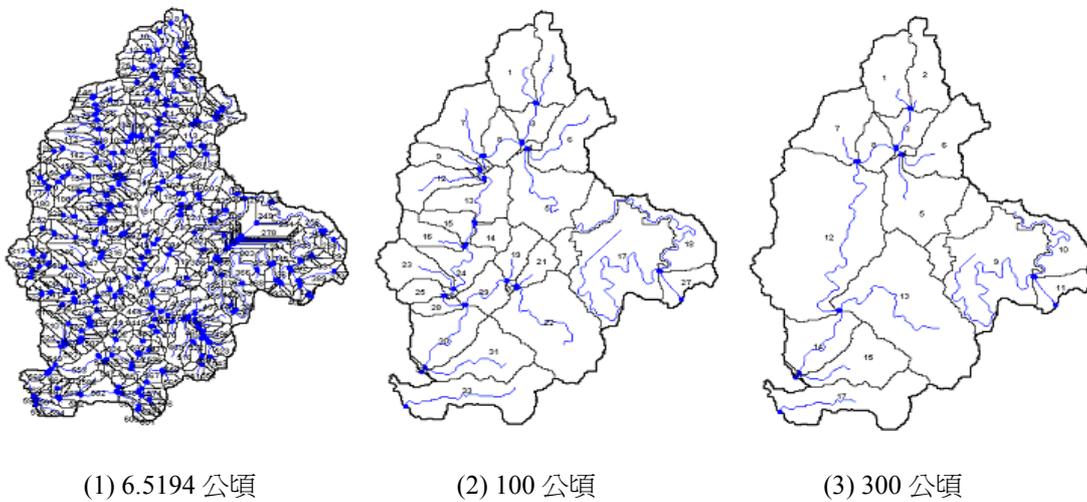


圖 21. 模式集水分區分析結果 (ArcGis)
Figure 21. Results of watershed delineation (ArcGis).

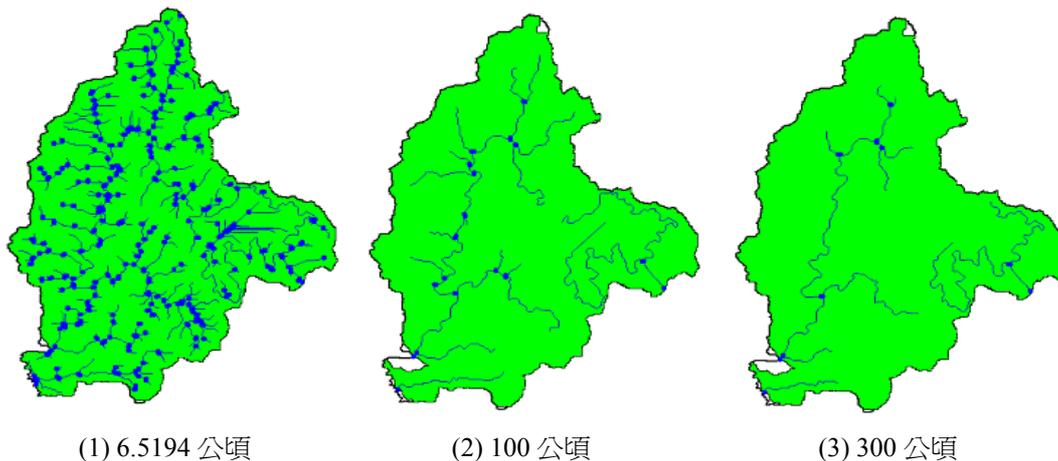


圖 22. 模式集水分區分析結果與原集水區邊界之比較 (ArcGis)
Figure 22. Comparisons between results of model delineation and original boundary (ArcGis).

表 2. 模式地文、水文參數分析結果 (ArcGis)

Table 2. Simulation results for geographical and hydrologic parameters of model (ArcGis).

| 子集水區 | | | | | | | |
|------|-----------|---------|---------|--------|--------|-----------|--------|
| 編號 | 面積 | 平均坡度 | 平均坡長 | 河流寬度 | 河流深度 | 中心緯度 | 中心高程 |
| 2 | 326.8800 | 12.2176 | 24.3902 | 2.6256 | 0.2088 | 23.904991 | 363.02 |
| 1 | 391.6800 | 14.3632 | 24.3902 | 2.9265 | 0.2244 | 23.901709 | 378.66 |
| 3 | 168.6400 | 17.1566 | 18.2927 | 1.7651 | 0.1602 | 23.884299 | 329.41 |
| 4 | 22.4000 | 12.9816 | 24.3902 | 0.5257 | 0.0715 | 23.876342 | 309.97 |
| 7 | 422.2400 | 16.5934 | 18.2927 | 3.0614 | 0.2313 | 23.884619 | 368.45 |
| 8 | 180.3200 | 16.3519 | 18.2927 | 1.8375 | 0.1646 | 23.879449 | 314.50 |
| 6 | 444.9600 | 19.3151 | 18.2927 | 3.1592 | 0.2362 | 23.881805 | 410.84 |
| 5 | 567.0400 | 17.5138 | 18.2927 | 3.6539 | 0.2602 | 23.861121 | 384.98 |
| 10 | 620.4800 | 15.2198 | 24.3902 | 3.8568 | 0.2698 | 23.851909 | 426.97 |
| 11 | 159.8400 | 24.0642 | 15.2439 | 1.7092 | 0.1568 | 23.832430 | 566.96 |
| 12 | 1861.2800 | 21.8247 | 15.2439 | 7.4555 | 0.4187 | 23.849362 | 371.93 |
| 9 | 933.9200 | 6.8412 | 60.9756 | 4.9292 | 0.3177 | 23.838399 | 415.85 |
| 14 | 375.3600 | 22.1217 | 15.2439 | 2.8527 | 0.2207 | 23.814550 | 201.99 |
| 16 | 9.7600 | 8.1550 | 60.9756 | 0.3193 | 0.0513 | 23.805197 | 190.01 |
| 15 | 424.8000 | 15.7298 | 24.3902 | 3.0726 | 0.2319 | 23.810754 | 321.14 |
| 13 | 1371.5200 | 16.7298 | 18.2927 | 6.2074 | 0.3705 | 23.826002 | 398.68 |
| 17 | 590.7200 | 15.8946 | 24.3902 | 3.7447 | 0.2645 | 23.796638 | 259.81 |

集水區，水系之特徵也相似，日月潭湖形亦不夠完整，而重要的蓮華池集水區水系亦有納進集水區範圍內，因此，在以 Surfer 之 DEM 圖分析結果中，仍採用門檻值 300 公頃時的集水分區結果。

集水分區分析結果與原始邊界之比較如圖 24，由圖中可發現在水里溪下游集水區之誤差較大，有許多不符合原始範圍的地方，這個特徵與中央大學及 ArcGis 之 DEM 圖分析後的結果相同。

在 3 種不同門檻值的分析結果中，以最小門檻值分析時雖然最完整，與原始集水區情形最為接近，但分區數過多並不符合經濟效應。若將 100 與 300 公頃之分析結果相比較，可知 300 公頃門檻值之分區較少，且未喪失重要水系資訊，所以在以 Surfer 之 DEM

圖的分析結果中，仍選用 300 公頃為最佳門檻值。

另外，若以子集水區面積總和來比較的話，中央大學之 DEM 分析結果為 8872.16 公頃，Surfer 分析結果為 8897.28 公頃，二者與原始集水區範圍面積 8907.2 公頃進行比較，可知是以 Surfer 的分析結果較為準確。

各集水分區之地文參數分析結果整理如表 3，其結果與先前之分析相似，同樣分為 17 個子集水區，且分的區位與大小也相似，不同之處在於參數的估算多了子集水區河流長度與子集水區河流坡度兩個部分。原因在於先前的分析中，此兩參數的計算部分會產生錯誤，故不予考慮。因此，以 Surfer 之 DEM 進行分析時，其集水區面積模擬較接近於原始資料，地文參數計算資料也較豐富。

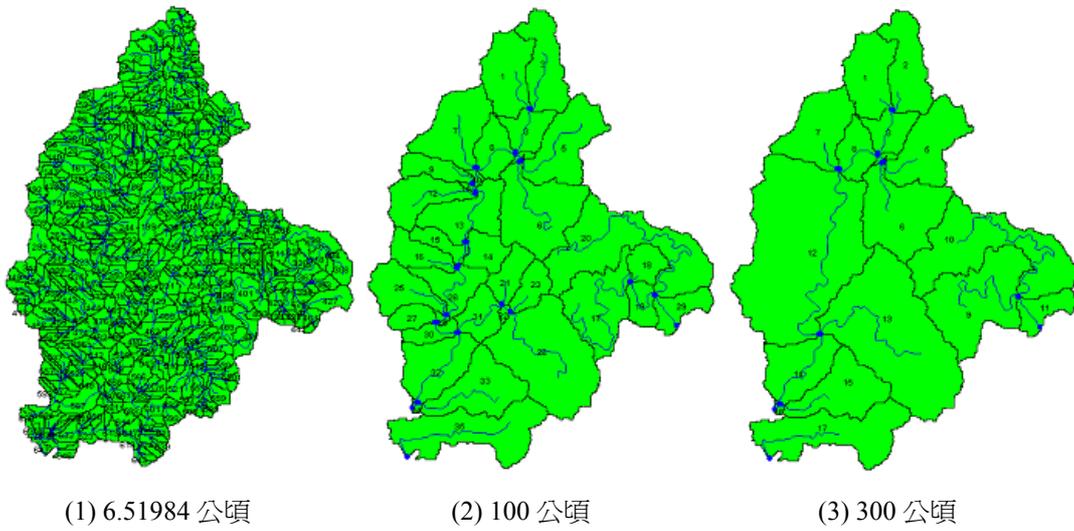


圖 23. 模式集水分區分析結果 (Surfer)
Figure 23. Results of watershed delineation (Surfer).

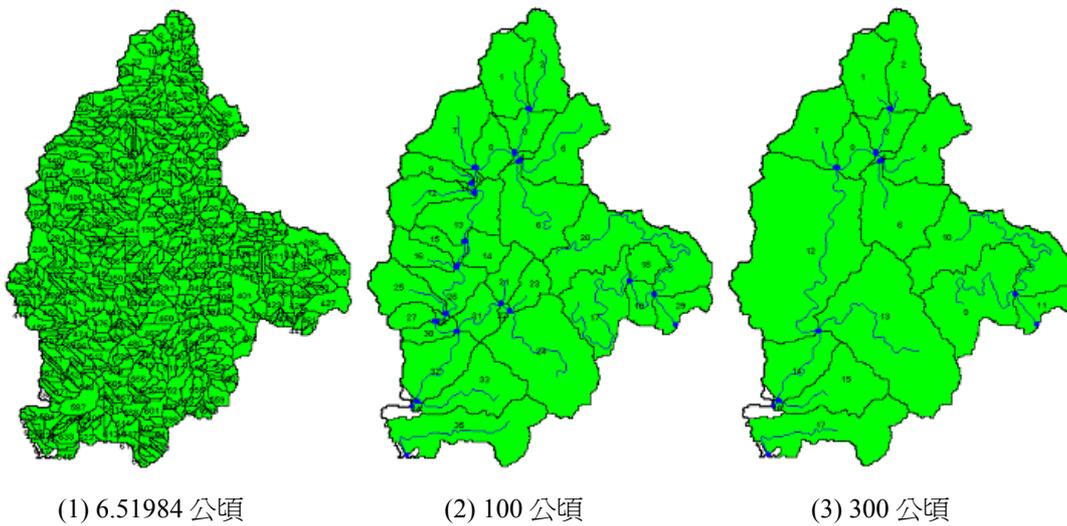


圖 24. 模式集水分區分析結果與原集水區邊界之比較 (Surfer)
Figure 24. Comparisons between results of model delineation and original boundary (Surfer).

表 3. 模式地文、水文參數分析結果 (Surfer)

Table 3. Simulation results for geographical and hydrologic parameters of model (Surfer).

| 子集水區 | | | | | | | | | |
|------|-----------|------------|---------|---------|---------|--------|--------|-----------|--------|
| 編號 | 面積 | 河流長度 | 平均坡度 | 平均坡長 | 河流坡度 | 河流寬度 | 河流深度 | 中心緯度 | 中心高程 |
| 2 | 368.1600 | 4284.7945 | 12.4235 | 24.3902 | 2.6148 | 2.8198 | 0.2190 | 23.904784 | 370.00 |
| 1 | 363.0400 | 3996.0822 | 15.0911 | 24.3902 | 3.9068 | 2.7962 | 0.2177 | 23.900807 | 372.00 |
| 3 | 178.2400 | 2333.1631 | 17.6270 | 18.2927 | 7.2193 | 1.8247 | 0.1638 | 23.884480 | 329.00 |
| 4 | 18.0800 | 784.9201 | 12.7456 | 24.3902 | 10.2455 | 0.4623 | 0.0656 | 23.876339 | 310.00 |
| 7 | 421.9200 | 3623.2054 | 17.0289 | 18.2927 | 5.8335 | 3.0600 | 0.2312 | 23.884980 | 362.00 |
| 8 | 181.4400 | 2604.6575 | 16.8293 | 18.2927 | 7.3528 | 1.8443 | 0.1650 | 23.879446 | 315.00 |
| 5 | 440.3200 | 4969.1163 | 20.2043 | 15.2439 | 3.4433 | 3.1394 | 0.2352 | 23.881986 | 406.00 |
| 6 | 577.7600 | 5738.8433 | 18.4431 | 18.2927 | 3.8014 | 3.6952 | 0.2622 | 23.861114 | 384.00 |
| 10 | 862.2400 | 12175.7024 | 11.5805 | 36.5854 | 0.2053 | 4.6986 | 0.3077 | 23.851812 | 419.00 |
| 11 | 158.5600 | 2587.6137 | 24.7674 | 15.2439 | 10.2167 | 1.7010 | 0.1563 | 23.832427 | 565.00 |
| 12 | 1860.9600 | 10933.4080 | 22.6492 | 15.2439 | 4.3394 | 7.4547 | 0.4186 | 23.849376 | 373.00 |
| 9 | 708.4800 | 11865.4963 | 8.2357 | 60.9756 | 0.4382 | 4.1762 | 0.2845 | 23.834783 | 469.00 |
| 14 | 371.3600 | 3651.2495 | 22.5352 | 15.2439 | 7.1666 | 2.8344 | 0.2197 | 23.814550 | 202.00 |
| 16 | 10.2400 | 458.0172 | 10.2944 | 36.5854 | 1.0917 | 0.3287 | 0.0522 | 23.803596 | 187.00 |
| 15 | 417.7600 | 4625.1621 | 16.2698 | 18.2927 | 5.2828 | 3.0419 | 0.2303 | 23.810935 | 317.00 |
| 13 | 1361.4400 | 9016.0523 | 17.7332 | 18.2927 | 3.5626 | 6.1800 | 0.3694 | 23.826015 | 394.00 |
| 17 | 597.2800 | 7409.2777 | 16.5653 | 18.2927 | 4.5666 | 3.7696 | 0.2657 | 23.796107 | 259.00 |

(四) WinGrid 的 DEM

以 WinGrid 之 DEM 進行分析，得到集水分區結果如圖 25，發現與前 3 種 DEM 分析結果最大的不同在於有些地方缺少等高線，也就是可能為窪地的地方，WinGrid 程式是以缺值處理，而未進行內插補值，因此出現空白的區位，也使得集水區內日月潭的區位更加明顯。

將模式集水分區結果與原始集水區邊界相比較，由圖 26 可看出，以 WinGrid 的 DEM 進行分析時，其空白區位較多，因此與原邊界較不符合，尤其在缺乏等高線處特別明顯。另外，其分析結果之日月潭區位也是集

水區分區結果中最明顯的。

最後在最佳集水分區的選擇上，發現其集水分區結果與原始集水範圍差別較大。為了與前兩種分析結果進行比較，研究同樣使用 300 公頃為門檻值，其分區結果之面積總和為 7867.36 公頃。至於計算集水分區結果的地文參數資訊則如表 4 所示，若和表 1、表 2 比較，主要差別是在第 9、10、13 及 17 號子集水區，也就是分析結果為缺值的所在。

在進行 BASINS 模式之集水分區模組分析後，發現以 4 張 DEM 進行研究時，在門檻值的設定上，除了必須考量研究所需之重要資料外，同時也希望能夠達到符合經濟效益

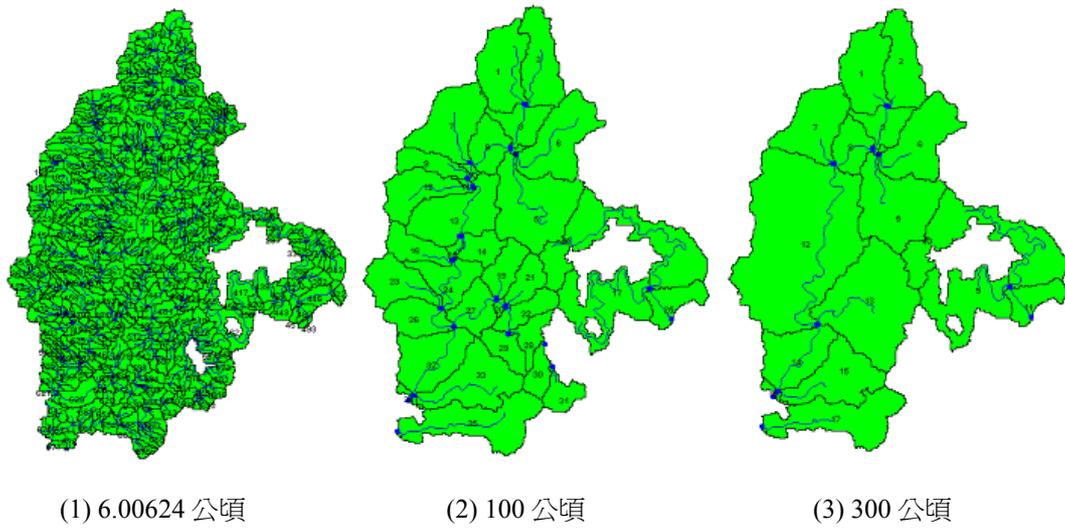


圖 25. 模式集水分區分析結果 (WinGrid)
Figure 25. Results of watershed delineation (WinGrid).

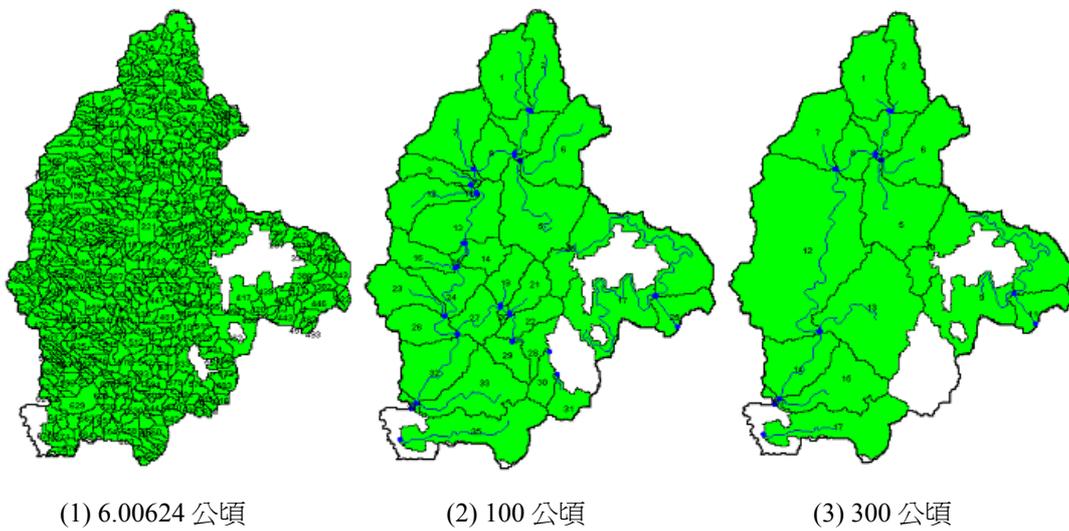


圖 26. 模式集水分區分析結果與原集水區邊界之比較 (WinGrid)
Figure 26. Comparisons between results of model delineation and original boundary (WinGrid).

表 4. 模式地文、水文參數分析結果 (WinGrid)

Table 4. Simulation results for geographical and hydrologic parameters of model (WinGrid).

| 子集水區 | | | | | | | | | |
|------|-----------|------------|---------|---------|---------|--------|--------|-----------|--------|
| 編號 | 面積 | 河流長度 | 平均坡度 | 平均坡長 | 河流坡度 | 河流寬度 | 河流深度 | 中心緯度 | 中心高程 |
| 2 | 332.4800 | 4412.8169 | 12.5015 | 24.3902 | 2.3347 | 2.6525 | 0.2102 | 23.904984 | 360.00 |
| 1 | 376.8000 | 4042.4384 | 14.7592 | 24.3902 | 3.9363 | 2.8593 | 0.2210 | 23.901890 | 388.00 |
| 3 | 174.4000 | 2457.1209 | 16.8137 | 18.2927 | 6.8533 | 1.8010 | 0.1624 | 23.884293 | 330.00 |
| 4 | 8.9600 | 615.3832 | 10.8535 | 36.5854 | 9.6319 | 0.3034 | 0.0495 | 23.877606 | 315.00 |
| 7 | 415.3600 | 3566.5581 | 17.1612 | 18.2927 | 5.8419 | 3.0314 | 0.2298 | 23.884983 | 359.00 |
| 8 | 187.0400 | 2859.6965 | 16.8380 | 18.2927 | 6.2014 | 1.8782 | 0.1670 | 23.878905 | 319.00 |
| 6 | 450.5600 | 4785.3179 | 19.8359 | 18.2927 | 3.2826 | 3.1830 | 0.2374 | 23.881802 | 416.00 |
| 5 | 584.3200 | 6110.9372 | 18.1950 | 18.2927 | 3.8484 | 3.7203 | 0.2634 | 23.861659 | 402.00 |
| 10 | 701.9200 | 12437.1869 | 13.0974 | 24.3902 | 0.3779 | 4.1530 | 0.2834 | 23.852063 | 438.00 |
| 11 | 164.3200 | 2644.4991 | 24.6404 | 15.2439 | 10.2251 | 1.7378 | 0.1586 | 23.832598 | 542.00 |
| 12 | 1855.0400 | 11108.5217 | 23.0556 | 15.2439 | 4.5869 | 7.4405 | 0.4181 | 23.849382 | 367.00 |
| 9 | 441.9200 | 11692.3071 | 10.8833 | 36.5854 | 0.3250 | 3.1463 | 0.2355 | 23.830419 | 439.00 |
| 13 | 881.9200 | 6298.5796 | 19.6842 | 18.2927 | 3.5109 | 4.7626 | 0.3105 | 23.830967 | 305.00 |
| 14 | 365.9200 | 3701.4171 | 22.2443 | 15.2439 | 2.8649 | 2.8095 | 0.2184 | 23.814550 | 203.00 |
| 16 | 21.1200 | 1080.4897 | 10.4147 | 36.5854 | 5.5616 | 0.5075 | 0.0698 | 23.804665 | 190.00 |
| 15 | 416.8000 | 4959.8250 | 16.4883 | 18.2927 | 4.9053 | 3.0377 | 0.2301 | 23.810935 | 324.00 |
| 17 | 488.4800 | 5920.9114 | 18.4785 | 18.2927 | 5.7858 | 3.3412 | 0.2452 | 23.796872 | 279.00 |

最少分區目標。而研究最後均以 300 公頃為最佳門檻值，將整個集水區分為 17 個子集水區。

另外，在最後集水分區結果中，由於每一種集水分區的結果不盡相同，且結果中所包含之參數眾多，因此，研究將選用總面積來作為評判的標準。每一種集水分區之分析結果的總面積如表 5 所示，而原集水區範圍內所包含之總面積為 8907.2 公頃。研究結果

發現，以 Surfer 所建構的 DEM 圖來分析時，其集水區範圍與原始範圍最為符合，模擬吻合度為 99.889%，且水系網萃取亦保留重要水系，地文參數估算的資料也較為豐富，因此未來將以此 DEM 為基礎，將其集水分區的結果來做模擬，希望達到分區總量管制的目標。

在 DEM 品質判斷方面，可以運用 ArcGis 的地理統計功能，計算所模擬的 DEM 與原始 DEM 間的誤差 (Johnston, 2005)。然而，

表 5. 各種 DEM 集水分區模擬結果

Table 5. Simulation results of watershed delineation for different DEMs.

| DEM | 門檻值 (公頃) | 模擬結果總面積 (公頃) | 集水區原始面積 (公頃) | 模擬吻合度 (%) |
|---------|----------|--------------|--------------|-----------|
| 中央大學 | 300 | 8872.16 | 8907.2 | 99.607 |
| ArcGis | 300 | 8871.84 | 8907.2 | 99.603 |
| Surfer | 300 | 8897.28 | 8907.2 | 99.889 |
| WinGrid | 300 | 7867.36 | 8907.2 | 88.326 |

由於模式功能的限制，只能將以 IDW 與 Kriging 法所模擬的結果進行運算 (表 6)。由表中可看出，以 Kriging 法所模擬之 DEM 的誤差較小，其平均平方根 (RMS) 為 13.53，較 IDW 法所模擬之結果 (16.98) 為小。此結果和先前以總面積指標來進行比較之結果相同，同樣指出以 Kriging 法為基礎之 Surfer 模式所模擬之 DEM 最準確，且符合研究所需。

表 6. 不同 DEM 模擬法之比較

Table 6. Comparisons among different DEM simulation.

| 計算方法 | 平均值 | Root Mean Square |
|------------------|--------|------------------|
| IDW (WinGrid) | 0.7585 | 16.98 |
| Kriging (Surfer) | 0.0611 | 13.53 |

在水系模擬方面，雖然各個 DEM 所模擬的水系結果均相似，但為了辨別不同 DEM 的水系模擬正確程度，本研究將以網格套疊分析結果來比較。假設以原水系之電子檔為正確水系，然後將之網格化後作為比較基準，接著再將各個 DEM 所模擬的水系圖 (門檻值為 300 公頃) 網格化，最後將正確的水系與模擬的水系套疊，計算模擬正確的網格來代表模擬正確程度 (表 7)。由表中數據可知，正確程度最高的是以 WinGrid 所製作的 DEM 進行模擬的水系網，正確率達 88.43%；其次為 ArcGis，正確率為 80.34%；至於以中央大學及 Surfer 製作的 DEM，其正確程度相似，分別為 76.25 與 77.00%。由上述討論可知，雖然 WinGrid 在本研究中因日月潭的影響而使集水分區模擬較差，但在水系模擬方面卻是最正確的。

表 7. 各種 DEM 之水系網模擬結果

Table 7. Simulation results of rivernet for different DEMs.

| DEM | 門檻值 (公頃) | 模擬結果網格數 (格) | 與原始水系符合之網格數 (格) | 模擬吻合度 (%) |
|---------|----------|-------------|-----------------|-----------|
| 中央大學 | 300 | 1196 | 912 | 76.25 |
| ArcGis | 300 | 1165 | 936 | 80.34 |
| Surfer | 300 | 1261 | 971 | 77.00 |
| WinGrid | 300 | 925 | 818 | 88.43 |

結論與建議

將向量圖轉換成網格圖時，應採用內插法來補值，以彌補等高線間之空缺，並提高高程分布圖之精細度，使更能符合當地之現況。內插方法有許多選擇，要使用哪一種方法才最適合研究之標的，則可進行更深入的

研究。

在進行水文分析時，若遇到區域內有湖泊的情況下，會發生不夠符合現況的問題，原因在於使用高程內插法會使湖泊區域產生高程的變化，接著使用門檻值區分後，會使湖泊破碎而被區分成水系。因此，建議在進行水系劃分時，若遇有湖泊、水池等窪地情

形，應單獨予以校正，才能更符合實際地形變化。

研究中分別以中央大學製作與 ArcGis、Surfer、WinGrid 等不同模式來建構 DEM 圖形來進行 BASINS 模式之集水分區分析，發現以 Surfer 的 DEM 之分析結果較符合本研究之原始集水區範圍，故我們將以此作為日後研究的基礎。另外，還發現以 WinGrid 製作之 DEM 來進行水系網之模擬最為準確。因此，建議日後從事 GIS 分析之相關研究工作時，可多方嘗試使用不同的 DEM 來分析，尋找其中最佳結果，使其更貼近真實集水區的情形。

謝 誌

本研究承蒙國科會編號 NSC 93-2621-Z-005-010 計畫之贊助，以及馮豐隆教授研究室協助得以完成，在此一併予以表達感謝。

參考文獻

1. 林昭遠 (2005) 「以永續發展為導向，探討分區落實流域水、土、林資源整體保育治理規劃及合理土地利用之學理、管理對策及準則子計畫 — 集水區環境敏感區位之劃定及保育方法管理準則之探討」，期末報告，國科會委託研究計畫。
2. 林昭遠 (2006) 「surfer 操作手冊」，網址：
http://water.nchu.edu.tw/main/ler_ebook/surfer/surfer.htm。
3. 林昭遠、林文賜 (2001) 「集水區資訊系統 (Wingrid) 入門」，台中市。
4. 林鎮洋 (2003) 「集水區水質總量管理模式與控制技術之研究」，期末報告，國科會委託研究計畫。
5. 陳錦嫣 (2003) 「GIS 技術與實務應用 ARCVIEW 3.X & 8.X」，文京圖書有限公司，台北市。
6. 陳鴻烈、梁家柱、王久泰、鄭慧玲 (2000) 「德基水庫優養化之空間分析研究」，水土保持學報，第三十二卷，第三期，第 117~124 頁。
7. 馮豐隆 (2005) 「以永續發展為導向，探討分區落實流域水、土、林資源整體保育治理規劃及合理土地利用之學理、管理對策及準則子計畫 — 坡地林業使用區之劃定及保育管理準則之探討」，期末報告，國科會委託研究計畫。
8. 葉怡成 (1999) 「測量學 — 21 世紀新觀點」，東華書局，台北市。
9. 賴進貴 (1994) 「數值地形模型比較之研究」，地理學報，17：87~99。
10. 賴進貴、王韋力、葉高華 (2005) 「數值高程模型自動化產生等高線之品質問題 — 以臺灣 40 公尺 DTM 為例」，地圖，15：39~53。
11. Donigian, A. S., Jr. and J. T. Love (2002a) "Sediment Calibration Procedures and Guidelines for Watershed Modeling", AQUA TERRA Consultants.
12. Donigian, A. S., Jr. and J. T. Love (2002b) "Watershed Model Calibration and Validation the HSPF Experience", AQUA TERRA Consultants.
13. Hummel, P. R., J. L. Kittle, Jr., P. B. Duda and A. Patwardhan (2004) "Calibration of a Watershed Model for Metropolitan Atlanta", AQUA TERRA Consultants.
14. Jenson, S. K. and J. O. Domingue (1988) "Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis",

- Photogram- metric Engineering & Remote Sensing, Vol.54, No.11, pp.1593~1600.
15. Johnston, K., J. M. Ver Hoef, K. Krivoruchko and N. Lucas (2005) "Using ArcGIS Geostatistical Analyst ", ESRI.
 16. Peralvo, M. (2003) "Influence of DEM Interpolation Methods of Drainage Analysis", Gis in Water Resources.
 17. USEPA (2004a) "BASINS User Manual", U.S. Environmental Protection Agency.
 18. USEPA (2004b) "BASINS Exercises", U.S. Environmental Protection Agency.
 19. USEPA (2004c) "BASINS Lectures", U.S. Environmental Protection Agency.
 20. USEPA (2004d) "BASINS Appendix", U.S. Environmental Protection Agency.
 21. USEPA (2004e) "BASINS Technical Notes", U.S. Environmental Protection Agency.
 22. USEPA (2004f) "BASINS Case Study", U.S. Environmental Protection Agency.
-
- 97 年 01 月 02 日 收稿
97 年 01 月 20 日 修改
97 年 01 月 26 日 接受