

地理資訊系統在集水區位置選擇之運用研析

作者/ 王耀德 湯福昌 少校

提要

世界衛生組織統計資料顯示在近代戰爭與軍事衝突中，因缺乏飲用水而間接導致死亡的人數，為戰場上直接陣亡人數的三倍。當前我軍之戰略為守勢作戰，本島地區儘管淡水水源充足，但是萬一當衝突發生時，自來水系統若遭敵破壞，勢必將造成飲用水的缺乏，甚而導致民心士氣的逐漸低落，屆時對整體戰況的影響實不可輕忽。台灣約有三分之二之土地為森林所覆蓋，這些林地是台灣許多河川與集水區的源頭，因此，如何利用地形及水文現象特性作進一步瞭解，透過地表找到一處良好的水源區域以提供其淨水作業，達成野戰給水之任務，以供應野戰部隊人員、裝備所需安全之飲用水，為其重要的課題之一。因此，如何選擇良好的集水區為本研究之主要目的。

近幾年來，資訊科技的進步，航照及衛星影像的處理精度已可為選線與選址之應用，地理資訊系統(Geographic Information Systems, GIS)的發展快速，對於廣域大範圍之集水區選址的評估問題，亦可藉由其空間分析的功能提供一有效分析工具。因此，本研究擬運用岩石工程系統(Rock Engineering System, RES)之思考邏輯及利用地理資訊系統為分析工具，應用數值地形模型(Digital Terrain Model, DTM)來精確描述集水區之地形、地物，結合地理資訊系統軟體(ArcView)來建構集水區之數值模擬模式。期望經此一過程，進行可行性且量化研究之初步探討，建立一套可靠、合理、快速且效率高的集水區選址評估的方法，以確保本軍飲用水之安全。

研究結果得知運用地理資訊系統可以廣域且快速分析大範圍集水區的位置，可為本軍提供了一個快速且可靠判定集水區的區域。惟擷取集水區的地文、水文參數難以獲得，期能多做現地實驗以掌握現地相關地文及水文參數。

關鍵字：集水區、地理資訊系統、數值地形模型、岩石工程系統、GIS

壹、前言

世界衛生組織統計資料顯示在近代戰爭與軍事衝突中，因缺乏飲用水而間接導致死亡的人數，為戰場上直接陣亡人數的三倍。當前我軍之戰略為守勢作戰，本島地區儘管淡水水源充足，但是萬一當衝突發生時，自來水系統若遭敵破壞，勢必將造成飲用水的不足與缺乏，甚而導致民心士氣的逐漸低落，屆時對整體戰況的影響實不可輕忽。台灣約有三分之二之土地為森林所覆蓋，這些林地是台灣許多河川與集水區的源頭，因此，如何利用地形及水文現象特性作進一步瞭解，透過地表找到一處良好的水源區域以提供其淨水作業，達成野戰給水之任務，以供應野戰部隊人員、裝備所需安全之飲用水，為其重要的課題之一。

台灣地區每年雨量雖豐，但時空分佈不均，降雨都集中在9-10月颱風季節，颱風季節常造成洪水為患，乾季久旱不雨也常引起缺水和旱災，時間及地區性差異也大，水文上之不確定性高。集水區一般坡度陡峭，地質條件不一，因此，期望建立符合集水區區域位置之調查方法；此調查方法不僅包含傳統的量化資料調查方法，更將地文參數資料納入，參數項目涵蓋傳統地文、水文資料。透過整合參數環境之運用，將不同形式的資料透過GIS整合介面產生聯結關係，提供使用者易於搜尋、利用與展示的空間。

近幾年來，資訊科技的進步，航照及衛星影像的處理精度廣為精進，地理資訊系統(Geographic Information Systems, GIS)的發展快速，可藉由空間分析的功能提供一有效分析之工具。因此，本研究擬運用岩石工程系統(Rock Engineering System, RES)之思考邏輯及利用地理資訊系統為分析工具，藉助地理資訊系統可快速且大量運算空間資料之能力，對廣域的環境進行集水區位置的選擇及可行性評估，期望藉由此初步探討之研究過程，建立以地理資訊系統為工具，在廣域區域內快速找到集水區域，提供官兵飲用水，以保持官兵體力，維護裝備效能，發揮部隊高度戰力，為本研究之主要目的。

貳、文獻回顧

本章旨在經由蒐集各種模式所應用地表因子的研究資料，找出最適合之地表特性因子及地文反應分析，來進行集水區位置的選擇，故文獻回顧部分，將回顧地表因子及地理資訊系統等相關研究資料。藉由文獻的整理與回顧，瞭解影響集水區地文因子參數與相關地形參數，同時蒐集國內外相關研究成果之研析，探討地理資訊系統在模擬與地形特徵度量上的運用現況，以做為本研究爾

後分析參數建立之參考。

一、集水區之定義

集水區係指將一河流或一湖泊供應水源的全部區域或地區。然事實上因地質、地下水等所影響，無法僅以簡單的面積來表示，同時因人為的改變，因時而異，可說是一複雜的實體。白斯曼博士^[1](Dr. N. Bethlahmy)對集水區經營的一個簡單定義是："管制一個集區，以達到某目的，也曾解釋為對森林及森林土壤加以慎重的控制，以發揮其功用。一般水土保持的主要目的在土，而集水區的主要目的是為了水。

二、集水區地文、水文特性

集水區地文特性是指集水區面積、長度、坡度與河川網路結構等之幾何特性；描述集水區特性的地文因子甚多，其中以面積、形狀、坡度和高程最為重要。而集水區水文特性則是指區域降雨特性與河川逕流特性。大部分的水文現象會受地文因子影響，如降雨與蒸發散量的空間分佈、高程、及坡向有關；泥沙沖蝕量與坡長、坡度及坡面位置有關；逕流量與流域面積、河川長度、坡度、及水系分佈皆有關係（廖依玲^[2]，2004）。

相關的研究有，李宏珠^[3]（1994）以地理資訊系統當工具運用其技術求取集水區相關地文因子，再求集水區尖峰流量與流域地文因子之間關係式。地文因子關係著河流由上游往下游至區域之現象，對於逕流發生及流量大小分佈有極大影響，惟往往受限於地文資料求取的不便，今以地理資訊系統當工具求取集水區地文因子，證實其快速且可行。研究結果並得知，即使集水區區域面積廣大，尖峰流量受地文因子影響仍是很明顯，相關係數同時反應出水文參數的問題。

宋仁良^[4]（2004）以基隆河流域之上游集水區為例，探討地表特性影響因子，以電子圖檔與地圖判釋結合雨量站及水文站所測得水文資料，配合地表特性資料，進行降雨逕流關係之統計分析，求得研究區逕流係數並建立出基隆河上游集水區地表特性資料。再以逕流曲線法估算出逕流曲線值，經降雨條件修正後，

註¹：林文賜，“集水區空間資訊萃取及坡面泥砂產量推估之研究”，博士論文，國立中興大學應用地質研究所，台中，第 10 頁，2002。

註²：廖依玲，“基隆河流域降雨-逕流模式建置之研究”，碩士論文，國立中興大學水土保持學系研究所，台中，第 1-90 頁，2003。

註³：李宏珠，“地理資訊系統應用於集水區水文特性分析”，碩士論文，國立中興大學土木工程研究所，台中，第 1-80 頁，1994。

註⁴：宋仁良，“基隆河上游集水區地表特性與降雨逕流之關係研究”，碩士論文，中國文化大學地學研究所，台北，第 1-92 頁，2004。

求出年逕流係數和各季節逕流係數，與實際逕流係數作比較時，發現秋冬季節逕流係數較高，與降雨量集中此二季節有關。魏新洵^[5](1980) 應用及發展地理資訊系統技術於集水區之分區，同時進行集水區地文及水文分析，這些技術利用數值地形模型資料檔案於集水區之自動切取、繪圖及空間特性之分析。其結果得知利用數值地形模型做集水區邊界自動化判釋為可行且有效，可節省人力、花費及減少人為的誤判，對於以集水區為對象之地理資訊系統資料庫建立頗有幫助。

集水區地文因子為流域性的重要一環，由於地形地貌是影響水文循環得重要因素，大部分水文因子都會受到地文因子的影響，如降雨的空間分佈與高程及坡度、坡向、坡長、及坡面位置有關有密切關係，流域面積與河川長度、坡度及水系分布等皆有關係。在進行水土保持規劃或災害評估時，集水區之地文、水文因子計量，亦屬不可或缺的部分。然集水區地文、水文的量測，以往皆以人工方式從地圖上量度，這種方式除耗費人工外，亦常因地圖比例尺度及人為誤差而產生精度上的問題。若能利用地理資訊系統之空間分析功能，配合數值高程模型資料，即能精確的計算集水區之地文、水文因子，作為集水區規劃上之需求（呂建華^[6]等，1996）。由於利用GIS計算集水區之地文、水文因子，不僅需熟練GIS軟體的操作技巧，且其求算過程甚為複雜，對於即時性之災害，無法即時取得所需知集水區特性資訊。因此，本研究整合地理資訊系統技術與網格式DTM資料，萃取集水區地文、水文相關參數，快速且精確的分析集水區特性相關資訊，作為位置選定與規劃設計之運用。

三、集水區之影響因子探討

台灣地區因豪雨造成土壤沖蝕與土石流，常形成下游地區嚴重災害；台灣地區集水區之問題，可概分為平原、低山地及高山地等三個區域，其中，（1）平原區域：過度開發及水質惡化；（2）低山地區：崩塌問題及濫墾問題；（3）高山地區：大規模崩塌、道路系統的相關問題及國有林的經營問題（陳信雄^[7]，1997）。

陳建安^[8]（1996）利用描述集水區逕流特性的集水區地文因子，來評估

註⁵：魏新洵，“地理資訊系統應用於集水區特性及水文分析之研究”，碩士論文，國立中興大學水土保持研究所，台中，第1-48頁，1980。

註⁶：呂建華等，利用數值地形資料建立集水區地文參數之查詢系統，第15屆測量學術及應用研討會論文集，第1-196頁，1996。

註⁷：陳信雄，集水區經營學，國立編譯館，pp.1-21，1997。

註⁸：陳建安，“集水區地文因子間相互關係之建立與應用--以中港溪流域為例”，碩士論文，國立中興大學土木工程研究所，台中，第1-82頁，1996。

集水區之安定性卻屬重要。利用地理資訊系統處理空間資料之優點，可快速求出特定集水區相關地形因子，同時計算出河川平均坡度、集水區平均坡度、集水區平寬度、形狀因子、平均高程、最大高程差等地文因子，以分析軟體建立各相關因子間之相互關係，探討其與集水區位置影響參數之關連性，以此作為評定水源區域選定之參考依據。林家榮^[9](2004)以地理資訊系統為工具，由災害發生之觀點分析影響崩塌相關因子，包含地質、道路遠近、溪流遠近、斷層遠近、高程、坡度及坡向等，計算其潛在崩塌指標，作為集水區分級分區之依據，並以現場實際調查，彌補研究上的不足。分析結果得到之重要結論，顯示道路及斷層遠近因子未達整體趨勢，而影響因子之權重，依次為溪流遠近、地質、坡度、坡向及高程。林文賜^[10](2002)以石門、德基及曾文水庫集水區為驗證樣區，自動萃取集水區範圍及水系網分布，結合空間分析以自動萃取集水區之地文與水文資訊。Gardiner^[11](1978)依地文因子之作用及尺度將集水區地文因子分為四類：

1. 尺度類因子：描述整體流域之尺度特性，如面積、周長、河流長度相關等因子。
2. 梯度類因子：描述流域之傾斜情形，如坡度、坡高等因子。
3. 形狀類因子：描述形狀，並與水文逕流有密切關係，如平均寬度，形狀因子、細長比、相對周長等因子。
4. 網路類因子：描述河川密度的指標，如排水密度、河川密集程度等因子。

參、研究方法

本研究以岩石工程系統理論作為分析模式之基礎，並以影響集水區的參數因子為探討之基礎，藉由地理資訊系統空間分析疊圖運算及環域分析功能之輔助，以數值高程資料建立集水區之數值模型，使之成為地理資訊系統資料庫之一部分，據此得到集水區之坡度、坡向等數值地形資料，以建立一完備的集水區地理資訊系統資料庫；透過地理資訊系統資料庫的儲存系統及檢索功能，提供進行水文分析所須之各項水文及地文參數；最後將這些參數應用，進行集水區之參數分析，以利集水區之選擇與應用。並嘗試建立一套合理可行的集水區

註⁹：林家榮，“潛在危險指標應用於屏東縣集水區分級分區之研究”，碩士論文，國立屏東科技大學水土保持研究所，屏東，第 1-95 頁，2003。

註¹⁰：林文賜，“集水區空間資訊萃取及坡面泥砂產量推估之研究”，博士論文，國立中興大學水土保持研究所，台中，第 1-174 頁，2002。

註¹¹：Gardiner, V., “Drainage Basin Morphometry”, in *Geomorphological Techniques*, Ed. Andrew, Unwin Hyman 1978.

位置選址分析方法，期能快速研判出集水區之區域，以利爾後之參考與運用。

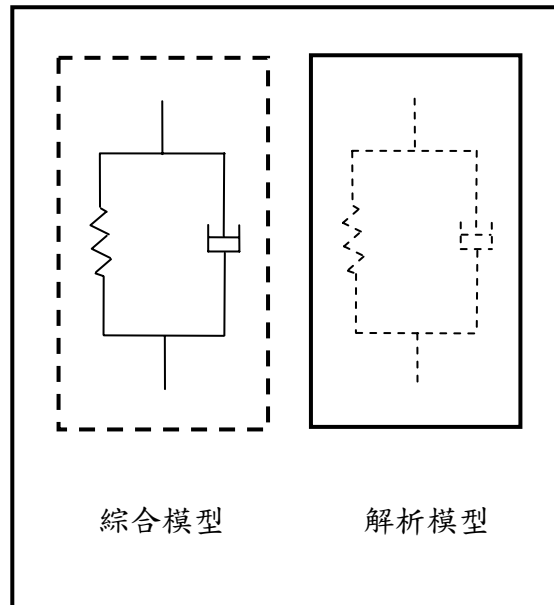
由於目前市面上GIS軟體眾多，經初步研判，本研究採用ArcView軟體及其延伸分析的模組作為空間分析、疊圖分析以及參數粹取為主要分析平台，對研究區域內相關資料進行資料儲存、圖層套疊及整合分析並將分析結果以圖層資料展示。

一、岩石工程系統

岩石工程系統(Rock Engineering System, RES)方法係由英國學者Hudson^[12]在1992年所提出；而在岩石工程系統未被提出前，已有許多的方法被引用，如條件或然率法與線性迴歸法等，在此暫都歸類於綜合的分析方法，而RES則視為解析的分析方法（陳凱榮，2000）^[13]，其兩種分析模式，在基本上有不同的邏輯，如圖一所示，圖一左邊為綜合的模式，其所代表的意思乃大部分的分析方法必須先做精細的調查及描述，如圖內部為實體，再由這些所收集到的資料，做一複雜的分析，故有時一些重要的因素會被忽略掉而沒被收斂成正確的成果，如圖外部的虛線；圖一右邊所敘述為一解析的分法，在因子的部分，假設岩體及特徵被控制，經系統解析後，每一條件都能被應用，如圖外的實線。這種方法，所有需要的資訊都能被利用且應用。運用此方法的優點是先假設某些重要的分析參數被忽略掉了，但經系統的解析後，所有參數都能被充分的運用表現對系統的貢獻，不會因為忽略了重要參數而影響最後的分析結果。

註¹²：Jiao, Y., and Hudson, J. A., “The Fully Coupled Model for Rock Engineering System,” *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, Vol. 32, No. 5, pp. 491-512, 1995.

註¹³：陳凱榮，“中橫公路山崩潛感分及研究-以東勢-德基為例”，碩士論文，國立中央大學應用地質研究所，台北，第 1-120 頁，2000。



圖一 岩石工程系統綜合模型與解析模型示意圖

資料來源：筆者依據 Hudson (1992) 自行彙製

(一)影響系統因子選取

坡度、坡向、坡高、地質構造等皆與集水區分析有關，因子選定的原則為儘可能對岩石工程系統有完整的代表性，因子選定的原則應避免性質的重複，且對事件必須有完整的代表性，但通常並不易達成。例如岩性可能跟不連續面的特性及岩體強度有關。而不連續面位態及不連續面組數雖分開表示，但二者可能密切相關。所以依據其特性、地形自然狀態、地質條件，在時間、空間及環境能配合的條件內，挑選能進行現場調查的潛在因子及誘發因子，在整合其相關資料的完整性即可適用分析。

(二)矩陣編碼

岩石工程系統參數決定後，將參數列於編碼矩陣之對角線上，此一矩陣區分為上三角矩陣及下三角矩陣，透過此一矩陣的編碼，可以瞭解每一個參數對其它參數間的相互關影響程度，如A影響B和B影響A，利用此方式將參數彼此間的相互影響程度賦予量化權重，並可藉由彼此互相正交的特性，將參數相依性予以消除。當完成整個矩陣之評分後，將個別參數各行各列分別加總，每列之總和代表該參數對整個系統的影響程度稱為誘因(Cause)，每行總和則代表整個系統對該參數的影響程度則稱為效果(Effect)。高誘因值低效果值的因子視為重要影響因子。

(三)因子相對影響程度

藉由每個因子交互作用性的誘因與效果總合可將其量化，即給予個別影響因子的權重。選取此值可作為因子間的區別，並強調各因子與整個岩石邊坡系統交互作用的關聯性(系統交互作用性)。RES 的基本想法為 2×2 的矩陣，只先考慮二項因子，了解二因子間的彼此影響關係，但當有 n 個影響因子，則有 $n(n-1)$ 個兩兩因子相互影響關係值；如探討岩體破裂與岩石剪力強度間的關係，二項因子有兩個影響結果，為A影響B和B影響A，兩者關係和所得的值並不是相等的，可說當岩體破裂時，一定會造成岩體強度的減弱，但當岩體強度減弱時，岩體的破裂不一定相對的增加，因為造成岩石剪力強度變低的因子有許多。利用此方式逐一檢討影響的潛能因子中，任何兩因子間的相互影響關係，由因子彼此間的影響程度給予一個量化；也由於此方法利用個別探討因子間的相互影響，能將原本相依因子的因子轉換為互相兩兩互相獨立的成分，其獨立性相似主成份分析法彼此互相正交的特性，可消除因子相依的影響，最後將因子分級並計算不安定指數。

二、地理資訊系統^[14]

地理資訊系統(GIS)依其字面上來解釋，主要構成是由地理(Geographic)、資訊(Information)及電腦軟體系統(System)三者組合而成，其中地理學內容是指真實空間中存在之物件、現象與事件，可透過點、線、面的方式來描述；資訊展現出空間物件間相關性的資料或訊息；軟體系統則是應用電腦運算技術作為處理工具，支援地理學與資訊的分析。所以地理資訊系統為資訊處理與各種空間訊息分析技術的整合，而不是一個獨立的研究領域，其最終目標是為了系統管理及提供規劃決策的最佳工具^[15]。

(一)地理資訊系統之定義與功能

地理資訊系統從1970年代發展至今，因應用的領域、技術及工具的發展而有不同的定義。較廣泛的定義為以電腦為基礎，對大量的空間資料進行蒐集、儲存、處理、更新、查詢、分析、統計及展示，並可根據不同的決策需求及應用目的做更實際的應用。運用GIS主要目的是為了提供解決空間決策問題，如果只是資料建檔的工作，只能說是地理資料庫，不能稱為地理資訊系統。因此，最有價值的部分即為提供空間資料分析的功能，和預知決策對地表空間環境的影響。

註¹⁴：周天穎，《地理資訊系統理論與實務》（儒林圖書公司，台北，92/2003）頁 1-39。

註¹⁵：施保旭，《地理資訊系統》（儒林圖書公司，台北，89/2000）頁 1-450。

(二)地理資訊系統構成要素^[16]

地理資訊系統構成要素主要分為資料蒐集、資料前期處理、資料管理、資料處理與分析以及成果展示，運用這五個要素可以把GIS的特性完整的表現出來，並且可以清楚的了解GIS是將空間資料透過資訊系統的分析、處理與整理流程，以提供工程規劃、設計及決策時的參考依據。而構成GIS的功能組成要素有以下幾點：

1.使用多種資料來源

GIS能使用並連結來自多種與位置相關之不同來源資料，並將這些資料統合後產生能解決問題的有用資訊。重要的是必須確保這些不同來源的資訊都能夠與空間資料的位置有關聯，GIS才能運用這些資料轉換成有用的資料與電子地圖結合應用。

2.獲取資料

GIS所使用的資料都是數位的資料，因此如果是傳統的資料格式，如手繪地圖等，都必須先經過數化的過程，才能轉換成GIS可應用的格式來進行分析。

3.資料整合

GIS能夠去連結並整合多種資料，而GIS能結合地圖與其他與空間相關的資料進而產生足以解決問題的新資料。如：地圖與交通事故發生頻率結合即可看出哪條路線最常發生意外，應立即加強安全改善措施。

4.地圖顯示

將傳統地圖與量測資料經數化後，即可提供GIS使用，而GIS可將這些資訊以數位的圖型方式呈現，利用不同顏色、高度、深度來呈現實際狀況，以便進行更多分析與多角度的透視功能。

5.座標轉換

由於GIS能將不同圖層資料加以整合產生有用的資訊，由於圖層本身使用之測量方式與比例尺之不同在兩張圖層套疊過程中可能，必須經過轉換成一致的座標後才能加以套疊使用，否則將可能發生套疊不合或不準確的疑慮。

註¹⁶：Eddie W.L. Cheng, Heng Li, Ling Yu. A GIS approach to shopping mall location selection. Journal of Building and Environment 2005.

6. 資料結構

資料可能因使用不同方式去收集與數化儲存所導致，而多種資料結構可能會導致這些資料無法協調，因此使用GIS需將這些資料轉換統一的結構。

7. 資料模式

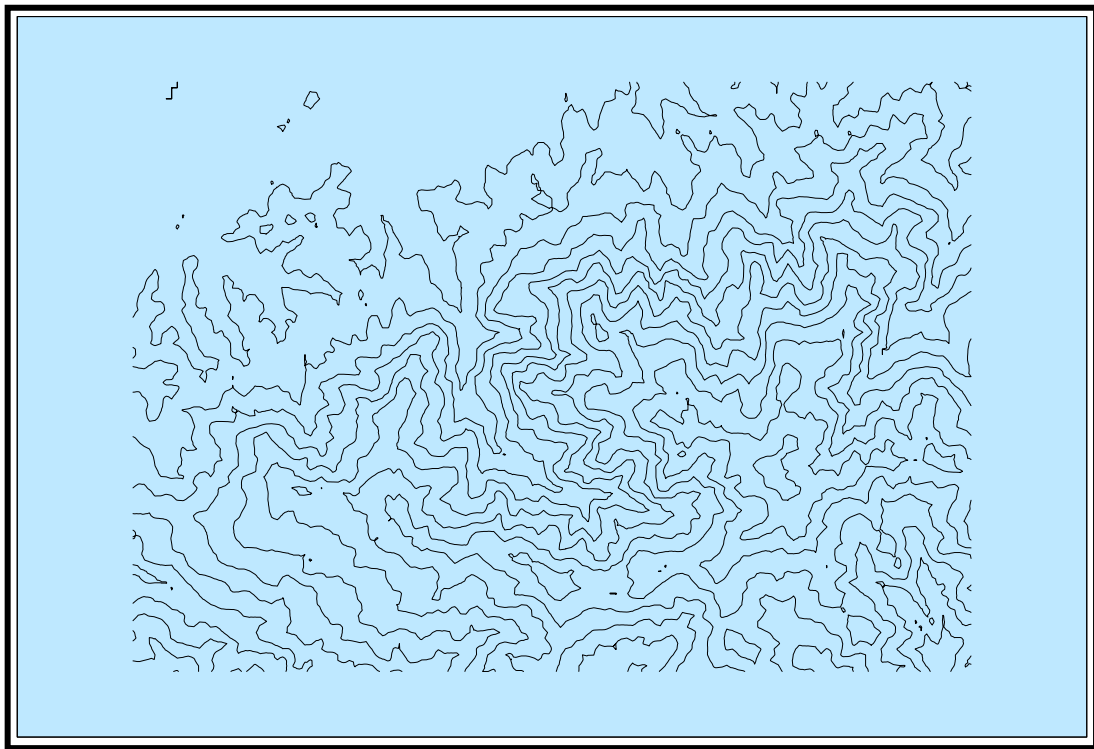
資料有兩種格式，一為向量資料(vector)，另一種為網格資料 (raster)；前者資料格式用來顯現物體形狀的圖徵格式，後者為表現土地使用的數值資料。而為了產生統一的線條來夠建物體形狀，必須先制定統一向量格式。

8. 資料輸出

GIS的圖層資料可以在電腦上顯示亦可列印出來提供更有效的決策參考。

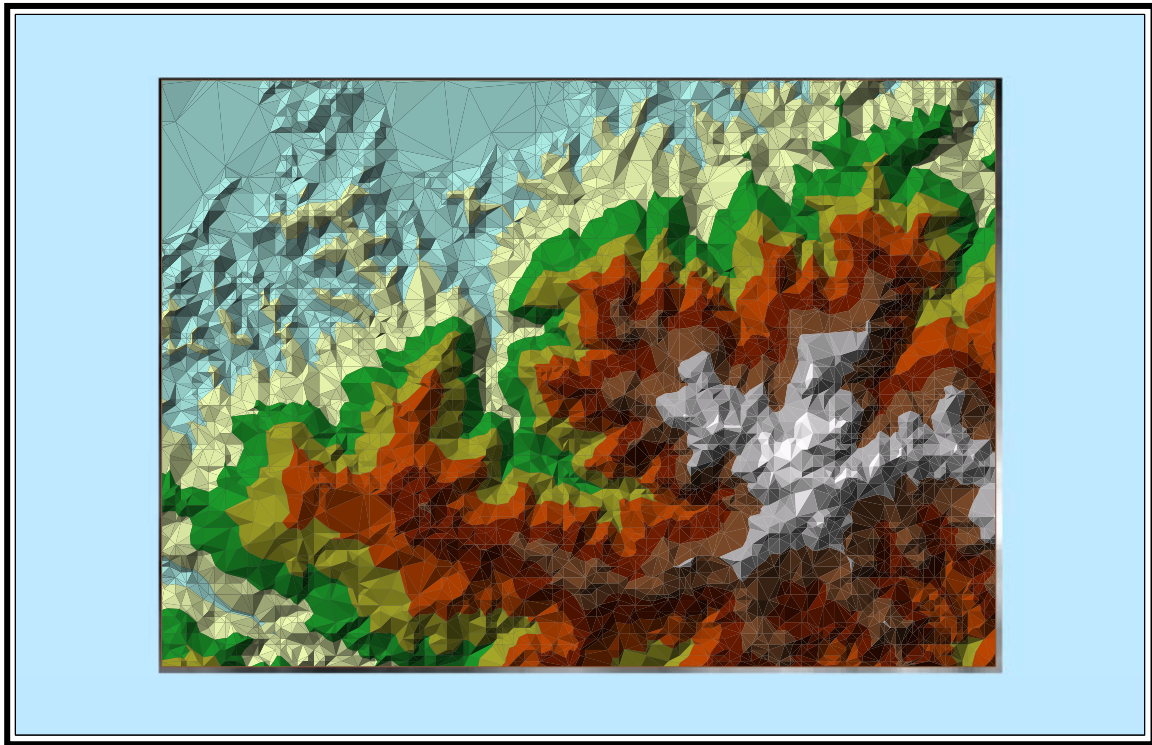
三、數值地形模型

數值地形模型(Digital Terrain Model, DTM)乃地表起伏的數值，使用數值化的方式，分別以X、Y、Z座標值對應地表面上連續高低起伏的情形，可以等高線、不規則三角網、矩形網格等方式呈現，如圖二、三、四所示。



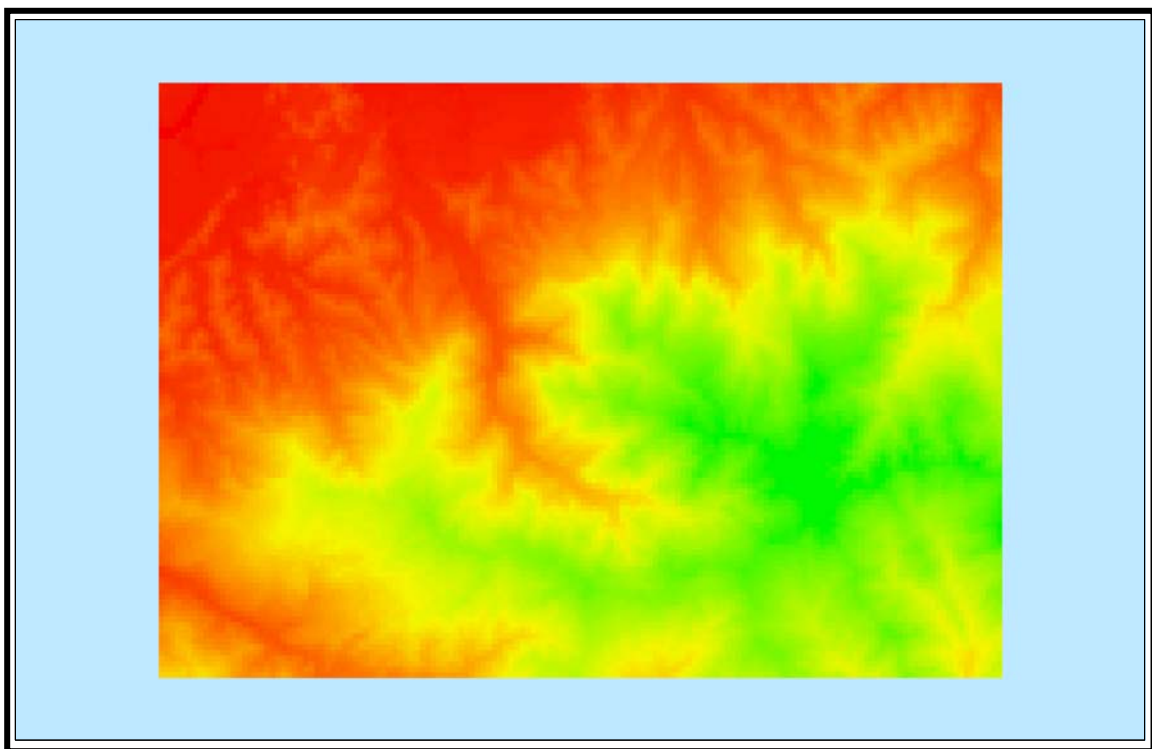
圖二 等高線分析示意圖

資料來源：筆者以ArcView軟體自行整理彙製



圖三 不規則三角網分析示意圖

資料來源：筆者以ArcView軟體自行整理彙製



圖四 矩形網格分析示意圖

資料來源：筆者以ArcView軟體自行整理彙製

地形及地表特徵也可以立體網格圖顯示，網格形狀有正方形、三角形、六角形及多邊形等多種，目前數值地形模型最常見的表示方式有正方形與三角形二種，分別說明如下：

1.規則網格點：

在正交的網格上，單一網格的高度值以高度的平均值來表示，經由規則網格之高度分佈，便可組成一個規則矩陣的結構，即地形為數值高程模型(Digital Elevation Model, DEM)。目前DEM資料多以航測方式生產而得，現在台灣地區的數值地形模型資料為40m×40m解析度之網格。其中DTM與DEM最大的不同在於，DTM涵括各種地表高度的資料，而僅能描述網格式高度的資料則稱為DEM。

2.不規則三角網：

DTM亦可以一種連續不規則的三角形，來代表地表空間狀態資料的資料結構。三角網格解析度可隨地形複雜度而改變。因此，可以有效的表示地形上高低起伏的劇烈變化。惟三角形因不規格的分佈，在邊坡穩定評估運用與分析上，仍多將其內插處理轉為規則之正方形網格資料結構。

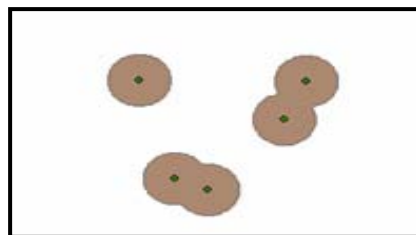
四、環域分析

隨著科技以及資料處理軟、硬體的快速進步，對地理資訊系統技術有效處理大量空間訊息的分析功能獲致良好成果，亦對大地工程中之選線、選址評估工作提供了一個良好的作業環境，本研究即利用其強大的空間分析、運算、查詢與圖形展示的功能，結合環域分析與套圖分析法，來輔助集水區位置的選定評估。

環域分析(Buffer Zones)為軟體分析功能中，被廣泛運用的分析模式之一，其功能是在點、線、面等空間資料的外圍或內圍的影響範圍之內劃定可能的影響區域。其運用方式如下：

(一)點環域分析：

以點為圓心，並以一定的半徑的圖徵環境為範圍，例如房子、車子、污染源等。

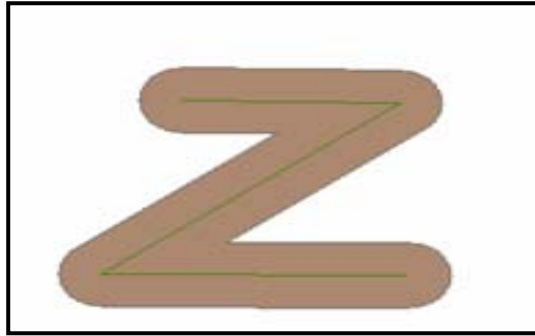


圖五 點環域分析示意圖

資料來源：筆者以 ArcView 軟體自行整理彙製

(二)線環域分析：

分析時以線為中心軸線，距中心軸線一定之距離的平行條帶多邊形，為線圖徵的環域範圍。環域影響寬度範圍可以直接設定或依據屬性表之欄位內資料而設定，計算影響道路範圍內之面積。

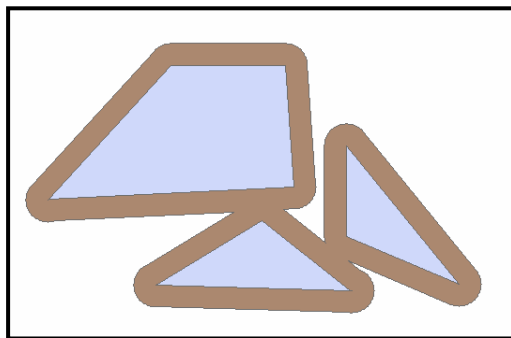


圖六 線環域分析示意圖

資料來源：筆者以 ArcView 軟體自行整理彙製

(三)面環域分析：

分析時以面之內圈或外圈擴展一定之距離，所形成之多邊形區域為面圖徵的環域範圍。例如劃定公園、工廠、學校、水庫等特定區域相關環境的保護範圍。



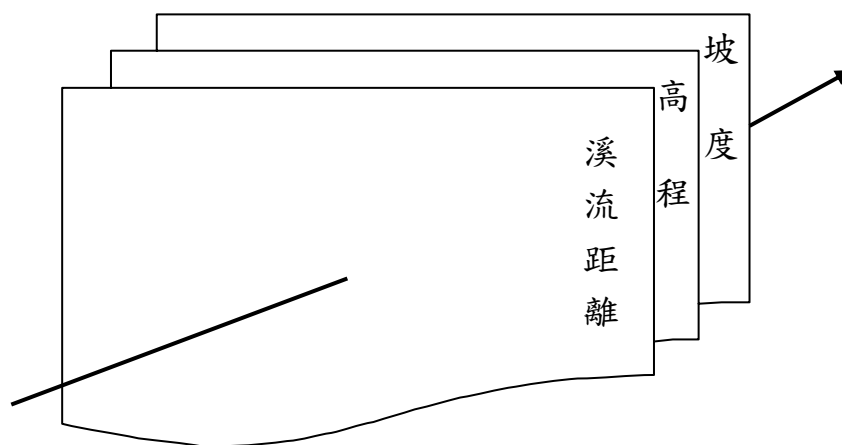
圖七 面環域分析示意圖

資料來源：筆者以 ArcView 軟體自行整理彙製

五、套圖疊合分析

當同時處理二種或多種圖形資料時，疊合分析是最常最易被應用的技術。有關疊合分析之操作係應用於疊合分析透過基本之疊圖運算將原來不同

之圖形資料組合成一張新圖，亦將多張具相同單位之圖形資料直接地以運算處理。地理資訊系統於圖層套疊評估之功能，在研究中需要目標區域內之地形圖、地質圖、航照圖、相片基本圖等相關圖層，以及區域內地質材料、邊坡幾何參數及環境地質的屬性資料，並可透過GIS進行查詢、分析與運算之表單顯示，並將上述資料經由數化、儲存、圖層套疊、整合分析及展示查詢，並藉由參數圖層之建置。利用GIS進行圖層套疊區域內的網格，進行計算與屬性判定，計算集水區之區域，從而建立出集水區選址之分析模式。



圖八 套圖分析示意圖

資料來源：筆者自行整理彙製

肆、模擬驗證

本研究選定嘉義地區模擬場址，進行集水區高程、雨量、土壤等資料之蒐集，將地表參數分類完成以後轉換為地理資訊系統之資料格式，使成為地理資訊系統圖層資料庫之一部分；然後利用地理資訊系統軟體以數值高程資料建立集水區之數值模型，據此得到集水區之坡度、坡向等數值地形資料，並以地理資訊系統中相關空間分析模組，計算集水區相關之地文參數，如各集水區面積、河川長度、坡度、坡高、坡向及其他相關參數等，最後透過地理資訊系統資料庫及系統檢索功能，提供進行所須地文參數分析；最後將這些參數應用，進行集水區之參數分析，以利集水區之選擇與應用。

一、研究區域概述^[17]

本研究初期所選定之模擬區域位於嘉義地區，嘉義縣位於台灣中南部，東接南投、高雄兩縣，西瀕台灣海峽，南與台南縣毗，北臨雲林縣。其地理

註¹⁷：嘉義縣政府網站：<http://www.cyhg.gov.tw/index.asp>

位置，東倚玉山、玉山主峰緯度，極西為東石鄉之塭港，極南為大埔鄉南端，極北為大林鎮北勢。此外，嘉義縣水上鄉下寮村有北回歸線通過，此線以南為熱帶圈，以北為亞熱帶圈。全縣面積 1,901.6725 平方公里，佔全台灣總面積 5.35%。



圖九 嘉義縣、市地理位置圖

資料來源：筆者參考陳錦媽以 ArcView 軟體自行整理彙製

(一)研究區域地形概述

嘉義縣地區東側多山，在地形分區上為西部斜屬中央山系之玉山山系，地勢向西漸緩。再向西則為介在西部斜面與嘉南海岸平原之間的丘陵地區，丘陵區西側則為嘉南海岸平原，在地形上以海拔 100 公尺及 500 公尺為界，分為平原區、丘陵區及山地區三部分。

(二)研究區域地質概述^[18]

嘉義地區之地質構造以海岸平原之沖積層及東部斷層山地為主，沖積層地質年代甚新且地勢平坦，沖積層以東近山麓一帶為砂岩、泥岩構成之顛崙山層及紅土台地堆積層，紅土台地堆積層主要散列於中埔南側及曾文水庫北緣。山地區之地質構造為西部山麓地質區與第三世紀變質岩區，兩者以荖濃溪斷層為界；斷層之東包括廬山層與新高層之千枚岩、板岩及頁岩；

註¹⁸：台灣地質知識服務網：<http://twgeoref.moeacgs.gov.tw>

斷層西側屬於三峽群，瑞芳群之相關地層。

(三)研究區域水文概述

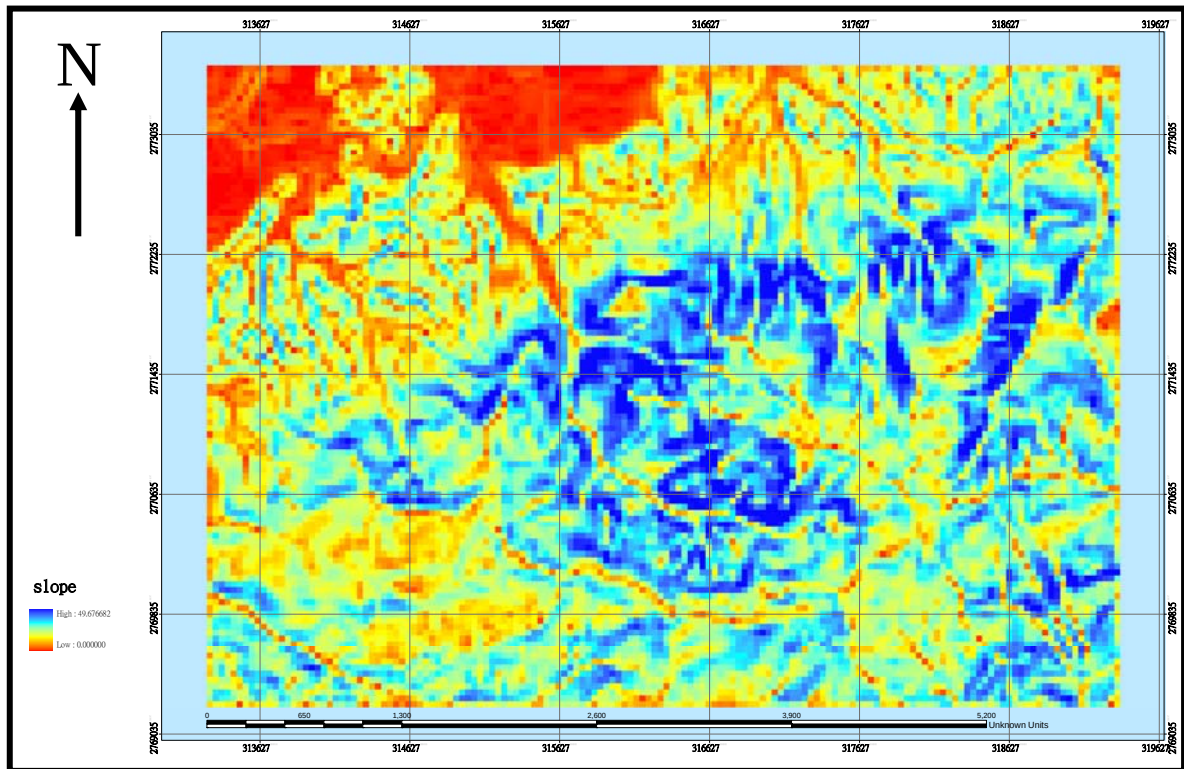
嘉義地區之三條主要河川皆源自東側高山，向西流入臺灣海峽，自北至南依序為北港溪、朴子溪及八掌溪。中、下游河段係屬壯年期河川，上游河段則介於幼年期或壯年期河川，可知這些水系河川極不穩定。故每遇豪雨時，山區容易發生沖蝕，洪流挾帶泥沙宣洩而下，衝出山谷後，極易侵蝕河岸，引起山崩地滑，產生大量砂石堆積河道，致洪水氾濫成災，造成居民生命財產之重大損失。

(四)研究區域坡度、坡向幾何參數

邊坡幾何參數坡度、坡向，是由數值地形模型(DTM)產生而來，目前台灣地區國土資訊系統所提供的全國 DTM 資料解析度為 40m×40m 之網格，可以產生坡度、坡向圖、等高線圖、日照陰影圖等，提供國土開發利用基本參考運算的底圖。

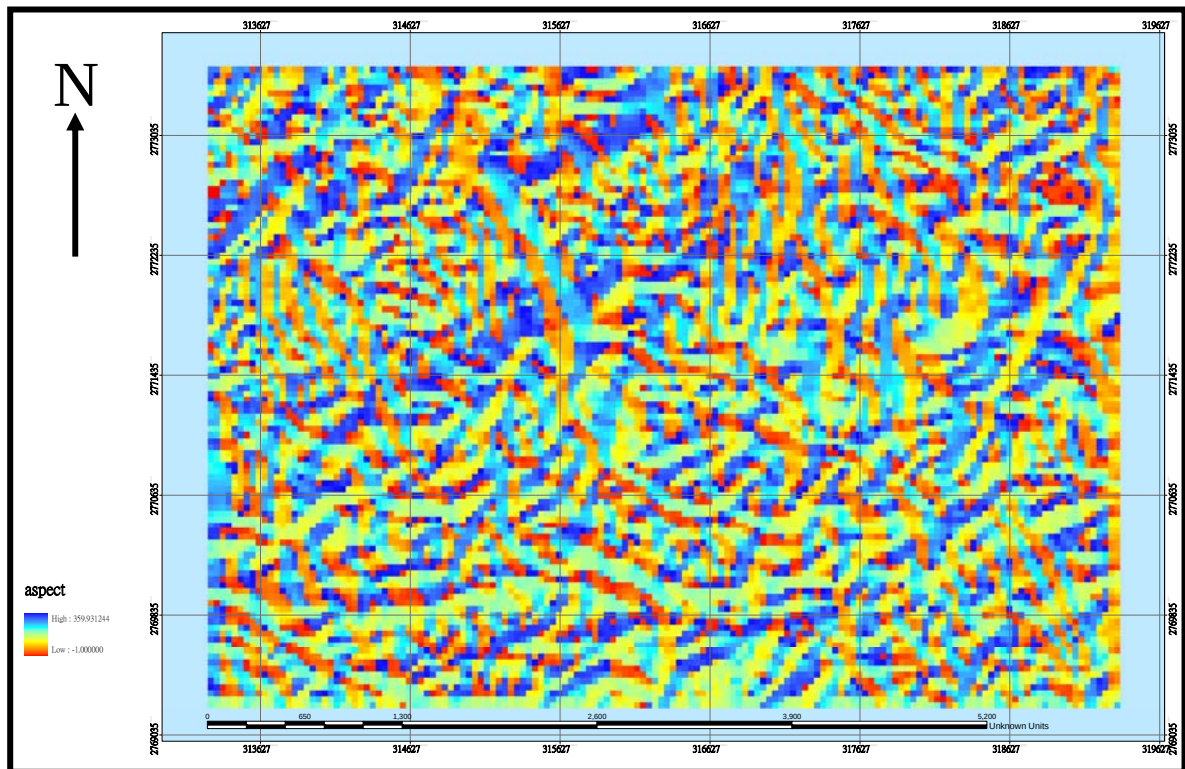
坡度與坡向分析在一般規劃作業中為最基礎且應用最為廣泛之分析，此功能在一般地圖模型中是相當重要且基本之分析技術，主要包括坡度分析、坡向分析與地形剖面分析等。坡度如坡地穩定度、地表逕流、土壤沖蝕等基本環境管理與分析都需要用到坡度資料。坡向分析是僅次於坡度分析之基本重要地形資料分析之一，而坡向分析之應用經常須與其他環境因素配合利用，如與岩層走向分析順逆向坡，與地形狀況分析日照條件等。

本研究坡度、坡向的計算源自於以農林航測所量測花蓮地區 DTM，網格精度為 40m×40m 解析度的數值地形模型，利用 ArcView 中 Spatial Analyst 分析模組，以高程資料分別計算坡度資料及區域內坡向分佈情形，同時輔以坡度圖（如圖十所示）及坡向圖（如圖十一所示）展示，以提供集水區分析時使用，可知區域內地勢高低起伏變化，結果發現嘉義地區坡度由 0°~49°皆有分佈。



圖十 研究區域坡度圖

資料來源：筆者以 ArcView 軟體由 DTM 產生坡度圖



圖十一 研究區域坡向圖

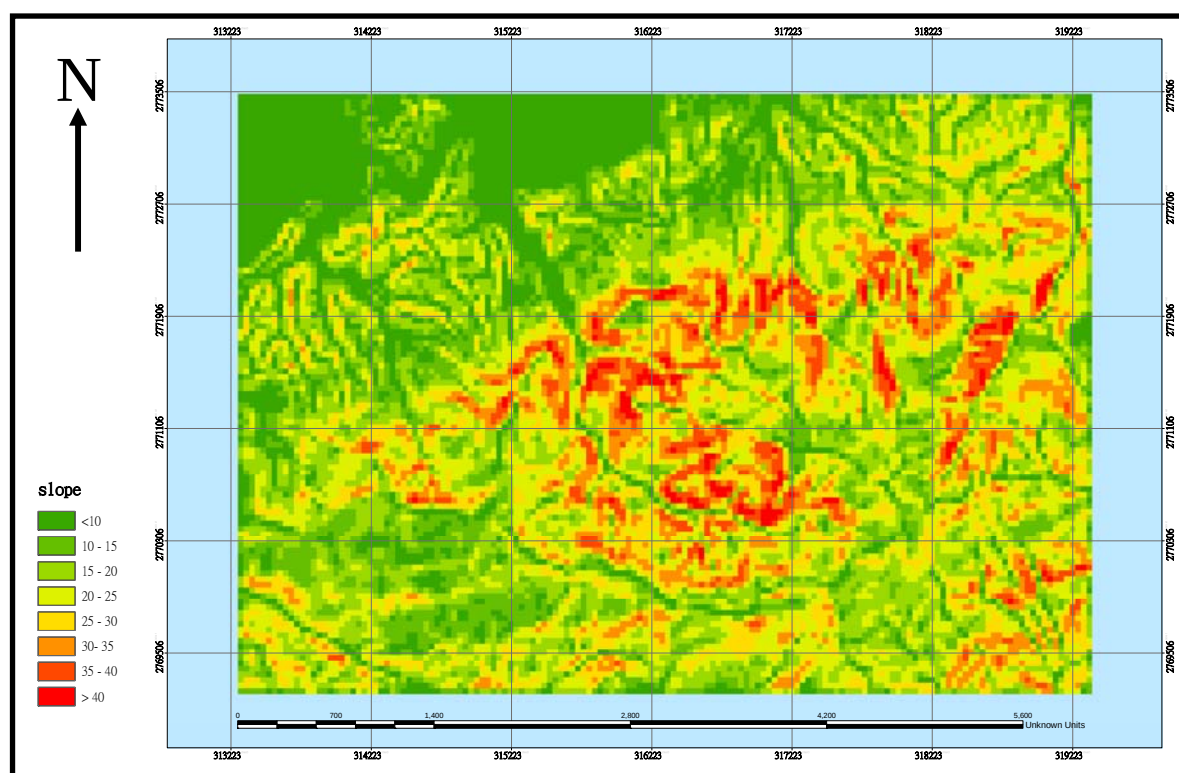
資料來源：筆者以 ArcView 軟體由 DTM 產生坡向圖

二、因子選取與分級

本研究依據 RES 的特性與思考之邏輯概念，考慮其地形環境及地質條件的狀況，在環境及時間、空間能配合的條件內，挑選能進行現場調查的影響參數因子，大致上，地質狀況、氣候條件及潛在的不安定等與集水區皆有其關聯性，在整合其資料的完整性即可適用性後，研究初期選擇坡度、坡向、高程、距溪流之距離、距道路之距離共 5 項影響因子。不同因子範圍的定量性指標需有依據，因此對相關因子進行分級，使資料能進一步分析及應用，坡向及岩性因子已有定性的分類，故依原有性質進行分類即可；反之，坡度、高程及環境等因子，其因子分級方式並無特定標準，因此，需參考文獻以進行相關的範圍分級，以決定其劃分標準，本研究將影響因子分級方式如下：

(一)坡度

研究初期參考水土保持技術規範將坡度分為 7 級(如圖十二坡度重新分級示意圖)，藉此進一步探討坡度對水源地之影響。

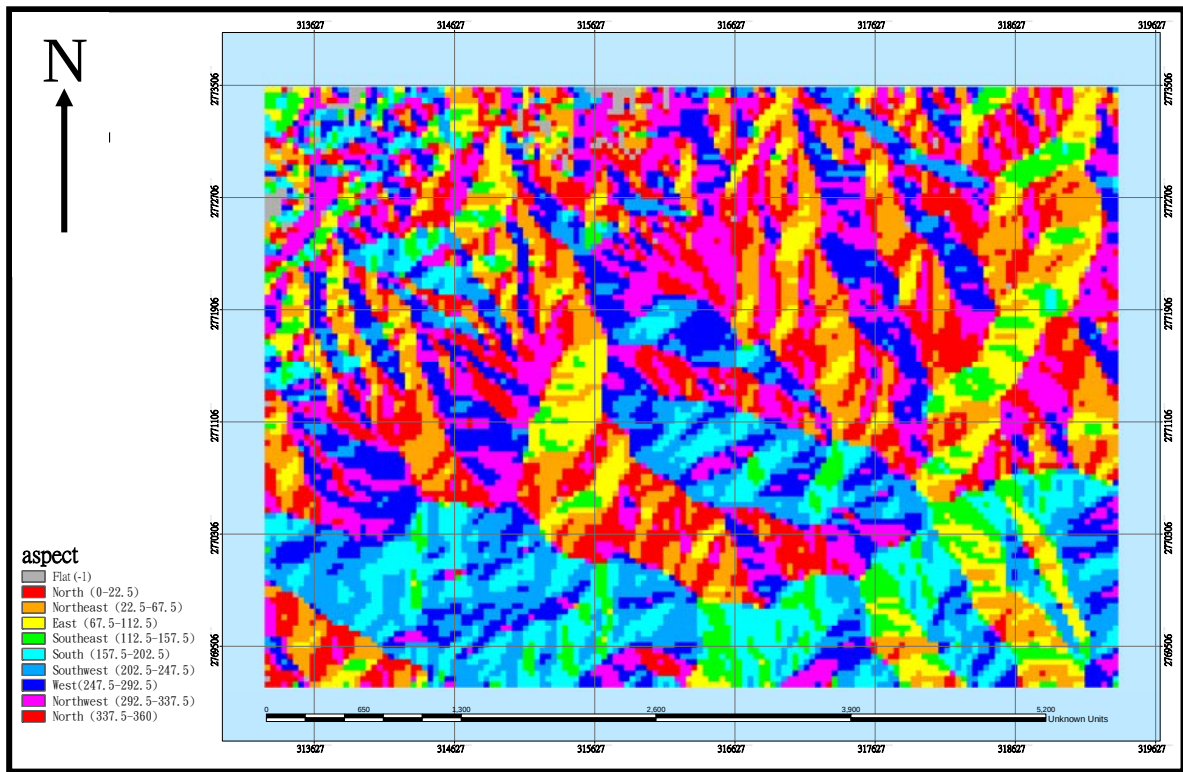


圖十二 研究區域坡度分級示意圖

資料來源：筆者以 ArcView 軟體由 DTM 產生坡向圖

(二)坡向

坡向分級時依據現有坡向定性的方式^[19]，區分北方 337.5°~22.5°、東北方 22.5°~67.5°、東方 67.5°~112.5°、東南方 112.5°~157.5°、南方 157.5°~202.5°、西南方 202.5°~247.5°、西方 247.5°~292.5°及西北方 292.5°~337.5°等八個方位位角，如圖十三所示。



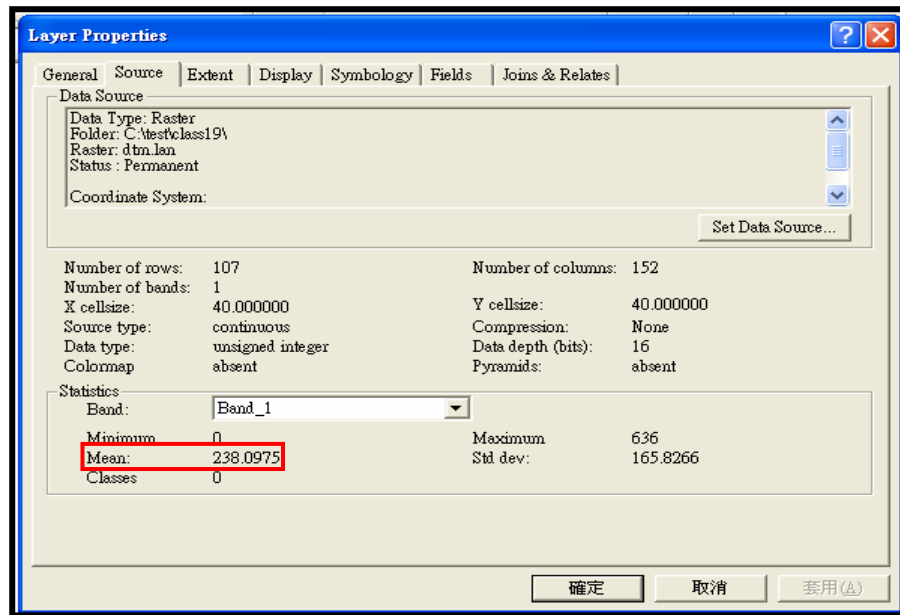
圖十三 研究區域坡向分級示意圖

資料來源：筆者以 ArcView 軟體由 DTM 產生坡向圖

(三)高程

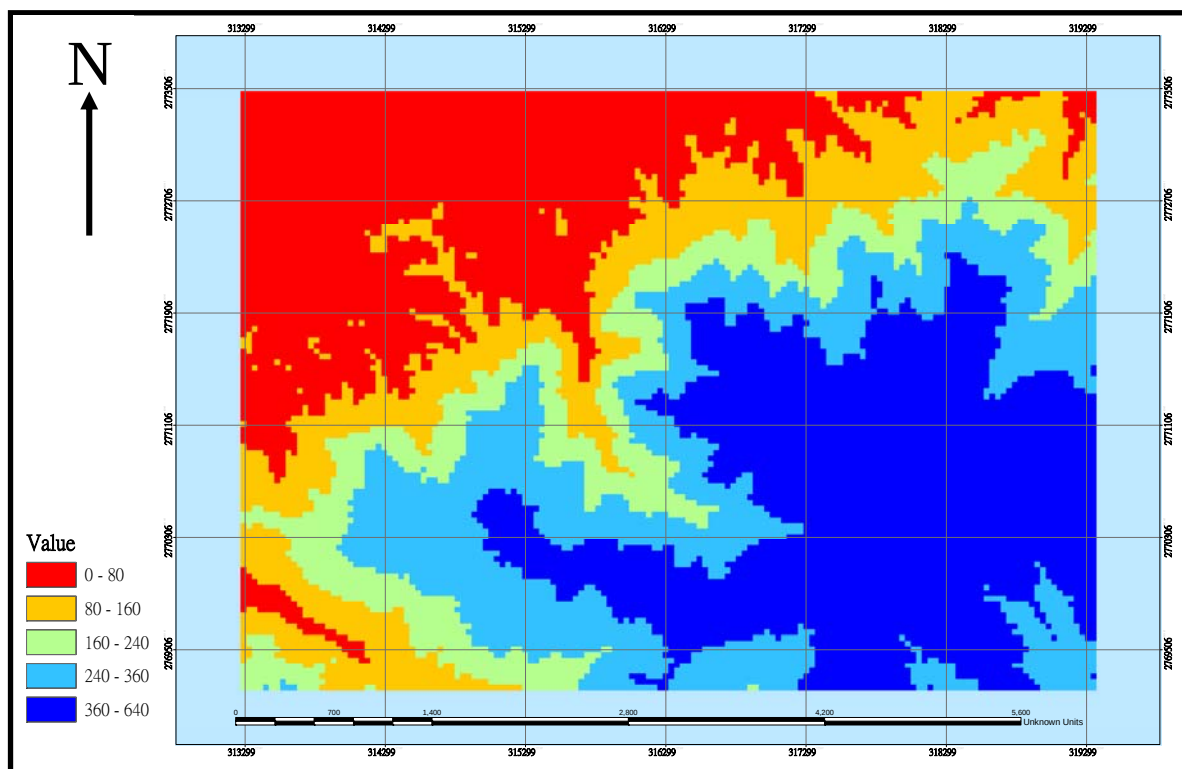
高程的分類與坡度相同並無特定的範圍界線，本研究初期以區域內之平均高程(如圖十四所示)238 公尺為中間值，考量數值地形模型基本網格為 40 公尺的精度，將高程分為五級，作為距溪流之距離之影響分級，高程越高對集水區域的影響越大，分級範圍如圖十五所示。

註¹⁹：陳錦媽，《GIS 技術與實務應用》（新文京開發出版股份有限公司，台北，92/2003）頁 1-645。



圖十四 研究區域平均高程圖說

資料來源：筆者以ArcView軟體由DTM產生平均高程圖說



圖十五 研究區域高程分級示意圖

資料來源：筆者以 ArcView 軟體由 DTM 產生高程圖

(四)距溪流之距離

本研究初期考量數值地形模型基本網格為 40 公尺的精度，滿足 40 公尺網格的大小作為距溪流探討距離之影響程度，將距溪流距離分為五級，分級範圍如表一所示。

表一 距離溪流遠近影響範圍分級

影響範圍	40<	40-80	80-120	120-160	>160
分級權重	5	4	3	2	1

(五)距道路之距離

本研究初期以距離道路遠近區域為影響範圍，考量數值地形模型基本網格為 40 公尺的精度，因此，本研究之道路範圍分級以 40 公尺為基礎區分為 5 級，作為道路之影響分級，分析時假設道路的寬度為 40 公尺，道路分級範圍如表二所示。

表二 距離道路遠近影響範圍分級

影響範圍	40<	40-80	80-120	120-160	>160
分級權重	5	4	3	2	1

三、研究結果

研究結果得知集水區河流長度對集水區面積、平均坡度與平均高程之關係，地形係一項重要因子，在量化表示上坡度與高程為其表徵，本文應用地理資訊系統技術於水源集中地區位置之選擇，並進行集水區地文、環境與空間特性分析。分析結果如下：

- (一)利用數值地形模型做集水區位置選擇為有效且可行，可節省人力花費及減少人為的誤判，對於以集水區為對象之地理資訊系統資料庫建立頗有幫助。
- (二)以地理資訊系統資料庫套圖分析的方式，應用於與集水區相關地文因子計算，方便又有效率，可達即時查詢分析之能力，提供集水區選址與管理之參考。
- (三)分析結果得知影響因子，包含高程、坡度、坡向、距溪流之距離等，其中道路因子對於整體並不具代表性，影響因子權重，依序為距溪流遠近、坡度及高程，距溪流越近高程越高坡度越陡之區域即為水源之集中地。

伍、規劃運用研析

一、工程規劃

工程規劃利用地理資訊系統做為分析工具，並藉助地理資訊系統空間分析功能及疊圖運算技術之輔助，可快速且大量運算地理空間資料，對集水區環境進行可行性評估之初步探討。在工程之運用上，透過對選址規劃之瞭解，考量避開水源集中區域及不穩定之地質，以進行廣域營地的穩定性分析及工程初期的選址與後續維護保養上參考的依據，確保工址的穩定使工程能發揮最大的效益，達到工期縮短，造價便宜，保護生態環境，安全又可靠的軍事工程。

二、軍事運用

本研究參考岩石工程系統參數選用的分析思維，擷取其中部分主要參數，運用地理資訊系統廣域且快速分析大範圍水源集中之區域，進行可行性量化研究之初步探討，透過地表找到一處良好的水源區域以提供其淨水作業，為本軍提供了一個快速判定集水區域位置的方法，達成野戰給水之任務，以供應野戰部隊人員、裝備所需安全之飲用水，確保本軍平、戰時飲用水之安全。未來如能將技術加以研發精進，透過資料庫之建置，可適時提供參謀判斷並輔助指揮官指揮所開設與宿營位置選擇之決策參考。

陸、結語

水資源為人類生活必需之一重要資源，為維持平、戰時飲用水資源之永續供應，發揮平、戰時水源無形水庫之效果，然傳統地形圖度量方法過於耗費人力與時間，因此以地理資訊系統技術為分析工具，運用地理資訊系統軟體的幫助，將相關圖層套疊運算，模擬地文參數影響集水區特徵的需求，可以迅速有效整合影響集水區參數之空間圖層，提昇水源集中區域選定應用的效率，以利工兵給水站開設位置之參考，達成野戰給水之任務，供應野戰部隊人員、裝備所需之安全飲用水。由於地形參數以坡度影響程度最為明顯，所需許多的特徵參數數據取得皆受限於地形、地貌、交通、水源等條件影響，惟擷取集水區的相關參數更難以獲得。因此，如能多做案例研究或地質鑽探並適切進行現場之試驗，建立相關軍事參數資料庫，提供野戰給水資料，才能確保本軍平、戰時部隊人員、裝備所需飲用水之安全。