

台灣中段山區地下水動態行為之分析 -以濁水溪流域及北港溪流域為例

陳耐錦¹、許世孟²、李鳳梅³

- 1.財團法人中興工程顧問社大地工程研究中心 副研究員
- 2.財團法人中興工程顧問社大地工程研究中心 高級研究員兼任組長
- 3.財團法人中興工程顧問社大地工程研究中心 助理研究員

摘 要

一般而言，影響山區地下水變動型態除地形、地質、地下水位置及其補注範圍、土地開發利用、河道與湖泊分布等因子外，含水層的水力特性(厚度、儲水與傳導能力)亦扮演不可或缺的角色，此眾多因子除具其自身的影響力外，各因子間之交互作用亦將促使山區地下水產生更大的變動。因此，地下水動態行為乃是反應某特定環境下受多種因素影響的自然複雜過程。有鑒於此，本研究於調查範圍蒐集地形、地質構造及水文條件等相關資訊，並結合孔內水文地質探測成果及長期觀測水位資料(至少一水文年)以此現地試驗與調查成果進行地下水動態行為分析與評估，進而探討地下水位變動型態及其於時間分布上的季節性變化。

本研究以台灣山區中段為研究區域，首先選取該區域之自然環境因子圖層，包含坡度、水系密度、土地利用、岩性、透水係數、孔隙率、地下水深度、岩盤覆蓋層厚度等因子，接著利用上述 8 個因子依權重分配建立地下水位變動潛勢分布，依其影響水位變動潛勢高低劃分。研究中除利用自然環境因子分析獲得地下水位靜態之變動潛勢，再藉由實際地下水位動態監測資料之回饋，雙向進行山區地下水動態行為之探討，藉以瞭解影響山區地下水位變動之成因與類型。由分析成果顯示，豐水期水位變動潛勢較高的區域顯示為濁水溪本流區域、斗六丘陵以及清水溪中上游以及陳有蘭溪上游，枯水期水位變動潛勢較高的區域顯示為濁水溪本流區域、清水溪上游以及陳有蘭溪上游。豐水期水位變動潛勢受地表地文特性(水系密度)及本身水文地質特性(透水係數、地下水深度)所影響，而枯水期水位變動潛勢則與本身水文地質特性呈高度相關。而根據降雨、地下水位資料可分類為受降雨影響顯著、受降雨影響不大、不受降雨影響，受降雨影響顯著研判大部分屬清水溪集水區。

關鍵詞：地下水位變動潛勢、加權評分、自然環境因子、地下水位動態監測資料

ABSTRACT

The influencing factor of ground-water dynamics includes topography, geology, ground-water table, recharge area, land use development, channel, lake and aquifer hydraulic properties (thickness, storativity, and hydraulic conductivity) as well. Further, interaction between the various factors will lead to greater changes in ground-water dynamics. Ground-water dynamics is the

reflection of a complex process of nature influenced by various influencing factors in certain environments. In this study, the approach is presented for the evaluation of groundwater potential using topographic, geologic and hydrologic characteristics. Field tests results and long-term ground-water fluctuation monitoring data are also used for the influencing factors to analyze the ground-water dynamics in temporal and spatial variations.

In this study, the mid-Taiwan mountain region was chosen as study site. Eight natural environmental factors including slope, drainage density, land use, lithology, hydraulic conductivity, porosity, ground-water depth, regolith thickness have been selected as influencing factors. Each influencing factor was divided into different subareas and the weighted score was given for each subarea with the expert scoring method. Moreover, the shallow groundwater levels in the study site were selected to verify the dynamics of ground-water. Comparing the rainfall with the variation of groundwater level, it was found that the observation ground-water level data in the mid-Taiwan mountainous region can be classified as highly fluctuation, regular fluctuation, and almost non-fluctuation. Results indicate that the ground-water level variations in the Cingshuei river basin were the highly fluctuation area.

Keywords: Ground-water level fluctuation, weighted score, natural environmental factor, ground-water fluctuation monitoring data

I、緒論

台灣地區雨量豐沛，但因地狹人稠，河川坡陡流急、逕流量被攔蓄利用僅佔年總逕流量之 18%，其餘均奔流入海，以致台灣水資源相對匱乏。另近年來因環保因素以致水庫興建受阻，現有水庫之庫容與使用年限日減之情形下，地下水等替代水資源之調查實有必要加以推動。而台灣山區佔全島面積的三分之二，遠大於平原區之面積，其亦屬台灣地區地下水資源的重要補注來源區域，在政府提倡多水源多系統聯合經營區域性水資源策略下，山區地下水資源不失為一重要之水資源調配來源，但是對於評估山區地下蘊含量之現況所需地質與水文地質等基本調查資料卻相當匱乏，再加上人為活動及土地開發範圍已漸趨擴大，並往山區延伸，更彰顯出對山區地下水資源調查研究的急迫性。

欲掌握山區較具規模的地下水資源，山間盆地及麓山帶台地、丘陵區域為首要調查重點；而流域上游之山區地下水將以基流型式補注河川，於中下游山區水系匯集處調查伏流流量以評估設置集水廊道的可行性，則為另一重點；此外，山區地下水補注平原區的機制及山區水文地質單元的分析與試驗亦為重要

的研究議題，應全面展開調查，以釐清山區至平原地下水文循環的全貌。

受到全球氣候劇烈變化，台灣的地面水文環境產生極大的變化，已影響到系統性的水文循環，水資源匱乏現象益加明顯，而地下水文環境也受到嚴重影響；加上人為的不當利用、生態環境的變遷，使得台灣的地下水資源不但儲量大幅減少，水質也被嚴重污染；近年來民眾環保意識高漲，致使水庫或集水設施興建進度受阻，可分配之水資源更加不足，而山區佔全國面積的三分之二，屬於平原地區地下水的重要補注來源區域，在政府提倡多水源多系統聯合經營區域性水資源策略下，山區地下水資源不失為一重要之替代水資源調配來源。除需加強平原區之地下水管理，相鄰山區是否有替代性之地下水資源，其與平原區地下水資源之關聯性，均是亟需進行調查與研究的課題。

為瞭解山區地下水動態行為之現況，以及山區水文地質特性，故需藉由山區水文地質調查成果與地下水位監測資料，以瞭解山區地下水資源之流場分布、可供調配之水量，整體評估與掌握地面水與地下水在不同環境下的互動特性。地下水動態行為的影響因子可區分為兩大類，一類為影響含水層水量改變的因子，

例如降雨、蒸發散、人工流量、河川入滲或灌溉入滲等；另一類則是影響含水層應力改變的因子，例如大氣壓力、潮汐或地震等(Godin, 1972; Shih, 2003; Dong et al., 2007)。影響淺層地下水位變化的主要因素大多屬第一類，影響因子可為地形與地貌、岩石特性、地下水深度及含水層之水文地質條件。第二類屬影響地下水位微小變化的因子，本文針對地下水位變化幅度較大者進行探討，故以第一類影響因子進行淺層地下水位動態行為之分析。

一般而言，影響山區地下水變動型態(groundwater dynamic pattern)除地形、地質、地下水位置及其補注範圍、土地開發利用、河道與湖泊分布等因子外，含水層的水力特性(厚度、儲水與傳導能力)亦扮演不可或缺的角色，此眾多因子除具其自身的影響力外，各因子間之交互作用亦將促使山區地下水產生更大的變動。因此，地下水動態行為乃是反應某特定環境下受多種因素影響的自然複雜過程(Finke et al., 2004; Wang et al., 2009)。而近幾年台灣地區受到全球氣候變遷影響，接連發生的極端天氣與不斷創新紀錄的降雨事件，地下水水資源與時間分布都會受氣候變遷影響，水資源可隨著氣候變異加劇而變化加大。

有鑒於此，故於調查範圍蒐集地形、地質構造及水文條件等相關資訊，並結合孔內水文地質探測成果及長期觀測水位資料（至少一水文年）以此現地試驗與調查成果進行地下水動態行為分析與評估，進而探討各區域地下水的循環機制、地下水位變動型態及其於時間分布上的季節性變化，以達成地下水資源永續經營。本研究首先選取自然環境因子圖層建立地下水位變動潛勢分布，依其影響水位變動潛勢高低劃分，而後利用各鑽孔之地下水位動態資料進行探討及評估，期能夠瞭解影響山區地下水位變動之成因與類型，以提供未來建構山區地下水流場及地下水補注分析之用。

II、研究區域之概述

本研究選取之濁水溪是台灣最長河川，發源於合歡山主峰與東峰之間鞍部海拔 3200 公尺處，濁水溪流域年平均降雨量 2,200 公厘，各地區的降雨量差異很大，在集集上游之山區年平均雨量約為 2,500 公厘，下游平原地區為 1,100 公厘，濱海地區則僅 830 公厘，降雨量從山區漸往西部海岸遞減。各月份降雨量差異極大，以 11 月至翌年 4 月為枯雨季，5 至 10 月為豐雨季，降雨佔全年之 70%至 85%。

濁水河流域位於台灣之中南部，北接彰化沿海河系流域，南與北港溪流域相鄰，大部分均為海拔 300 公尺以上之高地，全流域之平均高度為 1,422 公尺。本

研究區內之河川集水區分布(詳圖 1)主要分為濁水溪流域中游段及北港溪流域，濁水溪中游段之河川有陳有蘭溪、東埔蚋溪、清水溪、水里溪及日月潭等集水區；北港溪流域則為虎尾溪、三疊溪。

本研究區域內各鑽孔地下水位於流域之分布情形，濁水溪流域有 11 處，陳有蘭溪有 7 處，清水溪有 8 處，北港溪有 3 處，共 29 處，相對位置分布如圖 1 所示。

II、影響山區地下水動態行為之因子

本研究將各因子依影響程度進行權重分配，並利用地理資訊系統程式計算與展示各因子在調查區域空間上影響潛勢，本研究考量之影響因子包括高程、水系密度、坡度、土地利用、岩性、地下水深度、岩盤覆蓋層(Regolith)厚度、孔隙率、以及含水層之透水係數等，將分類為地文因子、地質因子、水文地質因子等，分述如下。

2.1 坡度因子

本研究坡度計算是以內政部提供之 40m×40m 精度之數值高程資料(圖 2)為分析依據，利用 ArcGIS 空間分析(Spatial Analyst)功能製作 40m×40m 之坡度分布圖層，坡度成果如圖 3 所示。圖上顯示，愈往上游坡度愈陡，而靠近出海口則坡度較平緩。因地下水補注來自於降雨，坡度的大小會直接影響逕流與入滲。降雨時期，坡度較陡之區域因地表逕流迅速流經，無法有足夠之時間予雨水入滲至地表，而補注至地下水，故坡度越大，造成補注水量降低，則地下水位變動趨緩。

2.2 水系密度因子

水系密度(drainage density)為集水區所有級序河川長度與集水區面積之比值，可表示如下(李光敦, 2002)

$$DD = \frac{\sum_{i=1}^{\Omega} \sum_{j=1}^{N_i} (L_{c_i})_j}{A} ; i=1,2,3,\dots,\Omega \quad (2-1)$$

式中 DD 為水系密度，其單位為長度之倒數； A 為集水區面積。由於河系代表地面水體存在位置，水系密度值與地下水位變動有顯著之相關性，而且水系密度值越高之區域則代表地下水位變動愈大。本研究利用格點解析度 40m×40m 數值高程資料，分別計算研究範圍內各格點以上累積河川長度與集水面積，可推算出研究範圍內水系密度空間分布，成果如圖 4。

2.3 土地利用因子

本研究參考台灣中段山區地下水資源調查與評估(1/4)製作之五大類土地利用成果圖，該成果格點解析度為 500m×500m，本研究為統一格點解析度故利用 ArcGIS 空間分析模組重新計算成為 40m×40m，如圖 5 所示。可分類為建物、林地、裸露地、農地、河道與

地面水體。

2.4 岩性因子

由文獻可知(El-Baz and Hamida, 1995), 岩性因素對水之滲透有著很大的影響力, 因此本研究考慮岩性因子, 並以台灣中段山區地下水資源調查與評估(1/4)之岩性分類成果, 將此岩性分類成果當作山區地下水動態行為分析之因子, 將岩性區分為日月潭, 頁岩, 砂頁岩(頁岩為主), 砂頁岩(砂岩為主), 砂岩、板岩、千枚岩, 礫石、砂等, 共六類, 如圖 6 所示。

2.5 透水係數因子

若含水層有裂隙或裂縫, 水可以流動於其間, 該含水層則具透水性, 亦即具有傳輸水的能力。隨著含水層材料及其排列方式之不同, 透水性亦不同。透水係數是評估含水層透水性的一個指標, 其單位與速度相同(距離/時間)。一般而言, 岩層破碎程度較高, 其水流速度較快, 若該含水層厚度愈大, 表示該含水層之通水能力愈大, 該含水層地下水位變動程度愈大。本研究利用現地試驗獲得之各鑽孔點位透水係數值, 以及地質單元分區方式, 推估透水係數之空間分布圖, 如圖 7 所示。

2.6 孔隙率因子

本研究以研究區域內現地試驗之井測成果, 其中之波速調查可獲得波速孔隙率(velocity porosity), 並依照地質單元分區方式, 將點資料擴展成空間分布, 如圖 8 所示。波速孔隙率值範圍為 0~30%, 其值愈大表示地下水可流動之空間愈大, 故可當作一指標。圖上亦顯示, 以濁水溪本流區域及斗六丘陵之波速孔隙率較大, 亦即是地下水位變動程度可能較大。

2.7 地下水深度因子

由文獻可知, 地下水深度愈淺者, 受地表影響較大, 其水位變動應會隨之受影響。因地下水深度資料僅 29 孔, 為能獲得研究範圍內地下水深度之空間分布, 因頭料山層火炎山礫岩與非頭料山層火炎山礫岩特性不同, 因此分區推估其高程與地下水位關係式以計算研究範圍地下水位空間分布。本研究藉由地表高程與地下水高程之關係式, 分別計算頭料山層火炎山礫岩與非頭料山層火炎山礫岩之地下水高程後, 再以地表高程扣除地下水高程即可推算地下水深度。圖 9 即為研究範圍地下水深度之空間分布, 由圖可知, 除頭料山層火炎山礫岩(Tkh)地質單元之外, 地下水深度由東南向西北遞減。

2.8 岩屑層(Regolith)厚度因子

一般而言, 岩屑層愈厚, 地下水可能賦存量愈多, 表示地下水位變動亦可能愈大, 因此選取於現地調查取得之岩屑層厚度進行地下水位變動潛勢之分析。本

研究已取得 29 處鑽孔岩屑層厚度, 然而屬頭料山層火炎山礫岩地層(圖 10)之鑽孔岩屑層厚度與其他地層成果之趨勢並不相同, 故需分別計算以能夠符合實際情況。本研究於非頭料山層火炎山礫岩地層乃是參考山區水文地質與地下水資源調查技術研討會論文集(許世孟等人, 2010)成果所迴歸之岩屑層關係式, 計算該地層岩屑層之空間分布值。

$$RT = \frac{382}{\left[1 + \left(\frac{E + 387}{-329}\right)^2\right] \times \left[1 + \left(\frac{S - 18}{-5}\right)^2\right]} \quad (2-2)$$

$(R^2 = 0.75, R = 0.87)$

式中 E 為地表高程; S 為坡度值。因頭料山層火炎山礫岩地層之鑽孔數目不足以推估岩屑層之關係式, 且礫岩地層之岩屑層厚度極大, 故以最大值表示之, 如圖 10 所示。

III、地下水位變動潛勢分析

3.1 地下水位動態監測資料

本研究將上述靜態的影響因子依數值或特性影響地下水位變動高低, 將訂定分數為最低為 0, 最高為 5, 如表 1 所示。本研究排除 3 處無水位資料與異常水位資料後, 共選用 26 孔地下水觀測井, 位於濁水溪流流域之山區, 選用測站如表 2, 其位置分布如圖 1 所示。根據監測 1 水文年(99/11-100/10)之地下水位資料, 以及此研究區域各月份降雨特性可知(地調所, 2007), 豐水期為 5 月至 10 月, 枯水期為 11 月至 4 月, 故分別計算豐水期與枯水期間各鑽井地下水位最大變化量情形, 如表 2 所示。

由表 2 可知, 豐水期(2011 年 5 月至 10 月)以 BH-18 水位變動位最大者, BH-08 次之, 以 BH-26 東埔變動為最小; 枯水期(2010 年 11 月至 2011 年 4 月)同樣以 BH-18 水位變動位最大者, BH-08 次之; 亦可顯示兩孔本身具備良好條件, 因此不管有無降雨量之補注皆具高水位變動潛勢值。本研究為能瞭解研究區域水位變動潛勢之空間分布, 故以前一節建立之自然環境因子圖層與動態水位監測資料, 進行各自然環境因子權重之推估, 再與實際水位資料進行比對, 以能夠推估水位變動潛勢分布情形。

3.2 地下水位變動潛勢分析

本研究利用地理資訊系統 ArcGIS 空間分析模組, 將各鑽孔位置所對應之影響因子評分數擷取出來, 可建構影響因子評分數矩陣 (26x8), 再分別將豐枯水期之水位變動值當作已知值 (8x1), 即可以反矩陣方式推估各因子之權重 W_i (Sabes, 2001), 可表示如下式。

$$[P]_{26 \times 8} \times [W]_{8 \times 1} = [\Delta h]_{26 \times 1}$$

式中 $[P]$ 為各鑽孔位置所對應之影響因子評分分數； $[W]$ 為推估之權重值； $[\Delta h]$ 為實際水位變動值。由於 $[P]$ 並非正方矩陣，故以 Pseudo-inverse 推估權重值 (Sabes, 2001)。利用上述方式，可推估研究區域內自然環境影響因子之權重，結果如表 3 所示。由表 3 中顯示，影響豐水期水位變動潛勢之因子以水系密度、岩性、透水係數及地下水深度為主，而枯水期則僅以透水係數與孔隙率為主控因素。豐枯水期主要差異在於降雨量之補注，因此於降雨期間水系密度愈高者與地下水深度距地表愈近者，地下水位較容易受補注；對於枯水期而言，水位變動潛勢則與各鑽孔本身水文地質特性相關，故以透水係數愈高者、孔隙率愈大者，其水位變動潛勢則愈大。

若依上述方式將影響因子評分分數與權重加權後，可獲得調查區域水位變動潛勢之空間分布變化，其示意圖如圖 11 所示。本研究依豐水期與枯水期影響因子評分分數與權重加乘計算後，可獲得地下水位變動潛勢高低分布，成果如圖 12 所示。若依照河川集水區分布，則可劃分成不同子區域 (sub-region)，分數愈高表示地下水位變動潛勢愈高，變動潛勢較高的區域顯示為濁水溪本流區域、清水溪上游靠近陳有蘭溪區域以及陳有蘭溪下游。本研究將藉由各變動潛勢分布以及各鑽孔之地下水位變化型態，瞭解山區地下水動態行為。

由於每一個地下水位鑽孔之地質結構不完全相同，因此各鑽孔之地下水位變化受降雨影響程度皆不相同。一般而言，落於地表的雨水除了一部分會經由地表逕流進入河川，另一部份則經由入滲或補注作用而進入地下含水層。水從地表入滲至含水層而造成地下水位上升，會受地表地文特性 (水系密度) 及本身水文地質特性 (透水係數、地下水深度) 所影響。在缺乏降雨補注之乾旱情況下，儲存於地表下的水會透過側向滲流將水排入自然河川之中，或者透過地層裂縫產生深層入滲，就偏向以本身水文地質特性 (透水係數、孔隙率) 為主。圖 12 分別為枯水期與豐水期之水位變動潛勢圖，圖上顯示濁水溪本流區域、清水溪上游靠近陳有蘭溪區域以及陳有蘭溪下游水位變動潛勢不管是豐枯季節，皆具良好水位變動潛勢；斗六丘陵區域因豐水期水量較多，故豐水期水位變動潛勢較枯水期為高，可能是降雨補注或者從他處經由側向補注而來。就清水河流域而言，在枯水期原本僅上游地區具高水位變動潛勢，而在豐水期時中游區域可能因降雨補注或上游水量之補注，高水位變動潛勢區由上游往中游地區延伸。

由於豐水期與枯水期之水位變動具差異性，主要原因應來自於降雨的因素，故本研究統計研究範圍內年平均雨量並套疊河川集水區範圍，以檢視徐昇氏年平均雨量之空間分布與地下水位變化之情形，年平均雨量之分布如圖 13 所示。年平均雨量值分布範圍由 1762mm 至 4309mm，降雨量最多者分布於清水河流域，若是比對表 2 地下水位變化情況，清水河流域內 BH-18、BH-20、BH-24、BHW-25 其水位變化幅度相對其他測站屬於大者，可研判水位變動情形受降雨影響顯著大部分屬清水河流域。

IV、結論

本研究利用自然環境因子建立山區地下水變動潛勢分布，再以地下水位動態資料檢視地下水位彼此間之相關性以及與降雨量之關聯性。由成果顯示，豐水期水位變動潛勢較高的區域顯示為濁水溪本流區域、斗六丘陵以及清水溪中上游以及陳有蘭溪上游，枯水期水位變動潛勢較高的區域顯示為濁水溪本流區域、清水溪上游以及陳有蘭溪上游。豐水期水位變動潛勢受地表地文特性 (水系密度) 及本身水文地質特性 (透水係數、地下水深度) 所影響，而枯水期水位變動潛勢則與本身水文地質特性呈高度相關。而根據降雨、地下水位資料可顯示，水位變動情形受降雨影響顯著大部分屬清水河流域。

V、參考文獻

1. 李光敦，2002，水文學，五南出版社。
2. 許世孟、柯建仲、羅鴻傑、趙啓宏、林榮潤、李旺儒，2010，台灣中段山區地下岩層水力特性調查與地下水位觀測并建置初步成果，2010「山區水文地質與地下水資源調查」技術研討會，議題三。
3. 經濟部中央地質調查所，2007，易淹水地區上游集水區地質調查與資料庫建置 (第 1 期 96 年度) — 集水區水文地質對坡地穩定性影響之調查評估計畫成果報告。
4. Dong, D., Lin, P., Yan, Y. (2007). Optimum design of groundwater level monitoring network of Beijing Plain, *Hydrogeology and Engineering Geology*, 34(1), pp. 10-19.
5. El-Baz, F., Himida, I. (1995). Groundwater potential of the Sinai Peninsula, Egypt. Project Summery. AID, Cairo.
6. Finke, P.A., Brus, D.J., Bierkens, M.F.P., Hoogland, T., Knotters, M., de Vries, F. (2004). Mapping groundwater dynamics using multiple sources of exhaustive high resolution data, *Geoderma*, 123, pp. 23-39.

- Godin, G. (1972). The Analysis of Tides. University of Toronto Press, pp. 232-233.
- Sabes, P.N. (2001) Linear Algebraic Equations, SVD, and the Pseudo-Inverse, <http://www.keck.ucsf.edu/~sabes/doc/SVDnotes.pdf>.
- Shih, D. C.F., Lee, C.D., Chiou, K.F. (2003). Spectral analysis of tidal fluctuations in groundwater level, J. Amer. Water Resource Association, 6(5), pp. 1087-1100.
- Wang, S., Song, X., Wang, Q., Xiao, G., Liu, C., Liu, J., (2009). Shallow groundwater dynamics in North China Plain, Journal of Geographical Sciences, 19, pp. 175-188.

VI、圖與表

表 1 地下水位變動潛勢影響因子之分區型態

| 分類類別 | 影響因子 | 數值上限 | 數值下限 | 評分分數 | 變動潛勢 | |
|---------|------------------------------|------------|------|------|------|---|
| 地文因子 | 坡度(度) | 77.9 | 60 | 1 | 低 | |
| | | 60 | 45 | 2 | ↓ | |
| | | 45 | 30 | 3 | | |
| | | 30 | 15 | 4 | | |
| | | 15 | 0 | 5 | | 高 |
| | 水系密度 (km/km ²) | 0.05 | 0 | 1 | 低 | |
| | | 0.10 | 0.05 | 2 | ↓ | |
| | | 0.15 | 0.10 | 3 | 高 | |
| | | 0.22 | 0.15 | 4 | | |
| | 土地利用 | 建物 | | | 1 | 低 |
| | | 林地 | | | 2 | ↓ |
| | | 裸露地 | | | 3 | |
| 農地 | | | | 4 | | |
| 河道與地面水體 | | | | 5 | 高 | |
| 地質因子 | 岩性 | 日月潭 | | 0 | 低 | |
| | | 頁岩 | | 1 | ↓ | |
| | | 砂頁岩 (頁岩為主) | | 2 | | |
| | | 砂頁岩 (砂岩為主) | | 3 | | |
| | | 砂岩、板岩、千枚岩 | | 4 | | |
| | 礫石、砂等 | | 5 | 高 | | |
| 水文地質因子 | 透水係數 ×10 ⁻⁹ (m/s) | 0.24 | 0 | 1 | 低 | |
| | | 57.1 | 0.24 | 2 | ↓ | |
| | | 617 | 57.1 | 3 | | |
| | | 6630 | 617 | 4 | | |
| | | 176000 | 6630 | 5 | | 高 |
| | 孔隙率 (百分比) | 10 | 0 | 1 | 低 | |
| | | 20 | 10 | 2 | ↓ | |
| | | 30 | 20 | 3 | 高 | |
| | 地下水深度 (m) | > | 50 | 1 | 低 | |
| | | 40 | 50 | 2 | ↓ | |
| | | 30 | 40 | 3 | | |
| | | 20 | 30 | 4 | 高 | |
| | | < | 20 | 5 | | |
| | 岩屑層 (Regolith) 厚度因子 | < | 10 | 1 | 低 | |
| | | 10 | 30 | 2 | ↓ | |
| 30 | | 50 | 3 | | | |
| 50 | | 76.4 | 4 | | | |
| | > | 76.4 | 5 | 高 | | |

表 2 各井地下水位之統計資料

| 井號 | 井名 | 地下水位變化(m) | |
|--------|------|-----------|--------|
| | | 豐水期 | 枯水期 |
| BHW-01 | 清水 | 1.720 | 0.411 |
| BHW-02 | 車埕 | 2.732 | 0.847 |
| BHW-03 | 中和 | 2.114 | 0.623 |
| BH-04 | 秀峰 | 7.624 | 3.452 |
| BH-05 | 玉峰 | 7.274 | 4.145 |
| BHW-06 | 內湖 | 7.092 | 1.578 |
| BH-07 | 坪仔頂 | 3.418 | 1.723 |
| BH-08 | 永興 | 11.619 | 8.088 |
| BHW-09 | 興隆 | 9.905 | 1.456 |
| BH-10 | 地利 1 | 8.002 | 2.828 |
| BHW-11 | 地利 | 4.630 | 1.539 |
| BHW-14 | 坪頂 | 1.959 | 3.300 |
| BHW-15 | 山峰 | 2.537 | 0.533 |
| BHW-16 | 瑞龍 | 3.798 | 0.696 |
| BH-18 | 樟湖 | 17.797 | 10.035 |
| BHW-19 | 內茅埔 | 3.674 | 0.966 |
| BH-20 | 杉林溪 | 5.002 | 5.604 |
| BHW-21 | 羅娜 | 3.040 | 1.717 |
| BH-22 | 新鄉 | 1.321 | 1.149 |
| BHW-23 | 和社 | 2.706 | 0.822 |
| BH-24 | 草嶺 | 3.810 | 0.473 |
| BHW-25 | 仁和 | 4.048 | 2.094 |
| BH-26 | 東埔 | 0.977 | 0.848 |
| BH-27 | 初鄉 | 6.532 | 1.477 |
| BHW-28 | 湖本 | 2.981 | 0.321 |
| BHW-29 | 溪頭 | 8.804 | -- |

註：BHW-29 枯水期無紀錄資料，故不進行分析。

表 3 自然環境影響因子權重之推估值

| 自然環境影響因子 | 豐水期權重 | 枯水期權重 |
|----------|-------|-------|
| 坡度(度) | -0.59 | -0.43 |
| 水系密度 | 1.42 | 0.43 |
| 土地利用 | 0.57 | 0.31 |
| 岩性 | -1.66 | -0.75 |
| 透水係數 | 1.44 | 1.06 |
| 孔隙率 | 0.77 | 1.15 |
| 地下水深度 | 1.40 | -0.10 |
| 岩屑層厚度 | 0.21 | 0.01 |

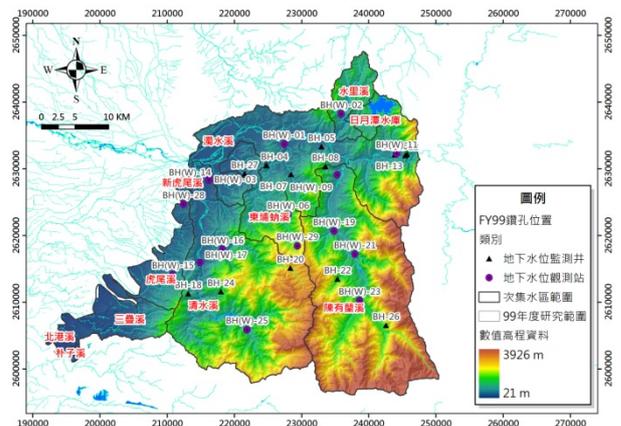


圖 1 研究區域集水區劃分與測站分布圖

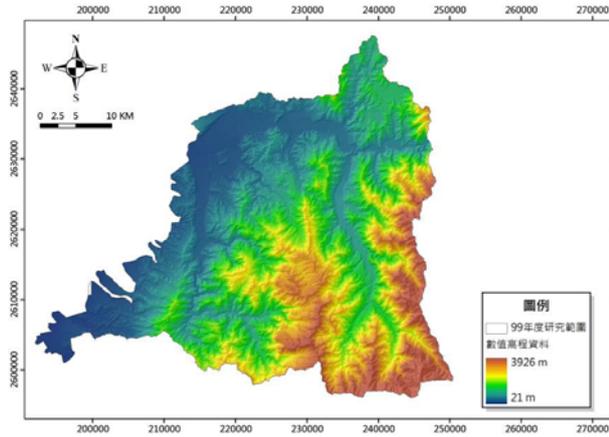


圖 2 數值高程分布圖

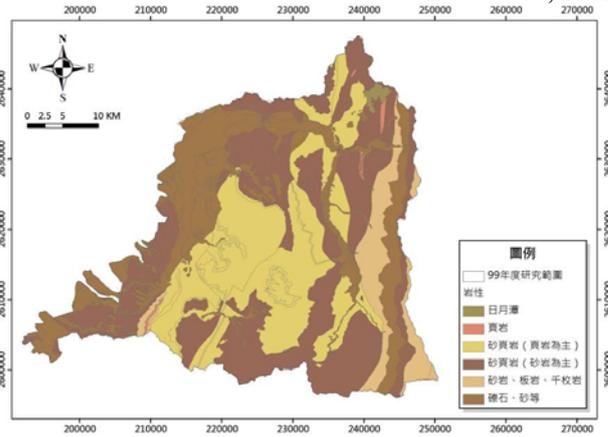


圖 6 岩性分布圖

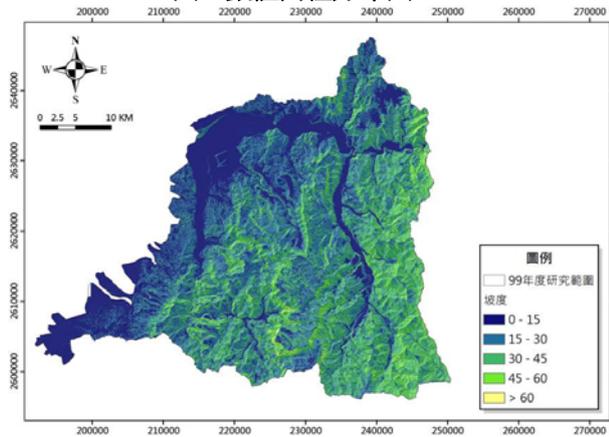


圖 3 坡度分布圖

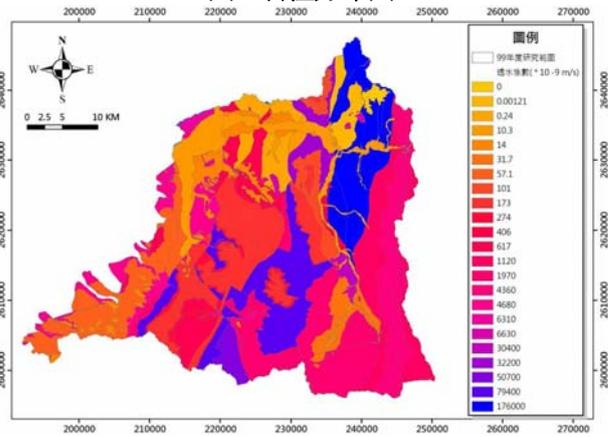


圖 7 透水係數分布圖

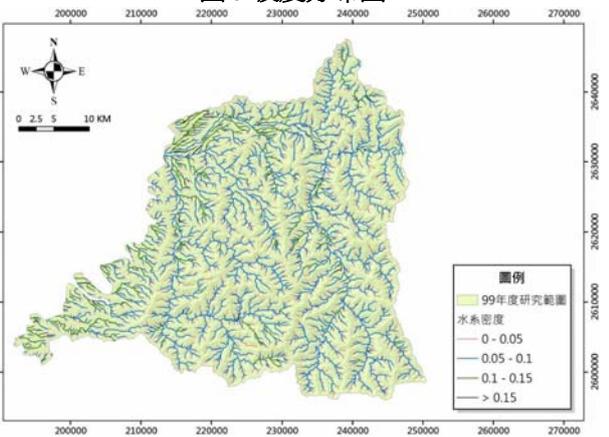


圖 4 水系密度分布圖

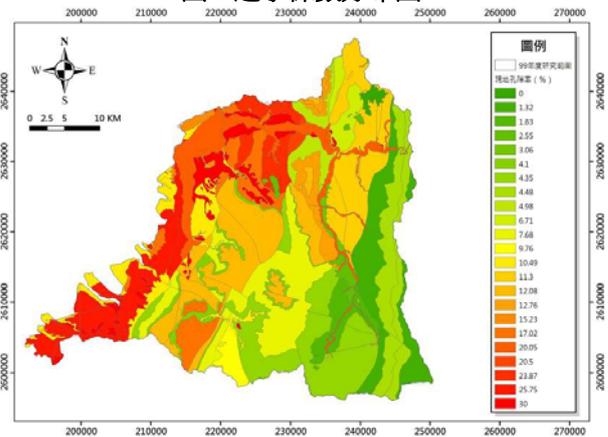


圖 8 現地孔隙率分布圖

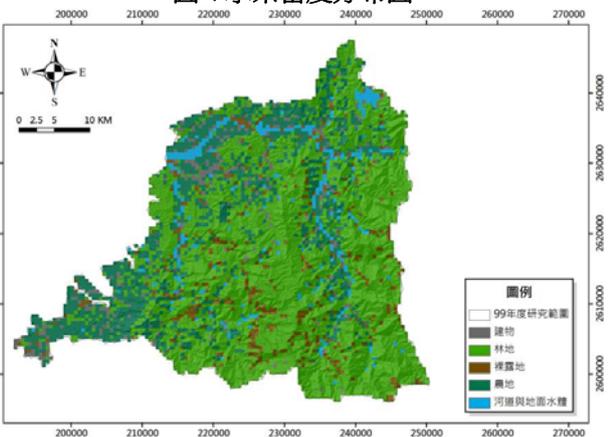


圖 5 土地利用分布圖

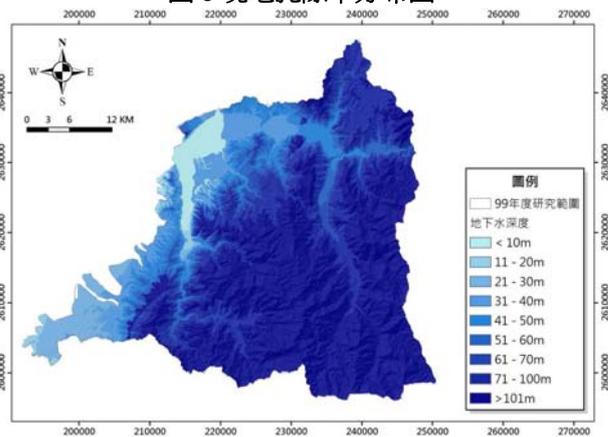


圖 9 地下水位深度分布圖

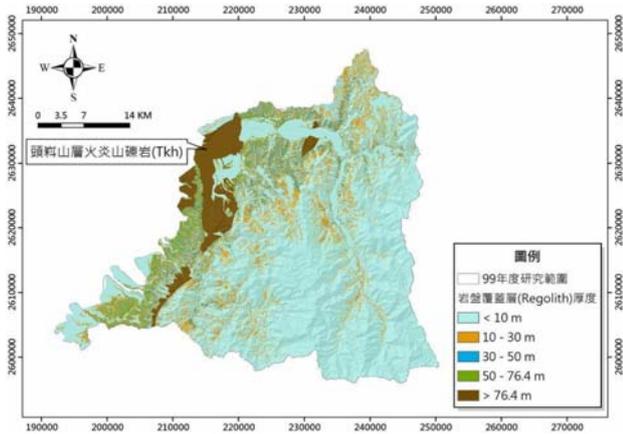
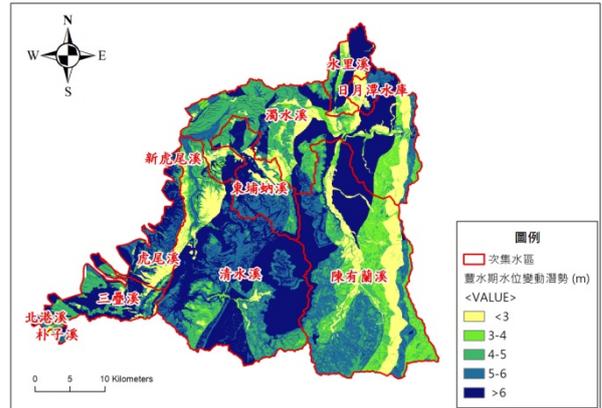


圖 10 岩屑層厚度分布圖



(a) 豐水期

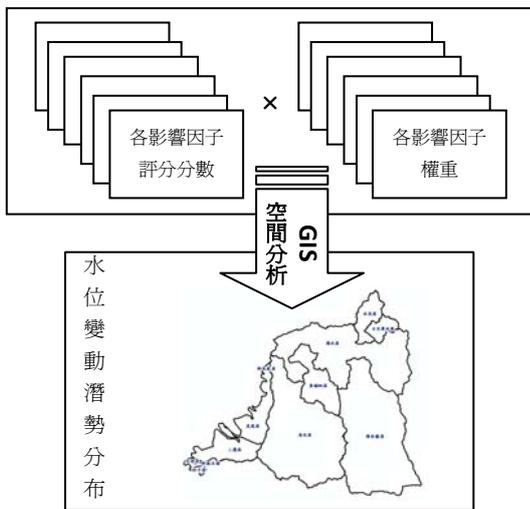
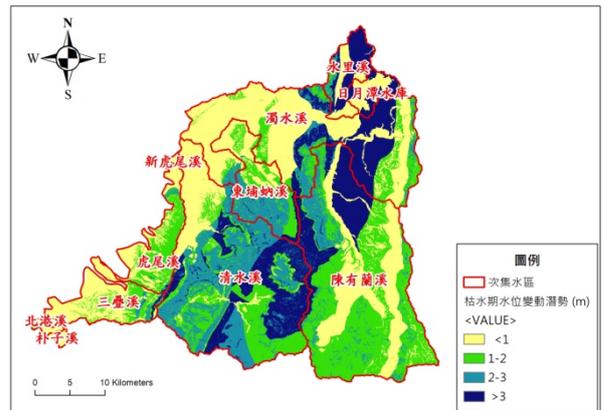


圖 11 水位變動潛勢分析示意圖



(b) 枯水期

圖 12 地下水水位變動潛勢評分分布圖

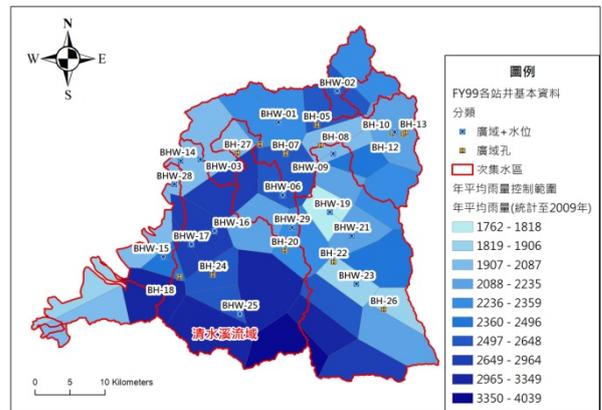


圖 13 徐昇氏年平均雨量控制範圍分布圖