

網格化降雨量應用於濁水溪沖積扇補注量推估

葉明生¹ 簡金龍¹ 陳宇文² 張良正²
多采工程顧問有限公司¹ 國立交通大學土木工程學系²

摘要

地下水是臺灣重要的水資源之一，為達到地下水資源永續經營目標及防止地層下陷或海水入侵，首要工作需掌握地下水補注來源(包含地表入滲補注量與河川交換量等)及地下水抽水量。但因臺灣地區民井眾多，不易掌握實際抽水量，需透過管理機制與大量調查，以了解各種用水的抽水行為及抽水量。而地表入滲補注量，雖受到土地利用與土壤特徵影響，但可經由簡化的補注物理機制配合降雨量進行推估。

本研究應用PCRaster GIS軟體與Python程式語言，結合土地利用與土壤分布圖，搭配降雨量，依據降雨入滲公式與飽和入滲公式，推估兼具空間與時間變化之地表入滲補注量。本研究採用克利金法(Kriging technique)推估而成網格化降雨量資料，能更合理推估濁水溪沖積扇地下水區的地表入滲補注量。由計算結果顯示，濁水溪沖積扇在2009~2014年間總入滲補注量(未含河川部分)約為59億噸，平均每年約10億立方公尺。而本研究所建立推估流程與結果，可作為地下水資源管理參考。

關鍵字：地下水、補注量、網格化降雨量

一、前言

地下水是臺灣重要的水資源之一，根據經濟部水利署於民國103年各標的用水量統計報告指出，臺灣地區於民國102年利用總水量為172.99億立方公尺，其中地下水用水量為56.07億立方公尺，地下水資源的供應，約佔臺灣地區整體供水量的三分之一，在區域性供水扮演重要角色。由於濁水溪沖積扇為臺灣重要地下水區之一，本研究選定濁水溪沖積扇作為研究區域。

為達到地下水資源永續經營及防止地層下陷或海水入侵，需先掌握地下水補注來源(包含地表入滲補注量與河川交換量等)及地下水抽水量。但因臺灣地區民井眾多，不易掌握實際抽水量，需透過管理機制與大量調查，方能了解各種用水標的抽水行為及抽水量。而地表入滲補注量，雖受到土地利用與土壤特徵影響，但可經由簡化的補注物理機制配合降雨量進行推估。

目前臺灣地區已完成大量高解析度之地理空間資訊調查，如土地利用或表層土壤等調查，本研究建置以網格為基礎地表入滲補注量推估流程，應用PCRaster GIS軟體與Python程式語言，結合土地利用與土壤分布圖層搭配降雨量，依據降雨入滲公式與飽和入滲公式，推估兼具空間與時間變化之地表入滲補注量。本研究並採用克利金法(Kriging technique)推估而成網格化降雨量資料，能更合理推估濁水溪

沖積扇地下水區的地表入滲補注量，以作為地下水資源管理參考。

二、研究區域-濁水溪沖積扇

濁水溪沖積扇地下水區位於臺灣西部海岸之中段，北起烏溪，南至北港溪，東以八卦台地及斗六丘陵山脊線為界，西臨臺灣海峽，面積約2,079平方公里，範圍如圖1所示。濁水溪沖積扇最主要之溪流為濁水溪，其主流發源自中央山脈西翼、合歡山以南與玉山山脈北側之間地區，向西切穿雪山—玉山帶、麓山帶與八卦—斗六丘陵區，在丘陵區西側形成沖積扇系統，主流流經沖積扇之中央，向西注入臺灣海峽。其他位於沖積扇之河川，自北而南尚有舊濁水溪、新虎尾溪、舊虎尾溪及北港溪等。濁水溪沖積扇地勢平緩，高程約介於海拔0~100公尺之間。

三、研究方法

本研究地表入滲補注量推估流程，如圖2所示，主要包含降雨量、土地利用、土壤分布等分析過程，以下分別說明：

(一)降雨量分析

降雨量主要做為地表入滲來源，蒐集臺灣自2009至2014年各單位雨量站降雨觀測資料，利用普通克利金法推估網格化時雨量，所推估降雨量分布

範例如圖3所示，再累加為日或旬網格降雨量，以供地表入滲補注量推估之用。普通克利金法(Ordinary Kriging technique)假設空間隨機變數具有定常性，平均值為常數但其數值未知，內插估計值為：

$$\hat{\theta}(\mathbf{u}_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \theta(\mathbf{u}_i) \quad (1)$$

其中， \mathbf{u}_i 表位置向量 (x_i, y_i) 。估計誤差變異數為 $\sigma_{\hat{\theta}_0}^2 = E\left[\left(\hat{\theta}(\mathbf{u}_0) - \theta(\mathbf{u}_0)\right)^2\right]$ ，使估計誤差變異數為最小的必要條件是： $\sigma_{\hat{\theta}_0}^2$ 對任意權重係數 λ_i 的微分值必須為零。將上式代入估計誤差變異數 $\sigma_{\hat{\theta}_0}^2$ ，並且對 λ_i 微分， $i = 1, 2, \dots, n$ ，整理可得以下方程式：

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_{\hat{\theta}_0}^2}{\partial \lambda_i} &= 2 \sum_{j=1}^n \lambda_j \text{cov}(\mathbf{u}_i - \mathbf{u}_j) - 2 \text{cov}(\mathbf{u}_i - \mathbf{u}_0) = 0 \\ \Leftrightarrow \sum_{j=1}^n \lambda_j \text{cov}(d_{ij}) &= \text{cov}(d_{i0}) \end{aligned} \quad (2)$$

不偏估條件為：

$$\begin{aligned} E[\hat{\theta}(\mathbf{u}_0)] &= \sum_{i=1}^n \lambda_i E[\theta(\mathbf{u}_i)] \\ \Rightarrow m &= m \sum_{i=1}^n \lambda_i \\ \Rightarrow \sum_{i=1}^n \lambda_i &= 1 \end{aligned} \quad (3)$$

普通克利金法的權重係數必須同時滿足(2)式的「估計誤差變異數最小化條件」和(3)式的「不偏估條件」，組合兩種條件，可以得到矩陣方程式求解。本研究選用半變異圖為包含金塊效應的指數型模式：

$$\gamma(d_{ij}) = C_0 + (\sigma^2 - C_0)[1 - \exp(-d_{ij}/L)] \quad (4)$$

(二)土地利用分析

依據土地利用型態，可將地表區分為透水區與不透水區，其中不透水區除都市化程度較高的地區外，水產養殖業為避免大量水量滲漏，在築池時即加上不透水鋪面，以減少營運時的滲水，因此將其視為不透水類；透水部分可再依據入滲型態再進一步區分為二大類，降雨入滲區與飽和入滲區兩者。降雨入滲區，意即平時為若無下雨則為乾燥土壤，當降雨發生時，方產生入滲行為；另一類為飽和入滲區，該區域平時即存有水體，如湖泊等靜止水體。

對於飽和入滲區，由於水體長期浸水的情形下，入滲率接近土壤的飽和入滲率，可視為一個常數，所以飽和入滲區入滲補注量的估計可用下式表示：

$$V_S = A \times T \times \phi \quad (5)$$

其中：

V_S ：飽和入滲區補注量(L^3)

A ：面積(L^2)

T ：浸水時間(T)

ϕ ：土壤飽和入滲率(L/T)

水稻田於灌溉期，水面需淹蓋水稻根部，此時採用飽和入滲公式；非灌溉期，則改採降雨入滲公式。

其次，對於旱作、廢耕地、林業、草地、裸露地、灌木荒地、公園綠地等，視為降雨入滲區，其補注機制與降雨有密切關係，其可透水面積入滲補注量可用下式表示：

$$V_P = A \times P \times \alpha \quad (6)$$

其中：

V_P ：降雨入滲區補注量(L^3)

A ：面積(L^2)

P ：降雨量(L)

α ：降雨入滲係數(無因次)

本研究採用內政部國土測繪中心提供的土地利用調查成果如圖4所示。接著再依前述分類原則，將各類土地利用重新歸類為1.不透水；2.水稻田；3.旱作、裸露地或其他透水面積；4.靜止水體；等各大類如圖5所示，一般採用日或旬間距進行地表入滲補注量推估。

(三)土壤分布分析

表層土壤種類主要是以顆粒大小的不同來劃分，粒徑大小會造成土石間的孔隙大小不同，同時也會影響降雨入滲到地下水中的效率。

本研究以不同土壤飽和入滲率，並搭配不同土壤與不同降雨條件下的降雨入滲係數。依據農業委員會農業試驗所提供地表150公分內各層土壤分布(如圖6所示)，採用「臺灣地區地下水補注量估算」與「多元化水資源經營管理方案」報告之建議值，配合各網格降雨量計算地表入滲補注量。

四、計算結果

圖7為2009年8月第1旬的地表入滲補注量的計算結果，藍色部分由深至淺代表補注量由多至少，由圖中可看出，濁水溪沖積扇在沿海養殖、道路及都市等區域皆呈現無入滲量的白色，此估算成果符合土地利用的實際情況。

圖8為濁水溪沖積扇2009-2014年各旬降雨量歷線圖，圖9為濁水溪沖積扇2009-2014年各旬地表入滲補注量計算成果，其中河川部分並未納入統計。由初步計算成果可知，濁水溪沖積扇在2009-2014年間地表入滲補注量(未含河川部分)總計約為59億噸，平均每年約10億立方公尺左右。

五、結論與建議

本研究建置以網格為基礎地表入滲補注量推估流程，合理估算濁水溪沖積扇地下水區的地表入滲補注量，可作為地下水資源管理參考。

由於上述推估流程，尚存在入滲係數與網格降雨量估算之不確定性。建議除了可增加現地入滲試驗，蒐集更多現地入滲參數，若能有一組精確的網格化歷史降雨產品，配合高解析度之地理空間資訊，對於地下水資源管理將有所助益。

參考文獻

1. 陳宇文,張良正,余仟涵,陳祐誠,蔡瑞彬,2016：應用網格式地理資訊系統於地下水補注量推估-以臺中平原為例,第九屆地下水資源及水質保護研討會暨2016兩岸地下水與水文地質應用研討會論文集
2. 經濟部中央地質調查所,2012：臺灣地區地下水區水文地質調查及地下水資源評估地下水補注潛勢評估與地下水模式建置-濁水溪沖積扇
3. 經濟部水利署,2005：多元化水資源經營管理方案
4. 經濟部水利署,2014：臺灣地區民國103年各標的用水量統計報告
5. 經濟部水資源局,1999：臺灣地區地下水觀測網第一期計畫濁水溪沖積扇水文地質調查研究總報告
6. 經濟部水資源局,2000:台灣地區地下水補注量估算

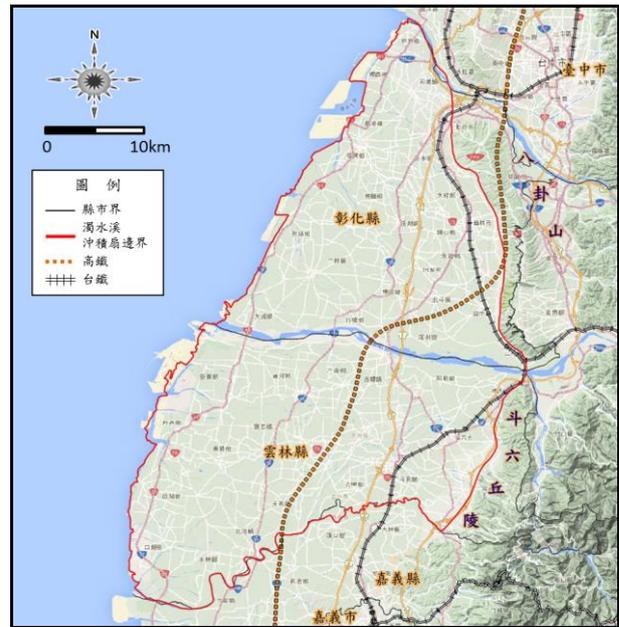


圖1 濁水溪沖積扇範圍圖

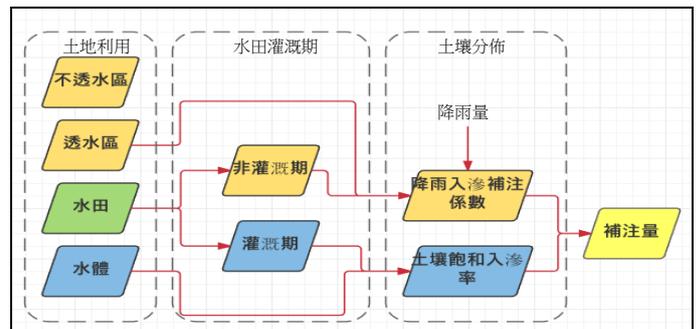


圖2 地表入滲補注量推估流程圖

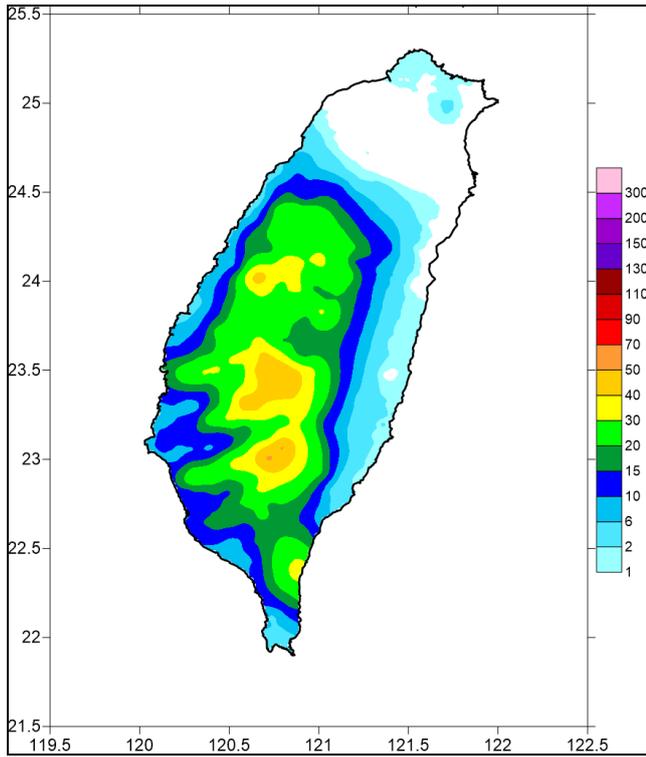


圖3 網格化時雨量分布圖(2009年8月9日5時,單位:mm)

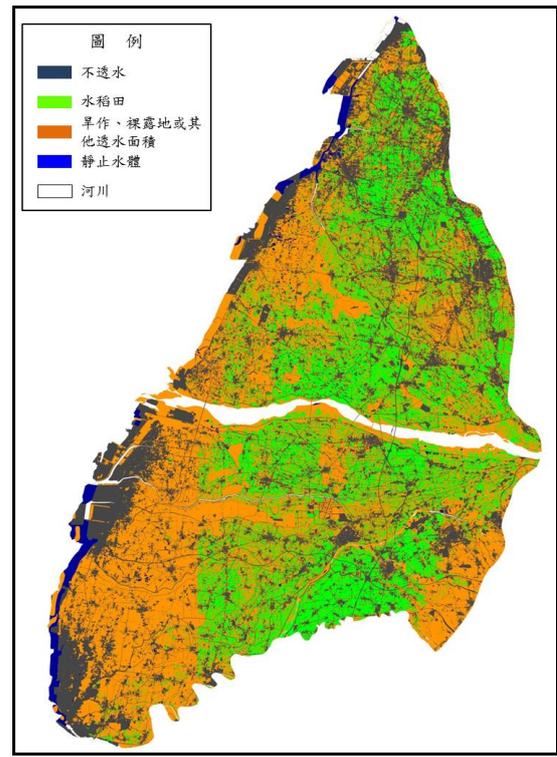
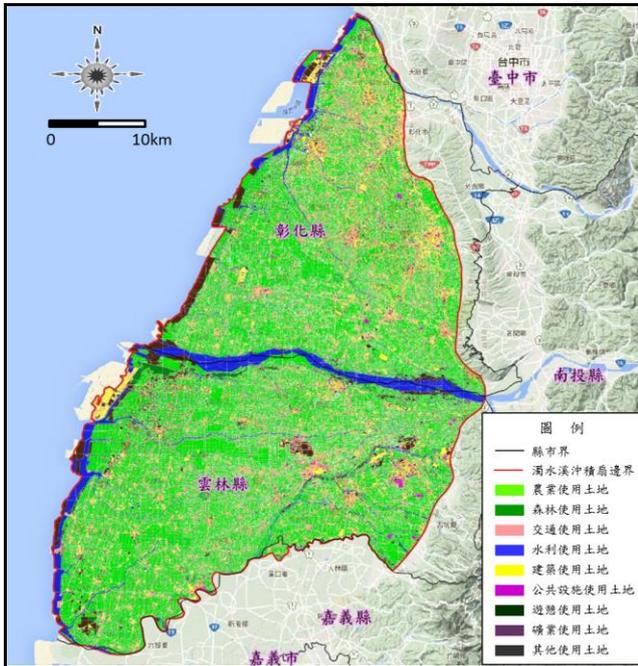
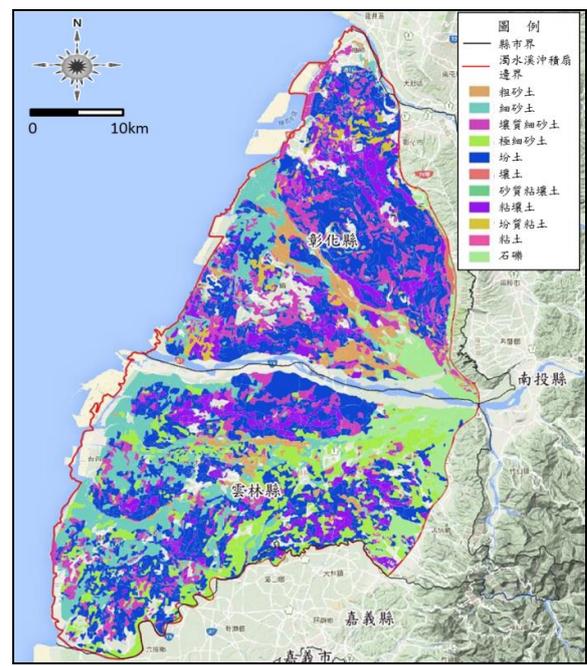


圖5 濁水溪沖積扇土地利用重新分類後圖層



資料來源：國土測繪中心
圖4 濁水溪沖積扇土地利用分類圖層



資料來源：農委會農試所
圖6 濁水溪沖積扇土壤質地分布圖(深度0~30公分)

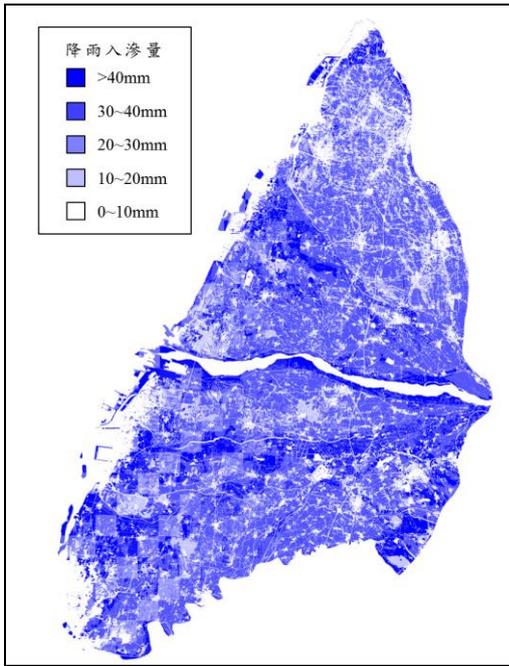


圖7 濁水溪沖積扇2009年8月第1旬地表入滲補注量分布圖

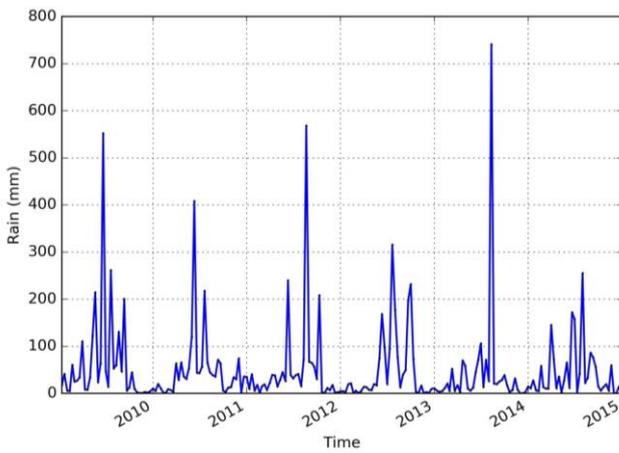


圖8 濁水溪沖積扇2009-2014年各旬降雨量歷線圖

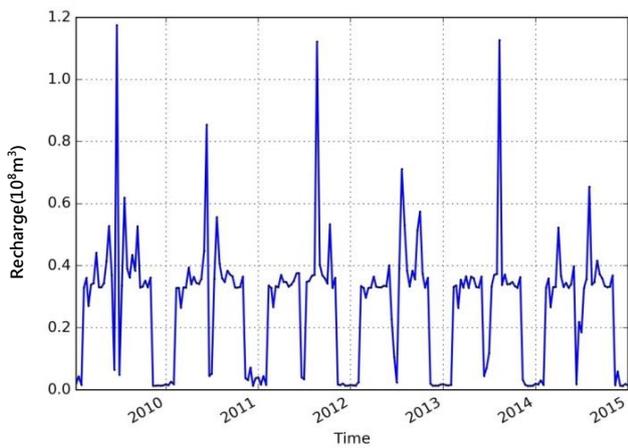


圖9 濁水溪沖積扇2009-2014各旬地表入滲補注量歷線圖