

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 指數型地下水補注推估法之發展與研究 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型  
計畫編號：NSC 95-2218-E-041-002-  
執行期間：95年11月01日至96年07月31日  
執行單位：嘉南藥理科技大學休閒保健管理系

計畫主持人：陳尉平

計畫參與人員：博士班研究生-兼任助理：葉信富  
碩士班研究生-兼任助理：郭瑋萍

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 96 年 10 月 28 日

# 行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

## 指數型地下水補注推估法之發展與研究

### Development and Investigation of the Indexical Groundwater Recharge Method

計畫編號：NSC95-2218-E-041-002

執行期限：95年08月01日至96年07月31日

主持人：陳尉平 嘉南藥理科技大學休閒保健管理系助理教授  
計畫參與人員：葉信富 國立成功大學資源工程學系研究生  
郭瑋萍 國立成功大學資源工程學系研究生

#### 中文摘要

一般地下水補注量推估之方法，可分為兩大類，一是白箱模式；另一為黑箱模式，兩模式之不同點為當運用白箱模式時，包括氣候條件、含水層及土壤特性之所有參數都必須知道，才可將參數值代入模式內作運算，也因此白箱模式比黑箱模式更為精確，但也因其複雜度及參數取得困難度，使得此模式通常被用於較小規模區域之研究。對黑箱模式而言，不需分析水流途徑中間過程為何，只需分別得知系統之入水量與出水量，以水平衡觀念分析各組成量相互間關係即可推求得地下水補注量。本研究計畫利用「指數型地下水補注推估法」評估台灣地區之地下水補注量值，而因台灣地區屬於一大規模研究區域，若以白箱模式來做估算，則其所耗費的人力與物力，相對於黑箱模式將會提高許多。因此將研究區域以網格劃分的方式，配合經由基流資料估計法與穩定基流分析後所得之穩定基流指數，以及收集降雨量與蒸發散量資料，在將各所需參數代入本研究所建立之指數型地下水推估模式，即可求得各項水文參數於空間上之分佈，進而快速估計大範圍區域地下水補注量。本研究計畫所建立之模式的優點在於，僅需要收集三種水文觀測值—河川流量、降雨量、蒸發散量，並將研究區域以網格劃分所求得的空間分佈特性，適用於快速估計大範圍區域的地下水補注量。

關鍵字：指數型地下水補注推估、基流、蒸發散

#### Abstract

In most cases, groundwater recharge is estimated by multiplying the magnitude of water-level fluctuations in wells by the specific yield of the aquifer material or by applying the water budget model or using the water-balance method. While other parts of the water-balance equation, such as precipitation and runoff, are relatively easy to measure, recharge remains an elusive process to quantify. This is especially so

because it depends not only on precipitation but also on meteorological conditions, as well as on soil type, soil-moisture status, vegetation cover and condition, slope, cultivation practices, and most of all, on evapotranspiration, which is a function of the previously noted factors.

In this project, it focuses on developing an estimation of groundwater recharge, which is so called “Indexical Groundwater Recharge Method (IGR)”. The proposed approach in this project combines the water balance model, base-flow-record estimation, and stable-base-flow analysis. Long-term mean annual groundwater recharge is derived by determining the product of estimated long-term mean annual runoff (the difference between precipitation and evapotranspiration) and the base-flow index (BFI). The BFI is calculated from daily streamflow data obtained from streamflow gauging stations. Mapping is achieved by using geographic information systems (GIS) and geostatistics. The approach is computationally simple, requires minimal optimization, and does not require complex hydrogeologic modeling nor detailed knowledge of soil characteristics, vegetation cover, or land-use practices. The technique is mainly a collection of existing methods which, to the best knowledge of the authors, have not yet been combined in a similar fashion for recharge estimation. It is expected to be most practical for regional-scale studies where the long-term mean annual value of the spatially variable recharge is of interest. The approach was applied using data from Taiwan to demonstrate the utility of the technique.

**Key words:** Indexical groundwater recharge, base-flow, evapotranspiration

## 一、前言

台灣在地理位置上處於亞熱帶地區，降雨條件甚為有利，年降雨量平均 2,515 mm，約為全世界平均降雨量的 2.6 倍，屬於雨量豐沛的地區。然而，台灣島的地形條件特殊其海拔大於 1,000 m 的高山地形約佔全島面積的三分之一縱貫島軸而偏東，致使島上河川短促且坡陡流急，因而地表水資源不易蓄存和涵養；再加上降雨型態豐枯季節差異懸殊其年降雨量由北而南約 63~91 % 降雨集中在夏季，冬季則雨量稀少，常有缺水窘況；復因人口稠密，以致每人每年能分配到的水量僅約 4,350 m<sup>3</sup>，僅為世界平均值的七分之一，屬於水資源缺乏的地區。

基於上述多項因素，地表水源經常不敷調配使用，導致地下水資源的引用日益殷切，終致產生地下水源的超限利用，使得許多地區發生地層下陷，水質污染及海水入侵等種種環境之衝擊。此等環境問題的衍生，實肇因於國人缺乏水資源整體的開發經營觀念，以往過度著重地表水資源的開發利用，有關地下水文地質特性、水文地層的分布及地下水蓄存的機制等均未能及早確切的掌握，因此也就無法就地下水資源做有效的經營管理。所以地下水資源實為本島不可或缺的重要資源，有關地下水涵養補注和排水動態平衡的確實評估，及對各地區地下水適

當和適時取用量的掌握和整體性的水資源永續開發經營策略，是國人必須審慎面對的重要課題。

台灣近幾年來，由於工業的發展，或是因應民生需求的品質提高，對水的利用及程度都相對提高了不少，也因此對自然界的水資源開發需求與日俱增。然而，對於水資源之運用，卻不能無限制開採而造成可能之水資源耗竭，必須經由地表水資源及地下水資源之妥善管理以進行聯合運用。一般地表水資源包括河川、水庫、湖泊等地表水體，地下水資源則為地下水位以下之飽和地下水體，相對於地表水資源，地下水資源則為一較不明確之系統，因此，必先對地下水系統有詳細認知，方能進行對地下水資源之妥善管理。著眼於此，本研究計畫發展「指數型地下水補注推估法」(Indexical Ground-water Recharge, IGR)進行地下水文平衡模式的探討以及地下水補注量之推估，配合經由基流資料估計法與穩定基流分析後所得之穩定基流指數，以及收集降雨量與蒸發散量資料，在將各所需參數代入本研究所建立之水平衡模式，即可求得各項水文參數於空間上之分佈，利用此模式則可達到快速估計大範圍區域地下水補注量之目的。

## 二、研究方法

綜合近年來有關地下水補注量推估之方法，可分為兩大類，一是白箱模式(white box model)；另一為黑箱模式(black box model)。近年來，亦有學者將水文系統視為一訊息不確定與不完備之灰色系統(grey system)或模糊系統(fuzzy system)，利用灰色模式或模糊模式等來對水文參數做分析與模擬。估算出地下水補注量為白箱模式與黑箱模式之共同目標，然兩模式之不同點為，當運用白箱模式時，包括氣候條件、含水層及土壤特性之所有參數都必須知道，才可將參數值代入模式內作運算，也因此白箱模式比黑箱模式更為精確，但也因其複雜度及參數取得困難度，使得此模式通常被用於較小規模區域之研究。對黑箱模式而言，不需分析水流途徑中間過程為何，只需分別得知系統之入水量與出水量，以水平衡觀念分析各組成量相互間關係即可推求得地下水補注量。黑箱模式比白箱模式存在較多不確定因素，然當嘗試對一大規模區域做研究時，此模式則能提供一快速便捷之分析過程。

所以本研究計畫欲利用黑箱模式概念評估台灣地區之地下水補注量值，而因台灣地區屬於一大規模研究區域，若以白箱模式來做估算，則其所耗費的人力與物力，相對於黑箱模式將會提高許多。因此將研究區域以網格劃分的方式，配合經由基流資料估計法與穩定基流分析後所得之穩定基流指數，以及收集降雨量與蒸發散量資料，在將各所需參數代入本研究所建立之指數型地下水推估模式，即可求得各項水文參數於空間上之分佈，進而快速估計大範圍區域地下水補注量，圖 1 則為本研究計畫之研究流程圖。

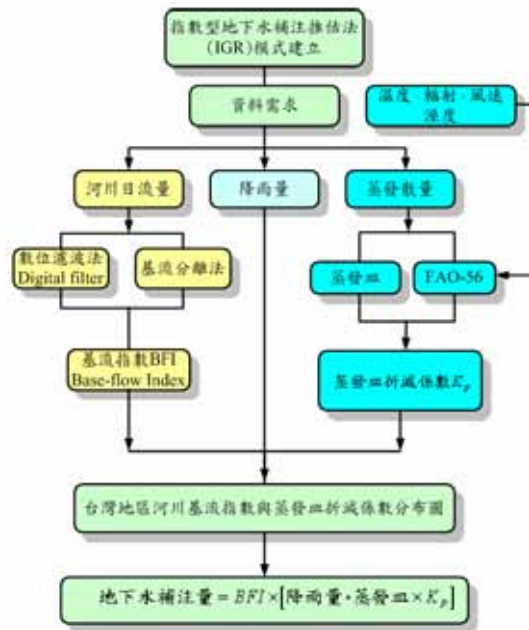


圖 1 本計畫研究流程圖

## 2.1 「指數型地下水補注推估」模式建立

本研究計畫所建立之指數型地下水補注推估法其基本概念模型示於圖 2。當降雨經由大氣掉落至地表後，部份降雨將通過地表面而入滲至未飽和層內，未及入滲之部份降雨，則形成了地表逕流(surface run-off)流入河道內；而未飽和層內的水將因重力影響而垂直入滲至地下更深處，當水流經地下水位面並入滲至飽和層內，稱為補注。而在飽和層裡的水會因為水力梯度的作用而開始側向流動形成地下水逕流(ground-water flow)，最終地下水逕流將會排入於河道內形成基流(baseflow)。一般而言，地表逕流量與基流量被假設為兩主要形成河川流量(streamflow)之組成。

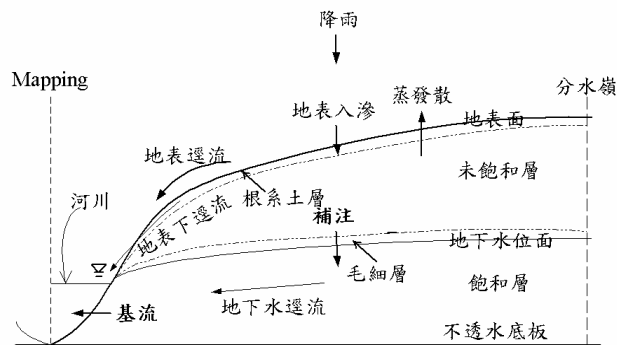


圖 2 水平衡模式基本概念模型示意圖

由模式之基本概念模型可得知，在自然狀態下，地下水體的貯水量將受到地下水補注量、基流量(側向排出)、蒸發散量或毛細水量(向上排出)、深層滲漏量(向下排出)等因素所影響，由此可定義出地下水系統間關係之水平衡方程式，以下式表示：

$$P = ET + q_s + q_b + q_N + \Delta S \quad (1)$$

其中， $P$  為降雨量( $LT^1$ )； $ET$  為蒸發散量( $LT^1$ )； $q_s$  為地表逕流量( $LT^1$ )； $q_b$  為基流量( $LT^1$ )； $q_N$  為除了蒸發散量之外，進入或離開此封閉區域之淨通量( $LT^1$ ) (如與其他集水區之交換量，或灌溉補注量等)； $\Delta S$  為地下水系統之貯水變化量( $LT^1$ )。

一般而言，相較於其他參數，蒸發散量遠大於其他損失項，在全球系統中大約佔了降雨量之 70%(包含開放性水表面之蒸發散量)(Brutsaert, 1982)。可供分析的長期蒸發散量觀測資料及測站數為數並不多，而現有的蒸發散量推估方法相較於彼此則大概有 10%~20%相對誤差結果(Vorosmarty et al., 1998)。在存有此不確定因素下，大部分研究一般會接受地下水系統之貯水變化量 $\Delta S$ ，在長期分析中可視為零之假設。因此，本研究計畫同樣採用這項假設，經由長期的平衡觀點而言，地下水將會維持在一穩定水位，由此地下水體之儲水量變化 $\Delta S$ 可視為零，除此之外，本研究亦將淨通量 $q_N$ 視為忽略不計。

經由上述的假設條件，則可將公式(1)簡化為：

$$P - ET = q_s + q_b \quad (2)$$

公式(2)表示出，降雨量與蒸發散量的差額，相當於地表逕流量與基流量之總和。由於有在長期平衡觀點下地下水系統貯水變化量視為零這項假設下，因此在一集水區中，地下水系統的基流量則必定是代表了全部的地下水補注量所產生的逕流行為。同時，地下飽和水體之蒸發散量與集水區之整體蒸發散量相較而言顯得微不足道。如此，只要能夠求得基流量，就能推求獲得地下水補注量。

如河川流量歷線分析理論模式所述，在河川流量歷線上每一個尖峰皆代表因降雨事件經由不同形式的逕流匯集入河川的一個補注事件，一個補注事件河川流量的消退在地表逕流作用時間之後，則被視為全為基流量之貢獻。為了獲得補注事件尖峰後至地表逕流作用終止的時間，可運用 Linsley *et al.* (1982)所提出之經驗公式獲得。

為求得基流量，此部份研究運用基流資料估計法，並為避免因人為主觀因素影響所可能產生之誤差，採用由美國地質調查研究所(USGS) Rutledge (1992)所發展之電腦程式 PART 來作模擬分析。而模式是為分析河川流量消退而非分析降雨，來估計地下水排水之一方法，其主要原則為；(1)使用河川日流量資料；(2)在河川流量歷線上地表逕流作用時期內，運用線性插補法來估計地下水排水量。

經由基流資料估計法可分離出基流量 $Q_b$  ( $L^3T^1$ )，集水區面積則為用來計算地表逕流基期 $N$ 。而公式(2)則是透過一無因次參數—基流指數 $BFI$ 來使用。基流指數 $BFI$ 代表著基流量與總逕流量( $Q = Q_b + Q_s$ )的分率：

$$BFI = \frac{Q_b}{Q_b + Q_s} \quad (3)$$

將公式(3)代入式(2)可產生：

$$BFI \times (P - ET) = BFI \times q = q_b \doteq R \quad (4)$$

其中  $R$  為所欲求得之地下水補注量 ( $LT^{-1}$ )；而  $q = Q/A_d$ ， $A_d$  為有效貢獻之補注區面積 ( $L^2$ )。

其中，在此基流資料估計法只被用來計算基流指數  $BFI$  此一參數，公式(4)中的  $q$  或  $q_b$  並不適合由基流資料估計法所推求而得。因為  $q$  與  $q_b$  此二參數需要得知其延伸的有效貢獻之補注區面積方可，然而基流指數  $BFI$  則不需要。但若是基流量  $q_b$  與地表逕流量  $q_s$  兩者的有效貢獻補注區相當接近時， $q$  就能直接拿來使用，而如此也就不需要利用降雨量  $P$  與蒸發散量  $ET$  這兩種觀測值來進行運算了。台灣位處亞熱帶潮濕氣候地帶，長年多雨的氣候條件，使得基流分離所分離出之基流量，仍可能高於河川流量於穩定基流期時所反應出的地下水補排情況。以短期的觀點來看，基流量將會受到該年雨量豐沛與否所影響，但若以長期的觀點而言，地下水系統所排出之水量為一穩定值，因此，於此部份研究中以穩定基流分析之結果來進一步獲得穩定基流指數  $SBFI$ 。

當求得穩定基流量  $Q_{sb}$  ( $L^3T^{-1}$ ) 後，總逕流量則重新定義為  $Q = Q_{sb} + Q_s$ ，續將公式(3)中的  $BFI$  以  $SBFI$  取代，改寫成：

$$SBFI = \frac{Q_{sb}}{Q_{sb} + Q_s} \quad (5)$$

並將公式(4)中的  $BFI$  以  $SBFI$  取代，改寫成：

$$SBFI \times (P - ET) = SBFI \times q = q_{sb} \doteq R_s \quad (6)$$

其中， $R_s$  則為經穩定基流分析後所獲得之長年穩定地下水補注量值 ( $LT^{-1}$ )。

### 三、資料蒐集

本研究水平衡模式首先以  $5 \times 5 \text{ km}^2$  為基本面積單位，將包含台灣本島的長方形區塊以網格的方式作劃分共得  $40 \times 76 = 3,040$  個網格。作用網格共為 1,532 個，其中完全作用網格為 1,339 個，部分作用(邊界)網格為 193 個。作用網格之總和面積則為  $35,285 \text{ km}^2$ 。本研究所收集並可使用於本水平衡模式中之河川日流量測站點數共 191 個、降雨量測站點數共 151 個，蒸發散量測站點數共 24 個。先利用基流資料估計法以及穩定基流分析可獲得 191 個長年平均穩定基流指數  $SBFI$  資料點數，並以克利金法產生長年平均穩定基流指數  $SBFI$  之空間分佈並散佈於每一個作用網格；同時，對 151 個常年年平均降雨量資料點以及 24 個常年年平均蒸發散量此二筆資料，以克利金法分別產生常年年平均降雨量與常年年平均蒸發散量之空間分佈並散佈於每一個作用網格中，如此則可獲得每一個作用網格之常年年平均總逕流量值。最後，針對每一個作用網格作計算，則可獲得台灣之年平均地下水補注量空間分佈，進一步總和所有作用網格則可得到台灣之總和年平均地下水補注量值。本研究運用美國地質調查研究所(U.S. Geological Survey)

所發展出之 GIS 軟體 ArcView，搭配由經濟部水利署所建立之各項相關數值圖檔來作疊圖運算，以作為方便展示及計算所分析出之各項水文量。

## 四、結果與討論

### 4.1 常年平均穩定基流指數 *SBFI* 推估結果

本研究利用基流資料估計法分離出各測站的基流量及基流指數 *BFI* 後，以克利金法產生常年平均基流指數 *BFI* 之空間分佈並散佈於每一個作用網格，常年平均基流指數 *BFI* 的分佈趨勢大致上為由沿海平原區逐漸往內陸的高山區爬升，其原因為台灣山區的年平均降雨量一般比平地高出數倍，並且於高山區之地下含水層多為礫石層或為破碎帶(端視其地域性之分佈)。台灣中央山脈區之常年平均基流指數 *BFI* 有最高值約為 60%~80%，甚有 80% 以上者，山麓區則介於 40%~60% 之間，沿海平原區則為 40% 以下，最低值 30% 則發生於嘉南平原上。

本研究進一步經由穩定基流分析獲得穩定基流指數 *SBFI* 後，以克利金法產生常年平均穩定基流指數 *SBFI* 之空間分佈並散佈於每一個作用網格，其空間分佈示於圖 3 中。由圖 3 可得知，常年平均穩定基流指數 *SBFI* 的分佈趨勢大致與常年平均基流指數 *BFI* 相同。從空間分佈圖圖面上，台灣中央山脈區之常年平均穩定基流指數 *BFI* 則降到約為 40%~60%，其空間分佈有縮小的現象，山麓區則介於 20%~40% 之間，沿海平原區則為 10%~20%，最低值 10% 以下則發生於嘉南平原上。

### 4.2 台灣地下水補注量分析結果

台灣東岸外海有黑潮主流北上，攜來熱濕氣流，配合不同的季節風，如冬季的東北風、夏季的西南風，在迎風坡及內陸山區致雨，使得台灣雨量豐沛、全年平均雨量可達 2,500 mm。由於從太平洋吹往陸地的潮濕水氣受到中央山脈地勢影響，降雨量之空間分佈趨勢大致上為山地多於平地，並且因東岸屬於迎風坡，因此東岸之降雨量也略多於西岸；再者，由於雨量得季節分佈影響，北部的降雨日數較長也較為平均，而南部的降雨日數較短且一般雨季的時間較為集中。因上述因素，再加上受到東北季風的影響，年平均降雨量最豐沛的地點發生在台灣東北角，大約為 4,000~5,000 mm；而最少雨地則是在嘉南平原北半部沿海一帶和澎湖群島，年雨量不足 1,000 mm。由所收集到之 151 個測站之降雨量資料，以克利金法產生常年平均降雨量之空間分佈並散佈於每一個作用網格，其空間分佈示於圖 4 中。

蒸發散量與日照時數有一定的正比關係，日照時數之分布與雲量及降水之分布形式相配合，山區因夏、秋季之對流雲層發展旺盛，常受雲層之籠罩，因此造成山區蒸發散量少於平地；東岸少於西岸。台灣北部因雨日多，日照時數少，西南部為日照時數較多之地區。由所收集到之 24 個測站之蒸發量資料，以克利金法產生常年平均蒸發量之空間分佈並散佈於每一個作用網格，其空間分佈示於圖 5 中。本研究另外應用 Penman-Monteith 法推估台灣地區蒸發散量(*ET*)，進而與蒸發皿蒸發量( $E_{pan}$ )做一比值，評估蒸發皿係數( $ET=E_{pan} \times K_p$ )，建議日後推估區域



性蒸發散量，在資料不足之情況下亦可使用蒸發皿係數經驗式進行評估。評估結果顯示，常年平均蒸發皿係數介於 0.62 至 1.31 之間，此區域空間分佈呈現由南向北遞增趨勢，如圖 6 所示。在北部地區受到東北季風與西南氣流影響，形成降雨日較長，日照少，太陽輻射量低，造成越往上端  $K_p$  值越高；南部地區以西側沿海地區  $K_p$  最佳，平均在 1.0 左右。代表蒸發皿量測與實際蒸發散量非常相近。

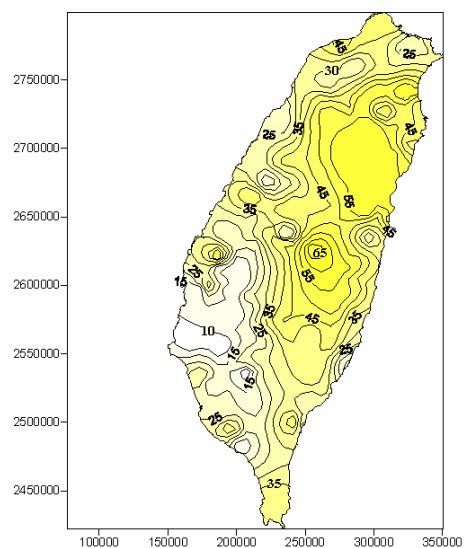


圖 3 常年平均穩定基流指數  $SBFI$  空間分佈圖

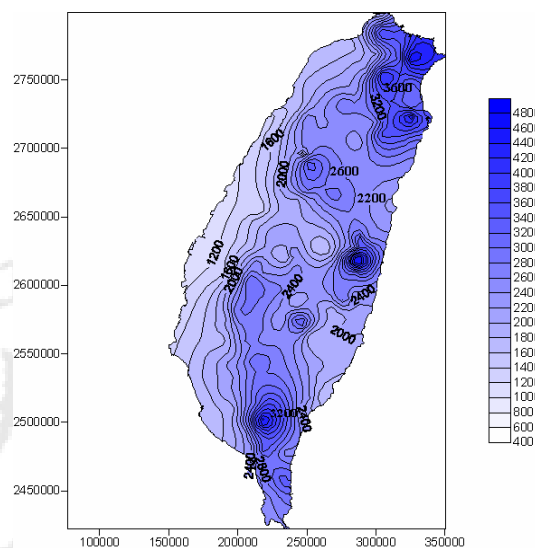


圖 4 常年平均降雨量空間分佈圖

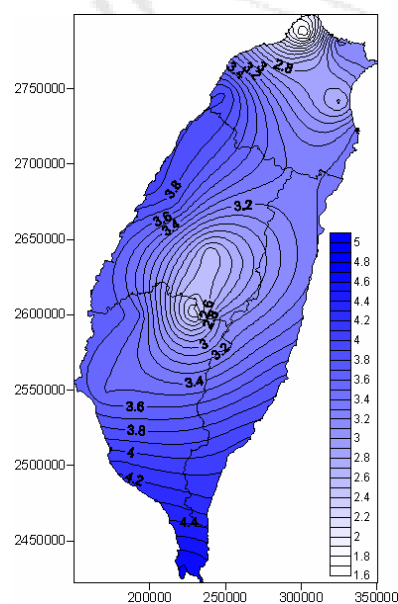


圖 5 常年平均蒸發皿蒸發量空間分佈圖

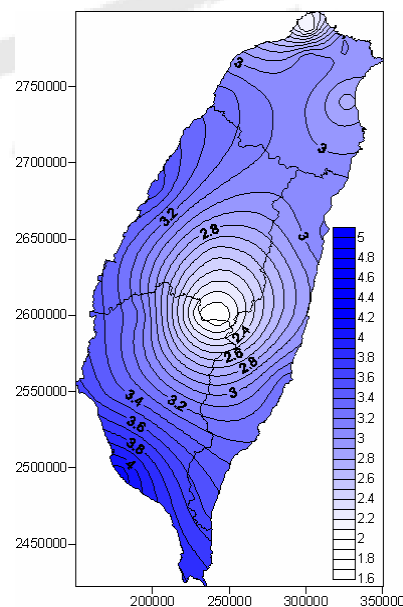


圖 6 Penman-Monteith 法評估之蒸發散量空間分佈圖

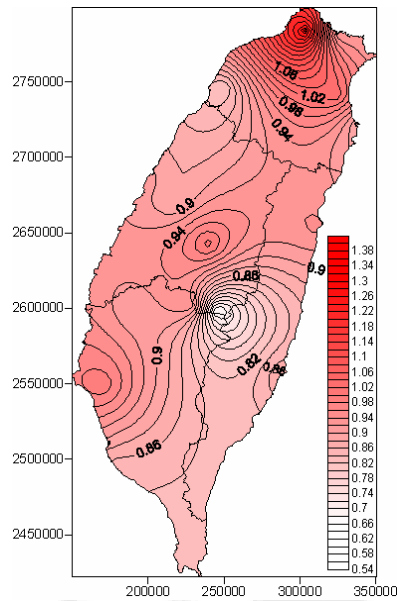


圖 7 常年平均蒸發係數空間分佈圖

最後，常年平均之穩定地下水補注量空間分佈等值圖 8，則可由常年平均降雨量與蒸發散量差值乘上常年平均穩定基流指數 *SBFI* 等值圖之數值而獲得。其中最高常年平均穩定地下水補注量(大於 1,000 mm)的區域發生在台灣東北角以及中央山脈偏東岸區域，其原因為這兩個區域有較高的降雨量以及較低的乾燥程度。高山區(海拔高度高於 1,000m 者)則約有 800~2,000 mm/yr，山麓區(海拔高度介於 100~1,000m 者)則大概為 200~600 mm/yr，平原低地區(海拔高度低於 100m 者)則有 0~200 mm/yr 的穩定地下水補注量。特別值得注意的是台灣西部沿海區域，其常年平均穩定地下水補注量低於 0 以下，而這個區域也是台灣地層下陷最為嚴重的區域。台灣的山區，由於高滲透性的礫石/砂質含水層，一直以來被認定為地下水源補注區，此區域之高地下水補注率則反應在常年平均基流指數 *BFI* 等值圖或常年平均穩定基流指數 *SBFI* 等值圖上(圖 3)，因受較多雨量與較低乾燥程度的影響，台灣中央山脈高山區有超過 20% 的地下水補注率，然而，在台灣西部沿海區其補注率卻是低於 0%。

台灣的地下水補注量，則可由常年平均穩定地下水補注量等值圖 8 中的每一作用網格總和而得，其數值大約為 180 億噸/年。雖然本研究之水平衡模式不使用直接經由基流資料估計法所獲得的推估值，在此，仍將其推估結果與進一步經由穩定基流分析所獲得的結果做比對並列於表 1 中。

由表中得知，穩定基流分析將僅經由基流資料估計法所求得之台灣平均基流指數由 57.6% 下降到 34.5%，此結果對地下水補注量之推算結果亦造成相當大的影響，其中以地下水補注率來做說明比較。所謂的地下水補注率，乃是於一特定區域中，地下水補注量與長年平均降雨量之比值。僅經由基流資料估計法所推求得之台灣地下水補注率是為 0.347，在經由穩定基流分析則獲得 0.21 的地下水補注率值。一般的研究報告指出地下水補注率，依照介質滲透性不同而有差異，其

值大約介於 0.1~0.3 之間(砂礫石層高於 0.3，黏土層低於 0.1)。由此可作一大略判斷，經由穩定基流分析可獲得一較為合理之推估值。

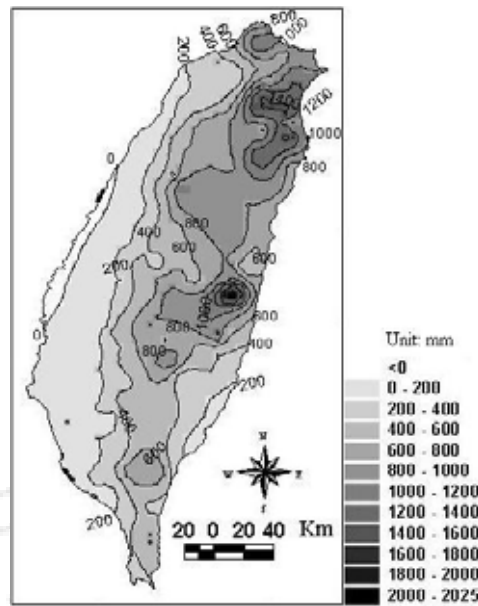


圖 8 台灣常年平均之穩定地下水補注量等值圖

表 1 基流資料估計法與穩定基流分析之結果比較

使用方法 各項數值	基流資料估計法	穩定基流分析
基流指數(%)	57.6	34.5
地下水補注量 (億噸)	292.4	180
地下水補注率	0.347	0.21
常年平均總降雨量為 842.9 億噸		
常年平均總蒸發散量為 375 億噸		

## 五、結論與建議

本研究嘗試估計台灣地區之地下水補注量值，因台灣地區屬於一大規模研究區域，若以白箱模式來做估算，則其所耗費的人力與物力，相對於黑箱模式將會提高許多。因此，本研究建立了一指數型地下水補注推估模式，以達到快速估計大範圍區域地下水補注量之目的，並且將研究區域以網格劃分的方式，更便於各項水文參數之建立、疊合、計算與空間分佈特性之展示。經由本研究所採用的基流資料估計法對所有收集到的流量測站資料進行分析，所獲得的常年平均基流指數的分佈趨勢大致上為由沿海平原區逐漸往內陸的高山區爬升，其原因為台灣山

區的年平均降雨量一般比平地高出數倍，並且於高山區之地下含水層多為礫石層或為破碎帶。其空間分佈趨勢為，台灣中央山脈區有最高值約為 60%~80%，甚有 80% 以上者，山麓區則介於 40%~60% 之間，沿海平原區則為 40% 以下，最低值 30% 則發生於嘉南平原上。

進一步經由穩定基流分析獲得之常年平均穩定基流指數分佈趨勢大致與長年平均基流指數相同。其空間分佈為，台灣中央山脈區約 40%~60%，山麓區則介於 20%~40% 之間，沿海平原區則為 10%~20%，最低值 10% 以下則發生於嘉南平原上。經由基流資料估計法所獲得之平均基流指數大約為 57.6%，而進一步經由穩定基流分析所獲得之穩定基流指數約為 34.5%。

經由本研究所發展之穩定基流分析對所有流量測站的分析結果，可獲得一假設性結論：若有一條相當長的河流，其流域之地下水系統排放至河道內的基流量匯集至接近河流終點的流量測站，將會表現出相當之穩定行為，因此不需再經由穩定基流分析，則可直接運用基流資料估計法所獲得之估計值來做計算。而對靠近河川發源地的集水區而言低流期表現較為明顯，基流量反應出之行為較不穩定，且由於大部分位於地勢較為陡峭的山區，較易將地表逕流量誤判為基流量，進而高估地下水補注量，因此需要進一步以穩定基流分析來獲得較為合理的估計值。

常年平均穩定地下水補注量之空間分佈趨勢為，有最高值(大於 1,000 mm)的區域發生在台灣東北角以及中央山脈偏東岸地區，其原因為這兩個區域有較高的降雨量以及較低的乾燥程度。高山區則約有 800~2,000 mm/yr，山麓區則大概為 200~600 mm/yr，平原低地區則有 0~200 mm/yr 的穩定地下水補注量。特別值得注意的是台灣西部沿海區域，其長年平均穩定地下水補注量低於 0 以下，而這個區域也是台灣地層下陷最為嚴重的區域。由本研究建立的指數型地下水推估模式推估求得台灣的地下水補注量大約為 180 億噸/年，與年平均降雨量比較可獲得 0.21 的地下水補注率值。

一般而言，當估計地下水補注量時，因水文氣候變異、地質條件複雜、人為灌溉抽取等等各項不確定因素影響下，其困難程度往往不低，亦無法獲得肯定的估算值。由於本研究是採取技術性的基流分離方式，並非以數學模型為架構的推求模式，因此，本研究目前並無法驗證所得之推估結果。雖然對白箱模式而言，本研究之水平衡模式將會獲得較為不精確之推估結果，然本研究所建立之水平衡模式的優點在於，僅需要收集三種水文觀測值—河川流量、降雨量、蒸發散量，這些水文觀測值通常紀錄於各個水文觀測站並保存下來，並且本模式適用於快速估計大範圍區域的地下水補注量，除此之外，將研究區域以網格劃分所求得的空间分佈特性，也便於與地下水補注量相關研究成果作比較。

## 參考文獻

1. Brutsaert W., 1982. Evaporation into the atmosphere. The Netherlands: Kluwer.
2. Linsley, R.K., Jr., Kohler, M.A., and Paulhus, J.L.H., 1982. Hydrology for Engineers ( 3rd ed. ) . McGraw-Hill, New York. 508 pp.
3. Rutledge, A.T., 1992, Methods of using streamflow records for estimating total and effective recharge in the Appalachian Valley and Ridge, Piedmont, and Blue Ridge physiographic provinces, in Hotchkiss, W.R. and Johnson, A.I., eds., Regional aquifer systems of the United States, aquifers of the southern and eastern states. American Water Resources Association Monograph Series, no. 17, p. 59-73.
4. Vorosmarty CJ, Federer CA, Schloss AL (1998) Potential evaporation functions compared on U.S. watersheds: Possible implications for global-scale water balance and terrestrial ecosystem modeling. Journal of Hydrology 207: 147-169

