

台灣地區生活用水量推估研究

Estimation for the Domestic Water Demand in Taiwan

逢甲大學
水利工程與資源保育學系
助理教授

許 盈 松*

Yin-Sung Hsu

逢甲大學
水利工程與資源保育學系
碩士班

郭 雅 煥

Ya-Yun Kuo

逢甲大學
水利工程與資源保育學系
教授

陳 昶 憲

Chang-Sian Chen

逢甲大學
水利工程與資源保育學系
副教授

葉 昭 憲

Chao-Hsien Yeh

經濟部水利署
水利規劃試驗所
課長

王 國 樑

Kuo-Liang Wang

摘 要

台灣地區四面環海，地狹人稠，降雨量豐枯不勻，加上缺乏足夠蓄水容積，致使水資源之有效利用率偏低。包括台灣在內的許多國家，目前都面臨水資源需求不斷增加，而現有水資源卻有限的棘手問題。為強化水資源管理工作，必須先對台灣地區各項用水標的供需現況，及未來之供需變化趨勢有所掌握。本研究針對台灣地區過去生活用水量之變動趨勢、影響因子與影響機制，詳加研究；建立生活用水量類神經網路推估方法，研究結果顯示類神經網路有很好的模擬效果，可提供生活用水量之需求推估，並作為水資源規劃與管理之重要參據。

關鍵詞：生活用水量，用水量推估，類神經網路模式。

ABSTRACT

Water-use efficiency in Taiwan is low because geo-morphologically Taiwan is a mountainous island, with dense population clustered along the narrow habitable perimeter of the island, and inadequate topographic features for storing sufficient water volumes. When the demand for water-resources increases as societies become more modernized,

*通訊作者，逢甲大學水利工程與資源保育學系助理教授，40724 台中市西屯區文華路 100 號，yshsu@fcu.edu.tw

many countries including Taiwan are faced with the problems of limited water resources. In order to optimize water resources management, it is necessary to inventory the demand and supply of various water-use categories in all areas on the island and be able to predict their trends in the future. Domestic water is therefore the focus of this research project. Trend in the past, factors and mechanisms controlling domestic water use have been analyzed; and an artificial neural network (ANN) model has been developed to estimate the water demand needed for domestic water use. It is demonstrated that the ANN model has been successfully adopted to simulate the demand and supply trend in domestic water use. Therefore, the results from this study can be used as an important reference for the planning and management of water resources of Taiwan.

Keywords: Domestic water use, Water demand estimation, Artificial Neural Networks model.

一、前言

台灣降雨時空分布極不平均，台灣人口增加、經濟成長、生活品質提升的情況下，對於環境及用水的品質要求也相對提升，故即使降雨量足夠卻無法有效的蓄水、引用，造成供需不平衡，導致缺水問題產生(節約用水資訊網站，2007)。特別是生活用水之水源分配利用往往不能協調，用水問題已經成為現代人的困擾。近年來，雖政府呼籲大眾節約用水，但仍因水源不足等問題常面臨水荒的發生，進而影響民生及產業生產力，故對生活用水量預測的精確度日益重要，若能有效預估其用水狀況，則將能提高公共民生用水規劃與營運之效率(劉祥熹、周海龍，2000)。本研究針對台灣地區歷年生活用水量及相關影響變數的變動情形加以研究，瞭解生活用水量變動機制，評估各影響變數與生活用水量之相關性，以探討生活用水量之推估。

二、文獻回顧

生活用水量的預測乃根據歷年生活用水量數據的變化規律，並考慮社會、經濟等主觀因素和天氣狀況等客觀因素的影響，利用科學的、系統的或經驗的數學方法，在滿足一定精度要求下，對未來某時段內的生活需水量進行預測(尹學康、韓德宏，2006)。按照對數據的處理模式不同有許多種預測分析方法，其中包括了時間序列分

析法、統計迴歸分析法、人工智慧分析方法和灰色預測等(經濟部水利署，2007)。吳奇璋(1993)以瀑布模式對台南市進行用水量之推估，以人口、國民所得、用水普及率及水價等四項因子，藉由複迴歸檢定先消除各因子之趨勢，經由逐步迴歸之檢定結果只考慮人口及國民所得兩項因子，並以瀑布模式進行用水量之推估預測，結果顯示人口及國民所得對其模式之精度有決定性之影響。孫崇智(2001)選定台南縣市進行推估預測之模式比較，使用時間序列、統計迴歸及灰色系統預測方法進行推估預測，顯示灰色預測之效果最為穩定。

近年來許多學者將人工智慧方法運用在用水量的推估預測上，Lertpalangsunti *et al.* (1999)透過模糊邏輯、類神經網路、知識與案例本位推論(knowledge-based and case-based reasoning)等智慧技術發展出智慧預測機建構工具組(Intelligent forecasters construction set, IFCS)，並利用它建立加拿大 Regina 的用水效能需求預測模式，並對自來水廠的最佳操作成本進行優選。Mukhopadhyay *et al.* (2001)利用線性迴歸及類神經網路等方法運用於週用水量之預測上，其輸入變數有房間數目、花園面積、家庭收入、氣溫、相對溼度、人口數等。Liu *et al.* (2003)利用類神經網路對都市家庭需水量進行推估，其輸入變數為水價、家庭收入及家庭人口數。俞亭超等(2004)也將類神經網路應用在城市用水量預測中，建立

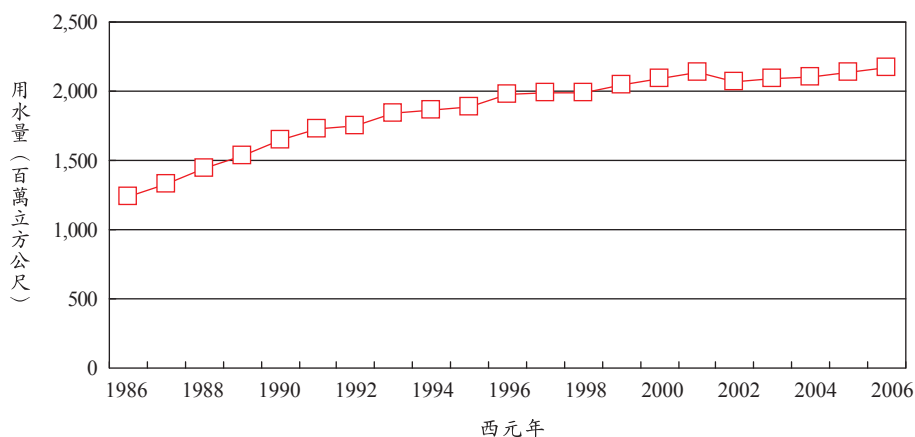


圖 1 台灣地區生活用水量之歷年變化

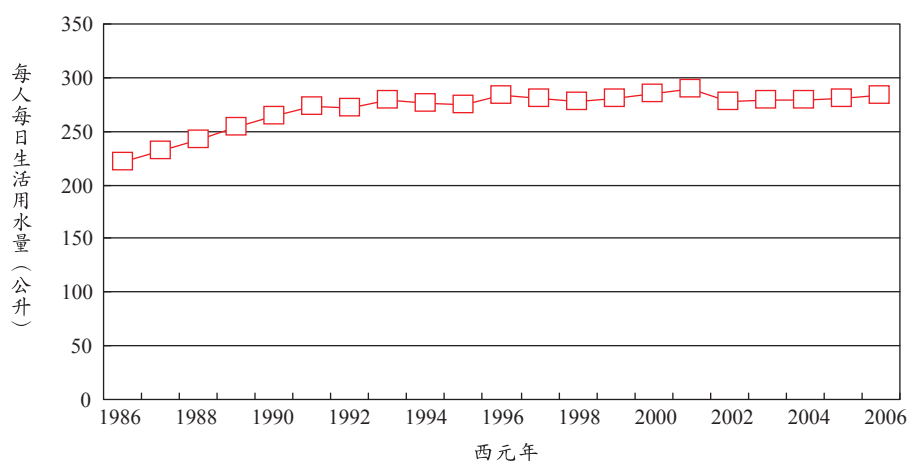


圖 2 台灣地區年平均每人每日用水量之歷年變化

了非線性類神經網路預測模式。李琳、左其亭(2005)評估時間序列分析法、解釋性預測方法、灰色 GM(1,1) 以及用水定額法等方法，因各種方法各有其預測能力限制及優缺點，故應根據實際情況而選取適合之預測方法。

前述各學者所選定之用水量影響變數雖不同，但在其研究成果中，皆顯示類神經網路具有良好的預測結果，建立之模式比統計迴歸具有較高的預測精度和準確度。本研究擬對台灣地區年生活用水量進行分析推估，因其季節周期性並不明顯，故暫不考慮氣候對用水量的影響，而著重於年用水量的趨勢性，考慮的變數為經濟因素與人口成長對用水量所造成的趨勢影響。

三、台灣地區生活用水量基本資料分析

本研究之生活用水量係定義為用戶可收取水費之自來水總用水量扣除工業用水量者(台灣自來水股份公司，2007)，圖 1 為 1986 至 2006 年生活用水量之變化情形。從圖 1 中可看出有逐年增加的趨勢，尤其以 1986 至 1994 年的成長速度最為快速，而 2002 年的生活用水量則出現負成長的情形，可能因當年降雨量較低且主要水庫蓄水量不足，台灣地區出現缺水問題，北部有許多地區輪流停止供水所致(陳獻，2004)。

每人每日用水量為衡量國家或地區之用水情形的重要指標，其定義如下所示：

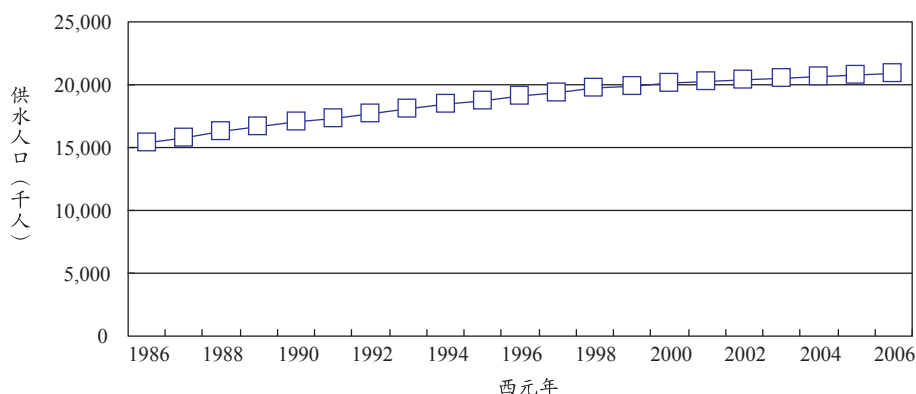


圖 3 自來水供水人口之歷年變化

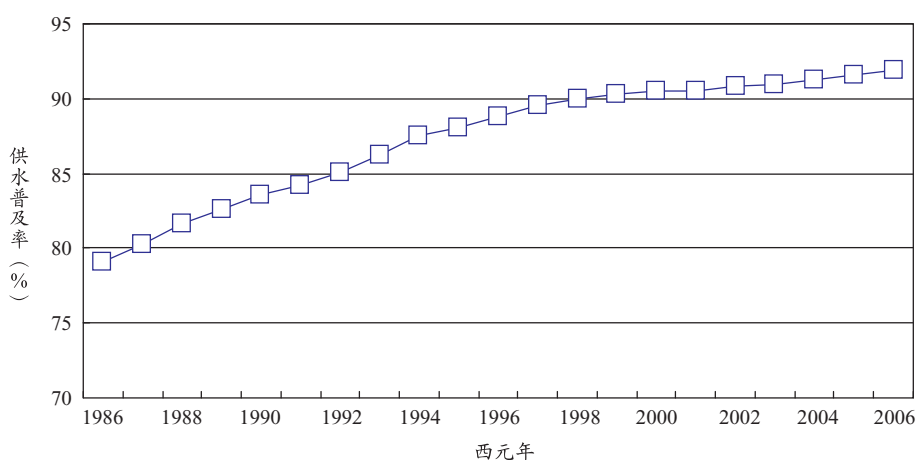


圖 4 自來水供水普及率之歷年變化

$$\text{每人每日用水量} = \frac{(\text{年生活用水量} \times 1,000)}{(\text{供水人口} \times 365)} \dots\dots(1)$$

式中，每人每日用水量(LPCD)之單位為公升、年生活用水量之單位為立方公尺、供水人口之單位為人。圖 2 為台灣地區平均每人每日用水量之歷年變化情形。從圖 2 中可看出每人每日用水量從 1986 年的 221 公升逐年增加至 2006 年的 284 公升，在 21 年間共增加了 63 公升（經濟部水利署，2007）。

供水人口即為接受自來水系統供水之人口，圖 3 為 1986 年至 2006 年供水人口之變化情形，台灣地區供水人口由 1986 年的 1,538 萬人逐年增加至 2006 年的 2,094 萬人，在這 21 年期間

共增加了 556 萬人。隨著工商發展、人口增加，台灣地區水資源建設亦愈趨完善，自來水供應也愈益普及。如圖 4 所示，台灣地區在 1986 年時的供水普及率只有 79.2%，到了 1998 年時普及率已高達 90.0%，而 2006 年則增長至 91.9%（經濟部水利署，2007）。

國民所得(National Income, NI)為衡量一個國家或地區經濟發展程度之量化評估指標，其定義為本國全體國民所提供的生產要素之報酬總額(即國民生產毛額扣除固定資本消耗)(行政院主計處網站，2007)，由圖 5 可看出台灣地區從 1986 至 2006 年之國民所得成長情形，呈現逐年增加的趨勢，而 2006 年之國民所得為 10,659,523 百萬元。

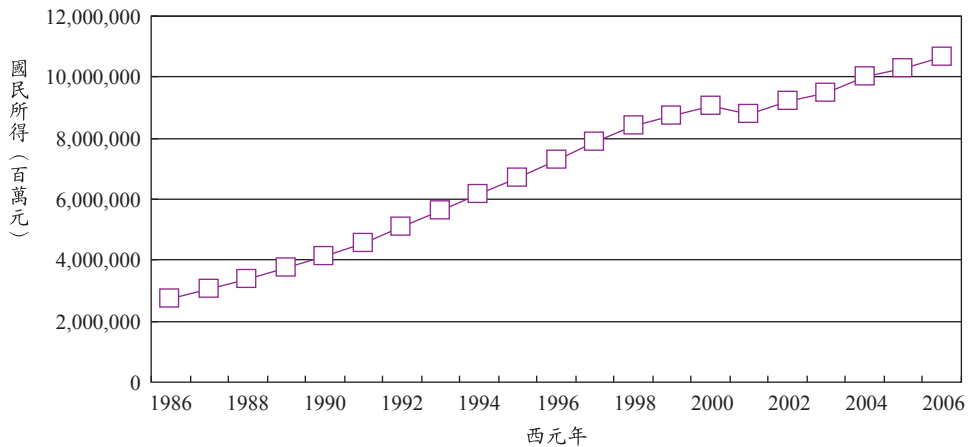


圖 5 國民所得之歷年變化

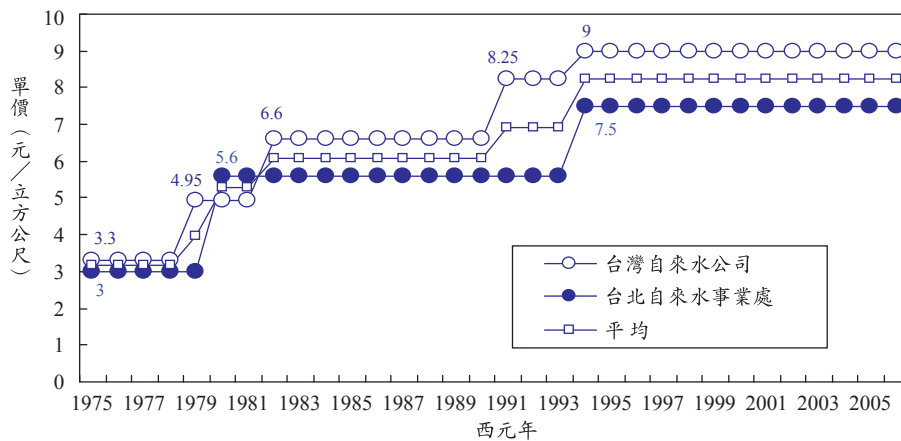


圖 6 自來水水價之歷年調整情形

臺灣地區自來水系統分別由台北自來水事業處及台灣自來水公司供應，自來水系統在水價政策上亦有差異，1975 年以前台灣各地區水廠之水價都不同，而 1975 年台北自來水事業處及台灣自來水公司分別開始統一其水價，歷年水價調整情形如圖 6 所示，顯示台灣自來水公司在 31 年期間，共作了五次的水價調整，每立方公尺用水由 1975 年的平均單價 3.3 元到 2006 年的 9 元；而台北自來水事業處共做了三次的水價調整，每立方公尺用水由 1975 年的平均單價 3 元到 2006 年的 7.5 元。整體而言，自來水之平均單位水價由 1975 年的 3.15 元增加至 2006 年的 8.25 元(台灣自來水股份有限公司，2007；台北自來水

事業處，2007)。

四、相關影響變數之選定

由生活用水量之歷年變化，可看出用水量逐年增加，除了因人口增加之外，亦因經濟成長、生活品質提升等因素，使得用水量逐年增加。影響生活用水量變化趨勢之相關變數可考慮供水人口、供水普及率、國民所得及平均單位水價等四項變數，並進行自變數選取，以比較四項變數中對生活用水量之影響性。自變數選取的方法大致可分為兩大類：同時分析法(simultaneous)是指將所有的自變數同時納入迴歸方程式當中；逐步分析法(stepwise)是指所有的自變數並非

同時被取用來進行預測，而是根據解釋力的大小，逐步地檢視每一個自變數的影響。逐步分析法又可分為逐步法(stepwise，或稱逐步迴歸法)、向後法(backward)與向前法(forward)(林震岩，2006)。本研究應用逐步迴歸法進行自變數選取分析，鑑於資料的統一性及完整性要求，本研究擬以 1986~2006 年為統計分析年限，運用 SPSS 套裝軟體進行逐步迴歸分析(林震岩，2006)。輸出結果中，主要根據相關係數 R 、判定係數 R^2 、 F 檢定、 t 檢定及常態 P-P 圖進行分析探討。依據學習及驗證之資料年限不同，分別建立三種推估模式加以比較，第一種為選取前 50%資料進行學習(1986~1996)，另 50%資料進行驗證(1997~2006)；第二種為選取前 60%資料進行學習(1986~1998)，另 40%資料進行驗證(1999~2006)；第三種為選取前 80%資料進行學習(1986~2003)，另 20%資料進行驗證(2004~2006)。

第一種模式模擬結果顯示只有供水普及率及水價被選入，此兩項變數之相關係數 R 為 0.992 及判定係數 R^2 為 0.985， R^2 越接近 1 即表示迴歸模式之配適度越好，整體迴歸模式可能會達到顯著水準； F 檢定為 258.312， F 檢定須大於理論值，經由查表顯示在 95%的信賴區間內 F 檢定之理論值為 4.46，故通過 F 檢定； t 檢定分別為常數 = -11.555、供水普及率 = 12.022 及水價 = -0.255， t 檢定的絕對值須大於理論值，經由查表顯示在 95%的信賴區間內 t 檢定之理論值為 1.860，故皆通過 t 檢定。

第二種模式模擬結果顯示只有國民所得及供水人口被選入，此兩項變數之相關係數 R 為 0.996 及判定係數 R^2 為 0.991， R^2 越接近 1 即表示迴歸模式之配適度越好，整體迴歸模式可能會達到顯著水準； F 檢定為 580.421， F 檢定須大於理論值，經由查表顯示在 95%的信賴區間內 F 檢定之理論值為 4.10，故通過 F 檢定； t 檢定分別為常數 = -8.550、國民所得 = -5.876 及供水人口 = 10.587， t 檢定的絕對值須大於理論值，經由查表顯示在 95%的信賴區間內 t 檢定之理論值為 1.812，故皆通過 t 檢定。

第三種模式模擬結果顯示只有供水普及率

表 1 三種模式之自變數選取結果

模式	模式一	模式二	模式三
選取之自變數	供水普及率	國民所得	供水普及率
	單位水價	供水人口	國民所得

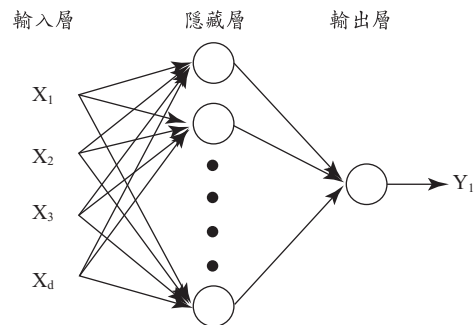


圖 7 倒傳遞類神經網路架構

及國民所得被選入，此兩項變數之相關係數 R 為 0.992 及判定係數 R^2 為 0.984， R^2 越接近 1 即表示迴歸模式之配適度越好，整體迴歸模式可能會達到顯著水準； F 檢定為 452.406， F 檢定須大於理論值，經由查表顯示在 95%的信賴區間內 F 檢定之理論值為 3.68，故通過 F 檢定； t 檢定分別為常數 = -6.679、供水普及率 = 7.870 及國民所得 = -2.270， t 檢定的絕對值須大於理論值，經由查表顯示在 95%的信賴區間內 t 檢定之理論值為 7.753，故皆通過 t 檢定。由以上各檢定及分析結果，分別以時序資料前 50%、60%及 80%作為學習，具有解釋能力之自變數皆為兩項，其自變數之選取結果如表 1 所示。

五、推估方法

5.1 類神經網路

類神經網路是一種基於腦與神經系統研究所啟發的資訊處理技術，利用一組範例(即系統輸入與輸出所組成的資料)建立系統模式(輸入與輸出之間的關係)，可用於推估、預測、決策、判斷。倒傳遞類神經網路模式(Back Propagation Network；BPN)是目前具代表且應用普遍的模型，其網路架構如圖 7 所示(葉怡成，1999)。基本原理是利用最陡坡降法的觀念將誤差函數予

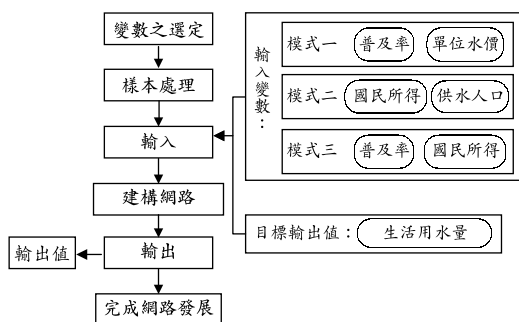


圖 8 類神經網路之推估流程

以最小化，它能根據輸出值與目標輸出值的誤差，由輸出的部份向輸入的部份回饋，並依照順序修正網路的連結加權值，使其輸出值與目標輸出值的誤差變小，而學習如何輸出較正確的答案。可用輸入向量和與其相對應的目標向量來訓練網路，直到網路能夠逼近一個函數，或是能夠用指定的輸出來聯想輸入向量，或藉由所定義之適當方式來分類輸入向量。倒傳遞網路具有加權值，隱藏層具有雙彎曲轉移函數，輸出層具有線性轉移函數，如此使得網路能夠逼近於有限個不連續點的任何函數。若輸出層使用雙彎曲轉移函數，則網路的輸出結果將會被限制在很小的範圍內；若輸出層使用線性轉移函數，則網路的輸出就能夠取任意值，故輸出層通常是選用線性轉移函數(羅華強，2001)。

本研究建立三種倒傳遞類神經網路，以逐步迴歸之自變數挑選結果作為輸入變數(Xn)，而生活用水量則為目標輸出值(T)。其推估流程如圖 8 所示。

5.2 基本資料

在推估生活用水量上，有許多相關影響變數，如氣候、社會及經濟等因素。本文研究範圍為台灣地區，在地理環境及氣候變化上無太大的差異，且所推估的為年用水量，其季節性之影響也可略去，故不考慮其氣候影響。本研究統計年限為 1986~2006 年，其中模式一係以 1986~1996 年作為模式之建構，1997~2006 年作為建構模式之驗證；模式二係以 1986~1998 年作為模式之建構，1999~2006 年作為建構模式之驗證；模式三

係以 1986~2003 年作為模式之建構，2004~2006 年作為建構模式之驗證。

5.3 評鑑指標

三種模式之資料處理分別以時序資料的前 50%、60%及 80%作為函數之參數率定，而剩餘的 50%、40%及 20%時序資料則作為驗證時使用。而對於所建立模式進行驗證所需的評鑑指標，本研究所選擇之評鑑指標如下(陳祖憲等，2005a、b)：

相關係數(Correlation of Efficiency, COR)

$$COR = \frac{\sum (Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})(Q_{est} - \bar{Q}_{est})}{\sqrt{\sum (Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})^2 \sum (Q_{est} - \bar{Q}_{est})^2}} \dots (2)$$

式中 Q_{est} 為模式推估之用水量、 $\bar{Q}_{est}$ 為推估用水量之平均值、 Q_{obs} 為實際用水量、 $\bar{Q}_{obs}$ 為實際用水量之平均值。若 COR 值愈趨近 1，則表示模擬結果與實際資料愈密合，即精確度愈高。

平均絕對誤差百分比 (Mean Absolute Percentage Error, MAPE)

$$MAPE = \left(\frac{1}{M} \sum_{l=1}^M \left| \frac{Z_{t+l} - \hat{Z}_t(l)}{Z_{t+l}} \right| \right) \times 100\% \dots (3)$$

式中 M 為預測值數目， Z_{t+l} 為第 l 時刻之實際用水量， $\hat{Z}_t(l)$ 為第 l 時刻之推估用水量，從 MAPE 的大小，可以瞭解預測用水量與實際用水量的離散程度。

六、分析與討論

由於各變數之單位不同導致位數差異甚大，故先將各變數標準化使其值介於 0~1 之間，本研究使用比例壓縮法進行數值之轉換，其轉換公式為：

$$T = T_{min} + \frac{T_{max} - T_{min}}{X_{max} - X_{min}} (X - X_{min}) \dots (4)$$

式中，X 為原始數據； X_{max} 、 X_{min} 為原始數據的最大值和最小值；T 為轉換後的數據； T_{max} 、 T_{min} 為轉換數據的最大值和最小值，取 $T_{max}=0.9$ 、 $T_{min}=0.1$ 。推估後所得到之數據再進行還原，其

還原公式為：

$$X = X_{\min} + \frac{X_{\max} - X_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}} (T - T_{\min}) \dots\dots\dots(5)$$

考量資料的統一性及完整性，本研究以 1986~2006 年為資料的參考標準，分別建立三種模式。輸入學習資料後，開始建構網路，選用倒傳遞網路模式(BPN)，在此設定隱藏層層數為一層，神經元個數也為一個，並選擇正切轉移函數，而輸出層的部份與隱藏層一樣都是一，但不同的是選擇線性轉移函數(葉怡成，1999)。訓練次數為 500 次，學習速率為 0.001，再利用驗證資料對建構的網路進行驗證。同時以相對誤差

(Relative Error, RE)進行比較探討：

$$RE = \frac{(Q_{obs}(i) - Q_{est}(i))}{Q_{obs}(i)} \times 100\% \dots\dots\dots(6)$$

式中 $Q_{obs}(i)$ 為第 i 時刻之實際用水量， $Q_{est}(i)$ 為第 i 時刻之推估用水量。

圖 9~11 為三種模式實際水量與推估水量之比較。由圖 9 可看出由於網路學習之年限只到 1996 年，故 1999~2001 年之用水變化趨勢較陡的部份比較模擬不到，而之後的用水量則呈現平緩增加之趨勢；由圖 10 可看出網路學習之年限是到 1998 年，故 1999~2001 年之用水變化較陡急

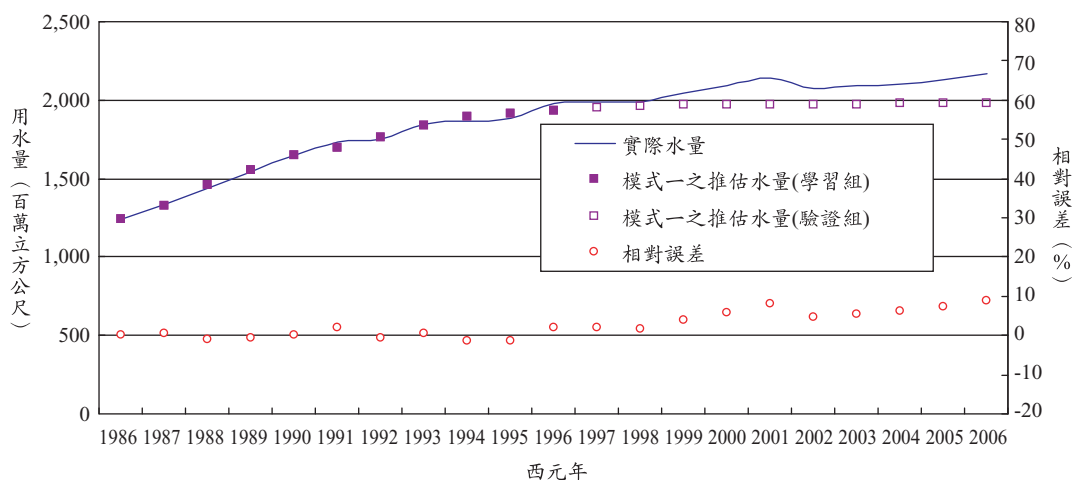


圖 9 類神經網路模式一之實際水量與推估水量比較圖

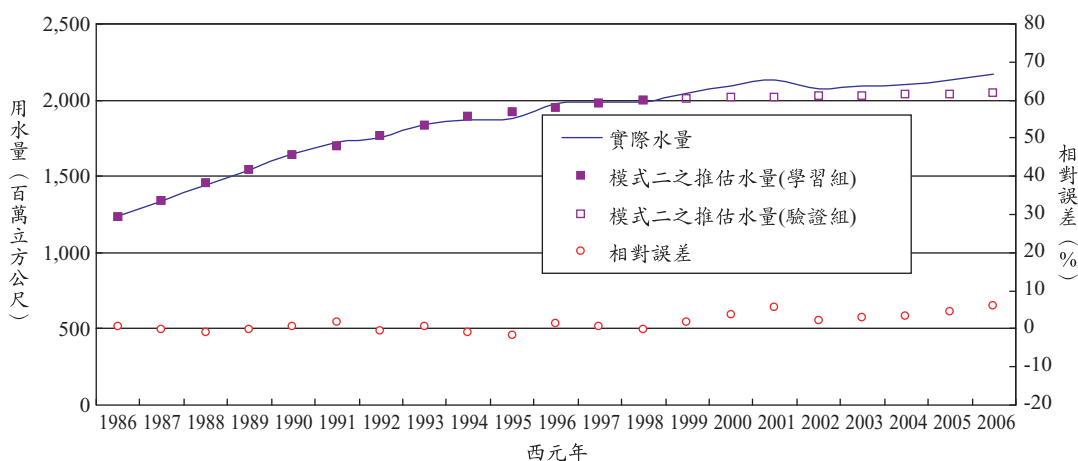


圖 10 類神經網路模式二之實際水量與推估水量比較圖

表 2 類神經網路方法之評鑑指標

模式	模式一		模式二		模式三	
	學習	驗證	學習	驗證	學習	驗證
COR	0.9960	0.8801	0.9975	0.7271	0.9941	0.9999
MAPE	0.9016%	5.2972%	0.8240%	3.6899%	1.1731%	0.9212%

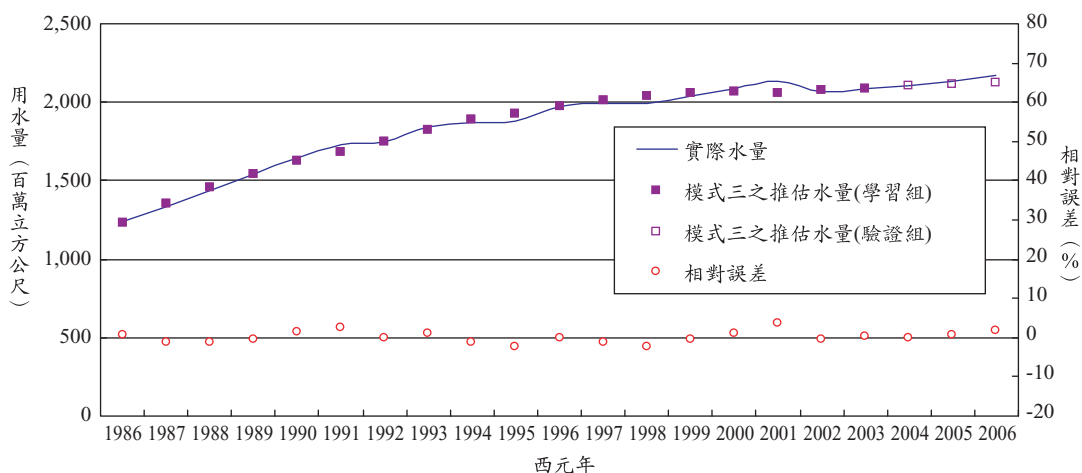


圖 11 類神經網路模式三之實際水量與推估水量比較圖

的部份同樣亦模擬不到，而之後的用水量則呈現平緩增加之趨勢；由圖 11 可看出由於網路學習之年限是到 2003 年，故 1999~2001 年之用水變化趨勢，其模式之學習狀況良好，雖稍有低估但整體變化趨勢模擬效果不錯，而用水量是呈現逐年緩慢增加之趨勢。相對誤差方面，模式一之 RE 值介於-2~9%之間，模式二之 RE 值介於-2~6%之間，模式三之 RE 值介於-2~4%之間，三種模式之 RE 值均介於±10%以內，其中模式三之 RE 值平均值較接近 0%，而模式一及模式二之誤差值均有逐年增加之趨勢，且推估結果都有明顯低估之情形發生。

評鑑指標結果如表 2 所示。三種模式之學習組 COR 皆接近 1，都高達 9 成以上，驗證組之 COR 以模式三最高，其次為模式一，而模式二之 COR 最低；三種模式學習組之 MAPE 均低於 2%，顯示學習組之擬合效果良好，其中以模式二最佳，模式三最差；三種模式驗證組之 MAPE 中，除了模式一大於 5%外，其它兩種均在合理範圍內(5%)，其中以模式三之 MAPE 最低。學習

擬合效果佳，不代表驗證結果亦良好，模式比較主要是依據驗證組之成果，可知三種模式中，模式三之成果最好，其次為模式一，而模式二最差，故學習之年限越長，其模擬效果越佳。

七、結論與建議

本研究使用逐步迴歸法進行自變數之選取，根據率定採用之年限不同，其模擬分析結果亦不同。模式一之迴歸結果顯示供水普及率及平均單位水價與生活用水量具相關性，可用來推估預測其用水量；模式二之迴歸結果顯示國民所得及供水人口與生活用水量具相關性，可用來推估預測其用水量；模式三之迴歸結果顯示供水普及率及國民所得與生活用水量具相關性，可用來推估預測其用水量。推估預測之模式為類神經網路中的 BPN，分別以選定之兩項變數與生活用水量建構三種網路，模式一係以 1986~1996 年作為模式之建構，1997~2006 年作為建構模式之驗證；模式二係以 1986~1998 年作為模式之建構，1999~2006 年作為建構模式之驗證；模式三係以

1986~2003 年作為模式之建構，2004~2006 年作為建構模式之驗證。其網路建立之設定：隱藏層及輸出層之層數及單元數皆為一，而隱藏層之轉移函數為正切轉移函數，輸出層為線性轉移函數；訓練次數為 500 次、學習速率為 0.001。

模式推估結果主要以驗證組之評鑑指標做探討與分析。相關係數 COR 值以模式三之 0.9999 為最高，顯示其模擬結果與實際資料極為密合，即精確度較高；MAPE 值以模式三之 0.9212% 為最低，顯示推估用水量與實際用水量的離散程度極小，表示模式預測之精度很高。推估之評鑑指標皆在合理範圍內，可知學習年限越長之類神經網路在生活用水量推估上其模擬效果越好。建議未來在建立推估函數模式時可再針對各分區或各縣市之特性，分別根據人口成長預測等相關基本統計資料，瞭解掌握各縣市之生活用水量及相關影響因子之長期變動趨勢及機制，建立函數進行生活用水量推估分析，可作為水資源規劃與管理之重要依據。

謝 誌

本文為「台灣地區生活用水量之預測推估與應用」(計畫 GPN 編號：1009603432)研究計畫中之部分成果，承蒙經濟部水利署水利規劃試驗所經費支持，研究過程蒙廖副所長培明、王課長國樑等多位委員提供指正與協助。審查過程中，主編、審查委員惠賜許多斧正與啟發，謹致謝忱。

參考文獻

1. 經濟部水利署，1987-2007，「台灣地區民國 75 年~95 年生活用水量統計報告」。
2. 吳奇璋，1993，「應用逐步過濾法預測都市用水」，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。
3. 葉怡成，1999，「應用類神經網路」，儒林出版社，台北。
4. 劉祥熹、周海龍，2000，「台北都會區生活用水量之模式建構與模擬-類神經網路模式之應用」，農業經濟半年刊，第 71 期，77-111。
5. 孫崇智，2001，「水資源區域需水量預測模式之研究」，高雄第一科技大學環境與安全衛生工程系碩士論文。
6. 羅華強，2001，「類神經網路 MATLAB 的應用」，清蔚科技股份有限公司，新竹。
7. 俞亭超、張士喬、毛根海、吳小剛，2004，「預測城市用水量的人工神經網路模式研究」，浙江大學學報(工學版)，第 38 卷，第 9 期，1156-1161，中國大陸。
8. 陳獻，2004，「石門水庫供水以來農業用水、公共給水供給比率比較分析」，桃園大圳水資源暨營運管理學術研討會。
9. 李琳、左其亭，2005，「城市用水量預測方法及應用比較研究」，水資源與水工程學報，第 16 卷，第 3 期，6-10，中國大陸。
10. 陳昶憲、鍾侑達、方唯鈞、劉錦蕙，2005a，「結合類神經之模糊推理邏輯建置-以日流量預測模式為例」，台灣水利季刊，第 53 卷，第 3 期，41-55。
11. 陳昶憲、陳柏蒼、陳韋佑、周乃昉，2005b，「類專家系統之流量預測模式」，中國土木工程學刊，第 17 卷，第 4 期，613-621。
12. 尹學康、韓德宏，2006，「城市需水量預測」，中國建築工業出版社，中國大陸，北京。
13. 林震岩，2006，「多變量分析-SPSS 的操作與應用」，智勝文化事業有限公司，台北。
14. 經濟部水利署，2006，「水資源供需情勢統計調查方式改善與彙編 94-96 年各項用水統計報告(1/3)總報告」。
15. 台灣自來水股份有限公司，2007，「台灣省自來水事業統計年報」。
16. 台北自來水事業處，2007，「台北自來水事業統計年報」。
17. 經濟部水利署，2007，「水資源供需情勢統計調查方式改善與彙編 94-96 年各項用水統計報告(2/3)總報告」。
18. 經濟部水利署，2007，「台灣地區生活用水量之預測推估與應用」。
19. 經濟部水利署節約用水資訊網，2007，<http://www.wcis.itri.org.tw/>。

20. 行政院主計處網站，2007，<http://www.dgbas.gov.tw/mp.asp?mp=1>。
21. Lertpalangsunti, Narate, Chan, Christine W., Mason, Ralph and Paitoon Tontiwachwuthikul, 1999, "A Toolset for Construction of Hybrid Intelligent Forecasting Systems: Application for Water Demand Prediction," *Artificial Intelligence in Engineering*, 13, 21-42.
22. Mukhopadhyay, A., Akber, A. and Al-Awadi E., 2001, "Analysis of Freshwater Consumption Patterns in The Private Residences of Kuwait," *Urban Water*, 3, 53-62.
23. Liu, Junguo, Savenije, Hubert H.G. and Xu, Jianxin, 2003, "Forecast of Water Demand in Weinan City in China Using WDF-ANN Model," *Physics and Chemistry of the Earth*, 28, 219-224.

收稿日期：民國 97 年 5 月 23 日

修正日期：民國 97 年 7 月 4 日

接受日期：民國 97 年 7 月 21 日