

臺灣大安溪上、中、下游流域之降雨長期變化檢測及趨勢評估分析

Analysis for Long-Term Change Detection and Trend Assessment of Precipitation in the Upper, Middle, and Lower watershed of Da-an River, Taiwan

財團法人農業工程研究中心

國立臺北科技大學土木系

助理技師

研究員

計畫顧問

副教授

卓宇謙

陳豐文

方文村

陳世楷

Yu-Chien Cho

Feng-Wen Chen

Wen-Tsun Fang

Shih-Kai Chen

摘 要

降雨為農業生產之直接用水來源，而灌溉為因應天然降雨時空分布不均之措施，凸顯降雨對於農業生產及水資源永續運用之重要性。由於全球氣候變遷將無可避免地影響區域性降雨特性，導致對水資源經營調度形成嚴峻之挑戰，因此有必要確認降雨特性的長期變化趨勢及可能發生轉變的時間點，以作為後續水資源調適策略之參考。有鑑於此，本研究以臺灣中部大安溪流域為研究區域，選用農業委員會農田水利署臺中管理處之卓蘭、泰安、日南等3處雨量站代表大安溪上、中、下游區域之雨量測站，雨量資料使用1961~2010年(共50年)之日雨量資料，並以反距離權重法(IDW)進行內插補遺後，應用Pettitt轉折點檢定法進行同質性分析以檢視是否存在顯著轉折點，並將雨量資料以轉折點為界，分為前期及後期兩組資料，應用Mann-Kendall趨勢檢定法對全期時序資料及前後期兩組時序資料進行無母數趨勢檢定。研究結果顯示位於大安溪中游及下游測站之雨量時序資料存在顯著轉折點，但轉折點前、後之雨量時序資料趨勢並不顯著。全期雨量時序資料趨勢分析則顯示上、下游呈現上升趨勢，而中游則為下降趨勢。研究成果初步顯示大安溪流域降雨量呈現上升或下降趨勢，主因是否為降雨強度改變或是梅雨特性則有待後續研究。本研究可提供作為水利防汛或水資源調節對策方向研擬之參酌。

關鍵詞：大安溪，降雨，反距離權重法，Pettitt轉折點檢定法，Mann-Kendall趨勢檢定法

Abstract

Rainfall is a direct source of agricultural water, and irrigation is a supplement to agricultural production systems in response to the uneven spatial-temporal distribution of natural rainfall. Therefore, rainfall is a crucial factor of agricultural production and sustainable water resources utilization. Meanwhile, due to the impact of climate change on the variation of precipitation characteristics may posing a serious challenge to the management and scheduling of water resources, it is necessary to assess change detection and trend on precipitation characteristics in watersheds, as a reference for subsequent water resource adjustment strategies. In this regard, an assessment of change detection and trend on daily precipitation from 1961 to 2010 for three rainfall stations (Zhuolan, Taian, and Rinan) located in upper, middle, and lower Da-an River watershed, Taiwan have been carried out. After interpolation and supplementation for the missing data by using the inverse distance weighting method (IDW), the change point detection was conceded using Pettitt's test. If significant change point was detected, the data series was divided into two sub-series before and after the change point. Then the Mann-Kendall Test was applied to detect the nonparametric trends for the entire-period and two sub-series data. The research results show that significant change points can be found in the middle, and lower sub-regions, but there are no significant trends before and after the change points. Increasing entire-period trends exhibit in the upper and lower sub-watershed while decreasing trend is detected in middle sub-watershed. Preliminary research results show that the precipitation trend in the Da-an River watershed is under a increasing or decreasing condition, however, the main contributor for the increase in total rainfall resulting from heavy rainfall events or plum rain is still needs to be assessed in the future. This study can be provided as a reference for the development of water conservancy flood control or water resource adjustment countermeasures.

.Keywords: Da-an River, Precipitation, Inverse distance weighting method, Pettitt's test, Mann-Kendall test

一、前言

降雨為農業生產之直接用水來源，而灌溉為因應天然降雨時空分布不均之措施，凸顯降雨對於農業生產及水資源永續運用之重要性。由於全球氣候變遷將無可避免地影響區域性降雨特性，導致對水資源經營調度形成嚴峻之挑戰，因此有必要確認降雨特性的長期變化趨勢及可能發生轉變的時間點，以作為後續水資源調適策略之參考。有鑒於此，本研究蒐集臺灣中部大安溪之長期雨量資料為基礎，先以反距離權重法(IDW)進行內插補遺，再以Mann-Kendall檢定法進行趨勢分析。在進行水文因子大尺度趨勢分析時，趨勢分析代表整體變化特性，但由於全球氣候變遷的影響，造成不同時間段產生相異之水文變化趨勢，兩相異趨勢之分界處稱作轉折點(Change Point)，因此

為探討長期資料中是否具有轉折點的存在，本研究以 Pettit 轉折點檢定法做為尋找轉折點之方法，上述檢定法常使用於尋找水文因子轉折點相關之研究(Rajendran et al., 2013; Goyal, 2014; Halmova et al., 2015)。

二、文獻回顧

本研究參考相關文獻成果，謝惠紅等(2006)探討石門水庫集水區夏季雨量之時空分佈演變，採用之插值方法為反距離權重法推估石門水庫之降雨。反距離權重法之理論為根據估計點與觀測點之距離關係給予相反的權重大小，其權重大小可為一次、二次至多次不等方程式求得。對於石門水庫的灌區，陳豐文等(2019)依反距離權重法推估研究區(時為桃園農田水利會及石門農田水利會，現改制為行政院農田水利署桃園管理處及石門管理處)各工作站轄區之各月份參考作物蒸發散量，全區整體平均結果採用加權平均方式計算，加權權重係數為該工作站面積占全灌區之比例。本研究採用之 Pettit 轉折點檢定法是一種基於秩的無母數檢驗(Rank-based Nonparametric Test)，用於測試時間序列中的突然變化，其使用 Mann-Whitney 統計量來測試兩個樣本(轉折點之前和之後)是否來自同一分佈，並選擇使統計量最大化的轉折點(Pettitt, 1979)。Jaiswal et al.(2015)考慮氣候變遷對水資源可用性、灌溉需求、作物產量和其他生活領域的重要性，評估印度之賴布爾(Raipur, India)的不同氣候變量的月、季和年系列的變化檢測和趨勢評估的統計分析，Jaiswal et al. (2015)之變化檢測分析採用 Pettit 轉折點檢定法等數種檢定方法，而趨勢分析則採用無母數檢定，包括線性回歸和 Mann-Kendall 趨勢檢定法等。Salarijazi et al. (2012)分析了以伊朗西南地區的卡倫河流域(Karun River Watershed)為代表的阿瓦士水文站(Ahvaz Hydrometric Station)的年最大值、年最小值和年平均值的流量序列，使用 Pettit 轉折點檢定法檢驗確定變化點，並藉助 Mann-Kendall 趨勢檢定法進行趨勢分析。

三、材料與方法

(一).研究區域及材料

本研究選定臺灣中部地區之大安溪流域為研究範圍，選用農業委員會農田水利署臺中管理處(下稱臺中管理處)之卓蘭、泰安、日南等 3 處雨量站作為代表大安溪上、中、下游區域之雨量測站如圖 1 所示，雨量資料使用 1961~2010 年(共 50 年)之日雨量資料。

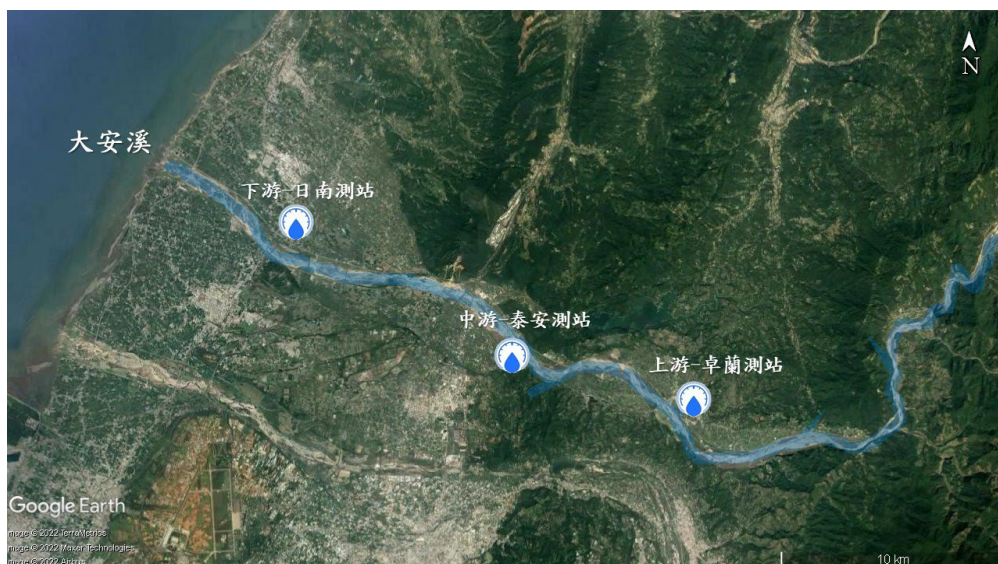


圖 1 本研究選用大安溪雨量測站分布圖

(二).研究方法

1.反距離權重法

本研究雨量資料使用臺中管理處之卓蘭、泰安、日南等 3 處雨量站 1961~2010 年 (共 50 年)之日雨量資料，並以反距離權重法(IDW, Inverse Distance Weight)進行內插補遺。反距離權重法係由一已知點數值組合來推估未知點數值的補遺方法，利用鄰近的已知點數值進行加權運算，其權重為反距離函數，因此受距離遠近影響，距離越遠則影響越小，運算公式如式(1)：

$$z(x,y)=\left[\sum_{i=1}^N w(d_i)z_i\right]/\left[\sum_{i=1}^N w(d_i)\right] \dots\dots\dots(1)$$

其中： $w(d_i)$ 為權重方程； Z_i 為第 i 個已知點之數值； d_i 為 i 點至未知點之距離。

2. Pettitt 轉折點檢定法

Pettitt 轉折點檢定法(Pettit, 1979)主要用於評估數列中存在的顯著改變點，其定義為當數列 $\{X_1, X_2, \dots, X_T\}$ 於 X_t 存在改變點時，使得 $F_1(X) = \{X_1, X_2, \dots, X_t\} \neq F_2(X) = \{X_{t+1}, X_{t+2}, \dots, X_T\}$ 。如果數列不存在改變點時， $|U_{t,T}|$ 將會持續上升不具有轉折出現；如果數列中存在改變點， $|U_{t,T}|$ 將具有下降的轉折，其運算公式如式(2)：

$$U_{t,T} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^T \text{sgn}(x_i - x_j) \dots\dots\dots(2)$$

其中： sgn 為符號函數(Sign function)。

若資料中存在改變點則 $|U_{t,T}|$ 將具有下降的轉折，而時序資料中可能出現不只一處改變點，故以 $|U_{t,T}|$ 之極大值作為判斷依據，亦即該數列之顯著轉折點 K ，其運算公式如式(3)：

$$K_T = \max |U_{t,T}|, 1 \leq t < T \dots\dots\dots(3)$$

3. Mann-Kendall 趨勢檢定法

Mann-Kendall 趨勢檢定法(Mann, 1945; Kendall, 1975)為一無母數檢定方法，係利用連續資料間的大小關係來檢定趨勢是否明顯，首先假設有一時間序列 $t_1, t_2, \dots, t_n$ ，其對應之資料序列為 $x_1, x_2, \dots, x_n$ ，Mann-Kendall 檢定統計值 S 之運算公式如式(4)：

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_i - x_j), \quad \text{sgn}(x_i - x_j) = \begin{cases} +1 & x_i - x_j > 0 \\ 0 & x_i - x_j = 0 \\ -1 & x_i - x_j < 0 \end{cases} \dots\dots\dots(4)$$

當 $n \geq 10$ 時，Mann-Kendall 檢定統計值 S 為近似常態分佈且平均值為 0，其變異數 $\text{Var}(S)$ 之運算公式如式(5)：

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \dots\dots\dots(5)$$

需計算 Z 值用以判斷時序資料之顯著性，其運算公式如式(6)：

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S < 0 \end{cases} \dots\dots\dots(6)$$

當 $|Z| > Z_{\alpha/2}$ 時，時序資料有顯著趨勢，正的 S 值表示有顯著上升的趨勢，而負的 S 值則表示有顯著下降的趨勢。 α 為顯著水準，本研究選定之顯著水準為 5 %，即 $Z_{\alpha/2} = 1.96$ ，因此若時序資料之 $|Z| > 1.96$ ，則具有顯著性趨勢，反之 $|Z| < 1.96$ 則表示不存在顯著的上升或下降趨勢。

三、結果與討論

(一).雨量資料補遺

本研究為進行大安溪上、中、下游降雨長期趨勢變化及轉折點推估，選定臺中管理處之卓蘭、泰安、日南等 3 處雨量站作為代表大安溪上、中、下游區域之雨量測站，並對 1961~2010 年(共 50 年)之日雨量資料以反距離權重法進行內插補遺，彙整為完整的日雨量及月平均雨量時序資料，其中大安溪上、中、下游之月平均雨量分布如圖 2 所示。

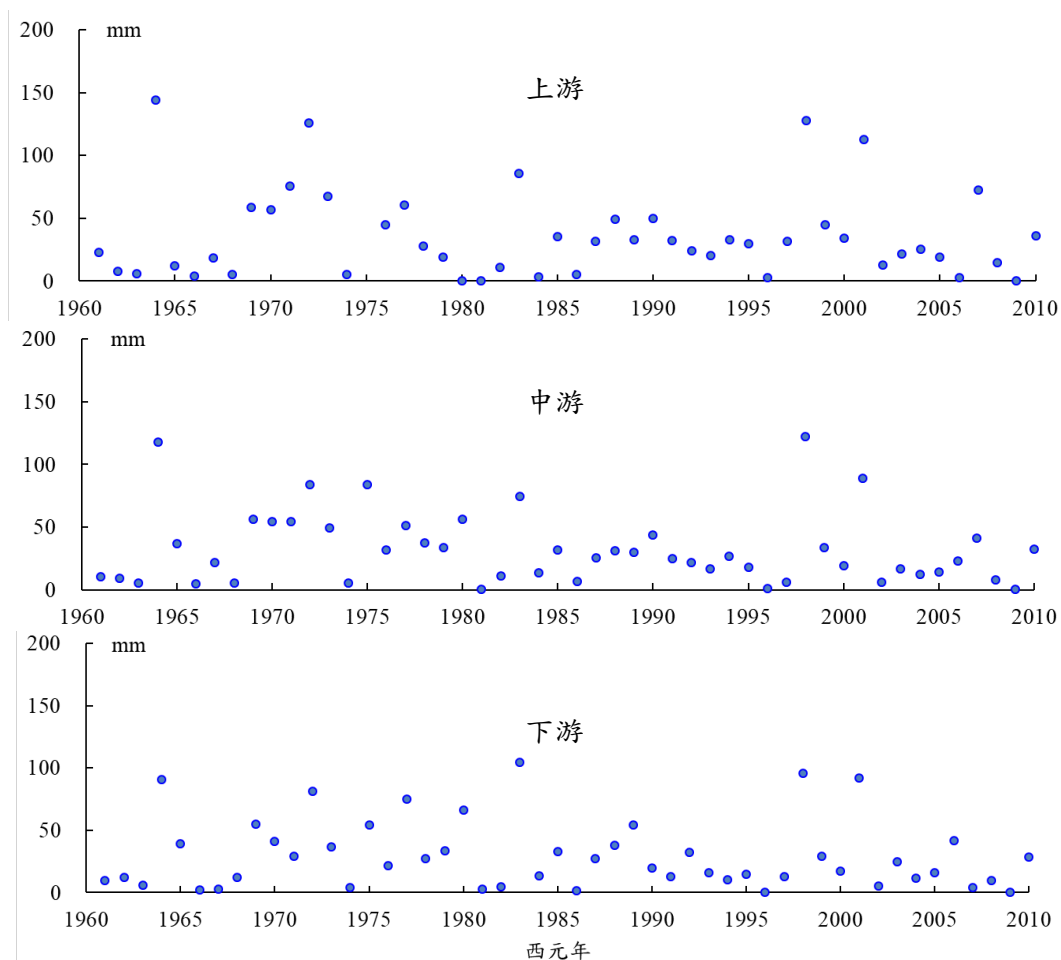


圖 2 大安溪上、中、下游 50 年月平均雨量分布圖

(二). Pettitt 轉折點檢定

本研究分別針對大安溪上、中、下游之日雨量及月平均雨量時序資料進行 Pettitt 轉折點檢定，結果如表 1 所示，結果顯示大安溪上游之日雨量時序資料及大安溪上、中、下游之月平均雨量時序資料轉折點檢定結果皆為不顯著；大安溪中游之日雨量時序資料轉折點日期為 1988/9/26；大安溪下游之日雨量時序資料轉折點日期為 1972/4/28。

表 1 Pettitt 轉折點檢定結果一覽

測站	日雨量			月平均雨量		
	K_T	p-value	轉折點	K_T	p-value	轉折點
上游	1,795,321	0.083	不顯著	4,364	1.000	不顯著
中游	1,960,848	0.045*	1988/09/26	4,426	1.000	不顯著
下游	2,780,228	0.001**	1972/04/28	5,935	0.753	不顯著

註：若 p-value < 0.05，則為顯著。

資料來源：本研究彙整。

(三). Mann-Kendall 趨勢檢定

本研究分別針對大安溪上、中、下游之日雨量及月平均雨量全期時序資料進行 Mann-Kendall 趨勢檢定，另以 Pettitt 轉折點檢定結果之轉擇點日期為界，將大安溪中游

及下游之日雨量時序資料劃分為前期及後期時序資料，再進行 Mann-Kendall 趨勢檢定，檢定結果如表 2 所示，結果顯示大安溪上游及下游之日雨量全期時序資料變化趨勢為上升；大安溪中游之日雨量全期時序資料變化趨勢為下降；大安溪上、中、下游之月平均雨量全期時序資料變化趨勢則不顯著，大安溪中游及下游之前期及後期時序資料變化趨勢皆不顯著。

表 2 Mann-Kendall 趨勢檢定結果一覽

測站	日雨量			月平均雨量		
	Z	S	趨勢	Z	S	趨勢
上游	1.963	1.256e+06	上升	0.243	1.195e+03	不顯著
中游	-2.671	-1.651e+06	下降	-0.077	-3.770e+02	不顯著
下游	4.201	2.430e+06	上升	0.377	1.850e+03	不顯著
中游-前期	-0.050	-1.313e+04	不顯著			
中游-後期	1.762	3.162e+05	不顯著			
下游-前期	0.240	1.376e+04	不顯著			
下游-後期	-0.906	-3.638e+05	不顯著			

註：若 $|Z| > 1.96$ ，則為顯著；若 $S > 0$ ，則趨勢為上升；若 $S < 0$ ，則趨勢為下降。

資料來源：本研究彙整。

四、結論與建議

1. 本研究結果顯示大安溪上、下游日雨量全期時序資料呈現上升趨勢，而中游則為下降趨勢。初步推測大安溪流域降雨量呈現上升或下降趨勢，主因是否為降雨強度改變或是梅雨特性則有待後續研究。
2. 本研究結果顯示大安溪之月平均雨量時序資料變化趨勢皆不顯著，建議後續研究可針對年降雨日數、年降雨量、一日最大降雨量、最大連續不降雨日數與年平均降雨強度等等不同的雨量時間序列做相關趨勢檢定，比較顯著性及代表性。
3. 本研究範圍為大安溪流域，建議後續研究可結合大安溪上、中、下游之流量測站資料做降雨量與大安溪流量的關聯性分析。
4. 本研究以無母數檢定方法推估水文因子長期趨勢及其轉折點，可提供作為水利防汛或水資源調節對策方向研擬及相關研究之參酌。

參考文獻

1. Goyal, M.K., "Statistical Analysis of Long Term Trends of Rainfall During 1901–2002 at Assam, India," Water Resources Management, 28:1501-1515, 2014.
2. Halmova, D., P. Pekarova, J. Olbrimek, P. Miklanek, and J. Pekar, "Precipitation Regime and Temporal Changes in the Central Danubian Lowland Region," Advances in Meteorology, Article ID 715830:1-12, 2015.

3. Jaiswal, R.K., Lohani, A.K. & Tiwari, H.L., Statistical Analysis for Change Detection and Trend Assessment in Climatological Parameters. *Environ. Process.* 2, 729–749. <https://doi.org/10.1007/s40710-015-0105-3>, 2015.
4. Kemdall, M.G., “Rank correlation methods,” Charles Griffin, London, 1975.
5. Mann, H.B., “Non-parametric test against trend,” *Econometrica*, 13:245-259, 1945.
6. Pettit, A.N., “A non-parametric approach to the change point problem,” *Journal of Applied Statistics*, 28(2):126-135, 1979.
7. Rajendran, R. and R. Kasthuri, “Inequality in ground water access among the farmers – Challenges to sustainable agriculture,” *International Journal of Current Trends in Research*, 2(1):372-377, 2013.
8. Salarijazi M, Ali Mohammad A.A., Adib A., & Daneshkhan A, Trend and change-point detection for the annual stream-flow series of the Karun River at the Ahvaz hydrometric station. *Afr. J. Agric. Reserv.* 7(32):4540–4552, 2012.
9. 陳豐文、張雅婷、譚允維，石門水庫灌區合理灌溉用水量之推估，2019 年農業工程研討會論文集，台灣農業工程學會，2019。
10. 謝惠紅、鄭士仁、李正豐，石門水庫集水區夏季雨量時空分佈演變之探討，2006 年農業工程研討會論文集，台灣農業工程學會，2006。