

氣候變遷對水資源之衝擊－雨量分析

The Impacts of Climatic Change on Water Resources — Rainfall Analysis

淡江大學水資源及環境工程研究所
教授

虞國興
Gwo-Hsing Yu

淡江大學水資源及環境工程研究所
研究助理

許書平
Shu-Ping Hsu

摘 要

本研究分別以簡單線性迴歸、無因次化方法、無母數資料分布檢定(Wald-Wolfowitz Runs Test)、時間序列模式及區域整合趨勢分析等方法，針對雨量資料之長期趨勢、分布特性、模式結構，以及梅雨和颱風季節之降雨等多項特性分別加以探討其變化，藉以了解氣候變遷對台灣地區降雨之影響。研究中共計分析全省各地資料記錄長度至少 20 年，且記錄至少達 1990 年之 346 站雨量資料。

研究結果顯示，台灣全省各區之年不降雨日數及年最長連續不降雨日數均呈現逐年增加之趨勢；同時，中部及南部地區存在明顯之乾旱季節，且此乾旱期距具逐年增加之趨勢。年降雨量部份，中、南部地區呈現逐年減少之趨勢，而北部地區則呈逐年增加趨勢。全年降雨量分布方面，普遍以二月至五月呈增加趨勢，六月至十二月呈減少趨勢之季節變遷現象，其中，北部及中部地區二月至五月之春季季節降雨量具逐年增加之趨勢；中部及南部地區六、七及十月份之夏季季節降雨量呈現並具逐年減少之趨勢。並由時間序列模式結構變化分析結果顯示，各區月雨量確實已明顯發生改變。就梅雨期而言，東部地區降雨量呈現改變並具逐年減少之趨勢。此外，歷年來侵台颱風次數呈鋸齒狀上下震動現象，其次數及所挾帶之降雨量對本省之影響均未有顯著之改變。但就颱風侵襲路徑而言，以自花東地區方向登陸侵台颱風對本省降雨量之影響呈增加趨勢，尤其以東部地區最為顯著。

關鍵詞：氣候變遷，雨量，趨勢。

ABSTRACT

This research deals with the impact of climatic changes on the rainfall of Taiwan area. It is based on the rainfall data of long-standing trend, distribution, structure, and

the rainfall characteristics of mei-yu as well as typhoon seasons. Several important methods are used as following: Simple Linear Regression Method, Nonparametric Statistical Method (Wald-Wolfowitz Runs Test), Time Series Model and Area Organized Trend Test. In this study analyzes all over Taiwan area, including the rainfall information in 346 stations that have been recorded for at least 20 years and at least to the year of 1990.

The results indicate that both yearly non-rainy days and maximum yearly continuous non-rainy days appear increasing trend in the whole Taiwan area. At the same time, the drought season lasts apparently longer in the middle and the south areas. The amount of the yearly rainfall is inclined to decrease in the middle and the south areas, but to increase in the north area. As to the distribution of yearly rainfall, it commonly appears the increasing trend from February to May, while decreasing trend from June to December. Among this, the rainfall of spring in the north and the middle areas appears the increasing trend from February to May; the rainfall of summer in the middle and the south areas appears the decreasing trend on June, July and October. The structure of Time Series Model also shows that the monthly rainfall has manifestly changed. As far as the mei-yu season is concerned, the rainfall in the east area appears decreasing trend. In addition, typhoons' invading times and the rainfall they caused have no obvious changes. As the typhoons' movement, however, the rainfall caused by the typhoons' invading from Hualung area appears increasing trend and influences the whole Taiwan area, especially the east area apparently.

Keywords: Climatic change, Rainfall, Trend.

一、前言

近年來，由於全球氣候變遷問題，在大氣、海洋、地質、地貌、生態、人文社會、經濟、政治等各方面所造成的影響，引起世界各國的重視。因此，各先進國已投入許多人力及經費做研究，聯合國並針對此問題於 1988 年成立 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)，對此問題做通盤探討。IPCC 認為氣候變遷可能之變化有：1. 溫度上升，2. 雨量變化，3. 颱風頻率及強度的增加及受災區之地點移動，4. 極端氣候事件(旱災、水災)的增加，5. 海平面的上升，6. 生態平衡的改變。以 1995 年為例，年初歐洲萊茵河出現百年大洪水、加州多年乾旱後出現大豪雨、西班牙持續 5 年大乾旱、美國 7 月熱浪造成上百人死亡、泰國 10 月底出現百年大洪水、菲律賓在 10 月底 11 月初至多十

天之內竟出現 2 次颱風侵襲多人傷亡等等。這些氣候上異常的現象是否正是氣候變遷所產生的結果，世界各國正持續關注與積極進行研究中。

有關全球氣候變遷對水資源之影響可大致分為兩方面，一為全球氣溫的研究，即是本世紀以來全球有一增溫趨勢。而這趨勢以高緯度較低緯度，冬季較夏季，來得明顯。一為全球降水的研究，指出本世紀以來，全球可能有一因氣候變化引起的降水區移動的趨勢，在北半球溫帶和極區降水增加，而熱帶地區有降水減少的趨勢，在南半球卻是不分高低緯度有降水增加之趨勢。

台灣地區平均年降雨量 2,515 公釐(約 905 億立方公尺)，約為世界各國平均年雨量 973 公釐之 2.6 倍。然而，由於台灣地狹人稠，每人每年平均可分配之雨量僅有 4,500 立方公尺，為世界平均值六分之一，是世界第十八個缺水國，顯示台灣地區水資源可用量原來並不豐富。而近幾

年來，台灣地區下雨的機會似乎越來越少，南部水庫水位亦常常降到呆水位以下。中央氣象局指出台灣地區民國 84 年屬乾早年，尤其以南部地區更為顯著，其中曾文溪上游的阿里山當年的年降雨量僅多於民國 69 年和 82 年，是近 30 年中第三乾早年，而台南為第五乾早年。民國 85 年，賀伯颱風的暴雨帶給臺灣嚴重的災情。諸如這些旱澇事件發生似乎有越來越頻繁且嚴重的現象。究竟台灣是否存在雨量的變化？而變化程度如何？是本研究亟欲探討的。

國內曾有數位學者專家諸如莊秉潔、吳明進、劉啟清、陳世煥等^[4]對溫度及雨量做一探討，其所採用方法大致可歸納為簡單線性迴歸及移動平均法針對全省少數水文站之年及月份資料進行分析。其研究發現，在溫度方面，全島平均溫度明顯上升，夏季尤其顯著；然而在雨量方面，大致上以中央山脈為分界，以東雨量變化不大，以西則以台中為界以北雨量增加，以南雨量減少。蔡清彥^[8]、陳正改^[6]及王時鼎^[1]等亦曾分別利用氣象觀點分別針對梅雨期與颱風季節等氣候特性進行研究，但並未強調長期以來變化趨勢的問題。

本研究擬針對氣候變遷因子中雨量變化的問題作更進一步的探討，以了解臺灣地區是否存在雨量的變化及其變化程度為何。由於變遷現象主要為水水量在時間上之改變，故本研究有別於國內諸學者等之分析方法除仍採用簡單線性迴歸分析外，另以無因次化分析、無母數資料分布檢定分析(Wald-Wolfowitz Runs Test)及區域整合趨勢分析等方法，並藉助時間序列模式之分析針對多項降雨量特性之變化加以探討。

二、研究方法與理論分析

(一) 簡單線性迴歸分析

為了解資料是否具有長期趨勢，本研究採用簡單線性迴歸方程式

$$Y = a + bX \dots\dots\dots(1)$$

若已知 (X_i, Y_i) ， $i=1,2,\dots,n$ ，其參數 a 與 b 可利用最小二乘法(Least Squares Method)推估，

然而， Y 是否與 X 存在關係，可藉由統計檢定探討 b 值是否為零，其假說檢定如下：

$$H_0 : b = 0 \quad (\text{不存在線性關係})$$

$$H_1 : b \neq 0 \quad (\text{存在線性關係})$$

其檢定統計量(T)可推得如下：

$$T = \frac{\hat{b}}{\sqrt{\frac{MSE}{S_{xx}}}} \sim t(n-2) \dots\dots\dots(2)$$

其中： $\hat{b}$ 為 b 之推估值

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$$

$$MSE = \frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$$

且統計量 T 屬於 t 分布具自由度 $n-2$ ，因此於顯著水準 (Significance level) 為 α 下，若 $|T| > t_{\alpha/2}(n-2)$ 時，虛無假設 H_0 不成立，即可判定 Y 與 X 存在一線性關係。反之，若 $|T| \leq t_{\alpha/2}(n-2)$ 時，即可判定 Y 與 X 不存在線性關係。

(二) 無因次化分析

若已知 Y_i ， $i = 1, 2, \dots, n$ ，其平均值為 $\bar{Y} = \sum_{i=1}^n Y_i / n$ ，則對應之無因次化資料為 $(Y_i / \bar{Y})$ ， $i=1, 2, \dots, n$ ，再以區域內各水文站之無因次化資料 $(Y_i / \bar{Y})$ 相加運算後，進行簡單線性迴歸分析。

本研究利用此法分析整個北部、中部、南部、東部及全省之長期趨勢。先將各區各站年水文資料無因次化，即

$$\hat{X}_{ik} = \frac{X_{ik}}{\sum_{k=1}^{n_i} X_{ik} / n_i} \dots\dots\dots(3)$$

其中 $\hat{X}_{ik}$ ：分析區域內第 i 站第 k 年無因次化年水文資料

X_{ik} ：分析區域內第 i 站第 k 年之年水文資料

n_i ：第 i 站年水文資料數

然後依次計算各區域之無因次化年水文資料平均值，即

$$\bar{X}_k = \frac{\sum_{i=1}^{n_k} \hat{X}_{ik}}{n_k} \dots\dots\dots(4)$$

其中 $\bar{X}_k$ ：分析區域內第 k 年之無因次化年水文資料平均值

n_k ：於第 k 年有水文資料紀錄之水文站數
最後再以簡單線性迴歸分析方法，探討整個區域之長期趨勢及其一致性變化程度為何。

(三) Wald-Wolfowitz Runs Test

Wald-Wolfowitz Runs Test^{[9][10][11]}為測試兩組獨立樣本是否來自同一分布之方法。此方法先將兩組樣本混合由小到大或由大到小排序，在此排序列上，將連續相同一組的樣本序列定為一個聯程(Run)，此聯程之大小即為連續來自同一組樣本的次數，稱之為聯程長度(Run Length)，因兩組樣本的混合排序及同組樣本在排序列上的不連續，必有多個聯程，計算此聯程的個數即為聯程數(Number of Runs)。然而，若分布之統計特性一致性越高則聯程數越大，故兩組獨立樣本是否來自同一分布，可藉由聯程數作統計檢定^{[9][10][11]}。

其檢定統計量(T)如下：

$$T = \frac{R - E(R)}{\sqrt{Var(R)}} \dots\dots\dots(5)$$

其中：

R ：聯程數

$$E(R) = \frac{2n_1n_2}{n_1 + n_2} + 1$$

$$Var(R) = \frac{2n_1n_2(2n_1n_2 - n_1 - n_2)}{(n_1 + n_2)^2(n_1 + n_2 - 1)}$$

若 n_1, n_2 均大於 10，則統計量 T 屬於常態分布。因此於顯著水準 α 下，若 $T \geq Z_{1-\alpha}$ 時，虛無假設成

立，即可判定兩組獨立樣本來自同一分布；反之，若 $T < Z_{1-\alpha}$ 時，即可判定兩組獨立樣本來自不同分布。

由於發生氣候變遷之起始時間及其逐漸產生顯著影響之時間為未知，因此，本研究將資料以某一年為分界，分別往前及往後一特定年限做此兩部份資料之分析，且分界之時間點亦逐漸延後，以探討此兩部份資料分布特性是否改變，即此兩部份資料是否來自同一分布。

(四) 部份自迴歸模式

自迴歸移動平均模式 (Autoregressive Moving Average, ARMA Model) 之定義如下：

$$\Phi(B)Z_t = \Theta(B)a_t \dots\dots\dots(6)$$

$$\text{其中 } \Phi(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p$$

$$\Theta(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q$$

B 為後移運算子， $B^k X_t = X_{t-k}$

$\{a_t\}$ 為常態分布白噪音過程 (White Noise Process)，具平均值 0 及變異數為 σ_a^2 。

部份自迴歸模式 (Subset Autoregressive Model) 為 $AR(p)$ 模式之特例，即其 p 個參數中有“部份”為零，故稱為部份自迴歸模式。例如： $SAR(1,3,12)$ 模式，如下式所示。

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \phi_3 Z_{t-3} + \phi_{12} Z_{t-12} + a_t \dots\dots(7)$$

即為 $AR(12)$ 模式：

$$\begin{aligned} Z_t = & \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + \phi_3 Z_{t-3} + \phi_4 Z_{t-4} + \\ & \phi_5 Z_{t-5} + \phi_6 Z_{t-6} + \phi_7 Z_{t-7} + \phi_8 Z_{t-8} \\ & + \phi_9 Z_{t-9} + \phi_{10} Z_{t-10} + \phi_{11} Z_{t-11} + \dots\dots\dots(8) \\ & \phi_{12} Z_{t-12} + a_t \end{aligned}$$

之一特例，其中 $\phi_2, \phi_4, \phi_5, \phi_6, \phi_7, \phi_8, \phi_9, \phi_{10}, \phi_{11}$ 皆等於零。本研究採用 Yu 及 Lin (1991)^[15] 所提方法建立部份自迴歸模式，以分析實測月雨量資料。

為判定時間序列之模式，本研究採用及

BIC 準則，其定義如下：

$$BIC = n * \ln \hat{\sigma}_a^2 + (p+q) * \ln n \dots\dots\dots (9)$$

其中 n 為資料長度， $\hat{\sigma}_a^2$ 為模式殘差變異數 σ_a^2 之推估值， $(p+q)$ 為 ARMA (p,q) 模式之參數個數和。

研究中將資料擬合各階模式，參數及模式殘差變異數之推估本研究採用動差法。資料擬合各階模式其對應最小 BIC 值之模式階數即是最適模式。

在模式結構變化分析時，依各水文站資料年限之不同分別選取一起始資料長度分析，然後以每兩年遞增資料長度，逐步分析選取模式，若其中模式選取之結果不同，則資料之模式結構已發生變化。

(五) 區域整合趨勢分析

相較於利用各水文站本身資料的特性進行單站趨勢分析，再以區域內各水文站分析結果之變化站數百分比視為各區域變化之結果，區域整合趨勢分析以整合區域內所有水文站之資料並配合年 36 旬序季節觀點，進行整體區域之趨勢分析。本分析方法係針對降雨機率及降雨量為範疇，其原理及步驟分述如下。

1. 降雨機率分析

(1) 建立分析區域內各水文站 n 年期間日雨量資料 X_{ijo} ，

其中 $i=1,2,\dots,n$ (年序)

$j=1,2,\dots,365$ (全年日期序)

(註：本方法為求各年日期序對應之一致性凡遇 2 月 29 日均不予分析)

o ：區域內水文站編號

(2) 推求各水文站 n 年期間年 365 日日期序 j 之降雨機率 Y_{jo} ，即將 n 年中年日期序 j 有降雨日數除以 n ，演算式如下：

$$X_{ijo} = \begin{cases} 1, & \text{當 } X_{ijo} \text{ 為降雨日} \\ 0, & \text{當 } X_{ijo} \text{ 為不降雨日} \end{cases}$$

$$Y_{jo} = \frac{\sum_{i=1}^n X_{ijo}}{n} \dots\dots\dots (10)$$

(3) 以每日之降雨機率依其所對應旬序 k ，將該旬內每日降雨機率加總並除以該旬之日數，視為各水文站於第 k 旬之日平均降雨機率 Z_{ko} ，

$$Z_{ko} = \frac{\sum_{j=S_k}^{E_k} Y_{jo}}{(E_k - S_k + 1)} \dots\dots\dots (11)$$

其中 $k = 1,2,\dots,36$ (全年旬序)

S_k ：第 k 旬之起始日期序

E_k ：第 k 旬之結束日期序

(4) 推求區域內 n 年期間年 36 旬對應之旬序 k ，日平均降雨機率 P_k ，

$$P_k = \frac{\sum_{o=1}^{n_A} Z_{ko}}{n_A} \dots\dots\dots (12)$$

其中 n_A ：區域內水文站站數

(5) 若將區域內資料記錄年限劃分為數個 n 年區段資料，依上述步驟可求得每一區段之年 36 旬序日平均降雨機率，並以各區段時間先後，進行其長期趨勢之研判與分析。

2. 降雨量分析

其分析方法及步驟同二-(五)節降雨機率分析，僅將上述步驟中降雨機率取代為降雨量，即可求得每一區段之年 36 旬序日平均降雨量，並以各區段時間先後，進行其長期趨勢之研判與分析。

三、本研究所使用資料

為了解氣候變遷是否對降雨量造成影響，本研究主要以一般年序性降雨資料為主要分析對象。另，豐水期為本省水資源利用重要的來源，故本研究亦針對梅雨及颱風等特定季節特性做進一步探討。

本研究所使用之資料為：

(1) 一般年序性降雨資料

全省 554 站之日雨量資料，並經資料篩選，其篩選原則為資料至少須連續達二十年以上，且其年限至少須達 1990 年。經此原則篩選後，總共計 346 站；其中北部 60 站，中部 121 站，南部 133 站，東部 32 站，其中各區雨量記錄最長、最短及站數統計表如表 1，其餘之統計特性詳見參考文獻 [7]。

(2) 特定季節資料

- a. 梅雨期資料：使用 1941 年至 1980 年共 40 年來梅雨期資料，逐年梅雨期於各區域發生時間^[6]。(註：因中央氣象局自 1980 年後即未再對外公佈，故本研究所使用資料僅至 1980 年)
- b. 颱風季節資料：使用自 1949 年至 1994 年間侵襲臺灣地區且記錄較完整之颱風資料共 210 筆^[1]，其侵台颱風主要路徑之分類圖，如圖 1 所示。

本研究所分析之資料特性分別為：

(1) 一般年序性降雨特性資料

- a. 年降雨量； b. 年不降雨日數(日降雨量 0.0 mm 以上，視為有降雨日)； c. 年最長、次長及第三長連續不降雨日數； d. 乾、

溼季降雨量(一般水文年中，以 11 月至隔年 4 月為乾季，5 月至 10 月為溼季；但因東北部地區之乾、溼季分布較特殊，此地區各站以 3 月至 8 月為乾季，9 月至隔年 2 月則為溼季)； e. 日雨量大於等於 10mm，大於等於 30mm，大於等於 60mm 之年日數； f. 月降雨量； g. 旬降雨量； h. 日降雨量。

(2) 特定季節資料

a. 梅雨季節

(a) 梅雨期降雨量；(b) 梅雨期日數；(c) 梅雨期降雨強度。

b. 颱風季節

表 1 各區最長記錄長度、最短記錄長度及站數統計表

	最長(年)	最短(年)	站數
北	98	20	60
中	68	20	121
南	98	20	133
東	94	20	32
合計			346

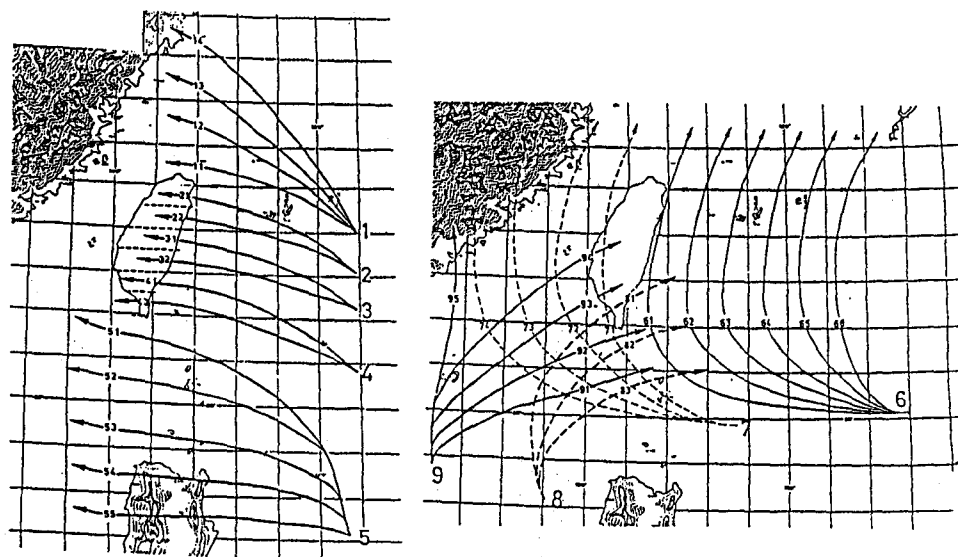


圖 1 侵台颱風主路徑及其副類之分類圖

(a)颱風逐年發生次數；(b)颱風侵襲期間降雨量；(c)颱風侵襲日數；(d)颱風侵襲期間降雨強度。

四、結果與討論

(一) 簡單線性迴歸分析

1. 一般年序性降雨資料特性分析

針對一般年序分析，其結果示於圖 2 至圖 8，圖中百分比為以各區具變化趨勢之站數與各區總站數之比例。

(1)年降雨量：由圖 2 之結果顯示，除北部有 6.7%之雨量站具逐年增加之趨勢外，中部、南部、東部皆有逐年減少之趨勢。

(2)年不降雨日數：由圖 3 之結果顯示，北、中、南及東部皆有明顯之增加趨勢。其各區域水文站呈現顯著變化之百分比均達 20%以上，南部地區更高達 46.6%之水文站呈現顯著增加之趨勢。

(3)年最長、次長及第三長連續不降雨日數分析：

除了分析年最長連續不降雨日數之長期趨勢外，亦針對年次長及第三長連續不降雨日數之趨勢進行分析，以比較三者之變化特性有否呈一致之現象。

a. 年最長連續不降雨日數分析結果，如圖 4 所示。北、中、南及東部皆有明顯之增加趨勢。

b. 年次長、年第三長連續不降雨日數、年最長與次長連續不降雨日數和以及年最長、次長與第三長連續不降雨日數總和等長期趨勢分析結果，如圖 5 及圖 6 所示。就年次長、年第三長連續不降雨日數而言，北部及東部增加或減少趨勢之站數變化比例與年最長連續不降雨日數並無明顯差異，但中、南部地區卻呈逐年減少之趨勢。

c. 北、中、南及東四區各水文站之年最長、次長及第三長連續不降雨日數平均值，如表 2 所示。中、南部地區年最長連續不降雨日數平均值明顯大於年次長與年第三

長連續不降雨日數平均。北部及東部地區三者平均值之差距並不顯著。

綜合上述結果，北部及東部兩區域無明顯之年最長連續不降雨日數，但中、南部地區則明顯存在年最長連續不降雨日數，且年最長與次長、第三長連續不降雨日數之差距呈持續擴大之現象。並由兩區域年不降雨日數持續增加之趨勢研判，中、南部地區乾旱季節將更為顯著。但研究中並未發現其早期有遷移的現象。

(4)乾季降雨量：由圖 7 之結果顯示，北、中、南部有逐年增加之趨勢，僅東部有逐年減少之趨勢。

(5)溼季降雨量：由圖 8 之結果顯示，僅中、南部有逐年減少之趨勢。中部 121 站中有 31 站（25.6%）具減少趨勢，南部 133 站有 21 站（15.8%）具減少趨勢，北部和東部無顯著變化。

(6)日雨量大於等於 10mm，大於等於 30mm，大於等於 60mm 之年日數：由圖 9 顯示大於等於 30mm 之結果，整體而言，北部有較明顯逐年增加之趨勢，而中、南及東部有較明顯逐年減少之趨勢。

(7)月降雨量：由圖 10 結果顯示，一月至五月之上半年間，除東部地區變化不顯著外，北、中及南三區域大都呈逐年增加之趨勢。而六月至十二月間，除北區八、九兩月及東區九月呈增加趨勢外，其餘地區及月份普遍呈逐年下降之趨勢。尤其以中、南部地區之六、七及十月份，月降雨量呈顯著減少之站數比例約達 20%左右。

表 2 各區年最長、次長及第三長連續不降雨日數平均值

	北部	中部	南部	東部
年最長連續不降雨日數	22.69	45.99	50.66	21.37
年次長連續不降雨日數	16.22	28.22	32.35	15.83
年第三長連續不降雨日數	13.31	21.37	24.53	12.97

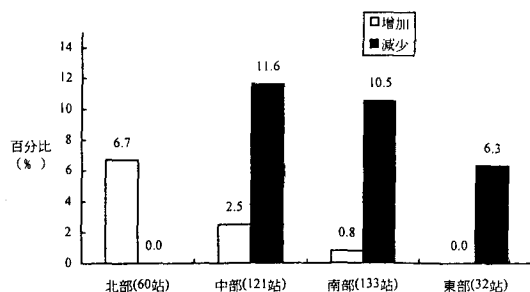


圖 2 各區長期趨勢變化百分比(年降雨量)

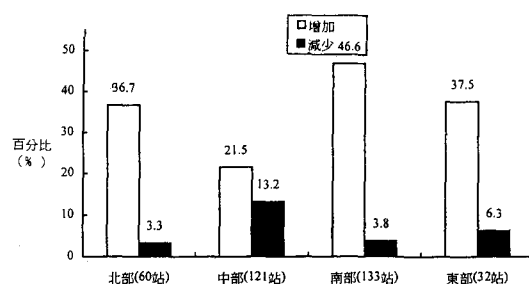


圖 3 各區長期趨勢變化百分比(年不降雨日數)

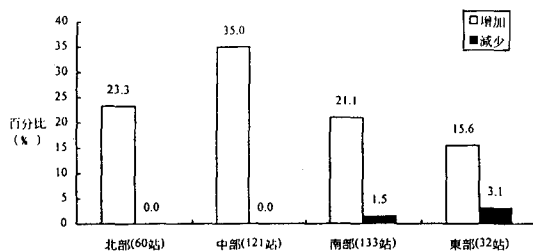


圖 4 各區長期趨勢變化百分比
(年最長連續不降雨日數)

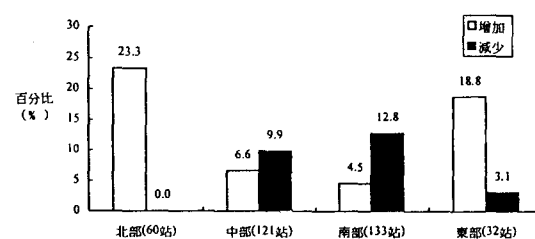


圖 5 各區長期趨勢變化百分比
(年次長連續不降雨日數)

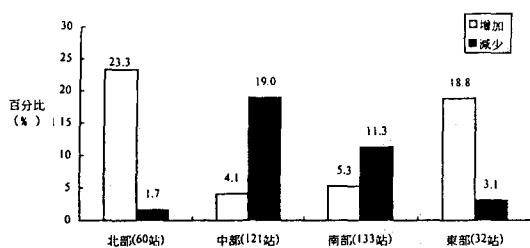


圖 6 各區長期趨勢變化百分比
(年第三長連續不降雨日數)

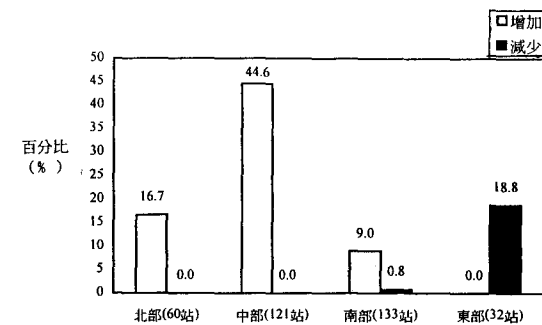


圖 7 各區長期趨勢變化百分比(乾季降雨量)

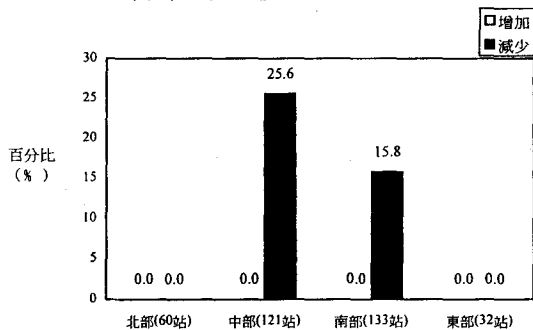


圖 8 各區長期趨勢變化百分比(溼季降雨量)

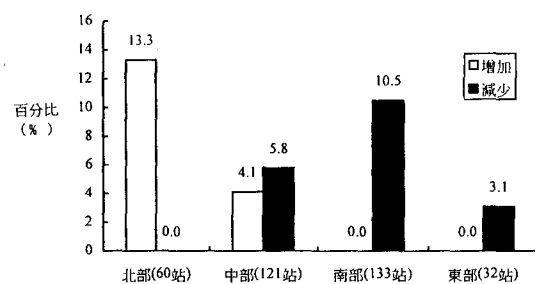


圖 9 各區長期趨勢變化百分比
(日雨量大於等於 30mm 之年日數)

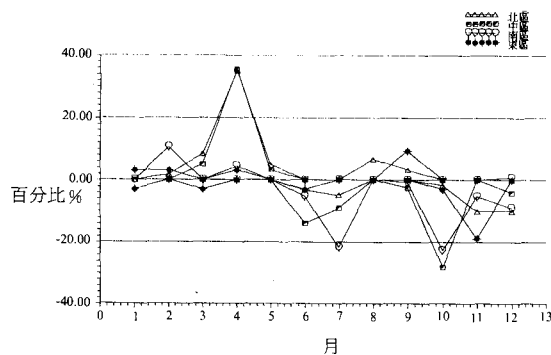


圖 10 各區長期趨勢變化百分比綜合分布圖（月降雨量）

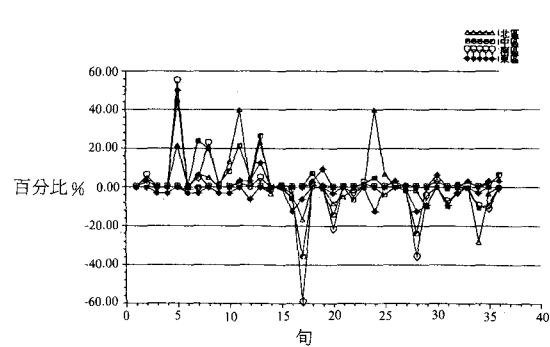


圖 11 各區長期趨勢變化百分比綜合分布圖（旬降雨量）

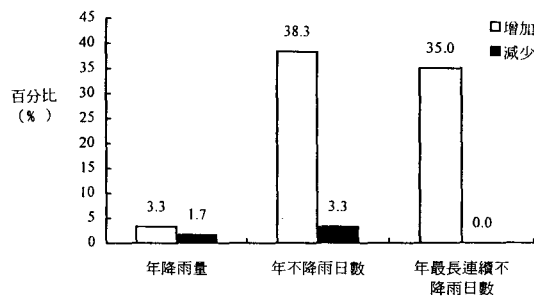


圖 12 山區（標高於 300 公尺以上）長期趨勢變化百分比

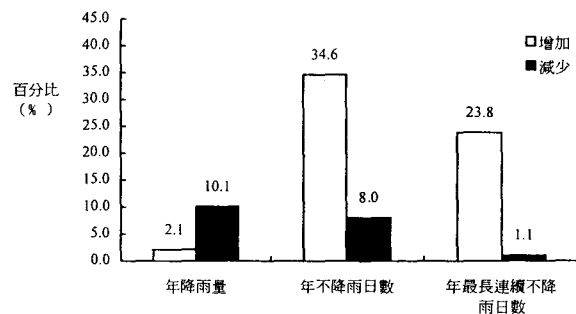


圖 13 平地（標高於 300 公尺以下）長期趨勢變化百分比

(8)旬降雨量：由圖 11 結果顯示，全省四區域於第 5 旬至第 15 旬間(即約二月至五月間)多呈逐年增加之趨勢，尤以北部及中部為明顯增加。而自第 16 旬以後(即六月至年底)，除第 24、25 兩旬北部地區為降雨量增加外，普遍呈減少現象，其中以中、南部地區第 17、20 及 28 三旬(即六、七及十月)減少比例最為顯著。

(9)山區與平地長期趨勢：由圖 12 和圖 13 之比較結果顯示，在年不降雨日數及年最長連續不降雨日數部份，同樣顯示出有較明顯逐年增加之趨勢。而在年降雨量部份，平地有較明顯之逐年減少趨勢，但其變化百分比不似年不降雨日數及年最長連續不降雨日數部份明顯。綜合上述結果顯示，山區與平地地區其各項因子變化之趨勢並

無顯著之不同。

整體而言，北部地區年降雨量呈逐年增加趨勢，中、南部地區年降雨量呈現逐年減少之趨勢。各區年不降雨日數和年最長連續不降雨日數有較明顯之增加趨勢。且因中、南部地區年最長連續不降雨日數與年次長、第三長連續不降雨日數之差距有擴大趨勢，明顯存在年最長連續不降雨日數，其乾旱季節將更為顯著。另，就月份及季節降雨特性結果顯示，除東部地區較不顯著外，二月至五月間，北、中及南三區域降雨量多呈增加趨勢，尤以北部及中部地區為顯著增加。但六月至十二月各區域降雨量普遍呈減少現象，其中以中、南部地區六、七及十月份減少最為顯著。

綜合上述結果，亦說明了中部及南部地區將因乾旱季節的增長及降雨量的減少，使其缺水

現象日益嚴重。

2. 特定季節特性分析

(1) 梅雨季節

逐年梅雨期對應於各區域整體之長期趨勢分析結果如表 3 所示。梅雨期之發生日數及降雨量於各區域均呈減少現象，其中東部地區降雨量呈顯著減少之趨勢。但就降雨強度而言，東部呈現明顯減弱趨勢，而中、南部地區則有增加現象。整體而言，以東部地區降雨呈現改變並具逐年減少之趨勢最為顯著。

(2) 颱風季節

a. 侵台颱風基本特性分析

(a) 侵台颱風次數分析

以簡單線性迴歸分析法針對逐年侵台颱風次數進行趨勢分析，其發生次數長期趨勢斜率為 -0.0115，雖呈下降現象，但未達顯著水準。顯示逐年侵台颱風次數並未發生明顯改變之趨勢。另，若再以機率觀點討論侵台颱風發生次數之年際變化關係，如表 4 所示。結果指出，侵台颱風逐年發生次數易呈上下增減交替之現象。本研究更進一步指出，當發生連續二年颱風次數增加，而於第三年減少之機率為 86%（歷年 7 次情況之 6 次符合），顯示，颱風次數在連續兩年增加後第三年下降之機會非常大。

綜上所述，侵台颱風逐年之發生次數並未

發生顯著改變但呈現鋸齒狀上下震動現象，且發生連續 3 年次數均增加或減少之機率甚低。

(b) 侵台颱風日期分布分析

依歷年來不同路徑侵台颱風之日期，路徑 1、2、3 及 4 之颱風發生日期幾乎均於 7 月至 9 月間，而 10 月份以後若發生颱風侵襲本省則多以第 5 及第 6 路徑為主。至於第 7、第 8 及第 9 路徑而言，其發生次數較少，侵襲本省之時間有平均分布於 6 至 10 月之現象。整體而言，每年夏季 7 月至 9 月間，確實為颱風侵襲本省最頻繁之季節。

b. 侵台颱風對各區域降雨特性影響趨勢分析

以簡單線性迴歸分析方法分析不同路徑之逐年逐筆侵台颱風於各區域發生日數、降雨量及降雨強度等特性有無改變之趨勢，結果如表 5 所示。就第 3 路徑歷年侵台颱風而言，對於北、中、南及東四區域之發生日數、降雨量及降雨強度均有增加現象，其中，北、南及東三區之降雨量有顯著增加趨勢且東部地區降雨強度有顯著增加趨勢。而在颱風侵襲發生日數上，則以第 3 及第 9 路徑有明顯增加之改變。此外，除第 1 及第 5 路徑外，其他路徑之侵台颱風，對於北部地區整體降雨量及降雨強度而言，均呈增加現象。

表 3 逐年梅雨期於各區域長期趨勢分析結果

分析項目	區 域	平均值	變異數	偏態係數	斜率 b 值	是否顯著
降雨量 (mm)	北	424.37	213.31	0.80	-5.083	否
	中	519.63	268.77	0.52	-2.975	否
	南	520.27	293.34	0.74	-0.373	否
	東	307.63	174.63	0.95	-6.090	是
梅雨期天數 (日)	北	34.80	11.06	-0.39	-0.124	否
	中	33.68	11.15	-0.37	-0.141	否
	南	32.50	11.64	-0.33	-0.169	否
	東	34.13	11.01	-0.32	-0.156	否
降雨強度 (mm/日)	北	12.07	5.24	1.19	-0.085	否
	中	15.61	7.22	0.85	0.004	否
	南	16.81	9.62	1.23	0.114	否
	東	8.87	4.38	0.95	-0.152	是

表 4 逐年颱風發生次數機率變化表

次一年較 該年變化機率，%		次二年較 次一年變化機率，%	
增 加	47	增 加	33
		不 變	10
		減 少	57
不 變	16	增 加	29
		不 變	43
		減 少	29
減 少	38	增 加	65
		不 變	12
		減 少	28

整體而言，歷年來侵台颱風之次數呈鋸齒狀上下震動現象並未發生顯著增加或減少之趨勢。颱風所挾帶之雨量方面，亦未有明顯之改變。但就颱風侵襲路徑而言，以第 3 路徑(約自花東地區登陸)侵台颱風對本省降雨量影響呈現增加趨勢，且其降雨強度於東部地區呈現增加並具逐年增加之趨勢。

(二) 無因次化分析

以無因次化之資料，針對北部、中部、南部、東部及全省進行區域長期趨勢變化之一致性分析，其結果如表 6 所示：

- (1)年降雨量：僅中部具顯著減少之趨勢。
- (2)年不降雨日數：北、中、南、東部甚至全省皆有逐年增加之趨勢。
- (3)年最長連續不降雨日數：北部、南部、東部及全省有逐年增加之趨勢。
- (4)乾、溼季降雨量：僅中部的溼季降雨量有減少的趨勢。
- (5)月降雨量：僅中部的七月降雨量有減少的趨勢。

綜合上述，於年不降雨日數及年最長連續不降雨日數部份，全省各區域均呈現明顯增加之變化趨勢，並與 4-1-1 節逐站分析之結果互相對應。

(三) 資料分布特性分析

各區資料分布特性改變之站數比例情形如圖 14 所示，結果顯示，各區年降雨量部份，分布特性改變之站數比例均在 80%以上，而年不降雨日數部份，分布特性改變之站數比例也均在 60%以上，但年最長連續不降雨日數部份，其分布特性改變之站數比例則均在 60%以下。並由資料分布特性改變的時間、空間分布及對應之三項因子間的關係指出，在資料分布特性的改變

表 5 不同路徑侵台颱風對各區域降雨特性長期趨勢分析結果

路 徑	侵台颱風次數	降雨量				降雨強度				日 數
		北	中	南	東	北	中	南	東	
1	23	-	-	-	-	+	-	-	-	-
2	24	+	-	-	-	+	-	-	-	-
3	24	+	+	+	+	+	+	+	+	+
4	14	+	+	-	-	+	+	-	-	+
5	51	-	+	+	-	+	+	+	-	-
6	34	+	+	-	-	+	+	-	-	-
7	13	+	+	+	+	+	+	+	-	+
8	11	+	-	-	+	+	-	-	+	+
9	16	+	-	-	+	+	-	-	+	+

註：'+' 表示於顯著水準為 0.05 時檢定結果顯著者。

+

表 6 無因次化方法各區長期趨勢檢定結果表

分析項目\地區	北 部	中 部	南 部	東 部	全 省
年降雨量	—	減少(.0314)	—	—	—
年不降雨日數	增加(.0000)	增加(.0006)	增加(.0000)	增加(.0000)	增加(.0000)
年最長連續不降雨日數	增加(.0001)	—	增加(.0001)	增加(.0014)	增加(.0000)
乾季降雨量	—	—	—	—	—
溼季降雨量	—	減少(.0211)	—	—	—
一月降雨量	—	—	—	—	—
二月降雨量	—	—	—	—	—
三月降雨量	—	—	—	—	—
四月降雨量	—	—	—	—	—
五月降雨量	—	—	—	—	—
六月降雨量	—	—	—	—	—
七月降雨量	—	減少(.0424)	—	—	—
八月降雨量	—	—	—	—	—
九月降雨量	—	—	—	—	—
十月降雨量	—	—	—	—	—
十一月降雨量	—	—	—	—	—
十二月降雨量	—	—	—	—	—
日雨量 $\geq 10\text{mm}$ 之年日數	—	—	—	—	—
日雨量 $\geq 30\text{mm}$ 之年日數	—	—	—	—	—
日雨量 $\geq 60\text{mm}$ 之年日數	—	—	—	—	—

註：1. '—' 表示於顯著水準為 0.05 時檢定結果不顯著者。

2. 括弧內為 P-value 值。

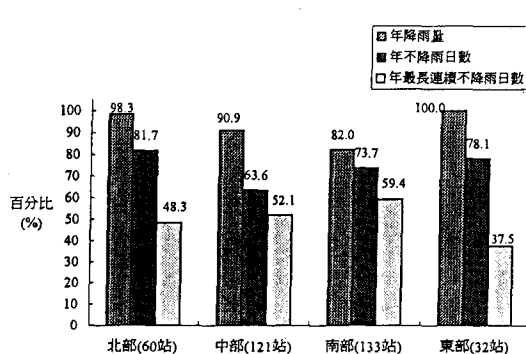


圖 14 各區資料所屬機率分布變化百分比

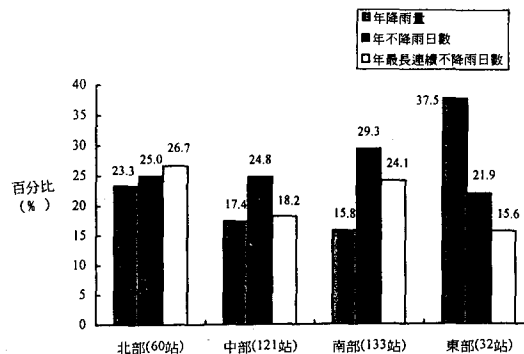


圖 15 各區 AR 模式結構變化百分比

上，年最長連續不降雨日數部份發生變化的時間顯得較晚，也顯得稍弱。相較之下，年降雨量及年不降雨日數部份則明顯改變。

(四) 模式結構變化分析

1. 自迴歸模式

各分區其資料模式結構改變站數比例情形如圖 15 所示。結果顯示，各區在上述三項分析因子中其模式結構改變之站數比例約 30% 左右。若以全省各大流域分析，除了淡水河流域模

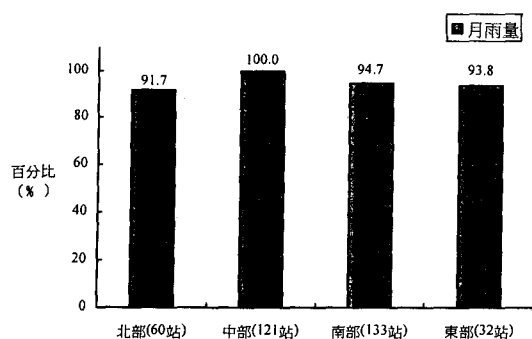


圖 16 各區 SAR 模式結構變化百分比

式結構變化較不顯著，其他如北部的南崁溪、冬山河、蘭陽溪，中部的大甲溪、濁水溪、新虎尾溪，南部的嘉南平原流域及高屏地區的高屏溪、東港溪乃至於東部的秀姑巒溪、花蓮溪及卑南溪等均有模式改變的現象。

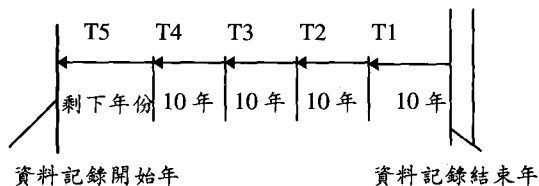
2. 部份自迴歸模式

由各區模式改變站數比例結果如圖 16 所示，其結果顯示，四區之模式結構變化站數比例均高達 90% 以上，中部地區更高達 100%。就模式結構發生變化之時間及空間之分布而言，其模式結構發生變化的年份顯示，愈往南，其開始發生變化的時間愈晚。另由北、東、南三區的最長記錄年份測站之結果分析，均在 1940 年附近有變化的情形。

(五) 區域整合趨勢分析

為探討區域整體長期趨勢於年時間軸日期序之季節變化，本研究採用區域整合趨勢分析方法針對北、中、南及東四區域年 36 旬序季節進行降雨量特性長期趨勢變化分析。

根據區域整合趨勢分析原理，於分析前，需確認分析資料樣本數，即分析資料之起訖年限。本研究以後進式資料選取方法，如下圖所示。



依此資料選取原則，本分析方法水文站資料記錄年限至少需為 50 年。經資料篩選後，各區域各水文站數分別為北區 10 站、中區 21 站、南區 37 站及東區 3 站。利用區域整合趨勢分析方法針對區域年 36 旬序季節進行降雨機率及降雨量長期趨勢分析，分述討論如下。

1. 降雨機率分析

依分析資料段選取原則，各區域各水文站均有 T1 至 T5 等五段雨量分析資料。其分析步驟如下：

- (1) 將各水文站 T1 至 T5 等五段資料分別以降雨機率分析法進行分析，可分別求出各區域整體於 T1 至 T5 段每分析段年 36 旬序季節之日平均降雨機率。
- (2) 以 T5 段年 36 旬序分析結果為基數，將 T1、T2、T3 及 T4 段分別減去所對應之 T5 段各旬序之日平均降雨機率後除以所對應之 T5 段各旬序日平均降雨機率值，即推求 T1 至 T4 段每分析段與 T5 段各旬序日平均降雨機率變化百分比。
- (3) 分別以 T1 減 T5 記為 T_{15} 分析段，T2 減 T5 為 T_{25} 分析段，以此類推，可分別求得 T_{15} 、 T_{25} 、 T_{35} 及 T_{45} 等通減去 T5 基數後四分析段結果，並圖繪如圖 17 所示。

由不同分析段各區各旬序日平均降雨機率變化百分比顯示除東部地區其年 36 旬序季節變化未有顯著變化外，北、中及南部三區域之結果如下（如圖 17 所示）：

- (1) 於 T_{45} 段及 T_{35} 段時，北、中及南三區域約自第 8 旬至第 13 旬（即 3 月中旬至 5 月上旬），其日平均降雨機率變化百分比減少幅度普遍大於第 14 旬至第 24 旬（即 5 月中旬至 8 月下旬）之降雨機率變化百分比。顯示 T3 及 T4 兩分析段較 T5 分析段其春季降雨機率減少幅度大於夏季降雨機率減少幅度。
- (2) 於 T_{25} 二分析段，北、中及南三區域約自第 8 旬至第 13 旬，其日平均降雨機率變化百分比減少幅度趨於緩和，於 T_{15} 段第 8 旬至第 13 旬其日平均降雨機率有增加現象，但於第 14 旬至第 24 旬期間其降雨機率減少

之幅度卻逐漸增大。顯示 T2 及 T1 兩分析段相較於 T5 分析段春季季節降雨機率減少幅度趨於緩和且近十年來（即 T1 分析段）春季降雨機率有逐漸增加趨勢，其夏季降雨機率相較於 T3 及 T4 乃至於 T5 分析段，卻呈現減少幅度加劇之現象。

此外，中、南部地區約第 1 旬至第 4 旬及第 28 旬至第 36 旬期間為枯水期季節，其降雨機率偏低，故於推求降雨機率變化百分比時易有較大幅度之增減現象，乃屬合理變化之範圍，且由 40 年來四分析段結果顯示，亦並未有顯著變化之趨勢。

2. 降雨量分析

本降雨量分析方法係針對區域整體長期趨勢於年時間軸降雨量季節變化進行研究探討。

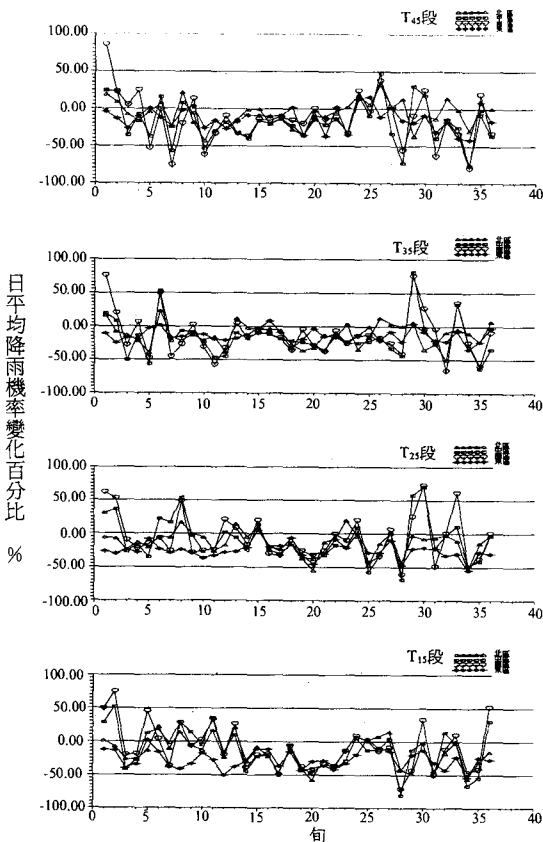


圖 17 各區域年 36 旬序日平均降雨機率變化百分比綜合分布圖

依資料選取原則，將各水文站所選取之 T1、T2、T3、T4 及 T5 等五分析資料段分別以降雨量分析方法進行分析。分析步驟略同 4-5-1 降雨機率分析方法，僅步驟(2)中，以 T5 段年 36 旬序分析結果為基數，將 T1、T2、T3 及 T4 段分別減去所對應之 T5 段各旬序之日平均降雨量後，不須再除以 T5 段之基數值，而是直接以年 36 旬序日平均雨量相減後之差距依旬次序累計加總，結果如圖 18 所示。

(1)東部地區其年 36 旬序日平均雨量累進值，T1 至 T4 段分別呈增減互見之現象而未有顯著改變之趨勢。中部及南部地區於 T15、T25、T35 及 T45 等四分析區段累進值結果，就年終最後累進值而言並無太大改變。

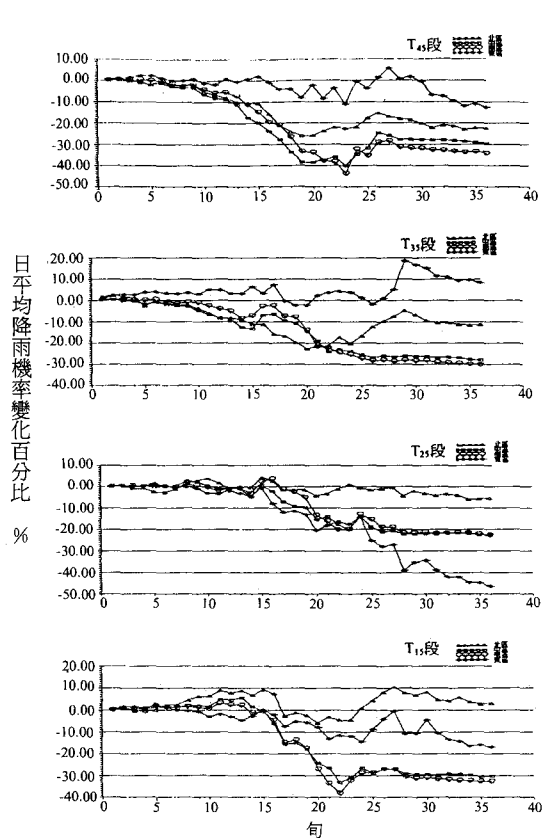


圖 18 各區域年 36 旬序日平均降雨量差距綜合累進圖

(2)中、南部地區 T_{15} 段於春季季節，其日平均降雨量呈增加趨勢，使旬序累進值於第 15 旬前呈大於零的增加趨勢，而夏季季節其日平均降雨量呈減少趨勢。故，此一春夏季節日平均雨量之增減消長變化，雖使年旬序累進值未有顯著減少之改變，但其中更可突顯中、南部地區夏季乾旱情形之愈益嚴重。

(3)北部地區夏季季節日平均雨量並未顯著減少，而春季季節日平均雨量卻呈增加趨勢。故，由四個分區段累進圖之結果顯示，北部地區年 36 旬序日平均雨量累進值四十年來已由原先-22.4mm 增加至+3.1mm，顯見北部地區降雨量有增加之趨勢。

整體而言，區域整合趨勢分析與 4-1-1 節一般降雨資料特性分析中月降雨量、旬降雨量及乾、溼季降雨量長期趨勢變化分析之結果相吻合。以降雨量及降雨機率而言，東部地區於不同分析段不同年旬序呈現互有增減之現象，且未有明顯之改變趨勢。中部及南部地區則呈現兩分析因子均於夏季呈減少而春季增加之趨勢，但年旬序降雨量差距累進值仍呈減少現象，顯示中南部地區年降雨量為減少趨勢。至於北部地區，則兩分析因子皆均於春季季節增加，而夏季季節卻未顯著減少之趨勢，且年旬序降雨量差距累進值已呈增加趨勢，顯示北部地區年降雨量呈增加趨勢。

五、結 論

(一) 結論

1. 各區之年不降雨日數及年最長連續不降雨日數均呈現改變且具逐年增加之趨勢。同時，中、南部地區年降雨量呈現改變並具逐年減少之趨勢，而北部地區年降雨量則呈增加之趨勢。
2. 中部及南部地區存在明顯之乾旱季節，且此乾旱期距具逐年增加之趨勢，且因降雨量減少，顯示此兩地區缺水現象將日益嚴重。
3. 就梅雨期而言，東部地區降雨量呈現改變

並具逐年減少之趨勢，其他地區則未有顯著之變化。

4. 侵台颱風次數及所挾帶之降雨量對本省之影響均未有顯著之改變。但就颱風侵襲路徑而言，以第三路徑(約自花東地區登陸)對本省降雨量之影響呈增加趨勢，尤其以東部地區最為顯著。

六、謝 誌

本研究承經濟部水資源局經費補助使得以順利完成，謹致謝忱。研究進行其間，承蒙鄭雅芳小姐於工作上諸多配合及協助，特此致謝。同時論文審查者所提供之寶貴意見，作者由衷感謝。

七、參考文獻

1. 王時鼎，「侵台颱風路徑、強度、結構及風雨整合研究」，行政院國家科學委員會防災科技研究報告 80-73 號，民國 81 年 8 月。
2. 吳明進，「台灣氣候變化-氣溫和降水」，大氣科學，第二十期，第四章，pp. 295-318，民國 81 年。
3. 柳中明、吳明進、王維強，「台灣地區未來氣候變遷之評估」，台灣地區氣候變遷影響討論會論文彙編，台北，民國 83 年 3 月 18-19 日。
4. 莊秉潔、吳明進、劉啟清、陳世煥等，「台灣區域性氣候變化暨 1993 年旱災之省思」。
5. 許晃雄，「從氣象觀點看台灣水資源」，水資源研討會，台灣教授協會主辦，台大，民國 83 年 6 月。
6. 陳正改，「臺灣梅雨期之降水特性及其雨量預測」，臺灣水利，第 31 卷，第 1 期，pp.38-64，民國 82 年。
7. 虞國興，「全球氣候變遷對臺灣地區水資源影響之探討」，經濟部水利司，民國 85 年 6 月。
8. 蔡清彥，「臺灣地區梅雨期雨量年際變化之分析研究」，行政院國家科學委員會防災科技研究報告 76-04 號，民國 76 年 8 月。

9. Canavos, George C., Applied Probability and Statistical Methods, Little, Brown and Company, Boston, 1984.
10. Daniel, Wayne W., Applied Nonparametric Statistics, 華泰書局, 臺北, 1979.
11. Gibbons, Jean Dickinson, Nonparametric Statistical Inference, McGraw-Hill, New York, 1971.
12. Hansen, J., and S. Lebedeff, "Global trends of measured surface air temperature", J. Geophys. Res., Vol.92, No.11, pp.13345-13372, 1987.
13. Sanga-Ngoie Kazadi and Fukuyama Kaoru, "Interannual and long-time climate variability over the Zaire River Basin during the last 30 years", J. Geophys. Res., Vol. 101, No. 16, pp. 21351-21360, 1996.
14. Sprent, P., Applied Nonparametric Statistical Methods, 2nd. edition, Chapman & Hall, London, 1993.
15. Yu, G.H. and Y.C., Lin, "A Methodology for Selecting Subset Autoregressive Time Series Models", Journal of Time Series Analysis, Vol.12, No.4, pp.363-373, 1991.

收稿日期：民國 86 年 8 月 11 日

修正日期：民國 86 年 11 月 22 日

接受日期：民國 87 年 1 月 14 日