

# 馬來西亞柔佛麻坡降雨事件時間序列分析及預測模式

## Time Series Analysis and Forecast Models for Rainfall in Muar, Johor

黃燕儀<sup>a</sup>

Yuen Yi Ng

### Abstract

This study was carried out using the APHRODITE (Asian Precipitation-Highly-Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of Water Resources)  $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$  high resolution daily rainfall grid data from 1951-2007. All data set were divided into annual, monthly, and seasonal rainfall data to analyze the long-term rainfall trend and rainfall forecast in Muar. The results showed that there was an increasing trend in annual rainfall recently. The signals of 4 year, 2-3year, and annual cycles were found in Muar rainfall cycles through Fast Fourier Transform (FFT). Based on the above mentioned data, this rainfall pattern was suggested to be contributed by the TBO (Tropospheric Biennial Oscillation) and more significantly, by the ENSO (El-Nino Southern Oscillation) events. Furthermore, the rainfall in the winter has been increasing since 1998. It implicated an intensified East Asian winter monsoon that led to an accelerated perturbation in the tropical region. According to the analyzed relationships between the rainfall variability and meteorological disaster, floods were the major concern in November and December, while drought was the prime woe in February. ARIMA time series model was used to forecast the annual rainfall in Muar. Nevertheless, it has a shortcoming of overlooking the extreme rainfall data.

**Keyword:** Fast Fourier Transform, Time series, ARIMA, Forecast

### 摘要

本研究使用 1951 年至 2007 年 APHRODITE (Asian Precipitation-Highly-Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of Water Resources)  $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$  高解析度日降雨網格資料，並將之劃分為年、月和季三組降雨資料分析馬來西亞柔佛州地區的長期降雨趨勢和季節性預測。研究

<sup>a</sup> 國立臺灣師範大學地理學系博士班研究生 (通訊作者: 899230042@ntnu.edu.tw)  
Ph.D., Graduate student, Department of Geography, National Taiwan Normal University.



結果顯示，麻坡地區的年降雨近年來有上升的趨勢，經傅立葉轉換（Fast Fourier Transform, FFT）結果顯示，此區的降雨週期訊號以 4 年、2-3 年和每年的週期循環為主，此規律循環可推測為 TBO（Tropospheric Biennial Oscillation）和 ENSO（El-Nino Southern Oscillation）事件的影響，近年來麻坡地區降雨對 ENSO 事件的訊號越趨明顯。此外，冬季降雨在 1998 年前後出現明顯的上升趨勢，推估為近年冬季季風的增強，加速了熱帶地區的大氣擾動。根據此區的降雨變率分析，冬季在 11 和 12 月的氣象災害以水災為主，而春季在 2 月則需留意高溫乾旱的天氣現象。本研究採用 ARIMA（Autoregressive Integrated Moving Average）時間序列模式進行降雨預測，預測結果顯示有忽略極端值的存在。

**關鍵詞：**傅立葉轉換、時間序列、自迴歸整合移動平均模式、預測

## 前 言

馬來西亞以農礦業立國，現今更是世界主要的熱帶栽培業輸出國，同時也是世界棕油最大生產國，而柔佛州則是馬來西亞主要的熱帶栽培業產區，因此，農業的發展在當地經濟成長的貢獻上也扮演舉足輕重的角色。氣候的變化會直接影響農業的生產，其中以氣溫和降雨是影響農業發展最主要的天氣因子。根據柯本氣候分類法，馬來西亞地處赤道多雨氣候，氣溫變率小於亞熱帶和溫帶地區，因此，降雨成爲此區農業發展的主要影響因素。然而，在全球暖化的趨勢下，根據馬來西亞氣象局（Malaysian Meteorological Department, MMD）2009 年三月至 2010 年二月的氣象月報（Monthly Weather Bulletin）指出，馬來西亞地區的氣溫亦高於長期平均值，而氣溫的變化將對降雨產生一定程度的影響。

近年來，全球氣候變遷致使世界各地的氣候出現異常天氣現象。根據吳明進（1992）研究指出，降水區有可能會因氣候的變遷而出現移動的趨勢，在北半球溫帶地區和極區降水增加，而熱帶地區則有降水減少的趨勢，在南半球卻是不分高低緯度皆有降水增加的趨勢。IPCC（2007）觀測到世界上有許多大區域的降水量都在增加，其中包括了南北美的東部、歐洲北部及亞洲北部和中部，但是在沙赫爾地帶、地中海、非洲南部和亞洲南部部分地區，則觀測到降水減少的現象。

過去百年裡，全球平均溫度上升約 0.5°C 至 0.9°C（IPCC, 2007），在全球暖化的趨勢下，將影響極端天氣事件的發生頻率和強度，而 2006 年和 2011 年的南馬大水災，影響範圍甚廣，以柔佛州地區的受災狀況最爲嚴重，造成許多人命的傷亡和財產的損失，此外亦影響到地方經濟聯繫上的停滯。因此，有效地掌握降雨的長期變化與預測未來的降雨趨勢更形迫切，做爲評估當地災害或農業發展的依據。

目前，有關馬來西亞地區的降雨變化和時空分佈的相關研究並不多，而在小尺度區域的長期降雨趨勢和預測則付之闕如。因此，本研究借由 APHRODITE（Asian Precipitation-Highly-Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of Water Resources）的網格資料，分析馬來西亞柔佛州地區的長期降雨趨勢，探討不同時間尺度的降雨特性，並以時間序列之自迴歸整合移動平均模式（Autoregressive Integrated Moving Average, ARIMA）預測柔佛地區短期的降雨趨勢。

## 文獻回顧

### (一) 馬來西亞降雨概況

馬來西亞在氣候上的環境條件相較於其它低緯度地區更為複雜，主要是因為馬來西亞國土面積不大，海域廣闊，利於海陸風的形成，加上馬來半島東－西距離不大，兩岸的海陸風系統出現相互影響，造就白天和夜晚時的大氣出現明顯的對流活動 (Nieuwolt, 1968)。此外，馬來西亞位處南亞季風和東亞季風交界之處，形成具有亞洲季風的特點，又受當地其它因素所影響而不同於前的東南亞季風 (趙爾旭等, 2006)，明顯而強勁的季風，往往對當地原有的循環系統強度產生一定的影響，而 4-5 月和 9-10 月的季風過渡期，原本受到季風系統主導的天候則轉由當地的區域對流系統控制 (Nieuwolt, 1968)。

趙爾旭等 (2006) 和 Zhou et al. (2007) 也指出，東南亞地區的夏季季風是亞洲夏季季風系統中最早的肇始點，最初在南中國海一帶爆發，隨後往西傳播到印度，向北推進至中國地區，東南亞地區夏季季風主要表現在該區低空西南氣流的盛行，並引起當地大範圍的降水。Murakami (1979) 研究表示，相較於其它熱帶地區，馬來西亞－印尼一帶在冬季 (12 月-2 月) 時，經常出現高降雨量的現象，而造就此現象的根本能量來源於冬季季風環流。

在降雨的年際變化上，Tangang 和 Juneng (2004) 研究指出，聖嬰－南方振盪現象 (El-Nino Southern Oscillation, ENSO) 和地方尺度的海－氣相互作用是影響馬來西亞降雨的主要機制。此外，在全球氣候暖化的趨勢下，ENSO 事件頻繁發生，根據郭麗娜等 (2006) 對東南亞地區的降雨變化和 ENSO 關係之研究指出，暖事件發生時，東南亞地區年降水量普遍偏少，冷事件發生時則降水偏多，主要表現在 9 月至隔年 2 月時期。根據 Tangang 和 Bahari (2002) 研究指出，一般的 ENSO 事件對沙巴、砂拉越和東海岸地區的影響較西海岸影響大，而強的 ENSO 事件 (如 1997/98 年) 所影響的範圍則涵蓋整個馬來西亞。

此外，Sooryanarayana (1995) 表示，馬來半島東岸和東馬一帶，每年在東北季風時期，歷經經常性的水患，而馬來半島東岸暴風雨發生時的累積時間，一般而言維持在 3-9 天。根據 Oki et al. (1994) 研究指出，馬來西亞地區每日強降雨的時空分布主要集中在 5 至 10 月的 1500 時分，半島東岸地區在 12 月至 2 月的冬季季風時期凌晨 (0400) 的強降雨有上升的現象，而在半島西岸地區明顯發現強降雨規律多發生在凌晨 0400 時分，主要是受到低層對流和區域環流 (海陸風) 的影響所致。降雨強度和頻率的增強及其累積時數的變化，將是水患災害的重要評量指標。而今氣候的暖化，將造成降雨強度的增強或導致高強度降雨事件更頻繁。Liu et al. (2009) 認為這是由於全球暖化，使大氣的含水量增大，加上潛熱釋放對大氣的暖化效應，導致極端降雨的增加。

### (二) 時間序列分析背景

近年來，由於全球氣候暖化所導致的極端天氣或是異常氣候的發生，對當地的經濟和環境等各層面的影響皆造成重大的衝擊。溫度上升的同時也會影響到其它氣象因子的變化，其中以水文循環的加速最為顯著，水文循環的改變，將造成降雨的明顯變化，特別是豪大雨發生頻率的提高 (姚銘輝等, 2002)。降雨所帶來的災害，一直以來都受到高度的關注，在暖化的趨勢下，降雨的改變所導致的災害將急速上升。因此，掌握降雨的長期趨勢，建立降雨的定量預報模式，做為防

災管理及未來產業發展的參考。根據 El-Fandy et al. (1994) 文中指出，在 1982 年至 1984 年的非洲旱災之後，有關降雨的研究如雨後春筍紛紛冒起，特別是對於季節性，年際或是較長尺度的降雨相關研究更受關注，並指出長期的降雨預測是做為一個國家在經濟上或是農業發展上的主要評估依據。

在降雨的預測模式上，Carter 和 Elsner (1997) 將波多黎哥 (Puerto Rico) 地區的雨量資料透過分類樹 (Classification Trees) 對降雨屬性分析後，建構一套對流雨的預測規則模式，根據模式預測降雨等級並獲得良好的預測結果，然而 Carter 和 Elsner (1997) 同時也指出如果結合其它的預測模式將會得到更顯著的預測效果。江衍銘和張斐章 (2007) 則使用回饋式類神經網路和倒傳遞類神經網路，建立五堵集水區在颱風時期的定量降雨預報模式，進而以預測的降雨值進行洪水的預測模式。Janakiraman et al. (2011) 則使用美國國家氣象局國家環境預測中心 (National Centres for Environmental Prediction, NCEP) 所建立的海氣耦合模式 (Coupled Ocean-Atmosphere Model) 對印度夏季季風的降雨進行預測，結果顯示該耦合模式對處於正極的印度洋偶極 (Indian Ocean Dipole, IOD) 時的夏季季風雨的預測存在一定的系統性誤差。

依據不同的需求和變數所建立的降雨預測模式亦相異，本研究選用 Box 和 Jenkins 於 1970 年所發展出一套以時間序列分析理論所建立的 ARIMA 預測方法。此預測模式的誤差值較小 (曾鴻陽, 1996)，並被認為是最佳的預測模式，目前已廣受各界採用，其中包括了觀光人數的預測 (張翊峰等, 2006、2008；黃宗誠, 2008；柳婉郁, 2010)、生育率的預測 (林彩梅等, 2006)、地下水水位 (蘇苗彬和陳旺志, 1996；鄭皆達等, 2003) 和洪水的預測 (陳昶憲和李姍燁, 1998)，以及海表面溫度的預測 (胡仲英, 1977；黃文揚和徐南蓉, 2005) 等各領域。

而在降雨預測上的應用，胡仲英 (1977) 以 1963 年 1 月至 1976 年 12 月的台北逐月總降雨量找出台北地區月降雨量時間序列的最佳 ARIMA 模式，並從 1974 年 1 月進行 36 個月份的逐月降水預測，將其預測結果與實際降水值比較，發現每年的降水預測均出現兩個顯著的高峰值，且與實際降水值相對符合。曾鴻陽 (1996) 以 1931 年至 1994 年梅雨季 (5、6 月) 的總降水資料，建構出最佳的 ARIMA 預測模式，作為有效掌握台灣南部地區梅雨季總降水量的年際變化趨勢，而姚紹輝等 (2002) 則以 ARIMA 時間序列模式對台中地區 1960 年至 1999 年的總降雨資料進行長期的趨勢分析。El-Fandy et al. (1994) 針對衣索比亞 (Ethiopian) 阿迪斯阿貝巴 (Addis Ababa) 地區的 1957 年至 1984 年的總降雨量建構最合適的 ARIMA 預測模式，計算平均預測誤差值 7% 和絕對誤差值 14.6%。

胡仲英 (1977) 指出，利用現有資料對未來情況進行預測的方法相當多，然而對一時間序列變化的趨勢、週期和擾動進行綜合分析和預測的方法則不多。本研究所採用的 ARIMA 模式在建模的過程中，能有效掌握原始時間序列的訊息進行分析，並建構出一組最佳的預測模式，以供未來在災害及農業發展評估之參考。

## 研究方法

### (一) 研究區簡介

馬來西亞位於赤道以北  $1^{\circ}$  至  $7^{\circ}$  之間，由南中國海區分成馬來半島 (西馬) 和婆羅洲 (東馬)

兩大部份，而位於馬來半島西部，僅相隔一條狹長的馬六甲海峽（Melacca Straits）的印尼蘇門答臘（Sumatra）島，則成為馬來半島在氣候上的一個天然屏障，此外，位於半島中部的中央山脈（Titiwangsa Mountains），則將半島劃分為西海岸和東海岸，同時也是東西兩岸的氣候分界線（圖1）。位在馬來半島南部柔佛州的麻坡縣（圖2），西臨馬六甲海峽，北接中央山脈尾端，當地產業形態以熱帶栽培業為主，而降雨的時空分佈或是降雨特性的變化將影響熱帶栽培業的產量，同時亦會為當地帶來災害。

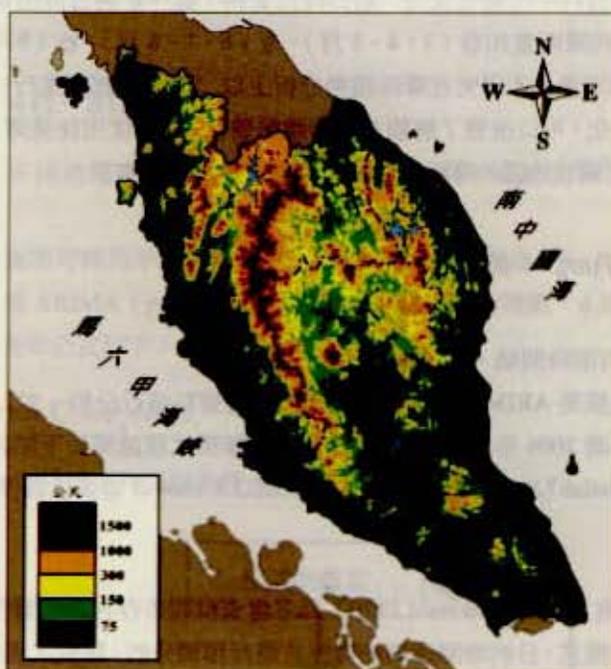


圖1 馬來半島地形圖

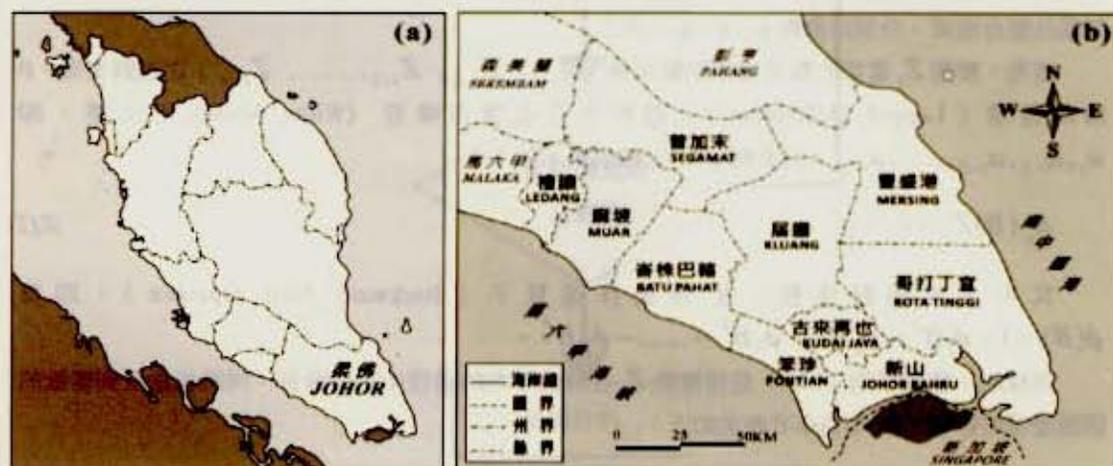


圖2 馬來西亞 (a) 馬來半島行政分區，及 (b) 柔佛州行政分區

## (二) 資料來源與研究方法

本研究之降雨資料取自日本氣象廳氣象研究所 (Meteorological Research Institute of Japan Meteorological Agency, MRI/JMA) 和綜合環境地球研究所 (Research Institute for Humanity and Nature, RIHN) 於 2006 年發展出 APHRDITE (Asian Precipitation-Highly-Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of Water Resources)  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  的高解析度網格資料，選取 1951 年至 2007 年共 56 年，以及  $1.75^\circ\text{N}$  至  $2.5^\circ\text{N}$  和  $102.5^\circ\text{E}$  至  $103.0^\circ\text{E}$  範圍的日降雨網格資料。

首先將多筆網格資料平均處理獲得一組日降雨資料，進一步將日降雨資料劃分為三個部分，即年降雨量、每月平均降雨量和春 (3、4、5 月)、夏 (6、7、8 月)、秋 (9、10、11 月)、冬 (12、1、2 月) 四季平均降雨量。本研究在降雨趨勢分析上以二次函數迴歸進行分析，此法可觀測到變數曲線趨勢的斜率變化，可以清楚了解觀測值的趨勢變化，同時使用快速傅立葉轉換 (Fast Fourier Transform, FFT) 分析麻坡地區的降雨週期頻率訊號，表示公式如下：

$$X(k) = \sum_{j=0}^{N-1} x(j)\omega_N^{jk}, \text{ 則 } \omega_N = e^{2\pi i/N} \quad \text{式(1)}$$

其中  $x(j)$  為一有限時間域，則  $j = 0, 1, 2, \dots, N-1$ 。

而在降雨預測上採用 ARIMA 時間序列模式對上述資料進行分析，並以 1951 年至 2005 年的降雨資料為基礎，預測 2006 年和 2007 年之降雨量，該模式理論將於下節詳述之。本研究所使用的傅立葉轉換係以 Matlab7.9.0 軟體，ARIMA 模式則以 EViews5 套裝軟體作為工具程式。

## (三) 模式理論

ARIMA 模式是由 Box 和 Jenkins (1970) 為考慮資料間所存在的相關性所發展出以自我迴歸移動平均的隨機過程模式，分析時間序列的特性並進行預測分析，該模式流程包括了模式的鑑定、參數的估計、模式的診斷和預測的分析四個主要步驟 (圖 3) (林茂文, 2006)。ARIMA 模式主要是由自迴歸 (Auto Regressive, AR) 差分 (Integrated, I) 和移動平均 (Moving Average, MA) 三個部分整合而成，分別以參數  $p$ 、 $d$ 、 $q$  代表之。

首先，變數  $Z_t$  當期的觀值為前期觀測值 ( $Z_{t-1}, Z_{t-2}, Z_{t-3}, \dots, Z_{t-p}$ ) 之迴歸表現， $P$  為落後項 (Lagged Differences)，過程中存在著白噪音 (White Noise) 的干擾，即  $a_t, a_{t-1}, a_{t-2}, \dots, a_{t-p}$ ，自迴歸 (AR) 模式表示如下：

$$\phi_p(B)Z_t = C + a_t \quad \text{式(2)}$$

其中  $\phi$  為迴歸係數， $B$  為後移運算子 (Backward Shift Operator)，即為  $\phi(B) = 1 - \phi_1 B^1 - \phi_2 B^2 - \phi_3 B^3 - \dots - \phi_p B^p$ 。

同樣的，移動平均 (MA) 是指變數  $Z_t$  在移動平均的過程中的白噪音，同時也會受到變數前期誤差項的影響，故式(2)亦可表示如下：

$$Z_t = C + \theta_q(B)a_t \quad \text{式(3)}$$

其中  $\theta$  為移動平均係數，則  $\theta_q(B) = (1 - \theta_1 B^1 - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q)$ ，在 MA 過程中權數之和為有限，因此移動平均的過程即為一種平穩的過程。如果一序列中同時具有 AR 和 MA 的雙重關係，則即為自迴歸移動平均模式 (ARMA)：

$$\phi_p(B)Z_t = C + \theta_q(B)a_t \quad \text{式(4)}$$

如果原序列是非平穩狀態，然卻具有某種意義上的同質性，則可對該序列進行差分，使其轉換為一平穩序列，則這模式即為自迴歸整合移動平均模式 (ARIMA)。其中差分運算子 (Difference Operator,  $\nabla$ ) 方程式為：

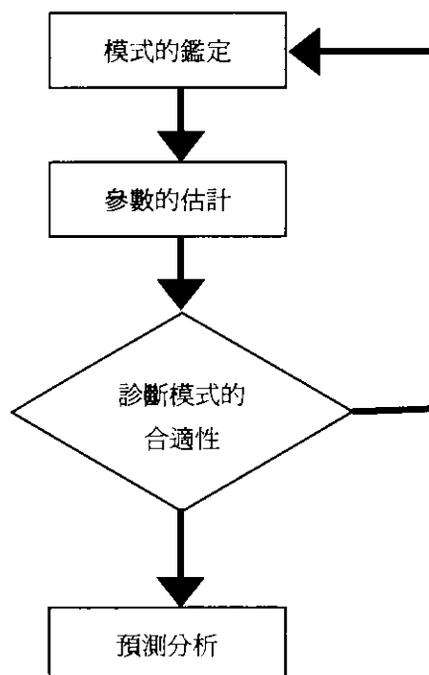
$$\nabla Z_t = Z_t - Z_{t-1} = (1 - B)Z_t \quad \text{式(5)}$$

則  $\nabla = 1 - B$ ，故不同的階數之差分可以表示如  $\nabla^2 = (1 - B)^2$ ， $\nabla^3 = (1 - B)^3$ ，……， $\nabla^d = (1 - B)^d$ 。

若一序列進行差分後即可轉為平穩狀態，則 ARMA 模式即為經過 (p、d、q) 階數的自迴歸整合移動平均模式，即為 ARIMA (p、d、q)，p 代表自迴歸過程的階數，d 為差分次數，q 則為移動平均過程的階數。表示公式如下：

$$\phi_p(B)\nabla^d(Z_t - \mu) = C + \theta_q(B)a_t \quad \text{式(6)}$$

ARIMA 模式的建立可分為下列四個步驟：



■ 3 模式建立與預測之流程 ■ (蘇苗彬和陳旺志，1996)

在模式的鑑定上，首先必需先確定該序列資料為一穩態的序列，此可藉由自我相關函數（Autocorrelation Function, AC）和偏自我相關函數（Partial Autocorrelation Function, PAC）的消滅做為判斷該序列的平穩狀態。而在統計上則可使用單根檢定做為判斷該序列的平穩狀態。若該序列為一非穩態序列則需進行差分計算，直至該序列轉為平穩狀態，而該差分次數即為  $d$  值。確定模式中的  $d$  值後，再以 AC 和 PAC 為判斷準則，尋找最合適的  $p$  值和  $q$  值。

對於 ARIMA 模式參數的估計，一般可用最小平方法（Least Square Method）進行推估最佳的參數估計值，或以最大概似法（Maximum Likelihood Method）推估模式中的參數值。當模式參數獲得最佳估計值後，需進一步檢測該誤差項是否最合適模式，此檢定可以對 ARIMA 模式進行殘差檢定，計算誤差項的自我相關值，如果該自我相關係數均值為零，並相互獨立，則該模式之時間序列即可進行未來的預測分析，如果檢測結果依然存有序列相關，則需重新鑑定該模式。經過上述的診斷和檢定後之最佳模式，則可以此模式進行預測分析。

## 結果與分析

### （一）長期趨勢分析

依據線性趨勢斜率每年此區降雨減少約 1.9mm，但是線性趨勢無法了解趨勢的變化，故而本研究根據二次函數分析，麻坡地區在 1951 年至 2007 年的年降雨變化趨勢（圖 4）顯示，麻坡地區在 1965 年至 1998 年年降雨低於該序列之平均值，而近年來的年降雨量則有上升的趨勢，此一趨勢達統計上的顯著性（ $P=0.0779$ ）。其中此區最高年降雨量出現在 1995 年，而年降雨的最低峰值則出現在 1974 年。

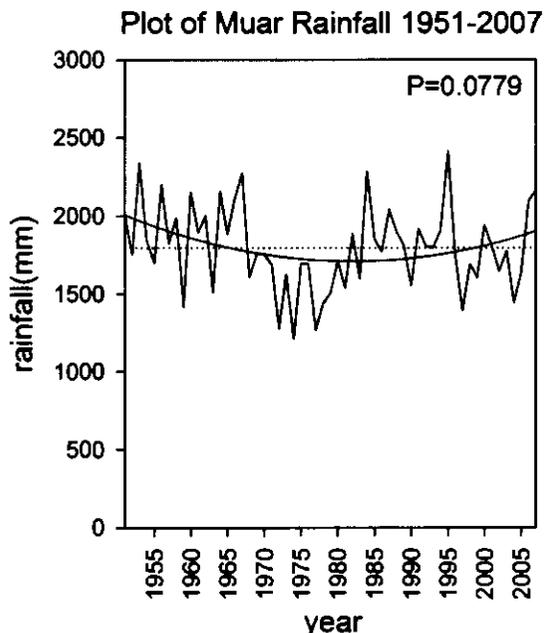
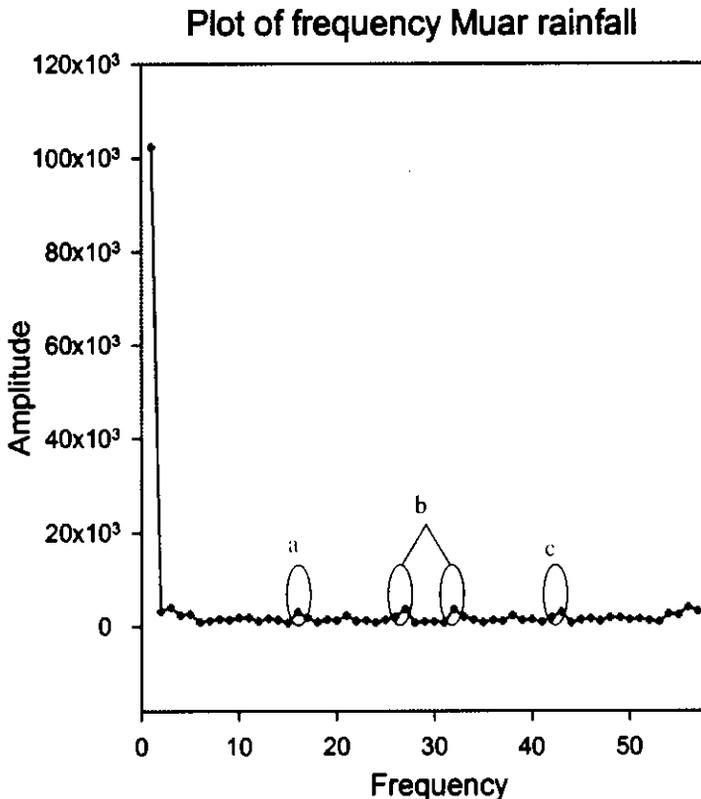


圖 4 麻坡地區 1951-2007 年年際降雨趨勢，其中虛線為 56 年降雨平均值，實線為降雨之迴歸趨勢， $P$  為統計顯著檢定，若  $P < 0.1$  達統計顯著， $P > 0.1$  則不具其顯著性

進一步經傅立葉轉換後麻坡地區的降雨週期頻率分析(圖5),分析結果顯示麻坡地區的降雨週期訊號以 a、b 和 c 三個成份較明顯, a 成份的降雨週期變化約每 4 年一個循環, b 成份降雨週期變化約 2-3 年, c 成份則為每年的週期循環。比對圖 4 的降雨趨勢,在年際變化上每隔兩年會有一個規律的變化。根據 Tangang 和 Bahari (2002) 針對哥打京那峇魯 (Kota Kinabalu, 沙巴州)、美里 (Miri, 砂拉越州)、關丹 (Kuantan, 彭亨州) 和吉隆坡 (Kuala Lumpur) 四個氣象測站在 1951-2000 年進行降雨距平分析結果指出,馬來西亞在過去五十年的降雨變化主要受到為期 3-7 年低頻的振盪和 1.5-2.5 雙年振盪的影響。所以,針對此一規律的年際變化,推估極有可能是受到熱帶地區準雙年振盪 (Tropospheric Biennial Oscillation, TBO) 的影響。此外,根據圖 6 麻坡地區 1951-2007 年降雨距平圖分析降雨的年際循環,平均每隔 4 至 7 年麻坡地區的降雨歷經一個明顯的循環,主要的降雨低峰值出現在 1959、1963、1972、1974、1977、1990、1997 和 2005;而降雨高蜂值則出現在 1953、1967、1984 和 1995,此一循環與 ENSO 發生的時間大致吻合,比對至圖 7 大溪地—達爾文海表面大氣壓力距平圖,在 1982/83、1991-1994 和 1997-1998 為明顯的聖嬰現象,而 1955、1988-1989 和 1996 則為反聖嬰年,聖嬰年時,赤道太平洋西岸地區則雨水明顯減少;反聖嬰年則反之。依據此圖顯示結果,可以推測麻坡早期的年際降雨變化,除了 ENSO 事件外,熱帶地區的其他振盪的訊號也相對顯著,然而近年的降雨年際變化對 ENSO 事件的訊號越趨明顯,此一現象或有可能和近年的全球暖化事件有關。



■ 5 傅立葉轉換後麻坡地區的降雨週期頻率分析

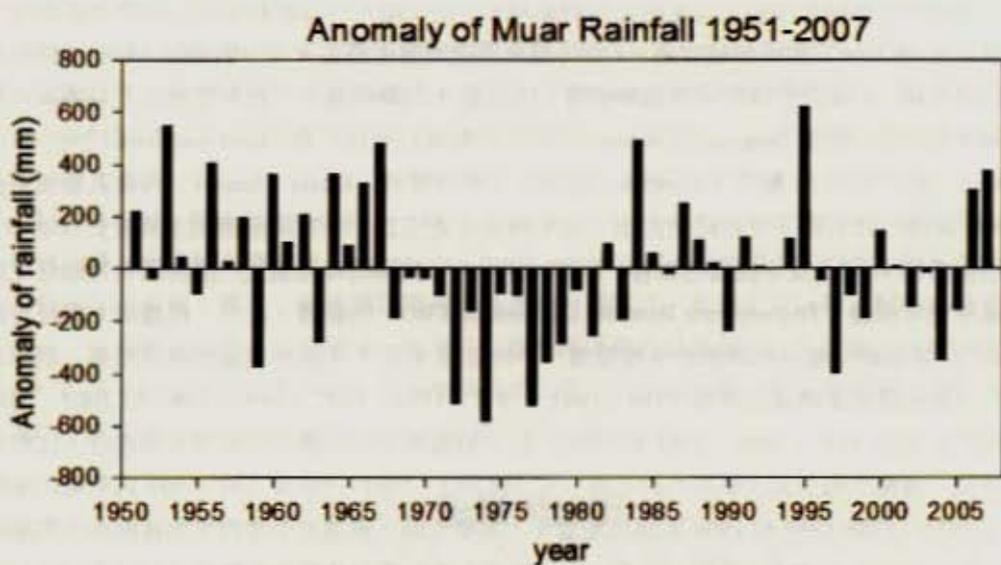


圖 6 麻坡地區 1951-2007 年降雨距平圖

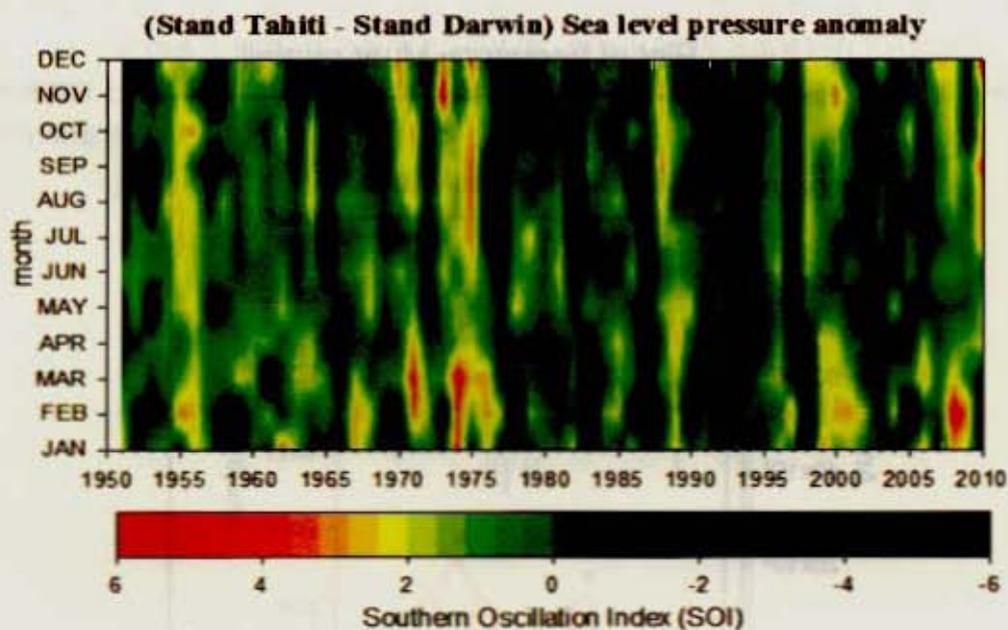


圖 7 大溪地 - 達爾文海表面大氣壓力距平

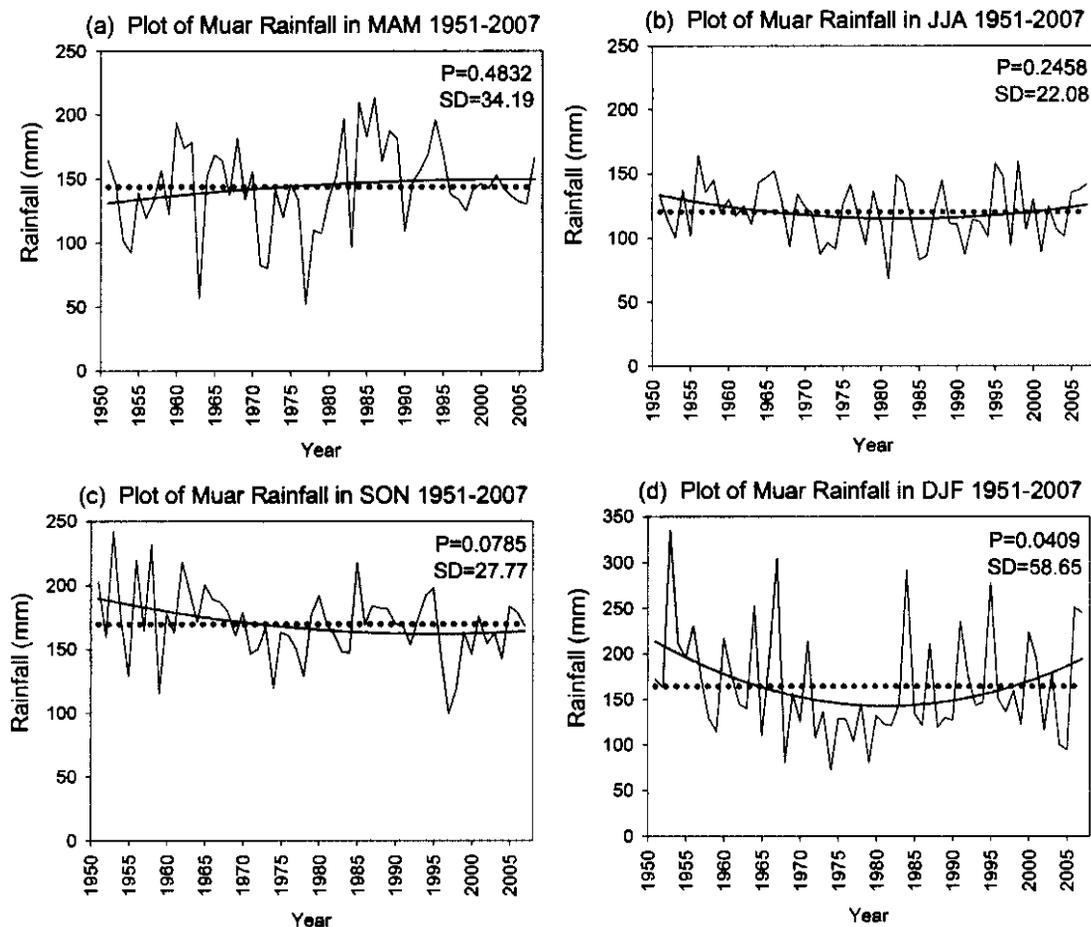


圖 8 麻坡地區 1951-2007 年(a)春季 (MAM)、(b)夏季(JJA)、(c)秋季(SON)和(d)冬季(DJF)平均降雨趨勢與標準差，其中 SD (Standard Deviation)為該季標準差，實線為該季節之迴歸趨勢，虛線為該季節之平均值，P 為統計顯著檢定，若  $P < 0.1$  達統計顯著， $P > 0.1$  則不具其顯著性

進一步分析麻坡地區 56 年平均的降雨季節變化，根據圖 8 二次函數迴歸顯示，各季節的降雨趨勢顯示，麻坡地區秋季（圖 8c）的降雨量在 1970 年後呈下降趨勢（ $P=0.0785$ ），然而近年來則有持平的傾向；而冬季降雨在 1998 年前後出現明顯的上升趨勢，而此一上升趨勢達統計上的顯著性（ $P=0.0409$ ）。依各季標準差統計結果，冬季（圖 8d）的降雨量變率最大（ $SD=58.65$ ），春季（圖 8a）次之（ $SD=34.19$ ），降雨量變率越大表示災害發生的風險越高，故而冬、春兩季為麻坡地區在防治降雨災害的首要季節。此外，在夏季時分（圖 8b），降雨的整體趨勢較為平穩且變率小。

根據圖 9 麻坡地區 1951 年至 2007 年的平均月降雨量圖顯示，麻坡地區的降雨主要集中在 11 和 12 月，而 2 月的平均降雨量則為一年當中的最低值，推估此期恰好處在冬季季風轉為夏季西南季風的過渡時期，將此結果配合各季標準差的統計結果，表示了該地 11 和 12 月的氣象災害以水災為主，而 2 月則需留意高溫乾旱的天氣現象。此外，按照月降雨量的分佈，麻坡地區一年當中

的降雨出現兩個波峰值，即以 11 月和 12 月為主的秋冬時分，其次則以 3、4、5 月的春季降雨，根據 Nieuwolt (1968) 研究指出，此時期位處於冬季季風和夏季季風的過渡時期，這時的降雨主要受控於地方的天氣系統。從每月降雨量的分佈結果得知，麻坡地區的降雨來源以冬季季風所帶來的雨水為主。

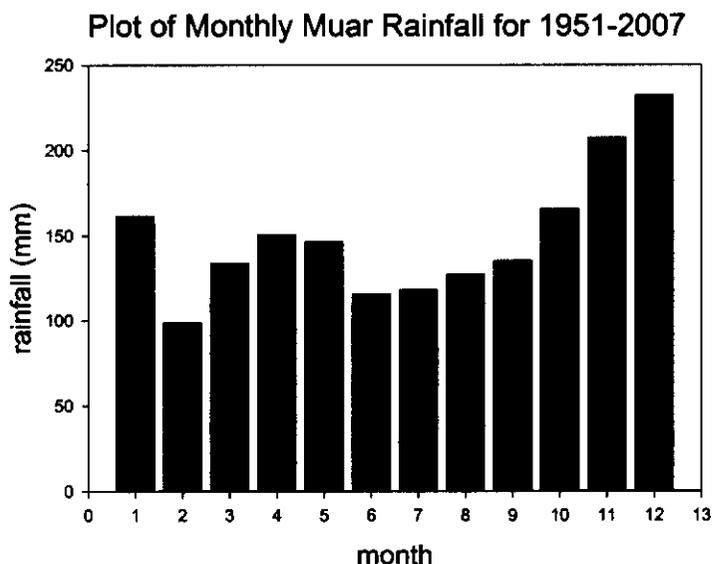


圖 9 麻坡地區 1951-2007 年平均每月降雨

## (二) ARIMA 預測模式建模與分析

依據 1951 年至 2007 年的降雨資料，進一步以 ARIMA 模式對該降雨序列進行預測。首先根據圖 4 的降雨趨勢初步判斷並無明顯的趨勢走向，故可初步識別為一穩態序列，但是此判斷需再做進一步的檢定明確判別，因此針對該序列之穩態性進行單根檢定（圖 10），檢驗結果 ADF (Augmented Dickey-Fuller) 檢定小於 CV (Critical Values) 1% 的顯著水平，且其趨勢項大於 0.05 的統計顯著，故可判定該序列為一穩態序列，無需對該序列進行差分運算。確定 d 值後，進一步判斷自迴歸 (AR, p) 和移動平均 (MA, q) 的階數，根據圖 11 所列出降雨序列的 AC 和 PAC 函數都落入置信區間，且 AC 和 PAC 皆為拖尾，在第四期後 AC 和 PAC 係數近於零，初步判斷 p 值為 4，q 值為 4，然而此判斷無法明確推估該模式是否為最佳 ARIMA 模式，因此需對每一可能組合進行試測，以 AIC (Akaike Info Criterion) 和 SBC (Schwarz Criterion) 準則作為判斷最佳模式，依據試測結果如表 1 所示，選取最小 AIC 和 SBC 的測試值，即可判定為最佳模式，本研究試測結果最佳模式組合為 ARIMA (3, 0, 4) 模式。

## Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test on RAINFALL

Null Hypothesis: RAINFALL has a unit root  
 Exogenous: Constant, Linear Trend  
 Lag Length: 0 (Fixed)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-6.240906	0.0000
Test critical values: 1% level	-4.130526	
5% level	-3.492149	
10% level	-3.174802	

\*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

## Augmented Dickey-Fuller Test Equation

Dependent Variable: D(RAINFALL)

Method: Least Squares

Date: 04/24/11 Time: 02:36

Sample (adjusted): 1952 2007

Included observations: 56 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
RAINFALL(-1)	-0.867411	0.138988	-6.240906	0.0000
C	1587.473	269.6816	5.886470	0.0000
@TREND(1951)	-1.187131	2.307774	-0.514405	0.6091
R-squared	0.425172	Mean dependent var	2.740804	
Adjusted R-squared	0.403481	S.D. dependent var	356.6444	
S.E. of regression	275.4531	Akaike info criterion	14.12679	
Sum squared resid	4021342.	Schwarz criterion	14.23530	
Log likelihood	-392.5502	F-statistic	19.60078	
Durbin-Watson stat	2.003919	Prob(F-statistic)	0.000000	

## ■ 10 麻坡地區 1951-2007 年年降雨量單根檢定結果

## Correlogram of RAINFALL

Date: 04/24/11 Time: 02:22

Sample: 1951 2007

Included observations: 57

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.113	0.113	0.7653	0.382
		2	0.248	0.238	4.5110	0.105
		3	0.124	0.082	5.4716	0.140
		4	0.203	0.139	8.0928	0.088
		5	0.088	0.020	8.5911	0.127
		6	-0.001	-0.100	8.5912	0.198
		7	0.034	-0.016	8.6687	0.277
		8	-0.092	-0.123	9.2521	0.321
		9	0.115	0.129	10.173	0.337
		10	-0.237	-0.220	14.182	0.165
		11	0.091	0.124	14.783	0.193
		12	-0.252	-0.213	19.530	0.077
		13	-0.034	-0.003	19.621	0.105
		14	-0.087	0.028	20.218	0.123
		15	-0.061	-0.008	20.515	0.153
		16	-0.105	-0.054	21.418	0.163
		17	-0.062	0.036	21.737	0.195
		18	-0.010	-0.049	21.746	0.243
		19	-0.123	-0.015	23.083	0.234
		20	0.045	-0.026	23.266	0.276
		21	-0.218	-0.112	27.713	0.148
		22	0.002	-0.070	27.713	0.185
		23	-0.094	0.024	28.588	0.194
		24	-0.057	-0.085	28.921	0.223

## ■ 11 降雨序列 AC 和 PAC ■

表 1 ARIMA (p, d, q) 試測結果

ARIMA (p, d, q)	AIC	SBC	R <sup>2</sup>
(1, 0, 1)	14.0812	14.1897	0.0687
(1, 0, 2)	14.1077	14.2162	0.0437
(1, 0, 3)	14.1289	14.2374	0.0232
(1, 0, 4)	14.0844	14.1929	0.0657
(2, 0, 1)	14.1064	14.2159	0.0634
(3, 0, 1)	14.0941	14.2046	0.0211
(4, 0, 1)	14.0858	14.1973	0.0484
(2, 0, 2)	14.0947	14.2042	0.0743
(2, 0, 3)	14.1205	14.2300	0.0501
(2, 0, 4)	14.0961	14.1684	0.0203
(3, 0, 4)	14.0485	14.1590	0.0648
(4, 0, 4)	14.0635	14.1750	0.0694
(3, 0, 2)	14.0750	14.1855	0.0397
(3, 0, 3)	14.0862	14.1967	0.0288
(4, 0, 2)	14.0644	14.1760	0.0686
(4, 0, 3)	14.0968	14.2083	0.0379

依據最佳 ARIMA (3, 0, 4) 模式進行 1954 年至 2010 年麻坡地區的降雨預測，可初步預測麻坡地區在 2008 年至 2010 年的降雨是上升的。進一步以平均絕對誤差 (Mean Absolute Percent Error, MAPE)、泰勒不等係數 (Theil Inequality Coefficient) 和協方差比 (Covariance Proportion) 推估此預測模式的績效，依據此預測評價 (Forecast Evaluation) MAPE 為 11.88，而泰勒不等係數為 0.07，協方差比為 0.44，此預測結果在極端值的預測上趨近平均值，即低估極端高值；高估極端低值。

## 結 論

近年來，全球氣候變遷導致世界各地出現異常天氣現象。2006 年和 2011 年的南馬大水災，造成許多人命的傷亡和財產的損失，此外亦影響到地方經濟聯繫上的停滯。因此，有效地掌握降雨的長期變化與預測未來的降雨趨勢，是評估當地災害或農業發展所不可或缺的資訊。本研究之降雨資料取自 APHRODITE 0.25° X 0.25° 高解析度網格資料，並選取 1951 年至 2007 年共 56 年，1.75°N 至 2.5°N 和 102.5°E 至 103.0°E 範圍的日降雨網格資料，同時將之劃分為年、月和季三組降雨資料分析馬來西亞柔佛州地區的長期降雨趨勢和不同時間尺度的降雨特性。

根據麻坡地區年降雨的長期趨勢變化顯示，此區在 1965 年至 1998 年年降雨低於平均值，而近年來則有上升的趨勢，此區最高年降雨量出現在 1995 年，而年降雨的最低峰值則出現在 1974 年。依傅立葉轉換週期頻率分析結果顯示，麻坡地區的降雨週期訊號以 4 年、2-3 年和每年的週期循環明顯。比對至降雨趨勢圖在年際變化上，主要出現 2 年和 4-7 年的循環變動，此週期的循環變動亦可從 ARIMA 最佳模式組合為 (3, 0, 4) 中加強本研究結果之論證，此規律地循環可推測為 TBO 和 ENSO 事件的影響，然而近年的降雨年際變化對 ENSO 事件的訊號越趨明顯，此一現象或有可能和近年的全球暖化事件有關。

依據麻坡地區的降雨季節變化結果顯示，麻坡地區秋季的降雨量在 1970 年後呈下降趨勢，然

而近年來則有持平的傾向；冬季降雨在 1998 年前後出現明顯的上升趨勢。冬季降雨量變率為四季之首，春季次之，這表示冬、春兩季為麻坡地區在防治降雨災害的首要季節。此外，此區的降雨量主要集中在 11 和 12 月，而 2 月的平均降雨量則為一年當中的最低值，意指此區在 11 和 12 月的氣象災害以水災為主，而 2 月則需留意高溫乾旱的天氣現象。

在降雨量預測的部分，本研究採用 ARIMA 時間序列模式以 1951 年至 2005 年的降雨資料為基礎，對 2006 年和 2007 年之降雨量進行預測，根據 AIC 和 SBC 準測得出最佳模式組合為 ARIMA (3, 0, 4) 模式，然而依據此模式的預測結果對於極端值的預測趨近於平均值，即低估極端高值；高估極端低值。

本研究受限於資料獲得和豐度的關係，僅就目前收集到的資料進行趨勢的分析推估，然而，在熱帶地區的擾動除了 TBO 和 ENSO 外，還受到大尺度環流，如 Hadley 環流等和地方性的對流系統，如海陸風等多重尺度的擾動所影響。此外，由於所使用的降雨資料取自於網格的平均值，故而導致資料會有低估實際值的現象，且亦無法有效評估降雨的空間分佈。

## 謝 辭

感謝日本氣象廳提供之 APHRODITE 降雨資料，廖學誠教授之指導與建議，郭碩元同學的協助和兩位審查者給予的寶貴建議，讓本研究順利完成。

## 參考文獻

- 江衍銘和張斐章(2007):〈以類神經網路建構定量降雨及多階段洪水預報模式〉,《臺灣水利》,55(2): 25-33。
- 林茂文(2006):《時間數列分析與預測：管理與財經之應用》。台北市：華泰。
- 林彩梅、賴素鈴和鄧旭茹(2006):〈我國生育率預測方法之探討－趨勢、解構及 ARIMA 模式比較〉,《臺北科技大學學報》, 39(1): 251-262。
- 吳明進(1992):〈台灣的氣候變化——氣溫和降水〉,《大氣科學》, 20(4): 295-317。
- 胡仲英(1977):〈應用 ARIMA 模式對臺北市月平均溫度與總降水量的分析與預測〉,《氣象學報》, 23(3): 15-26。
- 姚銘輝、盧虎生、朱鈞和蔡金川(2002):〈台中地區 1960-1999 年間之溫度及降雨分析〉,《中華農業研究》, 51(2): 66-78。
- 陳和憲和李姍燁(1998):〈洪流之多變量時序分析〉,《中華水土保持學報》, 29(3): 199-209。
- 柳婉郁(2010):〈我國國家級風景特定區觀光遊憩人次預測模式之研究〉,《國家公園學報》, 20(2): 53-68。
- 張翊峰、余元傑、張家鳳、李沛鈴和劉柱均(2006):〈台灣地區溫泉旅遊之生態承載量分析—以關子嶺風景區為例〉,《嘉南學報》, 32: 98-110。
- 張翊峰、張淑美、張家鳳、林建廷和余元傑(2008):〈台灣地區溫泉旅遊之生態承載量分析—以高雄縣寶來、不老溫泉區為例〉,《嘉南學報》, 34: 319-330。

- 郭麗娜、施能、朱興明和張立波 (2006) : 〈東南亞地區年際降水變化及其與 ENSO 的關係〉, 《南京氣象學院學報》, 29(1): 88-93。
- 黃文揚和徐南蓉 (2005) : 〈以全球海水表面溫度預測台灣附近之夏季降雨量〉, 《中國統計學報》, 43(4): 371-386。
- 黃宗誠 (2008) : 〈台南市歷史文化財遊客人數時間序列分析—ARIMA 模式之建構與實證〉, 《公共事務評論》, 9(2): 115-139。
- 曾鴻陽 (1996) : 〈應用時間序列 ARIMA 模式預測台灣南部地區梅雨季降水總量〉, 《華岡理科學報》, 13: 169-180。
- 趙爾旭、呂俊梅和璩建華 (2006) : 〈東南亞地區夏季爆發對雲南雨季開始的影響〉, 《熱帶氣象學報》, 223: 209-216。
- 鄭皆達、洪豪男和周良勳 (2003) : 〈應用時間序列方法分析降雨及地下水位之關係〉, 《水土保持學報》, 35(1): 47-56。
- 蘇苗彬和陳旺志 (1996) : 〈臺北市山坡地降雨量及地下水位之時間序列分析〉, 《中華水土保持學報》, 27(2): 127-138。
- Box, G. E. P. and Jenkins, G. M. (1976) : *Time series analysis, forecasting and control*. San Francisco: Holden Day.
- Carter, M. M. and Elsner, J. B. (1997) : A statistical method for forecasting rainfall over Puerto Rico, *Weather and Forecasting*, 12: 515-525.
- El-Fandy, M. G., Ashour, Z. H. and Taniel, S. M. M. (1994) : Time series models adoptable for forecasting Nile floods and Ethiopian rainfalls, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 75(1): 83-94.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC (2007) : Observed changes in climate and their effects, *Climate Change 2007: Synthesis Report*.
- Janakiraman, S., Mohit, V., Ramesh, N. L., Priyanka, Y. and Sulochana, G. (2011) : Prediction of the Indian summer monsoon rainfall using a state-of-the-art coupled ocean-atmosphere model, *Current Science*, 100(3): 354-362.
- Liu, S. C., Fu, C. B., Shiu, C.-J., Chen, J.-P. and Wu, F. (2009) : Temperature dependence of global precipitation extremes, *Geophysical Research Letters*, 36(L17702), Doi: 10.1029/2009GL040218.
- Malaysian Meteorological Department, MMD (2010) : *Monthly Weather Bulletin*, Retrieved Mar 01, 2010, from: [http://www.met.gov.my/index.php?option=com\\_content&task=view&id=745&Itemid=953](http://www.met.gov.my/index.php?option=com_content&task=view&id=745&Itemid=953)
- Murakami, T. (1979) : Winter Monsoonal Surges over East and Southeast Asia, *Journal of the Meteorological Societh of Japan*, 57: 133-158.
- Nieuwolt, S. (1968) : Diurnal rainfall variation on Malaya, *Annals of the Association of American Geographers*, 58(2): 313-326.
- Oki, T. and Katumi, M. (1994) : Seasonal change of the diurnal cycle of precipitation over Japan and Malaysia, *Journal of Applied Meteorology*, 33: 1445-1463.
- Sooryanarayana, V. (1995) : Floods in Malaysia: patterns and implications, *Malaysian Journal of*

*Tropical Geography*, 26(1): 35-46.

Tangang, T. F. and Bahari, A. (2002) : ENSO influences on precipitation and air temperature variability in Malaysia, *Proceeding of the Regional Symposium on Environment and Natural Resources 10-11<sup>th</sup> April 2002*, 1:124-131.

Tangang, T. F. and Juneng, L.(2004) : Mechanisms of Malaysian rainfall anomalies, *Journal of Climate*, 17:3616-3622.

Zhou, W. and Johnny, C. L. C. (2007) : ENSO and the South China Sea Summer Monsoon Onset, *International Journal of Climatology*, 27: 157-167.

投稿日期：100年3月10日

修正日期：100年4月25日

接受日期：100年5月15日