

臺灣春雨遙相關機制與可預報性探討

INVESTIGATION OF CLIMATIC TELECONNECTION AND PREDICTABILITY FOR SPRING RAINFALL IN TAIWAN

國立成功大學
水利及海洋工程學系
研究員兼任副教授

楊道昌*

Tao-Chang Yang

國立高雄科技大學
海事資訊科技系
教授

陳昭銘

Jau-Ming Chen

國立成功大學
水利及海洋工程學系
特聘教授

游保杉

Pao-Shan Yu

國立成功大學
水利及海洋工程學系
副研究員兼任助理教授

郭振民

Chen-Min Kuo

國立高雄科技大學
海事資訊科技系
專任助理

蔡玫紘

Mei-Yun Tsai

國立成功大學
水利及海洋工程學系
碩士

陳弘

Hornng Chen

摘要

春雨為上一年颱風季結束後到當年梅雨季來臨前水庫主要的水量來源。當前一年梅雨和颱風雨量明顯不足，隔年亦無足夠春雨時，乾旱現象便會發生進而造成嚴重缺水危機。若能掌握季節時序，準確預報春雨，以供超前布署相關抗旱行動，將有助於紓緩乾旱帶來之衝擊。基此，本研究以遙相關分析為基礎，採用大尺度氣候因子與聖嬰-南方振盪指標等資料，進行與春雨期間(2 至 4 月)總雨量之相關性分析，期望探討影響臺灣春雨之關鍵遙相關機制，並嘗試建置預報模式。分析結果發現：聖嬰指標 Niño3、環流、海溫與鄰近臺灣風場為影響臺灣春雨的遙相關關鍵因子。本研究進一步以前述遙相關關鍵因子為輸入變量，輸出變量為春雨期間臺灣主要六個氣象站(臺北、新竹、臺中、嘉義、臺南與高雄站)平均總雨量，採用複回歸分析與機器學習法(包含支撐向量機、隨機森林與倒傳遞類神經網路)建置春雨預報模式。初步建立春雨預報模式之比較結果發現：隨機森林相較於其他方法具有可靠的預報能力。

關鍵詞：春雨預報、遙相關、大尺度氣候因子、聖嬰-南方振盪、機器學習。

* 通訊作者，財團法人成大研究發展基金會、成功大學水利及海洋工程學系，研究員兼任副教授
701 台南市東區大學路 1 號，tcyang58@hotmail.com

INVESTIGATION OF CLIMATIC TELECONNECTION AND PREDICTABILITY FOR SPRING RAINFALL IN TAIWAN

Tao-Chang Yang*

Department of Hydraulic and
Ocean Engineering,
National Cheng Kung University

Jau-Ming Chen

Department of Maritime
Information and Technology,
National Kaohsiung University
of Science and Technology

Pao-Shan Yu

Department of Hydraulic and
Ocean Engineering,
National Cheng Kung University

Chen-Min Kuo

Department of Hydraulic and
Ocean Engineering,
National Cheng Kung University

Mei-Yun Tsai

Department of Maritime
Information and Technology,
National Kaohsiung University
of Science and Technology

Hong Chen

Department of Hydraulic and
Ocean Engineering,
National Cheng Kung University

ABSTRACT

2

Spring rainfall is one of the main sources for reservoir storage in Taiwan. If Mei-Yu and typhoon rainfall was weak in the previous season, insufficient spring rain in the ensuing season will lead to evident water shortage. To reduce the impact of water shortage, accurate predictions of spring rainfall can support the decision making for preparing drought-resistance actions in advance. Therefore, the study analyzed the relationships between spring rainfall and climatic teleconnection indices (*i.e.*, the large-scale climatic factors and El Niño-Southern Oscillation indexes) for constructing a spring-rainfall prediction model. It is found that the climatic teleconnection indices including Niño3, circulation, sea surface temperature, and, wind field near Taiwan are the dominant factors influencing Taiwan's spring rainfall. Based on the multivariate regression and machine learning techniques (*i.e.*, artificial neural network, support vector machine, and random forests), the spring-rainfall prediction models were established by using the aforementioned dominant factors as the input variables and the average spring rainfall of the six meteorological stations in western Taiwan (*i.e.*, Taipei, Hsinchu, Taichung, Chiayi, Tainan, and Kaohsiung stations) as the output variable. The preliminary results show that the random-forests-based model has the best prediction performance in the case study.

Keywords: Spring rainfall, Teleconnection, Large-scale climatic factor, El Niño-Southern Oscillation, Machine learning.

一、前言

1.1 何謂春雨

春雨顧名思義為春季期間下的雨。在臺灣由於降雨特性在時序上具有明顯區別，因此普遍將一年當中的降雨按時序區分為 2 至 4 月的春雨、5 至 6 月的梅雨、7 至 9 月的夏季颱風雨及熱雷雨，以及 10 至 1 月的秋冬東北季風地形雨。在氣象作業的研究上，中央氣象局(2018)定義：臺灣 2 月至 4 月的降雨稱為春雨，是上一年颱風季結束後到當年梅雨季來臨前水庫主要的水量來源。在這個介於冬季與夏季之間的季節，北方冷氣團遇到南方暖氣團時會形成不穩定的界面，稱之為鋒面或華南雲雨區，在界面上容易形成有利於雲雨發展的天氣條件。春季同時也是臺灣農業作業中重要的耕種季節，所以這個期間降雨量的多寡不僅影響民生用水、工業用水的可用水量，同時也影響灌溉用水的分配。

1.2 臺灣春雨時空分布特性

臺灣一年之中以梅雨期和颱風期的降雨最多，尤其是中、南部，這兩類型的降雨是全年最主要的降雨來源。每年冬季和春季雨量較少，是為乾季。當梅雨及颱風雨不顯著時，春雨便顯得格外重要。如果前一年的颱風雨不足，而且沒有春雨適時補充的話，那麼很容易會形成乾旱，不但嚴重影響一期稻作的秧期，連工業及民生用水都有缺乏之虞，春雨為維持臺灣水資源供應的重要氣候條件。反之，若前一年雨量充足卻又春雨綿綿，甚至發生大雨或豪雨，那麼春雨便可能造成災害。若能瞭解春雨的特性及其重要性，不但可以增進春雨的長期預報技術，在水資源應用與管理上，也能降低可能帶來的風險，並提高正面效益(陳來發，1998)。

臺灣春季主要的降雨區為北部和東北部地區，北部春雨約佔全年雨量的 25%。雖然春雨不是臺灣主要的雨量來源，但是當前一年梅雨和颱風雨量明顯不足，隔年也沒有足夠的春雨，臺灣就會出現乾旱現象，造成嚴重缺水危機，不僅會使北部一期稻作休耕，連工業和民生用水都會受到影響。因此春雨多寡對於臺灣水資源調配相當重要。若能在春季之前預先掌握春雨的降雨變化，有效調配水資源的運用，便可以降低春雨不足帶來的風險(卓盈旻與盧孟明，2016)。

1.3 春雨對水資源重要性-以石門水庫為例

2014 下半年至 2015 年五月初，臺灣發生延續近九個月之嚴重旱象，期間歷經臺灣主要降水的颱風季、春雨與梅雨季。由於 2014 年颱風季降雨不足，石門水庫在 2014 年十月的累積雨量即低於歷史觀測值。全臺偏乾的狀況自 2014 下半年延續至 2015 年。由於每年石門水庫用水量需滿庫 4 至 5 次方能滿足，此次乾旱嚴峻的石門水庫集水區在冬季本就少雨，只能寄望春雨能解除旱象。但 2015 年 2 至 4 月臺灣周遭處於偏乾氣候狀況，不利降水，因此春雨偏少導致石門水庫蓄水量持續惡化，期間相關抗旱措施引起社會輿論諸多探討。自最初農業停灌休耕激發農民不滿，引發重工輕農議論；補償政策造成部分農民形同被迫休無薪假等。政府與民間團體提倡節水的工程措施；用水大戶徵收耗水費；水庫清淤、現有水庫是否足夠需再建置等議題亦獲得廣大迴響(朱吟晨等人，2015)。除此，若能掌握季節的時序，準確預報春雨，超前布署相關抗旱行動，將有助於舒緩乾旱帶來之衝擊。

1.4 降雨特性之遙相關

大氣遙相關(climatic teleconnection)一詞(簡稱遙相關)，是指相隔一定距離的氣候異常變化現象間之聯繫，觀測資料也顯示全球大氣環流的變化和異常存在相關性，一個區域的環流異常可以引起距離遙遠的另一個區域的環流異常，這種遙遠距離的大氣環流變化與異常間的相關聯即是遙相關。其來源可追溯至二十世紀初，Gilbert Walker 發現降水少的弱印度季風通常伴隨著南半球太平洋東部的大溪地氣壓減弱、澳洲北部達爾文的氣壓增加，且與太平洋的貿易風減弱現象同時發生。於是 Gilbert Walker 將東、西太平洋有週期性年際變化的振盪命名為「南方振盪」(Southern Oscillation; Walker, 1923; Walker and Bliss, 1932)。

南方震盪所反映的即是聖嬰現象，雖然聖嬰現象看似只會影響熱帶的大氣系統，但當熱帶西太平洋洋面溫度有變化時，也會影響到中緯度地區。於是赤道洋面溫度的效應就這樣傳到了地球上的另一個角落，導致那個地方的天氣及氣候的變化。由於聖嬰現象為大氣及海洋交互作用而產生，Bjerknes (1969)發現了南方振盪和聖嬰現象兩者有反相位的關係，因此將聖嬰與南方振盪相伴的熱帶海洋—大氣變化現象，統稱為「聖嬰-南方振盪」(El Niño-Southern Oscillation, ENSO)現象。

有關遙相關對臺灣降雨特性影響之研究亦有許多相關文獻：許晃雄與陳圭宏(1994)分析聖嬰現象與臺灣月均溫、月雨量之關係。發現聖嬰冬季後的隔年 9 月

臺灣地區月均溫偏高，其中以高雄最明顯；隔年 3 月則是月雨量偏高，其中以臺中最明顯。反聖嬰冬季後的臺灣溫度和雨量特徵則與前述結果相反。

廖志翔(1995)使用 11 月至 4 月的 Southern Oscillation Index (SOI)和 Niño3 指標統計兩指標與臺灣西部地區春季降雨的關係，發現 2 月和 3 月雨量與前一年的 11 月至當年 3 月的 SOI 呈現負相關，而與 Niño3 呈現正相關，又兩者間以 SOI 與臺灣西部地區春季降雨的相關性較高。吳明進與陳圭宏(1996)的研究除了證實廖志翔(1995)的結果外，更指出聖嬰冬季臺灣東部 1 月偏乾，接下來的 8 至 10 月也偏乾，其間的 3 月雖有偏濕的現象但不顯著。

蕭政宗(2000)以統計及繪圖方法研究 Niño3.4 區域海溫與臺灣地區北部、中部、南部及東部四區域降雨量間的關聯性。其分析結果顯示，臺灣地區之降雨量與聖嬰現象間之關係並不大，以月份尺度而言，2 月及 3 月降雨量與海溫之相關係數較大。

陳昭銘等人(2002)藉由分析 1997 至 1998 年間之聖嬰現象與臺灣地區 1998 年之氣候變異現象的結果顯示，1998 年臺灣地區全年偏暖，及春雨(2~4 月)和梅雨(5~6 月)皆偏多，而夏季(7~8 月)降雨量減少，且 10 月的降雨高出氣候值數倍之多等現象，均是與聖嬰現象有所關聯的全島性氣候異常變化。

朱錦紅等人(2004)利用臺灣地區雨量資料、Niño3.4 區域海溫、500 hPa 高度場和海平面氣壓以及登陸臺灣颱風數，對臺灣不同時期降水變化以及與此相聯繫的東亞大氣環流做了分析，並研究了近百年降水的變化。從近百年降水變化來看，年總降水量和各季節降水量的年際和年代際變化顯著，但沒有明顯的趨勢變化。各季降水長期變化特點，與這一季節影響臺灣降水的主要環流系統的長期變化特徵有密切關係。

黃文揚與徐南蓉(2005)利用排列檢定法(permutation test)，檢定臺灣附近夏季(6~8 月)的雨量與全球的海水表面溫度之相關性，發現藉由統計分析所定義出與降雨量呈現高度相關的海溫區塊，和一般定義聖嬰現象區域之地理位置相近，且有部分區域重合。

Chen *et al.*(2008)指出 ENSO 指標與台灣春雨(2-4 月)並沒有一致性的對應關係，在聖嬰年後，春雨有時會偏多(如 1983、1992、1998)，有時會偏少(如 1977、1991、2003)。反聖嬰年後之春雨現象亦同，春雨偏多發生在 1968、1985、2000，但偏少現象發生在 1971、1976、1989、1999。影響 ENSO 與台灣春雨的對應關係，為海溫之變化特性，當熱帶東太平洋與東印度洋海溫呈現相同相位時，聖嬰年後春雨會偏多，反聖嬰年後春雨會偏少；若是海溫變化單單發生在熱帶太平洋時，

則聖嬰年後春雨會偏少，反聖嬰年後春雨會偏多。因此建議 ENSO 指標用來預測台灣春雨需進一步探討。

郭志豪(2012)採用臺灣南部區域標準化降雨指標(SPI3)，分別對 ENSO 相關指標進行自我相關、交互相關以及狀態轉移機率等三種關聯性分析，以建立臺灣南部區域之 SPI3 與 ENSO 相關指標的關聯性，並藉由此關聯性應用於乾旱預警推估模式之建立。由 1950 至 2009 年各乾旱場次與歷史乾旱事件及聖嬰/反聖嬰發生的時間始末的分析結果方面顯示，以不同乾旱程度與聖嬰現象發生時間始末的觀點，無法看出乾旱與聖嬰兩者間的關聯性。

李明安(2015)研究中利用 1960 至 2009 年之高解析度(5×5 公里)降雨資料以經驗正交函數(Temporal EOF and Spatial EOF)分析方式呈現，並連結可能影響臺灣降雨之氣候變異所帶來的雨量型態變化，進行相關特徵分析。研究成果顯示：聖嬰現象透過大尺度的海氣交互作用可以影響亞洲季風並調整臺灣季節性降雨量，其中聖嬰(反聖嬰)現象對春雨(秋雨)的影響最顯著。另外，還有盧孟明(2000)、林國龍等人(2008)、吳定澄等人(2015)、許晃雄(2010)亦曾經對聖嬰現象與臺灣降雨間之關係做相關研究。

上述文獻大都著重於探討聖嬰-南方振盪現象對於臺灣降雨特性之影響。本研究除參考上述文獻為研究基礎之外，另外，進一步採用比較直接影響臺灣降雨之大尺度氣候因子(如環流與海溫)與鄰近臺灣風場等資料進行臺灣春雨遙相關機制分析。

二、臺灣春雨時空發展趨勢與影響春雨之大尺度機制

臺灣於 2-4 月之降雨稱為春雨，春雨為自冬季枯水期轉到夏季豐水期之過渡時期，其降雨分布對應東北季風降雨特性，以北臺灣為主，往南臺灣遞減。近年來臺灣春雨呈現減少現象，於 1980-2015 年間，由中央氣象局氣象站降雨量資料統計每年春雨總降雨量，並計算各氣象站春雨總降雨量之長期線性變化斜率(mm/100yr)，繪製等值圖(如圖 1)。圖中呈現全島性之負值，且自北臺灣往南臺灣延伸，反應北臺灣(主要春雨降雨地區)之減少較為顯著。春雨量之減少對應總降雨日(日雨量 $\geq 0.1\text{mm}$)之減少(圖 2)，也是全島均為負值，且以北臺灣較為顯著。在春雨呈現長期減少趨勢之下，國內自冬季延伸到春季之枯水期預期會更加嚴峻，且對枯水期之水資源運用將有更明顯衝擊，因此對持續缺水所形成之乾旱現象，春雨季降雨之掌握，將是乾

旱現象得以紓緩或更形嚴重之重要關鍵。

遙相關是指一個局部地區的天氣變化會受到全球氣候變化影響與相互關係之現象，臺灣春雨量變化亦可能受這種遙遠距離的大氣環流變化與異常之影響。Chen *et al.*(2016)研究中以圖 3 之示意圖來描述影響臺灣春雨量變化之大尺度調節機制。在春雨偏多年，其對應之海溫變化為熱帶東太平洋之暖海溫距平(WARM)，搭配熱帶中太平洋之冷海溫距平(COLD)，後者在中太平洋激發大尺度輻散中心(DIV)，此輻散中心如同熱帶作用力(tropical forcing)，在其西北側激發反氣旋距平(AC)，位於臺灣之東南側，其順時針方向環流，為臺灣帶來西南風距平，增強南中國海水氣進入臺灣，形成水氣輻合，導致降雨增多。在相反相位，當熱帶東太平洋為冷海溫距平時，經由上述大尺度調節機制，將在臺灣東南側形成氣旋距平，其逆時針方向環流強化東北風距平經由臺灣吹向南海，減少熱帶水氣進入臺灣，春雨於是減少。

由於氣候系統中存在著大量的遙相關現象，這些大氣環流變化和異常在空間上可以相距遙遠，在時間上可以同時或有先後，國際間已開始建立降雨的遙相關分析之研究，最常見建立遙相關的因子為 ENSO 指標，分析 ENSO 指標與降雨的時間或空間的關聯性，進而達成預報降雨量之目的。此外，臺灣降雨主要是受到海面水氣影響，周圍海面的氣壓或溫度亦有可能與降雨量有關聯性，這些海面相關資料可以由 NCEP(National Centers for Environmental Prediction)取得。基此，本研究將採前述 ENSO 指標與大尺度氣候因子(如環流與海溫場，以及臺灣鄰近風場)，針對預報春雨之關鍵遙相關機制進行分析。

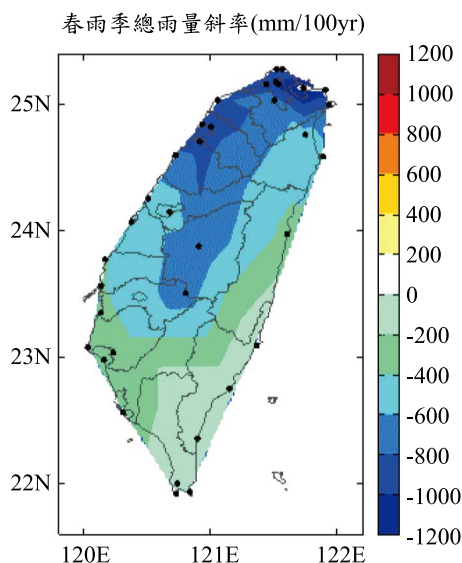


圖 1 臺灣春雨總降雨量於 1980-2015 年間之線性變化斜率

春雨季總降雨日斜率(天/100yr)

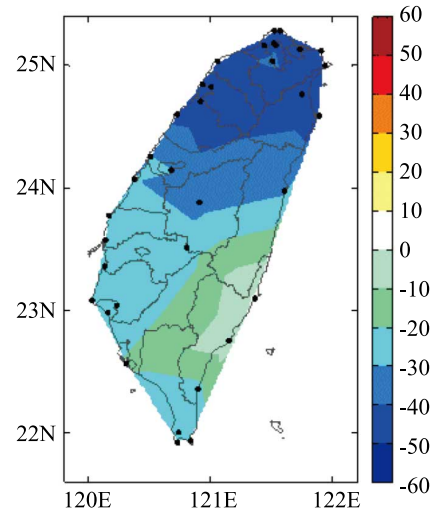


圖 2 臺灣春雨總降雨日於 1980-2015 年間之線性變化斜率

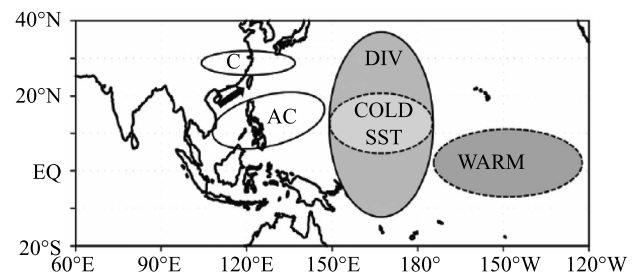


圖 3 影響臺灣春雨變化之大尺度調節機制示意圖(摘錄自 Chen *et al.*, 2016)

三、春雨預報之關鍵遙相關機制分析

本研究首先針對預報春雨之關鍵遙相關機制進行分析，作法是以 1982-2017 年間，取臺灣地區西半部 6 站(臺北、新竹、臺中、嘉義、臺南、高雄)於 2-4 月累計降雨量之平均值為指標，以 0.7 標準差作為分類標準，將 1982-2017 年共 36 年個案區分為降雨偏多年、偏少年及正常年等三個類別，並分別取其大尺度環流場、海溫場以及臺灣鄰近經向風場之合成平均值，以各季節前一個月於降雨偏多年和偏少年時所呈現之相反相位變化型態，建置大尺度機制之預報指標。並分析 1 月的 ENSO 指標與大尺度氣候因子(大尺度環流與海溫場，以及臺灣鄰近風場)對春雨期間(2-4 月)降雨之遙相關機制。

3.1 ENSO 指標

從 1982-2017 年春雨(2-4 月)降雨時序圖來看(圖 4)，2-

4 月降雨之長期平均值為 308.1mm，標準差為 151.7mm。以 0.7 標準差(106.2mm)作為春雨偏多年與偏少年之分類標準，則偏多年共有 7 年，分別是 1983、1985、1990、1992、1998、2000、2016 年，偏少年共有 8 年，分別是 1991、1999、2002、2003、2008、2011、2014、2015 年，其餘年份則歸類為正常年。若進一步透過 Niño-3 指數將各年分為聖嬰年及反聖嬰年(圖 5)，由表 1 中可看到聖嬰、反聖嬰現象與臺灣春雨之偏多及偏少變化的影響並不是很一致，不論是偏多年或偏少年，均可發生於聖嬰年、反聖嬰年、或正常年。接著將 Niño-3、Niño-4、Niño-3.4 定義之區域海溫進行平均，選取 1982-2017 年海溫之時間序列與 2-4 月春雨時間序列進行相關係數分析，相關係數大於 0.33 者，代表具有統計顯著相關性。結果顯示，除了 Niño-4 與臺灣春雨間之相關係數未通過 95%顯著檢定之外(相關係數為 0.18)，Niño-3 和 Niño-3.4 之相關係數分別是 0.48 及 0.45，皆通過 95%顯著檢定，其中又以 Niño-3 與臺灣

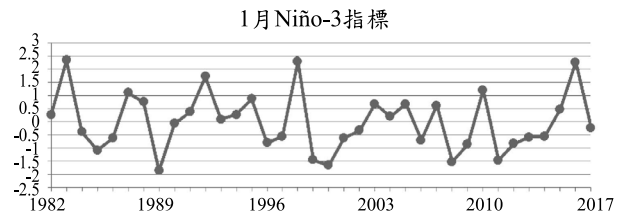


圖 5 1 月聖嬰(Niño3)指標於 1982-2017 年之時序變化圖

表 1 1982-2017 年間 2-4 月降雨長期平均、標準差值及降雨偏多年、偏少年

長期平均	308.1 mm		
標準差	151.7mm	0.7 標準差	106.2mm
偏多年	<u>1983</u> 、 <u>1985</u> 、1990、 <u>1992</u> 、 <u>1998</u> 、 <u>2000</u> 、 <u>2016</u>		
偏少年	1991、 <u>1999</u> 、2002、 <u>2003</u> 、 <u>2008</u> 、 <u>2011</u> 、2014、 <u>2015</u>		

註：粗體加底線代表聖嬰年、斜體加底線代表反聖嬰年、無底線代表正常年。

春雨有較高的相關性，因此後續在針對聖嬰指標之討論上，將以 Niño-3 之區域海溫代表聖嬰指標，且以相關係數 0.48 作為後續討論遙相關指標之檢測標準。

3.2 大尺度環流與海溫場

圖 6 為 1982-2017 年間 2-4 月與 1 月之大尺度環流、海

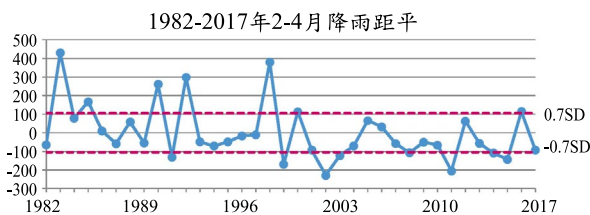


圖 4 2-4 月降雨距平值於 1982-2017 年間之時序變化圖

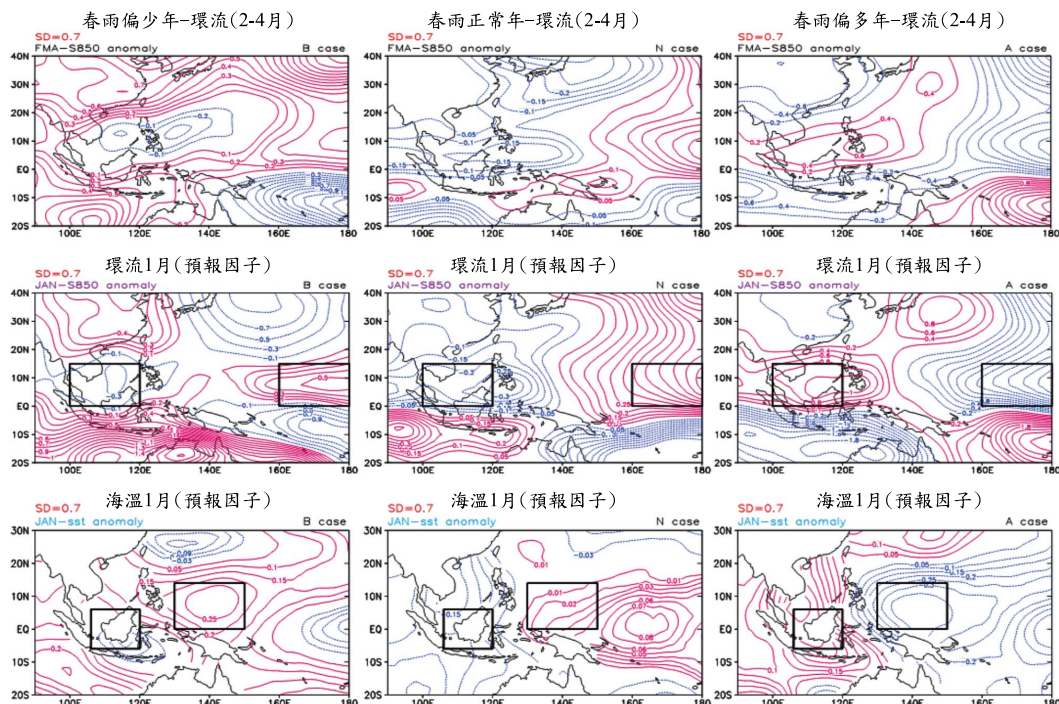


圖 6 環流場(S850)與海溫場於 2-4 月及 1 月於降雨偏少、正常、偏多年之個案合成圖。(等值線單位: S850 為 $10^6 m^2 s^{-1}$, 海溫為 $^{\circ}C$)。

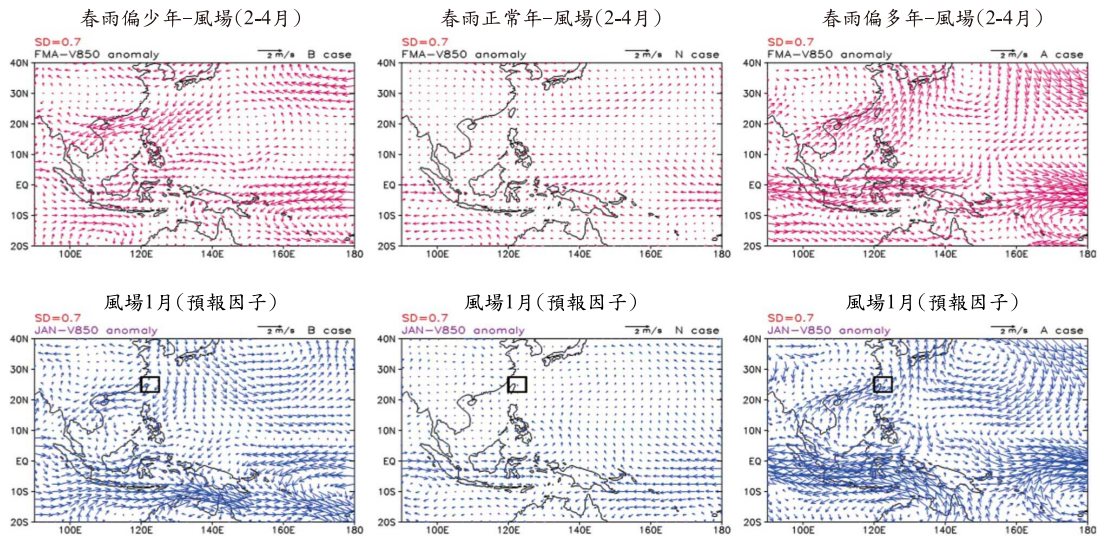


圖 8 850-hPa 風場(m/s)於 2-4 月及 1 月於降雨偏少、正常、偏多年之個案合成圖

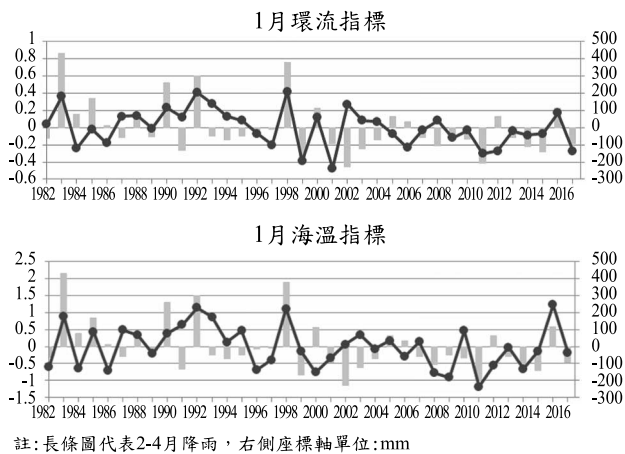


圖 7 1 月環流指標與海溫指標於 1982-2017 年之時序變化圖

表面海溫場於春雨偏少年、正常年與偏多年之個案合成圖，此處大尺度環流為 850-hPa 流函數(S850)，流函數係為渦度(vorticity)之拉普拉思反轉換(inverse Laplacian)，普遍用於呈現大氣環流場之變化特性。比對 2-4 月環流變化型態與前一個月(1 月)之環流變化型態。整體上，1 月之環流型態可持續至 2-4 月，此外， $100^{\circ}-120^{\circ}\text{E}$, $0^{\circ}-15^{\circ}\text{N}$ 於春雨偏少年呈現低壓型態， $160^{\circ}-180^{\circ}\text{E}$, $0^{\circ}-15^{\circ}\text{N}$ 則呈現高壓型態，東西對比明顯；而偏多年時則反之，說明兩區域於春雨偏少年與偏多年時之環流型態呈相反相位；至於正常年之環流型態則較傾向類似偏少年。海表面海溫方面，以 $106^{\circ}-120^{\circ}\text{E}$, $6^{\circ}\text{S}-6^{\circ}\text{N}$ 以及 $130^{\circ}-150^{\circ}\text{E}$, $0^{\circ}-14^{\circ}\text{N}$ 於春雨偏少年和偏多年時呈現之相反狀態最為明顯， $106^{\circ}-120^{\circ}\text{E}$, $6^{\circ}\text{S}-6^{\circ}\text{N}$ 區域於春雨偏少年時之海溫偏低，而 $130^{\circ}-150^{\circ}\text{E}$, $0^{\circ}-14^{\circ}\text{N}$ 海溫則偏高；偏多年時反之。正常年之海溫分布亦較傾向於

類似偏少年之海溫分布型態。因此在 1 月熱帶環流指標與海溫指標之選取上，環流指標主要採用 $100^{\circ}-120^{\circ}\text{E}$, $0^{\circ}-15^{\circ}\text{N}$ 與 $160^{\circ}\text{E}-180^{\circ}$, $0^{\circ}-15^{\circ}\text{N}$ 兩區域各自平均值之差值(前者減後者)，海溫指標則採用 $106^{\circ}-120^{\circ}\text{E}$, $6^{\circ}\text{S}-6^{\circ}\text{N}$ 與 $130^{\circ}-150^{\circ}\text{E}$, $0^{\circ}-14^{\circ}\text{N}$ 兩區域平均值之差值(前者減後者)，如圖 6 黑框所示。將 1 月環流指標和海溫指標各自與所有年份之 2-4 月春雨時間序列建立相關係數，其相關係數約在 0.48-0.49，通過 95%顯著檢定(圖 7)，且與 Niño-3 指標之相關係數相當。

3.3 臺灣鄰近風場

上述分析主要著重於熱帶大尺度環境場與臺灣春雨之關聯性，屬於位於遙遠區域氣候現象的遙相關機制探討，但影響臺灣降雨多寡之衝擊變數，上游水氣是否進入臺灣地區是最主要的關鍵因子，而水氣輸送又與風場有著最直接之關聯性，因此需進一步分析 850-hPa 風場。如圖 8 所示，春雨偏少年之 1 月，鄰近臺灣至南海一帶，850-hPa 風場主要為北風分量，顯示可抑制南方洋面豐沛水氣進入臺灣，但在春雨偏多年時，南風分量增強，有利熱帶水氣輸送至臺灣地區。如此之風場變化型態，可由 1 月持續至 2-4 月。因此在風場指標建置方面，主要選取 $120^{\circ}-125^{\circ}\text{E}$, $22.5^{\circ}-27.5^{\circ}\text{N}$ 於臺灣上空區域之 850-hPa 經向風(m/s)(如圖 8 黑框所示)。圖 9 為 1 月風場指標於 1982-2017 年所有年份之時間序列，相關係數雖然只有 0.37，但在春雨偏少年之個案掌握度卻優於環流指標與海溫指標，如 2003、2011、2014 和 2015 年，均呈現負指標，優於環流指標與海溫指標；但在春

表 2 1 月遙相關指標於不同組合之複回歸公式及其相關係數

指標	1 月對 2-4 月複迴歸公式	相關係數
海溫+風場	$y=-50.7+89.7X_2+31.4X_3+92.1X_2^2+15.7X_3^2$	0.63
環流+海溫	$y=-54.6+231.5X_1+41.3X_2+647.3X_1^2+65.0X_2^2$	0.63
環流+風場	$y=-48.7+313.9X_1+28.4X_3+734.5X_1^2+14.8X_3^2$	0.64
環流+海溫+風場	$y=-56.3+208.7X_1+36.9X_2+26.2X_3+519.8X_1^2+52.6X_2^2+12.3X_3^2$	0.66
Niño3+海溫	$y=-55.7+40.2X_2+25.9X_4+19.0X_2^2+40.0X_4^2$	0.65
Niño3+環流	$y=-60.8+203.3X_1+6.6X_4+469.0X_1^2+38.9X_4^2$	0.69
Niño3+風場	$y=-42.7+16.8X_3+28.3X_4-3.0X_3^2+45.3X_4^2$	0.67
Niño3+環流+風場	$y=-62.0+176.6X_1+18.6X_3+22.1X_4+433.7X_1^2+7.4X_3^2+28.6X_4^2$	0.70
Niño3+環流+海溫	$y=-61.6+202.9X_1-10.9X_2+26.3X_4+536.03X_1^2-5.8X_2^2+35.5X_4^2$	0.69
Niño3+海溫+風場	$y=-57.2+36.1X_2+22.1X_3+25.0X_4+17.0X_2^2+10.2X_3^2+33.5X_4^2$	0.67
Niño3+環流+海溫+風場	$y=-60.5+192.3X_1-13.0X_2+18.9X_3+26.4X_4+465.4X_1^2-12.8X_2^2+7.0X_3^2+30.6X_4^2$	0.70

X₁=環流指標、X₂=海溫指標、X₃=風場指標、X₄= Niño3 聖嬰指標

註：相關係數數值大於 0.33，代表通過 95%統計檢定。

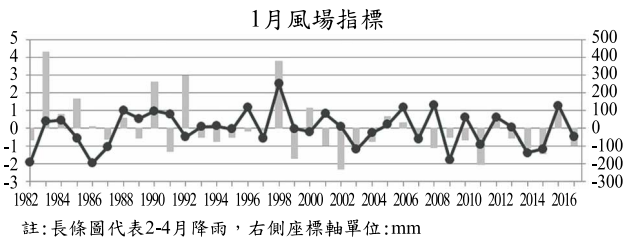


圖 8 1 月風場指標於 1982-2017 年之時序變化圖

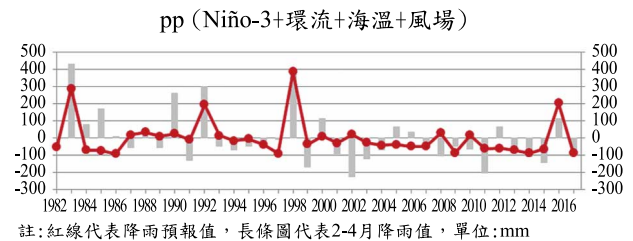


圖 9 聖嬰指標加入後之 1 月遙相關指標預報 2-4 月降雨預報值與實際觀測值之時序比對圖

兩偏多年個案之掌握度，則比環流指標與海溫指標差，如 1983、1990、1992、1998 年。

四、春雨可預報性探討

經由前述分析 1 月的 ENSO 指標與大尺度氣候因子(大尺度環流與海溫場，以及臺灣鄰近風場)對春雨期間(2-4 月)降雨之遙相關機制發現：整體來看，單一變量與臺灣春雨之相關性皆未達 0.5，且未明顯超越聖嬰指標之 0.48。因此，本研究繼續運用複回歸分析(Multivariate Regression Analysis)，將 1 月之熱帶環流指標、海溫指標和臺灣鄰近之經向風指標，分別編組，再與 2-4 月春雨時間序列進行相關係數分析，以尋找影響春雨之最佳變量組合，接續採用機器學習法建置以此最佳變量組合為輸入變量與春雨總量為輸出變量之預報模式。

4.1 複回歸模式

個別遙相關指標於不同組合下之複回歸公式及其關係數之彙整結果如表 2，從表中可發現：環流指標、

海溫指標和風場指標在不同組合下，各組與春雨之相關係數表現皆可提升到 0.65-0.66 之間，已明顯高於個別指標之相關係數表現。而再進一步加入聖嬰指標後，各組之相關係數更是提高至 0.65-0.70 之間，其中又以聖嬰指標搭配環流指標、海溫指標與風場指標的組合，與臺灣春雨之相關程度最高(圖 10)，可達 0.70。顯示在適當組合下之遙相關指標，更能反應影響臺灣春雨變化之遙相關機制。因此，使用 1 月資訊來預報 2-4 月春雨之遙相關機制，以聖嬰指標與環流、海溫與臺灣鄰近風場之組合指標對預報 2-4 月降雨之能力最佳。

4.2 機器學習模型

接續前述遙相關分析之成果(即決定影響枯水期雨量之重要氣候因子)，本研究嘗試採用機器學習法發展枯水期未來三個月總雨量(季雨量)之預報模式。採用之機器學習方法包含：支撐向量機(Support Vector Machines, SVM)、隨機森林(Random Forests, RF)與類神經網路(Artificial Neural Networks, ANN)。分析資料包含前述所提到之 ENSO 指標(Niño3)與大尺度氣候因子資料(環流、海溫與風場指標)，與全臺主要六個氣象站平均季

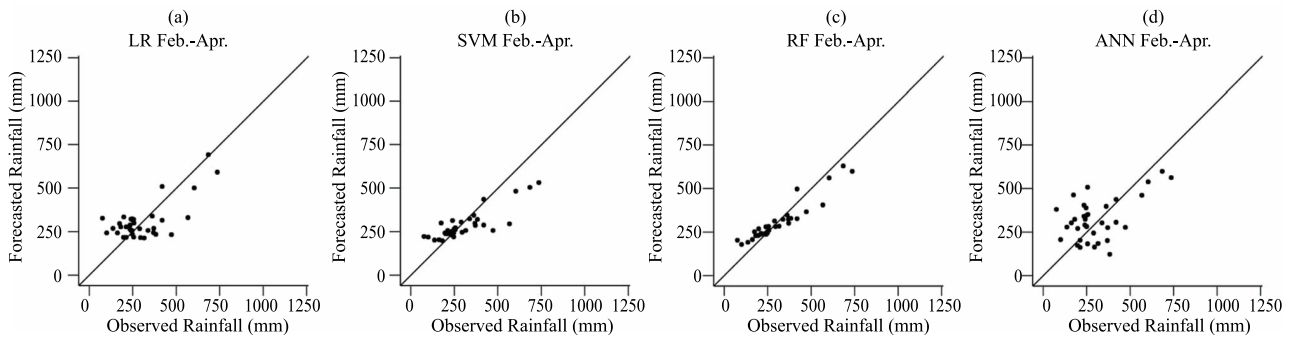


圖 10 不同春雨預報模式觀測值與預報值之散佈圖

雨量。其中，ENSO 指標與大尺度氣候因子資料為輸入資料集，再與目標值(即氣象站平均季雨量)進行機器學習模型之建置。機器學習法中，類神經網路、支撐向量機與隨機森林在水文領域已有不少應用成果，相關文獻與詳細理論請參見林焜詳(2016)、陳思尹(2016)、陳仲廷(2019)與陳弘(2019)。以下僅針對三種機器學習法作扼要介紹。

支撐向量機是由 Vapnik 等人根據統計學習理論所提出的一個機器學習方法(Vapnik, 1995)，以解決多維度函數問題，包含「線性支撐向量回歸」和「非線性支撐向量回歸」。支撐向量機主要是基於結構風險最小化法則，找出最佳分類超平面，將資料區分成兩個類別。最初支撐向量機主要應用於處理二元分類問題，之後漸漸的應用於多類別分類，並延伸至回歸的問題。

隨機森林為 Breiman and Culter (2001)所提出的一個整體式學習方法(ensemble learning)。此演算法主要是透過分類回歸樹(Classification And Regression Tree, CART)為基礎，而 CART 是使用遞迴二元分割(recursive binary partition)來建構決策樹，為一種能處理分類及迴歸問題的演算法，其在處理連續型資料時採用迴歸樹(regression tree)，而在處理間斷型資料時則採用分類樹(classification tree)。隨機森林之計算效率極高，且無過度擬合之問題，其準確率已被許多文獻證實優於其他演算法。

類神經網路(ANN)主要的基本概念是模仿生物神經系統的運作方式，透過神經元之間的訊息傳遞，來解決一些最佳化、非線性問題。類神經網路利用不同的學習演算法來模擬大腦的功能，透過學習演算法不斷調整神經元間的連結，其中倒傳遞神經網路(Back propagation neural network, BPN)(Werbos, 1974)，具有精度高、回想速度快之特性，且輸出值可為連續值，能處理高度非線性函數合成問題，其廣泛應用於樣本識別、分類預測、資料壓縮等問題，為目前最廣泛使用的類神經網路。

表 3 不同春雨預報模式之評鑑指標

預報模式	CC	RMSE (mm)
MVR	0.69	107.66
SVM	0.85	94.45
RF	0.94	60.82
BPN	0.52	135.63

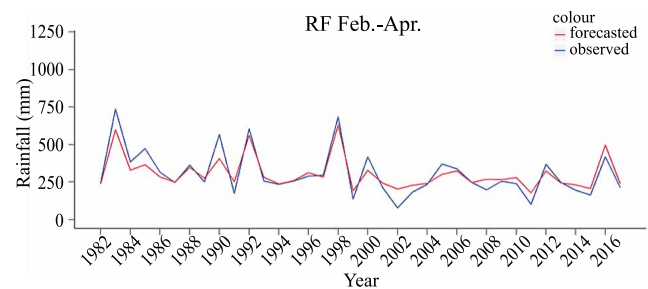


圖 11 1 月遙相關指標預報 2-4 月降雨值與觀測值(隨機森林)

本研究以前一小節遙相關分析之最佳遙相關指標組合，採用前述三種機器學習法(SVM、RF 與 BPN)並選用最佳遙相關指標組合作為輸入變量，春雨總降雨量為輸出變量，建立未來春雨預報模式。表 3 為不同春雨預報模式(複回歸 MVR、SVM、RF 與 BPN)之評鑑指標：預報值與觀測值之相關係數(correlation coefficient, CC)與均方根誤差(root mean square error, RMSE)。四種預報模式(複回歸 MVR、SVM、RF 與 BPN)中，以隨機森林之表現最佳(CC 可高達 0.90 以上)，具非常好之預測能力。再從 RMSE 來比較四種模式之預報結果，四種模式之 RMSE 皆以隨機森林最小。再從散佈圖分析預報結果，由圖 11 可發現，圖 11 (b)SVM、(c)RF 之黑點較貼近 45 度線，顯示預報能力較強；圖 11 (a)複回歸 MVR 與圖 11 (d)BPN (ANN)之黑點較為分散，則表示預報能力偏弱。倒傳遞類神經網路在此資料集中不具預報能力，未來研究中可考量採用其它類型

之類神經網路來提升預報能力。經由前述建置春雨預報模式之初步分析結果得知：隨機森林為採用四個方法中表現最為優異，對於臺灣春雨之非線性遙相關機制能充分掌握。以隨機森林建置之預報模式採用 1 月遙相關指標預報 2-4 月降雨值與觀測值之時序比對圖，如圖 12 示，可看出其具備預報春雨之能力。

五、結論與未來工作

本研究以遙相關分析為基礎，採用大尺度氣候因子與 ENSO 指標等資料，透過前述大尺度氣候因子、ENSO 指標與春雨期間(2 至 4 月)總雨量之相關性分析，探討影響臺灣春雨之關鍵遙相關機制及其可預報性。

分析結果發現：主要影響臺灣春雨的遙相關關鍵因子為聖嬰指標 Niño3、環流、海溫與鄰近臺灣風場，此四個關鍵因子影響著臺灣春雨的發展。另外，初步採用複回歸分析與機器學習法(包含支撐向量機、隨機森林與倒傳遞類神經網路)，以前述影響春雨之遙相關關鍵因子，即聖嬰指標 Niño3、環流、海溫與鄰近臺灣風場為輸入變量，輸出變量為春雨期間臺灣主要六個氣象站(臺北、新竹、臺中、嘉義、臺南與高雄站)平均總雨量，初步建置模式以探討其可預報性。分析結果發現：支撐向量機與隨機森林所建置之春雨預報模式相較於其他方法具有一定的預報能力，其中又以隨機森林之結果較佳。

由於本研究著重於探討影響臺灣春雨的大氣條件與可預報性，因此初步採用三種機器學習法來建立影響臺灣春雨的遙相關關鍵因子與春雨總降雨量間之非線性關係，未來工作可針對前述機器學習方法之模式架構與參數優化等細節進一步深入探討。

目前預報模式主要用以預報臺灣主要六個氣象站(臺北、新竹、臺中、嘉義、臺南與高雄站)春雨期間(2 至 4 月)平均總雨量，在其應用上可做為春雨期間氣象乾旱之預警使用(例如預報值偏少可提出警示)。後續工作將以水庫集水區為預報對象(例如石門水庫)(陳弘，2019)，即採用水庫集水區之春雨總降雨量為輸出變量，遙相關關鍵因子為輸入變量，發展水庫集水區之春雨預報模式，直接預報水庫集水區之春雨總降雨量，做為水文模式之輸入，以預報春雨期間可能之水庫入流量，提供乾旱預警與相關抗旱決策時之參考。

謝誌

本研究承蒙 經濟部水利署水利規劃試驗所經費補助「科學化流量預報與旱災決策輔助研發」計畫(計

畫編號：MOEAWRA1070453)得以順利完成，計畫執行期間，特別感謝 畢嵐杰 正工程司在計畫成果應用面的指導。另外，感謝中央氣象局提供地面氣象站資料與其他大氣相關資料，在此一併致謝。

參考文獻

1. Bjerknes, J., "Atmospheric Teleconnection from the Equatorial Pacific," *Monthly Weather Review*, 97, 163-172, 1969.
2. Breiman, L., and A. Cutler, "Random Forests," *Machine Learning*, 45(1), 5-32, 2001.
3. Chen, J. M., T. Li, and C. F. Shih, "Asymmetry of the El Niño-Spring Rainfall Relationship in Taiwan," *J. Meteor. Soc. Japan*, 86, 297-312, 2008.
4. Chen, J. M., P. H. Tan, C. F. Shih, H. S. Chen, "Large-scale Processes Associated with Interdecadal and Interannual variability of Early-spring Rainfall in Taiwan," *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 27, 87-98, 2016.
5. Vapnik, V. N., *The Nature of Statistical Learning Theory*, Springer-Verlag New York, 1995.
6. Walker, G. T. and E. W. Bliss, "World Weather V," *Memoirs of the Royal Meteorological Society*, 4, 53-84, 1932.
7. Walker, G. T., "Correlation in Seasonal Variations of Weather, VIII, Preliminary Study Of World Weather," *Memoirs of the India Meteorological Department*, 24, 75-131, 1923.
8. Werbos, P., *Beyond Regression: New Tools for Prediction and Analysis in the Behavioral Sciences*, PhD thesis, Harvard University, 1974.
9. 中央氣象局：氣候百問，交通部中央氣象局，2018。
10. 水利署水利規劃試驗所：科學化流量預報與旱災決策輔助研發，經濟部水利署水利規劃試驗所，2019。
11. 朱吟晨、林士堯、朱容練、劉俊志、陳永明：「2015 年乾旱事件分析」，104 年天氣分析與預報研討會，交通部中央氣象局，2015。
12. 朱錦紅、柯文雄、許晃雄：「臺灣降水變化及其季節性異常的環流機制」，環境保護學會學刊，第 27 卷第 1 期，pp. 72 至 89，2004。
13. 吳定澄、許友貞、李忠潘：「聖嬰 - 南方震盪現象對臺灣氣溫及雨量之影響」，海洋工程學刊，第 15 卷第 1 期，pp. 57-65，2015。
14. 吳明進、陳圭宏：「聖嬰 / 南方振盪(ENSO)現象對臺

- 灣短期氣候變化影響之研究－春雨部分」，八十五年
度委託計畫研究報告第 CW85-2M-04 號，交通部中央
氣象局，1996。
15. 李明安：「聖嬰現象對臺灣天氣系統的影響」，臺灣
氣候變遷調適科技整合研究計畫電子報，第 12 期，
2015。
 16. 卓盈旻與盧孟明，2016，「運用氣象局月與季氣候預
報系統發展臺灣春雨預報方法」，105 年天氣分析與
預報研討會，交通部中央氣象局，2016。
 17. 林國龍、張毓堯、范光龍：「2002-2003 年聖嬰現象對
臺灣雨量的影響」，環境保護學會學刊，第 31 卷第 1
期，2008。
 18. 林焜詳：支撐向量機與隨機森林應用於颱風時雨量預
報之比較，國立成功大學水利及海洋工程學系，碩士
論文，2016。
 19. 許晃雄、陳圭宏：「臺灣地區低頻大氣變化與熱帶海
洋及大氣的關係」，氣象科技中心技術報告彙編，第
014 號，pp. 33-5，交通部中央氣象局，1994。
 20. 許晃雄：「乾旱環境下的莫拉克颱風」，臺大校友雙
月刊，第 69 期，pp. 39-42，2010。
 21. 郭志豪：應用 ENSO 對臺灣南部乾旱之機率預報，國
立成功大學水利及海洋工程學系，碩士論文，2012。
 22. 陳弘：遙相關月雨量預報模式應用於石門水庫乾旱預
警，國立成功大學水利及海洋工程學系，碩士論文，
2019。
 23. 陳仲廷：結合缺水量預測與 SDF 曲線建構缺水應變方
案，國立成功大學水利及海洋工程學系，碩士論文，
2019。
 24. 陳來發：「話說臺灣的春雨」，地球科學園地，第 5 期，
pp. 2-11，1998。
 25. 陳思尹：應用機器學習法於 QPESUMS 即時雨量預報，
國立成功大學水利及海洋工程學系，碩士論文，2016。
 26. 陳昭銘、汪鳳如、呂芳川、郭漱冷：「聖嬰現象與 1998
年臺灣異常氣候：全年偏暖與春雨偏多現象」，大氣
科學期刊，第 30 期，pp. 331-350，2002。
 27. 黃文揚、徐南蓉：「以全球海水表面溫度預測臺灣附
近之夏季降雨量」，中國統計學報，第 43 卷第 4 期，
pp. 371-386，2005。
 28. 廖志翔：臺灣地區春季降雨分析及聖嬰／南方振盪
(ENSO)關係之探討，八十四年度研究報告第 CW84-
1A-04 號，交通部中央氣象局，1995。
 29. 盧孟明：「聖嬰現象與臺灣異常氣候關係之探討」，
大氣科學，第 28 卷第 2 期，第 91 至 114 頁，2000。
 30. 蕭政宗：「聖嬰現象與臺灣地區降雨量之相關性分析」，
農業工程學報，第 46 卷第 1 期，pp. 93-109，2000。

收稿日期：民國 108 年 07 月 26 日
修正日期：民國 108 年 08 月 14 日
接受日期：民國 108 年 10 月 17 日