

2024年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 180014
參展科別 地球與環境科學
作品名稱 論屏東地區午後對流雨與氣象要素之關係

就讀學校 國立屏東高級中學
指導教師 張凱雯
作者姓名 田祐僖、張恩愷、胡博鈞

關鍵詞 氣象要素、對流雨、機率

作者簡介



我是屏東高中田祐僖，喜歡研究有趣的新事物。科展是場奇妙的旅程，從高一不斷換題目，到後來略有成果，過程辛苦不足為外人道，也讓我大略體會到科學研究的種種技藝與實踐。雖然目前僅完成階段性的分析，但我已經非常開心能來到國際科展的舞台。期望未來能繼續從事科學研究，探索世界的未知。同時，非常感謝隊友、老師一路上的協助。

我叫張恩愷，來自屏東高中，在這次科展的參與過程我學習到了許多不同面向的事物，包含氣象資料的整理與蒐集，報告的排版與製作，以及更重要的，團隊間彼此的相互合作。雖然過程中遇到許多挫折，但我們從中爬山過淵、翻山越

嶺，而來到了現在，結果十分值得。一路以來真的很感謝我的隊友還有辛苦的指導老師，有你們的幫助，我們才能走到這一步。

我的名字是胡博鈞，我有幸得到了張凱雯老師的悉心指導，以及和兩位組員田祐僖及張恩愷教學相長，很幸運能參加這次的國際科展，將會是我人生中一段難忘的經驗。

摘要

屏東地區是台灣重要的農業產區，盛產鳳梨、芒果等多種水果，而瞬時的強降雨經常造成農業損失，甚至造成土石流或山崩。本研究中主要探討屏東地區四個氣象站在有無午時對流雨事件時，其對流雨與氣象要素相關性。首先我們分析屏東地區午後對流雨與氣象要素的時序分布，發現有無對流雨事件時並無太大差異性。接著分別探討氣象要素在有無午後對流雨事件前頻率及條件機率之逐時變化。根據結果，發現如果 1) 實際水氣壓大於 22.5hPa，2) 相對濕度介於 55% 至 75%，3) 風向轉向西南風、北風、或東北風，則發生對流雨的機率會增加。推測上述參數可能與太陽熱力效應及夏季西南季風有高度相關。未來將各氣象要素進行權重的分析，以期找出一合理模式，進而預估降雨發生。

Abstract

Pingtung is an important agricultural production area in Taiwan, producing various fruits such as pineapples and mangoes. However, the sudden heavy rainfall often causes agricultural losses, and even triggers landslides or mudslides. In this study, we mainly investigated the relationship between convective rainfall and meteorological factors in four weather stations in Pingtung, with or without convective rain events during the afternoon. First, we analyzed the temporal distribution of afternoon convective rainfall and meteorological factors in the Pingtung area and found no significant difference between the occurrence or absence of convective rainfall events. Then, we studied the hourly changes of frequency and conditional probability of meteorological factors before the occurrence or absence of afternoon convective rainfall events. According to the results, the probability of convective rainfall increases if 1) the actual vapor pressure is greater than 22.5 hPa, 2) the relative humidity is between 55% and 75%, and 3) the wind direction turns to southwest, north, or northeast. It is speculated that these parameters may be highly correlated with solar thermal effects and the summer southwest monsoon. In the future, we will analyze the weights of each meteorological factor in the hope of identifying a reasonable model to predict rainfall occurrence.

壹、前言

一、研究動機

屏東地區位於台灣南部，在夏季時常受到午後熱對流的影響，形成強烈的對流雨。對流雨為一種極端的降水天氣，容易引發山洪、土石流等自然災害，而對於作為學生的我們來說，更常因對流雨的發生造成上下學時通勤的不便，這時我們便想起曾在大氣科學單元中，學習過對流雨的發生與發生前的氣象要素變化相關，於是我們便好奇屏東地區的對流雨到底受哪些氣象要素影響？哪一氣象要素因子影響較大？其影響方式又是為何？因此，研究中我們搜集屏東地區歷年來的氣象資料進行統計分析，分別探討各地區在有無對流雨時的時序變化，並深入瞭解氣象因子在對流雨發生前其變化狀態，以期歸納出區域性對流雨的特徵性。

二、文獻回顧

對流雨因雨勢強、雨區小及雨時短的特性，常引發局部地方的災情，相較於預測颱風或梅雨帶來的降水，預測區域性的對流降雨形式則具有較高挑戰性。

目前台灣對流雨相關研究多以台北盆地為探討目標，如周仲島（2016）及繆炯恩（2017）針對臺北盆地同一劇烈午後雷暴的個案研究；林品芳等（2012）利用模糊邏輯的概念，發展出台灣北部午後降雨量的客觀預報方法（**Afternoon Thunderstorm Occurrence Potential forecast using Fuzzy Logic (ATOPFLO)**）；研究中皆使用大量數據，分析各氣象因子在對流雨事件中的權重影響，並結合地形效應，進而預測午後對流雨事件。然而針對南部對流雨事件的相關研究相對較少，故期望藉由本研究探討屏東地區對流雨事件與氣象要素相關性，以擴增台灣對流雨事件研究之資料庫。

侯昭平與范凱翔（2014）指出，臺灣西部夏季常會因海風強盛而引發午後降雨事件。陳泰然與楊進賢（1988）發現在梅雨季時，台灣中南部地區的豪雨發生頻率具有明顯的日夜變化，分別在清晨及午後出現相對最大值，並認為局部環流（例如：陸風、下坡風和山風）和清晨豪雨頻率極大有重要相關性。林品芳等（2012）

提出在弱綜觀天氣下，暖季午後降雨最大值傾向發生於下午 3 時到下午 4 時，而北台灣發生午後熱對流時間早於中南部，但中南部對流雨強度明顯高於北臺灣，且持續時間也較長。另外，諸多學者也認為發生於下午 3 時到下午 4 時的強降雨，主要由午間熱對流作用所導致，於夏季更為明顯，其原因為海陸風局部環流與山脈地形的交互作用影響（Chen et al., 1999；陳泰然、張子琦，2002；陳泰然等，2005）。因此，研究中我們將著重於屏東地區午後對流雨前的氣象要素進行分析討論，並分別探討在有無對流雨的狀態下，其氣象因子的頻率及條件機率的逐時變化（林品芳等，2012），以期找出各氣象要素對對流雨事件發生的影響性。

三、 研究區域

本研究中參酌人口密度、測站所在處環境、距離山海的距離、研究所能及等條件，從屏北各測站中挑選出高樹（N22.8263°，E120.6008°）、長治（N22.6931°，E120.5426°）、竹田（N22.5848°，E120.5434°）及屏東（N22.6602°，E120.494°）等四個自動氣象站站為研究區域，其測站位置（圖 1）及測站簡述（表 1）如下：

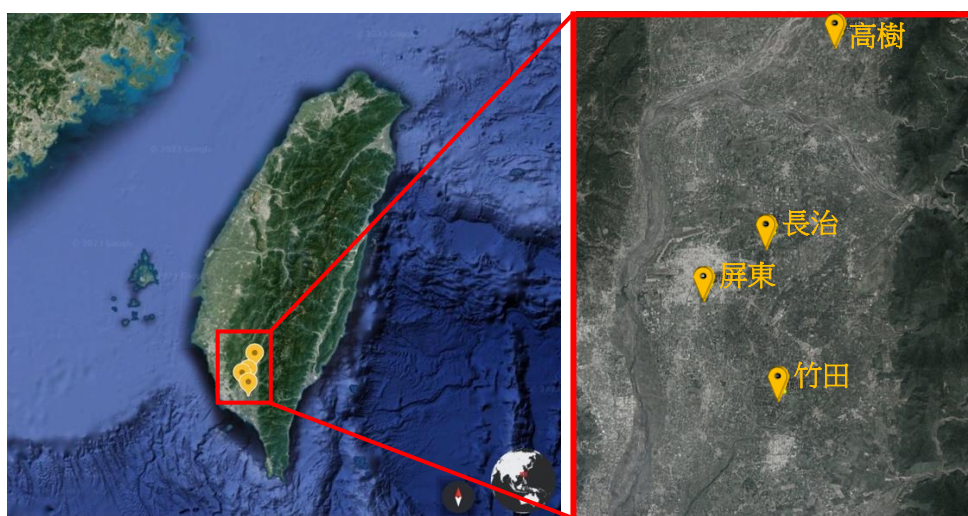


圖 1：測站位置

測站位置	經度	緯度	海拔高度	設站日期	地址
高樹 Gaoshu (C0R470)	120.6008	22.8263	103m	2013/06/14	屏東縣高樹鄉興中路 330 號 (高樹圖書館)
長治 Changzhi (C0R480)	120.5426	22.6931	57m	2013/06/07	屏東縣長治鄉德成村中興路 572-1 號(長治消防分隊)
屏東 Pingtung (C0R170)	120.494	22.6602	26m	2013/12/01	屏東縣屏東市復興路 245 號 (台灣糖業公司屏東區處場)
竹田 Zhutian (C0R650)	120.5434	22.5848	29m	2018/08/11	屏東縣竹田鄉中正路 123 號 (竹田鄉公所清潔隊)

表 1：測站資訊

四、 研究目的

- (一) 分析屏東地區午後對流雨與氣象要素的時序分布。
- (二) 探討氣象要素在有無午後對流雨事件前之頻率逐時變化。
- (三) 探討氣象要素在有無午後對流雨事件前之條件機率逐時變化。

貳、 研究設備及器材

一、 研究資料來源

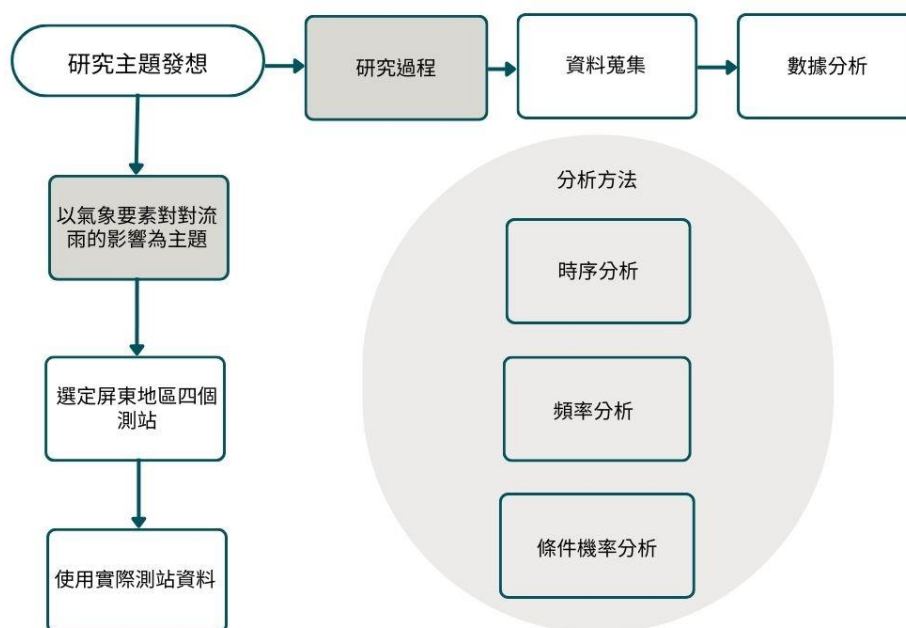
CWB Observation Data Inquire Service (CODIS)為中央氣象局建置之氣候資料服務系統，提供各測站氣象因子資料。

二、 研究設備

電腦：Microsoft Excel 計算、Origin 繪圖。

參、 研究過程或方法

一、 研究流程



二、 氣象資料蒐集及前處理

(一) 時間選取：考慮設站後年度資料完整性，本研究中探討的時間如下：

- 1、屏東測站、長治測站、高樹測站：西元 2014 年至西元 2022 年。
- 2、竹田測站：西元 2018 年至西元 2022 年。
- 3、以每年 6 月至 10 月的資料進行分析，時間解析度為小時。

(二) 對流雨日 (TSA day) 選取：

- 1、分析屏東地區對流雨主要發生時段：統計 6 月至 10 月每小時降雨個數。

以屏東測站為例 (圖 2)，其 X 軸為時間 (時)，Y 軸為降雨事件個數

(次)。從圖中，我們發現 12 點至 20 點的降雨個數相較於背景值 (黃色虛線) 較為明顯。因此，本研究以中午 12 時至晚上 9 時區間降雨視為對流雨事件。

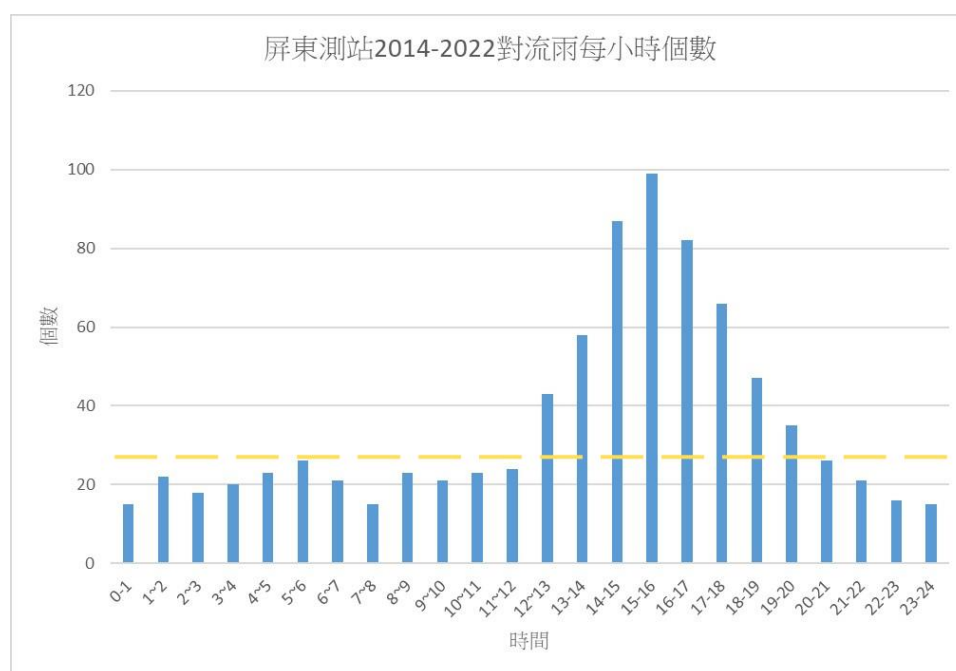


圖 2：屏東測站每小時降雨個數統計

- 2、每場對流雨事件至少有一小時之降雨量資料大於等於五毫米，且對流雨期間，無颱風警報日。(圖 3)
- 3、每場對流雨事件發生之時間需小於或等於三小時。若某小時降雨量資料為零，而其前後之降雨則視為不同降雨事件。

4、一日僅有一場降雨事件。

(三) 完全無降雨 (Non-TSA day) 選取：期間無颱風警報日，且整日降雨量為 0。(圖 3)

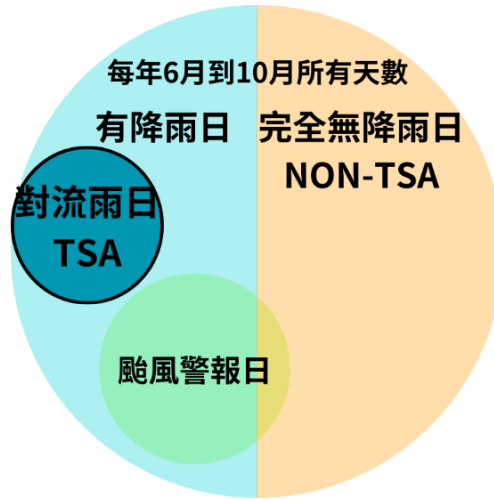


圖 3：降雨及無降雨日選取標準（圖形相對比例非實際數量比例）

(四) 資料預處理

- 1、原始測站資料：氣壓 (StnPressure ; hPa)、氣溫 (Temperature (T) ; °C)、相對溼度 (Relative Humidity (RH) ; %)、風速(Wind Speed (WS) ; m/s)、風向(Wind Direction (WD) ; °)、降水量(Precipitation; mm)，其中風速及風向為觀測時（整點）前 10 分鐘之平均。
- 2、以 Magnus-Tetens 近似公式估算出露點溫度 (Dew Point (T_d) ; °C)，並推算出實際水氣壓 (Vapor Pressure (VP 或 e) ; hPa)。其中 $T - T_d$ 或 ΔT 為溫度及露點溫度之差值 (°C)。

$$T_d = \frac{237.7 \left(\frac{17.27T}{237.7 + T} + \ln \left(\frac{RH}{100} \right) \right)}{17.27 - \left(\frac{17.27T}{237.7 + T} + \ln \left(\frac{RH}{100} \right) \right)}$$

$$\Delta T = T - T_d$$

$$VP = 6.112 e^{\frac{17.502T_d}{240.97 + T_d}}$$

- 3、本研究採用風速、風向、相對濕度、 $T - T_d$ 、及實際水氣壓等 5 項氣象要素作分析討論。

三、 資料與分析方法

(一) 基準化氣象要素時序逐時分析：

- 1、為探討在有無對流雨事件當天上午 8 時至中午 12 時之氣象要素逐時變化，以當日上午 8 點的資料為基準，調整逐時資料與上午 8 點的資料的構成，使每日紀錄能夠形成參考並作為比較。

	8 時	9 時	10 時	11 時	12 時
原始資料	a	b	c	d	e
基準化資料	1	$\frac{b}{a}$	$\frac{c}{a}$	$\frac{d}{a}$	$\frac{e}{a}$

- 2、計算每日基準化氣象要素之平均及標準差。

(二) 頻率分布分析

- 1、分析各氣象要素在該時段（上午 8 時至中午 12 時）之頻率分佈函數。
- 2、對於一氣象因子 k ，如風速，當其數值 $X_k = x$ 時，發生特定分類 s （TSA 或 Non-TSA）下的頻率分布函數 $f_{k,s}(x)$ ，其公式如下（Berenguer et al., 2006；Lin et al., 2012），分母 $n(\text{day type} = s)$ 為對流雨或完全沒降雨的天數：

$$f_{k,s}(x) = p(X_k = x | \text{day type} = s) \\ = \frac{n(X_k = x \cap \text{day type} = s)}{n(\text{day type} = s)}$$

(三) 條件機率分布分析

- 1、探討各氣象要素在該時段（上午 8 時至中午 12 時）發生對流雨的條件機率函數。
- 2、針對任一氣象要素因子 k ，當其數值為 $X_k = x$ 時， $n(X_k = x)$ 為氣象要素在區間 $X_k = x$ 的個數， $p_{k,s}(x)$ 即為 $X_k = x$ 中對流雨的機率。可表為（Berenguer et al., 2006；Lin et al., 2012）：

$$p_{k,s}(x) = p(\text{day type} = \text{TSA} | X_k = x)$$

$$= \frac{n(X_k = x \cap \text{day type} = TSA)}{n(X_k = x)}$$

肆、 研究結果

一、 分析各測站逐年對流雨個數：

(一) 屏東、高樹、長治、竹田等測站其逐年對流雨個數統計如下(圖 4)：X 軸為年，Y 軸為各測站該年對流雨個數。

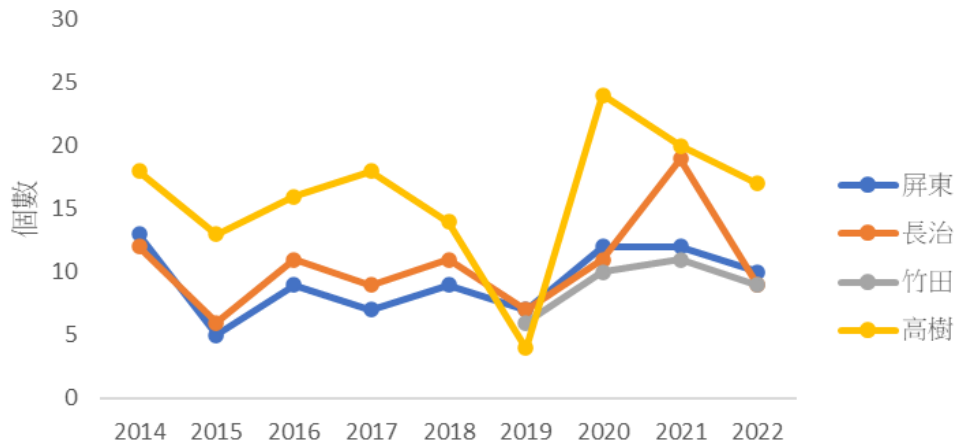


圖 4：各測站逐年對流雨個數

(二) 從圖 4 中發現高樹逐年對流雨個數變化趨勢較其他三個測站明顯，且個數也較多，推測該區海拔高度較高，可能易受地形影響。

二、 分析屏東地區午後對流雨與氣象要素的時序分布

(一) 探討在有無對流雨事件當天上午 8 時至中午 12 時之各氣象要素逐時變化，其四個測站完全無降雨日的總資料數皆多於有對流雨日。以下以屏東為例。高樹、長治及竹田測站的時序分布圖請參見附錄。

1、屏東測站分別在有無對流雨事件當天上午 8 時至中午 12 時的風速變化：
X 軸為時間(時)，Y 軸為基準化風速。(圖 5、圖 6)發現在有無對流雨事件中其變化趨勢無明顯差異。

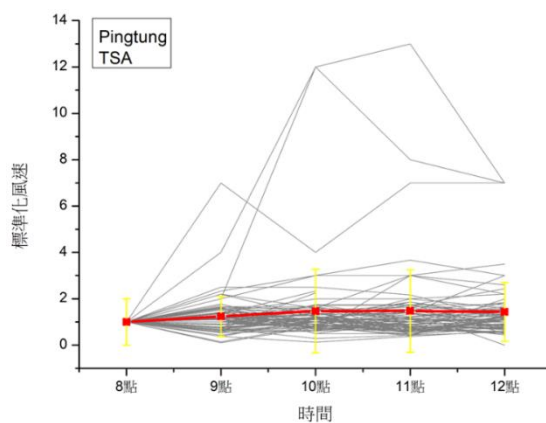


圖 5

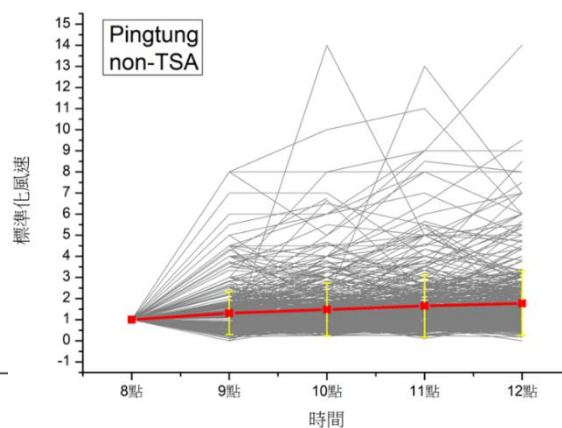


圖 6

2、屏東測站分別在有無對流雨事件當天上午 8 時至中午 12 時的相對溼度變化：X 軸為時間（時），Y 軸為基準化相對溼度。（圖 7、圖 8）發現在有無對流雨事件中其變化皆有下降趨勢。

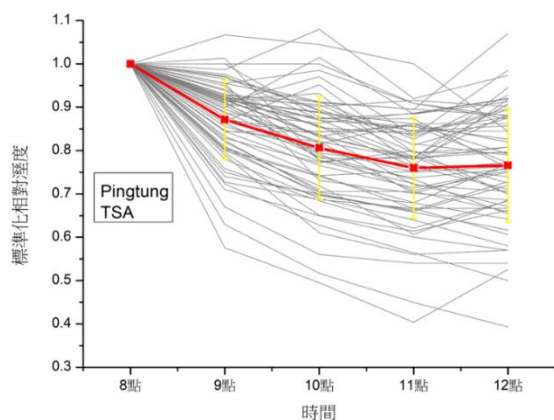


圖 7

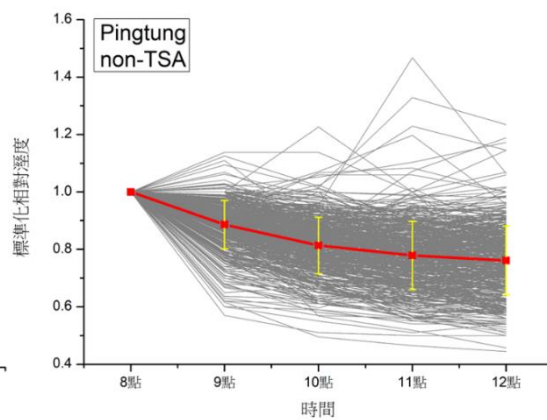


圖 8

3、屏東測站分別在有無對流雨事件當天上午 8 時至中午 12 時的實際水氣壓變化：X 軸為時間（時），Y 軸為基準化實際水氣壓。（圖 9、圖 10）發現在有無對流雨事件中其變化趨勢無明顯差異。

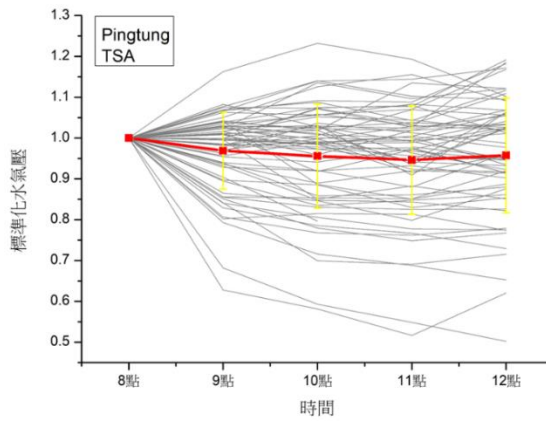


圖 9

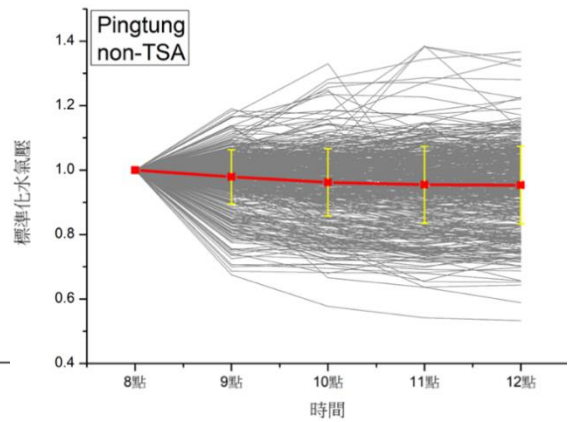


圖 10

4、屏東測站分別在有無對流雨事件當天上午 8 時至中午 12 時的 $T - T_d$ 變化：X 軸為時間（時），Y 軸為基準化 $T - T_d$ 。（圖 11、圖 12）發現在有無對流雨事件中其變化趨勢無明顯差異。

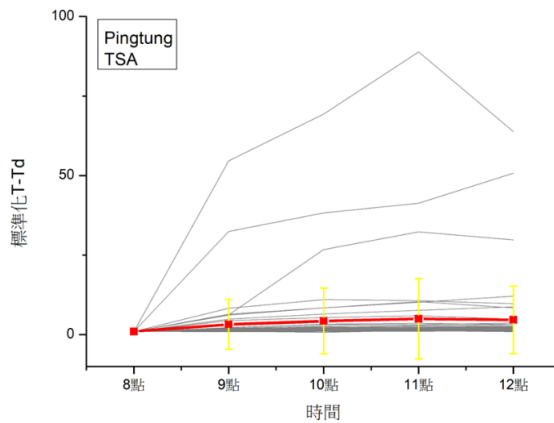


圖 11

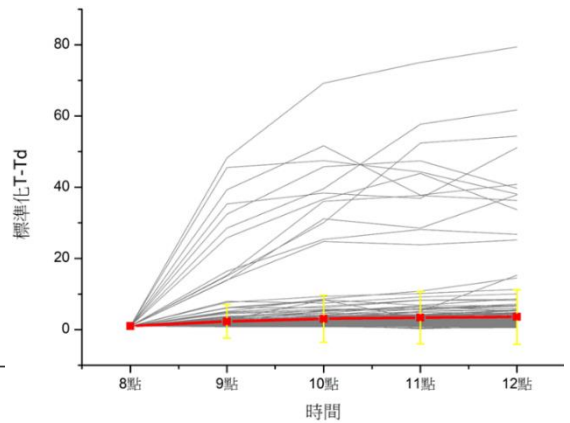


圖 12

5、屏東測站分別在有無對流雨事件當天上午 8 時至中午 12 時的風向變化：
 X 軸為時間（時），Y 軸為基準化風向。（圖 13、圖 14）發現在有無對流
 雨事件中其變化趨勢無明顯差異。

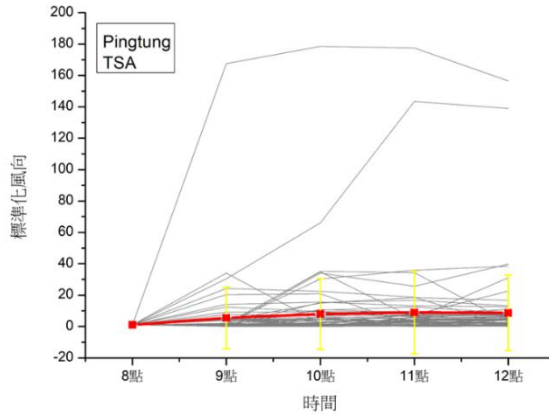


圖 13

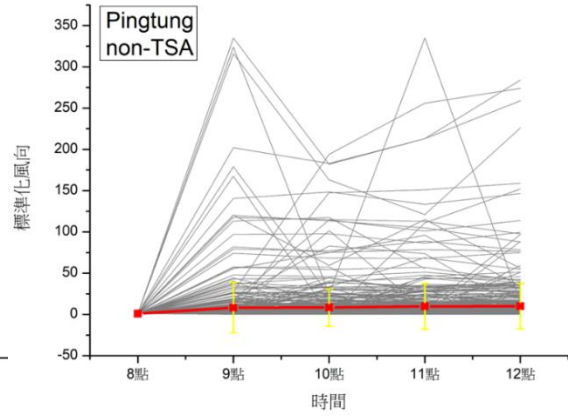


圖 14

(二) 逐時平均和標準差：以下以屏東為例。高樹、長治及竹田測站的時序分布圖
 請參見附錄。

1、屏東測站有對流雨事件之逐時平均和標準差：(表 2)

平均					
	相對溼度	風速	風向	T-Td	水氣壓
8 點	1	1	1	1	1
9 點	0.871	1.240	5.504	3.224	0.969
10 點	0.806	1.472	8.022	4.315	0.956
11 點	0.760	1.474	8.931	4.991	0.946
12 點	0.766	1.434	8.746	4.659	0.958
標準差					
	相對溼度	風速	風向	T-Td	水氣壓
8 點	0	0	0	0	0
9 點	0.092	0.875	19.757	7.827	0.094
10 點	0.119	1.804	22.582	10.290	0.127
11 點	0.116	1.776	26.360	12.638	0.133
12 點	0.131	1.272	24.127	10.572	0.141

表 2

2、屏東測站無對流雨事件之逐時平均和標準差：(表 3)

平均					
	相對溼度	風速	風向	T-Td	水氣壓
8 點	1	1	1	1	1
9 點	0.886	1.311	8.209	2.299	0.979
10 點	0.814	1.477	8.411	3.045	0.962
11 點	0.779	1.643	9.761	3.370	0.955
12 點	0.761	1.7690	9.910	3.569	0.953
標準差					
	相對溼度	風速	風向	T-Td	水氣壓
8 點	0	0	0	0	0
9 點	0.085	1.020	30.387	4.730	0.084
10 點	0.099	1.254	22.542	6.601	0.105
11 點	0.119	1.474	27.660	7.405	0.120
12 點	0.120	1.528	27.535	7.675	0.121

表 3

(三) 綜合分析：AVG change 為中午 12 時相較於上午 8 時的平均趨勢變化，Difference 為有無對流雨其中午 12 時相較於上午 8 時平均趨勢變化的差異量、VP 為實際水氣壓、RH 為相對溼度、WS 為風速、Wdir 為風向。若為正值表有對流雨時其值變化幅度較無對流雨時大；若為負值，則反之。(表 4)

			VP(hPa)	RH(%)	$\Delta T(^{\circ}C)$	WS (m/s)	Wdir($^{\circ}$)
Gaoshu	AVG change (ref. 8AM)	TSA	0.999	0.794	1.812	1.595	12.785
		Non-TSA	1.004	0.803	2.086	1.893	17.014
	Difference(TSA – NonTSA)		-0.005	-0.009	-0.274	-0.298	-4.229
			VP(hPa)	RH(%)	$\Delta T(^{\circ}C)$	WS (m/s)	Wdir($^{\circ}$)
Changzhi	AVG change (ref. 8AM)	TSA	0.965	0.757	3.31	1.926	12.41
		Non-TSA	0.956	0.749	3.938	2.499	13.012
	Difference(TSA – NonTSA)		0.009	0.008	-0.628	-0.573	-0.602
			VP(hPa)	RH(%)	$\Delta T(^{\circ}C)$	WS (m/s)	Wdir($^{\circ}$)
Pingtung	AVG change (ref. 8AM)	TSA	0.968	0.766	4.659	1.434	8.746
		Non-TSA	0.953	0.761	3.569	1.769	9.91
	Difference(TSA – NonTSA)		0.015	0.005	1.09	-0.335	-1.164
			VP(hPa)	RH(%)	$\Delta T(^{\circ}C)$	WS (m/s)	Wdir($^{\circ}$)
Zhutian	AVG change (ref. 8AM)	TSA	0.884	0.712	17.235	5.002	8.43
		Non-TSA	0.884	0.722	14.399	3.652	11.288
	Difference(TSA – NonTSA)		0	-0.01	2.836	1.35	-2.858

表 4

- 1、水氣壓及相對溼度的平均變化為隨時間增加有下降趨勢，而溫度差、風速及風向的平均則有隨著時間增加而上升的趨勢。
- 2、不管有無對流雨事件，其五個氣象要素平均變化差異量皆無明顯差異。即表示從時序分析中無法看出在有無對流雨事件狀態下，其氣象要素變化的差異性。

伍、 討論

一、 探討氣象要素在有無午後對流雨事件前之頻率逐時變化

(一) 探討在有無對流雨事件當天上午 8 時至中午 12 時之各氣象要素頻率逐時變化，以下以相對溼度為例。各測站的實際水氣壓、溫度差、風向、風速的頻率逐時變化圖請參見附錄。

1、高樹測站分別在有無對流雨事件當天上午 8 時至中午 12 時的相對溼度逐時變化：X 軸為相對溼度(%)，Y 軸為頻率。(圖 15、圖 16)

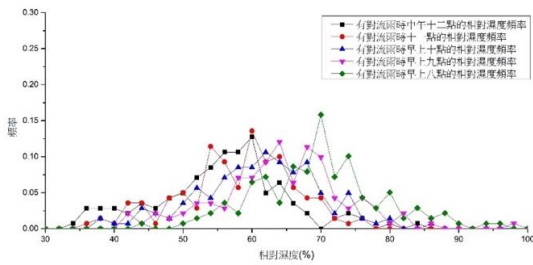


圖 15

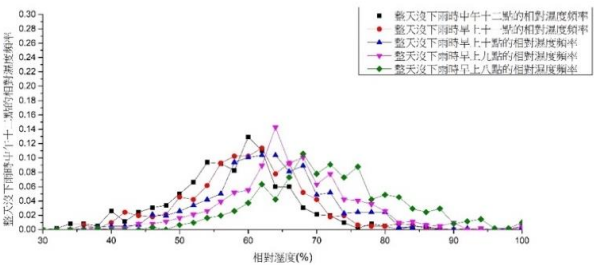


圖 16

2、屏東測站分別在有無對流雨事件當天上午 8 時至中午 12 時的相對溼度逐時變化：X 軸為相對溼度(%)，Y 軸為頻率。(圖 17、圖 18)

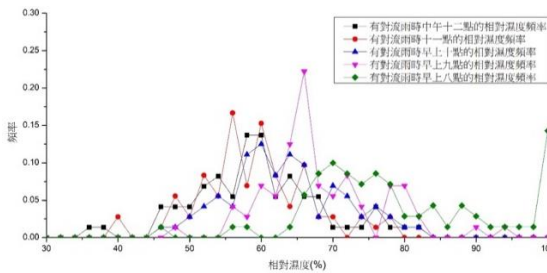


圖 17

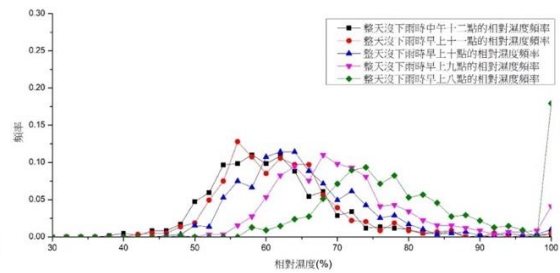


圖 18

3、長治測站分別在有無對流雨事件當天上午 8 時至中午 12 時的相對溼度逐時變化：X 軸為相對溼度（%），Y 軸為頻率。（圖 19、圖 20）

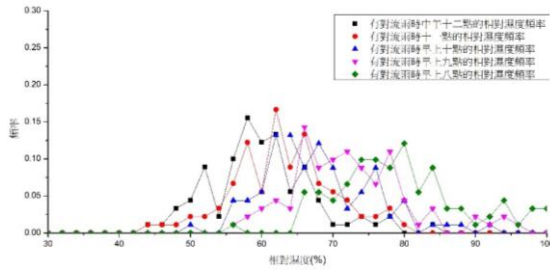


圖 19

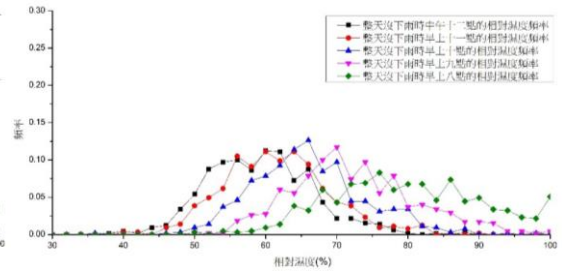


圖 20

4、竹田測站分別在有無對流雨事件當天上午 8 時至中午 12 時的相對溼度逐時變化：X 軸為相對溼度（%），Y 軸為頻率。（圖 21、圖 22）

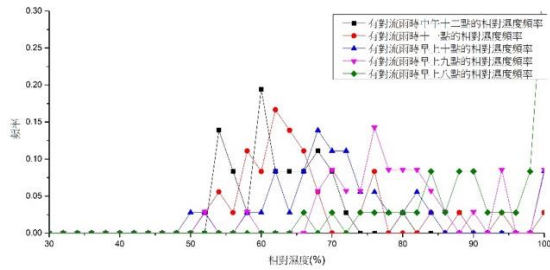


圖 21

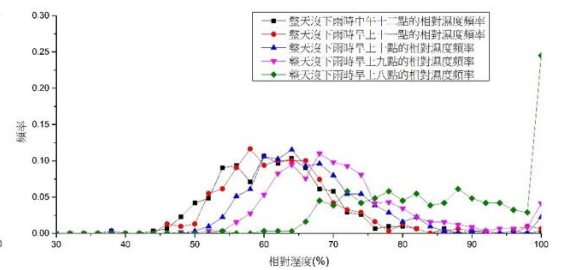


圖 22

(二) 綜合分析：Xaxis change 表從上午 8 時至中午 12 時頻率趨勢變化、peak value 表頻率趨勢變化的最大值、Variance 表有無對流雨的頻率趨勢的變異量。例如高樹測站實際水氣壓 VP，其最大值相同，但有對流雨事件時變異量較大，即表示在有對流雨事件時其變化較為明顯。(表 5)

			VP(hPa)	RH(%)	ΔT(°C)	WS (m/s)	Wdir(°)
Gaoshu	X_{axis} change 8AM → 12PM	TSA	x	↓	↑	x	↑
		Non-TSA	x	↓	↑	x	↑
	peak value	TSA	27-28	70→60	6→10	1-1.6	10→200-330
		Non-TSA	27-28	69→59	6→10	0.8-1.4	10→225-320
	Variance ($\frac{TSA}{Non-TSA}$)		↑	x	x	↑	↑

			VP(hPa)	RH(%)	ΔT(°C)	WS (m/s)	Wdir(°)
Changzhi	X_{axis} change 8AM → 12PM	TSA	x	↓	↑	x	↑
		Non-TSA	x	↓	↑	x	↑
	peak value	TSA	28-31	79→57	4→9	1.3	20→270-330
		Non-TSA	29	76→57	4→9	1.3	20→200-300
	Variance ($\frac{TSA}{Non-TSA}$)		↑	↑	↑	↑	↑

			VP(hPa)	RH(%)	ΔT(°C)	WS (m/s)	Wdir(°)
Pingtung	X_{axis} change 8AM → 12PM	TSA	x	↓	↑	x	↑
		Non-TSA	x	↓	↑	x	↑
	peak value	TSA	29-32	70→59	6→10	1.8	50→220-340
		Non-TSA	30	73→58	5→9	1.8	20→220-320
	Variance ($\frac{TSA}{Non-TSA}$)		↑	↑	↑	↑	x

			VP(hPa)	RH(%)	ΔT(°C)	WS (m/s)	Wdir(°)
Zhutian	X_{axis} change 8AM → 12PM	TSA	x	↓	↑	x	x
		Non-TSA	x	↓	↑	x	↑
	peak value	TSA	29-36	86→60	2→8	0.6-2	30-330
		Non-TSA	30	80→58	3→8	0.8-2.3	20→220-320
	Variance ($\frac{TSA}{Non-TSA}$)		↑	↑	↑	↑	x

表 5

1、四個測站的相對溼度頻率趨勢變化隨時間增加而下降，溫度差則隨時間增加而增加。風向頻率趨勢變化可發現從北風或東北風轉為西南風。實際水氣壓及風速頻率趨勢變化則無明顯改變。

2、除風向之外，其變異量在對流雨事件時較無對流雨時高。此表示在有對

流雨事件時，其氣象要素在該值變化下特徵較為明顯。

- 3、受太陽熱力作用影響下，隨時間增加，溫度上升，飽和水氣壓增大，致使相對溼度逐時下降、溫度差值變大。

二、 探討氣象要素在有無午後對流雨事件前之條件機率逐時變化

(一) 探討在有對流雨事件當天上午 8 時至中午 12 時之各氣象要素條件機率逐時變化。

1、各測站風速條件機率逐時變化：X 軸為風速 (m/s)，Y 軸為條件機率

(圖 23)。各測站中風速約介於 0.5 至 2.5m/s 間，其條件機率值較大，表發生對流雨的機會較大。

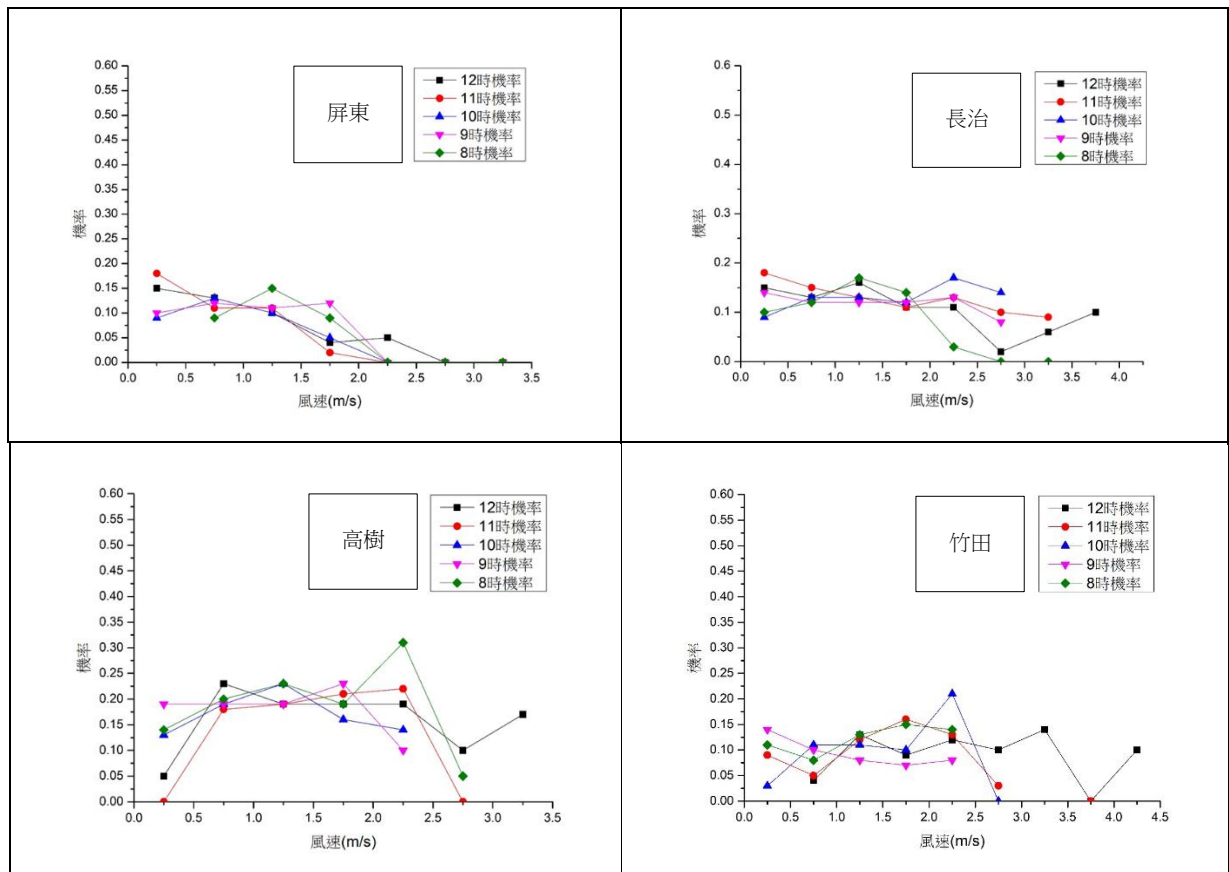


圖 23

2、各測站相對溼度條件機率逐時變化：X 軸為相對溼度（%），Y 軸為條件機率（圖 24）。各測站中相對溼度介於 55%至 75%間，其條件機率值較大，表發生對流雨的機會較大。

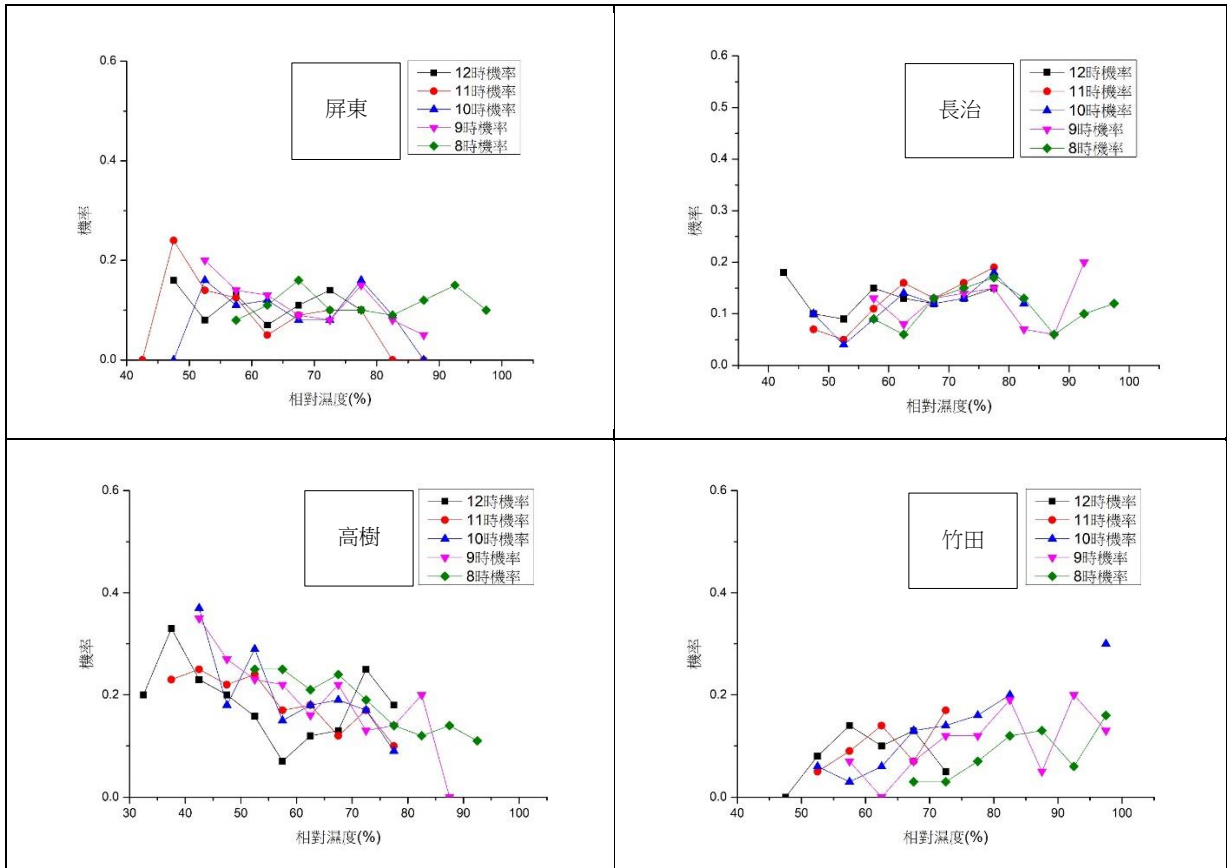


圖 24

3、各測站實際水氣壓條件機率逐時變化：X 軸為實際水氣壓 (hPa)，Y 軸為條件機率 (圖 25)。各測站中實際水氣壓越大，其條件機率值較大，表發生對流雨的機會較大。

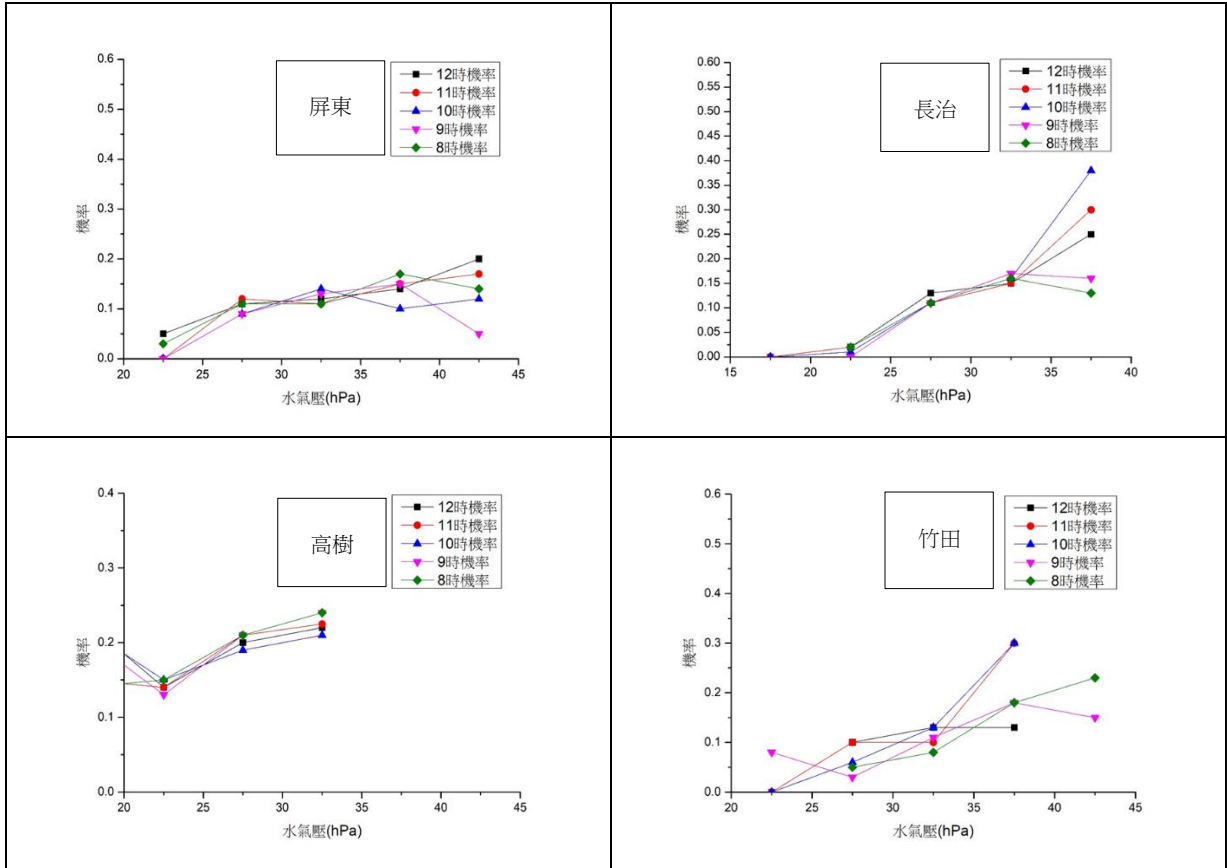


圖 25

4、各測站 $T - T_d$ 條件機率逐時變化：X 軸為 $T - T_d$ (°C)，Y 軸為條件機率
 (圖 26)。各測站中 $T - T_d$ 變化不明顯。

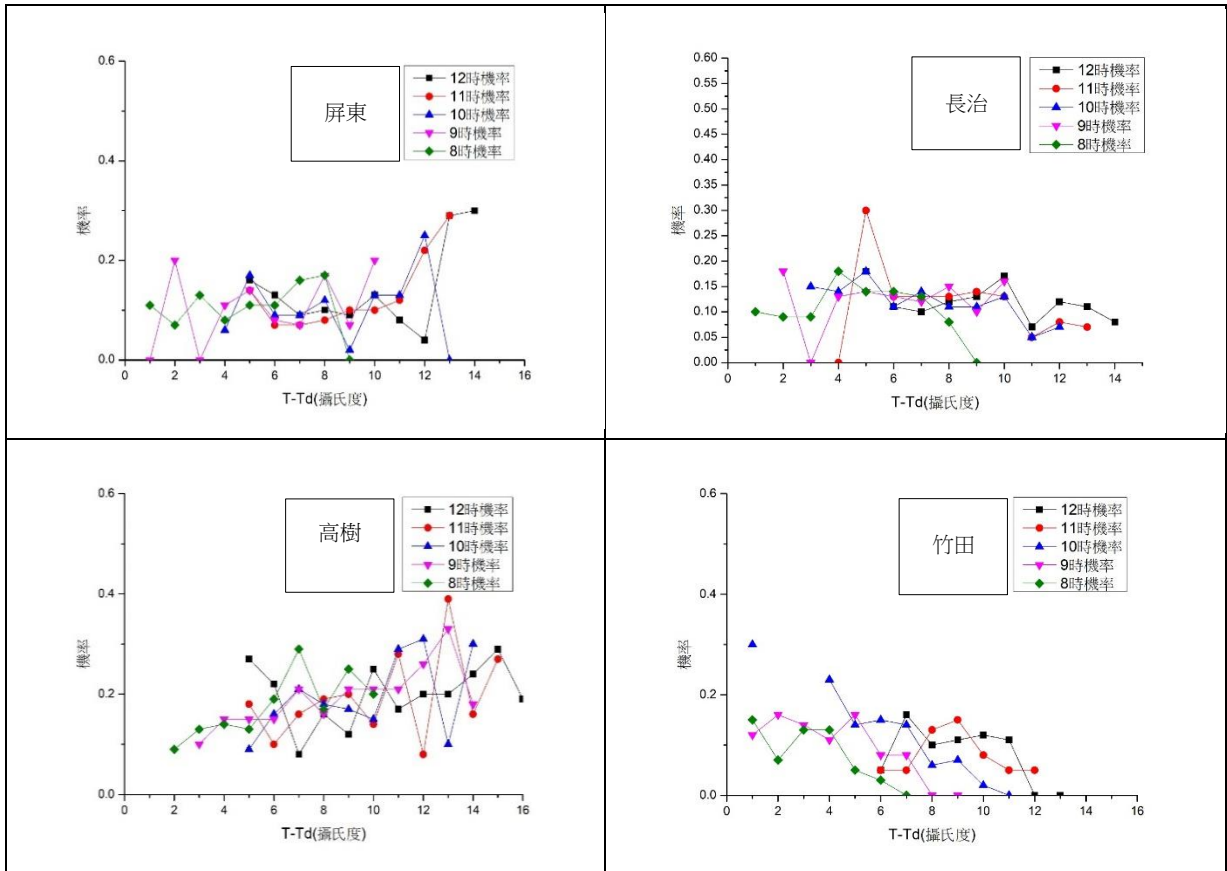


圖 26

5、各測站風向條件機率逐時變化：X 軸為風向 ($^{\circ}$)，Y 軸為條件機率 (圖 27)。各測站中風向介於 45° 至 90° 及 225° 至 345° 間，其條件機率值較大，表發生對流雨的機會較大。

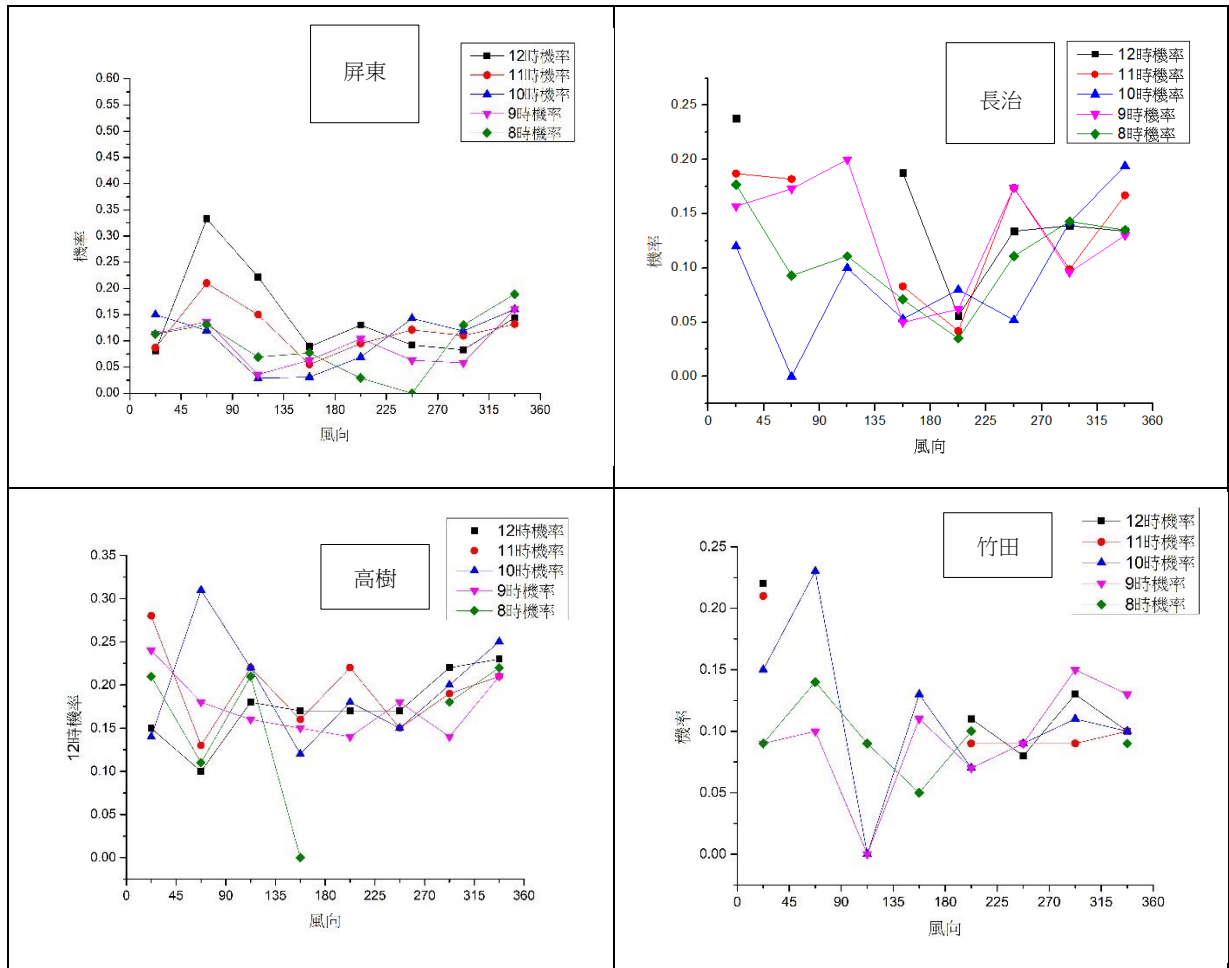


圖 27

(二) 綜合分析：Yaxis change 表從上午 8 時至中午 12 時條件趨勢變化、

probability 為發生對流雨的可能性。例如實際水氣壓 VP，其 probability 值上升，則表示實際水氣壓越大，發生對流雨事件的可能性越大。(表 6)

		VP(hPa)	RH(%)	$\Delta T(^{\circ}\text{C})$	WS(m/s)	Wdir($^{\circ}$)
Gaoshu	$\frac{Y_{axis\ change}}{8AM \rightarrow 12PM}$	x	x	x	x	x
	probability	↑	70% ↓	x	0.75-2.25	0-45;225-345
		VP(hPa)	RH(%)	$\Delta T(^{\circ}\text{C})$	WS(m/s)	Wdir($^{\circ}$)
Changzhi	$\frac{Y_{axis\ change}}{8AM \rightarrow 12PM}$	\uparrow_8^{10} \downarrow_{12}^{10}	x	x	\uparrow_8^{10} \downarrow_{12}^{10}	x
	probability	↑	60-75	4-10 $^{\circ}\text{C}$	1.5m/s ↓	0-45;225-345
		VP(hPa)	RH(%)	$\Delta T(^{\circ}\text{C})$	WS(m/s)	Wdir($^{\circ}$)
Pingtung	$\frac{Y_{axis\ change}}{8AM \rightarrow 12PM}$	x	x	x	x	x
	probability	↑	55-75	x	1.5m/s ↓	45-90;270-345
		VP(hPa)	RH(%)	$\Delta T(^{\circ}\text{C})$	WS(m/s)	Wdir($^{\circ}$)
Zhutian	$\frac{Y_{axis\ change}}{8AM \rightarrow 12PM}$	x	↑	↑	x	x
	probability	↑	x	↓	x	x

表 6

1、綜合四個測站，若實際水氣壓大於 22.5hPa、相對溼度介於 55%至

75%、風速小於 2.25m/s、風向北風或東北風或西南風，則發生對流雨的可能性越大。

2、夏季受西南季風影響，促使水氣壓、相對溼度改變，而風速小進而加速區域熱力變化效應，故容易造成對流雨之發生。

三、 綜合討論

- (一) 屏東地區的午後對流雨主要受夏季的西南季風及熱力效應的影響。當早上太陽升起時，氣溫隨時間而增高，進而影響飽和水氣壓的量值，致使相對溼度逐漸變小。在屏東地區的氣象要素時序分析中，除了高樹地區，其他測站實際水氣壓隨時間遞減幅度約為 4%至 10%，遞減幅度極小，也就是從早上 8 點至中午 12 點實際水氣壓並無太大變化。故當午後太陽熱力效應減弱時，飽和水氣壓的量值遞減，進而達到飽和門檻，促使對流雨的發生。
- (二) 因屏東地區鄰近中央山脈南段，所以在晚上到清晨這段期間，夜間輻射冷卻效應強，致使山區形成密度較大的冷空氣，在重力影響下沿山坡下滑吹拂，形成北風或東北風（圖 28）；到了白天，太陽熱力效應加強，平地陸地溫度逐漸增高，氣壓相對較低，使得海洋上的空氣吹往陸地，夏季西南季風較明顯，進而帶來豐沛的水氣，有助於下午對流雨的形成（圖 29）。（資料來源: GFS / NCEP / US National Weather Service；圖片來源:earth nullschool）

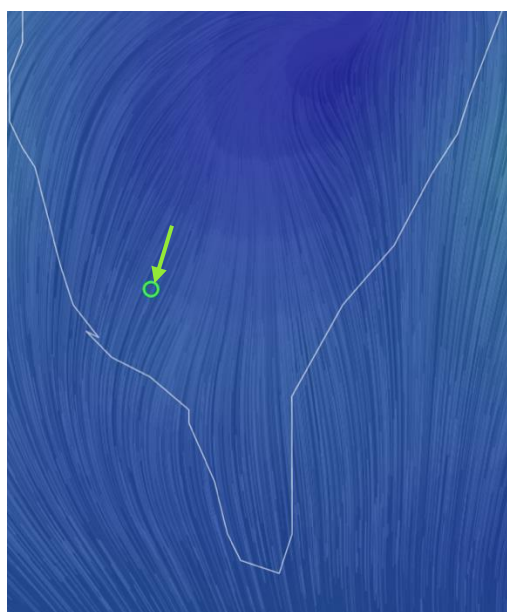


圖 28：屏東測站在 2021-08-17 08:00 的風向圖。風向為 30°，風速為 1km/h。



圖 29：屏東測站在 2021-08-02 12:00 時的風向圖。風向為 205°，風速為 13km/h。

- (三) 從我們的研究結果顯示，透過氣象要素所求得的對流雨發生機率大多偏低（幾乎都在 0.4 以下），因此僅能藉此判斷彼此間的相對關係，此影響除了和選取資料

有關外，另一挑戰為小尺度對流活動在氣象上之定量探討有其困難處，尤其在 0 至 6 小時的極短期預報上，常有低估極短延時強對流降雨的情形發生。且各氣象要素彼此牽動，難以找出一最大影響因子，未來將試著將各氣象要素作權重分析或加入其他參數，以期找出一合理模式，進而預估降雨發生。

陸、 結論

- 一、 從各測站基準化時序分析中，其水氣壓及相對溼度的平均變化隨時間增加有下降趨勢，而溫度差、風速及風向的平均則隨著時間增加而上升。但不管有無對流雨事件，其五個氣象要素平均變化的差異量皆相似。即表示從時序分析中無法看出在有無對流雨事件狀態下，其氣象要素變化的差異性。
- 二、 在探討氣象要素在有無對流雨下的逐時頻率變化中，相對溼度頻率趨勢變化隨時間增加而下降，溫度差則隨時間增加而增加。風向頻率趨勢變化可發現從北風或東北風轉為西南風。且其變異量在有對流雨事件時，氣象要素在該值變化下特徵較為明顯。
- 三、 各測站在有對流雨事件時的逐時條件機率分析中，發現若實際水氣壓大於 22.5hPa、相對溼度介於 55%至 75%、風速小於 2.25m/s、風向北風或東北風或西南風，則發生對流雨的可能性越大。
- 四、 屏東地區的午後對流雨主要受夏季的西南季風及熱力效應的影響。白天受太陽熱力作用影響下，隨時間增加，溫度上升，飽和水氣壓增大，致使相對溼度逐時下降、溫度差值變大。到了下午時段，溫度下降，再加上受西南季風影響，促使水氣壓、相對溼度改變，且風速小也不易把水氣吹散，故容易造成對流雨之發生。
- 五、 小尺度對流活動在氣象上之定量探討有其困難處，且各氣象要素彼此牽動，難以找出一最大影響因子，未來將各氣象要素進行權重的分析，以期找出一合理模式，進而預估降雨發生。

柒、 參考資料及其他

- Adler, B., Kalthoff, N., Kohler, M., Handwerker, J., Wieser, A., Corsmeier, U., Kottmeier, C., Lambert, D. and Bock, O. (2016), The variability of water vapour and pre-convective conditions over the mountainous island of Corsica. *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 142: 335-346. <https://doi.org/10.1002/qj.2545>
- Akaeda, K., Reisner, J., & Parsons, D. (1995). The Role of Mesoscale and Topographically Induced Circulations in Initiating a Flash Flood Observed during the TAMEX Project. *Monthly Weather Review*, 123(6), 1720-1739. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1995\)123<1720:TROMAT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1995)123<1720:TROMAT>2.0.CO;2)
- Berenguer, M., Sempere-Torres, D., Corral, C., & Sánchez-Diezma, R. (2006). A Fuzzy Logic Technique for Identifying Nonprecipitating Echoes in Radar Scans. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 23(9), 1157-1180. <https://doi.org/10.1175/JTECH1914.1>
- Chang, H., Brown, B. G., Chu, P., Liou, Y., & Wang, W. (2017). Nowcast Guidance of Afternoon Convection Initiation for Taiwan. *Weather and Forecasting*, 32(5), 1801-1817. <https://doi.org/10.1175/WAF-D-16-0224.1>
- Chen, C., & Chen, Y. (2003). The Rainfall Characteristics of Taiwan, *Monthly Weather Review*, 131(7). 1323-1341. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2003\)131<1323:TRCOT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2003)131<1323:TRCOT>2.0.CO;2)
- Chen, T., Tsay, J., & Takle, E. S. (2016). A Forecast Advisory for Afternoon Thunderstorm Occurrence in the Taipei Basin during Summer Developed from Diagnostic Analysis. *Weather and Forecasting*, 31(2), 531-552. <https://doi.org/10.1175/WAF-D-15-0082.1>
- Chen, T., Yen, M., Hsieh, J., & Arritt, R. W. (1999). Diurnal and Seasonal Variations of the Rainfall Measured by the Automatic Rainfall and Meteorological Telemetry System in Taiwan. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 80(11), 2299-2312. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1999\)080<2299:DASVOT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1999)080<2299:DASVOT>2.0.CO;2)
- Fuelberg, H. E., & Biggar, D. G. (1994). The Preconvective Environment of Summer

Thunderstorms over the Florida Panhandle. *Weather and Forecasting*, 9(3), 316-326. [https://doi.org/10.1175/1520-0434\(1994\)009<0316:TPEOST>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(1994)009<0316:TPEOST>2.0.CO;2)

Kirshbaum, D., Adler, B., Kalthoff, N., Barthlott, C., & Serafin, S. (2018). Moist Orographic Convection: Physical Mechanisms and Links to Surface-Exchange Processes. *Atmosphere*, 9(3), 80. <https://doi.org/10.3390/atmos9030080>

Tian, F., Zhang, X., Xia, K., Sun, J., & Zheng, Y. (2022). Probability Forecasting of Short-Term Short-Duration Heavy Rainfall Combining Ingredients-Based Methodology and Fuzzy Logic Approach. *Atmosphere*, 13(7), 1074. <https://doi.org/10.3390/atmos13071074>

Wilson, J. W., & Roberts, R. D. (2006). Summary of Convective Storm Initiation and Evolution during IHOP: Observational and Modeling Perspective. *Monthly Weather Review*, 134(1), 23-47. <https://doi.org/10.1175/MWR3069.1>

李智翔 (2021)。臺灣北部午後雷陣雨之熱動力特徵 (國立臺灣師範大學地球科學系 110 年暑期學生計畫)。

周仲島、高聿正、修榮光、鍾吉俊、李宗融、郭鴻基 (2016)。臺北都會區豪雨型午後雷暴的觀測特徵與預報挑戰：2015 年 6 月 14 日個案研究。 *大氣科學*, 44(1), 57-82。
<https://www.airitilibrary.com/Publication/alDetailedMesh?DocID=02540002-201603-201605270005-201605270005-57-82>

易聖博 (2018)。梅雨季及颱風季期間臺南地區弱綜觀天氣降雨分析及其機率指引模組作業統計。(107 年度研究報告第 CWB 107-1A-13 號)。臺灣南區氣象中心。

林品芳、張保亮、周仲島 (2012)。弱綜觀環境下台灣午後對流特徵及其客觀預報。 *大氣科學*, 40(1), 77-107。
<https://www.airitilibrary.com/Publication/alDetailedMesh?DocID=02540002-201203-201210170024-201210170024-77-107>

林逸恆 (1997)。臺灣局部環流與西部劇烈降水關係之數值模式研究。[未出版之碩士論文]。國立中央大學。臺灣博碩士論文知識加值系統。
<https://hdl.handle.net/11296/q5t6mt>

林熹閔、郭鴻基 (1996)。1994 年南台灣夏季午後對流之研究。 *大氣科學*, 24(3-4), 249-280。
<https://www.airitilibrary.com/Publication/alDetailedMesh?DocID=02540002-199612->

[201404140003-201404140003-249-280](#)

侯昭平、范凱翔（2014）。*台灣中部環流導致劇烈降水之數值研究*。103年中央氣象局天氣分析與預報研討會。

https://conf.cwb.gov.tw/media/cwb_past_conferences/103/2014WAF/A2/A2-39.pdf

陳柏言（2018）。*陸地大氣交互作用對於熱帶島嶼日降水強度之影響*。[未出版之碩士論文]。國立臺灣大學。臺灣博碩士論文知識加值系統。 <https://hdl.handle.net/11296/9tm5t6>

陳泰然（1994）。台灣梅雨季之豪雨研究。 *大氣科學*，22(4)，455-477。

<https://www.airitilibrary.com/Publication/alDetailedMesh?DocID=02540002-199412->

[201404150030-201404150030-455-477](#)

陳泰然、王重傑、張智昇、王子軒（2005）。梅雨季台灣中部降水與豪（大）雨之中尺度氣候特徵。 *大氣科學*，33(1)，49-76

陳泰然、周鴻祺、張子琦、劉志信（2001）。梅雨季台灣北部地區鋒面型與非鋒面型午後對流研究。 *大氣科學*，29(1)，37-52。

<https://www.airitilibrary.com/Publication/alDetailedMesh?DocID=02540002-200103-29-1-37->

[52-a](#)

陳泰然、周鴻祺、廖珮娟、楊進賢（2009）。暖季台灣中北部午後連續對流的氣候特徵研究。 *大氣科學*，37(1)，49-86。

<https://www.airitilibrary.com/Publication/alDetailedMesh?DocID=02540002-200903->

[200910270008-200910270008-49-86](#)

陳泰然、林宗嵩（1997）。梅雨季台灣中南部地區豪大雨之氣候特徵研究。 *大氣科學*，25(3)，289-306。

<https://www.airitilibrary.com/Publication/alDetailedMesh?DocID=02540002-199709->

[201404140006-201404140006-289-306](#)

陳泰然、張子琦（2002）。梅雨季台灣中北部地區豪（大）雨之氣候特徵研究。 *大氣科學*，30(2)，171-185。

<https://www.airitilibrary.com/Publication/alDetailedMesh?DocID=02540002-200206-30-2->

[171-185-a](#)

陳泰然、楊進賢（1988）。台灣梅雨期豪雨之時空分布特徵。大氣科學，16(2)，151-162。

<https://www.airitilibrary.com/Publication/alDetailedMesh?DocID=02540002-198806-201404150008-201404150008-151-162>

楊天瑞（2021）。利用觀測環境參數與機器學習預報大台北都會區的午後雷陣雨。（國立臺灣師範大學地球科學系暑期學生專題研究計畫書面報告）。

楊姵桂（2000）。台灣地區午後對流降水特性之分析。[未出版之碩士論文]。國立中央大學。臺灣博碩士論文知識加值系統。 <https://hdl.handle.net/11296/pjvm2m>

歐安祥（2010）。台灣北部夏季午後降雨機制與地形影響之探討。[未出版之碩士論文]。國立臺灣師範大學。臺灣博碩士論文知識加值系統。 <https://hdl.handle.net/11296/fjqpeg>

賴彥瑾（2015）。臺中都市熱島效應與對流降雨之關聯。[未出版之碩士論文]。逢甲大學。臺灣博碩士論文知識加值系統。 <https://hdl.handle.net/11296/dcqgs8>。

繆炯恩（2017）。2015年6月14日臺北盆地劇烈午後雷暴個案之高解析度模擬研究。[未出版之碩士論文]。國立臺灣大學。華藝線上圖書館。

<https://doi.org/10.6342/NTU201704067>

魏智航（2015）。梅雨季弱綜觀強迫下臺灣西南部沿海清晨對流發展之個案診斷分析研究。[未出版之碩士論文]。國立臺灣大學。華藝線上圖書館。

<https://doi.org/10.6342/NTU.2015.01963>

【評語】 180014

本研究選擇屏東地區近 10 年的測站觀測資料，以簡單的統計方法進行分析，不僅易於解讀，亦可以驗證課堂所學的內容。研究結果對於屏東地區發生對夏季對流降雨可能的原因，有初步的推測，值得肯定。本研究實驗設計為事件的收集及統計分析，建議將研究結果與其他資料進行比對，檢視研究成果是否還有例外或是未考慮之因素。研究中有提及屏東地區的夏季對流降雨與地形的舉升有直接關聯，但是在分析自動測站資料時，並未將該地地形因素當作變因考量，缺少了地形因子是否在事件發生中扮演的關鍵角色。內文引用與參考文獻應該密切連結。相對溼度、溫度露點差、露點，水氣壓、比濕或混和比等表示水氣參數之意義與差異應清楚了解。