

# 臺灣中部地區午後對流特性之統計分析

李旻恩 林沛練

國立中央大學 大氣物理研究所

## 摘要

本研究以近年來2016~2020年暖季(5~9月)的資料進行台灣中部區域午後對流環境特徵的統計分析，並考慮不同綜觀風場的影響，以暖季盛行風場東北風(NE)、東風(EE)、東南風(SE)、南風(SS)與西南風(SW)，分別進行午後對流日(afternoon thunderstorm day, TSA)及非午後對流日(non-afternoon thunderstorm day, noTSA)的環境場分析，以兩者間的差異探討午後對流發生前的環境特徵及可用於預報的環境因子，對未來中部區域的午後對流預報奠定基礎。使用資料有00UTC的馬公站探空資料與歐洲氣象中心提供的ERA5再分析資料進行綜觀場分析，以及中央氣象局地面測站資料，檢視地面環境場在時序上的變化，探討中部區域午後對流的環境特性。

研究結果顯示，中層副熱帶高壓位置將影響環境的午後對流的生成，高壓脊位置越往西伸南偏，台灣環境越趨於穩定，而當台灣位於副高邊緣，則會使台灣有相對較高的環境不穩定度。各綜觀風場下有無午後對流間差異明顯的高度不同，但受綜觀風場的風向與強弱影響，TSA於中低層都有較暖濕的環境條件，導致對流抑制位能減少，只需受較少的外力作用，即可達自由對流高度發展對流系統，再加上較大的對流可用位能與可降水量，使TSA有相當利於對流發展之環境條件，而近地表海風的水氣傳輸作用，則能把水氣傳送至內陸區域，當熱力作用充足時，更容易成雲降水，而受綜觀風場影響向岸風會產生南北偏轉的情形，造成降水熱區位置改變，說明降水熱區與地表風場遇到的地形位置具有高度相關。

**關鍵字：**午後對流

## 一、前言

暖季為台灣重要的降水時期，同時也是午後熱對流好發期，濾除複雜的綜觀天氣系統影響，於弱綜觀天氣型態下的午後對流也會產生可觀的降水，為台灣水資源不可或缺的供應者。但午後對流有短延時強降水的特性，其伴隨的劇烈降水、雷擊、強陣風等災害事件發生，容易對民眾的生命財產造成威脅，若能經由統計分析的方式，了解不同地區的午後對流特性，從而發現對流降水發生前的徵兆，即可提前預防並降低損失。上述前人的研究中，為了能夠預報午後對流，針對台北盆地區域進行統計分析，以有無午後對流日的對流前環境差異，探討午後對流日的特徵，並找出熱動力上的環境因子，而後以其特性來發展預報系統。前人於整個台灣地區的午後對流研究中發現，除了海風的水氣傳輸影響，盛行風與降水位置之間也有明顯的相關性，而且各區的午後對流降水特性有所不同，其中中部區域的午後對流日降水量最多且頻繁，除了有較劇烈的午後對流發生，往東緩緩逐漸增加的簡單地形，也是本研究選取中部區域分析的原因之一。故本研究欲以相同的概念以近年來2016~2020年5~9月的資料進行分析，統計近年來(2016~2020年)針對台灣中

部區域於暖季期間(5~9月)弱綜觀天氣型態下的午後對流環境，並分析在各盛行風下的有無午後對流之對流前環境特徵，找出可用來做預報的環境因子。

## 二、資料來源及研究方法

本研究分析時間為2016年~2020年5月~9月(暖季期間)。使用的資料有中央氣象局(Central Weather Bureau, CWB)的自動氣象觀測站、雨量站、局屬站，時間解析度為一小時的測站資訊，研究分析上所使用的測站要先進行資料上的篩選，須符合總資料量大於分析時間的90%的測站，篩選後共有410站的測站被採用以進行後續的地表環境分析。除此之外，在資料的取用上還使用最接近台灣中部區域的馬公站探空資料，並選取得以分析午後對流發展前時間點00UTC進行探空分析，以及歐洲氣象中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)所提供的ERA5再分析資料，空間解析度為 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ ，時間同樣取00UTC進行綜觀環境場的研究分析。

本研究探討弱綜觀天氣型態下的午後對流，並以有無午後對流的對流前環境場差異進行比較分析，此前需要進行個案的篩選與分類才得以開始進

行後續環境場的討論，個案選擇主要分為以下五部分：(1)弱綜觀日的篩選，先濾除分析區域的一定範圍內受到明顯的綜觀天氣系統影響的個案；(2)分析區域的劃分，確定午後降水大致發生的位置；(3)有無午後對流日的分類，依劃分的區域判定每個弱綜觀日是否有發生午後對流；(4)低層綜觀風場的判定，對後續不同綜觀環境風場對環境場的影響以及午後對流的生成方式準備；(5)合成個案的挑選，為環境場間比較的公平性，選擇相同數目的個案進行合成分析。

### 三、個案選取

#### (一) 弱綜觀日篩選

定義弱綜觀日，主要的篩選方法為查中央氣象局的地面天氣圖及00UTC的ERA5再分析資料以過濾綜觀系統，本研究主要濾除鋒面與低壓系統及其環流等大規模系統移入的綜觀系統，除此之外還會移除強烈的西南季風影響。各綜觀系統濾除方式如下：(1)低壓系統的移除採用Lin et al. (2012)濾除綜觀系統的距離，針對台灣周圍 $118.5^{\circ}\sim 123.5^{\circ}\text{E}$ ,  $20.5^{\circ}\sim 26.5^{\circ}\text{N}$ 的區域，移除低壓中心及其環流移入該範圍內的個案；(2)鋒面濾除的判定則參考Chen et al. (2016)的距離，當鋒面進入台灣周圍 $0.5^{\circ}$  ( $119.5^{\circ}\sim 122.5^{\circ}\text{E}$ ,  $21.5^{\circ}\sim 25.5^{\circ}\text{N}$ )的區域則濾除；(3)強季風的西南氣流影響則採用朱(2017)濾除西南氣流的定義，取 $850\text{hPa}$ 臺灣西南海域之 $119^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ ,  $21^{\circ}\sim 23^{\circ}\text{N}$ 範圍的網格點資料，風場條件符合平均風向介於 $190^{\circ}\sim 260^{\circ}$ 、平均風速大於 $10.0\text{m/s}$ ，以及至少有一網格點 $850\text{hPa}$ 風速大於 $12.8\text{m/s}$ 者，則當作強季風影響的個案濾除。此外，還會針對取出的個案使用雷達回波圖及衛星雲圖進一步檢查，確定並無大規模系統移入台灣區域，最後本研究於2016~2020年暖季共765天中，除了9天無資料可判斷外，總共能找出395天的弱綜觀日進行後續的分析。

#### (二) 分析區域選擇

本研究主要分析台灣中部的午後對流特徵，必須先選定分析區域的範圍，使用Barnes [Cressman]型迭代修正客觀分析法，將降水資料內插至 $3\text{ km}$ 解析度，分析弱綜觀期間降水的時空分布，於(圖1)弱綜觀中的總降水量、平均降水量及降水頻率中，降水多發生在山脈的西側於 $200\sim 1000$ 公尺的斜坡處，其中在地形凹槽處為最。總累積降水在中部與南部區域最多且發生頻率高，平均每日提供最多的降水量。弱綜觀下台灣區域平均每站的時雨量分布中，從降水時間上的特性可以了解降水時間主要發生於午後，故以平均日降水量的空間分布進行區域劃分，而中部區域的地形高度往東逐漸增加，為了

探討海陸風的影響，以平行與垂直中央山脈走向進行分析區域的劃分，而範圍則由沿海區延伸至山脊，選定的區域如(圖1c)的紅框所示。

本研究分析區域於(圖2a)顯示，其中包含彰化、雲林與嘉義，以及南投、台中、台南與高雄部分縣市區域，而該區域地形結構主體如上述，高度往東逐漸增加，但隨山脈走向影響如(圖2b)，稍往東南方傾斜，於方框靠近山區位置之地形，北側高度較低形成地形相對凹槽位置；南側地形較高，則為地形相對凸出位置。同樣探討海陸風發展的時序變化，又將劃分出的中部區域延地形結構區分成沿海(I)、斜坡(II)、山區(III)三個區域討論，而III區受地形高度迅速增加，以及測站除雨量資訊外其餘變數會有站點數過少與分布不均的問題，後續海陸風的分析主要以I及II區進行討論。

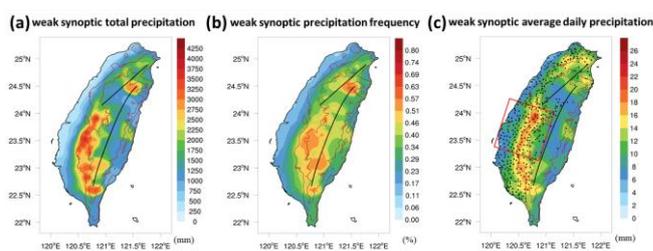


圖1: 台灣弱綜觀降水分布圖，(a)弱綜觀總累積降水、(b)各站降水頻率(降水日數/弱綜觀日數)、(c)各站平均日雨量，等值線為 $200$ 與 $1000\text{ m}$ 地形高度，黑實線雪山山脈及中央山脈山脊線。

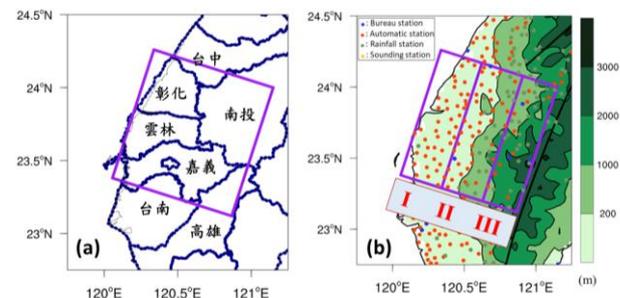


圖2:(a)中部區域縣市界線示意圖。(b)地形及分區示意圖，等值線為 $200$ 、 $1000$ 、 $2000$ 與 $3000\text{ m}$ 地形高度，黑實線雪山山脈及中央山脈山脊線，沿海(I)、斜坡(II)、山區(III)。

#### (三) 有無午後對流日定義

基於篩選出的弱綜觀日，以及劃分出中部區域分析區，定義在此條件下的午後對流日(TSA)與非午後對流日(noTSA)。眾多午後對流的研究中，主要由對流發展的時間和強度進行定義，本篇研究運用測站的資料，定義TSA與noTSA的條件如下：(1)中部區域於 $12\sim 22\text{LST}$ 需的降水量大於當日總降水量的 $80\%$ ，且 $1\sim 11\text{LST}$ 的降雨量則需小於當日的 $10\%$ ；(2)必須有三站以上的測站同時符合當天 $12\sim 22$ 時降雨強度需大於 $0.5\text{mm/hr}$ ，且其餘時間降雨強度皆需小於

0.2 mm/hr，且日累積降雨量需大於10 mm的條件，來濾除過於微弱的午後對流個案。(3)而在所有弱綜觀日中未符合TSA條件則被定義為noTSA。

中部區域有無午後對流的平均日降水分布，TSA的降水空間分布與弱綜觀期間的降水空間分布類似，也同樣與林(1996)、張(1997)對全臺灣午後對流降水的分析結果相似。而noTSA並非完全沒有降水事件發生，於中部區域的降水當中，可能受到強力的動力作用影響，氣流遇到地形舉升，造成的非午後對流型態降水，或是於午後發生的較弱的降水等事件，使noTSA中包含其他型態降水事件的資訊在內。

#### (四) 低層綜觀風場定義

弱綜觀的天氣型態的風場受大尺度影響不大，但其帶來的環境條件對於午後對流的發展也有一定的影響，對於TSA與noTSA的對流前環境，低層風場的改變所帶來的影響最為明顯。在弱綜觀日中，每日的低層綜觀風場之風向並不固定，分類不同的風向並探討個風向中TSA與noTSA差異，有助於分析午後對流引發的條件與造成此差異的原因。本研究中關於綜觀風場的分類的步驟如下：(1)使用ERA5再分析資料，取00UTC的925、950、975與1000 hPa以及以上四層的平均風場進行分類，取台灣周圍1.5度區域，並剔除地形上空的格點資料，計算每一層的平均風場，依八方位的風向進行分類；(2)得出每日於每層的平均風向，並濾除背風側的格點資訊，而後以最接近平均風向的三個方向的風場進行水平方向的風向頻率統計，頻率最高者則為當天於該層場的主要風場，而未被找出的風場代表平均風向無法取得該層場實際的風向，則被定義為OTHER；(3)最後每日於925、950、975與1000 hPa以及平均場的風向由(2)判斷出的風向，再進行一次垂直上的頻率統計，頻率最高者則被定義為當天的綜觀風場個案，並且檢查平均風速過低、風向頻率過低以及被定義為OTHER的個案，確定大致能取出每日主要的風向並找出暖季盛行之綜觀風場進行分析。

於弱綜觀日各綜觀風場日數中，暖季期間主要盛行的風場為東北風(NE)、東風(EE)、東南風(SE)、南風(SS)以及西南風(SW)，這五種風場在整個暖季中約佔91%，各風場至少都有12%以上的機率出現，為暖季的盛行風場，也為本研究主要分析的風場，而其餘風場非暖季盛行風場且個案數過少，故不加以討論。

#### (五) 合成個案選擇

篩選與分類完暖季盛行風場以及弱綜觀下有無午後對流日後，即可開始準備進行各綜觀風場下TSA與noTSA的環境場比較，本研究主要以合成場進行討論，但若直接對各綜觀風場下所有的TSA或noTSA進行合成，雙方在比較上會有公平性的疑慮，再加上

午後對流事件的強弱不一，直接進行合成平均會把強與弱午後對流事件混和平滑，無法了解雙方之間的差異，故而各自排序每個綜觀風場下的中部區域午後對流累積降水，取TSA前10強的強午後對流個案(STS)與隨機10個noTSA的非午後對流個案(NOT)合成場進行討論，後以綜觀環境場、探空垂直剖面及地表環境時序變化進行STS與NOT之間的環境場比較分析，了解台灣中部午後對流特徵統計特徵。

## 四、強午後對流(STS)與非午後對流(NOT)比較

### (一) 綜觀場分析

於綜觀場的比較中(圖3)，可以發現風場主要受低層高壓的影響而轉變，而除了NE中層副熱帶高壓受颱風系統干擾，其餘風場皆可以看到STS的高壓發展強度相較NOT弱，使台灣環境較不穩定，而NOT副高的高壓脊較西伸且往南發展較廣，使環境受副熱帶高壓影響較強烈，此時台灣環境趨於穩定。

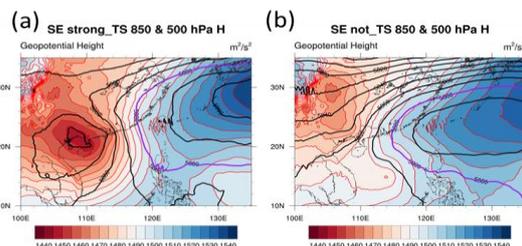


圖3:SE在850hPa(黑色等值線)及500hPa(陰影)的合成重力位高度場，紫色線為5880等值線，(a)STS合成場，(b)NOT合成場。

### (二) 探空分析

依探空剖面距平(圖4)分析在垂直上的環境場差異，在所有綜觀風場中，STS整層環境較NOT潮溼，中低層則較為溫暖，這是由於盛行風場的變化影響，使環境於中低層差異較為明顯。這也導致STS的不穩定度較NOT高，如(表1)，兩者相比，STS的對流可用位能(CAPE)較高、對流抑制位能(CIN)較低及可降水量(QPF)較高的表現，代表環境具有相當利於對流發展之條件，使強午後對流容易生成。

有無午後對流之間的差異，經過統計分析通常可以找出午後對流的徵兆，垂直溫溼度STS與NOT的差異中，溫溼度差異最明顯的高度，於各綜觀風場並不一致，這也說明分類風場的重要性。而在這些風場中，中低層差異較為明顯，故取925hPa環境場進行差異探討。在各風場中除SW外，其餘風場皆能發現，北來的氣流將能帶來乾冷的環境，使午後對流不易發展，而南來的氣流則可將較多的暖濕空氣帶入台灣，使午後對流較容易生成，由此可知，綜觀風場的變化會影響中低層環境的溫溼度改變。

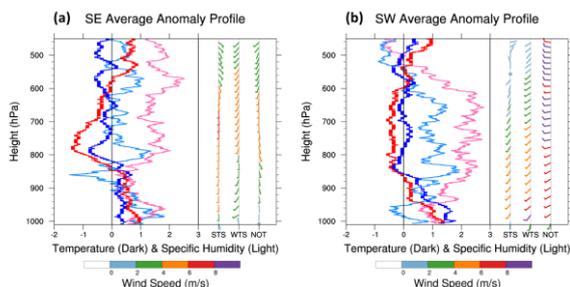


圖4:(a)、(b)分別為SE、SW環境場差異剖面，紅色(STS-NOT)、藍色(WTS-NOT)，深色線為溫度，淺色線為比溼，右側風標為STS、WTS與NOT之合成風場剖面。

風場 變數	LCL (hPa)		LFC (hPa)		CAPE (m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )		CIN (m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )		QPF (kg/m <sup>2</sup> )	
	STS	NOT	STS	NOT	STS	NOT	STS	NOT	STS	NOT
NE	961.43	942.68	898.20	863.04	317.78	187.77	24.43	49.70	53.72	45.68
EE	962.62	942.46	897.20	722.01	1217.17	445.08	30.14	149.24	52.50	43.17
SE	954.92	955.78	857.49	826.53	1025.71	408.84	34.42	60.40	57.70	49.21
SS	957.84	961.92	897.17	792.42	840.84	580.62	21.56	66.87	57.42	48.65
SW	962.41	971.41	894.67	865.34	1568.74	269.27	20.61	44.75	58.08	49.83

表1:各綜觀風場下STS與NOT合成場之各項探空參數，紅色表示相較利於午後對流發展，藍色反之。

### (三) 地表環境分析

Chen et al. (2016)於臺北盆地的研究，分析TSA與noTSA地表變數極值時間點差異，建立午後對流預報系統，研究結果得知，台北盆地區域的TSA溫度最大最小值與海陸風發展時間點皆有提早的情形。本研究東西向風場轉為西風則被定義為海風，而在中部區域的地表參數時序變化(圖5)結果可以發現，溫度最小值與海風(U)發生時間並無明顯差異，僅有在濾除綜觀系統影響的海風(U', 日距平)才可以發現實際上的海風有提早的情形；而溫度最大直與陸風的生成時間點則與台北盆地的情況類似，發生時間提早，但這是受到午後對流的影響而導致的差異。

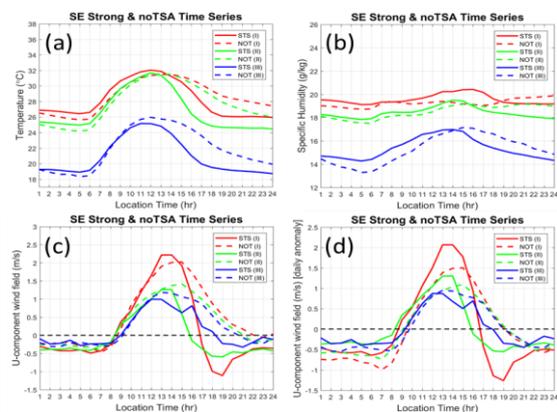


圖5:SE地面參數的平均場時序變化，紅色(I區)、綠色(II區)、藍色(III區)，實線為STS，虛線為NOT，(a)~(d)分別為溫度、比溼、東西向風場、東西向風場日距平。

地表參數的時序變化中，白天STS與NOT的溫度與比溼差異，除SW外，其餘風場在STS都有較暖濕的條件。搭配實際海風影響分析，STS的環境需足夠潮濕，使海風夾帶足夠的水氣，並傳輸至斜坡區，供給午後對流發展，而NOT則無法持續提供水氣至內陸區域，由此可知海風的水氣傳輸為午後對流發展的重要因素之一。

### (四) 降水分析

II區水氣達極值(14~15LST)同時對流降水迅速發展，16~17LST達中部區域最大總累積降水，依降水起始時間及最大降水時間點(圖6)進行STS降水位置分析，可以發現降水多在地形凸出位置生成，迎風面風場則於地形凹槽位置也有可能生成，而後降水往斜坡發展，同時受到盛行風的影響，使向岸風有南北偏轉的情形，而降水熱區的位置與向岸風遇到地形的位置有關，熱區位置通常會集中於向岸風下游位置發展。

而SW風場較為特殊，受向岸風與地形的夾角影響，使降水熱區的發展並無較SE廣，但(圖7)在綜觀環境場差異分析中可以發現，NOT有較強且較偏西的風場，這會使風場與地形產生交互作用，行程中尺度高壓，除了不利午後對流發展外，易有非午後對流降水事件的發生。

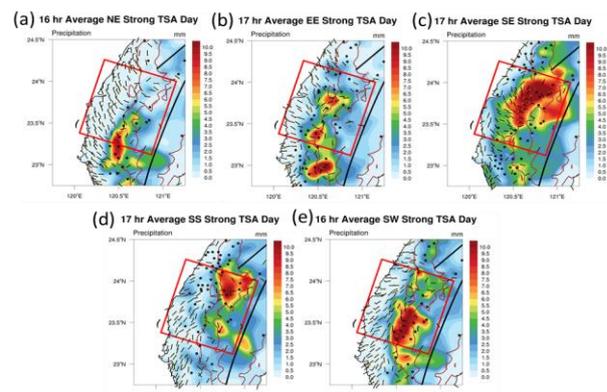


圖6:(a)~(e)分別為NE、EE、SE、SS、SW最大降水時間之降水及地面風場空間分布，單位mm，方框為中部區域，等值線為200與1000 m地形高度，黑實線雪山山脈及中央山脈山脊線。

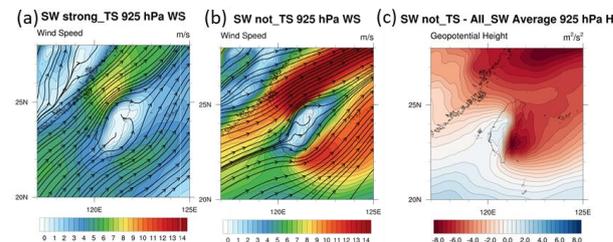


圖7:(a)、(b)分別為STS與NOT在SW於925hPa的合成速度場與流場，(c)SW於NOT減去整個SW平均重力為高度場之距平。

## 五、結論

本研究主要以統計的方式，針對2016年~2020年5月~9月暖季弱綜觀下台灣中部區域的午後對流，分析在各盛行風下的有無午後對流之對流前環境特徵，並分析可用來做預報的環境因子。

綜觀場的條件為午後對流發生重要因素之一，副熱帶高壓的位置，會影響台灣地區的穩定度發展，副高越往西伸且越往南發展，則會使午後對流越不容易生成。綜觀風場的改變會影響中低層環境的溫溼度變化，STS在低層溫度較高，而水氣在整層都較多，使環境不穩定度較NOT高，且具有相當利於對流發展之條件。地表時序變化中，海風的水氣傳輸為午後對流發展的重要因素之一，海風需要夾帶足夠的水氣，並傳輸至斜坡區，供應水氣使午後對流系統生成。

地表參數時序中，台灣中部區域的TSA與noTSA極值時間點與Chen et al. (2016)於臺北盆地的研究比較，除受午後對流影響的溫度最大值與陸風生成時間，以及濾除綜觀影響的實際海風外，其餘結果與台北不同，推測台北主要受到淡水與基隆河的地形等影響，導致於TSA與noTSA有更明顯之差異出現。

各風場之間的差異，訊號特徵由探空剖面判斷，溫濕度差異最明顯的高度，於各綜觀風場並不一致，這說明分類風場後，具有依各風場差異特性判斷午後對流生成的可能性存在。降水多在地形凸出位置生成，迎風面風場則於地形凹槽位置也有可能生成，而後降水往斜坡發展，同時受到各風場的風盛行風向影響，使向岸風有南北偏轉的情形，使降水熱區的位置與向岸風下游遇到地形的位置有很高的相關性。而SW雖在NOT有較強且較偏西的風場，但這容易導致風場與地形產生交互作用，易有非午後對流降水事件的發生。

## 六、參考文獻

- 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，24，249-280。
- 張惠玲，1997：台灣地區午後對流降水之研究。國立中央大學大氣物理研究所碩士論文，130頁。
- 朱瑞鼎，陳昭銘，張家治，「臺南地區弱綜觀天氣之降雨分析」，106年天氣分析與預報研討會，A1-5，交通部中央氣象局，2017。
- Chen, T.-C., M.-C. Yen, J.-D. Tsay, C.-C. Liao, and E. S. Takle, 2014: Impact of afternoon thunderstorms on the land-sea breeze in the Taipei basin during summer: An experiment. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 53, 1714-1738
- Chen, T.-C., J.-D. Tsay, E. S. Takle, 2016: A Forecast Advisory for Afternoon Thunderstorm Occurrence in the Taipei Basin

during Summer Developed from Diagnostic Analysis. *Wea. Forecasting*, 31, 531-552

Huang, W.-R., Y.-H. Chang, C.-T. Cheng, H.-H. Hsu, C.-Y. Tu, and A. Kitoh, 2016: Summer convective afternoon rainfall simulation and projection using WRF driven by global climate model. Part I: Over Taiwan. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 27, 659-671

Lin, P.-F., P.-L. Chang, B. J.-D. Jou, J. W. Wilson, and R. D. Roberts, 2011: Warm season afternoon thunderstorm characteristics under weak synoptic-scale forcing over Taiwan island. *Wea. Forecasting*, 26, 44-60

# Statistical Analysis of the Characteristics of Afternoon Thunderstorm in Central Taiwan

Lee Min-En Pay-Liam Lin

National Central University

## Abstract

This study uses the data of the warm season (May-September) from 2016 to 2020 in recent years to conduct a statistical analysis of the characteristics of the afternoon thunderstorm environment in the central region of Taiwan, and consider the impact of different wind fields. The northeast wind (NE), east wind (EE), southeast wind (SE), south wind (SS), and southwest wind (SW) prevail in the warm season, respectively on afternoon thunderstorm days (TSA) and non-afternoon thunderstorm days (noTSA) conducted environmental field analysis, based on the differences between the two, discussed the environmental characteristics before the occurrence of afternoon thunderstorms and the environmental factors that can be used for forecasting, laying the foundation for future afternoon convective forecasting in central Taiwan. Use the sounding data from the Magong Station with 00UTC and the ERA5 reanalysis data provided by the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) to conduct a comprehensive field analysis, as well as the data from the ground station of the Central Weather Bureau (CWB), to examine the temporal changes of the surface environmental field, and to explore the afternoon thunderstorms in the central Taiwan Environmental characteristics.

The results of the study show that the location of the mid-subtropical high will affect the generation of afternoon convection in the environment. The more the high-pressure ridge extends to the west and the south, the environment in Taiwan tends to be more stable. When Taiwan is on the edge of subtropical high pressure, Taiwan's environmental instability will be relatively high. Under different synoptic wind fields, the height of the obvious difference in temperature and humidity fields is not the same but affected by the wind direction and intensity of the wind field, the lower and middle environmental conditions of the TSA are warmer and humid, resulting in lower convective inhibition and less external force can reach the level of free convection, coupled with larger convective available potential energy and precipitable water, makes TSA quite conducive to the development of convective environmental conditions. Near-surface sea breeze transports water vapor, which can be transported to inland areas. When the thermal effect is sufficient, it is easier to turn into clouds and precipitation, and the onshore wind will shift north or south due to the synoptic wind field, resulting in changes in the location of the precipitation hot zone. It shows that the precipitation hot zone is highly related to the terrain position encountered by the surface wind field.

**Key words:** Afternoon Thunderstorm