

國立臺灣師範大學地球科學系 110 年暑期學生計畫

臺灣北部午後雷陣雨之熱動力特徵
Dynamic and Thermodynamic Characteristics of
Afternoon Thunderstorm in Northern Taiwan

作者：李智翔¹
指導教授：王重傑²

¹本暑期計畫研究生 ²國立臺灣師範大學地球科學系

摘 要

本研究將 2018~2019 年 5~9 月之中，6 個強個案及 6 個無雨個案之中央氣象局局屬及自動測站資料合成分析，亦將熱力參數、環境風場、水平風之垂直結構進行整理，以探討臺灣北部強/無雨個案發生前的熱動力特徵。

結果顯示，強午後對流擁有較高的 K 指數平均（達 30 以上）等；無雨個案有較高的 CIN 平均（超過 $400 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ ），且 500 hPa 高壓脊緯度介於 17 N~27 N 等。

合成分析發現海風輻合、較高相對濕度、略高的溫度，易發展強的午後對流。強個案水平方向動力來源，包含桃園以南而來之西南西風、及基隆與淡水之海風會合。

水平風之垂直結構方面，上午 600 hPa 附近高度有垂直風向風切為強個案發生前特徵。

關鍵字：午後對流、熱動力特徵、局部環流、弱綜觀環境

一、研究動機與簡介

夏季午後雷暴常造成許多不便，然而台灣複雜的地形使得預報較困難。因此，本研究欲瞭解午後對流發展前之特徵，以利日後瞭解及改善午後雷陣雨預報。

陳等（2000）之研究發現，在山區與斜坡形成之午後對流，有往臺北盆地移動趨勢，可能是下衝流與海風結合所致。陳等（2009）亦發現此情形。

除了上一段的發現，陳等（2009）研究指出，夏季對流日相較於前一日而言，暖濕西南氣流稍弱，但有較大的 CAPE，且此較大的 CAPE 顯然由局部環流發展而來。

林等（2012）的研究中分析，苗栗以北午後對流及對地閃電發生頻率，皆在雪山山脈西側斜坡帶（新竹山區、桃園山區、新北西南側山區）最高；測站及探空合成分析則顯示，基隆及淡水富含水氣之海風，有利於激發午後對流。而統計台北及新北地區的午後對流回波大於 40 dBZ 發生機率，以臺北盆地南區為最高。

考慮探空站地理位置，以及有松山機場剖風儀資料可使用（最後未使用），本計畫之研究區域為台北及新北地區。

本研究也採用合成分析（composite analysis）瞭解台北及新北地區 5 至 9 月午後對流特徵，儘管方法與林等（2012）相似，但加入更多測站的資料（如桃園、新竹地區），可看到更多局部環流的細節。

二、資料與方法

2-1 個案篩選

分析 2018-2019 年 5-9 月弱綜觀強迫下，台北及新北地區之午後對流之熱動力特徵。首先選出弱綜觀日，排除：(1) 颱風中心位於 19~28 N, 118~126 E 內 (2) 鋒面位於 20~28 N, 118~124 E 內 (3) 東北季風抵達雙北地區 (4) 雨帶移入台灣（南北長度 >150 km 且時長 >1 hr）。完成後，篩選強/無雨個案。

強個案篩選標準，包含降水發生在台北及新北地區，12 LST-21 LST 之累積雨量大於 10 mm，還有雷達回波最大值超過 40 dBZ 且面積大於 25 km²。至此，發現降雨分布相當不一致，因林等（2012）發現較強雷達回波值在臺北盆地南區機率較高，故再選擇聚焦於台北盆地南區，初回波及最大累積雨量需落在圖 1 範圍內。最後篩選出 6 個強個案。



圖 1 本研究初回波及最大累積雨量需落在紅框內。底圖來源：中央氣象局。

無雨個案篩選標準，為 00 LST-21 LST 在台北及新北地區為無雨。為了讓無雨個案特徵更為鮮明，並讓個案數接近強個案，使用嚴格一些的篩選標準，包含台灣四周雲量及雷達回波訊號稀少，以及斜溫圖在中低層出現逆溫（如圖 2）。最後篩選出 6 個個案。

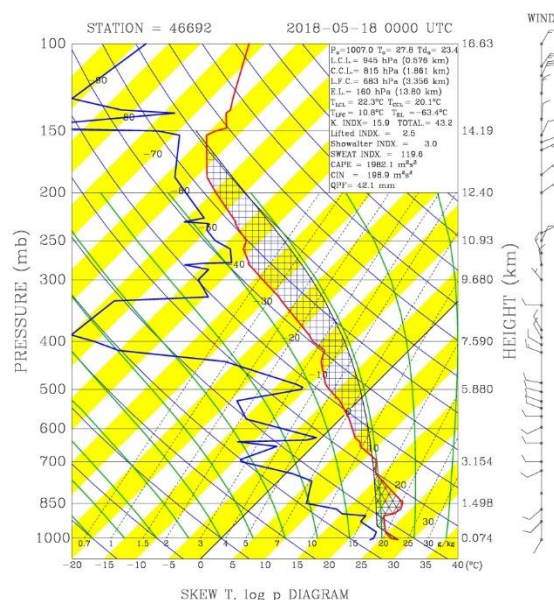


圖 2 斜溫圖中低層逆溫示意圖。無雨個案 20180518，時間 00 Z。來源為中央氣象局。

2-2 分析方式與資料來源

1 分析方式

A. 合成分析：

為了觀察風、氣溫、相對溼度 3 個參數在北台灣午後對流發生前之特徵，本研究採用合成分析，排除個案之間的差異。方法為將強/無個案之參數逐時做平均，再繪圖及討論。範圍在台灣 24.5 N 以北。

B.環境風場分析：

瞭解台灣周邊大環境風場。方法為記錄強/無雨個案，東沙、馬公 00 Z 探空之風向風速，高度以 1000 及 850 hPa 為主，隨後做詮釋。

C.熱力參數

比較強/無雨個案之熱力參數特性。方法為：(1) 記錄強/無雨個案中，板橋 00 Z 探空之熱力參數。(2) 記錄 500 hPa 高壓脊緯度，判讀 500hPa、00Z 的天氣圖。將 (1)、(2) 完成後，進行詮釋。

D.水平風之垂直結構

觀察強/無雨個案垂直結構特徵，甚至做比較。方法為：取得板橋 00 Z 探空圖，將水平風場資料依個案日期排列，隨後做詮釋。

2 資料來源

上一點之 A~D 項之資料庫皆為大氣水文資料庫；原數據、圖形來源為中央氣象局，但 C 項之 500 hPa 天氣圖來自日本氣象廳，其高壓脊之標示位置較清晰。

三、合成分析

3-1 風場

08 LST 及 09 LST 合成風場中，不論強個案或無雨個案，桃園以南地區為西南風，風速大部分大於 5 knots (如圖 3)。10 LST 起，不論強個案或無雨個案，桃園以南地區轉為西南西風，應是當地海風吹入增加西風分量，在桃園東側近雪山山脈一帶的西南西風，風向更指向台北盆地 (如圖 4)。11 LST 前後，基隆、淡水之海風進入陸地，其中基隆嶼的強個案及無雨個案之 (合成) 風向量差，約為 5 knots 之東北風 (如圖 5)。到了 13 至 14 LST，臺北盆地周圍風向普遍指向盆地，其中強個案之風主要來自桃園、淡水及基隆，無雨個案雖類似，但基隆一帶之海風較弱。強個案及無雨個案 (合成) 風向量差，在臺北盆地呈現輻合 (如圖 6)。

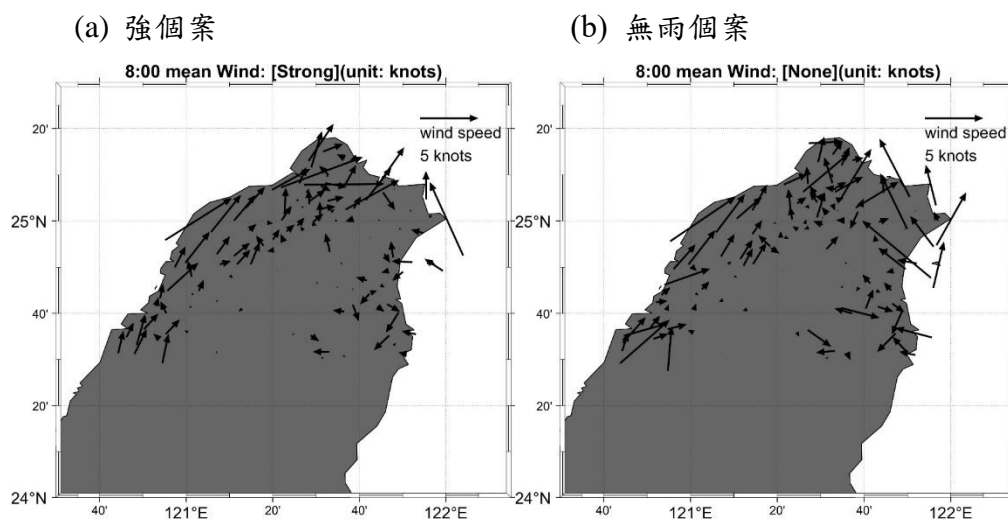


圖 3 08 LST 合成風場。測站位於整段箭頭中心。

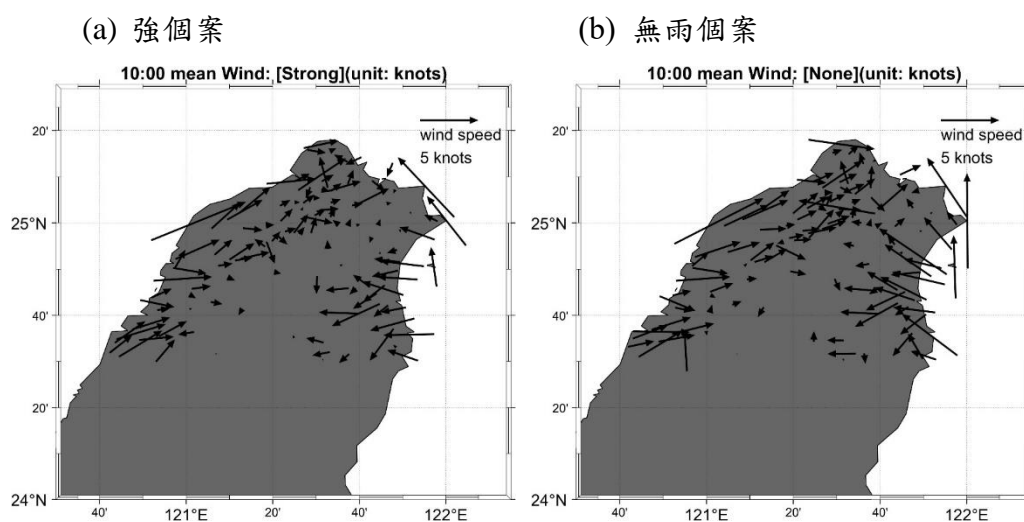


圖 4 10 LST 合成風場。測站位於整段箭頭中心。

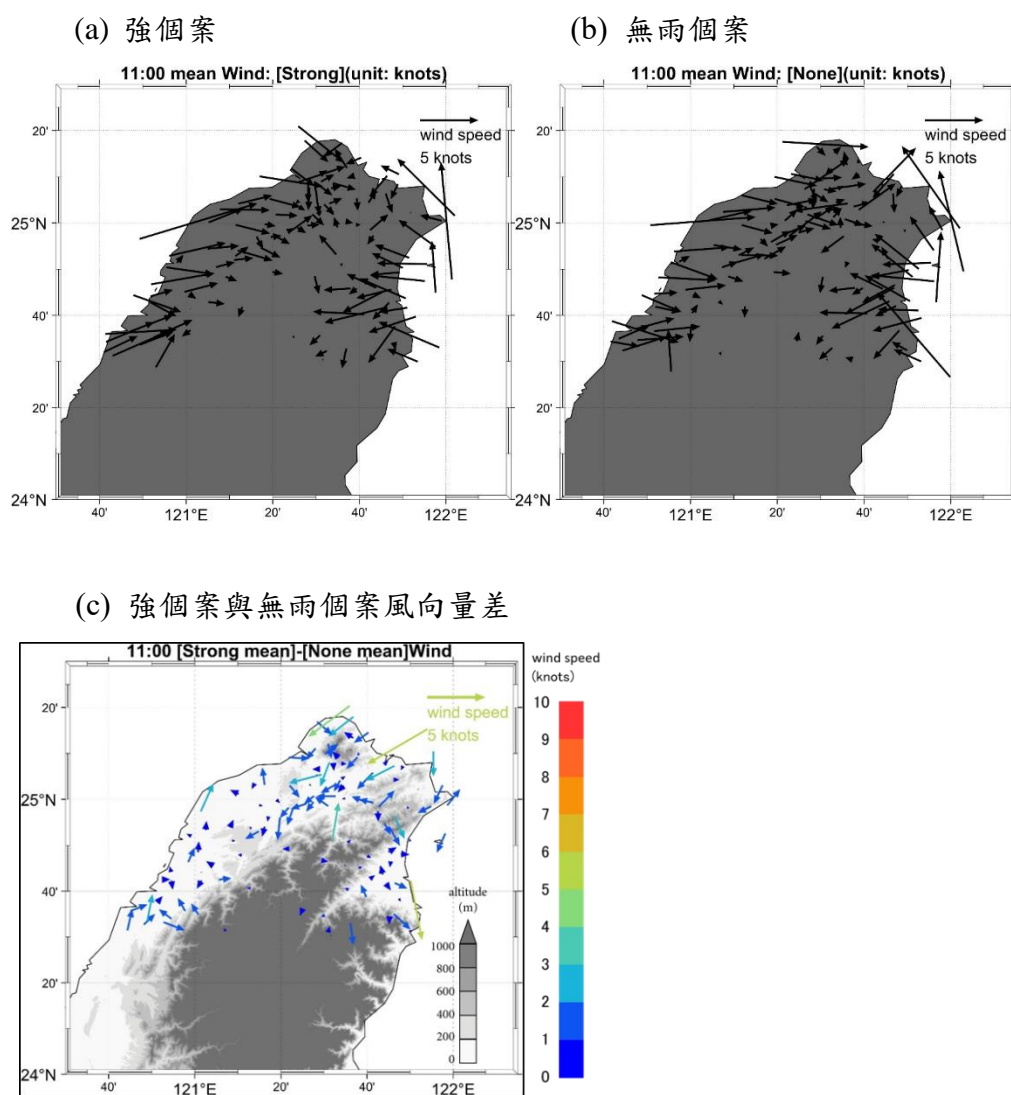
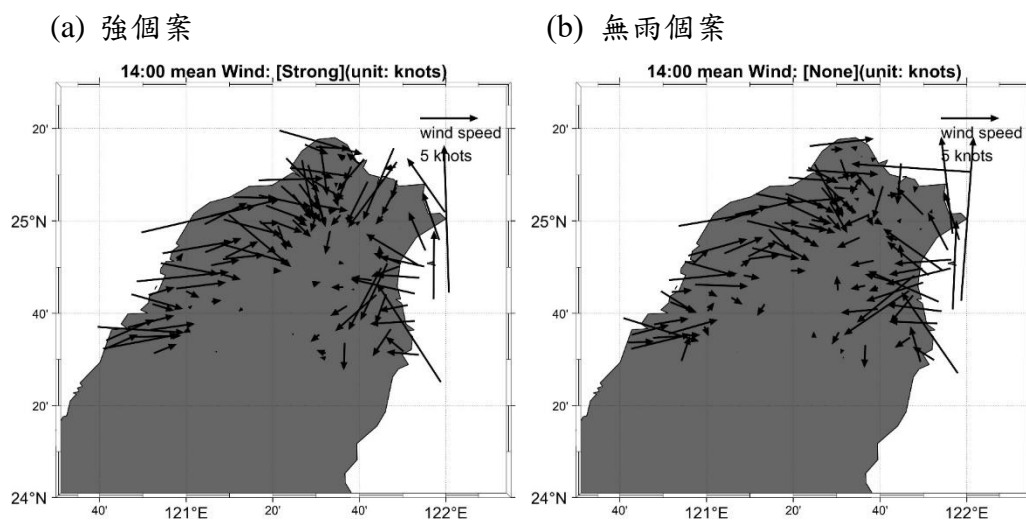


圖 5 11 LST 合成風場。測站位於整段箭頭中心。



(c) 強個案與無雨個案風向量差

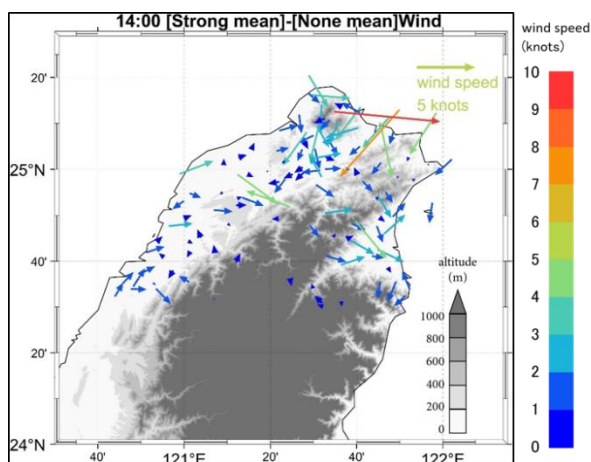


圖 6 14 LST 合成風場。測站位於整段箭頭中心。

3-2 溫度場

桃園以南地區，在 08 LST 至 14 LST，強個案及無雨個案之（合成）溫度差，為 0.4 至 2°C，顯示強個案在這些地區較高溫。臺北盆地一帶，強個案及無雨個案之（合成）溫度差在 08 LST 至 10 LST 為負（如圖 7(a)），11 LST 至 14 LST 轉為正（如圖 7(b)），配合風場之結果，推測由桃園以南帶來的西南西風，對此溫度升高現象有一定之貢獻。

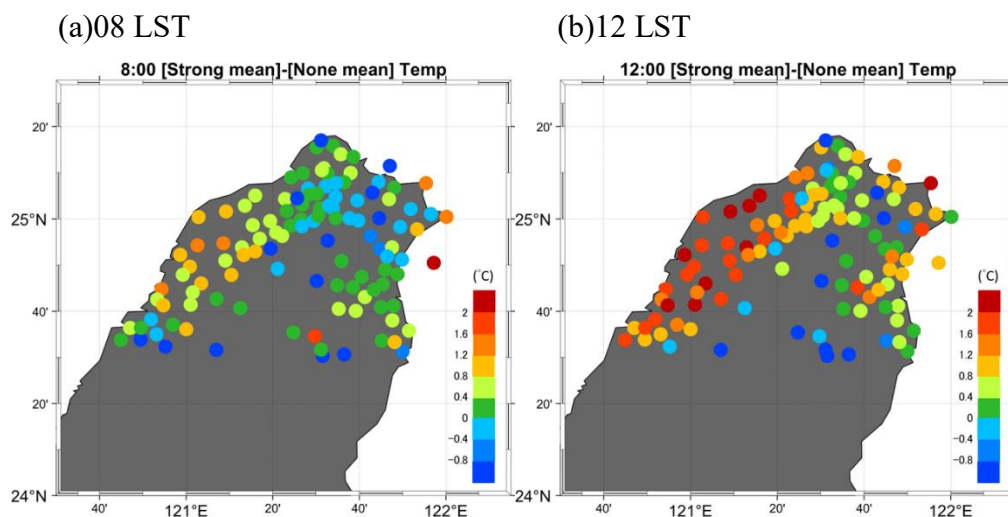


圖 7 合成溫度場強、無雨個案之差值。

3-3 相對溼度場

強個案 08 LST 至 11 LST，臺北盆地、基隆及宜蘭之（合成）相對濕度較無雨個案高出 5-10 %；雪山山脈較無雨個案高出 10 % 以上（如圖 8 所示）。關於上述地區，強個案之相對濕度較高可能原因，討論如下。

歐（2010）於研究中模擬午後對流個案模擬發現，偏西南風在由中央山脈南端分流，繞過台灣地形，最後於北部海面合流，並在宜蘭外海形成氣旋式渦流，或是一對反氣旋式（在北方）及氣旋式（在南方）之雙渦流。並認為都可以加強基隆一帶偏東氣流，且增強基隆一帶海風。

觀察本研究 6 個強個案發現，有 5 個個案在 121 E 以西巴士海峽之風場亦為偏南至西南風（925 hPa 高度）。合流位置亦在北部海面附近，且有正渦度在花蓮外海出現，此有利於出現逆鐘向渦流及基隆一帶偏東氣流（如圖 9）。

理論上，此偏東氣流增強現象，提供更潮濕海風，令臺北盆地南區發展較旺盛，是有機會的。然 08-09 LST 於臺北盆地、基隆及宜蘭相對濕度亦較高，海風則於上午才逐漸進入陸地，偏東氣流是否能增加此時段濕度，仍相當不確定，可作為未來工作，以模式檢驗。

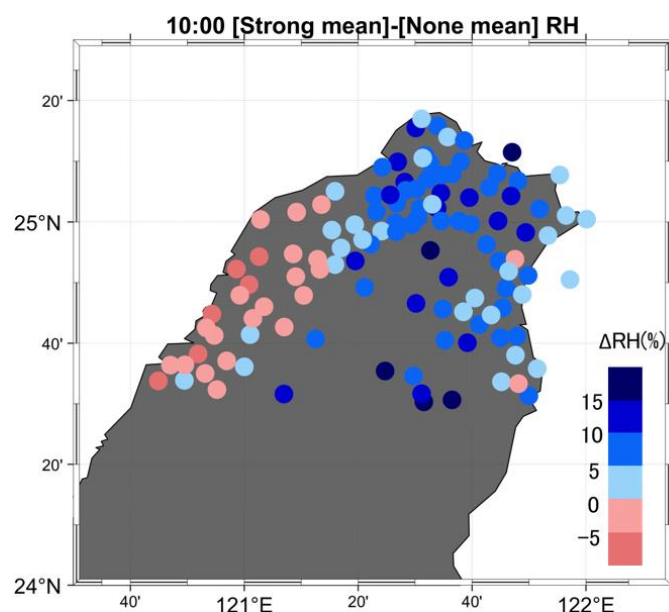


圖 8 合成相對溼度場強、無雨個案之差值。
時間 10 LST。

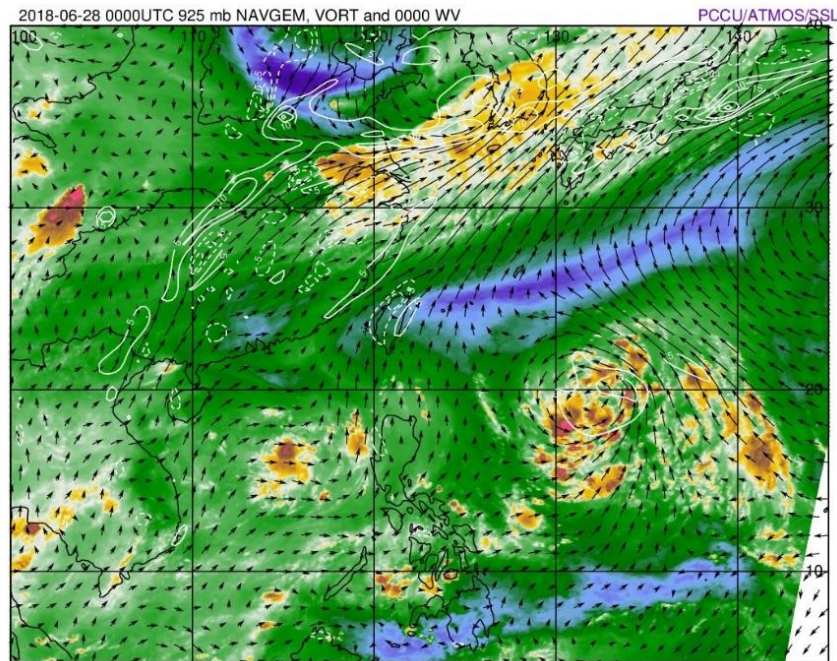


圖 9 偏南或西南風繞過台灣地形示意圖。黑色箭頭代表風，白色等值線代表渦度。此為其中一個強個案，高度 925 hPa，日期 20180628，時間 00 Z。資料來源：NAVGEM。繪製：PCCU/ATMOS/SSL。

四、環境風

表 1、表 2 分別為強、無雨個案中，在東沙、馬公 00 Z 探空之風向風速（肉眼讀取圖上風標），高度為 1000 及 850 hPa。

風向在強個案之間或無雨個案之間不一致，僅在馬公 850 hPa 者，出現偏南、南南西或西南風，與 3-3 節 925 hPa 高度出現西南風分流北上的情形相近。

風速在強、弱個案之對比，大多不明朗。只有在東沙 1000 hPa 者，強個案風速偏弱，未來可再探究與強午後對流之關聯。

表 1 強個案中，在東沙、馬公 00 Z 探空之風向風速。x 代表缺資料。

強 00Z		東沙				馬公			
	日期	1000 風向 (度)	風速 (kt)	850 風 向 (度)	風速 (kt)	1000 風向 (度)	風速 (kt)	850 風 向 (度)	風速 (kt)
2018	628	70	2	120	2	220	10	185	10
	629	245	10	280	10	220	10	210	10
	831	140	2	185	15	x	x	205	15
	902	70	2	130	5	x	x	130	2
2019	722	230	2	225	5	150	2	x	x
	724	140	5	170	10	x	x	195	10

表 2 無雨個案中，在東沙、馬公 00 Z 探空之風向風速。x 代表缺資料。

無 00Z		東沙				馬公			
	日期	1000 風向 (度)	風速 (kt)	850 風 向 (度)	風速 (kt)	1000 風向 (度)	風速 (kt)	850 風 向 (度)	風速 (kt)
2018	506	170	5	245	10	135	5	225	10
	511	80	10	90	5	30	20	340	5
	518	210	5	280	5	225	15	235	10
	920	30	5	90	15	315	5	x	x
2019	621	220	10	225	15	180	10	345	5
	827	115	5	105	15	x	x	45	5

五、熱力參數

表 3 為強/無雨個案中，在板橋 00 Z 探空之熱力參數統計概況，最右欄 500 hPa 高壓脊緯度，則判讀自日本氣象廳 500hPa、00Z 的天氣圖。

強個案之 K 指數平均值約 33.667、CAPE 平均值約 2471.5 m^2s^{-2} ，和無雨個案相比有顯著鑑別度。但可注意無雨個案之 CAPE 最大值可達 1982 m^2s^{-2} ，顯示強個案之發生與否，非 CAPE 能單獨決定。

無個案之 CIN 平均值約 415.2 m^2s^{-2} 以上，全距則為 199 至 1500 m^2s^{-2} 以上，和強個案相比都有顯著鑑別度，並解釋了強個案必須克服 CIN 這樣的抑制能區域才可能發生之熱力概念。

500 hPa 高壓脊緯度，強/無雨個案都有其重要特徵，強個案大多沒有高壓脊通過台灣附近，無雨個案則大多落在 17~27 N 之內（6 個強個案中僅 1 個案出現 2 個高壓中心，6 個無個案中僅 1 個案落在 17~27 N 外）。

表 3 強/無雨個案中，在板橋 00 Z 探空之熱力參數統計概況。

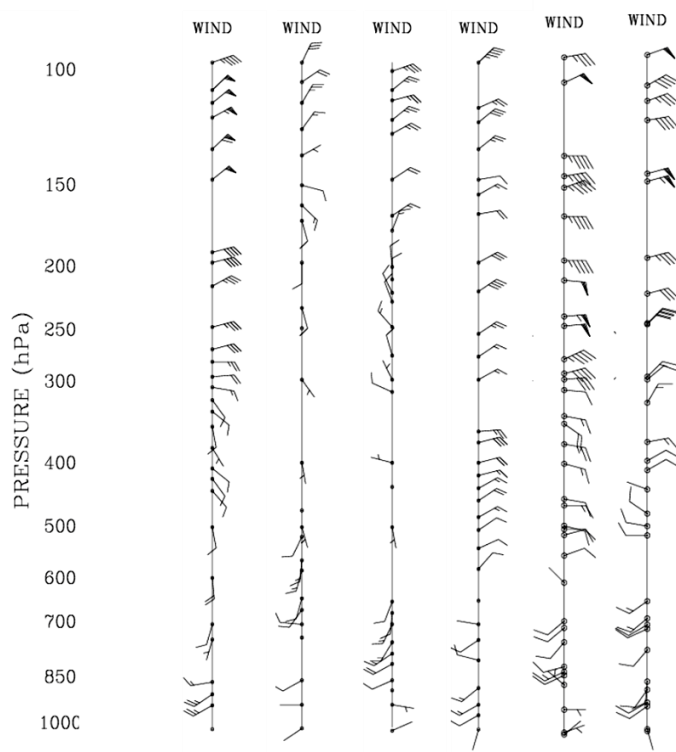
		K 指數	CAPE (m^2s^{-2})	CIN (m^2s^{-2})	500 hPa 高壓脊緯度
強	平均	33.7	2471	111	---
	全距	23.3 ~39.7	150 ~3900	0 ~208	僅 1 個個案有 2 個高壓 中心在台灣附近
無	平均	22.8	469	415+	---
	全距	15.9 ~29.5	0 ~1982	199 ~1500+	僅 1 個個案高壓脊在 17~27 N 之外

六、水平風之垂直結構

圖 10 (a)、(b) 為強、無雨個案，在板橋 00 Z 探空之水平風垂直結構。

強個案中在 600 hPa 之上水平風向主要為偏東風，600 hPa 之下為西南西風。在 600 hPa 附近高度有垂直風向風切。無雨個案在 250 hPa (約 11 km 高) 以下水平風向大致不變。

(a) 強個案



(b) 無雨個案

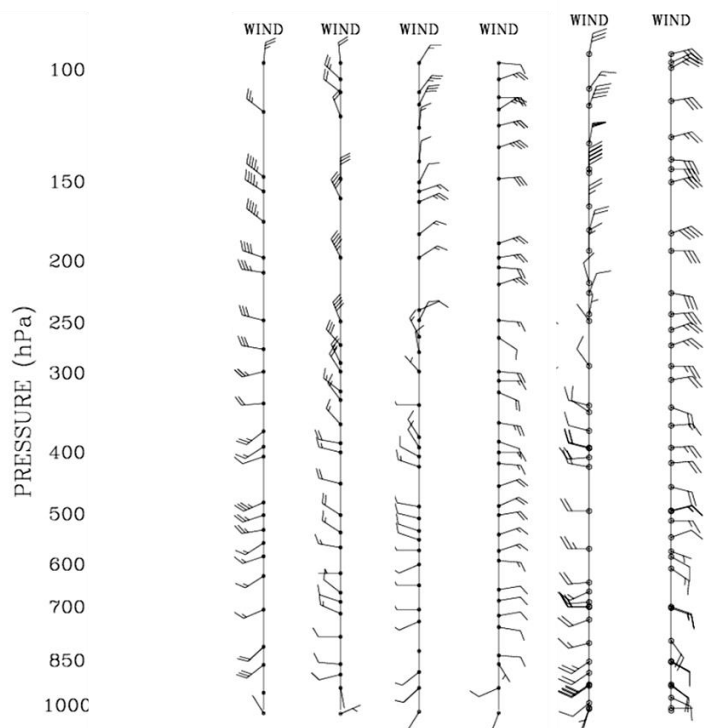


圖 10 板橋 00Z 探空之水平風垂直結構拼圖。每一
直條為不同個案。來源：中央氣象局。

環境垂直風切（包含風速風切、風向風切）能將上升氣流及下降氣流區分離，讓午後雷暴發展得更強，儘管本研究強個案之整體垂直風切不大，相較於無兩個案之垂直結構，仍有利於強對流發展。

此外，陳等 (2009) 研究北部午後對流，其合成數年個案的水平風垂直結構，在 5~6 月之個案沒有明顯垂直風向風切。風向風切與被選定個案的季節可能有關。

七、結論

熱力參數應是分別強/無個案較顯著的部分，強午後對流擁有較高的 K 指數平均（達 30 以上）及 CAPE 平均；無兩個案有較高的 CIN 平均（超過 400 m^2s^{-2} ），且閾值大約落在 200 m^2s^{-2} 。另無兩個案 500 hPa 高壓脊緯度介於 17 N~27 N、位於台灣附近。

由氣象局地面測站資料之合成分析圖，發現海風輻合、高相對濕度、略高的溫度，易發展強的午後對流。且不難看出強個案水平方向之動力來源，包含桃園以南而來之西南西風、及基隆與淡水之海風會合。而在臺北盆地、基隆較高的相對濕度，也提供有利熱力條件。

水平風之垂直結構方面，強個案之上午在 600 hPa 附近高度有垂直風向風切，無兩個案則幾乎沒有風向風切。垂直風切有助於強個案之發展，同時也是本研究強個案發生前的特徵。

致謝

首先感謝臺師大地球科學系給我進行本研究之機會，亦非常感謝王重傑教授的指導、以及天氣與對流實驗室怡文助理及心怡學姐在計畫進行中給我研究方法之建議。最後，也感謝在此計畫一起分工合作的天瑞同學，還有提供協助的實驗室學長姐們。

參考資料

- 賴信志，2000：台灣梅雨季中尺度對流系統之數值模擬研究—TAMEX IOP8 個案。國立中央大學大氣物理研究所博士論文，213 頁。
- 陳熙揚、陳泰然及林麗芬，2000：台灣北部地區五~七月雷達回波特徵與局部環流探討。大氣科學，28，73-90。
- 林奕銓，2007：北台灣海谷風環流發展之數值研究。國立臺灣大學大氣科學研究所學位論文。
- 陳泰然、周鴻祺及楊進賢，2009：暖季弱綜觀強迫下中北臺灣午後對流的氣候特徵。大氣科學，37，155-192。
- 歐安祥，2010：台灣北部夏季午後降雨機制與地形影響之探討。國立臺灣師範大學地球科學系學位論文。
- 林品芳、張保亮及周仲島，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，40，77-100。

郭鴻基、周仲島、楊憶婷及王珩，2017：雙北都會區夏季暴雨觀測預報實驗
2016 預實驗簡介及初步成果。飛航天氣，27，27-47。