

閃電資料與剖風儀應用於雷暴之研究 Research on Thunderstorm by Lighting Data and Wind Profile

¹ 宋偉國

Wei-Kuo SOONG

¹ 空軍航空技術學院

Air Force Institute of Technology

摘要

雷暴發生時間常常很短，但伴隨降雨量卻可以很顯著，常易造成短時間排水不易而肇生淹水現象。針對雷暴發生時間短、範圍局部性之特性，高解析度之閃電資料與剖風儀風場資料，將可評估對於雷暴分析與預警之工具。本文應用2013年至2020年台電閃電資料，以及屏東機場剖風儀資料，作為分析雷暴之工具，評估閃電資料與剖風儀資料對於分析雷暴之效益。本文選取2013-2020年全省降雨量資料作為背景分析，顯示2016年為多雨年，2014年為少雨年，但分析全省閃電資料，顯示2015年至2020年台灣閃電次數持續升高，顯示降雨資料並不能完全反映雷暴活躍與否之情況，相對而言，雷暴伴隨之閃電資料更能反映雷暴演變情形。本文分析大尺度環流對雷暴之影響，比較2020年與2015年大尺度環境，結果顯示無論西南氣流強度與上舉指數因子，均顯示2020年大尺度環流相較2015年更有利於雷暴之發展。另外，透過剖風儀高時間解析度資料，顯示屏東剖風儀解析之局部環流能有效掌握該區雷暴伴隨顯著降雨前之特性。透過本研究顯示，閃電資料與剖風儀資料的高解析度特性，對於發生時間短、影響顯著之雷暴系統將能提供有效之分析工具。

關鍵字：雷暴、閃電、剖風儀

Abstract

The time of thunderstorms is often very short, but the accompanying rainfall can be very significant, and it is often easy to cause flooding. The high-resolution lightning data and wind profile data will be used to evaluate thunderstorm analysis and early warning tools. This article uses Taiwan Power Company lightning data from 2013 to 2020 and Pingtung Airport's wind profiler data as a tool to analyze thunderstorms. This paper selects the province's rainfall data from 2013 to 2020 as a background analysis, showing that 2016 was a rainy year and 2014 was a drier year. However, analyzing the province's lightning data shows that the number of lightning strikes in Taiwan continued to increase from 2015 to 2020. Relatively speaking, the lightning data accompanying the thunderstorm can better reflect the evolution of the thunderstorm. This paper analyzes the impact of large-scale circulation, the results show that regardless of the intensity of the southwest airflow and the lifting index factor, the large-scale circulation in 2020 is more conducive to the development of thunderstorms than in 2015. The local circulation analyzed by the east profiler on the display screen can effectively grasp the characteristics of the area before thunderstorms are accompanied by significant rainfall. This research shows that the high-resolution characteristics of lightning data and wind profiler data will provide effective analysis tools for thunderstorm systems with short occurrence times and significant impacts.

Key Words: thunderstorm, lighting, wind profile

壹、前言

雷暴的發展常伴隨惡烈天氣現象，如閃電、低空風切、亂流，嚴重危害到飛航安全 (Baker & Lamb, 1989; Black & Mote, 2015; Grabowski et al., 2002; Kearney & Li, 2000; Unga, 1995)。臺灣夏季白天由於日照顯著，常導致午後雷暴的發展。台灣雷暴的發生條件已有許多學者投入研究，雷暴與地形、熱力條件、局部環流的關係密切 (戴等, 2015, 2016; 周等, 2016; Akaeda et al. 1995; Chen et al. 1999; Chen and Chen 2003; Johnson and Bresch 1991; Jou 1994; Lin et al. 2011; Xu et al. 2012; Ruppert Jr. et al. 2013; Kuo and Wu, 2019; Miao and Yang, 2020)。午後雷暴系統的發生常常相當局部性，發生範圍小、時間短，但影響大，傳統地面觀測網及探空資料不易解析雷暴發展的特性，然而剖風儀以及閃電資料能提供即時且高解析度觀測值，近年來一些氣象作業單位如氣象局、台電、台灣天氣顧問公司已建置高密度閃電偵測網，而空軍及其他學術單位也建置剖風儀觀測系統，預期這些高解析度資料對雷暴發展將能提供更更有利之分析工具。本文將分析 2013-2020 年閃電資料，探討大尺度環流對雷暴影響性，另外，針對屏東地區進行雷暴系統分析，透過傳統資料配合剖風儀、閃電資料，評估高解析度閃電資料與剖風儀對雷暴發生與發展之效益。

貳、資料來源與分析方法

本文收集中央氣象局提供之雨量、雷暴日觀測資料，雷暴日定義是有雷電現象發生日。本文並搭配台電提供的高解析度時間、空間閃電資料，以及空軍氣象聯隊屏東機場剖風儀資料，分析雷暴的發展。

閃電依據其放電的方式可以分為雲對地閃電(Cloud to Ground, CG)及雲中閃電(Intra-Cloud, IC)，本文閃電次數包含CG與IC。另外，屏東剖風儀掃描策略為東、西、

南、北四個象限加上垂直掃描一次，取得水平風速、風向及垂直速度。每五分鐘掃描得到一筆地面至1600公尺、每25公尺高解析度風場，例如2018-6-14_03-03-07資料，從2018年6月14日03時3分25秒開始掃描，03:25垂直掃描，03:27(方位角360度)、03:31(方位角90度)、03:35(方位角180度)、03:40(方位角270度)，從3分27秒至3分40秒取得每25米垂直解析度水平風速、風向，同理03:45、04:04、05:25、05:44、07:44均各取得4個方位角得到的水平風速、風向，因此在3分27秒至7分44秒約5分鐘內六段時間(03:27、03:45、04:04、05:25、05:44、07:25、07:44)取得四個方位角風場，此5分鐘內以360、90、180、270度呈現出24個水平風場高解析度值。另外，將5分鐘內24筆水平風場取平均，得到一筆代表5分鐘風場值，亦即每1小時有12筆5分鐘風場，而後取逐時平均，可得到1天內24筆逐時風場。亦即剖風儀資料可以呈現5分鐘內24筆資料、1小時內12筆資料、1天內24筆資料。

參、結果與分析

2013-2020年全台降雨量分布而言(圖1)，2016年屬於多雨年，2014年則屬於少雨年，2018年則介乎多雨年與少雨年之間。本文透過氣象局每年發表全省雷暴日數據，分析2013-2020年全省雷暴日之分布(圖2)，2016年確實雷暴日之發生日數偏高，然而2014年雷暴日發生日並無偏少，且2018年雷暴日發生日則偏高。顯然依據降雨多寡判斷該年雷暴活躍度將不夠完整。此乃降雨之原因可能是單一雷暴日伴隨持續性降雨，故雨量多寡與雷暴日發生日數並無法呈現一致性對應關係。

本研究嘗試以台電每季閃電次數資料統計分析雷暴年際間變化，以2014年全省閃電次數而言(圖3)，以第三季7-9月為例，多數縣市閃電次數高於2000次，2016年全省閃電次數各縣市平均而言，多在2000次以下(圖4)。2018年全省閃電次數統計(圖5)，第三季閃電次數也多半高於2000次。顯然雷暴日的次數

確實與降雨量並無一致關係。透過年度降雨年與閃電次數交叉比對，顯然年降雨量多寡將不足以判斷當年雷暴活躍度。

本文將2013-2020年全省閃電次數統計(圖6)，顯示2015年開始至2020年閃電次數持續升高，何以造成此現象，是否與全球環境變遷或是聖嬰現象有關，此須進一步分析。惟此現象必定與大尺度環流有密切關係，本文以閃電次數低(弱雷暴年)的2015年與閃電次數高(強雷暴年)2020年做比較，分析5-9月大尺度環流差異。圖7顯示強雷暴年850hPa平均風場在華南與北台灣區域明顯比弱雷暴年風速強，華南地區2020年西南風可以到達 $6-8\text{ms}^{-1}$ 以上，而2015年則僅約 $3-5\text{ms}^{-1}$ 。強西南風將可帶來豐富水氣，若配合北側高壓阻擋氣流效應，亦可產生輻合效應，對雷暴的舉生過程形成有利因子。

除了西南氣流強度對台灣雷暴影響外，熱力因素也是影響雷暴的重要因子，不穩定的大氣對於雷暴提供有利的條件，本文比較2015年雷暴低活躍度與2020年雷暴高活躍度之大尺度環境，舉升指數(Lifted Index)可以做為熱力因子判斷依據，舉升指數定義為： $LI = T_e(p) - T_p(p)$ 。即環境溫度 $T_e(p)$ 減去空氣塊溫度 $T_p(p)$ ，當環境溫度 $<$ 氣塊溫度時， $LI < 0$ ，利於空氣塊浮力向上形成對流。通常選擇氣塊沿著乾絕熱上升高度為 $p=500\text{hPa}$ ，透過500hPa環境溫度減去氣塊溫度即為LI值。Li <0 時，大氣不穩定，利於雷暴發生，當LI <-2 時，將容易發生顯著雷暴。

2015年5-9月台灣地區舉升指數約-1.5至-2.5之間(圖8a,b)，環境確實利於雷暴發展，但2020年5-9月台灣地區舉升指數則約-2.5至-3之間，明顯2020年暖季環境更有利於雷暴之發展。

透過上述分析顯示，2020年雷暴活躍年是因著低層西南氣流提供動力條件，帶來顯著水氣，提供雷暴發展。而熱力因子亦顯示大尺度環境提供豐富浮力效應，造成雷暴形成後，更有機會發展為劇烈雷暴，相對2015年的西南氣流強度比2020年弱，而上舉指數雖亦利於雷暴發展，但環境提供的能量不如2020年。

雷暴年際變化上顯示出台灣附近大尺度環境正在變遷，大氣環流越來越有利於雷暴之發展，西南氣流強度與熱力指數均顯示對雷暴發展提供越來越有力之條件。另一方面，劇烈雷暴的特徵是發生時間短，但伴隨降雨量卻顯著，容易造成短時間累積過多降雨量導致瞬間排水不易，肇生淹水現象。要能事先掌握雷暴的發展，除了透過閃電資料統計、分析大尺度環流演變化外，雷暴的發生屬於中尺度天氣系統，需要透過局部環流分析雷暴發生的條件，而剖風儀資料將是解析局部環流的有利工具之一。

本文以2018年6月14日為例，屏東地區降雨量由0900LST開始出現(圖9)，持續到夜間仍有超過10毫米時降雨量，舉升指數約-1.5至-2.5之間(圖8c,d)，利於對流發展，表1顯示當日閃電出現時間於早上與晚上。此時透過高解析度剖風儀資料，顯示2018年6月14日0003L屏東剖風儀資料500公尺以下有顯著西南風(圖10)，但之後近地層在五分鐘內風場由西南風轉為東南風，之後再轉為西南風，顯示此時地面風系微弱。2018年6月14日0803L近地層西南風顯著加強(圖11)，在短時間內西南風強度增強許多，因著西南風加強，預期導致之後引發雷暴帶來強降水現象。然而本個案是伴隨強西南風大尺度環流，因此降雨較為全面性且持續時間長，若在弱綜觀午後對流雷暴之個案，則高密度剖風儀將可掌握到局部環流短時間之演變，受限於剖風儀資料常因強降水導致關機，以致選取個案具備完整剖風儀資料較為困難，惟本研究將持續蒐集更多午後雷暴個案，過濾這些個案是否具備連續性剖風儀資料，若資料能更完整，預期剖風儀資料對於雷暴發展之分析將有重要貢獻。

肆、結論

本文選取2013-2020年全省降雨量資料分析，顯示2016年為多雨年，2014年為少雨年，但分析閃電資料統計，顯示2016年閃電

次數並無突出現象，若以2013年至2020年台灣閃電分布，則顯示2015年之後閃電次數持續升高，此顯係與大尺度環流變遷有密切關係。分析大尺度環流對雷暴之影響，比較2020年雷暴活躍年與2015年雷暴不活躍年，顯示2020年大尺度環流相較2015年而言，2020年無論動力條件西南氣流強度與熱力條件上舉指數因子，均有利於2020年雷暴之活躍。另外，局部環流對雷暴中尺度系統之發展具關鍵角色，透過剖風儀高時間解析度資料，顯示剖風儀解析之局部環流能有效掌握雷暴之發展。透過本研究結果顯示，閃電資料與剖風儀資料的高解析度特性，對於發生時間短、影響顯著之雷暴系統將能提供有效之分析工具。

伍、參考文獻

戴志輝、王尹懋、王安翔及林博雄，2015：雲中閃電資料應用於雷暴即時預警之研究。大氣科學，43，115-132。

戴志輝、王尹懋、楊明仁、林博雄，2016：雲中閃電預警對流性降雨初探。大氣科學，45，1，43-55。

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，44，1，57-81。

Akaeda, K., J. Reisner, and D. Parsons, 1995: The role of mesoscale and topographically induced circulations initiating a flash flood observed during the TAMEX project. *Mon. Wea. Rev.*, 123, 1720-1739.

Ashley, W. S., Strader, S., Dziubla, D. C., & Haberlie, A. (2015). Driving blind: Weather-related vision hazards and fatal motor vehicle crashes. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96, 755-778.

Baker, S. P., & Lamb, M. W. (1989). Hazards of mountain flying: Crashes in the Colorado rockies. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 66, 522-527.

Black, A. W., & Mote, T. L. (2015).

Characteristics of winter-precipitation-related transportation fatalities in the United States. *Weather, Climate, and Society*, 7, 133-145. doi:10.1175/WCAS-D-14-00011.1.

Chen, C.-S. and Y.-L. Chen, 2003: The rainfall characteristics of Taiwan. *Mon. Wea. Rev.*, 131, 1323-1341.

Chen, T. C., M. C. Yen, J. C. Hsieh, and R. W. Arritt, 1999: Diurnal and seasonal variations of the rainfall measured by the automatic rainfall and meteorological telemetry system in Taiwan. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 80, 2299-2312.

Grabowski, J. G., Curriero, F. C., Baker, S. P., & Li, G. (2002). Exploratory spatial analysis of pilot fatality rates in general aviation crashes using geographic information systems. *American Journal of Epidemiology*, 155, 398-405.

ISMAIL GULTEPE, R. SHARMAN, PAUL D. WILLIAMS, BINBIN ZHOU, G. ELLROD, P. MINNIS, S. TRIER, S. GRIFFIN, SEONG. S. YUM, B. GHARABAGHI, W. FELTZ, M. TEMIMI, ZHAOXIA PU, L. N. STORER, P. KNERINGER, M. J. WESTON, HUI-YA CHUANG, L. THOBOIS, A. P. DIMRI, S. J. DIETZ, GUTEMBERG B. FRANC, A. M. V. ALMEIDA, and F. L. ALBQUERQUE NETO, 2019: A Review of High Impact Weather for Aviation Meteorology *Pure and Applied Geophysics* 176(5):1869-1921.

Johnson, R. H., and J. F. Bresch, 1991: Diagnosed Characteristics of Precipitation Systems over Taiwan during the May-June 1987 TAMEX. *Mon. Wea. Rev.*, 119, 2540-2557.

Jou, B. J.-D., 1994: Mountain-originated mesoscale precipitation system in northern Taiwan: A case study 21 June 1991. *TAO*, 5, 169-197.

Kearney, P. J., & Li, G. (2000). Geographic variations in crash risk of general aviation and air taxis. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 71, 19-21.

Lin, P. F., P. L. Chang, B. J.-D. Jou, J. Wilson, and R. Roberts, 2012: Objective prediction of warm season afternoon

thunderstorm in northern Taiwan using a fuzzy logic approach. Wea. Forecasting, 27, 1178-1197.

Ruppert Jr. J. H., R. H. Johnson, and A. K. Rowe, 2013: Diurnal circulations and rainfall in Taiwan during SoWMEX/TiMREX (2008). Mon. Wea. Rev., 141, 3851-3872.

Ungs, T. J. (1995). Explanatory factors for the geographic distribution of US civil aviation mortality. Aviation, Space, and Environmental Medicine, 66, 522-527.

Xu, W., E. J. Zipser, Y. L. Chen, C. Liu, Y. C. Liou, W. C. Lee, B. J.-D. Jou, 2012: An orography-associated extreme rainfall event during TiMREX: Initiation, storm evolution, and maintenance. Mon. Wea. Rev., 140, 2555-2574.

Kuo, K.-T. and C.-M. Kuo, 2019: The Precipitation Hotspots of Afternoon Thunderstorms over the Taipei Basin: Idealized Numerical Simulations, JMSJ, 501-517.

Miao, J.-E. and M.-J. YANG, 2020: A Modeling Study of the Severe Afternoon Thunderstorm Event at Taipei on 14 June 2015: The Roles of Sea Breeze, Microphysics, and Terrain, JMSJ, 129-152.

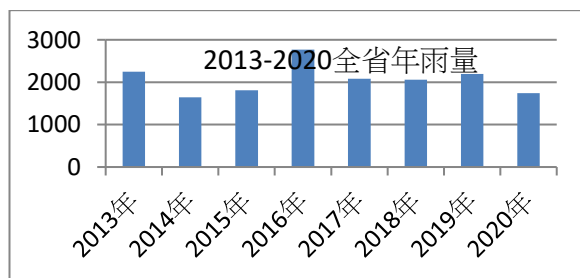


圖 1 2013-2020 年全省降雨量逐年分布

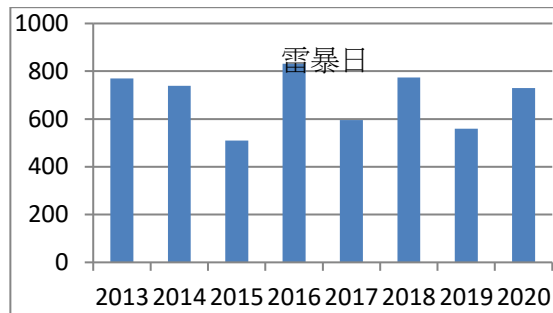


圖 2 2013-2020 年全省雷暴日逐年分布

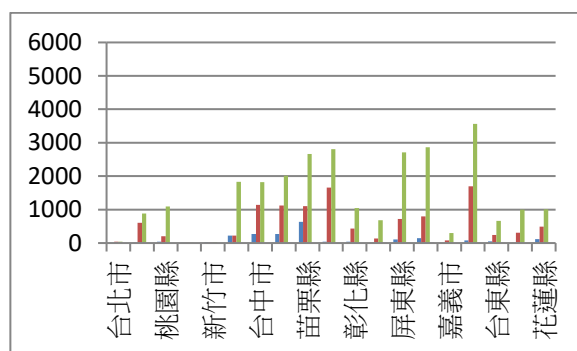


圖 3 2014 年全省每季閃電次數。藍、紅、綠、紫分別為第一至第四季。

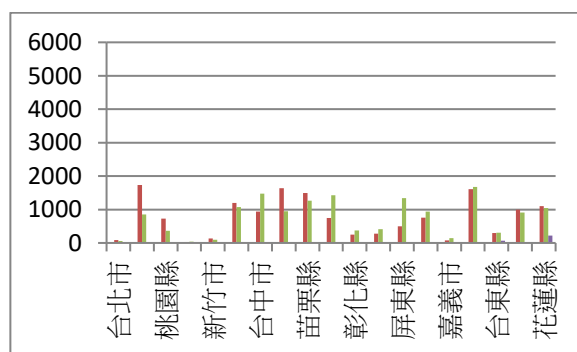


圖 4 同圖 3，但為 2016 年。

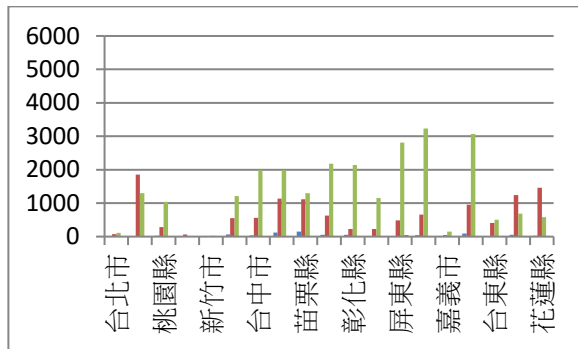


圖 5 同圖 3，但為 2018 年。

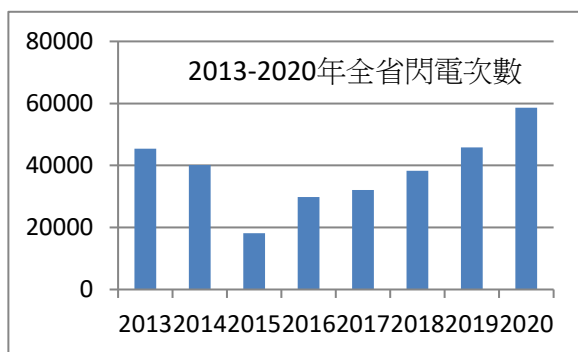


圖 6 2013-2020 年全省閃電次數逐年分布

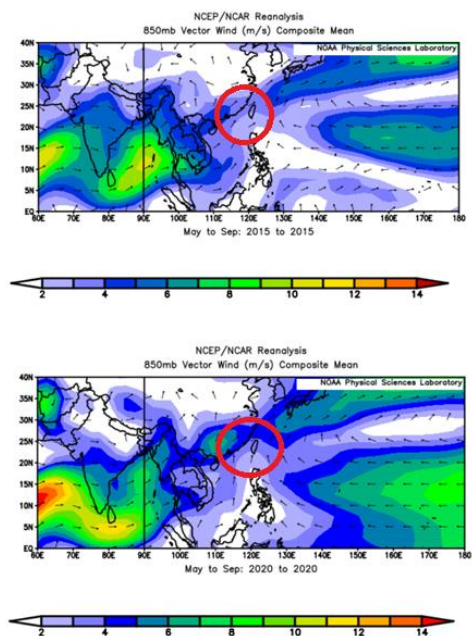
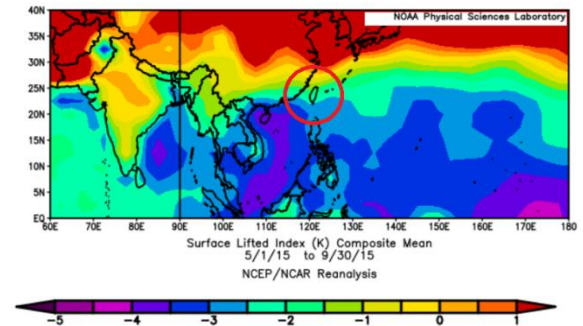
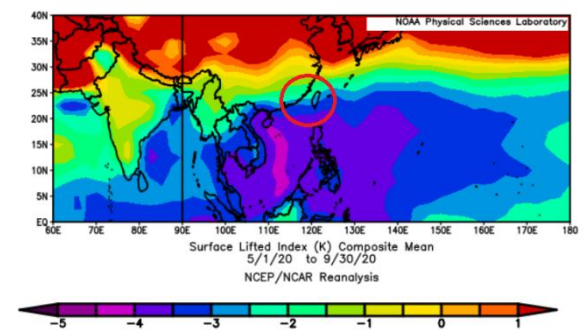


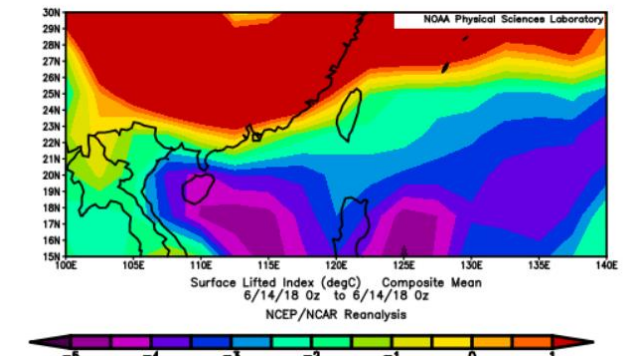
圖 7 2015 年(上圖)與 2020 年(下圖)5-9 月 850hPa 平均氣流之比較。



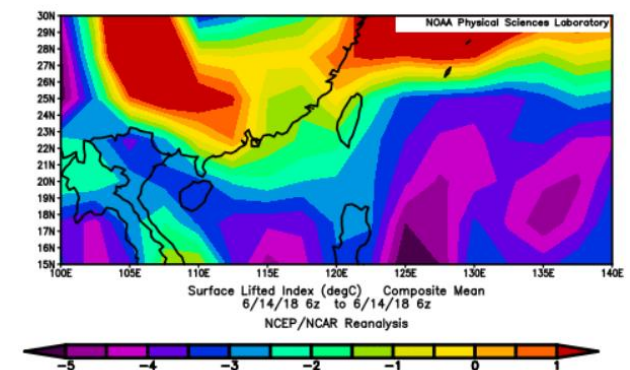
(a)



(b)



(c)



(d)

圖8 (a)2015年與2020年(b)5-9月舉升指數及
2018年6月14日(c)0800L(d)1400L舉升指數

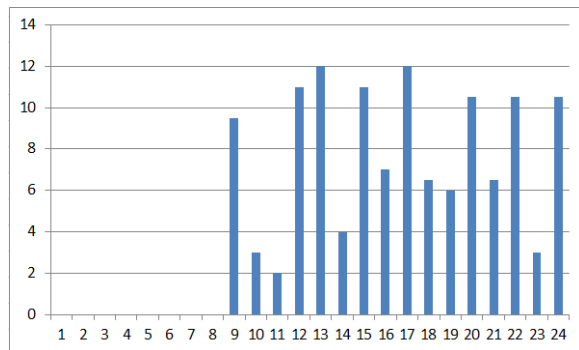


圖9 2018年6月14日屏東市逐時降雨量

表1 2018年6月14日屏東閃電出現時間

日期	時間	奈米秒	緯度	經度	閃電類型
2018/6/14	09:39:00	6.12E+08	22.5621	122.4518	IC
2018/6/14	20:01:17	6.7E+08	22.2573	120.0012	IC
2018/6/14	20:01:17	6.7E+08	22.2707	120.0051	IC
2018/6/14	20:01:17	6.7E+08	22.2762	120.0046	IC
2018/6/14	20:01:17	9.02E+08	22.2541	120.0056	IC
2018/6/14	20:01:17	9.02E+08	22.2646	120.0006	IC
2018/6/14	20:01:17	9.02E+08	22.2563	120.0026	IC
2018/6/14	20:01:17	9.02E+08	22.2597	120.0026	IC
2018/6/14	20:01:17	9.02E+08	22.2691	120.0149	IC
2018/6/14	20:01:17	9.03E+08	22.2629	120.0063	IC
2018/6/14	20:01:17	9.03E+08	22.2749	120.0008	IC
2018/6/14	20:01:17	9.03E+08	22.2826	120.0063	IC
2018/6/14	20:09:32	2.88E+08	22.2509	120.0047	IC
2018/6/14	20:14:49	7.27E+08	22.2547	120.023	IC
2018/6/14	20:14:49	7.28E+08	22.2553	120.0232	IC
2018/6/14	20:14:49	7.3E+08	22.25	120.0159	IC
2018/6/14	20:14:50	43200000	22.2528	120.02	IC
2018/6/14	20:14:50	43300000	22.2582	120.0194	IC

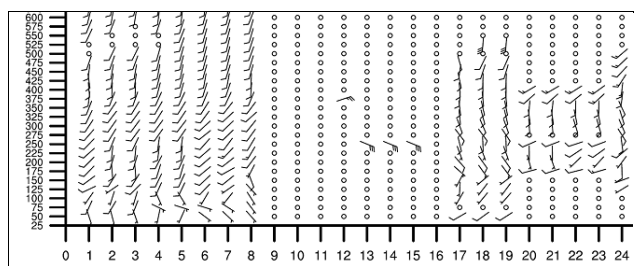


圖10 2018年6月14日0003LST屏東機場剖風儀
00時03-08分之五分鐘範圍內風場分布。橫
坐標每4組為同一段時間360、90、180、270

方位角。1-4為03分，5-8為04分，9-12為05
分，13-16為06分，17-20為07分，21-24為
08分。

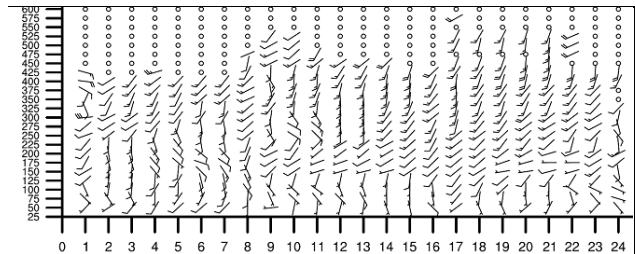


圖11 同圖10，但為2018年6月14日0803LST
屏東機場剖風儀08時03-08分之五分鐘範圍
內風場分布。