

台灣東部2020年7月27日午後對流系統個案研究

¹宋偉國

²王薇婷

¹空軍航空技術學院

²空軍氣象聯隊

摘要

雷暴產生的閃電、風切，對飛航安全有顯著影響。台東機場位於台東市區，夏季午後雷陣雨發生時，雷雨強度、發生時間長短，對台東飛航安全將有不同程度影響，而午後雷雨的預報亦為氣象人員極大的挑戰。本文目的為分析綜觀天氣系統及局部環流對於雷暴發展的影響性評估，期許能對台東雷暴系統更多了解，作為雷暴潛勢預報的依據。台東機場位於海岸山脈終端，西面有中央山脈，東側則為太平洋，台東西北側向陽高度在2000公尺以上，往東延伸到摩天亦有1500多公尺，至關山、池上、鹿野則約為200多公尺高度。台東機場在這些鄉鎮南方，台東機場面對地形與海陸交界造成的局部環流相當複雜。2020年7月27日衛星雲圖顯示1600LST-1800LST台灣北部有對流雲，此時台東尚未出現對流。雷達回波顯示1800-2000LST在台東北部出現對流區。地面測站顯示向陽、摩天山區於1800-1900LST出現10-25mm時降雨，之後2000LST於關山、鹿野亦開始有30-49mm時雨量，然而直到2100LST台東市區才出現微量降雨現象。顯然對流系統先於山區發生，之後逐漸影響到東側關山等地，而後對流迅速減弱消散，台東機場僅出現雷聲但幾乎無發生降雨現象。7月27日綜觀環境顯示台灣低對流層盛行西南風，上午0800LST東沙探空顯示對流高度約600公尺，自由對流層亦約700公尺，台東地面溫度於上午0800LST已有30.1°C，中午1300LST達最高溫33°C，台東與鹿野溫度於1400LST均比濱海的長濱為高，且長濱風向為東南風，透過長濱東南風往內陸傳送水氣，經過鹿野200多公尺高度而被舉升，當南風分量繼續舉升水氣，可能到達600多公尺的舉升凝結層，此時空氣沿著濕絕熱上升，達到自由對流高度，有機會產生自由對流而形成午後雷陣雨現象。然而為何山區對流伴隨著降雨遲至1900LST才出現，受限於觀測資料解析度不足，本文運用WRF模式模擬該個案發展過程，透過WRF模式模擬對流位置偏北，且風場偏西南風，無法反映海風情況，可能是模式模擬西南風過強，而且地形解析度過於粗略，無法正確解析局部氣流與地形相關性，未來將進一步採用高解析度地形，模擬與分析午後對流系統發展與維持的動力機制。

關鍵字：對流系統、局部環流、WRF

一、前言

中尺度對流系統的發展與低層噴流、西南氣流、局部環流有密切關係(Jou et. al[1]；宋等[2]、宋與石[3]、宋與石[4]、宋等[5])，侯等[6]發現白天陸地受熱後會產生不穩定的對流邊界層，海風鋒面和對流邊界層中的對流胞交互作用，因合併對流胞而增強。Hsiu et al.[7]分析 2008 年西南氣流實驗期間晴空狀況下，南台灣所觀測之大氣邊界層中尺度擾動，顯示晴空狀況下的大氣邊界層擾動對於豪雨系統發生之瞭解具有重大意義。Bright, D. R., and S. L. Mullen.[8]分析顯示邊界層在激發西南季風下的對流系統扮演重要的角色。Miao and Yang[9]分析 2015 年 6 月 14 日台北午後對流個案，海風帶來水氣，使 CAPE 從 800 增加到 3200 焦耳/公斤，造成對流顯著發展。另一方面，海風與對流產生下沉的冷空氣外流形成強輻合，提供對流持續成長。Kuo and Wu[10]分析台北午後對流降水，海風與西南氣流效應下，造成顯著降水，而都市熱島效應加強海風往內陸輻合，提供對流發展後，對流系統產生的下沉冷空氣與海風再次激發下一波新的對流系統。過去已有許多研究分析台北午後對流系統激發機制，但台東地區雷暴研究則相對較少，2019 年台灣時雨量最大值在台東縣卑南鄉，6

月 5 日晚上時雨量高達 147 毫米，卑南鄉位於台東市東側，台東卑南溪以東為海岸山脈(圖 1)，以西為中央山脈，台東市區位於卑南溪南方，由於台東面臨海陸交界，又有地形效應，局部環流相當複雜。台東機場位於市區，夏季午後雷暴常常突然發生，對班機起降有顯著影響，本文將透過中央氣象局衛星、雷達、雨量站、地面站及高空資料分析 2020 年 7 月 27 日午後對流發展機制，並透過氣象數值模式 WRF 模擬對流系統演變情形，探討台東地區午後對流發展機制。

二、資料處理簡介

本研究使用中央氣象局天氣圖與NCEP全球模式資料分析綜觀環境，並以氣象局衛星雲圖及雷達回波分析對流演變過程。研究引用中尺度模式WRF3.4版，模擬對流個案，模式初始時間為2020年7月27日0000UTC，採用水平網格二層，第一層網格7水平解析度9km，第二層9km，模擬中尺度過程對午後雷雨發展機制。邊界層參數化用YSU，雲物理第一、二層雲滴、雨滴、冰晶、雪交互作用，積雲參數化用Kain-Fritsch (KF)，降水方面採用KM 2D Smagor模組。

三、對流系統分析

2020年7月27日台東地區從東側山區向陽到平地台東市下午四點至晚上八點降雨量分布顯示(圖2)，各地降雨差異大，關山最大時雨量約30mm，但在關山北邊池上、南邊台東市降雨少很多。地面測站顯示向陽、摩天、紅石山區於1800-1900LST出現10-25mm時降雨(表1)，之後2000LST於關山、鹿野亦開始有30-49mm時雨量，然而直到2100LST台東市區才出現微量降雨現象。顯然對流系統先於山區發生，之後逐漸影響到東側關山等地，而後對流迅速減弱消散。

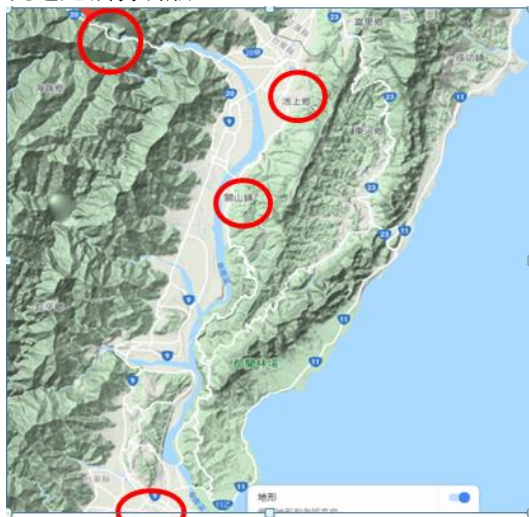


圖1 台東地形分布圖(紅色圓圈由上而下分別代表向陽、池上、關山、台東市)

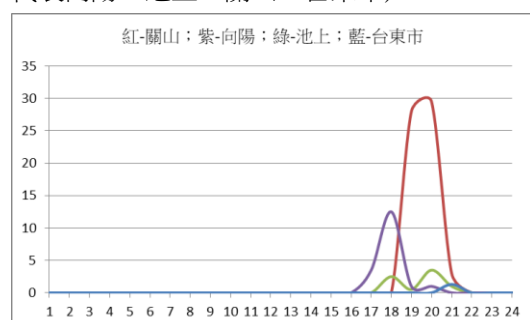


圖2 向陽、池上、關山、台東市2020年7月27日逐時降雨量

表1 2020年7月27日台東各地面站降雨及風向

測站	最大降雨量	發生時間	風向	高度
向陽	12.5	18	西北風	2280m
紅石	11.5	19	東南風	1621m
摩天	25.5	19	無資料	1580m
下馬	3.5	21	西南轉東南風	794m
關山	29.5	20	西南轉西北風	238m
池上	3.5	20	西北風	289m
鹿野	49	20	西北風	382m
台東市	1.7	21	西南轉西北風	9m

關山與池上、鹿野地理位置接近，但降雨量則關山、鹿野明顯較池上近10倍，顯示降雨現象局部差異性顯著。衛星雲圖顯示2020年7月27日1600LST華中梅雨鋒伴隨顯著對流系統(圖

3a)，另外，日本南方海面對流系統往東南延伸經過台灣北部，此時台東地區尚未出現對流系統，唯台灣南側南海與太平洋出現大範圍對流雲帶。2000LST台灣東部出現對流雲(圖3b)，雷達回波顯示1900-2000LST在台東市西北部向陽山區及東北部長濱鄉、成功鎮沿海一帶出現對流區(圖4)。

本個案台東出現降雨量為接近傍晚，且降雨量在地理上偏向海岸山脈附近，而日本海至台灣東北部雲帶仍與台東有一段距離，顯示台東的兩帶與南來雲系關係較為密切，且發生與量較多之地區為海岸山脈附近，唯地面風多為西北風，是否海岸山脈午後增溫，吸引卑南溪附近氣流往東南移動，加上海岸山脈產生的海風往台東移動，此二股氣流產生局部輻合，加上南來水氣提供對流發展條件，需進一步分析。

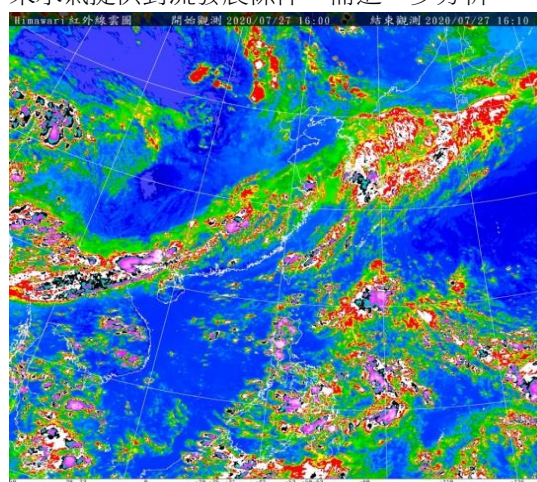


圖3a 2020年7月27日1600L衛星紅外線雲圖

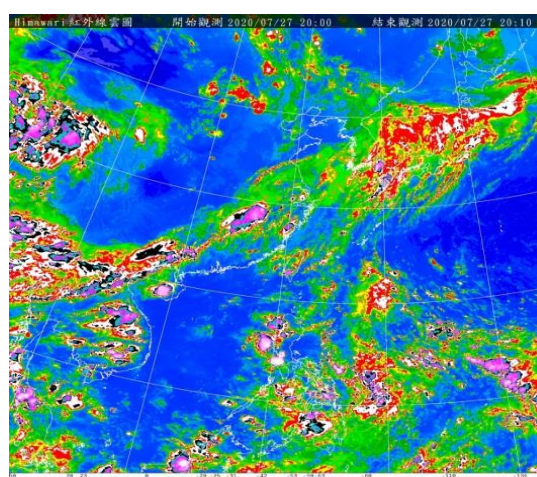


圖3b 2020年7月27日2000L衛星紅外線雲圖

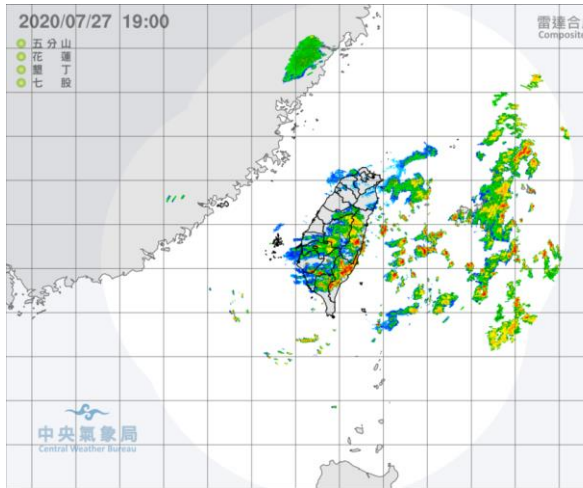


圖4 2020年7月27日1900L雷達回波圖

2020年7月27日925hPa綜觀天氣顯示(圖5a), 台灣地區位於太平洋高壓西緣之西南氣流範圍, 透過南來氣流提供水氣, 台灣1000hPa水氣約20g/kg左右(圖5b), 水氣相當豐富, 但700hPa太平洋高壓伴隨的乾燥環境亦靠近台灣東部地區(圖5c), 顯示低層大氣雖然提供豐富水氣至台灣地區, 但3000公尺以上的大氣偏乾燥, 此種低層暖濕、高層偏乾的大氣, 有利於潛在不穩定度的存在, 氣流如果能有外力舉升, 將可得到環境不穩定度的支持。然而綜觀環境在台灣地區為下沉運動(圖5d), 顯示外力的舉升需有中尺度如局部環流來提供其上升運動。東沙2020年7月27日0800L探空顯示低層西南風(圖6), CAPE高達3441m²s², 顯示具有當高的可用位能。

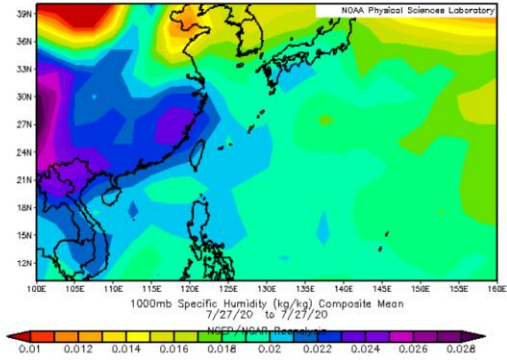


圖5b 2020年7月27日1000hPa比濕分布

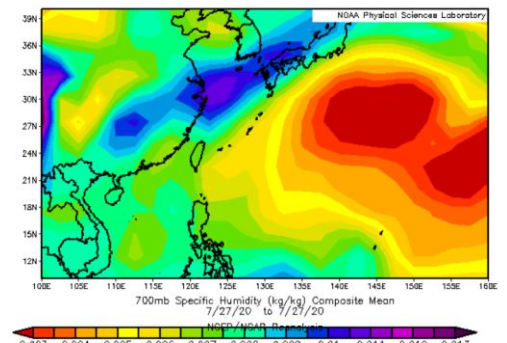


圖5c 2020年7月27日700hPa比濕分布

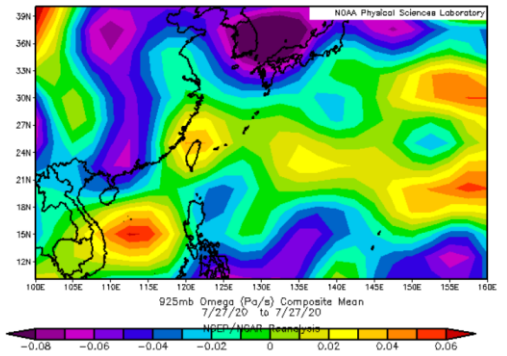


圖5d 2020年7月27日925hPa垂直運動 ω 分布

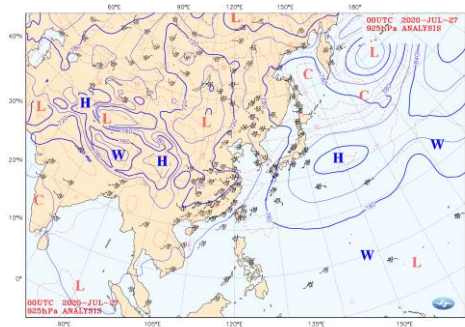


圖5a 2020年7月27日0800L 925hPa天氣圖

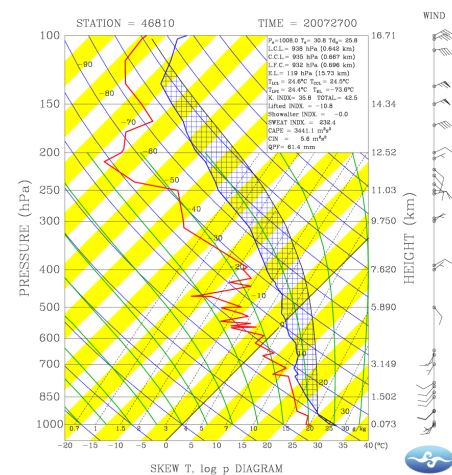


圖6 2020年7月27日0800L 東沙探空圖

本個案低層西南氣流伴隨豐富水氣，提供高可用位能，舉升凝結高度在642公尺，如果氣塊能舉昇超過642公尺，即可形成水滴，自由對流層高度696公尺，亦與舉昇凝結高度接近，當氣塊一旦凝結成水滴，舉升高度約700公尺以上時，即可獲得對流可用位能，發展成顯著對流系統。分析台東與鹿野地面溫度逐時變化(圖7a,7b)，隨著日出地面溫度開始上升，台東下午1300-1400L達到最大值33.1°C、鹿野1400L為32.2°C，但此時尚未形成降雨。鹿野地面風向顯示日出以後風向多為南風或西南風(圖7c)，對照濱海地區的長濱風向(圖8a)，早上至下午長濱風向為東南風，溫度1400L為30.9°C(圖8b)，之前長濱溫度比鹿野高，1400L比西側的鹿野溫度低，可能是海風帶來水氣影響長濱溫度下降較明顯。除了南風分量外，濱海比內陸溫度低，產生海風亦造成東風分量，是否透過海風往內陸的輻合而提供上升環境，由於鹿野東側海上缺乏觀測資料，需要透過數值模式模擬加以確認。

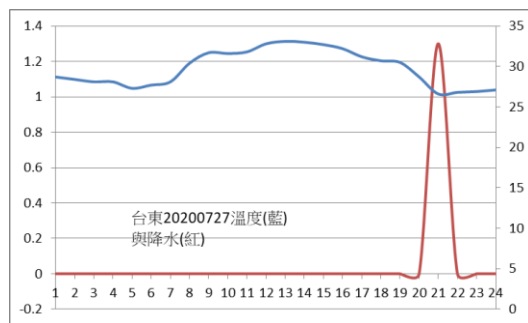


圖7a 2020年7月27日台東逐時溫度與降雨量

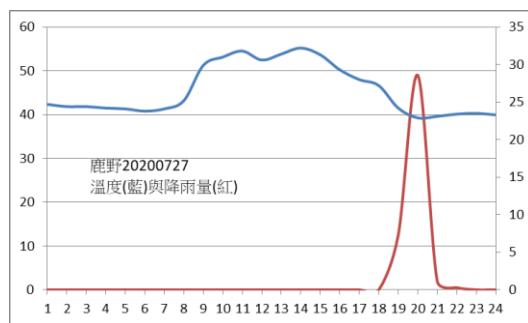


圖7b 2020年7月27日鹿野逐時溫度與降雨量

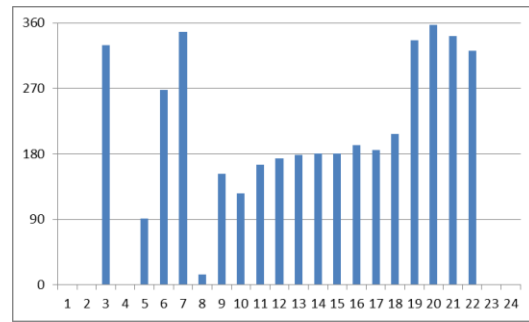


圖7c 2020年7月27日鹿野逐時風向

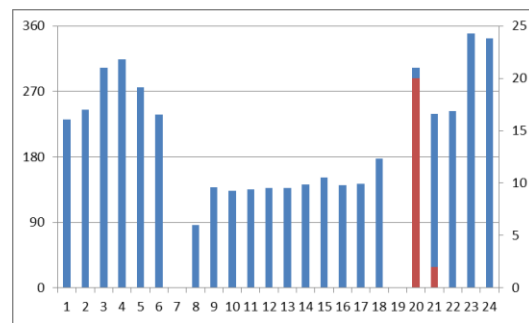


圖8a 2020年7月27日長濱逐時風向與降雨量

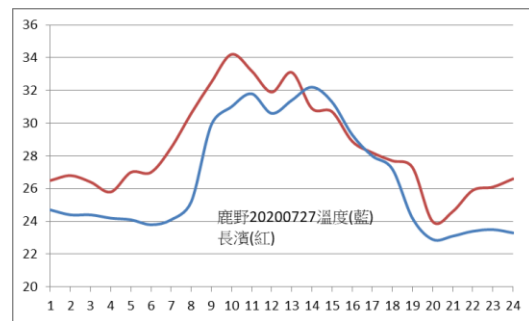


圖8b 2020年7月27日長濱(紅)、鹿野(藍)逐時溫度
 模式模擬2020年7月27日對流個案，圖9顯示在台東有顯著輻合區，此時氣流均為西南風，海風現象並不明顯，此與觀測長濱站東南風結果並不一致。降水區則在接近花蓮與中央山脈較為明顯(圖10)，本個案模擬結果與觀測並不一致，可能是模式水平解析度3公里，且地形解析度亦過於粗略，以致無法正確模擬對流發生區域及風場的分布，未來將針對地形解析度改善後再將解析度縮小為1公里，預期對於對流與海風、地形效應會有更好的模擬結果。

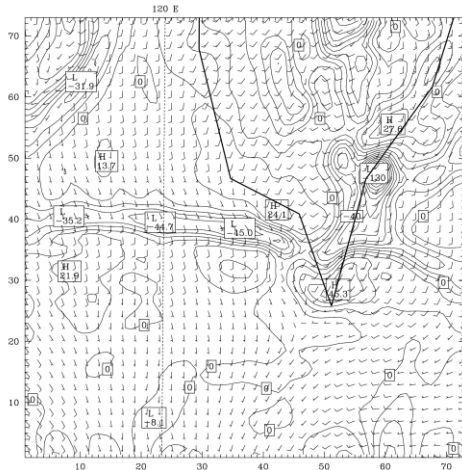


圖9 模式模擬2020年7月27日1400L地面輻散場

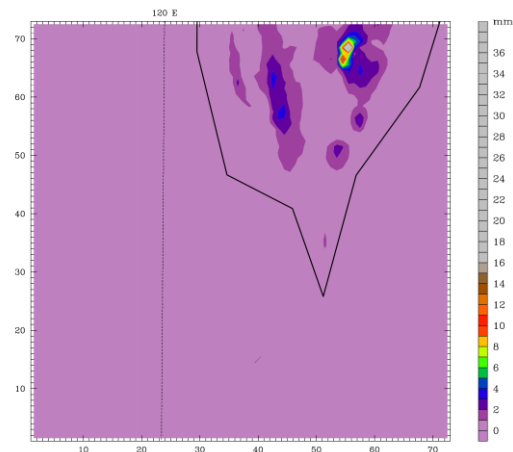


圖10a模式模擬2020年7月27日1400L三小時降雨量

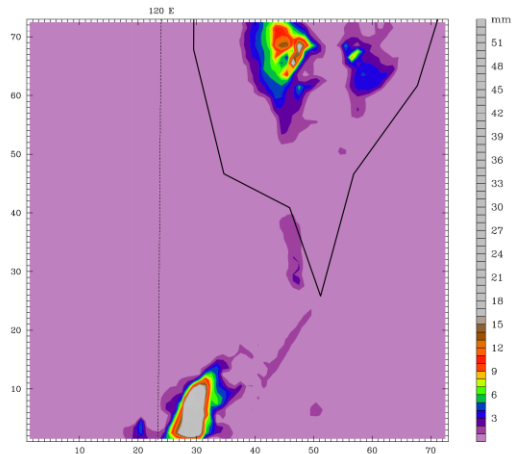


圖10b模式模擬2020年7月27日1700L三小時降雨量

四、結論

本文目的為分析綜觀天氣系統及局部環流對於雷暴發展的影響性評估，期許能對台東雷暴系統更多了解，作為雷暴潛勢預報的依據。台東機場位於海岸山脈終端，西面有中央山脈，東側則為太平洋，台東西北側向陽高度在2000公尺以上，到摩天亦有1500多公尺，北

側關山、池上、鹿野則約為200多公尺高度，2020年7月27日衛星雲圖顯示1600LST-1800LST台灣北部有對流雲，雷達回波顯示1800-2000LST在台東北部出現對流區。地面測站顯示向陽、摩天、紅石山區於1800-1900LST出現10-25mm時降雨，之後2000LST於關山、鹿野亦開始有30-49mm時雨量，然而直到2100LST台東市區才出現微量降雨現象。顯然對流系統先於山區發生，之後逐漸影響到東側關山等地，而後對流迅速減弱消散，台東機場僅出現雷聲但幾乎無發生降雨現象。7月27日綜觀環境顯示低對流層為太平洋高壓所掌控，上午0800LST花蓮探空顯示對流高度約1200公尺，自由對流層約2100公尺，台東地面溫度於上午0800LST已有30.1°C，中午1300LST達最高溫33°C，向陽溫度從清晨12°C到中午22°C，透過午後地面溫度達高溫時，突破逆溫層高度，有機會產生自由對流而形成午後雷陣雨現象。然而為何山區對流伴隨顯著降雨遲至1900LST才出現，受限於觀測資料解析度不足，本文運用WRF模式模擬該個案發展過程，透過WRF模式模擬對流位置偏北，且風場偏西南風，無法反映海風情況，可能是模式模擬西南風過強，而且地形解析度過於粗略，無法正確解析局部氣流與地形相關性，未來將進一步採用高解析度地形，模擬與分析午後對流系統發展與維持的動力機制。

參考文獻

- [1]Jou, B. J.-D., WC Lee, RH Johnson, "An overview of SoWMEX/TiMREX operation. "Global Monsoon System" edited by CP Chang, Scientific World Publishing, 214-232(2010).
- [2]宋偉國，陳泰然，郭英華，"低層噴流和中尺度對流系統間的相關性研究"，大氣科學，25，211-234(1997)。
- [3]宋偉國、石琦堅，"梅雨期戰場環境之對流個案初步分析"，第二十三屆國防科技研討會(2014)。
- [4]宋偉國、石琦堅，"2014年梅雨期5月28日對流個案分析"，第五屆航空科技與飛航安全學術研討會(2015)。
- [5]宋偉國、林家昱、石琦堅，"梅雨期鋒面伴隨之對流個案分析"，2015氣象預報分析研討會(2015)。
- [6]侯昭平、謝銘恩、張龍耀、汪建良、廖杞昌，"局部環流與深對流"，2011第一屆航空科技與飛航安全學術研討會(2011)。
- [7]Hsiu, Rong-Guang, Ben Jong-Dao Jou, and Wen-Chau Lee, "Mesoscale boundaries and thunderstorm initiation during SoWMEX/TiMREX", Proceeding Abstract 2nd Science Workshop on SoWMEX/TiMREX,

Taipei, Taiwan, Oct. (2009).

[8]Bright, D. R.,and S. L. Mullen, “ The sensitivity of the numerical simulation of the southwest monsoon boundary layer to the choice of PBL turbulence parameterization in MM5”. Wea. Forecasting, 17, No. 1, 99–114(2002).

[9] Miao, Y.-E. and M.-J.Yang “A Modeling Study of the Severe Afternoon Thunderstorm Event at Taipei on 14 June 2015:The Roles of Sea Breeze, Microphysics, and Terrain”. J.M.S.J., 129-152(2020).

[10] Kuo,K.-T. and Wu C.-M., “The Precipitation Hotspots of Afternoon Thunderstorms over the Taipei Basin: Idealized Numerical Simulations ”. J.M.S.J., 501-517(2019).

A study of convection afternoon at July 27th 2020 over eastern Taiwan

Wei-Kuo Soong¹ Wei-Ting Wang²
Air Force Institute of Technology¹ Air Force Weather Wing²

Abstract

The effects of lighting, wind shear by thunderstorm have dangerous influence on flight safety. As thunderstorm occurred in nearby Tingtung airport where is in Tingtung city, the strength and life time of thunderstorm will have different impact on safety of taking off or on by airplane, however, prediction of thunderstorm will be challenge for predictor. The study was invested to analysis the influence of synoptic environment and local circulation on thunderstorm in Tingtung area , and the results of this study will be helpful to predict thunderstorm owing to realize its evolution and impact on air safety at Taitung. Taitung airport is located on terminal of Coast Mountain. There is Central Mountain and Pacific Ocean on the west and east side of Taitung airport respectively. Around mountain area, altitude of Xiangyang, located on northwestern Taitung, is above 2000 meters, and Motian along Xiangyang extended eastside is down to 1500 meters. Along Beinun river to plane area, altitudes of Guanshan, Chishang, Lube are nearly 200 meters. Taitung located on the south of these cities, because of terrain and boundary between land and sea, local circulation of Taitung is complex. There was convection at northern Taiwan during 1600-1800LST July 27th 2020 through weather satellite pictures. And no convection was observed at Taitung during that time. From weather radar observation, convection occurred at Taitung was 1800-2000LST. From surface station observation, rainfall was about 10-25 mm during 1800-1900LST at mountain area as Xiangyang, Motian, after 2000LST rainfall occurred about 30-49 mm at Guanshan and Lube. Until 2100LST there was little rainfall at Taitung city and very little rainfall but some thunder was observed at airport. Obviously convection first occurred at mountain then moved eastward to Guanshan, Lube and disappeared soon. The synoptic environment showed that southwesterly occurred at low level around Taiwan during 2020 July 27th and 0800LST LCL and LFC were about 600 and 700 meters, respectively. At 1400LST surface temperature reached maximum 33°C and 32°C at Taitung and Lube , respectively. However, the surface temperature at Changbin which located near sea was less than it at Lube, thus resulted movement by sea breeze from Changbin to Lube. Through climbing in high altitude at Lube, upward motion was supplied owing interaction between flow and terrain. In addition, the southeasterly carried much moisture into Lube and resulted convection occurring at Lube. As lifting force continued, upward flow reached LCL and LFC, high CAPE was supported to keep convection development. However, what was the reason of time in convection was 1900LST and not was 1400LST should be studied further. Owing to lacking high resolution of observation, we tried to use WRF model to simulate flow behavior. The location of simulated convection was shifted to north in compression in observation. The reason of over simulated wind speed to push convection northward more.

Key Words : Convection, Local Circulation, WRF