

# 應用剖風儀與數值模式於雷暴之研究

## Research on the Application of Wind Profile and Numerical Model to Thunderstorm

宋偉國<sup>1</sup> (Soong W.-K.) 顏罡志<sup>2</sup> (Yan G.-C.)

<sup>1</sup>空軍航空技術學院 <sup>2</sup>空軍氣象聯隊  
<sup>1</sup>Airforce Institute of Technology  
<sup>2</sup>Air Force Weather Wing

### 摘 要

雷暴伴隨的閃電、大雨、亂流對飛航有嚴重威脅，雷暴的發展與局部環流、地形、熱力條件有顯著關係，本文透過剖風儀、探空、閃電資料、氣象模式Weather Research and Forecasting (WRF)做午後雷暴個案分析，探討雷暴發展與局部環流關係。本文選取2018年8月5日屏東地區午後雷暴個案，該個案為弱綜觀環境，屏東市東北側長治地區1500LST出現降雨，距長治6-7公里距離的屏東市則幾無降雨，1600LST長治時雨量已超過20毫米，屏東市西南側麟洛亦有顯著時雨量，屏東市此時僅約2.5毫米。短距離內，屏東市與東北側長治、東南側麟洛雨量差距大，主要是雨量從屏東市東側而來，屏東市午後風向也逐漸由西南風轉東北風，長治午後風向由西北風轉東北風，麟洛則一直為東北風。顯示對流系統從屏東東側山區出現，但屏東東側瑪家、三地門午後時雨量小於5毫米，顯示中尺度系統對降雨現象有重要角色。8月5日0800L屏東斜溫圖顯示850hPa附近有逆溫，且溫度露點差異大，顯示此為太平洋高壓伴隨的下沉逆溫現象。近地層風場為弱東北風，而對流可用位能約249.2，舉升凝結高度為646公尺，只要透過適當舉升機制到達600多公尺，就能產生對流雲。剖風儀觀測資料與模式模擬，顯示屏東內地近地層東北風，屏東內地東北風可能與屏東沿海的海風形成輻合，利於午後雷暴生成，但模式模擬的降雨提早發生，與觀測僅在午後2-3時結果不一致，閃電資料則在1340L時即已出現雲中閃電躍升現象，顯示透過模式加上閃電資料才能對雷暴發生位置與時間有正確資訊。

**關鍵字：**雷暴、局部環流、剖風儀、模式

### Abstract

Lightning, heavy rain, and turbulence accompanied by thunderstorms pose a serious threat to flying. The development of thunderstorms is significantly related to local circulation, topography, and thermal conditions. This study uses wind profile, sounding, lightning data, and weather research and forecasting (WRF) model to do a case study of thunderstorm in the afternoon at Pingtung, and discuss the relationship between thunderstorm development and local circulation. This article selects an afternoon thunderstorm in Pingtung area on August 5, 2018, which is a weak synoptic environment. There was rainfall at 1500 LST in Changzhi area of Pingtung, while there was little rain in Pingtung City, which is 6-7 kilometers southwest of Changzhi. At 1600 LST, the rainfall in Changzhi had exceeded 20 millimeters. At this time, Pingtung City was only about 2.5 millimeters. Within a short distance, there is a big difference in rainfall between Pingtung City and Changzhi. At 2018 August 5<sup>th</sup> Pingtung sounding, the result shows that there is an inversion near 850hPa, and the difference in temperature dew point is large, indicating that this is a sinking inversion accompanied by the Pacific High Phenomenon. The near-surface wind field is weak northeast wind at Pingtung inner land, the available convective potential energy is about 249.2, and the lifting condensation level is 646 meters. As long as air parcel reaches more than 600 meters through a proper lifting mechanism, convective clouds can be produced. The observation data of the wind profiler and the model simulation was showed that the northeast wind near the surface of the eastern inland on Pingtung inner land. The northeast wind in the inland of Pingtung may converge with the sea breeze along the coast of Pingtung, which is conducive to the formation of thunderstorms in the afternoon. However, the rainfall simulated by the model occurred earlier, which is inconsistent with the observation results only at 1400-1500LST. For the lightning data, the phenomenon of lightning jump in the cloud has occurred at 1340L. It shows that only by adding lightning data to the model can you have the correct information on the location and time of the thunderstorm.

## 一、前言

雷暴伴隨的天氣現象對飛航安全有密切影響 (Baker & Lamb, 1989; Black & Mote, 2015; Grabowski et al., 2002; Kearney & Li, 2000; Unga, 1995)。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)。午後雷暴系統有時發生範圍小、時間短, 但伴隨顯著降雨, 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、台電已有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, 本文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, 期許對雷暴發生與發展提供更多研究, 未來可做為屏東機場雷暴系統預報的參考。

## 二、資料處理與模式簡介

本文收集中央氣象局、文化大學氣象資料庫、國家災防中心所提供天氣圖、地面觀測資料、衛星雲圖、雷達回波, 分析雷暴發展之環境。另外, 選取時降雨量超過20毫米的雷暴個案, 並配合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。閃電分析範圍以屏東市為中心點, 向四周展30公里的矩形範圍如圖1所示, 在這些區域內每十分鐘統計一次閃電次數, 作為雷暴發展的依據。剖風儀資料則掃描策略為東、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, 透過每五分鐘風場平均取得逐時風場並求出每日逐時風場分布。

模式的處理方面, 引用中尺度模式WRF3.4版, 模擬對流個案, 模式初始時間為2018年8月4日1200UTC, 採用水平網格二層, 第一層網格水平解析度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、雷暴發生個案分析

透過衛星與雷達回波資料顯示, 2018年8月5日1250L台灣中央山脈區域有南北向條狀對流系統沿著中央山脈形成, 此時屏東尚未有雷暴形成。1410L時, 此條狀對流系統往西移動, 屏東

地區此時已有對流系統產生(圖2)。到了1540L條狀對流系統持續西移, 此時屏東地區雷暴系統已經減弱。屏東地區2018年8月5日降雨量分布顯示, 屏東市東北側6-7公里處長治1500LST降雨量已超過5毫米, 到1600LST更是超過20毫米(圖3), 但屏東市西南側6公里處麟洛降雨比長治早一小時, 1500-1600L均超過10毫米, 但最強時雨量不如長治。長治西南方的屏東市降雨很少, 1600LST降雨量不到3毫米, 而屏東東側瑪家、三地門降雨卻很少, 顯示很短距離內, 雷暴伴隨的降雨差距很大, 欲解析這種中小尺度雷暴降雨特性, 需要透過高解析度剖風儀及閃電偵測系統加以分析雷暴強度發展情況。圖4為2018年8月5日屏東地區附近30公里內閃電次數, 13:40以後開始出現高頻率閃電次數, 即1340L以後開始出現閃電躍升, 顯示雷暴正在發展階段。

綜觀天氣圖顯示(圖5), 2018年8月5日台灣地區處於弱綜觀環境, 並無顯著天氣系統影響台灣。8月5日0800L屏東斜溫圖顯示850hPa附近有逆溫(圖6), 且溫度露點差異大, 顯示此為太平洋高壓伴隨的下沉逆溫現象。近地層風場為弱東北風, 而對流可用位能約249.2, 此可用位能並不算很多, 但舉升凝結高度為646公尺, 只要透過適當舉升機制到達600多公尺, 就能產生對流雲。2018年8月5日屏東地面風場在1200L於屏東內地氣流比較混亂, 西側沿海則有明顯西南風。1300-1400L屏東沿海西南風更為顯著(圖7), 屏東內陸已經均東北風, 此時與沿海西南風產生輻合帶。到了1600-1700L則屏東內陸與沿海均為東北風, 顯示此東北風為對流系統外流效應所造成。配合前述降雨分布, 顯示1400L以後雷暴對流系統逐漸發展。

屏東剖風儀在8月5日1000L以後從地面至1000公尺以下風場多為東北風(圖8), 模式模擬結果亦顯示屏東內陸為東北風, 西側外海為西南風(圖9), 此西側外海西南風在1000L以後才發展起來, 顯示海風的興起對於對流的發展提供有利條件。然而模式模擬結果顯示, 在屏東地區持續有顯著累積雨量(圖10), 此與觀測結果僅在午後才發生對流的現象並不一致, 後續需要再針對模式降雨處理上做處理。唯從本個案觀測與模式模擬結果, 大致顯示本個案雷暴的發展, 海風與屏東內部東北風的輻合提供雷暴的有利條件, 但雷暴僅在午後才發生, 顯示地表加熱到門檻值後, 對流才迅速發展起來, 閃電資料顯示降雨發生前, 雲中閃電已經出現閃電躍升現象, 閃電資料在短時間內可以提供預警措施。

## 四、討論與結論

雷暴伴隨的閃電、大雨、亂流對飛航有嚴重

威脅，雷暴的發展與局部環流、地形、熱力條件有顯著關係，本文透過剖風儀、探空、閃電資料、氣象模式 Weather Research and Forecasting (WRF) 做午後雷暴個案模擬分析，探討雷暴發展與局部環流關係。本文選取2018年8月5日屏東地區午後雷暴個案，該個案為弱綜觀環境，屏東長治地區下午三時出現降雨，長治西南側6-7公里距離的屏東市則幾無降雨，下午四時長治時雨量已超過20毫米，屏東市此時僅約2.5毫米。短距離內，雷暴伴隨的降雨在二地差距大，欲解析這種中小尺度雷暴降雨特性，需要透過高解析度剖風儀及閃電偵測系統與模式加以分析雷暴強度發展情況。8月5日0800L屏東斜溫圖顯示850hPa附近有逆溫，且溫度露點差異大，顯示此為太平洋高壓伴隨的下沉逆溫現象。近地層風場為弱東北風，而對流可用位能約249.2，舉升凝結高度為646公尺，只要透過適當舉升機制到達600多公尺，就能產生對流雲，剖風儀觀測資料與模式模擬顯示屏東內地近地層東北風，屏東內地東北風可能與屏東沿海的海風形成輻合，利於午後雷暴生成，但模式模擬的降雨提早發生，與觀測僅在午後2-3時結果不一致，閃電資料則在1340L時即已出現雲中閃電躍升現象，顯示透過模式加上閃電資料才能對雷暴發生位置與時間有正確資訊。

#### 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。

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。

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。

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.

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.

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.

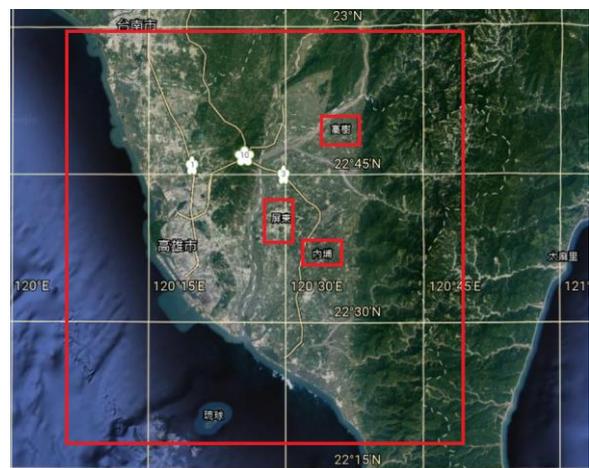
Kearney, P. J., & Li, G. (2000). Geographic variations in crash risk of general aviation and air taxis. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 71, 19-21.

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.



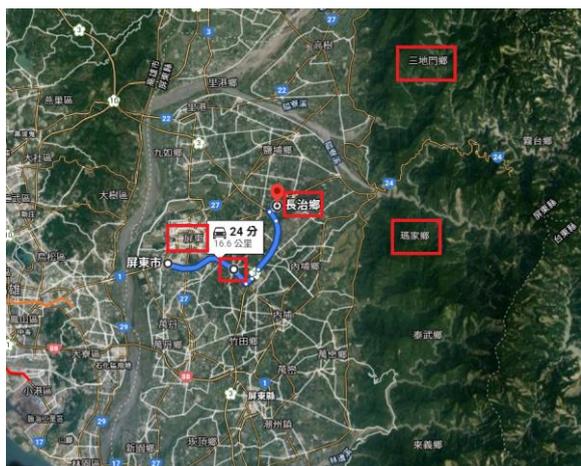
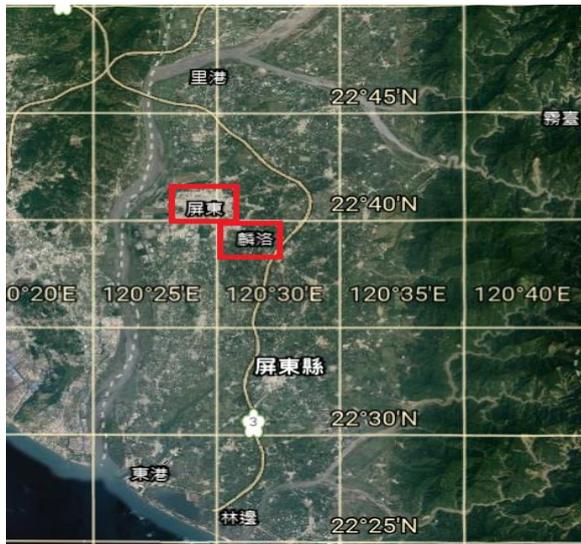


圖1 屏東縣屏東市、麟洛、長治、瑪家、三地門、高樹、內埔位置圖。區域如紅色區域。

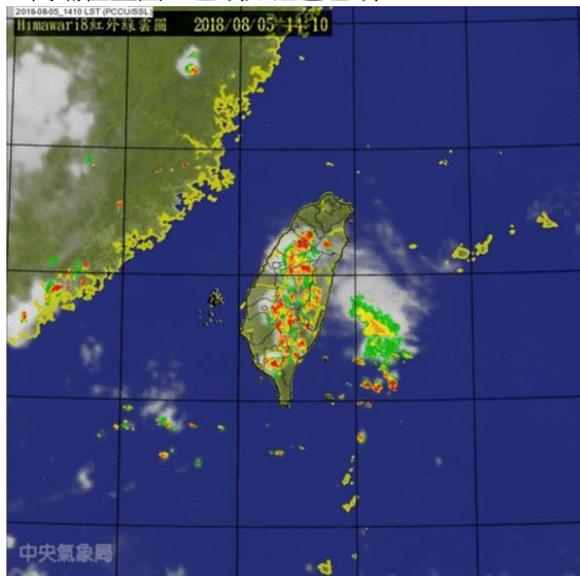


圖2 2018年8月5日1410L衛星雲圖合併雷達回波

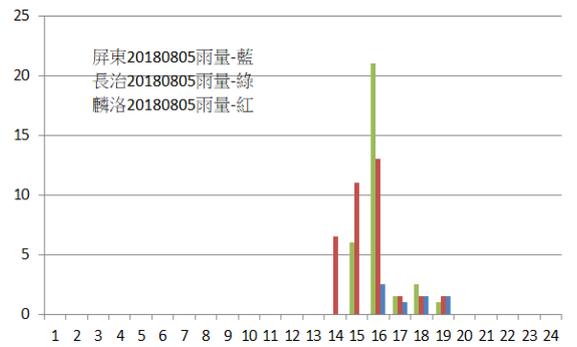


圖3 2018年8月5日屏東、長治、麟洛雨量逐時分布。

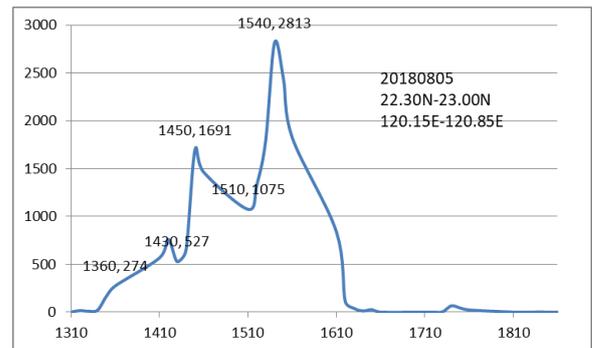


圖4 2018年8月5日屏東區域每十分鐘閃電次數

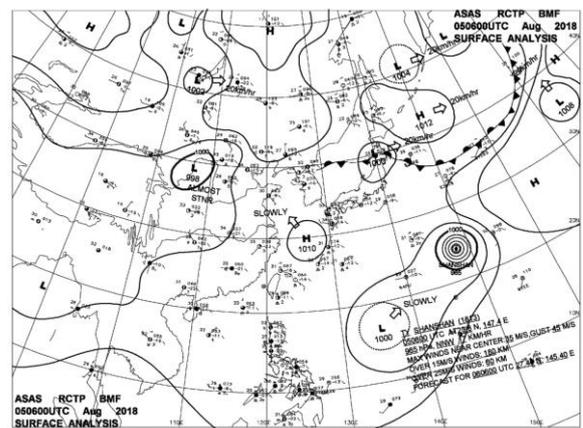


圖5 2018年8月5日1400L地面天氣圖

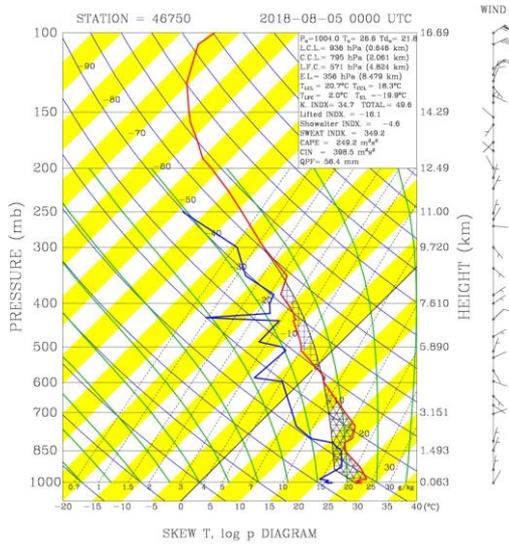


圖 6 2018 年 8 月 5 日 0800L 屏東探空圖



圖 7 2018 年 8 月 5 日 1300L 地面風場

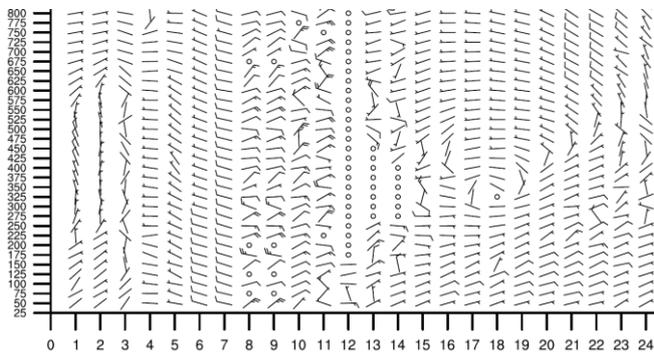


圖 8 2018 年 8 月 5 日 屏東剖風儀逐時風場垂直分布。

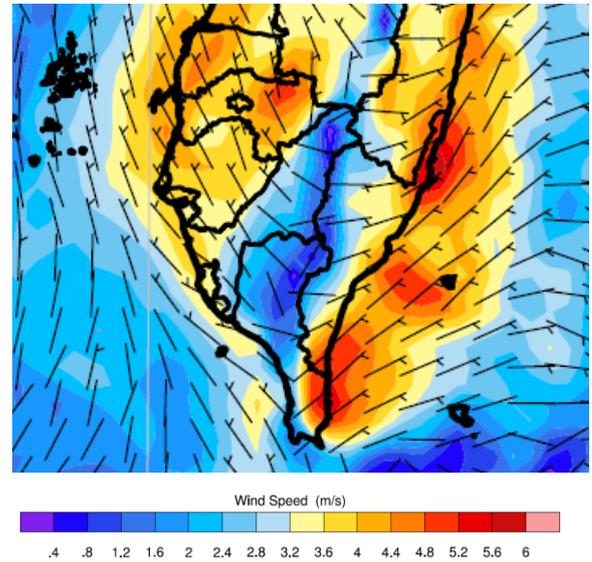


圖 9 WRF 模擬 17 小時後之 2018 年 8 月 5 日 1300LST 風場

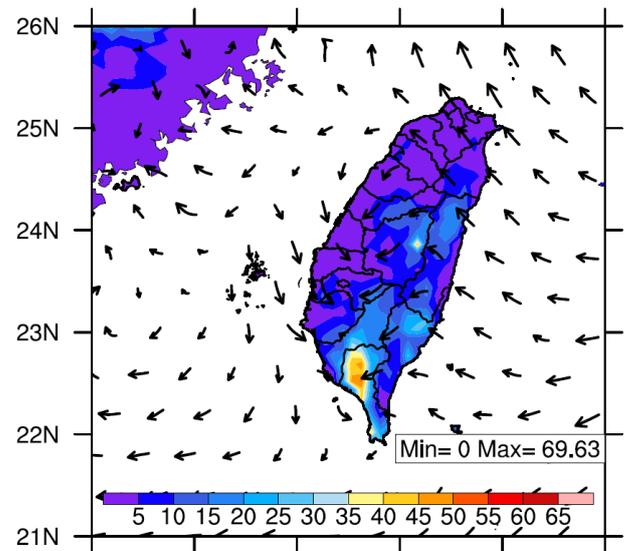


圖 10 WRF 模擬之 2018 年 8 月 5 日 1400LST 降雨量