

2021 年嘉義機場夏季午後雷雨胞移動路徑分析

薛皓薰、陳智羿、朱宗良、陳建達、黃洳欣

空軍氣象聯隊第四基地天氣中心

摘要

嘉義機場鄰近阿里山山脈，夏季午後山區熱力發展伴隨地形天氣多變，中小尺度劇烈天氣是影響飛航安全的重要因素之一，本研究利用 X-Band 降雨雷達分析 2021 年夏季午後熱對流移動路徑得知，午後雷雨胞率先發展的位置以機場東南面山區為主，東北面山區次之。

透過分析 6 月及 8 月造成機場周圍發生雷雨胞個案可知，太平洋高壓的位置與勢力變化，對於午後雷雨胞的移動有一定程度的相關性。當高壓勢力向西伸展至東經 124 至 130 度，此時臺灣位於高壓勢力邊緣，周圍風場多為偏南風，午後熱雷雨胞多為由南向北移入嘉義地區；當高壓勢力向西伸展至東經 110 至 115 度，此時臺灣位於高壓勢力範圍內，臺灣風場以偏東風為主，午後熱雷雨胞多為由東向西移入嘉義地區。若要準確判斷午後雷雨胞的移動方向，則可透過高解析度觀測工具，如：X-Band 降雨雷達產品中，徑向風場及 WISSDOM 技術輔助資料，分析其 4 至 6 公里的高空風場變化，可更準確研判局部區域午後雷雨胞移動趨勢，以提升機場危險天氣預警時效，確保人員、裝備及飛行訓練之安全。

關鍵字：雷雨胞路徑、太平洋高壓變化、降雨雷達、午後熱對流

1. 前言

嘉義機場西臨臺灣海峽毫無屏障，東倚阿里山及關子嶺山系支線，因此，在夏季日間盛行風的吹拂下，氣流時常於嘉義機場東面山區舉升形成對流雲系(圖 1)，搭配熱力作用下，易發展成對機場具威脅性熱對流雷雨胞，因此掌握其移動路徑對預報人員尤為重要。過去曾利用嘉義機場例行及特別天氣報告資料統計，分析嘉義機場 8 公里範圍內，逐月各時段發生雷雨之機率(圖 2)，精算後以 6 至 8 月午後雷雨發生機率最高。

2021 年本單位已利用臺灣電力公司夏季 6 至 8 月「雲對地放電(Cloud to Ground, CG)」閃電資料進行熱點分析，結果顯示嘉義機場東北側「雲林縣古坑至嘉義縣梅山竹崎地區及嘉義市」及機場東至東南側「嘉義縣中埔、番路及阿里山地區」為主要放電區域(圖 3 至

5)。但是為更有效提前掌握雷雨胞移動趨勢，增加危險天氣預警時間，減少因危險天氣、觀測及預報失準所肇生之飛安事件，因此本研究規劃利用地面天氣圖及高解析度觀測資料進行綜合比較，分析嘉義機場夏季午後雷雨胞的移動路徑。

2. 研究方法與資料來源

2.1 研究方法

本研究使用中央氣象局地面天氣圖分析嘉義機場 8 公里範圍內有危險天氣的綜觀尺度天氣變化，接著使用 109 年底建置完成的 X-Band 雙偏極化都卜勒降雨雷達(圖 6)以及中央大學發展之風場反演技術 WISSDOM，分析雷達回波移動路徑與風場之關係。為統一午後雷雨胞辨識強度，本研究以雷達回波強度達 40 dBZ 來定義對流雷雨胞標準(Tapia 1998; Livingston 1966)，並利用 PYTHON 程

式進行原始資料讀取與繪圖。

2.2 資料來源

X-Band 雙偏極化都卜勒降雨雷達可傳送和接收水平及垂直兩個方向的電磁波輻射，具有高精度雨量觀測和準確測量。針對粒子分類提供的多種數據(如反射強度或相位差)，可用於評估檢測到的水相粒子大小、形狀以及熱力等性質，推斷是雪花、冰雹或是雨滴。由都卜勒效應得到降水粒子的移動速度，進而反演天氣系統內的風場分布資訊。

國立中央大學發展之風場反演技術-都卜勒氣象雷達三維風場合成技術 WISSDOM，則利用徑向風投影關係式(如(1)式)、背景風場、非彈性連續方程、垂直渦度方程(如(2)式)、地面氣象觀測資料以及 Laplacian 平滑項，再以 Immersed Boundary Method(IBM)處理下邊界條件，以變分法進行極小化(如(3)式)，反演得到複雜地形上的三維風場(圖 7)。

$$v_r = u \cdot \frac{x}{r} + v \cdot \frac{y}{r} + (w + v_z) \cdot \frac{z}{r} \quad (1)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = -(\varepsilon + f) \nabla \cdot \vec{v} + \left(\frac{\partial w}{\partial y} \frac{\partial u}{\partial p} - \frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial p} \right) - \omega \frac{\partial \varepsilon}{\partial p} - \vec{v} \cdot \nabla \varepsilon - \vec{v} \cdot \nabla f \quad (2)$$

$$J(u, v, w) = \sum_{M=1}^5 J_M \quad (3)$$

3. 研究結果分析

3.1 天氣系統與嘉義午後雷雨胞移動關係

夏季午後雷雨的變化往往與太平洋高壓勢力的變化有明顯的關係，首先依太平洋高壓的勢力變化選取 4 個案作為代表(表 1)，分析風場變化與雷雨胞移動關係。

從太平洋高壓的勢力選取個案表(表 1)分析可知，當太平洋高壓距離臺灣甚遠，此時臺灣無明顯天氣系統影響(6 月 10 日案例為代表，圖 8)，或臺灣位於太平洋高壓邊緣時(8 月 25 日案例為代表，圖 9)，臺灣處於太

平洋高壓軸線南側邊緣或受低壓帶影響，此時臺灣周圍環境風場呈現偏南風，致使午後雷雨胞呈現由南向北移動(圖 10)。

當太平洋高壓西伸(8 月 26 日案例為代表，圖 11)或受太平洋高壓壟罩時(以 8 月 31 日案例為代表，圖 12)，此時的臺灣雖然處於太平洋高壓勢力範圍內，但臺灣周圍環境風場呈現偏東風，致使午後雷雨胞呈現由東向西移動(圖 13)。

接著透過高解析度的 X-BAND 降雨雷達及 WISSDOM 技術，進行夏季午後雷雨胞移動分析。當 6 月 10 日案例雷達回波 MAX dBZ 的回波由南向北移動時，其 1 至 3 公里強回波處的高空風場為東南風，而 4 至 6 公里高的高空風場則多為南風(圖 14)，顯示 4 至 6 公里高的風場與雷達回波 MAX dBZ 移動有較高的關聯性。而 8 月 25 日案例雖然 1 至 4 公里高為西風，但 MAX dBZ 的南北移動與 5 至 6 公里高的東南至南風有較高的關聯性(圖 15)。8 月 26 日案例雖然 1 至 3 公里高為西風，但 MAX dBZ 的東西移動與 4 至 6 公里高的東風場有較高的關聯性(圖 16)。8 月 31 日案例雖然 1 至 2 公里為北風，但 MAX dBZ 回波東西移動與 3 至 6 公里高的東風場有較高的關聯性(圖 17)。

由上述分析總結，太平洋高壓的勢力變化、臺灣與太平洋高壓軸線相對位置，對於午後雷雨胞的移動趨勢有一定程度的相關性，而高空風 4 至 6 公里的風場變化對於 MAX dBZ 回波有關。

3.2 雷達回波與風場資料分析統計

為驗證上節結論，本節將 2021 年 6 月及 8 月發展強度大於 40 dBZ，且導致嘉義地區及周邊有雷雨胞個案逐一列出，並探討天氣系統、6 公里高空風場及午後雷雨胞移動路徑三者之關係。

從 2021 年 6 月及 8 月嘉義地區南北走向雷雨胞圖(圖 18)搭配 2021 年 6 月及 8 月嘉

義地區對流胞為南北走向時之天氣圖(圖 19)分析可知，當午後雷雨胞的路徑屬於「南北走向」移動時，此時的太平洋高壓勢力多位於臺灣東部外海，其勢力向西伸展至東經124至130度，而此時臺灣的風場多為偏南風，而距地6公里高度(約為500 hPa)的風場亦為偏南風居多。

從2021年6月及8月嘉義地區東西走向雷雨胞圖(圖 20)搭配2021年6月及8月嘉義地區對流胞為東西走向時之天氣圖(圖 21)分析得知，當午後雷雨胞的路徑屬於「東西走向」移動時，此時的太平洋高壓中心位於北緯30度的高緯度地區，臺灣受其高壓環流南側的東風影響；或者，高壓中心位於北緯20至30度，其勢力向西伸展至東經110至115度，臺灣位於高壓勢力範圍內，風場以偏東風為主，而距地6公里高度(約為500 hPa)的風場亦為偏東風居多。

4. 結論

分析2021年6月及8月降雨雷達觀測資料發現，嘉義機場周圍雷雨胞率先發展的位置以機場東南面山區為主，東北面山區次之。

由上述個案分析可知，太平洋高壓的位置與勢力變化，對於午後雷雨胞的移動有一定程度的相關性。當高壓勢力向西伸展至東經124至130度，此時臺灣位於高壓勢力邊緣，周圍風場多為偏南風，午後的熱雷雨胞多為由南向北移入嘉義地區(圖22)；當高壓勢力向西伸展至東經110至115度，此時臺灣位於高壓勢力範圍內，臺灣風場以偏東風為主，午後的熱雷雨胞多為由東向西移入嘉義地區(圖23)。

若要準確判斷於午後雷雨胞的移動方向，則可在雷雨發生前利用探空觀測資料分析700 hPa至500 hPa中層風場；而回波的即時變化，則可透過高解析度觀測工具，如：X-Band降雨雷達產品中徑向風場及WISSDOM技術輔助，分析其4至6公里的高空風場變化，可

更準確判斷局部區域的午後雷雨胞移動趨勢，以提升危險天氣預警時效，確保人員、裝備及飛行訓練之安全。而上述研究發現的中層風場觀測數值與雷雨胞移向有高度相關，與過去學者研究的結果相似(吉崎正憲，2009)。

5. 未來展望

X-Band降雨雷達每3分鐘更新圖資，在電磁波尚未被強降雨的降水粒子削弱以前，X-Band降雨雷達能比中央氣象局的Qpesums整合雷達網，更快速、更準確及更高解析度的反映實際天氣變化，因此X-Band降雨雷達有助於觀測局部地區中小尺度的午後熱對流雷雨胞之變化。

嘉義機場地理位置特殊，結合局部地形風場，夏季午後易發生雷雨，且對流胞多由山區移出影響。相較其他空軍基地，嘉義機場為夏季午後雷雨發生機率最高之機場，期許透過本次研究的結論，持續蒐集未來5年觀測資料，並搭配降雨雷達進行驗證，期許未來能夠更加準確掌握雷雨移動路徑，增加危險天氣之預警時間精準度，以利飛行安全掌握。

6. 參考文獻

- 陳智羿、朱宗良、陳建達、黃洳欣，2021年6月，嘉義地區氣候特殊天氣探討，氣象預報與分析，247，2-16。
- 石琦堅、李昌運、宋偉國，2019年6月，臺灣地區夏半年午後對流閃電資料分析-以嘉義機場為例，氣象預報與分析，238，6-14。
- 林品芳、張保亮、周仲島，2012年3月，弱綜觀環境下臺灣午後對流特徵及客觀預報，大氣科學，第四十期，77-107。
- 吉崎正憲、加藤輝之，2009，豪雨與豪雪之氣象學，國立編譯館。
- Tapia, A., J. A. Smith, and M. Dixon, 1998: Estimation of convective rainfall from lightning observations. *J. Appl. Meteor.*, 37,1497-1509.

Livingston, E. S. J. W. Nielsen-Gammon, and R. E. Orville, 1996: A climatology, synoptic assessment, and thermodynamic evaluation for cloud-to-ground lightning in Georgia: A study for the 1996 Summer Olympics. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 1483-1495.

MacGoman, D. R., W. D. Rust, T. J. Schuur, M. I. Biggerstaff, J. M. Straka, C.

L. Ziegler, E. R. Mansell, E. C. Bruning, K. M. Kuhlman, N. R. Lund, N. S. Biermann, C. Payne, L. D. Carey, P. R. Krehbiel, W. Rison, K. B. Eack, and W. H. Beasley, 2008: TELEX the thunderstorm electrification and lightning experiment. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 89, 997-1013.

7. 表附錄

表 1 太平洋高壓的勢力選取個案表

個案	110年6月10日	110年8月25日	110年8月26日	110年8月31日
地層風場	臺灣東部吹東風影響，海峽中部吹偏北風。	臺灣風場吹西南風影響。	臺灣風場吹東南風。	臺灣西部風場吹西南風；東部外海吹東南風。
太平洋高壓位置	1008 hPa 等壓線位於臺灣上空，臺灣受低壓帶影響。	1012 hPa 等壓線位於臺灣東部外海，臺灣受太平洋高壓邊緣影響。	1012 Pa 等壓線位於大陸沿海一帶，臺灣受太平洋西伸影響。	1012 hPa 等壓線位於大陸華中一帶，臺灣受太平洋高壓影響。
嘉義機場午後雷雨胞路徑	南北移動	南北移動	東西移動	東西移動

8. 圖附錄

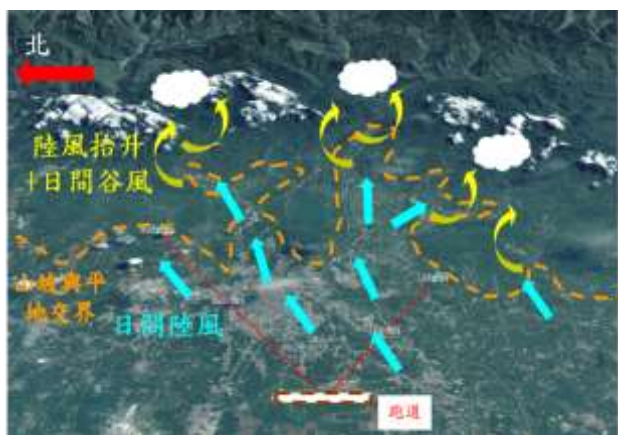


圖1 嘉義機場周圍局部環流示意圖（藍色為日間陸風，黃色箭頭為陸風結合谷風）

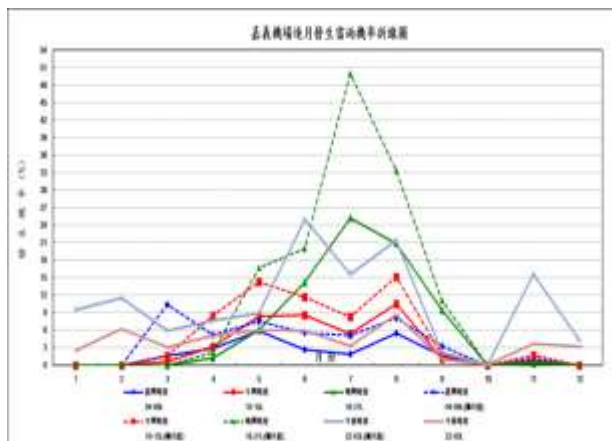


圖2 嘉義機場2012至2021年逐月發生雷雨機率折線圖（實線為平均值、虛線為極大值）

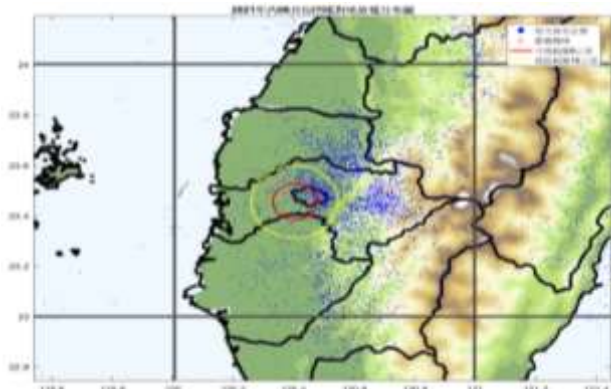


圖3 6月嘉義地區CG閃電發生位置分布圖（紅圈處以機場為中心8公里範圍、黃圈處以機場為中心16公里範圍、藍點為閃電發生位置、十字為嘉義機場位置）

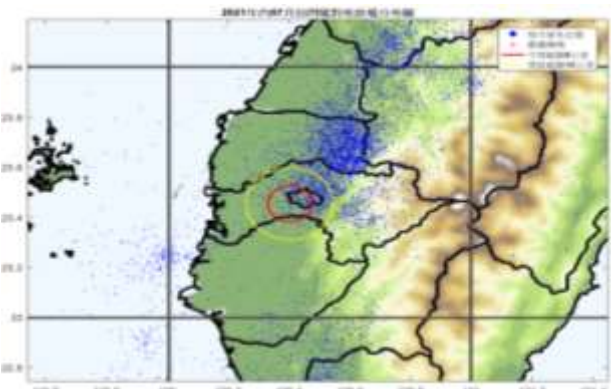


圖4 7月嘉義地區CG閃電發生位置分布圖(同圖3)



圖5 8月嘉義地區CG閃電發生位置分布圖(同圖3)



圖6 X-Band降雨雷達WR2120

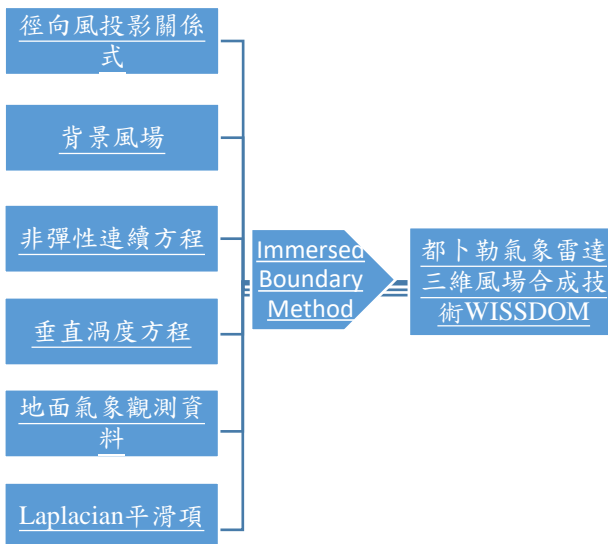


圖7 都卜勒氣象雷達三維風場合成技術 WISSDOM架構圖

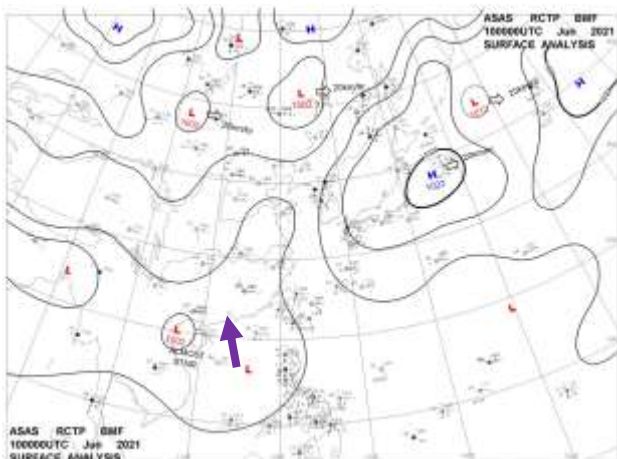


圖 8 6 月 10 日 0800 時 地面天氣圖 (摘自 CWB)

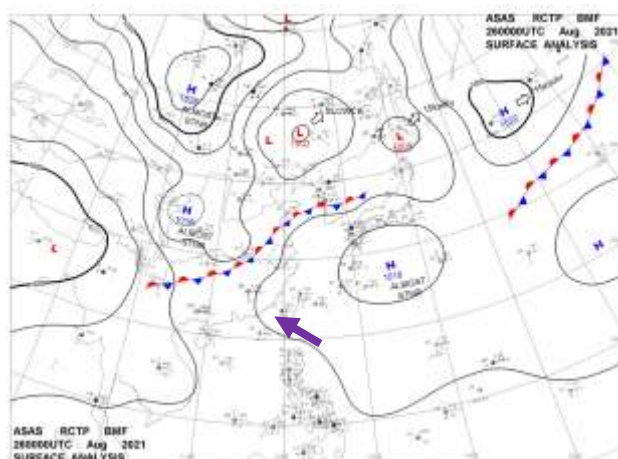


圖 11 8 月 26 日 0800 時 地面天氣圖(同圖 8)

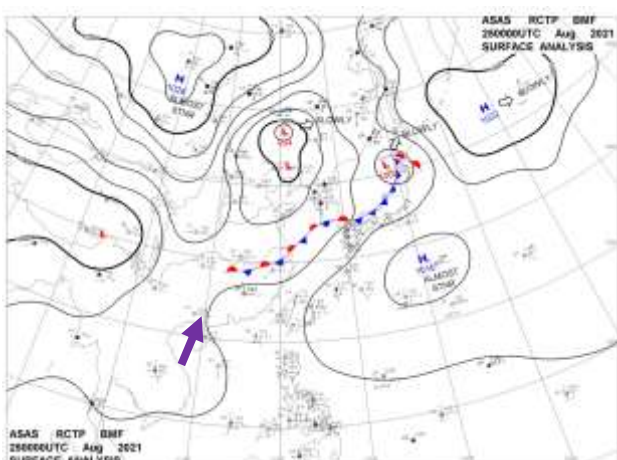


圖 9 8 月 25 日 0800 時 地面天氣圖(同圖 8)

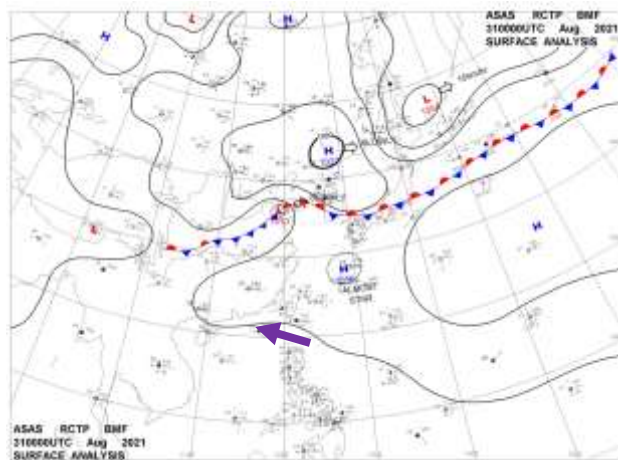


圖 12 8 月 31 日 0800 時 地面天氣圖(同圖 8)

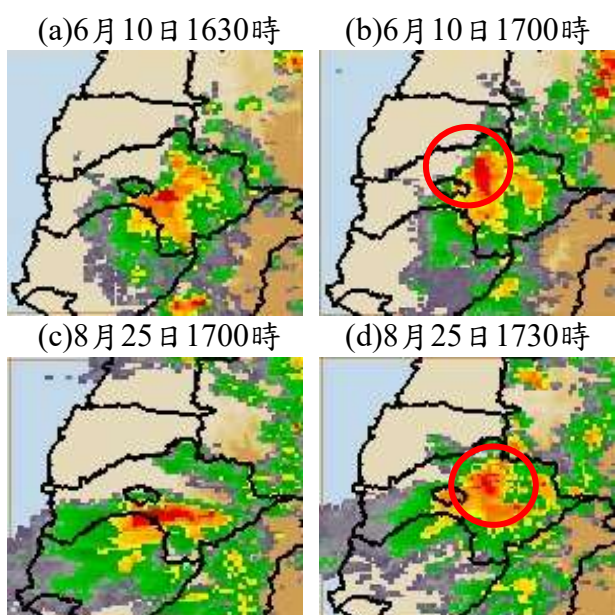


圖 10 由南向北移動之午後雷達迴波雷雨胞變化圖 (色階, 回波)

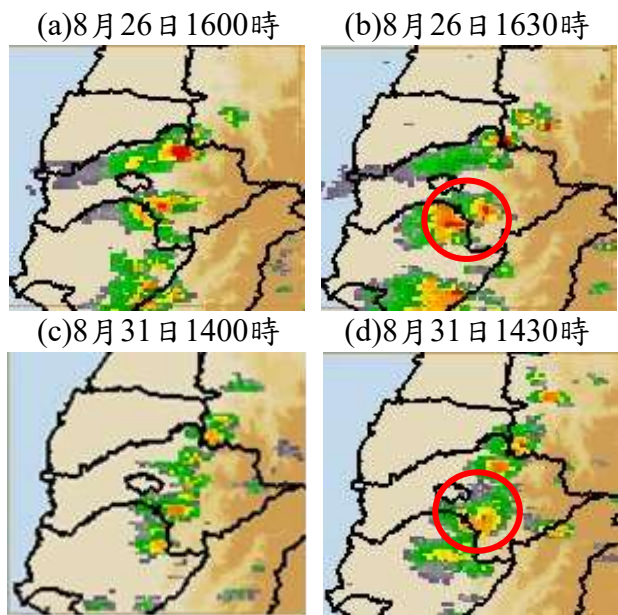


圖 13 由東向西移動之午後雷達迴波雷雨胞變化圖 (色階, 回波)

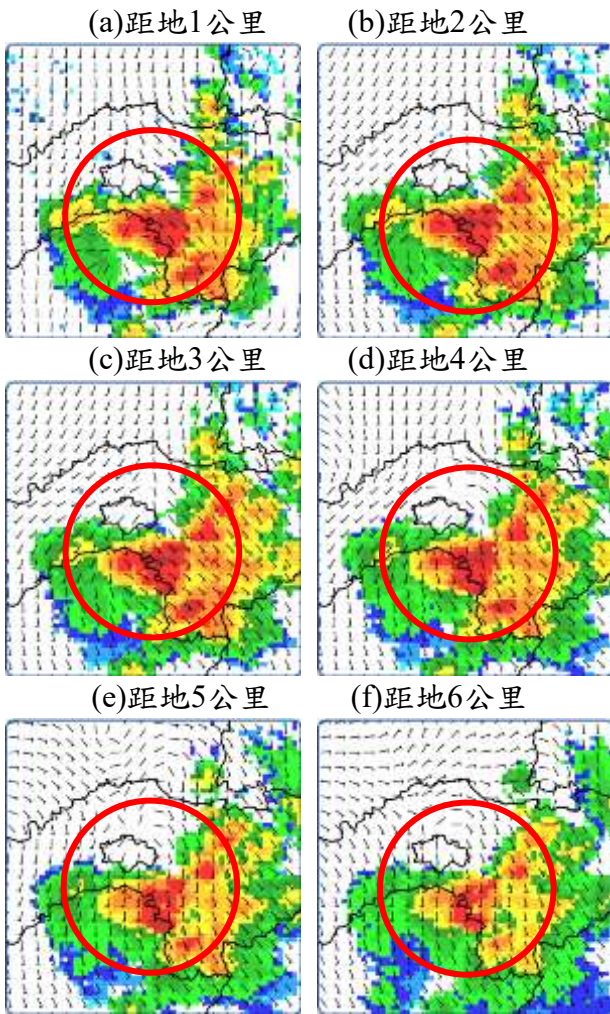


圖 14 6 月 10 日 1630 時 WISSDOM 技術各空層示意圖 (色階, 回波)

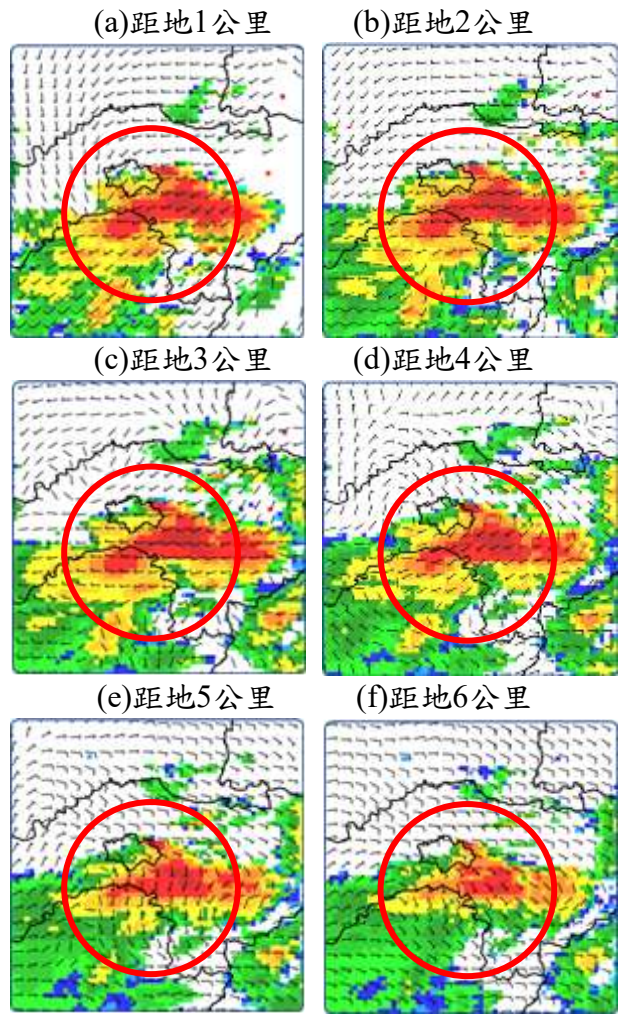


圖 15 8 月 25 日 1700 時 WISSDOM 技術各空層示意圖 (同圖 14)

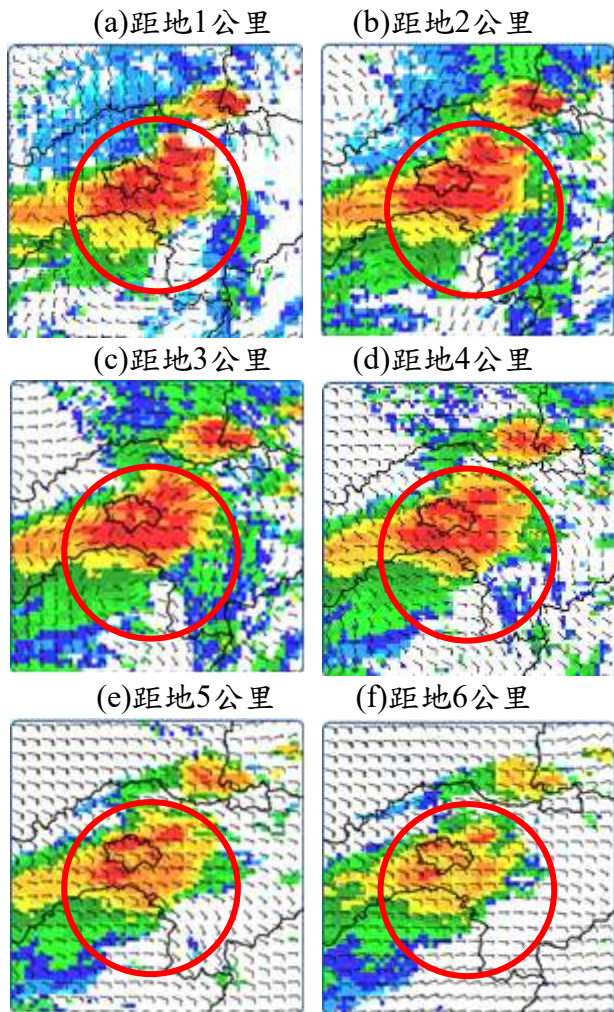


圖16 8月26日1700時WISSDOM各空層示意圖
(同圖14)

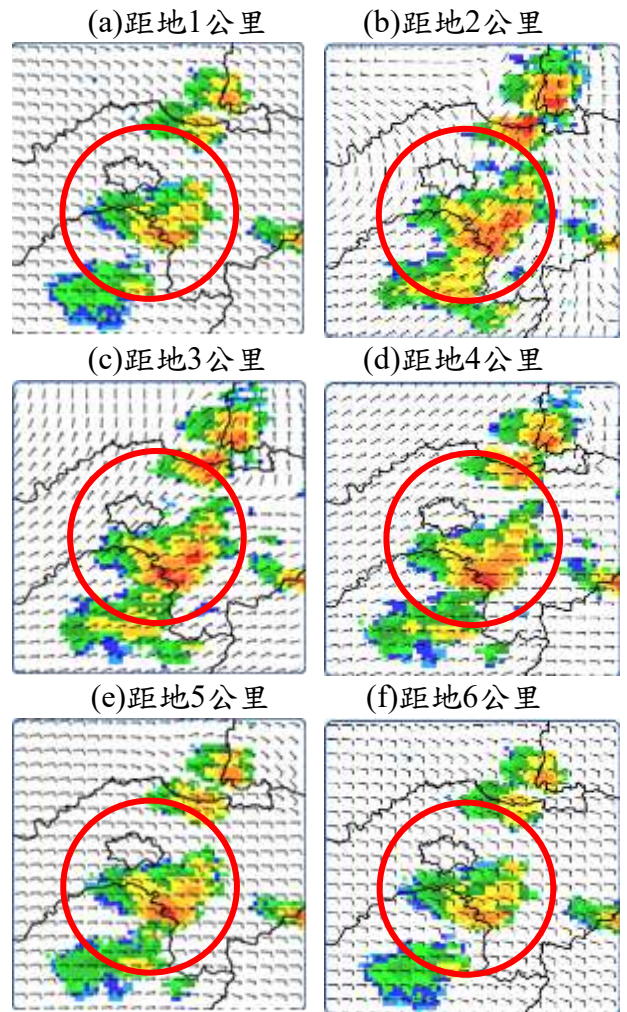
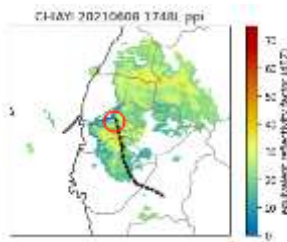
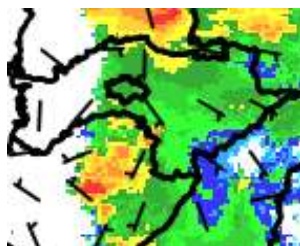


圖17 8月31日1430時WISSDOM各空層示意圖
(同圖14)

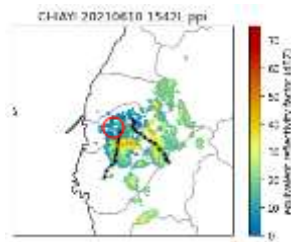
(a)2021年06月08日
雷雨胞路徑圖



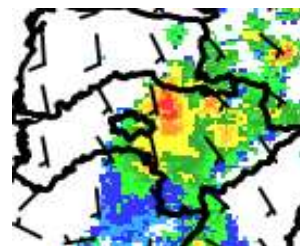
(b)2021年06月08日
1748時距地6公里



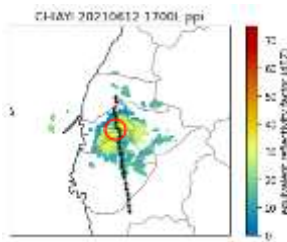
(c) 2021年06月10日
雷雨胞路徑圖



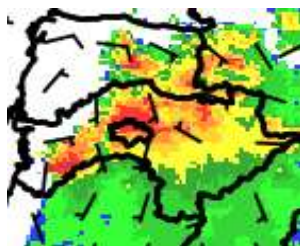
(d)2021年06月10日
1542時距地6公里



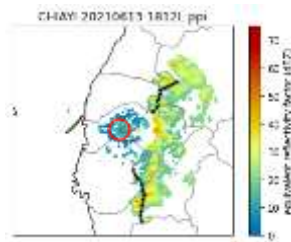
(e)2021年06月12日
雷雨胞路徑圖



(f)2021年06月12日
1700時距地6公里



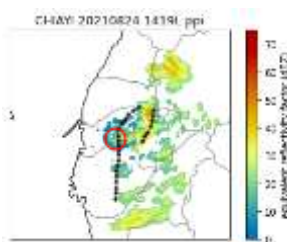
(g)2021年06月13日
雷雨胞路徑圖



(h)2021年06月13日
1812時距地6公里



(i)2021年08月24日
雷雨胞路徑圖



(j)2021年08月24日
1419 時距地6公里

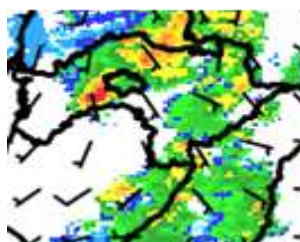
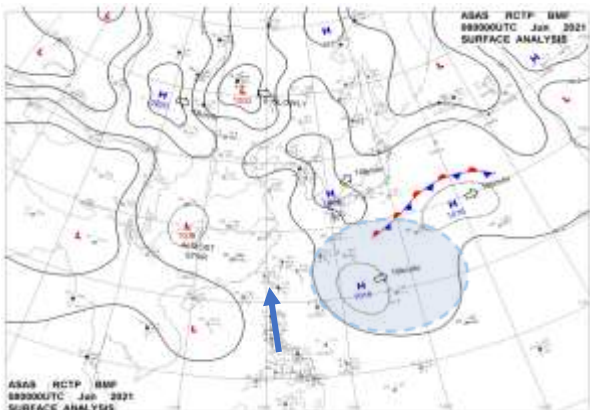
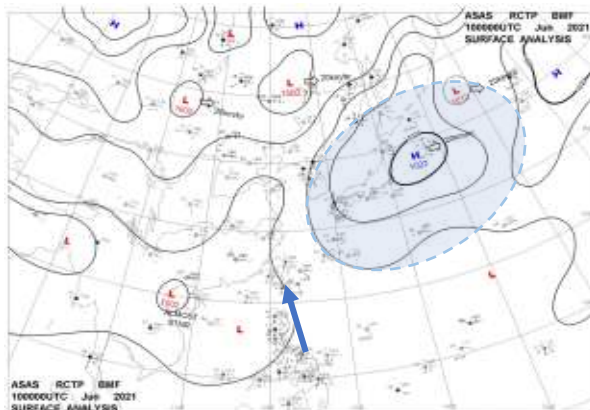


圖18 2021年6及8月嘉義地區「南北走向」雷雨胞圖。圖(a)、(c)、(e)、(g)及(i)為X-Band雷達圖及雷雨胞移動路徑(箭頭，每6分鐘一筆)，圖資時間為箭頭位置離嘉義機場(紅圈處)最近處；圖(b)、(d)、(f)、(h)及(j)為WISSDOM三維風場反演技術6公里風場對照圖(時間同雷雨胞路徑圖)。(a)2021年06月08日雷雨胞路徑圖，(b)2021年06月08日1748時距地6公里，(c)2021年06月10日雷雨胞路徑圖，(d)2021年06月10日1542時距地6公里(e)2021年06月12日雷雨胞路徑圖，(f)2021年06月12日1700時距地6公里，(g)2021年06月13日雷雨胞路徑圖，(h)2021年06月13日1812時距地6公里，(i)2021年08月24日雷雨胞路徑圖，(j)2021年08月24日1419時距地6公里。(色階，回波)

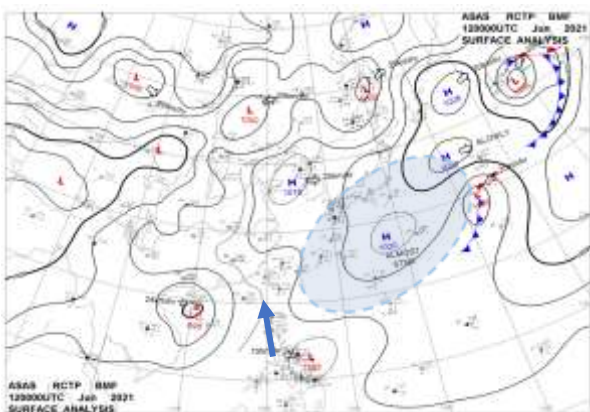
(a)2021年6月8日0800時地面天氣圖



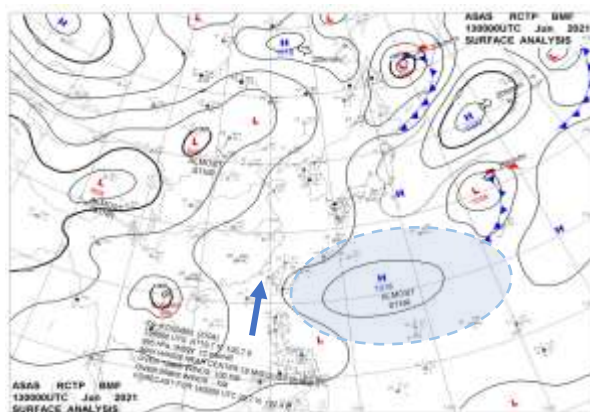
(b)2021年6月10日0800時地面天氣圖



(c)2021年6月12日0800時地面天氣圖



(d)2021年6月13日0800時地面天氣圖



(e)2021年8月24日0800時地面天氣圖

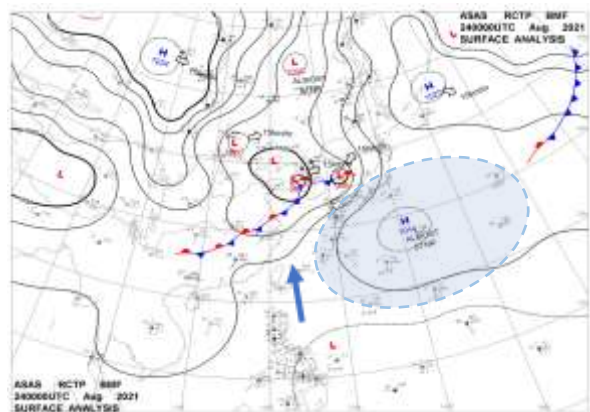
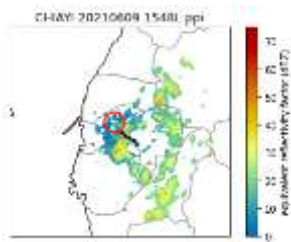
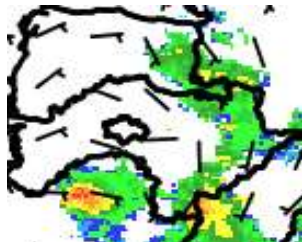


圖19 2021年6及8月嘉義地區「南北走向」雷雨胞之當日08時地面天氣圖。淡藍色圓圈處為太平洋高壓勢力；藍色箭頭為臺灣周邊風場。(a)2021年6月8日0800時地面天氣圖，(b)2021年6月10日0800時地面天氣圖，(c)2021年6月12日0800時地面天氣圖，(d)2021年6月13日0800時地面天氣圖，(e)2021年8月24日0800時地面天氣圖。(地面天氣圖摘自CWB；色階，回波)

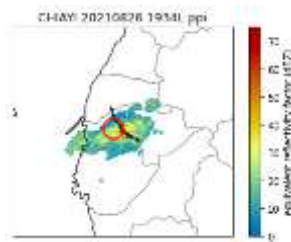
(a)2021年06月09日
雷雨胞路徑圖



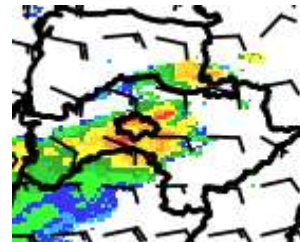
(b)2021年06月09日
1548時距地6公里



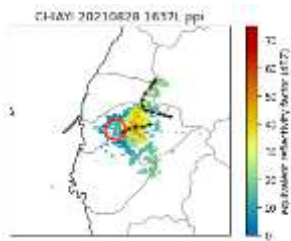
(c) 2021年08月26日
雷雨胞路徑圖



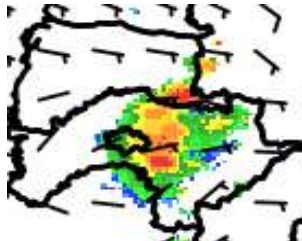
(d)2021年08月26日
1934時距地6公里



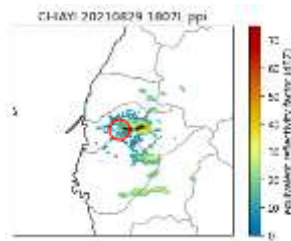
(e)2021年08月28日
雷雨胞路徑圖



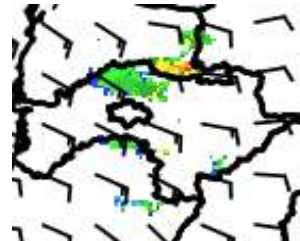
(f)2021年08月28日
1637時距地6公里



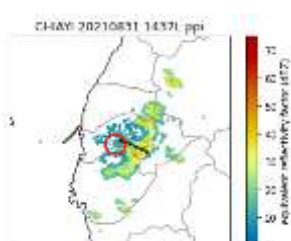
(g)2021年08月29日
雷雨胞路徑圖



(h)2021年08月29日
1807時距地6公里



(i)2021年08月31日
雷雨胞路徑圖



(j)2021年08月31日
1437時距地6公里

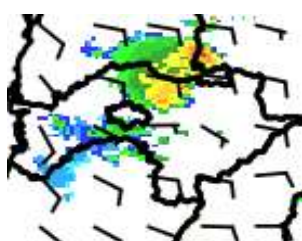


圖20 同圖18，但為「東西走向」雷雨胞圖，(a)2021年06月09日雷雨胞路徑圖，(b)2021年06月09日1548時距地6公里，(c)2021年08月26日雷雨胞路徑圖，(d)2021年08月26日1934時距地6公里，(e)2021年08月28日雷雨胞路徑圖，(f)2021年08月28日1637時距地6公里，(g)2021年08月29日雷雨胞路徑圖，(h)2021年08月29日1807時距地6公里，(i)2021年08月31日雷雨胞路徑圖，(j)2021年08月31日1437時距地6公里。

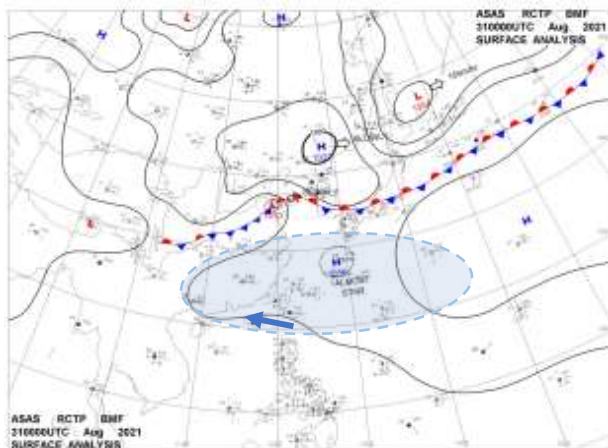


圖21 同圖19但為「東西走向」(地面天氣圖摘自CWB)

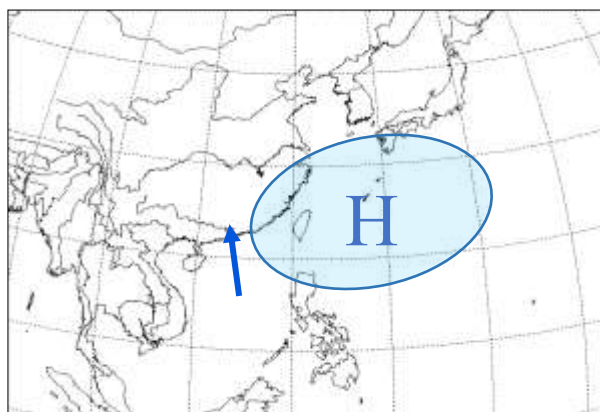


圖22 嘉義地區雷雨胞「南北走向」綜觀尺度地面天氣圖。藍色圓圈處為太平洋高壓勢力；藍色箭頭為臺灣周邊風場

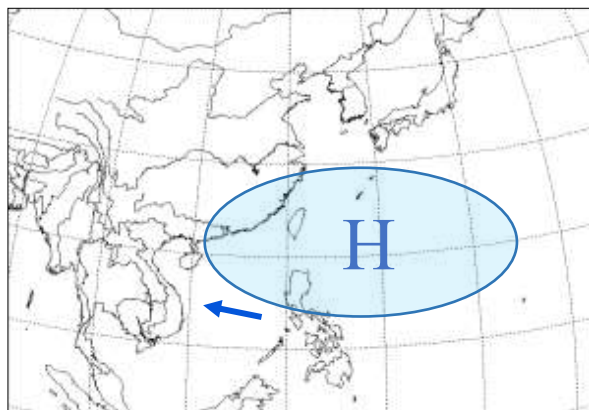


圖23 嘉義地區雷雨胞「東西走向」綜觀尺度地面天氣圖

Analysis of the movement path of afternoon thunderstorm cells at Chiayi Airport in the summer of 2021

Hao-Hsun Hsueh, Chih-Yi Chen, Tsung-Liang Chu, Chien-Ta Chen, Yu-Hsin Huang

The 4th weather squadron of Weather Wing, R.O.C.A.F.

Abstract

Chiayi Airport is adjacent to the Alishan Mountains. Thermal development in the mountains in summer afternoons is accompanied by changeable terrain and weather. Severe weather of mesoscale and microscale is one of the important factors affecting flight safety. This study uses X-Band radar to analyze the thermal convective movement path in the summer afternoon of 2021. It was learned that in the afternoon. The thunderstorm cell's first development position was mainly in the mountainous area southeast of the airport, followed by the mountainous area in the northeast.

Through the analysis of the cases of thunderstorm cells around the airport in June and August, it can be seen that the position and strength changes of the Pacific high pressure have a certain degree of correlation with the movement of thunderstorm cells in the afternoon. When the high pressure system stretches westward to 124-130 degrees east longitude, Taiwan is located at the edge of the high pressure system, the surrounding winds are mostly southerly, and the thermal thunderstorm cells in the afternoon mostly move into the Chiayi area from south to north; when the high pressure system moves westward stretching to 110 to 115 degrees east longitude, Taiwan is under the impact of the high pressure system, the winds in Taiwan are mostly easterly winds, and most of the thermal thunderstorm cells in the afternoon move into the Chiayi area from east to west. To accurately determine the movement direction of thunderstorm cells in the afternoon, high-resolution observation tools, such as X-Band radar products, radial wind field, and WISSDOM technical auxiliary data, can be used to analyze the changes in the high-altitude winds in the 4-6 km range, which can more accurately study and judge the movement trend of thunderstorm cells in local areas in the afternoon, to improve the warning timeliness of dangerous weather at airports and ensure the safety of personnel, equipment and flight training.

Keywords: Thunderstorm path, Pacific high pressure changes, X-Band radar, Afternoon thunderstorm