

劇烈降水模擬預報之研究-以西南部梅雨季降水個案為例

張文弘¹ 楊宏宇²

¹ 空軍氣象聯隊

² 中華科技大學

摘要

臺灣地區四面環海，海上觀測資料相當缺乏，本研究主要利用 WRF 數值模式針對 2016 年 6 月 11 日所發之劇烈降水個案進行模擬分析，研析該鋒面系統所伴隨之中尺度對流系統 (MCS)，當其移近臺灣時，形成劇烈降水的過程，針對其結構與特徵進行診斷分析；由個案分析資料顯示，臺灣附近及南海地區受到梅雨鋒面影響，低層風場呈現不均勻分布的狀況，配合水氣與低層風場輻合加強，致使中尺度對流系統生成；在中尺度對流系統發展過程中，發現其受低層噴流影響，在中尺度對流系統發展過程中除促進其發展，並使對流系統發展旺盛，進而移入臺灣南部，形成劇烈降水。

由數值模式與實際觀測資料比對分析顯示，個案綜觀環境屬於不穩定的狀態，顯示大氣環境不僅利於對流組織發展之條件，而在鋒面系統影響臺灣，造成臺灣西南部的豪雨發生前，亦可發現風場及水氣場均有前兆。因此可藉由氣象因子的改變的來進行劇烈降水之預警。

關鍵詞：中尺度對流系統、低層噴流、梅雨鋒面、劇烈降水

一、前言

梅雨季為春末夏初期間，華南及臺灣地區一帶特有的天氣現象，隱含著季節轉換的訊息，梅雨鋒面時常挾帶著強烈的中尺度對流系統，伴隨著豪大雨出現，對臺灣地區形成嚴重災害，而天氣系統的強度、範圍大小、行進速度的快慢、行進路線的偏移，均和大氣綜觀環境場及臺灣的地形、地貌有著密切的關係，常使得接近臺灣的劇烈天氣系統的整體動態變得難以捉摸，因此若能對劇烈天氣系統有效的掌握，對災害的預防有一定的功效，如果在劇烈天氣系統接近時，能有較為準確的預報能力，及適時的提供預警，便可有效的將各方面的災損降至最低。

本研究將藉由 105 年 6 月 11 日危安天氣個案，探討 WRF 模式 (Weather and Research Forecast model) 對影響臺灣機場之低壓系統的強度、降雨的模擬效能，精進預報單位對臺灣地區整體預報精度，以為早期預警之有效依據。

本文希冀運用數值模式針對臺灣地區對飛安有所危害天氣系統進行模擬，透過個案模擬分析結果，探討對機場地區形成危害之天氣系統發生之前兆，並針對其結構與發展過程，進一步用以解釋及驗證中尺度低壓系統的生成與發展機制，最後建立臺灣地區之短期劇烈天氣預報策略，對發生於臺灣附近地區的重大危安天氣 (如梅雨鋒面所伴隨之 MCS) 能有進一步的掌握，也對於即將發生劇烈天氣變化之區域，及早提供相關單位做決策參考，有效規劃防災所需之時間及空間，使經驗及知識得到有效的管理將可以使研究的方向及資料更加完善。

二、研究方法

2.1 資料分析與運用方法

臺灣地處亞熱帶區域，特殊的地理位置造就了多變的天氣系統，而本文個案中 2016 年 6 月 11 日時，臺灣南部一帶發生強降水事件，因此在此次研究中藉由 NCEP 網格觀測資料及中央氣象局氣象資料進行大

氣綜觀環境分析，以了解其個案天氣的大氣環境背景，再利用中尺度天氣數值模式進行該個案數值模擬，輔以衛星、雷達及探空等資料進行比對分析，以了解該對流系統自生成逐漸發展之機制與其結構特徵。

此次數值模式以三層巢狀網格進行數值模擬，並運用數值資料進行個案綜觀天氣分析，以得知綜觀環境與臺灣低壓系統之關聯性。在此次數值模擬中，因所需研究區域之天氣尺度需配合各機場觀測資料進行比對分析，因此主要以 Domain3 的網格資料進行解析；本文利用 Domain 3 的數值資料來分析該低壓系統的中尺度特徵。

2.2 模式設定簡介

本文所使用的數值模式為美國國家大氣研究中心、國家大氣海洋總署、國防部、奧克拉荷馬大學、民航局及各大學之科學家所共同發展的 WRF 模式，版本為 V3.4.1 版。

WRF 模式可支援多重巢狀網格的高解析設計，方便使用者模擬、分析各種多尺度天氣現象。WRF 模式的設計也支援大量的平行運算功能，讓使用者可以縮短模擬時間，爭取時效，進而建立線上即時預報系統。另外 WRF 模式亦包含了真實經緯網格地形，主要為全球 30 秒 (0.9 km) 地形資料，再經由內插至模式網格之中。WRF 模式相關詳細介紹及原理，請參考 Wang et al.

(2007) 及 Skamarock et al. (2005)；近年研究如 Davis et al. (2008) 及 Otkin and Greenwald (2008) 指出，對於大氣下墊面的動量、質量、熱量之交換的計算，對於模擬天氣系統有明顯的影響，而洪等 (2006) 及簡等 (2006) 利用 WRF 模式針對 2004 年 5 月 15 至 6 月 15 日，臺灣地區梅雨系統，進行 12 組不同物理參數化法組合的敏感度測試，並使用 ETS (Equitable Threat Score) 及 Bias 為校驗指標，校驗 WRF 模式的定量降水預報的能力。結果發現在臺灣地區之降水模擬，以 Kain-Fritsch 積雲參數化法、WSM 5-class 微物理參數化

法及 YSU (Yonsi University scheme) 邊界層方法的組合，在小雨 (15mm 以下) 有最佳的表現 (ETS 得分)；但此組合中的 Kain-Fritsch 積雲參數化法，在大雨 (15 mm 以上) 部分的表現卻比 Grell-Devenyi 參數化法差，並且有低估的現象。因此他們建議，針對梅雨系統之降雨而言，臺灣地區大雨的模擬應以 Grell-Devenyi 積雲參數化法為首選，以下將介紹模式的 3 個基本設定。

2.2.1 模式空間及時間設定

模式空間及時間設定考量即時預報系統建置對時效性的要求，及模式本身的模擬效能。因此設計三層網格，其三層水平網格解析度分別為 27km (D01)、9km (D02) 及 3km (D03)，垂直座標為 η 座標 (共 31 層，0-3km 共分 15 層)，模式層頂為 50 hPa，積分時間則針對本文所探討個案 2016 年 6 月 10 日 0000UTC 至 2016 年 6 月 13 日 0000 UTC，作 72 小時積分。

2.2.2 模式初始場設定

模式使用分析場資料為美國國家環境預報中心 (National Centers for Environmental Prediction)，每六小時的 FNL (Final Analysis) 全球分析場資料 (1°x1°解析度)，主要是作為 WRF 模式模擬時的基本場及邊界場資料。

2.2.3 模式參數法設定

而數值模式會因所研究之天氣現象、地形效應及季節更替等不同因素的環境因子，系統生成演變的物理及化學過程隨之有所差異，因此在數值模擬的過程中，需視天氣系統生成發展的環境進行數值模式參數設定，因此在數值模式物理參數設定部分參考簡等在 2006 年時所進行的 WRF 敏感度測試參數設定，模式設定積雲參數化法設定為 Kain-Fritsch scheme，微物理參數化法設定採用 WSM 5-class graupel scheme (WSM5)。邊界層採用 YSU PBL scheme，三種參數法的搭配進行運算為最佳，因此本研究在進行個案模擬時，所採

用之參數搭配為 WSM5、Kain-Fritsch 與 YSU scheme，相關模式設定請參閱表 1。

本文擬使用 WRF V3.4.1 版 WRF 數值模式 (the Advanced Research WRF, ARW) 來模擬 2016 年 6 月 11 日降水事件個案，其於臺灣西部外海的生成一中尺度海洋性旋生現象，先藉由觀測資料與數值資料進行一比對分析，後探討此旋生現象對臺灣機場天氣之影響；因目前我軍現行採用作業模式之初始場為 NCAR 的 NCEP Global Final Analyses $1.0^{\circ} \times 1.0^{\circ}$ 網格資料 (簡稱 FNL)，本次個案模擬亦採用該資料為數值模式初始場，進行數值模式預報，初始時間為 6 月 10 日 0000UTC，預測時間共 72 小時。

2.3 個案選取

臺灣地區於梅雨季期間經常發生豪大雨事件導致災害發生，為增進臺灣在西南氣流盛行季節的預報能力，以滿足現有防救災急迫之需求，本文擬針對 2016 年 6 月 11 日降水個案進行資料分析，以增進對中尺度對流系統之了解。

由個案資料顯示，由臺灣地區累積降雨量圖 (圖 1a) 可發現 6 月 11 日降雨最大值為 184.5mm，已達豪大雨標準，且由岡山機場逐時累積降雨圖 (圖 1b) 中可發現 6 月 11 日發生單時雨量達 50.5 mm 情況，因此本文針對該個案中尺度對流系統進行數值模式模擬，以期藉由此次個案研究能更了解其生成發展機制與其維持長生命週期的機制與結構特徵，進而了解其徵兆。

三、個案分析

3.1 個案綜觀資料分析

本次個案在綜觀環境分析上，可發現 6 月 10 日 0000 UTC 地面圖 (圖 2a) 發現鋒面低壓中心位於日本東南方洋面向西南延伸經臺灣地區至南海一帶，南海一帶處於明顯西南風場，至 11 日 0000 UTC (圖 3a) 鋒面受高壓勢力影響，逐漸東移；臺灣地區與南海一帶於個案期間持續受到該低壓系統影響；10 日 0000 UTC 850hPa 與 700hPa 等高圖 (圖 2b、圖 2c) 可分析出日本南方洋面至

臺灣地區有一相對溼度較高的區域，呈帶狀分布，此一高相對濕度區與鋒面相對位置相近；11 日 0000 UTC 850hPa 與 700hPa 等高圖 (圖 3b、圖 3c) 與 10 日 0000 UTC 進行比較，850hPa 相對溼度場高於 90% 之區域略為縮小，南海一帶風場逐漸增強，達到 15 m/s 以上，且有一風速不連續的情況，700hPa 相對溼度場與 850hPa 分布相似；由 10 日 0000 UTC 500 hPa 等高圖 (圖 2d) 可知臺灣海峽中南部地區位於一明顯正渦度區，11 日 0000 UTC (圖 3d) 時臺灣西部地區位於明顯正渦度區。

此次個案顯示，鋒面系統滯留於日本南方洋面至臺灣南部與南海一帶，低層噴流位於鋒面系統南側，配合南海一帶豐沛的水氣，將水氣輸送至臺灣海峽南部，提供有利於中尺度對流系統發展之不穩定環境。對流系統在鋒面前緣持續生成、發展，因此可知伴隨梅雨鋒面之中尺度對流系統的發展，與低層噴流的位置及強度變化密切相關。低層噴流及豐沛水氣分布的綜觀環境條件，顯著影響梅雨鋒面中尺度對流系統的空間分布，致使對流系統分布與噴流軸方向及水氣豐沛區域有重合的現象。綜觀天氣分析顯示，臺灣海峽南部低層風場的不均勻分佈，其所形成之中尺度對流系統，亦是激發中尺度對流系統的主要動力機制，使本個案之低壓系統提供有利發展之環境場，進而影響臺灣地區一帶，而該低壓環流移進臺灣南部時，造成明顯降水。

3.2 個案數值資料分析

3.2.1 個案數值資料個案綜觀天氣分析

本文將此次個案數值模擬資料與實際觀測資料進行比對分析，由數值模式模擬地面圖資料顯示臺灣地區 10 日 0000 UTC (圖 4a) 自日本南方洋面向西南延伸至南海一帶，且可分析出一風切存在，由地面風場資料比較可知地面初始場資料與實際觀測資料相符，且臺灣海峽南部與巴士海峽至南海地區一帶呈西南向風場；而藉由模式第 24 個小時模擬地面天氣圖 (圖 4b) 與 11 日 0000 UTC 比較，風切於臺灣東北部外海向西南延

伸至南海一帶；10 日 0000 UTC 850hPa 等高圖(圖 5a)中可以發現相對濕度達 80%以上之區域為臺灣東部外海至南海一帶，成一帶狀分布，且臺灣海峽南部一帶風場(風速分布)呈現不均勻分布，於 1200 UTC(圖 5b)時，臺灣海峽南部分析出風場輻合的情況，強風區自南海一帶移至臺灣海峽南部一帶，並位於風場輻合之南側位置。11 日 0000 UTC(圖 5c)，臺灣海峽一帶有一明顯噴流與相對濕度高於 80%之區域，且由風場可分析出一氣旋式環流，與實際觀測資料進行比對，皆為相符的情況。

藉由上述觀測資料與數值模式預報資料進行比對，可知此次數值模式所模擬之資料顯示，鋒面系統自太平洋西北部向西南延伸經臺灣南部地區至南海一帶，鋒面位置與高相對溼度區相符，且成帶狀分布，低層噴流位於鋒面系統南側，使臺灣海峽南部一帶生成明顯中尺度對流系統，進而影響臺灣南部，形成劇烈降水，實際觀測資料與模擬結果大致相符，因此下文就臺灣海峽南部生成之中尺度對流系統進行分析，期能了解期生成發展機制與中尺度特徵。

3.2.2 個案數值資料天氣因子分析

由 10 日 0000UTC 至 11 日 2400UTC 岡山及臺南機場降水時序分布(圖 5)顯示，岡山機場及臺南機場於 11 日 0300 UTC 為降水極值，配合前述天氣系統分析，可知此次個案天氣系統影響區域主要為臺灣南部地區，而為排除地形對其系統產生影響，以了解該天氣系統之結構及發展機制，因此本文於臺灣南部外海訂定一區域 lineA(在本文定義北緯 22 度至 23 度，東經 120 度為 lineA 區域，如圖 6)，觀察其於個案中之各項氣象因子平均變化，俾利了解劇烈降水系統影響之前兆。

本文使用 D3 網格資料，進行 lineA 區域氣象因子分析，由 lineA 區域 925、850 及 700 hPa 平均風場強度時序圖(圖 7)中可發現 925 及 850hPa 空層風場強度於 10 日 1900 UTC 後逐漸增加，10 日 2300 UTC 風場強度為一極值；700hPa 空層風場強度於 10 日 0000 UTC 後逐漸增加，10 日 2100 UTC 風場強度為一

極值；由 lineA 區域 925、850 及 700 hPa 平均相對溼度時序圖(圖 8)中可發現 925hPa 空層相對濕度於 10 日 0600 UTC 後逐漸增加，10 日 0900 UTC 為一相對極值，850 及 700hPa 空層相對濕度於 10 日 0600 UTC 後逐漸增加，850hPa 空層相對濕度時序於 10 日 1100 UTC 呈現一相對極值，700hPa 空層相對濕度時序則逐漸增加，直至 10 日 1200 UTC，後 925hPa 空層相對濕度逐漸增加，直至 11 日 0000 UTC 呈現一極值，850 及 700hPa 空層相對濕度則分別於 11 日 0200 UTC 及 11 日 0100 UTC 呈現一極值狀況；由 700hPa 空層垂直速度於 10 日 0000 UTC 後逐漸增加，10 日 2100 UTC 風場強度為一極值；至 1200 UTC 產生一極值，且由水氣含量時序也可發現自 0300 UTC 起即逐漸增加的情況；而由此次個案模擬中 925hPa、850 hPa 及 700hPa lineA 區域的平均風速絕對值及相對濕度逐時分布可發現，在相對濕度成現一極值提升前，平均風速絕對值亦相對成現一極值分布。

3.3 小結

由上述現象可知臺灣地區 6 月 10 日至 11 日受到滯留鋒面滯留於臺灣海峽南部及南海一帶，由綜觀大氣環境及數值模擬資料均顯示於此地區低層風場呈不均勻分布情況，近地面處的風場輻合作用，將水氣於該區集中，低層水氣隨氣旋式環流進入輻合區，當水氣不斷往內進行質量累積後，便往上抬升，於中心附近產生上升運動，上升過程中因為冷卻作用使得水氣產生凝結，將水氣中潛熱釋放，導致中心附近大氣環境溫度上升，環流中心氣壓下降，致使向內氣壓梯度增大，增強低層氣旋式環流強度，使得輻合作用愈加增強，水氣輻合作用更為增強，對流系統之中心氣壓不停降低，持續進行此種循環，致使由風場不均勻分布的狀態不斷的成長為一個低壓環流系統，此即為此次個案中尺度對流系統生成的主要機制之一，在對流系統生成後，該系統東移並逐漸發展增強，並進而影響臺灣南部地區系統發展示意圖如下圖(圖 9)。

四、結論與建議

4.1 結論

本文針對 2016 年 6 月 10 日至 11 日鋒面滯留臺灣南部地區之豪大雨事件進行研究，個案中發現對流系統受到低層噴流與水氣輻合的影響，在臺灣南部地區形成劇烈降水，因此本文利用 WRF 數值模式進行模擬，探討當時大氣環境場特徵，藉以瞭解梅雨季豪大雨的生成發展機制，摘述如後：

- (一) 此次個案之中尺度對流系統其發展過程，主要由風場不均勻分布提供風場輻合作用，低層水氣隨氣旋式環流進入輻合區，水氣於中心輻合累積之後，產生上升作用，並於上升過程進行潛熱釋放，導致中心附近中高層溫度升高，環流中心氣壓下降，致使向內氣壓梯度增大，增強低層氣旋式環流強度，使得輻合作用愈加增強，水氣輻合作用更為增強，對流系統之中心氣壓持續降低，維持低壓系統的生成，即為此次個案中尺度對流系統生成的主要機制。
- (二) 數值模擬結果顯示，臺灣海峽南部低層風場的不均勻分布所提供之風場輻合，亦是激發中尺度對流系統的主要動力機制。
- (三) 綜觀天氣系統分析可知，低層噴流及水氣分布的合成環境條件，顯著影響梅雨鋒面中尺度對流系統的空間分布，劇烈降水區域與低層噴流軸方向及水氣較高區域有重合的現象。
- (四) 由此次個案中可發現劇烈降水發生前，風場強度均有峰值產生，可知風場可作為劇烈降水之前兆，因此在臺灣地區梅雨季節時，風場分布對中尺度對流系統發展具有相當重要的地位，亦可了解其對降雨預報的重要性。

4.2 建議

- (一) 本次個案模擬中可知為配合作業模式的運算能量，資料解析度最高僅 3km，希冀後續能增加數值模式時間與空間解析度，並增加高解析之地

形，以增加對中小尺度對流系統發展機制及結構的探討。

- (二) 在本次個案研究中對中尺度對流系統的生成發展結構與中尺度特徵做一描述，並且歸納了數項初步結論，然而中尺度對流系統結構仍需進行更進一步的探討，但因研究個案數過少，對於非對稱性發展的 MCS 之其他生成發展機制尚未明確，希冀能進行其他相關個案模擬，進行結果的比較與驗證，同時探討中尺度對流系統的發展機制及其預報機制。
- (三) 此研究僅為個案模擬，未來將持續增加其他個案的研究分析，並嘗試將研究成果應用於即時作業系統上，加以驗證成效。期使提升劇烈降水預報作業能力。

五、參考文獻

- Lupo, A.R., P.J. Smith, and P. Zwack: A diagnosis of the explosive development of two extratropical cyclones. *Mon. Wea. Rev.*, 120, 1409-1523, 1922.
- 陳泰然，“近期梅雨鋒面研究之回顧”，*大氣科學*，第 32 期，第 3 號，第 225-245 頁，2004。
- 林李耀、黃麗蓉、王安翔、鳳雷、陳永明、廖宇慶、周仲島，“WRF 颱風降雨模擬於防災之應用與校驗”，*天氣分析與預報研討會論文彙編*，臺北，第 177-180 頁，2007。
- 洪景山、林得恩、簡芳菁、劉素屏、周仲島、林沛練、張文錦、繆璿如、陳致穎、雷銘中，“WRF 模式之敏感度測試 第一部分：探空測站上的校驗”，*大氣科學*，第 34 期，第 1 號，第 241-260 頁，2006
- 簡芳菁、洪景山、張文錦、周仲島、林沛練、林得恩、劉素屏、繆璿如、陳致穎，《WRF 模式之敏感度測試第二部份：定量降水預報校驗》（臺北：大氣科學，第 34 期，第 1 號，2006 年），頁 261~276。

Houze, R.A., S.A. Rutledge, M.I. Biggerstaff, and B.F. Smull “ Interpretation of Doppler weather radar displays of mid-latitude mesoscale convective systems ,” Bull. Amer. Meteor. Soc., 70, pp.608-619, 1989.

Chien, F. C., Jou, B. J. D., Lin, P. L., and Hong, J. S., “ A Real-time MM5/WRF Forecasting System in Taiwan,” 天氣分析與預報研討會論文彙編，臺北，第 207-210 頁，2005.

Moeng, C. H., Dudhia, J., Klemp, J., and Sullivan, P., “Examining Two-Way Grid Nesting for Large Eddy Simulation of the PBL Using the WRF Model,” Mon. Wea. Rev., Vol. 136, No. 6, pp. 2295 – 2311, 2007.

Yang, M.J., and Tung, Q. C., “Evaluation of Rainfall Forecasts over Taiwan by Four Cumulus Parameterization Schemes,” J. Meteor. Soc. Japan, Vol.81 No. 5, pp.1163-1183 , 2006.

Wang, W., Barker, D., Bray, J., Bruyere, C., Duda, M., Dudhia, J., Gill, D., and Michalakes, J., “User’ s Guide for Advanced Research WRF (ARW) Modeling System Version 2.2,” NCAR Technical Note, 207 pp., 2007.

Davis, C., Wang, W., Chen, S. S., Chen, Y., Corbosiero, K., Demaria, M., Dudhia, J., Holland, G., Klemp, J., Michalakes, J., Reeves, H., Rotunno, R., Snyder, C., and Xiao, Q., “Prediction of Landfalling Hurricanes with the Advanced Hurricane WRF Model,” Mon. Wea. Rev., Vol. 136, No. 6, pp. 1990-2005, 2008.

Otkin, J. A., and Greenwald, T. J., “ Comparison of WRF Model-Simulated and MODIS-Derived Cloud Data,” Mon. Wea. Rev., Vol. 136, No. 6, pp. 1957-1970, 2008.

表 1 個案 WRF 相關參數設定

項次	D01	D02	D03
水平解析度 (公里)	27	9	3
水平網格點	300×200	196×196	208×226
垂直解析度	27	27	27
大氣垂直穩定度	靜力	非靜力	非靜力
微物理	WSM5	WSM5	WSM5
邊界層	YSU	YSU	YSU
積雲	KF	KF	KF

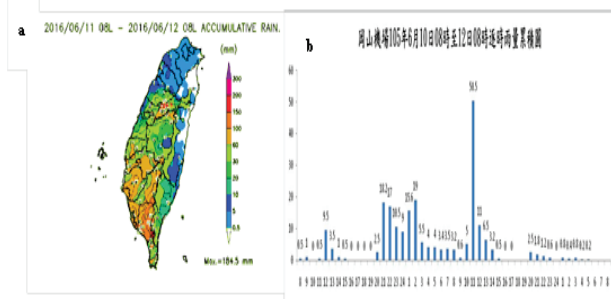


圖 1 圖左及圖右分別為 a 2016 年 6 月 11 日 08 時至 6 月 12 日 08 時臺灣地區累積雨量圖、b 2016 年 6 月 10 日 08 時至 6 月 12 日 08 時岡山機場逐時累積雨量圖。

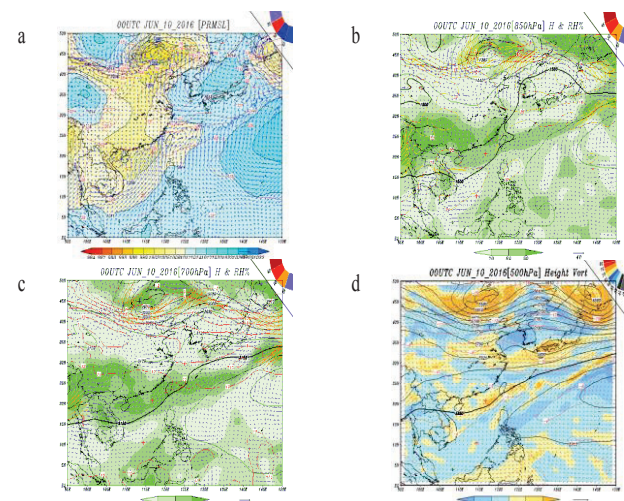


圖 2 圖左上、右上、左下及右下依序為 2016 年 6 月 10 日 0000UTC 時 a 地面圖、b 850hPa 高空圖、c 700hPa 高空圖、d 500hPa 高空圖。

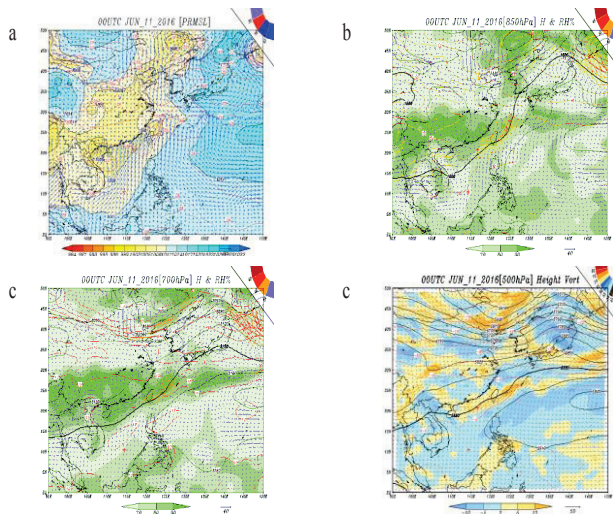


圖 3 左上、右上、左下及右下依序為 2016 年 6 月 11 日 0000UTC 時 a 地面圖、b 850hPa 高空圖、c 700hPa 高空圖、d 500hPa 高空圖。

月 11 日 0000UTC 時。

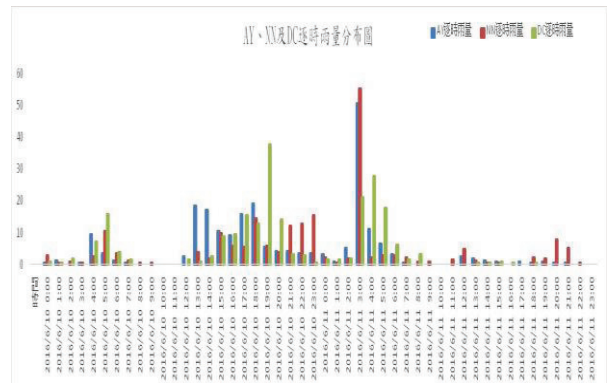


圖 6 2016 年 6 月 10 日 0000UTC 至 6 月 12 日 0000UTC 時岡山、臺南及屏東機場逐時雨量圖。

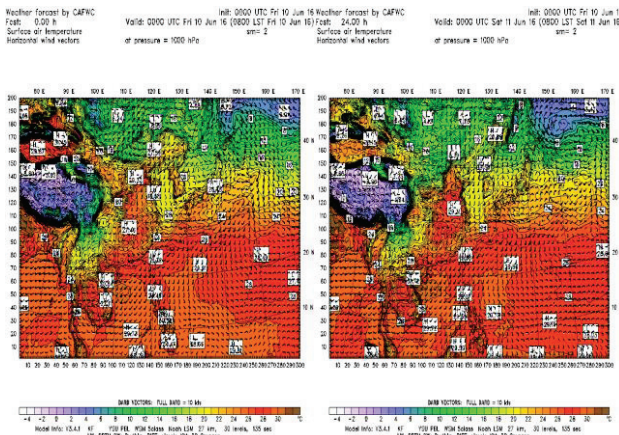


圖 4 圖左及圖右依序為數值模式模擬地面圖 a 2016 年 6 月 10 日 0000UTC 時及 b 2016 年 6 月 11 日 0000UTC 時。

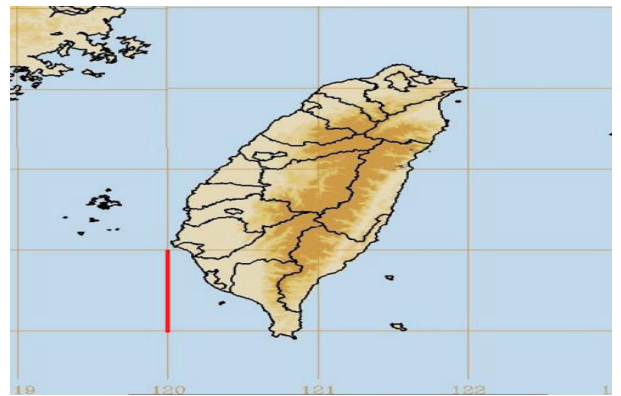


圖 7 6 月 11 日個案 line A 位置圖(圖中紅線表 line A)。

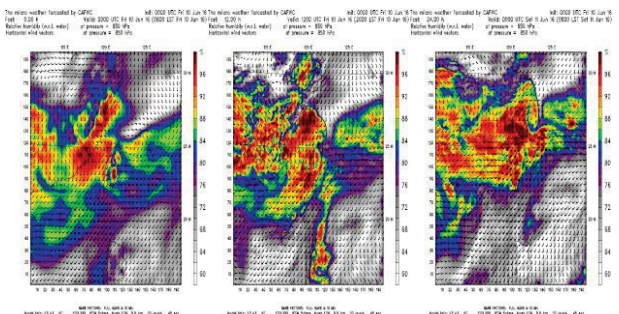


圖 5 圖左至圖右依序為數值模式模擬地面圖 a 2016 年 6 月 10 日 0000UTC 時、b 2016 年 6 月 10 日 1200UTC 時及 c 2016 年 6

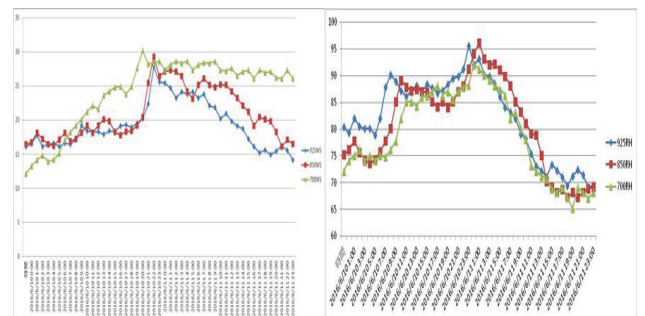


圖 8 圖左至圖右依序為 2016 年 6 月 10 日 0000UTC 至 6 月 12 日 0000UTC 時 925hPa、850hPa 及 700hPa 空層 lineA 區域 a 風速平均值絕對值分布圖，b 對溼度平均值分布圖。

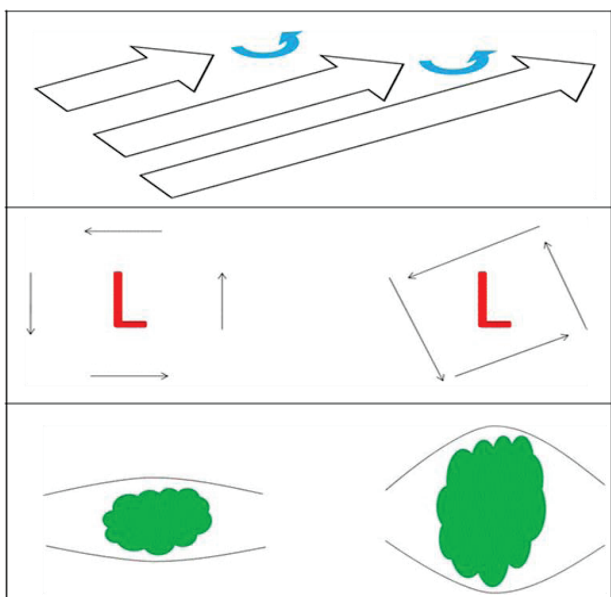


圖9 6月11日個案中尺度對流系統發展示意圖。