

102 年 0406 高雄大樹龍捲風事件分析

張智昇¹、劉清煌²、王安翔¹

¹ 國家災害防救科技中心氣象組

² 中國文化大學大氣科學系

摘要

102 年 4 月 6 日凌晨時分，於高雄市大樹區、屏東縣萬丹鄉一帶，發生因強風造成災損事件，經事後分析監測資料與現勘調查，證實為一起龍捲風。主要災損計有：造成 2 人受傷、至少 1962 戶停電（電線桿折損 21 枝）、房屋半毀 28 戶及 30 公頃農損。

本次事件主要是因一道春季冷鋒系統快速過境臺灣地區，此鋒面（界面）提供了明顯強烈對流機制、鋒前暖濕氣流則提供了充足水氣與不穩定度，使得於鋒面雲帶內中尺度渦旋有機會於短時間內快速發展，進而有機會激發出龍捲風現象。

一、前言

102 年 4 月 6 日凌晨時分，於高雄市大樹區（和山里、興山里及樣腳里）、屏東縣萬丹鄉（四維村與竹林村）一帶，發生因強風造成災損之氣象致災事件，短短不到 10 分鐘，造成 2 人受傷、至少 1962 戶停電（電線桿折損 21 枝）、房屋半毀 28 戶及 30 公頃農損（荔枝、

龍眼、鳳梨、香蕉、玉米及甘蔗)等災害。

因強風致災之過程發生於4月6日凌晨,不易被直接目擊是否確為龍捲風所導致^{註1},故須於事後進行現場勘查、分析方能進一步確認。經本文第二作者事發當日趕赴災損現場進行調查,蒐集、分析第一手資料,事後與中央氣象局共同分析監測資料,證實為一起龍捲風致災事件;後文將簡單敘述此次龍捲風致災現場勘查分析結果、大氣環境形勢之基本分析,以及彙整一些龍捲風基本資訊。

註1:於氣象學領域中,除龍捲風外,尚有下衝流、微暴流及陣風鋒面.....等天氣系統有機會伴隨瞬間強陣風而衍生強風致災事件。

二、 龍捲風致災事件與大氣環境形勢分析

(一) 龍捲風致災事件描述

4月6~8日期間,作者於高雄市大樹區現場^{註2}調查、蒐集受災情形,結果顯示此次災損範圍明顯呈現由西向東分佈之帶狀區域,約西起大樹區和山里、向東途經高屏溪河床後至屏東機場一帶;被強風破壞之帶狀範圍於較窄處約為數公尺~十幾公尺、較寬處則寬達200~300公尺,受災區長度約為7~8公里,災害歷時約為10分鐘,受災區之地理與位置如圖1所示。

分析此次受災區內之各種災損跡象(植物、農作、建築物及人為設施等),研判此次災害事件確為龍捲風所導致,且應不只由單一龍

捲風造成，極可能在相同時間內產生數個龍捲風，同時侵襲該區域，此案例在氣象學上屬多胞型龍捲風個案，唯在國內可能首見此類致災案例。分析現場勘查災損情形，其中不少直徑達 50~70 公分之荔枝樹與龍眼樹遭強風攔腰折斷、或是連根拔起。經研判有部分的小型龍捲風強度可能達「F2」等級^{註3}，相當於中度颱風的風力上限（風速近 50 公尺/秒，約 15 級風）。

註2：約在4月6日凌晨高雄市大樹區發生龍捲風事件相近時分，於屏東縣萬丹鄉一帶另有傳出受災情形，但因未經現勘調查蒐集、分析資料，故本文略過不做探討。

註3：龍捲風之強度分級，請參閱後文第四節。

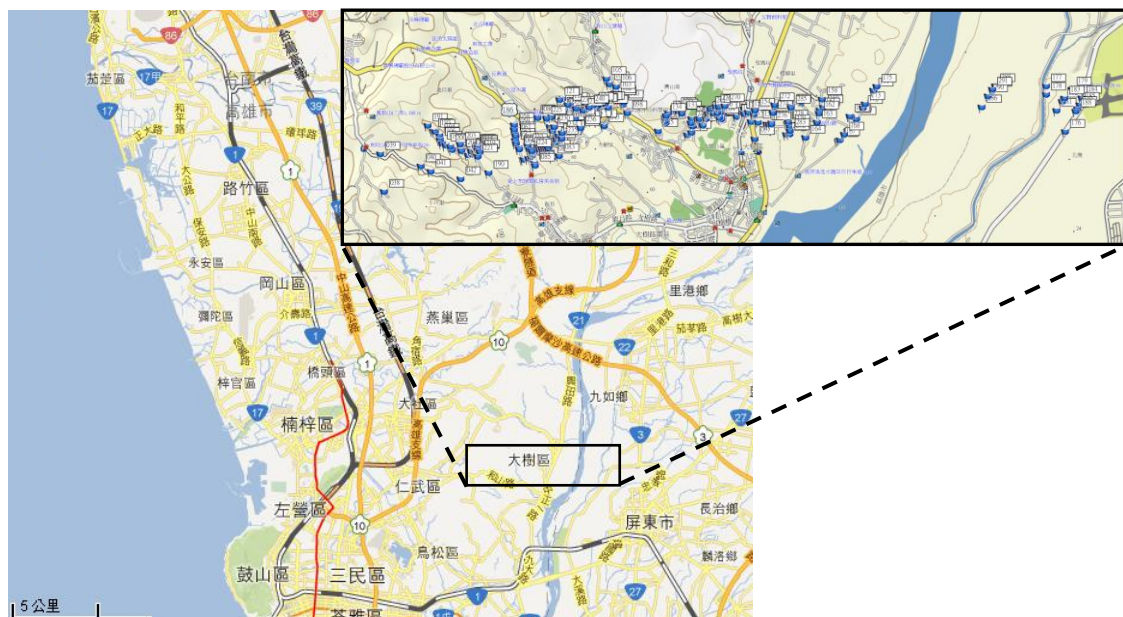


圖 1 高雄市大樹區龍捲風致災現勘結果（放大區域內之藍色點位為判定遭受侵襲之災點）。

(二) 大氣環境形勢分析

發生龍捲風之大氣環境有其特殊性，大致上可分為 3 類：第一類為發生於快速移動界面（如鋒面或颱風）前緣之對流胞（劉與張 2004；Liu and Chang 2007），臺灣地區此類對流胞的發展以 4~6 月伴隨鋒面系統居多；第二類為發展於海面上之積雲對流系統，故以水龍捲現象為主（劉與蔡 2011）；第三類則為伴隨颱風雲雨帶出現，此類個案數量較少但強度偏強，臺灣地區案例如 1977 年 7 月 25 日賽洛瑪颱風對高雄港造成鉅大損失之事件、2004 年 8 月 25 日艾利颱風對嘉義中埔地區造成房屋、農作受損事件。

分析本個案之大氣環境條件，應屬於第一類之環境條件。於 4 月 6 日凌晨發生龍捲風致災事件期間，恰有一道移動快速之冷鋒系統過境臺灣地區（如圖 2），而由地面天氣圖可發現，此道鋒面北側存在一明顯大陸冷高壓（鋒後，冷區），且伴隨較強之東北風（等壓線較密集），相較於鋒面南側盛行偏暖濕之西南風（鋒前，暖區），使得鋒面本身為一冷暖差異相當顯著之界面，提供了有利對流發展的抬升機制；另一方面，鋒前暖濕西南氣流除了提供足夠水氣外，暖空氣受抬升亦使環境更加不穩定，因此一旦在鋒面區內有對流胞生成，將有利其在短時間內快速發展，當到達成熟階段時，強烈的對流過程便有機會激發出龍捲風現象。

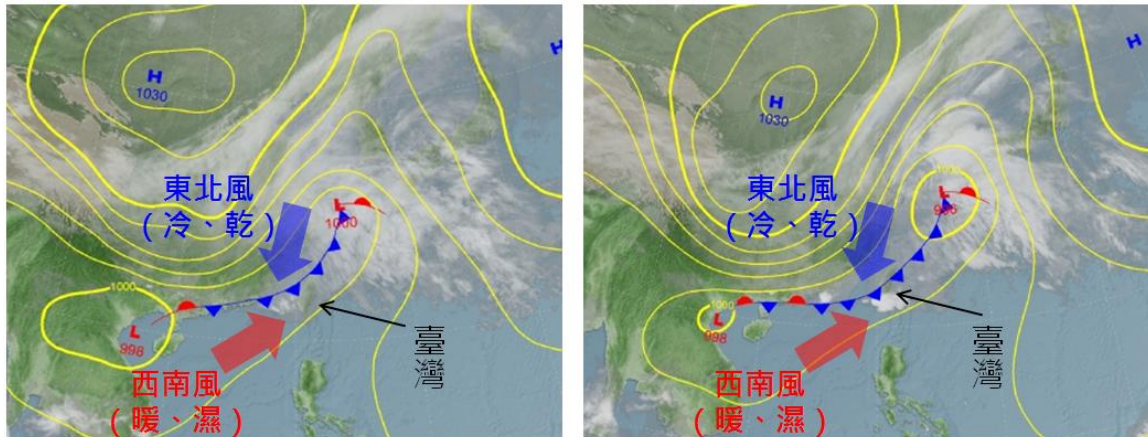


圖 2 地面天氣分析圖，左圖為 4 月 5 日 20 時、右圖為 6 日 02 時（資料來源：中央氣象局）。

圖 3 為中央氣象局七股氣象雷達所觀測到之降水回波與徑向風場 (radius wind)，分析觀測資料顯示於發生龍捲風前後，七股氣象雷達觀測到一個具有旋轉性風場且伴隨著強降水回波之中尺度渦旋 (產生龍捲風之母雲，直徑約為 10 公里) 逐漸自臺灣海峽向東移入高屏地區，該系統於 6 日 00:38 時 (圖 3 左圖) 已移至高雄市仁武區與大樹區交界一帶；00:45 時 (圖 3 中圖) 中尺度渦旋風速增強，系統位置恰與現勘受災點位起始點約略一致，且現場受災程度顯著、範圍分佈較廣，顯示此時系統到達成熟階段，龍捲風現象亦隨之出現，並快速向東移動；七股雷達下一次觀測資料 (00:53) 已見系統明顯減弱，現勘結果亦顯示受災情形明顯減少、程度減弱。

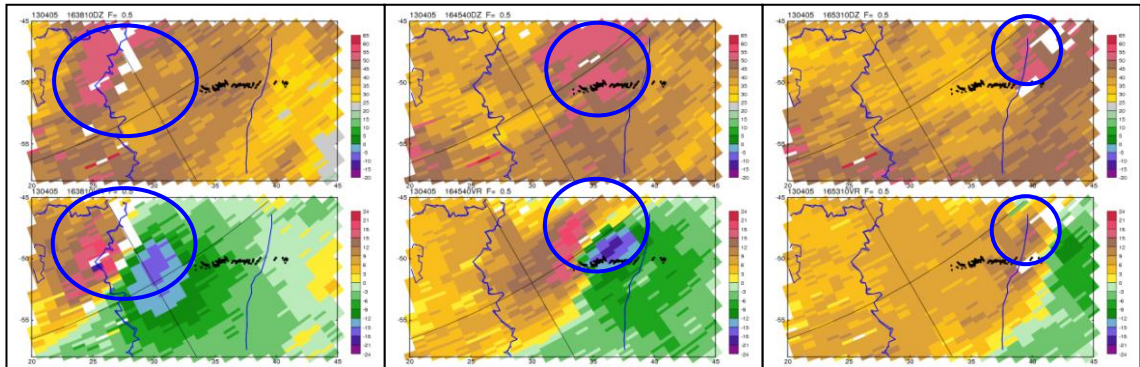


圖3 中央氣象局七股雷達站觀測資料，分別為4月6日00：38（左圖）、00：45（中圖）及00：53（右圖）；上列為降水回波、下列為徑向風場、黑點為現勘受災點位，以及藍圈為中尺度渦旋。

三、龍捲風災損現勘分析

依作者於4月6~8日期間進行現場勘查、記錄，結果顯示此次主要受災標的物以農作為主（荔枝、龍眼、鳳梨、香蕉、玉米及甘蔗等），受災起始點約在大樹區龍木山區一帶之丘陵，約於10分鐘內由西向東影響，橫越高屏溪後，約莫至屏東機場附近消失；龍捲風行進路徑曾途經數處人口較密集聚落，因而導致房屋毀壞、門窗破損及電線桿折斷造成電力中斷等災損，相關現勘照片與其相對分佈位置如圖4。



圖 4 龍捲風受災區現勘調查照片彙整。受龍捲風影響，受災標的物分佈由西向東，並隨著龍捲風強度之變化而呈現不同程度之災損(圖中紅線為事後依現勘災點分佈重建之龍捲風移動路徑)。

四、 結論與討論

(一) 結論

依事後現勘結果與分析中央氣象局相關監測資料，證實此次事件為一起氣象（龍捲風）致災案例，影響範圍屬短時間、局部性。因氣象觀測資料受時、空間限制，以及觀測儀器設置地點與解析度之極限，現階段仍無法對龍捲風進行直接之觀測與預警，僅能藉由即時性守視鋒面系統（或颱風）於過境期間，其影響區域內是否有伴隨發展出相對較強、規模較大之中尺度對流系統，進而發佈天氣特/警報資訊提高注意，至於何時會發展出龍捲風現象，尚存在著一定程度之不確定性、隨機性，無法於先期提供明確的時間與空間預報資訊。

(二) 討論

以下就主要幾項龍捲風之基本議題作一彙整，以提供讀者對此主題有一較為完整、正確之認知。

Q1. 什麼是「龍捲風」？

龍捲風 (Tornado) 係指自積雨雲向下發展至地面或海面之強烈旋轉氣柱，肉眼常可見漏斗狀或管狀雲，若發生於陸地上稱之為「陸龍捲」、於海面上則稱為「水龍捲」。龍捲風是一種直徑不過數公尺至數百公尺的強烈旋轉系統 (旋渦)，生命史僅數分鐘至數十分鐘，但卻是大氣中最具破壞力的天氣系統。自遠處觀測，該旋轉氣柱狀似一條繞著中心軸急速旋轉之暗灰色的漏斗狀雲，有時浮懸於空中、有時伸展至地面，所經之處往往摧枯拉朽，造成地表上物體嚴重毀損。

龍捲風之強度分級，主要沿用芝加哥大學藤田哲也教授 (Fujita 1971) 所建立之分級表—Fujita Scale，而美國國家氣象局於 2004 年提出修訂版—Enhanced Fujita Scale (EF Scale)，如表 1：

表 1 龍捲風強度分級表。

Fujita Scale		EF Scale	
Fujita Scale	3 秒平均陣風 (公尺/秒)	EF Scale	3 秒平均陣風 (公尺/秒)
F0	20.1 - 34.9	EF0	29.1 - 38.0
F1	35.0 - 52.3	EF1	38.1 - 49.2
F2	52.4 - 72.0	EF2	49.3 - 60.3
F3	72.1 - 93.4	EF3	60.4 - 73.8

F4	93.5 - 116.7	EF4	73.9 - 89.4
F5	116.8 - 141.7	EF5	>89.4
備註： 中央氣象局颱風強度定義，採近中心 10 分鐘最大平均風速，如： 中度颱風為蒲福風級 12 - 15 級 (32.7 - 50.9 公尺/秒)； 強烈颱風為蒲福風級 ≥ 16 級 (≥ 51.0 公尺/秒)。			

Q2. 臺灣地區容易出現龍捲風嗎？出現時間與空間有何特徵？

劉 (1996) 指出過去 40 年臺灣平均每年出現 1.8~2 次龍捲風，其中三分之二發生於臺南縣市、高雄縣市及屏東之平原地帶，此區域因而被氣象人員稱為「龍捲風巢」，此統計結果仍僅是陸龍捲被觀測/目擊到之數量，實際上可能有更多未被觀測到之個案。除陸龍捲外，臺灣近海海域亦不時被觀測/目擊到水龍捲現象，Liu and Chang (2007) 統計 1998~2005 年龍捲風 (包含未延伸觸及地表之漏斗雲) 個數，顯示每年約被觀測到 3~4 個案例，其中總個數仍有可能被低估。Liu (2010) 最新統計 1998~2010 年臺灣地區發生龍捲風個數，較確定的案例計有 55 次，每年平均約 4.2 例，另有 6 個疑似案例，出現地域亦以臺灣西南部 (臺南、高雄及屏東) 最多、其次是花蓮、臺東海域；時間上則以 5~7 月份之午後時分較多。

Q3. 臺灣地區曾發生過哪些較大規模之龍捲風致災案例？

臺灣地區發生龍捲風之機率不高且多數無明顯災害，過去 (1961~1993 年) 曾被認定為龍捲風致災事件案例者 (陳 1995; 莊 2001)，

主要有 1971 年 4 月發生於高雄、屏東地區而導致約新台幣 9,500 萬元農損、1977 年 7 月 25 日賽洛瑪颱風侵襲高屏地區，而對高雄港造成多部貨櫃起重機被吹倒，嚴重衝擊港務工作，此為颱風環流伴隨龍捲風之疑似案例、1982 年 5 月 2 日造成房屋半倒 79 棟與約 200 萬元之損失、1993 年 6 月 5 日發生於臺南地區造成 5 人受傷與將軍鄉房屋半倒 49 棟。2007 年 4 月 18 日凌晨於臺南安定、善化、新市及大內等地之龍捲風致災事件，則為歷年來持續時間最久（約 40 分鐘）且路徑最長（約 40 公里）之案例（Liu and Chang 2007）。表 2 為近年來經現勘確認為龍捲風之主要案例：

表 2 2003~2013 年曾進行現勘調查經確認之臺灣地區龍捲風案例。

發生時間	地區	估計強度	大氣環境
2003 年 6 月 11 日	高雄小港	~F0	鋒前對流
2004 年 8 月 25 日	嘉義中埔	~F0	艾利颱風
2007 年 4 月 18 日	台南安南-大內	~F2	鋒前對流
2009 年 4 月 20 日	台南白河	~F1	鋒前對流
2010 年 8 月 16 日	宜蘭南澳	~F1	積雲對流
2011 年 5 月 12 日	新北新店	~F1	鋒前對流
2013 年 4 月 6 日	高雄大樹、屏東萬丹	~F2	鋒前對流

Q4. 龍捲風是否能被監測、預報，預警現階段的預警能力為何？

受限於氣象觀測儀器觀測能力之極限與架設之空間分佈，現階段無法對龍捲風直接進行觀測，其強度多由事後進行災損調查分析後估計之。預報方面，亦僅能做到藉由高時空解析度之中尺度數值模式研判、掌握一定程度之中尺度對流系統之發展趨勢，

而若要做到預警，則需同時仰賴密集的氣象雷達觀測網與相關儀器，方能爭取到 15~30 分鐘的先期預警時效。

Q5. 臺灣「龍捲風巢」vs.美國「龍捲風巷」？

根據統計資料，世界上發生龍捲風最為頻繁地區為美國中部（德克薩斯州、奧克拉荷馬州、堪薩斯州、內布拉斯加州及南達科他州一帶）。因南來之墨西哥灣暖濕空氣與北來之乾冷空氣在此交會，乾冷空氣下沉、暖濕空氣上升，此區域特別有利於劇烈對流系統之發展，尤其是超級胞（Supercell）。這些超級胞或劇烈對流系統（弓形回波與飆線）醞釀出許許多多之龍捲風（Kessler 1992；Doswell 2001），強度與直徑上均大過其他地區之龍捲風，伴隨之災損也較慘重，故被俗稱為「龍捲風巷（Tornado alley，Bluestein 1999），如圖 5」。相較於臺灣地區出現之龍捲風案例，臺灣因有利龍捲風發展之大氣有利環境明顯不同，故臺灣地區之龍捲風生命史明顯較短、強度明顯偏弱，所導致之災損亦較美國輕微許多。

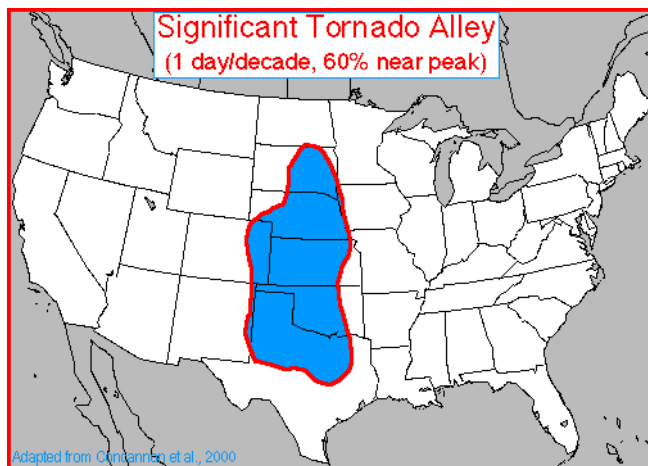


圖 5 美國「龍捲風巷」分佈範圍示意圖（取自美國風暴預報中心）。

參考文獻

中央氣象局，龍捲風特輯：<http://www.cwb.gov.tw/V7/knowledge/planning/tornado.htm>。

莊月璇，2001：臺灣地區風速機率分佈之研究。國立中央大學土木工程研究所碩士論文。

陳正改，1995：臺灣地區氣象災害分析。台北師院學報第 8 期。

劉昭明，1996：臺灣的氣象與氣候。常民文化。

劉清煌與張智昇，2004：2003 年伴隨梅雨鋒面所發生之水龍捲及龍捲風。第八屆全國大氣科學學術研討會，桃園龍潭，2004 年 5 月 17 日至 20 日。

劉清煌與蔡沛旻，2011：宜蘭南澳水龍捲之分析。大氣科學，**39**，117-145。

- Bluestein H. B., 1999: Tornado alley – monster of the great plains. 180 pp. Oxford University Press, Inc.
- Doswell, C. A., 2001: Severe convective storms. 561 pp. American Meteorology Society.
- Fujita, T. T., 1971: Proposed characterization of tornados and hurricanes by area and intensity. *Satellite and Meteorology Research Project Report 91*, the University of Chicago, 42 pp.
- _____, 1981: Tornados and downbursts in the context of generalized planetary scales. *J. Atmos. Sci.*, **28**, 1511-1534.
- Kessler E., 1992: Thunderstorm morphology and dynamics. 411 pp. University of Oklahoma Press.
- Liu, C.-H., 2010: A waterspout observed under weak southwesterly flow near Kauhsiung on 7 July 2010. *Third SoWMEX/TiMREX Science Workshop*, 3-5 November 2010, Taipei, Taiwan.
- _____, and C.-S. Chang, 2007: A study of 2007-04-17 Tainan tornado. *Conf. on Mesoscale Meteorology and Typhoon in East Asia (ICMCS-VI)*, 6-8 November 2008, Taipei, Taiwan.
- Wakimoto, R. M., and Wilson, 1989: Non-supercell tornadoes. *Mon. Wea. Rew.*, 117, 1113-1140.