

龍捲風伴生之現象及其預兆

亢玉瑾

一、緒 言

龍捲風(Tornado)為最強烈之旋風，雖其範圍頗小，路徑甚短，侵襲之時間，亦至為短暫，惟因其中心與外間之氣壓差異極大，因之狂風暴雨，且多伴有雷電降雨，故其經過之處，飛沙走石，破海驚天，拔樹揚物，殿屋傷人，造成慘重之損害。美國平均每年因龍捲風招致之財產及農作物等損失，達一千一百餘萬元之鉅，人民死傷，平均亦約二百四十五人。故對於龍捲風之研究探測，不遺餘力，近年更利用雷達觀測，並作區域預報，以警告人民，提早防範，漸具效果。

我國於民國四十年五月十四日十四時二十分至十五日十五時四十分，在臺灣南部，曾發生龍捲風群。枋山、屏東、高雄、左營、臺南、嘉義、北港等地，於該期間內，共發現龍捲風達九次之多。當時頗為興動，各有關單位，曾調查研究，對其災況，成因，均有詳盡敘述，惟因當時高空資料缺乏，僅能就地面情形，作合理之推斷，提出報告。本年四月二日，澎湖白沙鄉，復發生龍捲風，惟因地處遠僻，未引起廣大注意。筆者鑑於龍捲風之形成，與大氣中溫度，濕度等之垂直分佈，關係至為密切。而馬公探空地點，與該鄉極為靠近，其間當不乏線索可尋。乃參證有關文献，草擬斯篇，對於龍捲風伴生之現象，概略介紹，並與上述實例，比較研究。期能拋磚引玉，獲得對此問題之注視，併請高明，不吝指示。

二、龍捲風之一般狀況概述

①龍捲風之形狀，龍捲風多伴隨積雨雲而生，亦有於層積雲低部生成者，雲底往往呈乳狀。龍捲風之形狀，並不一致，一般而論，可分為二部份：上部自雲底下垂，成管狀或漏斗狀，下部因受狂風之影響，自地面攜沙裹石，形成沙塵柱。自雲底下垂之漏斗狀物，乃因空氣絕熱膨脹，降低壓溫至凝結氣壓與溫度以下而成。其形狀每因凝結氣壓等壓面坡度之不同而改變。若靠近旋轉軸線處，上述坡度較峻時，下垂物成漏斗狀，可伸至地面；若因摩擦力之影響，坡度減小時，下垂物不能伸達地面，則呈籃形或氣球狀。如空氣較乾燥或中心氣壓減低較少，致中心氣壓，僅略較凝結氣壓為低時，形成之下垂物頗為狹細，可呈繩狀，蛇狀或象鼻形狀。

沙塵柱乃因狂風裹沙石塵埃，旋騰空際所致，每於下垂物未降抵地面以前，即已生成，大都較下垂物為粗，而包圍於其四週。但若地面濕潤，沙塵不揚，或空氣極為潮濕，下垂物範圍較廣，而掩蓋全部強風區時，則無此種包圍現象。沙塵柱為灰色或黑色，頗類失火所發生之煙柱，有時則似黑色噴泉。其所攜帶之塵埃雜物等，於旋轉上升時，因受離心力之影響，恆擲揚於其外圍。

②龍捲風之路徑。龍捲風之直徑，亦即其路徑之寬度，自極狹小至一二英里不等，平均約二百五十碼。路徑長度，短者僅約一百呎，長者則可達三百英里，平均約為四英里半。最常見之長度，則為一英里半。路徑多向行進方向之左方彎曲，路徑長時，多近似直線，短時較顯彎曲。在特殊情況下，亦有成U形彎曲，其至成圓形者。

龍捲風移動之方向，多與暖濕空氣之運行相同，北半球暖濕空氣，每自西南象限向東北象限移動，故龍捲風亦以自西南移向東北為最常見。民國四十年五月，臺灣南部發生之龍捲風群，均自西南西北東北行進，與以上所述者，均甚吻合。此外尚有向各不同方向移動者，惟較罕見。

龍捲風移動之速度，亦極不一致，自近於滯留至每時一百五十英里。平均速度，約每時三十五英里。其在一地侵襲之時間，平均僅十五秒鐘。全部在地面持續時間，平均亦不過八分鐘，惟最長時間，有長達七小時以上者。

③龍捲風之中心氣壓與風速 龍捲風中心氣壓，較其外週，有驚人之降低。一九〇二年八月二十日，美國明尼蘇達州，遭受龍捲風襲擊，空盒氣壓表指示之氣壓數值，降低達 200mb 之巨。實際氣壓減低，恐尚不止此數，因該氣壓表，未必適在龍捲風中心，且可能因受房屋之影響，表之減低值較應有者為和緩。

芬爾瑞(Ferrel)氏曾研究無阻力之渦旋，求得當外週為靜風時，渦旋中風速與大氣壓力之關係如下：假定無阻力存在，於渦旋外週無風地帶，相當於渦旋中心地面氣壓之高度處，使物體自由下墜，其到達地面時，所得到之速度，即等於渦旋內應有之風速。例如：渦旋中心地面氣壓為 900mb，外週無風地帶地面氣壓為 1000mb，

亦即氣壓差為 100mb 時，風速約每時300英里。

由龍捲風造成之損害情形，如建築物之損害，以及飛石射物之能力等，可大略估計其風速，約自每時一百英里至每時五百英里，一般在每時二百英里左右。此種強大之風力，雖強固之建築物，亦無法抗衡，而常致傾塌解體。

龍捲風之氣流，在地面附近，呈氣旋型。亦即由逆鐘向之渦流與向內之氣流組合而成。在正常情形下，向內氣流之速度，遠較渦流為強。此種強烈之向內氣流，使建築物靠近龍捲風中心部份，發生吸引作用，更加以外面之龐大壓力，二者併以排山倒海之勢，垮牆毀屋，如摧枯拉朽。

由於地面附近，氣流強烈輻合，龍捲風中心，勢必有急劇之上升氣流，始能滿足連續方程式之需要。事實上亦證明如此，某次龍捲風運行甚速，超出積雨雲範圍，曾於一分鐘內，立即噴升三萬五千呎。而形成新積雨雲。按照理論，此種急劇之上升氣流，必須向上之氣壓梯度，遠較地心吸力為強時，始能產生。

龍捲風經過一地後，每造成一極值注意之事件，即雞毛盡拔，此種事實所造成之原因，雖未詳悉，但一般相信，係因大氣壓力，迅速下降，鷄羽管驟形膨脹，乃發生此脫落現象。

④龍捲風發生之頻率及季節 美國龍捲風發生之頻率，以五月為最多，十二月為最少。其季節分配之多寡順序為春夏秋冬。一般而論龍捲風頻率最大月份，較降雹最多月份，提前一月；較雷雨最多月份，提前二月。其在一日間發生之時間，雖逐時均有可能，但以當地時間十二至二十一時為最頻、約佔全部百分之八十。

臺灣近年來發生之龍捲風，四十年為五月，本年為四月，似亦以春季，為易於生成龍捲風之季節。

三、龍捲風之成因

①能量來源 龍捲風有強烈之氣旋型渦流，已如前述，欲發生及保持此種渦流，勢必有足夠之能量供應，始克為功。愛斯培(Espy)認為，龍捲風中強烈對流之能量，係由熱能及潛熱所供給，當暖濕不穩定空氣，急劇上升時，放出大量潛熱，而能保持龍捲風之存在，但此僅為其生存條件，而非生成之足夠條件。

蕭渥特(Showalter)鑑於龍捲風生成時，每先有降雹徵象，且利於龍捲風生成之氣團，潮濕氣層之上，多有逆溫及乾燥層(詳下節)，乃認為自乾燥層上部雲中降雹，一方面因雹粒之傳導，再方面因雹在乾燥空氣層中之蒸發。而降低空氣溫度，致穩定之逆溫層消失，增加空氣之不穩定度，而導生龍捲風。

事實上僅上述條件，仍不足以導發龍捲風。此外必須有抬升作用或水平輻合，以誘發擾動，方屬有效。韓勞達斯(Humphreys)更進一步之研究，認為僅有抬升作用，仍不能產生渦旋，必須先有旋轉角動量，方能發生渦旋。此種情形，以冷面前之颶線附近，最為適合。高空如有冷面經過，亦極符合所需要之條件。至於地面天氣圖形狀。以後將另行敘述。

②龍捲風中心氣壓降低之原因，龍捲風之下部，既有輻合性之氣流，其上部勢必有輻散現象，始能避免其中心低氣壓之填塞。若上空輻散強於地面輻合，則其中心氣壓將加深。歸納各家意見，認為氣流之輻合輻散，受二種力量所影響，一為水平氣壓梯度，一為渦流之離心力。在上空氣壓梯度力較小，而離心力較大，故結果空氣輻散。地面附近，梯度較峻急，渦流速度遠較向內氣流速度為小，故梯度力較佔優勢，而致氣流輻合。

至於中心之最低氣壓，其生成與水流中之渦旋，至為類似，當深盆放洩盛水時，水受地心吸力之作用，向下急瀉。龍捲風則受上衝氣流影響，向上急昇。兩者均受輻合之影響，速度向中心增加。接近中心處，離心力過大，而致中心部份空氣外流，故形成部份真空之最低氣壓。

四、龍捲風發生之徵象

①天氣圖形勢 根據多時觀察，美國中北部，若有深浚低氣壓，其中心氣壓，低於 1002mb ，自該中心向東南有低壓槽存在，槽上風變強烈，則沿槽距低壓中心一百至六百英里地區，最易生成龍捲風。距中心五十英里內，較為罕見，但若偶爾發生，則猛烈異常。

沿該低壓槽，普通均有地面冷面或高空冷面。上部空氣多屬熱帶海洋氣團；下部空氣屬變性極地氣團或極地海洋氣團者約佔百分之九十，屬新爆發之極地氣團者，約佔百分之十。有時低壓槽內為包圍面或暖面。

有時龍捲風並不沿面發生，而在深浚低壓區內，熱帶海洋氣團中產生，可能位於颶線上或數颶線之相交處。

• 有時龍捲風發生於低壓中心之北部或西部之冷區中，其上空可能為熱帶海洋氣團所籠罩。偶爾在熱帶氣旋中心之北部，亦發現龍捲風，在此種情形下，多隨環流向西移動。

龍捲風外週，常有一小型低壓區存在，其直徑約五至十英里，氣壓降低約 3-5 mb，即所謂小型氣旋(Micro-cyclone)。惟普通天氣圖中，均不易看出。

我國四十年五月十四日，在臺灣發生之龍捲風群，當時天氣圖中，在福州附近，有一深邃低氣壓，中心氣壓約 996 mb，發生龍捲風之地帶，在中心東南約四百公里，與前述情況，頗為類似。惟是否該區會有颶線經過，因資料不足，不能確證。

②易於發生龍捲風之氣團 范步士 (Fawbush) 對於形成龍捲風之氣團特性，曾加以歷久而有系統之研究。發覺易於發生龍捲風之氣團，約有下述三種：

(一) 第一類龍捲風氣團 此類為最常見之龍捲風氣團，根據二百三十次探空紀錄，求出此類氣團之特性如下：

①逆溫層上下二層空氣，均呈條件性不穩定狀態。

②下層空氣潮濕，相對濕度，常在 65% 以上。地面露點溫度在 55°F 以上。該層潮濕空氣以上，有沈降逆溫，相對濕度有急劇低降，其上相對濕度又漸增加，初甚和緩，至約 500 mb 附近，增加頗快。

③風速隨高度增強。逆溫層以上，有乾燥空氣侵入，該處與下層暖濕氣流垂直之風速，最少每時三十海里。850 mb 處風之中間值 (Median) 為 219°，每時 30 海里；500 mb 處為 256°，每時 50 海里。

④自地面至 400 mb，空氣為對流性及條件性不穩定。穩定指數 (Stability Index) 與露點指數均小於 +2。所謂穩定指數，乃係由潮濕層之平均濕球溫度，沿濕絕熱線上升，至 500 mb 處，求出其應有之溫度，然後由 500 mb 之實際溫度減去前述溫度數值，即得穩定指數。前述之溫度，均用攝氏。露點指數，亦係用同一方法求得，所不同者，僅以潮濕層之平均露點溫度，代替平均濕球溫度而已。上項指數之負值愈大，愈不穩定。

⑤此類氣團中產生之龍捲風，每成群發現，其路徑亦較下述二種，長而且寬。雖日夜均有發見，惟以午後為多。常伴隨廣大暴風及強電。

第一表 產生龍捲風之第一類氣團 (230 次探空紀錄) 及與澎湖龍捲風氣團之比較

	中間值	常見數值與其發生之百分比	範圍	澎湖龍捲風氣團值
地面溫度 °C	24	18—27 (82%)	15—32	25.5
相對濕度 %	85	65—100 (88%)	41—100	74
850 mb 溫度 °C	14	12—17 (72%)	8—21	15.7
相對濕度 %	82	70—100 (84%)	MB—100	94
700 mb 溫度 °C	+5	+1—+9 (91%)	-2—+9	51
相對濕度 %	42	MB—58 (98%)	MB—100	82
500 mb 溫度 °C	-14	-9—17 (91%)	-7—22	-7.5
相對濕度 %	42	35—62 (80%)	MB—80	60
400 mb 溫度 °C	-25	-20—-28 (88%)	-18—-33	20.5
逆溫層底，相對濕度 %	82	76—100 (92%)	62—100	93
頂，相對濕度 %	38	MB—50 (96%)	MB—65	70
潮溫氣層厚度，呎	5200	3100—6000 (88%)	2100—9000	6200
濕球零度高出他面高度 呎	8300	7100—10000 (71%)	5100—11000	
結冰點高出濕球零度 呎	3500	2100—4500 (90%)	1100—5500	
自由對流高度 mb	700	620—740 (88%)	560—850	
穩定指數 °C	-6	-1—-8 (84%)	-2—-11	
露點指數 °C	-4	+1—-7 (80%)	5—-9	-2
850 mb 風向	SW	SE—W (96%)	E—S—WNW	SSW
風速 海里/時	30	5—55 (96%)	5—75	24
500 mb 風向	WSW	S—WNW (100%)	S—WNW	WSW
風速 海里/時	50	36—85 (74%)	16—105	41

⑥龍捲風發生以前，晨間常有層雲，偶消散而可見中雲，且伴有乳狀雲。溫度反常升高，空氣沈悶；露點迅速上升，龍捲風過後，迅即恢復常態。總之，天氣變化頗快。

⑦此類龍捲風多發生於颶線，故對易於生成颶線之冷面，高空冷面槽等之移動，應特加注意。

第一類龍捲風氣團之特性及曲線見第一表及第一圖。

(二) 第二類龍捲風氣團 此類氣團，溫高濕重，當屬赤道氣團。根據三十八次探空紀錄，求得其特性如次：

①空氣呈條件性不穩定，無顯著逆溫層或穩定層。地面溫度常在 80°F 以上。

②水汽含量甚高，直至兩萬呎以上，相對濕度均在65%以上。

③風速普通隨高度而減弱。850mb風速自五至八十五每時海里，500mb風速自五至五十五海里，自850mb至500mb，風向順轉約十度。

④穩定指數與露點指數與第一類龍捲風氣團相同，即中間值為-6與-4。因無逆溫，故極端數值，較第一類者為低。

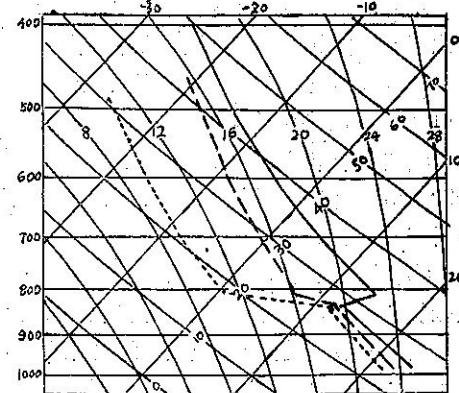
⑤普通僅產生一龍捲風，即使有數個同時存在，其間相隔亦在一百英里以上。較第一類者，生命短暫，路徑狹短，移動亦遲緩。上部強電，為航行之重大障礙，惟因濕球零度多在一萬一千呎以上，故地面電與雷雨陣風較少見。龍捲風多於日間生成。

⑥天氣穩定少變，一般多云，有局地雷陣雨。

⑦此類氣團中之龍捲風，大多因雷雨線(Thunderstorm line)與暖面相交而引起，由於界面或颶線引起者較不常見。

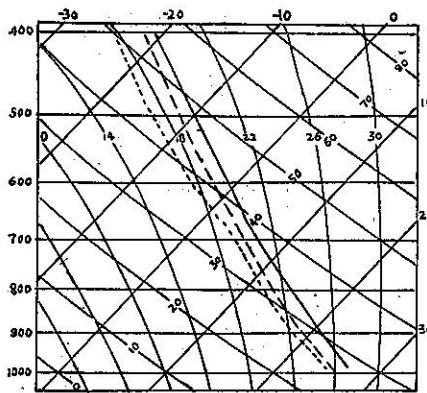
此類龍捲風氣團之特性及曲線見第二表及第二圖。

第二表 產生龍捲風之第二類氣團(38次探空紀錄)



第一圖 第一類龍捲風氣團(230次探空紀錄中間值) 實線為溫度曲線虛線為濕球溫度曲線，點線為露點曲線此。為 Skew T 圖。水平直線為等壓線，自左向右上斜之直線為等溫線，自右向左上斜近似直線之曲線，為乾絕熱線，較彎曲者為濕絕熱線。

項目	中間值	常見數值與發生之百分比	範圍
地面溫度 $^{\circ}\text{C}$	27	26—29 (76%)	20—31
相對濕度 %	90	75—95 (90%)	70—100
850mb 溫度 $^{\circ}\text{C}$	18	17—19 (72%)	0—19
相對濕度 %	84	80—100 (83%)	65—100
700mb 溫度 $^{\circ}\text{C}$	7	5—9 (66%)	0—10
相對濕度 %	80	65—93 (94%)	61—100
500mb 溫度 $^{\circ}\text{C}$	-10	-7—14 (89%)	-5—18
相對濕度 %	75	69—92 (80%)	50—90
400mb 溫度 $^{\circ}\text{C}$	-21	-18—24 (76%)	-13—26
濕球零度高出地面高度，呎	12,200	11,100—13,000 (92%)	9100—14,000
結冰線高出濕球零度，呎	1,300	0—1,500 (89%)	0—2,500
自由對流高度，mb	830	800—850 (80%)	750—920
穩定指數 $^{\circ}\text{C}$	-6	-4—8 (61%)	0—13
露點指數 $^{\circ}\text{C}$	-4	-2—6 (74%)	0—11
850mb 風向	SW	S—W (76%)	E—S—NNW
風速 海里/時	30	5—65 (96%)	5—85
500mb 風向	WSW	SSW—W (88%)	SSW—W
風速 海里/時	30	5—55 (100%)	5—55



第二圖 第二類龍捲風氣團（說明同第一圖）

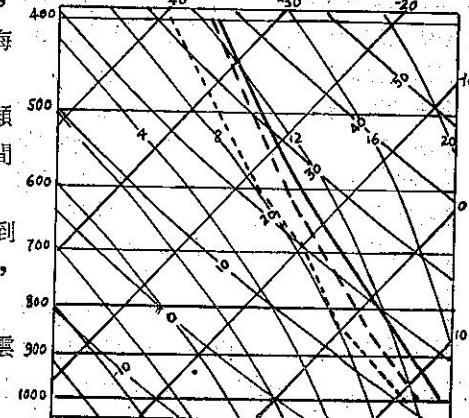
值為 -3 ，露點指數中間值為 -1 。

⑤此類氣團中之龍捲風，多單獨生成，漏斗狀下垂物，多不能到達地面。其生命較前二類更為短促，路徑亦更狹短，所造成之災害，不似前二者之劇烈。發生時間多在下午。

⑥天氣情況多屬濃雲密佈，有局地陣雨孤零雷雨，雲狀為層積雲，下有乳狀。天氣無顯著急變。

⑦可在海洋極地氣團生成。多在冷面或颶線以後。

此類龍捲風氣團之特性及曲線見第三表及第三圖



第三類龍捲風氣團（說明同第一圖）

第三表 產生龍捲風之第三類氣團（18次探空紀錄）

	中間值	常見數值與發生之百分比	範圍
地面溫度 °C	14	10—18 (89%)	10—20
相對濕度 %	84	80—85 (72%)	75—90
850mb 溫度 °C	5	4—8 (88%)	0—8
相對濕度 %	76	70—82 (72%)	65—100
700mb 溫度 °C	-6	-5—8 (67%)	+2—10
相對濕度 %	80	75—58 (72%)	61—94
500mb 溫度 °C	-24	-23—26 (61%)	-18—28
相對濕度 %	75	69—85 (67%)	50—92
400mb 溫度 °C	-35	-35—38 (67%)	-28—40
濕球零度高出地面高度 呎	5700	4,100—7,000 (83%)	4,100—10,000
結冰線高出濕球零度 呎	1100	600—1,500 (63%)	0—2,000
自由對流高度 mb	770	740—790 (61%)	700—900
穩定指數 °C	-3	2—4 (63%)	0—4
露點指數 °C	-1	0—2 (81%)	+1—2
850mb 風向	不定	不定	F—S—WNW
風速 海里/時		5—45 (89%)	5—55
50mb 風向	SW	SW—W (67%)	ESE—S—WNW
風速 海里/時	SO	36—65 (89%)	36—95

（四）二種以上氣團龍捲風在同地區發現情形 三種氣團惟質不同，至屬顯而易見，但有時二種以上龍捲風可先後在一地發現。最常見之情形為在活躍暖面經過後，再有強烈颶線掃過。

(五) 三種氣團之比較 為期能一目瞭然起見，更將三者之天氣及發生情形，列表比較，詳第四表

第四表 三類龍捲風氣團比較表

	第一類	第二類	第三類
空氣垂直結構	潮濕層上有乾燥層 條件性及對流性不穩定	暖濕條件性不穩定	冷，濕條件不穩定
天氣變化	迅速	遲緩	遲緩
是否伴生乳狀雲	常見	少見	頗常見
伴生之嚴重天氣	雷雨，風暴，雹暴	雷雨	雷雨，風暴
溫度零度離地高度	約8,000呎	高	低
常伴隨之界面	冷	暖	冷
隨高度之風變	增強並順變	減弱並順變	增強並順變
龍捲風數目	常成群發生	多單獨發生	漏斗狀下垂物
龍捲風移速	常移動甚速	常移動遲緩	每不能到達地面
龍捲風路徑	長而寬	短而窄	常移動甚速
龍捲風壽命	長	短	短而窄

五、臺灣本年四月二日龍捲風實例分析

①發生經過 澎湖白沙鄉，本年四月二日五時十分，發生龍捲風，造成四十四人無家可歸，刮毀民屋九間，中破二十四間，小破四十六間，吹毀機漁船十二艘，失蹤舢舨十隻，中破舢舨二十隻。創下本年意外災害。

第五表 馬公逐時地面天氣報告表

時 間	天 空 狀 況	能 見 度 (英 里)	現 在 天 氣	雲								地 面 風 向	速 海 里 時		
				低 雲			中 雲			高 雲					
				量	狀	高	量	狀	高	量	狀	高			
0100	⊕/①	6		5	FS	800	10	AS	10000				10	SE	5
0200	⊕①	5		5	FS	800	10	AS	8000				10	SE	5
0300	⊕①	3½		10 6	SC ST	3000 600							10	SE	10
0400	⊕①	3½		10 6	SC ST	3000 666							10	SE	10
0500	⊕①	3½		10 8	SC ST	3000 600							10	SE	15
0600	⊕①	3⅓		10 8 3	SC ST FS	300							10	W	20
0700	⊕①	6		10 6	SC FS	3000 1300							10	W	15
0800	⊕①	6¼		10 8	SG ST	2500 1300							10	W	10
0900	⊕①	8		10 8	SC FS	3500 1400							10	W	10
1000	⊕①	8		10 8	SC FS	3000 2300							10	W	3
1100	⊕①	8		10 6	SC FS	2555 1400							10	W	3

此次發生中心，幸在海面，其邊沿僅波及白沙鄉所屬島嶼鎮海兩村，按白沙鄉係澎湖北方小島。龍捲風自經過至結束，歷時僅兩分鐘。除上列房屋漁船外，尚有鎮海村倒塌圍牆三百八十六立方公尺，毀地瓜苗四十五坪，堆肥舍五棟；及圍見村漁船吉發號失蹤，船上船員八人下落不明。

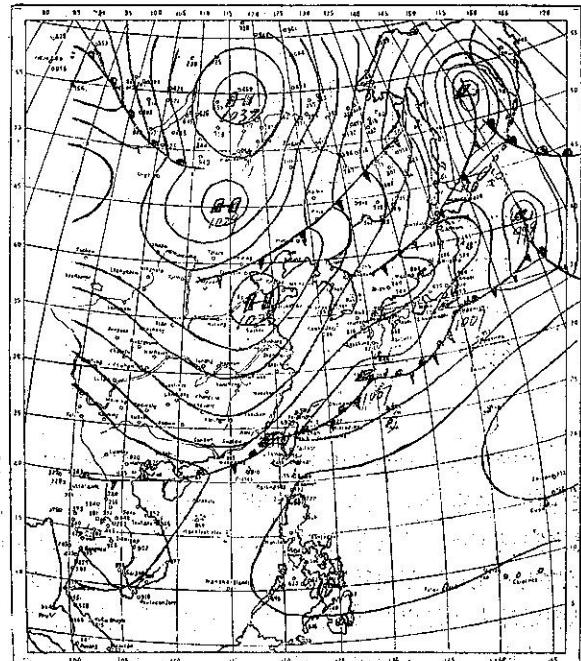
此次龍捲風風力之強，較之巨型颱風，猶有過之，據目覩者告，在鎮海村有一艘新漁船，曾由原來位置，被捲起數丈之高，飛去一百五十公尺之遙，從高空掉下，成為粉碎。又有島嶼百餘斤重之毛豬，從猪舍飛過高山約距八十公尺之遙，豬腿跌折，成為殘廢。

②天氣概況 靠近龍捲風發生地點之馬公，二日天氣，陰沈多雲，其逐時天氣如表五。自二時起，低雲量即逐漸增加，三時已開始降水，表示冷面已接近測站，實際冷面過境，當在五時之間，由最低雲高，自六百呎突降至三百呎，已可窺其端倪，而地面風自五時前之東南風，六時轉變為西風，更屬明顯易見。且風速亦以界面過境時期為最大。低雲以層積雲為主，其下有層雲及碎層雲，能見度除降水時期減低外，出入不大。

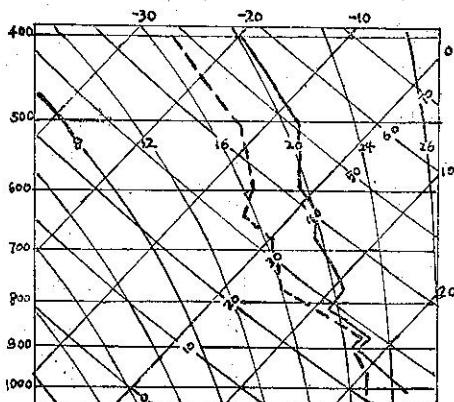
再比較當日九時地面天氣圖，沿日本東岸經琉球群島、臺灣北部我國南海以迄越北，有一狹長低壓槽，低氣壓波蜿蜒其間，達四個之多。一淺弱低氣壓中心，適位於澎湖東方臺灣海峽中。冷面已經過馬公。太平洋高壓軸線呈東西向，伸至菲律賓西部，在此種情形勢下，空氣流經長程海面，且因氣壓梯度微弱，移速不強，得有充分之時間，在低緯度海面吸收大量水份，到達臺省附近低氣壓之暖區，溫高濕重，自屬意料中事。大陸高氣壓，攜極地變性氣團，向東南伸展，侵入此極不穩定之熱帶海洋氣團之下，故該時期臺灣雨量豐沛。當日九時天氣圖如圖四。

③探空紀錄分析 馬公最接近龍捲風發生時間之探空觀測，為四月二日六時，但龍捲風已於五時十分發現，此時觀測紀錄，恐已不能代表其整個不穩定狀態。乃再檢視四月一日十八時之紀錄，如圖五所示，並求出各特性點之溫度、相對濕度、比濕、位溫、相當位溫等，如第六表。該項結果，與第一類龍捲風氣團，頗有相近，為便於比較計，於第一表後列，刊入其有關數值。惟因第五圖未用濕球溫度，故需用濕球溫度計算之各項從缺。

由第六表中，可看出該時1800呎至6200呎，有潮濕氣層，相對濕度注95%以上。其上有近似等溫度之溫度垂直遞減率，相當於第一類龍捲風氣團之逆溫層。該層以上，相對濕度驟減，最低達50%，一般仍較第一類氣團者為高。溫度亦較大，此可能因澎湖位於海峽中，海洋熱帶氣團，變性不大，而前述第一類氣團，係包括美國中西部之紀錄，該時空氣受大陸影響所使然。



第四圖 民國四十四年四月二日九時(135°E)天氣圖



第五圖 馬公四十四年四月一日十八時(135°E)探空曲線，實線為溫度曲線，虛線為露點曲線

直遞減率，相當於第一類龍捲風氣團之逆溫層。該層以上，相對濕度驟減，最低達50%，一般仍較第一類氣團者為高。溫度亦較大，此可能因澎湖位於海峽中，海洋熱帶氣團，變性不大，而前述第一類氣團，係包括美國中西部之紀錄，該時空氣受大陸影響所使然。

3100呎至3900呎間，有微弱逆溫層存在，此可能因熱帶海洋氣團，至較冷地帶，下層空氣冷却並經垂直混合所致。1800呎以下，雖相對濕度差異頗大，地面較該處者低11%，但比濕則幾完全相同，此足以說明1800呎以下，原屬經垂直擾動混和之空氣，因地面受熱，近地面空氣變暖，而致相對濕度降低。由於地面至1800呎，溫度垂直遞減率，約為乾絕熱曲線，亦足說明以上推斷之正確。

故綜合言之，6200呎以下，均屬潮濕氣層。

第六表 四十四年四月一日十八時 (135°E) 馬公探空紀錄

高 度 (呎)	溫 度 (C°)	相 對 濕 度 (%)	比 濕 (克/冠)	位 溫 (A)	相 當 位 溫 (A)
地面	25.5	74	15.7	598.0	340.0
1800	20.9	95	15.8	298.5	341.0
3100	17.6	98	13.9	299.2	337.0
3900	18.3	98	14.9	303.0	343.8
6200	11.3	93	9.8	302.6	330.0
7500	11.1	70	7.6	306.0	327.8
10,190	5.1	82	6.6	308.9	328.0
10,900	4.9	79	5.9	309.0	326.2
12100	3.1	54	4.0	312.5	324.2
14300	0.6	72	4.4	315.6	328.8
17700	6.9	80	3.7	320.7	331.2
19010	7.5	60	2.7	324.2	333.2
19600	9.0	50	2.0	325.0	331.7
21700	14.4	68	1.9	326.0	332.4
24560	20.5	60	1.1	329.0	332.4

再進一步研究空氣中之穩定狀態，按照前述方法，求得露點指數為 -2°C 。而由相當位溫顯示，空氣大部為條件性不穩定狀態，3900呎至6200呎間，甚至為絕對不穩定狀態。表示該層至不穩定，若偶有外力抬升，3900處之空氣，將自動上升至極高高度，因該點空氣飽和後，沿濕絕熱線上升，直至218mb處，始與實際溫度曲線相交故也。此外地面與12100呎處，相當位溫差，亦達 15.8°C 之巨。凡此種種，均足說明，該時氣團極不穩定。一旦假以外力，足以促成強烈之對流。此與第一類龍捲風氣團，頗為類似。

該時雷文 (Rawin) 顯示自地面至上空，風向順轉，風速雖多變，但大致隨高度而增加，此與第四表所列，不謀而同。850mb處風為 210° ，每時26海里，500mb風為 260° ，每時41海里，與第一類氣團之中間值，亦大致相若。

再將龍捲風發生後，二日六時之探空紀錄，與前述紀錄，予以比較，列為第七表。由表中可看出，龍捲風發生後，空氣溫濕情形，均有增加，而以800mb以上更為顯著。此足以說明在此十二時間，下層空氣無多大改變，上層空氣已因擾動而自下層獲得水汽與熱量。如此擾動之結果，空氣中之穩定性，乃大見增加。雖大部仍為條件性不穩定狀態，但露點指數已由一日18時之 -2°C ，減至 0°C 。而溫濕隨高度分佈情形，亦與臺灣夏季海洋氣團之平均值頗為接近矣。

第七表 馬公四月二日六時與一日十八時氣團比較

氣壓(mb)	T ₀₆₀₀ -T ₁₈₀₀ (C°)	Q ₀₆₀₀ -Q ₁₈₀₀ (g/kg)	θe ₀₆₀₀ -θe ₁₈₀₀ (C°)
1000	-0.3	1.5	1.8
950	0.3	0.3	0.2
900	0.7	0.5	2.4
850	-0.5	0.0	1.0
800	4.4	1.2	5.8
750	1.2	1.5	6.8
700	2.2	1.2	4.5
600	0.5	1.7	5.4
500	1.5	1.8	7.1

六、龍捲風預報之展望

美國龍捲風為害慘重，前已述及，故對龍捲風之研究及預報方法，不斷努力。並設有劇烈天氣警報中心。遇

有利於龍捲風生成之天氣情況，即對該地區發出警報。其所根據之方法，即首先注視氣團性質。繪製等露點及等相對濕度圖，再配合每日經常圖表，研判該項氣團與界面或颶線等之運行與遭遇之可能，以預定龍捲風可能生成之地區及時間。范步士預報之結果，已有滿意之成績。但因此種現象，範圍極小，非有極密之觀測網，不能收得極為完滿之成效。是以仍有未預報而產生龍捲風之事實。本年五月二十八日，美國中部復發生猛烈龍捲風，據報紙刊載，事先並未接獲警報，即係例證。

我國此種災害，遠較美國為少。加以高空資料，至為稀少，故欲作完滿之預報，殊非近日所能實現。但根據以次澎湖白沙鄉之龍捲風，可獲知美國氣象家求得之方法，大致可採用於臺灣區域。故若預報人員，能對氣團不穩定狀態，多加注意，遇有上述各種氣團，及適當之天氣形勢，則提高警覺，預定其將侵襲之地區及時間。並非絕不可能。民國四十年五月十四日之龍捲風，侵襲較廣，臆測當屬第二類龍捲風氣團，惜乎高空資料闕如，不能作詳細分析比較。本篇僅根據一地一次紀錄，所得結果，自難免殘破不全。惟若能引起對此問題之注意，而漸窺其底蘊，則幸甚矣。

參 考 文 献

- 臺灣龍捲風群之研究 空軍技術情報第 105 期 四十年九月一日
 五月十四日龍捲風調查 臺灣省氣象所颶風報告 四十年
 Snowden D Flora: Tornadoes of the United States. March. 1954.
 Ernest J. Fawbush & Robert C. Miller: The Types of Airmasses in which North American Tornados Form. Bulletin A.M.S. April. 1945.
 The Tornado Situation of 17 march 1951. Bulletin A. M. S. April. 1953.
 A Mean Sounding Representative of the Tornado Air-Mass Environment. Bulletin A. M. S. Sept 1952.
 Carl M. Reiter: The South Platte Valley Tornadoes of June 7. 1953 Bulletin A. M. S. May 1954.
 Herbest L. Jones: A Sferic Method of Tornado Identification and Tracking. Bulletin A. M. S. Dec. 1951.

接轉第 58 頁 (襲日災害颶風結構之研究)

④颶風登陸之後，勢力顯著衰弱，劉行 (E. W. Newham) 據之，斷定颶風屬於厚度淺薄之大氣擾動，但赫爾維茲 (Haurwitz) 之意見，則與之相左。蕭氏曾云颶風經過山地，下部遭受割除，此種事實，亦可用生命短促之副颶風之衰頹簡單說明。

⑤副颶風之衰頹，顯然係受地面磨擦影響之結果，但滑川忠夫云，對於上述之堆積作用 (Cumulative action) 必須考慮。他又說副颶風衰頹率，雖然尚未能精確決定，惟已能估計大約登陸以後，每前進 150 公里強度衰頹一半。

⑥某次蕭氏嘗企圖利用兩個渦旋併合之方法，說明經過英國附近之氣旋之特性。結果他發現用一個簡單渦旋並考慮地形影響，更易說明，乃改變原先之意見。但在襲日災害颶風結構方面，主副颶風渦旋於同時存在之事實方面，實不能似蕭氏之改變其意見。

⑦主颶風與副颶風幾用相同速度，沿着兩條平行路徑前進，造成這個現象之原因，至今不能解答。而且此種複合系統究竟是由於動力方面之原因，也未獲得結論。

⑧著者深信滑川忠夫氏新學說，提供研究颶風之新方向，因此我們必須從這個角度，去說明觀測之資料。同時滑川忠夫學說提出理論氣象領域中新的問題，例如主颶風之半穩定特性，副颶風衰頹率之理論計算等問題。

⑨著者相信滑川忠夫新學說，為在日本預報颶風之重要工具。當強烈之 A 級颶風接近日本時，預報人員必須分離主副兩颶風，估計副颶風之衰頹率，並預測其結果，為達到這個目的，應用滑川忠夫氏之理想模型，可得到良好之結果。

⑩所謂之副颶風，祇是因為他在天氣圖中之範圍較小。其實牠的旋風強度，極為猛烈。單獨之主颶風，絕不可能到達颶風 A 級之強度。自這一點言只有在副颶風中，方能見到颶風各主要特性，因此我們建議稱副颶風為颶風旋渦 (Typhoon Whirl) 而敘述颶風為

颶風 = 熱帶氣旋 + 騶風旋渦

(A 級颶風 = 主颶風 + 副颶風)