

影響台北松山機場飛安氣象因子之統計分析

林得恩 張培臣 張明仁 梁江山 王仕均 簡國恩

空軍氣象聯隊

摘 要

本文從航空氣象觀點，自能見度、雲幕高與雷雨等三個氣象量場等面向切入，蒐整松山機場自1997年1月至2010年6月地面觀測資料，比對綜觀環境條件與氣候特徵，對可能影響松山機場飛安之氣象因子，進行統計分析與特徵研判。研究發現松山機場低雲幕以2、3及6月頻率較高，發生時段以清晨4至8時較多；低雲幕發生時多伴隨低能見度或雷雨，風場則多屬西風或靜風。低能見度發生頻率以3月最高、9月次之；持續時間以3、6及9月累計時間及平均時間較長。雷雨於6月與8月易發生連續數日午後對流型的雷雨；在副熱帶高壓影響下，綜觀環流微弱且大氣具足夠對流可用位能，由局部環流掌握之午後對流發展，其持續日數應為多重環境之綜合結果，而非單一因子可控制。

關鍵字：雲幕、能見度、雷雨

一、前言

根據美國國家運輸安全署(National Transportation Safety Board, NTSB)最新統計資料，在1994-2003年10年間與氣象因素有關的飛安事故中，以風場變化為最主要因子(佔總數的48.1%)，其次為雲幕與能見度問題(佔總數的20.5%)；而直接受雷雨影響之飛安事件雖然比例有限(佔總數的1.9%)，但雷雨中除有劇烈放電現象可能干擾航電設施外、甚至在罕見狀況下造成航機爆炸，卻更常伴隨嚴重亂流、風切、冰雹、低雲幕與低能見度等危安因素(圖1)(NTSB, 2010；張等人，2004)。因此，我們對於飛安因子的診斷與分析工作除劇烈降雨外，航空氣象更關注於雷

雨、低雲幕、低能見度與風切變等等與飛行安全有關之天氣現象。尤其諸如不一定會造成降雨的近地面稀薄雲層、霧靄與風場之變化分析，更受限於觀測設備與分析資料之时空解析度不足瓶頸，不僅可預警時間相當有限，亦屢肇致航空氣象因子預報上的困難限制。本文針對台北地區松山機場氣象因子變化，由統計分析角度切入，期能對近年松山機場危安氣象條件獲一粗淺瞭解。

松山機場位於台北市松山區，位置約略在台北盆地中央偏東北處。盆地北方為大屯山系，觀音山扼於西北，西側為林口台地，西南阻於桃園台地與丘陵區，雪山山脈一系則呈東北、西南向互於台北之東面至南面。

機場北臨基隆河，上游河谷指向東北之基隆市，為冬季與東來天氣系統之影響孔道；基隆河接淡水河於八里、淡水出海，為鋒面、西北颶侵襲台北主要路徑之一；故基隆、淡水河谷一線向為台北盆地主要氣流通道。淡水河上溯、南轉大漢溪上游，沿雪山山脈一路，則為導引西南氣流或夏季近山區午後對流系統進入台北之重要途徑。可見盆地地形與水系搭配季節性天氣系統，對松山機場氣象條件影響甚鉅；另快速都市化造成之熱島效應與高濃度懸浮微粒，伴隨全球氣候變遷日趨嚴重，其對松山機場長期氣候趨勢之影響更值得深究。

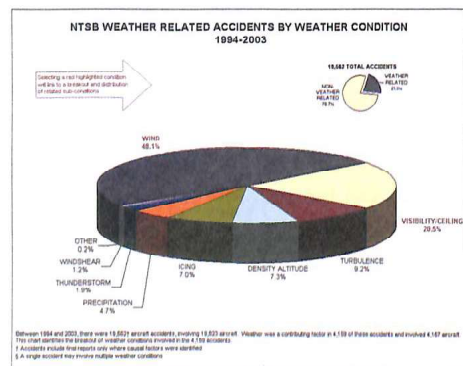


圖1 NTSB統計1994-2003年間與氣象因素有關飛安事故分布狀況(NTSB, 2010)。

二、研究方法

本文主要使用交通部民航局飛航服務總台松山航空氣象台地面觀測紀錄，分析時間為1997年1月1日至2010年6月30日共計13年6個月的氣象資料。取起點為1997年係緣於該年下半年起至1998年為超級聖嬰年，有利於本

文分析年際氣候變化與聖嬰、反聖嬰現象之關連性；止於2010年6月30日係為完整研析近年之梅雨系統演替特徵。惟因2010年尚無法獲得整年資料，於年平均氣候資料統計分析時並未予以併計，較著重於個案印證與分析。

資料僅採用整點觀測，即以小時為時間單位，過濾特別天氣觀測與另加觀測等紀錄，以免計次統計時重複計算，影響資料品質；惟仍可能因此漏列少量發生於整點間，且持續時間低於1小時之事件。個案分析部份，則輔以本軍接收之MTSAT衛星雲圖、交通部中央氣象局協助建置之「劇烈天氣監測系統」(QPESUMS)雷達回波、中央氣象局板橋氣象站高空觀測資料，以及本軍清泉崗、馬公、綠島都卜勒氣象雷達觀測資料。

以下就分別針對松山機場低雲幕、低能見度與雷雨之長時間地面觀測紀錄，分析探討其氣候特徵。

三、低雲幕

由於機場低空雲幕會遮蔽飛行員視線，嚴重影響其進、離場起降操作；尤其是低雲幕存在於進場跑道端時，對飛航安全更是有顯著影響。雖然航機助導航與無線電通訊設備日益進步、精確，但仍無法順利達成商業化的無人飛行或盲目飛行；尤其著陸中的航機要對準跑道軸線、保持適當角度與高度進場，仍無法完全仰賴自動系統，因此飛行員離開雲底下降至抵達跑道間的高度(即雲幕高)若不夠充分，將嚴重危及著陸安全。尤其

越接近地面時，地形、地貌與各種人工建物構成遠比高空巡航更複雜的環境，讓駕駛更加無暇監看儀表上的所有資訊，使目視飛行條件的維持益形重要。航行中飛行員以目視或查看儀表的比率取決於飛行高度；通常飛行高度約100-200公尺時，飛行員80%時間仰賴目測；當飛行高度降至100公尺以下，幾乎無反應時間按儀表檢查高度(趙, 1994)。

呂與劉(1998)統計1983-1996年松山機場地面觀測資料，發現影響松山低雲幕之天氣系統以鋒前暖區最多，另外鋒面過境或滯留、高壓迴流及東北季風、台灣低壓與颱風環流等4種類型所佔比例則約略相當。期間每年松山機場發生低雲幕次數約3、4次，以2-4月為高峰；伴隨之天氣現象有七成為降雨，霧只佔三成。

本次研究利用位松山機場內之民航局「松山航空氣象台」於1997年1月至2010年6月之整點(每小時00分)觀測資料，按松山機場常用跑道(100方向)起降之雲幕高標準(250呎)，來篩選雲幕(天空遮蔽雲量達八分之五以上)高在300呎(含)以下者進行分析，比較各項氣象因子之差異，以作為低雲幕預報之參考。

(一)年際分析

經統計，1997年1月至2010年6月間，松山機場共有30天46次整點出現低雲幕，其中以2000年出現12次為最多，2006年出現7次次之；而2002-2003、2007-2008等4年均無低雲

幕出現。雖然在統計上仍未具足夠樣本，但似呈6年週期之波動現象(圖2)。圖中之2010年資料雖僅為1-6月之統計結果，但排序在年度發生次數屬第4，日數統計亦高於其中5年，頗值得注意。

由於研究期間之長期波動呈下降趨勢，推測低雲幕次數減少可能緣於熱島效應所致夜晚至清晨的降溫幅度下降有關。另Shaw C.Lin (2009)與Warner及Twomey(1967)認為當懸浮微粒增加，會使雲中小水滴隨而增加，並造成雲層不易降水。劉等人(2007)分析台灣各地起霧頻率減少原因時亦有類似發現。據此，都會區因都市化與土地開發造成之空氣懸浮微粒濃度上升，可能確與邊界層的低空雲水分布變化有所關係。

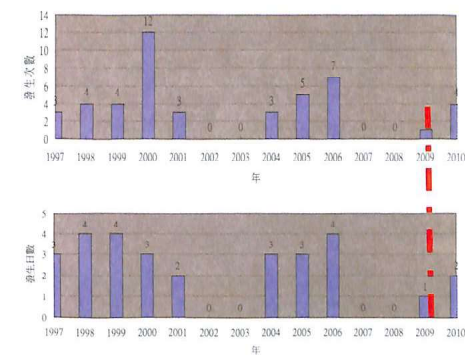


圖2 松山機場 1977-2009 年低雲幕統計：(上)次數統計；(下)日數統計。紅色點線係區隔2010年之半年統計。

(二)季節特徵

以月份分布來看(圖3)，低雲幕發生在3月次數達16次為最多，與呂等人(1998)1983

至1996年統計結果相同；1-2月及6月次之(達5次以上)，8-9月再次之(達3次以上)，推論與季節天氣系統如冬春季及梅雨鋒面、颱風與午後雷陣雨有關。比較不同年份發生次數之月分佈(圖3)，以2000年3月發生計12次為最多；其中2000年3月14~15日受高壓迴流影響，分別出現連續5小時(4-8時)、3小時(3-5時)之低雲幕紀錄。2001年9月低雲幕發生紀錄高於其它年份，為納莉颱風(NARI)影響結果。由於10-12月均無發生紀錄，顯示松山機場於冬季東北季風影響期間，較不易發生低雲幕現象。

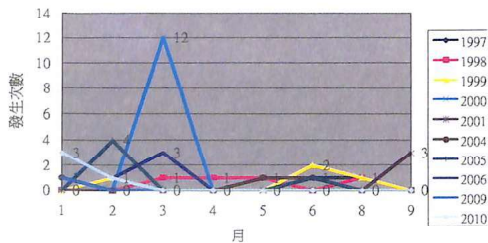
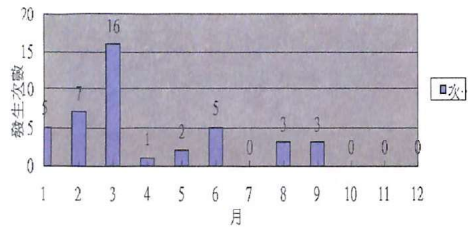


圖3 (上)松山機場 1997~2009年逐月低雲幕次數累加統計。(下)1997年1月至2010年6月份年逐月發生次數比較；其中每年之7、10~12月與2002~2003、2007~2008年全年均無發生紀錄。

(三)日夜變化

以每日發生時間分布分析(圖4)，低雲幕多出現在深夜至清晨，顯示輻射冷卻扮演重要的角色；其中在凌晨4時最多(7次)，又以2003年3月出現3次為最。另外下午16時出現3次為較特殊現象，分別發生於1997年8月13日、1998年4月13日、1999年8月29日；經分析應與是日午後雷陣雨及鋒面雷雨有關。

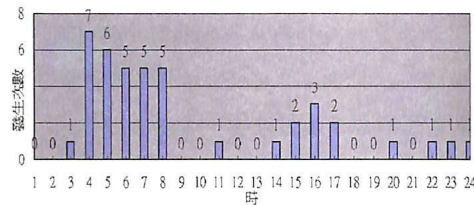


圖4 松山機場 1997~2009年逐時低雲幕次數統計。

(四)其它特徵

分析天氣現象分布(圖5)，低雲幕期間併同有BR(霧)、FG(霧)、TSRA(雷雨)、DZ(毛雨)、RA(雨)、SHRA(陣雨)等天氣現象，以BR發生最多(13次)；其中又以2005年2月6日(04~06時)為最，TSRA次之(13次)，均發生在2005年以前的4至9月間；FG再次之(10次)，其中以2000年3月14日(04~08時)5次、2000年3月15日(03~05、07時)4次較多。因此松山機場低雲幕發生時，多伴隨於霧、霧等視障，其次則為發生劇烈降水之雷陣雨；一般性降水反而不易在松山機場造成低雲幕現象。

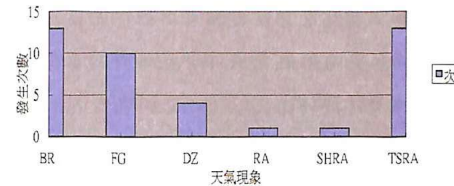


圖5 松山機場 1997~2009年發生低雲幕時伴隨之天氣現象統計。

若對照發生低雲幕時之能見度特徵，顯然較易在能見度100~4,500公尺之間出現；其中又以150及1,000公尺最多(4次)。能見度最大值4,500公尺發生2次，分別是2006年2月25日06時伴隨BR發生，以及2009年1月28日07時伴隨DZ發生。此外，因能見度編報有規定級距及作業習慣，故部份波動並不具備任何特別意義。整體而言，松山機場低雲幕個案有69%發生在能見度1,200公尺以下；是以能見度與低雲幕間在統計分析上，雖有相當程度之關聯，但亦非必然彼此相伴出現(圖6)。

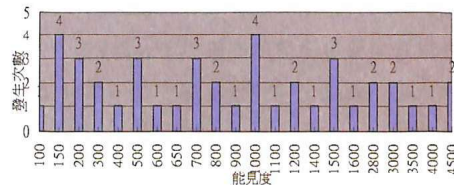


圖6 松山機場 1997~2009年發生低雲幕時之能見度統計。能見度單位為公尺。

由風向分布(圖7)，低雲幕發生以270~300度及靜風較多(4次以上)。280度發生7次最多(風速1~7KT)，其中又以2000年3月15日(03~05時)3次為最。東風時出現低雲幕情形較少，因綜觀環境場出現東風時，通常表台

灣北部正處於夏季穩定之太平洋高壓勢力影響；但仍有1998年4月13日16時與1999年8月29日16時個案出現070度風向，及2001年9月17日08時納莉(NARI)颱風影響個案與2004年5月30日15時個案出現110度風向(風速6KT)。

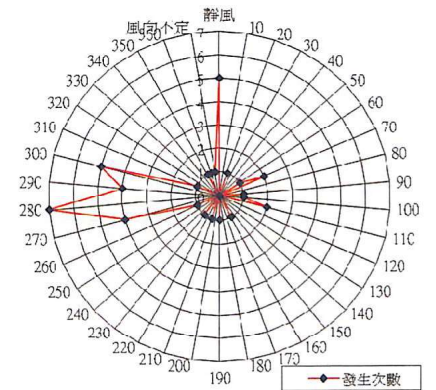


圖7 松山機場 1997~2009年低雲幕事件之風向統計；半徑單位為次數。外圍數字表方位(單位為10度)，並附加「靜風」與「風向不定」2項。

分析低雲幕發生時風速(圖8)，以2KT最多(13次)，其中又以2003年3月14、15日各出現3小時為最；5KT次之(6次)，以2006年3月9日出現2小時為最；11KT再次之(2次)，分別出現在1997年8月13日16時及2001年9月17日08時。另因納莉颱風影響，2001年9月16日22及24時分別出現風速14KT及20KT。此顯示松山機場地區低雲幕多出現於風速較小時期；若同時出現較大風速，經查閱相關資料發現概屬劇烈對流或伴隨颱風發生者。

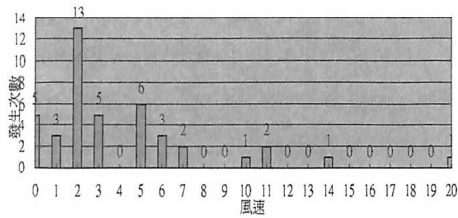


圖 8 松山機場 1997~2009 年低雲幕之風速統計。橫軸表風速(海涅(KT))。

(五)小結

低雲幕為飛航安全一大威脅，故能否掌握低雲幕天氣可視為氣象預報在防災應用上的一項重要作為。本文分析松山機場低雲幕發生之氣象條件，其特徵摘陳如次：

- 1、每年 2、3 月春雨及 6 月梅雨鋒面為低雲幕發生高峰期，並以 3 月為最。
- 2、清晨 4 時至 8 時發生頻率較高，顯示輻射冷卻為低雲幕重要機制；另 16 時之低雲幕現象次之，主要係受午後雷陣雨影響。
- 3、低雲幕發生時多伴隨著霧、霧或雷雨；一般降水則較少同時出現。
- 4、西風或靜風時較容易出現低雲幕；但若有颱風或劇烈對流系統時，亦可能出現於東風及較強風勢。
- 5、由於夜間輻射冷卻降溫幅度逐漸趨緩，長期趨勢可能受都市熱島效應影響。另都市化造成之懸浮微粒濃度增加，可能亦與低雲幕次數減少有關。

四、低能見度

在低雲幕與低能見度狀況下，航機的起

降與低空飛行都會變得較為困難，尤其是著陸期間。在複雜氣象條件下降落時，會需要更高的飛行技巧與更敏捷而正確的反應，往往會使機組員的心情變得更緊張。在有限能見度的情形下，發現地標的距離縮短；若飛行高度降低，飛行員識別地標的時間也會減少。因此許多飛行事故，都是在低能見度狀態下所發生的。能見度造成的航機失事原因，大致有 3 種：1. 因看不清跑道，而於著陸時偏離或過早、過遠接地；2. 航管員無法在航機即將降落時正確判別目標，易造成指揮錯誤；3. 飛行員看不到地標，只能憑感覺與儀表飛行，加諸心理壓力而造成操作失誤甚至發生事故(趙，1984)。

戴等人(2005)分析 2004 年 12 月 18 日清晨台灣西部沿海濃霧個案，認為 17 日高壓迴流自洋面攜帶大量懸浮微粒；加諸綜觀環境偏東風經台灣地形繞流而於西部形成局部低壓，有利於懸浮微粒於西部地區聚集；最後終因夜間輻射冷卻作用而形成大霧。張(1997)歸納松山機場同一時期觀測資料，發現 10 跑道低能見度條件多出現在冬季(1~5 月)，且為高壓迴流天氣型態，影響時間主要在 5~9 時；28 跑道低能見度則集中於夏季，多受雷雨或颱風雲系影響，發生時間主要在 12~16 時。蔡(1984)分析 1981 年 1 月 12 日晨間低能見度個案後，歸納松山機場冬季發生輻射霧的 4 個因子：1. 日間天氣晴朗；2. 入夜後風速微弱；3. 晨間近地面有明顯逆溫；4. 近似封閉之盆地地形。蔡並認為，地形差異與海陸風效應，

是造成同時間中正機場未發生濃霧之主因。

本文能見度分析，係按松山機場常用跑道(010 方向)起降之能見度標準(800 公尺)，來篩選能見度在 1,600 公尺及 800 公尺(含)以下者，比較各項氣象因子之差異，以作為低能見度預報之參考依據。

(一)年際分析

統計顯示 1997 年 1 月至 2010 年 6 月間，松山機場共 595 次整點出現低能見度(2010 年不計則有 547 次)，1997 至 2009 年年平均約在 45 次，高於此值有 1998、2000、2004、2006 及 2008 年計 5 年；低於此值有 1999、2001、2002、2003、2007 及 2009 年計 6 年。在 1998 年及 2000 年出現最高峰，分別出現 71 及 72 次，約占總次數 26%；次高 2004 年為 64 次，占總次數 12%；另 2010 年 1 至 6 月次數較往年同時期偏高，除 1998 至 2000 年外，餘在高峰出現後均呈現下降之趨勢(圖 9)，在 2002 年、2003 年及 2009 年均位於曲線圖之底部，出現次數最少為 2009 年 9 次及 2009 年 12 次。以日數分析，可發現約 5 至 6 年一個波動。而 2010 年資料雖只統計半年，但次數已為第四高，以日數統計分析，則為最高值。

年度次數最高之 1998 年、2000 年及 2004 年。在 1998 年比較雷兩次數與低能見度之關係，發現在梅雨季時之出現頻率偏高，占該時段總次數達 90%。另分析 1998 年、2000 年及 2004 年低能見度分布情況，除 2000 年 3 月份偏高約 36 次，次高出現在 8 月，約 31 次，再次

為 10 月，為 28 次；另造成低能見度之天氣現象以降水為主，約占總次數 45%，因雷雨造成約占總次數 30%，因輕霧或濃霧造成約占總次數 25%。另時段以 16 時最高，約占總次數 8%，其次為 6 時，約占總次數 7%，再次為 7、8、15 時，合計約占總次數 20%。在 2002 年、2009 年及 2003 年(年度次數最低年份)低能見度次數分析後，出現月份最高在 4 月，計 11 次，約占總次數 30%，次高為 8 月，計 6 次，約占總次數 16%，再次為 6 月，計 5 次，約占總次數 13%；另造成能見度之天氣現象，因降水出現次數計 24 次，約占總次數 65%，因雷雨造成計 11 次，約占總次數 30%。

次數最多年份之分布月份約在 3 月、5 月及 10 月；最少年份則分布於 4 月、5 月及 8 月，其分布月份較無規律性。次數最少年份於各類天氣現象影響均有之，但以降水造成低能見度為主，分布時間在早晨 6、7 及 8 時，與下午 15、16 及 17 時。研究分析也顯示，長期波動呈現緩慢下降趨勢(不含 2010 年)。2001 年後未單純出現以濃霧造成之低能見度，而是伴隨著其它天氣現象，如降雨等併時出現的低能見度狀況。

比較年度次數最高之 1998 年、2000 年及 2004 年。1998 年比較雷兩次數與低能見度關係，發現梅雨季時出現頻率偏高，造成該時段低能見度天氣現象亦均以雷雨為主，占該時段總次數 90%。另分析 1998 年、2000 年及 2004 年低能見度分布，除 2000 年 3 月份次數異常偏高約 36 次，次高為 8 月 31 次，再次 10 月 28

次；造成低能見度天氣現象以降水為主，約總次數45%；雷雨約占總次數30%，因輕霧或濃霧約占總次數25%。另時段以16時最高，約占總次數8%，其次為6時，約占總次數7%，再次為7、8、15時，合計約占總次數20%。

在2002年、2003年(年度次數最低年份)及2009年低能見度次數分析後，出現月份最高在4月，計11次，約占總次數30%，次高為8月，計6次，約占總次數16%，再次為6月，計5次，約占總次數13%；另造成能見度之天氣現象，因降水出現次數計24次，約占總次數65%，因雷雨造成計11次，約占總次數30%。

比較最高與最低之年際變化，最高年份分布月份約在3、5及10月，最低年份則分布於4、5及8月，其分布的月份較無規律性。最低年份各類天氣現象造成均有之，另最低年份則以降水造成低能見度為主，分布時間在早晨6、7及8時，下午15、16及17時。

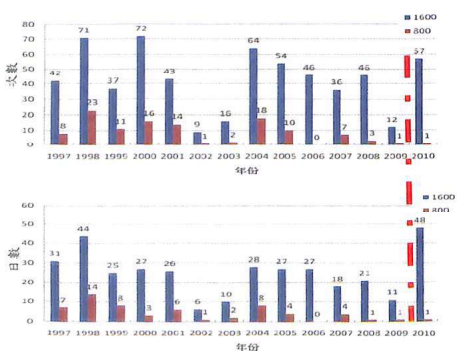


圖9 松山機場 1997~2010 年發生低能見度次數統計：(上)次數統計；(下)日數統計。紅色點線係區隔 2010 年之半年統計資料。

經分析，在2001年之後，未單純出現以濃霧造成低能見度，而多是伴隨其它天氣現象共伴產生，如降雨等出現低能見度的情形。

(二)季節特徵

以月份分布(圖10)，在3月次數達89次為最多，占總次數15%，9月次之達79次，占總次數15%，6月再次之達67次，占總次數15%。另配合其季節，推論造成低能見度的天氣系統，計有高壓迴流，鋒面系統、梅雨、颱風及午後雷雨等5類。另外，比較不同年份發生次數之月份布情形，2003年3月發生計36次為最多，次高為2001年9月計有26次，另1998年10月份出現18次、2007年6月份出現16次、2005年5月出現15次及2008年8月出現14次，在統計期間內次數較為偏高之情況。

(三)日夜變化

以時間分布分析(圖11)，在下午16時次數達47次為最多，約8%；次之出現在晨間6至8時，分為42及40次，占總次數15%；另一時段為14、15及17時，分為42次及43次及40次，占總次數53%。日夜變化主要出現在3月，另在1月、2月及4月亦有出現；惟在7月至9月時，則分布在日間及清晨，次數不若3月明顯。另以天氣現象分布來看(圖12)，發生低能見度時常一併發生各類天氣現象，如霧、濃霧、陣雨及雷雨等，其中又以降水造成之次數最多，合計有305次，約占總次數51%，因雷雨造成之低能見度次數達167次以上，約占

總次數29%，因輕霧或濃霧造成次數計98次，占總次數20%。

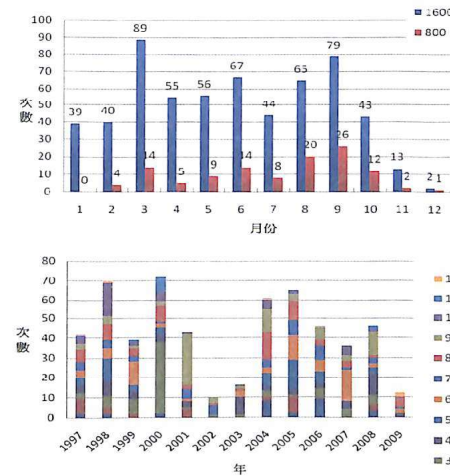


圖10 松山機場 1997~2009 年低能見度事件：(上)逐月發生次數累加統計；(下)分年逐月發生次數統計分布。

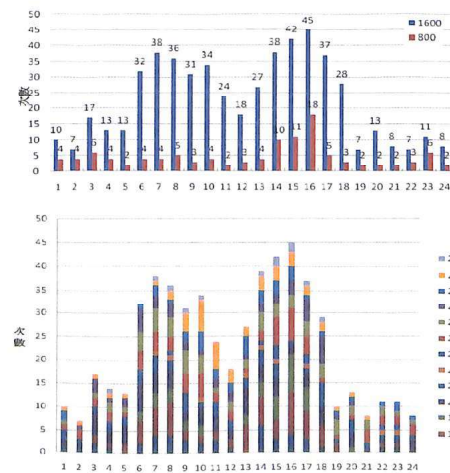


圖11 松山機場 1997~2009 年低能見度事件：(上)逐時次數累加統計；(下)分年逐時發生次數統計分布。

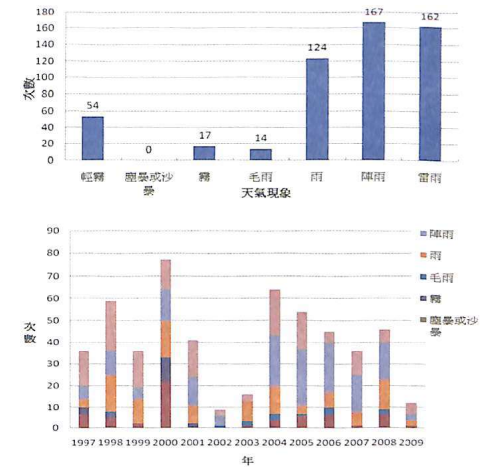


圖12 松山機場 1997~2009 年不同天氣型態影響低能見度：(上)各天氣型態影響次數統計；(右)分年影響次數統計。

以風向分布分析(圖13)，低能見度發生風向以靜風及風向不定計100次居多，約占總次數18%。風向060~100度發生145次，占總次數27%；再次為260~300度計147次，占27%；此外，各風向均有同時出現低能見度情形。分析風速(圖14)，4 KT以下出現233次，約占總次數43%。另分析平均風速出現次數，有逐漸升高趨勢，顯示單純輻射霧造成之低能見度趨於減少，而更可能同時伴隨於其它天氣現象，如降水等之發生。分析相對溼度(圖15)，90~100%計423次，占總次數77%；70~90%出現約123次，約占總次數21%。除2010年3月21日10~17時、2007年7月30日及2002年9月2日低於70%計出現10次，約占2%。分析溫度條件(圖16)，24~26℃出現次數最多計214次，占總次數39%；次為15~23℃

計258次，占總次數49%；再次為27~30°C計60次，占總次數11%；其餘11~14°C為6次。

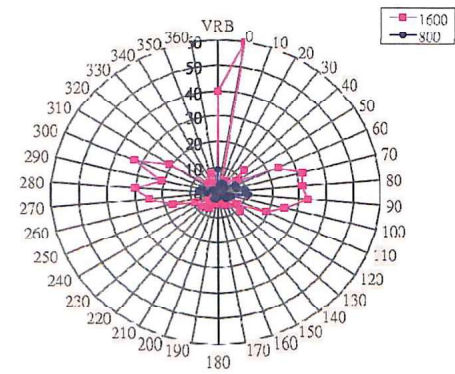


圖 13 松山機場 1997~2009 年低能見度時風向統計資料。

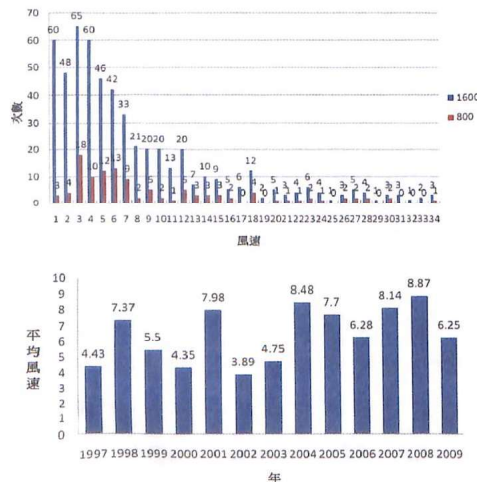


圖 14 松山機場 1997~2009 年低能見度事件：(上)發生時之風速統計；(下)逐年平均風速統計。

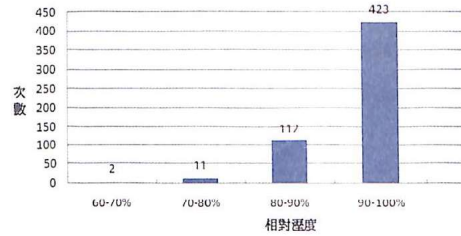


圖 15 松山機場 1997~2009 年低能見度事件之相對濕度統計。

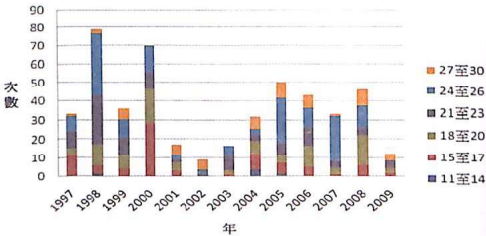


圖 16 松山機場 1997~2009 年低能見度事件之溫度統計。

(四)類型分布

松山機場發生低能見度之成霧型態概分為5類；分述如次：

- 1、輻射霧：天氣晴朗、風力微弱時，夜間長波輻射使地面冷卻，下層空氣達飽和或過飽和，氣溫仍持續下降者，常伴隨近地面層逆溫現象；一般冬春季較有利輻射霧生成。本次統計約5次，約總次數5%。
- 2、平流霧：海霧屬之。在初春時，台灣海峽海水表面溫度尚低，流經其上空氣易達到飽和，再藉由渦動混合，形成平流霧，常使沿海地區發生又濃又厚的平流霧。本次研究統計8次屬此類，約占總次數8%。
- 3、平流輻射霧：日間空氣流經廣大洋面，底層空氣變性，飽含水氣，夜間行經台北盆

地時，若雲層稀少，則在陸地輻射冷卻形成。冬天常發生於大陸氣團經溫暖海面變性後之Cpk氣團內，夏天則發生於熱帶海洋氣團內。統計研究期間，此類個案次數計有85次，約占總次數87%。

- 4、雨霧：其它因降水造成低能見度，經分析有「鋒面過境或滯留型」、「東北季風」、「台灣低壓」及「颱風環流及其它」等4類；其中「台灣低壓」常見3至6月，影響本場時常伴隨降水、毛雨甚或雷雨；而東北季風、寒潮爆發時，其高壓環流經暖濕洋面抵台灣北部時，因地形舉升而造成本場降雨；夏季時，午後對流常出現在松山基地南面山區，發展成熟後，影響到本場，日變化顯著但為時短暫；造成本場低能見度的降水則以前3類為主。

- 5、沙暴或塵暴：極為少見。除2010年3月21日台灣中北部地區受大陸沙塵暴影響，龍潭以北地區能見度不佳，本軍中部以北機場亦出現低能見度情形，本場地理位置屬台灣北部，其影響更是首當其衝，白天能見度僅約1至7/8哩。此為分析資料內惟一因沙塵暴造成之低能見度情形。

(五)小結

經分析上述統計資料，松山機場1997~2009年約13年期間，平均每年發生45次低能見度之天氣現象，以3月最高，再來是9月，再次之為6月。另就低能見度持續時間分析，少則1小時，最長可達14小時；其中又以3月、

6月及9月其累計時間及平均時間較長。發現在不同天氣因子影響下，低能見度出現的情況也不盡相同，如吾人能配合不同天氣系統，即可對低能見度做出準確預報與分析。

五、雷雨

每年入春後，台灣地區極易產生雷雨。林與戴(2008)分析台灣北部夏季96個午後對流個案，顯示7、8月午後雷雨最活躍，最大日數均達15天，範圍廣佈台北、桃園、新竹山區與平地。9月午後對流閃電最不活躍，最大日數僅5天。分析也顯示午後對流閃電經常發生位置：5至9月間隨季節漸沿雪山山脈西側向西南轉移。當925 hPa盛行偏南風時，雪山山脈西側則有利於午後雷雨發生。

(一)年際分析：

根據1997~2009年逐年雷雨發生次數統計(圖17)，可清楚發現13年間松山機場雷雨發生之變化。除1998年為高值(150次)，2000、2002及2003年最少(少於43次)外，其餘各年變化幅度在57~106次之間。

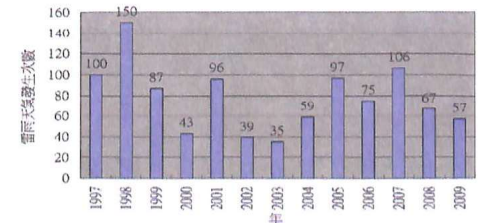


圖 17 松山機場 1997~2009 年逐年雷雨發生次數統計。

1998年(1997年5月至1998年5月)為超級聖嬰年，松山機場發生雷雨的次數也創新高。盧(2000)研究台灣異常氣候與聖嬰關係，發現降水在「聖嬰11月」以前的6月偏濕，9、10月偏乾。根據1998、1999年各月雷雨次數統計(圖18)顯示，1998年在進入梅雨季前，松山機場2至4月總共發生50次雷雨，而隔年(1999)1至5月機場也僅發生1次；如此大的變動幅度，可能可以說明聖嬰現象對台灣氣候的影響，確有統計上的關連性。

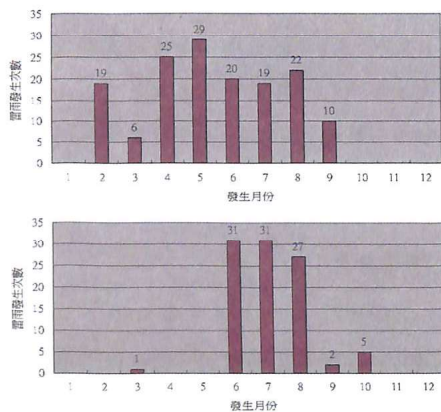


圖 18 松山機場各月發生雷雨次數：(上)1998年；(下)1999年。

2000、2002及2003年發生雷雨次數，在13年間相對偏低。分析這3年各月份發生雷雨次數(圖19)有2共同特徵：第一，梅雨季(5~6月)雷雨次數和平均次數相對偏少，2002及2003年梅雨季發生雷雨次數甚至少於10次(分別為8次及9次)；第二，暖季(7~9月)發生雷雨次數和平均次數也偏少，該3年暖季雷雨次數分別為23、22次及23次。是否因為台灣

附近綜觀環境場的改變，致使松山機場發生雷雨次數減少，還有待進一步探討。

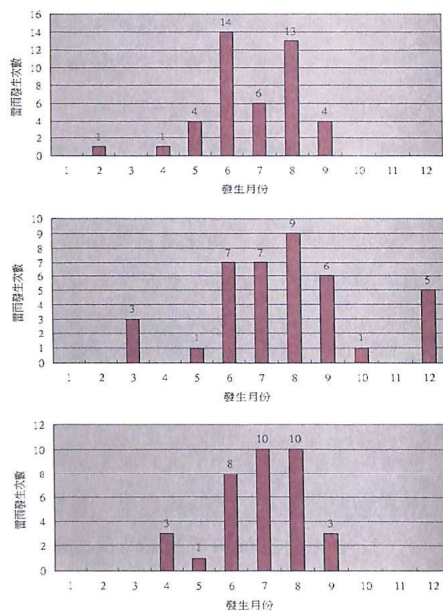


圖 19 松山機場各月發生雷雨次數：(上)2000；(中)2002；(下)2003年。

(二)季節特徵

陳等(2009)研究顯示，梅雨季與夏季期間若在太平洋高壓籠罩下，適當環境風場與垂直不穩定條件，將有利於引發地形斜坡上對流系統產生。本文將13年間各月份雷雨次數平均所得統計圖(圖20)為松山機場平均每月雷雨發生次數；雖然前文已知2000、2002及2003年之梅雨季及夏季雷雨次數相對偏少，但研究期間(1997年1月至2010年6月)平均仍以梅雨季及夏季最多，春季次之，冬季最少。此意味當雷雨之季節特徵出現非典型分布時，如2000、2002及2003年之梅雨及夏季次

數偏少，當年度之雷雨次數亦將偏少。

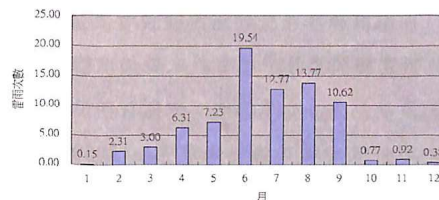


圖 20 松山機場 1997~2009 年平均每月雷雨發生次數統計。

(三)日夜變化

松山機場雷雨，除11至4月鋒面雷雨外，大部份均具日變化，尤以炎熱夏季最明顯。機場開始下雨之時間，大多數分布在下午13~18時，佔總數的79.9%；其中以下午15~16時為最多，高達38%；子夜至中午雷雨頻率頗少，僅佔總數5.3%。下午14時開始之雷雨最具持續性，持續2小時及以上之可能性高達86.1%。雷雨開始於下午13時者，其持續性亦相當高。下午16時及以後開始之雷雨，大多數均只持續1小時即停止，可能係日照大為減弱，積雨雲無法獲得能量繼續發展之故。

(四)發生原因

本次統計松山機場發生雷雨之天氣系統，主要分為兩類：

- 1、界面雷雨：界面雷雨發展通常甚為強烈，且屢伴隨飈線過境而發生。松山機場每年11月至隔年4月受鋒面通過台灣北部影響，如鋒面結構完整且條件配合，即易發生雷雨；5~6月受梅雨鋒面影響，850、700hPa 低層噴流如能適時提供動力條件，則機場也有很大機會發生雷雨。本次統計資

料顯示，松山機場因界面通過而發生雷雨有467次，約佔總數45%。

- 2、氣團雷雨：由對流作用引起之局部熱雷雨，在夏秋間較常見；其產生原因乃大氣下層受強烈日照，地面受熱過甚而發生對流。其發生時間多在午後；但夜間由於高空輻射過冷卻時亦有可能發生。根據本次13年統計資料顯示，松山機場發生氣團雷雨有570次，佔總數55%。

(五)發生時間

陳等人(2009)研究顯示，梅雨季與夏季期間有適當環境風場與垂直不穩定條件；對台灣北部地區而言，午後對流降水主要發生於午後至傍晚間。將13年間梅雨季與夏季(5~9月)各月份逐時雷雨發生次數統計(圖21~23)，松山機場午後雷雨發生最多的時間的確在午後至傍晚間(14~18時，約佔50%)。

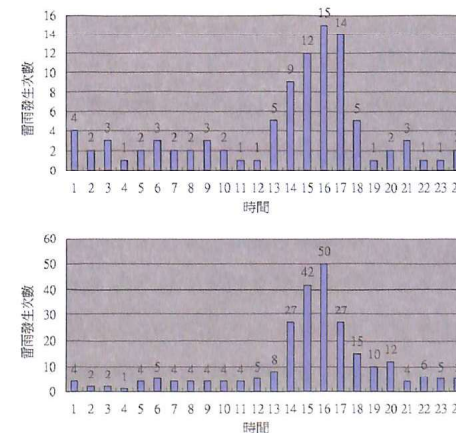


圖 21 松山機場 1997~2009 年逐時發生雷雨次數統計：(上)5月；(下)6月。

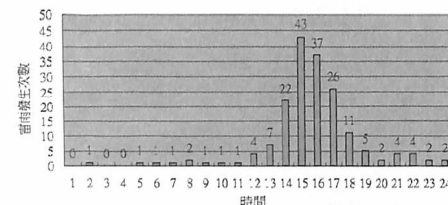
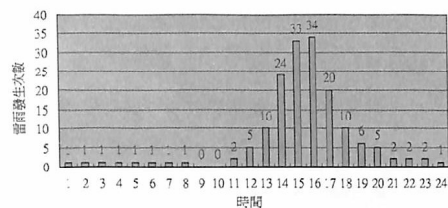


圖 22 松山機場 1997~2009 年逐時發生雷陣次數統計：(上)7 月；(下)8 月。

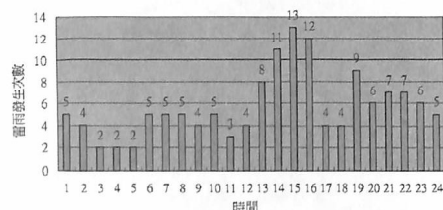


圖 23 松山機場 1997~2009 年 9 月份逐時發生雷陣次數統計。

(六) 小結

根據以上分析，松山地區發生雷陣之主要時空與氣候特徵概述如下：

1、5 月與 7 月較不易發生連續數日之午後對流，5 月因梅雨鋒面相當活躍，因此發生單一日的對流機會較大，6 月與 8 月較容易發生連續數日之午後對流，應與時序已進入夏季有關，雖台灣在太平洋高壓影響之下，但有午後局部環流發展、潮濕大氣以及對流可用位能配合存在等條件，惟 7 月不易發生連續數日之午後對流，其原因

值得進一步的探討，或許乃因該月太平洋高壓最強且高壓脊適位於台灣上空之故。

2、研究期間之月平均雷陣次數仍以梅雨季及夏季最多，春季次之。但個別年份若於季節特徵出現非典型分布，如 2000、2002 及 2003 年，則反而梅雨及夏季雷陣次數偏少，當年度之雷陣次數亦將偏少。

3、除 11 月至 4 月鋒面雷陣外，大部份雷陣個案均具有日變化，尤以較炎熱的夏季最為明顯。雷陣開始時間以 15~16 時最多，達 38%；自 14 時開始之雷陣最具持續性，持續 2 小時及以上之可能性達 86.1%。下午 16 時及以後開始之雷陣，大多只持續 1 小時即停止；發生於 14~18 時者約佔 50%。顯然熱力作用為松山機場雷陣之最重要機制之一。

雷陣所代表天氣現象，一直都帶給飛行安全極大的威脅。過去有關台北地區或是北台灣地區雷陣的相關研究經驗記錄，對預報實務工作上極具參考價值。近幾年由於全球暖化問題日益嚴重，綜觀環境場的改變似乎也慢慢的影響到台灣的氣候，台灣氣候的改變必定會影響局部地區的天氣系統，這對預報人員來說是一個必須面臨的挑戰，所以我們仍然必須持續的關心週遭環境的變化，掌握先機，才能有效提升雷陣預報的準確率，降低這些可能危害飛安肇生的風險因子。

六、綜合分析

依據本文分析松山機場自 1997 年起之低

雲幕、低能見度、雷陣年際變化特徵，發現均出現波動變化趨勢；惟三者並非同步。

根據美國大氣海洋總署(NOAA)氣候預測中心(Climate Prediction Center)的海溫資料，研究期間之聖嬰年計為 1997 年 5 月至 1998 年 5 月、2002 年 5 月至 2003 年 3 月、2004 年 6 月至 2005 年 2 月、2006 年 8 月至 2007 年 1 月與 2009 年 6 月至 2010 年 4 月；反聖嬰年則為 1998 年 7 月至 2000 年 6 月、2000 年 10 月至 2001 年 2 月與 2007 年 9 月至 2008 年 5 月(表 1)。比對前文之松山機場低雲幕、低能見度、雷陣分析，未發現低雲幕、低能見度與聖嬰、反聖嬰現象間之明顯關聯；但年雷陣次數則呈現反聖嬰年較多、而聖嬰年相對較少之關係。盧(2000)分析 1951 至 1998 年氣象與海溫資料後發現，「反聖嬰 11 月」以前 5、6 月偏暖；松山機場則 1998 年 4、5 月及 2007 年 6 月雷陣次數明顯偏高，似乎可以相印證。

分析松山 1997~2009 年逐月雷陣平均次數和平均溫度關係，其增、減趨勢大致相符；因此在季節變化特徵上，溫度雖非絕對控制因子，但仍具重要之影響。由冬季 1 月份低點起，月平均次數隨月均溫上升而增加，並在 6 月梅雨季出現全年最高峰；忽略 6 月不計，10 月以前雷陣次數趨勢均與月均溫相符。10 至 12 月東北季風盛行、氣溫下降，雷陣月平均發生次數迅速下降至 1 以下(圖 24)。

根據劉等人(2007)的分析，1970 年迄今台灣地區年均日照時數約減少 15%，可能與東亞雲量受人為懸浮微粒排放影響而增加有

關。雲量增加會減少日間高溫而增加夜間低溫，減少每日高低溫差。另外，都市熱島效應也會減少每日高低溫差；1970 年迄今台灣本島每日高低溫差約減少 15%，可能即受此影響。另過去 40 年每日最高氣溫無明顯變化趨勢，每日最低溫則有顯著的增溫趨勢；夜間顯著增溫導致夜間平均相對濕度大幅降低，遠大於日間相對濕度降低(Shiu et al., 2006)。劉等人針對每十年相對濕度分布變化趨勢之分析，結果顯示夜間相對濕度有明顯降低趨勢。相較於四十年前，相對濕度高於 85% 之時數顯著減少；尤其都會區，高濕度發生機率減少更明顯。此與近來台灣主要城市幾乎不見起霧情況可能有關，主要導因應為台灣地區之局部效應。

由於區域氣候條件僅佔雷陣、低雲幕發生原因之一小部分，大尺度系統(鋒面、颱風等)的移入、長程水氣輸送(如西南氣流)、海氣環流變化與地形間的交互作用，均會對松山機場是類天氣現象，尤其雷陣天氣的發生產生一定影響。然低能見度之出現則與局地溫溼度條件變化較為敏感；依據劉等人之研究，或可說明松山機場低能見度事件之年際變化，何以顯現長期下降趨勢。

作為背景環境之全球尺度氣候變遷理應會對松山機場局部氣候造成影響；研究期間之低雲幕、低能見度與雷陣分析亦可得相關印證；惟仍有若干狀況仍待進一步分析。如反聖嬰年 1999 年雷陣次數卻偏少，以及低能見度與低雲幕年際變化呈現 6 年期波動等。

表 1 1997 年以後 NOAA 之海洋聖嬰指數 3 個月滑動平均

Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1997	-0.4	-0.3	0.0	0.4	0.8	1.3	1.7	2.0	2.2	2.4	2.5	2.5
1998	2.3	1.9	1.5	1.0	0.5	0.0	-0.5	-0.8	-1.0	-1.1	-1.3	-1.4
1999	-1.4	-1.2	-0.9	-0.8	-0.8	-0.8	-0.9	-0.9	-1.0	-1.1	-1.3	-1.6
2000	-1.6	-1.4	-1.0	-0.8	-0.6	-0.5	-0.4	-0.4	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7
2001	-0.6	-0.5	-0.4	-0.2	-0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.0	-0.1	-0.1
2002	-0.1	0.1	0.2	0.4	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.3	1.5	1.4
2003	1.2	0.9	0.5	0.1	-0.1	0.1	0.4	0.5	0.6	0.5	0.6	0.4
2004	0.4	0.3	0.2	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	0.9	0.8	0.8	0.8
2005	0.7	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.2	-0.1	-0.4	-0.7
2006	-0.7	-0.6	-0.4	-0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.6	0.9	1.1	1.1
2007	0.8	0.4	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.4	-0.7	-1.0	-1.1	-1.3
2008	-1.4	-1.4	-1.1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.1	0.0	0.0	0.0	-0.3	-0.6
2009	-0.8	-0.7	-0.5	-0.1	0.2	0.6	0.7	0.8	0.9	1.2	1.5	1.8
2010	1.7	1.5	1.2	0.8	0.3	-0.2						

註：暖(紅)、冷(藍)數值係根據「海洋聖嬰指數」(Oceanic Niño Index, ONI)超過門檻值(+/- 0.5oC),且連續時間超過 5 個月(含)而選取。ONI 計算依據為 ERSST.v3b 於 Niño 3.4 區域(5oN-5oS, 120o-170 oW)海溫距平 3 個月滑動平均,距平基準則為 1971-2000 年。(http://www.cpc.noaa.gov/products/monitoring_and_data/ENSO_connections.shtml)

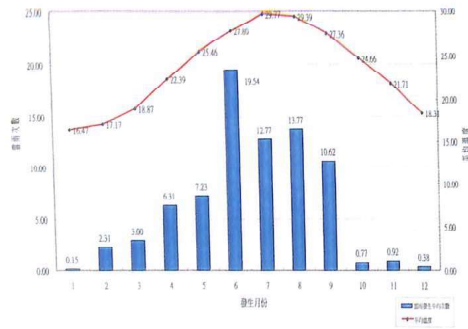


圖 24 松山機場 1997-2009 年逐月雷雨發生平均次數和平均溫度關係圖。

七、結語

經由以上分析,松山機場低雲幕事件之特徵為季節上以 2、3 月春雨及 6 月梅雨發生頻率較高,並以 3 月為最。發生時段則以清晨 4 至 8 時輻射冷卻造成者之頻率較高,16 時午後雷雨影響者次之。低雲幕發生時多伴隨低能見度或雷雨,風場多屬西風或靜風;但颱風或劇烈對流時方可能出現東風及強風。另由於夜間輻射冷卻降溫幅度逐漸趨緩,長期趨勢可能受都市熱島效應影響;而都市化造成之懸浮微粒濃度增加,可能亦與低雲幕次數減少有關。

低能見度特徵上,發生頻率以 3 月春雨最高、9 月午後對流與颱風次之,6 月梅雨季再次之。持續時間以 3 月、6 月及 9 月累計時間及平均時間較長。在不同天氣系統影響下,低能見度出現情況並不相同。雷雨事件之季節特性,為 6 月與 8 月易發生連續數日午後對流,5 月屢因梅雨影響出現單日雷雨。綜觀環境分析顯示,在副熱帶高壓脊影響下,綜觀環流微弱且大氣具足夠對流可用位能,由局部環流掌握之午後對流發展,其持續日數應為多重環境之綜合結果,非單一因子可控制。

據此,未來進一步研究方向有必要延長松山機場觀測資料之分析時間長度,以發現低雲幕、低能見度與雷雨發生頻率之長期氣候特徵;並確認波動現象是否存在震盪週期以及其形成原因。此外,亦須了解全球氣候變遷背景下,大氣環境之改變趨勢與其對松山機場區域氣候之影響程度,以為後續本軍

松山機場氣象作業人員之預報依據。

致謝

本文研究期間,感謝交通部民用航空局飛航服務總台提供松山機場詳盡地面觀測資料與指導。

參考文獻

呂英展與劉代山,1998:松山機場低雲幕氣候特性研究。*氣象預報與分析*,157,48-54。

林得恩與戴志輝,2008:夏季台灣北部午後對流閃電分析。*第三屆海峽兩岸航空氣象與飛行安全研討會論文集*,124-131。

吳東洲與鄭敏璋,2003:2002 年 12 月台灣地區冬季雷雨之型態分析。*氣象預報與分析*,174,39-48。

陳泰然、周鴻祺、廖珮娟與楊進賢,2009:暖季弱綜觀強迫下中北台灣午後對流的氣候特徵。*大氣科學*,37,2,69-108。

莊耀中、林裕豐與林得恩,2005:低雲幕對飛航安全影響之統計研究。*氣象預報與分析*,182,17-24。

張培臣、林旻德與王士杰,2004:雷電偵測在即時天氣預報應用之個案分析。*氣象預報與分析*,179,1-10。

張峻興,1997:松山機場低能見度氣候特性研究。*氣象預報與分析*,150,28-31。

劉紹臣、許乾忠與陳正平,2007:台灣地區之氣候變遷:區域及全球效應。*中央研究院學術諮詢總會通訊*,15,2,72-75。

趙樹海,1994:航空氣象學。氣象出版社,356 頁。

盧孟明,2000:聖嬰現象與台灣異常氣候關係之探討。*大氣科學*,28,2,91-114。

蔡正德,1984:冬季松山機場輻射霧之個案分析。*航空氣象與飛航安全研討會論文集*,401-408。

蒲金標與陳海根,2007:西元 1996-2005 年台北松山機場氣溫與大霧消長之分析研究。*飛航天氣*,第 8 期,8-17。

Liu, S. C., C.-H. Wang, C.-J. Shiu, H.-W. Chang, C.-K. Hsiao and S.-H. Liaw, 2002: Reduction in Sunshine Duration over Taiwan: Causes and Implications, *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 13, 523-546.

Twomey, S., J. Warner, 1967: Comparison of Measurements of Cloud Droplets and Cloud Nuclei. *J. Atmos. Sci.*, 24, 702-703.

A Statistic Analysis on Meteorological Factors related to Flight Safety of Taipei Airport

De-En Lin Pel-Chen Chang Ming-Jen Chang Chiang-Shan Liang

Shin-Jyun Wang Kuo-En Chien

Weather Wing of C.A.F.,R.O.C

ABSTRACT

This research focus on the meteorological environment of visibility, ceiling height and thunderstorms with the perspective of aviatic meteorology, gathering the surface observational data of Sungshan airport from Jan, 1997 to Jun,2010, comparing synoptic condition of the environment and feature of the climate, proceed to analyze feature for the meteorological factors which may have impact on aviation safety. The research discover that low ceiling height with higher frequency in Sungshan airport is usually occurred in Feb, Mar and Jun, the period is from 4 a.m. to 8 a.m. , and usually accompanies thunderstorms and low visibility, the wind is eastward or calm. Low visibility is occurred with highest frequency of occurrence in Mar, and with the second highest frequency of occurrence in Sep, sustained time last longer in Mar,Jan and Sep,both accumulate and average.

Sustained-days afternoon convective thunderstorms is easily occurred in Jun and Aug, under the impact on the subtropical high pressure, synoptic circulation is weak and the atmosphere environment has enough CAPE(Convective Available Potential Energy), afternoon's convection is controlled by partial circulation, its sustained days have to be the integrated result of multi-environment, couldn't be controlled by single factor.

Keywords: ceiling, visibility, thunderstorm