

能見度監測與預警系統開發

林冠伶 林欣弘 于宜強
國家災害防救科技中心

摘要

霧是由極細微而密集的水滴所組成，懸浮於近地面的空氣中，進而影響能見度。目前國內的能見度並無一站式整合資訊，觀測資料分散於各業管機關之官方網站，同時缺乏能見度預報訊息。災防科技中心氣象組嘗試蒐整交通部民用航空局機場能見度觀測17站與交通部運輸研究所港灣技術研究中心港口能見度觀測16站，自動化介接即時觀測資訊，建立能見度觀測資料庫，將即時觀測資訊整合於單一頁面，並以燈號輔助警示低能見度站點。預報產品方面，以氣象組開發之展期天氣動力降尺度模式模擬資料為基礎，延伸開發能見度預報功能。展期天氣動力降尺度模式是以NCEP GFS 1.0度資料為基礎，使用WRF模式波譜納進法(spectral nudging)，使模式在長時間積分下仍然保持其大尺度的特徵，每日提供4次預報結果。之後透過National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA)/ Forecast Systems Laboratory (FSL)發展的能見度反演經驗公式進行全台網格能見度計算。此外，配合台灣本島與離島地區的能見度觀測資料，提供觀測站點上時間延遲系集預報結果，進行觀測與預報結果的即時較驗。最後以2018年能見度觀測資料進行統計，了解台灣各地低能見度的發生頻率，並針對模式模擬結果進行初步校驗，了解該系統能見度預報之能力。

關鍵字：霧、能見度、模擬、監測

一、前言

根據世界氣象組織定義，當水平能見度不及一公里，相對溼度達100%時，此天氣現象稱為霧。臺灣屬海島型氣候，在冬、春兩季常有濃霧，臺灣本島地區較常發生輻射霧(夜間因輻射冷卻所造成)，外島地區多為平流霧(由暖濕空氣平流至下墊面轉冷區域，使空氣中的水氣飽和所形成)，嚴重影響海、路、空交通。每當霧季開始時，常常導致外離島機場長時間因能見度不佳關場封閉，嚴重影響旅客往返的航班。交通部亦會召開記者會提醒用路人注意濃霧影響，濃霧對交通安全之危害甚大。

能見度為表示大氣混濁度的方式之一，依中央氣象局地面氣象作業規範(中央氣象局，2004)中定義，能見度人工觀測是指「觀測人員站在地上，沿水平方向以正常之肉眼所能分辨，以天空為背景之黑色物體之最大距離」，能見度傳統上使用人工觀測，近年來隨科技進展，自動觀測逐漸普及。目前能見度監測多由相關交通業管機關自行監控，國內有進行能見度觀測的機關包含交通部中央氣象局、交通部民用航空局與交通部運輸研究所港灣技術研究中心，上述機關分別針對氣象站、機場與港口的能見度進行監測。

目前國內的能見度並無一站式整合資訊，觀測資料分散於各業管機關之官方網站，災防科技中心氣象組嘗試蒐整國內能見度觀測數值，於氣象組WATCH網頁建立能見度專區，並以區域氣象模式WRF動力降尺度技術為工具，開發自動化能見度預報系統，提供觀測與預報整合型資訊。

二、文獻回顧

近年國內學者針對臺灣地區進行模式能見度預報實驗，廖等人(2015, 2016)為了解離島形成霧之環境特徵，分析霧發生期間的天氣圖與低層風場，建立霧時預則參考指標，以高壓迴流與高壓出海不同天氣類型之濃霧個案進行WRF能見度模擬研究，並比較國際常見之能見度計算公式於臺灣地區的適用性。

中央氣象局2016年起，於全臺人工觀測站增設能見度自動觀測系統，輔助觀測員觀測與電碼發報，並提供科學研究之資料，謝等人(2017)利用2016年全年之自動能見度觀測資料，進行區域性、季節性的統計分析，了解不同地形與地理條件下，霧的分布與好發時間。

飛航交通方面，藍(2013)統計1979-2010年桃園機場例行天氣與特別天氣地面觀測報告，了解桃園機場主要霧季集中於1-3月，又以3月比例最高，約佔全年30%，同時討論霧發生前至發生當時的大氣環境特徵，風向變化為由東北風轉至北及西北風，風速逐漸減弱，為高壓迴流型態。許與蔡(2015)針對2015年2月春節期間金門、馬祖與桃園機場三個有霧天氣個案進行綜觀天氣形態分析，了解鋒前暖區的高壓位置與風場配置對於不同個案的影響。許(2015)透過分析2001-2015年間1-5月各機場觀測資料，進行霧日統計，並以NCEP分析場資料進行霧日年際變化分析與討論，期望了解霧日氣候特性與變化。

民航局依據多年實務經驗，將臺灣地區春季大霧事件的長期定性分析預報經驗加以量化，針對4個易起霧機場桃園

機場、馬祖北竿機場、馬祖南竿機場、金門機場，撰寫霧季檢查表，使用資料包含：地面天氣圖、925hPa與850hPa天氣圖、機場天氣報告、特別天氣報告、板橋探空資料、日本氣象廳850hPa位溫，分析鋒面位置、槽線位置、是否為於暖區內、溫度露點差等，為程式化填表系統，並將預報結果與實際天氣進行統計，可研判未來6至12小時是否可能有霧發生，輔助預報員作業。此報表為經驗參數法，只能預報可能有霧時段，無法預報發生之時刻(交通部民用航空局，2014)。

三、資料與方法

觀測資料方面，我們蒐整交通部民用航空局機場能見度觀測17站與交通部運輸研究所臺灣技術研究中心港口能見度觀測16站之能見度資料，測站地點分布於台灣與離島各地，其測站地點如表 1，位置分布圖如圖 1。由於機場能見度的觀測依據各機場作業時間有所差異(https://aoaws.anws.gov.tw/AWS/obs_time.php?lang=tw&voice_alarm=0)，少數機場如七美、恆春、馬公、望安的能見度資料筆數較少。而港灣測站資料皆為24小時提供。

表 1 能見度測站列表

能見度測站			
機場		港口	
桃園國際機場	恆春機場	布袋港	金門料羅
松山機場	清泉崗機	高雄港	金門九宮
高雄國際機場	嘉義機場	臺中港	馬祖南竿
臺東機場	臺南機場	臺北港	馬祖北竿
蘭嶼機場	花蓮機場	布袋港	馬祖東莒
綠島機場	馬公機場	澎湖馬公	馬祖西莒
金門機場	望安機場	澎湖尖山	馬祖東引
北竿機場	七美機場	金門水頭	綠島港
南竿機場			

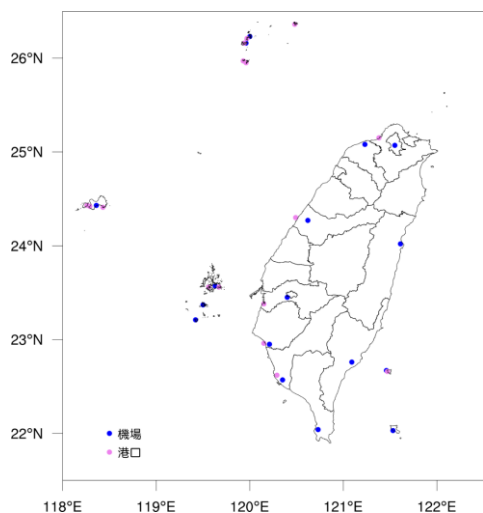


圖 1 能見度測站位置圖，機場共 17 站，港口共 16 站

能見度預報方法，以氣象組2017年開發之展期天氣動力降尺度模式模擬資料(林等人，2017)為基礎，延伸開發能見度預報功能。展期天氣動力降尺度模式使用NCEP GFS 1.0度資料為初始條件與邊界條件，利用WRF模式波譜內進法(spectral nudging)，使模式在長時間積分下仍然保持其大尺度的特徵，每日提供4次預報結果。前人研究(廖等人，2015,2016)中指出，臺灣與離島地區有其適合使用的能見度計算公式。在研究方法中採用由National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA)/ Forecast Systems Laboratory (FSL)發展的經驗公式，簡稱FSL公式(Doran et al., 1999)進行能見度計算，FSL公式如下：

$$D_{vis}=1.61*6000*(T-Td)/(RH^{1.75})*1000 \quad (1)$$

(1)式中， D_{vis} 為能見度，單位：公尺； $T-Td$ 為溫度與露點溫度差，單位：度； RH 為相對濕度，單位：%。由於希望能見度預報能夠反映近地層大氣狀態，因此挑選WRF模式中第一層作為反演基礎，其在臺灣地區與鄰近海域的海拔高度約為26-30公尺(圖 2)，符合需求，以此層計算臺灣地區與離島地區的能見度。

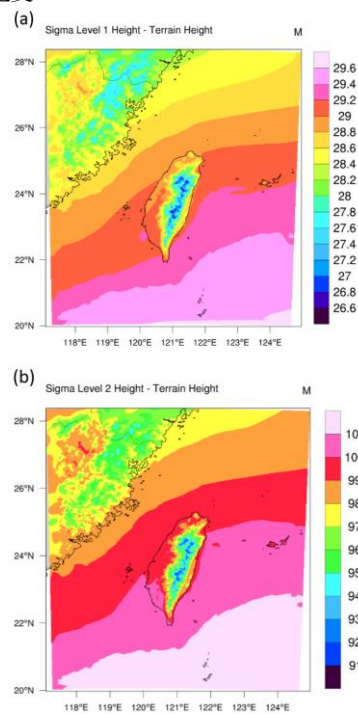


圖 2 模式高度，(a)第一層，(b)第二層，單位：公尺

四、能見度監測與預警系統

為能即時監測與評估能見度預報能力，氣象組於天氣與氣候監測網(NCDR WATCH)建立能見度即時監測與預報專頁，此專頁為國內能見度觀測與預報整合型網頁，為氣象防災科技之應用落實。

觀測資料方面，將自動介接之即時觀測資訊整合於單一頁面，並將資料排序，能見度不佳的測站會優先顯示於頁面上，並以燈號輔助警示低能見度測站。燈號分為四種，紅色燈號為能見度為50公尺(含)以下；橙色燈號為能見度

50-200(含)公尺；黃色燈號為能見度200-1000(含)公尺；綠色燈號為能見度1000公尺以上。使用者可直接由燈號理解該站的能見度現況。由於能見度觀測資料庫的建立，使用者亦可在監測頁面上查詢歷史能見度監測資訊。

能見度預報部分則分為兩項產品，預報資料更新時間同步於展期天氣動力降尺度模式的更新時間，每6小時產製最新預報結果。第一項為能見度空間分布圖，展示臺灣本島、離島與鄰近海域之能見度預報結果，每預報3小時提供一張圖。第二項為針對33個能見度重要站點(表 1)，繪製單一測站能見度預報與觀測的時序圖，預報方面以過去5日的預報結果為系集成員，共20組，提供時間延遲系集預報，使用者可掌握過去不同初始預報時間之預報資訊，了解預報變化趨勢，同時疊加該測站過去能見度觀測資料，可檢視預報與觀測的異同。

以金門尚義機場濃霧個案為系統實際使用範例。2018年3月3日至3月5日期間，金門機場因能見度不佳，未達適航天氣標準，多數航班取消或延遲。2018年3月3日金門機場的能見度在15:30為2000公尺，此刻以後能見度快速下降，15:50能見度已下降至700公尺，到達霧的等級。當日最低能見度發生在19:30與20:00，僅為50公尺，由能見度監測系統可以看到金門機場的能見度燈號為紅燈(圖 4)，直至3月4日上午7:30能見度才回復至1000公尺以上，而3月4日下午16:40起至3月5日11:30的能見度皆在1000公尺以下。能見度時間延遲系集預報顯示(圖 5)，在3月3日至3月4日上午的個案期間，預報中能夠提供能見度快速變化的趨勢，但是預報發生低能見度的時間較實際時間略為延遲。其後續3月4日下午至3月5日的個案，低能見度的預報與觀測時間則較為一致。這裡須注意金門機場能見度觀測時間為05:30-20:00，夜間無觀測資料。

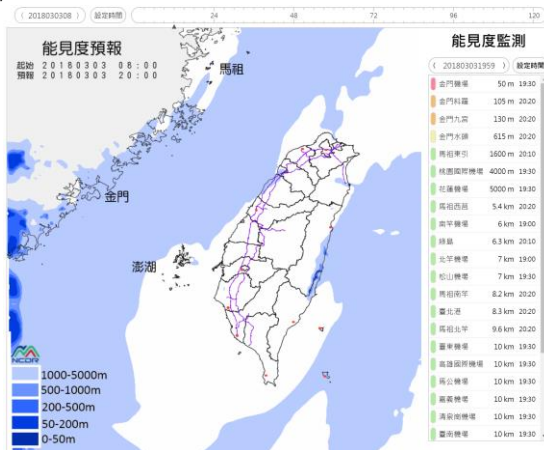


圖4 能見度監測與預報

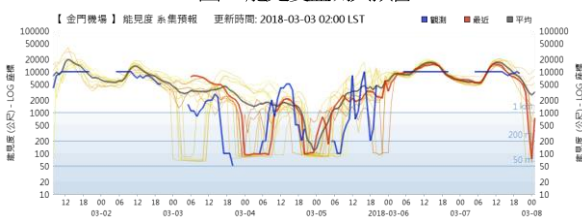


圖5 能見度時間延遲系集預報

五、觀測分析與預報校驗

本研究自2018年1月起自動化介接能見度資料，至2019年3月已累積22萬餘筆小時觀測資料。統計上述時間之機場能見度觀測資料進行資料分析，定義能見度小於1公里時為能見度不良，能見度不良率以南竿機場(4.06%)最高，清泉崗機場(2.87%)次之，北竿機場(1.82%)與金門機場(1.57%)分列第三、第四名，詳細各測站排序如表 2。雖然目前累積之資料僅一年多的時間，無法了解各站能見度歷史氣候特性，但離島觀測資料顯示，低能見度有集中於冬-春季、清晨時段的特性。南竿機場能見度好發月份以4月最高，時段以4時最多；清泉崗機場好發月份為1月最高，時段以5時最多；北竿機場好發月份為4月，時段為7時；清泉崗機場好發月份為1月，時段為5時(圖 6)。

表2 機場測站能見度不良率

測站名稱	能見度不良率(%)
南竿機場	4.06
清泉崗機場	2.87
北竿機場	1.82
金門機場	1.57
嘉義機場	0.64
臺南機場	0.45
桃園國際機場	0.42
高雄國際機場	0.36
馬公機場	0.35
恆春機場	0.19
綠島機場	0.11
臺東機場	0.09
七美機場	0.08
松山機場	0.07

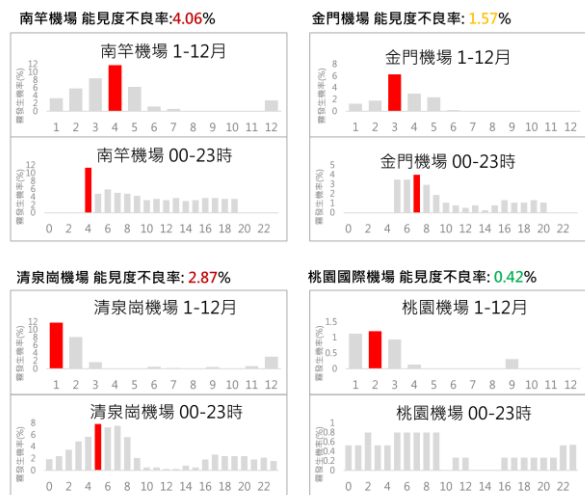


圖6 機場測站能見度不良率與時間分布圖

能見度預報能力評估，以模式預報8-120小時之能見度，在低能見度發生時間前後各6小時有成功預報，並計算命中率(Hit Rate)做為評估標準。模式預報8-120小時內共提供19次預報，因此能夠成功預報該事件的最大系集成員數(即時段內的每1報皆有成功預報該事件) $N_{max}=19$ 。並訂三個標準，以成功預報到該低能見度事件的系集成員數 $N \geq 1$ 、 $N \geq 5$ 、 $N \geq 10$ ，分別統計預報命中率，選取南竿、北竿、金門、桃園、清泉崗、嘉義、臺南機場進行討論。資料統計時間為2018年1月至2019年3月間的冬-春季(11月至4月)，低能見度個案數以小時為基準(1小時內如有多次觀測，只要有其中1個時間之能見度小於1000公尺，該小時即為低能見度時段)。統計結果顯示，離島機場與桃園在 $N \geq 1$ 與 $N \geq 5$ 的命中率較高皆在8成以上。清泉崗、嘉義、臺南機場的命中率較低，尤其是清泉崗機場在多成員準確預報的命中率更低，模式預報結果較難以成功預報中南部地區的低能見度事件。各機場能見度事件數與預報命中率詳細資料參閱表3。

表3 低能見度個案數與能見度預報命中率

測站	低能見度個案數(小時)	預報命中率(%)		
		$N \geq 1$	$N \geq 5$	$N \geq 10$
南竿機場	199	95	82.9	57.8
北竿機場	89	100	89.9	67.4
金門機場	99	100	88.9	57.6
桃園機場	33	97	84.8	75.8
清泉崗機場	228	69.7	40.4	30.7
嘉義機場	48	64.6	50	39.6
臺南機場	19	57.9	57.9	52.6

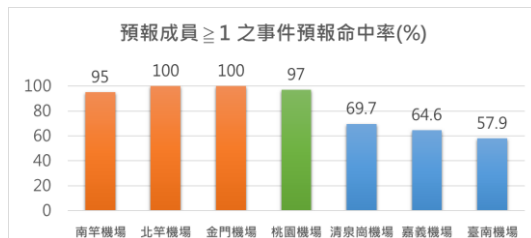


圖6 不同預報成員數之能見度預報命中率

參考文獻

- 交通部中央氣象局, 2004: 地面氣象測報作業規範, 第1版, 第13章, 交通部中央氣象局, 13-1。
- 交通部民用航空局, 2014: “臺灣地區春季大霧經驗預報之量化”, 交通部民用航空局研究計畫報告書。
- 林欣弘、朱容練、吳宜昭、林冠伶、李宗融、陳淡容、陳奕如、于宜強, 2017: 2017 細緻化預警產品開發技術報告。國家災害防救科技中心, NCDR106-T13。
- 許秀妮、蔡宜君, 2015: “台灣冬季金門馬祖與桃園機場有霧天氣之診斷分析”, 飛航天氣, 23, 12-20。
- 許秀妮, 2015: “2001-2015年1-5月分其間桃園、馬祖北竿、馬祖南竿與金門機場霧日觀測資料統計分析”, 飛航天氣, 24, 18-35。
- 廖杞昌、邱振源、崔怡楓、羅明福, 2016: “臺灣西部及外海低能見度環境特徵分析與模擬”, 105年天氣分析與預報討論會。
- 廖杞昌、汪建良、梁家齡、崔怡楓、羅明福, 2017: “臺灣海峽外島及西部沿岸低能見度預報與分析”, 106年天氣分析與預報討論會。
- 謝旻耕、林伯雄、李育棋, 2017: “2016年台灣地區霧發生之時空特徵”, 106年天氣分析與預報討論會。
- 藍嘉偉, 2013: “桃園機場霧季地面觀測資料分析”, 飛航天氣, 20, 1-10。
- Doran, J.A., P.J. Roohr, D.J. Beberwyk, G.R. Brooks, G. A. Gayno, R.T. Williams, J.M. Lewis, and R.J. Lefevre, 1999: “The MM5 at the Air Force Weather Agency-New products to support military operations”, The 8th Conference on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology, Dallas, Texas, 10-15 January.