

## 臺灣及其週邊海域低空層能見度分析與預報

梁佳齡、廖杞昌、汪建良  
國防大學環境資訊及工程學系

### 摘要

霧是一種常見的天氣現象，也可視為近地面的層雲。據統計，大霧引發的交通事故，高出其他災害性天氣條件2.5倍。臺灣屬於海島型氣候，水氣充沛，於冬末春初受霧影響之交通層出不窮，故有必要掌握臺灣及其週邊霧生消的機制。本研究首先統計分析2004年至2016年臺灣離外島及西部沿岸測站逐時觀測資料，研判霧的類型，外島以平流霧為主，本島以輻射霧為主，並建立具有參考價值之結果。其次，參考國外能見度預報公式，探討2016年1月至6月霧日個案之數值模擬成效，發現預報公式成功率皆達80%以上。最後，使用WRF模擬探討2016年4月13日個案，結果顯示FSL模擬霧的區域較SW99廣大，其遍及整個海峽，但我們實際只有馬祖及金門測站能觀測，海面上的資料並無法得知是否有霧，且實際發生霧的區域並不會只有單點。另外從強度分析，SW99顯示能見度的值較實際接近。

**關鍵字：**霧、WRF、能見度公式

### 一、前言

霧是一種常見的天氣現象，根據歐洲地球科學聯盟互動開放期刊內定義，能見度小於1km的叫霧，其也可以視為近地面的層雲(Carl Sandburg, 2007)。1cbm的霧裡約有0.05mg的水，而霧中水滴的直徑一般為1至40 $\mu\text{m}$  (1mm為1,000 $\mu\text{m}$ )，比一般雨中的水滴500至5,000 $\mu\text{m}$ 細小，所以霧中水滴能隨風飄揚(柯, 2011)，又其是接近地表大氣中所懸浮數量很多的小水滴或冰晶組成的水汽凝結物，故使得水平能見度大為縮減，對交通影響很大。據統計，大霧引發的交通事故，高出其他災害性天氣條件2.5倍，傷、亡人數分別占事故傷、亡總數的29.5%和16% (周, 2007)。

近年來交通事故在陸上著名案件有2015年11月29日中國大陸山西省大運高速公路運城到侯馬段，發生47輛大小車輛連環相撞，造成3死7傷，當局初步調查發現，車禍是因為大霧導致視線不良所造成。在海上著名案件則有2014年4月16日南韓「歲月號」渡輪事件，報導指出沉沒事故是因在海霧中急轉彎釀大禍，造成許多人傷亡。在2015年6月1日中國大陸長江「東方之星」客輪沉覆事件，死亡率達97%，其值特別高原因在於沉船搜救時，霧氣瀰漫還有風雨攪局，增加搜救難度(解, 2015)。在空中著名案件則是2010年4月10日波蘭總統座機在俄羅斯墜毀，根據駕駛艙紀錄內容指出，軍方飛行員是在上級施壓下，被迫於濃霧當中降落。

輻射冷卻和混合作用是兩個霧主要形成的原因，當輻射冷卻機制支配時，霧被歸類為輻射霧；而當混合作用機制支配時，霧被歸類為平流霧 (Mariusz et al., 2004) (GAO et al., 2007)。根據凝結成因不同，霧有數種不同類型，臺灣本島以及外島最常見的是輻射霧和平流霧。測量大氣能見度一般以人工目測為主，儀器使用上則透過大氣透射儀及激光能見度自動測量儀來觀測。但人工目測規範性及客觀性相對較

差；而大氣透射儀是通過光束透過兩固定點之間的大氣柱直接測量氣柱透射率，以此來推算能見度的值，這種方法要求光束通過足夠長的大氣柱，測量的可靠性受光源及其他硬體系統工作穩定性的影響，在雨、霧等低能見度天氣，會因水汽吸收等複雜條件，造成較大誤差；而激光能見度自動測量儀是通過激光測量大氣消光係數的方法來推算能見度，相對而言，較為客觀和準確，但這種儀器成本昂貴、維護費用高、操作複雜，且在雨、霧天也難以進行觀測。

過去已有諸多專家學者，藉由數值模式產品來從事霧的研究及預報，且近幾十年來數值模式不斷地改進，氣象觀測的技術與品質也大幅提升，進而提供數值模式更佳的初始條件。儘管已改善霧的數值模擬，但在預測霧的發生時機、程度、持續時間及強度上仍困難。這是因為霧的屬性在微物理和中尺度的邊界層中是受當時天氣系統影響 (Paul J. Croft et al., 1997)。目前霧日預報方法以(1)長期統計資料的定性分析及(2)數值天氣預報模式兩種方法加上人為主觀經驗判斷為主。在長期統計定性分析方面，根據謝等人(2010)選取1990年至2005年期間馬祖、金門、澎湖、臺北、桃園、新竹、臺中、嘉義、臺南、高雄及屏東11個測站進行統計分析，發現年平均區域霧日以馬祖23.5天最多，依序為金門、嘉義及臺南。另外島成霧好發於12月至翌年6月，以4月最多；本島成霧則好發於11月至翌年4月。成霧時的綜觀天氣型態區分為東北季風、高壓出海、高壓迴流、鋒前、鋒面及呂宋低壓等六類，發現本島各類的成霧比例類似，但外島以暖平流主導的高壓迴流及鋒前兩類為主。而數值天氣預報模式方面，樊等人(2009)使用第5代中尺度氣象模式系統MM5，對廣東省春季出現的一次大霧過程進行數值模擬研究，結果與實際探空對比，模式良好地模擬大霧過程的流場變化特徵及大霧的液態水含量分布，另外利用模式模擬的液態水含量值估算能見度水平分布情況與實際觀測結果一致。

本研究主要目的有三：

- (1)統計分析2004年至2016年臺灣離外島及西部沿岸測站逐時觀測資料，建立具有參考價值之結果。
- (2)參考國外能見度預報公式，探討2016年1月至6月霧日個案之數值模擬成效。
- (3)探討2016年所模擬霧日個案，經調整各參數後，其預報成效。

## 二、研究方法

本研究統計分析2004年至2016年的霧日個案的時間序列分布，並參考國外學者能見度預報公式，使用WRF V3.8版模擬2016年1月至6月逐時天氣，模擬開始時間為霧日前一天的1200UTC，結束時間為霧日的隔日0000UTC，最後將模擬結果利用常見統計方式來校驗其成果。另外，本研究也針對2016年模擬結果較佳的個案，再從不同初始時間及雲微物理等參數作調整，希望能更深入掌握霧的預報。本研究在數值模擬使用WRF V3.8版模擬，相關設定如表一，研究中使用的二種國際上常用的能見度預報公式，內容如下：

(一)Stoolinga and Warner method (SW99, 1999)

$$x_{vis} = \frac{-\ln(0.02)}{\beta} \quad (1)$$

(二)Forecast Systems Laboratory (FSL, 1999)

$$x_{vis} = 1.609347 \times 6000 \times \frac{T-T_d}{(RH)^{1.75}} \quad (2)$$

## 三、資料統計分析及個案選取

### (一) 觀測資料統計

長期統計資料的定性分析採取內容如下：(1)測站實際觀測資料，因中央氣象局馬祖及金門測站於2004年1月1日開始觀測，故本研究資料統計來源選取中央氣象局近13年(2004~2016年)臺灣離外島(馬祖、金門及澎湖)及西部地區(基隆、新竹、梧棲、嘉義、臺南及高雄)9個測站的逐時地面觀測資料。在此定義霧時為視障出現1和3及能見度小於或等於1km及包含無能見度觀測之資料，因能見度觀測數值只限於某些時段，為確保資料完整及連續性，在此也將無能見度觀測資料納入統計。從統計資料發現，年統計資料以外島金門和馬祖次數最高，西部地區則以嘉義和臺南次數最高(圖一)；月統計資料除9月份外，全年9個測站都有出現霧，外島出現霧時的頻率為11~6月，以2~3月次數最多，本島出現霧時的頻率為12~4月，以1~3月次數最多(圖二)；最後在時統計部分，外島1~24時皆有發生霧，本島出現時段為1~10時最為顯著(圖三)。不論是本島及外島，在7時為巔峰期。研判霧的類型，外島以平流霧為主，本島以輻射霧為主。(2)天氣型態統計，採用空軍氣象聯隊於軍網上的每日晨報天氣概述為主，將2016年霧日個案歸類，發現1月至6月霧日計有69天，總類達41種，故將其大致區分為分裂高壓出海、高壓迴流、鋒面接近、鋒面或滯留面等影響、偏南風、鋒面或滯留面遠離、東北季風及大陸冷氣團8種，統計結果發現鋒面或滯留面等影響

估的比例最大達45%，其次偏南風佔23%，高壓迴流則排於第三順位佔13%(圖四)。

### (二) 國外能見度公式模擬成效

為了瞭解兩個公式對於霧的預報，本研究運用WRF進行2016年1月至6月每日逐時模擬，測試及驗證兩個公式對於霧的預報準確率。驗證方法我們首先用透明投影片繪製與逐時模擬相同的臺灣地圖，使用Google Map將臺灣離外島及西部9個測站經緯度輸入後標出其所在位置後，以測站為中心點繪製半徑為50km的圓，用以判斷圓圈內若出現色塊，則判斷預報有霧；反之，沒有色塊，則判斷預報無霧，另外再利用不同色塊所創造出的色階，來判斷能見度的強度。最後以數值代替文字，使用Excel統計，俾利分析預報成功及失敗率。結果顯示成功率達80%以上，若以月份來看，1月至3月FSL比SW99預報成功率較優；反之，4月至6月SW99則比FSL預報成功率較優。若以臺灣離外島來看，兩公式預報成功率SW99比FSL高6%；反之，若以臺灣西部看兩公式預報成功率FSL比SW99高4%，若以臺灣離外島和西部來看兩公式預報成功率FSL僅較SW99高1%。

### (三) 霧季天氣概述及個案選取

本研究針對2016年臺灣所發生的霧日個案，依空軍氣象聯隊每日晨報天氣概述歸類後，統計發現比例最大為鋒面或滯留面等影響，其次為受偏南風影響，而受高壓迴流影響則排於第三順位，故挑選比例最高之個案是受鋒面或滯留面等影響來進行探討。而長期統計定性分析方面，謝等人(2010)選取1990年至2005年期間11個測站進行統計分析，發現成霧時的綜觀天氣型態區分為東北季風、高壓出海、高壓迴流、鋒前、鋒面及呂宋低壓等六類，本島各類的成霧比例類似，但外島以暖平流主導的高壓迴流及鋒前兩類為主，故又增加一個個案是受高壓迴流影響來進行探討。時間選定部分以各天氣型態內出現最多月份挑選之，故鋒面或滯留面等影響個案選定為4月12日當天馬祖測站從2200UTC到4月13日1000UTC測得霧，而金門測站在4月13日0600UTC到1000UTC測得霧，此類型個案符合文獻回顧所述之外島好發霧時期，適合深入研究探討。由地面天氣圖(圖五)(2016年4月12日1800UTC)可看出，臺灣位於鋒面前緣，屬於鋒前類的天氣型態，鋒前為南向風場，有利於將南方洋面上的水汽輸送到臺灣海峽，提供生成霧的水汽條件；到了(2016年4月13日0000UTC)及(2016年4月13日0600UTC)，鋒面南下區間，馬祖測站於0300UTC觀測到霧，而金門測站則於0600UTC觀測到霧，推論為南方洋面在水汽輸送時碰到鋒面南下，暖濕空氣接觸到冷鋒後，混合作用形成平流霧；最後(2016年4月13日1200UTC)，鋒面南壓至臺灣南部，此時，馬祖與金門測站屬於鋒後的天氣型態，風場由南轉北，不利水汽輸送，霧消散。

我們進一步從近底層925hPa的風場及水汽圖(圖

六)來看,一開始(2016年4月12日1800UTC)水汽僅分布在海峽北部一帶,到了(2016年4月13日0000UTC)及(2016年4月13日0600UTC)可看出整個臺灣海峽位於一個水汽場內,且馬祖及金門測站的風向明顯為南向風場,而(2016年4月13日1200UTC)水汽明顯較0600UTC時少,風場也轉為弱北風型態,推論為馬祖及金門測站在鋒面通過後,風場由南轉北,風向會較微弱,且北風帶來較冷乾的天氣,不利霧的維持,故霧消散。

而衛星資料方面,紅外線雲圖(圖七)只顯示臺灣海峽至中國華中、華南一帶雲量多,並無法明顯判斷出霧的位置;相反地,可見光雲圖(圖七)雖在臺灣海峽至中國大陸華中、華南一帶有中、高層雲系增加且往東移,但比較馬祖及金門測站的雲系在底層有淺薄、平滑且移動較為緩慢的雲層,由此推論為一霧區。

在2016年4月13日廈門及福州斜溫圖(圖八)方面,0000UTC為黑色線,1200UTC為紅色線,溫度為實線,露點溫度為虛線,由此判斷可看出在近底層925hPa以下為南向風,且0000UTC在近底層溫度與露點溫度曲線接近,相對溼度高,俾利霧形成的機制。

#### 四、模擬結果

本研究採用國外能見度公式FSL及SW99,進行2016年4月13日霧日個案模擬,藉由不同能見度方程,以期找到最適合臺灣低空層能見度的預報。模擬色塊顯示地區為有霧地區,利用不同色塊所排列的色階,表示能見度的程度。分析出,FSL顯示霧的區域較SW99廣大,其遍及整個海峽,但我們實際只有馬祖及金門測站能觀測,海面上的資料並無法得知是否有霧,且實際發生霧的區域並不會只有單點。另外從強度分析,SW99顯示能見度值較實際接近。調整參數方面,本次只應用在初始時間部分,分別使用霧日前一晚1200UTC(圖九)及霧日當天0000UTC(圖十)測試其成效,發現模擬霧區範圍大致相符,惟0000UTC較1200UTC強度些弱及範圍些小。從測站模擬霧比對實際發生霧的時間,馬祖測站時間相符,金門測站則是有提前模擬出霧的情況,期藉由其他參數調整研究後,發展更符合能見度預報之公式。

#### 五、結論

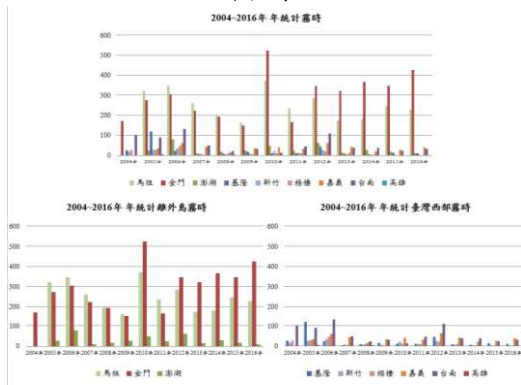
本研究使用觀測資料統計及能見度公式模擬兩種方法(表二),發現以發生霧的頻率來看,外島以金門和馬祖發生霧次數最高,西部地區則以嘉義和臺南次數最高,而外島和西部發生霧重疊的月份為12~4月,故在選取個案依上述區間為主;比較實際天氣與分析國外能見度公式FSL及SW99的每日模擬,發現1~3月以FSL模擬效果較優,而4~6月以SW99模擬效果較優,地區來劃分,外島必須使用SW99,而西部則必須使用FSL,方能最佳模擬其能見度。預提升霧

的預報準確度,模式必須充分掌握霧的結構與發展,而霧的結構與發展又與模式的各種參數息息相關。因此除了繼續分析尚未完成的參數調整問題,將繼續分析國外能見度公式預報之差異,期望提升WRF對霧的預報能力,以供預報作業參考。研究成果若能充分應用在預報作業單位上,將可使軍事作戰及交通運輸之人力資源運用達到最佳境界,且在氣象科技交流上,理論研究與實際應用不會脫節。

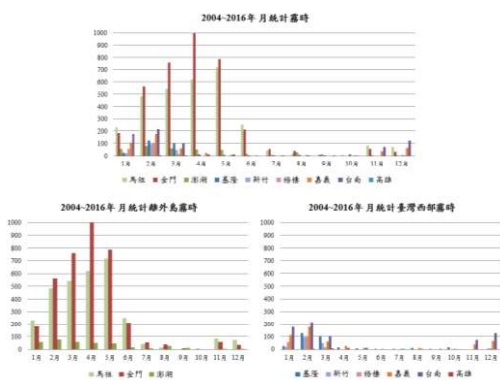
#### 六、參考文獻

- 周同整理,2007,大霧籠罩中國大地,正見網。
- 柯銘強,2011,霧的用途:一個食水來源,香港天文台。
- 解濱,2015,長江船難:東方之星至少破3項世界紀錄,阿波羅新聞網。
- 樊琦、王東海、黃聰敏、范紹佳、王安宇、馮瑞權,2009,一次廣東省大霧過程的數值模擬分析,熱帶氣象學報,第25卷,第5期。
- 謝明昌、鄭師中、黃椿喜、謝旻耕,2010,台灣地區成霧預報指引之建立,警專學報,第四卷,第八期,第144頁。
- Carl Sandburg, 2007, "Just about Everything You Wanted to Know about Fog," articles from PARA SEEK website.
- 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.
- GAO Shanhong, LIN Hang, SHEN Biao, and FU Gang, 2007, "A Heavy Sea Fog Event over the Yellow Sea in March 2005: Analysis and Numerical Modeling," Advances in Atmospheric Sciences, Vol. 24, No. 1, pp.65-81.
- Mariusz Pagowski, Ismail Gultepe, and Patrick King, Jourany 2004, "Analysis and Modeling of an Extremely Dense Fog Event in Southern Ontario," Journal of Applied Meteorology, Colume43.
- Paul J. Croft, Russell L. Pfost, Jeffrey M. Medlin, G. Alan Johnson, September 1997, "Fog Forecasting for the Southern Region: A Conceptual Model Approach," Croft Et Al.
- Stoelinga, M. T., and T. T. Warner, 1999, "Nonhydrostatic, Mesobeta-Scale Model Simulations of Cloud Ceiling and Visibility for an East Coast Winter Precipitation Event," J. Appl. Met., Vol. 38, pp.385-404.

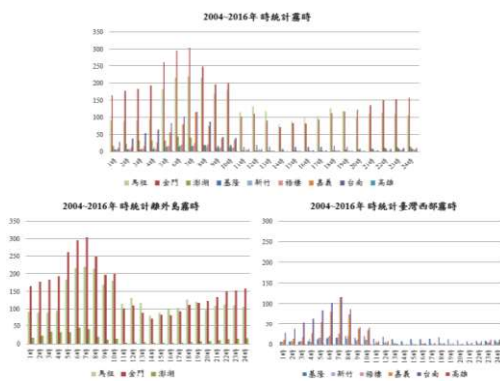
### 七、圖表彙整



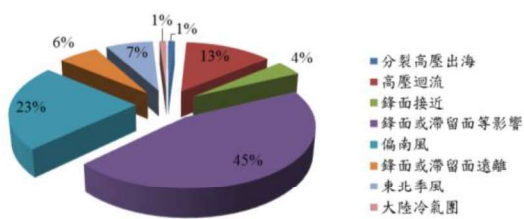
圖一 2004~2016年統計霧時。



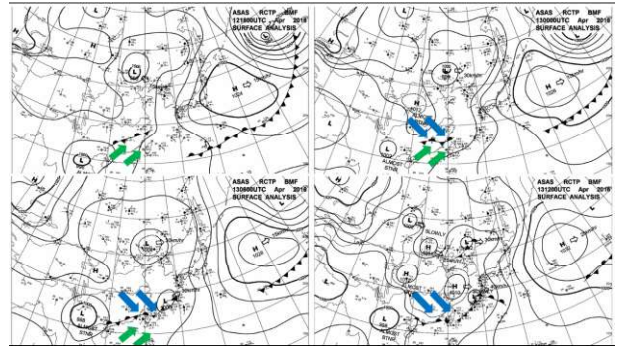
圖二 2004~2016 月統計霧時。



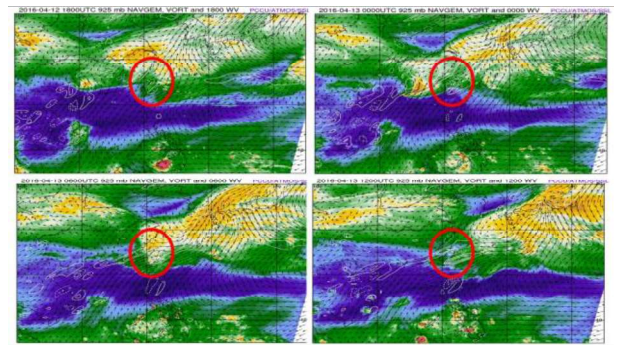
圖三 2004~2016 時統計霧時。



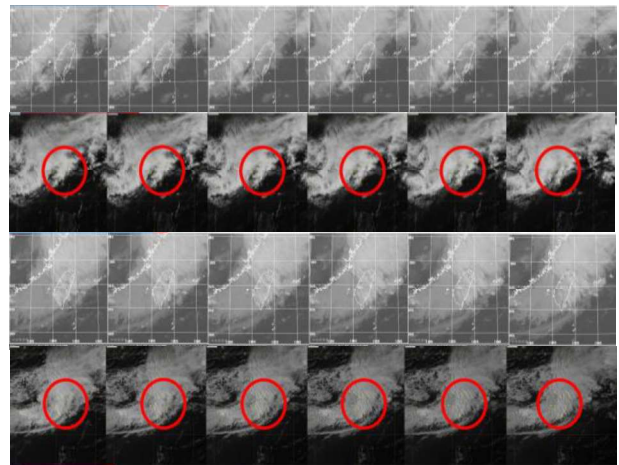
圖四 天氣型態統計圖。



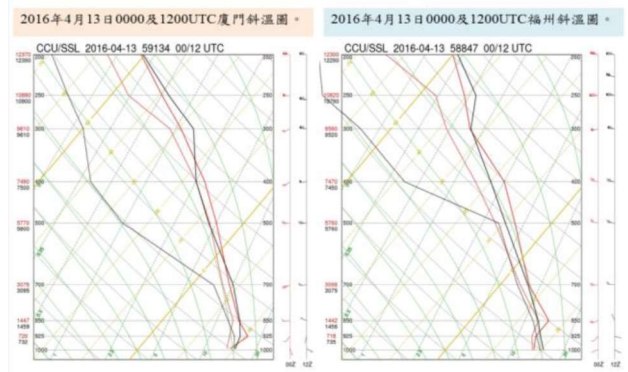
圖五 地面天氣圖。



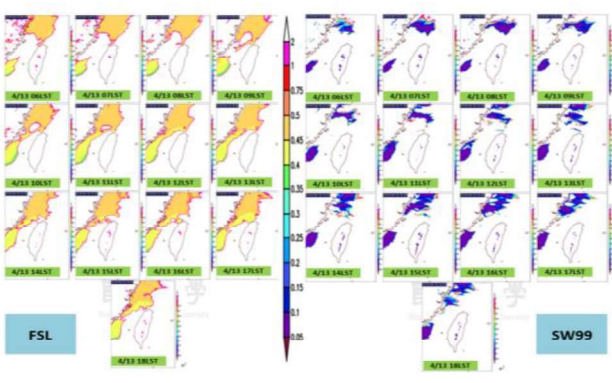
圖六 925hPa 的風場及水汽圖。



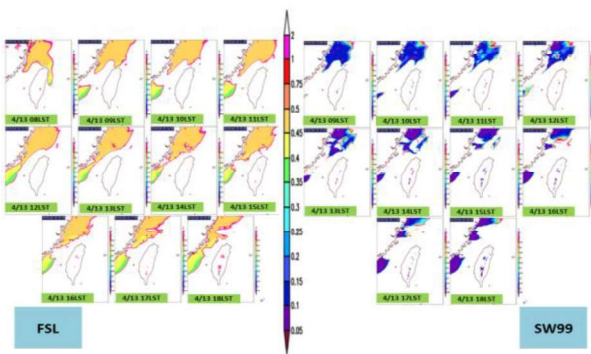
圖七 紅外線雲圖及可見光雲圖。



圖八 斜溫圖。



圖九 模擬霧日初始時間 1200UTC 圖。



圖十 模擬霧日初始時間 0000UTC 圖。

表一 數值模擬相關設定

Model options	Specification
Domain and resolution	Lambert projection with central point at 23°N, 120°E; two-way nesting in D1 and D2 with grid points of 164×134 and 210×190, horizontal resolutions of 25 and 5km, respectively; and 41 h <sup>o</sup> vertical levels.
Time step	Adaptive time step (90s for D1)
Planetary Boundary layer	Yonsei University scheme Shin-Hong scheme
Cumulus Parameterization	Kain-Fritsch scheme Grell-Freitas (GF) scheme Multi-scale Kain-Fritsch scheme
Microphysics	Lin et al. scheme WRF Single-Moment 5-class scheme WRF Single-Moment 6-class scheme
Longwave Radiation	RRTM scheme RRTMG scheme
Shortwave Radiation	Dudhia scheme
Surface Layer	Revised MM5 surface layer scheme
Land Surface	5-layer thermal diffusion

\* $\beta$  1.0, 0.99, 0.997, 0.994, 0.99, 0.985, 0.979, 0.972, 0.964, 0.955, 0.945, 0.934, 0.922, 0.909, 0.895, 0.88, 0.864, 0.847, 0.829, 0.81, 0.79, 0.769, 0.747, 0.724, 0.7, 0.675, 0.649, 0.621, 0.591, 0.559, 0.525, 0.489, 0.451, 0.411, 0.367, 0.319, 0.267, 0.211, 0.149, 0.081, and 0

表二 使用觀測資料統計及能見度公式兩種方法。

統計	觀測資料			
	以地區區分	以月區分	以時區分	以天氣型態
外島	金門 馬祖	11~6月	1~24時	鋒面或滯留面等影響 其次偏南風 再者高壓迴流影響
台灣西部	嘉義 台南	12~4月	1~10時	
能見度公式				
	成功率	以月區分	區分離外島及西部	不分地區
FSL	都達 80%以上	1~3月優	西部優於SW99 4%	FSL優SW99 1%
SW99		4~6月優	外島優於FSL 5%	

## Analysis and Forecast of the Low-Level Visibility in Taiwan and Its Surrounding Areas

Chia-Ling Liang、Chi-Chang Liao and Jian-Liang Wang

Department of Environmental Information and Engineering,  
CCIT, National Defense University

### Abstract

Fog is a common weather phenomenon, which can also be regarded as near the surface layer of clouds. According to statistics, fog caused traffic accidents, 2.5 times higher than other disastrous weather conditions. Taiwan belongs island climate with abundant moisture. In the late winter and early spring, traffic is affected by fog. Therefore, it is necessary to master the mechanism of Taiwan and its surrounding fog. In this study, we first analyze the observational data of Taiwan from 2004 to 2016, and study the fog types. We judged the outer islands are mainly composed of advection fog, and the main fog of the island is radiation fog and the results are established to reference value. Secondly, according to the overseas visibility prediction formula, the numerical simulation results of the foggy day in January to June 2016 were investigated. The success rate of prediction formula was over 80%. Finally, using WRF simulation to study the case of April 13, 2016, the results show that FSL simulated fog area bigger than SW99, which throughout the entire Strait, but we only have Matsu and Kinmen station can observe and verification data. We can not sure whether there was fog, but we know the actual area of the fog does not only happen in single point. In addition, from the intensity analysis, SW99 shows the value of visibility is closer to reality.

**Keywords:** fog, WRF, visibility formula