

空軍「能見度定量預報」計畫之初步成果

鳳錦暉¹ 戴志輝¹ 林得恩¹ 陳正平²

¹ 空軍氣象聯隊氣象中心

² 國立台灣大學大氣科學系

摘 要

能見度的預報是本軍氣象部隊最重要的服務項目之一，現行作業多以天氣診斷結合主觀經驗的方式進行，但預報結果經常受到使用者的挑戰。氣象聯隊透過國防科技學術合作案，委託國立臺灣大學大氣科學系陳正平教授，執行「能見度定量預報」相關技術開發，執行迄今，除了數值天氣預報流程中相關理論及技術的開發之外，還同步進行歷史資料的分析，並在以下兩項子議題上獲得初步成果，包括：（一）迴歸分析顯示，氣膠是影響本軍各機場能見度變化的重要因子，即在能見度的預報流程中，氣膠的物理化學作用必須考慮；（二）在數值模式未臻成熟之前，機率對照表的應用，暫時可作為能見度定量預報客觀方法的參考。

關鍵字：能見度、氣膠、定量預報、機率對照表

一、前言

能見度變化影響本軍任務甚鉅。能見度的預報，對國內其他氣象作業單位而言，是次要的服務項目，但本軍任務必須依循嚴格的操作標準，準確地評估能見度，就成為氣象部隊獨特的服務項目之一。本軍氣象部隊在能見度預報實作上經常遭遇的情況是，一張隔夜的地面天氣圖加一份過時的探空分析，往往難以區隔各個機場之間的局部差異，即使是有多年預報經驗的老手，運用同樣的資料，也難免會出現主觀認知上的差別，以致造成決策的衝突，更何況定性的經驗預報本身並非具體的證據，實在難以讓任何使用者或決策者信服，以致於本軍氣象部

隊的能見度預報，一直都是被挑戰最多的項目。由於國內其他作業單位均欠缺相關技術可供參考，氣象聯隊必須自行尋求解決方案。

能見度變化常以一般所熟知的霧狀態呈現，其成因及型態很多，如海洋層積雲的過渡（Koracin, 2000），海溫局部差異（Cho et al. 2000）與冷氣團變性（Croft et al. 1997）等，而有關於霧的診斷及預報，本軍前輩亦多所著墨（王，2004；潘與吳，2001）。以台灣地區冬、春季常出現的輻射霧而言，除了受到綜觀天氣系統與夜間邊界層（nocturnal boundary layer）兩種尺度大氣系統的節制之外，亦與垂直風切、地形、土壤過程及植被等局部環境因素關係密切；以上

各種尺度天氣系統與環境的影響，最終都透過氣膠與大氣的交互作用，反映在能見度的改變上。氣膠是指穩定地懸浮於空氣中的固體或液體微粒，一般大小在0.01~10微米(μm , μ 為 10^{-6})之間，可透過自然或人為(如工業排放之化學成分)方式產生；由於氣膠易與大氣中的水氣結合，又對光源(可見光)具有吸收或散射的效果，對能見度的改變十分敏感。即使不考慮天氣系統及局部環境因素，能見度改變的時機與地點，仍是十分複雜的氣膠、水氣與可見光三者之間的物理及化學問題。所以想要充分掌握並預知能見度的變化，現行以天氣圖分析結合作業經驗的定性評估，是無法完全滿足的，這使得量化能見度預報的技術，成為軍事氣象領域中急須突破的重點之一。

二、能見度定量預報的關鍵問題

既然能見度的定量預報，牽涉到綜觀天氣型態、邊界層大氣結構與氣膠的發展，我們就必須誠實地面對在現行的能見度預報作業流程中，究竟欠缺哪些關鍵技術核心，並尋求解決之道。綜觀天氣型態的分析與預測，不論就傳統觀測或數值預報模式，都已有大量穩定而成熟的資訊來源；但現今數值天氣預報的時、空間解析度，尚不足以完整地呈現邊界層內氣象要素的結構，與氣膠成份及濃度的變化。例如，與清晨輻射霧直接相關的夜間邊界層，往往只有數十至百公尺的厚度，在目前所有的數值天氣預報模式當

中，還找不到可提供這麼高解析度模擬的作業模式，更何況高解析度的模擬，還必須與高解析度的地形、植被、土壤過程相互搭配才有機會成功；又如，一般天氣預報模式都僅預報氣象要素(風速、溼度、溫度等)，欠缺對氣膠成份及濃度的預報，因此無法直接處理複雜的氣膠、水氣與可見光三者之間的物理過程。所以，將邊界層及氣膠發展的評估，盡量準確的放進作業流程中，應是發展能見度定量預報的關鍵技術。

空軍氣象聯隊在空軍司令部及國防部的支持下，自98年起即透過國防科技學術合作，委託台大大氣科學系陳正平教授執行「能見度定量預報」相關核心技術的開發與移植。陳教授主持之「雲與氣膠實驗室」，在一般熟知的種雲(人工增雨)理論與技術、雲模式的開發、大氣擴散或空氣污染等理論與應用領域研究成果做人；合作迄今，已確立將氣膠成份及濃度結合在能見度預報模式之必要性，然而欲透過數值天氣預報流程來完成能見度定量預報，尚牽涉許多理論與技術細節的開發、測試、校驗與轉移，在最終成果完成以前，台大團隊先利用歷史資料的統計分析，完成機率對照表(look-up table)的建立。本文將概述氣膠與能見度變化之相關性，以增進預報員與使用者對本議題之了解，並敘述應用機率預報系統於實際作業之作法。

三、氣膠與能見度變化之相關性

我們先把能見度改變的各種成見，像是平流霧、輻射霧等主觀想法暫時保留，單純從可見光傳遞過程來討論能見度改變的原因。首先，可見光是電磁波的一種，在頻譜分布中只佔其中的一小段；當可見光在空氣中進行，遇到空氣中的粒子(如氣膠)，會發生(1)透射、折射或反射等幾何光學現象，及(2)散射等情況(圖1; Kidder and Thomas, 2001)；而究竟會產生何種結果，是依可見光波長與粒子粒徑(半徑)大小的相對關係決定(圖1之灰色區間)，假設空氣中粒子均為小粒徑($<0.1 \mu\text{m}$)，可見光(波長 $0.4 \sim 0.7 \mu\text{m}$)將完全被散射掉，導致能見度的下降；其次，當空氣的相對溼度偏高，甚至達到飽和，即使親水性氣膠液滴的直徑可成長為較大(粒徑在 $0.1 \mu\text{m}$ 至 $1 \mu\text{m}$ 之間)(圖2, 王寶貴, 1996)，可見光仍大部分被散射掉，除非進一步成長為雲滴(cloud drop, 粒徑為 $10 \mu\text{m}$ 左右)，才有可能發生幾何光學現象；所以能見度的改變，幾乎均是可見光被大氣中粒子散射的結果；以上簡單說明氣膠、水氣及光線之間的物理化學關係。

利用2005至2007年冬半年(10月至3月)空軍機場與鄰近環保署測站資料(Lin et al. 2010)，透過線性複迴歸之統計分析，其中Visib為能見度，Mi代表月份變化及其他不確定因子，i為月份，BX是迴歸係數，x為各氣象參數；各機場均以相對溼度、PM2.5及PM10(大氣中懸浮微粒的主要質量濃度分布)對能見度改變最為敏感，而與月份相關之係數

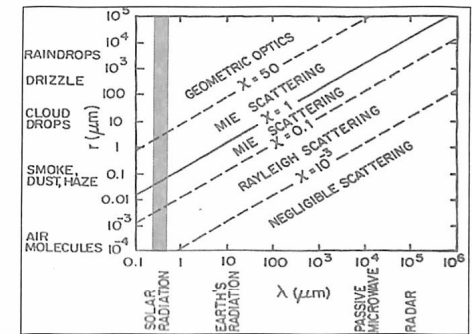


圖1 大氣粒子影響電磁波產生幾何光學或散射效應之粒徑(縱軸)—波長(橫軸)相關性(Kidder and Thomas, 2001)。

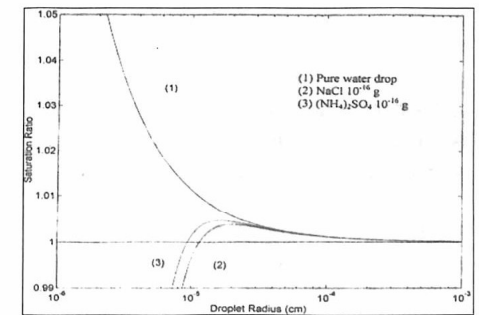


圖2 環境飽和程度(縱軸)與氣膠液滴粒徑成長(橫軸)相關性(王寶貴, 1996)。

均有所不同(表1)；結果建議氣膠的成分與濃度的變化，是評估能見度時所不可或缺的關鍵資訊，反而是在主觀預報中常被認為十分重要的風速，對能見度的敏感度並不如氣膠來的高。

可見光受氣膠影響的光學過程雖然無法直接模擬，但氣膠成份與濃度的預報卻可以透過數值天氣預報來達成，可是如同傳統氣象要素的預報一般，模擬所需的初始及邊界

$$\begin{aligned} \text{Visib} = & M_i + B_{(100 - RH)} \times [100 - RH] + B_{PM_{2.5}} \times [PM_{2.5}] \\ & + B_{PM_{10-2.5}} \times [PM_{10-2.5}] + B_{rain} \times [Rain] \\ & + B_{windspd} \times [Windspd] \end{aligned} \quad (1)$$

資訊之取得仍相當欠缺，未來得透過更多懸浮微粒監測或衛星反演技術來改善。但即使氣膠觀測資料齊備，模式中對於氣膠與水氣之間物理化學過程的計算格式是否完整，又是另外一個問題；目前氣象聯隊企圖引進的作法，暫以傳統氣象要素結合離線 (off-line) 處理的多重尺度空氣品質 (Community Multiscale Air Quality, CMAQ) 模式為主，未來則將繼續與學界合作，直到包含直接計算化學過程的作業模式 (如 WRF-CHM) 建立與調校完成為止。實測低相對溼度環境下，MM5 (Fifth Generation NCAR/Penn State Mesoscale Model) 氣象場輸入 CMAQ 的結果，對霾的預報表現還不錯，不過要成功運用於高相對溼度環境下，CMAQ 的部分化學模組還需要進一步改進。

四、機率對照表的應用

以數值模式來進行氣膠的成分與濃度預報，並計算氣膠與大氣之間的交互作用，是減少主觀預報誤差的可行方式之一，但所需技術尚在進行理論研究或測試中，在引進 CMAQ 的同時，或未來在最常被作業單位使用的 WRF-CHEM (Weather Research and Forecast Model 之化學版本) 建立完成以

後，根據與能見度相關因子 (Lin et al. 2010) 的歷史資料統計分析，所建立的機率預報系統，也可以提供預報員客觀資訊進行能見度預報的作業。在機率預報系統中，4 個與能見度相關的因子分述如下：

- (1) 空氣中，直徑 2.5 微米以下懸浮微粒的質量濃度 ($PM_{2.5}$)。
- (2) 空氣中，直徑 10 微米以下懸浮微粒的質量濃度 (PM_{10})。
- (3) 相對溼度。
- (4) 風速。

上述相關因子， PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 和相對溼度採用與機場地理位置相近之環保署地面測站之資料，風速與能見度則是利用機場內的觀測值，作為統計上的依據，必須說明的是，目前的機率對照表並未將降雨與否納入分析，這是唯一與 Lin et al. (2010) 建議作法不同之處。能見度好壞的分辨，是以一般禁航標準的 1600 公尺區分為兩種，低能見度為 1600 公尺以下，另一類為等於或高於 1600 公尺。選取全台 13 個機場，分別為桃園、新竹、清泉崗、嘉義、台南、岡山、屏東北場、屏東南場、馬公、花蓮、佳山、台東與綠島，對應之環保署測站及其經、緯度位置如表 2。其中嘉義機場與環保署嘉義、新港與朴子三

個測站的地理位置皆十分接近，所以對此三個測站做統計分析，以便未來能夠進行比較與進一步應用。

選定機場與相對應之環保署測站以及 4 個與能見度相關的因子後，便進行各組參數之統計，取四分位距作為分級的依據，各參數分級之後如表 3。在降雨量方面，由於降雨時數較少，在四分位數分析時，從第一到第三、四分位距 ($Q1 \sim Q3$) 降雨量皆為 0，故此次分析中，先忽略去降雨對能見度的影響。未來可再將降雨量簡化為二分位，即下雨與無雨，提供更多分析之依據。各組資料分別從 2004 年或 2005 年開始至 2009 年 12 月止，將這期間每個小時所對應天氣因子與污染物情況和能見度進行分類與統計，得到在不同的天氣因子與空氣污染的條件之下，發生能見度大於 1600 公尺以及小於或等於 1600 公尺的機率高低，即能見度高、低發生的機率。總計針對 13 個機場建立檢查表；表 4 以桃園機場為例，當取得觀測之風速、 PM_{10} 濃度、 $PM_{2.5}$ 濃度和相對溼度後，便能查表得到某些條件下，發生高能見度以及低能見度的機率。假定某時間下，觀測風速為 2 ms^{-1} 、 PM_{10} 為 $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $PM_{2.5}$ 為 $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 且相對溼度為 95%，故該時間的風速落於分類 1、 PM_{10} 為分類 4、 $PM_{2.5}$ 為分類 3、相對溼度為分類 4。由檢查表，過去在這樣的天气狀況與污染物條件之下，發生高能見度的機率為 83.1%，低能見度 (小於或等於 1600 公尺) 則為 16.9%。表 4 相當冗長，實際應

用時以程式進行選取。

在數值天氣預報流程未發展成熟之前，對照表是不錯的選擇；以本軍及環保署長期環境與氣象參數所製成之查對表，可輔助預報員簡單地完成客觀的能見度預報，作為統一決策的參考依據之一。目前台大團隊提供 5 年資料分析所得之對照表，本聯隊後續將分析 10 年的氣象及環境參數，自行建立等級區分更細 (例如低於 1600 公尺、1600 公尺以上~3000 公尺、3000 公尺以上~4800 公尺、4800 公尺以上~6000 公尺及 6000 公尺以上等 5 個等級) 的機率對照表，以符合作業實需。

五、結語

能見度的預報必須考慮氣膠、水氣與可見光的物理與化學效應，然而這些效應的評估，並非傳統天氣分析可以達成，必須仰賴包含可預報化學成分與濃度變化的數值預報模式方能成功；此類模式以 WRF-CHEM 最具代表性，但其中仍有許多與本地環境相關的物理計算模組仍待開發、測試與置換，此為本聯隊將持續與學界合作的議題。此外，根據與能見度變化最相關的氣象與環境因子，所建立之機率預報表，為另一客觀的預報參考依據。

參考文獻

- 王義發，2004：台灣西北部機場低雲幕個案探討。《氣象預報與分析》，179，21-26 頁。
王寶貫，1996：《雲物理學》，渤海堂出版。

潘大綱與吳俊憲，2001：輻射霧的物理過程與個案分析。*氣象預報與分析*，166，29-48 頁。

Cho, Y. K., M. O. Kim and B. C. Kim, 2000：Sea Fog around Korean Peninsula. *J. Applied Meteor.*, 39, 2473-2479.

Croft, P. J., R. L. Pfost, J. M. Medlin and G. A. Johnson, 1997：Fog Forecasting for the Southern Region：A Conceptual Model Approach. *Wea. Forecasting.*, 12, 545-556.

Kidder, S. Q., and H. V. H. Thomas, 2001：Satellite Meteorology：An Introduction, Academic Press.

Koracin, D., J. Lewis, W. T. Thompson, C. E. Dorman, and J. A. Businger, 2001：Transition of stratus into fog along the California coast：Observations and modeling. *J. Atmos. Sci.*, 58, 1714-1731.

Lin, J. C. H., J. H. Tai, C. H. Feng, and D. E. Lin, 2010: Towards improving visibility forecasts in Taiwan: A statistical approach. *T. A. O.*, 21, 359-374.

作者介紹

林得恩上校，空軍通信電子學校專科 76 年班，國立台灣大學碩士、博士（98 年畢），曾任區隊長、侍從官、預報長、課長、科長、副主任、主任，現任空軍氣象聯隊參謀長。

戴志輝中校，空軍通信電子學校專科 78 年班，國立台灣大學碩士、博士（99 年畢），

曾任氣象官、預報長、第八天氣中心主任，現任空軍氣象中心副主任。

鳳錦暉少校，國防大學理工學院物理系 87 年班、應用物理研究所 97 年班，曾任氣象官，現任空軍氣象中心預報長。

陳正平教授，曾任空軍氣象聯隊第六天氣中心氣象官，美國賓州大學博士，現任國立台灣大學大氣科學系教授。

表 1 線性複迴歸統計本軍各機場於各月份能见度與氣象因子之迴歸係數

Station	R ²	residerr [m]	M ₀₁ [m]	M ₀₂ [m]	M ₀₃ [m]	M ₀₄ [m]	M ₁₁ [m]	M ₁₂ [m]	B _(100-RH) [m/%]	B _{PM2.5} [m/(μg/m ³)]	B _{PM10-2.5} [m/(μg/m ³)]	B _{Rain} [m]	B _{Wind} [m/(m/s)]
PO	0.61	1774	5854	5629	6800	6921	6901	6953	161.1	-58.39	-26.54	-1217	45.37
GM	0.56	1898	5955	6400	6846	7063	7890	7491	139.6	-62.58	-24.18	-1981	79.01
MQ	0.44	2325	4096	3299	4734	4520	5517	5348	186.5	-30.93	-33.74	-1135	77.38
KU	0.48	2060	5808	5107	5756	6766	6492	6933	190	-46.72	-12.28	-935	92.40
NN	0.50	1769	5790	5656	6135	6167	6570	6803	176.2	-47.48	-19.89	-897	45.01
AY	0.54	1716	7010	6901	6928	6844	7472	7609	176.1	-55.52	-13.37	-1100	-64.12
SQ	0.35	1818	4777	4907	4945	4796	5007	5456	167.1	-41.91	-	-1293	-
DC	0.33	1844	4699	4774	4913	4726	4925	5429	169.7	-41.86	-	-1204	-
QC	0.47	1911	6021	5952	6806	7105	7203	7094	114.4	-51.65	-	-568	-
YU	0.31	1336	9387	9469	9640	9428	9693	9713	59.77	-55.09	-	-1902	-
CS	0.33	1295	9304	9396	9575	9288	9559	9676	63.89	-51.18	-	-1825	-
ZN	0.35	960.5	9430	9253	9341	9309	9487	9522	38.1	-53.15	-5.711	-1685	-
LT	0.32	1588	6164	6228	6562	6482	7080	6757	126.2	-	-	-1619	-

表 2 空軍機場與環保署測站位置之對應表。

機場名稱	英文代號	環保署測站	latitude	longitude
桃園	RCGM	大園	25.03	121.12
新竹	RCPO	新竹	24.48	120.58
清泉崗	RCMQ	沙鹿	24.13	120.34
嘉義	RCKU	嘉義	23.27	120.26
		新港	23.33	120.20
		朴子	23.27	120.14
台南	RCNN	台南	22.59	120.12
岡山	RCAY	楠梓	22.44	120.19
屏東(北場)	RCSQ	屏東	22.40	120.29
屏東(南場)	RCDC	屏東	22.40	120.29
馬公	RCQC	馬公	23.34	119.33
花蓮	RCYU	冬山	24.38	121.47
佳山	RCCS	冬山	24.38	121.47
台東	RCZN	台東	22.45	121.09
綠島	RCLT	台東	22.45	121.09

表 3 機場能見度各相關因子分組表

機場名稱	環保署測站	a.風速(m/s)	b.PM10($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	c.PM2.5($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	d.相對溼度(%)
桃園	大園	V<3	PM ₁₀ <31	PM _{2.5} <16	RH<67.8
		3≤V<8	31≤PM ₁₀ <44	16≤PM _{2.5} <25	67.8≤RH<76.1
		8≤V<15	44≤PM ₁₀ <63	25≤PM _{2.5} <40	76.1≤RH<83.6
		15≤V	63≤PM ₁₀	40≤PM _{2.5}	83.6≤RH
新竹	新竹	V<3	PM ₁₀ <29	PM _{2.5} <16	RH<64.0
		3≤V<9	29≤PM ₁₀ <43	16≤PM _{2.5} <26	64.0≤RH<72.0
		9≤V<16	43≤PM ₁₀ <65	26≤PM _{2.5} <42	72.0≤RH<79.7
		16≤V	65≤PM ₁₀	42≤PM _{2.5}	79.7≤RH
清泉崗	沙鹿	V<4	PM ₁₀ <33	PM _{2.5} <16	RH<67.1
		4≤V<8	33≤PM ₁₀ <52	16≤PM _{2.5} <27	67.1≤RH<74.4
		8≤V<14	52≤PM ₁₀ <79	27≤PM _{2.5} <44	74.4≤RH<80.7
		14≤V	79≤PM ₁₀	44≤PM _{2.5}	80.7≤RH
嘉義	嘉義	V<3	PM ₁₀ <44	PM _{2.5} <25	RH<63.5
		3≤V<5	44≤PM ₁₀ <72	25≤PM _{2.5} <42	63.5≤RH<73.5
		5≤V<8	72≤PM ₁₀ <107	42≤PM _{2.5} <63	73.5≤RH<80.3
		8≤V	107≤PM ₁₀	63≤PM _{2.5}	80.3≤RH
	新港	V<3	PM ₁₀ <41	PM _{2.5} <23	RH<66.6
		3≤V<5	41≤PM ₁₀ <65	23≤PM _{2.5} <36	66.6≤RH<76.0
		5≤V<8	65≤PM ₁₀ <101	36≤PM _{2.5} <55.3	76.0≤RH<82.1
	朴子	8≤V	101≤PM ₁₀	55.3≤PM _{2.5}	82.1≤RH
		V<3	PM ₁₀ <44	PM _{2.5} <22	RH<67.1
台南	台南	3≤V<5	44≤PM ₁₀ <66	22≤PM _{2.5} <32	67.1≤RH<77.0
		5≤V<8	66≤PM ₁₀ <100	32≤PM _{2.5} <50.0	77.0≤RH<84.1
		8≤V	100≤PM ₁₀	50.0≤PM _{2.5}	84.1≤RH
		V<3	PM ₁₀ <40	PM _{2.5} <23	RH<65.5
岡山	楠梓	3≤V<6	40≤PM ₁₀ <64	23≤PM _{2.5} <38	65.5≤RH<73.4
		6≤V<9	64≤PM ₁₀ <97	38≤PM _{2.5} <57	73.4≤RH<80.3
		9≤V	97≤PM ₁₀	57≤PM _{2.5}	80.3≤RH
		V<2	PM ₁₀ <46	PM _{2.5} <25	RH<63.2
綠島	台東	2≤V<5	46≤PM ₁₀ <75	25≤PM _{2.5} <42	63.2≤RH<72.3
		5≤V<8	75≤PM ₁₀ <110	42≤PM _{2.5} <62	72.3≤RH<79.6
		8≤V	110≤PM ₁₀	62≤PM _{2.5}	79.6≤RH
		V<4	PM ₁₀ <19	PM _{2.5} <8	RH<68.4
馬公	馬公	4≤V<9	19≤PM ₁₀ <29	8≤PM _{2.5} <12	68.4≤RH<74.0
		9≤V<14	29≤PM ₁₀ <43	12≤PM _{2.5} <20	74.0≤RH<79.6
		14≤V	43≤PM ₁₀	20≤PM _{2.5}	79.6≤RH

表 3(續) 機場能見度各相關因子分組表

機場名稱	環保署測站	a.風速(m/s)	b.PM10($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	c.PM2.5($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	d.相對溼度(%)
屏東(北場)	屏東	V<0	PM ₁₀ <46	PM _{2.5} <25	RH<63.5
		0≤V<2	46≤PM ₁₀ <72	25≤PM _{2.5} <44	63.5≤RH<74.0
		2≤V<4	72≤PM ₁₀ <104	44≤PM _{2.5} <65.3	74.0≤RH<81.6
		4≤V	104≤PM ₁₀	65.3≤PM _{2.5}	81.6≤RH
屏東(南場)	屏東	V<0	PM ₁₀ <46	PM _{2.5} <25	RH<63.5
		0≤V<3	46≤PM ₁₀ <72	25≤PM _{2.5} <44	63.5≤RH<74.0
		3≤V<5	72≤PM ₁₀ <104	44≤PM _{2.5} <65.3	74.0≤RH<81.6
		5≤V	104≤PM ₁₀	65.3≤PM _{2.5}	81.6≤RH
花蓮	冬山	V<7	PM ₁₀ <28	PM _{2.5} <11	RH<71.2
		7≤V<12	28≤PM ₁₀ <41	11≤PM _{2.5} <20	71.2≤RH<77.5
		12≤V<17	41≤PM ₁₀ <58	20≤PM _{2.5} <32	77.5≤RH<82.8
		17≤V	58≤PM ₁₀	32≤PM _{2.5}	82.8≤RH
佳山	冬山	V<3	PM ₁₀ <26	PM _{2.5} <9	RH<71.8
		3≤V<5	26≤PM ₁₀ <40	9≤PM _{2.5} <16	71.8≤RH<81.2
		5≤V<8	40≤PM ₁₀ <57	16≤PM _{2.5} <26	81.2≤RH<87.3
		8≤V	57≤PM ₁₀	26≤PM _{2.5}	87.3≤RH
台東	台東	V<0	PM ₁₀ <22	PM _{2.5} <8	RH<72.1
		0≤V<3	22≤PM ₁₀ <37	8≤PM _{2.5} <15	72.1≤RH<81.0
		3≤V<6	37≤PM ₁₀ <54	15≤PM _{2.5} <25	81.0≤RH<86.7
		6≤V	54≤PM ₁₀	25≤PM _{2.5}	86.7≤RH
綠島	台東	V<3	PM ₁₀ <19	PM _{2.5} <8	RH<68.3
		3≤V<5	19≤PM ₁₀ <28	8≤PM _{2.5} <13	68.3≤RH<74.1
		5≤V<8	28≤PM ₁₀ <41	13≤PM _{2.5} <21	74.1≤RH<80.0
		8≤V	41≤PM ₁₀	21≤PM _{2.5}	80.0≤RH
馬公	馬公	V<4	PM ₁₀ <19	PM _{2.5} <8	RH<68.4
		4≤V<9	19≤PM ₁₀ <29	8≤PM _{2.5} <12	68.4≤RH<74.0
		9≤V<14	29≤PM ₁₀ <43	12≤PM _{2.5} <20	74.0≤RH<79.6
		14≤V	43≤PM ₁₀	20≤PM _{2.5}	79.6≤RH

表 4 桃園機場能見度之機率對照表

風速	1	V<3	2	3≤V<8	3	8≤V<15	4	15≤V
PM ₁₀	1	PM ₁₀ <31	2	31≤PM ₁₀ <44	3	44≤PM ₁₀ <63	4	63≤PM ₁₀
PM _{2.5}	1	PM _{2.5} <16	2	16≤PM _{2.5} <25	3	25≤PM _{2.5} <40	4	40≤PM _{2.5}
RH	1	RH<67.8	2	67.8≤RH<76.1	3	76.1≤RH<83.6	4	83.6≤RH

RCGM						
風速	PM ₁₀	PM _{2.5}	相對溼度	高能見度 (%)	低能見度 (%)	平均能見度 (m)
1	1	1	1	100	0	9999
1	1	1	2	100	0	9832.4
1	1	1	3	100	0	9680
1	1	1	4	97.4	2.6	7478.3
1	1	2	1	100	0	9915.8
1	1	2	2	100	0	9979.8
1	1	2	3	100	0	9721.7
1	1	2	4	95	5	7876.9
1	1	3	1	100	0	9427.9
1	1	3	2	100	0	9713.5
1	1	3	3	100	0	9694.9
1	1	3	4	88.9	11.1	7005.2
1	1	4	1	100	0	9000
1	2	1	1	100	0	9899.1
1	2	1	2	100	0	9941.4
1	2	1	3	100	0	9599.2
1	2	1	4	95.7	4.3	7639.6
1	2	2	1	100	0	9978.6
1	2	2	2	100	0	9890.7
1	2	2	3	100	0	9608.3
1	2	2	4	97.3	2.7	7781
1	2	3	1	100	0	9774.7
1	2	3	2	100	0	9843.6
1	2	3	3	100	0	9362.1
1	2	3	4	93.1	6.9	6874.1
1	2	4	1	100	0	9249.3
1	2	4	2	100	0	9166
1	2	4	3	100	0	9554.8
1	2	4	4	100	0	6254.3
1	3	1	1	100	0	9999
1	3	1	2	100	0	9999
1	3	1	3	100	0	8499.5
1	3	1	4	93.8	6.3	7224.7
1	3	2	1	100	0	9910.8
1	3	2	2	100	0	9899.1
1	3	2	3	100	0	9325.2
1	3	2	4	98.6	1.4	7749.7
1	3	3	1	100	0	9844.5

RCGM						
風速	PM ₁₀	PM _{2.5}	相對溼度	高能見度 (%)	低能見度 (%)	平均能見度 (m)
1	3	3	2	100	0	9410.7
1	3	3	3	100	0	9050.2
1	3	3	4	95.8	4.2	6722.1
1	3	4	1	100	0	9175.4
1	3	4	2	100	0	8814.4
1	3	4	3	100	0	8077.4
1	3	4	4	94.4	5.6	5655.1
1	4	1	1	100	0	9999
1	4	1	2	100	0	9332.7
1	4	1	3	100	0	9999
1	4	1	4	0	100	400
1	4	2	1	100	0	9999
1	4	2	2	100	0	9999
1	4	2	3	100	0	8499.5
1	4	2	4	100	0	6050
1	4	3	1	100	0	9415.4
1	4	3	2	98.2	1.8	8287.3
1	4	3	3	96.2	3.8	7590.7
1	4	3	4	83.1	16.9	5220.2
1	4	4	1	100	0	8059.2
1	4	4	2	99.5	0.5	7057.7
1	4	4	3	97.4	2.6	5623.2
1	4	4	4	80.6	19.4	3902.1
2	1	1	1	100	0	9999
2	1	1	2	100	0	9960.6
2	1	1	3	100	0	9701.7
2	1	1	4	97.3	2.7	7253.2
2	1	2	1	100	0	9959.8
2	1	2	2	100	0	9957.1
2	1	2	3	100	0	9767.1
2	1	2	4	96.8	3.2	7395.1
2	1	3	1	100	0	9936.6
2	1	3	2	100	0	9905.3
2	1	3	3	100	0	9485
2	1	3	4	98.1	1.9	7303.5
2	1	4	1	100	0	9000
2	1	4	2	100	0	9999
2	2	1	1	100	0	9999

RCGM						
風速	PM ₁₀	PM _{2.5}	相對溼度	高能見度 (%)	低能見度 (%)	平均能見度 (m)
2	2	1	2	100	0	9949.4
2	2	1	3	100	0	9499.2
2	2	1	4	97.2	2.8	7775.8
2	2	2	1	100	0	9982.1
2	2	2	2	100	0	9935.4
2	2	2	3	100	0	9429.6
2	2	2	4	96.8	3.2	7694.6
2	2	3	1	100	0	9921.5
2	2	3	2	100	0	9770.1
2	2	3	3	100	0	9349.5
2	2	3	4	98	2	7264.6
2	2	4	1	100	0	9799.1
2	2	4	2	100	0	9582.5
2	2	4	3	100	0	9166
2	2	4	4	100	0	6999.9
2	3	1	1	100	0	9694.8
2	3	1	2	100	0	9686
2	3	1	3	100	0	9560.2
2	3	1	4	88.9	11.1	7071.8
2	3	2	1	100	0	9888
2	3	2	2	100	0	9684.7
2	3	2	3	100	0	9324.6
2	3	2	4	96.6	3.4	7129.3
2	3	3	1	100	0	9806.3
2	3	3	2	100	0	9506.7
2	3	3	3	100	0	8533.7
2	3	3	4	93.8	6.2	6648
2	3	4	1	100	0	9262.6
2	3	4	2	100	0	8622.5
2	3	4	3	100	0	7738.3
2	3	4	4	99.1	0.9	5862.1
2	4	1	1	100	0	9999
2	4	1	2	100	0	9999
2	4	1	3	100	0	8749.5
2	4	1	4	100	0	4700
2	4	2	1	100	0	9856.3
2	4	2	2	100	0	8890.3
2	4	2	3	100	0	7571.1

RCGM						
風速	PM ₁₀	PM _{2.5}	相對溼度	高能見度 (%)	低能見度 (%)	平均能見度 (m)
2	4	2	4	80	20	5799.8
2	4	3	1	100	0	9343.8
2	4	3	2	100	0	8665.3
2	4	3	3	97.1	2.9	7230.6
2	4	3	4	80.7	19.3	5038.5
2	4	4	1	100	0	8128
2	4	4	2	100	0	6790.2
2	4	4	3	98	2	5478.4
2	4	4	4	81.1	18.9	4078.2
3	1	1	1	100	0	9979.2
3	1	1	2	100	0	9919.7
3	1	1	3	100	0	9485
3	1	1	4	99.3	0.7	7094.4
3	1	2	1	100	0	9945.7
3	1	2	2	100	0	9945
3	1	2	3	100	0	9464
3	1	2	4	97.8	2.2	7100.3
3	1	3	1	100	0	9999
3	1	3	2	100	0	9868.7
3	1	3	3	100	0	8447.9
3	1	3	4	97.4	2.6	7343.3
3	1	4	4	100	0	4000
3	2	1	1	100	0	9971.4
3	2	1	2	100	0	9909.5
3	2	1	3	100	0	9660.5
3	2	1	4	98.5	1.5	7618
3	2	2	1	100	0	9992.7
3	2	2	2	100	0	9889.6
3	2	2	3	100	0	9289.9
3	2	2	4	97.2	2.8	7271.1
3	2	3	1	100	0	9976.4
3	2	3	2	100	0	9776.2
3	2	3	3	100	0	8871.1
3	2	3	4	98.3	1.7	6335.8
3	2	4	1	100	0	9532.5
3	2	4	2	100	0	9999
3	2	4	3	100	0	8199.4
3	2	4	4	100	0	4720

RCGM						
風速	PM ₁₀	PM _{2.5}	相對溼度	高能見度 (%)	低能見度 (%)	平均能見度 (m)
3	3	1	1	100	0	9945.4
3	3	1	2	100	0	9744.2
3	3	1	3	100	0	9127.6
3	3	1	4	100	0	7036.1
3	3	2	1	100	0	9979.4
3	3	2	2	100	0	9763.8
3	3	2	3	99	1	8992.6
3	3	2	4	96.4	3.6	6567
3	3	3	1	100	0	9883.6
3	3	3	2	100	0	9337.9
3	3	3	3	100	0	8143.5
3	3	3	4	97.1	2.9	5924.4
3	3	4	1	100	0	9669.9
3	3	4	2	100	0	8722.2
3	3	4	3	100	0	7198.7
3	3	4	4	95.7	4.3	5083
3	4	1	1	100	0	9999
3	4	1	2	100	0	9999
3	4	1	3	100	0	8266.1
3	4	1	4	100	0	5000
3	4	2	1	100	0	9719.1
3	4	2	2	100	0	9374.3
3	4	2	3	100	0	8910.6
3	4	2	4	100	0	8000
3	4	3	1	100	0	9559
3	4	3	2	100	0	8779.3
3	4	3	3	100	0	7888.7
3	4	3	4	90.9	9.1	5181.8
3	4	4	1	100	0	8267.4
3	4	4	2	100	0	6870.2
3	4	4	3	100	0	5770
3	4	4	4	81.7	18.3	3790.3
4	1	1	1	100	0	9975.6
4	1	1	2	100	0	9813.6
4	1	1	3	100	0	8586
4	1	1	4	99.4	0.6	6727.9
4	1	2	1	100	0	9981.3
4	1	2	2	100	0	9863.5

RCGM						
風速	PM ₁₀	PM _{2.5}	相對溼度	高能見度 (%)	低能見度 (%)	平均能見度 (m)
4	1	2	3	100	0	9042.3
4	1	2	4	98.8	1.2	6924.1
4	1	3	1	100	0	9999
4	1	3	2	100	0	9845.2
4	1	3	3	100	0	8992.2
4	1	3	4	96.9	3.1	6418.6
4	1	4	1	100	0	9999
4	2	1	1	100	0	9980.4
4	2	1	2	99.5	0.5	9799.1
4	2	1	3	100	0	8483.8
4	2	1	4	97.8	2.2	6140.7
4	2	2	1	100	0	9953
4	2	2	2	100	0	9746.8
4	2	2	3	100	0	8599.5
4	2	2	4	97.5	2.5	6891.7
4	2	3	1	100	0	9913.3
4	2	3	2	100	0	9711.4
4	2	3	3	100	0	8240
4	2	3	4	98.7	1.3	5869.3
4	2	4	1	100	0	9999
4	2	4	2	100	0	9832.5
4	2	4	3	100	0	8199.8
4	2	4	4	100	0	4666.7
4	3	1	1	100	0	9971.2
4	3	1	2	100	0	9653
4	3	1	3	100	0	7703.9
4	3	1	4	100	0	6331
4	3	2	1	100	0	9975.4
4	3	2	2	100	0	9524.4
4	3	2	3	100	0	8139.5
4	3	2	4	98.1	1.9	6354.5
4	3	3	1	100	0	9901.2
4	3	3	2	100	0	9137.6
4	3	3	3	100	0	7897.3
4	3	3	4	98.8	1.2	5325.5
4	3	4	1	100	0	9675.3
4	3	4	2	100	0	8589.4
4	3	4	3	100	0	7023

RCGM						
風速	PM ₁₀	PM _{2.5}	相對溼度	高能見度 (%)	低能見度 (%)	平均能見度 (m)
4	3	4	4	100	0	4907.5
4	4	1	1	100	0	9825.2
4	4	1	2	100	0	8686.9
4	4	1	3	85.7	14.3	6657
4	4	1	4	100	0	4000
4	4	2	1	100	0	9700.9
4	4	2	2	100	0	8537.8
4	4	2	3	100	0	8187.1
4	4	2	4	100	0	5333.3
4	4	3	1	100	0	9497.2
4	4	3	2	100	0	8616.1
4	4	3	3	100	0	7435.5
4	4	3	4	100	0	4571.4
4	4	4	1	99.4	0.6	8337.2
4	4	4	2	100	0	6526
4	4	4	3	99.2	0.8	5248.4
4	4	4	4	84.1	15.9	3588.4

The preliminary achievements of Quantitative Visibility Forecasting Project

Chin-Hui Feng¹ Jyh-Huei Tai¹ De-En Lin¹ Jen-Ping Chen²

¹ Weather Center, Weather Wing of C.A.F., R.O.C

² Department of Atmospheric Sciences, National Taiwan University

Abstract

Visibility Forecasting, subjectively determined by the combination of weather diagnosis and experience, is one of the most important services of the Weather Wing of the R.O.C. Air Force. However, qualitative prediction is always queried and challenged by pilots or policy-making systems.

Quantitative Visibility Forecasting Project, supported by the Ministry of National Defense, has been carried out for over two years. With the assistance of the CARL (Cloud and Aerosol Research Laboratory) of National Taiwan University, two preliminary achievements are concluded as follows: (1) According to the result of regression analysis, aerosol is the most important factor for the variation of visibility. The physical and chemical influence of aerosol must be considered in the visibility forecast process. (2) Before the NWP comes to maturity, the probability lookup table can take for the consultation of the quantitative visibility forecast for a while.

Keywords: Quantitative Visibility Forecast, Aerosol, Lookup table