

## 波譜模式在輻射霧預報的研究

賴世運<sup>1</sup> 朱昌敏<sup>2</sup>

<sup>1</sup>空軍氣象聯隊氣象中心

<sup>2</sup>國防大學中正理工學院應用物理所

### 摘要

本文探討美國國家環境預報中心 (NCEP) 中尺度波譜模式 (MSM) 對輻射霧預報的預報能力。個案時間是 2002 年 12 月 17 日 20LST 至 18 日 08LST 發生在嘉義機場之輻射濃霧的天氣，機場地面觀測資料顯示 17 日 23LST 至次日 09LST 有輻射濃霧的發生，影響戰機清晨起降的正常操作。

模式模擬以中央氣象局全球預報系統之分析場作為區域波譜模式初始場與背景場，並從 17 日 00UTC 開始積分 24 小時。另考量嘉義機場 12 月份 10 年 (1993—2002) 夜間 (20—08LST) 適合輻射霧生成之綜觀環境下的實際氣候特性，提出了適合輻射濃霧判斷的參考閾值 (Threshold)，亦即露點溫度  $\geq 283\text{K}$  且溫度露點差  $\leq 1.2\text{K}$ 。實驗結果顯示：氣候閾值的應用有助於輻射濃霧預報判斷，且 MSM 模式是有能力掌握輻射濃霧的預報。另外，本文也嘗試探討邊界層地表參數 (如：反照率與地表粗糙度) 對輻射霧預報的影響，其結果顯示出模式的溫度預報對地表參數變動較為敏感，對露點溫度預報則不明顯。整體而言這兩者的變動量對於輻射霧預報的改善不顯著。

關鍵字：輻射濃霧、閾值、反照率、地表粗糙度

### 一、前言

霧常造成能見度的低降因而影響交通安全，根據美國海軍學院統計有 3% 的飛安事件係由霧所引起，而濃霧更使得能見度低降到足以危害飛航安全。以空中交通而言，機場濃霧瀰漫能見度不佳時，經常使得飛機起降無法正常操作，甚至發生空難事故。例如：2004 年 1 月 13 日於烏茲別克首都塔什幹一架雅克-40 小型客機在濃霧中試圖降落墜毀以及 2004 年 2 月 2 日嘉義機場清晨因輻射濃霧造成機場關閉等等案例不勝枚舉。

一般而言，霧可分為平流霧、鋒面霧、升坡霧、蒸汽霧及輻射霧，以上每一種霧的生成原因均有所不同，但其結果均造成能見度的低降。而本文所探討的輻射霧其

生成的環境條件為在微風 (風速  $\leq 5\text{kts}$ )、晴朗的天空及充足的水汽下，隨著夜幕低垂，地表長波輻射的冷卻降溫，最後使空氣中水氣凝結而成霧滴。霧是台灣地區眾多天氣現象中影響能見度好壞最為頻繁的視障，尤其是當機場濃霧發生時更使能見度低降到足以影響飛航安全。由於濃霧造成的低能見度標準對於不同機種其定義有所不同，一般而言水平能見度低於 1000 公尺視為低能見度 (濃霧)。然對於飛行速度較快的戰鬥機而言，依現行空軍機場的預報作業規定，低能見度係指水平能見度不足 1600 公尺。所以，為維護飛航安全及提供飛行員飛行計畫擬定，因而機場對霧的觀測與預報就扮演著重要的角色。

Meyer and Rao (1999) 利用簡單的一維模式預報輻射霧，文中定義當溫度露點

差 (T-Td) 小於 1°C 為輻射霧的肇始。Cho et al. (2000) 從韓國近海海上浮球十年的觀測資料統計發現，海霧生成時近地層空氣露點溫度必須大於 285K，並且露點溫度與海表面溫度差必須是大於 2K 的情況下才有 70% 以上的海霧發生機率。另外，Duykerke(1991) 利用一維模式研究輻射霧的形成、維持與消散，發現在晴朗的天空中如果忽略輻射冷卻的效果，就不會有輻射霧的形成，同時也發現不同地表的植被對溫度傳導有顯著影響，而這溫度的傳導對輻射冷卻有直接的相關。Korain et al. (2001) 也針對美國加州沿岸的海霧利用模式模擬與觀測值做驗證，得到海霧的生成與雲頂的輻射冷卻、低雲的下沉、暖海洋面上海氣交互作用、逆溫的強弱、逆溫層上空氣含水量的改變及海氣溫度的差異大小均影響著海霧的生成與維持時間的長短，這說明了水汽對霧的形成有著相當程度的影響。

一般傳統霧區的觀測，僅藉由觀測人員配合標的物目測方式及能見度儀量測兩種傳統方式，另外黃 (2000) 提到隨著科技的發展可藉由衛星資料在不同頻道特性偵測低雲與霧區，以彌補傳統方式受限於觀測站不足的缺失。對清晨濃霧預報而言，現行的作法是預報員憑藉著對先前之觀測資料、自身的專業背景與經驗做主觀預報，此種作法在預報時間上比較短，無法滿足我空軍作業需求亦較容易產生人為因素的預報誤差。因此，本研究的目的是嘗試透過模式模擬對濃霧做客觀的預報，以提升預報品質及增加濃霧發生預警時間，並著重於冬季因輻射冷卻所產生的輻射濃霧。圖 1 為台灣地區機場十年 (1993-2002) 逐月發生濃霧 (能見度 < 1600 公尺) 天數氣候統計長條圖。圖中顯示冬季 (12-2 月) 嘉義機場為發生濃霧天數最

多的機場。因此，本文將以探討嘉義機場為主並著重於 12 月份的輻射濃霧，且利用過去地面觀測資料的統計及透過模式的模擬對輻射濃霧做客觀預報的研究。以利提前掌握輻射濃霧的變化趨勢及避免人為主觀預報的誤差。

文中第二節為模式架構與研究方法，主要是說明模式之巢狀結構、物理過程設定，以及氣候閾值之選定。第三節是結果與討論。最後一節為結語。

## 二、模式架構與研究方法

本文藉由區域波譜模式 (RSM) 與 MSM 對輻射濃霧進行預報，初始值及背景場資料是利用中央氣象局全球預報系統之分析場資料，其資料內容包含地面層及追隨地勢座標 18 層的相關資料，水平網格解析約 240 公里。本研究採用四重巢狀模組架構，其預報策略參考任 (2003) 穩定型大氣最佳嵌代策略。前三重巢狀靜力模組架構垂直網格解析為 18 層，1000 公尺以下有 4 層，水平網格解析分別為 120 (A 網格)、60 (B 網格)、10 (D 網格) 公里。第四重為非靜力巢狀模組，水平網格解析為 5 公里，垂直網格解析增加為 28 層，其中 1000 公尺以下增加為 11 層，以提高邊界層的解析。東西向與南北向交錯之網格點數分別為 81\*55、81\*79、96\*95、81\*105。

由於因輻射冷卻而形成的輻射霧，除需要穩定大氣 (一般而言有沈降逆溫)、無雲或高雲的天空型態以利夜間長波輻射冷卻以及近地層的微風 ( $\leq 5$  kts) 做適度的垂直混和外，水汽 (露點溫度) 與相對濕度 (溫度露點差) 的多寡亦扮演的重要角色。一般而言此種適合輻射霧生成的環境，其溫度具明顯的日夜變化且 48 小時內溫度呈現雙峰的型態，並且兩雙峰值之最高溫差不超過 2K，亦無明顯之持續降溫情

況以及夜間無降水等天氣型態的發生。另外，輻射霧的生成、維持與消散之時間長短，具有地域性，這是因為各地區的地理環境的不同所致，如空氣中的懸浮粒子的多寡牽涉到水汽凝結、地表植被的不同牽涉到地表輻射冷卻的快慢、甚至於所在位置的經緯度都與輻射霧的生成有直接或間接關係。

研究方法係根據嘉義機場 12 月份 10 年 (1993-2002) 夜間 (20-08LST) 的觀測資料 (約 4030 筆) 進行統計分析。首先找出適合於輻射霧生成發展條件的逐時資料 1798 筆，在這 1798 逐時資料中，我們可分成 1478 筆沒有發生濃霧 (能見度  $\geq 1600$  公尺) 的逐時資料，其資料約佔總資料筆數 36.7% 與 320 筆發生濃霧 (能見度 < 1600 公尺) 的逐時資料，約佔總資料筆數 8%。

由 Cho et al. 和 Meyer and Rao 的研究顯示出霧的形成與相對濕度 (溫度露點差) 及可間接代表水汽含量的露點溫度有直接關係。因此筆者將利用露點溫度與溫度露點差作為氣候資料特性分析之依據 (如表 1)，找出最佳能夠區分有無輻射濃霧之掌握百分率的參考閾值。由表 1 顯示出當以溫度露點差  $\leq 0.9$ K 及露點溫度  $\geq 288$ K 時雖可掌握無輻射濃霧逐時資料達 92%，然對於輻射濃霧的資料卻僅能掌握 37%。而以溫度露點差  $\leq 2.0$ K 及露點溫度  $\geq 283$ K 時雖可掌握輻射濃霧逐時資料達 87%，卻對於無輻射濃霧的資料僅能掌握 42%。以上兩種閾值由於無法同時有效掌握輻射濃霧及無輻射濃霧的情況，以此應用於輻射濃霧預報容易造成誤判，因此均不適合做為閾值來應用。表中若以溫度露點差  $\leq 1.2$ K 及露點溫度  $\geq 283$ K 作為閾值時，可同時掌握 71% 的輻射濃霧及無輻射濃霧資料。換言之，以此作為閾值對於沒

有發生濃霧的 1478 筆逐時資料中，僅有 29% 被誤判為有濃霧的發生；而 320 筆發生濃霧的逐時資料中亦有 29% 被誤判為無濃霧的發生。亦即以露點溫度  $\geq 283$ K 且溫度露點差為  $\leq 1.2$ K 做為閾值的應用時，可獲得最佳的結果。

本研究即利用這個閾值應用於 MSM 的模擬以掌握輻射濃霧變化趨勢，提供輻射濃霧預報資訊。此外，本文亦探討單就模式反照率地表參數的修正對於輻射濃霧預報的影響。

## 三、結果與討論

綜觀天氣概述：根據日本氣象廳 2002 年 12 月 17 日 00UTC 地面天氣圖顯示 (圖略)，台灣地區受微弱大陸分裂高壓影響，高壓中心位於東海一帶，中心氣壓 1028hPa，並逐漸向東移動減弱，此時於華南內陸一帶開始有生波的跡象，台灣地區全省天氣晴朗，天空狀況良好。於 17 日 12UTC (圖 2a) 分裂高壓持續向東移出，高壓中心位於日本海，中心氣壓值持續下降為 1024hPa，此時華南一帶雖已有鋒面生成，但因距離甚遠，故尚未影響台灣，另外由紅外線雲圖 (如圖 2b) 配合同時間點可見光雲圖 (圖略) 顯示台灣上空並無濃厚的雲層。17 日 850hPa 00UTC 高空天氣圖 (圖略) 顯示，台灣地區正處於南南東風環境下，於 12UTC 逐漸轉為西南氣流 (圖 3a)。同時，18 日 00UTC 圖中 (圖 3b) 顯示 17 日夜間至 18 日清晨有一暖濕空氣從南海向台灣西南方輸送，提供輻射霧生成的有利環境。於此，從嘉義機場實際地面逐時觀測資料 (表略) 亦可充分瞭解，當時天空狀況在輻射濃霧 (23LST) 出現前，均為疏雲到 10000 呎以上裂雲。

另外，由地面天氣圖 (如圖 2a) 所示，可知台灣地區氣壓梯度微弱 (氣壓梯度 ~

10hPa/1000km)，而由嘉義機場測站風速觀測值顯示出，除白天受熱力機制影響風速比較大外（ $\leq 10$ kts），夜間熱力影響減弱後，平均風速小於 5kts。在溫度方面，隨著白天日照增溫（最高溫 301.5K）、夜間輻射冷卻（最低溫 290.4K）而呈現出明顯的日夜變化，如圖 4（粗實線）所示。就相對濕度的變化而言（圖 5），也因為隨著日照增溫而減少，以及輻射冷卻而升高，且於 21LST 時達到 90% 並持續上升，有利於輻射霧的生成。在能見度方面，從地面觀測資料得知能見度於 21LST 低降到 5000 公尺以下，23LST 更低降到 1600 公尺以下（濃霧），於翌日 03LST 能見度甚至只有 100 公尺，能見度好轉於 09LST 後。

個案模擬時間從 2002 年 12 月 17 日 00UTC 至 18 日 00UTC，其初始場與背景場資料每 12 小時一筆，共積分 24 小時。模擬結果顯示：模式預報之地面及高空綜觀天氣壓力場及溫度場均與實際天氣分析圖大致相符。由模式積分第 12-24 小時（20-08LST）溫度/露點預報值與實際地面相對應觀測值之曲線圖（如圖 6）得知，溫度與露點溫度的預報值與觀測值之平均均方根誤差分別為 0.4K 及 0.8K，並且由圖中溫度、露點溫度預報，兩者曲線變化亦顯示出，在此期間溫度露點差均  $< 1$ K，且露點溫度均  $> 283$ K，這間接表示了有充足的水氣提供輻射濃霧的生成有利條件。就風速預報而言，可由圖 7 風速變化曲線中瞭解，模式預報結果（圖 7 虛線）與實際觀測（圖 7 實線）值所差甚少並且均符合輻射霧生成之微風條件（ $\leq 5$ kts）。至於影響長波輻射的雲層覆蓋情形，模式亦能掌握，其預報結果顯示出，在輻射濃霧醞釀生成期間內均為晴朗無雲的天空狀況（圖略）。由以上模式對於水氣、風速、天空狀況及較小區域的溫度與露點溫度變化

的掌握。即可間接顯示出模式能夠掌握該地區輻射濃霧的預報。

圖 8 為模式積分第 24 小時（2002 年 12 月 18 日 08L）時應用嘉義機場氣候統計閾值後所呈現之台灣地區溫度露點差分佈圖。圖中不同色階之陰影分佈代表著不同的溫度露點差值。由陰影分佈的情況不難分辨出，台灣地區西南部有濃霧發生，而嘉義地區正位於此區域內，此與實際觀測相符。同時，台南地區亦呈現有濃霧的發生，然實際地面觀測台南地區此時並無濃霧的發生，研判因受地理環境的不同而使得閾值的應用呈現地域性，亦即不同的地區其閾值將有所不同。

討論嘉義機場小區域預報而論，若我們將閾值應用於輻射濃霧預報中，準確率可達 77%（如表 2 所示）。預報出現輻射濃霧的時間點與實際觀測有 3 小時的誤差，可能是模式白天增溫的強度不足，使得日落後降溫迅速而導致溫度露點差提早達到閾值標準。

此外，為提升模式預報輻射霧的準確率，本文亦嘗試修正與地表吸熱能力（地表增溫）有直接影響的地表參數反照率以及與水氣多寡有間接關係的地表粗糙度，以瞭解該地表參數的修正對輻射霧預報的影響。圖 9 a 為修正前的反照率（台灣地區約 0.095 係屬於海洋的值域）地表參數分佈圖，圖 9 b 為假設台灣地區係均勻的廣大綠地（反照率為 0.2）的分佈圖。修正後模式模擬結果顯示：修正後值域雖較接近於實際台灣地區地表性質，但其溫度/露點溫度預報與實際觀測值誤差與修正前比較，顯示出誤差較大的預報結果（如圖 10）。亦即修正前溫度預報均方根誤差 0.4，修正後增加為 0.8。而露點溫度預報修正前後無明顯變化其均方根誤差均為 0.8。修正地表粗糙度方面，原始台灣地區

最大設定值為 90mm，理想性修正後（假定台灣地區全省為一均勻粗糙度地形）其值設為 500mm（圖略）。修正後模擬結果顯示：模式溫度/露點溫度預報如同先前修正反照率的結果相同，均造成預報結果誤差更大的情況。因此，單就修正地表參數（反照率及地表粗糙度）對提升模式預報輻射濃霧準確度效果不佳。整體而言，修正此兩項地表參數改善模式預報輻射濃霧其效果不大，探究其原因為全球分析場之地表參數資料解析粗糙且不足，同時土壤溫、濕度值域未給定所致。

#### 四、結語

本文係利用空軍嘉義機場測站近十年（1993-2002 年）地面觀測資料，統計該地區初冬之際（12 月份）在適合輻射霧發展環境條件下夜間（20-08LST）發生輻射濃霧（能見度  $< 1600$  公尺）或無輻射濃霧產生時，與露點溫度及溫度露點差之間的關係，發現當露點溫度  $\geq 283$ K 以上並且溫度露點差  $\leq 1.2$ K 時，可有效掌握適合輻射霧發展環境條件下初冬（12 月份）夜間（20-08LST）發生輻射濃霧約 71% 的準確率。同時，當露點溫度  $< 283$ K 以下並且溫度露點差  $> 1.2$ K 時，亦可掌握無輻射濃霧產生約 71% 的準確率。因此，本文以露點溫度 283K 及溫度露點差 1.2K 作為判斷輻射濃霧發生與否的閾值（threshold）。

模式模擬研究結果顯示：MSM 對輻射濃霧的生成環境，諸如：微風、高水氣含量、晴朗的天空及對溫度與露點溫度的預報能夠準確掌握。藉由嘉義機場氣候閾值的輔助，夜間至清晨之輻射濃霧預報是可以掌握的。同時，閾值的運用是有區域限制的。若沒有閾值的輔助，模式預報的能力下降。因此，不同地區的閾值選定，有待更多的統計分析。另外，邊界層地表參

數（反照率及地表粗糙度）的變動雖符合邊界層之物理特性，但對輻射濃霧預報改善不明顯。探究其原因全球分析場之地表參數資料解析粗糙且不足，此外，是否尚有其他地表參數主導著輻射冷卻與水汽增加的效應。期望藉由更多的邊界層敏感度測試，諸如：土壤溫濕度、海表面溫度... 等，以及改善地表參數資料解析粗糙且不足的缺點，以增進對輻射濃霧的預報。

參考文獻：

- Cho, Yang-Ki, Kim, Moon-Ouk, Kim, Byung-Choon. 2000: Sea Fog around the Korean Peninsula. *Journal of Applied Meteorology*: Vol. 39, No. 12, pp. 2473-2479.
- Duynkerke, Peter G. 1991: Radiation Fog: A Comparison of Model Simulation with Detailed Observations. *Monthly Weather Review*: Vol. 119, No. 2, pp. 324-341.
- Korain, Darko, Lewis, John, Thompson, William T., Dorman, Clive E., Businger, Joost A. 2001: Transition of Stratus into Fog along the California Coast: Observations and Modeling. *Journal of the Atmospheric Sciences*: Vol. 58, No. 13, pp. 1714-1731.
- W. D. Meyer and G. V. Rao, "Radiation Fog Prediction Using a Simple Numerical Model," *Pure appl. geophys.*, Vol.155, pp 57-80, 1999.
- 任亦偉，2003：區域波譜模式之疊代策略研究。92 年天氣分析與預報研討會論文彙編，353-365。
- 黃清順，“衛星資料在低雲與霧區偵測與分析”，碩士論文，國防大學中正理工學院應用物理研究所，桃園，2000。

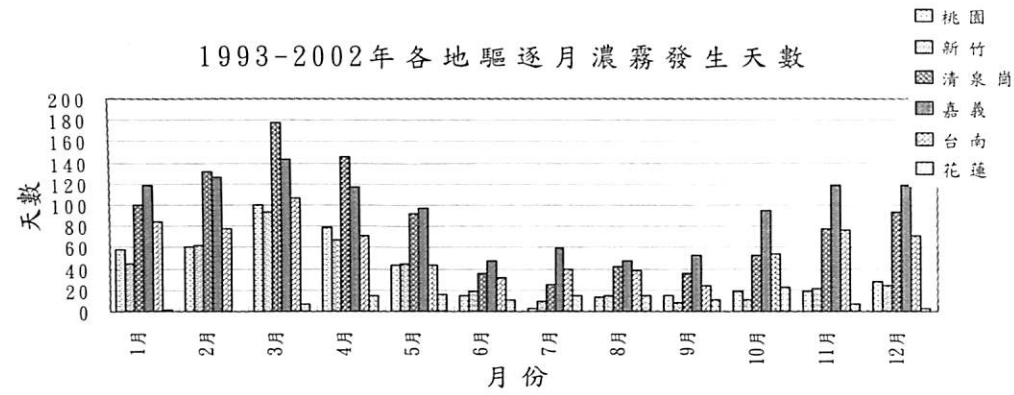


圖 1 台灣地區 1993-2002 年逐月發生濃霧天數 (能見度<1600 公尺)。

表 1 以溫度露點差及露點溫度作為閾值，區分有無輻射濃霧發生掌握百分比。

溫度露點差		露點溫度											
		≤0.9	≤1	≤1.1	≤1.2	≤1.3	≤1.4	≤1.5	≤1.6	≤1.7	≤1.8	≤1.9	≤2
≥288	無濃霧 (%)	92	90	88	86	85	83	81	80	77	76	75	73
	濃霧 (%)	37	42	43	45	46	49	50	51	52	52	53	54
≥287	無濃霧 (%)	89	86	84	81	80	77	74	73	69	69	66	63
	濃霧 (%)	42	48	49	53	54	58	59	60	61	61	63	64
≥286	無濃霧 (%)	87	82	81	77	76	72	69	68	63	62	59	56
	濃霧 (%)	47	54	56	61	63	66	68	68	70	70	73	74
≥285	無濃霧 (%)	85	80	78	74	72	68	64	63	58	57	53	49
	濃霧 (%)	51	58	60	66	68	71	74	75	77	77	79	81
≥284	無濃霧 (%)	85	78	77	73	70	66	62	60	54	53	49	45
	濃霧 (%)	53	61	63	69	71	74	78	78	80	80	83	85
≥283	無濃霧 (%)	84	77	75	71	69	64	59	58	52	51	46	42
	濃霧 (%)	54	63	64	71	73	76	79	80	82	82	85	87

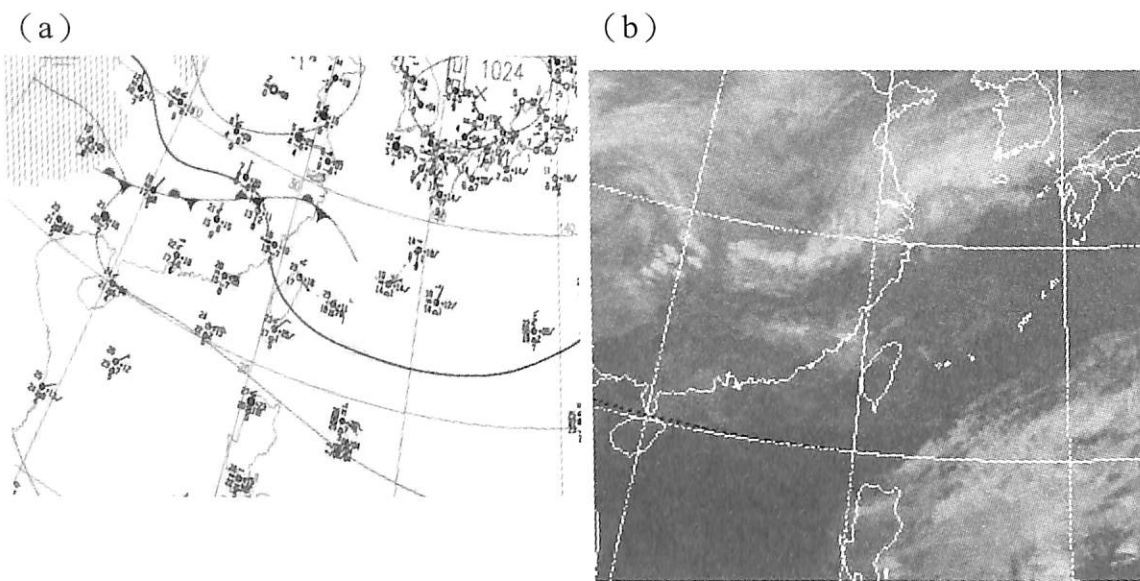


圖 2 (a)日本氣象廳 2002 年 12 月 17 日 12Z 地面天氣圖，粗實線為 1020hPa(b)日本 GM5 氣象衛星 2002 年 12 月 17 日 12Z 紅外線雲圖。

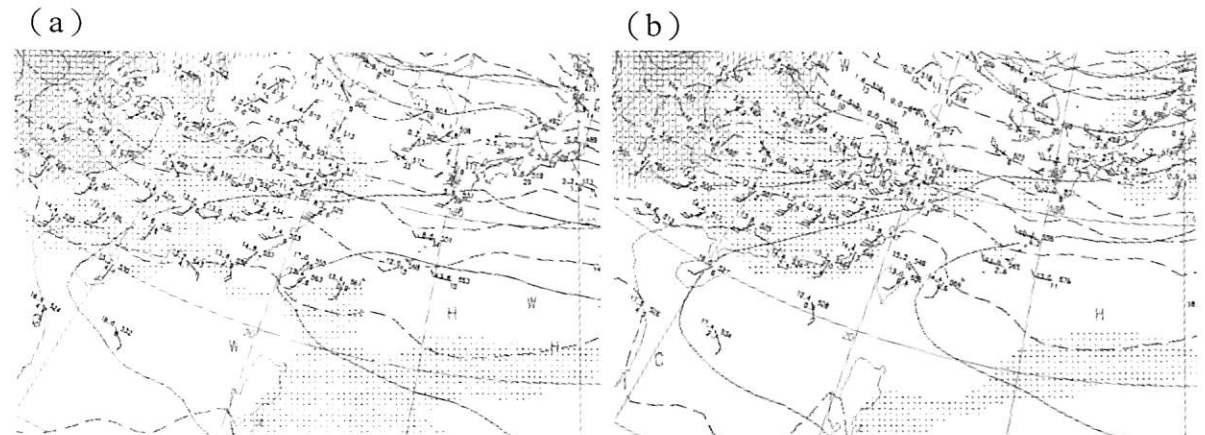


圖 3 (a)日本氣象廳 2002 年 12 月 17 日 12Z 850hPa 天氣圖 (b) 日本氣象廳 2002 年 12 月 18 日 00Z 850hPa 天氣圖。

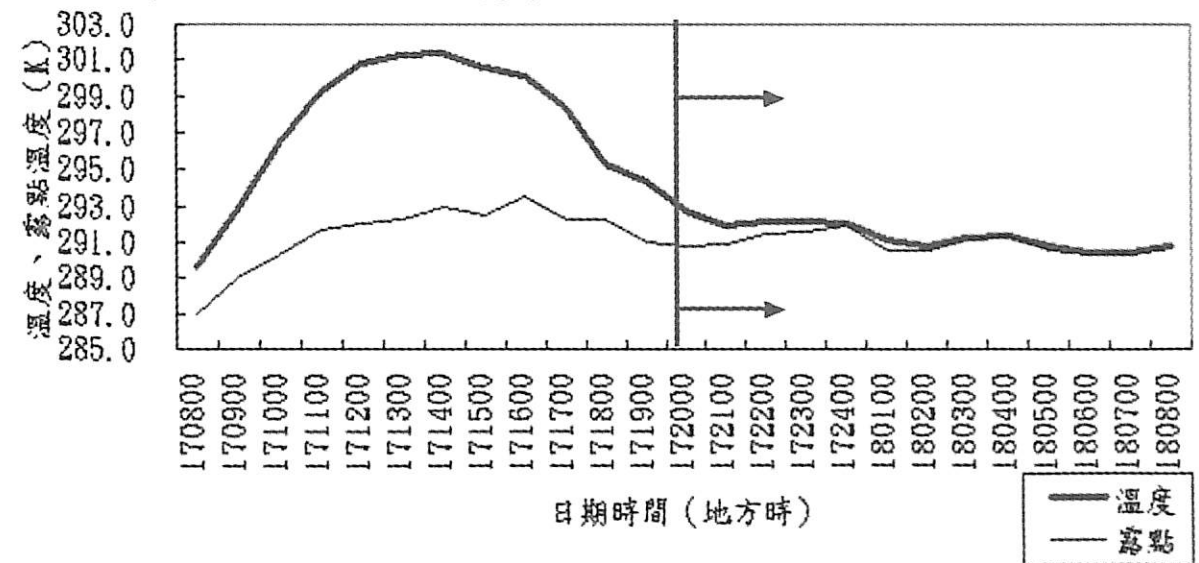


圖 4 2002 年 12 月 17 日 08LST 至 18 日 08LST 嘉義機場測站溫度與露點溫度時序圖。

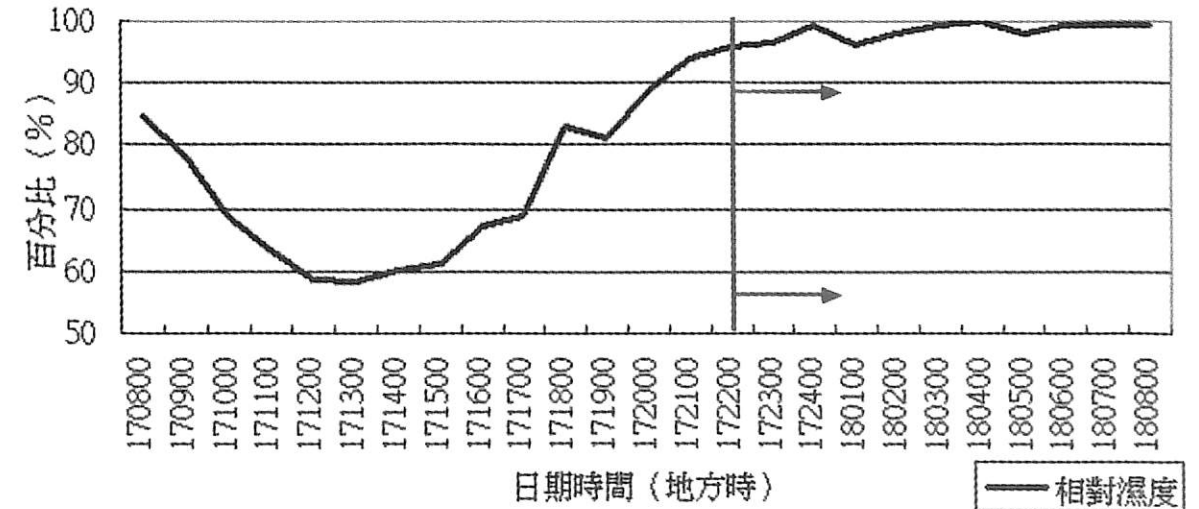


圖 5 2002 年 12 月 17 日 08LST 至 18 日 08LST 嘉義機場測站相對濕度時序圖。

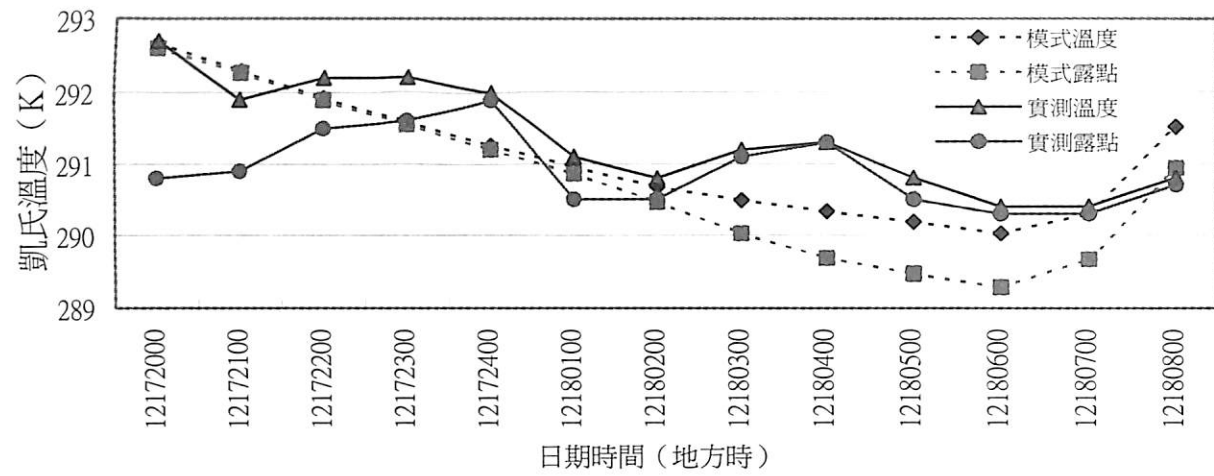


圖 6 模式積分第 12-24 小時 (20-08LST) 溫度/露點預報值與實際地面相對應觀測值之曲線圖。

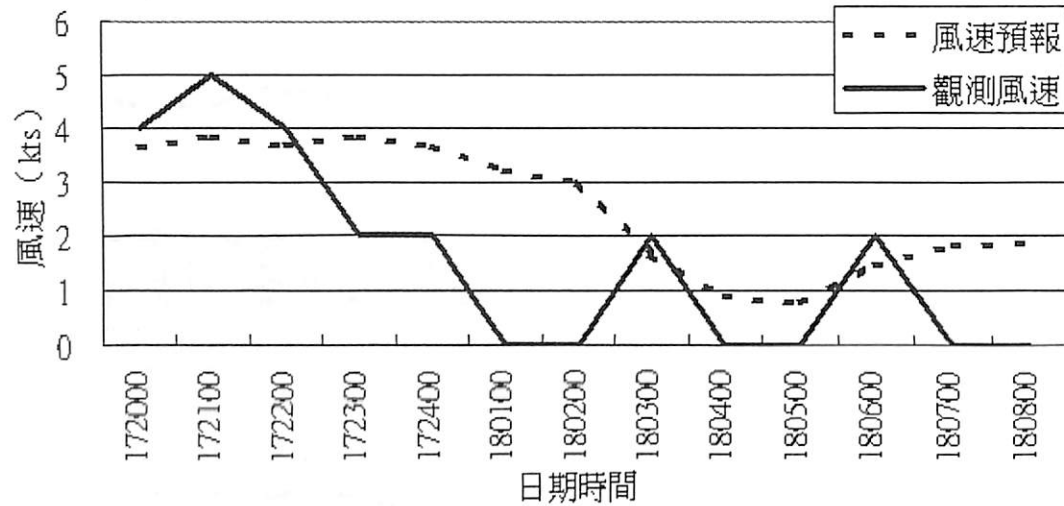


圖 7 嘉義機場測站與 MSM 模式單點網格風速比較圖。時間從 17 日 20LST 至 18 日 08LST。虛線為模式預報結果，實線為觀測值。

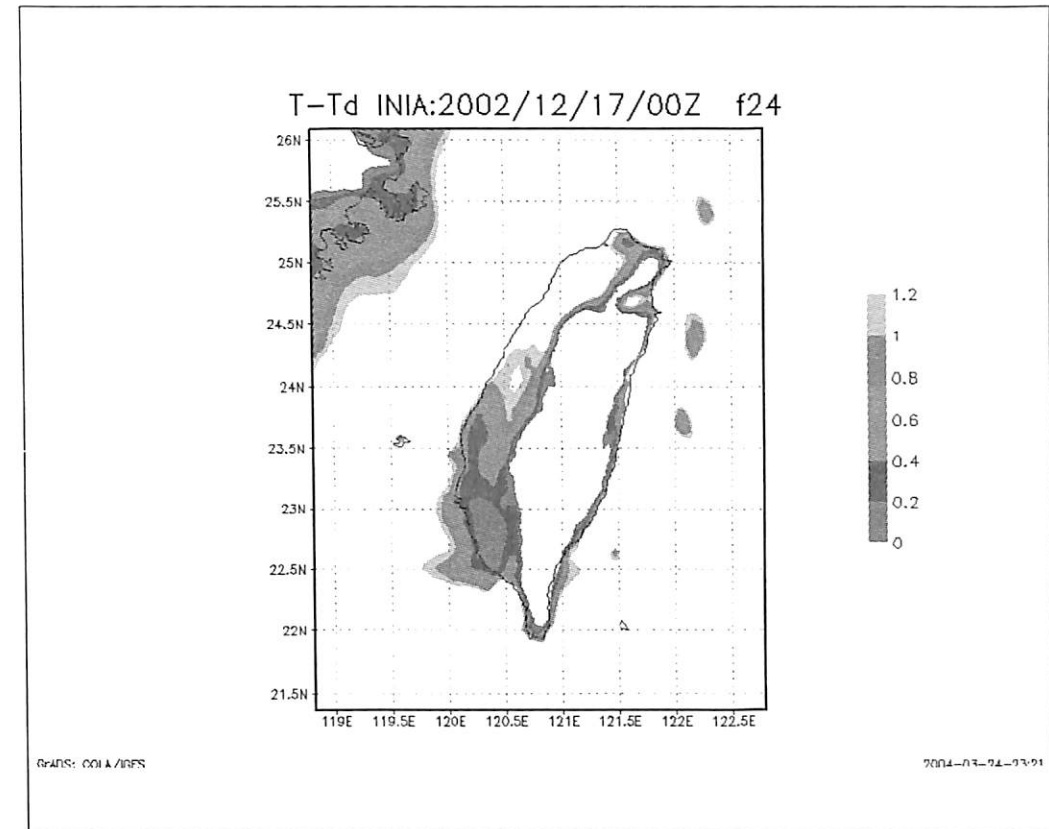


圖 8 預報第 24 小時之台灣地區模式預報之溫度露點差分佈圖。

表 2 輻射濃霧觀測與預報比較表。陰影區為濃霧發生時間點。

日期時間	172000	172100	172200	172300	172400	180100	180200	180300	180400	180500	180600	180700	180800
觀測能見度													
模式預報													

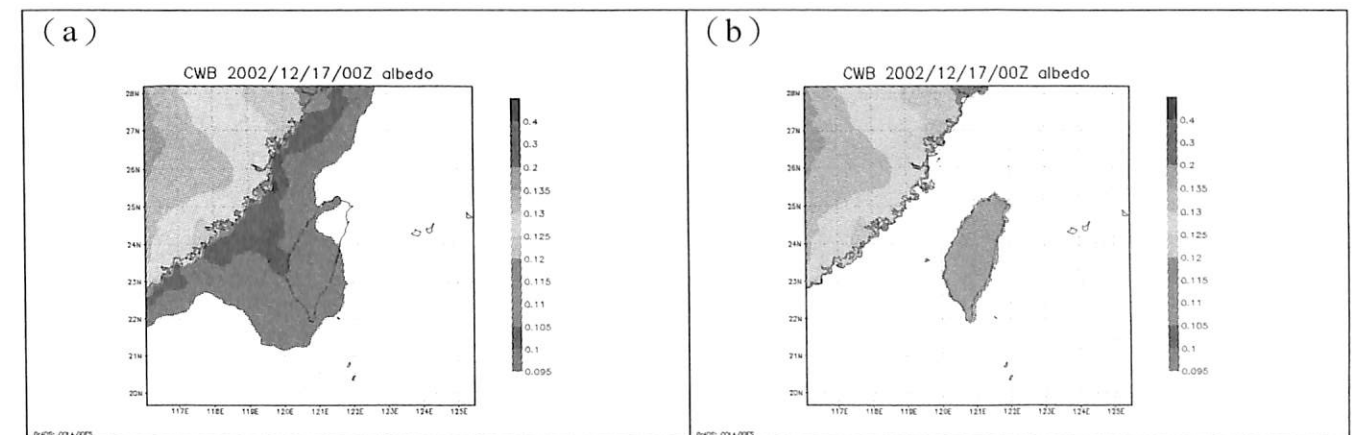


圖 9 反照率地表參數分佈圖。(a) 原始分佈圖。(b) 修正後之分佈圖，台灣地區修正為 0.2 (均勻廣大綠地)。

反照率修正前後模式預報與觀測值誤差量曲線圖

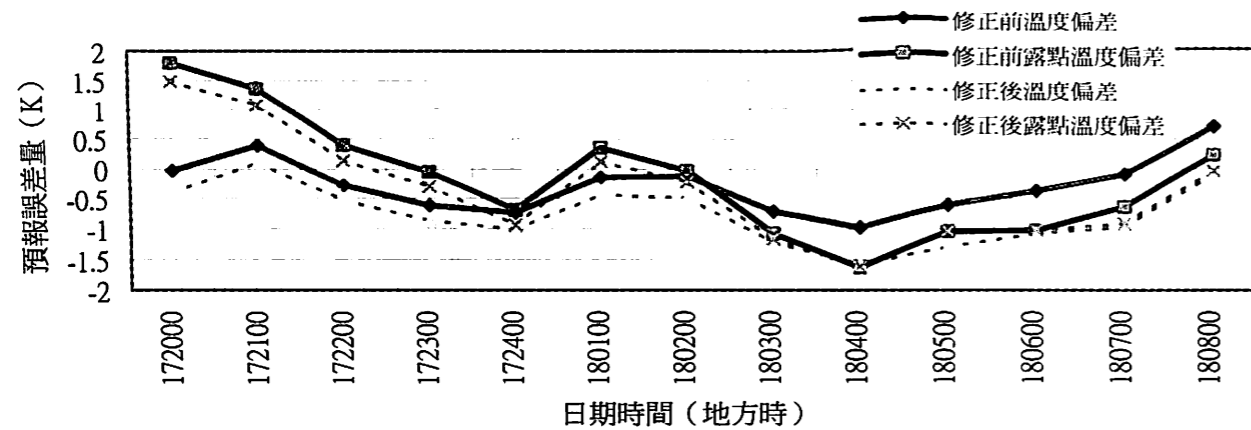


圖 10 反照率修正前後，模式預報與觀測值誤差量曲線圖。實線為修正前，虛線為修正後。

## Case Study on Dense Radiation fog at Chiayi airplane

<sup>1</sup>Shyh-Yunn Lay, <sup>2</sup>Chang-Min ChuWeather Center, C.A.F., R.O.C.<sup>1</sup>

Department of Applied Physics

Chung Cheng Institute of Technology

National Defense University<sup>2</sup>

## Abstract

A dense radiation fog located at Chiayi airport was investigated on Dec 17~18, 2002 by using mesoscale spectral model (MSM), developed by National Centers for Environmental Prediction, USA. It was observed during the midnight and ended on next morning. It also delayed the aviation operations.

Model's initial conditions and base fields were interpolated from the Center Weather Bureau (CWB) global analyses and updated twice daily. The experiment was initiated at 00Z on Dec. 17 and integrated for 24 hours. Besides, the characteristics of climate of Chiayi airport were taken into consideration based on ten-years surface observations. A threshold values such as  $T_d \geq 283K$  and  $T - T_d \leq 1.2K$  were proposed to determining the dense radiation fog. Simulation results shown that the MSM model has the ability to forecast dense radiation fog. It also revealed that the threshold values are helpful on forecasting. Finally, the varying values of surface characteristics play a minor role in these simulation.

Keywords: Dense radiation fog, Threshold value, Albedo, Roughness