

波譜模式在輻射霧預報的研究

賴世運 朱昌敏

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) 對輻射霧預報的可行性研究。個案時間是 2002 年 12 月 17 日 2000L 至 18 日 0800L 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 日午夜 23 時至次日 09 時有輻射濃霧的發生，影響飛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模式初始場與背景場，並從 17 日 00Z 開始積分 24 小時。另考量嘉義機場 12 月份 10 年 (1993-2002) 夜間 (2000-0800L) 弱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，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：氣候閾值有助於輻射濃霧預報的判斷，且 MSM 模式是有能力掌握輻射濃霧的預報。在地表邊界效應方面，諸如地表粗糙度、反照率等，對提升輻射霧預報是有限的。

關鍵字：輻射濃霧、閾值、反照率、地表粗糙度

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 $T_d \geq 283\text{K}$ and $T - T_d \leq 1.2\text{K}$ 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

一、前言

機場的濃霧 (低能見度)，對於飛航安全影響甚鉅。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。

霧有很多種舉凡平流霧、鋒面霧、上坡霧、蒸汽霧及輻射霧，以上每一種霧的生成原因均不同。而本文所探討的輻射霧係生成於弱綜觀環境、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形成。霧是一種視障因此深深影響能見度好壞，尤其是濃霧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對於不同機種其定義有所不同，一般來說水平能見度低於 1000 公尺視為低能見度。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，低能見度是指水平能見度不足 1600 公尺。所以，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 ($T-T_d$) 小於 1°C 為輻射霧的肇始。Cho (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 。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 (2001) 認為在輻射霧的生成階段中需要一些近地表的小擾動與充足的水汽供應，使近地層大氣能做適當的混和，並隨輻射冷卻效應降低地表溫度而使空氣中水汽凝結成霧滴。

一般對霧的觀測是採用人為目測或利用能見度儀量測兩種方式。對霧區及霧的濃度預報而言，現行的作法是預報員憑藉著過去之觀測資料、自身的專業背景與綜觀天氣系統的掌握經驗做主觀預報，然而，此種預報方法較易受到人為因素影響而造成偏差，同時也較不客觀及預報時間短等缺點。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 對輻射霧進行預報，初始值及背景場資料是利用中央氣象局提供海軍使用的全球

波譜模式分析場資料，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。前三重巢狀模組採用靜力模組，水平網格解析分別為 120 (A 網格)、60 (B 網格)、10 (D 網格) 公里，而垂直網格採 σ 座標 18 層。第四重採用非靜力模組，水平網格解析為 5 (M 網格) 公里，垂直網格增加為 28 層。東西向與南北向交錯之網格點數分別為 $81*55$ 、 $81*79$ 、 $96*95$ 、 $81*105$ 。

研究方法係根據嘉義機場 12 月份 10 年 (1993-2002) 夜間 (2000-0800L) 的觀測資料 (約 4030 筆) 進行統計分析。首先，由觀測資料篩選出屬於弱綜觀環境條件 (即為風速 $\leq 5\text{kts}$ 、壓力與溫度均呈現明顯日夜變化，無持續上升下降的情況) 下的天氣逐時資料計有 1798 筆。同時以空軍機場實際作業中，嚴重影響飛航安全及飛機起降作業的水平能見度 1600 公尺，作為有輻射濃霧 (能見度 <1600 公尺) 與無輻射濃霧 (能見度 ≥ 1600 公尺) 的篩選標準。根據這個標準從先前的弱綜觀天氣逐時資料中，分別篩選出無輻射濃霧的逐時資料 1478 筆、有輻射濃霧的逐時資料 320 筆。並利用露點溫度與溫度露點差作為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，亦即為露點溫度 $\geq 283\text{K}$ 且溫度露點差為 $\leq 1.2\text{K}$ 。此閾值的應用，將可掌握 71% 的準確率。然而，當我們選擇其他閾值時，將會出現下列的現象：雖然提昇了輻射濃霧的掌握率，但無輻射濃霧的掌握率卻降低了，反之亦然。

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，本文亦探討單就反照率地表參數的修正對於輻射霧預報的影響。

三、結果與討論

綜觀天氣概述：根據日本氣象廳 12 月 17 日 00Z 地面天氣圖顯示(圖略)，微弱分裂變性高壓中心位於東海附近，中心氣壓 1028hPa，並逐漸向東移動減弱，此時台灣地區處於弱綜觀環境，全省天氣晴朗，天空狀況良好。於 12Z 時分裂高壓持續出海變性，高壓中心移至日本海，中心氣壓值下降為 1024hPa。此時華南地區雖有鋒面生成(如圖 2a)，但距離台灣尚遠。台灣地區仍處於弱綜觀環境中，天空無濃厚的雲層(如圖 2b)，地面風速小於 5kts。17 日 850hPa 00Z 高空天氣圖(圖略)顯示，台灣地區正處於南南東風環境下，於 12Z 逐漸轉為西南氣流(圖 3a)。同時，18 日 00Z 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。此外，由地面觀測資料配合衛星雲圖顯示，嘉義地區因夜間地表長波輻射冷卻效果造成近地層相對濕度的增加(如圖 4，虛線)，係輻射霧生成發展的有利機制，並且持續冷卻的結果，增加了濃度而形成輻射濃霧。從嘉義機場地面觀測資料(如圖 4，實線)得知能見度於 21L 低降到 5000 公尺以下，23L 更低降到 1600 公尺以下(濃霧)，於翌日 03L 能見度甚至只有 100 公尺，能見度好轉於 09L 後。

個案模擬時間從 2002 年 12 月 17 日 00Z 至 18 日 00Z，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(2000-0800L)溫度/露點預報值與實際地面相對應觀測值之曲線圖(如圖 5)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 < 1K，且露點溫度均 > 283K，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 6 風速變化曲線中瞭解，模式預報結果均符合輻射霧生成之微風條件(≤ 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，在此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 7 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，或許閾值的運用是有地域性的。

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，本文亦嘗試修正地表參數諸如反照率及地表粗糙度，以瞭解地表參數的修正對輻射霧預報的影響。圖 8 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 8 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 9)。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。其原因為修正前模式於白天增溫即已呈現不足的情況，而當我

們將反照率提高時使得地表吸收熱能效果更為不佳，而造成預報結果誤差更大的情況。而此結果合乎反照率物理特性，當反照率大時，地表吸收熱能的效率降低，因此白天增溫情況將更不理想。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

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（露點溫度 $\geq 283\text{K}$ 及溫度露點差 $\leq 1.2\text{K}$ ）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，同時土壤溫、濕度值域未給定。若能改善初始場之各項地表參數，使其解析度及值域更符合實際狀況，相信對於輻射濃霧的預報將有相當的助益。

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. 2473-479.
- Duynkerke, Peter G. 1991: Radiation Fog: A Comparison of Model Simulation with Detailed Observations. *Monthly Weather Review*: Vol. 119, No. 2, pp. 324-41.
- 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. 1714-731.
- W. D. Meyer and G. V. Rao, "adiation 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。
- 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. 2473-479.

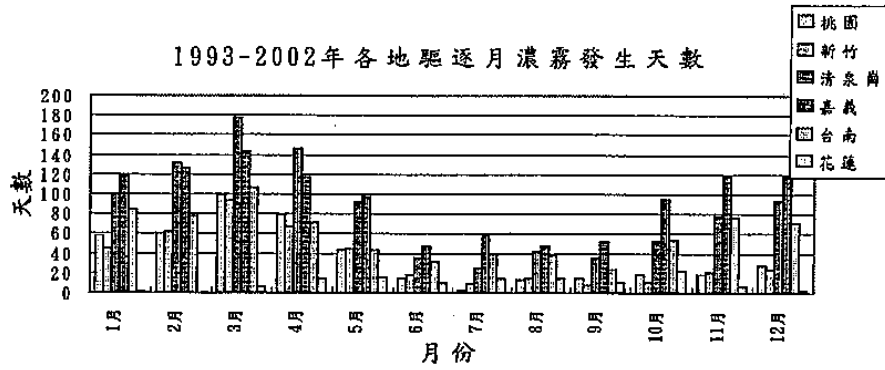


圖 1 台灣地區 1993-2002 年逐月發生濃霧天數 (能見度<1600 公尺)。

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		溫度露點差											
		≤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

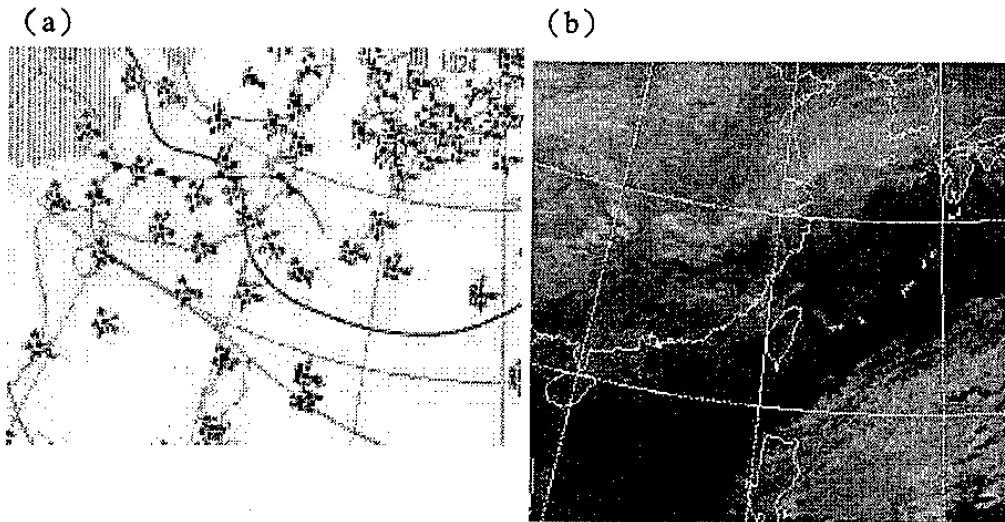


圖 2 (a)日本氣象廳 2002 年 12 月 17 日 12Z 地面天氣圖，粗實線為 1020hPa (b)日本 GM5 氣象衛星 2002 年 12 月 17 日 12Z 紅外線雲圖。

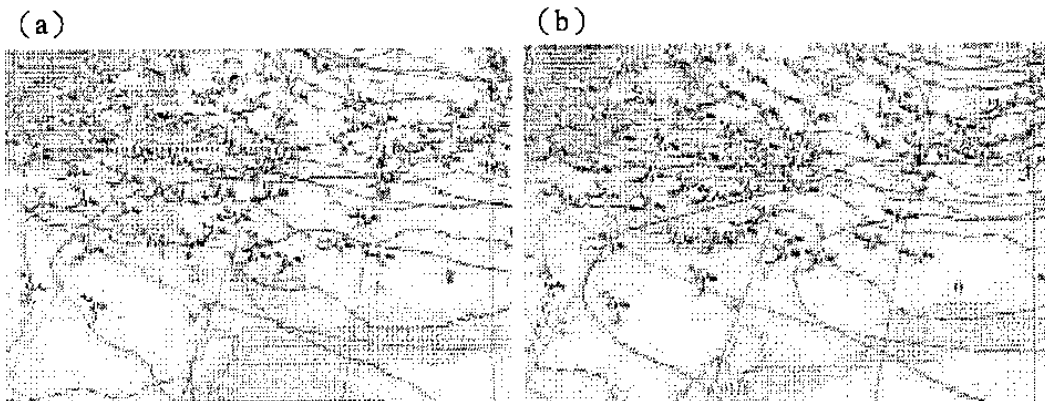


圖 3 (a)日本氣象廳 2002 年 12 月 17 日 12Z 850hPa 天氣圖 (b) 日本氣象廳 2002 年 12 月 18 日 00Z 850hPa 天氣圖。

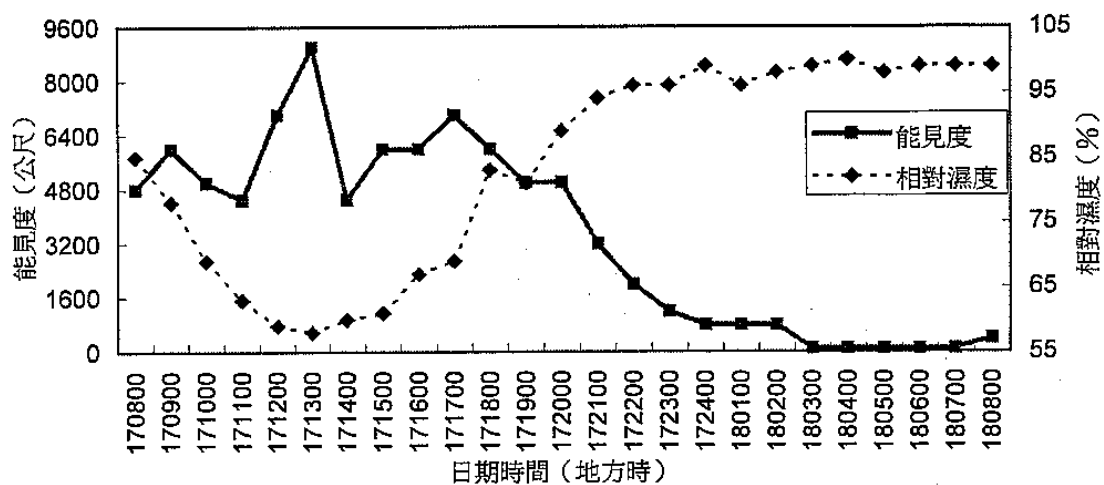


圖 4 2002 年 12 月 17-18 日空軍嘉義機場地面觀測能見度及相對濕度變化曲線圖。

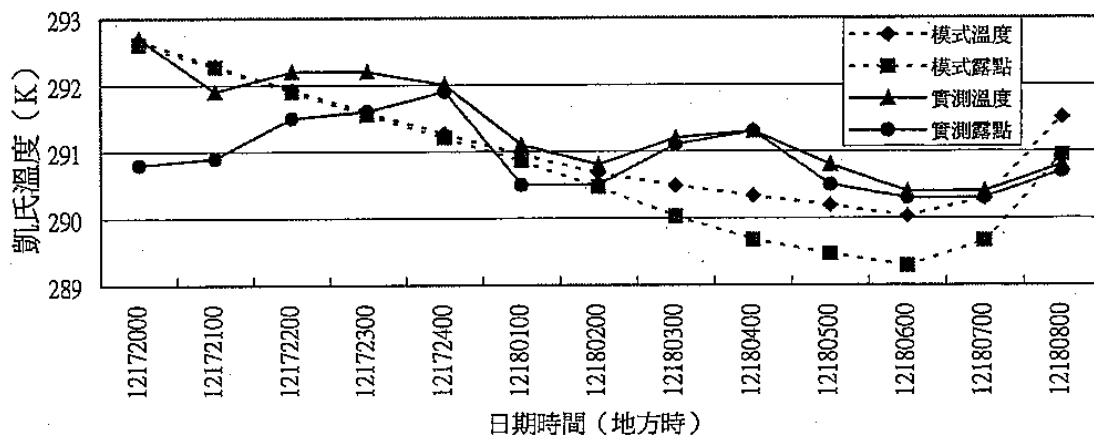


圖 5 模式積分第 12-24 小時 (2000-0800L) 溫度/露點預報值與實際地面相對應觀測值之曲線圖。

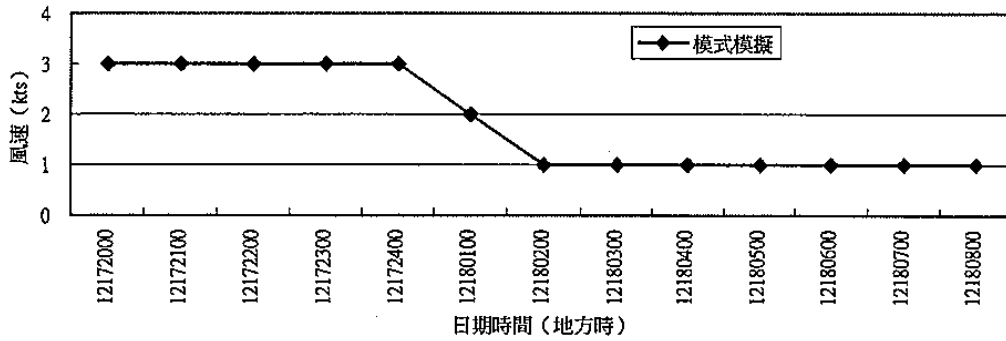


圖 6 同圖 5，但為風速預報曲線圖。

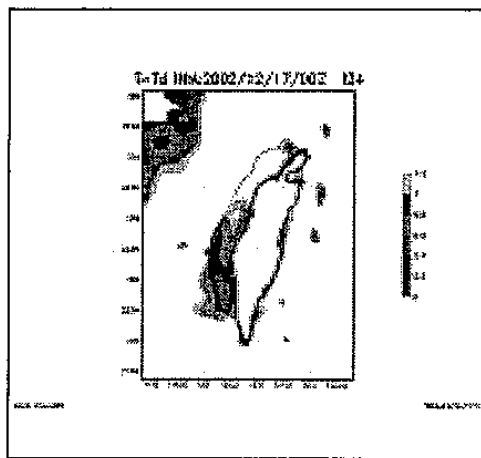


圖 7 預報第 24 小時之台灣地區模式預報之溫度露點差分佈圖。

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
實測天氣現象													
模式預報													

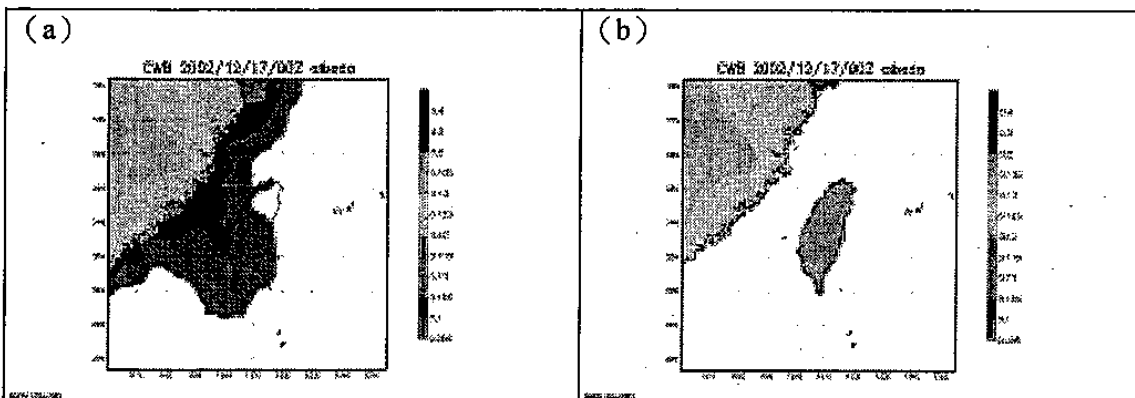


圖 8 反照率地表參數分佈圖。(a) 原始分佈圖。(b) 修正後之分佈圖，台灣地區修正為 0.2 (均勻廣大綠地)。

反照率修正前後模式預報與觀測值誤差量曲線圖

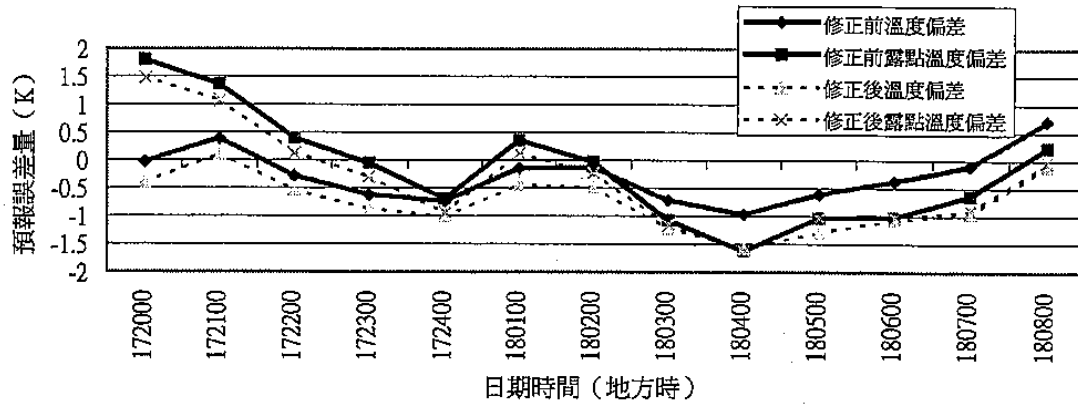


圖 9 反照率修正前後，模式預報與觀測值誤差量曲線圖。實線為修正前，虛線為修正後。