

利用非流體靜力中尺度模式預報雲幕與能見度

魏志憲¹ 何台華²

空軍氣象中心¹

中正理工學院理學部²

摘要

本文介紹美國航空氣象研究群中，研究能見度與雲幕高之團隊利用 Penn State/NCAR MM5模式，採用物理過程與資料初始化，針對1992年3月22-23日的暴風雨個案，來研究能見度與雲幕預報之可行性。為將模式模擬之結果轉換成能見度與雲幕，就必須引用一些演譯法。這演譯法必須與降水性質以及光之削弱有關。模式模擬之結果，雲幕高要比實際來的高出70%，然而能見度是位在合理的精確度內，並且比終端預報 (Terminal forecast; FTs) 之結果佳。因此若配合更好的大氣物理過程，加強地面測站採用較客觀的觀測後，必可提昇這項預報技術。

壹、前言

航空企業一直是氣象預報服務的最大客戶。只要能充份掌握絕大部份大氣狀態變數的未來狀況，往往能使國家空中交通系統的效能性與安全性達到最大，因此就有「航空氣象」這名詞產生，泛指終端機場之間的航路天氣，與終端機場本身附近的天氣，而這些均屬中尺度天氣的範圍，因此中尺度天氣的預報就凸顯重要。然而很不幸的，由於種種因素下，難以針對這些航空運輸所敏感的變數，利用數值預報產生出有用的預報來。這些因素包括：

- 由於所需的預報是屬非常小的空間範圍，並且時間長度也不過幾小時，僅比一般國內班機線飛行時間長一點點，因此模式初始條件的良窳就極端重要，且資料同化系統也要有一定的成熟度。
- 許多待預報的大氣狀態變數，像是降水量或降水形式、雲霧的結構等等，均包含水汽量，然而大氣中水汽量是相當難預測的。

- 終端航空站的區域預報通常屬中尺度 β 與中尺度 γ 尺度，這樣尺度對數值預報作業與模式初始化的現代化資料蒐集系統來說，仍嫌經驗不足。

經由上述說明，可了解目前數值預報對航空氣象的預報，存在尺度太小的困難；然而有些要素並非數值預報可直接求出來的，雲幕高與能見度就是一例。此兩要素受重視程度雖不若亂流或低空風切等劇烈天氣現象，但仍是終端機場預報中的重要因子，因此在美國航空氣象研究群 (aviation weather research; AWR) 中，特別有一團隊研究數值模式預報這兩要素之可行性。因此本文的目的，乃是介紹該團隊在1998年之前的研究結果，提供數值模式在預報雲幕高與能見度之方法。

然而當今關於這方面的研究成果仍是相當稀少的，Cairns et al.(1994a,b)曾利用NWS的Eta與RUC模式所輸出數個星期的資料，來診斷雲幕高與能見度，並且使用一個客觀的評斷標準，這樣的結果是頗令人鼓舞的，但同時

也說明雲幕與能見度的預報能力仍尚待突破；此外，Porter與Seaman(1995)同樣使用經過Penn State/NCAR MM5模式來研究物與對流降水所產生之雲幕與能見度的預報，其模擬之結果在合理的精確度範圍內，同樣令人興奮。因此該團隊之研究就前述研究的成果，利用Penn State/NCAR MM5非流體靜力模式研究這兩因子之預報，乃是因為MM5與現行作業之中尺度預報模式相近。該研究中並觀察簡單微物理過程與複雜微物理等兩方法對雲幕與能見度預報之效應，採用一個完全的個案，並將模式的水平解析度設在中尺度 β 的尺度內，藉以可預報雲幕與能見度，然後說明如何將模擬出的氣象變數轉換成雲幕與能見度的演譯法。

貳、模式描述

如前言所述，該研究採用Penn State/NCAR MM5非流體靜力模式。由於能見度的預報與預報降水相位變化的精確度有關，因此另加入兩種微物理過程方法：第一個方法可預報雲中含水量，與雲中的結冰程度，以及降雨與降雪，但是在任何時刻只容許一種降水形式存在；第二個方法和第一個方法相似，唯一不同是，可容許不同降水形式同時存在。

模式網格取兩個巢狀網格：每一個網格有23計算層，格點範圍各為36公里與12公里。

此外要強調的是，這一版的MM5對邊界層的霧不特別做參數化。由於這個研究僅就各種降水對雲幕與能見度的影響，且為和現行模式作業有同樣物理過程，因此省略這個步驟。

參、演譯法

由於模式內無雲幕高與能見度之診斷與預報方程，因此需要一個演譯法則，將所模擬出的氣象變數，轉換成所要的雲幕與能見度。首先要來了解的，能見度與雲幕高到底是如何定義的。依據聯邦氣象手冊NO.1(Federal

Meteorological Handbook NO.1)之定義，能見度就是一選定物體能被看見且分辨之最大距離，而雲幕則是當天空有雲覆蓋達裂雲或密雲時之最低雲高，然而，雲幕也可看做垂直能見度，乃是當有降水或霧時，或天空不明時。因此這裡將這兩因子看為單一變數，也就是均視為能見度，如此就可使用同一演譯法則。

給定(1)一被照物體；(2)觀察者與物體的距離 x_{obs} ；(3)可使光削弱的介質；由比爾定理(Bill's law)，可寫出以下的關係式：

$$\frac{I(x_{obs})}{I_0} = \exp\left[-\int_0^{x_{obs}} \beta(x) dx\right]$$

I_0 是物體的照度， $I(x_{obs})$ 則是物體到達觀察者的照度，而 β 是削弱係數，為距離的函數，其定義為每單位體積內削減粒子(extinguish particle)的截面積大小。另外， $I_0/I(x_{obs})$ 則代表物體與其背景的對比，其比值約0.02，因此上式的左邊就等於0.02。而由於航空所關心之能見度往往在10公里以下，小於本模式之水平網格，因此可將 β 視為常數，就可改寫成下面式子：

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

在垂直方向，由於網格解析是從50到500公尺，因此 β 要視為高度的常數，則雲幕可寫成下面式子：

$$-\ln(0.02) = \exp\left[-\int_0^{z_{vis}} \beta(z) dz\right]$$

β 可以依削減的現象來討論，在本研究中所討論的現象均和降水有關，而模式所能提供降水形式是以質量濃度(mass concentrations)，表一說明 β 與降水質量濃度的關係。

肆、氣個案簡述

該研究所使用之天氣個案是採用1992年3月22-23日，美國東海岸的一個微弱氣旋風暴所產生的降雪與降雨。由於這個個案同時有各種降水形式存在，是頗適合研究各種降水形式所產生之能見度與雲幕高。這個風暴同時使得美

國航空405班機在紐約LaGuardia機場失事。

個案研究期間是從1992年3月22日1200UTC-23日0600UTC，圖一與圖二是當時地面測候站所觀測到之雲幕高與能見度之等值線圖，由於整個氣旋系統是由西向東移動，雲幕與能見度最差的區域同系統移動而變化，這時能見度的變化和降水特性以及霧均有密切關係。

伍、實驗設計

該研究預報期間為1992年3月23日00-06UTC，選擇這段時間，是因為風暴正侵襲美國東岸都會區的機場並影響其雲幕與能見度，且降水的位置也正處在網格的區域中。由於開始預報之後的時間區段很短，對模式資料初始化來說是一項挑戰的測試。

在此採用兩種資料初始化方式。在3月23日00UTC使用靜力初始化；而3月22日12UTC至3月23日00UTC使用動力初始化(dynamic initialization; DI)。配合初始化與微物理過程，此處引用三種實驗方式：第一種使用動力初始化與混合相位技術(dynamic initialization & mixed phase scheme; DIMIX)，時間從22日12UTC至23日00UTC，第二個實驗同樣使用動力初始化，但另外採用簡單微物理技術(dynamic initialization & simple microphysical scheme; DISIMP)，時間與上方法同；第三個一樣採用簡單微物理技術，但非動力初始化(NDIMIX)，時間從23日00UTC始後六小時。

陸、預報雲幕與能見度

以上述方法預報之雲幕與能見度資料，可用地面航線觀測資料(surface airway observations; SAOs)來校驗。在模式的範圍內，共有九十八個SAO的測站可供校驗，並且有五十二個測站同時提供終端預報(terminal forecasts; FTs)來與模式預報資料作比較。

圖三(a)是地面航線觀測雲幕高資料所繪

製之等值線圖，其中填滿的灰暗程度表示對照表二；而(b)圖是模式(DIMIX)所跑出的結果，與(c)圖終端預報做比較，可發現模式預報的雲幕偏高(約70%)。造成這樣的結果，歸咎於模式對水汽變數掌握不佳，圖四(a)則是同一時間地面航線觀測的能見度資料所繪製之等值線圖，其中填滿的灰暗程度表示對照表二，(b)圖則是模式所輸出之結果，可明顯觀察到填滿效果最深的區域與(a)圖相近，且比終端預報的結果來的佳(c)圖。

若選定一些特定測站觀察時間序列，可發現一些有趣的現象。圖五與圖六分別代表紐約LaGuardia與費城機場雲幕與能見度時間序列圖，上圖與中圖各為雲幕與能見度。在LaGuardia，由於降雪的時間要模式預報為早(下圖)，因此預報能見度隨時間遞減程度要較實際來的慢；而在費城，雲幕的預報要比模式來的高，而能見度在預報時間開始二小時內還表現不錯，但是過後能見度回升的太快。這樣的誤差可能是因為模式並未考慮霧的效應，以至於有霧產生時(下圖)影響能見度與雲幕。

柒、結論

為要預報航空氣象因子中雲幕與能見度兩項，於是將現行的中尺度模式加入換算的演譯法則，並且運用數種始驗方法：動力初始化配合混合相位技術、動力初始化配合簡單微物理技術、非動力初始化配合混合相位技術等，然後採用1992年3月22-23日的個案作研究，以期能提供一個合理的數值模擬結果，來增進航空氣象預報。

對整個結果而言，能見度的預報較令人滿意，而雲幕高方面就顯離譜；然而由於模式在雲微物理過程仍無法盡善盡美，以至於產生誤差。由此可知，若要嚴肅探討航空氣象要素，除了大氣動力過程外，勢必要嚴謹的看待「物理過程」，與大氣邊界層參數化的問題。

其次，有關雲幕與能見度定義的量化與客觀化，似乎是一件必須面對的問題；否則，若仍停留在主觀的人工觀測階段，如何與模式配合，很難有合理的解答。然而該研究已向這領域跨一步，對未來航空氣象研究，應可提供些許的參考。

致謝

本文資料承蒙美國國家大氣研究中心Tom Warner 博士提供，在此表示謝意。

參考文獻

Cairns, M. M., R. J. Miller, J. Chen, J. L. Mahoney, S. G. Benjamin, J. E. Ramer, and T. L. Smith, 1994a: A second evaluation of aviation-impact variables generated by MAPS. NOAA Technical Memorandum ERL FSL-13, 96 pp.

Memorandum ERL FSL-13, 96 pp. Cairns, M. M., R. J. Miller, J. Chen, J. L. Mahoney, S. G. Benjamin, J. E. Ramer, and T. L. Smith, 1994b: A second evaluation of aviation-impact variables generated by MAPS. NOAA Technical Memorandum ERL FSL-13, 96 pp. Federal Coordinator for Meteorological service and supporting research, 1995: Surface Weather Observations and Reports. U.S. Department of commerce/ National Oceanic and Atmospheric Administration. Poter, C. W. and N. L. Seaman, 1995: Short-term high-resolution forecasting of cloud ceiling heights and visibilities. 6th Conf. On Aviation Weather Systems, AMS, Dallar, 15-20 January 1995.

表一. 質量濃度 (C, g/m³) 與削弱係數 (β, km⁻¹) 之關係表。

Hydrometeor	Relationship
Cloud liquid water, fog	$\beta = 144.7 C^{0.88}$
Rain	$\beta = 1.1 C^{0.75}$
Cloud ice	$\beta = 163.9 C^{1.00}$
Snow	$\beta = 10.4 C^{0.78}$

表二. 飛航標準關係表，圖三、四之灰暗程度即參照此表繪製。

Category	Ceiling range in feet (meters)	Visibility range in miles (kilometers)	Gray shading
VFR	C > 3000 (914)	V > 5 (8.05)	none
MVFR	1000 (305) < C < 3000 (914)	3 (4.83) < V < 5 (8.05)	light
IFR	500 (152) < C < 1000 (305)	1 (1.61) < V < 3 (4.83)	medium
LIFR	C < 500 (152)	V < 1 (1.61)	dark

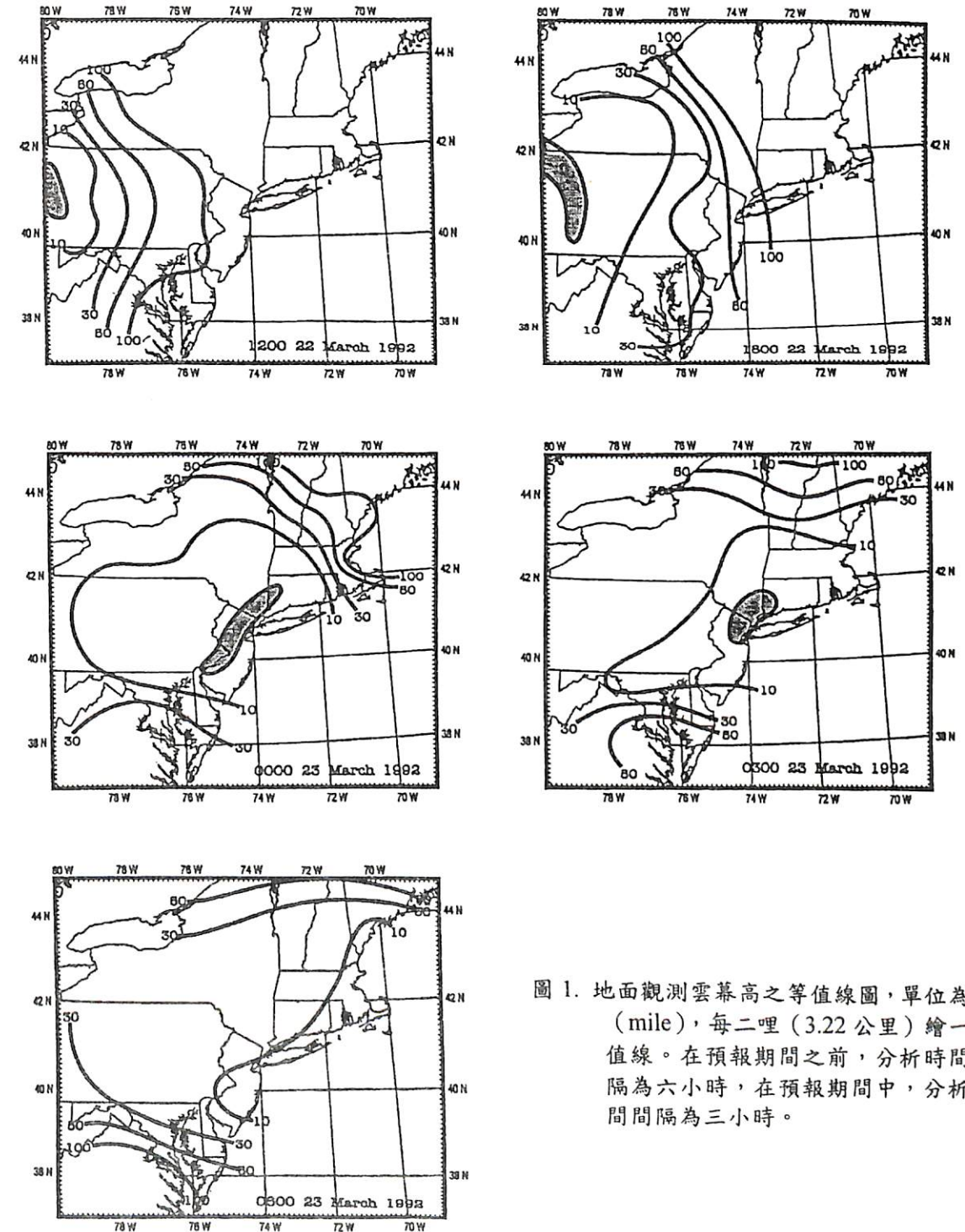
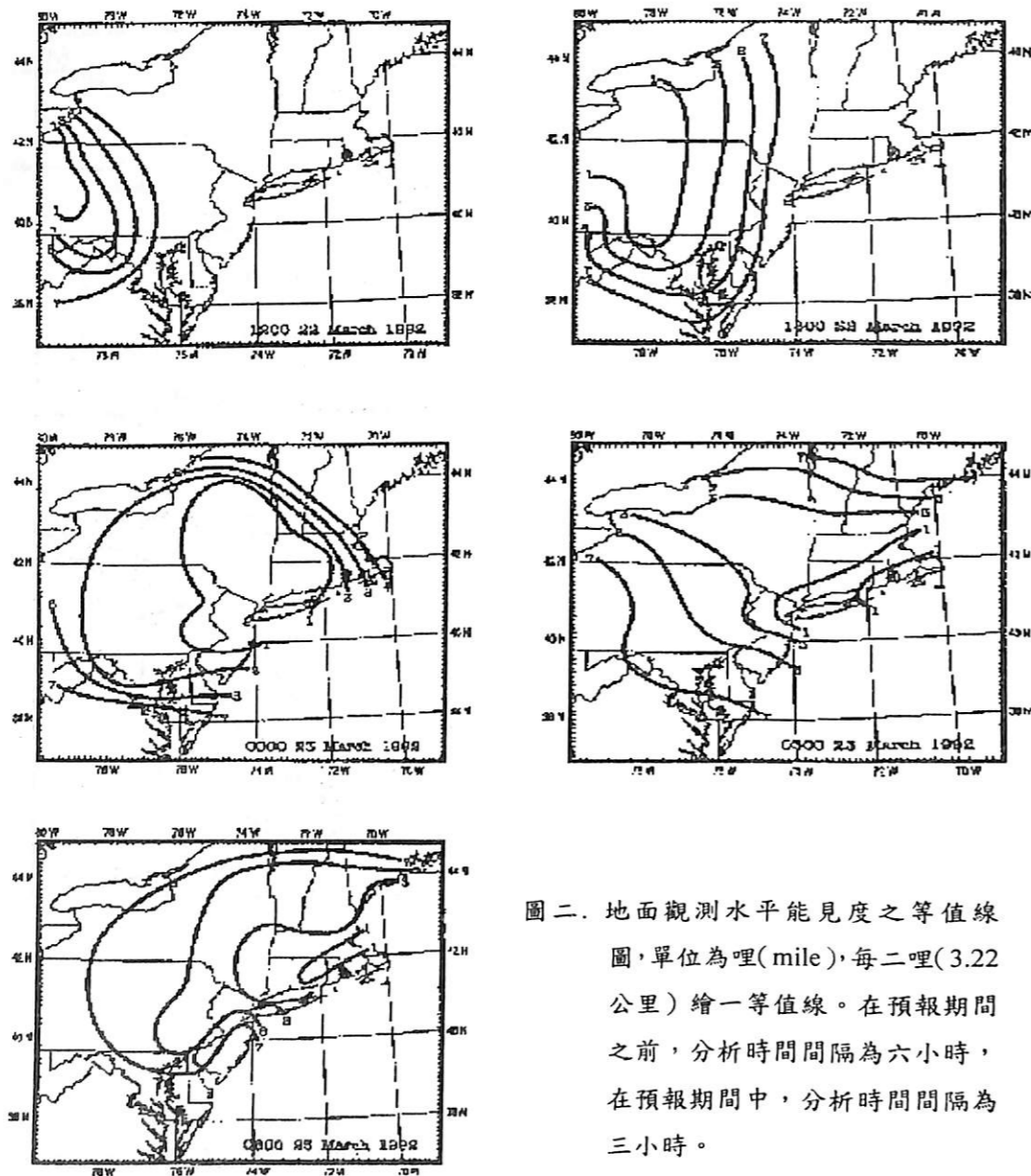
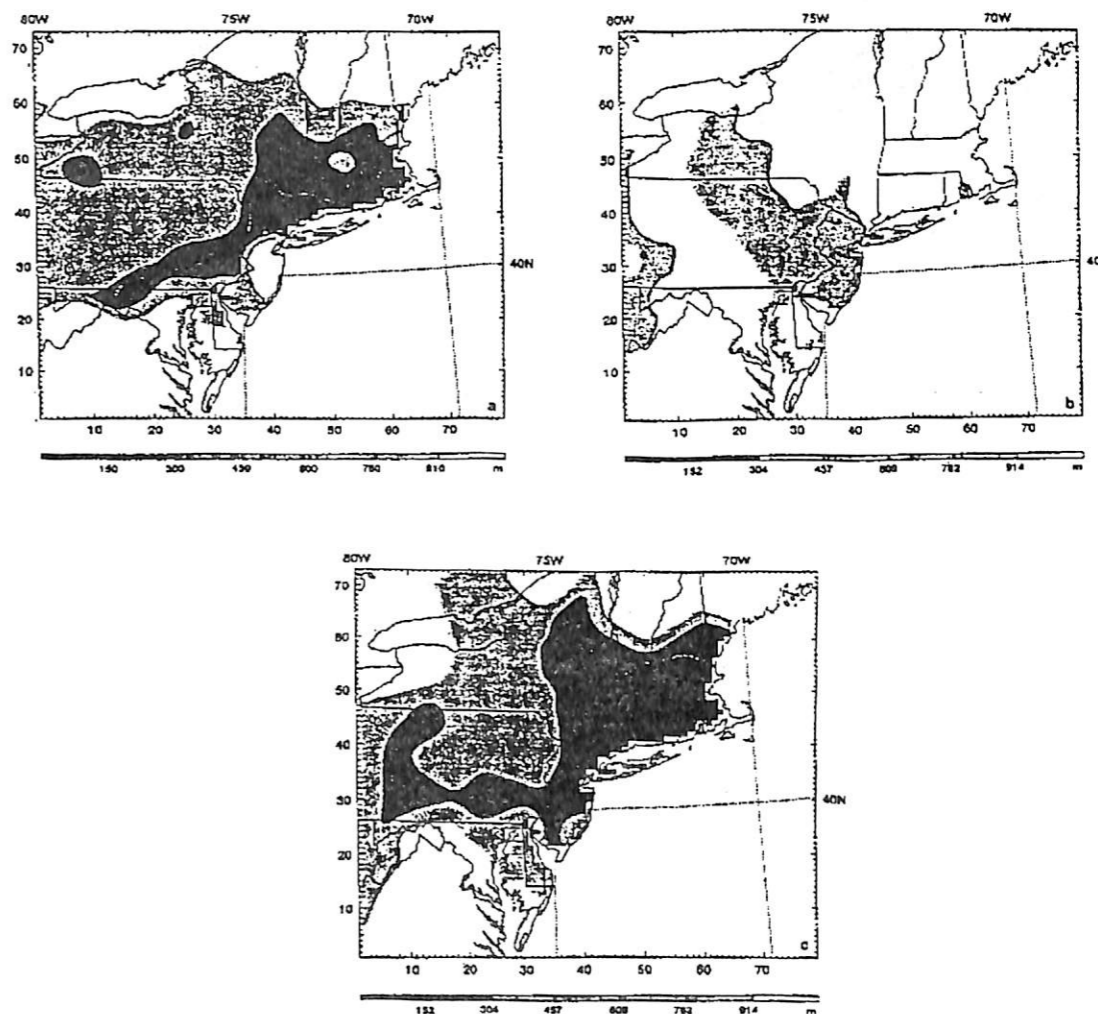


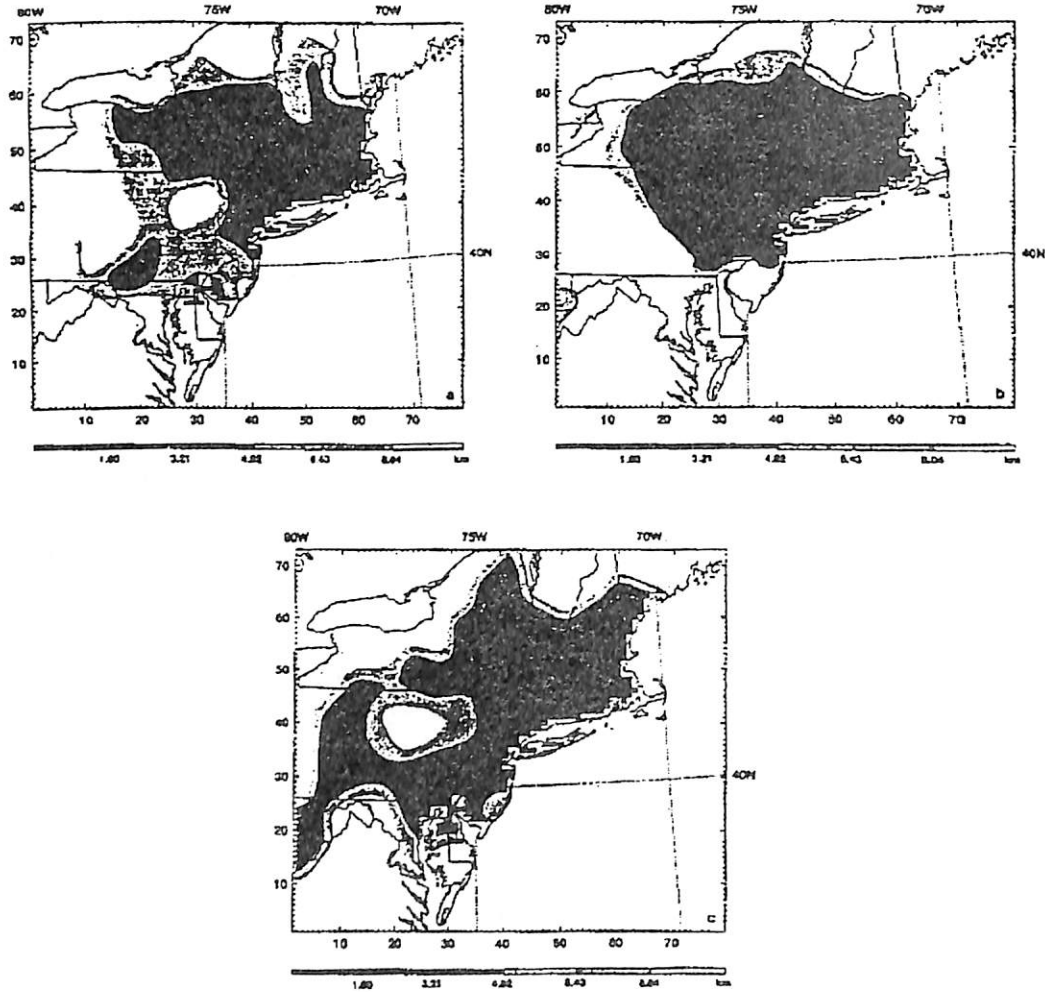
圖 1. 地面觀測雲幕高之等值線圖，單位為哩 (mile)，每二哩 (3.22 公里) 繪一等值線。在預報期間之前，分析時間間隔為六小時，在預報期間中，分析時間間隔為三小時。



圖二. 地面觀測水平能見度之等值線圖,單位為哩(mile),每二哩(3.22公里)繪一等值線。在預報期間之前,分析時間間隔為六小時,在預報期間中,分析時間間隔為三小時。

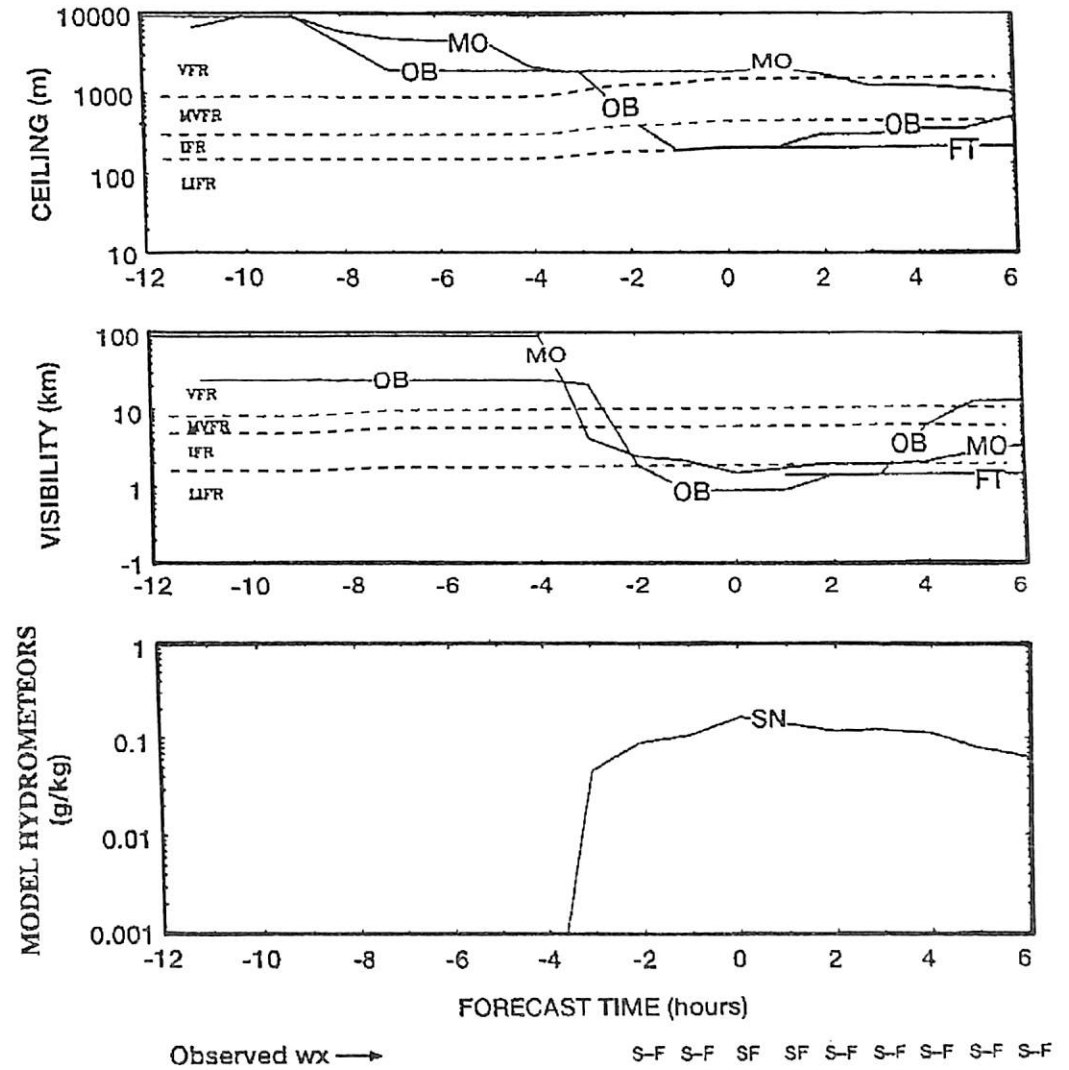


圖三. 雲幕高等值線圖。(a)地面航線觀測資料,(b)是模式(DIMIX)的結果,(c)終端預報資料。



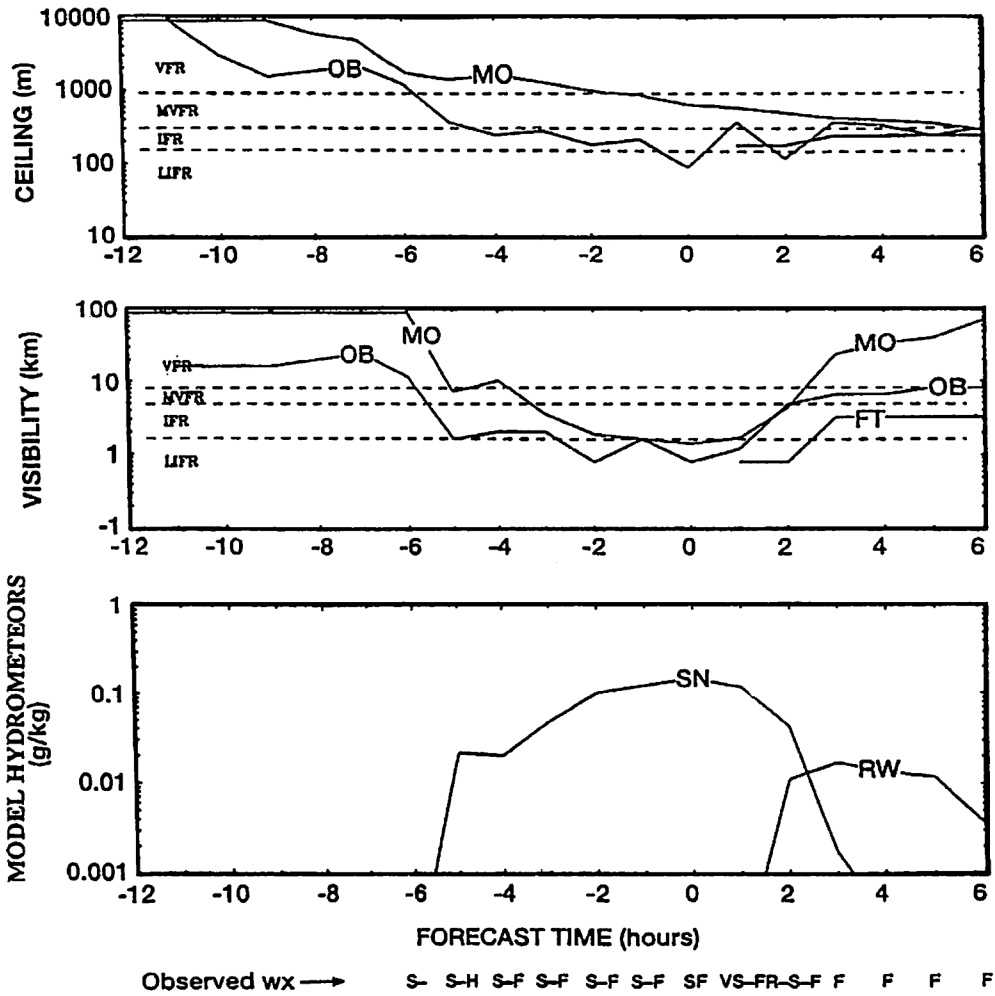
圖四：如圖三，但為能見度

紐約 LAGUARDIA 機場



圖五. 紐約 Laguardia 機場資料之時間序列圖。上、中圖分別代表雲幕與能見度，飛航標準範圍以虛線表示，OB、MO、FT 分別代表觀測、DIMIX 模式實驗、終端預報等時間序列。下圖代表最低模式水平 (lowest-model-level) 中雨水 (RW)、雪 (SN) 之混合比。相關觀測天氣的現象顯示在圖的底部。

費城機場



圖六. 如圖五，但為費城機場。