

STORM-FEST中尺度數值天氣預報

郭英華

美國國家大氣研究中心

一、前言

中尺度數值模式經過多年的研究與測試，在氣象科學的研究上已成為不可或缺的工具。由於中尺度模式一般而言有較高的水平及垂直解析度，並有較精細的物理過程，對天氣現象的描述及天氣的演變較之綜觀尺度預報模式有較好的掌握能力。然而也因為其高解析度及複雜的物理參數化，其所需要之電腦時間及記憶存量也大了許多。因此一般中尺度模式僅用之於天氣現象，天氣系統的模擬，很少用於實際天氣的預報。

最近幾年來，電腦科技日新月異。計算機的運算速度及記憶存量不斷地加快，不斷地擴大。因此在可見的將來，很多數值天氣預報中心將會普遍地使用中尺度模式來作實際天氣預報。這是一個必然的趨勢，值得工作人員探討。

美國的STORM計劃是一個長期的研究計劃，主要目的在於增進對於中尺度降水系統的了解與預報。STORM預計在美國本土進行多年，多次的觀測實驗。在1992年2月1日到3月15日，STORM的計劃辦公室主持了一個冬季的觀測實驗，名為STORM-FEST (Front Experiment and Systems Test)。其主要目的乃在於對美國中部，冬季氣旋及鋒面降水系統的研究。

應STORM計劃辦公室的邀請，NCAR的

MMM (Mesoscale and Microscale Meteorology) Division —— 中小尺度氣象組為STORM-FEST觀測實驗做了為期六週的中尺度數值天氣預報。這個工作的目的有四：

(一)對於每天的觀測作業提供一個指引。由於中尺度模式能比作業模式NGM有較好的解析度。因此中尺度模式的預報結果可以用來指揮氣象研究飛機的作業。引導飛機到重要的觀測地點。

(二)評估中尺度模式的預報能力。

(三)與作業模式進行預報比較。

(四)高解析度的模式結果可以用來探討中尺度天氣系統的動力及物理過程。

本文的主要目的在於介紹這個工作的規劃及初步結果。

二、預報模式的設計

我們所使用的模式是NCAR / Penn state 中尺度模式 (Anthes et al. 1987)。模式的物理包含了雲滴、雨滴、冰、雪的顯性預報方程 (即包含了細緻的雲物理過程)，也包含了網格尺度的積雲參數化 (Grell 1992)。至於邊界層物理則使用了Blackadar 的PBL模式。為了節省電腦的時間，時間積分係採用Madala的Split-explicit方案。

這個模式包含了三嵌套網格。A網格的格距為

180 公里，水平網格數為 35×65 。B 網格格距為 60 公里，網格數為 61×79 。C 網格格距為 20 公里，網格數為 64×82 。這三個網格的垂直層次皆為 27 層。

A 網格使用美國國家氣象中心 (NMC) 的全球分析為初猜場。這個初猜場 (first guess) 經過客觀分析後，把探空的資料變成模式的初始場。A 網格在七 = -12 小時進行模式的初始化，預報 48 小時到七 = -36 小時。其邊界條件取自於 NMC 的全球模式。

B 網格嵌套於 A 網格內。嵌套的方案是單向嵌套方案 (one-way nesting)。B 網格亦初始於七 = -12 小時。其初始場係取自於美國 NOAA Forecast Systems Laboratory 的中尺度分析與預報系統——MAPS (Mesoscale Analysis and Prediction System)。MAPS 使用一個等熵模式做三小時一次的間歇性四維同化 (intermittent data assimilation)。在七 = -12 小時到七 = 0 小時之間，NCAR/Penn state 模式使用一個 Nudging 的連續性四維同化方案把 MAPS 的三小時分析加入我們的預報模式。模式於七 = 0 小時後往前預報 36 小時。

C 網格的初始場係取自於 B 網格在七 = 0 小時的場 (從 60 公里插到 20 公里的網格)。C 網格利用雙向嵌套方案嵌套於 B 網格內，也往前預報 36 小時。

圖一表明了這三個網格的作業過程。在 STORM-FEST 期間，A 網格每 12 小時作業一次。一星期七天，每天作業。B / C 網格則平常每天作業一次 (用 1200 UTC 的時間為七 = 0 小時)。如果有 IOP (密集觀測) 則增為二次。平常的作業時間流程則顯示於圖三。

三、預報結果

在六個星期的觀測實驗裡，STORM-FEST

一共做了二十次 IOP。NCAR/Penn State 模式的預報運作也非常順利。這些預報的結果對於觀測實驗的進行也提供了非常有用的指引。目前 NCAR 的 MMM Division 正在對模式的預報結果進行客觀的校驗。將來也會仔細比較這個模式與 NGM 的預報能力。限於篇幅，我們無法對每一個 IOP 模式的預報結果做詳細的報告。這裡，我們僅用一個個例來簡單介紹模式的預報結果。

1992 年 3 月 9 日，一個短波槽經過美國中西部。伴隨著一個強烈的寒流在科羅拉多州產生一個大風雪。丹佛地區 12 小時下了近二十英吋的雪。圖四為 NMC 的主客觀地面分析。在 3 月 9 日 00 Z，一個低壓已形成於科羅拉多州的東南部。低壓中心為 994 毫巴。除了氣旋本身的鋒面外，一道強烈的冷鋒伴隨著寒潮急速往南推進。在 3 月 9 日 00 Z，NMC 的分析指出冷鋒位於氣旋之北，在科州的中北部。到了 3 月 9 日的 06 Z，冷鋒沿著 Rocky Mountain 的前沿移到了科州的南部。氣旋本身並沒有加深，然而却往東移動了二百五十公里。六小時之後，鋒後的冷空氣已灌進了 Texas 州的北部。科州的大風雪主要發生於 3 月 9 日 00 Z 到 12 Z 之間。

圖五表明了 NCAR/Penn state 模式的地面氣壓預報。這個預報實驗的初始時刻為 3 月 8 日 12 Z。12 小時的海平面氣壓顯示 Colorado 州的氣旋強度及位置均掌握得相當好。18 小時預報 (3 月 9 日 06 Z)，與觀測比較可以看出氣旋預報得較強 (992 毫巴，比觀測強了三個毫巴)。另外，氣旋往東移動的速度也慢了些。24 小時預報的氣旋位置及形狀與觀測極為吻合，祇是預報低壓中心比觀測強了四個毫巴。由低壓後面高氣壓的移動，我們也可以看出模式對寒潮爆發預報得很好。

圖六顯示了模式在 $\sigma = 0.945$ 層的風場與溫度

場。在 3 月 9 日 00 Z (12 小時預報)，冷鋒位於科州北部，與觀測吻合。科州東部吹的是東風。北部則處於鋒後，吹東北風。南部則吹西風。六小時之後，強烈的鋒生過程建立了一條很強的冷鋒。與觀測做比較，模式的鋒面位置比實際的位置落後了近 100 公里。此時，冷空氣已大舉入侵科州中部。到了 3 月 9 日 12 Z (24 小時預報)。冷空氣便進入了 Texas 的北部。鋒面的強度也比六小時前加強了許多。

這個模式對這一次降水過程也掌握得很好。圖七表明了模式在 3 月 9 日 00 Z 至 06 Z 之間每三小時的降水預報。這個預報的初始時刻為 3 月 8 日 00 Z，因此，其為 24 小時到 30 小時的預報。降水預報表明降水主要發生於鋒後，與觀測十分吻合。根據這個模式的預報，STORM—FEST 的實觀指揮中心決定進行密集觀測。

四、結語

這次在 STORM—FEST 裡用 NCAR / Penn State 模式以 20 公里的網格間距做實際的中尺度預報是一個很成功的嘗試。在實驗初期，由於預報人員，對於這個模式不太熟悉，因此預報作業仍以 NGM 為主。很快地，預報人員發現這個模式對中尺度天氣系統掌握得比 NGM 好很多，也就愈來愈依重這個模式的預報。在 STORM—FEST 期間有很多次，作業指揮官根據這個模式每一小時的預報結果來指揮在 NOAA P—3 飛機上的科學家作密集觀測而獲取了許多寶貴的資料。這是第一次一個中尺度模式被用來引導一個大型觀測實驗。結果非常有效，也非常成功。

在我們做完仔細的評估之前，我們無法對這個模式的預報能力下一個客觀的評分。然而每天看這個模式的預報，並與 NGM 做主觀的比較，還是有

一些感想。

第一，高解析度，高頻率的模式輸出對預報作業有非常大的幫助。目前 NGM 的預報以每 12 小時的間格輸出一些既定的圖。預報人員無法看到更細、更頻繁的預報，也無法看到想看的預報場。這對預報作業是一大障礙。NCAR / Penn State 模式每一小時輸出一次，共 27 層，且有非常方便的 Work Station 來看模式的結果。預報人員可以隨意看想看的場，可以取橫剖面，縱剖面，或看時間系列，或做電影式輸出。對於模式的預報結果很快就可以掌握。如果模式的預報是準確的，預報人員就可以很精確地發佈預報結果。經過 STORM—FEST 的實驗，我們深深體會，模式的輸出及結果的顯示是模式發展裡一個重要的一環。如果沒有好的輸出及顯示系統，再好的預報模式也無法發揮它應有的效能。

第二，我們每天校驗模式的地面預報後（根據地面測站之觀測），發現這個模式對於日變化掌握得不夠好。一般而言，模式的日變化要比實際的日變化小很多。由於一般的預報模式通常不會對某一測站的預報做校驗，因此我們也無從知道別的模式（如 NGM）的地面預報能力。由 STORM—FEST 的經驗指出現行的 Blackdar PBL 模式必需改進。

第三，我們發現中、小尺度模式的預報能力很受邊界的影響。以我們 60 公里的模式範圍大約在 12 小時後就受到 A 網格預報的影響。我們發現有幾個個例，因為 180 公里間距的 A 網格預報有誤差，結果系統移入 60 公里網格的時間和地點都較 NGM 差（將 NGM 的 C Grid—90 公里網格所含蓋之範圍約為我們 60 公里網格的 4~5 倍）。如果電腦時間充裕，將來如有類似之實驗，我們必須擴大 60 公里網格。

第四，使用20公里網格確實有其獨特之效用。以目前的20公里模式範圍，模式12~24小時之間的預報效果最佳。我們發現20公里模式由於其對地形的處理及物理過程的參數化都有其特優之處，因此對於中尺度的帶狀降水，雪帶，較細的降水分佈都比NGM要好很多。對於中小尺度的旋生及鋒生過程也有其獨到之處。將來普遍用於實際天氣預報是極為有用的。

Reference

- Athes, R.A., E.-Y. Hsie, and Y.-H. Kuo, 1987: Description of the Penn State/NCAR Mesoscale Model Verion 4 (MM4). NCAR Tech. Note, NCAR/TN-282+STR, 66 pp. [Available from National Center for Atmospheric Research, P.O. Box 3000, Boulder, CO 80307.]
- Benjamin, S. G., T. L. Smith, P. A. Miller, D. Kim, and T. W. Schlatter, 1991: Recent improvements in the MAPS isentropic-sigma data assimilation system. Preprints, Ninth Conference on Numerical Weather Prediction, 14-18 October 1991, 118-121.
- Blackadar, A. K., 1979: High resolution models of the planetary boundary layer. Advances in Environmental Science and Engineering, 1, no. 1, Pfafflin and Zeigler, Eds, Gordon and Breach, 50-85.
- Grell, G. A., 1992: Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations. Mon. Wea. Rev., (in press).

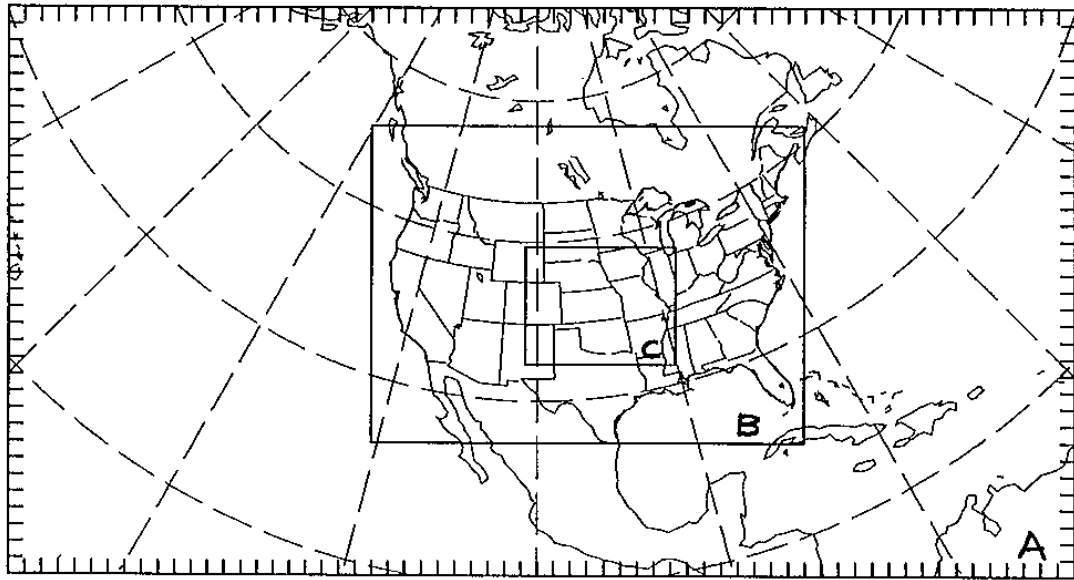
Mesoscale Numerical Weather Prediction for STORM – FEST

Ying-Hwa Kuo

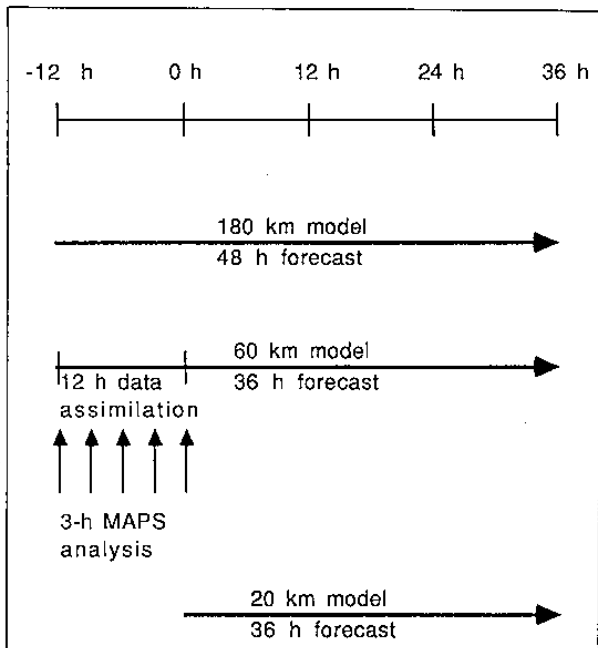
National Center for Atmospheric Research
P.O. Box 3000, Boulder, CO 80307

Abstract

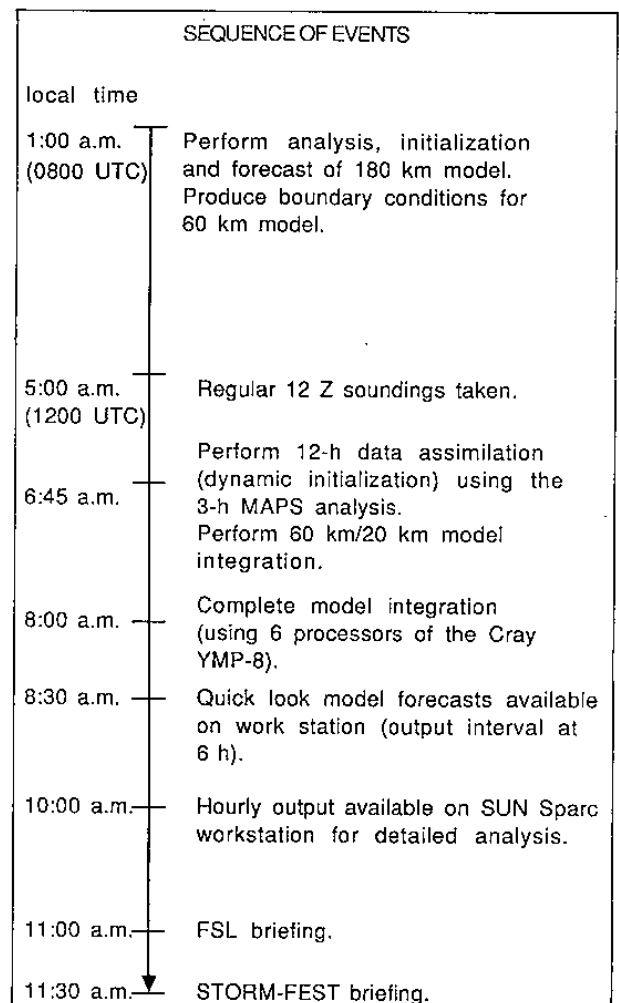
During 1 February-15 March 1992 a special field program focussed on winter storms were conducted over the central United States. This program is known as the Storm-FEST (Fronts Experiment and Systems Test) experiment. The NCAR/Penn State mesoscale model was used to perform real-time experimental Mesoscale numerical weather prediction for STORM-FEST. Three nested-grids with grid spacing of 180 km, 60 km, and 20 km were utilized, and the forecast duration was 36 h. The results were shown to be extremely useful for guiding the operations of STORM-FEST. In particular, the 20-km mesoscale model were able predict realistic mesoscale banded precipitation which were not captured by other operational regional models such as the NGM. The high-resolution, high-frequency (hourly) output from the model were used to guide the aircraft operations during intensive observing peeiods.



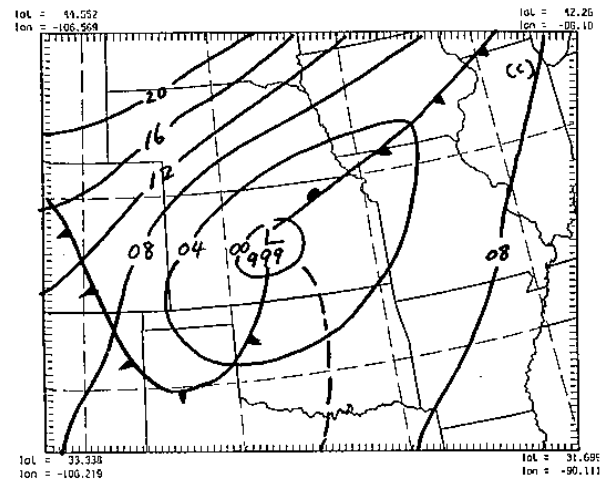
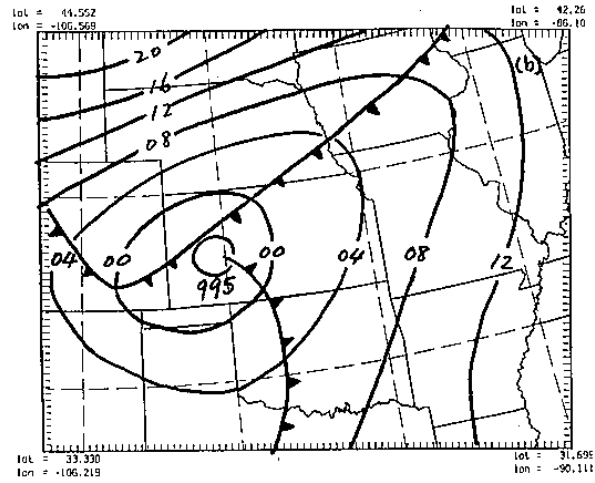
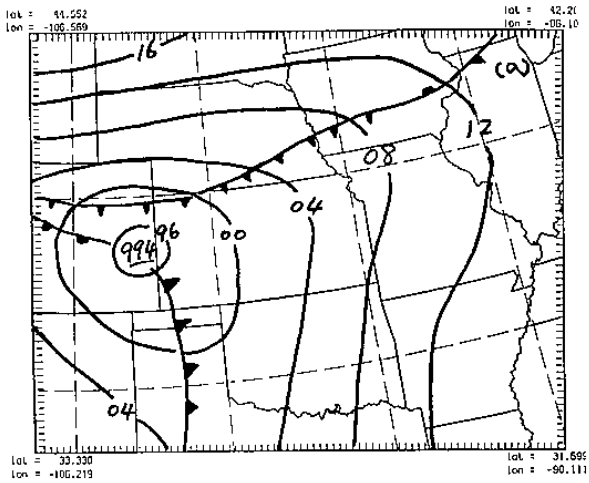
圖一 NCAR / Penn State 中尺度模式為 STORM-FEST 做預報所涵蓋之模式範圍。A 網格間距為 180 公里，B 及 C 網格則為 60 公里和 20 公里。



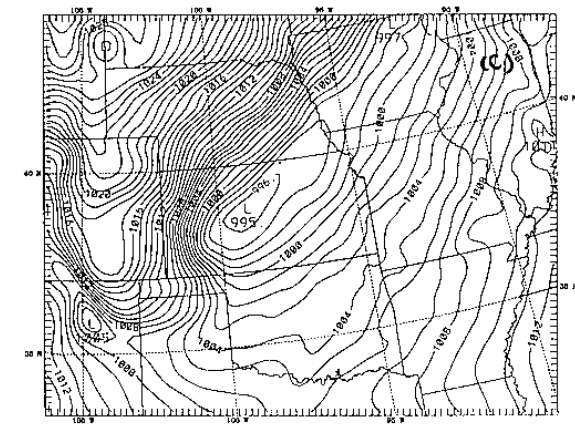
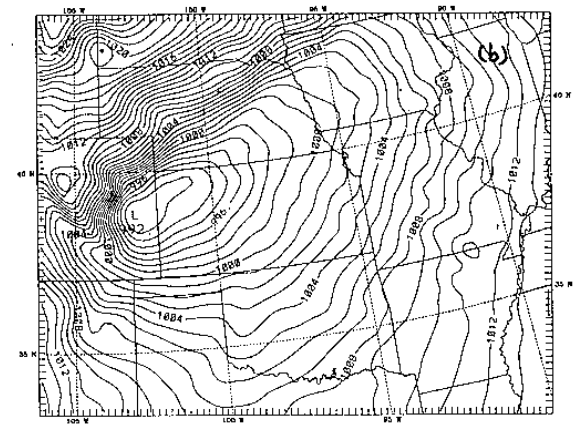
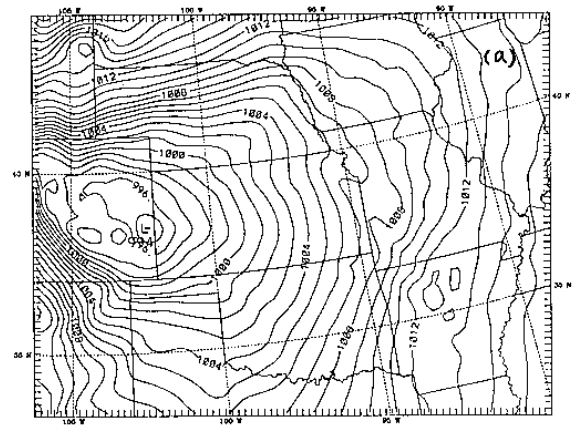
圖二 NCAR / Penn State 中尺度模式的作業過程。60 公里網格的模式在七二-12 小時到七二〇小時之間有 12 小時的四維同化（或動力初始化）。



圖三 模式平常的作業時間流程。



圖四 NMC的地面分析，(1)00 Z 3月9日，
(2)06 Z 3月9日，(3)12 Z 3月9日。



圖五 C 網格 (20公里的海平面氣壓預報)。(1)00 Z 3月9日 (12小時預報)，(2)06 Z 3月9日 (18小時預報)，(3)12 Z 3月9日 (24小時預報)。

