

# 中央氣象局有限區域預報系統

## 對TAMEX IOP#13個案之數值模擬研究

徐月娟

中央氣象局

郭英華

張偉正

美國國家大氣研究中心

美國海軍研究院

### 摘要

本研究係使用中央氣象局的有限區域預報系統，以發生於TAMEX IOP#13的梅雨鋒面系統為例，來作詳細的個案研究，藉以瞭解中央氣象局有限區域預報系統的預報能力，改進模式預報的系統誤差，增進使用模式預報產品的能力。

我們使用了兩組資料來源。一是由ECMWF/WMO全球分析資料內插而得，另一組資料則來自NCAR，以NMC北半球資料為初始猜測值，再加上觀測資料的修正。研究結果顯示ECMWF的資料，尚不足以解析受中尺度强迫作用影響較大的天氣個案。經逐步採用NCAR資料作測試，則較佳的等壓面分析及海水溫度分析資料，都能增進模式的預報。我們又採用NCAR提供的地形場（地形變化梯度較為緩和），發現地形高度的分布，對此個案中位於日本附近的低壓系統以及伴隨梅雨鋒面的低層輻合帶的預報都有很大的影響。

我們又作了水平解析度和垂直解析度測試。研究結果顯示，水平解析度增加使得地形效應對天氣系統的影響更為顯著。中央氣象局RFS和MFS對此個案均有類似的預報系統誤差，並不因水平解析度增加而有所改善。中央氣象局模式係採用單層（bulk）行星邊界層參數化方法，並假設邊界層（約為12層模式最下面三層）內為完全混合。對於伴隨梅雨鋒面非常淺的低層冷空氣而言，則12層的模式可能有解析上的困難。增加大氣低層的垂直解析度，對此個案有相當正面的貢獻。我們另外又使用一個正在發展中的行星邊界層參數化方法，研究結果顯示預報之梅雨鋒面系統的移動及所伴隨低壓中心的發展都更接近實際的觀測，並且能得到較佳的低層結構。

## 一、前言

數值模式的預報能力深受下列各因子的影響，諸如模式的初始值，地形的處理，水平及垂直解析度，以及非絕熱過程的參數化等。為了瞭解中央氣象局有限區域預報系統的預報能力，改進模式預報的系統誤差，增進使用模式預報產品的能力，我們以發生於TAMEX IOP#13的梅雨鋒面系統為例，作詳細的個案研究。研究內容包括初始資料品質的影響，水平解析度

和垂直解析度測試，以及邊界層物理參數化的影響。

## 二、綜觀天氣形勢

1987年台灣地區中尺度實驗計畫（TAMEX）於第十三次密集觀測期間所觀測的豪雨現象是整個實驗期間最顯著的一次。一個長生命期且移動緩慢的雨帶，曾在台中測站留下了10小時累積雨量達174mm的記錄。

我們檢視1987年6月24日1200UTC至6月25日1200UTC每間隔12小時的地面天氣圖。在24日1200UTC

時，有一個氣旋位於東海上，向東緩慢移動並加深。氣旋的後方是具有北風分量的風，與西南季風交會於台灣附近；而梅雨鋒面即位於這個低層輻合帶內。從圖中可以看出梅雨鋒面由於受到台灣地形的阻擋而變形。鋒面在台灣以東迅速南移；但鋒面在台灣以西則受阻於台灣島的西北角，此時台灣海峽大多是西南風或南風。到了25日0000UTC時，位於台灣海峽的鋒面，其西端南移較快，而東端却仍停滯在台灣島的西北角，形成了一個東北—西南走向的弧形。這個台灣海峽鋒面西端加速南移的現象，可能是鋒面與大陸東南沿海丘陵交互作用的結果。直至25日1200UTC時，台灣西南沿海的風向都沒有受到鋒面逼近的影響。

伴隨梅雨鋒面的氣旋中心於6月25日0000UTC時已東移至日本九州南方海面，這時在日本東南方海面另外又有一個氣旋生成。然後整個低壓系統就順著日本的地形，繼續向東北移動，於6月25日1200UTC時，系統已開始逐漸減弱。

從紅外線衛星雲圖可以看見在24日1500UTC時，有一條東西走向的飊線形成於台灣北部海峽上，很快地發展成爲中尺度對流系統（MCS），此系統緩慢向南移動。在台灣海峽面側的雲塊逐漸消散，而台灣上空的MCS則繼續發展。到了25日0000UTC時，直徑已有300公里，幾乎蓋住了整個台灣。此MCS至6月25日0600UTC後才逐漸消散。

### 三、數值模式及資料來源

我們使用中央氣象有限區域預報系統（LAFS）來對TAMEX 10P#13個案中的鋒面系統及所伴隨的氣旋作數值模擬研究。有限區域預報系統包含了區域預報系統（RFS）和中尺度預報系統（MFS）。

區域預報模式於民國七十八年七月起開始作業，係採用區域模式的前12小時預報場爲粗估場（first guess），然後利用當時的觀測資料來修正這些粗估場，再經過模式的非線性正交模初始化過程（nonlinear normal mode initialization）得到模式的初始場。每12小時的側邊界條件則是由全球預報系統（RFS）提供。模式涵蓋了亞洲大陸及其附近海面，水平向包括了111×81個網格點，網格距約爲90公里。

垂直向分成不均勻 $\sigma$ 厚度的12層， $\sigma = P/P_s$ ，其中P是大氣壓力， $P_s$ 是地表面氣壓。這12層的 $\sigma$ 值分別爲0.025, 0.075, 0.15, 0.25, 0.35, 0.45, 0.55, 0.65, 0.75, 0.85, 0.925及0.975，風、溫度及水汽變數即定義在這些層中。模式的物理參數化過程包括了一個全混合的行星邊界層，Kuo-type積雲對流，大尺度降水，長波與短波輻射，以及乾對流調整。有關模式的細節詳見Jeng et al. (1991)。

中尺度預報模式於民國七十九年元月起開始作業，中尺度模式的動力和物理的基本架構與區域模式相同，初始場則是由區域預報模式的初始場內插而得。每2小時的側邊界條件也是由區域預報模式提供。中尺度預報模式涵蓋範圍較小，水平向包括了101×81個網格點，網格距爲45公里。著重於台灣附近地區的預報。

由於TAMEX實驗時，這兩個作業系統尚未啓用，因此沒有作業的預報結果。我們對這兩個作業系統作了特殊的處理，使其能用來施行數值模擬研究。我們使用了兩組資料來源。一是由ECMWF/WMO全球分析資料內插而得，這組資料原來在 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 的經緯網格點上，包含七層（1000mb、850mb、700mb、500mb、300mb、200mb及100mb）的高度、溫度、風向、風速及相對濕度。另一組資料則來自NCAR，以NMC北半球資料爲初始猜測值，再加上觀測資料的修正。除了包含11層等壓面資料（1000mb、925mb、850mb、700mb、500mb、400mb、300mb、250mb、200mb、150mb及100mb）外，還有地面分析資料，海水溫度及地形高度。中央氣象局的有限區域預報系統就是採用上述11層的等壓面分析場。

### 四、數值模擬

我們以1987年6月23日1200UTC爲模擬預報的初始時間，作了48小時的預報。隨時間更新的側邊界條件則是由每12小時的分析場對時間作線性內插而得。數值模擬實驗是用來檢驗模式初始資料品質，水平解析度和垂直解析度，以及邊界層物理參數化，對預報結果的影響。

#### (一) 初始資料品質的改進

這裏共包含了三個實驗，分別標示為RE12，RN12和RN12T。實驗RE12為RFS採用ECMWF全球分析資料作為模式初始值和側邊界條件。其他兩個實驗則採用NCAR為了配合中央氣象局RFS水平網格系統所作的客觀分析場。實驗RN12為RFS使用NCAR提供的等壓面分析場，海平面氣壓場及海水溫度場。實驗RN12T除了換用NCAR提供的地形高度場外，其餘的和RN12相同。

### 1. 實驗RE12

實驗RE12的24小時預報（有效至6月24日1200UTC）海平面氣壓圖中，東海氣旋的中心低壓為995mb，強度與位置都與分析圖很接近。但在稍後的24小時內，預測圖中的氣旋停滯原地，且強度隨時間減弱。然而分析圖中的氣旋却繼續向東移動且逐漸加深。到了25日1200UTC時，氣旋中心的強度上升至998mb；實際上氣旋中心的強度却是993mb，且位於預測位置東南方約500公里處。由於東海氣旋沒有向東移動，在台灣附近的海平面氣壓比實際情形低了很多。

在24日1200UTC時，模式預測的最低層（ $\sigma = 0.97$ ）風場中，有一條伴隨梅雨鋒面的合流帶位於台灣以北約200公里處。台灣海峽都是吹西南風。在接下來的24小時內，台灣海峽和南海上的西南氣流一直都很強盛，使得伴隨梅雨鋒面的合流帶一直保持在台灣以北。到了25日1200UTC時，這條合流帶甚至被向北推至 $30^\circ\text{N}$ 處。由於梅雨鋒面被推回北方而沒有機會和中央山脈起交互作用。因此模式預測的風場分布和實際有出入。模式預測在台灣附近的降水也並不多。

### 2. 實驗RN12

當模式的初始資料品質有所改進時，實驗RN12的預報結果也有一些改進。東海氣旋於24日1200UTC時中心強度為993mb，同時還有一個低壓中心向東南伸出，與分析圖一致。到了25日1200UTC時，東海氣旋雖只向東移少許，但並未填塞得很快，中心低壓為995mb。低壓帶在日本東南沿海的1005mb等壓線可伸展至 $37^\circ\text{N}$ 。日本北海岸的小低壓中心則是由於氣流越過日本地形時

造成的。由於東海氣旋較強，連帶得就把梅雨鋒面稍向南推一些。48小時預報的梅雨鋒面位於台灣以北150公里處。由於梅雨鋒面仍然沒有通過台灣，低層氣流場和實際仍然有出入。

### 3. 實驗RN12T

NCAR提供的地形場是用Cressman客觀分析法，由NCAR每間隔30個經緯分的地形資料分析而得。最後得到的地形場還作了兩次的五點修勻。地形場保留了青康藏高原和中央山脈的陡峭梯度。中央氣象局的地形場則是採用美國海軍每間隔10個經緯分的資料作包絡（envelope）地形處理，標準偏差值為1.0。NCAR地形場最高值在台灣為500公尺，在日本本州為789公尺。CWB地形場最高值則在台灣為1110公尺，在日本本州為1385公尺，比NCAR地形場變化梯度更大。

實驗RN12T的24小時、36小時預測的海平面氣壓場與RN12很接近。然而48小時的預測結果却有相當改進。海平面氣壓場中，在日本北海岸的小低壓中心不再出現。低壓帶在日本東南沿海的1002mb等壓線可伸展到 $35^\circ\text{N}$ 。東海氣旋多了一條996mb封閉線，氣旋中心也稍向東移一些。最低層風場中的梅雨鋒面已很接近台灣。

## (二) 水平解析度和垂直解析度測試

實驗ME12為MFS由RE12的初始場內插得到水平網格解析度為45公里的初始場。實驗RN16T與RN12T不同之處是在垂直向分成16個 $\sigma$ 坐標層次，這16層的 $\sigma$ 值分別為0.05, 0.15, 0.25, 0.35, 0.45, 0.55, 0.65, 0.75, 0.82, 0.86, 0.90, 0.935, 0.96, 0.9775, 0.99和0.9975。原來在 $\sigma = 0.8$ 以下只有3層，現在增加為8層，大大增加了大氣低層的垂直解析度。

### 1. 實驗ME12

雖然水平解析度增加一倍，但實際ME12的結果和RE12很類似。在東海的氣旋也是停滯不動。較RE12改進之處是這個氣旋能一直保持它的強度，直至25日1200UTC時也沒有被填塞。伴隨梅雨鋒面的低層輻合帶也是與RE12有相同的系統誤差。

在整個預報期間梅雨鋒面都維持在台灣以北。台灣海峽及南海一帶有盛行西南風。梅雨鋒面的西端位置比RE12稍為往南一些，部分的原因可能是因為東海氣旋較強；部分的原因可能是因為MFS地形在大陸東南海岸一帶比RFS地形更為陡峭所造成的。

## 2. 實驗RN16T

實驗RN16T主要是增加了大氣低層的垂直解析度。東海氣旋在48小時預測圖中已東移至130°E，只是位置比較偏北靠近日本南端。48小時預測的低層輻合帶已能抵達台灣北部。從24日1200UTC時預測的前12小時累積雨量圖中，可以看見台灣北部海面有一長條東西走向的雨帶。到了25日0000UTC時，這條伴隨梅雨鋒面的雨帶更為明顯，並且向南移，蓋住了台灣北部及中部地區。同時在日本東南方海面上還有另一條東北—西南走向的雨帶。這些雨帶到了25日1200UTC時，才漸漸散開。台灣全島此時仍籠罩在雨區之下。

### (三) 邊界層物理參數化的改進

中央氣象局模式採用單層 (bulk) 行星邊界層參數化方法，是以Deardorff(1972)方法計算地面層的地面通量，再就邊界層為不穩定或穩定的情況，分別根據Stull(1976)或Nieuwstadt and Tennekes(1981)的方法，來預報行星邊界層的高度。然後假設邊界層(約為12層模式的最下面3層)內為完全混和。所以實際上在邊界層內的風場並沒有什麼差別。然而伴隨梅雨鋒面的底層冷空氣通常是很淺。對於12層模式而言，就可能有解析上的困難。實驗RN16T即部分改進了模式的預報。我們另外採用一個中央氣象局正在發展中的多層次 (multilevel) 行星邊界層參數化方法。這是個一階半封閉的E-ε方法 (Detering and Etling, 1985)。這個方法需要增加兩個預報式，即紊流動能(E)方程式及紊流動能消耗率(ε)，但考慮了更多的物理。垂直向渦流擴散係數(K)則可由Kolmogorov關係式( $K=C E^2/\epsilon$ )得到。實驗RN16TP就是使用這個正在發展中的多層次行星邊界

層參數化方法。初步實驗的結果近似於RN16T的結果，而且預報之梅雨鋒面系統的移動及所伴隨低壓中心的發展都更接近實際的觀測，並且能得到較佳的低層結構。

## 五、結 論

在本研究中，我們使用中央氣象局的有限區域預報系統，對發生於TAMEX 10P#13的梅雨鋒面系統為例，作了詳細的個案研究。研究內容包括初始資料品質的影響，水平及垂直解析度測試，以及邊界層物理參數化的影響。初步研究結果如下：

- (一) 使用ECMWF的資料時，模式對此個案的預報有系統性誤差。東海氣旋會停滯不動並減弱。連帶地，梅雨鋒面就無法南下，使得台灣附近的低層風場結構與事實有出入。ECMWF的資料可能不足以解析受中尺度強迫作用影響較大的天氣個案。
- (二) 使用NCAR提供的分析資料能改進模式的預報，但梅雨鋒面仍然無法向南通過台灣。
- (三) 使用NCAR提供的地形高度場能改進日本附近低壓系統的預報，也能改進梅雨鋒面系統的預報。
- (四) 水平解析度增加能略微改進模式的預報。但系統性誤差，並不因水平解析度增加而有所改進。
- (五) 增加近地層大氣的垂直解析度能使得氣旋東移至130°E，只是中心的位置較為偏北。48小時預測的梅雨鋒面已能抵達台灣北部。
- (六) 改進模式的行星邊界層參數化，能使梅雨鋒面系統的移動及其所伴隨低壓中心的發展更接近實際的觀測，並且能得到較佳的低層結構。

## 致 謝

我們感謝中央氣象局資訊中心陳建河先生協助處理ECMWF的資料，也感謝陳得松先生和馬子玉先生協助處理NCAR的資料，使本研究順利完成。

## 參考文獻

- Deardorff, J. W., 1972: Parameterization of the planetary boundary layer for use in general circulation models. *Mon. Wea. Rev.*, 100, 93-106.
- Detering, H. W., and D. Etling, 1985: Application of the E- $\epsilon$  turbulence model to the atmospheric boundary layer, *Boundary Layer Meteorol.*, 33, 113-133, 1985.
- Jeng, B. -F., H. -J. Chen, S. -C. Lin, T. -M. Leou, M. S. Peng, S. W. Chang, W. -R. Hsu, and C. -P. Chang, 1991: The limited-area forecast systems at the Central Weather Bureau in Taiwan. *Wea. Forecast.*, 5, 155-178.
- Nieuwstadt, F. T. M., and H. Tennekes, 1981: A rate equation for the nocturnal boundary layer height. *J. Atmos. Sci.*, 38, 1418-1428.
- Stull, R. B., 1976: Mixed-layer depth model based on turbulent energetics. *J. Atmos. Sci.*, 33, 1268-1278.

