

# 中央氣象局中尺度預報系統介紹及初步校驗

李尚武 陳慧貞 陳雯美

中央氣象局資訊中心

## 摘要

中央氣象局中尺度預報系統(CWBMFS)為一個12層流體靜力原始方程模式。網格點之水平配置採用ARAKAWA-C網格。網格大小在x、y方向均為45公里。模式以台灣為中心涵蓋4500kmx3600km範圍。模式之物理過程包括輻射、積雲及邊界層等物理參數化。

初步校驗採用模式正式作業後三箇月中(1990年1至3月)之每日作業資料。個案比較則於此資料期間選擇有代表性之天氣各一個。個案比較之結果顯示模式對台灣地區之中尺度現象有掌握能力。地面氣壓及850mb高度誤差有隨時間增加的情形。850mb溫度誤差則有海陸之差異。

關鍵詞：數值天氣預報、中尺度模式

## 一、前言

中央氣象局發展中尺度預報系統具有2個目的：一為預測台灣附近地區由大尺度環流與地形交互作用所產生的中尺度現象；另一則為做為未來研究發展用之中尺度模式的基礎。本系統於民國七十九年元月一日正式上線作業，目前每天2次提供本局預報中心36小時的預測圖，做為該中心從事短期預報的參考指引。

## 二、系統內容

### (一)範圍與網格

本預報系統所涵蓋範圍如圖一，包括華中、華南、台灣及部分西太平洋(亦即約為東經100度至145度、北緯10度至40度)。網格座標採直角網格，網格間距為45公里。

### (二)輸入

本系統首先輸入分析場及側邊界條件。因為目前觀測資料密度過疏，不適於中尺度預報系統進行客觀分析，故本系統並不作客觀分析；而是直接讀進其他

較大範圍之模式(全球預報系統或區域預報系統)的分析場經內插後做為本系統的分析場。經過許多個案測試的結果顯示中尺度預報系統若由區域預報系統提供側邊界條件將可獲得比由全球預報系統提供側邊界條件更好的預報結果，因此本系統目前的側邊界條件是由區域預報系統提供，每2小時經由 $\sigma$ 座標進入；當區域預報系統無法正常供應時，本系統亦可由全球預報系統取得側邊界條件，唯其更換頻率為每12小時一次，且由P座標進入。

除分析場與側邊界條件外，本系統尚需讀入一些氣候值例如：海溫、地表溼度、地表粗糙度、深土溫度、反照率等

### (三)初始化

中尺度預報系統的初始化方法有數種選擇：

1. 去除分析場的輻散風。
2. 去除外重力波。
3. 滿足非線性平衡方程式。

(四)地形處理

以美國海軍之每10分一個地形高度值的資料為基底用包絡法(envelope)求取(Wallace *et. al.*, 1983)本系統所用之標準差為0.5倍。

(五)預報模式

本系統之預報模式採通量形式的原始方程組，網格配置為Arakawa-C 網格，垂直座標則為  $\sigma$  座標。模式詳細內容如下：

1. 控制方程

$$\sigma = \frac{P}{\pi} \quad (\pi : \text{地面氣壓})$$

(1)動量方程

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\pi u)}{\partial t} = & - \frac{\partial(\pi uu)}{\partial x} - \frac{\partial(\pi uv)}{\partial y} - \frac{\partial(\pi u \dot{\sigma})}{\partial \sigma} \\ & + f \pi v - RT \frac{\partial \pi}{\partial x} - \pi \frac{\partial \phi}{\partial x} + \pi F_u \\ & + \pi K_H \nabla_{\sigma}^2 (\nabla_{\sigma}^2 u) \\ \frac{\partial(\pi v)}{\partial t} = & - \frac{\partial(\pi uv)}{\partial x} - \frac{\partial(\pi vv)}{\partial y} - \frac{\partial(\pi v \dot{\sigma})}{\partial \sigma} \\ & - f \pi u - RT \frac{\partial \pi}{\partial y} - \pi \frac{\partial \phi}{\partial y} + \pi F_v \\ & + \pi K_H \nabla_{\sigma}^2 (\nabla_{\sigma}^2 v) \end{aligned}$$

(2)靜力方程

$$\phi - \phi_s = -RT \ln \sigma \quad (\phi_s : \text{地形之重力位})$$

(3)連續方程

$$\frac{\partial(\pi \dot{\sigma})}{\partial \sigma} = \int_0^1 \nabla_{\sigma} (\pi v^2) d\sigma - \nabla_{\sigma} (\pi v)$$

(4)熱力方程

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\pi T)}{\partial t} = & - \frac{\partial(\pi uT)}{\partial x} - \frac{\partial(\pi vT)}{\partial y} - \frac{\partial(\pi \sigma T)}{\partial \sigma} + \frac{RT \pi \sigma}{C_p} \\ & + \frac{RT}{C_p} (\mathbf{v} \cdot \nabla \pi) - \frac{RT}{C_p} \int_0^1 \nabla_{\sigma} \cdot \pi \mathbf{v} d\sigma + \\ & \pi K_H \nabla_{\sigma}^2 [\nabla_{\sigma}^2 (T - T_{stand})] + \frac{\pi Q}{C_p} \end{aligned}$$

(5)地面氣壓變化方程

$$\frac{\partial \pi}{\partial t} = - \int_0^1 \nabla_{\sigma} \cdot (\pi \mathbf{v}) d\sigma$$

(6)水汽方程

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\pi q)}{\partial t} = & - \frac{\partial(\pi uq)}{\partial x} - \frac{\partial(\pi vq)}{\partial y} - \frac{\partial(\pi \dot{\sigma} q)}{\partial \sigma} \\ & + \pi Q_m + \pi K_H \nabla_{\sigma}^2 [\nabla_{\sigma}^2 (q - q_{stand}^*)] \end{aligned}$$

2. 時間積分

時間積分採Madaia(1981)的分離式顯積分方法(split-explicit)其基本精神為速度較慢之波動以較大的時間間距積分，速度較快的波動則採用較小的時間間距；其方法則是先以較大之時間間距積分各項，再對與重力波有關之輻散項及氣壓梯度項用較小的時間間距計算修正項，併進行修正，如此可節省許多計算時間。本系統所用之時間間距為120秒，對最快之3個重力波計算修正項所用之時間間距分別為120/8秒、120/8秒、120/4秒。

時間差分法採跳蛙式(leap-frog scheme)。

3. 空間差分

空間差分採中差法，且用4階之水平平流項積分。

4. 水平擴散

採用4階的水平擴散。由於擴散處理是在 $\sigma$ 座標上進行，為避免在地形陡峭處，垂直梯度會影響水平梯度，故溫度及溼度分別是對  $T' = T - T_{stand}$ ，及  $Q' = Q - Q_{stand}$  進行擴散處理，其中  $T_{stand}$  為當點之標準大氣的溫度， $Q_{stand}$  則為  $T_{stand}$  的飽和混合比。

5. 側邊界處理

採用Perkey和Krietzberg(1976)的趨勢法(tendency)，用模式最外5層的資料以算術遞減的權重和區域預報系統或全球預報系統所提供的側邊條件混合。

6. 行星邊界層之參數化(PBL parameterization)用deardorff(1972)的Bulk方法處理之。

7. 降水

模式降水包括大尺度降水及積雲降水。積雲參數化法是採修改過的郭氏參數化法(1965)。

8. 輻射參數化

分別採用Sasamori(1969)的長波輻射及Katayama(1974)的短波輻射參數化法。

由於輻射參數化計算極為耗時，故目前本系統是每8個時間間距才計算一次由輻射所造成氣溫變化率及地表溫度變化率，而在這8次積分中則採相同的變化率來計算氣溫及地表溫度。

### 9. 地表溫度

地表溫度是用Blackadar (1977)的能量平衡法來預報。

### 10. 輸出

本系統可輸出海平面之氣壓、溫度、風場及各標準層之高度、溫度、風場、水汽壓、相對溼度、相對渦度、垂直速度、輻散場及降水等。為配合本局預報中心之需求，本系統目前每日固定提供之預報場分別為：海平面氣壓及氣流場，850 毫巴之高度、溫度、風場及相對渦度，700 毫巴之相對溼度及垂直速度以及500毫巴之高度、相對渦度場。

### 11. 資源需求

中尺度預報系統在CDC CYBER 205 上預報36小時需耗之CPU大約為20分鐘。

整個模式內容之概述列於表一。

## 三、模式校驗及統計

### (一) 資料期間

CWBMFS自1990年1月正式上線作業，每天0000Z及1200Z分別做12、24及36 小時預報。為了瞭解模式的特性並提供預報人員參考，我們選取今年(1990年) 1月至3月每日作業之地面氣壓及850毫巴之高度與溫度場做為初步校驗的期間。校驗所使用的分析場則採取現行作業中的初始場，亦即地面氣壓由全球模式的分析場而850 毫巴之氣壓及溫度由區域模式之分析場內插而得。

### (二) 客觀計分法及結果

校驗所使用的客觀計分法有平均誤差 (Mean Error )，標準偏差(Standard Deviation)及S1得分(Teweles and Wobus, 1954; 方與陳, 1989; 陳等 1989)。

1. 平均誤差：平均誤差為預報值與分析值間的差

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^N M_i (F_i - A_i)}{\sum_{i=1}^N M_i}$$

異， $M_i$ ：地圖因數， $F_i$ ：預報值， $A_i$ ：分析值

表二顯示地面氣壓的平均誤差約為0.5mb，而850mb之高度場則比分析場低10m 左右。這兩個場之誤差隨預報時間沒有明顯的變化。850 mb之溫度場於12小時預報比分析場平均高出0.21°C，但48小時預報則低於分析場0.25°C，而36小時預報則為-0.41°C。此種誤差變化顯示溫度的預報隨時間有愈來愈冷的現象。

誤差之水平分佈(圖2)顯示地面氣壓或850 mb高度場在海陸交界處(日本，韓國及中國大陸沿岸一帶)有預報過高且隨時間增加的現象。850 mb溫度場則明顯的有陸上過高而海上過低的情形(圖三)。

2. 標準偏差：標準偏差的計算如下：

$$SDE = \sqrt{\frac{N}{N-1} \left[ \text{RMSE}^2 - (\text{ME})^2 \right]}$$

RMSE：均方根誤差，ME：平均誤差

為離平均誤差的指標，可以判斷誤差的變化。表三為1990年1月至3月海平面氣壓，850 mb高度及溫度誤差之標準偏差。各預報場之標準偏差顯示在36小時預報有明顯增加的情形，因此36小時預報誤差的變化量有明顯的增加。地面氣壓及850 mb高度場之標準偏差有隨月份增加而減小的情形，顯示季節變化將影響模式預報的誤差。

3. S1得分(Teweles and Wobus, 1954)

$$S1 = \frac{\sum_{i=1}^N M_i \left[ \left| \frac{\Delta P}{\Delta x} \right|_f - \left| \frac{\Delta P}{\Delta x} \right|_v + \left| \frac{\Delta P}{\Delta y} \right|_f - \left| \frac{\Delta P}{\Delta y} \right|_v \right]}{\sum_{i=1}^N M_i \left[ \text{Max} \left( \left| \frac{\Delta P}{\Delta x} \right|_f, \left| \frac{\Delta P}{\Delta x} \right|_v \right) + \text{Max} \left( \left| \frac{\Delta P}{\Delta y} \right|_f, \left| \frac{\Delta P}{\Delta y} \right|_v \right) \right]} \times 100$$

S1值一般介於20~80之間，為模式對氣壓梯度預報能力之評估。S1值愈小表示模式對氣壓梯度之預報能力愈高。由於中尺度模式中有較多的非地轉現象，因此S1值不容易代表中尺度模式的特性。圖四及表四所顯示的海平面氣壓場之S1值僅作為參考，12小時及24小時預報之平均值為61，36小時之S1值則增至67。

## 四、影響台灣天氣之個案

### (一) 台灣低壓旋生

1990年1月1日，台灣地區發生低壓旋生現象。從地面風場之分析可以看出氣旋式環流中心位於台灣北

方之大陸沿岸。12小時以後(1月2日00Z)，環流中心移至台灣東北方海面。

模式之地面風場對於各氣流中心都能夠掌握，但在強度及移動速度上略有差異(圖五)850 mb之高度場亦能顯示出台灣東側之低壓(圖六)。降水區亦與低壓中心相配合。區域模式則未能在台灣東側顯現低壓中心。

## (二)鋒面系統

圖七(a)及圖八(a)為冬季鋒面南下之地面及850 mb風場之分析圖。風切及合流帶自日本西方及南方向西南延伸至台灣海峽西部，另一合流帶則出現在廣東省境內向西延伸。北風氣流很明顯的抵達台灣地區。24小時預報場顯示南下氣流在台灣附近較實際觀測強(圖七(b))，而850mb之預測風場(圖八(b))也比實際觀測強。氣壓場及高度場之預報也比實際分析場強。(圖九、十)，雨區的分佈和降水的位置大致上相符合(圖十一)。

## 五、結論與討論

由個案比較的結果，中央氣象局作業中的中尺度模式對於鋒面系統及台灣及其附近地區發生的一些中尺度現象似乎有能力掌握，但仍需要更多的個案及統計資料。

客觀計分法中顯示模式存在一些系統性誤差：

1. 850 mb溫度場預報誤差之海陸差異及平均溫度隨時間降低。
2. 36小時預報之標準偏差顯示預報誤差之變化在36小時明顯增大。

這些誤差可能來自一些物理參數化，其中36小時的偏差變化可能來模式自中地形強迫的短波與大尺度模式之分析場不一致造成。

現階段的作業模式仍有相當大的改進空間：

1. 動力初始化的改進，目前採用的初始化只是避免輻散場造成之重力波。未來改進方向是採用正模(Normal Mode)初始化法。
2. 降水預測在中尺度模式中是一個比較重要且實際的問題，目前模式中影響降水的幾個要素中，包括邊界層與積雲參數化及水汽的初始場仍

有可以改進的地方。

3. 側邊界的處理限制了模式的預報時距。中尺度模式的西側邊界恰在青康藏高原的西側，因此地形及側邊界處理會直接影響預報的品質。

## 參考文獻

- Blackadar, A. K., 1977: High resolution models of the planetary boundary layer. *Advances in Environmental Science and Engineering*, Vol. 1, Gordon and Breach, 50-85.
- Deardorff, J. W., 1972: Parameterization of the planetary boundary layer for use in general circulation models. *Mon. Wea. Rev.*, 100, 93-106.
- Katayama, A., 1974: A simplified scheme for computing radiative transfer in the atmosphere. Tech. Rep. No. 6, Dept. Met., UCLA, 77 pp.
- Kuo, H. L., 1965: On formation and intensification of tropical cyclones through latent heat release by cumulus convection. *J. Atmos. Sci.*, 22, 40-63.
- Madala, R. 1981: Finite Difference Techniques for Vectorizing Fluid Dynamic Calculations. pp. 56-57 Springer-Verlag, Berlin.
- Perkey, D. J., and Kreitzberg, C. W. 1976: A time-dependent Cateral boundary scheme for limited-area primitive equation models. *Mon. Weather Rev.* 104, 744-755.
- Sasamori, T., 1969: The radiative cooling calculation for application to general circulation experiments. *J. Atmos. Sci.*, 7, 721-729.
- Teweles, S. and H. Wobus, 1954: Verification of prognostic charts. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 35, 455-463.
- Wallace, J. M., S. Tibaldi and A. J. Simmons, 1983: Reduction of systematic forecast errors in the ECMWF model through the introduction of an envelope orography. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 109, 683-717.
- 方力脩及陳慧貞, 1989: 數值天氣預測之校驗方法綜評。 *氣象學報*, 35, 1, 48-63.
- 陳雯美、林松錦及蔡清彥, 1989: 中央氣象局全球數值天氣預報系統1989-1989 預報校驗評估。 *氣象學報*, 35, 4, 263-280.

## OVERVIEW OF THE MESOSCALE FORECAST SYSTEM AT THE CENTRAL WEATHER BUREAU

Shang-Wu Li, Hway-Jen Chen and Wen-Mei Chen  
Central Weather Bureau

### ABSTRACT

The forecast model of the Central Weather Bureau Mesoscale Forecast System (CWBMFS) is a 12 layers, hydrostatic primitive equations model. The horizontal grid system uses the Arakawa C-grid scheme. The grid size is 45km in both x and y components. The model centers at Taiwan and covers an area of 4500km x 3600km. The physical processes of this model include radiation, cumulus and PBL parameterizations. Time integration uses the efficient split-explicit method.

A primary evaluation is carried out on the first three months operational data. Some objective methods are used in this evaluation. Cases analysis includes a frontal system and a Taiwan cyclongensis. Cases examination shows that the model has an ability to predict these phenomena in the Taiwan area. The objective scores indicate that the error of geopotential height increases with time integration. The 850mb temperature field error presents a significant land/sea distinction.

**Key words:** NWP, Mesoscale model.

表一 中尺度預報系統內容

Table 1: Configuration of CWB's Mesoscale Model.

MFS 模式特徵

1. 水平網格間距	4 5 公里
2. 垂直層數	1 2
3. 時間間距	1 2 0 秒
4. 客觀分析初次猜測場	無
5. 客觀分析	無
6. 初始化	去除輻散風
7. 地形處理	ENVELOP(S.D.=0.5)
8. 側邊界條件	RFS提供每 2 小時更換一次 SPONGE BLENDING
9. 空間變數配置	ARAKAWA C 網格
10. 空間有限差分法	四階保守差分法
11. 時間有限差分法/積分法	跳蛙式/SPLIT-EXPLICIT法
12. 水平擴散	四階擴散
13. 積雲參數化	郭氏(修正過)(1965)
14. 輻射參數化 長波/短波	SASAMORI(1969)/KATAYAMA(1974)
15. 邊界層參數化	DEARDORFF(1972)
16. 大尺度降水	有

表二 1990年1~3月之(A)海平面氣壓(毫巴)(B) 850mb 高度(公尺)(C)850mb 溫度之平均誤差(℃)

Table 2: Mean error from Jan. to Mar. of 1990 (A) SLP, (B) 850mb geopotential height, and (C) 850mb temperature.

(A)	YYMM	012	024	036
	9001	- .73	-1.68	-1.12
	9002	.03	-.50	.15
	9003	-.14	-.43	-.46
(B)	YYMM	012	024	036
	9001	-9.05	-17.12	-12.37
	9002	-4.79	-9.91	-5.47
	9003	-4.33	-8.07	-9.69
	平均	-6.05	-11.7	-9.3
(C)	YYMM	012	024	036
	9001	.18	-.23	-.19
	9002	.35	-.13	-.32
	9003	.10	-.40	-.73
	平均	0.21	-0.25	-0.41

表三 1990年1~3月之(A)海平面氣壓(毫巴)(B) 850mb 高度(公尺)(C)850mb 溫度(℃)之標準偏差

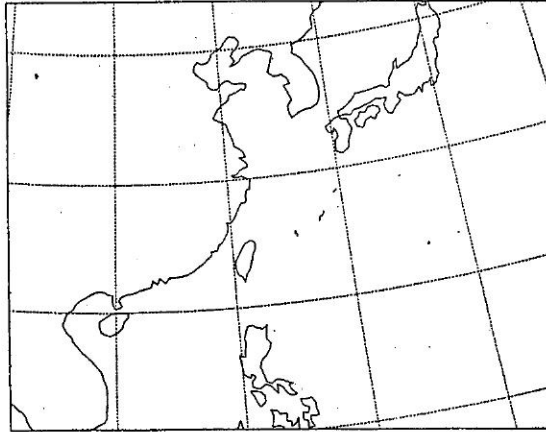
Table 3: Same as the Table 2 but for Standard deviation.

(A)	YYMM	012	024	036
	9001	2.53	2.09	3.11
	9002	2.51	2.03	2.77
	9003	1.80	1.94	2.48
(B)	YYMM	012	024	036
	9001	15.54	13.36	18.41
	9002	15.15	15.00	16.33
	9003	11.30	13.03	14.05
(C)	YYMM	012	024	036
	9001	1.41	1.61	1.75
	9002	1.34	1.78	2.06
	9003	1.15	1.56	1.86

表四 1990年1~3月海平面氣壓之S1得分

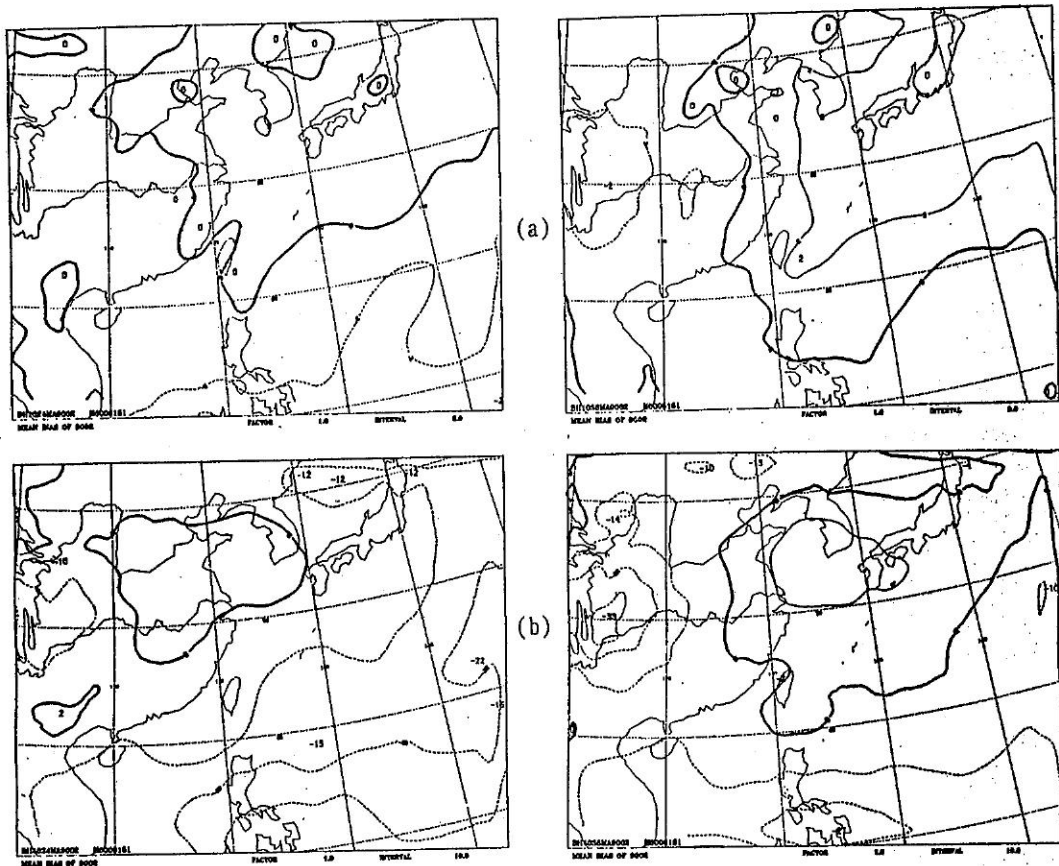
Table 4: Same period as the Table 2 but for S1 score of the SLP.

YYMM	012	024	036
9001	60.54	59.69	66.08
9002	61.37	60.53	67.64
9003	60.99	60.72	66.54



圖一 中尺度預報系統之涵蓋範圍

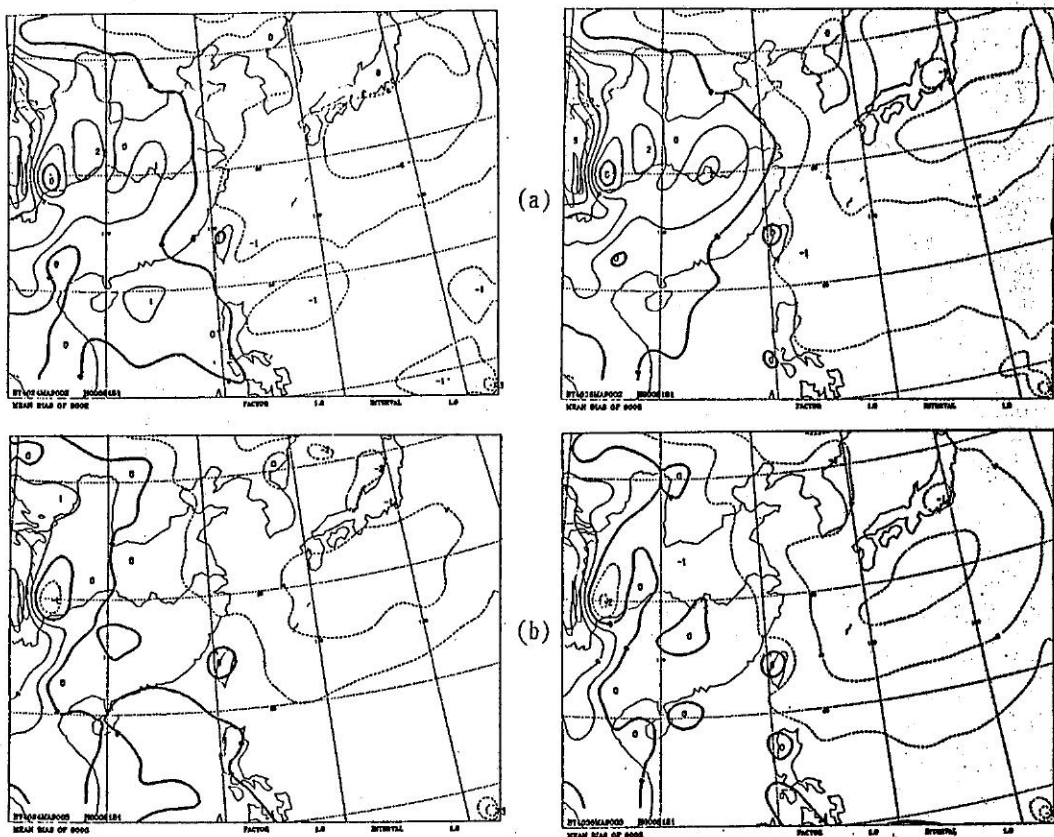
Fig.1: The domain of the Mesoscale Forecast System.



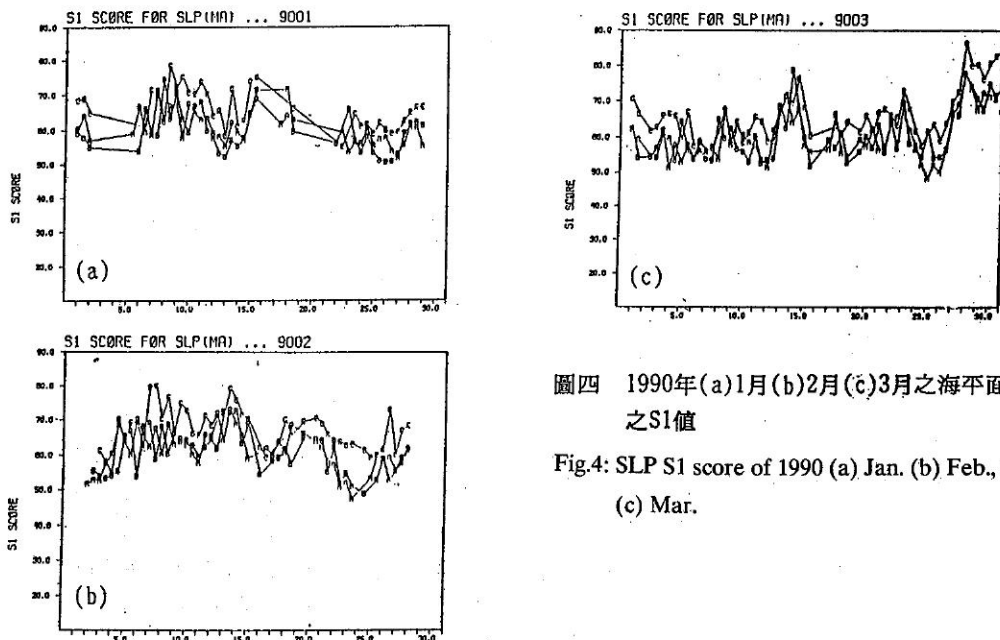
圖二 1990年2月(a)海平面氣壓(等值線間隔2mb)(b)850mb高度之24及36小時預報之水平誤差分佈(等值線間隔10m)

Fig.2: Horizontal error distribution of (a) SLP and (b) 850mb geopotential height at 24hr and 36 hr prediction during Feb. 1990.

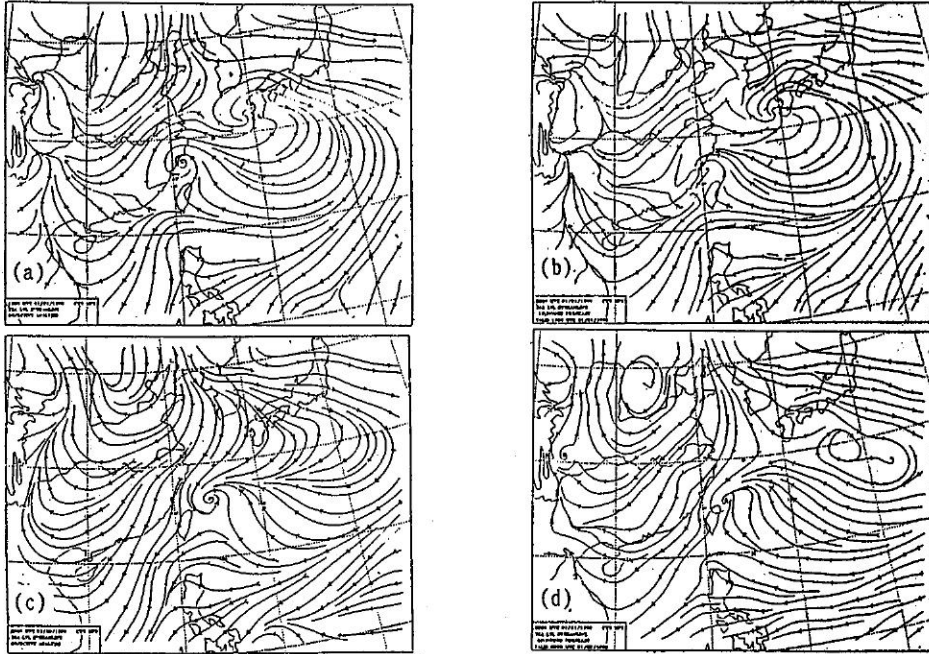




圖三 1990年(a)2月 (b)3月之850mb溫度場之24及36小時預報誤差之水平分佈(等值線間隔1°C)  
 Fig.3: Same as Fig. 2, but for 850mb temperature prediction in 24 and 36hr for (a) Feb. and (b) Mar.

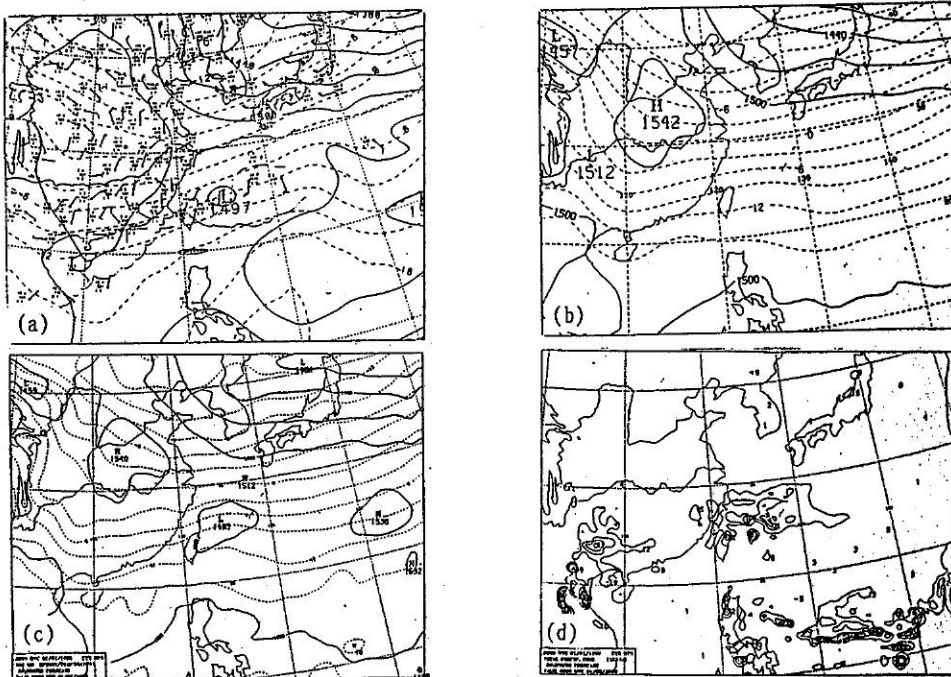


圖四 1990年(a)1月(b)2月(c)3月之海平面氣壓之S1值  
 Fig.4: SLP S1 score of 1990 (a) Jan. (b) Feb., and (c) Mar.



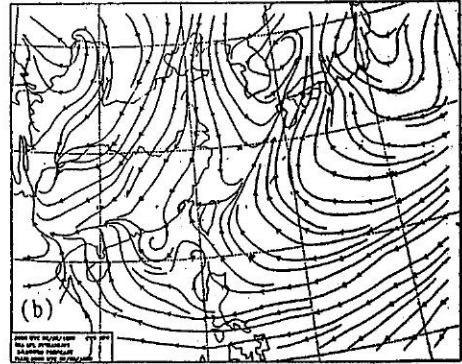
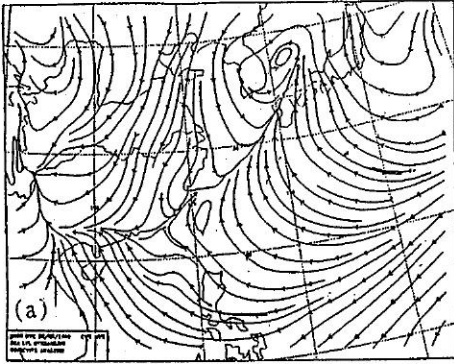
圖五 1990年(a)1月1日12Z之分析場(b)1月1日00Z之12小時預報(c)1月2日00Z之分析場  
(d)1月1日00Z之24小時預報場

Fig.5: Sea surface streamline: (a) Objective analysis at 12Z on Jan. 1 1990, (b) 12hr prediction of 00Z on Jan. 1 1990, (c) Objective analysis at 00Z on Jan. 2 1990, and (d) 24hr prediction of 00Z on Jan. 1 1990.

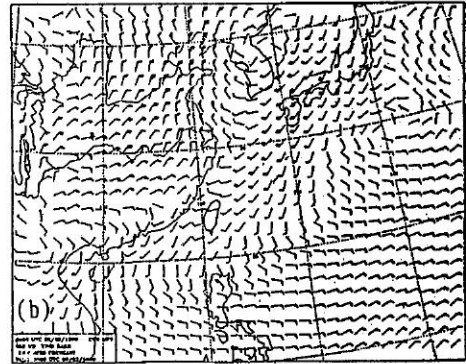
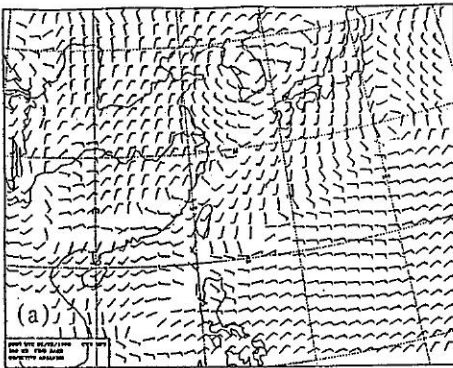


圖六 1990年1月2日00Z之個案 (a)850mb分析場 (b)區域預報系統對此個案之24小時預報  
(c)中尺度預報系統對此個案之24小時預報 (d)中尺度預報系統之12小時累計雨量

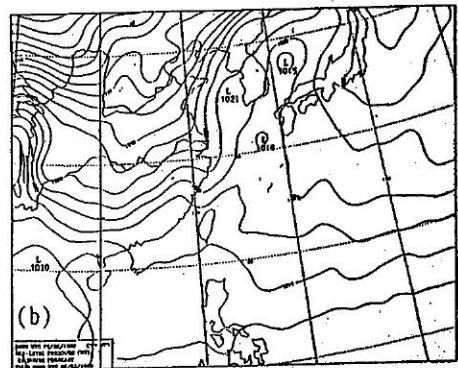
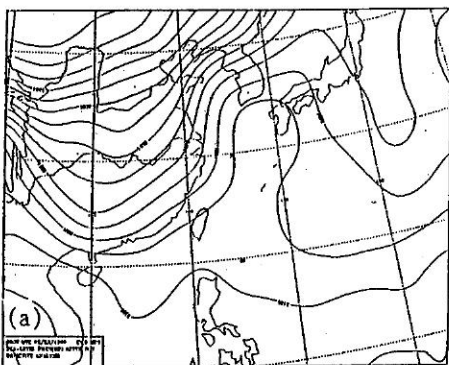
Fig.6: Case of Taiwan area cyclongenesis at 00Z on Jan 2 1990, (a) Analysis field of 850mb, (b) 24hr prediction of Regional Forecast Model, (c) 24hr prediction of Mesoscale Forecast Model, (d) 12hr rainfall accumulation of Mesoscale Forecast Model.



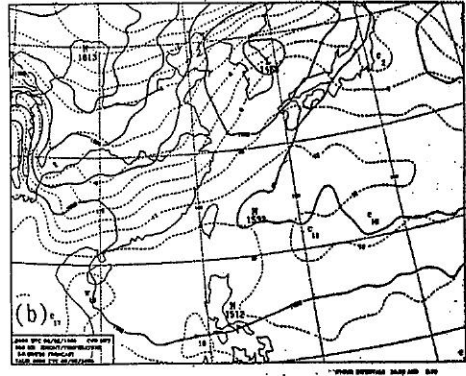
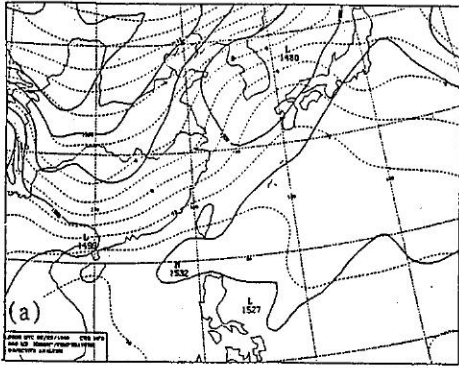
圖七 (a)1990年2月23日00Z地面氣流線 (b)1990年2月22日00Z 24小時預報之地面氣流線  
 Fig.7: Surface streamline for frontal case, (a) 00Z Feb 23 1990 and (b) 24hr prediction corresponds the same time of (a)



圖八 (a)同圖七(a), 但為850mb風場 (b)同圖七(b), 但為850mb風場  
 Fig.8: 850mb wind field, (a) same as Fig.7(a), (b) same as Fig.7(b).



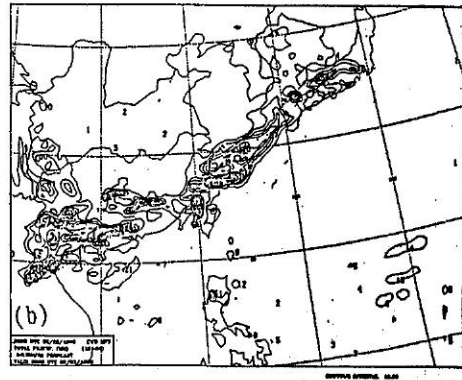
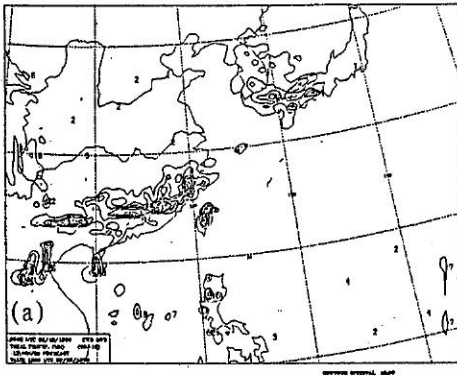
圖九 (a)同圖七(a), 但為海平面氣壓 (b)同圖七(b), 但為海平面氣壓  
 Fig.9: SLP, (a) same as Fig.7(a), (b) same as Fig.7(b)



圖十 (a)同圖七(a)但為850mb高度場(實線)及溫度場(虛線)

(b)同圖七(b)但為850mb高度場(實線)及溫度場(虛線)

Fig.10: 850mb geopotential height (solid) and temperature (dash). (a) Same as Fig.7(a), (b) Same as Fig.7(b).



圖十一 (a)2月22日00Z至2月22日12Z之12小時預報累計雨量

(b)2月22日12Z至2月23日00Z之12小時預報累計雨量

Fig.11: (a) Predicted 12hr rainfall accumulation. (b) Predicted 24hr rainfall accumulation.