

中央氣象局區域預報系統概況

林淑卿

陳建河

柳再明

中央氣象局

摘要

中央氣象局暨全球預報模式之後，區域預報模式也於七十七年七月一日正式加入日常作業，正式成為作業化的模式。整個預報模組共有9個模組組成，包括網格點的設定、輸入、客觀分析、初始化、地形處理、邊界條件處理、預報模式、輸出等。其中預報模式的物理參數化有積雲參數化、輻射參數化、邊界層參數化等。另外還考慮大尺度的降水及乾溼對流調整等物理。模式的網格間距為90km，時間積分採Split-explicit方法，時間間距為240sec。

個案分析（1989年6月19日12Z及1990年4月2日00Z）顯示區域預報模式對於鋒面系統的移動掌握的十分良好，適時提供預報人員正確的資訊。另外用一年的資料統計，除850mb風場RMS誤差稍大之外其他如850mb高度場，500mb、300mb的風場及高度場的RMS誤差則與其他國家的模式相當甚至還要小。

一、簡介

中央氣象局針對各類天氣系統分別所發展的全球、區域、中尺度及颱風路徑等四個不同的預測系統；系統中的全球天氣預報系統已於民國七十七年七月一日起在本局正作業，而區域預測系統也已民國七十八年七月一日起正式作業。區域預測系統以全球預測系統提供側邊界條件，且以較細的網格點系，來預測未來36~48小時的區域性天氣系統，對天氣預報人員提供天氣預報的指引，同時區域預測系統也提供中尺度預測系統做為側邊界條件。

本文的目的在於較詳細的描述區域預測系統的架構，同時列舉幾個個案說明區域系統對於實際天氣系統發生的掌握能力及模式客觀校驗的結果。本文共分四節；（一）前言（二）模式的描述，包括模式的輸

入、客觀分析、初始化、側邊界條件及地形處理，預測模式、輸出等六部份。（三）個案討論，分別就1989年6月19日12Z及1990年4月2日00Z的個案加以討論。（四）結論。

二、區域模式簡介

中央氣象局區域模式，其範圍由70°E、10°N~180°E ~51°N，涵蓋西太平洋，南中國海及西藏高原等地區（圖一）。採用直角坐標系統，網格間距為90km，預報模式在垂直坐標上採 σ 坐標。目前區域模組共有9個模組組成，分別是網格系之決定、輸入、質量場、風場之客觀分析、初始化、邊界條件、地形、預報模式及輸出（圖二）。由於台灣位於副熱帶地區，

因此採用藍伯特地圖投影，以下將一一說明：

(一) 輸入：

讀入客觀分析的初始猜測值，它可以由全球預測模式而來，或由區域模組自己前一個預測資料而來。

(二) 客觀分析：

將不規則的觀測資料內插到規則的網格點上，所分析的氣象場包括高度場、溫度場、風場，所採用分析方法是Barnes (1974) 的逐次修正法。溫度、高度場的分析在垂直上有1000、925、850、700、500、400、300、250、200、150、100mb 等11層，而在風場的分析則為925、850、700、500、400、300、250、200、150、100 等10層。

(三) 初始化

初始化的目的在對模式的初始場加以調整，使其在預報模式積分時所產生的高頻雜波減至最小。目前是在風場中除去輻散量，即滿足風場的輻散量為零的要求，並將所有場由P-坐標內插到預報模式的地形坐標上(σ-坐標)。

(四) 邊界條件與地形

邊界條件乃由全球預報模組所提供，再利用海棉公式處理，即在邊界5個網格點內，由外向內的全球預報模式的資料權重分別為1.0、0.8、0.6、0.4、0.2、。地形是採用目前最細的美國海軍10'一個資料作包絡(envelope)地形處理，使用的標準偏差值為1.0，並讀入模式所需要的氣候資料。

(五) 預報模式

區域預報模式的垂直坐標採用σ坐標(σ：，π：地面氣壓)共12層(σ=0.025、0.075、0.150、0.250、0.350、0.450、0.550、0.650、0.750、0.850、0.925、0.975)，水平上採用Arakawa (1977) C網格系統，網格間距90km，預報方程則採原始方程的通量形式：

$$\text{靜力方程：} \frac{\partial \phi}{\partial \pi \sigma} = -RT$$

$$\text{連續方程：} \frac{\partial \pi}{\partial t} = \int_0^1 \nabla(\cdot \pi v) d\sigma$$

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

$$\text{動量方程：} \frac{\partial \pi u}{\partial t} + \frac{\partial \phi}{\partial x} = \nabla(\pi \cdot u v) + f \pi v$$

$$-(RT' - \phi) \frac{\partial \pi}{\partial x} + \pi F_u - \frac{\partial \phi s}{\partial x}$$

$$\frac{\partial \pi v}{\partial t} + \frac{\partial \phi}{\partial y} = -\nabla(\pi v v) - f \pi u$$

$$-(RT' - \phi') \frac{\partial \pi}{\partial y} + \pi F_v - \frac{\partial \phi s}{\partial y}$$

$$\text{熱力方程：} \frac{\partial \pi T}{\partial t} - \left(-\frac{\partial T^*}{\partial \sigma} + \frac{RT}{c_p} \right) \pi \dot{\sigma}$$

$$+ \left(1 + \frac{R}{c_p} \right) T \dot{D}$$

$$= -\nabla(VT') + \frac{RT}{c_p} (v \cdot \nabla \eta) + \frac{\pi Q}{c_p} + \pi F_T$$

$$\text{水汽方程：} \frac{\partial (\pi q)}{\partial t} = -\frac{\partial (\pi u q)}{\partial x} - \frac{\partial (\pi v q)}{\partial y}$$

$$- \frac{\partial (\pi \dot{\sigma} q)}{\partial \sigma} + \pi Q_m + \pi F_Q$$

時間積分方法是採用Split-explicit方法，積分的時間間距為240秒，空間差分是採4階法。水平擴(horizontal diffusion)採用4階法(∇^α，α：氣象變數)。在物理參數化方面包含(1)積雲參數化：採用Kuo積雲參數化法(1965, 1974)。(2)行星邊界層參數化：採Deardorff (1972)的方法，假設風、位溫及水汽在PBL內是均勻混合(Well-mixed)。地面溫度的預報方法採Blackadar (1977)的方程。(3)輻射參數化：在長波輻射的處理是採Sasamori (1968)的方法。短波輻射的處理是採Katayama (1974)的方法。另外也考慮了大尺度的降水，即從模式的頂層起，將過飽和的水汽凝結加到下一層，如此重覆到模式的底層形成降水，同時在整個過程中仍考慮水滴的蒸發作用。

(六) 輸出

預報結果的輸出則除了維持模式的update cyclone之外，還包括提供預報人員所需要的各類氣象場圖，如降水。目前的作業在cyber 205上執行，每天有二次的48小時預報，每次從讀入到輸出所需的CPU時間約為1120sec。

三、個案分析討論

1989年梅雨季的最後一道鋒面於6月19日到達台灣，造成全省各地均有降水的現象發生。圖三(a)為6月19日12Z的實際地面氣壓圖，鋒面由西太平洋， 165°E ， 38°N 向西南延伸至日本南部海面，再向西延伸到台灣地區。在6月17日、18日兩天，全省均為晴朗炎熱的天氣。本局區域模式18日12Z 24小時的預報(圖三(b))，及17日12Z的48小時預報(圖三(c))均顯示鋒面將在19日到達台灣。由降雨的分布圖(圖三(b)，(c))中點線表示)顯示全省均籠罩在降水區內。

由高空850mb風場的預報，(圖三(e))為18日12Z的24小時預報，圖三(d)為17日12Z 48小時的預報)顯示，無論是前一天(18日)或前二天(17日)的預報，均可看出風切線與地面鋒面位置相當的配合，及由西太平洋向西南延伸到台灣地區。圖四(a)、(b)分別為17日12Z 48小時，18日12Z 24小時的500mb預報，圖中均顯示19日在台灣上空均有一個槽線存在，配合低層的天氣系統。

由上述中高層與地面等分析，事先判定19日會是個強度頗強的系統，預報人員適時發佈豪雨預報，果然19日的天氣由晴朗炎熱轉為傾盆大雨。圖四(c)為19日24小時觀測的累積雨量，全省均有降雨，降水量在新竹達34mm、高雄32mm、宜蘭31mm，與圖三(b)，圖三(c)所顯示的降水量相比較，似乎預報有偏多的現象，這也是今後需要再進一步改進的地方。

另外，在溫度方面，圖四(d)、(e)、(f)為17日12Z 850mb溫度分析及24小時及48小時預報，從17日12Z的分析看， 21° 線掛在台灣北部海面，24小時預報(圖四(e))顯示 21° 線掛在台灣北部地區，48小時預報(圖四(f))顯示台灣北部約為 19°C ，可知冷空氣將南下，但氣溫的變化不是很大，而實際上也是如此。(此圖三(a))。

由這個個案的分析，由地面氣壓判斷鋒面的移動，雨區的分布及850mb溫度變化等的預報與實際相比較，結果相當一致。可見區域預報模式能在二日之前就能掌握此訊息，這對預報人員而言是很重要的訊息。

另一個個案為1990年4月2日00Z的個案，實際的天氣概述是，在4月3日12Z至4月4日00Z之間有一道鋒面通過台灣，北部地區溫度的變化由 26°C 降至 18°C ，有將近 8°C 的降溫，隨後冷高壓出海，溫度回升。從日本的區域模式及歐洲的全球模式均也反應出此種天氣型態。

圖五(a)~圖五(e)為4月2日00Z每隔12小時預報圖，從初始場看(圖五(a))，在黃河以北的地區有一道鋒面形成，鋒面後的冷高壓強度達1041mb，台灣地區則處理高壓迴流的天氣。12小時預報(圖五(b))顯示，鋒面在東移，且雲貴地區的低壓及鋒面後的冷高壓在增強，而24小時之後(圖五(c))鋒面更往東南移且伴隨雨區相當明顯，大陸冷高壓略往東南移，強度持續增強中。圖五(d)為36小時預報即4月3日12Z，顯示鋒面移動快速已達台灣地區，鋒面雨區顯然掛在台灣北部地區。冷高壓中心不動但強度略強。圖五(e)為48小時的預報，顯見鋒面已過台灣，大陸冷高壓的勢力漸近台灣地區。圖六(a)~(e)則為850mb的風速及溫度每隔12小時的預報圖。初始場(圖六(a))，顯示華南地區有一西南強風軸在建立。鋒面位置在 100°E ， 35°N ~向西南延伸至 105°E ， 23°N ~左右， 12°C 等溫線在台灣北部外海。12小時預報(圖六(b))顯示西南強邊軸在擴大且增強中， 12°C 等溫線更形北抬。圖六(c)為24小時的預報，圖上有很大的變化，一是西南強風軸的持續增強且往東移，另一是北方的東北風顯著增強，鋒面東移到 180°E 左右。圖六(d)顯示36小時後，鋒面系統已達 120°E ，西南強風北抬至 30°N 。鋒面後北風略為減弱但已達 120°E ， 27°N 左右。48小時預報(圖三(e))，顯示鋒面已過台灣，台灣地已受北風的控制， 12°C 線又南移至台灣北部，且溫度梯度漸密，顯示將有明顯降溫發生。圖7(a)~(d)為4月3日12Z及4月4日00Z的地面氣壓分析及850mb實際分析圖。從地面圖上看，鋒面移動迅速且偏北，冷高壓的勢力在3日12Z已達台灣。至於850mb的鋒面則在3日12Z到4日00Z通過台灣。等溫線也如預測一樣有大的梯度接近台灣地區。500mb的高空圖(圖略)，則顯示主槽略為偏北地通過 30°N ，預測與實際相差不多。

圖 8 是我們統計 1989 年 3 月～1990 年 1 月的風場及高度場的 RMS 誤差統計，大致上，從風場的客觀統計顯示 850、500mb 的 RMS 不超過 8.5m/s，300mb 則不超過 9.5m/s。從高度場來看，850、500mb 的 RMS 不超過 30m，而 300mb 則不超過 45m。表一是 6 個作業中心模式，8 個研究模式的 RMS 統計。（取自 Anthes 1983）。比較之下，本局區域模式除了 850mb 風場的 RMS 偏大之外，其他均不遜於其他模式，甚至有超越的情況。

四、結論

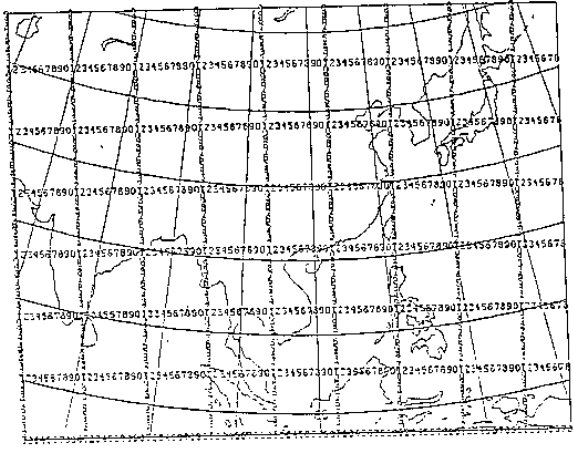
中央氣象局的區域模式已於民國七十八年七月一日正式作業，經過近一年的作業，已獲致良好的成果，深受預報人員的肯定。目前每天提供二次（00Z 及 12Z）的 48 小時預報，模式的涵蓋範圍擴及台灣以外的東亞大部份地區，其網格間距為 90km。整個區域模組共分九大部份，包括設定網格點輸入，客觀分析（風場，高度場），初始化、地形、邊界條件處理、預報模式、輸出。客觀分析方法是採 Barnes 的連續修正法，初始化則主要是除去風的輻散量，地形採 10' 精細地形資料，作包絡地形處理，邊界條件則採海棉法，預報模式包括 Kao 積雲參數化法、輻射參數化、行星邊界層參數化及大尺度降水與乾溼對流調整等物理。模式方程採原始方程的通量形式，時間積分採 Split-explicit 法，間距為 240sec。

以 1989 年 6 月 19 日 12Z 及 1990 年 4 月 2 日 00Z 的個案來說明區域模式對於天氣系統的掌握能力。由個案分析結果顯示，區域模式能夠在天氣系統發生前 48 小時即可預報出來，適時提供預報人員有效的資訊。另外從近一年的資料所做的客觀統計顯示除了 850mb 的風場 RMS 少許偏高之外，其他如 500、300mb 的高度場，風場及 850mb 的高度場 RMS 值均相當於甚至低於世界其他國家的模式。

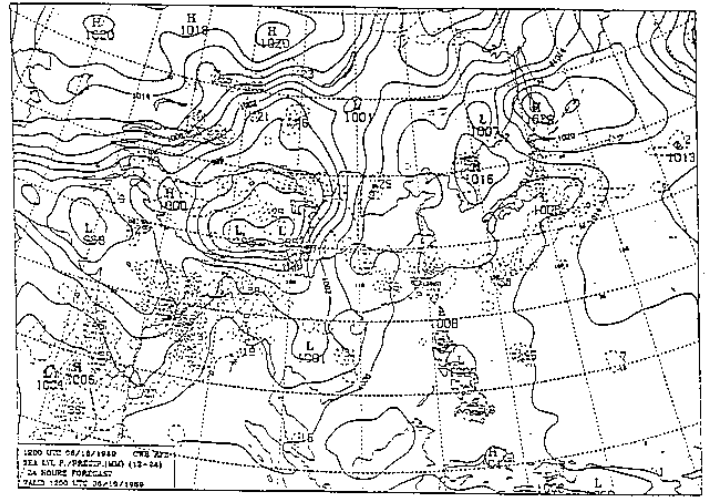
無可諱言，區域模式尚有一些不完全的地方，例如，模式低層大氣過暖的現象。此外配合二期計劃的開始，著手於改進行星邊界層參數化，以多層行星邊界層參數化以取代目前較為簡單的參數化法。這都是我們未來努力的方向。

參考文獻

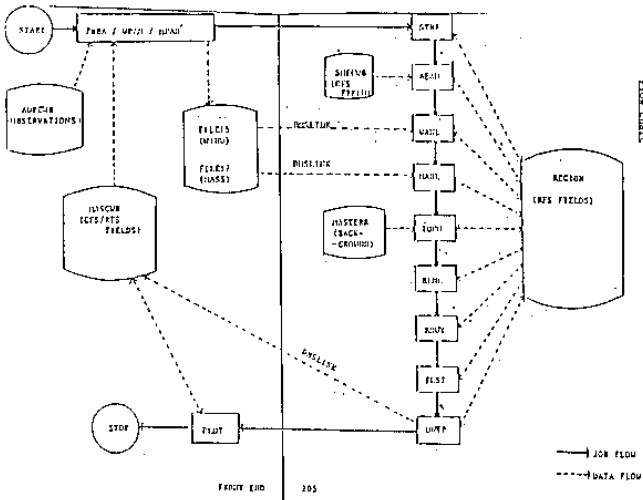
- Blackadar, A. K., 1977: High resolution models of the planetary boundary layer. *Advances in Environmental Science and Engineering*, Vol. 1, Gordon and Breach, 50-85.
- Deardorff, J. W. 1972: Parameterization of the planetary boundary layer for use in general circulation models. *Mon. Wea. Rev.*, 100, 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.
- Anthes, Richard A. 1983, Numerical Simulation of a case of explosive marine cyclogenesis. *Mon. Wea. Rev.* 1174-1188.
- Sasamori, T., 1969: The radiative cooling calculation for application to general circulation experiments. *J. Atmos. Sci.*, 7, 721-729.



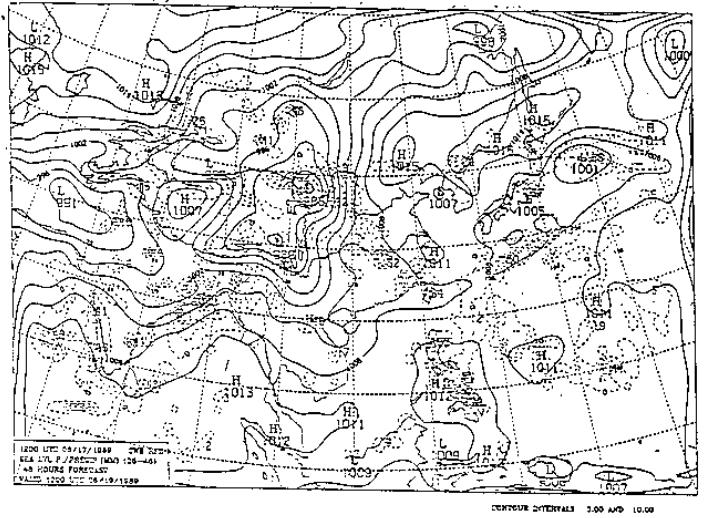
圖一 區域預報模式之範圍



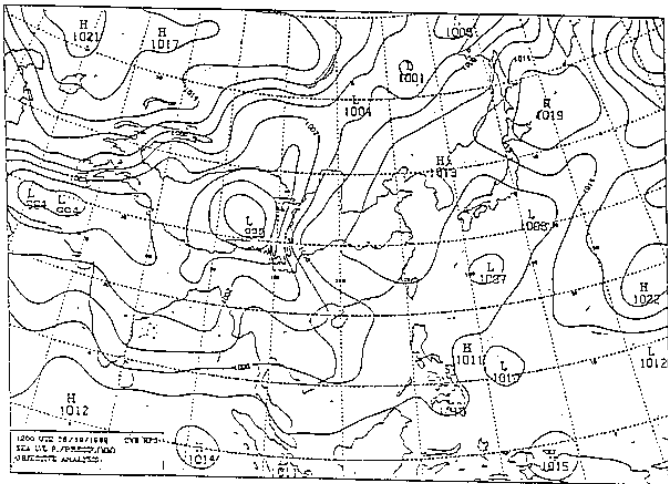
圖三(b) 1989年 6月18日12Z 24小時地面氣壓預報



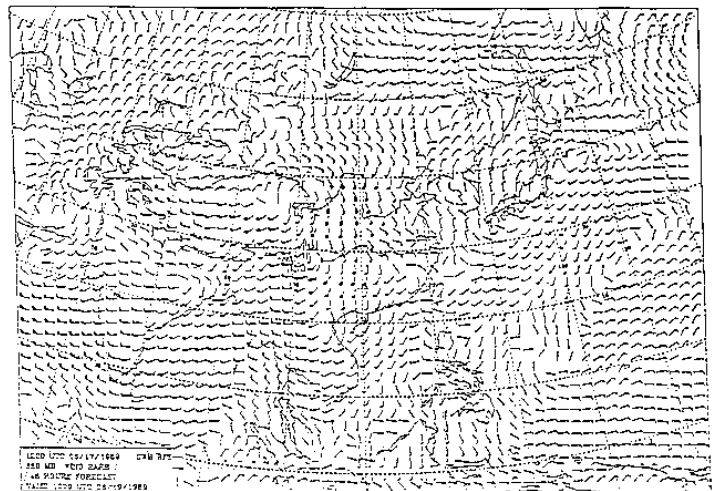
圖二 區域預報模組系統流程



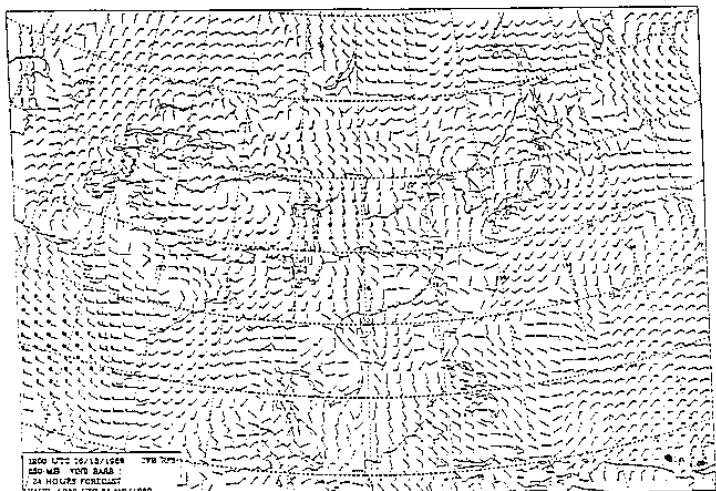
圖三(c) 1989年 6月17日12Z 48小時地面氣壓預報



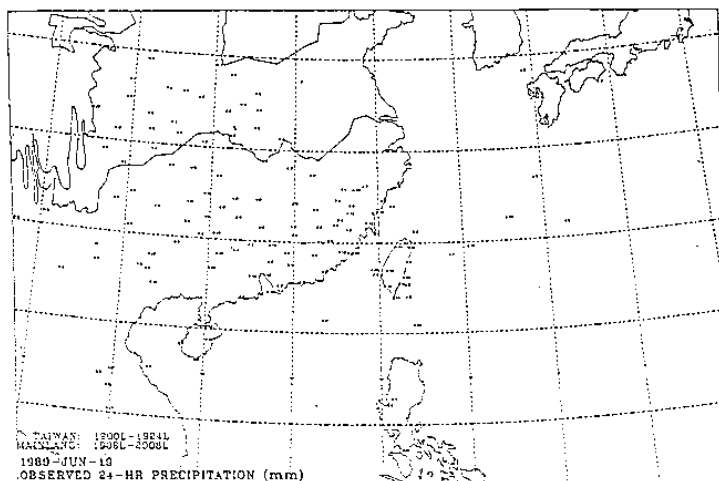
圖三(a) 1989年 6月19日12Z 地面氣壓分析



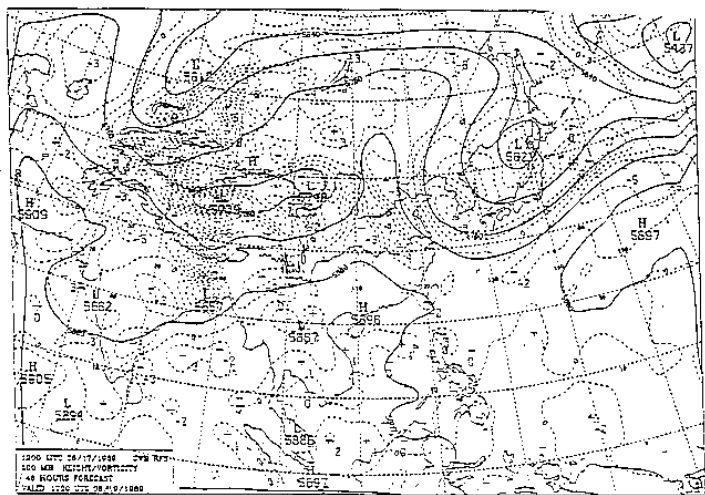
圖三(d) 1989年 6月17日12Z 850mb風場48小時預報



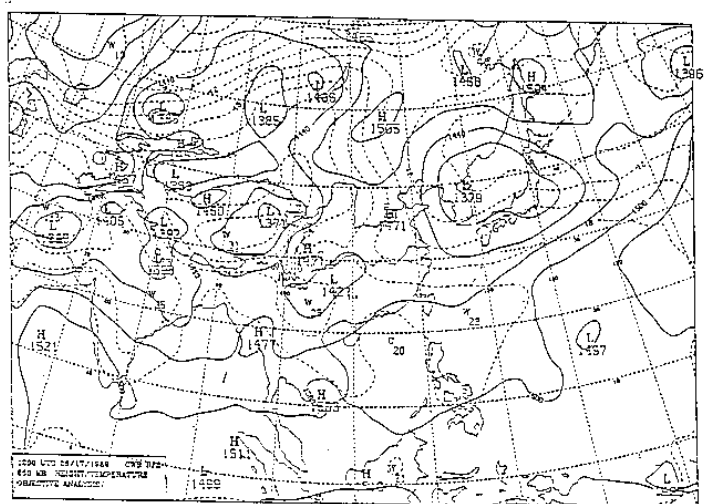
圖三(e) 1989年 6月18日12Z 850mb風場24小時預報



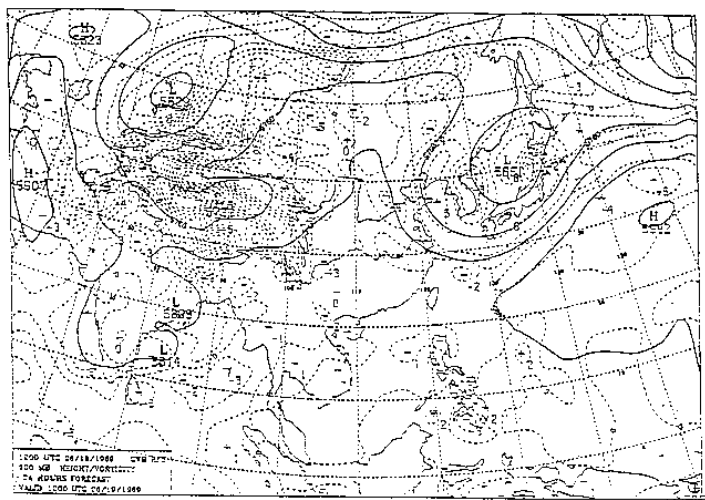
圖四(c) 1989年 6月19日 24小時實際雨量觀測



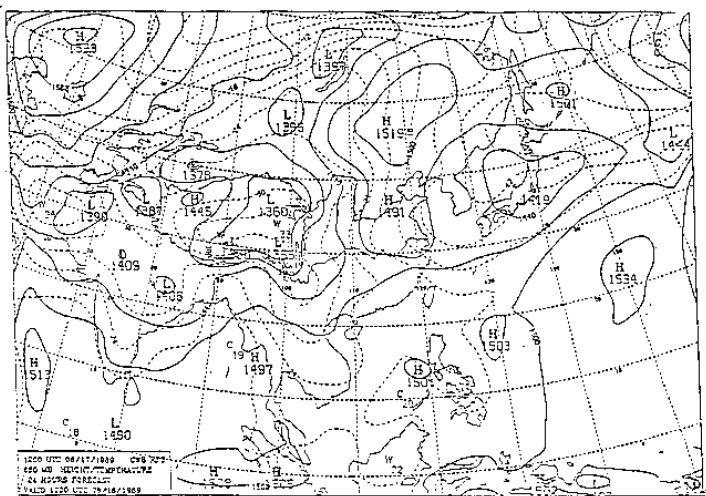
圖四(a) 1989年 6月18日12Z 500mb高度/溫度48小時預報



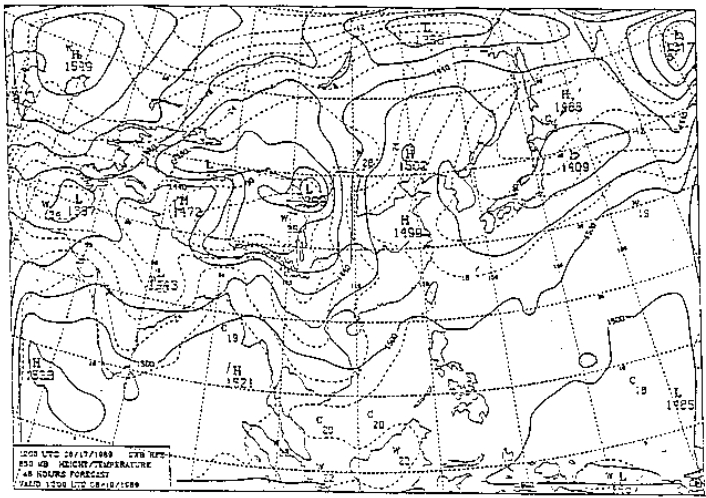
圖四(d) 1989年 6月17日12Z 850mb高度/溫度分析



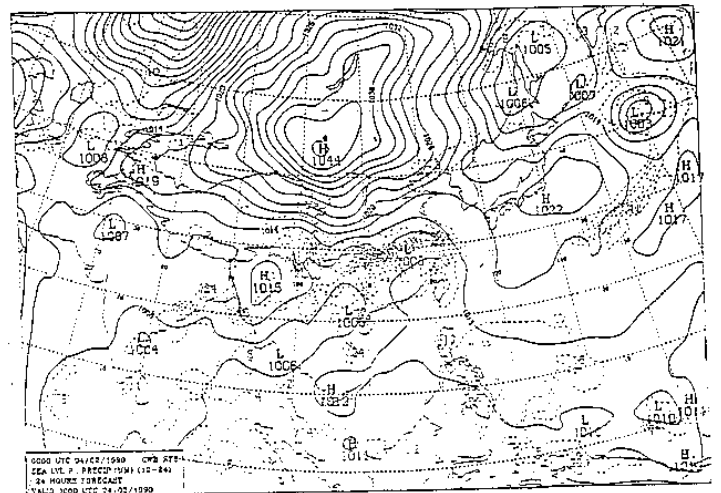
圖四(b) 1989年 6月18日12Z 500mb高度/溫度24小時預報



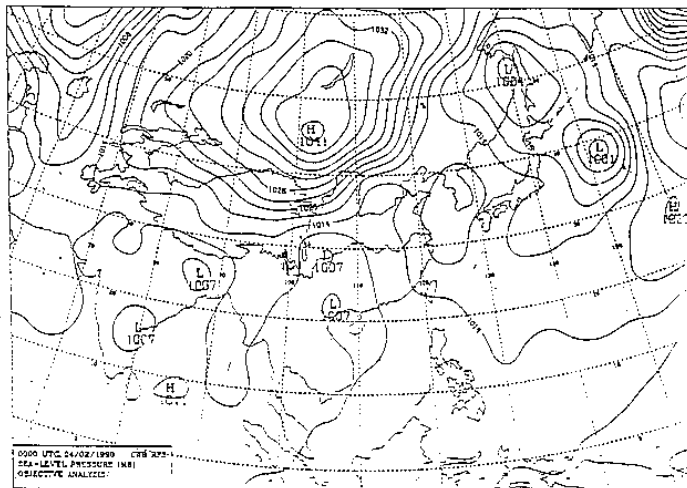
圖四(e) 1989年 6月17日12Z 850mb高度/溫度24小時預報



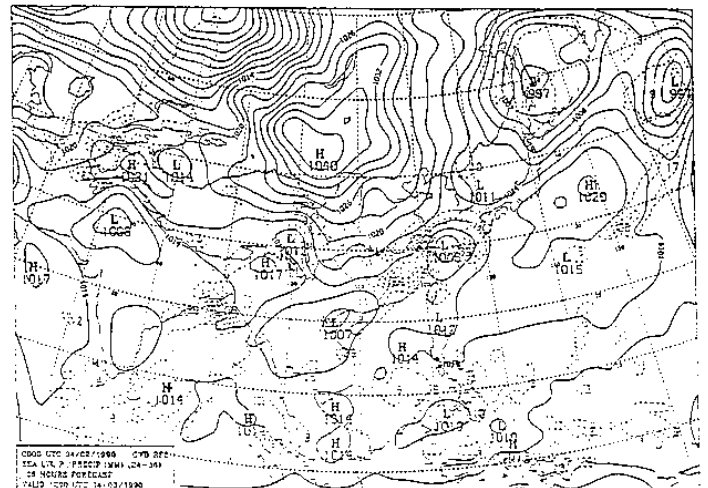
圖四(f) 1989年 6月17日12Z 850mb高度/溫度48小時預報



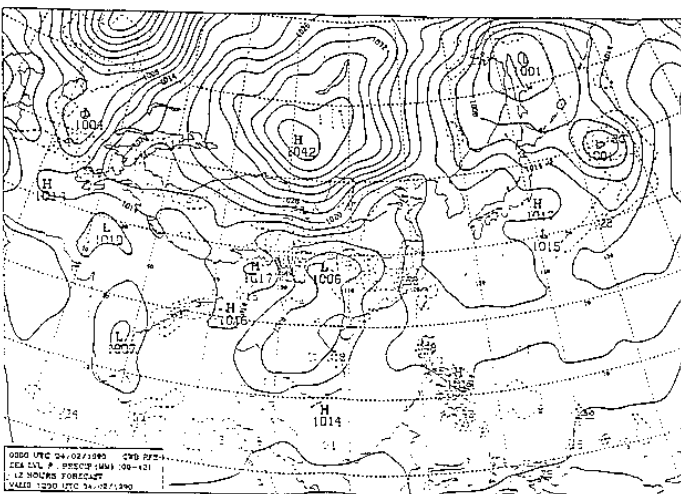
圖五(c) 1990年 4月 2日00Z 地面氣壓/降水24小時預報



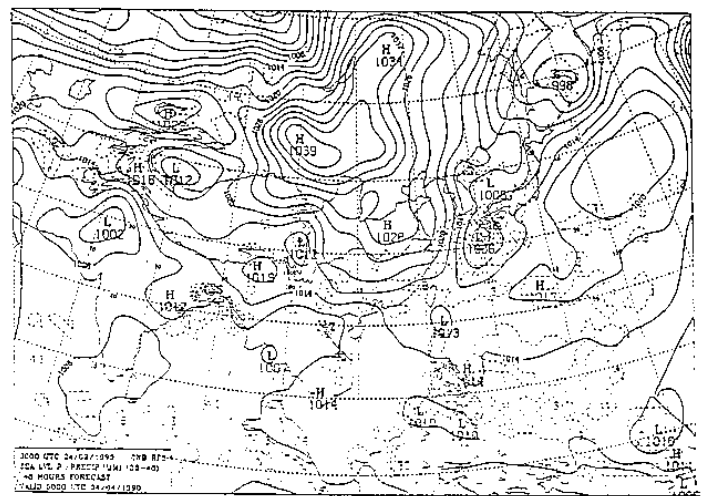
圖五(a) 1990年 4月 2日00Z 地面氣壓分析



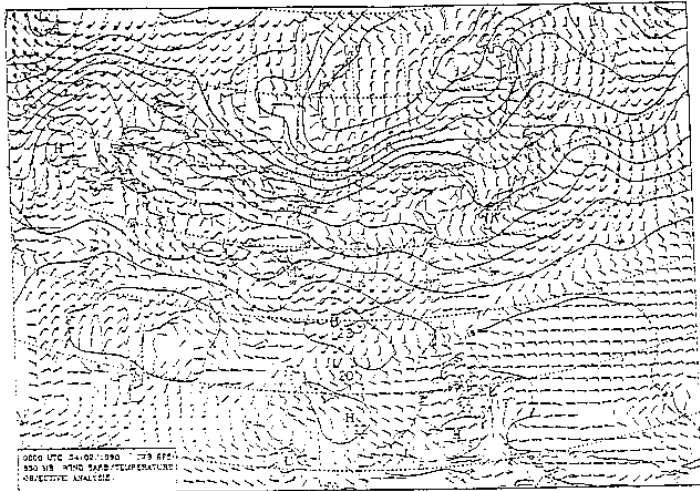
圖五(d) 1990年 4月 2日00Z 地面氣壓/降水36小時預報



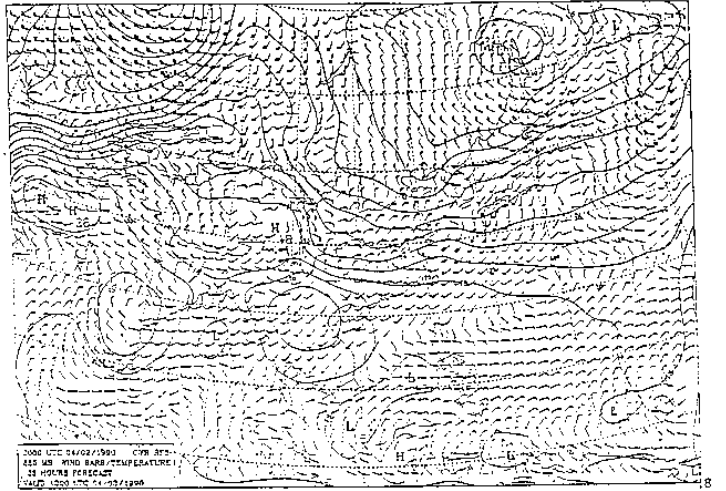
圖五(b) 1990年 4月 2日00Z 地面氣壓/降水12小時預報



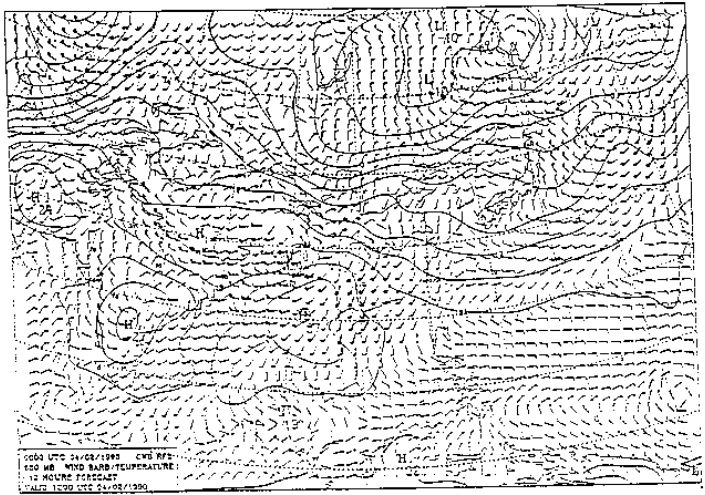
圖五(e) 1990年 4月 2日00Z 地面氣壓/降水48小時預報



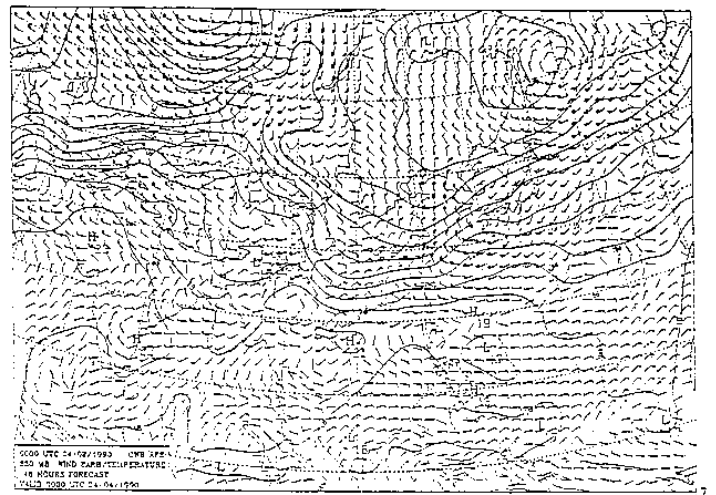
圖六(a) 1990年 4月 2日00Z 850mb風場/溫度分析圖



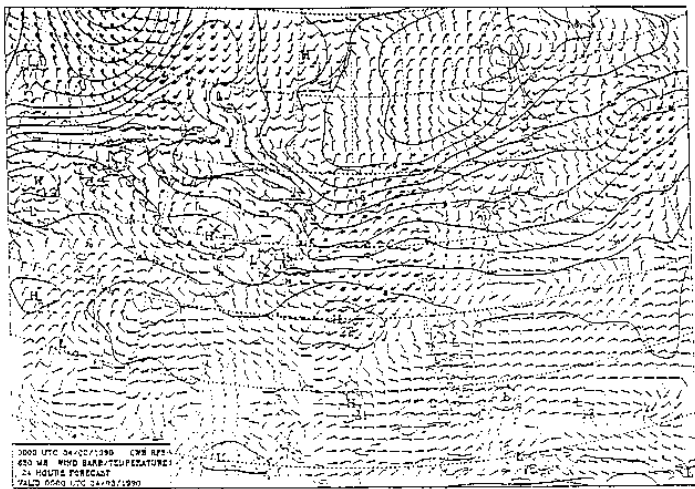
圖六(d) 1990年 4月 2日00Z 850mb風場/溫度36小時預報



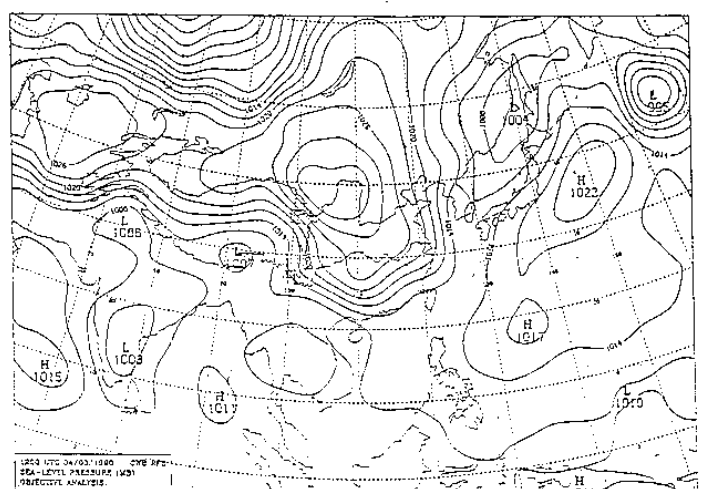
圖六(b) 1990年 4月 2日00Z 850mb風場/溫度12小時預報



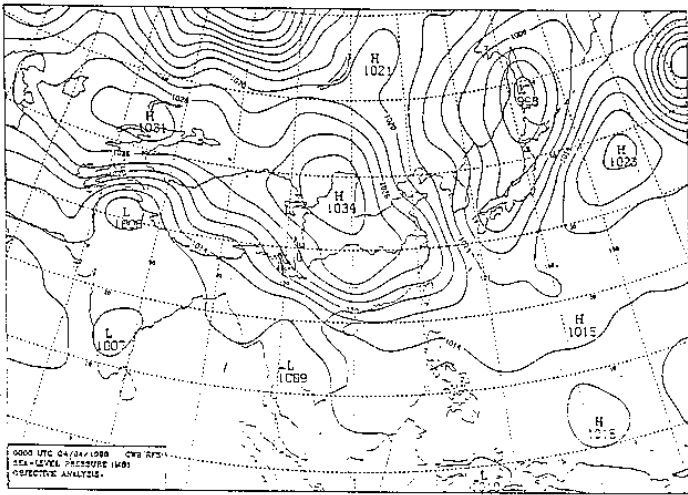
圖六(e) 1990年 4月 2日00Z 850mb風場/溫度48小時預報



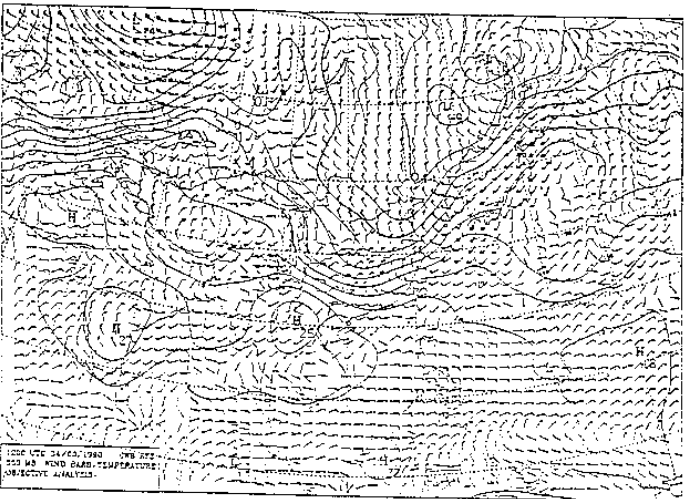
圖六(c) 1990年 4月 2日00Z 850mb風場/溫度24小時預報



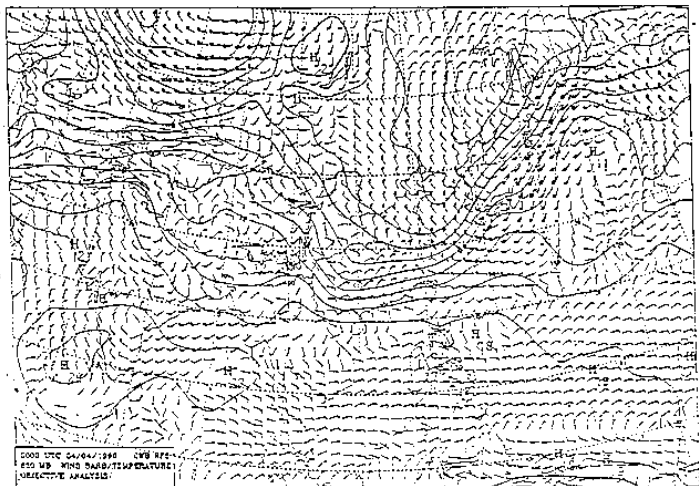
圖七(a) 1990年 4月 3日12Z 地面氣壓分析



圖七(b) 1990年 4月 4日00Z 地面氣壓分析



圖七(c) 1990年 4月 3日12Z 850mb風場/溫度分析



圖七(d) 1990年 4月 4日00Z 850mb風場/溫度分析

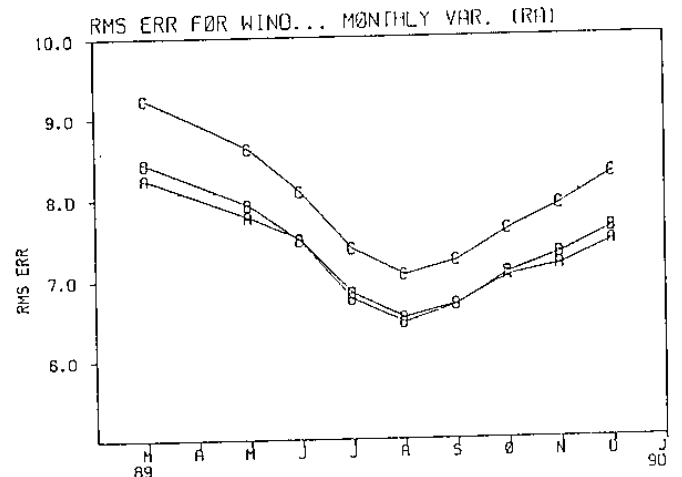


圖8(a): 1989年3月到1990年1月, 850, 500, 300mb風場RMS error

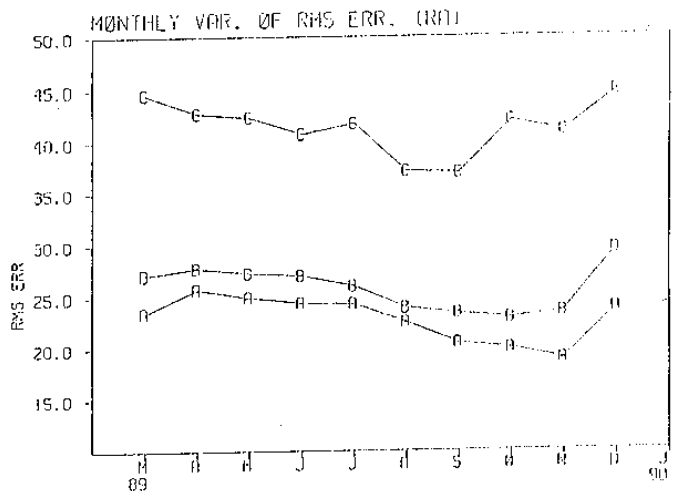


圖9(a): 1989年3月到1990年1月, 850, 500, 300mb高壓場之RMS error

Rms errors				
	Vector wind (m s ⁻¹)	Height (m)	Temperature (°C)	Specific humidity (g kg ⁻¹)
Surface	2.5	3 mb	4	*
850 mb	5	30	4	*
700 mb	7	35	3	*
500 mb	10	40	3	*
300 mb	15	45	4	*

表一：6個作業模式 8個研究模式之平均RMS error
(取自Anthes, 1989, Mon. Wea. Rev.)

REGIONAL FORECAST SYSTEM AT
CENTRAL WEATHER BUREAU

Shun-Ching Lin Jen-Her Chen Tzay-Ming Leou

Central Weather Bureau

ABSTRACT

CWB (Central Weather Bureau) regional forecast system (RFS) has been operational since June, 1988. RFS consists of 9 modules, that is, data-in, objective analysis, initialization, topography treatment, lateral boundary condition treatment, forecast model and output. In forecast model, it contains three parameterizations, cumulus, PBL, radiation parameterization. Moreover, model also considers the large scale precipitation. The grid size of the model is 90 km and time integration scheme is split-explicit scheme, the time step of integration is 240 seconds.

Two cases study show RFS had a good forecast for frontal system movement; also using a year data for Root Mean Square error (RMS) of wind and height of 850, 500, 300 mb review that RFS had more smaller RMS values than other models in the world except 850 mb wind field.