

區域波譜模式之疊代策略研究

任亦偉¹ 呂芳川²

空軍氣象聯隊氣象中心¹

國防大學中正理工學院應用物理系²

摘要

爲了能同時提升「區域波譜模式」(RSM)的模式解析度與縮短模式預報時間,本文以統計學參數爲基礎建立了一套模式「嵌代策略評分方法」,期望能爲區域波譜模式找出一組「預報時間短、預報結果佳、適用於各類天氣型態」的模式「最佳嵌代策略」;而基於台灣地區主要的天氣型態可以歸納爲穩定型大氣與對流型大氣二大類,文中即選擇了這二類天氣型態來討論這套「嵌代策略評分方法」的可行性。另外,本文也將模式「最佳嵌代策略」與實務作業相結合,製作了「航路天氣預報產品」,探討在飛行航路上可能發生之「危險天氣」,期望能夠增進在飛航安全方面之服務。

研究結果顯示,從作業時間允許爲前提再考量預報精確度的角度來看,對於「穩定型大氣」而言,最佳嵌代策略爲 GABD(GSM→RSMA→RSMB→RSMD)及 GAD,對於「對流型大氣」而言,最佳嵌代策略則是 GABCD 及 GABD,再考量「最佳嵌代策略」必須要滿足於「適用於各類天氣型態」的條件,因此對於台灣地區主要的二大類天氣型態而言,「最佳嵌代策略」爲 GABD。

關鍵字: 區域波譜模式(RSM), 平均誤差(Mean Error), 絕對平均誤差(Absolute Mean Error), 標準偏差(Standard Deviation Error), 均方根誤差(Root Mean Square Error)

1. 緒論

電子計算機的問世及其快速發展,至今已成爲處理大量資料及運算繁複方程式所不可或缺的工具。早在 1950 年代,氣象學家以電算機來從事氣象預報的運算而獲致初步的成功,於是以物理學及數學爲基礎的「數值天氣預報」(Numerical Weather Prediction, NWP)突破了傳統的「主觀經驗預報」,爲氣象預報發展史上奠定了新的里程碑[1]。

數值天氣預報模式一般而言可以概分爲「差分法」(Differential Method)與「波譜法」(Spectral Method)兩類,所謂差分法,是將描述大氣運動的「微分方程式」(Differential Equation)改寫成代數性質的「差分方程式」(Difference Equation),當已知各網格點上氣象變數的值時,便可藉由解代數差分方程來預報未來的氣象變數[1]。

圖 1.1 顯示了數值預報模式運用「傳統法」(Conventional Method)與「擾動法」(Perturbation Method)的差異。對於利用傳統法的數值預報模式而言,上層環境場的訊息(A_G)只傳入邊界層,模式的預報值(A)完全依靠模式來預報;至於利用擾動法的數值預報模式,則是將上層環境場的訊息(A_G)傳進模式的預報範圍內,將上層環境場加上經由模式預報的擾動量(A_p)後才是模式的預報值(A)[21]

Juang and Kanamitsu(1994)[21]改進 Hoyer 的方法而建立了「美國國家環境預報中心」(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)的「區域波譜模式」(Regional Spectral Model, RSM),也就是所謂的 NCEP/RSM;該模式採取了波譜法,並採用傳統有限區域模式常用的地圖直角座標與

動量方程式,有效改善了邊界問題及模式物理問題。

目前數值預報模式所採取的「Down Scaling」預報方法,一般而言都是從外層粗網格內嵌解析度較高的細網格,這種方法稱爲「疊代法」(Nesting)。以 MM5 數值模式爲例,其疊代法的設定一般而言都設定成三層,而粗網格與細網格的解析度比例通常是設定成 3 比 1,洪(2002)[8]曾利用 MM5 模式針對梅雨鋒面在南下移動的過程中地形及邊界層所可能扮演之角色進行模擬,其模式的「疊代策略」(Nesting Strategy)設定成:

54km→18km→6km

對於區域波譜模式而言,粗網格與細網格解析度比例的設定則較爲自由,以我國海軍氣象中心之 NOAA/NCEP/NVJK94 模式爲例,其疊代層數設定爲三層,粗網格與細網格的解析度比例設定爲 2 比 1,疊代策略設定成:

240km→120km→60km→30km

Juang and Hong(2000)[18]曾對區域波譜模式進行積分區域大小及嵌代策略的靈敏度測試,實驗結果顯示,對於區域波譜模式而言,不必經過多次的網格疊代便能夠直接利用全球模式資料而在小範圍內得到高解析度的預報結果;由上可知,區域波譜模式的疊代策略是相當自由的,可以依據使用者的需求來加以更動,而且粗網格與細網格的解析度比例也較無限制,這也是區域波譜模式的優勢之一。

在現行的作業單位中,以海軍氣象中心爲例,雖然是以超級電腦執行模式預報,但是在預報時間上卻面臨了有不足的現象。由於目前海軍所使用的模式爲三層巢狀模組,在未來勢必要增加模式解析度,也就是要再增加新的預報模組,如此將會需要

更多的預報時間。有鑑於此，本研究的主要目標就是以目前作業單位所使用的嵌代策略為基礎，設計多組嵌代方式，並利用一些特定的數值參數去建立一套「策略評分方法」，期望能利用這套評分方法在多組的嵌代策略中求出一組「最佳嵌代策略」(Optimal Nesting Strategy)；所謂的最佳嵌代策略，就是「預報結果佳，預報時間短，適用於各種天氣型態」的嵌代策略，當 RSM 上線作業執行預報時（類似目前海軍氣象中心的 NOAA/NCEP/NVJK 94 模式），若是以此「最佳嵌代策略」當做嵌代策略去執行預報，則一方面能確保模式的預報結果，另一方面也能確實縮短預報時間，掌握預報時效。

本研究論文在篇幅分配上共分為四章，上述第一章為緒論，主要在簡介 RSM 模式的特色與優點、相關研究回顧、以及本篇論文的研究動機。第二章為模式、資料與實驗設計，主要介紹區域波譜模式、資料來源、分析方法、與實驗設計。第三章為「最佳嵌代策略」評分方法之討論結果，主要討論在本研究中建立之策略評分方法的可行性。最後第四章為結論與展望。

2. 模式、資料與實驗設計

區域波譜模式的控制方程式如下所示：

1. 動量方程式：

$$\frac{\partial u^*}{\partial t} = -m^2(u^* \frac{\partial u^*}{\partial x} + v^* \frac{\partial u^*}{\partial y}) - \frac{1}{2}(u^{*2} + v^{*2}) \frac{\partial m^2}{\partial x} - \sigma \frac{\partial u^*}{\partial \sigma} + f v^* - (RT \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial \Phi}{\partial x}) + D^u \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial v^*}{\partial t} = -m^2(u^* \frac{\partial v^*}{\partial x} + v^* \frac{\partial v^*}{\partial y}) - \frac{1}{2}(u^{*2} + v^{*2}) \frac{\partial m^2}{\partial y} - \sigma \frac{\partial v^*}{\partial \sigma} - f u^* - (RT \frac{\partial Q}{\partial y} + \frac{\partial \Phi}{\partial y}) + D^v \quad (2.2)$$

2. 熱力方程：

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -m^2(u^* \frac{\partial T}{\partial x} + v^* \frac{\partial T}{\partial y}) - \sigma^{\kappa} \sigma \frac{\partial (T \sigma^{-\kappa})}{\partial \sigma} + \kappa T \left[\left(\frac{\partial Q}{\partial t} + m^2(u^* \frac{\partial Q}{\partial x} + v^* \frac{\partial Q}{\partial y}) \right) \right] + \frac{H}{C_p} + D_T \quad (2.3)$$

3. 濕變數（比濕）方程：

$$\frac{\partial q}{\partial t} = -m^2(u^* \frac{\partial q}{\partial x} + v^* \frac{\partial q}{\partial y}) - \sigma \frac{\partial q}{\partial \sigma} + D_q \quad (2.4)$$

4. 連續方程：

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = -m^2(u^* \frac{\partial Q}{\partial x} + v^* \frac{\partial Q}{\partial y}) + \frac{\partial u^*}{\partial x} + \frac{\partial v^*}{\partial y} - \frac{\partial \sigma}{\partial \sigma} \quad (2.5)$$

5. 靜力方程：

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \sigma} = -\frac{RT}{\sigma} \quad (2.6)$$

在上述方程式中， m 是指地圖投影因子 (Mapping Factor)， $\sigma = \frac{p}{p_s}$ ， $u^* = \frac{u}{m}$ ，

$v^* = \frac{v}{m}$ ， $Q = \ln(p_s)$ 即地面氣壓的對數值， $\sigma = \frac{d\sigma}{dt}$ 為 σ 坐標的垂直速度。在上下邊界處

$\sigma = 0$ ； D_u 、 D_v 、 D_T 、 D_q 分別為東西向風速、南北向風速、溫度及濕變數（比濕）的擴散項， $\kappa = \frac{R_d}{C_p}$ ，其中 R_d 為乾空氣之氣體常數， C_p 為定

壓比熱，其餘的變數符號與傳統用法相同[16]。

模式的物理參數過程包括下列數項[15]：

- (一) 輻射物理過程，為 GFDL 發展的輻射參數化，其中包含輻射與雲的交互作用、隨日夜變化的短波及長波輻射，並且考慮大氣中 CO_2 、 O_3 及水汽對輻射的作用等。
- (二) 地表層和行星邊界層的物理過程參數化，其中是使用 Monin Obukhov 理論公式計算動量、水汽及可感熱垂直擾動，並且考慮地表溫度分佈等。
- (三) 重力波平滑，則是使用 GLAS and GFDL 的技巧。
- (四) 郭氏積雲參數化。
- (五) ECMWF 的淺對流參數化。
- (六) 大尺度(格點)降水等物理參數化過程。
- (七) 水文過程。

上述的物理過程，除了輻射（長波及短波）部分是每一個預報小時做一次外，其它部分都是每一個時間間隔(Time Step)做一次。

本研究使用的是區域波譜模式，所以預報變數是以波譜函數表示之，但是有限區域模式會有「邊界」(Boundary)的問題，因此必須將預報變數分成「平均場」(Mean Field)和「擾動場」(Perturbation Field)二部分，一部分要符合波譜函數條件，另一部分則符合邊界條件。平均場是全球模式或外層模組輸入的預報資料(Input Data)，代表了整個區域的大尺度運動，因此這一部分是符合邊界條件的；擾動場是由區域波譜模式計算出來的資料(Output Data)，因此這一部分是符合波譜函數條件；另外，在波譜空間所有的擾動量均是以雙正弦餘弦級數(Double Sine-Cosine Series)組成的二維（水平）波譜係數表示之[13]，[15]。

模式在時間積分方面是採用「半隱式積分法」(Semi-Implicit Scheme)，此方法可以增加模式的穩定性，使積分時間間隔(Time Step)增加[15]。在邊

界處理方面，為了使側邊界的擾動變化量趨於 0，模式中使用了緩和法處理邊界問題[15]，其示意圖如圖 2.1.所示[21]。

目前一般利用 RSM 做預報時，所採取的「預報策略」(嵌代策略)如下所示：

GSM→RSMA→RSMB→RSMC→RSMD

我們稱這樣的預報架構為「四重巢狀預報模組」，其中 RSMA、RSMB、RSMC、RSMD 稱為「預報模組」或「嵌代層」，此處定義此嵌代策略為「標準預報策略」，簡稱「標準策略」，在標準策略中共有四層嵌代層。若以較為簡便的方式表示，以字元 g 代替 GSM 全球模式，以字元 a 代替 RSMA 模組，稱為「a 網格」，以字元 b 代替 RSMB 模組，稱為「b 網格」，依此類推，如此標準策略可以表示成 g→a→b→c→d 或者 GABCD。

標準策略的空間積分區域示意圖如圖 2.3 所示，各預報模組的參數設定如表 2.1 所示。在表 2.1 中， Δx 為模組空間解析度， Δt 為模組積分時間間隔(即時間解析度)， $I \times J$ grid 為模組水平網格數，LFT x BTM grid 為模組參考點距左邊界及下邊界網格數。

為了設計一組能夠求得模式「最佳嵌代策略」的數值方法，在本研究中設計了八組的嵌代策略，期望能在其中找到一組「最佳嵌代策略」，至於如何判斷八組預報策略的優劣，在本研究中是採取「評分」的方式，而評分的依據則是依據四個統計參數，四種參數如下所示：

1.平均誤差(Mean Error, M.E.)：

$$M.E. = \frac{\sum (F_i - O_i)}{n} \quad (2.8)$$

其中 F_i 為模式預報值， O_i 為觀測值， n 為網格點數；

2.絕對平均誤差(Absolute Mean Error, A.M.E.)：

$$A.M.E. = \frac{\sum |F_i - O_i|}{n} \quad (2.9)$$

其中 F_i 為模式預報值， O_i 為觀測值， n 為網格點數；

3.標準偏差(Standard Deviation Error, S.D.E.)：

$$S.D.E. = \sqrt{\frac{\sum [(F_i - O_i) - (\overline{F_i} - \overline{O_i})]^2}{n}} \quad (2.10)$$

其中 F_i 為模式預報值， O_i 為觀測值，

$$\overline{F_i} = \frac{\sum F_i}{n}, \quad \overline{O_i} = \frac{\sum O_i}{n}, \quad n \text{ 為網格點數；}$$

4.均方根誤差(Root Mean Square Error, R.M.S.E.)：

$$R.M.S.E. = \sqrt{\frac{\sum (F_i - O_i)^2}{n}} \quad (2.11)$$

其中 F_i 為模式預報值， O_i 為觀測值， n 為網格點數。

在本研究中，模式總共預報 120 小時，每 12 小時輸出一次預報資料，因此總共有 10 次輸出資料，而每次的輸出資料中需要 5 種氣象變數資料。此處以一個實際案例來說明上述的評分方法，如圖 2.3 所示。

本研究中 RSM 模式的初始場資料是中央氣象局全球模式的分析場；至於輔助天氣資料方面，則蒐集了中央氣象局地面及高空的天氣圖、GMS-5 紅外線與可見光衛星雲圖、以及文化大學大氣科學系的網頁資料；在觀測資料方面，有中央氣象局所屬地面觀測站資料、自動雨量站資料等。

至於在個案選取這一部分，針對不同的天氣型態選取了二個個案，一個是冬季寒潮爆發的個案，時間是 2000.01.23. 12Z，另一個是春夏季梅雨鋒面的個案，時間是 2002.05.13. 12Z。

如前所述，本研究目標在於建立一套數值方法，期望能利用這套數值方法為 RSM 找到一組「最佳嵌代策略」，因此在本研究中總共設計了八組的嵌代策略，如表 2.3 所示，例如組別四所代表的嵌代策略即為 g→b→d，而各組策略之預報模組參數設定都如表 2.1 所示。

表 2.3 中的八組嵌代策略，其設計的方法主要是改變「嵌代層數」，例如實驗一共有四層嵌代層 a、b、c、d，而實驗二只有一層嵌代層 d，依之類推。之所以這樣設計的原因，一方面要測試模式在執行預報時需要幾層的嵌代層其預報結果才會較好，另一方面要測試在相同嵌代層數下，不同嵌代層(例如在實驗三中，所有預報策略的嵌代層數都是三層，但是實驗三策略一的第二層嵌代層是 a 網格，實驗三策略二是 b 網格，實驗三策略三是 c 網格)所可能造成的預報結果差異。組別一是標準策略，如此才能和其它策略做比較。

3. 「最佳嵌代策略」評分方法之測試與結果

本研究主要著重於設計一套策略評分方法，期望能利用這套評分方法求出一組 RSM 模式的「最佳嵌代策略」，一方面期望能經由這樣的研究提升 RSM 模式的表現，以確實將 RSM 模式的優點發揮出來，另一方面也希望能找出 RSM 模式的些許特性。

為了證實本研究中所設計的評分方法是可行的，在此選擇了台灣地區二種主要的天氣型態加以討論，第一種稱為穩定型大氣，第二種稱為對流型大氣，第一種天氣型態的個案時間為 2000 年 01

月 23 日 12Z，第二種天氣型態的個案時間為 2002 年 05 月 13 日 12Z。第一種天氣型態是屬於大尺度的天氣系統，但是第二種天氣型態是屬於中尺度伴隨著小尺度的天氣系統，如此可以比較模式在預報不同尺度天氣系統的表現；另外，所謂「最佳嵌代策略」，就是給上線（作業）模式使用，也就是一年四季十二個月三百六十五天都是用這組策略，因此，針對不同的天氣型態只能選出一組嵌代策略，這樣才符合「最佳嵌代策略」的意義。

不過在此要說明的是，在本研究中得到「最佳嵌代策略」，只是針對本研究中選擇的二個個案而言，並不能代表真正適合於 RSM 模式的「最佳嵌代策略」，要找出真正的「最佳嵌代策略」，必須經過日積月累長年的實驗，如此得到的結果才能稱為「最佳嵌代策略」。

對於穩定型大氣個案選取以 2000 年 1 月 24 日大陸冷高壓影響台灣地區為考量，以下介紹 2000 年 1 月 21 日至 28 日 1200UTC 預報模擬期間的綜觀天氣形式。

圖 3.1.a-c 分別為 1 月 21 日至 23 日中央氣象局分析之綜觀天氣圖，圖 3.2 為 2000 年 1 月 GMS5 紅外線衛星雲圖，其中(a)為 22 日 0600UTC，(b)為 22 日 1200UTC，(c)為 23 日 1200UTC，(d)為 24 日 0600UTC，(e)為 24 日 1200UTC，(f)為 25 日 1200UTC。在 21 日 1200UTC 地面圖中，高壓中心位於韓國地區向東緩移出海(如圖 3.1.a)，台灣地區受此大陸分裂高壓出海影響，溫度逐漸回升，此時新一波強烈大陸冷氣團仍位於西伯利亞一帶，高壓中心近似滯留，勢力持續增強建立中。22 日大陸冷高壓勢力逐漸增強，0600UTC 時北來冷空氣與上一波變性高壓所帶來的暖濕空氣匯集於華中一帶，形成一新生的鋒面系統，GMS5 紅外線雲圖顯示出華中一帶雲量有增多現象(如圖 3.2.a)。23 日 1200UTC 氣旋波向東南移至台灣海峽北部，紅外線衛星雲圖顯示有旺盛水氣自南海地區往台灣地區附近輸送(如圖 3.2.c)。24 日 0600UTC 地面鋒面通過台灣北部，台灣地區雲量明顯增多(如圖 3.2.d)。25 日 1200UTC 鋒面系統快速南移至巴士海峽，氣旋波移出台灣東南部海面，台灣地區雲量逐漸減少(如圖 3.2.f)；台灣地區受大陸冷氣團影響，氣溫偏低，除台南以南的地區為多雲外，其餘各地皆為陰有陣雨的天氣。

表 3.1 為穩定型大氣個案八組嵌代策略在各預報時段的平均得分及總平均，而表 3.2 為穩定型大氣個案八組嵌代策略執行預報、模組嵌代所需時間及執行模式預報工作平台。從表 3.2 中可以看出，就預報準確率而言，在八組嵌代策略中以第六組嵌代策略(GABD)表現最好，而從表 3.2 中可以看出以第二組嵌代策略(GD)最具預報時效。

由於所謂的「最佳嵌代策略」應該要符合「預報結果佳、預報時間短」的特性，因此我們分別考量預報準確率及預報時間二方面來對八組嵌代策略進行排名，表 3.3 即為穩定型大氣個案針對預報準確

率及預報時間二方面考量的八組嵌代策略排名。從表 3.3 中可以知道，第三組嵌代策略 GAD 及第六組嵌代策略 GABD 皆相當符合「最佳嵌代策略」的條件，策略 GAD 在預報準確率的排名是第二名，而在預報時間的排名也是第二名，策略 GABD 在預報準確率的排名是第一名，在預報時間的排名是第四名，位居於所有策略的前半部，因此這二組策略皆符合「預報結果佳、預報時間短」的特性，所以，在穩定型大氣個案中，「最佳嵌代策略」應屬第三組嵌代策略 GAD 及第六組嵌代策略 GABD。

對於對流型大氣的個案，選取了 2002 年 5 月 13 日在華南附近的一道梅雨鋒面個案，此道梅雨鋒面約在二天後，即 5 月 15 日接近台灣本島，以下先對當時的綜觀天氣環境作簡介。

11 日 0000UTC，低壓中心位於日本東方近海，向東北東方移動，時速約 15 公里，鋒面自此向西南西延伸，經過台灣北部海面到達廣東附近海域(如圖 3.3.a)；而由於受到鋒面接近的影響，台灣地區中部以北為陰有雨的天氣，南部及東部地區為多雲的天氣(如圖 3.4.a)。12 日 0000UTC 低壓中心位於日本東方海面，以時速 20 公里的速度向東北東移動，鋒面自此向西南方延伸至巴士海峽(如圖 3.3.b)；由圖 3.3.b 可知，鋒面雲系逐漸移出台灣，台灣地區今日主要受北方微弱高壓影響，除東半部仍為陰有雨的天氣外，其餘各地為晴到多雲的天氣，午後山區有局部雷陣雨出現(如圖 3.4.b)。13 日 0000UTC，北方微弱高壓逐漸東移出海，而在大陸華南地區新生成一道鋒面，逐漸接近台灣地區(如圖 3.3.c)；今日台灣各地為晴到多雲的天氣，午後山區出現局部雷陣雨(如圖 3.4.c)。14 日 0000UTC，新生成之低壓及伴隨低壓之鋒面系統位於安徽省，以時速 20 公里的速度向東移動，鋒面自此向南延伸至廣西省(如圖 3.3.d)。今日受到鋒面接近影響，台灣地區中部以北為晴轉陰有雨的天氣，其它地區為晴到多雲的天氣，部分山區仍出現午後雷陣雨(如圖 3.4.d)。15 日 0000UTC，低壓中心位於黃海南部，緩慢向東移動，鋒面自此向西南延伸至海南島附近(如圖 3.3.e)，而由於受到此道鋒面接近的影響，中央氣象局於本日發布大雨特報；此道鋒面在台灣地區徘徊了 1 至 2 日，全省各地皆出現中大雨勢，部份地區有雷陣雨之發生(如圖 3.4.e)。

表 3.4 顯示對流型大氣個案八組嵌代策略在各預報時段的平均得分及總平均。從表 3.4 中可以看出，在對流型大氣個案中，以第一組預報策略(GABCD)的預報準確率最高。表 3.5 顯示對流型大氣個案八組嵌代策略執行預報、模組嵌代所需之預報時間及執行模式預報之工作平台。首先從表 3.5 中可以看出，隨著工作平台等級提升以及資料輸出時間間隔(Output Time)的增加，在對流型大氣個案中各策略的模式預報時間要比穩定型大氣個案的模式預報時間(見表 3.3)縮短許多，而從表 3.5 中也可以看

出，在對流型大氣個案中預報時間最短的策略為第二組嵌代策略(GD)。如前所述，由於「最佳嵌代策略」應該要符合「預報結果佳、預報時間短」的特性，因此我們分別考量預報準確率及預報時間二方面來對八組嵌代策略進行排名，表 3.6 即為對流型大氣個案針對預報準確率及預報時間二方面考量的八組嵌代策略排名。從表 3.6 中可以看出，策略 GABD 是不錯的選擇，因為該策略的預報準確率排名第二，而在預報時間方面的排名雖然是第四，但是由於預報時間排名第二及第三的嵌代策略(GAD、GBD)其預報準確率排名分別為第五及第八，遠不及排名第二的策略 GACD，因此在同時考量預報準確率及預報時間二方面的因素，對流型大氣個案的「最佳嵌代策略」應是第六組嵌代策略 GABD。

經由上述二個個案的測試可以知道，本研究設計的評分方法確實可以針對每個天氣個案找出最合適的「最佳嵌代策略」；不過在求出這組適合於各種天氣系統之「最佳嵌代策略」的過程中，勢必會遇到一個問題，那就是「針對不同天氣個案所求得之最佳嵌代策略可能會有所不同」，很明顯的，在本研究中所選取的二個個案便發生了這樣的現象(第一個個案的最佳嵌代策略是 GAD 及 GABD，而第二個個案的最佳嵌代策略則是 GABD)，面臨這種問題時該如何解決？在這一節中將討論這個問題。

表 3.7 顯示了八組嵌代策略在個案一及個案二的預報準確率及預報時間之排名及排名總和。所謂排名總和即是將某策略所有的排名相加，排名總和越小，表示該策略在所有天氣個案中的表現越佳。從表 3.7 中可以看出，雖然第三組嵌代策略 GAD 和第六組嵌代策略 GABD 二者的排名總和都是 11，但是策略 GAD 在個案二的表現並不算好，預報準確率排名第五，已經落在所有策略的後半部，因此，實際的「最佳嵌代策略」應選擇策略 GABD。

在此可以做個結論：利用策略評分方法，針對穩定型大氣以及對流型大氣所求得的「最佳嵌代策略」為策略 GABD。

4. 結論與展望

「區域波譜模式」(RSM)為利用「波譜法」來執行預報之數值天氣預報模式，它在預報各種尺度的天氣系統皆有不錯的表現。而為了同時提升模式解析度與縮短模式預報時間，本文以統計學參數為基礎建立了一套「策略評分方法」，期望能為區域波譜模式找出一組預報時間短、預報結果佳、並適用於各類天氣型態的「最佳嵌代策略」；而由於台灣地區主要的天氣型態可以區分為穩定型與對流型天氣二大類，本文中即選擇了這二大類的天氣型態來討論這套「策略評分方法」的可行性。

經過研究後得到以下結論：

- (一) 嵌代策略的統計參數時間序列圖顯示，各組嵌代策略在預報溫度場的表現差異不大，預報趨勢幾乎完全一樣，只是預報值有些許不同，如此可知區域波譜模式對於熱力場的預報相當穩定。
- (二) 嵌代策略預報氣象變數的結果顯示，區域波譜模式的預報結果會由於「第二層預報模組」，也就是所謂的「過渡模組」的不同而有所改變，這表示區域波譜模式執行預報時，「第二層預報模組」具有相當重要的影響性，也顯示出選擇預報策略的重要性。
- (三) 從嵌代策略的各預報時段得分結果可以看出，模式採取不同嵌代策略在預報各種氣象變數(850、500、200hPa 重力位高度，海平面氣壓，溫度)時，預報分數會隨著策略的不同而有些許的差異，這表示以統計學參數為基礎的「策略評分方法」確實能夠從八組嵌代策略中篩選出預報精確度較佳的策略，再搭配各組嵌代策略的預報時間表現，如此便能夠選出一組預報時間短、預報結果佳、並適用於各類天氣型態的「最佳嵌代策略」。
- (四) 針對台灣地區二大類天氣型態來討論「最佳嵌代策略評分方法」的可行性，其研究結果顯示，對於穩定型大氣而言，最佳嵌代策略為 GABD(GSM→RSMA→RSMB→RSMD)及 GAD，對於對流型大氣的天氣型態而言，最佳嵌代策略為 GABCD 及 GABD，再考量「最佳嵌代策略」必須要滿足「適用於各類天氣型態」的條件，因此，對於台灣地區二大類天氣型態而言，「最佳嵌代策略」為 GABD。

放眼未來，如何使這套「策略評分方法」付諸實行將是首要的目標，因此，簡化這套「策略評分方法」的過程，使得操作人員在操作時能更為簡單易懂，便是未來的研究目標之一；其次，在模式預報方面，持續提升模式的水平及垂直解析度將是未來研究重點之一，當模式解析度提升至一定程度後，就可以應用在更小區域的天氣預報，例如「機場天氣預報」、「空域天氣預報」等；另外，據多位學者相關研究指出，利用模式來預報風切與亂流，其準確率和模式預報之風場(動量場)有相當重要之關聯，因此，在未來若能更加提昇波譜模式對於風場之預報能力，如此對於風切與亂流等危險天氣將會有更好的預報及掌握，對於飛行安全也能有更大的助益。

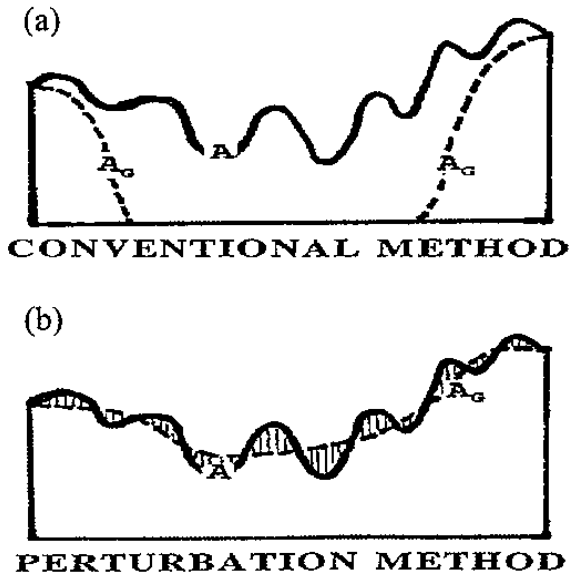
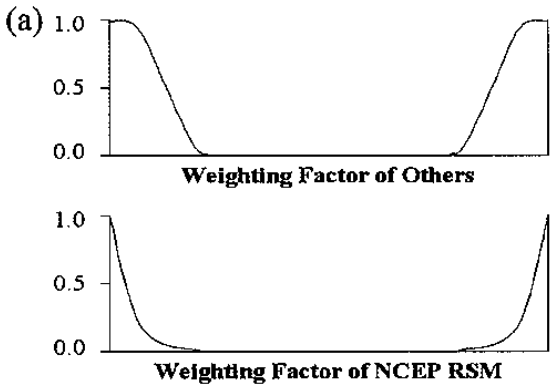


圖 1.1 數值預報模式運用(a)「傳統法」與(b)「擾動法」的差異 (摘自 Juang and



Kanamitsu(1994)[21])

圖 2.1 區域範圍內，一維緩和係數的振幅圖，(a) 為大部分區域模式使用方法，(b) 為 NCEP/RSM 使用方法 (摘自 Juang and Kanamitsu(1994)[21])

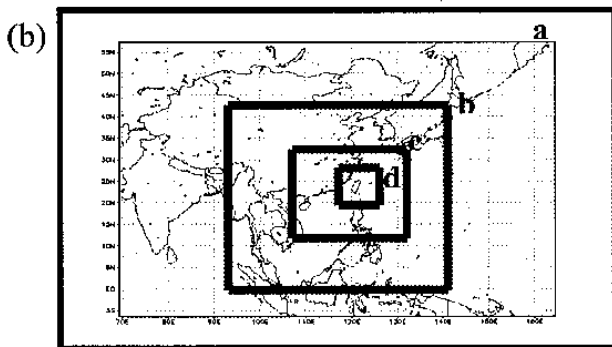


圖 2.2 多重巢狀模組空間積分區域示意圖，不同方塊代表不同模組積分區域，其中字元 a 代表 RSMA 模組，字元 b 代表 RSMB 模組，依此類推

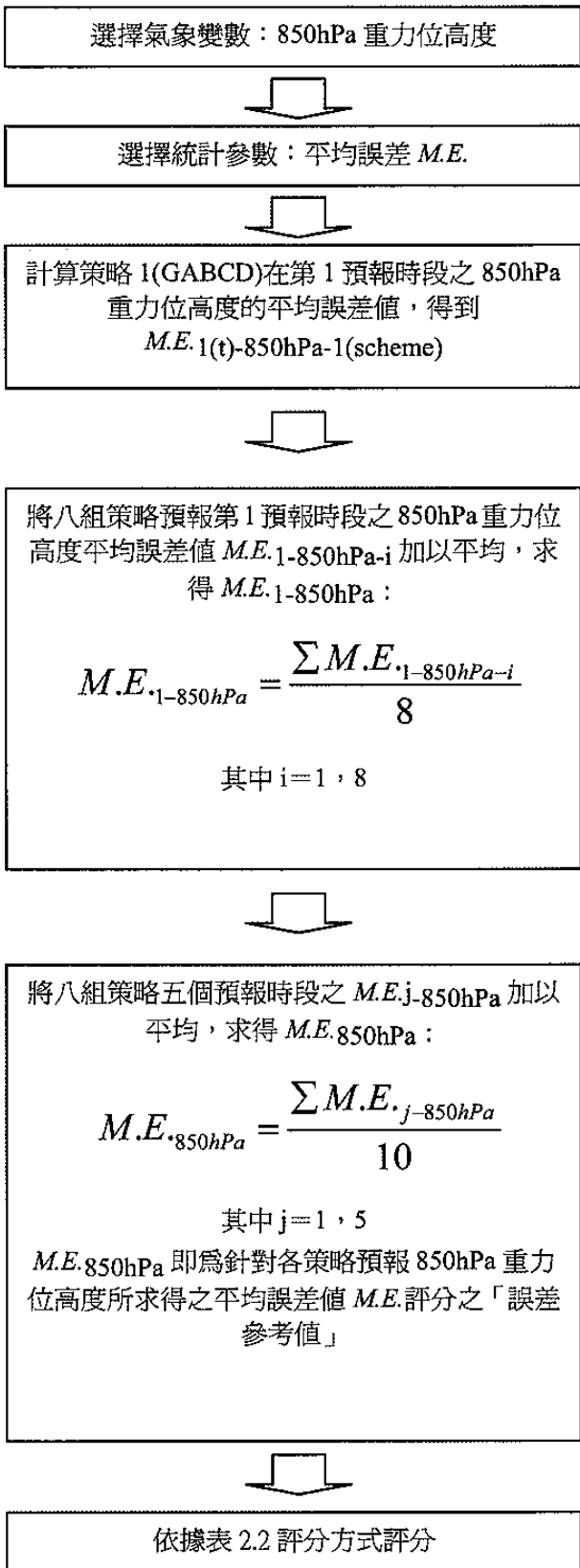
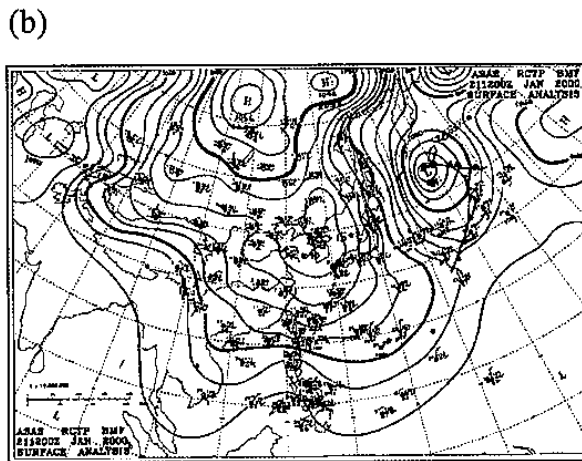
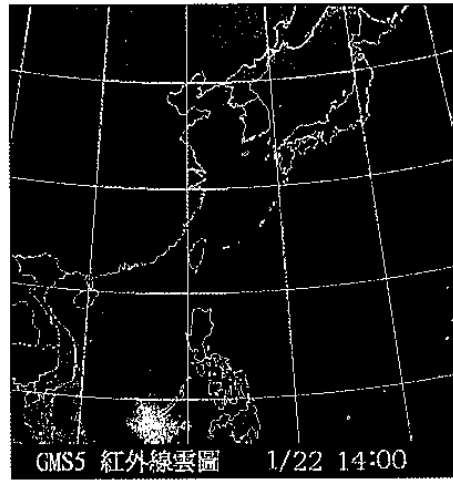
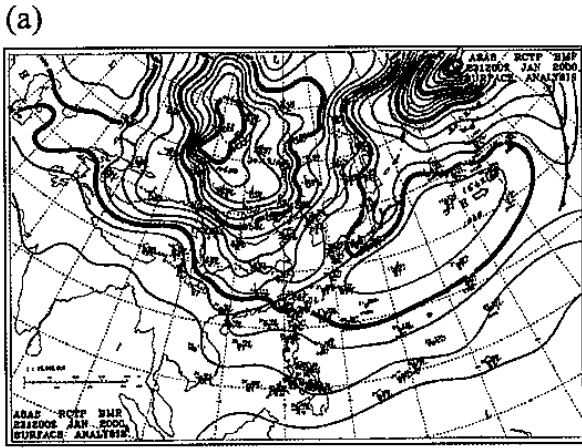


圖 2.3 求得最佳嵌代策略之數值方法示意圖



(b)

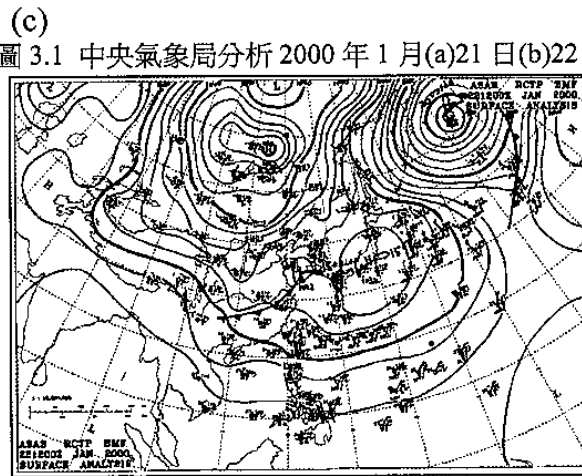
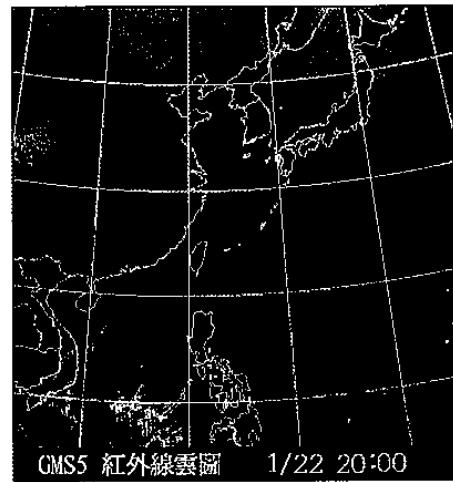


圖 3.1 中央氣象局分析 2000 年 1 月(a)21 日(b)22

日(c)23 日 1200UTC 地面天氣圖 (摘自蔡 (2001) [14])

(c)

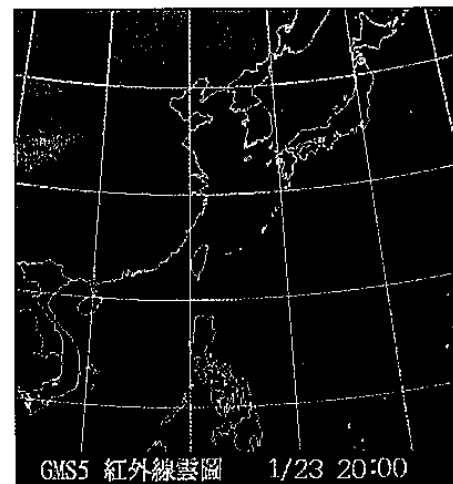
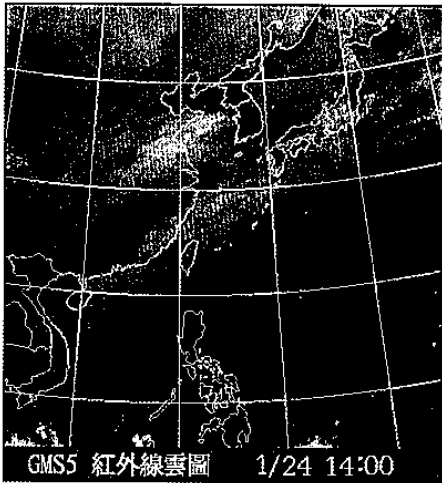


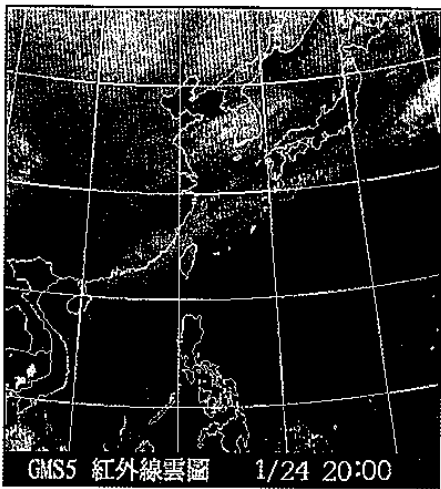
圖 3.2 2000 年 1 月(a)22 日 0600UTC(b)22 日 1200 UTC (c)23 日 1200UTC(d)24 日 0600UTC (e)24 日 1200UTC(f)25 日 1200UTC GMS5 紅外線衛星雲圖 (摘自蔡 (2001) [14])

(a)

(d)



(e)



(f)

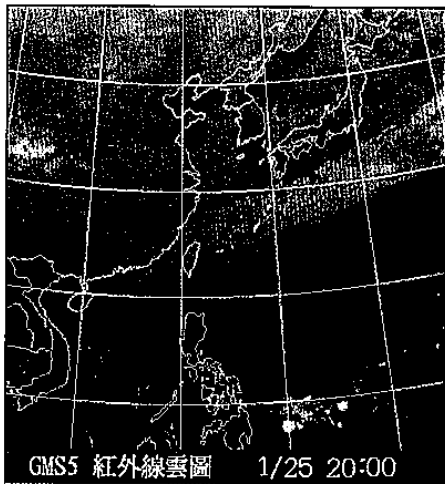
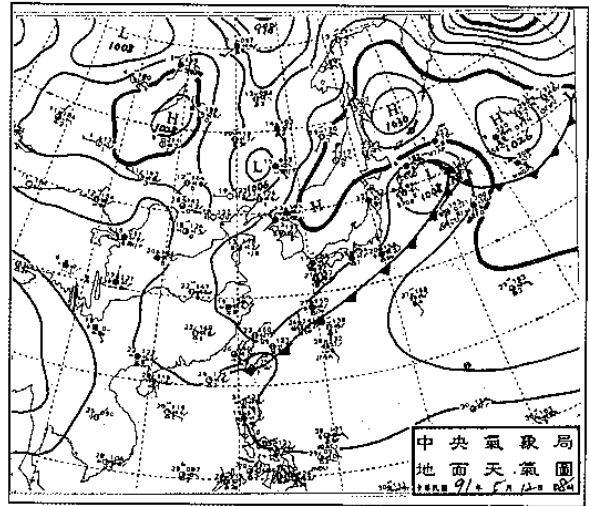
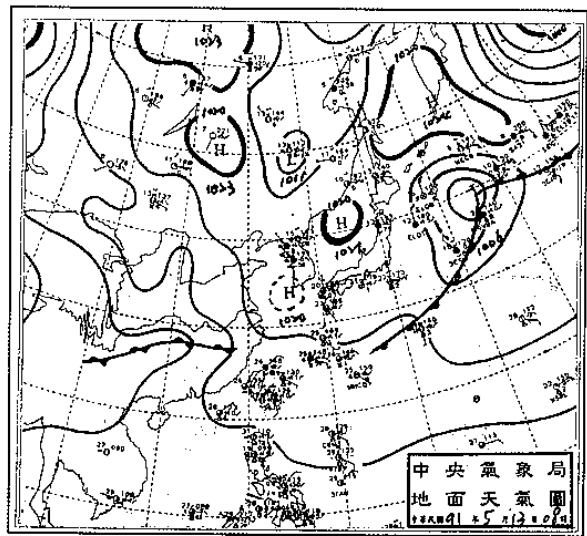


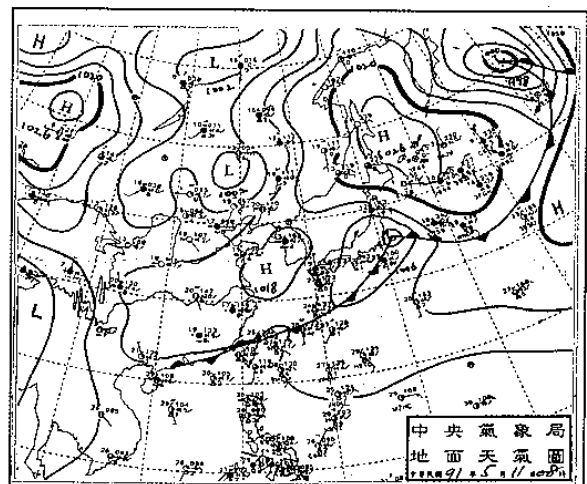
圖 3.2(續)



(b)



(c)

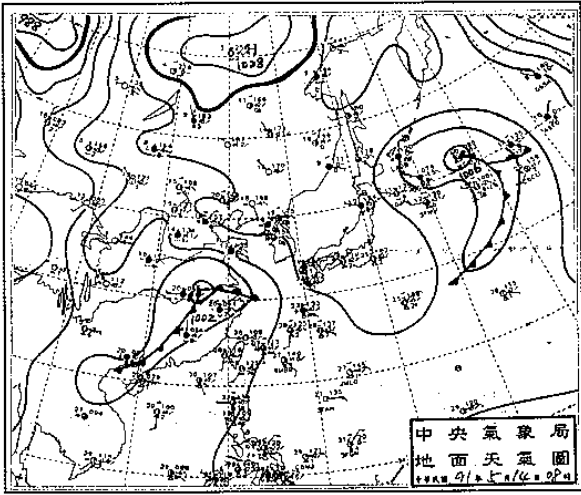


(d)

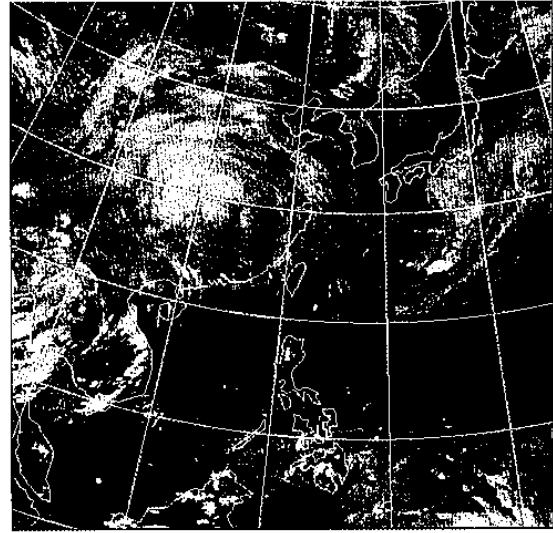
圖 3.3 中央氣象局分析 2002 年 5 月(a)11 日(b)12 日(c)13 日(d)14 日(e)15 日之 0000UTC 地面天氣圖(摘自中央氣象局 5 月 11 日至 15 日天氣預報單)

(a)

(e)



(e)



(c)

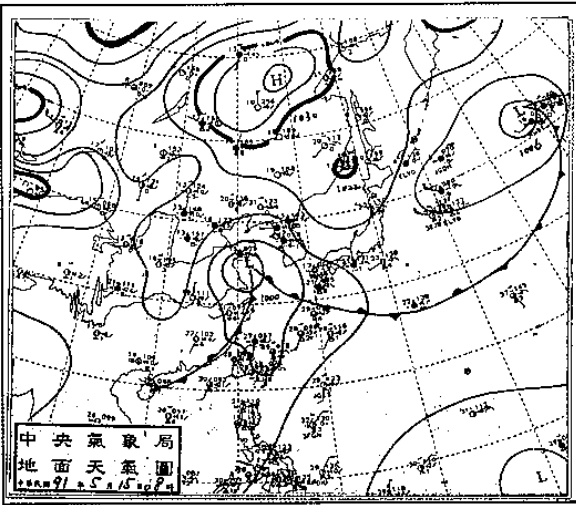
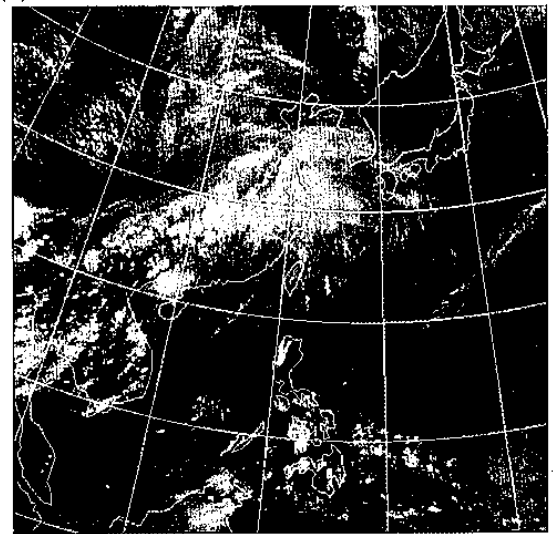
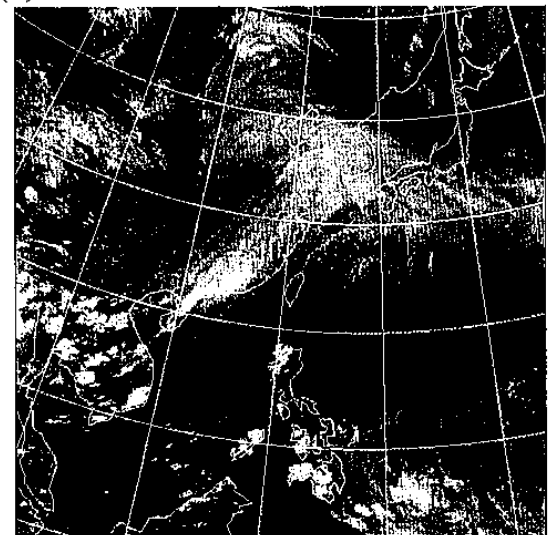
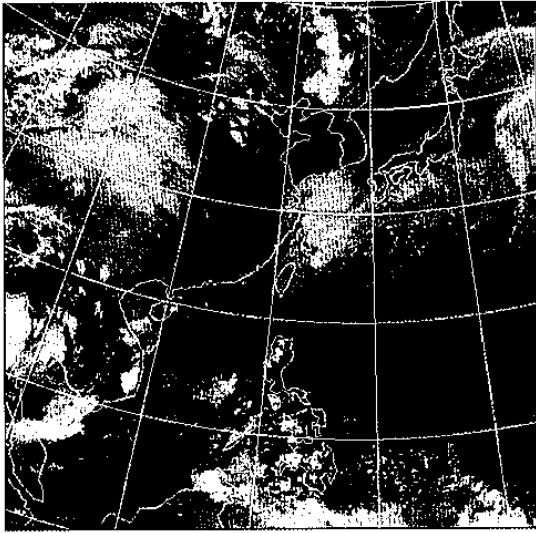


圖 3.3(續)



(d)

(a)



(e)

圖 3.4 2002 年 5 月(a)11 日(b)12 日(c)13 日(d)14 日 (e)15 日之 0000UTC 衛星雲圖(摘自文化大學網頁)

(b)

(e)

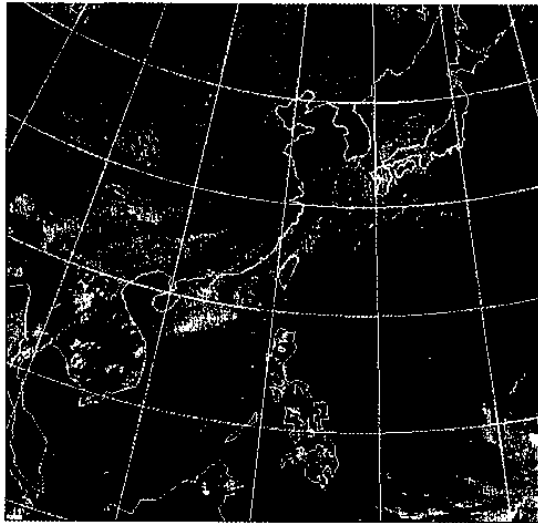


圖 3.4(續)

預報 模組	g	a	b	c	d
參數 設定					
$\Delta x(\text{km})$	240	120	60	30	15
$\Delta t(\text{s})$	—	240	120	60	30
I x J grid	—	81x65	81x81	81x79	64x61
LFT x BTM grid	—	44x27	47x43	41x43	20x30

表 2.1 標準策略中各預報模組的參數設定

統計參 數值	誤差參 考值	評分標準	得分
K_{t-j-i}	K_j	$k_{t-j-i} < 0.3K_j$	5
		$0.3K_j \leq k_{t-j-i} < 0.6K_j$	4
		$0.6K_j \leq k_{t-j-i} < 0.9K_j$	3
		$0.9K_j \leq k_{t-j-i} < 1.2K_j$	2
		$1.2K_j \leq k_{t-j-i} < 1.5K_j$	1
		$1.5K_j \leq k_{t-j-i}$	0

表 2.2 依據誤差參考值所劃分之六個評分區間及策略得分，其中 k_{t-j-i} 表示「策略 i(1-8)預報氣象變數 j(1-5)的統計參數值 k(1-4)在時段 t(1-5)的平均值」， K_j 表示「針對氣象變數 j(1-5)評分之誤差參考值」

組別	名稱	嵌代策略				
		g	a	b	c	d
1	實驗一	√	√	√	√	√
2	實驗二	√				√
3	實驗三策略一	√	√			√
4	實驗三策略二	√		√		√
5	實驗三策略三	√			√	√
6	實驗四策略一	√	√	√		√
7	實驗四策略二	√	√		√	√
8	實驗四策略三	√		√	√	√

表 2.3 八組嵌代策略中各組的嵌代層數

組別	1	2	3	4	5	6	7	8
名稱	實驗一	實驗二	實驗三策略一	實驗三策略二	實驗三策略三	實驗四策略一	實驗四策略二	實驗四策略三
嵌代策略	GA BC D	GD	GA D	GB D	GC D	GA BD	GA CD	GB CD
預報 時段	策略平均得分-穩定型大氣個案							
24hr		3.3		3.2	3.0		3.3	3.5
48hr		2.5		2.3	2.4		3.2	2.9
72hr	2.4	1.4		1.6	2.0			2.1
96hr		1.0	1.7	1.2	1.6		1.7	1.5
120hr		1.0		0.9			1.3	1.2
總平均	2.58	1.84		1.84	2.16		2.4	2.24

表 3.2 穩定型大氣個案八組嵌代策略在各預報時段的平均得分及總平均

組別	策略	執行預報所需時間(時:分)
1	GABCD	88:47
2	GD	37:39
3	GAD	42:48
4	GBD	48:29
5	GCD	71
6	GABD	53:42
7	GACD	79:33
8	GBCD	84:07

模組嵌代	所需時間(時)
G→A	4
G→B	12
G→C	32
G→D	36
A→B	12
A→C	35
A→D	34
B→C	35
B→D	36
C→D	35

工作平台
system: LINUX
CPU: PentiumII 400
RAM: 384
output time: 1次/3hr

表 3.3 穩定型大氣個案八組嵌代策略執行預報、模組嵌代所需之預報時間及執行模式預報之工作平台

個案	穩定型大氣							
預報準確率排名								
名次	1	2	3	4	5	6	7	7
預報策略	GA BD	GA D	GA BC D	GA CD	GB CD	GC D	GB D	GD
得分總平均	2.76	2.66	2.58	2.4	2.24	2.16	1.84	1.84
預報時間排名								
名次	1	2	3	4	5	6	7	8
預報策略	GD	GA D	GB D	GA BD	GC D	GA CD	GB CD	GA BC D
預報時間	37:39	42:48	48:29	53:42	71	79:33	84:07	88:47

表 3.4 穩定型大氣個案針對預報準確率及預報時間二方面考量的八組嵌代策略排名

組別	1	2	3	4	5	6	7	8
名稱	實驗一	實驗二	實驗三策略一	實驗三策略二	實驗三策略三	實驗四策略一	實驗四策略二	實驗四策略三
嵌代策略	GA BC D	GD	GA D		GC D	GA BD	GA CD	GB CD
預報時段	策略平均得分-對流型大氣個案							
24hr		2.9	2.9	2.0	3.0		3.2	2.5
48hr		2.5	2.6	1.9	2.5			2.4
72hr		1.9	2.2	1.6			2.1	1.9
96hr		1.1	1.8	1.9	2.2	2.1	2.0	
120hr		0.5	1.3	1.1			1.9	1.6
總平均		1.78	2.16	1.7	2.48		2.44	2.16

表 3.6 對流型大氣個案八組嵌代策略在各預報時段的平均得分及總平均

組別	策略	執行預報所需時間(時:分)
1	GABCD	41:24
2	GD	15:39
3	GAD	18:23
4	GBD	22:20
5	GCD	32:58
6	GABD	25:19
7	GACD	35:28
8	GBCD	38:50

工作平台
system: LINUX
CPU: PentiumIII 700
RAM: 384
output time: 1次/12hr

表 3.7 對流型大氣個案八組嵌代策略執行預報、模組嵌代所需之預報時間及執行模式預報之工作平台

模組嵌代	所需時間(時)
G→A	3
G→B	6
G→C	16
G→D	16
A→B	6
A→C	16
A→D	16
B→C	16
B→D	16
C→D	16

對流型大氣								
預報準確率排名								
名次	1	2	3	4	5	5	7	8
預報策略	GA BC D	GA BD	GC D	GA CD	GA D	GB CD	GD	GB D
得分總平均	2.74	2.58	2.48	2.44	2.16	2.16	1.78	1.7
預報時間排名								
名次	1	2	3	4	5	6	7	8
預報策略	GD	GA D	GB D	GA BD	GC D	GA CD	GB CD	GA BC D
預報時間	15:39	18:23	22:20	25:19	32:58	35:28	38:50	41:24

表 3.8 對流型大氣個案針對預報準確率及預報時間二方面考量的八組嵌代策略排名

組別	1	2	3	4	5	6	7	8
名稱	實驗一	實驗二	實驗三策略一	實驗三策略二	實驗三策略三	實驗四策略一	實驗四策略二	實驗四策略三
預報策略	GA BC D	GD	GA D	GB D	GC D	GA BD	GA CD	GB CD
穩定型大氣個案								
預報準確率	3	7	2	7	6	1	4	5
預報時間	8	1	2	3	5	4	6	7
對流型大氣個案								
預報準確率	1	7	5	8	3	2	4	5
預報時間	8	1	2	3	5	4	6	7
排名總和	20	16	11	21	19	11	20	24

表 3.9 八組嵌代策略於個案一及個案二的預報準確率及預報時間之排名及排名總和

參考文獻

- [1] 蔡清彥、柯文雄、許武榮，數值天氣預報，聯經書局，台北，第 130-131 頁，1990。
- [2] 戴久永，統計概念與方法，三民書局，台北，第 90-262 頁，1991。
- [3] 沈哇等，空軍氣象預報手冊，空軍總司令部，台北，第 20-30 頁，2001。
- [4] 方力脩、陳慧貞，“數值天氣預測之校驗方法綜評”，氣象學報，第三十五卷第一期，第 48-62 頁，1989。
- [5] 葉天降，“嘉南地區 1997 年梅雨期降水之特性與作業模式之預測校驗”，大氣科學，第二十六期第一號，第 41-61 頁，1998。
- [6] 潘琦、盧孟明，“中央氣象局數值預報模式降水預測校驗：1999 與 2000 年”，大氣科學，第二十九期第三號，第 273-290 頁，2001。
- [7] 陳雯美、林松錦、蔡清彥，“中央氣象局全球數值天氣預報系統 1988-1989 預報校驗評估”，氣象學報，第三十五卷第四期，第 263-280 頁，1989。
- [8] 洪景山，“武夷山地形和海洋邊界層在梅雨鋒面南下過程中扮演的角色”，大氣科學，第三十期第三號，第 277-280 頁，2002。
- [9] 侯喜真、陳泰然，“梅雨季伴隨華南西南風爆發之低壓發展”，大氣科學，第二十九期第三號，第 203-228 頁，2001。
- [10] 蕭志惠、莊漢明，“台灣地區春梅雨期短期氣候之模擬研究”，大氣科學，第三十期第四號，第 291-312 頁，2002。
- [11] 蒲金標、蘇世孟、莊江森，“A-1 航路台北至馬公冬季亂流之分析研究”，大氣亂流與飛航安全研討會 69 年年會論文集，台北，第 83-84 頁，1980。
- [12] 郭文鑠，“應用垂直風切圖與李查遜數對晴空亂流之個案研究”，大氣亂流與飛航安全研討會 69 年年會論文集，台北，第 60-70 頁，1980。
- [13] 劉廣英、陶家瑞，“低層風切的成因與預報”，大氣亂流與飛航安全研討會 69 年年會論文集，台北，第 235-256 頁，1980。
- [14] 蔡晉東，“巢狀波譜模式在東亞地區天氣預報上的應用”，碩士論文，國防大學中正理工學院應用物理研究所，桃園，2001。
- [15] 于宜強，“RSM 對東亞地區梅雨天氣系統之測試研究”，碩士論文，國立中央大學大氣物理研究所，桃園，1996。
- [16] 鄭敏璋，“台灣東部對流系統與背風渦旋的交互作用”，碩士論文，國防大學中正理工學院應用物理研究所，桃園，2002。
- [17] Stull, R. B., *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*, Kluwer Academic Publishers, U. S. A., pp. 175-178, 1988.
- [18] JUANG, H. M., HONG, S. Y., "Sensitivity of the NCEP Regional Spectral Model," Monthly Weather Review, Vol. 129, pp.2910- 2912,2000.

- [19] TRENBERTH, K. E. and OLSON, J. G., "An Evaluation and Inter-comparison of Global Analyses from the National Meteorological Center and the European Center for Medium Range Weather Forecasts," Bulletin American Meteorological Society, Vol. 69, No. 9, pp. 1048-1056, 1988.
- [20] WILLMOTT, C. J., "Some Comments on the Evaluation of Model Performance," Bulletin American Meteorological Society, Vol. 63, No. 11, pp. 1310-1313, 1982.
- [21] Juang, H. M., and Kanamitsu, M., "The NMC Nested Regional Spectral Model," Monthly Weather Review, Vol. 122, No. 1, pp. 3-126, 1994.
- [22] Hong, S. Y., Juang, H. M. and Lee, D. K., "Evaluation of a Regional Spectral Model for the East Asian Monsoon Case Studies for July 1987 and 1988," J. Meteor. Soc. Japan, Vol.77 pp.553-572, 1999.

The Research about Nesting Strategy Used in Regional Spectral Model

YI-WEI JEN¹ FANG-CHUAN LU²

*Weather Center Weather Wing C.A.F.,R.O.C.¹
Dept. of Applied Physics, Chung Cheng Institute of Technology
National Defense University²*

ABSTRACT

In order to improve the resolution of NCEP/RSM(National Centers for Environmental Prediction / Regional Spectral Model)and reduce the computing time consumption simultaneously, we use statistical parameters to build up a nested strategical grading skill in this study. We apply this nested strategical grading skill to get an optimal nested strategy, which will spend the least computing time, get the optimal results, and be suitable for a variety of weather patterns. The main weather patterns in Taiwan area can be classified into the stable and convective atmospheres roughly. We examine the feasibility of the nested strategical grading skill for these two weather patterns.

The study results reveal that, for the stable atmosphere, the optimal nested strategy are GABD(GSM→RSMA→RSMB→RSMD)and GAD, but for the convective atmosphere, the optimal nested strategy are GABCD and GABD. Since the optimal nested strategy must be suitable for a variety of weather patterns, so the really optimal nested strategical for these two weather patterns is GABD only.