

一九九四年夏季中央氣象局全球波譜模式之初步結果

盧孟明

中央氣象局

摘 要

中央氣象局第二代全球波譜模式在1994年1月17日開始上線運轉，加入氣象局預報作業陣營。全球模式之任務除了提供邊界值給區域模式使用之外，還要提供三日以上天氣預報資訊，以及全球觀測資料分析場作為氣候監視之用。我們準備針對這些目地一一評估全球模式分析與預報之特性，一方面期望日後模式產品能以得到最佳利用，另一方面可作為模式改進之參考。

因為模式方上線不久，模式本身許多部份也仍在調整階段；本報告的目地完全不在衡量模式的好壞，但在建利可同時嘉惠預報與模式診斷工作之程序，並討論程續的有效性。我們選擇5月至7月為觀察之時段，比照預報作業上極受歡迎的ECMWF資料格式，校驗並比較二不同模式對【1.】「梅雨鋒」，【2.】太平洋高壓之移動之移動，【3.】500hPa高度和850hPa溫度場之駐波（standing wave）或滯波（stationary wave）的等系統掌握情形。

一、前言

經過將近五年的努力，第一個國人自己編寫完成之全球數值天氣預報模式（請參考本集中陳建河等論文：中央氣象局第二代全球模式介紹）在去年底完成，並在今年（1994）1月17日正式加入中央氣象局預報作業線。全球模式之任務除了提供邊界值給區域模式使用之外，還要提供三日以上的天氣預報資訊，以及作為供氣候監視使用的全球觀測資料分析場。本文中我們選擇5月至7月為觀察之時段，比照預報作業上極受歡迎的ECMWF資料格式，校驗並比較二不同模式對【1.】「梅雨鋒」之移動，【2.】太平洋高壓之移動，【3.】500hPa高度和850hPa溫度場之駐波（standing wave）或滯波（stationary wave）的等系統掌握情形。目的在從掌握特殊天氣系統之角度來取得對CWB第二代全球模式現階段可利用程度和亟需改善之問題的初步了解。

二、資料

我們所用的資料是中央氣象局每日透過GTS（Global Telecommunication System）接收之ECMWF格點資料（解析度為 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ ），共計有海平面氣壓、500hPa高度、850hPa溫度、和850hPa及200hPa風等六種分析及預報場；但是均非分含蓋全球範圍。海平面氣壓、500hPa高度和850hPa溫度場資料均僅包括中高緯度（南北半球緯度 $20^{\circ} \text{N}(\text{S})$ 至 $90^{\circ} \text{N}(\text{S})$ ，但溫度僅有北半球資料）；風場則僅包括熱帶地區（ $35^{\circ} \text{S} - 35^{\circ} \text{N}$ ）；預報結果的資料方面高度之

預報場包括了從一日到六日之預報，而風場僅包括到三日之預報。依照相同資料格式，我們比較了中央氣象局（CWB）第二代全球模式與ECMWF產品之異同。之所以如此做主要是因為在人力極度缺乏之氣象局，這是最容易認識本局模式產品特性的一種方法，我們也可以根據這類概略性比較制訂未來全盤性模式診斷策略之重點。我們要比較的時間為1994年5月到1994年7月，但6月和7月中共計有十天因受颱風影響資料存放正常時程而缺資料。這些資料雖大部份可以從新補存，但這些缺漏可提醒我們不但目前的模式仍未完全完成，配合新模式預報作業以致於氣象局數值預報小組其它方面工作正常進行的計算系統亦仍有許多細節問題有待解決。

三、台灣地區天氣與模式預報得分

根據中央氣象局每月發行兩次的「長期天氣展望」中之記錄，1994年5月共計有6次鋒面影響台灣，分別在2日至4日，11日，14日，16日至17日及26至29日。其中5月3至4日各地有雷陣雨，西部地區有大雨或豪雨並中部地區有災情發生；11日和27至28日的鋒面亦帶來顯著降水。6月間有3次鋒面通過，其中14至17日鋒面滯留在北部海面，18日南下通過台灣造成北部中部大雨及東北部豪雨。7月間最主要的天氣是颱風，10日台灣進入提姆颱風暴風圈，有強風暴雨並嚴重災情。

從本論文集陳氏等論文（中央氣象局第二代全球模式介紹）中距平相關係數來看，在前述這些台灣地區有明顯天氣的日子，模式的表現並沒有相對地變差；以5月27至28日和6月17至18日的個案而言，模式的表

現均在水準之上並有變好的趨勢。反而是在台灣附近沒有什麼特殊天氣情況的6月底和7月初，模式的表現可說是在水準之下。以500hPa高度場的距平相關係數(anomaly correlation)為例，模式在7月(夏季)的表現平均而言不如5月(梅雨季)。CWB全球模式模式對梅雨季的天氣系統應該可以提供至四天預報的訊息。接下來便是要討論模式分析與預報結果可應用在實際天氣系統預報的程度和模式在7月預報的基本問題。

四、850hPa 鋒面

為要容易觀察台灣地區鋒面系統移動的特性，我們發現風場南北風分量(v)的經向梯度之經度與時間剖面圖是一項非常方便的工具。圖1與2分別是根據ECMWF和CWB資料畫出的沿 25° N之 v 經向梯度的(20° N減去 30° N的 v ，與習慣上定義之梯度符號相反)經度與時間剖面圖。以五月為例，圖1a顯示出幾次主要鋒面經過台灣地區(120° E)時(3至4日、11日、26至29日)均出現大的正值，亦即在850hPa有南北方向風的輻合。鋒面移動與滯流的特性也表現在圖中。接下來我們要看這些鋒面特性如何表現在預報場上。

ECMWF模式24、48、72小時預報結果分別顯示在圖1b、c、d中。比較圖1a、b、c和d，我們發現這些結果除了數值大小以及一些結構細微程度的差異之外，並沒有非常明顯的不同。因篇幅之限制，我們現在僅依與台灣地區天氣相關部份討論。以5月11日鋒面而言，模式對鋒面的移動掌握得近乎完美；唯在圖1d(72小時預報)中鋒面出海後移動之速度比實際發生者(圖1a)要快一些，並強度也減弱得較多。5月14和17日的鋒面，模式不論是在鋒面速度或強度上的掌握均不錯。5月24日滯留性較強的鋒面在模式預報結果中也表現出來了，但在5月31日和6月1日鋒面的增強在圖1b和c中並不明顯，在圖1d中倒可看出；然而圖1d中的滯留鋒滯留的時間偏長。圖1a中6月12日到6月19日在 120° E稍偏西(大陸華南沿海一帶)處有明顯持續大的正值，而在6月18日左右有大的負值出現在 120° E稍偏東地方(台灣東方海面上)，這些特徵在預報場中均沒有完全表現出。

CWB全球模式的分析與預報場之 v 在 25° N南北輻合量顯式在圖2a至d中。首先我們比較CWB與ECMWF模式之分析場。與圖1a相比，圖2a中正負值絕對值大小均比較小。除此之外，差異比較明顯處以 90° E附近為最；這主要應是因為二模式對地形及地形相關部份處理方式不同造成的。而以5、6月影響台灣的鋒面系統而言，CWB分析場部份即與ECMWF結果有明顯的不同點。CWB分析場中5月3、4日的鋒面移動速度比ECMWF所表現的較快。5月11日之例，CWB分析場中輻合強度較弱，並出海(5月12日)後在 135° E左右輻合變為輻散。5月24日的鋒面，以 120° E處風場特性而言，CWB模式的表現亦不如ECMWF模式那樣清楚，但滯留鋒特性以及5月31日鋒面的加強在圖2a中仍清楚顯出。有趣的是6月10日之後因地面加熱作用，沿著 90° E的 v 由原來的輻散轉為輻合，這或許可作為CWB模式分析場中表現印度季風開始的一種指標。前一節中提到的6月12日到6月19日在 120° E稍偏西(大陸華南沿海一帶)處有明顯持續大的正值現相在圖2a中也不明顯。綜合而言，我們覺得CWB分析場也許因模式

解析度的現制，對於綜觀以下尺度系統掌握得不如ECMWF。

圖2b、c、d分別為對應於圖2a的24、48、72小時預報場。和圖1b、c、d中我們看到的ECMWF模式結果最大之不同點在CWB模式的輻合與輻散值隨預報時間顯注增加；ECMWF模式情況則可說是相反。然而這些增加主要在地形部份，其真實性有待我們作進一步的分析。縱始如此，從圖2d我們看到以台灣地理位置所在之經度而言，72小時預報場中表現出的鋒面結構已相當破碎。雖然這種破碎的情況普遍存在於洋面及陸地上，但由於陸地上發生之預報時間較早，我們推測鋒面系統在預報場甚至於分析場結構之喪失主要因地形和地表物理過程處理不當所致。我們日後，將針對這一點做進一步的追蹤。

五、500hPa 高度場

1、時間與經度剖面圖

CWB全球模式主要功能除了提供邊界值給區域模式之外，還要提供3日以上的天氣預報重要訊息。不論是對於那一種功用，對於能準確地預測太平洋高壓之變化具有相同的要求。然而在模式系統性誤差短期內尚無法避免情況之下，我們期望仍然能從模式預報場萃取出最多可用訊息作為預報參考。目前我們正在評估的一種掌握太平洋高壓的方式為觀察500hPa高度場在 35° N之緯向梯度(經度間距為 10° ，位在東方之高度值減去位在西方者)值的經度與時間剖面圖。ECMWF分析場沿 35° N之500hPa高度場緯向梯度的經度與時間剖面圖表示在圖3a中。選擇 35° N是因為高度梯度在這個緯度較大，並仍可反映出影響台灣天氣之太平洋高壓的變化。圖中清楚顯示5月間移動性系統非常活躍，7月間則明顯以滯留性系統為主。與影響台灣之梅雨鋒面同時存在的北方(35° N)高空槽(位置可以右方為正，左方為負的零值線來定)位置偏東(120° E東方)，這與東亞高空槽通常是東北西南走向並台灣往往是受到槽線尾端影響等梅雨季天氣系統特性是一致的。另外，在5、6月間我們也可看到與綜觀尺度並存有一頻率較低之擾動出現在 120° E和 180° 之間；也就是分別在5月3、18、27日左右在 150° E或附近均出現移動較慢的系統，並主要的正值區有隨時間緩慢向東移的現象。

圖3b、c、d、e和f分別是ECMWF的24、48、72、96和120小時預報結果。比較分析場和各預報場結果，我們發現24與48小時的預報結果與分析場十分接近；但以5月底6月初的西太平洋槽脊系統而言，72小時的預報場掌握得並不理想(中太平洋槽線過深並移動過快)，以致接下去之預報結果均愈加偏離分析場顯示的結果。在6月中旬模式對西太平洋槽脊系統預報結果也較差，系統的滯留特性模式沒能掌握住。整體而言，在西太平洋副熱帶或亞熱帶，梅雨季中縱始是使用ECMWF三日以上的預報結果，仍應格外小心。同時參考不同預報時間的時間與經度剖面圖對主觀修正模式系統性誤差應是很有幫助。

CWB模式之沿 35° N之500hPa分析與預報高度場緯向梯度的經度與時間剖面圖表示在圖4a、b、c、d和e中。首先，我們比較了二模式分析場間之差異(圖4a與圖3a)。我們發現二模式之結果非常接近，唯以梯

度（或系統強度）來說，ECMWF模式比CWB模式要強。回到我們最感興趣的梅雨季，以5月3、4日及5月21日和5月底的幾次滯留性較強的鋒面而言，CWB模式分析場表現出的滯留性均較ECMWF為低，而5月底個案中CWB分析場對西太平洋槽脊的掌握與ECMWF差別甚大。為何以致如此？還須進一步研究。另外，7月中之後在西太平洋上二模式結果差別也比較大，ECMWF分析場中脊槽之深度較深。值得注意的是在這些差異較大的時段，CWB模式預報結果也比較差。

圖4b、c、d、e、f分別為24、48、72、96、120小時之預報結果。與在圖3中看到的非常不同的一點是隨時間之增加，小尺度的擾動愈加活躍。以梅雨鋒相關系統而言，除了5月底6月出個案以外（前面提過此個案之分析場即不佳），其於的個案直到72小時預報仍可追蹤到系統的變化或移動。但7月中之後，西太平洋上72小時預報之槽脊系統與分析場以非常不同。這顯示CWB模式在預報太平洋副熱帶高壓上仍待改進。96小時預報場（圖4d）對於預測梅雨鋒面來說已沒有太大利用價值，系統的紊亂以西太平洋區域最為明顯。120小時預報場（圖4e）已很難從視覺上定出其與分析場的相似性了。

2、駐波

為了要了解模式可能有的基本問題，我們接著比較二模式分析與預報場所掌握的駐波（減除緯向平均值之後取時間平均）特性，以更清楚二模式在系統性誤差上有何異同。從前面的討論中我們知道，平均而言，CWB模式在5月的表現比7月好，5月和7月的高度場特性也非常不同。又因在6月和7月初有多日缺資料，我們決定比較5月和7月中至8月中之駐波，前者可作為梅雨季之代表，後者則多少可作為夏季之代表。ECMWF分析與預報場5月之駐波表式在圖5a至e，CWB的結果則表示在圖6a至e中。ECMWF預報場和分析場大致上非常接近，比較明顯的差異從72小時預報開始出現，主要的範圍在太平洋上。太平洋高壓從72小時預報之後有往西北東南方向斷開的趨勢，或者說沿著北半球太平洋沿岸，高低排列之波列結構愈趨明顯；在太平洋西岸，分析場中日本與韓國間幾乎與海岸平行的低壓結構其中心隨預報時間往日本北端集中，而在大洋東岸，美國加州附近低壓中心伴隨著其東北方的高壓中心在加強。

另外，我們還注意到在西伯利亞北方，卡拉海（Kara Sea）附近，低壓中心隨預報時間在減弱。CWB模式的分析和預報結果與ECMWF結果可說有非常類似的特徵。比較圖5a和6a，我們發現二者相當接近。但CWB模式預報場中太平洋高壓隨時間往西北東南方向斷開並加強的現象比ECMWF模式要明顯也發展得較快，在東太平洋副熱帶的低壓東西方向尺度比ECMWF模式要大。CWB模式中從北亞到北歐的高壓結構隨預報時間走向變得比較趨於東西走向；和ECMWF模式結果相比，CWB模式預報場中卡拉海的低壓和格林蘭高地的高壓也比較強。換言之，CWB模式預報場可能有系統東西方向傾斜程度愈來愈小的趨勢，因而南北方向的渦流動量傳送（eddy momentum flux）也會減小。對台灣地區而言，比較嚴重的模式誤差應該仍是西太平洋之太平洋高壓過強。

圖7a至e為7月15日至8月15日平均之500hPa高度場駐波之ECMWF模式分析和預報結果。圖7a中最明顯的駐波結構首推美洲大陸與其海岸附近的高低壓系統。阿拉斯加上有

顯著的高壓，伴隨其存在的有加拿大哈得森灣區與濱洋區的低壓系統，另外與這些脊槽共同存在者有加州外海之低壓與西大西洋之高壓。這些系統的形成，基本上是地形、地表作用加上大氣能量頻散「路徑」造成的。與能量頻散「路徑」相關的還有大西洋東北方之低壓、北歐及西歐之高壓與亞洲之低壓、和沿太平洋西岸正負排列之高低壓系統。這些系統構成之駐波特性多少可反應出模式對地表與地形作用掌握的程度和模式動力的特性。預報結果顯示，除了系統強弱的差別外，模式對前述的駐波結構掌握得非常理想。

圖8a至e為7月15日至8月15日平均之500hPa高度場駐波之CWB模式分析和預報結果。與ECMWF分析場相比，CWB模式結果與其非常接近。比較大的差異處出現在洋面上，尤其是大洋之東岸。以駐波結構而言，CWB分析場在亞熱帶中太平洋的氣壓比ECMWF要高，東大西洋的亞熱帶區域則氣壓偏低。差別雖然很小，但因表現出二模式基本上能量頻散路徑可能的不同，不能不注意。然而，大體上預報結果與分析結果非常接近，唯一些主要系統強度上有所差別。從預報場的變化我們看到，美洲大陸西岸，北太平洋上南北向氣壓梯度隨預報時間在增加；而大陸東岸的低壓和西大西洋之高壓系統同時隨預報時間在增強。在西太平洋部份，韓國與日本南端上的高壓與日本北方白令海附近之低壓組成之偶極結構隨預報時間增加變為模糊。東大西洋氣壓隨預報時間增加也在相對升高，駐波結構的配置隨之改變。總之，CWB模式對500hPa高度場在中太平洋和東大西洋之分析結果相對而言均偏高，預報結果也有類似的趨勢。這種誤差開始雖小，但因會影響到模式中大氣能量頻散路徑，長期積分下去後可能會急速放大，直得我們重視。另外，青康藏南部（氣候上對流運動較旺盛區）隨預報時間增加有氣壓偏低的趨勢，這也許是對流運動過於旺盛所致。

六、850hPa 溫度

5月1日至5月30日平均之ECMWF和CWB分析與預報溫度場的850hPa駐波分別表示在圖9a至e和圖10a至e中。圖9a顯示出在大洋東岸東西方向溫度梯度較大，亞洲內陸和北非沙漠的溫度相對地較高。西伯利亞與阿留伸群島二地的南北溫度梯度正好相反。比較預報與分析場，我們看到隨預報時間增加，中緯度溫度駐波強度亦增加，也就是說東西方向的溫度梯度在增加。另一方面，若比較CWB和ECMWF的分析場，我們看到非常明顯的差別，但有相當大部分位置是在地表以下，因此可能是溫度計算法不一造成的。但是以東西方向溫度梯度來說，ECMWF模式結果在太平洋和東大西洋東岸的梯度都要比CWB模式結果要大。這種現象隨預報時間增加更趨明顯。在大洋西岸，如日本和美國東岸一帶，CWB模式的東西方向溫度也隨預報時間增加有減弱的趨勢。比較圖10b、c、d、e和10a，在與台灣最有關者仍屬南亞陸地部分和西太平洋，隨預報時間增長，華南廣東一帶東西向溫度梯度在增加，從台灣南方到東方海面上出現一狀似暖舌結構。這可能是南亞陸地上過暖以致過多暖空氣平流到西太平洋海面上造成的。但真正的原因還待我們進一步分析才能得知。總之，CWB預報溫度場有減小海岸附近溫度梯度的誤差，受地形影響溫度分布隨預報時間也有變得零亂之現象。

接下來我們比較7月15日至8月15日平均之ECMWF和CWB分析與預報溫度場的850hPa駐波（圖11a至e和圖12a至

e), 希望了解夏季與冬季型態的差別。圖11a顯示出與梅雨季最大不同點在 60° N以北, 阿拉斯加與白令海間溫度梯度減小, 西伯利亞北方卡拉海附近溫度梯度明顯減小。在副熱帶方面, 美洲和北非西岸海陸溫度梯度均增加了。從圖11a至e可以看到, 以溫度駐波而言, ECMWF模式預報結果非常完美。比較CWB和ECMWF的分析場, 我們看到除了地形部份因地表下處理方式不同造成的差異之外, 最明顯的差異在大洋東岸。ECMWF模式在大洋東岸表現出的海陸溫度梯度比CWB模式表現出者要大。在前面一節中提到過, CWB模式的500hPa高度場在中太平洋和東大西洋均過高。在溫度場上我們也看到互為因果的表現。中太平洋上CWB模式分析場的東西溫度梯度比ECMWF模式要鬆散了許多, 溫度相對而言比較高; 在東大西洋也是如此。ECMWF模式在東大西洋上有一明顯之低溫結構, 與美國東北角外海之高溫中心形成對比。這種結構在CWB模式中完全沒有出現。還有一有趣的現象是, 若仔細觀察可發現CWB模式對於許多細微地表狀態似乎比ECMWF模式更為敏感。例如CWB模式在地中海、黑海、裡海及美國五大湖區等地均有獨立低值出現, 但ECMWF模式結果並沒有這種現象。為何以致於此? 並這會造成甚麼影響? 我們目前尚無答案。但從圖12b、c、d、e和f來看, 這些地表效應似乎並沒有隨預報時間減小。隨預報時間增加, 我們還看到CWB模式有對大陸東岸預報過暖的情形。

八、結語

針對梅雨鋒、太平洋高壓之移動、和500hPa高度及850hPa溫度場表現出之駐波特性, 我們比較了ECMWF與CWB第二代全球模式之分析與預報結果。我們發現, 從 v 的經向輻合與輻散來看, ECMWF模式對梅雨鋒面之移動或滯留特性直到三日預報均掌握得很好; CWB模式分析場的時間序列也極具預報之參考價值, 但預報場仍有待改進。對於太平洋高壓移動特性的掌握顯然是一非常具挑戰性的課題。以在 35° N的東西方向500hPa上高度梯度為例, ECMWF模式對四日以內預報也還不能完全掌握。對於CWB模式來說, 如何合理地掌握太平洋高壓是目前最需解決的問題。從駐波分析來看, CWB模式在中太平洋有高估太平洋高壓的問題, 這和在東太平洋上850hPa溫度有過暖現象有何關聯? 如何改善? 是我們目前在努力解決的。在東大西洋, CWB模式在850hPa也有相對過暖並500hPa高度過高的問題。若導致這種誤差原因與東太平洋者一致, 接下來的工作或許是要調整模式中控制下邊界與邊界層大氣相互作用的物理參數化方法。

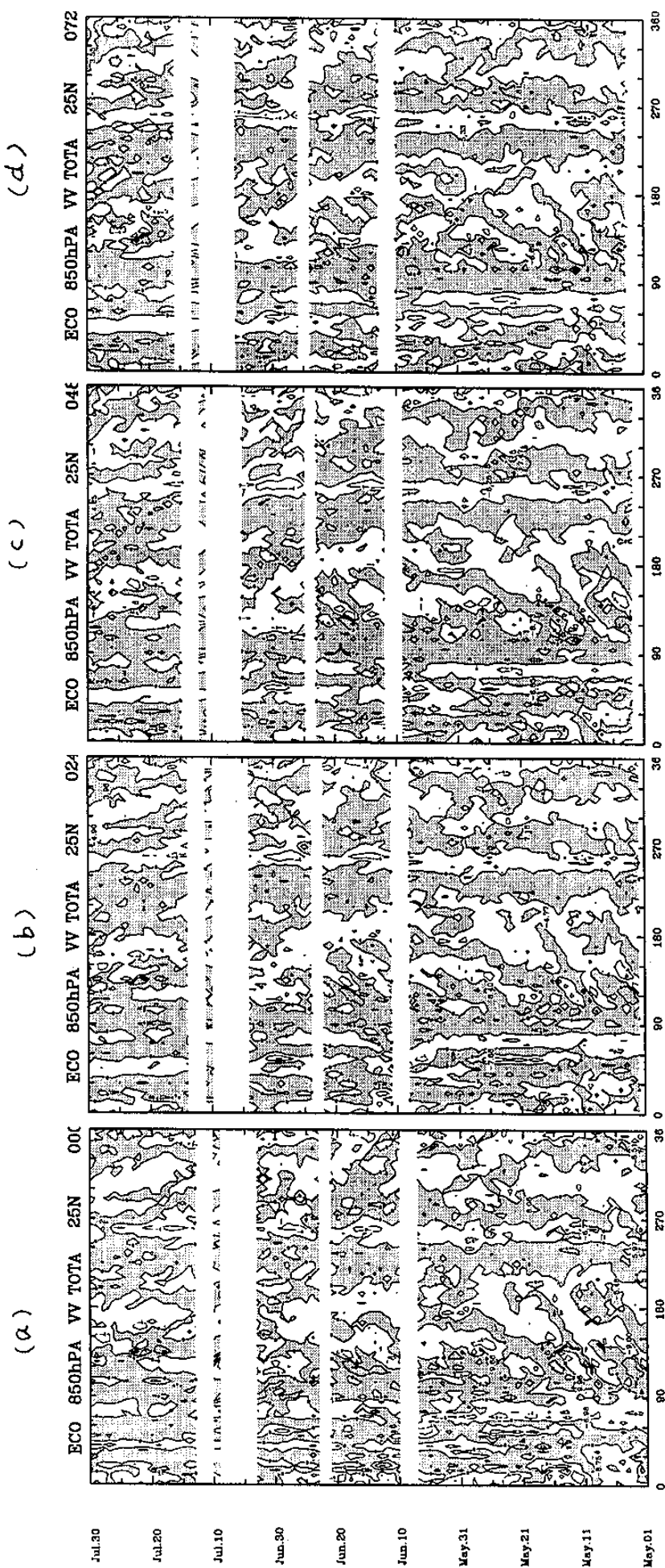


圖 1 25° N 之 850hPa V 經向速度 (20° N 之 V 減去 30° N 之 V) 之經度與時間剖面圖，等值線間距：4m，陰影部份為正值。結果取自 ECMWF 模式之 (a) 分析場、(b) 24小時、(c) 48小時、(d) 72小時預報場。

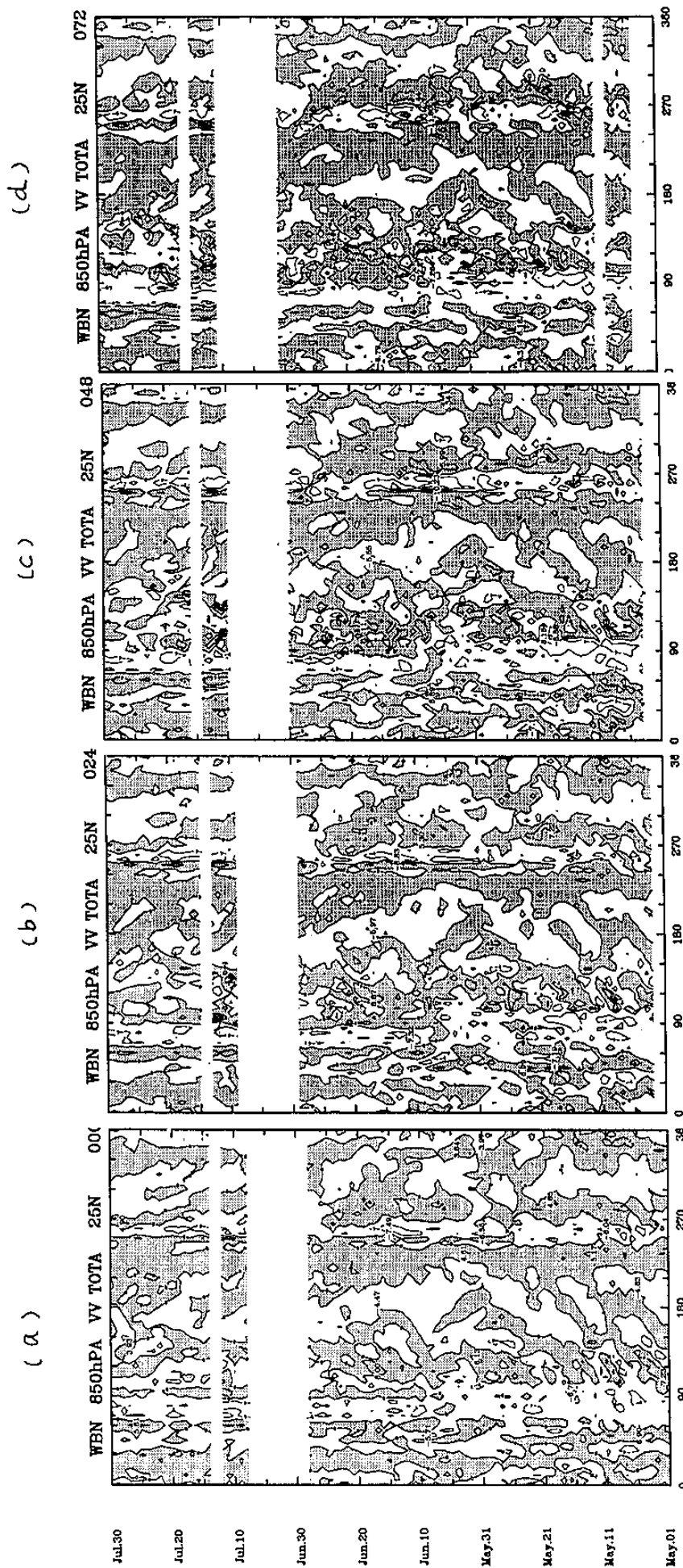
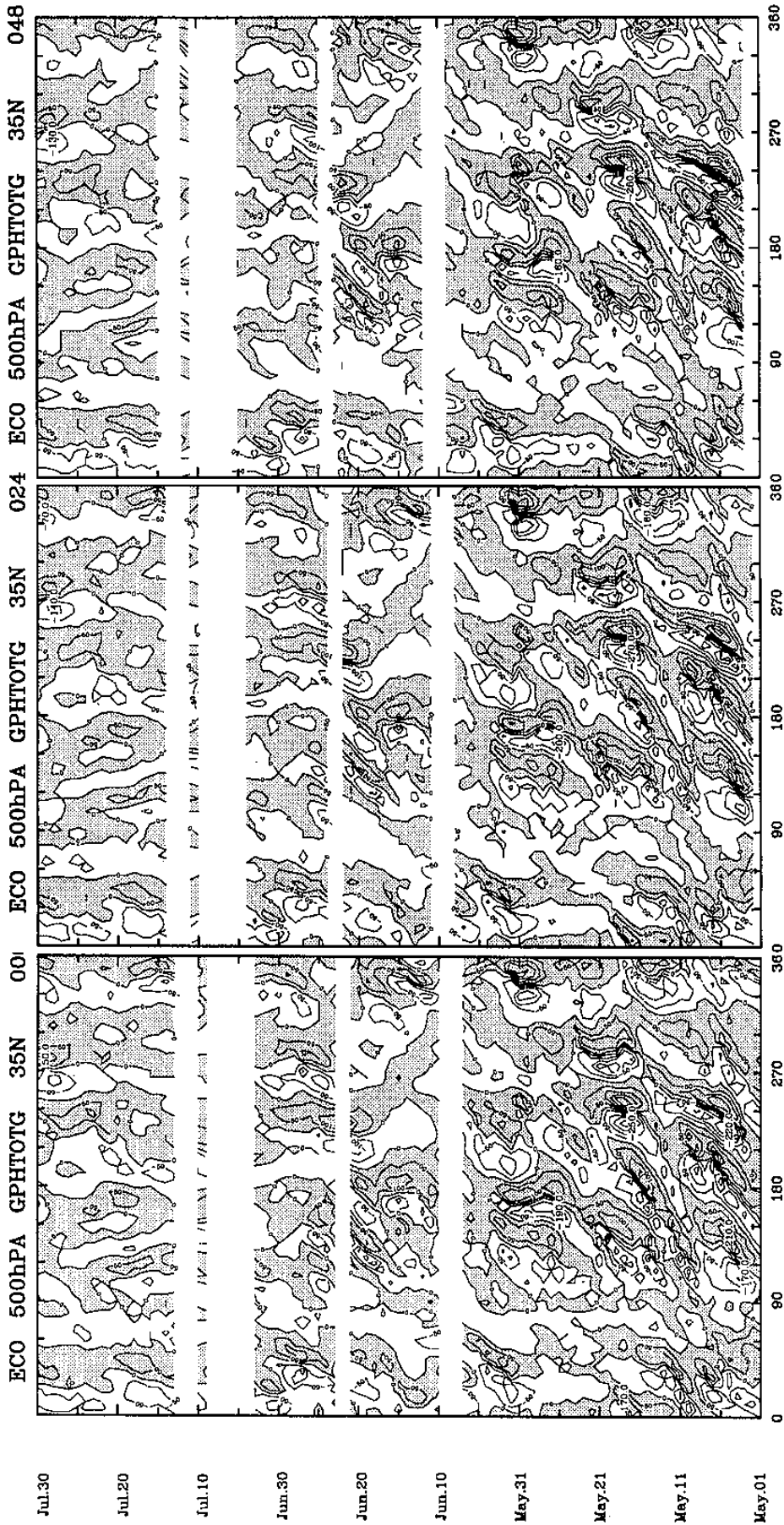


圖 2 同圖1，但為CWB模式結果。

(a)

(b)

(c)



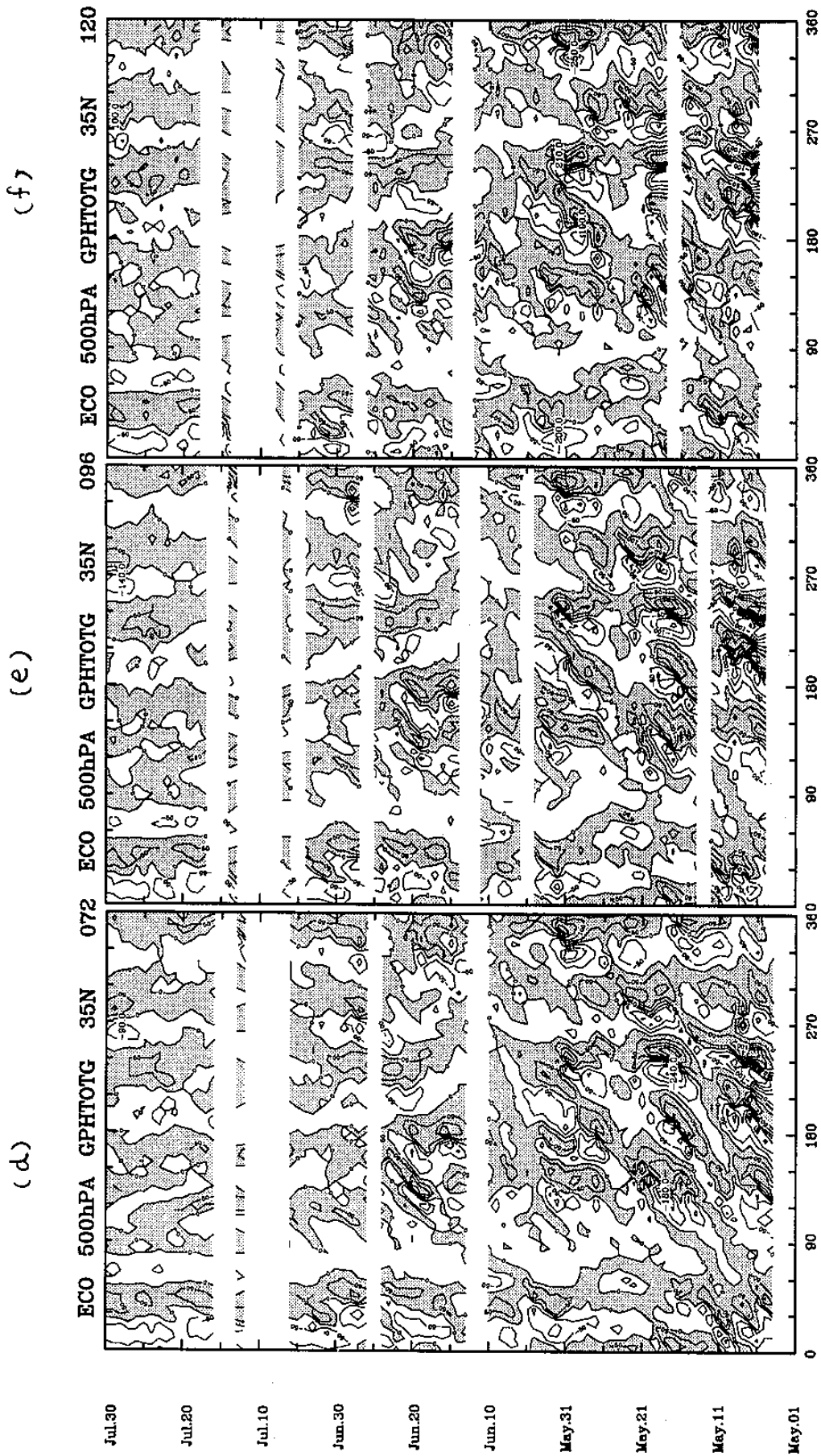
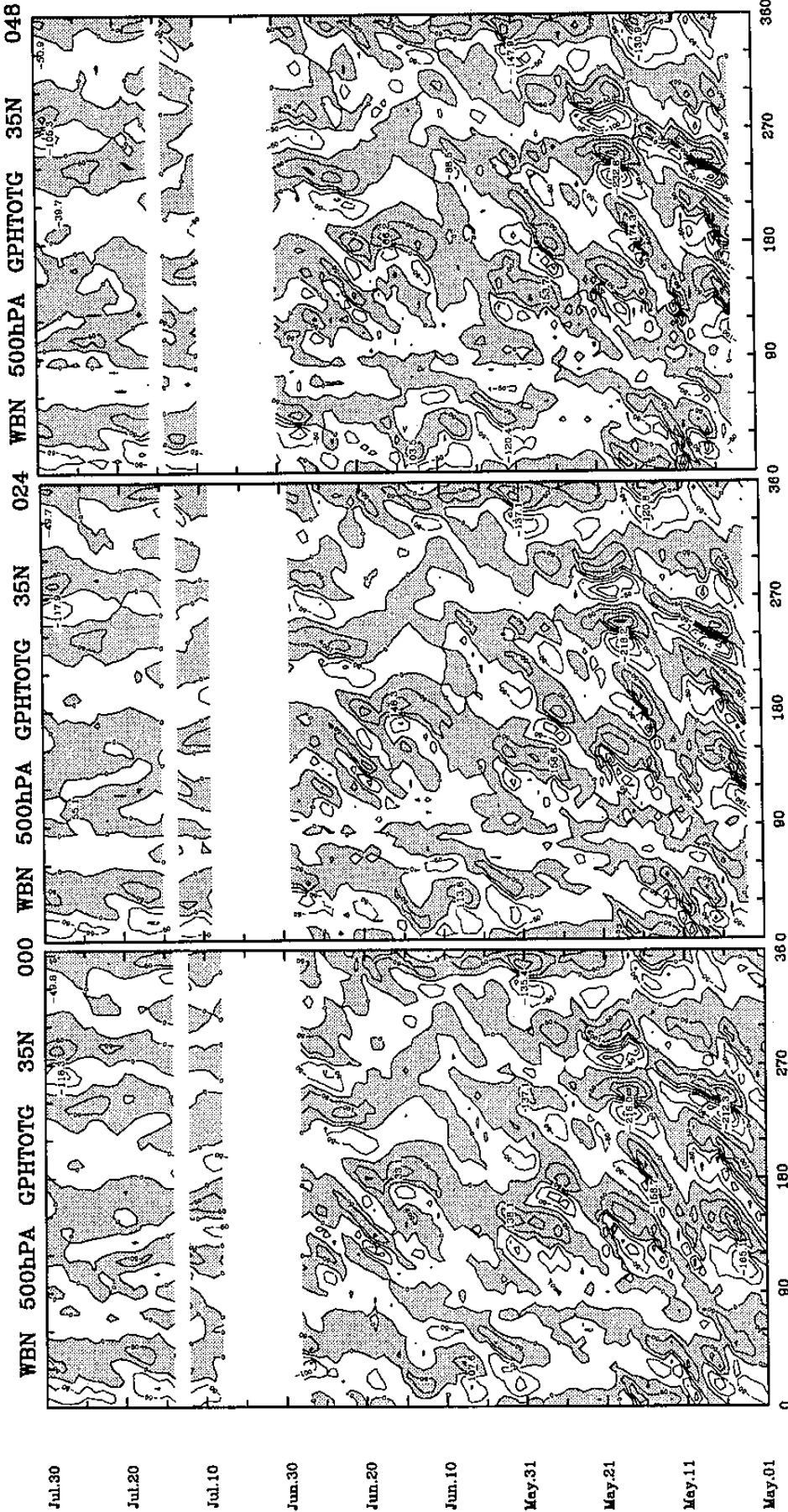


圖 3 35° N之500hPa 高度緯向梯度 (往東5° 經度格點高度值減去往西5° 經度格點高度值) 之經度與時間剖面圖, 等值線間距: 50m, 陰影部份為正值。結果取自ECMWF 模式之 (a) 分析場、(b) 24小時、(c) 48小時、(d) 72小時、(e) 96小時、(f) 120小時預報場。

(a)



(b)

(c)

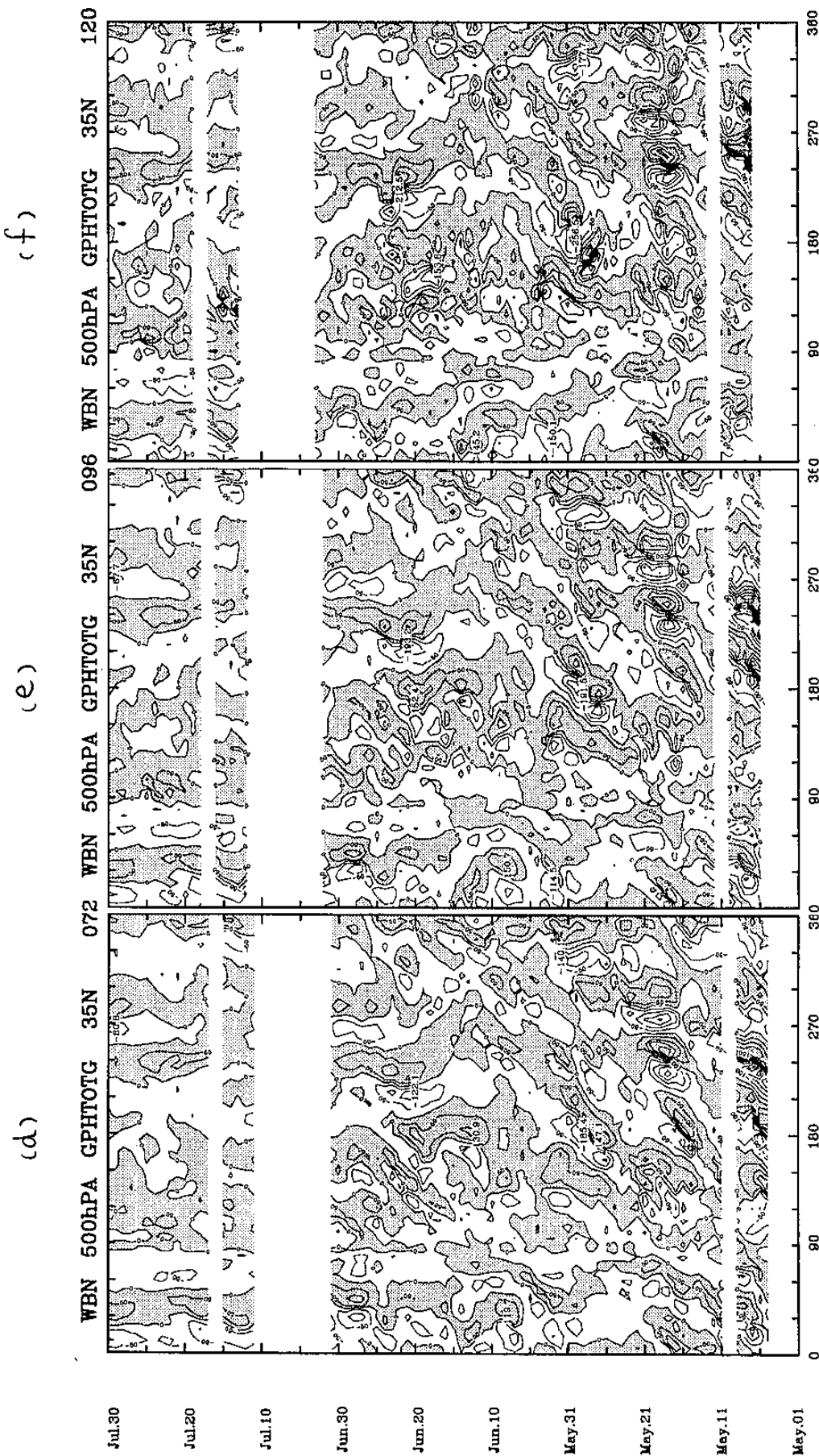


圖 4 同圖3，但為CWB模式結果。

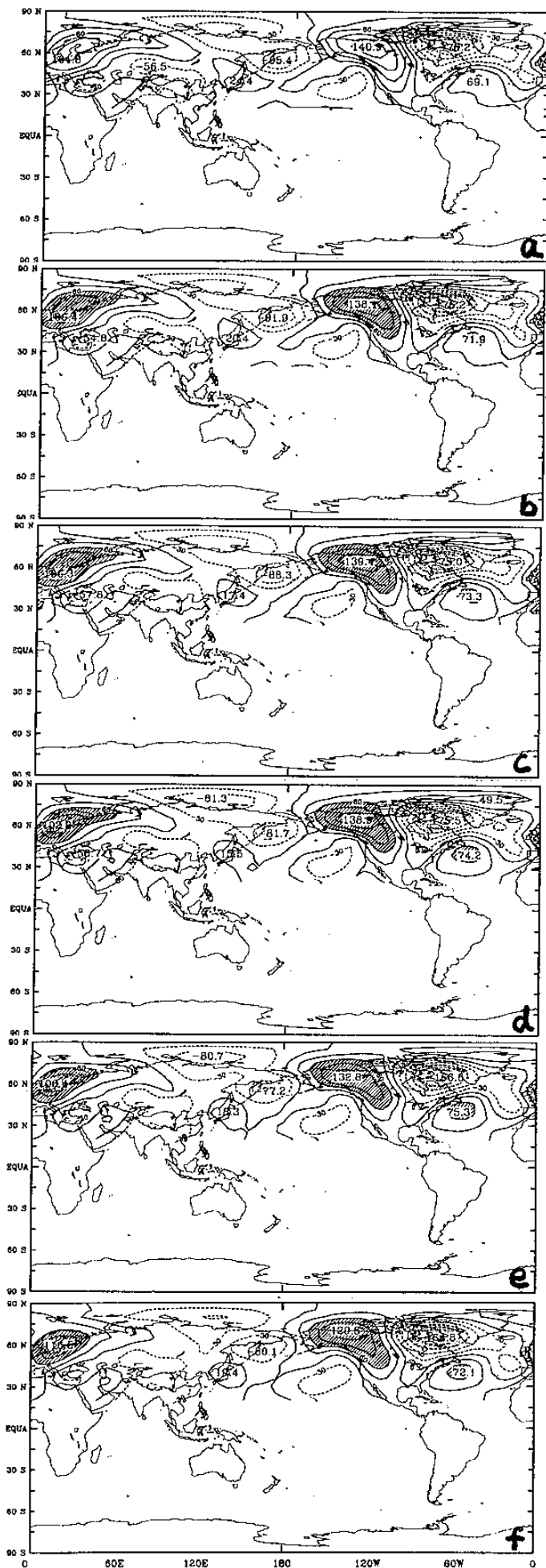


圖 7 同圖5，但校驗時間為7月15日到8月15日。

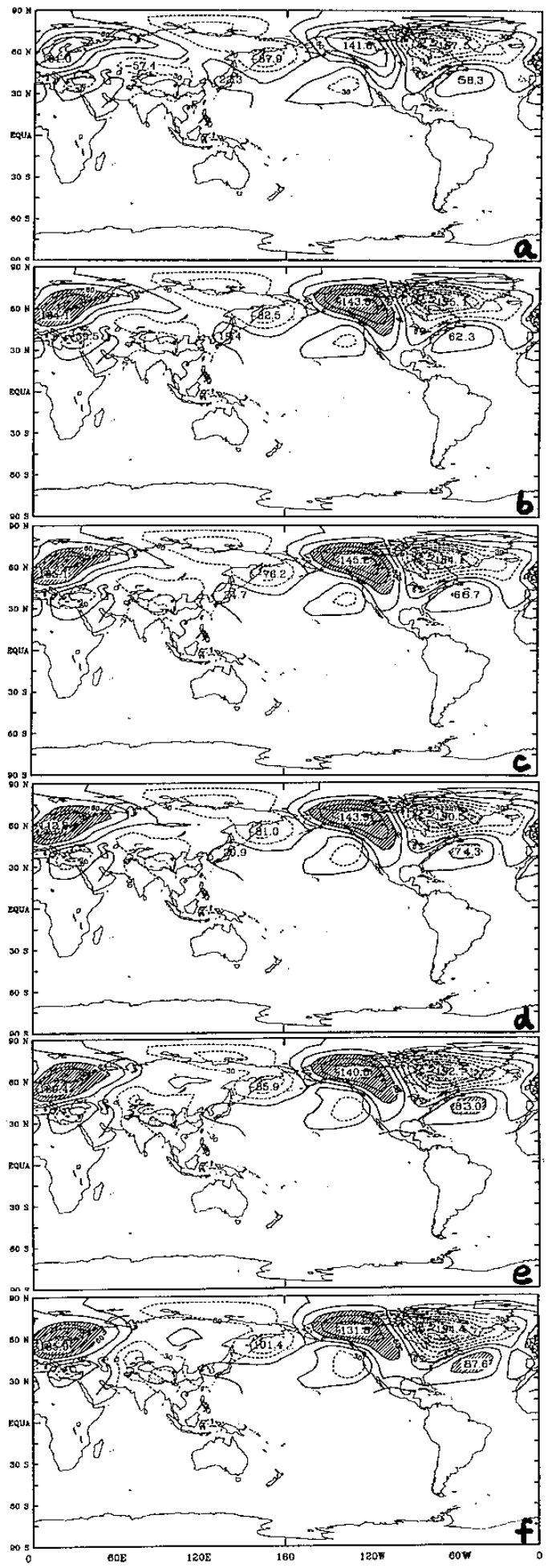


圖 8 同圖7，但為CWB模式結果。

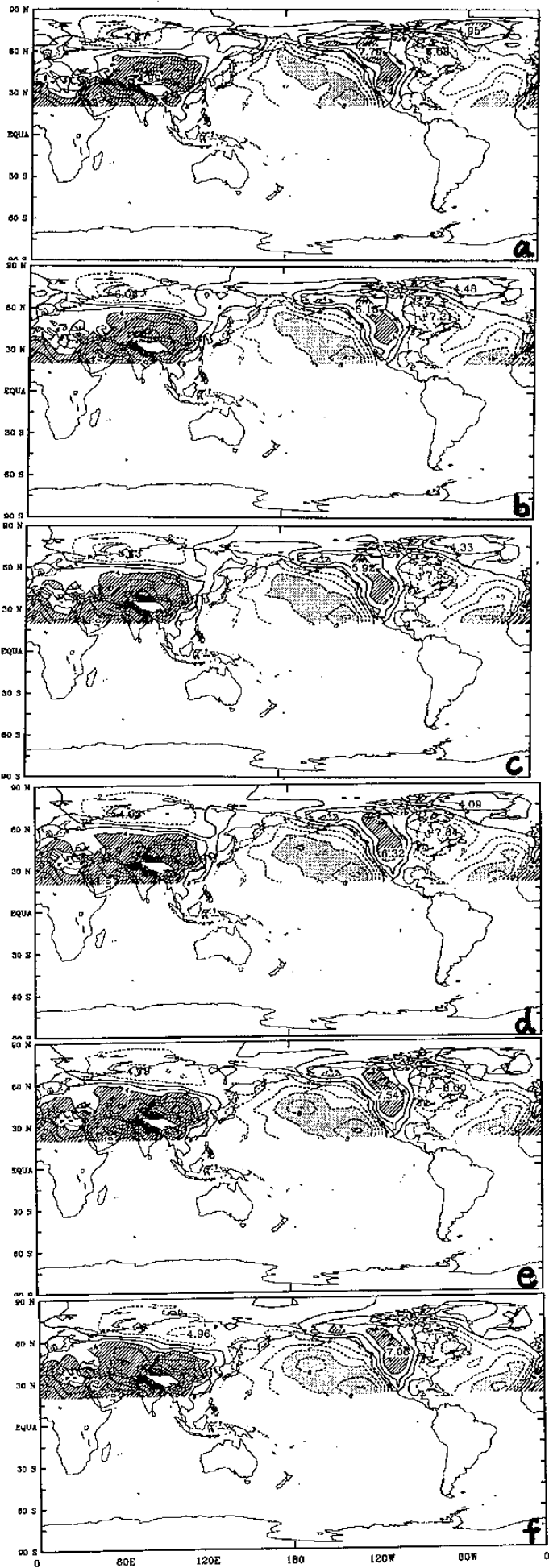


圖 9 同圖5，但為850hPa 溫度場。等值線間距：2°C。

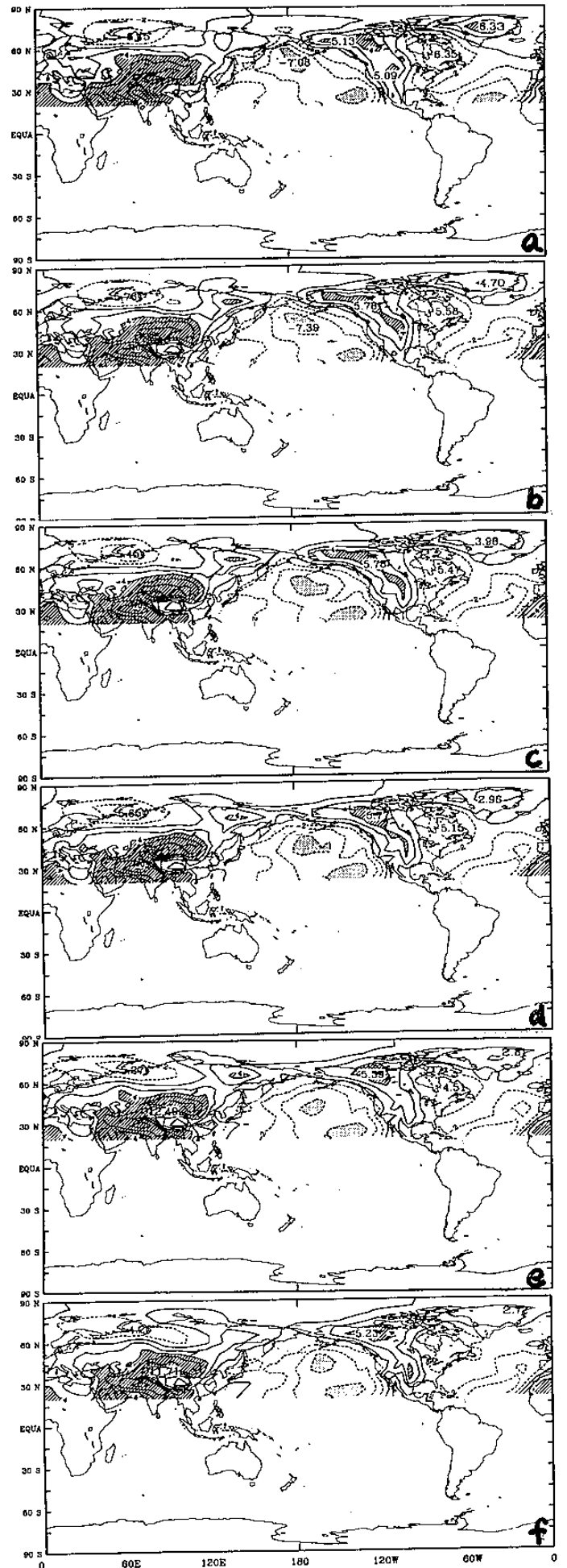


圖 10 同圖9，但為CWB模式結果。

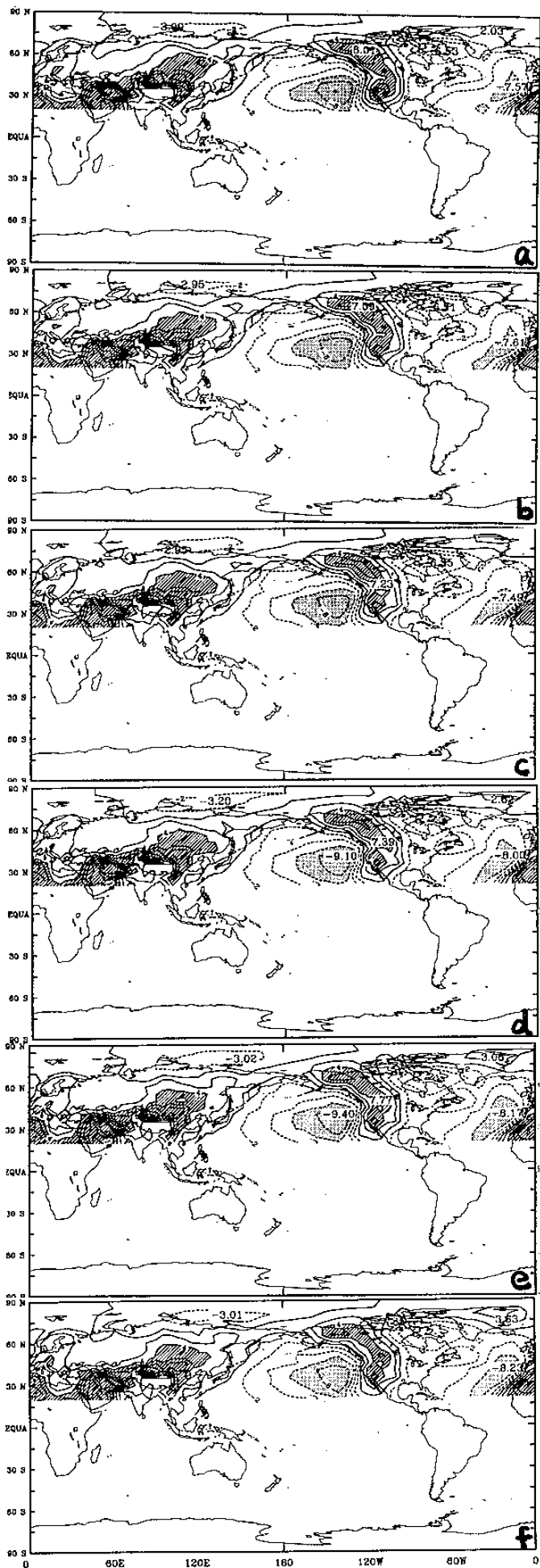


圖 11 同圖7，但為850hPa 溫度場。

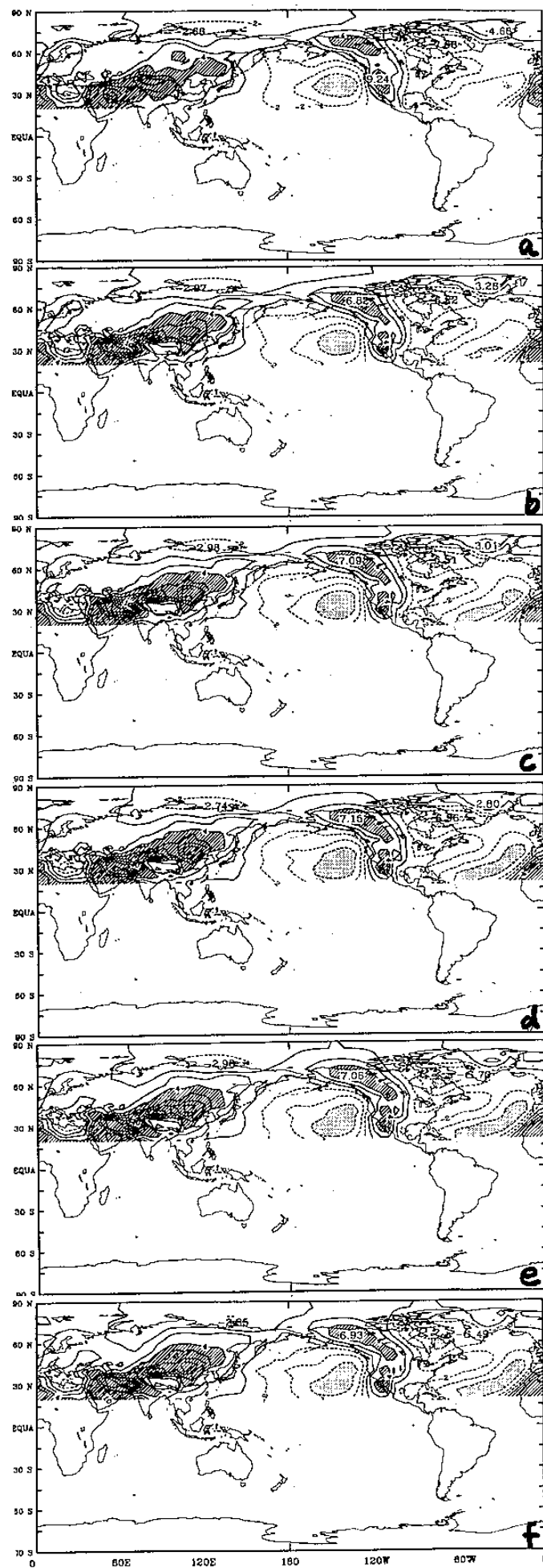


圖 12 同圖11，但為CWB模式結果。