

# 邊界條件改變對中央氣象局氣候模式之影響

胡志文

中央氣象局 科技中心

## 摘要

目前本局的氣候模式所用的邊界條件（如海面溫度、海冰、土壤溼度、臭氧等）皆為 1970 年代之觀測資料，基於衛星觀測的發展及應用，目前所得的資料較 1970 年代有較高的可信度。因此吾人將更新模式所用的邊界條件，探討邊界條件改變對模式的影響。此外原有模式的多 CPU 計算所得結果與單 CPU 計算之結果不同，若不解決此問題則對吾人在測試模式的邊界條件或改進模式的參數方法時，吾人無法確定所得之結果為模式修改之結果或是因不同 CPU 數所造成的結果，本文中對解決此問題的方法有詳盡的敘述。

## 一、前言

在上年度的期末報告中（張與胡，1999），吾人已指出氣象局的全球模式存在著某些系統性的誤差，對這些系統性的誤差的成因吾人曾做了一些假說。這些假說中有一項吾人懷疑模式所用的海平面溫度過低，造成模式在赤道區東太平洋的 ITCZ 較弱，模式在北半球冬季在南美洲的降水過低的原因可能是模式所用的土壤含水量過低所造成。由於模式所用的邊界條件（包含海表面溫度、海冰、陸冰、土壤溼度、深層土壤溫度及臭氧等），皆為較早期的觀測資料。近年來由於衛星科技的發展，使得許多資料有較精確的數值及較高的解析度。因此，吾人將先更新模式所用的邊界條件，探討邊界條件改變對模式模擬結果的影響。

## 二、模式簡介

模式的設計及物理參數化的方法在前一年的期末報告中有詳細的說明（張與胡，1999），在此不再贅述。在測試模式結果時，吾人所用的積分方式如下：模式的解析度為 T42，垂直方向有 18 層。所用的初始場為 1995 年 1 月 15 日 00UTC，將模式設計成恆定積分(perpetual run)，即所用的邊界條件及太陽輻射設定皆將時間固定在 1 月 15 日。積分的時間為 300 天，所分析的資料為模式積分最後 60 天的平均場。

## 三、結果與討論

圖 1 為模式未作任何修改前之結果，(a) 為地面降水，(b) 為海平面氣壓，模式積分時只用單顆 CPU。圖中可看出模式的在副熱帶東太平洋副高過強，太平洋區 ITCZ、赤道區東太平洋及南美洲亞瑪遜盆地降水過低等模式的系統性誤差。

模式在原始設計上就可以用多顆 CPU 執行積分，因為原始模式是在 Cray 機器上執行，因此所用的 multi-CPU 方法為 Cray 的 auto-tasking。目前模式是在 SGI Origin 2000 的機器上執行，由於此機器不支援 Cray 的 auto-tasking，因此吾人將模式的 auto-tasking 更改為 Open-MP (Open Message Passing)的方法做多 CPU 的計算。

原始模式在做多 CPU 的計算時，所得到的結果雖然在合理範圍之內，但是模式多 CPU 的結果與單 CPU 的結果不相同，圖 2 為模式用兩顆 CPU 所得之結果。比較圖 1 及圖 2 可以看出兩者的阿留申低壓、北半球副熱帶東太平洋副高及赤道區太平洋的 ITCZ 等系統皆有相當程度的差異。

圖 3 為將模式的海表面溫度由原先的 AMIP(Gates, 1992) 資料換為 AMIP2 (<http://www-pcmdi.llnl.gov/amip/>)的海表面溫度資料，模式積分時用四顆 CPU。圖 3 的結果顯示阿留申低壓、北半球東太平洋副熱帶高壓及赤道區的 ITCZ 等系統的模擬皆較圖 1 差。造成此結果的原因有二，一為海表面

溫度的改變，其次是模式多 CPU 與單 CPU 間的差異所造成，在此吾人無法判別何者為主要的原因。當然吾人可以只用單顆 CPU 做測試，此種做法需要較長的時間但不符合效益考量。因此吾人決定在對模式的邊界條件做測試前先解決模式的多 CPU 計算不保守的問題。

由於吾人原先並不清楚造成模式多 CPU 不保守的原因，因此沒有直接修改模式中 Open-MP 的部份，轉而使用 FSL (Forecast Systems Laboratory)發展的 SMS (Scalable Modeling System)，因為此方法可以保證模式單顆 CPU 的結果與多顆 CPU 結果在每一個 Bit 都相同(bitwise exact)，SMS 包含 4 個部份：PPP (Parallel Pre-Processor)、NNT (Nearest-Neighbor Tool)、SST (Scalable Spectral Tool) 及 SRS (Scalable Runtime System) 等，這四個部份是架構在 MPI (Message Passing Interface)上。有關 SMS 的詳盡資料可參考網站<http://www-ad.fsl.noaa.gov/sms.html>。

使用 SMS 的好處是 SMS 的寫法與 Open-MP 類似皆採用 directive 的寫法，不像 MPI 並需大量改寫程式。且不論是採用 SMS 或 Open-MP，同一個程式可以用單 CPU 執行，也可以用多 CPU 執行，兩者唯一的區別是編譯(compile)方法不同。圖 4 為模式經由 SMS 方法改寫後用單 CPU 積分所得到的結果，圖 1 及圖 4 都是用單顆 CPU 積分所得之結果，兩圖的不同是由於模式採用 SMS 方法時必需改寫部份程式所產生的結果。圖 5 是模式採用 SMS 方法使用 3 顆 CPU 積分所得之結果，圖 5 的結果與圖 4 完全相同，吾人也測試過 2 顆 CPU 的積分，其結果也完全相同(圖未列)。經由 SMS 方法的採用，吾人已經解決了模式單 CPU 與多 CPU 積分所得結果不同的問題。

另一方面吾人在目前所用的機器上使用 SMS 也有缺點，由於目前使用的 SGI Origin 2000 機器上只有 4 顆 CPU，因此無法將 CPU 設計成轉屬使用(dedicate)，亦即在執行 SMS 程式時必需與其他使用者共用 CPU。由於 SMS 的設計必需事先決定所要用的 CPU 數目，如果事先選用 4 顆，在程式執行中若有其他使用者執行其他程式，吾人所執行的程式就必需與其共用某一顆 CPU。由於有一顆 CPU 與他人共用，此顆 CPU 運算吾人程式的時間就比較少，造成其餘 3 顆 CPU 必需等這顆 CPU 計算完其應做的運算，如此會拉長模式的運算時間也會造成系統資源上的浪費。

解決此問題的方法是讓模式的多 CPU 計算用 Open-MP 的方式。Open-MP 在計算時不須事先指定

CPU 數，系統會自動調整程式可用的 CPU 數目。以目前機器的架構，當只有本模式在執行時可用到 4 顆 CPU，若有其他程式執行時，系統會讓出一顆 CPU 去執行此程式而模式會用其餘 3 顆 CPU 繼續執行，若又有另一個程式出現，模式又會讓出另一顆 CPU 而只用 2 顆 CPU 做運算。如此的設計雖然無法加速模式的運算，但可以讓系統的資源得到充分的利用。

前面曾提過原始程式用 Open-MP 方法所得到的多 CPU 結果與單 CPU 不同，經由與莊漢明顧問討論後，莊博士建議在模式中若有累加的計算(summation)時不可以用多 CPU 計算。吾人所用的 Open-MP 方法主要集中在 do-loop 的多工，經由測試發現，在多工的 do-loop 中若有變數在進行累加動作且其 dimension 的所有 index 與多工 do-loop 的 index 無關時即會產生多工不保守的問題。經由詳細檢查模式中使用 Open-MP 方法的部份，發現其中有數個地方確實產生上述的問題。對這些部份的程式加以修改後，目前模式在使用 Open-MP 方式做多 CPU 積分後所得之結果也與單 CPU 結果相同(圖未列)。在解決模式多 CPU 運算與單 CPU 之結果不同的問題後，吾人將對模式的邊界條件做進一步的測試。

在對邊界條件做測試之前，吾人先對模式所有的輸入資料做了全盤的檢視，其中包含模式的初始場、邊界條件、地表狀況、地表高度及海陸分布等。在檢驗模式的海陸分布時，吾人發現模式原先使用的海陸分布在南極洲換日線附近的海陸分布與實際地形有所不同。原始模式海陸分布在南極洲換日線附近的陸地較真實地形向北突出，此外模式將非洲維多利亞湖視為海洋，造成模式低層於 1 月份在此區內出現較強的輻合作用(張與胡，1999)。

為改進此缺點吾人將原始的海陸分布經人為的修改，用此修正後的海陸分布做測試，所得到模擬結果圖示於圖 6，與圖 4 相比較兩圖較大差異有二，一是修正後的阿留申低壓較強，其次是模式北半球東太平洋的副熱帶高壓略向北移。前者的變化與觀測場較接近，但後者的變化與觀測場不符。經由此測試可知模式海陸分布的修正並未降低模式對一月份氣候場的模擬能力，因此吾人決定用此與實際情況較相近的海陸分布場做取代模式原始的海陸分布場。以下將對模式所用的海表面溫度及海冰資料做測試。

模式的原來的海表面溫度及海冰資料是取自 AMIP，在張與胡(1999)的報告中曾指出 AMIP 在赤道區太平洋的海表面溫度較 AMIP2 同區的資料為低，

使得模式在太平洋區的 ITCZ 較觀測場弱。比較圖 6a 與張與胡(1999)的圖 8a 顯示模式用一月份恆定積分所模擬出的地面降水在赤道區中太平洋略強於模式 10 年平均的結果，但另一方面圖 6a 中赤道區太平洋的 ITCZ 南北向的範圍較寬與觀測場相差較大。若將模式海冰更換為 AMIP2 資料進行模擬所得到的結果（圖未列）使得模式赤道區的 ITCZ 變窄，北半球東太平洋上的副高減弱，阿留申低壓東西向的範圍擴大，以上變化始模式的模擬結果較接近觀測場。另一方面模式阿留申低壓的中心位置向南移，此結果與觀測場不符。經由海表面溫度及海冰邊界條件的更換，模式的結果大體上是更接近觀測場，因此吾人決定保留 AMIP2 的海表面溫度及海冰資料作為模式的邊界條件。

在張與胡(1999)的報告中指出模式一月份南美洲亞瑪遜盆地的降水過低，可能與模式所用的土壤溼度過低有關。目前模式對土壤溼度的處理如下：假設所有陸地的土壤飽和含水量為  $20\text{mm}/\text{M}^2$ ，並未對不同土壤做不同的處理，土壤含水量若超過此值多餘的水就以 runoff 處理。模式的土壤溼度邊界條件是以比率做單位，其值為 0~1 之間。模式原始所用的資料只有一月及七月的氣候場，所有模式積分所需的土壤溼度資料皆由時間內差得到。模式一月份的土壤溼度在亞瑪遜盆地的值在 0.5 到 0.7 之間，經由與美國加州大學洛杉磯分校的李瑞麟博士討論後，他認為亞瑪遜盆地的土壤溼度過低需要更換。

目前吾人所有的土壤溼度資料有三種，一為原始模式所使用的氣候資料（只有一月及七月），原始來源為美國海軍，二為目前作業模式所使用的氣候資料，此資料每月有一筆，資料來源為 1996 取自 NCEP，第三種也是取自 NCEP (1999)的氣候場，每月有一筆，後兩筆資料皆為  $1^\circ \times 1^\circ$  的解析度，在使用時將其內差到模式 T42 的網格上。用原始模式的氣候資料模擬之結果（圖未列），在太平洋的 ITCZ 減弱，北太平洋的暴風路徑(storm track)也變得較凌亂。

用最新取自 NCEP 的土壤資料作為模式的邊界條件做積分所得的結果圖示於圖 7，圖中顯示模式太平洋 ITCZ 的降水量增強，阿留申低壓的中心位置也向北移且其東西向的延伸也擴大，以上變化顯示的模式模擬的結果更接近觀測場。但在另一方面，模式在南美洲亞瑪遜盆地的降水並未隨吾人更換土壤溼度而出現明顯的變化，此結果顯示土壤溼度並不是造成模式亞瑪遜盆地降水過少的主要原因。基於模式使用最新取自 NCEP 的土壤溼度資料所得模擬

結果較接近觀測場，因此吾人決定使用此組資料作為模式的邊界條件。

由張與胡(1999)的分析指出，模式在冬半球極區高層有系統性的偏冷誤差存在，由於模式所用的臭氧資料為 Mcpeters (1984)年的資料，為探討臭氧資料對模式極區高層過冷現象的影響，吾人將臭氧資料更換為 AMIP2 的資料組(Liang and Wang)。經由臭氧資料的更換（圖未列）使得模式阿留申低壓的分布形態更接近觀測場，太平洋區的 ITCZ 變窄（趨向觀測場）。另一方面，模式阿留申低壓的中心位置偏西，此外太平洋 ITCZ 的降水也略微減弱。圖 8 為緯向平均溫度偏差的垂直剖面圖（模式減觀測場），於張與胡(1999)的圖 3c 相比較，模式在南極區高層的冷偏差減少了 4 度，但是仍高達-16 度。此結果顯示臭氧資料並非造成模式冬半球極區高層的冷偏差的主要原因。由於更換過臭氧資料後對模式正面的影響多於負面，因此吾人決定將用 AMIP2 的臭氧資料作為模式的氣候場。下面吾人將測試模式深層土壤溫度的影響。

原始模式在中美洲地區降水過多（張與胡，1999），吾人懷疑模式位於中美洲的深層土壤溫度過高，造成模式此區出現過多的輻合。原始模式所用的深層土壤溫度並非觀測資料，而是用地表溫度經由特殊方法所求出。目前美國 NCEP 在網站上有長期平均的地表及地面下土壤溫度，其中地面下的土壤溫度共有兩層，一層為 0-10cm 的溫度，另一層為 100-200cm 的資料。經由比較吾人發現 NCEP 的 0-10cm 的資料在中美洲地區較模式原始資料為低，用此資料作為邊界條件進行模擬，所得的結果(圖未列)顯示模式太平洋區的 ITCZ 降水明顯的變小，在青藏高原上出現另一個高壓，此結果減低了模式對一月份平均場的模擬能力，因此吾人決定保留模式原始的深層土壤溫度作為模式的邊界條件。

#### 四、結論與展望

對氣象局全球模式系統性誤差的分析上，吾人發現原始模式所用的多 CPU 方法所得之結果與單 CPU 不同，即模式的多 CPU 執行結果不保守。由於使用單 CPU 執行模式並不符合效益，但若使用多 CPU 做模式的測試則無法確認所得結果是由模式的修改或是由模式多 CPU 不保守所產生，因此吾人必須先解決模式多 CPU 計算不保守的問題。

在解決模式的多 CPU 計算不保守問題時，在

考慮模式的可轉移性(portability)及電腦資源的充分利用的前提下，吾人共使用了兩種不同的方法，一為 FSL 發展的 SMS 方法，另一為修改模式本身的 Open-MP 計算。SMS 為架構在 MPI 上的一組程式，使用 SMS 的好處在只需在程式中加入 directive 而不需要大量修改程式（若只使用 MPI 則需要大量修改程式），此方法可用同一組程式執行單 CPU 及多 CPU 的計算。由於使用 SMS 方法必須事先指定所要用的 CPU 個數，若同一機器上有許多不同程式在執行時將會造成系統資源的浪費，因此吾人也修改了模式本身的 Open-MP 部份使其保守。

在解決了模式多 CPU 計算不保守的問題後，吾人進一步對模式的邊界條件進行測試，所得的結果顯示更換模式的海陸分布、海表面溫度及海冰、土壤溼度及臭氧等邊界條件使模式的模擬更接近觀測場，但更換模式的深層土壤溫度邊界條件繪減低模式模擬的可信度，因此吾人決定將新的海陸分布、海表面溫度及海冰、土壤溼度及臭氧等資料作為模式的邊界條件，但不修改模式的深層土壤溫度氣候場。

吾人修改模式的邊界條件的主要目的是在於改進模式的系統性誤差，經由模式的測試吾人發現邊界條件的改變對模式系統性誤差的改進有正面的影響，但卻不是造成模式系統性誤差的主要原因。因此模式赤道區太平洋 ITCZ 降水過低的現象可能需要改進模式的積雲參數化，南美洲亞瑪遜盆地降水過低的現象可能需要修改模式的邊界層參數化，模式在冬半球極區高層的冷偏差則需要改進模式的重力波阻參數化或增加模式的垂直解析度。以上部份將在未來的計畫中分項測試。

## 致謝

感謝中央氣象局科技中心馮欽賜博士、汪鳳如小姐及童雅卿小姐在模式上的幫助，感謝中央氣象局提供計算機使用使本報告得以順利完成。

## 參考文獻

- 張智北，胡志文，1999：氣候與長期天氣預報之技術研究。中央氣象局委託計畫報告，103pp。
- Gates, W. L., 1992: AMIP: The Atmospheric Model Intercomparison Project, *Bull. Amer. Soc.*, 73, 1962-

1970.

Liang, X.-Z., and W.-C. Wang: Atmospheric climatology for use in General Circulation Model. <http://www-pcmdi.llnl.gov/amip/AMIP2EXPDSN/OZONE/OZONE2/o3wangdoc.html>, 8pp.

Mcpeters, R. D., D. F. Heath, and P. K. Bhartia, 1984: Average ozone profiles for 1979 from the nimbus 7 SBUV instrument. *J. Geophys. Res.*, 89, 5199-5214.

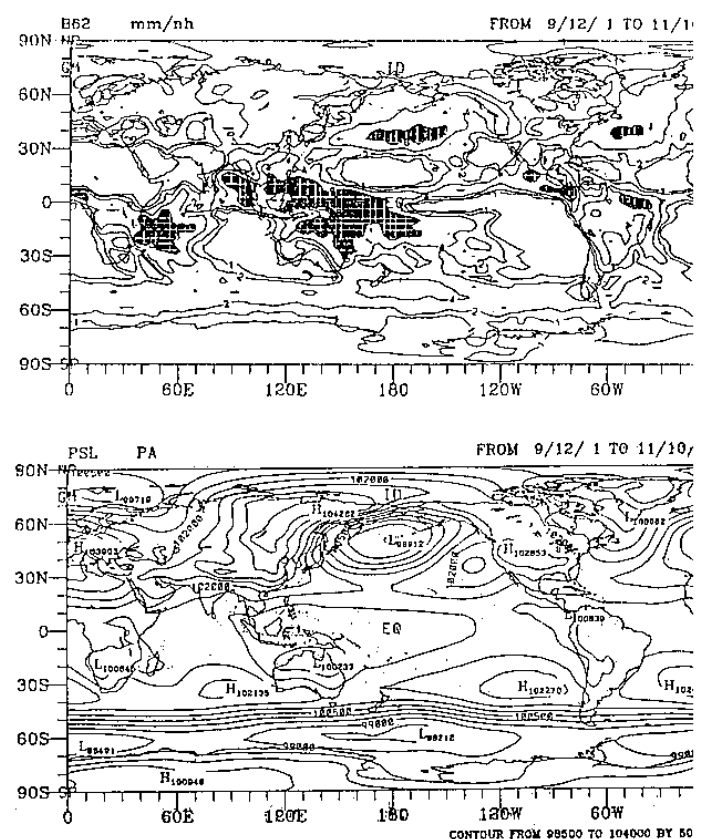


圖 1、原始模式單 CPU 一月份恆定積分之結果，(a) 為地面降水，(b) 為海平面氣壓。(a) 中的等值線為 1, 2, 4, 8, 16, 32mm，(b) 的等值線間格為 500 hPa。

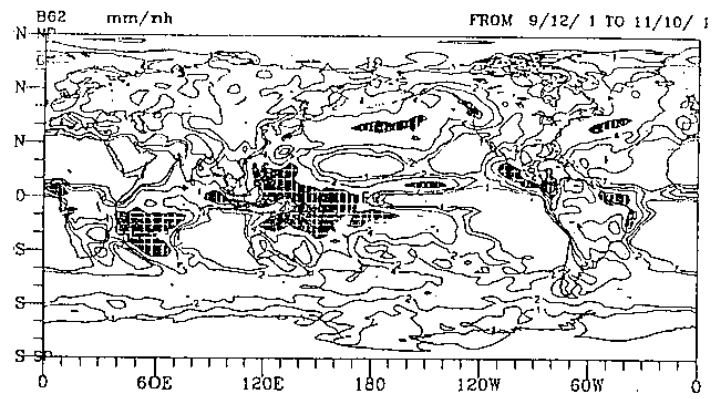


圖 2、同圖 1，但為 2 顆 CPU 之結果。

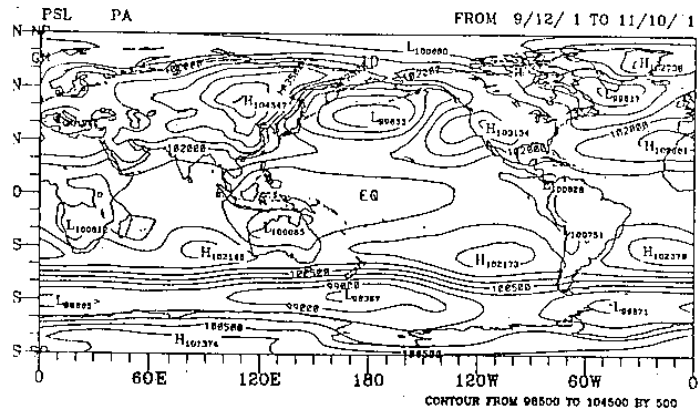


圖 3、同圖 1，但為更換海表面溫度資料為 AMIP2 之結果。

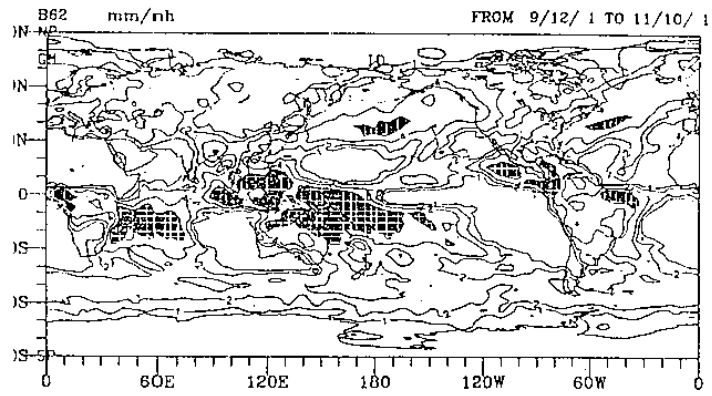


圖 4、同圖 1，但為修改成 SMS 方法後用單 CPU 積分所得之結果。

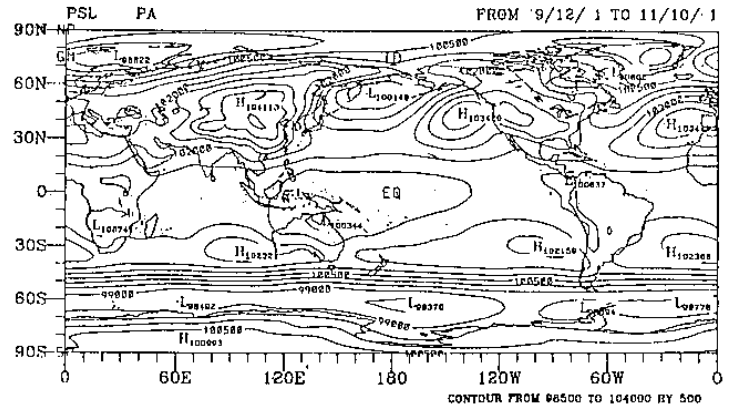
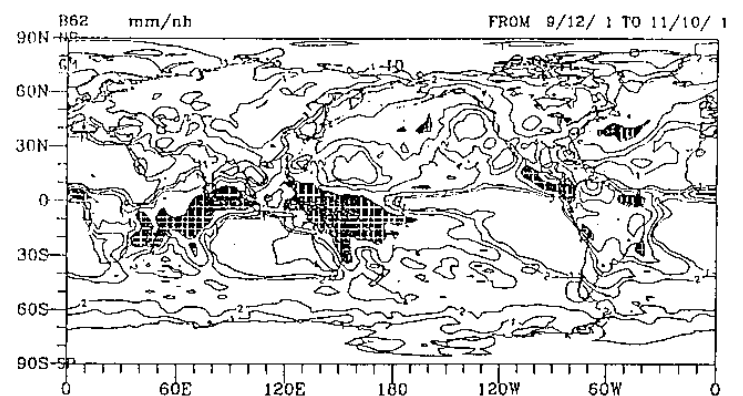


圖 5、同圖 4，但為用 3 顆 CPU 積分所得之結果。



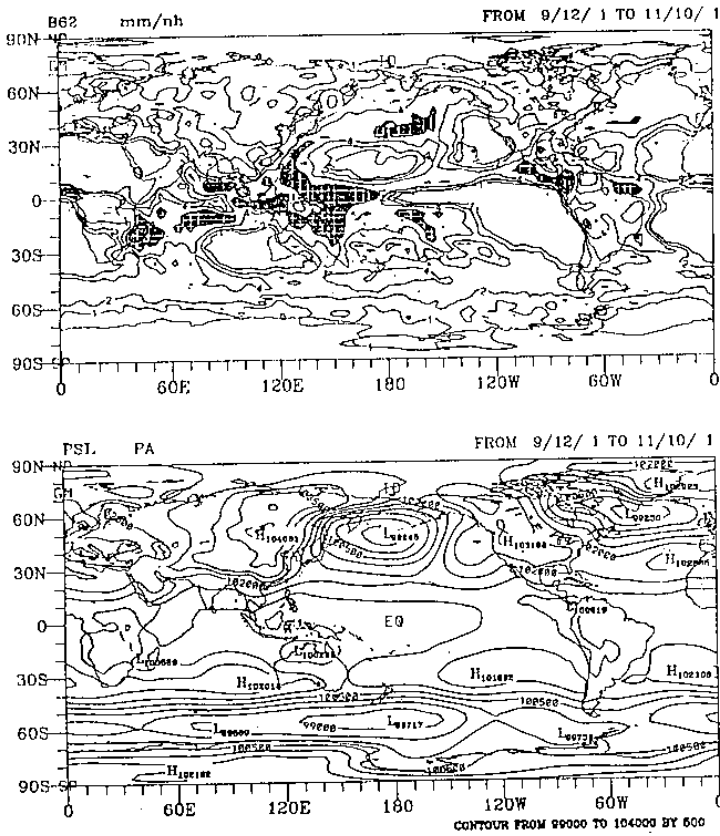


圖 6、同圖 4，但為使用修正後的海陸分布積分所得之結果。

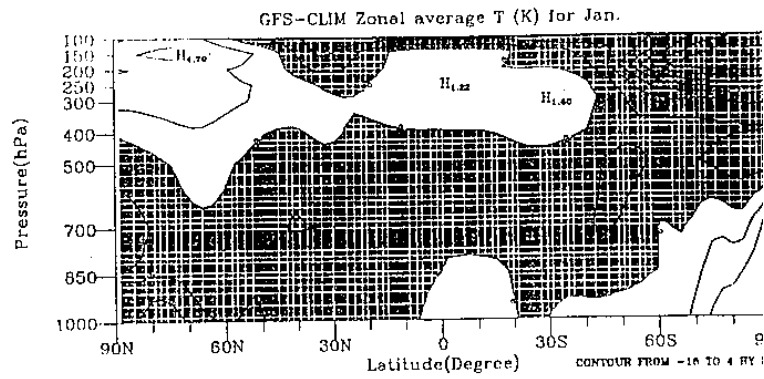


圖 8、緯向平均溫度偏差（模式減去觀測場）的垂直剖面圖，等值線間格為 2°C，陰影區為負值。

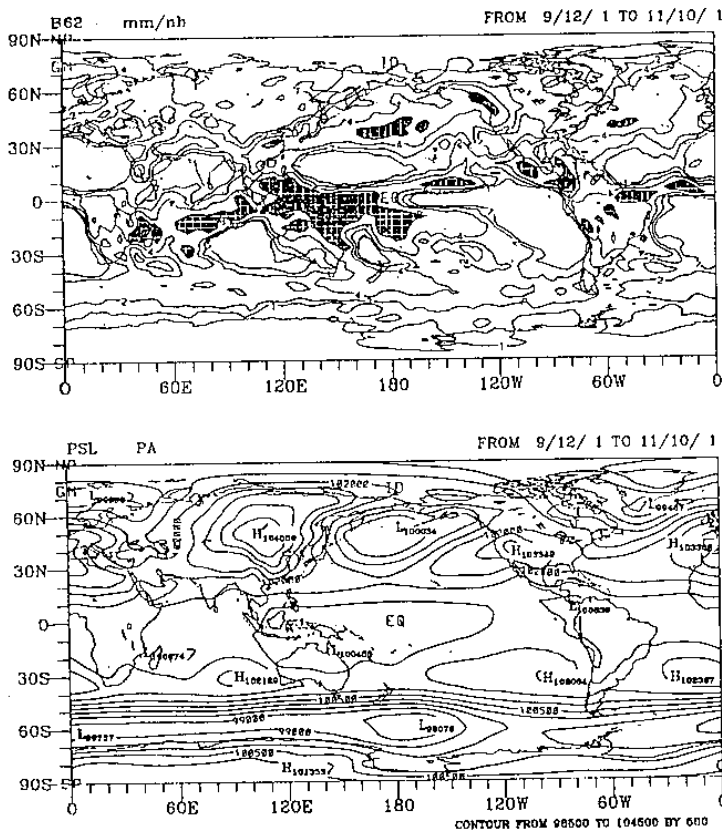


圖 7、同圖 6，但所使用的土壤溼度氣候場為 1999 年取自 NCEP 的資料。