

# 美國國家大氣研究中心 (NCAR) 之 CCM1 與 CCM2 的比較

曾仁佑  
大氣物理研究所  
國立中央大學

## 摘要

由NCAR的CCM1與CCM2所模擬的地球現今的氣候做相互比較，並與實際觀測資料(EC/WMO)做對比，以找出這兩個模式之優缺點與造成其誤差的可能原因。結果顯示，CCM1在 R15的解析度下格陵蘭島的地形被嚴重的曲扭，導致了冰島低壓變成一個環繞格陵蘭的低壓環。而CCM1所使用的正值水汽修正法造成人為的將水汽輸送到極區，使得此區有過量的降水及過多的冬季低雲。另外，兩個模式均固定海冰的厚度為二米，使得海面與空氣的能量交換受到阻擋，造成北極海上的反氣旋偏移且微弱，進而使其洋流及海冰無法正常的流出北極海，影響了南北的能量交換。CCM2雖然採用了 semi-Lagrangian法來傳送水汽，但由於此法為形狀守恆但質量不守恆，所以對小區域有很好的結果，但對大的區域仍有很大的誤差。最後，CCM2雖然有較複雜的雲及輻射參數化法，但由於其雲滴的有效半徑太大且雲的光程太長，致使太多的短波輻射直接到達地面，使夏半球的地面溫度高出6-10度，這不只破壞了亞洲的季風，也破壞了行星尺度的波動，因而影響中高緯度之環流系統與氣旋活動。

## 一、前言

美國國家大氣研究中心 (The National Center for Atmospheric Research, NCAR) 的共用氣候模式 (Community Climate Model, CCM) 是一個被廣泛使用的全球氣候模式 (Global Climate Model, GCM) 之一，其主要原因不只是它為美國 (甚至全球) 氣象及地球科學界均可使用的模式，更由於它是一個設計良好且可變通性極大的全球模式。因此，我們可用它來做各式各樣氣候方面的模擬與研究，細者如雲物理、大氣輻射及地面邊界層之參數化，長者如數萬年甚至百萬年前古氣候及氣候變遷的模擬；而對於未來氣候變遷的預報也唯有此類的氣候模式莫屬。

它的第一版 (CCM1) 在1987年被公布以來，就被廣泛的使用到各種的氣候變遷與預報的研究上，尤其是 R15 (菱形截波到第15波) 解析度的版本，更是被廣泛為使用至今。其原因之一就是它已能方便的在每一種工作站上執行，而不必操勞到大型超級電腦了。接著 NCAR 在1993年公布了經過多種改進的第二版 (CCM2)，基本上只有它的數值架構與方法跟CCM1相同，而其種種的物理參數法就完全與第一版不同；因此，我們可將這兩版模式視為兩個不同的模式。

對於CCM2所做的重大改進，我們當然期待它能得到更好的結果。然而，事實上由種種的分析結果顯示，其所模擬出的氣候並不完全比原來的CCM1所模擬到的氣候更接近真實的值。所以在這裡我們將以幾個天

氣場 (如海平面氣壓、氣旋分布、雲量、輻射、及降水等) 的分析，來做兩個模式的交互比較，並且也跟觀測資料做對比，試圖找出這兩個 (版) 模式之優缺點，及造成其誤差的可能原因來。最後，由於篇幅限制，本文只對北半球做討論。

## 二、模式與資料

這裡要討論的模式為標準版的 CCM1-R15 及CCM2-T42，另外為了方便比較，我們也分析了 CCM1-T42 的資料。NCAR 的 CCM 為一譜模式；至於 CCM1-R15 的水平解析度為 4.5 度緯度 X 7.5 度經度，大約為 500公里的網格。其垂直為12層，在  $\sigma$  座標上 ( $\sigma = P/P_s$ )，其中下面的七層在對流層內，另外的五層在上面。關於詳細的數值方法及物理參數化法可參考 Williamson et al. (1987)。這裡僅對其做一扼要的描述。至於 T42 (三角形截波到第42波) 的水平解析度約為2.8度x2.8度，或者約為300公里的網格。而其垂直向則增加為18層，特別加強近地面及對流層頂以上的垂直解析度。

模式中的地形是由更高解析度的資料中截取到第15個波。一般而言，最高的山只有真實高度的一半且其水平尺度則顯著的增大。這種壓縮變形的地形會對模式的模擬有嚴重的影響，至於 T42解析度的模擬結果則有明顯的改善，這將在文中做詳細的探討。

海水表面溫度 (SST)及海冰分布採用氣候資料且每半個月更新一次。地表的溫度則由地表能量平衡方程式對土壤、雪地、及海冰做計算。海冰的厚度固定為二米厚，而雪的厚度及覆蓋面積則隨時間而變。季節的變化則由海水溫度的季節變化及太陽入射角度的改變所控制。在CCM1中沒有日夜的變化，但在CCM2中已經被加入。日夜變化對夜間的地面溫度及表面層之穩定度有較大的作用，但這對極區的影響極小 (Herman and Goody, 1976)。

一般譜模式由於截取誤差的關係，會讓全為正的場 (如水汽) 產生負值來，這是不合物理的。因此，為了消除這些虛有的值，NCAR使用一個正值水汽修正的方法在CCM1上。首先，模式試著從垂直及南北向緊鄰的點去借水汽以消除某點之負值；若這些鄰近的水汽還不足夠，則模式以整體的方式將所有負值的點補到零為止，至於這些額外加入的水汽則由模式中之每個點按比例扣除掉。這種人為的水汽輸送，當然會影響整個模式的運轉，最明顯的地區當然是出現水汽負值最頻繁的地區，如沙漠及極區等；這將造成模式的雲及降水在這些地區有極大的誤差，此誤差將在討論中詳述。至於新的CCM2為了避免上述的誤差，改用所謂的 semi-Lagrangian法來傳送水汽、雲水滴、及化學物質等 (Williamson and Rasch, 1993)。此法保證不會有負值產生，但因其有形狀守恆則總值不守恆或總值守恆則形狀不守恆之特性，所以仍有不少缺點存在，這將在文中做更進一步的討論。

CCM1對雲與輻射的處理基本上是採用Ramanathan et al. (1983)的方法；對流雲發生在單或數層有溼對流調節時。模式假設對流雲在每一層間的重疊是隨機的，且其最大範圍不超過 30%的網格大小。非對流性雲則發生在有任何穩定凝結時，其覆蓋面積可達 95%的網格大小。在模式的最底下一層及最上面兩層則設定沒有雲。至於CCM2中雲的形成與輻射傳輸過程，則完全與CCM1者不同 (Hack, 1993)，新模式更強化了長波、短波、及不同吸收氣體 (H<sub>2</sub>O, O<sub>3</sub>, O<sub>2</sub>...等等)的各別作用，而對雲的處理也更仔細與複雜；然而這些複雜的改變不僅然會讓CCM2模擬出更好的結果來，這部份也將列入文中來討論。另外，CCM2也將行星邊界層的參數考慮進來，這使低層的層雲及近地面之能量與海-氣交換之研究能更真實些。

資料方面，CCM1-R15資料是由有季節變化的控制模擬 (control run) 中的第二年到第六年共五年的資料做為氣候分析的基礎；而CCM1-T42則僅用其control run的二至四年共三年的資料。另外CCM2-T42則直接使用NCAR所做二十年 control run中的第十一至十五年的資料。而EC/WMO的觀測資料則採用 1980-89共十年的資料，這資料的水平解析度為 2.5度x2.5度的網格；有關EC/WMO資料的品質，可參考 Tranberth and Olson (1988)的報告。

### 三、結果

#### A、海平面氣壓

由CCM1-R15所模擬到的冬季平均海平面氣壓場顯示 (圖一)，模式已能大致捕捉到北半球的幾個重要的天氣系統，如阿留申低壓、冰島低壓、西伯利亞高壓、及落磯山脈上和格陵蘭東北方之脊；雖然它們的地理位置與強度仍與實際大氣有一些差距。其中偏差最大的是冰島低壓，它呈現一個環繞格陵蘭的低壓環，並且低壓中心位於格陵蘭的西南方，而不是在格陵蘭島 (東南方) 與冰島間的氣候平均位置。這個結果讓人很直接的聯想到是格陵蘭地形的作用；因為在R15的解析度中，格陵蘭的高度僅為實際地形的一半，但島的水平尺度卻向外擴展到加拿大與冰島的海岸邊 (圖二)，這個外展的地形明顯的阻擋了氣旋向東北東方向移動的路線，致使一些氣旋由島的西邊向北走，繞過北側再向東走；這個地形的作用也在氣旋的活動及中上層的高度場中展現出來。當模式的解析度增加到 T42時 (包括CCM1和CCM2)，這些誤差已明顯的被改善了 (圖1c 和 1d)，整個冰島低壓的形態與位置均與氣候值很接近，只有它的中心氣壓變得太低了。

圖 1a 中，西伯利亞高壓的中心位置也比氣候值向南偏移了約十個緯度，向南移到華北黃土高原一帶而不是在原本的氣候位置上；另外其北邊之脊線也不在氣候的平均位置上 (東西伯利亞海至Beaufort Sea)，而向西移到東經90度處。這個伸入北極海之脊與在北大西洋的冰島低壓分別控制著北極海上的洋流與海冰的漂流出北極海，所以模式在這些地區所造成的誤差會直接影響到此區之能量與水文之收支。這個偏差在 T42的解析度中會有一些改善，但仍不儘理想。Battisti et al. (1992)指出，這個誤差可能是由於模式固定海冰的厚度為二米，而不是如實際的隨地點而變所致；因而影響了海水與大氣的能量交換。至於在 T42的解析度中，西伯利亞高壓的位置與強度都已經有所改進，但其伸入北極海的脊卻仍是太弱，其原因之一為海冰之厚度，另一為北太平洋上阿留申低壓的範圍向北偏所致。

基本上，CCM1-R15已能將阿留申低壓的位置與形態模擬得相當好，只是它的中心氣壓值有點偏低及其北邊的範圍太向北極延伸。CCM1-T42也得到相類似的結果，不過中心的位置較接近氣候值但其中心氣壓值卻更低。至於CCM2-T42則反而較差，其強度太弱且其中心位置太偏向西邊；另外在阿拉斯加南邊還多了一個副低壓中心來，這個副低壓中心是由於氣旋波在此區過度的活動所造成，這使原來在此的半永久性脊隱晦不明，所以模式也無法模擬到此區的一重要低頻擾動現象—阻塞高壓。這個結果相信是由模式的雲與輻射參數化的誤差所造成，這將在下一節中討論。

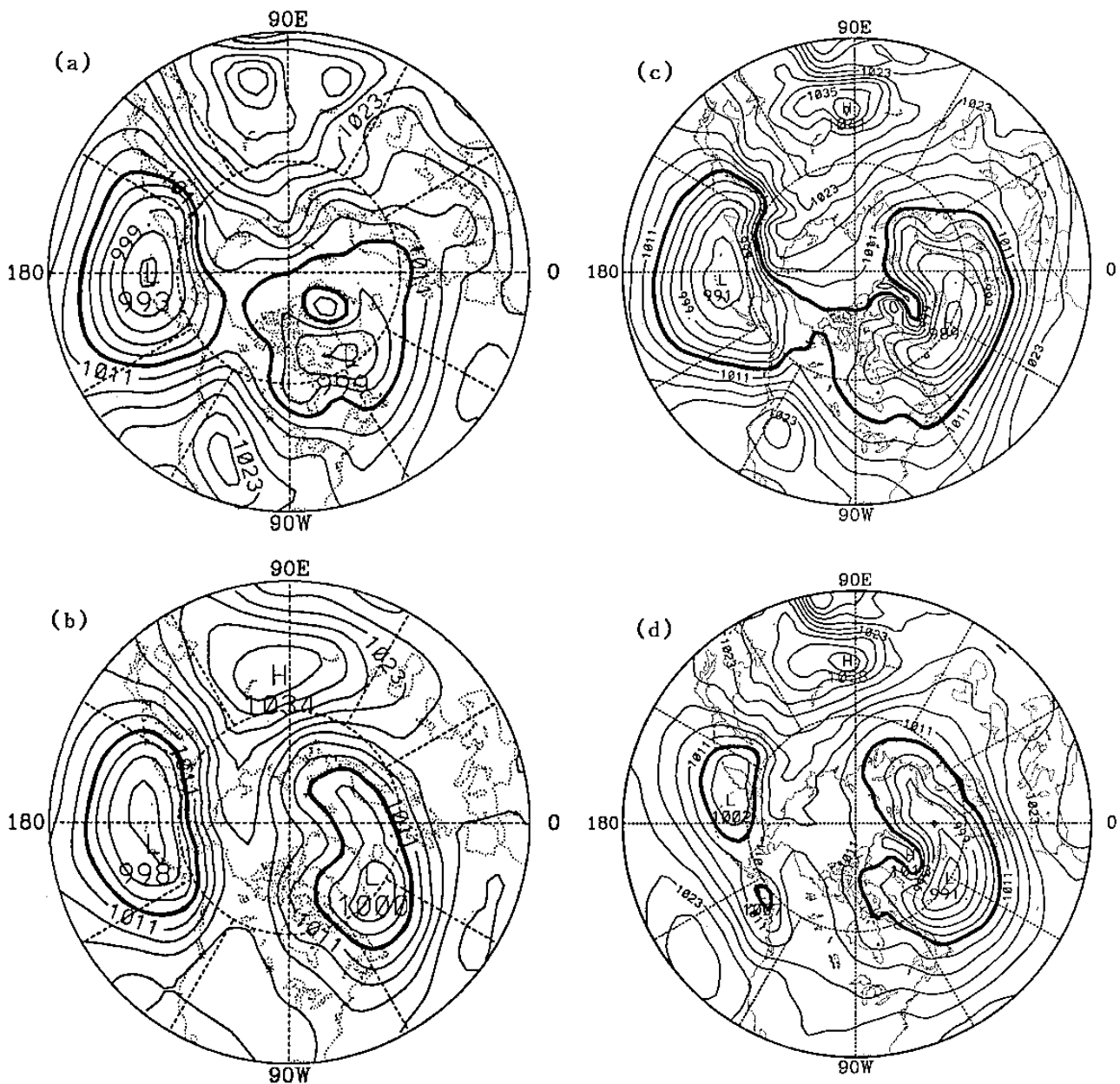
## B、雲量

CCM1的雲參數化法是使用 Manabe et al.(1965)的簡易溼絕熱調節法，所以其對雲的模擬並不是很仔細，但大致上仍能把握住季節的變化，只有在北極地區得到相反的結果。由觀測知，北極海在夏季有很濃的低層層雲及海霧，而冬季則幾乎無雲；但模式卻模擬到完全相反的結果，冬季多雲而夏季無雲（圖三）。造成冬季多雲這個誤差主要有兩個原因，第一是地面氣壓場的誤差，也就是上節所述的阿留申低壓和西伯利亞高壓的偏差而導致多餘水汽被風場帶入此區；另一個是正值水汽修正法導致的人為的水汽輸送，這將在水汽收支一節中討論。而夏季無雲的誤差則是由

於CCM1沒有將行星邊界層考慮進來所致，亦即模式無法適當處理近地面層水汽與能量的交換過程。

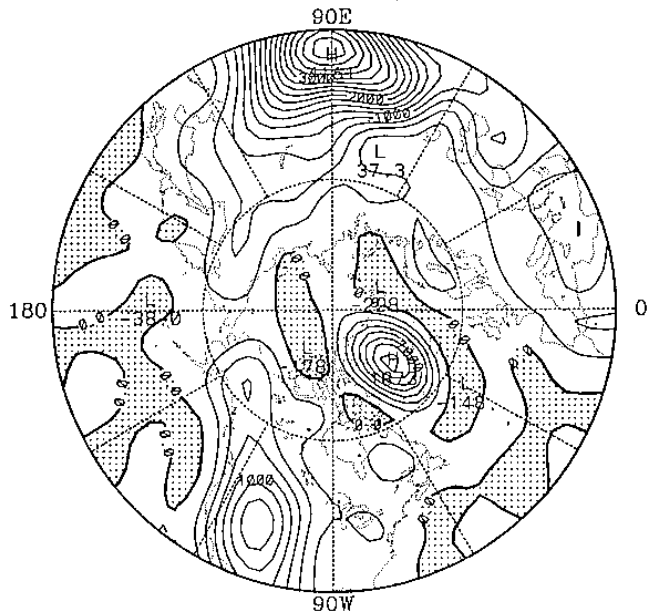
至於CCM2的結果也與CCM1差不多，但由於其水汽的輸送採用 semi-Lagrangian法，所以小區域內水汽輸送的誤差很小；因此造成此誤差的主要原因應該是來自氣壓場與風場的偏差，也就是說在冬季過度的氣旋活動輸入了過量的水汽；而夏季缺乏低的層雲可能是CCM2對邊界層參數化的處理仍有偏差所致。

在CCM2中另一個相當嚴重的問題就是熱帶與副熱帶地區的過度加熱，特別是在夏半球。圖四顯示七月向外長波輻射(OLR, outgoing longwave radiation)的平均，模式在這些地區有過量的 OLR，尤其是在亞



圖一、北半球冬季 (DJF) 平均之海平面氣壓，(a) CCM1-R15, (b) EC/WMO, (c) CCM1-T42, 及 (d) CCM2-T42。等壓線間隔為3-hPa。1008 hPa等壓線加黑。地圖最外圈是北緯30度。

TOPOGRAPHY (R15)



圖二、R15解析度之北半球地形。等值線間隔250米。負值區加點。

洲季風區和北緯30度附近。在季風區 OLR 的值太大表示雲量太少，也就是季風太弱甚至於沒有；而30度附近的副高及沙漠地區有過大的 OLR 表示副高太強及地表的溫度太高（6-10度）。Kiehl et al.(1994)指出 CCM2 雖然已經很詳細的處理雲及輻射的參數，但由於雲的光學路徑太長（即太透明），並且雲滴的有效半徑太大，所以直接的入射短波輻射太多加上雲反射太少的短波輻射出去，所以使得地面溫度過高。這個熱帶地區熱源的誤差，不只會造成能量收支的偏差，也導致大尺度環流系統的偏移，如曲扭的阿留申低壓及太弱的北太平洋高壓脊等。

### C、水汽收支

對一封閉地區的水汽收支可由下列方程式來表示，

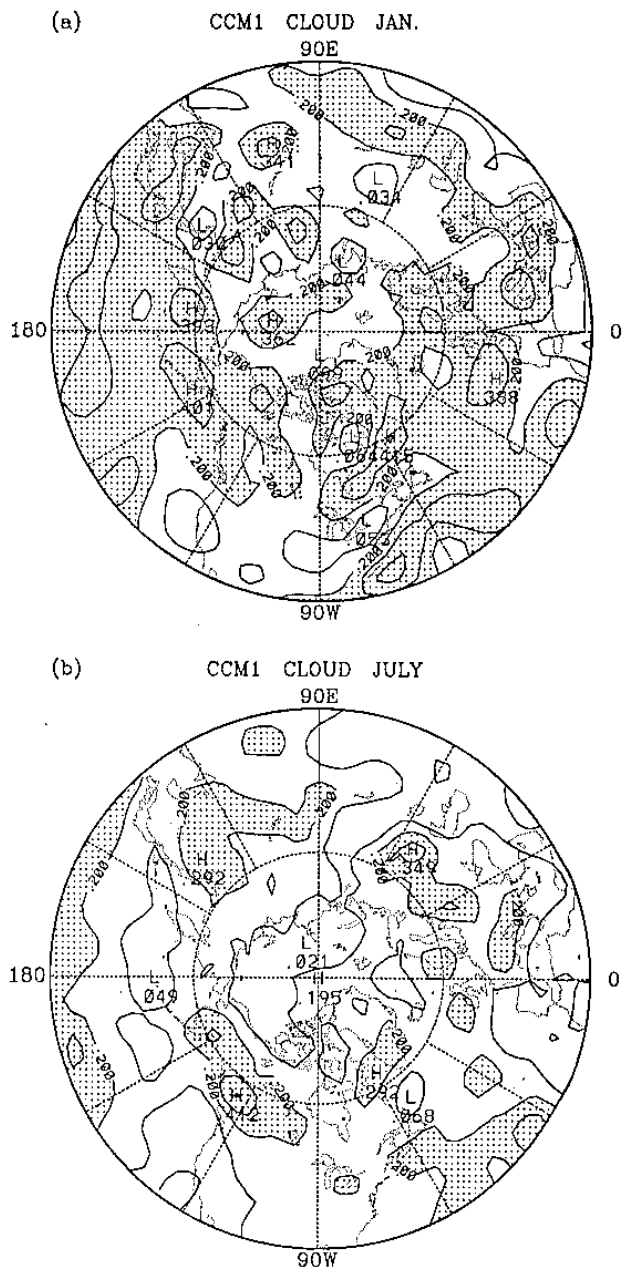
$$\frac{1}{a \cos \phi} \frac{\partial [\overline{Q_p}] \cos \phi}{\partial \phi} = [\overline{E} - \overline{P}],$$

其中 Q 為垂直積分後的水汽輸送項，P 為降水量，E 為蒸發量，中括號表面積平均，上面橫線表時間平均。

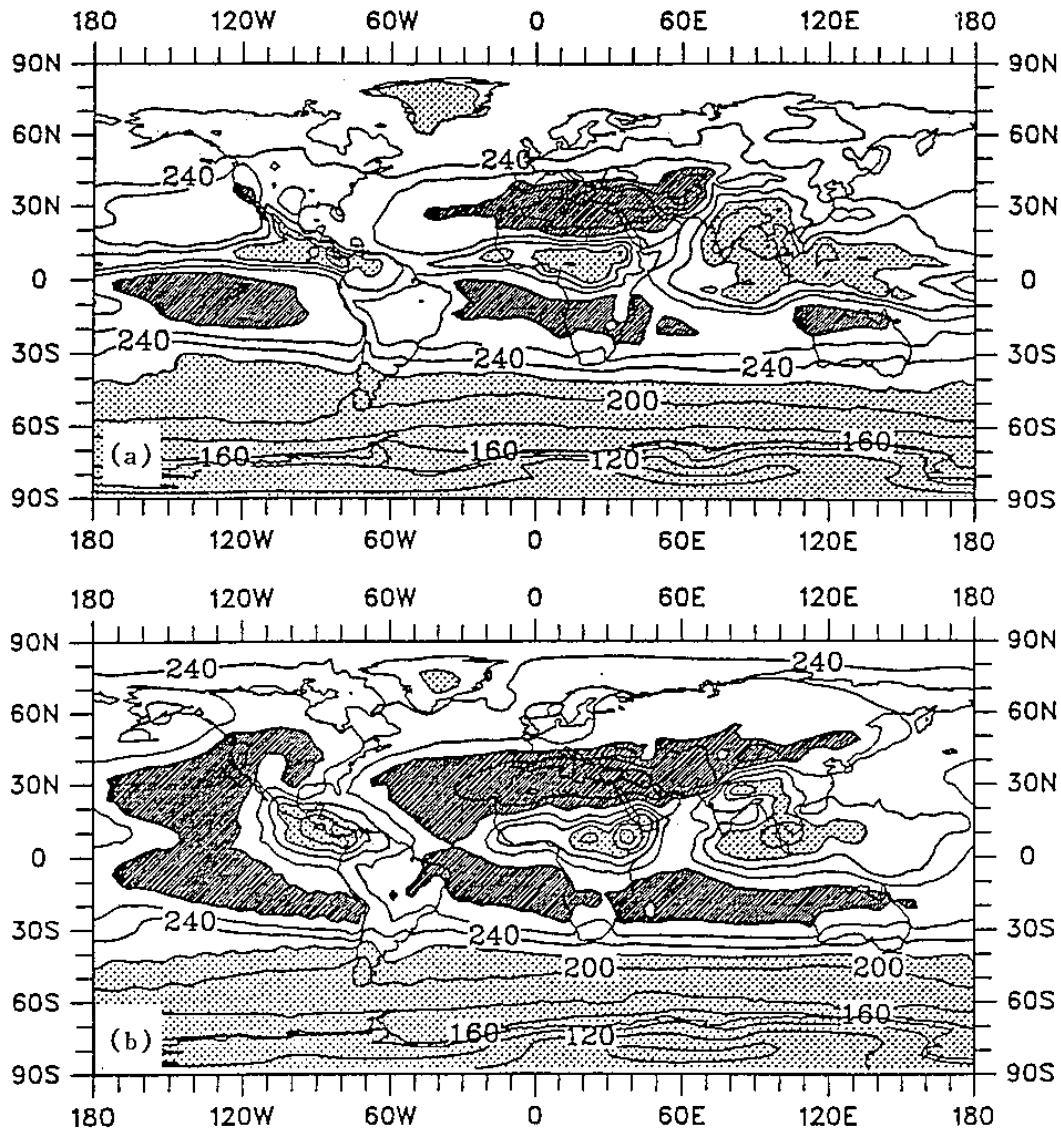
表一顯示 CCM1 在北極圈內有過量的降水，比 JW 之最新觀測資料大了約1.8倍，而其 [P-E] 則大了2.3倍，更嚴重的是其水汽輸送項(Q)卻大了4.2倍，顯示模式之水汽收支有極度的不平衡。其中過大的 [Q] 項很明顯的是由兩個因素所造成，第一是錯誤的風場及過多的氣旋活動，致使過量的水汽輸送入此區，第二是人為的水汽輸送進入乾燥的地區，如西伯利亞及加拿大北方。因為過量的水汽輸入，所以就有過多的降水；但模式空氣中水汽的含量並沒有太大的誤差，因此過量的水汽還是要被輸送出來，這只有靠人為的水

汽輸送才能辦到。

另外CCM2的水汽收支則比CCM1的大有改善，而且也非常接近觀測值；其中只有降水量有比較明顯的偏高，這可能是由於其所用的水汽輸送法（semi-Lagrangian method）為形狀守恆但總質量卻不守恆所致。這種現象在做大面積積分時會更加明顯（見表一最後二列）。這個結果很明顯的說明 semi-Lagrangian 法是一個很適合小區域的輸送方法，但對於大的區域卻跟CCM1所用的正值水汽修正法一樣糟。



圖三、CCM1之低層雲。(a)一月，(b)七月平均。大於0.200之區域加點。



圖四、七月平均之向外長波輻射(OLR)，(a) ERBE, (b) CCM2。等值線間隔 20 W/M<sup>2</sup>。值小於220 W/M<sup>2</sup>之區域加點。值大於260 W/M<sup>2</sup>之區域加斜線。(摘自Kiehl et al., 1994)

表一、降水量(P)、蒸發量(E)、及水汽輸送量通過70N的年平均值。單位為公分/年。

	[P]	[E]	[P-E]	[Q]	Res	[W]
CCM1 (70N-NP)	51.9	13.8	38.1	67.8	29.7	5.4
PO92 (70N-NP)	16.1	10.3	5.8	11.6	5.8	6.0
JW (70N-NP)	29.4	13.1	16.3	16.3	0.0	
Ma90 (70N-NP)				15.8		
CCM2 (70N-NP)	37.2	15.5	21.7	17.7	-4.0	6.7
CCM2 (60N-NP)	62.4	32.5	29.9	15.7	-14.2	8.8
CCM2 (45N-NP)	85.5	50.2	35.3	13.5	-21.8	12.5

註： PO92:Peixoto and Oort (1992). Climatological average.  
 JW: Personal communication from J. Walsh (1993).  
 Ma90:Masuda (1990). For 1979 annual mean.  
 Residual=[Q] - [P-E].  
 Unit of [W] is Kg/m<sup>2</sup>

## 四、結論與討論

我們分析 NCAR CCM1與CCM2所模擬的海平面氣壓、雲量、及水汽收支，並與實際觀測資料(EC/WMO)做比較，試圖找出這兩個模式之優缺點與造成其誤差的可能原因。結果顯示，CCM1在 R15的解析度下格陵蘭島的地形被嚴重的曲扭，導致了冰島低壓變成一個環繞格陵蘭島的低壓環。CCM1所使用的正值水汽修正法導致過量水汽被輸送到極區，造成此區有過量的降水及過多的冬季低雲。另外，兩個模式均固定海冰的厚度為二米，使得海面與空氣的能量交換受到阻擋，造成北極海上的反氣旋偏移且微弱，使其洋流及海冰無法正常的流出北極海，影響了南北的能量交換。CCM2雖然採用了 semi-Lagrangian法來傳送水汽，但由於此法為形狀守恆但質量不守恆，所以在小區域有很好的結果，但對大的區域卻仍有很大的誤差。最後，CCM2雖然有較複雜的雲及輻射參數化法，但由於其雲滴的有效半徑偏大且其光程太長，致使過多的短波輻射可以直接到達地面，使得夏半球地面的溫度高出6-10度，這不只破壞了亞洲的季風，也破壞了行星尺度的波動，因而影響中高緯度之環流系統與氣旋活動。

## 誌謝

本研究部份經費是由國科會計畫編號NSC83-0202-M-008-009及 NSC84-2621-M-008-012所共同支助。

## 參考資料

- Battisti, D.S., D.L. Williamson, and R.E. Mortiz, 1992: Simulation of the Arctic climatology with the NCAR CCM2. Preprints, Third Conf. Polar Meteorology and Oceanography, Portland, OR, Amer. Meteor. Soc., 130-136.
- Hack, J.J., Parameterization of moist convection in the NCAR Community Climate Model (CCM2). *J. Geophys. Res.* (in press) 1993.
- Herman, G.F. and R. Goody, 1976: formation and persistence of summertime Arctic stratus clouds. *J. Atmos. Sci.*, **33**, 1537-1553.
- Kiehl, J.T., J.J. Hack, and B.P. Briegleb, The simulated earth radiation budget of the NCAR CCM2 and comparisons with the Earth Radiation Budget Experiment (ERBE). *J. Geophys. Res.* (in review), 1993.
- Manabe, S., J. Smagorinsky, and R.F. Strickler, 1965: Simulated climatology of a general circulation model with a hydrologic cycle. *Mon. Wea. Rev.*, **93**, 769-798.
- Masuda, K. 1990: Atmospheric heat and water budgets of polar regions: Analysis of FGGE data. Proc. NIPR Symp. Polar Meteor. Glaciol., **3**, 79-88.
- Peixoto, J.P., and A.H. Oort, 1992: Water Cycle. *Physics of Climate*, American Institute fo Physics, New York, 270-307.
- Ramanathan, V., E.J. Pitcher, R.C. Malone, and M.L. Blackmon, 1983: The response of a spectral general circulation model to refinements in radiative processes. *J. Atmos. Sci.*, **40**, 605-630.
- Trenberth, K.E., and J.G. Olson, 1988: ECMWF global analyses 1979-1986: Circulation statistics and data evaluation. NCAR Tech. Note, NCAR/TN-300+STR, National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado, 94pp.
- Williamson, D.L. and P.J. Rasch, 1994: Water vapor transport in the NCAR CCM2. *Tellus*.
- Williamson, D.L., J.T. Kiehl, V. Ramanathan, R.E. Dickinson, and J.J. Hack, 1987: description of NCAR Community Climate model (CCM1). NCAR Tech. Note, NCAR/TN-285+STR, National Center for Atmospheric Research, 112pp.