

氣候變遷的數值模式研究

John Mason 著 戚啓勳 譯

我們大致已經了解地球上現在氣候的各種控制過程，然而氣候發生波動的原因，卻有很多地方還摸不清楚。氣候的變遷不單由大氣控制，還涉及到海洋、極冰、陸地情況和整個生物界。完整的氣候體制應該包括所有這些因子，以及它們在廣大時間和空間幅度內的相互作用。除此之外，整個體制還受外界因子的影響，尤其是太陽輻射，至於人類的活動也逐漸居於重要的地位。

截至目前為止，我們還無法做到預測未來的氣候演變，近年來經由電子計算機的協助，用三維數值模式來了解全球性氣候的發展，似乎很有前途。設想大氣是一種大規模的渦動流體，繞地球旋轉，被太陽晒熱，也和下面的陸地及海洋交換熱量、水分和動量，此項模式也考慮太陽輻射、洋面溫度以及海冰等的逐月變化和逐季變化。

大氣變動情況的計算機模式，設定特殊的邊界條件和初值，用觀測網所有網路點上的某些變數值來代表，各點相距大致為幾百公里，模式大氣的垂直伸展取 5 層和 11 層兩種，而後將控制大氣物理過程的微分方程按時間向前積分，取較短時間增量（相當於幾個月或幾年），讓模式不致在氣象及計算上趨於不穩定。

設想大氣最初為等溫狀態，由於地表受熱不等而產生氣壓梯度，空氣流動，乃至風力漸增，產生旋渦，如同實際大氣中的氣旋及反氣旋。在模擬計算約 50 天後，這些重新分佈的熱和水分達成統計上的平衡狀態；而後產生一個月的平均量，可代表相當合理的實際溫度、氣壓、風和雨量分佈。假定將邊界條件或外界情況改變，也可以模擬各季的變化。

該項研究工作正由勃拉克耐爾 (Bracknell) 氣象所進行，其中 11 層模式設想大氣層頂部的太陽輻射隨季隨緯度而變，逐日在變。考慮到海陸分佈、山嶺及其他陸地形態的影響。每一時間增量還計算陸地表面的溫度、土壤水分、蒸發量和雨雪的變化。

這些模式有一嚴重的缺點，那就是雲量和雲狀（僅由降水來識別）並沒有考慮在內，所以未能準

確表達雲和輻射平衡的相互關係，雖然模式中已加入了實測平均雲量對輻射收支的影響。地球的反照率幾乎有三分之二應由雲負責，雲量而且還參與若干重要的反饋機制，管制着溫度變化。

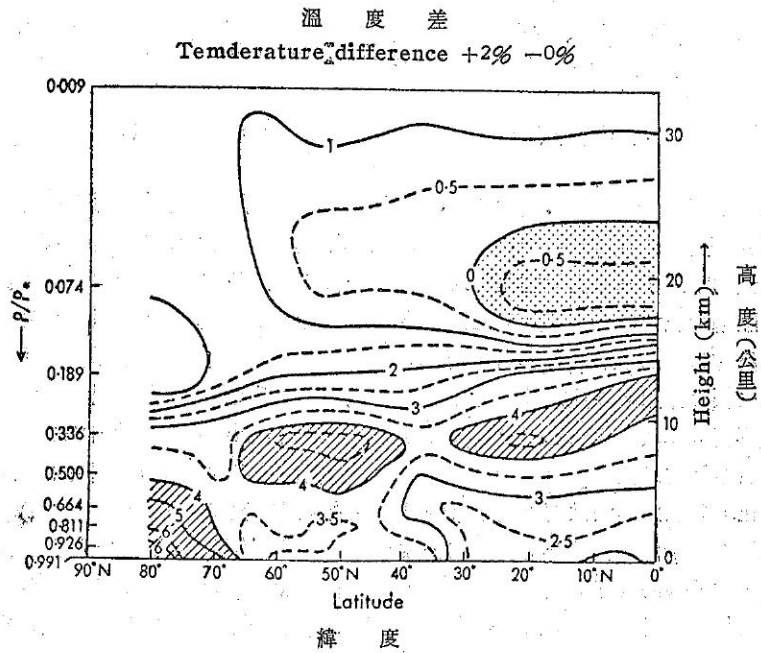
該項模式的第二個缺陷是不能表達大氣和海洋之間的相互作用。顯而易見，海洋能儲存並輸送大量的熱，對氣候當然會有深遠的影響。海洋模式迄今猶為發展的起步，主要因為不能監視洋流、渦流、溫度和鹽度。

雖然有這兩項缺點，這些模式仍能很成功地模擬全球大氣環流及現時全球氣候的主要形態，至少平均情況確是如此，特別是模擬季節性溫度型、風型及雨量型的轉變，包括像季風之類的區域效應在內。

專家們對於利用此項模式來研究氣候如何受自然變化的影響深具信心，例如太陽輻射、陸地表面及植物覆蓋、土壤水分、以及海面溫度等等。可能的人為因素對二氧化碳、臭氧、塵埃和大氣含熱量的變化，也能從自然波動區分出來。

太陽是推動全球性大氣環流的主角，可見無論太陽輸出或到達地面的日射強度變化如何影響氣候，都應加以考慮，普林斯頓大學的威齊來特 (R. Y. Wetherald) 和馬那比 (S. Manabe) 根據簡化的全球環流動力模式與固定雲量，將海洋視作一蒸發濕面，但並不考慮熱容量及熱輸送，他們發現太陽常數 (solar constant) 如果增加 2%，（此與到達地面的日射量有關），可使全球平均溫度升高 3°C；如各減 2%，平均溫度當降 4.3°C（見圖一）。這樣產生的變動因為覆雪區與反照率的差異，在兩極遠較赤道為大。但最顯著的效應還是降水量。太陽常數變動 6%，雨量隨之變動可達 27% 左右。

不過如果以幾萬年的時間尺度來計算，到達大氣層頂的太陽輻射強度的變化是由地球軌道，大約 96000 年、40000 年及 20000 年的周期性所引起。這些變動遠較太陽輸出的實際變動為大。距今一萬年前，進入大氣層的太陽輻射在緯度 65° 處比現今要強大約 1%。距今 25000 年前比現在要弱 2%，例



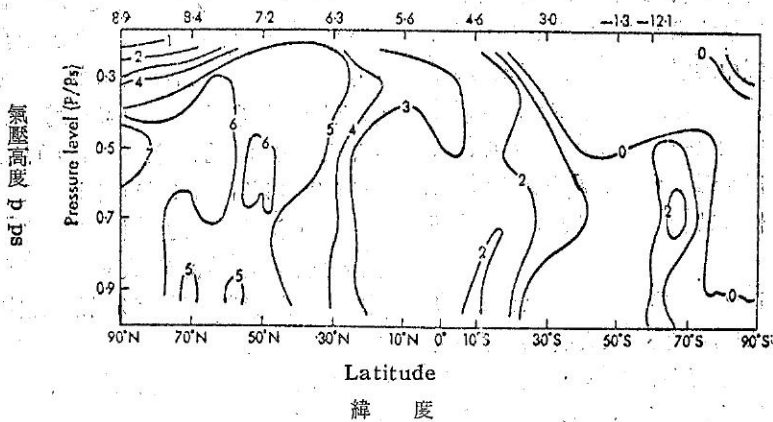
圖一 太陽常數增加2%引起各緯度平均溫度的變化。

如一萬年前，夏半年得到的輻射，所有緯度上，都比現在大4%；距今25000年大約少2%。此種輻射熱的增加或減少，足夠解釋過去50萬年內北半球冰河的前進或後退。

勃拉克耐爾氣象所的5層模式試驗中，估計地球軌道參數夏至（北半球）前後對全球溫度的影響採用兩次積分。一次代表現時進入大氣層的太陽

熱；另外一次則代表一萬年前的情況。結果所得出來的情況如圖二所示，與前面描述的相吻合。圖二表出算得的緯向平均溫度（六月份最後十天的平均），一萬年前各地均較暖，因為在六月份，當時所得到的太陽輻射比現在多7%。北極區的地面溫度高6°C，30°N處高4°C。

大氣層頂之輻射變化百分率
Percentage change in radiation at top of atmosphere



圖二 由於現時地球軌道參數與一萬年前之改變而引起各緯度六月平均溫度的變化。

由此可以想見太陽常數變動所產生後果之重要。該所在另一次5層模式試驗中，假設北極的冰全部融解，水面溫度保持在0°C。冰全部消失後的

主要後果，除了極區顯然增暖而外，極地高壓的強度也大為減弱，中緯度西風及其所伴的低壓也減弱。中緯度一帶比正常冷8°C，尤其是在美國、西

伯利亞東部以及西歐地區。至於最後將會引起什麼結果，目前尚無法確定，因為各種系統彼此牽連，非常複雜。

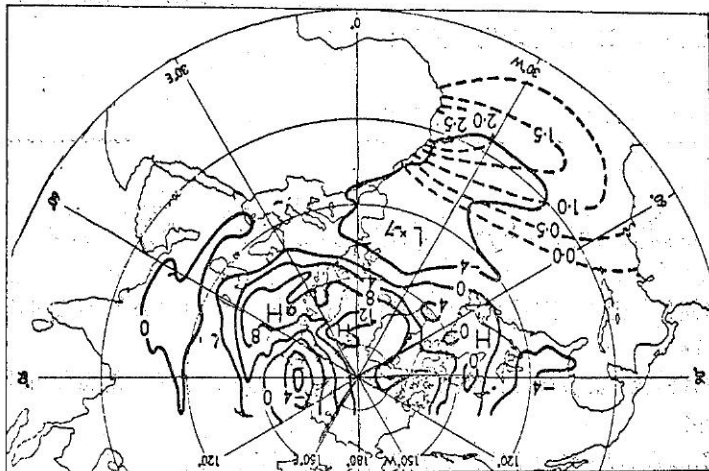
撒哈拉沙漠近些年來特別乾旱，究竟什麼原因以及將來後果，引起大家興趣，該所曾用 11 層模式加以試驗。研究撒哈拉地區土壤水分改變後產生什麼結果，範圍局限在北非海岸和南方熱帶草原之間，第一次模擬假設撒哈拉沙漠內完全乾旱，土壤內毫無水分。另外一次試驗則假想撒哈拉沙漠的土壤內有 10 公分水分。比較二者所得的結果。

在第一系列試驗中，結果有若干淺低壓穿越該區，但是並沒有下雨，這是因為無地面水分饋入的緣故。在第二系列試驗中，濕地上的地面溫度降低了 20°C 之多，冷卻效應一直向上伸展到 5 公里，並且還發展了一些主低壓，產生廣大地區的雨澤，有些地方還下得很大，在 20 天模擬試驗中都能保

持。由此可見：像這樣大小的一個區域，一經變濕，將會繼續濕下去。

模型試驗和實際觀測都表示：海面溫度在廣大地區發生持久性反常現象時，大氣環流也會反常。在熱帶，海洋對大氣的影響特別值得重視。熱帶海面溫度的異常，有時還會影響到中緯度。

1962~3 年的冬季，是英國以往 250 年中最寒冷的一個冬天，熱帶大西洋東部有一廣大區域比正常溫度高出 2.5°C （見圖三）。該所將此異常現象饋入 5 層模式中，結果產生一低壓區，比正常低了 7 毫巴，中心位於比斯開灣以西；另外還有一個很強的高壓，中心高出正常 13 毫巴，位於格林蘭的東方。因為大氣環流有此變異，使得大不列顛羣島上空產生一般強烈東風，這樣才有 1962~3 年的嚴寒冬季，由此也證明了數值模式之準確性。



圖三 將觀測所得海面溫度正距平（虛線）饋入該所 5 層模式中
所產生的地面氣壓變化（單位為毫巴）。

人類活動所生產熱對氣候有沒有影響？

截至目前為止，由於人類活動而產生的總熱量，還只有太陽晒熱大氣和地面的 0.01%，對整個地球的影響遠在計算或偵測能力以下。但未來五十年，全世界的能量消耗很有理由的可增加四倍，估計有 30 TW ($1 \text{ TW} = 10^{12} \text{ W}$)，大部分釋出的廢熱加入大氣和海洋內，有許多發電廠設在海上，熱量更容易散失。該所用 5 層模式研究這些能量場所可能對全球性氣候的影響，將總輸出 300 TW 等分為兩個區域，面積各為 40 萬方公里，一處在愛爾蘭的西南海岸外；另一處在日本海岸外，平均熱通量為 375 W/m^2 公尺，大約相當於局地太陽輻

射的五倍。結果是北半球大部地區的氣候都有顯着變化。如取 150 TW 為例，反應變化自然較小，但是因為 150 TW 大約相當於現時全球能量消耗的 20 倍，足見在未來 50 年內，人為廢熱對氣候的影響當遠較本試驗為輕微。

溫室效應的問題卻很大

當然，二氧化碳的問題遠較嚴重，本世紀內，二氧化碳的集中度已經增加了 15%。因為燃燒化石燃料以及森林破壞的緣故，每年都要增加約 1~3%。根據威濟來特和馬那比的數值模式，大氣中任何地方的二氧化碳如果增加一倍，對流層增暖而平

流層則變冷。全球的平均地面溫度增加約 3°C 。極區溫度最高可以上升到 19°C ，由於冰面和雪面反射陽光減少，另一部分因為熱力性穩定度阻止熱量流到對流層最低處。在熱帶，因為對流作用很強而空氣又濕潤，這種增暖現象可以擴展到整個對流層，所以溫度升高不大。二氧化碳增加一倍，模式中的水分循環也跟着活動起來，平均年蒸發量和年雨量都增加了7%，但因模式中雲量保持不變，而海洋又是用一濕面來代表，既不能貯熱，又不能傳熱，所以想要預測它的變化，實在很困難。

二氧化碳既有增暖功能，自然也就增加了大氣中的水汽含量，吸收長波輻射的能力也隨之增加。可見產生增暖的後果，其中一半直接因為二氧化碳的增加，另外一半當歸於水汽的增加。水汽的集中度與可以利用程度既然到處都不一樣，所以二氧化碳引起的增暖，全球也不會均勻，有些地方也許會遠比原先為冷。

勃拉克耐爾氣象所利用 11 層模式研究地區性

和短暫性的變化。考慮充分相互作用結果，按照現在的二氧化碳集中度和加一倍的集中度，以及現在的海面溫度和升高後的海面溫度。分別修正雲量加以試驗，經由全年循環加以積分。

採用現時的海面溫度，二氧化碳增加一倍，結果全球陸地平均溫度只升高 0.4°C （比馬、威爾氏算得者小得多）；但採用高於現時值 2°C 的海面溫度，則全球陸地平均溫度上升 2.7°C 。顯而易見，合理估計二氧化碳的效果，必須結合大氣及海洋模式，以及彼此的相互作用。

想要準確預測氣候變化的程度及其持續時間，現在還沒有這種可能，因為目前我們了解大氣的內在因素還不够透澈。但是利用現在的電子計算機模擬技術作為出發點，至少能了解一些未來幾十年內人類活動可能對氣候的影響。

（原文題目：Computing climatic change, 原文刊於：New Scientist 19 Apr. 1979）

氣象學報徵稿簡則

- 一、本刊以促進氣象學術之研究為目的，凡有關氣象理論之分析，應用問題之探討，不論創作或譯述均所歡迎。
- 二、本刊文字務求簡明，文體以白話或淺近文言為主體，每篇以五千字為佳，如長篇巨著內容特佳者亦所歡迎。
- 三、稿件請註明作者真實姓名、住址及服務機關，但發表時得用筆名。
- 四、譯稿請附原文，如確有困難亦請註明作者姓名暨原文出版年月及地點。
- 五、稿中引用之文獻請註明作者姓名、書名、頁數及出版年月。
- 六、惠稿請用稿紙繕寫清楚，並加標點。如屬創作論著稿，請附撰英文或法、德、西文摘要。
- 七、本刊對來稿有刪改權，如作者不願刪改時請聲明。
- 八、惠稿如有附圖務請用墨筆描繪，以便製版。
- 九、來稿無論刊登與否概不退還，如須退還者請預先聲明，並附足額退稿郵資。
- 十、來稿一經刊載即致稿酬，每千字按壹佰五十元至貳佰元計算。創作論著稿之特具價值者另議。
- 十一、惠稿文責自負，詳細規定請據本學報補充稿約辦理。
- 十二、惠稿請寄臺北市公園路六十四號中央氣象局氣象學報社收。

（請參閱補充稿約）