

全球氣候變遷模式推估與情境模擬簡介

◎林業試驗所育林組·徐嘉君 ◎臺灣大學全球變遷研究中心·林淑華

前言

在政府間氣候變化專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)於2007年發表最新的四次評估報告AR4中，幾乎已經可以確定，過去半世紀間所發生的全球暖化現象，人類排放到大氣中的溫室氣體(Greenhouse Gas，主要為二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)、氧化亞氮(N₂O)及氟氯碳化物(CFCs))極可能是主要原因之一。為瞭解氣候變化的趨勢，進而因應氣候變遷所帶來的衝擊，全世界的科學家嘗試以各種科學模式來推估未來的氣候趨勢，以提供各國政府作為決策時的參考，本文即針對現在普遍採用以推估未來氣候的模式及情境做簡單的介紹。

氣候變遷情境模擬 (The IPCC climate change scenarios)

所謂的情境(scenarios)，是IPCC用來描述未來世界可能的特性，它可能是定性、定量或是兩者皆是描述。目前IPCC常用的情境，常伴隨著故事情節的敘述，如社經因素可能的變化(例如人口、經濟成長、能源效率與結構、土地利用與農業生產等)，並且推估未來全球溫室氣體的可能排放量，並進一步為科學家用於推估21世紀的氣候狀態。基本上IPCC考慮的未來情境有兩大類：1.排除未來溫室氣體減量政策通過的影響：此部分的情境主要描述於2001年出版的「溫室氣體排放情境特別報告」(The Special Report on Emissions Scenarios, SRES)，根據全球未來的社經變化，假設4類可能的情境(專欄1)，並

排除人類未來有意識的減少溫室氣體排放之影響，SRES被用於取代1995年所發表的情境預測IS92，在IPCC第三及四次評估報告中，已為科學家使用作為未來氣候變化推估的依據。2.考慮人類採取溫室氣體減量行動，並使大氣中二氧化碳濃度穩定於西元2000年大氣中二氧化碳濃度(370ppm)以上某一點的情形：此情境假設大氣中的二氧化碳濃度能保持在2000年後的某一水準，例如450ppm，則推估到2100年，全球溫度約上升1.2~2.3°C(此情境推估全球CO₂排放的高點在2010年，而到2050年能減量50%，到2100年能減量70%)，尚有其他類似的情境模擬請見圖1。

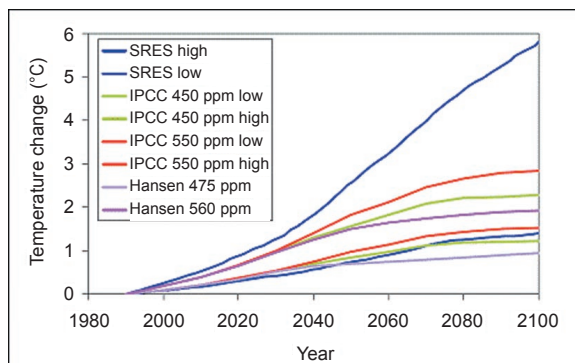


圖1 利用IPCC的情境所做的未來大氣增溫的推估，假設大氣中的二氧化碳濃度能保持在2000年後的某一水準，例如450 ppm，則推估到2100年，全球溫度約上升1.2~2.3°C(資料來源：Australian Greenhouse Office)

IPCC 科學家依據這些情境模擬，估計溫室氣體濃度的未來變化，再將之置入全球氣候模式，推估未來氣候。值得注意的是，在IPCC的未來情境推估中，即使是最樂觀的推估，於2100年時，全球平均溫度仍會上升1~3°C，足以使部份地區的異常氣候及劇烈天氣發生頻率大幅提高或降低，而造成公眾危險。

專欄1 SRES所描述的4大類未來情境

A1情境

全球經濟大幅成長，市場經濟導向，窮國與富國之間的差距消失，人類大幅投資教育與提高生活水準，科技的成長與資訊流通順暢，包含以下幾個次情境：

A1B：再生能源與石化燃料並用，土地使用變遷速度適中

A1T：再生能源進展迅速，未來人類不使用石化燃料

A1F1：人類仍然大幅使用石化燃料

A2情境

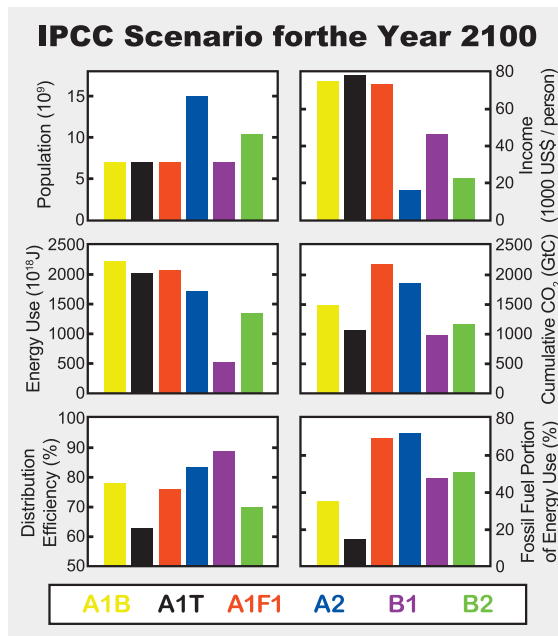
全球經濟成長幅度不等，而導致工業國家與開發國家的收入差異仍大，科技與人口流動較不暢通，強調家庭或族群生產力，A2的人口成長率是4個情境中最高者。

B1情境

全球的環境與社會意識高漲，並結合全世界的力量來追求永續的發展，經濟發展程度適中，科技發展扮演重要的角色，世界各國的貧富差距縮小。

B2情境

世界各國的人類對於環境與社會的永續發展日趨重視，政府政策為有環境意識的公民所影響，全球化的腳步減緩，而地域性的決策機制顯得更受重視。



IPCC在SRES所描繪的各項情境中，社經情況的比較圖

(資料來源：Global Warming Art,

http://www.globalwarmingart.com/wiki/Image:IPCC_Scenarios_for_2100_png#A1)

氣候變遷的全球模式

氣候學家 A. S. Monin將「氣候」定義為「大氣-海洋-陸地系統狀態於數十年的之統計

系集」。然而氣象學家對於應取多長的時間來計算氣候特性的系集平均有許多不同的看法，目前世界氣象組織將之定義為30年。

IPCC的科學家被賦予推估未來氣候的責任，他們利用前述的未來情境，利用氣候的數值模型去推估將來可能的氣候變遷。目前，主要用來研究氣候變遷的氣候模式為全球大氣-海洋耦合模式(coupled atmosphere-ocean general circulation models, AOGCMs)，它考慮了大氣運動、表面洋流、溫鹽環流、以及大氣/海洋交互作用，除此之外，大氣化學、植被及土壤的影響也都考慮在內，是目前模擬溫室氣體影響未來氣候最先進的工具。

GCMs是三維的數值模型，具有150到300公里的水平解析度與10到30層的垂直圖層，AR4列出了23個全球許多科學機構利用GCMs所做的未來氣候推估，而目前IPCC網站提供下載，以供研究者利用的全球未來氣候模擬有7個之多(http://www.ipcc-data.org/sres/gcm_data.html)，雖然IPCC科學家所使用的氣候模式已經十分複雜，這些模式仍無法包含所有可能影響氣候的因子，一般來說，氣候模式模擬空間尺度越大的準確度越高，模擬區域的氣候特性就比較困難；此外IPCC的氣候模擬百年氣溫變化趨勢與溫室氣體、懸浮微粒的變化趨勢相當一致，但模擬數十年內的氣候變化則變異仍大。總之，時間及空間尺度越小，則氣候模式的模擬能力就越差。

氣候模擬的區域分析

目前將GCMs氣候模式應用到類似台灣這種小區域的氣候影響評估，仍遭遇許多困難，首在於解析度過低，主要的問題乃模擬地球氣候的因子太多太複雜，連現有的超級電腦都無法做高解析度長時間的模擬演算，因此全球模式輸出的水平網格解析度一般約

為150~300公里，往往忽略小區域地形效應的影響。因此，我們需要發展一些方法來做小區域的降尺度模擬(downscale)，以因應許多區域研究的需求，降尺度模擬的方法大致有三類：1.高解析度GCM，利用全球AOGCMs模式模擬所得到的資料作為邊界條件，驅動大氣環流模式(atmospheric general circulation model, AGCM)，以進行高解析度全球氣候的模擬。2.動力降尺度(dynamical Downscaling)，乃擷取AOGCM模式的區域結果以及邊界條件，進行區域氣候模式(regional climate model, RCM)的模擬，以達到高解析度的目的。3.統計降尺度(statistical Downscaling)，以統計方法尋找現有小尺度的觀測值(通常是氣象站的觀測資料)與大尺度GCM變數之間的相關性，並假設此相關性在未來仍成立的情況下，進一步運用於GCM未來氣候推估，以達降尺度分析。

結語

不論是IPCC針對未來全球社經環境所做的情境模擬，或是氣候學家針對情境模擬所做的未來氣候推估，其實都存在著許多不確定性，因此在AR4中首次量化氣候變遷預測的不確定性。有關未來氣候的推估，尚待全球科學界進行更深入的研究，收集更完善的氣候資料，並分析區域氣候形成的機制，以改進未來氣候推估的準確度。☸