

「本地變遷趨勢、衝擊評估與因應策略之整合模式」之初期發展計畫 (2003 / 08 – 2007 / 07)

(國立臺灣大學大氣科學系 柳中明、柯文雄
國立臺灣大學全球變遷研究中心 孫志鴻、李麗君)

一、前言

自工業革命以來，大氣中溫室氣體濃度持續增加，全球暖化趨勢明顯，異常氣象災害頻傳，而其所造成的衝擊，亦影響至農、林、牧、水資源、海岸管理及社會經濟等各層面 (IPCC, 1996)。國際間，更制定了氣候變化綱要公約與京都議定書，以尋求共同合作抑制溫室氣體排放穩定，希望能穩定全球氣候變化。我國除應積極參與國際合作事宜之外，亦當進行台灣地區之本地變遷趨勢預判、衝擊評估、調適因應與政策制定等工作。

為此，柳等 (2002) 提議建立一個完整的模式，包括本地氣候、水文、海洋、地質、地況、土地利用、農林漁牧、糧產、經濟、社會、傳染病媒、公共衛生、政策決定等長期變遷課題，希望透過一個建基在物理機制基礎上的本土整合模式來進行全面與多元的探討。同時，模式的發展目標必須定位為協助長期政策制定，而非是單純進行學術基礎研究。規劃推動小組成員經半年的討論，確定了整合規劃的初步架構 (圖 1)，以發展各模組，並整合為一定量評估模式為重點，且各模組間必須具備上游資料輸入與下游模擬提供的串聯功能。同時規劃出未來六年 (92~97 年) 的優先計畫：前三年將以發展氣候、水文、大氣化學、海岸及生物多樣性與公共衛生各領域之模擬模組為重心，後三年則將進行過去百年變遷模擬驗證，與未來 50 年變遷衝擊預測、風險評估與後續之因應對策探討。柳等 (2002) 的規劃方案提出後，雖獲多數學者認同；不過，若要同步發

展多個模組並整合進行驗證與預測，則所需經費龐大且動員人力眾多，故目前暫無法全盤進行。

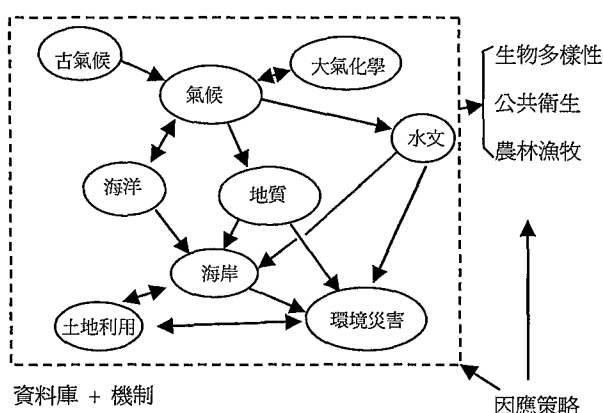


圖 1. 課題規劃架構 (取自柳等, 2002)。

為啟動此整合模式的發展，本計畫之定位乃如圖 2 所示，先期以區域氣候模擬發展為重點，與「區域氣候研究群」合作，建立區域氣候模擬能力，取得國際氣候研究中心之全球氣候模擬與預測成果，進行 1990~2000 年、2041~2050 年、2091~2100 年期間區域氣候之模擬與預測；同時，建立「區域氣候模擬與預測資料庫」；此外，將逐步協助水文、大氣化學、海岸、生物多樣性、公共衛生、農林漁牧模組發展研究群之成立，循序漸進且量力而為！

二、全球氣候模擬資料的取得與提供

東亞區域與本土氣候模擬之進行，必須以全球尺度的氣候模擬數據作為區域模式的初

始與邊界場；但國內尚欠缺這方面有系統的模擬；所以必須爭取國際研究中心現成的全球氣候模式模擬（過去）與預測（未來）數據。

此工作的難處在於資料龐大，且國際研究中心不會協助處理資料。在資料量方面，以德國馬克斯普郎克研究所 (Max Planck Institute, MPI) 與漢堡氣候計算中心 (Deutsches Klimarechenzentrum Hamburg, DKRZ) 合作發展之大氣—海洋耦合模式 ECHAM4 / OPYC 為例，若空間尺度為 T42 (280km x 280km)，時間尺度為六小時，進行 SRES B2 情景 (參

考 IPCC (2000) 說明) 下之 1990~2100 年間全球氣候模擬，則某一層單一變數之資料量就達 2.6 GB，而若是需要 5 個變數在 17 層，資料量就達 220GB；事實上，不同區域氣候模式所需要的變數不同且多樣，資料量遠大於 220GB，再加上過去及未來三個情景 (IS92a、SRES A2、SRES B2)，單一研究中心的全球模擬數據資料量，就達 880GB，需大量採購 250GB 之硬碟。此外，各模式的輸出格式不同，亦需要專家撰寫適當之程式讀取之。

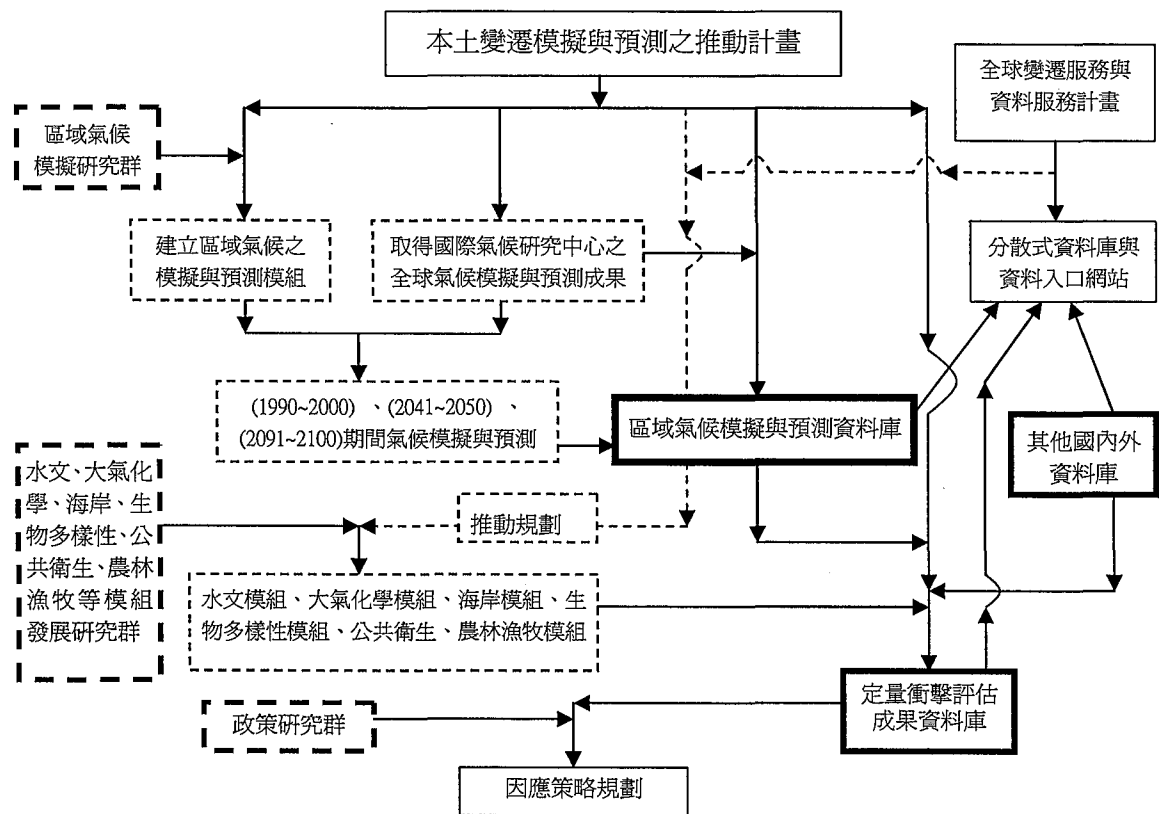


圖 2. 計畫辦公室之整體規劃。

全球氣候模式相當的多，如圖 3 所示，在 IS92a 情景下，各全球氣候模式對於全球氣溫與降雨量的變動趨勢是相致的，但在定量的評估上，則會因模式設計的不同而出現差異。本計畫之推動策略 (圖 4) 預定向德國馬克斯普郎克研究所 (Max Planck Institute) 取得 ECHAM4 / OPYC 的全球氣候模擬數據 (由

陳正達教授負責)，向美國海洋與大氣資料中心 (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) 取得 CSM A2 數據 (由許晃雄教授負責)；向英國哈德里氣候預報及研究中心 (Hadley Center) 取得 HadCM3 模式資料 (由王國英教授負責)；資料包括 IS92a (IPCC 認定為常態的情景)、SRES A2 (地區間

發展差異巨大的世界情景)、SRES B2 (區域性的經濟、社會和環境永續發展的情景) 三種情

景下, 對於 1990~2000 年、2041~2050 年及 2091~2100 年的模擬與預測數據。

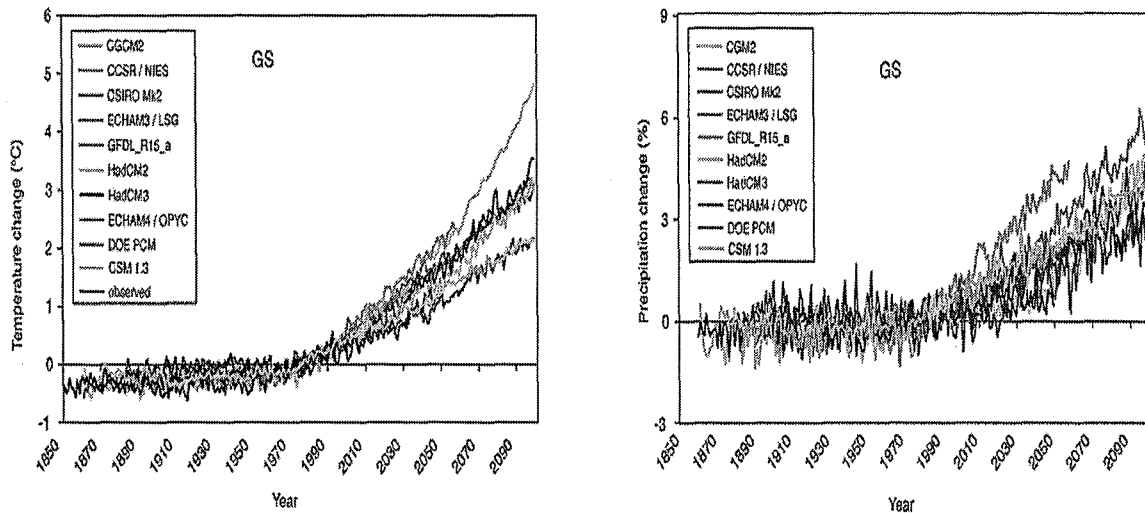


圖 3. IPCC (2001) 所整理出之全球氣候模式對於 1850~2100 年間, 在 IS92a (IPCC, 2000) 情景下, 全球平均氣溫與降雨量的變遷模擬與預測結果。

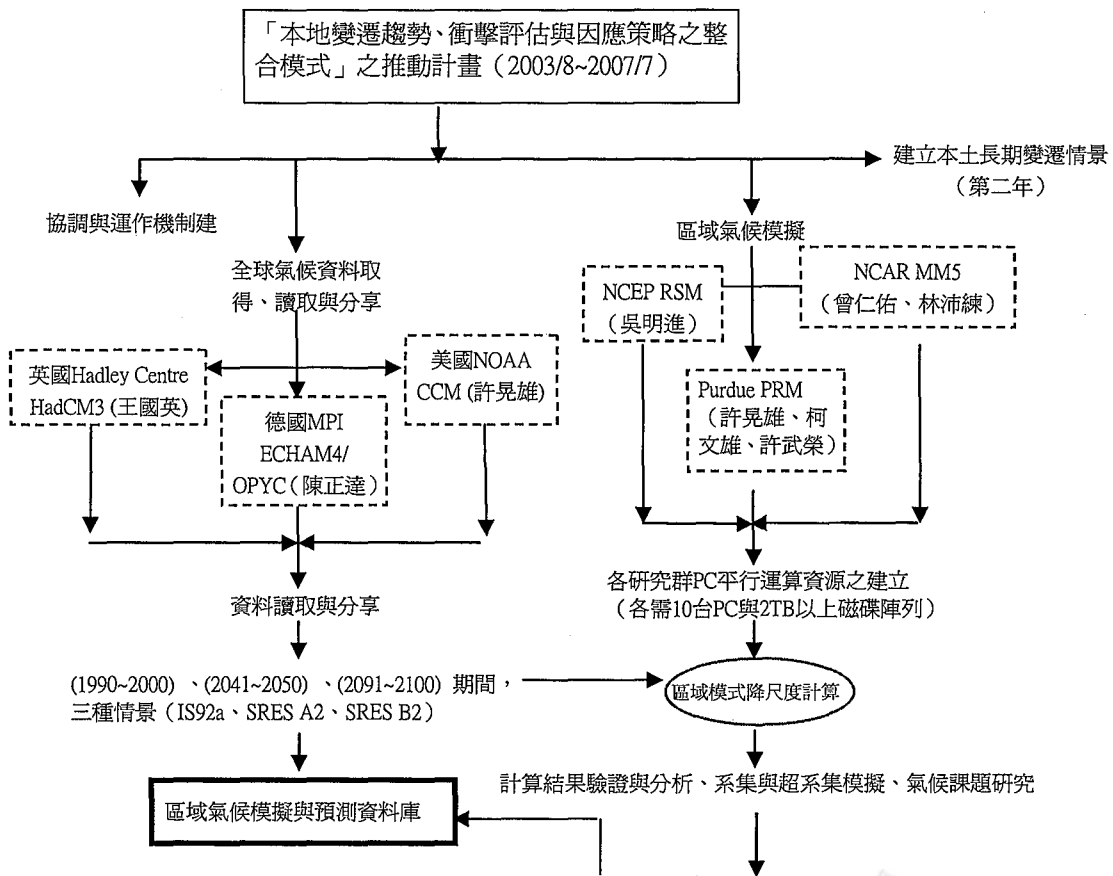


圖 4. 「本地變遷趨勢、衝擊評估與因應策略之整合模式」推動計畫之策略。



三、區域氣候模擬環境之改善

由於全球氣候模式的水平解析度太粗，無法解析台灣地區的局部氣候變化，因此無法直接應用，而必須藉助區域氣候模式 (RCM; Regional Climate Model) 進行降尺度 (down-scale)，以進一步模擬台灣地區局部區域的氣候變化。全球模式 (以 ECHAM4 / OPYC 為例) 的網格解析度為 $280 \times 280 \text{ km}^2$ ，降尺度到東亞區域後的網格解析度為 $45 \times 45 \text{ km}^2$ ，再降尺度到台灣區域的網格解析度則為 $15 \times 15 \text{ km}^2$ 。以氣象領域而言， $15 \times 15 \text{ km}^2$ 已足夠且為可信的解析度，然其它領域希望能降尺度到 $1 \times 1 \text{ km}^2$ ，目前聘請林淑華博士，採用統計內差的方式，將台灣尺度資料，內差到各地面氣象測站，以提供給下游應用端。

本計畫與國科會永續會「區域氣候變遷模擬系統之整合與應用」研究群合作，以 NCEP RSM (吳明進)、NCAR MM5 (曾仁佑、林沛練) 與 Purdue PRM (許晃雄、柯文雄、許武榮) 等三個區域氣候模式為發展重點 (圖 4)。

原則上，以國際研究中心的全球氣候模擬數據作為區域氣候模式的起始場與邊界場，就可以進行東亞與台灣區域的降尺度計算。估計以單個 CPU 計算東亞區域之氣候變化，每計算一個月的氣候，需要 1 天的電腦計算時間，所以 1 年需要 12 天的計算時間，再加上資料準備，共需 15 天；然後，再將台灣與鄰近海域的資料降尺度到 $15 \times 15 \text{ km}^2$ 網格，則需 2 天的計算時間與 1 天的準備時間；所以，將 1 年的全球氣候模式數據降尺度到台灣區域的網格點，共需 18 天。

為改善這樣的運算資源需求，一是採用時間切片法 (time slice)，即每隔一陣就進行十年的氣候計算，如 1900~1910、1940~1950、1970~1980、1990~2000、2020~2030、2040~2050、2090~2100 等，而非是每年都計算。二是建立

PC 平行運算機制，也就是多台 PC 同步進行運算，如此可以同時進行多年降尺度計算。以上兩個方法都是假設大環境為全球氣候模式所控制，區域模式是受限於全球模式的模擬狀態而往內進行動力平衡內差，如此則多年同步進行降尺度計算，應不會出現相互影響的情形。不過，就算是如此，每一個區域模式研究群都需要十台 PC 搭配 2TB 以上的硬碟儲存設備，才有可能應付以上所規劃的簡化式氣候模擬與預測。

然而，高解析度的區域氣候模式同時也帶來高變異性 (variability)，所以系集 (ensemble) 與超系集 (super ensemble) 的統計整合模擬，相當重要。也就是多個模式就同一個情景同步進行模擬，一方面由過去氣候的模擬成果中找到系集關係，另一方面利用這些關係於未來情景的模擬結果分析上。

本計畫第一年 (2003/8~2004/7)，每一個區域模式以十台 PC 同步計算，分三段 (1~4 月、5~8 月、9~12 月) 模擬 1990~2000 年的東亞與台灣區域氣候，估計僅需 18 天就可以完成。並將分析比較三個區域模式結果，並進行系集與超系集的初步探討。

本計畫第 2~4 年 (2004/8~2007/7)，每一個區域模式以十台 PC 同步計算，選擇使用德國 ECHAM4 / OPYC 全球模式之數據作為初始與邊界值，54 天可完成十年區間內 (2041~2050) 三個情景下 (IS92a、A2、B2) 之三個區域模式的模擬預測結果。並將使用英國全球模式資料與美國 CSM 模式 A2 情景資料進行十年區間內 (2091~2100) 的模擬等。未來，新的區域模式仍可能持續加入，所以，每一個情景將最少會有 3 個區域氣候模擬結果，用以進行系集與超系集的模擬分析。

四、本地變遷情景之建立



使用全球氣候模擬資料為區域氣候模式的初始與邊界場，雖已納入考量全球變遷的各種不同情景，但其內缺乏本地變遷的影響考量，所以本計畫將在第二年建立本地溫室氣體與懸浮微粒排放以及地形地貌變遷之情景資料庫。此為本計畫的重點工作，將需一位博士後研究全力以赴。若本地變遷情景得以建立，則可以在區域氣候模擬過程中，進行一些科學課題探討，如本地地形地貌的長期變遷對區域氣候的影響，或是本地區域性熱島效應與懸浮微粒排放對區域氣候的影響。

五、「區域氣候模擬與預測資料庫」的建立

在前述工作能夠順利推動的前提下，本計畫將承擔「區域氣候模擬與預測資料庫」的建立工作。其重點將是：儲存三個氣候中心的全球模擬與預測資料（約 3TB）、全球資料整理以提供給區域氣候模式使用及國內研究單位使用、儲存三個區域氣候模式的模擬與預測成果（3TB 以上，將視模擬情景的多寡而異）、區域氣候資料整理與提供、全球與區域氣候資料之統計分析等。

所以本計畫將購買能儲存與處理大量資料的個人電腦與磁碟陣列，並改善網路連線以利資料傳輸，同時將研究如何呈現與提供資料，以降低使用障礙，提升使用頻率與效率。

該資料庫將參與「全球變遷通訊、論壇、資訊網及資料庫建置」服務計畫所將建立之分散式資料庫與資料入口網站，未來將免費提供國內各行政與研究單位或個人使用，但為確保參與學者的權益並負起資料正確性的責任，將會要求使用資料者在發表學術論文時並列負責學者為共同作者，或在發表非學術性報告時詳述資料來源與致謝。

六、其它模組之推動研究發展

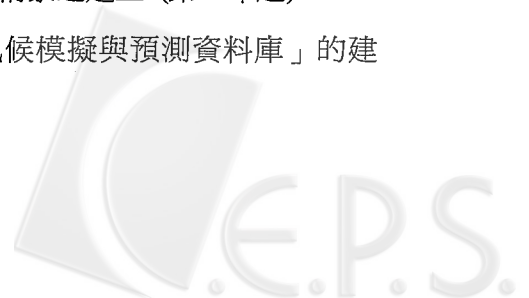
按柳等 (2002) 的規劃，區域氣候模組的發展具有關鍵樞紐的角色，所以為本計畫首四年內推動發展的主要重點。但不可忽略其它如本土水文模組、大氣化學模組、海岸模組、生物多樣性模組、公共衛生模組及農林漁牧模組等，在定量評估氣候變遷衝擊工作上的重要性。我們將採逐步推動的策略，配合國科會與其它部會之科研計畫的提送時間表，逐年說服相關學者的參與，以提出相關模組發展之研究計畫。希望能充分運用本計畫在四年內所將建立之「區域氣候模擬與預測資料庫」，而得以進行其它領域之定量評估工作。初步將以水文與海岸模組的發展為重點。

本計畫工作相當繁雜，需要非常多不同學門學者參與，甚至是需要許多政府部會的協助。本計畫將與全球變遷服務計畫合作，規劃適當之科學性、作業性與應用性專題演講及研討會，期以一方面廣泛推動本定量模擬、預測及衝擊評估之研究成果應用，另一方面說服更多學者與政府部會的協助及參與。

七、結語

本計畫完成之後的預期成果如下：

1. 與各氣候研究中心建立合作機制；
2. 全球氣候模擬與預測數據的取得、讀取與分享；
3. 區域氣候模擬環境之改善；
4. 區域氣候模擬與預測工作之推動；
5. 區域氣候模擬成果之比較，及系集與超系集之模擬發展；
6. 本地變遷情景之建立（第二年起）；
7. 「區域氣候模擬與預測資料庫」的建立；



8. 其它模組之推動研究發展；
9. 推動本土變遷之定量評估與政策建議工作。

我們期望這是一個滾動式成長計畫，由區域氣候的模擬預測發展，逐步進展到其它學門，並逐步協助建立起相關學術研究群與研究計畫。當然，這將與原本所期望之六年內整合建立各模組的希望，差距很大，目前是四年內建立區域氣候模擬與預測資料庫，同時推動其它領域，顯然這將是長期抗戰的工作！

參考文獻

柳中明、王作台、李德貴、宋鴻樟、林美聆、林曜松、林能暉、夏復國、孫志鴻、許銘熙、許晃雄、黃宗煌、隋中興、張長義、楊盛行、廖述良、歐善惠、劉紹臣、陳于高，2002。「本地變遷趨勢、衝擊評估與因應策略之整合模式發展」與「長期基礎資料調查、監測與收集整合機制」推動規

劃。行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告，台北，台灣。

IPCC, 1996. *Climate Change 1995. The Science of Climate Change*. J. T. Houghton, L. G. Meira, B. A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg and K. Maskell. *Cambridge University Press*, 570pp.

IPCC, 2000. *Emissions Scenarios 2000. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. *Cambridge University Press*, 570pp.

IPCC, 2001. *Climate Change 2001. The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C. A. Johnson. *Cambridge University Press*, UK. 881pp.

