

## [ 研究動態報導 ]

## 「氣候變遷研究聯盟-氣候變遷實驗室」 (Consortium for Climate Change Study, CCLiCS) 主軸研究計劃簡介

中央研究院環境變遷研究中心 許晃雄

### 一、緣起

面對全球暖化可能造成的氣候變遷，以及其對極端天氣氣候與地球環境的影響，首要任務之一為大幅改善對「氣候變異變遷對區域劇烈天氣統計特性變遷」的預測與推估能力。這項工作必須建立在完整的數理模式群組基礎之上。理想中的模式為高解析度的地球系統模式，不僅空間解析度高達數公里，也必須能完善的模擬影響氣候系統（包括大氣、海洋、冰雪、陸地、生態與人為影響等）的各種回饋過程，以及極端天氣與氣候的特性。此一構想打破傳統觀念，不再將大氣現象依照時間與空間尺度，區分為中尺度、天氣尺度與氣候尺度，因為這些尺度間有顯著的交互作用，無法單獨存在。此即為所謂的無接縫模擬 (Shukla *et al.* [4], Hurrell *et al.* [2], Shapiro *et al.* [3])，為氣候模擬與推估研究的終極目標。

有鑑於此與龐大計算資源需求，2008 年在英國 Reading 舉行的 World Modelling Summit for Climate Prediction 建議以 15 年的時間，推動跨國氣候預測計劃 (Climate Prediction Project)，不僅結合天氣與氣候預測，也結合季節預報與氣候變遷推估 (Shukla *et al.* [4])。透過此一國際網絡，各國的天氣氣候中心在未來幾年將全力建構 10-20 公里空間解析度的全球模式（計算資源為 10PFlops），提升區域氣候的可預報度，最終目的則為可解析小區域氣候的數公里模式（計算資源將高達 100PFlops）。Shapiro *et al.* [3] 提出類似的構想，並將之與阿波羅、基因圖譜、哈伯望遠鏡等計劃相提並論：「This endeavor is as ambitious as the Apollo Moon Project, International Space Station, Genome Project and Hubble Telescope with a socioeconomic and environmental benefits-to-cost ratio that is much higher」。這些例

子都顯示氣候模擬與預報能力發展已經是國際氣候研究與應用的主軸。這項工作挑戰之高，所需資源之多，已經不是任何單一國家可以獨自完成，未來的發展將是以國際研究聯盟方式，進行龐大的氣候預測與推估計算，將成果公開以便進行進一步的降尺度推估、衝擊評估、調適策略的擬定，甚至用於基礎研究以了解地球系統的運作以及全球暖化的可能影響。

相對於世界上大多數地區，「推估未來氣候變遷對台灣劇烈天氣統計特性的影響」這項工作，對台灣而言，更加困難。這是因為台灣位處於歐亞大陸、太平洋與印度洋交界，深受變幻莫測的東亞／西北太平洋季風與颱風影響，而且因為幅員小且地形陡峭，劇烈天氣與豪大雨的預測極其困難。除了劇烈降雨事件，每隔幾年發生一次的乾旱，對台灣的水資源也造成極大壓力。在全球暖化幾乎無可避免的情況下，吾人必須有能力推估極端天氣與氣候（豪大雨、颱風、寒潮、熱浪與乾旱等）的統計特性將有何改變，才能運用這些資訊評估氣候變遷對台灣生態環境、經濟社會與人民福祉的衝擊，並規畫／推動調適與減緩機制。台灣面臨的問題是，我們是否有足夠的實力，拿到進入前述國際研究網絡的門票？當龐大的氣候預測與推估資料可供使用時，我們是否有能力利用這些資料進行加值研究，預測與推估台灣的氣候變化與可能的衝擊？

### 二、研究目標與方向

面對此項前挑戰，國內必須從基礎做起，立即展開氣候變遷模擬與詮釋能力的建構。此項工作牽涉層面甚廣，不是國內單一研究計劃或單位可以承擔，必須結合國內的相關的人力，充分分工合作，才有可能完成。基於此一理念，「氣候

變遷研究聯盟」計劃網羅國內在氣候研究、模式發展與模擬方面極具經驗的研究人員，以中央研究院環境變遷研究中心為核心，台灣大學、中央大學、台灣師範大學等大學的研究人員為合作夥伴，組成氣候變遷研究聯盟，以五年為期，建立台灣氣候變遷模擬與詮釋所需的關鍵能力。

本計劃的研究目標為：

- (1) 開發國內氣候模式的建構能力，發展可以自行研發改進的氣候系統模式，提供學研界進行氣候變異與變遷研究；
- (2) 利用模式評估研判氣候變遷對東亞氣候與季風、台灣極端天氣（如颱風、豪雨、乾旱等）的可能衝擊。

工作項目包括：

- (1) 建構一套國內可以自行修改研發的地球系統模式群組：全球地球系統模式、高解析度（小於 20 公里）全球大氣模式、超高解析度區域模式；
- (2) 改善引進之模式群組的物理參數化，建構台灣氣候模式系統；
- (3) 利用模式評估自然與人為氣候變遷對極端天氣與氣候的衝擊；
- (4) 建立氣候變遷對極端天氣與氣候衝擊的評析與推估能力；
- (5) 建立氣候變遷模擬平台與資料庫；
- (6) 參與台灣氣候變遷科學報告之撰寫。

本計劃將建構一套氣候變遷模式群組，所採取的策略為引進國外表現優良的模式，改善模式中的物理參數化與模組，使之成為國內可以自行研發改進的社群氣候模式，並提供學界與作業單位使用。此一模式群組將被用來進行研究目標 2 與 3 的極端天氣與氣候研究，發展偵測與歸因技術，建立國內評析與推估氣候變遷對極端天氣與氣候衝擊的能力。模式群組建構說明如下。

### 1. 地球系統模式

本計劃將引進美國國家大氣研究中心 (National Center for Atmospheric Research) 所發展的 Community Earth System Model 第一版 (CESM1)。該模式有 NCAR 長期發展團隊的支援，模式說明完整，程式架構清楚精簡容易了解與修改。本計劃將針對該模式進行下列工作：

1. 評估其對流、邊界層、地表過程、輻射、雲微物理等參數化模組，進行必要的修改，或以自行發展的模組取代，2. 以自行研發的氣膠/雲微物理模組取代 CESM1 的模組，3. 評估該模式的海洋模組的表現，以新的海洋模組取代。

### 2. 高解析度全球大氣模式

本計劃將引進美國 Geophysical Fluid Dynamics Laboratory 所發展的 High Resolution Atmospheric Model (GFDL HiRAM)，該模式為台灣旅美科學家林先建博士一手建立，模擬劇烈天氣系統（如颱風）的能力甚佳 (Chen and Lin [1])。本計劃將與林博士密切合作進行下列研究：1. 偵測與歸因研究，2. 極端天氣統計特性變遷模擬，3. 氣候變遷“時段切片(time-slicing)”模擬，提供高解析度資料評估本地氣候變遷，或作為降尺度之用。

### 3. 區域模式 (WRF 與 CReSS)

本計劃將利用國內普遍使用的 NCAR WRF 區域模式以及名古屋大學發展的 CReSS 區域模式進行下列研究：1. 偵測與歸因研究，2. 極端天氣事件（颱風與豪雨）模擬，3. 利用時段切片模擬結果進行極高空間解析之降尺度模擬，4. 評估本計劃發展的參數化模組在此二模式的適用性，經過測試後，取代原模式之參數化模組。

## 三、氣候變遷研究聯盟架構

氣候變遷研究聯盟由以下四個團隊組成，計畫架構如圖一所示。

1. 總計劃：氣候變遷實驗室（中央研究院環境變遷研究中心許晃雄研究員召集）。研究項目：
  - (1) 推動研究聯盟的研究匯集中心 (research hub)，建立研究合作平台，激勵研究創意與能量，整合研發成果；
  - (2) 氣候模式群組之建置與改善；
  - (3) 氣候變遷“時段切片(time-slicing)”模擬；
  - (4) 全球氣候與東亞季風變異／變遷之模擬與分析；
  - (5) 西北太平洋颱風活動內部變異度及降尺度動力模擬；
  - (6) 氣候模擬與資料平台之建置與維護，提供社群氣候模式與氣候變遷資料；



圖一 計畫架構 (括號中數字代表負責之計畫)

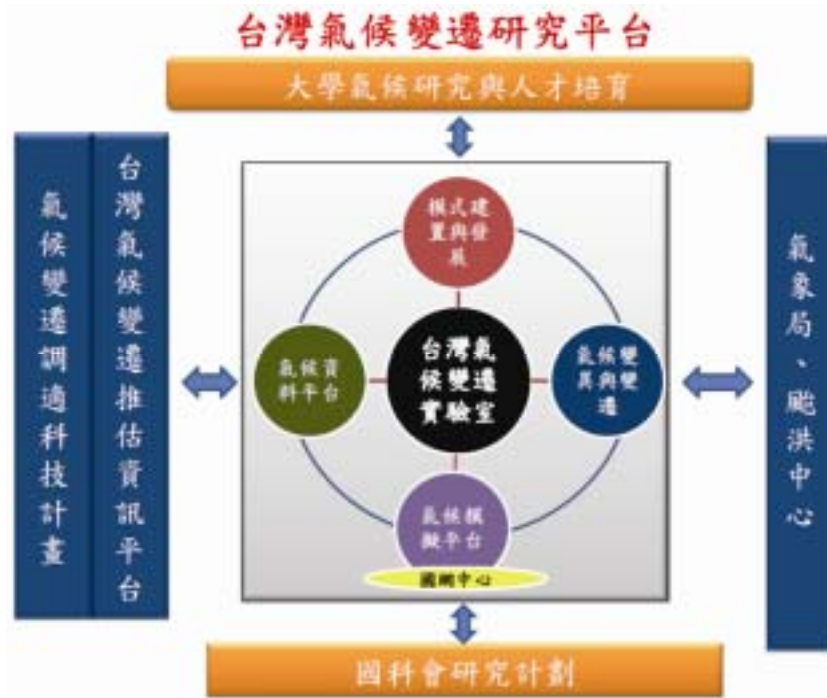
- (7) 參與台灣氣候變遷科學報告之撰寫；
- (8) 推動國際合作與人才培育計劃。
2. 子計劃一：氣膠與氣候團隊 (台灣大學大氣科學系陳正平教授召集)。研究項目：
  - (1) 雲參數法之發展；
  - (2) 氣膠參數法之發展；
  - (3) 雲與氣膠交互作用參數法之發展：模式為全球氣候模式 CESM 與區域氣候模式 WRF—Chem。
3. 子計劃二：區域模式團隊 (中央大學大氣科學系林沛練主任召集)。研究項目：
  - (1) 輻射參數化與輻射、雲、氣膠交互作用處理方案之改進；
  - (2) 以偏極化雷達觀測校驗區域氣候模式之物理過程，再進行降水雲物理參數化方案之評估與改進；
  - (3) 高解析度土地利用與植被資料建置與模式地表過程處理之更新；
  - (4) 發展區域海氣耦合模式 (考慮海面波動之效應)；
  - (5) 海氣耦合不穩定度對颱風模擬之影響。
4. 子計劃三：偵測與歸因團隊 (臺灣師範大學海洋環境研究所陳正達教授召集)。研究項目：
  - (1) 評估過去百年人為的溫室氣體排放與其暖化作用對極端天氣系統結構與強度是否已

造成可分辨的影響，並以範圍與發生或然率的方式表現其對極端天氣系統的強度以及降雨量變動的作用；

- (2) 比較氣候變遷影響區域極端天氣系統降水變化的各種物理過程 (大尺度環流場、水氣場、地形效應與暖化環境等) 所扮演的角色，並量化個別過程的相對重要性；
- (3) 應用與評估高解析度區域氣候模式，模擬研究人為的溫室氣體排放與其暖化作用對區域颱風與其他極端天氣與氣候指標發生頻率是否已造成可偵測的影響。

#### 四、國內的分工合作

氣候變遷科學研究不是單一單位或計劃有能力完成的工作，而是需要國內各相關單位的密切分工合作。國內學研界與作業單位也進行氣候變遷相關研究，為強化國內氣候變遷科學研究的整合程度，本計劃提出臺灣氣候變遷研究平台的概念 (圖二)。該平台是一個虛擬平台，目的為整合國內的氣候變遷科學研究的研究能量與成果。氣候變遷實驗室將扮演氣候變遷研究匯集中心角色，提供氣候研究服務與促進研究成果交流與合作，目的為有效整合國內有限的研究能量，做出實際有用且可以跨足國際的氣候研究成果。在該平台中，氣候變遷實驗室將扮演基礎與



圖二 台灣氣候變遷研究平台示意圖

應用研究的上游角色，目的為社群氣候模式群組與氣候變遷資料平台的建構、發展與維護，結合學研界提升國內氣候變異變遷的研究能量與成果。本計劃將與學研界共同擬訂氣候變異模擬與變遷模擬策略，與國網中心合作，利用剛建置完成計算量高達 170TF 的計算機，進行個人計劃與一般整合計劃無法進行的大規模氣候模擬與推估計算。本計劃所產出的社群模式群組與資料，將結果透過國科會自然處「氣候變遷模擬與資料平台」主軸計劃，提供學研界（如國科會一般研究計劃與主動推動之氣候變遷相關計劃、颱洪研究中心、大學研究中心等）與作業界（如氣象局）使用。本計劃也將透過與各大學合作設立的學程以及短期訓練課程為台灣的氣候變遷研究培育人才。

### 五、預期綜合效益

「氣候變遷研究聯盟-氣候變遷實驗室」主軸計劃執行期間為 100 年 8 月至 105 年 7 月，預期綜合效益：1)完成地球系統模式的改進，台灣地球系統社群模式群組之建立，建構與提升國內

氣候模擬能力，台灣將成為有能力發展地球系統模式的國家之一；2)完成氣候變遷資料平台之建立，典藏氣候變遷推估資料與重分析之氣候變遷資料，提供學界穩定的資料服務，提升國內氣候變遷研究效率；3)提供高解析全球時段切片氣候變遷模擬資料，作為降尺度研究推估台灣氣候變遷與衝擊評估所需之資料，以便進行更細緻的氣候變遷衝擊之風險評估。

### 參考文獻

- [1] J.-H. Chen and S.-J. Lin, *Geophys. Res. Lett.*, **38**, L11804, doi:10.1029/2011GL047629 (2011).
- [2] J. Hurrell, G. A., Meehl, D., Bader, T. L. Delworth, B. Kirtman and B. Wielicki, *Bull. Am. Meteor. Soc.*, **90**, 1819 (2009).
- [3] M. Shapiro *et al.*, *Bull. Am. Meteor. Soc.*, **91**, 1377 (2010).
- [4] J. R. Shukla, B. Hagedorn, N. S. Hoski, J. Kinter, J. Marotzke, M. Miller, T. Palmer and J. Slingo, *Bull. Am. Meteor. Soc.*, **90**, 175 (2009).