

全球變遷與生態研究的回顧與展望

(國立臺灣大學海洋研究所 戴昌鳳教授)

一、前言

地球是個不斷變動的系統，自從四十餘億年前形成以來，一直都在變動之中，包括陸地、海洋、氣候和生物，在地球歷史上都歷經數次重大的變遷。地球環境的變遷對生存於其上的生物有重大影響，在地質年代中，生物的興起和滅絕，甚至人類文明的興衰，都與地球環境的變遷有密切關係。最近一百餘年來，也就是工業革命以後，氣候變遷的速度更為快速，而且，氣候異常現象如乾旱、洪災、風災等的發生也愈來愈頻繁。在氣候變遷的過程中，如何維繫生態系統的正常功能，以保障人類社會的永續和福祉，正是現今生態學研究的主要目標。

地球生態系統是人類及其他所有生物賴以維生的系統，它提供給人類的服務包括食、衣、住、行、育、樂等各方面的資源，我們所利用耗費的資源，幾乎都是由地球生態系統所提供。影響地球生態系的因子很多，包括自然和人為引起的改變，例如食物網的交互作用、生地化循環、外來種入侵、大氣化學組成、氣候異常、干擾、土地利用及水資源等，而且上述這些改變往往涉及地區至全球的尺度。

在氣候變遷過程中，生態系統的反應主要是：(1) 動物和植物分布範圍改變，(2) 生態系統的過程改變，(3) 對物種和群聚的連鎖影響。此外，生態系變遷對社會及經濟的影響也是必須考慮的問題。即使是地區性的環境變遷，也會導致生態系統的改變，因而影響它提供給人類利用的資源和服務，這些現象在最近數年非常明顯，而且頻繁發生，例如：動植物的區域性滅絕或分布範圍改變，植物生長期延

長或開花週期異常，珊瑚白化及死亡等。

環境變遷所引起的生態效應，往往超乎我們的預期，例如氣候暖化可能使某些樹種的生長季節延長，但是病蟲的危害也可能因而延長，致使整個森林的生產力降低。海洋溫度或鹽度的些微改變，可能使某些魚類的分布範圍及族群大小產生反應，進而影響漁獲或漁產量。因此，環境條件的小改變，可能導致長期而久遠的效應，使生態系的功能產生變遷。

在全球變遷的趨勢及人口成長的壓力下，我們必須對氣候變遷影響生態系的機制有更清楚的瞭解，才可保障生態系的功能及其對人類的服務。生態系統功能的維持，有賴於對生態系統組成、結構和功能的瞭解，也就是對於生物多樣性和生態系運作模式統的瞭解。在全球氣候變遷加劇的現代，世界各國都投入相當可觀的人力和經費於相關研究上。本文簡介國際間在氣候變遷研究中，關於生態學的研究現況及趨勢，並討論國內的相關研究與未來發展。

二、美國全球變遷研究計畫 (USGCRP) 的生態系變遷研究

USGCRP 支持的生態系統研究重點為：

- (一) 在不同時間和空間尺度之下，自然和人為引起的變遷如何影響生態系的結構、功能及其對人類的服務？
- (二) 在未來區域性和全球性環境變遷的影響下，人類社會應該採取何種措施，以保障生態系統的資源和對人類提供的服務？在上述二項重點之下的研究內

容包括：生態系統的構造和功能、營養鹽循環、碳循環，以及氣候變遷影響生態系統的過程等。

在 2003 年，USGCRP 的總經費為 2 億 1 千萬美元，主要用於瞭解生態系統的變遷過程和觀測。其所列舉的三大長期研究主題為：

1. 環境中的自然和人為改變，如何影響生態系的結構功能及服務，這些影響包括不同時間和空間尺度的交互作用。
2. 在氣候變遷模擬情境下，生態系的模擬和預測，如何提供適當的因應策略？
3. 在全球變遷的衝擊之下，如何採取適當的做法以保障生態系的功能及對人類的服務。

而在未來 10 年，生態系研究的目標則是：

1. 增進人類對生態系結構與功能、生地化循環及生態系經營管理的瞭解。
2. 瞭解全球變遷對生態系的可能影響。
3. 在氣候變遷模擬情境下，如何維持或增進生態系的功能及其對人類的服務？
4. 在不同時間和空間尺度之氣候與生態系交互作用的模式下，如何為決策者提供更佳的資源和訊息？
5. 確認關於氣候變遷的基礎知識、必要訊息和不確定性，以供決策者應用。

關於生態系統的研究經費，USGCRP 在 2003 會計年度，共投入 210 百萬美元，其中 119 百萬美元用於科學研究，包括：NSF 的 30 百萬美元，NASA 的 29 百萬美元，USDA 的 26 百萬美元，USGS 的 15 百萬美元，DOE 的 14 百萬美元，NHE SI 的 4 百萬美元；另外，在太空觀測氣候變遷方面，NASA 共投入 91 百萬美元。

USGCRP 在 2003 年的主要研究計畫有：

1. 生質量燃燒 (biomass burning) 及工業排放對生態系統功能的衝擊。
2. 降水量改變或異常對森林生態系的衝擊評估。
3. 高山植物多樣性變遷的監測。
4. 生態系及生地化循環的交互作用。
5. 二氧化碳濃度增加對草原生態系的衝擊。
6. 生態系涵容二氧化碳能力的研究。

在 2004 及 2005 年 USGCRP 的研究主題則為：

1. 全球氣候變遷和生態系統的主要回饋機制是什麼？如何量化其間的關係？
2. 全球變遷對生態系統的潛在影響是什麼？
3. 在未來全球變遷情境下，如何維持或增進生態系統的功能？在全球變遷影響下，生態系統的反應為何？此外，生態系變遷對社會及經濟的影響也是必須考慮的問題。

三、全球變遷中的生物多樣性研究

(一) 國際生物多樣性大會 (International Convention on Biological Diversity)

國際生物多樣性大會所訂定的 2010 年生物多樣性研究目標為：

- (1) 減低生物多樣性各層次的消失速率，包括：(i) 生物群系 (biomes)、棲地和生態系的多樣性，(ii) 物種和族群多樣性，(iii) 遺傳多樣性。
- (2) 促進生物多樣性的永續利用。
- (3) 研究生物多樣性的主要威脅，包括：日益增加的外來種入侵事件、氣候變遷、

污染及棲地改變。

- (4) 維持生態系的完整，以及生物多樣性提供給人類使用的資源和服務。
- (5) 保護人類的傳統知識、發明及操作方法。
- (6) 保障遺傳資源應用利益的公平合理分享。
- (7) 動員經濟和技術資源，以幫助開發中或經濟轉型中國家落實生物多樣性保育目標及策略。

(二) 「全球氣候變遷與生物多樣性大會」

在 2003 年於英國 University of East Anglia 召開的「全球氣候變遷與生物多樣性大會」討論了下列研究主題：

- (1) 全球變遷對植被影響的模擬及植被脆弱性分析：也就是發展數學模式，以預測氣候變遷及大氣二氧化碳濃度升高對全球植被的衝擊。
- (2) 全球氣候變遷對生物多樣性衝擊的模擬及調適策略：主要針對全球尺度的生物群系變遷及其相對應的生物多樣性衝擊。
- (3) 變動環境中的森林和草原生態系動態：探討氣候變動和火災對森林和草原的影響。
- (4) 氣候變遷對東南亞生物多樣性的衝擊：本區是世界生物多樣性最高的地區，約有全球 20~25% 物種，也是人口密集區，氣候變遷對生物多樣性的影響備受關注。
- (5) 氣候變遷與亞馬遜森林的生物多樣性：亞馬遜河流域的熱帶雨林是全球生物多樣性熱點之一，已有許多模式被提出，以預測氣候變遷對該區生物多樣性的影響。
- (6) 氣候變遷、海洋過程及浮游生物系統的改變：海表水溫升高會改變海洋溫鹽環流，也會對浮游生物的種類組成、群聚結構及食物網等造成影響。
- (7) 氣候變遷與漁業：漁業行為是使海洋生物資源減少的原因之一，魚類也是提供人類蛋白質的來源之一，氣候變遷可能會影響魚類的分布和族群量，對漁業造成影響，尤其是許多洄游性魚種會受到更大衝擊。
- (8) 氣候變遷與南極海洋生態系：南極海洋是全球海洋生產力集中的海域之一，這個生態系也在不斷變遷之中，氣候暖化可能對南極海洋造成重大的影響，進而衝擊全球的生態平衡。
- (9) 氣候變遷對北極植被的影響：根據估計，極區的溫度在本世紀將上升 2.6°C，降雨量也將增加，這些都會改變植被。
- (10) 北澳洲雨林的生物多樣性氣候變遷：北澳洲的雨林是生物多樣性豐富地區，也是世界襲產之一，氣候變遷對此區的特有種影響尤其深遠。
- (11) 氣候變遷及棲地碎裂化：溫度升高會改變植被分布，往往導致棲地碎裂化，棲地減少或消失則對生物多樣性有重大影響。
- (12) 氣候變遷與珊瑚礁：伴隨著氣候變遷的環境因子改變，包括氣溫升高、海平面變遷、大氣二氧化碳增加及暴風頻率的改變等，都可能對珊瑚礁帶來衝擊，而珊瑚礁是海洋生態系中的重要棲地，其破壞將會導致海洋生態系的失衡。
- (13) 氣候變遷及海平面變動對紅樹林生態系的衝擊：紅樹林是熱帶至亞熱帶河口及沙泥海岸的重要生態系，其對維持生物多樣性非常重要，氣候變遷可能改變紅樹林棲地和生物群聚組成。

(三) IPCC

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 指出的研究主題有下列各項：

- (1) 加強對於生物多樣性與生態系結構、功能之間相互關係的瞭解，以及瞭解在碎裂棲地之間的生物族群擴散和遷移作用。
- (2) 增進瞭解氣候因子及環境壓迫改變對生物多樣性的影響。
- (3) 發展合適的氣候變遷與生態系模式，以預測氣候變遷在不同時間及空間尺度上，對生物多樣性的衝擊。
- (4) 增進瞭解在區域和地區性尺度上氣候變遷的衝擊和調適策略。
- (5) 發展評估方法、標準及指標，以便具體評估氣候變遷對生物多樣性的衝擊和永續發展策略。
- (6) 鑑別對氣候變遷調適有效的生物多樣性保育或永續利用的行為和政策。

四、國內氣候變遷與生態研究

國內關於氣候變遷的生態研究分別由國科會、農委會及環保署支持。在全球遷遷研究的熱潮中，台灣地區學者也做了不少相關研究。其中，計畫規模最為龐大、參與人數最多的當屬台灣長期生態研究；另外，農委會也曾經支持過一些關於氣候變遷對農林漁牧業衝擊的研究；由環保署支持的「氣候變化綱要公約國家通訊衝擊調適資料建制－氣候、水文、生態部分」則自 2002 至 2004 年，共進行三年，針對不同時間尺度（短、中、長期）氣候變遷預測，評估其對陸域及海域生物的影響。

(一) 台灣長期生態研究 (Taiwan Long Term Ecological Research, 簡稱 LTER)

國科會與各大學、研究機構及國家公園管理處合作，於 1992 年創設了「臺灣生態研究網計畫」，以瞭解臺灣重要生態系的長期生態現象與過程；迄今已陸續設置了五個試驗地，致力於長期生態學研究 (Long-Term Ecological Research, LTER)。

臺灣生態研究網計畫乃依據生態重要性、實際限制（如研究人員與研究經費），以及生態與環境議題的順位與急迫性而設置。其主要焦點為蒐集生態系的生產力、多樣性、結構、功能與過程、穩定性與動態學等資料及資訊，同時也注重各種干擾力（如自然沖蝕、颱風、季風、污染與土地利用等）對試驗地的生態系所造成的影響。所有研究結果可增進我們對臺灣生態系的瞭解，並藉以建構生態模式，進而預測及補救受到干擾的自然環境。此外，該計畫也可提供生態系永續經營的科學資料，並作為政策研擬的參考。總括此研究計畫的一般目的如下：

- (1) 了解生態系動態學之現象、過程與機制；
- (2) 研究自然與人為的主要干擾對生態系動態學的影響以及生態系的反應；
- (3) 鑑定生態過程，藉以探討環境變遷；
- (4) 提供具科學根據的資料給決策者，作為研擬環境政策之參考；
- (5) 長期生態研究試驗地可供作自然教育的資源，培育下一代的生態學者；
- (6) 研究成果可作為各級學校的生態課程材料，尤其是亞熱帶森林生態學的田野資料；
- (7) 藉研討會及國際資訊網與其他生態試驗地來共享研究概念與基本資料；
- (8) 促進與其他生態試驗地之科學家進行學術合作研究。

國科會生物處於 1992 年開始推動「長期生態研究」之群體研究，並核定福山、關刀溪、鴛鴦湖、南仁山及塔塔加等五個研究站，以進行長期生態研究。另外，中央研究院植物研究所則支持進行鴛鴦湖長期生態研究。其中，福山森林生態系統為典型的台灣東北部中低海拔溫暖多溼的常綠闊葉林森林生態系，也是人為干擾比較頻繁的生態系。關刀溪森林生態系位於台灣中部，主要研究區為關刀溪集水區的一處闊葉林，以集水區(約 50 公頃)為單位，長期監測集水區的水文、養分收支，而其他生態系過程可在集水區內或相鄰地區以小試區的方式進行研究。南仁山森林生態系位於墾丁國家公園最精華的部份，為台灣地區僅存的低海拔原始森林，並受東北季風的影響甚鉅。鴛鴦湖自然保留區為農委會所規劃的自然保留區之一，鴛鴦湖為一後天形成的中高海拔湖泊，湖水帶酸性，其生態系可分為湖水、沼澤和森林等三類型態區。中央研究院植物研究所團隊於 1992 年開始進行該生態系的研究。塔塔加高山生態系位於海拔 2,500 公尺至玉山之 3,952 公尺，由高山寒原、高山草原、高山針葉樹林、副熱帶闊葉樹林等構成，為台灣高海拔植群之代表性地區，在高山生態系結構組成或功能受大氣或非生物因子的回饋研究上，塔塔加代表台灣高山生態系在國際 LTER 網路上的重要地區之一。上述各陸域長期生態研究的規模，可謂相當恢弘，然而，在國科會審查制度的運作機制下，多數研究計畫陸續無法獲得補助而告終止，目前僅有少數計畫在延續中，幾乎已失去長期生態研究的原有規劃用意。

1. 海陸交互作用研究

海岸地區海陸交互作用研究 (LOICZ)，在氣候變遷生態研究中，佔了相當重要的地位。不僅因為海岸或河口地區是人口密集、工商發達的地區，而且這些地區也是對氣候和海

平面變遷最敏感的地區。台灣地區歷年來執行過的海陸交互作用研究計畫，包括淡水河口生態系研究計畫、曾文溪口海岸地區陸海交互作用之研究計畫、七股潟湖生態系研究計畫、高屏溪河口生態系研究計畫等，其研究目標都是在於瞭解該生態系統的運作模式。

2. 海域長期生態研究

台灣南部墾丁國家公園的熱帶珊瑚礁生態系為海洋生物多樣性最豐富的海域，然而此一生態系正面臨過漁、棲地破壞、沉積物、廢水排放、優養化、油污染、珊瑚白化等威脅，使該海域的珊瑚礁生態系正遭受巨大衝擊。墾丁珊瑚礁海域長期生態研究為台灣第一個海洋長期生態研究計畫，於 2001 年由國科會及內政部的支助下開始推動。其目標為經由長期深入地監測研究，探討人為及自然因素對墾丁珊瑚礁生物群聚及生態系造成變動的機制，其最終目的在使墾丁珊瑚礁生態可以逐漸回復而得以永續利用。國科會支助的 LTER 計劃內容包括水文、水質、浮動、珊瑚、十足類、海藻、海草、仔稚魚、成魚，由來自七個研究單位二十餘位研究同仁參與，本群體計畫目前正在進行第二期三年的生態研究。

3. 國家生物多樣性研究推動計畫

生物多樣性研究在國內學者的積極推動之下，2001 年行政院通過「生物多樣性推動方案」，2003 年行政院科技顧問室核定「國家生物多樣性研究推動計畫」，並由台灣大學生命科學院院長林曜松教授負責執行本推動計畫。本計畫規劃有七大重點領域，分別為：(一) 建構及整合國家生物多樣性資料庫，(二) 編撰台灣各類動物、植物與微生物誌，(三) 加強物種基因遺傳多樣性之保育研究，(四) 鼓勵農業生物多樣性與生物安全研究，(五) 健全生物資源監測系統，(六) 加強入侵種研究與管理，(七) 海洋生物多樣性與濕地保育研

究。均為落實行政院永續會「生物多樣性行動計畫」之重點項目，以及行政院永續會生物多樣性分組所議決之優先重點目標。本推動計畫目前（2004 年）正在執行中，原擬進行多年期研究，但是目前並無經費可支持下年度的研究計畫。

五、回顧與展望

國內的氣候變遷生態研究發展至今，顯現出數個問題：

1. 缺乏長期整體規劃：氣候變遷的生態衝擊和生物多樣性都是需要長期經營的研究，然而在國內審查制度之下，往往成為短期計畫。以「台灣長期生態研究」為例，當初係由周昌弘院士發起，動員國內眾多生態研究人員，宣示要做「長期生態研究」，但是大部分研究站在三或六年之後就草草結束，主要原因是計畫評審未能過關，在此情形下，實在很難獲得具體的研究成果。此外，群體計畫的整體規劃和執行也是一大問題，生態系群體研究的目的是在於瞭解該生態系的結構與功能，每個 PI 的研究成果必須能充分整合，才可貢獻於整體生態系的瞭解，也就是所有子計畫必須依循一個整合的架構去蒐集資料及綜合分析，然而多數群體計畫可能並未依此方式進行。
2. 人才缺乏：研究人員不足是台灣生態和生物多樣性研究的重大困境，許多生物類別無人研究，國內無專家可諮詢，也無典藏系統，這種人才不足的困境，在進行整合生態系統研究時，往往寸步難行。除了分類人才之外，生態模式或模擬的人才也極缺乏，使得資料難以整合。

3. 地區性氣候預測模式短缺：在進行氣候變遷的生態衝擊研究時，通常需要 5~10 公里網格的氣候預測資料，然而目前國內仍少有相關降尺度研究，缺乏小尺度的地區性預測模式，因此在進行相關研究時，往往延用全球尺度的預測資料，在此尺度下，台灣大約只有 2~4 個網格的資料可供利用，嚴重影響生態預測或評估模式的準確性。

上述困境是台灣進行氣候變遷生態研究亟須克服的問題，若能克服國內的相關研究才能獲致進展。由於台灣地區的資源有限，人口密集、工商業高度發展，環境所承受的壓力很大，由於我們的環境涵容力小，在全球氣候變遷浪潮中，更顯得十分脆弱，氣候變遷勢必帶來更大的衝擊。為了台灣地區生態資源的永續發展，亟須積極進行氣候變遷的生態衝擊研究，並研擬適當的調適策略或採取因應措施，以減輕氣候變遷的衝擊。

參考文獻

- Gitay H, Suarez A, Watson R, Dokken DJ, 2002. Climate change and biodiversity. IPCC Technical Paper V, 74 p.
- Green RE, Harley M, Miles L, Scharlemann J, Watkinson A, Watts O, 2003. Global climate change and biodiversity. Tyndall Center for Climate Change Research, Bedfordshire, U. K.
- US Global Change Research Program: <http://www.usgcrp.gov/>
- 台灣長期生態研究網 <http://lter.npust.edu.tw/>
- 國家生物多樣性研究推動計畫 <http://ms.ntu.edu.tw/~biodiversity/npbiodiv/index.htm>

