

從「生物多樣性」到「生物複雜度」—研究趨勢、 學科整合與人才培育

楊仁理^{1,2} 楊永光¹

¹ 台北縣立安和國小

² 教育部環境保護小組

(投稿日期：91年11月27日；修正日期：92年2月25日；接受日期：92年5月3日)

摘要

當我們面對嶄新世紀的來臨，一腳跨過千禧年的門檻，回首世代新舊交迭之際，十餘年來國際間興起了維護「生物多樣性」的自然保育思潮，與晚近探究「生物複雜度」研究趨勢的譏議，正風起雲湧地推向世界各地，期望透過嶄新的思考向度、突破傳統的知識結構及運用精密的分析技術，去面對並釐清接踵而至的社會、經濟與自然環境之間錯綜複雜的問題。當然，世人都想保有、享用自然資源所帶來的利益，並達到永續發展的終極目標，此非由教育、研究及保育的手段不能竟其功，因此，「如何針對當前國際的環境政策思潮、擬定相關的研究方向、規劃跨學門的人才培育工作？」無疑是我們所面臨的重大責任與挑戰。本文乃在探討我國為因應「聯合國二十一世紀議程」，所提出的「國家永續發展行動計劃」中有關「生物多樣性」及「生物複雜度」的實際意義與發展面向，並參考由美國國家科學基金會所提出的最新研究趨勢與具體計畫，期盼能尋找出我國對是項議題的研究規劃、學科整合及人才培育上之新方向。

關鍵詞：永續發展、生物多樣性、生物複雜度、學科整合、人才培育

壹、緒論

回溯至 1970 年代，聯合國人類環境會議在瑞典舉行，當時世界有識之生物、生態及環境保護學者，普遍感受到「生物多樣性」所面臨的壓力，於是共同發布了「斯德哥爾摩宣言」。自此地球上生態保育的責任便與環境正義的道德原則畫上等號，期望藉由共同擬定決策，透過有效的經濟制裁措施，以喚起地球村的每一份子對保護「生物多樣性」的重視並實際參與。歷經了三個十年的演遞，已然使是項保育觀念（無論認知程度

的深或淺)成爲各個學術研究領域眾所周知的流行議題。

「生物多樣性」究其本質而言，是一項涉及經濟發展、社會現象及環境維護的複雜議題 (McMahon et al., 2001)。各國政府、學界及民間團體莫不大力推動；身爲地球村一份子的台灣當然也不能置身於外，於是「生物多樣性」的研究、探討及維護便成爲學術界所關切的焦點。美國普林斯敦大學的學者 Simon Levin 點出這個概念的核心問題---我們如何量化「生物多樣性」？如何紀錄？能夠扼要地列出所有物種？是否考慮到物種在遺傳上的多型性？諸如此類的種種疑問，在在說明大自然界中動、植物種內與種間有著莫測高深的複雜關係。而這些存在於生物之間的交互作用，便須藉由各種不同尺度的「生物複雜度」研究加以探討、釐清 (Dybas, 2001)。

貳、「生物多樣性」的發展與變數

1992 年於巴西里約熱內盧召開地球高峰會議迄今已超過 182 個國家與經濟體簽署「生物多樣性」公約，希望藉以保護地球上饒富價值的自然資源，及其間所蘊含驚人數量、高度歧異的動、植物種。但是「生物多樣性的真義爲何？」、「我們擁有哪些的生物多樣性優勢？」、「失去生物多樣性有何後果？」、「如何維護生物多樣性？」及「生物多樣性的教育工作如何推展？」等疑問仍普遍存在世人的心中。時至今日，因爲缺乏經費的關係，只有不到 40 個締約國實施保育的策略 (conservation strategy) (Jame, 2002a)；相對地，人類也因著生活水準漸次提高，對生物資源的掠奪益發變本加厲。根據世界保育聯盟 (World Conservation of Union) 的估算，隨著棲地的瓦解或退化，超過 800 個物種已經消失、11,000 個物種正面臨絕種的威脅。舉例來說，全世界擁有 1,000 多個香蕉品種，但由於跨國青果公司的要求，農人必須遵照指示實行單一栽培 (monoculture)，此舉即可能導致香蕉品系歧異度的降低 (Jame, 2002b)。除此之外，相較於十年前地球峰會時的景況，大量的基因食品 (動、植物性)、複製人類與動物的挑戰充斥學界及市面，可能對人類造成若干潛在的威脅。如此一來，更爲上個世紀末的「生物多樣性」保育思潮增添了許多未可知的變數 (Carey & Wilson, 2001; Mainwaring, 2001)。

參、「生物複雜度」的內涵

環境議題興起的鐘聲響起，我們所見所聞盡是生態系罹病、全球氣候變遷及「生物多樣性」喪失等噩耗。自然界所帶來的挑戰尙待研究學者作全面性、有系統的檢視。生物之間動態的網絡常是令人感到驚訝，端賴「生物複雜度」(Biocomplexity) 的分析與探討才能解釋 (Colwell, 2001a)。但也因爲自然界的因果常是非線性的關係且難以預測，生物間存在的複雜程度便不易藉由簡單的實驗研究加以釐清。不過，研究的契機仍不斷地崛起，故「生物複雜度」唯有透過科學家的努力及許多學門爭取時間、空間的研究來了解，以下是研究衍生的問題：

1. 生態系中的生物成員如何面對緊迫 (stress) 與如何去適應？
2. 在變動的環境中，生物具有適應與預知的能力？

3. 氣候變化如何透過營養的階層影響物種的分佈範圍？
4. 我們能否預測氣候對社會、經濟層面所引發的效應？
5. 物種、遺傳及文化上的多樣性如何影響整個生態體系的永續性？

美國國家科學基金主席 Rita Colwell 表示：「我們很幸運擁有先進的技術使『生物複雜性』的研究得以有長足的進展，如基因的排序、DNA 晶片、快速的計算機分析、微細科技（奈米技術）、精密的生物探測儀器、生態監視系統及海陸衛星影像基座（如地理資訊系統，GIS）」（Colwell, 2001b; Dempsey, 2000）。雖然單獨或為數較少的科學家整合生物學與環境科學，企圖探討特殊的環境問題；然而，想要解決範圍較大的問題則有賴大尺度、垂直及水平向度的整合，諸如此類的研究團隊非單單靠著生物學的專長即可完成，勢必涵蓋水文學、地理學、地球化學、海洋學、古生物學、氣象學、物理學、系統工程、經濟學、數學及電子計算機科學等，方能探討細微如次分子到廣大如氣候變遷的自然現象（Dybas, 2001; Colwell, 2000）。

1999 年美國國家科學委員會公告將資助學術界 5,000 萬美元，提供有關生態系中「生物複雜度」的研究，其補助的領域包括培育性計畫及整合型研究，詳細的訊息可由（www.cnie.org）與（www.nsf.gov/pubs）網站中查詢得知（Brainard, 1999）。傳統上，科學家多僅針對一、二個向度（或變項）的操弄來探討生命現象。近十年來，以「生物多樣性」為研究主題的學者，亦各自專注於微小至基因層次、龐大如生態系的屬性研究，為地球上的自然資源建立可觀的基礎資料。然而「生物複雜度」著重於發展橫跨時間、空間及單純既定限界（如微棲地或稱小生境，niche）的嶄新模式，此舉便可運用過去累積的自然資源素材，賦予有意義的連結，探究自然資源生態存在的意義與價值，進而對資助可觀研究經費的普羅大眾（科學研究經費往往是由國家的稅收所支應）提供資源「永續發展與利用」的契機與方向，這便是當今自然資源保育思潮所極力強調---「生態之社會服務」的概念。

肆、「生物複雜度」的研究趨勢

在此我們將透過幾個實際的例子來釐清「生物複雜度」的概念，在說明之前，先要強調何者不是「生物複雜度」---此概念不是簡化科學的代名詞，其高度的整合方式與過程是必然的現象。此外，科學家不能逕自詮釋「生物複雜度」的癥結所在，究其原因乃在其具有高度的複雜性，必須仰賴諸多學科的整合（Merivis et al., 2000; Michener et al., 2001）。話雖如此，大多數的科學家往往受到研究經費的限制，致力在各自領域中簡化並降低其實驗的複雜程度。

以下透過幾個成型的研究及實證，說明「生物複雜度」的研究規模及屬性：

【研究一】

1999 年「生物複雜度」的第一個計畫著眼於微生物（包括藻類、原生動物、黴菌）與生物學、化學、地理學、物理學及社群之間的交互作用，嘗試去探索微生物結構與控制的複雜系統。其細項計畫可分為以下幾個部分：一、根瘤菌、植物及土壤資源在碳循

環與營養傳遞的交互作用中角色的扮演；二、海洋的固氮作用與全球氣候的因果關係；三、共生菌的生態分析與其基因組織整合的研究；四、以細菌結合電腦模擬技術去定義、控制複雜度的發展演進（Michener et al., 2001）。

【研究二】

Niklas & Enquist（2001）研究顯示植物的成長率與體型之間的關係，以此研究為例說明結合複雜的資料並透過不同尺度的解析，使得生物與其體型之間的交互影響成爲可預測。

【研究三】

Pascual 與同事研究的結果，顯示太平洋暖化（聖嬰現象-南方震盪，*El Nino-Southern Oscillation*，*ENSO*）與霍亂疫情的爆發關係密切，他們使用了精密繁覆的數理模式，套用於來自海洋學與人類流行病學的資料以求得其中的相關性（Michener et al., 2001）。

這三個案例都說明藉由跨學科、領域的研究，跳脫了既有的思考模式，用創新的方法來探討「生物複雜度」，從難以捉摸又微妙精細的相互依存關係中探究資源永續發展的立論根據，更加說明了大規模的學科整合與打破單科學術研究藩籬的重要性。

【實證一】

萊姆病（Lyme disease）的爆發爲何與橡實（acorn）有關？事實上，是一個已經證實的確切例子。當橡樹結實纍纍時，鹿群會出現以之爲食，鹿群踏伐時所抖落的扁虱便增多，促使萊姆病增加。科學家現在可由橡實的產量多寡，預測萊姆病爆發的週期（Dybas, 2001）。

【實證二】

一個半世紀以來，美國大西洋的喬治亞灣一直被新英格蘭漁民稱爲「麵包籃」（breadbasket），90年代早期漁業資源幾乎被開發殆盡，想要洞悉「生物複雜度」便可由漁業管理與海洋生態的基礎研究著手。海洋動力學的追蹤探討海洋物理如何與海洋生態產生關聯。美國國家海洋暨大氣總署套用數理模式的解析，直接在喬治亞灣管理沿岸的扇貝資源，藉由預測扇貝產季及幼貝的撫育場所，訂定出捕撈成貝的漁期，以確保資源的永續利用（Colwell, 2001a）。

【實證三】

每年春天由美國密西西比河流入墨西哥灣的大量含氮化物所引起的一連串效應，影響海洋初級生產力的事實早已眾所皆知，其結果造成溼地與沿岸缺氧狀態的持續惡化。這個被稱爲「死亡區域」的地方（dead zone）於90年代初期即已擴大，面積由5,454平方英哩增加至後來的7,700平方英哩，由Dr. Rabalais的陳述中得知，採樣船由這個泥濘不堪的河面延伸至墨西哥灣，收集不到研究所需的生物樣本，更遑論對「生物複雜性」做進一步的探討。所以，營養鹽的污染成爲當今全球海岸敏感地帶的嚴重問題，便成了不爭的事實。Dr. Zedler又補充提到，近90%的溼地已被破壞，其餘的部分也正被戕害中，甚至在保留區內的溼地，也被道路與公共建設的擴張計畫所威脅。這些日漸形消的

溼地「生物多樣性」，適可提供其他亟需持續評估一般及稀少物種區域的警訊。在其他加州含鹽溼地的研究報告中指出：「一旦物種消失了，多樣性便不容易恢復，實導因於棲地環境的惡化或關鍵物種間相互依存關係的瓦解。」此即「生物複雜度」是謂「生物多樣性」的延續提供一項明證（Dybas, 2001）。

在聯合國二十一世紀議程架構中，保存和管理資源以促進發展的內容中揭櫫：保護大氣層、陸地資源的管理與規劃、制止砍伐森林、防沙治旱、永續的山區發展、無害環境的生物技術管理、保護海洋資源、保護和管理淡水資源、管理有毒化學品、管理有害廢棄物、管理固體廢棄物及污水和管理放射性廢料等要項。在在都說明欲達到地球永續發展、利用的目的，單靠區域性物種多樣性的成功復育是不夠的（Schulz, 2001）。唯有了解各式生態系的特性，進而藉「生物複雜度」的整合研究，以釐清生物與環境間相互依存的關係，規劃全面性的保育工作，使保護「生物多樣性」的成效彰顯出來。如此，才能確保自然資源的「永續發展與利用」日久而不墜。

伍、學科整合

「生物複雜性」開拓了吾人由分子層次到整個地球的研究面向，並賦予一個關於環境課題的學科整合新契機。傳統上各領域的科學家總是簡化研究的方法，並專注於片段的、各自的研究主題上，就如同在族群中操縱單一變項（好比在寬廣的農作區中撒下一顆種子）。「生物複雜性」的操作手法提供了知識平台上所能獲得最多的科學新知，呈現出複雜系統間的交互作用。如今我們擁有的利器與基礎設施能由不同的向度來觀察地球的芸芸眾生。基因科學、資訊科技及奈米科技的發展讓我們得以應付包含生物、生態、物理及地球科學等錯綜複雜的交互作用。帶領我們進入環境科學研究與預測未來動向的新紀元，也因著複雜性的研究使我們洞悉並跨越學科的尺度與藩籬（Dalton, 1999）。

美國生物科學會 2001 年會中有關「生物複雜度」的研究規劃，由跨越傳統研究藩籬，企圖去尋求生態系中「生物多樣性」管理的新觀念，強調藉由研究學者、教師、學生、政策擬定者及其他相關人員相互交流才能達成目的。欲檢視族群與生態系的結構、階層及能量流動的現象，需要結合自然、社會及計算機科學，以發展新的方法與非線性關係的模式，同時透過各學門的學術研討會、座談會、海報展示及城市論壇等不同的交流方式使科學家凝聚共識，並在教育過程中，鼓勵學生整合他們的知識，以培養研究的人才（Covich, 2000）。誠如「整合式生物學」被美國生物科學會列為 2000 年的年度主題，翌年 2001 年會時，便有許多以學科整合發表有關「From Biodiversity to Biocomplexity」為主題的研究報告，強調科技整合教育的迫切性，與如何去整合諸如此類的觀點，使之形成層面更廣、更具體的課程，以便為學生規劃出嶄新、專業的學習跑道。此外，美國國家生物教師聯盟與國家科學教育中心合辦以「教學發展」為題的城市論壇中，針對教育人員如何面對遍及全國各州的最新教學演變作探討，以建構教育人員與社會大眾間的雙向連結，如此亦顯示出生物學者咸感科學研究涉及社會議題的重要性（Dybas, 2001）。

有關資料庫的建制方面，劍橋科學摘要（Cambridge Scientific Abstracts, CSA）為

一搜羅全球 4,000 個研究機構書目資料庫及期刊的出版公司，並提供網際網路 (<http://www.csa.com>) 的資料檢索服務，主要的領域涵蓋了材料科學、環境科學與污染管理、生物學、水產科學與漁業、生物技術工程、計算機科學、社會學、藝術史、政治學及語言學等 (Anonymous, 2001)。值得一提的，由英特爾公司資助創設於 1998 年的應用生物多樣性科學中心 (CABS) 是個結合許多重要學者專家，以詮釋「生物多樣性」資訊的科學研究中心，並能正確地定義與快速地診斷出地球上「生物多樣性」所面臨的危機 (Anonymous, 2002)。

由以上對「生物複雜性」概念、研究案例、跨學門合作及資料庫的協助可知，「生物複雜度」及「生物多樣性」的研究已經跳脫了傳統自然科學研究的時空限界。為了迎接新世紀的來臨與環境生態的保衛戰，近幾年來，美國生物科學會 (American Institute of Biological Sciences, AIBS) 相關生物學術研究團體 (學會及組織) 的數量，已由原來的 42 個迅速增加到 77 個，都在說明著大規模學科整合所要解決的生態問題是何等的繁複和重要 (Covich, 2000)。

陸、人才培育～他山之石

正如同台灣的學生一般，大多數在美國攻讀生命科學相關科系的大學生，都想進入醫療、健康及保健的相關領域，並以進入醫學院 (medical school) 為主要目的，因為美國學士後醫學教育的體制，目的在甄試出具有優秀畢業成績的大學生命科學相關科系 (或以生命科學為副修的其他科系) 畢業生。其中，只有 39% 醫學院明確訂出入學標準---以計量 (quantitative) 相關學科為考試科目，並且多不認為計量學科的成就表現需像物理與化學二科為進入醫學院的重要關鍵。極少生命科學相關系所要求他們的學生修習超過兩科以上的計量課程；即使有要求，也通常包含一科普通微積分。但是大部分的計量生物學 (quantitative biology) 需要運用到的是離散數學而非普通微積分 (Gross, 2000; Dalton, 1999)。

美國田納西大學教授生態演化暨數學的 Dr. Louis J. Gross 認為，教導學生初階的計量課程，導引他們利用數學方法解決生物學的問題，而非僅在普通微積分的課堂中解釋幾個簡單的生物學範例就交差了事。他接著又指出---想在生物學課程中貫穿計量方法的學習，並不是只列出一、二科課程即可達到目的，此舉反而會讓學生們覺得是次要的學科。重要的是要誘導生命科學相關科系的大學生選擇雙主修或以計量課程為副修，正如許多研究所學生主修數理生態學 (mathematical ecology) 以獲得更高的學位。同時，聯邦基金計畫大力宣導並鼓勵大學發展非線性數學課程，以應「生物複雜度」研究之所需。畢竟，具有良好的計量背景 (如計算機科學、數學及統計學) 與受過基礎生物學訓練的學生，才能在多變又複雜的新興生態議題研究中有傑出的表現 (Gross, 2000)。

檢視我國的高等教育體系，多數綜合性大學具有相當完備的理工科系，想要整合學科成立「生物多樣性」中心，並不是一件困難的事；但由於各科系的本位主義與學科文化的差異，有時或多或少會在協調的工作上造成阻力，進而影響整合的效果 (梁金盛, 2001; 黃豪臣, 2002)。反觀負責培育國民小學師資的 9 所師範院校，目前正面臨前所

未有的關鍵時期，從傳統、封閉、一元及同質的師範教育，邁向現代、開放、多元與異質的師資培育形式（黃琬婷，2001）。自從 1990 年初期，各師範院校開始招收學士後國小師資班學生，使一般大學的畢業生有管道擔任小學教師。時至今日，因著社會、經濟及政治的重大變革，使得師院畢業生呈現供過於求的態勢。教育主管當局實有必要為過去專以培育國民教育師資的師範體系，規劃多樣化的課程內容，讓學生在未來無論是從事教學或在其他的職場上，更加具有競爭力與變通性，以因應多元時代的就業結構與人才需求趨勢。

據調查統計結果顯示，我國九所師範院校開設有自然、數理、資訊、環境及科學教育的相關系所共計 30 個（教育部，2002）。其中自然教育學系（所）均包含生物、地球科學、物理及化學等課程，並具有完備優良的學科及科教專長師資，加上資訊、環境及科學教育系（所）的漸次成立，復加數理教育系（所）計量課程的支援，應可達到「生物多樣性」整合學科的需求。

柒、結論

本文透過了解「生物多樣性」的發展、「生物複雜度」的內涵及晚近美國科學暨生物教育學界對是類議題的研究趨勢與具體方案。可作為我國對有關研究趨勢、學科整合及人才培育等層面的工作規劃作一番檢視。再者，建議我國師院體系，藉由各相關系所傳統上的緊密連結關係，加上優質的學術研究水準，應可建立一個「麻雀雖小、五臟俱全」的研究架構。

參考文獻

- 教育部（2002）：高教司：大學院校課程（<http://ucourse.tvc.ntnu.edu.tw/>）。
- 黃琬婷（2001）：師資人力市場轉變與教育改革：政策開放後的師範校院。國立台北師範學院碩士論文，179 頁。
- 黃豪臣（2002）：大學校院合併後績效評估之研究-以學生顧客之觀點。國防管理學院碩士論文，102 頁。
- 梁金盛（2001）：台灣地區大學院校整併策略之研究。國立政治大學博士論文，359 頁。
- Anonymous (2001). CSA to develop biocomplexity database. *Information Today*, 18(6), 20.
- Anonymous (2002). CSA, CABS joins forces to create Biocomplexity Information Resource. *Information Today*, 19(3), 56.
- Brainard, J. (1999). NSF director requests big increase for research into biocomplexity. *The Chronicle of Higher Education*, 45(25), A30-A31.
- Carey, A. B. & Wilson, S. M. (2001). Induced spatial heterogeneity in forest canopies: Responses of small mammals. *Journal of Wildlife Management*, 65(4), 1014-1027.
- Colwell, R. R. (2000). Biocomplexity and the ocean sciences. *Sea Technology*, 41(1), 22.
- Colwell, R. R. (2001a). "World enough, and time": A global investment for the environment. *Bioscience*, 51(11), 908-914.

- Colwell, R. R. (2001b). Biocomplexity: an umbrella for many disciplines. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 20(5), 13-15.
- Covich, A. (2000). Biocomplexity and the future: The need to unite disciplines. *Bioscience*, 50(12), 1035.
- Dalton, R. (1999). Monitoring system planned for US biodiversity drive. *Nature*, 398(6730), 738.
- Dempsey, P. (2000). NSF charts new course for environmental research. *Environmental Science & Technology*, 34(5), 115A.
- Dybas, C. L. (2001). From biodiversity to biocomplexity: A multidisciplinary step toward understanding our environment. *Bioscience*, 51(6), 426-430.
- Gross, L. J. (2000). Education for a biocomplex future. *Science*, 288(5467), 807.
- Jame, B. (2002a). Growth versus environment. *International Herald Tribune*, 08/08.
- Jame, B. (2002b). Global talks taking up threats to earth rashes. *International Herald Tribune*, 08/23.
- Mainwaring, L. (2001). Biodiversity, biocomplexity, and the economics of genetic dissimilarity. *Land Economics*, 77(1), 79-83.
- McMahon, S. M., Miller, K. H., Drake, J. (2001). Networking tips for social scientists and ecologists. *Science*, 293(5535), 1604-1605.
- Merivs, J., Lawler, A., Bagla, P., Enserink, M. (2000). Complex structures. *Science*, 287(5461), 2129.
- Michener, W. K., Baerwald, T. J., Firth, P., Palmer, M. A. (2001). Defining and unraveling biocomplexity. *Bioscience*, 51(12), 1018-1023.
- Niklas, K. J., & Enquist, B. J. (2001). Invariant scaling relationships for interspecific plant biomass production rates and body size. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 98: 2922-2927.
- Schulz, W. (2001). Biocomplexity for chemists. *Chemical & Engineering News*, 79(2), 19-20.

From Biodiversity to Biocomplexity— Research Tendency, Multidisciplinary Integration and Personnel Training

Jen-Lee Yang^{1,2} Youn-Kuang Yang¹

¹An-Ho Elementary School, Taipei County

²Environment Protection Division, Ministry of Education

Abstract

As we enter a new century and millennium, environmental policy makers and educators must come up with new knowledge and techniques that address the demands of a constantly evolving social, economical and technological landscape, and ensuring that environmental study stays relevant to the needs of the community in which complex issues involved in biodiversity protection and biocomplexity research last decade. These challenges to environmental issues require that we reexamine the way we do research, train environmental professionals and educators, and deal with conservation problem as well as the way we announce environmental information to the general public and make the most of profit from natural resource and achieve the goal of sustainable development. However, a question emerges: how to draft a suitable research aspect and multidisciplinary personnel training package to orientate the tide of international environment policy currently. Doubtless, we must face the related problems of important environmental task and challenge. This paper tries discussing our biodiversity policy. We also analyze theoretical basis and development of biodiversity and biocomplexity from National Sustainable Development Working Plan that adjusts to UN Agenda 21. In addition, we hope to explore a series of research schemes, multidisciplinary integration, and personnel training courses which refer to the up-to-date research tendency and practical projects provided by NSF of United States.

Key words: sustainable development, biodiversity, complexity, multidisciplinary integration, personnel training