

從地球系統出發的統整式科學教學模組

張俊彥

臺灣師範大學

本文首先探討當前科學課程或教材的趨勢，接著提出以地球系統概念為統整主軸的想法，並深切呼籲科學課程納入地球系統教育的迫切性，最後介紹筆者的研究團隊近年來一系列以地球系統為主題所研發的教學模組及相關研究成果。立基這些理論與實徵研究的基礎上，本文最後提出統整科學課程的可能模式，期盼對未來國內科學統整課程與教學模組的研發和師資培育學程的規劃，能具拋磚引玉的效果。

關鍵詞：中等學校、地球系統、科學統整課程、教學模組

壹、前言

在現今知識爆炸的時代，科學及科技的更新與進步之快，遠超過我們所能想像。為了迎接這個新資訊世紀的挑戰，世界各國不但致力於科學與新科技的研究，更著重於如何改善基礎的科學教育，使我們的下一代都能成為具備「完整科學素養」的新人類。

有鑑於此，培養並提昇學生的科學素養儼然已成為當前國內外科學教育的一個最重要的目標及共識（教育部，民90；American Association for the Advancement of Science, [AAAS], 1993；Millar and Osborne, 1998；National Research Council, [NRC], 1996），然而要如何才能培養並提昇學生的科學素養？科學的課程、教學及評量要如何設計、發展甚或改進，才能達成上述目標？這些都是當前科學教師及科學教育研究者試著回答的問題與努力的方向。

要培養並全面提昇學生的科學素養，並使學校的科學教育達到最大的功效，科學的教學須作細心的規劃，適合的教學方法須妥善選擇與運用來幫助學生學習，教材和內容的編排要能加強概念的學習並與教學緊密配合，教學評量工具亦需能追蹤學生的學習成果。因此，科學的課程及其伴隨的教材與教學一直是科學教育中最重要的一環；而近年來國內外科學課程的改革，便是希望藉由統整的方式來達成上述課程的改革。

過去十年來，國內外許多國家都相當重視課程的改革，我國之中小學九年一貫課程總綱和「自然與生活科技課程綱要」也在此改革浪潮中誕生（教育部，民87；民90）。九年一貫課程綱要共包含七個學習領域，包括藝術及人文、健康與體育、語文、數學、自然與生活科技、社會、綜合活動，以及六個融入各學習領域的重要議題，如兩性、環境、資訊、家政、人權、生涯發展等。自1998年以來，國內有許多科學家、科學教育學者及科學教師為達成整合生物、化學、地球科學、物理、及生活科技等傳統科學學科及科技課程的目標，而發展出「自然與生活科技課程綱要」（教育部，民90）。此新課程綱要旨在以有系統的方法讓學生瞭解「人與

張俊彥，臺灣師範大學地球科學系教授。

通訊作者：張俊彥，116臺北市文山區汀洲路四段88號，臺灣師範大學地球科學系。E-mail: changcy@cc.ntnu.edu.tw

個人、人與社會、人與自然」等三者與九年一貫總目標間的關係，進而增進學生科學性和系統性的理解及鑑賞能力，而這些都與地球系統教育（Earth Systems Education, ESE）的理念與哲學基礎不謀而合。

本文首先探討當前科學課程或教材的趨勢，接著提出以地球系統概念為統整主軸的想法，並深切呼籲科學課程納入地球系統教育的迫切性，最後介紹筆者的研究團隊近年來一系列以地球系統為主題所研發的教學模組及相關研究成果。立基這些理論與實徵研究的基礎上，本文最後提出統整科學課程的可能模式。期盼在未來國內科學統整課程與教學模組的研發和師資培育學程的規劃上，能具拋磚引玉的效果。

貳、科學課程或教材的統整

統整式的科學課程或教材儼然已成為這一個世紀科學教育的「網路概念股」，其背後一個最簡單的理由是：人類的學習或其所學之應用皆屬統整式的思考，而非片段與零碎知識的運用，因此學生在國民教育階段的學科領域教材亦應以統整的方式來編排與教學。

基於此，我國國民教育階段九年一貫課程總綱綱要中（教育部，民87）特別強調：「學習領域為學生學習之主要內容，而非學科名稱，學習領域之實施亦應以統整、合科教學為原則」（p. 6）。英國的一群科學家與科學教育的精英學者，也針對未來二十一世紀英國的科學教育提出了十點重要建議（Millar & Osborne, 1998），其中一點便是強調科學課程除了應讓學生了解科學的關鍵想法外，統整科學課程亦有其必要性，其原文摘要內容如下：

The science curriculum should provide young people with an understanding of some key ideas-about-science.....5.3 INTEGRATING VARIOUS ASPECTS OF THE CURRICULUM : It is essential that the different elements of the science curriculum discussed

in section 5.2 are integrated into a coherent programme. (p. 2020)

美國國家研究委員會（National Research Council, NRC）在1995年十二月公佈的國家科學教育標準中（National Science Education Standards, NSES）認為，當代科學課程內容標準的重心已從研習各傳統科學學科（如物質科學、生命科學、地球科學）轉移到整合各個學科內容，其原文摘要內容如下：

LESS EMPHASIS ON: Studying subject matter disciplines (physical, life, earth sciences) for their own sake

MORE EMPHASIS ON: Integrating all aspects of science content (NRC, 1996, p. 113)

由上述可知，我國與一些先進國家都相當重視科學課程內容的統整。而近十年來「統整式的科學課程或教材」也一直是科學教育研究領域中相當受到矚目（甚或爭議）的領域之一。美國國家科學教育標準中亦強調以統整或主題式的方式來編排科學課程，原文如下：

If teachers are to teach for understanding as described in the content standards, then coverage of great amounts of trivial, unconnected information must be eliminated from the curriculum. Integrated and thematic approaches to curriculum can be powerful; however they require skill and understanding in their design and implementation. (NRC, 1996, p. 213)

許多新近的研究亦顯示，最易於獲得的知識是統整瑣碎的細節成為一整體的觀念，並認為當一件事情愈具有意義、愈能置於情境脈絡、愈植基於文化背景、後設認知和個人的知識之中，便愈容易理解、學習和記憶（Iran-Nejad, McKeachie & Berliner, 1990, p. 511）。另一方面，在國外科學教育界的多項課程改革計畫當中，例如1994年美國地質協會（American Geological Institute, AGI）主導之美國地球系統科學社區化課程發展計畫 EarthComm

(Earth System Science in the Community) (賴麗琴和張俊彥，民89) 和美國科學教師協會 (National Science Teachers Association, NSTA) 之 SS&C 計畫 (Scope, Sequence, and Coordination of Secondary School Sciences) 等等，也都可以窺見科學內容統整的端倪，因此科學課程的統整似乎已成為二十一世紀課程改革之重要課題之一。

參、地球系統概念為統整主題

地球科學課程在古今中外學校科學課程中，向來處於較弱勢的地位。但近幾十年由於全球環境的變遷，很多人漸漸發現，原來我們對所居住的這個地球的認識仍然相當有限；再加上當前傳統科學課程的不足，因此美國國家科學教育標準中 (NSES) 明白揭示了八項內容標準 (Content Standards)，以作為學生在科學領域中應學的知識與技能的大方針，其中共包括：結合科學的概念及方法、探究式的科學、物質科學、生命科學、地球及太空科學、科學與科技、個人及社會觀的科學，以及科學的歷史和本質等八項內容標準 (NRC, 1996, p. 104)。這是美國地球科學教育一個非常重要的轉捩點，因為它將地球與太空科學從物質科學中特別獨立出來，突顯了地球及太空科學在科學課程中的重要性。相較於全世界如今重視的地球系統、以及對環境保護和珍惜地球資源的呼籲，這個標準也同樣呈現出全球的新趨勢。

地球科學的學科內容涵蓋地質、氣象、天文及海洋，可說是與學生日常生活息息相關的一門科學。學習地球科學不僅可鼓勵學生探究自然，也能激發他們瞭解酸雨、全球暖化及氣候變遷、聖嬰現象、臭氣層、及地下水污染等全球環境破壞議題。此外，地球科學本身即是一門統整的科學，而學生學習這些學科知識的基礎都奠基於對物理和化學等基本學科的了解。美國科學教師協會 (National Science Teachers Association, NSTA) 執行長兼主導美國 SS&C Project (Scope, Sequence, and

Coordination of Secondary School Sciences) 的 Bill Aldridge (1993) 便曾寫道：

Chemistry and physics are fundamental to an understanding of the life science. And chemistry, physics, and the life science are fundamental to an understanding of the Earth and space sciences (p. 27)。

美國科學促進協會 (American Association for the Advancement of Science, [AAAS], 1993) 在其 Project 2061 計劃之 Benchmarks for Science Literacy 一書中也述及類似的想法如下：

An integrated picture of the earth has to develop over many years, with some concepts being revisited over and over again in new contexts and greater detail. Some aspects can be learned in science, others in geography; some parts can be purely descriptive; others must draw on physical principles. (p. 66)

基於地球科學本身便具有統整科學的特性，Mayer (1995) 提出以地球系統 (Earth System) 來統整中等學校科學課程的想法。他認為，既然科學與人類社會、地球環境息息相關，科學課程應可架構在地球系統與次系統的主題上作一統整。此想法提出之後亦引起國內外科學教育界許多的回響。筆者亦認為，若能以地球系統作為主軸來設計課程或教材，除了很容易與學生日常生活產生關連並引起學生學習動機外，更可藉著學習地球系統的主題出發，學習相關的科學內容。

此外，Mayer 及 Kumano (1999) 亦認為，鑒於人類已覺知到全球土地、水資源及氣候所面臨的困境，地球系統科學及系統科學方法在此方面正顯現其重要性，但數十年來，傳統的科學課程仍以學科導向的課程為主流。事實上，這些以學科為導向的傳統科學課程及科學方法，不僅是目前美國科學教育的主流，在臺灣也已行之有年，而未曾改變過。所以 Mayer 及 Fortner (2002) 提出：「美國中等學校 (secondary school) 的科學課程主要是受

冷戰後，世界各國對於戰爭技術需求的影響，所以極重視物理科學」。不幸的是，臺灣過去的科學課程似乎也是如此緊密的追隨美國的腳步。

從更深入的文獻分析來看，以地球系統作為主軸來設計課程或教材，與統整課程的精神或理念不但相互違背，更具有相輔相成的效果。美國地質學會在二十一世紀地球科學教育的規畫指引中（National Center for Earth Science Education, 1991），即特別提出以「地球系統」作為統整的主題；英國學者 Trend（2001）亦認為地球系統的架構，具有培養英國中等學校學生科學素養的潛力。由此可見，地球系統與統整課程兩者儼然已直登當代科學教育改革之大舞臺，成為眾所矚目的焦點。

因此，未來科學教育的改革，若能將地球系統教育融入到當代科學課程中，且作為統整的主軸，對未來科學課程的統整而言，也許提供了另一個可行的方案。我們若仔細檢驗 International Association for the Evaluation of Educational Achievement（IEA）所舉辦的第三屆國際數學及科學研究（Third International Mathematics and Science Study, TIMSS, 1995）及在 1999 年舉行的 TIMSS-Repeat 的課程架構，也不難發現，在不同國家的中等學校中，地球科學（或系統）與環境的議題幾乎都已列入正式的科學課程中（Robitaille 等，1993; Martin 等，2000）。地球科學（系統）的獨特性便是其具有跨學門及整合的本質。但可惜的是，目前臺灣的中小學教育，都只著重傳統分科科學知識的灌輸及科學家科學方法的培養，卻常常忽略讓學生以系統及整合方式來學習科學，地球系統教育或許可提供我們一條通往統整科學課程的可行之道。

肆、地球系統教學模組

長久以來，學校之科學教育一直很重視能夠增進學生的學習成就、引導學生的概念發展、培養他們在科學上的正面態度，更重要的是能夠提昇學生高層次的思考能力。許多不同的教學策略也應運而

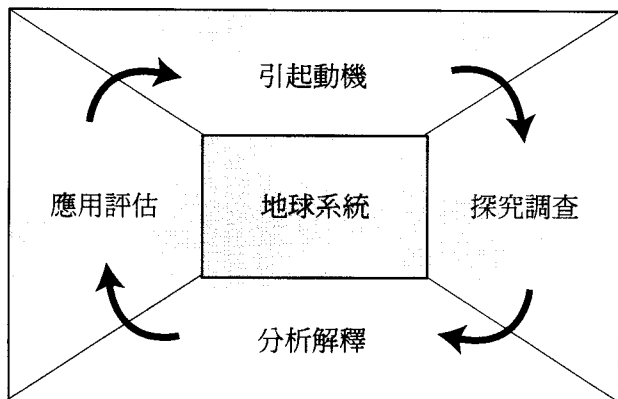
生。不論是「講述互動式」、「探究式」、「問題解決式」、「發現式」、「合作學習式」、或「電腦輔助式」的教/學方法，都是朝此方向前進。筆者的研究團隊前幾年在地球科學教學的實徵研究（empirical study）結果發現：

- （一）應用「探究式」的教學策略，在增進學生的地球科學學習成就（achievement）和他們對地球科學的態度上（attitudes toward earth science）皆有顯著的成效（Mao, Chang & Barufaldi, 1998; Mao & Chang, 1998）。
- （二）運用「問題解決式」的教學策略，可以有效地增進學生的地球科學學習成就，並幫助修正他們在地球科學上的迷思概念或另有架構（alternative framework）（Chang & Barufaldi, 1999）。
- （三）利用「合作學習」的教學策略，可顯著地增進學生的地球科學學習成就（Chang & Mao, 1999）。
- （四）地球科學的電腦輔助教材，可顯著地增進學生學習地球科學的成效（Chang, 2001a, b; 2002）。
- （五）統整「探究」與「合作學習」的「探究小組式」的教學策略，可顯著地增進學生的地球科學學習成就以及他們對地球科學的態度（Chang & Mao, 1999）。

研究團隊在上述的研究中多採單一或統整兩種教學策略的教學模式，且整體教學實施所花的時間均在六個禮拜以內，雖然獲得許多正面的成效與鼓勵，但仍覺有不足之處。尤其是最近的研究發現，學生對於單一旦實施期間過長的教學方法可能會產生厭倦之情。再者，平時正常學校的教學便須進行整個學期共十八週的時間，若能研發出一套能夠密切配合學校之教學進度且為期較長的教學模組教材，不但能將研究成果實地運用於真實學校教學情境中，其整體成效的評估也更具說服力。因此，筆者的研究團隊近年來嘗試研發一套統整教材內容與

教學策略的「地球系統為整合主軸之多元化教學模組」【Teaching Module Development - An Earth-System Integrated Theme (TMD - ESIT)】，並期能以此套教學模組發揮出學校科學教育的最大功效，進而達成提昇國民科學素養的最終目的。

在過去幾年，許多中等學校的科學教師及筆者（見p.47），一起嘗試發展統整式的地球系統為主軸的科學課程及教學模組，並已成功地將這些地球系統課程在中等學校課堂中實施。這些模組乃根據「引起動機、探究調查、分析解釋、應用評估（Engage, Explore, Analysis/Explain, Apply/Evaluate, EEAA）」等四階段的「學習環模型」（A learning cycle model，圖一）。且針對下列三個地球系統主題（Themes）「地球資源、天然災害與防治、地球之動態與平衡系統」，已分別發展出「地球系統-地球資源篇」（6節課）、「地球系統-野外考察篇」（室內6節課加上半天至一天野外考察活動）、以及「地球系統-天然災害篇」（6節課）等共約20節課並可貫穿一整個學期的統整課程與多元化教學模組。



圖一：地球系統教學模組之學習環模型

「地球系統-地球資源篇」已經過北部、中部、東部三所高中分別進行三次試驗性教學以及三次正式教學研究，總共六次的實驗教學研究。「地球系統-野外考察篇」，乃以野外考察為主軸的教學活動，並在北部、東部兩所高中同時進行試驗性教學研究，以及在北部的高中完成正式教學研究，總共

三次的實驗教學研究；而「地球系統-天然災害篇」亦已在北部、中部、東部三所高中分別進行三次試驗性教學以及在中部、東部兩所高中進行兩次正式教學研究。

「地球系統-地球資源篇」選擇地球資源中的石油為主題來設計課程，由於石化產品在我們的日常生活中相當常見，甚至是不可或缺的物資，學生對其亦不陌生，所以，以石油為主題的課程，應較能引起學生學習的興趣和動機。同時，石油也是20世紀人類最重要的資源與能源之一，石油本身所帶來的正面和負面影響，也值得我們進一步探討與省思。以石油為主題，將牽涉到與地球其他次系統的交互作用和資源管理等環境議題，學生透過多種教學活動的引導，以小組合作的方式進行實地訪查，學習分析與歸納多面向的資料以評估環境議題，體悟平衡經濟發展與環境保護之兩難困境等等；而在教學過程中及活動完成時，亦設計適當的評量方式讓學生充分表達所學。因此，「地球系統-地球資源篇」之設計除了實踐ESE的理念--人類應學習對地球環境有整體性的認知外，也兼具ESE之重要教學要素。

實徵教學研究結果發現，地球資源篇的教學模組有助於增進學生在地球資源方面的相關知識、實驗教學後，學生之環境態度有較為正確的趨勢，且學生對課程有許多主動的正向回饋，例如「透過公聽會，我學習到以不同的角度去看待環境污染的問題」、「體認經濟發展與環境保護之兩難」等，這些都呼應了地球系統教學模組之設計理念與期望（張俊彥和賴麗琴，民90）。此外，研究結果亦顯示，參與教學模組研究的三位教師對此統整式教學模組均抱持肯定與支持的態度，並表示此科學統整課程相當值得在中學階段推行實施。教師們亦認為透過以「地球系統」為主軸之統整教學，學生可以學習到尊重不同的意見與看法，多面向的角度去思考問題，並能發揮團隊合作的精神，嘗試以理性的方式解決問題，甚而也改變了學生對於求取知識的

方式與態度等等（張俊彥和賴麗琴，民90；民92）。

「地球系統-野外考察篇」在課程內容上，選擇以一個考察活動為中心。研究團隊希望在整個課程實行中，學生能夠藉著對考察活動想法的設計、計畫的規劃、任務的執行、結論的獲得等過程，不但能主動的進行探索研究，同時也能親身地感觸及認識所在的環境，並更深入地感受及欣賞到自然的美妙，如此不僅侷限於知識上的追求，更能擁有情意上的培養。課程規劃首先選擇一個主要的考察地點，在選擇地點時，應以施行學校的地區及學生安全為考量，包括交通是否便利到達、一天或半天的行程規劃、該地點的安全性、學生對於該地點的了解程度等。為符合上述條件，選擇以臺灣北部大屯火山群的「小油坑」為主要考察地點。藉由野外考察活動來引起學生的學習動機，而後教師會對於該地點進行初步的介紹來建立學生對於該地方的基本背景知識與瞭解，進而由學生自主規劃各種研究方法調查研究「小油坑」的各項自然環境條件。其中又以「小油坑」植物生存條件的各項因素為由，分別包含了土壤、礦岩、氣象、生態等四個不同向度的任務，依學生自己對於四個向度的興趣及喜好進行分組，而各向度的任務須學生自己經由小組討論規劃而成，各組會在一天或半天的野外考察活動中執行任務。在執行研究調查任務時，學生不但能親自動手去接觸、感覺人與自然環境的關係，並可以藉由現場直接發生的現象進行分析解釋，同時在考察活動後安排教學活動統整各組考察結果及實際學習應用所得資料，並對於「小油坑」的環境進行瞭解而完成四階段的學習環。

「地球系統-野外考察篇」在教學策略上同時嘗試多元的教學方法，期望學生在活潑的教學氣氛下能增加其學習動機與參與感。「地球系統-野外考察篇」的研究結果發現：大多數學生覺得此課程的內容範圍廣泛且與生活相關，學生對於此種不同於以往的統整式課程，無論在課程整體內容、考察前準備、考察中執行、考察後統整、學生自我評量、

環境相關問題等向度上，學生均感到滿意。學生亦感受到這個課程的學習是將學習環境從室內延伸至戶外，學習情境是由靜態的文字圖像結合動態的真實體驗，學習的方式是由教師的規定指派轉變為學生的自主設計。另外，兩位實施教學的教師也認為此課程賦予學生的實際經驗及其影響不是一般教學活動所能輕易取代的（蔡宛芸和張俊彥，民92）。

「地球系統-天然災害篇」在課程內容上，係以臺灣的天然災害為單元主題、地球系統為整合主軸概念，希望能提供一良好的知識建構之學習情境，而不只是教一些彼此既不連貫而且缺乏整合的基本學科知識，更甚的是這些學科知識常常與生活脫節，學生不知如何靈活應用在其真實的生活情境中，所以「地球系統-天然災害篇」設計了三個關於天然災害教學的課程與活動。此模組的教學活動除了兼顧知識的廣度與深度外，並能適合不同能力水準的學習者。而設計與生活相關之天然災害議題的課程，在輔以教學多媒體及多種教學策略下成為一統整的多元教學模組，其中包括有訪查、小組討論、遊戲競賽、腦力激盪、角色模擬和多媒體教學等教學活動。教學時間共六節課（一節課為50分鐘）。課程設計著重在培養學生的認知與情意兩方面，期望從學生生活中的經驗出發，最後再回到探討發生在與生活週遭的社會、環境的天然災害相關議題上。

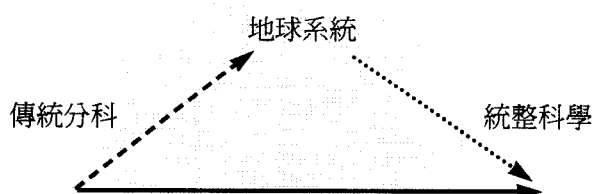
從學生填答「地球系統-天然災害篇」的回饋表可以發現，學生表示這樣多元的上課方式活潑輕鬆、有趣，能引起學習興趣；活動過程中也學習到很多東西或與日常生活相關的知識及常識；而且多數學生表示學習效果比較好且印象深刻、上課時很有參與感，此外，「地球系統-天然災害篇」投影片的教學效果很好。除此，此課程也增加他們對環境問題的了解，體認經濟發展與環境保護的兩難。更值得一提的是，學生覺得「地球系統-天然災害篇」能幫助他們學習多方面去看待與思考生活周遭所發生的事情或問題，並能在教學的活動中學習到

如何與人溝通、觀察事物，並訓練其推理和口語表達的能力。這些結果在課程回饋的選擇題部分與學生晤談資料的分析中，都可以獲得支持，因此這些學生的回饋與表現亦正符合此多元教學模組之設計理念與期望。

整體而言，教師與學生對這三個「地球系統主題」教學模組均表示滿意；從學生主動的正向回饋與反應可以發現學生對此教學模組的觀感與看法深切呼應了本多元教學模組之設計理念與期望。此外，任課教師們多表示十分滿意學生的學習表現，而學生對於教師們在這些教學模組情境下之教學情形也都抱持肯定的態度，教師們多認為此種多元教學模組相當值得在中學階段推行。

伍、結語

在世界各地的中等學校，過去的科學課程主要著重在傳統的學科分科課程或個別的科學訓練。筆者認為科學課程能以地球系統出發，強調學生的學習興趣，並納入學習環模式為主軸的多元教學法。



圖二：科學統整課程模式

最後，筆者根據近年來實徵研究的結果與反思，提出如圖二的科學統整課程模式。個人認為，從傳統的科學分科課程（圖二最左邊）到統整的科學課程（圖二最右邊）其實還有一條很長的路要走（實線部分），因為打破學科本身的界限本來便不是件容易的事情，而且放棄學科本身界限且貿然走向統整課程，可能也會重蹈過往「一旦科學內容統整，卻會讓分科系統性知識變得零碎」的覆轍（如STS所遭受到的諸多質疑）。因此若要走向真正的

統整課程，以地球系統作為統整主軸的科學課程應該可最為一個重要的轉運站（點線部分）或是終點站（長虛線部分），這樣的科學統整課程不但仍能維持各學科的完整性，以地球系統與環境議題作為主軸的內容更可兼顧統整的理念與當代課程改革的潮流與趨勢。本研究團隊受到這幾年在臺灣成功地實施這些地球系統教學模組之激勵，我們深切地盼望「世界各國研發並實施地球系統為主軸科學課程」的梦想總有一天會實現。

誌謝

地球系統教學模組承蒙行政院國家科學委員會研究計畫補助經費，整體研究由本研究團隊共同完成，感謝參與本研究計畫的所有學校、老師、與學生們的全力配合。本文在投稿過程中，復蒙審稿委員提供許多寶貴的意見與建議，均此誌謝。

參考文獻

- 教育部（民87）。國民教育階段九年一貫課程總綱綱要。臺北：教育部。
- 教育部（民90）。國民中小學九年一貫課程暫行綱要：自然與生活科技。臺北：教育部。
- 張俊彥和賴麗琴（民90）。它可行嗎？「地球系統」為整合主軸之教學模組研究。科學教育學刊，9（4），323-350。
- 賴麗琴和張俊彥（民89）。美國地球系統科學社區化課程發展計畫（EarthComm）評介。科學教育月刊，232，61-67。
- 賴麗琴和張俊彥（民92）。三位地球科學教師對統整課程觀感之個案研究。臺灣師範大學學報：科學教育類，48（1），1-22。
- 蔡宛芸和張俊彥（民92）。小油坑「野外考察」統整式教學模組的研發。科學教育月刊，257，2-12。
- Aldridge, B. G. (1993). Basic components of the natural sciences. In National Science Teachers Association, *Scope, sequence, and coordination of secondary school sciences: Volume I - the content core* (pp. 25-40). Washington, DC: National Science Teachers Association.
- AAAS (American Association for the Advancement of Science) (1993). *Benchmarks for Science Literacy*. New

- York: Oxford University Press.
- Chang, C. Y. (2001a). Comparing the impacts of a problem-based computer-assisted instruction and the direct-interactive teaching method on student science achievement. *Journal of Science Education and Technology*, 10, 147-153.
- Chang, C. Y. (2001b). A problem-solving based computer-assisted tutorial for the earth sciences. *Journal of Computer Assisted Learning*, 17, 263-274.
- Chang, C. Y. (2002). Does computer-assisted instruction + problem solving = improved science outcomes? A pioneer study. *The Journal of Educational Research*, 95, 143-150.
- Chang, C. Y., & Barufaldi, J. P. (1999). The use of a problem solving based instructional model in initiating change in students' achievement and alternative frameworks. *International Journal of Science Education*, 21, 373-388.
- Chang, C. Y., & Mao, S. L. (1999). Comparison of Taiwan science students' outcomes with inquiry-group versus traditional instruction. *The Journal of Educational Research*, 92, 340-346.
- Iran-Nejad, A., Mckeachie, W. J., & Berliner, D. C. (1990). The multisource nature of learning: An introduction. *Review of Educational Research*, 60, 509-515.
- Mao, S. L., & Chang, C. Y. (1998). Impacts of an inquiry teaching method on earth science students' learning outcomes and attitudes at the secondary school level. *Proceedings of the National Science Council Part D*, 8, 93-101.
- Mao, S. L., Chang, C. Y., & Barufaldi, J. P. (1998). Inquiry teaching and its effects on secondary school students' learning of earth science concepts. *Journal of Geoscience Education*, 46, 363-367.
- Martin, M. O., Mullis, I. V.S., Gonzalez, E. J., Gregory, K. D., Smith, T. A., Chrostowski, S. J., Garden, R. A., & O'Connor, K. M. (2000). *TIMSS 1999 international science report*. Boston, MA: International Study Center, Lynch School of Education, Boston College.
- Mayer, V. J. (1995). Using the Earth system for integrating the science curriculum. *Science Education*, 79, 375-391.
- Mayer, V. J. and Fortner, R. W. (2002). A case history of science and science education policies. In V.J. Mayer (Ed.) *Global science literacy* (pp. 25-35). Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Mayer, V. J. and Kumano, Y. (1999). The role of system science in future school science curricula. *Studies in Science Education*, 33, 71-90.
- Millar, R. and Osborne, J. (Eds.). (1998). *Beyond 2000: Science education for the future*. London: King's College.
- National Center for Earth Science Education (1991). *Earth science education for the 21st century: A planning guide*. Alexandria, VA: American Geological Institute.
- NRC (National Research Council) (1996). *National science education standards*. Washington, DC: National Academy Press.
- Robitaille, D. F., McKnight, C., Schmidt, W., Britton, E., Raizen, S., & Nicol, C. (1993). TIMSS monograph no. 1: *Curriculum frameworks for mathematics and science*. Vancouver, BC: Pacific Educational Press.
- Trend R. (2001). Thomas Huxley and earth system science: Opportunities for fostering global science literacy in UK schools. In V.J. Mayer (Ed.) *Implementing Global science literacy* (pp. 93-110). Columbus, OH: Ohio State University.

附錄

地球系統教學模組研發團隊

- 張俊彥 (臺灣師範大學地球科學系)
- 賴麗琴 (臺北市立大同中學)
- 藍秀茹 (國立臺中第一高級中學)
- 蔡宛芸 (臺北市立重慶國民中學)
- 蕭建華 (國立溪湖高級中學)
- 翁玉華 (臺北市立西松高級中學)
- 董家菖 (臺北市立南湖高級中學)
- 吳佳玲 (彰化縣立陽明國民中學)
- 楊惠玲 (臺北市立建成國民中學)
- 洪翠萍 (臺北市立民族國民中學)
- 黃俞菁 (臺灣師範大學地球科學系)
- 陳盈霖 (臺灣師範大學地球科學系)
- 徐靜文 (臺灣師範大學地球科學系)

初稿收件：民國92年12月25日

完成修正：民國93年 3月 1日

正式接受：民國93年 3月23日 ■

The Earth-System Integrated Science Instructional Modules

Chun-Yen Chang

Taiwan Normal University

This paper first looks into contemporary trends in science curriculum and proposes Earth system as an integrated theme. This article then calls attention to the importance of the inclusion of Earth System Education (ESE) into the forthcoming science curricula of Taiwan, and finally provides some exemplary ESE-inspired curriculum and instructional modules that have been successfully implemented in the secondary schools of Taiwan. Based on the aforementioned theoretical perspectives and empirical studies, a roadmap to an integrated science curriculum was put forward. Hopefully, this article could shed some lights on the future development of integrated science curricula, instructional modules, and teacher preparation programs.

Keywords: secondary school, earth system, science integrated curriculum, instructional module