

從自然科學課程發展脈絡 看新課程的挑戰

文／黃茂在、陳文典

12年國民基本教育（以下簡稱12年國教）之課程發展本於全人教育的精神，以「自發」、「互動」及「共好」為理念，以「核心素養」做為課程發展之主軸。依據理念，教育目的在於增進學習者生活能力，促進學習者認識自我價值與建立自信、與環境生命友善互動、以及對於環境生態議題的瞭解、社會公共議題的關心與參與，而不僅僅只是謀得一技之長而已。因此，在科學課程中，其所揭示的「科學素養」，其內涵就不僅只是功能性和實用性，也包含文化性。原本科學給人的印象是客觀、價值中立的特性，然而當科學與科技發展已深入到每個人的生活，甚至影響到個人生活的態度或生存的價值上時，科學的學習（即科學教育）就攸關國民幸福生活的大事。科學教育理應呼應社會對學習科學的期待，也因此得調整科學素養的內涵界定。本文旨在闡述歷來科學課程的發展過程，研析課程理念、目標、教學的演替，藉此趨勢演進的脈絡，可以讓我們更清楚地看出12年國教科學素養的導向與改變，提出課程發展與實踐的思維。

課程發展脈絡

檢視我國科學課程發展的演替脈絡（註1、2），有以下特性：課程目標由國家需求導向演變為社會與個人需求導向，由菁英教育趨向全民科學素養的培養，課程設計理念由學科知識結構導向演變為能力的培養導向。而在課程實施的政策方面，由「課程標準」改為「課程綱要」，教科書之編審由「統編」改為「審定」（鄭湧涇，2002）。課程發展的方式，則由1970年代以前的專家主導模式，演進到由學者與教師組成的研發團隊，進行課程設計、試教及修訂等歷程的課程實驗模式，至2000年後逐漸納入利害關係人的公民參與模式。

而科學素養內涵亦隨歷次課程改革朝多元整合的方向發展。課程發展乃是連續演變的過程，考量分析比較之便，本文以主觀方式將課程發展，從科學素養內涵、課程目標、課程理念與教學設計等面向，分成五個發展階段論述（林慶隆等，2016），藉以瞭解課程脈絡並思考新課程研發的方向。

一、「知識本位」的課程（1970年以前）

- **科學素養：**「科學」在19世紀與20世紀初期的卓越成就，例如細胞學說、能量守恆與轉移理論、演化論、基本粒子的發現等等。科學理論對大自然的解釋與演繹能力，讓科學進入學校教育系統，也為它在人文為主流的時代取得重要的

地位。「科學」是歷來學者們發現「大自然的奧秘」所累積出來的知識，當時社會對科學教育的期待是培養具備科學知識的專才，而「科學素養」就是「知道科學知識」（圖 1）。

- **課程目標：**為國家培養科學專才菁英。
- **課程理念：**課程設計理念在於學科知識結構，由科學家提供正確的、重要的知識，有條理地把這些知識編輯成書供學生閱讀。並以驗證式的科學實驗學習，強化知識概念的獲得。分科的課程設計成為最有效率方式來傳達系統知識。
- **教學設計：**教師教學的職責是傳道、授業、解惑的工作，講授科學知識以傳承文化。學習方式主要是模仿、訓練、典範與標準。



圖 1. 1962 年版的自然科教科書（圖片來源：國家教育研究院典藏資料）

二、「技能本位」課程（1970～1980年）

1970 年代臺灣的經濟快速發展，國家現代化的建設及社會各界對培養科學人才的日增，加強科學教育成為當時國家重要政策。為深化科學教育發展，國家啟動相關的科學教育計畫，包含派遣考察團赴美日考察、成立國中小學課程研究發展小組、引進國外科學教育理念、設立實驗學校、培訓科學專業教師。課程發展經歷「試教→試編→試用→修訂→擴大試用（實驗）→再修訂」的程序。這系統性的課程發展模式，奠定臺灣科學教育課程發展的基礎。

- **科學素養：**科學家的專業多是經歷科學探索的歷程而來：觀察自然現象變化的規律性，搜集、分析與歸納資料，提出假設、實驗驗證、解釋及建立理論。這些科學探究過程技能成為這一波科學教育重點，科學專才不僅具有科學知識，也需具備獨立思考與科學研究的能力。這時代的「科學素養」重點包含「科學概念知識」及「科學探究技能」。
- **課程目標：**為國家培養科學專才菁英。
- **課程理念：**課程重點在於科學概念與實驗過程技能，課程設計理念即以科學概念和過程技能兩面向為經緯，輔以學習者的心智發展與學習內容的層次。
- **教學設計：**教學設計是「從做中學」的「教學（或學習）法」；要教某一個概念（例如植物的形態）時，就安排一系列的活動（例如豆子發芽、種花……）。要讓學生藉由觀察、測量、操縱變因的實驗、解釋……等科學活動的過程，認識到此一概念的內涵，也習得實驗操作技能（頁 22，圖 2）。

三、「解決問題能力」課程（1980～1995年）

上一波的科學教育課程將「科學探究過程技能」分成觀察、分類、測量、假設、推理、控制變因、解釋資料……等項目，透過教學活動分別練習這些技能。這樣的歷程讓學生熟練了科學實驗操作技能，也獲得科學概念。但是經評量分析，發現學生不會靈活運用科學概念與技能。科學學習不僅是「實驗室」學習模式，生活中的現象多是科學教學重要教材。再者，認知發展與心理學理論指出，有意義的學習需來自於學生主動投入並活用於生活中。

- **科學素養：**科學應該和生活息息相關，科學知識和方法是用來解決問題，包含生活上問題或是科學探究的問題。「科學素養」是綜合運用科學概念與科學技能的表現。
- **課程目標：**培養全民科學素養。
- **課程理念：**這階段的課程設計理念，深受資訊處理認知發展理論、學習原理與

建構主義的影響。單純分開練習「科學技能」無法獲得解決問題的能力，「科學素養」的學習必須在具有情境脈絡下，學習如何綜合運用科學知識與技能。課程重點強調解決問題能力的培養需要在情境中，將過程技能合起來看成是「解決問題能力」的一個流程中各階段的能力表現。問題的性質、內容和處理的策略，進行探索的過程，最後，則以討論的方式獲得結論。

- **教學設計：**主題式和議題式的教學成為教學設計的重要模式，並且以解決問題的流程作為課程設計的脈絡，包含：提出問題、討論及確定問題、研擬計畫、進行籌備、裝置及執行、討論及歸納資料、研判並提出看法等流程。學生可以由每一個單元的實作中，完成一次「解決問題」的流程（圖3）。

四、「能力本位」課程（1995～2018年）

1987年臺灣解除戒嚴，政治體制的轉型，社會風氣走向民主開放，經濟型態由傳統的農業社會轉變為現代工商業社會型



圖2.「技能本位」課程，水溫測量之實驗操作技能教學（圖片來源：許照榮）



圖3.「解決問題能力」課程，實驗操作中觀察紅墨水由植物的根吸收水分（圖片來源：許照榮）

態歷程中，各項制度面臨結構性調整，社會各界紛紛提出改革訴求，教育改革聲浪也風起雲湧。各階層或各領域的主體性實現，成了社會邁向現代化的趨勢，這樣的理念體現在教育體制的鬆綁及教育目的轉型上。1999年《教育基本法》提示「人民為教育的主體，培養國家意識及世界觀之現代國民為目標」，以「有教無類、因材施教」為原則。教育的目的從國家主義轉變為協助個人追求自我、實現自我，而培養「帶得走的能力」成為協助學生主體性實踐必要的一環。

- **課程目標：**培養全民科學素養。
- **課程理念：**1998年「國民中小學九年一貫課程」是這一波課程改革的代表，課程設計理念強調「以學生為主體」。課程設計以「學習領域」取代「學科科目」作為學習之主要內容。整合自然科學與生活科技成為一個學習領域，以能力指標規劃科學素養各面向發展。

- **教學設計：**有好奇心和自信才能主動探索、發現問題及論述表達自己的看法，依此獲得學習和成就感。教師的「教學」是在促進、協助、促成學生的「學習」（圖4）。

五、「素養導向」課程（2018年～）

因為數位科技快速發展及全球化的趨勢，使得工作所需的知識與技能急劇變化。氣候變遷與環境生態議題，已是一個跨越國境的全球性問題，讓每一位世界公民無法置身事外。再者，我國的家庭日趨少子化、人口結構漸趨高齡化、族群互動日益多元、民主參與更趨蓬勃、社會正義的意識覺醒。我們所處的一個複雜與不確定的時代，我們無法教導學生10年後的工作所需的知識與技術，教育可以做的是培養學生具備「終身學習的能力」，培養學生具備基本的知識與技術並活用知識的能力，學會如何學習的習慣，以及瞭解自身文化，全球變化趨勢，關注與參與社會議



圖4.「能力本位」課程，921地震災區，觀察大自然的力量之戶外教學（圖片來源：許照榮）

題，藉由良善互動過程，同時增進自己的幸福感。

- **科學素養：**科學研究（例如核能、生物科技、複製人……等科學研究）與科技產品（例如基改食品……）已和每個人的生活緊密關聯，這些研究發展帶來便利，也造成負面影響。這些影響提醒人們再次反思科學的價值。在民主時代公民參與公共性議題已成重要的趨勢，科學教育需要培養公民如何理性思維、參與公共性議題的能力與態度。這時代的「科學素養」內涵是整合版，除了實用性、功能性以外，也納入文化性與社會性內涵。
- **課程目標：**培養公民科學素養。
- **課程理念：**以科學探究能力、核心概念及科學態度與本質三個面向組織科學學習重點。簡併科學素養內容為思考智能、解決問題、科學核心概念、科學態

度與本質。強調素養導向的課程理念，科學素養是整合性內涵，在面對生活問題或社會議題時，能活用並善用科學資訊與思維方法來做判斷與抉擇。

- **教學設計：**教學設計營造正向的交互作用，人是藉由互動累積經驗，也在互動過程逐漸建立自我價值觀。例如物質世界的探索、生命世界的接觸經驗，藉由互動歷程體會生命的奧秘和意義，也看見自己的價值。教學設計即是規劃正向、具有挑戰性的互動情境（圖5）。

課程研發的挑戰

課程是發展演替的概念，12年國民基本教育課程（以下簡稱新課程）乃延續九年一貫課程「能力導向」概念，提出更整合性的「素養導向」課程概念，儘管能力與素養具內涵上的差異。「能力」是強調硬實力(hard skill)，通常不涉及價值與態度，



圖 5. 素養導向教學，學生經歷有如科學家般的溝通表達（圖片來源：劉怡君）

而「素養」概念強調知識、能力與態度的整合。不過兩者在課程實踐理念都強調「學生為主」、「多元適性」與「連貫與統整」。因此就課程發展與實踐而言，兩階段的課程其所面臨的挑戰差異不大。

一、科學素養內涵

「能力」大家都熟悉，但是要明確定義卻不容易，因為「能力」具有多元與綜合表現的特性，「素養」概念也是如此。再者素養內涵隨著時代演替越趨多元。當代的科學素養的重點在於「公民」與「公共性」（陳恆安，2012）。科學教育作為全人教育的一環，科學素養除了物質世界的探索能力以外，環境生態與科學社會性相關議題的探索能力，都是作為一位公民所需的科學素養。新課程以科學素養作為課程設計主軸，以探究能力、核心概念及科學態度與本質三個面向作為課程設計之學習重點，然而如何整合三個面向？科學素養內涵及其在教學、教材、評量的呈現模式為何？仍有待後續課程發展進一步澄清。

二、知識與素養

素養是整合知識、技能、思考或態度的綜合性表現，從認知發展理論與建構論，先備概念影響知識的接受與理解，先備知識是學習的基礎。再者學習是連續、動態且非線性過程，對於素養導向的課程，概念學習仍是重要的元素。就課程設計而言，重點即在於那些概念是必要的、核心的？新課綱提出 14 項科學和核心概念，但是核心概念如何結合探究能力、思考智能以促進素養的學習，這應該不會有單一標準的答案，也不會由教科書編輯來解決，它需要透過課程研發，逐步發展出一些可行且有效的模式。

三、分科與統整

從科學教育發展脈絡可見，科學素養內涵發展趨勢是朝向「多元整合」與「公共性」的概念發展。科學素養包含功能性與實用性，也包含社會性及文化性。素養導向的課程設計，將跨越科目或領域的結構，以統整方式設計課程是必要的趨勢。新課程提出國小統整教學方式，國中分科為主、跨科為輔（每學期一個跨科主題／單元），高中「自然科學探究與實作」必修課程，提供學生綜合運用科學知識。儘管「統整」不是嶄新的課程設計概念，但是九年一貫課程「分科」與「統整」概念紛擾至今，並未獲得解決。筆者認為課程實施歷程，需要啟動課程研發，深入剖析分科與統整的學習效益與模式，其理至明。

四、分流與共同

以臺灣的學制，高中是生涯探索與分流階段，新課程必然面臨如何兼顧基礎共同與分流進階的發展問題。依認知發展與學習理論，自然科學領域採取以下課程設計重點：國小豐富科學探索學習經驗，國中逐步接觸科學系統性概念，高中必修課程提供學生綜合運用科學知識的學習。那麼每個階段的學習進程（*progression*）為何？包含知識概念、技能方法或科學態度發展，及其相關的教學、評量、教材都是課程發展的必要考量議題。課綱僅是課程改革的第一步，課程研發需進一步剖析：

1. 如何兼顧科學「概念的系統性」與「分立的探索經驗」？
2. 從國小到高中的「探究能力」發展進程，涉及標準化的實驗規劃方式或是議題的探究模式？

五、簡化與減化

教材減量一直是教師提出課程實施的困難，這個議題可從兩個面向分析：

1. 教育理念的面向

如果教師相信科學素養是「科學知識的豐盛度」，那麼他的教學就會朝增添內容發展，如果他認為科學素養是「觀察、探索、規劃、推論、做理性抉擇等能力綜合表現」，那麼使用什麼教材已經不是重點，教材量多寡自然也不是問題。

2. 專家與生手

專家與生手一項重要差別是，專家能掌握主題的核心概念（core ideas）和大概概念（big ideas），再依此連結其他細節（有時直接由核心概念作推論），那麼科學課程設計重點在於如何協助學生掌握核心概念或大概概念，促進學生綜合規劃與推論等科學探究能力，而不是記憶零碎的事實知識與科學語彙。

筆者認為「簡化」與「減化」隱含的是教學信念與教學專業的問題。教師以「行動研究」方式參與課程研發，發展教師設計「學校本位課程」與「模組課程」的能力，才是根本解決問題的方法。

六、多元價值

歷次課程改革必定提及師資、教學、教材及評量等配套措施，然而社會文化對於教育的期待，卻是影響課程改革成功與否的重要因素。一般家長認為學校教育的目的，是幫助學生升學明星學校，對於「學習」的概念僅限於升學與成績。當人民參與各項公共政策越趨重要時，教育革新、教育理論與課程發展趨勢，如何獲得家長支持，如何讓家長了解學生的多元智能不同，或許也是課程發展重要的元素。

課程研發趨勢與展望

一、課程發展趨勢

回顧臺灣中小學科學教育課程改革，從 1970 年代至這一波 12 年國教課程，可以看見課程發展的趨勢：


1. 科學教育目標從培養科學專長菁英，轉變為培養全民科學素養。
2. 科學素養的內涵從擁有科學概念知識，轉變為活用科學知識並關心與參與公共性議題。
3. 課程決定機制朝鬆綁與彈性方向發展；課程決定由專家模式，轉變為公民參與模式。而課程設計由教育部主導的標準模式轉變為教師主導的學校本位課程模式。
4. 教學設計由科學概念結構導向演變為情境或議題導向，以教師為中心轉變為學生活動為中心。
5. 課程設計理念從知識概念結構演變為素養導向。

二、展望：建立國家層級課程研發機制

科學教育應具有國際性與前瞻性，課程研發需具有延續性與可行性。1970 年代臺灣引進歐美的科學教育課程，在 1970～2000 年期間歷經課程編輯設計、試行與修訂等課程研發過程，逐漸奠定臺灣國中小科學教育課程的基礎。近年來臺灣學生在科學教育國際評比測驗的卓越表現，筆者認為和這段期間扎實的課程研發有密切關聯，從前述發展脈絡可知，這階段的課程重點即在於科學概念與技能的學習。2000 年以後的課程決定權力，逐步開放由地方政府主導，國家層級的課程研發卻也因此中斷。亦即，能力或素養導向的科學教育課程，並未經歷課程研發的過程。臺灣學

生在科學議題、科學批判與論證能力的表現不盡理想，是否和中斷國家層級課程研發機制有關，值得進一步探討。

素養導向課程蘊含「知識結構化」的課程設計概念的鬆動。但是，這不意謂著科學概念知識不重要，而是將課程設計重點置於科學知識的活用與善用。課程改革是延續的，不是革命式，課程改革卻也深受社會文化與價值的影響。這次課程改革以素養為導向，從國小貫穿到高中課程，連貫與整體設計的概念，符合國際課程發展的趨勢。然而，長期升學制度，著重知識概念的考試方式，使得素養為導向的課程必然面臨挑戰，尤其對高中更是嶄新的課程經驗。因此，建立國家層級的課程研發機制，是落實新課程與深化臺灣科學教育發展必要且重要的措施。

再者，民主社會的發展，公民參與教育政策是必然趨勢，這裡所指的「參與」，不單是課綱研修委員，而是課程研發過程的參與，例如藉由研討會、公聽會或網路論壇等形式，不論是課綱的研訂、課程實施或是資源的開發，納入公民團體的參與，不僅是匯聚公民的創新智慧，也是課程行銷的最佳作為。如何兼顧專業與公民參與，筆者認為是新課程實施及課程發展的另一項重要課題。

註釋

- 註 1. 課程：在學校教師的規劃、設計、安排與指導下，所提供的學習經驗。
- 註 2. 由於高中科學課程，由於受升學考試的影響，課程內涵未有顯著改變，僅在於專長分流選修科目。就科學課程演替脈絡，本文以回顧國中小課程發展為主，並分析本次高中課程設計的改變，藉此演替脈絡探討 12 年國教科學教育課程的實踐與挑戰。

參考文獻

1. 林慶隆、張復萌、葉盈君、劉淑津（2016）。國小自然教科書之知識論與課程觀演變。新北市：國家教育研究院。
2. 教育部（2003）。國民中小學九年一貫課程綱要。臺北市。
3. 陳恆安（2012）。補不足之外：公民核心能力的科學素養，科學發展月刊，475，7月。
4. 鄭湧涇（2005）。我國科學教育的回顧與展望。科學教育月刊，284，2-22。

黃茂在

國家教育研究院副研究員

陳文典

國立臺灣師範大學退休教授