

科學過程？科學內容？發現教學？解決問題？

論現今中小學科學課程的

設計與教學

國立台灣師範大學科學教育中心 魏明通

前言：在本刊 37 期，著者曾介紹中小學科學教育的另兩個目標——下最好的決定與控制命運。爲了達到科學教育目標，中小學科學課程的設計與教學，有些人強調科學過程爲首要，有些人主張應以科學內容爲主；另有人却力主發現式的教學；再有人則以培養學生解決問題能力爲重點。這四派的科學教育家均有他們的理論根據，並且有很完善的科學課程計畫。著者最近研讀瑪琍·瑞 (Mary. B. Rowe) 所著繼續探究的科學教學 (Teaching Science as Continuous Inquiry) (1) 一書時，她以討論會的方式介紹這四派的論點及其他人對他們的批評。文章深入淺出，對各派的主張均有清楚的交代，相信對從事及關心我國中小學科學教育的同仁及先進有所幫助，因此介紹如後。

一、主張科學過程的先生

女士與先生們，我強調訓練科學過程的教學。當許多與我相同主張的科學家聚集在一起時，總想尋找彼此共通的特性。我們每一個人都研究不同的專題，所探討的幾乎沒有共通的內容，甚至我們所使用的言語也不同，因此，開始時，很

難找到共通的特性。我承認我是一個傑出的物理學者，可是，我的生物學很差勁，因爲我不知道甚麼是生物學最重要的。儘管我們科學家有如此差異，我們仍公認自己都是科學家。當我們分析每一學科科學家的特性時，我們將會發現必有一些共通的要素——研究的過程。如果我們能夠把這些共通的要素辨認，並教育給兒童時，他們將能夠在自己所選擇的任何學科發展。

這些研究的過程是科學家研究科學的方法。通常適用於自然及社會科學的是：觀察、應用時間、空間及數字、分類、測量、傳達、預測、推理、控制變因、下操作型的定義、形成假設、解釋資料與實驗等技巧。此外，兒童們應用這些科學過程於他們所做的科學活動時，必須能夠判斷其可行的範圍與期望的利益。這裡所舉出的科學方法雖不是完全的項目，可是足夠可處理任何科學研究，因此，希望透過學校的科學課程，讓兒童由“做”來學習。爲達到此一目標，我們分析科學過程的每一成分，然後依不同學科而設計教學這些技巧的訓練順序，要求兒童演示每一科學過程所連帶的活動。爲了保證這些科學過程能夠使用於一學科到另一學科，我們使用包含各種學科內容的課程，惟這些內容是附隨於科學過程的。換句話說，我們選出最適合於例示及教學科學過程的學科內容。

在低年級學生的課程裡，大部份的時間用在科學方法的教學上。雖然不使用學科內容，不能教學科學方法，可是，學科內容是支持教學基本科學方法而有的。在高年級的課程裡，學科內容與科學過程的分離，逐漸地消失，科學過程成為有利的精通學科內容的工具。

我們曾經根據分析科學家怎麼做為基礎，來編製我們的課程，可是，我們瞭解各學科的結構遠比瞭解人們如何獲得結構為多。我們將來必須研討兒童們怎樣運用這些科學方法。

二、主張科學內容教學的先生

女士與先生們，在我欣賞科學過程先生所講的觀點時，我想有其他方法去考慮，科學的那一部分對學生有最廣的適用性。瞭解科學是以最低限度的認知成熟度，與對主題的老練為先決條件。沒有科學知識，不能做有效的推理，或設計適當的實驗以試驗所做的推理是否正確。科學不斷在進步，可是，組織現代科學的主要概念是不會很快就改變的。正如你們都很清楚的瞭解，科學是一種互相支持的各種見解所結連的網狀組織。在此網狀組織中被捕捉的科學事實可能改變，可是網狀組織本身，改變的很緩慢。

我們所進行的方式是，嘗試去辨認散佈於科學領域中主要的統整性原理。我們把它分為兩大類。每一類有不同的強調點，可是兩者都集中於甚麼是兒童們必須知道，並能夠提高他們科學素養的。第一類贊同過程先生的觀點，即不同學科的科學家之間，缺乏傳達之機會。此一問題因各科科學沒有共享一種萬國語言而起。假設我能夠使用一詞來描述此一群人認為重要的內容時，我願意使用“系統教學法”(System approach)來表示。

具有最大轉移可能性的科學內容是，稱為科學準語言(Metalanguage)的一組概念。例如

，物體均具有特性，物體的特性能夠以系列排列並數量化而形成變量；變因間的交互作用必有一些證據，系統是一個人要探討的這些相關關係；系統是物體特性中能夠探討的實體。此一課程計畫的較後階段，兒童學習建立這些系統的概念。例如，能量關係在科學上極為重要，物理科學家時常使用其為傳遞系統觀念的工具。

第二類採取一些不同的見解。他們認為，有一些特定的主要概念或組織上的主題，遍佈於所有的科學裡。這些主要概念在很長時期，不會以任何實質改變。這一群人選出最可能持久的主題，發展成以五個概念系統為主的科學課程計畫。這兩類觀點間有一些相似點，兩者都基於沒有“知識”就談不上“發現”的假設上運作。其他概念也被選用，惟下面所例舉的概念在目前似乎很有用；例如，宇宙的結構單位，星球到原子，動物到細胞等型式的層次；宇宙中所有階層機構不斷的交互作用與變化；能量，其守恒與衰變可幫助解釋及控制某些變化；自然的統計觀念。此統計觀念似乎是預測及控制現象的主要因素。只有每個人放棄個別事件的觀點，採取研究累積事件的性質時，自然界將變為可預測的。此方法對我們怎樣在社會及科學領域中，擔任工作非常重要。此一群人相信，在小學科學裡該學的重要東西，是併入於這些概念的網狀結構。這些組織是整個科學的特性，而不是專指傳統的某一學科，例如生物、物理或化學等。

三、主張發現教學的先生

剛才兩位先生曾很辛苦的，花很多時間發表了他們的見解。可是，我覺得他們都忽略了科學教學最重要的目標。他倆的計畫都產生一種知識產物。在前者，學生將學習一些普遍的科學過程。後者強調學生學習某些普遍的，但相對穩定的科學內容。女士及先生們，發現教學的目標，在

於改變學習者與知識間的關係，我們努力產生一種情況，使兒童們能夠找到從事探究的報酬。我們對於兒童發展智性的自信（self-reliance）很感興趣，因此發展可喚起兒童探究意念的教學單元。兒童們都具有好奇心，這些好奇心將刺激他們去探究，因此，我們嘗試選擇能夠激起兒童推理的材料與事件，培育兒童推動屬於他們自己的發現。

科學是一種動態的，無止境的，人人都能享受的探究過程。正如我們都專於自己喜愛的不同學科一般，有一些科學教學單元，將很吸引一群學生，其他單元則為另一群學生所喜歡的，因此科學課程需要編輯多數的獨立單元，供給學生探究多樣的內容。假使你喜歡，所有的這些內容，可容入於兒童感興趣的架構中，或於附帶的遊戲中。兒童從內在的“發現”建立自信的機會較從“模倣”所建立的多。我們假設學生學習這些單元後，將發展成為人們從事探討科學時，處理所面對的困難與問題之健康態度。他們將到達，相信自己能夠找到解答的地步。畢竟，我們開始一種研究時，是不是相信能夠找到解答後才進行呢？那是一種很重要的信心，我們必須要轉送給年青人的。

四、主張解決問題為主的先生

在國家科學基金會⁽²⁾大量資助經費於科學教學研究以前，只有極少數的科學家參與編輯科學課程工作。但是新課程計畫，雖然有多數科學家參與，計畫中或許缺乏社會需要的反應。各科學課程計畫的編輯小組的成員，很難代表科學與技術企業的全體成員。有多少科學課程編輯小組裡包含在職的工程師或技術人員呢？這些人強調怎樣使用資料，解決社會上所需要的問題。

在廿世紀將要過去的時候，世界人口約有一半，將直接從事與經濟有關的技術工作。即使今日

，科學家中只有十分之一左右從事基礎研究，其餘的即從事各項任務所定向的解決問題工作。在廿一世紀，人口的大半將從事於技術工作，其中大部分將是能幹的解決問題人員。因為科技未預料的迅速進展的結果，我們面對許多問題的衝擊，我們有很多問題要解決，那一種課程計畫能夠很有效的，教學學生成為很優秀的問題解決者呢？

第一，我們必須重點的選擇對學生們很適切的題目。開始時，所選的問題應該是足夠的單純，使兒童能夠從中學習對尋找解答有用的一連串行為。這些行為如觀察、描述、下推理及形成假設等。或許你覺得，此一方式正如主張科學過程先生所提倡的科學方法相似，可是，大大的不同，因為我們不認為這些科學過程能夠從問題分離，而在問題中學習，每一問題的內容佔優先。

我們嘗試創造情境以引起有才智的問題。例如，人口與污染是我們所面對，而且我們的下一代亦可能遭遇的兩大問題。這些問題的技術方面，遠較經濟上、道德上、倫理上或政治上的爭執容易解決。我們希望較多的社會科學家及應用科學家參與課程的編輯，兒童的學習不應從社會情況分離，學習環境污染問題，而不想辦法解決，似乎只是一種空洞的練習而已。

很多人認為科學教學的目標，在於使學生成為科學家，事實上，只有少數學生成為科學家，大多數的將成為熟練的問題解決者及優秀的發明者。為了達成此一目標，我們寧願犧牲美麗的科學概念架構，選擇焦點於解決問題上面。

會場內的一人

我承認聽了你們四人的發言後，感覺很迷惑。至少有一點需要澄清，你們所提的計畫都強調，學生直接參與教材，並以活動為中心的。可是，我未曾聽到任何人說過，主要是由於心理學的

理由，或起於科學哲學的理由。主張科學過程的先生說，他的計畫可供給教學兒童怎樣做的方法，因此很重要，主張發現教學的先生強調，引導發現的刺激特性；其他人則使用活動以表示觀念。

我認為你們都忽略最重要的實驗。實驗是人們對自然的一種發問。你不能與自然直接談話，因此計畫怎樣尋找並獲得資料。實驗是一連串推理過程的產物，實驗是研究者所做的許多事之一。他們閱讀，他們與具有有關資料的人們談話，他們訪問可幫助他們設計實驗的人及解釋他們所獲得的資料。

此一觀點牽涉到四位演講者的觀點。沒有實質上的知識，怎樣能夠期望兒童去發現呢？我想他們只能做一般平凡的事。科學的力量是由觀念的累積與湊配所產生。此概念架構指定下一步要探討的是甚麼問題，實驗由此生長。我認為發現教學與解決問題教學，都將此一知識的極重要性分化。

主張科學內容的先生

我大約同意剛才所發言的觀點。依我看所有其他計畫都受制於三種批評。第一，他們根據狹窄的知識為基礎，因此無論兒童學習甚麼，很少有概括性。第二，可能有使兒童只保留事實而不保留概念或原理的趨勢。第三，這些計畫所使用的邏輯結構或科學方法的觀點，學生能夠模倣，但不一定真正了解。

我們都知道，實際所做的研究過程，與最後出版的研究報告，只是基本上類似而已。我很擔心兒童們會以為從事發現、解決問題，獲得知識等都有一套定型的步驟和方法。女士與先生們，你們都知道這是不正確的。相反地，至少有一半是在於思考對舊有知識的新看法。甚至，愛因斯坦（Einstein）沒有用普通的方式，從事實驗來創立他的相對論。他的工作是根據資料及已存

在的觀念，他把這些以不同方式組織——很戲劇性的——如此重組結果，出現完全新的大概念。此一類工作是沒有預先準備的處方的。

主張發現教學的先生

我聽內容先生的陳述而起一個問題，就是它使教師只以簡單的閱讀、講解或示範方式，很容易傳遞知識。我想如此做或許可給與學生最好的知識，可是亦教他們討厭科學，我寧願冒可能失去一些美麗的概念架構，而贊成培養學生一種較好的態度。無論如何，發現教學單元，照原訂目標進行時，兒童們將會獲得某一範圍內，有深度的科學知識。他們能夠找出觀念與相關關係織成在一起的意義。他們學習有關一小片自然界的許多事實。朋友們，我主張的，不但與我們研究者所做的過程很相似，而且創造一基本的樣式。做完一方面的工作後，兒童們能夠瞭解，每一新範圍的研究，所遇到的問題是尋找相關關係的樣式。剛才會場內一位先生，對於實驗所做的評論是正確的。當學生從事一種不很深的研究時，實驗的功能顯然地對他們很重要。他們設計他們自己所需要的實驗。在其他時間，他們則從書本、大人，有時從影片中獲得資料。我們都很瞭解，我們每一個人都是專家，只是一小部門的專家而已。我認為我們都在從事很狹窄，在概念網路中的某特定片段中，工作並議論。此一片段是很重要的。因為它含在於某一特定研究裡。當兒童們被不切題的、矛盾的、迷惑的情境所刺激時，他們會建立與他們自己有關的網路。

無論如何，我承認兒童們進入於概念上困惑的任何階段時，他們或許需要教師與資源等，幫助他們通過到層次後面。在那一層次裡許多問題不能簡單的解決，因此，我們仍然供給指引，幫助教師更老練於學生所問的問題。

會議主持人

這些課程計畫都有一些共同點。事實上，當你訪問一教室活動時，會覺得任何一群學生與其他群學生間，相似的行爲較不同的行爲多。我想這些課程計畫都很迫切的要教師給與學生有時間，積極的從事他們自己的探討活動。他們期待有一些錯誤——事實上，他們以錯的代替對的來給與學生，讓他們從追蹤的過程或重新組織步驟的方式，從嘗試錯誤中學習問題。假設所有的學生學習每天發問下列問題：

證據

1. 我知道了甚麼？
2. 爲甚麼我相信它？
3. 其證據是甚麼？我都有了嗎？
4. 這些證據從那裡來？有多好？

推理

5. 我做了甚麼推理？所有可能的解釋是那些？

活動

6. 根據我知道的，我應該做甚麼？
7. 我知道怎麼做嗎？

評量

8. 它所含意義是甚麼？我把某些結果較其他的評的高了嗎？爲甚麼？

如果這些科學課程計畫，幫助學生發展控制命運的感覺；發展一種意願能容許某些程度的不準度，逐漸灌輸，使學生相信，在變因間的相關關

係有一定樣式，而且能加以使用。那麼，這些課程及教學的教師就已完成一種巨大的工作。可是，課程並不是靜態的，我們必須根據所含的內容改變概念並從累積的經驗去預測未來我們的學生所要學習的。同時發展足夠彈性、富有理智與情感的教材，使我們的學生不作環境的犧牲者而能夠指揮自己命運及改變環境。

結語

如瑪琍·瑞所強調的，科學課程是動態的，需要有彈性的，富有理智與情感的。因此本中心所進行各級中等學校科學課程的改進計畫，均留意各派所強調的優點，依據我國的近程與遠程需要，文化的現代與傳統特性，科學的本質與特性成分，學生的心理與生理狀況等因素，編輯科學方法、科學概念及科學態度平衡發展的科學課程，期能革新科學教育。 □

附註

註 1 : Mary Budd Rowe, *Teaching Science as Continuous Inquiry-A Basic*, 2nd Edition, Mc Graw-Hill Book Company, New York (1978).

註 2 : 一九五七年開始美國國家科學基金會 (National Science Foundation) 大量資助科學課程研究。