

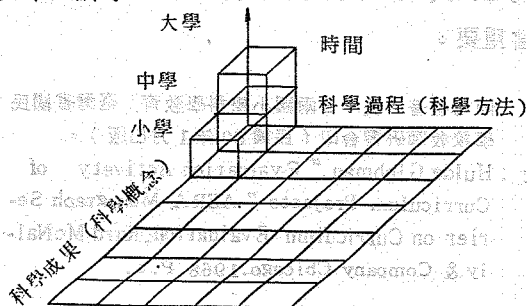
科學課程設計要素之一 ：科學概念

楊冠政
國立臺灣師範大學

壹、前言

課程是實現教育目標的工具，也是教育的內容。因此課程設計之良窳可影響教育之功效，其理至為明顯。尤以第二次世界大戰之後，民主國家在慘勝之餘，對於納粹軍國民教育之成功至為感佩。一九五七年蘇俄人造衛星史達尼克的發射升空，使美國朝野極為震驚，深感杜威經驗主義的教育實不能與蘇俄之科學教育相頡頏，重知的實質主義逐漸興起，而科學課程之設計已漸為今日科學教育研究之主要課題。

1964 年，美國科學教師協會（National Science Teacher Association）發表「從理論到行動」（Theory into Action）一書，書中建議科學課程之設計須遵循下列三向度的模型。此三向度包含科學成果（科學概念），科學過程（科學方法）和兒童的經驗（時間）。各級學校的科學課程應以此為設計的基礎。其建議之模型如下圖所示。



貳、科學概念被重視的原因

科學知識的爆發 自第二次世界大戰以後，科學方法與工具的突飛猛進，尤其是電子顯微鏡，核子分裂和太空探索所代表的科學上的突破，加速了科學知識的爆發。

由於科學知識的巨量增加，教育學者面對兩個亟待解決的問題；其一是現行教材是否陳舊過時；其二是為何把如此衆多的科學知識傳授給學生。

學校中的授課時數並不因知識的增加而有所改變，因此課程組織的方法首先被考慮。以往藉增添科學知識含量來改進教材的方式已無法實施，取而代之的是精選基本教材，且重視基本科學概念的學習。

重知教育的興起 美國杜威（John Dewey）博士的經驗主義向為美國教育思想的主流，杜威主張經驗為教育中心。1957 年蘇俄人造衛星放射成功後，此派教育主張受到沉痛打擊，美國教育學者認為這種教育不能使美國成為科學競爭的勝利者，繼之而起的是學科中心課程（discipline centered curriculum）的實質主義（Essentialism）教育，恢復傳統的重知教育。

自 1961 年至 1963 年，美國教育協會（American Education Association）在其發表之政策聲明“Central Purpose of American

Education”和“Schools for the 60s”中，曾明確的揭示以基本知識和技能的習得，以及開展知性能力為學校第一任務，且強調知識為學校功能的中心。

學習心理學的推崇 學習心理學者認為概念的學習為最有效的學習。布魯納（J.S. Bruner）在其「教育過程」（The process of Education）書中明確地主張學科應以其基本概念為內容，所學習的概念愈是基礎的，對新問題的適用範圍愈廣。並且認為教材的結構應與學生的認知結構及能力相配合。

參、科學概念的定義、類型及特徵

概念的定義 美國科學教育家帕拉（Milton O. Pella）在其名著「科學的概念學習」（Concept Learning in Science）中曾將「概念」一詞予以剖析，譬如「昆蟲是一種具有三對腳而身體分三部份的動物。」這是一個生物上的概念，他認為這敘述：

1. 是一個象徵性的描述（a symbolic representation）。
2. 是人類所作的決定。
3. 是根據人類觀察自然現象的經驗所做的決定。
4. 是從人類經驗中抽取出來的。
5. 是超出個人經驗的概括（generalization）。
6. 包含有意識的或合理的事實的關聯。
7. 描述一個人造的觀念（a man-made idea）。
8. 描述一個觀念而有不同階層的複雜性。
9. 是有用於預測和統一資料。

綜合以上分析，帕拉氏認為概念是一群觀念或事實的重要特徵的摘要，這摘要簡縮了一群觀念的共同外貌。

概念的類型 帕拉氏認為科學概念可分為三種類型，即分類型（classificational）、關係型（correlational）和理論型（theoretical）等。分類型概念與事實的分類有關，而關係型概念為事實的關聯。這兩類概念均來自人類的直接經驗，且用來描述人類的經驗。理論型概念則為人類創造的抽象觀念，用來說明人類的經驗。茲將各類型概念舉例說明如下：

甲、分類型概念：

- (1) 物質佔有空間並且有質量。
- (2) 一個脊椎動物具有脊椎骨（backbone）和內骨骼。
- (3) 種子植物（Spermatophyte）形成種子。
- (4) 消化系統是一組器官具有準備食物於同化作用的共同功能。

乙、關係型概念：

- (1) 物質可藉加入或減去能量而改變。
- (2) 各種動物的消化系統，其構造均不相同。
- (3) 消化作用是將食物從不溶性轉變為可溶性的過程。
- (4) 若電壓恒定時，電路上的電流隨電阻而改變。

丙、理論型概念：

- (1) 物質是由稱為粒子的原子所造成。
 - (2) 光是一種電磁波（electromagnetic wave）。
 - (3) 在消化過程中，食物成份的分子構造被改變。
 - (4) 原子是元素的最小粒子，且由電子、質子、中子或其他粒子所組成。
- 帕拉氏認為現代科學有兩個主要的任務，即：(1)對人類經驗中若干現象的描述；(2)建立原理法則於預測和供給概念系統於事實說明。用於描述現象的概念多屬於分類型，有助於預測的概念系統多屬於關係型，而用於說明現象的概念系統多為理論型。

科學概念的特徵 基於上述概念類型的分析，帕拉氏認為科學概念具有下列特徵：

1. 概念是個人或一群人所具有的觀念。概念是一種象徵（symbolism）。
2. 任何物體，現象或者過程的概念是以簡單到複雜的連續性存在。
3. 概念是由於一個以上的物體、現象或事實的經驗結果。概念是概括（generalization）。
4. 概念是抽象思考（abstract thinking）的結果，它包含許多的經驗。
5. 概念包含事實的關聯。
6. 概念並不是根據一次身體接觸（physical encounter）而決定的。
7. 概念不是與生俱有的。
8. 概念不是實體的影像。
9. 概念沒有真假，只有適宜或不適宜。
10. 概念有五種主要關係：對人、對事的、對其他概念、對概念系統、對過程。
11. 概念有助於製作預測和解釋。
12. 在任何區域內，一個概念的形成，可由感覺經驗的次序來決定。
13. 一個概念的形成，可能由當時的文化形態（cultural pattern）來決定，因此當文化改變時，概念的意義和價值亦隨之改變。

肆、概念學習的教育意義

美國教育心理學者德雪柯（John P. Dececco）認為概念學習具有下列教育意義：

概念可以簡化環境的複雜性 概念不是得自單一事項，而是來自一群的事項或刺激。假如我們要把所受的每一刺激，都作特殊事項來反應，那麼，我們將被環境的複雜性所困擾；尤其是在這知識爆發的時代，我們不得不發展有效的知識分類，以免為瑣屑事物所困惑。我們所以能控制環境，其重要的一個根源可以說是我們能將事物

加以分類。布魯納（J. S. Bruner）曾指出我們在一週內所見的各種顏色約在七百萬種以上，假如我們要對每種顏色反應，我們將變成智能衰弱。

艾塞（Archer）認為人類要減少環境的複雜性是有其動機，這種動機與人類之年齡及智能有關。譬如說，當一個小孩知道他的寵物是一條狗時，他會把所有兩條腿的動物都認作是狗，不論它是貓，是馬或是牛。待他稍大時，他可以區分狗與貓。這時顯示出他需要來瞭解其環境之差異性以及減少其環境的複雜性。

概念有助於我們辨認周圍的環境 我們在辨認事物時，常將其置事物於某一類，以減少複雜性。當小孩認識狗時，他會遭遇到如何區分狗與貓的困難；當他會區分狗與貓時，他可能又會遭遇到如何區分狼、狐狸和鹿。因此概念的使用可驅使兒童去辨認周圍環境中的各種事物。這種概念的使用可擴展兒童的概念。

運用概念於辨認環境中物體，顯示概念作為起始行為（entering behavior）的重要性。概念和原理與環境的關係，以及其互相間的關係，形成階層的結構。如果兒童沒有學會低階層的概念，他將無法學會高階層的概念。

概念和原理可以減少經常學習的需要 當學生習得「哺乳類」這概念後，他可以不斷地使用這概念來辨認動物。任何時候，每當他遇及此類動物時，他不必再從頭來研習哺乳類的意義。因此，在學校現概念可使學生不必經常的學習。當然，當我們年老時，由於舊概念根深蒂固，可能發展一種革除舊思想的阻力。

概念和原理使教學得以成功 在學校裡教師慣於使用口語教學，因為教師們認為學生已獲得所需要的概念與原理，因此不需要具體的實在環境，就可學習更進一步的概念與原理。從小學至研究院，教師使用口語教學的比率愈來愈大，這種教學的成功全賴學生概念與原理之習得。

美國教育心理學者布魯納認為如果教導學生

以學科的基本概念，將會有下列功效：

概念學習有助於學生的記憶。經過多年來有關記憶研究的結果，認為一切事實詳情必須安置於構造模型（a structural pattern）中，否則極易遺忘。藉簡化的模型，各種事實詳情能被記憶。這種簡化模型具有所謂再現性質（a regenerative character）。譬如說一個科學家不可能記住在各種不同重力場（gravitational field）中，在不同時期內，各種落體（falling bodies）所經過的距離，但是，如果這科學家腦海中有地心引力，時間與距離之間的關係的概念，也就是這三者的組成的公式 $S = \frac{1}{2}gt^2$ ，他便能說出各種不同情況中的落體距離。

概念學習有助於學科的瞭解。概念為各學科的基本構造（basic structure），若學生能瞭解這學科的各概念，以及概念間的關係，他便對這學科知識的廣度與深度有所領悟。

概念有助於學習的轉移。如果學生具有基本概念，他便能應用這概念於將來所遭遇的新情況。由於概念可聯繫各種事實，因此愈基本的概念便能應用更廣闊的問題上。譬如，學生有昆蟲的概念後，他遇見任何動物具有三對腳和身體分成三部份，他都能認識為昆蟲。

概念教學有助於分辨教材的初級（Elementary）與高級（Advanced）知識。譬如檢視小學至中學的教材概念構造，使能區分各種教材之程度。此外，藉教材中概念的分析，亦可分辨出教材是否為陳舊或落伍。

伍、概念組織與課程設計

一般認為概念具有層次（hierarchy）的結構，即概念（concept）——原理或法則（principle or generalization）——概念綱領（conceptual scheme）。

原理是兩個或多個概念間關係的敘述，譬如

「物質是以固體、液體或氣體狀態存在」，這原理中包含有物質、固體、液體和氣體等概念。且將這些概念聯成一體。同樣的，「生物能生長、生殖和死亡」也是一個原理，把生物、生長、生殖和死亡等概念聯成一個有意義的敘述。

所謂概念綱領是科學領域中的大觀念（Big idea），在科學社會（scientific society）中已被確認，而且是科學研究的基礎。每條概念綱領代表一個原理系統，能用於組織學習順序，從簡單的概念與原理為起始，發展成為複雜的概念與原理。

美國科學教師協會（National Science Teacher Association 簡稱 NSTA）的「課程委員會」（Curriculum Committee）於 1964 年，將科學上的主要概念組織成七條概念綱領供給各級學校作為科學課程設計的基礎。茲後，許多科學教育學者潛心於概念組織之研究。現將四種較為著名的概念組織簡介如后：

NSTA 的概念綱領

1. 所有物質均為被稱作基本粒子（fundamental particles）的單位所組成；在某種狀況下，這些粒子可以轉變為能量（energy），反之亦然。
2. 物質是以單位（unit）的形態存在，這些單位可以組成層狀的階層（hierarchies of organizational levels）。
3. 在宇宙間，物質的行為可基於統計的基礎予以描述。
4. 物質的單位間進行交互作用（interaction），所有通常的交互作用的基礎是電磁的（Electromagnetic），重力的（gravitational）和核子的（nuclear）力量。
5. 所有交互作用的物質單位趨向於平衡狀態（equilibrium states），此時焓（enthalpy）最小，而熵（entropy）最零亂。在到達平衡的過程中，發生能量轉變（energy transfor-

mation)，物質轉變 (matter transformation) 或物質—能量轉變 (matter-energy transformation)。無疑的，宇宙間能量與物質的總量維持恆定。

6. 能量形態之一是物質單位的運動，此運動形成熱、溫度和三種物相，即固體、液體和氣體。

7. 所有物質存在於時間與空間中，且由於物質單位間進行交互作用，物質隨著時間作若干程度的改變。這種改變可發生在不同的速度與不同的類型。

COPEs 的概念綱領 1965 年，美國紐約大學的物理學教授沙摩博士 (Dr. M. H. Shamos) 研究以概念綱領基礎的科學課程，編製一套小學科學課程稱為 “Conceptually Oriented Program in Elementary Science” 簡稱 COPEs。選擇五條概念綱領作 COPEs 課程的骨架。其概念綱領如下：

A. 宇宙的構造單位：宇宙間的物質均以單位狀態存在，從原子、分子、細胞、器官、以至個體。科學探討的目的在認識這些構造單位 (structural unit)，以及其互相間的關係。

B. 交互作用與變化：用於宇宙間的物質構造單位不斷的進行交互作用 (interaction)，而產生了變化 (change)。這些交互作用為電磁的 (electromagnetic)，重力的 (gravitational) 和核子的 (nuclear)。由於交互作用的結果產生了化學變化，地質的改變，生物的演化。

C. 能量的恒定：宇宙間的物質可以改變，而總量維持恆定。同樣地，宇宙間的能量不斷改變，而總量維持恆定。

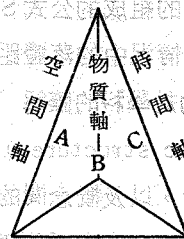
D. 能量的崩解：從分子運動的觀點，物質在變化中，其能量漸次崩解 (Degradation of energy)。

E. 自然的統計觀點：宇宙間的物質行為不

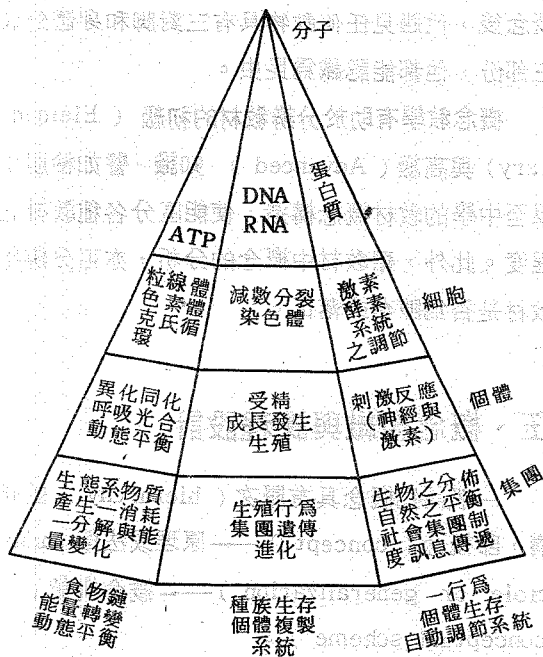
論是分子的運動，放射能，生物遺傳性質的傳遞，均可用統計方法予以描述和預測。這種自然的現象均依一定的自然法則在變化。

日本高中生物的概念組織 日本高中生物是以三角錐法模式表示其概念組織。此三角錐體之三個稜角分別為空間軸、物質軸和時間軸；其三個稜面分別為下列三大概念綱領：

- A. 能量轉變——動態平衡。
- B. 個體生存——自動調節系統。
- C. 種族生存——個體複製系統。



各概念綱領所涵蓋之概念可依其組織階層，自小至大區分為分子、細胞、個體與集團。每個階層所包含之概念領域如下圖所示。



美國 BSCS 生物的概念組織 美國生物學者葛拉斯 (B. Glass) 認為美國科學教師協會所擬定的概念綱領並不能涵蓋科學中各領域的大概念，因此在他所領導的「美國生物課程學會」(Biological Sciences Curriculum Study BSCS) 另擬定了九個大概念，作為生物學課程的骨架。他們稱這些大概念為主題 (themes)。這九條主題的內容如下：

1. 生物是隨着時間而改變—演化 (當生物系統複製時，可能有遺傳上的「改變」。這些改變在自然界言可被選擇，其結果是演化的改變 (an evolutionary change)。今日世界上所有存在的生物是來自昔日生物的漸進演化 (gradual evolution)。

2. 生物種類的歧異與式樣的共同性 (diversity of type and unity of pattern among living things) 演化的改變導致生物的歧異，但現存的所有種類生物中仍有許多相同性，這被認為它們是來自相同的祖先。這些相同性 (similarity) 為式樣共同性的實例，而另一方面生物種類具有眾多的歧異。這些相同性包括有絲分裂 (mitosis) 酵素，DNA 為遺傳物質 (genetic material) 和細胞代謝的特徵。

3. 生命的遺傳延續 (the genetic continuity of life) 生物系統的特徵是自我繁殖 (self-replication)，這結果是遺傳的延續。在生命世界裡，生存並不單指個體而言，整個種族的生存最為重要。個體會死亡，而種族生命却綿延不絕。

4. 構造與功能的互補性 (the complementarity of structure and function) 一個生物體的行為賴於它的構造，也就是這生物各部份的特徵以及各部份組合的類型。如果一個器官的行為是由它的構造來決定，因此可從這構造來推測其功能。

5. 調節與恒定性 (regulation and ho-

meostasis) 生物體是如此複雜，任何代謝作用的顯著改變都是嚴重的。經由演化，生物共有許多機制 (mechanism) 來維持內在情況的恒定，以應付外在環境化學與物理的不斷改變。例如在運動時，肌肉細胞需要更多的氧，人體可以增加呼吸速率和血液的運動來應用。這些恒定性機制可以維持生物所需要的內部不變 (internal constancy)。

6. 生物體與環境的交互關係 (the complementarity of organisms and environment) 生物與環境間有交互關係 (reciprocal relations) 生物為環境所影響，亦能影響環境。顯而易見的例子是人類與其環境。人類的行為為其環境所限制，嚴寒與乾旱使地上杳無人跡，而人類為了需要不斷開拓土地，種植五穀，廣造森林，使地形面目全非。

7. 行為的生物學基礎 (the biological basis of behavior) 生物的行為，正像生殖、餵食和運動一樣，為其生理的一部份。人類的行為不但來自個人以往的經驗，亦源自其祖先之經驗，這些儲存的經驗是來自演化的變異與選擇。

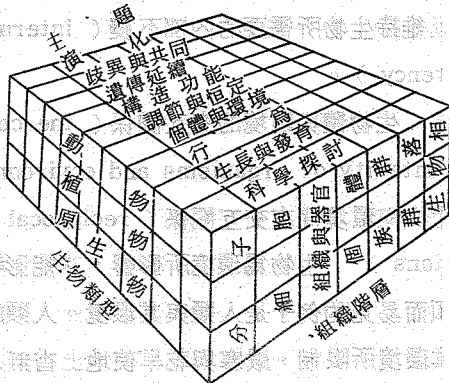
8. 個體生命的生長與發育 (growth and development in the individuals' life) 所有生物都要遭逢若干改變，這就是所謂「發育」。成體是長期發育的結果，其內的許多過程 (process) 亦可賴其與發育之關係而瞭解。

9. 科學是探討 (science as inquiry) 這是生物科學的中心主題 (central theme)。科學的意義是活動 (activity)，發現 (discovery) 和解決問題 (problem-solving)，簡而言之，即探討。探討的動作是在尋找觀念 (idea) 來說明事實 (facts)，反而言之，是尋找事實來試驗和發展解釋性的觀念 (explanatory ideas)，即假說與學說。

上述的九大主題與組織階層 (levels of organization) 以及生物體的類型 (即動物、植

物和原生物)構成了BSCS生物學的三向度構造(three-dimensional structure)可如下圖所示:

BSCS生物概念組織



陸、概念形成與課程設計

基本科學概念之識別 (日本國立教育研究所森川久雄博士認為基本科學概念可分為三種,即事實概念,解說概念和本質概念。

事實概念為原始的概念,它是依據個別的事實所得訊息而形成的概念。譬如觀察很多的狗,找出狗的共通性,而獲得狗的概念。觀察各種狗可增加「狗」的概念。如果某一個小孩只見過一隻白色的北京狗,雖能使用狗的名稱,但是這個小孩對「狗」的概念僅限於白色的北京狗,而沒有「狗」的共通要素的抽象化概念,若他看了哈巴狗,狼狗和獅子狗等各色各樣的狗,方能了解狗的共通性。

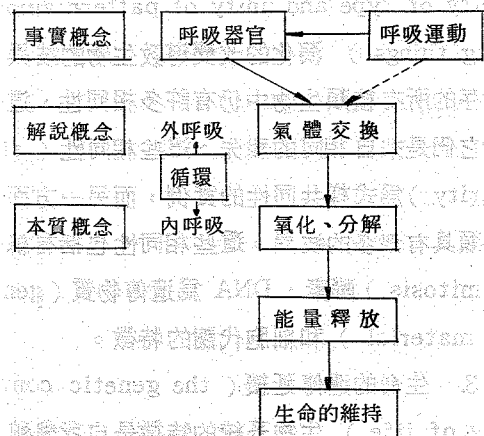
因此,每一個事實概念之後,需要有豐富的事實經驗,否則雖使用同樣的名稱,但各人擁有的概念內容却非一致。譬如都市的學童,說起「松茸」,他只知道菜市場所賣的「松茸」,只有松茸的形態是他的概念內容。但是在松茸產地附近的學童,提起「松茸」,他的腦海中有埋伏在松林中松葉下活松茸的概念。

解說概念是用以表明兩個以上事實概念間的關係。譬如「狗」與「貓」的事實概念可產生「獸類」「哺乳類」等綜合兩事實概念。

本質概念不只是解說「兩者為類似的」,而且進一步說明「為何是類似」的本質問題,譬如能量概念,物質概念,演化概念,數量概念均屬此類。

兒童的概念形成始於事實概念,然後為解說概念和本質概念。科學教育的目標在達成本質概念之培養,希望學童能對萬物現象作統一的說明。然而,本質概念之培養有賴事實概念與說明概念,循序而進。

概念形成之順序 森川氏認為課程設計必須優先考慮概念形成之順序,今以呼吸概念為例,加以說明。



圖一 呼吸概念形成之順序

完整呼吸概念之獲得始於呼吸運動。兒童觀看魚鰓之運動,而有呼吸之概念。待經過魚的解剖,以及觀察人體模型,方有鰓與肺為呼吸器官之概念。從呼吸運動與呼吸器官,獲得氧化與二氧化碳之氣體交換概念。若詢問一個小學高年級學生,何謂「呼吸」?通常所得之答案是「吸入氧氣,吐出二氧化碳」,然對其意義則漠然無知。

細胞利用氧進行物質之氧化作用,而產生二氧化碳,並釋放能量,這是呼吸的本質概念。這

種概念通常在高中階段方能獲得。

因此課程設計必須顧及概念形成的順序，自事實概念，解說概念，再發展至高階層的本質概念。

柒、概念的教學方法

美國著名的小學課程 SCIS (Science Curriculum Improvement Study) 是以概念為中心的科學課程。SCIS 課程認為兒童可藉三個階段的學習循環 (learning cycle) 來獲得概念。所謂三個階段是探測 (exploration)，發明 (invention) 和發現 (discovery)。

所謂探測是將兒童置於各種仔細安排的環境中，讓兒童自行去接觸各種事物，而未加以引導。所安排的事物可觸發兒童向一些新的問題。譬如生活史 (life cycle) 這單元中，首先讓兒童觀察在培養瓶中的果蠅，他們觀察果蠅的卵、幼蟲、蛹和成蟲。兒童接觸到這些物體，會發生問題，「為何同一種動物而有不同的形狀？」這就是學習過程中探測的階段。

學習的第二階段是發明。在探測之後，兒童感到所接觸的事物遠超過他們已有的經驗，他們迫切地希望對新的事物有適當的語句來解釋，也就是需要新的概念來解釋他的觀察。這時候教師提供一個名詞或定義，這就是發明。譬如說，兒童觀察果蠅的卵、幼蟲、蛹和成蟲後，他們渴望對這新的事物有個適當的名詞來解釋，教師遂提示「生活史」這概念，用來解釋由卵——幼蟲——蛹——成蟲的變化過程。教師必須明確地解釋生活史的意義，並藉自由討論的方式來獲得反饋作用 (feedback)，瞭解兒童確實明白生活史的意義。

學習的第三階段是發現。讓兒童將已學得的概念應用到其他的情景中。這樣可以拓大及加深

兒童對概念的瞭解。譬如說：兒童已學得生活史這概念後，看到蠶卵——幼蟲——蛹——蛾的變化，這是蠶的生活史，把生活史的概念作更深入的瞭解。同樣的，任何昆蟲由卵——幼蟲——蛹成蟲的變化過程都是生活史。藉用種子萌發的經驗，兒童也可獲得種子——幼苗——植物的生活史概念。

捌、結語

綜上所述，科學概念為課程設計之要素，課程編製之成功與否，設計者必須考慮兩個問題：其一是概念的邏輯組織是否嚴密；其次，概念的順序組織是否合理。

所謂概念的邏輯組織就是概念的理論結構。現行的中小學科學課程之理論結構各不相同，有採用概念綱領者，有採用中心概念者，有採用主題者，錯綜複雜，莫衷一是。何種結構方能符合嚴密的要求，實難以論斷。現今一般小學與初中的科學課程，多採用合科課程 (integrated curriculum)，且自小學一年級至初中三年級，必須九年一貫，首尾銜接，而一般教師是從分科課程訓練出來的，對整個科學領域的知識罕有深厚的涵養。因此，這問題對課程設計者為一嚴重的挑戰。

其次，概念的順序組織必須符合兒童的身心發展，方能認為合理。事實上，若干科學概念的發展順序實難與兒童發展配合。譬如說，呼吸作用是運行於細胞，其排出之二氧化碳，經肺之壓促，方自鼻孔排出，此種概念的發展順序為細胞呼吸——肺呼吸運動——鼻孔之呼吸運動。若依以編製課程，則完全與兒童的身心發展相違反。對稚齡之兒童實無法進行「細胞呼吸」之概念教學。

主要參考資料

1. Andersen H. O. Reading in Science Education for the Secondary School Macmillan Co. New York 1969
2. Biological Sciences Curriculum Study Biology Teachers' Handbook John Wiley and Sons, Inc. 1970
3. Brandwein, P. F., E. K. Cooper, E. B. Hone, and T. P. Frases Concepts in Science Harcourt Brace Jovanovich, Inc. 1972
4. Michaelis J. U., R. H. Grossman and L. F. Scott New Designs for the Elementary School Curriculum McGraw-Hill Inc. 1967
5. National Science Teachers Association Theory into Action 1964
6. Pella M. O. Concept Learning in Science The Science Teacher, 1963, 33(9) 31-34
7. Romey W. D. Inquiry Techniques for Teaching Science Prentice-Hall Inc. 1968
8. 中國教育學會主編 課程研究 商務印書館 民國六十三年二月
9. 張思全 課程設計與教學法新論 文景書局 民國五十七年
10. 森川久雄 基本科學概念的形成與課程結構 日本理科教育 1973, 22(9) 20-27

