

促進概念改變教學法(II)

張川木
臺灣省國民學校教師研習會

五、促進概念改變之方法

由上面討論另有概念之狀態問題時，令人聯想到一與修正這些概念有關的問題。假如另有概念是具有類似理論(theory-like)之性質時，則欲修正或替換這些概念時將可能涉及到“理論取代”的歷程。按照 Kuhn (1962) 之說法，典範轉移之歷程將是不可避免的。此現象反映到教學上將是一件非常困難之事。假使另有概念是較具“片斷”而非“理論”性質，則在教學上該如何因應呢？Chang (1993) 提出如下的看法：“老師應將同樣的問題置於不同情境中，然後鼓勵學生考慮在不同情境中的推理過程是否具有—致性。若我們對改變學生概念採取一種較樂觀的看法時，老師應(1)激勵學生對問題說出明確的想法，(2)促使學生之另有概念與正統概念相互遭逢，(3)解釋他們為何及如何學得這些另有概念的可能原因，(4)解釋另有概念與正統概念間的差異性及二者之應用範圍，如是一來，則或許教師可幫助學生在經由此種協商(negotiation)和意義共享(meaning-sharing)的歷程中發展出正統的科學概念(頁9-10～頁9-11)。除此之外，以下另外介紹數種促進概念改變之教學策略。每一種策略將各輔以一例子來加以說明。

(一) 搭橋類比法(bridging analogy)

“……類比法在科學學習歷程中確實是一種不可或缺的方法……不管我們是否談及發現或發明，類比的使用在人類之思考活動中是不可避免的，這是因為在科學上我們是以目前所擁有的知識來了解新事物……除非我們立於熟悉的舊有基礎上，我們無法處理新奇的事；除非我們已有一種對該事物應是如何(ought to be)的看法，我們對某些事情無法有驚奇或錯謬之感，此種歷程就是一種類比作用……(Oppenheimer, 1956, 頁-129～130)。在科學教學上，類比推理之教學方式已被應用甚久，且被認為是將新訊息統整融入統存知識系統中之有效方法(Stepich & Newby, 1988; Glynn, 1991)。而研究結果亦支持上述說法(Clement, 1987; Brown & Clement,

1989; Clement et al., 1989)。

Clement (1987) 在一研究中指出在 112 位研習生物和化學的中學生中有 76% 的學生認為桌子不可能對靜置於其上方的書本產生一向上的作用力。然而，這些學生中有 96% 相信當用手壓一直立於地面之螺線管狀之彈簧時，此彈簧可對手產生一向上之作用力。於是 Clement 設計一“搭橋類比”之教學策略來幫助學生了解其教學目標：桌子可對靜置於其上之書本產生一向上之作用力。其方法如下：

第一步驟：找尋概念錨 (conceptual anchor)

“概念錨”是直覺上看起來可被了解的正確事件。教學上可藉此“錨”當作是一媒體引領學生達到待教之目標。在此例中之概念錨可為：當某人用手向下壓彈簧時，彈簧可對此人施一向上之力。然而，在此階段，可能仍有很多學生認為教學“目標”(target) 和“概念錨”之情境是不能相互類比的。

第二步驟：搭橋 (bridging)

基於前述學生無法將“目標”和“概念錨”間作一類比作用，是以需要找尋一居於此二者間的情境來充當橋樑使二者銜接起來，此種試圖建立“目標”和“概念錨”間之類比關係稱為“搭橋”(bridging) 歷程。在此例中之橋樑可為：一本書置於一具有彈性的橫長板條上(板條二端各以一物支撐著)。此種“橋樑”情境與“目標”(或概念錨) 情境相互比較起來是比“目標”和“概念錨”二者間之關係更具有類比性。前述之歷程統稱為“搭橋類比”(bridging analogy)。教師可經由此種“定錨-搭橋”和“搭橋-目標”之連續類比的教學策略，引領學生察覺“目標”和“錨”間的關係，進而接受“目標”情境。總之，此種歷程是利用某種“橋樑”將直覺上是正確的概念錨和目標聯結起來，以輔助學生作一有效的邏輯轉移。Clement 在前述的研究中指出此種策略是幫助學生學習科學概念的有效途徑，但若輔以蘇格拉底式的討論法，其效果將更加顯著。

(二) 異例法 (discrepant event or anomaly)

異例 (anomalies) 的使用在科學發展的歷程中扮演一重要角色是廣為人知的 (Kuhn, 1962)。基本上，異例的功能是扮演著誘發學生面臨問題時能產生概念上的衝突 (conceptual conflict)。在教學上，希望經由此種認知衝突的歷程，學生可以察覺其腦海內既有知識和正統知識間有某種差異存在，藉此幫助學生重建其認知結構。Nussbaum & Novick (1982) 將此策略稱為奇異事件 (discrepant-event) 教學法。其教學程序大約可分成下列三階段：

第一階段：製造曝露事件 (creation of an exposing event)

製造曝露事件之歷程即是呈現一“工作”(task) 給學生，然後要求學生對此工作說出他們的想法及其背後的理由。在此階段，老師採取中立但是幫助學生引出他們自己觀念的立場。當學生說出並辯論其論點的優劣後，即是引入異例的時刻。

第二階段：引入異例 (introduction of an anomaly)

異例的作用在於充當一媒介物促使學生察覺到其個人偏好之概念和真正觀察到的現象間之差異，藉著此種歷程引起學生產生認知衝突。

第三階段：調適期 (accommodation)

當認知衝突產生後，老師應鼓勵學生找尋答案來解釋異例，以便調整原先偏好之另有概念，並進而接受正統的科學知識。

以下以 Nassbaum & Novak (1982) 以此策略教導學生 (11-13 歲) “氣體粒子模型”之題材來加以說明。首先教師展示一連接到一手動式打氣筒的筒子 (flask)。然後假定筒內氣體被抽掉一半，老師要求學生劃出留在筒內空氣分子之分佈圖 (此為製造曝露事件)。當學生認為筒內剩餘氣體以塊狀 (chunk) 之型式存在筒中的不同位置時。老師緊接著問學生“到底是什麼性質促使空氣可被壓縮”(此為引入異例)，並以一注射筒示範其內部之空氣可以被壓縮，但是固體或液體却不行。在此同時，老師亦暗示學生：二個人不可能同時佔有教室內的相同位置來幫助學生思考此問題。最後，學生可從被提出來的論點中選出最適當者來解決問題 (即氣體的可壓縮性質)。此外，老師用儀器示範說明為何“物質由細小粒子組合而成的概念”可以用來說明空氣可被壓縮和抽離 (evacuated) 的特性來支持待教之概念，此即為調適階段。

(三) 電腦模擬 (computer-simulation)

關於另有概念之可能來源中，日常生活經驗是常被提及之項目 (Duit, 1991)。可是從日常生活經驗中所習得的知識往往有其應用上之極限性，但是因為學生有時成功地應用另有概念去解決一些問題，這可能導致他們並未注意到此種知識有其應用上的侷限性。例如，真實世界中，摩擦力是看不見的，此種情形可能促使人們推測需用一個非零 (non-zero) 之淨力去推或拉一物體以使該物作等速率運動 (Clement, 1983)。此種結果可能是造成另有概念抗拒改變的原因之一。

由於電腦模擬是一種交互作用之媒體。經由操弄此種模擬作用的歷程，學生可直接地探究他們自己對某事件的想法 (Simmons, 1991)。所以電腦模擬被有些研究者認為是一種用來改變或修正學生另有概念之潛在有效方法。Nersessian (1989) 認為克

服另有概念之障礙源之一乃是因為改變另有概念涉及到個體知識由“常識本體論”(common-sense ontology)轉換到需用抽象思考之“科學本體論”(scientific ontology)。所以Nersessian認為電腦模擬〔(如diSessa(1982)所用之方法)可能是一種用來教導牛頓物理的有效方法。其原因乃是因為電腦模擬可顯示出物體在一理想世界(idealized world;如牛頓物理)中如何運行,經由此種途徑可幫助學生區分日常生活知識和科學知識的差異性。

事實上,電腦模擬已久被用來診斷學生另有概念及輔助學生學習科學概念(Hewson, 1984; White, 1983; Zietsman & Hewson, 1986; White & Horwitz, 1988)。White & Horwitz(1988)利用電腦模擬之方法教導第六級學生(約11歲)有關“拋體運動”之題材。其目的是想幫助學生建立一有關“力如何影響物體速率”之因果模型。首先,他們設計了四個微世界(microworld)教材。在每一教材中“施力”之大小值是可以加以調整的,而且物體運動時之軌跡及其分速率(水平和鉛直方向)之值都可在螢光幕上立即顯示出來。其教學步驟簡要說明如下:

第一個“微世界”集中在未具摩擦力和重力的單一向度之運動。施力可由右或左方作用於物體上,施力作用對物體速率所產生之影響可立即由螢幕上觀察到。

第二個“微世界”集中在未具摩擦力和重力的二度空間運動。學生的任務(task)是發現可將在前面所學得的知識應用到此單元,並察覺水平和鉛直方向的速率是相互獨立的。此外,他們亦需習得當將各分速率合成起來時,物體該是如何運動?

第三個“微世界”是用來幫助學生習得連續力(如重力)的概念及此種力對運動的影響。連續力觀念之獲得可經由增加施力之頻率,但同時反比率的減低施力的大小值。

第四個“微世界”是具有重力的二向度運動。其焦點集中在教導學生如何應用前面習得的知識來解決拋體運動的問題。

研究結果指出接受此種教學和傳統課堂上教學之學生在一轉移(transfer)測驗上之表現有顯著差異存在。此外,接受電腦模擬教學之學生亦可習得較佳之科學質疑技巧及發展較佳之過程技能以否認某定律(falsify a law)。

(四) 蘇格拉底式對話法(socratic dialogue)

蘇格拉底式對話之教學重點在於師生間之“對話”(dialogue)歷程。在此師生對話之過程中,學生被迫對某問題進行推理活動。其目的在於訓練學生覺知其推理歷程之不一致性,以便幫助他重建原有知識結構(Anderson, 1977; Collins, 1977; Vosniadou & Brewer, 1987)。

Champagne et al., (1985) 將蘇格拉底式之教學法的一般程序稱爲“概念遭逢”(ideational confrontation) 策略。此教學策略大約可分三階段進行：引出及澄清概念(eliciting and clarifying ideas)、示範並解釋情境(demonstrating and explaining situations)及概念遭逢和調適(ideational confrontation and accommodation)。

在引出和澄清概念階段，學生需對某一情境預測其可能發生的情形，並明確地說出理由來支持其預測答案；此外，尚需接受他人的質疑並防禦自己的觀點，以促使他們自己更明瞭自己的想法。經歷前述階段後，教師示範正在討論中的情境並用相關的知識解釋該情境之背後原理。最後，學生被要求比較他們自己及專家的想法，並尋找出二者間的差異和相似性，此目的乃在幫助學生覺知他們自己概念的不準確和不一致性，並期盼他們習得正統概念。

Champagne et al., (1985) 利用此策略教導中學生和實習教師(非主修物理之畢業生)有關“力與運動”之問題。其研究結果指出接受該種教學後，此二組群學生對“力與運動”單元有了相當程度的了解，且學生對問題的論證(argument)品質亦提昇了。所以作者宣稱此種教學策略在提昇概念改變上是有效的。另外，他們並提出在此種教學策略中學生內心從事心智活動之“主動性”的特徵在促使概念改變上扮演了很重要的角色。

總結上述四種教學策略，搭橋類比法是利用直覺上看起來是正確的“概念錨”來幫助學生對正在討論中的問題建立一新模型(model)；使用該策略的主要困境之一也許在於此種“錨”和“橋”之例子不易設計及學生可能會將在某情境習得的知識誤用到另一情境：因為學生可能不知道該“類比”作用在何處便不可使用(break down)。奇異事件策略在於使用異例來引發認知衝突；其主要問題之一也許在於從學生的觀點而言，此種“衝突”並非是一種衝突。電腦模擬在於要求學生從所學習的工作(task)中找出其背後原理並否認不正確的概念。蘇格拉底式之對話法在於強迫學生找出他們自己觀點的不準確和不一致性。在教學上，它們可以同時被加以使用以收相輔相成之效。

六、結 語

本文首先說明最近科學教育研究之趨勢受到知識論上建構主義強烈影響著。傳統上視學生爲知識的被動接受者之論點已因層出不窮的研究成果而受到嚴重的挑戰。研究指出學童如同科學家，會對他們自己所遭逢的現象利用自己的觀點來加以解釋。不同的研

究者由於其自身的背景、興趣等不同的原因，所以用不同的詞彙來描述這些學童所自行建構出之概念。筆者同意 Abimbola (1988) 的說法採用“另有概念”一語來描述學童他們自己建構對自然界現象的想法；該術語所代表之意義僅表示學童與專家之想法互異罷了，而不由專家的觀點去批判這些概念是錯誤的；因為對兒童而言，這些概念是有意義且是有用的。由於物體運動可說是人類日常生活中每日常面臨之現象，本文特將焦點集中於力學部分。研究指出“運動蘊涵力”是多數學童所共同常用之另有概念。造成此種現象的可能原因也許是源自於人們感官所能感受到之現象有其極限性，是以學生往往抗拒改變此種已深植他們內心的概念。由於研究者對學童在力學上常使用之另有概念的種類已達到相當程度的共識性，有些學者乃開始探討另有概念之狀態問題，以便在教學上可提出因應之道。關於此點，到目前為止，大致上有二主要論點；其一為另有概念具有“理論”性質，另一為另有概念是由片斷、破碎的知識組合而成，而 Chang (1993) 之研究指出另有概念並非全是“理論”性，也非全然是片斷知識的組合，而是介於二者之間但較傾向片斷一端。至於如何改變學生之另有概念呢？搭橋類比法、異例法、電腦模擬及蘇格拉底式之對話法等教學策略，皆曾為不同的研究者應用到教學上企圖來改變學童之另有概念，並已獲有不錯的成效（見前述第五節）。最後，筆者以 Ausubel (1968) 在其教育心理學一書中所提到的下面二段話作為本文的結語。其一為“…這些未經學習的前概念 (preconception) 可能被證明是決定學生習得和保留學科知識最具決定性的單一因素…這些前概念是韌性非常強且抗拒消失的…”(頁-336)。其二為「…假如我必需將所有的教育心理學化約為單一原理，我將說“找出學生已經知道了什麼，並據此而教”」(頁-337)。上述二段話，我們雖不必將之視為至理名言，但它却足以彰顯出探究及了解另有概念的重要性及身為教師者應如何決定教學步驟，以便改變或修正學生之另有概念。而本文所敘之內容或可提供部分答案供大家思索、參考。

參考書目

1. Abimbola, I.O. (1988). The problem of terminology in the study of student conceptions in science. *Science Education*, 72(2), 175-184.
2. Anderson, R. (1977). The notion of schemata and the educational enterprise: general discussion of the conference. In R. Anderson, R. Spiro and W. Montague (eds.), *Schooling and Acquisition of Knowledge*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
3. Ausubel, D. P. (1968). *Educational Psychology: A Cognitive View*. New York: Holt, Rinehart and Winston.

4. Brown, D. E. (1987). Using analogy and examples to help students overcome misconceptions in physics: a comparison of two teaching strategies. Unpublished doctoral dissertation, University of Massachusetts.
5. Brown, D. E. & Clement, J. (1989). Overcoming misconceptions via analogical reasoning: abstract transfer versus explanatory model construction. *Instructional Science*, 18, 237-261.
6. Caramazza, A., McCloskey, M. & Green, B. (1981). Naive beliefs in sophisticated subjects: misconceptions about trajectories of objects. *Cognition*, 9, 117-123.
7. Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, Mass: MIT press.
8. Carey, S. (1986). Cognitive science and science education. *American Psychologist*, 41(10), 1123-1130.
9. Champagne, A.B., Gunstone, R. & Klopfer, L. (1985). Effecting changes in cognitive structures among physics students. In L. West and A. Pines(eds.), *Cognitive Structure and Conceptual Change*. London: Academic Press.
10. Chang, C.M. (1993). Using A microcomputer-based laboratory in teaching selected concepts in mechanics. Unpublished ph. & Thesis University of heeds.
11. Clement, J. (1982). Students preconception in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, 50(1), 66-71.
12. Clement, J. (1983). Conceptual model discussed by Galileo and used intuitively by physics students. In D. Genter and A. L. Stevens (eds.), *Mental Model*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
13. Clement, J. (1987). Overcoming students' misconceptions in physics: the role of anchoring intuitions and analogical validity. In J. Novak (eds.), *Proceedings of the second international seminar. on misconceptions and education strategies in science and mathematics*. Ithaca, NY: Cornell University.
14. Clement, J., Brown, D. & Zietsman, A. (1989). Not all preconceptions are misconceptions: finding anchoring conceptions for grounding instruction on students' intuitions. *International Journal of Science Education*, 11(5), 545-565.
15. Collins, A. (1977). Process in acquiring knowledge. In R. Anderson, r. Spiro and W. Montague (eds.), *Schooling and Acquisition of Knowledge*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
16. diSessa, A. (1982). Unlearning Aristotelian physics: A study of knowledge-based learning. *Cognitive Science*, 6, 37-75.
17. diSessa, A. (1983), Phenomenology and the evolution of intuition. In D. Gentner and A.L. Stevens (eds.), *Mental Model*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
18. diSessa, A. (1988). Knowledge in pieces. In G. Forman and P.B. Pufall (eds.), *Constructivism in the computer ages*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
19. Driver, R. & Easley, J. (1978). Pupils and paradigms: a review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education*, 5, 61-84.
20. Driver, R. (1981). Pupil's alternative frameworks in science. *European Journal of Science Education*, 3(1), 93-101.
21. Driver, R. & Erickson, G. (1983). Theories-in-action: some theoretical and empirical issues on the study of students' conceptual frameworks in science. *Studies in Science Education*, 10, 37-60.

22. Driver, R. (1984). Cognitive psychology and pupils' frameworks in mechanics. In P. Lijnse (eds.) *Proceeding of a conference on physics education, Utrech-The Netherlands*.
23. Duit, R.(1991). Student's conceptual framework: consequences for learning science. In S. Glynn, R. Yeany and B. Britton (eds.), *The psychology of learning science*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
24. Gauld, C. (1987). Student beliefs and cognitive structure. *Research in Science Education*, 17, 87-93.
25. Glynn, S. (1991). Explaining science concepts: a teaching with analogical model. In S. Glynn, R. Yeany and B. Britton (eds.), *The Psychology of learning Science*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
26. Grant, E. (1977). *Physical Science in the Middle Ages*. Cnmbridge: Cambridge University Press.
27. Hewson, P>W> (1981). A conceptual change approach to learning science. *European Journal of Science Education*,3(4), 383-396.
28. Hewson, P. W. (1981). A conceptual change approach to learning science. *European Journal of Science instruction: examples from kinematics and dynamics*. South Africa Journal of Science, 80, January, 15-20.
29. Kuhn, T. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.
30. Kuhn, T. (1977). Objectivity, value judgment and theory choice. In T. Kuhn(ed.), *The essential Tension*. Chicago: The University of Chicago Press.
31. McCloskey, M., Caramazza, A. & Green, B., (1980). Curvilinear motion in the absence of external force: naive beliefs about the motion of objects. *Science*, 210, 1139-1141.
32. McCloskey, M. (1983a). Intuitive physics. *Scientific American*, 248(4), 113-122.
33. McCloskey, M. (1983b). Naive theories of motion. In D. Gentner and A. L. Stevens(eds.), *Mental Model*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
34. McCloskey, M., Washburn, A. & Felch, L. (1983). Intuitive physics: the straight down belief and its origin. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 9(4), 636-649.
35. McDermott, L.C.(1984). Research on conceptual understanding in mechanics. *Physics Today*, July, 24-32.
36. Minstrell, L(1982). Explaining the 'at rest' condition of an object. *The physics Teacher*, 20(10), 11-14.
37. Nersessian, N. J.(1989). Conceptual change in science and in science education. *Synthesis*, 80, 163-183.
38. Novak, J.D. & Gowin, D.B. (1984). *Learning how to learn*. Cambridge: Cambridge University Press.
39. Nussbaum, J. & Novick, S.(1982). Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation: toward a principal teaching strategy. *Instructional Science*. 11, 183-200.
40. Nussbaum, J. (1985). The particulate nature of matter in the gaseous phase. In R. Driver, E. Guesne and A. Tiberghien (eds.), *Children's Ideas in Science*. Milton Keynes: Open University Press.
41. Oppenheimer, R. (1956). Analogy in science. *American Psychologist*, 127-135.

42. Popper, K. (1972). *Objective Knowledge*. London: Oxford University Press.
43. Rowell, J. & Dawson, C. (1985). Equilibration, conflict and instruction: A new class-oriented perspective. *Europe Journal of Science Education*.
44. Saltiel, E. & Viennot, L. (1984). What do we learn from similarities between historical ideas and the spontaneous reasoning of students? In P. Lijnese (ed.), *Proceeding of a conference on physics education*. Utrecht-The Netherlands.
45. Simmons, P.(1991). Learning science in software microworlds. In S. Glynn, R. Yeany and B. Britton (eds.), *The psychology of learning science*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
46. Stepich, D.A. & Newby, T.J.(1988). Analogical instruction within the information processing paradigm: effective means to facilitate learning. *Instructional Science*, 17, 129-144.
47. Trowbridge, D.E. & McDermott, L.C.(1980). Investigation of student understanding of the concept of velocity in one dimension. *American Journal of physics*, 48(12), 1020-1028.
48. Trowbridge, D.E. & McDermott, L.C.(1980). Investigation of student understanding of the concept of acceleration in one dimension. *American Journal of physics*, 49(3), 242-253.
49. Viennot, L.(1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*, 1(2), 205-221.
50. Vosniadou, S. & Brewer, W. F. (1987). Theories of knowledge restructuring in development. *Review of Educational Research*, 57(1), 51-67.
51. White, B. Y. (1983). Source of difficulty in understanding Newtonian dynamics. *Cognitive Science*, 7(1), 41-65.
52. White, B. Y. & Horwitz, P. (1988). Computer microworlds and conceptual change: a new approach to science education. In P. Ramsden (ed.), *Improving learning: New Perspective*. London: Kogan Page.
53. Yates, J., Bessman, M., Dunne, M., Jerton, D. & Sly, K. and Wendelboe, B. (1988). Are conception of motion based on a naive theory or on prototypes? *Cognition*, 29, 251-275.
54. Zietsman, A. & Hewson, P. (1986). Effect of instruction using microcomputer simulations and conceptual change strategies on science learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 23(1), 27-39.

★