

促進概念改變教學法(I)

張川木

臺灣省國民學校教師研習會

翻閱近約十年來的國外有關科學教育的期刊，我們可發現幾乎每本刊物皆有數篇文章是在探討「建構主義」對教育所產生的衝擊。建構主義在目前似乎已演變成一種流行口號，而可能失去其原貌了。值此建構主義深切地影響科學教育界的時刻，筆者亦願將自己在英國里茲 (Leeds) 大學跟隨在該領域內頗享盛名之先驅人物 (R.Driver) 研習之部分心得與大家共同討論。本文將以文獻探討方式為主，並將焦點置於研究者對於「力學」領域研究成果之分析。

一、前言

傳統上科學教學之方式乃是依據“知識的常識理論”(common sense theory of knowledge) 而教 (Brown, 1987)。科學哲學大師 K. Popper (1972) 將知識之常識理論描述如下：“假如你或我想知道一些未知事物，我們必須睜開眼睛，注視週遭環境；豎起耳朵傾聽外界人爲之雜音，所以我們的感官乃是吾人獲得知識之來源”(頁 -60)。Popper 將此種理論稱爲“心靈之吊桶理論”(the bucket theory of mind)。亦即，此理論將人類之心靈視同爲一空洞的容器。當外界刺激通過吾人感官後，此種刺激便可全然不變地儲存在該感官內部。此種理論反映到教育上似乎是蘊涵著一深層意義：教師所教之教材可一成不變的輸入學童的腦海裏。然而，此種教育論點已受到廣泛的批評。批評者指出在過去約 20 年中，來自不同領域的研究者 (如科學教育和認知心理學者等) 已指出學童在接受正式的學校教育之前，已發展出他們自己對自然界現象的看法 (Driver & Erickson , 1983)。換句話說，學童的心靈並非是被動的接受外來的刺激；相反地，學童如同科學家一樣，會對自然界的現象主動的去建構意義。然而，在某些情況下，他們所建構出來的意義是不同於科學家的想法。研究指出學童所自行發展出來的這些概念 (以下將皆稱爲“另有概念”，其意義將於下一節說明) 具有下列特徵：

1. 另有概念並非是僅存在某特定學科領域，而是普遍存在所有自然學科裏 (Driver,

1984)；

2. 另有概念存在不同國度的學童及年齡層中 (Nussbaum, 1985)；
3. 另有概念似乎是導源且符合於日常生活經驗 (Clemeat, 1982)；
4. 傳統教學法 (教師中心教學法) 不易改變另有概念 (Carey, 1986)；
5. 學童所發展出來的另有概念在科學發展史上也曾有類似的先例產生 (McCloskey, 1983 a)。

由於上述特徵，所以如何發展出可用來改變或修正這些概念的教學策略已成為晚近科教界所關切的問題之一。

二、另有概念之意義

如前所述，學童接受正式的教育之前，對自然界的一些現象已有他們自己的想法。不同領域的研究者由於其研究目的、興趣……等不同原因，也使用不同的字詞來描述這些學童所自行發展出來的概念。這些術語包括：先前概念 (preconception; Ausubel, 1968)、另有架構 (alternative framework; Driver & Easley, 1978)、自發性概念 (spontaneous idea; Viennot, 1979)、另有概念 (alternative conception; Hewson, 1981)、純真概念 (naive conception; Caramazza et al., 1981)、直覺概念 (intuitive conception; McCloskey, 1983a)、錯誤概念 (misconception; Novak & Gowin, 1984)……等等。然而，當它們被用來描述學童對自然界現象所作合理化 (sense-making) 的解釋時，有些研究者並未注意到其間之差異性而常加以交互使用 (Gauld, 1987)。Abimbola (1988) 於細閱相關文獻後指出前述詞語中較為通用和喜愛的為“另有架構”和“另有概念”。可是，架構 (framework) 一詞似乎蘊涵著學生對自然界現象的推理結果皆具有某種聯結關係 (如運動蘊涵力)。但是，事實上並非如此，所以另有架構之應用範圍乃有其侷限性。因此，Abimbola 建議另有概念是一用來描述學童“自創”概念之較佳術語。本文亦採用此種觀點並將另有概念之意義定為：學童使用某科學概念時，其想法是“不同”於正統的科學概念。

三、學童在力學上之另有概念

由於力學是研究另有概念的焦點之一，且研究亦已指出學童在力學上持有一些共通之另有概念。以下扼要描述此類學童常使用之另有概念。

(一) 位置、速度和加速度

Trowbridge & McDermott (1980, 1981) 使用晤談法調查學生有關運動之概念。其研究結果指出學童所持之主要另有概念如下：

1. 當二物體在某“瞬間”併行前進時，縱使它們並非由相同點起始運動，學生常認為該二物在此“瞬間”具有相同之速率；
2. 當二物體沿著相同方向運動時，較前方之物體常被認為具有較大之速率；
3. 當二物體以相同速率抵達終點時，該二物體之加速度被認為是相同的（若末速度不同，則加速度亦被視為不同）。

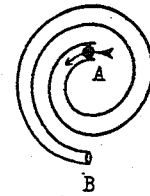
(二) “力”僅與具有生命之物體有關

甚多學生不了解“力”是物體間交互作用所產生的結果。相對地，他們常認為僅僅具有活動性 (active) 的物體具有本能產生力。例如，Minstrell (1982) 的研究指出很多學生（包括大學生）認為桌子對於靜置其上方之書本不能產生一向上之作用力。

(三) 衝力或誘因 (impetus) 理論

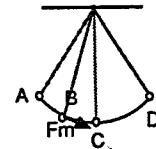
在談衝力理論之前，先讓我們來看產生此理論之背景。在牛頓提出其運動定律和萬有引力觀念之前，人們一直爭論著下面之問題：物體是如何運動的？亞里斯多德之運動理論是當時學界的顯學。根據亞氏學說，運動可分成二種：天體和地面運動。天體運動是一自然現象，所以是不需要任何理由來加以解釋的。地面運動又可分成二種。其一為自然的運動；例子之一為蘋果落地。此種運動被視為是自然現象，所以亦不需理由來加以說明；另一是非自然 (violent) 的運動；例如，一顆石頭被擲入空中。關於此種非自然的運動，在當時有不同的理由被提出來企圖解釋為何此物體在其被投入空中後，其上昇過程中之速率漸慢，終至瞬間停止，然後再開始下降且其速率漸次增快。依亞里斯多德的說法是因為當此物被扔入空中時，外界（例如拋擲者）給予緊隣該被投擲物體之空氣一種“運動力” (motive power)，此種運動力可藉由空氣由一處傳至另一處，並被用來推動該物向前移動。然而，雖然空氣可為推動此物體之推動力，其亦可被視為阻力阻擋該物前進。所以當此運動力被消耗掉後，該物體即停止運動。可是，在當時並非每一個人皆同意此種說法。其中 John Buridan 提出所謂的“衝力” (impetus) 理論來解釋為何物體被扔出後仍能繼續運動。他的想法為：當物體被擲出時，該投擲物體者輸給此物體一種“衝力”。這衝力促使物體繼續運動。若無外界的阻力（如空氣），則此衝力將不會消失。以上是衝力理論來由的簡要說明 (Grant, 1977)。前曾述及學童之另有概念是有歷史先例性的。下面所述便是其中之一例：衝力理論。

如右圖所示，一金屬球被射入一靜置於水平面之螺線管，而由另一端射出。McCloskey et al. (1980) 研究指出其受試樣本中有約 51% 預測球射出管後之路徑將為圓形路徑；有些甚至預測此球剛由管射出時將沿著圓形路徑運動，然後慢慢地變為一直線。據此，McCloskey 認為這些受試者傾向於認為此球被啓動時，由外界獲得某種“衝力或誘因”。而此種力量將繼續作用其上，使其不斷運動。



(四) 運動蘊涵力

“運動蘊涵力”之觀念可想像成是源於前述之衝力理論。例如，下圖所示，有一單擺之擺錘恰由左往右移動。當擺錘抵達B點時，有很多學生認為在擺錘的運動方向有一力 \vec{F}_m 作用其上 (Clement, 1982)。

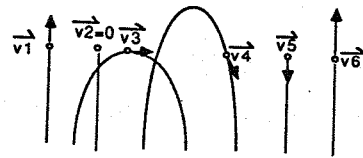


(五) 定速運動蘊涵定力作用

若將“運動蘊涵力”之觀念加以推廣，則物體作定速率運動時需有一定力持續作用其上似乎是一合理的推論。在一實務活動中，McDermott (1984) 要求學生利用一可輸出定量氣體 (亦即，可產生定力) 的管子來促使一乾冰盤在一光滑的玻璃桌面上作等速率運動。她指出有不少學生持續地利用定量的氣體吹送著乾冰盤，以便使該盤作等速率運動。

(六) 力因速率而異

此概念似乎是“運動蘊涵力”的另一衍生物。例如，下圖所示為一魔術師將六個相同的球投擲到空中。在某特定的時刻，此六球飛行到同一高度 (但是具不同運動狀態)。Viennot (1979) 之研究指出其受試樣本 (大一學生) 中有一半以上認為作用在此六球上的力量是不同的。其所持理由因為這些球的運動速率各不相同。



(七) 運動方向發生在施力方向

diSessa (1982) 應用電腦模擬之方法要求受試者以一動力烏龜 (dyna-turtle) 射擊一靶標。研究結果顯示受試者似乎是依照「亞里斯多德式物理」來操弄“烏龜”射擊靶標 (亦即，假使你意欲某物體沿著某特定方向運動，則你可不必考慮該物體之原初運動狀況，而僅僅依被指定的方向推或踢該物體，則該物體便可按被選定的方向運動)。

(六) 科學概念未被區分或被誤用

科學上之專門術語有時被用來解釋發生於日常生活中的事件。但是這些術語被用於日常生活中時並未與學科專家在科學上使用時具有相同的意義。例如，力（force）、能量（energy）或動量（momentum）等術語於日常生活中經常未被嚴予區分而被交互使用著。此種情形可能導致學生於科學課程學習上對某些概念間之意義無法加以區分，而增加學習之困難（Saltiel & Viennot, 1984）。

四、另有概念之狀態

前面以數個例子大略敘述學童在力學上之另有概念。現在讓我們來探究這些概念所具之性質或狀態（status）到底是什麼？為什麼我們要研究這個問題呢？在本文第一節，我們已提到概念改變教學為目前科教界所廣為關切的問題之一。然而，欲使此種教學方式更為有效，則有必要知悉另有概念到底是處於何種狀態。此種情形就如同醫生於下處方之前應先了解病患病情輕重程度的情形一樣。

關於另有概念之狀態問題有二種基本不同的論點。其一為另有概念是以類似“理論”（theory）的形式展現出來（McCloskey, 1983b）。另一則認為另有概念是由一些片斷、破碎的知識所組合而成（diSessa, 1988）。與第一種論點有關的背景來自於前面所描述之中古世紀之哲學家所發展出來之“衝力”理論。以下讓我們來檢視該二派別之主要論點及其立場。

McCloskey 等人於從事一系列有關“力與運動”之研究後指出其受試者持有類似中世紀哲人所發展出來之衝力理論（McCloskey et al., 1980; McCloskey, 1983a, McCloskey et al., 1983）。McCloskey（1983b）將此種概念稱為是“純真的衝力理論”（naive inipetus theory）。如其所言：「由我們和他人所作的有關“力與運動”之研究中所獲得的結果蘊涵著人們依據日常生活經驗發展出非常完整的純真衝力理論。此外，不同的個體所發展出之純真理論是相當具有一致性……。」（McCloskey 1983b, 頁 -299）。

McCloskey 所提出之主張最為他人所詬病的方面乃在於其宣稱另有概念具有一致性（consistency）之性質。關於此點，容後再予評述。然而，Carey（1985）研究學童有關生物成長之知識的結果後認為學童由泛靈論（animism）之主張轉換到正統生物知識之觀點似乎是支持McCloskey之論點。依Carey（1986）之說法：“我們不否認他人質疑不一致性的問題；但是，不一致性之性質並非是反駁（disapprove）”

學生持有另有概念架構之充分論點。直覺理論 (intuitive theory) 是由該理論之核心概念、該理論領域內之現象及用來解釋該現象的概念 (notion) 等三項內涵來加以特徵化 (characterized)。所以僅有從該理論領域內之現象來考慮問題時，我們才可能期待一致性的性質會出現……，我們必須訴諸直覺理論來(1)說明歸納法則之侷限性、(2)解釋本體論上之承諾性 (commitment) 問題及因果觀念和(3)分析概念改變等等。就因為這些理由，我不可能認真地否認另有概念架構 (alternative conceptual framework) 之立場 (頁 1128-1129)。

反對上述觀點者認為另有概念是由一些不一致性的片斷知識所組合而成。Yates et al., (1988) 利用 McCloskey et al., (1980) 所用之問題來從事研究。其研究結果與 McCloskey 等人所獲之結論不大相同。Yates 等人之主要發現包含 (1) 大部分他們的受試者 (87 %) 對不同的問題作不一致性的反應，(2) 被晤談樣本所表現出來的結果顯示其易被所呈現之情境影響及(3) 當問題被些微修改後，受試者即作不同反應。依這些理由，Yates 等人認為(1) 學生之另有概念在個體內和個體間是呈現高度的不一致性；(2) 學生對問題的反應大受情境的影響。所以從科學的觀點來檢視另有概念時，它們是不能被稱為具有“理論”的特性。

diSessa 是另一反對另有概念具有“理論”性質的主要人物之一。他由理論分析的觀點來說明其反對之論點：diSessa 認為直覺物理 (intuitive physics) 是片斷的，而非反映出理論所應有的屬性。他用“現象原始”語 (phenomenological primitives (p-prims)) 之字詞來描繪直覺物理的演化情形。根據 diSessa 之說法，所謂 p-prims 即是從日常生活經驗中的一些現象抽離出來，且未被加以分化的表象 (representation)。物理生手在與自然環境的交互作用過程中，他們本身自己建構了很多的 p-prims。這些 p-prims 常於後續的學習歷程中被用來解決他們所遭逢的問題。由於 p-prims 是由一些未被分化 (undifferentiated) 的事件所演化而來，所以學生可能誤用 p-prims 去解決問題 (diSessa, 1983, 1988)。

另外，diSessa (1988) 認為“純真衝力理論”並未具有科學理論所應具有的特徵，其批評的主要論點包含：(1) 在 McCloskey 之研究中僅有約一半的受試者利用“衝力理論”去解題；亦即，大部分的受試者並未持有該種想法，所以“純真衝力理論”並未具有科學理論上應有之“一般化” (generalization) 的特徵，(2) 在 Clement (1982) 的研究中，有關投擲硬幣之問題 (亦即，受試者被要求往空中拋出一硬幣)，如果研究者僅提示受試者下降過程的軌跡，則學生可能並不使用“衝力”來回答問題。

相對地，他們可能認為硬幣之下降過程將如同自由落體一樣是一種自然的現象，所以是不需要任何理由來加以說明的。如 diSessa 所言：雖然現象顯示有不少學生使用衝力理論。然而，直覺物理絕未具有科學上用來描述科學理論一語所代表的意義。相反地，直覺物理並未具有吾人認定“理論”所應具有之強烈承諾性（commitment）和系統性（systematicity）之屬性，而僅是一堆鬆散但被強化的片斷概念…（頁 -50）。

總而言之，McCloskey 和 Carey 認為個體所發展出之“直覺物理”是清晰和一致性的。因此它應被視為具有如同科學理論一樣的性質。然而，Yates 等人和 diSessa 却不贊同此種說法。Yates 認為受試者的反應深深地受到情境特徵的影響而作出不一致的反應。diSessa 利用 p-prims 之觀念來說明直覺物理式的知識是如何演變而來。由於 p-prims 是源自於日常生活經驗，所以直覺物理是呈現片斷而未具有科學上所論及有關“理論”所應具備之特徵。基本上，Yates 等人和 diSessa 認為直覺物理並未具有一個“好”理論所應有之屬性（亦即，如 Kuhn（1977）所提到的一個好理論應具有精確性、一致性、簡潔性、適用範圍廣……等特性）。

事實上，造成上述二派對於解釋“直覺物理”所產生差異的來源可能源自於他們所持立場的不同而引起。如前所述，Carey 認為吾人應在一“特定”範圍內來考慮“直覺物理”的特徵（亦即，一致性之性質）。然而，反對者認為該種理論並未符合一“好”理論所應具有之基本要求（Chang, 1993）。

除了以上所述有關直覺物理之二種較具相互抗衡性的觀點之外，Chang（1993）在其研究中指出學生在力學上之另有概念既非全是片斷的，亦非全是具有理論之性質。若吾人將“片斷”和“理論”分別置於一線段的二端點，則學生在力學上之另有概念雖非全是片斷的，但是却較靠近“片斷”這一端。

（未完待續）