

最近科學教育 研究的動向

——歐美的中等科學教育——

蘇賢錫
國立臺灣師範大學物理系

一、引言

中等科學教育的研究動向，範圍相當廣泛，包括目標、課程、方法、學習理論、評量理論等，因此，其討論無法網羅所有這些項目。本文將以認知心理學（Cognitive Psychology）為依據，針對課程理論與學習理論，探討其研究動向。主要參考資料為1979年在英國里茲大學所舉辦的有關「科學及數學的認知發展之研究」（Cognitive Development Research in Science and Mathematics）的國際研討會報告內容。

該研討會在聯合國文教組織（UNESCO）資助之下，自1979年9月17日至21日，一共舉行5天，來自19個國家的大學研究人員參與研討。研討會的主要目標可以歸納成為下列兩點：

1. 科學及數學教育在理論方面的學習模式之設定。
2. 學習過程的研究所採用的各種方法論之定形化。

向該研討會提出的論文中，有關上列目標者

多達37篇，其研究基礎均為皮亞傑（Piaget）與奧斯貝（Ausubel）的理論。依據這兩種理論的課程理論與學習理論，本文將分別介紹最近歐美的中等科學教育研究動向。

二、英國中等科學課程評量研究 ——根據皮亞傑認知發展理論——

1974～1979年的6年間，英國恰斯（Chelsea）大學擬定一個計畫，名叫中學數學與科學的概念CSMS（Concepts in Secondary Mathematics and Science），進行中等科學及數學課程的評量。關於科學方面的報告內容，包括研究目的、內容、方法、結果等，其概要如下：

研究目的在於檢討（課程內包括普通中學與職校學科的）綜合中學（Comprehensive School）的科學課程內容，這種綜合中學目前佔英國中等學校的大多數。

CSMS的研究動機：現在為了英國中等學校使用所開發的奈飛爾初級（Nuffield O-level）教科書，其主要對象為（以拉丁文希臘文為主要學科之）文法學校（Grammar School）與（寄宿）公學（Public School）的學生，這種學校只收一定智力水準的學生，校數約佔中等學校的20%。然而，奈飛爾初級教科書不能適用於綜合中學，而這種中學招收各種智力水準的學生，其校數佔中等學校的大多數。例如，奈飛爾初級化學課程，綜合中學學生平均只有30%能夠理解。

為了解決這個問題，CSMS計畫著手檢討學生發展階段與所對應的學習內容之聯關性。學生發展階段的測定尺度，以及沿用皮亞傑實驗課題的「科學推理作業」（Science Reasoning Tasks，簡稱SRTs）之製作。此外，學習內容

的檢討所使用的教材，則採用奈飛爾統合科學（Combined Science）。這種統合科學是以 Grammar School 以外的中等學校為對象而開發者。

為了明白上述研究過程，首先介紹 SRTs 的內容。這項調查以 9~16 歲的學生 11,000 名為對象，利用以下作業，藉以分析具體操作期到形式操作期的發展程度。

I. 空間的認識：垂直、水平、概觀的知覺能力——前操作期（簡稱 1）到具體操作期後期（簡稱 2B）的作業。

II. 體積與重量：重量、體積的守恒、密度——1 到形式操作期前期（簡稱 3A）的作業。

III. 單擺：控制變因（擺長、擺錘重量，及推力對擺動時間的影響）——具體操作期後期（2B）到形式操作期後期（3B）的作業。

IV. 天平的平衡：關於天平的反比問題，功的原理——2B 到 3B 的作業。

V. 斜面：關於斜面的反比問題，功的原理——2B 到 3B 的作業。

VI. 化合：思考的組合與演繹性思考——2B 到 3B 的作業。

VII. 柔軟的懸臂：控制變因（懸臂的長度、厚度、形狀、質料、重量等對懸臂彎曲程度的影響）——2B 到 3B 的作業。

圖 1 為這些作業的一例。

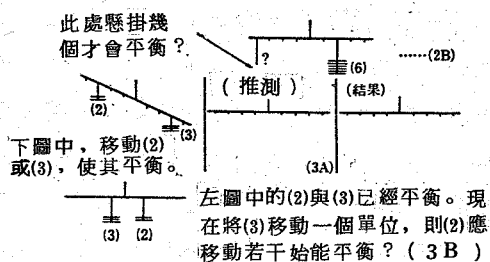


圖 1 SRTs 之例（作業 IV）

這項調查的結果，以 13~14 歲為例，綜合中學學生大約 80% 在具體操作期後期以後的發展階段，反之 Grammar School 的學生大約 80% 達到形式操作期階段。前面已經說過，奈飛爾初級科學是以形式操作期的學生為對象而製作的。因此，這項結果顯示，這種課程不容易適用於綜合中學的學生。然則，以 Grammar School 以外的中等學校為對象而製作的奈飛爾統合科學，對綜合中學學生究竟具有多少程度的適合性？為了明瞭這個問題，CSMS 曾經以綜合中學學生 90 名為對象，授以一部分統合科學，以便檢討學生發展階段與學習內容理解程度之間的關係。教授內容採用 Section 4（空氣），Section 6（水），及 Section 8（地球），並將各 Section 的內容分成物理、化學、生物等部分。施教以後，關於學生發展階段與學習內容理解程度，獲得表 1、2、3 的結果。

表 1、2、3 的學習內容都是整個科學的共同基本概念與方法，亦即密度、壓力、表面積、元素、控制條件、模型等。然而，這些內容的達成比率不到 80%，其原因是，為了修習這些內容，學生必須能夠組合兩個以上的變因（密度、壓力、表面積），能夠作可逆性思考的操作（因果關係的認識：調查化學反應前後的物質來推測任意元素的存在），能夠控制條件（一面考慮兩個以上的變因，一面計畫實驗）等形式操作期的思考方法。換言之，接受施教的學生，沒有滿足這些重要條件。因此，CSMS 所得到的結論是，為了使 80% 以上的學生能夠理解基本概念與方法，統合科學的教材必須予以變更，上述內容的教學法應該配合學生的發展階段。此外，傳統的中等科學課程，專門注重專業科學的學問體系，未能考慮到學生的發展階段。因此，今後中等科學教育的課題是，根據 5~13 歲的學生發展階段的初等科學課程之開發，以及其評量方法（

表 1 物理部分，%表示學生理解程度

學習內容 發展階段	壓 力 概 念		密 度 概 念	
	空 氣	液 體	空 氣	水
形式操作期後期 (3B)	氣壓計的理解 —— 1 %		實驗室內空氣重量的計算—— 0 %	阿基米德原理 —— 1 %
形式操作期前期 (3A)	真空與空氣壓力的關係—— 7 % 單位面積所受的力—— 19%(定性的) —— 0%(定量的)	所有的面都受到相同的壓力—— 8 % 單位面積所受的壓力—— 18 %	空氣的密度 —— 8 %	預測物體是否浮上—— 3 % 說明有的物體浮於水，有的不然—— 5 %
具體操作期後期 (2B)	1cm ³ 的立方體所佔的壓力—— 28 % 真空的理解 —— 46 % 空氣的總壓力 —— 40 % 直覺的壓力概念 —— 27 %	液體的深度愈大，壓力愈大—— 30 %	空氣的重量 —— 60 %	水中的物體，其所受的引力減少 —— 26 %
具體操作期前期 (2A)	物體愈薄，壓力的影響愈大 —— 77 %			

例如皮亞傑理論)的組織。

三、利用概念圖的高中科學學習之改進

——根據奧斯貝的學習理論——

在說明概念圖的內容之前，預先簡介奧斯貝的學習理論如下。

奧斯貝學習理論的主要重點在於學生形成概念，擴大概念，以及加深概念的心理過程。爲了分析這些過程，他把學習分類成爲有意義學習（

meaningful learning）與機械性學習（rote learning）。換言之，學生所得的知識或資訊，與學生的認知結構（根據定義，認知結構就是概念體系）的諸概念相連結時，這些知識或資訊變得易於理解或記憶。同時，認知結構也擴大起來。反之，知識或資訊不與認知結構相連結時，知識無法受到理解，認知結構也不發生變化。這種學習之中，前者稱爲有意義學習，而後者稱爲機械性學習。因此，奧斯貝的主要關心在於前者，並且爲了達成有意義學習，他引進含攝（subsumption）與導言組織者（advanced

表 2 化學部分

發展階段 \ 學習內容	空氣	水	地球（金屬氧化物）
形式操作期後期 （3B）	計算氧 1000 cm ³ 的重量——0 %	由元素的結合來說明實驗——2 %	由鋁熱劑反應，氫與金屬氧化物的反應結果，比較氫與鋁的反應性質——2 %
形式操作期前期 （3A）	理解有的物質在空氣中能發生反應，有的不然——3 % 由實驗結果來演繹空氣的反應性質——11 %	說明氫的燃燒生成水的實驗——14 % 理解化合物係元素的聚合體——23 %	有關化合物中的元素之概念——7 % 那個金屬與那個氧化物反應？——7 % 由礦物獲得金屬的過程中，碳所扮演的角色——8 %
具體操作期後期 （2B）	測定所生成的氧量——23 % 燃燒過程依靠氮氣之比——38 % 空氣中的什麼物質與反應有關？——26 %	利用水中含氫的概念作簡單的演繹——48 %	碳在空氣中燃燒就生成二氧化碳——18 % 排出金屬的反應次序——50 %
具體操作期前期 （2A）	氧量愈多，物質燃燒愈易——77 %		

表 3 生物部分

發展階段 \ 學習內容	控制	水在單位表面積的蒸散	表面積
形式操作期後期 （3B）	根據比較與對照來分析數據，例如，植物的水量透過葉而減少——6 %	僅以表面積為變數，計畫適當的實驗——1 %	將兩個概念適用於生物問題——2 %
形式操作期前期 （3A）	教師所提示的事實，能夠控制條件予以說明——23 %		
具體操作期後期 （2B）	單純原因的說明，例如，樟樹葉的水量因蒸發而減少——75 %	單純的演繹，例如，樹葉面積愈大，水分蒸發量愈大——46 %	1 cm ³ 立方體兩個合併時的面積——40 % 1 cm ³ 立方體的表面積——62 %

organizer) 的概念，作為主要原理。

含攝就是新知識與學生的認知結構中的概念相連結而成為一部分新認知結構的狀態。因此，倘若能夠配合含攝原理來把教材內容輸入學生的認知結構，則學生的含攝作用獲得促進，認知結構更加擴大加深。如此刻意輸入的含攝概念，稱為導言組織者。由此可知，有意義學習成敗的關鍵，在於學生能否適應導言組織者，能否把新知識接受進入認知結構使成有意義的知識〔這種學習的成功稱為有意義容納學習 (meaningful reception learning)〕。奧斯貝站在這個立場，認為學生親自蒐集資訊來使其成為概念，以期認知結構發生變化的發現式學習法，不是學校的理想學習模式。

根據上述奧斯貝理論，美國康乃爾 (Cornell) 大學諾瓦克 (Novak) 提倡利用概念圖 (Concept map) 來改進高中科學教學。這項研究始自 1970 年代，直到目前仍在積極推行。依照諾瓦克的定義，概念圖是一種概念體系，包括即將學習的教材內容。利用概念圖的科學教學過程如下。

教師在教授一個單元時，首先必須說明包括該單元教材內容的概念體系（換言之，予以導言組織者）。圖 2 表示具體的例子。圖 2 是關於

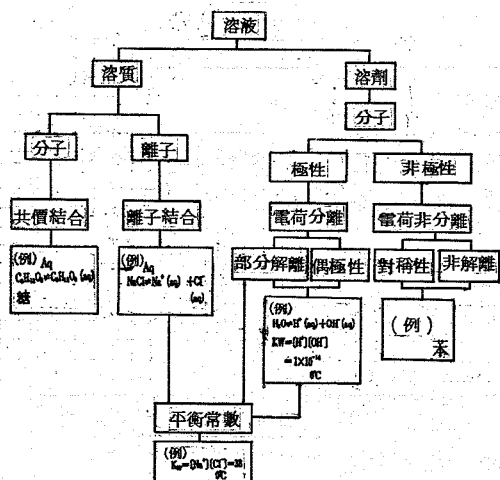


圖 2 溶液的概念圖

溶液的例子，學生利用這概念圖，進行有關溶液現象的各種實驗與觀察，以便擴大及加深關於溶液的認知結構。

上述學習法的問題是，沒有明確指示學生如何把概念圖適用在具體的事實。換言之，科學概念與理論究竟根據何種實驗與觀察而建立起來，沒有明確指示學生如何去理解這個道理。因此，諾瓦克提倡康乃爾大學的同事弋威因 (Gowin) 所開發的圖 3 之方法，這圖叫做「弋威因的認識論 V 圖 (Gowin's Epistemological V map)」。圖中 V 字底端表示實驗內容，左側則依照已學的概念圖來說明右側所得實驗事項，表示按照概念、原理、理論的次序來加深認識的方法。右側的「變換」表示實驗事實的圖形化、模型化、控制條件，以求更多資訊的科學方法。中央山谷的問題就是學習的課程。

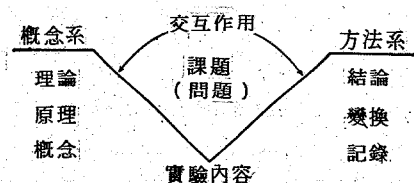


圖 3 弋威因的認識論 V 圖

上述方法的路線與科學家探討的過程完全相同，左側與右側必須經常發生交互作用。例如，科學家不用溫度計而改用熱變電阻器，或不用顯微鏡而改用電子顯微鏡，即可獲得更詳細的資訊，結果概念體系大幅擴大。概念體系既已擴大，即可成為理論根據而生成假設，可求更新的資訊（方法的變更）。因此，學生可以依照科學家探討的路線，利用概念圖來解決課題。當學生沿著 V 字解決課題時，學習即告結束。倘若未能解決，學生亦可從 V 字底端利用其他方法或其他概念圖來再度學習。圖 4 表示學生製作的有關溶液之 V 圖。

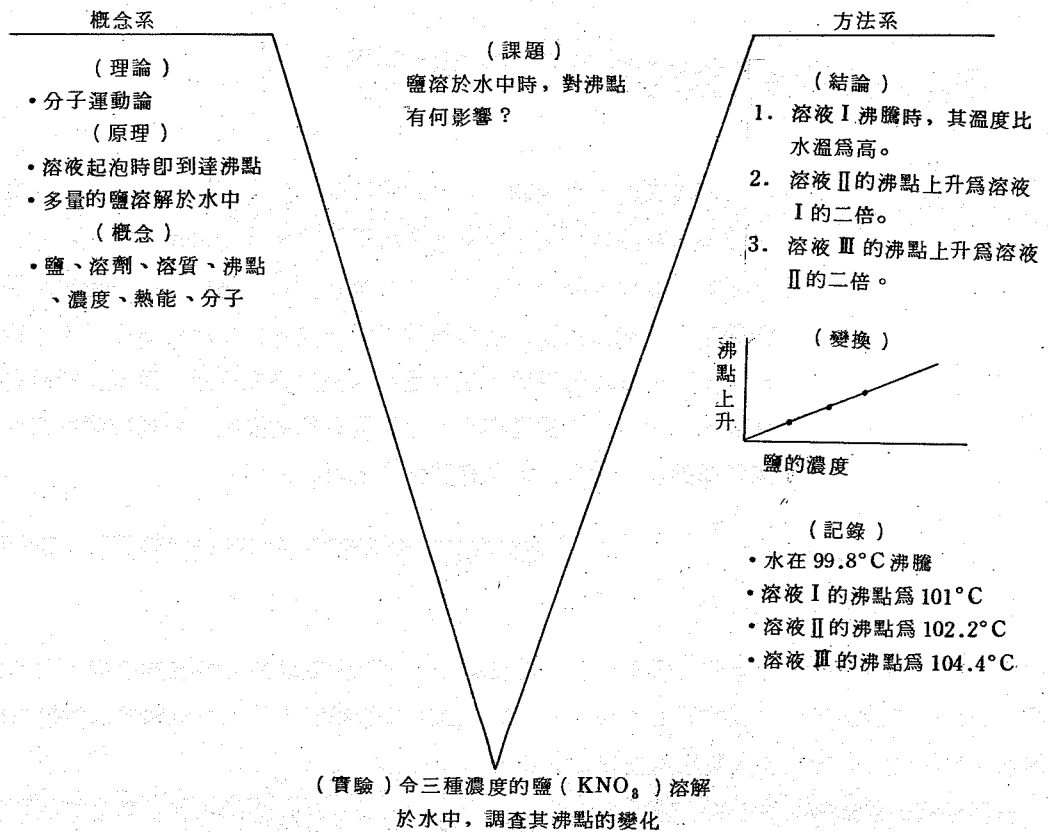


圖 4 學生製作的溶液 V 圖

為了使學生確實理解概念圖的意義，上述 V 圖也可說扮演奧斯貝導言組織者的角色。此外，觀察學生製作的 V 圖，教師可以評量學生對概念圖的理解程度，也可以改進發給學生的概念圖之內容。還有，透過概念圖與 V 圖的學習，可令學生製作自己所學內容的概念圖，以便評量學生

的認知結構。諾瓦克的學習理論，其著重點是，予學生以明確的概念體系，學生便可利用此概念體系為背景，加深其對自然界的看法與想法。換言之，學生的認知結構由白紙狀態透過歸納過程而獲得知識，這種方法實屬毫無意義。 □

(資料來源：「理科の教育」1982年1月號)