

第貳章 文獻探討

本章的內容在呈現研究的哲學基礎並指出相關研究的一些資訊。包括科學理論發展的哲學觀，知識表徵與科學學習，模型與科學學習及心智模式與概念改變等部分。藉著這些相關文獻的探討提供研究的啟思和洞見。

第一節 科學理論發展的研究

哲學研究的演變是從以本體論為中心到以認識論為中心。早期的哲學研究，科學是包含在哲學中，也沒有特別探究科學方法的利用，或追求精確；基本的關注是尋找知識的本體。直至十九世紀開始，科學有顯著的成果，而哲學家如笛卡兒強調哲學的邏輯性，斯賓諾莎將數學方法引入哲學，萊布尼茲強調符號和邏輯，以及培根推崇實驗和經驗等哲學思想，使哲學中出現了從屬於自然哲學的科學哲學。這個獨立的科學從實證主義哲學開始，強調實證方法；以自然科學理論的形式化和公理化為目標。藉科學理論概念、結論以及經驗證據間的邏輯結構和邏輯關係的一致性決定科學理論的有效性和確立程度。哲學由知識體系的追求轉而為澄清概念或分析科學理論的邏輯活動。

二十世紀中期邏輯經驗主義的興起，針對認識論的「意義問題」和「證實問題」的課題試圖消除形而上學時，也引來致命的攻擊。對邏輯經驗論的一些批評使科學認識論轉向「科學知識是發現或發明？」、「理論變遷時科學家是如何選擇科學理論？」等問題的研究。這種研究具體的科學結構遭遇困難而轉向考察科學結構的一些原則性問題的後設研究（meta study）；是屬於方法論上的研究。陳瑞麟（2003）指出科學哲學所探討的方法論可以區分成科學家形構科學知識所使用的「歸納統計法」、「實驗方法」等等問題的第一序方法（the first-order methods）和理論變遷時科學家選擇理論的判斷依據的「方法學規則」的第二序方法（the second-order methods）。二十世紀晚期，科學哲學的方法學規則的研究基本上是

視科學史為科學方法論的經驗材料，以科學史進行科學理論進程的合理重建，試圖由實際的科學歷史演變抽離出科學哲學的方法論規範。

一、科學哲學的線索

科學哲學研究人類在認識自然與改變自然的過程的知識論與方法論的議題。亞里斯多德到休謨的前實證主義轉向邏輯實證主義的科學理念後，獨立的科學哲學因而顯現。這種科學哲學的本質包括推崇科學方法，反對傳統的思辨方法、本體論和形而上學。舒燁光（1996）認為邏輯經驗主義可以作為現代西方科學哲學的一個參考點，亦是一個起點，由此起點發展出許多條線，其中第一條線的演變，代表人物有石里克（Schlick）、卡納普（Carnap）、亨普爾（Hempel）、科恩（Cohen）等，尤其以卡納普和亨普爾有顯著的貢獻。

邏輯經驗論常與「維也納學派」或「邏輯實証論」、「科學經驗論」等名稱混為一樣，這是因為同質派系的哲學思潮包含一些修正和轉進。維也納學派認為理論必須要有經驗意義；主要特徵在反對哲學證明中輔助概念的誤用，強調互為主觀的（intersubjective）語言和科學的整合。卡納普是邏輯經驗主義的中間份子，早期認為證實原則與意義標準是統一的，可以由經驗證實的就是有意義的。卡納普後來轉向「物理主義」，區分觀察語言和理論語言，並認為要使科學命題的意義更加清楚，不但要對科學命題進行邏輯的語法分析還應該進行語意分析。卡納普是試圖以語言框架將形而上學問題排斥於有意義的科學命題之外。而亨普爾強調理論的邏輯結構，科學的說明（explanation），確認的邏輯性。亨普爾認為雖然學概念和定律最終以經驗為基礎，但是並不需要過分強調對科學術語進行明確的經驗解釋：理論詞匯不是單一、零碎的被引入，是系統的逐漸發展形成。亨普爾也提出「演繹模型」對科學說明進行分析；亨普爾指出科學說明具有共同的形式，包括先行條件和一般定律，兩組陳述合在一起便能對現象說明，這樣的說明是一種演繹論證。在這條線上是傾向對科學理論做靜態的結構分析。

巴柏 (Popper) 的否證論哲學亦是由邏輯經驗主義發展出來的另一分支，否證主義抨擊證實原則。巴柏延續休默以來的知識論觀點，認為歸納法無法達到知識的確定性，演繹法才能得到知識的確定性。一個假設雖然不能證實為真，但是根據邏輯上的否定後件，卻可以確定這個假設是否被拒絕。因此，即使最完整的科學理論，雖然接近真理，但也無法完全證實；科學理論可否證(falsifiable)但無法被證實。巴柏認為科學的本質是批判，由大膽的臆測組成。科學知識的增長是不斷的革命，科學變革是理性的。不科學並不等於沒意義，只不過不能宣稱是具有經驗意涵的科學，但並不能因此斷定它是不重要或是沒有意義。批判是知識增長的主要動力，科學知識是透過提出問題、猜測、駁斥和產生新問題等四個階段的循環而發展。巴柏以「批判理性主義」自稱，在這條線上，邏輯主義並未受到決定性或嚴重性的衝擊，反而得到了保留。否證論的潮流並與由邏輯經驗主義發展出來的第三條線的歷史主義思潮連接起來(舒煒光，1991)。

第三條線是由邏輯主義轉向歷史主義，孔恩是歷史學派的主要代表人物，也是整個學派的核心，歷史學派對邏輯經驗主義有全面性的批判，從反對邏輯經驗主義走向非理性主義，因此距標準科學哲學的傳統越來越遠。費耶阿本德更把歷史主義的推到極端，提出認識論的無政府主義。孔恩以歷史為窗，主張以"格式塔"(Gestalt)的方式置身於特定時間的科學世界中，從動態的歷史研究中揭示科學的本質；科學必須是歷史的而不是形式的(Loving, 1991)。孔恩主張科學理論僅在某些特定的脈絡(context)中才有價值；並考量社會心理學的一些自然因素來判斷科學理論的價值。孔恩認為科學理論的價值並不在於理論的較好或理論是比較接近目標或比較接近真理；科學進步是指新理論比舊理論解決更多的問題。科學理論是典範(paradigm)或傳統的一部分，孔恩強調科學家本身的專業訓練的信念(discipline-based beliefs)，在科學研究過程中扮演著重要的地位(Loving, 1991)。孔恩雖然不認為科學的成長不是經由累積，但是科學革命只是例外，當由批判而達成一致時，科學就進入另一個常態科學；這種觀點與巴柏的「不斷的革命」的科學發展觀是不相同的。科學發展的模式是由前典範科學 常規科學

危機 科學革命 新常規科學的循環。孔恩強調科學發展是藉常態科學時期的量的累積和科學革命時期非連續性的質的跳躍兩種變化，是階段性的革命論（金吾倫，1994）。在這條線上孔恩、費耶本德與第二條線的巴柏在科學哲學的轉向都扮演關鍵的角色。

第四條線由邏輯經驗主義連繫到科學實在論，科學實在論主張科學理論要儘量的忠於真實，要對真實世界作原原本本的描繪。認為實體世界存有但屬於不可觀察的；科學是以觀察到的世界的理解來描繪實體世界的真實故事。科學、實在和真理是科學實在論的三個主要的概念。科學研究是尋求真理的過程，科學知識離不開真理，科學發展意味著更接近真理。本格、普特南和夏皮爾都是科學實在論的代表人物。夏皮爾反對孔恩與費耶阿本德的相對主義，認為沒有不變的科學預設。本格提出可錯論，認為一切知識都是猜測的，科學等同於假設猜想，科學方法依靠試錯，知識通過批判和試錯而增長。普特南則主張科學發展的趨同性，認為科學思想指導科學技術的實踐。

Loving(1991) 將哲學家 Giere (1988) 所提出的一個科學哲學的模型發展成一種科學理論的剖析架構，並以此架構顯示不同科學理論觀點的分佈譜圖。這個二維的科學哲學的剖析架構有兩個向度，橫軸為理論價值的判準的向度，以理性(rational)和自然論(natural)為此向度的兩端,代表理論的思維方式。縱軸為理論的表徵 (representation), 就盛行理論的世界觀偏向的觀點，以實在論(realist)和反實在論為此向度的兩端，代表理論對知識本體的認定。Loving 並以孔恩、亨普爾、巴柏等三個哲學家的哲學觀做為此模型的關鍵定位點(keystone), 如圖 2-1-1 所示。

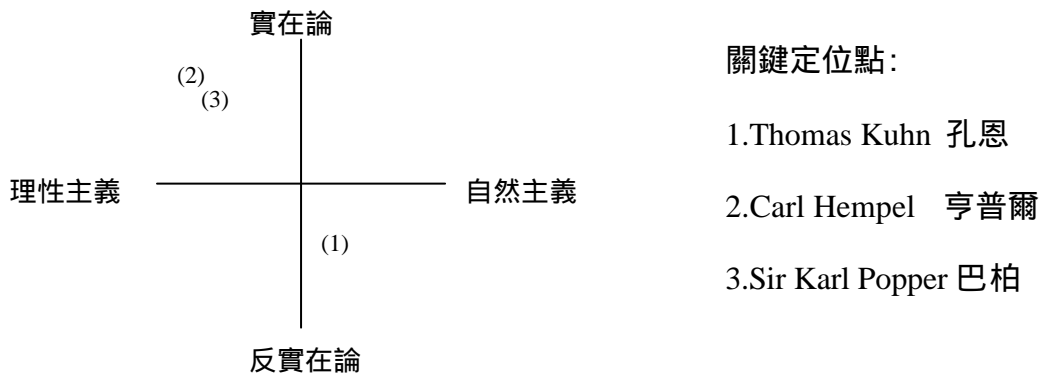
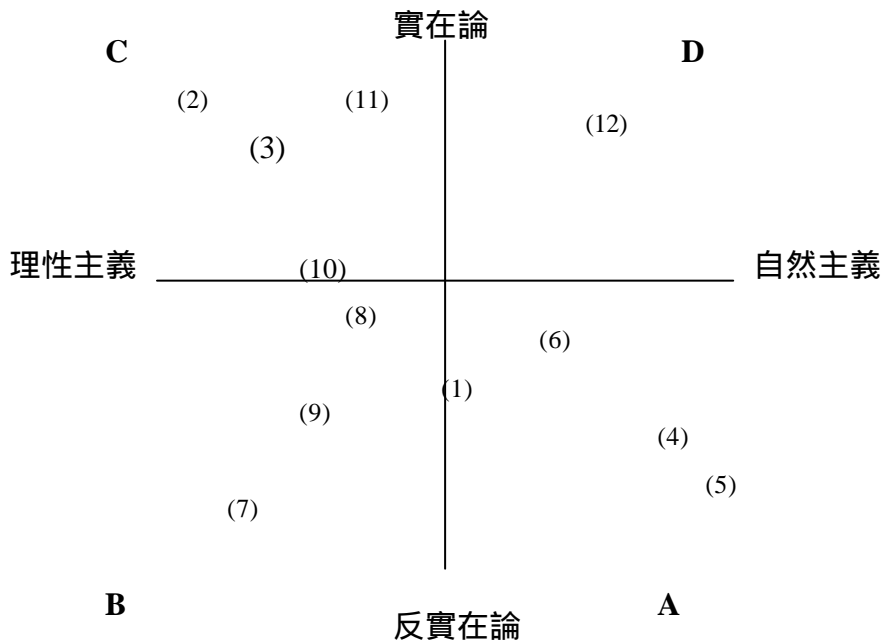


圖 2-1-1 Loving 的科學哲學的剖析架構

Loving 希望提供此科學哲學的剖析架給科學教師，作為教師在選擇教學內容的取舍的參考，以導向更豐富的概念理解。這樣的分析架構應該也可提供科學理論發展的有利線索。

Loving 以此科學哲學模型將科學理論的哲學觀點分成四個象限，Loving 並分析九個當代的哲學家，包括科學社會學家(sociologist of science)，費耶阿本德(Paul Feyerabend)，荷頓(Gerald Holton)，圖爾敏(Stephen Toulmin)，夏皮爾(Dudley Shapere)，拉卡托斯(Imre Lakatos)，格魯曼(Clark Glymour)，勞丹(Larry Laudan)及基爾(Ronald Giere)等，依其不同哲學觀決定這些哲學家在此二維模式的位置，如圖 2-1-2。整個座標軸均是相對於孔恩，亨普爾和巴柏三個楔石哲學家的位置來排定位置但並不具數值的刻度。每一象限內至少有一位代表性哲學家，其中有三個象限至少有三個代表性人物。模式中的 A 象限屬於自然論的反實在主義(Natural Anti-realists)，是歷史主義的走向；B 象限屬於理性反實在主義(Rational Anti-realists)，是反實在論的走向；C 象限屬於理性實在主義(Rational Realists)，是邏輯經驗主義的走向；D 象限屬於自然論的實在主義(Natural Realists)。



關鍵定位點:

- | | |
|----------------------------------|-------------------------|
| (1) Thomas Kuhn 孔恩 | (7) Stephen Toulmin 圖爾敏 |
| (2) Carl Hempel 亨普爾 | (8) Dudley Shapere 夏皮爾 |
| (3) Sir Karl Popper 巴柏 | (9) Larry Laudan 勞丹 |
| (4) Sociologist of Science 社會科學家 | (10) Imre Lakatos 拉卡托斯 |
| (5) Paul Feyerabend 費耶阿本德 | (11) Clark Glymour 格魯曼 |
| (6) Gerald Holton 荷頓 | (12) Ronald Giere 基爾 |

X-軸 = 理論價值的判準; Y-軸 = 理論的表徵

圖 2-1-2 Loving 的科學哲學的剖析譜圖

Loving 將將孔恩（定位點 1）定位於接近 y-軸的 A 象限，因為孔恩強調理論的價值在於特定的脈絡下理論的進步而非理論是否變的更好或更接近真實，且由於孔恩認為理論的判準包括許多社會和心理等的自然因素，事實用的理性，因此是屬於自然偏向的反實在論。在此象限內還包括以群體作單位的科學社會學家（定位點 4），被稱為科學哲學的頑童的費耶阿本德（定位點 5）與荷頓（定位點 6）。費耶阿本德認為好的科學理論充斥著信心、遊戲和非理性，強調科學理

論所具備的自滿、感性和偏見的人性部分；荷頓則認為理論是一種操作的真實（operational truth），因時、因地的一些重大的科學活動軌跡（trajectory）是科學理論發展的本質，因此荷頓偏向自然論。

Loving 將亨普爾（定位點 2）定位於對比於 A 象限的 C 象限。亨普爾關心理論的邏輯性確認，重視輔助假設是否使理論更圓滿，屬於理性的實在論。被稱為科學的哲學家的巴柏（定位點 3）也定位於 C 象限。雖然巴柏被歸類在理性實在主義，巴柏認為理論發展雖可使理論更接近真實，理論卻是永遠無法被證實的。巴柏認為即使是最好的理論也有一些臆測的成分，且這些臆測會在特定的領域中蔓延。這與亨普爾理論的邏輯性確認或是孔恩的成熟科學的想法都是相當不同的信念。巴柏在科學的理性觀點也與亨普爾或孔恩不同。巴柏對科學家的客觀理性評估有很高的期待，認為好科學家都具備著理性的傳統。另外被 Loving（定位於 C 象限的科學哲學家還有拉卡托斯（定位點 10）和格魯曼（定位點 11）。拉卡托斯針對巴柏和孔恩的觀點提出所謂的「精緻的否認論」（sophisticate refutation），認為理論是在一個整體的研究綱領之下發展，理論評估由理論可包含的新證據的程度決定，而不是用一組預先設定好的判準來決定。拉卡托斯被定位在偏向理性的理論判準的 x 軸上。而格魯曼則反對孔恩或拉卡托斯，傾向亨普爾的觀點，唯對理論確認的精密度的要求比亨普爾較為實在。格魯曼認為理論的確認並非一定是整體的出現，可以是一點一點的發生。格魯曼特別關心科學的論證歷史，視歷史的說明為分析和批評科學爭議的重要工具。

被 Loving 定位於 B 象限理性反實在主義的有：圖爾敏，夏皮爾和勞丹。這三位哲學家的理性觀點都是較廣義的，重視科學知識的解釋和解決問題的面向而非科學知識的真實性，因此是反實在論的。圖爾敏認為在自然科學中客觀等同於理性，豐富的解釋即是科學理性；理論評估傾向工具論的觀點（instrumentalist），認為理論是推論的模型和工具，為強烈的反實在論。

夏皮爾（定位點 8）反對孔恩和費耶本德的相對主義，認為雖然從科學史出發可以考察科學發展，但是科學史並不支持相對主義，屬於新歷史學派。夏皮

爾認為雖然科學可變、可修正和可駁斥但不管科學的信念或方法有多重大的改變，他們之間依然有聯繫，因此是理性主義。在理論的判準上夏皮爾認為理論的真偽在於理論是否具備最大功用，因此歸類於反實在論。

Loving 認為勞丹（定位點 9）是 B 象限中十分特別和重要的科學哲學家。勞丹提出有別於線性階層的一種三元網狀的科學結構；這個由事實、方法和目標所構成的網狀結構引導科學家進行科學的研究。由於網狀結構間的配合、侷限、和諧一致等顯示科學的理性。

Loving 認為 D 象限是科學哲學的新天地，是正在實驗中的領域。Giere 是 D 象限中唯一的代表性人物。Giere 自稱是建構實在主義(constructive realism)，從認知科學出發，強調先備知識、信念、環境和社會學。Loving 認為此象限的發展將是科學教育人員最有可能的走向。

二、拉卡托斯的研究綱領

拉卡托斯從巴柏的否證論出發，批判邏輯實證主義的經驗證實原則；從歷史的角度對巴柏的否證論作修正，提出了所謂的精緻的否證論（sophisticated methodological falsificationism）。拉卡托斯認為經驗具有主觀性因此並不能否證一個理論；而且任何理論都和其他理論有相互關聯，科學理論的不一致有可能是理論本身有錯，但也有可能是理論的初始條件有問題。例如 1815 年同位素尚未被發現，普勞特認為元素的原子量都是整數的理論因此不能被接受。拉卡托斯指出理論不是孤立存在的，理論的評估應該是針對理論系統的整體；拉卡托斯將包含科學理論、輔助假設和初始條件等理論系統的整體稱為「科學研究綱領」（scientific research programmes）。精緻的否證論是評估研究綱領，而非理論本身。

科學研究綱領是由一些方法論規則組成，包括消極性誘導法則和積極性誘導法則。消極性誘導法則具體規定綱領的硬核，積極性誘導法則是一組提示和暗示，指導科學家如何改變、發展研究綱領，如何修改或精煉保護帶。因此研究綱

領指導特定時期的科學研究和思維的方式；透過科學研究綱領使科學社群成員聯繫在一起，理論系列因此有某種連續性。消極性誘導法則指出研究應該避免的研究途徑，是負面的啟思；積極性誘導法提出研究的方針，透過修改或增加完善的輔助性假設來積極的保護綱領。

科學研究綱領包含一些組成份，其中「硬核」(hard core)，是綱領的最基本理論；綱領的硬核描繪科學研究綱領的特徵。例如牛頓的動力學三定律及引力定律就是牛頓的研究綱領的硬核。綱領的消極性誘導法則會禁止硬核的改變；綱領方法論上的禁止規定，使經驗的反駁不會對準硬核。例如超距力就是牛頓綱領所要避免的。在科學成長的過程，若硬核無法得到保護，則研究綱領就是退步的。

「保護帶」是綱領的另一個組成份，由一些輔助性假設構成。當異例出現，保護帶的輔助假設被不斷的修改或轉換以保護硬核。拉卡托斯認為研究綱領中的「模型」是一組初始條件或和一些觀測理論。在研究綱領進一步發展期間，這些初始條件將會更換 (Lakatos,1970)。研究綱領的積極性誘導法提示科學家如何改變模型和精練保護帶。當積極性誘導耗盡時，研究綱領便處於退化階段，科學家才將注意力集中在異例。

拉卡托斯認為研究綱領的進化或退化的客觀標準在於它的經驗內容；科學研究綱領可以分為理論上的進步和經驗上的進步。若能對經驗事實作出更多的預言和解釋，因此是以問題轉換的進步程度、以一系列理論所引導的新事實的發現程度來衡量進步。而科學發展的模式是從科學研究綱領的進化階段 退化階段 新的科學研究綱領的否證、取代退化的研究綱領 新的科學研究綱領的進化階段。科學發展是不斷的革命，質變，量也進化。

三、孔恩的典範轉移

孔恩是歷史學派的核心人物，歷史學派對邏輯經驗主義有全面性的批判，從反對邏輯經驗主義走向非理性主義。1970年《科學革命的結構》一書的出版，開啟了科學哲學的新視野，使科學哲學的研究從對科學知識的靜態邏輯分析轉向動態的科學知識增長的問題。孔恩透過科學史資料的分析提出一個新的科學觀，主張科學的發展並非是歷史資料和觀察資料的累積，而是以典範為中心，採取常態科學和科學革命兩種形式發展。科學發展是科學理論的革命過程，透過動態的科學史研究才能夠認識科學的本質。

孔恩持「階段革命論」科學發展觀點（金吾倫，1994）。科學從意見分歧的前科學時期階段轉進意見漸趨一致的常態科學時期。常態科學以典範作為科學社群的專業基體（disciplinary matrix），進行解謎的活動並精煉典範。在科學理論穩定的擴大並追求更大的精確的同時，典範無法解釋的反常的科學現象也就愈有機會被捕捉到；典範因此可能面臨危機，或被迫變形或被迫放棄導致科學革命。孔恩的科學革命是例外的，是超科學的。孔恩科學的發展是透過常態科學時期的量的累積而進入科學革命時期非連續的質的跳躍。

典範是孔恩科學發展觀點的核心概念。孔恩認為閱讀方式是一種理解方式（金吾倫，1994）；科學社群的科學家形成典範有如學會語言的學生，有一些標準形式可資發展。孔恩在《再論典範》以專業基體取代典範的概念，專業基體包含符號通則（symbolic generalizations）、模型（models）或共同的信念（beliefs）、共有價值（shared values）和範例（examples）四個要素。專業基體代表構成科學社群成員所共有的信念、價值、方法等的整體，是常態科學解謎的基礎。典範的建立代表學科發展已經成熟（Kuhn, 1970, p. 11），意見一致。孔恩認為理論是抽象的，理論已經從科學實踐的社會、心理因素和形而上學的因素抽離（Kuhn, 1970, p. 174），因此典範不僅包含形成的理論，還包含科學研究的信念、方法。「典範不只提供科學家一張地圖，而且提供科學家繪製地圖的基本方向」

(Kuhn,1970 , p. 109)。典範比理論更具體，並提供理論和方法論的關聯 (Kuhn,1970 , p. 17)。Kuhn 認為模型是典範的一個元素，其中的一個功能是提供認可的類比或隱喻。透過這樣的功能幫助決定是否接受一個解釋或謎底，並幫助決定哪些未解的謎是比較重要的。金吾倫認為典範不但對科學研究有定向作用、指導世界觀和方法論的作用，同時也是科學家的智力工具。

四、勞丹的研究傳統

勞丹既是一個自然論者也是一個理性論者，勞丹把孔恩的觀點作進一步的發揮，認為新理論可以解決的問題增加、解決問題的理論方式增多便是科學進步；科學的理性就在於科學的進步性。但勞丹並不同意孔恩放棄對科學方法進行合理的、規範的評價但也反對拉卡托斯的合理重建 (陳瑞麟，2003)。

勞丹假設科學是解決問題而不是探究真理的活動。勞丹指出雖然科學有解決問題、解釋、控制自然 等多重目標；而科學家的活動也有尋找真理、影響力、社會功利和聲望等多重目的 (勞丹，1970，p.14)。但是以科學是問題解決系統說明科學比用其他概念說明，更容易捕捉到科學的性質。勞丹認為問題解決和對事實的說明與解釋在功能上雖極為相似，但解決一問題是不可化約為「解釋一事實」；問題解決的性質和邏輯與「解釋的邏輯」是有相當大的差異 (勞丹，1970，p. 18)。

理論是科學問題的解答。理論的功能在解決歧異，降低不規則性，以呈現事件的可理解性和可預測性。理論的評估是著眼於理是否能為重要問題帶來適當的解決，而不是理論是否為真、是否得到確證、或是否能在當代知識論的架構中得到佐證。科學發現過程是一個理性的過程，理論的重要是屬於知性上的重要 (勞丹，1970，p. 16)。這樣的觀點，開拓了介於孔恩典範遷移的科學發現的心理學和拉卡托斯研究綱領的問題轉換的理性產物的一條中間路線，使對科學的歷史演進和科學在認知上的評估有嶄新的面貌。

勞丹將科學理論企圖解決的問題分為經驗性與概念性兩類問題。所謂的經驗性問題(empirical problem)是經由某些確定的探討脈絡而產生，且受到此脈絡的界定。例如當我們觀察到殘留在杯中的酒，不久會消失，若要為此現象找出解釋，即是提出一項經驗性問題。經驗性問題只有在某種理論探討的脈絡中始能產生，它們是在理論約束的影響下始能成形，也是有關這個世界的問題，因此是經驗性問題。經驗性問題又可根據在理論演化中的功能區分為（1）迄今無任何理論足以充分解決的經驗性問題，勞丹稱之為未解決的問題（unsolved problem）（2）已有理論能適當解決的經驗性問題，勞丹稱之為已解決的問題（solved problem）和（3）異例的問題（anomalous problem）——不能為某種特定理論所解決但卻能被相競爭的某一項或多項理論所解決（勞丹，1970，p.20）。科學家的工作是將反常問題和未解決的問題轉變為已解決的問題。已解決的問題是指某理論已提供該問題某種解釋、問題和某種理論已建立某種關係。勞丹指出「解決」的觀念具有高度相對性和比較性；「解釋」的觀念是則是有一種標準模式，不合於標準便不算是解釋。解決問題與理論的真偽無關；解決問題的途徑為評估理論的重要工具。

所謂概念性問題是指稱「由某些理論展現的」問題。概念性問題是理論的特徵，此類型的問題無法脫離將它們展現出來的母體理論，也不能像經驗性問題偶而擁有有限自主性。經驗性問題是指某些領域裡有關於實質物項(substantive entity)的第一級問題，概念性問題則是經由專門設計而用來回答第一級問題的概念結構。概念性問題以下列兩種方式在一個理論中出現：當理論出現了某些內在不一致性，或者當理論分析的基本範疇模糊不清時，就出現了內在概念性問題(internal conceptual problem)。而當理論與其他理論或學說衝突，衝突的部分被理論的支持者認為是有相當合理性基礎時，就出現了外在概念性問題(external conceptual problem)。勞丹認為科學理論的變化和爭論往往集中在概念問題上而不是集中在是否有經驗支持上。因此概念性問題在理論的評價上有突出的地位。

勞丹認為任何時候一理論修正或取代舊理論，只要後起者比先在者是一個有效用的問題解決者時，這個變化就是進步的。這種進步可以有許多發生的方式；最常見的進步是所有相關變數都已作了細緻轉變的了。但發生的方式有可能是解決的經驗性問題的領域擴大，而其他的評估部門卻保持固定，這也是一種進步。此外，進步也可能來自於對某個理論的修正，而其結果則消除了一些棘手的異例；或者，它解決了若干概念性問題。

勞丹認為理論是解決問題的工具。每個領域都存有一種由比較普遍、不易受檢驗的學說和假說所組成理論，這是一個系列理論，勞丹稱之為研究傳統（research tradition）。科學發展是連續的，研究傳統是可以通約的。連續性的主要因素是經驗問題。共有的經驗問題才建立起前後相繼研究傳統之間的重要關聯。但承認科學發展是連續的，研究傳統是可以通約並不是也認為科學是累積進步的。進步並不是把舊理論完全包括在新理論中所以是非累積的。

每一研究傳統會與一系列特定理論有所聯繫特殊化，並示範或滿足研究傳統的方法論。構成研究傳統的個別理論一般都是經驗上可以檢測的，透過與其他特定理論的相連結，個別理論蘊含一些該領域內的對象的性質的正確預測。但是研究傳統非解釋性也非預測性，是概括性的，可以指出世界如何構成，應該如何研究，並不能提供特定問題的詳細解答。研究傳統的功能是提供解決經驗性問題和概念性問題的工具。研究傳統建立存有和方法論並設定研究元素的類型，在科學理論發展扮演約束和啟發的角色。

第二節 層析法的理論發展史

層析法 (chromatography) 是近年來化學和生物化學中最被廣泛使用的分離技術。層析分析是一個包含有動相和靜相兩相的流體系統；使動相帶著欲分離的混物流經靜相，便可將物質分離，達到純化的目的。分離主要機制是利用試樣中各成份在兩相中分配不同造成遷移速率的微小差異，遷移速率的微小差異的集體作用使各成分分離。層析法歷經百年的演化後，許多新方法發展，技術的應用也更為一般性。

層析分析法的發展是以液相吸附層析開始，如 1820 年 Goppelsroeder 以濾紙分離無機鹽類、染料或食物的混合溶液、1893 年英國化學家 Lester Reed 以裝有高嶺土的管柱分離有顏色的無機鹽的混合物 (Heines, 1969)。一般以 M. S. Tswett 在 1899-1901 進行葉綠素生理和化學結構的研究，使用現代稱為「液相層析」的基本操作模式是為層析分析的濫觴。Mikhail Tswett (1872~1919) 為植物學家，對葉綠素十分感興趣，當試圖從植物分離葉綠素時，發現只有極性的溶劑才能萃取葉綠素，但是當葉綠素從植物中分離後，葉綠素又易溶於非極性溶劑。Tswett 認為存於植物中的色素是一種吸附複合物 (adsorption complex)，非極性溶劑不能破壞這種吸附作用力 (adsorption force)。Tswett 透過逐步吸附、沉澱和萃取等操作步驟的研究，技巧的應用溶劑選擇性吸附 / 去吸附 (desorption) 的技術發展出層析法並稱之為「吸附分析的新方法」 (Ettre, 2000)。1903 年 Tswett 發表利用層析分離技術的植物葉綠素生理和化學結構的研究報告於德國植物學期刊，該文 1967 才被翻譯成英文發表 (Strain and Sherma, 1967)。由於 Tswett 從植物基質中分離出每個個別色素並使用光譜分析確認個別色素的性質，而非如一般化學家採用萃取和再結晶的分離技術，得到的是由熔點測定確認的單一種化合物結晶。層析法分離方式相對於當時天然物研究的既有哲學是一種激進的改變，也因此終其一生 Tswett 在色素和層析的成就並未受到同儕的肯定。毫無疑問的，Tswett 開啟一種全新的分離方法，引導

百年來層析法發展的可能。

除了歐陸 Tswett 等研究者層析法分離的相關研究外，幾乎是同時在美洲亦有相似的發現。此時為美國石油工業發展的初期，主要的油田在賓州及俄亥俄州。當時一個稱為過濾理論 (The Filtration Theory) 的石油的假說認為有「石油源」的存在，石油會隨著土地遷移，高沸點的成分會保留在石灰石或油頁岩中，因此較靠近石油源的油井將含有較高沸點的石油成分，距石油源較遠的油井將含有較多低沸點的石油成分。David Day (1859--1925) 在 1897 發表「賓州石油起源的相關建議」指出可以用現今所謂的「邊界層析」(frontal chromatography) 的一些實驗方法證明過濾理論的有效性。Day 宣稱『這個程序在操作的實際應用給予肯定，將啟發並有助於未來發展一個分離各種不同原油的科學程序』(Ettre, 1990)。持續進行了一些實驗，有部分是成功結果的鼓勵下，Day 於 1902 年以四頁的法文短篇發表於巴黎舉行的第一屆世界原油大會論文集。該文沒有提出所使用的系統的詳細資料或結果，但預期層析法的可能，Day 指出『過濾實驗方法提供肯定的期待；我希望藉大會的聲音與全世界的科學家交換意見，我相信在明年的冬天我們應該可以得到完全的分離。』(Ettre, 1990)。十年後，Day 和他的同僚發表了數篇文章並提及將原油通過填充有酸性白土或黏土的管柱 (管長 5.5ft, 內徑 1.25 in)，沿管柱的不同距離處各部分則含有不同物理性質 (不同的比重及沸點範圍) 的原油成分。雖然 Day 發表的報告沒有任何一篇文章提及達成『完全分離』，但是 Day 所用的方法幾乎已是層析法，所用的系統也與 Tswett 相差無幾；Tswett 所用的管柱較短並有較小的內徑，Tswett 也是收集管柱內分離的各部分。兩者最大的差異在 Tswett 使用沖提層析 (elution chromatography)，Tswett 將小量的樣品溶在溶劑中並用一個動相沖提；Day 和他的同僚先技巧選擇管柱內的吸附劑和溶劑並將原油浸滿於管柱中。Tswett 分離出純的化合物而 Day 僅沿管柱得到的石油成分的分佈。發展出系統的層析分離技術就近在咫尺，Day 錯過了機會。

由於科學社群對天然物研究的哲學觀並沒有改變，層析法並未受到研究者

的重視。直到 1930 年代生物化學研究迫切需要一種分離少量相似性質物質的混合物的分離方法時，層析分離法才得以重生。1930 年德國海德堡 laboratory of Richard Kuhn 的奧地利年輕化學家 Edgar Lederer (1908-1988) 在文獻蒐集時受到美國化學家 L.S.Palmer (1887-1944) 有關胡蘿蔔素研究的書籍的引介下，獨到的選擇採用類似 Tswett 的分離方法分離蛋黃中的色素成分。Lederer 成功的使用層析法並引起其他研究者的重視和使用。至此，化學用來研究複雜物質分離方法的觀點由於 M. S. Tswett 在層析的先驅工作發生重大的變化，層析法的分離技術的演化也展開。

按層析法基本操作模式的想法，層析法使用的靜相都是固體而動相均為液體。1941 年 J. P. Martin 及 R. L. M. Synge 兩人研發以液體作為靜相的層析法，即所謂的液 - 液分配式層析法。在企圖用逆流萃取法 (countercurrent extraction) 從羊毛分離單胺基單羧酸遭遇困難後，Martin 想出固定其中的一個溶劑，只讓另一個溶劑移動的主意。他們的研究以水為靜相，並用矽膠作水的支撐物，以含 0.5%酒精的氯仿作動相 (mobile phase)。管柱以傳統的方法展開 (在管柱中加入甲基橙使酸顯色，分離的酸以有顏色的區塊留在管柱中)，也採用流動式層析 (flow through) (Ettre & Zlatkis, 1979) 後續的研究 Martin 和 Synge 用水、氯仿和其他的液體作為分離的兩相，並強調此分離技術不僅只可應用於蛋白質化學的研究。

以吸附為基礎的古典液相層析是非線性的程序，滯留時間和定量與吸附等溫線有關，基本上偏向作為製備用的技術而非分析技術。主要應用於從混合樣品中取得純成分，進一步可再對純成分進行物理或化學變化。填充吸附劑於管柱內的操作是個技術性關鍵，且管柱不能重複使用。古典液 - 液分配式層析法和吸附式液相層析雖然都是以重力作動相的流動驅力，仍然是很慢的程序；即便如此，這個簡單的系統在當時已經算是有相當不錯結果的分離方法。Martin 和 Synge 引進以分配為基礎的分離，使層析變成一個線性程序。滯留的特性，定性和某一個範圍內的定量和試樣的量無關並使用？提式技術，分析管柱更可重複使用。

Martin 和 Synge 最大的貢獻在於啟用了分配式層析；由於分配式分離程序的線性本質，Martin 和 Synge 得以提出層析法的數學理論模型，包括理論板高的概念，理論板高的概念使得管柱的分離能力(separation power)可以定量的表示。在 1941 年的研究報告中他們也預測用非常小的顆粒的管柱填充物和高壓管柱可能改善層析法的分離能力。

雖然 Martin 和 Synge 提出層析法的革命性發明，液液分配式管柱層析並沒有引起其他研究者的立即採用，液液分配式層析是透過濾紙層析技術的使用的數年後才開始流行。濾紙層析也是 Martin 所發明，並首先啟用二維的分離系統。濾紙層析的技術曾經遮蓋管柱層析的光環好一段時間，濾紙層析法更衍生出方便、快速分析的薄層層析法，廣泛被使用的薄層層析法更在 80 年代被發展成自動化的層析儀。

1941 年 Martin 和 Synge 的報告中曾經預測：「……動相不一定必需是液體，可以是氣體。……若能持續使氣體流過一個浸潤過非揮發性的溶劑的凝膠時，具揮發性的物質將可在管柱中得到精緻的分離」(Martin and Synge, 1941)。但是，這個主張卻潛伏了近十年。以氣相為動相的氣液分配式(Gas Liquid partition Chromatography, GLPC)才被 Martin 和 James 發展出來。1950 年 10 月 20 日在生物化學會的會議中他們先發表一個初步的結果；詳盡的研究報告在 16 個月後跟著發表。這篇研究報告不但說明有關分配式層析的技術外，更就氣體動相的壓縮性進一步擴充分配式層析的理論。原始的文獻只討論脂肪酸的分離，數個月後所發表的兩篇文章則將 GLPC 應用到鹼性化合物。報告也指出 GLPC 的用途可以擴及其他種類的化合物。

事實上氣體吸附式層析在 1940 年就被奧地利 University of Innsbruck 的 Erika Cremer 發展出來，但是並沒有重視和繼續研究，對後來的氣體層析的演化並沒有發揮影響。

GLPC 的發展對分析化學則有重大的衝擊。GLPC 快速成功的原因有(1)快速的公開：Martin 於 1952 年九月份在英國牛津舉行的第一屆國際分析化學研討會

(The first International Congress on Analytical Chemistry)中，在眾多聽眾面前闡述了精緻的 GLPC 理論和技術。並繼而發表於期刊中 (2)不同科學社群的合作：Martin 與工業界的科學家很早就有接觸，他不但向業界示範 GLPC 的技巧外，並提供簡化 GLPC 或擴展應用到其他試樣的相關知識，例如：用注射器來導入試樣，以熱傳導作偵檢器。在當時，舊的實驗技術已無法符合石油精煉的新製程和石化工業對分析控制的改善的需求，而 GC 剛好可提供這些問題的解決方法。(3)優良的教科書。由 A. I. M. Keuleman 所執筆的一本非常好的教科書也在 1957 年出版。該書的內容結合殼石油公司實驗室收集的相關知識。這本書讓初學者可以同時學得理論和實務上的技術，該書出版了數個版本並被翻譯成其他的語言 (Ettre, 2000)。

引入氣液層析可說是恭逢其時，這個方法提供一個簡單、靈敏的揮發性物質的分析方法。初期應用集中於碳氫化合物的分析，繼而而許多非揮發性物質也利用轉變成揮發性的衍生物再應用 GLPC 去分析。如固醇類、胺基酸等就是典型的例子，有一段時期這類化合物的分析方法的研究報告都是使用 GLPC。

氣體層析的成功對現代分析化學的演化還有一項重要的衝擊。傳統的液體層析是需要靈巧操作的分析技巧；但由於氣體層析動相是高壓的氣體，無法在簡單的玻璃管中進行。因此氣體層析法使用了由化學技師和物理學家合作發展的儀器設備 (instrumentation)。氣體層析的發展因而也開創了一個新型工業—科學儀器工業。1950 年以前儀器工業是小型工業，至今已是一個好幾百億元的大型工業。

氣體層析的演化經過數個階段的，起初是以恆溫、堆積式管柱在相當簡單的操作下，以熱傳導來偵測訊號，經過一小段時間，層析系統加入程式昇溫、離子化偵檢器，開管式(毛細管式)管柱，並將使用的溫度範圍擴大。氣體層析的理論也進一步討論擴散作用、氣相的流動速率、管柱填充物粒子大小、管柱直徑對滯留時間和分離效率的影響，Van Deemter 及 Golay 等人以兩相間質量傳遞的阻力說明分離的效率。這些成就使 GC 成為 20 年期間最常用的分析技術，直到 1970

年之後才被高效液體層析(HPLC)所凌駕。Martin 和 Synge 逐漸發展的分析方法不僅提供層析法革命性的改變，也造成生物化學研究模式產生革命性的轉變。

1952 年 Martin 和 Synge 在分配式層析的成就獲頒諾貝爾化學獎。

1950 年代當 GLPC 已發展出可重覆使用的管柱的精密儀器設備時，傳統的液相層析仍然依賴人工的操作，分析的再現性也全賴分析者的技巧。由於胺基酸分析儀的成功，因此有些研究者試圖發展可自動化的液體層析儀器設備，1960 年代美國健康院(U. S. National Institutes of Health) Erich Heftmann 的研究團隊發展的「固醇分析儀」(steroid analyzer) (Etre,2000)，就是其中一個例子。但是系統仍局限於單一用途的系統。

傳統的液相層析本質上是很慢的分析技術，即使應用類似氣相層析儀的精密儀器設備也無法改變；例如一個完整的胺基酸分析約要耗費 6 小時，腎上腺萃取物的類固醇分析儀約需耗時 8.5 小時。若直接將發展氣體層析的理論應用於液相層析中，則可發現傳統液相層析法的限制在於液體動相的擴散太慢，大約只有氣體的幾千分之一，因此必須克服這種太慢的擴散，才能改進液相層析法的分離效率。使用較短的擴散距離的均勻、小顆粒靜相和高速度的動相可克服液體動相的擴散太慢但需要匹配高的壓力。這樣的結論 Martin 和 Synge 1941 年已經預測並且於 1960 出版的理論文獻提出嚴密的論證。基於氣體層析的模型，若液相層析要求有躍進的發展，層析系統須配置高壓、高壓下注入試樣、流速控制和不會產生波峰變寬的連續監控偵檢器等裝置，且這些裝置必須適用於廣泛種類的試樣並能達到高的分離效率。在 Martin 和 Synge 提出小顆粒靜相改進分離效率的想法後，Cal Giddings (Gidding,1965) 和 Josef Huber (Huber,1969) 等也預測以低於氣相或傳統液相層析法所使用的 150 μm 直徑的小顆粒靜相填充物並以高壓增加動相流速的液相層析儀是可行的。不過，理論和實務間仍然有一大步。1960 年代包含 Jack Kirland、Csaba Horvath 和一些研究者開始發展將理論模型轉化為實際的液相層析儀 (Karger,1997)。1965 年第一個液體層析儀由耶魯大學的 Csaba Horvath 設計出來。Csaba Horvath 發展將數微米厚靜相鋪覆在大小均勻

分布直徑約 40 微米的細粒子填充物管柱 (pellicular packings)(Ettre and Zlatkis,1979), 並建議稱之為高效液相層析儀 (high-performance liquid chromatography), 現今通稱為 HPLC。高效液體層析法後續的研究持續展開, 其中如 Jim Waters 提供有關特殊幫浦和注入裝置的改進, Kirkland 發展鍵結相靜相, Lloyd Snyder 發展液相吸附層析等等。其中 Csaba Horvath 發展逆相液體層析的理論, 使得 HPLC 分離技術得以透過操弄水溶液或溶劑極性的不同的特性提供層析法分析的選擇性。使用水溶液動相的概念使得高效液相層析法的應用更廣, 也使得 1980 年代後分析化學和生物科技的研究領域的聚焦有很大的重疊。1960、70 年代一個蛋白質的分離和分析通常要花費數小時, 今天則僅需數分鐘。生物化學家改變只用凝膠片、離心機等簡單分離裝置儀器的習慣, 逆相高效液相層析已成為勝? 分析的標準方法。分析化學家也注意到必須考慮如低溶解度、不可逆表面吸附現象和生物活性等處理生物大分子特質的需要。

HPLC 的演進持續進行並有越過氣相層析的趨勢。此外尚有介於氣相層析和液相層析間的超臨界流體層析被發展出來。1980 年代 HP 公司的 Dennis R.Gerer 和他的同事首先發展出以高壓二氧化碳為動相的超臨界流體層析儀 (supercritical-fluid chromatography, SFC)。雖然陸續有許多研究者投入相關的研究, 但至今超臨界流體層析並沒有如預期造成革命性的發展, 反而是同樣使用超臨界流體的超臨界流體萃取在工業上得到廣泛的應用。液相層析的另一個演化是源自電泳的毛細管電層析 (capillary electrochromatography) 電泳是 Arne Tiselius 在 1920 年代首創的分離技術, Tiselius 在 1948 年因為在電泳研究的成就獲頒諾貝爾化學獎。

第三節 知識的表徵與科學學習

在巴夫洛夫及一些實驗心理學的研究影響下，心理學被界定為行為科學。行為科學認為心智的程序（mental events）是無法外顯和觀察的，應該排除在心理學的研究之外；心理學應該客觀的觀察行為，而非主觀的對經驗內省。1960年代哈佛大學的認知研究、卡耐基美倫（Carnegie-Mellon）的資訊處理（information-processing）等認知科學的興起，使得心理學開始討論知識的內在表徵和這些心智表徵的運作及實驗的呈現。這種不可觀察的構念（constructs）的研究是認知心理學與行為學派的最主要分界。表徵是認知心理學企圖解釋不同資訊編碼和處理過程的一種概念。

一、表徵的定義

所謂表徵（representation）乃是人類對周遭事物透過感覺系統形成概念的歷程。Kaput（1987）認為任何一種特定的表徵必須能說明（1）被呈現的世界（the represented world）（2）呈現的世界（the representing world）（3）被呈現的世界的特定面向（4）被呈現的世界和呈現的世界間的對應等本質。因此，表徵是將事物轉換成另一種具體或抽象的符號方式的重新呈現（re-present）。被重新呈現的事物可以是真實世界的實體或可能只是想像中的物件。表徵透過符號（symbol）與參考物（referent）間穿梭而獲得意義。

表徵可以分成外在及內在的表徵兩大類（Eysenck & Keane, 1996）。外在的表徵指日常生活中所使用的表徵如文字、圖形、照片、光學影像等。圖像的表達是具體的，而文字則屬於抽象的。內在的表徵是心智表徵，指在長期記憶中的符號表徵，可以是類比的或命題的，及另一類分散式的（distributed）表徵。參見圖2-2-1。

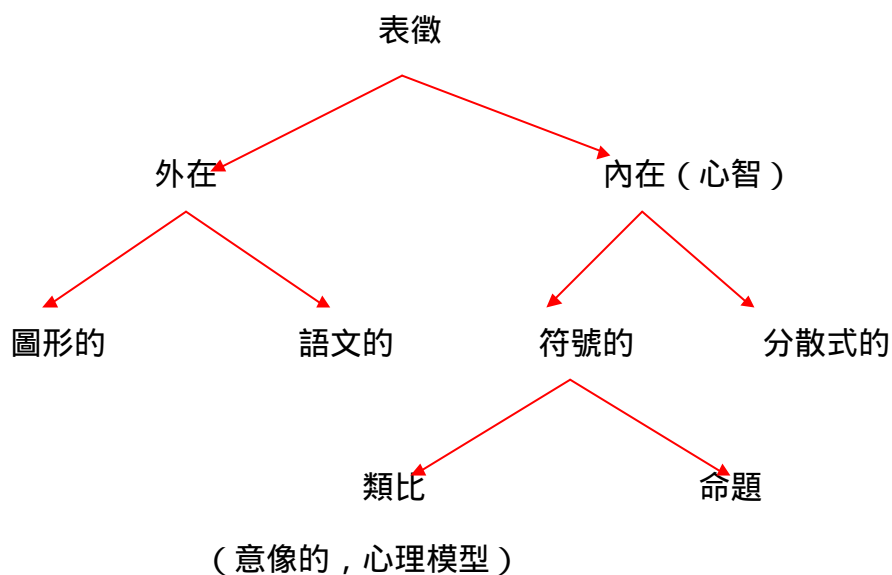


圖 2-2-1 表徵的種類

不論藝術、人文或科學探究活動的進行，均使用許多形式的表徵。科學家建構並合併使用如文字、地圖、表格、符號、圖像、模型或方程式等大量、非均勻的表徵做媒介來傳達科學探究的內涵、資料、檔案並進行討論。在科學學習中，教學設計或教學實務中也利用呈現如：圖表、分子的化學式、數學方程式或電腦圖形介面的圖像等不同形式的表徵傳達學科知識以增加學習的成效。因此『表徵』概念的分析除了將可提供知識理解過程的機制的一些通則，在科學教育的教學也提供重要的啟思。

二、表徵的研究

近年許多有關表徵的理論研究從認知心理學的觀點展開。由於知識社會學 (sociology of scientific knowledge) 的發展，也有從外在表徵的公有特性 (publicly) 觀點出發的社會學表徵研究 (Latour, 1986, 1987; Roth & McGinn, 1998a)。這類的研究視外在表徵為一種社會實務 (social practice)，並

為了和心智表徵區分，知識社會學將外在表徵稱為『實體表徵』(inscription)(Roth & McGinn, 1998b)。以下將介紹(一)資訊處理的認知心理學(Information processing psychology)(二)情境認知心理學(situated cognition)(三)知識社會學等三種觀點的表徵研究。

(一) 資訊處理的表徵研究

資訊處理的研究認為個體均具有心智表徵(mental representation)。心智表徵是外在環境(實體或想像的)某方面的重新表達，因此外在表徵與內在表徵的特性是平行的。心智表徵是一個閉密的內在語言系統，應用此語言系統可以描述心智的狀態和心智的運作，不同目的的心智運作產生不同的結果(Simon, 1973)。知識是此語言系統的結構化描述，推理是對現象產生不同的可能描述，並對各種不同的可能描述進行檢測以達到符合需求的結構化描述的過程。心智狀態透過精緻化的機制選定經驗(Simon, 1976)。資訊處理的心理學研究是假設觀察個體的行為或話語可顯現內在表徵的運作，且內在表徵在不同時空下可以重新配置(redeployed)、轉換(transferable)(Hayes & Readence, 1983)，缺乏或不正確的內在表徵編碼將造成不正確的概念或學習的困難(Singley & Anderson, 1989)。

一些研究也顯示圖形形式的表徵對概念的內涵的傳達可以更有效，對學習者的理解和記憶有幫助(Mayer, 1994)。Paivio 於1978提出二元碼理論(Dual Coding Theory)，主張記憶有語文性及非語文性兩種不同的表徵。Paivio強調有語文及圖像二種獨立、但相互聯繫的訊息處理系統:系統的運作是一對一的方式，但當需要提取相關知識作進一步處理而時，系統可以藉相互的聯繫提昇至系統內或系統間的多對一，或一對多運作。藉著這三種不同的聯繫的應用，認知過程建立文字性或圖像性的內在表徵 並和已有的事物或經驗整合。由此可以推論，由於圖像的表徵是整體的，特別適合平行處理(Antonietti, 1991)，因此認知過程可以更有效的應用三種不同的方式聯繫，而可以更有效的傳達概念的內涵，

對理解和記憶有幫助

Paivio (1990) 指出文字性資料與圖像資料有三種連接方式 (參考圖2-2-2):

(1) 表徵性聯繫 (Representational Connections); 指文字系統或圖像系統受外來語文或圖像刺激所產生的記憶表徵, 特定圖像刺激產生特定的圖像表徵(Imagen) 而特定的文字刺激產生特定語意的語文性表徵 (Logogen)。(2) 參照性聯繫 (Referential connections); 指記憶系統中, 語文系統和圖像系統間相對應該訊息元素的聯繫, 透過這種聯繫, 個體的想像所生成的圖像將能夠幫助語文系統的意義的聯想。(3) 關聯性聯繫 (Associative connections); 指語文記憶系統內或圖像記憶系統內, 記憶元素間的聯繫, 這種系統內的連結, 特定的語意系統會產生特定語意的聯想; 而特定的圖像則產生圖像的聯想。

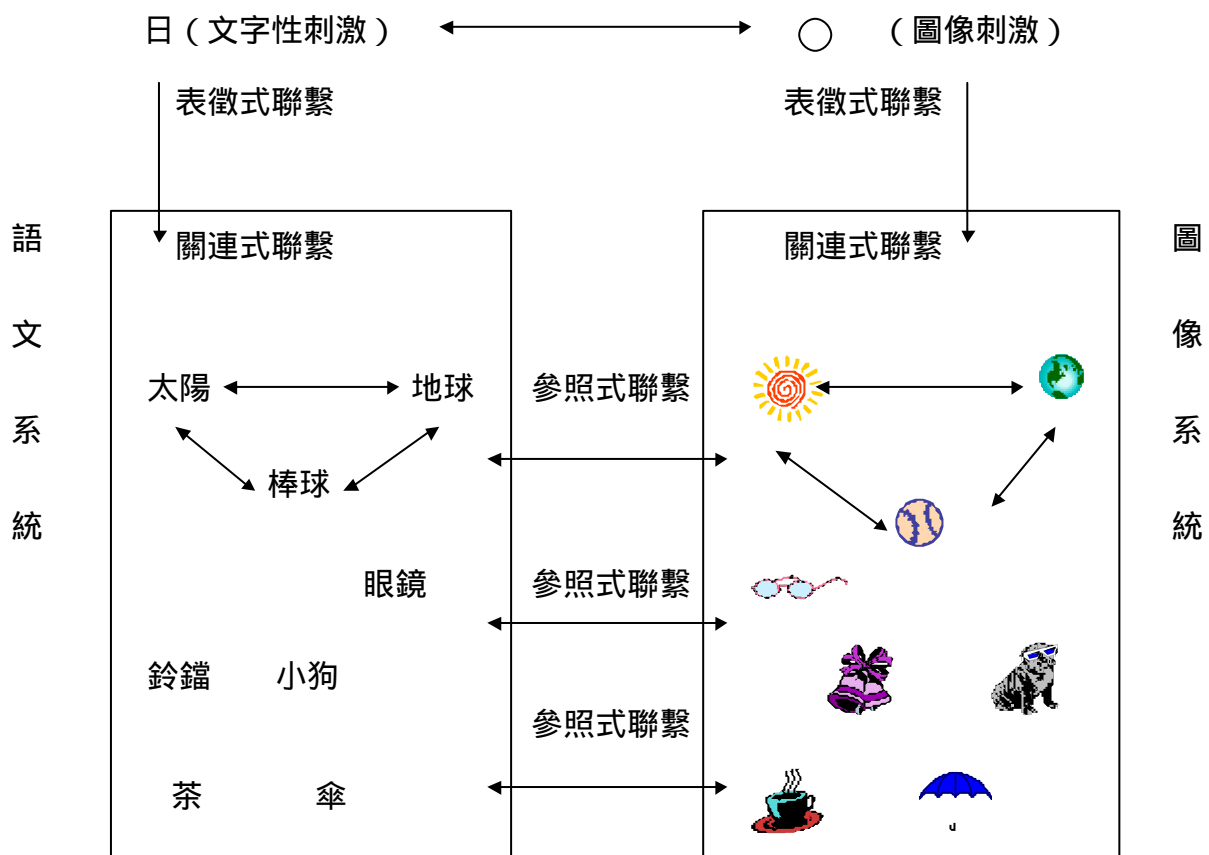


圖 2-2-2 Paivio 的二元碼理論 (修改自 Paivio, 1990)

藉著這三種不同聯繫的應用，個體除建立文字性或圖像性的記憶表徵，並與已有的知識或經驗整合。學習的過程，若知識同時以語文性刺激和視覺刺激，則可以同時使用語文系統和非語文系統編碼，訊息在記憶中可以有多方面的聯結，以獲取較多的相關性資訊，獲取的資訊愈多，意義也更完整，記憶可也更容易保留（林麗娟，1996）。

近年來的電腦輔助教材或多媒體的學習環境，就是利用這種資訊呈現的特性而產生的，透過視覺性的圖像呈現，各種或抽象的陳述性概念，或有階層、結構關係的知識得以更具體的表達以提供個體知識的建構，這種視覺的呈現可以強化學習。在科學教育上如化學，常涉及物質的微觀結構或反應的動態變化的學習，視覺的情境的提供，應有助於學者擴展思考的廣度。

在教學實務上，教師應直接將各種表徵系統傳給學生，亦即使用各種不同方式的說明和解釋來教學，並使學生利用不同的表徵來解決學科領域的問題。

（二）知識社會學的表徵研究

近年來科學哲學、科學史及科學社會學研究者對表徵的研究，從傳統的文字或命題的語意分析轉向更關心圖像形式的表徵的意義。這些研究者認為外在表徵往往是隨日常生活中情境脈絡不同有不同的解釋和理解，知識脫離了情境脈絡是片段的、毫無用途的。若只強調內在表徵的認知運作或認知能力，則表徵僅只是一些存放在頭腦裡的符號的意義而已(Roth & McGinn, 1998b)。Lynch(1990)認為科學家建構、使用的表徵是由情境脈絡所組織的，脫離情境脈絡對語言作語意的邏輯分析是無效的。命題式的表徵是世界觀(world-picture)的邏輯密閉系統，圖像的表徵是『真實 (reality)』的理論表徵的傳統哲學觀將產生邏輯的迷思。因為科學家是伴隨著無數的活動來使用這些表徵，即使是真實的物件的照片所傳達的意義也不僅止是物件本身表徵並非將實體或想像的物件透明的傳達出來，科學家是利用符號和參考物的辯證過程來闡明實體表徵。外在表徵是一種實體表徵(Inscription)，亦即外在表徵是一種依附在如紙張，電腦銀幕、圖、表等實體媒介

的社會活動(Latour, 1987) 由於記錄在實體中，可以透過郵件、傳真或電腦網路傳送，因此實體表徵是可移動的(mobile) (Star & Griesemer, 1989)，且在移動過程是不會改變性質或內在的關係(immutable) (Latour, 1993) 實體表徵可以是多模組(Multimodal)的呈現 (Lemke, 1998)，且實體表徵可以轉譯成其他的實體表徵，或再轉譯成其他的實體表徵，如此形成串連關聯(Latour, 1987) 實體表徵本身是沒有意義的，實體表徵的意義是來自其他實體表徵的情境或其他符號形式如語言等的情境(Roth & McGinn, 1998b)。在教學實務上，知識社會學的表徵研究強調表徵並非是一種認知能力而已，表徵是一種社會實踐的能力(Social practice)。教學上應設計讓學生們可以一齊共同產生表徵和共同使用表徵的教學活動以產生學習，而非直接傳遞特定的實體表徵或與表徵相關的技巧給學生 (Roth & McGinn, 1996)。

(三) 情境認知心理學(situated cognition)

情境認知心理學的表徵研究認為，個體所表現的一些能力並非僅是內在表徵所傳遞的情境而已。表徵是情境負載的，而情境是包含高度結構化物理的(physical)背景和社會的(social)背景，個體表現的能力是個體在不同時間 空間與這個結構化情境的交互作用(interaction)的結果(Hutchins, 1995)。因此，從交互作用的觀點來分析，表徵是由人類活動所建構的，同時是物理的，社會的和認知的。透過表徵，不同時間，空間，不同參與者塑造情境或被情境塑造便可以產生特定的能力 (disciplinary competence) (Bourdieu, 1977,1990; Lave & Wenger, 1991)。

在教學實務上，情境認知心理學的表徵研究強調表徵的情境的重要，認為在教學上應設計一些表徵的實務的情境，讓學生參與，使學生透過與表徵的情境交互作用的活動來養成特定的能力。Hall(1996)認為這種教學設計不但是設計讓學生能參與結構化活動，更需包含設計如何使學生的對話、討論和社會關係能透過教學活動而發展。Hall 也認為杜威的實用主義哲學所強調的經驗的一貫性 (continuity of experience)、個體的交互作用(interaction of individuals)的觀點可做

為情境認知，心理學表徵研究的教學實務的理論架構。

綜合上述三種觀點的表徵研究，可以發現表徵可以是從學習者(內在的或外在的)，過程(個體的或社會的)和情境(專業的領域的或日常生活的常識)等三種向度的考量 如圖 2-2-3。

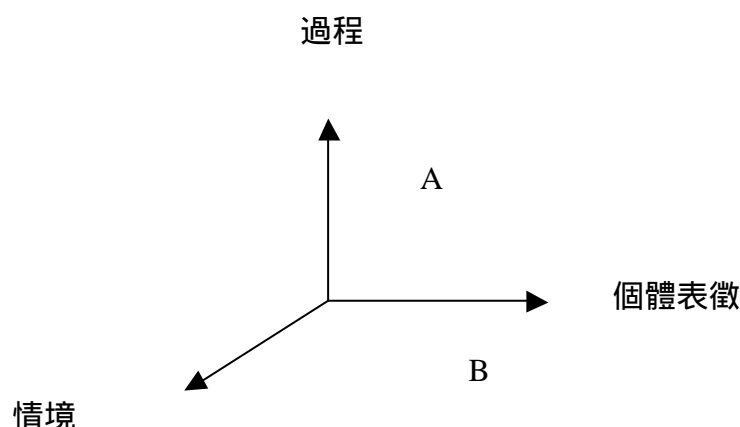


圖 2-2-3 表徵研究的三個向度

三、電腦科技的表徵—虛擬實境

虛擬實境是電腦科技產生的一種三度空間的模擬環境，在這種模擬環境下使用者可以及時參與活動並與模擬環境交互作用。虛擬實境的觀念可追溯到法國一種在洞穴中進行的宗教儀式。虛擬實境的觀念吸引了人類眾多的想像(Loeffler & Anderson1994)。這種透過電腦提供使用者三維圖像的模擬環境，使用者是浸入在電腦所產生的環境中，模擬環境可以是存在的亦可以是想像的。

透過科學的方法對實體或物理世界的量測，人類建立可用的理論和模型，使物理世界概念化以描述、解釋「真實」(reality)，並使我們瞭解物理世界。今天透過虛擬實境，電腦科技不但可產生一種我們所知道的實體的表徵，更可呈現一個從來不為人所知道的「新的真實的新實體(essense)」。因此虛擬實境是一種隱喻，必須小心使用才不致於扭曲意義(Turoff, 1997)。相對於真實(reality)一詞，Turoff(1997)主張使用虛實 (vrlrtuality)比「虛擬實境」(virtual reality)能更傳神的

表達電腦科技對人類的影響 比較電腦科技發達前和發達後人類對真實的理解過程，將有助於瞭解電腦會如何影響人對物理世界的理解。

(一) 電腦未發達前實體理解的過程

面對外在世界的感官刺激，人類企圖描述、創造物理世界的模型 對真實世界的描述是從對物理實體的觀察產生隱喻和理論為開端，學習過程使這些隱喻和理論形成心智模式。透過心智模式的運作人類設計一些可測量的表徵或模型以便闡明、模擬和描述物理世界並透過這些外在表徵和模型互相瞭解，進行知識的溝通 透過實驗過程隱喻和理論也形成表徵或模型並和以相關物理世界檢證 以確認心智模式。心智模式透過抽象化和類化形成隱喻和理論:社會的過程使隱喻和理論能對應到物理的實體 物理世界，隱喻和理論、心智模型，外在表徵和模型四者的交互作用支配著真實世界下的科學發展，是電腦未發達前實體理解的過程:如圖 2-2-4 (Tuorff, 1997)。

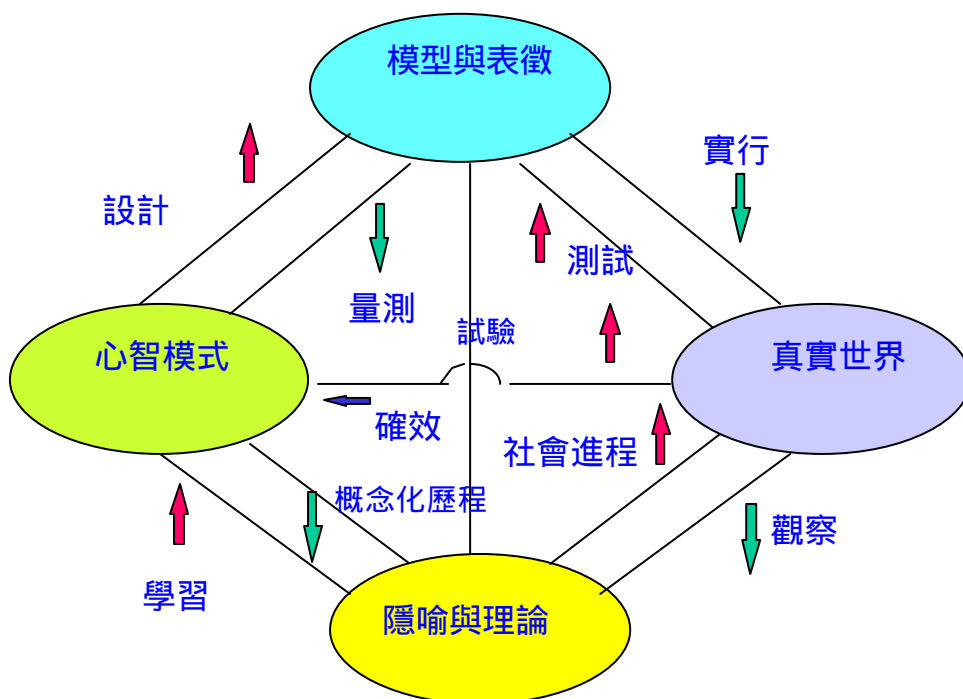


圖 2-2-4 電腦未發達前實體理解的過程(Taroff 1997)

人利用物理世界建立的模型創造『真實事物』(real things)並塑造真實，也修飾模型以提供無法直接觀察到的物理世界或是太複雜的世界的相關知識，例如我們無法看到原子周圍的電子，但是藉科學理論和建立模型(波動函數)我們便可以間接看原子附近的電子雲。在這樣的觀點下，物理的真實是不變的而且可以以科學的方法接近真理。

(二) 電腦科技發達後實體的理解過程

電腦科技發達後，利用電腦建立虛擬的系統，這樣的系統可以沒有對應的真實世界。透過虛擬實境我們可以進入任何層次的虛擬環境。換言之，透過網際網路(world-wide-web)我們正快速的對社會系統作一些以前不被允許的實驗性的運作。通過虛實，我們將可能創造，實驗或使用任何以前從來有過的社會系統；當虛擬環境取代物理的真實時，人對真實的理解提供對虛實的理解的轉化模型。電腦提供動態的虛擬環境，人理解此虛擬環境並建立模型和表徵並對虛實概念化。虛實的理解過程：如圖 2-2-5 (Turoff, 1997)

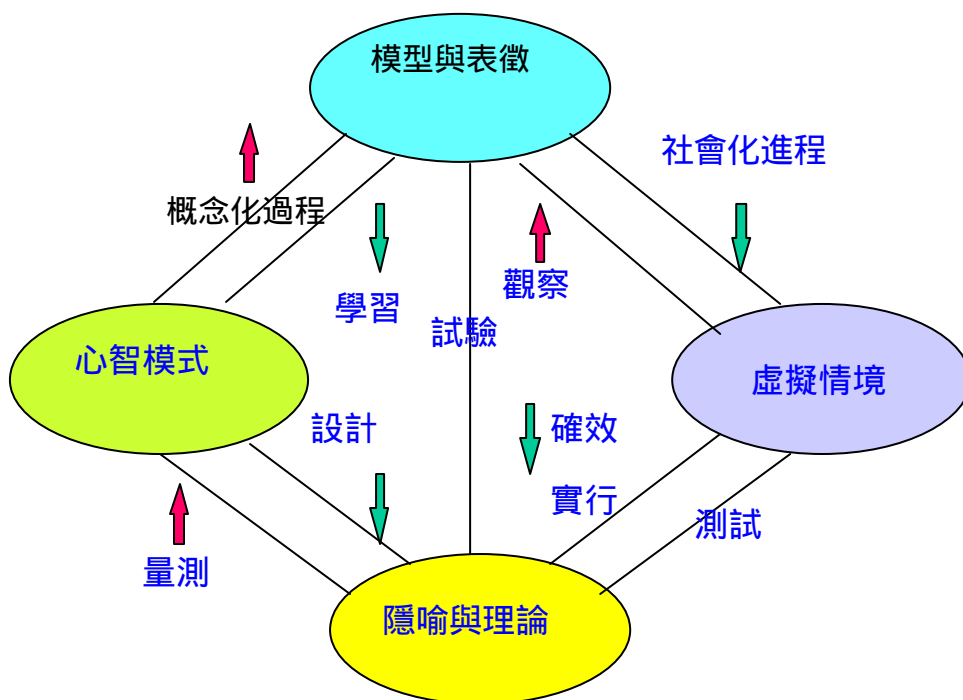


圖 2-2-5 電腦科技發達後實體的理解過程(Turoff,1997)

對虛實世界的理解是從觀察此虛擬環境並建構一些模型和表徵為開端，透過在虛擬世界的學習過程模型和表徵形成心智模式。心智模式的運作使模型和表徵概念化，透過實驗過程心智模式的運作產生對虛擬世界的理解；社會過程使模型和表徵能對應到虛實，並透過這些外在表徵和模型人類互相瞭解，進行知識的溝通。

虛實的理解過程與電腦未發達前真實理解的過程相比較，顯然的，缺少模型和表徵在物理真實的確認，而實驗是使心智模式和虛擬環境一致。由於心智模式支配著個體和群體的生活；且虛擬實境具有將真實轉換成模型，更有將任何模型，如真實般呈現的功能，如此一來，這種沒有經過科學證據檢証的譬喻系統可能成為正規的模型，表徵和真實世界的描述的確認工具。真實是真實世界跟虛擬環境協議而形成的，虛實使人對世界的理解(知識)從『描述的』(descriptive)演化成規範的 (prescriptive)(Turoff, 1997)。

四、視覺化、想像和科學學習

近年來，快速進步的電腦軟、硬體技術與通訊技術的結合，提供了合併文字 (verbal) 及視覺 (visual) 的教學模式和教材的設計工具，使得基於“百聞不如一見”，或是情境學習的教學理論可以實現。最近盛行的虛擬實境 (virtual Reality) 更讓使用者 (user) 『溶入』電腦所產生的學習環境中，使用者不僅可以有三度空間的立體感受，更可以與這個虛擬世界有相當的交互作用。(黃仁竑、游寶達, 1996)。其實圖形等知識的視覺化 (visualization) 呈現不但是傳統教材常使用的表達資訊的方式，更是創造、科學發明及解題 (problem-solving) 的一個重要的認知策略 (cognitive strategy)；從歷史的記載中發現，許多科學家都肯定視覺化在認知上的價值，例如愛因斯坦 (Albert Einstein) 提及自己想像乘坐在光線裡面旅行，所“看到”的靜止立體振盪的知覺歷程，對應至光 (light) 或馬克威爾方程式所描述的電磁波的傳播均是不相同的，“思考的實驗” (thought

experiment) 所“看到”的立體組態引導了後來的特殊相對論的發展 (Holton, 1972)。

另一個有名的例子是德國化學家 KeKulé 發現對有機化學有重大影響的苯環共振結構的經驗，他常描述原子是如何在眼前跳躍 (dance before his eyes)，據說，他在燃燒的火焰中，“看到”一條咬著自己尾巴的蛇的圓形煙影而引發他的環狀 (ring-like) 的苯分子結構 (resonance structure)。

事實上，根據建構學派的主張，人都有主動建構知識的能力，不只是科學家，視覺化的認知技巧對一般人，甚至是小孩都是適用的，從 Leslie (Leslie, 1984) 的研究發現，2 歲的孩童在扮演遊戲中 (pretense play)，就有想像的能力，例如：把香蕉想成電話，這種想像涉及了 (一) 物件取代 (Object Substitution) — 如用香蕉代替電話。(二) 虛擬物件性質的屬性 (pretend attribution of properties) — 即假想物件所不具有的性質或情境，如想像香蕉另一端有人對話。(三) 想像物件存在 (imaginary, object pretense) 等三種形式。而一般人面對問題解決時，若問題本身就具有立體的本質，如找路，通常也會應用視覺化的認知技巧，但一般人似乎並不習慣藉想像來解決問題，這可能源於學校的教學較強調文字技巧和抽象推理以致忘記了想像的能力 (Rieber, 1995)。

(一) 視覺化與想像

想像 (imagery) 一直是人類十分好奇的一種心理現象，亞里斯多德更認為影像是思考的主要媒介 (Eysenck & Keane, 1996)。視覺化是指具有立體的 (spatial)、非獨斷的 (nonarbitrary) 及連續的 (continuous) 的特性的資訊表徵方式 (Paivio, 1990)。可以是外在表徵，即物件的圖形、照片、光學的影像，也可以是內在表徵，指心智的想像 (mental imagery)。由於內在表徵是環境 (實體的或想像的) 某方面的代表，而且內在表徵形式的特性與外在的表徵的特性是相對應的，因此外在的表徵與內在的表徵是平行的 (parallel)。廣義的視覺化 (visualization) 與想像 (Imagery) 是同義詞，因為視覺的意像 (visual image) 是

想像活動的焦點。視覺化並非僅是影像的產生而已,更包含了不斷的透過個人的知識去解釋和瞭解。故視覺化是受到先備知識(prior knowledge)影響的,從文獻調查 (Antonietti, 1991) 顯示基於 (一) 心靈的想像過程避免使用機械化的文字式的公式來解決問題 (二) 心靈的想像的意像(metal image)與外在物件具同質性(isomorphic)的結構, 是比較有彈性(flexible)的表徵方式 (三) 心靈想像的意像是整體的表徵 (holistic representations), 特別適合訊息的平行處理 (parallel information processes) (四) 心靈想像的意像可以由實物產生動態的轉換 (dynamic transformations) 而有助於問題的重建, 從完形心理學家(Gestalt psychologist)的觀點, 解決問題的洞察力乃來自認知結構中的內涵物的即時重組(simultaneous reorganization), 由於資訊是即時的, 因此這種運作便可避免分離考慮問題元素的傾向(Wertheimer, 1959), 因此視覺化在認知上扮演著啟發的功能。

(二) 視覺的資訊處理系統 (Visual Information Processing)

知覺系統並非單純的物理性刺激訊息的暫存, 是包含了某些程度的資訊的解釋和瞭解; 其中視覺是人類最不費力而習以為常的知覺系統, 但視覺系統卻是涉及許多過程的複雜系統。從腦部受傷病人的研究 (Benson & Greenberg 1969, Ratcliff & Newcombe, 1982), 顯示視覺系統應包括兩個狀態, 第一階段乃是從眼睛所看到的「景」(scene) 中將物件及形狀抽離出來, 第二階段則是涉及物件及形狀的再辨識 (pattern recognition), 當環境中的光能對知覺系統產生刺激時, 視網膜的接受體 (receptor) 將光能轉換成神經的訊息, 開啟了訊息的感測的過程。為解釋視覺系統的運作, Marr (1982) 提出視覺的訊息處理的理論 (Marr's Computational Theory)。他認為視覺的過程乃是產生一系列的表徵, 以提供有關視覺環境的進一步的細節的資訊, 並以三種主要的表徵來說明:(一) 初步的草圖 (primal sketch), 由視覺所得的光強度的改變抽離產生一個包含邊緣、輪廓等特徵的二維描繪。(二) 2-1/2D 草圖樣 (2-1/2 D sketch), 從陰影 (shading) 質地 (texture) 運動 (motion) 及二眼的差異 (binocular disparity) 獲得表面的深

度及方位的描述。這個過程確認了表面（surface）在空間的位置，此位置與觀察者的觀察角度有關（viewpoint —centered description），（三）3-D 模型表徵（3-D model representation）：在完形組織法則（Gestalt principle of organization）的影響下，產生一個與觀察者的觀察角度無關的三度空間的形狀。當物件的表徵及物件在空間的位置確認後，此訊息還需透過一個更高階的再辨識過程（pattern recognition） 模版模型（template-matching models）和特徵分析（Feature Analysis）等均被用以解釋二度空間的再辨識過程。而三度空間的再辨識過程涉及一系列包括知覺分類（perception classification） 語意分類（semantic classification）及命名（Naming）等階段；Marr, Nishihara（1978）及 Biederman（1987）提出以成分元素作基礎的 recognition-by-component theory，另有以網路聯結（connectionist network）為詮釋方式的理論，例如 McClelland 和 Rumelhart（1985）的模型。

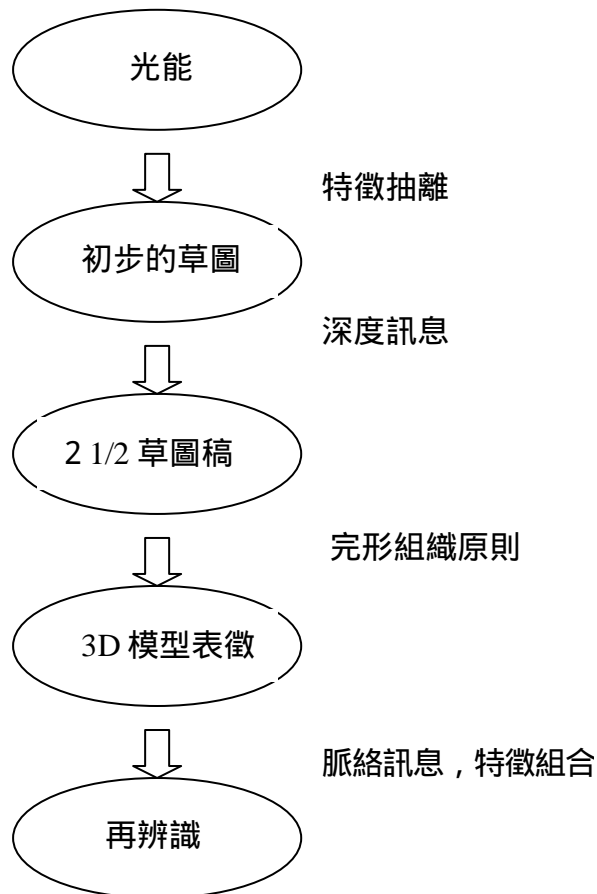


圖 2-2-6 視覺表徵過程 (摘自 Anderson, 1995)

Kosslyn 等人 (1990) 提出一個更一般性的視覺過程的理論 (如圖 2-2-7), 將視覺系統分成許多平行分佈的次網路系統 (parallel distributed network)。資訊的流向是從 Marr's 的 2-1/2D 草圖開始, 先到視覺的緩衝區, 視覺的緩衝區有一注意力視窗 (attention window), 可以篩選視覺緩衝區內可以提供最後階段的視覺過程所需資訊; 此理論的主要假設是物件訊息的編碼 (what) 和立體訊息的編碼 (where) 是在不同的兩個次系統中發生, 根據 Kosslyn 等人 (1990) 由視覺緩衝區提供給立體性質次系統 (spatial properties sub-system) 的立體訊息是與視網膜上的特定位置有關的 (retinotopic), 這個次系統的特性是會將相對於視網膜的表徵 (retinotopic representation) 轉換成為立體的表徵 (spatiotopic representation), 而獲取物件在空間的位置。物件在性質的次系統 (Object properties sub-system) 則確認如輪廓、質地、顏色等物件的性質。聯結記憶次系統 (associative memory sub-system) 則負責立體性質和物件性質的整合, 然後與適當的儲存系統內的訊息比較以完成物件再辨識 (object recognition) 的工作。最後再有一由上而下的搜尋 (top-down search) 可用來比對假設的物件的性質與聯結記憶內的性質是否相同。

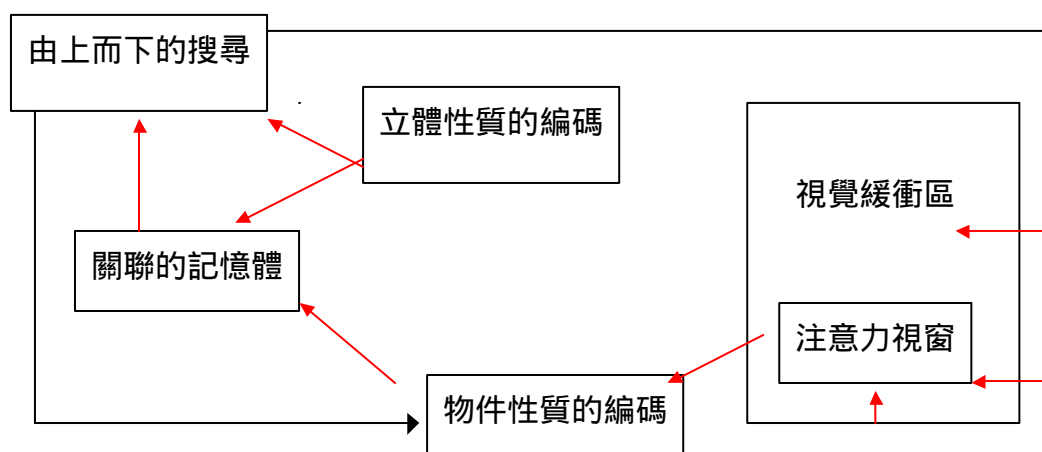


圖 2-2-7 Kosslyn 的『高階視覺理論』(摘自 Kosslyn et. al., 1990)

Marr 視覺訊息處理的理論，強調視覺表徵的產生，並且認為立體空間的視覺訊息是來自兩眼的差異及完形組織影響下產生的，而 Kosslyn 的高階視覺理論則認為視覺的立體空間訊息與物件的表面性質是分頭並行的編碼過程。並強調立體空間的視覺訊息是與視網膜的特定位向有關的 (retinotopic)。就 Kosslyn 的視覺理論而言，立體空間的性質處理是獨立於物件表面性質處理的另一個視覺的次系統。而在物件的辨識上，兩人的理論也有差異，Marr 認為物件的再辨識需在立體空間的表徵形成後才處理，而 Kosslyn 認為再辨識是一種由上而下透過搜尋的比對過程，Marr 的視覺理論比較是循序漸進式的，而 Kosslyn 則是串聯 (parallel) 的過程。

(三) 視覺呈現與科學學習

科學學習涉及相當多抽象觀念或科學現象的因果關係 (cause-and-effect) 的解釋，這些科學概念或科學的現象，有些並不是日常生活可經驗的事件。文獻顯示佐以圖形的呈現，對於從課文學習有正面的意義。Hayes 及 Readence (1983) 依課文內容之特質與圖形相關性的程度不同，研究不使用圖形、使用圖形或提醒注意圖形的三種情況下，檢視學生閱讀課文的成效，實驗發現課文與圖形的相依性愈高，在有呈現圖形的情況下，學生回憶 (recall) 課文愈多。Mayer 和 Anderson (1991)，以打氣筒的原理為學習的內容，以動畫、文字說明的有無呈現及呈現順序為變因，研究學生的解題及回憶的成效，發現動畫和文字說明同時呈現的受試者，解題成就顯著高於其他各組，並支持 Paivio (1990) 的二元碼理論，認為動畫和語文同時呈現有較佳的學習效果可以刺激學習者語文和視覺間的參照性聯繫，藉由視覺經驗的意像獲取文字訊息。

Mayer 等人 (1996) 以三個實驗研究，有關閃電形成的視覺的或文字的摘要與有意義的學習的關係，在實驗一，使大學生閱讀附有插圖並對閃電的生成過程有簡要說明的摘要，實驗結果發現實驗組學生比僅閱讀摘要，或僅閱讀課文全文

的學生對閃電形成的回憶或解決問題的遷移能力均較佳。實驗二將插圖或說明刪除，實驗結果顯示刪除任何一種，均使摘要的學習有效性降低。實驗三在摘要中加入課文，學習效果也降低。研究並提出多媒體學習的認知理論，將學習過程分成五個步驟，研究指出有效的多媒體摘要應具備三個特性，(一)簡明性 (conciseness)，指使用少數的插圖與說明之句子 (二)同調性 (coherence)，指圖樣與說明的句子應配合因果的順序 (三)協調性 (coordination)，指圖像與對應的句子要一致，而有效的多媒體摘要可以減輕學習者認知的負荷，使學習者可以進行較多有意義的學習的認知運作。

Hodes(1985)以人類的心臟的構造和功能做為學習的內容，設計四組實驗，分別是只使用課文 (text) 的 T 組，同時使用課文和視覺圖示 (visual illustrations) 的 TV 組，使用課文並指導學習中作想像 (imagery) 的 TI 組，以及使用課文並在學習中同時使用視覺圖像及想像的 TVI 組。閱讀學習後施行後測，以選擇題作對術語、結構功能確認及理解等的再辨識測驗。以畫圖測驗 (drawing test) 作回憶測驗 (recall test)，最後對受試者以問卷調查對在實驗中使用想像作評估。

研究結果顯示使用視覺圖示 (TV 組) 確認測驗有顯著的效果 (TV Mean = 13.79, T Mean = 12.54, F (visuals) = 12.05, $p = 10.61$)。四組中以 TVI 組再確認測驗有成績最高 (TVI mean = 14.43)，而 TI 組的成績最低 (TI mean = 10.61)，因此，單獨使用想像並不能取代視覺圖示的再辨識及課文學習的功能。TVI 的確認測驗顯示使用視覺圖示與想像間有中等的交互作用。畫圖的後測結果 TI 組及 TV 組與控制組均有顯著差異，且畫圖測驗的分數與閱讀的時間是正相觀關。研究獲得三個結論 (1) 問卷調查肯定想像是學習和資訊處理的重要認知歷程。(2) 使用視覺圖示而沒有給予想像的指導或僅給予想像的指導兩種方式可能引發不同方式的想像，若學習者有現成的材料提供圖像 (image) 的生成，想像的指引則是沒有必要的。(3) 回憶的過程需要使用想像，基於 TI 組的繪圖成績想像屬是學習立體或結構化的資訊的實用的教學控制變因。

根據上述科學學習的研究發現教學時可運用各種圖形幫助學習。視覺性資料是文字以外傳達訊息的另一種型態，提供許多科學性概念的互動性記憶的連結產生，使訊息得以雙重編碼而整合（Reiber, 1995）。但研究也顯示學習者對圖像的學習受內在及外在因素的影響，學習者個別的差異，包括智商、閱讀能力與習慣均影響圖像的學習，Mayer 及 Sim (1994)的研究指出高空間能力(high spatial ability) 的學習者，投注較多的認知資源 (cognitive resources) 於建立參照性聯繫，而低空間聯繫 (low spatial ability) 的學習者則投注較多的認知資源於建立表徵性聯繫。學習的外在因素如學習目標、學習內容的難易程度、圖像的複雜程度以及訊息的呈現方式也影響視覺性資料的使用成效，因此運用視覺性資料時，應考量學習者線性及非線性思考模式特質的差異，就圖像空間與時間要素在整個學習過程中加以妥善運用。亦即一方面就設計層面考量，另一方面就學習者學習反應層面考量（林麗娟，1996），才能發揮視覺性資料幫助及激勵學習的特質。此外，在電腦科技發展的潮流中，教育及心理學者更應探討如何使電腦輔助教材、多媒体教材等視覺化教學。達到以學習者為中心，學習者控制的教學效果。而虛擬實境的應用，對「真實」(reality) 的認知發展以及時間與空間的智力發展的影響更是不可忽視的課題。

第四節 模型與科學學習

模型是一種表徵的形式。透過想像力，人類在日常生活或工作常以模型作媒介進行思考。例如透過服裝模特兒展示的服飾，人們便可以想像同樣或類似的服飾穿戴在自己身上的樣子。科學家以建立模型進行科學研究，以模型來描繪物理世界。外現模型是思考的外化（externalization），而心智模式則是思考工具的內化模型。因此，模型及塑模是科學學習的重要的議題。

一、模型的定義

「模型」泛指某一對象的樣本或與原型具有一定相似結構的系統。模型的英文「models」起源於拉丁文的「modulus」，指樣本、標準和尺度（張瓊，于祺明等，1994）。Ogborn（1994）指出模型是藉一個簡單化和理想化的既有的來源（resources）代替另外一個事物的活動，是透過適當的操弄資源以達到滿足使用者的特定目的。因此，同一個對象可能因為目的的不同而產生許多種模型。張瓊等（1994）認為心智模式是某一對象及其性質、特徵、規律在思維中的映射，是人們透過感性認識基礎的一種信息變換。因此心智模式可能集中反映了原型的某一些與一定認識目的相關的特徵而捨棄原型其他方面的屬性，心智模型並且也具備高度的能動性。張瓊等也指出一個成熟的模型應具備（1）核心假設（2）橋梁假設（3）邏輯推論三個組成部分。

隨著模型廣泛的使用，模型的內涵也被擴展，但並沒有一個確認的模型的操作型定義。Gilbert（2000）認為標的物(target)在某情境脈絡下或某特定的期間與某一個本源(source)非常相似時，利用隱喻，可以由本源產生一個模型，這個模型在特定的脈絡下可視如標的物。Gilbert 等組成的 CMISTRE（Models in Science and Technology：Research in Education）為「模型」的所下的工作定義（working definition）：模型是一個想法、物件、事件、歷程或一個系統的一種表徵」（Gilbert, 1997, p.2）換言之，模型是一個想法、物件、事件、歷程或系統

的重新呈現。

模型可以按模型的功能，模型的表述形式或模型的表徵性質加以分類。模型的表述形式有以圖像、符號、語言等方式的物理模型和以公式、方程式呈現的數學模型；物理模型是事物形象化的定性表述，數學模型則是定量表示事物各組成間的關係。按表徵屬性來分類，物理模型和數學模型都是外現模型（expressed models）。心智模式則是內在的認知表徵，是內隱的模型。心智模型是心智表徵的一種；心智模式是世界的一種結構類比。心智模式是一種工作模型、是一種解釋和預測的模型。Johnson Laird 認為心智語言（mental language）的語意使命題表徵對應到真實世界或想像世界而產生心智模型。透過心智模型，命題表徵可以被解釋。心智模式是感官和類比的結果，心智模式呈現對應的真實世界的感官特徵。

二、模型、理論和概念的關係

Nagel(1987)指出理論包含(1)系統解釋架構，這個邏輯架構暗示基本概念的定義。(2)觀察和實驗，為系統的抽象基礎建立經驗內涵的一組規則。(3)一些模型，使結構豐富的，熟悉或容易觀察的材料。Nagel 認為在一些情況，理論和伴隨的模型可以作為另一個理論和模型發展的模型。例如：氣體動力論是由牛頓定律和粒子模型推展而得。另一種情況則是由一已存在的理論透過類比發展另一個理論。例如：Maxwell 領悟到重力理論與熱傳導理論的數學架構的相似性而發展出熱傳導的模型。模型可視為實驗和抽象理論的中間體，有助於預測、引領探究、整理資料、確認結果並幫助溝通。

概念(concept)和模型，兩者在科學教育上均被廣泛的使用。與模型有類似的情況，很難對概念作確認的操作型定義。Carroll(1962)建議：個體所具有的特定概念是指由事件、事件的多個範例的經驗形成的抽象通則；其合理性的評估會因個別目的而有所差異且經常被修正。概念的本質受特定經驗所控制並影響概念的形

成；多數人所存有的概念是由事件形成的許多概念當中的一個概念。Smith (1989) 認為概念包含一個核心和一個原型 (prototype)。原型用來快速辨識事例，核心則具備診斷性。模型是事件的範例，因此應該是概念的組成分。

Franco 等 (1999) 認為心智模式和想法 (conceptions) 都是可以用行動、說話、寫作、繪圖或雛形來呈現世界的表徵形式。但心智模式和想法有相當的差異，想法是片段的知識 (Di Sessa 1988)，對某特定概念或現象的局部表徵，不能通則化的，且也未整合到整個解釋系統中，是一個情境的靜態描述。Franco 等認為心智模式和想法的關係類似理論和模型的關係。

三、表徵及外現模型與心智模式的建構

科學家常透過不同表徵和建構模型來研究、檢視和解釋現象。教學活動中，老師也常使學生透過教材中的文字、圖形、圖像和公式或是有隱喻的對話和行動等各式各樣的表徵和模型使現象有意義。透過老師鼓勵學生說出來、寫出來、畫圖等活動，學生使用表徵、外現模型或和外現模型交互作用。一些研究認為學習過程中特定的表徵有助於現象特定面向的瞭解 (Kindfield, 1993 ; Larkin, 1989 ; Larkin & Simon, 1987)。Buckley (2000) 指出，外現模型是一種外在表徵，外現模型可形成教學和學習脈絡間的必要的聯繫 (accessible link)，幫助學生心智模式的形成和精緻化。因此科學學習活動中外現模型不但有助於對科學理論的了解也有助於推理。外現模型是個體或在群體合作學習的情形下科學學習的認知核心。Buckley 並以圖 2-3-1 表示外現模型、現象和心智模式間的交互作用。

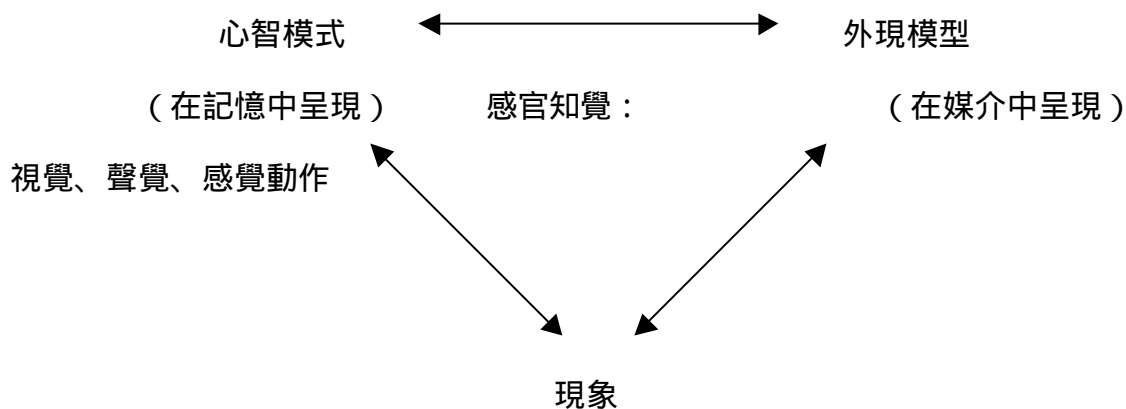


圖 2-3-1 外現模型、現象和心智模式間的交互作用

Buckley 等認為透過形成，應用，精緻化等遞迴的程序 (recursive process) (Buckley, 1995 ; Stewart & Hafner, 1991) 是一種特殊情況的衍生式學習 (generative learning)。這樣的學習中學習者應用既有的知識整合新資訊來擴展他們的知識 (Osborne & Wittrock, 1985)。這樣的學習程序如圖 2-3-2。

Buckley 等 (2000) 認為心智模式從多種來源合併知識；包括來自現象的直接經驗，透過影視或模擬的替代經驗，教學活動中的外現模型和表徵的交互作用。心智模式解釋或預測系統的性質和行為，運用心智模式也能產生從口語、手勢等各種不同格式的外現模型進行討論 (Crowder, 1996)，解決問題 (Kindfield, 1993)。學習過程中不斷的檢驗並比較外現模型和心智模式，過程中可能修正或精緻化模型，也可能放棄原有的心智模式產生新的的心智模式。當心智或外現模型可以成功的對問題運作時，模型便會趨向制約 (reinforced) 並可能成為眾多隨時可資使用的編譯完成的穩定模型的一員。穩定的心智模式在案例推理時，可能被修正形成暫時的，情境特定的模型 (Vosniadou & Brewer, 1992)。專家視工作的情境在一些表徵中穿梭，但心智模式僅呈現出與情境相關的現象的一些面向 (Kindfield, 1994)。

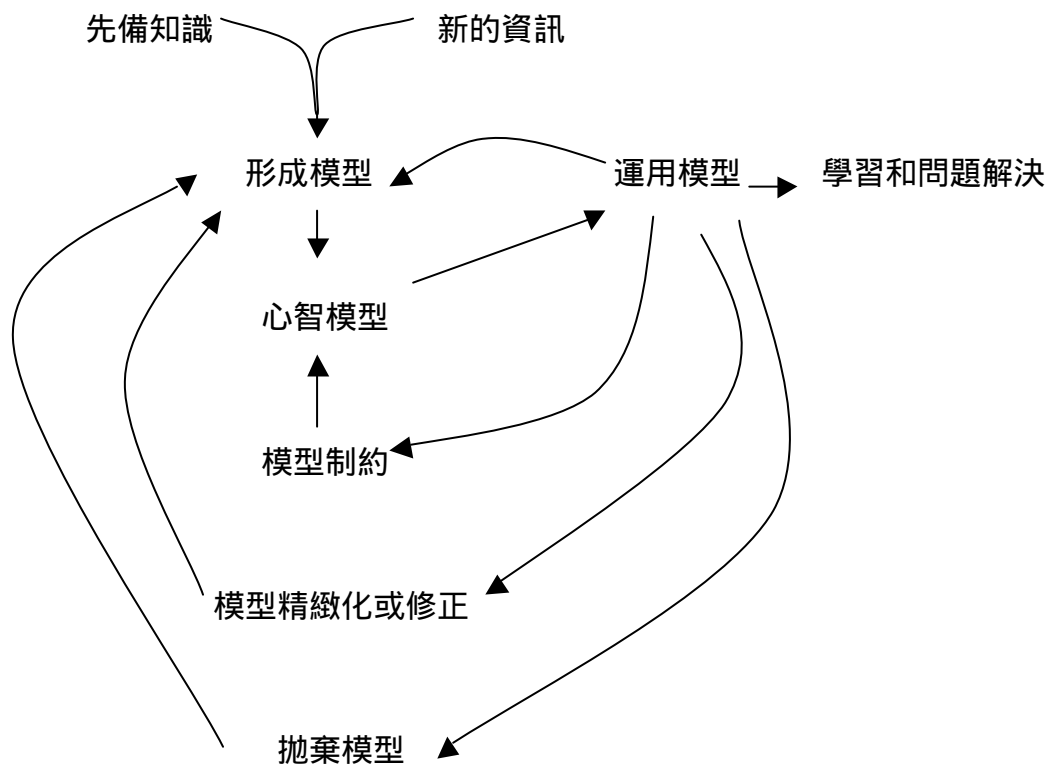


圖 2-3-2 外現模型、心智模式的衍生式學習

三、模型為基礎的學習與認識論

認知心理學、科學教育等研究(Gobert, Snyder & Houghton, 2002; Nersessian, 1999 ; Gobert, 1994) 均顯示模型化經驗有助於科學概念的學習。模型化使思考外化 (externalize), 產生的模型為外在表徵, 可降低學生工作記憶的負荷, 使學生得以解決複雜的問題。模型化的過程也強迫學生明確的說出自變數和因變數間的關係, 提供學生使用形式表徵的實際經驗。因此模型化是科學推理的主要技巧; 學習如何有系統的建立、分析、檢驗和修正模型可幫助理解科學。Nersessian (1999) 認為模型可以解釋物理系統的特性和過程, 且建構模型或選用模型時都需考量滿足系統的限制的基本要求。因此透過例如類比模型化 (analogical modeling) 視覺模型化 (visual modeling) 和思考實驗 (thought experimenting) 三種模型化為基礎的推理可衍生出概念改變。

基於模型為基礎的推理 (model-based reasoning) 是一種創造性推理, 一些

科學教育研究者 (Gibert, 1991 ; Gobert, 2000) 提出「模型為基礎的學習」 (model-based learning) 的概念。模型為基礎的學習是指透過模型的形成，應用，精緻化等遞迴的程序的衍生式學習 (generative learning) (Buckley & Boulter, 2000)。模型為基礎的學習假設學習者在面對特定的學習情境時建構對應的心智模式，透過心智模式整合現象的性質、功能、結構或因果關係的片段資訊。且由於學習者參與模型為基礎的學習使用的心智模式是來自學習者特定領域的先備知識；因此透過對既有的心智模式的評估和修正，學習者得以產生對系統具更大解釋融貫性的模型。

由於科學的理解包含科學內涵、具備科學過程和科學探究技能及科學本質，因此科學概念學習也應考量學習者的「認識的理解」 (epistemic understanding)。近年來有許多有關學生認識論的研究觀點。Carey 和 Smith (1993) 認為學生對科學觀點影響科學的學習，Bell (1998) 以小組論證爭議性的科學議題，發現伴隨學生認識論的進展，學生對科學內涵也增進。

由於模型化的歷程是溯因的過程，是為已知的現象尋求適當的邏輯；模型既是科學探究的結果，也是現象的解釋系統，因此學生對科學模型的目的和模型本質的認識論是學生認識論的重要面向。Gobert 等人 (2004) 認為學生選擇使用各種模型作為科學現象的表徵的能力與學生了解模型是科學現象的抽象表徵的能力有關。Gobert 也認為學習者的認識論是探究模型為基礎的學習的機制或設計模型為基礎的教學策略的關鍵。

Grosslight 等人 (1991) 研究 22 位十一年級資優生、33 位混合能力的七年級學生和四位專家對模型本質的想法。以晤談的方式提取學生對「提到模型會想到什麼？」、「模型是什麼？」、「一個事物是否可能有不同的模型？」、「模型有那些功能？」、「製作模型要考慮那些因素？」、「模型可否應用於科學研究？」、「科學家在怎樣的情況下考慮建構模型？」和「科學家怎樣的情況下會改變模型？」等有關模型本質和模型的目的等問題的立即答案。Grosslight 等人從學生的回答分析學生答案的特質、學生模型的判準和學生對模型認識的不同層級。研究結果

顯示兩組學生大部份對模型的想法是屬於「素樸的實在認識論」(naïve realist epistemology)，認為模型是實體不同的空間關係的物理複製品。學生更加成熟後，進一步了解模型是為特定目的設計，模型主要功能是幫助溝通。研究也顯示四位專家區分抽象模型和物理模型、從建構論的觀點認為模型是不同面向的理論的表徵。Grosslight 等人整合受試者對模型的想法和了解，就學生對模型和實體的關係的描述、模型扮演的角色將受試者模型想法分為三個層級，並對應到不同模型認識論觀點。第一個層級的學生認為模型是玩具或實體的複製品，模型是作為實體的複製品並實際操作；學生雖然知道，但是並不了解為什麼模型不具備實體的所有特徵。第二層級的學生了解模型是為了特定的目的建構，因此模型的建構者的想法影響模型的建構，模型不僅僅是實體的複製品；在某些限制條件下，模型可以將實體的性質或操作改變或重新包裝。雖然第二層級的學生了解模型可以修正的本質，但是學生仍然認為只有實體才有模型。專家是屬於第三層級的模型的認識論，這個層級的模型認識論認為模型的建構者主動評估模型和建構模型的目的關係，模型可以被操弄或進一步檢驗；只要提供更多資訊則模型可以修正。Grosslight 等人也認為一旦模型的信念出現時概念也隨之發展，因此，科學教學應使學生有更多應用模型的經驗，提供現象不同觀點的模型並應鼓勵學生討論科學探究的過程中不同模型扮演的角色。

Gobert 和 Discenna (1997) 使學生使用模型推理和建構模型學習板塊理論，研究發現雖然具備素樸或成熟的模型認識論的學生與相關主題立體面向的理解或因果關係的了解並無顯著差異，但是具成熟的模型認識論的學生在將學習的內容應用於解答如地震為什麼會發生等涉及困難的概念的解題則有顯著差異。Gobert 認為學習者的模型認識論有助於科學概念的整合，模型為基礎的學習應誘導學生以模型化學習，並使學生的認識論和模型化歷程交互作用。

第五節 心智模式與概念改變

在科學哲學轉向、另有概念的科學教育研究的影響下，有關概念學習、概念發展的一些研究轉向概念改變的議題。其中 Chi 和 Thagard 是以概念樹的分類方式探討概念改變的機制；Vosniadous 則及邱等是由心智模式闡釋概念改變（邱美虹，2000；Chiu. et. al.，2001；Duit & Treagust，2003）。無論從概念的本體或認識論觀點，概念改變的研究企圖澄清概念改變是如何發生、是否有所謂的概念革命？這些研究的結果也提供人工智慧和學習理論研究的重要方向。

一、心智模型的意義

在「解釋的本質」(The Nature of Explanation)一書中 Craik (1943)主張人類有轉譯外在事物成為內在模式的能力；這個內在模式是外在世界的動態表徵或模擬，人藉由操弄這種符號表徵來推理並且能夠將所產生的表徵符號轉換、產生行動，或是辨認這些象徵符號與外在世界對應。但 Craik 對心智模式的表徵形式和過程並沒有進一步的說明。Johnson-Laird (1989)指出心智模式扮演表徵或類比的角，心智模型的結構反映外在事物的相關狀態，是一種假設、一種動態的符號表徵，也是一種歷程並且會產生心象。

Johnson-Laird 認為知覺是心智模式的一個重要的來源。知覺（視覺、聽覺、嗅覺、觸覺等）提供並篩選外在世界的資訊，藉著操弄既有的有限符號產生對外世界的模型，因此我們所建構的各種心智模式受知覺到的外在世界的限制。

Norman(1983)認為心智模式具有（一）是不完備的（Incompleteness）（二）執行是受限的（Limitation）（三）系統的細節容易被遺忘，是不穩定的（Unstable）（四）沒有明確的邊界（boundary），類似的元件（devices）和運作（operations）經常會相互混淆（五）受經驗和知覺的影響，是不科學的（Unscientific）（六）傾向用行動換取較簡單的規則的，心智模式是簡約的（Parasimonious）等特質。Viscuso 和 Speehr (1983)則認為心智模式有（一）執行推論、預測的等可執行的作用（runable）（二）訊息間彼此關聯（conneted）（三）具有一定的內在因果關係（inherent）和（四）具有功能性的機制的（functional）。

Johnson-Laird 認為「語言表徵」(linguistic representation)和「心智模式」

(mental models) 兩種表徵形式是並存的。心智模式是「對話」(discourse) 的參照，是對話描述的情境的表徵。對話先產生一個語言的表徵，透過操弄語言的表徵，判斷陳述的狀態是否明確以產生心象，並建構對話的心智模式來理解對話的意義。若對話能與已存有的某一心智模式相容則對話便被判定為真。因此，推論需要心智模式的介入；推論的過程中利用陳述的前題產生一個或多個對話的心智模式，以這些模型產生一個暫時性的結論，再尋找是否與該結論相矛盾的反例以便修正原來的模型或考慮新的模型。

根據 Stagers (1993) 認為大部分研究者視心智模型是物件和物件的關係所構成的組織化結構。Redish (1993) 則認為心智模型是由命題 (propositions) 圖像 (images) 程序規則 (rules of procedure) 何時 (when) 如何使用 (how) 的陳述 (statements) 所構成。

二、心智模式研究的應用

心智模式、認知模式 (cognitive model) 或概念模式 (conceptual model) 是不同的。認知模式是特定工作導向的 (task-specific)，指人類執行一項工作如解題、使用電腦系統、設計程式以控制電腦 等過程的一種描繪，是心理學家從資訊處理的觀點發展出來的概念，常被用來設計介面或智慧型家教系統。概念模式則指系統設計者或專家用來描述某特定系統以便讓系統的使用者或學習者能了解洞察該系統的一個模型，是一個幫助學習者建構心智模式的具體模型。心智模式則是學習者透過與系統、環境交互作用自行發展的系統的一個模型，且心智模型並非是一般性的表徵、是特別的。

心智模式是一種動態的內在表徵、理論的構念。因此，瞭解心智模式何時、如何發展的並不容易。一個普遍的心智模式的發展理論的觀點是認為心智模式包含一些物件和物件間的關係。以物件作為節點，物件間的關係作為連結，形成知識領域的心智模式網路圖 (Carley&Palmquist,1992)。心智模式的發展是一種類比或譬喻式的推理 (Stagers&norcio,1993)。亦即學習者利用結構—對應 (structure- mapping) 的方式使已存有的舊模式對新的情境產生通則。Baker 和

Hudson (Baker, Schaik etc., 1996) 等人認為心智模式的發展是學習活動的結果，學習的活動提供（一）產生新的心智模式的機制和（二）調整（remediation）重建（reconstruction）舊有的心智模式等心智模式發展的雙重作用。心智模式的發展是實體（reality）和如書本的描述、電腦螢光幕顯示的圖像、文字等表徵空間（representation space）內化的結果。在建構主義的學習情境中，知識的遷移是由參與對話的表徵空間、心智模式間互動產生的。參與對話的心智模式的豐富性決定對話的品質，且參與對話的先備知識可能不同，因此心智模式發展是一種歸納演化。

心智模式在推論過程所扮演的角色也引起許多研究者對「生手變成專家是透過怎樣的過程發展心智模式？」議題的興趣。研究顯示（Larkin, 1983, Kahneman & Tversky, 1982; 摘自 Johnson-Laird, 1989）專家和生手情境推理的差異在於生手建立真實世界的物件及模擬過程的心智模式，而專家建立抽象關係和性質的心智模式。生手以定性的描述來推理因為定量的描述需要較抽象的模型。Johnson-Laird 認為錯誤的心智模式很可能導致錯誤的結論，但是錯誤的心智模式未必一定是錯誤的來源，錯誤的心智模式可能比複雜的模式為更好的引導，錯誤的來源有可能是由於不適當的情境或未考慮各種可能機率所引起的。這樣的觀點在概念改變有重要的意涵。概念改變可以是心智模式的重建（restructure）或是藉多樣化的情境促進心智模式精緻化。

因此，若能了解學習情境下建構的心智模式並清楚的呈現心智模式的運作，則產生特定的心智模式的情境結構復原，藉這種情境結構設計教學或學習活動等可幫助到複雜系統的問題解決或產生學習遷移等目標。近年來心智模式的研究被大量運用在如多媒體環境設計，網際網路瀏覽器設計，電腦平台設計等電腦與人的互動的領域的應用更是基於這樣的想法的擴展。

三、心智模式與概念改變

以概念改變議題探討學習本質的研究方式根源於皮亞傑的階段式概念發展理論。皮亞傑以發生認識觀點 (genetic epistemology) 提出學習者同化和調適的概念發展理論；這種概念發展理論以認識論作為學習理論的核心。Posner 等人 (1982) 以「調適的科學概念：概念改變理論」(Accommodation of Science Conception: Toward a Theory of Conceptual Change) 一文提出以建構認識論為基礎的科學理解和發展的概念改變理論。Posner 等人提出兩種概念改變的形式解釋概念組織如何發生改變。其中同化是利用現存的概念進行概念發展，而調適則是取代或重組中心概念進行改變。必須具有以下四條件：(1)對於現存的概念感到不滿足；(2)新的概念必須是可理解的(intelligible)；(3)新的概念必須是合理的(Plausible)；(4) 新的概念必須是更豐富的(fruitful)才能達到調適形式的概念改變。

概念改變的研究傳統引起諸多科學教育研究者的關注；Harrison 與 Treagust(2001)按不同詮釋觀點將概念改變的研究分成四種，其中包括 Posner 等人(1982)的概念改變模式 (conceptual change model)、Vosniadou (1994)的架構理論 (framework theories) 和心智模式的觀點，Chi(1994)的本體論觀點 (ontological conceptual change) 和 Pintrich (1993)的動機觀點。

Chi 等 (1994)依概念的本體將概念分為物質(substance)：含有特定屬性的事物，如黃色的香蕉、生物、固體等；過程(process)：指有序列性、因果關係、或機率問題的事件；心智狀態(mental state)：指情意的部分，如情緒或傾向等構成概念樹整體三大類概念。概念改變若是發生在概念樹狀脈絡中節點的位置，即本體樹狀的重組和重建，稱為概念改變或本體類別內的概念改變(within ontological conceptual change)；當概念原定的類別轉移至另一個類別的改變，叫做根本概念改變(radical conceptual change)或跨本體論類別間的概念改變(across ontological conceptual change)，概念經根本概念改變後，原概念的本體樹移至另一個樹幹，概念本體樹的整體結構也跟著改變。Chi 認為學習一些特定的科學領域的概念(如

物理)經常需要有跨本體類別的概念改變，因此概念的學習有困難。

Vosniadou(1994)研究孩童概念發展歷程心智模式的改變，認為知識架構並不是由許多小概念經相似性連結形成，孩童具有一個事物的大架構後，再逐漸充實其內部的細概念，Vosniadou稱孩童的架構稱為素樸的架構理論，(naive framework theory)，而細部的概念稱為特定理論(specific theory)。架構理論來自孩童早期的日常生活經驗，而特定理論則源自個人的觀察或教學脈絡。架構理論中包括認識論和本體論兩個部分的預設(Presupposition)，認識論和本體論兩個部分的預設使孩童建構特定理論時受到特定的限制。

Vosniadou主張概念改變的機制可分為在既有概念系統加入新的資訊，概念變的更豐富(enrichment)，與修正(revision)原有的特定架構或預設信念兩種形式。修正既有的架構或預設又細分為(1)單純特定理論的修正。(2)涉及架構理論的基本理論的修正。(3)架構理論的修正。其中豐富(enrich)是最容易發生的，而架構理論的改變比特定理論的改變困難，而當概念改變必須牽涉到基本預設的改變時，概念改變會變得相當困難。

Harrison與Treagust(2001)對一些重要的概念改變研究作比較；如表2-4-1列出概念改變研究的主要立論的摘要表。一般而言，概念改變的研究通常將概念改變分成以同化或獲取概念(conceptual capture)為機制的弱知識重建(weak knowledge reconstruction)和以調適或概念更動(conceptual exchange)為機制的激進或強知識重建(strong/radical knowledge reconstruction)。

表 2-4-1 重要概念改變理論比較摘要表

	概念改變的相對形式	
	產生改變容易-----	產生改變困難
孔恩(1970)	常態科學 -----	科學革命
拉卡托斯(1970)	保護帶改變 -----	硬核改變
Posner 等(1982)	同化 -----	調適
Hewson (1981, 1982, 1985,1996)	獲取概念 -----	更動概念
Hewson 及 Hewson(1984,1992)		
Carey (1985)	弱重建 -----	強重建
Vosniadou(1994)	弱重建 (概念更豐富) ----	激進重建
Chi 等(1994)	分支跳躍 (概念增進) ----	概念樹更動
White (1994)	概念改變 -----	概念改變
Dykstra 等(1992)	分類層擴大 -----	概念重組
Dykstra (1992)	範例增加 -----	概念樹轉移
Thagard (1992)	增長，片段和演化的概念改變	
Duschl Gitomer(1992)		
Laudan(1984) ; Villani (1992)		

許多研究以心智模式的觀點研究科學教育(Gentner and Stevens1983,Duit and Glynn 1996, Gerlbart and Boulter 1998) 。Franco 等(1999) 從理論和模型的關係、心智模式和想法的關係澄清心智模式發展的機制。Clement (2000) 主張以建構模型時涉及的認知因素為架構，關聯專家的共識模型、中間模型、先前概念、學習過程、天生的推理技巧等並從澄清心智模式的結構本質，學習時建構心智模式所涉及的歷程以及促進形成心智模式的教學策略等概念，可將科學教育的研究問題系統化並逐漸形成概念改變的理論。

四、對研究的啟示

雖然個體認知並不是學習的唯一因素，但是仍然是決定學習特質的主要因素。因此從認知核心部分發展概念改變的理論可使概念改變理論更趨完整。融入科學史和科學哲學於教材，以知識表徵、模型及心智模式為基礎的科學學習研究應該是概念改變和學習理論研究的可行方案。

