

類比範例的製作——以生物科概念為例

郭人仲

桃園縣立中興國民中學

筆者在「類比教學的現況與類比教學模式」一文中曾介紹兩個類比教學模式——GMAT和TWA（請參見科學教育月刊第164期，民82），此兩個模式都是談到類比教學的流程及應注意的事項，但關於「如何做出成效良好的類比物（analog）」這個問題並沒有交代得很清楚。固然類比教學並不需要有特別的技術（Stavy, 1991），然而檢視許多有關類比的研究卻顯示（如Bean et al, 1990; Stavy, 1991等），一個類比教學能否成功，則有賴於這個類比範例是否設計精良？因此，良好的類比範例之設計便成了決定類比教學成效的關鍵因素。因而筆者嘗試從結構映射理論（structure mapping theory）的觀點，以「如何做出成效良好的類比物」為重點，提出一個較為具體而系統化的方法，並以國中生物科為例來說明之。

壹、結構映射理論的簡介

Gentner 花了很多心力在探究「什麼是類比？」、「要了解一個類比的意義必須要何種心智操作（mental operation）？」（Palmer, 1989），她從認知心理學的許多研究和她本人所得到的研究成果中發現，兩事物間由於對應情形不同，因此之間的相似狀況也有所差異。不同的相似性對於學習而言，有著不同的影響及成效，故區分各種不同種類的相似性，對於利用相似性或是類比來學習，或類比理論的建立是非常重要的（Gentner, 1989）。依據事物具有的屬性（attributes）和事物間所共有的結構關係（structural relation），她提出結構映射理論說明各種相似性的差異（Gentner, 1983, 1989），並進一步闡釋屬性和關係何者對於學習成效有決定性的關鍵（請參考筆者另一篇文章——「相似性與學習成效的關係」，科學教育月刊第167期，民83）。

一、映射（mapping）的原則：

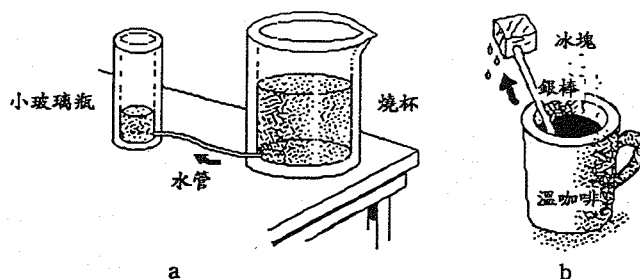
由於類比提供了一個過渡概念，因而可以幫助學習，然而在類比物中究竟哪一種特性對於目標概念（target，即欲學習的事物或概念，註一）的學習真正有所幫助？

Gentner 認為在類比物中映射的是二個領域間的類比關係而非類比屬性，且關係的映射是藉由高屬（higher order）關係而決定（即系統性原則 [systematicity]），也就是關係對於學習具有決定性的幫助。所謂「高層關係」的意義在 Gentner (1983) 對此理論所提出的說明中，她提到理論的基本假設有四點，其中第三點談到屬性和關係的表徵方式，將有助於進一步了解何謂「高層關係」：

所謂屬性是指有一個論詞（argument）的述語（predicates），而關係則指具有兩個以上的論詞之述語。例如，「撞到（甲，乙）」（即甲撞到乙）是一個關係；而「大的（貓）」【按：貓是物件，而大則是貓的屬性之一】則是一個屬性的表徵。另外，還有兩個重要的語法：一級述語（first-order predicates）（以物件當作論詞者）和二級述語（secondary-order predicates）（以命題作為論詞者）。例如，「撞到（甲，乙）」和「打（丙，乙）」是一級述語，而「造成【打（丙，乙），撞到（乙，甲）】」（即丙打乙造成乙撞到甲）則是二級述語。

上面的描述中所提到的「二級述語」便是所謂的高層關係，它的重要性在於類比映射時，高層關係具有決定性的映射能力。因為關係的映射優先於物件屬性的映射，但並非所有的關係都有同等映射能力，這還要看這些關係是否為二級述語，亦即具有因果關係連結的述語遠比沒有因果關連的游離述語來得更有映射能力，此即系統性原則。為了幫助理解上述的意義，茲舉作者在另一篇文章（Gentner, 1989）所用的熱力學例子加以說明。

如圖一所示，b圖表示溫咖啡的溫度因為高於冰的溫度，所以熱量將會由咖啡流向冰塊。但是學生在初次接觸到這個概念的時候感覺非常的陌生，因為並沒有看到熱流流向冰塊，因此在理解上可能會發生困難。為了解決這個問題，可以從學生的先備知識着眼，發現學生熟知水流現象，因此以水流作為類比物。在圖a中燒杯水位高於小玻璃瓶

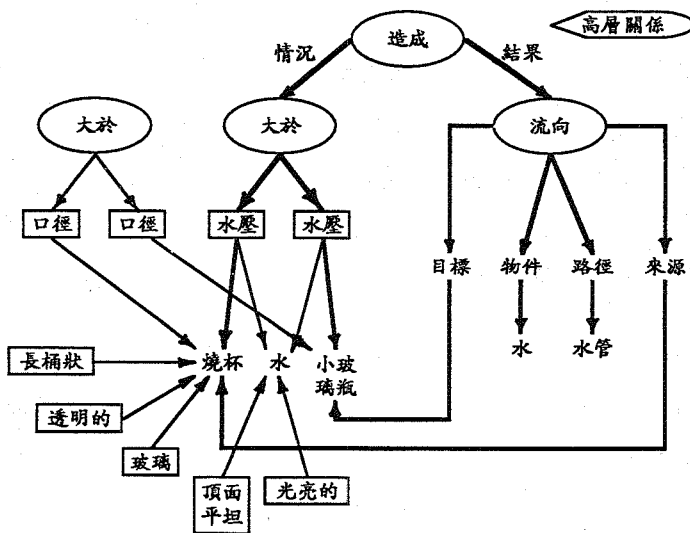


圖一 水流和熱流（摘自 Gentner, 1989）

的水位，因此水面壓力也較高，由於有壓力差的關係，因此造成水由壓力高的燒杯流向壓力小的小玻璃瓶，換句話說在此用壓力類比溫度的高低。

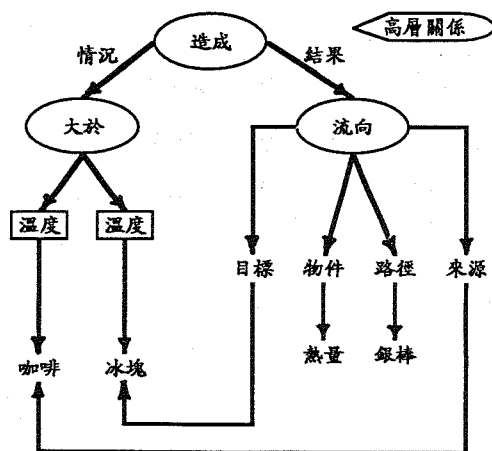
在圖二中所表示的是學生對圖一之 a 圖的可能表徵，在圖中可以看到物件的屬性和物件之間的關係，其中有兩個關係述語：

- (1) 大於〔口徑（燒杯），口徑（小玻璃瓶）〕
- (2) 大於〔水壓（燒杯），水壓（小玻璃瓶）〕



圖二 學生對圖一之圖 a 的可能表徵。較黑的線表示類比到靶領域的二級述語（摘自Gentner, 1989）。

上述第二個述語是造成水流動的主因，所以它受到高層關係的支配形成二級述語（因為互為因果關係）—「造成〔大於〔水壓（燒杯），水壓（小玻璃瓶）〕，流向（燒杯的水，小玻璃瓶的水）〕」。其他的屬性或關係因為不受到高層關係的支配，因此映射能力削弱致而忽略。以這樣的表徵結構類比到熱流的情形，便形成了圖三所示。所以基本上，此理論強調的是物件所扮演的角色，即物件間存在的相互關係。



圖三 學生對圖二之圖 b 的可能表徵（摘自Gentner, 1989）。

二、對於科學教學的意義：

由上述理論可以體會，設計類比範例時應該要細心查看類比物和目標概念間的關係對應情形，才能設計出映射能力較強的例子。同時，經過細心的設計也才能避免發生類比不當的情形。因此結構映射理論除了告訴我們什麼是「真正類比（true analogy）」外，對於如何設計一個較良好的類比範例，深具華考的價值。

貳、類比範例的設計

基於上述理論，筆者遂據其理念而提出一個較具體而有系統的方式進行類比範例的設計，其步驟有三：

1. 分析欲學習概念的基模。
2. 根據步驟一所分析出的基模，決定採用何種類比（譬如一對一類比【即關係完全配對】或部分類比【即關係部分配對】），以及類比的形式（如模型、語文或圖片），和操作方式（學生親自操作或教師示範）。
3. 列出類比物和欲學習概念間沒有配對的部分，以做事後的說明。

此方法主要是基於類比物和目標物均有其基模（schema），若不加以分析條列，則總易掛一漏萬又較不易設計，透過基模分析，便能使類比例子設計變得較容易，因此是著重在實用和方便的觀點。事實上 Zeitoun (1984) 在 GMAT 中曾引用 Pollard 所設計的類比檢查表（analogy checklist）來幫助類比物的設計與評估（如表一），然而它的評估方式是將結構和屬性全部加以考慮，然後用記分的方式，算出總得分（即類比複雜度 [analogy complexity]），分數高就表示類比的效果可能較好。然而 Gentner (1989) 指出各屬性和結構的相似關係，對於學習的貢獻並非具有相同的地位；鄭昭明（民 82）也曾指出完形心理學與結構學派的知覺心理學已經提出許多證據說明，相似性絕對不只是受其屬性數量的多寡所決定，屬性和屬性的關係更具有決定性的力量。因此這樣的作法就可能免不了招來質疑，而且使用上也非常的不便，因為將屬性和結構關係悉數列出工程非常浩大，反不如就結構關係的相似作分析來得簡單而明瞭。

參、專家學者對於類比範例的建議

在設計類比範例時，有許多專家學者提供的意見值得參考和注意，茲整理如下：

一、題材的選擇：

1. 儘量從學生已學過的概念或日常生活中已具有的經驗，尋找適合的題材

表一 類比表 (引自 Zeitoun, 1984)

類比陳述：電子流經導體就像水流流經水管

類比物和目標有相同或相似的屬性嗎？		目 標 屬 性
電子		
電子與水流的類比	1. 是 否	1. 有固定大小和組成
	2. 是 否	2. 無方向性運動
	3. 是 否	3. 以高速度運動
	4. 是 否	4. 若施加外力，則有淨方向運動而成為導體
	5. 是 否	5. 不同導體，其數目不同
	6. 是 否	6. 在導體中數目維持一定
	7. 是 否	7. 自由移動數目的多寡由導體及外力而定
	8. 是 否	8. 以特定的力作用
	9. 是 否	9. 能轉移能量給其它粒子
	10. 是 否	10. 能以熱能方式釋放能量
	11. 是 否	11. 彼此碰撞並和其它物體碰撞
導線		
導線與水管的類比	12. 是 否	12. 有一定大小
	13. 是 否	13. 呈圓柱形
	14. 是 否	14. 長度和截面積會改變
	15. 是 否	15. 有體積大小
	16. 是 否	16. 溫度會變化
	17. 是 否	17. 組成會變化
	18. 是 否	18. 在一端施加外力會傳至另一端
	19. 是 否	19. 有物質（電子）在裡面移動
	20. 是 否	20. 有物質（分子）在裡面不自由移動
	21. 是 否	21. 有物質（分子）在裡面移動而影響其它分子的移動
能量來源		
能量來源的類比	22. 是 否	22. 產生驅動力使物質（電子）有一淨方向流動
	23. 是 否	23. 增加位能則其流速增加
	24. 是 否	24. （電子）的流動正比於趨動力的強度
電阻		
電阻與摩擦力的類比	25. 是 否	25. 長度增加則阻力增加
	26. 是 否	26. 溫度增加則阻力增加
	27. 是 否	27. 截面積增加則阻力減少
	28. 是 否	28. 不同的物質其阻力不同
	29. 是 否	29. 趨動力一定時電阻增加則流動不易
	30. 是 否	30. 阻力增加則釋放更多的能量

(Thagard, 1992; Treagust et al, 1992)。

2. 複雜、困難或較抽象的概念較適合使用類比策略 (Curtis, 1988)。

二、設計的方式：

1. 使用類比橋 (bridging analogies) 的方式有助於學習成效的提升 (Brown, 1992; Brown, & Clement, 1989; Clement, 1978)。
2. 使用具體可見的模型有較好的類比學習效果 (Brown, 1992)。
3. 多重類比 (multiple analogies, 註二) 的教學成效比簡單型類比較好 (Catrambone, & Holyoak, 1985; Spiro et al, 1989)。
4. 兩事物間的類比關係最好要一對一，即結構越一致越好，則教學成效較好 (Gentner, & Jeziorski, 1990)。

三、範例的呈現與運用：

1. 類比的個數可以超過一個：於同一學習概念中，提供兩個類比範例並加以比較的效果較好 (Catrambone, & Holyoak, 1985)，但不要同一個類比用於許多地方 (Gentner, & Jeziorski, 1990)。
2. 不能過分強調類比屬性關係，否則容易造成記憶力的分散，影響真正要學習的內容 (Gentner, & Jeziorski, 1990)。

最後，為了說明方便以及讓讀者容易了解，茲取材自國中生物第十章，設計一個例子：

一、欲學習概念 (target)：學名

(一) 課文

學名是生物在生物學上所特有的名稱，由兩個字組成，前一字表示該種生物屬於哪一類，這一類別叫做屬，所以是該種生物的屬名，屬名的第一字母必須大寫；後一字為該屬中的某一種，稱為種名。屬名為一名詞，通常是拉丁文對這種生物的稱呼；種名是形容詞，用來形容這種生物的特徵。例如紅頭啄木鳥，其學名是 *Melanerpes erythrocephalus*；屬名 *Melanerpes* 是很早以前拉丁文對這種鳥的稱呼，種名 *erythrocephalus* 是「紅頭的」意思 (*erythro* 紅色，*cephalus* 頭)，用來說明這種鳥的特徵。

種類相近的生物常常屬名相同，種名則各異。例如虎、獅、豹是種類相近的動物，他們的學名，第一個字相同，都是 *Panthera*，第二個字則不一樣。

(二) 基模分析 (schema analysis)

1. 屬名是該類生物的總稱，而種名則是對這類生物所包含的種類做進一步的說

明。

2. 生物親緣關係是以屬名先做決定，而種名則是輔助判斷。
3. 屬名是名詞，放在前面，且第一個字母要大寫；種名是形容詞，放在後面，第一個字母不要大寫。

二、類比物 (analog)：住址

(一) 類比課文

當你在寫住址的時候，總是會如此的寫，如：

「高雄市中正路五號」，地名寫在前面，而路名、門牌號碼則放在後面。假若你有兩位同學小明和郭郭，他們的住址分別是：

小明：「台北市中正路五號」。

郭郭：「高雄市建國路一號」。

這時候你可能會叫誰「同鄉」呢？答案當然是「郭郭」了！因為你們同住高雄市嘛！至於小明雖然也住在中正路五號，但是「中正路五號」全省可有幾十個呀！

此時，坐在旁邊的阿英突然說：「真巧！我住在高雄市中正路十號」，那麼可以肯定的是，你和阿英的關係是「鄰居」！你還有多少同學是鄰居呢？找找看，連絡一下感情吧！

(二) 基模分析 (schema analysis)

1. 地名是一個大概的範圍，而真正的住處，需要再以路名和門牌號碼加以確認。
2. 鄰居關係的判別，首先要查看所住的地方，然後再進一步看路名和門牌號碼。
3. 寫住址的時候，地名寫在前面，而路名和門牌號碼則寫在後面。

表二 類比屬性關係對照表

類 比 物	目 標 概 念
* 地名	* 屬名
* 路名和門牌號碼	* 種名
* 鄰居關係的判定	* 生物親緣關係的判定
* 鄰居的關係要以地名為準，然後再看路名和門牌號碼	* 親緣關係的判定要以屬名為準，然後再看種名是否相同
/	* 屬名是名詞第一個字母要大寫
/	* 種名是形容詞第一個字母不大寫

「/」表示沒有配對的部分。

由表二可看出仍有沒配對的部分，這時就必須再加以說明和補充了。

肆、結 語

Treagust 等人(1992)曾研究七位中學科學教師在課堂上使用類比的情形，研究中指出諸位教師都表示非常明瞭類比的優點和限制，但實際結果卻顯示他們心中並沒有一套良好且具成效的類比使用法。即使很多人認為設計一個類比例子非常簡單，但是事實上這中間卻涉及許許多多的變項，由於這些變項並沒有加以考慮，因此類比不當的情形便很可能時而發生。因此，在筆者品味結構映射理論對於類比的分析時，實在相當佩服其精妙，由於有這樣的分析，使得日後的研究者或教師在設計類比範例時，能有一個依據和參考。最後也希望筆者所提出的設計方法，對於教師的教學能有實質的幫助。

註一 Dagher (1993)曾分析1990年後的17篇有關類比的研究發現，大多數的文獻已經使用「類比物」和「目標概念」這樣的名詞。

註二 多重類比的意思就是類比物與目標物間的類比關係多於一個。

伍、參考文獻

一、中文部分：

郭人仲(民82)：類比的教學現況與類比教學模式。《科學教育月刊》，164期，2-11頁。

郭人仲(民83)：相似性與學習成效的關係。《科學教育月刊》，167期，17～20頁。

鄭昭明(民82)：《認知心理學—理論與實踐》。台北：桂冠。

國立編譯館(民81)：《國民中學生物教科書下冊》。台北：台灣書店。

二、References：

Bean, T.W. et al(1990). Learning concepts from biology text through pictorial analogies and an analogical study guide. Journal of Educational Research, 83(4), 233-237.

Brown, D.E., & Clement, J.(1989). Overcoming misconceptions via analogical reasoning: abstract transfer versus explanatory model construction. Instructional Science, 18, 237-261.

Brown, D.E.(1992). Using examples and analogies to remediate misconceptions in physics: factors influencing conceptual change. Journal of Research in Science Teaching, 29(1), 17-34.

Catrambone, R., Holyoak, K.(1985). The role of schemas in analogical problem solving. ERIC: ED265 212.

Clement, J.(1978). The role of analogy in scientific thinking: examples from a problem-solving interview. ERIC: ED287 702.

Curtis, R.(1988). When is a science analogy like a social studies analogy? Comparison of text analogies across two disciplines. Journal of Science Education, 17, 169-177.

Dagher, Z.R., Thiele, R.B., Treagust, D.F., & Duit, R.(1993). Analogy, explanation, and education. Journal of Research in Science Teaching, 30(6), 615-617.

Duit, R.(1991). On the role of analogies and metaphor in learning science. Science Education, 75(6), 649-672.

Gentner, D.(1983). Structure-mapping: a theoretical framework for analogy. Cognitive Science, 7, 155-170.

Gentner, D.(1989). The mechanisms of analogical learning. In S. Vosniadou, & A. Ortony(eds., 1989). Similarity and Analogical Reasoning. pp, 199-241. New York: Cambridge University Press.

Gentner, D., & Jeziorski, M.(1990). Historical shift in the use of analogy in science. ERIC: ED318 987.

Palmer, S.E.(1989). Levels of description in information-processing theories of analogy. In S. Vosniadou, & A. Ortony(eds., 1989). Similarity and Analogical Reasoning. pp, 332-345. New York: Cambridge University Press.

Stavy, R.(1991). Using analogy to overcome misconceptions about conservation of matter. Journal of Research in Science Teaching, 28(4), 305-313.

Thagard, P.(1992). Analogy, explanation, and education. Journal of Science Education, 29(6), 537-544.

Treagust, D.F., Duit, R., Joslin, P., & Lindauer I.(1992). Science teachers' use of analogies: observations from classroom practice. Journal of Science Education, 14(4), 413-422.

Zeitoun, H.H.(1984). Teaching scientific analogies: a proposed model. Research in Science & Technological Education, 2(2), 107-125.