

圖形與科學課文學習關係的探討

許良榮

本文旨在探討圖形與科學課文對於學習影響的相關性，以文獻整理說明圖形在學習上的功能與種類，並由訊息處理的觀點指出「二元編碼理論」是一個適於解釋圖一文之連結的模型。此外，由文獻研究顯示圖形對於學習的影響，常有一致的發現，本文除了指出可能的原因之外，也提出未來研究取向與設計應注意的事項及建議。

關鍵字：圖形、課文、科學學習

Keywords: Diagram、Text、Science Learning

壹、前言

我國中小學的教科書也包含了大量的圖形（本文以「圖形」泛指 Picture、Diagram、Figure、Graphic，不包括「表格」(table)。並以「課文」表示不包括圖形的文字說明，「文章」表示整篇說明文（不論有否圖形）。），尤其小學自然科教材的圖形份量明顯多於課文，國中理化每一冊也都包含超過一百幅的圖形。這些圖形的編排是否恰當？與課文是否配合？對學習是否有益？尚未見國內學者有研究報告。

圖--文的設計是一個很複雜的問題，此方面的研究，認知心理學仍只是起步階段(Moliter et al., 1989)。以下本文就圖形的種類與功能、圖形的訊息處理、實徵研究進行文獻探討，最後提出未來研究應有的取向以及研究設計應注意的條件。

貳、圖形的種類與功能

在科學教科書上圖形有很多種，如描繪生物器官結構或機械結構的圖形；顯示微觀世界的圖形（如分子模型）；描述變數間之關係圖（如時間與加速度圖）；類比圖形（如眼球與照相機）…等等。根據 Levin (1982) 指出，圖形在學習上有五個主要的功能：

- (1)表徵 (representation) 功能---此種功能的圖形，其內容與課文相重疊 (overlap)，用以圖示某些課文之內容，以增加學習的機會與資源。
- (2)組織 (organization) 功能---圖形提供了有關課文內容的巨觀結構 (macrostructure)

之訊息，或是將課文所包含的主要概念之關係加以組織呈現。

- (3) 解釋 (interpretation) 功能---對課文中不易了解或讀者不熟悉的概念，以圖形加以說明（例如類比、隱喻）。
- (4) 移轉 (transformation) 功能---將文字轉換為圖形，可以提供幫助記憶的功能。
- (5) 裝飾 (decoration) 功能---用以美化、修飾課文的圖形。

上述五種圖形的功能，Levin, Anglin & Carney(1987) 經後設分析 (metaanalysis) 指出，前四種功能的圖形，對於課文的記憶與理解有不同程度的影響，但都是正面的助益，第五種功能的圖形不但沒有正面效果，甚至有些是負面的影響。

Levin(1982) 指出圖形的前四種功能與課文結構的關係可表示如表一。圖形的「解釋」功能以增加意義化的方式，除了能澄清課文的巨觀結構（例如類比圖形、概觀圖形），也能使課文的微觀結構更清楚解釋，或使抽象的語詞具體化，因而增加學習者的理解。在增強記憶方面，圖形的「組織」功能能增加關係性的連結，使課文的主旨（巨觀結構）更能彰顯，「表徵」與「移轉」功能分別增加課文的語詞、命題（微觀結構）的具體化以及可記憶性。

表一 圖形的認知功能與課文結構的關係

		圖形的主要認知功能	
		理解導向	記憶導向
課文的層次	巨觀結構 (macrostructure)	解釋 (interpretation)	組織 (organization)
	微觀結構 (microstructure)	解釋 (interpretation)	表徵 (representation) 移轉 (transformation)

取自 Levin(1982)

此外，Hegarty & Just(1989) 指出圖形可以幫助學生形成課文訊息的表徵，是由於圖形具有以下特性，

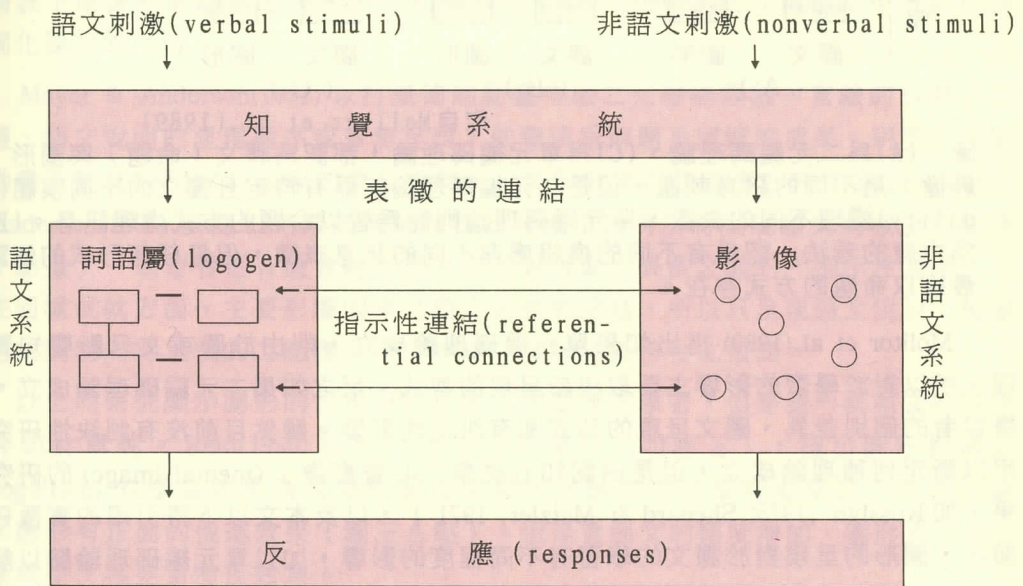
- (1) 圖形可以描繪事物的空間與視覺上的性質。例如機械的結構不容易由課文形成完整概念，藉由圖形的描繪，讀者可以有更清晰的了解。
- (2) 圖形可以幫助課文之訊息的連結。由於工作記憶體有限，只有正在閱讀的句子（命題）或重要的命題才停留於工作記憶體，所以在閱讀課文時，經常有回顧前文的情形，而圖形可以提供更快速、簡明的訊息。

(3)圖形可以提供課文所缺少的訊息，或使課文的訊息更精緻化。也可以說圖形與課文的訊息可以互補，使讀者閱讀理解所需的訊息更為完整。

參、圖形的訊息處理

課文與圖形如今被視為傳送知識的二個不同媒介(Mayer & Anderson, 1992)。由此觀點推知，「課文」的訊息具有「命題」表徵的特性，「圖形」的訊息則具有「影像」表徵的特性，是二種不同性質的訊息。以下以「二元編碼理論」說明影像與命題的訊息處理。

「二元編碼」(dual coding)最早由Paivio(1971)提出，此理論假設人有二種獨立但互相連結的訊息處理系統：一為語文的(verbal)，一為非語文的(nonverbal)。語文系統主要處理語言訊息(序列性的)，可用「命題」為表徵，非語文系統處理影像訊息(空間性的)，以「影像」(image)為表徵。(如圖一所示)



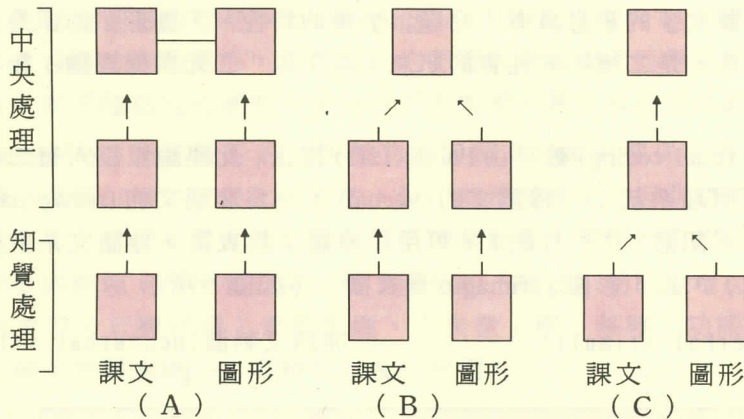
圖一 二元編碼理論(取自 Paivio, 1986; P.67)

Mayer & Anderson(1991)指出在多媒體的情境下，依照二元編碼理論，學習者可能建構的三種基本訊息連結為：

- (1)外界語文訊息與學習者語文表徵之間的連結。
- (2)外界圖形訊息與學習者視覺表徵之間的連結。
- (3)學習者的語文訊息與視覺表徵之間，相對應之要素(element)的連結，稱之為

「指示性連結」(referential connection)。

相對於「二元編碼理論」Pylyshyn(1973)提出不同的觀點--「單元編碼」(single code)，認為人的認知處理主要是以「命題」表徵的方式進行。此外也有採中庸的看法，認為在訊息處理時「影像」與「命題」表徵是分別進行，但是最後皆以「命題」的方式儲存。這些不同的看法表示如圖二。



取自Molitor et al.(1989)

圖二(A)為二元編碼理論，(C)為單元編碼理論，都認為課文(命題)與圖形(影像)是不同的訊息刺激，但是二元編碼理論認為有特定且獨立的不同模組(modality)處理不同的表徵，單元編碼理論則認為皆以命題的方式處理訊息。(B)為中庸的看法，認為有不同的模組處理不同的訊息表徵，但是任何形式的知識最後以命題的方式存在。

Molitor et al.(1989)指出如果單元編碼理論成立，則由於圖或文只影響知覺處理，所以對於學習的影響主要取決於呈現的型式。反之如果二元編碼理論成立，則學習者的個別差異、圖文呈現的型式都有決定性影響。雖然目前沒有判決性研究可用以斷定何種理論成立，但是由認知心理學「心智影像」(mental image)的研究結果(如Kosslyn, 1975; Shepard & Metzler, 1971)，以及本文以下將引用的實徵研究顯示，圖形的呈現對於課文的學習有不同程度的影響，加以單元編碼理論難以解釋日常生活「夢」的存在，本文認為二元編碼理論較適合解釋圖--文的訊息處理。

肆、圖形對科學學習之影響的實徵研究

文獻上對於圖形在學習的影響有不少的研究，但每個研究者所關注的問題有不同的導向，以下本文分為三個部分整理相關的實徵研究，第一部分是圖形與課文的關係之研究，包括是否呈現圖形、圖形的呈現方式、課文的難易與圖形的助益性之關係...等等。第二部分為圖形與學習者特性的關係之實徵研究，主要探討圖形對於

不同能力或不同先備知識之學生的學習影響。第三部分為圖形對學習之影響的後設分析。

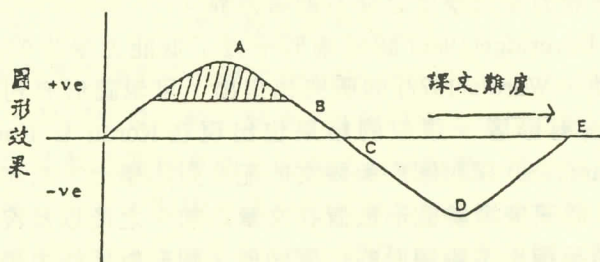
一、圖形與課文的關係

由文獻顯示，呈現圖形對於學習有正面的影響，例如 Anglin & Stevens(1987) 比較圖文並呈以及只有呈現課文的學習效果，受測者為42位大學生，結果閱讀圖文並呈的學生在12題有關「水鐘」的後測顯著優於只讀課文的學生。而經過四週以後，雖然顯著差異消失，但是圖文並呈組的表現仍然較佳。

Hayes & Readence(1983) 研究圖--文關係對學習的影響，共選取四種與圖形有不同相依 (dependence) 程度的課文，分為高度相依、中度相依、低度相依、完全無關四種。該研究考驗學生閱讀課文時，有無圖形以及提醒注意圖形的訊息之情況下學生回憶 (recall) 課文的結果。實驗顯示與圖形相依程度愈高的課文，在呈現圖形的情況下回憶的命題數愈多，由此結果 Hayes & Readence(1983) 指出圖形有助於學生同化課文的內容。

Mayer & Anderson(1991) 以打氣筒的動畫考驗二元編碼理論，實驗的自變項為動畫、語文說明的呈現順序或有無呈現，依變項為解題及回憶的成果。研究結果顯示動畫及語文說明同時呈現的實驗組學生，其解題成就顯著高於其他各組。Mayer & Anderson(1991) 根據二元編碼理論解釋此結果是因為同時呈現語文刺激及視覺刺激（動畫），學習者更有機會建立語文表徵與視覺比表徵之間的「指示性連結」。而在回憶成就方面，主要影響因素是語文表徵的連結，所以只呈現語文說明、動畫—語文說明同時呈現的二組應有較佳表現，實驗結果符合此預測。

以上的研究顯示圖形的呈現有助於課文的理解或學習，但是圖形與課文的關係並非如此單純。Reid(1990) 提出一假說性的模型（如圖三），指出圖形對再認 (recognition) 的學習效果與文章的難度有關，當課文對於學習者來說不是很困難時，圖形有正面的促進效果（圖三A點），但是當課文的難度增加，圖形的效果就逐漸減少，甚至會有反效果。



圖三 課難度與圖形效果關係 (Reid, 1990)

二、圖形與學習者的關係

學習者的特性與圖形對學習的影響是學者研究的重心之一。Dwyer (1978) 的研究顯示，圖形的呈現方式如果以讀者易於知覺的形式，以及和學習概念相關連的方式呈現，對於先備知識較差的學生有明顯的幫助。尤其對於強調空間訊息 (spatial) 的學習，圖形更易傳達學習的概念給學生。

Hegarty & Just(1989) 研究不同能力學生 (八位大學生)、不同長度課文 (描寫滑輪的運作) 對於學生注視圖形之行為的影響。該研究所謂高低能力是指先備知識 (紙筆測驗) 多寡。研究結果顯示，高能力學生由於具備較多相關知識，閱讀時能夠以較大的組塊 (chunk) 編碼 (en-coding)，所以當課文包含了較多的訊息時 (長篇文章)，對於圖形所花的時間就較少，反之當課文包含的訊息不夠 (短篇文字)，對於圖形所花的時間就較多。但是低能力學生卻剛好相反，課文越長注視圖形的時間也越長，反之則越短。Hegarty & Just(1989) 的研究顯示了低能力學生較不容易形成課文訊息的表徵，另一方面也顯示低能力學生缺乏信心，無法判斷課文的訊息是否已經夠充足。

相呼應於上述研究，Reid(1990) 的研究則指出能力越低的兒童觀看圖形的時間越長。

此外，Reid & Beveridge(1986) 研究四個不同能力層次 (以學校考試成績分組) 的13歲學生閱讀生物文章時，有、無呈現圖形對於測驗問題的反應。測驗的問題有些只能由圖形獲得訊息，有些問題則只能由課文中取得訊息，也有一些問題由圖形、課文皆可獲得必要的訊息。研究結果如下：

- (1)對於問題只能由課文中取得訊息題目，閱讀有無呈現圖形對作答結果沒有顯著差異。
- (2)如果問題只能由圖形中取得訊息回答，則閱讀時有無呈現圖形對作答結果有顯著差異。
- (3)如果問題由課文及圖形皆可取得訊息，閱讀時有無呈現圖形對作答結果沒有顯著差異。但是能力高低學生之間有顯著差異。

Reid & Beveridge(1986) 認為圖形干擾了低能力學生的學習，以致於成就較低。同樣地，Wardle(1977) 的研究也指出，呈現圖形有利於低成就學生，對高能力學生沒有影響。類似的結果也出現在Koran & Koran(1980) 的研究，Koran & Koran(1980) 探討圖形與課文的配合對小學七、八年級學生學習「水循環」的影響，該研究考驗圖形放置在文章之前、之後以及沒有圖形三種情境的差異。研究結果指出不論圖形的位置如何，圖形對低能力學生 (推理能力) 或七年級學生有正面的促進效果，反之高能力學生或八年級學生沒有影響。

Koran & Koran(1980) 結論指出，在沒有圖形的配合時，課文的學習有賴於推理能力的高低，而如果有圖形的配合，不論擺放的位置前後，對於低能力學生的助益性最大。

上述的各項研究顯示圖形對學習有正面的效益，但是也有不同的研究結果。例如 Thomas(1978) 研究三個能力層次（閱讀及科學成就測驗）的國小四年級學生，閱讀三種由科學教科書摘錄的文章，一種為原文（包括課文及彩色圖形），一種為彩色圖形簡化為單色線條圖，另一種則只有課文沒有圖形。閱讀之後考驗學生的閱讀理解與推論理解，研究結果顯示閱讀不同的文章沒有顯著差異產生，但是不同能力層次的學生之間具有顯著差異。Thomas(1978) 結論指出圖形對於小學科學閱讀之理解沒有影響。

由此可知，文獻上圖形對學習的影響之研究並非有一致性的結果，其可能原因之一是研究者對所謂高、低能力的界定不同，有的以推理能力區分（如 Koran & Koran, 1980），有的以學科知識區分（如 Hegarty & Just, 1989），也有以閱讀及科學成就測驗區分（如 Thomas, 1978）。而且研究者蒐集的依變項也有不同，例如所謂的閱讀理解，有的學者以回憶(recall) 進行評估（如 Mayer & Anderson, 1991; Hayes & Readence, 1983），有的以回答問題評量（如 Reid & Beveridge, 1986）。由這些現象，不難想像在不同的自變項之下，考驗不同的依變項，其結果的不一致也就不足為奇了。

以下討論圖形對學習之影響的後設分析研究，或許可以綜合地檢視圖形對於學習的效果。

三、圖形影響學習的後設分析研究

Levie & Lentz(1982) 以後設分析共 55 篇的研究，探討圖形對文章閱讀的影響，Levie & Lentz 的分析共分為三類的比較，分述如下：

- (1) 課文之訊息包含在圖形中的學習 (learning illustrated text information)，共有 23 篇研究，46 個學習比較。分析結果有 45 個比較顯示閱讀有圖解的課文優於只閱讀課文的學生，其中有 39 個比較呈顯著差異。
- (2) 課文之訊息沒有包含在圖形中的學習 (learning nonillustrated text information)，共有 10 篇研究，20 個學習比較。結果有 9 個研究（16 個比較）沒有呈現顯著差異。其中有 11 個比較為閱讀有圖形的課文表現較優，有 3 個比較為只閱讀課文的表現較好。平均而言，閱讀有圖形之文章的學生在測驗的表現上，比閱讀只有課文的學生好約 5%。Levie & Lentz(1982) 結論認為圖形對於文章中沒有被圖解的訊息之學習沒有影響。

(3)總括有圖解、沒有圖解之文章的學習。在48個比較中，有38個比較(79%)為閱讀有圖形的表現較優，其中有19個比較(40%)呈顯著差異。

由此研究可看出圖形對學習的助益性雖然有79%的研究結果有助異性，但是達到顯著差異的研究只有40%。值得注意的是Levie & Lentz (1982)的研究包含了非科學性文章或是「敘述性」文章，尚不足以代表圖形對科學學習的影響。

Dwyer 於1967年設計了一組有關心臟的結構與運作的教學單元及評量工具，教學單元包括二千字的課文以及八種版本的圖形(線條圖、形狀圖、照片、彩色、黑白等等)，評量包括了畫圖、認明、名詞解釋、理解等四種。這些設計提供了超過一百個研究的基礎，Levie & Lentz (1982)綜合這些研究，選取以教科書型式為素材的研究共16篇，發現在41個比較當中，有36個比較(88%)為包括了圖形的課文表現顯著較優，只有4個比較(10%)有利於只閱讀課文。而在四種評量方式中，以「畫圖」的平均效果量(Effect Size)最高(0.58)，且都是有利於包括了圖形的學習。「理解」的平均效果量則最低(0.09)。

由上述的結果可知圖形對於科學學習的影響應給予肯定及重視。

伍、結語：未來研究取向與設計

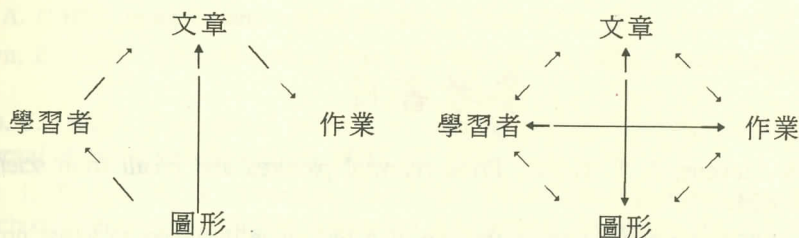
由文獻探討可以窺知對於圖形在文章閱讀中的角色與功能，有很多的研究著重於學習成效的探討，而且採用的體裁、評量方式與圖文的類型也有很大的差異。這對於我們瞭解圖形的認知功能是否有幫助？未來的研究設計應朝什麼方向進行？

一、未來研究取向

Molitors et al.(1989)指出，成效導向(effect-oriented)的研究不論在理論上或方法學上都不足以讓我們瞭解圖--文在內容上、型式上的關係。尤其這些研究通常針對特設的問題(ad hoc questions)，不是以認知處理理論為基礎，對有效學習的觀點主要是以語文再現(verbal reproduction)為指標，是一種行為學派的取向(behavioristic approach)。

Salomon(1989)進一步指出課文與圖形對學習的影響，不只是訊息刺激的表面特性，而是圖--文所具備的認知功能以及學習者特性、作業性質、情境有關。Weidenmann(1989)也提出了相同的觀點，認為一般研究著重於圖形對於課文、學習者的影響，把圖形當成是課文的附屬品，也就是只關心課文所傳達的訊息是否因圖形而有所增損。此種模型Weidenmann(1989)稱之為功能模型(functional model；圖四左邊)，不足以了解圖形在認知上的作用或功能。圖右模型銜接了認知心理學的研究，不僅討論圖形的類型與功能，也包括了學習者如何使用圖形以及對於圖形或作

業的知覺。由此模型可知圖形對於學習的效果，不只與圖形本身的特性有關，與學習者的特性、課文本質、作業的需求…等等，都有關係。此觀點與目前閱讀理解研究所強調的「互動--建構」(interactive-constructive) 模式(Yore & Shymansky,1991; Swaffar,1988)，或是 Kintsch(1986) 的「情境模式」(situation model) 是相互呼應的。



圖四 圖--文學習之互動關係 (Weidenmann, 1989)

二、研究設計方向

綜合 Mayer(1989) 以及 Mayer & Gallini(1990) 的文獻，要考驗一個科學性或說明式圖解(illustration) 的效果，要注意四個條件：

- (一)適當的課文；指教材本身具備潛在有意義(potential meaning-fulness) 的性質，或是教材有被建構為具有一致性的心智模式(mental model) 的可能，此條件與 Ausubel(1968) 的觀點類同。
- (二)適當的評量；例如說明式圖文應評量說明式訊息的回憶，或是解題能力，而不是逐字(verbatim) 的記憶。圖形對不同能力層次、不同先備知識的學習者之促進效果會有所差異，評量時應注意。
- (三)學習者的特性；圖形對不同能力層次、不同先備知識或不同認知層次的學習者之促進效果會有差異，應用時應注意學習者的差異。
- (四)適當的教學設計；例如圖形必須能呈現學習的相關要素，幫助學習者的表徵之連結。或者說教學操弄要能引起學習者的注意，使外在刺激與內在表徵建立連結。

此外，也應注意學習者在閱讀課文與圖形時的態度並非完全一樣，Weidenmann(1989) 指出學習者對於圖形的訊息經常會一瞥眼而得全面性的印象(overall impression)，而對於課文的訊息需要經過心智的語意處理，所以學習者經常對圖形的訊息有低估的現象，也就是沒有仔細注意到圖形的訊息。Weidenmann(1989) 以注意力分配的觀點，指出在圖--文的學習過程中，如果教學生注意圖形的訊息，對學習有正面的效果。

由前述的各項討論，可以窺知圖--文的互動是一個很複雜的過程，在未來的相關研究，應更謹慎地考量研究的各項變數以及研究情境，例如閱讀目標（理解？記憶？）、學習者特性（學科知識？推理能力？後設認知？）、課文特性（說明式？敘述式？）、圖形本質（組織性？解釋性？）、閱讀情境（小組或個別？書面或螢幕呈現？），也唯有嚴格與周全的考慮，才能探知圖形與科學課文之間的互動關係。

參考書目

- Anglin, G. J., & Stevens, J. T. (1987). *Prose-relevant pictures and recall from science text*. ERIC: ED285524.
- Barman, C. R. (1992). An evaluation of the use of a technique designed to assist prospective elementary teachers use the learning cycle with science textbook. *School Science and Mathematics, 92(2)*, 59-63.
- Blystone, R. V., & Dettling, B. C. (1990). Visual literacy in science textbook. In "What Research Say to the Science Teacher, Vol.6" (P.19-40). National Science Teachers Association, Wahington, D. C.
- Dwyer, F. M. (1978). *Strategies for improving visual learning*. State College, Pa: Learning Services.
- Hayes, D. A., & Readence, J. E. (1983). Transfer of learning from illustration-dependent text. *Journal of Educational Research, 76(4)*, 245-248.
- Hegarty, M., & Just, M. A. (1989). Understanding machines from text and diagrams. In H. Mandl & J. R. Levin(Eds.), *Knowledge acquisition from text and picture* (p.171-194). New York: North Holland.
- Kintsch, W. (1986). Learning from text. *Cognition and Instruction, 3(2)*, 87-108.
- Koran, M. L., & Koran, J. J., Jr. (1980). Interaction of learner characteristics with pictorial adjuncts in learning from science text. *Journal of Research in Science Teaching, 17(5)*, 477-483.
- Kosslyn, S. M. (1975). Information representation in visual image. *Cognitive Psychology, 7*, 341-370.
- Levie, W. H., & Lentz, R. (1982). Effects of text illustrations: A review of research. *Educational communication and Technology Journal, 30(4)*, 195-232.
- Levin, J. R. (1982). Picture as prose-learning devices. In A. Flammer & W. Kintsch(Eds.), *Discourse processing* (p.412-444). New York: North Holland.
- Levin, J. R., Anglin, G. J., & Carney, R. N. (1987). On empirically validating functions of pictures in prose. In D. M. Willows & H. A. Houghton (Eds.), *Illustrations, graphs and diagrams: Psychological theory and educational practice*. New York: Springer-Verlag.
- Mayer, R. E. (1989). Systematic thinking fostered by illustrations in scientific text. *Journal of Educational Psychology, 81(2)*, 240-246.
- Mayer, R. E., & Anderson, R. B. (1991). Animations need narrations: An experimental test of a dual-coding hypothesis. *Journal of Educational Psychology, 83(4)*, 484-490.
- Mayer, R. E., & Anderson, R. B. (1992). The instructive animation: Helping students build

- connections between word and pictures in multimedia learning. *Journal of Educational Psychology*, *84*(4), 444-452.
- Mayer, R. E., & Gallini, J. K. (1990). When is an illustration worth ten thousand word? *Journal of Educational Psychology*, *82*(4), 715-726.
- Molitor, S., Ballstaedt, S. -P., & Mandl, H. (1989). Problem in knowledge acquisition from text. In H. Mandl & J. R. Levin(Eds.), *Knowledge acquisition from text and picture* (p.3-36). New York: North Holland.
- Paivio, A. (1971). *Imagery and verbal processes*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Pylyshyn, Z. (1973). What the mind's eye tells the mind's brain. *Psychological Bulletin*, *80*, 1-24.
- Reid, D. J. (1990). The role of pictures in learning biology: Part 2, picture-text processing. *Journal of Biological Education*, *24*(4), 251-258.
- Reid, D. J., Briggs, N., & Beveridge, M. (1983). The effect of picture upon the readability of a school science topic. *British Journal of Educational Psychology*, *53*, 327-335.
- Reid, D. J., & Beveridge, M. (1986). Effects of text illustration on children's learning of school science topic. *British Journal of Educational Psychology*, *56*, 294-303.
- Salomon, G. (1989). *Interaction of media, cognition and learning*. San Francisco: Jossey Bass.
- Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional object. *Science*, *171*, 701-703.
- Swaffar, J. K. (1988). Readers, texts, and second languages: The interactive processes. *The Modern Language Journal*, *72*(2), 123-149.
- Thomas, J. L. (1978). The influence of pictorial illustrations with written text and previous achievement on the reading comprehension of fourth grade science students. *Journal of Research in Science Teaching*, *15*(5), 401-405.
- Wardle, K. F. (1977). *Textbook illustrations: Do they aid reading comprehension?* Paper presented at the annual convention of the American Psychological Association.
- Weidenmann, B. (1989). When good picture fail: An information-processing approach to the effect of illustrations. In H. Mandl & J. R. Levin(Eds.), *Knowledge acquisition from text and picture* (p.157-170). New York: North Holland.
- Yore, L. D., & Shymansky, J. A. (1991). Reading in science: Developing and operational conception to guide instruction. *Journal of Science Teacher Education*, *2*(2), 29-36.

許良榮，現任國立臺中師院數理系講師