

# 從認知科學的研究反思教育學習的意涵 —以「推理」為例

張淑女

國立台灣師範大學科學教育研究所

(投稿日期：92年8月20日；修正日期：92年9月23日；接受日期：93年3月8日)

## 摘 要

網路科技的發展打破了知識的疆界，更縮短了接觸新知的時間。在這樣知識空間擴大、學習知識時間緊迫的現代社會中，我們究竟要教導學生什麼？似乎彰顯了思考能力的重要性！本文的目的是以『推理』為主，探究認知科學研究中對於高層次思考能力的研究方法，進而了解『推理』在腦結構所發生的位置，並與已知腦的認知功能作探討。由認知科學的相關研究結果發現，推理的進行在腦的活化區域並非是單一的，筆者進一步藉由認知科學的研究反思在教育學習上的意涵！

關鍵字：高層次思考能力、推理、認知科學、教育學習

## 壹、前 言

隨著科技發展的複雜化、知識演化的快速，特定科學知識的學習已無法滿足科學教育目標的終旨，取而代之的應該是科學思考能力的培養 (Kuhn, 1993)。同時也有許多學者們提到，科學教育應該教學生的是如何促進思考，而非只是教學生知識的本體及固定的事實 (Driver, Newton, & Osborne, 2000; Zohar & Nemet, 2002)。反觀國內教育的現況，在過去不論在國際數理資優競賽中我國學生皆能以優異成績表現，而且我國 9-13 歲學童科學知識在國際間成就輝煌，但存在著一個不可忽視的事實，即我國學童一般來說缺乏推理的能力 (邱美虹, 1994)。此外，在提昇科學素養的趨勢中，個體能運用科學知識及推理技能去解決個人生活或專業生活中上所面臨的問題更是科學素養所強調的面向之一 (Branscomb, 1981; Laugksch, 2000; Miller, 1992)。從以上國內外學者對於科學教育的思潮中，不難發現提昇高層次思考能力的重要性，並希望藉由高層次思考能力的培養來促進科學素養的提昇。

高層次思考能力在哲學家的詮釋角度傾向於批判性思考與邏輯推理能力 (Resnick, 1987)。思考能力在國內的推動，除了於民國 90 年實施的九年一貫課程中的能力指標中提到了思考智能，所指的是「資訊統整，對事物作推論與批判，解決問題等整合性的科學思維能力」外 (MOE, 1998)，第一次全國科學教育會議公聽會提案資料中也提到「全民的科學教育理念」，其中希望培養全民具有適當運用探究能力及科學知識來解決日常生活問題的技能，且可以理性來批判社會現象，並為各項科學相關的公共事務作出明智的抉擇，簡言之，即為**整合科學知識、批判、決定**的相關能力 (第一次全國科學教育會議公聽會，民 91 年 10 月)。

總結以上國內外之研究，了解到高層次思考能力對於科學教育與科學素養提昇的重要性，以及國內對於思考能力的積極推動。那到底高層次思考能力是否可以運用認知科學相關的儀器來檢測呢？以及高層次思考能力發生的位置是在腦的哪一個區域？這些疑惑，引發了筆者對於科學認知研究一探究竟的好奇心，進而追蹤到加拿大一個認知科學研究小組最近年來對於推理的相關研究。因此，本文擬從認知科學的研究來探討推理的發生，除了介紹現代認知科學在腦方面的研

究方法給讀者之外，並進一步希望藉由認知科學的研究反思教育學習上的意涵。

## 貳、腦的功能性定位

在進入推理能力於認知科學的相關研究之前，本文先針對目前對於腦的認知功能作簡單的介紹。一般來說，通常是以左右腦來區分腦的功能，而左右腦的差異是 Roger Wolcott Sperry 發現，而他也因此發現獲得 1981 年諾貝爾生理醫學獎（科學月刊，2000 年）。Sperry 教授利用切除連接兩個腦半球之間的神經束，即胼胝體剪開手術，發現左腦和右腦功能不同的發現，顛覆了以往科學家對大腦的認知，因為當時多數科學家認為，大腦與其神經系統能接受任何刺激與產生反應於任何動作，是因為在大腦存在著一個統整中心，並沒有特別分化的區域，而個體之所以有不同的感受與反應動作，乃是經由後天學習或經驗而獲得。之後，便有許多相關的資訊來談論左右的腦差異與男女兩性的關係（洪蘭譯，2000 年）。一直以來就有「女性是感性的動物、男性是理性的動物」的說法，就行為表現上去區分兩性不難發現，女性比較重感情、有好的語言記憶力、社交能力好、能想出較多的主意去解決問題，而男性則在數學推理、視覺空間與方向感則比較好。而換個角度從腦的功能來看，能進一步了解左右兩腦都有某些特定的認知功能，且為何有「男性左腦較發達、女性右腦較發達」的歸類。

對於腦功能的研究，神經學家以刺激大腦與動物實驗的方式尋找大腦各區域的功能，而神經心理學家則觀察局部腦傷者的行為來了解腦的功能。在過去沒有先進科技的時代，通常以腦傷病患的臨床觀察來了解腦的功能性定位 (Kiernan, 1999)，例如：在 1861 年，Paul Broca 從一位生前為語言缺失症的死者腦部，發現下額回有一處損傷，因此，此處稱為 Broca 氏語言區。然而，像這類的研究都無法直接檢驗，祇能藉由觀察作推論。自從 1980 年以來，關於腦的相關研究已經由許多非侵入性的技術取代，使得我們可以直接觀察心智的內在世界。對於研究腦認知的現代技術大多是隨著資訊電腦的發展及大腦造影的技術而產生，例如：功能性磁振造影 (functional magnetic resonance imaging, 簡稱 fMRI)、正子

斷層掃描 (Positron Emission Topography, 簡稱 PET)、腦電波

(Electroencephalography, 簡稱 EEG)、腦磁波 (Magnetoencephalography, 簡稱 MEG)、眼球追蹤儀 (eye-tracking system) (Kiernan, 1999)等。目前對於大腦結構功能的劃分可從大腦皮質的外觀來看，每個大腦半球又可分為四個區域，稱為四葉 (徐淑媛、陳金山編譯, 2001)，圖 1 與圖 2 分別為大腦左半球外側與內側的定位簡圖，顯示四個葉的相關位置，四葉的相關敘述如下：

- (1) 枕葉 (occipital lobe)：視覺功能的區域。
- (2) 顳葉 (temporal lobe)：聽覺功能的區域。
- (3) 額葉 (frontal lobe)：主要為情感、創造、意志、思考、語言的區。
- (4) 頂葉 (parietal lobe)：為空間辨識、空間感受、藝術的理解與鑑賞、語言的區域。

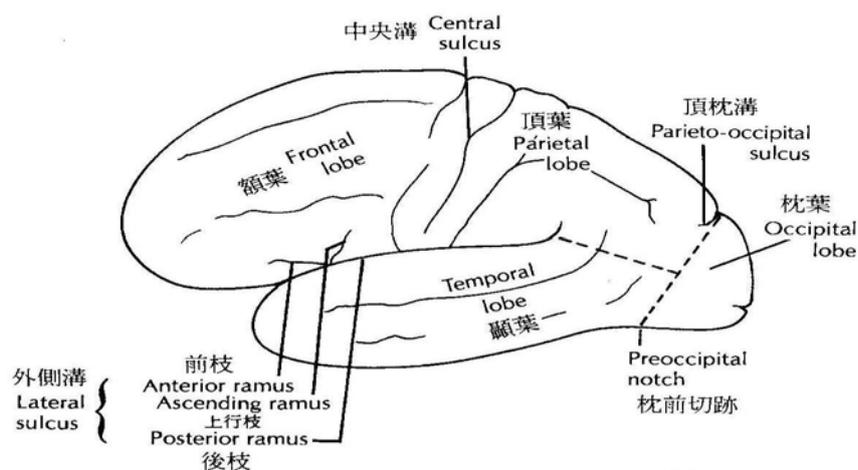


圖 1、大腦半球的分葉 (左腦, 外側觀)。

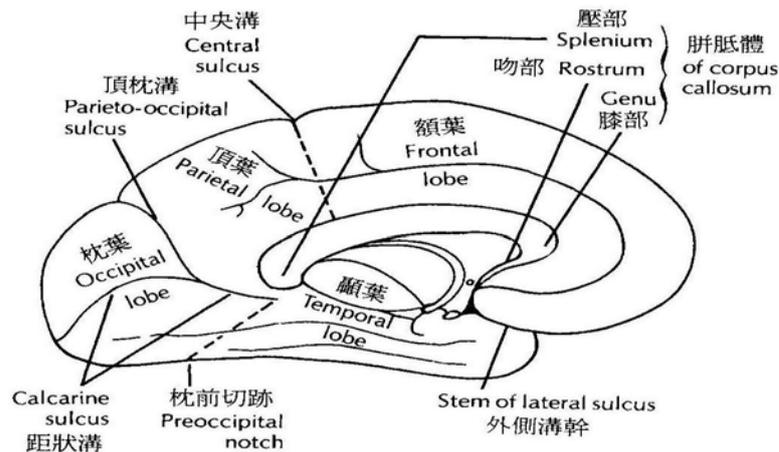


圖 2、大腦半球的分葉（左腦，內側觀）。

## 參、「推理」在認知科學中的相關研究

### 一、推理能力中歸納（induction）與演繹（deduction）在腦功能區域上的差異

關於推理能力，哲學家通常較感興趣於命題（premises）與結論（conclusion）之間知識的關係（epistemic relationship），而心理學家則關心推論（inference）的認知過程與機制（cognitive processes and mechanisms）（Goel, Gold, Kapur, & Houle, 1997）。推理能力在認知科學中的理論有兩種說法，一種為歸納與演繹是不同的，此說法所接受的是哲學家的觀點，認為演繹是由一種形式規則（formal rule）掌控過程，其規則與我們所知的邏輯演繹相似，而歸納則是指假設的產生與測試的形式，強調於從大量資料中去搜尋相關資料；而另一種說法則認為歸納與演繹是相同的，稱為統一模式（unitary model），而針對這樣的說法者又有兩派論述，一種為 Johnson-Laird, P. N. 的心智模式理論（mental model theory）：認為沒有所謂內化的邏輯規則，個體只是用所擁有的知識對於自己所持有的論點去詮釋罷了，另一派論述則是 Holyoak, K. 所指的內容專一性基模（content-specific schema theory）：認為推理的知識是從內容專一性基模提取出來（Braine, 1978;

Goel et al., 1997; Holyoak & Spellman, 1993)。

推理過程是認知心理學家想要了解的，但在過去祇能針對受試者的回答或是經由某項任務的完成來探討，但是隨著醫學科技的發達，現在已經可以直接窺視受試者的腦部，了解在推理時到底是腦的哪一個部位被活化了。為了探究歸納與演繹在腦部發生的位置是否相同，Goel 等人（1997）利用正子斷層掃描（PET）技術來解答。他們設計了 92 個論證（argument），去測試平均年齡在 28.4 歲，受教育平均為 18.4 年的 10 位右撇子男性，其研究的設計是讓每位受試者去判斷電腦螢幕出現的題目是演繹，還是歸納。其中演繹與歸納的題目各佔一半，其題型皆為三段式論法，舉例如下：

#### 演繹題

All men are mortal（所有的男人都是會死的）

Socrates is a man（蘇格拉底是一個男人）

therefore, Socrates is mortal（因此，蘇格拉底是會死的）

#### 歸納題

George was a woolly mammoth（喬治是一隻毛茸茸的毛象）

George ate pinecones（喬治吃松果）

All woolly mammoths ate pinecones（所有的毛象都吃松果）

由結果發現，演繹與歸納在腦的活化位置是有差異的。由實驗結果發現，不論受試者是在進行演繹或推理的活動時，皆是腦部的額葉被活化，但是若進一步將腦的額葉細分為上、中、下額回，則發現受試者在進行演繹時，左腦的下額回會被活化，而在進行歸納的活動時，左腦的上額回、中額回及扣帶回（相對於胼胝體的位置，胼胝體是人類邊緣系統的區域）會被活化（Goel et al., 1997），因此，解答了演繹與歸納在腦部的活化區域是有差異的。

## 二、進行推理時，是與空間區相關？還是語言區相關？

在 Goel (2000) 近期研究中，便是利用功能性磁振造影 (fMRI) 技術來探討「推理過程到底是涉及語言區域？還是空間區域？」，在這個研究仍是以三段式論法的題型來進行實驗，而因為題型涉及「內容」，因此稱之為「事件相關的功能性磁振造影」(event-related fMRI)。在總共 60 個題型中，有 30 個是有具體內容的 (contentful) 三段式論法，另 30 個則為無具體內容的 (no content) 三段式論法，舉例如下 (Goel, et al., 2000)：

### 有具體內容的 (contentful) 三段式論法

All poodles are pets (所有的捲毛狗都是寵物)

All pets have name (所有的寵物都有名字)

All poodles have names (所有的捲毛狗都有名字)

### 無具體內容的 (no content) 三段式論法

All P are B (所有的 A 都是 B)

All B are C (所有的 B 都是 C)

All P are C (所有的 P 都是 C)

在此研究中，7 位右撇子男性及 4 位右撇子女性的受試者平均年齡為 29.4 歲，受教育平均為 17.4 年。研究結果發現，具體內容的三段式論法推理主要活化左腦半球的顳葉部分，而無具體內容的三段式論法推理則活化頂葉的部分。在這個研究中也發現，當推論內容與受試者本身的信念衝突時，則會活化右腦前額葉皮質。由結果不難發現，似乎是當推理涉及具體內容與信念時，則額葉會被活化，此區域如先前所提，主要為情感、創造、意志、思考、語言的區域；而無具體內容的推理則與頂葉活化有關，此區主要為空間辨識、空間感受的辨識區域。

進一步，Goel 想要證實是否具體內容的推理會活化左腦半球的語言區，而抽象內容的推理會活化頂葉的空間神經網路（此研究的抽象內容題目，與上一個研究所設計的無具體內容推理相似）？研究者利用相同的事件相關的功能性磁振造影方法加以探討腦部活化的反應，同時設計了 60 個具體內容的推理題目與 60 個抽象內容的推理題目，如下所示(Goel & Dolan, 2001)：

#### 具體內容的推理題目

Nancy is younger than Karen (南西比凱倫年輕)

Karen is younger than Jake (凱倫比傑克年輕)

Nancy is younger than Jake (南西比傑克年輕)

#### 抽象內容的推理題目

N is younger than K (N 比 K 年輕)

K is younger than J (K 比 J 年輕)

N is younger than J (N 比 J 年輕)

其中參加此研究的受試者有 6 位右撇子男性及 8 位右撇子女性，平均年齡在 28.57 歲，受教育平均為 16.78 年。結果發現，不論抽象或具體的三段式論法推理皆在大腦兩側的「枕葉—頂葉—額葉」有活化現象，但「枕葉—頂葉」在抽象推理題目的活化面積較大，這樣的結果似乎說明了具抽象內容的推理在空間區域的活化較大。進一步想了解「具有信念與否的推理在大腦的活化是否不同？」，Goel 等人利用相同的功能性磁振造影方法加以探討。

### 三、信念對大腦皮質推理的活化區的改變

一個人對於所屬世界的信念往往會影響其對事件的判斷 (Goel & Dolan, 2003)。因此，在 2003 年最新的研究中，Goel 便利用相同的事件相關功能性磁振造影方法來探究這個問題。研究者設計了 120 個具有信念與不具信念的三段式論法，例題如下所述：

#### 具有信念的三段式論法

No poisons are sold at the grocers (沒有毒藥被販售於雜貨店)

Some mushrooms are sold at the grocers (有些蘑菇會被販售於雜貨店)

Some mushrooms are not poisons (有些蘑菇並不是毒藥)

#### 不具信念的三段式論法

(研究者使用了不具意義的英文單字，例如：monorchids 和 rhumbs)

Some monorchids are ground rhumbs(有些 monorchids 是地面 rhumbs)

All ground rhunbs are rare (所有的 ground rhunbs 都是稀有的)

Some monorchids are not rare (有些 monorchids 不是稀有的)

參與此研究的 7 位右撇子男性及 7 位右撇子女性受試者，其平均年齡在 30.8 歲，受教育平均為 16.8 年。由結果發現，具有信念內容的推理會活化左腦的顳葉；而不具信念內容的推理則與抽象內容推理一樣活化大腦兩側的頂葉，屬於空間區域；與信念衝突的推理則活化有腦前額葉區域，顯示情緒與具信念內容推理的相關性。

#### 四、小結

綜合以上來自加拿大研究小組的針對三段式論法推理所進行的研究結果，我們可以得知，當推理的內容是不具內容或是抽象，及不具信念時，活化的機制主要發生在頂葉與枕葉的區域，而這兩個區域被認為是主宰理解與視覺的區域。然而，當推理是具有內容或信念時，則活化大腦額葉與顳葉，這兩區可以分別視為語言區與聽覺區；特別是當推理內容與受試者的信念有衝突時，此時右腦的前額葉便會活化，表示與情緒反應有關。

然而，由以上認知科學的相關研究，除了讓讀者了解到各種推理內容在腦的活化部位是不同的之外，還有什麼是從事科學教育研究的我們值得思考的呢？筆者認為從上述研究可發現，受試者的年齡皆大於 28 歲，且受教育時間皆多於 16 年，似乎顯示了推理能力的穩定階段，但是同時是否代表著 28 歲之後推理能力的養成是無法有顯著的成效，值得進一步探討。此外，研究中的受試者皆是右撇子，是否代表左撇子的人在推理過程可能又呈現出不同的腦活化區域？又或者左撇子的人其推理能力較右撇子的人來的好？這些也都是需要進一步探究的問題，同時，更提醒了我們在幼兒教育的過程所面臨到左撇子學童的「糾正問題」，是否需要硬性規定用右手寫字，或是否在糾正之後影響了學童的思考能力發展，值得深思！

#### 肆、結語

由這些推理相關的研究結果，相信不難加深了我們對於大腦運作複雜性的印象，而反思這樣的結果帶給我們對於推理學習什麼樣的啟示時，除了需要進一步去研究了解推理的動態過程外，在教學設計方面的運用應該是最廣的面向，而這讓筆者想起多元智能的意涵。1983 年哈佛大學心理學家迦納（Howard Gardner）在其「心智架構」（Frames of mind）一書本文所中提出了「多元智能理論」，其

反應了現實生活中智能活動的多樣性與複雜性，迦納主張每個人至少具有八種智能，即語文、邏輯—數學、空間、肢體—動覺、音樂、人際、內省、自然觀察者等，但是，每個人都有屬於自己不同的智能強度，認為如果可以給予適當的鼓勵和指導，每個人都有能力使所有八種智能發展到一個適當的水準。然而，就腦神經網路發展的理論，也顯示出神經的發展是可以經由刺激而拓展，而且從本文所提到的相關研究結果得知，推理的能力是有許多大腦皮質結構參與，因此，筆者認為在學習的早期階段，我們還無法了解學童本身的智能特性時，應當適時地給予學童多元的教學刺激與學習環境，讓每位學童都可以接受到各種智能的啟發，就 Jemore Bruner 的觀點，每位學童都具有親自參與學習的能力，一旦學童本身發現在某一種智能的發揮可以適時地給予自己更多的學習興趣與滿足感時，此時學童個人特殊的智能便已經浮現，隨後在學習或是才藝方面再予以特殊智能的培養，可能更有事半功倍之成效。至於學童本身智能浮現的時機，便需要更多的臨床研究來加以探討與發現，但是更重要的還是需要教師與家長們付出觀察與關心，畢竟每一個人都是一個獨特的個體。

洛克斐勒大學的馬克文說：「人腦是始終在成長、在改變的，它靠刺激維生，而給與它刺激是永遠不會嫌遲的。」筆者認為，適時的鼓勵學童思考是身為教育者的我們需要共勉的目標。

## 伍、參考文獻

### 中文部分

徐淑媛、陳金山編譯（2001）：巴氏神經解剖學。台北：藝軒圖書出版社。

邱美虹（1994年）：高層次思考能力與學科學習。科學教育月刊第169期，20-34頁。

洪蘭譯（2000年）：腦內乾坤。台北：遠流出版。

洪蘭審訂, 李平譯 (1997): 經營多元智能—開展以學生為中心的教學。台北: 遠流。

科學月刊(2000年): 諾貝爾的榮耀—生理醫學桂冠。台北: 天下文化出版, 149-154頁。

第一次全國科學教育會議公聽會提案資料, 民91年10月。

### 英文部分

- Braine, M. (1978). On the relation between the natural logic of reasoning and standard logic interpret conditional sentences: A developmental study. *Psychol Rew*, 85, 1-21.
- Branscomb, A. W. (1981). Knowing how to know. *Science, Technology, & Human Values*, 6(36), 5-9.
- Driver, R., Newton, P., & Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84, 287-312.
- Goel, V., Buchel, C., Frith, C., & Dolan, R. J. (2000). Dissociation of mechanisms underlying syllogistic reasoning. *NeuroImage*, 12, 504-514.
- Goel, V., & Dolan, R. J. (2001). Functional neuroanatomy of three-term relational reasoning. *Neuropsychologia*, 39, 901-909.
- Goel, V., & Dolan, R. J. (2003). Explaining modulation of reasoning by belief. *Cognition*, 87, B11-B22.
- Goel, V., Gold, B., Kapur, S., & Houle, S. (1997). The seats of reason? An imaging study of deductive and inductive reasoning. *NeuroReport*, 8, 1305-1310.
- Holyoak, K., & Spellman, B. A. (1993). Think. *Ann Rew Psychol*, 44, 265-315.
- Kiernan, J. A. (1999). *Barr's The Human Nervous System: An anatomical Viewpoint*. Philadelphia, U.S.A.: Lippincott-Raven Publishers, Inc.
- Kuhn, D. (1993). Science as argument: Implications for teaching and learning scientific thinking. *Science Education*, 77(3), 319-337.
- Laugksch, R. C. (2000). Scientific literacy: A conceptual overview. *Science Education*, 84, 71-94.
- Miller, J. D. (1992). Toward a scientific understanding of the public understanding of science and technology. *Public Understanding of Science*, 1(1), 23-26.
- MOE. (1998). *1-9 grades curriculum guidelines*. Taipei: MOE.
- Resnick, L. B. (1987). *Education and learning to think*. Washington, D. C.: National Academy Press.
- Zohar, A., & Nemet, F. (2002). Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics. *Journal of Research in Science*

*Teaching*, 39(1), 35-62.

To reflect educational learning via researches in cognitive science:  
In the case of reasoning

Shu-Nu Chang

Graduate Institute of Science Education

National Taiwan Normal University

### **Abstract**

The development of Internet broke the boundary of knowledge and shortened the time to approach new knowledge as well. In such a society with plentiful knowledge and the pressing time to learn, what do we need to educate students after all? It seems to manifest the importance of thinking skills. The purpose of this article is to investigate the methodology of studying [higher-order](#) thinking skills in cognitive science based on the topic of reasoning. In the meantime, the author would like to explore the localization of reasoning in brain and the relationship with the known functions of brain. From the results discovered by researches from cognitive science, the active site of brain is not unitary when carried reasoning activity out. Moreover, the author would like to reflect educational learning via these researches in cognitive science.

Keywords: [Higher-order](#) thinking skills, reasoning, cognitive science, educational learning