

第貳章 文獻探討

本章說明本研究所使用的理論基礎與架構。第一節介紹國際數學與科學教育成就研究調查，第二節探討認知與解題，第三節探討影響學業成就的因素，第四節為我國學生在 TIMSS 1999 的表現，第五節則是探討數學與科學之統整。

第一節 國際數學與科學教育成就研究調查

本節介紹國際教育成就調查委員會成立的宗旨、TIMSS 的發展、TIMSS 的評量架構與說明。

一、國際教育成就調查委員會成立的宗旨

在 1950 年代，當時的比較教育仍多著墨於描述性的研究，參與聯合國教科文組織(UNESCO)會議的英美學者有鑑於此，並認為對各國間之教育系統，有其必要性來進行實證和量化的比較研究，因此推動成立「國際教育成就調查委員會」(International Association for the Evaluation of Educational Achievement, 簡稱 IEA)。IEA 是一個非營利性的學術法人組織，具有獨立性、跨國際合作的研究機構。其主要之目的有四 (IEA, n.d.):

1. 提供國際性的基準，以協助決策者來鑑定他們教育體系相對的優勢與弱點。
2. 提供高品質的資料數據，來增進決策者瞭解不論是以學校或非學校為基礎，影響教與學之關鍵因素。
3. 提供高品質的資料數據，來成為鑑定關心和行動範疇之資源與對策，以及作為教育改革的預備和評價。

4. 發展及增進教育體系之能力，來致力於教育監控和改進之國家策略。

當它自 1958 年開始時，IEA 已經建立超過 23 項在數學、科學、語言、公民和閱讀的課程領域方面之學習成就，作跨國的研究調查（見附錄一）。至今，曾經參與過 IEA 各項研究調查的國家約有 60 國。IEA 的調查，藉由大範圍的主題和學科內容，來對於國際間各國家、地區的教育過程和背景，予以較深入的瞭解與認識。這對於增進國際間、國家和本地學生學習來說，是個十分重要的資料來源，並且透過這樣的調查結果，可以促進推展教育政策和鑑別新議題(Martin et al., 2000 ; Mullis et al., 2001)。

除了研究結果的發表之外，IEA 對各國教育研究人員的訓練和研究能力的提升也展現了相當的熱忱。IEA 不但協助技術不足的會員國進行研究，以提供其研究人員在職訓練的機會之外，也舉辦各種和教育有關之研討會。將所收集相關的教育背景資訊，幫助參與國家改善教學環境和內涵，進一步來幫助學生的學習。作為一個沒有固定財源、跨國際合作的研究組織而言，IEA 能夠持續展現其學術活動力四十餘年，實屬不易，並且對比較教育之研究風氣與水準提升，真的是貢獻良多(戴曉霞，1995；IEA, n.d.)。

二、TIMSS 的發展

1964 年 IEA 舉辦了第一次國際數學教育成就調查(The First International Mathematics Study, FIMS)，而第一次科學教育成就調查(FISS)的部分則是包含在 1970-71 年六科研究調查(The six-subject survey)中；數學和科學教育成就又再度分別於 1980-1982 和 1983-1984 成為調查的目標，而形成第二次的國際數學和科學教育成就調查(SIMS 和 SISS) 有鑒於數學與科學為各國所重視的學科，並且在當時的年代，相當重視數學與科學的整合，於是在 1990 年，IEA 決定每四年一次舉辦數學和科學聯合測驗，從中比較各國學生的數學和科學成就

及其影響因素。這樣的決定便開始了第一次大規模的國際研究調查，測量並瞭解學生的成就表現趨勢，也就是在 1995 年舉辦的第三次國際數學與科學教育成就研究 (the Third International Mathematics and Science Study , 簡稱 TIMSS 或 TIMSS 1995)。參與 TIMSS 調查的共有四十二個國家/地區參加，不過台灣並未參與此次的調查之中(Martin et al., 2000 ; Mullis et al., 2001)。

在這四年後的 1999 年，舉辦了第三次國際數學與科學教育成就研究後續調查 (the Third International Mathematics and Science Study Repeat , 簡稱 TIMSS-R 或稱 TIMSS 1999)，為要追蹤各國家學生從小學到國中，數學與科學的學習成就及態度是否有所變化，並評估各國八年級學生的學習成就而推動之 (Martin et al., 2000 ; Mullis et al., 2001)。包含台灣在內，共有三十八個國家/地區參加，台灣參與測驗的為八年級生，成績表現相當出色，科學學習成就平均成績的國際排名為第一；數學總平均成績排名為第三(洪志明，2000)。

2003 年的國際數學與科學教育成就趨勢調查 (the Trends in International Mathematics and Science Study , 簡稱 TIMSS 2003)，我國這次同時參加了四年級與八年級的測驗調查 (IEA, n.d.)。在此次的調查中，含基準 (Benchmarking) 城市在內，參與八年級測驗的有 51 個國家，四年級的則有 29 個(見附錄二)。由此可以看出，TIMSS 的數學與科學教育成就調查已被許多國家認同，並且各國都希望透過這樣的調查能了解自己的國家在全球的教育概況中，學生的成就趨勢以及表現情形。

三、TIMSS 的評量架構的發展與說明

直到現在為止，TIMSS 已經舉辦過三次的數學與科學成就測驗，TIMSS 1999 是以 TIMSS 1995 為基礎，加以增修；同樣地，TIMSS 2003 是以 TIMSS 1995 和 1999 的評量為基礎，廣泛地刪修和更新。TIMSS 2003 的架構發展是始於從 2000 年的九月，其過程花費將近一年的時間，並且之後的其後兩年的時間亦不斷地在

進行會議討論、專家審定來予以最終的結果。在 2001 年的九月出版了「TIMSS 評量架構和說明 2003 (Mullis et al., 2001)」, 之後的第二版則加上了一些數學和科學試題的例子, 以及一些已摒棄的測驗試題設計, 也已於 2003 年的二月出版 (Mullis et al., 2003)。而根據這樣的架構, TIMSS 2003 的試題設計為部分採用先前 (即 TIMSS 1995 與 TIMSS 1999) 所保留的趨勢題, 再由題庫中找出內容相當並且書寫形式類似的題目填補, 如表 2-1-1。

表 2-1-1 TIMSS 2003 矩陣抽樣群組的設計(引自 Mullis et al., 2001, p.85)

題目來源	數學部分群組	科學部分群組
趨勢題目(TIMSS 1995 或 1999)	M1	S1
趨勢題目(TIMSS 1995 或 1999)	M2	S2
趨勢題目(TIMSS 1995 或 1999)	M3	S3
趨勢題目(TIMSS 1999)	M4	S4
趨勢題目(TIMSS 1999)	M5	S5
趨勢題目(TIMSS 1999)	M6	S6
新的替換題目	M7	S7
新的替換題目	M8	S8
新的替換題目	M9	S9
新的替換題目	M10	S10
新的替換題目	M11	S11
新的替換題目	M12	S12
新的替換題目	M13	S13
新的替換題目	M14	S14

由於每一個參與國的課程設計規劃都不盡相同, 因此在發展試題時建立一個評量架構, 如此方能讓各國學生測驗出來的結果加以比較與分析, 也才能使替換的題目有公正性的依據。以下幾點是 TIMSS 在設計評量架構時, 所考慮的因素 (Mullis et al., 2003) :

- 測驗內容應為大多數的參與國所具有的課程之中。
- 內容領域是經由 TIMSS 1995 和 TIMSS 1999 所施測的類別來加以修

改。

- 為將來數學與科學教育發展方向的重要內容。
- 採用作為評量學生的架構與內容具有其適當性。
- 採用作為大規模國際調查的評量的架構與內容具有其合適性。
- 測驗的內容能夠同時涵蓋並平衡內容與認知領域。

在這樣的大前提下，數學與科學評量架構又分別各自皆分為兩個主要面向 (Mullis *et al.*, 2003)：(1)內容領域：指的是評量的內容，也就是學科主題，可細分為幾個次領域。數學部分共有五類：數與量、代數、測量、幾何與資料分析；科學部分在八年級學生部分則是有生命科學、化學、物理、地球科學、環境科學這五類。(2)認知領域：指的是預期學生在接受評量內容時，可能達到的表現(所以認知領域在 TIMSS 1999 時，稱為預期表現)。數學部分有四類：知道事實和程序、使用概念、解決特定問題以及推理；科學部分則是：事實性知識、概念性知識以及推理與分析。下表 2-1-2 為 TIMSS 2003 在八年級學生數學和科學試題中，分別在內容領域和認知領域的分佈情形。

表 2-1-2 TIMSS 2003 在八年級試題中內容領域和認知領域的分佈情形

		數 學		科 學	
內容 領域	數與量(Number)	30%	生命科學(Life Science)	30%	
	代數(Algebra)	25%	化學(Chemistry)	15%	
	測量(Measurement)	15%	物理(Physics)	25%	
	幾何(Geometry)	15%	地球科學(Earth Science)	15%	
	資料分析(Data)	15%	環境科學 (Environmental Science)	15%	
認知 領域	知道事實與程序 (Knowing Facts and Procedures)	15%	事實性知識 (Factual Knowledge)	30%	
	概念運用(Using Concepts)	20%	概念性理解 (Conceptual Understanding)	35%	
	解決特定問題 (Solving Routine Problems)	40%	推理與分析 (Reasoning and Analysis)	35%	
	推理(Reasoning)	25%			

第二節 認知與解題

從認知的角度來觀察，是為了解人類行為，而對人類心智歷程及記憶結構來做科學的分析，個體的認知對解題方式的影響有許多，特別在 TIMSS 的題目中，每題都有顯示學生的認知領域（預期表現）所採取的策略，由於解題的策略會影響學生作答的情形，因此特別從下面來探討認知與解題的關係。

一、認知結構及其發展

認知在任何具有生命能力的作用中都存在，可分內容和形式兩方面討論，內容是指認知活動所涉及的特殊事件；形式則指認知活動的內在結構。

Piaget 稱個體以身體感官為基礎來瞭解周圍世界的基本行為模式為基模 (schema)。基模是人類吸收知識的基本架構，它會隨著年齡、經驗的增長而產生改變。在不斷與環境進行適應的接觸中，建構的動力是平衡作用，所有的認知作用都參與在此平衡作用中，其中最主要的就是同化 (assimilate) 和調適 (accommodation)。

Flavell (1977) 曾對同化和調適提出精闢的詮釋：

1. 認知就像其他的生理適應形式，總是表現兩種同時出現且互補的面向，一是同化，一是調適，是同一基本適應歷程不可分的兩面向。
2. 「同化」意義的本質是闡釋 (interpreting) 或解釋 (construing)，是個體以現有的，能獲得的或是喜歡的思考方式來闡釋或解釋外在事物。
3. 「調適」意義的本質可以說是注意 (noticing) 和認知的解說 (cognitive account)。是個體發現了外在事物的性質不同，而注意到該現象的關係，並企圖做一種認知的處理。

認知結構的內在機制(mechanism)，可以簡單的說是從不平衡狀態到平衡狀態，而涉及到同化作用和調適作用的一連串歷程(甘漢銑、熊召弟、鍾聖校，1996)。

然而認知發展不是憑空出現的，是必須依賴個體既有的基模來加以增添、調整與重建，因此，認知發展可用一系列的階段來加以描述。例如 Piaget 以感覺動作期、前運思期、具體運思期及形式運思期等四個階段來表示個體認知發展的主要階段。而 Bruner 則以動作表徵、影像表徵及符號表徵等三個階段來說明個體認知表徵的過程(朱敬先，1997；林清山，2002；張春興，1994)。

在解題過程中，學生需要有解此問題的先備知識和經驗，才有可提供使用的解題基模。當數學問題與學生的基模吻合時，學生只要用舊有方法來處理即可解題，在這樣的情況之下，基模只是多了一次成功的經驗，並無質的改變；但是當數學問題無法同化於基模之內時，學生就會改變基模以求解決問題，而基模經調整、適應過後，就會擴大增長，產生質的改變，並成為提供下次解題的新基模。此外，學生所要解的問題需和其現實生活相結合，以使所學的知識有可供運用的機會。

二、問題解決的基本概念

在深入了解「問題解決」的基本概念之前，有必要先對「問題」的意義與類型做理解與定義釐清，以便進一步了解問題解決的意義。

1. 問題的意義

問題的意義每個人的看法都不同，很難有所定論，但在認知心理學上有些學者的見解頗值得參考，有些學者認為所謂的「問題」是個體或團體面對一個需要解決，卻無法看出明顯解決途徑的一種情境；有的認為是個人想達到某種目標，而必須找出方法來達成目標的情境；有的則認為其是「呈現狀態」與「目的狀態」

的差異或距離；有的則認為當知覺和記憶因素相互作用的結果出現緊張狀態或壓力時，「問題」便發生了；有的則認為問題是一種語意的網狀結構，包含元素和元素間的關係(黃秀瑄和林瑞欽，1991；黃希庭等人，1992；鄭昭明，1993；鍾聖校，1992；Kahney，1993)。

總而言之，任何對「問題」的定義應該包含了三個概念，(1)問題目前在某個狀態，但(2)它希望到達另一個狀態下，且(3)並沒有直接地、明顯地途徑去完成改變。這樣的定義是相當廣泛的，範圍從幾何學(Greeno & Simon, 1988；Polya, 1957)和西洋棋(Newell & Simon, 1972)到謎語(Reitman, 1965)都可稱之。

2. 問題的類型

基本上，不同的問題類型，所需要的解題技巧也有所不同，但有時也會有所重疊。Greeno(1978)曾分析許多不同的問題，他歸納出三種不同問題類型，這三種類型也可以對應到解決問題所需的認知操作或認知技巧(黃秀瑄和林瑞欽，1991；Barsalou, 1992；Greeno, 1978；Reed, 1992)，後來又再增加第四種問題類型(Greeno & Simon, 1988)：

(1)引發結構的問題(problem of inducing structure)：這些結構包括問題中組成中的關係。常見的例子是「類比問題」，包括四個組成份，問題解決者必須決定四者相關的方式，而能適合 $A : B = C : D$ 的結構(亦即 A 之於 B 就如同 C 之於 D)。Greeno 認為解決這種問題所需要的主要認知能力是一種解題經驗的瞭解，有關類比問題的解題，Sternberg(1977)認為有五種主要連續歷程成分，即：編碼(encoding)、推論(inferring)、映像(mapping)、應用(applied)與反應(response)。

(2)轉換問題(problems of transformation)：一系列的運作，將呈現狀態轉換到目標狀態，例如以前流行的「魔術方塊」，以及有名的「河內之塔」(Tower

of Hanoi)問題也是此類。根據 Greeno 的解釋，此問題需要的主要認知方法是「方法 目的分析」(means-end analysis)，方法 目的分析是指人們知覺到目前狀態和所想要的狀態，之間所具有的差異，進而設計出能減少此差異的解題行動。

(3)安排問題(problems of arrangement)：問題解決者根據某些效標重組問題。典型的例子是「字謎」(puzzle)，做這類問題的主要認知技巧是建構式搜尋，必須想出各種方法，有系統地嘗試各種可能的字母組合，直到找到答案為止。

(4)演繹論證的價值(evaluation of deductive arguments)：雖然邏輯演繹已經被一些哲學家預示為人們推理能力的基礎，Greeno 和 Simon(1988,p.660)認為“心理學的分析並沒有提供證據成為信念，將演繹推理(deductive reasoning)視為一類不同於其他的思考過程。”演繹推理的例子包括評斷絕對的、有條件的、和線性三段論法的邏輯性。

3. 問題解決的意涵

解題是一種涉及以現有知識之組合為基礎的創造性活動(Gagne, 1985)。Mayer(1992)認為解題便是在符合限制條件的要求之下，用各種可能的方法，從已知條件狀態達到目標狀態的歷程。問題解決的過程是一種搜尋，嘗試將一個問題的各种線索組織在一起，它的結果在達成結構性的瞭解，這樣的過程需要重組各問題情境的要素於一種新的方式使得解題成功。許多學者指出，解題涉及問題表徵、知識轉變與解法評估等認知過程，而其順序依次可分為：發現問題、問題表徵、計畫解題方法、實行解題計畫和評鑑答案等階段。從以往的研究發現，在解題的過程中，解題者必須是問題狀態的變化，隨時修正其對問題狀態的表徵，選擇合適的領域一般性和領域專門性的解題策略以克服障礙，達成目標(Hayes,

1989 ; Gagne et al. , 1993)。

4. 問題解決的策略

就問題解決策略而言，認知心理學加大抵認為有兩種主要策略，即「演算法」(algorithm)和「啟思法」(heuristic)，以下分別說明(鄭麗玉，1993；鄭昭明，1993；鍾聖校，1992；黃希庭等人，1992；Reed, 1992；Kahney, 1993；王春展，1997)

(1) 演算法：

演算法是一種隨機尋求，途徑的選擇不需任何特殊知識，因此是將所有可能的解決方法列出，直到找出正確答案為止，雖一定能找到正確答案，但是其效率非常的低。

(2) 啟思法：

啟思法是運用問題中的訊息來找出正確或較可能的途徑，必須依賴問題解決者的知識與經驗。不需要一一探討所有途徑的可能性，因此較有效率，不保證一定會找出答案。以下幾種是常見的啟思法：

- A. 方法 目的分析(means-end analysis)：找出呈現狀態和目標(或次目標)之間的差異，並使用一些方法來減少其差異。問題解決者通常建立一些次目標，進而逐一循序漸進減少差距，最後達到目標，以解決問題。
- B. 倒向解題法(working backwards)：通常的解題方法是「順向解題法」(working forwards)，但有些問題卻適合於從目標倒向解題，如數學證明題，其方法是從未知推算到已知，可以避免走進死巷的機會，若與順向解題法並用，效果更佳。
- C. 類比法(analogy)：是指利用一個舊問題的解決方法與經驗，去解決另一個有類比關係的問題。

D. 繪圖(diagram)：視覺符號有助於顯示整個關係的外貌與問題結構關係，傳達很多概念，因此繪圖有助於問題解決。

三、解題歷程理論分析

自從 Dewey 提出問題解決的六階段論後，數學解題歷程的研究受到許多學者的重視(陳淑琳，2001)。在這邊舉出五位學者：Dewey(1933)、Polya(1945)、Laster(1985)、Schoenfeld(1985)、Mayer(1992)，都對解題歷程有其各自的看法，如表 2-2-1 所示。現今我們多數人談到解題，多半會提到 Polya (1945) 所提出的解題歷程四階段，而在其後的學者也都拿他所提出的解題歷程加以刪修。從這五位學者所提出的理論，來看其相異之處，Dewey (1933) 所提出的歷程中多出了「評鑑」過程，而這項過程雖然在面對問題解決時，看似沒有直接相關的關係，但是這樣的想法是可以整合舊有基模並予以省思，對下次在遇見類似問題來解決時有很大的幫助，在 Polya (1945) 中所提出的「回顧解答」，似乎也蘊含了這樣的看法。而在 Dewey 中沒有明顯提到，而另外四位學者都重視的歷程則是當我們在面對問題時，對題意的瞭解、對問題的轉譯是否有困難，而 Mayer(1992)更是直接點出這需要「語文知識」和「事實知識」。也從表 2-2-1 可以看出，越晚提出解題歷程理論的學者，越是重視或注意學生的認知及後設認知的行為。

儘管每個學者所提出的都有獨到的見解，不過這五位學者所提出的解題歷程，可以大致歸納為五階段分別是：遭遇問題（發現問題及對問題的知覺）、瞭解問題（對題意的瞭解及確認題目的性質）、擬定計畫（提取舊經驗及提出可行的解題策略）、執行計畫（執行合理的計畫）與回顧驗證（檢驗答案的正確性）。並且可以從這些過程從中發現，數學解題歷程是一種以統整的概念與規則，來從事思維、歸納與演繹的理解過程，而在解題中，特別重視解題的歷程與推理、有

意義的學習和概念理解(Resnick & Ford,1981)。在 TIMSS 的研究調查中，學生面對不同的題目類型所採取的解題歷程亦不盡相同，但是透過這些學者所提出的理論，可以作為判斷及辨別學生的解題策略、方式，和他們解題過程中面臨到的困難點為哪一階段的一個參考依據。

表 2-2-1 解題歷程的理論之整理

提出學者	解題歷程	說明
Dewey (1933)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 發現問題或困難：遭遇或感覺困難的存在，即確認問題的情境。 2. 定義問題：確定問題的性質。 3. 擬定計畫：提出可能的解決方案。 4. 執行計畫：選擇合理的方案執行之。 5. 體驗解題結果：驗證而成立結論。 6. 評鑑：回顧並評估解題結果是否滿足最初條件及尋求解題方法與結果的一般化。 	解題理論大部分是跟源於 Dewey 所出版的「我們如何思考 (How we think)」這本書 (Noddings, 1985)。
Polya (1945)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 瞭解題意：瞭解問題問什麼，已知是什麼、未知是什麼、條件是什麼、做一個圖、引入適當的符號。 2. 擬定計畫：自問曾做過相關的問題嗎？能解部分簡化的問題嗎？擬定解題的方法、策略和執行步驟。 3. 實行計畫：執行所擬定的計畫，並檢驗每一個步驟。 4. 回顧解答：檢驗答案的合理性、用不同的方法求解或將此方法應用到不同的問題。 	Polya 是繼 Dewey 之後較早提出解題歷程與策略的學者，而後繼的研究者大都以其所提的解題四階段為基礎，加以增刪或修改。Polya 在其“怎樣解題 (How to solve it)”一書中探討了有關解題的歷程。
Lester (1985)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 問題的知覺 2. 問題的理解 3. 目標分析 4. 計畫發展 5. 計畫執行 6. 執程序程和答案的評估 	Lester 修正 Polya 的模式，加入後設認知成分。認知因素包括導引、組織、執行、驗證，後設認知因素包括個人變項、工作變項、策略變相，而後設認知的決策導引認知活動。

表 2-2-1 解題歷程的理論之整理 (續)

提出學者	解題歷程	說明
Schoenfeld (1985)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 讀題：開始於解題者閱讀題目的時候,包含解題時複述題目中重要條件的情形。 2. 分析：讀題後,瞭解問題的陳述,有系統得重新陳述問題。 3. 探索：讀題後,尋找解路徑。 4. 計畫：於分析或探索階段獲得一解題路徑,依此路徑規劃解題步驟。 5. 執行：將所規劃的步驟逐一執行。 6. 驗證：檢驗答案合理性之驗算工作。 	<p>Schoenfeld 出版的「數學解題」一書中,認為數學解題是由資源、啟發、控制與信念系統所組成(楊瑞智,民 83)。並從控制的觀點,將解題歷程分為六個階段(陳淑琳,民 90)。</p>
Mayer (1992)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 問題轉譯：是指將每一個陳述句轉譯為內在表徵,也就是理解語句之間的關係,將每一個陳述句加以解釋；這需要有「語文知識」和「事實知識」。 2. 問題整合：包括認識問題的類型、認識有關及無關的資料,決定解答問題所需要的資料、用圖示來表示問題等,這需要有「基模的知識」。 3. 解題計畫及監控：包括「數字語句」或「方程式」或「必須的運算列式」來表示問題、建立次目標、下結論等,能夠想出及監控解題計畫,這需要有「策略的知識」。 4. 解題執行：包括運用演算法則進行單純或連續的計算,能夠準確的和有效的執行解題計畫；這需要有「程序性的知識」。 	<p>Mayer 從認知心理學觀點,將解題歷程分為問題表徵以及問題解決兩個步驟,而每個步驟又分別分為問題轉譯、問題整合及解題計畫及監控、解題執行二個子步驟。</p>

第三節 影響學業成就的因素

TIMSS 的研究調查，最主要的目的就是想瞭解學生的學習成就情形，而這也是身為教育工作者所想要關心的重點，因此加以探討影響學業成就的因素。

一、影響學習的因素

Wang Haertel 與 Walberg(1990)做了一份後設回顧(meta-review)的綜合調查，從一百多篇的文獻中探討什麼是影響學習的因素。包含認知與情意面向，他們將影響的因素分為六大類，將之整理為下表 2-3-1：

表 2-3-1 Wang 等人(1990)對影響學習的因素之後設回顧整理

	影響學習的因素	說明	例子
1	國家與地區	有關於學校所在的國家和地區	政府所訂定的課程和教科書的政策、舉行測驗和學生畢業的要求與條件、以及教師執照的核發
2	校外背景	有關於住家與學校附近社區的背景	社區人口大小、同儕文化、父母的支持和參與、以及學生課後時間花在看電視、閱讀休閒讀物、和做家庭作業的時間
3	學校層級	有關於學校的人口統計、文化、風氣、政策與活動	學生的人數、學校是公立或私立、財源與所做的決策
4	學生自身	有關於學生個體本身的背景與其個人特質	學生過去的學術表現、社會化行為、動機、認知和情意
5	課程設計	有關於教學設計以及課程安排	教學策略、課程的目標與內容、分組人數、教具使用、作業與評量
6	執行的課程、教室裡的教學和班級風氣	有關於所執行的課程與教學	班級常規和活動、班級經營、師生互動、教室風氣

在這份研究中同時也顯示出，這六大因素影響學生學習成就最主要的是課程設計，其次是校外背景；而這六大因素下的細項中，影響學習最大的幾個因素分別是：學生的後設認知、班級管理、教學的品質、師生在社會面向的互動、班級風氣、同儕的影響。此研究的結論更是反應了教學的品質對學生學習成就的重要性及影響力。

我國國二學生在參加 TIMSS 1999 時的調查研究顯示，影響其科學學習成就的因素有教師因素、學生個人因素、家庭因素以及性別因素等(張殷榮，2001)，整理如下表 2-3-2。

表 2-3-2 我國國二學生參加 TIMSS-R 影響科學學習成就因素(張殷榮,2001)

影響因素	細項類別及說明
教師因素	<ol style="list-style-type: none"> 1. 科學教師對於學生科學認知及解決問題的強調程度越高者，學生的平均測驗分數也會越高 2. 科學教師對於學生家庭作業的要求程度越高者，學生的平均測驗分數也會越高
學生個人因素	<ol style="list-style-type: none"> 1. 學生期望自己完成教育程度越高者，學生科學成就的測驗分數平均來說也較高。 2. 學生對自然科學之認同程度越高者，學生科學成就的測驗分數平均來說也較高。
家庭因素	家長教育程度、家中藏書量和擁有相關教育工具的程度越高者，學生科學成就的測驗分數平均來說也較高。
性別因素	女生科學平均成績約為男生的 97%；女生成績之標準差約為男生的 88%，顯示國內國中階段學生平均科學學習成就，女生略遜於男生；而科學學習成就之個別差異程度，男生則明顯高於女生。

而羅珮華(2004)從 TIMSS 1999 的資料比較七國的國中學生學習成就與其特質的關係中更進一步去發現，我國學生科學成就最高相關的十個特質變數由高至

低分別為：家中藏書、自己最高學歷之期望、對科學的應用信念、對自然科學困難度的想法、校外閱讀頻率、自評在科學的表現、喜歡自然科學的程度、在家講調查語言的頻率、對科學的興趣態度以及每日讀書時間。洪志明(2001)說明我國國二學生課餘學習時間參加課外數學和自然科學輔導或補習的學生人數比率比國際平均值高，且花3-4小時學習者數學和科學的平均成就較高，但是參加科學或數學的社團活動及打工的學生人數比率則顯示出低於國際平均值。

這樣的結果，與Wang等人(1990)所做的研究調查有相似之處，都認為教師、學生個人、校外背景會影響學生的學習成就。另外張殷榮(2001)提到性別因素，這也是許多研究發現影響學業成就的因素之一，特別於下一段來提出討論。

二、性別差異與學習成就

研究證據顯示，女性在對自己的生活所做出的決定和男性是不同的。這些決定是她們和人、事、物的互動方式和經驗、自我認同和多重生活角色的期待所產生的(Baker & Leary, 1995)。Gilligan(1982)發現高成就和成功的女性描述她們的人際關係方面時，她們的身分是屬於母親、妻子、情人和孩子的角色，而不是她們在學術或專業成功的部分。Arnold(1992)發現在學術上頂尖的女性有著評斷成功在於人際關係方面的傾向，而且在做決定時，強調工作和家庭生活間的平衡。正因為男、女孩在科學的態度、能力及成就上有所差異，而導致男女科學教師對科學教育的重要性評估時，傾向於認為科學對男孩比較重要(Spear, 1987)。課堂互動普遍存有性別偏見，使學生喪失合理的學習環境與機會(Sadker, Sadker & Klein, 1991；謝臥龍和駱慧文, 1992)。根據Wienekamp et al.(1987)的觀察研究中顯示，教師確實給予男孩更多注意、鼓勵，上課中允許男孩說話時間多過於女孩，男孩也表現出更積極的參與，這種差異若是在男女合班則更加明顯。在面對失敗時，男孩被鼓勵再去嘗試一次，女孩則允許選擇放棄(Oakes, 1990；

Wilder & Powell,1989)。在各形式的教學下，女孩比男孩較少去接觸或使用到科學儀器，實作(hands-on)活動，和電腦(Kahle & Lakes,1983 ; Sutton,1991)。在教學歷程中，男生與教師的語言或非語言的互動率明顯高於女生，而這樣不同互動模式的結果，常導致女生喪失許多學習的機會，特別是數、理科的學習(謝臥龍、駱慧文，1997；余曉清，1997)。而這樣的狀況，也使得許多的研究中都顯示出男生和女生在學習成就是有所差異的。若拿物理、化學、生物這三科來比較，男生在物理科方面表現出色，女生則是在生物科方面，而化學科則是持平，男女間的差距不大，不過整體說來男生在科學科目上是優於女生的(Comber & Keeves,1973)。Maccoby 及 Jacklin(1974)針對性別差異做了深入的探討，總結如下(1)女生比男生有較高的字彙能力；(2)男生比女生有較高的辨識空間關係(visuospacial ability)的能力；(3)男生比女生有較高的數學能力(引自李田英，1988)。Maccoby(1990)的文章更是對性別關係做了進一步的探討，引用 Eagly(1987)和 Wood et al.(1985)的研究報告來說明女生組別在處理討論、協調的工作上有較成功的表現；而男生組在想法的統整、給予和接收訊息、建議與意見上有較好的表現。顯示出男女的確是有差異，而這個差異只是用不同的方式解決問題，並不代表孰優孰劣。Benbow 及 Stanley(1980)從學生的測驗結果中發現，男、女生在數學的推理能力(reasoning ability)上有很大的差異，特別是高分群的學生中，男生明顯優於女生且比例懸殊，卻也發現男生的成績差異性很大。

而在我國的中、小學生方面，黃湘武等人(1995)針對六千餘位中小學生水平面及空間概念的測試結果顯示，男女性別差異在七至八歲時即已顯示在較低概念階層的發展上，而在九至十歲以後開始呈現在較高概念階層的發展上，然後隨年齡之增長而逐漸擴大。當女生在十四至十五歲時，她們的發展程度只相當於男生在十二至十三歲時的發展程度。而楊龍立(1992)的研究則是發現生活經驗、空間能力、科學及科學家的男性形象，三項因素顯示與科學教育中的性別差異有密

切關係。並認為整體來說，科學教育中的性別差異現象是男性在科學成就表現較好，對科學的態度與興趣較積極。

接著來看 TIMSS 歷次的研究調查情形，首先在 TIMSS 1995 的測驗結果中，八年級的學生在科學科目比數學科目的性別差異來得明顯。在數學測驗部分，男生在對於使用特殊技巧或策略的解題方面表現較好，特別是在於空間推理、閱讀圖表和有關於百分比之類的問題；女生則是對於一般計算或是使用基本規則的方法來解決問題部分表現較佳，特別是在於代數方面。而科學測驗部分，大致上男生的表現優於女生，不過在生命科學和環境議題部分則是女生表現約略較好，男生則是在地球科學和物理表現明顯優於女生，特別是有關於圖表的題目。並且在 TIMSS 1995 的結果顯示出，不論是在數學或科學方面，有著年齡越大性別差異也越明顯的傾向 (Mullis, 2000)。而在 TIMSS 1999 的測驗結果中，八年級學生在數學測驗部分，大多數的國家都顯示出男女生的性別差異在成就表現上是可以被忽略的；而在科學測驗部分的成就表現上，男生的表現依然比女生較好，且達顯著差異。然而不論在數學或是科學的測驗結果都顯示出，在高成就表現的學生身上，男女生的差異皆達顯著。不過，從 TIMSS 1995 至 TIMSS 1999 的測驗結果中也呈現出，並沒有再增加性別間的差異，在科學的部分還有縮減的現象 (Martin et al., 2000)。

性別的差異，並不代表我們具有在教學歷程中產生偏見或不平等對待的理由。科學教育具有使科學知識的普及化以及發展學生潛能的功能，其目標是讓所有學生都能學習科學，具有基本的科學素養，甚而對科學有興趣，進而追求科學相關生涯。研究性別差異問題之必要性，在於瞭解兩性學生學習現況以進一步幫助學生學習科學 (佘曉清, 1998；吳心楷, 1997)。

第四節 我國學生在 TIMSS 1999 之表現

本研究中為要比較我國學生在 TIMSS 2003 的成就表現，在國際間的排名異動情形，因此在本節先從文獻中來看我國八年級學生在 TIMSS 1999 國際間的表現為何，並且從國內先前許多對 TIMSS 1999 的研究來看我國學生在此次調查中所呈現出來的現象及情形。

TIMSS 1999 於 2000 年十二月五日全世界同步公布調查結果（洪志明，2000）。由於在這次的後續調查中，我國僅八年級學生參加，因此所提的調查結果也是單指八年級學生群。我國八年級學生的學習成就在國際間的排名，在數學方面的成就成績總平均為參與施測之 38 個國家中排名第三，但數學的前四個國家（即新加坡、韓國、台灣、香港）並無統計上顯著之差異，表 2-4-1 便是在 TIMSS 1999 數學成就排名前十名的國家比較情形。

表 2-4-1 TIMSS 1999 八年級學生平均數學成就的比較(Mullis et al., 2000)

國家	新加坡	韓國	台灣	香港	日本	比利時	荷蘭	斯洛伐克	匈牙利	加拿大
新加坡										
韓國										
台灣										
香港										
日本										
比利時										
荷蘭										
斯洛伐克										
匈牙利										
加拿大										

註： 表示平均成就顯著高於所比較的國家

表示與所比較的國家並無達統計上的顯著

表示平均成就顯著低於所比較的國家

而在科學的部分，我國成績總平均為參與施測之 38 個國家中排名第一，不過和新加坡、匈牙利、荷蘭間並無達到顯著差異之外，表 2-4-2 便是 TIMSS 1999 科學成就排名前十名的國家比較情形。可以從表中可以看到，對於前十名的國家來說成就表現其實是差不多的，只有我國的表現與其他國家相比是顯著較高的。

表 2-4-2 TIMSS 1999 八年級學生平均科學成就的比較 (Martin et al., 2000)

國家	台灣	新加坡	匈牙利	日本	韓國	荷蘭	澳洲	捷克	英國	芬蘭
台灣										
新加坡										
匈牙利										
日本										
韓國										
荷蘭										
澳洲										
捷克										
英國										
芬蘭										

註： 表示平均成就顯著高於所比較的國家

表示與所比較的國家並無達統計上的顯著

表示平均成就顯著低於所比較的國家

再從其他的內容領域類別部分來看(見表 2-4-3), 在數學方面有五個類別，代數第一，分數與數感、測量、資料表徵，分析和機率這三者第三，幾何則是第四；在科學部分則有六個類別，可以從表中看出化學及生命科學為第一，物理及環境與資源議題第二，地球科學為第三，科學探究與科學本質第四，這樣的結果也代表著不論是哪一項我國八年級學生都是在國際間排名前五的優秀成績。

表 2-4-3 我國八年級學生在 TIMSS 1999 的成就表現

數學內容領域	國際排名	科學內容領域	國際排名
分數與數感	三	物理	二
代數	一	化學	一
測量	三	生命科學	一
幾何	四	地球科學	三
資料表徵，分析和機率	三	環境與資源議題	二
		科學探究與科學本質	四

也正是因為我國在第一次參加 TIMSS 的成就調查有著振奮人心的結果，因此在 TIMSS 2003 年除了八年級之外，更加入了四年級的成就測驗，並也讓人持續地注意及關心我國八年級學生接下來在 TIMSS 2003 的成就表現情形。

關於 TIMSS 1999 八年級學生的調查方面，亦有許多人對此次調查投入研究。如張一誠（2002）從我國國中教科書的內容來分析國二學生在科學方面的表現，在研究中發現國中教科書對於國二學生的學習成就是有影響的，尤其是以前未曾學過或是平常不容易接觸到的概念，課本有沒有提到這些概念對於學生來說影響很大。另外張一誠也發現學生在非選擇題中需要「解釋說明」的題型答對率偏低，雖然學過這些概念但仍表現不佳。同樣在科學方面尚有劉佳容（2002）從我國國二學生理化學習成就分析方面來看得到五個結論：1. 使用理化新教材的學生學習成就較好；2. 我國國二學生理化的推論分析能力較差；3. 我國國二學生常犯的理化錯誤概念，其再現性很高；4. 多數的學生會受理化教材內容影響其作答；5. 國二男生喜歡科學的程度顯著高於女生。在數學方面則有洪瑞鎂（2001）利用 TIMSS 1999 來探究台灣國二學生的數學基本能力，來提出我國多數學生對於數學的知識和運算技巧大致可以瞭解和使用，但是對不是教科書中常見的內容，與

生活上實際應用需要「量感」、「數感」的試題，以及需要「自行產生推論和解釋過程」的問題，學生的表現則呈現薄弱、不熟悉。

另外除了在前一節提到關於在 TIMSS 1999 影響學生成就表現的特質因素的一些研究，如：張殷榮（2001）、洪志明（2001）以及羅珮華（2004）之外，尚有洪佳慧（2002）從教科書內容與性別面向分析國二學生在生命科學以及環境與資源議題的學習表現，發現學生的性別和學習成就沒有顯著相關，但女生在「非選擇題」需仔細作答的題目上有些微的優勢存在。

從上述所提的研究可以發現我國已有不少人投入瞭解八年級學生在 TIMSS 1999 的表現情形，並且對於學生的一些表現及所具有的特點來加以剖析，這些都是為了要幫助瞭解及提昇我國學生在數學及科學的學習成效。

第五節 數學與科學之相關性

不論是國內還是國外，都十分重視和強調數學能力和科學探究。一般人也都認為科學與數學之間，確實有密切的關係。蔡淑君、段曉林（2004）提到了科學與數學的統整，並且用「溫度與熱」單元來連結九年一貫科學與數學的能力指標，並且強調在科學學習情境中數學能力或數學語言所扮演的重要角色，突顯科學與數學學習的相關性，並且引發教師在科學與數學統整方面的注意。雖然在國內現下所推行的九年一貫課程綱要中，提及科學與數學的關連（教育部，2004），但是事實上，在現今的國中教材領域中，常常出現的情況是數學教師負責數學的部分，而科學教師負責自然與生活科技部分，各自獨立運作，鮮少予以統整。並且在國內深入探討這兩門學科間的連結者卻是甚少。然而在國外自 1989 年起，不約而同有許多機構與研究人員就特別疾呼科學和數學的整合，並且認為必須讓科學和數學來搭起之間的橋樑。

在美國科學促進協會所推動 2061 課程計畫（Project 2061）中之研究報告 - 全民的科學《Science for All Americans》（American Association for the Advancement of Science[AAAS]，1989），在書中第二章談到數學的本質，並且舉出一些理由來說明科學與數學之間的關係。第一、認為科學給予數學有趣的問題來探討，而數學給予科學有利的工具來分析資料；第二、數學是溝通並主宰科學間的語言，給予科學的文法；第三、數學和科學有許多特徵是相同的，例如：嚴謹的邏輯、公開的、用最簡約可理解的方式呈現 等；第四、數學和科技也是彼此相互發展的關係。研究報告便是用這些理由來呈現出數學在科學中的重要地位以及價值所在。Ormerod 與 Duckworth(1975)學生對科學學習感到困難是源自於數學能力的障礙（引自蔡淑君、段曉林，2004）。這樣的看法說明了在科學的學習上，數學所扮演之角色。

Berlin(1989)便提到為了促進科學和數學的教和學，科學和數學教育的整合

是必然的，因為透過這樣的整合可以提供真實世界的經驗與應用，而來鼓勵學生參與，並且讓學生同時在科學與數學的概念、技巧和過程上的理解較為容易。Underhill(1995)進一步呼應來指出數學和科學需要對話，並且指出數學和科學的關係有六種觀點，沒有交集、有一些交集、完全相同、數學是科學的子集、科學是數學的子集、數學和科學間有絕大部分的交集。而確實在數學和科學的內容關係上，有一些如理論數學的部分並沒有和科學有所關連，但是有一些是極為密切不可分的，這樣的部分便是我們需要加以統整之處。而 Lederman and Niess(1998)則舉出「五個蘋果 + 四個橘子」這樣的例子來說明數學和科學的整合。他們強調對於「整合」課程的意義在未來的發展上不應該是去嘗試分解課程和設計不適宜的混合，如同他們舉的例子，有可能是 9 個水果，也有可能是不良定義或無意義。因此，由數學和科學的本質來作為整合方法是基本且重要的。Berlin & White (1998)指出統整科學與數學已被作為提升學生理解、成就、態度的途徑，可以幫助學生獲得學科間緊密的連結與相關性。因此不難看出為讓學生能進一步提升數理學科之能力，統整科學與數學是重要的一環。

第六節 文獻對本研究的啟發

從 TIMSS 的發展中可以看出國際教育成就調查委員會對於各國間之教育系統所進行的實證和量化研究是不餘遺力的。並且也確實在試題的設計、安排上有十分完善的架構與組織，也在每一次的研究調查中做適當的修正。也正因為如此，TIMSS 的研究結果也被許多國家所信服，也能夠相信調查結果可以看出國家學生的趨勢發展，以及和參與各國之間的差異。IEA 從各別舉辦數學、科學成就的國際調查，到後來形成聯合測驗，正是因為體認到數學與科學整合的重要性。因此，藉由這樣的調查結果，可以作為數學和科學相關以及之間關聯的量化資料。特別是在國內，關於數學與科學統整的文獻並不多，雖然教育當局及許多民眾的心中，也常認定數學與理化有密不可分的關係。但是該如何統整，或之間究竟有什麼關係，卻沒有清楚的得知或界定。從文獻中透過許多國外學者對數學及科學統整的想法，並且提出呼籲的情形，這勢必將成為我國教育中所要面對及重視的問題。

而在 TIMSS 的試題，每題都以其內容和認知類別來予以分類之。由於問題解決一直是一個重要的議題及討論，亦有許多學者對解題歷程提出理論。在本章第二節中有提到總結學者對解題歷程的理論看法，可歸納為五個階段：遭遇問題、瞭解問題、擬定計畫、執行計畫與回顧驗證，是相當重視統整概念來進行思維、歸納與演繹的過程，並且這樣的過程有其先後順序。因此我們可以從學生在 TIMSS 的答題情況來判斷我國學生在執行解題時，在哪一個階段的能力最需要加強或欠缺，來協助學生在面對解題時採取正確、有效的方式。在問題解決的策略方面，在認知心裡學上大抵分為兩種主要方法：「演算法」和「啟思法」。而採取可行及正確，或是可以幫助釐清問題的策略，在解題過程中是佔有非常重要的角色。文獻中所提到的一些常見的方法，確實是可以幫助學生在解題上得到答案或有所進展。教師可以針對學生所提出的策略，或是不知道該採用何種方法來提供引導或教學，以協助學生建立解題的基模。

文獻也針對影響學業成就的因素來加以探討，特別是歷屆 TIMSS 中我國學生呈現出來的情形。可以發現我國八年級學生的學習成就是受到教師因素、學生個人因素、家庭因素及性別因素，影響科學成就的因素中相關係數較高的則為「家中藏書」、「自己最高學歷之期望」...等。我們可以從這邊來看出學生的成就表現是受到許多因素的影響，師長或學生本身可以採用一些對自己可行的方式，或提供一些有利的協助，來幫助學生學習。儘管有一些先天的條件不同，但是後天的培養與注重是更為重要的，因此我們可以從這些因素來著手，成為教學上或培育孩童上的一大訊息。本研究也將繼續探討我國在 TIMSS 2003 的調查結果是否和文獻所提的內容相同或是有所變化。

國內已經有些人針對 TIMSS 1999 的調查內容來參與研究，看到我國八年級學生在 TIMSS 1999 的成就表現，確實為國內的教育打了一劑強心針，知道我們國家學子的表現是十分優良。不過「精益求精」，我們不能因此自滿，因為教育是百年大業，是攸關國力之事，「學如逆水行舟，不進則退」，期待學童學得更好，也有學習的動力及興趣在這樣的過程之中。因此本研究也將針對 TIMSS 2003 的答題狀況與 TIMSS 1999 學生的表現來加以比較，與先前的研究有哪些異同之處，並根據這些比較分析的結果來作為建議及教學上的啟發。