

由「超炫 3D 立體鏡」的創製 探索兒童科學專題的學習歷程

張政義、熊召弟*

摘 要

本研究主要是藉四名小學高年級學生製作「超炫 3D 立體鏡」科學作品的探究歷程，來呈現科學專題研究歷程的教育意義與價值。本研究蒐集實地觀察的場記、非正式晤談和師生對話的錄音帶轉譯以及學生的札記、實驗計畫與作品說明書等文件，做為分析的資料。研究發現：（一）在觀察現象階段，學生以「問題為中心」融合舊經驗，創塑目的性的循環學習模式，主動建構專題探究的流程，發展出科學社群的雛型；（二）在實驗研究過程階段，學生藉由「問題因子」的交互作用發展「研究問題」，以「十字」型的交叉思考模式提供「解決問題」的發展策略；（三）在實驗研究整理階段，學生利用學習遷移呈現出研究結果，並由脈絡抽離化的實驗活動歸納各項結果的原則性，形成結論，成為科學知識的建構者。學生交織運用高層次的規則，歸納出與問題解決技能的相關結果，因此依「學習者為中心」的主動建構的探究經驗，不僅可以呈現科學專題作品的教育意涵，並可提供科學教學多元化發展方向之參考。

*張政義：台北縣中和市興南國小教師

熊召弟：國立台北師範學院數理教育研究所教授

關鍵字：科學專題，科學探究，光學概念

由「超炫 3D 立體鏡」的創製 探索兒童科學專題的學習歷程

張政義、熊召弟*

壹、緒論

在這科學技術日新月異的局勢下，科學教育不僅應培養學生重視「科學態度」、「科學方法」與「科學知識」，更應加強學生「解決問題的能力」（教育部，民 91）。爾來各種形式的學生科學專題日益普遍與多元，國內、國際間的各種科學專題報告，成為教育文化的重要交流活動。在電腦網際網路（Internet）上舉辦的科學專題博覽會，使得學生涵育科學創意的作品可以跨越時空經驗交流。然而，在「活動導向」之專題探究歷程，於「指導」與「學習」方面，是否具有真正「做中學」的「真實性」？是當今科學教育研究值得關注的問題。

本研究係一位具有多年帶領學生參與台灣科展競賽經驗的小學老師透過觀察學生設計製作「超炫 3D 立體鏡」科學作品，描述四位小學生進行科學探究的歷程。「超炫 3D 立體鏡」作品涉及光學概念的「光和像」，本研究所稱的「光」，是指眼睛能夠感覺的白光，因為光源不同或受到外界物質的影響，有時呈現不同顏色；所稱的「像」是指立體影像（Stereoscopic Images），就是需要由雙眼才能真正看得到具有深度、層次感的影像。由於光學題材在國內外中、小學課程都是極重要的領域，環顧與人類生活息息相關的科技產品，莫不與光學概念有重要的關聯性。光學概念確是一般科學家與科教學者認為是人類求知過程中不可忽略的一環（郭金美，民 88）。本研究即欲透過光學概念相關之學生科學專題作品探究流

*張政義：台北縣中和市興南國小教師

熊召弟：國立台北師範學院數理教育研究所教授

程，呈現科學專題研究的教育意涵，試圖描繪推展科學教育之可行方向。

本研究依學生進行科學專題探究的歷程，循主題擇定、問題形成、方法設定、資料收集、結果的整理與產生結論的流程，分「觀察現象」、「實驗研究過程」、「實驗研究整理」三個階段，進行如下問題的探討：

(一) 在觀察現象階段中，學生是如何決定研究的方向？

1. 「研究主題」與「動機」的形成過程為何？
2. 「研究目的」的形成過程為何？

(二) 在實驗研究過程階段中，學生是如何進行研究？

1. 「研究問題」的形成過程為何？
2. 「研究設備與器材」選擇及使用的過程為何？
3. 「研究方法」形成的過程為何？

(三) 在實驗研究整理階段中，學生如何來呈現研究結果？

1. 「研究結果」的歸納情形與內容為何？
2. 透過「討論」歸納「研究結論」的結果與歷程為何？

貳、文獻探討

從事科學專題研究是一種有計畫的科學學習活動，教師必須是「理論家」與「實踐家」，不能以憑空想像或是「想當然耳」的方式來進行指導，必須有學習理論的根據，做為學習指導的基礎與策略，協助學生執行這項問題解決的計畫，因此本研究之理論建構分三方面加以探討：

一、學習理論

本研究以「發現式的學習」與「有意義的學習」做為學習理論基礎。發現式的學習 (Bruner, 1973) 重視以學生為導向的學習，強調學習的主動性。其認為學習是一種由學習者主動參與處理訊息，將訊息加以組織和建構，使納入學習者心目中代表「真實世界模型」之歷程。因此其亦認為「發現」是將既有的事例重新加以安排或轉換，因而產生一種新的領悟。在學習上強調「發現」，可以幫助學生學習問題解決的各種策略，將認知訊息轉換為更有用的訊息，以及瞭解如何進行學習。Bruner 透過內在動機 (intrinsic reward)、直覺思考 (intuitive thinking)、發

現學習 (learning by discovery) 及學習遷移 (transfer of learning) 的基本學習理念，希望建立學生學科知識的整體性結構，即知識的基本原理、原則。因此，在學生科學專題探究發展過程中，透過發現學習的方法將使學生獲得最大學習遷移的能力。

Ausubel (Ausubel, Novak, & Hanesian, 1978) 之「有意義的學習」(meaningful learning) 理論則以「認知結構」(cognitive structure) 為基礎，強調新的學習必須能與個體原有認知結構中的舊經驗取得關連，才是「有意義的學習」(meaningful learning)。教師可透過「前導架構」(advanced organizer) 的方式，協助學生進行有意義的接受式學習。Ausubel 並不反對「發現式學習」，尤其是小學階段的兒童，處於認知發展階段中的具體操作期，偶而需要透過「發現式學習」操作具體物，以獲得具體的經驗。「接受式學習」與「發現式學習」兩者並不互斥，而可能兼容於同一個學習過程中，猶如經由接受獲得的知識，也經常以發現的方式應用到日常問題的解決。所以，「發現式學習」和「接受式學習」並非兩個極端，因此，Ausubel 根據教師介入的程度，將「發現式學習」區分為「指導式發現」和「自主式發現」，形成兩個向度間的垂直關係。這種「指導式發現」的學習，即提供科學專題探究活動中指導教師進行「指導」教學的理論基礎。

學生的專題探究就外顯行為而言雖非主動，但事實上卻扮演著「認知上主動」的角色。也就是說，雖然由教師指導，但是學生在學習過程中，也必須要能主動而積極地參與學習，設法將探究結果內化於自己的認知結構。因此，由 Ausubel 認為接受式學習未必是被動的論點來看，科學專題探究活動中的教師指導，即含有透過「指導式發現」的學習引導學生主動而積極地參與學習的意義在其中，這將協助釐清「指導教師」在科學專題探究活動中的「指導」定位問題，引領學生有意義的從事科學學習。

二、學習指導策略

建構主義是八十年代迄今流行的學習理論，是一種源自哲學、心理學與神經機械學的知識理論（曾振富，民 89）。建構主義是奠基在下列兩個主要的原理之上（王美芬、熊召弟，民 85）：（1）知識並非被動地接受，而是由具有認知能力的個體所主動建構出來的。（2）認知的功能是具有適應性的，其作用是把我們所經歷的事物加以組織，而不是去發現客觀存在的現實世界。

建構主義學習理論認為學習是主動參與改變認知結構的活動（楊佩芬，民 88；

Wheatley,1991)，強調學習者在認知過程中的主動性與建構性。教師的角色由傳統的主動傳授轉變成從旁的輔導、幫助、與催化角色，教師的主要工作也由教材的講述，演變成佈置適宜的學習環境，將學習內容適宜的安置在學習情境之中，扮演好鷹架、指導者、協助者的工作；而學習者必須由傳統被動的資訊接收者，轉變成主動積極的參與學習歷程，自行建構自己完整的知識（江新合，民 81；王美芬、熊召弟，民 85；黃台珠等譯，民 91）。

Driver and Oldham（1986）舉出建構主義教學的幾個重要步驟：（1）定向（Orientation）：建立學生學習此主題的動機與目的。（2）引出（Elicitation）：引出學生對此主題的先前概念。（3）意見重組（Restructuring of Ideas）：此階段是建構主義教學序列的核心組成，包括澄清與溝通（Clarity and exchange）、建構新的想法（Construction of new ideas）、評量（Evaluation）、應用（Application），反省（Review）等部份。科學專題探究中教師的指導是以學生為中心（Roy,2000），教學目標應是學生的行為目標（behavior objective），而不是教師的主觀期望。其教學目標應是向學習者提供思維活動，使學生習慣運用知識進行問題解決、推理和批判性思考。因此，教師是學生學習的促進者，應設計情境讓學生學習，使學習者將學到的新知識與現實環境聯繫起，使學習具有意義（Roth, 1998）。為了達到這種效果，本研究以 Driver 和 Oldham 所發展的符合建構主義教學步驟，輔以「有意義學習」的教學理念建立本研究學習指導的思考基礎。

三、問題解決的過程架構

翁玉華（民 87）認為「解決問題」的活動起自人與環境的互動。「問題」是指人不能運用現有的概念和規則達到目標，必須尋找發現新的規則才能達到目標的刺激情境；而「問題解決」則是將個體先前有的知識與經驗從新整理與思考，找出適用於當前問題的要素，並加以實行之（皮連生、邵瑞珍，民 78）。因此，研究者認為「問題解決」是屬高層次的思考活動，從產生問題直到解決問題的過程，涉及複雜的心理歷程，其經過一連串的試誤、分析、綜合、演繹、歸納等心理活動。問題解決內在的層面為心智歷程，外在表徵則形成策略而建立模式；實際運作情形，能否以一固定歷程、策略或模式來解釋，學者間仍無一致見解（皮連生、邵瑞珍，民 78；翁玉華，民 87；簡惠燕，民 89）。惟翁玉華（民 87）認為問題解決能力反應了個人一般心智能力，而心智能力並非一成不變，可以經由訓練和教育而改變。因此問題解決方法似乎可以由一定模式的提供，做為問題解決

的依據增進問題解決的能力。

總合各問題解決模式比較發現（皮連生、邵瑞珍，民 78；林宏恩，民 79；翁玉華，民 87；簡惠燕，民 89）：一般「問題解決過程」指的是從界定問題、形成策略、評鑑策略、決定策略和執行策略的過程。郭有遜（民 76）認為在問題解決過程之前應再加「發現問題」階段才完整。問題解決過程會因問題類型與問題過程參與者不同而異，所以沒有所謂公認的完整問題解決過程模式。不過進一步探索各種文獻顯示 Parnes（1977）與 Treffinger 和 Isaksen (1992) 等的「創造性問題解決」(creative problem solving, 簡稱 CPS) 模式，是比較完整的問題解決結構。值得參考，整理如下（表 1）：

表 1 創造性問題解決模式分析表

解題步驟	目 標	主 要 活 動
發現困境 (mess-finding)	由困擾的情境中 感覺問題的存在	從「雜亂無章」的事實中分析存在的困境
發現事實 (fact-finding)	搜集與困境有關 的訊息	1. 蒐集有關問題的資料 2. 仔細和客觀的觀察 3. 探究情境中的事實
發現問題 (problem - finding)	界定問題的性質	1. 從各種不同的觀點看可能的問題 2. 思索可能的問題 3. 縮小範圍到可能的問題 4. 重新以可以解決的方式陳述問題 5. 使用「我可以有什麼方式」來思考和推敲 6. 改變動詞、重新陳述問題
發現觀念 (idea-finding)	想出解決問題的 各種可能的方法	1. 產生許多主意和可解決問題的方法 2. 用腦力激盪法想出許多主意和可解決問題的方法 3. 盡可能列出許多主意
發現解答 (solution- finding)	發展評鑑標準， 用以評估上述各 種解決問題的方法，然後選出最 佳者	1. 在數種可能解決問題的方法中選擇最可行的 2. 就解決方法選擇評鑑標準 3. 客觀的應用評鑑標準於每一個可能解決問題的方法 4. 根據已發展的評鑑標準評估可能選擇的解決方法 5. 列舉出可用於聚斂性或擴散性思考的評鑑標準
尋求接受 (acceptance- finding)	依據所選出的最 佳解決方法，列 出實施的步驟	1. 發展行動計畫 2. 考慮必須接受此計畫的所有人員 3. 針對前面提出解決問題的方法，徵求所有人員的意見

由表中可了解到問題解決的歷程，除了包含個人的內心層面之外，在問題解決的過程中，常有一些創意產生，如果能用系統性的思考方式來解決問題，那麼問題的解決方式必能獲致更佳的结果。本研究歸結眾多文獻（皮連生、邵瑞珍，民 78；林宏恩，民 79；翁玉華，民 87；簡惠燕，民 89），以 CPS 模式(creative problem solving)為基本架構歸納出一個代表多數問題解決過程的順序架構，做為學生科學專題研究「問題解決」架構的參考：

（一）發現問題過程

為觀察發現所期望的現象或結果，和實際發生的現象或結果有「差異」的過程。當學生感覺自己所期望和實際發生的現象或結果有差異時，問題便被發現，而問題被發現之前的過程便為「發現階段」；這個階段屬於科學專題「研究題目」和「研究動機」的部分。

（二）界定問題過程

科學專題探究必須先界定問題的屬性，透過精確陳述並分析提出具體問題，尋找造成問題發生主要原因並形成假設。

（三）形成研究策略過程

這個過程乃為解決問題完成「目標」所提出的一種或多種方法。

（四）評鑑研究策略階段

學生對所提出的一種或多種方法，用一項或多項標準去評鑑。

（五）決定研究策略過程

學生依照不同方法，以先前的評鑑策略結果選擇執行策略，由簡單的事前測試（或實驗）做決定依據，同時驗證科學實驗的可複性。

（六）執行研究策略過程

學生按照所定策略完成問題解決；完成上述所有思考的策略及過程，將所有的計劃付諸實行，形成模式。

問題解決的歷程，除了包含個人的內心層面之外，在問題解決的過程中，常有一些創意產生，如果能用系統性的思考方式來解決問題，將感官資訊和先備知識聯繫、形成意義（王美芬、熊召弟，民 85；熊召弟等譯，民 91），那麼問題的解決方式必能獲致更佳的结果。

參、研究方法

本研究採用質性研究方法，以研究者任教的國小一般教室為研究場域，選擇四名有意願參加科學專題探究的六年級學生一女（華方，S1）、一男（華林，S2），五年級學生一男（宇軒，S3）、一女（宇如，S4）參與研究。研究者為了因應多變而複雜的獨特研究情境，確定研究立場，將自己定位為指導者、促進者、參與者、觀察者、分析者，希望透過各種觀察、討論與晤談的步驟，形成充分的文件，以對學生的思考與指導實務的詮釋有洞察力及深刻的見解。本研究之設計與流程、資料蒐集與處理、研究信效度檢核，分述如下：

一、研究設計與流程

為了達到研究的目的，本研究依據指導計畫（表 2）完成實施流程進度（圖 1）。在研究中，一面實施科學專題的「指導」；一面於指導的過程中持續而全面的對本研究進行「觀察」、「反省」、「思考」與「提出對策」，不斷循環地分析所潛存的問題，綜合發現，以獲得本研究的結果。

表 2 指導計劃表

月 份	指 導 規 劃	時 間	指 導 重 點
89 年 4 月~8 月	計畫期	5 個月	規劃指導學生研究方向與方法
89 年 9 月	準備期	1 個月	資料蒐集與主題分析
9 本年 10 月 ~ 90 年 2 月	操 作 指 導 期	4 個月	* 學生確立研究主題與屬性依研究目的及問題進行實驗設計與驗證
			* 資料整理與分析
			* 作品製作
90 年 3 月	完成期	2 個月	研究整合完成說明書

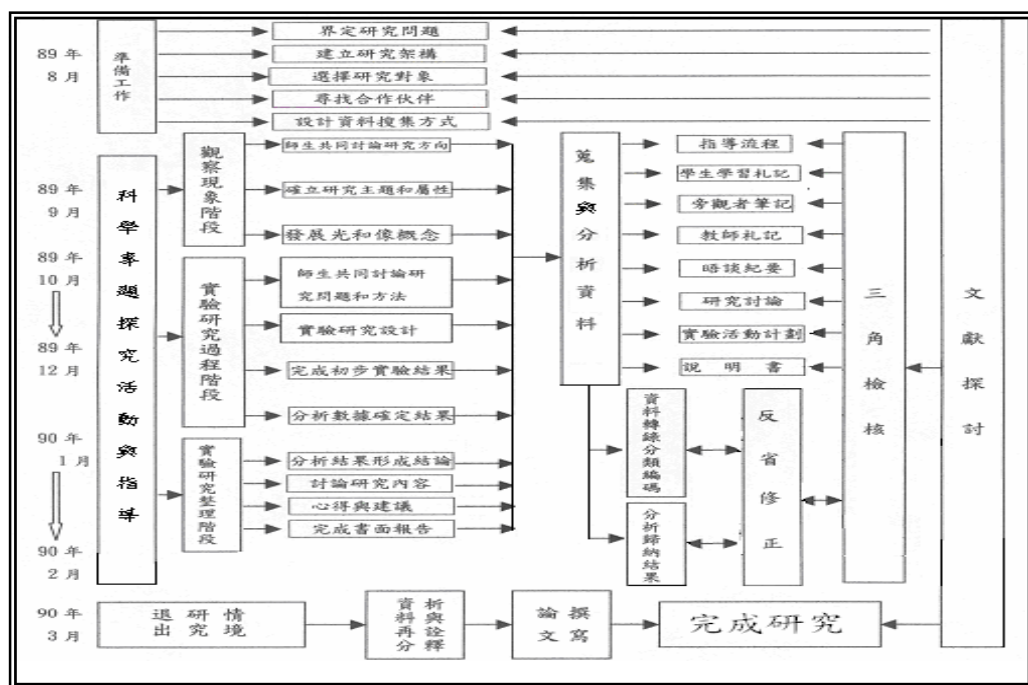


圖 1 研究流程圖

二、資料蒐集與處理

研究者爲了有比較合適的立場，可以觀察學生的探究過程與提供詮釋，透過經驗分享（experience-sharing）的指導構想，將自己實際指導科展的經驗交流分享，經由爲期半年多的觀察、討論與晤談，蒐集實地場記、非正式晤談和師生對話的錄音帶轉譯，以及學生的札記、實驗計畫與作品說明書等文件（表 3），在指導計劃、指導實施、指導評估與反省對策的循環過程中（圖 2），進行研究資料的搜集與分類（編碼），以對學生的思考與實際操作的詮釋能有充分的證據，引伸深刻的洞察力。

表 3 研究資料類別代號說明表

資料類別	代碼	紀錄時間	資料類別	代碼	紀錄時間
指導流程	D	89.12.7~90.3.28	晤談學生紀要	P	89.12.7~90.2.18
學生學習札記	S	89.12.7~90.3.28	研究討論	K	89.12.7~90.2.20
旁觀者筆記	V	89.12.7~90.3.28	實驗活動計劃檢討	Q	90.1.19~90.2.16
教師指導日誌	T	89.8.17~90.3.28	說明書	B	89.12.27~90.2.21
資料編碼與說明					
項 目		舉 例		編 碼	
日 期		民國 89 年 9 月 25 日		890925	
資 料 類 別		學習札記		S	
序 號		資料順序上為第二頁		02	
學 生 代 號 華方：S1 華林：S2 宇軒：S3 宇如：S4		華方		S1	
資料碼說明：890925S2S02 例： 890925 S 0 2					
日期		學生代號		資料類別 序號	

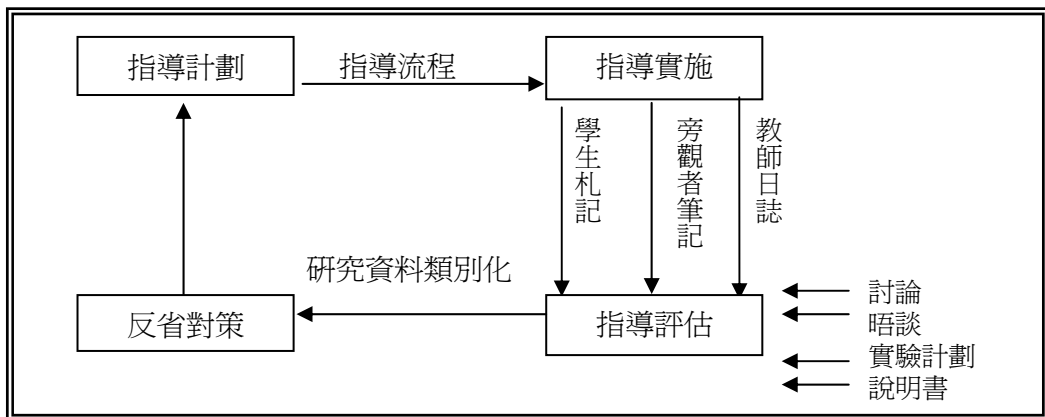


圖 2 研究資料搜集與循環處理架構圖

三、研究信效度檢核

本研究以研究者作為研究的主要工具。參酌林珮璇（民 89）之「增進質性研究確信程度的指標及方法」表，分析本研究效化資料的方法（表 4，圖 3），同時以下列作法提高研究信效度：（1）本研究真實描述及解釋研究資料，利用三角測定、長期參與和持續觀察的方式來增加研究判斷的正確性並且減少研究者的偏

見，提高研究效度（可信性）。（2）本研究中爲了提高可遷移性，廣泛詳盡的描述研究對象、時間、研究設計、研究過程等，所有資料、解釋及發現均源自於研究的情境，有依據及出處可循，並非研究者自己的想像或偏見，使得讀者或其它研究者能將研究的結果，應用在自己的情境中。此外也將所得的資料，交叉相互檢核印證，並從中修正自己所建構的主觀看法，以提高研究的可遷移性。（3）爲了提高研究的可依靠性，研究中的資料均詳實轉譯，研究者必須將整個研究的過程以及決策加以說明，透過同儕的稽核，詳盡的描述出資料是如何蒐集的，提供真實可靠的資料來源，例如以現場師生間真實的對話及學生原真的談話內容描述事件，以增加本研究的可依靠性。（4）爲了提高本研究的可確證性（客觀性），研究中以不同的人員來作三角測定，並且多方面的蒐集資料來佐證，以排除研究者個人的主觀性。

表 4 增進質性研究信度的指標及方法表

質的研究確信指標	本研究達到可信性的方法	
可信性	三角檢核	自我效化、同儕效化、學習者效化
	持續觀察	
	長期參與	
可遷移性	豐富的描述	
可靠性	稽核同伴	
可確證性	稽核同伴	

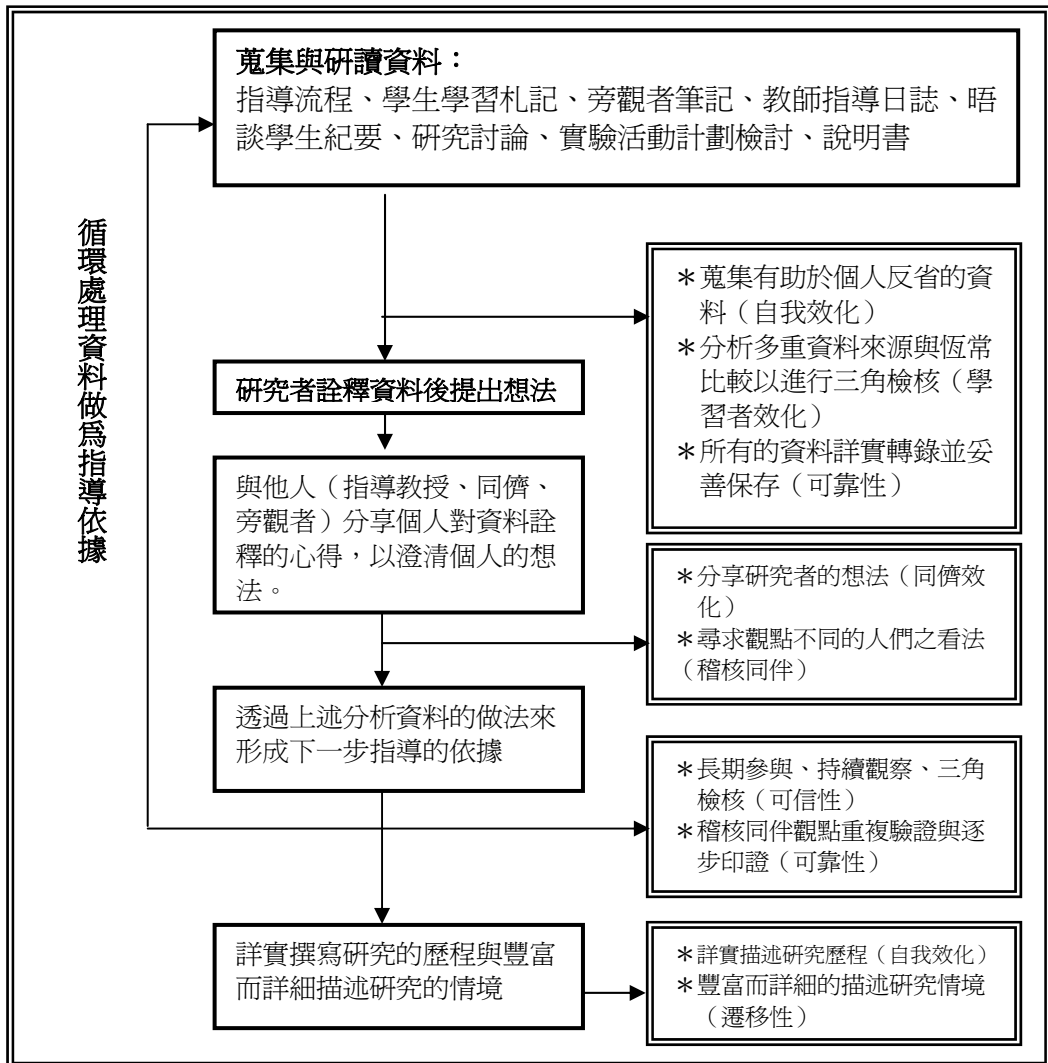


圖 3 本研究提高信度方法圖

肆、研究結果

本研究依觀察現象階段、實驗研究過程階段及實驗研究整理階段等研究結果，結合學生科學作品的內涵（研究主題動機、目的、問題、研究設備、過程方

強烈，沒有提出討論的焦點問題和共識意見」(日誌 891207T01)，因此省思教師與學生的討論方式也許有礙學生的決定，故將師生座位由「教師中心」改成以「學生中心」(圖 5)，討論活動型式由「教師單向型」漸進成「教師教練型」，再由「教師教練型」逐漸淡化教師「拋球」主導地位，使活動型式漸進形成「教師虛化型」(如圖 6)，藉以擴大討論的效果。並且在討論的修辭上，由什麼(What)進一步將問題的性質簡化為「為什麼」(Why)、「如何」(How)及「為何」(for what)三類問題(張俊紳，民 76；Atkins, 1999)，以加強老師與學生以及學生間的討論互動「引導學生進入思考的情境，引起學生更深入的思考讓其問題更有延伸性」(筆記 891228V02)：

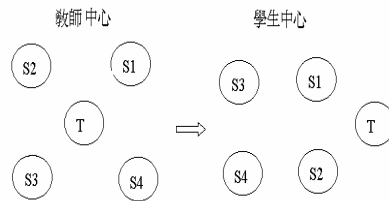


圖 5 討論座位改進圖

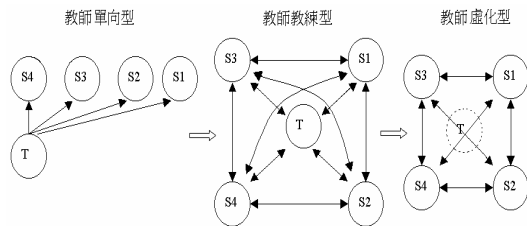


圖 6 討論活動型式漸進改變圖

經由討論座位和活動型式的改變，研究者發現學生接受指導後可以「有自信以分類方式找尋研究主題方向」(日誌 891208T02)，學生不但能提出研究主題資料，相互討論的次數與反應也增多了。學生觀察借來的台灣立體圖片教具，發現立體圖像的奇妙，在討論中引發研究的動機，喚起舊經驗，共同決議「立體光學可以做為研究的題目」。在晤談中，呈現學生確定作品研究主題之想法：

T：你們為什麼會想到這個題目？

S1：我們以前有看過台灣立體圖，這次由於我們決定做物理科學方面的研

究，去年又有研究光學方面的作品，我想延續研究或者研究相似的作品也很好，所以當學同老師提出來的時候，經過觀看、討論，交換意見，我們覺得很好！就一致決定了！

S3：對啊！當時我們對立體圖的變化，都感到驚奇！太神了！很炫耶！我想應該是一個可以研究的現象吧！我很喜歡！（S1，S4 同時回答：我也是！）

S2：我想立體圖很新奇，是我沒有看過的變化，這是很重要的喔！
（晤談 891218P02）

學生藉由一再的反覆觀察、討論，融合了新的經驗和資料，在紅藍兩色的「特殊眼鏡」作用下，因為「有趣又新鮮」及「好奇」的情境，產生了探究「生活中常見的平面台灣地圖，為什麼會有立體特效」的想法（討論 891218K02）；決定延續舊經驗，將富有變化、會產生新奇現象的「立體圖」，做為研究標的。學生「喜歡」立體鏡所產生的超炫變化，促成學生決定以關於「光學」方面題材的「立體鏡」現象做為研究主題，命名為「超炫 3D 立體鏡」（討論 891218K02）的探討。

學生認為對於研究主題的醞釀有壓力，但是透過學習的意願與興趣，學生發現這種壓力卻成為進步的動力，學生認為這是「成長的壓力」也是「一種動力！」（晤談 891218P02），因而「學生間的討論，……並不是散亂無章，反而沉穩以及周延」（筆記 891229V03）：

「午休時，我和宇軒及華方學姐一起到教務處，使用電腦，上網看別人的科學展覽記錄及圖片等，覺得他們很不錯，我們也討論了一些內容：1、主題（新題目或舊題目）。2、未來做科學作品發表的時間。3（構想）利用電腦將資料整理好。4、題目和做法的路線。5、將過程用手寫及照相或錄影、錄音記錄下來。6、學習如何使用錄影機和照相機及電腦等。」
（札記 891208S4S01）

學生從事科學探究活動，知道直接經驗代表的意義，或反映的概念是什麼，在理解之後加以記憶，以後遇到問題情境才會把這理解後的記憶得來的反省經驗，再作用到問題解決中（鍾聖校，民 88）。學生認為「立體光學可利用在很多地方：1. 氣象報告的衛星雲圖。2. 地圖可利用立體光學來進一步了解位置。3. 建築物的模型藍圖。4. 電腦的立體動畫。覺得可以將立體應用在現實的生活上，讓『立體光學』更有利用價值。」（札記 891228S4S06）。其經驗的重組與改造，使科學探究具有「可應用性」，表現出敏銳的思考和反應。

在這歷程，可以發現學生為研究主題的產生與動機的及時浮現做了最好的註

腳，同時也為以後的研究發展做了完善的準備。在整個科學探究活動上，學生已經歷了**計畫→討論→實行**的初步探究模式。

(二) 釐定研究目的

科學研過程中，「研究目的」乃是研究內容的焦點，也是研究行動的指針，惟具有明確的研究目的，蒐集資料才有依據，而研究結果的解釋才有意義（吳明清，民 85）。四位學生最後擬出的研究目的如下：1. 想了解產生立體現象的原因。2. 進一步認識光的原理和像之間的關係。3. 探索利用立體現象應用在日常生活中的可能性，使科學研究「趣味化」、「生活化」。（研究報告原案 B2）

學生藉由眼鏡行家、自然老師的專業知識，彌補本身在光學知識領域中的不足；利用電腦網路（資訊科技）的便利和無遠弗屆，迅速蒐集到相關知識，快速建立基本資料，做為科學研究發展的基礎，逐漸醞釀出「研究目的」的內容，由晤談中學生勾露出發展輪廓——

T：你們為什麼會有這種想法（形成共同研究目）？

S3：由 S1 來說？（研究者追問：為什麼？）

S3：因為我們以他的想法來討論的。

T：你們一起討論也可以表示意見啊！

S1：好！我想研究目的就是要了解立體的現象！我們真的感到很奇怪！為什麼平面的圖像用紅藍眼鏡看，會變成立體的真是太奇妙了！所以想研究它。另外，「光」的部分……，嗯！最早以為立體的現象只和眼鏡有關，沒想到卻發現和光、顏色以及圖像本身都有關係！然後我們……嗯，也因為感覺光的原理很重要就加上去了。至於，研究要和日常生活相結合的方面，是我自己由自然課本裏強調環境保護，以及一些實驗用到日常用品想到的。我們去年也是這樣寫。

（晤談 900120P05）

學生對擴增探究「光的原理和像之間的關係」的「研究目的」有了共識，同時進一步思考發展「趣味化」、「生活化」的科學研究效能，以同化與順應的作用做為建構「共同研究目的」的動力，然而，這種進展並非一蹴可及，學生必須等待充分閱覽相關文獻資料，了解研究問題的性質，掌握研究內容的重點後，始能確定研究目的。吳明清（民 85，頁 185）提到研究活動的可貴之處，就是它是一種經由反覆思考，以及自我修正(self-correction)的過程，即為科學研究的特徵。

由學生探究目的發展過程與學習觸角擴展的狀況來看，學生逐步由「發現問

題的特徵」，進展到能「界定問題的屬性與範圍」；研究者即由學生「開始做初步的討論，先是主題，再是蒐集相關資料」以及「不斷修正研究目的」的這種發展脈動，觀察到學生的科學探究活動中，其「研究目的與研究主題」間以及「研究目的與光和像的概念」間，著實存在著相當程度的互動關係。這種思考過程學生認為「一般，我們會把研究題目和研究目的一起來想！動機也是！像『光』！立體像就要用光！研究題目就要一起想，受影響的時候，研究的題目也要想好一點！」（晤談 900120P05），而學生的科學探究學習就在此交相的互動中，發揮做中學的精神。

同時，教師指導學生以樹枝狀圖的方式，協助延伸更下層的問題，建構出有層級性的光學知識結構，因而逐漸彰顯研究的範疇；學生同時用概念間的含攝（subsumation）與從屬（subordinate）關係，使研究目的逐漸清晰與明確。學生進一步經小組討論的結果，將個人概念想法綜合，並且形成新的光和像的概念架構，學生同時開始利用電腦建立電子原始檔案資料，清楚呈現新的綜合概念架構（圖 7）：

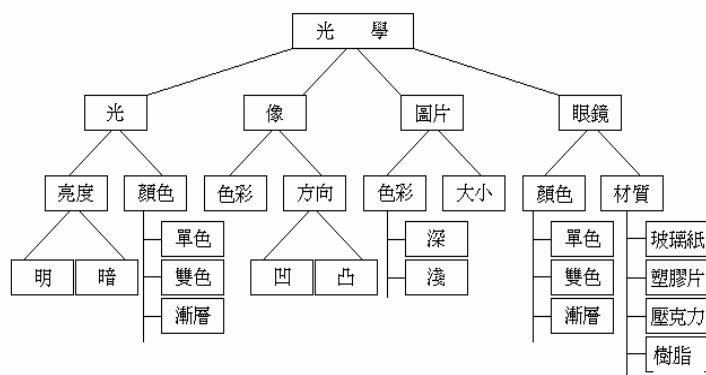


圖 7 學生「光和像」概念綜合架構圖

學生以『光、像、圖片、眼鏡』做為架構基礎，並由「亮度、顏色、方向、大小、材質」做為拓展重心，形成新的概念架構。研究者發現學生繼「發現問題」之後，透過「光和像」概念的發展，開始對於「問題的界定」以有層級性的知識結構，清楚的加以分析。學生無形中，形成研究者所無法預期的共同建構認知發展，呈現出學生自我建構的「概念架構」與「研究目的」。研究者因而在省思中修正引出（Elicitation）指導的實施，認為：

就指導作品的研究發展來看，有好的研究方法和規劃，是節省時間的最好方法，不僅有利於學習，也有助於作品研究時間的安排。為了要使學生「釐定研究目的」的目標周延而明確，所實施的三種預先決定的指導策略，雖然以發展「光和像」概念為中心，學生卻有自己的想法，依循學生自己決定的方向去發展，指導上不必再做任何清楚地安排，學生自己就可以掌握發現真實世界的機會。

（日誌 900120T23）

學生共同建構「光和像」概念的認知發展，已有「自己的想法，依循自己決定的方向做發展」。所以，教師不再透過結構化、定義完整而且特別的指導策略，尋求學生達到預先決定指導的事，轉而「等待」學生自我發現真實。

關於「研究目的」的確定，學生經由小組討論的結果，希望「先訪問了解，再寫研究目的」；先形成個人想法(目的、概念)，再討論合併學生透過本身的觀察和經驗為基礎，有了一個「學習模式」。教師之行動指導，即希望以有系統的方式給予學生們機會，從親身經驗去發現事實、學習並發展其認知能力，形成概念。研究者發現學生在「研究目的」中的「學習環」(探索、語詞發展、概念應用)，形成「以學生為中心」、「以活動為中心」(王美芬、熊召弟，民 85；熊召弟等譯，民 91)的「目的性循環學習模式」(圖 8)：

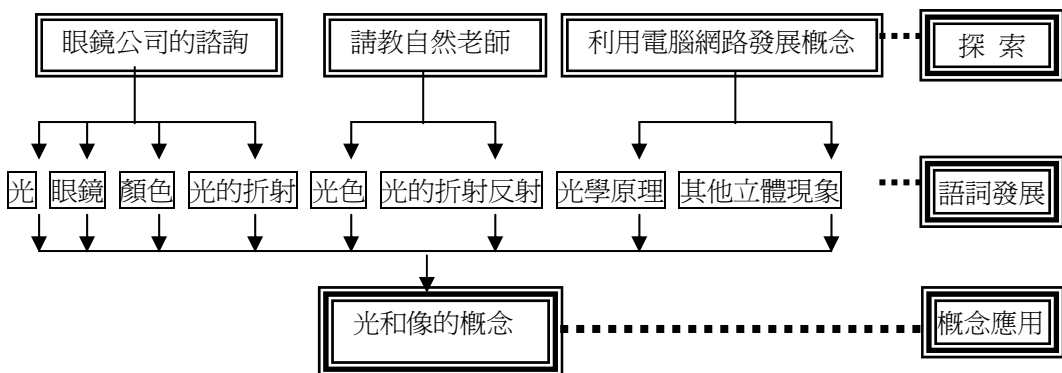


圖 8 目的性學習循環模式圖

二、實驗研究過程階段

「科學專題研究」具有「活動導向」的學習取向，關切點在於希望學生運用創造和邏輯思考過程設計實驗，以系統的觀察執行實驗，做為支持或拒斥原先所提的假設，使學習者的知識得以擴展（王美芬、熊召弟，民 85）。教師反覆透過

實驗設計與操作活動的定向（Orientation）、引出（Elicitation）、意見重組（Re-structuring of Ideas）指導過程，由研究問題開始引發學生思考、運用科學方法去尋求答案，使學生的科學知識與概念可以拓展。而科學方法，除了觀察、測量、預測、假設之外，還有控制變因、設計實驗，以完成問題解決的過程。本階段就依學生的實驗歷程，包括「發展研究問題」、「蒐尋研究器材與設備」、「決定實驗設計與操作的方法」、「粹鍊研究結果」等四個基本的步驟，分述如后。

（一）發展研究問題

由於研究目的的內涵，常以一般性概念（general concepts）為主，具有相當程度的普遍性與抽象性，雖具有引導研究行動的作用，但與實際的研究行動仍有差距（吳明清，民 85）。學生必須以更詳細的「研究問題」項目，表達「研究目的」豐富的內涵，做為研究主題、目的與實驗設計、操作間的橋樑。同時，「研究問題」也是檢視「研究結果」的關聯鍵結；「研究結果」必須能適切回答「研究問題」，再依回答適切程度判斷「研究目的」是否達成，「研究問題」乃將「研究目的」具體化。

教師指導協助學生能具體的「寫出自己對立體現象發現的問題，可以藉此寫出要控制的變因」（日誌 891228T09）。學生也決定由「個人所觀察到的疑問，先寫下來再提出來比較、討論、合併」（討論 900129K05），同時表達了以下的想法和做法：

T：你們的「研究問題」是怎樣產生的？

S2：我們是先想問題！把各種不同的問題，先寫好再集合討論出來的。

T：能不能說清楚一點？（S2：好！不過由 S1 來說好了。）

S1：嗯！我想我們一直都互相討論，有困難的時候，我們都會互相交換意見，研究問題也是一樣！我們先把個人的想法（也就是有疑問的地方）寫下來，再集合一起討論。一樣或類似的就併起來，不一樣的，如果大家認為有用就保留，以後再整理！這樣研究問題就可以產生了。

T：都沒有修改？也沒有遇到困難嗎？

S1：當然有啊！像「研究問題八」就是我們邊做邊想才增加的。另外，老師自己曾經教我們用「由上而下」及「由下而上」的兩種思考方法，我自己也常用，很好用！起先我們都不知道怎麼說！後來先把想到的寫下來就比較清楚了！有時候，我們也從旁想了很多問題看看能不能有其他的發展。

（晤談 900203P06）

在擬定研究問題的階段裡，學生從「光、像、圖片、眼鏡」（討論 900129K05）

四個方向為起點，用圖片或圖像的名稱代替「像」的表達，加上眼睛的作用，而利用光和像的概念結構圖來做基礎，圍繞「立體像形成的原因」，將個人問題以「交叉的方式組合」（討論 900129K05），協力做好研究問題的整合發展。在學生的整理之下，學生有了研究問題的整合架構，並且根據這個架構，正式的提出研究問題項目內容。教師為了解學生的想法，將學生光和像的概念結構圖和形成研究問題的整合架構做比較，從中了解學生思考連結的依據（圖 9）：

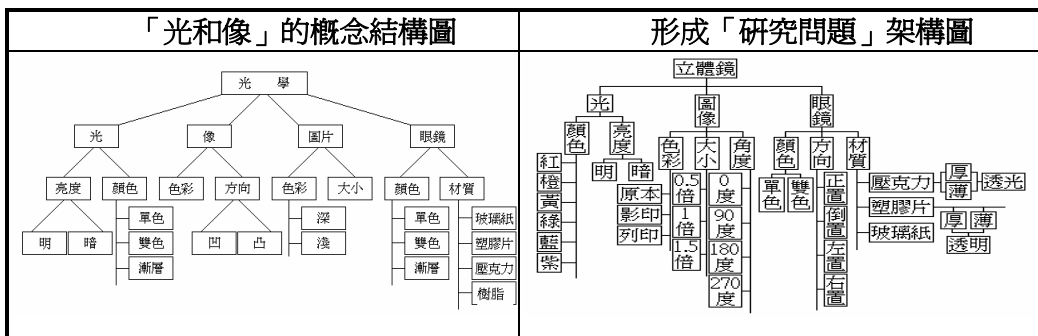


圖 9 學生「研究問題」架構比較表

經學生整理後的研究問題如下：立體鏡像的特徵怎樣？立體像和眼睛的視覺有關嗎？不同的圖和像會影響立體影像的呈現嗎？不同的眼鏡會影響立體效果嗎？立體影像和光有關嗎？立體眼鏡有特別的地方嗎？顏色會影響立體影像的呈現嗎？立體鏡像的研究和製作為何？等八個研究問題。（專題報告原案 B3）

從學生所表示研究問題的整合架構中，可以看出學生以「立體鏡」為上位階層，使用了「由上而下」的思考路徑；以「光」、「圖像」、「眼鏡」為發展主軸，由此以下則涉及「顏色」、「大小」、「角度」、「方向」和「材質」的問題。學生所呈現研究問題的架構和光和像的概念結構圖相較之下，學生在想法上已經出現轉化的現象，產生使用「科學基本過程技能的構造」（日誌 900102T23）。這種現象，教師認為可以在三個地方觀察出來：

- 1.在圖像大小方面：學生將之區分為 0.5 倍、1 倍、1.5 倍。
- 2.在觀察角度方面：有 0 度、90 度、180 度、270 度的變化。
- 3.在顏色方面：有紅、橙、黃、綠、藍、紫(靛色與藍紫相近學生加以排除)的分別。（日誌 900102T23）

由此看來，學生呈現出來的研究問題，有性質上的轉變，在外觀上已有「科

學基本過程技能」的雛形，同時，學生已將研究問題由觀察的性質，轉變為可以設計實驗操作的性質；並由研究問題的呈現，做好實驗研究設計與進行操作驗證的準備，可見研究問題的作用，學生已經有深切的體會。

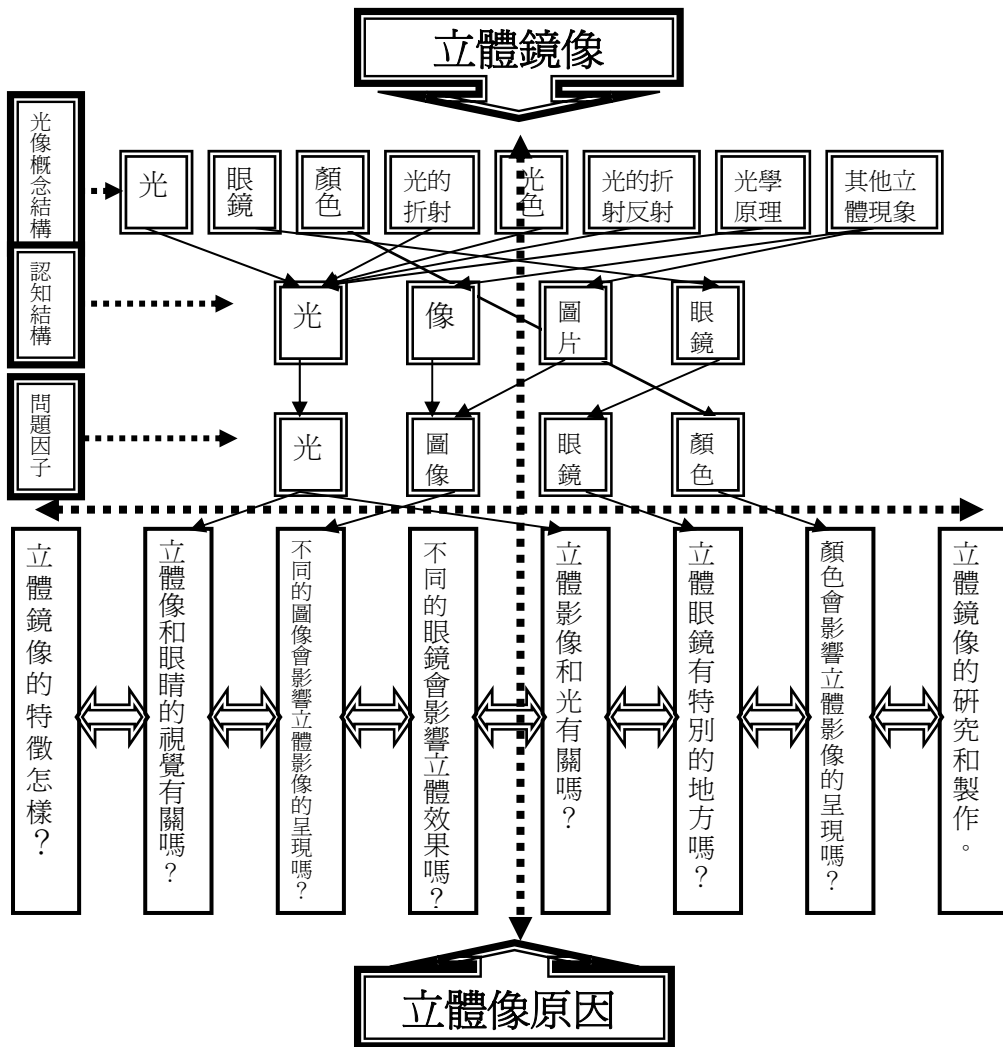


圖 10 學生「十字」型策略模式圖

在這個問題解決的階段中，學生經由討論、比較、合併所形成的「研究問題」，透過不同的角度觀察與思考「光」和「像」的變化；使『光和像』的概念結構、「認知結構」與「問題的架構」（討論 900129K05）間生成相互調融的構造，經過

「變因的控制」、「交叉方式的組合」、「實驗操作方便和連貫的排列方式」(討論 900129K05)，產生七個初步的研究問題項目，嗣後「邊做邊想才增加」研究問題八，商定後遂即進行實驗設計。教師認為學生「思考上由採取『由上而下』為主，以及『由下而上』為輔的路徑，蛻化成為『水平』與『垂直』的思考模式」(討論 900129K05)(晤談 900203P06)，此十字型思考的解析如下(圖 10)。

一位教師，尤其是科學教師，不能將科學知識填鴨到學生腦中，科學知識的獲得一定要學習者自行主動的建構而成，學生由不同的角度交叉觀察與思考，就「光和像的概念結構」、「認知結構」與「問題的架構」相互調融，進行「研究問題」的辨認和轉化。以「水平」與「垂直」的思考方式，形成新的「十字」型思考模式，做為解決問題的策略；不僅突破舊有而單純的由上而下及由下而上的思考路徑，也給予自己一個新的思考律則，重塑思考模式。

學生對於「立體鏡像」的形成原因，以「研究問題」的項目做為探討的策略，由個人既有的興趣、能力特性、知識專長為基礎，透過探索、對話、溝通、討論、知識交流的「社會化」磋商方式，將新知與舊知調整至合適以致於同化(assimilation)(熊召弟等譯，民 91)。學生參考「光和像」構造圖的脈絡來建立共識，共同朝向「立體鏡像」形成原因的解題歷程發展，產生「研究問題」項目的「十字」型發展方式，儼然具備一個「科學社群」的雛型。學生已經在解題策略成型以後，逐漸成為「立體鏡像」問題方面的專家。

(二) 蒐尋研究器材與設備

本研究為了讓學生能在複雜的、結構不完整的情境中，找尋與利用各種器材與設備，繼續進行科學的探究與學習。教師由設備與工具的使用、材料取得與資源利用兩方面，實行指導措施。教師希望學生落實「研究問題」的發展，與做為「實驗研究設計」的基礎。

教師將設備與工具區分成相機、電腦、電器工具等三個部分，詳細介紹「使用的方法」與「操作要領」；強調「安全維護」事項以及「保管」責任(討論 900130K07)。學生以「用心」與「熟練」呈現學習效果，並由「電腦繪圖」技術的交流，增加資料搜集與整合的能力，也予教師教學相長的機會。學生以學校辦公室做為「場域中心」，配合利用圖書館、教具室、工具間、自然科教室、合作社，以及學校社區中的文具店、五金行、科技公司、書店，形成取得實驗器具與材料的資源環境，做為取得材料的「倉儲」，避免「學生進行資料搜集和師生研究討論互動間的地點，因分散並不方便，容易失去效率」(日誌 891208T02)的情形發生。

「材料」主要用來供給學生製作實驗器材(與模型)，因應實驗操作所需要。

學生將材料取得與資源利用，直接和「實驗研究」的「構想」產生聯繫，認為「可以把壓克力板歸類，像材料、顏色、厚度編號做成眼鏡，然後做比較，立體圖也可以和眼鏡配合顏色看看會不會有不一樣的效果」（札記 900201S4S09）。學生不僅以「材料」的歸類來延續「研究問題」；也以「材料」的性質連接了「實驗設計」的方向，使「材料」的利用有明確的目標。

教室外的非結構化的學習，對我們了解學生的概念學習，具有舉足輕重的影響（王美芬、熊召弟，民 85）。學生透過找尋與利用研究器材與設備，而有發現真實世界的機會；學生在教室外的非結構化學習，讓學生有一個「脈絡抽離化的教室」。教師認為「學習環境的規劃與範圍會影響學生做有效率的學習，在良好的情境及適當的空間裡，學生可以與他人及四周文化所呈現出有利的資源及條件下完成作品的研究，因此能否提供一個良好學習環境，並且加以規劃對指導教師的指導來說相當重要。」（日誌 891207T01）。學生在複雜的、結構不完整的情境中，由「研究場域」的擇定，直接促成教室外的非結構化的學習，經由材料的「選擇」、「蒐集」與「取得」過程，啟發連結「研究問題」項目與「實驗研究」設計的發展。經過這種學習的過程，教師發現「學習環境的規劃與範圍會影響學生學習的效率」。

（三）決定實驗設計與操作方法

科學探究活動與一般探究活動最大的不同，在於「探究的方法」，也就是探究的過程不同（鍾聖校，民 88）。這種探究過程，是希望學生運用創造和邏輯思考過程「設計實驗」，用系統的「觀察」來執行實驗，以支持或拒斥原先所設定的假設，使學生的科學知識得以擴展（王美芬、熊召弟，民 85；熊召弟等譯，民 91）。因此，學生對於「研究問題」的假設，必須透過「實驗操作」來加以驗證，這種實驗操作的實行過程，能使學生有親身體驗科學過程的機會。所以，學生在科學探究活動中的學習歷程，是直接體驗而真實的發展。

教師指導學生的「研究方法」區分成：「實驗設計」與「實驗操作」二個面向。依據十三種科學過程技能（王美芬、熊召弟，民 85），由「研究問題」的「個別」探究，發展到「統整」的綜合探究，使學生可以利用科學過程技能，進行「解決問題」的科學探究活動。

科學過程的探究，主要在訓練科學方法的應用（王美芬、熊召弟，民 85）。學生透過研究者建議建立相互支援系統、擬定實驗活動計畫做為實行設計的基礎，在研究方法上進行有創意的「實驗設計」（日誌 900202T30）。在科學探究的過程中，學生能夠以「實驗活動計畫」為軸心，利用「相互支援系統」，應用正確

的科學方法，發揮創造和邏輯思考的能力進行「實驗設計」。學生的研究進展快速，可以由學生的「實驗活動計畫」與「實驗設計」二個成果上加以觀察：

1. 實驗活動計畫——

學生的「實驗活動計畫」（計畫 Q1~Q23）包含以下各種不同的「活動內容」和「使用方法」（表 5）：

表 5 學生實驗研究活動設計內容表

問題項目	研究設計	類型	活動內容	使用方法
問題一	研究 1	實驗	立體鏡像的特徵比較	蒐集、觀察
	研究 2	實驗	不同方向的觀察	旋轉觀察
	研究 3	實驗	單雙眼的觀察比較	觀察
問題二	研究 4	實驗	兩眼距離觀察	調查
	研究 5	實驗	視覺的變化觀察	蒐集、觀察
	研究 6	實驗	眼睛視角和物體大小的觀察	觀察
	研究 7	實驗	不同角度對物體的觀察	觀察
問題三	研究 8	實驗	影印列印立體圖的立體影像比較觀察	觀察
	研究 9	實驗	立體圖放大縮小的觀察	觀察
	研究 10	實驗	立體圖不同旋轉角度的觀察比較	旋轉觀察
	研究 11	實驗	立體圖不同旋轉角度的進一步觀察	旋轉觀察
	研究 12	實驗	立體圖改變比例的觀察	旋轉觀察
	研究 13	實驗	觀察角度不同時立體圖的變化比較	旋轉觀察
	研究 14	實驗	鏡子反射立體像的變化實驗	觀察
	研究 15	實驗	立體圖不同距離觀察	觀察
問題四	研究 16	實驗	不同顏色的眼鏡和立體效果的關係	觀察
	研究 17	實驗	不同質料的眼鏡和立體效果的關係	觀察
問題五	研究 18	實驗	不同顏色的光對立體圖的影響	觀察
	研究 19	實驗	色板觀察	觀察
問題六	研究 20	實驗	立體眼鏡透光性是否影響立體效果	觀察
問題七	研究 21	實驗	顏色是否影響立體影像的呈現	觀察
問題八	研究 22	分析	立體鏡像的研究	觀察
	研究 23	製作	立體鏡像的製作	製作觀察

學生的實驗活動以「觀察」為主，注重「實驗」的特性，就「研究問題」的

項目，次第依「實驗研究」之次序就不同的內容做發展。在結構上以「研究問題」的項目次序為發展「實驗研究」的順序；「實驗研究設計」內容則依序次第發展，再用「方法」與「結果」項目，表示操作的方法及觀測結果。「研究問題」、「實驗研究」、「實驗研究方法與結果」（討論 900201K09）三者間有上下層的繫屬關係。學生的「實驗活動計畫」「傾向不同的實驗設計，考慮實際操作的方便性、準確性與效果」（討論 900131K08）；以系統的「觀察」方法做為執行實驗的基礎，配合設計的「實驗研究活動架構」做次第的研究發展。教師認為「計畫有實行的可能」（日誌 891207T01），這種計畫的內容與過程，使學生可以利用科學過程技能，親自進行「解決問題」的操作活動。

2.實驗操作——

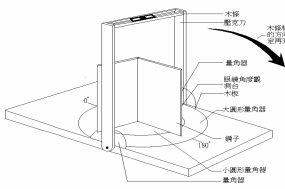
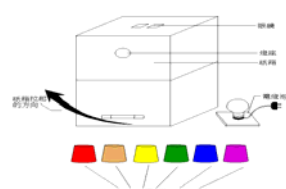
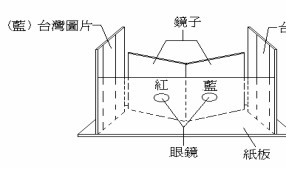
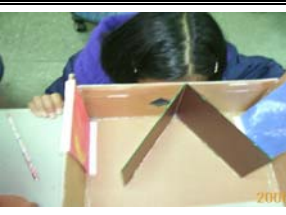
實驗的設計必須便利觀察和實驗操作結果的比對，學生表示「最好有一貫性，使實驗設計和操作有一個主軸，便利前後實驗操作結果的比對和觀察，希望可以發現『立體像』的形成原因和其他原理」（討論 900131K08）。學生也提出「設計器材很多，必須給一個『名稱』便利說明和操作」（討論 900131K08）。學生希望「實驗設計和操作有一個主軸」的想法，在「實驗設計」中出現一個重要的指標，就是「影像觀察台」（討論 900131K08）；學生以「影像觀察台」做為「實驗器材」設計的主軸，發展出數種可以使「實驗操作」相連貫的實驗研究器材，持續針對「實驗研究」的內容，有系統的提供「觀察」的依據。

學生設計的「實驗器材」包括：影像觀察台、立體距離觀測台、旋轉觀測台、立體反射觀察台、色光觀察箱及立體成像台。他們說道：「依研究問題的排列設計器材，使器材配合問題有一個主要的操作儀器，以便實驗建立數據，做為判斷的基礎。由『影像觀察台』的功能上看，已逐漸不能適應在不同的實驗和探究活動，必須再發展一種不同的觀察台」（討論 900131K08）。關於「實驗器材」的設計，學生曾經過多方考慮，認為「實驗器材」的製作方法要簡單，決定材料以紙箱、木條為主；使用範圍必須要廣泛，主要功能在於可以「觀察立體圖」，規格上必須「不要太小而且要合乎安全規定」（討論 900202K10）。學生的「實驗器材」與「實驗器材」間相互關聯；即（B）（C）（D）都由（A）發展改變而來，在（E）（F）的輔助配合之下，進行實驗操作，完成實驗驗證。學生設計和製作的「實驗器材」，分析設計圖樣、製作方法、功能、使用範圍等的情形如下（表 6、7）：

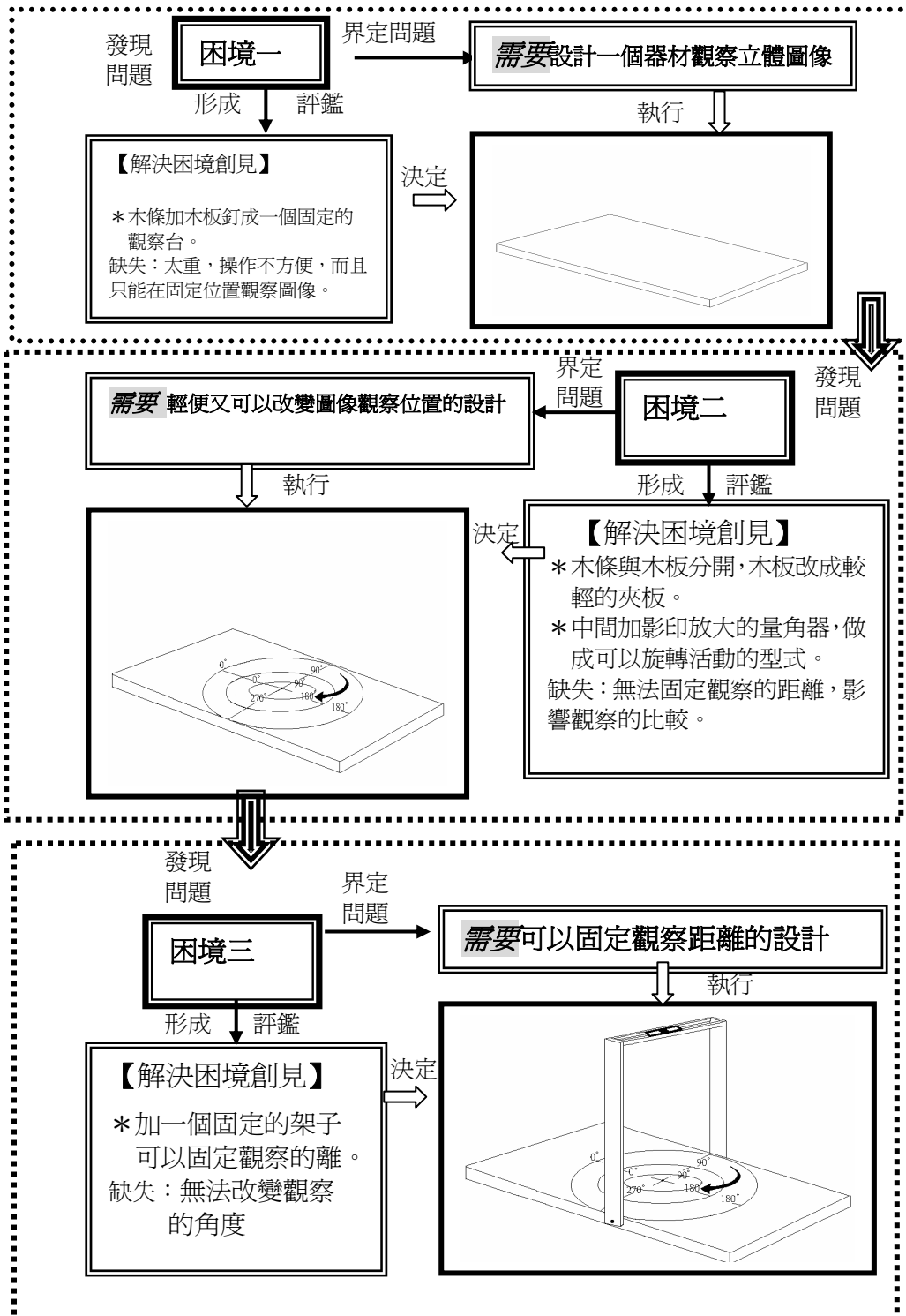
表 6 實驗器材設計表之一

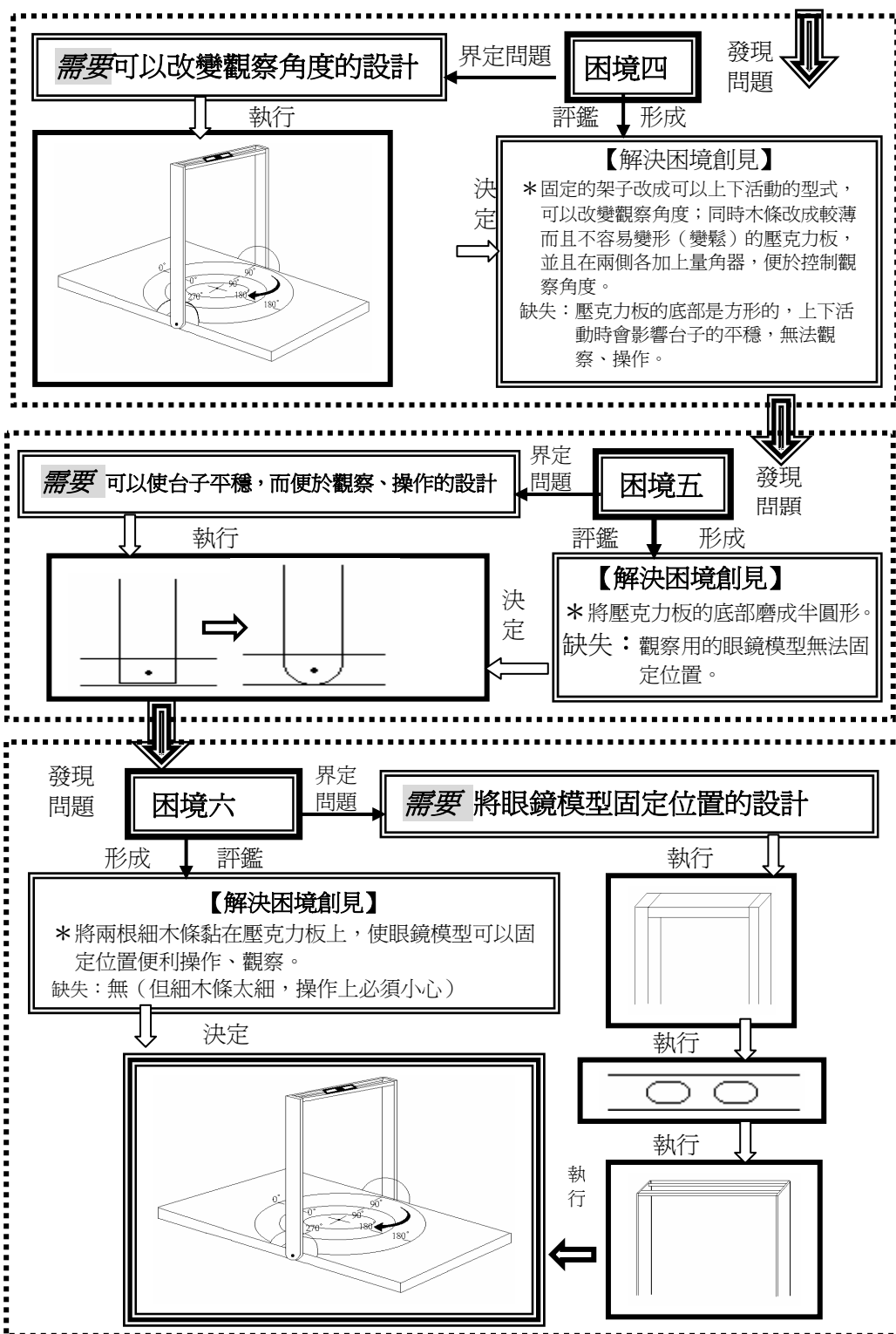
名稱		(A) 影像觀察台	(B) 立體距離觀測台	(C) 旋轉觀測台
實驗器材	設計圖			
	照片			
製作方法		用鋸好的木條做成底架，印大小不同的量角器各兩個（小的可旋轉），兩邊各架長約 45 公分的壓克力板，中間用兩支細木條撐著，把紅、藍眼鏡放上觀察。	找一支木條上面放一個餅乾盒的蓋子（可以調整距離），做放眼鏡的架子，在頂端的前面一點，畫上基準線，把眼鏡架的頂端卡在基準線上不動，貼上影印好的 30 公分長尺 3 條（基準線為 0）。	影像觀察台做成可以旋轉角度的型式，每隔一定的度數可以旋轉。
功能		調整角度觀察立體現象	調整距離觀察立體現象	旋轉角度觀察立體現象
使用範圍		研究二、三、五、八、九、十三、十六、十七	研究六、七、十五	研究十、十一、十二

表 7 實驗器材設計表之二

名稱	(D) 立體反射觀察台	(E) 色光觀察箱	(F) 立體成像台
設計圖			
器材照片			
製作方法	彩色影印的台灣地圖夾在兩片鏡子的其中一面，放在影像觀察台上做成立體反射觀察台。	用紙箱做一個觀察箱把紙杯底部挖空，分別貼上紅、橙、黃、綠、藍、紫六種顏色，用燈泡罩住紙杯、將立體圖放進觀察箱裡觀察。	將紙板、鏡子、紅藍玻璃紙，及利用 Photoshop 的軟體，印出分別是紅、藍的台灣地圖（長 18.3cm 寬 12cm），貼在成像台的兩邊，調整鏡子的角度達到最清楚即可做成一個立體的成像台。
功能	用鏡子反射觀察立體現象	用不同色光觀察立體現象	用合成方式觀察立體現象
使用範圍	研究十四	研究十八、十九、二十	研究二十二

學生以多樣的想與做法，進行實驗器材設計，可以適應「研究問題」的項目與「實驗研究」內容的多元發展，透過「影像觀察台」的產生，使實驗設計和操作有一個主軸。學生經由「影像觀察台」的設計，對於「解決問題」有很好的對策，不僅突破困境，並且發揮探究的精神。學生在許多的「困境」中，透過發現問題過程→界定問題過程→形成研究策略過程→評鑑研究策略階段→決定研究策略過程→執行研究策略過程，設計製作「影像觀察台」，針對「問題」學生有以下的「解決」歷程（討論 900202K10）：





學生對於「解決問題」的對策，透過「影像觀察台」的設計歷程，教師發現是經過不斷的修正與改進，並非一蹴即成。學生面對設計的「困境」，而有解決問題的「需要」，經由「解決問題」的討論研究過程，而有「解決問題的創見」，提供每一階段設計製作的參考；學生綜合各階段設計的優點，最後製作成可以供給實驗研究操作的「**影像觀察台**」，產生有意義的學習過程。在學生的實驗器材設計與製作發展過程中，教師也發現學生「實驗器材設計製作」與「實驗操作」其實無法截然劃分，二者密切關聯，具有相互修正的作用，唯有在這種修正作用之下，才能有正確的觀察結果，促成完整的實驗驗證。

學生依「實驗活動計畫」做為「實驗操作」的基礎，以「觀察」做為「實驗設計」發展「實驗操作」的軸心，根據「對立體現象觀察以後所形成的各種疑問，進一步歸納出來的變因」（討論 900205K11），形成實驗操作的控制依據；學生「考慮的變因有方向、角度、距離、形狀、質料、顏色、光色」（討論 900205K11）加上「觀察的物體」和「觀察方法」的相互作用，成為有效的研究方法和步驟。學生清楚的描繪出「實驗設計」、「實驗觀察」、「實驗記錄」與「實驗操作」是自然的融合（晤談 900215P10），呈現出實驗研究之連續的、整體的、不可分的發展情形。研究者進一步根據王美芬和熊召弟（民 85）的技能領域行為分類表就學生的技能領域行為發展的部分結果，由「實驗設計」與「實驗操作」相互關聯的發展特性中，加以分析（見表 8）。

依學生的技能領域行為發展的結果來看，科學過程技能並無必然之次序關係，但是基本與統整的過程有差別（王美芬、熊召弟，民 85）。學生的科學過程技能已由「察覺」、「反應趨向」、「仿效反應」、「機巧」與「複合反應」，達到可以「創造」的表現。學生藉由「實驗設計」與「實驗操作」相互關聯的「創造」發展，而可以統整的應用科學過程技能。

表 8 學生技能領域行為分析表

行為表現	類別及階層					學生表現內容	
觀察	察覺					我又新學會了如何掃描圖片的電腦知識(札記 900131S1S10)。我都幫忙做一些器材，所以我學到了一些以前不會的東西(札記 891226S2S02)。	
準備	察覺	反應趨向				宇軒和我們都不曉得什麼是「全像攝影」所以再打關鍵字，和關鍵詞進去搜尋沒想到又找到了一些立體圖，真厲害！(札記 9000209S1S19)。我記錄了一下我找到的網頁資料好多(札記 900210S3S11)。	
模仿	察覺	反應趨向	仿效反應			下午我們用電腦的某個程式來做立體圖從複製圖片貼過來，再利用裡面的色版將圖拉開，戴上紅藍眼鏡看久一點，會感覺整個圖像都浮出電腦影幕，可是不曉得該如何製做那種像許多高樓一樣看起來有層次？(札記 900211S1S21)。	
表現	察覺	反應趨向	仿效反應	機巧		還有把使用電腦的部份記下來：1 進入後點開啟舊檔，選取要繪畫的圖檔。2 按鍵盤上的『Print Screen』就可以把整個程式的桌面複製下來。3 再開一個新檔，再按貼上。4 按工具列的按鈕，把需要的部份圍起來，按『Enter』。5 如果想放大就按『Shift』加『十』，按一次放大一次(札記 900214S4S19)。	
精通	察覺	反應趨向	仿效反應	機巧	複合反應	1.學會如何運用電腦(筆記型) 2.學會用軟體來創做立體圖 3.把軟體的立體圖拉出紅、綠、藍、黃的顏色 4.把軟體黑白的顏色變成彩色的。把照片分成很多區拉出綠、紅、藍、黃的顏色(札記 900202S4S10)	
組織	察覺	反應趨向	仿效反應	機巧	複合反應	創造	宇如做好了昨天未完成的眼鏡，戴上看立體圖，發現效果更好，台灣中央的山隆起的更明顯也更有立體感，真是個天才！(札記 900206S1S17)。
察覺——通過感覺器官觀察，獲技術上的領悟（如札記 900131S1S10）。 反應趨向——對於學習在情趣、生理及心理上的接觸（如札記 9000209S1S19）。 仿效反應——模仿技術「嘗試錯誤 trial error 」（如札記 900211S1S21）。 機巧——正確操作儀器表現正確的步驟及過程（如札記 900214S4S19）。 複合反應——熟習操作，表現高效率之熟練技巧（如札記 900211S2S08）。 創造——超越前面一切技能，表現其技術的創造性（如札記 900314S4S23）。							

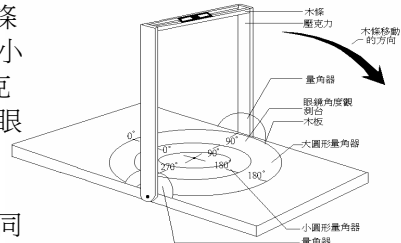
(四) 粹鍊研究結果

在實驗操作中對「立體現象」的觀察變化，必須以語言或文字等具體的敘述來呈現觀察者的覺知及概念，例如撰寫實驗結果就是彰顯研究成效之關鍵（王美芬、熊召弟，民 85）。學生列述「實驗方法」、「實驗設計」、「實驗觀察」、「實驗記錄」與「實驗操作」關聯發展的結果，運用文字、圖表、符號的描述（如專題報告原案 B5-08，研究八），同時，為使各項「研究結果」清楚的呈現發展關聯，教師綜合列出研究結果的內容（表 9）。

【研究八】

方法：

1. 製作影像觀察台，製作方法：用鋸好的木條做成底架，印大小不同的量角器各兩個（小的可旋轉），兩邊各架長約 45 公分的壓克力板，中間用兩支細木條撐著，把紅、藍眼鏡放上觀察，如右：
2. 影像觀察台固定在 90 度。
3. 將立體圖用①原本②影印③列印的方法用同倍大小比較。



影像觀察台

編號	01			02			03			04		
	原來	影印	列印	原來	影印	列印	原來	影印	列印	原來	影印	列印
立體	凸	凸	凸	凸	凸	凸	凸	凸	凸	凸	凸	凸
程度	相同	相同	相同	相同	相同	相同	相同	相同	相同	相同	相同	相同

編號	05			06			07			08		
	原來	影印	列印	原來	影印	列印	原來	影印	列印	原來	影印	列印
立體	凸	凸	凸	凸	凸	凸	凸	凸	凸	凸	凸	凸
程度	相同	相同	相同	相同	相同	相同	相同	相同	相同	相同	相同	相同

結果：三種方法都出現相同凸起立體現象。

表 9 研究結果綜合表

研究編號	研 究 結 果	圖表數量	
		圖	表
研究 1	發現有立體視覺效果的鏡像有四種。	0	1
研究 2	圖正面（倒置）觀察時都有凸起（凹陷）的立體現象發生，圖向左、右置觀察時沒有立體現象。	0	1
研究 3	只有雙眼觀察會有凸起、凹陷變化，單眼觀察沒有變化。	0	2
研究 4	我們發現眼距有長、有短平均大約是 5.56 公分。	0	1
研究 5	眼睛會受到影響，產生不同的錯視結果（效果），非常奇妙。	34	0
研究 6	我們發現距離越遠，魔術方塊所佔的格子數也越少。	1	1

研究 7	我們發現從正面只能看到一面，水平、垂直面能看到二面，斜面（45、135、225、315 度）能看到三面。	2	1
研究 8	三種方法都出現相同凸起立體現象。	1	1
研究 9	發現倍數越大，立體的高度也越高。	0	1
研究 10	我們發現只有 0 度和 180 度時會有立體現象，並且立體方向相反，90 度和 270 度沒有產生立體現象。	1	1
研究 11	我們發現 0 度（凸）和 180 度（凹）立體的最明顯，90 度和 270 度沒有效果。	1	1
研究 12	我們發現台灣影像圖改變長、寬仍有立體現象。	0	1
研究 13	我們發現角度越小（或越大）呈像就越不清楚，0 度、180 度和立體圖平行就看不見。	0	1
研究 14	我們發現不管怎樣移動，反射出來的影像都是凹陷。	2	1
研究 15	我們發現距離越遠，台灣中央的山也凸起的越明顯。	1	1
研究 16	不論如何組合變化必須接近紅、藍兩色系及綠色才會呈現立體現象。	46	1
研究 17	除 M 組（原形眼鏡）外其餘各組都沒有呈現立體現象。	0	0
研究 18	我們發現綠光和藍光立體效果最佳，紅光和紫光沒有立體現象產生，也發現燈光的顏色並不會使立體圖放大縮小。	2	2
研究 19	玻璃紙和色紙的變化相似，顏色會改變。	2	1
研究 20	紅色系透光性較佳，藍色系透光性較差。	1	0
研究 21	發現兩組呈現的立體像不明顯。	0	1
研究 22	鏡片夾角 60 度時，紅藍圖片會形成綠色凹陷的立體現象。	1	0
研究 23	1.我們可以將普通圖形製成立體圖：①紅色向左移藍色向右移形成凸像。②紅色向右移藍色向左移形成凹像。2.我們可以做出各種有趣的立體鏡（如實物）。	4	0

學生依計畫進行觀測、記錄，並將所得到的資料，以文字、圖表、符號表示做組織關聯，進行歸納與判斷。教師分析學生的「研究結果」內容，有以下特色：

1. 「研究結果」與「研究問題」的相互鍵結

學生呈現的「研究結果」與「研究問題」表面上為分別獨立的項目，而「研究問題」卻透過「觀察物體」與「觀察方法」的變因控制作用，融合「實驗設計」、「實驗觀察」、「實驗記錄」與「實驗操作」為一體，呈現出實驗研究之連續的、整體的、不可分的發展特性。

2. 「實驗因子」是「研究結果」與「研究問題」連鎖的關鍵

學生以「實驗活動」探究「問題」時，「操控變因」是「研究結果」產出的特色。學生以「觀察物體」與「觀察方法」為變因控制主要方向，「問題因子」轉換

為「實驗因子」是「研究結果」與「研究問題」相互連結的關鍵。學生的「實驗設計」、「實驗觀察」、「實驗記錄」與「實驗操作」的進行，都是為了解決問題。在學生的解決問題過程中，學生以「問題因子」做為策略發展的中心，經由「實驗設計」與「實驗操作」的交互進行，「問題因子」轉換成「實驗因子」，形成「實驗活動」探究裏所需要控制的變因，催化「實驗觀察」與「實驗記錄」產生「**濾紙**」般的作用，析出「研究結果」。學生分「固定」與「操縱」的交叉控制方法，以「觀察物體」與「觀察方法」為主要的控制變因，利用「實驗器材」加以操弄與觀察，形成因子轉換後的控制關係（圖 11）：

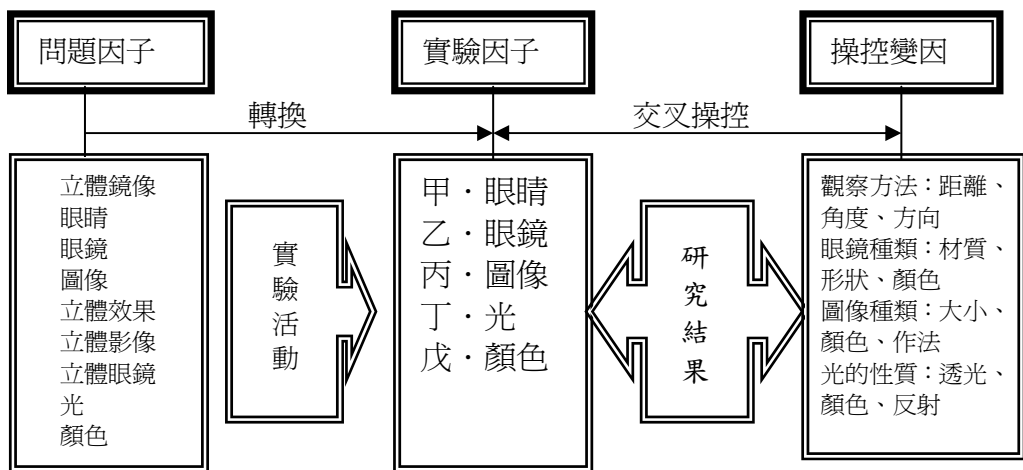


圖 11 學生因子轉換關係圖

學生從不同的「研究設計」做多樣的觀察，以系列的觀測資料，依特徵及屬性將觀察所得的現象加以歸類。學生察覺到「情境相同，方法相同，得到的結果就要相同或相似」。學生比較設計圖樣及操作實物，辨識相同和相異之處，做為推測依據；藉由對觀測及記錄的資料加以組織關聯，進行歸納與判斷，以觀察所得現象的因果關係，逐漸導向形成「立體現象成因」的結論。

三、實驗研究整理階段

學生之實驗活動，以科學過程進行觀察、測量、記錄、預測、假設之後，還必須根據「實驗設計」與「實驗操作」關聯發展的結果加以分析，形成結論。同時將研究內容討論整理，提出心得與建議，完成書面說明。因此，在本階段中「討

論研究內容」與「分析結果形成結論」成為學生科學探究中學習發展的重點：

(一) 綜合討論

學生將實驗研究依特徵及屬性將觀察的現象加以歸類，總合記錄的資料做組織關聯，依研究結果進行歸納與判斷。學生對於所得到的研究結果，經由討論有以下的六點心得（札記 900216S1S24）：

1. 我們了解產生立體像的原理，可以利用 Photoshop 來製做立體像。
2. 當立體圖正倒放時，會呈現一凸一凹，左右放則無效果。
3. 眼睛的距離立體圖越遠，它凸起的高度也越明顯，等到了 600cm~700cm 的這段距離時，就不清楚很難看見。
4. 光的顏色不同，並不會使立體圖的大小改變。
5. 紅藍眼鏡戴起來不是很舒服，紅綠眼鏡比較舒服，呈現的效果佳，可以和廠商建議。
6. 用玻璃紙看也會立體，其中以紅藍、紅綠、紅黃的效果較佳。

學生以觀察所得現象之因果關係，透過討論做為形成結論參考，並且由光的原理、「立體影像」製作的原理、取得材料的難易、名詞解釋等四個方向，進一步整理出「討論」項目內容。因此，學生的「討論」具有「能利用『討論』項目對名詞意義加以定義、可以從操作中找出原理的過程加以說明、以及說出取得研究經驗之方法與結果的心得」（討論 900215K12）等三個作用。

(二) 形成結論

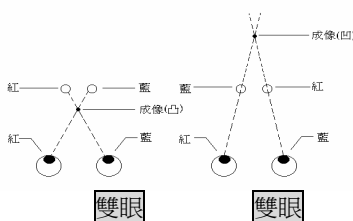
學生整個的學習活動引用觀察、蒐集資料、比較、分類、統整、歸納、研判、推理等科學方法與過程技能，不斷的探究「立體影像」的現象。由於「立體現象」的變化並非本文研究的焦點，學生得到的結論雖然未能完整說明「立體現象」，然而真實的探究問題，是整個的學習活動珍貴之處。學生巧妙地運用實驗研究技術，再討論、歸納與判斷現象間之因果關係，揭開立體影像「凸起現象」的初步變化，具體的以「立體像原理圖示」，做為解釋「立體圖像」凸起與凹陷原因的結論（討論 900218K13）（說明書 B07）：

< 結論 >

1. 我們觀察的立體圖，它必須用紅、藍、綠色系的兩色組合眼鏡觀察，才會呈現出立體現象。
2. 當眼鏡的方向左紅右藍或左紅右綠觀察時，台灣中央的山會明顯的隆起，眼鏡的方向是左藍右紅，台灣中央的山會明顯的凹下，隆起的山碰不到也摸不著（編號 01—08 都相同），我們覺得這只是個虛像，和眼睛會有錯覺相關。
3. 戴上立體眼鏡觀察立體影像圖，距離越遠，隆起的高度也越明顯。
4. 圖上有許多紅、藍的點，如果少了這些點，就不會有立體現象，我們發現這就是立體成像的秘密。
5. 紅、藍點的位移大小影響立體的程度。
6. 由研究中發現立體現象會受圖像色彩、圖像大小、圖像位置、觀察角度、觀察距離、眼鏡顏色、光的顏色的影響；我們認為決定因素在於①圖像色彩②眼鏡顏色③光的顏色。
7. 立體成像的原理如下：
 - ①紅色眼鏡＋紅色像素＝只有實像沒有虛像
 - ②藍色眼鏡＋藍色像素＝只有實像沒有虛像
 - ③藍色眼鏡＋紅色像素＝形成虛像也有實像
 - ④紅色眼鏡＋藍色像素＝形成虛像也有實像

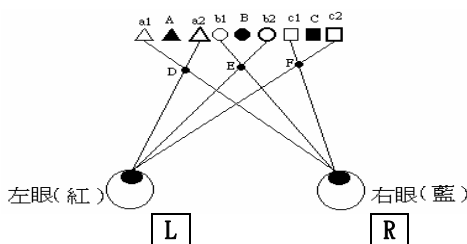
【立體像原理圖示】

甲. 凸像原理



凹像原理

乙. 視覺交錯形成的像



說明：1. A、B、C 為一點組，是實點（組合成實體的像）

a1、b1、c1 為 A、B、C 向左移形成的一點組

a2、b2、c2 為 A、B、C 向右移形成的一點組

2. D、E、F 是視覺交錯形成的虛點（組合成浮起的虛像）

L-a2 相交 R-a1 形成虛點 D

L-b2 相交 R-b1 形成虛點 E

L-c2 相交 R-c1 形成虛點 F



8. 我們可利用立體成像的原理發展出不同又有趣的鏡像作品。（說明書 B07）

學生的學習探究使用了科學過程技能，由分析結果及綜合討論形成結論的過程，呈現多元學習的特性，使研究者認為學生在科學專題探究中的學習是無所不在的。學生以「分析討論形成結論」、「心得與建議」與「完成書面報告」（日誌 900217T45）的實際成果，做為學習探究的實踐。學生的學習探究呈現以下的過程結構（圖 12）：

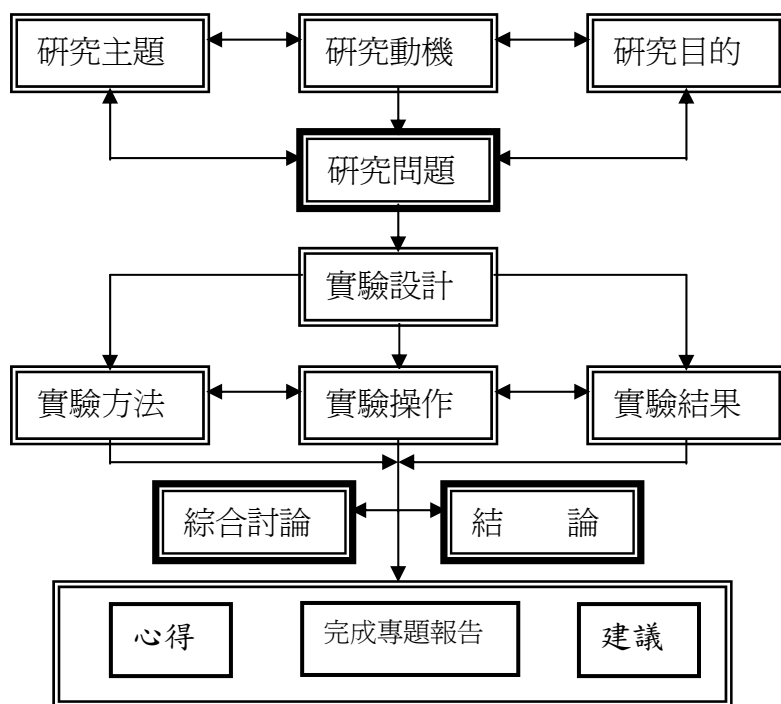


圖 12 學生學習探究過程結構圖

真理權威的來源，在於學生自己進行的實驗與觀察，沒有外在權威可以強迫學生相信什麼，教師對科學概念或方法的講解，目的只是為背景與基礎知識的介紹，或者對理論性知識原理的引介。學生「吸收」和「重現」學習的結果，始能讓學習能力發揮出來，重新反芻教師引介的科學概念或方法，以及理論性的知識和原理原則，創塑有意義的學習過程。學生因「反芻」與「創新」，成為真理權威的建立者，使科學專題的學習深具意義，激化成為「主動探究的實踐者」。

伍、結論與建議

學生科學專題探究活動是以問題為基礎的學習（problem-based learning）活動，由於探究過程繁複，會比較注重高層次的規則歸納與問題解決技能之培養，所以能有效促進學習者有意義的學習。從建構理論的觀點而言：科學專題探究的學習是一種建構再建構以獲得新知的過程（熊召弟等譯，民 91；黃台珠等譯，民

91)。這種過程是數種關鍵性認知歷程與學習環境交互作用的結果，它包括了正確的知覺、想像、組織、與精緻化（*elaboration*）過程（熊召弟等譯，民 91），這些過程使得概念之間的關連與建構可以更有意義的完成（Duffy, Lowyck, & Jonassen, 1993）。從這樣的學習觀點為基礎，研究者透過潛在之（1）定向（*Orientation*）（2）引出（*Elicitation*）（3）意見重組（*Restructuring of Ideas*）的指導序列，獲致以下的結論：

一、觀察現象階段方面

（一）學生發現「圖像立體」的好奇心理形成企圖「解決問題」的研究動機
學生經由問題的「好奇」和「動機」間之相互連結，促成由「研究動機」到主動「解決問題」的學習轉換。學生自己以「問題為中心」，從分析「事實」與排除「困境」的互動中創塑學習歷程，逐漸成為「立體鏡像」知識的專家，展現一個「科學社群」的雛型。

（二）學生以目的性循環學習模式築建「研究目的」

學生由本身的觀察和經驗為基礎循環學習，主動從自己的「光和像」認知發展自我概念的建構，不需要引介，只朝一定的「研究目的」發展。因而，學生自我的循環學習，藉新知的定錨（*anchored*）作用，產生有意義的學習（*meaningful learning*）過程，以目的性循環學習模式築建「研究目的」。

二、實驗研究過程階段方面

（一）學生藉由「問題因子」與「十字」型的交叉思考模式來發展「研究問題」

學生以新的「十字」型思考模式提供「解決問題」的策略，不僅突破舊有而單純的「由上而下」及「由下而上」的「水平」與「垂直」思考路徑，也重塑學習與指導的思考律則。

（二）學生發展「計畫－設計」的實驗結構形成「觀察」為軸心的「研究方法」

學生的實驗設計考慮「方向」、「角度」、「距離」、「形狀」、「質料」、「顏色」與「光色」等變因，透過結構化的「實驗計畫」來發展「實驗設計」，加上「觀察的物體」和「觀察方法」的相互作用，成為有效的研究方法和步驟。

（三）研究器材設備的設計與操作使學生在教室外有非結構化學習經驗

學生在器材與設備的「選擇」、「蒐集」與「取得」過程，經由「脈絡抽離化的教室」，而有發現真實世界的機會，可以在複雜的、結構不完整的情境中，持續進行科學的探究與學習。

三、實驗研究整理階段方面

（一）學生在「解決問題」過程中的學習會快速遷移自然呈現研究結果

學生在合作學習中，會主動而迅速的重組、改造與築建「新的經驗」。因而，在不斷湧現的問題與情境中會迅速循環轉換、同化與調適新舊學習經驗，自然析出研究結果。

（二）學生由實驗活動歸納研究結果的原則性來做成結論

學生以「因子轉換」方式連結「研究問題」與「研究結果」，透過實驗活動歸納各項結果的原則性，由綜合討論而做成結論。學生整個的學習活動引用觀察、蒐集資料、比較、分類、統整、歸納、研判、推理等科學方法與過程技能，真實的探究「立體影像」的現象，呈現「學習者為中心」的專題探究活動歷程，提供「科學教育」多元化發展方向。

專題式的科學探究活動能提供 STS 教學的思考（王美芬、熊召弟，民 85）。學生在探討的過程中，自然地學到科學知識、科學方法和科學態度，原生創造力，並得以應用在生活或社會層面。學生科學專題研究過程表現的「活動導向」、「問題導向」、「過程技能導向」、「學習導向」的特性，呈現出多元學習的發展。科學專題探究活動可以激發學生正向的科學學習情意與科學研究志趣，增加他們實際經驗及操作的機會，以及完成實驗或觀察紀錄。教師如何在此歷程扮演好的指導角色，進一步推展多元的科學教育活動主要建議如下：

（一）教師要以學生的能力和與趣做起點設計適當的指導流程

指導教師要培養資訊科技融入科學的專業能力，結合其他領域的特質以及善用當代科技，以學生的能力和與趣做起點，由指導環境評估與建置→擬定指導計畫→指導活動設計（包含實驗、觀察、操作、紀錄方法設計）→指導活動實施與修正→協助蒐集與整理觀察紀錄資料→協助分析與解釋資料→協助形成結論完成說明書的指導流程中，幫助學生完成優良的科學專題作品。

（二）加強學生定性(qualitative procedures)、定量(quantitative procedures)能力

指導教師應注重學生定性(qualitative procedures)、定量(quantitative procedures)思考與解釋能力，就實驗科學或經驗科學的過程，從事實際生活的價值判斷、整

體思考或系統思考以及決策(decision making)方法，使學生的探究具有可行性，為解決問題尋找可靠知識的來源奠定基礎，提昇應有的科學素養。

(三) 重視學生科學探究過程中佔有極大份量之「討論」功用

「討論」在學生科學探究過程中佔有極大的份量，指導教師應認識及重視科學探究中「討論」的特殊性（如學生的討論必須有適當的場地、經過訓練及練習、知識經驗異質化增強討論效果、藉團體討論擴展個人創造力），進行創造性思考之指導，協助發展獨立思考的方法，提供有利的創造環境與思考空間，使學生可以發揮「知、情、意」的多元表現。

(四) 教師應注重培養學生科學的價值觀

教師應注重培養學生科學的價值觀，透過適當的組織團隊、發展研究主題，由富於人性價值觀的科學教育，結合生活有關題材，探討人類與環境的關係，才能使我們的學生用活潑的科學方法，正確的科學態度，創造新的文化。

參考資料

- 王美芬、熊召弟（民 85）。國民小學自然科教材教法。台北：心理。
- 皮連生、邵瑞珍（民 78）。教育心理學。台北：五南。
- 江新合（民 81）。建構主義式教學策略在國小自然科教學的應用模式。收錄於屏東師院編，**國小自然科學教育學術研討會論文集**（頁 3-20）。
- 吳明清（民 85）。教育研究。台北：五南。
- 林珮璇（民 89）。個案研究及其在教育上的運用~質的研究方法。嘉義：中正大學。
- 林宏恩（民 79）。高中高職學生不同問題解決能力與其生活適應之差異比較研究。國立高雄師範大學教育研究所碩士論文。
- 翁玉華（民 87）。問題解決能力與科學過程技能之相關探討。國立台灣師範大學地球科學研究所碩士論文。
- 郭有通（民 76）。如何培養科技的創造。台北：國立台灣科學教育館。
- 郭金美（民 88）。建構主義教學方法—影響學童光學概念學習教學模式的研究。**嘉義師院學報**，13（11），157-201。
- 黃台珠等譯（民 91）。促進理解之科學教學～人本建構取向觀點。台北：心理。
- 張俊紳（民 76）。教師發問內容的技巧對學生科學態度及科學過程的影響。國立高雄師範學院教育研究所碩士論文。
- 教育部（民 91）。國民中小學九年一貫課程綱要。教育部。
- 楊佩芬（民 88）。從建構主義理論學習理論探討超媒體在教學上的運用。**資訊與網路教**

- 學應用（頁 42-63）。台北市政府教育局。
- 曾振富（民 89）。利用網路科技輔助自然科「教」與「學」之研究：以台北市中正河濱公園自然生態為例。國立台北師範學院課程與教育研究所碩士論文。
- 熊召弟等譯（民 91）。科學學習心理學。台北：心理。
- 鍾聖校（民 88）。自然與科技課程教材教法。台北：五南。
- 簡惠燕（民 89）。國小學童在科學問題解決過程中創造力與後設認知之相關研究。國立屏東師範學院碩士論文。
- Ausubel, D. P., Novak, J. D., & Hanesian, H. (1978). *Educational psychology: A cognitive view (2nd)*. N. Y.: Holt, Rinehart & Winston.
- Atkins, L. S. (1999). Listening to student. *Teaching Children Mathematics*, 5(5), 289-295.
- Bruner, J. S. (1973). *The relevance of education*. New York: W. W. Norton.
- Driver, R., & Oldham, V. (1986). A constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science Education*, 13, 105-122.
- Duffy, T. M., Lowyck, J., & Jonassen, D. (1993). *Designing environment for constructive learning*. Heidelberg: Springer-Verlag.
- Parnes, S. J. (1977). CPSI: The general system. *Journal of Creative Behavior*, 11, 1-6.
- Roth, W. M. (1998). *Designing communities*. London: Kluwer Academic Publisher.
- Roy, R. (2000). Real science education: replacing “PCB” with science through STS throughout all levels of K-12 “materials” as one approach. In Kumar, D. D., & Chubin, D. E. (2000), *Science, technology, and society: A sourcebook on research and practice* (pp.9-19). New York: Kluwer academic/Plenum Publishers.
- Treffinger, D. J. & Isaksen, S. G. (1992). *Creative problem solving- An Introduction*. Center of Creative Learning Inc.
- Wheatley, G... H. (1991). Constructivist perspectives on science and mathematics learning. *Science Education*, 75 (1), 9-21.

The Journey of Primary Students' Science Project-Based Learning: Design and Production of Three-Dimensional Stereoscopic Mirror

Cheng-i Chang & Chao-ti Hsiung^{*}

ABSTRACT^{*}

The purpose of this study was to investigate the journey through the science project entitled “ Super-Cool 3-D stereoscopic mirror” designed and produced by four primary students. Data were collected by field notes written from on-the-spot observations, the transcripts taken from the informal interviews as well as the dialogue among the teacher and students, students’ journals, recording on the lab sheets, final project and other documents. Findings showed that :(1) during the initial observational stage, the students integrated prior experience by taking the problem as the central part for investigation, creating the purposeful learning cycle model, and developing a miniature of scientific community; (2) during the investigation stage, the students developed the final research questions via the frequent cross-checks by the “question organizers”. The cross-type thinking model provided the strategies for solving problems and the foundation for extra-curricular learning; (3) during the data analysis stage, the students exerted their efforts to describe precisely with words, charts, symbols, and the interpretation for the images through red/blue glasses interlocking function which influenced the parallax. However, the principles as well as the conclusions of stereoscopic phenomena were inducted from the so-called

^{*} Cheng-i Chang: Teacher, Shin Nan Primary School, Chungho City Taipei
Chao-ti Hsiung: Professor, Graduat School of Mathematics and Science Education, National Taipei Teachers College

“context-free” experimental activities. The exploratory journey showed that the four students could operate the higher-order thinking skills, such as the induction and problem-solving skills, and then actively constructed the investigation procedures based on the “learner-centered” rationale. The study not only demonstrated the educational meaning for science fair, but also could provide a reference for children’s multi-dimensional development.

Key words: light concepts, project-based learning, science projects, science investigation

