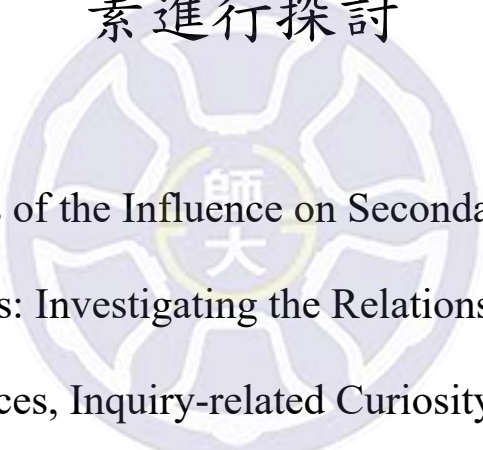


國立臺灣師範大學科學教育研究所博士班
博士論文

指導教授：吳心楷 博士

建構高中學生探究能力之影響模式：
從學習經驗、科學好奇心以及科學投入的因
素進行探討



A Structural Models of the Influence on Secondary School Students'
Inquiry Abilities: Investigating the Relationships among the
Learning Experiences, Inquiry-related Curiosity, Engagement, and
Inquiry Abilities of Students

研究生：吳 百 興

中華民國 107 年 2 月

建構高中學生探究能力之影響模式：

從學習經驗、科學好奇心以及科學投入的因素進行探討

中文摘要

近年來的科學教育改革浪潮中，尤其是《十二年國民基本教育課程綱要》特別地著重於學生探究能力的養成。然而，探究能力的養成除了課程影響之外，是否存在其他因素影響著學生的探究能力。因此，本論文的旨在探討學生的科學學習經驗、科學好奇心以及科學投入對其探究能力的影響關係，希冀能從中建構出高中學生探究能力之影響模式。為達到此一目的本論文以兩項研究，採分層隨機抽樣的方式分別自北北基的高中，抽樣 1,090 名 (研究一)以及 605 名 (研究二) 11 年級學生來進行施測，並透過結構方程模式的分析方式。藉此探討影響高中學生探究能力發展的因素及其關係。

研究一：主要是探討高中學生的科學學習經驗、探究相關的好奇心及科學活動的投入狀態對學生探究能力的影響關係。研究結果發現學生的好奇心與對實驗活動的投入是中介學習經驗與探究能力之間的重要因素；並發現在好奇心驅使之探究學習歷程中，學生的投入不僅具有直接影響探究能力的效果，同時也扮演著中介的角色來影響他們的好奇心對探究能力的關係。

研究二：根據研究一建立之好奇心驅使探究能力表現的模式進行研究，其探討在好奇心趨動下，認知、行為、情意以及社會互動等不同的投入對探究能力表現的影響效果為何，以及實驗活動中不同的投入之間是否具相互影響的關係。透過結構方程模式的分析，發現四種投入扮演部分中介的角色去影響好奇心對探究能力的關聯；此外並發現學生對感到好奇的事物，會透過不同的實驗活動之投入來激起學生對所參與的活動的喜好，並願意使用更多的認知策略去完成該活動，可能是培養學生探究能力重要的方法。

藉由上述的系列研究，本論文嘗試釐清高中學生之學習經驗、科學好奇心以及科學投入等因素影響其探究能力的關係，並試圖提出影響學生探究能力表現的實徵模型，以提供科學教育研究領域與科學教育者在從事相關研究與教學時的參考與依據，並希冀藉此能夠促進學生在科學探究能力的培養。

關鍵字：多媒體導向探究能力評量、投入、科學好奇心、科學探究能力、科學學習經驗、結構方程模式、試題反應理論

A Structural Models of the Influence on Secondary School Students' Inquiry Abilities: Investigating the Relationships among the Learning Experiences, Inquiry-related Curiosity, Engagement, and Inquiry Abilities of Students

Abstract

The emphasis on scientific inquiry has increased the importance of developing the fundamental abilities to conduct scientific investigations, and has highlighted the need for a model of students' inquiry abilities. This dissertation addresses the issue of the development of students' inquiry abilities by examining the interplay among students' inquiry-related curiosity, engagement, and inquiry abilities, and investigates how their learning experiences associate with such interplay. In addition, this article also concern about how the relationships among the types of engagement in activities of laboratory during the development of students' inquiry ability. To realize these purposes, two studies were conducted to examine the relationships among variables by employing structural equation modeling to analyze data collected from 1,090 (study 1) and 605 (study 2) 11th graders, including their performance on a multimedia-based assessment of scientific inquiry abilities and their responses to items in an on-line questionnaire. The results revealed that both formal and informal experiences were associated with the laboratory engagement of students through curiosity. Furthermore, the analyses showed that inquiry-related curiosity was associated with their inquiry abilities, and that the association was mediated by their inquiry-related laboratory engagement. Moreover, the results of the relationships among the types of engagement in the study 2 shown that both the behavioral and social engagement played a completely mediated role to associate the influence from emotional engagement to cognitive engagement. Through the paths of behavioral and social engagement, that is, the cognitive strategy use in laboratory activities would be reinforced by their emotions about laboratory activities. Taken together, this dissertation provides structural models to support the importance of having curiosity-driven engagement, and suggests that the science educational community should collaborate to offer secondary school students such learning opportunities in formal and informal science learning settings.

Keywords: engagement, inquiry-related curiosity, item-response theory, learning experience, multimedia-based assessment of scientific inquiry abilities, scientific inquiry ability, structural equation modeling

目次

中文摘要.....	i
Abstract	ii
第一章 緒論	1
第一節 背景與動機	2
第二節 論文的研究重要性	4
第三節 目的與架構	6
一、 論文目的	6
二、 論文架構	7
第四節 範圍與限制	10
一、 研究範圍	10
二、 研究限制	10
第五節 名詞釋義	11
一、 多媒體導向探究能力評量 (Multimedia-based Assessment of Scientific Inquiry Abilities ; MASIA).....	11
二、 正式科學學習經驗 (Formal Science Learning Experience).....	11
三、 非正式科學學習經驗 (Informal Science Learning Experience)	11
四、 科學探究能力 (Scientific Inquiry Abilities).....	12
五、 探究相關的好奇心 (Inquiry-related Curiosity)	12
六、 科學探究投入 (Engagement in Scientific Inquiry).....	12
七、 行為的投入(Behavioral Engagement)	12
八、 認知的投入(Cognitive Engagement)	13
九、 情意的投入(Emotional Engagement).....	13
十、 社會互動的投入(Social Engagement)	13
第二章 文獻探討	15
第一節 探究能力	15
一、 探究能力的定義	16
二、 科學探究能力的內涵與評量(實徵研究).....	27

三、	本論文所採用之探究能力.....	30
第二節	好奇心.....	32
一、	好奇心的定義.....	32
二、	探究相關的好奇心與實驗室投入對探究能力的影響.....	34
第三節	學習投入.....	36
一、	學習投入的定義.....	37
二、	學習投入的各個構念.....	40
三、	學習投入與學習表現的關係.....	42
四、	各項構念之間的關係.....	47
五、	總結：形成投入相關的模式.....	49
第四節	科學學習經驗.....	51
一、	學習類型及其定義.....	51
二、	學習經驗對科學學習的影響.....	52
第五節	變數導向的結構方程模式.....	55
一、	理論先驗性.....	55
二、	整合多種分析技術.....	56
三、	同時處理測量與分析模式.....	56
四、	透過共變異數的運算方式.....	57
五、	重視多重指標.....	57
第三章	科學學習經驗、探究相關好奇心與科學活動的投入對探究能力的影響	
(研究一)	59	
第一節	研究目的與問題.....	59
第二節	理論模式.....	60
第三節	研究方法.....	61
一、	研究對象與抽樣方法.....	61
二、	多媒體導向探究能力評量設計.....	62
三、	測量工具.....	64
四、	資料分析.....	68
第四節	研究結果.....	71

一、	測量模式	71
二、	結構模式	75
三、	小結	78
第四章	好奇心驅動下投入對探究能力的影響(研究二).....	81
第一節	研究目的與問題	82
第二節	理論模型	83
第三節	研究方法	84
一、	研究對象	84
二、	探究實作能力評量設計	86
三、	測量工具	90
四、	資料分析	94
第四節	研究結果	95
一、	學生探究能力估計	95
二、	試題分析	100
三、	測量模式	101
四、	結構模式	103
第五節	小結	112
第五章	討論與建議	115
第一節	結論	115
一、	研究一之結果	115
二、	研究二之結果	115
第二節	討論	116
一、	探究學習過程中好奇心與投入之間的相互關聯	116
二、	科學學習經驗對探究相關的好奇心與投入的關聯	118
三、	在好奇心驅動下不同投入之間的相互關聯	119
四、	台灣學生對反向論述之量表試題的反應	121
第三節	建議	123
一、	對探究與實作教學之建議	123

二、對未來研究之建議.....	124
參考文獻.....	127
附錄.....	140



表次

表 2-1-1 美國奧勒岡州教育部之課室科學探究教學所需之必需特徵及其類別.....	21
表 2-1-2 十二年國民教育課程綱要之探究能力架構表.....	26
表 2-1-3 科學探究活動中學生所展現的探究能力整理.....	28
表 2-1-4 本研究所使用之探究能力及其次項能力描述.....	30
表 2-3-1 不同投入類型之定義及其包含之構念統整表.....	40
表 2-5-1 不同統計分析技術之間的差異比較表.....	55
表 3-3-1 平衡不完全區塊之題本設計.....	64
表 3-3-2 背景問卷中各測量工具之潛在變項及其指標試題.....	67
表 3-4-1 各試題的相關矩陣 (n = 1,090).....	73
表 3-4-2 初始模式與修改後模式之測量模式檢定結果.....	74
表 3-4-3 測量模式之區辨效度.....	75
表 3-4-4 觀察指標之路徑參數表.....	76
表 3-4-5 探究相關好奇心對探究能力之標準化效應參數.....	77
表 3-4-6 學習經驗對探究相關實驗室投入之標準化效應參數.....	78
表 4-3-1 受試學生之學校分層分布表.....	86
表 4-3-2 評量架構之各分項能力及其子能力描述.....	87
表 4-3-3 各探究實作能力之評測題數.....	88
表 4-3-4 實驗室活動的投入問卷之觀察變項指標及其試題描述.....	92
表 4-3-5 實驗室活動的投入問卷各分項量表之信度、效度列表.....	93
表 4-4-1 各試題的相關矩陣 (n = 605).....	96
表 4-4-2 試題難度列表.....	98
表 4-4-3 學生探究能力估計值.....	98
表 4-4-4 實驗室活動的投入問卷之信度分析.....	100
表 4-4-5 初始模式與修改後模式之測量模式檢定結果.....	103
表 4-4-6 觀察指標之路徑參數表.....	104
表 4-4-7 探究相關好奇心對探究能力之標準化效應參數.....	106
表 4-4-8 三種投入對認知投入之標準化效應參數.....	108
表 4-4-9 探究相關的好奇心對實驗室活動的各項投入之標準化效應參數.....	109
表 4-4-10 不同投入對探究能力之標準化效應參數.....	111
表 A-1-1 探究能力相關碩博士論文整理列表.....	140
表 A-2-1 次數分配之敘述統計表.....	143
表 A-2-2 次數分配統整表.....	143

圖次

圖 1-1-1 理論模式 1：科學學習經驗、科學好奇心與實驗室投入對探究能力的影響模式.....	8
圖 1-1-2 理論模式 2：好奇心驅動之探究能力模式.....	9
圖 2-1-1 NGSS 揉合三個項度的科學課程 (引自，Krajcik, 2015).....	23
圖 2-1-2 科學家與工程師常用之探究與設計的歷程及其活動 (引自：NRC, 2012，頁 45).....	24
圖 2-3-1 影響學習投入的因素及其影響因素關係示意圖 (整理自 Fredricks, 2004).....	43
圖 2-3-2 理論模式 1：科學學習經驗、科學好奇心與實驗室投入對探究能力的影響模式.....	50
圖 2-3-3 理論模式 2：好奇心驅動之探究能力模式.....	51
圖 2-5-1 結構方程模式的特性.....	58
圖 3-2-1 理論模式 1：科學學習經驗、科學好奇心與實驗室投入對探究能力的影響模式.....	60
圖 3-3-1 MASIA 之試題範例.....	63
圖 3-4-1 結構模式及其路徑參數.....	76
圖 4-2-1 理論模式 2：好奇心驅動之探究能力模式.....	83
圖 4-3-1 MASIA 試題之 Wright Map 分布圖 (n = 2031).....	89
圖 4-4-1 研究二中 39 題之 Wright Map 分布圖 (n = 2615).....	99
圖 4-4-2：實驗室活動的投入模式及標準化參數估計值.....	105

第一章 緒論

科學學習的方法，應當從激發學生對科學的好奇心與主動學習的意願為起點，引導其從既有經驗出發，進行主動探索、實驗操作與多元學習，使學生能具備科學核心知識、探究實作與科學論證溝通能力。各學習階段應重視並貫徹「探究與實作」的精神方法，提供學生統整的學習經驗，並強調跨領域與跨科目之間的整合，以綜合理解運用自然科學領域七項跨概念。

<<引用自 (教育部，2015。頁，1)>>

我國教育部正研擬將要推行的十二年國民基本教育，其中自然科領域課程中強調應從激發學生對科學的好奇心與自主的學習，重視並貫徹「探究與實作」。而近年來，提升學生科學探究能力正逐漸被各國的科學教育機關視為重要的改革要點之一。無論是美國的《國家科學教育標準 (National Science Education Standards, NSES)》(NRC, 1996)，抑或是我國的《十二年國民基本教育課程綱要 (以下簡稱十二年國教課綱)》均積極推動科學探究課程的發展，並強調學生在透過這些課程活動中養成其科學探究的能力 (教育部，2014)。除此之外，科學探究能力亦被國際間教育評比視為主要預期的能力展現之一 (例如：OECD, 2013)。因為學生透過課室中的探究活動，能體驗類似科學家的思考問題與解決問題的歷程，從發現問題、提出假說到設計實驗乃至數據分析、資料詮釋到提出解釋等一連串的探究歷程，來發展其建構科學知識的方法與解決真實情境問題的能力。

然而，過去科學探究相關的教育研究雖然不少，但大多均著重於強調透過探究活動課程之發展來促進學生建構與理解科學知識 (例如：Krajcik & Czerniak, 2007; Myers & Burgess, 2003; 洪振方與陳毓凱，2011; 蔡錕承與張欣怡，2011)，鮮少研究是探討影響學生探究能力表現之可能因素進行探討。因此，為了更有效提升學生的探究能力，本論文關注的焦點在於高中學生所處之教學環境中，可能有哪些因素會影響並如何影響學生的探究能力表現，而且在這個影響關係中各個因素所扮演之角色亦是本研究所關注的。以下本章將分別就問題背景與研究動機、研究目的與問題、研究限制與範圍、名詞釋義等部分加以說明。

第一節 背景與動機

要探討影響學生探究能力表現的因素，首先可以從學生學習情境中的實驗經驗著手。雖然，實驗室的工作或任務表面上看起來僅在訓練學生完成實驗的技能，而這些實驗室的技能也不能全然的等同於探究能力，因為探究能力不僅僅是完成實驗的過程技能，其中亦包含建構科學知識的認知歷程 (NRC, 2000)。但在尚未真正推動探究與實作課程之前，實驗課程是國內現行的科學課程相對較為接近科學探究課程。因此本論文首先從學習情境中的實驗課程著手，作為探討影響學生探究能力表現的因素之一。然而，對於科學實驗的角色在中學科學教育場域中長期被低估的狀態，Freedman (1997) 針對九年級學生的物理實驗課程進行前後測比較之準實驗研究設計，其研究發現接受實驗教學的學生不僅其物理成績顯著高於沒有接受實驗的控制組 ($p < .01$)，並且具有較高的正向對科學的態度 ($r_{(有實驗組)} = .14 > r_{(無實驗組)} = .25$)。由此可知，實驗教學所訓練的實驗操作技能並非獨立於科學知識之外，還具有促進學生內在情意面的動機或好奇心 (Hofstein & Lunetta, 1982)。

為了探討更多學習情境上可能影響學生的探究能力表現之因素，本論文也將探討是否正式與非正式兩種不同形式的科學學習經驗藉由探究相關的好奇心來影響學生在學校課室的實驗室投入。雖然過去研究中的定義與分野對於正式與非正式科學學習從場域、嚴謹度與學習主體的區分有著十分明確地規範 (Wellington, 1990)。近年來的相關研究則強調應該將這兩種的不同形式的科學學習視為整體，並以此種綜合的學習觀認為此二者對學生的科學學習的影響同等重要或具互補之效，例如：正式學習經驗之學校實驗課程雖然僅為驗證理論概念，但可以有組織地呈現學科單元的科學知識，反之科博館的實驗較缺乏組織但較符合真實的生活情境 (Falk et al., 2015)。由此是故，本論文將同時針對此兩種不同形式的學習經驗與學生在學校課室的實驗室投入有所關聯，且這個關聯是否會受學生的對科學活動的好奇心所中介。

教育心理領域亦提出許多研究嘗試透過心理計量的技術來探討各種學生內在特質如何影響其外在學習成效，例如好奇心 (Tamir, 1978)、動機 (Skinner & Belmont, 1993)。其中，當學生對其外在事物現象產生好奇時，會激發想要了解現象背後原由的意願，並以此好奇心作為驅動其進行探索的動力，影響其外在主動的投入於課程參與的行為表現中，進而可能促進學生在學習成效上的表現 (Hidi & Renninger, 2006; Krapp, 2002)。雖然過去針科學的好奇心在科學學習的相關研究中均指出，學生在好奇心之驅使下，提升了對相關科學知識的興趣並引發其投入從事相關探討行為以從中習得知識，但這些研究並未提供足夠的證據去支持好奇心與投入對學生在探究能力表現上的重要性 (Gauld & Hukins, 1980; Jirout & Klahr, 2012)。因此，本論文特別將探究相關的特定領域的好奇心視為影響學生探究能力表現的因素之一，並探討透過該好奇心的驅動下，如何影響他們在實驗室活動的投入，並對探究能力的影響情形。

其次，學生的學習投入也是教育研究者所關注的重要議題，許多研究均發現學生對學習的投入狀況，對於他們學習成果的表現 (Shernoff et al., 2016)與職業志向的選擇具有顯著的影響 (Eccles & Wang, 2012)。故而，為了提升學生的學習成效，過去許多研究均投注關心於探討影響學習投入的成因，以及學生的投入對學習結果所產生的影響。其中，Fredricks 與她的同僚 (2004) 針對學習投入進行相關研究之文獻回顧，即整理了學校層級、教室情境以及個體需求等三個面向的因素之影響學習投入的成因，其中包含有：學校教學理念與目標設定、教師與同儕的支持、教室結構與學習任務的特徵以及學生求知與自主學習的需求；同時 Fredricks 等人並指出投入對學習結果所產生的影響包含有：學習成就以及輟學率。雖然，相關研究均已證實投入對學生學習扮演著重要的中介角色。然而，卻鮮少研究針對學習經驗、學生的好奇心以及學習投入之間的影響關係進行探討，例如：學生的科學學習經驗是否會透過探究相關的好奇心對其學習投入產生影響，更遑論是針對學生在科學學習歷程中對其探究能力表現的影響關係。因此，為了探討學生探究能力的表現之影響模式，本論文除了將探究相關的好奇心視為影響學生

探究能力表現的因素之一，同時亦將學生在實驗活動中的投入視為另一個重要的因素，並探討透過該好奇心的驅動下，學生在實驗活動中的行為上、認知上、情意上以及社會互動上不同種類之投入對他們探究能力的影響情形。

綜上所述，本論文的目的有二：首先，探討學生的科學學習經驗，透過探究相關好奇心的驅動下對高中學生實驗室投入的影響關係，並藉此了解這些影響因素對學生探究能力表現的影響情形。透過探究能力影響模式的建立，來釐清在探究學習的特定範疇下，學習經驗如何透過刺激學生個體的好奇心或對科學相關事物現象產生求知的慾望，並且探討學生在實驗室投入的行為如何藉由其自身好奇心趨動下去促進對探究能力的表現產生影響。其次，探討學生的行為投入、認知投入、情意投入以及社會互動投入在好奇心驅動之探究能力影響模式中，相互影響的關係為何，並藉此提出第二個影響模式來釐清這些相互關係如何引發學生探究能力的表現。希冀透過這些探究能力的影響模式能夠為教育現場的科學教師們提供一個啟迪，透過本論文所揭露的影響因素及其關係後，日後探究能力的教學上能更有效提升學生的探究能力。

第二節 論文的研究重要性

本論文的研究重要性可從三個方面進行討論，在實驗教學方面，可以協助高中的科學教師重新了解實驗相關的科學學習經驗對學生科學探究能力的影響；在學生情意面的好奇心方面，可以透教學情境的促發學生內在趨力之提升，進而提升探究能力的表現；在探究能力方面，可以透過結構模式的建立來探討影響高中學生探究能力表現的因素及其之間的關係。

首先，針對實驗教學對學生科學學習的相關研究已然證實實驗教學可以輔助學生建構科學知識 (Freedman, 1997)、提高對科學的態度 (Fraser & McRobbie, 1995) 以及增進同儕互動 (Hofstein & Lunetta, 1982)。然而，亦有不少研究指在實驗教學在教學現場推行的困難處，例如：Walberg (1991) 指出實驗教學並非高學習效益與低經費支出的教學活動；Tobin (1986) 則認為食譜式的實驗缺乏讓學生自

已設計實驗與詮釋資料的機會，是故致使教學現場的教師們對於實驗教學並不具太高的信心與意願去推行。因此，本論文透過從實驗相關的科學學習經驗到實驗室投入影響探究能力模式的建立，來重新揭示實驗室教學活動在科學學習的重要性，尤其是對高中學生的探究能力表現上。

其次，在科學相關的情意面表現上，多個國際評比的大型測驗結果均顯示臺灣地區的學生即便在科學成就上有不錯的表現，但在情意面向的各項表現普遍偏低。例如：在 TIMSS 的國際評比結果顯示國內學生具有「高成就、低自信」的現象 (李哲迪，2009)；而 PISA 的國際評比結果亦顯示國內學生的表現出「高成就、低興趣」的現象 (OECD, 2016)。此外，許多研究亦發現隨著年紀的增長，個體內在對科學的喜好與興趣有隨之遞減的趨勢 (Hoffmann, 2002; Krapp, 2002)。Yager 與 Penick (1986)就科學價值觀進行的追蹤研究，發現多數 (90%以上)的小學生認為學習科學對其未來是有用的；而到了 7 年級與 11 年級的百分比則下降到 75%以及 70%；及至長大成人之後僅只剩下 20%的受試者還抱持這樣的想法。因此，本論文透過從實驗相關的科學學習經驗到實驗室投入影響探究能力模式的建立，期待能夠從中提升高中學生在科學相關的情意面表現。

最後，從當代科學教育改革趨勢可以發現無論是美國的國家科學教育標準 (NRC, 2000)，還是臺灣的十二年國教課綱 (教育部，2014)均強調提升學生的探究能力以做為科學教育改革的重點之一。此外，除了教育改革與相關政策的推動之外，國內外也有許多的研究者著重於探究導向科學課程的開發，希冀能藉由科學探究課程的教學，來提昇學習者的探究能力，進而希望學生能運用這些能力解決其所遭遇的問題 (Krajcik & Czerniak, 2007; Myers & Burgess, 2003; 洪振方與陳毓凱，2011; 蔡錕承與張欣怡，2011)。然則，雖然有許多的研究與課程活動是針對透過探究活動課程之發展來促進學生建構與理解科學知識，卻鮮少研究針對影響探究能力的相關因素進行探討。因此，本論文透過從實驗相關的科學學習經驗到實驗室投入影響探究能力模式的建立，來探討影響高中學生探究能力表現的因素及其關係。

第三節 目的與架構

從上述之背景與重要性，大致勾勒出本研究的問題與目的，在此將具體說明。根據先前的研究所提供的理論架構，可以統整出與學生探究能力具有關聯的因素可能來自於教學情境的學習經驗、個體內在的驅力促發外在的相關行為。因此，為協助學生在課室裡或是生活養成具有問題解決的能力，本論文旨在了解影響高中學生的探究能力表現之影響因素，透過結構方程模式 (structural equation modeling，簡稱 SEM) 來建立從實驗室課程到實驗室投入影響探究能力模式。

本論文將探討正式與非正式兩種不同形式的科學學習經驗，是否藉由探究相關的好奇心來影響學生在學校課室的實驗投入，進而對其探究能力產生影響。雖然過去研究中的定義與分野對於正式與非正式科學學習從場域、嚴謹度與學習主體的區分有著十分明確地規範 (Wellington, 1990)。近年來的相關研究則強調應該將這兩種的不同形式的科學學習視為整體，並以此種綜合的學習觀認為此二者對學生的科學學習的影響同等重要或有相輔相成之效 (Falk et al., 2015)。有鑒於此，本論文將針對此兩種不同形式的學習經驗與學生在學校課室的實驗投入之關聯進行探討，且這個關聯是否會受學生內在的好奇心所中介。

一、論文目的

本研究的目的有二。首先，將探討正式與非正式兩種不同形式的科學學習經驗，是否藉由探究相關的來影響學生在學校課室的實驗投入，進而對其探究能力產生影響。其次，將探討在學生內在好奇心的驅動下，不同的實驗投入對於其探究能力的影響情形。綜合上述觀點，本論文將分別以兩項研究來探討學生的課程學習經驗、科學好奇心以及科學投入對其探究能力的影響關係，希冀能從中建構出高中學生探究能力之影響模式。

二、論文架構

依據上述的研究目的，本研究將以兩項研究設計分兩階段進行資料收集，分別針對臺灣北部地區（包含臺北市、新北市以及基隆市）的公私立高中進行抽樣施測，藉此探討中學生的科學學習經驗、探究相關的好奇心以及實驗室投入對其探究能力的影響關係，如圖 1-1-1 所示。故此，本論文的呈現架構將先以第二章進行文獻探討，以建立出本論文所欲探討之影響探究能力的理論模式；隨後兩章則分別呈現兩個研究的研究設計及其研究結果；第三章將呈現第一項研究，探討科學學習經驗、探究相關好奇心與實驗室投入對學生探究能力的影響；第四章則呈現根據研究一之結果結合文獻建議加以修正之第二項研究，主要係將研究一之實驗室投入延伸至認知投入、行為投入、情意投入以及社會互動投入等四種投入，並探討好奇心驅動下不同投入對探究能力的影響。以下簡述本論文的內容及結構：

第一章 緒論：針對本論文之背景與動機、整體的研究重要性進行一個簡單的描述，以未整體之研究脈絡提供一個完整的說明。

第二章 文獻回顧：則分別就先前之研究與文獻發現進行整理，以幫助研究者釐清本論文所關注之各個影響因素的定義以及相互間可能存在的變因關係。各因素定義之釐清可以有助於發展研究所需的量表試題，以便收集學生在該變因的真實反應；變因關係的釐清則方便理論之假說模型的建置，以利後續分析探討的檢驗。其中，本章分別包含了探究能力、好奇心、學習投入、科學學習經驗以及變數導向的結構方程模式等主題的探討。

第三章（研究一）：如圖 1-1-1 所示，本論文所設計的第一項研究主要是在探討高中學生的科學學習經驗、探究相關的好奇心及科學活動的投入狀態對學生探究能力的影響關係。透過 1,090 名 11 年級學生在多媒體導向的探究能力評量的施測，以試題反應理論的技術估計其探究能力的表現。並透過結構方程模式的分析方式來探討科學學習經驗、探究相關的好奇心與科學活動的投入對其探究能力的表現關係。

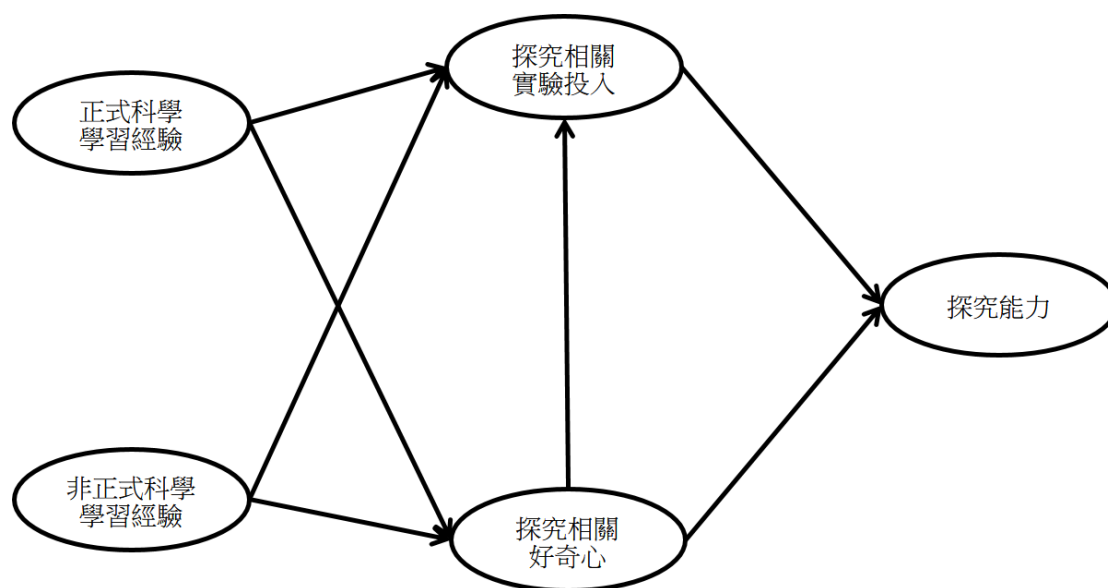


圖 1-1-1 理論模式 1：科學學習經驗、科學好奇心與實驗室投入對探究能力的影響模式

第四章 (研究二)：如圖 1-1-2 所示，本論文之第二個研究係立基於研究一建立的模式之好奇心驅動之影響之探究能力發展模式，再進行進一步的研究探討。其中將探究相關的實驗室投入以實驗室活動中學生的「認知投入」、「行為投入」、「情意投入」以及「社會互動投入」等四種投入置換。藉此探討在科學好奇心的驅使下，這些不同種類的投入對學生探究能力表現的影響效果為何。研究採分層隨機抽樣的方式，抽取 605 名 11 年級學生進行多媒體導向探究能力評量的施測。其評量結果透過試題反應理論來估計其試題難度與先前大樣本施測所建立的力量尺對應以估計其探究能力。再將所估計之探究能力視為依變項進行結構方程模式的分析，來探討學生的科學好奇心與四個投入構念對其探究能力的影響關係及效果。

透過此兩項研究的設計與分析來探討在科學學習經驗、探究相關好奇心、實驗室投入與探究能力表現等四項變數間，對學生探究能力發展與表現可能的影響因素，並透過影響模式的建構來釐清各因素之間的關係為何。藉此，為當前教學場域及學生探究能力發展提供依歸。因此，最後在第五章的部分本論文將統整前述兩項研究之發現，進行綜合討論並對為來研究與相關的探究教學提出建議。

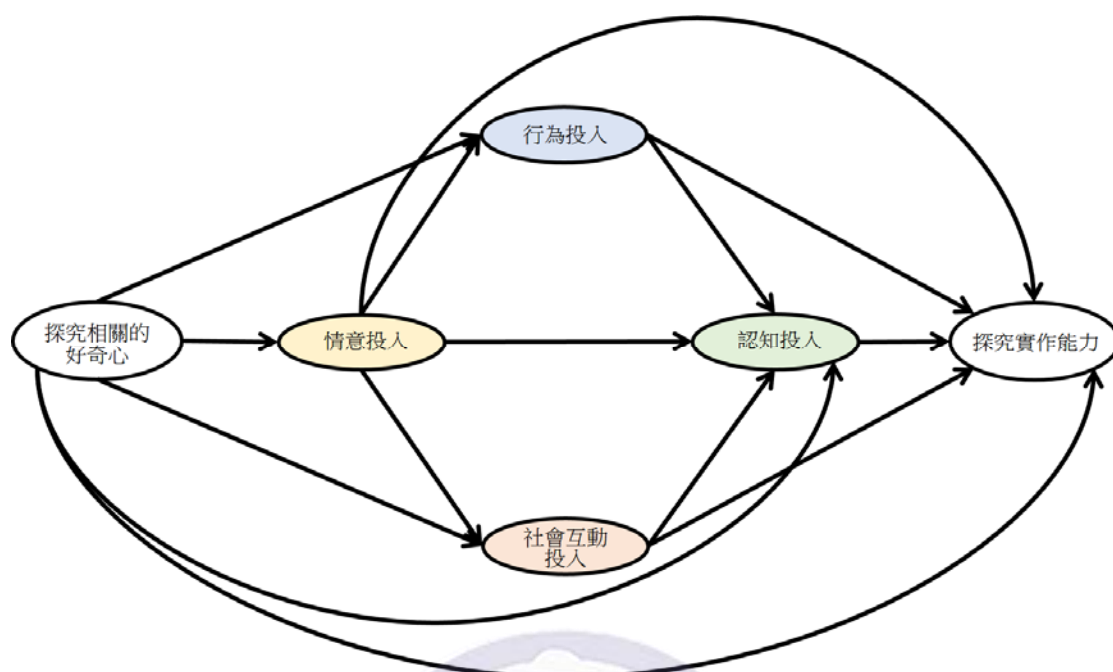


圖 1-1-2 理論模式 2：好奇心驅動之探究能力模式



第四節 範圍與限制

一、研究範圍

本研究之研究對象係針對臺灣北部地區(包含台北市、新北市以及基隆市)之公私立高中二年級學生採分層隨機抽樣進行施測。透過電腦化的多媒體導向探究能力評量蒐集受試學生之各項背景資訊及其探究能力的表現，並以結構方程模式的統計方法進行分析，藉此探討學生從環境之實驗相關的科學學習經驗，經內的好奇心的驅動下對其外在的實驗室投入乃至探究能力表現的影響情形。

二、研究限制

本研究之研究限制有三，分別為研究主題、研究對象以及研究方法上的限制。以下分別陳述之：

(一) 研究主題上的限制

本研究所探討的探究能力僅著重於「觀察與定題」、「計劃與執行」、「分析與發現」以及「推理與論證」等四項探究能力，並未涵蓋所有探究過程中學生可能展現之相關能力，例如：對同一數據資料進行分析並評估另有解釋 (McNeill, 2011)，以及同儕之間互動分享的溝通與分享的能力，也由於電腦化試題設計的局限未在本研究探討之探究能力的範圍。故此，研究所得之結果不宜過度推論。

(二) 研究對象上的限制

本研究之研究對象係針對臺灣北部(北北基)之公私立高中二年級學生進行分層隨機抽樣。雖然本研究在進行統計分析前，對每位學生的資料藉由抽樣設計予以適當加權 (OECD, 2009; 簡晉龍與任宗浩, 2011)，以得出正確的參數估計值，並且能適當地推論至母群，但仍屬未涵蓋台灣地區所有母群的抽樣。故此，研究所得之結果在推論上應特別注意，不宜過度推論。

(三) 研究方法上的限制

本研究之分析方法之一係透過結構方程模式的統計技術進行各潛在變項間關係的探討。然而，結構方程模式在參數估計時，對該參數之標準化係數並沒有進行顯著性考驗，雖然本研究採用「Fay 氏平衡重複取樣法」(Fay's Balanced Repeated Replication, Fay's BRR)來估算各參數估計值的標準誤 (OECD, 2009)。因此，研究所得之結果在推論上應特別注意，不宜過度推論。

第五節 名詞釋義

一、多媒體導向探究能力評量 (Multimedia-based Assessment of Scientific Inquiry Abilities ; MASIA)

係指藉由電腦化的多媒體作為媒介之評量試題，用以檢驗學生的探究能力。而本研究係採用 Kuo 等人 (2015)所發展的多媒體導向探究能力評量 (Multimedia-based Assessment of Scientific Inquiry Abilities ; MASIA)，主要是透過多媒體的方式呈現評量任務以了解受試學生之探究能力 (Kuo, Wu, Jen, & Hsu, 2015)。

二、正式科學學習經驗 (Formal Science Learning Experience)

係指個體在學校場域中參與各種活動時的科學學習經驗 (Dierking & Falk, 2003)。而本研究中所指稱之正式學習經驗則是泛指所有在學校、課室中所進行之所有科學學習活動與課程。

三、非正式科學學習經驗 (Informal Science Learning Experience)

係指個體在非學校場域中參與各種活動時的科學學習經驗。其中本研究中所指稱之非正式科學學習經驗包含家庭與日常的活動經驗、博物館與科學中心的參訪以及課後與青年團的活動 (NRC, 2009)。

四、科學探究能力 (Scientific Inquiry Abilities)

係指稱學生為解決在科學探究活動所遭遇的各式問題與任務時，所展現的各種能力 (Krajcik et al., 1998; NRC, 1996; 2000)。其中本研究所指稱的科學探究能力著重於提出問題、設計實驗、分析數據以及形成解釋等四種能力上，並統稱為科學探究能力。

五、探究相關的好奇心 (Inquiry-related Curiosity)

由於過去研究中尚無研究者針對探究相關的好奇心提出相關定義。係以本研究根據 Jirout 與 Klahr (2012)的定義將好奇心視為「對所處環境之未知事物渴望理解的門檻值 (頁, 150)」。此外，Jirout 與 Klahr 並指出學生的好奇心是可以針對特定領域，並據此引領其在此一領域中各項探討行為。本研究中所指稱之探究相關的好奇心則是特指學生在探究活動的特定領域中所持有的好奇心。

六、科學探究投入 (Engagement in Scientific Inquiry)

本論文所關注之學生投入係指稱學生在參與實驗室的教學活動時，所投注的學習意願、參與、專注力及伴隨的情感，並獲得有意義的學習經驗和成果，其中包含了學生個人的行為、感覺與思考的歷程。而本研究係採用 Fredricks 等人 (2016)之定義並將只著重於參於實驗室活動中學生在認知上、行為上、情意上以及社會互動上的投入。

七、行為的投入(Behavioral Engagement)

本論文所關注之行為投入是指參與學校課室裡實驗活動中，學生所的行動與參與 (Newmann et al., 1992)。其中包含學生正向的專注、持續以及投入學習時間等行為 (Kuh, 2009)；同時也包含負面的投入行為，如：分心、逃避與放棄學習活動的行為 (Archambault et al., 2009)。

八、認知的投入(Cognitive Engagement)

本論文將認知投入定義為學生在參與實驗活動時，對完成任務要求的熟練度、學習策略的運用與學習成效的追求 (Greene et al., 2004)。其中包含學生對學習任務的反覆驗證、使用的學習策略、連結舊有知識 (遷移)；同時也包括認知上的逃避行為 (Wang et al., 2016)。

九、情意的投入(Emotional Engagement)

本論文所指稱之情意投入係指學生在參與實驗活動時，對教師、同儕與教材的正負面觀感 (Fredricks et al., 2004)。其中包含學生對實驗任務的觀感，並考量學生對學習的興趣與評價。常見之因素涉及學生對學習活動的期待、享受在學習活動中或感到自在；同時也有負面的對學習活動感到無聊、沮喪、焦慮與逃避的感受。

十、社會互動的投入(Social Engagement)

社會互動的投入係指在實驗活動的過程中，學生與其他學生的互動行為 (Järvelä et al., 2016)。包含學生在學校社群裡與其他成員的互動。其中含括學生受他的想法的啟發、嘗試理解他人的想法、接受他人或提供他人幫助以及給予或接受他人的分享的行為。



第二章 文獻探討

長久以來，許多科學教育學者已針對探究活動的課程以及提升學生探究能力進行研究，也提出不少影響因素，諸如對特定學科的熱情與興趣、各種科學學習經驗等因素對學生學習成就的影響 (Stocklmayer, Rennie, & Gilbert, 2010)。為說明影響學生探究能力的影響因素進而幫助本論文進行影響模式的建立，以下將針對過去學者所提出相關影響因素及內涵進行深入探討。

第一節 探究能力

「科學探究能力」係指稱學生為解決在科學探究活動所遭遇的各式問題與任務時，所展現的各種能力 (Krajcik et al., 1998)。有鑑於此，美國《國家科學教育標準》(National Science Education Standards, NSES)則強調科學課程應透過發展科學探究的活動來讓學生也可以透過如同科學家問題解決過程，並從中發展科學探究的基本能力，以幫助他們解決所遭遇的問題與建立對科學概念的理解 (National Research Council, 2000)。當學生在課室中使用探究活動來學習科學時，即代表她/他們投入與科學家所進行相似的活動與思考過程，並據此可建立對科學知識的理解。而我國的十二年國教所欲推動之「自然科學探究與實作」的新課程即亦「強調透過實作的過程，針對物質與生命世界培養學生發現問題、認識問題、解決問題，及提出結論與溝通表達的能力」(教育部，2015，頁 34)。進而使學生在其日常生活中再次遭遇相關議題或其他問題時，能夠遵照合乎科學的方法進行有系統的調查之後，在形成合理的結論來幫助他們做決策。

然而，探究活動是一個多面向且複雜的歷程，係整合了多種認知技能與科學方法的科學學習活動 (Germann, Aram, Odom, & Burke, 1996)。因為探究所涉及的活動並非僅僅侷限於使用科學方法來建立調查活動的過程技能，同時也包含了對資料數據的分析與詮釋，進而從調查結果中找出證據來支持結論或主張的科學推理過程。美國奧勒岡教育部門 (Ohio Department of Education, ODE)於 2007 年

所出之報告更指出科學探究是指科學家依據不同的需求會採取不同的探究步驟，因而也將科學課室的依據這些需求區分了不同的步驟，以其學生能夠從中習得解決該目的所需之探究能力。其中描述式科學探究的歷程 (descriptive scientific inquiry) 包含直接觀察、辨認可能的變因、提出假說或問題；實驗式科學探究的歷程 (experimental scientific inquiry) 包含辨認、控制與操弄相關變因並據以設計調查活動；分析式科學探究的歷程 (analytical scientific inquiry) 包含資料的蒐集與分析以及形成結論並能與他人溝通分享等數個不同種類的活動，透過這些活動的參與與施做可以幫助學生建立科學探究的基本能力，並從中建構對自然世界的理解並其內含的科學知識 (ODE, 2007)。因此，培養學生的科學探究能力是科學教育領域中，逐漸被強調的重要學習成果之一。以下將針對探究能力的定義及其內涵進行深入探討，並探討這些探究能力的內涵及其評量。

一、探究能力的定義

「科學探究能力」係指稱在探究歷程中，學生為了完成學習任務與解決科學問題所展現出的能力。例如：White 與 Frederiksen (1998) 學生透過對事物現象的觀察或文獻資料的調查提出一個精鍊過、有價值性且可被探討的研究問題，並能透過其先前所習得經驗與科學知識進行預測問題可能的答案；Penner、Lehrer 與 Schauble (1998) 則著重於學生能設計正確、複雜的操縱變因及控制變因的實驗，並能驗證其所涉及的相關變因；McNeill (2011) 針對探究調查所得之實驗數據如何進行詮釋以達到說明該現象所包含的變因關係。再者，由於科學探究為問題導向的知識建構過程，涉及多樣的活動。而其中作為達到這些活動所需之重要基本能力，探究能力的養成已然是近年來各國科學教育改革的重要目標 (Abd-El-Khalick et al., 2004)。然而，正因為涉及多樣的活動致使不同的課程標準所著重的分項能力可能不盡相同。以下分別針對國內外各個課程標準中所定義之探究能力及其所著重之分項能力進行探討：

(一) 能力導向的課程標準

1. 《國家科學教育標準》 (National Science Education Standards, NSES)

《國家科學教育標準》(NSES)將探究定義為「一個多面向的活動，涉及進行觀察；提出問題；檢視書本及其他來源以確認已知的資訊；計畫科學調查 (investigations)；藉由實驗證據 (experimental evidence) 來驗證已知的資訊；使用工具以整合、分析並解釋數據；提出答案、解釋及做出預測，並與他人溝通實驗結果」(NRC, 1996, p. 23)。據此定義與統整學者們所提出探究模式中所強調的能力可將探究活動整理出主要四個探究活動中所包含能力：提出問題、設計實驗、分析數據以及形成解釋。NRC (2000)所提出 9-12 年級 (高中階段)之基本探究能力共有六項，其中包含辨認問題 (identify questions)、設計科學調查 (design and conduct scientific investigation)、收集與分析數據 (collect and analyze data)、形成或修改科學解釋 (formulate and revise scientific explanations)、了解與分析另有解釋 (recognize and analyze alternative explanations)、溝通與辯證科學論證 (communicate and defend a scientific argument)，以下分別針對此六項能力進行詳細說明。

(1)辨認問題 (identifying questions)

在探究活動中學生所欲進行探索的科學問題，可以是學生透過觀察與討論自主提出的，也可以是來自師長、教材或其他來源所給予的 (NRC, 2000)。透過初步的觀察或思考後，學生可能對其日常生活中所感到興趣或好奇的事物現象提出問題，再經過對此一問題做出預測或提出假說來精緻化其問題 (Koslowski, 1996)，並判斷問題的可行性與合理性 (Krajcik, Czerniak, & Berger, 2003)，以便後續的實驗設計與調查活動的執行。

(2)設計科學調查 (designing and conducting scientific investigation)

過去許多的研究證實學生在實驗設計上之所以容易失敗或感到受挫，往往是在於其變因控制的步驟產生錯誤 (Germann et al., 1996; Klahr & Carver, 1995)。因此，實驗設計需要有系統地控制和操縱變因，以獲得可信的數據。而美國《國家

科學教育標準》則明確指出在設計實驗或執行調查活動時，應確認並檢驗問題所包含之變因關係，透過有系統的觀察、精確的測量與控制變因等方法來進行實驗步驟的設計與規劃，以利相關數據資料的搜集，並從這些數據資料中透過分析以形成對於探究問題的解釋 (NRC, 1996, 2000)。

(3) 收集與分析數據 (collect and analyze data)

藉由實徵證據來探索自然世界的運行，科學家從觀察與測量中得到證據，而證據的正確性可藉由重複的觀察與測量，或搜集相同現象中的不同資料來進行驗證，使得科學成為一個具有可信度的知識 (AAAS, 1989)。由於調查活動的目的是形成對探究問題的解釋與解決問題，因此強調的是運用科技與數學來蒐集與分析數據的能力，透過統整、轉化的方式將所收集的資料數據形成證據，並用以支持分析所得的可能解釋 (NRC, 1996)。

(4) 形成或修改科學解釋 (formulate and revise scientific explanations)

所謂解釋，係指的是藉由連結先備知識和調查活動所得數據，找出探究問題所關注之事物現象背後的成因或關係 (NRC, 2000)。即為應以先備知識為基礎結合數據，進而產生新的理解或概念，以回答原先提出的探究問題。透過符合實驗數據所提供的證據的合理推論，以建立證據和結論之間的關係。如此所提出之解釋必須具備說明現象背後的成因或問題解決的方法 (Krajcik et al., 1998)。

(5) 了解與分析另有解釋 (recognize and analyze alternative explanations)

此一能力跟形成解釋很像，同樣需要去檢視證據與結論之間的關係。然而，了解與分析另有解釋則是需要讓學生知道同一組實驗結果的數據，可能可以形成數種不同的解釋，並強調藉由現有的科學知識的審視、證據邏輯性的檢查來決定哪一種解釋對當前的實驗結果是最好的 (NRC, 2000)。

(6) 溝通與辯證科學論證 (communicate and defend a scientific argument)

NRC 強調學生應該發展能夠精確和有效的溝通能力 (NRC, 2000)。為達到有效的溝通與分享，學生必須要能夠描述自己探究的歷程，統整資料以圖表的方式清楚呈現證據，使用適當的語言清楚並有邏輯的表達所形成的科學論證，最後也

要培養學生能適度地給予並接受他人具批判力的意見 (Krajcik et al., 2003)。

透過這六項基本能力涵蓋了學生透過對周遭生活環境的細心觀察，從發現問題並提出假說到設計實驗並蒐集數據，進而從中實驗結果形成可能之解釋與結論的完整探究過程。除此之外，藉由這些探究能力學生可以訓練合理的懷疑以及有系統的調查過程來尋找證據與科學主張之間的連結，更重要的是可以讓學生知道科學結果是暫時性的，是可以被不同的證據與詮釋方式所修改的 (ODE, 2002)。

2. 奧勒岡州教育部 (Oregon Department of Education, ODE)

依據 NRC 的課程標準，美國奧勒岡州教育部 (Oregon Department of Education, ODE)則提出了形成問題或假說 (forming the question or hypothesis)、設計調查活動 (designing the investigation)、收集與表徵數據 (collecting and presenting data)以及分析與詮釋結果 (analyzing and interpreting results)等四項能力 (ODE, 2002, pp. 35-36)。

(1)形成問題或假說 (forming the question or hypothesis)

利用相關的科學背景知識與初步觀察的結果對所關注的事物現象提出可以聚焦的基本原理，藉此提出假說以及形成可以回答或透過科學調查所檢驗之探究問題。由於係以先前經驗與背景知識對所觀察的現象所涉及的變因提出可能的假說關係 (例如：相關、相依、因果)，故而是所形成的可探究的問題可能會包含了這些假說關係。

(2)設計調查活動 (designing the investigation)

依據所形成的問題與假說關係來設計科學的調查活動，藉此收集充分的實驗數據來回答提出的問題或檢驗假說關係。即為應用科學調查的過程來考慮包含相關的變因，建立一個可控制並與先前所接受的科學訓練相符的實驗設計，藉此獲得回答問題或檢定假說所需之足夠的有效數據設計。

(3)收集與呈現數據 (collecting and presenting data)

執行一系列的程序來收集、組織並展示調查活動所得之科學數據，以輔助學生進行科學性的分析與實驗數據的詮釋。藉著紀錄符合複雜步驟的適當數據，並

依需要排除不適當數據，合理有組織地用合適單位對觀察或測量建立精確的呈現(例如：實驗記錄表)。進一步轉換數據成為可清楚顯現可被分析解釋的關係，或有助於科學分析的形式(例如：直方圖或折線圖)。

(4)分析與詮釋結果 (analyzing and interpreting results)

統合與分析所收集到的數據，藉以對調查結果進行解釋並提供合理及正確的詮釋與結論，其中所提出之解釋應該是被調查數據與科學知識所支持，並可以回應先前所提出探究問題與假說關係。也就是說應用科學概念、模式、原理正確分析解釋研究關係，明確分析研究結果作支持問題假說或研究關係的結論。進一步依據結果分析評論設計和步驟，作有洞察力的修正和延伸。

此外，ODE 並於 2007 年更進一步結合開放式探究與結構式探究的維度，提出該州施行之探究能力的細部指標，共分三類分別為形成問題或假說 (Forming)、設計與收集 (Designing and Collecting)以及分析(Analyzing)；其中又細分為提出科學性的探究問題 (scientifically oriented questions)、形成適當的證據來回應探究問題 (gives priority to evidence in responding to questions)、從證據中形成解釋 (formulates explanations from evidence)、將解釋連結到科學知識(connects explanations to scientific knowledge)以及傳達與辯證所形成的解釋 (communicates and justifies explanations)等五項探究能力，並依據學生實際進行探究活動的自主程度，由自行決定到教師給予區分了四個等級程度，形成了 20 項不同的能力表現之標準 (ODE, 2007)，如表 2-1-1 所示。

由上述文獻可知，ODE 所提出之探究能力架構乃按照進行科學探究的過程所制定，其與 NSES 及國內課程標準提到的探究技能大致符合，亦與許多研究提到的探究階段相符。故此，過去許多研究在探討學生之探究能力時，亦有不少是採用此一能力架構；而欲發展探究教學活動及制定相關的評分準則者，亦多有參照

表 2-1-1 美國奧勒岡州教育部之課室科學探究教學所需之必需特徵及其類別

類別	必需特徵	學生自主程度			
		開放式探究	研究		結構式探究
形成問題或假說	提出科學性的探究問題	學生提出探究問題	依據教師所提出的探究問題再提出新的問題	由學生精緻化教師、教材或其他資源所提出的探究問題	教師、教材或其他資源提出探究問題
設計與收集	形成適當的證據來回應探究問題	學生決定那些數據是證據並自行收集	教師指派學生去收集實驗數據	教師給予實驗數據但要求學生自行分析	教師給予實驗數據並解釋如何分析
分析	從證據中形成解釋	在統整出證據後學生自行形成解釋	教師引導學生從證據形成解釋的過程	教師給予可能的方式讓學生從證據形成解釋的過程	教師提供學生證據
	將解釋連結到科學知識	學生獨立的檢驗不同的科學知識與解釋之間的連結	教師指派特定領域的科學知識讓學生去做連結	教師給予學生可能的連結	
	傳達與辯證所形成的解釋	學生形成合理與有邏輯的主張去傳達他們的解釋	教師訓練學生去發展他們的溝通分享能力	教師引導學生如何進行溝通分享	教師給予學生步驟或程序讓學生進行溝通分享

(翻譯自：ODE, 2007)

3. 小結

透過上述之文獻整理，可知科學探究係為一問題導向的知識建構過程，其中涉及了多樣的活動歷程，而各項活動亦需要學生展現不同的能力。此外，不同的課程標準（諸如，NRC, 1996; 2000 與 ODE, 2002; 2007)及不同的學者所著重之探究能力及其次項能力之間雖不盡然全然一致。然則，若以探究活動的歷程做基準來整合各學者與課程所關注的探究能力，則可以統整出探究能力可包含提出探究問題、設計實驗活動、資料蒐集與分析、形成解釋以及溝通分享等能力。當然，

其中亦包含現象觀察、文獻調查、變因操控、儀器操弄…等次項的探究能力。因此，透過這些能力的養成後，學生可以自行在其生活中藉此來解決所遭遇的各式問題與困難。

(二) 改革中的課程標準

有鑑於能力取向之課程標準已經提出 15 年以上，再者欲以新的課程標準讓學生藉由科學課程來培養欣賞科學之美，透過科學探究來探索自然世界，並發展符應當代科學與科技社會所必備之公民素養。因此，近年來許多國家的教育機構，如美國的 NRC (NRC, 2012)與我國的教育研究院 (教育部，2015)開始朝著進行科學課程的改革，開始朝著為了讓學生養成了解科學貢獻及其限制性，能夠運用適合的科學知識與方法去解決日常生活所遭遇的問題，並以理性評論與判斷科學性社會議題，進而對公共政策做出決策。為了達成上述的目標，這些課程強調跨領域或跨科目之間的整合，以求讓學生能透過綜合運用的方式來面對真實社會中可能存在與科學與科技相關的議題及問題。

同時，這些課程亦延續先前能力導向的探究能力學習的觀點，主張科學學習應從真實情境中的探究活動出發，透過對生活情境中所遭遇的事物現象產生好奇心，並據此能以類似科學家或工程師在理論發現或產品研發時所採用之實務行為，來主動的對學生自身關注的事物現象進行探索及相關實驗調查，以釐清與建立關於該現象的變因關係，進而幫助學生建構科學知識。故此，無論是 NRC 還是教育部所推動的新課程標準均著重於探究與實作，以期讓學生透過科學家與工程師們所實際操作的科學實務歷程，來培養未來面對多元且變化快速的科學與科技社會中公民所需具備的基本素養，以應付可能存在之各式問題。以下分別針對新一代的課程標準 (Next Generation Science Standards, NGSS)與十二年國民基本教育課程綱要所提出的課程標準進行論述：

1. 新一代的課程標準 (Next Generation Science Standards, NGSS)

NRC (2012)提出一個實務取向的新架構稱之為新一代的課程標準 (Next Generation Science Standards, NGSS)，其中強調科學課程的發展及其編排應考量

到學生的學習進程，透過跨年段、跨領域的課程來幫助學生建立科學的實務 (Scientific Practices)、應用橫斷領域的概念 (Crosscutting Concepts)，進而發展統合各年段的核心概念 (Core Ideas)。

此外，NGSS 的新課程架構亦著重於科學與工程學的結合，透過這些應用科學的沉浸期望可以使學生從中學習核心概念知識並體認科學與科技的實務。科學課程透過將科學實務、橫斷領域的概念與核心概念三個項度的整合，而非各別片段的課程設計來讓學生發展並應用科學與科技的想法，強調以科學與科技的實務行為作為媒介，讓學生透過跨年段、跨領域科學知識的運用，來組織與發展符應真實世界的科學理解，如圖 2-1-1 所示。



圖 2-1-1 NGSS 揉合三個項度的科學課程 (引自，Krajcik, 2015)

其中，NGSS 延續 NSES 的定義強調科學課程中的學習活動應該是類似科學家在進行科學探究或工程師產品設計的歷程。如圖 2-1-2 所示，學生在從事探究活動時依據其在真實世界所建之觀察來提出問題並設計實驗進行量測，以達到收集資料或進行產品設計之效，此為第一個階段的探究歷程——「調查」。其次，在第二階段「評估」的歷程中，學生將依據先前所習得之科學理論或模式並隨著真

實環境之條件與情境進行修正或微調，以針對所收集到的實驗數據進行分析與評論。最後，第三階段「發展解釋與解答」的歷程中，學生會將所資料分析所得之主張與科學理論之間進行推理以獲得證據來形成他們的假說或藉此找出問題的解答。

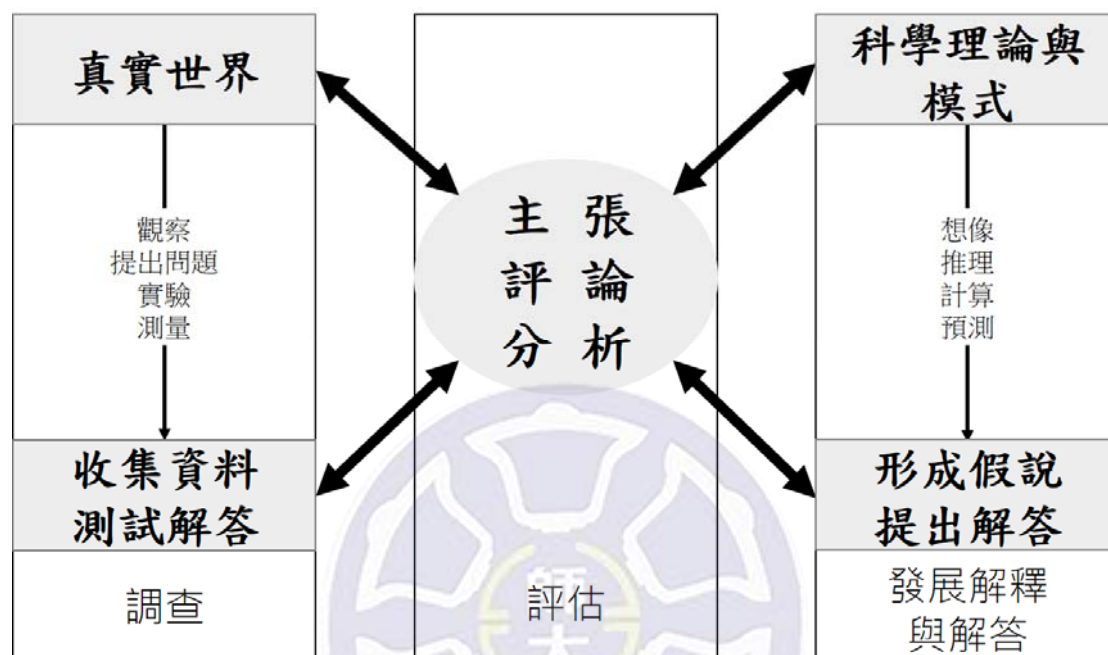


圖 2-1-2 科學家與工程師常用之探究與設計的歷程及其活動 (引自：NRC, 2012, 頁 45)

透過此三個階段的探究歷程，NGSS 提出了八種從幼稚園到 12 年級 (K-12) 之科學與科技課程中必備的實務行為。分別為：(1)提出與定義問題：科學家最基本的實務即為提出可檢驗的問題，透過對自然現象的提問可以開啟其探索自然的其他行為；(2)發展並使用模式：透過已知之科學模式可以幫助科學家或學生提出假說已進行實驗調查的設計；(3)計劃與執行調查活動：可在實驗室裡或圖書館中進行依據假說檢定之變因關係調查；(4)分析與詮釋資料：透過圖表分析等策略方法來賦予實驗數據意義；(5)使用數學與計算的思考方式：藉由數學與計算的工具來表徵變因關係；(6)建立解釋與設計解答：依據理論及分析所得之數據意義提出一個具解釋性的說法；(7)從證據中形成論證：透過推理與論證的

方式來找出實驗數據對目標現象之最佳解釋；(8)獲得、評估與溝通資訊：如果科學家不將其研究發現對他人溝通分享則科學將不會進步，因此溝通分享是科學探究中最重要的實務。

由上述論述可知，NGSS 所提出所提出之科學實務架構雖然是強調科學家與工程師實際進行科學探究以及工業設計時所執行的實務行為。然而，細究其內涵仍可與 NSES 所強調的科學探究過程相符應，透過這些科學實務的執行讓學生從探索、檢驗以及解釋的探究過程中，藉著核心與跨科概念的此用來了解自然界裡科學現象的發生的成因及其發生的機制。也正因為 NGSS 的課程是強調三個項度的揉合，因而對於學生學習的預期表現上著重在知識的應用 (knowledge-in-use)。故此，其評量方式亦須要先針對三個項度進行解構之後，再據此發展評量任務以及評分標準 (Krajcik, 2015)。

2. 十二年國民基本教育課程綱要

我國之《十二年國教課綱》則預計將課室中的科學探究定為科學科目的必修課程之一，其中為了強調探究的歷程是科學領域中必要之基本能力，透過相關議題的結合可以同時涵蓋不同科學科目的概念，並且透過實務上的執行科學探究歷程可以讓學生了解科學知識產生的方式以及養成應用科學思考的習慣 (教育部，2015)。因此，在課綱中對科學課程的設計，不僅著重於科學探究歷程，同時也強調實際進行操作的科學活動。

此外，如同 NRC 與 ODE 對科學探究能力的定義，《十二年國教課綱》也強調探究能力不僅只是學生在執行調查活動時的方法技能，更包含了認知上的思考推理的能力 (NRC, 1996; 2000; ODE, 2007)。故此，課綱將探究能力分為思考智能以及問題解決兩個部分。其中，思考智能的部分，包含想像創造、推理論證、批判思辨、建立模式等能力；問題解決的部分，包含觀察與定題、計劃與執行、分析與發現、討論與傳達等能力，如表 2-1-2 所示。

表 2-1-2 十二年國民教育課程綱要之探究能力架構表

項目	子項	範例(高中階段的能力表現)
探究能力	思考智能	想像創造 以創新設計的方法來檢驗自生活中所察覺問題的成因，並能根據已知的科學知識提出解決問題的各种假設想法。
		推理論證 運用簡單的數理演算公式及單一的科學證據或理論，理解自然科學知識或理論及其因果關係，或提出他人論點的限制，進而提出不同的論點。
		批判思辨 比較與判斷自己及他人對於科學資料的解釋在方法及程序上的合理性，並能提出問題或批判。
		建立模型 將探究結果的數據透過比擬或抽象的方法以模型的形式呈現，來有系統地描述所探討的科學現象。
問題解決	觀察與定題	依據觀察、蒐集資料、閱讀、思考、討論等，確認並提出生活周遭中適合科學探究或適合以科學方式尋求解決的問題。
	計劃與執行	能辨明多個的自變項或應變項後進行調查活動的規劃並運用科技儀器來執行與輔助記錄
	分析與發現	合理運用思考智能、製作圖表、使用資訊與數學等方法，有效整理資訊或數據；並從中獲知變因關係、形成解釋以解決問題或是發現新的問題。
	討論與傳達	以各種媒材形式將探究過程與結果呈現，並能在理解他人的探究過程與結果後給予合理且完整的疑問與意見。

(整理自：教育部，2015)

雖然，《十二年國教課綱》中將探究能力提出了思考智能與問題解決兩種類別的能力，這樣類似行為與思考的區分。然則，細究其中可能的原因或許是為了強調探究活動所蘊含的能力不僅止於動手操弄的實驗技能，同時也應該包含對實驗所蒐集的資料進行推理論證的運思能力，此一類類似於 NGSS 所提出科學家或工程師在發展解釋與解答的階段中，透過想像、推理與預測等策略來形成假說或提出解答 (如圖 2-1-2 所示)。而且在進行探究活動的歷程時，並無法全然的只使用其中某一種能力，舉例來說：當學生想要設計一個實驗來驗證某個假說是否成立時，可能就需要發揮其想像創造的能力去思考假說可能涵蓋的變因極其之間的關係，並據此訂定對應之控制與操縱變因並設計出可執行之研究流程。從上面的

例子可以看到，每一個探究活動的歷程中，思考智能與問題解決的能力都是需要的。同樣的道理，若學生針對某項感興趣的議題（如海水溫度與颱風生成的關係），而針對過去十年的氣象資料進行探勘以了解兩者之間的關係，過程可能藉由圖表的繪製將兩項數據資料相互對照，最後獲得關於海水溫度與颱風生成的合理結論。其實這個過程中，學生並沒有實際的去動手做實驗，然而整個探索的過程卻還是符應科學探究。因此，Norris 與 Phillips (2003)亦指出即便是文獻探討或是二手資料的再分析也是一種科學探究的歷程，其中還是需要學生展現觀察與定題、想像創造、批判思辨、推理論證乃至分析與發現以及最終建立模型等能力。由此可知，課綱雖然羅列了許多的能力，但也強調在實際課程編排與活動設計上各項能力未必有固定的步驟順序，可依主題和活動採循環或遞迴等方式進行。

3. 小結

從上述的文獻整理可知，無論是美國的 NGSS 抑或是我國的《十二年國教課綱》所推動探究與實作課程不僅同樣依循能力導向的探究能力學習的觀點，強調科學課程中透過探究活動的歷程來讓學生能夠自主的建構科學知識。為了培養學生面對未來科學與科技導向的複雜社會，前述兩個新課程標準亦都著重於生活情境中的探究歷程，透過現實情境的複雜議題來達到跨科整合之效。同時也都重視課程教材及其學習目標應注重於跨年段間縱向的連貫以及跨科目間橫向的統整。

二、科學探究能力的內涵與評量(實徵研究)

為了提升學生的探究能力過去有許多的研究依據上述之課程指標來設計相關的科學探究課程，並據此設計相對應的評量方法與試題 (Buffler, Allie, & Lubben, 2001; Pine et al., 2006; Songer, Lee, & McDonald, 2003)。例如：Lorch 及其同僚透過所發展的紙筆測驗的形式來評測學生使用變因控制策略的能力 (Lorch et al., 2010)；Myers 與 Burgess (2003)亦發展了一個評量工具透過實際的操弄，來評估學生實驗設計與資料詮釋的能力。然而，一個有效的評量其首要的步驟就是評估並設計該工具所檢測的構念 (American Educational Research Association,

American Psychological Association, & National Council on Measurement in Education, 1999)。因此，以下針對過去的實徵研究中所使用之評量工具內含的探究能力進行統整 (如表 2-1-3 所示)。

表 2-1-3 科學探究活動中學生所展現的探究能力整理

科學探究的活動 ¹	相關研究中所提出的探究能力				
	NSES ²	ODE ³	劉宏文與張惠博 (2001) ⁴	楊秀停與王國華 (2007) ⁵	洪文東 (2004) ⁶
發現問題	提出問題 觀察、假設 形成假說	形成問題或假設	提出問題與假說	界定問題	界定問題
規劃與研究	選擇變因 流程規劃 資料轉化	設計探究活動 資料蒐集和呈現數據 圖表解釋	計畫 實驗操作與資料蒐集	搜集資料 實作驗證 轉化資料	設計規劃 實作驗證
論證與建模	解釋數據 形成結論 產生推理 建立科學模式	分析和詮釋結果	資料分析與詮釋	解釋溝通	解釋分析
表達分享	溝通分享			解釋溝通	溝通辯證

註：

¹ 探究活動的分類係採十二年國教課綱之「探究學習內容」所建議的科學探究歷程。

² 係指採用 NSES 之課程標準進行課程與評量設計的研究。

³ 係指採用 ODE 之課程標準進行課程與評量設計的研究。

⁴ 係指採用「科學探究能力量表」之研究。

⁵ 係指採用「學生自我探究能力自評量表 (SIASS)」之研究。

⁶ 係指採用「科學探究能力學生自我評量表」之研究。

其中係以「科學探究」為關鍵字於全國碩、博士論文網的資料庫中進行搜尋，再剔除其中沒有發展對探究能力進行評量項目之論文後，最後所得共 26 筆碩、博士論文 (論文列表見附錄一)。表 2-1-3 係將此 26 筆碩、博士論文採用之所探究能力之定義及其所用以發展課程與評量之相關探究能力進行統整；其中發現這

些論文大抵採用了 NRC、ODE，以及國內學者劉宏文與張惠博 (2001)、楊秀停與王國華 (2007)與洪文東 (2004)之定義及其所涵蓋的各項能力。從附錄一之表 A-1-1 之整理列可以發表現，雖然這些實徵研究中所使用之探究能力的細項各有不同，例如：同樣採用 ODE 的探究能力架構之「收集與呈現數據」的能力，郭泓男 (2013)的研究中著重於資料數據的處理能力；而陳君婷 (2011)則著重於資料數據的圖表解釋能力。然而，這些能力大抵均是符應先前之課程標準所建議之探究能力，並可涵蓋整個探究歷程中的各項活動。

此外，另外也發現所整理之 26 篇國內碩博士論文中，紙筆測驗的評量方式有 15 篇論文 (57.7%)，其中紙筆輔以質性分析的評量方式有 9 篇論文 (34.6%)。其中，以實作評量以及純質性分析者僅有 2 篇論文 (7.7%)。探求其原因可能與用紙筆評量的方式在人員經費的花費上相對方便與便利 (Pine et al., 2006)；同時學生進行評量以及後續評分的过程也較為快速 (Songer et al., 2003)，故而才會有比較多的研究者選擇採用紙筆的方式來評量學生的探究能力。然而，近年來科學教育中所提倡的真實評量 (authentic assessment)確實是評測探究能力較為洽當的方式之一，因為無論是能力導向抑或是實作導向的探究能力都是學生在特定認知任務或活動過程中，其展現出的能力表現，因此透過實際動手操作的實作評量可以客觀的測量出學生的探究能力；其中包括教室觀察和晤談、概念圖或其他成品的創作、檔案評量、和實作評量等 (Mehrens, 1992; 林素微, 1998)。故而本研究採用之探究能力的測量試題係為多媒體導向探究能力評量 (multimedia-based assessment of scientific inquiry abilities，簡稱 MASIA)，則是透過結合各項多媒體的方式來呈現試題與讓學生回答 (Quellmalz, Timms, Silberglitt, & Buckley, 2012)，並透過多媒體與互動式的虛擬實驗的方式來以達到能力導向的真實評量 (van Lent, 2009; P.-H. Wu, Wu, & Hsu, 2013)，藉此讓學生可以實際的展現其探究能力。

除此之外，表 2-1-3 亦可發現這些研究論文雖然依據不同的文獻架構，所著重之各分項能力亦有些差異，但已涵蓋從問題的提出經實驗設計、數據資料的收集到形成結論並進行權勢的探究歷程。然而，這些研究論文大抵是採用 NRC、

ODE 或此二者衍伸之能力導向的課程標準，而並未涵蓋新一代以實作為導向的課程標準。再者，無論是能力導向抑或是實作導向。故此，本研究所採用之 MASIA 所涵蓋的能力係依據先前文獻所建議之探究能力來設計試題架構(如表 2-1-4)，以求可以更精確的評測學生探究能力的表現。

表 2-1-4 本研究所使用之探究能力及其次項能力描述

探究能力	子能力	描述
觀察與定題 -透過觀察生活周遭的事物和現象，察覺可探究的問題，進而釐清並訂定可測試的研究問題，並預測可能的結果。	提出預測 (Qu1) 確認問題 (Qu2)	能透過先前的經驗、概念與現象觀察的結果，預測觀察現象可能的結果。 能提出與情境相符且可被探討的研究問題，並明確指向某種變因關係(因果性、關係性問題)。
計劃與執行 -根據提出的問題，辨明影響結果的變因，擬定合適的探究流程並選擇適當的工具或儀器觀測，以獲得有效的資料數據。	辨識變因 (Ex1) 規劃實驗 (Ex2)	能選擇合適的控制、操縱變因以進行實驗。 設計的流程可行且所獲取資料足以檢驗所涉及的變因關係。
分析與發現 -分析資料數據找出各因素之間的關係或趨勢，以提出符應該關係或趨勢的科學主張。	分析資料 (An1) 提出主張 (An2)	能依據研究問題挑選或排除資料以驗證變因間的關係並將數據以另一種表徵方式呈現變數間的關係。 針對研究問題或現象，能歸納資料或辨識出資料的分佈趨勢，形成可測試的陳述或論點。
推理與論證 -運用適當的資料數據來支持所提出的主張，並透過推論的過程來提出結論或解釋。	運用證據 (Re1) 產生推理 (Re2)	能透過歸納找出正確的資料數據做為證據以支持主張。 將證據連結到主張，包含使用科學原則、概念或先前經驗進行推理，需要詮釋或推論資料的意義。

三、本論文所採用之探究能力

由以上文獻探討可知，科學探究係指學習者在真實生活中，依據過去學習過的知識與經驗對所面臨的一些議題或現象，進行問題解決與探討時所展現的能力，

其中包含了事物現象的**觀察與定題**、實驗調查的**計劃與執行**、資料數據的**分析與發現**，以及研究結果的**推理與論證**之探究歷程。而同時也由於探究能力其實包含許多的面向，因此，為了探討高中學生探究能力的發展，本論文綜合先前的文獻提出四種能力及其次能力（如表 2-1-4 所示），並據此發展科學探究能力之多媒體導向探究能力評量（MASIA）。由於很難在單一次的評量中同時包含了全部的探究能力，且有些能力（如溝通分享的能力）並無法透過試題的方式進行評量。故而本論文中所指稱之探究能力僅採用觀察與定題、計劃與執行、分析與發現以及推理與論證四種能力，主要是因為這四種能力及其所包含的八項次能力，可以完整的涵蓋科學探究歷程中所需的能力。以下分別針對各項能力及其次項能力進行描述。

1. 觀察與定題

透過觀察生活周遭的事物和現象，察覺可探究的問題，進而釐清並訂定可測試的研究問題，並預測可能的結果。其中包含兩個子能力，分別為提出預測與確認問題。「提出預測」主要是學生能透過先前的經驗、概念與現象觀察的結果，預測觀察現象可能的結果。而「確認問題」為學生能提出與情境相符且可被探討的研究問題，並明確指向某種變因關係(因果性、關係性問題)。

2. 計劃與執行

根據提出的問題，辨明影響結果的變因，擬定合適的探究流程並選擇適當的工具或儀器觀測，以獲得有效的資料數據。其中包含兩個子能力，分別為辨識變因與規劃實驗。「辨識變因」係希望學生能選擇合適的控制、操縱變因以進行實驗。而「規劃實驗」則為學生設計的流程可行且所獲取資料足以檢驗所涉及的變因關係。

3. 分析與發現

分析資料數據找出各因素之間的關係或趨勢，以提出符應該關係或趨勢的科學主張。其中包含兩個子能力，分別為分析資料與提出主張。「分析資料」主要是學生能依據研究問題挑選或排除資料以驗證變因間的關係，並將資料數據以另

一種圖表的表徵方式呈現變數間的關係。「提出主張」則是希望學生能針對研究問題或現象，能歸納資料或辨識出資料的分佈趨勢，形成可測試的陳述或論點。

4. 推理與論證

運用適當的資料數據來支持所提出的主張，並透過推論的過程來提出結論或解釋。其中包含兩個子能力，分別為運用證據與產生推理。主要是希望學生能透過歸納找出正確的資料數據做為證據以支持主張；並能透過歸納找出正確的資料數據做為證據以支持主張。

第二節 好奇心

《十二年國教總綱》開宗明義即強調「科學學習的方法，應當從激發學生對科學的好奇心與主動學習的意願為起點，引導其從既有經驗出發，進行主動探索、實驗操作與多元學習，使學生能具備科學核心知識、探究實作與科學論證溝通能力」(教育部，2015，頁 1)。而過去也有許多研究致力於提升學生長期的科學興趣，正是因為存在於學生內在的渴望求知的態度，會驅動她/他們主動去透入於探索的活動，並從探索過程中獲得其所感興趣的事物現象背後的知識及其相關的能力 (Krapp & Prenzel, 2011; NRC, 2009)。而這些教育心理學領域的學者們，

一、好奇心的定義

好奇心的構念已發展了許多年也被學者們具體化來做了許多的研究，但早期研究中對於好奇心的定義卻存有許多歧異。例如：將好奇心視為一種對知識的渴望或飢餓的驅力；或是對知識、訊息的不滿足而產生的一種慾望 (lust for knowledge) (見 Loewenstein, 1994 的回顧)。雖然這些定義中將好奇心比擬為對求知的渴望或慾望，可以清楚傳達「驅使個體進行探索行為的動力」。然而，事實上好奇心卻不是生理上的需求，個體並不會因為沒有產生好奇心而會影響其身體或心理上的健康程度。

近年來的心理學與教育領域的學者則開始將好奇心定義為一種心理上的狀態

與傾向。隨著心理計量學的技術之發展，作為心理狀態與傾向的好奇心也日益為教育領域的學者所概念化並用發展量測工具來進行各項研究 (Litman, Hutchins, & Russon, 2005; Mussel, 2010)。這些研究將好奇心特徵化為對新穎的、複雜的、未知的、模糊不清的以及不確定的事物之一種探索傾向，且會依據相關特性的事物所誘發而被激起並據之產生實際的探索行為。因為無論是狀態或傾向反映著好奇心是個體表現出想要去解決因知識上的斷層 (knowledge gap) 所造成的不確定感，並為了補足這些知識上的不確定感會引發個體對這些新奇的事物的詳細調查以獲得新知，即為好奇心所引發之探索行為 (exploratory behaviors) (Litman, 2003)。例如：當學生想要知道機翼的大小、形狀是否會影響紙飛機的飛行距離，他們可能會針對不同的紙飛機形狀進行實驗探索，並且可能從中歸納出伯努利的基本原理。因此，Jirout 與 Klahr (2012) 在整合過去的文獻之後，對好奇心提出一個操作型定義並用之發展問卷來量測學生的好奇心，即為「好奇心是對所處環境之未知事物進行求知的出發點，並且會引領後續的探索行為 (p. 150)」。

除此之外，Jirout 與 Klahr (2012) 的亦指出過去文獻中還有一種形式的好奇心，其中包含了興趣與喜歡的感覺 (Berlyne, 1954; Litman, 2005)。此種形式的好奇心常見於心理學的研究之中，即為在興趣發展理論中將好奇心視為一種自我促動 (self-motivated) 的驅力 (Hidi & Renninger, 2006)。例如：Litman 與 Jimerson (2004) 透過量表工具所蒐集到的資料來比較兩種形式的好奇心發現，雖然未知事物類型的好奇心 (uncertainty-types of curiosity) 與興趣類型的好奇心 (interest-types of curiosity) 之間雖然具有顯著的高相關 ($r = .69$)，卻是兩種不同類型的好奇心。探求其原因可能是由於好奇心是大量仰賴個體內在並且具有個別差異所致。

為了探討這兩種型態好奇心所驅動之潛在的學習效應，因此，本論文所關注的好奇心是一種由情意所誘發並會導致後續的探索行為以解決知識斷層。故此，本論文將好奇心定義為探究相關的好奇心，並給予一個操作型定義以方便發展問卷工具來探知學生對探究相關好奇心的心理狀態，即為「學生對關於所投入探究活動所具有想要知道更多的意圖」。有別於先前研究中所提出之關於科學主題的

科學好奇心 (如：Leibham, Alexander, & Johnson, 2013)，探究相關的好奇心不僅僅包含學生對科學學科主題的習慣，同時也是為許多研究所假設是促進科學學習的重要因素之一 (AAAS, 1993; NRC, 2009)。

二、探究相關的好奇心與實驗室投入對探究能力的影響

過去文獻研究提供大量的實證證據顯示，關於學生的科學好奇心對其科學學習是具有正向助益的 (De Jesus Pedrosa, Teixeira-Dias, & Watts, 2003; Engel, 2011)。舉例而言，根據 Chin 與 Osborne 所整理的文獻回顧中指出，學生的好奇心可以幫助他們的進行初始的探索與調查活動、可以刺激深度思考與推理以及增加學生對科學的興趣與動機 (Chin & Osborne, 2008)。因此，Chin 與 Osborne 主張好奇心會驅使學生在從事探究活動時，會透過提出其感到好奇的問題幫助他們提出預測與理論、形成證據並評估證據的合理性、提出解釋並辯證其推理的正確性。簡言之，即為好奇心會促使學生在參與探究活動時提出各式的問題，而這些問題可以幫助他們完成探究任務中的各項行為。這樣的論點立基於學生的提出與科學原理有關的困惑或疑問是源自於其本身對科學的好奇心。

藉由連結學生對科學的好奇心與其所提出的問題，過去許多研究開始針對探討學生對科學的興趣及其對科學學習之間的關聯 (例如，Callanan & Jipson, 2001; Callanan & Oakes, 1992)。研究者發現學齡前的孩童在觀看博物館的展覽或在玩耍時，往往會基於其好奇心而不自主地發問與之相關的科學性問題 (Callanan & Oakes, 1992)。例如：暴龍的前肢為什麼那麼短？氣球為什麼會往上飄？而這些包含不同學科領域的問題，可能會帶領她/他們專注於這些科學主題的探索，更甚至於幫助她/他們進入小學後投入於這些科學領域的學習 (Leibham et al., 2013)。

舉例來說，就如電影《十月的天空》的主人翁年幼時受蘇聯人造衛星「史波尼克」之啟發，對探索宇宙產生好奇並開始探討有甚麼方法可以像「史波尼克」一樣升空飛行。故而他開始設計製造火箭並在一次次的失敗中，不斷的改進火藥成份、喉管重量以及尾翼形狀等因素，最終在老師的鼓勵與支持下，他與他的夥

伴們完成設計成功發射火箭，還獲得全國科展金牌、順利取得進入大學的獎學金，從此開啟他一生投入航天科技的職志。電影是根據真人真事改變，片中主角即為美國太空總署 (National Aeronautics and Space Administration, NASS) 的工程師—Homer Hickam，專門負責太空梭發射之火箭系統設計。Homer 的真實案例對探討科學好奇心的學者們提供了一個驗證，即為當環境經驗的刺激讓學生開始對感到有興趣的科學事物或現象產生並想要知道其背後的成因，學生所持有的探究相關的好奇心會驅使他們發出疑問，並產生一系列探索的行為來幫助他們解答這些疑惑，並且透過老師與同儕的支持下持續的投入於相關的探索行為 (Azevedo, 2011)。而 Azevedo (2011) 更據此提出了一個探索實務為中心的理論—實務的路徑 (line of practice)，將學生應對事物感到好奇而產生對其之興趣與其後續之探索行為之間進行連結，強調透過「偏好 (preferences)」學生會將其感到好奇的事物當成一種嗜好並長期持續的進行探索；而藉由「實務的狀態 (conditions of practice)」學生則會依其環境提供之狀態進行特定探索行為。透過 Azevedo 的理論不僅再次說明了學生對探究相關的好奇心會受其環境、經驗的刺激與啟發，更是連結到其後續探索發現的歷程，更甚者可以影響其維持長期的終身學習。

然而，透過連結學生所感到新奇與困惑的問題與科學探究實務之間的關聯，Luce 與 Hsi (2015) 的研究顯示小學六年級學生之科學好奇心在不同形式探究行為時會有不同的表現。她們根據學生晤談的對話中發現學生的好奇心與這些科學探究探究之間的關係是變動的，即不同學生在具有不同科學興趣的情況下，其個別所專注之科學探究的種類及其發生頻率亦有所差別。據此 Luce 與 Hsi 認為這些不同的好奇心表現可能代表著學生在參與某些科學相關活動的方式上的偏好，並會與不同類型的學習經驗和學習情境相互作用，進而影響學生是否會隨著時間的增長而持續或深化對科學學習與科學推理的追求。

本論文將探討 Luce 與 Hsi 關於學生的好奇心表現與學習經驗會相互作用的論點。也就是說，當學生的學習經驗為他們所感到好奇心的事物現象提供連結的機會時，學生所執行的探究行為會遵循與他們的好奇心一致的方式去進行。Luce

與 Hsi 的研究發現學生好奇心與探究相關的行為越一致時，他們可能會展現出更多探究相關的行為以滿足其好奇心，並且去更加理解其所感到好奇的事物現象背後的成因；即當學習環境提供機會以滿足好奇心時，這種想要知道的好奇意圖會促進學生更加的投入在探究活動中。例如：學生對植物生長的機制感到好奇，而當教室外的校樹因秋天而落葉時，可能會引發他去探究樹木落葉的成因。故此，學習的機會可以深化學生投入探究的調查活動，進而磨練他們探究的技巧並促進探究能力的進一步發展。我們專注於探究相關好奇心的實踐方面，以便確立學生在實驗室的投入與其在學校實驗課所提供的學習機會之間的聯繫。因此，本論文將探討十一年級學生的探究相關的好奇心是否與他們的探究能力有關，並且這個關聯是否被他們的探究實驗室投入所中介。其次，是探討透過學生的實驗室投入是否會中介學生的學習經驗對探究相關好奇心的關聯，並希冀藉此來闡明學生好奇心驅使的探究學習中在學校的科學學習的過程中可能扮演的角色。

由此是故，本論文即以研究一來探討在學習經驗、探究相關的好奇心以及實驗室投入對學生探究能力之間的關聯（詳見第三章）；並以研究二來探討在好奇心驅使探就學習的情形下，不同種類的投入之間的影響機制（詳見第四章）。

第三節 學習投入

由於學習投入在興趣類型的好奇心中不僅僅是個體展現其內心感到驚奇的外在表現，也同樣扮演著類似催化劑的角色去維持與加深個體的興趣，進而促進其在學習表現的展現 (Hidi & Renninger, 2006)。故而，為探討影響學生學習表現的因素，除了好奇心之外，許多的研究亦從學習投入的觀點來進行研究，以期能從學習歷程中建立幫助學生有效學習的因素 (Gunuc & Kuzu, 2015a; H. K. Wu & Huang, 2007)。然而，過去二十年學習投入的觀點雖然被廣泛的運用在教育政策、課室教學與學習的研究中，但過去研究對課室中學習投入的定義與專有名詞的使用均未有一致的共識，例如 Astin (1984)以學生涉入 (student involvement)來表示

學生投注生理與心理上的精力在教學活動的參與中；Engle 的團隊則以學科投入 (disciplinary engagement) 來指涉學生參與在課室中特定學科的活動 (Engle & Conant, 2002; Forman, Engle, Venturini, & Ford, 2014)；而 Greene 跟她的團隊 (2004) 則從認知投入 (cognitive engagement) 的觀點，強調學生從內在動機所引發之各種認知策略的使用。有鑑於此，以下本節將分別從學習投入的定義與學習投入與學習表現的關係進行探討。

一、學習投入的定義

在教育領域中，關於學生的學習投入 (engagement) 的研究及其重要性已被廣被重視並進行許多相關研究。然而，各學者針對其所關注之場域、任務或對象的差異，而有其個別不同的詮釋與定義。其中大致可以區分為學校投入 (school engagement)、學科投入 (disciplinary engagement) 以及學生投入 (student engagement) 等類別。以下分別針對這三項投入類型的定義加以探討：

(一) 學校投入 (school engagement)

由於在學校投入的層面上，最早期是以輟學率來探討學生在學校的情境中投入狀態。因為當學生對學校相關事物的投入程度愈高者在學習上愈會投注專注力、認真理解學校提供的事物、對學業上的成功感到光榮，並且會嘗試使用許多策略來獲得學業上的更好的表現；相反地，投入程度愈低的學生則僅僅侷限於表面上的參與、對關於學校的任何事物與活動缺乏熱誠 (Newmann, Wehlage, & Lamborn, 1992)。例如，當學生對學校的課程或活動投注的意願低落，甚至產生干擾、焦慮以及排斥的心理往往最終將導致中輟的情形 (Archambault, Janosz, Fallu, & Pagani, 2009)。Finn (1989) 則將學校投入定義為同時包含行為上參與學校的各項活動以及情意上認同學校及學校的學習結果，提出了參與—認同的模式 (participation-identification model) 來探討學校投入與輟學率的關係，透過這個模式 Finn 指出學校活動參與可能促進成果表現的成功；而成功的經驗可以提升對學校的認同的歸屬感，而當具有正向的認同時學生將更有意願參與學校的活動。反之，

則透過低程度參與而導致負面的情緒時，則最終又強化了學生對學校事物參與的意願甚至排斥上學。由此可知，學校投入可以包含學生對學校相關的事物與活動在行為上的參與、情意上的感受以及相關學習策略的使用，並指出具有正負向的不同程度，且依據不同的程度會有不一樣的影響結果（高成就或輟學）。

(二) 學科投入 (disciplinary engagement)

在課室的學科投入的層面上，Erickson 與 Shultz (1992)提出課程投入 (curricular engagement)認為在學校情境中學生所經歷的經驗必須與課程內容連結才有意義，即為強調學生學校課程上的投注的行為，同時也指出學科的課程內容應對學生具有引發其好奇心與意義賦予的驅力，如此學生才能更好的沈浸在課程學習中。然而，Engle 與 Conant (2002)發現學生在課室中對特定學科的討論雖然可以非常熱絡，但在轉化到日常生活中的情境進行探討時卻有困難。有鑑於此他們提出了豐富性的學科投入 (productive disciplinary engagement)，其中包含了四個原則，藉由問題化 (problematizing)：鼓勵學生參與需要在智力上思考的問題中；賦權 (authority)：給予學生討論這些問題的權力；可解釋性 (accountability)：其他同學可以對學生的思考過程進行詮釋並給予幫助；資源 (resources)：教師應該提供充足的資源讓學生進行上述的原則。由此可知，學生在參與課室的特定學科時包含了對課程內容所付出行為上、認知上、社會互動上等層面的努力，並強調於可以藉此提升該學科之學業成就。

(三) 學生投入 (student engagement)

在學生投入的層面上，最早係由 Astin (1984)以學生涉入 (student involvement)的觀點來探討大專學生在其學業表現上所投注之努力，其以學生花費在學習任務的時間來表示個別學生的投入品質，並主張學生的投入品質與學業成就之表現具有正向的關係。Kuh (2003, 2009) 則統合了學生涉入概念之投入時間、努力品質外，亦融入了社會與學業的整合與大學教育的學習實務等觀點來探討大專學生在具有教育性目標的學習活動中之學生投入。並根據這些構念發展出「學生投入的

問卷 (the National Survey of Student Engagement, NSSE)」。此外，Kearsley 與 Shneiderman (1998)則主張學生要能夠有意義的投入於學習活動中需要有兩個前提，其一為具有學習價值的活動；其二為具有能與之互動的他者，才讓他們願意主動地投注心力去參與活動中。Kearsley 與 Shneiderman (1998)並暗示學生投入的學習活動中應該包含是發生在小組的、具有主題導向的，而且是真實的情境。由此可知，學生投入可以包含認知、行為與社會互動等層面的，並強調於整體學習經驗與情境需要能夠促發學生主動投注時間與心力於活動中的。

綜觀上述文獻可以發現雖然過去投入的相關研究針對不同的關注場域而有不同的定義 (如表 2-3-1)，然而這些不盡相同教育相關的投入研究中，在其定義及其所關注的內涵，大抵都包含了學生在該場域中對學習活動裡的各項人、事、物所投注的意願、參與、專注力及伴隨的情感，即為包含了行為上的參與、情意上的感受以及認知上相關學習策略的使用。此外，由於他者 (教師或同儕)對於學習者在參與學習活動中都扮演了重要的角色，因而學生在社會互動上的投入也是探討投入重要內涵之一。最後，由於本論文所關注的是高中二年級學生之科學探究能力，因此，研究者關心的場域為課室之科學課程中與學生探究活動最為相近的實驗活動。由此是故，本論文所採用之投入的定義係界定於學生在參與實驗室的教學活動時所展現之認知投入、行為投入、情意投入以及社會互動投入。

表 2-3-1 不同投入類型之定義及其包含之構念統整表

類型	定義	包含構念
學校投入	係指學生對學校相關事物的投入程度，其中包含情意上對老師、同學以及學校正面和負面的反應；行為上在學校的參與和認知上對學習投入的精力。	行為投入、認知投入、情意投入、社會互動投入
學科投入	係指學生對特定學科的投入程度，其中包含在課程活動中的感受、參與的行為，以及做作業的時間與學習策略的使用。	行為投入、認知投入、情意投入、社會互動投入
學生投入	學生在學習活動中的投入程度，其中包含注意力、花費的精力和付出的努力的歷程。	行為投入、認知投入、情意投入、社會互動投入

二、學習投入的各個構念

為了可以深入分析學生的學習表現的成果，以及發展出具體可以量測的指標試卷，過去相關研究均提出許多論述及其相關量表來探討之 (Archambault et al., 2009; Kuh, 2003, 2009; Wang, Fredricks, Ye, Hofkens, & Linn, 2016)。例如：Fredricks 與她的團隊 (2004) 即針對 1981 年到 2002 年間的 44 篇相關研究進行回顧，認為學習投入是具多面向本質的構念，係指學生在學習中所投注的學習意願、參與、專注力及伴隨的情感，並獲得有意義的學習經驗和成果，其中包含了學生個人的行為、感覺與思考的歷程。文章中建議要達到有效量測學生的學習投入其問卷試題應該要包含行為投入、情感投入與認知投入三種構念，並根據這些構念的內涵定義來發展出量表試題，以利後續研究探討之用 (例如：Archambault 等人 (2009) 所發展的學校投入問卷以及 Fredricks 與她的團隊 (2016) 所發展的數學與科學課室投入量表)。

此外，由於在課室的教學活動中，與學生進行互動的除了課程材料與內容之外，他者——教師與其同儕也是學生互動學習的重要夥伴 (Järvelä, Järvenoja, Malmberg, Isohätälä, & Sobocinski, 2016)。而在實驗設計與執行時，小組內藉由協同合作的關係進行社會互動，可以讓學生在感到歡愉的氣氛中完成他們的學習任

務 (例如, Linnenbrink-Garcia, Rogat, & Koskey, 2011)。因此, 以下本論文根據這些相關研究將學習投入區分為四個構念, 分別為行為、認知、情意以及社會互動等學習投入。

(一) 行為的投入(Behavioral Engagement)

行為投入是指學生參加各種校內外的學習活動, 強調學生在學校、在校外或課間的行動與參與 (Newmann et al., 1992)。其中包含學生正向的專注、持續以及投入學習時間等行為 (Kuh, 2009); 同時也包含負面的投入, 如: 分心、逃避與放棄學習活動的行為 (Archambault et al., 2009)。

(二) 認知的投入(Cognitive Engagement)

認知投入定義為學生對完成課業要求的熟練度、學習策略的運用與學習成效的追求 (Greene et al., 2004)。其中包含學生對學習任務的反覆驗證、使用的學習策略、連結舊有知識 (遷移); 同時也包括認知上的逃避行為, 如: CE_7 當實驗很困難(卡關)的時候, 我只想做簡單的部分 (Wang et al., 2016)。

(三) 情意的投入(Emotional Engagement)

情意投入係指學生對教師、同儕與教材的正負面觀感 (Fredricks et al., 2004)。其中包含學生對學校整體運作的觀感, 並考量學生對學習的興趣與評價。常見之因素涉及學生對學習活動的期待、享受在學習活動中或感到自在; 同時也有負面的對學習活動感到無聊、沮喪、焦慮與逃避的感受。

(四) 社會互動的投入(Social Engagement)

社會互動的投入係指與其他學生的互動(Järvelä et al., 2016)。包含學生在學校社群裡與其他成員的互動。其中含括學生受他的想法的啟發、嘗試理解他人的想法、接受他人或提供他人幫助以及給予或接受他人的分享的行為。

由上述的文獻可知, 研究者們對於學習投入的各項構念內涵具有不同的詮釋及其內隱的含意。然而, 無論是採用何種論點, 無關著重於何種場域, 這些研究

者所提出的投入理論中均包含了行為上、認知上、情意上以及社會互動上的投入等內涵。而本論文中所採用之構念定義係依據，Fredricks 等人 (2016)在其所提出之「數學與科學課室投入量表」中之定義。其中認知投入係指學生在思考歷程中對複雜概念的理解與認知策略的使用之投注程度；行為投入即指學生行為過程中表現出參與、努力、專注與執行課室的活動與學習的任務；情意投入乃指學生在感官情緒上對其老師、同儕或教學活動展現出正面或負面的反應；社會互動投入乃是指涉學生在與人相處時願意透過社會互動的歷程來相互學習的程度。本論文並據此翻譯此一量表 (Wang et al., 2016)，並改編為「實驗室活動的投入問卷」，用以進行本論文之第二項研究，藉此探討在實驗室的活動中不同投入是否對探究能力之間的關連。

三、學習投入與學習表現的關係

有鑑於學習投入在教育的各個場域中對學生學習扮演著重要影響的角色，而過去相關研究對於學生的學習投入的成因及其投入後對學習所產生的影響亦有諸多探討。例如：透過學習投入的觀點，來探討情境、投入與學習表現三者之間的關係。針對教學的課室情境來探討學生投入對其學習上的表現，Shernoff 等人 (2016)的研究發現在複雜環境中，教師對學生的學習行為提供具有支持的環境，可以使學生的投入及其自信心獲得提升。而 Gunuc 與 Kuzu (2015a, 2015b)則發現在科技輔助下的大專課程，科技教材會先提升學生的情意與行為投入，再影響其認知投入最後表現於其學習成效上的提升。由此可知，學習投入對於學生的學習過程中，不僅僅對學習成果具有直接影響的關係，同時也具有間接的將其他因素的影響連結到學習成果上 (如圖 2-3-1 所示)。以下將分別針對學習投入的成因及其投入後對學習所產生的影響進行探討。

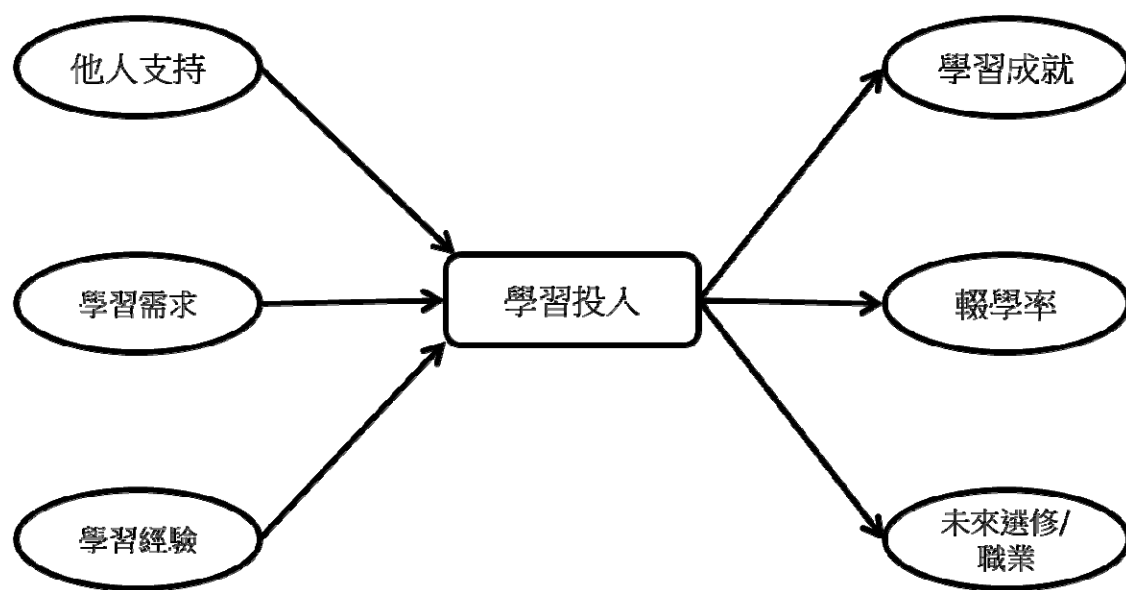


圖 2-3-1 影響學習投入的因素及其影響因素關係示意圖 (整理自 Fredricks, 2004)

(一) 影響學習投入的因素

1. 學習需求 (Need)

在學生參與學習活動的過程中，學習需求是一個關鍵的因素可以促使學生對學習更加積極的投入其中。當學生對學習能力有所需求時，其會透過各項投入的行為來讓自己的精通學習內容，以期能獲得學業上的成功 (Newmann et al., 1992)。而且對於希望成為學校或課程團體的一員的需求，並以被認定為成員之一感到光榮，這樣的渴望會促使學生積極的參與學習活動並藉此強化學生的投入 (Finn & Voelkl, 1993)。此外，學習需求可能涵蓋的構念也十分地廣泛，除上需求、渴望之外，同時也包含了學習動機以及對學習內容的好奇心。例如：Skinner 與 Belmont (1993)的研究所提出之動機模式，主張課室的教學情境會促進學生內在動機的養成，進而影響其外在行為的投入與否，最後影響其學習成效的(Blumenfeld & Meece, 1988)表現。Chin 與 Osborne (2008)指出好奇心可以驅使學生在探究過程中，具有目的性地透過各樣的行為與策略來幫助他們找出所關注的現象背後的緣由。

2. 他人支持 (Supporting)

許多的實徵研究均發現課室的教學活動中，教師的支持對於學生的行為、情

意與認知方面的投入具有高度關聯 (Blumenfeld & Meece, 1988; Ryan & Patrick, 2001; Skinner & Belmont, 1993; Tobin & Capie, 1982) (Ryan & Patrick, 2001; Tobin??; Blumenfeld & Meece, 1988; Eccles, 1988; Skinner, 1993)。當教師在學習活動中提供學生支持並展現出關懷的舉動時學生的各種行為投入將會提升，諸如：學生專心於學習任務的狀態會提升 (Tobin & Capie, 1982)，而且其分心或搗蛋的行為將會減少 (Ryan & Patrick, 2001)。其次，當教師的布置具有挑戰性的或與其認知衝突的任務時，學生會更加的使用各種策略來嘗試解決 (Blumenfeld & Meece, 1988)。而 Skinner 與 Belmont (1993)的動機模式也揭示教師支持的行為除了可以提升各種認知策略的運用也增進了學生在情意上更加享受的參與在活動之中。除了之外，在課室中同儕支持與否也是影響學生投入於學習活動中重要的因素。若能與同儕團體主動討論、分享想法或針對某個觀點進行辯證，學生認知上的投入會得到增強 (Newmann et al., 1992)。反之，若遭到同儕排擠，則學生會對學習產生沮喪、焦慮…等負面的感受以及拒學、逃學…等不投入的行為 (French & Conrad, 2001)。

3. 學習經驗(Learning experiences)

一般而言，學生的學習經驗在課程活動的經營以及學習任務的佈置下，透過某些特性來加強學生的投入 (Meece, Blumenfeld, & Hoyle, 1988; Shernoff et al., 2016)。例如：具有實作特性的實驗活動，可以直接連結到學生特定行為以及使用高層次的認知策略 (Blumenfeld & Meece, 1988)。有效的班級經營策略，藉由班級常規的制定與上課秩序的管理，對於學生課室中的行為獲得提升。就課程的教學活動與學生學業投入對學業成就的關係，Greenwood (1996)進行了路徑模式的比較，發現教學活動透過投入中介學業成就的模式具有較好適切的適配指標 ($CFI_{\text{中介}} = .93 > CFI_{\text{無中介}} = .90$)，並具有較高的解釋變異量 ($R^2 = 27\%$)。此外，除了行為上的投入支外，Fredricks 與 Eccles (2002)的研究中亦發現學生所感知的學習任務規則與其行為投入、認知投入以及情意投入均有高度的正相關。當學生在參與課室的活動與任務時，透過這些經驗去感知到任務的真實性與挑戰性，以及所獲得能親手操作和與人互動的機會 (Engle & Conant, 2002; Newmann et al.,

1992)。此外，Entwisle 等人 (2005)針對學校投入的研究結果亦顯示，學生的投入與否的行為可以從其早期在學校課程的學習經驗所影響。因此，從上述文獻可以知道學生先前的學習經驗與行為上、認知上、情意上以及社會互動上的投入之間具有高度關聯。

(二) 學習投入影響的結果

1. 學業成就 (Achievements)

多數的研究均已經證實學生的學習投入對成就相關的學習成果 (例如：學業成績、標準化測驗的結果)具有高度的正相關(Fredricks et al., 2004; Greene & Miller, 1996; Greene et al., 2004; Nystrand & Gamoran, 1991; Tobin & Capie, 1982)。其中，Greene 與 Miller (1996)將學生的期中考分數 (the score of Midterm exam)；為更進一步了解學習投入對學生整體的學習成果的影響，於 2004 年的研究則將學期表現總平均的百分比 (統合的考試成績、專題與回家作業等表現的分數) 作為依變項來探討進行路徑模式的分析 (Greene et al., 2004)。此兩項研究結果均顯示學生愈能使用各項認知上的策略來完成課室中所布置的任務作業時，其在學業上愈有正向的表現。此外，不僅僅只對學生知識上的學習成就有關之外，學習投入也被證實可以有效促進學生在能力上的學習表現。Nystrand & Gamoran (1991)針對學生的識字能力 (literature achievement)的研究，提供實徵證據顯示除了證實課室內的分心行為、閱讀與寫作的作業未完成以及不回答提問等不投入的行為會不利於學生在識字測驗的成績之外，其研究更發現當教師發問的問題是學生所不知道或不熟悉時，會刺激學生進行更多的閱讀並增加討論的時間…等持續投入的行為，進而促進學生的識字能力表現。而 Tobin and Capie (1982)則針對中學 (6~8 年級)學生在接受課程後，學生在形式推理 (formal reasoning)、制控信念 (locus of control)以及學術投入 (academic engagement)等變項對其過程技能的表現之影響進行研究，他們的研究透過迴歸分析發現，無論是總結性評量抑或是延宕測驗均以形式推理與學生投入之出席率等變項對過程技能的表現是顯著的預測因素，其總解釋變異量分別為 40%(總結)以及 48%(延宕)。綜觀上述的文獻，可以發現學

生的投入不僅僅對學業上的成就具有影響關係，對於能力上的成就也同樣具有影響的關係。

2. 輟學率 (Dropping out)

學生在學業上各項表現的另一個極致，即為學習不利或更甚者就是長期缺席與輟學 (Fredricks et al., 2004)。因此，在教育領域中許多針對學生從學校中輟的研究有很大不復是從學習投入的觀點來進行探討的 (Archambault et al., 2009; Eccles & Wang, 2012; Finn & Voelkl, 1993; Newmann et al., 1992)。行為投入是探討學生從學校中輟的重要中介因素，當學生對參與學校活動開始出現消極的行為，如：搗蛋、逃課 (Finn & Voelkl, 1993)；或者開始遲交或不做回家作業 (Archambault et al., 2009)，其之後中輟的機率將顯著的提升。而其他研究亦指出學生在認知上與情意上的不投入也會隨著參與意願低落的狀態下，最終導致輟學率的增加 (Eccles & Wang, 2012)。同樣的，Newmann (1992) 的研究也證實青少年在同儕壓力下，最容易因為受到排擠而自我放棄。故此，可知學生的學習投入的高低是用來預測學生中輟的重要因素之一。

3. 職業志向 (Career aspirations)

同樣地，由於學生的學習投入愈高，其在學業成就上的表現就可能愈好，在獲得成就感的同時也影響著學生在往後大學的系所選修以及求職的職業志向時，會傾向於選擇科學、數學、科技以及工程等學系以及工作 (Eccles & Wang, 2012)。進行三年長期的追蹤，Hughes 的研究團隊發現國小學生的投入是可以預測他們在學術上的表現以及數學與閱讀課程的持續選修 (Hughes, Luo, Kwok, & Loyd, 2008)。此外，比較不同投入構念對學生後續選修與職業選擇的差異，Wang 等人 (2016) 發現學生在科學課程的行為投入對學生在科學課程的選擇上是最強的預測因素；然而學生在科學、數學、科技和工程等工作的選擇上則是對科學課程的情意投入具有較高的預測力。由此可知，學習投入對於學生的當前的學習以及日後的職業志向均扮演著重要的角色。

綜合上述文獻，可以發現學生的學習經驗、對學習的需求以及他人的支持與

否是影響學生學習投入的重要因素之一；而越正向的投入則可能增進他們的學習成就的表現，反之則可能導致逃避學習或中輟的現象產生，並且無論是正向抑或是負向的投入都可能進一步的影響他們為來職業志向的選擇。

四、各項構念之間的關係

雖然學習投入具有多面向的主張已為過去許多的文獻所證實；並且學者們亦根據這些不同內涵的定義發展出不同的測量試題。然則，過去的研究對於學習投入對學生學習過程與學習成果的推論時，卻往往將這些個別的構念統合起來，以一個全部的投入概念來進行探討（例如，Greenwood, 1996）或者是分別針對某項投入對學習成效的影響（例如，Greene et al., 2004）。然而，鮮少研究者同時針對學習投入的不同構念之間的關係進行探討，及其相互影響後如何對學習成效產生關係。

其中，Archambault 等人 (2009) 的研究針對學習投入對中輟的影響進行了包含整體模式、男女模式恆等性檢驗與分構念模式等一系列的模式探討。其中她們發現在整體模式（即將行為、認知與情意三個投入的構念分數加總）中，學生的整體投入對學生輟學率具有顯著的負向關連 ($\text{Effect}_{\text{投入} \rightarrow \text{中輟}} = -.15; p < .001$)，且具有 12% 的解釋變異量。進一步以各別構念的模式分析各別投入時，卻發現僅行為投入對學生的中輟有顯著關聯 ($\text{Effect}_{\text{行為投入} \rightarrow \text{中輟}} = -.15, p < .001$)。而學生在認知與情意上的投入對中輟的預測效果均未達顯著。同時該模式亦將三項構念的殘差設定相關進行估計，發現雖然認知投入與情意投入對中輟沒有顯著效果，但各構念之間還是存在著顯著的高相關，尤其是情意與其他兩項投入之間的相關 ($r_{\text{行為-情意}} = .48, p < .05$; $r_{\text{認知-情意}} = .65, p < .05$)。因而暗示著不同構念之間可能具有相互影響的關係存在。雖然 Archambault 等人 (2009) 不但發展量表工具用以量測學生的行為、認知與情意投入的狀態，並進行了一系列的模式檢定來了解學生的投入情形與其中輟率之關係。但在 Archambault 所提出的影響模式中並未分別探討

不同構念之間的結構關係，而是將原本屬於同一個投入變項中的不同構念（行為投入、認知投入以及情意投入）設定相關來進行結構模式的估計。在其研究中發現情意投入與其他兩項投入之間的相關；並指出不同構念之間可能具有相互影響的關係存在。但其後續研究並未見有進一步之探討與發現。故此，為進一步探討不同投入構念之間可能存在的相互關聯，以下則再針對投入相關的研究進行探討，並藉此建立這些構念之間及其對科學學習成效的影響關係。

過去研究雖然鮮少針對各項投入之間的關係進行探討，但對於學生科學學習表現受到不同投入的研究仍有許多，並分別指出個別的投入對學習成果的影響情形 (Eccles & Wang, 2012; Finn, 1989; Finn & Voelkl, 1993; Greene et al., 2004; Newmann et al., 1992; H. K. Wu & Huang, 2007)。例如，從課室教學錄影的質性資料分析，H. K. Wu 與 Huang (2007)之研究結果發現對學生的科學學習而言，係以學生在科學課室中認知投入不僅出現的比例最高，同時也對其科學學習呈現具有顯著關聯；其次則為學生的行為投入，同時對其科學學習成效亦為顯著的關聯。然而，其中則以情意投入的表現最少，而透過量化分析則指出學生的情意投入對其科學學習成效沒有顯著影響。

進一步針對相關實徵研究進行探討不同投入構念之間可能存在的相互影響的關係，Li 與 Lerner (2013)透過長期追蹤研究發現，學生在 11 年級時的認知投入會受其 10 年級時的行為投入與情意投入的影響 ($\beta_{\text{行為} \rightarrow \text{認知}} = .40; \beta_{\text{情意} \rightarrow \text{認知}} = .10$)；而 9 年級時的情意投入則可以預測其在 10 年級時的行為投入之表現 ($\beta_{\text{情意} \rightarrow \text{行為}} = .10$)。由此可知，不同投入構念之間係存在相互影響的關係，且可能為學生的情意投入影響其行為；而較高的行為投入則會提升其認知投入的表現。而她們的研究中所發現的影響關係亦為許多研究所支持，例如：Cacioppo 與 Gardner (1999) 的研究即主張正向的情意感會幫助學生選擇行為的取向 (approach behavior) 及其後續持續的行動。而 Fredrickson 與 Joiner (2002) 的研究亦指出在情意面上保持正向的感受可以擴大思考的廣度並促進更彈性且具創造性的思考。

然則，Li 與 Lerner 亦僅著重於高中學生之不同投入構念之間的相互影響關

係，她們並未針對這些影響關係如何進一步的對學生的學習成效產生影響。因此，本論文即依據先前文獻所提出理論架構所建議之這些投入構念之間的關係來建立可能之假說模式，即為情意投入會先影響學生的行為、認知以及社會互動三項投入；而同時學生認知的投入也會受到情意、行為以及社會互動三項投入的影響，並透過結構模式之理論模式的建立與結構模式的估計，來探討這些相互關係下的投入如何影響學生的探究能力學習。

五、總結：形成投入相關的模式

圖 2-3-1 為統整過去文獻針對學習投入所進行的相關研究，所總結之相關因素及其影響因素。根據上述的文獻，可以發現當學生沉浸在課室中的活動時，投入會引領她/他們察覺並體會學科的內容及其實務，透過這些內容沉浸與實務的執行，可以使學生投注心力在學科的複雜概念中，進而理解與建構其學科知識 (Blumenfeld & Meece, 1988; Hiebert et al., 1996)。故此，本論文的第一個研究，即探討學生的學習經驗、好奇心以及投入其探究能力的影響關係。並建立一個理論的假說模式，如圖 2-3-2 所示。即為學生的正式與非正式的學習經驗雖然會直接影響投入與好奇心，但同時也會透過探究相關好奇心影響他們對實驗室活動的投入，進而影響探究能力的表現。

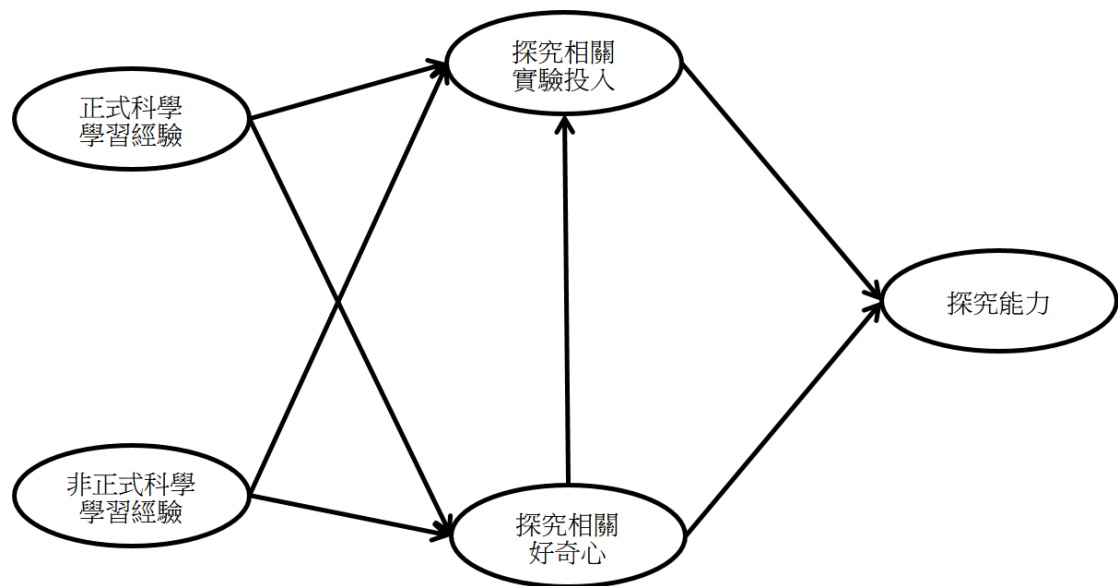


圖 2-3-2 理論模式 1：科學學習經驗、科學好奇心與實驗室投入對探究能力的影響模式

其次，雖然回顧過去這些研究均強調構成學習投入的內涵是包含數個不同意涵，卻以整體投入的構念來探討其影響即可影響的學習成果之間關係。並沒有研究針對學生在投入科學探究活動時各項構念之間是否存在怎樣的相互關係來進行探討。故此本論文的第二個研究，即探討學生的不同投入之間的影響關係及其與探究能力的關係。透過上述的文獻的統整，本論文建立了第二個假說模式，即學生的學習投入是一個具有多面向構念的，並且這些不同的構念之間可能存在著相互作用的關係，如圖 2-3-2 所示。由此是故，本論文根據文獻的建議提出第二個假說模式，學生在參與學習活動的過程中，可能出自個體對新鮮事物求知上的需求即為對該事物產生好奇心，而藉由好奇心的驅動下學生會對從事相關活動具有較高的情意上的意願去投入其中，並透過行為上以及同儕互動的過程中獲得成就感，進而加強其使用更多的認知策略去從事相關行為，也就是說情意投入透過行為投入與社會互動投入的中介而影響學生的認知投入。藉由這樣的影響機制最終使整體學習的結果獲得提升。

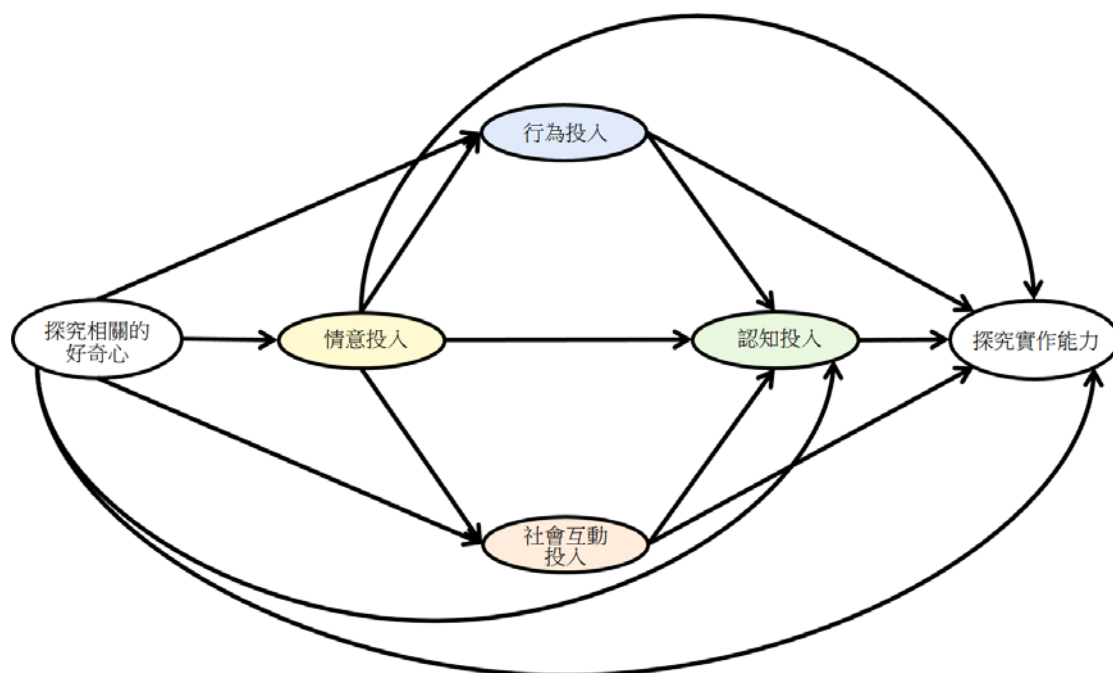


圖 2-3-3 理論模式 2：好奇心驅動之探究能力模式

第四節 科學學習經驗

鑒於學生的學習經驗是影響學生學習科學的可能因素之一。為了可以釐清學生的各項學習經驗對其在科學學習的影響，並為本論文提供的問卷設計之基礎。以下將分別針對學習類型的定義、學習經驗對科學學習的影響兩個部分進行探討

一、學習類型及其定義

欲探討學生的科學學習經驗，首先應先針對學習類型的定義進行釐清。根據聯合國教科文組織 (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, UNESCO) 於 1979 年所出版之《成人教育名詞 (Terminology of adult education)》一書對教育的劃分，係將教育分成正式教育 (formal education)、非正式教育 (informal education)，及非正規教育 (nonformal education) 等三種教育類型 (Titmus, Buttedahl, Ironside, & Lengrand, 1979)。其中將正式教育界定為：在學校場域中所發生的專門性課程；為有明確結構、有時間順序及學校組織的教育活動，

其中教師的角色及其教學行為十分明確且具目的性 (頁 46)。所以，一般學校教育之中小學、高中及大學裡的課程均屬正式教育的範疇。非正式的教育，則為個體在日常生活經驗中透過家人、社區、圖書館或大眾媒體中所習得的知識、技能、態度與價值 (頁 49)。故此，一般而言，非正式的教育係指在個人日常生活中的學習活動，通常是沒有計畫的、經驗本位的、附帶性質的教育性影響，如雜誌的閱讀或飯後餐桌上的對話 (NRC, 2009)。而非正規教育則被界定為發生在正式學校教育外的教育活動；通常學習者是不需要註冊或登錄的 (頁 54)。由此可知，非正規教育通常係指個體在離開學校教育之後，所從事之有目的、有組織、有計畫的學習活動，如成人教育、駕訓班學開車。也正因為是指學校教育之外的教育活動，故而有些學者亦將 formal education 翻譯為非正規教育 (如：黃富順, 2005)，以凸顯兩者之間的差異關係。

從上述的定義可以發現，對就學中的高中生而言影響其學習科學的主要來源可能只有正式教育以及非正式教育。故此，以下將針對正式教育以及非正式教育對高中學生的科學學習之影響進行探討。此外，由於這樣的探討關係則以著重於學生在此兩類教育型態中的科學學習經驗，據此來設計相關的問卷試題以便收集相關的資訊並加以分析。

二、學習經驗對科學學習的影響

一般而言，學生的科學學習可以依據學習所發生的場域是否在學校，而粗略地區分為正式與非正式兩種形式的學習經驗 (例如：Dierking & Falk, 2003; Hofstein & Rosenfeld, 1996)。為證明課外學習活動的學習優勢以及釐清課室學習活動的侷限，過去許多研究特別針對此兩種經驗進行比較與對應 (L. M. W. Martin, 2004; Stocklmayer et al., 2010)。而在這些研究中，所定義非正式學習經驗的範疇，大多來自於不同的場域與各種活動，其中包含家庭與日常的活動經驗、博物館與科學中心的參訪以及課後與青年團的活動；而正式學習經驗則是泛指所有在學校、課室中所進行之所有學習活動與課程。

(一) 非正式科學學習經驗 (Informal science learning experience)

這些研究指出這些非正式的場域和活動提供了最直接的探究相關的學習經驗。舉例來說，博物館的展覽提供觀展者操弄器材、測試變因、探索實驗、觀察現象以及預測與提問等各式的探究活動，可以讓觀展者親身體驗自然與物理學的現象與原理 (Allen, 2004; Ash, 2003; Fender & Crowley, 2007)。教育性電視與廣播節目可以快速地進行大眾傳播，而有些節目更可以透過科學探究的方法來展現科學現象，以社會性、歷史性與文化性的優勢來幫助觀眾建立對科學知識的理解 (Stocklmayer et al., 2010)。

故此，美國國家研究院 (NRC)所發行之《在非正式環境中學習科學 (Learning Science in Informal Environment)》即強調日常生活及家庭活動、各式科博館、社區活動的參與以及大眾傳播等非正式環境中所提供學生學習科學的機會，並指出透過這些非正式環境的學習經驗可以幫助學生之 (1)科學興趣與動機的刺激、(2)科學知識的理解與整合、(3)實驗操弄技能的培養、(4)科學知識致知方法的體會 (5)與他者互動的歷程、以及(6)對科學知識認同的發展 (NRC, 2009)。其中，雖然只有少數的探究經驗被過去的實徵研究所檢驗，但有部分課後青年團的活動可以提供機會，讓參與學員經歷實作與探究導向的科學計畫 (NRC, 2009)。此外，亦有研究指出為了這些課外的學習經驗可以引起學生更加專注地投入於課室內的探究活動與建構相關的知識，以滿足她/他們在這些經驗中所被喚醒的好奇心 (Chin & Chia, 2004)。

而本論文中所發展之非正式科學學習經驗問卷即著重於學生之博物館參觀、參與科學營隊、觀看科學性電視節目以及閱讀科學性課外讀物等四項經驗作為評估學生非正式科學學習經驗之觀察指標。

(二) 正式科學學習經驗 (Formal science learning experience)

另一方面，由於在學階段學生花費做多的時間就是在學校接受各項學習活動，故而做為影響學生學習最主要的因素，學校科學課程過去已有許多的文獻進行探討 (Kolodner et al., 2003; Ogawa, 1995)。更有許多研究針對科學探究發展相關之

課程或活動來探討教學介入對學生學業成就及探究能力的表現情形 (Myers & Burgess, 2003; 洪振方與陳毓凱, 2011)。然則，由於本論文欲了解並建構學生在常態的學校課程中，其學習經驗對探究能力發展的影響。故本論文所關注的正式科學學習經驗係指學生在學校課室中所進行的探究相關的實驗室投入經驗。此外，也由於就各級學校之科學課程而言，現行實驗課中實驗設計與其各項操作行為係和探究活動之各項歷程較為接近。

雖然大多數的科學教師指出當前多數的學校實驗課程都只是食譜式的實驗，而學生只是按照實驗手冊進行實驗設計，而實驗數據的分析及其結果也僅是驗證教科書的理論 (NRC, 2006)。然而，根據先前文獻的定義為了直接觀測與理解自然世界，實驗室的學習包括了實驗藥品和儀器的操作、收集實驗數據的技術以及理論模式的使用和建立等歷程 (Hofstein & Kind, 2012; NRC, 2006)。這樣的學習經驗提供了一個機會讓學生主動建構她/他們對科學的理解與知識 (NRC, 2000)。相比於其他種類的課室活動，實驗室的活動由於可以讓學生親自動手做和動腦想，因而讓學生更加地喜歡並展現出高度的情境興趣 (Hofstein & Lunetta, 2004; Shumow, Schmidt, & Zaleski, 2013)，並能藉此引發學生對其生活環境中所經歷的事件進行驗證性的比對或對感到好奇的事物進行初步的探索。

故此，本論文中即以學生在學校中實驗課的頻率高低作為指標，來反映高中學生在正式教育環境中的科學學習經驗。

統整上述文獻可以發現，學生無論是在正式教育或是非正式教育中的科學學習經驗，都將成為其之後在學校再次學習相關科學主題時的養分；尤其是本論文所關注之學生探究能力的表現，透過這些來自不同場域的經驗可以刺激學生對科學事物、現象的好奇心及動手實際投入相關的活動中進行探究。由此是故，本論文之第一個研究即探討正式與非正式學習經驗對高中學生的探究相關的好奇心及實驗室投入的影響關係 (詳見第三章)。

第五節 變數導向的結構方程模式

雖然，過去教育相關的研究多採用變異數分析 (analyses of variance, ANOVA) 或多元迴歸分析 (multiple linear regression, MLR) 的方法，來探討其研究所關注的各項因素與依變項之間的關係 (Oliver & Simpson, 1988; Stohr-Hunt, 1996)。然而，本論文則是採用結構方程模式的分析技術來進行變項之間的關係來進行探討。因為 SEM 是整合因素分析與路徑分析等多種分析方法，來檢定觀察變項與潛在變項之間假設關係的統計分析技術 (Hoyle, 1995, p. 5)。而且由於其具有路徑分析的特性，能更進一步的釐清各潛在變項之間相互影響的關係 (吳明隆, 2009)。

此外，Gefen 等人 (2000) 的研究中亦比較了結構方程模式與迴歸的統計分析技術。他們並指出即便同樣都為變數導向的分析方式，但結構方程模式與線性迴歸、變異數分析等方法最大的差異在於，線性迴歸、變異數分析一次只能分析一種自變項與依變項之間的關係，並且無法探討不同自變項之間的關係，如表 2-5-1 所示。以下分別針對過去文獻所提出之結構方程模式所具有的幾個特性加以整理：

表 2-5-1 不同統計分析技術之間的差異比較表

可進行分析的項目	結構方程模式	線性迴歸
同時分析多個自變項與依變項的路徑關係	可	不可
理論模式的建立與觀察變項的誤差項估計	可	不可
分析所有變項之間的關係	可	不可
分析結果的解釋效果	透過各項適配指標來呈現假設模式與真實模式的適配程度	以解釋變異量 (R^2) 來呈現線性迴歸模式的有效性

(整理自：Gefen et al., 2000)

一、理論先驗性

結構方程模式分析最重要的一個特性，是它必須建立在一定的理論基礎之上。

即為結構方程模式是透過對某一個或多個既有理論所提出來的模型 (priori theoretical model)，並藉由所蒐集之資料進行檢證其適切性的一種統計技術 (邱浩政, 2005)。因此，結構方程模式被視為是一種理論驗證性的統計方法，而非作為探索式的發展理論。雖然在結構方程模式的分析過程中，可以藉由觀察變項的設定與潛在變項的定義、變項之間關係的假設以及初始模式的建立與修正等過程對此一模式修正或檢證出新的關係，但其中每個決定都必須要有清楚的理論概念或邏輯推理作為依據 (Kline, 2011)。

二、整合多種分析技術

結構方程模式是一種呈現客觀狀態的數學模式，主要用以檢驗觀察變項與潛在變項之間的假說關係，其中整合了許多種類的統計分析技術。Bollen 指出 SEM 結合了多項統計檢驗方法的分析技術，其中包含了路徑分析、潛在變項模式、因素分析、最大概似估計法，甚至包含了古典測驗理論之卡方檢定與假說檢定等概念 (Bollen, 1989, pp. 4-9)。透過整合上述這些多種的分析技術，結構方程模式允許可以不斷擴充研究者所欲探討的變項的數目與影響方式，因此一般而言結構方程模式分析亦可被歸類為多變量變異數分析 (multivariate analysis of variance) 的範疇之中 (邱浩政, 2005)。

三、同時處理測量與分析模式

由於結構方程模式同時包含了多項分析技術，其中尤為重要的核心即為因素分析與路徑分析兩種分析方法，藉此讓 SEM 可以同時處理測量與分析兩種模式 (Bollen, 1989)。在古典測量理論中，不管採用何種分析的方式，大多是將所觀測到的測量資料視為變項，雖然在測量過程會進行測量誤差的估計。但是在後續的分析過程中，並不去處理測量過程中可能存在的誤差問題，也就是說，是將「測量」與「分析」視為兩個獨立分離的程序。有別與此，結構方程模式分析是一套可以將「測量」與「分析」整合在一起的計量研究技術。主要的關鍵在於結構方程模式將不可直接觀察的構念或概念，以潛在變項的形式，利用觀察變項的模型

化分析來加以估計，不僅可以估計測量過程當中的誤差，也可以用以評估測量的信度與效度。另一方面，在探討變項之間關係的時候，測量過程所產生的誤差並沒有被排除在外，而是同時包含在分析的過程當中，使得測量信度的概念可以整合到路徑分析等統計推論的決策過程中（黃芳銘，2007）。

四、透過共變異數的運算方式

有別於 ANOVA 與 MLR 是圍繞於平均值進行統計分析的，例如：ANOVA 雖名為變異數分析，是以組與組之間對於某一個依變數的「平均數」是否有顯著的差異進行檢定的（Kline, 2011）。然而，結構方程模式分析的核心概念是變項的共變數（covariance）。共變數是描述統計中的一種離散量數，利用變異數的離均差和的數學原理，計算出兩個連續變項配對分數（paired scores）的變異量，用以反應兩個變項的共同變異或相互關聯程度（邱浩政，2005）。透過這樣的共同變異可以檢驗潛在變向間存在的關係，並將原本分別獨立的各個測量模式連結形成另一個獨立的測量模式。

五、重視多重指標

由於結構方程模式分析所處理的是整體假說模式與真實模式之間符應程度的比較，因此所參考的指標不是以單一的參數為主要考量，而是整合性的透過多元的指標進行比較（Bollen, 1989）。藉由同時參考多種不同形式的指標才能對模式的適配程度做一整體的判斷。就整體模式的適配程度考驗來說，主要就是在檢定母群體之共變數矩陣與假說模式中各變項之共變數矩陣之間的差異。然而，事實上我們無法得知母群體的變異數與共變數，所以在模式檢定時是以樣本資料所導出的參數估計值來代替母群體的各项參數值。因此，結構方程模式分析在進行模式適配度的檢驗時，其實是在檢驗假說模式對樣本資料的詮釋程度，當兩者的參數矩陣差異數值越小其適配程度越好（吳明隆，2009）。

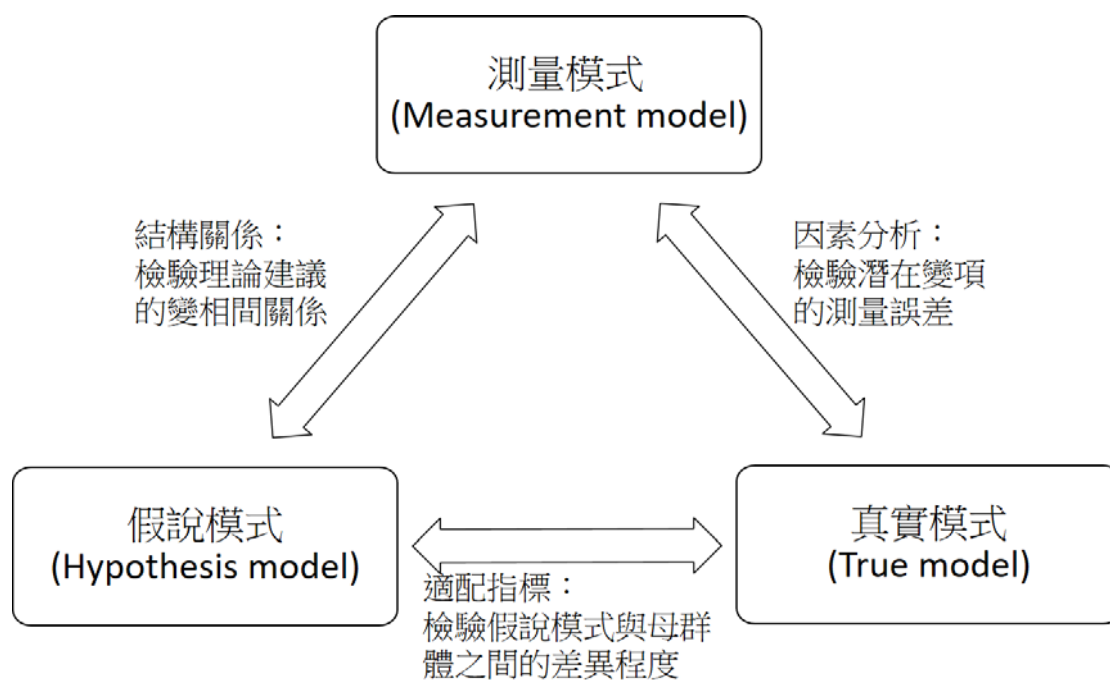


圖 2-5-1 結構方程模式的特性

透過圖 2-5-1 之結構方程模式的特性可知，以結構方程模式的統計分析技術來進行各項變項之間關係是合適的。尤其是在社會科學領域中，有許多的理論構念是無法直接被測量的，而只能藉由發展各種量表試題來以數值量化之，稱之為潛在變項。而結構方程模式的分析技術，可以藉由驗證式的因素分析來檢驗所發展的量表試題指稱該項潛在變項的代表性。當測量模式建立之後，則透過理論導向的建議關係來結構這些潛在變項之間的相互關係。最後，透過整體假說模式所估計出的各項參數與母全體的共變數矩陣之間差異的檢定，藉此來建立出可以詮釋真實變項關係的模式。故此，越來越多教育相關的研究開始採用結構方程模式來進行研究 (Teo, Tsai, & Yang, 2013)。

第三章 科學學習經驗、探究相關好奇心與科學活動 的投入對探究能力的影響(研究一)

綜合上述的文獻回顧發現學生的探究相關的好奇心及科學活動的投入狀態可能會影響其探究能力的表現，例如：Tamir (1978)針對以色列的高中學生進行之研究發現學生的科學好奇心與探究能力的測驗整體得分間具有顯著的相關，尤其是在設計實驗與辨認變因兩項與其好奇心也是具有顯著關聯的；Kahraman (2014)則針對土耳其學生在 TIMSS 2011 年的調查結果進行研究，發現學生的兩種投入(行為與情意)對於其科學成就均顯著具有正向的影響效果。此外，學生不同的科學學習經驗亦可能會與其好奇心和投入有所關聯，近年來，學者也開始強調以整合正式與非正式學習經驗的系統性功能對科學學習的重要性 (Falk et al., 2015)。然而，究竟學習經驗如何影響學生的好奇心及實驗室投入，並進而影響他們探究能力的表現。

因此本研究所進行的第一個研究即針對正式與非正式科學學習經驗、探究相關的好奇心、探究相關的實驗室投入對學生探究能力的影響關係探討，希冀藉此提供當前高中學生之好奇心驅動學習以及其科學的探究能力表現的關係提供一個完整的圖像。

第一節 研究目的與問題

根據前述的文獻回顧，本研究有兩個目的。其一為檢驗探究相關的好奇心是否與學生的探究能力有關連以及學校實驗課的投入是否會對這個關聯產生中介影響；其二為探討學生的正式與非正式學習經驗如何影響前述相互影響之好奇心與實驗室投入之間的關係。為了探討這些研究目的，本研究透過結構方程模式 (structural equation modeling，簡稱 SEM)來分析學生在多媒體導向的探究能力評量的表現，並從他們所回答的背景問卷中取得科學好奇心、實驗室投入與兩種學習經驗的資料。

根據上述之研究目的，衍伸出三個研究問題：(1)是否學生的探究相關的好奇心會與其探究能力有關連？(2)是否學生探究實驗的投入在探究相關的好奇心與探究能力之間具有中介效應？(3)是否學生的正式與非正式的學習經驗會透過探究相關的好奇心影響他們在探究實驗中的投入？透過學習經驗、好奇心、投入與探究能力表現之間關係的檢驗，本研究結果所提出之結構模式將針對當前高中學生之好奇心驅動學習以及科學的探究學習歷程提供一個完整的圖像。

第二節 理論模式

透過整合前述文獻回顧和研究目的所關心的構念，特別針對科學學習經驗、探究相關好奇心、實驗室投入與學生的探究能力表現以及這些因素之間的關係設立假說進行探討，綜合這些假說本研究提出一個待檢驗的理論模式，如圖 3-2-1 所示。依據所建立的假說，本理論模式具有兩個分析焦點，來進行研究目的探討。

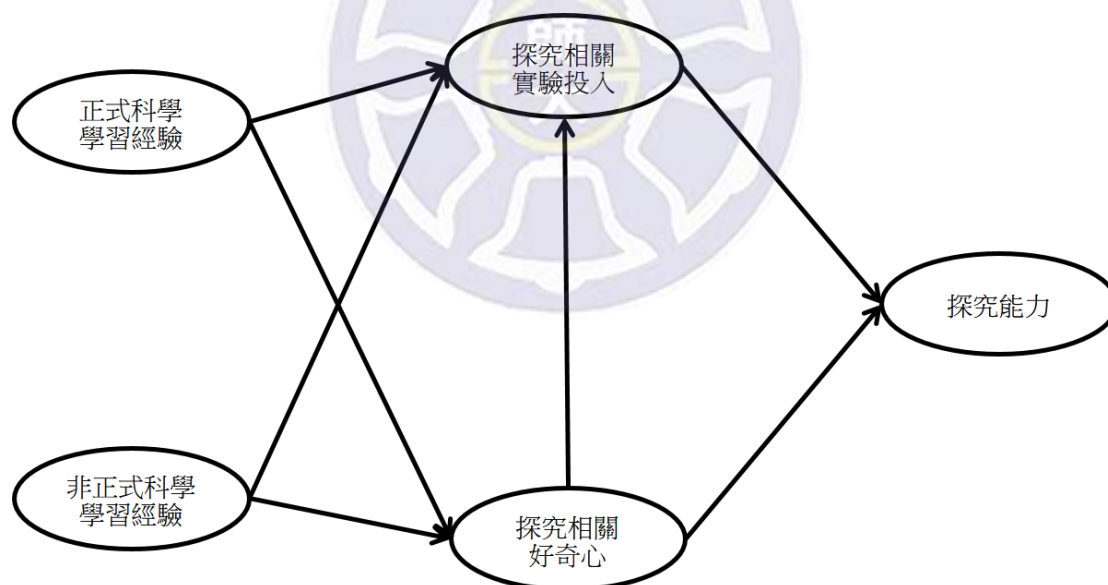


圖 3-2-1 理論模式 1：科學學習經驗、科學好奇心與實驗室投入對探究能力的影響模式

首先，著重於探究相關的好奇心、探究相關的實驗投入與探究能力三者之間的相互影響的關係。在這關係中，好奇心與實驗投入對探究能力的關聯將會分別被檢驗並且實驗投入的中介角色也將會被探討，即為本研究將探討持有較高的探

究相關的好奇心之學生是否具有較高層次的探究能力和具有較多的探究相關的實驗投入。其次，在確認好奇心驅動投入與探究能力表現後，本研究欲探討的第二個焦點為正式與非正式科學學習經驗在整個理論模式中的關係。故此，本研究將著重於兩種科學學習經驗如何影響學生在學校的實驗室投入，以及是否這個影響關係會受探究相關的好奇心所中介。

為了探討上述的理論模式及其關係，本研究以結構方程模式 (SEM)透過 1,099 名 11 年級的學生的施測資料來檢驗理論模式的適配程度及這些變項之間的路徑關係。下節中將提供更為仔細的說明來描述本研究所使用之研究方法。

第三節 研究方法

以下本節分別就研究對象、探究實作能力評量設計、測量工具以及資料分析等項度加以論述。用以說明本研究之研究進行概要；並於下列段落分別詳述之。

一、研究對象與抽樣方法

本研究的抽樣方式係採取二階段的分層隨機抽樣的抽樣設計，分別從臺灣北區的三所城市(包含台北市、新北市以及基隆市)之 78 所高級中學進行參與學生的抽樣。第一階段，係從民國 101 學年度之基本學力測驗考試百分等級 (Percentile Rank，簡稱 PR 值)分布中，依各校之 PR 值排序後分為 7 個階層；並分別從每一階層中抽取一至兩校，以求每一階層所抽樣的班級及人數相當且符合理論推估之預測人數。在第二階段的抽樣中，再從每個受試學校的 11 年級中選取三到四個班級進行施測。藉由上述的抽樣設計可以透過母群人數比的加權方式，有效地將本研究的研究結果推估至整個全國高中學生的母群，以消彌抽樣誤差的存在。

藉由上述的抽樣設計共有 1,099 名 11 年級的學生參與本研究的施測。其中，由於本研究的施測資料包含兩個部分，其一為將進行結構方程模式估計之背景問卷；另一為將以試題反應理論估計之多媒體導向探究能力評量的作答。由於兩份資料均需轉化成潛在變項以相互比對，故將剔除在背景問卷或多媒體導向探究能

力評量兩份資料中有一缺漏的學生。因此，最後進行本研究資料分析的樣本人數為 1,090 位來自臺灣北區的 11 年級學生。

二、多媒體導向探究能力評量設計

(一) 試題設計(試題內容)

本研究之探究實作能力評量係根據 Kuo 等人 (2015)所發展的科學探究能力之多媒體導向探究能力評量 (multimedia-based assessment of scientific inquiry abilities, 簡稱 MASIA)。該評量發展主要是用以測量中學生探究能力，其中涵蓋四個探究能力—提出問題、設計實驗、分析資料以及形成解釋四項探究能力；而其學科內容橫跨四大領域—物理、化學、生物與地科四個學科。除了 MASIA 已具有良好之信度與效度是本研究選取該評量之 26 個任務共 101 個試題作為題庫的原因之一。此外，更重要的因素為，此種多媒體導向的電腦化測驗不僅可以提供有效的測驗管理與資料處理外，更可以真實的評測到學生所習得之複雜能力，例如：問題解決能力與探究能力。

MASIA 的多媒體試題主要是以提供豐富的情境任務為主，透過靜態的圖片、照片與動態的動畫、影片等視覺化的表徵來取代大量的文字描述；並以模擬實驗的互動操作來讓學生充分的展現其探究實作的能力，藉此呈現學生日常生活周遭可能遇見的問題情境 (Kuo et al., 2015)。圖 3-3-1 即呈現一試題範例，首先試題題幹提供月蝕現象的真實情境之描述，並要求學生透過改變模擬相機之光圈大小與快門速度，來找出影響照片明亮程度的關係並藉此回答相關子題。

月食拍攝(SEC)

2011年12月10日台灣地區發生月全食，許多民眾都想拍攝月全食的影像。拍攝照片時，除了大氣折射、擾動以及地面光害會影響拍攝品質之外；相機光圈與快門的調整也會影響一張照片的優劣。



media.swf

子題 1

請操作以上的相機模擬動畫(動畫中可調整光圈大小與快門速度)。你認為**光圈與快門**會如何影響照片的亮暗程度?

在此填入你的歸納結果

圖 3-3-1 MASIA 之試題範例

(二) 題本設計

為能有效地進行試題的管理與作答的收集，本研究的評量試題採取平衡不完全區塊設計 (Balanced Incomplete Block，簡稱 BIB)，如表 3-3-1 所示。即是將試題分成不同的複本測驗進行施測，再由等化的過程將測驗成績放置於同一個量尺上，以方便進行比較受試者的能力並達到個別受試者能力估計的目的。

首先，將 MASIA 題庫中的 26 個任務中的 101 個試題分成六個不同的題群，即為表中區塊 A、區塊 B、區塊 C、區塊 D、區塊 E 以及區塊 F。其中，區塊 A 係以其試題情境的難易程度與當前國中課程內容較為相近者，故無高中學生進行施測；而區塊 F 則是其試題情境的難易程度與當前高中課程內容較為相近者，故可僅有高中學生進行施測。在區分好六個試題群組後，其次，將適合高中學生進行作答的區塊 B 至區塊 F 之五個題群，依前後區塊方式組合成一個施測的題本。最終，得到本次測驗之六個題本。而每次進行施測時，則所有受試學生以隨機指

派的方式接受一個題本的測驗。

透過 BIB 的設計，具有三個優點提供本研究之施測試題的管理與學生作答的收集。第一，透過不同題本間作為連結之題群重疊設計可以提供試題參數的估計 (Gonzalez & Rutkowski, 2010)；第二，藉由不同題本的設計，學生至多只需在 80 分鐘內回答一個題本約 40 個試題而毋須回答整個題庫的 101 題，可以節省施測時間卻具有同等效果；第三，以前後區塊的方式組合題本，讓每一區塊可以同時出現在題本前後位置，可達到控制試題位置所可能導致的效應存在。例如：可以避免練習效應而導致後面試題變簡單；或是疲勞效應導致後面試題變難。

表 3-3-1 平衡不完全區塊之題本設計

題本編號	題群編號		施測學生人數
			11 年級
1	A ^a	B	0
2	B	C	219
3	C	D	213
4	D	E	218
5	E	A	0
6	E	F ^a	220
7	F	B	220
總數			1090

備註：^a題群 A 係以其試題情境的難易程度與當前國中課程內容較為相近者，故無高中學生進行施測；而題群 F 則是其試題情境的難易程度與當前高中課程內容較為相近者，故可僅有高中學生進行施測。

三、測量工具

本研究的施測流程如下，每名受試學生在進入 MASIA 之線上平台進行探究能力測驗的作答之前，會被要求先填寫 21 題的背景資料以及科學相關問卷 (見表 3-3-2)。其中除了基本的背景資料外，主要用以搜集受試學生的個人資料；包括 19 題的科學相關問卷(包含探究活動相關的好奇心予科學活動相關投入狀態等問卷試題)，主要是藉這些問卷試題作為測量指標用以搜集本研究所假設之理論

模型中的各個潛在變項。此外，由於 MASIA 的線上評量之特點，因此受試學生的探究能力表現可能會受其自身電腦經驗的影響(Scheuermann & Björnsson, 2009)。故本研究另外增加兩題(使用電腦頻率與使用行為)來蒐集學生的電腦經驗；並做為控制變項以避免可能的干擾效果產生，而影響所估計之各個潛在變項間的關係。

透過試題反應理論 (item response theory, 簡稱 IRT) 的估計方式，將受試學生之背景資料做為背景變項，來校正所估計的學生能力 (M. O. Martin & Mullis, 2012; Mislevy, Johnson, & Muraki, 1992; OECD, 2012)；並將問卷所指涉的構念做為理論模型之潛在變項，來估計這些潛在變項與學生探究實作能力的結構關係。以下各段落分別描述這些測量工具及其代表之潛在變項。

(一) 探究能力

101 題的 MASIA 主要是設計來評量學生之提出問題、設計實驗、分析資料以及形成解釋的能力。平均每個題本約 46 題 (範圍在 43 題至 50 題之間)；每個學生給予 80 分鐘的時間完成其所被指派之題本。雖然每個題本包含所欲量測的探究能力之題數與內容均不盡相同，但透過平衡不完全區塊(BIB)的題本設計後，透過試題反應理論 (IRT) 的等化過程，可以有效估計所有受試學生的探究能力，以五個似真值 (plausible values, 簡稱 PVs) 表示之。

在搜集學生在 MASIA 的作答資料後，所有的題本分給八位研究者進行閱卷，其中包括一次的評分訓練及兩輪的閱卷，取得大於 85% 的評分者同意度，再進行後續的閱卷流程。最終，將學生的作答得分以 IRT 的估計後，取得代表學生探究能力的五個似真值。本研究並分別以這五個似真值放入結構方程模式估計中來指涉學生的探究能力。

(二) 正式科學學習經驗

本研究以一個試題來取得學生科學實驗課的經驗。這個題目主要是用以反映學生的正式科學學習經驗，其中學生將會被要求以 0 次、一周一次、一個月一次及一學期一次，來回答她/他們在學校中上科學實驗課的頻率。

(三) 非正式科學學習經驗

本研究以四個試題來測量學生的非正式科學學習經驗。其中，學生被要求回答她/他們科學類博物館的次數以及參加科學營隊的次數；以 0 次、一次、兩次及三次以上表之。其次，學生也被問及平均每週觀看科學性電視節目以及閱讀科學課外讀物的時間；以 1 小時以下、1~2 小時、2~3 小時及 3 小時以上表之。

(四) 科學活動相關的投入

本研究以九個試題來量測學生在實驗課中科學探究活動的參與狀態。主要是要求學生回答她/他們對參與提出研究問題、配置藥品、領取器材、紀錄數據、參與討論、動手做實驗、觀察實驗結果以及指揮實驗進行的活動的程度。學生將以從未(計 1 分)、偶爾(計 2 分)、常常(計 3 分)與總是(計 4 分)的程度來進行自陳其參與這些活動的程度。

(五) 探究相關的好奇心

本研究以五個試題來檢測學生探究相關的好奇心。藉由所提供的五個陳述讓學生分別針對從未(計 1 分)、偶爾(計 2 分)、常常(計 3 分)與總是(計 4 分)的程度來評定她/他們自己在從事科學性的活動時的好奇程度。分別為「我會想知道我提出的問題是否可行」、「我會想知道實驗為什麼這樣設計」、「我會想知道如何解釋實驗結果」、「我會想知道實驗結果與預測不符的原因」以及「我會想知道實驗數據的意義」。

(六) 電腦經驗

本研究以兩個試題來量測學生的電腦經驗。首先，學生先以從未(計 1 分)、好幾個星期一次(計 2 分)、每星期一次(計 3 分)、每星期 2~3 次(計 4 分)和每天(計 5 分)的標準來自陳其在校外使用電腦的頻率。其次，她/他們回答是否除了使用社群網站、線上遊戲以及文書處理三項行為之外，最常使用電腦從事的行為是網頁瀏覽。本題的計分方式係採是非方式計分，是表 1 分；否表 0 分。

表 3-3-2 背景問卷中各測量工具之潛在變項及其指標試題

指標	試題描述
Each of 5 PVs	探究能力
	由試題反映理論 (IRT)所估計之個別似真值來代表學生的探究能力。
SciLab	正式科學學習經驗
	在學校上實驗課的頻率為。
Infor1	非正式科學學習經驗
	過去兩年中，參觀科學類博物館的次數(含科教館、天文館、植物園…等)。
	Infor2 過去兩年中，參加科學營隊的次數(含動手做的趣味實驗、科學實驗家教班)。
	Infor3 每週平均觀看多少小時的科學性電視節目(如 Discovery 流言終結者、動物絕技大公開…或 Animal World 目睹氣候變遷、傑考溫蠻野行:北極熊的困境…或呼叫妙博士、下課花路米等)。
Infor4	每週平均閱讀多少小時的科學課外讀物(如小牛頓、科學人、有趣的動物行為、一分鐘地球科學、科學實驗王…等)。
En1	探究相關實驗室投入
	在實驗課時，我會提出問題
	En2 在實驗課時，我會配製藥品
	En3 在實驗課時，我會領取器材
	En4 在實驗課時，我會紀錄數據
	En5 在實驗課時，我會分析數據
	En6 在實驗課時，我會參與討論
	En7 在實驗課時，我會動手做實驗
	En8 在實驗課時，我會觀察實驗結果
En9	在實驗課時，我會指揮實驗進行
Curi1	探究相關好奇心
	在從事科學性的活動時，我會想知道我提出的問題是否可行
	Curi2 在從事科學性的活動時，我會想知道實驗為什麼這樣設計
	Curi3 在從事科學性的活動時，我會想知道如何解釋實驗結果
	Curi4 在從事科學性的活動時，我會想知道實驗結果與預測不符的原因
Curi5	在從事科學性的活動時，我會想知道實驗數據的意義
ComEx1	電腦使用頻率
	每週平均使用電腦的時間
ComEx2	網頁瀏覽
	是否除了使用社群網站、線上遊戲以及文書處理三項行為之外，最常使用電腦從事的行為是網頁瀏覽

作為結構方程模式中重要變項之觀察指標，上述所有試題的峰度指數之絕對值小於 10 以及其偏態指數之絕對值小於 3，均通過常態分佈的考驗 (Kline, 2011)。因此，根據 Bollen (1989)的建議顯示本研究所搜集之資料適合以最大概似法 (maximum likelihood estimation，簡稱 MLE)的估計法，來估計結構方程中的各參數。

四、資料分析

本研究之資料分析可以分為兩個途徑 (Anderson & Gerbing, 1988)來進行理論模型的檢驗。首先，以結構方程模式 (structural equation modeling, SEM)的參數估計方式，來探討學生的科學學習經驗、好奇心和投入等潛在變項之間的關係，以及這些構念對探究實作能力的影響關係。其次，為了使結構路徑的係數及其標準誤差之估計更為準確，將藉由三個資料分析的策略，來進行抽樣誤差、測量誤差與標準誤差的誤差校正。

(一) 結構方程模式的參數估計

在第一個步驟中，本研究使用驗證性因素分析(confirmatory factor analysis，簡稱 CFA)來檢視前述之測量工具的建構效度。透過估計作為觀察變項之間卷試題與其所指涉之潛在變相之間的關係是否符合理論假設。在測量模式的有效性檢驗後，則藉由結構方程模式 (SEM)的建立來檢視潛在變項之間的關係係數。綜合上述之測量模式與結構方程模式的檢驗與建立，研究者可以有效的進行理論模式的檢驗及其參數的估計(Jöreskog & Sörbom, 1996; Kelloway, 1998)。

而建構出之結構模式則以五項適配指數來檢驗。卡方檢定之統計量是用以顯示被估計之模式與觀察資料之間的差異；然而，由於卡方檢定量之顯著性會受樣本數的影響，當樣本太大時會影響模式估計與觀察資料之間的差異，致使卡方檢定顯著，而誤判模式與資料間的適配度不好。因此，本研究根據 Hooper、Daire 與 Coughlan (2008)的建議另外報導四個適配指數，並透過其建議判準來檢驗測量模式與建構模式的整體品質。以下說明這些適配指數及其建議判準。

1. 近似誤差均方根 (root mean square error of approximation, 簡稱 RMSEA)

RMSEA 之數值小於 0.08, 表示理論模式具有良好的適配效果來解釋觀察資料, 可以被接受; 而若 RMSEA 數值介於 0.08 與 0.10 之間則顯示為中度適配效果。然而, Chen, Curran, Bollen, Kirby 和 Paxton (2008) 的研究指出當理論模式可以充分地代表整個母群的共同變異時, 則 RMSEA 的實徵數值可以大於 0.08。因此, 本研究採用之 RMSEA 的決斷標準為 RMSEA 小於 0.10。

2. 標準化均方根殘差 (standardized root mean square residual, 簡稱 SRMR)

SRMR 之數值介於 0 與 1 之間, 且其數值愈接近 0 表示模式適配愈佳 (Kline, 2011)。故, 本研究所採用的適配值標準為 SRMR 小於 0.05。

3. 比較適配指標 (comparative fit index, 簡稱 CFI)

CFI 係指所檢驗的理論模式具有多少比率優於虛無模式; 其中虛無模式是假設模式中所有變項之均有結構關係。根據 Kline (2011) 的建議其數值應介於 0 與 1 之間, 且數值愈大表示模式適配效果愈好。因此, 本研究採用之 CFI 的決斷標準為大於 0.95。

4. 簡效適配指標 (parsimonious goodness of fit index, 簡稱 PNFI)

PNFI 也是用模式的簡效程度來比較理論模式與虛無模式之間的適配效果。因此, 本研究採用之 PNFI 的決斷標準為大於 0.05 (Hooper et al., 2008)。

(二) 誤差校正策略

1. 抽樣誤差校正

由於採用二階段的分層抽出施測學校與施測班級的方式, 無法讓所有受試學生具有相同的機率被抽樣, 而這種不相同的抽樣機率則可能影響本次抽樣人數的代表性, 進而導致研究結果對母群推估上的高估或低估。而一般大型調查研究則常以各種抽樣加權的方式 (例如: total weight 與 house weight), 來校正分層抽樣所可能導致結論推估上的偏誤 (M. O. Martin & Mullis, 2012; OECD, 2012)。

本研究即選用 house weight 將樣本數固定在實際抽樣人數, 因為 house weight

的計算是將 total weight¹ (即抽樣人數占該年級全國總人數的比率)除以該層人數再乘以樣本數，如此所有抽樣學生之 house weight 的權重值加總後會等於實際樣本數 (任宗浩，2017)。如此可以避免因為加權使得人數激增，影響統計顯著性考驗之正確性 (Rutkowski, Gonzalez, Joncas, & von Davier, 2010)。

2. 測量誤差校正

由於本研究的題本設計係採平衡不完全區塊之題本設計，因此每個學生只會進行一個題本的施測，如表 3-3-1 所示。而此種小範圍的答題表現可能導致估計學生探究能時的測量誤差不精確，並因此影響本研究所關心之欲以結構方程模式中各參數的估計。

然而，透過邊際最大近似值估計法 (marginal maximum likelihood estimation method，簡稱 MMLE)可以將前後題本中相同的部分作為定錨之連結試題進行探究能力的估計，如此即可增加測量誤差的估計精確度。採用 MMLE 可以根據學生的作答以及其背景問卷中所提供的母群參數，推估出學生可能的能力分布，再從這個可能的能力分布中隨機抽取出五個值，即為前述所稱之 5 個似真值 (PVs)，來代表學生的能力 (Adams & Wu, 2007)。許多大尺度的評量調查諸如國際數學與科學教育成就趨勢調查 (Trends in International Mathematics and Science Study，簡稱 TIMSS)、促進國際閱讀素養研究 (Progress in International Reading Literacy Study，簡稱 PIRLS)以及國際學生評量計畫 (Programme for International Student Assessment，簡稱 PISA)也都使採取以似真值來代表其所量測之學生的能力 (M. O. Martin & Mullis, 2012; OECD, 2012; von Davier, Gonzalez, & Mislevy, 2009)。

綜上所述，本研究以學生在 21 題的背景問卷中之回答作為迴歸因子進行單向度的 Rasch 模式，來建模出可能的能力分布並抽取出五個似真值。研究者以每一個似真值作為依變相進行一次結構方程模式的運算，取得五組結構模式的路徑

¹ total weight 全名為「全體學生權重」(total student weight)，係抽樣人數占該年級全國總人數的比率，而 house weight 則是再針對每一層學生在該層中被抽到的比率進行校正 (任宗浩，2017)。

係數後再取平均，如此即可達到測量誤差之校正。

3. 標準誤差校正

本研究針對路徑係數採用兩種形式之誤差變異數的考量來進行估計。首先，為校正可能的測量誤差存在，以五個 PV 值來進結構模式的估計來取得平均的路徑係數。其次，由於來自同一班級的學生可能具有相似的學習表現而與來自其他學校或其他班級的學生有所不同，故根據抽樣設計的分校分班的方式藉由刀切重複取樣法 (jackknife repeated replication, 簡稱 JRR) 可以利用現有樣本進行重複取樣便可用來推估母群參數誤差 (Foy, Galia, & Li, 2008)。而本研究所報導的路徑係數之標準誤差則是結合了上述兩種誤差變異數的考量；並藉此標準誤差的顯著性考驗，提供較為準確的路徑係數。

第四節 研究結果

在進行結構模式的估計前，首先針對探究能力 (以第一個 PV 值表之) 以及 21 個試題之間進行相關係數的考驗，以檢驗這些潛在變項之間具有可進行結構關係。表 3-4-1 之相關矩陣顯示探究能力與其他各個指標試題均具有顯著相關，而且從矩陣中亦可發現指涉相同變項內的指標試題之間的相關係數也普遍高於其他試題。此兩項結果顯示不僅表示探究能力是合適的作為依變項，且進行結構模式之探討。此外，本研究亦以驗證性因素分析 (CFA) 透過其指標試題的信度與一致性係數考驗，來驗證潛在變項的測量效果。而透過 CFA 的檢驗構念效度與測量模式的建立之後，遂進行結構模式的分析以估計理論模式中，所假設之學習經驗、探究相關的好奇心與投入以及學生探究能力之間的關係。以下分別針對測量模式與結構模式的分析結果進行說明。

一、測量模式

由於 CFA 主要是用以建立測量模式與所蒐集之觀察資料之間的合適程度的檢驗技術。也就是說透過 CFA 的結果，可以了解模式中各潛在變項的指標試題

之相同構念內的聚合效果與不同構念間的區辯程度，並且可以透過信度係數的呈現來測量模式的穩定度；此外，本研究亦透過整體測量模式的模式適配指標的檢驗，來呈現本理論模式可以有效地解釋觀察資料。表 3-4-2 呈現初始的測量模式與刪題後修改的模式中各變項之標準化因素負荷量。從表中可以發現，雖然初始模式中的各個指標試題均具有顯著的因素負荷量，但基於負荷量應大於 0.55 或殘差小於 0.71 才可被視為是好的或極佳的指標 (Comrey & Lee, 1992; Harrington, 2008)，故剔除其中 infor1、infor2 以及 En1 等三題，僅保留其中的 15 個試題進行第二次的 CFA 以檢驗修改後模式的信效度分析。根據表 3-4-2 的報導，修改後模式的均具有顯著的因素負荷量。



表 3-4-1 各試題的相關矩陣 (n = 1,090)

觀察指標	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1.PV	1																					
2.Infor1	.111**	1																				
3.Infor2	.074*	.323**	1																			
4.Infor3	.104**	.307**	.228**	1																		
5.Infor4	.068*	.295**	.316**	.525**	1																	
6.SciLab	.345**	.116**	.210**	.123**	.164**	1																
7.En1	.188**	.172**	.239**	.211**	.213**	.174**	1															
8.En2	.344**	.130**	.231**	.148**	.211**	.307**	.349**	1														
9.En3	.286**	.162**	.103**	.135**	.095**	.180**	.341**	.478**	1													
10.En4	.312**	.176**	.107**	.146**	.159**	.176**	.373**	.432**	.657**	1												
11.En5	.332**	.169**	.161**	.173**	.213**	.237**	.447**	.527**	.504**	.673**	1											
12.En6	.273**	.176**	.099**	.135**	.085**	.115**	.357**	.352**	.560**	.559**	.508**	1										
13.En7	.353**	.194**	.103**	.139**	.101**	.175**	.339**	.438**	.586**	.563**	.507**	.772**	1									
14.En8	.336**	.189**	.110**	.156**	.102**	.178**	.339**	.427**	.588**	.577**	.534**	.701**	.804**	1								
15.En9	.242**	.183**	.166**	.142**	.176**	.179**	.385**	.437**	.437**	.430**	.511**	.465**	.543**	.524**	1							
16.Curi1	.290**	.232**	.210**	.247**	.210**	.203**	.476**	.368**	.370**	.385**	.449**	.430**	.438**	.456**	.380**	1						
17.Curi2	.256**	.236**	.171**	.224**	.234**	.171**	.418**	.332**	.339**	.369**	.424**	.391**	.431**	.417**	.361**	.683**	1					
18.Curi3	.316**	.205**	.176**	.173**	.203**	.235**	.416**	.377**	.406**	.408**	.494**	.438**	.464**	.468**	.428**	.663**	.706**	1				
19.Curi4	.343**	.184**	.156**	.181**	.179**	.229**	.431**	.386**	.407**	.433**	.487**	.466**	.516**	.516**	.441**	.678**	.686**	.748**	1			
20.Curi5	.315**	.197**	.174**	.189**	.199**	.244**	.429**	.407**	.410**	.439**	.507**	.453**	.487**	.487**	.430**	.633**	.677**	.741**	.757**	1		
21.ComEx1	.093**	.010	.010	.063*	.011	.030	-.024	-.002	-.037	-.026	.013	-.014	-.013	.002	-.013	-.011	.016	-.035	.014	.008	1	
22.ComEx2	.096**	.043	-.020	.033	.070*	.050	-.028	.006	.034	.049	.016	.008	.018	.022	-.041	.053	.056	.031	.045	.032	.008	1

Note. PV 代表第一個似真值用以指涉學生探究能力；Infor1 到 Infor 4 代表非正式科學學習經驗的指標；SciLab 代表學生正式科學學習經驗的指標；En1 到 En9 代表探究相關的實驗室投入之指標；Curi1 到 Curi5 代表探究相關的好奇心之指標；ComEx1 與 ComEx 2 代表學電腦經驗的指標。

* $p < .05$. ** $p < .01$.

此外，本研究以五項適配指標來評斷修改後的測量模式的適配程度，其中雖然易受大樣本數影響的卡方檢定量，其數值顯示修改後的測量模式與觀察資料之間具有顯著的不一致 ($\chi^2 = 1576.65$, $df = 135$, $p < .001$)，然而其他適配指標均指出修改後的測量模式整體上都是具有良好的適配度去說明所觀察資料 ($RMSEA = 0.079 < 0.080$, $SRMR = 0.039 < 0.05$, $CFI = 0.97 > 0.95$ 及 $PNFI = 0.76 > 0.5$)。

表 3-4-2 初始模式與修改後模式之測量模式檢定結果

潛在變項	指標	初始模式	修改後模式		
		標準化因素負荷量 (SE)	標準化因素負荷量 (SE)	組合信度	平均變異數萃取量
非正式科學學習經驗	Infor1	0.474 (0.022)***	— ^a	0.665	0.502
	Infor2	0.461 (0.023)***	— ^a		
	Infor3	0.614 (0.020)***	0.645 (0.028)***		
	Infor4	0.702 (0.020)***	0.757 (0.030)***		
探究相關實驗室投入	En1	0.525 (0.017)***	— ^a	0.899	0.529
	En2	0.600 (0.015)***	0.589 (0.016)***		
	En3	0.706 (0.012)***	0.705 (0.012)***		
	En4	0.711 (0.012)***	0.704 (0.012)***		
	En5	0.711 (0.012)***	0.695 (0.013)***		
	En6	0.779 (0.010)***	0.788 (0.010)***		
	En7	0.834 (0.008)***	0.847 (0.008)***		
	En8	0.800 (0.009)***	0.811 (0.009)***		
	En9	0.656 (0.014)***	0.650 (0.014)***		
探究相關好奇心	Curi1	0.778 (0.010)***	0.777 (0.010)***	0.919	0.697
	Curi2	0.814 (0.009)***	0.814 (0.009)***		
	Curi3	0.867 (0.007)***	0.868 (0.007)***		
	Curi4	0.868 (0.007)***	0.868 (0.007)***		
	Curi5	0.845 (0.007)***	0.845 (0.007)***		

註：^a表示該因素負荷量不進行估計；因為該指標之負荷量小於 0.55 故予以剔除。

*** $p < .001$.

本研究以組合信度 (composite reliability, 簡稱 CR) 與平均變異數萃取量 (average variance extracted, 簡稱 AVE) 來檢驗非正式科學學習經驗、探究相關實驗室投入與探究相關好奇心三個變項之指標試題的聚合程度。由於三個 AVE 值均大於 0.500 (範圍從 0.502 到 0.697)，顯示組成這些變項的指標之變異大於測量誤差，故而代表這些變項有被確實的量測。而由於所有的 CR 值都超過 0.600 (範

圍從 0.665 到 0.919)，顯示這三個變項具有充分的內在一致性。

此外，AVE 的指標也可以用來進行區辯指標試題與其他潛在變項之間的關係，即指該變項之平均變異數萃取量開根號後仍大於個潛在變項之間的相關係數的數值 (Anderson & Gerbing, 1988)。從表 3-4-3 之區辨效度表可知，三個潛在變項之 AVE 的平方根均大於該變項與其他變項之間的相關 (範圍從.308 到.696)，顯示這三個變項均具有足夠的外在區辯效果與其他兩個變項進行區別。

表 3-4-3 測量模式之區辨效度

潛在變項	非正式科學 學習經驗	探究相關實 驗室投入	探究相關好 奇心
非正式科學學習經驗	(0.707) ^a		
探究相關實驗室投入	0.308 ^b	(0.727)	
探究相關好奇心	0.407	0.696	(0.835)

註：^a表該變項各項指標之平均變異數萃取量開根號。^b表各變相間的相關係數。

二、結構模式

在經過 CFA 測量模式的檢驗之後，遂進行本研究之結構模式的估計。圖 3-4-1 呈現結構模式以及各變項之間路徑的參數。以下透過此一結構模式對本研究所關心之結構關係進行說明。同時，表 3-4-4 之路徑參數表呈現各觀察指標對潛在變項的路徑參數及其殘差之估計值。其中可以發現 23 個觀察變項之路徑係數不僅達.001 之顯著水準，且其範圍介於 0.65~0.87，均符合理論建議值的路徑係數需大於 0.55；以及其個別的殘差值之範圍亦介於 0.22~0.69，均滿足理論建議之殘差數值小於 0.71。顯示所使用之觀察變項可以適切地反映其背後的潛在變項。

而整體模式之各項適配指標顯示除了卡方檢定量的直達顯著水準 ($\chi^2 = 1217.00, df = 141, p < .001$)，其他適配指標均指出修改後的測量模式整體上都是位於理想值範圍內 (以 pv 1 為例：SRMR = 0.046 < 0.08, CFI = 0.96 > 0.90, and RMSEA = 0.04 < 0.10)，顯示具有良好的適配度去說明所觀察資料數據。

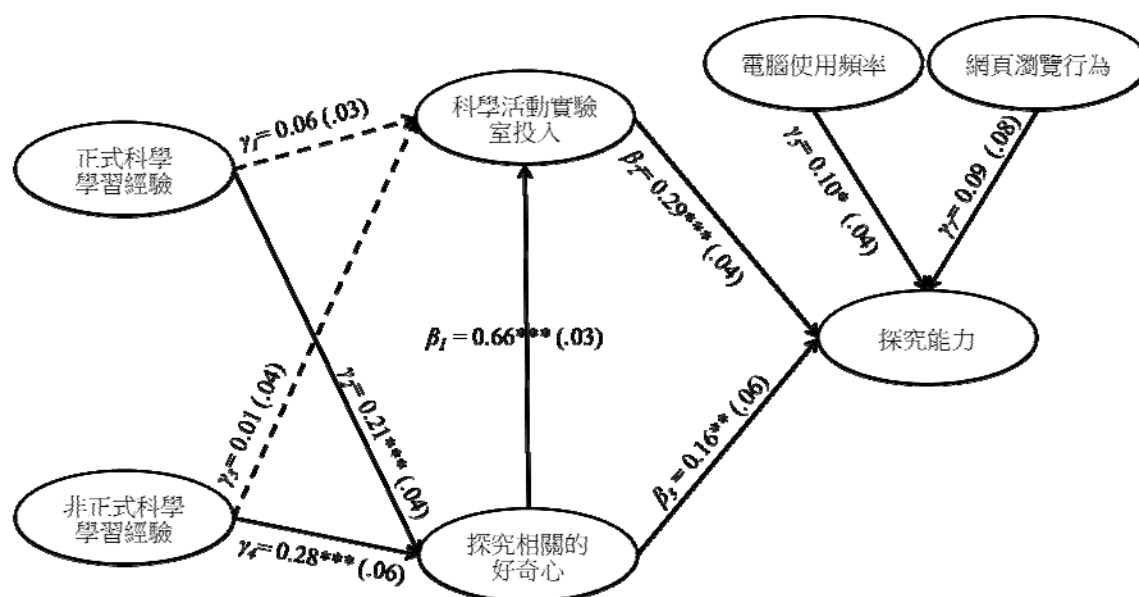


圖 3-4-1 結構模式及其路徑參數

表 3-4-4 觀察指標之路徑參數表

變數名稱	路徑參數	標準誤差(SE)	t 考驗數值	變數名稱	殘差參數	標準誤差(SE)	t 考驗數值
Infor3	.65	.05	14.83***	Infor3	.58	.07	7.29***
Infor4	.76	.05	15.00***	Infor4	.42	.07	6.21***
En2	.59	.02	25.14***	En2	.69	.03	28.00***
En3	.71	.01	29.83***	En3	.50	.04	13.06***
En4	.70	.01	26.00***	En4	.49	.04	13.42***
En5	.70	.01	23.97***	En5	.54	.04	13.21***
En6	.79	.01	33.07***	En6	.34	.03	11.78***
En7	.85	.01	38.11***	En7	.22	.04	6.27***
En8	.81	.01	52.66***	En8	.25	.04	7.12***
En9	.65	.01	21.50***	En9	.61	.03	23.63***
Curi1	.78	.01	39.00***	labC_1	.39	.03	15.10***
Curi2	.81	.01	99.20***	labC_2	.35	.02	17.50***
Curi3	.87	.01	86.00***	labC_3	.26	.01	26.00***
Curi4	.87	.01	41.79***	labC_4	.24	.02	10.39***
Curi5	.85	.01	52.05***	labC_5	.27	.03	8.68***
ComEx1	1.00	- ^a	- ^a	ComEx1	.00	- ^a	- ^a
ComEx2	1.00	- ^a	- ^a	ComEx2	.00	- ^a	- ^a
pv_1	1.00	- ^a	- ^a	pv_1	.00	- ^a	- ^a

註：^a表該觀察變項僅有一個指標試題。

*** $p < .001$

(一) 探究相關的好奇心、實驗室投入與探究能力的相互影響關係

為回答本研究之第一個研究問題：是否學生的探究相關的好奇心會與其探究能力有關連以及第二個研究問題：是否學生探究實驗的投入在探究相關的好奇心與探究能力之間具有中介效應。本研究將檢驗好奇心、實驗室投入與探究能力三者之間的關係。

首先針對好奇心與探究能力之間的關係，本研究將以直接效應、間接效應以及總效應來進行探討（見表 3-4-5）。探究相關的好奇心對探究能力的總效果是達顯著的（effect = 0.36, $SE = 0.04$, $p < .001$ ），顯示兩者之間具有顯著關聯。雖然透過實驗室投入的間接效果有達顯著（indirect effect = 0.19, $SE = 0.03$, $p < .001$ ），表示實驗室投入的行為可能具有中介效應去影響著好奇心對探究能力的效果。然而好奇心本身對探究能力的直接效果也有達顯著（direct effect = 0.16, $SE = 0.06$, $p < .001$ ）。顯示對高中學生而言，實驗室投入只有扮演著部份中介的角色去調節好奇心與探究能力之間的關係。

表 3-4-5 探究相關好奇心對探究能力之標準化效應參數

內衍變項	直接效應 (SE)	間接效應 (SE)	總效應 (SE)
探究相關好奇心	0.16 (0.06)**	0.19 (0.03)**	0.36 (0.04)**

** $p < .01$. *** $p < .001$.

(二) 在相互影響的關係中學習經驗的角色

為了回答第三個研究問題：是否學生的正式與非正式的學習經驗會透過探究相關的好奇心影響他們在探究實驗中的投入。本研究以同樣地直接效應、間接效應以及總效應來探討學生的兩種學習經驗在探究相關的好奇心與實驗室投入的關係中所扮演之角色。表 3-4-6 呈現這些效果的參數估計值。

對高中學生而言，這兩種學習經驗對探究相關的實驗室投入的總效應均達顯著（正式學習經驗：total effect = 0.21, $SE = 0.06$, $p < .001$ ；非正式學習經驗：total effect = 0.19, $SE = 0.05$, $p < .001$ ），但兩者之間的差異未達顯著（difference = 0.02, $SE = 0.07$, ns）。這個結果顯示雖然是不同種類的學習經驗，但整體上兩者對

於學校課室中的探究活動相關的實驗之影響效果是相似，或者是說對實驗導向之學校的探究活動，無論是何種形式的經驗都同樣重要。而且進一步分析比較他們的直接與間接效應，可以發現兩種經驗對實驗室投入的影響方式也是相似的。

首先，兩個學習經驗的間接效應都有達顯著(正式學習經驗：indirect effect = 0.14, $SE = 0.03$, $p < .001$ ；非正式學習經驗：indirect effect = 0.18, $SE = 0.04$, $p < .001$)，但兩者之間的差異未達顯著 (difference = 0.02, $SE = 0.05$, ns)。這個結果顯露兩種形式的學習經驗具有相同的詮釋力透過好奇心的中介去預測學生的實驗室投入。其次，透過直接效應的比較可以發現，此兩個學習經驗的直接效應均沒有顯著(正式學習經驗：direct effect = 0.06, $SE = 0.03$, ns；非正式學習經驗 direct effect = 0.01, $SE = 0.04$, ns)。這兩個沒有顯著的效應暗示著高中學生的正式與非正式學習經驗與實驗室投入之間沒有共通點。統整兩學習經驗之直接與間接效應的結果可以發現學生的好奇心是完全中介著學習經驗對實驗室投入的關係，即當學生在正式與非正式學習經驗所引發之好奇心愈高時，其探究相關的實驗室投入亦會隨之增加。

表 3-4-6 學習經驗對探究相關實驗室投入之標準化效應參數

外衍變項	直接效應 (SE)	間接效應 (SE)	總效應 (SE)
正式學習經驗	0.06 (0.03)	0.14 (0.03)***	0.21 (0.06)***
非正式學習經驗	0.01 (0.04)	0.18 (0.04)***	0.19 (0.05)***
兩者差異(SE)	--	0.02 (0.05)	0.02 (0.07)

* $p < .05$. ** $p < .01$. *** $p < .001$.

三、小結

綜合上述之研究結果可以發現，(1) 實驗室投入扮演著部份中介的角色去調節好奇心與探究能力之間的關係。(2) 無論是正式或非正式的科學學習經驗均須透過好奇心的中介才會影響(促進)學生在探究相關實驗室的投入。因此，從研究一的分析發現可以做出一個結論，即為「透過學習經驗的培養學生的探究相關的好奇心，會驅動他們對探究相關活動的投入，進而影響探究能力的表現」。

再者，過去針對學習投入的文獻中均已提出並具有實徵證據顯示，學生的學習投入是包含了行為上的、認知上的、情意面上的，以及社會互動上的投入，因而學生的學習投入是一個具多層次面向的概念。然而，本論文在研究一中所發展之「探究相關的投入」為針對學生在實驗課時所會展現之行為表現，如表 3-3-2 所示之背景問卷試題描述。實則係一僅著重於行為投入的探討，對於投入理論中其他三個種類的投入並無詳細的探討（例如，認知投入、情意投入，以及社會互動投入）。故此，為了更加釐清影響高中學生探究能力表現的關係模式，本論文遂再設計一個研究，藉由先前文獻建議之理論關係，建立一個假說模式，即學生在參與實驗室活動時的四項投入之間是具有交互作用的關係，且學生先透過在行為、認知以及同儕間社會互動的投入之後，再促進其對實驗活動產生情義上的投入。為探討不同種類投入之間以及其如何影響學生的探究能力，研究二將使用 Fredricks 等人 (2016) 所發展之良好問卷——「數學與科學課室投入量表」作為研究工具，來收集高中學生在參與實驗室活動時的四種投入的狀態 (Fredricks et al., 2016; Wang et al., 2016)。進而透過結構模式的分析來探討學生對實驗室活動中不同類型之投入在整個好奇心驅動探究能力發展的關係中所扮演之角色。並藉此建立影響高中學生探究能力表現的關係模式



第四章 好奇心驅動下投入對探究能力的影響(研究

二)

根據研究一所建構之探究能力影響模式，可以發現學生的實驗室投入在好奇心驅動探究能力表現的關係中扮演重要的中介角色，此研究結果支持過去針對課室投入與學習成效之研究 (Greene et al., 2004; Greenwood, Horton, & Utley, 2002)。

然而，連同本論文前述之研究一在內，過去這些探討投入的教育研究中，多採用單一的投入對學習表現的影響進行實徵研究。例如：Greenwood 跟他的同儕是針對學生在學習任務上的行為投入情形對其學術表現的關係進行探討；Greene 的團隊則是探討學生的認知投入的高低與其學習表現的影響模式。此種以單一類型的投入來探討學生的學習成效，對於學生整體的學習歷程可能會陷入有所偏誤的推論上。此外，Fredricks、Blumenfeld, 與 Paris (2004)的回顧中亦即指出投入是具有多面向的構念，她們並暗示學生在參與學習時應同時具有行為投入、情意投入以及認知投入。而其團隊並於 2016 年針對 34 名中學教師與 106 位六到十二年級之學生所進行的晤談研究中明確指出除了上述三種投入之外，學生的社會互動投入也會影響其參與課室的學習之中 (Fredricks et al., 2016)。

再者，科學探究是整合多種認知技能與科學知識的課室內之真實性科學活動 (NRC, 2000)。因此，學生為完成科學探究所需展現的能力也是多元的，如本研究採用探究能力即包含了觀察與定題、計劃與執行、分析與發現以及推理與論證等四項能力。是故，本研究將探討這些不同投入對於學生探究能力的中介影響關係。其次，由於過去關於學習投入的研究雖大多認同多重項度的理論，但卻鮮少研究針對這些不同的投入之間的影响關係進行實徵資料上的探討。是以，本研究中另一項關注的焦點即為藉由結構方程模式的建立來探討高中學生在實驗室活動中的不同投入之間相互影響的關係，以及這些關係如何影響學生的探究能力之表現。

因此，本研究所進行的第二個研究係探討影響高中學生探究能力發展的因素，

以及探討學生對實驗室活動中不同類型之投入在整個好奇心驅動探究能力發展的關係中所扮演之角色。藉此為當前尋找影響高中學生之探究能力表現的因素可能，並透過結構模式的建立來為這些因素關係提供一個完整的全貌。

第一節 研究目的與問題

根據研究一的分析發現「學生的探究相關的好奇心會驅動他們對探究相關活動的投入，進而影響探究能力的表現」；並依據先前文獻所建議之學生的投入是具有多面向的，其中包含了行為、認知、情意以及社會互動四個層面上的投入。因此，本研究之目的主要在於探討進一步探討影響高中學生探究能力發展的因素，以及探討學生對實驗室活動中不同類型之投入在整個好奇心驅動探究能力發展的關係中所扮演之角色。基於這個研究目的，本研究延續研究一的分析方法係採用結構方程模式 (structural equation modeling，簡稱 SEM)，來分析學生在多媒體導向的探究能力評量的表現與背景問卷所蒐集的相關變因之間的關係。但與研究一不同之處在於本研究將原背景問卷中的探究相關的實驗室投入之試題，置換為「實驗室活動的投入問卷」藉以收集學生在四種投入的反應，以方便進行潛在變項以及後續結構模式關係的估計。

根據上述之研究目的，本研究所衍伸出的研究問題有四個：(1) 高中學生之實驗室活動的各項投入是否會中介其探究相關的好奇心對探究能力的關係？(2) 高中學生之實驗室活動中情意投入是否會透過行為投入與社會互動投入來影響他們的認知投入的狀態？(3) 在不同投入的相互影響下，高中學生對探究相關的好奇心對實驗室活動中的各項投入是否具有影響？(4) 高中學生對實驗室活動中情意上、行為上以及社會互動上的投入是否會透過認知投入影響他們在探究能力的表現？

在延續研究一之好奇心驅動學生的科學學習的同時，透過這些研究問題的探討與變因關係的檢驗，本研究更進一步的探討好奇心與學生在實驗室活動中的各項投入之間的關聯情形並藉此釐清學生在實驗室活動中的各項投入之間是否存

在的先後順序。因此，本研究結果所提出之結構模式除可提供當前高中學生好奇心驅動其探究能力表現的關係外，更可釐清課室投入的各個項度在好奇心影響探究能力表現中所扮演的角色。

第二節 理論模型

根據研究一之研究結果，本研究中將著重於好奇心驅動探究能力表現的關係，並採用前述文獻所討論的建議把扮演中介角色之投入解構成認知投入、行為投入、情意投入與社會互動投入四個面向。基於上述兩個觀點來建立這些投入間的假說關係，並藉此提出一個待檢驗的理論模式，如圖 4-2-1 所示。依據所建立的理論模式，本研究具有兩個分析焦點來進行假設檢定，並藉由結構路徑關係的探討來釐清個潛在變項間之影響關係。

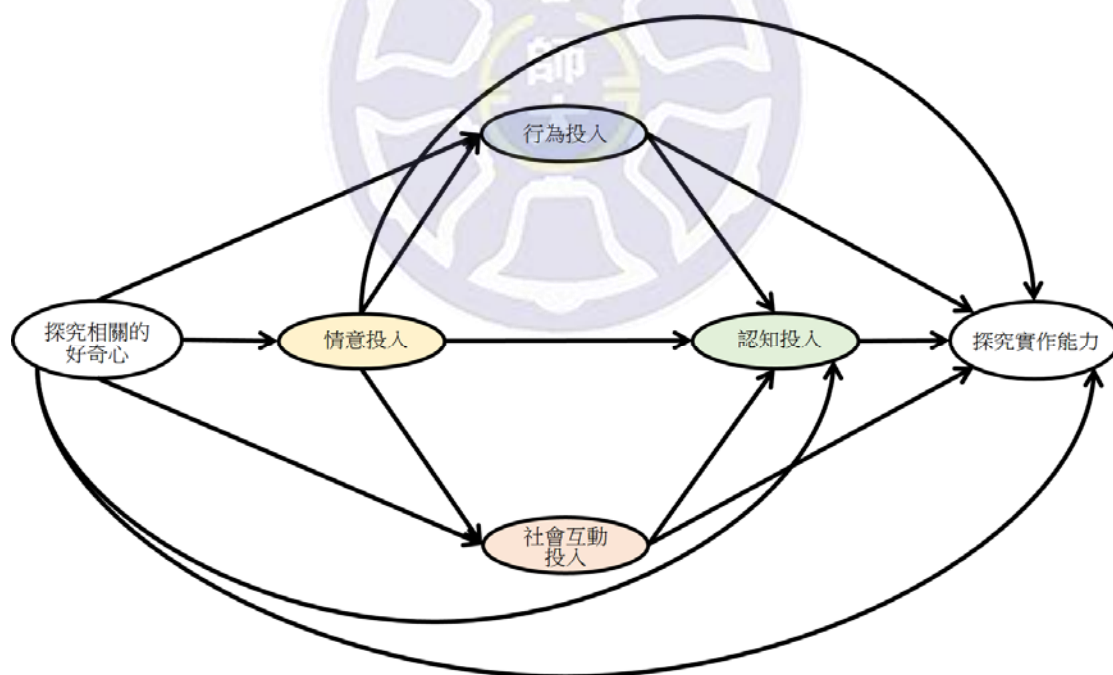


圖 4-2-1 理論模式 2：好奇心驅動之探究能力模式

首先，延續研究一之發現本研究著重於好奇心驅動下學生在實驗室活動的各項投入對其探究能力的表現。因此，在這個假說模式的關係中，好奇心與四個項度的實驗投入之間的關聯將會分別被檢驗，同時透過各項度投入的中介好奇心對

探究能力的影響也將會被探討。即為本研究探討持有較高好奇心的學生是否其各個投入狀態也高並且具有較高層次的探究能力表現。

其次，由於過去關的文獻雖均認為學生的學習投入具有四種不同層面的投入。然而，對於各種投入之間的關係並未提出明確的模式（例如，Archambault et al., 2009）。因此，本研究依據先前文獻建議而提出之假說模式，即學生在參與學習活動的過程中，可能出自個體對新鮮事物求知上的需求即為對該事物產生好奇心，而藉由好奇心的驅動下學生會對從事相關活動具有較高的情意上的意願去投入其中，並透過行為上以及同儕互動的過程中獲得成就感，進而加強其使用更多的認知策略去從事相關行為（Cacioppo & Gardner, 1999），而學生的認知投入會受其行為投入、社會互動投入與情意投入的影響（Li & Lerner, 2013）。也就是說受到好奇心的驅動，學生的情意投入會先影響行為、認知以及社會互動三項投入；而同時學生認知的投入也會受到情意、行為以及社會互動三項投入的影響。藉由這樣的影響機制最終使整體學習的結果獲得提升。故本論文之第二個假說關係在於探討在好奇心的驅動下不同投入對探究能力的關聯。並希冀透過本研究之假說理論的驗證，為未來科學教育中探究能力的教學建立一個可供參考之影響模式。

第三節 研究方法

以下本節分別就研究對象、探究實作能力評量設計、測量工具以及資料分析等項度加以論述。用以說明本研究之研究進行概要；並於下列段落分別詳述之。

一、研究對象

（一）受試學校

為增加學生探究能力推估上的準確度，本研究之抽樣架構的設計及學校名單係與第三章研究一採用相同的抽樣設計，並將兩研究所得之探究試題的表現一起進行 IRT 的估計。但整體本研究所抽樣的學校及被抽到的班級均為重新抽樣之結果。因此，本研究的對象學校係採二階段的分層隨機抽樣方式（two-stage stratified

design)。首先，從臺灣北區（包含台北市、新北市以及基隆市）的 78 所公私立高級中學，共為 5989 人，佔全國普通高中總人數 (21460 人) 之 27.91%。並依據各校 102 學年度之入學考試的百分等級 (Percentile Rank, 簡稱 PR 值) 區分為八層；分別為 30 以下、31~40、41~50、51~60、61~70、71~80、81~90 以及 91 以上，共八層。分別從各分層中隨機抽取一間學校作為抽樣的受試學校。

其次，在第二階段的抽樣中，為消彌抽樣學校的班級間變異對施測結果的影響。再從各抽樣學校中隨機抽取 11 年級的兩個班級進行施測。藉由上述的分層的抽樣架構以將個別學生除以 house weight 的權重方式來校正每個學生被抽樣的機率。此法可以將該層抽出樣本的研究結果較為準確地代表該層所有學生的表現，以消彌抽樣誤差的存在 (任宗浩, 2017)。

(二) 受試學生

根據 Hu, Bentler 與 Kano 等人 (1992) 的模擬研究，建議以最大概似法的估計法來估計結構方程模式時，若其抽樣人數大於 200 人則可以獲得更為精準的參數估計值。此外，透過中度效果量 (解釋變異量 $R^2 = 0.13$) 來估計樣本數 (Cohen, 1988)，在型一錯誤 (type I error) 為 0.05、統計檢定力 (power) 為 0.8 及 37 個自變項的條件下，則預估所需的樣本數為 207 人。

然而，從本研究之抽樣設計的架構來看，從 78 所高中抽出 8 校，每校再抽出兩個班，以平均每個班的人數為 40 人估計。則本研究之預估受試學生約為 640 人左右，明顯滿足上述兩個建議的抽樣人數。透過表 4-3-1 受試學生之學校分層表可知，本研究之實際參與學生人數為 647 位學生，但在剔除資料遺漏者以及因反覆登入致系統遺漏者，最終有效資料為 605 名臺灣北區高中之 11 年級學生。

表 4-3-1 受試學生之學校分層分布表

學校分層	施測人數	有效人數
Level 8 (91 以上)	88	88
Level 7 (81~90)	101	64
Level 6 (71~80)	78	75
Level 5 (61~70)	89	89
Level 4 (51~60)	71	73
Level 3 (41~50)	85	86
Level 2 (31~40)	67	63
Level 1 (30 以下)	68	67
總數	647	605

二、探究實作能力評量設計

(一) 評量架構

整合國內《107 課綱》之探究與實作課程 (教育部，2015)及美國國家科學教育標準 (NRC, 2000; 2012)，並據此發展出相符應之評量架構及其判準。為有效評量學生探究活動過程中所展現的探究實作能力，本研究將探究實作能力區分為觀察與定題、計劃與執行、分析與發現、推理與論證等四個能力。其中，包含提出預測、確認問題、規劃實驗、分析資料、提出主張、運用證據以及產生推理等八個分項能力。各分項能力及其描述如表 4-3-2 所示。

表 4-3-2 評量架構之各分項能力及其子能力描述

探究能力	子能力	描述
觀察與定題 -透過觀察生活周遭的事物和現象，察覺可探究的問題，進而釐清並訂定可測試的研究問題，並預測可能的結果。	提出預測 (Qu1) 確認問題 (Qu2)	能透過先前的經驗、概念與現象觀察的結果，預測觀察現象可能的結果。 能提出與情境相符且可被探討的研究問題，並明確指向某種變因關係(因果性、關係性問題)。
計劃與執行 -根據提出的問題，辨明影響結果的變因，擬定合適的探究流程並選擇適當的工具或儀器觀測，以獲得有效的資料數據。	辨識變因 (Ex1) 規劃實驗 (Ex2)	能選擇合適的控制、操縱變因以進行實驗。 設計的流程可行且所獲取資料足以檢驗所涉及的變因關係。
分析與發現 -分析資料數據找出各因素之間的關係或趨勢，以提出符應該關係或趨勢的科學主張。	分析資料 (An1) 提出主張 (An2)	能依據研究問題挑選或排除資料以驗證變因間的關係並將數據以另一種表徵方式呈現變數間的關係。 針對研究問題或現象，能歸納資料或辨識出資料的分佈趨勢，形成可測試的陳述或論點。
推理與論證 -運用適當的資料數據來支持所提出的主張，並透過推論的過程來提出結論或解釋。	運用證據 (Re1) 產生推理 (Re2)	能透過歸納找出正確的資料數據做為證據以支持主張。 將證據連結到主張，包含使用科學原則、概念或先前經驗進行推理，需要詮釋或推論資料的意義。

(二) 題本設計

本研究之探究實作能力評量係根據 Kuo 等人 (2015)所發展的科學探究能力之多媒體導向探究能力評量 (multimedia-based assessment of scientific inquiry abilities, MASIA)，從其中以建立好且具良好信、效度之 26 個任務共 100 個子題作為題庫。依據所制定的評量架構來組建本研究之施測題本，共計 39 題；其中包含觀察與定題 11 題、計劃與執行 10 題、分析與發現 10 題以及推理與論證 8 題 (如表 4-3-3 所示)。

表 4-3-3 各探究實作能力之評測題數

探究能力	子能力	題數	合計
觀察與定題	提出預測 (Qu1)	3	11
	確認問題 (Qu2)	8	
計劃與執行	辨識變因 (Ex1)	5	10
	規劃實驗 (Ex2)	5	
分析與發現	分析資料 (An1)	4	10
	提出主張 (An2)	6	
推理與論證	運用證據 (Re1)	6	8
	產生推理 (Re2)	2	
合計		39	39

根據 Kuo 等人先前所收資料 2,010 筆學生資料的分析，這 100 題的試題難度與所有學生探究能力的 Wright Map 分布圖，見圖 4-3-1 所示。如圖 4-3-1 所呈現的左側為學生探究能力 (pv1 值) 的分布，其中 2,010 位國、高中學生的能力範圍約在之間；右側為題庫中所有試題難度的分布，其中 MASIA 題庫中 100 個子題的試題難度範圍則在正負 4 之間。而本研究所選的 39 題中 (圖中標示紅線底線者)，其分布平均難度為類別 1 (category 1)² = -0.20; 類別 2 (category 2) = 0.82 介於所有試題的平均處，且 39 題中亦分別有題目涵蓋簡單 (如，76.1 表第 76 題的得 1 者的難度) 與難的試題 (如，34.2 表第 34 題的得 2 者的難度)。

² 在多元計分的部分給分模式 (partial credit model, PCM) 中，獲得 2 分的類別者為 category 2；獲得 1 分的類別與二元計分者得 1 分者均為 category 1。

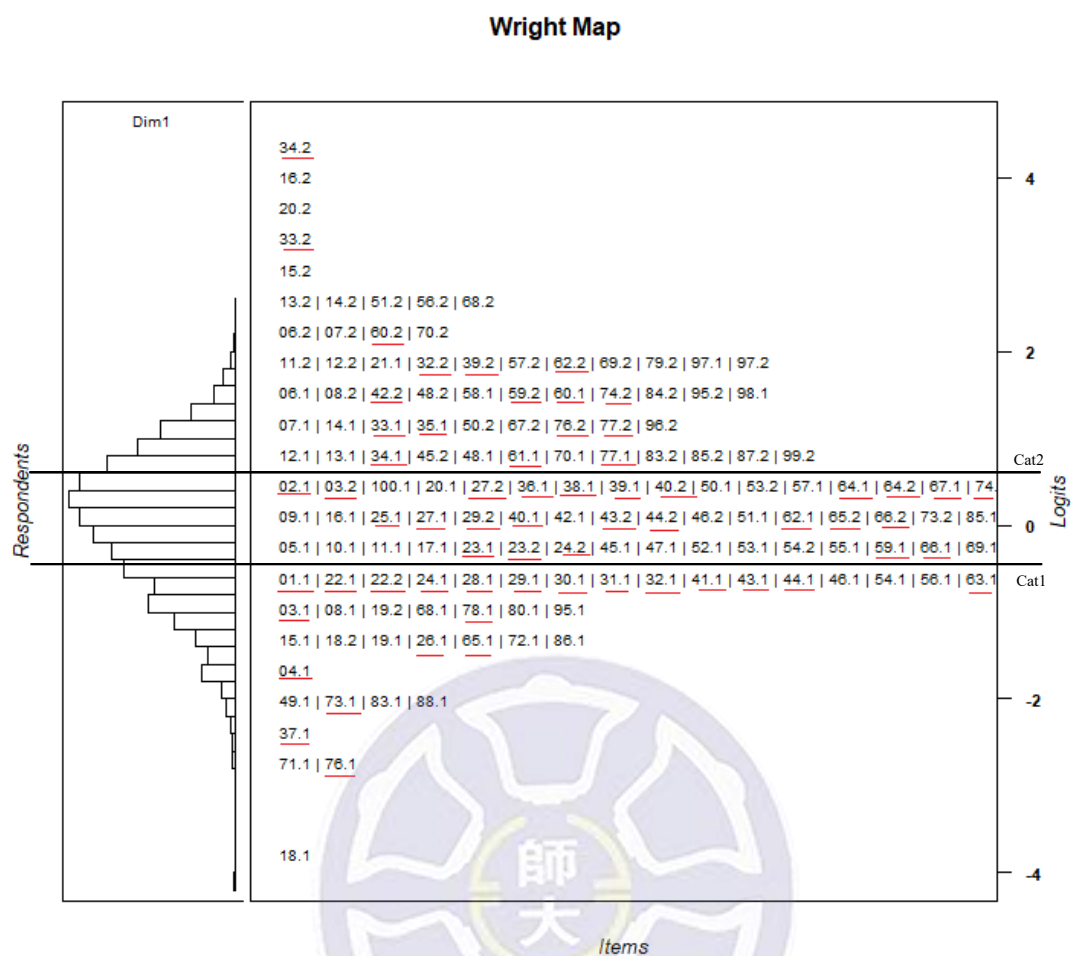


圖 4-3-1 MASIA 試題之 Wright Map 分布圖 (n = 2031)³

³註：圖中是試題編號為 MASIA 題庫中所有試題之流水編號，由 1 到 100，而小數點之後的數字則為該試題之得分類別，例如：27.2 代表為第 27 個試題（滾罐子一子題 2）中，多元計分下得分為 2 之試題難度，約為 0.50。標示紅線底線者為本研究所選用之 39 個試題。

三、測量工具

本研究的施測流程如下，每名受試學生在進入 MASIA 之線上平台作答之前，會被要求先填寫背景資料（包含社經地位、父母族裔、科學學習經驗以及電腦經驗）以及兩份問卷（包含探究活動相關的好奇心問卷以探究實作投入問卷）。本研究將透過試題反應理論（item response theory, IRT）的估計方式，將學生之背景資料做為背景變項，來校正所估計的學生能力（M. O. Martin & Mullis, 2012; Mislevy et al., 1992; OECD, 2012）；並將兩份問卷所指涉的構念做為理論模型之潛在變項，來估計這些潛在變數與學生探究實作能力的結構關係。

下列分別探討本研究所欲探索的理論模型之各潛在變項及其測量指標的描述：

（一）探究實作能力

本研究主要係透過 MASIA 平台的題庫進行重新組卷，用以測量學生的探究能力；其能力包含觀察與定題、計劃與執行、分析與發現以及推理與論證等四個能力，合計 39 題。這些題目設計是以豐富的情境任務，呈現學生日常生活周遭可能遇見的問題，透過靜態的圖片、照片與動態的動畫、影片等視覺化的表徵來取代大量的文字描述；並以互動式的模擬實驗來讓學生充分的展現其探究實作的能力（Kuo et al., 2015）。

做為本研究所關注的依變項，學生在 MASIA 的試題表現將透過試題反應理論（IRT）的估計方式，將估計所得之五個似真值（plausible values, PVs）分別做為觀察變項來指涉學生的探究實作能力。由於五個似真值是藉由所估計出之代表學生能力的可能分佈曲線中隨機抽出的五個數值（Adams & Wu, 2007）。因此，再估計結構方程模型的路徑係數時，先分別以這五個似真值估計出個別路徑係數後再取其平均數值，可以用以消彌測量時可能產生的誤差，而取得較為準確的路徑係數（M. O. Martin & Mullis, 2012; OECD, 2012; von Davier et al., 2009）。

(二) 探究相關的好奇心

本研究所使用之探究相關的好奇心量表係沿用研究一之試題 (見表 3-3-2)。為一 5 題之四分量表，用以檢測學生對從事科學性活動時的好奇心程度。主要為詢問學生在從事科學活動時會想要知道的事情，其中包含所提出的問題是否可行、實驗設計的原由、實驗結果的解釋、實驗結果與預測不符的原因、以及實驗數據的意義。

(三) 實驗室活動的投入問卷

本研究之探究實作投入問卷係翻譯並改編自 Wang 等人 (2016)之「數學與自然課室投入量表」；計有 35 題之四分量表，分別請學生針對從未(計 1 分)、偶爾(計 2 分)、常常(計 3 分)與總是(計 4 分)的程度來評定她/他們在參與實驗室活動時的各種行為之投入程度。。其中可區分為認知投入(CE)、行為投入(BE)、情意投入(EE)以及社會互動投入(SE)等四個構念。並選用 114 名預試學校的 11 年級學生。將預試資料透過 Lisrel 軟體進行驗證性因素分析，並依據分析結果刪除因素負荷量低於 0.55 的試題(第 5 題：在實驗課時，我只做老師要求的事、第 23 題：我常會感到挫折、第 35 題：我不喜歡和別的同學一起工作)，。最終所得之本問卷研究之最終試卷共有 32 題 (其中 CE 有 9 題；BE 有 8 題；EE 有 9 題；SE 有 6 題，各試題之觀察變項指標及其試題描述見表 4-3-4 所示)。表 4-3-5 分別表示各分量表之內在一致性、組合信度、以及平均變異數抽取量；這些顯示檢定量值均顯示本問卷具有良好的信度以及較好的效度可以用來評估受試學生的各項投入程度。

為檢測受試學生的實驗投入程度，本研究使用 32 題的探究實作投入問卷進行施測。其中，9 題的四分量表，用以檢測學生在實驗課時的認知投入程度；8 題的四分量表，用以檢測學生在實驗課時的行為投入程度；9 題的四分量表，用以檢測學生在實驗課時的情意投入程度；以及 6 題的四分量表，用以檢測學生在實驗課時的社會互動投入程度。

表 4-3-4 實驗室活動的投入問卷之觀察變項指標及其試題描述

觀察指標	試題描述
	在實驗課的時候…
CE_1	我會檢查每個實驗步驟的正確性
CE_2	我會思考不同的方法來解決遇到的問題
CE_3	我會試著找出新學到的內容和以前學的知識之間的關連性
CE_4	當實驗出錯時，我會嘗試去了解錯在哪裡
CE_5 ^a	做實驗的時候，我不會花費太多心力去做思考
CE_6 ^a	當實驗很困難(卡關)的時候，我只想做簡單的部分
CE_7 ^a	在實驗課時，我只做老師要求的事
CE_8	開始做實驗之前，我會嘗試先在腦海裡訂定初步的計畫
CE_9	在實驗課學到新的事物時，我會嘗試用自己的話去表達
BE_1	我會保持專注地做實驗
BE_2	我會投注心力在做實驗上
BE_3	即使實驗遇到困難，我仍會持續嘗試
BE_4	我會準時完成實驗課所交代的回家作業
BE_5	下課後，我會討論實驗課的內容
BE_6 ^a	我不參與做實驗
BE_7 ^a	在實驗課時，我會分心做其他的事情
BE_8 ^a	遇到不會做或做不出來的實驗，我會馬上放棄
EE_1	我期待上實驗課
EE_2	我享受可以在實驗時學到新的事物
EE_3	我想要理解在實驗時學到的事物
EE_4	我感到輕鬆自在
EE_5 ^a	我覺得無聊
EE_6 ^a	我不想上實驗課
EE_7 ^a	我不在乎實驗課可以學到什麼
EE_8 ^a	我常感覺低落
EE_9 ^a	在實驗課學到新的事物時，我會感到擔心
SE_1	我會依據其他人的想法來延伸新的想法
SE_2	我嘗試了解其他人對實驗的想法
SE_3	我嘗試與可以幫助我的同學一組
SE_4	我嘗試幫助遇到困難的同學
SE_5 ^a	我不在乎其他人對實驗的想法
SE_6 ^a	跟其他人一起做實驗時，我不分享自己的想法

註：

^a 表反向描述之試題

表 4-3-5 實驗室活動的投入問卷各分項量表之信度、效度列表

分項量表	內在一致性	組合信度
對科學實驗的認知投入 (CE)	0.83	0.84
對科學實驗的行為投入 (BE)	0.85	0.85
對科學實驗的情意投入 (EE)	0.84	0.85
對科學實驗的社會互動投入 (SE)	0.80	0.83
總量表	0.94	-

為檢測受試學生的實驗投入程度，本研究使用 32 題的探究實作投入問卷進行施測。其中，9 題的四分量表，用以檢測學生在實驗課時的認知投入程度；8 題的四分量表，用以檢測學生在實驗課時的行為投入程度；9 題的四分量表，用以檢測學生在實驗課時的情意投入程度；以及 6 題的四分量表，用以檢測學生在實驗課時的社會互動投入程度。

(四) 電腦經驗

本研究用以檢測學生使用電腦經驗的試題係沿用研究一之試題（見表 3-3-2）；並且將學生電腦經驗中的使用頻率以及常見的使用行為來做為控制變項，以避免在估計各個潛在變項間的關係時可能產生的干擾效應。其中，使用的頻率係針對學生自陳其在校外使用電腦的頻率，分別以從未(計 1 分)、好幾個星期一次(計 2 分)、每星期一次(計 3 分)、每星期 2~3 次(計 4 分)和每天(計 5 分)。其次，她/他們回答是否除了使用社群網站、線上遊戲以及文書處理三項行為之外，最常使用電腦從事的行為是網頁瀏覽。本題的計分方式係採是非方式計分，是表 1 分；否表 0 分。

(五) 社經地位

本研究所採用之控制變項除了前述之電腦使用經驗外，另外也針對背景問卷中學生的社經地位進行加總形成組合變相 (composite variable)。其中，先將問卷中的「家中持有物」之各項子題，例如：是否有自己的房間、家中擁有汽車、擁

有數位錄影機、擁有兩台電視…等試題 (均採是非方式計分，是表 1 分；否表 0 分)進行加總為一新變數「家中持有物」。再分別針對「家中持有物」、「家庭收入」、「父親的教育程度」、「母親的教育程度」進行標準化處理後加總，並以此一加總後的組合變數代表學生之家庭社經地位做為控制變項。估計各個潛在變項間的關係，並藉此排除因為學生家庭的社經地位對各項變項可能造成的影響。

四、資料分析

資料分析可分為兩個部分。首先，以試題反應理論 (item response theory, IRT) 之 Rasch 模式來估計學生在 MASIA 平台的作答表現。再將以結構方程模式 (structural equation modeling, SEM) 的參數估計方式，來探討學生的好奇心、探究實作投入與探究實作能力之間的影響關係。以下分別說明之：

(一) 探究實作能力的估計

將先前研究團隊針對 2615 名中學生在 MASIA 平台施測所估計之試題難度與學生能力作為量尺。該資料的估計除了具有大量樣本數資料之外，亦透過設計完善的抽樣架構、施測題本的設計以及抽樣誤差與測量誤差的校正等策略之運用，來確保試題難度以及學生能力估計的準確度。

而本研究預計將所蒐集之 560 份學生作答的資料，先以統計軟體 R 之試題反應建模模組 (Test Analysis Modules, TAM)，以試題反應理論 (IRT) 估計學生在本次測驗的 39 題作答中，估計出新的試題難度。再將新的試題難度放回大樣本的量尺中，找出對應該試題難度之學生能力。最後將估計所得之 5 個似真值分別作為依變項的觀察變項去指涉學生的探究能力。

(二) 結構方程模式的估計

本研究之好奇心、探究實作投入與探究實作能力之間的影響關係系採用結構方程模式的參數估計來檢驗。可分為兩的階段進行；一為透過驗證性因素分析 (confirmatory factor analysis, CFA) 來檢驗測量模型的有效性，即測量問卷之觀察變項對於其潛在變項能夠具有多大的指涉程度。其次為透過結構方程模式的建立

來估計潛在變項之間的關係。此外，透過模式適配度的各項指標，亦可以提供適當的訊息來檢驗本研究所提出之理論模型的合宜性。

第四節 研究結果

在進行結構模式的估計前，首先針對探究能力（以第一個 PV 值表之）以及 21 個試題之間進行相關係數的考驗，以檢驗這些潛在變項之間具有可進行結構關係。表 4-4-1 之相關矩陣顯示指涉相同變項內的指標試題之間的相關係數也普遍高於其他試題，此一結果顯示本研究所使用的兩項問卷試題的各個潛在變項內的試題，雖然有部分試題間具有顯著的高相關，但仍有一些題目與其他試題之間未達顯著相關。例如，CE_5-7 的三個試題對實驗活動的認知投入中其他題目之相關未達顯著，顯示這三題可能代表的是其他潛在變項，而非學生對其所參與之實驗活動的認知投入。由於這些試題對其欲指稱的潛在變項之代表性可能不足。故此在進行結構模式的探討之前，將先針對這些觀察變項做試題分析。

同時，從矩陣中也可以發現探究能力與各個潛在變項的指標試題也非均具有顯著相關，可能暗示著實驗室活動的各構念之間可能先有交互作用之後再與探究能力產生關聯。此外，本研究亦採用測量模式之驗證性因素分析 (CFA)，透過對指標試題的信度與一致性係數考驗，來驗證潛在變項的測量效果。而透過 CFA 構念效度的檢驗與測量模式的建立之後，遂進行結構模式的分析以估計理論模式中，所假設之學習經驗、探究相關的好奇心與投入以及學生探究能力之間的關係。以下分別針對試題分析、測量模式與結構模式的分析結果進行說明。

一、學生探究能力估計

為更有效且精確的估計學生的能力，本研究將 605 位高中學生在 39 題的答題資訊合併到先前 MASIA 的施測中，藉由完整 100 題的試題量以及提供較大量的答題樣本 ($n = 2615$)來進行 IRT 的分析，以完成試題難度與探究能力的估計。

表 4-4-1 各試題的相關矩陣 (n = 605)

觀察指標	pv_1	labC_1	labC_2	labC_3	labC_4	labC_5	CE_1	CE_2	CE_3	CE_4	CE_5	CE_6	CE_7	CE_8	CE_9	BE_1	BE_2	BE_3	BE_4	BE_5	BE_6	BE_7	BE_8	EE_1	EE_2	EE_3	EE_4	EE_5	EE_6	EE_7	EE_8	EE_9	SE_1	SE_2	SE_3	SE_4	SE_5	SE_6		
pv_1	1																																							
labC_1	.170**	1																																						
labC_2	.132**	.637**	1																																					
labC_3	.214**	.574**	.663**	1																																				
labC_4	.219**	.630**	.616**	.698**	1																																			
labC_5	.160**	.576**	.571**	.620**	.662**	1																																		
CE_1	.109**	.293**	.263**	.269**	.330**	.344**	1																																	
CE_2	0.078	.356**	.322**	.327**	.369**	.337**	.431**	1																																
CE_3	.122**	.332**	.288**	.294**	.349**	.348**	.346**	.618**	1																															
CE_4	.210**	.390**	.383**	.364**	.445**	.396**	.508**	.521**	.526**	1																														
CE_5	0.05	0.005	0.046	.119**	0.013	0.016	0.07	.117**	0.019	0.079	1																													
CE_6	.099**	.089*	.104*	.119**	.082*	.103*	0.062	.112**	0.017	.130**	.610**	1																												
CE_7	-0.06	-0.021	-0.036	-0.036	-0.062	-0.042	-.099*	.120**	.092*	0.045	.309**	.393**	1																											
CE_8	0.076	.268**	.275**	.265**	.272**	.275**	.391**	.446**	.433**	.399**	.109**	0.068	0.049	1																										
CE_9	.142**	.312**	.302**	.366**	.324**	.338**	.304**	.446**	.508**	.467**	0.069	.086*	.080*	.494**	1																									
BE_1	.135**	.247**	.288**	.289**	.308**	.303**	.509**	.335**	.316**	.455**	.109**	.143**	-.080*	.264**	.312**	1																								
BE_2	.157**	.305**	.344**	.359**	.385**	.347**	.487**	.363**	.357**	.493**	.087*	.150**	-.011	.288**	.352**	.866**	1																							
BE_3	.165**	.354**	.360**	.395**	.412**	.374**	.489**	.495**	.402**	.574**	.150**	.264**	0.061	.360**	.409**	.646**	.675**	1																						
BE_4	0.055	.239**	.198**	.227**	.219**	.231**	.357**	.247**	.234**	.289**	.108**	.100*	-.131**	.236**	.201**	.504**	.473**	.465**	1																					
BE_5	0.006	.288**	.283**	.287**	.281**	.295**	.251**	.352**	.395**	.347**	0.009	0.057	0.005	.382**	.439**	.303**	.342**	.380**	.353**	1																				
BE_6	.245**	0.034	0.041	.100*	0.063	0.064	.154**	0.025	0.011	.158**	.274**	.287**	.138**	0.018	0.018	.165**	.201**	.150**	0.019	-.121**	1																			
BE_7	.128**	0.031	0.079	.130**	.089*	0.056	.192**	0.072	0.02	.125**	.354**	.401**	.159**	0.058	0.071	.292**	.273**	.219**	.174**	0.061	.508**	1																		
BE_8	.188**	.158**	.150**	.187**	.174**	.129**	.171**	.153**	0.077	.240**	.354**	.441**	.235**	.144**	.127**	.176**	.230**	.322**	0.077	0.008	.577**	.522**	1																	
EE_1	.210**	.250**	.298**	.332**	.321**	.303**	.365**	.312**	.239**	.348**	.094*	.212**	.094*	.245**	.265**	.447**	.462**	.479**	.218**	.287**	.204**	.210**	.210**	1																
EE_2	.183**	.267**	.370**	.382**	.354**	.336**	.407**	.406**	.350**	.441**	.160**	.235**	.102*	.328**	.370**	.558**	.570**	.579**	.298**	.361**	.189**	.236**	.230**	.778**	1															
EE_3	.213**	.344**	.424**	.452**	.411**	.418**	.392**	.456**	.397**	.480**	.123**	.178**	.099*	.380**	.438**	.520**	.556**	.581**	.277**	.414**	.171**	.218**	.222**	.682**	.835**	1														
EE_4	.174**	.244**	.278**	.287**	.326**	.264**	.338**	.346**	.279**	.386**	.088*	.174**	0.077	.234**	.317**	.450**	.449**	.503**	.259**	.304**	.184**	.236**	.195**	.633**	.634**	.628**	1													
EE_5	0.063	0.02	.124**	.143**	0.076	.110**	.136**	.097*	0.025	.135**	.330**	.354**	.165**	0.076	0.049	.268**	.277**	.266**	.133**	.101*	.350**	.424**	.381**	.371**	.377**	.315**	.300**	1												
EE_6	.129**	0.033	.124**	.165**	.123**	.126**	.133**	.104*	0.03	.195**	.264**	.324**	.154**	.098*	0.066	.247**	.252**	.284**	.115**	0.055	.448**	.435**	.430**	.465**	.406**	.323**	.350**	.677**	1											
EE_7	.203**	.113**	.189**	.237**	.149**	.202**	.207**	.145**	.152**	.265**	.293**	.348**	.151**	.144**	.156**	.323**	.333**	.345**	.195**	.143**	.449**	.444**	.489**	.386**	.405**	.374**	.296**	.546**	.677**	1										
EE_8	.131**	0.047	.086*	.100*	.082*	0.066	.085**	0.018	0.023	.131**	.182**	.248**	.142**	0.015	0.031	.172**	.207**	.188**	.096*	-.037*	.430**	.376**	.398**	.216**	.206**	.171**	.249**	.457**	.525**	.496**	1									
EE_9	.160**	0.03	0.073	0.068	.091*	0.036	0.04	-0.01	0.012	.086*	.147**	.239**	.134**	-0.06	-0.01	.125**	.176**	.117**	0.025	-0.025	.340**	.323**	.361**	.128**	.136**	.106**	.177**	.328**	.355**	.397**	.574**	1								
SE_1	0.075	.352**	.354**	.314**	.365**	.370**	.334**	.499**	.500**	.445**	0.045	.092*	0.068	.381**	.519**	.380**	.384**	.476**	.255**	.447**	-.01	0.045	.090*	.334**	.413**	.450**	.320**	0.074	.091*	.156**	-.03	-0.022	1							
SE_2	.096*	.278**	.368**	.357**	.343**	.379**	.320**	.392**	.410**	.442**	0.056	.109**	0.041	.388**	.451**	.372**	.402**	.467**	.373**	.464**	0.058	.118**	.135**	.354**	.461**	.464**	.374**	.109**	.138**	.235**	0.014	0.017	.663**	1						
SE_3	.171**	.241**	.231**	.291**	.355**	.304**	.300**	.295**	.332**	.377**	-0.029	-0.005	-.082*	.282**	.332**	.351**	.361**	.330**	.276**	.292**	.110**	0.069	0.076	.328**	.333**	.350**	.364**	.114**	.132**	.155**	0.024	0.048	.406**	.474**	1					
SE_4	.139**	.284**	.267**	.294**	.320**	.310**	.396**	.420**	.397**	.453**	0.065	.092*	0.008	.316**	.419**	.444**	.429**	.481**	.296**	.375**	.084*	.107**	.092*	.407**	.419**	.421**	.431**	.162**	.199**	.223**	0.061	0.079	.490**	.501**	.549**	1				
SE_5	0.05	0.037	.096*	.082*	0.054	0.049	.085**	0.021	0.064	0.071	.220**	.247**	.203**	0.065	0.05	.150**	.149**	.104*	.171**	.082*	.293**	.299**	.306**	.129**	.198**	.117**	.101*	.285**	.316**	.396**	.265**	.178**	0.063	.246**	0.068	.097*	1			
SE_6	.126**	0.048	.084*	.129**	0.077	.099*	0.077	.088*	.109**	.108**	.183**	.236**	.188**	.085*	.200**	.130**	.157**	.107**	.089*	.082*	.396**	.337**	.335**	.160**	.201**	.171**	.144**	.261**	.316**	.349**	.394**	.297**	0.058	.163**	.139**	.163**	.474**	1		

註：PV 代表第一個似真值用以指涉學生探究能力；labC_1 到 labC_5 代表探究相關的好奇心之指標；CE_# 代表實驗室投入中認知投入之指標；BE_# 代表實驗室投入中行為投入之指標；EE_# 代表實驗室投入中情意投入之指標；SE_# 代表實驗室投入中社會互動投入之指標。

* $p < .05$. ** $p < .01$

待估計完成後，再將其中 605 筆學生資料以及 39 題的試題難度輸出進行報導，並製作成 Wright Map 圖來同時呈現學生的探究能力分布以及試題難度的對應位置。以下分別針對試題難度以及學生的探究能力列表進行探討。

(一) 試題難度

表 4-4-2 呈現難度列表，其中所施測之 39 題的試題中難度最高者為下沉快慢 2_11 之得 2 分的反應 ($\theta = 4.279$)；而難度最低者則為紙飛機_31 得 1 分的反應 ($\theta = -2.746$)。這個結果顯示這 39 個試題的分布是很平均的，不僅涵蓋簡單的題型亦可收羅困難的試題，因此可以透過試題的答對與否來篩選出不同能力差異的學生。而且此一結果亦符合預期，因為紙飛機_31 係一選擇題的類型；而下沉快慢 2_11 則為開放性試題，並需要學生針對變項關係進行推理。此外，從表 4-4-2 中亦可發現 39 題中得 1 分的類別一與得 2 分的類別二之平均難度分別為 -0.247 與 0.888，而學生的整體平均能力 0.173 剛好落於兩者之間（見圖 4-4-1），顯示試題項目所量測的程度與受測學生的平均能力較為接近，亦代表本研究之試題能夠適切的鑑別出學生的探究能力。此一結果亦可從圖 4-4-1 之試題難度的分佈情形與學生能力的分佈形狀大致相似（具有 0.85 以上之信度）可以得到證實。

(二) 學生能力

表 4-4-3 呈現學生的探究能力之估計值，並且透過能力估計的信度分析為 0.86 大於理論建議值之良好值 0.80，顯示這些能力的估計是有良好信度的。此外，從中可以發現五個探究能力的似真值 (PVs) 之估計結果，均顯示其極大、極小值的範圍均介於正負 2 之間，代表本次施測所抽樣的學生分布是很平均的，並未特別偏重哪一個極端的學生。同時這也暗示了本研究之結果對於抽樣母群的推估具有一定的代表性。此外，從五個 pv 值的平均能力來看，大抵都落於正的 0.20 左右。顯示就平均來看這些學生的能力比預設平均值 0.00 來得高一些。雖然如此，但圖 4-4-1 之 Wright Map 圖之學生的能力分布圖大致呈現常態分佈，顯示本研究所適用之評量試題可以提供準確的訊息去幫助我們量測多數高中學生的探究能力。

表 4-4-2 試題難度列表

試題名稱	Cat1 ¹	Cat2 ²	試題名稱	Cat1	Cat2
小鐵球_11	-0.445	NA	下沉快慢 3_12	-2.225	NA
小鐵球_21	0.437	NA	下沉快慢 3_13	0.442	NA
小鐵球_31	-0.868	0.534	下沉快慢 3_21	0.613	2.004
小鐵球_41	-1.806	NA	下沉快慢 3_22	0.033	0.496
小鐵球_42	-0.325	NA	物體下落_11	-0.529	-0.020
氣體體積_11	-0.654	-0.601	物體下落_12	-0.700	0.060
氣體體積_21	-0.290	-0.241	浮力問題 1_11	-0.194	1.394
氣體體積_31	-0.649	-0.342	浮力問題 1_21	1.621	2.101
氣體體積_41	0.104	NA	浮力問題 1_31	0.795	NA
滾罐子 1_11	-1.489	NA	浮力問題 2_11	0.092	1.880
滾罐子 1_21	0.123	0.630	浮力問題 2_21	-0.577	-0.558
滾罐子 2_11	-0.505	NA	浮力問題 2_31	0.541	0.620
滾罐子 2_21	-0.569	0.142	浮力問題 3_11	-1.143	0.117
滾罐子 3_11	-0.788	NA	浮力問題 3_21	-0.268	0.117
滾罐子 3_21	-0.578	NA	紙飛機_11	0.553	1.360
下沉快慢 1_11	-0.552	1.903	紙飛機_21	-0.368	NA
下沉快慢 1_12	1.149	3.397	紙飛機_31	-2.746	1.303
下沉快慢 2_11	0.889	4.279	紙飛機_32	0.642	1.240
下沉快慢 2_21	1.215	NA	紙飛機_41	-0.997	-0.510
下沉快慢 3_11	0.392	NA			
39 題平均難度	-0.247	0.888	EAP Reliability:	0.876	
標準偏差 (SD)	0.916	1.252			
標準誤差 (SE)	0.023	0.032			

註：¹表該題之得 1 分之試題難度；²表該題之得 2 分之試題難度。NA 表該題為二元計分，故沒有得 2 分者。

表 4-4-3 學生探究能力估計值

分	pv_1	pv_2	pv_3	pv_4	pv_5
極大值	2.150	1.739	1.899	1.899	1.789
極小值	-1.891	-2.013	-1.798	-1.830	-1.783
平均值	0.173	0.169	0.181	0.196	0.193
標準偏差 (SD)	0.653	0.637	0.641	0.653	0.631
標準誤差 (SE)	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
WLE Reliability:	0.856				

Wright Map

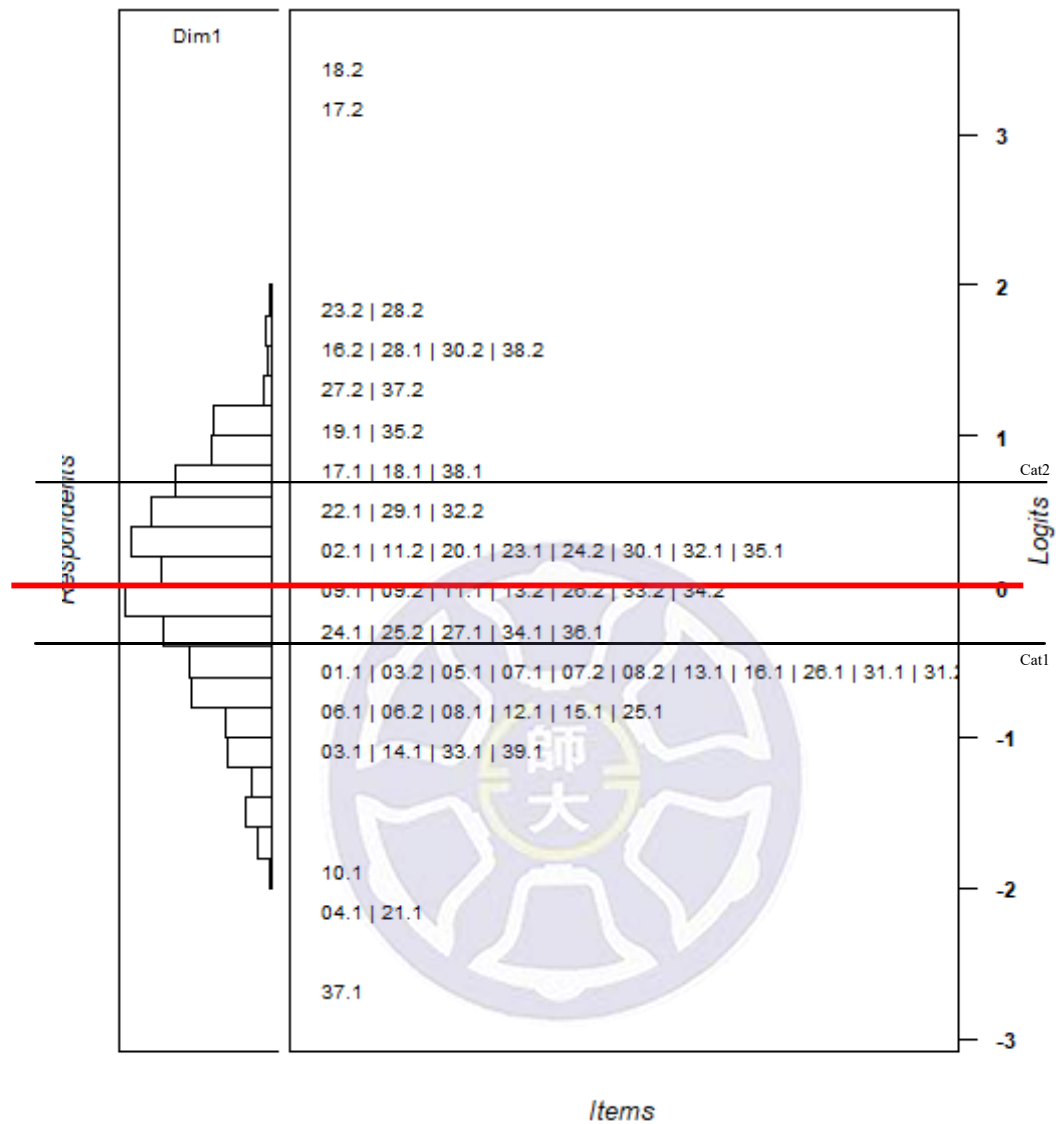


圖 4-4-1 研究二中 39 題之 Wright Map 分布圖 (n = 2615)⁴

⁴註：左側為學生以 pv 1 為例之探究能力的分布圖，紅線標示處為平均能力 (0.173)；右側為試題難度的對應位置，黑線分別標示類別 1 與類別 2 之平均試題難度。試題側之編號為本次施測所有試題之流水編號，由 1 到 39 依序排之。小數點之後的數字則為該試題之得分類別。例如：11.2 代表為第 11 個試題 (滾罐子一子題 2)中，多元計分下得分為 2 之試題難度，約為 0.50。

二、 試題分析

首先透過 SPSS 將 605 位高二學生的施測資料中針對投入問卷的各項度進行試題分析，其結果顯示如表 4-4-4 所示。其中，並發現實驗時投入的問卷試題之整體 Cronbach's Alpha 雖然高達.90 以上，但其各項度內的一致性卻未達。因此，再針對各項個別進行分析並依建議值初步刪除 9 個試題，分別為認知投入的 CE_5、CE_6 與 CE_7；行為投入的 BE_5 與 BE_6；情意投入的 EE_8、EE_9 以及社會互動投入的 SE_5 與 SE_6。

表 4-4-4 實驗室活動的投入問卷之信度分析

construct	Cronbach's α	刪題後的 Cronbach's α	construct	Cronbach's α	刪題後的 Cronbach's α
ALL	.92 (32)				
CE	.77 (9)	.83 (6) ²	EE	.87 (9)	.88 (7) ²
CE_1		.75	EE_1		.84
CE_2		.72	EE_2		.84
CE_3		.73	EE_3		.85
CE_4		.73	EE_4		.85
CE_5 ¹		.77	EE_5		.85
CE_6 ¹		.76	EE_6		.85
CE_7 ¹		.78	EE_7		.85
CE_8		.73	EE_8 ¹		.86
CE_9		.73	EE_9 ¹		.87
BE	.80 (8)	.80 (6) ²	SE	.72 (6)	.81 (4) ²
BE_1		.74	SE_1		.66
BE_2		.74	SE_2		.62
BE_3		.75	SE_3		.68
BE_4		.78	SE_4		.66
BE_5 ¹		.81	SE_5 ¹		.74
BE_6 ¹		.80	SE_6 ¹		.73
BE_7		.79			
BE_8		.79			

註：¹表依建議值進行試題的排除；²表刪題後該潛在變項的 Cronbach's Alpha 值及其內涵的題數且括弧內表該潛在變項的題數

刪除這 9 項試題後，最終所得各項度之 Cronbach's Alpha 值分別為 CE 為.83、BE 為.80、EE 為.88、SE 為.81 (如表 4-4-4 刪題後的 Cronbach's α 一欄所示)。這些潛在變項的觀察指標均大於.80 的建議值顯示是良好且具代表性的試題 (Cronbach, 1951)，可用以去評估學生在參與實驗室活動實的認知、行為、情意以及社會互動的投入狀態。

三、測量模式

在剔除上述 9 個試題之後，將剩下之 28 題 (包含探究相關的好奇心 5 題；實驗室活動的認知投入 6 題、實驗室活動的行為投入 6 題、實驗室活動的情意投入 7 題，以及實驗室活動的社會互動投入 4 題)以 LISREL 軟體進行測量模式的估算。經第一次的驗證性因素分析 (CFA)，表 4-4-5 之初始的測量模式發現實驗室活動的行為投入以及情意投入兩個潛在變項內有些試題不符合建議值 (負荷量小於 0.55 者，例如：BE_4 因素負荷量為 $0.54 < 0.55$)，顯示這些試題可能不是好的或極佳的指標去評測學生行為投入與情意投入的狀態。遂根據文獻建議值進行刪題 (Comrey & Lee, 1992; Harrington, 2008)，並進行第二次測量模式的估計以檢驗修改後模式的信效度分析。

最終刪掉 CE_5、CE_6、CE_7、BE_4、BE_5、BE_6、BE_7、BE_8、EE_5、EE_6、EE_7、EE_8、EE_9、SE_5、SE_6，共 15 題。除了 BE_4&5 之外，均為反向題。其中，唯有 BE_4「我會準時完成實驗課所交代的回家作業」。似乎由於台灣的實驗課幾乎都只限定在實驗室中完成，還少需要學生在家做實驗或布置相關的回家作業。所以導致學生真的鮮少有回家作業的部分，因而影響本題的作答。

因此，為了以較為準確的試題來代表結構模式的各個構念(潛在變項)，本研究最終的測量模式中之實驗室投入係採用刪題後的 22 個試題來進行檢驗個潛在變項之測量代表性。結果如表 4-4-5 所示，修改後模式的均具有顯著的因素負荷量，而其各項適配指數亦達文獻建議值 (如，CR 的範圍從 0.76 到 $0.94 > 0.60$)。其中雖然實驗室活動的認知投入之潛在變項之 AVE 僅為 0.46 未能超過 0.50 的建議值 (Bagozzi & Yi, 1988; Fornell & Larcker, 1981)，因為這是表示潛在變項受到觀察變項的貢獻相較誤差的貢獻量來得多 (50%)。然而，如果 AVE 要達到 0.50 以上，即表示該潛在變項內所有觀察指標之因素負荷量的平均值必須高於 0.71。由於這樣的標準在實務上並非十分容易達到。因此，有學者提出如果有五個潛在變項，就可以算出五個 AVE，此時如果其中 3 個或 4 個潛在變項 AVE 可以達到

0.50 以上，其他潛在變項的 AVE 至少有達到 0.30 或 0.40 的標準，就大致可以接受了 (Hair, Black, Babin, & Anderson, 2009, pp. 693-694)。根據 Hair 等人的建議，標準化因素負荷量至少要達到 0.50 的門檻，亦即是說 AVE 至少也要有 0.50 的平方值也就是 0.25 (最低值)。故此，本研究所使用之各項測量工具經刪題後係一良好可量測所欲探討的潛在變項。

此外，本研究以五項適配指標來評斷修改後的測量模式的適配程度，其中雖然易受大樣本數影響的卡方檢定量，其數值顯示修改後的測量模式與觀察資料之間具有顯著的不一致 ($\chi^2 = 820.38, df = 199, p < .001$)，然而其他適配指標均指出修改後的測量模式整體上都是具有良好的適配度去說明所觀察資料 (RMSEA = 0.072 < 0.080, SRMR = 0.049 < 0.05, CFI = 0.98 > 0.95 及 PNFI = 0.83 > 0.5)。



表 4-4-5 初始模式與修改後模式之測量模式檢定結果

潛在變項	指標	初始模式	修改後模式		
		標準化因素負荷量 (SE)	標準化因素負荷量 (SE)	組合信度	平均變異數萃取量
探究相關好奇心 5 題	Curi1	0.74 (0.060)***	0.74 (0.060)***	0.93	0.72
	Curi2	0.77 (0.060)***	0.77 (0.060)***		
	Curi3	0.81 (0.060)***	0.81 (0.060)***		
	Curi4	0.83 (0.060)***	0.83 (0.060)***		
	Curi5	0.76 (0.060)***	0.76 (0.060)***		
實驗室活動的認知投入 6 題	CE_1	0.60 (0.090)***	0.60 (0.090)***	0.83	0.46
	CE_2	0.72 (0.090)***	0.72 (0.090)***		
	CE_3	0.72 (0.090)***	0.72 (0.090)***		
	CE_4	0.73 (0.090)***	0.73 (0.090)***		
	CE_8	0.61 (0.090)***	0.61 (0.090)***		
	CE_9	0.67 (0.100)***	0.67 (0.100)***		
實驗室活動的行為投入 6 題	BE_1	0.91 (0.030)***	0.91 (0.030)***	0.76	0.91
	BE_2	0.94 (0.030)***	0.95 (0.030)***		
	BE_3	0.76 (0.040)***	0.75 (0.040)***		
	BE_4	0.54 (0.050)***	— ^a		
	BE_7	0.35 (0.040)***	— ^a		
	BE_8	0.29 (0.040)***	— ^a		
實驗室活動的情意投入 7 題	EE_1	0.83 (0.040)***	0.82 (0.040)***	0.91	0.71
	EE_2	0.93 (0.040)***	0.94 (0.040)***		
	EE_3	0.88 (0.030)***	0.89 (0.040)***		
	EE_4	0.71 (0.040)***	0.71 (0.040)***		
	EE_5	0.44 (0.040)***	— ^a		
	EE_6	0.45 (0.040)***	— ^a		
	EE_7	0.46 (0.030)***	— ^a		
實驗室活動的社會互動投入 4 題	SE_1	0.77 (0.060)***	0.77 (0.060)***	0.80	0.51
	SE_2	0.77 (0.060)***	0.77 (0.060)***		
	SE_3	0.60 (0.050)***	0.60 (0.050)***		
	SE_4	0.69 (0.050)***	0.69 (0.050)***		

註：^a表示該因素負荷量不進行估計；因為該指標之負荷量小於 0.55 故予以剔除。

*** $p < .001$.

四、結構模式

在經過 CFA 測量模式的檢驗之後，遂進行本研究之結構模式的估計。為提供詳細的模式估計之全貌並以利後續探討，表 4-4-6 之路徑參數表呈現各觀察指標對潛在變項的路徑參數及其殘差之估計值。其中可以發現 23 個觀察變項之路徑

係數不僅達.001 之顯著水準，且其範圍介於 0.58~0.95 之間，均符合理論建議值的路徑係數需大於 0.55；以及其個別的殘差值之範圍亦介於 0.10~0.62 之間，均滿足理論建議之殘差數值小於 0.71。顯示所使用之觀察變項可以適切地反映其背後的潛在變項；且各項測量誤差均為正值，顯示路徑參數的數值與標準誤差都在合理範圍內，顯示測量試題的品質極為良好。

表 4-4-6 觀察指標之路徑參數表

變數名稱	路徑 參數	標準誤 差(SE)	t 考驗 數值	變數名稱	殘差 參數	標準誤 差(SE)	t 考驗 數值
labC_1	.73	.03	25.81***	labC_1	.47	.04	11.22***
labC_2	.76	.03	25.33***	labC_2	.42	.05	9.26***
labC_3	.79	.02	33.31***	labC_3	.37	.04	9.43***
labC_4	.82	.02	41.00***	labC_4	.33	.03	9.96***
labC_5	.76	.03	26.87***	labC_5	.42	.04	9.73***
CE_1	.58	.03	19.33***	CE_1	.66	.03	19.27***
CE_2	.73	.03	27.59***	CE_2	.47	.04	12.22***
CE_3	.73	.02	36.50***	CE_3	.47	.03	16.05***
CE_4	.72	.04	18.59***	CE_4	.48	.06	8.68***
CE_8	.62	.02	35.80***	CE_8	.62	.02	28.43***
CE_9	.66	.04	16.50***	CE_9	.56	.05	10.72***
BE_1	.91	.02	45.50***	BE_1	.17	.04	4.71***
BE_2	.95	.01	67.18***	BE_2	.10	.03	3.65***
BE_3	.74	.02	37.00***	BE_3	.45	.03	15.18***
EE_1	.81	.03	27.00***	EE_1	.34	.05	7.06***
EE_2	.94	.01	66.47***	EE_2	.12	.03	4.40***
EE_3	.88	.02	50.81***	EE_3	.23	.03	7.41***
EE_4	.69	.05	13.80***	EE_4	.52	.07	7.46***
SE_1	.76	.04	19.62***	SE_1	.42	.06	7.27***
SE_2	.80	.03	26.67***	SE_2	.36	.05	7.57***
SE_3	.60	.03	17.32***	SE_3	.64	.04	15.39***
SE_4	.67	.05	14.13***	SE_4	.55	.06	8.55***
pv_1	1.00	- ^a	- ^a	pv_1	.00	- ^a	- ^a

註：^a表該觀察變項僅有一個指標試題。

*** $p < .001$

圖 4-4-2 呈現結構模式以及各變項之間路徑的參數。其中外衍變項之探究相關的好奇心對實驗室活動的四項投入均有顯著直接關聯。而內衍變項中，實驗室活動的情意投入與認知投入之間的關聯也均未達顯著水準 (direct effect = .04, $SE = .04$, $ns.$)。而行為投入及社會互動投入兩者與探究能力之間的關聯也均未達顯著

水準 (direct effect 行為投入 $\rightarrow$ 探究能力 = .07, $SE = .09$, $ns.$; direct effect 社會互動投入 $\rightarrow$ 探究能力 = .14, $SE = .13$, $ns.$)。除此之外，結構模式所估計之結果顯示其他變項之間的關聯均達顯著水準以上 ($p < .05$)。

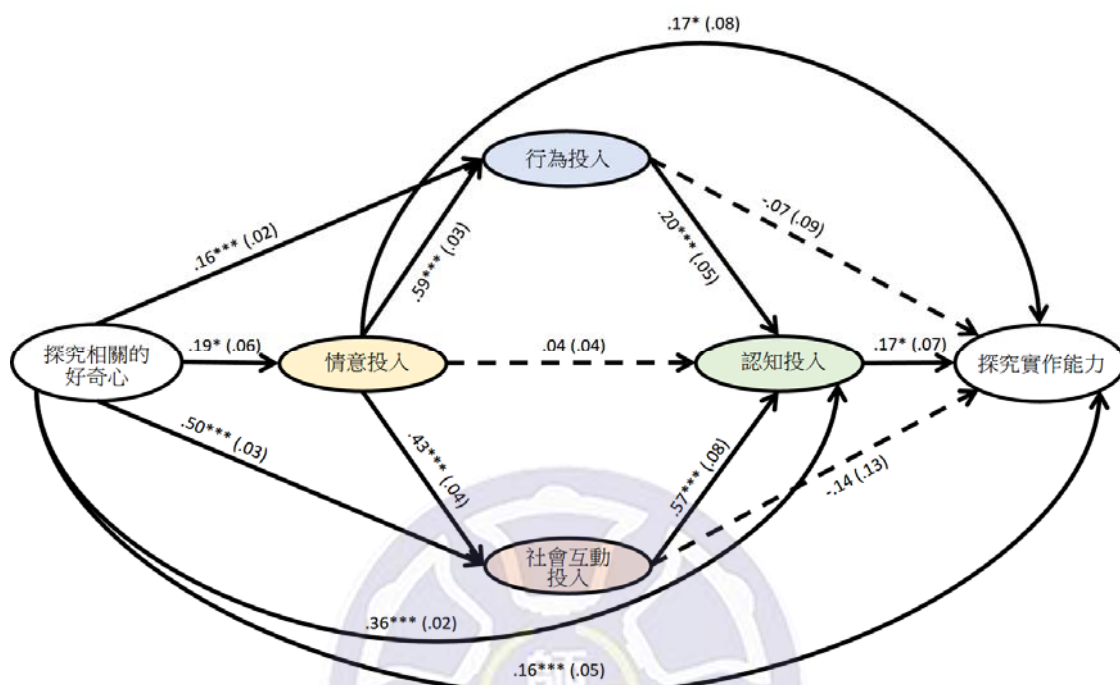


圖 4-4-2：實驗室活動的投入模式及標準化參數估計值

此外，整體模式之各項適配指標估計的結果發現，除了卡方檢定量的數值達顯著水準 ($\chi^2 = 1104.15$, $df = 219$, $p < .001$)，其他適配指標均指出修改後的測量模式整體上都是位於理想值範圍內 (以 $pv1$ 為例： $RMSEA = 0.064 < 0.080$, $SRMR = 0.047 < 0.05$, $CFI = 0.97 > 0.95$ 及 $PNFI = 0.83 > 0.5$)，顯示具有良好的適配度去說明所觀察資料數據。

(一) 實驗室活動的各項投入中介好奇心對探究能力的關係

為延續研究一的探討，並回答本研究之研究問題一：高中學生之實驗室活動的各項投入是否會中介其探究相關的好奇心對探究能力的關係？

首先針對好奇心與探究能力之間的關係，由圖 4-4-2 之結構模式關係圖可知學生之探究相關的好奇心對其探究能力具有顯著的直接關聯 (direct effect = .16; $SE = .05$, $p < .001$)。遂將以直接效應、間接效應以及總效應來進行探討 (見表 4-4-

7)。從表 4-4-7 中可以發現探究相關的好奇心對探究能力的總效果具有顯著正向的關聯效應 ($\text{total effect} = 0.22, SE = 0.07, p < .01$)。顯示整體而言好奇心對學生的探究能力的表現具有顯著關聯，也就是說學生對探究有關的好奇心愈高時，其所展現出來的探究能力也會有愈高的趨勢。而其中受學生對實驗室活動的各項投入如何影響，則可在進一步從直接效應與間接效應的比較中窺得一二。

透過表 4-4-7 可知學生對實驗室活動的各項投入之「整體間接效果 ($\text{total indirect effect}$)」有達顯著 ($\text{indirect effect} = 0.06, SE = 0.02, p < .01$)，此即表示學生對探究有關的好奇心將透過其在實驗室活動中的認知、行為、社會互動，以及情意上投入的行為所中介，而後再去影響他們在探究能力的表現。然而好奇心本身對探究能力的直接效果也有達顯著。顯示對高中學生而言，學生對實驗室活動的各項投入依舊扮演著部份中介的角色去調節好奇心與探究能力之間的關係；也就是說好奇心對探究能力的關聯不僅止具有直接影響，同時也可以透過學生在實驗室活動的各種形式的投入和參與，來促進他們的探究學習進而提升探究能力的表現。此一結果符合研究一的研究結果，即代表好奇心扮演著驅動學生科學學習重要角色獲得再次驗證，尤其是對學生在探究能力的表現之影響，不僅僅具有直接的關聯，同時也可透過對相關投入的觸發而有間接的關聯。

表 4-4-7 探究相關好奇心對探究能力之標準化效應參數

內衍變項	直接效應 (SE)	間接效應 (SE)	總效應 (SE)
探究相關好奇心	0.16 (.06)***	0.06 (.02)**	0.22 (.07)**

* $p < .05$. ** $p < .01$.

(二) 不同投入之間的影響關係

為了探討好奇心與學生在實驗室活動中的各項投入之間的關聯情形，以及回答第二個研究問題：高中學生之實驗室活動中情意投入是否會透過行為投入與社會互動投入來影響他們的認知投入的狀態？

由圖 4-4-2 可以發現，學生在參與實驗室活動時其情意投入對認知投入的直接關聯效應未達顯著水準 ($\text{direct effect} = 0.04, SE = 0.04, ns.$)，而透過行為投入以

及社會互動投入的影響，路徑中的各項路徑參數均有達顯著，顯示學生之實驗室活動中情意投入會透過行為投入與社會互動投入來影響他們的認知投入的狀態。表 4-4-8 所呈現的三種投入之總效應中可以發現，情意、行為以及社會互動等三種投入對認知投入的總關聯效應均具顯著水準 (total effect 行為投入→認知投入= 0.20, $SE = 0.05, p < .001$; total effect 社會互動投入→認知投入= 0.57, $SE = 0.08, p < .001$; total effect 情意投入→認知投入= 0.40, $SE = 0.04, p < .001$)。顯示整體而言，三種投入對學生認知投入的行為表現具有顯著關聯，也就是說學生在從事實驗活動時所展現出來在情意、行為與社會互動上的投入愈高時，則他們在認知上也會有較高的意願去使用各種認知策略去完成實驗室的各項活動。然而，各項不同投入之間的影響關係則需進一步進行情意、行為以及社會互動等三種投入對認知投入之關聯效應比較。

表 4-4-8 亦顯示雖然情意投入對認知投入沒有顯著的直接效應，但其整體間接效應有達顯著的正向關聯效應的 (total indirect effect = 0.36, $SE = 0.05, p < .001$)。這些結果揭示了學生在實驗室活動的不同投入之間是具有相互影響的關係，其中情意投入需要透過行為投入以及社會互動投入的中介，才會對認知投入產生影響，即為行為投入以及社會互動投入完全中介情意投入對認知投入的影響。此一結果亦顯示學生對實驗室活動所持有的正負向感受需要透過實際從事該活動以及透過同儕互動合作的行動後，才會更加深其使用更多認知策略去完成實驗活動的意願。

此外，表 4-4-8 亦比較了情意投入的兩個中介路徑的效應，發現雖然透過社會互動投入中介的效果 (indirect effect = 0.24, $SE = 0.03, p < .001$) 稍微大於透過行為投入的中介效果 (indirect effect = 0.12, $SE = 0.05, p < .001$)。然而，兩個中介效果的差異未達顯著 (difference = 0.12, $SE = 0.07, ns.$)。顯示無論是行為投入還是社會互動投入對學生整體的實驗室活動之投入均具有同樣重要且必須存在的必要性。也就是說，透過實際參與實驗活動以及透過同儕之間的相互砥礪，可以將來自好奇心所引發對實驗室活動的情意上的感受轉換成認知策略使用的意願。

表 4-4-8 三種投入對認知投入之標準化效應參數

變項名稱	直接效應 (SE)	間接效應 (SE)	總效應 (SE)
行為投入	0.20 (.05)***	-. ^a	0.20 (.05)***
社會互動投入	0.57 (.08)***	-. ^a	0.57 (.08)***
情意投入	0.04 (.03)	0.36 (.05)***	0.40 (.04)***
透過行為投入	-. ^b	0.12 (.03)***	-. ^b
透過社會互動投入	-. ^b	0.24 (.05)***	-. ^b
中介路徑差異	-. ^c	0.12 (.07)	-. ^c

註：^a表該變項僅有直接效應；^b表情意投入透過行為與社會互動兩個路徑之效果；^c表兩個中介路徑的差異

* $p < .05$. ** $p < .01$. *** $p < .001$.

(三) 投入與好奇心的關係

為了探討好奇心與學生在實驗室活動中的各項投入之間的關聯情形，以及回答第三個研究問題：在不同投入的相互影響下，高中學生對探究相關的好奇心對實驗室活動中的各項投入是否具有影響？

因此，首先，探討探究相關的好奇心與學生在實驗室活動的各項投入之間的直接效應、間接效應以及總效應。從圖 4-4-2 可以發現探究相關的好奇心對四項實驗室活動的投入具有顯著的直接效應 (direct effect 認知投入 = 0.36, $SE = 0.02$, $p < .001$; direct effect 情意投入 = 0.19, $SE = 0.06$, $p < .001$; direct effect 行為投入 = 0.16, $SE = 0.02$, $p < .001$; direct effect 社會互動投入 = 0.50, $SE = 0.03$, $p < .001$)。顯示學生持有之探究相關活動的好奇心對他們投入於實驗活動具有顯著的關聯，即代表著當學生持有愈高的好奇心時，他們投入於實驗活動以進行探索行為的表現也會愈高。此與過去文獻中針對好奇心及其所引發之後續之探索行為的理論假說相符 (Litman, 2003)。

其次，表 4-4-9 中之間接效應的比較亦可以發現，除了情意投入僅有直接關聯之外，探究相關的好奇心對實驗室活動的各項投入之間的間接效應也都達顯著水準 (indirect effect 認知投入 = 0.39, $SE = 0.02$, $p < .001$; indirect effect 行為投入 = 0.11, $SE = 0.03$, $p < .001$; indirect effect 社會互動投入 = 0.08, $SE = 0.02$, $p < .001$)。顯示即便在不同投入間的相互影響下，學生的探究相關活動好奇心仍會透過相互影響的關係去

中介對這些投入的影響效應。即代表好奇心不僅對探究能力有直接的影響，亦可透過不同投入的相互關係來影響學生探究能力的表現。故而對學生的探究能力表現而言好奇心驅動在高中階段的科學學習是十分重要的。

透過上述直接關聯與間接關聯效應的整合，就總體效應來說，透過不同投入間的相互影響下，探究相關的好奇心具有顯著的正向關聯效應去影響學生在認知投入的行為表現 ($\text{total effect} = 0.75, SE = 0.04, p < .001$)。顯示透過情意、行為以及社會互動的投入後，學生持有之探究相關的好奇心可以解釋 56.25%之認知投入表現變異量。此外，探究相關的好奇心對其他三項實驗室活動的投入之總效應亦均具有顯著關聯 ($\text{total effect}_{\text{情意投入}} = 0.19, SE = 0.06, p < .001$; $\text{total effect}_{\text{行為投入}} = 0.27, SE = 0.05, p < .001$; $\text{total effect}_{\text{社會互動投入}} = 0.58, SE = 0.04, p < .001$)。這些結果同樣顯示整體而言探究相關的好奇心對這些實驗活動的投入表現具有顯著關聯。

這些結果揭示了學生對探究活動的好奇心可以引發他們對實驗室活動的各項投入，以便滿足他們求知上的需求。並且指出學生對實驗活動的情意上的表現會先受其好奇心的誘發而有正向的感受，再分別透過實際活動參與的行為及和同儕互動的機會對所參與的實驗活動產生更多認知層面上的投入影響。此一結果也就顯示對高中學生而言好奇心可以激發他們對實驗室活動的參與。此與 Litman (2003)提出的研究發現以及研究一的研究發現相符，即個體會為了補足這些知識上的不確定感，而對其感到好奇的事物投入更多的詳細調查活動，以滿足他們求知上的需求。

表 4-4-9 探究相關的好奇心對實驗室活動的各項投入之標準化效應參數

變項名稱	直接效應 (SE)	間接效應 (SE)	總效應 (SE)
認知投入	0.36 (.02)***	0.39 (.02)***	0.75 (.04)***
情意投入	0.19 (.06)*	- ^a	0.19 (.06)***
行為投入	0.16 (.02)***	0.11 (.03)***	0.27 (.05)***
社會互動投入	0.50 (.03)***	0.08 (.02)***	0.58 (.04)***

註：^a表該變項僅有直接效應

* $p < .05$. ** $p < .01$. *** $p < .001$.

(四) 投入與探究能力的關係

為探討在好奇心驅動下，學生在實驗室活動中的各項投入之間的相互影響的關係並探討這些影響關係對探究能力的關聯情形，本研究以第四個研究問題來進行分析。即為中學生對實驗室活動中情意上、行為上以及社會互動上的投入是否會透過認知投入影響他們在探究能力的表現？

首先透過研究問題二與研究問題三的探討以及圖 4-4-2 之結構模式關係圖已驗證學生在實驗室活動中的各項投入之間是具有相互影響，其中係以學生受其對探究相關活動的好奇心所誘發會先產生較正向的情意感受去投入於實驗室的各項活動，再分別透過實際活動參與的行為及和同儕互動的機會對所參與的實驗活動產生更多認知層面上的投入行為影響。在好奇心的刺激情形下，整體而言，對於探究能力的表現以學生對實驗活動的情意感受和認知策略的使用兩項投入之總效應有達到顯著水準 (total effect 認知投入 = 0.17, $SE = 0.08$, $p < .05$; total effect 情意投入 = 0.20, $SE = 0.07$, $p < .05$)。這些結果顯示學生透過探究相關的好奇心所激起之實驗投入中，係以情意投入與認知投入兩項與他們的探究能力表現之關聯影響最大。即代表在好奇心驅動探究能力的表現之影響關係中，學生對所參與的實驗活動具有正向的情意感受會輔助他們選擇所欲採取的行動以及採取深度思考的意願，並藉此促進探究能力的表現。此一結果驗證了過去研究之發現 (如：Cacioppo & Gardner, 1999; Fredrickson & Joiner, 2002)，並進一步的將這些投入關係延伸到好奇心驅動學生探究能力的表現之影響關係。

此外，從圖 4-4-2 亦可以發現，高中學生的探究能力表現均無顯著的直接關聯到他們在實驗室活動時的行為投入 (direct effect = -0.07, $SE = 0.09$, *ns.*)以及社會互動投入 (direct effect = -0.14, $SE = 0.13$, *ns.*)。即顯示此兩種實驗室活動的投入可能需要透過認知投入的中介才會對探究能力產生影響。故此，欲探討高中學生之探究能力表現之影響情形，則需再進一步探討其間接效應以及總效果。表 4-4-10 即呈現四項實驗室活動的投入對學生探究能力表現之直接效應、間接效應以及總效應的比較。其中可以發現雖然在行為投入以及社會互動投入方面，此兩種

投入對於學生探究能力的直接關聯效應均無顯著關聯。但在間接關聯效應上的分析結果顯示，透過認知投入產生影響後再影響到學生之探究能力之情況下，行為投入 (indirect effect = 0.03, $SE = 0.02$, $p < .05$)，以及社會互動投入 (indirect effect = 0.09, $SE = 0.05$, $p < .05$)都具有顯著的間接關聯效應去影響學生在探究能力上的表現。然而，雖然在好奇心驅動下，學生的行為投入及社會互動投入具有透過認知投入對探究能力產生間接的關聯效應。但從總效應來看則可以發現這兩項的投入對探究能力的影響均未達顯著水準 (total effect_{行為投入} = -0.03, $SE = 0.08$, $ns.$; total effect_{社會互動投入} = -0.05, $SE = 0.16$, $ns.$)。這個結果顯示學生的行為以及社會互動投入對他們探究能力的表現上沒有影響。

表 4-4-10 不同投入對探究能力之標準化效應參數

變項名稱	直接效應	間接效應	總效應
認知投入	0.17 (.08)*	- ^a	0.17 (.08)*
行為投入	-0.07 (.09)	0.03 (.02)*	-0.03 (.08)
情意投入	0.17 (.08)*	0.03 (.02)	0.20 (.07)*
社會互動投入	-0.14 (.13)	0.09 (.05)*	-0.05 (.16)

註：^a表認知投入對探究能力僅有直接效應

* $p < .05$. ** $p < .01$

綜合上述研究二的結果可以知道，雖然學生的行為投入及社會互動投入兩種投入對探究能力的表現沒有直接的影響作用，但是這些投入卻可以促進學生在實驗室活動時的認知投入，說明學生在實驗活動中所展現行為上的投入並透過與同儕間互動的砥礪下，可以促進他們使用更多的認知方法去完成所需的實驗任務。而學生對實驗室活動的認知投入與情意投入則是影響探究能力的重要因素。因此，可以知道在學生參與課室的實驗活動時，如何運用學生自身對相關事物所感到的好奇心，並藉此激起學生對所參與的活動的喜歡，並願意使用更多的認知策略去完成該活動，可能是培養學生探究能力重要的方法。

第五節 小結

總結上述之研究結果，研究二之研究發現如下所列：

1. 好奇心依然透過投入來部分中介著探究能力的表現

雖然不同投入之間有相互影響的關係存在，學生所持有之探究相關的好奇心對探究能力的表現的直接與間接影響均具有顯著水準，此一發現與研究一相同。即為，雖然學生對探究相關事物所感到的好奇心會直接影響他們探究能力的發展，但同時透過參與實驗室活動的各項投入，意可以藉此加深並促進他們的探究學習之成效。

2. 好奇心對實驗室活動的各項投入均具有顯著之正向關聯

學生持有之探究相關活動的好奇心對他們投入於實驗活動具有顯著的關聯，即代表著當學生持有愈高的好奇心時，他們對實驗室活動的各項投入也會愈高，以便滿足他們求知上的需求。並且學生對實驗活動的情意上的表現會先受其好奇心的誘發而有正向的感受，再分別透過實際活動參與的行為及和同儕互動的機會，促使更多認知層面上的投入。

3. 投入的各項行為之間具有相互影響的關係

在受其好奇心的誘發而有正向的情意感受後，學生對實驗活動中所展現的實際活動參與的行為及和同儕的互動會被提升，並藉此進而對所參與的實驗活動產生更多認知層面上的投入影響。。其中，行為投入與社會互動投入在投入間相互影響的關係中扮演重要的中介角色，因為情意上的投入需要藉由此兩項投入的表現，才會促使學生在參與過程中展現更多的認知投入。即明示著即便學生對實驗室活動產生情意上的喜歡或享受，但若未能對其付諸實際的行為參與或與同儕之間進行討論、協作的話，可能不會對其在認知上使用更多的策略去完成所交付之實驗任務。

4. 透過好奇心的驅動，情意投入與認知投入可提升探究能力的表現

在探究活動中，認知投入中扮演重要的角色，它去完全中介學生的行為投入

以及社會互動投入兩項行為對探究能力表現的影響；認知投入與情意投入亦可直接促進學生探究能力。即表示著如果學生能在探究活動時，運用自身對相關事物所感到的好奇心，並藉此激起學生對所參與的活動的喜歡，並願意使用更多的認知策略去完成該活動，可能是提升其探究能力重要的方法。





第五章 討論與建議

本論文之目的在於透過結構方程模式的分析技術，針對可能影響高中學生之探究能力的學習因素進行探討其中的關聯；這些可能因素包含科學學習經驗、探究相關的好奇心，以及實驗活動中的投入。並透過兩個研究的設計來釐清並建立高中學生之探究能力影響模式，希冀藉此為學生之探究能力發展提供幫助，並為教學現場之科學教室提供建議。針對兩項研究所收集之研究資料經統整與分析後所出歸納若干之結論與建議，以下本章將分為三個部份討論之；第一個部分為結論，係以分析結果再進行簡述並回答本論文所關注之研究問題。第二個部分為依據兩項研究過程中所發現之重要議題進行討論。最後，第三部分為依據所發現之結果對未來科學教育中探究能力的教學提出建議，並考量未盡完善之處，對未來研究的方向提出建議。

第一節 結論

本論文旨在探討學生從教學情境中之實驗相關的科學學習經驗，經內在探究相關好奇心的驅動下對其外在的實驗室投入乃至探究能力表現的影響情形。以下稍微節錄兩個研究之發現結果：

一、研究一之結果

透過結構模式之分析探討，從研究一之結果可以發現：(1) 實驗室投入扮演著部份中介的角色去調節好奇心與探究能力之間的關係。(2) 無論是正式或非正式的科學學習經驗均須透過好奇心的中介才會影響(促進)學生在探究相關實驗室的投入。

二、研究二之結果

透過研究二之結構模式分析技術來探討理論之假說模式發現：(1) 好奇心依然透過實驗室活動的各種投入來部分中介學生的探究能力表現。(2) 好奇心對實驗室活動的各項投入均具有顯著之正向關聯。(3) 投入的各項行為之間具有相互

影響的關係。(4) 透過好奇心的驅動，情意投入與認知投入可提升探究能力的表現。

統整兩項研究所分析之結果可以提出之高中學生探究能力影響模式。首先，研究一顯示學生的科學學習經驗無論其形式為何，均會透過所引發之好奇心及其伴隨之在課室裡的投入來對學習成果產生影響。同時也說明著就科學學習而言，學校裡正式的學習經驗與生活中非正式的學習經驗兩種學習經驗之間是具有互補功能的；並且透過研究一的分析發現兩者學習經驗均須透過好奇心的中介才會對投入產生影響，顯示好奇心是驅動學生科學學習中探究能力發展的重要因素，如圖 3-4-1 所示。而無論是研究一或是研究二也都支持好奇心可以透過直接以及藉由實驗室活動的各項投入的趨動下對學生的探究能力產生影響，即來自學習經驗所刺激之好奇心不僅可以直接引發學生的探究能力發展，也可以透過促進學生在實驗室活動的投入進而培養他們的探究能力，如圖 4-4-2 所示。

此外，本論文不僅證實了不同投入對學生探究能力的發展具有不盡相同的影響。其中亦發現了學生在參與實驗室活動時，透過運用自身對相關事物所感到的好奇心，並透過實際行為和同儕互動的投入來實踐他們對所參與的活動的喜歡，進而引發使用更多的認知策略去完成相關活動的願意，可能是提升其探究能力重要的方法。即為本論文的結果不僅僅證實了過去文獻中所提出來投入理論是一具多向度的概念，同時更進一步的明確指出這些不同向度間相互影響的關係。

第二節 討論

以下本節針對本論文之研究發現與先前研究之間進行比較與討論，以提供更進一步之連結與反思：

一、探究學習過程中好奇心與投入之間的相互關聯

為了解學生探究學習的影響因素，過去許多研究開始探討科學好奇心對學生的探究能力發展之間的關聯。例如：Tamir (1978)針對以色列之高中階段的學生

(10 到 12 年級)進行研究以檢驗學生所持有之對科學的好奇心對在生物課程時所展現之探究能力之間的關聯 (Tamir, 1978)。透過統計相關分析後從 Tamir 之相關矩陣可以發現其中僅有好奇心中之感知所處環境事物現象背後的成因此一構念與探究能力之間具有顯著的正相關 ($r=0.15^*$)；且其中並以設計實驗與辨認變因兩個次項的探究能力有達到顯著相關 ($r_{\text{設計實驗}} = 0.15^*$ ； $r_{\text{辨認變因}} = 0.12^*$)。而其他好奇心之構念 (例如：「回應」試題範例為：享受在做生物實驗時可以發現問題背後的答案；以及「價值」試題範例為：我對生命的希望會影響所提出之感到好奇的問題)對學生的探究能力均無顯著關聯。此一結果與本論文之結果相符，其好奇心對學生的探究能力具有直接關聯的效應 (直接效應_{好奇心→探究能力}：研究一為 0.16^{**} ；研究二為 0.19^*)。相較於 Tamir 的研究中係使用紙筆測驗的形式來量測學生的探究能力。反之，本論文由於採用 MASIA 之多媒體導向的試題形式，透過包含探究活動中各歷程的評量任務設計。此種評量方式與 Quellmalz 及其團隊所發展之多媒體與互動式虛擬實驗的方式 (Quellmalz et al., 2012)相似，透過任務導向來讓學生可以實際的展現其探究能力。故此，本論文的結果所建議之探究相關好奇心對學生探究能力的影響關係更具實徵上的意義。

其次，由於過去研究中探討好奇心與探究能力之間的關係者，大多係採用學生對科學領域知識的好奇心此一構念來進行研究，例如：Tamir 研究中對好奇心構念的選用係採探求學生對生物知識的求知欲望之科學好奇心 (Tamir, 1978)；Luce 與 Hsi 的研究亦採用比較一般性之對科學現象的好奇心，來探討學生對這些科學現象的偏好如何影響其科學探究的學習 (Luce & Hsi, 2015)。有別於此，本論文則著重於相對較為特定之探究相關的好奇心，係以針對學生在探究活動中所持有之特定情境的好奇心對探究能力的影響。而本論文的結果不僅展示了實徵上的證據去支持好奇心對學生探究能力的學習及發展具有顯著的影響，亦證實了特定情境之探究相關的好奇心對於學生探究能力也是具有正向影響的。

此外，探討好奇心對探究能力的影響關係中，本論文的兩個研究均支持探究相關的好奇心對探究能力的影響會受到學生在實驗室活動中的投入所中介；但僅

為部分中介的情形。這些結果指出了影響高中學生探究能力發展的因素除了來自學校實驗課程之外，可能具有其他來自於科學實驗課或學校課程之外的學習經驗會共同輔助學生在學習的學習成果。如同 Dierking 與 Falk (2003) 的回顧文章中亦指出多數的學生花費大量的時間去參與學校以外的學習活動 (Dierking & Falk, 2003)。研究中發現當在校外參與科學相關的活動愈多時，其可能因此而具有愈高的探究相關的好奇心，而具有愈多的好奇心之學生則其投入於學校之實驗室活動愈高伴隨之其探究能力也可能有較好的發展。

二、科學學習經驗對探究相關的好奇心與投入的關聯

雖然過去的研究已經針對正式與非正式的學習經驗對學生科學學習成效之影響進行許多研究，並業已提出就整體學習情境而言，正式與非正式的學習經驗應要能相互支持也同等重要 (Falk et al., 2015)。然而，本研究則提供了更進一步地去探討這兩個學習經驗對好奇心、實驗室投入以及探究能力之間的影響。

對高中學生的科學學習而言正式科學學習經驗以及非正式科學學習經驗扮演相同重要角色，兩個不同型態的學習經驗均透過不同的學習機會來促進學生在實驗室活動時的投入。然而，模式一顯示無論是正式或非正式的科學學習經驗對於實驗室投入的行為均無直接的效應，而是透過好奇心來中介 (如圖 3-4-1 所示)。即為當探究相關的好奇心作為中介來連結關係時，學生的科學學習經驗的多寡是預測他們在實驗室活動中參與的投入狀況之重要因素。此一結果與同樣探討學生之正式與非正式科學學習經驗對課室內相關科學活動之研究結果相似。Bathgate、Schunn 與 Correnti (2014) 的研究發現學生對科學的學習動機雖然最主要的來源係學校中天文、生物與物理等學科主題的活動，此研究亦指出影響學習科學的動機同樣會受到來自於學生之正式與非正式的學習經驗，透過多種來源的觸發，學生的學習動機進而可以促進他們在這些科學主題上的學習表現。而本論文所發現的探究相關好奇心之完全中介效應，恰好與 Bathgate 等人的研究結果一致，並且更進一步的發現學習的動機在這些科學主題中的探究學習係可以透過對相關活動

的好奇心之表現，而透過對探究相關的好奇心學生可以連結其先前學習科學的正式與非正式經驗，並進一步針對他們感到好奇的事物投入於學校課室中的實驗活動以進行相關的探索行為。同時，本論文的結果也可以解釋許多科學教師所指出的過去實驗室的教學，由於往往僅是驗證課本所提及的概念，且雖然是可以讓學生進行動手實作但多為設定好的實驗步驟 (NRC, 2009)。而在本論文的第一個研究中所發現之學生的實驗室學習經驗對實驗活動的投入沒有直接的影響，這可能是此種食譜式的實驗教學所致。然而，本論文同時亦發現好奇心驅動的探究活動則可以有效的透過好奇心連結學生的學習經驗與他們對實驗活動的投入，因為學生會針對他們感到好奇的事物現象，更有意願的去進行實驗的探索，以滿足他們對背後成因的知識上的不理解 (Litman, 2005; Luce & Hsi, 2015)，並進而促進他們在探究學習的表現。

由上述論述中可以發現本論文提出之影響高中學生探究能力發展的兩個模式。則不僅驗證了過去研究中的對影響學生學習投入的理論，亦更進一步的提出一個影響關係，來說明並非給予學生提供愈多學習機會與經驗就一定促進其學習投入的提升或學習成效的表現。而是需要經過個體好奇心的中介或是對所投入的實驗活動產生情意面上的好惡之後，學生所經歷的學習經驗以及所參與的活動投入才會對他們的學習具有實質上的幫助。

三、在好奇心驅動下不同投入之間的相互關聯

雖然，過去關於投入理論之論述與探討許多的研究者都主張著多面向度的觀點 (Fredricks, 2004); 並假定這些不同投入的構念之間可能存在相互影響的關係。例如: Finn 的研究中所提出之參與—認同的模式即認為當學生在學校活動中的投入或不投入的行為而被讚許或處罰，往往會伴隨其對這些活動的正向或負面的感受，進而影響他們再次參與學校活動時的行為 (Finn, 1989; Finn & Voelkl, 1993)。根據 Finn 之參與—認同模式給予教育領域兩個啟示，一為不同投入構念之間可能具有相互影響的關係，且為過去學習經驗所獲得的成就會促進或抑制情意投入

的感受並對影響其下一次活動時的行為投入；其次則為投入會影響其再投入或不再投入，即為由前次投入所得到習得之結果會再次引發學生在下次學習活動時的投入情形。此種投入影響再投入的情形亦為 Li 與 Lerner (2013)透過長期追蹤研究所證實。然而，本論文透過好奇心驅動探究能力的影響模式則進一步將學生之投入與其再投入之間相互影響之關係進行釐清。透過本論文的研究結果發現好奇心可以誘發學生對學習活動的正向情意感受，再分別透過實際活動參與的行為及和同儕互動的機會，促進對所參與的實驗活動產生更多認知層面上的投入。

此外，本論文的研究結果 (研究二)不僅證實了過去研究中對不同投入構念間的會相互影響的假說 (Fredricks et al., 2016)，並更進一步的發現在對探究能力的影響模式中，學生在實驗活動之情意投入會激發行為與社會互動投入的中介行為，而再透過認知投入的付出來對探究能力產生影響。此一研究結果分別支持 Cacioppo 與 Gardner (1999)的研究所主張之情意投入會促進學生的行為投入以及 Fredrickson 與 Joiner (2002)強調的情意面上保持正向的感受可以幫助學生的創造性思考。然而，此一結果與 Archambault 等人 (2009)所建立之學習成效 (輟學率)影響模式的發現不同。該研究發現對學生輟學率影響最大的因素係為行為投入，反而認知投入與情意投入則沒有顯著關聯。探討造成這樣差異的原因，可能為 Archambault 等人雖然認為學生的行為、認知與社會互動三種投入會與其情意投入具有高度相關，但其模式中以設定相關的方式來設定三種投入間的關係，並且直接探討三種投入對學習成效的影響，而非設定不同投入構念之間的路徑。此種作法可能會忽略不同投入之間對學習成效的中介關係，進而導致該研究成果與本論文之發現相異之處。

因此，研究二之結果不僅驗證了 Fredricks 等人 (2016)對不同投入之間影響關係的假說，亦符合 Finn 及其團隊所提出模式。此外，本論文之研究結果同時也將投入理論中多面向構念之間的影響關係加以釐清，並提出完整之影響高中學生探究能力發展模式。藉此提供科學領域之研究者及科學教師在研究上與教學上之建議。

綜上所述，本論文所提出之影響高中學生探究能力發展的兩個模式。藉由這兩個模式可以發現投入的行為是動態的，學習經驗的刺激會提升學生對特定事物現象的好奇心，進而促進學生在這個領域相關的活動中之行為或認知上的投入並從中獲得同儕的支持以增強其社會互動的投入之行為。而當學生在這三項投入中獲得成就感及在情意上產生相應之感受時，他們的探究能力才會被有效的提升。

四、台灣學生對反向論述之量表試題的反應

在研究二中所使用之「實驗室活動的投入問卷」，係根據 Fredricks (2016)所翻譯之量表試題——「數學與科學課室投入量表」，該試題係依據 106 位學生以及 24 位中學教師之晤談資料中所整理的構念而進行發展之；其中包含行為、認知、情意以及社會互動四項投入的構念，而每一構念均具有正反向論述的試題。然而，經過預試及正式施測之試題信、效度分析以及測量模式的檢定等分析步驟，將原本量表中所設計的反向題都完全剔除了。因而，本論文所提出探究能力影響模式中，並無包含學生反面投入狀態的試題。

近年來在教育心理領域中對於自陳量表之測量工具本身所產生之系統性誤差多有探討 (Podsakoff_1986; Podsakoffetal2003)。這些系統性的誤差稱之為共同方法變異/偏誤 (common method variance, CMV; common method bias, CMB) 主要是來自於量表試題之設計而導致對構念間相關的高估，同時也受到同一種測量方法的影響，使不同構面之間差異減少 (Schwarz, 2008)。而這種偏誤產生的來源大致可以分為六類：(1)語意不清或複雜的題目敘述 (2)量表試題的形式 (3)負面語意或反向題 (4)題項的引導效應 (5)試題不具中立性 (6)主旨的一致性 (7)社會期待 (8)正負向的影響 (9)暫時模式的狀態 (Schwarz, 2008; Podsakoffetal, 2003)。由上述的來源來看學生對試題之負面論述及反向題的回應是影響構念信度降低的重要因素之一，此外從研究二之試題分析也可以明確發現學生受社會期待的刻板印象而影響其反應的信度。然而，反向題的設計仍有其必要性，因為透過反向題可以減少填答者答題上的不認真作答的行為，以及可以作為檢驗潛在變項的一

致性考驗 (Schwarz, 2008)。因而，學者們常採用一些策略來避免 CMV 的偏誤的發生，例如：Podsakoff et al. (2003) 提出了透過記號變數 (Marker variable) 的技術來預防 CMV，即依據理論建議以一個虛擬的記號變數指向所有觀察變項的試題，再探討各觀察試題對其潛在變項的影響關係。

而本論文所使用相同的量表之量表研發團隊，Wang 等人 (2016) 即是為了避免四個構念之間的貢獻性過大以及 CMV 的偏誤的影響，採用雙因素模式來檢視四個構念在科學與數學的學習影響的關係。其中 Wang 等人設定一個普遍共有的變數指向所有觀察試題，其稱之為普遍性投入；另一方面則設定特定性投入的變數僅連結到試題中正向論述題。雖然 Wang 等人的研究不僅驗證了該量表工具的信效度，同時透過雙因素模式與二階層驗證性因素兩種模式的比較⁵中，發現雙因素模式具有較好的模式適配數值 ($CFI = .957$; $TLI = .949$; $RMSEA = .047$)，驗證了四項「投入構念」除了一般研究常用僅以正向的量表試題之「特殊因素」外，同時包含正反兩面的試題的「一般因素」有其存在的必要性。

雖然 Wang 等人的研究給予了投入量表及其分析方式建立了良好的依歸。但由於他們僅在探討測量模式中之驗證性因素檢定，而未針對這些構念之間的關係進行估計。故此在本論文的研究分析中，為了提供完整的結構模式來說明影響學生探究能力發展的因素及其關係，並避免參數估計上會多增加而致使造成模式適配程度不好的現象，遂依據文獻建議將因素負荷量小於.51 的試題進行剔除，以便使測量模式能夠符應所收集之資料，而達到實際學生探究能力影響模式之詮釋。然而，透過記號變數的技術或採用雙因素模式的方法將正反兩面的試題建立一個共同因素，以進行這些試題偏誤的校正後，或許可以透過投入與不投入的不同層次的行為，來為本論文所關注的模式提供更加完善的說明。

⁵在結構方程模式的驗證性因素分析中，雙因素 (bifactor) 模式和二階層 (second-order) 因素模式都可用來評估假定因素彼此之間有相關的資料結構，係為兩種選替的方法模式 (F. F. Chen, Jing, Hayes, & Lee, 2013)。

第三節 建議

依據本論文之研究結果以及與過去相關文獻所做的比較與討論，以下本節將針對現行探究實作教學及未來研究提出建議。

一、對探究與實作教學之建議

雖然過去文獻有強調正式與非正式學習經驗對學生科學學習的重要性 (Falk et al., 2015; NRC, 2009)。但並未同時針對兩種經驗對學生的科學學習成效，尤其是探究學習的結果進行實徵上的探討。本論文之研究結果不僅驗證也提供實徵上證據去支持，學生的正式與非正式科學學習經驗對科學學習之貢獻是同等重要的。當這些科學學習經驗 (尤其是來自學生日常生活的經驗)能夠提供更多探究活動相關的實作與經驗時，學生興趣導向的好奇心會被喚起進而開始更加積極的參與探究相關的活動。從這個關係來看就整體科學教育的社群而言，營造符應探究相關情境的學習經驗或許可以有效的避免學生對科學的興趣低落或隨年齡衰退的狀態 (李哲迪，2009)。因此，科學教師在推動探究相關的課程活動時，有效的運用正式學習與學生日常的非正式學習的經驗，使兩種經驗相互輔助來加強學生探究相關的好奇心及其隨之的投入意願，以達到促進科學學習之效。

此外，十二年國教所推動之探究與實作課程的精神即強調透過跨領域的主題，讓學生從生活經驗中依其對事物現象的好奇心去發掘問題、進行探索以解決問題 (教育部，2015)。而在探究能力發展模式中，好奇心驅動的科學學習則可以說明，當學生對類似探究的歷程的實驗活動感到好奇具有想要知道其背後成因的慾望時，可能會幫助他們探究能力的發展。尤其是，學生的此種求知欲望越高時他們會展現出越高的頻率去投入於探究實作課程中的探究活動並獲得較好的學習成果的表現。

最後，探究能力發展模式提出了一個值得注意的觀點，即為情意面的感受在學生探究能力發展歷程中扮演著至關重要之角色。作為驅動學生對相關活動的投入及其後續的探究能力發展的動力，探究相關好奇心如何在學校的科學課室中有

效的各種不同的學習經驗所喚起是值得關注的。此外，作為連結對實驗活動的投入對探究能力表現的中介因素，學生對實驗活動的情意上的喜歡並樂於參與其中是教育工作者需要注意的。故此，科學教育者在推動探究與實作課程以幫助學生發展探究能力之際，除了能力上的發展之外如何培養學生對探究相關實務的興趣，讓學生能夠發自內心的喜歡科學或許也是重要的課題之一。

二、對未來研究之建議

(一) 透過長期追蹤研究來確認模式之動態關係

雖然自陳量表由於其具理論導向的發展取向以及其信、效度檢定的快速便捷，因此無論是在心理學領域抑或是社會科學領域，都非常習慣使用心理計量學的方法來量測所欲探討的潛在變項 (Bagozzi & Yi, 1991)。然而，從前節中的討論可知，自陳量表的調查方式還是存在著一些爭議。因此，為了避免問卷調查法中 CMV 的偏誤發生而致使無法檢測到受試學生真實的反應，研究者們除了採用施測完成後資料處理的分析策略 (例如：記號變數法) 來避免 CMV 的偏誤發生。此外，學者們同時也建議可以透過事前預防的問卷設計策略 (例如：時間/場域隔離法)，來預先排除量表本身可能的存在的偏誤。時間/場域隔離法 (temporal/location separation) 為隔離式資料蒐集法之一種常見的方法，係透過不同的時間點與場域的方式對學生進行多次的資料收集 (Schwarz, Schwarz, & Rizzuto, 2008)。例如：例如在探討學生之學習動機 (motivation) 與學習成效 (performance) 時，可在學期開始前先調查學生之學習動機，於學期結束後再調查該批學生之學習成效；或是將自變項與依變項依照時間先後順序，在不同場合地點分開測得 (Podsakoff, MacKenzie, Lee, & Podsakoff, 2003)。而透過此種多次資料收集的步驟，可以有效的排除學生來自量表問卷所得之心理潛在之狀態是暫時的或當下的狀態而非真正心理反應。

多次評量除了可以排除自陳量表的 CMV 之偏誤外，同時也可以透過不同時間的追蹤研究，來探討隨時間或課程教學中介後學生心理狀態的改變情形，以為

教育研究者及教學現場之教師提供一個完整的全貌。例如：為了探討社會互動投入中教師支持行為學生學習投入的動態影響關係，Jang, Kim 與 Reeve (2016)即透過不同時間的追蹤研究，來分析三個時間點中教師支持透過學生需求的滿足而對學習投入的影響情形（教師支持_{time1}→學生需求滿足_{time2}→學習的投入與否_{time3}）。

而雖然提出的高中學生探究能力影響統整模式，並嘗試說明從科學學習經驗透過好奇心以及實驗室活動的投入來促進學生探究能力的動態發展歷程。然而，本論文中所使用的各向量表工具及其所收集到之學生資訊，都僅為同一時間點的單次施測所獲得之結果。因此，在各潛在變項間之因果關係未能給予強烈的實徵資料上的宣稱，且對影響學生探究能力提出一個真正完整的動態說明。故此，未來研究上可以考慮採用追蹤研究的方法來檢驗本論文所提之探究能力影響統整模式，以期能為科學教師提供教學上之參考。

（二）投入模式中的反向構念的建置

雖然，透過 CMV 的事後資料分析策略可以有效的減少觀察試題間的變異以及潛在變項間的共線性問題。然而，如同 CMV 之記號變項的設置需要依據文獻之理論建構一般。從過去投入理論之發展及先前研究所提出之實徵結果可知，學生的學習不投入會造成其逃避學習的因素之一 (Finn & Voelkl, 1993)或者學習環境或教師的不支持行為可能影響學生不投入的發生 (Jang et al., 2016)。

然而，雖然本論文之探究能力影響模式已然可以解釋從教學環境到探究能力表現，學生的各項因素之間的影响方式及其關係，但卻由於未將學生的不投入構念放到整個架構中加以思考。因而也許未能對學生實際參與實驗室活動的真實狀況做一完整的描述。例如：當學生參與過多的非正式科學學習的活動是否會影響其在實驗室活動時認知或行為上的不投入，因為可能需要花費額外的時間與心力去完成這些課外的活動。因此，未來研究或許可以考慮在模式中依據理論建議的建立不投入的各項構念，以期能為學生的探究能力發展提出一個更加完善的影響模式，來說明並幫助學生發展科學探究能力。



參考文獻

中文部分

- 王月春. (2004). 科學史融入理化教學促進學生科學探究能力之研究. *國立高雄師範大學化學系碩士論文*, (未出版).
- 白佩宜. (2009). 探討不同探究式教學法對高一學生科學探究能力成長之影響. *國立臺灣師範大學地球科學系碩士論文*, (未出版).
- 任宗浩. (2017). 第三章 研究設計與資料分析. In 林陳涌 (Ed.), *國際數學與科學教育成就趨勢調查國家報告. 2011* (2 ed.). 臺北市: 國立臺灣師範大學科學教育中心.
- 吳怡慧. (2014). 探討 POE-Inquiry 教學策略對國中八年級學生科學探究能力之影響. *國立臺灣師範大學物理系碩士論文*, (未出版).
- 吳明隆. (2009). *結構方程模式-SIMPLIS 的應用*. 臺北市: 五南出版社.
- 吳珮嘉. (2011). 高中學生生命科學實驗設計能力之研究. *國立臺灣師範大學生命科學研究所碩士論文*, (未出版).
- 呂建逸. (2004). 知識嵌入式探究能力與創造力的關聯性. *國立高雄師範大學化學系碩士論文*, (未發表).
- 宋雅鈴. (2009). 應用歷程分析於生物科學探究評量之研究. *國立交通大學理學院碩士論文*, (未出版).
- 李思嫻. (2012). 運用網路資源進行探究教學-以四年級月相概念學習為例. *國立交通大學資訊學院數位圖書資訊學程碩士論文*, (未出版).
- 李哲迪. (2009). 臺灣國中學生在 TIMSS 及 PISA 的科學學習成果表現及其啟示. *研習資訊*, 26(2), 73-88.
- 沈奕樟. (2013). 5E 學習環教學模式奈米特性教材對高一學生探究能力與學習成效之影響. *國立彰化師範大學物理學系碩士論文*, (未出版).
- 東慶瑋. (2011). 以探究教學提升國中學生科學探究能力與自我效能之行動研究. *國立彰化師範大學科學教育研究所碩士論文*, (未出版).
- 林正發. (2008). 在巢狀探究模式中以圖表提升國二學生科學探究能力之行動研究. *國立彰化師範大學科學教育研究所碩士論文*, (未出版).
- 林建毅. (2015). 透過 IESWE 探究教學模組提升學生科學探究能力與科學本質之研究. *國立東華大學課程設計與潛能開發學系碩士論文*, (未出版).
- 林素微. (1998). 實作評量在數學教學上的應用. In 國小教學評量的反省與前瞻 (Ed.): 台南師院測驗發展中心.
- 邱浩政. (2005). *結構方程模式—LISREL 的理論、技術與應用*. 臺北市: 雙葉書局.
- 柯翠菱. (2014). 以評量回饋教學融入國二學生科學探究能力學習進程之研究. *國立屏東教育大學數理教育研究所碩士論文*, (未出版).
- 洪文東. (2004). 九年一貫課程「自然與生活科技」學習領域科學探究能力之培養研究—以探究式教學活動設計提升學生科學研究能力. *行政院國家科學委員會專題研究計劃期中報告*

- 洪振方, & 陳毓凱. (2011). 高中探究本位課程之設計與實施的個案研究---以新興科技議題為例. *科學教育學刊*, 19(1), 1-23. doi:10.6173/CJSE.2011.1901.01
- 張文馨. (2010). 探討後設認知引導策略對學生探究能力與概念改變的影響. *國立臺灣師範大學地球科學系碩士論文*, (未出版).
- 教育部. (2014). *十二年國民基本教育課程綱要總綱*. 臺北市: 教育部.
- 教育部. (2015). *國民中小學暨普通型高級中等學校: 自然科學領域課程綱要草案*. 臺北市: 教育部.
- 許瑋琇. (2010). 鷹架式探究課程對高中生探究能力之影響. *國立臺灣師範大學地球科學系碩士論文*, (未出版).
- 郭泓男. (2013). 探討導入科學探究教學於科展培訓對學生科學探究能力之影響. *國立臺灣師範大學科學教育研究所碩士論文*, (未出版).
- 陳君婷. (2011). 探討科學推理融入科學探究課程對國小學生探究能力與科學推理之影響. *國立交通大學教育研究所碩士論文*, (未出版).
- 陳佳雲. (2010). 鷹架探究式學習與問題導向式之數位學習活動對國中生概念理解、科學態度及探究能力的影響. *國立彰化師範大學商業教育學系士論文*, (未出版).
- 陳梅香. (2010). 探討鷹架式網路形成科學議題課程對國小學生形成科學議題能力與科學探究能力之影響. *國立交通大學教育研究所碩士論文*, (未出版).
- 彭天音. (2010). 探討氣象探究網路競賽中學生科學探究能力的表現. *國立臺灣師範大學地球科學系碩士論文*, (未出版).
- 黃芳銘. (2007). *結構方程模式: 理論與應用*. 臺北市: 五南出版社.
- 黃淑卿. (2004). 利用探究教學提昇國一學生科學探究能力之行動研究. *國立彰化師範大學科學教育研究所碩士論文*, (未出版).
- 黃傳俊. (2015). 實施實驗式探究教學對於國小五年級學生科學探究能力表現之研究. *國立嘉義大學數理教育研究所碩士論文*, (未出版).
- 黃富順. (2005). *對我國實施非正規學習成就認證之省思與展望*. 台北市: 師大書苑.
- 黃瑟芸. (2008). 實施探究教學之行動研究對提昇八年級學生科學知識觀與探究能力之影響. *國立彰化師範大學科學教育研究所碩士論文*, (未出版).
- 楊志平. (2008). 利用「巢狀探究教學模式」提升高中生科學探究能力之行動研究—以「酸鹼滴定」為例. *國立彰化師範大學科學教育研究所碩士論文*, (未出版).
- 楊秀婷, & 王國華. (2007). 實施引導式探究教學對於國小學童學習成效之影響. *科學教育學刊*, 15(4), 439-459.
- 劉宏文, & 張惠博. (2001). 高中學生進行開放式探究活動之個案研究-問題的形成與解決. *科學教育學刊*, 9(2), 169-196.
- 蔡佩綾. (2015). 論證取向之生物科技議題線上模組對國中學生概念及探究能力之影響. *國立臺灣師範大學生命科學系碩士論文*, (未出版).
- 蔡錕承, & 張欣怡. (2011). 結合實物與虛擬實驗促進八年級學生「溫度與熱」知識整合、實驗能力與學習策略之研究. *科學教育學刊*, 19(5), 435-460. doi:10.6173/CJSE.2011.1905.03

- 蕭景隆. (2014). 以情境式數位遊戲提升學生解釋科學現象及科學探究能力之研究. *國立臺北教育大學自然科學教育學系碩士論文*. (未出版).
- 謝莉文. (2006). 鷹架式科學探究課程研發與實踐的個案研究. *國立臺灣師範大學地球科學系碩士論文*. (未出版).
- 簡晉龍, & 任宗浩. (2011). 邁向科學之路？臺灣中學生性別對科學生涯選擇意向之影響. *科學教育學刊*, 19(5), 461-481. doi:10.6173/CJSE.2011.1905.04

西文部分

- Abd-El-Khalick, F., Boujaoude, S., Duschl, R., Lederman, N. G., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A., . . . Tuan, H. L. (2004). Inquiry in science education: International perspectives. *Science Education*, 88, 394-419. doi:10.1002/sce.10118
- Adams, R. J., & Wu, M. L. (2007). The mixed-coefficients multinomial logit model: A generalized form of the Rasch model. In M. von Davier & C. H. Carstensen (Eds.), *Multivariate and mixture distribution Rasch models: Extensions and applications* (pp. 55-76). London, UK: Springer.
- Allen, S. (2004). Designs for learning: Studying science museum exhibits that do more than entertain. *Science Education*, 88(S1), S17-S33. doi:10.1002/sce.20016
- American Association for the Advancement of Science. (1989). *Science for all Americans : A Project 2061 report on literacy goals in science, mathematics, and technology*. Washington, DC: American Association for the Advancement of Science.
- American Association for the Advancement of Science. (1993). *Benchmarks for science literacy*. New York, NY: Oxford University Press.
- American Educational Research Association, American Psychological Association, & National Council on Measurement in Education. (1999). *Standards for educational and psychological testing*. Washington, DC: American Educational Research Association.
- Anderson, J. C., & Gerbing, D. W. (1988). Structural equation modeling in practice: A review and recommended two-step approach. *Psychological Bulletin*, 103(3), 411-423. doi:10.1037//0033-2909.103.3.411
- Archambault, I., Janosz, M., Fallu, J. S., & Pagani, L. S. (2009). Student engagement and its relationship with early high school dropout. *Journal of Adolescence*, 32(3), 651-670. doi:10.1016/j.adolescence.2008.06.007
- Ash, D. (2003). Dialogic inquiry in life science conversations of family groups in a museum. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(2), 138-162. doi:10.1002/tea.10069
- Astin, A. W. (1984). Student involvement: A developmental theory for higher education. *Journal of college student personnel*, 25(4), 297-308.
- Azevedo, F. S. (2011). Lines of practice: A practice-centered theory of interest relationships. *Cognition and Instruction*, 29(2), 147-184. doi:10.1080/07370008.2011.556834
- Bagozzi, R. P., & Yi, Y. (1988). On the evaluation of structural equation models. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 16(1), 74-94. doi:10.1007/bf02723327

- Bagozzi, R. P., & Yi, Y. (1991). Multitrait-multimethod matrices in consumer research. *Journal of Consumer Research*, 17(4), 426-439.
- Bathgate, M. E., Schunn, C. D., & Correnti, R. (2014). Children's motivation toward science across contexts, manner of interaction, and topic. *Science Education*, 98(2), 189-215. doi:10.1002/sce.21095
- Berlyne, D. E. (1954). A Theory of human curiosity. *British Journal of Psychology*, 45(3), 180-191. doi:10.1111/j.2044-8295.1954.tb01243.x
- Blumenfeld, P. C., & Meece, J. L. (1988). Task factors, teacher behavior, and students' involvement and use of learning strategies in science. *The Elementary School Journal*, 88(3), 235-250. doi:10.1086/461536
- Bollen, K. A. (1989). *Structural equations with latent variables*. New York, NY: Wiley.
- Buffler, A., Allie, S., & Lubben, F. (2001). The development of first year physics students' ideas about measurement in terms of point and set paradigms. *International Journal of Science Education*, 23(11), 1137-1156. doi:10.1080/09500690110039567
- Cacioppo, J. T., & Gardner, W. L. (1999). The affect system has parallel and integrative processing components: Form follows function. *Journal of Personality and Social Psychology*, 76(5), 839-855. doi:10.1037/0022-3514.76.5.839
- Callanan, M. A., & Jipson, J. (2001). Explanatory conversations and young children's developing scientific literacy. In K. Crowley, C. D. Schunn, & T. Okada (Eds.), *Designing for science: Implications from everyday, classroom, and professional settings* (pp. 21-49). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associations.
- Callanan, M. A., & Oakes, L. M. (1992). Preschoolers' questions and parents' explanations: Causal thinking in everyday activity. *Cognitive Development*, 7(2), 213-233. doi:10.1016/0885-2014(92)90012-G
- Chen, F., Curran, P. J., Bollen, K. A., Kirby, J., & Paxton, P. (2008). An empirical evaluation of the use of fixed cutoff points in RMSEA test statistic in structural equation models. *Sociological Methods & Research*, 36(4), 462-494. doi:10.1177/0049124108314720
- Chen, F. F., Jing, Y., Hayes, A., & Lee, J. M. (2013). Two concepts or two approaches? A bifactor analysis of psychological and subjective well-being. *Journal of Happiness Studies*, 14(3), 1033-1068. doi:10.1007/s10902-012-9367-x
- Chin, C., & Chia, L.-G. (2004). Problem-based learning: Using students' questions to drive knowledge construction. *Science Education*, 88(5), 707-727. doi:10.1002/sce.10144
- Chin, C., & Osborne, J. (2008). Students' questions: a potential resource for teaching and learning science. *Studies in Science Education*, 44(1), 1-39. doi:10.1080/03057260701828101
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Hillsdale, N.J. : Lawrence Erlbaum Associates.
- Comrey, A. L., & Lee, H. B. (1992). *A first course in factor analysis*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16(3), 297-

334. doi:10.1007/bf02310555

- De Jesus Pedrosa, H., Teixeira-Dias, J. J. C., & Watts, M. (2003). Questions of chemistry. *International Journal of Science Education*, 25(8), 1015-1034. doi:10.1080/09500690305022
- Dierking, L. D., & Falk, J. H. (2003). Optimizing out-of-school time: The role of free-choice learning. *New Directions for Youth Development*, 2003(97), 75-88. doi:10.1002/yd.36
- Eccles, J. S., & Wang, M. (2012). *Part I commentary: So what is student engagement anyway?* Retrieved from New York, NY:
- Engel, S. (2011). Children's need to know: Curiosity in schools. *Harvard educational review*, 81(4), 625-645. doi:10.17763/haer.81.4.h054131316473115
- Engle, R. A., & Conant, F. R. (2002). Guiding principles for fostering productive disciplinary engagement: Explaining an emergent argument in a community of learners classroom. *Cognition and Instruction*, 20(4), 399-483. doi:10.1207/s1532690xci2004_1
- Entwisle, D. R., Alexander, K. L., & Olson, L. S. (2005). First grade and educational attainment by age 22: A new story. *American Journal of Sociology*, 110(5), 1458-1502. doi:10.1086/428444
- Erickson, F., & Shultz, J. (1992). Students' experience of the curriculum. In P. W. Jackson (Ed.), *Handbook of Research on Curriculum: A Project of the American Educational Research Association* (pp. 465-485). New York: Macmillan.
- Falk, J. H., Dierking, L. D., Osborne, J., Wenger, M., Dawson, E., & Wong, B. (2015). Analyzing science education in the United Kingdom: Taking a system-wide approach. *Science Education*, 99(1), 145-173. doi:10.1002/sce.21140
- Fender, J. G., & Crowley, K. (2007). How parent explanation changes what children learn from everyday scientific thinking. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 28(3), 189-210. doi:10.1016/j.appdev.2007.02.007
- Finn, J. D. (1989). Withdrawing from school. *Review of Educational Research*, 59(2), 117-142. doi:10.3102/00346543059002117
- Finn, J. D., & Voelkl, K. E. (1993). School characteristics related to student engagement. *The Journal of Negro Education*, 62(3), 249-268. doi:10.2307/2295464
- Forman, E. A., Engle, R. A., Venturini, P., & Ford, M. J. (2014). Introduction to special issue: International examinations and extensions of the productive disciplinary engagement framework. *International Journal of Educational Research*, 64, 149-155. doi:10.1016/j.ijer.2013.07.007
- Fornell, C., & Larcker, D. F. (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of Marketing Research*, 18(1), 39-50. doi:10.2307/3151312
- Foy, P., Galia, J., & Li, I. (2008). Chapter 11: Scaling the data from the TIMSS 2007 mathematics, science assessments. In J. F. Olson, M. O. Martin, & I. V. S. Mullis (Eds.), *TIMSS, 2007 technical report* (pp. 225-280). Chestnut Hill, MA: TIMSS & PIRLS International Study Center, Boston College.
- Fraser, B. J., & McRobbie, C. J. (1995). Science laboratory classroom environments at schools and universities: A cross-national study. *Educational Research and Evaluation*, 1(4), 289-317.

doi:10.1080/1380361950010401

- Fredricks, J. A., Blumenfeld, P. C., & Paris, A. H. (2004). School engagement: Potential of the concept, state of the evidence. *Review of Educational Research*, 74(1), 59-109. doi:10.3102/00346543074001059
- Fredricks, J. A., & Eccles, J. S. (2002). Children's competence and value beliefs from childhood through adolescence: Growth trajectories in two male-sex-typed domains. *Journal of Developmental Psychology*, 38(4), 519-533. doi:10.1037/0012-1649.38.4.519
- Fredricks, J. A., Wang, M.-T., Schall Linn, J., Hofkens, T. L., Sung, H., Parr, A., & Allerton, J. (2016). Using qualitative methods to develop a survey measure of math and science engagement. *Learning and Instruction*, 43, 5-15. doi:10.1016/j.learninstruc.2016.01.009
- Fredrickson, B. L., & Joiner, T. (2002). Positive emotions trigger upward spirals toward emotional well-being. *Psychological Science*, 13(2), 172-175. doi:10.1111/1467-9280.00431
- Freedman, M. P. (1997). Relationship among laboratory instruction, attitude toward science, and achievement in science knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(4), 319-424. doi:10.1002/(SICI)1098-2736(199704)34:4<343::AID-TEA5>3.0.CO;2-R
- French, D. C., & Conrad, J. (2001). School dropout as predicted by peer rejection and antisocial behavior. *Journal of Research on Adolescence*, 11(3), 225-244. doi:10.1111/1532-7795.00011
- Gauld, C. F., & Hukins, A. A. (1980). Scientific attitudes: A review. *Studies in Science Education*, 7(1), 129-161. doi:10.1080/03057268008559877
- Gefen, D., Straub, D., & Boudreau, M.-C. (2000). Structural equation modeling and regression: Guidelines for research practice. *Communications of the Association for Information Systems*, 4(1), Article 7.
- Germann, P. J., Aram, R., Odom, A. L., & Burke, G. (1996). Student performance on asking questions, identifying variables, and formulating hypotheses. *School Science and Mathematics*, 96(4), 192-201. doi:10.1111/j.1949-8594.1996.tb10224.x
- Greene, B. A., & Miller, R. B. (1996). Influences on achievement: Goals, perceived ability, and cognitive engagement. *Contemporary Educational Psychology*, 21(2), 181-192. doi:10.1006/ceps.1996.0015
- Greene, B. A., Miller, R. B., Crowson, H. M., Duke, B. L., & Akey, K. L. (2004). Predicting high school students' cognitive engagement and achievement: Contributions of classroom perceptions and motivation. *Contemporary Educational Psychology*, 29(4), 462-482. doi:10.1016/j.cedpsych.2004.01.006
- Greenwood, C. R. (1996). The case for performance-based instructional models. *School Psychology Quarterly*, 11(4), 283-296. doi:10.1037/h0088935
- Greenwood, C. R., Horton, B. T., & Utley, C. A. (2002). Academic engagement: Current perspectives on research and practice. *School Psychology Review*, 31(3), 328-349.
- Gunuc, S., & Kuzu, A. (2015a). Confirmation of Campus-Class-Technology Model in student engagement: A path analysis. *Computers in Human Behavior*, 48, 114-125.

doi:10.1016/j.chb.2015.01.041

- Gunuc, S., & Kuzu, A. (2015b). Student engagement scale: development, reliability and validity. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 40(4), 587-610. doi:10.1080/02602938.2014.938019
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2009). *Multivariate data analysis*. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.
- Harrington, D. (2008). *Confirmatory factor analysis*. New York, NY: Oxford University Press.
- Hidi, S., & Renninger, K. A. (2006). The four-phase model of interest development. *Educational Psychologist*, 41(2), 111-127. doi:10.1207/s15326985ep4102_4
- Hiebert, J., Carpenter, T. P., Fennema, E., Fuson, K., Human, P., Murray, H., . . . Wearne, D. (1996). Problem solving as a basis for reform in curriculum and instruction: The case of mathematics. *Educational Researcher*, 25(4), 12-21. doi:10.3102/0013189X025004012
- Hoffmann, L. (2002). Promoting girls' interest and achievement in physics classes for beginners. *Learning and Instruction*, 39(9), 870-888. doi:10.1002/tea.10048
- Hofstein, A., & Kind, P. M. (2012). Learning in and from science laboratories. In B. J. Fraser, K. Tobin, & C. J. McRobbie (Eds.), *Springer International Handbooks of Education, Second International Handbook of Science Education* (Vol. 24, pp. 189-207). Dordrecht, Netherlands: Springer.
- Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (1982). The role of the laboratory in science teaching: Neglected aspects of research. *Review of Educational Research*, 52(2), 201-217. doi:10.3102/00346543052002201
- Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88(1), 28-54. doi:10.1002/sce.10106
- Hofstein, A., & Rosenfeld, S. (1996). Bridging the gap between formal and informal science learning. *Studies in Science Education*, 28(1), 87-112. doi:10.1080/03057269608560085
- Hooper, D., Coughlan, J., & Mullen, M. (2008). Structural equation modelling: Guidelines for determining model fit. *Electronic Journal of Business Research Methods*, 6(1), 53-60.
- Hoyle, R. H. (1995). *Structural equation modeling: Concepts, issues, and applications*. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications Inc.
- Hu, L.-t., Bentler, P. M., & Kano, Y. (1992). Can test statistics in covariance structure analysis be trusted? *Psychological Bulletin*, 112(2), 351-362. doi:10.1037/0033-2909.112.2.351
- Hughes, J. N., Luo, W., Kwok, O. M., & Loyd, L. K. (2008). Teacher-student support, effortful engagement, and achievement: A 3-year longitudinal study. *Journal of Educational Psychology*, 100(1), 1-14. doi:10.1037/0022-0663.100.1.1
- Jöreskog, K. G., & Sörbom, D. (1996). *LISREL 8: User's reference guide* (2nd ed.). Lincolnwood, IL: Scientific Software International.
- Järvelä, S., Järvenoja, H., Malmberg, J., Isohätälä, J., & Sobocinski, M. (2016). How do types of interaction and phases of self-regulated learning set a stage for collaborative engagement? *Learning and Instruction*, 43, 39-51. doi:10.1016/j.learninstruc.2016.01.005

- Jang, H., Kim, E. J., & Reeve, J. (2016). Why students become more engaged or more disengaged during the semester: A self-determination theory dual-process model. *Learning and Instruction*, 43, 27-38. doi:10.1016/j.learninstruc.2016.01.002
- Jirout, J., & Klahr, D. (2012). Children's scientific curiosity: In search of an operational definition of an elusive concept. *Developmental Review*, 32(2), 125-160. doi:10.1016/j.dr.2012.04.002
- Kahraman, N. (2014). Cross-grade comparison of relationship between students' engagement and TIMSS 2011 Science Achievement. *Egitim Ve Bilim-Education and Science*, 39(172), 95-107.
- Kearsley, G., & Shneiderman, B. (1998). Engagement Theory : A framework for technology-based teaching and learning. *Educational Technology*, 38(5), 20-23.
- Kelloway, E. K. (1998). *Using LISREL for structural equation modeling: A researcher's guide*. Thousand Oaks, CA: Sage.
- Klahr, D., & Carver, S. M. (1995). Scientific thinking about scientific thinking. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 60(4), 137-151.
- Kline, R. B. (2011). *Principles and practice of structural equation modeling* (3rd ed.). New York, NY: Guilford Publications.
- Kolodner, J. L., Camp, P. J., Crismond, D., Fasse, B., Gray, J., Holbrook, J., . . . Ryan, M. (2003). Problem-based learning meets case-based reasoning in the Middle-School science classroom: Putting Learning by Design™ Into practice. *Journal of the Learning Sciences*, 12(4), 495-547.
- Koslowski, B. (1996). *Theory and evidence: The development of scientific reasoning*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Krajcik, J. (2015, August). *Constructing assessment tasks that integrate core ideas, science practices and crosscutting concepts*. Paper presented at the biannual conference of European Science Education Research Association Meeting, Helsinki, Finland.
- Krajcik, J., Blumenfeld, P. C., Marx, R. W., Bass, K. M., Fredricks, J. A., & Soloway, E. (1998). Inquiry in project-based science classrooms: Initial attempts by middle school students. *Journal of the Learning Sciences*, 7(3&4), 313-350. doi:10.1080/10508406.1998.9672057
- Krajcik, J., & Czerniak, C. M. (2007). *Teaching children science in elementary and middle school classrooms: A project-based approach*. New York, NY: McGraw-Hill.
- Krajcik, J., Czerniak, C. M., & Berger, C. (2003). *Teaching children science in elementary and middle school classrooms: A project-based approach*. New York: McGraw-Hill.
- Krapp, A. (2002). *An educational-psychological theory of interest and its relation to SDT*. Rochester, NY: University of Rochester Press.
- Krapp, A., & Prenzel, M. (2011). Research on Interest in science: Theories, methods, and findings. *International Journal of Science Education*, 33(1), 27-50. doi:10.1080/09500693.2010.518645
- Kuh, G. D. (2003). What we're learning about student engagement from NSSE: Benchmarks for effective educational practices. *Education Collection*, 35(2), 24-32. doi:10.1080/00091380309604090
- Kuh, G. D. (2009). What student affairs professionals need to know about student engagement. *Education Collection*, 50(6), 683-706. doi:10.1353/csd.0.0099

- Kuo, C.-Y., Wu, H.-K., Jen, T.-H., & Hsu, Y.-S. (2015). Development and validation of a multimedia-based assessment of scientific inquiry abilities. *International Journal of Science Education*, 37(14), 2326-2357. doi:10.1080/09500693.2015.1078521
- Leibham, M. B., Alexander, J. M., & Johnson, K. E. (2013). Science interests in preschool boys and girls: Relations to later self-concept and science achievement. *Science Education*, 97(4), 574-593. doi:10.1002/sce.21066
- Li, Y. B., & Lerner, R. M. (2013). Interrelations of behavioral, emotional, and cognitive school engagement in high school students. *Journal of Youth and Adolescence*, 42(1), 20-32. doi:10.1007/s10964-012-9857-5
- Linnenbrink-Garcia, L., Rogat, T. K., & Koskey, K. L. K. (2011). Affect and engagement during small group instruction. *Contemporary Educational Psychology*, 36(1), 13-24. doi:10.1016/j.cedpsych.2010.09.001
- Litman, J. A. (2005). Curiosity and the pleasures of learning: Wanting and liking new information. *Cognition and Emotion*, 19(6), 793-814. doi:10.1080/02699930541000101
- Litman, J. A., Hutchins, T., & Russon, R. (2005). Epistemic curiosity, feeling-of-knowing, and exploratory behaviour. *Cognition and Emotion*, 19(4), 559-582. doi:10.1080/02699930441000427
- Litman, J. A., & Jimerson, T. L. (2004). The measurement of curiosity as a feeling of deprivation. *Journal of personality assessment*, 82(2), 147-157. doi:10.1207/s15327752jpa8202_3
- Loewenstein, G. (1994). The psychology of curiosity: A review and reinterpretation. *Psychological Bulletin*, 116(1), 75-98. doi:10.1037//0033-2909.116.1.75
- Lorch, R. F., Lorch, E. P., Calderhead, W. J., Dunlap, E. E., Hodell, E. C., & Freer, B. D. (2010). Learning the control of variables strategy in higher and lower achieving classrooms: Contributions of explicit instruction and experimentation. *Journal of Educational Psychology*, 102(1), 90-101. doi:10.1037/a0017972
- Luce, M. R., & Hsi, S. (2015). Science-relevant curiosity expression and interest in science: An exploratory study. *Science Education*, 99(1), 70-97. doi:10.1002/sce.21144
- Martin, L. M. W. (2004). An emerging research framework for studying informal learning and schools. *Science Education*, 88(S1), S71-S82. doi:10.1002/sce.20020
- Martin, M. O., & Mullis, I. V. S. (2012). *Methods and procedures in TIMSS and PIRLS 2011*. Chestnut Hill, MA: TIMSS & PIRLS International Study Center, Boston College.
- McNeill, K. L. (2011). Elementary students' views of explanation, argumentation, and evidence, and their abilities to construct arguments over the school year. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(7), 793-823. doi:10.1002/tea.20430
- Meece, J. L., Blumenfeld, P. C., & Hoyle, R. H. (1988). Students' goal orientations and cognitive engagement in classroom activities. *Journal of Educational Psychology*, 80(4), 514-523. doi:10.1037/0022-0663.80.4.514
- Mehrens, W. A. (1992). Using performance assessment for accountability purposes. *Educational*

- Measurement: Issues and Practice*, 11(1), 3-20. doi:10.1111/j.1745-3992.1992.tb00220.x
- Mislevy, R. J., Johnson, E. G., & Muraki, E. (1992). Scaling procedures in NAEP. *Journal of Educational and Behavioral Statistics*, 17(2), 131-154. doi:10.3102/10769986017002131
- Mussel, P. (2010). Epistemic curiosity and related constructs: Lacking evidence of discriminant validity. *Personality and Individual Differences*, 49(5), 506-510. doi:10.1016/j.paid.2010.05.014
- Myers, M. J., & Burgess, A. B. (2003). Inquiry-based laboratory course improves students' ability to design experiments and interpret data. *Advances In Physiology Education*, 27(1), 26-33. doi:10.1152/advan.00028.2002
- National Research Council. (1996). *National science education standards*. Washington, DC: National Academy Press.
- National Research Council. (2000). *Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning*. Washington, DC: National Academy Press.
- National Research Council. (2006). *America's lab report: Investigations in high school science*. Committee on High School Science Laboratories: Role and Vision, S.R. Singer, M.L. Hilton, and H.A. Schweingruber, Editors. Board on Science Education, Center for Education. Division of Behavioral and Social Sciences and Education. Washington, DC: National Academies Press.
- National Research Council. (2009). *Learning science in informal environments: People, places, and pursuits*. Washington, DC: National Academy Press.
- National Research Council. (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Committee on a Conceptual Framework for New K-12 Science Education Standards. Board on Science Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education. Washington, DC: National Academies Press.
- Newmann, F. M., Wehlage, G. G., & Lamborn, S. D. (1992). The significance and sources of student engagement. In F. M. Newmann (Ed.), *Student Engagement and Achievement in American Secondary Schools*. New York, NY: Teachers College Press.
- Norris, S. P., & Phillips, L. M. (2003). How literacy in its fundamental sense is central to scientific literacy. *Science Education*, 87(2), 224-240.
- Nystrand, M., & Gamoran, A. (1991). Instructional Discourse, Student Engagement, and Literature Achievement. *Research in the Teaching of English*, 25(3), 261-290.
- Ogawa, M. (1995). Science-education in a multiscience perspective. *Science Education*, 79(5), 583-593. doi:10.1002/sce.3730790507
- Ohio Department of Education. (2002). *Oregon Standards*. Retrieved from Salem, OR:
- Ohio Department of Education. (2007). *Science teaching and learning to standards: Oregon teacher resources 2007-2009*. Retrieved from Salem, OR: <http://www.ode.state.or.us/search/results/?id=246>
- Oliver, J. S., & Simpson, R. D. (1988). Influences of attitude toward science, achievement motivation, and science self concept on achievement in science: A longitudinal study. *Science Education*, 72(2), 143-155. doi:10.1002/sce.3730720204

- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2009). *PISA 2006 technical report*. Paris, France: OECD.
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2012). *PISA 2009 technical report*. Paris, France: OECD.
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2013, March). *PISA 2015: Draft science framework*. Retrieved from <http://www.oecd.org/pisa/pisaproducts/Draft%20PISA%202015%20Science%20Framework%20.pdf>
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2016). *PISA 2015 results: Excellence and equity in education (Volume I)*. Retrieved from
- Penner, D. E., Lehrer, R., & Schauble, L. (1998). From physical models to biomechanics: A design-based modeling approach. *Journal of the Learning Sciences*, 7(3&4), 429-449. doi:10.1080/10508406.1998.9672060
- Pine, J., Aschbacher, P., Roth, E., Jones, M., McPhee, C., Martin, C., . . . Foley, B. (2006). Fifth graders' science inquiry abilities: A comparative study of students in hands-on and textbook curricula. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(5), 467-484. doi:10.1002/tea.20140
- Podsakoff, P. M., MacKenzie, S. B., Lee, J. Y., & Podsakoff, N. P. (2003). Common method biases in behavioral research: a critical review of the literature and recommended remedies. *Journal of Applied Psychology*, 88(5), 879-903. doi:10.1037/0021-9010.88.5.879
- Quellmalz, E. S., Timms, M. J., Silbergliitt, M. D., & Buckley, B. C. (2012). Science assessments for all: Integrating science simulations into balanced state science assessment systems. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(3), 363-393. doi:10.1002/tea.21005
- Rutkowski, L., Gonzalez, E., Joncas, M., & von Davier, M. (2010). International large-scale assessment data: Issues in secondary analysis and reporting. *Educational Researcher*, 39(2), 142-151. doi:10.3102/0013189x10363170
- Ryan, A. M., & Patrick, H. (2001). The classroom social environment and changes in adolescents' motivation and engagement during middle school. *American Educational Research Journal*, 38(2), 437-460. doi:10.3102/00028312038002437
- Scheuermann, F., & Björnsson, J. (Eds.). (2009). *The transition to computer-based assessment: New approaches to skills assessment and implications for large-scale testing*. Luxembourg: European Communities.
- Schwarz, A., Schwarz, C., & Rizzuto, T. (2008, 7-10 Jan. 2008). *Examining the "urban legend" of common method bias: Nine common errors and their impact*. Paper presented at the 41st Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS 2008), Waikoloa, HI.
- Shernoff, D. J., Kelly, S., Tonks, S. M., Anderson, B., Cavanagh, R. F., Sinha, S., & Abdi, B. (2016). Student engagement as a function of environmental complexity in high school classrooms. *Learning and Instruction*, 43, 52-60. doi:10.1016/j.learninstruc.2015.12.003
- Shumow, L., Schmidt, J. A., & Zaleski, D. J. (2013). Multiple perspectives on student learning,

- engagement, and motivation in high school biology labs. *The High School Journal*, 96(3), 232-252. doi:10.1353/hsj.2013.0010
- Skinner, E. A., & Belmont, M. J. (1993). Motivation in the classroom: Reciprocal effects of teacher behavior and student engagement across the school year. *Journal of Educational Psychology*, 85(4), 571 -581 doi:10.1037//0022-0663.85.4.571
- Songer, N. B., Lee, H.-S., & McDonald, S. (2003). Research towards an expanded understanding of inquiry science beyond one idealized standard. *Science Education*, 87(4), 490-516. doi:10.1002/sce.10085
- Stocklmayer, S. M., Rennie, L. J., & Gilbert, J. K. (2010). The roles of the formal and informal sectors in the provision of effective science education. *Studies in Science Education*, 46(1), 1-44. doi:10.1080/03057260903562284
- Stohr-Hunt, P. M. (1996). An analysis of frequency of hands-on experience and science achievement. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(1), 101-109. doi:10.1002/(SICI)1098-2736(199601)33:1<101::AID-TEA6>3.0.CO;2-Z
- Tamir, P. (1978). Inquiry and curiosity in biology. *Journal of Biological Education*, 12(3), 215-223. doi:10.1080/00219266.1978.9654199
- Teo, T., Tsai, L. T., & Yang, C.-C. (2013). Applying structural equation modeling (SEM) in educational research: An introduction. In M. S. Khine (Ed.), *Application of Structural Equation Modeling in Educational Research and Practice* (Vol. 7). Rotterdam: Sense Publishers.
- Titmus, C., Buttedahl, P., Ironside, D., & Lengrand, P. (1979). *Terminology of adult education*. Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation.
- Tobin, K. G. (1986). Secondary science laboratory activities. *European Journal of Science Education*, 8(2), 199-211. doi:10.1080/0140528860080208
- Tobin, K. G., & Capie, W. (1982). Relationships between formal reasoning ability, locus of control, academic engagement and integrated process skill achievement. *Journal of Research in Science Teaching*, 19(2), 113-121. doi:10.1002/tea.3660190203
- van Lent, G. (2009). Risks and benefits of CBT versus PBT in high-stakes testing: Introducing key concerns and decision making aspects for educational authorities. In F. Scheuermann & J. Björnsson (Eds.), *The transition to computer-based assessment: New approaches to skills assessment and implications for large-scale testing* (pp. 83-91). Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- von Davier, M., Gonzalez, E., & Mislevy, R. J. (2009). What are plausible values and why are they useful. *Issues and Methodologies in Large-Scale Assessments: IERI Monograph Series*, 2(1), 9-36.
- Walberg, H. J. (1991). Improving school science in advanced and developing countries. *Review of Educational Research*, 61(1), 25-69. doi:10.3102/00346543061001025
- Wang, M.-T., Fredricks, J. A., Ye, F., Hofkens, T. L., & Linn, J. S. (2016). The math and science engagement scales: Scale development, validation, and psychometric properties. *Learning and Instruction*, 43, 16-26. doi:10.1016/j.learninstruc.2016.01.008

- Wellington, J. (1990). Formal and informal learning in science: The role of the interactive science centres. *Physics Education*, 25(5), 247-252. doi:10.1088/0031-9120/25/5/307
- White, B. Y., & Frederiksen, J. R. (1998). Inquiry, modeling, and metacognition: Making science accessible to all students. *Cognition and Instruction*, 16(1), 3-118. doi:10.1207/s1532690xcil601_2
- Wu, H. K., & Huang, Y. L. (2007). Ninth-grade student engagement in teacher-centered and student-centered technology-enhanced learning environments. *Science Education*, 91(5), 727-749. doi:10.1002/sce.20216
- Wu, P.-H., Wu, H.-K., & Hsu, Y.-S. (2013). Establishing the criterion-related, construct, and content validities of a simulation-based assessment of inquiry abilities. *International Journal of Science Education*, 36(10), 1630-1650. doi:10.1080/09500693.2013.871660
- Yager, R. E., & Penick, J. E. (1986). Perceptions of four age groups toward science classes, teachers, and the value of science. *Science Education*, 70(4), 355-363. doi:10.1002/sce.3730700402



附錄

附錄一：26 篇碩、博士論文論文列表

表 A-1-1 探究能力相關碩博士論文整理列表

主要依據	評量所使用的探究能力項目	作者	研究對象	評量方式
NRC	探究實驗規劃能力與探究實驗操作能力；並將學生的探究活動報告已形成研究問題與設計實驗兩項能力進行評分	王月春 (2004)	國二學生 (8 年級)	量
	提出問題與假說、計畫與實驗與資料蒐集分析以及詮釋與結論等四項科學探究能力	白佩宜 (2009)	高一學生 (10 年級)	量
	形成假說、解釋數據以及形成結論三項科學探究能力	呂建逸 (2004)	大一學生	量
	提出問題、選擇變因、流程規劃、資料轉化以及產生推理等五項科學探究能力	吳怡慧 (2014)	國二學生 (8 年級)	質+量
	將科學探究能力概分為觀察、假設、實驗、資料搜尋等四個面向	宋雅鈴 (2009)	國一學生 (7 年級)	質
	依據科學探究過程區分四種能力：提出研究問題、計畫、分析以及建立科學模式四項能力	張文馨 (2010)	國三學生 (9 年級)	量
	探究能力向度區分為提出研究問題、計畫、蒐集分析資料以及詮釋與結論等四個能力向度	許瑋琇 (2010)	高一學生 (10 年級)	質+量
	形成科學議題、形成假設、找出變數、科學解釋能力	陳梅香 (2010)	國小學生 (6 年級)	量
	量表內容配合科學探究能力的標準，分成：形成研究問題與假說、設計研究、收集呈現數據、分析闡述結果等四個向度	彭天音 (2010)	對象為台北市四到九年級學生	量
	發展科學探究學習環境偏好問卷，其中包含提出研究問題、計畫執行研究、分析詮釋資料、建構解釋和模式、溝通分享等五個向度	謝莉文 (2006)	高一學生 (10 年級)	質+量
ODE	採用美國奧勒岡州教育部所提出探究能力量表(ODE)。「形成問題或假設」、「設計一個探究活動」、「資料蒐集和呈現數據」和「分析和詮釋結果」。	東慶瑋 (2011)	國二學生 (8 年級)	質+量
	「形成問題」、「設計實驗」、「圖表解釋」、「分析結果」	林正發 (2008)	國二學生 (8 年級)	質+量
	「形成問題或假設」、「設計一個探究活動」、「資料蒐集和呈現數據」和「分析和詮釋結果」	林建毅 (2015)	國小學生 (6 年級)	實作評量

主要依據	評量所使用的探究能力項目	作者	研究對象	評量方式
綜合理論 自行發展	「實驗設計」、「實驗操作」、「數據處理」、「分析詮釋」四個面向(ODE)	郭泓男 (2013)	國一學生 (7 年級)	質+量
	將探究能力區分為形成假說、找出變數、設計實驗、圖表解釋、分析結果等五個面向的探究能力	陳君婷 (2011)	國小學生 (5 年級)	量
	探究能力檢核表係參照 ODE；將探究能區分為形成探究問題、設計實驗、收集與呈現資料以及分析與詮釋結果等四個面向	黃瑟芸 (2008)	國二學生 (8 年級)	質+量
	用來檢核學生探究能力的檢核表 [ODE]來針對探究能力做出的評分標準，共包含四個面向，分成「形成問題」、「實驗設計」、「資料收集」、「解釋分析」	楊志平 (2008)	高中學生 (10 與 11 年級)	質+量
	將設計實驗能力區分成設立實驗組別及對照組的類型兩個部分；來探討學生是否會依據研究問題或變因與假說的改變來設計正確的實驗	吳珮嘉 (2011)	高二學生 (11 年級)	量
	使用「科學探究能力學生自我評量表」。其中包含發現問題、解決策略、觀察紀錄、歸納分析、知識建構等五個向度	李思嫻 (2012)	國小學生 (4 年級)	量
	使用的「科學探究能力量表」(張惠博 et al., 2001)。主要分為：提出問題與假說；計畫；實驗操作與資料蒐集；資料分析與詮釋。	沈奕樟 (2013)	高一學生 (10 年級)	量
	其探究能力區分為界定問題、設計規劃、實作驗證、分析解釋以及溝通辯證等五個向度	柯翠菱 (2014)	國二學生 (8 年級)	量
	參考楊秀停與王國華 (2007)所發展之「學生自我探究能力自評量表 (SIASS)。	陳佳雲 (2010)	國二學生 (8 年級)	質+量
	量表分五個向度： 界定問題、搜集資料、實作驗證、解釋溝通、轉化資料 ASPS 技能部分：就蒐集資料、形成問題；預測結果、控制變因、觀察紀錄、設計實驗、推論以及發表分享等八部分進行分析	黃淑卿 (2004)	國一學生 (7 年級)	量
	修改洪文東編製的「科學探究能力學生自我評量表」。其中包含界定問題、設計規劃、實作驗證、解釋分析、溝通辯証等五個能力	黃傳俊 (2015)	國小學生 (5 年級)	量
	依據 Krajcik(2007)之定義，將探究能力	蔡佩綾	國一學生	量

主要依據	評量所使用的探究能力項目	作者	研究對象	評量方式
	區分為實驗能力與解釋能力。其中，實驗能力包含選擇變因、流程規劃、誤差控制與資料轉化；解釋能力包含形成主張、運用證據、產生推理與評估解釋 科學探究能力量表包含：辨識出科學研究中所探索的問題、區分出可進行科學調查的問題、提出一個能進行科學探索的方法、評估進行科學探索的方法以及敘述與評估一系列科學家用以確認資料信度與解釋的客觀性和一般性之方法	(2015)	(7 年級)	量
		蕭景隆	國小學生	(2014) (6 年級)

註：

- 1.搜尋關鍵字：以「科學探究」為關鍵字於全國碩、博士論文網的資料庫中進行搜尋。
- 2.剔除標準：剔除論文中沒有發展探究能力評量者。



附錄二：實驗室活動的投入問卷之試題分析

(1)被刪試題之學生作答次數分配表

表 A-2-1 次數分配之敘述統計表

	CE_5:R e	CE_6:R e	CE_7:R e	BE_5 5	BE_6:R e	EE_8:R e	EE_9:R e	SE_5:R e	SE_6:R e
個有	605	605	605	605	605	605	605	605	605
數效									
的									
遺	0	0	0	0	0	0	0	0	0
漏									
值									
平均	2.92	2.90	2.47	2.24	3.76	3.69	3.63	3.33	3.49
數									
標準	.777	.775	.815	.748	.558	.598	.626	.804	.729
差									
變異	.604	.600	.664	.559	.312	.358	.392	.647	.532
數									
偏態	-.469	-.418	.037	.392	-2.533	-2.037	-1.693	-1.156	-1.378
偏態	.099	.099	.099	.099	.099	.099	.099	.099	.099
的標									
準誤									
峰度	-.003	-.077	-.500	.030	6.449	4.142	2.495	.874	1.459
峰度	.198	.198	.198	.198	.198	.198	.198	.198	.198
的標									
準誤									
最小	1	1	1	1	1	1	1	1	1
值									
最大	4	4	4	4	4	4	4	4	4
值									

表 A-2-2 次數分配統整表

次數 分配 表	CE_5:R e	CE_6:R e	CE_7:R e	BE_5 5	BE_6:R e	EE_8:R e	EE_9:R e	SE_5:R e	SE_6:R e
1	29	28	65	80	5	6	5	25	13
2	123	132	248	335	24	25	33	53	46
選 3	323	320	232	156	82	121	141	222	180
項 4	130	125	60	34	494	453	426	305	366
總 和	605	605	605	605	605	605	605	605	605

(2)被刪試題之選項分布圖

