

國立臺灣師範大學科技與工程學院

科技應用與人力資源發展學系

博士論文

Department of Technology Application and Human Resource Development

College of Technology and Engineering

National Taiwan Normal University

Doctoral Dissertation

國中生 STEM 跨領域問題解決能力評量工具之發展

與應用研究

Development and Application of an Assessment Tool for

Junior High School Students' Interdisciplinary STEM

Problem-Solving Skills

謝雨蓁

Yu-Jen Sie

指導教授：林坤誼 博士

Advisor: Kuen-Yi Lin, Ph.D.

中華民國 114 年 7 月

July 2025

誌謝

開始撰寫謝誌的這一刻，代表博士論文寫作已進入尾聲，回望這段漫長的研究歷程，無論是在理論探討的推演上，還是在資料收集與分析的反覆琢磨中，每一步都記錄著我在學術之路上的成長與挑戰，也刻劃出一段從懷疑自我、懵懂摸索，到逐步建立信念與方向的歷程，這些年來，雖然過程中不乏困難與迷惘，但也正是在這些困難之中，學會如何堅持、調整與面對，並在跌跌撞撞的經驗中慢慢成長。

我誠摯地感謝我的指導教授——國立臺灣師範大學林坤誼博士。林教授不僅在研究初期提供我明確方向，更在論文撰寫的每一階段都給予細緻與深入的指導，林教授的學術精神一向嚴謹，對於細節從不輕放，經常提醒我要反覆檢視自己的研究假設與論證架構，無論我遇到什麼樣的問題，林教授總能耐心傾聽，給予適時的建議與支持，引導我思考更多面向的可能性。坤誼老師不只是我學術道路上的導師，更是在整段博士旅程中給予我最大信任與支持的精神後盾。

同時也誠摯感謝口試委員——國立清華大學王鼎銘教授、高雄師範大學朱耀明教授、臺中教育大學魏炎順教授、屏東科技大學周保男教授。感謝各位教授在百忙之中撥冗審閱，並於口試中提供寶貴意見，各位委員從不同的研究視角出發，協助我更細緻地打磨論文內容，無論是對研究方法的反思，或是對論述邏輯的調整，都讓我深受啟發，不僅釐清論證上的盲點，也引導我思考未來研究的發展方向，對我而言，能在學術生涯的關鍵時刻獲得如此寶貴意見，我深感榮幸並衷心感激，並將這段經驗視為我未來精進的重要基礎。

除了在學術路上的貴人，我也衷心感謝一路陪伴我成長的師長、同儕、摯友、家人們。這幾年間，因博士學業與生活的壓力，常常讓人感到疲憊不堪，但正是因為有你們的陪伴與支持，讓我重新振作，找回自己的初衷，在生活與研究交錯的這段時間裡，不論是異地生活的孤獨感，或是在研究進度卡關時的挫折，總是能給我最溫暖的支持、陪伴、傾聽與理解，這份友誼與信任，是在這段求學旅程中最珍貴的禮物。

接下來，完成博士學位對我而言，不僅是學術上的一個階段性成果，更象徵著人生新篇章的開展，當我卸下學生的身份，也意味著將以新的身分面對更複雜的現實挑戰。所幸，這段博士歷程帶給我的，不只是知識與技術的累積，更培養了我解決問題的能力與思考的深度。未來無論前路如何，期許自己能持續拓展視野、深化實踐，讓學術的養分持續回饋於教育現場與社會需求。

至此，再次感謝所有在攻讀博士旅程中陪伴我走過的貴人們，正是因為有你們的陪伴與支持，這段路途才不再孤單，也讓我有勇氣一路走到最後。懷著感激之心，我將這份成果獻給你們，願你們平安順心。

謝雨蓁 謹申謝忱

國立臺灣師範大學科技應用與人力資源管理學系

中華民國 114 年七月

國中生 STEM 跨領域問題解決能力評量工具之發展與

應用研究

研究生：謝雨蓁

指導教授：林坤誼

中文摘要

面對當前 STEM 教育中日益強調的跨領域能力培養需求，如何有效評估學生在實際問題情境中的跨領域問題解決能力，已成為教育實務與學術研究的重要課題。然而，現有 STEM 評量方法多侷限於單一領域知識，或者僅偏重於情意面向，尚缺乏一套具理論基礎、結構明確且具可操作性的評量工具。本研究旨在建構一套適用於國中階段之「STEM 跨領域問題解決能力評量工具」，並探討其於教學實踐中之應用潛力。本研究所發展之評量工具整合 STEM 跨領域問題解決能力量表與 STEM 跨領域問題解決流程圖實作評量，分別從學生的認知自覺與操作歷程兩個面向，蒐集學生在跨領域問題解決中的表現資料。透過多階段設計程序，包括文獻分析、專家訪談、學生放聲思考觀察、預試施測與正式施測，逐步建構具備內容效度與結構效度的評量工具。研究結果顯示，本工具具備良好之建構效度、內部一致性與區別效度，且能有效區別學生在 STEM 問題解決能力上的表現以及其異質性類型。為國中階段教學設計與能力導向課程提供具體實證支持，具有實務應用與後續研究延伸價值。

關鍵字：STEM、跨領域問題解決能力、國中生、評量

Development and Application of an Assessment Tool for Junior High School Students' Interdisciplinary STEM

Problem-Solving Skills

Author: Yu-Jen Sie

Advisor: Kuen-Yi Lin

ABSTRACT

In response to the growing emphasis on interdisciplinary competency development in STEM education, effectively assessing students' interdisciplinary problem-solving skills in real-world contexts has become a crucial issue in educational practice and academic research. However, existing STEM assessment methods are often limited to single-domain knowledge or affective dimensions, lacking a theoretically grounded, structurally clear, and operationalizable assessment tool. This study aims to develop a "STEM Interdisciplinary Problem-Solving Skills Assessment Tool" suitable for junior high school students. The tool integrates self-report questionnaires and flowchart drawing tasks, collecting student performance data from two aspects: cognitive awareness and operational processes in interdisciplinary problem-solving. Through a multi-stage design process, including literature analysis, expert interviews, student think-aloud observations, cognitive interviews, pilot testing, and formal testing, we gradually constructed an assessment tool with content and structural validity. The results show that the tool demonstrates good construct validity, internal consistency, and discriminant validity, effectively differentiating heterogeneous types of students' STEM problem-solving abilities. This study provides empirical support for competency-oriented curriculum and teaching design at the junior high school level.

Keywords: STEM, interdisciplinary STEM problem-solving skills, junior high school students, assessment

目錄

誌謝	i
中文摘要	iii
ABSTRACT.....	iv
目錄	v
表次	vii
圖次	ix
第一章 緒論	1
第一節 研究背景與動機	1
第二節 研究目的與待答問題	9
第三節 研究範圍與限制	10
第四節 重要名詞釋義	13
第二章 文獻探討	15
第一節 STEM 教育和評量現狀	15
第二節 STEM 跨領域問題解決能力的定義與重要性	20
第三節 STEM 跨領域問題解決評量缺口	24
第四節 STEM 跨領域問題解決能力之評量框架	28
第三章 研究方法	42
第一節 研究設計	42
第二節 研究對象	45
第三節 研究流程	48
第四節 研究工具	54
第五節 資料處理與分析	59
第四章 研究結果	62
第一節 國中生的 STEM 跨領域問題解決能力評量向度與指標	62

第二節 國中生 STEM 跨領域問題解決能力評量工具之信效度..	87
第三節 探討國中生 STEM 跨領域問題解決能力現況與類型差異	96
第四節 綜合討論	116
第五章 結論與建議	119
第一節 研究結論	119
第二節 研究建議	123
參考文獻	126
一、中文部份	126
二、外文部份	127
附錄	142
附錄一 STEM 跨領域問題解決能力評量工具	143
附錄二 參與研究知情同意書	156



表次

表 2-1 STEM 跨領域問題解決向度比較表	38
表 3-1 預試施測研究對象 (N=231)	46
表 3-2 正式調查樣本數 (N=356)	47
表 3-3 本研究實施流程說明表	48
表 3-4 STEM 跨領域問題解決流程圖實作評量評分標準	57
表 3-4 STEM 跨領域問題解決流程圖實作評量評分標準 (續)	58
表 4-1 STEM 問題界定與分析歷程之行為編碼摘要表	67
表 4-2 STEM 資料蒐集與分析歷程之行為編碼摘要表	69
表 4-3 構思與形成 STEM 解決方案歷程之行為編碼摘要表	72
表 4-4 選擇與執行最佳 STEM 解決方案歷程之行為編碼摘要表	74
表 4-4 選擇與執行最佳 STEM 解決方案歷程之行為編碼摘要表 (續)	75
表 4-5 STEM 方案測試與評估歷程之行為表徵摘要表	77
表 4-6 STEM 測試與評估歷程之行為表徵摘要表	79
表 4-7 STEM 測試與評估歷程之行為表徵摘要表	81
表 4-8 「STEM 跨領域問題解決能力」初步評量框架	84
表 4-8 「STEM 跨領域問題解決能力」初步評量框架 (續)	85
表 4-8 「STEM 跨領域問題解決能力」初步評量框架 (續)	86
表 4-9 Cronbach's α 一致性檢驗	88
表 4-10 探索性因素分析表	90
表 4-11 驗證性因素分析表	92
表 4-12 區別效度分析表	94
表 4-13 流程圖評量架構之因素負荷表	95
表 4-14 國中生對 STEM/STEAM 課程興趣的年級與性別交叉分析表	97

表 4- 15 學生對基本物理與化學原理的理解.....	98
表 4- 16 國中生對工具操作能力程度.....	100
表 4- 17 國中生對問題解決流程的熟悉程度.....	101
表 4- 18 國中生對數學計算與幾何應用熟悉程度.....	103
表 4- 19 國中生 STEM 問題解決能力現況.....	104
表 4- 20 國中生 STEM 問題解決流程圖實作評量分數.....	105
表 4- 21 潛在剖面分類分析摘要表.....	109
表 4- 22 三類模型之向度平均值.....	115



圖次

圖 3-1 STEM 跨領域問題解決活動實際情況.....	50
圖 3-2 研究員觀察實際情況（臉部）.....	51
圖 3-3 研究員觀察實際情況（手部動作）.....	51
圖 3-4 研究員觀察實際情況（受試學生的螢幕畫面）.....	52
圖 3-5 問題解決流程圖繪製實作評量任務範例說明.....	55
圖 3-6 問題解決流程圖繪製任務實作評量作答區.....	56
圖 4-1 優良 STEM 流程圖作品.....	106
圖 4-2 低表現 STEM 流程圖作品.....	107
圖 4-3 嘗試錯誤型學生各向度雷達圖.....	112
圖 4-4 系統思考型學生各向度雷達圖.....	113
圖 4-5 跨域整合型學生各向度雷達圖.....	114
圖 4-6 三類模型之向度雷達圖.....	116

第一章 緒論

本研究旨在發展 STEM 跨領域問題解決能力評量工具，並探究在國中階段的 STEM 教育之應用。第一章依序為本研究的「研究背景與動機」、「研究目的與待答問題」、以及「研究範圍與限制」，最後就本研究中的「重要名詞」進行釋義。

第一節 研究背景與動機

一、研究背景

(一) STEM 教育的核心價值

鑒於當今社會的複雜性和不確定性日益增長，為解決現實世界中的問題，時常需要多學科知識的綜合應用，這一觀點在當代教育中已獲得廣泛認同。根據 Bybee (2013) 和 Sanders (2009) 的觀點，科學—科技—工程—數學教育 (Science, Technology, Engineering, and Mathematics Education, 以下簡稱 STEM) 教育之重點在於「培養解決現實生活問題的能力，其核心價值在於其跨領域的特性」，超越了傳統的學科界限，不僅包含理論知識的積累，更重要的是強調將科學、科技、工程和數學這些領域之間的相互聯繫和適當整合，以應對當前社會和環境面臨的挑戰。

自 2010 年以來，關於 STEM 教育英文出版物數量每年都在持續增長，顯示 STEM 教育的全球重視程度和研究的深化 (Alfia et al., 2023; Hadi et al., 2022; Irwanto et al., 2022)。經統整學者們的研究指出，特別是在 K-12 階段的 STEM 教育成為培育未來創新者和領導者的關鍵途徑。許多研究指出學習者擁有早期 STEM 經驗，不僅能夠激發學生對科學和科技的興趣，還能幫助學生建立起對這些領域的自信心和探索精神。而

在國中階段藉由實作活動、設計思維和專題式學習等學習策略，學生能夠將理論知識與現實世界問題相結合，不僅從而提高他們解決複雜問題解決的能力 (Hsiao et al., 2022)，也為其提供應對未來挑戰的實際工具，同時也是國家競爭力提升的關鍵。因此，為了實現這一目標並培養具有競爭力的未來人才，強化國中階段的 STEM 教育品質顯得尤為重要。這包括支持有效的教學實務，涉及教學內容的更新與優化、教學方法的創新，以及評量系統的改進。這些措施能夠確保學生在這一關鍵時期獲得實質的支援。不僅為學生提供必要的知識基礎和技能，也幫助學生在學術和職業發展上取得成功。通過實踐驗證的教學策略和先進的教育技術，為學生的學術成就和未來的職業發展奠定基礎。

(二) 評估 STEM 跨領域問題解決能力的重要性

基於教育模式的演進，跨領域學習和問題解決能力在當前和未來社會中的價值日益突顯，能夠跨領域整合知識、技能和方法來解決問題的能力，成為個人職業成功的關鍵，也是社會進步和創新的重要推動力 (Dutchak, 2021)。在國內外的學術研究中都能看到對相關議題的探討：黃怡真 (2021) 對 Scopus 資料庫進行文獻計量分析指出，STEM 問題解決研究關注點之一即為評量發展，且臺灣在 STEM 問題解決能力研究之期刊數量排名全球前三，顯示國內學者對於此議題的重視。根據歐洲問題解決能力跨領域新評估工具委員會 (New Assessment Tools for Cross-Curricular Competencies in the Domain of Problem Solving, NATCCC-PS) 針對 21 世紀學生所需技能訂定明確定義 (NATCCC, 2000)，其中一項核心發現指出，「有效的問題解決需在多個學科內及學科間展現能力，亦即跨領域技能」，對於迎合未來社會和文化的需要，培養擁有強大跨領域技

能的人才顯得非常關鍵，而問題解決能力是跨領域學習的直接產物，它要求個體能夠運用所學知識來識別、分析和解決實際問題。這種能力在當前社會尤為重要，因為它直接關係到個人和組織面對挑戰時的適應性和創新性。

跨領域問題解決能力的價值可以體現在多個層面，從解決問題的效率和效果來看，跨領域問題解決能力促進知識的跨界交流和整合，串接各學科的知識、技術、能力、態度和價值觀，結合不同學科的視角可以提供更多方面的問題理解，從而促進創新解決方案的產生 (Horlick-Jones & Sime, 2004)。另外跨領域問題解決能力促進個人和團隊的成長，更好地適應變化、增強溝通和協作能力，並有效應對從環境變化到技術創新等範圍廣泛的挑戰，這對於應對快速變化的工作環境佔著重要角色 (Mansilla & Duraisingh, 2007)。此外，跨領域問題解決能力對於應對未來挑戰具有前瞻性，它使個體能夠適應不斷變化的社會和經濟需求，從而在全球化的職業市場中保持競爭力。

為了培養這一能力，教育系統正在進行改革，加強跨領域課程和項目與提供實踐機會，讓學生在解決實際問題中學習和應用跨領域知識，現今跨領域問題解決的方法已在各項 K-12 科學教育的國家報告和課程標準中得到推廣。許多學者與專家主張學校教育應該幫助學生為面對跨領域的學術環境和實踐做好充分準備，尤其對於學生之問題解決技能的培養方面 (You, 2017)，這不僅關乎學生個人的知識發展，更與全球經濟需求和未來職場競爭力相關，顯然跨領域學習已成為重要趨勢。

儘管跨領域學習和問題解決能力在當前和未來社會中極為重要，但目前的教育體系在評估這些能力方面存在顯著缺陷。當前的教育評估方法大多依賴於傳統的學科分割方式，這種方式忽略學科間的相互聯繫和

整合的重要性。這導致一個問題：學生可能在學科內部獲得高分，但卻缺乏將所學知識應用於解決跨領域實際問題的能力。此外，現有的評估機制往往無法有效衡量學生的創新思維和實際問題解決能力，這些能力對於在複雜的現實世界中取得成功有重要角色。因此，學生在進入職場或面對現實世界的挑戰時，可能會發現自己準備不足。

鑑於這些挑戰，如何確定和衡量跨領域教育下的具體學習成果及能力，是對於推動高質量的跨領域教學過程的關鍵，需要重新考慮和設計評估機制，以更多方面地衡量和促進跨領域學習和問題解決能力的發展，這包括開發新的評估工具和方法，這些工具和方法能夠更好地反映學生的跨領域知識整合能力、創新思維和實際問題解決能力。這一過程不僅深刻影響著學生的學術成就和職業發展，而且對於社會經濟的持續發展也扮演著關鍵角色。隨著 STEM 教育研究的進一步深化和跨領域方法的廣泛實施，將來的 STEM 教育將更加著重於培養學生的創新能力、批判性思考和問題解決技巧，從而為他們的職業道路和對社會做出貢獻。因此，精準確實地評估學習成果和跨領域能力，不僅有助於提升教育質量，也為學生未來的成功奠定關鍵基礎。

根據研究指出透過 STEM 課程的整合，學生在提升問題解決技能、獲得及保留知識上達到明顯的進步成果 (Burghardt et al., 2015)。然而，為了有效地實施 STEM 教育並非易事，它要求教育者不僅要傳授固有的學科知識，同時還要整合跨領域的教學方法，以促進學生的全面發展，而這種跨領域的整合已經成為當前教育的一個關鍵途徑，它鼓勵學生跨越傳統學科的界限，探索和應用來自不同領域的知識和技能，以解決複雜的現實世界問題。有此可知，教育者已經對 STEM 的課程統整有基礎上的共識，而要如何進行教學實踐同樣也是研究者探討的熱門話題。

由上述可見，STEM 跨領域教學實踐已成為當代教育的重要趨勢。隨著 STEM 教育實施也帶來一系列的挑戰，特別是在培養學生的 STEM 問題解決能力、確定 STEM 教學目標以及評量學習成效方面都是教育工作者應該重視的議題。在這方面，Bybee (2013) 的研究強調教師在實施 STEM 教育中的關鍵作用。他們不僅需要精通 STEM 各個領域的專業知識，還需擁有跨領域教學的能力，以設計和實施有效的教學活動，從而全面提升學生的學習和理解。然而，傳統學校教育中的學科分割和對單一領域的評量重點似乎無法多方面評估學生在高層次思考和學習成效方面的進步。這種局限性在當前的教育體系中顯得尤為突出，因為它無法充分體現學生在解決複雜問題方面的能力。為了改善這一現狀，林坤誼等人 (2023) 指出，應該從跨領域問題解決的觀點出發，開發能夠更多方面、深入評估學生 STEM 能力的方法。這種評估方法不僅有助於更準確地反映學生的學習成果，還能夠促進他們在社會和經濟發展中發揮更為關鍵的角色，以更好地實現 STEM 教育的目標。

二、研究動機

STEM 教育的核心目標在於培養學生的創新思維、問題解決能力以及跨領域學習能力，但現行的評量體系目前現況往往過度強調對學科知識的掌握，而非學生解決實際問題的能力，這種偏重可能導致教育目標與評量標準之間的不一致，從而造成一系列的教育隱患。尤其當評量方法無法全面地反映學生的學習成果，教師的教學策略也可能出現偏差，而忽略對學生批判性思維和創新能力的培養，積累這些偏差對學生在未來 STEM 領域的職業發展可能產生不利影響 (Arıkan et al., 2020)。因此，重視並改善現有評量體系中的這一問題是重要的，只有當評量方法能夠

多方面地衡量學生在 STEM 領域的各項能力時，教師才能夠根據評量結果調整和優化教學策略，更好地促進學生在創新思維和跨領域問題解決能力上的發展。

因此針對 STEM 教育進行有效性評估是一個重要且多元化的研究主題，需準確定義 STEM 的內涵，以確定學習者應掌握的知識與技能，並評量他們的認知、能力以及對 STEM 的態度和興趣。因此，開發有效的 STEM 評量工具是一項迫切且關鍵的課題。然而，目前的 STEM 教育實踐面臨若干挑戰，尤其在評估學生的問題解決能力方面。這些挑戰主要源於現行教育模式和評估方法的局限性，難以充分捕捉學生在跨領域學習中的表現，特別是在培養和評估跨領域問題解決能力方面，本研究綜合整理出三個缺口，詳細敘述如下：

(一) 缺口一：STEM 教學目標與傳統評量之間的落差，無法有效呈現跨領域整合能力

傳統的評量方法主要聚焦於學生對特定知識點的記憶和理解，往往採用選擇題或簡答題等形式來評估學生的學習成果。這種評量方式雖然在操作上較為簡便，易於量化分析，但卻忽略 STEM 教育中最為重要的創新思維和應用知識解決實際問題的能力。這種評量方法的局限性在於無法多方面評估學生在跨領域領域的綜合能力，尤其是在激發學生的創新和綜合應用能力方面存在顯著不足 (Gao et al., 2020)。STEM 教育強調的是學生能力的整合與應用，包括科學、科技、工程和數學知識的跨領域融合，以及這些知識在解決現實世界問題中的應用。然而，當評量工具無法多方面覆蓋這些跨領域特性時，學生在這些領域的學習成效便難以得到有效的評估和認可。這不僅可能導致學生的創新和綜合應用能

力被忽視或低估，也可能抑制學生對 STEM 領域的探索和興趣。此外，以考試成績為主導的評量體系可能導致學生過分關注分數，而忽視學習過程和對知識的深入理解。這種以結果為導向的評量方法可能限制學生的創造性思考和主動學習的機會，進而影響到學生對 STEM 學科的長期興趣和參與度。

(二) 缺口二：缺乏可整合認知與歷程的 STEM 問題解決能力評量架構

現有研究顯示 STEM 教育缺乏一套廣泛認可且統一的跨領域問題解決能力評量標準(Yang 等人,2024; 張庭綸,2021)。根據 Gao 等人(2020)亦指出，STEM 教育的評估往往侷限於單一學科的知識與僅偏重情感層面，對於跨領域能力的評估則顯得不足，這一發現突顯跨領域學習在促進創新和解決問題能力方面的重要性。Broggy 等人(2017)強調 STEM 教育在經濟增長、技術創新中扮演著關鍵角色，這表明跨領域學習優勢在於模擬真實世界的複雜性，為學生提供更全面的教育經驗。然而，現有研究雖普遍認同 STEM 課程的目的是增進學生對跨領域知識的理解及技能提升，但目前的評估體系似乎未能充分反映這些教育目標，特別是在跨領域領域，有效評估學生學習成效的機制仍然不足，由於缺乏適切的評估工具，教育現場正在面臨如何準確評估學生跨領域學習成就的挑戰，這不僅導致課程設計、教學方法與評估標準之間的不一致，也對 STEM 教育的有效性和發展造成潛在的影響。

(三) 缺口三：缺乏能辨識學生異質性與歷程發展階段的創新評量方法

隨著學習分析與教育資料科學的發展，如何運用有效分析方法來辨識學生在 STEM 問題解決歷程中的異質性樣貌，已成為近年教育評量的

重要趨勢。然而，過去研究對於結合「自我認知評估」與「歷程表現評量」以揭示學生不同能力型態的實證研究仍然缺乏。多數研究未能將學生的認知覺察與具體歷程表現加以整合，也少有以統計方法探討學生能力類型與學習需求之間的潛在關聯。因此，發展一套能整合多元評量資料、區分學習型態，並具備發展性指標意義的分析模式，對於提升 STEM 教學回饋與課程分層具有關鍵價值。

綜合上述，在當今快速變化的全球環境中，STEM 教育被廣泛認為是培養學生創新思維和解決問題能力的關鍵。隨著跨領域學習的重要性日益增加，能夠整合應用 STEM 知識來解決實際問題的能力，已成為學生必須具備的核心素養。然而，儘管 STEM 教育在全球範圍內受到重視，如何有效評量學生的 STEM 跨領域問題解決能力仍然是一個挑戰。特別是對於國中階段需要一套既能多方面反映學生能力，又能適應他們認知發展階段的評量工具。過去的研究主要集中在 STEM 各個單一領域的教學和評量上，較少從跨領域的角度來探討問題解決能力的評量。

此外，現有的評量工具往往忽略對學生創造性思維和綜合應用能力的評估，這限制教育者多方面理解學生在 STEM 領域的學習成效。這些問題和挑戰突顯研究和發展更有效的 STEM 學習評估方法的急迫性，特別是在跨領域學習環境中，目前的文獻中對於如何有效融合和評估跨領域 STEM 教育的研究存在顯著不足，而為了更多方面地評估學生在 STEM 領域的能力，發展創新的評量方法是必要的，才能真正評估並提升 STEM 教育的質量，以培養適應未來社會和工作市場需求的學生。

第二節 研究目的與待答問題

一、研究目的

根據前述之研究背景與動機，本研究旨在開發一套適用於國中生的 STEM 跨領域問題解決能力評量工具。本研究透過文獻深入探討在科學、數學、科技與工程領域中的 STEM 跨領域問題解決能力之意涵，再進一步分析各能力指標間的關係。以檢視在學習 STEM 課程後的成效，同時也為教學者或教育政策制定者提供一個參考依據，以評估和改進 STEM 教育的品質和效果。透過此評量工具，期望藉由此工具能夠多方面評估國中生在 STEM 跨領域的問題解決能力情形，並探討不同背景下國中生的能力表現之差異。

因此綜上所述，本研究目的如下：

- (一) 發展適用國中生 STEM 跨領域問題解決能力評量向度與指標。
- (二) 驗證國中生的 STEM 跨領域問題解決能力評量工具信效度。
- (三) 探討國中生 STEM 跨領域問題解決能力類型與表現差異。

二、研究問題

- (一) 國中生的 STEM 跨領域問題解決能力評量向度與指標為何？
 1. 國中生在 STEM 問題解決能力評量向度為何？
 2. 國中生在 STEM 問題解決能力評量指標為何？
- (二) 國中生的 STEM 跨領域問題解決能力評量工具的信效度為何？
 1. 國中生的 STEM 跨領域問題解決能力評量工具之信度為何？
 2. 國中生的 STEM 跨領域問題解決能力評量工具之效度為何？

(三) 探討國中生 STEM 跨領域問題解決之潛在能力表現類型與差異。

1. 國中生在 STEM 跨領域問題解決的表現為何？
2. 國中生在 STEM 問題解決能力表現上可分為哪些潛在類型？

第三節 研究範圍與限制

一、研究範圍

本研究旨在開發和驗證一套適用於國中生的 STEM 跨領域問題解決能力評量工具。研究範圍將聚焦於以下幾個主要方面：

(一) 對象範圍

本研究以國中二、三年級學生為主要施測對象，涵蓋北、中、南三個區域共計 356 位學生進行正式施測，並以 231 位學生進行預試分析。部分研究階段亦包含小規模質性樣本（如放聲思考與認知訪談），作為題項修訂與理論驗證之依據。

(二) 評量向度與工具範圍

評量工具包括七個核心向度（S1~S7），對應學生在 STEM 問題解決歷程中的關鍵能力表現，並另設四項 STEM 問題解決流程圖評分向度（P1~P4），用以補充歷程性與整合性能力的評量。兩種工具分別蒐集自陳式問卷與實作任務資料，形成雙軌整合之能力評量模式。

(三) 實施與分析範圍

本研究涵蓋工具發展、探索性因素分析、驗證性因素分析、信度分析、與應用分析（潛在剖面分析）等階段。透過信效度驗證與潛在類型分析探討工具品質與教學應用潛力。

(四) 教育階段與學科範疇

研究工具設計以國中階段課綱中理化、數學與科技領域為基礎，評量學生整合運用科學、科技、工程與數學知識於問題情境中解決能力，並不涵蓋其他教育階段或高層次學科內容。

二、研究限制

本研究旨在開發和驗證一套適用於國中生的 STEM 跨領域問題解決能力評量工具，目前本研究存在以下幾個限制，而為克服所提及的研究限制，本研究採取一系列策略，旨在最大程度減少對研究結果可能產生的內部與外部威脅，從而提高研究結果的可靠性和有效性。以下是本研究的限制與具體實施措施：

(一) 樣本範圍

本研究之研究樣本為台灣的國二和國三學生，雖然 STEM 跨領域問題解決能力的核心概念在不同地區或國家可能是相似的，但實際培養 STEM 跨領域問題解決能力的教育方式受到教師的教學方法和學校提供的資源支援的影響，不同的教學風格和策略、設備、教材資源也可能存在差異，這些都會影響學生的學習和能力發展，因此研究結果的解釋仍應考量樣本所處的教育體制與文化脈絡。

具體實施措施：「多元化樣本選擇」為了提高研究結果的普遍適用性，本研究在選擇樣本時，努力覆蓋不同地理區域、社經背景及教育水準的國中生。透過這種多元化的樣本選擇，研究結果能更多方面地反映國中生群體的實際情況。

(二) 實施條件

評量的實施可能受到學校資源、時間安排和學生參與度的影響，這些因素可能對評量結果產生影響。

具體實施措施：「靈活的評量實施策略」為了減少實施條件對評量結果的潛在影響，本研究設計靈活的評量實施策略，包括在不同時間段進行評量以適應學校的時間表，並提供線上和紙質兩種評量方式，以適應不同學校的資源狀況。

(三) 評量工具的適用性

雖然本研究致力於開發適用於國中生的 STEM 跨領域問題解決能力評量工具，並進行信效度驗證，但評量工具可能受到測量工具形式與項目的限制以及受測者特質的影響，這些因素都可能影響評量結果的準確性和可靠性。

具體實施措施：「持續的信效度評估」為了確保評量工具的適用性和有效性，本研究不僅在初步開發階段進行信效度驗證，還計劃在工具應用後進行持續的評估。這包括收集使用者反饋、分析評量結果的一致性，以及定期更新評量項目，以反映 STEM 教育的最新發展。

第四節 重要名詞釋義

一、STEM 教育 (STEM Education)

STEM 教育指的是關注於科學 (Science)、科技 (Technology)、工程 (Engineering) 和數學 (Mathematics) 領域的教育。這種教育模式強調這些學科之間的聯繫，通過跨領域的整合和實踐學習，鼓勵學生透過實踐和探索來學習，從而培養學生的批判性思維、問題解決能力和創新能力，也通過項目和問題導向的學習方法來增強學生的學習動機和參與度。STEM 教育是一種創新的教育模式，其核心目標是為學生提供一種整合性學習環境，讓學生能夠理解 STEM 領域的知識和技能如何在現實世界中應用，為學生提供必要的知識和技能，以應對 21 世紀的挑戰。並解決複雜的問題 (Bybee, 2013; Sanders, 2009)。

二、STEM 跨領域問題解決能力 (Interdisciplinary STEM Problem-Solving Skills)

跨領域問題解決能力是 21 世紀最重要的技能之一 (Trilling & Fadel, 2009)，對於學生的未來學術和職業成就相當重要。不僅涉及對各學科內容的理解和應用，還包括創新思維、批判性分析和跨領域合作的能力，不僅有助於學生更深入地理解 STEM 領域的概念和原理，還能促進他們應用這些知識解決現實世界的問題，從而準備他們成為未來的創新者和問題解決者。本研究所提及跨領域問題解決能力主要是在 STEM 學科方面，關於此能力的培養涉及四個層面，包括「STEM 問題界定與分析、STEM 資料蒐集與分析、構思與形成 STEM 解決方案、選擇與執行最佳 STEM 解決方案 STEM 方案執行、STEM 測試與評估、STEM 問題解決回顧與優化」(Bybee, 2019; Koyunlu Ünlü & Dökme, 2022; Amalina &

Vidákovich, 2022a, 2022b ; Simarro & Couso, 2021)。學生需要掌握 STEM 學科的基本知識和技能，學會如何將這些知識和技能跨領域地整合，以創造性和批判性的方式解決問題。

三、評量架構

評量架構可以被理解為在教育領域中，根據特定的評量目標和需求，所設計和開發用來評估學生學習成果，並確保該工具的有效性和品質的過程。本研究參考潘慧玲等人（2004）將評量架構分為「向度—指標」等兩個層次作為發展國中生 STEM 跨領域問題解決能力之評量架構。



第二章 文獻探討

依據本研究之研究目的與研究問題，本章將包含四節進行文獻探討。第一節「STEM 教育的定義與現況」本節將探討 STEM 教育的核心教學重點，以及跨領域教學法在當前教育體系中的實施現狀，此外，將評估現有的 STEM 教育評量方法，包括其有效性和限制，從而釐清在評量學生 STEM 學習成效時面臨的挑戰。第二節「STEM 跨領域問題解決能力的定義與重要性」將定義 STEM 跨領域問題解決能力，並探討對於學生的學習和未來的職業生涯之重要性。第三節「STEM 跨領域問題解決評量缺口」分析目前 STEM 教育中存在的評量缺口，特別是在跨領域問題解決能力的評量方面，進一步探討現有評量方法無法充分評估學生跨領域問題解決能力的原因，包括評量工具的設計限制和評量標準的不足，從而指出需要改進的領域。第四節「建構 STEM 跨領域問題解決能力評量框架」提出一個新的評量框架，旨在更有效地評量學生的 STEM 跨領域問題解決能力，這個框架將包括新的評量工具和策略，旨在捕捉學生如何運用 STEM 知識解決複雜問題的能力

第一節 STEM 教育和評量現狀

一、STEM 教育的定義與現況

STEM 教育，代表科學（Science）、科技（Technology）、工程（Engineering）和數學（Mathematics）四個學科的綜合教育模式，旨在透過跨領域和應用學習方法，培養學生解決問題、批判性思考、創新和團隊合作的能力。起源於 20 世紀後期美國，當時面對全球競爭加劇和科技快速發展的挑戰，美國教育界和政府認識到提升國家科學和技術人才

的迫切需要，從而推動 STEM 教育的發展。隨著時間的推移，STEM 教育已成為全球教育改革的重要組成部分，被視為提升國家創新能力和競爭力的關鍵（Aguilera & Ortiz-Revilla, 2021）。

在當代教育中，STEM 教育的重要性不斷增加，這主要是因為當今社會和勞動市場對 STEM 技能的需求日益增長。由於科技的快速發展和數位化轉型對勞動力提出新的要求，包括數據分析、程式設計和工程設計等技能，而這些正是 STEM 教育旨在培養的重要面向。此外，面對全球性挑戰，如氣候變化、可持續發展和公共衛生問題，需要跨領域的思維和創新解決方案，STEM 教育因其強調實踐、探究和創新，成為應對這些挑戰的關鍵教育策略，因此 STEM 技能將成為未來勞動市場的重要資產。

STEM 教育其跨領域特性旨在透過整合這些領域來提升學生的學習成效和創新能力。這種教育模式強調實踐、探究和解決問題的學習方法，旨在準備學生應對 21 世紀的挑戰。根據研究顯示，STEM 教育的跨領域特性對學生學習成效有顯著影響（Hansen & González, 2014）。Chiang 等人（2020）的研究也發現，一個跨領域 STEM 課程對兒童學習態度和工程設計技能產生正面變化，尤其是在情境設計評估中，二年級和四年級學生的工程設計技能顯著提高。以上研究表明，STEM 教育的跨領域特性不僅能夠提升學生在特定學科上的學習成效，還能夠促進學生對學習的積極態度和提高其解決問題的能力，這對於培養 21 世紀所需的創新和批判性思維技能尤其重要。

二、STEM 教育的評量方法

現有的 STEM 教育評量工具和方法涵蓋從傳統評量到創新評量的廣

泛範疇，這些評量方法在實際教學中的應用旨在多方面評估學生在科學、科技、工程和數學領域的學習成效。傳統評量方法，如標準化測試和筆試，依然在 STEM 教育中發揮著重要作用，因為其提供一種量化學生學習成就的方式，便於學校和教育機構進行比較和評估，然而，這些方法往往著重於記憶和重現知識，可能無法充分評估學生的批判性思維、問題解決和創新能力（Gao et al., 2020）。為瞭解決這些限制，近年來開發許多創新評量方法，這些方法旨在更多方面地評估學生的 STEM 能力。例如，專題式學習（PBL）和基於性能成果的評估要求學生參與實際項目和挑戰，通過這些活動展示他們的知識和技能，此方法促進學生的主動學習，並提供評估學生態度和創造性思維的機會（Kuo et al., 2019）。此外，數位工具和平臺的使用，使得即時反饋和形成性評估成為可能（林坤誼等人，2023），這對於支持學生的持續學習和進步有重要的角色。

三、STEM 教育評量的挑戰與限制

在進行評量 STEM 教育成效時，面臨的主要挑戰有兩點：「跨領域整合的困難」和「評量工具的開發」，這些挑戰突顯目前評量方法的限制，同時也為未來研究提供重要的啟示。跨領域整合的困難源於 STEM 教育本質上要求科學、科技、工程和數學領域的知識和技能相互融合，而現有的評量工具往往專注於單一學科，缺乏評估學生如何將不同學科知識整合應用於解決實際問題的能力。此外，許多評量方法未能充分考慮 STEM 教育的實踐和創新特性，如實施專題導向和設計思維學習，卻限制對學生創造性思維和問題解決能力的多方面評估。

因此，STEM 教育目前發展的挑戰則是體現在如何設計能夠有效捕捉學生跨領域學習成果的工具上。在過程中要求評量工具不僅要能夠評

估學生的知識掌握程度，還要能夠評估學生的思維過程、創新能力和團隊合作能力。然而，開發這樣的工具需要大量的時間和資源，且需要教育研究者、教師和企業的密切合作，以確保評量工具的有效性和實用性。目前評量方法的限制主要體現在對學生跨領域整合能力和創新能力評估的不足，以及缺乏靈活性和適應性以應對快速變化的 STEM 領域，教師常面臨課綱轉換與學科整合的實務挑戰，導致整合性教學難以落實，亦反映出對具診斷性評量工具的迫切需求（張庭綸，2021）。這些限制不僅影響教育者對學生學習成效的準確評估，也可能限制學生創新能力和批判性思維能力的發展。因此如何開發多面向和靈活的評量工具，這些工具應能夠評估學生的跨領域整合能力、創新能力是重要的，同時，也應關注如何利用資訊科技的工具輔助來提高評量的效率和準確性。

近年來，STEM 教育已逐漸受到教育界和政策制定者的關注，然而，對於 STEM 的定義有很多種，並引發廣泛的爭論。STEM 教育旨在促進學生在跨領域的環境中培養科學、科技、工程和數學方面的知識和技能，以應對日益複雜的世界問題。這種綜合性的學習模式不僅有助於培養學生的跨領域思維，也能更好地準備他們進入現代社會和工作場所。

透過 Scopus 資料庫進行搜尋，一般來說，對於 STEM 能力有三種不同的觀點：

首先，將 STEM 視為以單一學科為主的教學模式，這種觀點強調在 STEM 教育中，某一學科（如科學或數學）應該是主導，而其他學科則是輔助性的。這種方法強調 STEM 各個學科之間的獨立性和專業性，優勢在於能夠深入某一特定領域，為學生提供深厚的學科知識基礎。例如，物理教師通常認為工程或科技是連接科學和數學的橋樑，並採取跨領域或多學科的觀點（English, 2016; Hwang et al., 2020）。

第二種觀點將 STEM 視為一種跨領域的素養。這種觀點認為 STEM 教育不僅僅是關於科學、科技、工程和數學的知識，更重要的是如何將這些知識融合並應用於實際問題中，並主張將科學、經濟、倫理和美學的視角納入 STEM 教育中，並將 STEM 教育與語言藝術技能等其他基本技能放在同等重要的位置。這種觀點得到許多學者的支持，他們認為這種跨領域的素養對於學生在 21 世紀的全球化世界中取得成功相當重要 (Maass et al., 2019)。

第三種觀點則將 STEM 視為一個解決問題的「過程」，具備多階段的特性。這種觀點強調 STEM 教育在培養學生解決複雜問題的能力方面的重要性，並將學科間的知識和技能融合在一起，以促進關鍵技能 (Nguyễn et al., 2025; Nugraha et al., 2024)。

縱觀上述觀點，可以發現，他們各自都有獨特的觀點。第一個觀點深耕於單一學科的高階層次能力培養，然而，這種方法也可能導致對其他 STEM 領域的忽視，從而限制學生的多方面發展 (English, 2016; Falloon et al., 2020)。第二種觀點作為一種素養，視為學生因應未來工作、社會與道德挑戰所需的能力組合，強調發展學生職涯技能與解決真實問題的能力，在 K-12 階段發展需要謹慎審視與長期規劃 (Falloon et al., 2020; Jiang et al., 2019)，第三種基於過程化思維所建構的整體性框架，強調跨領域整合和實際應用，旨在解決現實世界的問題 (Koyunlu Ünlü & Dökme, 2022; Simarro & Couso, 2021)。

第二節 STEM 跨領域問題解決能力的定義與重要性

一、STEM 跨領域問題解決能力的定義

「問題解決」的意涵涵蓋一系列複雜的心理活動，個體必須運用已有的知識和技能來應對新的或未知的挑戰，這一過程不僅僅是對已學知識的回顧和應用，更是要求個體在特定情境下進行創造性的思維和策略的生成。此外，問題解決被視為尋求適當解決方案的過程，關鍵在於策略的產生，不僅涉及對問題的深入理解，還包括如何有效地生成、評估和選擇不同的解決方案，從而突顯批判性思維和決策制定能力在過程中的核心地位（Hatch, 1988; Kahney, 1986; Gagne, 1985）。最終問題解決被描述為綜合運用知識、技能達到解決問題目標的思維活動歷程，這定義將問題解決框架為一種行為歷程，不僅強調認知過程的重要性，也突出實踐行動在應用知識和技能過程中的關鍵作用。因此問題解決本質上是一種複雜的認知和行為過程，要求個體在面對問題時，不僅要有能力理解和分析問題，還必須具備創造性地生成解決方案、批判性地評估選擇以及靈活適應情境限制的能力，這過程體現個體綜合運用各種認知資源和策略以達成目標的能力（Albert, 1967; Crubézy, 2004; Rahman, 2019）。

STEM 跨領域問題解決能力（Interdisciplinary STEM Problem-Solving Skills）在 STEM 領域中被界定為利用科學、科技、工程和數學的綜合知識與技能，來識別、分析和解決跨領域範疇內的問題的能力。這種能力要求個體不僅要有堅實的學科知識基礎，還需要具備高層次的技能。對於學生的學習而言，STEM 跨領域問題解決能力能夠促進高層次的學習理解，提高學生將理論知識應用於實際問題的能力，從而為學生的終身學習和個人發展奠定基礎。

二、STEM 跨領域問題解決能力的重要性

若以「科學」教育角度來看問題解決，從 Kuhn (1992) 所提出科學推理的跨領域發展可知，其涉及在不同學科間進行自我導向的探索，過程中對理論和策略進行調整和改進。受試者通過對特定問題領域的深入探索，結合在兩個不同學科中發展出的推理策略，從而提升跨領域問題解決的能力。其中科學探究在 STEM 評量中扮演著關鍵的角色，Dewey (1938) 將探究描述為一個將未知轉化為已知的過程，這一過程不僅涉及到深思熟慮，還包括實際的參與活動。進一步地，美國國家研究委員會 NRC (1996) 對探究的定義進行擴展，將其範疇包括觀察、提問、檢查資訊來源、規劃調查以及分析數據等多個方面，從而豐富探究的內涵。在 STEM 教育中，探究的應用尤為重要。至此科學探究方法成為 STEM 教育中重要一部分，這不僅因為科學探究能夠促進學生的批判性思維和問題解決能力，還因為它能夠將學生的學習與真實世界的問題串接 (Simarro & Couso, 2021)。Duschl 和 Bybee (2014) 提出的 5D 模型，專注於科學和工程領域的探究實踐，這一模型詳細介紹科學探究的關鍵元素，從而為 STEM 教育提供一個實踐的框架。Dewey (1938) 強調科學探究如何能夠改善學習者與日常生活功能和目的之間的關聯。這一點強調在科學與日常生活之間建立有意義的連結的重要性。然而，探究過程中的挑戰也是顯而易見的。特別是如何讓學習者認識到在科學和工程問題解決過程中遇到的問題，以及不同類型的問題對學習者學習科學知識的影響，這都是教育者在設計 STEM 課程和評量時所必須考慮到的挑戰。總結來說，探究在 STEM 教育中的重要性不言而喻，它不僅促進學科間的整合，還強調科技、工程和數學領域實踐的重要性。未來的研究

需要進一步探討如何在實踐和科學推理之間建立連結，以及如何通過探究來促進以問題為中心的知識產生。這些努力將對提高 STEM 教育的質量和效果產生深遠的影響。

以「數學」教育角度探討問題解決能力時，可以回溯至 Pólya (1957) 將這種思考過程稱為合理的猜測，強調透過進一步的驗證、精煉和概括來探索數學問題的解決途徑。隨著時間的推進，基於探究的數學教育 (Inquiry-Based Mathematics Education, IBME) 和數學實驗成為數學教育領域的重要發展方向。這些方法強調探索的作用、過程的非線性、結果的確定性，以及尋找概括的重要性。這些特點不僅豐富數學學習的經驗，也促進對數學概念深入的理解和應用。然而，數學與科學之間存在著本質的差異。數學試圖通過演繹步驟，如證明來解決問題，這與科學探究過程中依賴經驗數據的方法有所不同。這種獨特性意味著數學問題的解決不僅依賴於理論和演繹，也依賴於創造性思維和抽象概念的應用。儘管如此，現今數學跨領域問題解決過程中仍然存在著與科學探究相似的經驗方法。這包括動手實驗、思想實驗，以及利用適當軟體進行的電腦模擬。這些方法不僅豐富數學教育的內容，也提供一種新的視角來理解和解決數學問題 (Amalina & Vidákovich, 2022b)。

「科技與工程」教育不僅關注於知識的傳授，更重視創新思維、問題解決能力的培養以及實踐技能的提升，因此，在學習過程中應該捕捉學生在這些關鍵領域的學習進展。學生進行工程設計過程的能力，從問題識別、需求分析、概念設計、原型開發到最終解決方案的測試與改進。這一過程不僅反映學生的技術能力，也體現團隊合作、溝通能力和批判性思維，成為一種新的素養 (English & King, 2015)。從 International Technology and Engineering Educators Association (簡稱 ITEEA) (2020)

所制定的新的科技與工程素養標準中，明確闡明科技和工程在 STEM 中的作用，以及技術與工程和其他學科之間的跨學科聯繫，並且加強與其他學科的關係，如藝術、語言等，突顯跨領域的性質，在標準中也全面介紹了科技、工程以及相關或綜合領域或概念的基本知識、問題解決技能和實踐的重要性。

綜合以上，跨領域教學將不同學科的知識和技能進行整合，為學生提供更全面的學習體驗。在 STEM 教育中，跨領域教學不僅可以促進學科之間的互動和交叉學習，還可以培養學生的綜合能力和創新思維。從一系列研究表明，將基於問題的學習與 STEM 活動相結合，對學生的自我效能感、問題解決能力和批判性思維能力產生了顯著影響 (Lamb et al., 2015)。例如，通過結合問題為基礎的 STEM 教育，學生在生命科學課程中的自我效能感獲得提高，這為學生在探索複雜科學問題時提供更大的信心和動力 (Su, 2022)。此外，研究還發現基於問題的 STEM 活動可以顯著增強中學生的問題解決能力和批判性思維傾向，從而促進認知成熟度和創新力。另外，一些研究表明，基於 STEM 的數學問題解決測試的整合顯示了有效性和可靠性，強調將 STEM 跨領域問題解決融入課堂的重要性 (Amalina & Vidákovich, 2022a)。而根據薈萃分析的結果進一步顯示，將基於問題的學習與 STEM 跨領域特性結合可以顯著改善不同教育水準和科目的學習成果，這突顯了這種方法在提高學生成績方面的有效性 (Suciana et al., 2023)。因此，可以看出，STEM 跨領域問題解決研究對學生技能和成績的提高具有重要意義。綜合上述可知，透過將數學與科學、科技與工程相結合，學生可以在解決實際問題的過程中應用各種學科的知識和技能，從而更好地理解 and 應用所學內容。可以預見到 STEM 教育將更加注重跨領域整合、實踐性學習和創新思維的培養。

第三節 STEM 跨領域問題解決評量缺口

一、現有評量方法的分析

評估 STEM 評量工具在測量跨領域問題解決能力方面的有效性和局限性是一項複雜的任務，因為它涉及到多個學科的知識和技能的整合。有效性方面，許多 STEM 評量工具被設計來衡量學生在特定學科內的知識和技能，並且這些工具通常包括針對理論知識和實際操作技能的評估。這些工具在評估學生如何將不同學科的知識應用於解決實際問題方面顯示出一定的有效性，因為跨領域問題解決能力正是 STEM 教育的核心目標之一。此外，一些評量工具採用項目回應理論 (Item Response Theory, IRT) 和電腦化適性測驗 (Computerized Adaptive Testing, CAT) 技術，這些技術能夠根據學生的能力水準提供個性化的評估，從而提高評量的精確度和效率。

然而，跨領域問題解決能力的評估往往需要學生在模擬的或真實的情境中應用他們的知識，這種評估方法的開發和實施比傳統的筆試更為複雜和成本更高。雖然 STEM 評量工具旨在衡量跨領域的能力，但在實際應用中，這些工具可能過於偏重於某一特定學科的知識和技能，而忽略其他學科的貢獻。此外，跨領域問題解決能力的評估還需要考慮學生的創造力、批判性思維、團隊合作和溝通技能等非認知因素，這些因素在許多現有的 STEM 評量工具中往往未能得到充分的評估。此外，文化和語言差異也可能影響評量工具的有效性，因為不同文化背景的學生可能對於相同的問題有不同的理解和解決策略。

探討 STEM 評估方法在實踐中遇到的挑戰，尤其是評量的有效性和公平性，是當前教育研究領域的重要課題。STEM 教育強調跨領域整合，旨在培養學生的創新思維和解決問題的能力。然而，有效地評估這些複

雜技能的發展，尤其是在跨領域的情境中，呈現出一系列挑戰。首先，有效性的挑戰來自於評量工具是否能準確反映學生在STEM領域的真實能力和學習成果。許多現有的評量工具依賴於傳統的測試方法，可能無法多方面捕捉到學生在解決實際問題時所展現的創造力和批判性思維能力。此外，跨領域學習的本質要求評量方法能夠涵蓋多個學科的知識和技能，這對評量設計提出更高的要求。其次，公平性的挑戰關注於評量過程是否對所有學生都是公正的，特別是考慮到不同背景和能力的學生（林坤誼等人，2023）。STEM領域內的性別、種族和社經地位差異可能導致對某些群體不公平的評量結果，進而影響這些學生的學習動機和自我效能感。

二、STEM跨領域問題解決能力的評量缺口

跨領域能力是指在解決問題過程中，能夠跨足不同學科和領域，將多種知識和技能整合應用的能力，這種能力的核心不僅在於掌握單一學科的知識，更在於能夠進行整合思考、深入分析、有效監控以及持續反思（Kelly et al., 2016）。跨領域問題解決能力的培養在STEM教育中占據著核心地位，學生面對的往往是需要從多角度分析和解決的複雜問題，透過跨領域學習的過程，學生能從不同領域獲得必要的知識和技能，並將這些知識技能融合運用於解決實際問題中，這樣的學習過程對於培養學生的高層次技能有重要的影響。學生在發展這一能力時面臨諸多挑戰，包括學科間的隔閡、知識的缺乏，以及對多學科解決方案的不熟悉性（Hew & Brush, 2007）。為了克服這些挑戰，STEM教育強調通過實踐和應用導向的學習來提升學生的問題解決能力。通過情境導向的學習和專題為基礎的教學方法實現，鼓勵學生在團隊合作的過程中解決實際問題，從而在跨領域的情境中應用所學知識和技能。

然而，在當前的 STEM 教育領域中，評估學生在 STEM 課程中的問題解決能力是一項重要且充滿挑戰的任務 (Gao et al., 2020)。這一挑戰主要來自於學術界和教育實踐之間對於如何有效評量的分歧，突顯出迫切需要制定一套能夠有效評估 STEM 跨領域問題解決能力的方法。評量缺口主要體現在幾個方面：「多數現有評量仍侷限於知識點的理解與記憶層次，與 STEM 教學強調的跨領域統整與應用導向教學目標出現落差，難以真實呈現學生整合運用科學、科技、工程與數學知識於真實問題中的能力。」；「現行評量方法大多偏重紙筆測驗或自陳式問卷，缺乏能同時評估學生『認知理解』與『問題解決歷程』的工具架構，導致教師難以掌握學生在真實情境中展現的策略、步驟與反思調整行為，限制教學回饋的深度與精準度。」；「既有評量方式多以總分表現作為結果呈現，忽略了學生在問題解決能力上可能存在的異質性與發展階段差異。換言之，目前尚缺乏能夠辨識學生能力樣貌分群，並作為分層教學或階段性引導依據的創新型評量方式」。

為了克服這些挑戰，首先，評量工具需要從單一學科能力的評估轉向更加注重跨領域能力的評估。這意味著評量不僅要考慮學生在單獨學科上的知識和技能，還要評估他們如何將不同學科的知識整合應用於解決複雜問題的能力，這樣的評量不僅應貼近 STEM 專業領域中的問題解決歷程 (Amalina & Vidákovich, 2022a)，並提供學生進行推理、判斷與決策的空間，使其展現具備多元策略運用與反思能力的學習歷程。再者，為避免傳統情境題因過長而降低施測效能，常見的作法是簡化情境化評量題目，但時常衍生情境不完整的問題產生，因此，本研究選擇結合自陳式量表結合李克特氏量表，是一種有效的方法來評估學生在 STEM 跨領域問題解決能力中的自我認知，這種方法允許學生根據自己的經驗和

自我評估來回答問題，從而提供對其能力的直接見解。同時在量表中融入評等敘述，可以幫助學生更精確地自我評估 (Davis et al., 2002)，將有助於學生更精確地進行自我反思與能力定位，同時也可為教師提供一套具邏輯結構與可觀察行為基礎的診斷架構，提升教學回饋的針對性。

另一方面，本研究輔以標準化的評分規準與任務型工具，如流程圖繪製任務，流程圖作為具結構化與視覺化的歷程再現方式，可有效反映學生之行動順序與推理策略，可進一步強化評量歷程性與表現導向評分的品質。以往在探究問題解決流程時有些專家學者會紀錄學生的行為作為轉錄資料 (Ulitzsch et al., 2021)，有部份的學者會選擇採用訪談或書面的方式，了解學生的問題解決過程，從 Pugalee (2004) 研究亦指出，相較於口語表達，讓學生將思考歷程以書寫方式呈現，可更有效促進問題解決之完成表現。

因此本研究參考 Davis et al (2002)、Pugalee (2004)、Amalina & Vidákovich (2022b) 以及 Wilson & Rigakos (2016) 探討問題解決流程之研究方法，透過實際的 STEM 跨領域情境讓學生嘗試思考進行問題解決，整合跨領域知識與技能來提出有效的解決方案，嘗試繪製並寫出其問題解決過程，不僅可補足問卷無法評量之歷程面向，亦有助於辨識學生是否具備統整與優化策略之能力。綜上所述，透過整合主觀覺察 (自評量表) 與實作歷程 (流程圖實作評量)，並輔以一致性的評分規準，將有助於建立一套兼具效度與教學診斷價值之創新型評量架構，為 STEM 教學與能力導向課程提供可行之評估工具。

第四節 STEM 跨領域問題解決能力之評量框架

在 STEM 教育中，跨領域問題解決能力的評量是一個關鍵的教育挑戰。鑑於如何有效評估 STEM 跨領域問題解決能力已成為共識（Gao et al., 2020; Roberts et al., 2022; Wang & Song, 2021），各教育機構和研究者正在積極開發和實施更有效的評量工具和方法。這些評量策略的設計不僅要能夠準確地衡量學生的跨領域問題解決能力，同時也需要促進學生對這些能力的進一步發展。為了達到這一目的，評量方法可能需要包括量化和質性的評估手段，以確保能夠從多個維度理解學生的能力。量化評估可能包括標準化測試和計分標準，這些可以提供一個客觀的基準來衡量學生能力的水平和進步。然而，僅靠量化方法可能無法完全描繪學生在實際情況中運用其跨領域知識和技能的能力。因此，質性評估如學生主導的專題活動、團隊合作的案例分析、以及實際問題解決的情境模擬也時常出現在評估材料中（Priemer et al., 2020）。

關於國中生 STEM 跨領域問題解決歷程的關鍵指標，可歸納如下：

一、STEM 問題界定與分析

問題界定與分析是 STEM 問題解決歷程的第一步，其目的在於協助學生辨識具意義且真實的問題情境，理解問題的背景脈絡、需求與限制條件。此階段不僅關係到後續解決策略的相關性，也影響學生是否能對問題產生探究動機。根據工程設計流程與設計思維理論，良好的問題定義能促使學生採取以使用者為中心的視角，並具備批判性思考的基礎（National Academy of Engineering, 2014; IDEO, 2012）。在有關 STEM 教育研究中，此階段普遍作為教學流程的開端出現。例如，Roberts 等人（2022）則認為，能否清晰定義問題，是學生後續進行分析與創新解決

的前提。Zhou et al. (2019) 亦指出在工程設計課程中，初期的問題的界定與規劃將影響學生後續的成果。因此，此向度在評量面向上，可觀察學生是否能明確描述問題、釐清限制與需求，並提出具分析性的初步假設。學生的語言表達、推理組織能力與對問題本質的理解程度，皆可作為此向度能力表現的依據。

二、STEM 資料蒐集與分析

在 STEM 問題解決歷程中，資料的蒐集與分析扮演承先啟後的關鍵角色，連結問題界定與方案構思兩階段。學生需能從多元來源獲取相關資訊，並透過比較、分類、推理與整合等認知操作，轉化為有助於解決問題的知識。此向度不僅呼應科學探究中的「尋找與解釋證據」(NRC, 2012)，亦涵蓋設計思維中定義問題(define)階段的深層理解需求(IDEO, 2012)。其核心價值在於提升學生的資訊素養 (information literacy)、邏輯推理能力與跨學科連結。相關研究對此向度的重要性已有充分佐證。Delahunty 等人 (2020) 指出，在 STEM 問題解決的初期，學生能否有效分析資料、連結既有經驗，將直接影響問題的表徵方式與後續構想的合理性。Roberts 等人 (2022) 則在整合式 STEM 實作架構中，明確提出「以資料為基礎溝通方案」為四大實作能力之一，顯示學生對資訊的搜尋與詮釋已超越被動接收，而需具備主動建構意義的能力。此外，Zeeshan 等人 (2021) 在 STEM 課程實施中發現，資料分析任務能有效提升學生的問題理解層次與科學推理歷程。

然而，值得注意的是，儘管資料蒐集與分析在 STEM 跨領域問題解決中具有不可或缺的角色，但從許多學者所建構的問題解決架構來看，流程多聚焦於問題定義、方案設計與驗證等階段，對於「資料蒐集與分

析」的操作與歷程則未予以詳述或獨立呈現。此一現象顯示，在部分 STEM 教學與研究架構中，對於學生資訊素養與資料處理歷程的培養重視程度仍顯不足，亦可能導致學生在後續的方案構思與執行階段，因基礎資料掌握不全而影響整體問題解決品質。故本研究關注將 STEM 資料蒐集與分析作為評量工具中不可或缺的一向度，補足既有架構在此環節的不足。

綜所上述，資料蒐集與分析向度不僅為學生建構知識基礎與概念理解的過程，更直接影響其後續解決策略的形成與實作可行性。未來若將此向度納入 STEM 學習歷程的評量架構中，可聚焦於學生是否具備辨識資訊需求、擷取與整合資料，以及運用資料支持問題理解與推論的能力。

三、構思與形成 STEM 解決方案

構思與形成解決方案是 STEM 問題解決歷程中激發創造力與創新思維的關鍵階段。根據 Aldilla 等人 (2023) 之後設分析，創意生成階段在問題解決中扮演關鍵角色，STEM 課程有助於顯著提升學生在此階段的反應廣度與獨特性 (Dewi et al., 2023)。此外，Nguyễn 等人 (2025) 發現設計思維五階段中的「構想 (ideate)」能有效促進學生創意發展與方案原型建構。學生需能在釐清問題與資料分析後，運用創意思考產生多元解決方案，並進一步將構想具體化為可行的解決策略。此向度強調「創意性問題解決」(Creative Problem Solving, CPS) 理論中的流暢性、彈性與原創性三大指標 (Torrance, 1974)。此向度不僅涉及學生的發散思維能力，亦強調其在約束條件下進行創新構想的能力。

在相關研究中，Huang(2019)提出以互動式畫布(Interactive Canvas)引導中學生進行創意構思，並發現這種可視化構思工具能有效促進學生

多角度思考問題並產生創意解法。Drumm (2015) 則透過“IDEATE”模組探討創意構思在 STEM 創業課程中的應用，發現學生在協作構思與原型開發中展現出高度創意與跨領域思維。此外，Belski 和 Belski (2016) 在跨國大學生創意構思比較中發現，學生的先備知識深度與廣度將顯著影響其創意構思數量與多樣性。

綜上所述，構思與形成解決方案向度不僅是學生展現創意與跨學科整合能力的關鍵階段，亦是決定問題解決策略是否具備新穎性與可行性的核心。將此向度納入 STEM 評量架構時，可聚焦於學生是否能提出多元構思、是否具備多角度思維，如科技、社會與環境面向，以及能否在有限資源下進行創新構思。

四、選擇最佳 STEM 解決方案

選擇最佳解決方案是 STEM 問題解決歷程中批判性思維與決策能力的核心體現。學生在構思多種方案後，需根據特定標準，如可行性、效能、資源需求、時間限制，對這些方案進行評估，並選擇最適合的解決策略。Priemer 等人 (2020) 提出一套跨學科問題解決框架，明確指出在問題解決中，「評估可行策略」與「選擇最適方案」是學科統整中不可忽視的歷程，此過程不僅考驗學生的邏輯推理與證據判斷能力，亦有助於他們理解在真實世界中，所有問題解決策略均需權衡利弊。Amalina 和 Vidákovich (2022) 亦指出，在數學導向 STEM 解題中，方案選擇常反映學生是否能根據邏輯與限制條件做出判斷。

相關研究指出，學生在 STEM 學習中進行方案選擇時，往往依賴於所掌握的背景知識與分析技巧。Lestari (2021) 發現，學生在選擇方案時，若能依據實驗數據與科學原理進行比較，其選擇正確率與問題解決

成效顯著提升。Roberts 等人 (2022) 則強調，STEM 整合實作中的「證據基礎的問題解決」不僅是學生學習的重要歷程，亦是決策過程中不可或缺的核心。同樣地，Sydykova 和 Naushabekov (2024) 於物理學習中發現，學生在進行方案評估時，透過數據驗證與反思能顯著增進其方案選擇的準確度。

總而言之，選擇最佳解決方案向度強調學生如何運用批判性思維，透過系統性評估標準與證據支持，從多種構思中篩選出最有效且可行的策略。作為 STEM 評量架構中的重要向度，此階段可評估學生是否能依據清晰的標準進行方案比較、是否能說明其選擇的理由，以及是否能針對方案的優劣進行分析。

五、STEM 方案執行

方案執行是 STEM 問題解決歷程中將構想轉化為實際行動的核心階段。學生在此階段需依據所選擇的最佳方案，將抽象構想轉化為具體實作，如模型製作、程式撰寫或實驗操作。這一過程不僅考驗學生的技術技能 (technical skills)，更強調其團隊合作、溝通與持續修正的能力。根據工程設計流程，執行階段強調反覆試錯 (trial and error)、資料記錄與結果觀察 (Dym et al., 2005)。

從研究中可知，STEM 方案的有效執行可顯著提升學生的問題解決能力。Nurmaliyah 等人 (2021) 發現，將 STEM 與專題導向學習 (Project-Based Learning, PjBL) 結合，不僅提升學生對免疫系統問題的理解，亦增強了他們的實作與協作能力。Apriyani 等人 (2019) 則指出，在電流學習中應用 STEM，學生透過分組製作電路模型，不僅學習到電學知識，亦強化了工程設計與測試技能。此外，Roberts 等人 (2022) 進一步指出，

STEM 實作應當強調「反覆修正與最佳化」(iterative refinement)，學生需在實作過程中不斷檢討、調整並改進其方案。

因此 STEM 方案執行向度不僅應評估學生的實作技術精熟度（如操作準確性、模型結構穩定性），亦應觀察其在團隊合作中的溝通互動、任務分工與問題處理策略。學生是否能主動記錄實作過程、檢視錯誤並進行修正，亦為此向度重要的觀察指標。

六、STEM 測試與評估

測試與評估是 STEM 問題解決歷程中將構想轉化為現實並檢驗其成效的關鍵階段。學生在此階段需對已實作之方案進行測試，並根據數據與觀察結果進行評估，確認其解決問題的有效性與可靠性。此階段強調「以證據為基礎的推理」(evidence-based reasoning)，學生不僅要進行測試，還需能將測試結果與原始問題進行比對，並據此進行修正。

研究顯示測試與評估向度在 STEM 學習中有助於提升學生的批判性思維與資料素養。Roberts 等人 (2022) 指出，將「以證據為本的溝通」與測試結合為重要實作技能，意指在 STEM 實作，學生若能夠基於測試結果進行反思與修正，其問題解決效果顯著提升。Dewi 等人 (2023) 透過後設分析證實，STEM 課程在測試與評估環節能顯著增進學生的問題解決能力，特別是在科學實驗與工程設計中。Zeeshan 等人 (2021) 則進一步強調，在 STEM 課程中引導學生進行反覆測試與資料記錄，能有效培養其數據分析與推理能力。

從評量觀點來看，STEM 測試與評估向度可透過以下指標進行觀察：學生是否能依據測試結果判斷方案是否達成預期目標；是否能有效記錄測試數據，並進行數據分析；是否能根據測試結果提出具體修正建議。

此向度不僅反映學生的科學探究能力，亦強調其在真實問題情境中進行實證判斷的素養。

七、STEM 問題解決回顧與優化

STEM 問題解決歷程的最終階段在於反思與優化，學生需回顧整個問題解決歷程，評估自身策略的成效，並進一步修正與優化其解決方案。此向度強調「後設認知」(metacognition) 與「批判性反思」(critical reflection)，學生需能檢視自身的思考歷程、識別錯誤並提出改進方案。根據 Dewey (1933) 所提出的反思性思考 (reflective thinking) 理論，反思並非僅為事後檢討，而是學生在問題解決過程主動監控與修正的能力。

過往研究證實，反思與優化能顯著提升學生的學習效果。Mahboobin 和 Clark (2020) 在生物工程課程中發現，學生透過多次反思不僅增進了問題解決能力，亦提升了對學習歷程的認識。Sarican 和 Akgunduz (2018) 則在中學科學課程中進行的實驗顯示，接受整合 STEM 教育的學生在反思性思考量表上的表現顯著優於傳統教學組。Chen 等人 (2020) 進一步指出，在 STEM 合作學習中設計反思機制 (如自我評估、同儕回饋) 能有效提升學生在問題解決中的修正與優化表現。

從評量觀點來看，STEM 反思與優化向度應觀察學生是否能：明確描述其解決方案的優缺點；基於測試結果或反饋提出具體改進建議；展現自我監控與修正能力。此向度強調學生從「做中學」到「學中修正」的轉變，不僅提升問題解決效率，亦培養其持續學習與自我反思的素養。

八、小結

綜上所述，本研究建構的七大向度涵蓋了學生於 STEM 問題解決歷

程中所展現的各項關鍵能力，包括：「STEM 問題界定與分析、STEM 資料蒐集與分析、構思與形成 STEM 解決方案、選擇最佳 STEM 解決方案、STEM 方案執行、STEM 測試與評估、STEM 問題解決回顧與優化」。這些向度不僅有助於捕捉學生的知識應用、技能實踐與策略思考上的表現，更能深入掌握學生在實際解題情境中的思考歷程、創新能力與自我調整歷程。通過這樣的評量框架，教育者可以更準確地理解學生的學習需求，指導教學實踐，並促進學生的多元發展。

在完成各向度的理論分析與界定後，為進一步檢視本研究評量架構之合理性與跨領域適切性，接續將各向度與現行 STEM 領域中的學科文獻進行比較，聚焦於「科學」、「數學」以及「科技與工程」等三大領域中對於「跨領域問題解決歷程」的定義，依其內涵對應分類至所提出之七個向度中，進行統整分析。藉此對照，可檢視本研究所提出之評量架構是否能涵蓋這些領域在問題解決歷程中所強調的核心能力與歷程，並突顯七大向度在跨學科教學與學習評量中的整合潛力與實用價值。比較對照選用三個具代表性的研究或框架，分別為：Bybee (2019)、Koyunlu Ünlü & Dökme (2022) 對科學探究的問題解決歷程探討；Amalina & Vidákovich (2022a, 2022b) 數學問題的 STEM 問題解決框架；Simarro & Couso (2021) 所提出的以工程導向的 STEM 問題解決歷程，將其與本研究的七大向度進行系統對應整理，結果如表 2-1 所示。

由比較結果可見，在「STEM 問題界定與分析」方面，三篇文獻皆將「界定問題」作為解決歷程的起始點。Koyunlu Ünlü & Dökme (2022) 強調從任務中辨識與強化問題背景；Amalina & Vidákovich (2022a, 2022b) 則將「辨識未知與已知資訊」與「確立問題目標」分為兩項能力指標；Simarro & Couso (2021) 亦明確指出須先進行「界定並劃定工程問題」，

顯示三者在此階段具有高度一致性。

在「STEM 資料蒐集與分析」歷程上，Koyunlu Ünlü & Dökme(2022) 的「辨識變項」與拆解後的「探究活動(資料蒐集與觀察記錄)」對應至典型探究歷程，Amalina & Vidákovich (2022a, 2022b) 則同時涵蓋「有關問題的表格、圖形、符號」等進行表述，範圍較廣。Simarro & Couso (2021) 提出之「規劃與執行測試」、「分析與解釋資料」則呈現出較偏工程導向的操作性強調，三者雖焦點略有差異，但皆重視在行動前取得有效證據與資訊的過程。

在「構思與形成 STEM 解決方案」部分，Koyunlu Ünlü & Dökme (2022) 的提出假設與探究活動(初步解釋與歸納)屬於典型的創造性思考與假設建構階段。Amalina & Vidákovich (2022a, 2022b) 則融合科學概念應用、準則設定與數學邏輯推演等多重歷程；Simarro & Couso (2021) 亦明確指出此階段需結合數學模型、運算思維與科技工具。此向度整體展現出較強的跨學科整合特徵。

關於「選擇最佳 STEM 解決方案」，Amalina & Vidákovich (2022a, 2022b)「評估並選擇替代方案」與 Simarro & Couso (2021) 的「選擇最合適方案」皆明確指出需在多個方案中做出判斷與抉擇，但 Koyunlu Ünlü & Dökme (2022) 的框架中並未單獨設立此階段，僅隱含於設計流程中「工程設計(選擇最佳方案)」，反映其設計較偏向學習者在過程中自然形成決策，而非明確外顯的歷程。

在「STEM 方案執行」向度中，三者皆有對應項目。Koyunlu Ünlü & Dökme (2022) 的「實驗規劃」與「工程設計(實作原型)」代表學生實際將方案轉化為行動；Amalina & Vidákovich (2022a, 2022b) 則強調建立解釋與解決策略；Simarro & Couso (2021) 則具體表述為「實作解決

方案」，一致性極高，展現出該向度為三篇框架中的核心階段之一。

而在「STEM 測試與評估」方面，Koyunlu Ünlü & Dökme (2022) 「工程設計 (測試與修正)」，Amalina & Vidákovich (2022a, 2022b) 則涵蓋證明、反例、邏輯驗證與反思。Simarro & Couso (2021) 此階段亦呈現邏輯辯證與資料驗證活動，三篇文獻皆將測試與評估視為連結理論與實務的關鍵橋梁。

最後，關於「STEM 問題解決回顧與優化」，三者皆強調反思與溝通的重要性。Koyunlu Ünlü & Dökme (2022) 的「最佳化」歷程強調深化科學知識並優化原有設計；Amalina & Vidákovich (2022a, 2022b) 則為「得出結論、評估和反思」；Simarro & Couso (2021) 更強調資訊的獲取、評估與溝通，包含成果分享與社會傳達面向。三者均認為反思不應止於自我回顧，而應進一步導向解決方案的調整與提升。

整體而言，在跨領域問題解決歷程，皆可在三個學科領域中對應相對應的核心歷程與能力需求，雖其階段設計密度、指標拆解邏輯與跨向度涵蓋程度有所差異，但顯示本研究評量向度不僅具備完整的問題解決歷程涵蓋性，也具有良好的跨領域整合基礎，有助於支援未來進一步發展可應用於真實教學情境中的跨學科 STEM 能力評量工具。

表 2-1

STEM 跨領域問題解決向度比較表

本研究歸納	基於科學探究的 STEM 問題解決 (Bybee, 2019 ; Koyunlu Ünlü & Dökme, 2022)	基於數學問題的 STEM 問題解決框架 (Amalina & Vidá kovich, 2022a, 2022b)	以工程實踐的 STEM 問題解決框架 (Simarro & Couso, 2021)
STEM 問題界定與分析	<ul style="list-style-type: none"> ● 界定問題 (Problem Identification) ● 強化問題背景 (Reinforcing the Problem) ● 探究活動 (提出問題 Asking questions) ● 工程設計 (界定問題與需求 Defining the problem and need) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 辨識未知與已知資訊 (Identifying relevant and valuable unknowns and given information) ● 確定問題目標 (Determining the goal of a problem) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 界定並劃定工程問題 (Defining and delimiting engineering problems)
STEM 資料蒐集與分析	<ul style="list-style-type: none"> ● 辨識變項 (Identifying Variables) ● 探究活動 (蒐集資料與觀察記錄 Collecting data and observations) ● 工程設計 (蒐集資訊 Gathering background and technical information) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 建立有關問題的表格、圖形、符號等進行表述 (Constructing representations using technology) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 規劃與執行測試 (Planning and carrying out tests) ● 分析與解釋資料 (Analyzing and interpreting data)

本研究歸納	基於科學探究的 STEM 問題解決 (Bybee, 2019 ; Koyunlu Ünlü & Dökme, 2022)	基於數學問題的 STEM 問題解決框架 (Amalina & Vidá kovich, 2022a, 2022b)	以工程實踐的 STEM 問題解決框架 (Simarro & Couso, 2021)
構思與形成 STEM 解決方案	<ul style="list-style-type: none"> ● 提出假設 (Hypothesizing) ● 探究活動 (初步解釋與歸納 Generating tentative explanations) ● 工程設計 (發展方案與預測分析 Developing and analyzing design ideas) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 使用基本概念 (Employing a useful basic concept) ● 提出假設、建立準則 (Making a hypothesis, developing criteria, or checking existing theory) ● 透過多方法執行計畫 (多方法應用 Applying mathematics concepts, mathematization, reasoning, computational skills) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 運用數學模型、運算思維與科技工具 (Using mathematics and computational thinking, scientific models and available technologies) ● 發展多種解決方案 (Developing multiple solutions)

本研究歸納	基於科學探究的 STEM 問題解決 (Bybee, 2019 ; Koyunlu Ünlü & Dökme, 2022)	基於數學問題的 STEM 問題解決框架 (Amalina & Vidá kovich, 2022a, 2022b)	以工程實踐的 STEM 問題解決框架 (Simarro & Couso, 2021)
選擇最佳 STEM 解決方案	<ul style="list-style-type: none"> ● 工程設計 (選擇最佳方案 Selecting the optimal solution) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 評估並選擇替代方案 (Arranging, critically choosing, and evaluating alternatives) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 選擇最合適方案 (Identifying and selecting the optimal solution)
STEM 方案執行	<ul style="list-style-type: none"> ● 實驗規劃 (Experiment Planning) ● 工程設計 (實作原型 Constructing and implementing a prototype) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 建立解釋與解決策略 (Formulating a reasonable explanation and solution) ● 透過多方法執行計畫 (以科學與科技為基礎支持解決方案的建構與執行 Applying science concept and technology) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 實作解決方案 (Materializing the solution)

本研究歸納	基於科學探究的 STEM 問題解決 (Bybee, 2019 ; Koyunlu Ünlü & Dökme, 2022)	基於數學問題的 STEM 問題解決框架 (Amalina & Vidá kovich, 2022a, 2022b)	以工程實踐的 STEM 問題解決框架 (Simarro & Couso, 2021)
STEM 測試與評估	<ul style="list-style-type: none"> ● 工程設計 (測試與修正 Testing and revising the prototype) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 結論與評估 (Drawing conclusions, evaluating, and reflecting) ● 透過多方法執行計畫 (數學推理、證明、反例 By deducting, proofing, or finding a counterexample) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 測試與分析資料 (Planning and conducting tests) 依據證據進行論證 (Engaging in argument from evidence)
STEM 問題解決回顧與優化	<ul style="list-style-type: none"> ● 以科技與數學深化知識 (Elaborating on science knowledge via technology and math) ● 工程設計 (最佳化與改進 Optimizing and improving the solution) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 結論與反思 (Drawing conclusions, evaluating, and reflecting) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 優化與溝通解決方案 (Engaging in argument from evidence) ● 獲取與溝通資訊 (Obtaining, evaluating, and communicating information)

第三章 研究方法

本研究旨在發展 STEM 跨領域問題解決能力評量工具，並對全國國中生進行調查研究，茲將本章節分為五個部分，分別為：第一節「研究設計」、第二節「研究對象」、第三節「研究流程」、第四節「研究工具」、第五節「資料處理與分析」，詳細說明如下。

第一節 研究設計

本研究旨在發展「國中生 STEM 跨領域問題解決能力評量工具」，參考 NRC (2001) 與 Pellegrino (2014) 提出之「評量三角模型」觀點，認為有效評量應同時考量能力的認知結構模型、能觀察該能力的任務表現、以及詮釋學生表現之推論系統。藉由多階段的研究程序，逐步建構評量架構與試題內容，並進行實證施測與統計檢驗，以評估工具之信效度與學生表現特徵。研究設計依循文獻探討、專家訪談、學生放聲思考、學生認知訪談、預試修正、正式施測等之程序，整體流程說明如下。

一、研究設計程序與理論依據

本研究參考吳明隆、涂金堂 (2011) 所建議之量表編製流程，採取多階段方式進行工具發展與驗證。研究起始階段，首先進行相關文獻整理與分析，初步建構以中學生 STEM 跨領域問題解決能力為核心的評量向度並參考 Amalina 和 Vidákovich (2022a)、Simarro 和 Couso (2021)、Koyunlu Ünlü 和 Dökme (2022) 等近期研究，歸納具代表性的認知歷程與跨學科能力表現，據以擬定「STEM 跨領域問題解決能力量表」初步向度與指標。

此外，本研究亦參考 Priemer 等人（2020）所提出「促進 STEM 問題解決的歷程架構」之概念，作為發展「STEM 跨領域問題解決流程圖實作評量」之理論基礎。Priemer 等人（2020）認為學生在問題解決歷程中所展現的認知步驟與路徑具有重要診斷價值，可協助教師釐清學生能力發展的歷程性與邏輯性。基於此觀點，本研究將可視化的歷程實作任務與自陳性評量進行多元評量整合，藉以建構一套能多方面反映學生認知歷程與問題解決表現的國中生 STEM 跨領域能力評量工具。本研究亦設計「STEM 跨領域問題解決流程圖實作評量」評分指標（P1~P4），作為評估學生在 STEM 跨領域歷程的具體表現。

初稿完成後，邀請兩位具 STEM 教育專長之大學教授針對評量架構與內涵，針對量表之向度劃分、題項內容與引導語進行訪談與修正建議，透過逐題討論與意義釐清，協助明確向度定義與降低題意模糊。接續階段，安排四位國中學生參與實際 STEM 活動並進行「放聲思考」，透過蒐集其在活動中的自然語言與操作行為，據以歸納學生於真實問題解決歷程中常見的策略與行為表現特徵，作為增修題項與補強內容效度之依據。其後，再透過認知訪談方式邀請學生說明填答歷程與語意理解，同時請四位具有教學經驗之國中教師，提供語詞用語、年齡適切性與教學實務上的潛在問題點之建議，進一步綜合修訂問卷表現形式與指標語意，完成預試問卷版本。完成以上質性探討與修訂後，即進行預試施測與量化分析，據以篩選不適題項與修正量表架構，最後進入正式施測與評量工具驗證階段。

整體設計程序涵蓋文獻建構、專家訪談、放聲思考、學生認知訪談、預試修正、正式施測等六大步驟，旨在確保本研究之評量工具兼具理論基礎、實務可行性與心理計量品質。

二、研究策略與方法

本研究採用多階段之量表建構與實證驗證程序，在方法選擇上具有以下三項策略性考量：

- (一) 指標建構依據真實學習脈絡：初期以學生放聲思考與行為觀察結果作為指標歸納來源，使所建構題項更貼近實際學習歷程。
- (二) 整合自評與歷程實作的雙軌資料來源：透過「自評量表」與「流程圖任務」兩種工具互為補充，同時掌握學生的主觀認知判斷與客觀歷程表現，克服單一資料來源的侷限性，提升評量的診斷效力與效度基礎。
- (三) 運用潛在剖面分析：本研究進一步運用潛在剖面分析方法探究學生能力異質性，辨識不同問題解決樣貌，有助於未來針對不同類型學生進行教學分層與個別化介入策略之探討。

三、倫理考量與品質控管

為保障研究參與者權益與研究結果之可信度，本研究於設計與實施各階段均落實倫理規範與品質管理措施，具體作法如下：

- (一) 質性資料收集前取得學生之知情同意，確保整體研究歷程符合法定與教育研究倫理規範。
- (二) 主題分析階段，參與編碼之研究人員皆接受嚴謹訓練，並採雙人交叉編碼與對照方式，以提升分析一致性與信度。
- (三) STEM 跨領域問題解決流程圖實作評量的評分，針對評分者進行前置培訓，並採雙人評分與核對程序，確保評分之穩定性與客觀性。
- (四) 量化分析階段，採用多項驗證性因素分析指標進行模型檢驗，確保研究模型之適配度與推論之嚴謹性。

第二節 研究對象

為建構與驗證國中生 STEM 跨領域問題解決能力評量工具，本研究歷經多階段資料蒐集程序，涵蓋專家諮詢、學生放聲思考、問卷預試與正式施測等環節。各階段之研究對象說明如下：

一、專家訪談對象

為確認量表初步向度與題項內容的適切性與完整性，本研究邀請兩位具 STEM 教育背景、並擁有八年以上教學與研究經歷的大學教授，進行一對一訪談。訪談內容聚焦於向度命名、題項語詞、引導文字、認知階段適切性與語意精確性之修訂建議，作為工具初稿形成的重要依據。

二、放聲思考活動參與者

為蒐集學生在實際參與 STEM 問題解決活動中的自然行為與語言反應，本研究招募四位國中學生（兩位男生、兩位女生），參與「氣球車設計與製作」之主題式 STEM 活動，過程中進行放聲思考與行為觀察記錄。透過分析其口語與實際操作歷程，歸納出具代表性的歷程步驟與策略應用，以補強問卷題項與流程圖評量指標之內容效度。

三、學生認知訪談對象

為進一步驗證問卷語詞可讀性與邏輯結構的可理解性，研究團隊邀請八位國中學生（含二年級與三年級學生各四人）進行認知訪談。訪談內容包含填答後即時反思、詞意詮釋與作答策略說明，據此對問卷進行語詞調整與結構微調。

四、預試施測樣本

為了確保本研究開發或修正的評量工具具備適當的信度與效度，本研究於北部兩所公立國中進行預試施測，對象為具備基本自然科與數學學習經驗之學生，同時考量 STEM 評量需一定基礎理化與工程概念之理解，故以國二與國三學生為主，共回收有效問卷 231 份（男生 119 人，女生 112 人），其分布如表 3-1 所示。根據先前的研究建議，有效的樣本大小對於獲得可靠的評量結果扮演重要角色，因此抽樣人數應不低於題目數量的 5 倍（Gorsuch, 1983），而且需有 100 個有效樣本，以確保統計分析的穩定性和結果的代表性（吳明隆、涂金堂，2011；Comrey, 1973）。

表 3-1
預試施測研究對象（N=231）

	男生（人）	女生（人）	總計
二年級	76	73	149
三年級	43	39	82
總計	119	112	231

五、正式施測樣本

根據 Ghiselli 等人（1981）建議，進行量表相關研究時，樣本大小應不少於 300 人，以題數的十倍為宜，以確保研究結果的信度與效度（邱皓政，2010）。因此鑑於本研究所設計問卷包含 35 題，有效樣本數不得少於 175 份，若大於 350 份尤佳。

正式施測階段共邀請北、中、南三個地區共 6 所國中參與，共回收有效問卷 356 份，樣本分布涵蓋各年級、性別與地區，並對照教育部 113 學年度各地實際國民中學國二與國三學生數進行比例抽樣。正式樣本詳

細分布如表 3-2 所示，整體樣本具代表性與區域均衡性，可用於進行信效度檢驗與潛在剖面分析。

表 3-2
正式調查樣本數 (N=356)

地區	有效樣本 人數 (百分比)					估計母群 人數 (百分比)				
	二年 級男	二年 級女	三年 級男	三年 級女	小 計	二年 級男	二年 級女	三年 級男	三年 級女	小計
北部	41 (12%)	40 (11%)	52 (15%)	42 (12%)	175 (49%)	44635 (13%)	41688 (12%)	42609 (12%)	39183 (11%)	168115 (48%)
中部	26 (7%)	20 (6%)	24 (7%)	20 (6%)	90 (25%)	23994 (7%)	22415 (6%)	23394 (7%)	21305 (6%)	91108 (26%)
南部	17 (5%)	31 (9%)	13 (4%)	30 (8%)	91 (26%)	25115 (7%)	23025 (7%)	24080 (7%)	22217 (6%)	94437 (27%)
總計	84 (24%)	91 (26%)	89 (25%)	89 (25%)	356 (100%)	93744 (27%)	87128 (25%)	90083 (25%)	82705 (23%)	353660 (100%)

註：北部區域：包括臺北市、新北市、基隆市、新竹市、桃園市、新竹縣及宜蘭縣；中部區域：包括臺中市、苗栗縣、彰化縣、南投縣及雲林縣；南部區域：包括高雄市、臺南市、嘉義市、嘉義縣、屏東縣及澎湖縣

第三節 研究流程

本研究旨在建構並驗證一套具信效度之「國中生 STEM 跨領域問題解決能力評量工具」，研究設計採取多階段程序進行，依據研究目的與分析需求，將整體流程區分為三個階段，共涵蓋九項研究步驟。各階段之實施流程與目的說明如下：

表 3-3
本研究實施流程說明表

流程	研究方法	說明	目的
階段一： 向度建構與工具初步發展	● 文獻分析	● 歸納 STEM 問題解決能力的向度與指標	● 作為工具發展理論基礎
	● 專家訪談	● 驗證量表向度完整性與實務適切性	● 建立初步內容效度
	● 質性分析	● 主題分析學生 STEM 問題解決歷程活動影片	● 驗證與補強向度與題項
	● 學生認知訪談	● 分析學生對題項語意理解	● 修正題幹與用語，提升語意效度
階段二： 工具修正與結構驗證	● 工具預試施測	● 進行 EFA、效標關聯分析	● 探索量表因素結構，確認信度與效度
	● 建立流程圖評分架構	● 發展可量化的評分指標	● 建置可量化之流程圖繪製實作評量成果

流程	研究方法	說明	目的
階段 三： 工具 應用	● 量表正式施測	● CFA 驗證因素結構	● 驗證向度效度
	● 流程圖評分	● 量化流程圖表現	● 整合自評與歷程實作資料來源，克服單一資料來源的侷限性
	● 工具應用分析	● 背景資料交叉分析、潛在剖面分析	● 檢視工具應用效力與診斷功能，確立實務應用價值

一、階段一：工具向度與初步發展

(一) 文獻分析：本階段首先透過系統性文獻回顧，彙整 STEM 跨領域問題解決能力之理論內涵與向度基礎，作為評量向度建構之依據。

(二) 專家訪談：參考量表建構原則，邀請具 STEM 教學、教育測量、課程設計專長之研究經驗大學教授進行專家訪談，針對初步 STEM 跨領域問題解決力量表向度、題項內容與 STEM 跨領域問題解決流程圖實作評量說明進行概念澄清與語意調整，以確保工具具備內容效度與教育實務適切性。

(三) 質性分析：為確認量表問項是否符合學生實際思維歷程，本研究邀請四位國中生參與「氣球車設計與製作」STEM 跨領域問題解決活動。參與學生須具備基本的 STEM 學習經驗，性別與年級比例均衡，活動時間約為 60 至 90 分鐘，全程使用 Microsoft Teams 軟體進行全程錄影與文字轉錄。圖 3-1 為學生進行 STEM 活動之場地配置、圖 3-2、圖 3-3 為研究人員觀察鏡頭、圖 3-4 為學生電腦螢幕畫面。

學生進行 STEM 活動的同時，搭配放聲思考」(think-aloud) 方法，以深入了解其問題解決過程與思維方式。為了確保所收集資料可用性，活動前進行「放聲思考訓練」，引導學生在實作時同步說出其想法與判斷依據。在活動後研究人員透過影片分析，轉錄其在問題解決歷程中所表現之行為表徵與策略應用，作為資料分析的依據。根據分析結果，研究者進行題項順序調整、增列學生常見但原題未涵蓋的概念，據以補強評量向度與題項。

圖 3-1
STEM 跨領域問題解決活動實際情況



圖 3-2
研究員觀察實際情況（臉部）

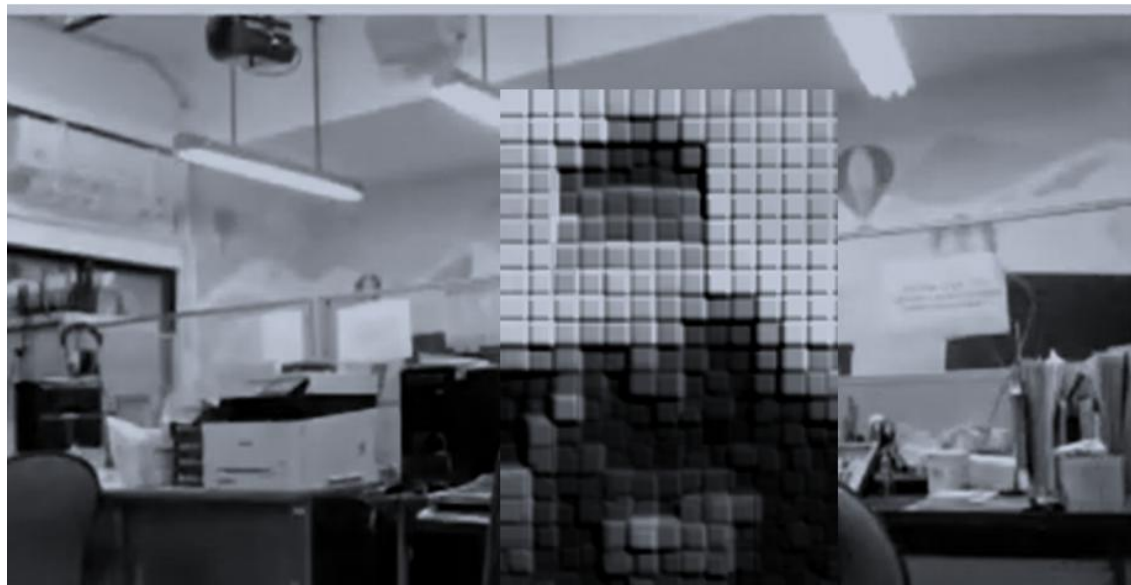


圖 3-3
研究員觀察實際情況（手部動作）



圖 3-4

研究員觀察實際情況（受試學生的螢幕畫面）



（四）學生認知訪談：考慮到評量的有效性和可靠性，初稿完成後，邀請八位國中學生參與認知訪談，採逐題訪談方式，如「你覺得這道題目在問什麼？」、「有沒有哪部分讓你困惑？」，藉了解問卷在實際施測中是否存在語詞誤解、邏輯跳接或閱讀負擔等問題，使其更貼近學生語言風格與認知結構，則以作為題項修正與語句調整之依據。初步問項設計特別考量以下原則：語句表達清楚、避免多重概念、符合國中生語文與認知發展程度、涵蓋不同層次的能力表現、利於後續進行 Likert 式量表設計與統計分析。訪談資料顯示，學生普遍認為工具操作流程具備一定可行性，但部分內容在語言表達與問題難度上仍顯複雜，較難完全適應其理解水平。例如，部分學生反映，某些問題表述過於抽象，需更具體化以提升使用體驗。本研究據此回饋調整題目措辭、格式或難度。研究者根據學生回饋與觀察紀錄進行第三輪題項修訂，並定稿作為預試版問卷。

二：階段二：工具修正與檢驗

(一) STEM 跨領域問題解決力量表預試施測：針對修訂後的量表進行小規模預試，施測對象為北部兩所國中的二年級與三年級學生 (N=231)，所得資料用以進行探索性因素分析，檢驗因素結構與題項，以及效標關聯效度，初步建立工具之建構效度與信度。本研究以林坤誼 (2023) 等人發展之中學生 STEM 跨領域問題解決能力測驗，作為效標關聯效度，經皮爾森相關分析結果顯示為顯著正相關 ($r=.29$, $p<.05$)。

(二) 學生 STEM 跨領域問題解決流程圖實作評量分析：針對流程圖繪製任務蒐集實作資料，進行評分指標修正與分析框架建構，提升評量工具之可行性與評分一致性。

(三) 建立 STEM 跨領域問題解決流程圖實作評量評分指標：參考質性觀察與文獻理論，整合形成四項流程圖評分向度 (P1：步驟完整性、P2：流程邏輯性、P3：反思與修正歷程、P4：跨領域統整表現)，作為後續實作任務之評分依據。

三、階段三：工具應用與統整驗證

(一) 量表正式施測與驗證分析：針對全國北、中、南三區共 6 所國中學生 (N=356) 進行正式施測，所得資料用以進行驗證性因素分析，確認量表整體向度與指標之建構效度。

(二) 工具應用成效分析：綜合分析學生之評量工具結果，進行：描

述統計分析（量表與流程圖各向度之得分分佈）、背景變項交叉分析（如性別、年級對各向度表現）、潛在剖面分析，以辨識學生在 STEM 問題解決能力上的異質性樣貌與類型分群，進一步支持教學分層介入可能性。

第四節 研究工具

為評量國中生於 STEM 教育情境中的跨領域問題解決能力，本研究設計評量工具包含兩部份，分別為「STEM 跨領域問題解決能力自評量表」與「問題解決流程圖繪製任務實作評量」。其中，自評量表著重學生對於問題解決歷程中各向度之認知與能力判斷；而流程圖繪製任務則藉由具體問題情境引導學生實作，以補充自陳資料之限制。以下分述兩項工具之設計理念、向度指標與實施方式。

一、STEM 跨領域問題解決能力自評量表

本研究所建構之自評量表設計參考潘慧玲等人(2004)將評量架構分為「向度-指標」二層級設計，對應學生於 STEM 問題解決歷程中所需展現之關鍵能力。此七向度包含：「S1：STEM 問題界定與分析、S2：STEM 資料蒐集與分析、S3：構思與形成 STEM 解決方案、S4：選擇最佳 STEM 問題解決方案、S5：執行 STEM 問題解決方案、S6：STEM 解決測試與評估、S7：STEM 問題解決回顧與優化」。

量表初稿參考相關文獻（Amalina & Vidákovich, 2022a; Simarro & Couso, 2021; Koyunlu Ünlü & Dökme, 2022）所擬定，並結合放聲思考與專家訪談所得資訊進行題項語義修正。每一向度包含 3~5 題，總計 30 題，採八點李克特量表。每題皆以簡明且具體的行為陳述呈現，例如：

「我知道 STEM 問題與哪些學科領域有關」、「我能進行 STEM 資料搜尋」。如此設計能協助學生自我反思，也便於教師理解學生當前發展層級。受試學生依據題項引導文字、以及自身經驗進行 8 分至 1 分的自我評分，以反映其對於各項能力的認知程度與自我評估。

二、問題解決流程圖繪製任務實作評量

為補強自陳式評量之限制，並參考 Priemer 等人 (2020) 所提出「促進 STEM 問題解決歷程架構」的可視化概念，本研究設計一項「問題解決流程圖繪製任務」。此任務要求學生於完成 STEM 任務活動（如氣球車設計）後，繪製其問題解決的完整歷程流程圖，並輔以步驟條列說明，以呈現其實際操作與思考流程（詳見圖 3-5、圖 3-6）。

圖 3-5
問題解決流程圖繪製實作評量任務範例說明

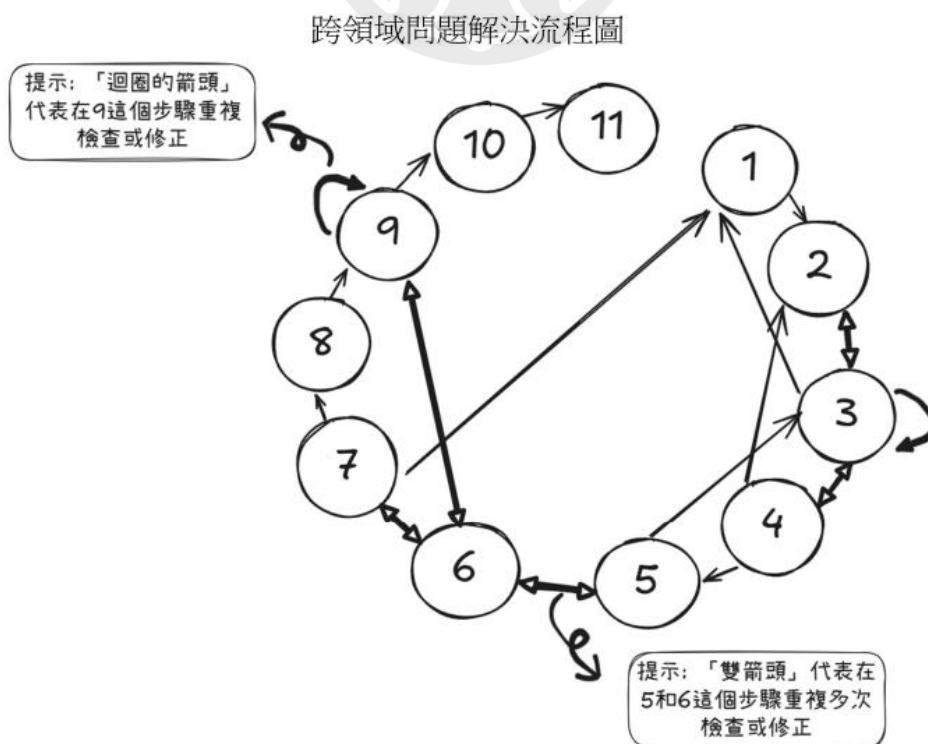


圖 3-6

問題解決流程圖繪製任務實作評量作答區

(主題 _____)
設計與製作專題
以下請詳列
在問題解決歷程中實際解決問題步驟

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____
6. _____
7. _____
8. _____
9. _____
10. _____
11. _____
12. _____
13. _____
14. _____
15. _____

若不夠可自行增加

(使用標號、單箭頭 (→) 和雙箭頭 (↔) 或 (↻) 繪製出問題解決流程，
並可在每個流程旁備註說明)

跨領域問題解決流程圖

別忘了再次檢查有沒有遺漏的地方

流程圖作品之評分標準依據質性分析與專家討論歸納為四大向度：

「P1：步驟完整性 (George et al., 2021)、P2：流程邏輯性 (George et al., 2021)、P3：反思與修正歷程 (Chinofunga et al., 2024)、P4：跨領域統整表現 (Roehrig et al., 2021)」。每向度均採 0~4 分進行評分 (請詳見表 3-4)，由兩位受訓評分研究人員依據評分準則交叉評定，並檢查一致性。此流程圖實作任務作為評量工具之補充工具，可用於檢視學生是否具備實際應用與歷程結構化能力，亦有助於進行學生表現的異質性分析與教學回饋。

表 3-4

STEM 跨領域問題解決流程圖實作評量評分標準

向度	具體敘述
步驟完整性	評估學生是否能清楚呈現問題解決過程的各個階段，並將每個階段具體化為明確的操作步驟與其目的。
4 分（優）	列出 7 個以上具體步驟，涵蓋問題界定、設計、製作、測試、修正等主要階段，且每步驟皆有具體動作+目的的說明（例如：測試輪子是否穩定）。
3 分（佳）	列出 5-6 個步驟，其中至少一半以上有具體動作說明，其餘為片語或簡略描述。涵蓋主要階段但略顯簡化。
2 分（可）	僅列出 3-4 個步驟，多數為片語或含糊用語，部分關鍵階段（如測試或修正）未呈現。
1 分（待加強）	僅列出 1-2 個步驟或多為無意義片語，無法看出實際問題解決歷程。
0 分	未呈現步驟內容，或內容與問題解決無明顯關聯。
流程邏輯性	評估學生是否能以邏輯順序組織步驟，並使用適當的連接方式（如箭頭）呈現流程的結構關係。
4 分（優）	所有步驟皆以單箭頭、雙箭頭等方式清楚連結，流程具備起點、中段與終點，並可見合理的回饋線（如測試→修改→重新製作）。
3 分（佳）	大多數步驟有連結與合理方向，但有 1-2 處未連接或方向錯誤，流程整體仍具邏輯。
2 分（可）	多處未連接或箭頭方向錯誤，流程混亂但仍能看出起訖與嘗試結構。
1 分（待加強）	幾乎無箭頭連接或連接混亂，流程順序無法理解或跳接嚴重。
0 分	無流程圖或僅呈現無關片語，無法辨識任何順序與連結結構。

表 3-5

STEM 跨領域問題解決流程圖實作評量評分標準 (續)

向度	具體敘述
反思與修正歷程	評估學生是否展現出在流程中發現問題、進行修正的歷程，並能透過視覺結構與文字說明呈現。
4分(優)	至少出現2處以上的迴圈或回饋線(如↷或↔)，並搭配文字清楚說明修改原因與依據，顯示高程度的反思與調整能力。
3分(佳)	有1-2處回饋線或重複流程，箭頭位置合理，即使無詳細說明亦可理解其修正意圖。
2分(可)	使用箭頭表現回饋但無文字說明，或箭頭回到不合理位置，反思歷程模糊。
1分(待加強)	完全無回饋線或流程呈現線性順序，無重複或反思修正歷程。
0分	無流程內容，或完全無任何回饋與修正的視覺或文字表現。
跨領域統整表現	評估學生是否能在流程圖中整合運用不同學科領域的知識，並說明其應用方式。
4分(優)	在流程或說明中清楚呈現至少兩種不同領域的知識(如設計中運用物理原理、測試中分析數據)並能指出其應用方式。
3分(佳)	有提及某一學科知識(如數學、科技)於特定步驟中使用，但未完整說明整合方法。
2分(可)	可見某些步驟與學科有關(如繪圖、測量)，但無說明或統整，知識應用暗示性較高。
1分(待加強)	未展現任何跨學科知識使用或統整行為，僅操作型流程描述。
0分	未提及任何學科知識或整合意涵，無法推論其跨領域運用。

第五節 資料處理與分析

一、放聲思考資料

本研究以 Braun 與 Clarke (2021) 所提出之主題分析法為主要資料處理方式，依其六步驟進行：熟悉資料(如反覆觀看影片並閱讀逐字稿)、開放編碼(如摘錄行為與語言)、匯整初步主題(如資料判讀、假設調整等)、對照文獻向度重新分類與修正、主題命名與統整、撰寫初步分析報告。而主題分析過程中，由兩位教育研究人員進行編碼，最終總計有 512 有效編碼。針對行為編碼資料之評分者一致性，本研究採用 Cohen's Kappa 作為指標進行分析。結果顯示，兩位評分者之間的契合度為 $\kappa = .66$ ，達統計顯著水準 ($p < .001$)，顯示兩位編碼者在類別標記上具有良好一致性 (Landis & Koch, 1977)。

二、自評量表資料

本研究蒐集自評量表資料後，依據量表發展與驗證之程序，進行以下統計分析：

(一) 描述性統計分析：計算各向度與題項的平均數、標準差、最小值與最大值，以掌握學生在各向度的表現分布情形，作為理解總體能力傾向之依據。

(一) 探索性因素分析：針對預試樣本 ($N = 231$) 進行探索性因素分析，以探查題項之潛在因素結構，並據以刪修不適題項。

(二) 驗證性因素分析：對正式施測樣本 ($N = 356$) 進行驗證性因素分析，以驗證量表之建構效度。

(三) 信度分析：計算各向度之 Cronbach's α 係數、建構信度

(Composite Reliability, CR) 與平均變異萃取量 (Average Variance Extracted, AVE), 作為內部一致性與集中效度之依據。

(四) 區別效度與多重共線性檢定：透過比較 AVE 平方根與向度間相關係數，檢視區別效度是否成立；同時計算變異膨脹因子 (VIF) 值，確認各向度間無明顯多重共線性。

三、流程圖實作任務資料

(一) 流程圖描述統計分析：計算四個評分向度之平均數與標準差，掌握學生歷程表現之整體輪廓。

(二) 評分一致性檢查：本研究由兩位具教育背景之研究人員依據預先訂定之評分標準，分別對所有學生的流程圖作品進行獨立評分。為評估兩位評分者之間的評分一致性，採用類內相關係數 (Intraclass Correlation Coefficient, ICC) 作為指標。ICC 適用於連續變項之評分一致性分析，能同時考量評分者間的變異與受評對象的總變異，較皮爾森相關或單純一致率更能反映真實一致性 (Koo & Li, 2016)。由於本研究的流程圖評分為等距量尺 (0-4 分)，且每位學生均接受兩位評分者的評分，故選擇雙因子隨機模型 (two-way random-effects model) 下的絕對一致性類型 (absolute agreement) ICC (2,1)，作為主要分析模式。

根據 Cicchetti (1994) 的建議，ICC 值介於 0.60 至 0.74 為「良好」一致性，0.75 以上則屬「優良」一致性。本研究針對四項流程圖評分指標 (P1~P4) 皆呈現良好至極高的一致性水準。在 P1 指標中，ICC(2,1) 為 .72，95% 信賴區間 [.59, .81]，達良好一致性水準，而兩位評分者平均值的 ICC (2,k) 為 .84，顯示一致性可達優良水準。

P2 指標則呈現極高一致性，其 ICC(2,1) 為 .99，信賴區間 [.99, .99]，

ICC (2,k) 更達 .99，顯示評分者間幾乎完全一致。

P3 指標的 ICC (2,1) 為.95，信賴區間 [.92, .97]，亦達優良水準，ICC (2,k) 為.97。

P4 指標之 ICC (2,1) 為.71，信賴區間 [.57, .81]，屬良好一致性，ICC (2,k) 則為.83。整體而言，四項指標評分者結果皆顯示評分標準具良好信度。

四、潛在剖面分析

為進一步探討學生在 STEM 問題解決能力上的異質性樣貌，本研究以連續變項為指標進行潛在剖面分析 (Latent Profile Analysis, LPA)。採用 Mplus 軟體進行一至五類模型估計，並依據 AIC、BIC、aBIC、Entropy 及 Lo-Mendell-Rubin LRT 等指標選擇最適類別數。分析結果可作為後續教學分群與分層介入策略之參考依據。

第四章 研究結果

本章旨在呈現本研究針對國中階段學生所設計之「STEM 跨領域問題解決能力評量工具」之建構歷程與研究成果。依據研究目的：「發展適用於國中生的 STEM 跨領域問題解決能力評量向度與指標」、「驗證國中生的 STEM 跨領域問題解決能力評量工具信效度」、「探討國中生 STEM 跨領域問題解決能力類型與表現差異」個別對應至研究結果各節。本章共分為：國中生的 STEM 跨領域問題解決能力評量指標、國中生 STEM 跨領域問題解決能力量表信效度、國中生 STEM 跨領域問題解決能力現況與類型差異。

第一節 國中生的 STEM 跨領域問題解決能力評量向度與指標

本研究旨在發展適用於國中生的 STEM 跨領域問題解決能力評量指標，為探討評量應具備的評量向度與指標，本研究依據相關文獻與理論架構初步建構七大能力向度，並透過大學領域專家深度訪談驗證其架構適切性及相關重點，接著，根據國中生參與 STEM 任務過程中的放聲思考所錄製之影片資料，進行主題分析與跨案例歸納，形成 STEM 跨領域問題解決能力題項。

一、國中生的 STEM 跨領域問題解決能力評量重點與向度

為強化本研究評量工具的內容效度與實用性，研究者首先邀請兩位具備 STEM 教育與課程評量經驗之專家進行半結構式訪談。訪談主要針對 STEM 跨領域問題解決力量表向度之向度分類、題項設計與學生理解性提出意見。研究者將訪談逐字稿整理出以下五項具代表性的修正方

向。根據訪談結果，專家除肯定本研究所建構向度架構之理論一致性外，亦針對實際施測與學生作答可能遇到的問題提供具體修正建議。本研究根據訪談意見進行項目修訂與語句優化，作為正式施測工具之基礎。

(一) 肯定評量向度之價值與理論基礎

專家認為本研究所建構的向度具備良好的整體邏輯，建議應在論文中明確交代此架構的理論參照與分類依據，以提升其學術基礎與研究說服力。

「這些向度其實也能呼應 STL 或 NGSS 裡的分類邏輯……建議明確寫出參照理論。」(A-011)

「你要從你預期評的項目去對應……然後回推題目設計上是不是要多一些指示或是指引。」(A-017)

所採取的修正措施：在論文中補充對應理論依據，標註各向度參照來源。

(二) 題項用語應簡化並貼近學生語言

專家指出部分自評題項中用語較為艱澀或抽象，學生理解可能受限，進而影響作答正確性與信效度，建議應簡化敘述與字彙，使學生能明確理解題意。

「我覺得國中學生不見得很夠懂……對自己的評估也可能過高。」
(B-023)

「那每一個敘述本身其實都有很大的資訊量……不是很確定他能不能選這個。」(B-033)

「你要改成國一學生能夠理解的語言……改完再思考後續處理。」
(B-054)

所採取的修正措施：修正所有題項用語，避免抽象術語，並透過簡化敘述提升可讀性。

（三）實作題應設計具體引導

當評量任務開放性過高或步驟指引不清時，學生容易無法聚焦或跳過關鍵歷程。專家建議在此類題項中提供子題分段、舉例或具體語句，以提升題目聚焦與評量可用性。

「你這幾個問題是要學生逐一回答嗎？……太開放他會不知道該怎麼作答。」(A-044)

「你要讓學生更清楚知道你要問什麼……可能就要多一些指引。」(A-047)

所採取的修正措施：針對實作題題目，增設引導語與範例子句。

（四）情境任務設計應連結學生經驗

專家指出，若學生對問題解決任務沒有相關操作經驗，則在進行反思或推理時，容易產生虛構性作答，建議可先提供實作經驗，再輔以自評，提升反思品質與準確性。

「我會先讓學生做過氣球車，然後再畫流程圖……這樣才知道他畫的東西是不是代表他的過程。」(A-055)

「如果把情境放進來比較符合你第二部分……那你就可以做前後對照。」(B-065)

所採取的修正措施：在施測前提供簡單任務體驗或說明，作為學生自評的情境背景。

(五) 配合學生表達與作答特性

針對學生作答風格與自我評量難度，專家建議採用極端範例、分層式描述，或使用階段性選項進行區辨，協助學生在自評時更能自我定位，提升作答品質。

「你可不可以給他兩個極端的描述……讓他知道自己落在哪一邊，這樣資訊量比較少。」(B-066)

「有些人用疊加的方式……學生比較容易判斷自己在第幾階段。」(B-076)

所採取的修正措施：每題設計中加入分層式描述或對照極端選項，幫助學生更明確定位。

二、國中生 STEM 跨領域問題解決行為指標之內涵

為歸納學生於問題解決歷程中具代表性之行為特徵，以補充與修正原有指標內容，本研究進一步分析國中生參與 STEM 任務過程中的放聲思考資料。研究資料來源為四位學生於氣球動力車製作與設計之 STEM 課程實作過程中進行放聲思考所錄製之影片，搭配觀察記錄與任務歷程，進行主題分析與跨案例歸納。本節以影片觀察所得的逐步行為資料為基礎，運用 Braun 與 Clarke (2021) 之主題分析法進行編碼與概念歸類，並依據學生於 STEM 問題解決歷程中的具體行為反應，進行跨個案歸納與行為特徵分類，進一步探討國中生在真實情境下的 STEM 跨領域問題解決行為樣態。

本研究為呈現 STEM 實作歷程中學生問題解決行為的自然展現，選

取四位具代表性的學生個案，進行逐步影片分析與行為編碼。研究採用主題分析六步驟進行分析歷程，包含資料熟悉化、初始編碼、搜尋主題、審查主題、定義與命名主題、撰寫報告 (Braun & Clarke, 2021)，並強調主題的再現性與行為語境的對應性，以確保分析結果具備可辨識的教育應用價值。研究過程中先建立行為單元轉錄表，將影片中出現的活動行為依時間順序記錄，並輔以研究人員觀察記錄與學生產出成果(如草圖、筆記、修正紀錄)進行交叉比對。透過四位國中學生在 STEM 活動中的實作影片進行質性分析，從中釐清學生展現 STEM 跨領域問題解決能力之歷程，進一步探討量表七向度所代表的核心歷程與行為指標。最後，透過國中學生認知訪談與中學教師效度檢核意見，確認各題項之語意清晰度與評量可行性，完成 STEM 跨領域問題解決力量表與 STEM 跨領域問題解決流程圖實作評量評分規準的初稿設計。根據主題整理與分類結果，將分析結果歸納為七個主題，對應原量表之七向度，分述如下：

(一) STEM 問題界定與分析的歷程展現

向度一為「STEM 問題界定與分析」，聚焦學生如何在 STEM 活動初期理解問題、確認需求與條件，展現其認知起點與問題理解架構。此向度依據既有文獻與本研究量表項目，可再細分為五項次主題：1.1 辨識學科與問題相關性、1.2 說明問題背景與目標、1.3 辨識已知與未知資訊、1.4 確認資源限制與範圍。以下針對四位學生的影片資料進行歸納與詮釋。

表 4-1

STEM 問題界定與分析歷程之行為編碼摘要表

主題	次主題	行為表徵	舉例說明
STEM 問題 界定 與分 析	1.1 學科相關性	能指出涉及學科領域	「這應該是理化或生活科技會做的」 (d.21.17.7.3)
	1.2 問題與目標	能描述設計目的與需求	「就是讓車跑比較遠、比較快」 (a.02.16.2.3)
	1.3 已知與未知	能區分既有資訊與待解資訊	「我知道不要用瓶蓋，不知道什麼材料比較好」 (f.11.13.5.3)
	1.4 資源與限制	能辨識可用材料、時間限制	「因為有這些材料」(b.61.57.1.5)
	1.5 影響因素探討	能提出可能變項及其關聯	「氣球大小會不會影響速度」 (a.03.24.7.1)

1.1 辨識學科與問題相關性

在此面向中，學生能夠初步辨識氣球車設計與科學概念的關聯，明確指出：「氣球動力車可以動跟第三牛頓-作用力與反作用力有關」，展現出對物理力學知識的調用與連結。此外，另一學生主動查閱「作用力與反作用力的原理」，顯示其在問題初期具有主動連結學科概念的行為。

1.2 說明問題背景與目標

關於活動目標的說明，學生皆能在引導下釐清任務目標。學生直接說明：「他說要開始製作氣球車」，雖未詳述活動背景，但能表現出任務導向的行為意圖。

1.3 辨識已知與未知資訊

在辨識資訊方面，影片資料顯示，學生普遍未主動列舉或分析已知

與未知資訊。此部分於現階段主題中較為缺乏直接行為表徵，僅有一位同學指出「我知道不要用瓶蓋，不知道什麼材料比較好」推測可能因活動時間限制、活動設計未特別引導學生進行知識盤點，亦可能反映學生在解題初期缺乏內化此種策略性認知。

1.4 確認資源限制與範圍

針對可用資源的覺察，多數學生展現具體行動。如：主動「確認手上有用的材料」，並詢問「是否能使用尺及三角板」，展現其在操作前評估物資與範圍的能力。此類行為有助於規劃可行解決方案，亦反映其初步的限制性條件評估能力。

1.5 找出影響結果的可能因素並思考其關係

主要觀察學生是否能在執行過程中主動提出「可能影響氣球車表現的因素」，並進一步進行推論或假設形成。如：學生提及「看氣球的大小會不會影響跑的距離」，顯示其對變項的敏感度與初步因果推理能力。此發言可視為將知識轉化為可操作的假設。相較之下，多數學生並未主動指出可能的影響變因，對氣球車效能的理解主要停留在「做出來就看結果」的層次，未見明確的變項假設或評估。反映學生對於問題中多變項關係的理解深度不同，亦突顯問題分析歷程中推理與預測能力的重要性。

(二) STEM 資料蒐集與分析的歷程展現

向度二「STEM 資料蒐集與分析」指探討學生在 STEM 活動中進行資料搜尋、擷取、分析與歸納的歷程，理解其如何主動建構與問題解決

相關的知識基礎。共歸納出五項次主題：2.1 能主動搜尋與檢索所需資料、2.2 能選擇適當的資料來源並進行擷取與記錄、2.3 能將資料進行分類與整理、2.4 能整合資料並推論出問題可能的解決方向、2.5 能評估資料的可信度與限制性。以下針對其表現特徵進行整理與說明。

表 4-2

STEM 資料蒐集與分析歷程之行為編碼摘要表

主題	次主題	行為表徵	舉例說明
STEM 資料 蒐集 與分 析歷 程	2.1 資料搜尋	使用搜尋工具，主動蒐集資料	「Google 輸入關鍵字：氣球動力車製作」 (b.60.40.3.5)
	2.2 擷取與篩選	點選與主題相關的影片或資源	「點選影片一：氣球為什麼會飛？利用原理做奔跑的小車」(b.58.00.7.4)
	2.3 分析與分類	比較不同資料內容，進行初步分類	「兩部影片做法不太一樣」 (c.58.01.6.3)
	2.4 歸納與推論	從資料中萃取操作原則	「影片說用吸管比較穩定」 (d.58.13.1.2)
	2.5 資料可信度與限制	根據資料來源與可行性做出選擇或保留	「這個(資料)好像是小朋友做的，我覺得不太準」 (e.42.32.4.3)

2.1 能主動搜尋與檢索所需資料

學生在問題形成初期即展現出主動搜尋資料的行為，例如學生在活動開始階段即在 Google 中鍵入「氣球動力車 製作」等關鍵字，意圖理解該裝置的基本原理與構造。此類行為顯示學生已能將問題轉化為可

操作的搜尋語句，具備初步的資訊檢索意識，並有策略地尋找資源來源。

2.2 能選擇適當的資料來源並進行擷取與篩選

在資料蒐集中，學生表現出對資料來源的選擇能力。例如學生多次點選與活動主題相關的影片，並選擇「創作分享動手玩科學」、「力學 氣球車」等頻道內容，進行有意識的擷取與比較。這些資料選擇不僅對應到活動需求，亦展現學生對資料相關性與實用性的初步判斷能力。

2.3 能將資料進行分類與整理

儘管觀察中學生未直接以分類術語操作，但從其觀看資料的選擇順序與對不同影片所述原理的回應中，可由觀察得知：學生在觀看影片後指出「這個影片講的是氣球推進力的原理，跟我們之前做風車有點像」，顯示其已嘗試將資料分類歸於動力來源的相關知識脈絡。此類潛在分類行為對後續解決方案的形成具有關鍵性意義。

2.4 能整合資料並推論出問題可能的解決方向

資料歸納與推論能力則反映於學生將不同來源資訊加以綜合後，嘗試提出可行解法的過程。例如在觀看氣球推進車相關影片後，學生表示：「那我們也可以用吸管跟竹筷固定氣球，讓氣流從後面噴出去」，顯示其已由資料中抽取原理，並推論出實作方法。此行為彰顯了學生初步的知識轉化與應用能力，亦為 STEM 資料處理歷程中不可或缺的認知展現。

2.5 能評估資料的可信度與限制性

在蒐集與使用資料的過程中，學生是否具備基本的資訊評估能力，對問題解決品質具有高度影響。從觀察資料可見，有些學生會基於資料的來源、表達方式或與自身經驗的對應性進行篩選與斟酌。例如：學生在觀看某 YouTube 影片後說道：「這個好像是小朋友做的，我覺得不太準」，並未採用其中的解法，反而回頭選擇另一個由專業頻道提供的說明影片。此舉顯示其對資料來源可靠性的初步判斷，反映出資訊素養中對「來源評估」的敏感度。此外，也有學生在觀察資料後表示：「影片上那個氣球很大，我們應該沒有那種材料」，進而選擇調整操作方式。此一行為展現了其對資料應用限制的意識，即便資料本身可能有效，學生仍會考量資源可得性與情境差異，這種「現實可行性」的評估即屬於資料限制判斷的重要面向。

(三) 構思與形成 STEM 解決方案的歷程展現

本向度旨在探討學生如何在 STEM 活動中提出假設、整合知識資源、設計創新方案，並根據限制條件進行調整，最終提出預期結果與風險評估。從四位學生的活動影片中，歸納出以下五項次主題，並針對其表現特徵與具體案例進行整理與說明：

表 4-3

構思與形成 STEM 解決方案歷程之行為編碼摘要表

主題	次主題編號	行為表徵	舉例說明
構思 與形 成解 決方 案	3.1	提出一項或多項假 設或初步解法	「使用竹籤穿過瓦 楞板」 (a.04.04.4.3)
	3.2	描述測試步驟或驗 證方法	「先裝上兩個輪子 推看看，如果不平 就再換一種方 法。」 (d.35.57.7.2)
	3.3	整合兩種以上學科 概念或資源	「因為氣體推力角 度是直的才有力， 這樣會比較有效 率。」 (f.28.24.5.2)
	3.4	在受限情境中調整 設計策略	「輪子太滑，我們 用膠帶黏一下應該 會比較穩。」 (b.35.36.4.2)
	3.5	預測方案風險與預 期效果	「如果貼太前面會 壓到氣球口，那風 會不會噴不出 來？」 (f.28.24.5.2)

3.1 提出可能解法或假設

學生展現出針對問題提出多種解決方案的能力，具備創意發想與假設建構的初步能力。例如學生明確提出對輪胎製作的替代方式：「那我們可以用寶特瓶蓋剪下來當車輪看看」，或使用「竹籤穿過瓦楞板」作為車軸定位的初步構想。這些言語顯示學生已能連結過往經驗與現有資源，

產生多樣解決方案，符合創新思維的起點。

3.2 描述如何驗證一個假設

雖然部分學生未明確表達完整的驗證流程，但可見其內隱測試思維。例如學生曾表示：「先裝上兩個輪子推看看，如果不平就再換一種方法」，此說法揭示其具備初步實驗設計意識，能透過具體操作來驗證假設。這種試錯策略在實作階段尤為關鍵，亦代表學生已能將想法轉化為可檢驗的行動方案。

3.3 整合多種學科知識或資源進行創新設計

學生於活動中嘗試以「吸管當軸心+瓶蓋做輪胎」為設計構想，反映其同時運用了物理中有關摩擦與穩定的知識與生活中的材料經驗。此外，學生在多次嘗試中提及「留幾毫米的空隙比較穩」顯示其運用數學估算與物理力學概念，進行設計上的精細調整。這些行為顯示學生已能跨領域整合知識以解決問題。

3.4 在受限情境中調整解決方案

學生在遭遇材料限制或結構失敗時，能主動調整原先設計。例如學生表示「因為沒馬達，那就不用氣球推進」，顯示其根據可用資源快速轉換策略，不僅突顯其靈活性，也體現出應變能力與解決問題的彈性。

3.5 提出預期結果與可能風險或錯誤點

雖然此項能力在國中階段尚屬發展初期，但仍有學生能意識到某些設計可能產生失敗。例如學生在組裝輪胎時即表示：「這樣會不會太鬆？可能跑不遠」，此一觀點不僅顯示其能預測可能的技術問題，也突顯其已

開始建立風險評估的概念。

(四) 選擇與執行最佳 STEM 解決方案的歷程展現

本向度旨在探討學生如何從多種可能方案中，進行比較、評估與選擇，並考量可行性與內部邏輯，最終採取適當的行動方案。此歷程反映學生對於方案選擇的理解與判斷能力，從實際操作中的策略選擇與討論發言中可見思維歷程。以下依次主題整理學生表現特徵與舉例：

表 4-4

選擇與執行最佳 STEM 解決方案歷程之行為編碼摘要表

主題	次主題	行為表徵	實際舉例
選擇 最佳 STEM 解決 方案	4.1 契合度判斷	能評估方案是否對 應任務目標	洞只要能讓竹籤穿過光碟片上的瓦楞板中間就好，太大或太歪會導致行走困難 / 目測 (d.41.19.2.4)
	4.2 優缺點比較	能列舉不同設計的 長處與限制	原本要將吸管直接插入底板的孔隙，但後來發現連接輪胎時可能會直接鎖死，因此選擇像影片二一樣，將吸管切半貼在底板上 (e.05.51.1.3)

表 4-5

選擇與執行最佳 STEM 解決方案歷程之行為編碼摘要表 (續)

主題	次主題	行為表徵	實際舉例
選擇 最佳 STEM 解決 方案	4.3 實際可行性考量	考量時間、材料、 工具的限制	發現影片二也是使用粗吸管，因此決定使用粗吸管連接氣球 (e.41.19.2.5) 本來決定照舊，但發現底板的面積不夠使用，因此還是決定照著影片的方式製作 (e.30.58.6.4)
	4.4 團隊討論與整合	經過討論後做出選擇	本次觀察資料中尚未發現明確與他人討論並共同做出方案選擇的行為表現。
	4.5 系統連鎖判斷	能理解部件間的依賴關係	本次觀察資料中尚未出現學生分析方案內部互動關係 (如 A 影響 B) 的具體行為。

4.1 評估契合問題需求

學生能從問題目標出發，選擇較能解決目標的方案。例如明確指出：「洞只要能讓竹籤穿過光碟片上的瓦楞板中間就好，太大或太歪會導致行走困難」，此反映其以車輛行走穩定性為評估標準，進行方案選擇。

4.2 比較不同方案的優缺點

部分學生展現出對方案多角度思考的能力，能指出各方案的潛在利弊。例如學生曾提及：「原本要將吸管直接插入底板的孔隙，但後來發現連接輪胎時可能會直接鎖死，因此選擇像影片二一樣，將吸管切半貼在底板上」，此表述顯示其能預測設計風險並轉向更佳方案。

4.3 考量可行性（資源、限制）

學生亦會根據手邊資源進行調整。例如學生表示：「發現影片二也是使用粗吸管，因此決定使用粗吸管連接氣球」，或「底板面積不夠使用，因此改變製作方式」，說明其已將材料限制納入決策依據。

4.4 與組員討論後做出選擇

在與他人討論與傾聽的策略歷程中，本次觀察資料尚未明確呈現學生在此項次的具體行為。可能因活動設計未強調小組討論中的選擇歷程，或學生於實作中較偏向個別操作導向，未出現明顯的協商過程。但是適用於其他團隊合作 STEM 活動，所以決議保留。

4.5 分析方案內部的互動或連鎖關係

目前觀察資料中也尚未明顯見到學生主動分析方案內部變因之間的連鎖反應或因果關係。此可能顯示學生尚未建立完整的系統性思維架構，或於實作階段尚未發展出將技術性操作進行因果檢視的習慣。此次主題在問題解決過程中尤為重要，所以決議保留。

(五) STEM 方案執行的歷程展現

本向度旨在觀察學生如何依據原先構想實際進行實作，並於操作歷程中靈活應變、合理配置資源、記錄過程以及與他人協調任務。這些執行歷程能揭示學生是否能從構思階段順利轉譯至具體行動，並反映其工程實踐與協作能力。以下依次主題整理學生表現特徵與具體案例：

表 4-6

STEM 方案測試與評估歷程之行為表徵摘要表

主題	次主題	行為表徵	實際舉例
STEM 方案測試與評估	5.1 依步驟實作方案	依照規劃步驟實作解決方案	照影片中車底尺寸進行製作 (f.16.52.2.2) 繼續畫車底 (a.08.18.4.3) 畫四個車的輪胎 (a.10.00.2.4)
	5.2 處理突發問題	靈活處理實作中的問題	用橡皮擦當尺 (a.36.18.1.3) 畫在中間發現不好裁剪因此改畫在邊邊 (a.36.52.5.2)
	5.3 資源分配與運用	使用時間材料空間等跨領域資源	本次觀察中未見學生進行策略性分配與明確表達。
	5.4 過程記錄與整理	記錄、拍照、標註等整理歷程	學生主動以筆記方式記錄歷程內容。(e.35.51.5.2)
	5.5 協同執行與互助	與他人協調完成任務	觀察期間未出現學生互助、協作完成任務之具體行為。

5.1 依照規劃步驟實作解決方案

學生展現出將構想轉為行動的能力，能按照設計藍圖或參考資料進行實作。例如學生於活動中「照影片中車底尺寸進行製作」、「畫四個車的輪胎」等行為，說明其已內化操作步驟，並依序完成初步製作。

5.2 靈活處理實作中的問題

學生在遇到操作上的困難時，能即時調整方法或替代工具。例如學生「用橡皮擦當尺」來取代缺失工具，或「畫在中間發現不好裁剪因此改畫在邊邊」，展現靈活處理與自主調整能力，對於維持任務進度具有關鍵作用。

5.3 整合時間材料空間等跨領域資源

本次觀察中未明確觀察到學生對時間、空間或材料等資源進行計畫性分配與運用的具體行為。僅有一位學生紀錄前期搜尋資料和製作所需時間。但是此次主題在問題解決過程中尤為重要，所以決議保留。

5.4 過程記錄與整理

學生可能習慣以記憶或口頭方式溝通操作流程，僅有少數學生能記錄實作任務歷程。

5.5 與他人協調完成任務

在觀察樣本中亦未見到明確的協同作業或互助行為，推測本次任務操作以個別完成為主，雖然研究人員有表明其同時扮演組員角色，但學生在實作中較少進行資源共享與任務協商。但是適用於團隊任務以促進協調與合作歷程的展現，因此保留。

(六) STEM 測試與評估的歷程展現

本向度聚焦於學生在實作完成後如何設計與執行測試、評估成效、分析錯誤、運用數據進行修正，以及對比預期與實際表現。此向度反映學生科學探究中重要的驗證與反思能力。以下依次主題整理學生表現特徵與具體案例：

表 4-7

STEM 測試與評估歷程之行為表徵摘要表

主題	次主題	行為表徵	實際舉例
STEM 測 試 與 評 估	6.1 選擇合適測試方 式	根據問題特性選擇 測試方法	學生未明確說明其 測試方式與問題類 型之間的關聯，可 能因活動測試方式 較單一
	6.2 判斷測試結果是 否達標	能評估結果是否符 合預期目標	判斷有點歪 (a.55.29.3.2) 判斷氣體流入吸管 與氣球時是否會被 阻擋 (a.55.37.1.4)
	6.3 分析出錯與原因	能指出錯誤點並推 論其原因	發現車輪轉軸不 正，應該是製作上 切割不平整 (a.63.21.2.2) 分析之前方案的錯 誤來源 (a.00.03.4.3)
	6.4 以測試數據修正 方案	能依據數據或結果 進行修改	未觀察到學生依據 具體測試數據進行 修正設計的行為。

主題	次主題	行為表徵	實際舉例
	6.5 比較預期與實際結果	比較差異並推論落差來源	學生未陳述原先預期與實際測試結果的差異，亦未主動推論落差成因。

6.1 根據問題特性選擇測試方法

本次觀察資料中，學生未明確表述所選測試方法與問題類型的對應關係。可能因任務中測試情境較為單一（如裝置能否前進），學生傾向直接觀察結果，未顯性展現測試設計的思考歷程。但是此次主題在問題解決過程中尤為重要，所以決議保留。

6.2 能評估結果是否符合預期目標

學生在多次操作中對車輛走向進行直觀評估，例如「判斷有點歪」、「判斷多少都有點歪」，或觀察氣體是否順利流通，展現出其具備基本的評估能力，能根據操作反饋判斷是否達到預期。

6.3 能指出錯誤點並推論其原因

學生也能辨認出不如預期的結果，並提出合理推測。學生曾指出「車輪轉軸不正，應該是製作上切割不平整」，並對失敗方案進行回顧，如「分析之前方案的錯誤來源」。這些語言展現出其對因果關係的初步理解，有助於後續修正。

6.4 能依據數據或結果進行修改

目前觀察中未出現學生依據明確測試數據（如測距）進行方案修正的行為，可能反映學生尚未具備量化評估與根據數據調整設計的實作

經驗。但是此次主題在問題解決過程中尤為重要，所以決議保留。

6.5 比較預期與實際結果之差異

資料中亦未發現學生明確陳述「原本預期如何，實際結果如何」的比較語句。此可能顯示學生尚未建立以預期為參照軸的思維模式。但是此次主題在問題解決過程中尤為重要，所以決議保留。

(七) STEM 問題解決回顧與優化的歷程展現

本向度著重於學生在完成活動後，是否能從整體歷程中回顧成功經驗、指出困難與改進方向，並省思思維變化、吸收同儕反思收穫，以及發展可應用於未來的策略。這些歷程代表學生是否具備系統性的反思能力與知識轉化能力，是高層次問題解決歷程的重要表徵。

表 4-8

STEM 測試與評估歷程之行為表徵摘要表

主題	次主題	行為指標	舉例說明
STEM 問題 解決 回顧 與優 化	7.1 回顧成功經驗	指出成功的部分與原因	複製製作輪胎與車軸的製作 (a.04.06.5.2)
	7.2 說出困難與改進	指出困難並提出改進方法	因手繪圓導致車子會跑偏 (b.41.31.6.2)
	7.3 思維轉變省思	自我省思並指出思維調整	觀察中未出現學生陳述其觀點轉變的語句，如從原想法修正為新策略的過程。
	7.4 討論反思啟發	與他人討論後表達收穫	學生未表現出從同儕討論中獲得新想法或改變行動方案的語句。

主題	次主題	行為指標	舉例說明
	7.5 建立通用策略	提出可通用的解題策略	未觀察到學生提出具通則性、可遷移至未來任務的策略語句。

7.1 指出成功的部分與原因

學生在測試完後認為可以比照先前的製作方式，如「跟前輪一樣的製作」與「複製製作輪胎與車軸的成功經驗」，這顯示其能主動辨識出自身的成功經驗，並在後續活動中加以再現，具備正向學習歷程的基礎。

7.2 指出困難並提出改進方法

在遭遇困難時，學生能嘗試找出原因與修正方向。例如學生指出「因手繪圓導致車子會跑偏」，即屬於具備初步回顧與修正意識的表現。

7.3 自我省思並指出思維調整

觀察資料中尚未出現學生主動陳述「原先的想法是...後來變成...」這類思維轉變的語句。此可能反映學生在省思過程中未具備明確對比視角，或缺乏語言表達該層次經驗的引導。但是此次主題在問題解決過程中尤為重要，所以決議保留。

7.4 與他人討論後表達收穫

未觀察到學生明確以「從他人身上學到什麼」或「我們討論後決定改成...」為主體的回顧敘述。學生可能仍以個別操作為主，或缺乏明確的協作記錄場景。但是此次主題在問題解決過程中尤為重要，所以決議保留。

7.5 提出可通用的解題策略

學生亦未主動提出「我下次遇到類似問題會...」這類具有通則性策略的語句。這代表學生尚未將經驗轉化為可遷移的知識結構。但是此次主題在問題解決過程中尤為重要，所以決議保留。

三、小結

為了將學生於實作任務中展現的具體行為，轉化為具備可操作性與施測性的量表題項，本研究將質性分析所歸納的能力內涵進一步轉化為評量指標，以確保所設計之項目能有效反映學生的實際能力表現與認知傾向。本研究主要參考 DeVellis (2016) 與 Wilson (2005) 關於量表發展與題項建構之程序，強調由實證資料出發經過與理論參照，進而轉化為結構化的題項內容，同時，整體評量之發展亦符合 Pellegrino (2014) 所提出評量三角模型，強調認知模型(能力內涵)、觀察指標(學生行為)、與詮釋機制(量表題項)三者之間的對應一致性，作為建構效度的重要依據。

本研究先由學生於放聲思考活動中的行為表現主題編碼中，整理出核心能力特徵，再依據這些特徵撰寫為第一人稱自陳句型。例如，在「STEM 問題界定與分析」向度中，若學生能指出問題所涉及的相關學科，即顯示其具備基本的跨學科識別能力，據此轉化為：「我知道 STEM 問題與哪些學科領域有關」等語句。

綜合上述，本研究者依據主題分析結果與文獻支持，進一步編製以下國中生「STEM 跨領域問題解決能力」初步評量框架。本框架共包含七個主要向度，並以學生行為表現為基礎設計各項指標。初步框架中每項指標均對應至實際觀察或文獻資料來源，並標註相關編碼，以確保內容的信效度與可追溯性(見表 4-8)。此框架可作為後續自評量表設計與

量化分析依據之基礎，亦有助於釐清學生於問題解決過程中之具體行為樣貌與思維歷程。

表 4-9
「STEM 跨領域問題解決能力」初步評量框架

向度 1：STEM 問題界定與分析	編題來源	
	影片	文獻
1.1 我知道 STEM 問題與哪些學科領域有關。	✓	✓
1.2 我清楚 STEM 問題中的主要內容，包括背景與目標。	✓	✓
1.3 我清楚與 STEM 問題相關的已知資訊，以及未知資訊。	✓	✓
1.4 我能了解資源的限制，以及確定解決 STEM 問題的範圍。	✓	✓
1.5 我能找出這個問題中可能影響結果的因素，並思考它們之間的關係。	✓	✓
向度 2：STEM 資料蒐集與分析	編題來源	
	影片	文獻
2.1 我能進行 STEM 資料搜尋與檢索	✓	✓
2.2 我能進行 STEM 資料擷取與篩選	✓	✓
2.3 我能進行 STEM 資料分析與分類	✓	✓
2.4 我能歸納 STEM 資料的趨勢與線索	✓	
2.5 我能進行 STEM 資料的評估與釐清	✓	

表 4-10

「STEM 跨領域問題解決能力」初步評量框架（續）

向度 3：構思與形成 STEM 解決方案	編題來源	
	影片	文獻
3.1 我能針對 STEM 問題提出多種可能的假設或解決方案。	✓	✓
3.2 我能根據假設，擬定測試計畫來檢驗其可行性。	✓	✓
3.3 我能結合不同方法或資源，設計創新的 STEM 解決方案。	✓	✓
3.4 我對 STEM 設計構想進行調整時，能考慮實際條件。	✓	✓
3.5 我能預測可能的結果與問題，並提出 STEM 問題解決策略。	✓	✓
向度 4：選擇最佳 STEM 解決方案	編題來源	
	影片	文獻
4.1 我能運用 STEM 知識，判斷哪些方案更符合問題的需求與目標。	✓	
4.2 我能比較不同方案的優點與限制，評估哪個方案比較合適。	✓	✓
4.3 我會考量資源條件與需求，以選擇更可行的方案。	✓	
4.4 我能與不同領域觀點的人溝通協調，整合觀點來選擇最佳方案。		✓
4.5 我會分析方案中各個環節的關聯與影響，選出最佳解決方式。		✓
向度 5：STEM 方案執行	編題來源	
	影片	文獻
5.1 我能依據先前規劃，逐步執行跨領域整合的解決方案。	✓	✓
5.2 我能靈活處理執行過程中的突發問題或挑戰。	✓	
5.3 我能整合並調配不同領域所需的資源，以順利完成執行任務。		✓

表 4-11

「STEM 跨領域問題解決能力」初步評量框架（續）

向度 5：STEM 方案執行	編題來源	
	影片	文獻
5.4 我能整理執行過程中的重要資訊，以支持跨域方案的進行。	✓	
5.5 我能與不同觀點或專長的組員協調合作，促進方案順利執行。		✓
向度 6：STEM 測試與評估	編題來源	
	影片	文獻
6.1 我能評估所使用的測試方式是否適合問題情境。		✓
6.2 我能判斷測試的結果是否達到預期目標。	✓	
6.3 我能分析測試中發現的問題，並確認問題的來源。	✓	
6.4 我能運用測試數據和實際情況支持我對方案的成效的評估。		✓
6.5 我能比較測試結果與目標間的差異，並說明造成落差的原因。		✓
向度 7：STEM 問題解決回顧與優化	編題來源	
	影片	文獻
7.1 我能回顧過程中的表現好的地方，並說出為什麼好。	✓	
7.2 我能指出這次做得不順利的地方，並提出具體可以怎麼調整、下次怎麼避免。	✓	
7.3 我能根據這次的經驗，發現自己在解決問題時的思考轉變。		✓
7.4 我能與他人分享這次的經驗與反思結果，並從討論中學到新的想法或做法。		✓
7.5 我能提出一套運用在 STEM 問題上的解決策略或流程。		✓

第二節 國中生 STEM 跨領域問題解決能力評量工具之信效度

本研究評量工具由「STEM 跨領域問題解決能力量表」與「STEM 跨領域問題解決流程圖實作評量」所組成，兩者以不同方式探測學生 STEM 問題解決能力：前者聚焦於學生對自身認知策略與跨領域整合歷程的覺察與陳述；後者則以具體行動歷程與視覺化步驟表現，呈現學生在真實任務中的策略與反思操作。為驗證所發展之 STEM 跨領域問題解決能力評量工具的信效度與向度適切性，於工具初步建置後，進行預試問卷施測並採用探索性因素分析（EFA）檢視量表向度的潛在結構與題項集中程度；接續進行正式樣本施測，透過驗證性因素分析（CFA）進行建構效度驗證，檢視量表各向度與題項間的模型適配度；同時以 Cronbach's α 檢驗內部一致性信度，並進一步探討各向度之鑑別效度與相關係數表現。針對流程圖評分工具則另進行高低組差異分析，以佐證評分規準的區別能力與實用性。以下個別針對信效度分析結果進行說明。

一、STEM 跨領域問題解決能力量表之信效度檢驗

（一）信度分析

為驗證本研究所發展之「國中生 STEM 跨領域問題解決能力量表」之信度，經一致性檢驗結果顯示，七個向度之內部一致性信度 Cronbach's α 皆達良好水準，範圍介於 .78~.90（詳見表 4-9）。

表

4- 12 Cronbach's α 一致性檢驗

向度	信度 α
S1	.90
S2	.84
S3	.83
S4	.84
S5	.78
S6	.87
S7	.80

註：S1：STEM 問題界定與分析；S2：STEM 資料蒐集與分析；S3：構思與形成 STEM 解決方案；S4：選擇最佳 STEM 解決方案；S5：STEM 方案執行；S6：STEM 測試與評估；S7：STEM 問題解決回顧與優化



(二) 效度分析

1. 探索性因素分析

為驗證本研究所發展之「國中生 STEM 跨領域問題解決力量表」，本研究以主成分分析法進行探索性因素分析。初步分析中，刪除不符合因素負荷標準之題項（因素負荷量 $< .60$ ），包括 S3.4、S4.4、S5.3、S5.5 與 S6.1 等五題，以提升整體量表結構效度與簡潔性。最終保留之題項共計 30 題，分屬於七個向度，並呈現良好之因素結構（詳見表 4-10）。S1：STEM 問題界定與分析（S1.1~S1.5），因素負荷量介於 $.66 \sim .90$ ；S2：STEM 資料蒐集與分析（S2.1~S2.5），因素負荷量介於 $.68 \sim .85$ ；S3：構思與形成 STEM 解決方案（S3.1~S3.5），因素負荷量介於 $.75 \sim .83$ ；S4：選擇最佳 STEM 解決方案（S4.1~S4.5），因素負荷量介於 $.62 \sim .87$ ；S5：STEM 方案執行（S5.1、S5.2、S5.4），因素負荷量介於 $.71 \sim .80$ ；S6：STEM 測試與評估（S6.2~S6.5），因素負荷量介於 $.84 \sim .90$ ；S7：STEM 問題解決回顧與優化（S7.1~S7.5），因素負荷量介於 $.65 \sim .82$ 。上述結果顯示各題項與所屬向度間具有良好的因素一致性，多數題項因素負荷量高於 $.70$ ，部分題項落於 $.60$ 至 $.70$ 間，亦屬可接受水準（Hair et al., 2014）。整體而言，量表各向度具備良好之效度。

綜合而言，本研究所建構之量表經探索性因素分析後具備良好的建構效度與內部一致性，顯示其能有效評估國中學生在 STEM 跨領域問題解決能力中的多面向表現。

表 4-13 探索性因素分析表

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
S1.1	0.89						
S1.2	0.88						
S1.3	0.90						
S1.4	0.89						
S1.5	0.66						
S2.1		0.78					
S2.2		0.85					
S2.3		0.83					
S2.4		0.76					
S2.5		0.68					
S3.1			0.81				
S3.2			0.83				
S3.3			0.80				
S3.5			0.75				
S4.1				0.62			
S4.2				0.78			
S4.3				0.77			
S4.5				0.87			
S5.1					0.75		
S5.2					0.71		
S5.4					0.80		
S6.2						0.84	
S6.3						0.88	
S6.4						0.85	
S6.5						0.90	
S7.1							0.65
S7.2							0.78
S7.3							0.82
S7.4							0.80
S7.5							0.74

註：S1：STEM 問題界定與分析；S2：STEM 資料蒐集與分析；
 S3：構思與形成 STEM 解決方案；S4：選擇最佳 STEM 解決方案；
 S5：STEM 方案執行；S6：STEM 測試與評估；S7：STEM 問題解決回顧與優化

2. 驗證性因素分析

為進一步驗證本研究所建構之「國中生 STEM 跨領域問題解決能力量表」在七向度架構下之適配性與測量品質，本研究針對探索性因素分析後保留之 30 題項進行驗證性因素分析，並檢視各潛在變項之收斂效度與內部一致性。各向度之標準化因素負荷量均介於 .77 至 .90 之間，顯示各題項對其對應潛在變項具良好代表性。其中「S1：STEM 問題界定與分析」向度之因子負荷量範圍為 .77~.89，「S2：STEM 資料蒐集與分析」為 .80~.87，「S3：構思與形成 STEM 解決方案」為 .86~.90，「S4：選擇最佳 STEM 解決方案」為 .82~.89，「S5：STEM 方案執行」為 .85~.88，「S6：STEM 測試與評估」為 .83~.88，「S7：STEM 問題解決回顧與優化」為 .83~.86，皆符合收斂效度建議標準（Hair et al., 2014）。此外，七個向度的複合信度（CR）皆大於 .90，範圍介於 .90~.93，超過建議標準值 .70；平均變異抽取量（AVE）則介於 .70~.76，亦均高於 .50 的建議基準，顯示各潛在變項具良好的收斂效度與內部一致性（Fornell & Larcker, 1981）（詳見表 4-11）。

表 4-14
驗證性因素分析表

架構	因素負荷量		<i>M (SD)</i>	CR	AVE
	題項				
S1	-	-	-	0.93	0.73
	S1.1	0.87	4.71(1.77)		
	S1.2	0.86	4.39(1.81)		
	S1.3	0.89	4.35(1.77)		
	S1.4	0.87	4.43(1.84)		
	S1.5	0.77	4.62(1.90)		
S2	-	-	-	0.92	0.70
	S2.1	0.82	4.67(1.75)		
	S2.2	0.87	4.66(1.82)		
	S2.3	0.87	4.55(1.86)		
	S2.4	0.80	4.55(1.86)		
	S2.5	0.82	4.54(1.73)		
S3	-	-	-	0.93	0.76
	S3.1	0.86	4.53(1.93)		
	S3.2	0.90	4.60(1.93)		
	S3.3	0.86	4.52(1.90)		
	S3.5	0.86	4.60(1.91)		
S4	-	-	-	0.92	0.73
	S4.1	0.85	4.59(1.90)		
	S4.2	0.87	4.65(1.93)		
	S4.3	0.82	4.68(1.91)		
	S4.5	0.89	4.64(1.85)		
S5	-	-	-	0.90	0.75
	S5.1	0.87	4.82(1.88)		
	S5.2	0.88	4.66(1.83)		
	S5.4	0.85	4.62(1.87)		

	因素負荷量		<i>M (SD)</i>	CR	AVE
架構	題項				
S6	-	-	-	0.93	0.71
	S6.2	0.83	4.68(1.87)		
	S6.3	0.84	4.63(1.82)		
	S6.4	0.88	4.77(1.89)		
	S6.5	0.84	4.76(1.89)		
S7	-	-	-	0.92	0.71
	S7.1	0.85	4.91(1.94)		
	S7.2	0.84	4.78(1.86)		
	S7.3	0.86	4.80(1.81)		
	S7.4	0.83	4.80(1.91)		
	S7.5	0.83	4.65(2.05)		

註：S1：STEM 問題界定與分析；S2：STEM 資料蒐集與分析；S3：構思與形成 STEM 解決方案；S4：選擇最佳 STEM 解決方案；S5：STEM 方案執行；S6：STEM 測試與評估；S7：STEM 問題解決回顧與優化

3. 多重共線性與區別效度檢驗

為確認各變項間是否存在多重共線性問題，以及各向度是否具有足夠的區別性，本研究進一步檢視各潛在向度之 VIF（變異膨脹因子）與 Fornell-Larcker 標準下之區別效度。分析結果顯示 VIF 值範圍介於 1.77 至 3.06，皆低於判定共線性問題之臨界值 5.00（Hair et al., 2014），顯示各潛在向度間無顯著多重共線性問題，測量模型具良好解釋力與穩定性。

根據 Fornell 和 Larcker（1981）所提出之區別效度檢驗標準，當潛在向度的 AVE 值之平方根大於其與其他向度之相關係數時，即表示該向度具有良好區別效度。從表中可見，七個潛在向度（S1-S7）之 AVE 平方根（對角線數值）皆大於與其他向度間之相關係數。例如，S1 的 AVE 平方根為.85，皆大於其與其他向度之相關（最大為.81）（詳見表 4-12）。

綜上所述，本研究測量模型具備良好之區別效度與結構穩定性，顯示各向度雖具相關性，但能有效區分其所代表之概念向度，支持本研究七向度量表架構之理論適切性與測量品質。

表 4- 15
區別效度分析表

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
S1	0.85						
S2	0.81	0.84					
S3	0.81	0.83	0.87				
S4	0.80	0.81	0.86	0.86			
S5	0.74	0.78	0.82	0.85	0.87		
S6	0.74	0.79	0.83	0.85	0.83	0.84	
S7	0.73	0.77	0.79	0.81	0.81	0.83	0.84

註：S1：STEM 問題界定與分析；S2：STEM 資料蒐集與分析；S3：構思與形成 STEM 解決方案；S4：選擇最佳 STEM 解決方案；S5：STEM 方案執行；S6：STEM 測試與評估；S7：STEM 問題解決回顧與優化

二、STEM 跨領域問題解決流程圖實作評量信效度檢驗

(一) 信度分析

為驗證本研究所發展之「STEM 跨領域問題解決流程圖實作評量架構」之信度，經一致性檢驗結果顯示，實作評量總分之內部一致性信度 Cronbach's α 皆達良好水準 ($\alpha=.68$)。

(二) 效度分析

1. 探索性因素分析

為檢驗本研究「流程圖實作評量工具」之建構效度，採用探索性因素分析（EFA），使用主成分分析法（Principal Component Analysis, PCA）與無轉軸方式（unrotated）進行。以四個向度指標（步驟完整性、流程邏輯性、反思與修正歷程、跨領域統整表現）進行分析，評估其是否可歸屬於單一潛在因子。分析結果顯示，四個向度皆能聚合至同一主成分，第一主成分特徵值為 2.20，解釋總變異量達 54.95%。向度之 factor loading 範圍介於 .59 至 .86，顯示各向度間具收斂性（見表 4-13）。此結果支持流程圖評量工具可視為單一潛在能力之測量指標，具建構一致性。

表 4-16
流程圖評量架構之因素負荷表

代號	向度名稱	因素負荷量
P1	步驟完整性	0.81
P2	流程邏輯性	0.67
P3	反思與修正歷程	0.86
P4	跨領域統整表現	0.59

2. 獨立樣本 t 檢定

為檢驗流程圖評量工具之區別效度，本研究將學生依據流程圖實作評量總分進一步劃分為高分組與低分組，並進行獨立樣本 t 檢定分析。Levene's 變異數檢定顯示兩組變異數不相等 ($F=18.759, p<.001$)，故採用不等變異數的 t 檢定。結果顯示高分組 ($M=13.56$) 在流程圖評分總分上顯著高於低分組 ($M=8.88$)，具顯著差異 ($t=-26.96, df=175.58, p<.001$)，95%信賴區間為 $[-5.03, -4.35]$ ，顯示本評量工具具良好區別效度。

第三節 探討國中生 STEM 跨領域問題解決能力現況與類型差異

探討國中生於 STEM 跨領域問題解決能力上的潛在表現類型，並分析不同類型學生的能力特徵與表現差異，本研究透過所建構之評量工具，包括自評量表得分與流程圖實作評量得分作為潛在剖面資料進行分析，探討國中生於 STEM 問題解決能力表現上的潛在類型，並進行模型比較，如：AIC, BIC, Entropy 等，以選定最適類型數。依據分析結果進行類型命名與詮釋，說明各類型學生在自我覺察與實作能力上的整體表現特徵。進一步以多變量差異分析，探討各類型學生在評量表現與背景變項上的差異。本節將整合圖表、與敘述分析，呈現分類模型建構與應用價值。

一、國中生的 STEM 問題解決能力之現況

(一) 國中生對 STEM 或 STEAM 課程興趣

從整體百分比來看，表現「普通」興趣的學生佔比最高（35%），其中男生略高於女生（男生 19%，女生 16%），顯示大多數學生對 STEM 課程持開放但不強烈的態度。而「喜歡」與「非常喜歡」兩類之正向態度者，共佔 34%，略高於表現出負向態度者（「不喜歡」與「非常不喜歡」合計為 30%）。此一結果顯示，儘管對 STEM 課程的強烈熱忱學生比例有限，仍有相當比例學生抱持積極態度，具有進一步培養興趣的潛力。

性別方面，男生在「普通」（19%）與「喜歡」（11%）類別中皆略高於女生（分別為 16%、10%），而在「非常不喜歡」與「不喜歡」類別中，女生比男生略高，顯示部分女生對 STEM/STEAM 課程可能存有較高的排斥或不確定性。

年級方面，二年級學生在兩極化態度（如「非常喜歡」與「非常不喜

歡」)的比例略高於三年級，推測可能與二年級學生尚處於對 STEM 課程探索初期、認知尚未穩定階段有關；而三年級學生則表現出較多「喜歡」與「普通」的穩定傾向，顯示其對課程興趣可能較為成熟或具體。

表 4-17

國中生對 STEM/STEAM 課程興趣的年級與性別交叉分析表

STEM/STEAM 課程興趣	性別	二年級	三年級	總計
非常不喜歡	女	6%	4%	10%
	男	3%	3%	6%
不喜歡	女	5%	3%	9%
	男	3%	2%	5%
普通	女	7%	9%	16%
	男	11%	9%	19%
喜歡	女	3%	7%	10%
	男	3%	8%	11%
非常喜歡	女	3%	2%	6%
	男	3%	4%	7%

(二) 國中生對基本物理與化學原理的理解程度

為探究學生在 STEM 四向度中的科學 (Science) 基礎能力，本研究調查學生對「基本物理與化學原理的理解程度」之自我評估結果。整體結果顯示，學生多數對理化基本概念具有中等程度以上之熟悉度，但仍存在一定比例感到「不熟悉」甚至「非常不熟悉」(37%)，顯示基礎科學理解在國中階段仍有鞏固與補強之空間。

在總體分佈上，自評為「普通」程度的學生比例最高，佔全體 35% (女生 15%，男生 20%)，為本向度中最大宗群體，顯示大多數學生對自身理化理解尚屬中性評價。進一步分析「熟悉」與「非常熟悉」兩類者合計為 28%，顯示約有三分之一學生對科學知識持正向自我認知；其中男生略高於女生 (男生合計 16%，女生合計 11%)，可能

與性別在學習動機或課堂參與度上的差異有關。

另一方面，自評為「不熟悉」與「非常不熟悉」者亦合計達 37%，其中女生比例明顯高於男生（女生 25%，男生 12%），呈現出性別在理化理解程度上的落差，需進一步釐清是否源自學習自信心、教學設計、或課程內容與經驗接軌等問題。

年級比較方面，三年級學生在「熟悉」與「非常熟悉」程度的比例普遍高於二年級，顯示隨著學習歷程的累積，學生的自我認知理解程度有所提升。然而，三年級女生仍有高達 10% 表達對理化內容「不熟悉」或「非常不熟悉」，提示在科學學習支持策略中仍需對性別差異加以重視。

表 4-18
學生對基本物理與化學原理的理解

物理與化學原理的理解	性別	二年級	三年級	總計
非常不熟悉	女	9%	3%	12%
	男	4%	1%	5%
不熟悉	女	6%	7%	13%
	男	5%	2%	7%
普通	女	7%	8%	15%
	男	10%	10%	20%
熟悉	女	2%	7%	9%
	男	3%	9%	12%
非常熟悉	女	1%	1%	3%
	男	2%	2%	4%

（三）國中生對工具操作能力程度

為探討學生在 STEM 四向度中對工具操作能力（Technology）的自我認知，本研究調查學生對「工具操作能力」的熟悉程度。調查結果

顯示，絕大多數學生對工具使用具一定信心，顯示目前科技教育已在國中階段獲得一定落實。

從整體分佈來看，自評為「熟悉」與「非常熟悉」的學生合計達到60%（熟悉：20% 女生、16% 男生；非常熟悉：13% 女生、11% 男生），為所有選項中比例最高者。此一結果顯示，多數學生認為自身在使用工具方面具備基本至高階的操作能力，且三年級學生比例普遍高於二年級，呈現隨年級提升而增加之趨勢，可能與技術課程時數累積、動手經驗增加有關。

性別方面，女生在「非常熟悉」選項中的比例略高於男生（13%高於11%），且在「熟悉」層級的合計比例也與男生相當，顯示在工具操作向度中，性別間差異相對較小。此結果亦與當代科技教育強調性別平等、多元參與的教學趨勢相呼應，反映出課程設計對於降低性別刻板印象具有初步成效。

相較之下，自評為「不熟悉」或「非常不熟悉」的學生比例偏低，合計僅佔16%（女生9%，男生7%），顯示學生對工具操作的負向認知比例相對有限。然而值得注意的是，在三年級階段仍有少數學生表示「普通」或以下程度，可能反映出部分學生學習經驗不足、操作機會有限或對技術活動缺乏興趣，需透過更多元、情境化的教學活動提升其參與度與學習動機。

整體而言，本結果反映出國中生在工具操作表現出較高之自信與熟悉度，為後續推動整合式STEM課程提供有利基礎，惟仍應關注部分低熟悉度學生之學習支持，特別是提供具差異化的工具操作機會與個別輔導策略。

表 4-19

國中生對工具操作能力程度

工具操作能力	性別	二年級	三年級	總計
非常不熟悉	女	2%	1%	3%
	男	1%	1%	3%
不熟悉	女	3%	3%	6%
	男	3%	1%	4%
普通	女	6%	3%	9%
	男	8%	8%	16%
熟悉	女	7%	14%	20%
	男	8%	8%	16%
非常熟悉	女	7%	6%	13%
	男	4%	7%	11%

(四) 國中生對問題解決流程熟悉程度

為調查國中生對問題解決流程之自我熟悉程度，作為工程 (Engineering) 向度之基礎認知指標。調查結果顯示，雖然大部分學生對工程設計流程表現出一定程度的理解與熟悉，但在年級與性別間仍呈現明顯異質性。

從整體分佈來看，自評為「普通」程度的學生為最大群體，佔總體 33% (女生 14%，男生 19%)，顯示多數學生對工程流程具一定認知，但尚未達到熟練程度。其次為「熟悉」與「非常熟悉」合計群體 (女生 16%，男生 20%)，顯示近四成學生具有正向認知的自我評估，尤其以三年級學生為主，可能反映出課程進度、學習經驗累積與參與專題活動等因素之影響。

相對而言，仍有部分學生表示「不熟悉」與「非常不熟悉」(女生 20%，男生 11%)，顯示在問題解決思維與流程掌握上仍存在顯著學習落差。其中女生對問題解決流程的「非常不熟悉」比例 (9%) 高於男生 (5%)，突顯性別差異在工程向度仍需特別關注，可能涉及動手參與

機會、工程活動興趣差異，或先備知識的性別差異等多重因素。

年級層面方面，三年級學生在「熟悉」與「非常熟悉」的比例普遍高於二年級，尤其男生表現出顯著進步（由二年級 7% 增至 12%），顯示問題解決思維學習具有一定的階段性發展，隨學習歷程推進而有所增強。此結果支持以進階式教學策略提升學生對工程流程掌握程度。

整體而言，本項分析突顯問題解決流程在國中 STEM 教學中已初具成效，但亦顯示性別與年級上的認知落差。未來課程應持續落實實作、專題導向學習為主軸之工程活動，並搭配性別友善與多元情境設計，以培養學生對工程思維與系統性解決問題能力的熟悉度與信心。

表 4-20
國中生對問題解決流程的熟悉程度

問題解決流程的熟悉程度	性別	二年級	三年級	總計
非常不熟悉	女	7%	2%	9%
	男	3%	2%	5%
不熟悉	女	6%	6%	11%
	男	4%	2%	6%
普通	女	6%	8%	14%
	男	10%	8%	19%
熟悉	女	3%	7%	10%
	男	4%	8%	13%
非常熟悉	女	3%	3%	6%
	男	3%	4%	7%

（五）國中生對數學計算與幾何應用熟悉程度

調查結果顯示，整體而言學生對數學內容表現出中度熟悉，但仍有近兩成學生表示感到不熟悉，顯示數學能力在 STEM 能力建構中具關鍵地位，亦存在需加強之空間。

從整體分佈來看，自評為「普通」程度者為最多，占比達 32%

(女生 15%，男生 17%)，顯示多數學生對自身數學應用能力抱持中立態度。進一步觀察「熟悉」與「非常熟悉」兩類合計比例亦為 35% (女生 15%，男生 18%)，顯示有超過三分之一學生對數學計算與幾何應用具備一定信心與正向認知。

值得注意的是，自評為「不熟悉」與「非常不熟悉」的學生合計比例為 31% (女生 22%，男生 16%)，顯示約三成學生對數學內容理解感到困難或缺乏信心。此現象在二年級女生中尤為明顯，「非常不熟悉」比例高達 9%，突顯部分學生可能因缺乏操作經驗、概念抽象化或學習焦慮而對數學產生疏離。

年級方面，三年級學生在「熟悉」與「非常熟悉」的比例顯著高於二年級，顯示隨學習歷程與課程深化，學生的數學應用自信逐步提升，符合數學教育發展的累積性特徵。此外，男生整體上在「普通」以上熟悉程度的自我評估中略高於女生，亦呈現 STEM 學習中的性別趨勢之一。

整體而言，本研究結果指出，雖然大多數學生對數學應用具有一定熟悉度，但學習落差與性別差異仍需關注。

表 4-21 國中生對數學計算與幾何應用熟悉程度

數學計算與幾何應用	性別	二年級	三年級	總計
非常不熟悉	女	9%	3%	11%
	男	4%	2%	6%
不熟悉	女	4%	3%	7%
	男	4%	3%	7%
普通	女	7%	8%	15%
	男	8%	9%	17%
熟悉	女	3%	10%	13%
	男	6%	8%	13%
非常熟悉	女	2%	2%	4%
	男	1%	4%	5%

(六) 國中生在 STEM 問題解決歷程中的能力表現

為瞭解國中生在 STEM 問題解決歷程中的能力表現，本研究針對七項核心向度（S1~S7）進行自評調查，並進行描述性統計分析。整體平均數皆落在 4 分以上，顯示大多數學生認為自己在各向度中具有中度以上的問題解決能力。

在七項向度中，平均得分最高者為 S5（方案執行， $M = 4.69$ ， $SD = 1.62$ ），其次為 S4（選擇最佳方案， $M = 4.64$ ）與 S7（問題解決回顧與優化， $M = 4.63$ ），顯示學生在執行解決方案與事後反思上較具信心，可能與學校專題活動與日常課堂練習中相關經驗的累積有關。這三項向度屬於「實作與檢核導向」的後段歷程，亦反映出學生較偏好具體、可觀察之任務操作。

相對而言，得分相對較低者為 S1（問題界定與分析， $M = 4.34$ ）與 S2（資料蒐集與分析， $M = 4.43$ ），顯示在問題情境的理解與資訊處理初始階段，學生可能較缺乏系統化策略或批判性分析能力，需透過教學引導與鷹架支持進行補強。

表 4- 22

國中生 STEM 問題解決能力現況

	平均數	標準差	最小值	最大值
S1	4.34	1.72	1	8
S2	4.43	1.67	1	7.8
S3	4.54	1.69	1	8
S4	4.64	1.63	1	8
S5	4.69	1.62	1	8
S6	4.51	1.77	1	8.0
S7	4.63	1.76	1	7.8

S1：STEM 問題界定與分析；S2：STEM 資料蒐集與分析；S3：構思與形成 STEM 解決方案；S4：選擇最佳 STEM 解決方案；S5：STEM 方案執行；S6：STEM 測試與評估；S7：STEM 問題解決回顧與優化

(七) 國中生 STEM 跨領域問題解決流程圖繪製任務

為進一步了解學生在實際問題解決歷程中的歷程覺知與流程規劃能力，本研究設計流程圖繪製任務，評分包含四項指標：步驟完整性(P1)、流程邏輯性(P2)、反思與修正歷程(P3)、以及跨領域統整表現(P4)。分析結果顯示，整體而言，學生在基本流程呈現與邏輯安排方面表現較為穩定，而在高階反思歷程與統整能力方面仍有發展空間。

具體而言，P2（流程邏輯性）平均數最高（ $M = 3.81$ ， $SD = 0.55$ ），顯示大多數學生能合理排列問題解決的邏輯順序，具備初步的系統思維與步驟規劃能力；P1（步驟完整性）亦達中高水準（ $M = 3.49$ ， $SD = 0.79$ ），反映學生大致能將解決問題的主要階段呈現於圖示中，具備操作層面的覺察與表達能力。

然而，P3（反思與修正歷程）與 P4（跨領域統整表現）之平均得分相對偏低，分別為 $M = 3.10$ 與 $M = 0.75$ ，特別是 P4 的平均表現與標準差（ $SD = 1.10$ ）顯示學生在此向度上的表現差異較大。此結果可

能反映出部分學生對「統整不同學科知識」或「在圖中展現跨領域思維」的能力仍處於起步階段。儘管如此，P3 的得分仍在中等水準，顯示部分學生已具備初步的歷程反思與修正概念，未來透過歷程鷹架與具體案例引導，應可進一步提升。

表 4-23

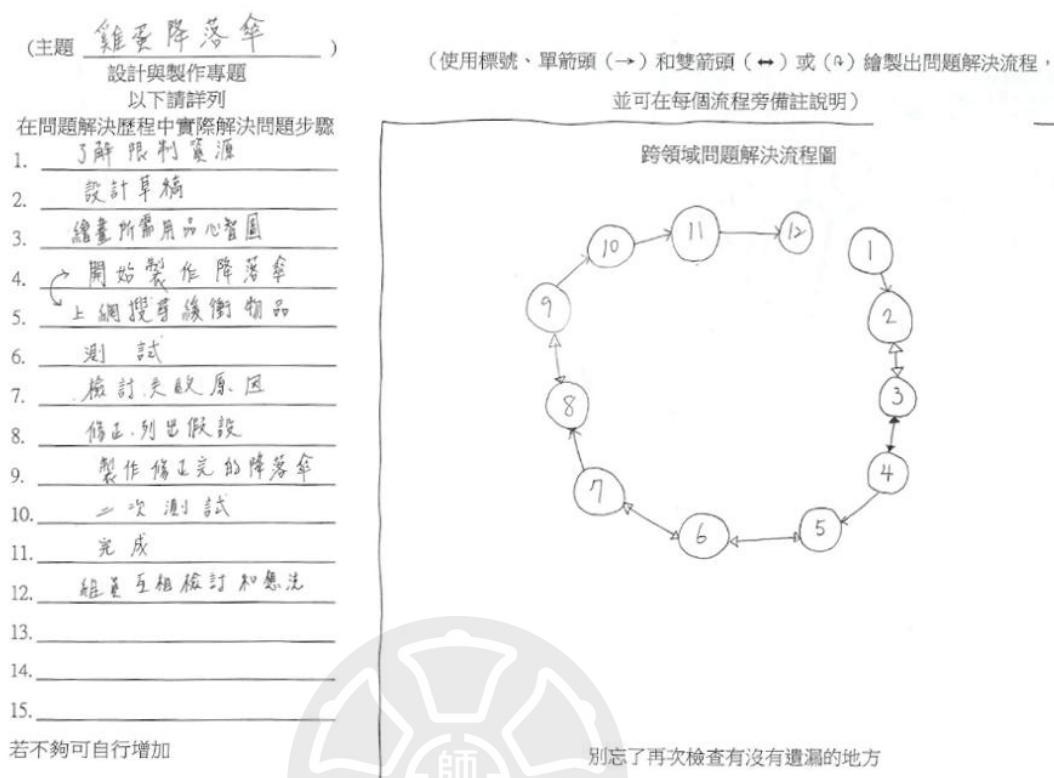
國中生 STEM 問題解決流程圖實作評量分數

指標	平均數	標準差	最小值	最大值
P1	3.49	0.79	1	4
P2	3.81	0.55	0	4
P3	3.10	0.79	0	4
P4	0.75	1.10	0	4

P1：步驟完整性；P2：流程邏輯性；P3：反思與修正歷程；P4：跨領域統整表現

為具體呈現學生在「跨領域問題解決流程圖繪製任務」中的實際表現，以下舉兩位學生的作品為例（高表現、低表現），說明其在四個評量指標（P1：步驟完整性、P2：流程邏輯性、P3：反思與修正歷程、P4：跨領域統整表現）上的具體展現情形。

圖 4-1
優良 STEM 流程圖作品



如圖 4-1，該名學生以「雞蛋降落傘」為 STEM 問題情境，流程圖共繪製 12 個明確步驟，涵蓋從問題釐清、構思、設計、測試、修正至成果完成的完整歷程，顯示其在步驟完整性 (P1) 方面具有良好表現。流程圖以環狀方式呈現，步驟間連接明確，且標示箭號、修正路徑，展現出流程邏輯性 (P2) 佳，能清楚呈現解決問題的順序性與階段性。在反思與修正歷程 (P3) 方面，學生在繪圖中標示出「測試後回到修改階段」的環節，並於文字說明中指出「完成後會檢討過程是否可再優化」，顯示其具備基本的後設反思意識，並能根據成果調整策略。此外，學生也在設計初期以心智圖輔助思考，並在問題拆解中指出「緩衝」為影響緩降成效之核心問題，並主動尋找相關物理概念與資料佐證設計，顯示其在跨領域統整表現 (P4) 方面能連結物理知識，運用牛頓運動定律中「空

氣阻力」相關原理，設計可減緩落下速度之結構，展現出具備初步整合理論與實作的能力。整體而言，該名學生在四個評分向度上皆展現中高程度的流程理解與策略運用能力，不僅能具體表達問題解決的結構歷程，也能結合跨領域知識與自我反思歷程，為具代表性的優良作品之一。

圖 4-2
低表現 STEM 流程圖作品

(主題 伐木工)
設計與製作專題
以下請詳列
在問題解決歷程中實際解決問題步驟

1. 先畫草稿
2. 出木頭
3. 鑽洞
4. 把馬達裝上去
5. 嘗試啟動
6. 不行拆掉
7. 重裝馬達
8. 把細節做完整
9. 最後測試
10. 可以著色
11. 完成
- 12.
- 13.
- 14.
- 15.
- 16.

若不夠可自行增加

(使用標號、單箭頭(→)和雙箭頭(↔)或(↻)繪製出問題解決流程，並可在每個流程旁備註說明)

跨領域問題解決流程圖

別忘了再次檢查有沒有遺漏的地方

為說明學生於流程圖繪製任務中可能出現之低表現樣態，以下舉一位學生作品作為代表，說明其在四個評分向度中的不足之處，並討論其背後可能反映的學習困難與教學啟示（詳見圖 4-2）。

該學生以「伐木工玩具」為 STEM 製作與設計主題，雖列出約 12 項問題解決相關步驟，實際繪製流程圖時僅呈現 6 個節點，且大多數節點間未具邏輯順序或階層結構，反映出在步驟完整性（P1）方面之

呈現不全。此外，節點之間的箭號連結缺乏明確方向性與邏輯順序，未能顯示任務先後或解決策略轉換，顯示其流程邏輯性（P2）亦偏弱。在反思與修正歷程（P3）方面，圖中並未標示任何回饋修正或流程迴圈，也無額外文字說明顯示其有反省與調整設計的歷程，顯示學生可能尚未發展出後設認知反思能力，或未將其意識轉化為具體表徵。此外，在跨領域統整表現（P4）方面，學生並未在設計歷程中標註或說明其所參照之科學或數學原理，亦無明顯結合特定學科知識進行決策推演的痕跡，顯示其在知識運用與統整方面的表現有限。整體而言，此作品反映出部分學生對於「流程」的認知仍停留在任務表面呈列，較難進行結構化、整合性與遞進性地呈現其問題解決歷程，亦顯示繪製流程圖對於部分學習者而言具有一定的認知門檻。由上述可知，針對此類學生未來教學上可考慮提供範例拆解、歷程引導表或逐步提示，協助學生理解「繪圖不只是列步驟」，而是有意識地呈現其思維架構與策略轉換，進一步強化學生對問題解決歷程之整體覺察與反思能力。

二、國中生 STEM 問題解決能力潛在剖面特徵

為探討學生在 STEM 問題解決表現上的潛在異質性，本研究針對 356 名國中生在 STEM 跨領域問題解決能力自評量表及問題解決流程圖任務實作評量中的表現，所進行的潛在剖面分析結果。

表 4-24
潛在剖面分類分析摘要表

模型	AIC	BIC	aBIC	Entropy	VLMR-LRT p	aLRT p	Sample proportion (%)
1	-	-	-	-	-	-	100%
2	12924.55	13056.30	12948.43	0.97	0.06	0.06	40.45%、59.55%
3	11136.00	11314.24	11168.31	0.93	0.01**	0.01**	21.25、44.28%、34.47%
4	11733.52	11958.27	11774.27	0.98	0.03*	0.03*	3.65%、36.24%、34.55%、25.56%
5	11476.97	11748.22	11526.15	0.96	0.16	0.16	3.65%、29.08%、32.65、18.21%、16.41%

註：* $p < .05$, ** $p < .01$

表 4-21 呈現一至五類潛在剖面模型之適配指標與模型特徵。為探討學生在 STEM 問題解決表現上的潛在異質性，本研究將學生在七項自評向度 (S1-S7) 與四項流程圖評分指標 (P1-P4) 合併進行潛在剖面分析

(Latent Profile Analysis, LPA)，以同時整合學生主觀認知與客觀歷程展現之多源資料，深入探究其潛在學習樣貌。依據不同類別分析結果以 AIC、BIC、修正 BIC (aBIC)、Entropy 指標與 LMR-LRT 檢定、aLRT 檢定作為模型評估依據。

AIC、BIC 及 aBIC 值用於評估模型擬合度與複雜度間的平衡。結果顯示，隨著類別數增加 AIC、BIC 及 aBIC 值整體呈下降趨勢，反映模型擬合度提升。其中，3 類模型的 AIC (11136.00)、BIC (11314.24) 及 aBIC (11168.31) 相較於 2 類模型顯著降低，顯示 3 類模型在擬合度上有顯著改善。4 類及 5 類模型的資訊準則值雖進一步下降，但下降幅度減緩，且 5 類模型相較於 4 類模型的增益較小，提示增加類別數的效益逐漸遞減。

此外 Entropy 反映類別分離的清晰度，值越接近 1 表示分群品質越高。4 類模型的 Entropy 最高 (0.98)，顯示其類別分離最清晰；2 類模型 (0.97) 及 5 類模型 (0.96) 次之，3 類模型的 Entropy 略低 (0.93)，但仍處於可接受範圍，顯示良好的分群品質。

VLMR-LRT 及 aLRT 檢定用於比較 k 類模型與 k-1 類模型的顯著性差異。3 類模型相較於 2 類模型的 VLMR-LRT ($p=0.01$) 及 aLRT ($p=0.01$) 均達顯著水準，顯示 3 類模型顯著優於 2 類模型。4 類模型相較於 3 類模型的檢定結果 (VLMR-LRT $p=0.03$, aLRT $p=0.03$) 亦達顯著，但 5 類模型相較於 4 類模型的檢定結果 (VLMR-LRT $p=0.16$, aLRT $p=0.16$) 未達顯著水準，顯示增加至 5 類的模型增益有限。

類別比例方面，2 類模型的類別比例為 40.45% 與 59.55%，3 類模型為 21.25%、44.28% 與 34.47%，4 類模型包含一小類 (3.65%，13 人)，5 類模型的類別比例更為分散 (3.65%、29.08%、32.65%、18.21%、16.41%)。

3 類模型的類別均包含足夠樣本數 (75、158、123)，有利於後續解釋與教育應用，而 4 類及 5 類模型的小類別可能降低解釋的穩定性。

綜合以上，3 類模型在擬合度、類別分離清晰度及實務應用間取得最佳平衡。其 AIC、BIC 及 aBIC 值顯著低於 2 類模型，VLMR-LRT 及 aLRT 檢定顯著，且 Entropy (0.93) 顯示良好的分群品質。雖然 4 類模型的 Entropy 較高，但其包含一小類 (3.65%)，可能影響解釋穩定性；5 類模型的似然比檢定未達顯著，顯示增加類別數的效益有限。因此，本研究選定 3 類模型作為最適模型，後續分析聚焦於其類別特徵。

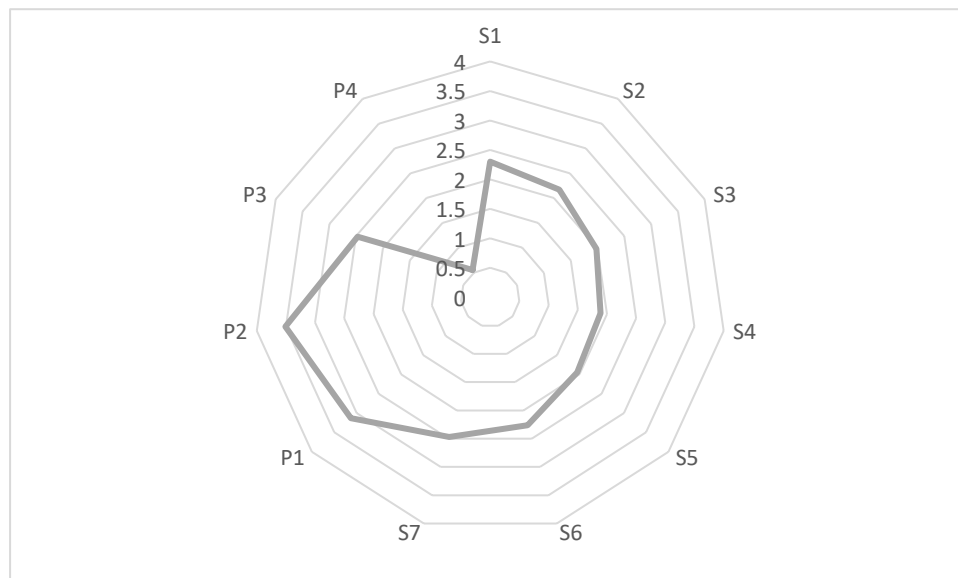
本研究進一步針對潛在剖面分析所劃分出的三類學生，依據其在流程圖 (P1-P4) 與 STEM 問題解決各向度 (S1-S7) 上的表現特徵，進行命名與教育詮釋。3 類模型將 356 名國中生分為三個潛在剖面，根據各類別在 P1-P4 及 S1-S7 向度的均值表現，分別命名為「嘗試錯誤型」(21.25%)、「系統思考型」(44.28%) 及「跨域整合型」(34.47%)。依據表 4-22 為各類別在各向度的平均值表現，進一步繪製雷達圖 (見圖 4-3~圖 4-5)。三類剖面學生在跨領域問題解決能力具體如下：

(一) 嘗試錯誤型

此類學生為嘗試錯誤型（75人，21.25%）在所有向度中的表現均最低，特別在跨領域統整表現（P4，平均值=0.55）及STEM問題解決能力向度S1-S7，平均值範圍（1.89-2.47）顯著低於其他類別。在問題解決流程圖任務中，該類在步驟完整性（P1，平均值=3.13）及流程邏輯性（P2，平均值=3.51）上表現略優於反思與修正歷程（P3，平均值=2.47）及跨領域統整表現（P4），但整體表現偏低。在STEM問題解決能力自評中，選擇最佳解決方案（S4，平均值=1.89）及構思與形成解決方案（S3，平均值=1.98）的得分最低。

此群學生傾向於以試誤方式進行問題解決，缺乏系統性的分析與跨學科整合能力，難以有效界定問題（S1，平均值=2.30）或構思多元解決方案（S3），且在反思與優化（S7，平均值=2.47）方面表現不足，顯示其基本認知能力較弱（Yayuk et al., 2020）。

圖 4-3
嘗試錯誤型學生各向度雷達圖

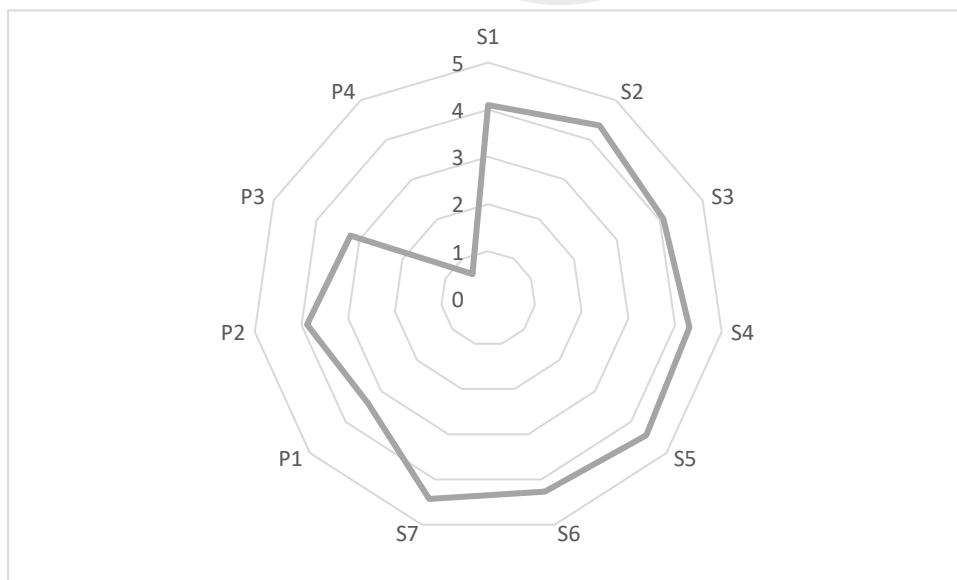


(二) 系統思考型

此類學生為系統思考型（158人，44.28%）人數為最多，在各向度的表現介於嘗試錯誤型與跨域轉化型之間，問題解決流程圖任務的平均值範圍為0.62至3.88，STEM問題解決能力自評的平均值範圍為4.08至4.43。該群在流程邏輯性（P2，平均值=3.88）及方案執行（S5，平均值=4.43）方面表現相對較佳，顯示其能以系統性的方式組織問題解決流程並執行方案。然而，跨領域統整表現（P4，平均值=0.62）為其最弱環節，反映學生在整合跨學科知識（例如科學、科技、工程與數學）時仍面臨挑戰。

此群學生具備一定的系統思考能力，能較好地分析問題（S1，平均值=4.10）與蒐集資料（S2，平均值=4.36），但在構思創新解決方案（S3）及跨學科應用（P4）方面需進一步提升（Wu et al., 2019）。

圖 4-4
系統思考型學生各向度雷達圖



(三) 跨域整合型

這類學生為跨域整合型 (123 人, 34.47%) 在所有向度中表現最佳, 問題解決流程圖任務的均值範圍為 1.04 (P4) 至 3.90 (P2), STEM 問題解決能力自評的平均值範圍為 5.91 至 6.20。該群在問題解決回顧與優化 (S7, 平均值=6.20)、測試與評估 (S6, 平均值=6.20) 及選擇最佳解決方案 (S4, 平均值=6.19) 方面表現尤為突出, 顯示其在基本認知、系統性評估及決策能力上的優勢。此外, 其跨領域統整表現(P4, 平均值=1.04) 相較於其他類別顯著較高, 反映其能有效整合跨學科知識, 轉化為實際的問題解決策略。

此群學生展現出色的跨域轉化能力, 能將科學、科技、工程與數學知識融會貫通, 應用於問題分析 (S1, 平均值=5.92)、方案構思 (S3, 平均值=5.99) 及方案執行 (S5, 平均值=6.10) 等階段 (Roberts et al., 2022)。

圖 4-5
跨域整合型學生各向度雷達圖

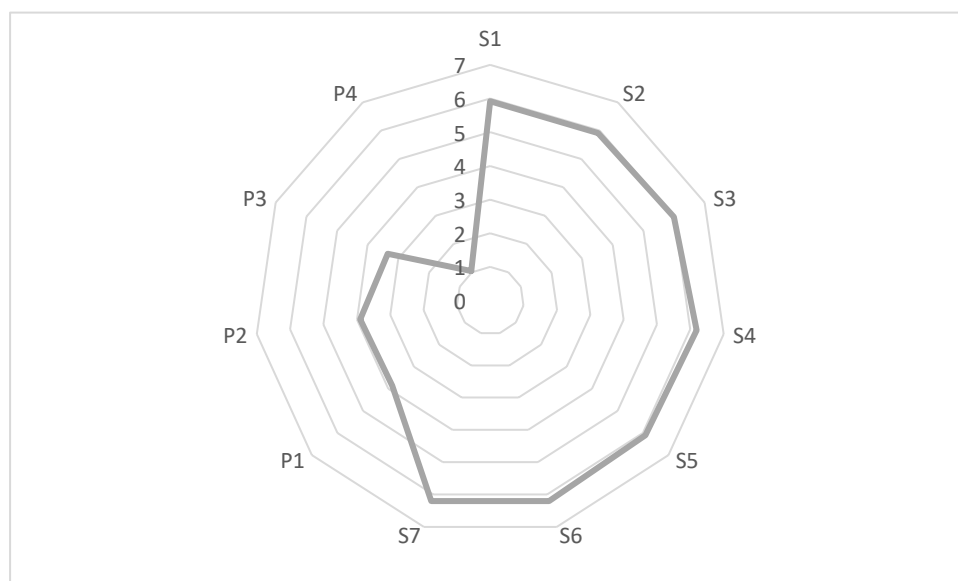


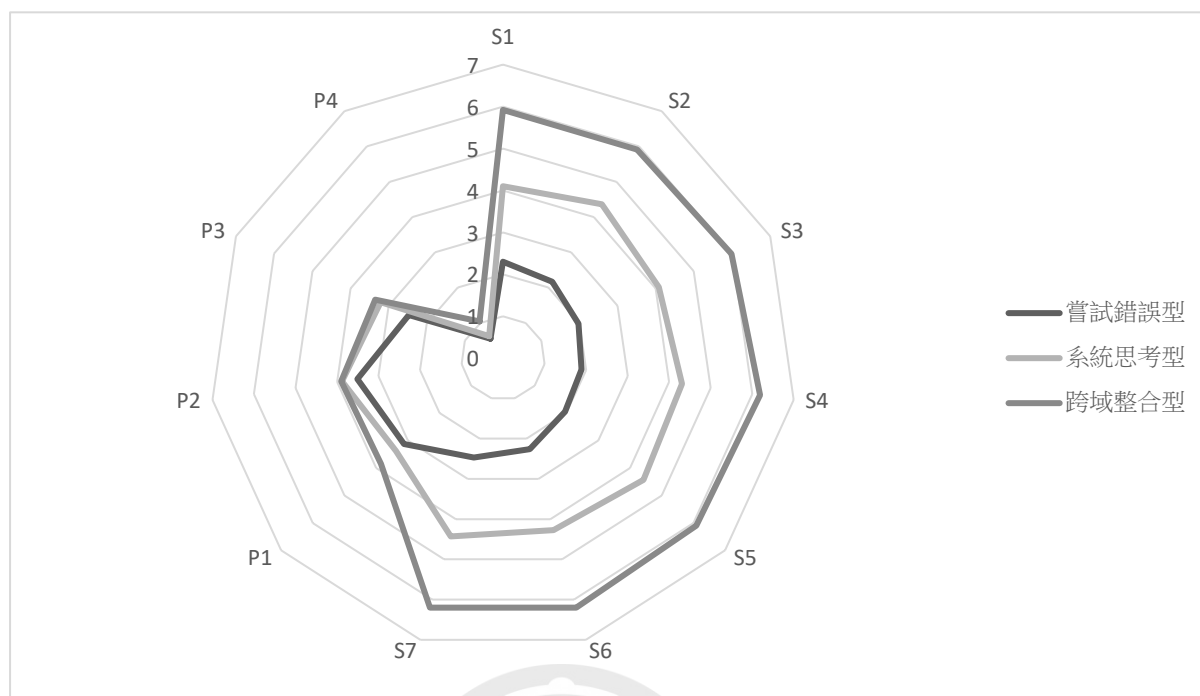
表 4-25
三類模型之向度平均值

	嘗試錯誤型	系統思考型	跨域整合型
S1	2.30	4.10	5.92
S2	2.17	4.36	5.91
S3	1.98	4.08	5.99
S4	1.89	4.31	6.19
S5	1.95	4.43	6.10
S6	2.26	4.27	6.20
S7	2.47	4.43	6.20
P1	3.13	3.38	3.85
P2	3.51	3.88	3.90
P3	2.47	3.21	3.35
P4	0.55	0.62	1.04

註：S1：STEM 問題界定與分析；S2：STEM 資料蒐集與分析；S3：構思與形成 STEM 解決方案；S4：選擇最佳 STEM 解決方案；S5：STEM 方案執行；S6：STEM 測試與評估；S7：STEM 問題解決回顧與優化；P1：步驟完整性；P2：流程邏輯性；P3：反思與修正歷程；P4：跨領域統整表現

綜合以上，下圖 4-6 呈現三類潛在剖面模型在各向度指標上的平均表現分布情形。整體而言，「跨域整合型」學生在所有向度表現皆為最高，顯示其具備整體性且穩定的問題解決能力。「系統思考型」學生在各向度表現居中，具備一定程度的邏輯推理與策略應用能力。相對而言，「嘗試錯誤型」學生於各向度表現均顯著偏低，特別是在流程圖向度 P1~P4 的表現尤為弱勢，反映其在問題解決過程中缺乏系統性規劃與反思能力。此圖說明三類學生在問題解決歷程中的能力型態具備明顯區別性。

圖 4-6
三類模型之向度雷達圖



第四節 綜合討論

本研究以國中學生為對象，結合「STEM 跨領域問題解決能力量表」與「STEM 跨領域問題解決流程圖實作評量」，探討其在 STEM 跨領域問題解決歷程中的表現特徵，驗證其信效度，並進一步透過潛在剖面分析辨識學生異質性能力樣貌。整體而言，研究結果呈現出自評與實作指標之間的差異性與互補性，亦揭示學生能力發展具有明顯的階層性與分類特徵。

一、多元評量設計強化歷程覺察與認知落差辨識功能

本研究發展的複合式評量工具，結合自我評量量表與問題解決流程圖實作，能夠從學生的主觀認知與實際操作歷程中擷取不同層面的表現資訊。研究結果發現，有部分學生在自我評量中對其能力抱持高度肯定，

然而在實作流程圖中卻顯示其邏輯推理、跨領域整合或反思歷程的表現不夠完整。這樣的認知—行動落差，突顯多元評量在捕捉學生「覺察」與「歷程」層次的價值，亦支持歷程導向評量於 STEM 領域中的必要性（Wilson, 2005；Pellegrino et al., 2001）。特別是在面對跨學科知識統整與動態問題解決時，單一型態的評量難以多方面展現學生能力，而本研究所提出的雙重取徑，能補足傳統認知評量的侷限，進而協助教學者辨識學生在問題解決歷程中潛在的困難與發展潛力。

二、學生對於非結構化問題展現多樣的解決策略與行為樣貌

透過潛在剖面分析對學生評量資料進行分類，本研究辨識出三類具代表性的問題解決能力表現類型，分別為「嘗試錯誤型」、「系統思考型」與「跨域整合型」，顯示學生在處理非結構化 STEM 問題時，傾向採取不同的解決取向。此結果呼應 Jonassen（2000）對於非結構化問題情境（ill-structured problems）的界定，強調學生因個人先備知識、認知風格或策略調節能力之差異，導致其在面對問題時採用不同層次與方法的策略。亦有研究指出，學生在高開放性問題中展現的表現不僅取決於知識量，更與其對問題情境的理解方式與嘗試策略有關（Funke, 2014）。因此，類型分析不僅有助於具體化異質性學習者的特徵，也為未來教師進行差異化教學與學習診斷提供依據。

三、學生在高層次能力表現普遍偏低

儘管部分學生在具體執行能力（如資料蒐集與方案執行）上表現良好，研究顯示多數學生在「跨領域統整」與「反思優化」兩項向度上的得分普遍偏低，無論是量表結果或流程圖分析皆呈現一致趨勢。此結果

突顯高層次認知能力仍為國中階段學生發展上的挑戰，亦與 Bransford et al. (2000) 所指出的從理解走向轉化之學習瓶頸相符。進一步而言，跨領域統整能力涉及學生是否能從不同學科中擷取適切知識並重組以建構解決策略，這不僅仰賴學科知識，更需具備類比思維與系統性推理 (Beers, 2005)。反思優化則需學生在執行後具備自我監控與修正策略的能力，這部分的表現不足，提示未來課程設計應加入更多以後設認知的任務，提升學生在學習歷程中的自我回顧與調整能力。



第五章 結論與建議

本章旨在整合本研究所建構之「國中生 STEM 跨領域問題解決能力評量工具」的發展歷程與實證結果，回應研究目的與問題，並提出具體結論與實務建議。全章共分為兩節：第一節根據第四章的研究發現，歸納出本研究之主要結論；第二節則依據研究結果與討論，針對 STEM 教育現場的應用情境、師資培育規劃及未來研究方向，提出具體可行之建議，以提供後續實務與學術發展之參考。

第一節 研究結論

本研究旨在發展一套具信效度的「國中生 STEM 問題解決能力評量工具」，以評估學生在跨學科問題情境能力，透過量表施測與資料分析驗證其信效度，並透過實徵資料探討學生能力類型與表現差異。研究歷經文獻分析、專家訪談、與量表修訂等，最終完成正式問卷之建構與施測。本節將根據研究目的與問題，統整第四章之分析結果，歸納出以下主要研究結論。

一、建立國中生跨領域問題解決能力的七大評量向度與 30 項指標

本研究初期階段結合文獻分析、大學教師訪談、學生放聲思考，從中探討學生在跨領域問題解決能力的向度與行為指標，其中包含「STEM 問題界定與分析、STEM 資料蒐集與分析、構思與形成 STEM 解決方案、選擇最佳 STEM 解決方案、STEM 方案執行、STEM 測試與評估、STEM 問題解決回顧與優化」。根據學生在實作活動中的實際表現與口語敘述，觀察到學生面對問題時不僅展現不同的理解策略與操作方式，更在歷程

中不斷調整推理邏輯與資源使用。學生對於如何辨識 STEM 問題中的學科概念、如何選擇適當材料、或如何評估結果是否符合目標，展現出差異化的思考風格與反應模式。

這些資料也顯示，學生在資料搜尋、方案構思與方案評估階段的行為表現，具有明確的邏輯與策略，部分學生甚至能主動進行結果驗證與後設反思，反映出其對問題解決歷程的主動參與程度與思考深度。相對地，也有部分學生雖能完成操作步驟，但在說明其選擇理由與調整過程時顯得模糊，反映出對問題本質的掌握尚不成熟。這些觀察進一步支持量表向度設計的基礎，並顯示本研究所建構之評量工具具備理論依據與情境貼近性。透過質性資料的分析與詮釋，不僅有助於理解學生解決 STEM 問題時的真實歷程，也補足傳統結構式評量對學生思維歷程掌握的不足。

二、國中生 STEM 問題解決能力之複合型工具，有效評量 STEM 問題解決歷程多元面向

本研究綜合 STEM 教育中常見的跨學科教學架構 (Amalina & Vidákovich, 2022a; Simarro & Couso, 2021; Koyunlu Ünlü & Dökme, 2022)，並參考 Priemer 等人 (2020) 對問題解決歷程的階段性模型，與質性分析結果，建構「國中生 STEM 跨領域問題解決能力評量工具」。初步指標內容係依據文獻整理與實務活動觀察，涵蓋七個核心歷程向度，分別為「STEM 問題界定與分析」、「STEM 資料搜尋與分析」、「構思與形成 STEM 解決方案」、「選擇與執行最佳 STEM 解決方案」、「STEM 方案執行」、「STEM 測試與評估」及「STEM 解決回顧與優化」，各向度均涵蓋學生在跨領域解決問題的實踐歷程與認知歷程。

量表初稿經專家效度建構程序進行修訂，邀請 2 位 STEM 教育領域之專家進行審查與修正。正式施測樣本為 356 位國中學生，分析結果顯示整體量表具良好信度，各向度 Cronbach's α 值介於 .78~.90 之間，顯示內部一致性良好，支持量表具建構效度。另以林坤誼等人（2023）所發展之情境式問題解決能力測驗為效標工具，所得相關係數為 .29 ($p < .05$)，顯示顯著的效標關聯效度。

本研究所使用之量表涵蓋七大向度，以評估學生在 STEM 問題解決歷程中的多元能力表現。信效度檢驗結果顯示，各向度之複合信度 (CR) 皆高於 .90，平均變異抽取量 (AVE) 亦多落在 .70 以上，顯示內部一致性佳；各題項標準化因子負荷量皆顯著，且多介於 .77~.90 之間，具備良好收斂效度。此外，向度間之 AVE 均值皆高於平方相關係數，亦符合 Fornell-Larcker 檢驗標準，具備足夠的區別效度。

在架構設計上，本研究量表與 Simarro & Couso（2021）所提出的分層歷程模型在邏輯上相符，本研究更強調各歷程間的認知銜接與反思歷程之深化，補足以往研究中對學生思考歷程之片段化描述。與周芬美（2024）所發展之功能區量表略有不同，本評量工具從另一個角度專注於學習歷程之縱貫性發展與階段遞進性，有助於診斷學生在 STEM 教學活動中面對問題時的思維歷程與策略使用情形。綜所上述，本評量工具能從學生主觀認知與具體行為雙重面向評估其跨領域問題解決能力，回應了現行評量偏重知識與結果的侷限，具實務應用潛力。

另外在流程圖實作任務中，學生普遍能清楚呈現解決歷程中的步驟結構與邏輯順序，特別是在「流程邏輯性」與「步驟完整性」兩項指標上表現穩定。相對而言，「反思與修正歷程」與「跨領域統整表現」之平均數明顯偏低，且標準差較大，顯示學生對此類高階歷程的覺察與表徵

仍存在一定程度的落差，學生需進一步透過引導式提問、過程記錄或範例拆解等教學設計進行支持。

最重要的是，整合自評與實作評量有助於更多方面理解學生能力樣貌，經本研究發現，若僅依賴問卷自評或單一來源進行評量，可能會忽略學生在實作歷程中所展現的細緻差異。透過結合自評向度與流程圖實作表現，可更多元掌握學生在認知理解與實務應用間的落差，進而做出更精準的教學診斷與學習回饋。不同潛在類型學生的學習樣貌亦揭示教師可採取差異化策略進行分層教學，以提升整體 STEM 問題解決素養之發展。

三、國中生 STEM 跨領域問題解決模式呈現階段性差異

本研究透過潛在剖面分析探討國中生在 STEM 問題解決歷程中的表現差異，結果顯示可將樣本學生分為三種類型，分別為「嘗試錯誤型」、「系統思考型」與「跨域整合型」。三類在量表自評與流程圖表現上皆呈現明顯區別，且由低至高構成具階層性的發展趨勢。嘗試錯誤型學生對 STEM 歷程的熟悉度與操作能力仍在建立階段；系統思考型學生已具備中高程度的策略與應用能力；而跨域整合型學生則能有效整合學科知識並進行高階反思與視覺化表徵，顯示其問題解決歷程已趨成熟。此分類不僅有助於理解學生能力表現的異質性，更可作為教學上實施差異化策略的依據。教師可根據學生所屬類型設計適切的引導與任務，對於初階學習者提供操作流程的結構化支持，對於高階學習者則設計促進整合與創新之延伸活動，以促進學生由「操作」邁向「統整」的能力發展。

第二節 研究建議

一、對教育實務之建議

(一) 將 STEM 問題解決歷程融入課程與教學實施

本研究所發展之 STEM 問題解決評量工具已經盡可能涵蓋學生在跨學科任務中可能經歷的各項認知與實踐階段，建議現場教師可依據此架構設計對應的課堂任務與引導策略，特別是針對「STEM 問題解決回顧與優化」等高層次歷程，例如：設計多次迴圈性學習機會，如修正作品、同儕回饋等，以提升學生的自我監控與創新表現能力。

(二) 強化問題界定與資料分析的教學設計

本研究結果顯示，學生在「STEM 問題界定與分析」與「STEM 資料蒐集與判斷」向度相對表現較為保守，顯示其在任務起始階段的認知策略與資訊處理能力尚有提升空間。例如：教師可透過引導式提問、實境問題情境設計與可視化工具，如概念構圖、問題地圖，協助學生建構問題脈絡，提升其資料篩選與問題釐清能力。

(三) 分層設計課程，對應學生潛在能力樣貌

潛在剖面分析結果顯示，學生可區分為「嘗試錯誤型」、「系統思考型」與「跨域整合型」三類，具明顯能力階層差異。建議教師依據學生特質進行差異化教學設計，對於嘗試錯誤型學生，可提供更多操作機會與清晰步驟架構；對於系統與整合型學生，則可安排具挑戰性之跨領域任務與反思活動，以促進其高層次思維發展。

(四) 強化反思歷程與跨領域統整的鷹架引導

流程圖評分顯示，多數學生在「反思與修正」與「跨領域統整」之表現仍有發展空間。建議教育現場設計有意義的歷程記錄工具，如學習歷程單、修正紀錄欄，並善用合作討論與角色扮演等策略，引導學生意識到學科知識間的連結與歷程中可修正之關鍵節點，培養其整體化與系統化的思維習慣。

(五) 結合自評與實作評量，豐富學習診斷依據

單一資料來源可能無法完整捕捉學生能力表現，本研究指出自評與實作具有互補價值，建議教學現場採取多元評量模式，結合問卷、自評、流程繪製、口頭報告等多種形式，有助於多方面了解學生的學習歷程與策略運用，亦有助教師進行個別化輔導與教學調整。

二、對未來研究之建議

(一) 探討教師引導策略對不同潛在類型學生的影響

建議後續研究透過準實驗設計，針對本研究所建立的三類潛在類型，設計差異化引導策略（如引導式探究、合作學習、翻轉教室等）對於不同類型學生的學習成效是否具有差異影響，進而為實務提供精準介入策略之依據。

(二) 深入探討歷程間的轉化機制與困難點

建議後續研究可結合質性方法，如課堂觀察、晤談、學習歷程檔案分析等，進一步探索學生如何從「識別問題」過渡到「規劃解決方案」乃至「策略優化」等歷程中發生知識轉化與決策變化，發展「歷

程遷移」的機制模型與關鍵節點分類，有助後續針對歷程斷裂點設計補救性鷹架與課程優化策略，並揭示其困難點與認知落差，以利未來教學設計更貼近學生實際需求。

(三) 發展常模支持全國性應用與成長評量

為強化評量工具的實用性與參照基準，建議未來擴大樣本，蒐集不同年級、地區與教育階段學生施測結果，建立常模資料庫，以利教師或政策端據以判讀學生能力分布、發展歷程與介入成效，支持更宏觀的教育決策。

(四) 結合 AI 與數位工具發展自動化歷程評量系統，支援教師即時診斷與教學決策

本研究建構之 STEM 跨領域問題解決能力評量工具，已初步奠定歷程導向評量的基礎。未來研究可進一步結合人工智慧與數位科技，開發具備自動化評分與歷程紀錄功能的數位評量系統，以支援教師在課堂中即時掌握學生學習狀況並提供精準教學回饋。

參考文獻

一、中文部份

吳明隆、涂金堂 (2011)。SPSS 與統計應用分析。五南。

林坤誼、謝雨蓁、許瑛珺、陳柏熹、吳心楷、楊凱琳 (2023)。高中生情境式 STEM 跨領域問題解決能力評量工具之發展——以南方澳跨港大橋情境為例。教科書研究，16 (3)，1-33。

邱皓政 (2010)。量化研究與統計分析。五南。

張庭綸 (2021)。我國 STEM 跨領域教學現況與省思。臺灣教育評論月刊，10(12)，59-63。

<https://www.airitilibrary.com/Article/Detail?DocID=P20130114001-202112-202112030011-202112030011-59-63>

黃怡真 (2021)。STEM 教育中問題解決能力研究之發展與趨勢分析。人文社會科學研究：教育類，18(3)，59 - 100。

[https://doi.org/10.6618/HSSRP.202409_18\(3\).3](https://doi.org/10.6618/HSSRP.202409_18(3).3)

潘慧玲、王麗雲、簡茂發、孫志麟、張素貞、張錫勳、陳順和、陳淑敏、蔡濱如 (2004)。國民中小學教師教學專業能力指標之發展。教育研究資訊，12 (4)，129-168。

<https://tpl.ncl.edu.tw/NclService/JournalContentDetail?SysId=A0402698>

二、外文部份

- Aguilera, D., & Ortiz-Revilla, J. (2021). STEM vs. STEAM Education and Student Creativity: A Systematic Literature Review. *Education Sciences*. <https://doi.org/10.3390/EDUCSCI11070331>.
- Aldilla, E., Asrizal, A., Usmeldi, U. (2023). Meta-analysis of the stem application effect on students' creative thinking. *Indonesian Journal of Science and Mathematics Education*, 6(2), 165-176. <https://doi.org/10.24042/ij sme.v6i2.16218>
- Albert, A. (1967). Problem Solving. *Nature*, 215, 1119-1119. <https://doi.org/10.1038/2151119b0>
- Alfia, M., Ishmuradova., Marina, Svintsova., Nataliia, A., Kondakchian., Natalia, A., Zaitseva., Natalia, L., Sokolova., Elmira, R., Khairullina. (2023). A bibliometric overview of science communication research in STEM education. *Online Journal of Communication and Media Technologies*, 13(4), e202341. <https://doi.org/10.30935/ojcm t/13415>
- Amalina, I. K., & Vidákovich, T. (2022a). An integrated STEM-based mathematical problem-solving test: Developing and reporting psychometric evidence. *Journal on Mathematics Education*, 13(4), 587–604. <https://doi.org/10.22342/jme.v13i4.pp587-604>
- Amalina, I., & Vidákovich, T. (2022b). A mathematical problem-solving framework-based Integrated STEM: Theory and practice. *International Journal of Trends in Mathematics Education Research*. <https://doi.org/10.33122/ij tmer.v5i1.105>.
- Apriyani, R., Ramalis, T. R., & Suwarma, I. R. (2019). Analyzing student's

problem-solving abilities of direct current electricity in stem-based learning. *Journal of Science Learning*, 2(3), 85-91.

<https://doi.org/10.17509/jsl.v2i3.17559>

Arikan, S., Erktin, E., & Pesen, M. (2020). Development and Validation of a STEM Competencies Assessment Framework. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 20, 1 - 24.

<https://doi.org/10.1007/s10763-020-10132-3>.

Beers, S. Z. (2005). *The whole child: Developmental education for the early years*. Houghton Mifflin Harcourt.

Belski, I., & Belski, R. (2016) *Influence of prior knowledge on students' performance in idea generation: Reflection on university entry requirements*. AAEE2016 conference, Coffs Harbour, Australia.

<http://joemls.dils.tku.edu.tw/wp-content/uploads/2020/08/APA-7th-ed-0710.pdf>

Bransford, J. D., Brown, A. L., & Cocking, R. R. (Eds.). (2000). *How people learn: Brain, mind, experience, and school*. National Academy Press.

Braun, V., & Clarke, V. (2021). *Thematic Analysis: A Practical Guide*.

SAGE Publications. https://doi.org/10.1007/978-3-319-69909-7_3470-2

Broggy, J., O'reilly, J., & Sibel Erduran. (2017). *Interdisciplinarity and Science Education*. SensePublishers EBooks, 81–90.

https://doi.org/10.1007/978-94-6300-749-8_6

Burghardt, M. D., Lauckhardt, J., Kennedy, M., Hecht, D., & McHugh, L. (2015). The effects of a mathematics infusion curriculum on middle school mathematics achievement. *School Science and Mathematics*,

115(5), 204–215. <https://doi.org/10.1111/ssm.12123>

Bybee, R. W. (2013). *The case for STEM education: Challenges and opportunities*. NSTA Pres

Bybee, R. W. (2019). Using the BSCS 5E instructional model to introduce STEM disciplines. *Science and Children*, 56(6), 8-12.

https://doi.org/10.2505/4/sc19_056_06_8

Chiang, F., Chang, C., Wang, S., Cai, R., & Li, L. (2020). The effect of an interdisciplinary STEM course on children's attitudes of learning and engineering design skills. *International Journal of Technology and Design Education*, 32, 55-74. <https://doi.org/10.1007/s10798-020-09603-z>.

Chen, L., Taniguchi, Y., Shimada, A., & Yamada, M. (2020). How to Design Collaborative Problem Solving-based STEM Lessons based on the Perspective of Learning Behaviors?. *2020 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE)*, 197-204. <https://doi.org/10.1109/TALE48869>

Cicchetti, D. V. (1994). Guidelines, criteria, and rules of thumb for evaluating normed and standardized assessment instruments in psychology. *Psychological Assessment*, 6(4), 284–290.

<https://doi.org/10.1037/1040-3590.6.4.284>

Comrey, A. L. (1973). *A first course in factor analysis*. Academic Press.

Crubézy, M., & Musen, M. (2004). *Ontologies in support of problem solving*. 321-342. https://doi.org/10.1007/978-3-540-24750-0_16.

Chinofunga, M., Chigeza, P., & Taylor, S. (2024). How can procedural flowcharts support the development of mathematics problem-solving

skills?. *Mathematics Education Research Journal*,37,85-123.

<https://doi.org/10.1007/s13394-024-00483-3>.

Delahunty, T., Seery, N., & Lynch, R. (2020). Exploring problem conceptualization and performance in STEM problem solving contexts. *Instructional Science*,48, 395-425.

<https://doi.org/10.1007/s11251-020-09515-4>.

DeVellis, R. F. (2016). *Scale development: Theory and applications* (4th ed.). Sage Publications.

Dewey, J. (1933). *How We Think: A Restatement of the Relation of Reflective Thinking to the Educative Process*. Heath.

Dewey, J. (1938). *Logic: the theory of inquiry*. Holt.

Davis, D., Gentili, K., Trevisan, M.S., & Calkins, D.E. (2002). Engineering Design Assessment Processes and Scoring Scales for Program Improvement and Accountability. *Journal of Engineering Education*, 91, 2, 211-221. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2002.tb00694.x>

Dewi, A., Maryati, M., Nurohman, S., Suyanta, S., & Astuti, S. (2023).

STEM Effect In Problem Solving: A Meta Analysis. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*,9(7), 212-218. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i7.4044>

Drumm, L. (2015). *Using engaging pedagogy to develop entrepreneurial creativity of STEM students: reflections from the Ideate project*. In: HEA Annual STEM Conference, Nottingham.

Duschl, R., & Bybee, R. (2014). Planning and carrying out investigations:

An entry to learning and to teacher professional development around NGSS science and engineering practices. *International Journal of STEM*

- Education*, 1(12). <https://doi.org/10.1186/s40594-014-0012-6>
- Dutchak, I. (2021). STEM-oriented approach to learning as educational innovation XXI century. *Problems of Education*, 1(94), 127-145. <https://doi.org/10.52256/2710-3986.1-94.2021.08>.
- Dym, C. L., Agogino, A. M., Eris, O., Frey, D. D., & Leifer, L. J. (2005). Engineering Design Thinking, Teaching, and Learning. *Journal of Engineering Education*, 94(1), 103–120. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2005.tb00832.x>
- English, L. D., & King, D. T. (2015). STEM learning through engineering design: Fourth-grade students' investigations in aerospace. *International Journal of STEM Education*, 2(14), 1–18. <https://doi.org/10.1186/s40594-015-0027-7>
- English, L. (2016). STEM education K-12: perspectives on integration. *International Journal of STEM Education*, 3(3), 1-8. <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0036-1>
- Fornell, C., & Larcker, D. F. (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of Marketing Research*, 18(1), 39–50. <https://doi.org/10.2307/3151312>
- Falloon, G., Hatzigianni, M., Bower, M., Forbes, A., & Stevenson, M. (2020). Understanding K-12 STEM Education: a Framework for Developing STEM Literacy. *Journal of Science Education and Technology*, 29, 369 - 385. <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09823-x>.
- Funke, J. (2014). Analysis of minimal complex systems and complex problem solving require different forms of causal cognition. *Frontiers in*

- Psychology*, 5, 739. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00739>
- Gagne' E.D.(1985). *The cognitive psychology of school learning*, Brown and Company.
- George, A., Ranjha, S., & Kulkarni, A. (2021). Enhanced problem solving through redefined 8D step completion criteria. *Quality Engineering*, 33, 695-711. <https://doi.org/10.1080/08982112.2021.1969665>
- Ghiselli, E. E., Campbell, J. P., & Zedeck, S. (1981). *Measurement theory for the behavioral sciences*. W. H. Freeman.
- Gorsuch, R. L. (1983). *Factor analysis*. Lawrence Erlbaum.
- Gao, X., Li, P., Shen, J., & Sun, H. (2020). Reviewing assessment of student learning in interdisciplinary STEM education. *International Journal of STEM Education*, 7, 1-14. <https://doi.org/10.1186/s40594-020-00225-4>.
- Hair, J., Sarstedt, M., Hopkins, L., et al. (2014) Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM): An Emerging Tool in Business Research. *European Business Review*, 26, 106-121. <https://doi.org/10.1108/EBR-10-2013-0128>
- Hadi, Suwono., Eka, Oktavia, Kurniati., Ibrohim, Ibrohim., Ahmad, Suryadi., Muhammad, Saefi. (2022). International Scientific Collaboration and Research Topics on STEM Education: A Systematic Review. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 18(4), pp.2095 . <https://doi.org/10.29333/ejmste/11903>
- Hwang, J., Choi, K., & Hand, B. (2020). Examining Domain-General Use of Reasoning Across Science and Mathematics Through Performance on Standardized Assessments. *Canadian Journal of Science, Mathematics*

and Technology Education, 20, 521 - 537.

<https://doi.org/10.1007/s42330-020-00108-4>.

Hansen, M., & González, T. A. (2014). Investigating the Relationship between STEM Learning Principles and Student Achievement in Math and Science. *American Journal of Education*, 120(2), 139-171.

<https://doi.org/10.1086/674376>

Hatch, L. (1988). *Problem-solving approach*. In Kemp, W. H. & Schwaller, A. E.(Eds.), *Instructional Strategies for technology education*. 37th Yearbook of Council on Technology Education, 88-89.

Hew, K., & Brush, T. (2007). Integrating technology into K-12 teaching and learning: current knowledge gaps and recommendations for future research. *Educational Technology Research and Development*, 55, 223-252. <https://doi.org/10.1007/S11423-006-9022-5>.

Horlick-Jones, T., & Sime, J.D. (2004). Living on the border: knowledge, risk and transdisciplinarity. *Futures*, 36, 441-456.

<https://doi.org/10.1016/j.futures.2003.10.006>

Hsiao, H.-S., Chang, Y.-C., Lin, K.-Y., Chen, J.-C., Lin, C.-Y., Chung, G.-H., & Chen, J.-H. (2022). Applying the design thinking model to hands-on mechatronics STEM activities for senior high school students to improve the learning performance and learning behavior. *International Journal of Technology and Design Education*, 33(4), 1389–1408.

<https://doi.org/10.1007/s10798-022-09778-7>

Huang, B. (2019). *An Interactive Canvas of the Ideation Process in STEM Education*. International Conference on Computers in Education,

- Kenting, Taiwan. <https://doi.org/10.58459/icce.2019.822>
- International Technology and Engineering Educators Association. (2020). *Standards for technological and engineering literacy: The role of technology and engineering in STEM education*. Reston, VA: Author
www.iteea.org/STEL.aspx
- Irwanto, I., Saputro, A. D., Widiyanti, Ramadhan, M. F., & Lukman, I. R. (2022). Research Trends in STEM Education from 2011 to 2020: A Systematic Review of Publications in Selected Journals. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM)*, 16(05), 19–32.
<https://doi.org/10.3991/ijim.v16i05.27003>
- IDEO. (2012). *Design thinking: The five phases of design thinking*. IDEO. Retrieved from <https://designthinking.ideo.com>
- Jiang, S., Shen, J., & Smith, B. (2019). Designing discipline-specific roles for interdisciplinary learning: two comparative cases in an afterschool STEM + L programme. *International Journal of Science Education*, 41, 803-826. <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1581958>.
- Jonassen, D. H. (2000). Toward a design theory of problem solving. *Educational Technology Research and Development*, 48(4), 63–85.
<https://doi.org/10.1007/BF02300500>
- Kahney, Hank. (1986). *Problem solving – A cognitive approach*. Milton Keynes: Philadelphia, Open University Press.
- Kelly, R., Mcloughlin, E., & Finlayson, O. (2016). Analysing student written solutions to investigate if problem-solving processes are evident throughout. *International Journal of Science Education*, 38, 1766 - 1784.

<https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1214766>.

Koo, T. K., & Li, M. Y. (2016). A guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research. *Journal of Chiropractic Medicine, 15*(2), 155–163.

<https://doi.org/10.1016/j.jcm.2016.02.012>

Koyunlu Ünlü, Z., & Dökme, İ. (2022). A systematic review of 5E model in science education: proposing a skill-based STEM instructional model within the 21-st century skills. *International Journal of Science Education, 44*(13), 1–21.

<https://doi.org/10.1080/09500693.2022.2114031>

Kuhn, D., Schauble, L., & Garcia-Mila, M. (1992). Cross-Domain Development of Scientific Reasoning. *Cognition and Instruction, 9*, 285-327. https://doi.org/10.1207/S1532690XCI0904_1

Kuo, H., Tseng, Y., & Yang, Y. (2019). Promoting college student's learning motivation and creativity through a STEM interdisciplinary PBL human-computer interaction system design and development course. *Thinking Skills and Creativity*. <https://doi.org/10.1016/J.TSC.2018.09.001>.

Lamb, R., Akmal, T., & Petrie, K. (2015). Development of a cognition-priming model describing learning in a STEM classroom. *Journal of Research in Science Teaching, 52*(3), 410–437. <https://doi.org/10.1002/tea.21200>

Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics, 33*(1), 159–174.

<https://doi.org/10.2307/2529310>

- Lestari, I. (2021). Experiential learning using STEM approach in improving students' problem solving ability. *Journal of Physics: Conference Series*, 1806. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1806/1/012005>.
- Mahboobin, A., & Clark, R. (2020). How to Architecture Open-ended Problem-solvers? Student Reflections on Scaffolding Experiences in an Open-ended Problem-solving Bioengineering Course Sequence. *Journal of Combinatorial Theory, Series A*, 9, 30-39. <https://doi.org/10.5430/jct.v9n1p30>
- Mansilla, V. B., & Duraisingh, E. D. (2007). Targeted assessment of students' interdisciplinary work: An empirically grounded framework proposed. *The Journal of Higher Education*, 78(2), 215-237. <https://doi.org/10.1080/00221546.2007.11780874>
- Maass, K., Geiger, V., Ariza, M., & Goos, M. (2019). The Role of Mathematics in interdisciplinary STEM education. *ZDM*, 51, 869 - 884. <https://doi.org/10.1007/s11858-019-01100-5>.
- National Academy of Engineering. (2014). National Academy of Engineering & National Research Council. (2014). *STEM integration in K-12 education: Status, prospects, and an agenda for research*. National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/186>
- National Research Council. (1996). *National Science Education Standards*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/4962>.
- National Research Council. (2001). *Knowing what students know: The science and design of educational assessment*. Washington, DC: National

Academy Press.

Nugraha, M., Kidman, G., & Tan, H. (2024). Interdisciplinary STEM education foundational concepts: Implementation for knowledge creation. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*. <https://doi.org/10.29333/ejmste/15471>.

New Assessment Tools for Cross-Curricular Competencies in the Domain of Problem Solving (NATCCC). (2000). *Final report of project ERB-SOE2-CT98-2042*. EUROPEAN Commission, L-2926 Luxembourg: European Commission.

National Research Council. (2012). *A Framework for K–12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. Washington, DC: The National Academies Press.

Nguyễn, L. C., Hoa, H. Q., & Hien, L. H. P. (2025). Integrating design thinking into STEM education: Enhancing problem-solving skills of high school students. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*. <https://doi.org/10.29333/ejmste/160>

Nurmaliah, C., Azmi, T. N., Safrida, Khairil, & Artika, W. (2021). The impact of implementation of STEM integrating project-based learning on students' problem-solving abilities. *Journal of Physics: Conference Series, 1882(1)*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1882/1/012162>

Pellegrino, J. W. (2014). A learning sciences perspective on the design and use of assessment in education. *The Wiley Handbook of Learning Technology*, 64–86. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139519526.015>

Pellegrino, J. W., Chudowsky, N., & Glaser, R. (Eds.). (2001). *Knowing what*

students know: The science and design of educational assessment.

National Academies Press.

Pólya, G. (1957). *How to solve it: A new aspect of mathematical method.*

Princeton University Press.

Priemer, B., Eilerts, K., Filler, A., Pinkwart, N., Rösken-Winter, B., Tiemann,

R., & Zu Belzen, A. U. (2020). A framework to foster problem-solving in

STEM and computing education. *Research in Science & Technological*

Education, 38(1), 105–130.

<https://doi.org/10.1080/02635143.2019.1600490>

Pugalee, D.K. (2004). A Comparison of verbal and written descriptions of

students' problem solving processes. *Educational Studies in*

Mathematics 55, 27–47.

<https://doi.org/10.1023/B:EDUC.0000017666.11367.c7>

Rahman, M. (2019). 21st Century Skill “Problem Solving”: Defining the

Concept. *Asian Journal of Interdisciplinary Research.*

<https://doi.org/10.34256/AJIR1917>.

Roberts, T., Maiorca, C., Jackson, C., & Mohr-Schroeder, M. (2022).

Integrated STEM as Problem-Solving Practices. *Investigations in*

Mathematics Learning, 1–13.

<https://doi.org/10.1080/19477503.2021.2024721>

Roehrig, G., Dare, E., Ring-Whalen, E., & Wieselmann, J. (2021).

Understanding coherence and integration in integrated STEM

curriculum. *International Journal of STEM Education*, 8, 1-21.

<https://doi.org/10.1186/s40594-020-00259-8>.

Sanders, M. (2009). STEM, STEM education, STEM mania. *The Technology Teacher*, 68(4), 20–26.

<https://doi.org/10.17763/haer.57.1.j463w79r56455411>

Sarican, G., & Akgunduz, D. (2018). The impact of integrated STEM education on academic achievement, reflective thinking skills towards problem solving and permanence in learning in science education.

Cypriot Journal of Educational Sciences, 13, 94-107.

<https://doi.org/10.18844/CJES.V13>

Simarro, C., Couso, D. (2021). Engineering practices as a framework for STEM education: a proposal based on epistemic nuances. *International Journal of STEM Education*, 8, 53. <https://doi.org/10.1186/s40594-021-00310-2>

Suciana, D., H., Sausan, I., & M. (2023). A meta-analysis study: The effect of problem based learning integrated with stem on learning outcomes.

European Journal of Education and Pedagogy, 4(2), 133-138.

<https://doi.org/10.24018/ejedu.2023.4.2.619>.

Su, K.-D. (2022). The effects of cross-disciplinary life science innovation implemented by students' stimulated strategies for pbl-stem self-efficacy. *Journal of Baltic Science Education*, 21(6), 1069–1082.

<https://doi.org/10.33225/jbse/22.21.1069>

Suciana, D., Hartinawati, Sausan, I., & Meliza. (2023). A Meta-Analysis Study: The Effect of Problem Based Learning Integrated with STEM on Learning Outcomes. *European Journal of Education and*

Pedagogy, 4(2), 133–138. <https://doi.org/10.24018/ejedu.2023.4.2.619>

- Sydykova, Z., & Naushabekov, Z. (2024). Application of stem education to analyze and solve physics problems in schools. *Bulletin Series of Physics & Mathematical Sciences*. <https://doi.org/10.51889/2959-5894.2024.86.2.030>.
- Torrance, E. P. (1974). *Torrance tests of creative thinking: Norms-technical manual*. Scholastic Testing Service.
- Trilling, B., & Fadel, C. (2009). *21st Century Skills: Learning for Life in Our Times*. John Wiley & Sons.
- Ulitzsch, E., He, Q., & Pohl, S. (2021). Using Sequence Mining Techniques for Understanding Incorrect Behavioral Patterns on Interactive Tasks. *Journal of Educational and Behavioral Statistics*, 47, 3 - 35. <https://doi.org/10.3102/10769986211010467>.
- Wang, Z., & Song, G. (2021). Towards an assessment of students' interdisciplinary competence in middle school science. *International Journal of Science Education*, 43(5), 693–716. <https://doi.org/10.1080/09500693.2021.1877849>
- Wilson, K. J., & Rigakos B. (2016). Scientific Process Flowchart Assessment (SPFA): A Method for Evaluating Changes in Understanding and Visualization of the Scientific Process in a Multidisciplinary Student Population. *CBE—Life Sciences Education*, 15, 4. <https://doi.org/10.1187/cbe.15-10-0212>.
- Wilson, M. (2005). *Constructing measures: An item response modeling approach*. Lawrence Erlbaum Associates.
- Wu, B., Hu, Y., Ruis, A., & Wang, M. (2019). Analysing computational

thinking in collaborative programming: A quantitative ethnography approach. *Journal of Computer Assisted Learning*, 35, 421-434.

<https://doi.org/10.1111/JCAL.12348>.

Yayuk, E., P., As'ari, A., & , S. (2020). Primary School Students' Creative Thinking Skills in Mathematics Problem Solving. *European Journal of Educational Research*, 9, 1281-1295. <https://doi.org/10.12973/eu-jer.9.3.1281>.

Yang, S.-C., Liu, C.-J., Hsueh, Y.-H. (2024). Research on STEAM Education Theses in Taiwan: Literature Analysis, Development Trends, and Future Prospects ◦ *Journal of Educational Media & Library Sciences*, 61(2) , 161-209 ◦ [https://doi.org/10.6120/JoEMLS.202407_61\(2\).0044.RS.CM](https://doi.org/10.6120/JoEMLS.202407_61(2).0044.RS.CM)

You, H. S. (2017). Why teach science with an interdisciplinary approach: History. *Trends, and Conceptual Frameworks. Journal of Education and Learning*, 6(4), 66–77. <http://doi.org/10.5539/jel.v6n4p66>

Zeeshan, K., Watanabe, C., & Neittaanmäki, P. (2021). Problem-solving skill development through STEM learning approaches. *2021 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, 1–8.

<https://doi.org/10.1109/FIE49875.2021.9637226>

Zhou, N., Pereira, N., Chandrasegaran, S., George, T., Booth, J., & Ramani, K. (2019). Examining middle school students' engineering design processes in a design workshop. *Research in Science Education*, 51, 617 - 646. <https://doi.org/10.1007/s11165-019-09893-x>.



附錄一 STEM 跨領域問題解決能力評量工具

第一部份：基本背景資料

題號	題目	選項
1.	我的生理性別：	<input type="checkbox"/> 男性 <input type="checkbox"/> 女性
2.	我就讀年級	_____
3.	我是否曾經參與過 STEM/ STEAM/ 跨領域營隊或課程：	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
4.	承上題，如果有參加過，能否舉例幾個：	_____
5.	我是否了解「心智圖」，或曾有相關利用圖像表達思考課程經驗：	<input type="checkbox"/> 是、 <input type="checkbox"/> 否
6.	我對這些 STEM/ STEAM/ 跨領域營隊或課程的興趣程度（1~10分，1分完全沒興趣，10極度感興趣）	_____分
7.	我對於「基本物理與化學原理」的理解，例如電路、力學轉換、能量守恆、材質狀態變化等熟悉程度（1~10分，1分理解程度欠佳，10分程度優秀）	_____分
8.	我的「工具操作能力」，例如使用熱融槍、尺、膠水或其他常見工具的能力（1~10分，1分程度欠佳，10分程度優秀）	_____分
9.	我對於「問題解決流程」的熟悉程度（1~10分，1分理解程度欠佳，10分程度優秀）	_____分
10.	我對於「數學計算與幾何應用」，例如計算簡單幾何或測量長度與角度熟悉程度（1~10分，1分理解程度欠佳，10分程度優秀）	_____分

第二部份：STEM 跨領域問題解決能力向度與指標

【範例說明】：每一列表示一題題目，陰影處裡面將有 1~8 的自評分數，上方會有各項分數之對應說明，您只需依據表現圈選分數即可。

題幹	小部分達成	部分達成	大部分達成	完全達成				
1.1 我知道...	我開始能....	我能指出...	我能說明...	我能整合...				
	1	2	3	4	5	⑥	7	8

正式問卷選項：

請回想你曾經參加過的實作活動經驗（如：動力車等）或其他跨領域專題製作，根據你的實際經驗，帶入當時的學習情境，進行以下自我評量。

向度 1：STEM 問題界定與分析

題幹	小部分達成			部分達成		大部分達成		完全達成	
1.1 我知道 STEM 問題與哪些學科領域有關。	我開始能從一兩個面向思考這個問題與哪些學科有關。			我能指出與 STEM 問題有關的幾個學科，並能簡單說明它們的關聯。		我能說明這個 STEM 問題涉及哪些主要學科，並清楚地連結每個領域的重要性。		我能整合不同學科的知識來理解 STEM 問題，並說明各學科在解決問題中扮演的角色。	
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1.2 我清楚 STEM 問題中的主要內容，包括背景與目標。	我能簡單說出這個問題是關於什麼，也大致了解它的背景。			我能說明 STEM 問題的重點與背景，並描述要達成的目標。		我能清楚說明問題的起因、背景脈絡與解決目標，理解整體情境。		我能全面分析 STEM 問題的背景與目標，並說明這些內容如何影響解決方向。	
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1.3 我清楚與 STEM 問題相關的已知資訊，以及未知資訊。	我大概知道問題有哪些資訊			我能區分哪些資訊是已知的，哪些部分還需要再了解。		我能清楚整理出所有已知條件，也能指出尚未掌握的關鍵資訊。		我能系統性盤點已知與未知資訊，並規劃整合如何補足不足的資料。	
	1	2	3	4	5	6	7	8	

1.4 我能了解資源的限制，以及確定解決STEM問題的範圍。	我大概知道有哪些資源限制和問題範圍是什麼。		我能具體說出資源限制或範圍，並初步用其他學科知識(如動力、計算)來解釋。		我能說清楚資源限制和問題範圍，用不同學科的知識來說明，看出它們的關聯與差異。		我很清楚資源限制和問題範圍，能把不同學科整合起來，並設定可行方向。	
	1	2	3	4	5	6	7	8
1.5 我能找出STEM問題中可能影響結果的因素，並思考它們間關係。	我能提出一兩個可能影響結果的因素，並開始思考其影響。		我能說出一些會影響結果的因素，並初步想一想它們之間可能有什麼關係。		我能清楚說出影響結果的多個因素，用不同學科的知識來說明，看看它們之間的關聯差異，來幫助對問題的理解。		我能完整分析影響結果的因素，並整合不同學科的知識，提出自己的推論或解釋。	
	1	2	3	4	5	6	7	8

向度 2：STEM 資料蒐集與分析

題幹	小部分達成		部分達成		大部分達成		完全達成	
2.1 我能進行STEM資料搜尋	我大概知道要找什麼資料		我能初步確定部份資料蒐集的方向，並嘗試採用一些跨域策略。		我能針對問題內容搜尋多種資料，並運用學科知識選擇有幫助的資訊。		我能有策略地規劃資料搜尋方向，並整合不同來源的STEM資訊，支援問題分析。	
	1	2	3	4	5	6	7	8

2.2 我能進行 STEM 資料擷取與篩選	我能分辨哪些資料與問題有關，哪些是不需要的。	1	2	3	我能擷取出與 STEM 問題較相關的資訊，並排除不太有幫助的資料。	4	5	我能從跨領域的角度，針對不同來源的資料進行比對與初步判斷，選出與問題分析最有關的內容。	6	7	我能根據解決 STEM 問題的需要，有邏輯地擷取與篩選資料，並解釋選擇的理由。	8
2.3 我能進行 STEM 資料分類	我能根據資料內容，試著把資料做初步分類。	1	2	3	我能連結不同領域角度，將資料依據主題、形式或重點等進行分類。	4	5	我能運用學科概念（如材料性質、數據型態等）來分類資料，使問題更清楚，發現不夠清楚或有重疊的地方，並重新整理。	6	7	我能設計合理的分類方式，並清楚說明這些分類如何幫助理解與分析 STEM 問題。	8
2.4 我能歸納 STEM 資料的趨勢與線索	我能發現資料中出現的重複現象或變化。	1	2	3	我能找出資料中的簡單趨勢或重複出現的線索，並思考其意義。	4	5	我能歸納資料中的關聯與變化，用學科知識說明可能的原因或規律。	6	7	我能分析資料的整體趨勢與潛在關聯，並用圖表、計算或理論來說明對解決問題的幫助。	8

2.5 我能進行 STEM 資料的評估與釐清	我能指出自己整理出的資料重點，包括圖表、摘要或關鍵句。	我能將這些重點與問題需求連結，判斷資訊的優先順序。	我能結合 STEM 背景知識，評估資料的可信度、準確度與適用性。	我能綜合分析 STEM 資料的合理性與限度，並清楚指出哪些資料值得採用，哪些需小心解讀。			
	1	2	3	4	5	6	7

向度 3：構思與形成 STEM 解決方案

題幹	小部分達成	部分達成	大部分達成	完全達成				
3.1 我能針對 STEM 問題提出多種可能的假設或解決方案。	我能想出一種或多種可能的假設或解決方案。	我能連結問題的內容與不同學科知識，提出多種可能的假設或解法。	我能根據問題情境，提出多種有根據的假設與解決方案，並運用不同學科知識說明其原理。	我能綜合多領域概念提出多元且具創意的假設與解決策略，並思考其優劣與可能限制。				
	1	2	3	4	5	6	7	8
3.2 我能根據假設，擬定測試計畫來檢驗其可行性。	我能根據假設想出可檢驗的方法或步驟。	我能根據不同假設，設計檢驗可行性的測試方式。	我能依據假設規劃具體的測試流程與條件，並用學科知識說明測試的目的與方法。	我能設計有系統、能驗證假設的測試計畫，包含變因控制、測量方式與預期結果推論。				
	1	2	3	4	5	6	7	8

3.3 我能結合不同方法或資源，設計創新的 STEM 解決方案。	我能運用方法或資源，提出一個解決問題的方式。		我能運用兩種以上的方法或材料設計解決方式，並說明為什麼這樣做。		我能整合多種學科知識與資源設計出實用的方案，並說明其創意與科學原理。		我能靈活運用不同方法、工具與學科概念，設計出具有創新性與解釋性的 STEM 解決方案。	
	1	2	3	4	5	6	7	8
3.5 我能預測可能的結果與問題，並提出 STEM 問題解決策略。	我能對我設計的方案做出簡單的預測，並思考可能會遇到的困難。		我能預測可能的結果，並針對潛在問題提出一些應對方式。		我能分析各種結果的可能性，並運用學科知識提出具體策略來解決問題。		我能綜合預測結果、風險與條件變化，提出具邏輯性與彈性的 STEM 問題解決策略。	
	1	2	3	4	5	6	7	8

向度 4：選擇最佳 STEM 解決方案

題幹	小部分達成		部分達成		大部分達成		完全達成	
4.1 我能判斷哪些方案更符合 STEM 問題的需求與目標。	我能根據問題大致判斷哪個方案比較適合。		我能根據問題需求與目標，初步說明為何某些方案較合適，並連結部分 STEM 知識。		我能結合不同學科知識，分析各方案是否符合問題目標，並提出具體依據。		我能運用跨學科概念有系統地分析方案與目標的對應關係，並清楚說明判斷理由。	
	1	2	3	4	5	6	7	8

<p>4.2 我能比較不同方案的優點與限制，評估哪個方案比較合適。</p>	<p>我能列出不同方案的幾個差異，並嘗試做出選擇。</p>	<p>我能比較每個方案的優點與限制，並初步說明選擇的原因。</p>	<p>我能有條理地分析不同方案的利弊，並運用學科知識來支撐評估。</p>	<p>我能系統比較各方案的效果、限制與適用情境，做出有依據的判斷與選擇。</p>	<p>1 2 3 4 5 6 7 8</p>
<p>4.3 我會考量資源條件與需求，以選擇更可行的方案。</p>	<p>我會注意到有些方案受限於材料或工具條件。</p>	<p>我能根據時間、材料或其他資源條件，判斷哪個方案比較容易執行。</p>	<p>我能連結跨領域的條件與限制，進一步選擇可行方案。</p>	<p>我能從實作與應用角度出發，綜合分析需求與條件，挑選最具可行性的方案，還能檢查是否有更好配置資源的方式。</p>	<p>1 2 3 4 5 6 7 8</p>
<p>4.5 我會分析方案中各個環節的關聯與影響，選出最佳解決方式。</p>	<p>我能說出這個方案中各步驟之間的關係。</p>	<p>我能釐清方案中不同步驟或資源間的關聯，幫助我判斷哪些方案更合適。</p>	<p>我能整合各環節的功能與關聯，用學科知識分析哪個方案較有效。</p>	<p>我能綜合分析跨領域方案的關聯，幫助我全面評估每個環節的影響，找出最適方案。</p>	<p>1 2 3 4 5 6 7 8</p>

向度 5：STEM 方案執行

題幹	小部分達成			部分達成		大部分達成		完全達成	
5.1 我能依據先前規劃，逐步執行跨領域整合的解決方案。	我能照著計畫執行任務。			我能依照事前的簡單規劃執行方案，並盡力完成主要步驟。		我能依照先前完整規劃，有條理地執行各項步驟，並融合不同學科的方法。		我能精準依據跨域規劃逐步實作方案，展現良好流程掌握與整合執行能力。	
	1	2	3	4	5	6	7	8	
5.2 我能靈活處理執行過程中的突發問題或挑戰。	我能在執行過程中遇到問題時，想辦法解決。			我能根據問題情況，嘗試不同方法來解決執行中出現的突發狀況。		我能針對執行過程中出現的挑戰，運用不同學科的知識彈性調整方案。		我能即時綜合分析判斷並解決突發問題，有策略地優化執行流程，確保方案順利推進。	
	1	2	3	4	5	6	7	8	
5.4 我能整理執行過程中的重要資訊，以支持跨域方案的進行。	我能簡單紀錄一些執行過程中的重點資訊。			我能整理執行中的觀察與發現，並初步說明其對方案的幫助。		我能有系統地記錄重要資訊與變化，並結合不同學科的觀點來支持方案執行。		我能整合並組織執行中所蒐集的資料，用來反思與修正跨域解決方案的細節與方向。	
	1	2	3	4	5	6	7	8	

向度 6：STEM 測試與評估

題幹	小部分達成			部分達成		大部分達成		完全達成
6.2 我能判斷測試的結果是否達到預期目標。	我能根據原本預設的目標，觀察測試結果有沒有達成。			我能根據觀察或數據，初步判斷測試結果是否達成目標。		我能運用不同角度，如科學原理、數據趨勢、工程結構與操作性來判斷測試是否達標。		我能反思與整合不同測試成果的瞭解與觀察方式，用來系統性評估 STEM 方案是否成功。
	1	2	3	4	5	6	7	8
6.3 我能分析測試中發現的問題，並確認問題的來源。	我能指出測試結果有哪些地方不如預期。			我能簡單分析問題的內涵，並推測可能的來源。		我能連結不同領域的觀點來分析造成問題的可能原因。		我能整合不同問題來源，還能整理出常見問題類型與判斷步驟，幫助有效找出問題原因。
	1	2	3	4	5	6	7	8
6.4 我能運用測試數據和實際情況支持我對方案的成效的評估。	我能根據測試結果，說明我的方案是否有效。			我能連結測試數據與實際經驗，從不同的角度說明方案的成效。		我能從不同資料來源來判斷成效，還會思考這些資料是否充分，若有發現不足時會補充或調整我的依據。		我能運用不同資料來支持評估結果，還能提出有依據、有邏輯的整體成效評估。
	1	2	3	4	5	6	7	8

6.5 我能比較測試結果與目標間的差異，並說明造成落差的原因。	我能比較預期的成果與實際成果有什麼不同。		我能連結測試結果與目標之間的差異，並推測與分析可能的原因。		我能從其他角度來分析造成落差的細節，找出哪些環節未達預期，並修正原本的理解或設計假設。		我能整合跨領域角度說明落差原因，還能具體指出落差背後的邏輯與技術原因。	
	1	2	3	4	5	6	7	8

向度 7：STEM 問題解決回顧與優化

題幹	小部分達成		部分達成		大部分達成		完全達成	
7.1 我能回顧過程中的表現好的地方，並說出為什麼好。	我能說出自己過程中做得好的地方。		我能連結不同階段的表現，說出是哪些成功做法幫助我執行任務。		我能清楚分析表現良好的環節，說明背後使用的跨學科方法或思考方式。		我能深入檢視自己的優勢做法，並指出其在 STEM 問題中的作用與價值。	
	1	2	3	4	5	6	7	8
7.2 我能指出這次做得不順利的地方，並提出具體可以怎麼調整、下次怎麼避免。	我能說出自己這次在哪些地方做得不好或卡住了。		我能連結不同階段的困難，並想出一個改進的方法。		我能針對錯誤分析問題發生的原因並提出改進，還會從其他角度檢查是否有沒注意到的問題點，避免再犯。		我能結合跨學科知識與實際經驗，提出具體且可操作的改進策略與修正方法。	
	1	2	3	4	5	6	7	8

<p>7.3 我能根據這次的經驗，發現自己在解決問題時的思考轉變。</p>	<p>我能說出自己在解決問題的過程中獲得成長。</p>	<p>我能說出自己對問題的看法或處理方式有些不同，並試著解釋為什麼。</p>	<p>我能運用這次的經驗來比較自己這次和以前處理問題的方式，發現想法上的差異與進步，並思考為什麼會改變。</p>	<p>我能分析自己解決問題方式的進步與改變，並反思這樣的轉變對未來處理 STEM 問題的幫助。</p>
<p>7.4 我能與他人分享這次的經驗與反思結果，並從討論中學到新的想法或做法。</p>	<p>我能把自己在這次活動中的想法或經驗說出來，和同學分享。</p>	<p>我能分享自己的想法，也會聽聽同學的做法並得到一些啟發。</p>	<p>我能有條理地分享反思結果，並從討論中學習不同的策略或觀點。</p>	<p>我能透過交流與反思，不僅深化自己的理解，也能結合他人觀點轉化為新的解決方式。</p>
<p>7.5 我能提出一套運用在 STEM 問題上的解決策略或流程。</p>	<p>我能大致說出自己解決問題的步驟。</p>	<p>我能連結這次活動的做法，整理出一套解決 STEM 問題的步驟或流程。</p>	<p>我能有邏輯地提出一套包含觀察、分析、設計與修正的解決流程。</p>	<p>我能根據經驗與反思，還能建立一套可以根據不同 STEM 問題調整使用的策略架構，幫助我未來更有效率地解決各種挑戰。</p>
	<p>1 2 3</p>	<p>4 5</p>	<p>6 7</p>	<p>8</p>

第三部份：STEM 跨領域問題解決流程圖

分數

〈說明：請回想參與 STEM 跨領域問題解決活動過程，試著將你實際解決問題的步驟畫出來，並在每個流程旁備註具體說明，盡量越詳細越好哦！

- 左邊【解決問題的步驟】列出你做過的重要步驟（例如：界定問題、找資料、組裝、測試、組員討論、修改、完成……）
- 右邊【問題解決流程圖】畫出這些步驟之間的連結，用箭頭表示它們的前後關係。

〈如果步驟間會重複來回思考與修正可以使用雙箭頭（ \leftrightarrow ），單個步驟重複來回用（ \curvearrowright ），表示你有回頭檢查、修正或再思考的歷程。〉

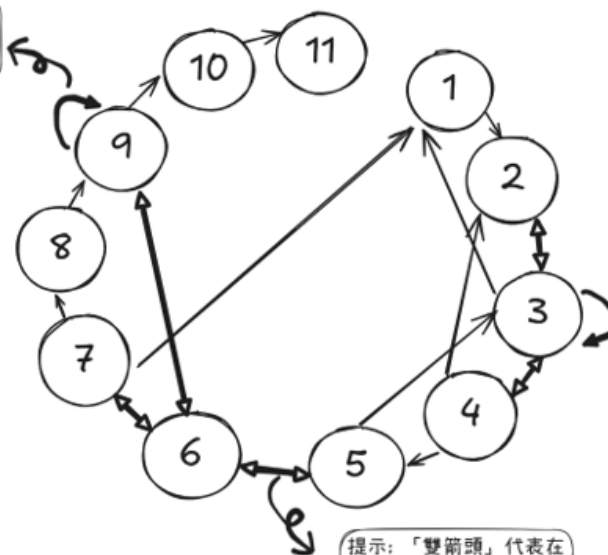
同學範例：（主題：氣球動力車）設計與製作專題

解決問題的步驟(每個人的解決步驟皆會有差異)：

- 1 了解設計製作目標物
- 2 確認製作的條件 (資源、限制)
- 3 上網查資料、想像製作過程 (回到 1) (關鍵字: 氣球車)
- 4 設計草稿和計畫 (回到 2) (含原理、做法、注意事項)
- 5 雛型製作 (回到 3) (做輪子→車體→氣球導管)
- 6 測試 (回到 5、9) (原地旋轉→往前 10 公分)
- 7 檢討失敗緣由 (回到 1、6)
- 8 列出假設與修正方案 (修正輪子、車體)
- 9 選擇適合的設計方向進行修正 (回到 9)
- 10 完成製作(成功 or 未成功)
- 11 組員交換想法與檢討(下次可以怎麼做)

跨領域問題解決流程圖

提示：「迴圈的箭頭」
代表在 9 這個步驟重複
檢查或修正



提示：「雙箭頭」代表在
5和6這個步驟重複多次
檢查或修正

(主題 _____)

設計與製作專題

以下請詳列


在問題解決歷程中實際解決問題步驟

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____
6. _____
7. _____
8. _____
9. _____
10. _____
11. _____
12. _____
13. _____
14. _____
15. _____

若不夠可自行增加

(使用標號、單箭頭 (→) 和雙箭頭 (↔) 或 (↻) 繪製出問題解決流程，
並可在每個流程旁備註說明)

跨領域問題解決流程圖



別忘了再次檢查有沒有遺漏的地方

附錄二 參與研究知情同意書

■ 活動內容

1. **時間及地點**：活動將於課後或假日進行，具體時間將依您與孩子感到舒適、方便的時間於國立臺灣師範大學進行活動。
2. **參與方式及內容**：孩子需全程參與活動，活動後將填寫一份問卷，並接受一次有關學習過程的訪談。
3. **錄音和錄影**：為了精確記錄研究資料，活動全程將進行聲音和影像紀錄。若您的孩子感到不適或希望中途停止錄製，均可隨時提出，絕不用有壓力或不好意思。

■ 資料之保存期限及運用

1. 過程中所蒐集的影像紀錄（如音檔、照片或影片），將以編碼方式儲存於設有密碼保護的電腦中，僅限於學術用途，絕不外流或公開使用，並於活動結束後 5 年內銷毀。
2. 未來研究成果呈現時，您孩子的真實姓名及個人資料將不會出現在報告上，我們將採用匿名方式處理。

■ 暫停及退出研究之權益

在活動進行過程中，若孩子感到不適或不願繼續參與，您與孩子可隨時選擇暫停或退出研究，我們將完全尊重您的決定，並不會對孩子產生任何不利影響。即使研究結束後，若您有任何疑問，歡迎隨時聯繫。

■ 簽名欄位

本人_____（法定代理人名）已詳細閱讀並了解活動內容與注意事項，
同意_____（孩子名）參與活動並以錄音和錄影方式蒐集資料。

孩子姓名：_____

監護人與孩子關係：_____

監護人簽名：_____

緊急聯絡電話：_____

簽署日期：114 年 _____ 月 _____ 日