

國小學童問題界定之思維歷程探究： 以科學自造活動為例

吳柏菱* 甄曉蘭

國立臺灣師範大學 課程與教學研究所

摘要

科學自造教育是透過造物活動來驅動和統整科學學習，期望學生能藉由科學知識應用、材料與工具操作來嘗試解決真實世界的生活問題，進而為培養學生具有21世紀關鍵能力奠基。基於問題界定是創造性問題解決之首要且關鍵的步驟，本研究試圖探索國小學生在科學自造活動中的問題界定歷程，並通過觀察和分析學生的小組討論內容，瞭解他們界定問題時的思維和達成界定共識的策略。結果發現，在科學自造活動中，學生會同時為了追求解決真實世界問題及解決自造任務之雙重目標進行問題界定。在問題界定歷程中，學生會根據先備經驗及其科學知識豐富程度、對自造活動歸屬於科學學習的認知、受自造材料吸引的程度、對材料性質的理解與詮釋、以及對自造主題陳述中不同概念的關係位階判斷等因素，產生多元且可能互相衝突的問題界定思維。而在處理問題界定思維的衝突時，學生會藉由連續提問來導引團隊的思維方向、善用團體共備過的科學知識或材料操弄經驗來增進溝通、或是藉由操弄材料將問題情境具象化等策略來促進團體達成問題界定共識。最後，根據研發現，作者對相關議題提出了教學實務反思與建議供自造教育實踐參考。

關鍵詞：自造教育、科學自造、科學思維、問題界定

壹、研究背景與目的

「自造者運動」(maker movement)強調使用工具和適當技能來解決真實世界問題的特徵，已被廣泛認為富含多元的教育價值(朱耀明，2018；Quinn & Bell, 2013)。因而「自造教育」(maker education)逐漸發展為一種學習模式，主張透過造物任務驅動學習，期許學生在自造中運用跨領域知能進行

探究實作，進而深化對學科知識的意義建構和奠定其解決真實世界問題能力的基礎，並藉此開拓創新教育的實踐場域(劉明洲，2016；Dougherty, 2012)；致使自造教育被視為科學、技術、工程和數學領域(Science, Technology, Engineering, and Mathematics, STEM)教育的最佳實踐模式之一(Taylor, 2016)，也被認為是對培養21世紀關鍵能力之教育願景(Partnership for 21st Century Learning,

*通訊作者：吳柏菱，poling221@gmail.com

(投稿日期：民國111年9月22日，修訂日期：民國111年11月14日，接受日期：民國111年11月14日)

2019; United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization, 2014)的一種回應方式，已被廣推於從幼稚園到高中(K-12)的學習階段(Martin, 2015)。

在臺灣，各級教育單位也於2015年開始推動中小學自造教育(鄭國明、王仁俊，2017)，陸續在各縣市成立自造教育示範中心、開設自造體驗課程、並舉辦各類自造競賽或自造成果展演，以期提供學生多元的自造體驗。而學校的自造活動多被納入科學或生活科技領域的學習(張玉山，2017)，像是設定問題情境或自造主題，要求學生運用科學原理、技術、材料和工具進行設計與實作，並以產出人造物作為解決問題的必要策略或成果展現形式(朱耀明，2018)。然而，不難發現，教師們往往會對科學自造活動抱持不同「態度」與「想像」，有的強調實作體驗以建立興趣，有的則重視強化訓練以獲取佳績，並因此根據手作能力、自然學習成績、想像力等等各種特質作為學生挑選和組隊考量。但無論如何，若不能進一步引導學生對自造歷程中的問題解決學習進行反思，「開啟」更多探究學習可能，則最終仍擺脫不了以獎項評價學習，並在開心或失落莫名之下「結束」學習。

Ackermann (2001)從建構論觀點分析動手自造的過程，認為自造不僅是簡單地構建心理表徵，實質上需要產出人工製品，使得自造者有機會將問題解決置於更廣泛的思維脈絡與實踐系統中。Taylor (2016)也認為相較於傳統操作制式與解答固定的科學實驗或解題學習，科學自造的問題解決更強調思維的開放性與批判性；並在允許學習結果多元呈現的情境中，讓學生身心得以全神貫注地投入到問題解決任務中，是一種支持成長的思維模式。據此，思維的理論視角對於推進

學習研究便極為重要(Funke et al., 2018; Li et al., 2019; Slavit et al., 2021)。但一般而言，問題解決學習被認為需要檢查專家問題解決者的表現，藉以提供適當的學習活動來支持學生發展問題解決的專業知識(Zhong & Xu, 2019)。但也有學者主張，毋需優先考慮良好問題解決協作學習可能樣態的規範性想法，而是以更廣泛的視野與更細緻的眼光，來深究學生在自造設計活動中的思維與知識建構過程(Saleh et al., 2022; Valente & Blikstein, 2019)，或許可為自造設計融入科學學習、STEM整合學習或發展探究與實作學習策略提供更多元的實踐參照與教學啟發。

再者，問題解決相關理論指出「問題界定」(problem identification)可與問題構建、問題發現視為同義詞(Rubenstein, Callan, Neumeister, & Ridgley, 2020)，是感知問題後的首要步驟，在創造性問題解決中尤其關鍵，不僅是對外在世界的內在心智模型(internal mental model)探索(黃茂在、陳文典，2004；Hunt, 1994)；更需要綜合並平衡發散與聚斂思維，藉以從困感情境中辨識和瞭解問題的性質(Mumford et al., 1991)，或是從多個角度對問題進行概念化，並考慮這些不同概念化帶來的機會(Abdulla et al., 2020)，作為後續發展問題解決策略之依據。亦即，在遭遇以科學原理解決問題的科學自造任務中，特別是在時間、空間和材料受限的條件下，學生是如何思考並界定任務陳述之問題性質，是整個自造任務發展的關鍵，亦會影響到實作階段的問題解決學習經驗與成效。

由於科學自造之問題解決的實徵研究仍相當有限(Bullock & Sator, 2015)，因此，本研究聚焦於學生面對科學自造任務陳述階段的問題界定思維，期望透過觀察、分析學生在科學自造設計之問題解決歷程的對話討論，

探究學生會如何界定問題並如何與同儕達成界定共識？希冀藉之檢視自造教育場域有待釐清與改進的問題與困境(林坤誼，2018)，並提供科學自造作為問題解決能力培養的學習策略規劃參考。本研究之目的為：

- 一、探究學生對科學自造任務的問題界定思維方式與內涵。
- 二、探究學生在科學自造任務中問題界定思維的共識發展歷程。
- 三、根據研究發現提出科學自造教育實踐值得省思的議題。

貳、文獻探討

一、問題界定與問題解決

解決問題是心智活動的歷程，其間，「問題界定」對問題解決具有關鍵性影響，不僅是問題解決歷程的首要且關鍵步驟，更會不斷地出現在問題解決的迭代歷程中，產生持續性的影響作用(張國興，2016；Jonassen, 2011; Öztürk, 2021; Sternberg & Sternberg, 1999)。Bardwell (1991)以及Reiter-Palmon與Robinson (2009)皆指出，在界定問題時，問題解決參與者會根據個人經驗、個性和情境線索而專注於問題不同面向，並有機會意識到多元的選擇可能，進而做更深思熟慮的分析，不但能增強對問題的理解，提升對問題解決的自我效能與投入意願，甚或因此改變其既有觀點與自身角色定位，對於問題解決效能具有深遠影響。

根據學者們對問題界定意義的詮釋(黃茂在、陳文典，2004；Bardwell, 1991; Sternberg, 2006; Rubenstein, Callan, Neumeister, Ridgley, & Finch, 2020)，無論是從具體心智層面或從行動表徵層面，可約略歸納成下列四項：

- (一)能由情境脈絡或多元觀點立場中去觀察、思維和澄清「問題」或「問題陳述」的意義。
- (二)能精確評估問題的始態(現況或規模)及擬設解決問題後的理想末態(目標)。
- (三)能洞察並解析問題的結構層次，由結構中察覺、分析和釐清問題型塑或解決的關鍵性質。
- (四)能適切的評估可運用的資源和受到的條件限制。

當學生投入問題解決並進行問題界定时，需要對問題的結構、脈絡、複雜性、動態性及領域特定性等特質有所理解與掌握(Jonassen, 2011)，才能據以研擬解決策略。換言之，問題界定不僅牽涉問題本質，還涉及到學生身為認知主體，在問題界定时基於不同的訊息處理能力與立場，會策略地篩選和選擇問題表徵、元素和結構(Rubenstein, Callan, Neumeister, & Ridgley, 2020)，不但對問題界定的內涵形成影響，更會牽動問題解決策略及其執行發展，進而形塑出不同的問題解決學習經驗與價值評斷。

二、「科學自造」問題解決的性質與問題界定的挑戰

「自造教育」鼓勵學生面對真實問題時，嘗試整合跨學科的知識與能力，並將完整身心投入解構、適應、設計與製作(王志美、葉貞妮，2020)，除了以問題解決構想或自造物產出作為學習發生的證據(Dougherty, 2012)，更能型塑、豐富或深化學生對學科知識與學習的意義建構(張玉山，2018；Cohen et al., 2017)。

基於上述對自造教育的學習勾勒與願景描述，Yu等(2015)認為自造學習是一種具參

與性和互動性的創造，其問題解決有別於傳統學科教材中的結構化問題(well-structured problems)解決。若參照Jonassen (2011)依據問題特徵進行的分類，科學自造學習的問題性質與「設計」問題相同；其解決步驟也與「設計思維」(design thinking)的問題解決方式相符(Öztürk, 2021)。亦即，自造所處理的是結構模糊問題(ill-structured problems)，其解決歷程經常是處於定義、目標、需求、限制、解決評鑑標準皆不明朗的情境中(Jonassen)。學生身為問題解決者，在嫁接想法和現實時，必須反覆作決策，其過程隨著解決進展和時空變化的觸發而極具變動性(Marston et al., 1997)，需要不斷在構建問題空間、生成解決方案、以及監控和應用解決策略方面進行辯證，藉以在問題概念化過程中調和個人的信念與衝突，進而構建論據來捍衛他們對問題空間和解決方案的選擇(Cook & Bush, 2018)。

再者，問題所涉入的脈絡，對自造類型的問題解決非常重要且需要納入考量，但也總是難以預料。因為科學自造的問題解決運作機制還會牽涉到問題本身外在因素與問題解決者內在因素的複雜交互作用，以致問題的解析、判斷與抉擇，往往取決於問題解決者的經驗、問題對解決者的意義、問題的重要程度以及解決問題的急迫程度，整個過程，絕對算是複雜的高階心智活動(Funke et al., 2018)。因此，在以自造策略解決問題之前，不但需要關注到對需求的定義，還需要在模稜兩可中嘗試以同理心作為理解基礎，透過不斷的反思來增加對問題情境的理解。換言之，科學自造任務的問題界定充滿了挑戰！針對自造任務進行問題界定时，往往要先釐清、詮釋、定義不夠明確的概念，然後需要探查問題的現況與規模、斟酌或滿足不同需求者的多元目標與期待，進而解構領域

廣泛且相互牽連的問題脈絡結構、並在有限或特定的資源下進行運思與判斷，並據以作成決定，指引下一步的問題解決策略研擬。

三、以思維深究作為理解問題界定的新視角

根據認知心理學，「思維」指的是人腦中的信息處理過程，不僅被概念化為個體的認知過程和策略，亦被視為是解決問題的方法，會因人而異(Li et al., 2019)。因此，基於問題界定對問題解決具有關鍵影響，深究學生問題界定的思維方式與內涵至為重要，尤其是個人的問題界定思維差異要如何在團隊中組合以產生可共享的理解，深具研究價值(Reiter-Palmon, 2009)。但問題界定相關研究多聚焦於認知行為之定量分析以及強調界定之結果產出，少有針對界定策略思維之深度質性描述研究，並容易忽略因社交互動觸發的多元界定思維可能(Rubenstein, Callan, Neumeister, & Ridgley, 2020)。根據Reiter-Palmon與Robinson (2009)的研究，問題界定思維的內涵不易直接觀察，而運用問題重述策略又可能影響問題界定的自然過程。因此，如何在自然情境中有效觀察、深究問題界定思維內容及過程，便成為極重要的研究方法課題。

根據學者對學生創造性問題界定策略的分析(Rubenstein, Callan, Neumeister, Ridgley, & Finch, 2020)，學生可能會運用發散思維、收斂思維或混合兩種思維來界定問題，無論採取何種策略，多數學生傾向於較低層級的處理，像是從管理資源或調整注意力來界定問題，只有少數學生會使用較複雜的策略，諸如細緻化探索或連結相關資訊、分析考量特定要件、和操控改變相關資訊等。然而，較沒有研究深入檢視學生在界定開放式問題過程中自然的策略途徑(natural strategic

approaches)，多數研究係以操弄特定問題界定策略選項以介入學習和進行實驗性探討。若能運用描述性研究設計，將能夠更多蒐集到學生處理問題界定的逼真資料，有助於深入理解學生的問題界定思維，作為教授問題界定策略及判斷介入方案潛在機制之基礎。

因此，欲探究學生在具有複雜問題解決情境之科學自造任務中的問題界定思維，或可以微觀方法解析學生的思維方式與內涵(王熾茵，2022)，探究學生基於不同認知立場所進行的論述主張、推論對話互動(Slavit et al., 2021)與處理和行動系統(Funke et al., 2018; Wieselmann et al., 2021)；並可將思維視為是可分解為多種模式的過程，對思維進行質疑和概念建構(Saleh et al., 2022)。亦即，透過團隊合作的自造活動，在自然協作與討論對話中，運用新視角描述分析、深入理解學生問題界定的思維方式、內涵與共識建構過程。

參、研究方法

本研究採用質性研究，運用「參與觀察法」(participant observation)，全程錄影記錄學生參與科學自造設計的問題解決歷程，並運用對話分析(conversation analysis)方法，分析團隊學生根據科學自造主題陳述進行問題界定的對話，藉以深究學生界定問題時的思維內涵與共識發展過程。

一、研究場域與研究對象

本研究以臺北市某國小點子科學自造競賽培訓之自然科學課室為研究場域，針對參加第五屆競賽培訓的兩組六年級學生，每組男、女生各2名，進行為期三週自造設計歷程之參與觀察研究。

針對科學自造的主題規劃，教師參考第四屆「地球發燒了——請自選生活問題情境

進行自造」的布題型式，以及結合該屆「向科學經典致敬」的競賽主軸，挑選出與國小自然科單元較相關的科學經典，並考量自造主題陳述可從具體單純漸進到抽象複雜，訂定下列三週科學自造主題：

第一週：向科學經典(阿基米德、虎克、牛頓)致敬——製作一艘能測量和判讀貨物重量的水上運輸裝置

第二週：向科學經典(虎克、伽利略、牛頓)致敬——製作具有多功能的防天災或救災裝置

第三週：向科學經典(阿基米德、虎克、牛頓、法拉第)致敬——我是颱風災害救難隊！

再者，為遵循點子科學競賽之「三小時內運用當場提供之材料和工具自造」的條件限制，以及讓學生體驗競賽臨場感，每組學生只有一張實驗桌及桌邊地板可運用，材料和工具由自然教師提供。每組有一盒材料和一盒工具，材料包括小馬達、磁鐵、彈珠、彈簧等自然教學資源，以及寶特瓶、紙箱等多種回收資源；工具則有鐵尺、美工刀、剪刀、量角器、圓規、膠帶、熱熔槍等。

此外，比照前屆競賽規範，教師也設計學習單，要求學生在自造過程中，同時記錄問題解決的重要討論內容，包括像是「要解決的問題是……」、「問題的變因與影響有……」、「應用的科學原理是……」，以作為評斷學習表現的參考。

而在此一研究場域，教師雖身兼研究者，但在規劃自造任務時，並未預設學生學習的「理想末態」，僅是本著好奇，想要探索學生在實際遭遇上述問題結構模糊、並且必須符應自造限制和競賽規範時的可能思維呈現。

二、研究資料蒐集與分析

研究者在學生科學自造歷程中進行全程錄影、完整記錄了兩組學生共三次各三小時自造活動之對話與實作過程，並輔以當場進行觀察記錄和蒐集學生在科學自造學習單上的文字和繪圖記錄。資料蒐集後將資料進行轉譯，並將轉譯內容按資料蒐集的日期(西元年月日共8碼數字：20180926、20181003、20181017)、資料類型(錄影檔：V1、V2、V3；學習單：W1、W2、W3)、學生組別(G1與G2)、對話學生(S1、S2、S3、S4)等屬性類別進行資料的編號。

初步參酌文獻對問題界定思維的向度，將轉譯的對話資料逐句進行分析並做主題編碼；然後根據各項主題編碼在學生對話段落出現的時序、交錯關係、實際內涵以及和自造材料使用情形進行交叉分析，淬鍊出學生在科學自造的問題界定思維內涵，並建立不同問題界定思維之間的相互關係；最後，再進一步探析促使多元思維交流或化解思維衝突來達成最終問題界定共識之策略。

三、研究倫理與研究信實度

基於本研究主要探究者為科學自造競賽指導教師之一，進行研究之前即先向學生說明自造的培訓模式、指導策略及資料蒐集方式，因此研究者進入研究場域進行參與觀察、錄影及蒐集資料的行動未對學生造成學習干擾，而用於研究分析之資料，也會用於帶領學生進行學習檢討，增進學生的學習權益，也同時進行參與者檢核。

為呈現研究信實度，研究者運用多元資料相互補充和三角檢證方式來交叉比對兩組學生共六次科學自造歷程的資料，所得研究發現之各項論點皆為兩組學生反覆且交錯出現之思維類型。而研究發現各項論點雖僅主

要提供其中一組的一段詳細對話摘錄作為立論佐證，並適度輔以其他組的簡單表述來豐富立論內涵。但若檢視其他各項結果發現論點之摘錄內容，亦可發現更多例證。例如，在研究發現第一項，雖主要探討學生思維如何在真實世界與現實自造的問題界定之間漫遊，但從摘錄對話「有用到阿基米德唉！」(20181017-V3-G1)，便可同時看到研究發現第二項有關憑藉科學原理來型塑問題性質或解決策略的思維；又「就假裝船的大小剛好……可以用一個寶特瓶來表示」(20181017-V3-G1)則可看到第三項關於材料凌駕真實問題性質的思維。

肆、研究發現

分析學生根據科學自造設計主題陳述進行問題界定的對話，若聚焦在下文各段摘錄中特別標註**粗體**的論述內涵，會發現有多元思維在對話與行動中穿梭，不僅交織出科學自造問題結構的模糊特性與問題界定思維的多元張力，也揭露出以自造活動作為培養學生解決真實世界問題能力的困境或挑戰。以下茲說明學生問題界定過程中所展現的多元思維面向，及其化解思維衝突、整合想法來達到問題界定共識的具體表現與轉折關鍵，提供科學自造教育發展或是學生問題界定能力培養之教學策略參考。

一、問題界定思維的多元展現

(一)在真實世界問題界定與現實自造問題界定之間漫遊

當自造任務是以解決真實世界問題為主題，以有限時間運用材料來產出實物作品並呈現問題解決歷程學習紀錄時，不同學生因著個人先備知識、經驗、興趣及對自我角色認知的差異，漫遊於不同時空範疇下來思考問題。有

些學生會將思維投入真實世界情境中，思考問題的複雜性，並期許自造目標是解決真實世界問題；有的學生則會限縮其思維涉入的時空，營造出簡化過的虛擬情境，以期有效解決「產出自造物」的現實學習問題。

以「我是颱風災害救難隊」的自造問題為例，有些學生積極針對颱風的真實災難情境做分析，希望能自造出符應真實需求的裝置，並不斷檢視自造設計構想在真實情境中運作的限制或阻礙；但同時，也有學生會選擇忽視或擱置真實情境的特性與限制，僅以順利產出自造物為優先考量。

S2：颱風天不是會有撤離居民之類的嗎？那要不要做橡皮艇？有用到阿基米德唉！

S1：淹水，做防水閘門，不行，那算預防，要救難！

S4：那就蓋一個救難船，然後讓全部人撤離。就是撤離那些被困在家裡的人，因為有時候水就是偏偏排不下去。

S3：那可以做一種船，一種載比較多人的大船。

S4：我是覺得那種大型一點的船是有必要，可是可能會開不進來。但是橡皮艇又太小了，要一次一次送，又送不了幾個人！而且水裡有東西，到時可能被水底尖尖的東西給刺爆了！

S2：那樣船會不會太大？會不會撞到民宅啊？那你要把民宅毀掉啊！還是船撞到被毀掉。尤其是都市區，就有點不行！

S3：不是，我們就假裝船的大小剛好，然後就做堅固一點就好啦！

S1：好啦！那就做救難船好了！可以用一個寶特瓶來表示，寶特瓶還蠻堅固的，然後裡面可以用黏土做一些人，把人做小一點，就可以放多一點人。

S2：對吼！萬一又有車卡在水裡，船過不去怎麼辦？

S1：唉！我覺得先不要想那麼多，反正這個船應該是蠻好做的。
(20181017-V3-G1)

由上述對話可發現G1S2和G1S4對颱風淹水的情景及都市環境特徵具有較豐富的背景知識，在界定問題時，會逐一根據所想到的真實情境提出自造設計的限制與適切性。而G1S1和G1S3則比較是將淹水視為是回應自造任務而設定的虛擬情境，立基於「假裝」的觀點來構思寶特瓶救難船與黏土假人的大小比例，以突顯其船大和多載人構想的效能，但是對於船隻航行場域的實際問題性質則予以擱置或簡化。

除了產出自造物，自造教育往往也會輔以書寫學習報告的策略，作為評斷學生問題解決能力的依據。以「製作一艘能測量和判讀貨物重量的水上運輸裝置」為例，發現有些學生在進行問題界定时偏重書寫記錄的精美呈現，因而降低甚至阻礙了對問題性質的界定探討。

S1：嗯～，我們先鎖定題目(拿起筆並指著學習單上的自造主題)，我們要解決的問題是什麼？

S4：這個問題是哪方面的問題啊？是有關船的問題？還是有關測量的問題？

S3：(音量提高且急)就是有關我們要解決問題的問題！

S4：(音量提高)不過是哪方面的嘛？

S2：就譬如說……要接受很多重量，要乘載很多貨物的重量，要能測量出貨物的重量。

S4：那就是船要夠穩定，要大，才能載夠多東東，還要載得快！所以就是要載的快狠準！

S3：要記錄，快點，要記錄！那我們來寫好了！你們再說一次。
(20180926-V1-G1) (開始在學習單上「要解決的問題」項目中記錄：「船的乘載量不夠、不夠穩定、不夠堅固、速度太慢、辨識不出貨物的重量。」)
(20180926-W1-G1)

觀察發現，G1S3經常只重視完成學習單或產出自造物，較少主動針對真實情境進行思維，也常因來不及書寫而要求組員說：「暫停，你講太多了，我沒有寫那麼快啦！」(20180926-V1-G1)或是因為錯字、字跡潦草等因素，阻斷組員討論，而對自造主題進行界定時，只是標記一些概念名詞，像是在阿基米德旁標註「浮力、密度」，在虎克旁標註「彈簧」，在牛頓旁標註「 $F = ma$ 、作用力與反作用力」(20180926-W1-G1)，卻未能延伸討論或思考與問題解決的關聯。

反觀G1S4，其思維更常浸淫在真實世界的問題情境，當組員急於觀察自造材料與繪製設計圖時，G1S4會阻止說：「等一下，我們要先想好船的構造要有什麼功能？要不然到時解決不了！」，或是看著學習單紀錄會自言自語說：「船的動力會受乘載量影響，船載比較多的時候，就需要比較多的動力，要是供電不穩定要怎麼辦？不過現在柴油發電機不是都還在用，就是為了防止供電不穩定。那到底要做哪方面的船啊？」(20180926-V1-G1)此一現

象，不僅呈現G1S4和其他學生的問題界定思維有明顯差異，更可能因缺乏與組員積極對話，使得像是「乘載量與動力的關係」這類重要問題性質的思維遭到忽略。

(二)在憑藉科學原理型塑問題性質與根據問題性質應用科學原理之間斟酌

由於觀察對象為競賽培訓學生，所以在三次科學自造實作前，學生會被鼓勵進行自主學習，像是上網查詢經典科學家之理論、實驗和應用等資訊，或是針對一些材料的性質、功能和變化潛能進行討論與測試。例如，學生會研究如何將紙張、吸管、鐵絲等材料製成具有彈性的結構，以取代彈簧來展現虎克定律的特性。奠基於科學經典的探究經驗，學生參與科學自造的問題界定时，便可能出現「特定科學原理必須被運用」的思維，因而忽略了真實問題的根本性質。

以「向科學經典(虎克、伽利略、牛頓)致敬——製作具有多功能的防天災或救災裝置」為例，當有學生初步建議自造水災緊急逃生裝置後，G2S1、G2S2和G2S3主要是先從科學原理與科學裝置切入，再思維如何讓科學原理應用看似合理的回應特定甚或憑空想像的災害情境。至於G2S4，則會從問題本質進行思維，因此在過程中會不斷質疑科學原理應用的合理性或適切性。

S2：虎克就彈簧嘛！(將學習單上的虎克圈起來，並註記「彈簧、虎克定律、 $F = kx$ 」)
(20181003-W2-G2)

S3：伽利略，要用單擺。(將學習單上的伽利略圈起來，註記「單擺」。)

S2：我覺得我們可以做一艘動力要用彈力的船，你知道彈珠臺

嗎？我們可以用彈力把船發射出去。

S1：唉、唉、唉！我們上次不是有用彈簧做啄木鳥下降玩具，那不是也有單擺！我覺得那個很酷，我們也可以把它用進去。

S4：可是那個是往下降，和水災逃生有什麼關係？

S2：沒關係啦！我們就想辦法給他用進去。

S1：啊！我想到了，我想到了啦！就淹水時不是要往上跑嗎？我們就在房子旁固定一根很長的竿子，和屋頂一樣高，然後那個彈簧就靠在屋頂上，然後我們在那個彈簧尾端裝一個小盒子當船，等到淹水，我們就逃到頂樓，再坐進小船，然後再像那個啄木鳥一樣，慢慢掉下來，就可以划船逃走了啊！

S3：是可以啦！可是這樣就沒有用到虎克定律喔！……啊！我想到了！我們可以在船底下加彈簧，這樣船掉下來時，就可以反彈飛起來，就可以增加船的動力啦！

S4：唉！船是掉進水裡喔！而且反彈飛起來的話，船上的人不是也會飛出去！（20181003-V2-G2）

(三)在由情境主導與由材料主導之間爭辯

自造教育活動的型態相當多元，其中一項具有明顯差異、值得關注的向度是自造材料選擇權的釋放與否。從競賽公平性思維，當自造材料被限制為相同時，或可激發學生

思辨材料性質的適切應用或創意轉化，但也限制了學生依問題解決的真實需求來探詢最佳材料與操作技術的主動性和能動性。若再加上限時完成的條件，材料在自造任務中便更顯得關鍵，甚至可能成為問題界定的最高指導原則，引發問題本質與材料特性的界定考量順序爭議。

以「製作具有多功能的防天災或救災裝置」為例，學生起初是針對天災種類和特性進行探討，突然GIS3說要看材料，導致GIS1和GIS2轉而討論彈簧在各種天災的適用性，並且將「運用彈簧」視為自造必要條件。

S4：講了那麼多天災，每個狀況都不一樣，我們到底要選哪一種天災？

S3：我們先看材料啦！（開始翻找材料盒）什麼可以用？（拿起彈簧）彈簧、彈簧、我覺得可以用到！

S1：（從S3手中抽走彈簧）我覺得水災和地震最好用！海嘯也差不多。

S3：海嘯好了！水過來，彈簧不會被推，要不然彈簧要用在哪裡？不過地震也可以用彈簧，那我們到底選哪個災害啊？

S1：所以啊！這就是我們要想的！（將彈簧放在眼前）我覺得地震跟水災最好用，地震就直接可以用到，你知道避震器嗎？

S2：可是我覺得水災比較常發生，不一定要有颱風！

S3：水災？但是怎麼樣才能結合彈簧？你要先想這個問題……我想到了，可以做成動力是要依

靠彈力的救難艇，那就可以用
到彈簧了！(20181003-V2-G1)

綜合上述可發現，相對於G1S2從災害發生頻率思維其自造成果的被需求性，G1S3關切的是如何把彈簧這個材料納入自造作品中。類似情形也發生在另一組的討論中，G2S3催促組員說：「快想要做什麼！」，G2S2於是回應：「我們在想啊！但要先看這裡的材料能做出什麼啊！」(20181003-V2-G2)。這些例子都顯示學生會以自造材料來主導問題界定思維的普遍現象。

此外，有些學生會對材料被提供的目的進行揣測，像是猜想個別材料有特定對應的科學原理、正確或是被期待的運用形式，因而直覺的將材料用途做歸類。例如，G2S4翻看材料時說道：「(拿起寶特瓶)這是浮力的！可以當船。(拿起彈珠)這麼多顆，可以當貨物！(拿起砝碼)這也是貨物！(拿起紙盒)這也是浮力！(拿起彈簧)這是虎克定律的！(拿起竹筷，看了一下)這個隨便，我不知道！(拿起棉線)用來綁貨物的吧！……」(20181003-V2-G2)。雖然之後實際自造時，學生還是會依需要改變對材料用途的預設，但往往是遭遇困難或是原本屬意的材料數量不夠時，才思考材料的應用轉化可能。

(四)在概念內涵詮釋與概念位階認知之間重構

自造經常是處理結構模糊的問題，其任務陳述或許簡短，卻可能涉入多元概念，而個別概念又可能含有豐富的詮釋空間。學生會基於個人認知差異而對多個概念之間的關係或位階出現爭論，致使問題界定充滿變動性，甚至出現為突顯自造成果的豐富度與創意性，而罔顧真實問題性質與目標設想的合理性。

以「製作具有多功能的防天災或救災裝

置」為例，學生集思廣益的分析自造任務陳述句子中的概念意涵、性質或可供考慮的自造選項，像是圈選多功能並分別標註「解決2~3種災害」和「2~3種功能」，圈選防標註「防止」，圈選天災標註「風災」、「水災」、「火災」、「地震」，圈選救標註「自救」和「等待救」，以及圈選設備裝置標示出「自動」和「手動」等(20181003-W2-G2)。但在進一步釐清概念以界定自造目標時，卻遭遇了因概念位階的認知衝突而引發爭辯的情況。

S3：我們就先選一個天災，就像是水災呀！

S4：可是還要多功能啊！所以至少，至少可以防幾個災！那就火災加地震。

S3：什麼東西啦？我是說這個救災裝置要有多功能啦！不然我們先選我們要做什麼，像是水災來的時候可以把水排掉，然後還可以救人之類的。

S4：可是我們也可以做一個裝置，然後可以救好幾種災害啊！應該至少救兩種災吧！
(20181003-V2-G2)

上述討論中，學生起初先對「天災」與「多功能」概念的位階出現爭議，G2S3是將「天災」概念置於較高位階，想要從單一天災向下延伸多元的問題特徵與應對策略，G2S4則將「多功能」概念置於「天災」概念之上，並認為多功能是指要具備處理多種天災的特性，因而導致討論難以聚焦。有時，在前述多重概念的各自內涵與位階確立後，一旦加入新概念時，也有可能推翻之前的位階界定。例如G2S3追問：「還有喔！我們要用防的還是要用救的？」，「然後呢？救

災，我們選地震和水災的話，我們可以做什麼？它們的災害又不一樣」(20181003-V2-G2)，導致學生重新檢視「多功能是可以救多種災害」的詮釋是否適切，抑或應提高「天災」概念的位階，先抉擇一種天災後，再根據其災害的多元現象構思救災的目標。而這種逐步疊加處理概念的界定歷程，常導致學生不斷重新詮釋概念內涵與調整概念位階，更加增添自造問題界定的複雜性與變動性。

二、問題界定思維共識型塑的策略

(一)藉由積極提問主導團體的思維向度

問題界定階段，學生的多元思維交流幾乎都是以相互問答的對話形式進展，若能掌控話語權，便較容易主導團體的整體思維向度與範疇。研究者發現，團隊中的話語權往往是由主動提問者、或是由積極針對同儕回應內容進行連續提問和反問的學生所掌控，而且提問內容多半是針對思維邏輯的檢視或挑戰，致使團隊成員逐漸聚焦於提問者所關切的特定思維範疇中，其他向度的思維便被弱化。

以「製作具有多功能的防天災或救災裝置」為例，話語權是由關注真實問題情境分析的G2S3掌控，她藉由針對天災的現象特徵、發生原因、解決目標不斷提問，並針對同儕的回應進行邏輯檢視後繼續延伸提問，引導組員型塑關於問題情境的合理想像，反駁或排除不合理的設想，組員因此無暇關注自造現實或材料問題。最後逐步界定出要解決的問題情境是針對「火災和地震發生時，住在高樓的人不能快速到達地面」(20181003-W2-G2)的真實情境來自造逃生裝置。後續，S3同樣透過提問引導組員分析出關於高樓逃生艙的存放位置、適當的負荷人數、以及如何與大樓緩降器連結等等條件，然後才討論材料的應用與組裝方式。

S3：如果要救地震和火災的話，我們可以救什麼？

S2：地震喔，地震的時候會引發海嘯，然後讓電力設備報廢，然後……

S3：對呀，所以應該是救地震加水災啊！然後呢？如果要能同時救地震和水災的話，可以做什麼？

S4：救災，我想想，那我們做一個逃生艙，然後可以漂在水上，這樣可以救水災，也可以救地震。

S3：地震？為什麼逃生艙可以救地震？

S4：就把逃生艙裝在逃生緩降器上，地震搖，你就躲進去，然後按一個按鈕，就可以慢慢掉下去。

S3：水災不也一樣，就把人放進去，然後再降下去就好了？那不是幾乎每一個災都可以這樣降下去？

S2：不是啊，如果是水災，你降下去你就被淹死了！

S3：可是你不是說逃生艙可以漂在水上，為什麼會淹死？

S2：不是啦！海嘯的力量很大唉！應該沒人會想要往下逃吧！
(20181003-V2-G2)

面對同樣的自造主題，另一組是由重視材料運用的G1S3掌控話語權，連續透過「什麼可以用？彈簧，我覺得可以用到！」、「要不然彈簧要用在哪裡？」、或是「但是怎麼樣才能結合彈簧？你要先想這個問題」等提問導引思維，導致組員的回應全都繞在

彈簧的彈性應用，像是「我覺得地震跟水災最好用，地震就直接可以用到，你知道避震器嗎？」、「那就在大樓頂端和救難艇中間裝一個彈簧，這樣救難艇掉下去的時候就會被往上拉，就不會被摔爆了」。或是「可是這個彈簧夠長嗎？它撐得住嗎？你知道它可以載多重嗎？」，雖然忽略了對災害特徵的探討，卻快速達成關於現實自造目標的共識：「那我們就做一個救難船，用彈簧勾住支撐架，在水災或地震發生時可以快速下降逃生，而且重量要剛好讓彈簧變成彈性疲乏，可是又不會撞到地面」(20181003-V2-G1)。

當然，在問題界定的討論歷程，話語權也會因為討論已產生某一個初步共識，或是遇到瓶頸時，而由重視其他思維向度的學生再次透過積極提問進行轉移。

(二)透過操弄材料促發共同想像與溝通

儘管自造材料可能干擾學生對真實情境特徵的關注，有其負面效應；但有時材料的存在與其多元的物理性質，也可能成為學生溝通與理解彼此觀點或想像的有利工具。例如，學生可能根據材料的型態特徵與規格比例來比擬真實情境中的景物，並藉由相對位置的陳列擺放或動態操作，將其經驗、想像或抽象描述轉化為較具象或有空間感的表徵型式，因而型塑組員共同的想像與促成有效溝通。

同樣以「製作具有多功能的防天災或救災裝置」為例，G2S4的構想起初未獲得組員的理解，甚至遭到質疑與否定；但是當他從材料盒中拿出寶特瓶和長竹棍比擬緩降器的位置與型態，組員才開始對他所說的「緩降器」產生一些想像，進而探詢彼此想像的交集和溝通關於自造實踐的細節。

S4：或者我們在屋頂或陽臺放一個救生艇，然後地震時，就可以從旁邊的逃生軌道滑下去逃走。

S2：(笑著說)不要異想天開！不要異想天開！乾脆你做一個床，然後呢，就地震！然後就抱著床丟下去，然後呢，就拉桿子，然後就有降落傘讓床慢慢掉下來。

S4：我沒有啊！我是覺得……我們可以就像之前玩過的啄木鳥玩具，可以，(拿起材料盒中的2,000ml寶特瓶立在桌上)就假設這是大樓，然後呢(從材料盒中拿出一根長竹棍，手扶著使竹棍直立靠在寶特瓶旁)，就地震，然後就可以像之前做的那個啄木鳥會往下掉的玩具這樣(另一手拿起鉛筆靠著竹棍上方，與竹棍垂直，然後一段一段往下移動)，可以讓人這樣比較慢下來。

S2：我還以為你要做溜滑梯。(手指捏住木棍上下滑動)這樣也是可以啦！我們有鋁線(指著盒子)，可以用來做那個玩具。那你要怎麼在寶特瓶上固定竿子？而且真的大樓，竿子要很長唉！中間還不能有東西卡住。

S4：應該有辦法啦！可以用焊接的啊！像那種摩天輪，不是也有很高的鐵竿。

S3：還有，人要怎麼固定？總不能只用手抱著那根鋁線吧，萬

一不小心手滑，(笑)那不是更慘！

S1：喔，我知道，超級堅固的東西黏在那個鉛線上，然後你坐進去，就可以緩降下去。
(20181003-V2-G2)

(三)運用共備經驗促成多元思維的相互承接

雖然個別學生的興趣、生活經驗與科學知識豐厚度有差異，但基於團隊成員曾針對特定科學經典進行理論討論與實驗仿作等共備活動，不僅對相關科學術語的意義與重要內涵有所理解，也建立了使用相關科學語彙做表述的溝通默契。因此，即使彼此的思維向度歧異，或關心真實情境條件、或聚焦科學原理運用、或專注材料性質發揮，若能嘗試運用共同理解且熟悉的概念語彙進行回應，不同思維還是有機會串接和整合。

以「向科學經典(阿基米德、虎克、牛頓、法拉第)致敬——我是颱風災害救難隊！」為例，學生在共備時對阿基米德的浮力理論與應用已有共同認識與一些實驗觀察，當有同學引用一些關鍵語詞，像是密度、中空密封、平衡時，其他組員往往能立刻承接其思維進行延伸探討，再輔以學生其他先備知識與生活經驗進行擴充，團隊成員的思維內涵得以豐富且聚焦、天真卻不空泛，更可避免僅憑即興發想或試誤來投入自造。

S2：如果是從颱風淹水來想的話……水、救難，那就做船啊！

S4：不一定要做船啊！根據阿基米德原理，我們上次不是測試過嗎？只要是能浮起來的東西。嗯……，怎麼把船當成某

個生活中的用品？要平時把它放在某個地方，然後水災來的時候，我們就坐上那個用品，然後逃走。你有什麼想法嗎？

S1：通常家裡會有什麼？冰箱、櫃子、洗衣機、床。床，要變船，不太可能！床是軟的，而且會進水啊！

S4：為什麼？為什麼床不可能，它是中空的，密度應該很小，只要包一層防水的東西，淹水的話，然後就浮起來，就好啦！不然，你覺得還有什麼家具可以拿來變成船的？

S3：門、床、木板、桌子，變成船，好神奇啊！雖然可行，但，很天真！啊！我想到了，可以做中空密封的椅子，要完全密封，淹水時可以浮起來，然後就在椅子上面放一塊木板，木板也是中空密封，壓在椅子上，這樣木板就可以被椅子浮起來，然後就坐在上面。

S4：可是還要考慮平衡問題啊！只有一塊木板，假使你坐在旁邊一點，你就會翻倒。

S2：不然用衣櫃好了，把衣服拿出來，裡面也很空，放在水裡應該不會翻過去。(20181017-V3-G2)

伍、研究省思與啟發

深究學生問題界定思維的多元性與共識形塑歷程，不僅反映出學生對科學自造的關懷旨趣與認知形式差異，也凸顯科學自造

作為真實問題解決能力培養策略的優勢與限制。藉由分析對學生問題界定思維的認識與理解，以下討論研究中對科學自造教育相關議題的省思，希冀激盪出提升學生問題界定能力的教學策略，提供學生解決結構模糊問題時的自我調節(Ge et al., 2016)參考。

一、「目標」與「策略」的定位

「產出自造物」在自造教育中之定位是問題解決的目標還是策略？從不同角度切入，會有不同詮釋。誠如Sternberg與Sternberg (1999)所示，問題界定須以釐清問題性質並確立解決之終極目標為其重要內涵；所以在推動或實踐自造教育時，實有必要釐清自造教育關切的問題及其性質，進而確立自造教育的終極目標與實踐價值(Taylor, 2016; Öztürk, 2021)。

宏觀來看，自造教育期盼學生關切真實世界問題，自造則是解決問題時所選擇的策略，以期自造物能用以解決問題。但若將視野限縮在科學自造學習情境下，不難發現國小學生會在自造中將問題解決「目標」與「策略」本末倒置。特別是在時間和材料受限的情境中，學生往往會將「產出自造物」界定為最終目標，並視其為真實世界問題解決的證據，不僅忽略真實問題的本質探討，甚至虛構問題情境以符應對自造物功能的設想。

另外，自造教育雖強調從覺察環境需要來解決真實世界問題，卻不可忽略自造其實源於設計思維，重視個人表達並強調創新性、特殊性與藝術性(林坤誼, 2015; 劉明洲, 2018)。因此當學生對自造成果的目標界定是「創意、獨特、豐盛」重於「效能、實用、精確」，便可能在材料運用、科學應用、自造物展現上積極構思譁眾取寵的策

略，因而輕忽問題本質或解決效能。長此以往，這些自造學習經驗便可能型塑學生問題解決的態度，必須予以正視之。

二、「真實世界目標」與「現實學習目標」的位階

Mayer與Wittrock (2006)以及Chinn等(2011)強調解決問題是個人性和針對性的過程，而且解決過程涉入的不只認知，還包括動機、信念與情感。Faber與Benson (2017)也從問題解決目標是否基於認識論界定的分類研究發現，學生投入問題解決時，可能包含想要獲得知識、驗證信念並尋求理解的「認知性目標」，及想盡快完成作業以取得良好成績等「非認知性目標」。另外，學生也會因處在不同成員組成中而展現不同目標設定和參與模式(Wieselmann et al., 2021)。然而，上述兩類目標對激發問題解決動機皆有其意義，需要被更全面的評估其效能與調節過程，以對現實世界的問題解決有徹底且具科學依據的理解(Funke et al., 2018; Zhong & Xu, 2019)。

因此，當自造設計納入教育而成為培養問題解決能力的學習策略時，學生便會面臨同時承載「真實情境問題解決目標」與「現實學習任務解決目標」的處境，加上個人權衡思維在團隊溝通中的複雜交織，致使兩類目標會在問題界定思維中不斷產生位階競逐。如果學生只聚焦在順利完成自造任務之非認知目標，輕忽解決真實世界問題時可能涉入的知識理解、驗證、應用或創造等認知目標，便會與自造教育的願景產生落差。

三、「複雜化」與「單純化」的影響

在科學自造中的多元問題界定思維觸動

下，學生往往具有不同的應對態度，有時趨向積極回應並擴展更複雜的分析範疇，有時則趨向消極漠視甚或主動限縮問題情境以簡化問題複雜度。根據Kim與Grunig (2011)的分析，問題界定是在感知之後的認知行動，產生並活化於個人對問題情境的思辨中，學生是否認定真實世界問題與自身密切相關且應承擔解決責任的「參與認可」(involvement recognition)差異，以及學生是否相信憑藉先備經驗、知能、現有資源等能立即有效解決問題的「約束認可」(constraint recognition)差異，皆會型塑學生對問題結構複雜度的界定，進而影響其搜尋資訊與深入思辨的積極度。

若是學生在界定問題時具有正向的認可，並積極回應各種歧異思維的挑戰，因而覺察到真實世界問題的複雜度與變動性，對於培養學生真實問題解決能力，將有其意義。但若自造教育只是強調自造體驗，卻未能結合不同層次的問題界定教學策略，諸如資源管理、細化、分析和操作等(Rubenstein, Callan, Neumeister, & Ridgley, 2020)，來引導學生習得關於問題分析、組織或是調節複雜思維的策略與態度，許多值得發展探究的關鍵問題很可能就被忽略，而學生也可能因為認知到真實問題情境的複雜度超越其原有的約束認可，導致學生降低關於問題解決的自我效能。

再者，從教育單位所規劃的自造活動規模考量，當學生在自造中感知到真實問題解決所需的學科知能、時間與資源不足時，便可能會在問題界定的思辨中趨向將真實世界問題單純化，忽略問題的脈絡性、複雜性與變動性，甚至直接重新構建出符應其學習興趣的虛擬情境。這種單純化的問題界定思維傾向，或許能有效達成產出自造物的現實目

標，也有機會在自造歷程中聚焦單一變項的科學驗證，或有其科學探究的學習價值(邱甯維等，2021)，但長此以往地形塑這種單純化的問題解決經驗，可能導致學生誤認自造只需展現創意，而未能真正實踐透過自造培養真實問題解決能力的教育理想。

四、「問題主導」與「材料主導」的角力

基於實體自造材料比抽象的自造任務陳述更容易吸引學生的關注，致使學生的問題界定思維會不斷在「問題主導」和「材料主導」之間角力，甚至會透過材料和設備來理解和界定問題性質和任務挑戰(Priemer et al., 2020)，降低了對真實世界問題性質的思維深度與廣度。然而，這個現象也符應了學者視材料在自造中極具重要性的觀點，認為兒童在自造過程中，現實和想像總會被投射和交織在材料中，因此必須考慮材料本身具有主體性，能直接或間接地激發或約束人類決定並與其交涉(Lemieux & Rowsell, 2020; Martin, 2015)。

另外，研究中觀察到學生會運用對材料的先備知識，並借用材料的型態特徵來比擬抽象情境或空間，構建出有利概念溝通的平臺，甚至因此促成界定共識，符應了學者對自造材料的分析，認為材料在其既有的剛性形式外，同時也具有能與人類一起形成動態變化的靈活性與開放性特質(Lemieux & Rowsell, 2020; Sheridan, et al., 2020)。

綜言之，學生與材料之間究竟由誰主導自造過程的問題界定進展與變化，以及材料的實質性特徵與可能影響，都值得在自造教育研究中獲得更多關注與思辨，藉以規劃適切策略來引導學生覺知與反思自身與材料的

自主關係，學習在尊重材料的主體性時，不至於盲目受其宰制。

五、「提問能力」與「回應能力」的意義

「提問」既是科學實踐的基本過程技能，也被認為是有效解決問題之關鍵要素(Dym, et al., 2005; Next Generation Science Standards Lead States, 2013)。研究發現學生藉由提問能導引問題界定思維趨向，特別是連續性提問，對促成界定共識具有重要影響力。但進一步分析慣於主動提問者的學習特質，發現學生能否主動積極提出好問題，有時不全然是憑藉知識豐厚度做後盾，反而是源於憂心自造實踐效能，及自覺薄弱的先備知識需要被釐清與充實等因素所驅動。

參酌情境理論對提問的分析，發現當學生認為努力是必要且相關時，才會選擇性地將其交流和認知資源投入到問題中，並透過「主動提問」進行資訊尋求、資訊防禦、資訊轉發等資訊交換行動來界定問題(Kim & Grunig, 2011; Zimmerman & Klahr, 2018)。而藉由系列的連續提問，不僅陳顯學生對自造問題解決具有高度參與認可，也能展現其對特定思維向度具較佳的資訊交換能力，因而可以動員和移轉團體的注意力。當其他組員在「被動回應」的資訊檢索過程中進行知識深究與獲得啟發後，便可能逐漸產生與提問者相同的問題感與提高參與認可，有助於型塑界定共識。

研究也發現有些學生即使對真實世界問題具備豐富先備經驗與科學知識，而且回應態度熱切並貢獻豐富，卻未能經常主動或積極提問，一方面可能是學生本身對自造問題的關懷興趣不高，參與認可較低，也可能如Higgins (1996)所分析，當學生自覺僅憑先備知識檢索

就能夠提供問題解決的參照標準時，便會較少主動搜索與當前問題相關的資訊。

綜合上述推論，對學生問題界定能力進行評估時，除了重視個別學生在資訊交換過程所呈現的知能與整合應用能力(林坤誼，2015)，還可關注學生的提問頻率及提問內涵，藉以探知其資訊交換的主動性與行動策略，並為培養學生問題界定能力提供更多教學策略構想。

伍、結論與建議

國小階段，科學自造通常是結合學校自然科學學習與真實世界議題而發展的結構模糊問題解決任務，不僅涉及複雜的真實世界問題覺知與理解，還須納入科學知能應用、自造技術探索等內涵，深究學生的科學自造歷程，發現學生對於科學自造問題界定具多元且可能相互衝突的思維，但最終多能透過策略促成問題界定共識。綜整研究發現得出結論如下：

- 一、學生對問題情境的界定思維是由科學自造主題陳述與學校自造場域共同構建，不僅要勾勒經驗印象中的真實世界問題，還要關照學校場域中產出自造物的學習表現規準或條件限制，致使學生在認知與非認知目標間有不同程度的投入或權衡。
- 二、當主題陳述涵蓋多元概念時，學生會因對概念內涵認知或詮釋差異而對概念位階進行思維；亦會基於自造屬於科學學習範疇的認知或感知自造場域的資源限制，導致其思維受科學先備知能與材料性質的牽動，甚至凌駕問題本質的界定。
- 三、團隊學生的多元界定思維可憑藉共備學習經驗而相互支持與承接；當思維出現

衝突，透過連續提問或材料比擬策略能導引、限縮或具象化思維範疇，有利界定共識發展。

四、推動科學自造教育時，對於自造是為問題解決目標或策略，以及其形塑出的後設認知與學習影響是值得省思的議題。

目前臺灣中小學科學自造教育仍處於推展初期，當教育單位積極投入環境營造、設備建置、創發課程、和展示豐富自造成果時，教育者宜回歸自造教育的願景，關注學生的實際學習經驗與認知發展。亦即，應將目光從自造產物轉向學生，關照學生在科學自造中的多元問題界定思維及其效應，藉之擴充師生對問題界定能力的認識，並反思環境、設備、課程和教學的調整可能。而根據本研究之發現與省思的啟發，提出科學自造課程規劃與教學策略建議如下：

一、科學自造的問題情境規劃，應更多從學生科學課程內容與學生生活經驗構思，並鼓勵學生透過多元管道對問題情境的

真實世界現象進行探查，藉以豐富學生對問題情境的想像、認識、理解和關懷。

二、科學應用方面，應更多結合學校科學單元學習，透過觀察、模擬、實驗等各種學習策略，讓學生認識、體驗與探索科學原理的應用時機、效能或影響因子。

三、材料應用方面，可規劃活動來鼓勵學生進行各種生活資源的蒐集、材料特性的解構、創意變化與多元型態組建，並透過交流來擴展學生對材料取得、應用與變化的思維範疇。

四、思維交流方面，應經常引導學生對學習歷程做觀察、分享與反思，並鼓勵學生透過提問或批判策略進行思維釐清。

上述建議不僅可視為學生科學自造學習之共備策略，亦可透過實踐和修正而發展成有系統的科學自造課程，進而將科學自造學習與真實生活作更緊密且有邏輯的聯繫。

參考文獻

- 王志美、葉貞妮(2020)。動手做自我效能、競賽投入與學習價值之相關分析：以PowerTech青少年科技創作競賽為例。*中等教育*，71(1)，52-73。https://doi.org/10.6249/SE.202003_71(1).0004
- [Wang, C.-M., & Ye, J.-N. (2020). Hands-on making self-efficacy, competitive engagement and learning value—PowerTech competition as an example. *Secondary Education*, 71(1), 52-73. https://doi.org/10.6249/SE.202003_71(1).0004]
- 王嫻茵(2022)。科技實作思考歷程研究：詮釋現象學與滯後序列分析取徑。*科學教育學刊*，30(1)，49-71。https://doi.org/10.6173/CJSE.202203_30(1).0003
- [Wang, Y.-Y. (2022). Research on the thinking process of technology implementation: Through hermeneutic phenomenological and lag sequential analysis. *Chinese Journal of Science Education*, 30(1), 49-71. https://doi.org/10.6173/CJSE.202203_30(1).0003]
- 朱耀明(2018)。中小學自造者教育的推動與實踐。*教育研究月刊*，288，31-41。https://doi.org/10.3966/168063602018040288003

- [Chu, Y.-M. (2018). The implementation of maker education in elementary and junior highschool. *Journal of Education Research*, 288, 31-41. <https://doi.org/10.3966/168063602018040288003>]
- 林坤誼(2015)。自造世代與科學教育。科學研習，54(1)，2-5。https://reurl.cc/Ay3WnQ
- [Lin, K.-Y. (2015). Maker generations and science education. *Science Study Monthly*, 54(1), 2-5. <https://reurl.cc/Ay3WnQ>]
- 林坤誼(2018)。臺灣推動自造教育的省思與建議。臺灣教育評論月刊，7(2)，6-9。https://reurl.cc/x13bNb
- [Lin, K.-Y. (2018). Reflections and suggestions on promoting maker education in Taiwan. *Taiwan Educational Review Monthly*, 7(2), 6-9. <https://reurl.cc/x13bNb>]
- 邱甯維、魯盈謙、洪瑞兒、許文怡(2021)。情境式STEM探究教學提升國小學童STEM參與度、自我效能及探究能力效益。科學教育學刊，29(4)，325-350。https://doi.org/10.6173/CJSE.202112_29(4).0002
- [Chiu, N.-W., Lu, Y.-Y., Hong, Z.-R., & Hsu, W.-Y. (2021). The effects of a contextual STEM inquiry teaching on elementary school children's STEM engagement, self-efficacy, and inquiry ability. *Chinese Journal of Science Education*, 29(4), 325-350. [https://doi.org/10.6173/CJSE.202112_29\(4\).0002](https://doi.org/10.6173/CJSE.202112_29(4).0002)]
- 張玉山(2017)。STEAM Maker創客／自造教育的課程思維。中等教育，68(2)，8-11。https://doi.org/10.6249/SE.2017.68.2.01
- [Chang, Y.-S. (2017). A curriculum framework for STEAM maker education. *Secondary Education*, 68(2), 8-11. <https://doi.org/10.6249/SE.2017.68.2.01>]
- 張玉山(2018)。STEAM Maker跨域整合，實踐12年國教。臺灣教育評論月刊，7(2)，1-5。https://reurl.cc/Ayb8op
- [Chang, Y.-S. (2018). STEAM maker kuayu zhenghe, shijian shier nian guojiao. *Taiwan Educational Review Monthly*, 7(2), 1-5. <https://reurl.cc/Ayb8op>]
- 張國興(2016)。問題界定系統：以設計思考方法建構的服務程序。未出版之碩士論文。國立成功大學。
- [Chang, K.-H. (2016). *A system for problem framing: Building service program of design thinking methods* [Unpublished master thesis]. National Cheng Kung University.]
- 黃茂在、陳文典(2004)。「問題解決」的能力。科學教育月刊，273，21-41。https://doi.org/10.6216/SEM.200410_(273).0005
- [Huang, M.-T., & Chen, W.-D. (2004). "Wenti jie jue" de nengli. *Science Education Monthly*, 273, 21-41. [https://doi.org/10.6216/SEM.200410_\(273\).0005](https://doi.org/10.6216/SEM.200410_(273).0005)]
- 劉明洲(2016)。創客教育的理念與實踐～應該被關注的配套設計。臺灣教育評論月刊，5(1)，158-159。https://reurl.cc/RO96A9
- [Liu, M.-C. (2016). Chuangke jiaoyu de linian yu shijian ~ Yinggai bei guanzhu de peitao sheji.

- Taiwan Educational Review Monthly*, 5(1), 158-159. <https://reurl.cc/RO96A9>
- 劉明洲(2018)。從C. Anderson的《自造者時代》探討自造者教育的課程實踐。《教育研究月刊》，288，42-52。 <https://doi.org/10.3966/168063602018040288004>
- [Liu, M.-C. (2018). Investigating the Curriculum Design of Maker Education: Based on C. Anderson's Book "Makers". *Journal of Education Research*, 288, 42-52. <https://doi.org/10.3966/168063602018040288004>]
- 鄭國明、王仁俊(2017)。國中小學自造教育發展與現況。《中等教育》，68(2)，116-126。 <https://doi.org/10.6249/SE.2017.68.2.09>
- [Cheng, K.-M., & Wang, J.-C. (2017). Self-concept development in maker education in primary and secondary schools. *Secondary Education*, 68(2), 116-126. <https://doi.org/10.6249/SE.2017.68.2.09>]
- Abdulla, A. M., Paek, S. H., Cramond, B., & Runco, M. A. (2020). Problem finding and creativity: A meta-analytic review. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 14(1), 3-14. <https://doi.org/10.1037/aca0000194>
- Ackermann, E. (2001). Piaget's constructivism, papert's constructionism: What's the difference? *Future of learning group publication*, 5(3), Article 438. <https://reurl.cc/dee1Mk>
- Bardwell, L. V. (1991). Problem-framing: A perspective on environmental problem-solving. *Environmental Management*, 15(5), 603-612. <https://doi.org/10.1007/BF02589620>
- Bullock, S. M., & Sator, A. J. (2015). Maker pedagogy and science teacher education. *Journal of the Canadian Association for Curriculum Studies*, 13(1), 60-87.
- Chinn, C. A., Buckland, L. A., & Samarapungavan, A. (2011). Expanding the dimensions of epistemic cognition: Arguments from philosophy and psychology. *Educational Psychologist*, 46(3), 141-167. <https://doi.org/10.1080/00461520.2011.587722>
- Cohen, J., Jones, W. M., Smith, S., & Calandra, B. (2017). Makification: Towards a framework for leveraging the maker movement in formal education. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 26(3), 217-229.
- Cook, K. L., & Bush, S. B. (2018). Design thinking in integrated STEAM learning: Surveying the landscape and exploring exemplars in elementary grades. *School Science and Mathematics*, 118(3-4), 93-103. <https://doi.org/10.1111/ssm.12268>
- Dougherty, D. (2012). The maker movement. *Innovations: Technology, Governance, Globalization*, 7(3), 11-14. https://doi.org/10.1162/INOV_a_00135
- 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>
- Faber, C., & Benson, L. C. (2017). Engineering students' epistemic cognition in the context of problem solving. *Journal of Engineering Education*, 106(4), 677-709. <https://doi.org/10.1002/>

jee.20183

- Funke, J., Fischer, A., & Holt, D. V. (2018). Competencies for complexity: Problem solving in the twenty-first century. In E. Care, P. Griffin, & M. Wilson (Eds.), *Assessment and teaching of 21st century skills: Research and applications* (pp. 41-53). Springer. http://doi.org/10.1007/978-3-319-65368-6_3
- Ge, X., Law, V., & Huang, K. (2016). Detangling the interrelationships between self-regulation and ill-structured problem solving in problem-based learning. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 10(2). <http://doi.org/10.7771/1541-5015.1622>
- Higgins, E. T. (1996). Knowledge activation: Accessibility, applicability, and salience. In E. T. Higgins & A. W. Kruglanski (Eds.), *Social psychology: Handbook of basic principles* (pp. 133-168). Guilford.
- Hunt, E. (1994). Problem solving. In R. J. Sternberg (Ed.), *Thinking and problem solving* (2nd ed., pp.215-232). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-057299-4.50013-X>
- Jonassen, D. H. (2011). *Learning to solve problems: A handbook for designing problem-solving learning environments*. Routledge.
- Kim, J.-N., & Grunig, J. E. (2011). Problem solving and communicative action: A situational theory of problem solving. *Journal of Communication*, 61(1), 120-149. <https://doi.org/10.1111/j.1460-2466.2010.01529.x>
- Lemieux, A., & Rowsell, J. (2020). On the relational autonomy of materials: Entanglements in maker literacies research. *Literacy*, 54(3), 144-152. <https://doi.org/10.1111/lit.12226>
- Li, Y., Schoenfeld, A. H., diSessa, A. A., Graesser, A. C., Benson, L. C., English, L. D., & Duschl, R. A. (2019). On thinking and STEM education. *Journal for STEM Education Research*, 2(1), 1-13. <http://doi.org/10.1007/s41979-019-00014-x>
- Marston, M. A., Mistree, F., & Woodruff, G. (1997, October). *A decision based foundation for systems design: A conceptual exposition*. Decision-Based Workshop, Orlando, FL.
- Martin, L. (2015). The promise of the maker movement for education. *Journal of Pre-College Engineering Education Research*, 5(1), Article 4. <https://doi.org/10.7771/2157-9288.1099>
- Mayer, R. E., & Wittrock, M. C. (2006). Problem solving. In P. A. Alexander & P. H. Winne (Eds.), *Handbook of educational psychology* (pp. 287-303). Erlbaum.
- Mumford, M. D., Mobley, M. I., Reiter-Palmon, R., Uhlman, C. E., & Doares, L. M. (1991). Process analytic models of creative capacities. *Creativity Research Journal*, 4(2), 91-122. <https://doi.org/10.1080/10400419109534380>
- Next Generation Science Standards Lead States. (2013). *Next generation science standards: For states, by states*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/18290>
- Öztürk, A. (2021). Meeting the challenges of STEM education in K-12 education through design thinking. *Design and Technology Education: An International Journal*, 26(1), 70-88. https://doi.org/10.1007/978-3-319-65368-6_3

reurl.cc/kqqMYG

- Partnership for 21st Century Learning. (2019). *Framework for 21st century learning definitions*. <https://reurl.cc/VRmY3b>
- Priemer, B., Eilerts, K., Filler, A., Pinkwart, N., Rösken-Winter, B., Tiemann, R., & Upmeyer zu Belzen, A. (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>
- Quinn, H., & Bell, P. (2013). How designing, making, and playing relate to the learning goals of K-12 science education. In M. Honey & D. Kanter (Eds.), *Design, make, play: Growing the next generation of STEM innovators* (pp. 17-33). Routledge.
- Reiter-Palmon, R. (2009). A dialectic perspective on problem identification and construction. *Industrial and Organizational Psychology*, 2(3), 349-352. <https://doi.org/10.1111/j.1754-9434.2009.01157.x>
- Reiter-Palmon, R., & Robinson, E. J. (2009). Problem identification and construction: What do we know, what is the future? *Psychology Faculty Publications*, 28. <https://reurl.cc/3336qV>
- Rubenstein, L. D., Callan, G. L., Neumeister, K. S., & Ridgley, L. M. (2020). Finding the problem: How students approach problem identification. *Thinking Skills and Creativity*, 35, Article 100635. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2020.100635>
- Rubenstein, L. D., Callan, G. L., Neumeister, K. S., Ridgley, L. M., & Finch, M. H. (2020). How problem identification strategies influence creativity outcomes. *Contemporary Educational Psychology*, 60, Article 101840. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2020.101840>
- Saleh, A., Phillips, T. M., Hmelo-Silver, C. E., Glazewski, K. D., Mott, B. W., & Lester, J. C. (2022). A learning analytics approach towards understanding collaborative inquiry in a problem-based learning environment. *British Journal of Educational Technology*, 53(5), 1321-1342. <https://doi.org/10.1111/bjet.13198>
- Sheridan, M. P., Lemieux, A., Do Nascimento, A., & Arnseth, H. C. (2020). Intra-active entanglements: What posthuman and new materialist frameworks can offer the learning sciences. *British Journal of Educational Technology*, 51(4), 1277-1291. <https://doi.org/10.1111/bjet.12928>
- Slavit, D., Grace, E., & Lesseig, K. (2021). Student ways of thinking in STEM contexts: A focus on claim making and reasoning. *School Science and Mathematics*, 121(8), 466-480. <https://doi.org/10.1111/ssm.12501>
- Sternberg, R. J. (2006). The nature of creativity. *Creativity Research Journal*, 18(1), 87-98. https://doi.org/10.1207/s15326934crj1801_10
- Sternberg, R. J., & Sternberg, K. (1999). *Cognitive psychology* (2nd ed.). Harcourt Brace.
- Taylor, B. (2016). Evaluating the benefit of the maker movement in K-12 stem education.

- Electronic International Journal of Education, Arts, and Science*, 2(S), 1-22.
- United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization. (2014). *Global citizenship education: Preparing learners for the challenges of the 21st century*. <https://reurl.cc/gQQe5p>
- Valente, J. A., & Blikstein, P. (2019). Maker education: Where is the knowledge construction? *Constructivist Foundations*, 14(3), 252-262. <https://reurl.cc/NGGbe5>
- Wieselmann, J. R., Dare, E. A., Roehrig, G. H., & Ring-Whalen, E. A. (2021). “There are other ways to help besides using the stuff”: Using activity theory to understand dynamic student participation in small group science, technology, engineering, and mathematics activities. *Journal of Research in Science Teaching*, 58(9), 1281-1319. <https://doi.org/10.1002/tea.21710>
- Yu, K.-C., Fan, S.-C., & Lin, K.-Y. (2015). Enhancing student’ problem-solving skills through context-based learning. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 13, 1377-1401.
- Zhong, L., & Xu, X. (2019). Developing real life problem-solving skills through situational design: A pilot study. *Educational Technology Research and Development*, 67, 1529-1545. <https://doi.org/10.1007/s11423-019-09691-2>
- Zimmerman, C., & Klahr, D. (2018). Development of scientific thinking. In J. T. Wixted (Ed.), *Stevens’ handbook of experimental psychology and cognitive neuroscience* (Vol. 4, 4th ed., pp.223-248), Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119170174.epcn407>

An Exploration of Elementary School Students' Thought Process in Problem Identification: Taking Science Maker Activity as an Example

Po-Ling Wu* and Hsiao-Lan Chen

Graduate Institute of Curriculum and Instruction, National Taiwan Normal University

Abstract

Science maker education is to drive and integrate science learning through maker activity, so that students can try to solve real-life problems through applying scientific knowledge and manipulating materials and tools. Furthermore, it may lay foundations for cultivating students with 21st century skills. According to theories of creative problem-solving, problem identification is the first but most crucial step in solving problems. Therefore, this study, with an attempt to explore problem identification process of elementary school students in science maker activities, observed and analyzed the group discussions of students to understand their thought process in identifying problems and the strategies applied for developing consensus. The results of the study show that in the science maker activities, students simultaneously identified problems in pursuit of the dual goals of solving real-life problems and solving maker tasks. In the process of problem identification, students' thinking were multi-faceted and potentially conflicting, which could be attributed to the richness of students' prior experience and scientific knowledge, their perceptions of maker tasks being classified as scientific learning, the extent of their attention being attracted to the maker materials, their understanding or interpretation of material properties, as well as their judgment on the hierarchical relationship of the various concepts contained in the theme of maker activity, and so forth. In dealing with their conflicting thinking about problem identification, students kept questioning each other to guide the collective cogitations of the team, made good use of their shared scientific knowledge and/or material manipulation experience in collaborative preparation to improve communication, as well as tried to redeploy materials to concretize the problem situation. All these strategies applied by the students more or less helped reaching group consensus on problem identification. Based on the research findings, pedagogical reflections and suggestions are provided for the enhancement of science maker education.

Key words: Maker Education, Science Maker Activity, Scientific Thinking, Problem Identification

* Corresponding author: Po-Ling Wu, poling221@gmail.com