

基於問題導向學習之 STEM機器人課程對偏遠地區學生關鍵能力表現之影響

陳彥涵 賴秋琳*

國立臺北教育大學 教育學系

摘要

STEM機器人教育可讓學生採用多領域知識以及程式技能來解決問題，並培養學生的關鍵能力。然而，鮮少有研究針對學生整體的關鍵能力表現(包括問題解決、合作能力、批判思考和創造力)進行評估，特別是對於偏遠學校的學生。因此，本研究旨在探討基於問題導向的STEM機器人課程對偏遠地區學生學習活動前後關鍵能力的影響。研究對象為470位臺灣各國民中學的學生，所有學生都參與了為期18週的STEM機器人課程。研究對象在課程開始前和結束後分別填寫了一次關鍵能力傾向量表。本研究使用驗證性因素分析驗證了問卷的有效性，並利用成對樣本 t 檢定檢查學生學習活動前後的關鍵能力表現。此外，本研究還運用結構方程模型比較了學生學習活動前後的關鍵能力相關性。研究結果發現，學生學習活動後的問題解決傾向與創造力傾向皆有顯著提升。另一方面，結構方程式分析結果顯示，學生學習活動後的合作學習傾向顯著正向預測創造力傾向。根據研究結果，本研究證實了STEM機器人課程對偏遠地區學生的創造力預測效果，並建議未來相關課程能給予更多問題導向的合作與協商的機會。

關鍵詞：STEM教育、結構方程模型、機器人教育、關鍵能力

壹、緒論

隨著資訊科技在教育領域的快速發展，將科技融入教學對教師和學生變得相當重要(Turugare & Rudhumbu, 2020; Wu et al., 2022)。透過科技，學生能夠更方便地獲得學習內容和適性資訊(Tsai et al., 2012)，並參與更高層次的學習(Wen & Shih, 2008)。自2012年以來，關於科學、技術、工程和數學領域(Science, Technology, Engineering, and

Mathematics, STEM)機器人教育的相關研究大幅增加(Xia & Zhong, 2018)。這是因為機器人驅動涉及多個知識領域，它可以成為教學媒介，鼓勵學生跨領域整合這些學科知識。此外，透過實體機器人作為學習成果，學生能夠將學科內容實際應用並在機器人上展示；因此，許多研究者肯定了機器人在學生學習中帶來的多重效益(Badeleh, 2021; Barak & Zadok, 2009)。

*通訊作者：賴秋琳，jolen761002@gmail.com；ORCID：0000-0003-1410-3732

投稿：2023/5/31，修訂：2023/9/14，接受：2023/9/19，線上出版：2024/1/29

這個趨勢不僅為教學帶來了全新的學習模式，也推動了STEM機器人教育市場的發展。目前在教育領域中普遍採用的機器人教育模式，通常是高度可組裝且具有各種感應元件的模型，並允許使用者進行編程。這種模式能夠讓使用者瞭解如何進行編程以及操作機器人的電子元件。由於其高度的彈性，STEM機器人教育常常採用問題導向的活動，即提供一個需要學生解決的情境，要求他們運用科學、技術、工程及數學等技能來解決問題(Çakır et al., 2021)。這種教學模式不僅提升了學生的學科知識(Barker & Ansorge, 2007; Whittier & Robinson, 2007)、運算思維(Qu & Fok, 2022)，學者們也確認這種課程對學生的關鍵能力培養具有積極影響，包括問題解決能力、批判思考、團隊合作和創造能力等(Anwar et al., 2019; Toh et al., 2016)。通過參與機器人課程，學生能夠實際應用問題解決的能力(Barak & Zadok, 2009)。此外，透過小組討論和同儕合作來組裝機器人並解決真實情境問題，也對學生的團隊合作能力有明顯的提升效果(Chang et al., 2010; Varney et al., 2012)。此外，由於機器人的操作方式可以靈活地幫助學生集中或擴散思考，Badeleh (2021)的研究還發現該課程與學生創造力表現之間存在正向關聯。

根據2015年聯合國教科文組織提出的永續發展目標，教育的推動重點已轉向平衡城市和偏鄉地區之間的教育資源，並實現長期進步。相較於都市學校，過去偏鄉地區的學校在教師專業能力、教學資源和硬體設備等方面處於相對劣勢(Bosman & Schulze, 2018; Luo et al., 2022; Yang et al., 2018)。然而，學者們發現，透過資訊科技作為外部推動力量，可以對偏鄉學校的課程發展、教學模式

以及教師對工作環境的認同感產生積極的變化(West & Vosloo, 2013)。例如，學生可以在偏鄉環境中獲得與城市學校學生相當的學習資源，並透過網路視訊與城市學校的教師和學生互動，促進彼此的認知和社交互動。

雖然STEM機器人教育已帶來全新的教學形式，尚有許多有待探討的議題。許多國家已將運算思維作為STEM機器人課程培育的核心能力，根據STEM機器人的文獻回顧指出，除了探討學生在課程中的運算思維能力表現外，學生如何與他人對話合作(Seckel et al., 2023)、高層次能力的發展(Darmawansah et al., 2023)以及解決未知問題的能力(Zhang et al., 2021)亦是值得討論的議題。又如Anwar等(2019)所述，如能瞭解該課程實際由何種關鍵因素引發另一個關鍵因素之發展，能有助於未來課程之發展。除此之外，關於偏遠地區，對於STEM機器人教育的發展和應用的討論亦是相對稀少(Mutambara & Bayaga, 2021)。尤其在這樣的課程下，關於偏遠地區學生的關鍵能力之間的相互關係仍然是未知的。瞭解這門課程對偏遠地區學生關鍵能力的發展將有助於發展出更符合他們需求的STEM機器人教育課程，並提高該課程對學生各項學習表現的影響。因此，本研究提出一個結合問題導向機制的STEM機器人課程，並在臺灣中部和南部地區的25所偏遠地區國民中學中實施。在這些國民中學中，該課程向有興趣的學生提供修習機會，課程長度為18週。為了評估該課程對學生關鍵能力的發展以及相互關係，本研究將採用問卷調查法，在學生參與學習活動之前和之後邀請學生填寫關鍵能力傾向量表(包括問題解決傾向、批判思考傾向、合作學習傾向和創造力傾向)，並探討以下研究問題：

- 一、擬定之關鍵能力傾向問卷，是否適用於此次參與課程之偏鄉學生？
- 二、歷經18週STEM機器人課程後，學生各關鍵能力的發展為何？
- 三、學生學習活動前後各關鍵能力之間的關係性為何？

貳、文獻探討

一、STEM機器人教育與關鍵能力培育

關鍵能力在本研究中定義為個人在科技化環境下實現自我、成為積極主動的公民並融入社會與就業所需要的能力(European Union, 2006)。本研究採用了Chai等(2015)以及Hwang等(2018)制定的關鍵能力定義，包括「問題解決能力」(problem solving)、「創造力」(creativity and innovation)、「批判性思考能力」(critical thinking)和「合作能力」(collaboration)。學者們認為，STEM機器人教育提供了一個培養學生上述關鍵能力的情境(Anwar et al., 2019; Korkmaz, 2016)。

在STEM機器人課程中，常見的問題解決任務包括機器人的循跡移動、避開障礙物、光感應機器人和掃地機器人等。教師進一步將這些任務與學科知識或生活應用結合，引導學生以問題導向的方式進行學習。例如，Ferrada等(2019)設計了一個利用Bee-Bot機器人進行數學學習的課程，引導學生使用編程來解決數學問題。通過這樣的活動，培養學生的計算思維和問題解決能力。具有良好問題解決能力的學習者能夠熟練地找出問題的原因，並針對不同類型和規模的問題採用多種解決方法(Bransford & Stein, 1993)。通過STEM機器人作為學習工具，面對未知

的問題，學生能夠觀察到問題解決的過程，並在學習場景中真實地呈現。這種方法有助於提高學生在問題解決能力方面的表現(Korkmaz, 2016)。

另一方面，Theodoropoulos等(2017)指出，在STEM機器人活動中引入問題導向學習策略可以提升學生對STEM學科的學習。這些問題的引入塑造了良好的合作學習環境(Pertegaz, 2014; Sahin et al., 2014)。Chiang等(2023)認為，這種經歷不僅對學生的情感投入和學科學習產生積極的影響，還可以提升他們的團隊合作能力。具有良好合作能力的個體能夠理解群體的共同目標和利益，並展現出高度的調節能力和參與度(Kuo et al., 2012)。Johnson與Johnson (2009)也表示，具有良好合作能力的學習者能夠與他人良好互動，同時提升個體的社會認同感、社會關懷，並產生更高的學習成效。因此，許多國家將合作能力融入到STEM教育中。例如，美國在2014年在STEM教育中投入了大量資金，制定了人才培育策略項目，並推動以程式教育和機器人教育為基礎的運算思維培育計畫。英國提出了InGenious Project，以培養年輕人對STEM學科的興趣為核心目標，並通過機器人課程來增強學生對STEM學習的興趣(Melchior et al., 2005)。

最後，在解決問題的過程中，學生需要對他們提出的解決方案進行解釋，並對他人的方案提出質疑。Çakır等(2021)和Sen等(2021)認為，STEM機器人教育提供了一個訓練學生批判性和創造性思考的機會。由於STEM機器人活動讓學習者可以使用電腦編程、靈活組裝和控制機器人，以實現每個學習者的想像力(Acuña Zuñiga, 2012; Román-Graván et al., 2019)。另一方面，STEM機器人

容易結合問題解決任務，學生有許多機會在活動中進行方案的比較、分析和整合；他們可以觀察複雜資訊中隱含的因果關係，最終試圖建立自己的想法與批判性思維(Meredith & Steele, 2010; van den Brink-Budgen, 2000)。

在臺灣，STEM機器人教育已經在各級學校取得了良好的發展。然而，對於偏遠地區學生對STEM機器人教育的看法以及實施效果的討論相對較少。根據上述文獻，STEM機器人教育可能成為培養學生關鍵能力的重要途徑。然而，尚不清楚這種課程模式是否適用於偏遠地區的學生，以及課程內容與學生關鍵能力之間的關聯性。這將是本研究討論的重點。

二、科技輔助偏鄉教育

學者們普遍認同資訊科技能夠提供學生更多的學習機會，並引領他們進入更廣泛的資訊社會(Al-Fraihat et al., 2020; Lin & Liu, 2011)。根據Carnoy與Rhoten (2002)的研究，適當的課程設計和規劃可以讓即使在世界上最小的城鎮，學生也能夠獲得接受教育的機會。在這樣的情況下，學者開始關注城鄉差距對學生學習的潛在影響。

在過去的研究中，學者們嘗試運用調查研究方法，探討在偏遠地區環境下學生或其他影響學生學習的參與者對科技融入教學的看法。例如，Kim等(2011)研究了行動學習對墨西哥—美國邊境的兩所公立學校的影響。他們選擇了一所位於城市貧民窟的學校和一所位於農村地區的學校。該研究使用成就測驗、觀察、調查和訪談等方法，調查了160名來自這兩所學校的學生對行動學習的觀點。研究結果發現，在教學資源和教師資格相似的情況下，家長對教育的參與程度將影響學生接觸科技和透過科技學習的機會。另一個

例子是Chen與Liu (2013)的研究，他們調查了臺灣自2008年起推動縮小城鄉教育差距的政策的有效性，受測的學生來自偏遠地區，總數為427人，研究探討了這群學生對於科技融入教學政策和科技接受程度的看法。研究結果顯示，政府政策的推動對於縮小城鄉間的知識鴻溝有顯著影響，這證實了科技對偏遠地區教育的幫助。此外，Mutambara與Bayaga (2021)進一步探討了偏遠地區學生、家長和教師對於行動學習融入STEM教育的接受程度。研究中，共有174名學生、129名家長和114名教師填寫了科技接受度問卷。研究結果顯示，感知易用性、感知有用性、感知資源、感知態度、感知享受、感知技能準備、感知心理準備和感知社會影響等因素是學生、家長和教師接受程度的良好預測指標，這表明學生、家長和教師對該學習模式持相當程度的接受態度。這些研究結果顯示，運用有效的科技策略並擁有正向的科技融入教學態度，能夠減輕城鄉差距對學生學習的影響。

另一方面，透過實際介入科技與觀察學生使用科技的反應，亦可以瞭解科技對偏鄉教育帶來的成效。例如，Kim等(2011)結合STEM和創課教育，讓偏遠地區的學生參與小組合作的創課活動。這個活動鼓勵學生與同儕分享和改進他們製作的成果，並進行深層思考。這種合作學習的環境有助於提升學生的互動和思考能力。Gyabak與Godina (2011)觀察了在不丹農村學校中使用數位說故事作為學習介入的影響。他們發現，透過數位說故事策略，學校的教師開始重視和善用資訊科技，並開發了許多數位資源，提供學生進行學習的機會。這項策略對學生的學習有積極的影響，同時也促使教師在科技應用方面取得進步。另一個例子是Yang等(2019)在中國寧波兩所小學中進行的混合同步課堂模式研究。他們通過同步視訊軟體讓偏遠地區的

學生參與城市地區優秀教師正在進行的課堂活動。研究結果顯示，混合同步課堂模式有助於提升偏遠地區學生的學習成績，並且城市地區和偏遠地區學生對於這種學習模式的感受沒有顯著差異。這表明混合同步課堂模式對於促進偏遠地區學生的學習成長是有效的。由上述研究結果可得知，科技的介入需藉由教學活動的設計，讓科技在課程中發揮應有的特性與優勢；使得偏遠地區的孩子獲得良好的學習效果。

然而，根據目前融入科技於偏遠地區教育的相關文獻，很少有研究針對學生的關鍵能力進行討論。所謂的關鍵能力指的是增強個人競爭力的重要要素，包括問題解決能力、批判思考、團隊合作和創造力等(Hwang et al., 2018)。在全球化的環境下，偏遠地區的學生未來將有更多機會接觸到不同的人群和任務，他們是否具備一定程度的關鍵能力，以及這些能力之間的關聯性，將是值得討論的議題。因此，本研究旨在探討偏遠地區學生參與課程活動前後的關鍵能力變化，以瞭解STEM機器人課程對這些學生的學習效益。

參、基於問題導向學習之STEM機器人課程設計

為了回答研究問題，本研究採用了

Theodoropoulos等(2017)建議的方法，設計了一個為期18週的STEM機器人設計課程，結合問題導向學習策略。該課程使用了輪軸型機器人和視覺型程式編寫平臺作為教學工具。這些機器人的核心處理器是搭載了Arduino Uno晶片板。機器人還配備了可通過程式控制的裝置，如直流馬達、超音波感應器和LED燈等。為了組裝這些配件，學生需要使用螺絲、螺帽等零件進行裝配。因此，學生需要使用螺絲起子和扳手等工具，從中學習基本的工程技能。

本次研究開發的課程可分為四個主要教學活動，包括知識講授(2週)、操作訓練(12週)、創意發想(2週)和成果展示(2週)，如圖1所示。為了達到每個階段的教學目標並幫助學生理解和應用知識，本研究在每個階段都採用了問題導向學習模式。

在知識講授階段，核心目標是讓學生瞭解不同的晶片板，並熟悉機器人的各種硬體裝置。這包括機器人機構的介紹、不同晶片板的功能和作用介紹、電池效能的介紹以及超音波感測器等方面的知識介紹。為了讓學生達到更高層次的學習，教師在進行知識講解和操作練習示範後，會指派任務讓學生進行個人化的問題解決，同時安排討論時間協助學生釐清問題。

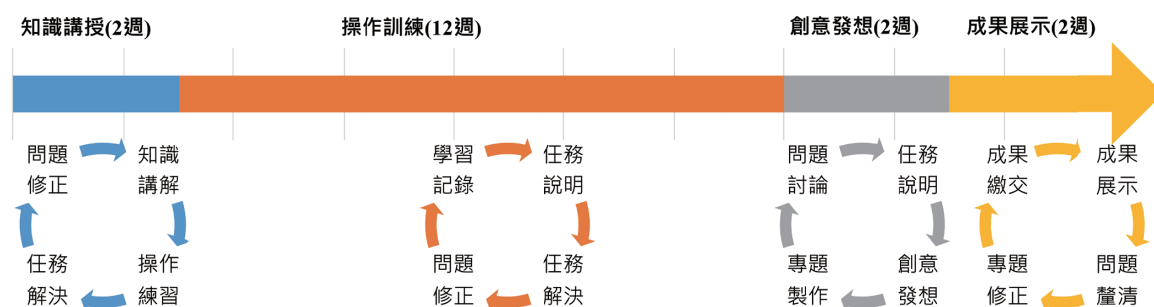


圖1：基於問題導向學習之STEM機器人課程活動設計

在操作訓練階段，本研究安排學生學習運用視覺化程式編輯平臺進行程式撰寫，並將程式實際運行於機器人上。課程設計了多種任務供學生解決，例如讓機器人直線行走、自動跟車、播放聲音、循跡倒車以及影像辨識等。為了加強學生對知識的應用，該階段活動採用問題導向學習模式。在該階段的學習模式中，教師會先帶領學生複習有對應功能的晶片板以及基本的程式語法。接著，教師會公告本週課程的任務，例如「讓機器人執行行走送餐服務，過程中不能衝出指定範圍並且要避開障礙物」。一旦確認學生理解任務內容後，學生將開始進行任務解決。雖然是個人任務練習，但在過程中，如果學生需要協助，都可以向教師或同儕提問，亦可以在過程中幫助他人。教師並不會直接告訴學生正確的程式內容，而是引導學生從網路上搜尋資料，或者觀察其他人撰寫的語法，來鼓勵學生嘗試不斷修改自己的程式語言，直到達成任務為止。最後，教師會鼓勵學生將本週解決任務的過程撰寫於學習紀錄本中；該紀錄本會記錄學生每週進行任務練習時的歷程以及最後解決該任務的方法。教師會於每週課程結束後，收回紀錄本，以確認每位學生都有完成任務。

在創意發想階段，教師會在活動前解說任務目標，要求學生設計一個能夠應用於生活的機器人，並要求該機器人必須符合設計指標，詳見表1。接著，學生以小組形式展開

創意發想和專題製作。該活動為期兩週。在第一週時，學生會組成工作小組，他們通常會找尋自己熟悉的組員進行合作，每組約有4、5人。他們在第一週，會針對生活機器人的設計進行創意發想。在此階段，教師會鼓勵學生運用學習紀錄本回想前12週課程中練習的內容，並嘗試從中找尋合適自己能力或想法的功能進行組合。在第一週結束前，教師請各組學生分享目前機器人的設計理念，並鼓勵他組同學給予回饋。在創意發想的第二週，學生根據第一週討論的內容來製作機器人。教師提示可以依據每個人在前12週中擅長的項目進行分工，並在教室內進行機器人成果測試。在第二週的最後，教師邀請每一組同學針對目前機器人設計的進度與問題進行說明，並帶領全班針對問題進行討論。

在成果展示階段，學生需要以小組形式進行機器人創意發表。他們會在教學現場實際操作機器人，介紹產品的功能。此外，教師會要求學生在發表過程中分享他們在專題製作過程中所遇到的困難和仍存在的問題。針對這些議題，教師會引導班上的同學進行問題討論，釐清困難之處。每個小組發表完成後，教師會要求學生再次修正機器人的程式或裝置並以海報和投影片的形式提交最終的專題成果。

表2整理該活動的整體流程、說明與對應的關鍵能力指標。本研究在每一個階段都有安排學生需要完成的任務，並運用問題討

表1：機器人創意發表設計指標

指標	說明
外觀設計	需於本體機器人上外加組件或裝飾；外加元素需與設計需求有關。
感測應用	需運用到超音波感測、聲控、紅外線、光感、濕度感應或微動感應。
邏輯思維	需包含控制、變數、函式等於機器人運算之中。
設計目標	以提升人類便利、優質或效能為目標之生活應用。

表2：活動流程整體說明與關鍵能力指標對應

活動流程	活動內容	活動說明	問題解決	合作學習	批判思考	創造力
知識講授	知識講解	教師說明晶片板各功能				
	操作練習	教師說明各晶片控制程式				
	任務指派	學生解決基本任務	V			
	問題指導	教師檢核與指導每個學生狀況	V		V	
操作訓練	任務說明	教師公告學習任務與規定				
	任務解決	學生嘗試解決任務	V			
	問題修正	學生找尋解決問題方法	V		V	
	學習紀錄	學生記錄與反思學習歷程			V	
創意發想	任務解說	教師公告專題內容				
	創意發想	小組討論與分享機器人功能設計		V	V	V
	專題製作	小組製作機器人	V	V	V	V
	問題討論	小組分享設計問題並討論解決方法	V	V	V	V
成果展示	成果展示	小組上臺展示機器人成果				
	問題釐清	教師引導同學針對問題討論	V		V	V
	修正專題	小組根據討論結果修正專題成果	V	V	V	V
	成果繳交	小組合作完成海報與投影片				

論與成果分享的方式，引導學生闡述問題。在學生解決任務過程，教師採用鼓勵學生運用資料蒐集與嘗試錯誤的方法，找到最佳解決問題的方法；藉此提供學生大量解決問題之機會。自操作訓練開始，學生有許多與同儕討論、互助的機會；甚至於在創意發想階段後，有大量與同儕合作之機會。透過小組合作發想、合作專題製作與小組成果分享，讓學生在過程中凝聚小組共識、分工進行專題內容製作與共同解決問題。因此，學生不僅要表達自己的看法，更要接納他人看法與評量出最佳的解決方案。除此之外，教師運用學習紀錄本的方式，鼓勵學生記錄每週自己面臨的問題與解決方法。因此，在設計與解決問題時，學生都有多元的資料可以評估並批判各解決方法的可行性。最後，透過小組分享與修正專題方式，讓學生可以從他人的分享來評估自己專題待改進的部分；藉由

大量同儕互動與學習紀錄，訓練學生從過去的經驗與同儕的作品，找尋各有創意性的做法。在活動的不同階段，根據課程目標，培養學生不同的關鍵能力。

肆、研究設計

一、研究架構

本研究的主要目的是探討問題導向學習的STEM機器人設計課程對偏遠地區學生的關鍵能力發展。為了達到這個目的，本研究參考了Chang等(2020)和Al-Fraihat等(2020)的建議，選擇使用問卷調查的方式進行研究。

Koraneekij與Khlaissang (2019)匯集許多學者的見解，提出了問題解決的遞歸模型(problem-based learning recursive model)，闡述了專家小組在合作解決開放或結構不良的問題時，他們會參與批判性與創造性的討論

並利用專業技能解決複雜問題、識別與論證問題的可行性並生成解決問題的方案(Awang & Ramly, 2008; Weisberg, 1998)。本研究基於此架構，考慮四個變項：「問題解決傾向」(PB)、「合作學習傾向」(CL)、「批判思考傾向」(CR)和「創造力傾向」(CA)，如圖2所示。其中「問題解決傾向」指的是學生在參與課程活動中培養的解決問題的能力。「合作學習傾向」則指學生在處理學習任務時的互動方式(Jones et al., 2013)。而批判思考指的是個體反思和評估自身方法和信念的策略(Kozma & Voogt, 2003)，創造思考則是指通過闡述、分析和評估現有想法來產生創新思想或產品的能力(Yang et al., 2013)。

過去的研究顯示，當人們對於共同目標有共同的信念時，他們會透過語言或非語言的方式相互溝通並協調彼此的行動，從而建立合作關係(Verba, 1994)。因此，基於問題解決的任務有助於學生建立共同的目標信念，並促進彼此互動的機會。透過合適的合作，他們可以找到解決問題的方法(Piaget, 1932/1965)。基於這些觀察，本研究提出了以下研究假設：問題解決傾向對合作學習傾向有正向影響。

透過小組合作學習，學生的高層次思考能力，如批判思考和創造思考，也可以得到

改善(Ediger, 1996; Punch & Moriarty, 1997)。Hwang等(2018)的研究證實，透過同儕合作和討論活動，能有效促進學生的創造力和批判性思考能力。這顯示通過與同儕合作的過程，學生可以提升創造力，並且建立自己的想法，進行判斷和評估等高層次思考方法。因此，合作學習的過程可以被視為是促進高層次思考傾向的一個預測因子之一(Kong et al., 2014; Tsai et al., 2012)。

除了合作學習的過程可以培養學生的高層次思考能力之外，許多學者認為進行問題導向任務的過程本身也是發展高層次思考方式的過程。例如，學者Ennis (1987)認為批判思考是一種以自我遭遇問題為出發點，最終歸結為信念或行動的決定以解決問題的思考方式。同樣地，Davis (1986)認為創造力的思考過程等同於個體解決問題的過程。這些學者的觀點指出，問題導向任務的過程本身可以激發學生的高層次思考能力。通過遭遇問題、提出解決方案、評估選擇、做出決策等思考過程，學生可以培養批判思考和創造思考的能力。

二、研究對象

本研究在招募合作學校時，參考臺灣

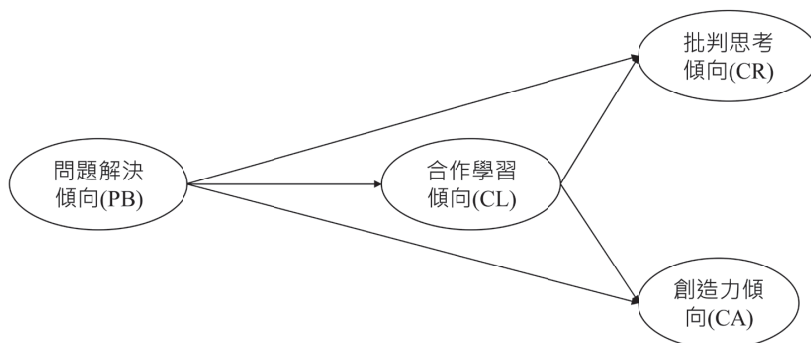


圖2：研究架構圖

註：PB：Problem Solving；CL：Collaboration；CR：Critical Thinking；CA：Creativity。

教育部偏遠地區國中小名錄進行合作學校邀約。根據臺灣教育部的計量評估模型，這些學校在交通、文化、生活機能、數位環境或社會經濟條件等因素符合其評估指標。本研究共招募25所分布於臺灣臺中市、南投縣、彰化縣、嘉義縣、臺南市、高雄市與屏東縣的國民中學。

為確保各地區教師皆有能力於課程中教授學生操作STEM機器人，並引導學生進行相關能力之培訓，本研究作者群實際進入這些學校進行教師培訓。教師培訓的內容包含STEM機器人的操作、程式撰寫、課程架構與教學活動設計。教師可實際透過本培訓，瞭解18週之課程實際實施方法。除此之外，本研究更實際鼓勵教師進行創意發想以及成果發表，讓教師實際參與課程，以瞭解學生在每個課程環節可能面臨的問題以及需要的協助，藉此培育教師專業的教學引導能力。

本研究之研究樣本共有470位學生，主要為國中一年級與二年級，其中男生共有235位，女生共有215位，如表3所示。研究對象皆為首次接觸機器人相關課程，並依照隸屬學校的課程安排，於社團課或資訊科技課接受機器人課程。課程皆為期18週的機器人課程，每週課程為兩節課時共90分鐘。每校教師會安排授課學生於第一週與第十八週接受關鍵能力傾向量表填答；學生填表時間約為20分鐘。

三、研究工具

本研究採用問卷調查法，以瞭解研究對象在接受課程前後，其關鍵能力傾向的程度

變化。本研究所使用的問題解決能力傾向、合作能力傾向、批判思考能力以及創造力傾向維度改編自21世紀學習關鍵因素量表(Chai et al., 2015)。主要探討學生在進行機器人課程中，對於處理問題的歷程、同儕互動歷程、分析任務表現以及發展新實作內容的傾向程度。

本問卷共有四個維度，總題數為14題題目。問題解決能力傾向的維度，主要探討學生在進行課程時，對於處理問題的歷程的傾向程度。該維度共有3題，範例題如：「在課程中，我會主動觀察到關於實作上會遭遇到的問題」。合作能力傾向用以探討學生在課程中，與同儕的互動與討論能力傾向。該維度共有4題，範例題如：「我會主動地和同學分享以及解釋我們對於機器人實作內容的想法」。批判思考傾向用以探討學生在課程中，對於分析任務以及判斷資訊等思考傾向。該維度共有4題，範例題如：「實際情況下，我會評估不同的意見，看哪一個比較合理」。創造力傾向則用以探討學生產生新想法或新的實作方法的能力傾向。該維度共有3題，範例題如：「透過課堂的學習，我會發展出新的想法」。

此量表為了避免產生趨中性的選項，採用李克特四點量表(Likert scale)來測量學生的關鍵能力傾向程度，數值由1到4，數值1代表非常不同意；數值2代表不同意；數值3代表同意；數值4代表非常同意，數值越大則同意程度越高。原始維度的Cronbach's $\alpha = .86$ 、.80、.71以及.82。

四、資料處理與統計方法

本研究共蒐集了來自470名學生參與課程前與後之關鍵能力傾向問卷結果。為回答研究問題，本研究進行三項數據分析：驗

表3：研究對象人數表

年級	男	女	總人數
國中一年級	142	132	274
國中二年級	111	85	196
總人數	253	217	470

證性因素分析(Confirmatory Factor Analysis, CFA)、成對樣本 t 檢定以及結構方程模型(Structural Equation Modeling, SEM)。

本研究首先使用學生學習活動後關鍵能力填答內容，並運用AMOS 21.0軟體進行CFA，以驗證問卷對研究對象的適用性，並建立問卷中所有構面的測量結構。本研究皆依據Jöreskog與Sörbom (1993)制定的各項模型適配度指標檢驗其分析的有效性，包括卡方值(χ^2)、卡方/自由度(χ^2/df)、適配度指數(Goodness of Fit Index, GFI)、調整適配度指數(Adjusted Goodness of Fit Index, AGFI)、比較性配適指標(Comparative Fit Index, CFI)、標準化均方根殘差值(Standardized Root Mean Square Residual, SRMR)和近似均方根誤差(Root Mean Square Error of Approximation, RMSEA)；各個指標皆有其規範之標準值，若假設模型皆符合標準值，則代表該模型成立。

為探討學生學習活動前後的關鍵能力表現差異，本研究根據CFA結果，對各構面進行加總與平均。接著採用成對樣本 t 檢定檢驗各構面在學習活動前與後的表現是否呈現顯著差異。若達顯著，則表示學生在學習活動前後的該構面表現有顯著的變化。

另一方面，本研究分別選用學生學習活動前與後的填答內容，各進行乙次SEM分析，以分別瞭解學生在進行活動前與後各關鍵能力之間的影響關係。

伍、研究結果

一、關鍵能力傾向量表之驗證性分析

本研究所採用之關鍵能力傾向量表包含問題解決能力、合作能力、批判性思考能力及創造力四個構面，本節將使用CFA探討此

量表之模型適配度是否符合標準，最後探究各構面是否具備區別效度與收斂效度，以利進行後續的分析。

表4分別展示了偏鄉學生後測關鍵能力傾向之CFA結果，包含：問卷各維度的因素負荷量、平均方差提取(Average Variance Extracted, AVE)、複合信度(Composite Reliability, CR)、Cronbach's α 值和描述性統計量。每個維度保留3、4個項目。所有的因素負荷量皆高於.50且具有統計學意義。此外，所有維度的可靠性係數(Cronbach's α 值)都在.85 ~ .91之間，CR係數超過.86 (介於.86 ~ .91)，AVE介於.66 ~ .71之間。此外，問卷結構的適配度為， $\chi^2 = 188.98$ ， $p < .001$ ， $df = 71$ ， $\chi^2/df = 2.66$ ，GFI = .95、AGFI = .92、CFI = .98、RMSEA = .060 和 SRMR = .029。這些模型適配度指標表示該模型具有足夠的適配度(Burkell et al., 1990)，以此證實該模型對於該問卷的收斂效度以及建構效度。

為檢驗本假設模型各個構面之間具有區別效度，本研究將觀察各構面的AVE開根號以及與其他構面的相關係數值，如表5所示。本實驗的假設模型之各個構面AVE開根號皆大於與其他構面的相關係數，顯示各構面具有區別效度。再次證明測量模型的內在品質佳。經過上述的模型評鑑後，整體而言，此模型的內、外在品質佳，適合進行下一步的結構模型分析，並驗證潛在變數間的因果關係。

二、偏鄉學生參與STEM機器人課程之前後關鍵能力表現分析

在驗證問卷的有效性後，本研究探討學生在經歷STEM機器人課程後，關鍵能力表現的表現為何。因此，本研究採用成對樣本 t 檢定，探討學習活動前後的表現差異。結果如表6所示，學生在學習活動前的問題解

表4：偏鄉學生後測關鍵能力傾向之CFA結果

構面與題目	因素負荷量	<i>t</i> -value	AVE	CR	α	Mean (<i>SD</i>)
問題解決傾向(PB)			.67	.86	.85	3.39 (0.53)
PB1	.85					
PB2	.84	22.47***				
PB3	.75	18.48***				
合作學習傾向(CL)			.71	.91	.91	3.42 (0.57)
CL1	.79					
CL2	.86	21.26***				
CL3	.87	21.32***				
CL4	.85	20.77***				
批判思考傾向(CR)			.66	.88	.88	3.42 (0.52)
CR1	.76					
CR2	.83	18.95***				
CR3	.84	19.00***				
CR4	.81	18.32***				
創造力傾向(CA)			.70	.88	.88	3.34 (0.61)
CA1	.83					
CA2	.87	21.90***				
CA3	.81	20.10***				

註：1. CFA：驗證性因素分析(Confirmatory Factor Analysis)；AVE：平均方差提取(Average Variance Extracted)；

CR：複合信度(Composite Reliability)。

2. *** $p < .001$ 。

表5：本研究假設模型之各構面AVE開根號以及與其他構面之相關係數表

構面	問題解決傾向(PB)	合作學習傾向(CL)	批判思考傾向(CR)	創造力傾向(CA)
問題解決傾向(PB)	.82			
合作學習傾向(CL)	.72	.84		
批判思考傾向(CR)	.78	.76	.81	
創造力傾向(CA)	.76	.67	.73	.84

註：粗體數值為平均方差提取之平方根。

決傾向、合作學習傾向、批判思考傾向以及創造力傾向之平均數分別為3.316、3.423、3.380以及3.238；學習活動後各構面的平均數分別為3.386、3.420、3.418以及3.337。成對樣本 t 檢定的分析結果顯示學生學習活動前後的問題解決能力存在顯著差異($t = -2.314$, $p < .05$)，表示學生在學習活動後的問題解決傾向顯著優於學習活動前的傾向；其效果量

(Cohen's d 值)為0.125，呈現小效果量。另一方面，學生創造力傾向的成對樣本 t 檢定結果存在顯著差異($t = -3.019$, $p < .01$)，亦表示學生學習活動後的創造力傾向優於學習活動前；效果量(Cohen's d 值)為0.158，呈現小效果量。另一方面，學生學習活動前後的合作學習傾向以及批判思考傾向並無呈現顯著差異($t = 0.106$ 與 -1.297)，顯示這兩個構面在學

表6：學生學習活動前後之關鍵能力成對樣本t檢定結果

構面	學習前或後	平均數	標準差	t值	效果量
問題解決傾向(PB)	學習前	3.316	0.589	-2.314*	0.125
	學習後	3.386	0.527		
合作學習傾向(CL)	學習前	3.423	0.547	0.106	0.005
	學習後	3.420	0.566		
批判思考傾向(CR)	學習前	3.380	0.543	-1.297	0.071
	學習後	3.418	0.522		
創造力傾向(CA)	學習前	3.238	0.638	-3.019**	0.158
	學習後	3.337	0.611		

註：* $p < .05$, ** $p < .01$ 。

習活動前與後的表現並無存在統計上的顯著差異。

三、偏鄉學生參與STEM機器人課程前與後之關鍵能力傾向的SEM

根據成對樣本t檢定結果，本研究分別針對學生學習活動前與後的關鍵能力傾向之路徑分析進行探討。為此，本研究也透過檢視多個模型適配度，以檢定本次SEM與樣本之間的適配情形。表7為本研究之樣本的學習活動前後關鍵能力傾向量表之適配度指標表，表中顯示學習活動前後路徑模型的所有配適度指標皆有符合規範的標準值內。

透過上述考驗後，本研究檢定學生學習活動前後之結構方程式路徑關係。表8分別表示學生學習前與學習後兩模型下各條路徑係數值。由表中得知，在學習前，學生的問題解決傾向可正向預測合作學習傾向($\beta = .85$, $p < .001$)、批判思考傾向($\beta = .57$, $p < .001$)以及創造力傾向($\beta = .80$, $p < .001$)。此外，學生合作學習傾向亦可以正向預測學生的批判思考傾向($\beta = .44$, $p < .001$)。然而，學生的合作學習傾向，無法預測學生的創造力傾向($\beta = .12$)。

另一方面，在學習活動後，學生的問題

表7：本研究之整體模型配適度指標檢核表

配適度指標(標準值)	學習前	學習後
χ^2	136.61	197.12
$\chi^2/df (< 5)$	1.90	2.74
GFI ($> .8$)	.96	.94
AGFI ($> .8$)	.94	.92
CFI ($< .08$)	.99	.98
SRMR ($< .08$)	.02	.03
RMSEA ($< .08$)	.04	.06

註：GFI：適配度指數(Goodness of Fit Index)；AGFI：調整適配度指數(Adjusted Goodness of Fit Index)；CFI：比較性配適指標(Comparative Fit Index)；SRMR：標準化均方根殘差值(Standardized Root Mean Square Residual)；RMSEA：近似均方根誤差(Root Mean Square Error of Approximation)。

表8：本研究之路徑關係檢定表

路徑	學習前路徑值	學習後路徑值
問題解決傾向→合作學習傾向	.85***	.81***
問題解決傾向→批判思考傾向	.57***	.58***
問題解決傾向→創造力傾向	.80***	.77***
合作學習傾向→批判思考傾向	.44***	.38***
合作學習傾向→創造力傾向	.12	.15*

註：* $p < .05$, *** $p < .001$ 。

解決傾向可正向預測學生的合作學習傾向($\beta = .81$, $p < .001$)、批判思考傾向($\beta = .58$, $p < .001$)、創造力傾向($\beta = .77$, $p < .001$)。此外，學生合作學習傾向亦可以正向預測學生的批判思考傾向($\beta = .38$, $p < .001$)。然而，學生的合作學習傾向，無法預測學生的創造力傾向($\beta = .15$)。

.001)以及創造力傾向($\beta = .77, p < .001$)。此外，學生的合作學習傾向亦可以正向預測批判思考傾向($\beta = .38, p < .001$)。本研究亦發現，在學習活動後，學生的合作學習傾向可以正向預測學生的創造力傾向($\beta = .15, p < .05$)。

從表8中得知，學生學習活動前後的問題解決傾向皆可以正向預測批判思考傾向、合作學習傾向以及創造力傾向。學習活動前後的合作學習傾向亦可以正向預測批判思考傾向。唯在學習活動後，合作學習傾向預測創造力傾向的路徑係數達到顯著效果。這可能顯示經過這18週的學習活動，學生對於採用STEM機器人課程進行關鍵能力培育的看法產生了變化。

陸、研究討論

本研究之研究目的為探討基於問題導向學習之STEM機器人課程對於偏遠地區學生關鍵能力的影響與相關性探討。本研究設計一個18週之問題導向學習STEM機器人課程，並安排470位學生參與活動。學生在活動中進行知識與技能的訓練，並參與個人與合作的問題解決活動。參與者被安排於課程活動開始與結束時，填寫關鍵能力傾向問卷。透過分析結果，本研究進行以下討論。

一、STEM機器人課程能引發更多問題解決與創造力思考機會

研究結果指出，經過課程後，學生的問題解決能力傾向與創造力傾向皆有顯著提升。這表示本研究之教學活動設計，對於培育學生問題解決能力傾向以及創造力傾向有較優異的效果。例如，在操作訓練流程，授課教師僅針對任務的闖關條件與規則進行說明，提供學生反覆嘗試以及找尋最佳問題解

決方案的機會。如Cabodi等(2020)在培育學生C語言的課程中，他們發現多數學生不依賴系統性且格式良好的方法來學習解決問題的方法。他們透過指導學生逐步使用不完整的演算法，在解決問題過程嘗試不斷搜尋與優化解決辦法；並指出該方法更有效提升學生問題解決能力。也就是說，雖然學生起初學習時，有著較片段的學習知識；但透過一次次解決問題的過程，能幫助學生優化自己的學習知識，進而找到更好的解決問題方案，以提升問題解決傾向。

另一方面，課程中邀請學生在學習紀錄單中填寫每次解決任務的方法以及結果，該模式提供學生檢視歷程的機會。如同Koraneekij與Khlaissang (2019)也將學習歷程引入學生的混成學習活動中，對學生的專題學習創意表現產生積極的效果。這些歷程成為了學生進行未來創作的重要資源，進而提升學生的創造力以及問題解決傾向。而在本研究的STEM機器人課程裡，我們採用相似的手法，讓學生從反覆嘗試中找尋最佳解決問題的辦法，並引導學生從學習歷程中進行反思。其研究效果也證實，這樣的課程設計，在STEM機器人課程中亦能發揮相同的作用。

二、透過問題導向的合作學習活動，讓學生將STEM機器人課程與創造力傾向產生較強的連結

根據學習活動前的SEM，本研究推論這群偏鄉學生在過去如欲提升個人的創造力傾向，參與問題解決的相關活動是一個重要的路徑。而在參與本研究之學習活動後，學生認為透過合作的問題解決任務亦可以是一個提升他們創造力傾向的途徑。本研究推論，如STEM機器人課程要影響學生的創造力，合作學習傾向是一個重要的媒介。這也驗證了Balakrishnan (2022)所述，課程活動提供同儕合

作、交流與協商的機會，可以幫助學生擴展學習的基模，讓他們在解決未來的問題時，能提出更多方案來做決策。尤其在本研究課程的後期，有許多讓學生合作發現問題、製作專題和解決問題的機會，使得學生在活動中不斷尋找多樣化的解決問題方法，而使得學生在合作過程有更多創造力的表現。這與Elgrably與Leikin (2021)所述相符，他們指出在學習環境中提供學生合作解決問題的機會，有助於提升學生發展更多元的專題成果。

這一結果進一步呼應了Yeh與Ting (2023)在比較偏鄉和都市孩童創造力表現的研究中的發現。該研究發現，偏遠地區的學生在參與數位遊戲的創造力學習活動後，創造力表現雖然有所提升，但相對於都市孩童仍有較少的收穫。該研究推論這可能與學生的自主學習能力有關；他們建議在課程中，給予學生更多不完整的知識與任務，讓學生有更多機會透過同儕合作進行問題解決。而本研究在個人或合作任務的設計上，多是提供學生任務規則，但不給予學生解決問題的方法；讓學生透過嘗試與同儕協商，來進行解決；使得此課程對學生的創造力表現具有預測效果。由此可知，透過這種方法強化偏遠地區學生對創造力的重視是可行的方案。

然而，對於偏遠地區學生的批判思考傾向，並未因為課程的介入與否，有產生顯著性的影響。Turner等(2022)曾在偏遠地區實施

STEM食品永續教育，並發現引導學生將學習與生活環境大局做更高強度的連結，能提高學生更多批判思考的機會。例如，學生將植物生長狀態，與環境破壞有關的新聞進行高強度的連結。而根據Turner等的研究，本研究建議，未來在創意發想與展示階段，可以請學生給出更充分且深入的發想理念；在分享與回饋階段，引導給予回饋或分享的學生，針對目前生活中有的機器人服務功能與該組開發的服務進行比較與討論。

本研究通過實際導入為期18週的機器人教育課程，並使用自評量表進行分析，探討該課程對學生關鍵能力的發展。然而，本研究並未探討學生其他未來競爭力的構面、實際學習行為、運算思維以及學習成就之間的關聯。除此之外，本研究亦鼓勵未來研究能同時蒐集城市地區與偏遠地區學生對於該課程之看法，用以評估不同教育環境對STEM機器人課程規劃與學生表現之影響；同時，進一步探討偏鄉教師對STEM機器人教育的發展以及對學生關鍵能力培育的影響，以加深對偏鄉教育議題的討論。

誌謝

本研究感謝國家科學及技術委員會經費支持(研究計畫編號：MOST 111-2410-H-152-006-MY2)。

參考文獻

- Acuña Zuñiga, A. L. (2012). Diseño y administración de proyectos de robótica educativa: Lecciones aprendidas. *Education in the Knowledge Society*, 13(3), 6-27. <https://doi.org/10.14201/eks.9126>
- Al-Fraihat, D., Joy, M., Masa'deh, R., & Sinclair, J. (2020). Evaluating E-learning systems success: An empirical study. *Computers in Human Behavior*, 102, 67-86. <https://doi.org/10.1016/>

j.chb.2019.08.004

- Anwar, S., Bascou, N. A., Menekse, M., & Kardgar, A. (2019). A systematic review of studies on educational robotics. *Journal of Pre-College Engineering Education Research*, 9(2), Article 2. <https://doi.org/10.7771/2157-9288.1223>
- Awang, H., & Ramly, I. (2008). Creative thinking skill approach through problem-based learning: Pedagogy and practice in the engineering classroom. *International Journal of Educational and Pedagogical Sciences*, 2(4), 334-339. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1084906>
- Badeleh, A. (2021). The effects of robotics training on students' creativity and learning in physics. *Education and Information Technologies*, 26(2), 1353-1365. <https://doi.org/10.1007/s10639-019-09972-6>
- Balakrishnan, B. (2022). Exploring the impact of design thinking tool among design undergraduates: A study on creative skills and motivation to think creatively. *International Journal of Technology and Design Education*, 32(3), 1799-1812. <https://doi.org/10.1007/s10798-021-09652-y>
- Barak, M., & Zadok, Y. (2009). Robotics projects and learning concepts in science, technology and problem solving. *International Journal of Technology and Design Education*, 19(3), 289-307. <https://doi.org/10.1007/s10798-007-9043-3>
- Barker, B. S., & Ansorge, J. (2007). Robotics as means to increase achievement scores in an informal learning environment. *Journal of Research on Technology in Education*, 39(3), 229-243. <https://doi.org/10.1080/15391523.2007.10782481>
- Bosman, A., & Schulze, S. (2018). Learning style preferences and mathematics achievement of secondary school learners. *South African Journal of Education*, 38(1), 1-8. <https://doi.org/10.15700/saje.v38n1a1440>
- Bransford, J. D., & Stein, B. S. (1993). *The ideal problem solver: A guide for improving thinking, learning, and creativity* (2nd ed.). W. H. Freeman.
- Burkell, J., Schneider, B., & Pressley, M. (1990). Mathematics. In M. Pressley & J. Burkell (Eds.), *Cognitive strategy instruction that really improves children's academic performance* (pp. 147-177). Brookline Books.
- Cabodi, G., Camurati, P., Pasini, P., Patti, D., & Vendraminetto, D. (2020). Schema-based instruction with enumerative combinatorics and recursion to develop computer engineering students' problem-solving skills. *International Journal of Engineering Education*, 36(5), 1505-1528.
- Çakır, R., Korkmaz, Ö., İdil, Ö., & Erdoğan, F. U. (2021). The effect of robotic coding education on preschoolers' problem solving and creative thinking skills. *Thinking Skills and Creativity*, 40, Article 100812. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2021.100812>
- Carnoy, M., & Rhoten, D. (2002). What does globalization mean for educational change? A comparative approach. *Comparative Education Review*, 46(1), 1-9. <https://doi.org/10.1086/324053>

- Chai, C. S., Deng, F., Tsai, P.-S., Koh, J. H. L., & Tsai, C.-C. (2015). Assessing multidimensional students' perceptions of twenty-first-century learning practices. *Asia Pacific Education Review, 16*(3), 389-398. <https://doi.org/10.1007/s12564-015-9379-4>
- Chang, C.-W., Lee, J.-H., Chao, P.-Y., Wang, C.-Y., & Chen, G.-D. (2010). Exploring the possibility of using humanoid robots as instructional tools for teaching a second language in primary school. *Educational Technology & Society, 13*(2), 13-24.
- Chang, I.-C., Lin, C.-Y., Wen, C.-H., Lo, H.-K., & Ho, T.-J. (2020). Students' intention to use a 3D e-learning platform in traditional Chinese medicine education. *Interactive Learning Environments, 28*(8), 991-1002. <https://doi.org/10.1080/10494820.2018.1552875>
- Chen, R.-S., & Liu, I.-F. (2013). Research on the effectiveness of information technology in reducing the rural-urban knowledge divide. *Computers & Education, 63*, 437-445. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.01.002>
- Chiang, F.-K., Liu, Y.-q., Feng, X., Zhuang, Y., & Sun, Y. (2023). Effects of the world robot Olympiad on the students who participate: A qualitative study. *Interactive Learning Environments, 31*(1), 258-269. <https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1775097>
- Darmawansah, D., Hwang, G.-J., Chen, M.-R. A., & Liang, J.-C. (2023). Trends and research foci of robotics-based STEM education: A systematic review from diverse angles based on the technology-based learning model. *International Journal of STEM Education, 10*, Article 12. <https://doi.org/10.1186/s40594-023-00400-3>
- Davis, G. A. (1986). *Creativity is forever* (2nd ed.). Kendall Hunt.
- Ediger, M. (1996). Cooperative learning versus competition: Which is better? *Journal of Instructional Psychology, 23*(3), 204-209.
- Elgrably, H., & Leikin, R. (2021). Creativity as a function of problem-solving expertise: Posing new problems through investigations. *ZDM—Mathematics Education, 53*(4), 891-904. <https://doi.org/10.1007/s11858-021-01228-3>
- Ennis, R. H. (1987). A taxonomy of critical thinking dispositions and abilities. In J. B. Baron & R. J. Sternberg (Eds.), *Teaching thinking skills: Theory and practice* (pp. 9-26). W. H. Freeman.
- European Union. (2006). Recommendation of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 on key competences for lifelong learning. *Official Journal of the European Union, L394*, 10-18.
- Ferrada, C., Diaz-Levicoy, D., Salgado-Orellana, N., & Parraguez, R. (2019). Propuesta de actividades STEM con Bee-bot en matemática. *Edma 0-6: Educacion Matematica En La Infancia, 8*(1), 33-43. <https://doi.org/10.24197/edmain.1.2019.33-43>
- Gyabak, K., & Godina, H. (2011). Digital storytelling in Bhutan: A qualitative examination of new media tools used to bridge the digital divide in a rural community school. *Computers & Education, 57*(4), 2236-2243. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.06.009>

- Hwang, G.-J., Lai, C.-L., Liang, J.-C., Chu, H.-C., & Tsai, C.-C. (2018). A long-term experiment to investigate the relationships between high school students' perceptions of mobile learning and peer interaction and higher-order thinking tendencies. *Educational Technology Research and Development*, 66(1), 75-93. <https://doi.org/10.1007/s11423-017-9540-3>
- Johnson, D. W., & Johnson, F. P. (2009). *Joining together: Group theory and group skills* (10th ed.). Allyn & Bacon.
- Jones, A. C., Scanlon, E., & Clough, G. (2013). Mobile learning: Two case studies of supporting inquiry learning in informal and semiformal settings. *Computers & Education*, 61, 21-32. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.08.008>
- Jöreskog, K. G., & Sörbom, D. (1993). *LISREL 8: Structural equation modeling with the SIMPLIS command language*. Scientific Software International.
- Kim, P., Hagashi, T., Carillo, L., Gonzales, I., Makany, T., Lee, B., & Gárate, A. (2011). Socio-economic strata, mobile technology, and education: A comparative analysis. *Educational Technology Research and Development*, 59(4), 465-486. <https://doi.org/10.1007/s11423-010-9172-3>
- Kong, S. C., Chan, T.-W., Griffin, P., Hoppe, U., Huang, R., Kinshuk, Looi, C. K., Milrad, M., Norris, C., Nussbaum, M., Sharples, M., So, W. M. W., Soloway, E., & Yu, S. (2014). E-learning in school education in the coming 10 years for developing 21st century skills: Critical research issues and policy implications. *Educational Technology & Society*, 17(1), 70-78.
- Koraneekij, P., & Khlaisang, J. (2019). Students' beliefs regarding the use of e-portfolio to enhance cognitive skills in a blended learning environment. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 14(2), 85-104. <https://doi.org/10.3991/ijet.v14i02.8288>
- Korkmaz, Ö. (2016). The effect of Scratch- and Lego Mindstorms Ev3-based programming activities on academic achievement, problem-solving skills and logical-mathematical thinking skills of students. *Malaysian Online Journal of Educational Sciences*, 4(3), 73-88.
- Kozma, R. B., & Voogt, J. (2003). *Technology, innovation, and educational change: A global perspective*. International Society for Technology in Education.
- Kuo, F.-R., Hwang, G.-J., & Lee, C.-C. (2012). A hybrid approach to promoting students' web-based problem-solving competence and learning attitude. *Computers & Education*, 58(1), 351-364. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.09.020>
- Lin, C.-H., & Liu, E. Z.-F. (2011). A pilot study of Taiwan elementary school students learning motivation and strategies in robotics learning. In M. Chang, W.-Y. Hwang, M.-P. Chen, & W. Müller (Eds.), *Edutainment technologies. Educational games and virtual reality/augmented reality applications* (pp. 445-449). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-23456-9_80
- Luo, H., Zuo, M., & Wang, J. (2022). Promise and reality: Using ICTs to bridge China's rural-urban divide in education. *Educational Technology Research and Development*, 70(3), 1125-

1147. <https://doi.org/10.1007/s11423-022-10118-8>
- Melchior, A., Cohen, F., Cutter, T., & Leavitt, T. (2005). *More than robots: An evaluation of the FIRST robotics competition participant and institutional impacts*. <https://bit.ly/3vQ80w7>
- Meredith, K. S., & Steele, J. L. (2010). *Classrooms of wonder and wisdom: Reading, writing, and critical thinking for the 21st century*. Corwin.
- Mutambara, D., & Bayaga, A. (2021). Determinants of mobile learning acceptance for STEM education in rural areas. *Computers & Education*, 160, Article 104010. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.104010>
- Pertegaz, M. (2014). *Hoy hablamos con Kathia Pittí, experta en robótica educativa*. <https://bit.ly/471DWun>
- Piaget, J. (1965). *The moral judgment of the child* (M. Gabain, Trans.). Free Press. (Original work published 1932)
- Punch, K. F., & Moriarty, B. (1997). Cooperative and competitive learning environments and their effects on behavior, self-efficacy, and achievement. *Alberta Journal of Educational Research*, 43(2-3), 158-160.
- Qu, J. R., & Fok, P. K. (2022). Cultivating students' computational thinking through student-robot interactions in robotics education. *International Journal of Technology and Design Education*, 32(4), 1983-2002. <https://doi.org/10.1007/s10798-021-09677-3>
- Román-Graván, P., Ballesteros-Regaña, C., & Hervás-Gómez, C. (2019). Educational robotics and computational thinking. A didactic experience of innovation at the university level. In M. León-Urrutia, E. Vázquez Cano, N. Fair, & E. López-Meneses (Eds.), *Trends and good practices in research and teaching: A Spanish-English collaboration* (pp. 157-171). Octaedro.
- Sahin, A., Ayar, M., & Adiguzel, T. (2014). STEM related after-school program activities and associated outcomes on student learning. *Educational Sciences: Theory and Practice*, 14(1), 309-322.
- Seckel, M. J., Salinas, C., Font, V., & Sala-Sebastià, G. (2023). Guidelines to develop computational thinking using the Bee-bot robot from the literature. *Education and Information Technologies*, 28(12), 16127-16151. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11843-0>
- Sen, C., Ay, Z. S., & Kiray, S. A. (2021). Computational thinking skills of gifted and talented students in integrated STEM activities based on the engineering design process: The case of robotics and 3D robot modeling. *Thinking Skills and Creativity*, 42, Article 100931. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2021.100931>
- Theodoropoulos, A., Antoniou, A., & Lepouras, G. (2017). Teacher and student views on educational robotics: The Pan-Hellenic competition case. *Application and Theory of Computer Technology*, 2(4), 1-23.
- Toh, L. P. E., Causo, A., Tzuo, P.-W., Chen, I.-M., & Yeo, S. H. (2016). A review on the use of ro-

- bots in education and young children. *Educational Technology & Society*, 19(2), 148-163.
- Tsai, P.-S., Tsai, C.-C., & Hwang, G.-J. (2012). Developing a survey for assessing preferences in constructivist context-aware ubiquitous learning environments. *Journal of Computer Assisted Learning*, 28(3), 250-264. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2011.00436.x>
- Turner, A., Logan, M., & Wilks, J. (2022). Planting food sustainability thinking and practice through STEM in the garden. *International Journal of Technology and Design Education*, 32(3), 1413-1439. <https://doi.org/10.1007/s10798-021-09655-9>
- Turugare, M., & Rudhumbu, N. (2020). Integrating technology in teaching and learning in universities in Lesotho: Opportunities and challenges. *Education and Information Technologies*, 25(5), 3593-3612. <https://doi.org/10.1007/s10639-019-10093-3>
- van den Brink-Budgen, R. (2000). *Critical thinking for students: Learn the skills of critical assessment and effective argument* (3rd ed.). How to Books.
- Varney, M. W., Janoudi, A., Aslam, D. M., & Graham, D. (2012). Building young engineers: TASEM for third graders in Woodcreek Magnet Elementary School. *IEEE Transactions on Education*, 55(1), 78-82. <https://doi.org/10.1109/TE.2011.2131143>
- Verba, M. (1994). The beginnings of collaboration in peer interaction. *Human Development*, 37(3), 125-139. <https://doi.org/10.1159/000278249>
- Weisberg, R. W. (1998). Creativity and knowledge: A challenge to theories. In R. J. Sternberg (Ed.), *Handbook of creativity* (pp. 226-250). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511807916.014>
- Wen, J. R., & Shih, W. L. (2008). Exploring the information literacy competence standards for elementary and high school teachers. *Computers & Education*, 50(3), 787-806. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2006.08.011>
- West, M., & Vosloo, S. (2013). *UNESCO Policy guidelines for mobile learning*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- Whittier, L. E., & Robinson, M. (2007). Teaching evolution to non-English proficient students by using LEGO robotics. *American Secondary Education*, 35(3), 19-28.
- Wu, D., Zhou, C., Liang, X., Li, Y., & Chen, M. (2022). Integrating technology into teaching: Factors influencing rural teachers' innovative behavior. *Education and Information Technologies*, 27(4), 5325-5348. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10815-6>
- Xia, L., & Zhong, B. (2018). A systematic review on teaching and learning robotics content knowledge in K-12. *Computers & Education*, 127, 267-282. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.09.007>
- Yang, H. H., Zhu, S., & MacLeod, J. (2018). Promoting education equity in rural and underdeveloped areas: Cases on computer-supported collaborative teaching in China. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(6), 2393-2405. <https://doi.org/10.29333/>

ejmste/89841

- Yang, J., Yu, H., & Chen, N.-s. (2019). Using blended synchronous classroom approach to promote learning performance in rural area. *Computers & Education, 141*, Article 103619. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103619>
- Yang, Y.-T. C., Chuang, Y.-C., Li, L.-Y., & Tseng, S.-S. (2013). A blended learning environment for individualized English listening and speaking integrating critical thinking. *Computers & Education, 63*, 285-305. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.12.012>
- Yeh, Y.-C., & Ting, Y.-S. (2023). Comparisons of creativity performance and learning effects through digital game-based creativity learning between elementary school children in rural and urban areas. *British Journal of Educational Psychology, 93*(3), 790-805. <https://doi.org/10.1111/bjep.12594>
- Zhang, Y., Luo, R., Zhu, Y., & Yin, Y. (2021). Educational robots improve K-12 students' computational thinking and STEM attitudes: Systematic review. *Journal of Educational Computing Research, 59*(7), 1450-1481. <https://doi.org/10.1177/0735633121994070>

Determinants of Key Competencies for Problem-Based STEM Robotic Education in Rural Areas

Yen-Han Chen and Chiu-Lin Lai*

Department of Education, National Taipei University of Education

Abstract

STEM robotic education can lead students to adopt interdisciplinary knowledge and programming skills to solve problems and foster their key competencies. However, there needs to be more research assessing the overall performance of students in key competencies, including problem-solving, collaboration, critical thinking, and creativity, especially regarding the perspectives of students from rural schools. Therefore, this study aimed to investigate the impact of problem-based STEM robotic courses on rural school students' key competencies. The study included 470 students from various junior high schools in Taiwan, all of whom participated in an 18-week STEM robotic course. The participants completed a key competencies tendency questionnaire before and after the courses. The validity of the questionnaire was confirmed using confirmatory factor analysis, and paired-sample *t*-tests were conducted to examine the performance of key competencies before and after the students' learning activities. Additionally, structural equation modeling was employed to compare the correlations of key competencies before and after the students' learning activities. The study's results revealed that students' problem-solving and creativity tendencies increased significantly after the learning activity. On the other hand, the results of the structural equation analysis showed that students' collaborative learning tendency positively predicted their creativity tendency after the learning activity. Based on the research results, this study confirmed the predictive effect of STEM robotic courses on rural school students' creativity and suggested that future related courses can provide more opportunities for problem-based collaboration and negotiation.

Key words: STEM Education, Structural Equation Model, Robotic Education, Key Competencies

* Corresponding author: Chiu-Lin Lai, jolen761002@gmail.com; ORCID: 0000-0003-1410-3732

Received: 2023/5/31, Revised: 2023/9/14, Accepted: 2023/9/19, Available Online: 2024/1/29