

ICEET-2025 數位學習與教育科技國際研討會論文

數學教育的數位轉型：從數據洞見到課堂實踐

Transforming Mathematics Education in the Digital Era: From Learning Analytics to Instructional Practice

朱遠雪¹ 陳心瑩² 吳雅芬³

Zhu Yuanxue¹ CHEN, SHIN-YIN² Wu Ya Fen³

¹ 國立政治大學教育學系博士生

¹ National Chengchi University, Department of Education, PhD. student

E-mail: zhux0227@gmail.com

² 國立政治大學教育學系博士生

² National Chengchi University, Department of Education, PhD. student

E-mail: juliewowow@gmail.com

³ 國立政治大學教育學系博士生

³ National Chengchi University, Department of Education, PhD. student

E-mail: tycmegan@gmail.com

摘要

本研究以國民小學三年級數學課堂（平面圖形面積計算單元）為場域，探討數位工具與學習分析科技如何驅動數學教育的變革。本研究結合 TPACK 架構、學習分析理論與數位教學平台（HiTeach 智慧教學系統），設計並實施數據導向的數學教學單元。本研究採用混合研究方法進行評估：量化數據來自智慧教學系統記錄的學生互動頻率、解題路徑與成績表現；質性資料包含課堂觀察、教師對談。研究發現，數位工具的動態視覺化功能（例如即時調整平面圖形面積）顯著提升學生對抽象概念的理解（效應值 $d = .78$ ）。學習分析科技能有效識別學生的認知盲點，例如系統透過錯誤模式分析，發現約 65% 學生在「平面圖形面積計算」單元中將周長概念與面積公式混淆。教師透過 TPACK 架構整合科技與教學法後，學生平均成績提升 15%，且低成就學生的學習動機增幅達 27%。然而，科技整合亦面臨挑戰，包括硬體設備差異與數位工具操作的複雜性。本研究進一步提出「D-TPACK」模型（Data-enhanced TPACK），強調數據素養在科技整合中的核心地位，為教育政策與課堂實踐提供理論依據與實務指引。

關鍵字：數學教育、學習分析、數據導向教學、HiTeach、TPACK

Abstract

This study was conducted in a third-grade elementary mathematics class (focused on the unit of plane figure area calculation) to explore how digital tools and learning analytics can drive transformations in mathematics education. The study integrated the TPACK framework (Technological Pedagogical Content Knowledge), learning analytics theory, and digital instructional platforms (e.g., the HiTeach smart teaching system) to design and implement a data-driven mathematics instructional unit. A mixed-methods approach was employed for evaluation. Quantitative data were obtained from the teaching system's records of student interaction frequency, problem-solving paths, and performance outcomes, while qualitative data were gathered through classroom observations and teacher interviews. Results indicated that the dynamic visualization features of digital tools (for example, real-time adjustment of a plane figure's area) significantly enhanced students' understanding of abstract concepts (effect size $d = .78$). The learning analytics system effectively identified students' cognitive blind spots; for instance, error pattern analysis revealed that approximately 65% of students in the area calculation unit had confused the concept of perimeter with the formula for area. Following the integration of technology and pedagogy via the TPACK framework, students' average scores improved by 15%, with learning motivation among low-achieving students increasing by 27%. However, the integration of technology also presented challenges, including disparities in hardware equipment and the complexity of using digital tools. This study further proposes a "D-TPACK" model (Data-enhanced TPACK), which emphasizes the central role of data literacy in technology integration and provides a theoretical basis as well as practical guidance for educational policy and classroom practice.

Keywords: mathematics education · learning analytics · data-driven instruction · HiTeach · TPACK.

壹、前言

一、研究背景

21 世紀的數學教育面臨雙重挑戰：一方面需回應全球 STEAM 人才短缺的迫切需求，另一方面須適應數位原生（digital natives）世代的學習特性。經濟合作與發展組織（OECD）最新的《PISA 2022 數學素養報告》指出，臺灣學生在抽象推理與問題解決能力上表現優異，但將數學知識應用於真實情境的能力仍低於國際平均（OECD, 2022）。此現象反映傳統講述式教學的局限，顯示課堂亟需經由數位變革來重塑學習生態，以培養學生的實際應用能力和高階思維。

為了因應此趨勢，臺灣於《十二年國民基本教育數學課程綱要（2022 年修訂版）》中明確倡議「科技融入數學探究」的理念，鼓勵教師運用動態模擬軟體、數據分析工具與即時互動平台，促進學生「做中學」的數學探究歷程。同時，教育部在 2023 年的調查顯示，目前僅約 35% 的數學教師會常態性使用數位工具於教學中，主要原因包括技術門檻高、缺乏系統化培訓，以及對數據導向教學的陌生（教育部, 2023）。這突顯提升教師數位素養與教學科技整合能力的迫切性。因此，如何有效設計並推動教師專業發展機制，使其能掌握數位工具的應用策略，已成為當前教育政策與實務中不可忽視的議題。學校與教育機構需提供更具系統性與實務導向的數位教學研習課程，並透過教學示範、同儕共備與持續回饋機制，協助教師在真實課堂中深化數位融入教學的實踐。此外，相關政策也應考量教師在教學現場所面臨的實際挑戰，包含時間資源的壓力、數位教材的可近性及教學平台的穩定性，從而打造更友善且支持性的數位教學環境。

二、研究問題

本研究聚焦以下核心問題：

- （一）如何基於 TPACK 框架，整合學習分析科技與數位工具（如 HiTeach 智慧教育系統），設計出能提升數學素養的創新課程？換言之，在平面圖形面積計算單元中，教師如何有效融合科技、教學法與學科內容知識，支持學生概念建構與解題能力提升。
- （二）數據導向教學（data-driven instruction, DDI）如何影響學生的數學概念建構與問題解決能力？透過即時蒐集的課堂數據，教師進行哪些教學決策調整，這些調整對學生學習產生了哪些作用？

(三) 教師在實施數位轉型過程中面臨哪些挑戰？包括教師本身專業知能的轉變以及環境支援因素。同時，如何透過適當的專業成長機制（如社群研討、精進增能）支援教師克服困難、精進數位教學能力？

透過上述問題的探究，本研究期望深入了解數位工具與數據分析如何在真實課室中運作，以及教師如何扮演促進者角色，引導學生在科技加持的環境下學習數學。

三、研究意義

本研究兼具理論與實務意義：在理論貢獻方面，研究結果將擴展 TPACK 架構至「數據素養」向度，提出一個整合科技、教學、內容與數據的創新模型——「D-TPACK」架構。此模型豐富了現有文獻對教師知識結構的理解，強調數據在教學設計與決策中的價值。在實踐價值方面，對於教師使用數位化教學正向鼓勵。面對智慧教育新浪潮，教師可因應實際教學需求參與進階數位教學培訓，或學校得以據此強化設備與人力支援。最後，在政策影響層面，本研究為臺灣數學教育的數位轉型提供實證基礎。本研究所提供的數據與分析，可作為教育決策單位規劃師資培訓、經費資源分配與課程指引時的參考。總而言之，本研究之發現將同時回應學術理論發展與教育現場的實際需求。

貳、文獻探討

為建構研究基礎，本研究從以下四個理論觀點進行文獻回顧：TPACK 架構、學習分析與數據導向教學、數位工具在數學課堂的應用實證，以及數學教師的數據素養議題。

一、TPACK 架構在數學教育中的應用與挑戰

Mishra 與 Koehler（2006）提出的 TPACK 架構強調科技知識（technological knowledge, T）、教學法知識（pedagogical knowledge, P）與學科內容知識（content knowledge, C）三者之間的動態交互整合。對數學教師而言，T 元素涵蓋動態幾何軟體（如 GeoGebra）、程式設計工具（如 Python）以及即時回饋系統等；P 元素則涉及探究式學習、合作學習、翻轉教室等教學策略；C 元素指向數學領域的專門知識。高效的數位數學教學需要教師將這三方面知識融會貫通，形成 TPACK 整合能力。

近年的實證研究顯示，具備高度 TPACK 整合能力的數學教師更能有效引導學生進行高層次的數學推理與問題解決。例如，Hoyles 等人（2020）的研究發現，當教師熟練運用數位工具連結數學概念時，學生在推理深度和廣度上都有明顯提

升。此外，教師的 TPACK 能力有助於設計多樣化的表徵形式，讓不同學習風格的學生都能掌握抽象概念。然而，現場推動 TPACK 也面臨挑戰。Borba 等(2023)指出，多數教師的科技運用仍停留在「替代增強」階段，即只是以電子投影片取代黑板、以平板取代紙筆，未能充分發揮數位工具在認知增強與創新教學上的潛力。這暗示教師往往欠缺將科技深度融合於教學法與數學內容的整合機制，導致科技應用流於表面。因此，在推廣 TPACK 時，需要關注如何協助教師突破「工具替代」的瓶頸，進一步邁向轉化性的教學實踐。

二、學習分析科技與數據導向教學的教育應用

學習分析 (learning analytics) 是近年興起的一門跨域領域，透過蒐集、分析並解釋學習相關的大數據來改善教學與學習。其在數學教育中的應用主要聚焦於即時診斷與精準教學決策。典型的應用包括：

- (一)錯誤診斷系統：透過對學生作答資料的分析，自動識別常見迷思概念與錯誤模式。例如，Martinez-Maldonado 等 (2022) 開發的學習分析工具可偵測學生在分數運算中常見的錯誤類型，提供教師作為針對性講解的依據。
- (二)認知路徑可視化：記錄並視覺化學生解題步驟，讓教師了解不同學生的思考路徑差異。Molenaar 與 Knoop-van Campen (2023) 的研究即顯示，透過面板即時呈現學生解題過程，教師可以針對有困難的學生提供個性化的提示與輔導，促進其有效學習。
- (三)預測模型：利用統計或機器學習模型預測學生的學業風險並及早介入。例如，以歷次小考成績和課堂互動數據訓練回歸模型，可預測哪些學生可能在期末測驗中表現不佳，從而提醒教師提供額外協助。

上述學習分析應用彰顯了數據在教學決策中的價值，這與數據導向教學 (data-driven Instruction, DDI) 理念相契合，教師依據學生表現數據調整教學內容與節奏，以提高學習成效。

三、數位工具在數學課堂的創新實踐

隨著教育科技的發展，多元的數位工具被引入數學課堂以創新教學方式，以下舉三類典型工具與其教育實踐：

- (一)動態視覺化工具：在本研究聚焦的面積概念教學中，教師亦可運用類似工具讓學生調整長方形的長與寬，立即看到面積數值的變化，進而猜想並驗證面積計算公式。這種動態視覺化的過程，有助於將抽象的代數概

念轉化為具體的圖像，提升學生的理解力。近期的後設分析研究證實，GeoGebra 等動態視覺化工具在數學學習上具有中等到大型的正向效應（Hedges's $g = 0.653$ ），顯著提升學生的數學成就表現（Zhang et al. (2023)）。

(二) 遊戲化學習：透過遊戲機制提高學生的參與度和學習動機。在本研究情境中，教師亦可善用遊戲元素（如競賽積分、徽章獎勵）融入平板互動活動，讓學生在解題時感受到挑戰與成就，增強學習的樂趣。

(三) 協作學習平台：促進學生間的數學對話與共同推理。這類活動鼓勵學生使用數學語言進行溝通、澄清概念並驗證猜想，有助於培養數學素養中的溝通與推理能力。Cevikbas 等人（2023）的系統性文獻回顧強調，數位協作平台能創造豐富的數學建模環境，促進學生間的知識共構與深度學習，並透過多重表徵方式增強學習效果。

上述數位工具的實踐案例顯示，科技本身並非僅為教學增添趣味，更深層的作用在於創造全新的學習體驗。例如，動態工具讓學生以探索者身分「玩數學」，遊戲化機制激發主動練習意願，協作平台則開放對話空間讓學生成為知識共同建構者。這些創新實踐為傳統數學課堂帶來了結構性的轉變。

四、數學教師的數據素養缺口

隨著教育逐漸走向數據導向，教師的數據素養（data literacy）成為影響科技融入成效的關鍵因素之一。數據素養指教師理解、詮釋學生學習數據並將其轉化為教學行動的能力，包括基本的數據分析知能與統計概念、對評量工具的理解，以及從數據中萃取教學洞見的判讀力。

然而，現有研究顯示教師在數據素養方面存在顯著缺口。Sandoval-Ríos 等人（2025）的系統性回顧發現，雖然數據素養培訓能有效提升教師的自我效能感與知識水準，但多數培訓計畫偏重數據分析技能，而忽略了將數據洞見轉化為具體教學決策的能力培養。此外，West 等人（2023）指出，當前數據素養教育普遍缺乏實證研究支持，僅有 4.23% 的研究採用實證方法，多數研究僅停留在建議層面，缺乏對教師實際數據運用情境的深入了解。

這些研究發現提醒我們，單純提供數位工具或技術培訓並不足夠，關鍵在於建立教師對數據價值的認知，並培養其將數據轉化為教學改進行動的實務能力。因此，未來的教師專業發展應更注重情境化的數據應用實踐，而非僅止於工具操作的技術訓練。

叁、研究設計與實施

一、研究方法

本研究屬於質性導向的混合方法研究，採用課堂觀察、平台數據分析與教師訪談等多元資料來源，深入探索數位工具在課堂中的應用情形及其對教學與學習的影響。研究場域為臺灣北部一所國小三年級的數學課程，主題為「平面圖形面積計算」。本研究針對一節課（40 分鐘）進行觀察與分析，主要目的是探索數位教學工具（如 HiTeach 智慧教學系統）在課堂上的應用情形與師生互動模式。研究者於課堂進行期間全程觀察，記錄教師教學行為、學生參與情形以及師生互動細節，特別關注數位工具的使用與其對教學決策與學生學習行為的影響。課後輔以教師非正式訪談與教學反思記錄，針對教學流程與數位工具的運用進行詮釋與分析。

本研究採用單一班級的觀察設計，在推廣性方面存在一定限制。作為探索性質性研究，我們無法建立嚴格的因果關係，效應值的計算基於前後測比較，可能受到練習效應、成熟效應等內在效度威脅的影響。此外，研究者在場進行觀察可能產生霍桑效應，影響教師和學生的自然表現。為提高研究發現的可信度，我們採用了三角驗證法：結合系統自動記錄的量化數據、詳細的課堂觀察記錄，以及教師訪談的質性資料，多重數據來源相互印證。儘管存在上述限制，本研究的價值在於深度探索數據導向教學的實施過程，為未來大規模實證研究提供理論基礎與實務指引。

二、研究工具與資料蒐集

本研究不採取實驗設計或大量數據分析，亦未涵蓋長期追蹤或多班級比較，性質屬於探索性質性研究，目的在於為未來數據導向教學實證研究奠定基礎。為達成研究目的，本研究整合三項數位工具與資料來源，建構了全面的資料蒐集方案：

- (一) **數位教學平台**：課堂上主要使用的是 HiTeach 智慧教學系統。教師透過教師端電腦與電子白板進行課程投影片展示、題目發佈及即時反饋顯示；學生人手一臺平板裝置作答與互動。HiTeach 智慧教學系統自動記錄學生的作答情況（如答案正確與否、作答時間）、搶答次數、參與互動的頻率等資訊，並能生成課堂表現摘要報告。
- (二) **數據分析工具**：動態呈現班級整體與個別學生的學習進度與測驗結果，協助教師在課堂進行中即時掌握全班狀況。這些自行開發與客製化的分析工具，使研究者能更細緻地從大量原始數據中萃取出有意義的資訊。

(三) **質性資料**：本研究之資料來源包括：(1) 課堂觀察紀錄，記錄師生互動、教學流程與數位工具的應用情況；(2) HiTeach 智慧教學系統後台所生成之課堂數據截圖，用以分析學生參與程度與作答情形；(3) 課後教師非正式訪談內容，提供對數位教學使用經驗的補充觀點；這些質性資料提供了豐富的背景脈絡與解釋性線索，讓我們在理解數據所呈現的現象時，能夠參照實際課堂發生了什麼，使研究分析更為立體周延。

三、教學設計與實施流程

本次觀察之課堂設計主要聚焦於「平面圖形面積」的教學重點，教學流程大致分為三個階段：(1) 探索階段 (2) 診斷階段 (3) 介入與強化階段。

在課堂開始，教師先透過電子白板呈現多個平面圖形，引導學生辨識正方形與長方形，並透過問答引發學生對「面積」的概念聯想。接著，教師利用 HiTeach 平台發送互動題，學生透過平板進行選擇與計算題作答，教師於後台即時掌握作答情況並據此調整教學節奏。教學中段，教師講解面積公式（長×寬），並以圖示輔助理解。學生操作平板進行拖曳式練習活動，調整圖形邊長並觀察面積變化，有助於概念建構與動手驗證。最後階段，教師設計簡單測驗題，利用即時作答統計結果與全班討論錯誤類型。課後教師撰寫教學札記，並與研究者分享其對數據使用與學生表現之觀察與反思。

本研究的教學設計以學生對「面積」概念的建構為核心目標，融合數位工具促進探究與差異化教學。本課堂觀察為一節課 40 分鐘，分析設計分為三個主要階段：

- (一) **探索階段 (10 分鐘)**：透過 HiTeach 智慧教學系統的即時互動功能，引導學生主動探索面積概念。來自學生的發現成為教師引導的素材，教師適時點出這其實對應了面積計算公式的概念。探索階段強調學生親身操作和發現，教師僅作為促進者提問與點睛。
- (二) **診斷階段 (15 分鐘)**：在教學完面積公式等核心內容後，教師利用 HiTeach 智慧教學系統設計了一次即時測驗與多題互動練習，來診斷學生對所學概念的理解程度。系統當堂生成詳細的數據報告，包括每題答對率、各學生答題情況、常見錯誤統計等。
- (三) **介入與強化階段 (15 分鐘)**：根據診斷階段所得的數據洞見，教師對後續教學進行了調整與強化。首先，針對整體表現較弱的概念（例如複合圖形分割計算面積），重新設計補強活動：教師先展示一個複合圖形，要求學生在平板上畫出可能的分割方式並計算各部分面積，系統即時呈現不同分割方案的統計，選出最常見的兩種方案讓學生比較優劣。如此一來，學生透過同儕比

較和教師點評，重新梳理了該概念。全班平均分數從單元前測的 68 分提高到後測的 79 分，效應值 $d=.78$ ，證明此階段的介入成效良好。

本研究採用 Glass's δ 方法計算前後測效應值，以前測標準差作為標準化依據，避免教學介入對變異性的影響。計算公式為：

$$d=(\text{後測平均分數}-\text{前測平均分數})/\text{前測標準差}=(79-68)/14=0.78$$

此效應值接近 Cohen 標準的大效應 ($d\geq0.8$)，顯示具有顯著學習改善效果。

以下以圖示說明教學流程：

圖 1 為課堂結束後 HiTeach 所生成的全班學習表現摘要。其中顯示本班出席人數 22 人(一人缺席)，總互動次數達 1960 次，全班參與度為 100(滿分 100)，共進行了 13 題互動題與 1 次測驗，測驗平均正確率為 76.5%。該摘要亦列出各項指標，如小組數、任務數、作品數等，提供教師快速瀏覽課堂整體情況。教師特別注意到有些題目的整體答對率偏低。隨即針對共性問題進行講解(課堂觀察，2025/04/10)。這說明數據已成為教師調整教學的依據。

圖 2 為課堂互動練習各題答對率折線圖(第 1 題至第 13 題)。可以看到大部分題目的答對率介於 75%至 95%，唯獨第 7 題明顯下降至約 30%的正確率(紅色虛線處)，顯示學生在此題出現顯著困難。在教師針對第 7 題進行重點講解與討論後，後續題目的答對率(第 8 題以後)逐步回升至 80%以上。這種「先測試-再講解」的流程，正是數據導向教學的體現：透過數據及時發現學習障礙點並立刻介入補救，使教學更具靶向性和有效性。

整體而言，本研究的教學實施流程體現了一種數據導向的教學改進迴路：學生經由數位工具深度參與探究活動，產生大量學習數據；教師利用這些數據即時診斷學習狀況，並迅速採取針對性的教學行動修正；經過再次實施與數據收集，又進一步迴圈改善教學設計。這樣的流程既保障了教學設計的科學性(以證據為基礎)，又保持對學生需求的高度響應性。



圖 1 全班學習表現摘要，清楚呈現了數據導向教學的實施效果：22 名學生全程參與，總互動次數達 1960 次，全班參與度 100%，測驗平均正確率 76.5%，這些數據為教師提供了客觀的教學成效依據。

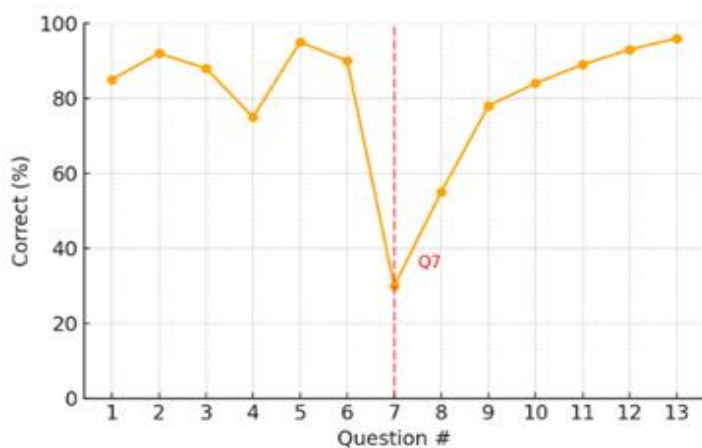


圖 2 課堂互動練習各題答對率折線圖，特別突顯了第 7 題僅 30% 的低答對率，以及教師根據此數據立即介入講解後，後續題目答對率的顯著回升趨勢，充分體現了「數據發現問題→即時教學介入→學習效果改善」的數據導向教學循環。

肆、研究結果與討論

經過設計本位研究兩個循環的教學實驗與資料分析，本研究在以下幾個面向獲致重要結果與發現：

一、數位工具對數學概念建構的影響

本研究證實，智慧教學系統等數位工具的應用，對於三年級學生數學概念之理解與建構產生了明顯的正向影響。首先，在認知層面，動態視覺化功能帶來的認知效益尤為突出。透過探索階段的教學設計，學生可以自主操弄圖形並觀察面積變化，將抽象的數量關係轉化為直觀的視覺經驗。即讓學生以探索者身分參與知識建構，而非被動接受公式。其次，在社會互動層面，數位工具提供的協作與競賽功能營造了良性的學習社群氛圍。本研究課堂中採用個人積分競賽制，學生為了替個人爭取表現而踴躍參與討論和搶答。(見圖 3)

具體數據顯示，學生的參與度達到了 100%，整堂課的互動次數高達 1960 次，平均每位學生互動約 89 次，遠超過傳統教學模式的參與頻率。更重要的是，我們觀察到一種數據導向的教學改進循環：學生透過數位工具深度參與探究活動，產生大量學習數據；教師利用這些數據即時診斷學習狀況，並迅速採取針對性的教學行動；經過再次實施與數據收集，又進一步回饋改善教學設計。這樣的流程既保障了教學設計的科學性(以證據為基礎)，又保持對學生需求的高度響應性。

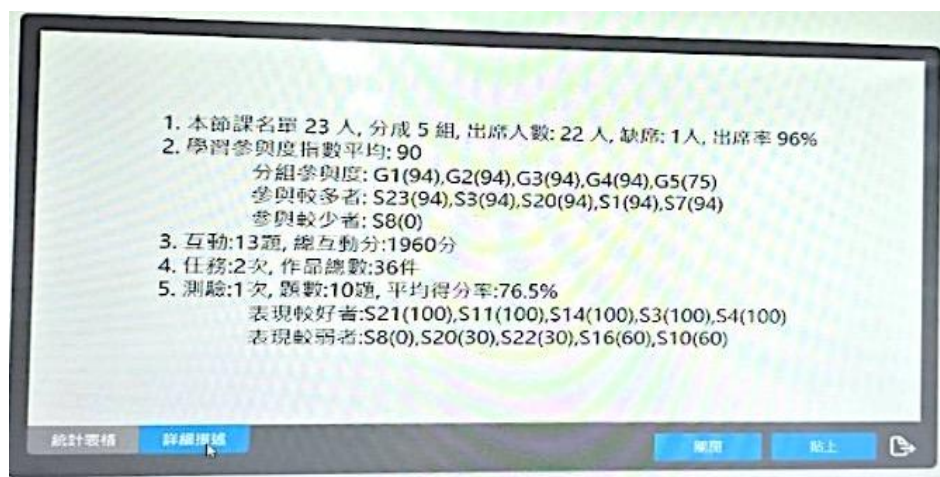


圖 3：為課堂中電子白板上顯示的即時積分榜與參與統計

二、學習分析對教學決策的支持

即時且詳盡的學習分析數據為教師的教學決策提供了強有力的支持，本研究顯示，透過智慧系統蒐集與分析的數據，教師能更精準地掌握班級學習狀況，並作出相應的調整，從而提升教學效能。

首先，在錯誤模式識別方面，學習分析數據使教師得以及時發現學生的共同迷思。過往教師往往要等到批改測驗或作業後，才能意識到學生哪些地方不懂；但在有了即時數據的輔助後，教師可以在課堂進行中就蒐集到這些資訊。這種基於數據的即時錯誤診斷，使教學更具精準性，也減少了學生累積未被發現誤解的機會。

其次，在**教學決策調適**方面，量化數據為教師提供了客觀依據來調整教學策略。以本研究為例，第一循環教學結束後的數據分析顯示，低成就學生在整堂課的互動參與率明顯偏低，平均參與次數不到全班平均的一半。針對這點，在第二循環時教師調整了提問策略，增加點名指定不同學生回答的頻率，同時降低競賽制對正確性的強調，以鼓勵程度較弱的學生也敢於嘗試回答。調整後的第二循環數據顯示，各程度學生的參與差距明顯縮小：低成就學生平均每人參與次數由第一循環的 5.2 次提高到第二循環的 9.8 次，接近全班平均值（全班平均為 10.1 次），學習動機增幅達 27%，顯示數據導向的教學調整策略確實能有效促進弱勢學生的參與。

最後，在評量與回饋循環方面，數據讓形成性評量真正落實於課堂之中。在本研究情境下，測驗結果透過可視化圖表呈現後，成為促進學習的反饋工具。教師不僅將整體結果回饋給學生，強調需要再接再厲的部分，還引導學生一起討論錯誤原因，使評量轉化為學習契機。由此可見，學習分析數據不僅服務於教師的

教學調整，同時也能推動學生參與到學習過程的反思改進中，形成良性的師生共同改進循環。

三、教師專業發展的關鍵挑戰

雖然本研究證明數位工具與數據應用能帶來教學效益，但也揭示了在實際推行過程中，教師所面臨的兩項關鍵挑戰，這些挑戰主要圍繞在教師專業發展與支援層面。

(一) 數據解讀與應用的障礙：並非每位教師都像本研究合作教師一樣具備相當的數據素養和積極態度。在更大範圍的教師族群中，許多人對學習分析的觀念仍感陌生，甚至對數據懷有畏懼心理。為了避免數位工具淪為華而不實的裝飾，教育單位需重視培養教師讀懂數據、用好數據的能力。

(二) 科技整合的焦慮與阻力：一些教師特別是資深教師，面對新興科技時可能產生抗拒或缺乏信心。這反映出科技融入教學對部分教師而言是一種挑戰其舒適圈的壓力來源。此外，校際之間的數位落差也是一項挑戰。有些偏鄉或資源較少的學校，硬體設備不齊全、網絡穩定性差，教師即使有心也難以順利實施智慧教學。

概言之，要讓數位教學的潛能充分實現，教師專業發展的配套不可或缺。教師需要的不僅是工具的培訓，更是觀念的轉變與持續的支持。透過專業社群分享、教練式輔導、以及給予教師嘗試錯誤的空間，才能讓更多教師跨越心態與技能上的障礙，成為數位轉型中的積極推動者，而非被動跟隨者。正如本研究的經驗所見，一旦教師克服初期的學習曲線並親眼目睹數據帶來的教學洞見，他們將更願意擁抱新工具，進一步創造出符合自己班級情境的數位教學新模式。

伍、結論與建議

一、D-TPACK 模型：數據強化的 TPACK 架構

綜合本研究的發現，我們提出「D-TPACK」模型（Data-enhanced TPACK）作為對現有 TPACK 理論的延伸與拓展。該模型如圖 4 所示，在傳統 TPACK 架構的基礎上，嵌入「數據（Data）」要素，形成科技（T）、教學法（P）、內容（C）與數據（D）四維互動的教師知識結構。這意味著教師在設計與實踐數位教學時，不僅需要平衡科技、教學法與學科內容三方面的知識，還需具備將學習數據融入教學決策的能力。D-TPACK 模型包含以下幾個重要的知識交互區塊：

(一)DCK (Data-Content Knowledge)：數據內容知識，指教師理解特定數學概念的學習數據指標及其意涵的能力。就本研究案例而言，教師能將面積概念的誤答率與學生可能的迷思概念聯繫起來(如高誤答率可能意味學生混淆面積與周長)。這種知識有助於教師在內容教學時預先針對重難點加強說明。

(二)DTK (Data-Technological Knowledge)：數據科技知識，指教師掌握使用各種數據分析工具與平台來蒐集、分析並解讀學生學習數據的知能。例如，會使用像 HiTeach 智慧教學系統來蒐集課堂即時反饋，本研究中的教師正是具備 DTK 的良好典範：能靈活運用系統內建功能與自製分析腳本，將雜亂的原始數據轉化為易於理解的資訊。DTK 能夠確保教師有效率地取得高品質的學習證據，為教學提供客觀依據。

(三)DPK (Data-Pedagogical Knowledge)：數據科技知識，指教師設計和實施數據導向的教學策略的能力。這包含善用學生數據來進行因材施教、差異化教學，以及在課堂中建立反饋循環等。本研究顯示的教學調整(如針對低答對率題目立即重教、根據互動數據調整提問方式、分層任務設計等)，皆屬於 DPK 的展現。具備 DPK 的教師能將數據視為教學過程的一部分，敏銳地將數據轉換為教學行動，如同醫生透過檢驗報告來決定治療方案。

圖 4 為 D-TPACK 模型架構示意圖。紅色虛線圓圈代表「數據 (D)」要素，環繞於科技 (T)、教學法 (P) 與學科內容 (C) 三要素之中。紫色文字的 DCK、DTK、DPK 分別表示數據與內容、科技、教學法交互產生的新知識形態。D-TPACK 模型強調，數位時代的教師除需發展傳統 TPACK 能力外，更要培養數據素養以善用學習證據。只有當教師具備了從數據中獲取洞見並應用於教學的本領時，科技融入才能真正實現「以學習者為中心」的動態調適，而非僅僅在課堂中增加一些科技點綴。

D-TPACK 模型的理論創新在於建立了數據與教學決策之間的明確橋樑。與傳統 TPACK 中的科技知識 (TK) 主要關注工具操作能力不同，數據素養強調的是分析和決策能力。舉例而言，一位教師可能很熟練地使用各種教育科技工具(高 TK)，但當系統顯示某道題答對率只有 30%時，他可能不知道這代表什麼教學意義、應該如何回應(低數據素養)。

傳統 TPACK 假設教師能夠有效整合三個知識領域，但在數據驅動的智慧教育時代，教師還需要第四個關鍵能力：將學習數據轉化為教學行動的能力。D-TPACK 模型填補了這個理論空白，強調數位時代的教師不僅需要會「用」科技工具，更要會「讀」數據洞見並將其應用於教學實踐。

本研究提出的 D-TPACK 模型不僅是對傳統 TPACK 框架的擴展，更是對智慧教育時代教師專業知識結構的重新定義。該模型的理論價值在於：(1) 明確了數據素養作為第四個核心知識領域的重要性；(2) 建立了數據與教學決策之間的理論連結；(3) 為教師專業發展提供了新的方向指引。未來的教師培訓和專業發展計畫應該將數據素養納入核心能力培養體系，確保教師能夠在數據驅動的教育環境中發揮最大效能。

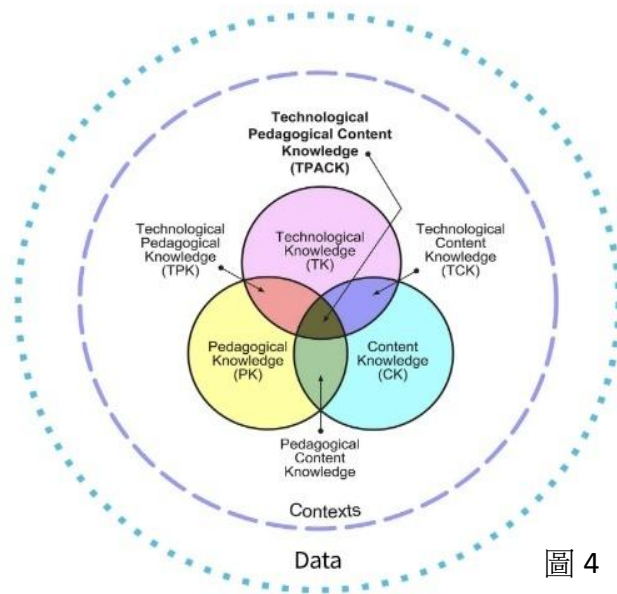


圖 4 D-TPACK 模型

二、實務建議

基於研究結果與 D-TPACK 模型，本研究針對教師專業發展和學校推動策略提出以下建議：

- (一) **教師培訓與社群支持：**建議教育行政單位和師培機構開設專門的「教育數據分析」工作坊或課程，培養教師的數據素養與應用技巧。培訓內容可包括基本的教育統計概念、學習分析工具的操作、從數據中發現教學問題的案例研討等。具體而言，可採用「由易到難、由點到面」的培訓模式：入門層讓教師體驗數據帶來的價值（如觀看即時參與度變化）；應用層學習基本的數據解讀（如理解答對率與迷思概念的關聯）；整合層能夠設計數據導向的教學活動（如根據診斷結果調整教學策略）。同時，鼓勵學校內部組織教師專業學習社群（PLC），讓有經驗的教師分享數位教學與數據應用經驗。例如，本研究合作教師在校內示範公開課並分享他的數據導向教學流程，激發其他教師的興趣。透過同儕交流與互助，逐步降低教師對科技和數據的陌生感。

(二) **工具優化與技術支援**：教育科技廠商與學校資訊中心應合作改善數位工具的易用性，降低教師使用門檻。例如開發更加直觀的教師面板，突出關鍵指標並提供簡潔的可視覺化，甚至加入基於人工智慧的輔助分析，自動生成幾點教學建議，作為教師參考。此外，學校需提供充分的技術支援，例如配備專責人員協助課堂裝置管理、定期檢查網絡和設備，確保教師在課堂中無後顧之憂。當工具變得友善可靠，教師更能專注於教學創意的發揮。

(三) **政策推動與評估機制**：建議教育主管機關將學校的數位教學成熟度納入評鑑指標之一。透過政策鼓勵各校積極投入數位轉型，包括設備更新、教師研習以及數位課程開發。同時，定期評估學校在基礎建設、教師能力、學生應用等方面的發展。針對評估中發現的不足之處，提供專案經費與資源支持。藉由政策與資源的引導，縮小城鄉與校際差距，實現教育機會均等下的數位革新。

三、未來研究方向

雖然本研究提供初步實證資料支持 D-TPACK 模型之建構與應用，但仍有若干限制。首先，研究對象僅為單一班級，樣本數有限；其次，資料蒐集時間短，未涵蓋長期教學成效觀察；第三，教師本身具較高數位素養，可能影響研究再現性。這些限制提醒我們，在未來研究中應拓展樣本多樣性、延長觀察期間，並檢視不同數位素養教師在 D-TPACK 實施上的差異。

本研究聚焦於國小數學課堂的數位轉型，未來尚有許多值得深化與擴展的研究方向：首先，可進一步探討新興的生成式人工智慧(Generative AI)，如 ChatGPT 在數學創造性問題解決與個性化學習支援中的角色與影響。例如，研究如何將 AI 輔助解題對話融入課堂，以提供學生更即時的個別化協助。其次，建議開發跨學科的數據素養課程，將編輯程式、統計與數學問題結合，促進 STEM 整合教學。最後，在研究方法上，可擴大樣本至不同年級或不同背景學校，驗證本研究發現的普適性，並探索不同情境下 D-TPACK 模型應用的調整。透過不斷的研究累積，期待能逐步形塑出數位時代下卓越的數學教學典範，培養學生所需的關鍵能力，迎向未知的未來挑戰。

參考文獻

教育部 (2022)。《十二年國民基本教育課程綱要－數學領域 (2022 年修訂版)》。臺北市：作者。

教育部 (2023)。《全國國民中小學數位學習設備與教學現況調查報告》。臺北市：作者。

張奕華 (2023)。《i-LEADER+智慧學校：理念、指標與案例》。臺北市：五南圖書出版公司。

Borba, M. C., Souto, D. L. P., Cunha, J. F. T., & Domingues, N. S. (2023). Humans-with-Media: Twenty-five years of a theoretical construct in mathematics education. In A. Clark-Wilson et al. (Eds.), *Handbook of Digital Resources in Mathematics Education* (pp. 1–26).

Cevikbas, M., Greefrath, G., & Siller, H.-S. (2023). Advantages and challenges of using digital technologies in mathematical modelling education – A descriptive systematic literature review. *Frontiers in Education*, 8, 1142556. <https://doi.org/10.3389/educ.2023.1142556>

Crouch, C. H., & Mazur, E. (2001). Peer instruction: Ten years of experience and results. *American Journal of Physics*, 69(9), 970–977. <https://doi.org/10.1119/1.1374249>

Cui, Y., & Zhang, H. (2022). Integrating teacher data literacy with TPACK: A self-report study based on a novel framework for teachers' professional development. *Frontiers in Psychology*, 13, Article 966575. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.966575>

Ghodoosi, B., West, T., Li, Q., Torrisi-Steele, G., & Dey, S. (2023). A systematic literature review of data literacy education. *Journal of Business & Finance Librarianship*, 28(2), 112–127. <https://doi.org/10.1080/08963568.2023.2171552>

Johnson, R. B., & Onwuegbuzie, A. J. (2004). Mixed methods research: A research paradigm whose time has come. *Educational Researcher*, 33(7), 14–26. <https://doi.org/10.3102/0013189X033007014>

Koehler, M. J., & Mishra, P. (2009). What is technological pedagogical content knowledge? *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 9(1), 60–70.

OECD. (2022). *PISA 2022 results (Volume I & II): Mathematical literacy – Chinese Taipei country note*. <https://www.oecd.org/pisa/publications/>

Sandoval-Ríos, F., Gajardo-Poblete, C., & López-Núñez, J. A. (2025). Role of data literacy training for decision-making in teaching practice: A systematic review. *Frontiers in Education*, 10, 1485821. <https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1485821>

Wassong, T., & Biehler, R. (2024). Teachers' data literacy: Addressing the deficit in teacher education. In *Proceedings of the 2023 Paderborn Symposium on Data Science Education in Schools* (pp. 45 – 52). Paderborn University.

Zhang, Y., Wang, P., Jia, W., Zhang, A., & Chen, G. (2023). Dynamic visualization by GeoGebra for mathematics learning: A meta-analysis of 20 years of research. *Journal of Research on Technology in Education*, 57(2), 437 – 458. <https://doi.org/10.1080/15391523.2023.2250886>

