

2025



E-NEWS

MAGAZINE

科學教育的實踐與卓越

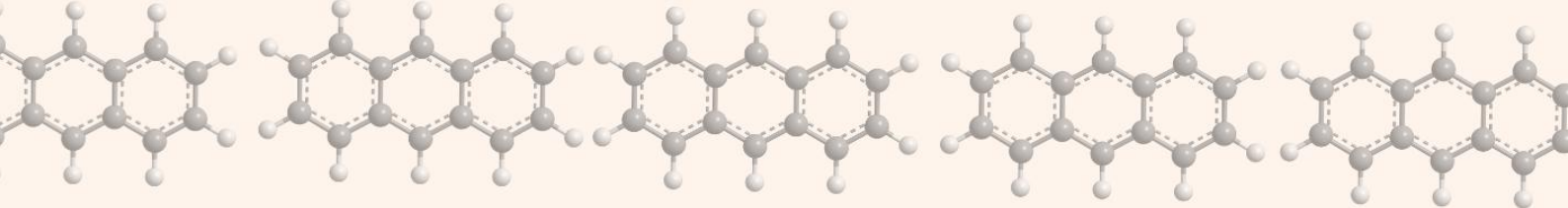
——得獎教師與學者的故事

出版單位：中華民國科學教育學會

學會網站：<http://www.ase.org.tw>

學會粉絲團：<https://reurl.cc/E6K8zA>





2025



E-NEWS

MAGAZINE

目錄

01 | 理事長的話-【標題】

02 | LA、RAG 與 GenAI 整合於教育中的應用與實踐

作者：楊子奇

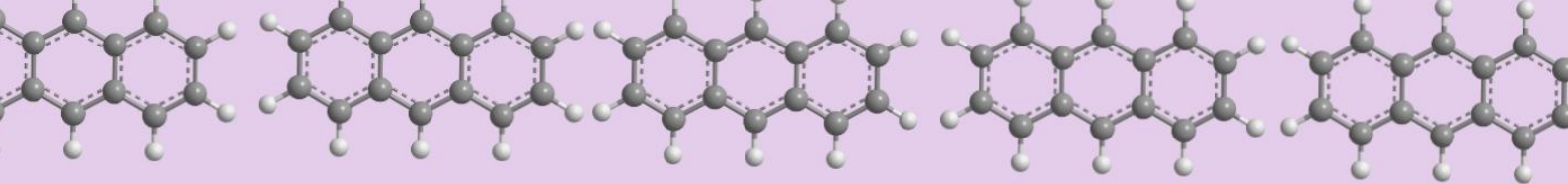
03 | 終身成就獎：專業貢獻與獲獎感言 獲獎人：熊召弟

04 | 年輕學者獎：研究實踐與心得分享 獲獎人：隋奇融

05 | 科普推廣獎：非制式教育心得與經驗 獲獎人：黃傳俊

06 | 教學卓越獎：中小學教學心得與分享 獲獎人：張珮珊





理事長的話

感謝屏東大學楊桂瓊教授的費心，讓本學會 2025 年最後一期的 e-News 可以上線提供會員們瀏覽。本期共有五篇文章發表，包括國立陽明交通大學楊子奇教授在 AI 與科學教育應用的討論分享，以及其他四篇在 2025 年科學教育學會中得獎教師與學者的故事，相關內容深具未來性與啟發性，非常值得科學教育領域的同好們一同探索。以下是個人對於這些內容的綱要導讀，也誠摯邀請各位先進一同欣賞本期的內容。

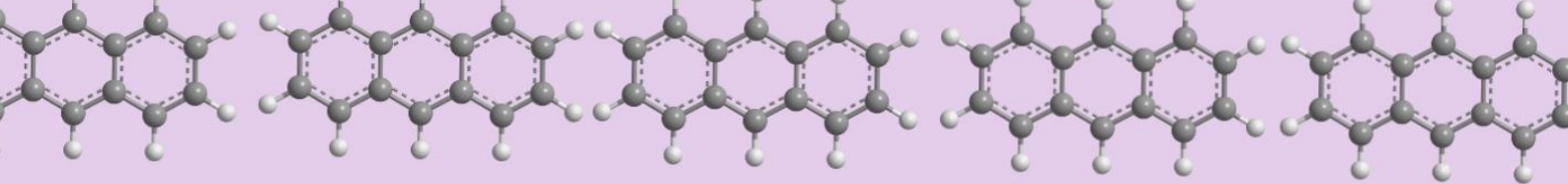
楊子奇教授在未來 AI 領域的願景中，為我們勾畫出了學習分析 (LA, Learning Analytics)、生成式 AI (GenAI) 以及檢索增強生成 (RAG, Retrieval-Augmented Generation) 等三位一體的教育科技「黃金三角」，預示著「動態鷹架 (Dynamic Scaffolding)」將成為未來學習的新常態，學生不再是被動的資訊接收者，而是在 AI 理解其「學習記憶」的基礎上，可以透過科技協助而得到學習路徑建構的協助，這個議題對於未來科學教育的影響，非常值得大家持續關注。

其次，2025 年科學教育學會終身成就獎得主熊召弟教授的感言介紹，帶領我們經歷與回顧了一整個世代的科學教育發展史。文中透過熊教授深耕教職四十餘年，從中學基層教師一直到國立台北教育大學教授的歷史敘事，提醒了我們，一趟完整的科學教育之旅，簡單的註解就是「機會」、「挑戰」與「喜悅」；而在過程中，「人就和一花朵一樣，花開，綻放，真的都有賴於他人」；所以我們要感恩曾經協助我們的人，更不要忘記也要隨時利用機會幫助他人。

另外，臺北市立大學隋奇融教授在 2025 年也獲得了科學教育學會年輕學者獎，他的分享提醒我們，在 AI 時代，教師不應是被科技追趕的人，而應該是與 AI 共創課程的「定向者」，可以透過「先規劃、再驗證、再調整」的過程來提升學生的自主學習品質以及教師專業自主的知能。換言之，在 AI 時代要訓練學生成為「優秀提問者」之前，教師們更應該要求自己具備合適的「自我調節」能力。

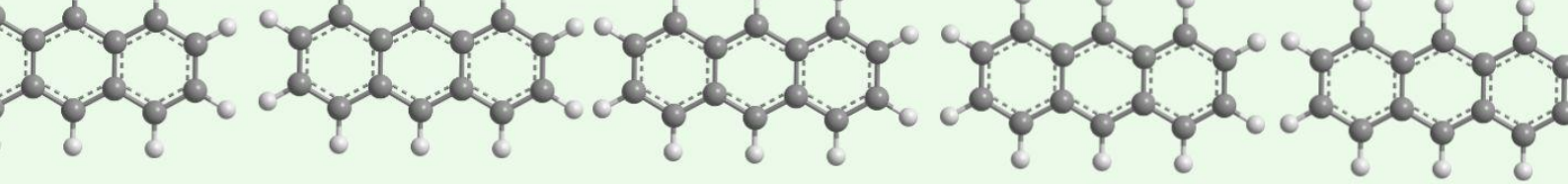
再來就是 2025 年科普推廣獎獲獎人黃傳俊老師的故事介紹。黃老師在嘉義市任教多年，不僅曾任嘉義市天文協會總幹事，目前也在國立東華大學教育與潛能開發學系的科學教育博士班進修，尤其難得的是，透過他與一群科學志工的集體努力，讓 2020 年在嘉義舉辦的「金環閃諾羅」系列活動創造了高達 4 億元的經濟規模，不僅讓我們了解科普推廣活動可以是科教界追求高 CP 值活動的努力方向，也提醒了我們未來可以把科學教育活動轉化為文化動能的無限可能。





最後，2025 年科教學會將教學卓越獎頒給了嘉義永慶高中張珮珊博士教師。張博士的探究教學與學習的經驗分享指出了科學教師的使命，包括有：不要讓「食譜式實驗」扼殺了科學的靈魂；探究活動可以融入日常生活；要讓學生習慣「評鑑」與「辯論」；科學素養必須透過科學探究來扎根；以及科展不是為了得獎，而是為了共享「發現新事物」的喜悅等，這些來自教學現場的心得，相信也可以獲得所有科學教師的專業共鳴





生成式 AI、檢索增強生成與學習分析整合框架在教育上的應用

楊子奇

國立陽明交通大學 教育研究所/師資培育中心 副教授

tcyang.academic@gmail.com

前言

學習分析 (Learning Analytics, LA) 是教育研究與資料科學融合的實踐典範。它盡可能地收集與分析學習者在學習過程中行為、測驗、評量、與成果，進行統合分析以期能具體理解學習過程全貌並進而最佳化學習。2022 年 11 月 30 日生成式 AI (Generative Artificial Intelligence, GenAI) 代表作——「ChatGPT」橫空問世，它具有強大的即時互動與內容生成能力，在教育情境中能夠提供接近人類專家的對話式支援，儼然成為當代最重要的教育工具之一。發佈至今，已革新了過去絕大多數的教育科技，顛覆了教學與學習的模式，學習分析也隨之迎來新一波變革。雖然生成式 AI 已能應付絕大多數的互動和學習支持，但它仍有其限制。最直接的一點是，缺少學習者背景與教學現場資訊，它無法生成真正符

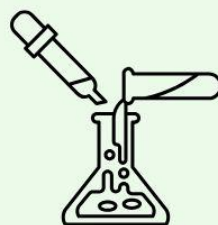
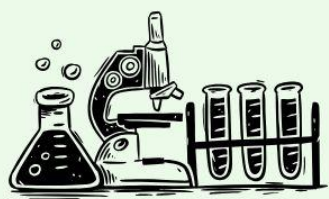
合情境、個人化、或特定的回饋。檢索增強生成 (Retrieval-Augmented Generation, RAG) 技術提供一個可能的解決方案，它能透過引入外部知識庫和特定資訊來產生有依據且針對性的回應，不僅減少 AI 產生錯誤資訊的風險，也增加了 GenAI 的專業知能。讓它能更適切、更精準的提供協助，特別在個人化方面。若能融入學習分析、GenAI、RAG 這三項技術的優勢，將為真正以學習者為中心的個人化精準教育提供了新的可能性，成為教育領域創新的焦點。為此，本文聚焦在探討整合 LA、GenAI 與 RAG 在教育上的應用與實踐。此文將以科技協助個人化自律學習 (Self-Regulated Learning, SRL) 為例，說明整合 LA+RAG+GenAI 的框架內涵與效益，並討論技術落地時可能的挑戰與未來發展方向。

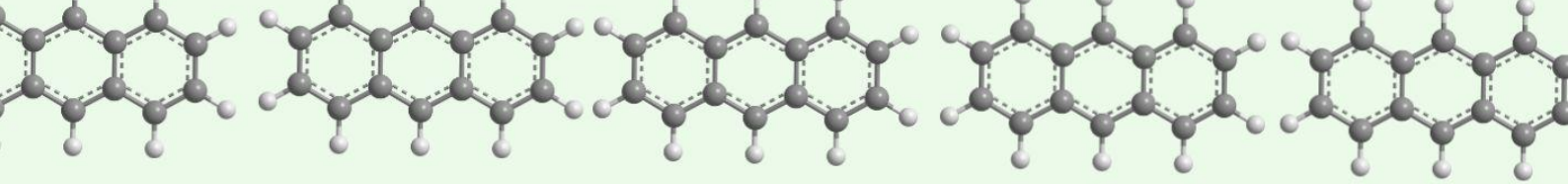
學習分析在教育上的應用

學習分析的演進與應用

學習分析被定義為「對學習者及其情境相關的數據進行測量、收集、分析和報告，以理解和最佳化學習及其所處的環境」(Clow, 2013)。相較於傳統教育評量關注最終成效或標準化測

驗，學習分析更強調對學習歷程的洞察。早期的學習分析研究聚焦於從數位學習環境(如學習管理系統)的日誌資料(log)中挖掘有意義的模式，以提供及時的回饋與介入。





包含分析學生在系統上的各種點擊、設定、討論區發言等行為，教育者可以更全面地了解學生的參與程度與可能難點。此一相關領域為教育資料探勘（Educational Data Mining，EDM）同樣聚焦教育大數據的分析與運用，與

學習分析有些相近，但 EDM 更偏重於分析技術的發展，而學習分析則更側重於分析結果的解讀與實務應用。換言之，學習分析目的在其結果能支援教與學的決策並轉化為行動建議。

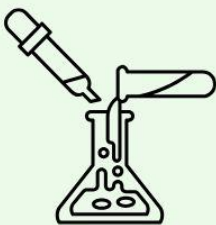
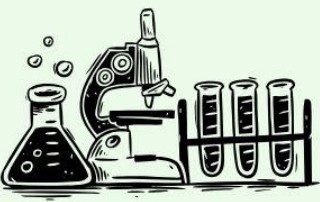
學習分析的特色與方法

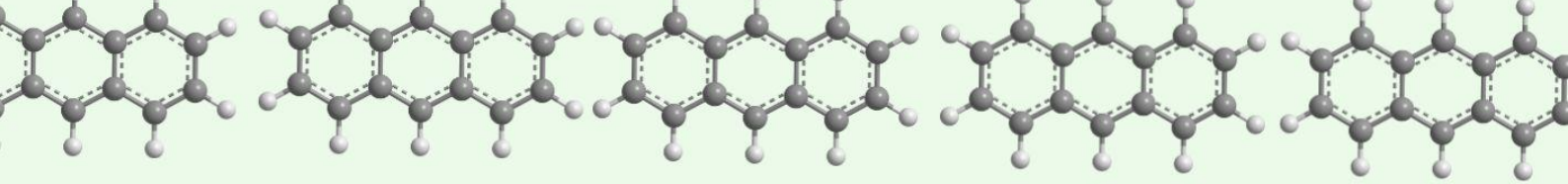
學習分析具有幾項重要特徵，包含(1) 證據導向，強調多樣且大量的學習資料收集，以提供比傳統分析方法更豐富的證據來源。(2) 多維與多面向，不僅關注認知表現，也整合情意、社交等面向數據，勾勒學習者的全貌。(3) 即時性，除了事後的總結分析也重視學習過程中的即時監測，及早發現問題和表象。(4) 預測性，運用機器學習

等技術，不僅描述也要預測，提前識別潛在的風險與介入機會。與傳統教育統計相比，學習分析更關注個體差異與學習歷程，以及即時互動。這二者非為互斥，而是相容形成宏觀與微觀並重的教育決策依據。我們將一些傳統統計分析與學習分析的差異整理如表 1。

表 1 傳統統計分析與學習分析的主要差異

面向	傳統統計分析	學習分析（LA）
分析觀點	著重群體平均、變異與整體趨勢	著重個體歷程、行為模式與差異
資料時態	事後回顧、多為橫斷面或總結成果	即時、縱貫性、事件流、與歷程資料
資料型態	結構化分數、問卷、抽樣量化/質性資料	點擊、作業、討論、感測數據、影音、多模態訊號
指標性質	標準化指標（如平均、標準差）	情境化指標（轉換、風險、資訊量）
典型方法	描述統計、變異數分析、相關、迴歸、檢定	序列分析、存活分析、預測模型、因果推斷、隱藏模式
產出形式	描述報表、群體比較、成效驗證	儀表板、個人化建議、決策支援
優勢	推論嚴謹、結果易共享、可讀性高	分析多元、對學習過程敏感、可實現個人化、
侷限	對個體差異與歷程敏感度低，難即時介入	品質控制與解釋需求高





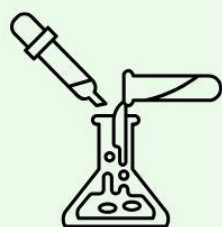
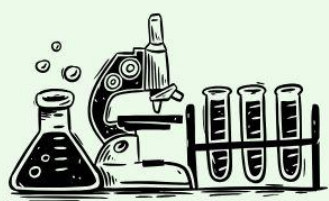
應用案例	學習成效比較、介入效果評估	即時診斷與鷹架、學習路徑規劃
GenAI/RAG 連結方案	提供總結性指標 (整體背景)	以歷程證據觸發個人化回饋 (精準資訊)

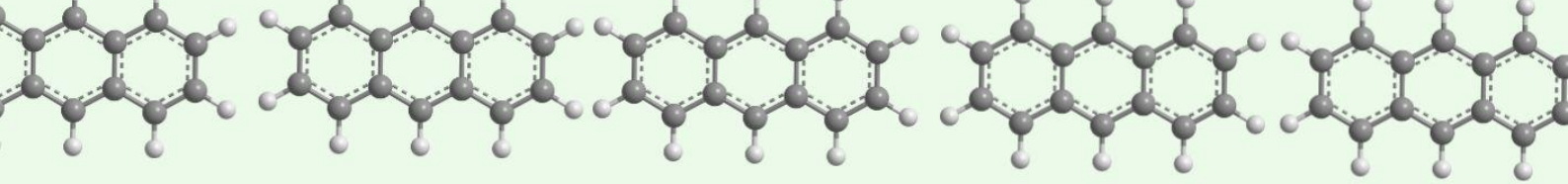
以自律學習系統效益評估為例，除了使用統計方法檢驗效果之外，學習分析也經常挖掘學習行為模式來進一步解釋，例如使用滯後序列分析 (Lag Sequential Analysis, LSA) 從學習活動序列中找出重複出現的行為片段，如「閱讀→測驗→閱讀」或「測驗錯誤→閱讀→再測驗」等(Yang et al., 2023)。這些行為模式幫助我們理解學習者的策略和習慣、有助於我們推論某些行為如何導致後續行為以及其與學習成效的關聯，為教學介入提供依據。以我們過去的一個研究為例(Yang et al., 2018)，我們比較了高先備知識學生 (High Prior Knowledge, HPK)

與低先備知識學生 (Low Prior Knowledge, LPK) 在學習過程中的行為模式。發現 HPK 學生在學習時更傾向全域取向，快速瀏覽整體內容並鎖定關鍵資訊，而 LPK 學生為**局部取向**，僅反覆閱讀細節且頻繁使用筆記工具。此外，學習成效提升的學習者會切換策略而非固守單一行為模式。同樣的，我們也在另一個研究(Yang et al., 2015)中發現使用「雙層式測驗」對學生學習行為的影響是，它可以降低學生僅以反覆嘗試解題(表層學習)的習慣，並轉換為結構化反思活動，以促進更深度的學習表現。

目前學習分析已廣泛應用於各級教育。常見的應用包括，學習儀表板 (Dashboard)，即時呈現學生的活動記錄和進度，以供教師監控班級狀況並進行個別輔導；預警系統，結合預測模型及早識別可能需要協助的學生；個人化推薦，根據學生過去的學習路徑推薦後續資源或學習路徑，以實現個人學習和精準教育。此外，學習分析更也逐漸拓展至多模態學習分析方案 (Multimodal Learning Analytics)，即整合不同型態的學習數據 (如操作行為、學習內容、生理訊號等) 建立更全面的學習者模型。儘管學習分析帶來許多契機，但有一些待解決的限制，特

別是學習分析的結果需要對資料科學有一定理解的教師和學生才能善用，這使得目前學習分析多半發揮了診斷的效用，但較少發揮主動有效的介入。生成式 AI 與 RAG 技術的出現，為解決此一限制帶來解方。GenAI 可同時理解圖、表、文字，可自行解讀複雜的分析結果、即時生成建議；而 RAG 技術則能將學習分析的洞察轉化為可檢索的知識，讓 GenAI 在生成回應時參考，一方面降低偏誤，一方面降低解讀與應用學習分析的門檻。我們可以預期，GenAI、RAG 與 LA 的整合將再次提升教育科技支援品質與優勢。





生成式人工智慧在教育上的應用

生成式 AI 顛覆了我們的生活與科技發展，在教育上的應用更是迅速受到矚目。相較於傳統教學系統基於預先設定的規則或固定資源提供學習支持，生成式 AI 具備靈活對話與即時生成內容的能力。這為教育帶來的幾項關鍵優勢，包含，**接近專家的即時互動**，打破傳統智慧教學系統常有延遲或僅限預設問答的限制，有助學生在自學；**基於大型語言模型的回應通用性**，在同一個 GPT-4 模型，可以用來輔助寫作、解數學題、進行語言對話練習等。不必為每種學科或技能開發獨立的工具，降低了技術應用的門檻；**具有龐大知識卻不受框架限制的創新能力**，打破了傳統系統只能檢索現有資料的限制。生成式 AI 不僅能找出定理的敘述，也能產生全新內容，這種創造性讓教學資源更豐富且具針對性；由於 GPT 模型可以將使用者的輸入上下文納入考量，並隨不同學生需求而改變生成內容。**對實踐適性化的協助**是一大躍進。例如，對基礎較弱的學生提供更詳盡的解釋，對程度高者則精簡提示。以 AI 輔助自主學習為例，我們經常可以看到這些生成式 AI 的應用：

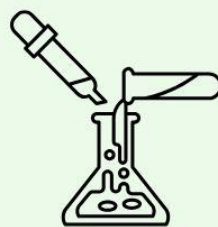
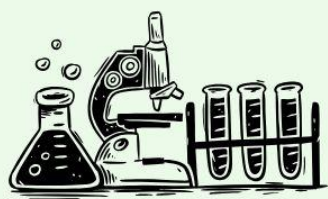
- **寫作建議**，AI 作為寫作教練，提供語法修改與潤稿建議，指出用詞不

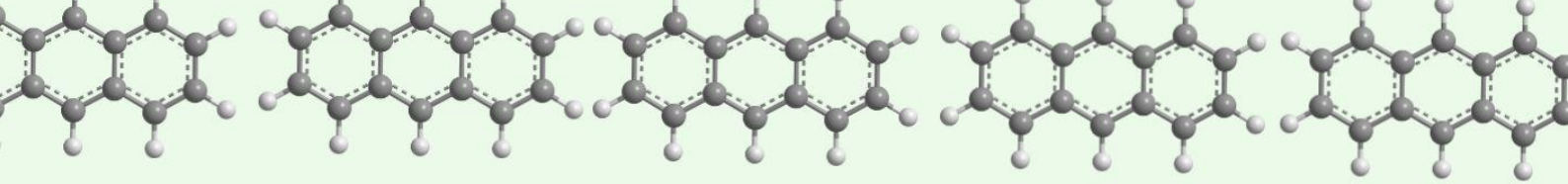
當之處並建議替換詞彙，或提示段落組織不清的部分如何調整，幫助學生提升作文能力。

- **解題引導**，針對學生在數學學習中遇到困難，AI 可以逐步**給出提示**提供鷹架。例如當學生卡在方程式求解某步驟時，AI 提示「試著將方程式兩邊除以 x 」等線索，而非直接給出答案。透過提供相關概念的補充解釋，引導學生強化學習。因材網的「e 度」便是當前的實踐典範。
- **學習夥伴**，和學生進行對話練習。包含外語(如英語) 日常對話練習，提供擬真體驗。同時可以根據其表現提供發音回饋、文化背景知識等**互動**，營造**沉浸式語言學習**體驗。相較單向的錄音或影片學習，這種**互動**更能提升口說流利度與溝通能力。
- **適性化測驗**，根據學生過去的表現，定位知識盲點，生成和錯誤概念類似題供練習，並在解析時著重講解該概念。同時，它也能避免出現學生熟練的題型，即時調整難度以符合近側發展區間提升學習效果。

GenAI 為教育帶來的多樣化應用族繁不及備載，大型語言模型的幻覺 (hallucination) 問題也已大幅改善，然而，GenAI 在教育場域的應用仍有其限制。主要的挑戰是，教育現場需仰賴可靠的知識框架，而 GenAI 生成內容的

文字接龍依靠機率運作。因此，仍需有機制確保 GenAI 產出內容的可靠性。其次，GenAI 即使有能力回應專業知識，也無法提供真正精準的個人化回饋。因為，GenAI 的生成內容是大語言模型預訓練的資料，但預訓練的資料尚未





包含教師和學生的背景、當前狀況與歷程。

這是 GenAI 目前仍難以主動解決的問題。為了解決上述問題，**檢索增強生成（Retrieval-Augmented Generation，RAG）** 技術提供了解方。RAG 可以讓

Gen AI 在生成回應前，先從外部或特定知識庫中檢索相關資訊作為輔助，藉此大幅提升回應的**正確性、專業性與時效性**，為學生提供更加精準且個人化的學習支援。

檢索增強生成（RAG）的架構、流程與教育應用

檢 索 增 強 生 成（Retrieval-Augmented Generation，RAG）是一種結合檢索系統與生成模型的 AI 框架。其核心概念是，在大型語言模型生成回應時，由一個檢索模組從外部知識庫中找到與使用者提問相關的資訊，並將這些資訊設定為背景知識提供給生成式模型，錨定（ground）生成內容（Lewis et al.，2020）。透過這種方式，模型的回答可以依據實際資料，降低內容錯誤或無關的風險。換句話說，RAG 為 LLM 提供具體知識來收斂生成內容。典型 RAG 的核心元件包括：

(1) 知識庫，可以是教科書、論文、課程講義、案例等。知識庫中的文檔通常經過預先的編碼和索引（透過向量化），

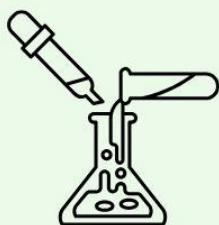
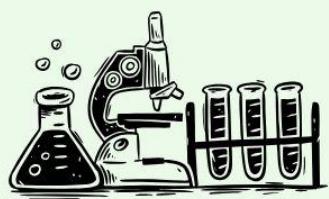
目前 RAG 的運作機制，大多以向量檢索為基礎，在此基礎下亦有許多進階的 RAG 架構陸續被提出，例如 IBM 提出 Modular RAG，Microsoft 提出四層級 RAG 回應架構（Zhao et al.，2024），Google 提出 Speculative RAG 等。以下介紹幾種主要變體及其在教育上的潛力：

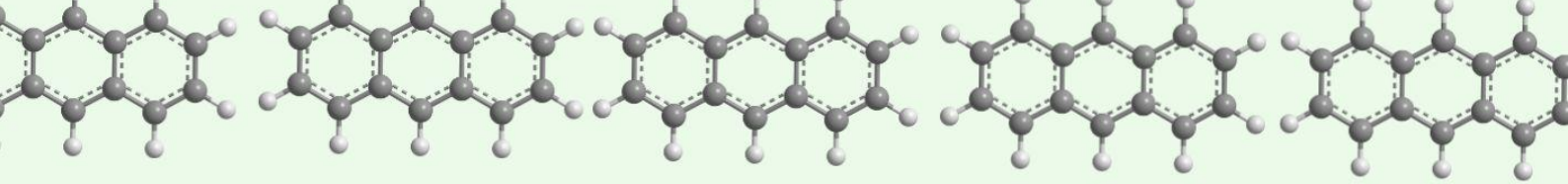
- Naïve RAG：最基本的形式，直接以語義向量檢索知識庫（文本），將結果與提問內容（prompt）一同輸入 LLM

以便檢索。(2) 檢索器，或為檢索模型，目的是根據使用者的提問，在知識庫中以比對語意相似度，找到最相關的內容片段。(3) 生成器，通常是大型語言模型，它負責將檢索得到的內容與使用者提問結合，生成符合需求且有據可依的回應。在教育場域使用 RAG+GenAI，將提供更多優勢，除了確保 AI 提供可靠的教學內容（如課本或教材）支撐，也能透過知識庫強化特定領域（數學、物理等）的專業知識以最佳化實踐方案，更可以建立專屬知識庫，例如不同年段學生常見問題等，更貼合教師講授的情境，使 GenAI 可以更適切的勝任智慧教學助理的角色。

生成回答。可用於提供可信賴學習內容回應。

- Self-RAG：在檢索前後進行自我反思與規劃，決定是否需要檢索、如何檢索以及如何整合結果。換言之，模型會先判斷問題是否需要外部知識支持，如需要則自主決定搜尋方案，再對檢索結果進行自我評估和結果產生，適用要求高準確解釋的場合。Self-RAG 模型透過讓模型自我審視，提升回答的品質與相關性（Asai et al.，2024）。

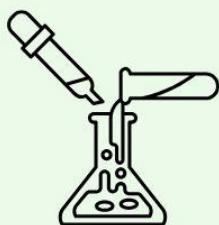
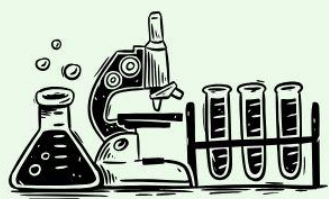


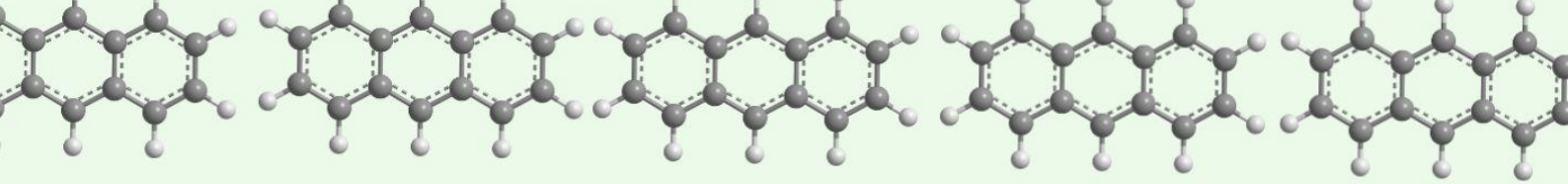


- **Corrective RAG**：在生成回應時引入評價或錯誤檢測機制。若模型生成的內容品質不佳或有錯誤，觸發重新檢索或答案修正。適合精確度要求高的領域，如科學、數學等。CRAG 架構同樣透過自動檢測與修正錯誤，確保獲得的資訊準確無誤(Yan et al., 2024)。
- **Graph RAG**：利用知識圖譜(knowledge graph)來組織和檢索知識。知識通常以節點(概念)與連結(關係)的網絡表示，檢索時可沿著圖中語意關係進行多跳推理(Multi-hop Reasoning)。適合需要理解概念關聯、系統性知識的學習。例如計算特殊面積時，推理節點可能歷經「幾何」→「圓的直徑」→「勾股定理」→「方形面積」的邏輯推演。Graph RAG 亦可揭示知識點間的深層關係，幫助學生建立知識結構，從而規劃個人化的學習路徑。
- **Speculative RAG**：模型在收到完整檢索結果前，預先生成部分回應做為草稿，同時再進行檢索，以加快總體回應速度並讓 AI 邊查邊答，在最短時間內給出初步建議，再逐步完善。此類 RAG 適合即時互動需求高的場景(Wang et al., 2024)。
- **Fusion RAG**：結合多種檢索策略或多個檢索來源來獲取資訊。例如同時使用關鍵詞檢索和向量檢索，或整合多個資料庫的結果。適用跨學科或多面向問題，提供正確且豐富的多元觀點。可用於訓練學生的批判思考，讓他們看到不同來源可能給出的不同答案，學會比較與評估。
- **Agentic RAG**：賦予 RAG 自主 AI 代理(Agent)能力，使其能自主規劃多步驟檢索與推理。代理能將複雜問題拆解成子問題，針對每個子問題選擇最佳檢索策略並動態調整。在問題導向學習(PBL)或專題研究，都可以逐步引導學生，同時培養其解決複雜問題的能力。某種程度上這可以視為讓 AI 成為學生的智慧學習夥伴的最佳實踐方案(Singh et al., 2025)。

選擇合適的 RAG 框架需要考量資料特性、目標和技術成熟度等。例如，以提升學生批判性思考為目標，可以考慮 Self-RAG 等可以自主評估的模型；若在意概念連結與知識結構理解，Graph RAG 可能更合適。總而言之，RAG 的出現為整合 LA 和 GenAI

開啟了新途徑。透過 RAG，我們可以將 LA 所產生的洞察(如學生行為模式)結構化為可檢索的知識，並交由生成式 AI 去理解與運用。下一節將介紹如何將 LA、RAG、GenAI 三者結合形成支援自律學習的架構，以及在自律學習三階段中各自扮演的角色。





LA、RAG、GenAI 的創新整合

RAG+GenAI 帶來的優勢無庸置疑。在此架構下，我們提出一個 LA+RAG+GenAI 的創新構想，即「將學生的學習歷程本身也作為知識庫的一部分」。學習系統可以儲存並向量化學生的學習歷程（點擊紀錄、答題表現、使用資源情況等），以及學生學習表現。當現有學生遇到瓶頸時，系統可以從知識庫中檢索「曾與該位學生有相似起點，後來取得顯著進步」的學生案例。然後，透過分析這些成功學生的學習路徑與策略，提取關鍵行為模式，並將此作為依據生成具體建議給當前學生，例如：「建議你在每次小考後先花時間整理錯題筆記，再進行下一章練習，過去有同學使這個策略從 60% 正確率進步到 85% 正確率」。透過 LA+RAG+GenAI，學生得到的建議並非憑空而來，而是根據真實的成功經驗。這將使得自主學習與個人化學習也將獲得重大推進。

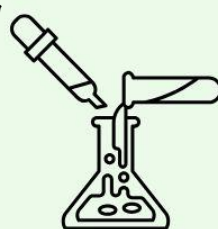
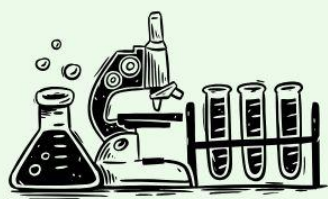
從學理來看 LA+RAG+GenAI 在支持並強化學生自主學習可以發揮更大的效益。首先，依據鷹架理論（Scaffolding），適當的支持能幫助學

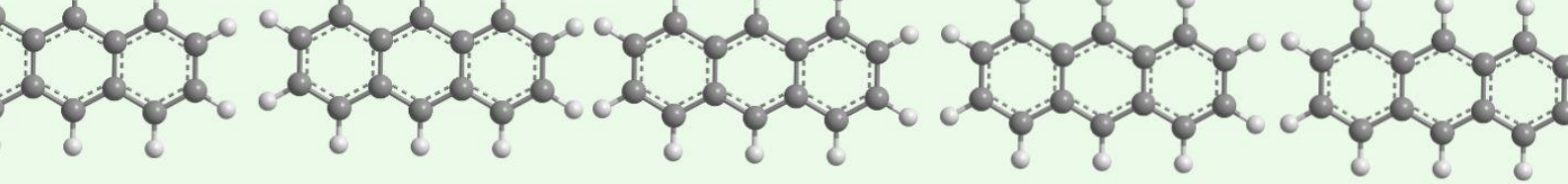
習者從現有能力進一步發展，是促進學習的重要動作。而將學習歷程做為 RAG 知識庫來源之一，提供 GenAI 確切的學習者背景，讓 GenAI 在理解學生相關背景與知識下生成基於背景而非基於通用的建議，更好地扮演動態鷹架的角色。從另一個角度來看，當前大多數學習分析結果和回饋，仰賴學習者自己解讀與應用。學生除了處理自己的學習狀態，也要理解這些學習分析背後的意涵以及處理該如何使用這些資訊，這很可能增加了他們的外在認知負荷。在此情境下，GenAI 可用於解讀 LA 的結果，提供精簡而關鍵的建議，降低學生外在認知負荷以有效調整並改善自身的學習。LA 的結果與 GenAI 解讀也能再度作為 RAG 的知識庫來源，持續隨學習者需求與狀況動態調整，而不是讓學生自行面對資訊。這個整合架構，可讓 AI 從知識圖譜中找出相關概念及關係，也能根據個別學生特徵和行為特性，檢索回應不同深度與範圍的內容，使 GenAI 真正能提供個人化自主學習支持。

LA、RAG、GenAI 整合的自律學習支援架構

自主學習（或稱自律學習）（Self-Regulated Learning, SRL）是指學生能主動監控、調整、評估自己學習過程的能力，其理論模型一般包含三個階段：前思（Forethought）、表現（Performance）和自省（Self-Reflection）。在前思階段，學習者進行

目標設定與策略規劃；表現階段，學習者執行學習任務並自我監控；自省階段，學習者評估成果並反思改進方向（Zimmerman, 2000）。透過 LA+RAG+GenAI 的整合支援，我們可以在每個階段為學習者提供及時的個人化協助。我們以自律學習三階段為



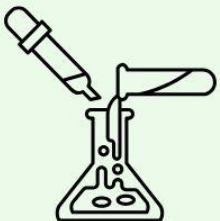
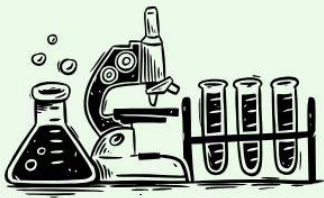


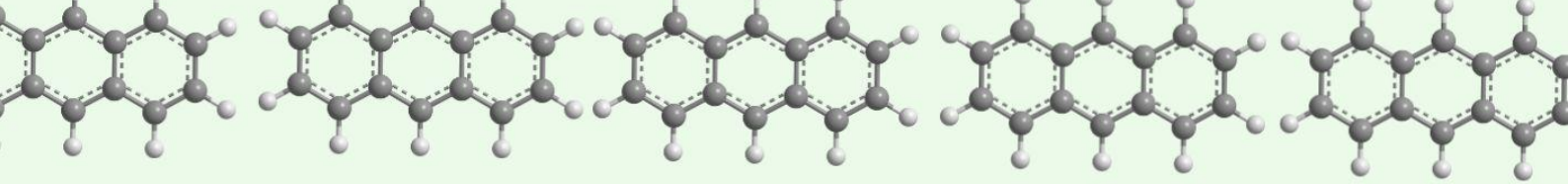
例具體說明 LA、RAG 與 GenAI 以及其整合架構如何對學生提供協助。

情境背景設定為數學課程，一位學生 目前測驗成績在 60 分左右徘徊。表 2 除了上課也會使用學習平台協助學習， 呈現不同技術架構提供的建議範例。

表 2 LA、GenAI、 RAG、與其整合架構的個人化建議範例

	前思階段	表現階段	自省階段
LA	在『極限』單元的平均答對率為 58%，低於您設定的 75%目標。	您在過去一週內，已重複進行同一個測驗 3 次，但分數進步幅度低於 10%。	本週學習摘要： 總時長：60 分鐘。主要行為：重複測驗 (佔比 75%) 最終正確率：62% 。已達成設定目標的 60%。
GenAI	要提升數學成績的學習計畫包含： 1. 設定每週學習目標 2. 安排固定時間練習 3. 確保複習基礎概念	羅必達法則適用當分子和分母趨近於 0 或無限大時，將分子和分母分別求導，再計算新極限...（提供該題的解題步驟）	聽起來你很努力但效果不彰。你可以思考一下：1. 你覺得最大的困難是什麼？2. 下次可以做什麼不同的嘗試？
RAG	根據研究，有效的學習計畫應包含「目標設定」與「策略規劃」。建議您採用已被證實有效的「間隔式複習」來鞏固公式記憶	教材 3.2 節，羅必達法則的使用條件是...。以下是教材中的一個範例...（呈現教材內容）	根據有效的反思模型，您可以從以下幾點進行思考： 1.發生了什麼？ 2.這個策略好或不好？ 3.你從中學到了什麼？





LA+GenAI
+RAG

您的數據顯示「極限」是目前的挑戰點。一位與您情況相似的學長姐，當初是設定了「二週內將極限單元測驗正確率提升至 80%的目標」。建議您可以先從這個小目標開始，並採用他當時成功的「先看錯題筆記再練習」策略

我注意到你正卡在同一個測驗循環。這不罕見！一位學長姐遇到類似問題時，發現是羅必達法則的使用條件沒釐清。要不要先暫停一下，看看教材中針對這個概念的 2 分鐘短片？(連結)

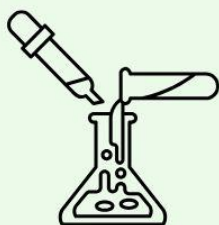
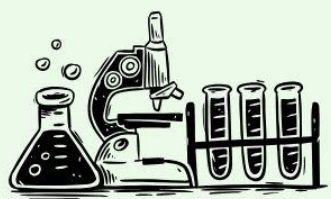
我們來看看這次的學習報告。數據顯示你花了大量時間在「立即重測」，但分數進步有限。記得那位學長姐的「先複習筆記」策略嗎？你覺得如果下次我們把「立即重測」改成「先看錯題筆記」，可能會產生什麼不同的結果？

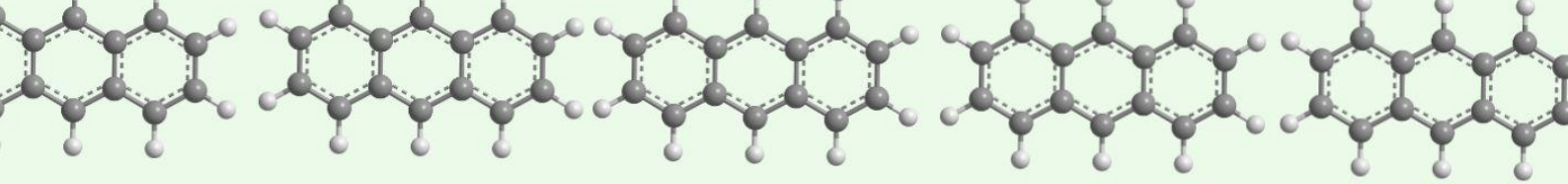
如上述範例所示，學習分析可以整合學生多維度的數據，生成學習報告。包含簡單扼要的呈現學生過去表現與其學習環境中的參數(如班級或同級生表現)，讓學生感知自身學習狀況。GenAI 能提供即時的通用建議和協助，支持完整的自律學習三階段活動，破除傳統預置系統缺乏互動彈性的限制。而 RAG 的加入，則使得 GenAI 能依據實際案例與特定目的提供個人化精準的支持。此外 RAG 還能整合同儕與教師經驗，讓學生從多角度審視自己的表現。這三者的整合，不僅能檢索過往經驗範本，也能整合領域專家的建議與最佳實踐來協助學生在學習過程中定標、擇策、監控、和反思。每個階段產生的數據又

能擴充 RAG 的知識庫，強化了 GenAI 對學生的了解，使其生成的回應愈貼近個人現況，促進自律學習循環迭代。這些技術即可獨立運作完成原有目的、又可以相互支持 (例如透過 Model Context Protocol, MCP) 來不斷提升輸出的品質與精準度。

綜而言之，LA 從收集的多源數據中提取行為模式與學習特徵；接著 RAG 可以檢索 LA 輸出的結果、歷史相似經驗、文獻、教師經驗為檢索知識來源；最後 GenAI 根據檢索結果與當前學習者特徵生成個人化建議。學習者在接收建議後的一系列操作與歷程又產生新數據接著進入下一循環。下方生成的學習建議，標註了 LA、GenAI、RAG 的融合結果。

「小明：研究顯示，測驗前先預習概念 RAG(文獻)可提升 25% 的測驗正確率 LA(log)→ RAG。建議你在每次週測驗 LA(log)前花 5 分鐘 RAG(log)瀏覽本章重點，再進行測驗 (LA+RAG)→ GenAI。」



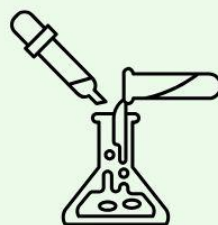
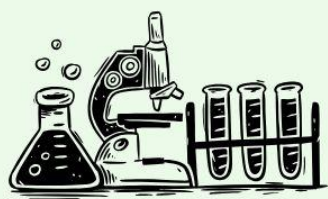


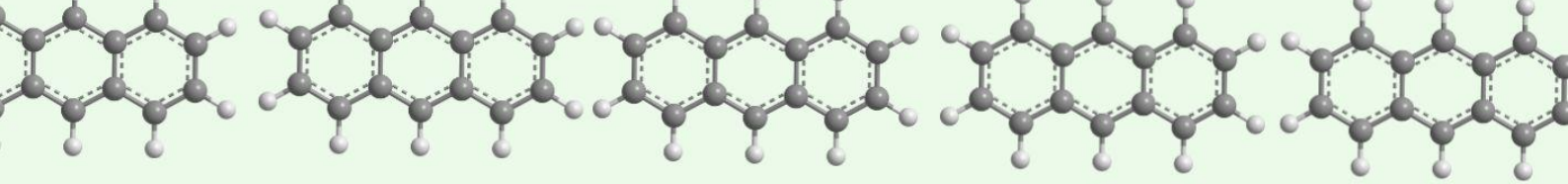
結論與未來研究

整體而言，LA、RAG、GenAI 三者的整合不僅是技術創新的進展，更是教育理念轉變的催化劑。它為實現真正以學習者為中心的學習支持提供了前所未有的強大工具，更是驅動科技輔助自主學習的關鍵方案。未來的教育工作者可以善用這項技術變革提升學習品質。我們可以預期真人教師與 AI 將共同成為學生的導師，學生不再僅是被動的知識接收者，而是能在 AI 的協助下，主動構建屬於自己的學習之路。從宏觀層面看，完整學習過程中的即時回饋與動態調整將成為新常態，而 AI 協作自律學習的模式將會愈來愈重要。

LA+RAG+GenAI 的整合架構正處於起步階段，依當前學習環境與學習資料生態我們可依循以下進程發展。前期，著重當前技術整合的性能與穩定性，驗證並拓展應用科目範圍（數學、科學、人文等領域），並尋求 LA 作為 RAG 來源之一的穩健模式。例如，透過 xAPI、Caliper 等資料標準化的機制，盡可能包容不同平台和研究產出行為模式和分析結果。受益台灣獨有的教育大數據，中期可發展跨學校、跨平臺的學習數據標準與協作機制，促進資

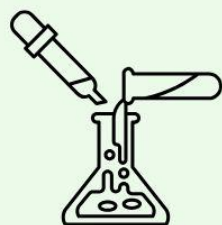
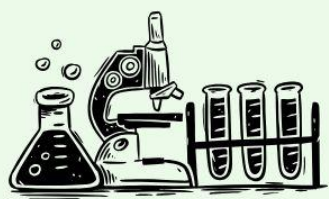
料和成功模型的共享，解決了冷啟動的問題。他山之石，可以攻錯，這讓我們更能實踐真正的個人化精準教育。奠定了前期與中期的基礎，我們可預見在長期涵蓋各學習階段的資料生命週期的學習支援。從小學到高等教育的學習過程，都能使用 LA+RAG+GenAI 的整合架構隨時提供適切幫助，形成一個真正個人化的學習生態系統。另一個受關注的議題，即未來的學習環境將更豐富多樣，文本、語音、圖像、乃至體感數據都可能成為學習數據。LA+RAG+GenAI 系統需要具備處理多模態資料，並產生多模態反饋的能力。例如，系統可以結合學生面部表情、語音語調來辨識其情緒狀態，如挫折或困惑(Liao & Wu, 2023)；將教學影片的語音和畫面內容索引進知識庫，供 RAG 進行檢索；而生成式 AI 也不再只回覆文字，也更能動態生成示意圖或動畫，用以解釋抽象的科學概念或情感支持，提升介入的針對性。多模態 RAG 和多模態生成技術需求，遠高於遠高於目前各模態分離運作的互動方式，這將是未來至關重要的發展方向。

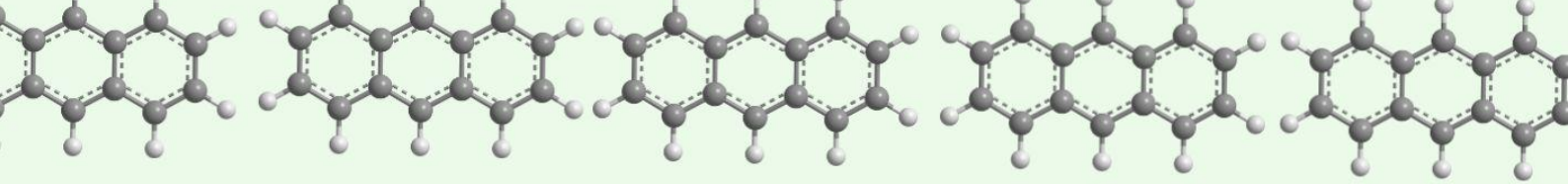




参考文献

- Asai, A., Wu, Z., Wang, Y., Sil, A., & Hajishirzi, H. (2024). Self-RAG: Learning to retrieve, generate, and critique through self-reflection [Paper presentation]. The Twelfth International Conference on Learning Representations. <https://openreview.net/forum?id=hSyW5go0v8>
- Clow, D. (2013). An overview of learning analytics. *Teaching in Higher Education*, 18(6), 683–695. <https://doi.org/10.1080/13562517.2013.827653>
- Edge, D., Trinh, H., Cheng, N., Bradley, J., Chao, A., Mody, A., ... & Larson, J. (2024). From local to global: A graph RAG approach to query-focused summarization. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2404.16130>
- Lewis, P., Perez, E., Piktus, A., Petroni, F., Karpukhin, V., Goyal, N., ... & Kiela, D. (2020). Retrieval-augmented generation for knowledge-intensive NLP tasks. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 33, 9459–9474. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2005.11401>
- Liao, C. H., & Wu, J. Y. (2023). Learning analytics on video-viewing engagement in a flipped statistics course: Relating external video-viewing patterns to internal motivational dynamics and performance. *Computers & Education*, 197, Article 104754. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2023.104754>
- Singh, A., Ehtesham, A., Kumar, S., & Khoei, T. T. (2025). Agentic retrieval-augmented generation: A survey on agentic RAG. *arXiv Preprint*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2501.09136>
- Wang, Z., Wang, Z., Le, L., Zheng, H. S., Mishra, S., Perot, V., ... & Pfister, T. (2024). Speculative RAG: Enhancing retrieval augmented generation through drafting. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2407.08223>
- Yan, S., Gu, J., Zhu, Y., & Ling, Z. (2024). Corrective retrieval augmented generation. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2401.15884>
- Yang, T. C., & Chen, S. Y. (2023). Investigating students' online learning behavior with a learning analytic approach: Field dependence/independence vs. holism/serialism. *Interactive Learning Environments*, 31(2), 1041–1059. <https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1817759>



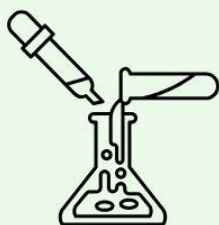
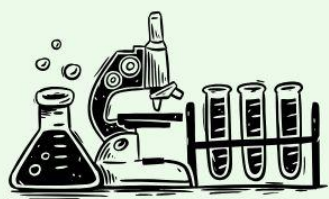


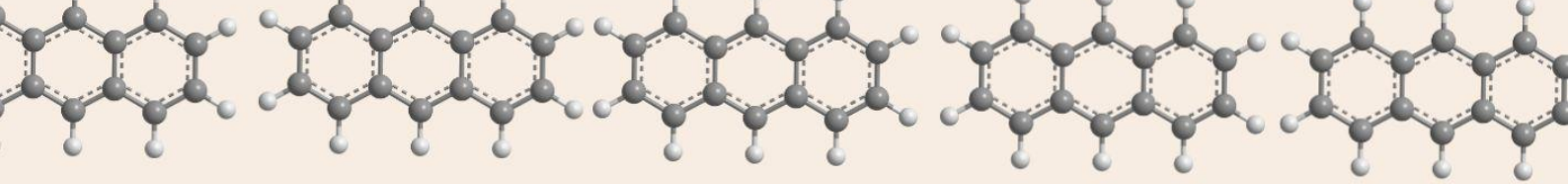
Yang, T. C., Chen, M. C., & Chen, S. Y. (2018). The influences of self-regulated learning support and prior knowledge on improving learning performance. *Computers & Education*, 126, 37–52. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.06.025>

Zhao, S., Yang, Y., Wang, Z., He, Z., Qiu, L. K., & Qiu, L. (2024). Retrieval augmented generation (RAG) and beyond: A comprehensive survey on how to make your LLMs use external data more wisely. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2409.14924>

Zimmerman, B. J. (2000). Attaining self-regulation: A social cognitive perspective. In M. Boekaerts, P. R. Pintrich, & M. Zeidner (Eds.), *Handbook of self-regulation* (pp. 13–39). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012109890-2/50031-7>

Zimmerman, B. J. (2002). Becoming a self-regulated learner: An overview. *Theory Into Practice*, 41(2), 64–70. https://doi.org/10.1207/s15430421tip4102_2





終身成就獎感言與專業貢獻分享—熊召弟



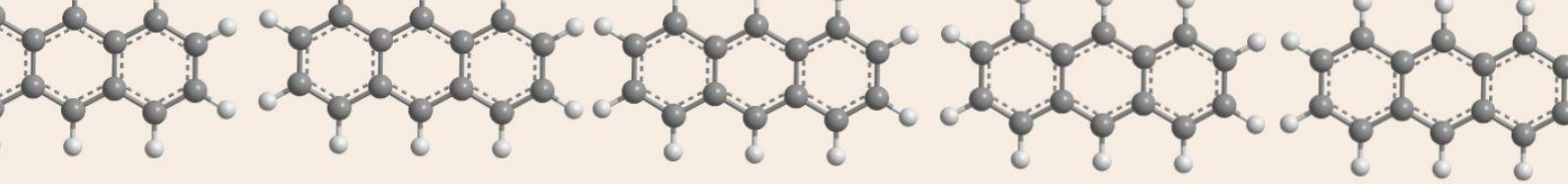
謝謝科學教育學會頒給我科學教育終身成就獎，能有這份榮譽，非常感謝同事、學生們、理監事及學會會員給予的支持，因為你們在科學界、教育界的發光發熱，你們燦爛的光芒輝映出渺小我的存在，十分感恩！學會邀請我在 2025 歲末 e-news 述說終身成就獎感言，很慚愧，說不出個人對學校、社會科學教育的影響或貢獻，只覺得這一

路上，處處有年長的、有年少的貴人相遇，讓我享受在科學教育的旅途的真、善、美。

以下所述，參考我在 UGA 的老師 Professor Kenneth Tobin，曾邀我參與共約 22 位作者合著的《The Culture of Science Education—Its History in Person》(2007)一書，我寫的是《A Taiwanese Journey into Science and Science

Education》；另外，曾被邀在 2022 年彰女校友會刊(No 17)，發表《無悔的抉擇》一文，主是談到成為科學教師、科學教師教育者等踏入科學教育行旅遇到的人、事、物的記述；此外，參考同事、學生們為我撰寫的約十四頁推薦書資料，分享學會交代我的工作《終身成就獎感言與專業貢獻分享》。





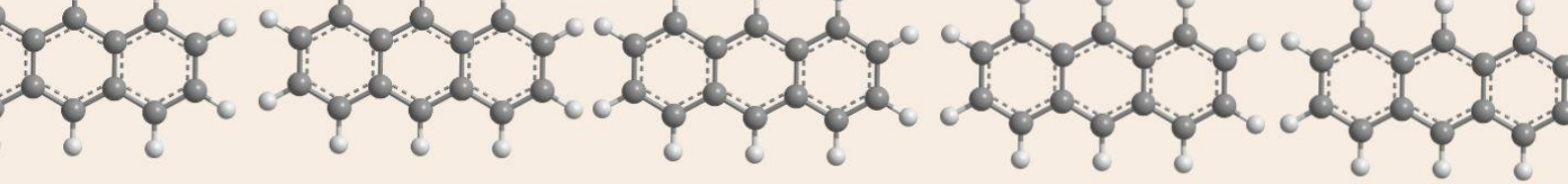
教育生涯的起點與理念：回顧投身科學教育的初心與信念

在我從小家庭教育以及日後上小學至大學之成長時代(1949-1971)，那時候國家社會氛圍，是人人兢兢業業、努力不懈，「科學救國」、「科技興國」是舉國上下重要的目標。耳邊響起是賽先生和德先生 (Science and Democracy) 的聲浪，科學與民主帶著我們國家向前邁進。小學課堂，有一門《常識課》，我記憶深刻的是四年級老師曾展示三球儀的模型，讓我們了解太陽、月亮、地球的關係，經由模型的操作，讓我們頓然理解宇

宙奧秘的喜悅，永誌心頭。考上初中，有一門博物學，老師會套上白色實驗衣，喜孜孜的帶我們探究校園植物奧秘；當時中學老師多半是學校的菁英，師大畢業就回到母校任教，所以坐在台下的我們，自幼對「教師」這行業，充滿尊敬與崇拜。上了大學(1967-1971)，感覺上老師們不只教書專業，而且非常關心所有學生的生活。大學裡許多科目不管是生物或化學，多半是西文書，因此大一新生普遍會有學習的困難、挫折，當時

的英文老師陸頌熙教授利用懷恩堂的小教室，邀請學長姐指導我們課業。還有大學導師兼教生物統計學的葉樹藩教授，上課講述清楚條理，是大家喜歡學習的科目；不過更記得的是，第一次導生會議，葉教授帶我們上陽明山喝咖啡，不僅告訴我們咖啡的品種、如何品味，還教我們喝咖啡的西方禮儀。當時，台大雖有開設培育教師的學程，不過可能只是給文法商學院，所以我沒有去修課。





到了大學畢業，那時候的主流是考托福、GRE，出國留學去，我也順著這條路漫漫準備中，卻因當時的系主任兼遺傳學的畢中本教授推薦我到桃園農工職業學校任教，我教農藝學、土壤學、肥料學、氣象學等，都是我大學修過的課；雖然只任教一年，但是在校長、同事的熱心指導及給我機會試煉，以及學生恪守尊師重道，當時二十多歲的我，開始覺得「成

為教師」是個既挑戰卻喜悅的工作生涯。一年後，進入位在南海路上的台北市立建國高中任教，主要教的是生物，大概教七個班，一班三小時(2+1)，隔週的兩小時課做實驗，科學館實驗室有管理員(工友)，他們會幫忙準備材料以及實驗室清潔檢查，因為資深教師的指導，工友的能力還能幫準備純的眼蟲、草履蟲等溶液、準備青蛙等小動物，所以當我帶學生上

實驗課時，總能在既定時間內順利完成。我除了認真準備教學，經常請教資深老師，也曾合寫坊間升學參考書。除了任教生物之外，我還兼任導師、輔導室老師，這一路就在建中任教約十三年。因此，從同事以及學生的互動經驗，深深覺得教然後知不足，所以，我會特別注意進修、深造的任何機會。

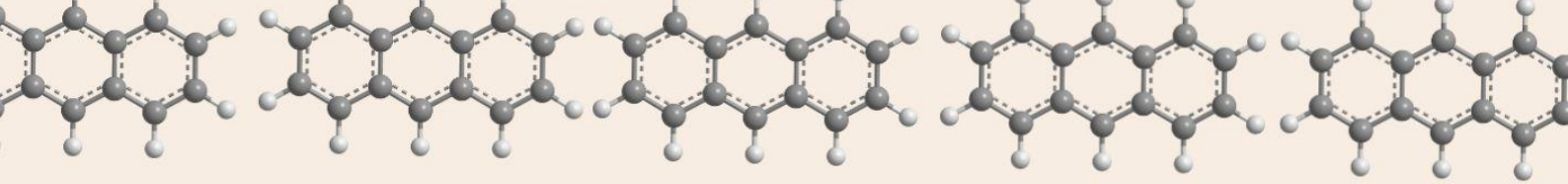
專業發展的重要里程碑：掌握機會，提升自我

在建中教學一年後，學校人事室通知我暑假可以到台師大或政大修習教育學分，因為住在木柵附近，所以是到政大修習教育學分。我想可能是自己已有兩年的教學試煉，所以當在上教育學、心理學、教材教法等課時，我常覺得如獲至寶，甚而會感動，因為幾乎句句回

應我遇及的教學困惑。在這兩年後，教育部開設四十學分班，我利用連續四年(1976-1979)的暑假到師大生物系修課，課程內容提升到研究所層次，那是個夏日炎炎，而教室唯一的立扇只能吹教授的時代，看到楊冠政教授、魏明通教授、林榮耀教授、楊榮祥教授、周昌弘教

授等恩師，揮汗如雨、殷殷授業的榜樣，十分感動，同時這時候，認識了許多日後成為我教學諮詢的好夥伴，如；新竹教育大學的施惠教授、市立台北大學的甘漢銑教授，他們在《教材教法》或《教育科技的應用》的經驗，給了我相當大的啟發與幫助。





這是個重視師資培育的時代，以往教育部公費留考多半是提升大學師資，就在這時有聲音認為也應給中小學教師公費留學的機會，我幸運地獲得行政院人事行政局公費支持中小學教師出國深造的機會，同榜有前彰化師大校長張惠博教授，我們經過半年的英文培訓，各自考托福、GRE、申請國外學校。

我進入美國喬治亞大學先後完成碩士及博士學位。其中，回建中任教約四年，因為有喬大獎學金的支持，就回母校繼續攻讀博士學

位。在這時候，遇到許多優秀的教授，我的指導教授及系主任

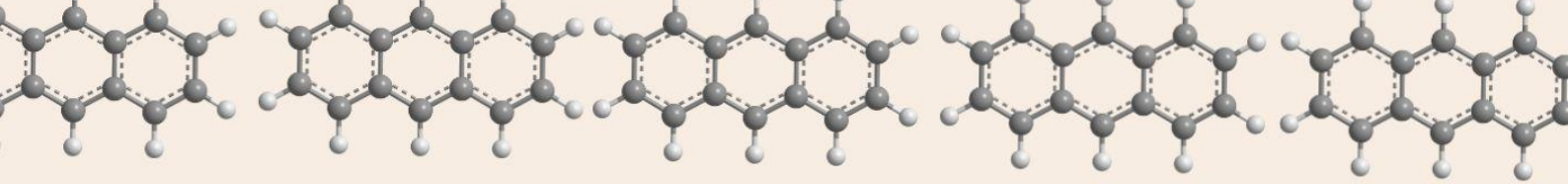
Professor Russell

Yeany，曾帶我們五位外籍學生(一位西班牙生、一位葡萄牙生、一位馬來西亞生、兩位台灣學生)去擔任 Atlanta 中小學科展 (science fair) 的評審委員，鼓勵並補助支持我們研究生參加 NARST、NSTA 等科學教育年會，此外系上 Dr. Tobin、Dr.

Butts、Dr. Okey、Dr. Riely, Dr. Padilla, Dr. Capie 等在那時段，是非常活躍的科教學者，特別是科學過程技能

(science process skills) 及方案評鑑 (program evaluation) 的研究及推廣。其中，非常喜歡台灣的 Professor Kenneth Tobin 是我們非常敬佩的科教學者，尤其是在研究理念及研究方法上為了追求「真實」(reality)，不斷的演變，起初，他教我們 Campbell and Stanley (1963) Experimental and Quasi-Experimental Designs for Research 的社會科學研究方法，並帶我們使用 SAS 軟體，發表了許多量化研究的好文章，包括候答時間 (wait time) 的研究。





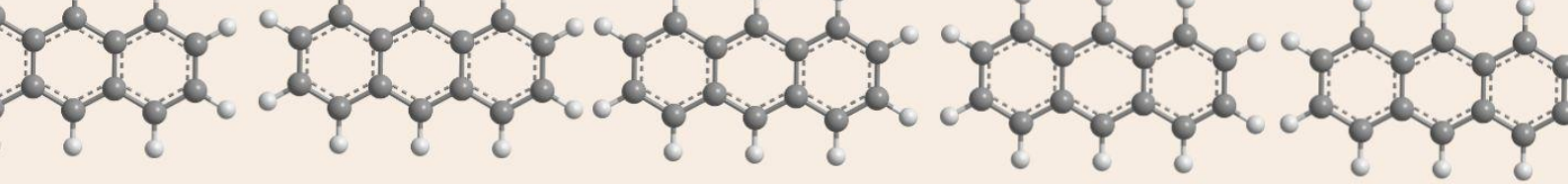
1988 博士畢業，好友同賀

不過，就在我們念博士班一下時，他受到數學教育系的 von Glasersfeld 及 Steffe 的影響，開始帶著我們理解 radical constructivism (建構主義)、還有 Brophy 動機論等文章，教育信念由當代主流的行為主義(Behaviorism)逐漸轉變為建構主義觀，而研究法取向也量化研究逐漸認同質化研究，此外，還強調

Evaluation 的重要，我們曾一起做過系的自我評鑑，用 CIPP (Context, Input, Process, Product) model 進行 Program Evaluation，這對日後，回台灣，學校系所面臨大學評鑑時，助益很大。在 UGA 求學間，認識了臺北市立大學的王美芬教授以及彰化師大的段曉林教授，王教授是忠誠的小學教科書編寫作者，不管是九年

一貫還是 108 課綱的教科書，都有她主導的身影。段曉林教授在國內外科學教育界非常活躍，著作等身，近十年來，她一直深耕教育部中小學師資課程與培育模式的方案，桃李滿天下，而幸運的是，這兩位同窗在我退休的十年裡，仍不斷的帶著我參與關心小學自然課本編寫以及科學師資培育的科教之旅。





行中學：珍惜機會--國北的專業成長

現在的國立台北教育大學(前身是國立台北師範學院)，是我回台灣任教到退休唯一的學校。擔任過數理教育系副教授、教授、電子計算機中心主任，科學教育中心主任、環境教育中心主任、數理系所/自然系所主任、自然系/研究所，身為大學老師，常接觸的是國科會(科技部)、教育部以及科教學會等。申請研究計畫、執行研究等是我們教學之外的另一份重要工作

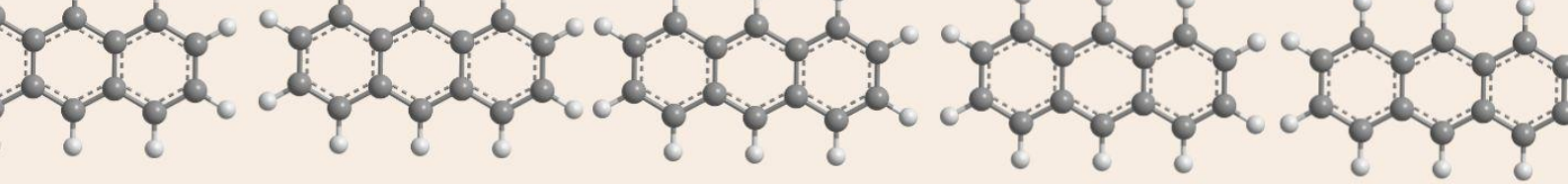
師專、師範學院時代主要是是培養小學師資，因此，教材教法、教育實習、駐校實習、環島教育實習等是重要的課程。這也是我開始比較偏向做典範教師(Exemplary teacher)的觀察分析研究之原因，在此，認識了小學任教的徐喜美、蘇盛雄、黃阿修等老師，亦師亦友，透過他們的教學經營，深深感覺建構觀點的科學教室已經存在於台灣了。

此後，師範學院轉型教育大學，力求學術發展，有一種呼籲就是教師即研究者(teacher as researcher)，因此，在歐用生校長的領導下，我先後成了課程與教學研究所、數理教育研究所的創所所長，接著，許多的研究都與學校現場或革新實驗有關，有許多是課室研究，包括創意課程的設計、科學推理、多元的教學策略等。



1996 台北師院學生環島教育實習



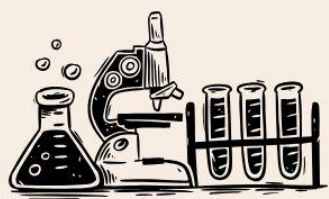


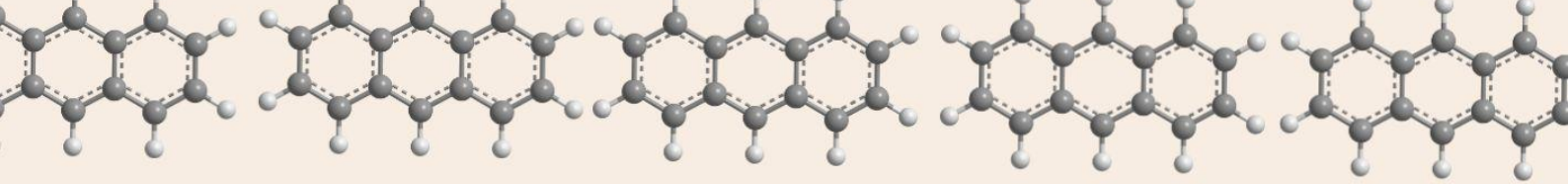
在全是師資生的時代，學生大四時，會利用約三星期的時間，全日在一所小學實習，我們系傳統會為實習的小學留下植物說明牌、一本校園植物圖鑑；卻發現自己國北沒有正式的圖鑑，曾有一屆研究生汪俊良、林政仁、王秋雯、吳柏菱等主導，完成了校園植物圖鑑，接著做 CD 化、網路版。這本圖鑑還有許多活動設計，因此在校內舉辦了許多認識學校環境的活動。研究生有許多是有熱忱、在校教學的老師，回國北繼續進修，有他們在，面對創造王國(Republic of Creativity)，教育部科學

創意設計活動競賽等由陳嘉成老師帶著同學做各種創意活動與競賽，還有九年一貫自然與生活科技領域強調科學素養，我和學生們張政義校長等在 2002-2005 完成國科會《自然與生活科技課程發展與評量：設計與製作》的研究與推動，活動模組已有現在的 STEM(Science, Technology, Engineering, Mathematics)的精神。

我個人學科背景偏向生物學、環境生態學，得以致力於中小學科學及環境教育課程發展與師資培育工作。我們也曾做跨校合作研究，例如；概念研究、

生物多樣性人才培育先導型計畫(國北重點為海洋生物多樣性及海洋教育)、參與台大奈米國家型人才培育計畫-奈米科技 K12 課程研發及北區人才培育計畫，結識許多熱愛新興科學科技教育的教授、專家、老師們。除了學校的研究計畫之外，有時也代表大學端，參加政府的一些評鑑活動，例如；新北市低碳學校、低碳社區標章認證委員、新北市健康城市暨永續發展委員會委員、能源學校評委等。深深覺得學校教育的健全是需要國家社會全面性的支持系統，才能達到盡善盡美。





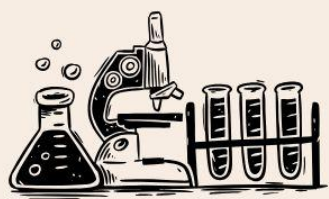
主要研究焦點:師資培育的行動研究及國際合作研究

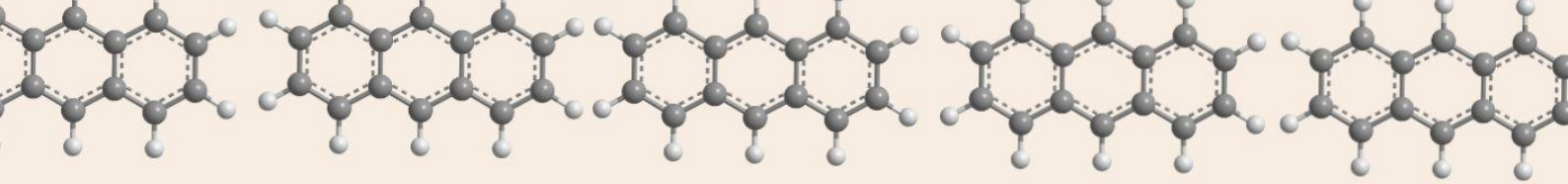
十多年前，因為師培制度的改變，更徵顯師資養成的重要。在郭重吉校長的領導下，執行了自然領域輔導教師專業發展與培育 (2004-2007) mentoring 計畫以及標竿 2010: 合作探究與創構小學優質數理師資學程之設計、實施與評鑑計畫(2007-2010)這是教育部與國科會合作的計畫。這些計畫主要是在大學教授群、在職老師和在校師資生共同合作的專業成長方案，成效是正向的。因為有這經驗，因此，得以有機會在郭靜姿主編(2015)。資優教育課程設計與教學模式應用:華藤文化。Chap 2 提供了資優學生的科學課程設計想法。

此外，在偶然機

會，因為台師大甄曉蘭教授的引介，認識德國柏林大學(Free University of Berlin)的 Professor Joerg Ramseger，他是位對小學科學教學研究非常執著、認真的研究者，在一次午餐中，我們就在餐桌紙上完成了跨文化的科學教學研究架構圖，他還邀請了澳洲 Deakin University 的 Professor Russell Tytler。我們成立 EQUALPRIME(Exploring quality primary education in different cultures: A cross national study of teaching and learning in primary science classrooms)研究計畫，參與的夥伴日後增加了澳洲 Edith Cowan University 的 Professor Mark Hackling

等三位澳洲不同大學的教授以及德國兩位學者。我們是輪流到台灣、德國、澳洲做實地觀察、開討論會，並利用 ESERA 辦一個 Symposium，並做內部進度及進一步議題做整天的討論會。這個研究，我邀請台灣在國小任教的吳淑青、吳季玲及吳柏菱老師等為研究參與對象，我關注點偏向科學推理在台灣小學科學教室中「教」與「學」的品質研究後，來就發表在 Hackling, M.W., Ramseger, J.,&Chen, H. L. S. (2016). Quality teaching in primary science education: Cross-cultural perspectives. Springer International Publishing. 一書中。





科學教育賞：有形與無形

雖然我在 2011 年曾獲得美國喬治亞大學科學教育系 David Butts Distinguished Contributions to Science Education Award 以及在退休時 2015/05/18 獲

得行政院特等服務獎章，名為任職滿 40 年服務成績優良，但是很難具體說出影響與貢獻。我想如果在台灣小學科學師資培育稍有名字，除了桃李滿天下，

還有主原因之一是因為我曾和王美芬教授合著過《國小階段自然與生活科技教材教法》吧？據說很多師範院校是以這本為自然科教材教法的教科書。

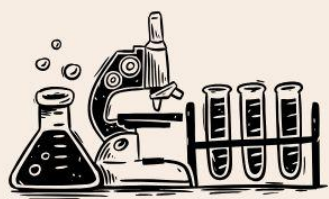
41 屆科教年會主題的啟示：向著目標，戮力前行

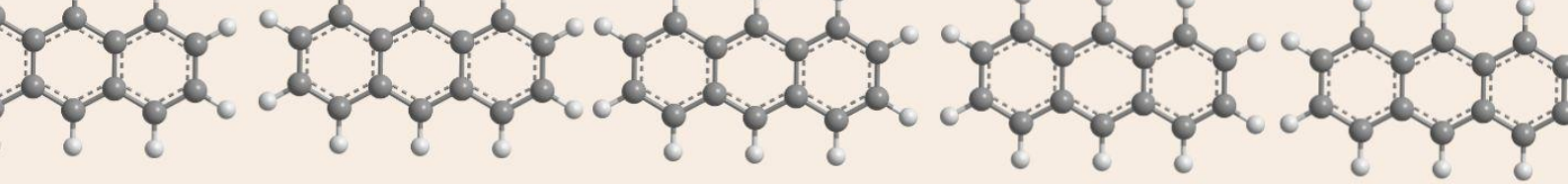
今年是第 41 屆科教年會，主題之一是思索 AI (Artificial Intelligence) 浪潮的議題，數位科技的進展對我而言常是革命似的新邏輯。大學二年級 (1968) 跟著同學去工學院學 FORTRAN (聽說商學院學的是 COBOL)，進入中學教書，這些毫無助益我的日常教學。第二次出國攻讀博士學程時 (約 1985)，研究上用 SAS 統計軟體，就常需要到 Science Library 樓下的電算中心拿報表，課程裡有用 Apple 的桌上長方形機器，學了 CAI (Computer-Assisted Instruction)，覺

得很有趣，才一年的時間，發現學長的研究是電腦連結 sensor，協助學生做溫度、聲音、距離等收集數據分析展現的圖表。這時我感覺到處在資訊時代的快速變化，而且不僅僅影響上層學院，社會，中小學科學教育的「往下紮根」已迫在眉睫。

雖然是這麼想，但畢竟沒有受過資訊科技的教育訓練，不免仍對新興科技恐懼、裹足不前。我想起我曾做過的《國小自然科教師遠距輔導整合型研究 (1997-1999)》的經驗，當時負責這計畫的國科會研究

員郭允文女士，認為網站架設及應用不是難事，重要的是師資培育機構的經驗，如何利用網路時代的契機，擴展師資培育的長度與廣度，是個必須接受的挑戰。當時，我沒發現到學生的資訊科技能力已超乎我的認知，其中大三班導的學生現在是彰化市同安國小的施皇羽校長，聽了我想用網路進行他們大五教育實習的輔導工具的想法，依照我的需求 (needs)，與班上一些同學，合作架設了能聯絡大學端、小學端、實習生之間的遠距輔導教學網站。





這之後，台灣教育界，網路教學蓬勃，我也看到學校老師遇到 COVID-19 時期，利用電腦、網路的功能，處

變不驚，教學永不間斷。現在是 AI 時代，為教育環境帶來新契機，也產生值得憂慮的議題，這是未來幾年，

教育研究非常重要的課題。

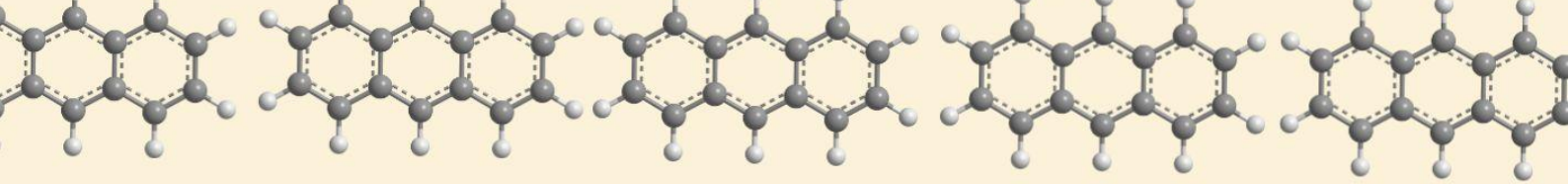
科教之旅省思：他貴人、自貴人

我的這一趟科學教育之旅，簡單的註解，就是「機會」、「挑戰」與「喜悅」。退休前遇到一位博士生王純姬老師，她是小學科學名師，但基於《Science for All》的理想，博士論文有關樂齡族群的科學教育研究，我們合作提出《銀髮族玩科學更健康》(國科會大眾科學

計畫，2014)，執行這個研究的過程，我逐漸意識到自己的未來，也了解到不會無助、孤單，因為台灣為因應「超高齡社會」制定了健康、參與、學習、無障礙、產業等政策，結合社會倡議、企業行動，退休之後仍有無限多機會貢獻己長以及與時俱進的學習。屠圖大主教在

《Lasting Happiness in a Changing World》特別說到：「人就和一花朵一樣，花開，綻放，真的都有賴於他人」。父母親、學校師長、職場同事、學生等，都是這一路上我的貴人，期盼自己的努力，也可成為他人的貴人。





年輕學者獎心得與研究實踐分享—隋奇融



從教學現場到學術殿堂：探索科技賦能的自主學習之路

非常感謝科學教育學會師長的肯定，頒予我「年輕學者獎」。這份榮譽不僅是對既有研究成果的鼓勵，更提醒我

科學教育研究的力量來自於回應教學現場的真實需求。以下我將以「研究問題從何而來、如何被實證、又如何回

到課堂」為主軸，分享自己的學術路徑與研究實踐。

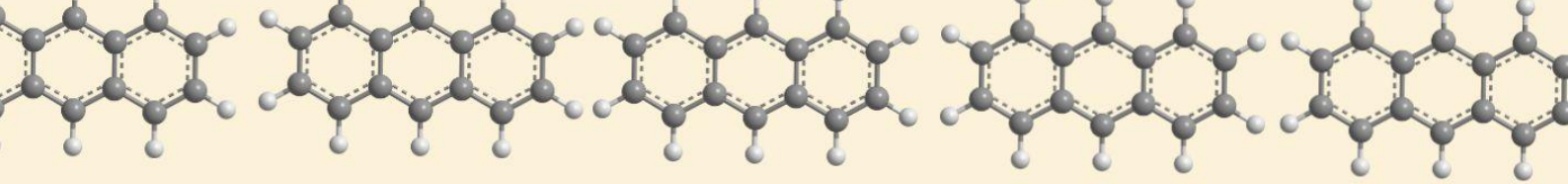
研究興趣與起點：從教學現場出發的問題意識

我的研究旅程始於教學現場，大學畢業後公費分發至新北市中山國中，擔任教師期間，長時間陪伴學生進行探究學習與專題導向課程，也在 108 課綱推動後，

學校實施「生生有專題」的校訂課程，我觀察到當學生面對開放性、跨領域的探究任務時，能力差異會被急遽放大。許多學生並非缺乏動機或能力，而是不

清楚如何規劃學習、監控進展，並在受挫後調整策略。這使我開始關注自我調節學習在科學教育中的角色。





2021 年，我進入臺師大科學教育研究所攻讀博士學位，在張俊彥教授與顏妙璇教授兩位恩師的指導下，張老師引領我在教育科技領域深耕，顏老師帶我走進認知心理學的領域，兩位老師共同為我搭起兩個領域之間的橋樑。

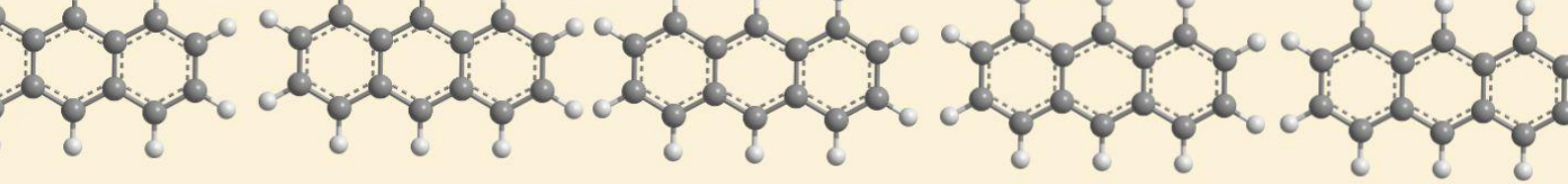
取得博士學位後，生成式 AI 迅速崛起，研究核心轉而聚焦於：「如何透過生成式 AI，支持師生發展自我調節的科學學習能力？」這個問題演變為更具挑戰性的命題：當 AI 能快速生

成看似合理的答案時，如何培養師生的判斷、反思與調整能力，避免學習走向被動接受與過度依賴？

這個核心問題的提出，促使我重新檢視自我調節學習在生成式 AI 時代的內涵。傳統自我調節學習強調學習者的目標設定、策略選擇與監控調整，但當 AI 能即時提供答案與建議時，關鍵不再只是「如何學」，也要關注「如何評估 AI 提供的內容」、「如何判斷自己是否真正理解」。因此我將研

究聚焦於以自我調節學習作為理論基礎，探討在 AI 情境中以自我評量作為關鍵機制，讓學生在接受 AI 回饋前，先建立自己的判斷基準，避免被動接受。在 AI 回饋設計上，如何讓 AI 的鷹架不只提供答案，而是引導反思與策略調整。這些軸線的結合，構成我研究的核心架構：既關注「人如何學」，也關注「人如何相信與驗證知識」，並將 AI 視為可被設計的學習鷹架，而非學習的替代品。





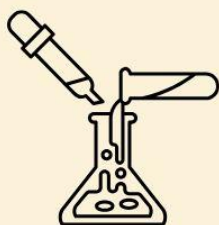
代表性研究主題

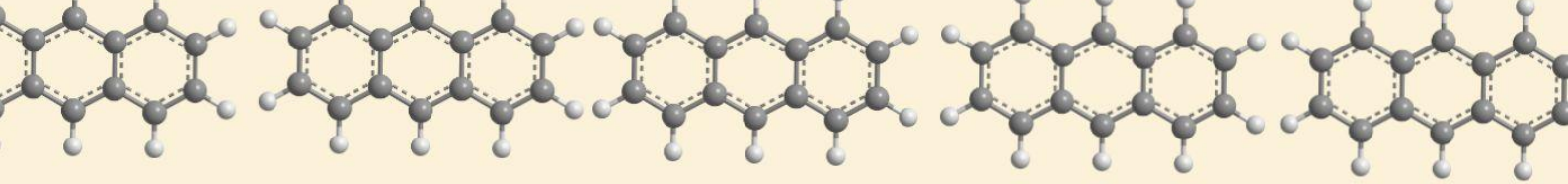
我的研究主題可概括為：在生成式 AI 情境中，探討自我調節學習、自我評量與 AI 回饋如何共同影響科學學習與論證表現。這條研究主線同時關心「人如何學」即自我調節，以及「人如何相信與驗證知識」的認知信念，並把 AI 視為可能的學習鷹架與形成性評量工具。

首先，我們參考前人對於認知信念相關研究，發展並驗證生成式 AI

認知信念與生成式 AI 情境下的自我調節學習量表。結果顯示，教師在生成式 AI 內容的合理性驗證與生成式 AI 內容的結構觀等信念，會顯著影響其自我調節學習的表現。換言之，生成式 AI 時代的教師專業學習，關鍵在於能否建立一套「先規劃、再驗證、再調整」的學習路徑。在自我評量策略的研究中，我以社會性科學議題作為學習情境，比較三種自我評量設計：僅預測表現、結

合標準對照、加入反思與策略調整任務。調查學生在近兩個月的社會性科學議題連續單元，檢驗論證品質、自我評量準確度與自我調節成長。結果顯示，在自我評量的任務中融入預測表現、結合標準對照以及反思，能促進學生在自我調節顯著成長，且其論證表現的提升幅度最佳。研究確認：自我評量的價值在於能否把「評估」轉化為「下一步怎麼做」的策略行動。





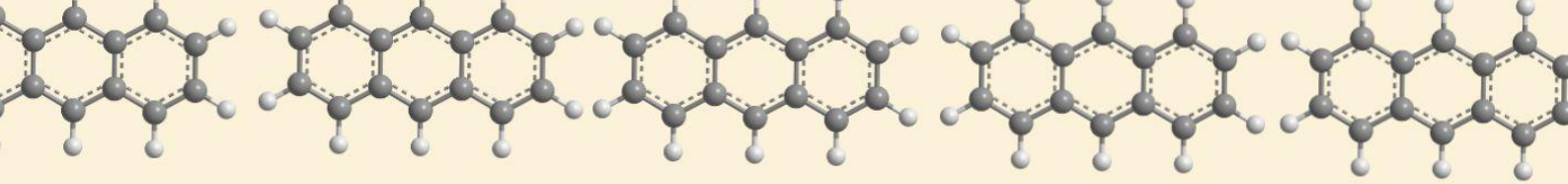
我們將自我評量任務結合在生成式 AI 學習平台中，同樣也是以社會性科學議題為學習情境，設計生成式 AI 驅動的自我調節鷹架，區分為「認知鷹架」與「後設認知鷹架」。認知鷹架為 AI 直接給予學生論證品質的改進建議，而後設認知鷹架，學生必須先完成自我評量任務，且 AI 的回饋是引導學生反思的問題。學生進行三次連續任務，結果顯示認知鷹架能在初期提升表現，但成效不易持續；後設認知鷹架則能支持學生在後續任務中持續進步。此外，能夠展現進步的學生，其對生成式 AI 內容在確定性、來源與結構一致性上的信念顯著較強。

此外，OpenAI、Google 等生成式 AI 模型在科學問題的解題能力已經超越博士級的人類，然而社會性科學議題並非單純追求「唯一正解」的科學解題，而是牽涉到價值立場、利益權衡與不確定性下的決策；學習者需要在多元證據與觀點之間，提出可辯護的主張、清楚連結理由與證據，並能回應反方觀點與限制。因此，我進一步探討社會性科學議題論證的自動評分，比較零樣本、少樣本與自我一致性等三種提示策略在推理與非推理的大型語言模型上的表現。研究顯示，少樣本在較複雜的構面明顯優於零樣本，突顯提供具體範例能協助模型對齊評分邏輯；而自我一致性的效果則呈現模型

差異。從實務面來看，大型語言模型自動評分具備低成本、高擴展性的優勢，適合用於形成性回饋與學習診斷；但基於其仍有一定錯誤率，對高風險的總結性評量仍需審慎使用，並建議採取「人機協作」：以模型先行篩檢與提供可解釋的評分依據，再由教師進行抽樣覆核與關鍵決策，以兼顧效率與評量公平。

這四項研究共同指向一個核心主張：生成式 AI 在科學教育中的價值，不在於替代教師或直接提供答案，而在於能否被設計成促進自我調節的學習夥伴，透過明確標準、可解釋回饋與反思調整機制，讓師生更有能力面對複雜議題、做出理性判斷。





研究應用與教育連結：從論文走向課堂

我在博班時期與指導教授張俊彥老師共同創立 AISI 愛思學習平台，將自我評量與 AI 回饋的理論架構，轉化為可實際運作的學習系統。

AISI 的設計初衷是以科技重新定義師生角色：讓學生成為學習主體，能依個人基礎主動調整方向；讓教師成為定向者，與 AI 共同備課，

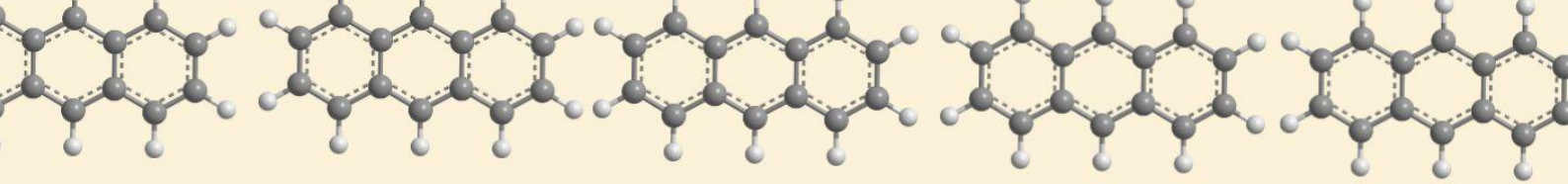
提供個人化引導。真正能讓研究「走進課堂」的關鍵，來自與現場教師的共創。我與三位深耕教學現場的夥伴，以愛思平台為基礎共同發展一系列以自主學習、媒體識讀、科學探究為核心的課程實踐。這些課程在教師實際教學需求下，反覆調整 AI 鷹架的角色、回饋層次與

學習任務結構。此一「研究、實踐、再研究」的循環歷程，在 2025 年獲得「未來教育台灣 100」的肯定。這促使我更清楚地看見：若希望科技能被更大規模地採用，研究者需要持續在可操作的教學設計與可檢驗的成效證據之間搭橋。



圖/愛思課程研發社群於「未來教育台灣 100」獲獎





研究歷程中的挑戰與突破：在不確定中建立定位

回顧研究歷程，最大的挑戰在於跨越教育理論與 AI 技術之間的落差。教育研究強調理論可解釋性與實證嚴謹；AI 技術迭代快速、模型黑箱與不確定性高，容易讓研究被誤解為「追逐新工具」。我學到的第一個突破，是把問題重新拉回「學習」而不是「工具」：每當新模型出現，我都先回答三個問題：它能支持自我調整學習的哪個環節？它是否提供可被驗證的

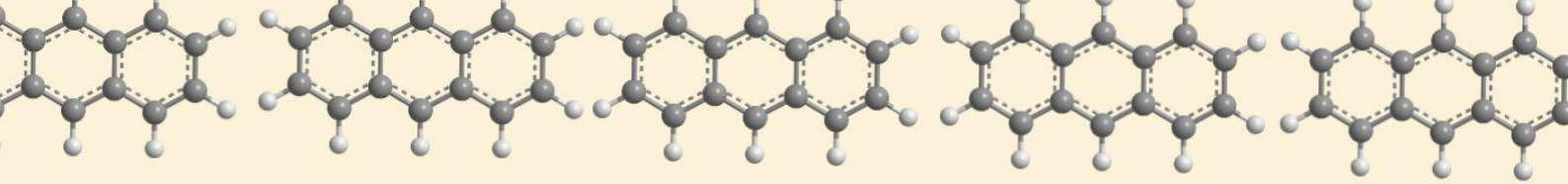
回饋？它會帶來哪些新的偏誤？這樣的自我提醒，讓我在快速變動中維持研究主軸的穩定。第二個突破，是在方法與資料上追求「可重現的證據」。在教師研究中，我們花大量心力在量表建構與驗證；在學生研究中，以連續單元與縱貫視角檢驗成長；在大型語言模型自動評分研究中，把重點放在提示策略的可操作性與模型差異的揭露。第三個突破，來自與現場夥

伴的深度協作。把研究轉化為平台與課堂應用，必然會遇到教學節奏、課綱內容、學生差異等限制。很多看似理所當然的研究設計，在課堂上未必可行；而教師的直覺與經驗，也會倒逼研究者回到理論框架重新思考。在這些調整中，我逐漸確立自己的研究定位：不追逐單一工具，而是以學習科學為核心，把 AI 轉化為可被設計、可被驗證的教育鷹架。



圖/赴印尼瑪琅國立大學數學與自然科學學院進行 AI 融入教育學術分享以及愛思平台實作工作坊





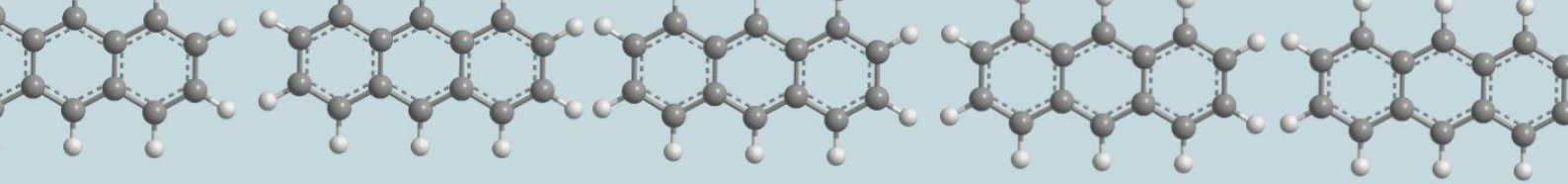
未來研究展望：邁向可解釋、可調整的 AI 科學教育

展望未來，我期許自己持續從四個方向推動研究與實踐。第一，以「認知負債」為核心建立可觀測、可量化的風險指標。我將嘗試界定 AI 外包造成的能力落差與依賴型態，例如：推理步驟的缺失、證據檢核行為的減少、概念整合的薄弱，以及跨情境遷移表現下降等，並發展對應的學習歷程分析與評量設計，讓「是否累積認知負債」能被看見、被追蹤、也能被介入。第二，發展以學習

者能動性為導向的 AI 鷹架設計。未來的 AI 回饋不只提供建議，而要把「決策權」設計回學生身上：要求學生先提出目標與判準、生成可檢核的主張與反主張、指出需要的證據類型，並在 AI 回饋後做出可追溯的修正理由，以促進真正的自我調節循環。第三，發展以學習歷程為核心的可解釋 AI 回饋，讓回饋不只是結果判定，而是能指出學生的關鍵缺口與可行下一步。特別在論證、

建模等高層次任務中，更強調回饋的可解釋性與可追溯性。第四，深化跨情境與平台型研究：在不同年段、課程與文化脈絡中，檢驗認知信念、自我調整學習與 AI 使用之間的關係，並持續以愛思平台作為研究者、教師與學生的共同實驗場域，建立「設計、實施、檢核、再設計」的循環機制，推動可擴散、可驗證的課堂創新。





More Than Astronomy 天馬行空魔法師

黃傳俊

國立東華大學教育與潛能開發學系科學教育博士班學生

嘉義市蘭潭國小退休教師

前嘉義市天文協會總幹事



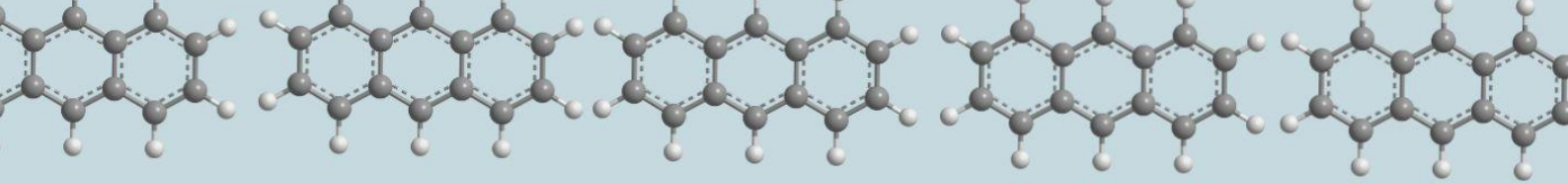
2020 年 6 月 21 日下午 4 點 13 分，超過 3000 位民眾聚集在嘉義市香湖公園，透過濾鏡扇看著天空中的一輪明

「日」逐漸變成了一個金環，隨即爆出熱烈的驚呼和掌聲，手中的手機、相機、攝影機和眼睛絲毫不敢鬆懈。一分鐘過後，金環逐漸變成了大的 C 字，從西南方飛來 5 架 F16 戰鬥機，在日食的方向經過，又再度吸引民眾的目光、歡呼和鏡頭，紛紛為這一生一次的景象留下紀念。在此同時，有超過

50 萬的民眾分布在以嘉義市為中心的雲嘉南地區環食帶內，一起見證在台灣不用出國就可以看到的天文奇景。整個日食觀測活動大約大約 5 點半結束，從嘉義市區通往高速公路交流道的車輛塞滿了馬路，但是每個人的臉上盡是滿足興奮的笑容，毫無塞車的苦悶。而且這一場「金環閃諸羅」的日環食系列活動，堪稱全台科教界 CP 值最高的一場科普活動，總活動經費不到千萬，卻讓全台各大新聞媒體、網路社

群平台共同參與日食觀察的宣導，並且在嘉義市創造了 4 億的經濟規模((2020.6.22，中央社)，讓嘉義市市長驚呼「科普教育也能夠帶動經濟發展」。而一切的背後主要推手，是來自於嘉義天文教育聯盟的成員，也是嘉義市天文協會會員及所屬的科學志工隊 200 多位夥伴，持續推動兩年所獲得的成果。這個成果也印證了嘉義市蘭潭國小天文台成立紀念誌上的「眾擎易舉，獨力難成」這句話。





嘉義市推展天文科學教育從 1987 年(民 76)年開始。由時任嘉義市蘭潭國小的黃明哲校長擔任召集人，招募嘉義地區對於天文教育有興趣的教師、民眾組成嘉義市天文協會，配合特殊天象或節慶，在嘉義縣市各地舉辦天文講座及觀星活動。1997 年(民 86)蘭潭國小天文台建置完成，口徑 20 公分的折射式天文望遠鏡，開始投入天文教學活動，在當時是全台灣第二大的折射式望遠鏡，僅次於台北圓山天文台的 25 公分望遠鏡，如此珍貴又先進的天文設備，當然是得好好運用。而我則有幸在

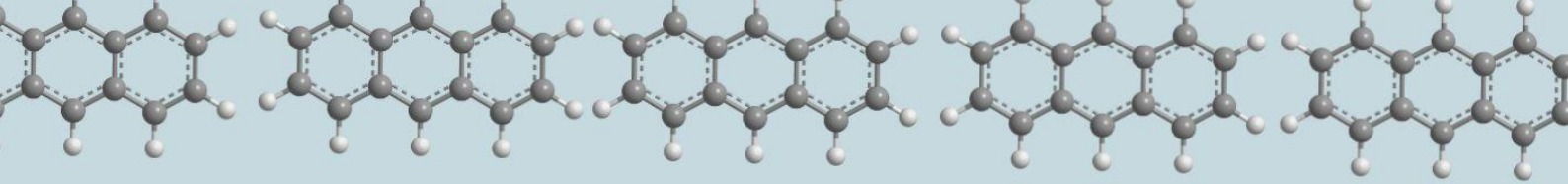
當時進入嘉義市蘭潭國小任教，參與後來一系列的天文推廣教育活動。

蘭潭國小天文台成立初期，以白天太陽觀測紀錄，每周五舉辦夜間天文觀星活動常態性活動，參加的主要對象原先為蘭潭國小校內的家長和學生，後來因為名聲開始外擴，家長的朋友也帶著孩子來參加，於是參與人數越來愈多。當時考量到嘉義市天文教育的長久發展，於是引進了企業經營的概念，在盤整現有的人力物力資源，以及各界和自己對天文的期待，於是擬定了「讓嘉

義成為天文最普及的地區」這個願景，設定天文教育價值的四大面向「開拓視野、跨界思考、和樂親子關係、體驗趣味人生」，並以此展開了各項的活動。

1998 年(民 87)期間，國小開始面臨少子化、教師超額、學生減班的問題，多位在蘭潭國小一起合作天文教學活動的夥伴，在這段期間紛紛調任市區其他國小任教，為了讓天文教育夥伴的調動成為「天文教育層面擴大」，而非「天文教育能量的流失」，於是在 2011 年(民 100)年便推展了晨光天文活動計畫。





晨光天文課程以嘉義市蘭潭國小為課程開發中心，教學目標是透過天文「引發學生好奇心與想像力、培養主動學習能力、獲得成就感與歸屬感」三大面向，並且跨領域的形式進行設計，每學期各有 1 個主題 4 個活動，每個活動 30 分鐘。這也呼應了天文教育價值四大面向中的「開拓視野、跨界思考」。

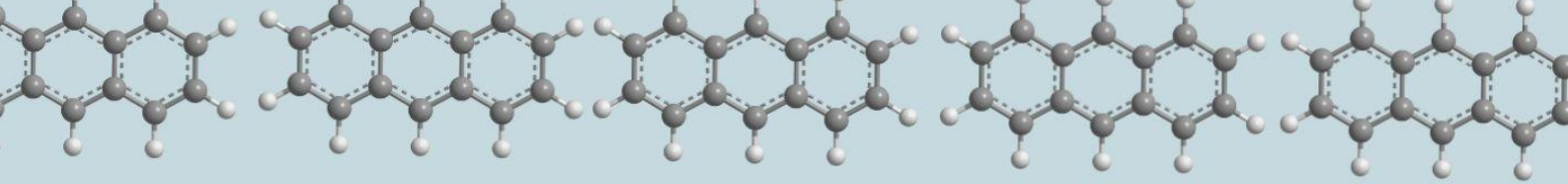
嘉義市天文協會則扮演經費支持者和師資培育單位，和嘉義市的國小合作，由學校推薦熱心的志工家長前來接受免費培訓，培訓後返回原校，利用早自修(晨光時間)進行天文教學活動。第一學期有嘉義市 11 所學校 97 位家長參

與培訓，約有 1000 位學生參與過晨光天文課程，時至今日(2025 年)參與的學校已經擴及到嘉義縣和台南市共有 25 所學校參與，將近 150 位科學志工完成培訓擔任講師，每學期有近 6000 位學生參與晨光天文活動課程。然而這樣的計畫經費是一筆龐大的開銷，初期皆由嘉義市天文協會支應，經費相當的拮据。所幸 102 年開始加入了科技部推動的科學志工火車頭計畫，稍微緩解每年在師資培訓、志工經營、教材開發以及課程實施上所需的經費。

由於晨光天文參與的學校數越來越多，為了讓參與晨光天文活動合作的學校師生能有互

相交流學習的機會，也能將天文教學的能量向社會大眾擴散，讓學生家長與民眾也能體會天文活動的樂趣。於是在晨光天文活動推行的第三年 2014 年，選擇每年春分日前的周六，在嘉義市的公共場域舉辦諸羅春分天文日活動。主要活動除了邀請各合作學校設置天文科學闖關攤位、才藝展演、天文望遠鏡觀日活動外，還邀集全台各地天文館所、民間天文組織、嘉義在地社團共同前來共襄盛舉。每年皆吸引來自雲嘉南地區及全省各地民眾超過 3000 人次參與，截至目前為止，已經成為嘉義市年度例行的重要市政活動項目之一了。





自 1980 年代，嘉義地區的天文教育前輩就已經跟中國各地天文台的科學家有所交流，1993 年辦理第一場海峽兩岸三地聯合觀星活動之後，促成了中國天文學會送 20 公分折射式望遠鏡給嘉義市政府，並將設備安裝在嘉義市蘭潭國小，成為區域性的天文教育推廣中心，也奠定了海峽兩岸天文科學的交流管道。2011 年蘇州天文學會來訪，看到我們正在發展「晨光天文活動」的跨領域天文課程，覺得相當的新奇有趣，也會是未來推展天文教育活動的新形態。於是引薦蘇州吳江市青少年科技中心與之合作，希望帶給當地學生及教師新的天文推廣教育的方式和理念。

於是 2012 年 7 月，由「晨光天文活動」培訓合格講師組團，以無償的形式共同辦理「吳

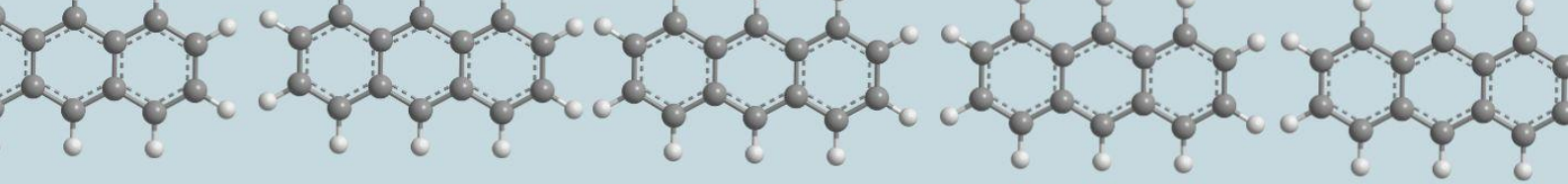
青少年天文交流夏令營」方式，進行跨領域課程設計的交流，這個活動也鼓勵講師。預計每年辦理一次，每次活動為期三天，共 4 個班次，每班 30 位學生。由嘉義的天文工作者負責課程規劃、教具準備與課程教授。而吳江青少年中心則負責學生招募、場地布置、講師食宿交通與當地文化活動體驗。2014 年起，從青少年天文交流營隊擴展到當地教師跨域課程教師研習活動。2016 年起，延伸到青海孜榮小學暑假科學課程。後因 2019 年新冠肺炎疫情嚴峻而暫停辦理。

2017 年，嘉義市天文協會組織天文愛好者前往美國愛達荷州觀看日全食。觀測活動結束後，因為在高速公路上返家期間，遇上了洲際公路大塞車，便預想 2020 年 6 月日環食帶中

心線即將通過嘉義市，因為雲嘉南地區交通便利，觀測條件良好，將有機會吸引 50 萬人，約等同於嘉義市戶籍人數兩倍的民眾前來觀看。於是便開始籌備並執行「2020 日環食系列活動」，預計以晨光天文活動合作學校為觀測衛星基地，晨光天文活動講師擔任觀測解說員，為各界民眾提供觀測服務。

2018 年，在連結地方產官學界資源的同時，獲得當時林務局嘉義林區管理處處長對於推展天文科學教育的認同，由非教育體系的官方機構與民間單位的合作，開展了「阿里山森林遊樂區生態觀星體驗」活動，同樣以晨光天文活動講師為觀星活動講師，成為全台灣第一個在國家森林遊樂區舉辦的常態性科學教育活動





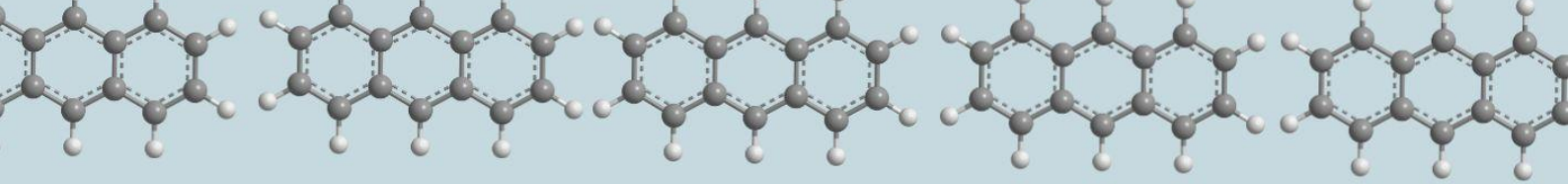
經歷的 2 年的日環食校園巡迴活動、街頭天文教育宣傳活動、全台科教機構(社團、團隊)資源整合，2020 年 6 月 20-22 日期間，吸引超過 70 萬民眾進入雲嘉南地區觀看日環食，散落各地的衛星觀測機會、多樣化的天文教育活動、充足的解說師資及設備，都讓所有參與的民眾在身心靈上都滿載而歸。當年若非疫情邊境管制，將會有更多來自海外的遊客前來共襄盛舉。

自 2017 年底啟動

「2020 日環食」推廣後，嘉義地區 7 個教育與天文單位於 2018 年結盟為「嘉義天文教育聯盟」，整合從國小到研究所、校內到社會教育的資源，並獲現在當時林務局嘉義林管處(現為林業及自然保育署嘉義分屬)的支持，願意以阿里山森林遊樂區作為推展天文教育基地。由晨光天文活動講師群接受觀星解說、活動帶領與行程規劃培訓後，每月辦理兩梯次、兩天一夜的生態觀星體驗，內容含森林生態導覽、夜觀、望遠鏡操作、星空

攝影與太陽觀察。除一般民眾外，也與嘉義市自然領域輔導團辦理全國教師研習，並協助規劃國中小高山觀星校外教學。七年累積逾 200 場活動、超過 6000 名參與者，讓更多人認識高山生態與低光害星空之美。其成功經驗亦促成與阿里山林業鐵路及文化資產管理處合作，於嘉義車庫園區開發鐵道文化體驗課程，由受訓講師擔任帶領者，成為全台首創的鐵道文化教育活動。





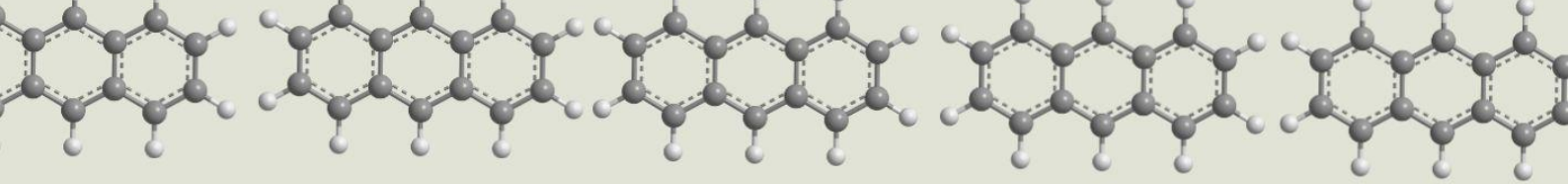
2021 年延續日環食系列活動的資源整合結果，地方電台邀約共同參與文化部補助辦理的廣播節目錄製計畫，希望以兒童青少年為收聽主軸，將天文科學教育透過電波及網路繼續對外擴散。於是便邀集在地天文講師和單位共同參與，將廣播節目取名為「天文 KnowIdea」，迄今已經邁入第五年，並且與嘉義地區的國小及老師合作，每年推出 34 集的廣播節目，現在都存放在 YouTube「諸羅星空頻道」上，透過網路無遠弗屆的威力，向全世界播送。

由於 2020 日環食系列活動進行期間，嘉

義市蘭潭國小獲得教育部補助購置天文教學設備，其中包括全台唯三的移動式星空球教學設備。在獲得設備後，便與嘉義市天文協會的講師群合作，到百貨公司的廣場進行每月一次的嘉義市市民天文教育活動。然而為了讓教學設備能夠發揮更大教學功能，教學技能純熟的天文講師能擴散能量，並且為東部地區偏鄉學校的天文科學教育盡一份心力，於是從 2024 年開始，與國立東華大學科教中心合作，執行「花蓮縣星空球體驗活動」，後續加入花蓮在地天文同好、民間社團參與，讓天文科學教育有機會在花蓮生根。

從 2011 年到現在的這些天文科學教育推廣方案，參與的學生及民眾已近百萬人次，開發出的教學活動及各式教具超過百套。然而這些成果對於在嘉義地區持續推展天文科學教育的近千位教育工作者來說，都只是一個歷程而已，我們心中想要的成果，其實只是希望每個人都能夠很自然的喜歡天文，透過天文來「開拓視野、跨界思考、和樂親子關係、體驗趣味人生」，讓天文成為生活的一部份。實現「讓嘉義成為天文最普及的地區」這個願景。





教學卓越獎心得與科學教學特色分享——張珮珊



科學種子萌芽期

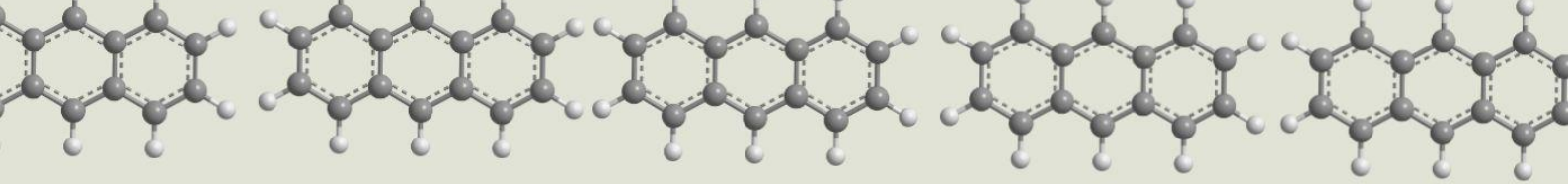
臺灣是全球科技產業的重要基地，而此產業競爭力的核心關鍵來自科學人才的培育，除了高等教育學術專業知能的深化，中小學的科學教育亦是科學人才培育的基石。

高中學生選組前，常會向我詢問：「老師，您為什麼會選擇自然科學作為主科呢？」我總是毫不遲疑回答：

「因為自然探索的過程很有趣，尤其在實驗時發現新事物的那一刻，既快樂又充滿成就感。」回想多年前，還是教學資源相對匱乏、實驗課尚未普及的年代，我的生物老師將全校唯一的「複式顯微鏡」帶進教室，帶領我們輪流觀察、探索那個從未親眼見過的微觀世界。就在那樣珍貴而短暫的實驗體驗中，我第

一次感受到科學的魅力，也在心中悄然種下科學的種子。高中階段，是形塑學生未來學習方向的重要關鍵期，儘管數學對我是極具挑戰的學科，但為了能參與更多動手實作、親身探索的實驗課程，我仍選擇了自然組。這樣的選擇，不僅影響了我後續的學習歷程，也奠定了我日後投身科學教育的初衷與信念。





從食譜式實驗到科學探究的覺醒期

就讀師範大學期間，教師職前的培育包含多元的實驗課程，從實驗歷程中我學習到許多實驗知能與技巧，不過這些實驗課程仍多以食譜式方式進行，我開始產生疑問：「這就是科學真正的樣子？」、「我對科學有真實的認識與理解嗎？」於是在大二時帶著這些疑惑進入賴吉永老師的微生物

實驗室，展開我的科學探索之旅。

這趟旅程一開始即充滿挑戰，從第一篇英文專業文獻、PCR(聚合酶連鎖反應)引子設計、一路到實驗條件測試等，每一個環節都考驗著我的耐心與思考能力。終於在半年後的一個傍晚，照膠台上呈現那條細細的 band (白色

條帶)，讓我體驗到發現新事物的喜悅與成就！這個研究經驗，讓我深刻理解科學並非僅是操作技巧的堆疊，而是一段不斷提問、驗證與修正的探究歷程，因此，大學完成職前教師知能培訓後，我沒有直接進入教學現場，轉而進入研究所，投入基礎科學研究，以奠基自身更穩健的科學探究知能。

理想與現實的落差：中小學科學教學的困境

兩年的研究所時光，我全然沉浸在科學探究的歷程。隨後，帶著專業知能與滿腔熱血，回到母校——新營高中展開教育實習，原本期待能將所學帶進課堂，引發學生對自然現象的好奇，並與他們一同體驗發現新事物的喜悅。然而，實際走入教學現場後，我感受更深的是「科學探究課程」在實務現場的匱乏。母校高中階段的科學教學樣貌，與我六年前身為高中生時所經歷的，並

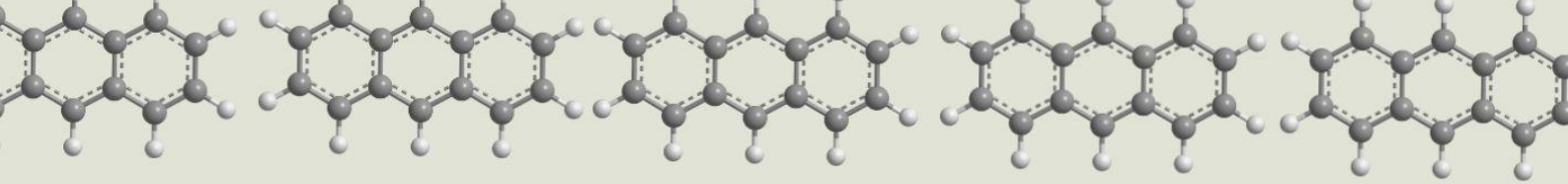
無太大差異。事實上，中小學科學教師在教學現場，往往受限於課程進度、時間壓力、經費資源或專業知能等因素，較少能進行完整的科學探究與實作活動，只能依循教科書既有設計，進行以步驟操作為主的「食譜式」實驗教學。

回顧自己高中時期，曾覺得這類實驗課程新奇、有趣，然而，從今日的視角反思，這樣的實驗活動多半缺乏問題發想、實驗設計與

變因控制、結果評估，以及歸納論證等關鍵歷程，容易讓學生誤以為「只要照著步驟完成，就是在做科學」。而我也是在進入微生物實驗室，親身經歷完整的研究歷程後，才得以深刻理解科學探究的本質。

從教育實習到正式進入教學現場，我反覆思索：「中小學階段的科學教育，真的能落實科學探究嗎？」「研究所培養的科學探究知能，究竟該如何在實務





教學現場發揮效益？」我心中渴望嘗試改變，卻在現實條件與自身能力評估的拉扯下，遲疑不決，一時難以找到具

體改變的起點。於是，在教學第二年決定再次回到學習者角色，就讀彰師大科學教育研究所，進行更深入且專業

的進修與成長，期盼日後能回到中小學教學現場推動科學探究課程。



圖一、彰師大科學教育研究所溫嫻純老師研究團隊。

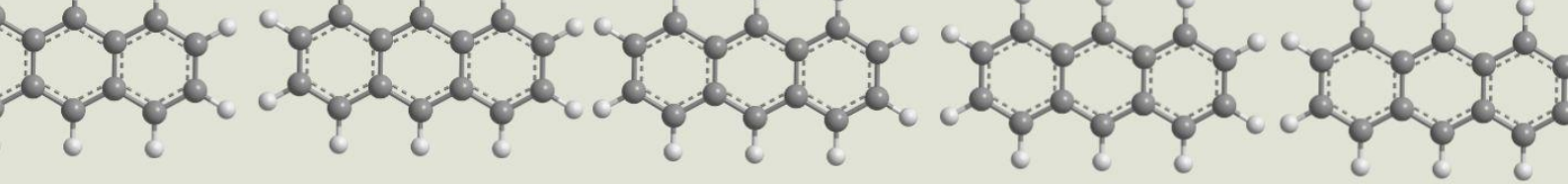
再出發：科學教育理論與教學現場實務的結合

進修博士學位漫長的生涯中，指導教授溫嫻純老師給我很大的探索空間，並鼓勵我結合大學、碩士班所學的科學探究知能與己身教學實務經驗，發展我的研究主題，以嘗試解決教

學實務所面臨的各種難題。恰巧博士班二年級時，學校賦予我開發資優課程的任務，我以探究學習與後設認知理論為核心，發展出兩大探究實作活動：「鈕扣密碼——探索鹼基配對規

則」及「串珠手鍊製作——探索基因表現」，引導國中生挑戰高中學習內容——遺傳中心法則 (central dogma) 概念（如圖二）。此次課程孵育與教學實踐讓我真實經驗如何整合研究理

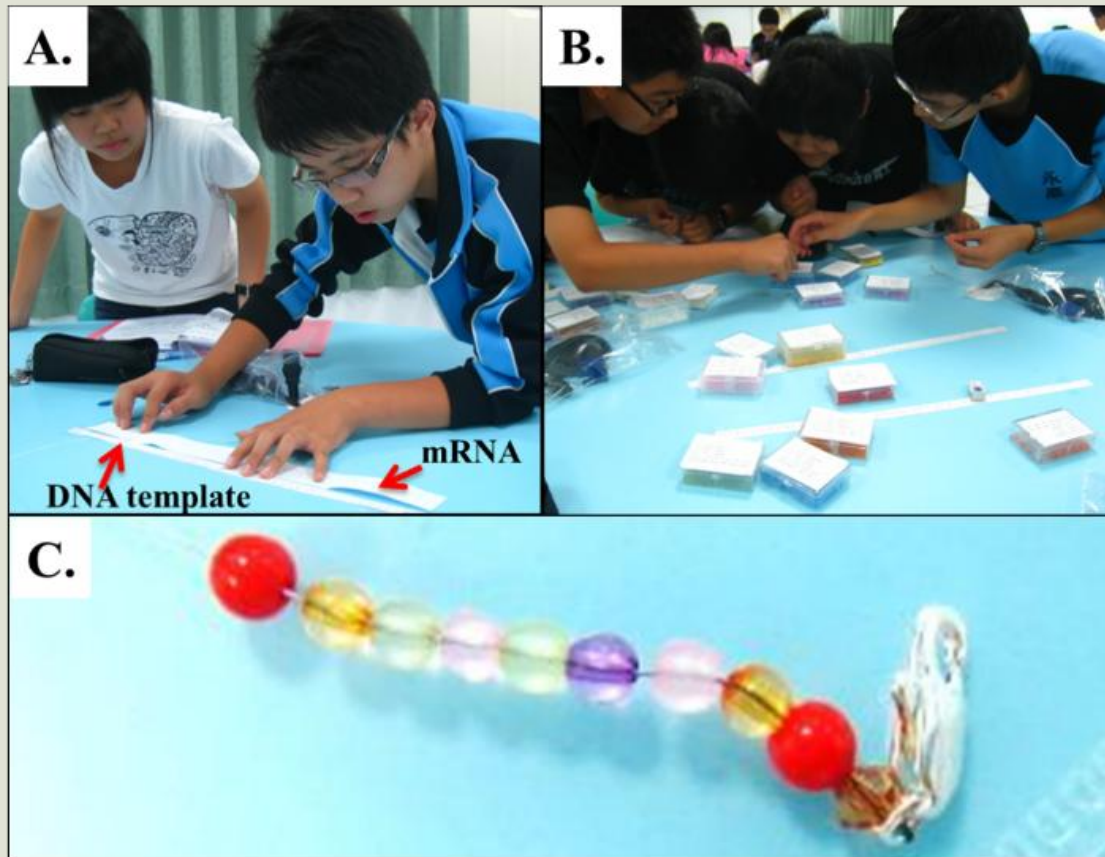




論轉化為實務現場的課程設計及教學實踐，不僅催生了我的第一篇英文期刊論文(Chang et

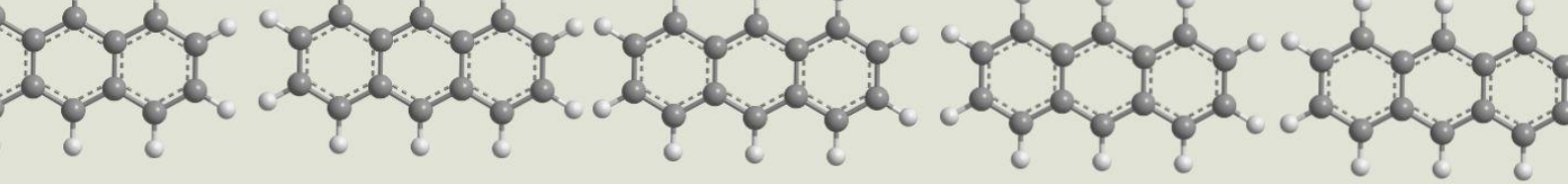
al., 2020)，更堅定了科學以「探究與實作」為核心的信念，亦為後續一系列實驗室探究課程

的發展奠下穩固的基石。



圖二、遺傳中心法則實作活動。A.「鈕扣密碼」—學生利用字母扣探索鹼基配對規則；B~D 串珠手鍊製作—探索基因表現。B.學生將 DNA 遺傳訊息轉錄為 mRNA；C. 學生根據 mRNA 序列找尋相應之的珠寶(胺基酸)；D. mRNA 轉譯合成短胜肽鍊。





圖三、「酶飛色舞」科學探究實作課程—永慶高中科學場次。學生探究成果表達與分享。

實驗室導向的探究課程發展

學生在上述探究課程中給予許多正向回饋，然而我也逐漸意識到，學生在課室中透過探究實作活動所建構的概念理解，與科學家在實驗室中藉由科學探究生成科學知識的歷程，仍有一段不小的落差。有鑑於此，在段曉林老師的鼓勵下，博士班三年級時，我參與賴吉永教授所申請之科技部科普活動推廣計畫——「以漆氧化酶作為酵素

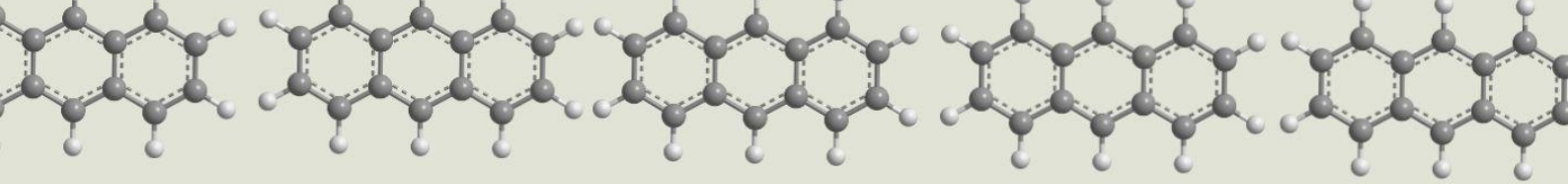
教學實驗的題材」，嘗試進一步縮短課室學習與真實科學實踐之間的距離。

與此同時，我亦修習林淑嫻老師開設的素養導向課程設計課程，依循逆向課程設計原則，嘗試將賴老師所發展之實驗教材，轉化為更具探究與實作取向的學習素材。在擔任課程助教期間，我除了協助實驗教學外，也得以近距離觀察科學家教師的

實驗教學方式，以及高中學生在實驗室情境中的學習實況。最後，綜整溫老師的專業建議，於課後與賴老師討論教學引導策略與課程調整方向，終於完成第一版以實驗室為導向的科學探究實作課程——「酶飛色舞」。

這次計畫參與及課程開發經驗，讓我深刻體認到科學探究與實作課程發展的艱辛！從初始實驗規畫與測試、食





譜式教材的轉化與課程再設計、課程實施與評量等，處處充滿各種考驗與挑戰，需要極大的時間與人力的投入。另外，科學實驗活動往往要價不菲，亟需實驗室

資源的挹注或計畫經費支持。所幸在賴老師實驗團隊、科教所各位師長的協助下，我得以將碩士班涵養的科學探究知能與博士班習得的科教理論整合，發展科學

探究實作課程，並實踐於高中教學現場（如圖三）；而此課程的研究成果也發表於《科學教育學刊》(2017)

高中「探究與實作」課程深化：讓探究成為日常

然而，隨著計畫期程與課程研究告終，我浮現新的疑問：「這門課程的下一步是什麼？」「若缺乏大學端的支持，在中小學科學教育現場，這樣的實驗室導向課程真的能持續實踐嗎？」正當思索之際，國家課程改革的啟動，為我提供了向前跨步的契機，也使這套實驗室導向的科學探究實作課程，得以持續演化，朝向更常態化的實踐方向發展。

臺灣的科學教育長期深受升學主義影響，實驗課程的教學效益在實務現場一直缺乏共識。即便多數教師認同

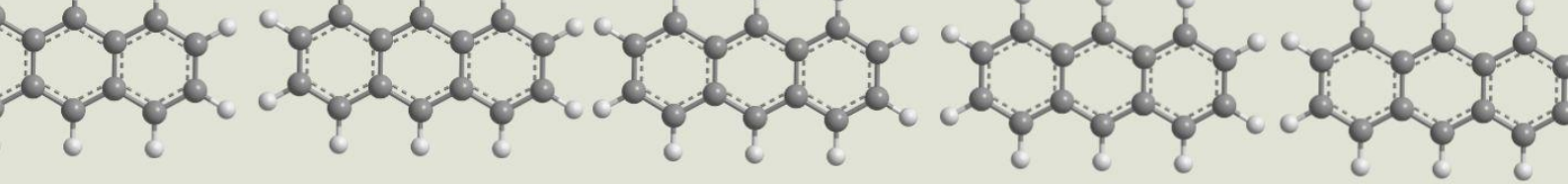
實驗室探究對科學學習的重要性，但真正涵蓋「實驗設計」、「實驗設計評鑑」或「實驗辯論」等核心探究活動的課程，仍然少見。這種現象，也可能是台灣學生於 PISA 2015「評量及設計科學探究」表現較弱的原因之一（She et al., 2019）。

回想當年在微生物實驗室的科學探究經驗，研究生的日常即包括：根據問題或實驗目的進行實驗設計、與學長姐及老師討論設計的適切性與可行性、調整相關變項，並在正式執行實驗後進行結果詮釋、口頭或書面論證

等。雖然中小學學生的科學探究不必囊括科學家在實驗室中的全部歷程，但透過形成問題、實驗設計評鑑與執行、分析數據、對實驗進行辯論等實務活動，學生得以建構科學知識、培養探究能力，並逐步發展對科學本質的理解，這正是課程改革的重要方向。

十二年國教自然科學領域於普通高中新增「自然科學探究與實作」部定必修課程，強調透過實作貫徹發現問題、規劃研究、論證建模及表達分享等探究內容，正好回應我在中小學現場觀察到的需求。





因此，我積極申請並獲得教育部 106 與 107 年度高中優質化計畫挹注，將先前發展的「酶飛色舞」課程引入永慶高中，並成立「科學探究與實作」課程發展專業社群，致力將課程轉化為可常態實施的校本課程——「酵素科學探究實作」。

該課程在上、下學

期每二周一次的社團時間進行試行，調降單元數以增加各單元的實施時間，並強化「表達與分享」的探究實務，包括聚焦單元實驗設計、設計分享交流與設計評鑑，並舉辦學術研討會，鼓勵學生進行科學論證寫作與口頭發表。學術研討會提供開放的對話平台（如圖四），讓每位學生透過「說科

學」的歷程，培養表達分享與批判思辨能力，並逐步理解科學知識建構的本質。相關研究成果也發表於

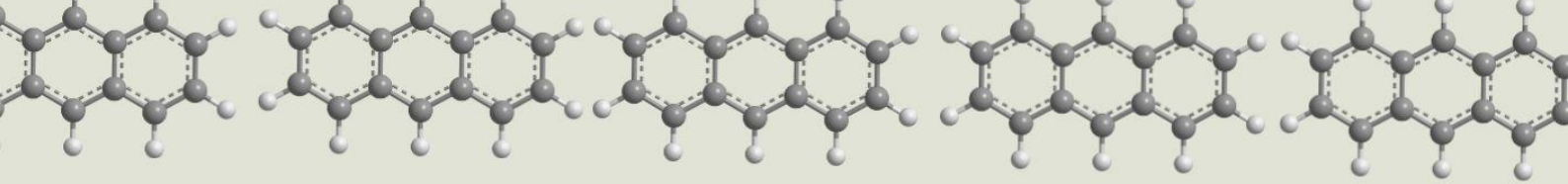
《International Journal of Science Education》
（Chang et al., 2022）。

¹²社群教師：張珮珊、谷桂梅、黃禎貞、李雅婷、沈盈呈、董柏宏、韓百增、歐詠喆、許曉菁老師



圖四、學術研討會。A.學生口頭論證發表 I-同儕與校內科學教師的交流；B.學生口頭論證發表 II-同儕與校外科學家的對話。





向下扎根：國中階段的科學探究素養培育

基於上述科學探究與實作課程的成功經驗，與教育部 108 年度高中優質化計畫經費的支持，我與社群教師更嘗試融入能源教育議題與科學史發展「光合秘辛」科學探究與實作課程。學生在課程中也給予許多正向的回饋，展現出高度學習投入與好奇心。然而，面對這門新增的必修課程，我也更加理解師生們在實務操作中所面臨的挑戰與壓力。

我們深知：早期探究經驗有助於稍後的科學探究學習，若能在國中階段開始培養學生在

實驗設計、評鑑與分析等探究知能，應能在繁忙高中生涯中，激發學生持續從事科學探究的興趣與動機。因此，在溫老師的鼓勵下，我嘗試申請 109、110 年度的中小學科學教育計畫專案，並和社群教師積極爭取本校（永慶高中國中部國中）彈性學習時數，發展三年的校本課程「科博文探論」，包含引導式與半開放式科學探究單元，分別於國中部三個年級實施（如圖五）。

課程實施過程再次讓我體會到全面推行科學探究實作課程的艱

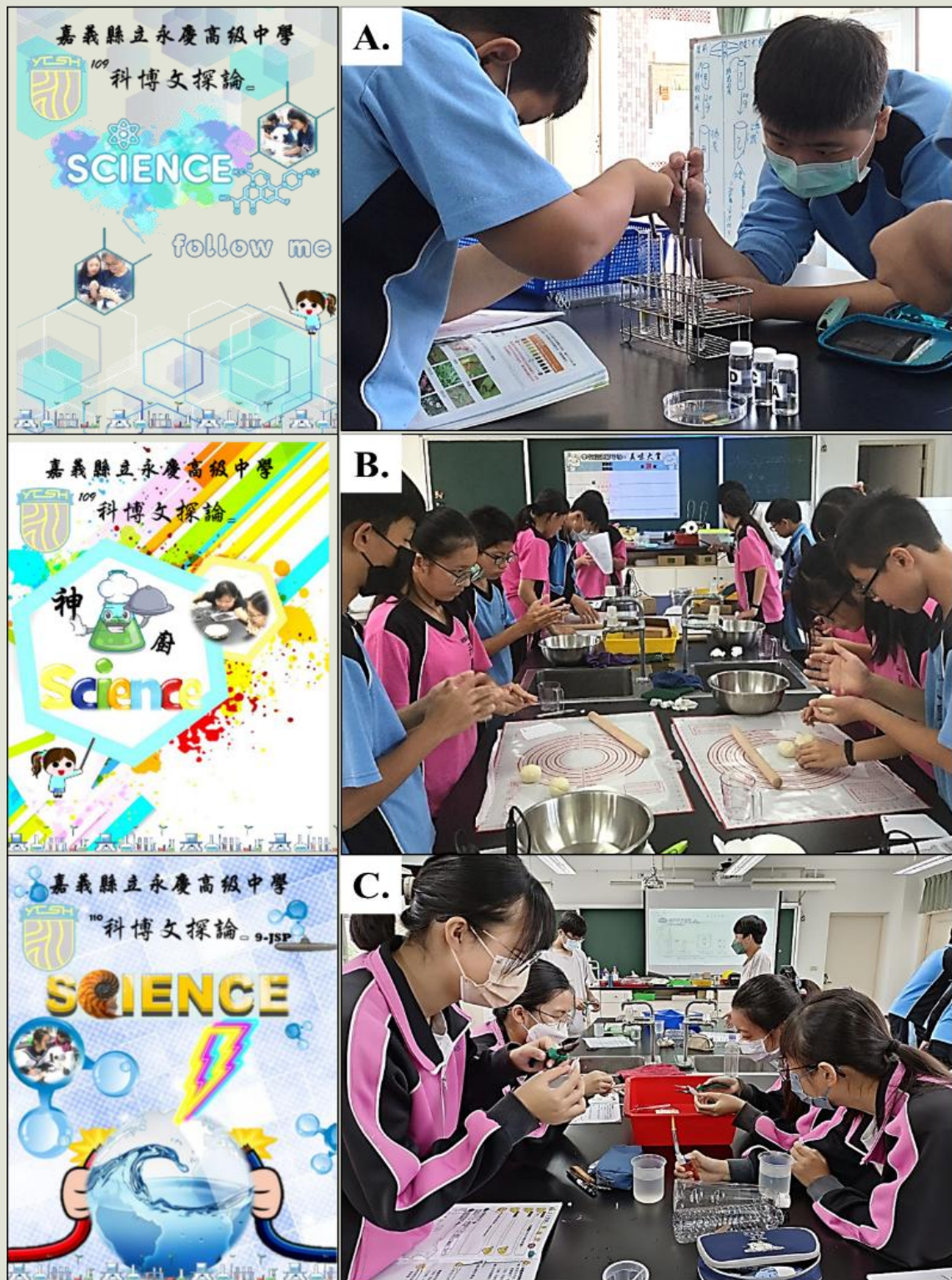
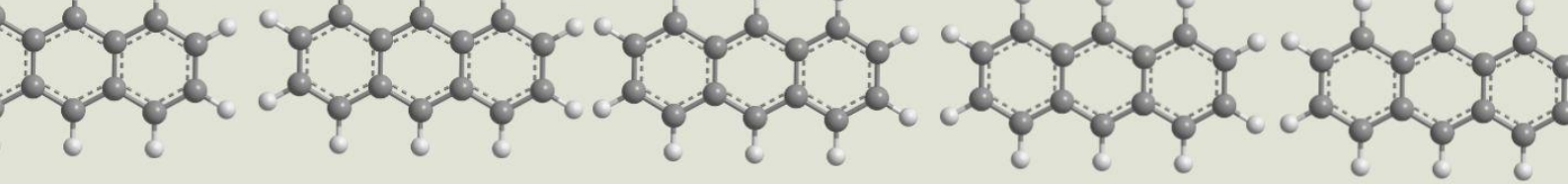
辛。實驗室科學探究的本質即充滿不確定性，即便每堂課都有兩位科學教師協同教學（計畫經費支持），仍常遇到突發情況，包括國中學堂行為管理、個別學習動機與能力差異等，均會嚴重影響科學探究進度。因此，教師必須視當下情況隨時調整教學步調與課程進度。此外，各組實驗設計的適切性主要依靠同儕評鑑（如圖六），教師僅能於各組間短暫提供引導，無法逐一檢視每組設計，導致實驗結果多元且非預期，進而增加引導學生詮釋結果的難度。

儘管如此，學生仍真實經驗了科學探究的本質，而教師也盡可能帶領學生共同檢視實驗設計、變因控制、數據分析等環節，討論各組差異或非預期結果的可能原因，只是受限於人

力與課程時間的限制，往往不易進行有效的論證建構而影響學生知識的整合與理解的深度。值得欣慰的是，在此探究課程中提供學生「實驗設計」、「對實驗設計進行評鑑」與「對實驗

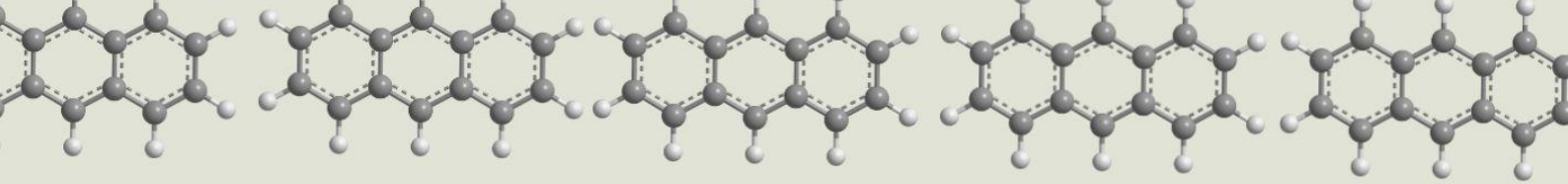
進行辯論」等學習活動，確實有助於提升學生「計劃與執行」面向的探究能力，相關研究成果也於第 40、41 屆「科學教育國際學術研討會」口頭發表。





圖五、國中校本課程「科博文探論」。A. 科學花路米(七年級)之搞酵科學 I-酸鹼值對酵素活性影響；B. 神廚賽恩師(8 年級)之手作幸福饅頭-影響饅頭髮酵的因素；C. 寰宇大視界(9 年級)之浮沉人生-解密浮沉子。





圖六、實驗設計分享會，學生(黃色箭頭)對實驗設計進行評鑑，教師(紅色箭頭)觀察與引導。

與學生同行：在科展研究中共享探索的喜悅

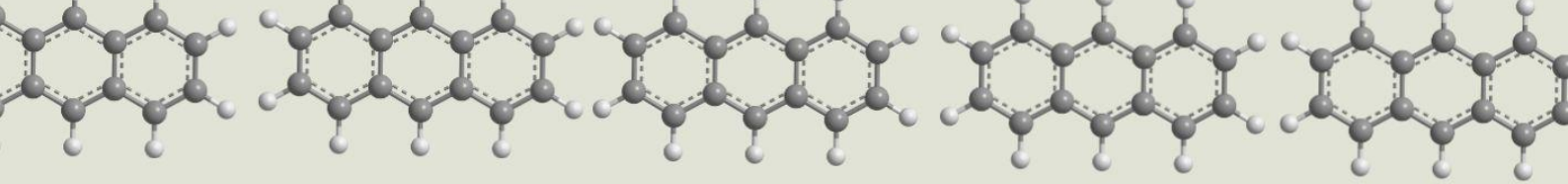
「在中小學的科學教育階段，有機會體驗發現新事物的喜悅與成就？」坦白說在一般科學課室中並不容易，然而帶領學生進行科展研究的歷程，讓我再度感受到這份喜悅與成就，更甚的是學生也能共享這樣的感受。

回首來時路，我與學生一起經歷科學探究的反覆嘗試、挫折與突破，可說是歷經風霜啊！也幸運地獲得許多溫暖而堅實的專業陪伴

與支持：從一開始昆蟲行為探索—北一女中蔡任圃老師(時任中山女中)無私的蟑螂供給與科展經驗分享；仰泳椿子防治—台大蔡坤憲教授專業的實驗輔導；螯蝦行為與方蟹寄生關係探索—彰師大李奇英老師蝦蟹養殖技術支援與研究設計指導；今年科展主題：塑膠微粒對番茄的影響—溫嫻純老師與中山李昇翰老師的研究引導與學生報告的專業協助。

另外，也感謝永慶高中行政團隊的支持，讓我與參展學生有機會與來自全國的師生進行研究成果的分享與交流(如圖七)，讓科學探究豐富參展學生的生命經驗，就像當年老師為我開啟通往科學探究的那扇窗。期待未來有更多莘莘學子對自然保持好奇與探索熱情，願意投入科學相關領域，為這座科技之島再創奇蹟。





圖七、學生參加第 65 屆全國科展作品公開展覽與解說。

科學教師的使命

科學教師是中小學科學教育的重要推手。我自大學一路走來，學習與教學始終並行，在實驗室科學探究、相關課程發展與教學的研究歷程中，獲益最深的正是學習如何將科學教育理論轉化為可行且具深度的教學實踐，並以此突破教學現場所面臨的各種限制與困境。

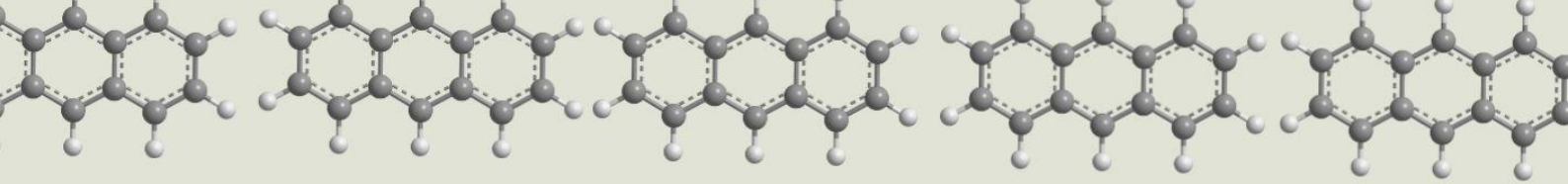
彰化師範大學是培育教師的搖籃，從生物系、生物研究所到科學

教育研究所，一路走過近十五個年頭，今年 41 屆科學教育國際學術研討會在彰師大舉行，承蒙科學教育學會的肯定，讓我有幸在滋養我的母校獲頒「中小學教師教學卓越獎」，對我而言意義極為重大！這不僅是一份榮耀，更是一份深具意義的專業回應與責任託付。

當前教育現場充滿動盪與各式挑戰，科學教師也面臨嚴重缺額危

機，使得課程發展與研究更加舉步維艱，然而，我仍深信：教師是世界上最重要工作之一，肩負引領學子理解世界、形塑未來的關鍵使命。承載著大家的鼓勵與支持，期勉自己在科學教育上持續耕耘，也期盼更多青年科學教師願意承載教育之重，共同投入打造未來的科學課室，讓中小學科學教育的推動得以穩健前行、永續發展。





參考文獻

Chang PS, Lee SH, Wen MC. (2020). Metacognitive inquiry activities for instructing the central dogma concept: ‘button code’ and ‘beaded bracelet making’. *Journal of Biological Education*, 54: 47-62.

Chang P.S, Lee SH, Wen MC (2022). Developing an inquiry-based laboratory curriculum to engage students in planning investigations and argumentation. *International Journal of Science Education*, 44:18, 2659-2684.

She, H.-C., Lin, H.-s., & Huang, L.-Y. (2019). Reflections on and implications of the programme for international student assessment 2015 (PISA 2015) performance of students in Taiwan: The role of epistemic beliefs about science in scientific literacy. *Journal of Research in Science Teaching*, 56(10), 1309–1340.

張珮珊、賴吉永、溫嫩純(2017)。〈科學探究與實作課程的發展、實施與評量：以實驗室中的科學論證為核心之研究〉。《科學教育學刊》，25(4)，355-389。

